橡胶工业手册

HANDBOOK OF RUBBER INDUSTRY

修订版

第六分册

工业橡胶制品

化学工业出版社

橡胶工业手册

修订版

第六分册

工业橡胶制品

林孔勇　金晟娟　梁星宇 主编

化学工业出版社
·北　京·

（京）新登字039号

图书在版编目（CIP）数据

橡胶工业手册　第六分册：工业橡胶制品＝HANDBOOK OF RUBBER INDUSTRY/林孔勇等主编．－修订版．－北京：化学工业出版社，1993.6（1995重印）

ISBN 7-5025-1127-X

Ⅰ.橡…　Ⅱ.林…　Ⅲ.橡胶工业-橡胶制品-手册　Ⅳ.①TQ33-62②TQ336

中国版本图书馆CIP数据核字（95）第08416号

出版发行：化学工业出版社（北京市朝阳区惠新里3号）

社长：傅培宗　　总编辑：蔡剑秋

经　　销：新华书店北京发行所

印　　刷：北京朝阳区东华印刷厂

装　　订：三河市东柳装订厂

版　　次：1993年6月第1版

印　　次：1995年6月第2次印刷

开　　本：787×1092 $^{1}/_{16}$

印　　张：72

字　　数：1810千字

印　　数：7 001—10 000

定　　价：75.00元

《橡胶工业手册》修订工作委员会

主任委员：于清溪

副主任委员：吕百龄　董庭辉　杨银初

秘书长：周国樘

副秘书长：刘植榕　谢遂志　单既宝

秘书组：汤华远　姜志悌　刘登祥　薛广智

委员（按姓氏笔划排列）：

丁邦曾　于清溪　王迪钧　王明仁　王梦蛟　叶可舒　白仲元　刘植榕　刘登祥
朱馨镛　汤华远　李延林　吕百龄　杨顺根　杨银初　吴庆云　吴宇方　张丹秋
张玉麓　张启耀　单既宝　林孔勇　林宝善　周木英　周国樘　周鸣峦　周俊伟
金晟娟　郑亚丽　赵光贤　钟延壎　姜志悌　涂毓贤　龚怀耀　梁守智　梁星宇
董庭辉　谢遂志　翟祥国　薛广智　魏邦柱

各分册的委员分工如下：

分　册	主　编	副主编	
第一分册	谢遂志	刘登祥	周鸣峦
第二分册	王梦蛟	龚怀耀	薛广智
第三分册	梁星宇	周木英	
第四分册	梁守智	钟延壎	张丹秋
第五分册	李延林	吴宇方	翟祥国
第六分册	林孔勇	金晟娟	梁星宇
第七分册	赵光贤	王迪钧	魏邦柱
第八分册	刘植榕	汤华远	郑亚丽
第九分册	杨顺根	白仲元	
第十分册	涂毓贤	林宝善	朱馨镛
第十一分册	王明仁	叶可舒	吴庆云
第十二分册	周俊伟	丁邦曾	张启耀

编辑：张玉麓　周伟斌　宋向雁

本分册编写人员

第一章

第一节　郭世霞　彭宗惠
第二节　郭世霞　彭宗惠　林孔勇
第三节　黄绍宗
第四节　易正义
第五节　姚斌华
第六节　张乐天
第七节　刘庆杰
第八节　谢世杰
第九节　叶　震　荣肇骏

第二章

第一节　秦清明　庄国华　蔡　铿
第二节　张新月
第三节　梁星宇　林孔勇
第四节　林礼贵
第五节　徐仁俊　江定辉
第六节　张荣江
第七节　张启耀
第八节　陈孟平
第九节　蒋兆芬
第十节　程为和　林孔勇

第三章

第一节　邹钟熙
第二节　邹钟熙
第三节　邹钟熙
第四节　邹钟熙　重庆长江橡胶厂

第四章

第一节　陆迎赓
第二节　万学太
第三节　徐永林

第五章　毛倩萍　王来春

第六章　张荣江

第七章　康善德

第八章

第一节　王友彭
第二节　王友彭
第三节　王友彭
第四节　王友彭
第五节　谢世杰　万学太

第九章　李镇洲

第十章

第一节　赵可申
第二节　戴永国
第三节　蒋兆芬
第四节　程　胜

第十一章

第一节　包佐源　施中堂　邬扬伟
第二节　包佐源　林孔勇
第三节　马　心

第十二章

第一节　金晨娟
第二节　杨善德　靳万山
第三节　杨善德　靳万山
第四节　周木英
第五节　张友德
第六节　靳万山　杨善德
第七节　万学太
第八节　廖　明
第九节　陈佩珍
第十节　连振颀
第十一节　金晨娟　朱建曙

第十三章　张友德
（其中第十二节作者为陈佩珍）

修 订 版 前 言

《橡胶工业手册》自1973年问世以来，深受广大读者的欢迎，在传播和积累橡胶工业科学技术知识、交流和总结技术经验，促进生产发展及提高技术水平等方面，在生产、科研、教学各个领域中均发挥了重要的作用，曾多次重印，并在1983年被评为化学工业部优秀图书。随着橡胶工业科学技术的迅速发展，原手册的内容已不能满足读者的要求和适应橡胶工业进一步发展的需要，急需组织力量进行全面修订。为此，于1984年成立了《橡胶工业手册》修订工作委员会，负责手册的全面修订工作。

修订工作委员会在化学工业部橡胶司和化学工业出版社的指导下，邀请化学工业部北京橡胶工业研究设计院、化学工业部桂林橡胶工业设计研究院、上海橡胶制品研究所、天津市橡胶工业研究所、上海市胶鞋研究所、化学工业部沈阳橡胶工业制品研究所等单位推荐一批有实践经验的专家分别担任各分册的主编工作，并具体组织国内70多个单位的300余名各方面专家和工程技术人员分头执笔，从当代科学技术水平着眼，对原书进行了全面修订。为集思广益、确保质量，在初稿写就后采取各种不同方式邀请有关专家比较扎实地进行了审查，以求切实保证质量。《橡胶工业手册》修订版力图保持原书实用性、简明性、全面性的特点，并努力提高内容的科学性、先进性和系统性。手册体现了技术工具书的特点，力求简明扼要，编排合理，检索方便。

本书修订中，在注意全套书连贯性的同时，又保持了各分册的相对独立性和完整性。每个分册都有自己的特点，自成体系。考虑到当今技术工作中技术经济和管理科学的日趋重要，此次修订特增加了第十二分册，专门介绍技术管理的内容。全书采用了我国1984年2月公布的法定计量单位，并附有原计量单位和法定计量单位之间的换算关系。在专业名词术语方面也尽量做到统一，力求符合标准化、通用化的原则。对于目前还无定论的某些化合物命名问题，考虑到行业习惯的这一客观情况，有一些仍采纳行业习惯叫法，待有定论后再行订正。

为方便广大读者使用，手册修订后，由原来九个分册增订为十二个分册。划分如下：

第一分册　生胶与骨架材料
第二分册　配合剂
第三分册　配方与基本工艺
第四分册　轮胎
第五分册　胶带、胶管与胶布
第六分册　工业橡胶制品
第七分册　生活橡胶制品和胶乳制品
第八分册　试验方法
第九分册　橡胶机械（上、下册）
第十分册　工厂设计
第十一分册　标准与文献
第十二分册　技术经济

在本书修订过程中得到了化学工业部北京橡胶工业研究设计院、原上海市橡胶工业公司和天津市橡胶工业公司等单位的大力支持，还得到了中国橡胶工业协会、中国化工学会橡胶学会、化学工业部北京橡胶工业研究设计院、常熟橡胶制品厂、天津橡胶工业研究所、威海轮胎厂、北京橡胶制品设计研究院、哈尔滨北方橡胶厂等单位以及薛广智、严鸿光等同志的赞助，在此一并表示感谢。

本书修订工作始自1984年，时间跨度大，涉及单位多，整个工作的组织、书稿的具体编写和审查、以及编辑出版等，工作量甚大。其间，原副主任委员胡又牧、苗润生和张绍祖同志在任职期间都曾做过诸多有益工作，为日后工作的进一步开展创造了条件。谨此说明并致谢。

《橡胶工业手册》系橡胶专业的技术工具书，主要供橡胶行业的工程技术人员、管理干部和具有一定生产经验的技术工人使用，也可供有关部门工作人员和高等院校师生参考。

我们期望本书能够对读者有所帮助，如果读者从中得到有益的知识和信息，并在生产、科研和管理工作中发挥作用，修订工作委员会和所有执笔者都将感到高兴和欣慰！

修订工作虽然尽了很大努力，但由于时间和水平有限，缺点和错误之处在所难免，希望广大读者予以指正。

《橡胶工业手册》修订工作委员会

1987年

目　　录

第一章　橡胶密封制品…… 1
第一节　通用橡胶密封制品概述…… 1
一、绪论…… 1
二、橡胶密封制品材料的选择…… 1
（一）弹性体材料的选择…… 1
（二）骨架材料的选择…… 3
（三）抗挤出挡圈材料的选择…… 4
三、橡胶密封制品胶料配方设计…… 5
（一）胶料配方设计原则…… 5
（二）不同密封制品胶料配方设计的特点…… 5
（三）应用配方举例…… 9
四、橡胶密封制品的制造工艺简述…… 9
（一）塑炼和混炼…… 9
（二）半成品的制备……10
（三）粘合……10
（四）硫化……12
（五）修整除边……12
（六）切割和冲切成型工艺……13
五、橡胶密封制品的质量控制……13
第二节　通用橡胶密封制品主要品种分论……14
一、O形橡胶密封圈……14
（一）分类……15
（二）密封原理……15
（三）O形橡胶密封圈的结构设计原理……16
（四）O形橡胶密封圈实用配方举例……20
（五）O形橡胶密封圈模型的结构设计……21
（六）O形橡胶密封圈的生产工艺……24
（七）O形橡胶密封圈成品修整……25
（八）O形橡胶密封圈成品的检测……26
（九）O形橡胶密封圈安装注意事项……26
（十）O形橡胶密封圈应用中常见的漏油现象……27
二、旋转轴唇形密封圈……27
（一）分类……28
（二）密封机理……29
（三）结构设计……32
（四）影响油封使用性能的因素……33
（五）油封胶料配方举例……37
（六）模型结构设计……38
（七）油封生产工艺……41
三、复合密封……43
（一）蕾形密封圈……43
（二）鼓形密封圈……47
（三）多唇密封圈……54
四、异形断面橡胶密封圈……57
（一）特殊断面O形橡胶密封圈……57
（二）Y形断面密封圈……58
（三）V形断面密封圈……62
（四）防尘圈……66
（五）J形及L形密封圈……69
五、制动皮碗和皮圈……70
（一）类型……70
（二）汽车液压制动橡胶皮碗的主要特点……71
（三）汽车液压制动橡胶皮碗在制动中的工作状况……71
（四）与制动橡胶皮碗匹配的制动液简介……72
（五）橡胶皮碗（或称胶碗）的结构特点……74
（六）皮碗皮圈加工的工艺要求……76
（七）制动皮碗、皮圈的模具制造……76
（八）制动皮碗、皮圈的配方设计原则……77
（九）制动胶碗的胶料及成品的性能要求……78
（十）胶碗的切割及后整理……79
（十一）胶碗的包装要求……79
（十二）汽车液压制动皮碗的外观质量要求……80

（十三）汽车液压制动皮碗的台架试验及要求……80
（十四）橡胶皮碗安装使用中的注意事项……81
六、汽车制动气室橡胶隔膜……81
（一）汽车制动气室橡胶隔膜的设计根据……81
（二）汽车制动气室橡胶隔膜的类型和尺寸公差……82
（三）汽车制动气室橡胶隔膜配方设计……83
（四）对汽车制动气室橡胶隔膜成品的性能要求……83
（五）汽车制动气室橡胶隔膜的生产工艺要点……83
（六）汽车制动气室橡胶隔膜的模具制造……85
（七）汽车制动气室橡胶隔膜的成品台架试验……85
（八）产品外观检验的要求……86
（九）产品安装的要求……87
七、橡胶密封条……87
（一）橡胶密封条的特征和分类……87
（二）主要结构型式……88
（三）橡胶密封条的性能要求……89
（四）橡胶密封条胶料配方设计的原则……90
（五）橡胶密封条的断面设计和尺寸公差要求……91
（六）橡胶密封条的生产工艺……93
（七）橡胶密封条的质量控制……94
（八）橡胶密封胶条的贮存包装要求……94
（九）密封胶条安装的方法……94
（十）各种橡胶密封胶条的剖面……96
八、橡胶皮套……96
（一）橡胶皮套的种类……96
（二）橡胶皮套成品和模具结构设计要点……96
（三）橡胶皮套的基本性能要求……99
（四）橡胶皮套配方实例……99
（五）橡胶皮套外观质量要求…… 100
（六）橡胶皮套工艺特点…… 100
九、叠层填料…… 100
（一）概述…… 100
（二）叠层填料制造…… 102
（三）安装使用要点…… 105
第三节　通用橡胶密封制品的密封性能试验研究…… 105
一、成品性能测试及装置…… 105
（一）通用测试项目…… 105
（二）旋转运动用油封的性能测试… 107
（三）往复运动用密封制品的性能测量…… 113
二、密封制品基本特性研究…… 115
（一）旋转轴油封基本特性…… 115
（二）往复密封制品基本特性试验… 127
第四节　橡胶薄膜密封制品…… 132
一、橡胶薄膜的分类及其特性…… 132
（一）按作用原理分类…… 132
（二）按结构形态分类…… 133
二、橡胶薄膜的技术性能…… 134
三、橡胶薄膜的设计与装配…… 135
（一）设计…… 135
（二）装配…… 137
四、橡胶薄膜的材质选择…… 138
（一）织物…… 138
（二）橡胶…… 138
五、橡胶薄膜的制造工艺…… 139
（一）制造工艺流程…… 139
（二）配方举例…… 139
（三）胶浆制备…… 139
（四）织物预处理…… 140
（五）粘接…… 140
（六）涂胶…… 142
（七）胶布半成品准备…… 142
（八）硫化…… 142
六、成品检验…… 144
第五节　单螺杆泵…… 145
一、概述…… 145
二、结构原理…… 145
三、定子内衬材料选择…… 147
第六节　船舶尾轴密封…… 150
一、概述…… 150
（一）尾轴密封在船舶上的功用及地位…… 150
（二）尾轴密封的工作条件及要求… 151
（三）尾轴密封的类型…… 152

(四) 尾轴密封的基本方法…… 152
二、首部密封装置…… 152
(一) 骨架式橡胶油封…… 152
(二) 填料函型水密封装置…… 152
(三) EVK型水润滑首部密封装置… 152
(四) 辛泼莱克司 (Simplex) 首部密封…… 153
三、尾部密封装置…… 154
(一) 油圈式…… 154
(二) 骨架式…… 155
(三) 浮动式密封…… 155
(四) 端面密封式…… 156
(五) 辛泼莱克司改进型尾密封…… 157
四、密封装置的润滑与冷却…… 160
(一) 润滑与冷却的必要性…… 160
(二) 密封装置的润滑方法…… 160
(三) 密封装置的冷却…… 161
五、橡胶唇式密封的主要性能指标及检测基本方法…… 164
(一) 主要性能指标…… 164
(二) 检测与试验的基本方法…… 165
(三) 国产船舶尾轴密封的代号及尺寸系列…… 166
六、尾轴密封的动态与综述…… 166
第七节 橡胶水封制品…… 170
一、橡胶水封制品的分类…… 171
二、水电工程闸门橡胶水封的定型结构及尺寸…… 171
三、橡胶水封的主要物理机械性能及胶料配方…… 171
(一) 橡胶水封的主要物理机械性能…… 171
(二) 胶料配方设计…… 172
四、橡胶水封的制造工艺…… 174
(一) 生产工艺流程…… 174
(二) 基本生产工艺…… 174
五、橡胶水封的现场胶接…… 176
六、橡塑复合水封…… 177
第八节 吸水膨胀橡胶…… 177
一、概述…… 177
二、通过掺加亲水性物质使橡胶材料获得水膨胀性能…… 177
(一) 吸水性树脂…… 178
(二) 掺用吸水性聚氨酯的水膨胀橡胶材料…… 178
(三) 掺用其它高吸水性树脂的水膨胀橡胶材料…… 179
三、通过化学改性使弹性体本身获得亲水吸水性…… 182
四、水膨胀橡胶材料的应用…… 184
第九节 桥面橡胶伸缩缝…… 186
一、概述…… 186
二、各类橡胶伸缩缝 (装置) 的性能和特点…… 187
三、橡胶伸缩缝用原材料选择及配方设计…… 194
四、橡胶伸缩缝的物理机械性能…… 195
五、橡胶伸缩缝制造工艺…… 195
六、橡胶伸缩缝安装注意事项…… 196
主要参考文献…… 199
第二章 橡胶减震制品…… 201
第一节 橡胶减震器…… 201
一、减震原理概述…… 201
二、橡胶减震器的设计…… 204
三、橡胶减震器性能测试…… 208
(一) 静刚度测试…… 208
(二) 动刚度和阻尼系数的测试…… 209
四、橡胶减震器简介…… 211
五、减震器的布置…… 221
六、橡胶减震器的制造…… 222
(一) 配方设计…… 222
(二) 制造工艺…… 225
(三) 橡胶胶料和橡胶减震器成品的试验…… 228
七、粘弹性高阻尼材料…… 229
(一) 粘弹性高阻尼材料的特性…… 229
(二) 高阻尼橡胶…… 230
(三) 粘弹性高阻尼材料的性能测试…… 233
第二节 橡胶空气弹簧…… 234
一、概述…… 234
二、橡胶空气弹簧的基本构造、分类及其性能…… 237
(一) 橡胶空气弹簧的基本构造…… 237
(二) 橡胶空气弹簧的分类及性能… 237
三、橡胶空气弹簧的设计及有关计算… 240
(一) 橡胶空气弹簧的结构及外形尺寸设计…… 240

（二）橡胶空气弹簧特性计算…… 241
（三）橡胶空气弹簧主体结构材料——帘布计算…… 254
四、橡胶空气弹簧的胶料配方、制造工艺及设备…… 255
（一）胶料性能要求及配方举例…… 255
（二）制造工艺及设备…… 255
五、φ500自由膜式橡胶空气弹簧的设计制造举例…… 258
六、橡胶空气弹簧的性能测试及产品质量检验…… 261
第三节　橡胶弹性联轴器…… 263
一、概述…… 263
二、品种和类型…… 264
（一）压缩型（及压缩-拉伸型）…… 265
（二）剪切型（及剪切-拉伸型）…… 274
三、橡胶件的设计计算…… 284
（一）橡胶件的特性…… 284
（二）橡胶件的结构形状与设计计算…… 288
四、配合与制造…… 294
第四节　气胎式离合器…… 296
一、气胎式离合器的分类、组成、构造、规格和技术标准…… 296
（一）气胎式离合器的分类…… 296
（二）气胎式离合器的组成和构造… 296
（三）气胎式离合器规格的表示方法…… 297
（四）气胎式离合器的规格和技术标准…… 299
（五）气胎式离合器胶料的物理机械性能…… 300
二、气胎式离合器的工作过程和工作特性…… 300
（一）气胎式离合器的工作过程…… 300
（二）气胎式离合器的扭矩特性…… 305
（三）气胎式离合器的热负荷特性与摘挂特性…… 308
三、气胎式离合器的结构设计和模具设计…… 311
（一）气胎式离合器的结构设计…… 311
（二）气胎式离合器的极限扭矩计算…… 314
（三）气胎式离合器模具设计…… 316
四、气胎式离合器胶料配方设计…… 319
（一）离合器主要胶料的物理机械性能要求…… 319
（二）离合器胶料的配方举例…… 319
五、气胎式离合器生产工艺流程简述… 320
（一）生产工艺流程…… 320
（二）准备工艺…… 320
（三）成型…… 321
（四）硫化…… 321
六、气胎式离合器的试验分析…… 322
（一）径向离合器的试验分析…… 322
（二）轴向盘式离合器的试验分析… 324
七、气胎式离合器的选择…… 328
（一）径向离合器的选择…… 328
（二）轴向离合器的选择…… 329
八、通风型离合器应用新领域——在市政工程中的应用…… 330
（一）胶囊的工作原理…… 330
（二）胶囊主要技术参数的确定…… 331
（三）胶囊的经济效益…… 332
九、国外气胎式离合器及其在钻机上的应用…… 333
（一）美国的气胎式离合器及其应用概况…… 333
（二）罗马尼亚的气胎式离合器及其应用概况…… 333
（三）英国的气胎式离合器…… 339
（四）德国的气胎式离合器…… 339
（五）日本的气胎式离合器…… 339
（六）前苏联的气胎式离合器…… 343
第五节　可曲挠橡胶接头…… 344
一、分类、名称及表示方法…… 344
（一）分类…… 344
（二）可曲挠橡胶接头的名称及表示方法…… 344
二、产品结构和技术性能…… 345
（一）产品结构…… 345
（二）技术性能…… 347
三、可曲挠橡胶接头的结构设计…… 347
（一）耐压强度（爆破压力）及层数计算…… 350
（二）计算举例…… 351
（三）骨架材料…… 352
四、制造工艺…… 352

（一）配方设计…… 352
（二）工艺简述…… 353
五、可曲挠橡胶接头的成品检验…… 354
（一）耐压试验…… 354
（二）X射线检验…… 355
（三）真空试验…… 355
（四）位移试验…… 355
六、可曲挠橡胶接头的选用和安装…… 356
第六节　橡胶护舷…… 357
一、概述…… 357
二、橡胶护舷的种类…… 358
（一）剪切型橡胶护舷…… 358
（二）转动型橡胶护舷…… 358
（三）压缩型橡胶护舷…… 360
（四）充气型橡胶护舷…… 369
（五）水压型橡胶护舷…… 373
三、胶料与粘合…… 374
（一）胶料配方设计…… 374
（二）橡胶与纤维及金属的粘合…… 375
四、制造工艺…… 378
（一）粘贴（成型）工艺…… 378
（二）模压硫化工艺…… 378
五、橡胶护舷成品的技术检查…… 379
第七节　汽车用橡胶减震器…… 379
一、概述…… 379
（一）簧上质量固有振动…… 381
（二）簧下质量固有振动…… 381
二、汽车用橡胶减震器的种类…… 382
（一）发动机系列用的橡胶减震器… 382
（二）驱动装置用橡胶减震器…… 386
（三）操纵装置用橡胶减震器…… 387
（四）前悬挂橡胶减震器…… 389
（五）后悬挂橡胶减震器…… 391
（六）车身用橡胶减震器…… 397
（七）排气管系统及其它减震橡胶件…… 400
三、汽车用橡胶减震器常用橡胶材料特性…… 402
（一）橡胶的减震作用…… 402
（二）橡胶材料的选择…… 402
四、配合特性…… 403
（一）橡胶硫化体系的选择…… 403
（二）补强体系的选择…… 404
（三）配方举例…… 404
五、制造过程简述…… 404
六、试验和检测…… 405
第八节　机车用橡胶减震器…… 406
一、概述…… 406
二、中央支承橡胶锥体…… 407
（一）应用特性…… 407
（二）中央支承橡胶锥体特性…… 408
（三）中央支承橡胶锥体计算…… 408
三、轴箱拉杆弹性体…… 409
（一）应用特性…… 409
（二）轴箱拉杆橡胶件计算…… 411
四、橡胶堆弹簧…… 414
（一）应用特性…… 414
（二）橡胶堆弹簧计算…… 417
五、弹性齿轮橡胶元件…… 418
（一）应用特性…… 418
（二）橡胶元件计算…… 420
六、传动装置的弓形橡胶块和球铰…… 422
七、生产工艺…… 425
第九节　橡胶轨枕垫…… 427
一、概述…… 427
二、橡胶轨枕垫的种类及其用途…… 427
（一）枕上（钢轨下）橡胶垫板…… 427
（二）枕下（底）橡胶垫板…… 429
三、橡胶轨枕垫的使用性能要求…… 430
四、配方设计要求…… 430
五、各种橡胶轨枕垫生产工艺…… 432
第十节　桥梁橡胶支座…… 434
一、桥梁橡胶支座的构造原理…… 434
二、桥梁橡胶支座的类型…… 437
三、桥梁橡胶支座的使用材料…… 438
（一）一般材料…… 438
（二）聚四氟乙烯板及其表面处理… 439
（三）橡胶材料及配方举例…… 440
（四）橡胶胶料技术标准…… 440
四、桥梁橡胶支座制造…… 444
（一）桥梁橡胶支座生产流程…… 444
（二）桥梁橡胶支座制造概述…… 444
五、桥梁橡胶支座的力学性能试验…… 445
（一）各种力学性能试验简介…… 445
（二）试验结果综述…… 448
六、橡胶支座的设计计算…… 449
七、桥梁橡胶支座的安装…… 451
八、橡胶支座的应用…… 452

（一）隔离振源…… 452
（二）地震防护装置…… 452
（三）在水域建筑工程中的应用…… 456
主要参考文献…… 456
第三章　硬质橡胶…… 458
第一节　硬质橡胶的主要性能…… 458
一、化学稳定性和耐溶剂性…… 458
二、电性能…… 460
三、耐老化性…… 461
四、热稳定性…… 461
五、吸水性…… 462
六、机械强度…… 462
第二节　硬质橡胶的配合…… 462
一、橡胶种类…… 462
二、硫化剂…… 463
三、促进剂…… 463
四、软化剂…… 464
五、填充剂…… 464
六、着色剂…… 465
七、防老剂…… 465
第三节　硬质橡胶的硫化…… 465
一、硬质橡胶硫化时的生成热…… 465
二、硬质橡胶的硫化方法…… 467
第四节　硬质橡胶制品举例…… 468
一、蓄电池槽…… 468
（一）蓄电池槽的种类和规格尺寸… 468
（二）配方举例…… 468
（三）生产工艺流程…… 471
（四）硫化…… 471
（五）成品性能…… 472
二、矿灯蓄电池槽…… 473
（一）配方举例…… 473
（二）硫化…… 473
（三）成品性能…… 474
附录Ⅰ　蓄电池槽基本规格和尺寸…… 475
附录Ⅱ　蓄电池槽成品主要性能测试方法…… 475
（一）耐电压试验…… 475
（二）落球冲击试验…… 477
（三）热变形试验…… 477
附录Ⅲ　矿灯蓄电池槽成品性能测试方法…… 478
（一）耐电压试验…… 478
（二）落球冲击试验…… 479
三、黑管管体…… 479
（一）配方举例…… 479
（二）生产工艺流程…… 480
（三）硫化…… 480
四、微孔橡胶隔板…… 481
（一）微孔橡胶隔板制造工艺…… 481
（二）微孔橡胶隔板质量控制…… 483
（三）微孔橡胶隔板特性测试…… 483
主要参考文献…… 486
第四章　橡胶海绵制品…… 487
第一节　海绵橡胶制品…… 487
一、概述…… 487
二、配方设计…… 487
（一）生胶选择…… 487
（二）配合剂选择…… 487
三、加工工艺…… 498
（一）塑炼…… 498
（二）混炼…… 498
（三）精炼…… 498
（四）称量…… 498
（五）硫化方法…… 499
（六）海绵橡胶制品硫化后的收缩与后处理…… 501
四、海绵橡胶制品的性能检测…… 501
五、产品举例…… 503
第二节　聚氨酯泡沫…… 504
一、概述…… 504
二、聚氨酯泡沫的成泡原理…… 505
（一）基本反应…… 505
（二）起泡反应…… 506
（三）泡沫体的形成机理简述…… 506
三、聚氨酯泡沫的主要组分及其作用… 507
（一）有机多元醇化合物…… 507
（二）有机多异氰酸酯化合物…… 508
（三）发泡剂…… 509
（四）催化剂…… 509
（五）泡沫稳定剂…… 510
（六）阻燃剂…… 511
（七）防老剂…… 511
（八）链增长剂…… 511
（九）颜料…… 511
四、聚氨酯泡沫的基本种类及其制造方法…… 511
（一）软质聚氨酯泡沫…… 511

（二）半硬质聚氨酯泡沫…… 513
（三）硬质聚氨酯泡沫…… 514
五、聚氨酯泡沫的应用…… 516
第三节　硅橡胶海绵…… 516
一、硅橡胶品种和特性…… 516
（一）热硫化硅橡胶…… 517
（二）室温硫化硅橡胶…… 517
二、热硫化硅橡胶海绵…… 518
（一）配方设计…… 518
（二）制造工艺…… 524
三、室温硫化硅橡胶海绵…… 525
（一）配方设计…… 525
（二）制造工艺…… 529
主要参考文献…… 529
第五章　胶板与卷材…… 531
第一节　非硫化胶板…… 531
一、化学设备衬里用未硫化橡胶板材…… 531
二、补胎胶…… 531
（一）胎面胶…… 533
（二）胎体修补胶…… 534
（三）缓冲胶…… 534
（四）胶浆胶料…… 534
（五）内胎修补胶…… 534
第二节　工业用硫化橡胶板…… 535
一、普通胶板…… 537
二、耐酸碱胶板…… 538
三、耐油胶板…… 540
四、耐热胶板…… 541
五、工业用硫化胶板制造…… 542
（一）胶料制备…… 542
（二）胶料的压片和贴合…… 542
（三）胶板硫化…… 543
第三节　防水卷材…… 545
一、概述…… 545
二、屋顶防水材料…… 546
（一）氯丁橡胶卷材…… 546
（二）丁基橡胶卷材…… 547
（三）丁基橡胶/丁基再生胶卷材 … 548
（四）三元乙丙橡胶防水卷材…… 548
（五）三元乙丙橡胶与丁基橡胶并用卷材…… 549
（六）氯化聚乙烯防水卷材…… 550
（七）非硫化防水卷材…… 551
三、贮水橡胶卷材…… 553
四、防水卷材制造工艺…… 554
五、防水卷材的标准…… 554
主要参考文献…… 555
第六章　胶辊与胶毯…… 556
第一节　胶辊的应用…… 556
一、胶辊在工业中的应用…… 556
（一）造纸胶辊…… 557
（二）印染胶辊…… 558
（三）其它工业胶辊…… 558
二、胶辊在文教用品中的应用…… 560
第二节　胶辊的结构、规格与主要技术性能…… 561
一、胶辊的结构…… 561
二、胶辊的规格…… 561
三、胶辊的主要技术性能…… 561
第三节　配方设计及硬度调整方法…… 564
一、配方设计…… 564
二、胶料硬度的调整方法…… 564
第四节　工艺简述…… 566
一、胶料制备概述…… 566
二、胶料过滤…… 567
三、成型…… 567
四、对胶辊芯的技术要求、检查及其表面处理方法…… 568
五、橡胶与辊芯的粘合方法…… 570
（一）硬质胶粘合法…… 570
（二）氯化橡胶粘合法…… 570
（三）氯丁橡胶环氧树脂粘合法…… 571
（四）JQ-1 胶粘剂粘合法 …… 571
（五）商品胶粘剂Chemlok的应用… 572
（六）硅橡胶与金属的粘合…… 573
六、硫化与表面加工…… 574
（一）胶辊硫化前的准备…… 574
（二）胶辊硫化的特点…… 574
（三）胶辊硫化条件的确定…… 575
（四）胶辊的表面加工…… 575
（五）砖谷胶辊的模压工艺…… 576
（六）聚氨酯印刷胶辊的浇注工艺… 576
七、橡胶辊的几个主要质量指标…… 577
第五节　胶辊制造常见的质量问题和产生的原因…… 578
第六节　胶辊缺陷的修补方法…… 579
一、小面积气孔、砂眼、杂质或轧坏… 579

二、制造不当所产生的局部脱层…… 579
三、人造石辊的修补…… 580
第七节 橡胶毯…… 580
一、预缩橡胶毯的应用…… 580
二、预缩橡胶毯的作用原理…… 580
三、橡胶毯制造工艺简述…… 583
四、橡胶毯的主要质量指标…… 584
第七章 纺织用橡胶制品…… 586
第一节 纺织橡胶牵伸皮圈…… 586
一、用途、结构和种类…… 586
二、配方设计…… 586
（一）胶种的选择、并用及含胶量… 587
（二）补强填充剂选择…… 590
（三）其它配合剂的选择…… 590
（四）丁腈橡胶皮圈配方举例…… 591
三、丁腈橡胶皮圈的制造工艺…… 591
四、皮圈的半成品及成品检验…… 600
五、丁腈橡胶皮圈质量问题、产生原因及改进措施…… 601
第二节 纺织皮辊胶管…… 601
一、纺织皮辊胶管的用途、种类及规格…… 601
二、棉纺皮辊胶管配方设计…… 602
三、棉纺皮辊胶管制造工艺…… 605
四、成品检验要求和方法…… 607
五、质量问题和改进意见…… 607
第三节 毛纺、麻纺、绢纺、化纤纺橡胶皮辊…… 608
一、用途、种类和规格…… 608
二、配方设计…… 608
三、制造工艺…… 609
（一）生产工艺流程…… 609
（二）生产工艺…… 609
四、成品质量标准及检验方法…… 611
五、常见质量问题和改进措施…… 611
第四节 纺织胶布皮结…… 612
一、纺织皮结的性能要求…… 612
二、骨架材料的选择…… 612
三、胶浆配方设计…… 612
四、纺织胶布皮结的制造工艺…… 614
（一）生产工艺流程…… 614
（二）生产工艺…… 614
五、丁腈橡胶皮结半成品试验及成品检验…… 617
第八章 印刷工业用橡胶制品…… 619
第一节 印刷橡胶制品的种类及用途…… 619
一、各种印刷方法的概述…… 619
二、印刷橡胶制品的种类及用途…… 620
第二节 平印印刷橡胶布…… 620
一、产品的结构设计和胶料配方…… 620
（一）产品的技术要求…… 620
（二）产品的结构设计…… 621
（三）胶料配方…… 621
二、产品的生产工艺规程…… 622
（一）生产准备…… 623
（二）生胶塑炼…… 623
（三）混炼…… 623
（四）胶浆制备…… 624
（五）涂胶…… 625
（六）干燥…… 625
（七）硫化…… 625
（八）表面处理…… 626
三、印刷橡胶布技术标准…… 626
四、胶印印刷橡胶布的新发展…… 627
第三节 凸印印刷橡胶呢及配合衬垫…… 627
一、产品结构设计和胶料配方…… 627
（一）产品的技术要求…… 627
（二）结构设计…… 627
（三）胶料配方…… 627
二、产品生产工艺…… 628
三、产品的技术标准…… 631
第四节 气垫式可压缩橡胶布…… 632
一、概述…… 632
二、气垫式可压缩橡胶布结构设计及胶料配方…… 632
（一）气垫式可压缩橡胶布的优点… 632
（二）结构设计…… 634
（三）胶料配方…… 634
三、产品的生产工艺…… 636
四、气垫式可压缩橡胶布的技术标准… 637
五、气垫式可压缩橡胶布的展望…… 638
第五节 光敏橡胶…… 638
一、光敏高分子材料的分类…… 638
二、光刻胶…… 638
（一）原料橡胶…… 639
（二）光敏剂…… 640
三、挠性凸版…… 642
四、其它光敏橡胶材料…… 644

（一）光交联硅橡胶…… 644
（二）光交联聚氨酯橡胶…… 645
主要参考文献…… 647
第九章　橡胶衬里…… 648
第一节　衬里胶料及选择…… 648
一、衬里的硬度、结构及厚度…… 648
二、各种橡胶衬里的主要特性…… 649
（一）天然橡胶…… 649
（二）丁苯橡胶…… 649
（三）氯丁橡胶…… 651
（四）丁腈橡胶…… 651
（五）氯磺化聚乙烯橡胶…… 651
（六）丁基橡胶…… 652
（七）聚异丁烯…… 653
（八）乙丙橡胶…… 654
（九）氯化聚乙烯…… 654
（十）聚硫橡胶…… 654
三、选择衬里的原则…… 655
第二节　橡胶衬里施工对设备的要求…… 656
一、对橡胶衬里设备的设计要求…… 656
二、金属制件表面处理和热处理…… 659
第三节　衬里胶的制造…… 660
一、衬里胶板制造…… 660
二、衬里胶浆制造…… 662
第四节　衬里胶板的裁剪、贴合和硫化… 664
一、裁剪…… 664
二、贴合…… 664
三、硫化…… 666
第五节　衬里质量检验和缺陷修补…… 667
一、质量检验…… 667
二、缺陷的修补…… 667
第六节　常压硫化衬里…… 668
一、胶层结构…… 669
二、胶料配方…… 669
三、胶粘剂…… 671
四、硫化方式…… 671
第十章　橡胶电绝缘制品…… 684
第一节　橡胶的电学性能…… 684
一、橡胶的极性…… 684
二、橡胶分子在电场中的极化…… 684
三、橡胶的介电常数…… 686
四、橡胶的介电损耗…… 688
五、橡胶的体积电阻和表面电阻…… 691
六、橡胶的电击穿…… 692
七、各种橡胶电性能…… 694
第二节　电线与电缆…… 695
一、品种规格和用途…… 695
（一）概述…… 695
（二）品种规格和用途…… 696
二、电线电缆用绝缘橡胶和护套橡胶… 708
（一）一般规定…… 708
（二）橡胶绝缘…… 710
（三）橡胶护套…… 710
三、硫化…… 710
四、绝缘橡胶和橡胶护套的配合…… 714
（一）绝缘橡胶的配合…… 714
（二）护套橡胶的配合…… 716
五、电线电缆铜、铝导电线芯…… 717
六、制造工艺…… 718
（一）非连续硫化橡胶挤出机组…… 722
（二）橡胶挤出连续硫化生产线…… 722
（三）机头…… 726
（四）螺杆…… 727
第三节　橡胶绝缘制品…… 729
一、概述…… 729
二、配合与设计…… 729
三、工艺要点…… 732
四、制品举例…… 732
（一）绝缘橡胶手套…… 732
（二）绝缘橡胶地毯…… 734
（三）电源橡胶插头…… 735
（四）电视机用绝缘橡胶制品…… 736
（五）架空输电线路用复合式绝缘子…… 736
五、产品标准及试验方法…… 739
第四节　绝缘胶带…… 741
一、绝缘胶带的结构和用途…… 741
二、绝缘胶带制造工艺…… 742
（一）原材料选择和配方举例…… 742
（二）生产流程及工艺操作…… 742
三、成品整理包装和贮存…… 744
四、绝缘胶带规格性能标准和试验方法…… 745
（一）绝缘胶带规格标准…… 745
（二）绝缘胶带性能标准…… 745
（三）绝缘胶带性能试验方法…… 746
主要参考文献…… 748
第十一章　石棉与软木橡胶制品…… 749

第一节　石棉橡胶密封制品…… 749
一、垫片类…… 750
（一）石棉橡胶板…… 750
（二）耐油石棉橡胶板…… 756
（三）增强石棉橡胶板…… 760
（四）石棉钢片…… 761
（五）石棉橡胶板垫片…… 762
（六）复合垫片…… 763
（七）缠绕式垫片…… 765
（八）石棉石墨钢丝布…… 769
（九）石棉橡胶钢丝布…… 770
（十）石棉胶乳板…… 772
（十一）钢架石棉复合板…… 774
（十二）气缸密封垫片…… 776
（十三）石棉炉门圈…… 779
二、盘根类…… 780
（一）橡胶石棉盘根…… 780
（二）铅片盘根…… 786
三、垫圈类…… 788
（一）石棉橡胶垫圈…… 788
（二）旋塞衬套…… 789
（三）波型垫圈…… 791
（四）自密封垫圈…… 793
（五）缓蚀型石棉制品…… 794
第二节　石棉橡胶制动制品…… 796
一、概述…… 796
二、磨阻材料的基本性能要求…… 797
三、主要原材料…… 797
（一）石棉钢丝线…… 797
（二）石棉钢丝布…… 798
（三）酚醛树脂…… 798
四、配方与制造工艺…… 801
（一）布质制动制品…… 801
（二）线质制动制品…… 802
（三）绒质制动制品…… 803
五、标准…… 806
（一）汽车用制动器衬片…… 806
（二）汽车用离合器面片…… 807
（三）石棉刹车带…… 808
第三节　软木橡胶制品…… 809
一、概述…… 809
二、栓皮的性能及加工处理…… 809
三、软木橡胶制品制造过程的特点…… 810
（一）软木橡胶制品的配合特性…… 811
（二）软木橡胶制品的工艺特性…… 811
四、软木橡胶制品的特性…… 812
五、软木橡胶制品的主要品种和性能… 813
（一）缓冲绝缘垫…… 813
（二）软木橡胶印刷衬垫…… 815
（三）软木橡胶摩擦片…… 815
（四）软木橡胶气体密封垫…… 815
（五）软木橡胶地板…… 816
六、软木橡胶制品配方举例及生产工艺…… 816
（一）配方举例…… 816
（二）软木橡胶制品生产工艺…… 816
主要参考文献…… 817
第十二章　橡胶型胶粘剂…… 818
第一节　绪论…… 818
一、胶粘剂的应用范围…… 818
二、胶粘剂的粘接机理…… 822
（一）粘接力的产生…… 822
（二）形成粘接的基本条件…… 823
（三）粘接过程的界面化学…… 824
（四）粘接理论…… 824
（五）影响粘接接头的因素…… 825
三、胶粘剂的品种与分类…… 826
（一）树脂型胶粘剂…… 826
（二）橡胶型胶粘剂…… 827
第二节　天然橡胶胶粘剂…… 827
一、天然橡胶胶粘剂…… 827
二、天然胶乳胶粘剂…… 830
三、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）接枝天然橡胶胶粘剂…… 831
四、环化橡胶胶粘剂…… 833
五、氢氯化橡胶胶粘剂…… 834
六、氯化橡胶胶粘剂…… 834
七、环氧化天然橡胶胶粘剂…… 837
第三节　氯丁橡胶胶粘剂…… 838
一、概述…… 838
二、氯丁橡胶的类型和品种…… 838
三、氯丁橡胶胶粘剂的配合及其特性… 838
（一）氯丁橡胶的结构…… 838
（二）粘接型氯丁橡胶的结晶特性… 839
（三）硫化体系…… 839
（四）增粘剂…… 840
（五）填充剂…… 841
（六）防老剂…… 841

（七）溶剂…… 841
四、氯丁橡胶胶粘剂的制备…… 842
五、影响粘接性的工艺因素…… 843
六、氯丁橡胶胶粘剂典型应用配方…… 844
（一）双组分室温硫化氯丁橡胶胶粘剂…… 844
（二）胶布粘合用氯丁橡胶胶粘剂… 844
（三）鞋用氯丁橡胶胶粘剂…… 844
（四）透明氯丁橡胶胶粘剂…… 845
（五）氯丁橡胶AC接触型胶粘剂 … 845
七、氯丁胶乳胶粘剂…… 845
八、改性氯丁橡胶胶粘剂…… 846
（一）丁腈橡胶、氯化橡胶改性氯丁橡胶胶粘剂…… 846
（二）接枝氯丁橡胶胶粘剂…… 846
九、应用与发展趋势…… 848
第四节 丁腈橡胶胶粘剂…… 849
一、概述…… 849
二、丁腈橡胶…… 849
三、丁腈橡胶胶粘剂的配合…… 850
四、丁腈橡胶胶粘剂的典型配方…… 854
（一）高强度结构胶粘剂…… 854
（二）非结构胶粘剂…… 855
五、丁腈橡胶胶粘剂的制备…… 856
第五节 丁基橡胶胶粘剂…… 856
一、概述…… 856
二、橡胶的基本性能…… 857
（一）聚异丁烯…… 857
（二）丁基橡胶…… 858
（三）卤化丁基橡胶…… 858
（四）丁基胶乳…… 858
（五）部分交联丁基橡胶…… 859
（六）其它改性丁基橡胶…… 859
三、丁基橡胶胶粘剂的配合…… 859
（一）聚合物…… 859
（二）硫化体系…… 860
（三）填充剂…… 861
（四）增粘剂和增塑剂…… 861
（五）其它配合剂…… 861
（六）溶剂…… 861
四、胶液的制备…… 862
五、丁基橡胶胶粘剂的类型及用途…… 863
（一）触敏型胶粘剂…… 863
（二）压敏胶粘剂…… 865
（三）胶粘带…… 866
（四）胶乳胶粘剂…… 868
（五）热熔型胶粘剂…… 868
（六）涂料…… 871
第六节 氯磺化聚乙烯胶粘剂…… 872
一、氯磺化聚乙烯的结构与特性…… 872
二、氯磺化聚乙烯胶粘剂的基本配合… 872
（一）硫化剂…… 872
（二）硫化促进剂…… 873
（三）其它配合剂…… 873
三、氯磺化聚乙烯胶粘剂的溶剂选择… 874
四、氯磺化聚乙烯胶粘剂典型配方…… 875
五、氯磺化聚乙烯胶粘剂的制备…… 876
六、氯磺化聚乙烯胶粘剂的应用…… 877
第七节 聚氨酯胶粘剂…… 879
一、概述…… 879
二、异氰酸酯化学和聚氨酯的合成机理…… 880
（一）异氰酸酯化学…… 880
（二）聚氨酯的合成机理…… 882
三、聚氨酯胶粘剂…… 883
（一）多异氰酸酯胶粘剂…… 883
（二）反应性聚氨酯胶粘剂…… 885
（三）溶剂型羟基聚氨酯胶粘剂…… 890
（四）水基聚氨酯胶粘剂…… 891
第八节 有机硅胶粘剂…… 892
一、概述…… 892
二、硅树脂胶粘剂…… 895
三、硅橡胶胶粘剂…… 896
（一）硅橡胶的特性…… 896
（二）硅橡胶胶粘剂基料的配制…… 896
（三）室温硫化硅橡胶胶粘剂…… 898
（四）室温硫化硅橡胶胶粘剂的新发展…… 905
四、硅烷偶联剂…… 907
五、加成型有机硅胶粘剂…… 908
六、硅橡胶的热粘接…… 910
第九节 氟橡胶胶粘剂…… 912
一、溶剂型氟橡胶胶浆…… 912
（一）金属用涂层及胶粘剂…… 913
（二）织物用胶浆…… 914
（三）氟塑料用胶粘剂…… 915
二、水剂型氟橡胶乳胶…… 916
（一）Viton LD-242胶乳 …… 916

（二）グイエルラテツクスGL系列氟橡胶胶乳…… 916
三、氟橡胶胶料与其它材料粘接…… 918
（一）氟橡胶与金属的粘接…… 918
（二）氟橡胶与其它橡胶的粘接…… 918
（三）氟橡胶与聚四氟乙烯的粘接… 922
四、氟橡胶硫化胶的粘接…… 922
（一）氟橡胶硫化胶之间的粘接…… 922
（二）氟橡胶硫化胶与金属用胶粘剂…… 922
第十节 压敏胶粘剂…… 923
一、概述…… 923
二、压敏胶粘剂的组成…… 923
三、无溶剂型压敏胶粘剂…… 925
四、硬化型压敏胶粘剂…… 928
五、压敏胶粘带…… 930
六、发展趋向…… 931
第十一节 胶粘剂及密封胶的试验方法… 931
一、胶粘剂的试验方法…… 932
（一）胶粘剂的测定方法…… 932
（二）胶粘剂工艺性能的测试方法… 932
（三）胶粘剂贮存期和适用期的试验方法…… 934
二、胶粘剂粘接强度试验方法…… 934
（一）硫化橡胶与织物粘接强度的试验方法…… 935
（二）硫化橡胶与金属粘接强度的试验方法…… 936
三、密封胶粘剂（密封胶、密封剂、腻子）的试验方法…… 942
（一）橡胶密封胶的试验方法…… 942
（二）不硫化橡胶密封胶性能试验方法…… 944
（三）橡胶密封胶的发展与试验方法…… 950
主要参考文献…… 950
第十三章 橡胶型密封胶…… 952
第一节 概述…… 952
一、密封胶分类…… 952
（一）按密封胶基材分类…… 952
（二）按密封胶硫化方法分类…… 953
（三）按密封胶形态分类…… 953
（四）按密封胶施工后性能分类…… 956
二、密封胶性能…… 960
（一）密封胶的物理性能…… 960
（二）施工性能…… 962
三、密封胶的使用…… 963
（一）密封胶的功能…… 963
（二）密封胶的应用范围…… 965
四、连接密封的方法…… 966
（一）连接密封类型…… 966
（二）接缝方法与密封胶的关系…… 967
第二节 丙烯酸酯密封胶…… 968
一、概述…… 968
二、密封胶组分…… 968
（一）丙烯酸酯聚合物…… 968
（二）硫化剂…… 970
（三）填充剂…… 970
（四）其它组分…… 970
三、密封胶的配合举例…… 971
（一）乳液型丙烯酸密封胶…… 971
（二）溶剂型丙烯酸酯密封胶…… 974
四、密封胶性能…… 975
第三节 丁基橡胶和聚异丁烯密封胶…… 976
一、概述…… 976
二、密封胶组分材料选择…… 977
（一）聚合物材料选择…… 977
（二）硫化体系选择…… 977
（三）填充剂选择…… 978
（四）增塑剂和增粘剂的选择…… 979
（五）溶剂选择…… 979
（六）其它添加剂…… 980
三、丁基密封胶的类型、制备与性能… 980
（一）溶剂挥发型密封胶…… 980
（二）无溶剂不干型密封胶…… 985
（三）双组分硫化型丁基密封胶…… 994
（四）丁基热熔密封胶…… 996
第四节 氯丁橡胶密封胶…… 999
一、概述…… 999
二、密封胶的配合和制备…… 999
（一）粘接型密封胶…… 999
（二）非粘接型密封胶……1013
（三）氯丁胶乳型密封胶……1018
第五节 氯磺化聚乙烯密封胶……1020
一、概述……1020
二、密封胶组分……1020
（一）橡胶主体材料……1020
（二）硫化体系……1020

（三）增塑剂……1023
（四）填充剂及着色剂……1023
三、密封胶的制备……1023
四、密封胶配合举例……1023
第六节　液态聚硫橡胶密封胶……1025
一、概述……1025
二、密封胶的配合组分……1026
（一）液态聚硫橡胶……1026
（二）硫化体系……1026
（三）填充体系……1040
（四）增塑剂……1044
（五）增粘剂……1044
三、密封胶配合……1047
（一）密封胶的特性配合……1047
（二）密封胶的工艺性能……1054
（三）密封胶的类型……1055
（四）密封胶配合举例……1056
第七节　硫醚橡胶密封胶……1060
一、概述……1060
（一）聚合物类型……1060
（二）硫醚橡胶结构与性能……1060
二、密封胶的组分……1061
（一）硫醚橡胶……1061
（二）硫化体系……1062
（三）其它组分……1064
三、密封胶配合举例……1067
第八节　聚氨酯密封胶……1069
一、概述……1069
二、密封胶配合组分……1071
（一）液态聚氨酯橡胶（聚氨酯预聚体）……1071
（二）扩链剂……1077
（三）促进剂……1078
（四）填充剂……1079
（五）阻燃剂……1079
（六）增稠剂……1080
（七）其它配合剂……1080
三、密封胶的配合……1080
（一）密封胶的分类……1080
（二）密封胶配合的工艺要点……1081
（三）密封胶的配方举例……1082
第九节　硅橡胶密封胶……1086
一、概述……1086
二、密封胶的组分……1087
（一）硅橡胶……1088
（二）硫化体系……1090
（三）填充剂……1094
（四）结构控制剂……1094
（五）其它组分……1095
三、密封胶制备方法……1096
（一）双组分密封胶……1096
（二）单组分密封胶……1096
四、密封胶配合举例……1096
（一）双组分室温硫化硅密封胶……1096
（二）单组分室温硫化硅密封胶……1098
第十节　其它弹性体密封胶……1100
一、液体橡胶密封胶……1100
二、丁苯橡胶密封胶……1102
三、乙丙橡胶密封胶……1104
第十一节　液体密封胶……1104
一、概述……1104
二、液体密封胶的特征及密封作用……1105
（一）液体密封胶的特征……1105
（二）液体密封胶的密封作用……1105
三、液体密封胶的配合组分……1107
四、液体密封胶的制备方法……1110
五、液体密封胶的配合……1110
（一）不干性粘着型液体密封胶……1110
（二）半干性粘弹型液体密封胶……1111
（三）干性粘着型液体密封胶……1112
（四）干性可剥型液体密封胶……1113
六、液体密封胶的性能及测试方法……1114
（一）密封胶性能……1114
（二）测试方法……1115
七、影响液体密封胶密封性能的因素…1116
（一）施工条件对密封胶密封性能的影响……1116
（二）影响密封胶耐压性的因素……1117
八、液体密封胶的应用……1120
第十二节　氟橡胶密封胶……1123
一、嵌填型密封胶……1123
（一）溶剂型氟橡胶密封胶……1123
（二）无溶剂室温硫化氟橡胶密封胶……1127
二、注模型密封胶……1127
三、不干性氟橡胶密封胶……1128

第一章　橡胶密封制品

第一节　通用橡胶密封制品概述

一、绪　　论

随着国民经济的发展，通用橡胶密封制品在国防、化工、煤炭、石油、冶金、交通运输和机械制造工业等方面的应用越来越广泛，已成为各种行业中的基础部件和配件。它在国民经济发展中占有重要地位。橡胶密封制品一般用于防止流体介质从机械或仪表中泄漏出来，也防止外界灰尘、泥沙以及空气（对真空系统而言）进入密封机构内部。其主要特点是量大面广。除工业部门外，家用电器，如家用冰箱、洗衣机和电视机等，也大量使用橡胶密封制品。橡胶密封制品的使用条件复杂，要承受各种工作条件下的高温、高压和各种密封介质的侵蚀，并要求有良好的耐天候性、耐磨性及高弹性、减震性及密封的稳定性等。

通用橡胶密封制品虽然是整机中的一个或多个零件，但是它起着防漏、防油、防水，减少振动和噪音，即起密封、阻尼等多种作用。因此，它的质量好坏要影响整机的性能及其正常运转，甚至涉及人体健康和安全。

橡胶密封制品的品种繁多，最常用的有旋转轴唇形密封圈、O形橡胶密封圈、各种断面密封圈、隔膜、阀垫、密封垫圈和门窗密封胶条等。根据使用状态可分为静态密封件、动态密封件及高真空密封件等三种。按制品形态和制造工艺可分为：旋转轴唇形密封圈（简称油封）、O形橡胶密封圈（简称O形圈）、各种断面密封圈、胶碗、胶圈、密封胶条、隔膜、防尘罩、垫片以及各种断面的密封垫圈等。具体分类如下：

- 橡胶密封制品
  - 静态密封用——O形圈、垫圈、门窗密封胶条、防尘罩、垫片等
  - 动态密封用——
    - 往复运动用——O形圈、各种断面密封圈、胶碗、胶圈、隔膜、防尘罩等
    - 旋转运动用——油封、气封、O形圈等
    - 螺旋运动用——O形圈、各种断面密封圈、密封垫圈等
  - 高真空用——O形圈、隔膜、垫圈、垫片等

二、橡胶密封制品材料的选择

（一）弹性体材料的选择

1．丁腈橡胶

丁腈橡胶具有优良的耐燃料油及芳香溶剂等性能，但不耐酮、酯和氯化烃等介质，因此耐油密封制品以采用丁腈橡胶为主。丁腈橡胶的耐油性随丙烯腈含量增加而提高，但丙烯腈含量高的丁腈橡胶耐寒性较差。国产丁腈橡胶的耐油性基本能满足一般使用要求，且具有较好的耐寒性；对于耐油耐热要求比较高的密封制品宜采用NBR3604或NBR3606。采用丁腈橡胶的密封制品，其耐热性能一般在100℃左右，若用无硫硫化或有机过氧化物硫化时，可提高其耐热性能（130～140℃）；配用0259（乙二醇戊壬酸酯）或蓖麻油酸正丁酯能有效地提高丁腈橡胶的耐寒性能。常用的增塑剂有邻苯二甲酸二丁酯和癸二胺二辛酯，对于耐热性能要求较

高的密封制品，生产上采用磷酸三甲苯酯作为增塑剂效果较好，采用多功能的齐聚酯类则更佳。

近年来随着配合技术的发展，在丁腈橡胶配方中已趋于选择低硫体系〔无硫黄或少硫黄加促进剂 TMTD（2～3份)〕，这种体系耐老化好，变形小，低温性也较惯用的硫黄硫化体系好，但易焦烧，贮存期短，易喷霜。在采用高效硫化体系中是用给硫体（或载硫体）加促进剂组成，即用多硫化物或吗啉类的多硫化物如TMTD、DTDM，因为此体系中硫化胶的交联键90%以上是热稳定性好的单硫键和双硫键，因此具有焦烧时间长、不喷霜的优点。若丁腈橡胶采用DM 2 份、TT 2 份、DTDM 2 份的硫化体系硫化，其制品的耐热可达 150℃。

丁腈橡胶是通用橡胶密封制品中使用量较大的弹性体，近来为了提高其使用价值，在混炼时采用聚氯乙烯进行改性，可以提高丁腈橡胶的定伸应力、撕裂强度和耐老化性能。若将三元尼龙掺合至橡胶胶料中可提高强伸性和抗撕性能。特种丁腈橡胶如端羧基丁腈橡胶、氢化丁腈橡胶在国内也有了相应发展。特殊的填充剂如碳纤维、氮化硅、二硫化钼、聚四氟乙烯、石墨等的使用可以提高丁腈橡胶胶料的耐热、耐磨耗性能。新型反应型防老剂应用于丁腈橡胶胶料中不抽出，并有更佳的耐热性能。一些内润滑剂如硬脂酸盐及高分子蜡等在丁腈橡胶中也得到应用。

2．氯丁橡胶

氯丁橡胶具有良好的耐油、耐溶剂性，这由其主体结构所决定。它有较好的耐齿轮润滑油、变压器油性能；但不耐高芳香族油。氯丁橡胶还具有优良的耐天候老化和臭氧老化性能，特别是配用防老剂4010等时，耐臭氧老化可有所提高。氯丁橡胶的交联断裂温度在 200℃以上，生产中通常用氯丁橡胶制作门窗密封条。氯丁橡胶对于无机酸也有良好的耐腐蚀性。此外，由于氯丁橡胶还具有良好的屈挠性和不透气性，可制成膜片或一般真空用的密封制品。

3．天然橡胶

天然橡胶与多数合成橡胶相比，具有良好的综合物理机械性能，耐寒性和较高的回弹性及耐磨性。天然橡胶不耐矿物油，而在植物油和醇类中较稳定。以正丁醇与精制蓖麻油混合液组成的制动液的液压制动系统中的胶碗、胶圈均用天然橡胶制造，一般密封胶条也常用天然橡胶制造。

4．氟橡胶

氟橡胶具有突出的耐热（200～250℃)、耐油性能，可用于制造汽缸套密封圈、胶碗和旋转轴唇形密封圈，能显著地提高使用时间。

5．硅橡胶

硅橡胶具有突出的耐高低温、耐臭氧及耐天候老化性能，在－70～＋260℃的工作温度范围内能保持其特有的使用弹性，耐臭氧、耐天候等优点，适宜制作热机构中所需的密封垫，如强光源灯罩密封衬圈、阀垫等。由于硅橡胶不耐油，物理机械强度低，价格昂贵，因此不宜制作耐油密封制品。但近年来，由于家用电器的普遍使用，家用电器中硅橡胶制品零部件的配套使用，促进了硅橡胶所需新品种配合剂及新的加工工艺的发展，如采用硅橡胶的结构控制剂和高聚物共混的硫化体系的硫化，能生产出外观透明的导电硅橡胶和阻粘性硅橡胶等制品。

6．三元乙丙橡胶

三元乙丙橡胶的主链是不含双键的完全饱和的直链型结构，其侧链上有二烯烃，这样就可用硫黄硫化。由于三元乙丙橡胶内聚能低，无庞大侧基阻碍分子链运动，因而能在较宽的

温度范围内保持分子链的柔性和弹性。三元乙丙橡胶具有优良的耐老化性（在通用橡胶中最好）、耐臭氧性、耐候性、耐热性（制品可在120℃环境中长期使用，最高使用温度150℃，最低极限温度可达－50℃）、耐化学药品（如醇、酸、强碱、氧化剂），但不耐脂肪族和芳香族类溶剂，电绝缘性能好等。三元乙丙橡胶在橡胶中密度是最低的，因而有高填充的特性，其缺点为缺乏自粘性和互粘性，为此，一般都采用改性的方法加以改进。为了改善三元乙丙橡胶的耐油性能，一是采用较高门尼粘度的生胶，另一方面是与丁腈橡胶并用。此外，三元乙丙橡胶有突出的耐蒸气性能，可制作耐蒸气膜片等密封制品。三元乙丙橡胶已广泛用于洗衣机、电视机中的配件和门窗密封的压出制品，或多种复合体剖面的胶条生产中。近年来发展的新品种四丙橡胶，它是四氟乙烯与丙烯的共聚物，耐化学药品性和热稳定性超过氟硅橡胶，商品有：Aflas 150E、150P、100H。现此胶种已用于高压下抗挤出和抗气鼓的密封制品中，还用在汽车的保护罩、插头、化肥工业的垫圈、化工工业用的泵阀隔膜，在航空和卫设施中也作密封件的O形圈、垫片等。

7．聚氨酯橡胶

聚氨酯橡胶具有优异的耐磨性和良好的不透气性，使用温度范围一般为－20～＋80℃此外，还具有中等耐油、耐氧及耐臭氧老化特性，但不耐酸碱、水、蒸气和酮类等。适于制造各种橡胶密封制品，如油封、O形圈和隔膜等。聚氨酯橡胶有浇注型、热塑型、混炼型三种。混炼型中又有聚酯、聚醚饱和型和不饱和型之分，一般根据需要进行选择。

8．氯醚橡胶

兼有丁腈橡胶、氯丁橡胶、丙烯酸酯橡胶的优点，其耐油、耐热、耐臭氧、耐燃、耐碱、耐水及耐有机溶剂性能都很好，并且有良好的工艺性能。虽然它的耐寒性较差，但在使用温度不太低的情况下，氯醚橡胶仍是制造油封、各种密封圈、垫、隔膜和防尘罩等模压制品的良好材料。

9．丙烯酸酯橡胶

丙烯酸酯橡胶具有耐热油（矿物油、润滑油和燃料油），特别是在高温下的耐油稳定性能，一般可达175℃，间断使用或短时间可耐温200℃以上。它的缺点是耐寒性差。因此在非寒冷地区适合制作耐高温油的油封，但不适合作高温下受拉伸或压缩应力的密封制品。此外、丙烯酸酯橡胶还有耐脂肪烃的化学稳定特性。近年已发展无需二段硫化的可高填充、不腐蚀模具、高温下变形小的丙烯酸酯橡胶，可用硫黄加皂或四硫化双（1，5-亚戊基）秋兰姆硫化，对耐双曲线齿轮油的橡胶制品是最适宜的胶种。

为了更好地适应应用的需求，也采用不同橡胶掺合使用：天然橡胶与氯丁橡胶并用，其具有适当的耐油性、耐寒性、屈挠性、弹性和较好的耐天候老化性能，采用不同的配比用于制作各种密封制品如密封胶条、防尘罩和隔膜等。

顺丁橡胶与氯丁橡胶并用，其比例要求比较严格，当顺丁橡胶用量超过10份时容易引起焦烧，故需减少氧化锌的用量和采用防焦剂，停放时间也不宜太长。氯丁橡胶与顺丁橡胶并用后，其耐臭氧老化、耐磨、耐寒、弹性、压缩永久变形和动压缩生热等性能有所改善。通常用于制造动压缩密封和静态密封制品，如O形圈和其它类型的胶圈、胶垫。

（二）骨架材料的选择

1．金属材料

用于橡胶密封制品的金属材料，主要有08F普通热轧钢板和YB-248-64-中-Ⅱ碳素弹簧钢丝或磷铜丝，如旋转轴唇形密封圈的内外金属加强环和弹簧圈；此外，一些露在密封件外

部作密封附件的金属材料还需经镀铜或镀锌处理，也有采用一些有色金属材料如铝等。另外，作为制动总泵的出油阀以含有68%的软黄铜皮为好，若含铜小于60%则太软，成品加工滚压中易变形。

2．纺织材料

主要是增加制品的刚性和硬度，常用的品种规格见表1-1-1。

表 1-1-1 密封制品用纺织材料

种类	编号	规格（支/经×纬）	密度，根/2.5cm	
			经向	纬向
棉织物	5140	21/2×2	51	40
	6560	42/3×3	65	60
	2号	10/7×7	29	21.5
	6号	10/6×4	33.5	26
	5×5	21/5×5	29.2	28
	12×12	21/12×12	23	22
	八两帆布	10/2×10	49	36
合成纤维织物	1106			
	6672			

锦纶布			断裂强度，kN		断裂伸长率，%	断裂伸长不均率，%
	1股	1260den/1	纬	9.0	35.8	8.0
			经	9.5	16.0	5.0
	2股	1260den/2	纬	9.0	36.0	7.4
			经	9.0	16.6	4.7

（三）抗挤出挡圈材料的选择

一般O形圈密封装置在高压或高温操作时，为了防止挤出和增加O形圈承压能力，必须在沟槽的一面安装挡圈；若压力是交变的，应在沟槽两侧加挡圈，而抗挤出挡圈材料的选择取决于压力，在中高压下采用皮革、聚四氟乙烯或高硬度橡胶挡圈，在大于20MPa时就须用金属青铜之类材料作挡圈了。皮革挡圈的断面通常为矩形，圈上不能开口，聚四氟乙烯挡圈有三种结构形式：即无缝式、螺旋式和斜口式，其结构如图1-1-1所示。皮革圈耐温较差，应在－25～＋80℃下使用。聚四氟乙烯挡圈适用于－50～＋175℃，其摩擦系数小，且耐磨，所以得到广泛应用。特别是螺旋形，由于较整体形易安装面又无切口，在使用中效果良好。

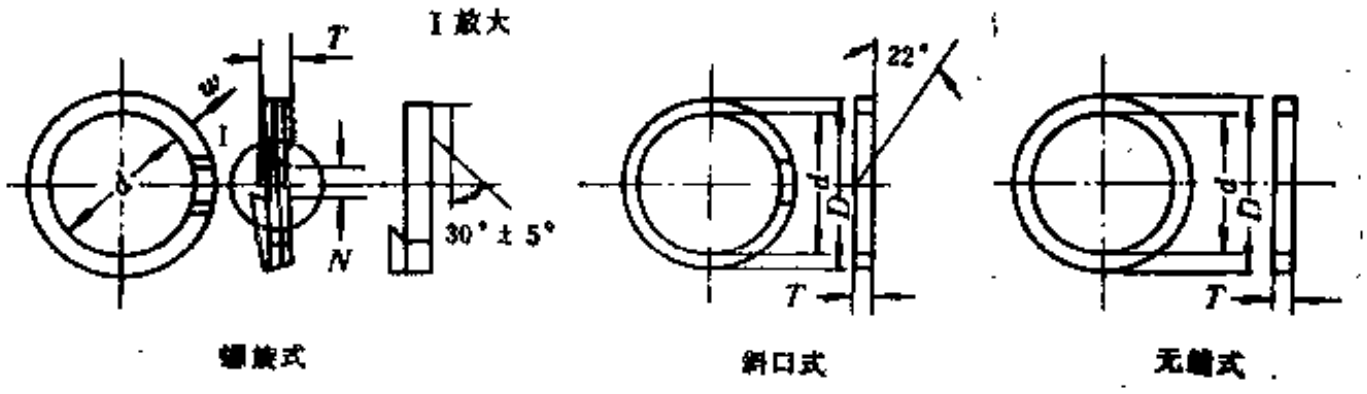


图 1-1-1 各种挡圈结构

三、橡胶密封制品胶料配方设计

（一）胶料配方设计原则

橡胶密封制品的品种繁多，工作条件又多种多样，因而对橡胶材料的性能提出了各种要求，其中主要是耐化学介质、使用温度、工作压力，以及各种工作状态（静态、往复、旋转和摆动等）和各种运动速度等综合性能。当橡胶密封制品品种和结构确定之后，胶料配方设计就是一项非常重要的工作。胶料配方试验工作搞好了，不仅便于生产的进行，而且直接关系到产品的密封性能和使用寿命。胶料配方设计的基本原则如下。

① 根据产品工作条件和主要性能要求，正确选择胶种和配合体系，开展配方试验工作，最后要使胶料性能满足产品性能的要求。

② 在满足产品使用性能的基础上考虑胶料的工艺性能。生产工艺不过关，配方胶料性能再好，还是不能实现工业化生产。现代生产技术既要求胶料性能符合产品的要求，还要求胶料适应高效工艺装备的发展，以提高生产效率和料学管理水平。

③ 胶料配方的组成要力求简单，通用性强，以便于生产管理。

④ 在不影响产品质量的情况下，尽量选择价格便宜、来源丰富、性能稳定的原材料，达到降低成本，提高经济效益的目的。

除上所述之外，有的橡胶密封制品还需要结合各自的断面结构和工作压力等特殊因素加以考虑，不能千篇一律，具体问题具体解决。

（二）不同密封制品胶料配方设计的特点

用在各种机械设备中起密封作用的橡胶密封制品，一般要求胶料必须具有良好的弹性和低压缩永久变形。此外，不同的机械设备和密封的介质又要求胶料具有某些特殊性能。作为动态密封，则要求胶料具有良好的耐介质、耐磨性、耐撕裂和耐温性能，还要有小的压缩变形和一定的拉伸强度；作为静态密封，则要求胶料有良好的耐油性能和耐压缩永久变形；用于高真空系统密封件，则要求胶料具有不透气性和不易挥发性，既要求耐高温老化，又要求在低温下能保持一定的弹性；用于不同介质的密封件，则要求胶料在介质中的体积和硬度变化率要小，其它性能降低要少，且胶料不应对金属表面有腐蚀作用等。

由于橡胶密封制品使用状态不同，密封结构也就各异，因此，在配方设计中不仅要考虑它的使用性能，而且还要结合它的结构，设计不同性能要求的配方。

1．O形密封圈胶料配方设计

O形密封圈是一种量大面广结构简单的密封件，它的年产量约占全国密封件总产量的60%。解决好O形密封圈生产质量和使用寿命问题，胶料配方设计仍是关键。

胶料配方设计应根据使用条件，如介质种类、温度、压力以及使用状态等，分别设计胶料配方。一般要求O形密封圈胶料应有良好的耐油、抗撕裂性能以及较小的压缩永久变形。无论是静态密封还是动态密封，耐介质和压缩永久变形是胶料主要性能指标。根据O形密封圈的使用要求，一般生产用量最大的是丁腈橡胶，其次是氯丁橡胶和天然橡胶，对特殊要求的可选用氟橡胶、硅橡胶、乙丙橡胶等。氟橡胶和硅橡胶主要用于耐140℃以上高温的胶料，乙丙橡胶主要用于磷酸酯等介质的密封胶料。

根据密封系统的压力，应分别设计不同硬度的O形密封圈胶料，以适应不同压力的需要。压力高的选用高硬度胶料，压力低的选用低硬度胶料，这样既能做到物尽其用，发挥胶料最大效益，又能避免使用不当而造成浪费。过去在O形密封圈胶料硬度上没有引起注意，使用

混乱，因硬度配合不当曾发生不少问题，表现密封件的密封性能不好，使用寿命短。分析起来，有的是生产厂家的产品质量问题，但也有不少是由于使用不当而造成的早期破坏或泄漏。

为了发展橡胶密封技术，改善生产与使用的矛盾，提高产品质量和使用寿命，执行国家标准，必须完善胶料配方，按硬度系列化，以便根据使用压力来选择密封制品的胶料。参考国内外有关标准，除特殊要求者外，一般丁腈橡胶密封制品的胶料可以分为：60±5、70±5、80±5和90±5 4个硬度（邵尔A）级，在液压系统中，70为低硬度，80为中硬度，90（或88）为高硬度胶料。密封压力在30～60MPa的范围，密封件的胶料硬度要求在85～95的范围内。对于高硬度密封件的胶料，除了要求硬度高外，还要求胶料有良好的综合性能及压缩变形小的特点，高硬度胶料还应具有良好的工艺性能，否则就很难实现工业化。

设计高硬度胶料，一般多采用大填充量炭黑。而大量填充炭黑又会给炼胶工艺带来困难，炼胶过程中摩擦生热大，胶料容易焦烧。在这种情况下，胶料配方硫化体系和填充体系的选择和配合是至关重要的。在硫化体系中，采用有机过氧化物（如DCP）硫化的丁腈橡胶具有很多优点，如耐热、耐低温性能好，压缩变形小，应力松弛速度慢，焦烧性能好，胶料贮存安全性好等。因此DCP特别适用于密封件的胶料。对于高硬度丁腈橡胶来说，工艺安全性能好，这一点也是很重要的。不过单用DCP硫化的丁腈橡胶胶料伸长率低，硫化速度慢，热撕裂性能差。为了克服DCP的这些缺点，国内外已有采用DCP-硫黄-促进剂的复合硫化体系，目的在于提高硫化速度，改善热撕裂性能，增大伸长率。据有关文献报道，在通常的情况下，温度一定，DCP的分解速度一定，不会因DCP的用量增加而提高硫化速度。但在DCP复合硫化体系中，由于促进剂的存在，提高了DCP的分解速度，同时由于硫黄的存在而提高了交联效率。在复合硫化体系中，除了生成C-C键外，也可能生成部分硫键。因而硫化胶的热撕裂性能也得到改善。一般促进剂如促进剂D、DM、CZ、EZ和TT都可与硫黄组成DCP的复合硫化体系。

在填充体系中，采用活性炭黑制造高硬度胶料是易于达到增硬补强的目的，单用喷雾炭黑，胶料的耐油、压缩变形和生热是好的，但要获得硬度为90±5的胶料，炭黑填充量要在120份以上，这样大的填充量，在炼胶时将会造成严重的飞扬和脱滚，胶料的伸长率也偏低。炭黑补强性好的有槽法炭黑、高耐磨炉黑和快压出炉黑等。在一般情况下，炭黑并用比单用好，如果并用比例、并用品种适当调整，是能够获得压缩变形小、耐磨性能好、伸长率大的高硬度胶料的。

在高硬度胶料中，也可以采用多官能团化合物作DCP的助交联剂，如齐聚酯等，它能提高硫化胶的交联程度，起增硬补强的作用。齐聚酯也是一种良好的软化剂，使用它不仅可以减少炭黑用量，其它软化剂也可少用或不用。目前的牌号有SR350、SR297和421、832几种。

采用加工助剂低分子聚乙烯，对改善高硬度、中硬度胶料加工过程中的生热、焦烧和压出性能有明显的效果。由此可见，采用齐聚酯、低分子聚乙烯等对改善高硬度丁腈橡胶胶料的工艺性能是很有前途的。

按照上述的技术路线，本着尽量简化系列胶料配方的原则，力争在一个基本配方的基础上，用变更炭黑和软化剂用量的办法设计试验出中硬度级和低硬度级胶料，以达到既便于生产管理，又能满足使用要求的目的。

2．油封胶料配方设计

油封是传动轴介质密封不可缺少的密封形式，当油封断面结构确定之后，胶料配方设计就是一项重要的技术工作。要达到或提高油封的密封性能和使用寿命，前者取决于结构设计，后者取决于油封胶料配方设计的合理性。如果结构和配方设计协调一致，就能获得较佳的使用效果。

根据油封的一般使用条件，要求胶料具有良好的耐油、耐热老化、耐磨性能和较小的摩擦系数。另一方面，要求胶料流动性能好，保证在合模硫化时易充满模腔。在旋转运动中耐高温、耐油是油封胶料配方设计考虑的主要性能指标。在一般情况下，油封唇口温度高于油封工作温度20～30℃，有的甚至超过30℃。所以，对耐油胶料除要求硬度之外，应有耐温等级的要求。一般丁腈橡胶油封胶料硬度以75± 5 较为适宜，在油介质中耐热温度 在 120℃以下。当使用温度为120～150℃时，可用氯醚橡胶和丙烯酸酯橡胶，但前者存在工艺腐蚀、压缩变形差等缺陷，后者压缩变形及低温性能差。耐双曲线齿轮油以丙烯酸酯橡胶较为合适，且价格比氟橡胶低。耐油耐高温不超过140℃，一般不用氟橡胶制造油封。

在正常使用情况下，油封后期出现漏油，主要是油封唇口老化变硬、失去弹性、龟裂所致。为了提高油封使用寿命，必须提高油封胶料的耐热性能，在胶料配方中除采用热老化性能好的白炭黑及其它填料外，硫化体系是提高丁腈橡胶耐热性能的关键。在配合技术上，力求使用新型助硫化剂。甲基丙烯酸镁不仅是DCP硫化的助硫化剂，而且是丁腈橡胶多种硫化体系的耐热添加剂，甲基丙烯酸镁不仅能提高DCP硫化胶的耐热性，而且在多种硫化体系中（包括硫黄加促进剂、低硫、高效、镉镁体系），无论是对炭黑还是白炭黑胶料均能提高其硫化胶的耐高温老化性能，并能降低镉镁及高效体系白炭黑胶料的压缩永久变形。

3．往复密封胶料配方设计

近些年来，由于引进大型综合机械化采煤设备和大型液压起吊车辆等，其中液压设备所用的油缸活塞和活塞杆密封大都采用织物丁腈橡胶组合密封件，改变了我国多年来沿用较为简单的U、Y型纯胶密封圈。由于油缸工作压力越来越高，迫使橡胶密封制品的结构也在不断的改进。在往复密封上，无论结构怎样，橡胶与布总要结合起来，要求密封件使用的丁腈橡胶胶料耐各种液压油，耐磨，整体刚性大，并富有弹性。不论是蕾型密封还是鼓型密封制品，都有夹布胶料和弹性胶料，两者组成一个完整的密封体。由于胶料在结构中的作用不同，因此要求胶料性能也有所差异。对弹性软胶来说，要求胶料具有压缩变形小、耐磨性能好、弹性好的特点。对胶布胶料的要求，一是耐磨性能好，富有弹性，二是橡胶与布粘接性能好，布层之间粘接力要求高，成型工艺性好，存放时胶布表面不喷霜。

有资料介绍，防老剂ELE、齐聚酯421和832、胶粘剂RH和RE分别加入胶料中，能提高橡胶与织物或金属的粘接力。

4．其它类型密封件胶料配方设计

如防尘圈胶料，由于它们的结构不断改进，使用的材料也在不断变化。目前，防尘圈使用的材料有高硬度丁腈橡胶胶料，有丁腈橡胶与聚氯乙烯并用，有丁腈橡胶与低压聚乙烯并用等。由于防尘圈结构和使用条件的要求，胶料硬度应在90～95之间且有一定弹性，并有良好的耐候性能。单用丁腈橡胶制造防尘圈，其性能不能满足使用要求。耐候性能较好的有氯丁橡胶和丁腈橡胶与聚氯乙烯并用或以丁腈橡胶为主掺用部分低压聚乙烯，可以使胶料保持丁腈橡胶的耐油性能，并提高其耐候性、耐老化性能等。并用比例一般在70:30（丁腈橡胶:塑料）为宜。丁腈橡胶与聚氯乙烯共混料已有批量生产。使用共混料在生产上无需进行高温塑化，可以直接进行混炼。

表 1-1-2 应用配方举例一

原材料名称	高硬度胶料		中硬度胶料	耐油耐热胶料	
	1	2		120℃以下	140℃以上
丁腈橡胶26	100	100	100	100	—
氟橡胶2641（20万）	—	—	—	—	85.0
氟橡胶2641（10万）	—	—	—	—	15.0
氧化锌	5	5	5	5	12.0
硬脂酸	1	1	1	1	—
防老剂BLE	2	—	—	—	—
防老剂RD	—	0.5	0.5	1.0	—
防老剂MB	—	1.5	1.5	2.0	—
固体古马隆	4	—	—	4.0	—
癸二酸二丁酯	4	—	10.0	6.0	—
氧化钙	—	—	—	—	3.0
氟化钙	—	—	—	—	15.0
喷雾炭黑	70.0	50.0	50.0	—	10.0
槽法炭黑	50.0	—	—	酞青兰，3	—
乙二醇	—	—	—	1.5	—
快压出炉黑	—	50.0	50.0	—	—
沉淀法白炭黑	—	—	—	70.0	—
齐聚酯	—	10.0	—	—	—
促进剂DM	1.5	1.5	1.5	2.5	—
促进剂EZ	1.5	1.5	1.5	—	—
促进剂TT	—	—	—	1.5	—
硫　黄	0.3	0.3	0.3	—	—
DCP	2.0	2.0	2.0	—	—
DTDM	—	—	—	1.5	—
二硫化钼	—	—	—	2	—
3号硫化剂	—	—	—	—	2.5
合　计	241.3	221.3	223.3	201.0	142.5
硫化条件，153℃×min	25	20	20	20	一　段 165℃×20min 二段250℃×12h
硬度（邵尔A）	88±5	88±5	80±5	75±5	75±5
适用制品	O形圈，鼓型、蕾型密封圈等		O形圈，鼓型、蕾型密封圈等	油　封	油封及耐高温O形密封圈

表 1-1-3 应用配方举例二

材　料	耐油耐热	耐油耐寒	低压缩变形	耐真空油	耐天候老化	高弹性	耐屈挠
丁腈橡胶NBR1704	—	100	100	—	—	—	—
丁腈橡胶NBR2707	100	—	—	100	—	—	—
氯丁橡胶（通用型）	—	—	—	—	95	—	50
丁二烯橡胶	—	—	—	—	5	—	—
天然橡胶	—	—	—	—	—	100	50
氧化锌	15	5	2.5	10	4	6	5
氧化镁	—	—	—	—	4	—	3
硫　黄	0.6	3	0.8	—	—	1.2	0.7

续表

材　料	耐油耐热	耐油耐寒	低压缩变形	耐真空油	耐天候老化	高 弹 性	耐 屈 挠
硒　粉	0.5	1	—	—	—	0.4	—
促进剂M	—	—	0.5	—	—	—	—
促进剂DM	0.5	—	0.5	—	0.3	—	0.5
促进剂D	—	1	—	—	—	0.2	—
促进剂TMTD	0.3	—	1.5	3.5	—	—	—
促进剂NA-22	—	—	—	—	—	—	0.3
防老剂A	1	1	1	—	1.5	—	1.5
防老剂D	—	—	—	2	—	—	—
防老剂4010	1	1	—	—	—	1	—
防老剂MB	—	—	—	—	—	1	—
硬脂酸	1	2	1	—	0.3	1	0.5
高耐磨炉黑	30	—	20	—	30	—	—
半补强炉黑	30	60	—	—	25	—	—
槽法炭黑	—	30	—	—	—	—	15
中超耐磨炉黑	—	—	—	—	—	10	—
喷雾炭黑	—	—	—	40	—	—	—
碳 酸 钙	—	—	50	—	10	82	54
陶　土	—	—	—	30	—	—	—
石　蜡	1	—	1	1	1.5	—	0.5
0259(混合酯增塑剂)	—	24	—	—	—	—	—
磷酸三甲苯酯	5	—	15	—	—	—	—
古马隆树脂	—	2	—	—	—	—	—
五 线 油	—	—	5	—	—	—	—
癸二酸二辛酯	—	—	—	6	—	—	—
变压器油	—	—	—	—	8	—	6
酚醛树脂（2123）	—	—	5	—	—	—	—
含胶率，%	64.2	43.4	42	52	54.2	49.5	53.5
硫化条件，153℃×min 适用制品	13 min 油封	12 min 机车制动皮碗等	12 min O形圈及各种断面垫圈	15 min 垫圈及隔膜	12 min 密封条及各种垫圈	7 min 皮碗和皮圈	15 min 隔　膜

（三）应用配方举例

表1-1-2和表1-1-3列举几个方面有代表性的配方，其它方面配方将在以后结合具体产品介绍。

四、橡胶密封制品的制造工艺简述

（一）塑炼和混炼

为了提高丁腈橡胶的塑炼效果，在塑炼时除采用低温薄通塑炼外，可加一些增塑剂如邻苯二甲酸二丁酯和促进剂M等。

丁腈橡胶一般采用开炼机混炼，也可用密炼机混炼。为了提高密炼效果可采用引料法，经密炼机混炼的胶料必须停放4～8 h后再在开炼机上进行补充加工，并加入促进剂和硫黄。用国产密炼机生产丁腈橡胶是完全可行的，近几年来国内一些厂家从国外引进一批先进的密炼机和流水线，使混炼下片全部连续作业，冷却效果、密炼和分散性都好，一般在混炼硬度

（邵尔A）为85以下的天然橡胶和合成橡胶时胶料混炼质量稳定，省时，生产效率高。这是人工操作塑混炼所不能比拟的。

（二）半成品的制备

① 用压延机或开炼机出片后按所需要求裁切成条状或块状，对于规格较大而受压出能力所限无法达到压出成型的一般采用此法。

② 小尺寸的环状密封制品由胶片切成条后再搭接成圈状，但此法劳动力花费较大。

③ 压出成型法，从压出机压出成一定规格，主要控制内外径尺寸的胶管，再横切成一定重量的胶圈。此法普遍用于生产规格较小的油封、O形圈及其它类型胶圈；能缩短操作时间，且模压加工后废边较少。

④ 近年来为保证产品的质量，已发展了精密预成型机，既提高了半制品的产量又保证了半成品体积和重量的准确度，提高了橡胶密封制品的生产工艺水平。依精密预成型制作半成品，具体情况在本章第二节O形橡胶密封圈节中详叙。

此外，国内各生产厂家结合自己的产品也制造了许多专用机械，如胶圈切割机、胶条切割机、圆刀裁条机、冲孔机、裁圆片机等。

夹布密封件的半成品也在不断改进中，采用布筒式成型，效率高，劳动强度低。

（三）粘合

橡胶密封制品在生产过程中，经常遇到未硫化橡胶和硫化胶与金属、与织物的粘合问题，如油封金属加强环与橡胶、橡胶密封条与金属、隔膜以及夹布的橡胶密封圈中布和橡胶的粘合等。

1．通用橡胶与金属材料的粘合

通用橡胶与金属材料的粘合常用方法见表1-1-4。

2．硅橡胶与金属的粘合

将已混好的硅橡胶薄通5次以上待用；将要粘合的金属打磨或作喷砂处理后，以120号汽油清洗风干，涂第一次胶粘剂（乙烯三叔丁基过氧硅烷偶联剂VTPS）20～30min后，再涂第二次，停放在无尘的通风处0.5～1h后可用，一段硫化为150～160℃×15～25min，二段硫化为50℃×45min后100℃×45min、150℃×3h。

3．氟橡胶与金属的粘合

氟橡胶要混炼均匀，多次薄通后出片待用（注意不得沾污粉尘），金属处理方法同硅橡胶，但应用的偶联剂以KH-550为好。

4．胶料与织物材料的粘合

对于夹布的橡胶密封制品，如V型夹布密封圈、L型夹布密封圈，以及夹布的隔膜，要求橡胶与织物有较好的粘合力。为此织物表面需预先涂上胶浆，对胶浆的要求是：

① 胶浆在停放过程中粘性、浓度变化小；

② 无配合剂沉淀和硫黄析出等现象；

③ 对织物应有较好的粘合力；

④ 胶浆有效期要长；

⑤ 溶剂应无毒性或毒性较小。

胶浆配方举例如表1-1-5。

按胶料：苯＝1：2（重量比）在搅拌机上制成胶浆。

为提高橡胶与织物的粘合力，对于经纬密度较大和吸湿能力较强的棉织物，涂胶前必须

表 1-1-4 通用橡胶与金属材料的粘合常用方法

粘合方法		工艺简述及特点	金属表面处理要点
镀铜法	镀铜件与未硫化橡胶粘合	镀铜金属件与新鲜的胶料通过模压而粘合。优点是粘合强力高，耐湿性、耐冲击性、耐水及耐酸碱性均好；缺点是镀制困难，存放期短，由于金属表面氧化而失效，对胶料的适应性小	使用前用汽油将镀铜件表面洗刷干净、晾干
胶粘剂法	氯化橡胶	采用氯化橡胶的二氯乙烷或二甲苯胶浆作为金属与丁腈橡胶、氯丁橡胶粘合的中介层，其粘合力较高。若用氯丁橡胶-酚醛树脂的二甲苯胶浆作胶粘剂，则可进一步提高金属与天然橡胶、丁苯橡胶的粘合强度。采用氯化橡胶作胶粘剂可与异氰酸酯（商品代号JQ-1）等量掺合，提高粘合强度，此法对黄铜粘合效果较差	1．机械法 即喷砂处理，适宜大面积金属件 2．化学处理 ① 用氢氧化钠溶液除去油污，然后水洗到金属表面无水珠为止 ② 用工业盐酸除锈约20～30min，然后在热水中漂洗 ③ 钢丝刷抛磨（适宜于大面积金属件） ④ 于90℃烘箱烘干后，在金属表面涂浸胶粘剂，然后在干燥箱内贮放
	异氰酸酯胶液（JQ-1）	采用异氰酸酯作胶粘剂来粘合丁腈橡胶或氯丁橡胶效果好；若粘合天然橡胶或丁苯橡胶时，用氯丁橡胶-酚醛树脂胶浆作中介层则能提高粘合强度，若与氯化橡胶等量掺合效果更佳。此法的缺点是有毒，异氰酸酯抗水性差，不稳定	
	303树脂胶（与硫化胶粘合）	303树脂胶是双组分的胶粘剂，使用时将303-1：303-2＝1：2比例混匀（混合后停放时间不超过24h）。橡胶表面用锉刀锉毛并除去表面上的胶屑，再涂上胶粘剂	金属表面应去锈或油污，除锈可用砂纸磨光，除油污可用丙酮或汽油洗干净，然后涂上胶粘剂
	202树脂胶（与硫化胶粘合）	使用时按202-1：202-2＝2：1混匀，其它同303树脂胶（也是双组分胶粘剂）	

表 1-1-5 橡胶与织物粘合用胶浆配方

组分	用量，重量份	组分	用量，重量份
丁腈橡胶（NBR 1704）	100	促进剂DM	0.5
氧化锌	5	促进剂D	0.3
硫黄	1.8	半补强炉黑	40
防老剂 4010	0.75	高耐磨炉黑	10
防老剂D	1.5	邻苯二甲酸二丁酯	22
促进剂M	1		

烘干，并用浓度较稀的胶浆浸渍一遍，晾干或烘干后再进行涂胶或贴胶，采用涤纶、锦纶等合成纤维织物，涂胶前必须进行表面处理，用589树脂（间苯二胺环氧氯丙烷）浸渍一次，浸渍时间为2min，再在80℃的烘箱内烘干。

使用棉织物与合成纤维织物的特点比较如表1-1-6。

5．织物与织物的粘合

（1）用胶乳浆　非离子体聚丙烯酰胺、聚乙烯醇和天然胶乳三元共混体作布浆。

（2）汽油浆　采用胶接专用胶粘剂的是氯丁橡胶（CR2441），溶于芳香烃、氯代烃（二者毒性大），也可用汽油：乙酸乙酯：甲苯为4.5：2.5：3的混合溶剂，加入的增粘树脂为古马隆、萜烯树脂、酚醛树脂等。

表 1-1-6 棉织物与合成纤维织物特点比较

织　物	特　点	适用制品
棉织物	纤维强力低，制品的强度和屈挠性较差	各种断面的密封圈
合成纤维织物	纤维强力高，相对密度小，能相应减小制品的织物层数，制品强度高，耐屈挠和耐热	各种隔膜

氯丁橡胶胶浆配方：

氯丁橡胶	10～16	过氧化苯甲酰	0.2～0.4
甲　苯	60～80	对苯二酚	0.5～1.2
防老剂D	0.2～0.4	歧化松香	5～20

6．玻璃布与硅橡胶的粘合

玻璃布用偶联剂（乙烯基三乙氧基硅烷）3份、乙酸 50份、水 50份作处理和硅橡胶结合。

7．尼龙与丁腈橡胶的粘合

尼龙用2123酚醛树脂150～20g，促进剂H 2～3g，1%环氧胺树脂的水溶液浸渍 2 次，丁腈橡胶胶料中加入异氰酸酯处理。

8．硅橡胶与尼龙或聚酯的粘合

可采用偶联剂（乙烯基三乙氧基硅烷）5 份、烯丙基三乙氧基硅烷 15份、硼酸丁酯 2份、乙酸乙酯 100份、DOP 4 份作处理进行粘合。

（四）硫化

硫化是生产橡胶密封制品的主要工序。为丁提高生产的效率和改进产品质量，各橡胶工业制品厂都很重视硫化设备的更新和改造。近年来大部分厂把水压硫化机改成油压硫化机，硫化传热载体有从蒸汽向电热过渡的趋向，硫化温度从150℃向高温180～200℃硫化发展。为保证热板的均匀加热，将热载体加热后充入模板，使温差幅度减小，以保证高温短时硫化。硫化用压机装置由半自动向自动化改进，并配有微机程序温度操纵和控制。国内已有厂家使用卧式注压硫化机、抽真空平板硫化机、压出微波连续硫化机等各种形式的硫化设备。

为了掌握橡胶密封制品硫化程度，提高产品质量，必须制订密封制品的正确硫化条件。在硫化温度确定的条件下，硫化时间随制品的厚度、形状、胶料硫化速度和填充剂导热性能而不同。此外，硫化时间与模型传热而积大小、模型高度也有着密切的关系，特别是多孔模（即一模多眼）的出现，因模腔之间变得紧凑，模型传热面积也相应减少，会导致传热效果降低，橡胶密封制品硫化温度一般控制在150℃左右。随着我国橡胶工业的发展，橡胶密封制品用硫化设备在逐渐地改进，有些工厂已采用折页式平板硫化模，固定模板于平板硫化机上等设备及移模法和传递注压法等硫化生产方式。

橡胶密封制品硫化条件一般是由测定橡胶正硫化的方法确定，即可由橡胶的拉伸强度、有效弹性、永久变形、硬度、定负荷伸长、抗撕裂、门尼粘度等方法来确定。还可以通过鉴定橡胶物理化学性质，如测定游离硫黄、三氯甲烷抽提、膨润程度等方法来确定。除此之外还可采用T-50试验、零度变形试验等几个方法相互进行验证。

（五）修整除边

通用橡胶密封制品的修整，一般是手工修剪、刮除等，现有的厂家已大部分采用手工机

械或完全用自动机械去边机、冷冻辊除等机械方法来替代手工的落后方法。在后面各产品节中分别介绍，其共同要求是橡胶密封制品工作面应光洁无毛刺。

（六）切割和冲切成型工艺

有些橡胶密封制品在生产上可采用切割或冲切的方法来制造。

1．切割法

切割法用于制造方断面、矩形断面的密封制品，如油桶盖密封垫圈。先经模型制作成管状的橡胶筒，以保证密封垫圈内外径的尺寸及公差，再在切割机械上将橡胶筒切割成一定宽度的胶圈。

2．冲切法

冲切法用于生产片状密封垫片，如啤酒瓶盖垫片。先将胶料经压延机或开炼机压成所需厚度的胶片，再用圆形冲刀冲制成圆形胶片，最后经硫化罐硫化即成密封垫片。

上述切割和冲切工艺适用于尺寸及公差要求不高、大批量生产的密封制品，此工艺还具有消除废边、减少模型加工费、生产效率较高和成本较低等优点。

五、橡胶密封制品的质量控制

橡胶密封制品品种规格繁多，其质量控制主要有以下几个方面。

1．外观

橡胶密封制品广泛用于各类产品的配套上，其外观质量会直接影响到整机的使用性能，一般要求色泽均匀，无喷粉、渗油，产品表面不允许有杂质或金属物嵌入，工作面应光洁无凸凹不平及毛刺、裂痕、气泡存在，在非工作面部位，对纯胶制品按气泡、杂质、凹凸缺陷、修边痕迹、合模缝错位等分挡提出不同要求。夹布制品除以上一些要求外，对织物皱折、接头痕迹也作了规定，详细内容参阅GB 7529—87“模压和压出橡胶制品外观质量的一般规定”，外观质量的控制，目前国内大多数厂家是用目视法检控。

2．尺寸

橡胶密封制品的尺寸控制是比较严格的，产品尺寸公差是靠模型的正确设计如收缩率的变化、模具中不同部位的公差配合和形位公差来保证的，一般模压的橡胶密封制品在半成品胶料多于模腔容积所需胶料时，则多余的胶料在边模型中溢出后成为胶边，它会妨碍模具各部分的完全闭合而影响制品的尺寸。压出的橡胶密封制品的尺寸是与压出生产工艺控制严格程度有关，如有些橡胶密封制品，密封橡胶内要求有严格精密尺寸的支撑体——骨架材料进行硫化，有些橡胶密封制品要用磨床磨削、车床切割，如油封刃口切割，外径倒角用砂磨等，密封制品的尺寸在最后的修整工艺中分别提出角度、长度、高度及内外径的公差要求，大多数厂家对制品尺寸的控制是执行GB 5723“硫化橡胶试验用试片和制品尺寸测量的一般规定”及GB 3672“橡胶实心模压和压出制品尺寸公差”二个国家标准，特殊的制品按图纸有各自的尺寸控制要求。

橡胶密封制品尺寸大小的测量一般分接触法和非接触法两种方式。对小尺寸的密封橡胶制品一般用接触法，如百分表测厚计来测量，对精密的橡胶制品如O形圈、油封、胶碗等用大型工具如显微镜、读数显微镜、投影仪、少数的分级圈锥仪进行测量控制。

3．成品性能

橡胶密封制品的质量好坏除了对制品的胶料作常规检测外，还应对产品作成品性能测试，这是有效的质量控制手段。不同成品有不同的功能要求，通过模拟的台架试验能直接反

映橡胶密封制品的性能和质量。如O形密封圈成品做压缩应力松弛测定，油封用油封径向力测定仪和油封唇口张开压力测定仪、台架运转试验仪、扭矩测定仪测定，汽车液压制动胶碗用台架抽动试验仪来测定，汽车气室制动橡胶隔膜用橡胶隔膜抽动台架试验仪进行测定等。所以，按橡胶密封制品的工作状况做强化的模拟试验，不仅是开发新产品的主要科研手段，也是控制生产质量的应有工序。国内对橡胶密封制品不仅生产厂家按产品标准进行各项性能控制，用户也做装机试验，这种类似成品模拟的台架试验装置有：液压往复试验台、摆动试验台、脉冲试验台、旋转试验台、成品屈挠试验台、成品电性能测试仪等。近年来成品性能测试已受到重视，成为各生产厂家衡量产品质量的重要标志。

4．包装与运输

橡胶密封制品作为一个商品必须进行包装，这样可以避免橡胶密封制品受到污物、灰尘、油或润滑脂等的污染，或被金属碎屑或其它尖锐物品损伤。为防止大气中的紫外线老化，一般在盒袋包装前有必要用不透明的塑料进行封口，每个包装袋内应写明规定的标志内容。随着产品功能的深入，为进一步满足用户的使用要求，可从规格配套、数量配套组成专门服务于机件的配套“套装包”，使橡胶密封制品使用功能更完善。

目前国外橡胶密封制品，除有些产品单件包装外，还配有润滑介质。为了保证某些产品的密封效果，产品的工作面刃口都放有支撑架如塑料衬底等，一定数量的单件包装物又组合成规定的大包装，然后大包装以塑料大袋一次抽真空热压打包，装入集装箱内。

橡胶密封制品的贮存要求是，在贮存期间尽量防止因氧、臭氧、光、热和湿气等的作用而影响橡胶密封件的物理机械性能，如过度硬化、软化、发粘和龟裂，因此对贮存的温度、湿度、光线等都有一定的规定。此外，贮存中制品应呈自由状态地放置，不应拉伸、压缩或使其产生其它形式的形变。详细的包装和贮存规定可参阅GB 5721“橡胶密封制品标志、包装、运输的一般规定”及GB 5722“橡胶密封制品贮存的一般规定”。

第二节　通用橡胶密封制品主要品种分论

一、O形橡胶密封圈

O形橡胶密封圈是一种断面形状为圆形的密封元件，它广泛用于多种机械设备中，在一定温度、压力及不同的液体或气体介质中起密封作用，与其它密封圈相比，具有如下的优越性能：

① 密封部位结构简单，安装部位紧凑，而且重量较轻；

② 有自密封作用，往往只用一个密封件便能完成密封；

③ 密封性能较好，用作固定密封时几乎没有泄漏，用作运动密封时，只在速度较高时才有些泄漏；

④ 运动摩擦阻力很小，对于压力交变的场合也能适应；

⑤ 尺寸和沟槽已标准化，成本低，产品易得，便于使用和外购。

与其它密封圈相比，也存在下列三个问题：

① 起动时的摩擦阻力较大；

② 用作气动装置的密封时，必须加润滑油，防止磨损；

③ 对偶合配件，如运动面、沟槽、间隙等的加工尺寸及精度要求很严。

（一）分类

1．按密封用途分类

（1）固定密封用O形圈；

（2）往复密封用O形圈；

（3）旋转密封用O形圈；

（4）真空密封用O形圈。

2．按密封形式分类

（1）径向密封　分为动态液压密封，动态气动密封和静态（液压和气动）密封。

（2）轴向密封　分为受内压力和受外压力。

（二）密封原理

O形橡胶密封圈在流体密封中按其工作状态可分为静态密封（作法兰垫片用）和动态密封（往复运动、旋转运动和摆动）两种。其密封原理如下。

1．静态密封原理

O形橡胶密封圈工作状况下的材料行为是类似于高粘度的流体，它具有把压力传递到与其接触表面的特性，如图1-2-1所示。当O形橡胶密封圈装在沟槽中使其断面受到一定程度的压缩（压缩量通常为8～25%），便产生了一个初始接触应力，如图1-2-1（a）。在被密封流体（空气、水、油等）的压力极低或等于零的情况下，该接触应力F的分布如图1-2-1（b）。在流体高的压力下，O形橡胶密封圈被压向与压力方向相反的一侧的沟槽，产生如图1-2-1（c）的接触应力分布，堵住了流体的泄漏通道而起密封作用，即在流体大的压力P_1下，密封的接触压力等于O形橡胶密封圈的初始接触应力与流体压力所产生的接触应力之和P_2，则$P_2>P_1$，如图1-2-1（d），这就产生了较好的密封效果，称为自密封作用。自密封作用又与O形橡胶密封圈的初始接触应力相关，并与偶合体的接触面光洁度、加工精度、沟槽深度等因素有关。

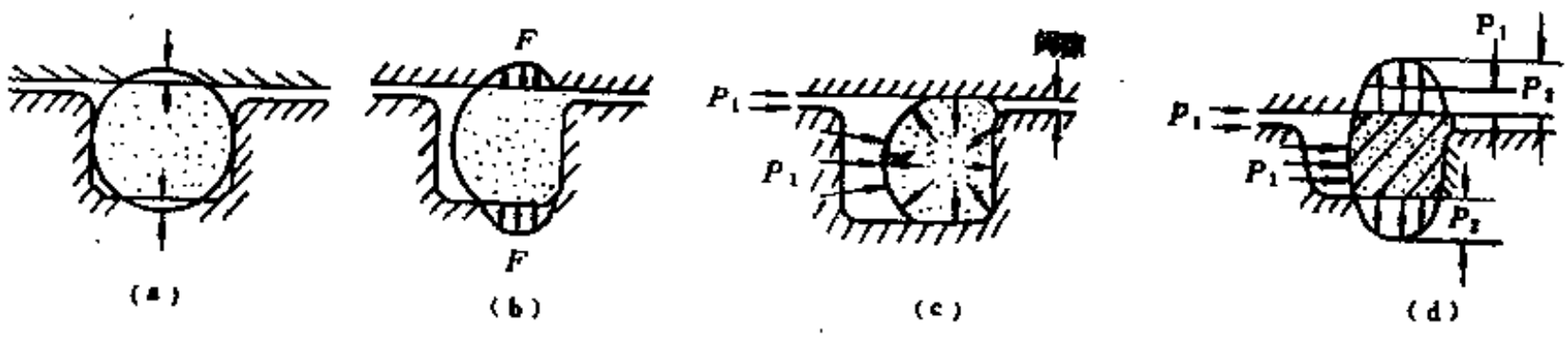


图 1-2-1　O形橡胶密封圈密封原理受力示意图

2．往复运动下的密封原理作用

当O形橡胶密封圈用于往复运动时，其密封原理也属自密封作用，由于O形橡胶密封圈处于运动状态，流体压力是从O形橡胶密封圈的两面交替施加的，所以整个过程极为复杂。可以通过O形橡胶密封圈在活塞杆中的密封过程进行说明在往复运动中的O形橡胶密封圈的密封和泄漏的原理，如图1-2-2所示。图（a）为使用O形橡胶密封圈的活塞杆密封装置，如果将O形橡胶密封圈和轴的表面放大，它们之间的接触表面是凹凸不平的，尤其是O形橡胶密封圈的接触面，如图（b）所示。那样以其凸起处与轴接触，当轴开始向右运动（如图（c）），由于轴将与其粘着的液体带入O形橡胶密封圈和轴之间的楔形狭窄区，这部分的液体压力将大于工作流体压力P_1，如果这个压力大于O形橡胶密封圈的接触压力，C形橡胶

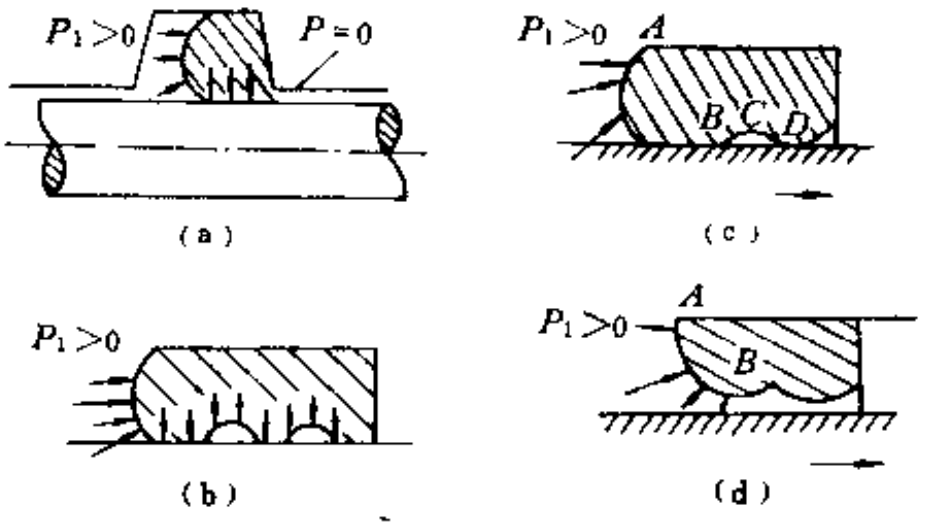


图 1-2-2　O形橡胶密封圈在往复运动下密封受力示意图

密封圈便会被顶起，液体就侵入到以下的凹处，从而造成泄漏，如图（d）所示。当轴向相反方向运动时，因轴的运动方向与压力方向相反，沿轴运动方向的泄漏就减小，两者之差就形成了往复运动中向外部的泄漏。一般来说，液体粘度越大，轴速越大，这种作用（又叫滑动效果）也就越大，泄漏也就愈严重；油的粘度低，速度缓慢的轴几乎不泄漏。同时，泄漏也与O形橡胶密封圈的硬度、尺寸和流体压力的大小有关，泄漏量的大小可由下列经验式表示：

$$Q \propto D_1 \gamma^{1.5} v^2 F(P)/F\ (H) \qquad (1\text{-}2\text{-}1)$$

式中　Q——O形圈的泄漏量，ml/h；

D_1——轴径，mm；

γ——介质油的运动粘度，mPa·s；

v——轴的往复平均速度，mm/s；

$F(P)$——介质压力有关系数；

$F(H)$——O形圈胶料硬度系数。

由上可知，在O形圈硬度和流体压力一定时，泄漏量与运动速度的2次方和油粘度的1.5次方成比例。

在实际应用中，O形橡胶密封圈与金属滑动面之间的接触状态、O形橡胶密封圈胶料的撕裂强度、压缩变形、O形橡胶密封圈与金属间的起动摩擦力、O形橡胶密封圈的扭转变形等都相当复杂，也都是影响密封的因素。

3．旋转运动中的密封原理

用于旋转密封的O形橡胶密封圈其原理与油封密封原理相仿，但由于O形橡胶密封圈的接触面积较大，所以用于旋转轴密封时，轴运动速度受到一定的限制。

（三）O形橡胶密封圈的结构设计原理

1．沟槽的应用

因为O形橡胶密封圈是安装在各种沟槽中使用，现将安装沟槽情况列于表1-2-1。

2．沟槽的形式

通常情况下，O形橡胶密封圈的沟槽有三种形式：缸孔密封沟槽，活塞杆密封沟槽，轴向密封沟槽，如图1-2-3（a）、（b）、（c）所示。

3．O形橡胶密封圈的结构

O形橡胶密封圈的结构示意图如图1-2-4所示●。图1-2-3和图1-2-4中代号表示说明如下：

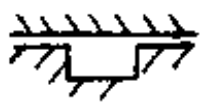
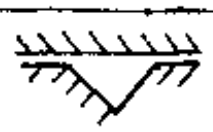
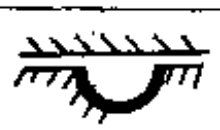
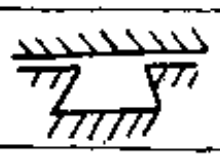
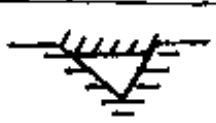
d_1——O形橡胶密封圈内径；

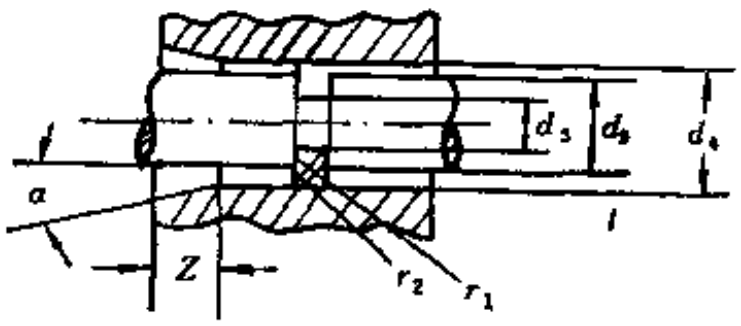
d_2——O形橡胶密封圈截面直径；

d_3——O形橡胶密封圈沟槽内径（缸孔密封时密封沟槽的槽底直径）；

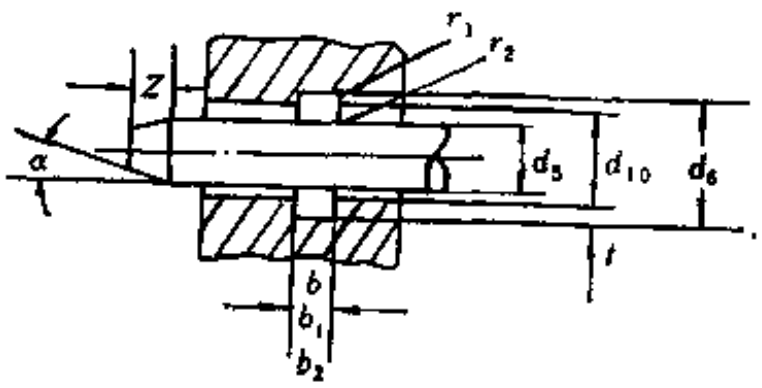
● 液压气动用O形橡胶密封圈尺寸系列及公差见GB 3452.1—82。

表 1-2-1　安装O形圈的各种沟槽形状

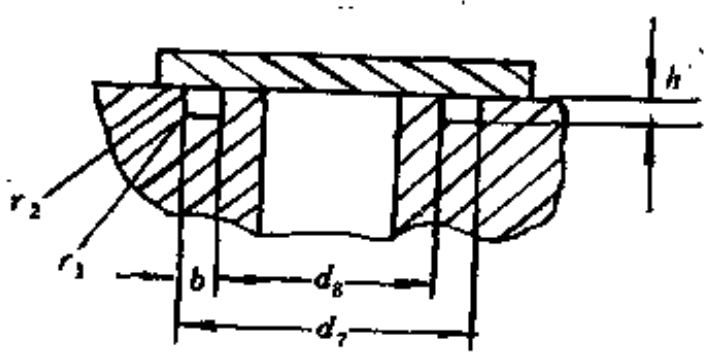
沟槽形状	名　　称	应　　用
	矩形沟槽	这是一种既适于运动密封，也适于固定密封的常用的沟槽形式
	V形沟槽	只适用于固定密封。若用作运动密封，则摩擦阻力很大，易挤进间隙，造成损伤
	半圆形沟槽	可用于旋转轴密封，但一般不用
	燕尾形沟槽 （梯形沟槽）	用于摩擦力要求很低的场合。因沟槽加工费用高，一般不采用
	三角形沟槽	推荐用于固定密封的场合



(a)



(b)



(c)

图 1-2-3　O形橡胶密封圈常用沟槽形式

d_4——缸孔直径；

d_5——活塞杆直径；

d_6——O形橡胶密封圈沟槽外径（活塞杆密封时，密封沟槽的槽顶直径）；

d_7——轴向密封时密封沟槽外径（受内压时）；

d_8——轴向密封时密封沟槽内径（受外压时）；

d_9——活塞杆直径（缸孔密封时）；

d_{10}——缸孔直径（活塞杆密封时）；

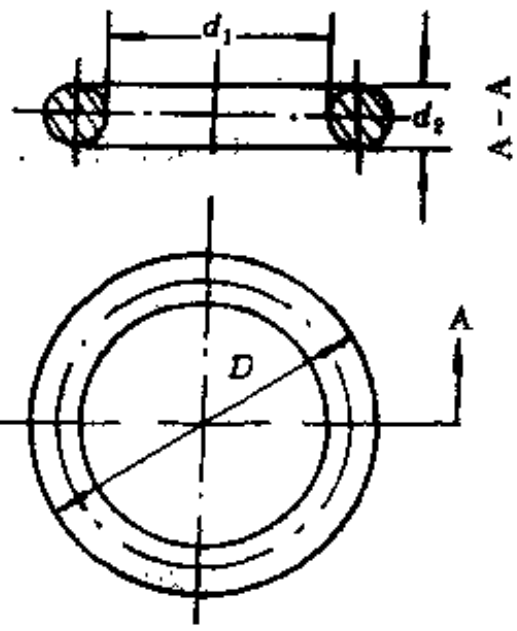


图 1-2-4　O形密封圈的结构示意图

b、b_1、b_2——O形橡胶密封圈沟槽宽度（b为不加挡圈，b_1为加一个挡圈，b_2为加两个挡圈）；

h——O形橡胶密封圈沟槽深度；

t ——O形橡胶密封圈沟槽径向深度；

z ——安装导角长度；

r_1、r_2——与密封圈沟槽配合的槽底圆角半径和槽尖圆角半径。

4．沟槽的光洁度

沟槽的光洁度、沟槽接触表面的粗糙度对密封效果和耐久性有很大影响。密封沟槽的各配合偶件表面光洁度如表1-2-2。

表 1-2-2 O形橡胶密封圈密封沟槽各配合偶件的表面光洁度

表面	应用场合	压力状况	表面光洁度
沟槽的底面和侧面	静态密封	非交变和无脉冲	R_a3.2μm
		交变或脉冲	R_a1.6μm
	动态密封	非交变和无脉冲	
配合表面	静态密封	非交变和无脉冲	R_a1.6μm
		交变或脉冲	R_a0.8μm
	动态密封		R_a0.4μm

表 1-2-3 与不同O形圈匹配的沟槽圆角

d_2, mm	r_{1max}, mm	r_2, mm
1.8～2.65	0.5	0.1/0.3
3.55～7.00	1.0	0.2/0.4

5．沟槽尺寸的选择

O形橡胶密封圈使用时对沟槽尺寸的正确选择，应该是能在密封圈所规定的设计条件（伸长率、压缩率等）范围内进行工作，这样可以防止在装配中O形橡胶密封圈的断面损坏和减少工作时的扭转摩擦力，也可改善压缩变形和低温性能。

6．沟槽与圆角

推荐的槽底圆角（r_1）和槽尖圆角（r_2）见表1-2-3。

7．O形橡胶密封圈安装导角

在安装时，为防止O形橡胶密封圈的损坏，一般可采用15～20°的导角（导角长度为z），常用O形橡胶密封圈截面直径与最小导角长度见表1-2-4。

表 1-2-4 O形橡胶密封圈截面直径与导角长度（推荐值）

d_2, mm	1.80	2.65	3.55	5.30	7.00
z_{min}, mm	1.1	1.5	1.8	2.7	3.6

8．O形橡胶密封圈的密封沟槽与配合偶件的直径公差

O形橡胶密封圈的密封沟槽与配合偶件的直径公差如表1-2-5所示。

9．一般径向密封沟槽宽度

一般径向密封沟槽宽度见表1-2-6。

10．不同应用条件的缸孔密封腔体中的沟槽深度

缸孔密封时的沟槽深度见表1-2-7。

表 1-2-5 密封沟槽直径与配合偶件的精度公差（推荐值）

密封直径	d_3		d_4	d_5	d_6		d_7	d_8	d_9	d_{10}
	静态	动态			静态	动态				
配合偶件的精度、公差	h_{11}	h_9	H_8	f_7	H_{11}	H_9	H_{11}	h_{11}	f_7	H_8

表 1-2-6 一般径向密封沟槽的宽度

使用类型 / O形圈断面尺寸 d_2,mm	沟槽宽度 $b^{+0.21}_{+0}$, mm			
	径向静态和动态液压密封			径向动态气动密封
	b	b_1	b_2	b_3
1.8	2.4	3.8	5.2	2.2
2.65	3.6	5.0	6.4	3.4
3.55	4.8	6.2	7.6	4.6
5.30	7.1	9.0	10.9	6.9
7.00	7.5	12.3	15.1	9.3

11．不同应用条件的活塞杆密封中沟槽深度

活塞杆密封中沟槽深度见表1-2-8。

表 1-2-7 缸孔密封时沟槽的深度

O形圈断面直径 d_2 mm \ 应用场合	沟槽深度，mm		
	动态液压密封 t_1	动态气动密封 t_2	静态径向密封 t_3
1.8	1.42	1.46	1.38
2.65	2.61	2.23	2.07
3.55	2.98	3.03	2.74
5.30	4.48	4.65	4.19
7.00	5.95	6.20	8.67

表 1-2-8 活塞杆密封中沟槽深度

O形圈断面直径 d_2 mm \ 应用场合	沟槽深度，mm		
	动态液压密封 t_1	动态气动密封 t_2	静态径向密封 t_3
1.8	1.47	1.57	1.42
2.65	2.24	2.37	2.15
3.55	3.07	3.24	2.85
5.30	4.66	4.86	4.36
7.00	6.16	6.43	5.89

12．轴向密封沟槽宽度和深度

轴向密封沟槽宽度和深度见表1-2-9。

表 1-2-9 不同截面O形橡胶密封圈轴向沟槽宽度和深度（推荐值）

O形圈断面尺寸 d_2,mm	1.8	2.65	3.55	5.30	7.00
沟槽宽度 $b_1^{+0.25}_{-0}$,mm	2.6	1.97	2.75	4.24	5.72
沟槽深度 $h^{+0.25}_{-0}$, mm	1.28	1.97	2.75	4.24	5.72

在固定使用中O形橡胶密封圈沟槽如图1-2-5。固定密封使用中，因为相对运动时可以减轻摩擦，此时沟槽宽度 b 可以窄些。

13．沟槽与压缩量

固定密封用O形橡胶密封圈的压缩率，一般情况下选用15～25%（此数据为经验数据），

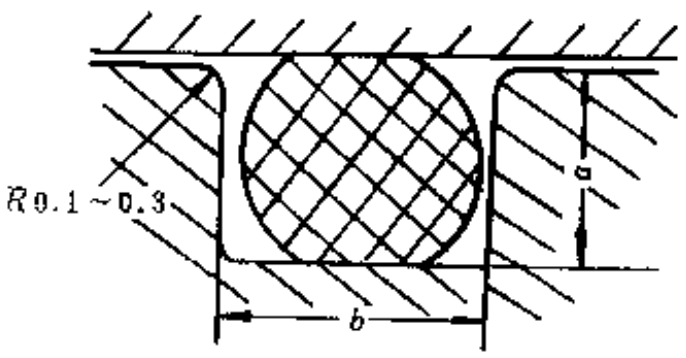


图 1-2-5　O形橡胶密封圈在固定沟槽中的示意

运动密封如往复运动情况下压缩率选用10～12%，旋转运动下一般取3～5%的压缩率，常用O形橡胶密封圈压缩量与沟槽尺寸见表1-2-10。

14．压力与密封间隙

O形橡胶密封圈一般是由压缩所产生的回弹来进行密封的，但随着压力的增加，其被挤入密封间隙而产生形状变化，如图1-2-6。

表 1-2-10　密封用沟槽尺寸及压缩量　　单位：mm

O形圈断面尺寸及公差				1.9±0.08	2.4±0.08	3.1±0.10	3.5±0.10	5.7±0.15	8.6±0.16
轴向固定用	压缩量			0.60～0.40	0.70～0.50	0.85～0.55	0.90～0.65	1.3～0.9	1.6～1.0
	沟槽尺寸		a	1.3～1.5	1.7～1.9	2.25～2.55	2.60～2.85	4.40～4.80	7.00～2.60
			b	2.5	3.2	4.2	4.7	7.5	11.2
			R≤	0.4		0.7		0.8	
运动用	压缩量			0.47～0.28	0.47～0.27	0.54～0.30	0.60～0.32	0.85～0.45	1.06～0.68
	沟槽尺寸	a		1.43～1.62	1.93～2.13	2.50～2.80	2.90～3.18	4.85～5.25	7.54～7.92
		b	不加挡圈	2.5	3.2	4.2	4.7	7.5	11.2
			加一个挡圈	3.9	4.4	5.2	6.0	9.0	13.2
			加二个挡圈	5.4	6.0	7.0	7.8	11.5	17.2
		R≤		0.4		0.7		0.8	

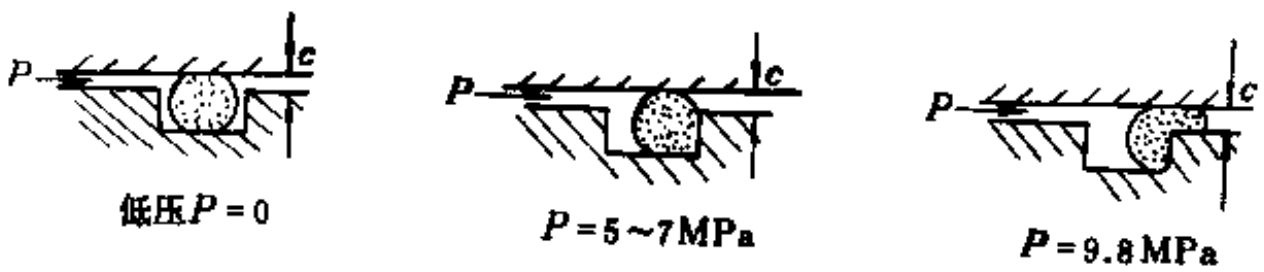


图 1-2-6　O形橡胶密封圈在不同压力下挤入间隙的情况

为了使O形橡胶密封圈具有良好的密封作用和延长使用寿命，必须使O形橡胶密封圈的安装沟槽和密封部位的间隙设计恰当，当间隙过大时O形橡胶密封圈在油压的作用下挤进间隙，造成损伤，从而引起漏损。当工作压力小于9.8MPa时一般不设挡圈，当压力大于9.8MPa时O形橡胶密封圈承压面易被挤出，应加挡圈；若单向受压，在承压面设置一个挡圈，若双向受压则要设置二个挡圈，如图1-2-7所示。

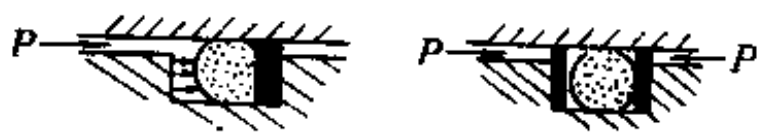


图 1-2-7　不同工作压力下设置挡圈的情况

密封间隙的大小与压力等级、橡胶硬度及O形橡胶密封圈断面的直径相关情况见表1-2-11。

（四）O形橡胶密封圈实用配方举例

O形橡胶密封圈的工作条件、接触介质、温度条件及所受压力不同，在胶料的选择上有

表 1-2-11　O形橡胶密封圈的橡胶硬度与沟槽最大间隙及工作压力的关系

最大间隙(c)　工作压力，MPa / 硬度(邵尔A)	≤3.5	3.5～7	7.0～10.3	10.3～13.7	13.7～20.6
70	0.20	0.125	0.075	0.05	0.02
80	0.35	0.30	0.25	0.2	0.125

不同要求❶。一般是常规温度下，在烃类润滑油和燃油介质中使用，能耐不同压力的丁腈橡胶就可以了，若要求耐高温燃油时就应考虑选用氟橡胶；若是在特低温度下使用，则需用氟橡胶或硅橡胶。现将各种胶料配方举例如下。

1．丁腈橡胶胶料

丁腈橡胶	100	高耐磨炉黑	20
氧化锌	8	邻苯二甲酸二辛酯	10
过氧化二异丙苯	2	防老剂4010NA	1
硬脂酸	1	防老剂MB	1
半补强炉黑	60		

2．三元乙丙橡胶胶料

三元乙丙橡胶	100	促进剂TT	1.5
氧化锌	5	中超耐磨炉黑	60
硬脂酸	1.5	46号机油	5
硫黄	1.5	超速促进剂	1.5
促进剂DM	0.75～1		

3．丙烯酸酯橡胶胶料

丙烯酸酯橡胶	100	乙二胺	1.5
硬脂酸	1.5	石墨	10
耐磨炉黑	40	滑石粉	30
碳酸钙	20	氯乙烯甲醛胺	4
硫黄	0.5	交联剂A-189	1
氧化镁	2		

4．氟橡胶胶料

氟橡胶	100	氢氧化钙	2.5
活性氧化镁	4	喷雾炭黑	15
氧化镁	4	3号硫化剂	2.75

5．硅橡胶胶料

硅橡胶	100	气相白炭黑	50
氧化铁	2	纤维素粉末	10
有机过氧化物	1.5		

6．O形橡胶密封圈胶料物理机械性能

O形橡胶密封圈胶料物理机械性能要求见表1-2-12。

（五）O形橡胶密封圈模型的结构设计

1．设计原则

（1）模型使用时便于胶料的装料，启模方便，产品容易取出。

（2）在保证模型材质强度的条件下，模型越轻越好。

❶ 普通液压系统用O形橡胶密封圈胶料见GB 7038—86；燃油用O形橡胶密封圈胶料见GB 7527—87；耐高温润滑油O形橡胶密封圈材料国家标准也即将颁布。

表 1-2-12　O形橡胶密封圈胶料物理机械性能

性　　能		A　组				B　组			
硬度（邵尔A）		60±5	70±5	80±5	88$^{+5}_{-4}$	60±5	70±5	80±5	88$^{+5}_{-4}$
拉伸强度，MPa ≥		9	11	11	10	9	11	11	10
扯断伸长率，% ≥		300	220	150	100	300	220	150	100
压缩永久变形，%≤									
100℃×24h		35	35	35	35	—	—	—	—
125℃×24h		—	—	—	—	40	40	40	40
热空气老化试验	硬度变化								
	100℃×24h≤	+10	+10	+10	+10	—	—	—	—
	125℃×24h≤	—	—	—	—	+10	+10	+10	+10
	拉伸强度变化率，%≤								
	100℃×24h	−15	−15	−20	−20	—	—	—	—
	125℃×24h	—	—	—	—	−15	−15	−20	−20
	扯断伸长变化率，%≤								
	100℃×24h	−35	−35	−35	−35	—	—	—	—
	125℃×24h	—	—	—	—	−40	−35	−35	−40
耐液体试验	1号标准油(100℃×24h)								
	硬度变化	−3，+7	−3，+7	−3，+7	−3，+7	—	—	—	—
	体积变化率，%	−7，+6	−7，+6	−7，+6	−7，+6	—	—	—	—
	3号标准油(100℃×24h)								
	硬度变化	−10，0	−10，0	−10，0	−10，0	—	—	—	—
	体积变化率，%	0，+15	0，+15	0，+15	0，+15	—	—	—	—
	1号标准油(125℃×24h)								
	硬度变化	—	—	—	—	−5，+10	−5，+10	−5，+10	−5，+10
	体积变化率，%	—	—	—	—	−8，+6	−8，+6	−8，+6	−8，+6
	3号标准油(125℃×24h)								
	硬度变化	—	—	—	—	−15，0	−15，0	−15，0	−15，0
	体积变化率，%	—	—	—	—	0，+20	0，+20	0，+20	0，+20
脆性温度，℃≤		−40	−40	−40	−40	−30	−30	−30	−30

（3）模型开设加流胶槽要适当，离模腔断面半圆的径向距离一般为 0.01～0.05mm，模型配合面要保证研配。

（4）模型的模腔数量要适量，且模腔容易清洗。

（5）模型模腔要具有较高的表面光洁度。

2．模型结构设计的参数确定

（1）胶料收缩率的确定　影响胶料收缩率的有胶料配方、胶料硬度、含胶率、硫化系统等诸因素。胶料收缩率是随着这些因素的变化面变化的。另外，胶料的操作工艺条件不同（胶料混炼时间、存放时间、硫化时间及硫化装备条件等），对胶料的收缩率也有影响。

a．胶料硬度若相同，含胶率大的胶料其收缩率也大。

b．含胶率相同的胶料，其收缩率随着胶料硬度的增加面减小。

c．胶料硫化系统不同时，收缩率也是不同的。用低硫高促硫化体系硫化的胶料的收缩率大于用硫黄体系的胶料，而用硫黄体系硫化的胶料其收缩率大于用过氧化物硫化体系的胶料。

d．胶料胶种不同时，收缩率也不同。胶料的收缩率硅橡胶、氟橡胶>三元乙丙橡胶>丁腈橡胶>氯丁橡胶>天然橡胶。

e．同一配方的胶料，同一结构的密封制品其产品尺寸大的收缩小；产品尺寸小的收缩大。

f．O形橡胶密封圈，如对丁腈橡胶胶料而言，内径收缩率一般为1.5～1.8%，断面收缩率一般为1.8～2.0%。

（2）模型型腔尺寸的确定

a．型腔内径的确定　一般采用式（1-2-2）

$$D_2 = D_1(1+k) \pm \Delta \tag{1-2-2}$$

式中　D_1——产品设计尺寸（标准中的实际尺寸）；

k——O形橡胶密封圈内径收缩率；

Δ——O形橡胶密封圈内径制造公差。

b．型腔断面尺寸及公差的确定　一般采用式（1-2-3）

$$d_2 = d_1(1+k_1) + \Delta_1 \tag{1-2-3}$$

式中　d_2——模腔断面直径；

d_1——O形橡胶密封圈断面直径；

Δ_1——模腔断面制造公差（根据目前加工水平一般取0～0.02mm）；

k_1——O形橡胶密封圈断面收缩率。

O形橡胶密封圈如用于静密封场合时，一般是采用内径宜小不宜大的方法，胶料的收缩率尽可能取小些。

c．模腔断面半圆深浅尺寸的确定　一般180°分型面的O形橡胶密封圈的模型，其断面模腔半圆深度H应等于断面模腔的半径R再减去胶边厚度h的一半，见经验式（1-2-4）：

$$H = \left\{\frac{d_1(1+k)-h}{2}\right\}^{\pm \Delta_2} \tag{1-2-4}$$

式中　H——O形橡胶密封圈断面半圆深度；

d_1——O形橡胶密封圈断面直径；

k——O形橡胶密封圈断面收缩率；

h——预定胶边厚度；

Δ_2——深度公差（取0～0.02mm）。

（3）定位方式　采用无废边模后以销钉定位，使被连接件间不产生轴向、径向和角度的位移，能保证O形橡胶密封圈成品的形状和尺寸。

（4）模孔数的确定　一般O形橡胶密封圈的模孔数的确定是由O形橡胶密封圈断面直径尺寸来选定的，见表1-2-13。大尺寸规格内径的O形橡胶密封圈采用叠模结构（中模可以互换），但模孔应保证同心，模具加工难度稍大些。

（5）O形橡胶密封圈模型的工艺要求　模型用金属材料的选择有以下几个因数。

a．金属材料应具有足够的机械强度，抗冲击力和不易磨损。

b．金属材料应具有良好的机械加工和焊接性能。

c．金属材料应具有好的传热性能，热处理中变形小。

d．金属材料应耐硫化体系在硫化时的物理化学反应多余物或生成物的腐蚀。

e．O形橡胶密封圈的模型一般采用的金属材料为45号碳素钢，模型中的导柱、导套选

用T_8钢。

f．O形橡胶密封圈模型热处理：模型淬火调质，洛氏硬度（HRc）为35～45。

g．O形橡胶密封圈模型的表面处理：模型的粗糙度：型腔为R_a0.8μm以上，模具零件的配合处为R_a1.6μm，外周边为R_a6.3μm，启模口为R_a12.5μm，销钉部分除了两个端面为R_a6.3μm，其余为R_a1.6μm（包括销钉孔在内），芯子和模板配合部分为R_a1.6μm，其余为R_a6.3μm，其它均为R_a12.5μm。

h．配合部位：动配合部位的公差按$\frac{D_3}{dc_3}$，静配合部位的公差按$\frac{D_3}{jc_3}$，一般销钉与模板固定部分为静配合，滑动部分为动配合。

i．一般采用3只不对称位置的导柱定位，导柱、导套定位应用于非轴对称的制品，圆柱、圆锥定位仅适用于轴对称的制品。刀具材料可以选用$W_{18}Cr_4$。

（6）O形橡胶密封圈无废边模型设计原理　按模型中的余胶槽到制品边缘的距离接近于零时，此模型在制品的边缘形成为一把锋利的尖刃面，合模硫化时刀刃把制品与胶边切断，就获得无边的橡胶制品，这是因余胶溢入余胶槽的路程短，阻力小，形成较薄的胶边，在产品硫化好后可以一下撕去余胶槽废边，使成品形成无须修整的完好成品。但采用此种撕边的效果和使用寿命是与许多因素有关的，除模型本身材质的硬度外，与模型加工精度、模型的形位公差、胶料本身的清洁程度、半成品重量的准确度、硫化压机的平整度、启模方式等诸因素都有关系。现以180°分型面无废边模型的机械制图为实例示意O形橡胶密封圈模型的设计原理，见图1-2-8，翻板无废边O形橡胶密封圈模型见图1-2-9。

表 1-2-13　O形橡胶密封圈断面直径尺寸与橡型模孔数的关系

O形橡胶密封圈规格d_1，mm	模孔数，（个）
<20	25
20～40	16
40～50	9
50～65	6
65～90	4
>90	1

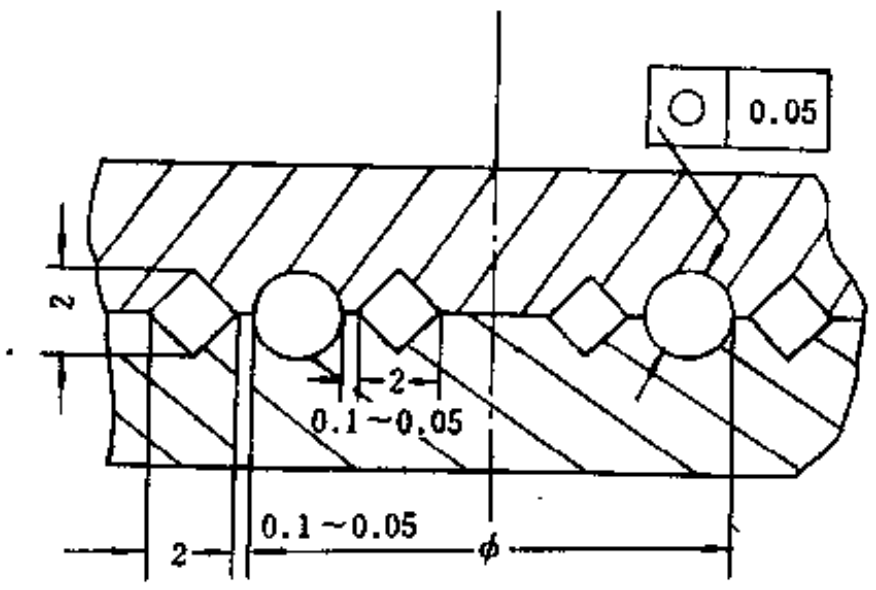


图 1-2-8　O形橡胶密封圈撕边模型刃口加工简示

（六）O形橡胶密封圈的生产工艺

目前，O形橡胶密封圈的使用量越来越多，生产O形橡胶密封圈的模型已从原单模孔的模型式向多模孔发展，并向多模孔无废边模型发展，随着模孔的增加，在硫化过程操作中，半成品的胶料装入就成为劳动强度虽不大但工序繁琐，如一O形橡胶密封圈断面为直径1.9mm，用36孔的模型时，可以用加小方胶料的方法解决半成品胶料的装入，但更大断面直径的O形橡胶密封圈必须采用半成品胶料装入的辅助操作时的工夹具，为了使装卸模过程机械化和缩短辅助操作时间，减轻劳动强度，采用将模型安放在活动板上的方式，用专门的液压启模器或电磁启模器打开模型，并用气动装置从模芯上取下成品的同时装入半成品胶料，又可用喷雾器在模型上喷涂脱模剂，这样的机械装备成的硫化机设备可实现模压硫化自动化。

O形橡胶密封圈的生产一般仍以模压法制造为主，生胶胶料的制造过程是经塑炼、混炼成胶料，再经过滤，胶料压成片状裁切成胶条、胶块，或采用压出机压出成圆条(或胶管)，再切成胶圈经模压硫化，整修成成品。国内有的厂家也采用国外的Barwell预成 型机——自动喂料精密预成型机，来成型O形橡胶密封圈半成品，现就此机械装置简单介绍如下。

该机结构包括：标准电器装置、封闭型及辅助装置（抽真空、带精密温度控制器的循环加热装置）、热稳定控制的油冷却器、自动柱塞停止装置逆计数胶坯计数器、通用型机头、带防护罩的单刀、失效时的切刀停止装置、8档切断速度、胶坯输送带、手工侧向送料装置，如图1-2-10。此机可进行对90、85、70硬度（邵尔A）级试样，内径尺寸为3mm，外径尺寸为190mm的各种规格胶料的连续成型，贮料运输器贮箱的温度控制精度为±3℃，胶坯精度为±1.5%（体积）。以$\phi60\times\phi80\times12$规格的O形橡胶密封圈为例，此机器产量不低于130kg/h，采用精密预成型机后O形橡胶密封圈的半成品精度能得到很大提高，同时又减少胶料在工艺中的流失，不仅能大大节约预成型工段的劳动力，而且还能获得较好的质量和经济效益。

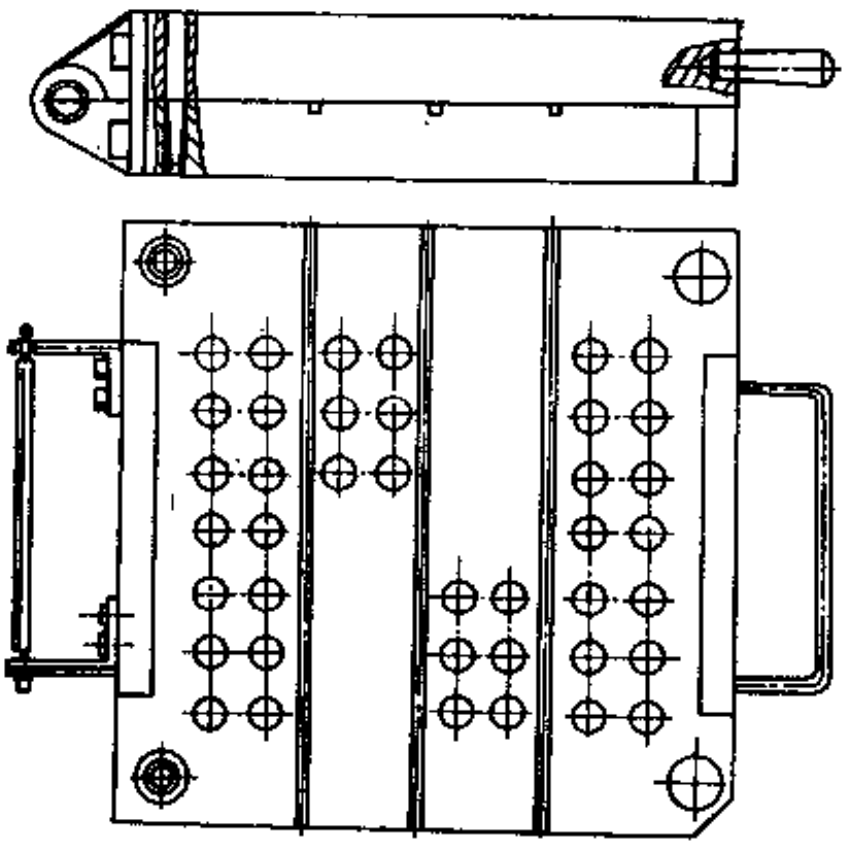


图 1-2-9　翻板式无废边O形橡胶密封圈模型

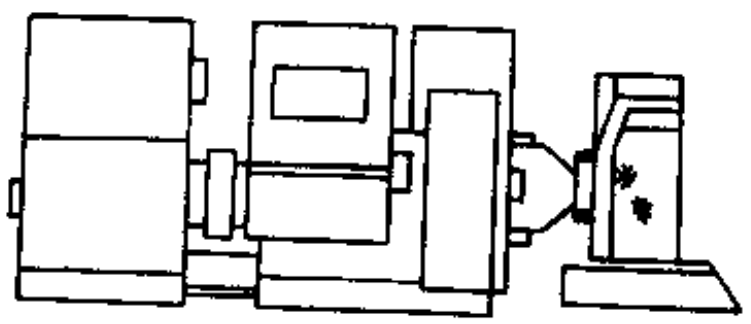


图 1-2-10　Barwell精密预成型机简图

（七）O形橡胶密封圈成品修整

冷冻修边是硫化后的O形橡胶密封圈成品去除废边的一种有效方法，此方法是将O形橡胶密封圈成品放入转鼓冷冻修边机中，在一定低温条件下，其产品废边呈冷硬状，而O形橡胶密封圈的成品本体仍保持一定弹性，随着转鼓的运转，磨料不断冲击磨削，击落成品的废边，去除废边毛刺，在工作完后产品在室温下逐渐升温，回复弹性，经整理清洗即完成修边。但要作冷冻修边的产品其废边是有一定的技术要求的。

（1）厚度要在0.08mm以下，最大不能超过0.1mm。但成品废边的根部由于模具用砂纸清洗模腔，边缘出现倾角而生成凸缘状的产品，即使外口废边在此范围内也不符合冷冻修边的工艺要求。

（2）成品若是在多模孔模型中硫化出成整块状，则不能投入冷冻转鼓中，必须一一单件剪开、撕开，内圆孔废边要给予打通，这样，低温冲击时才能缩短时间，修整效果会更好。一般情况下，冷冻的工作温度应掌握在比胶料脆性温度低10℃，磨料与制品及干冰的配比为4～5:1:1.5～1.6（重量比）为好，例如中硬度O形橡胶密封圈成品、温度为－50℃，磨料-钢珠直径为8～12mm，重量为20～25kg，干冰为5～8kg，制品为4.5～5kg。冷冻修边为后整理工艺，此工艺对胶料性能的影响曾作过对比试验，冷冻后胶料硬度、永久变形、脆性温度、耐寒系数等基本上都无变化，扯断力的变化也在测量允许误差的5%内。

（3）冷冻修边工艺存在的问题及还需进一步探索的课题

a．由于生产O形橡胶密封圈模型及压机精度等尚存在问题，致使产品废边厚度超过冷冻的工艺要求，所以必须在模型精度上能有一个相对的稳定度才能保证和满足冷冻修边上的工艺要求，这就是推广冷冻修边的关键点。

b．为保证产品的精度，对O形橡胶密封圈模型的材质、模型的表面粗糙度、硬度都有一定要求，为克服使用中的变形，一般的模型硬度在洛氏25是无法保证产品质量的。

c．目前致冷剂一般都用干冰，来源于酒精厂的副产品，含水量大的干冰影响冷冻修边效果，如改用液氮可解决问题，但成本较高。

d．冷冻修边工艺后成品还必须有辅助工序，如需清理、洗涤，因而仅减少了人工操作，节约了劳动力，但在工序上并未简化。

目前国内厂家为保证成品精度一般使用无废边模具，但使用无飞边模脱出的成品还须机械抛光。用车床车削成与成品大小规格不同的尼龙棒，把无飞边模硫化后的成品套上，再在尼龙棒上卷上晶相砂纸，二者相对运转除去多余的废屑，以达到成品的精度。也有用布作成飞轮辊子将套有O形橡胶密封圈的尼龙棒靠上，抛光去除残余的成品废屑的。

（八）O形橡胶密封圈成品的检测

1．断面直径检测

常用的方法是将O形圈成品在自然状态下固定，放在聚光灯下按轴线方向完成环形断面的切割，放大20倍进行测量，至少要在两个切割成垂直断面直径上完成两次测量，看断面直径是否符合标准要求。

2．外径测检

用千分尺或游标卡尺进行内、外径的检测，但须防止接触压力，否则会引起O形橡胶密封圈的变形，造成测量误差较大。

3．外观检测

O形橡胶密封圈应无任何有损于使用的缺陷（杂质、填料分散不匀、有孔等），用2.5～3倍的放大镜对成品表面缺陷进行目测。具体的外观质量检验标准见GB 3452.2—87。

4．成品物性试验检测

对O形橡胶密封圈的成品作压缩应力松弛的测定，拉伸性能的测定，硬度测定（以微硬度计测之），模压收缩率测定，热空气老化试验，恒定压缩永久变形的测定，耐液体试验等。详情见GB 5720—85“O形橡胶密封圈试验的标准方法”。

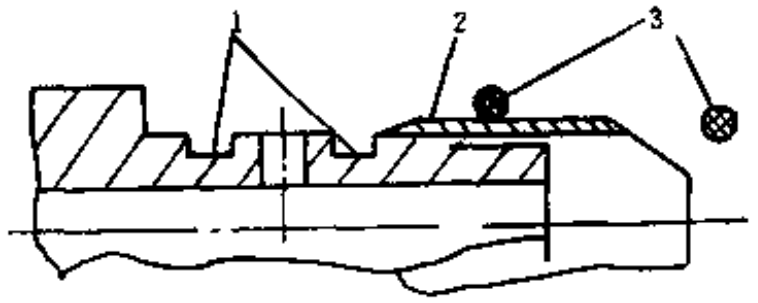


图 1-2-11　O形橡胶密封圈安装用专用工具

1—密封沟槽；2—光滑套管；3—安装前O形橡胶密封圈

（九）O形橡胶密封圈安装注意事项

为保证O形橡胶密封圈的密封效能，必须要保证装配质量，可采取以下的措施。

（1）在装配件有螺纹和棱角部分时，装配中容易损坏O形橡胶密封圈，故采用装配专用工具如光滑的套管，如图1-2-11。

（2）在油缸和活塞杆端部有必要设有锥形，中间部位有孔时应特别将这部分棱角彻底清除；若活塞杆端部有螺纹时，应将该处螺纹直径略加减小，当活塞杆插入密封圈时，要特别小心螺纹顶端不可损伤O形橡胶密封圈，推荐导入角一般为15～20°，密封沟槽棱角部分的设计如图1-2-12。

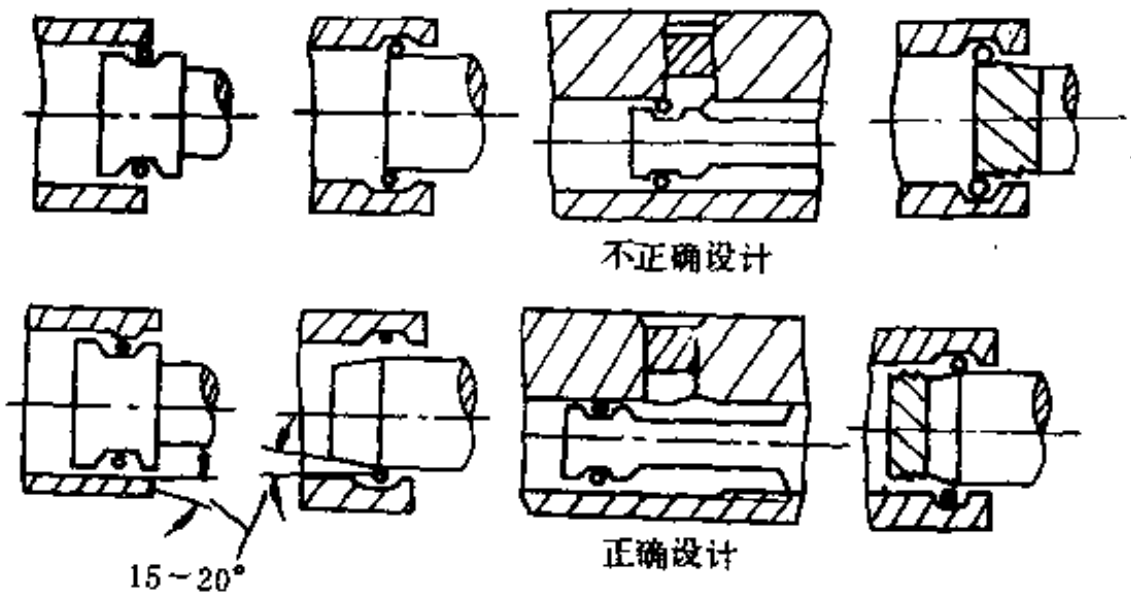


图 1-2-12　密封沟槽棱角部分的设计

（3）装配前O形橡胶密封圈最好在液压油中先浸一下。

（4）O形橡胶密封圈应严格选用不要随便代用近似规格，特别是用于动态下径向密封使用的场合。

（十）O形橡胶密封圈应用中常见的漏油现象

O形橡胶密封圈漏油原因及改进意见汇总见表1-2-14。

表 1-2-14　O形密封圈圈油原因及改进意见

常见疵病	产　生　原　因	改　进　意　见
泄　漏	1.安装时损坏即配偶件的棱角过孔时划伤 2.压缩量过小	1.安装时将壳体的端部加工为倒角（如图1-2-12），以保证安装时O形橡胶密封圈不受剪切而损坏 2.适当增加压缩量
大泄漏	1.O形橡胶密封圈失去弹性 2.O形橡胶密封圈表面遭受严重摩擦损坏 3.O形橡胶密封圈过度收缩 4.O形橡胶密封圈受油腐蚀、溶胀 5.间隙值太大，O形橡胶密封圈被挤出 6.O形橡胶密封圈断面直径单边粗细不匀造成运动时扭曲破坏	1.提高O形橡胶密封圈材料性能，延长使用寿命 2.适当提高O形橡胶密封圈胶料硬度，减少摩擦系数 3.动态使用时，O形橡胶密封圈内径应比轴径稍大 4.提高O形橡胶密封圈胶料的耐油性 5.减小间隙值 6.加强O形橡胶密封圈模型的尺寸控制和产品检验
O形橡胶密封圈早期损坏	1.O形橡胶密封圈过度拉伸，过早发生断裂 2.安装时损坏 3.压缩量过大，严重摩擦或剪切 4.选用O形橡胶密封圈或沟槽尺寸不妥	1.动态下使用时使O形橡胶密封圈内径比轴径稍大 2.安装时采用金属导套 3.减少压缩量 4.正确选用O形橡胶密封圈和沟槽的配合
低温泄漏	O形橡胶密封圈在低温下失去弹性	提高O形橡胶密封圈胶料的耐寒性
过度摩擦	1.压缩量太大 2.O形橡胶密封圈溢出或耐油差，过度溶胀	1.减少压缩量或矫正沟槽尺寸提高金属表面的光洁度 2.采用挡圈防止O形橡胶密封圈溢出或提高O形橡胶密封圈材料的耐油性

二、旋转轴唇形密封圈

具有柔性唇、并带有金属骨架支撑的靠密封刃口施加给轴的径向力以防止泄漏的密封圈，

人们习惯上把这种旋转轴唇形密封圈叫做油封。

（一）分类

油封的分类形式如下：

（1）按轴的运动状态分类——高速，低速；

（2）按密封流体的种类分类——气体密封，流体密封；

（3）按密封流体的压力分类——低压，高压；

（4）按尘埃情况分类——带防尘唇和不带防尘唇；

（5）按密封壳体的材料分类——外铁壳式，夹布式；

（6）按本体结构分类——有骨架，无骨架，复合式；

（7）按密封状态分类——外向密封，内向密封；

（8）按形态分类——S形，U形，筒形，迷宫型等。

目前国内已属国家标准化的定型形式如下（见图1-2-13）：

（1）内包骨架的旋转轴唇形密封圈（图(a)）；

（2）外露骨架旋转轴唇形密封圈（图(b)）；

（3）装配式旋转轴唇形密封圈（图(c)）；

（4）有副唇内包骨架旋转轴唇形密封圈（图(d)）；

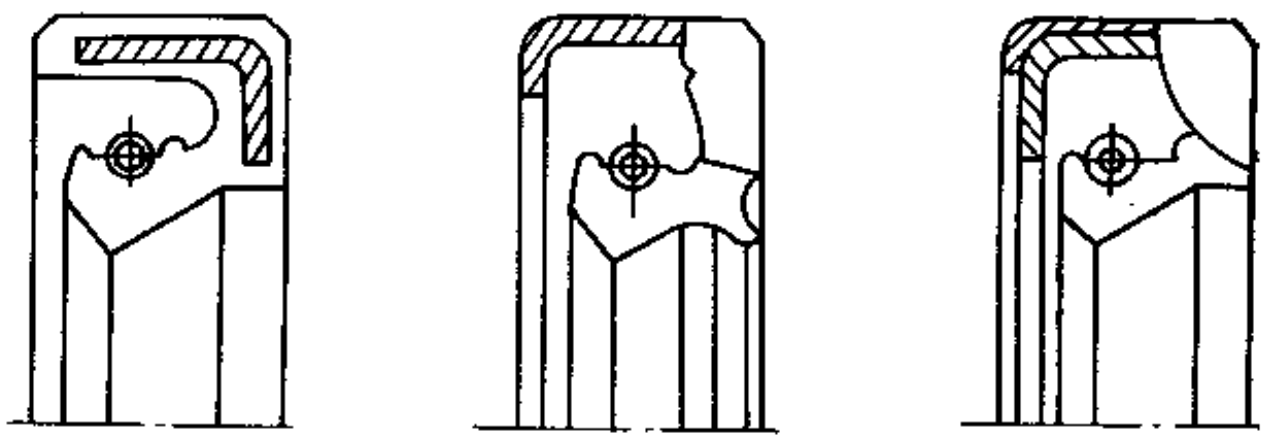
（5）有副唇外露骨架旋转轴唇形密封圈（图(e)）；

（6）有副唇装配式旋转轴唇形密封圈（图(f)）；

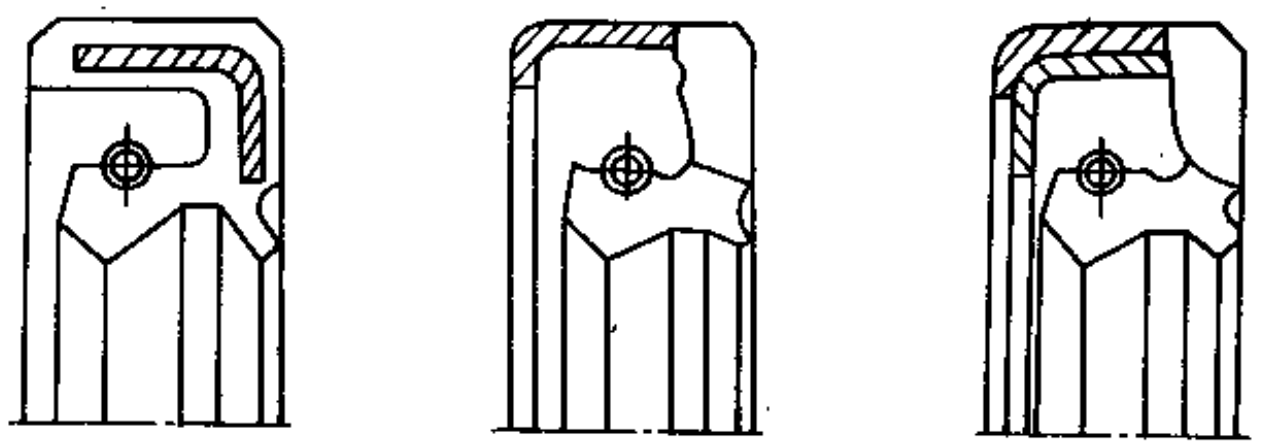
（7）流体动力型旋转轴唇形密封圈（图(g-1)～图(g-12)）；

（8）无骨架旋转轴唇形密封圈（图(h)）。

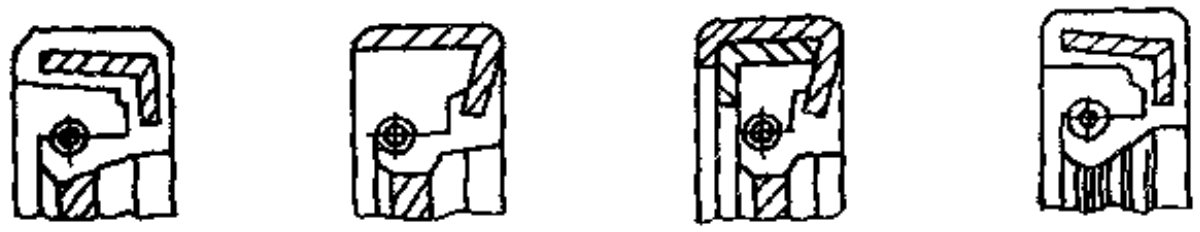
各类油封的形状和用途如表1-2-15。



(a)　(b)　(c)

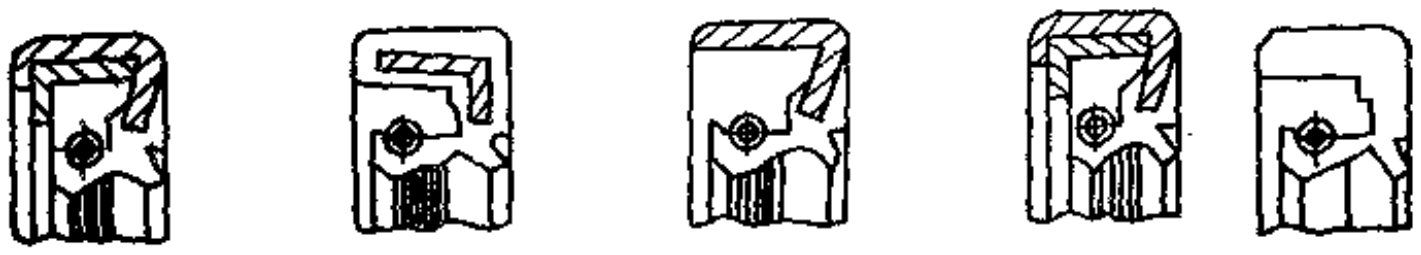


(d)　(e)　(f)



(g-1) (g-2) (g-3) (g-4)

(g-5) (g-6) (g-7) (g-8)



(g-9) (g-10) (g-11) (g-12) (h)

图 1-2-13 标准化定型的旋转轴唇形密封圈形式

（二）密封机理

关于旋转轴唇形密封圈的密封机理目前没有一种确认的理论，但大致上可分两种，即境界润滑密封理论和表面张力密封理论。

1．境界润滑密封理论

根据境界润滑理论，就是将旋转轴唇形密封圈套在轴上时，旋转轴唇形密封圈唇口与轴形成0.1mm的接触带，由于密封唇口对轴产生如图1-2-14所示的径向力（接触压力）分布，可以发挥成无限小的接触宽的轴承或几何学线接触的效果，在这个径向力的最大处附近，油的一些分子具有排列成塑性体或半固体的性质，即所谓境界油膜（根据油的种类，此油膜的厚度不同，约在0.1μm以下），以防止润滑剂向外流动（漏油），一旦境界润滑薄膜被破坏，便形成流动油膜而产生漏油，按照这个概念，必须重视旋转轴唇形密封圈对轴的径向力分布的尖锐度。

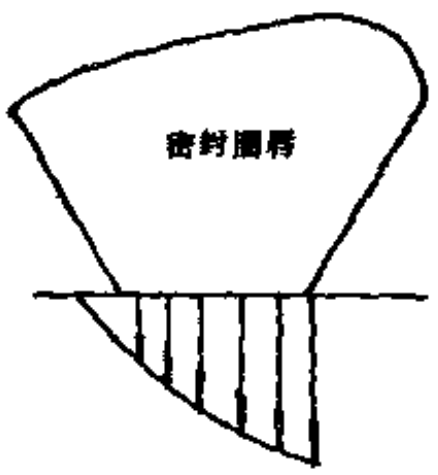


图 1-2-14 唇口压力分布图

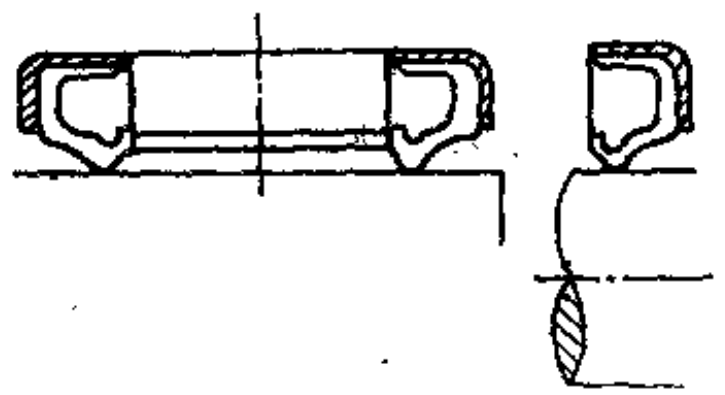


图 1-2-15 油膜厚度测定示意图

表 1-2-15 各类油封的形状和用途

型式及形状	用途	型式及形状	用途
	普通油封，在灰尘和杂质比较少的场合使用		普通油封，设有防尘唇口，在外部有灰尘和杂质的场合使用
			
			普通油封，有防尘唇口
	专用于润滑脂和防尘的油封		润滑脂，防尘专用密封油封
			高速旋转轴用单向回流油封
	轴径φ100以上的大型油封，在灰尘和杂质少的场合下使用		轴径φ100以上的大型油封，有防尘唇口并带有加强金属环
	轴径φ300以上的大型油封，在灰尘和杂质少的场合下使用		轴径φ300以上的超大型油封，有防尘唇口并带有加强金属环

2．表面张力密封理论

这个理论如图1-2-15所示。按照旋转轴唇形密封图的断面形状，用断面密封进行试验。

（1）油膜厚度按给定润滑剂加压至漏出的油量来计算，

$$h = \left(\frac{12^2 Q\mu}{\frac{dP}{dx}} \right)^{1/3}$$

式中 Q——流量；

μ——油的粘度；

$\frac{dP}{dx}$——压力 P 沿 x 方向的变化。

（2）由轴与旋转轴唇形密封圈的摩擦计算油膜厚度：

$$h = \frac{v \cdot A}{F}\mu$$

式中 v——速度；

A——接触面积；

F——作用力；

μ——油的粘度。

（3）用导电度大的橡胶作成旋转轴唇形密封圈，旋转轴唇形密封圈和轴之间形成电容器油膜当作介电体，根据油膜的厚度利用电压的变化来测定油膜。

根据上述三种方法，测得的油膜厚度的结果分别如图1-2-16所示。发现了比境界油膜还厚的流体油膜，这个油膜是由于毛细管现象及机械振动使油楔入旋转轴唇形密封圈和轴之间而产生的。

此后，进行的实验如图1-2-17。当给漏油量大的旋转轴唇形密封圈加负荷时，漏油量逐渐减少，进入密封状态。尽管这样，唇口尖端的油膜不能急剧被切断，油膜厚度随负荷的增加而逐渐变薄，当油膜达到一定厚度时，就能防止漏油，所以根据表面张力及凹凸面便可进行密封。

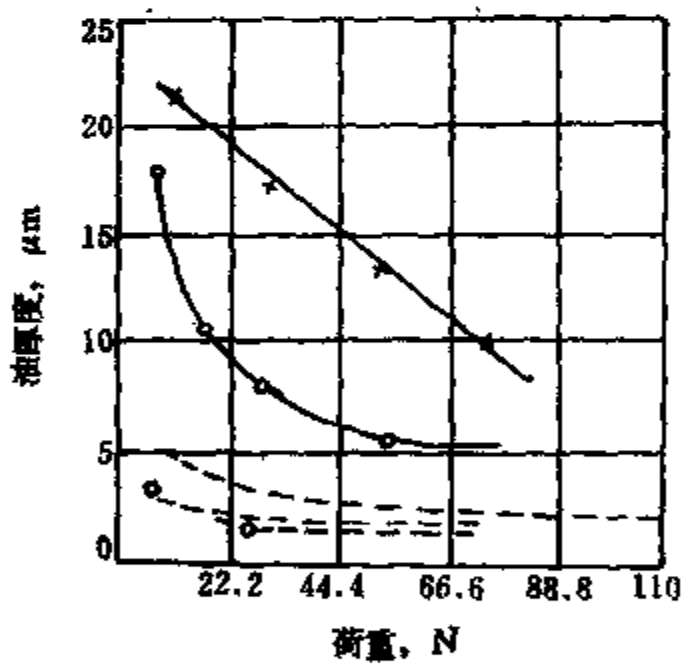


图 1-2-16 油膜厚度测定结果

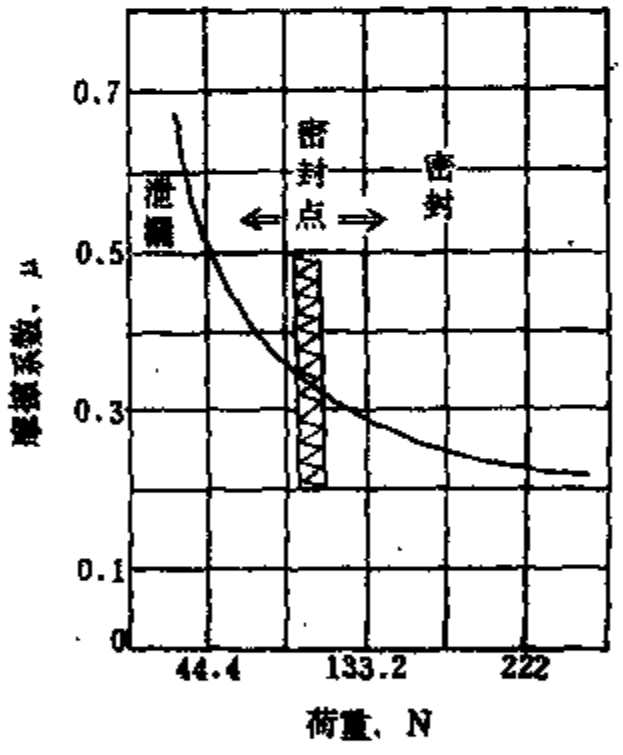


图 1-2-17 给油封加负荷的试验

关于旋转轴唇形密封圈的密封机理，目前尚无定论。但从历来的实验数据认为旋转轴唇形密封圈和轴之间，同时并存着“境界”、“流体”和“干燥”三种润滑状态，有时分别存在或局部经常变化，这种润滑状态本身并不是决定密封机理的主要因素。密封与否应由唇与轴之间存在的润滑剂油膜压力的流动力、旋转轴唇形密封圈唇口表面的光洁度以及对流体的附着力和一定的流体阻力一并加以平衡来考虑。

近年来我国生产的沟槽流体动力轴用密封圈，其密封原理如下：在密封唇空气侧，特制带有倾斜状或与唇口呈一定夹角的平行凸棱等某种不同几何形状的条纹，使唇口与旋转轴保持良好的接触状态；当轴在正反方向旋转时，能将渗漏出的油泵吸回油腔而不泄漏，以形成

"泵吸效应"，起到回油和优异的防漏密封作用。

使用这种结构的唇形密封圈，因为唇部有油流动，可起到密封与润滑的统一，降低了唇部工作温度与摩擦磨损，寿命比其它同类产品成倍提高。并且，它对金属轴的加工要求可降低，能适应0.25mm的偏心量，并适应较高的线速度和苛刻使用条件的场合。

（三）结构设计

结构包括结构形式和结构参数。结构形式和结构参数是不同的概念，结构形式即结构几何形状。它由：

① 配件和安装要求决定，例如外露骨架，内包骨架，组合骨架等；

② 由所密封介质情况决定，如双唇口、单唇口等；

③ 由使用条件决定：单向动压、双向动压、带、挡片形、封水形等。

结构参数依据以下四个方面决定：

① 工作情况参数：转速油温、介质、压力、配合件、精度等级、偏心、径向跳动等；

② 性能参数：径向力、摩擦扭矩、弹簧参数；

③ 胶料性能参数：拉伸强度、伸长率、硬度、变形、弹性等；

④ 剖面结构参数：唇前角、唇后角、唇口夹角、唇口过盈量、腰部厚度、唇口宽度、高度等。

1．主体结构

目前我国已有旋转轴唇形密封圈的结构尺寸系列，其中包括内包骨架和外露骨架、装配式三种旋转轴唇形密封圈的结构系列，每种类型中又分为两种型式——主唇口和副唇口，总共六种。基本上包括了普通结构旋转轴唇形密封圈的各种形式的截面结构参数（可参阅GB 9877—88，GB 9879—88）旋转轴唇形密封圈的设计除截面参数外还有金属骨架和弹簧。

2．金属骨架

金属骨架的作用是加强旋转轴唇形密封圈的结构刚性，其配置方式视产品工作条件、装配条件而定，一般为外露、内包、组装等形式。在使用于非腐蚀介质时用08 F钢板或一般冷轧钢板，在密封酸碱类腐蚀介质时，应采用不锈钢板或涂以防腐性涂层进行保护，钢板的厚度一般为0.3～2.5mm，根据产品规格尺寸和刚度要求而定。金属骨架材料的设计尺寸及公差见GB 9877—88、GB 9879—88。一般用规定厚度材质的钢板冲压加工、冲挤成型或钢管车制加工，通常在保证装配密封圈不变形的前提下尽量减薄骨架厚度，以利加工成型和减轻制品重量。作为外露骨架除满足上述对内包骨架的要求外，同时还要考虑外露骨架外径与腔体的配合，所以加工要求较严，需要作整形处理，或在此基础上进行磨削及其它工艺手段的加工，对于冲压的外露骨架，其毛胚外径应大于基本外径，大于量应视冲压的外露骨架的精度和变形情况而确定，理想情况是直接冲压的外露骨架外径就等于基本外径而不须进行二次加工。

对于装配式旋转轴唇形密封圈的外骨架要求与外露骨架的油封要求基本相同，不同之处是骨架的厚度有所减薄，这是考虑了装配式还有内骨架起补强作用。对骨架要求是第一应要保证能顺利地装入外骨架中，第二应保证不影响主密封唇的正常活动，最后是装配后外径应均匀、光滑，满足宽度要求。

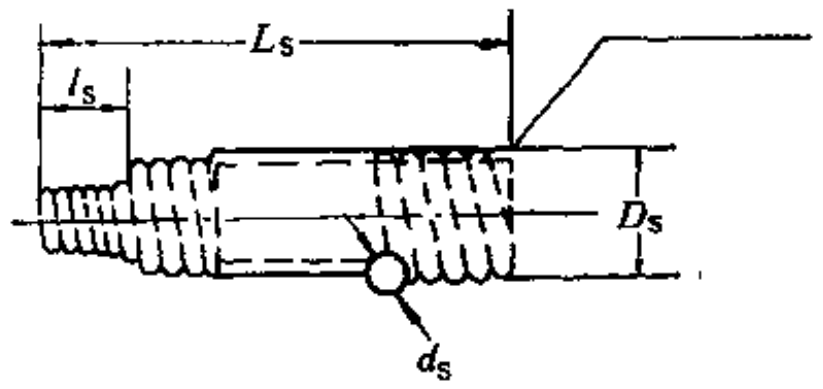
3．紧箍弹簧

（1）作用　紧箍弹簧对旋转轴唇形密封圈提供径向力。橡胶密封唇加弹簧后，在使用中有一个相当长的时间内保持径向预应力，这个力大大超过了过盈量所产生的抱紧力，所以

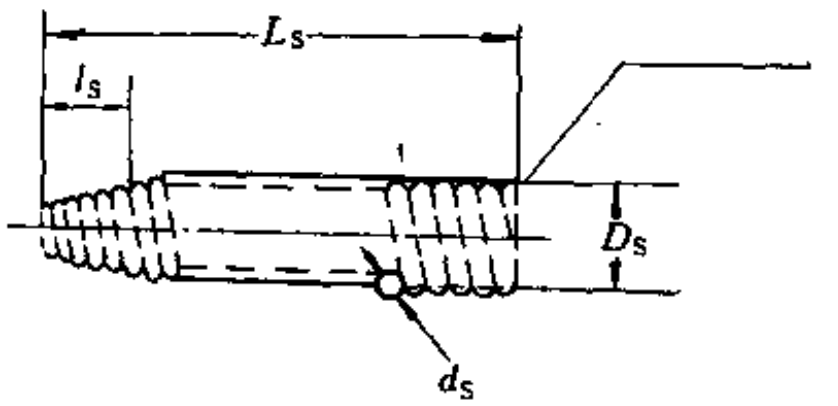
旋转轴唇形密封圈的密封性能是与弹簧本身的性能分不开的，故弹簧是个关键部件。

（2）材质　大多采用65～75号碳素钢丝，或65Mn钢经高温定型处理、防锈处理，对在腐蚀环境下应采用不锈钢丝或镀铬钢丝、磷铜丝等。

（3）型式　以钢丝绕制而成的螺线型圆柱状环形弹簧分A、B两型，如图1-2-18所示。



A型　以圆柱接头为主的弹簧



B型　以锥型接头为主的弹簧

图 1-2-18　弹簧绕制型式

L_S—弹簧自由长度；l_S—弹簧接头长度；D_S—弹簧外径；d_S—弹簧丝直径

弹簧的设计主要依据是根据弹簧应提供的径向力和弹簧直径而定，一般钢丝直径和弹簧截面直径之比以5～6来确定为合理。

弹簧的初张力要求一般控制为当100mm长的弹簧上初张力的名义值为1.5N时允许公差为±0.5N，钢丝被加工成弹簧之后其弹簧尺寸和公差控制如GB 9877.1—88。

4．加工及热处理

弹簧钢丝在室温下卷绕，在此状态下弹簧钢丝断面处于不同位置，其变形也不一致，外部受拉，内部受压，加压后存在一定的变形应力，致使弹簧尺寸不稳定，弹性波动，若钢丝在拉拔处理中有拉毛现象，则绕制加工的弹簧在成圈时有明显的波纹状，影响密封效能，加工中应尽力避免，故经绕制好的弹簧需进行热处理。

弹簧热处理方法是将豆油或2号过热汽缸油加热至温度240～260℃，放入弹簧加热30min，然后取出冷却，使弹簧表面组织产生一层起防锈作用的油膜，达到防锈效果。或是将绕制的弹簧在防锈油中加热浸渍作应力回火和防锈处理。

（四）影响油封使用性能的因素

旋转轴唇形密封圈是一种较复杂的橡胶件，材质和结构的不同对其密封性和工作寿命有很大的影响，对使用性能有关的一些因素分述于下。

1．结构设计因素

在进行油封结构设计时，必须要对油封进行选型，这就要设计者充分了解使用条件。

（1）使用油封的机械类型、油封的安装部位及其周围环境情况。

（2）轴的直径和公差、旋转速度和方向、安装方向、水平度、偏心度、轴的工作状况是间断或连续、是往复还是旋转、轴的材质、表面硬度、光洁度、表面加工方法、轴的跳动量、轴对径孔和壳体的偏差。

（3）壳体的直径及公差、宽度、材质和表面光洁度。

（4）润滑方式是油溶式、循环式、飞沫式还是点滴式，使用的是润滑油还是润滑脂。

（5）被密封流体的类型是介质油还是商品用油、是水还是泥浆等，用量为全浸轴，还是半浸轴，压力的高、低，温度的高、低。

只有充分掌握油封使用的工作状况后才能选择适合的类型，作出合理的参数选择。

2．材料选择因素

油封使用时受被密封的流体介质的浸蚀和溶胀是一个很重要的问题，制造油封常用丁腈橡胶、丙烯酸酯橡胶、氟橡胶、硅橡胶，它们对流体介质在温度、压力下都有不同程度的敏感性，其性能比较见表1-2-16和表1-2-17。无论用哪一种橡胶作为材质时，在配合的硫化橡胶一旦浸润于被密封的油中，由于分子间的引力作用（借助于橡胶分子与油的亲和性），油充满橡胶，同时硫化胶中的增塑剂、防老剂、硫化促进剂及其分解生成物会从配合橡胶的内部被抽出，若渗入的油比从橡胶内部被抽出的油的可溶成分多时，橡胶材料就会膨胀，反之收缩。收缩过大使唇口和轴的过盈量减小，使随动性下降。另外，在油封的外圆为橡胶型的油封上，油封外圆与壳体上的座孔间的过盈量减小，油封在壳体孔内旋转，从而成为外周漏油的原因。配合橡胶膨胀过大，会使其机械性能及尺寸发生变化，以致油封不能使用。据一般经验认为配合橡胶材质应以稍微有些膨胀、微量膨胀，可给油封的密封性能带来较好的结果。

表 1-2-16　四种橡胶的耐介质性能

介质种类 \ 橡胶材料	丁腈橡胶	丙烯酸酯橡胶	硅橡胶	氟橡胶	介质种类 \ 橡胶材料	丁腈橡胶	丙烯酸酯橡胶	硅橡胶	氟橡胶
ASTM 1 号润滑试验油	优	优	优	优	汽油	优	良	可	优
ASTM 2 号润滑试验油	优	优	优	优	灯油	优	良	可	优
ASTM 3 号润滑试验油	优	优	优	优	JP-4（喷气机燃料）	优	良	可	优
ASTM 4 号润滑试验油	良	优	可	优	钙结润滑脂	优	优	优	优
燃料试验油　A	优	良	可	优	底盘润滑脂	优	优	优	优
燃料试验油　B	优	良	可	优	纤维状润滑脂	优	优	优	优
SAE　20号	优	优	良	优	轴承润滑脂	优	优	优	优
SAE　30号	优	优	优	优	硅润滑脂	良	良	优	优
SAE　90号	优	优	优	优	合成油脂	良	良	优	优
发动机油	优	优	优	优	DC-200硅油	优	优	优	优
主轴油	优	优	良	优	苯	可	可	可	优
机械油	优	优	优	优	煤油	优	可	可	优
轻油	优	良	可	优	甲苯	可	可	可	优
透平油	优	优	优	优	二甲苯	可	可	可	优
液压变压器油	优	优	良	优	氯乙烯	可	可	可	优
柴油	优	优	优	优	三氯乙烯	可	可	可	优
电机油	优	优	优	优	丙酮	可	可	良	可
汽缸油	优	优	优	优	甲基乙基甲酮	可	可	良	可
汽缸变速器油	良	优	良	优	甲基异丁基甲酮	可	可	良	可
极压润滑油	良	优	可	优	四氯化碳	优	可	可	优
GL-4齿轮机	良	优	可	优	丙烷	优	优	良	优
MIL-L-2105B	良	优	可	优	丁烷	优	优	良	优
ML-L-5606	优	优	良	优	醇类	优	可		良
MIL-L-7808	良	良	优	优	30%氨水	优	可		可
石油系液压油	优	优	优	优	浓石碱水	优	良		优
磷酸酯系液压油	可	可	优	优	乙二醇	优	良		优
防护及润滑用特殊液压油　500号	可	可	优	优	氟利昂-12	优	可		优
防护及润滑用特殊液压油　700号	可	可	优	优	水	优	可		优
二脂系合成油	良	良	优	优	浓盐水	优	优		良
制动器油	良	可	可	良	耐酸性	优	良		可
动植物油	优	可	优	良	耐碱性	良	可		良
汽油（高辛烷值）	优	良	可	良					

表 1-2-17　四种橡胶在密封油中的性能和用途

材料名称	适用温度范围	特性	用途
丁腈橡胶	-40～120℃	耐油、耐磨、机械强度大	广泛用于一般油封、脂封燃料系油封、减震器油封，在内燃机变速器中使用
丙烯酸酯橡胶	-20～150℃	耐热、耐高温、耐药品	作耐热、耐温用油封，在高温齿轮油接触的严酷条件下使用
氟橡胶	-40～200℃	耐热、耐高温油性、耐药品性	作高温严酷使用条件的油封，耐化学药品性的密封
硅橡胶	-100～250℃	耐热、耐寒、压缩、变形小	作高温下高速用密封、-60℃下密封的油封

橡胶的膨胀和收缩，除受被密封油的基油的组成、粘度影响以外，还受润滑油中的添加剂的影响，一般指定粘度的油的组成和添加剂的选择取决于润滑油制造厂，至于对橡胶的影响都未作充分的考虑。图1-2-19所示为四种橡胶为基材的油封受发动机油粘度的影响情况，一般随油的粘度下降，膨胀增大。表1-2-18表明油中添加剂对四种橡胶基材油封机械性能的影响。因此，除增粘剂和清净剂外，所有添加剂对特定的橡胶材料都有影响。

表 1-2-18　润滑油中添加剂对橡胶的影响

橡胶材质		丁腈橡胶	丙烯酸酯橡胶	硅橡胶	氟橡胶
添加剂	增粘剂	○	○	○	○
	摩擦调节剂	○	○	▲	▲
	防老剂	Ⓢ	○	▲	▲
	耐磨剂	Ⓟ	○	▲	▲
	清净剂	○	○	○	○
	分散剂	○	▲	○	▲
	防锈剂	○	○	▲	○

条件　丁腈橡胶　120℃×70h
丙烯酸酯橡胶
硅橡胶　150℃×70h
氟橡胶　170℃×70h

注

评介	橡胶硬度	体积变化	伸长率变化
无影响	○	○	○
影响小	▲	▲	▲
影响大	Ⓗ	Ⓥ	Ⓔ

图1-2-20是四种橡胶材质作的油封在不同粘度发动机油中进行旋转台架试验中油封唇对磨耗的影响情况。

因此，降低润滑油的粘度对油封来说是一种技术性的改进，在大量实用中还得依靠制造设计者和使用部门及润滑油制造部门之间加强合作才能提高密封效能。

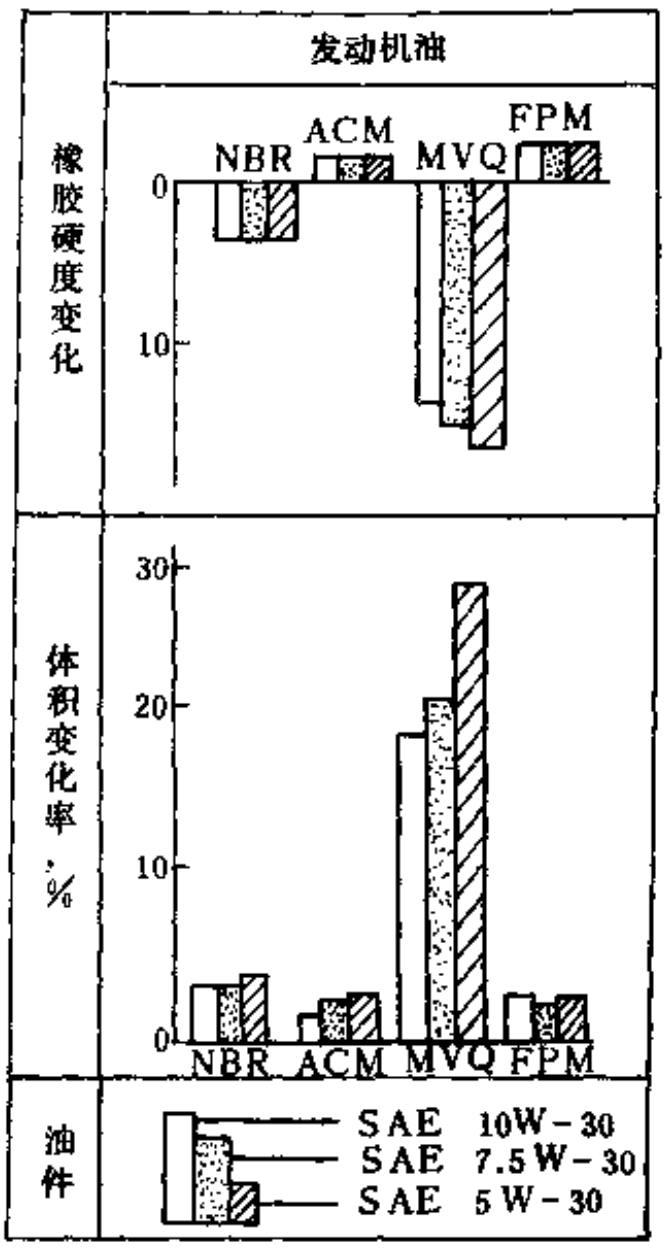


图 1-2-19 被各种油浸后四种橡胶材料特性的变化

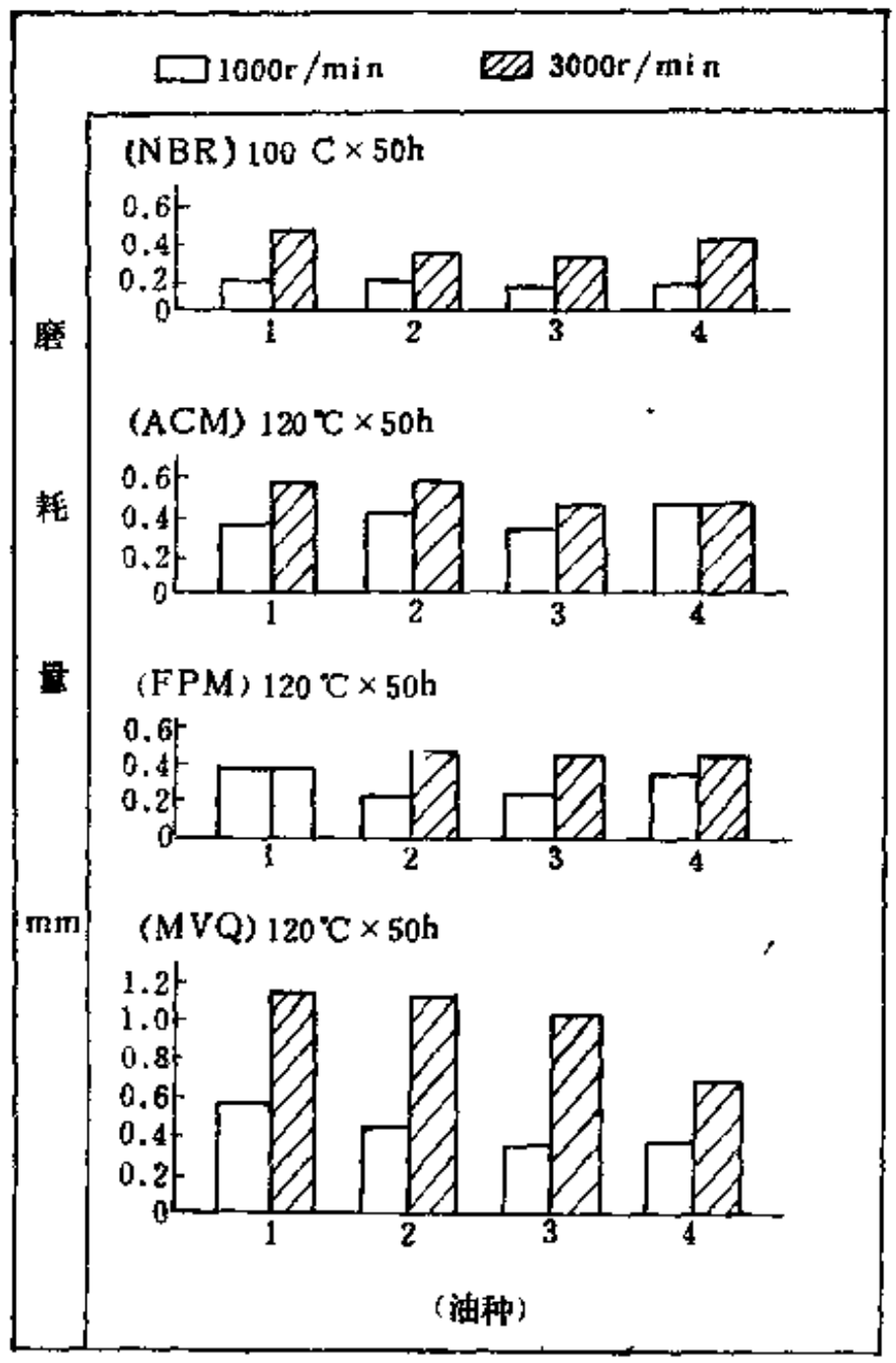


图 1-2-20 各种油浸渍后油封的磨耗试验结果

注：轴的外围偏摆0.2mm

油值	No	1	2	3	4
	SAE No	10W-30		7.5W-30	5W-30
	FM 四氯化钛	有	无		

3．油封使用时的装配因素

油封如果在保管和使用时装配不当，也是影响使用性能的因素之一，一般应按下面方法进行装配和保管。

（1）在保管中要防止灰尘、生锈和变化，不能直接受阳光照射，更不能受压和用绳或铅丝等捆扎。

（2）在装配中和油封相配合的油封座端面要有15～30°的倒角，如图1-2-21所示。

座孔不允许有损伤，底面圆角R不大于0.5mm，油封座的配合公差有一定要求，为了保证装配位置正确，在座孔前部设有台肩，如图1-2-22所示。

（3）若油封座像轴承盖那样，必须保证座孔中心与汽缸体主轴颈孔中心一致，如图1-2-23所示。

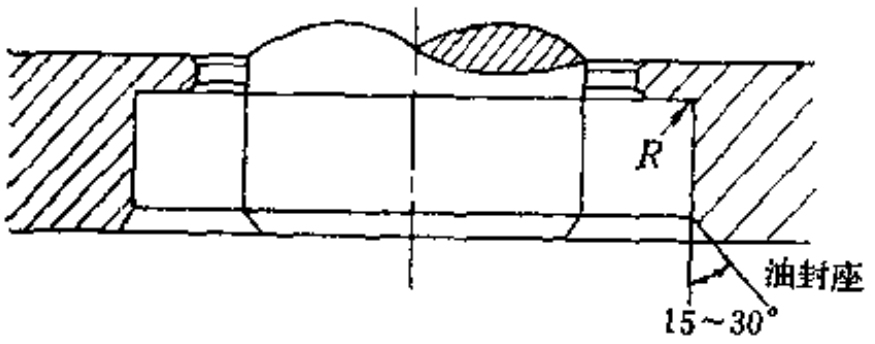


图 1-2-21　油封座端面倒角示意图

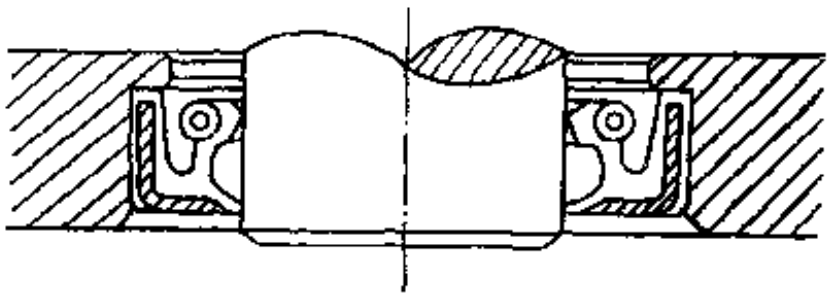


图 1-2-22　油封座孔前部台肩示意图

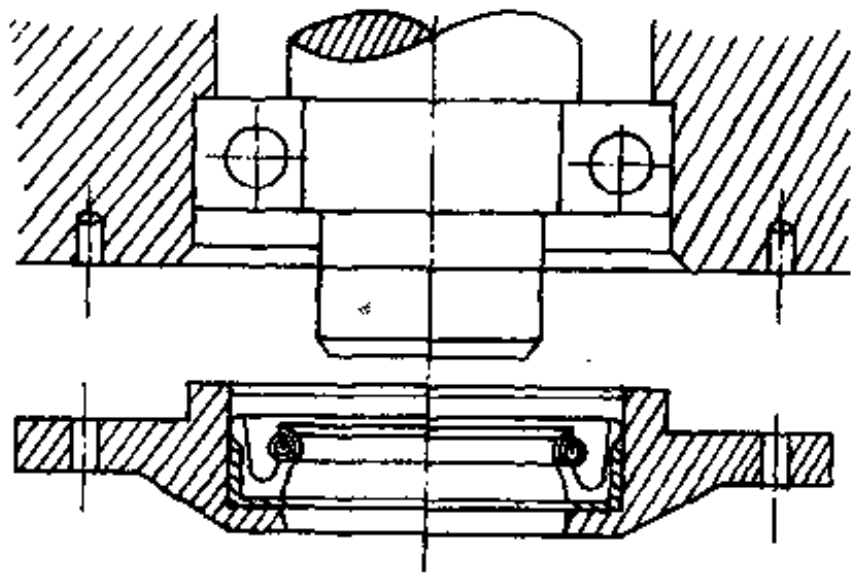


图 1-2-23　油封座孔与主轴颈孔的正确装配示意图

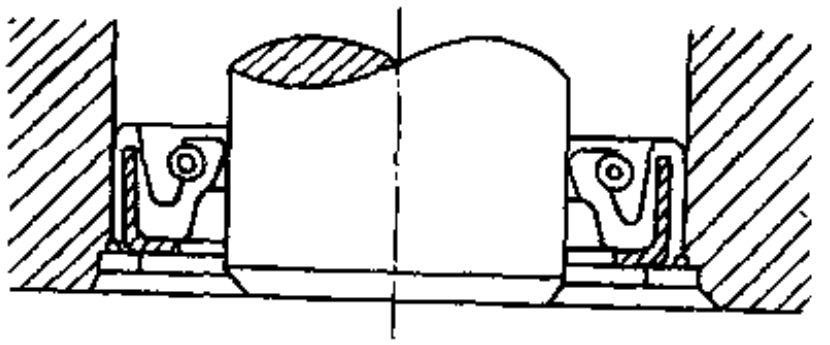


图 1-2-24　油封座孔后端挡环装配示意图

（4）如内部有压力的情况下，则油封易跑出来，所以要在油封座孔后端装有挡环，如图1-2-24。或直接做出台肩，如图1-2-25。

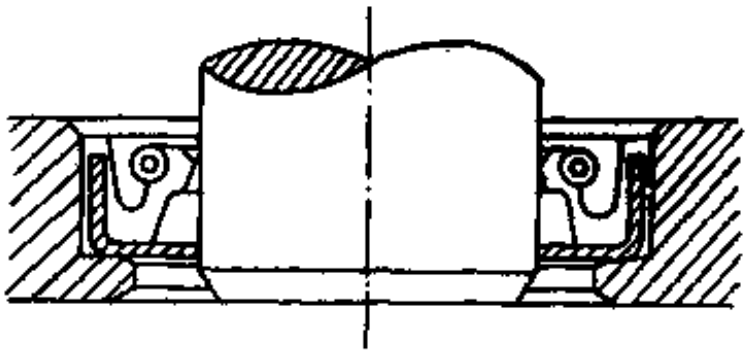


图 1-2-25　油封座孔后端加工台肩示意图

（5）轴的光洁度对油封密封有一定影响，所以在高速或有压力下，光滑程度为R_a 0.32μm，一般中低速为R_a0.5～0.8μm，轴的硬度在HR30以上，同时为了防止生锈及磨损，在轴表面上要求镀铬，腔体座孔的粗糙度R_a不超过1.6～0.8μm。

（五）油封胶料配方举例

以常用的四种主要橡胶作配方举例如下。

1．丁腈橡胶配方

丁腈橡胶2704	100	硬脂酸	1.0
过氧化二异丙苯	1.5～1.0	半补强炉黑	90
二硫化四甲基秋兰姆	1.2～1.0	高补强炭黑	10
氧化锌	10～5	低温增塑剂	10
防老剂	2.0	硫载体	1.0～1.5

物理机械性能：

硬度（邵尔A）	75±5	热空气（170℃×96h）老化系数	0.75
拉伸强度	>10MPa	浸油试验（100℃×24h） 1号标准油	3号标准油
撕断伸长率	<250%	体积变化 −10～+5%	0～+20%
压缩永久变形（100℃×70h，压缩20%）	<30%	脆性温度	−35℃

2．丙烯酸酯橡胶配方

丙烯酸酯橡胶	100	硅藻土	20
硬脂酸	1	热裂法炭黑	10
石蜡	2	石墨粉	10

硅酸铝粉	30
硅烷偶联剂（A-189）	1
氯乙烯甲醛胺	4

物理机械性能：

硬度（邵尔A）	75±5
拉伸强度	7MPa
扯断伸长率	>60%
热空气（150℃×70h）老化后	
硬度变化	<+10
拉伸强度变化	<-40%
扯断伸长率变化	<-60%

3．氟橡胶配方

氟橡胶23	100
氧化镁	20
硫黄	0.5
滑石粉	30

物理机械性能：

硬度（邵尔A）	80±5	压缩永久变形（150℃×70h）	<90%
拉伸强度	>11MPa	浸油试验（150℃×70h） 1号标准油	3号标准油
扯断伸长率	>150%	硬度变化 -7～+10%	-15～+5%
压缩永久变形（热空气100℃×22h，压缩率20%）<50%		拉伸强度变化 <-10%	<-30%
		扯断伸长率变化 <-60%	<-60%
		体积变化 -5～+5%	0～2.5%

4．硅橡胶配方

甲基乙烯基硅橡胶	100	氟树脂	1
氧化铁	2	有机过氧化物	1.5

物理机械性能：

硬度（邵尔A）	70	浸油试验（150℃×70h）	1号标准油	3号标准油
拉伸强度	7MPa	硬度变化	-6%	-20%
扯断伸长率	120%	拉伸强度变化	-11.9%	-37%
热空气（230℃×70h）老化后		扯断伸长率变化	-7.9%	-40%
硬度变化	-1%	体积变化	4.2%	26.6%
拉伸强度变化	-17.2%	压缩永久变形（150℃×70h）		15.1%
扯断伸长率变化	-18.2%			

（六）模型结构设计

油封的尺寸和几何形状是靠模具保证的，而模具的结构是否合理直接影响油封的外观质量和使用性能；同时，油封生产率的高低、合格率的多少、模具使用寿命的长短都是取决于模具结构的设计，常用的几种模型结构型式介绍如下。

1．单模油封模具

油封产品的密封唇可以切削而成，也可以直接模压而成，两者的密封效益说法不一。切削唇口使唇口尖锐，有利于密封，尺寸可以控制；而直接模压可以免去切割，由模具保证，尺寸稳定。

单唇口油封直接模压模具如图1-2-26所示。中模与下模合模后形成模腔，胶料填放在模腔内，金属骨架套在上模中，然后通过上下模之间的锥面定位，受压合模，骨架的轴向和径向位置都由上模起到定位作用。

带副唇口油封直接模压模具如图1-2-27所示。此模具结构图目前基本相同，仅为便于加工副唇口的型腔而多加一个模芯，加工后的下模与模芯从过盈配合形式联接为整体。

无胶边或薄胶边的单模结构如图1-2-28所示。此模结构的特点是紧贴制品的内、外刃口倒角处外壁设置余胶槽，使制品与余胶槽联接的部位既狭又薄，多 为0.2～0.3mm。在一般机台压力下，形成易撕掉的胶边是必断在该部位，两道余胶槽是防止余胶过多时淤积在配合面上的胶边过厚而达不到撕边的效果。

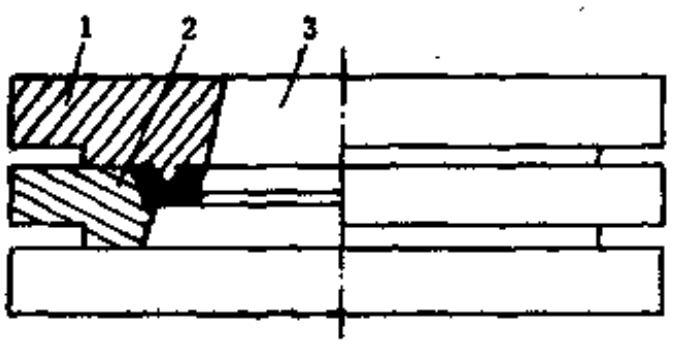


图 1-2-26　单唇口油封直接模压模具

1—上模；2—中模；3—下模

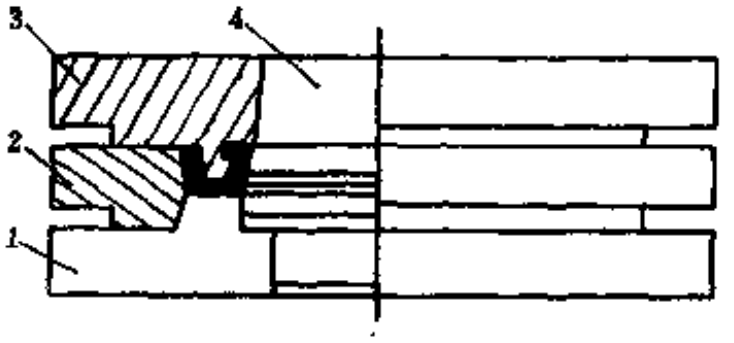
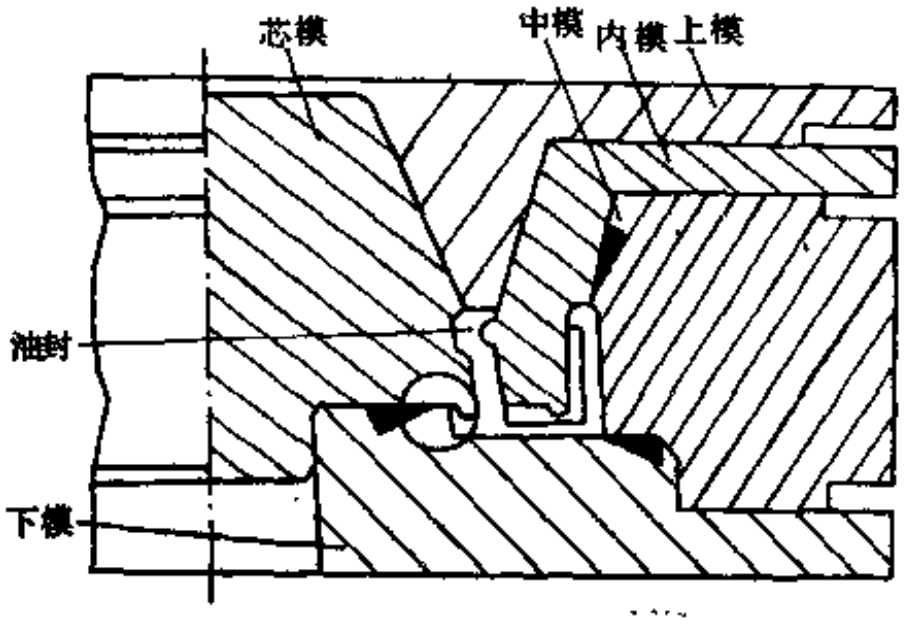


图 1-2-27　带副唇口油封直接模压模具

1—下模；2—中模；3—上模；4—模芯



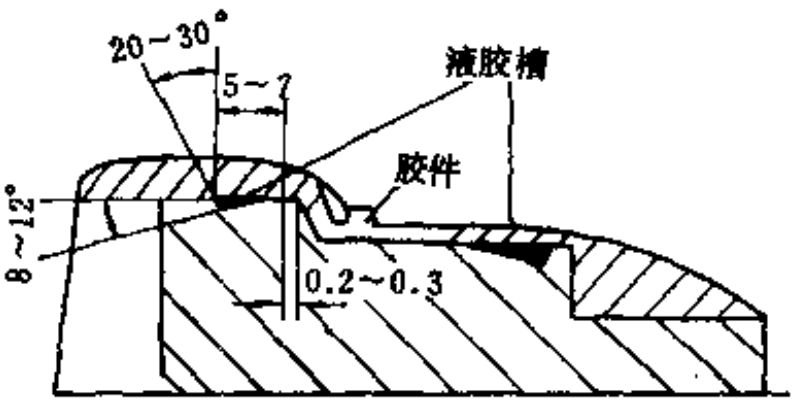


图 1-2-28　无胶边或薄胶边模具

2．外骨架油封模具

此模具加工精度高，工艺比较复杂，胶和骨架之间粘着面积小，要求橡胶与金属之间有较高的粘结强度，采用四开模传递式模压模具，结构如图1-2-29所示。骨架放进腔体底部，骨架外径与中模孔达到径向定位，然后料腔模通过与中模之间的定位落入腔体内，并使料腔模的型芯底部与骨架紧贴（过盈0.05～0.10mm）以达到预期的封胶效果，把胶料放入料腔模中，柱塞加压使胶料沿模芯与料腔之间形成的圆周间隙注入模腔。

3．多模腔油封模具

国外大部分采用此种结构，如图1-2-30所示。近年来部分厂家也自行设计了多模腔油封模具，提高了生产效率和机械自动化程度，并为了方便，油封产品的取出采用气动开模顶出或用顶出环顶出，如图1-2-31所示。

4．双向回流流体动力油封模具

双向回流流体动力油封产品结构加图1-2-32所示。其模具加工操作是在模芯上分布着深为0.12mm、间距0.5～0.6mm的直角锯齿形沟槽，每个沟槽为与轴心相交成1～5°的倾斜角的单个圆弧，加工沟槽时，将模芯安装在一个专用夹具上，用经改装后的百分表进行对正，使表针指示在0～0.02范围内，即可车制第二条沟槽，依次类推车制完所有的沟槽。

5．油封模具结构设计中涉及收缩率和其它加工的浅述

（1）收缩率　骨架油封模具要根据产品的规格和胶种给出预计合理的收缩率，计算出模腔各部位的尺寸，经过生产实践测出实际的收缩率，再对预计的收缩率进行修正，得出正确的收缩率。骨架油封不像纯密封圈制品是整个断面向制品中心收缩，其骨架包胶部分不产生收缩，而在远离骨架的部位收缩稍大，所以油封唇部不单纯是直线方向的收缩，同时也涉

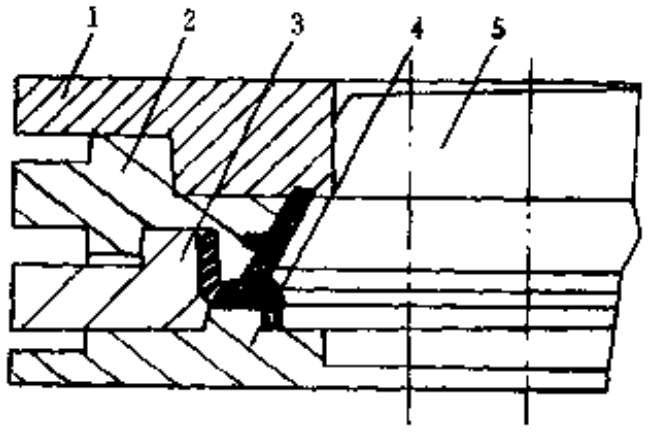


图 1-2-29　外骨架油封传递式模压模具

1—柱塞；2—料腔模；3—中模；4—下模；5—模芯

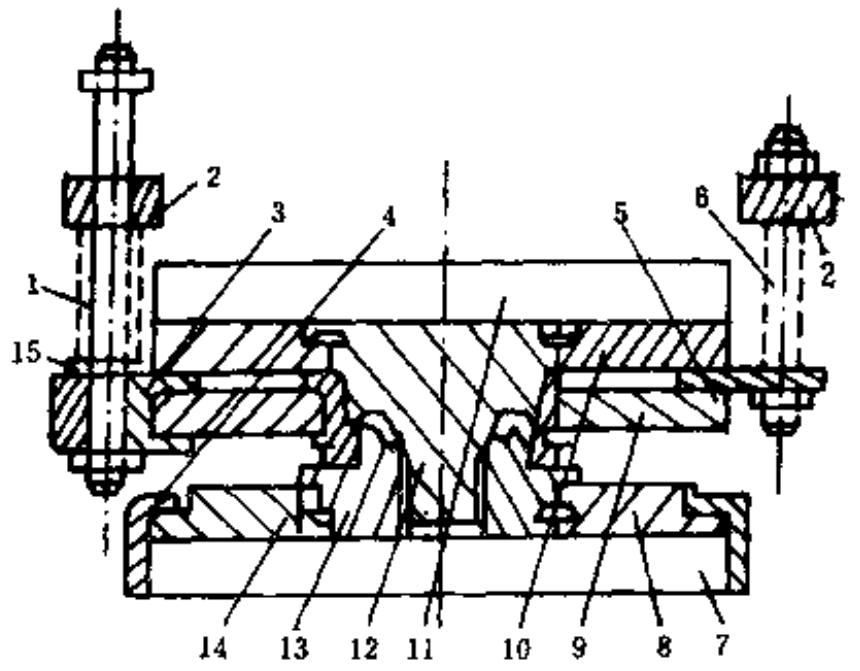


图 1-2-30　多模腔油封组合式模具

1—长螺栓；2—固定在框板上的横梁；3—中挂条；4—固定在热板上的工作台架；5—上挂条；6—短螺栓；7、11—热板；8—下模联接板；9—中模联接板；10—上模联接板；12—上模芯；13—下模芯；14—中模芯；15—弹簧

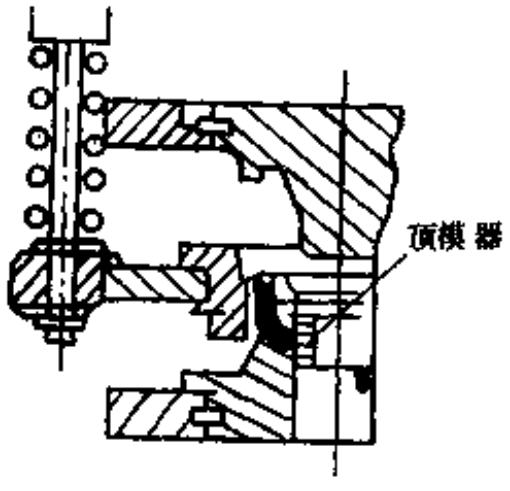


图 1-2-31　顶出制品图

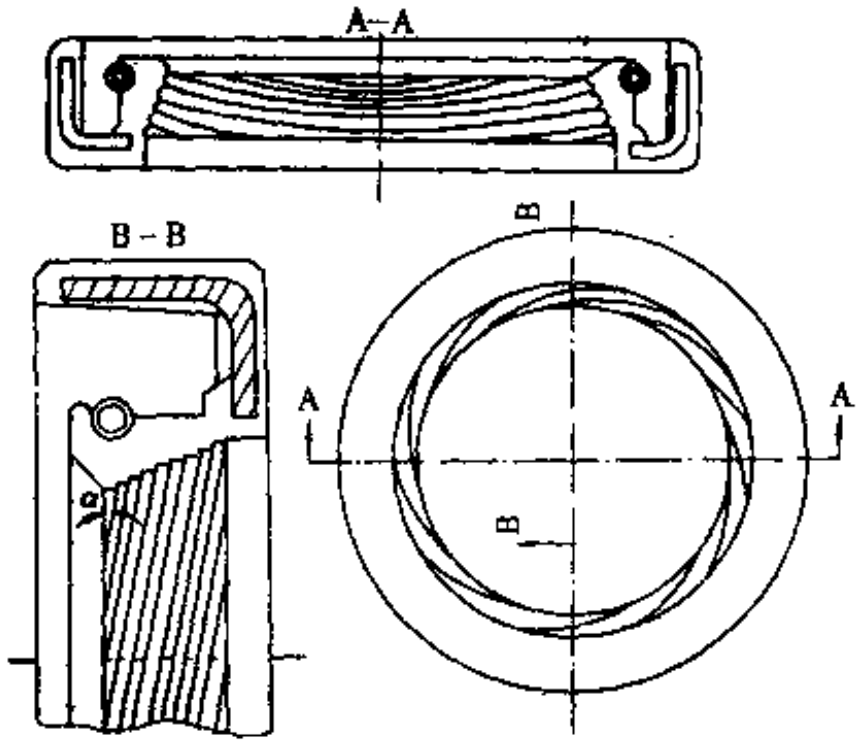


图 1-2-32　双向沟槽油封结构示意图

及到角度的变化，截面腰部因受骨架牵制收缩也小，刃部的收缩是绕骨架的中心为回转中心转动α角度，一般为2～3°左右。油封高度方向收缩变化很小，可忽略不计，油封外径部位可取制品的上限值。氟橡胶的收缩为丁腈橡胶的1.6倍左右，内径为1.8倍左右。

（2）定位问题　油封模的轴向定位由下模分型面上处等高凸起来实现，凸起的加工是车制下模时，在适当位置留一环状凸台，然后铣工或钳工分段开通，修光底面。

中模内圆面上的L形凸起加工制作是在中模外圆车削完毕后，使用数控线切割机床将型腔切割成如图1-2-33中图(a)，然后再从两端找正车削成如图(b)中三个区域，最后由钳工精修打光即可。另外一种加工方法与此工序相反，中模由车床车成形状如图(c)，再由数控线切割机床割去如图(d)中的阴影部分，最后由钳工精修打光。

外骨架放入模具中以底面和外圆定位，定位高度取骨架高度尺寸的1/3(一般取4～6mm)，中下模放入骨架的一端开设10°（单面导向角）。

（3）配合精度和表面粗糙度的选择　模板各配合面采用15°短锥面配合高度为6～

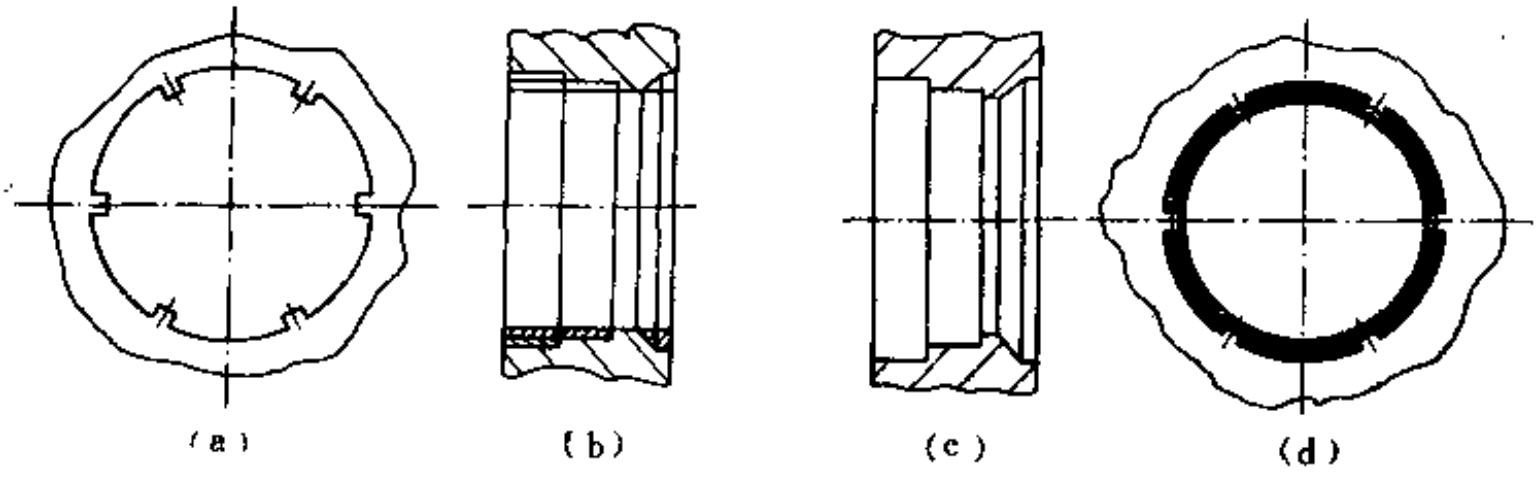
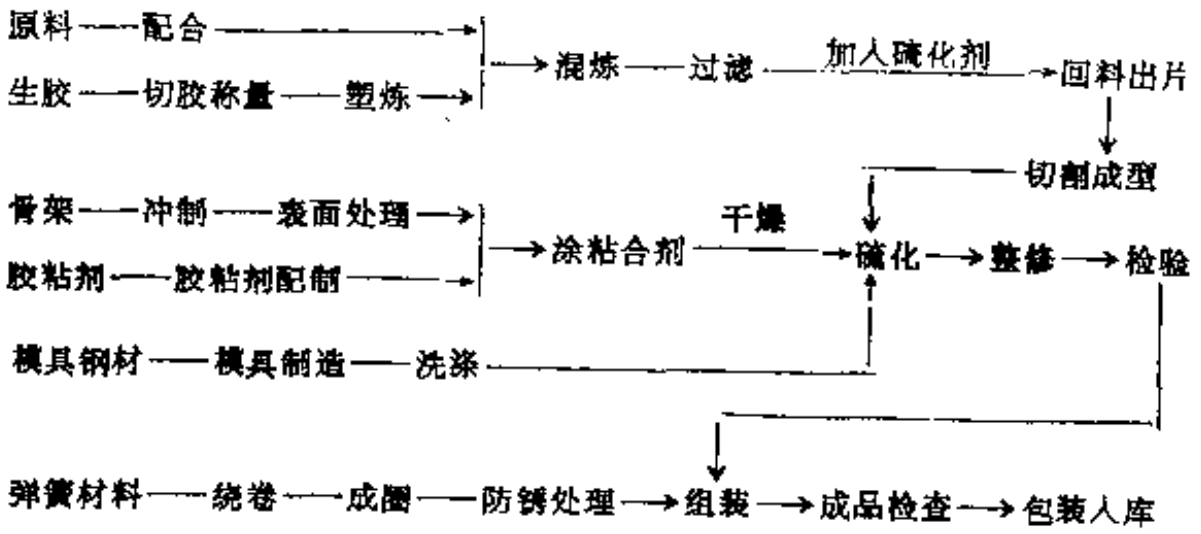


图 1-2-33　L形凸起加工示意图

7mm，导向的锥面采用8～10°间隙配合根据各部位选用$\frac{H_7}{g_6}$、$\frac{H_8}{f_8}$、$\frac{H_9}{d_9}$过盈配合选用$\frac{H_7}{s_6}$，各配合面粗糙度为R_a1.25μm，型腔面为R_a0.32μm，其余R_a5μm。

（七）油封生产工艺

油封生产在各工序都要进行质量检测，一般生产工艺流程如下：



1．生产准备

原材料进厂按原材料检验标准进行质量检验，合格后按品种分类，生橡胶用立式切胶机切割整齐放在架子上不落地，粉剂用天平或台秤准确称量。

2．塑炼及混炼

塑炼及混炼在开炼机或在密炼机中进行，根据生产需要和加工装备分别选择，一般硫化剂不在混炼阶段后放入，以防止胶料焦烧，每车胶料要进行物性测定，不合格不能进入下道工序，硅橡胶混炼要求十分清洁，需有专门混炼设备和辅助工种。

3．金属骨架表面处理工艺

国内目前骨架处理工艺各生产厂根据不同条件有多种方法。

（1）骨架除油、碱处理→清洗→干燥→喷砂→浸入溶液洗净→干燥→浸涂胶粘剂。

（2）骨架抛丸机除锈→溶剂清洗→浸涂胶粘剂。

（3）骨架蒸汽脱脂→酸洗→超声波磷化处理→浸涂胶粘剂。

（4）骨架电镀电蚀处理。再表面涂处理剂。

4．使用的胶粘剂

目前国内常用的骨架胶粘剂有下列数种。

（1）采用浸渍RM-1型胶粘剂（RM-1∶酒精＝1∶4），停放30min，当溶剂挥发成膜

后，放在145℃的烘箱中预固化20 min即成。处理好的骨架应存放于干燥、清洁的密封柜内，有效贮存期不超过10d。

（2）采用ChemloK205浸渍，以甲乙酮为溶剂，调配至0.02～0.03Pa·s为好，可通风干燥或自然干燥。

（3）采用JQ-1(三异氰酸酯二氯甲烷)溶液和二甲苯为溶剂稀释，骨架可浸渍后干燥。

一般浸涂过胶粘剂的金属骨架都要求干燥存放，及时使用。

5．油封成型

将胶料进行回料出片后，制成一定宽、长、厚的条料成圈放入模腔。国内大部分厂家是利用裁料机切料加工完成，有些工厂生产批量较大，则用预成型机，亦称精密预成型机，它是由一台卧式柱塞挤出机，在机头上安装一套切割装置，把经过回炼的合格混炼胶料打成卷放入挤出机的机筒（为ϕ200～250），驱动油缸中的活塞将胶料从装于机头的口型中以等速挤出，安装在机头前面的切割装置的旋转切刀紧靠机台切割，通过调节进入驱动油缸的油压，可以改变挤出速度，若改变切割速度和口型，即可得到不同规格和重量的半成品，半成品重量精确达±1.5%，因为胶料加工成环形无接头，所以就避免了条料成圈的搭接流痕和断裂等缺点，同时，成型效率甚高。

6．硫化

骨架油封的硫化常用装备有：翻板式平板硫化机硫化，抽真空平板机硫化，注压硫化。

根据热源可用蒸汽及电热平板硫化机硫化，温度多为150～160℃，目前为提高生产效率，正向高温170～200℃短时间硫化迈进，实际生产中根据胶料硫化曲线按生产装备情况定出最佳工艺硫化时间。

7．弹簧绕制及装配

（1）绕制　根据不同的油封使用要求采用不同的弹簧材质，常用的有碳素弹簧钢丝或不锈钢丝、琴钢丝，在要求耐水时采用磷青铜材质（含锡0.45、含磷0.198），依不同的材质作不同的回火处理，且绕制要求也不尽相同。目前国内成圈弹簧加工方法有以下几种：采用手制绕手柄机械半自动绕制成弹簧钢丝，再人工将锥头密合成圈；采用专用的弹簧绕制机自成锥形尖端人工密合成圈；采用全自动弹簧绕制机，再配以接头机进行成圈接头。

弹簧钢丝必须进行外观检查，表面要求无毛丝、圆整，不可有波浪和竹节现象，成圈后的弹簧必须进行低温回火处理，再进行规格分类贮备待用。

（2）装配　修整后油封在检验合格后方可装入成圈弹簧，装配时必须保证装配后油封唇口平整，不得有皱皮边，在装入弹簧槽时须防止三种情况的发生：漏装、装入扭曲弹簧、多装弹簧。

8．成品整修

油封唇口质量的好坏直接影响到油封的密封性能，根据油封模具的结构，在工作主唇口有不同的设计：全切唇口；局部切唇；整个分型面无废边。这三种结构使油封的主要工作面唇口可由刀具切割或撕薄边解决，而国内也有许多工厂用机械砂轮磨削方法，砂磨唇口和外径倒角。用砂轮磨削方法，使用的砂轮材质有两种。

（1）倒外角砂轮——T黑碳化硅，硬度Z_2，粒数60，砂轮外径倒角度为40°；

（2）倒内角砂轮——T绿硫化硅，硬度Z_2，粒数46，砂轮角度一般为45±5°。

近年来国内生产厂家随着油封需求量的增加，不断改进成品的修整工装，以保证产品的质量，分别创制有油封半自动切口机，效果较好，切割后的成品在台架试用试验中寿命普遍

超过400万次，最高可达1000万次。另上海生产的油封双轴修整机已大批量生产。

通过切割整修，一般不会产生密封功能上的弊病，但因加工操作的不当，会使尺寸和断面形状有所变化，成为唇口尖端重复切割及导致其它缺陷产生的可能，如图1-2-34所示。在定性方面，整修内径的公差大，紧箍力的误差也变大，轴和唇若无过盈量，就成为磨耗增大，导致使用寿命缩短，图1-2-35是油封唇整修工序进行与否的内径变化的实例。无废边的倒角刃口油封模具其油封唇口内径测定值变动小，所以对无整修的油封来说，成型模即倒角的模压唇部加工部分要防止损伤及擦措，且重点要加强模具的管理和保养。

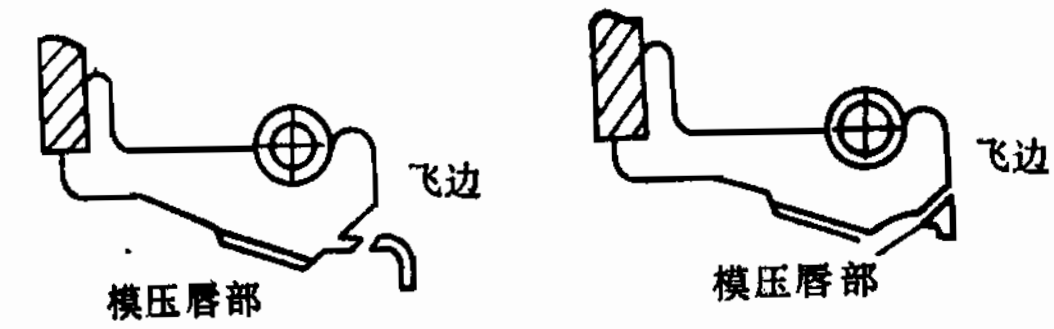


图 1-2-34 唇口尖端的整修方法不同的加工方法实例

(a) —唇口尖端无需整修加工；
(b) —唇口尖端被加工的方法及加工错误

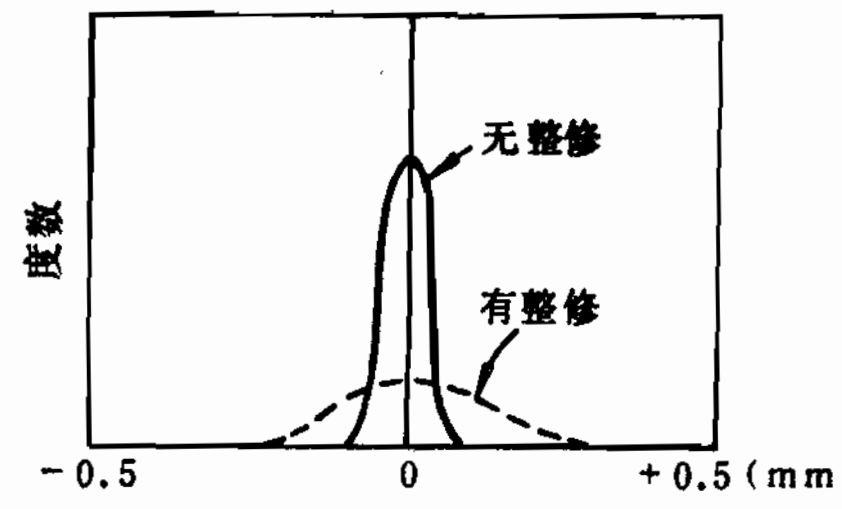


图 1-2-35 唇口是否整修加油封其内径变化状况的实例

三、复合密封

液压传动和液压操纵系统已广泛使用，出现在起重运输、工程车辆、建筑、采掘和农业机械等大型设备上，由于有各种各样的气缸和活塞柱，要求配用橡胶密封制品越来越多，使用条件也越来越高。因此橡胶密封制品的生产也在不断发展和变化，特别是近几年来新的品种规格系列增加更快，结构变化也很大，由原来单纯胶密封制品，已发展为复杂结构的复合密封制品，从而使产品密封性能和使用寿命大为提高。现就这部分密封制品分别介绍如下。

（一）蕾形密封圈

蕾形密封圈也称活塞杆密封，在往复运动的液压缸中，它是为缸套端部密封而设计的。

1．断面结构分类

根据目前广泛使用而有代表性的产品，归纳其断面结构，可分为以下三种类形，见图1-2-36。

2．密封机理

蕾形密封圈的断面结构虽各有差异，但密封机理基本一致。在压力作用下，通过密封件上部的变形，在沿密封唇的周围产生拉伸压缩应力，这就使得密封唇被推向金属的表面，产生接触应力，随着液压的增加，密封唇变形值也随之增大，接触压力也就增大，这样就产生自

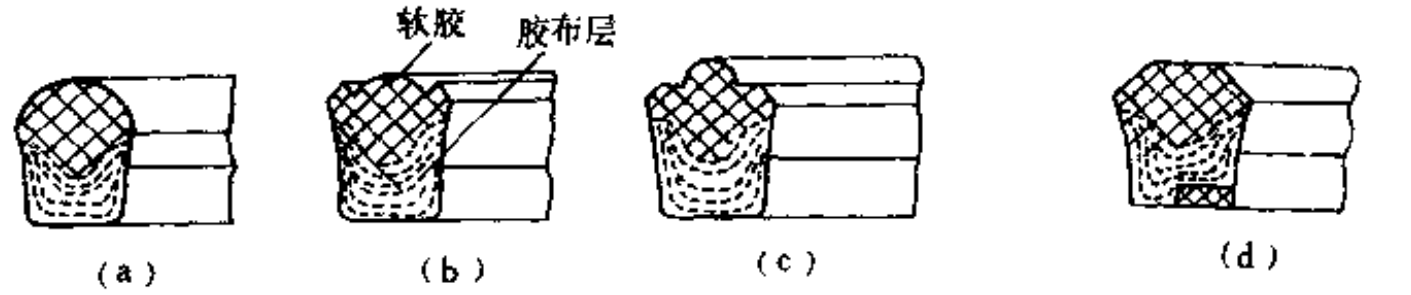


图 1-2-36　蕾形密封圈

封的效果。要使蕾形密封圈能在无压静止状态下亦能保证密封，则要求密封唇部预先设计有一定过盈，即密封唇部断面宽大于槽的宽度，密封圈在缸套沟槽内，密封唇首先受到拉伸和压缩，因此面产生预应力，将介质密封，这就是蕾形密封圈能在零压和高压下起密封作用的原因。

3．结构设计与应用

蕾形密封圈是由丁腈橡胶和耐磨的胶布压制而成。这类密封件结构的特点是：①上部软胶，受压变形大，为密封部分，跟部和密封面为高硬度胶布，受压变形小，为承压部分，两者结合整体弹性好，符合高压密封要求；②采用高硬度胶布，目的在于提高密封压力，又能防止密封圈被挤入间隙，减少摩擦；③胶布表面能保持润滑，提供良好的滑动特性，保证密封面在工作期间的正常运行。

密封件上部的软胶主要是作密封，因此要求胶料应具有良好的弹性，压缩变形小，耐磨性能好等特点。硫化胶硬度一般要求在70～80（邵尔A）之间，但要根据使用条件及结构来选择，如采用的结构是图1-2-36（f、g、h）类型，则应使用高硬度胶料为适宜。

唇部压缩率的大小对蕾形密封圈使用效果影响较大，压缩率过大则摩擦阻力大，因而磨损也大，使用寿命短，同时有可能影响安装。压缩率过小密封性能不好，甚至产生严重泄漏，影响使用。根据研制试验的结果。认为蕾形密封圈唇部压缩率一般应在12～19%之间为适宜。

图1-2-37密封结构是专为活塞杆缸套端部密封而设计的。它适于在缸套位置很小的情况下使用，一般不配用挡圈。如果间隙较大，可以在密封圈的底部加配塑料挡圈，内径在20mm以下的，可以迅速的将密封圈装入缸套内。为了获得最佳的使用效果，密封件断面宽度的选择与公称直径有密切关系。断面宽度小，将会影响密封件使用效果，降低使用寿命。公称直径与相对应的断面宽度参见表1-2-19。

图1-2-36（d、e）密封结构在形状上类似于（a、b、c）类，但它的断面宽度较大，并且在密封件跟部设计配有塑料挡圈（图1-2-38），它能耐较高的压力，可用于液压缸和类似液压缸设备中的活塞杆密封。这种密封件内径在100mm以下的，可以迅速的放入沟槽式的

表 1-2-19 公称直径与断面宽度的对应关系 单位：mm

公称直径，d	B	H	L	公称直径，d	B	H	L
≤12	3.5	6	6.4	60～90	6	9	9.6
12～42	4	6	6.4	90～125	7.5	11.3	12
42～60	5	7.5	8	125～200	10	15	16

注：B、H、L见图1-2-38。

缸套内。内径在100mm以上的，塑料挡圈应是开口的。为了获得最佳的使用性能，密封件断面宽度、工作压力与公称直径有密切关系，选择不好将会影响密封件使用效果，降低使用寿命。公称直径与相对应的断面宽度参见表1-2-20。

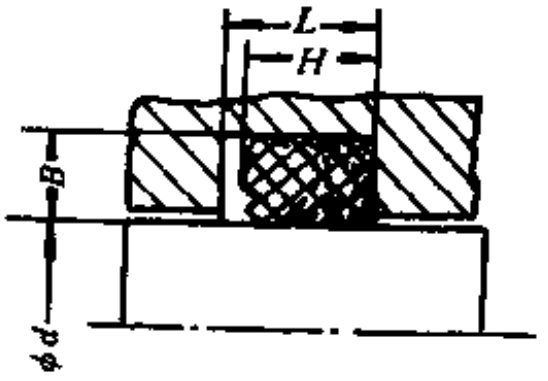


图 1-2-37 活塞杆套缸端部的密封结构示意图

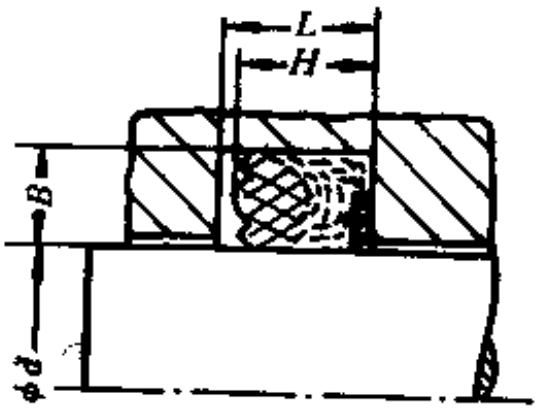


图 1-2-38 有塑料挡圈的密封结构图

表 1-2-20 公称直径与相应的断面宽度 单位：mm

公称直径，d	B	H	L	公称直径，d	B	H	L
≤12	5	7.5	8	60～90	10	15	16
12～42	6	9	9.6	90～125	12.5	18.8	20
42～60	7.5	11.3	12	125～200	15	22.5	24

图1-2-36（f、g、h）密封结构与前面两类相比有较大的接触密封面，为了在低压时能提供一个初始密封，在内表面有一个或两个密封唇口，当接触密封面磨损较大时，能连续给予良好的密封，甚至在间隙比较大时，塑料挡圈也能起到密封作用。这种类型的密封圈，用在重型液压缸的活塞杆上，由于多唇密封，故在苛刻的状态下，如活塞杆不正，冲击负荷等等，仍能有较好的密封效果（图1-2-39）。内径在70mm以下的密封件，可迅速装入沟槽式缸内，内径在120mm以上时，塑料挡圈应是开口的。现多用于煤矿大型液压支架的主柱活塞杆上，发挥了很好的密封作用。密封件公称直径与相对应的断面宽度参见表1-2-21。

以上三种类形结构的蕾形密封圈，均适用于液压油、水和乳化液等介质，对于重型液压介质密封，可参照表1-2-22的条件使用。

在特殊情况下，可允许超过最高值，但在苛刻的使用条件下，一般是不允许超过标准值。

为了获得最佳工作状态，除正确选择密封件尺寸和断面宽度外，对密封间隙、加工精度

要有适当的限制。允许最大间隙参见表1-2-23。

表 1-2-21 公称直径与相应的断面宽度 单位：mm

公称直径，d	B	H	L	公称直径，d	B	H	L
≤22	5	17.5	18.5	90～115	7.5	28.5	30
22～42	6	21	22.5	115～140	7.5	32.5	34
42～90	7.5	21	22.5	140～200	10	38.5	40

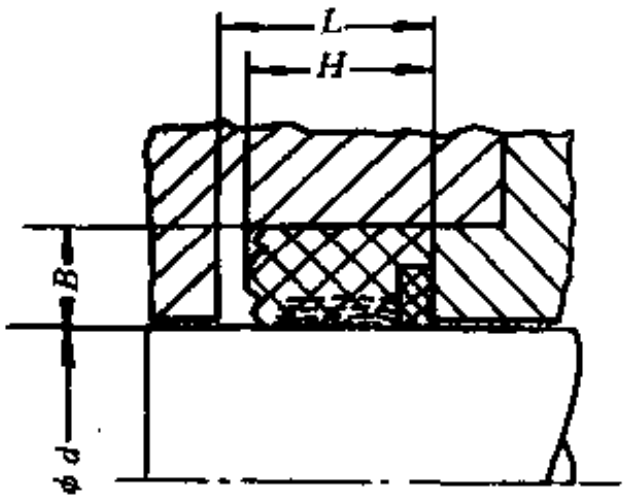
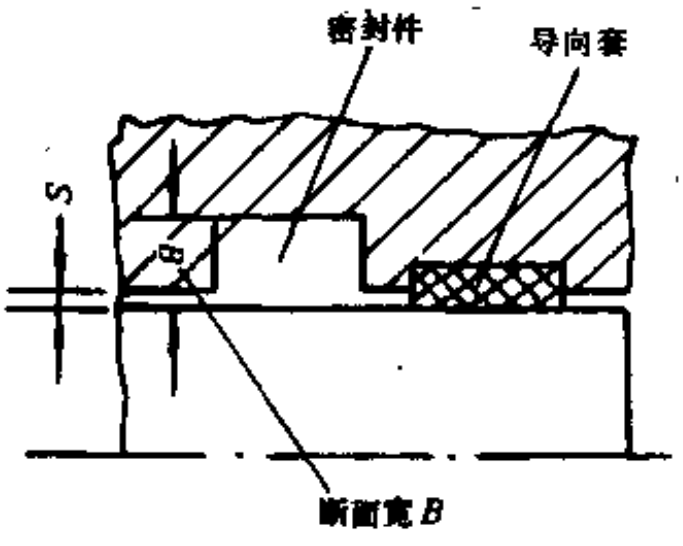


图 1-2-39 有塑料挡圈较大接触面的密封结构

表 1-2-22 重型液压介质密封圈的选择条件表

工作条件	第一类	第二类	第三类
压力，MPa	20	25	25
线速度，m/s	0.2	0.5	0.5
温度，℃	-30～100	-30～100	-30～100

表 1-2-23 断面宽与允许的最大间隙关系



断面宽，B，mm	间隙，S，mm	
	第一类	第二、三类
3.5～4	0.1	0.2
5～6	0.1	0.3
7.5～10	0.15	0.4
12.5～15	0.2	0.5

4．胶料配方设计

实用配方举例详见密封制品胶料配方设计表1-1-2，软胶配方和胶布配方参见表1-2-24。

5．模型结构设计

以一、二类产品结构为例，密封件硫化模具应该根据它的产品结构和生产工艺来设计。密封件跟部是U型胶布件，先要进行预压成型。因此在同一规格的密封件模具必须是两套，一套是胶布件压成型模，一套是整体硫化模，尔后根据产品断面、不同花纹来设计硫化模的上模，组织配套。为了提高硫化效率，便于生产管理，预压成型模和整体硫化模应分开为好，不要公用一套底模。预压成型模结构示意图参见图1-2-40，整体硫化模结构示意图参见图1-2-41。

有挡圈与无挡圈之区别是在底模的变化；上部花纹的变化是在上模的变化。

以三类产品结构为例，模具结构比较简单，根据生产工艺要求只需硫化模具，胶布可在

表 1-2-24　软胶与胶布配方

原材料名称	软胶配方	胶布配方	原材料名称	软胶配方	胶布配方
丁腈橡胶-26	100.0	100.0			
硬脂酸	1.0	0.5	高耐磨炉黑	35.0	35.0
氧化锌	5.0	5.0	促进剂 DM	1.5	1.5
防老剂 MB	1.5	—	促进剂 EZ	1.5	0.5
防老剂 RD	0.5	—	DCP	2.0	—
防老剂BLE	—	2.0	硫黄	0.3	1.5
古马隆	—	10.0	合　　计	203.3	182.0
癸二酸二丁酯	10.0	—			
邻苯二甲酸二丁酯	—	6.0	硫化条件153℃×min	20	25
喷雾炭黑	45.0	20.0	硬度（邵尔A）	70±5	70±5

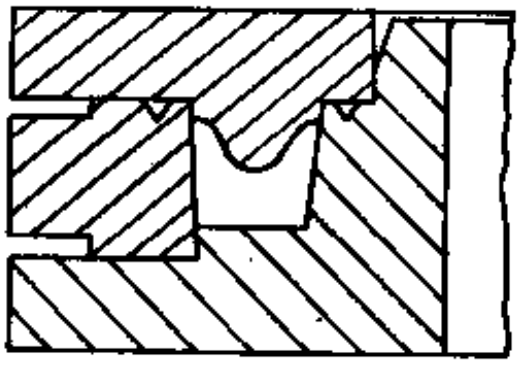


图 1-2-40　胶布件预压成型模

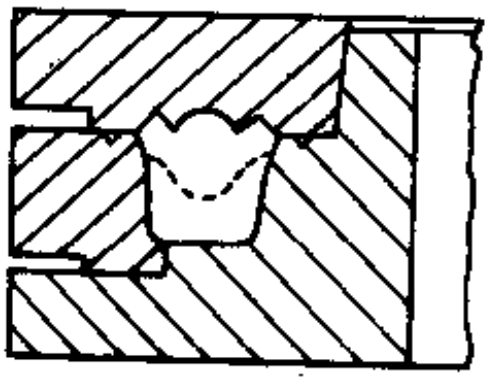


图 1-2-41　整体硫化模

硫化装模时先缠绕几圈胶布之后再装胶料，或预制半成品。硫化模具示意图参见图1-2-42。

6．制造工艺要点

（1）丁腈橡胶配炼工艺　与一般丁腈橡胶配炼工艺相同。复合硫化体系中的少量硫黄可与其它小料一起加在前面。

（2）胶布制造　可采用涂胶或压延方法。棉帆布组织规格要与密封件规格大小相适应，一般直径在100mm以下者可采用20S/2×2棉帆布，直径在100mm以上者可以采用20S/3×3或20S/4×4的棉帆布。帆布密度不宜大，密度大对粘接不好。其次是控制上胶量，上胶量少，压制品密封件太硬，弹性不好；上胶量大，密封件的刚性小。涂胶厚度要均匀一致，胶布制造好之后，要放置冷却。

（3）胶布裁断　按施工标准规定要求，以45°角裁成所需的胶布条备用。有的还要搓卷成圆环，以备预成型之用。

（4）胶布件预压成型　预压条件要根据使用胶布的硫化温度面定，一般在硫化温度下模压2～3min，启模后检查，并修去余胶布边，放置待用。胶布件压偏的不能投入硫化。

（5）硫化　成型硫化时，要按工艺标准严格控制填胶量。胶料过大，易造成产品超差，胶量小，易出现外观缺陷。缠绕胶布时，不要拉伸过大，以免胶布变窄，成品伸长小，不利于装配，而且易拉断。

（6）修边检查　硫化后的产品，最后要进行修整，除去余胶边，修剪时要注意保持刀口光滑平整。要逐件检查外观质量。每批产品还要作尺寸的抽检，不合格产品不允许出厂。

（二）鼓形密封圈

鼓形密封圈　又称活塞密封圈，它是为单向和双向动作的活塞面设计的。密封圈的断面、衬套或挡圈的结构与活塞的设计有很大关系。由于有各种性能要求，所以鼓形密封圈的结

构也不可能是一致的。

1．断面结构分类

根据目前生产和使用的断面结构，有代表性的可分为以下三种类形，如图1-2-43、图1-2-44和图1-2-45所示。

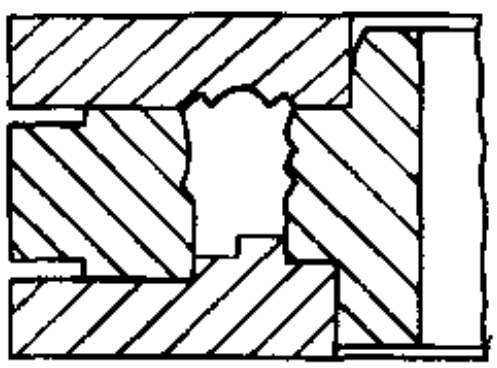


图 1-2-42　蕾形圈硫化模

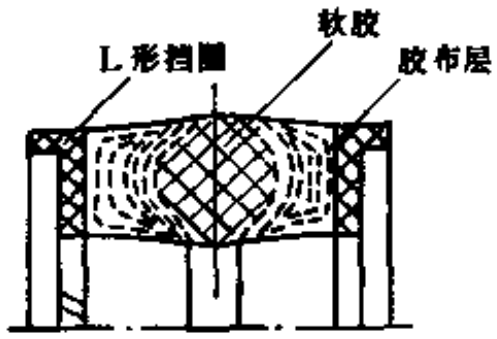


图 1-2-43　第一类鼓形圈

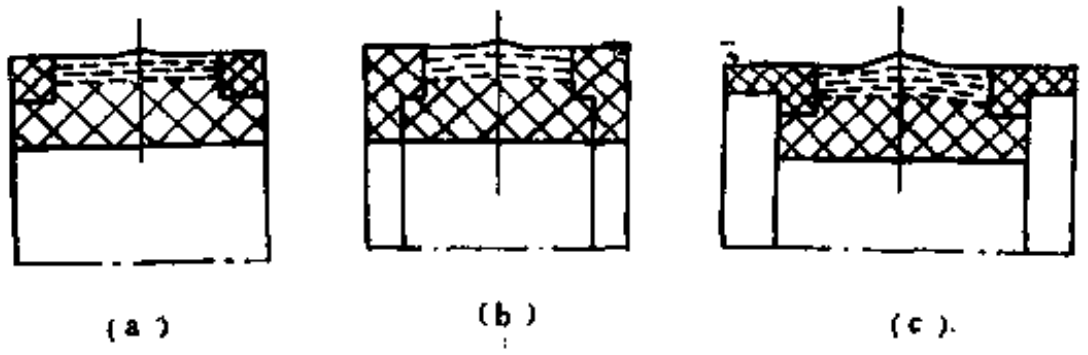


图 1-2-44　第二类鼓形圈

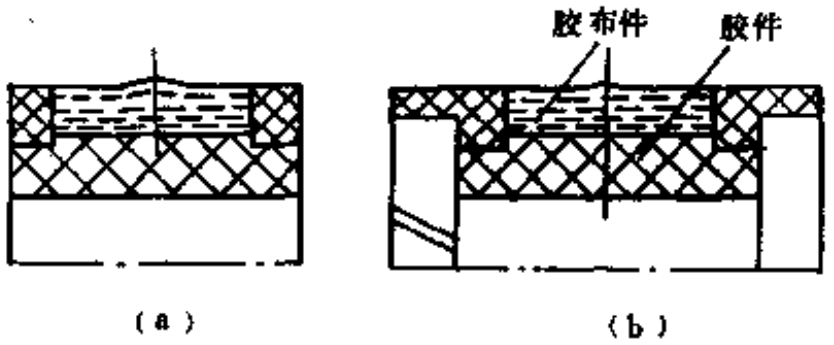


图 1-2-45　第三类鼓形圈

2．密封机理

鼓形密封圈的断面结构虽然各有不同，但密封机理大同小异。这类活塞密封圈都是由丁腈橡胶与夹织物胶布胶接而成的弹性体，在使用时还要配上两个塑料挡圈或L形衬套，组成各种类型的密封圈。橡胶密封圈固定在活塞杆沟槽底部，密封唇与液压缸壁之间有一定过盈量，以保证初期密封和必需的预压。在压力作用下，通过橡胶圈轴向压缩而发生经向拉伸和压缩应力，这就使密封唇部更紧贴于金属表面，随着液压的增加，接触压力也就增大，这样就起到了密封圈的自封作用。

3．结构设计与应用

第一类鼓形密封圈，可以说是由两个带夹布的蕾形密封圈对接成一个整体的双向密封圈。这一改进，比原用两个蕾形密封圈完成双向密封，既简单又适用，不但摩擦阻力小，而且耐压性能也有所提高。这是鼓形密封圈中较早使用的一种结构。

第二类鼓形密封圈的结构是专为单向和双向动作的活塞而设计的。这种活塞密封包括一个弹性橡胶圈，两个L形衬套或挡圈，橡胶圈在沟槽底部是静止的。特别是橡胶密封体与液压缸相接触的密封面采用多层耐磨胶布之后，而使密封唇的补强性和表面的稳定性显著提

高。因夹织物胶布本身具有良好的表面结构，能保持小量的润滑剂，保证密封件运行时不干燥，甚至在高压下亦会得到充分的润滑。这对于减少干磨和表面磨损，提高密封寿命，创造了良好条件。试验证明，带有胶布表面的密封要比纯胶的密封使用寿命高得多。纯胶表面密封在低速高压下运动往往产生干磨，并粘附在金属表面上，反复作用的结果使密封表面很快受到损坏或撕裂。因此第二类结构的鼓形密封圈，密封压力高，使用寿命长，已被广泛使用。

第三类鼓形密封圈，在密封效果上与第二类相似，结构的区别就在橡胶与胶布层分为两部分，胶布层数比第二类多，而且密封件所配用L形衬套或挡圈都是切口的。这种设计可以很容易的将密封件装配到活塞上，甚至可随活塞固定到活塞杆上。这种密封结构适宜于浅的简单结构的活塞头。由于使用方便，现也被广泛使用。

这类鼓形密封配上塑料挡圈或L形衬套（见图1-2-46和图1-2-47）是为了增加密封圈的承载负荷。一般带有L形衬套的活塞密封圈，通常用于重型液压条件下，L形衬套在活塞密封缸内，还将对活塞起导向的作用。在苛刻的工作条件下，例如压力在31.5MPa以上的大冲击负荷（间断的）和大的附加负荷的情况下，还是要用带有挡圈的密封圈为好。所以挡圈和L形衬套的选择和采用都应与密封圈结构和活塞结构相配合，否则达不到好的使用效果。例如，气缸和活塞之间的间隙（S）较大，为了防止橡胶被挤入间隙，所以在设计上又使用一个附加的挡圈（见图1-2-48）；有时为了填满间隙（S），特别将L形衬套延伸至槽底部（见图1-2-49）。

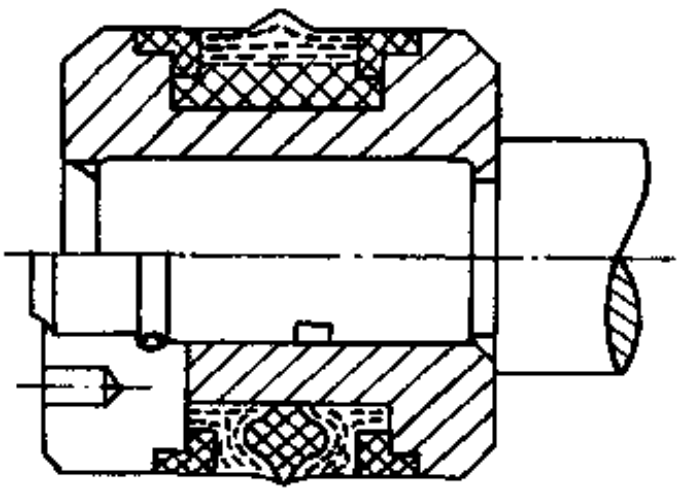


图 1-2-46　配L形衬套

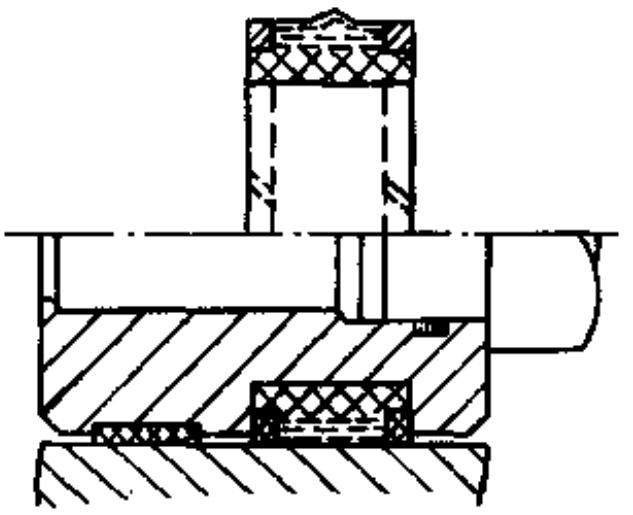


图 1-2-47　配有塑料挡圈

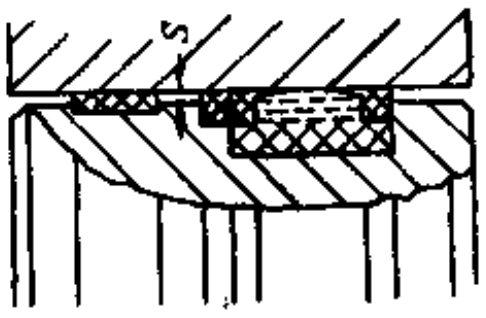


图 1-2-48　附加挡圈

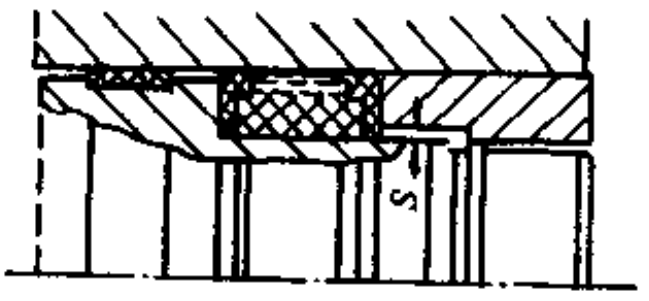


图 1-2-49　延伸L形衬套

鼓形密封圈主要靠断面的压缩来保证其初始密封的。为了确保密封圈有一定的压缩量，则要求密封唇部断面设计有一定的过盈。过盈量的大小，将对密封件的使用性能和寿命有重大关系，密封唇断面预压缩率范围，一般在10～18%较为适宜，过大过小都会影响使用。

鼓形密封圈绝大部分是由丁腈橡胶和丁腈橡胶胶布制造的，所以它们能耐各种液压油、

水和乳化液油等介质。由于密封圈所使用的挡圈和L形衬套是由塑料制造的，在高温操作时，塑料的压缩变形会迅速变大，所以最佳的耐压值将取决于它所使用的最高温度。压力和温度的关系参见表1-2-25。

这种类型的密封圈特别适用于大型液压提升柱塞、稳定的液压缸等，由于有挡圈和L形衬套填补间隙，可允许的压力高达75MPa。

为了获得最佳使用性能和使用寿命，密封件要有适当的配合尺寸，如果断面宽度太小，将会影响密封性能和使用寿命。

第一类鼓形密封圈规格尺寸参见图1-2-50和表1-2-26。

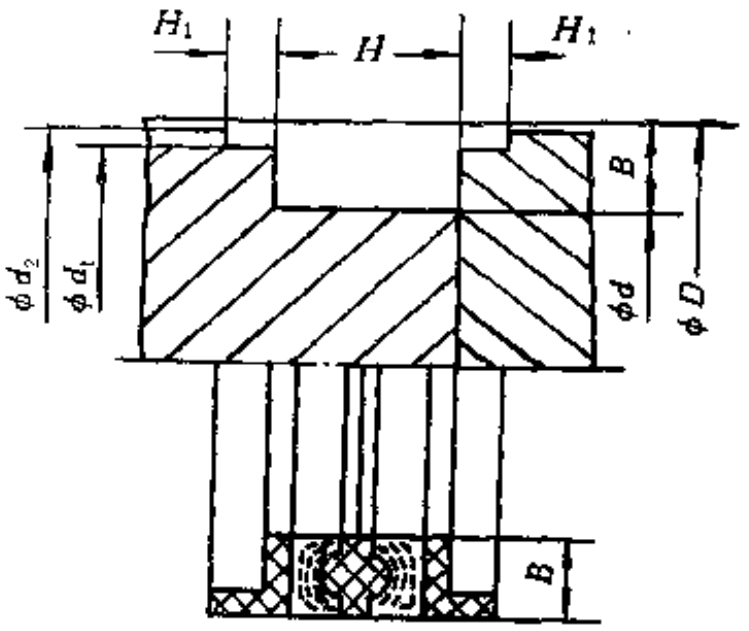


图 1-2-50 第一类鼓形密封圈规格尺寸标志符号

表 1-2-25 带有塑料挡圈的密封塑使用时温度与压力的关系

温度，℃	压力，MPa	表面速度，m/s
60	40	0.5
80	25	0.5
100	16	0.5

表 1-2-26 第一类鼓形密封圈规格尺寸 单位：mm

密封件代号	ϕD	ϕd	ϕd_1	ϕd_2	B	H	H_1
34×50	50	34	44	48.5	8	28	9
47×63	63	47	57	61.5	8	28	9
64×80	80	64	74	78.5	8	28	9
80×100	100	80	94	98	10	34	9
120×140	140	120	134	138	10	34	9
130×150	150	130	144	148	10	34	9
135×160	160	135	154	158	12.5	38	9
155×180	180	155	174	178	12.5	38	9
175×200	200	175	194	198	12.5	38	9
195×220	220	195	214	218	12.5	38	9

第二类鼓形密封圈规格尺寸参见图1-2-51和表1-2-27。

第三类鼓形密封圈规格尺寸参见图1-2-52和表1-2-28。

与鼓形密封圈相配合的金属表面的加工光洁度和装配精度，将影响密封件的使用性能和使用寿命，我们推荐液压缸的配合精度如表1-2-29。

配合表面加工光洁度如表1-2-30。

为了防止密封件在装配期间损坏，液压缸应有适当的导入角，参见图1-2-53和表1-2-31。

4．胶料配方设计

鼓形密封圈所用胶料性能要求与蕾形密封圈相同，除了特殊性能要求者外，一般不另行设计配方，实用配方举例参见蕾形密封圈的胶料配方设计。

表 1-2-27　第二类鼓形密封圈规格尺寸　　单位：mm

ϕD	ϕd	B	H	L	ϕd_2	ϕd_1	S	图　号
63	47	8	18.7	19.4	58.4	62.5	6.4	(b)
75	55	10	15.2	16				(a)
80	60	10	21.5	22.4	74.2	79.5	6.4	(b)
90	75	7.5	20	21				(a)
90	70	10	21.7	22.4	84.2	89.5	6.4	(b)
95	75	10	19.3	20.5				(a)
105	85	10	21.7	22.5	99.2	104.5	6.4	(b)
105	80	12.5	21.1	22.3				(a)
110	85	12.5	24.3	25.5				(a)
125	100	12.5	24.3	25				(c)
130	105	12.5	24.3	25				(c)
130	110	10	24.1	25.5				(a)
135	110	12.5	24.7	25.4				(a)
135	110	12.5	24.7	25.4	128.1	134.5	6.4	(b)
140	115	12.5	24.7	25.4				(c)
140	115	12.5	24.3	25.5				(a)
150	130	10	24.1	25.6				(a)
155	125	15	24.3	25.5				(a)
165	140	12.5	24.3	26.5				(a)
175	150	12.5	24.3	25				(c)
180	145	17.5	28.8	30				(c)
185	150	17.5	28.8	30				(c)
190	165	12.5	24.3	25				(c)
200	175	12.5	24.3	25.5				(a)
200	170	15	33.8	35.4	193	199.5	6.4	(b)
220	190	15	24.3	25.5				(a)
250	205	12.5	28.3	30				(c)
250	220	15	28.8	30				(c)
250	220	15	33.8	35.4	243	249.5	6.4	(b)
275	245	15	33.8	35				(c)

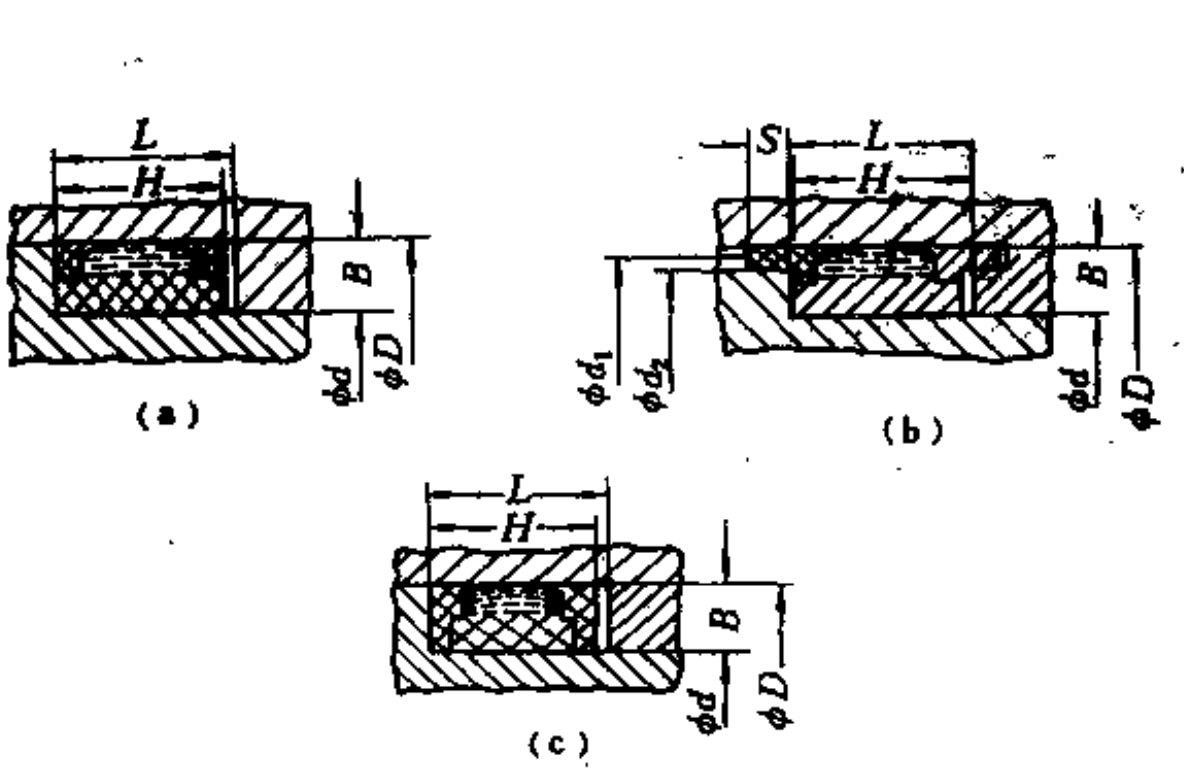


图 1-2-51　第二类鼓形密封圈规格尺寸标志符号表示图

表 1-2-28　第三类鼓形密封圈规格与尺寸　　单位：mm

ϕD	ϕd	B	H	L	ϕd_s	ϕd_1	S	图　号
50	38	6	10.5	11.5				(a)
63	50	6.5	13.5	14.5				(a)
70	54	8	19.7	20.5				(a)
80	62	9	22	22.5				(a)
90	75	7.5	13	13.5				(a)
95	80	7.5	13	13.5				(a)
95	75	10	21.4	22.4	88	94.5	6.4	(b)
100	82	9	22	22.4				(a)
105	80	12.5	21.7	22.5				(a)
110	92	9	21.6	22.5				(a)
115	87	9	21.5	22.5				(a)
120	105	7.5	15.3	16				(a)
125	103	11	25.2	26.5				(a)
130	108	11	25.2	26.5				(a)
135	113	11	26.2	26.5				(a)
135	110	12.5	24.7	25.4	128	134.5	6.4	(b)
140	125	7.5	15.5	16				(a)
140	115	12.5	24.4	25.4	133	139.5	6.4	(b)
150	128	11	26	26.5				(a)
160	138	11	25.1	26.5				(a)
180	158	11	25.2	26.5				(a)
185	165	10	15.2	16				(a)
195	175	10	15.2	16				(a)
200	180	10	15.2	16				(a)
200	175	12.5	29.8	31.5				(a)
210	190	10	15.2	16				(a)
220	195	12.5	24.3	25				(a)
225	205	10	24.3	25				(a)
250	225	12.5	24.3	25				(a)
280	255	12.5	24.3	25				(a)

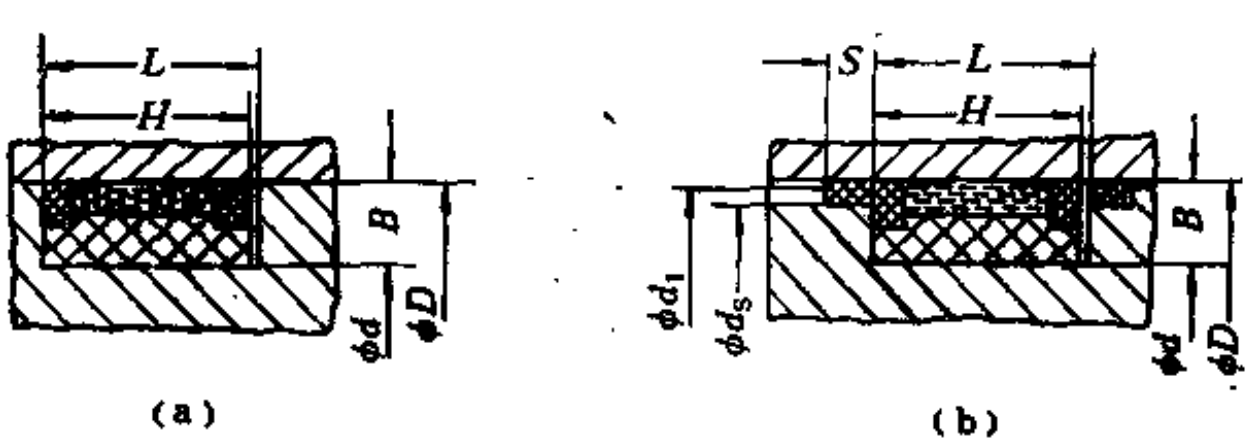


图 1-2-52　第三类鼓形密封圈规格尺寸标志符号表示图

5．模型结构设计

对硫化模型设计的要求如下。

（1）对整体硫化模型的设计，最为重要的是使胶料与胶布和布层之间胶接牢固。

（2）保证胶布层上下一致，胶布层不跑偏。

（3）胶料收缩率要选准，要求硫化后产品尺寸符合设计图纸要求，胶布件与纯胶件高度配合也应一致。

由于密封面的表面带有胶布层，给整体硫化模具设计和加工带来不少困难。模具结构参见图1-2-54。

表 1-2-29 液压缸的配合精度

缸筒直径，D	ISO—配合精度
≤80	H_{11}
80～300	H_{10}

表 1-2-30 配合表面加工光洁度

表面精度	R_a，μm	R_z，μm
与密封接触表面	≤ 0.3	≤ 3
沟槽底部	≤ 1.8	≤ 10
沟壁	≤ 3	≤ 16

表 1-2-31 液压缸直径与密封件装配时的导入角的关系

普通直径 D，mm	a，mm
20～36	3.2
36～70	3.6
70～115	4
115～180	5
180～300	6

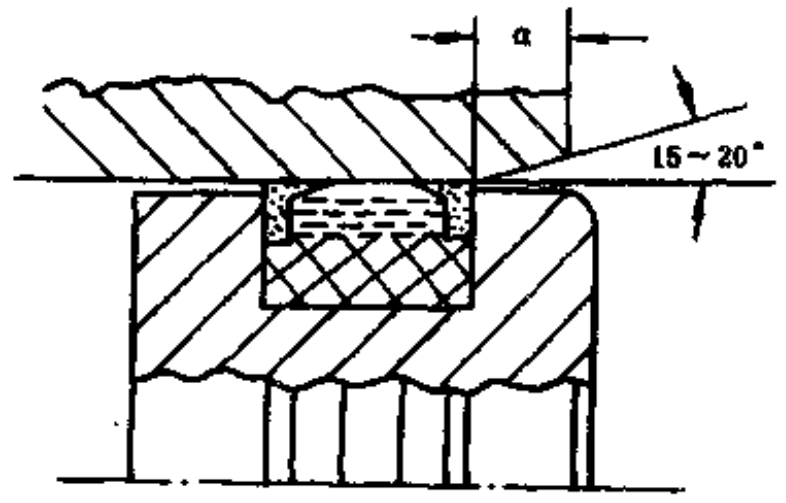


图 1-2-53 液压缸导入角示意图

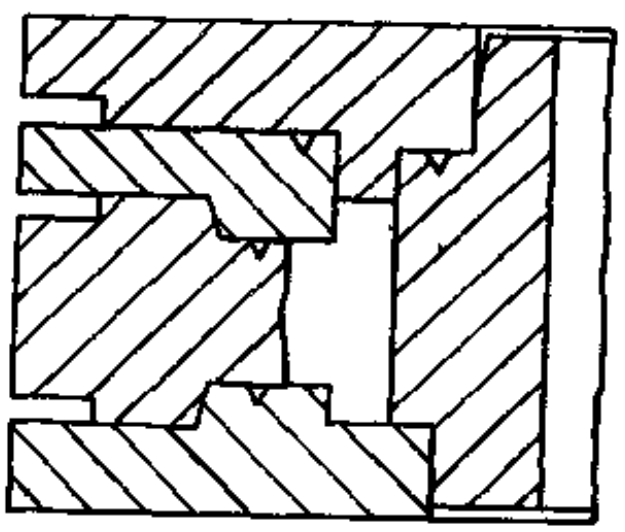


图 1-2-54 整体硫化模结构

这种模具结构，胶料受力流向合理，胶与布的粘接力高。硫化操作时，先上密封件内层宽的胶条，而后再上外层窄胶条，最后在胶的外层缠上产品需要的胶布层，或先将胶与胶布预先成型，按规格切好待用。胶片和胶布条规格重量要严格控制，否则硫化后的产品达不到预想的要求。对小规格的产品可参见图1-2-56纯胶件的硫化模型结构图。

对于胶与胶布件分模硫化的产品，最后要求配套使用。这里应特别引起注意的是胶料的硫化收缩率，轴向收缩率没有被引起重视。结果是纯胶件的高度与胶布的高度配合不一致。胶料的收缩率比胶布的收缩率要大得多。胶布件和纯胶件的硫化模具结构参见图1-2-55和图1-2-56。

对于第一类鼓形密封圈硫化模型结构设计，第一步先设计U形胶布定形模具，胶布定形模具结构参见蕾形密封圈胶布定形模，第二步是设计整体硫化模型，模型结构参见图1-2-57。

6。工艺要点

（1）胶布和胶料制造工艺 参见蕾形密封圈生产工艺。

（2）硫化 缠绕胶布时，胶布拉伸力不宜过大，应保持胶布的宽度，过大影响密封件整圈拉伸量，在安装过程中，由于胶圈伸长小而会发生胶圈断裂。因此小规格的整体密封圈

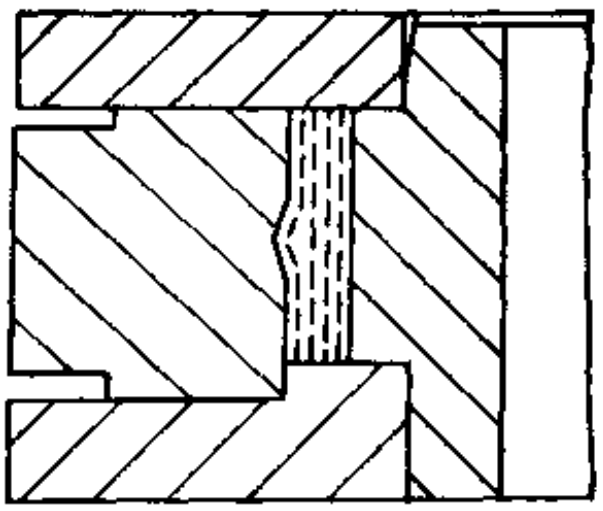


图 1-2-55　胶布件硫化模结构

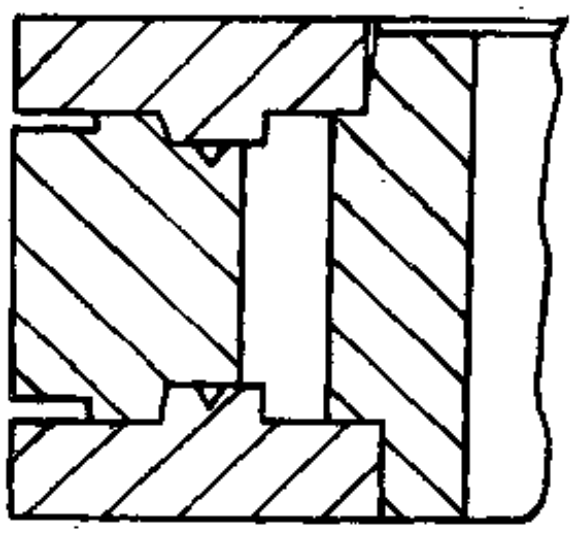


图 1-2-56　纯胶件硫化模结构

只适合于活动的活塞头。

（3）成型硫化　要严格控制胶断和胶布的半成品规格和重量，以防硫化产品超差，或产生外观缺陷，降低产品合格率。

（4）修边检查　硫化后的产品，最后要进行修整，剪修余胶边，但要注意保持刃口光滑平整。每批产品应逐个检查外观质量，抽检产品尺寸。

（三）多唇密封圈

多唇密封圈也是指密封结构形状而言的，因其使用条件不同而设计这类密封件。

1．断面结构分类

可以推荐自成体系的密封件，有以下三种类形，见图1-2-58。

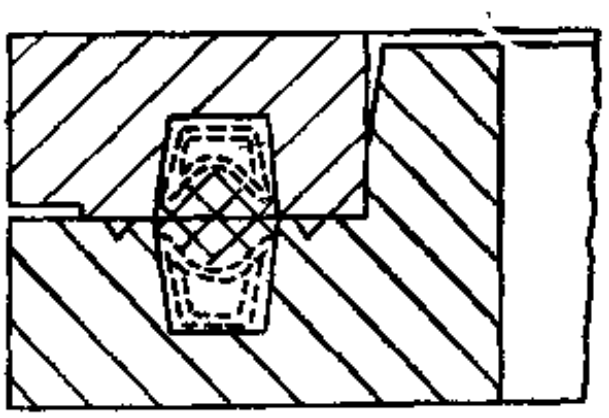


图 1-2-57　蕾形整体硫化模结构

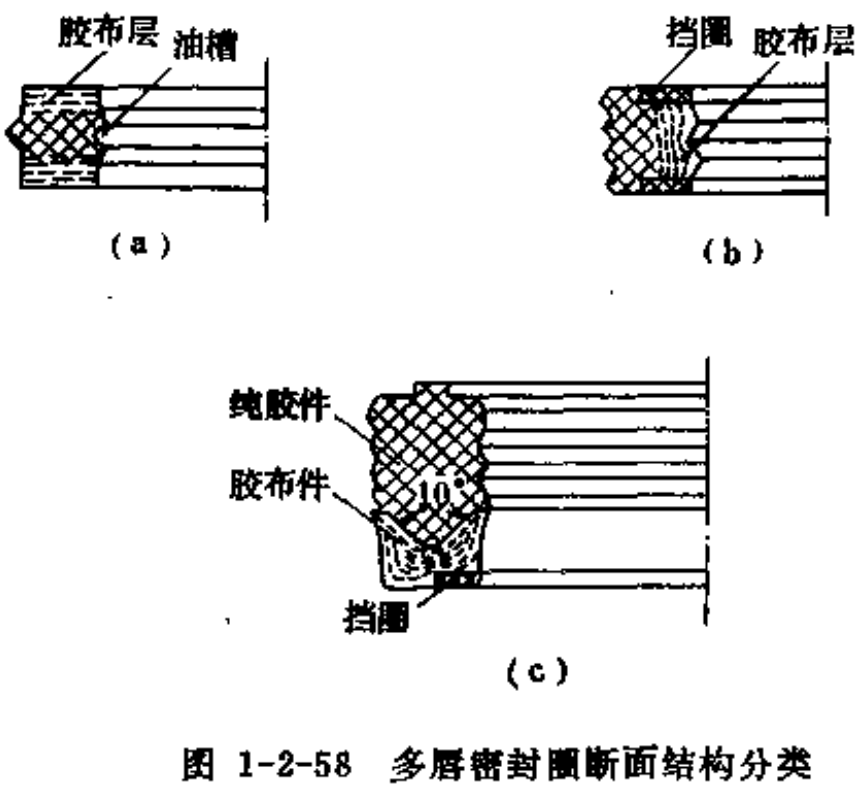


图 1-2-58　多唇密封圈断面结构分类

2．设计与应用

图1-2-58（a）、（b）两种类型的多唇密封圈，是为双作用的液压旋转机械和旋转传动密封而设计的旋转密封圈。在两个压力腔之间密封，采用这种旋转密封件既简单又经济。它适用于低线速度的高液压系统中，通过液压压缩密封的断面，使之产生径向变形来增大压缩应力，将密封唇紧贴于金属表面，从而保证了在静态和动态负荷状态下的密封效果。

图1-2-58（a）类多唇密封圈，中间密封唇为丁腈橡胶，两端为特殊织物的高硬度胶布层，经模压成多唇密封圈。它在密封的效果上比使用O形密封圈性能优越，使用的断面比O

形圈稍大，但也可以使用与O形圈断面一样大的旋转密封，其实断面大一点稍好，因为可以少量平衡金属部件不规则性。当安装在槽内时，整个外表面都与边部相接触，这样就得到了比O形圈更加稳定的性能。在滑动的表面上，中间胶的两个边部有唇口，中间还有一个润滑油槽，这样与轴相接触的面积不仅可以降低到最小，而且摩擦生热性也小，两端都有特殊织物的胶布增强，所以不发生周向损坏。由于这种类型密封具有优越的耐磨性和可靠性，使它可用于负荷很大的地方。内径在40mm以上的密封圈是很容易装入缸套沟槽中的。

图1-2-58（b）类多唇密封圈，外周为橡胶部分，内周带有特殊织物的胶布层，内外密封面都有多道唇口和润滑沟槽，将使密封表面保留少量润滑油，这样与轴相接触的面积不仅可以降低，而且还有可能消除产生热的可能。在密封圈表面上，两边塑料挡圈可以防止密封件被挤入间隙。它与（a）类密封圈相比，可允许在更高的压力下使用。由于挡圈刚性较大，内径在60mm以上的多唇密封圈容易装入缸套沟槽中。

以上两种类形的多唇密封件都可以适用于液压油、水和乳化液等介质。在旋转运动、非线性冲程运动中，都会妨碍有实际价值的润滑油模的生成，这就会引起密封件的生热。因此，密封件允许的表面速度，首先取决于设备的结构和使用条件，然后则取决于热的消除，密封温度一般不宜超过80℃，其它使用条件见表1-2-32。

图1-2-58（c）类多唇密封圈，是由橡胶件和胶布件组合的密封体。上部为高硬度橡胶密封环，内外密封唇表面经模压多道润滑沟槽和密封刃口；下部为高硬度U型胶布的承压环，并带有塑料硬质挡圈，以防密封环胶料被挤入间隙。这种密封结构已具有减少接触面积，又增加润滑的特点，为了保证初始密封效果，在产品设计时就给予纯胶和胶布件密封唇口断面宽增加一定的过盈，过盈量为9～18%的范围较适宜。它适用于液压油、水和乳化液油等介质的活塞杆密封。使用压力介于图1-2-58（a）和（b）类之间，线速度在0.5m/s以下。

以上三种类形多唇密封圈使用条件的标准数值，常受现存的操作条件的支配，可允许个别的更高的值，但是必须意识到在苛刻的使用条件下，像大量的倒转、波动的负荷和其它危险的操作因素都不应超过标准值。（a）类旋转密圈可于旋转传动中装配的末端密封。

为了使密封件具有最佳的操作条件和耐用性能，密封件断面宽度与相对应的公称直径配合适当有很大关系，否则将影响到密封性能和使用寿命。公称直径与断面尺寸参见图1-2-59和表1-2-33。

表 1-2-32　图1-2-58(a)、(b)两类多唇密封圈的使用条件

使用条件	(a) 类	(b) 类
压力，MPa	20	40
速度，m/s	0.1	0.2

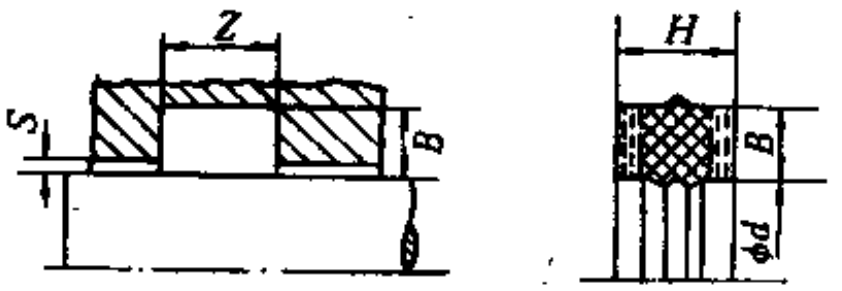


图 1-2-59　图1-2-58 (c) 类多唇密封圈的断面尺寸

金属部件的配合公差和表面光洁度，也会影响到密封性能和使用寿命，因此定子和转子之间的公差应非常接近，配合公差要求参见表1-2-34。

使用滚轴承或套轴承都会使定于和转子之间产生的间隙更大，允许间隙大小，主要取决于其所处的压力负荷大小，这种密封件的允许间隙（S）参见表1-2-35。

允许表面光洁度参见表1-2-36。

表 1-2-33 公称直径与断面尺寸关系 单位：mm

公称直径，d	图1-2-58(a)、(b) 类 形			公称直径，d	图1-2-58(a)、(b) 类 形		
	B	H	L		B	H	L
≤22	4	6	6.5	>85～140	10	12	13
>22～36	5	7.5	8	>140～200	12.5	15	16
>36～56	6	7.5	8	>200～300	15	17.5	19
>56～85	7.5	10	11	>300	20	24	26

表 1-2-34 轴直径与配合公差的关系

轴的直径，d	配合公差
<60	H_1/e_1
>60	H_1/f_1

表 1-2-35 图1-2-58(a)、(b)两类多唇密封圈配合时允许的间隙

单位：mm

断面宽度 B	(a) 类	(b) 类
4～6	0.1	—
7.5～10	0.15	0.3
>12.5	0.2	0.4

表 1-2-36 图1-2-58(a)、(b)两类多唇密封圈配合时的允许光洁度

表面光洁度	R_a，μm	R_z，μm
滑动面	≤0.3	≤3
缸套的沟槽	≤1.8	≤10
缸套的端面	≤3	≤16

图1-2-58（c）类多唇密封圈的规格系列及断面宽度的系列与关系可参见蕾形密封圈第三类形进行设计选择。

3．胶料配方设计

因这类密封件胶料性能要求与鼓形密封圈相同，应用配方举例参见鼓形密封圈。如遇特殊要求，则另行试验研究。

4．模型结构设计

图1-2-58（a）和（b）类多唇密封圈模具结构设计，以（a）类密封结构为例，硫化模型应以四开模结构为好，主要便于启模，产品外观质量高，结构参见图1-2-60。

（b）类模型结构，可参考（a）类结构设计。

（c）类多唇密封圈，因是纯胶和胶布两件组合，所以密封件的硫化模型亦为两套。

（1）纯胶件的硫化模具 要根据丁腈橡胶胶料高硬度和胶料的收缩率来确定硫化模型各部分尺寸。如果收缩率选择不准，将会影响到产品尺寸，组装时密封体和承压环（胶布件）不配合，严重者影响使用，轻微者密封性能和使用寿命不好。从硫化工艺和模型加工考虑，以四开模为好，结构示意图参见图1-2-61。

（2）胶布密封件硫化模 可参见蕾形密封的胶布硫化预压成型模型结构进行设计。胶布的收缩一般在0.2～0.3%之间。

5．工艺要点

（1）半成品准备，胶布裁断按成型施工标准要求，以45°角裁成各种规格的胶布条。图1-2-58（a）类密封圈使用的胶布层，采用叠层胶布冲切，规格大的亦可搓卷成圆环，与胶布件工艺相同。

（2）（c）类胶布件预先搓卷成型，以备硫化使用。

（3）成型硫化前要严格按技术要求控制半成品规格和重量，否则易出现外观缺陷。胶

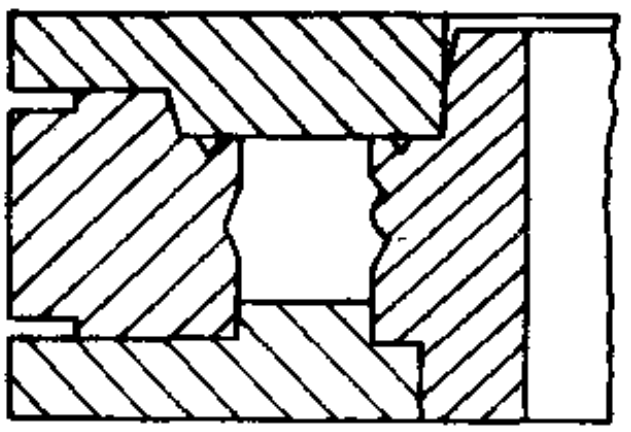


图 1-2-60　图1-2-58(a)类多唇密封结构模型的结构图

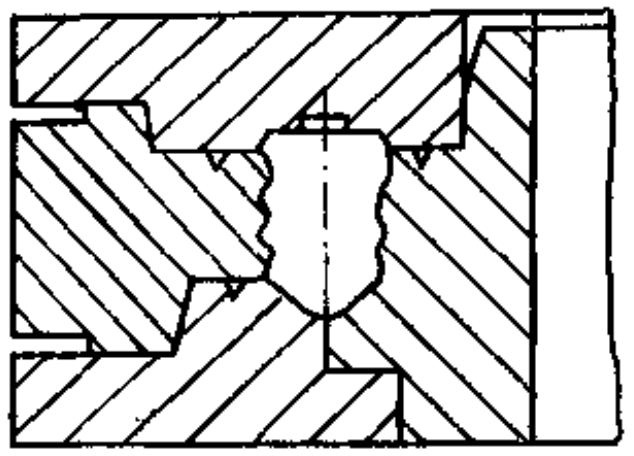


图 1-2-61　图1-2-58（c）类纯胶件模型结构示图

料和半成品胶布过重，易使产品超差，过小则易出现外观质量的毛病。

（4）成品检验，要逐个进行产品外观质量的检验，每批产品尺寸要作抽检，严禁不合格品出厂。

四、异形断面橡胶密封圈

（一）特殊断面O形橡胶密封圈

O形橡胶圈除断面为圆形的以外，还有X形、D形、T形和多边形橡胶密封圈等一些异形断面的橡胶密封圈。

1．X形橡胶密封圈

X形橡胶密封圈的断面呈X形，如图1-2-62，具有四个圆形突起，与O形橡胶密封圈相比它与轴有两个接触面，只需很小的压缩量（约1%）就能很好地密封且摩擦阻力小，只有O形橡胶密封圈的一半左右，抗扭曲能力强，在沟槽中不易滚动，能保证与轴接触的密封面平滑均匀，适宜作旋转轴的密封，这对提高耐热老化性能和耐磨耗有一定的效果，在使用上X形橡胶密封圈装配公差与O形橡胶密封圈相仿，在动静态密封工况下都能适用，用于旋转运动效果比O形橡胶密封圈好。

2．D形橡胶密封圈

D形橡胶密封圈可用作飞机着陆装置的冲击支承杆等的密封，如图1-2-63，和O形密封圈相比具有不产生拧扭损伤的特点，其可以安装在使用二个挡圈的O形橡胶密封圈沟槽中，在低压下使用时接触压力比O形橡胶密封圈大，抗啃伤性能好，也是一种具有很好自封型的橡胶密封圈。

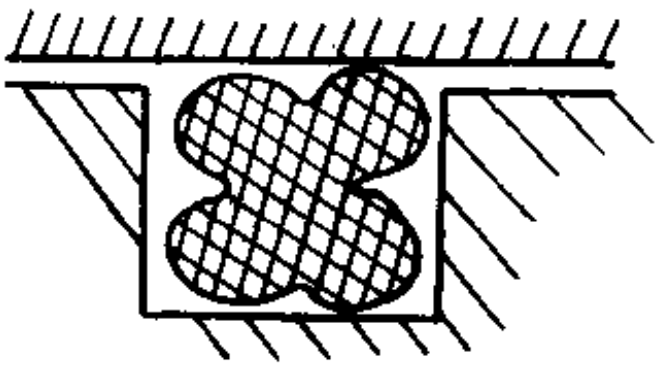


图 1-2-62　X形橡胶密封圈的断面

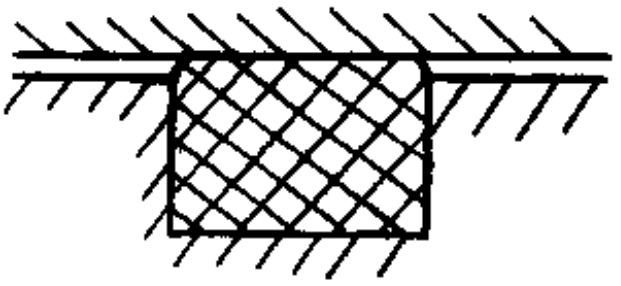


图 1-2-63　D形橡胶密封圈的断面

3．T形橡胶密封圈

这是一种为防止拧扭损伤而设计的密封圈，如图1-2-64，在其圈的两侧配用两个保护挡圈，材料可为高硬度有韧性的塑料，使用时其压缩量为5%就可达到密封效果，在低压下工作时耐震，摩擦阻力小，用在高压下抗挤出性能好，但制造加工难度稍大。

4．三角形橡胶密封圈

这是断面形状呈三角形的密封圈，如图1-2-65所示，在运动过程中不易产生拧扭损伤，然而它的使用寿命短，工艺加工又较难。

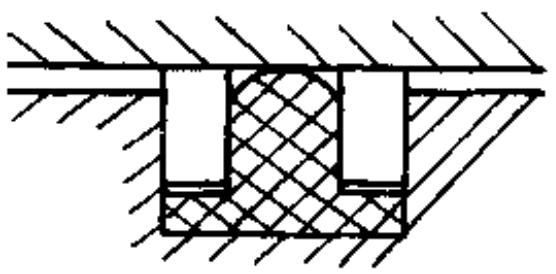


图 1-2-64　T形橡胶密封圈的断面

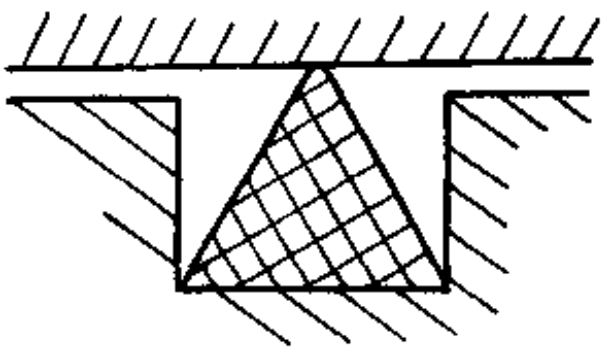


图 1-2-65　三角形橡胶密封圈的断面

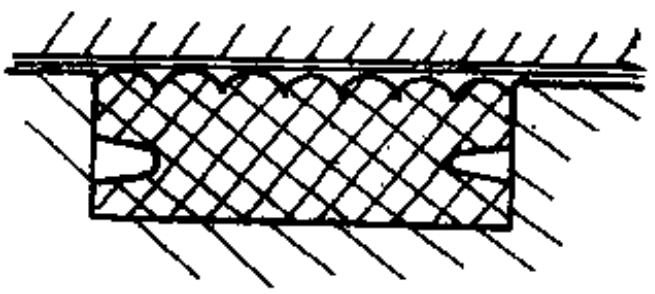


图 1-2-36　V-O形橡胶密封圈的断面

5．V-O形橡胶密封圈

其断面形状为V形橡胶密封圈和O形橡胶密封圈的组合，使用中也即只需很小的压缩量就能很好地密封，摩擦阻力小。在往复运动中不易产生扭曲，但加工工艺难度大，成本高，只有在特殊情况下才使用此橡胶密封圈，见图1-2-66。

（二）Y形断面密封圈

Y形密封圈也称U形密封圈，是为液压系统中的活塞、柱塞和活塞杆的密封而设计的。

1．断面结构与分类

根据不同压力和使用要求，产品断面结构大致可分为以下三种类形，见图1-2-67、图1-2-68和图1-2-69。

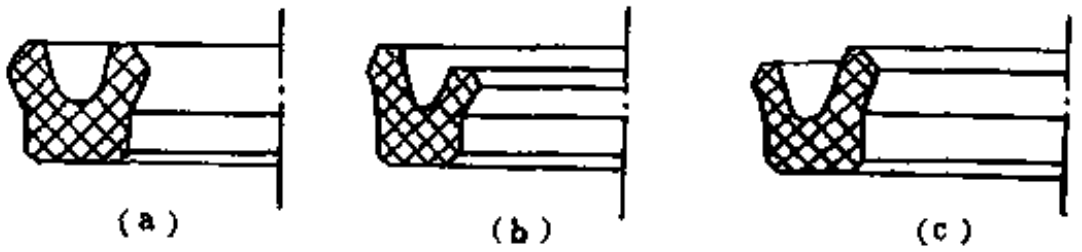


图 1-2-67　Y形橡胶密封圈

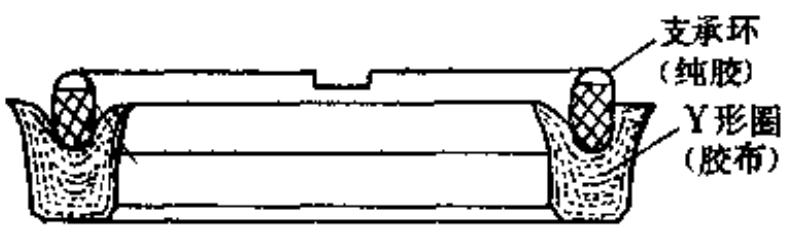


图 1-2-68　Y形夹布密封组合示图

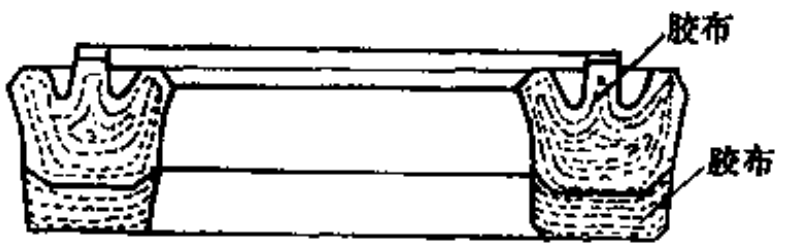


图 1-2-69　U形组合密封圈示图

2．设计与应用

Y形橡胶密封圈由高硬度（85邵尔A）丁腈橡胶模压而成，一般为液压和气动的活塞杆、柱塞和活塞密封而设计。它们特别适用于机床自动装置，农业设备的液压缸密封。

为了获得初始密封，故在设计U型密封圈的密封唇部时，就给内外唇有一定的过盈，当密封圈装入沟槽中，密封唇仪与滑动表面沟槽底部金属相接触，产生一定的预应力，达到密封的效果。在压力的作用下，由于密封唇圆周方向的变形，产生接触压力，随着液压的增加，变形和接触压力也就增大，致使密封圈达到自封的效果。该种密封圈一般可分三类。

（1）Ⅰ类密封圈　是指图1-2-67（a）形、（b）形和（c）形三种密封圈。

a.（a）形橡胶密封圈　是一种普通型的密封圈，两个密封唇的长度是一样长的，这样的Y形密封，既可适用于活塞杆，又可适用于活塞的密封。由于内外唇已有过盈，故在装配时必须特别小心，以防唇口受到损伤或翻边。

b.（b）形橡胶密封圈　该类密封圈为活塞杆和柱塞密封而设计，这种密封结构的特点是内唇短而粗，成为较坚实的密封唇，甚至在零压力也能保证绝对密封。外唇细长而有过盈，保证了与沟槽底部紧密贴合。

c.（c）形橡胶密封圈　为活塞密封而设计。并且可以采用不同密封唇和密封角，外唇比较短，适用于动力密封，内唇细长而有过盈，保证了与沟槽底部紧密贴合。

这类橡胶密封圈，内径在40mm以上的可以直接安装在沟槽式密封缸内，对于较小规格U形密封圈，必须具有由轴向装入密封圈的条件。Y(U)形橡胶密封圈可适用液压油、水和乳化液油，在中型液压系统中可允许使用的条件如表1-2-37所示。

在特殊情况下，可允许采用高值，但要根据具体条件而定，一般是不应超过上述标准值。

为了获得最佳的操作性能和提高密封件的耐用性，根据工作压力要求，选择好密封件的尺寸也是非常重要的。断面宽太小，将会降低密封性能和使用寿命。关于U形橡胶密封圈的断面宽度和高度，与相对应的公称直径，可按国家标准GB 2879—81液压缸活塞和活塞杆断面动密封沟槽尺寸系列和公差来选择。

（2）Ⅱ类U形夹布密封圈　由U形夹布密封环和一个橡胶支承环组合而成。密封环的细长密封唇是由橡胶支承环支撑着。组装U形组合密封时，可有轻微的轴向调整，从而导致支承环的变形，结果使U形夹布密封环的唇部支撑着预压，因而保证了低压的良好密封。在压力的情况下，随着液压的增加，由于支承环的变形，密封唇部接触力也随之增大，这样就达到了自封的目的，从而保证了整个压力范围内有效密封。这类U形夹布密封体，主要用于液压缸的活塞杆和液压柱塞上。由于胶布具有良好的表面结构，在与金属表面滑动时能保持良好的润滑，对降低摩擦和磨耗，提高使用性能起到根好地效果。

根据使用条件，此类夹布密封件的高度可以设计相当小，即高度等于断面宽（$H = B$），它与橡胶件相组合，能提供一种特别小的高度，这种短而坚实的密封唇，甚至在低压范围内也能得到充分密封。与前者（细高的）密封作用相比，有较厚的油模，在高压下摩擦亦较低，磨耗也小，可用于间隙较大的静密封，它所用橡胶支承环也可以使用O形密封圈代替。

U形夹布密封圈可以用于液压油、水和乳化液油等介质，同时允许的使用条件见表1-2-38。

对于偶然的操作，如低压大冲程中应用或仅在冲程末端高压的应用，允许使用的压力界限为35MPa。用于静密封可达50MPa，甚至更高一点，但这要取决于设备的设计。

表 1-2-37 Y(U)形橡胶密封圈

压　力，MPa	≤ 16
线 速 度，m/s	≤ 0.5
温　度，℃	−30～+100

表 1-2-38 U形夹布密封圈工作允许的使用条件

压　力，MPa	25
线 速 度，m/s	0.5
温　度，℃	−30～+120

为了使这种类型的密封件有一个最佳的工作状态和有很好的耐用性，重要的是密封件规格与断面宽度要和使用压力相互配合好，否则影响性能和使用寿命。有关公称直径与相对应的断面宽度和高度及其装配尺寸，参见图1-2-70和表1-2-39。

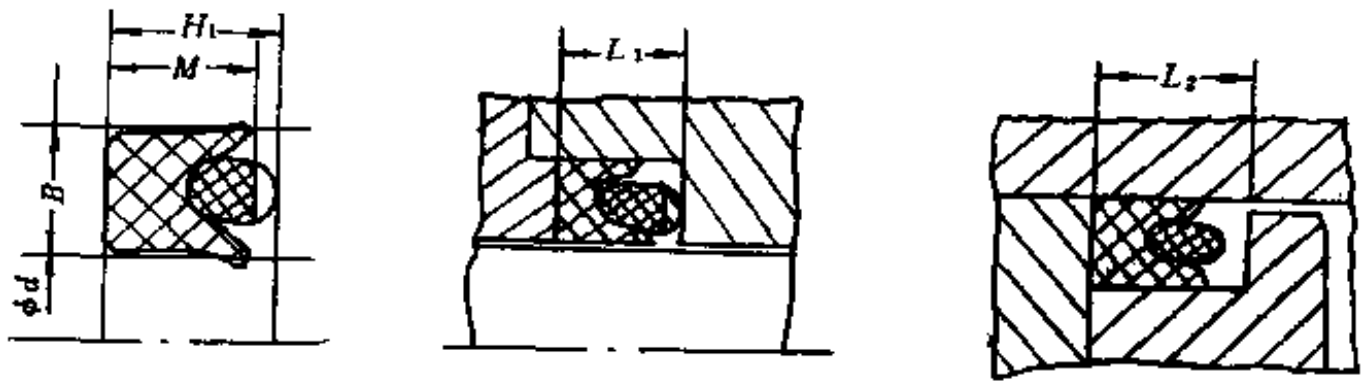


图 1-2-70 U形夹布密封圈与活塞杆装配尺寸标志符号

表 1-2-39 公称内径与断圈宽度、高度及其装配尺寸　　单位，mm

公称内径，d	B	组合高度，H_1	活塞杆缸的深度 L_1	活塞缸的深度 L_2
≤22	6	$H+1.5$	$H_1-0.3$	$H_1+0.3$
>22～42	7.5	$H+2$	$H_1-0.3$	$H_1+0.5$
>42～90	10	$H+2.5$	$H_1-0.3$	$H_1+0.6$
>90～140	12.5	$H+3$	$H_1-0.5$	$H_1+0.7$
>140～270	15	$H+4$	$H_1-0.5$	$H_1+0.8$
>270～500	20	$H+5$	$H_1-1.0$	$H_1+1.0$
>500～1000	25	$H+6$	$H_1-1.0$	$H_1+1.0$

在U形夹布密封圈的系列中，模压支承环不是每一种规格一个，可以由大环切割到所需的尺寸，对接成圆环，但支承环的断面形态一定要与U形环的接触断面相匹配。U形夹布环的高度应根据使用条件自行设计，可以是细长也可以是与宽度相同。

为了便于装配，又不使密封唇受到损伤，要求缸和活塞杆都应配备导入倒角。断面宽与导入角的尺寸关系见图1-2-71和表1-2-40。

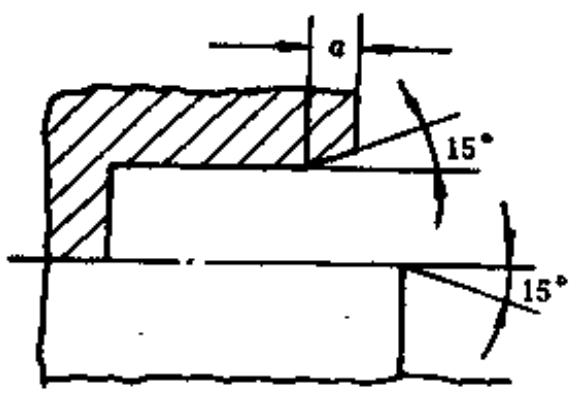


图 1-2-71 断面宽与导入角的尺寸标志

表 1-2-40 断面宽与导入角的尺寸关系

断面宽 B，mm	<6	7.5～10	12.5～15	20～25
a，mm	5	7	9	12

（3）Ⅲ类U形组合密封圈　为大型液压设备的双作用活塞而设计。这种组合密封

体是由一个坚硬的胶布U形环和一个坚硬的胶布承压环组合而成的。U形环的轴向支撑是通过完善的模压唇提供，所以这种U形组合环允许的装配高度小（见图1-2-72）。坚硬的胶布承压环可以防止密封圈从缸与活塞之间的间隙中挤出，使得U形组合环上的柔软弹性得以保持，不受损坏。在高压的作用下，胶布承压环也将张开，并提供附加的密封。

U形组合环的密封唇，由于设计有一定的过盈，密封唇在沟槽内受到压缩，因此产生预应力，从而保证了低压密封性能。在压力作用下，唇部变形随着压力的增加而增大，压缩应力也随之增大，这样也就起到自封的作用。由于胶布表面具有良好的表面结构，即使在高压作用下，密封体亦获得充分润滑，因此密封与密封件相接触的金属部件，即导向衬套和缸孔都不会被磨损，得以长期使用。

U形组合密封体，一般是由丁腈橡胶布模压而成。它可用于液压油、水和乳化液油等介质，使用压力可达40MPa，线速度在0.5m/s以内，使用温度范围为－30～120℃。公称直径与密封断面宽和高度的对应关系参见图1-2-72及表1-2-41。

表 1-2-41 公称直径与密封断面宽和高度的关系

单位：mm

公称直径D	B	H	L
≤39	6	7.4	7.8
>39～69	7.5	9.5	10
>69～124	10	12.5	13
>124～149	12.5	15.5	16.8
>149～300	15	18.8	19.8

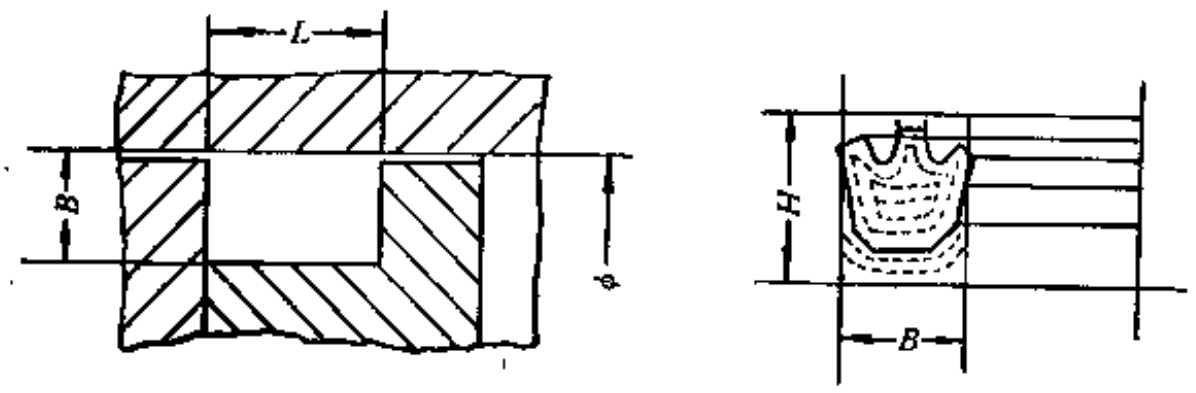


图 1-2-72 U形密封圈装配尺寸标志

3．胶料配方设计

高硬度胶料配方见配方设计应用配方举例的表1-1-2。

胶布配方参见表1-2-24的蕾形密封圈部分。

4．模型结构设计

Y形橡胶密封和U形组合密封，虽然断面结构不同，但硫化模型结构基本相似。

（1）Y形橡胶密封圈　系纯胶制品，因装胶启模都比较方便，所以硫化模型结构也比较简单，采用三开模型硫化后切刃口的方法比较理想，也可以采取模压刃口方法，其结构见图1-2-73。

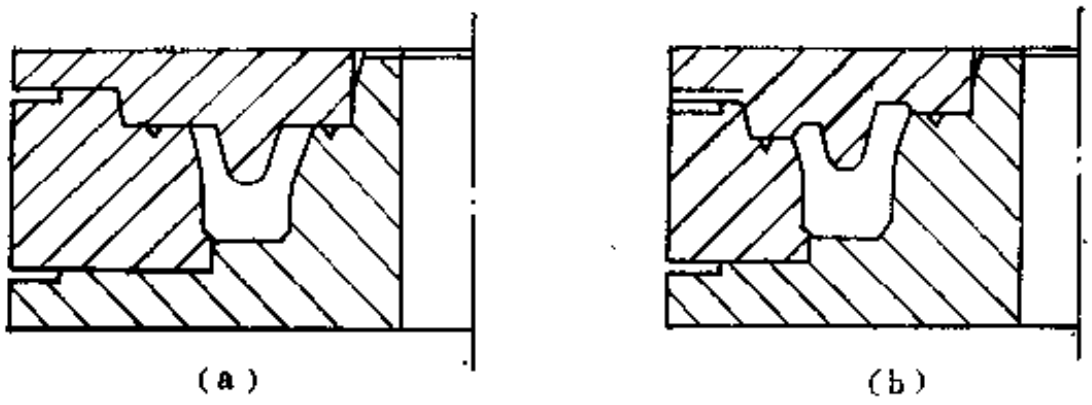
（2）U形组合密封圈　系纯胶制品，两件组合，所以硫化模型也是两套。模具结构可以采用三开模或四开模，现提出两种结构的示意图，如图1-2-74所示。

（3）U形夹布密封环的硫化模型，可参见蕾形密封的胶布定型模具。

5．工艺要点

（1）胶布密封件质量控制的关键，主要是在半成品的控制。

严格执行胶布质量标准，上胶量控制在标准范围内，涂胶均匀一致，不许有露白现象。



(a) Y形纯胶切刃口模型结构　　(b) Y形密封模压刃口模型结构

图 1-2-73　Y形橡胶密封圈结构

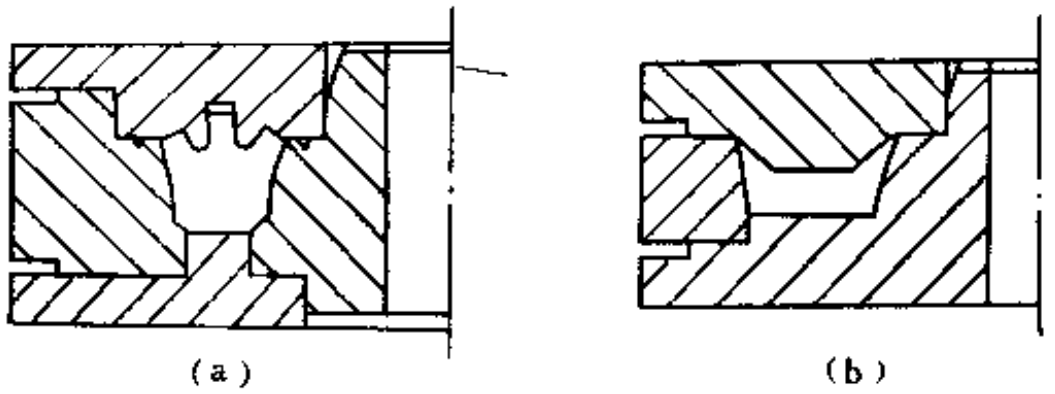


图 1-2-74　U形组合密封圈模型结构

胶布裁断须按45°角裁剪取所需的胶布条，规格尺寸控制在公差范围内。

胶布预搓成圆环，要求大小合适，松紧一致。

（2）严格控制胶料规格和重量。

（3）硫化，胶布圈装在模型中要正，不能扭转、偏移，以免造成外观缺陷。

（4）修边切刃口，修掉余胶边，刃口需保持平整、光滑，不许有缺口。刃口切割的角度、内外径的尺寸要根据产品设计要求而定。

（5）检查包装　要逐个检查外观质量，不合格的产品严禁出厂。

（6）U形组合密封件要配套包装。

（三）V形断面密封圈

带有夹织物压环和支承环的V形组合密封圈，是为重型设备的活塞杆、柱塞而设计的密封体。

1．断面结构与分类

V形组合密封是由压环、密封环和支承环三部分组合起来的密封体，其基本结构可分为两种类形，如图1-2-75（A）、（B）所示。

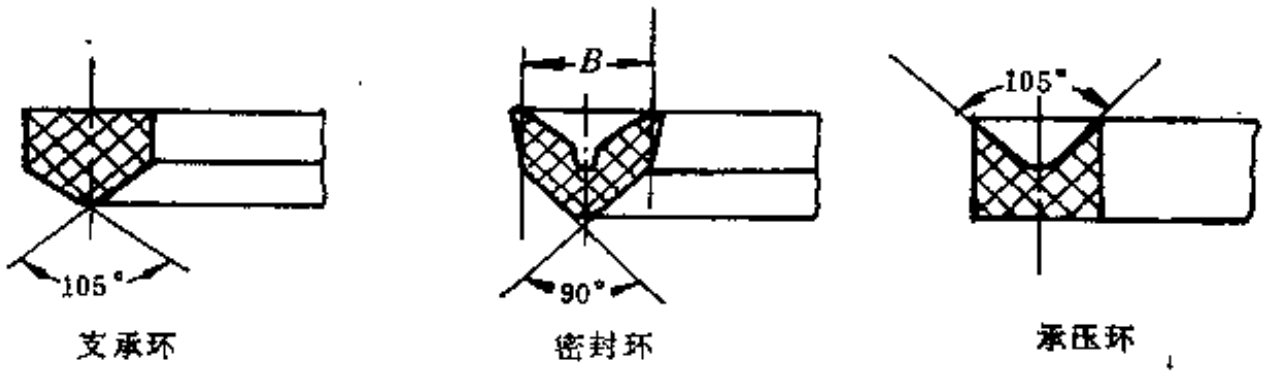


图 1-2-75（A）　V形断面组合密封圈A

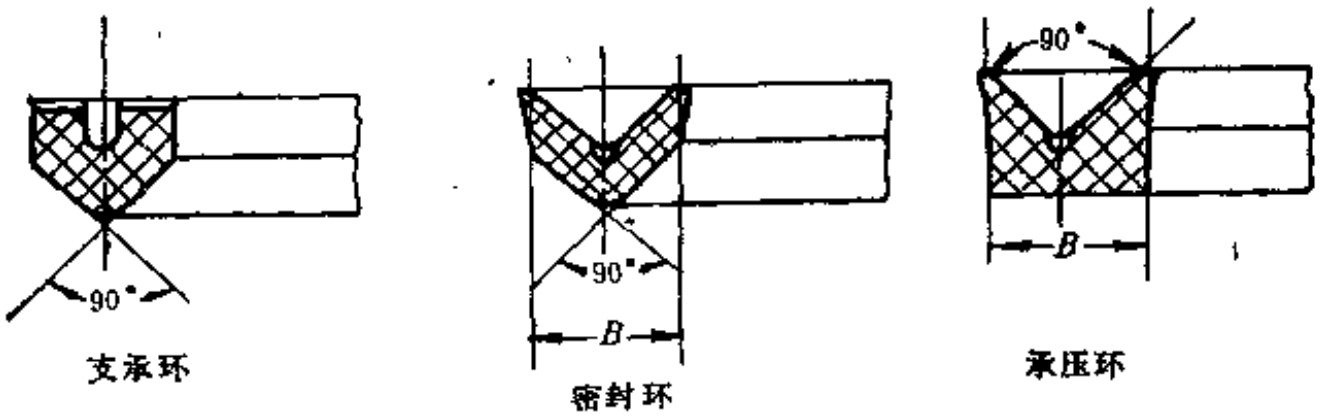


图 1-2-75（B） V形断面组合密封圈B

密封环使用的材料有胶布和纯胶的，断面有带环状沟槽和平滑的两种，根据需要而设计。

2．设计与应用

V形及V形组合密封是唇形密封比较典型的形式之一，这种密封绝大部分是与压环和支承环组合使用，很少单独使用。见图1-2-76。

压环和支承环一般是由较硬的胶布压制，但支承环有时用硬质塑料压制，中间密封环重要是由丁腈橡胶胶料压制的，根据使用压力情况，有全用胶布密封环，也有采用纯胶密封环和胶布密封环交替组合（布-胶-布-胶）。这种组合的密封体能提供很高的稳定性和较佳的耐磨性，并能防止密封环被挤入间隙，密封压力也很高。

为了保证在空载和低压情况下的有效密封，模压密封环的唇部应给出一定预压，即密封环断面尺寸要超过公称的装配宽度。在设计产品时要很好的考虑产品的过盈，过盈量大则摩操阻力大，过盈量小则密封效果不好。为了确保产品的使用，密封环（包括胶布密封环）过盈量应比公称断面宽大10～14%，压环唇部的过盈应为6～8%，支承环不但不给过盈，而且要小于公称断面宽2～5%。密封环内外唇倾斜角度一般应设为5～9°角的范围，上唇为过盈，下唇与轴或缸的表面应留有一定的间隙（见图1-2-75A、B）。这样既能减少摩擦阻力，又保证唇部对密封面的预压力。采取这种改进措施，有利于提高V形密封圈密封性能和使用寿命。实践证明，没有倾斜角度的密封面，不仅摩擦阻力大，生热高，而且使用寿命很短。

密封环的使用数量取决于密封压力的大小，一般压力高使用数量多。使用个数增多，摩擦阻力增大，唇口磨损也大，所以密封环增多对使用不利，不宜过分靠增加密封环提高密封性能。在使用中要经常调整压环的紧固力，使密封环的唇部与油缸或活塞杆的移动部分保持密切接触，以防漏油。

使用这种V形组合密封，即使是在很苛刻的条件下，如轴向和径向振动，附加冲击负荷，频繁或突然的压力变化，迅速的反向运动或温度变化等，都能提供最佳的有效密封。它能适用于液压油、水和乳化液油等介质，使用压力可达40MPa以上，表面速度可在0.5m/s，使用温度可在－30～120℃范围内。如采用塑料支承环时，使用温度一般不高于100℃。在高温或在特种液压油如耐燃油中，必须使用特种夹织物的胶布，使用温度在－15～＋140℃时，可采用棉帆布氟橡胶，若用石棉氟橡胶，可使用的温度为－15～160℃，短时期内可达到200℃，除此之外，亦可使用其它材料组合。

为了获得最佳的操作状态和达到耐用的目的，公称直径与断面宽度应有相对应的配合。断面宽度太小，将会降低它的使用功能和耐用性。如采用（A）或（B）形结构的V形组合

密封，其规格系列及断面尺寸可参照部标HG 4—337—66进行设计，但中间密封环的密封面不论（A）型还是（B）型，应设有5～9°的倾斜角。如采用（B）形断面结构的V形组合密封，规格系列及断面尺寸亦可参见JIS B2403—77标准中有关产品结构部分，图1-2-77为V形组合密封装配示意图。表1-2-42为压盖及V形组合密封体主要尺寸，表1-2-43为V形组合密封组装高度。

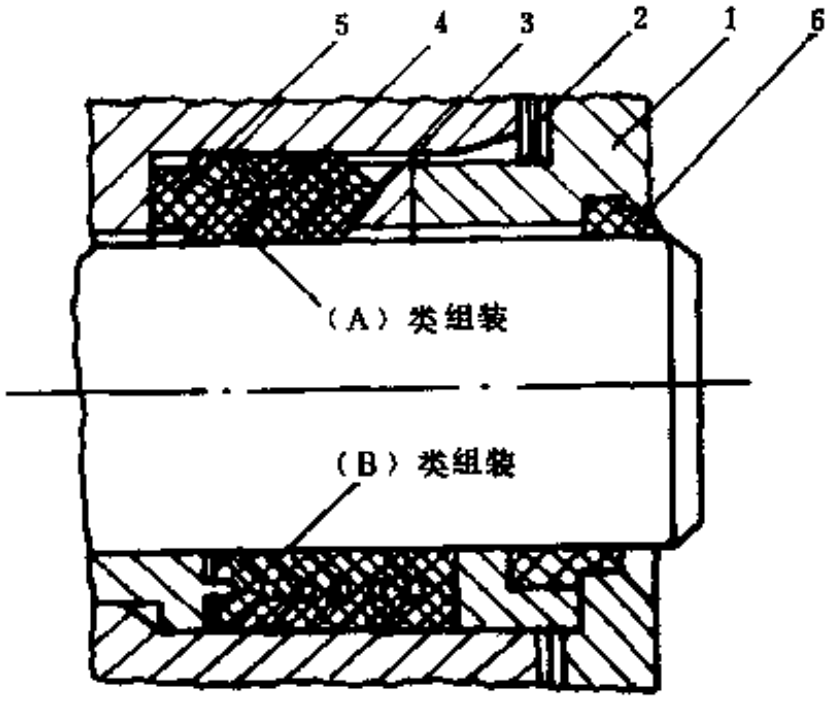


图 1-2-76　V形组合装配示意图

1—压盖；2—垫片；3—承压环；4—密封环；5—支承环；6—防尘圈

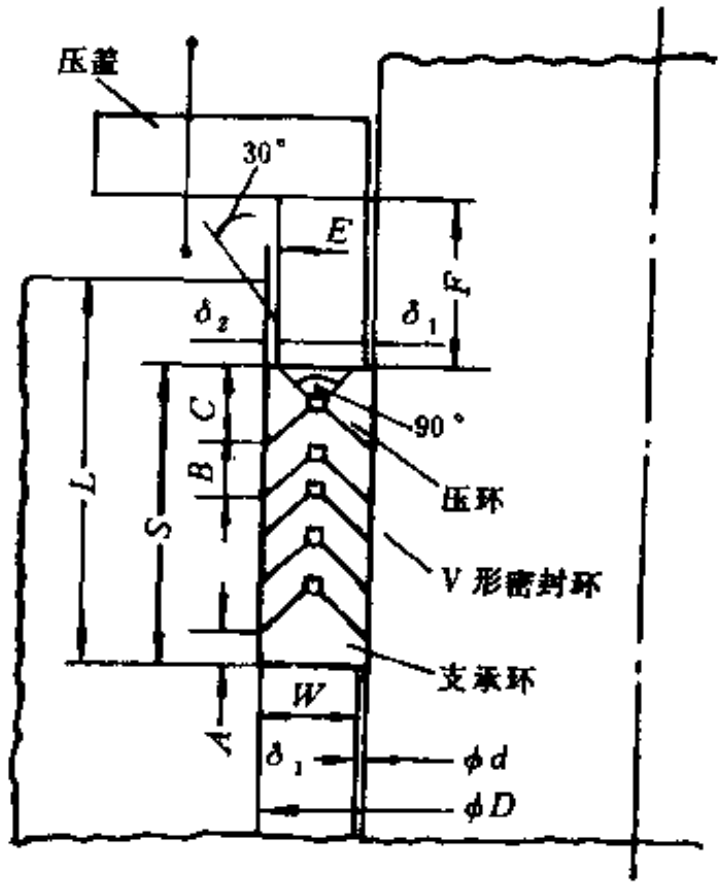


图 1-2-77　V形组合密封装配示意图

表 1-2-42　压盖及V形组合密封体主要尺寸　　单位：mm

公称代号及类别	W	R 最小	R_1 最小	R_2 最大	A	B 橡胶V形密封	B 胶布V形密封	C	L	F	E	δ_1 最大	δ_2 最大
H6.3～H16 或 F6.3～F16	5	0.5	0.5	0.5	8	2.5±0.3	$3^{+0.5}_{-0.2}$	5	S+5	10	0.3	0.12	0.06
H15～H32 或 F15～F32	6.5	0.75	0.75	0.75	3	3±0.3	$3^{+0.5}_{-0.2}$	6.5	S+6	12	0.4	0.14	0.07
H34～H64 或 F34～F64	8	1	1	1	3	3.5±0.3	$4^{+0.5}_{-0.2}$	8	S+8	16	0.5	0.16	0.08
H67～H120 或 F67～F120	10	2	2	2	3	4±0.3	$5^{+0.5}_{-0.2}$	10	S+10	20	0.6	0.18	0.09
H125～H250 或 F125～F250	12.5	2	2	2	3	5±0.3	$6^{+0.5}_{-0.2}$	12.5	S+12	25	0.8	0.20	0.10
H265～H300 或 F300～F500	16	3	3	3	3	6±0.4	$7^{+0.8}_{-0.3}$	16	S+16	32	1.0	0.22	0.11
F530～F1000	20	4	4	4	3	—	$8^{+12}_{-0.4}$	20	S+20	40	1.3	0.25	0.12

注：公称代号及类别项中 H—表示橡胶V形密封环，F—表示胶布V形密封环。

表 1-2-43　V形组合密封组装高度（S）　　单位：mm

公称代号及类型	W	S					
		V形密封环3个		V形密封环4个		V形密封环5个	
		橡胶V形	胶布V形	橡胶V形	胶布V形	橡胶V形	胶布V形
H6.3～H16 或 F6.3～F16	5	15.5±0.7	$17^{+1.1}_{-0.5}$	18±0.8	$20^{+1.2}_{-0.5}$	20.5±0.8	$23^{+1.3}_{-0.5}$
H15～H32 或 F15～F32	6.5	18.5±0.7	$18.5^{+1.1}_{-0.5}$	21.5±0.8	$21.5^{+1.2}_{-0.5}$	24.5±0.8	$24.5^{+1.3}_{-0.5}$
H34～H64 或 F34～F64	8	21.5±0.7	$23^{+1.1}_{-0.5}$	25±0.8	$27^{+1.2}_{-0.5}$	28.5±0.8	$31^{+1.3}_{-0.6}$
H67～H120 或 F67～F120	10	25±0.7	$28^{+1.1}_{-0.5}$	29±0.8	$33^{+1.2}_{-0.5}$	33±0.8	$38^{+1.3}_{-0.5}$
H125～H250 或 F125～F250	12.5	30.5±0.7	$33.5^{+1.1}_{-0.5}$	35.5±0.8	$39.5^{+1.2}_{-0.5}$	40.5±0.8	$45.5^{+1.3}_{-0.5}$
H265～H500 或 F265～F500	16	37±0.9	$40^{+1.8}_{-0.7}$	43±1.0	$47^{+2.0}_{-0.8}$	49±1.1	$54^{+2.1}_{-0.8}$
F530～F1000	20	—	$47^{+2.7}_{-0.9}$	—	$55^{+3.0}_{-1.0}$	—	$63^{+3.2}_{-1.1}$

注：$S=A+nB+C$，n—使用的个数。

配合精度及公差

轴的精度　h_8—h_9；槽的精度 H_9—H_{11}。

3．胶料配方设计

V形密封圈的胶料性能，与蕾形密封圈的胶料性能要求基本相同，因此，一般胶布胶和纯胶的配方不另行设计，实用配方详见蕾形密封圈表1-2-24。对产品有特殊性能要求的，胶料配方另行设计。

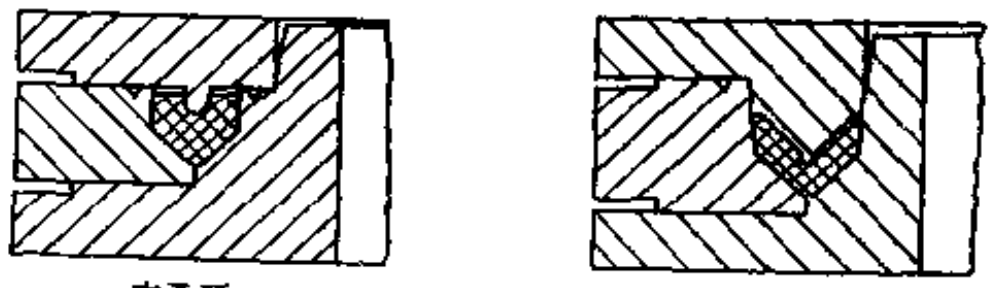


图 1-2-78　（B）型硫化模具结构

4．模型结构设计

V形组合密封圈（A）和（B）型结构，虽是两种类型，但模型结构基本相同。以（B）型结构为例，硫化模型结构设计，参见图1-2-78。

5．工艺要点

（1）胶布件成品的制备　严格执行胶布质量标准，上胶量控制在标准范围内，涂胶均匀一致，不许有露白现象。

胶布裁断须按45°角裁取所需的胶布条，规格尺寸控制在公差范围内。

胶布件预搓成圆环，胶布搭头不宜过宽，一般以2～3mm为宜。搓圈大小要合适，松紧一致，由于胶布的问题，经常发现外观缺陷和产品超差报废的不少，因此胶布件的质量关键

在半成品的质量上。

（2）胶料规格和重量　严格控制，以防产品超高。

（3）硫化　胶布圈装在模具中要正，不能扭转、偏移，以免造成外观缺陷。

（4）产品修边检验　修掉余胶或布边，刃口需保持平滑，不许缺损。产品要逐个检查外观质量，每批产品要作尺寸抽检，成套包装不合格品严禁出厂。

（四）防尘圈

防尘密封圈对保护关键性的液压设备部件是极端重要的。渗入尘土，不仅磨损密封件，而且会大大的磨损导向套和活塞杆，除此之外，杂质进入液压介质中，亦会影响操作阀和泵的功能，在最坏的情况下，亦可能损伤这些装置。防尘圈能除掉活塞杆表面上的任何尘土，但不损坏活塞杆上的油膜，这对密封件的润滑也有一定实效的。

1．断面结构与分类

一般可分为普通型、特别型和组合型三种类形。分别见图1-2-79、图1-2-80和图1-2-81。

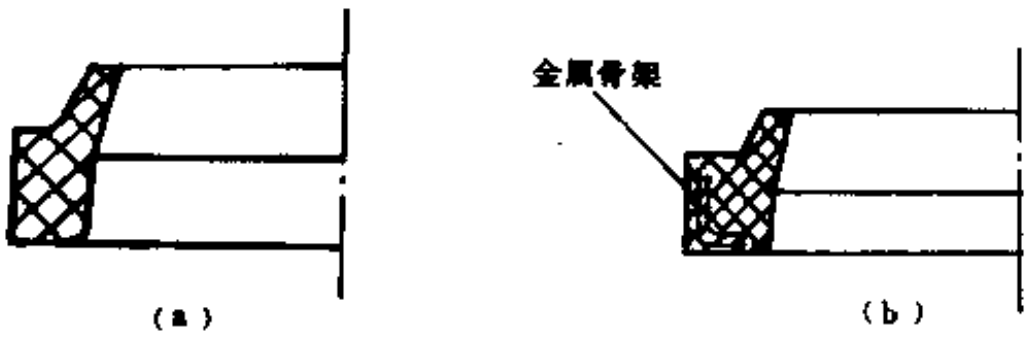


图 1-2-79　普通型防尘圈

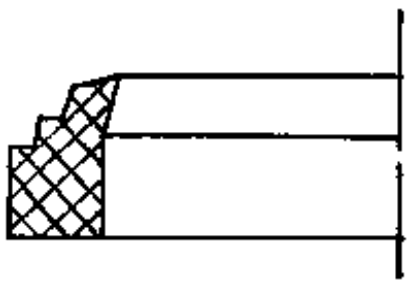


图 1-2-80　特别型防尘圈

2．设计与应用

图1-2-79（a）形断面结构是一种普通的防尘圈、它是由高硬度(90±5邵尔A)材料压制的，可使用橡胶或橡塑并用材料，要求弹性适合于除尘并具有良好的耐磨性和耐天候老化的特性。设计时就考虑对活塞杆有一定的过盈量，因此给密封圈唇口以足够的拖紧力，能使活塞杆表面上尘土刮掉，防止尘土和杂物带入缸体。

内径在20mm以上的防尘圈，能迅速的装入缸套沟槽中，安装示意图见图1-2-82。

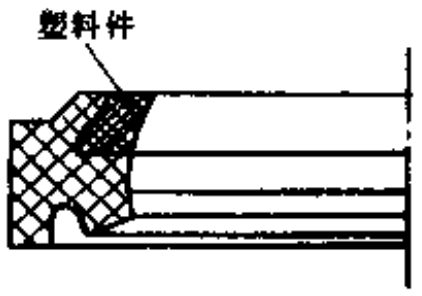


图 1-2-81　组合型防尘圈

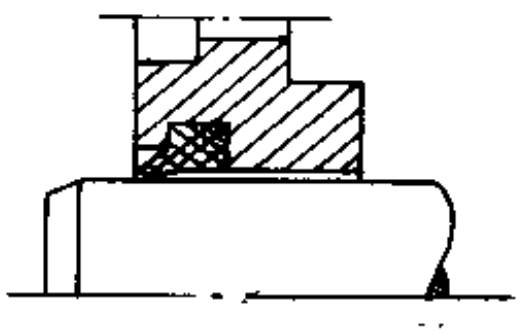


图 1-2-82　普通型A形断面防尘圈安装示意图

图1-2-79（b）形结构的防尘圈也是普通类型，使用情况与（a）形结构相同，仅只是在防尘圈底部和外表而增加一个金属骨架。由于金属骨架的关系，这类防尘圈只能压装在开口的缸套中，安装示意图见图1-2-83。

特别型的防尘圈的不同之处仅是在外径表面增加一个附加的台阶，所以是通过挡板侧而支撑着密封唇。由于这种防尘圈更加突出，因此必须小心使密封唇不要卷在凹槽中，在活塞杆上应有导入侧角，以免在装配时刺破唇口，安装示意图见图1-2-84。

组合型防尘圈　从结构来看有些特殊，所以称为组合型防尘圈。弹性密封件是由丁腈橡

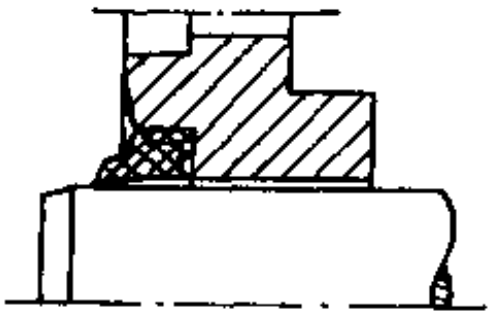
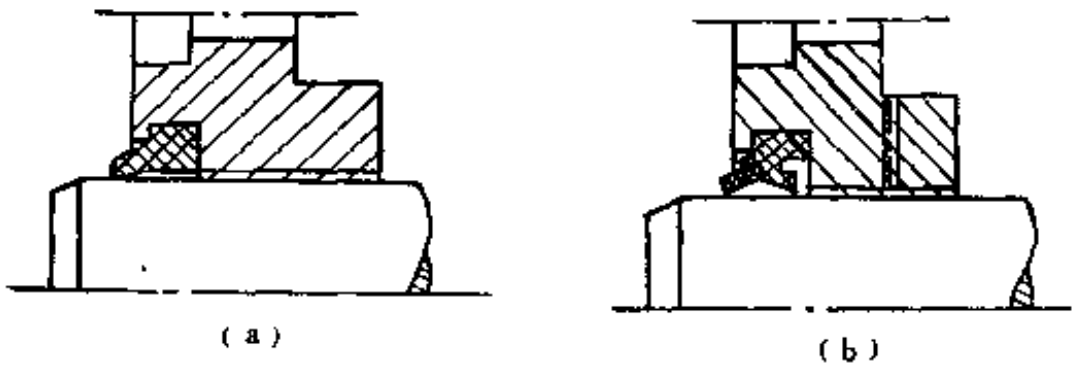


图 1-2-83 普通型B形断面防尘圈安装示意图



(a) (b)

图 1-2-84 特别型防尘圈及组合型防尘圈安装示意图

胶胶料模压而成。它们可用于长冲程和高速的条件下，能控制油膜。橡胶圈内部装配有一个硬质塑料圈的密封唇，具有高的刚性，能使活塞杆上的粘结的尘土和冻霜刮去。下部还有一个弹性的密封唇，当活塞杆完全伸出时，它能将油膜刮至主密封旁边流走。安装示意图见图1-2-84（b）。为了避免压力在防尘圈和主密封之间升高，必须在它们之间安置一个排气孔。经验表明，带有这种装置不会有油从气孔中排出。

为了使这类防尘圈具有最佳的性能和长的使用寿命，正确选用密封件尺寸是非常重要的。密封件的断面宽度太小，会过早磨损和降低耐用性。普通型防尘圈内径系列与适当的断面宽和高度参见图1-2-85和表1-2-44。

表 1-2-44 防尘圈公称直径与断面宽度及高度的关系 单位：mm

公称直径 d	防尘圈		
	B	S	H
≤42	4	5	7
>42～70	5	5	7
>70～120	6	7	12
>120～175	7.5	10	16
>175～250	10	10	18
>250～350	12.5	12.5	20
>350	15	15	25

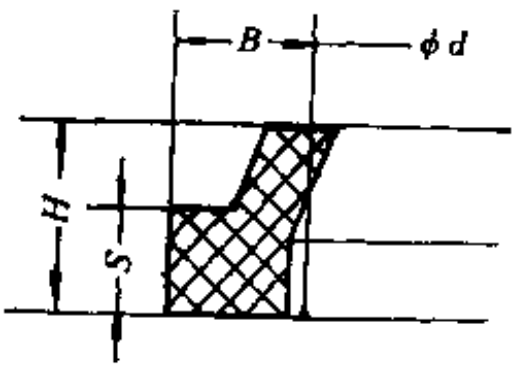


图 1-2-85 防尘圈的尺寸标志符号表示图

凡是外露金属骨架，只能使用压装的开口缸套。为保证良好的紧配合，缸孔的配合公差应是ISO-H_8。

对于组合型防尘圈，可以很容易的装进沟槽中，首先装上橡胶圈，而后将塑料圈压入橡胶的凹槽内。这种防尘圈和缸套的尺寸参见图1-2-86和表1-2-45。

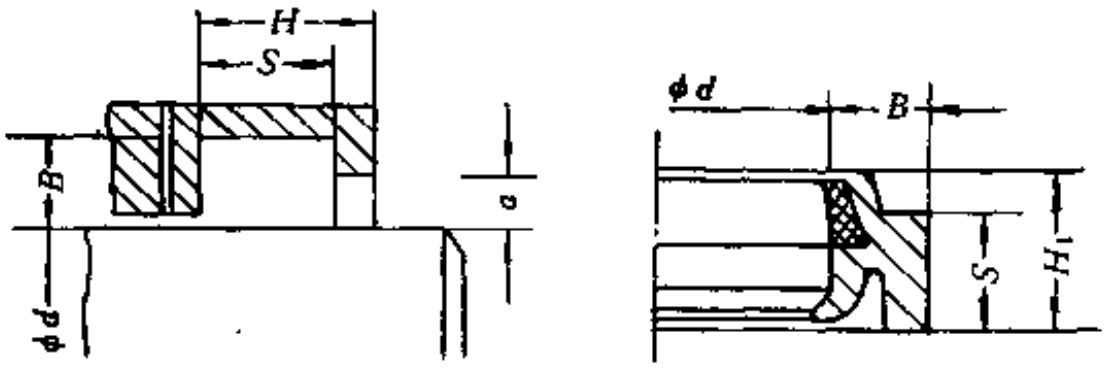


图 1-2-86 组合防尘圈的尺寸标志符号表示图

表 1-2-45 组合防尘圈公称直径尺寸 单位：mm

公称直径 d	B	H	a	H_1	S
50～74	7.5	9.6	5.5	10	8
75～99	8.5	9.5	6.0	10	8
100～149	10	11.6	6.5	12	10
150～200	12	14.6	8	15	13

3．胶料配方设计

防尘圈使用的胶料应根据它的使用条件进行配方设计试验。防尘圈安装在活塞杆的外部，除受液压油的腐蚀之外，还要经受大气温度的变化，日光和雨雪等自然条件的浸蚀。因此要求胶料具有良好的耐候、耐油、耐磨等特性，同时要求胶料还应有高的刚性和适当的弹性配合，以保证密封件正常使用。

适用配方举例参见表1-2-46。

表 1-2-46 防尘密封圈配方举例

原材料名称	配方 1	配方 2	原材料名称	配方 1	配方 2
丁腈橡胶-26	100	—	防老剂 MB	—	1.5
丁腈橡胶与聚氯乙烯共混料①	—	100	防老剂 RD	—	0.5
聚氯乙烯（x04）	75	—	癸二酸二丁酯	7.0	10
硬脂酸	1	1.0	磷酸三苯酯	5.0	—
氧化锌	5.0	5.0	石蜡	1.0	—
亚磷酸铅	1.0	—	促进剂 DM	2.5	1.5
防老剂D	1.0	—	硫黄	1.5	0.3
喷雾炭黑	60.0	—	DCP	—	2.0
快压出炉黑	—	50.0	促进剂 EZ	—	1.5
高耐磨炉黑	30.0	40.0	合　计	290	213.3

注：硫化条件 153℃×30min。

① 共混胶料比例：丁腈橡胶-26 70份，聚氯乙烯 30份。

4．模型结构设计

（1）普通型防尘圈 模型结构设计（包括金属骨架）根据填胶工艺和胶料受压流向，以三开模较为简便，不仅模型加工方便，同时硫化也比较方便。纯胶制品的收缩率较难掌握，不同的胶料收缩率不同，故在设计时应事先确定采用的胶料配方，而后通过模拟试验测定，这样所得数据较为准确。模型结构图见图1-2-87。

（2）组合型橡胶硫化模具 根据产品断面结构和模具加工的关系，该类模具应以四开模比较合适。如设计正反两个方向装模的结构，无论对生产质量控制和胶料流向都是有利的。在使用中随时可以选用，不受限制。结构图见图1-2-88。

5．工艺要点

（1）橡塑并用胶料混炼 如果采用丁腈橡胶与聚氯乙烯共混胶料时，其混炼工艺同一般丁腈橡胶混炼工艺基本相同，DCP复合硫化体系中的少量硫黄，可在混炼之初加入。如采用丁腈橡胶与聚氯乙烯或低压聚乙烯并用，在混炼之前应将塑料先进行高温塑化，而后混炼。丁腈橡胶与聚氯乙烯掺合条件，温度须控制在170～180℃之间，掺合时间一般为6～

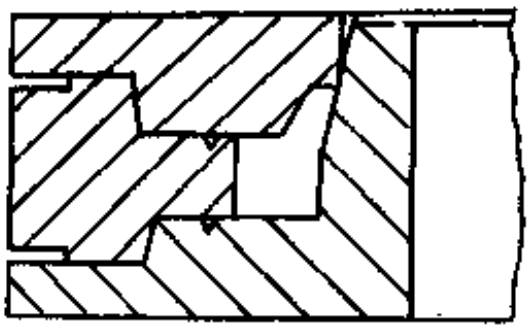


图 1-2-87　普通型硫化模

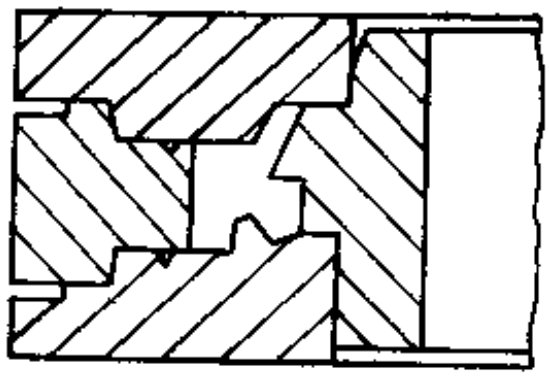


图 1-2-88　组合型硫化模

8min。掺合工艺不同，混炼胶的物理机械性能有较明显的区别，故要作对比条件和工艺试验，确定最佳的生产工艺。

（2）带有金属骨架的防尘圈　硫化前金属部件要进行喷砂或磷化处理，而后在粘合的表面刷上胶粘剂，干燥后待用，一般采用JQ-1胶粘剂，采用RM-1胶粘剂要根据结合胶面定。经处理好的附件，应存放在干燥的地方，以防受潮影响粘合力。

（3）硫化装模　要严格控制半成品规格和重量以提高产品合格率，因高硬度胶料流动性较差，填胶量大时容易超差，胶料伸长小，硫化启模稍不注意，胶圈就有可能撕裂。胶圈半成品最好采用挤出成型，以避免胶条接头不牢，而在使用中发生接头断裂现象。

（五）J形及L形密封圈

J形及L形密封圈，都是用于工作压力不大于1MPa的气压或液压机械设备中，起密封作用。J形密封圈是用于活塞杆密封，其结构见图1-2-89，尺寸及公差参见化工部标准HG 4—332—66。

J形密封圈的安装示例见图1-2-90。

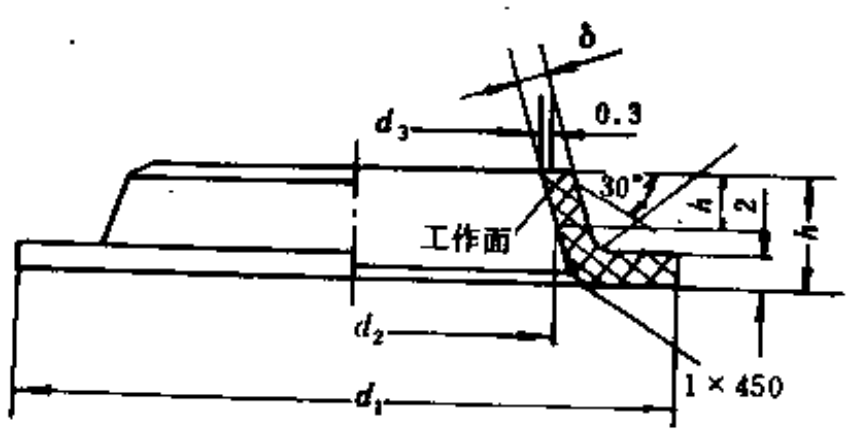


图 1-2-89　J形密封圈的结构

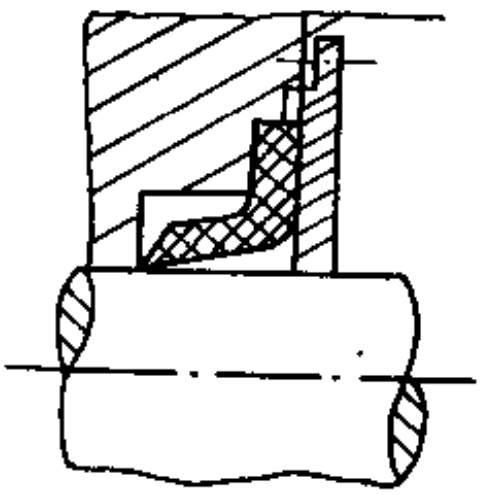


图 1-2-90　J形密封圈安装示例

L形密封圈用于活塞密封，其结构见图1-2-91，尺寸及公差参见化工部标准HG 4—331—66。

L形密封圈的安装示例见图1-2-92。

用于机车车辆制动缸的密封皮碗之形状与L形密封圈相似，在结构上它比L形密封圈更为合理，即在碗的外底部加有几道密封线，且内部有夹织物胶布作为加强层，这样在固定时不会因过紧而压变形，见图1-2-93。

有的L形密封圈工作面上设有油槽，使润滑剂贮在油槽内，可以减小摩擦，防止损伤，而且在圆平面内加有金属片起固定作用，不会因安装而产生变形，见图1-2-94。

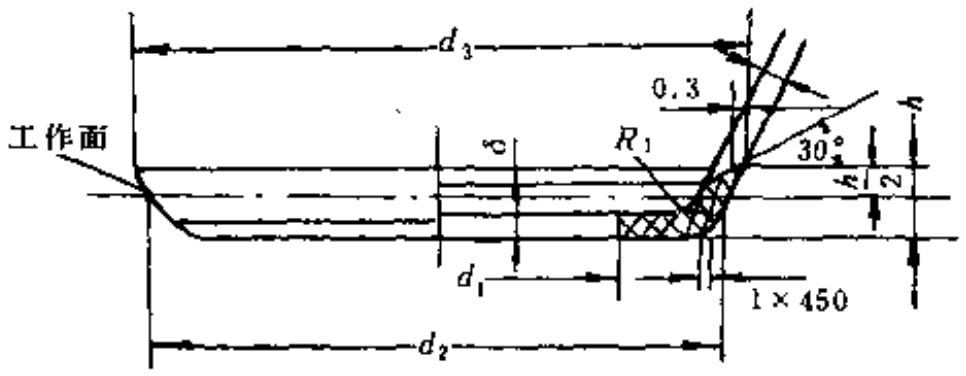


图 1-2-91　L形密封圈的结构

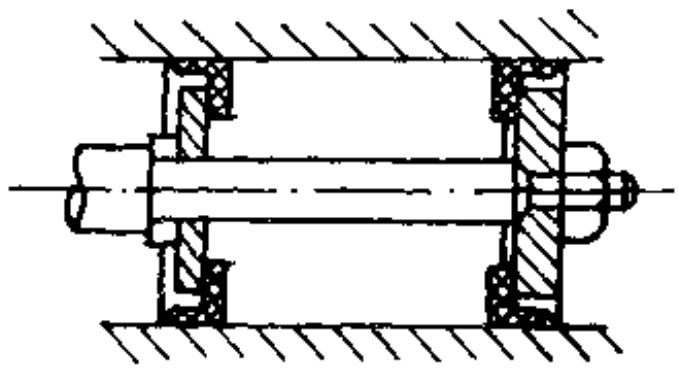


图 1-2-92　L形密封圈安装示例

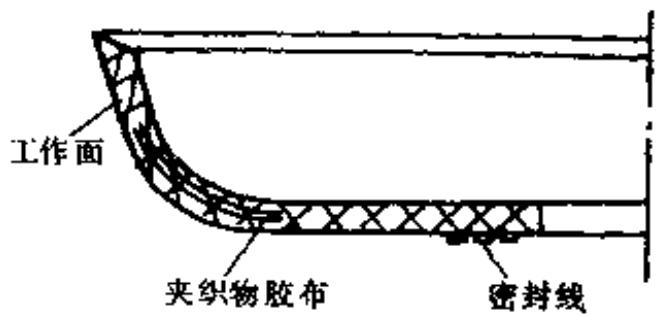


图 1-2-93　车辆制动缸的密封皮碗

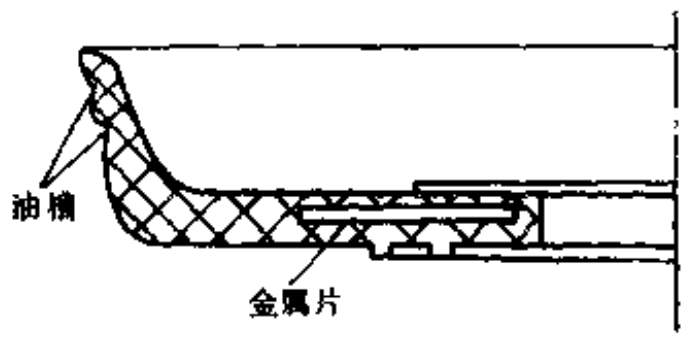


图 1-2-94　带有油槽和金属加强的L形密封圈

五、制动皮碗和皮圈

制动皮碗和皮圈（汽车液压制动橡胶皮碗）是应用于小轿车、轻型车、面包车、部分载重车的液压制动系统及离合器操纵系统、加力泵系统中起传递压力和密封作用的橡胶配件。

（一）类型

按产品使用部位可分为主缸皮碗和轮缸皮碗。

（1）主缸皮碗　包括主皮碗和副皮碗，在单腔和串联双腔式制动主缸中使用（原称总泵皮碗、总泵皮圈）。

（2）轮缸皮碗　除盘式制动外的一切轮缸中使用（原称分泵皮碗）。

按截面形状可分为碗型和环型。

（1）主缸皮碗中形状型式　分为导液碗型、导液环型、承压环型和位定环型，如图1-2-95所示。

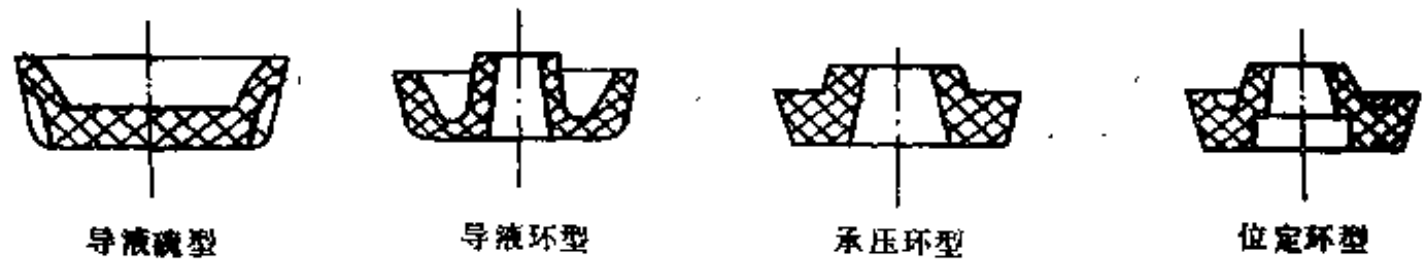


图 1-2-95　主缸皮碗

（2）主缸副皮碗中形状型式　分为一般环型、C型和内槽型，如图1-2-96所示。

（3）轮缸皮碗中形状型式　分为碗型、环型、拔孔型、反孔型和铆头型，如图1-2-97所示。

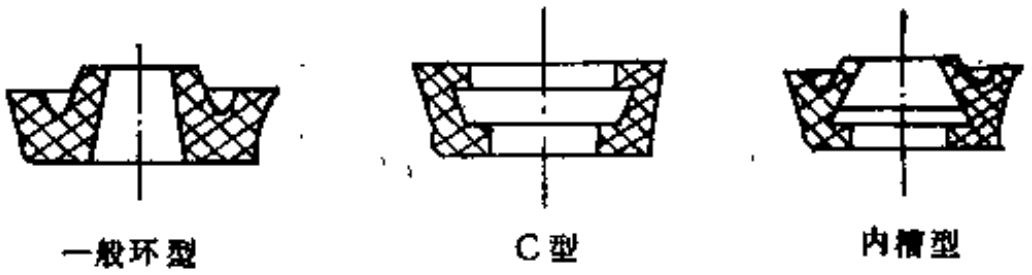


图 1-2-96　主缸副皮碗

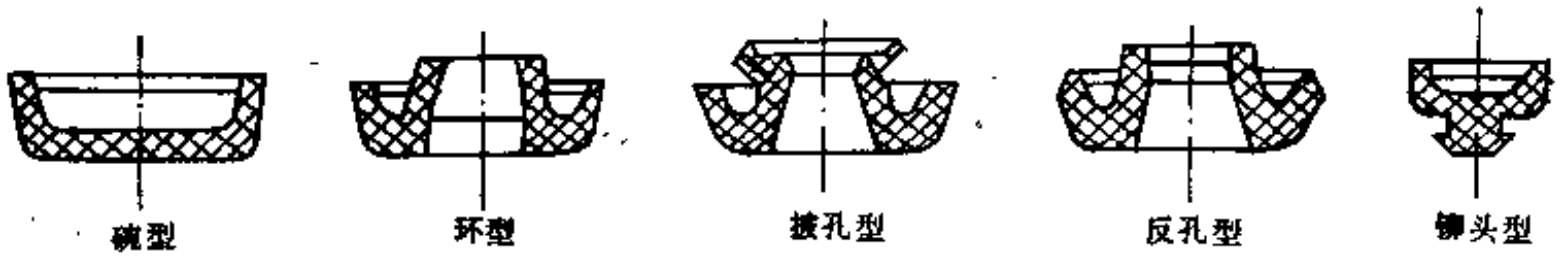


图 1-2-97　轮缸皮碗

（二）汽车液压制动橡胶皮碗的主要特点

（1）主缸和轮缸中的橡胶皮碗必须具有一定的弹性和压缩变形及耐磨性，以保证胶碗使用中具有传递液压的一定回位能力和密封能力。

（2）在高温（100～120℃）及低温（－30～－50℃）下耐液压介质性较好，胶碗在制动密封装置中较长时间与制动液接触，故要求有良好的耐制动液（合成油、矿物油、植物油）的抗溶胀性，不允许在高、低温、静态室温下发生渗漏。

（3）精密的成品尺寸稳定性及严格的成品尺寸公差控制。

（三）汽车液压制动橡胶皮碗在制动中的工作状况

橡胶皮碗一般用于液压式单管路制动系统中，在汽车制动时，当驾驶员踏下制动踏板时，主缸（总泵）内的油液在活塞的推动下通过导液胶碗的油槽沿胶碗的壁流过，并推动回位弹簧将驾驶员脚踏的力量从机械力转变为油液压力，油液从主缸传递入轮缸的分泵，在轮缸中油液的压力使轮缸回位弹簧伸张，油液压力变成机械力通过轮缸皮碗机械力使制动蹄头子与制动鼓接触，因而产生制动作用。传统型单回路主缸如图1-2-98所示。

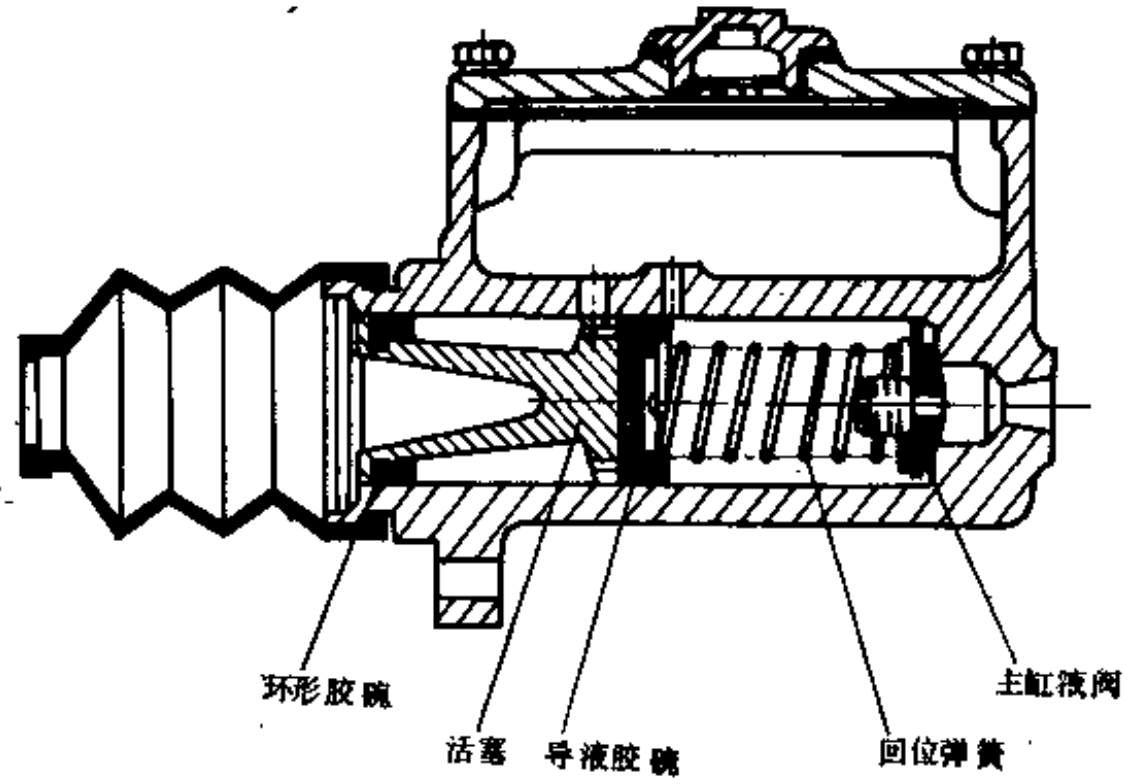


图 1-2-98　单回路主缸

随着目前使用进口汽车，在液压制动系统中采用双管制动，有串联总泵式，可使前后制动分开。串联式主缸如图1-2-99所示。

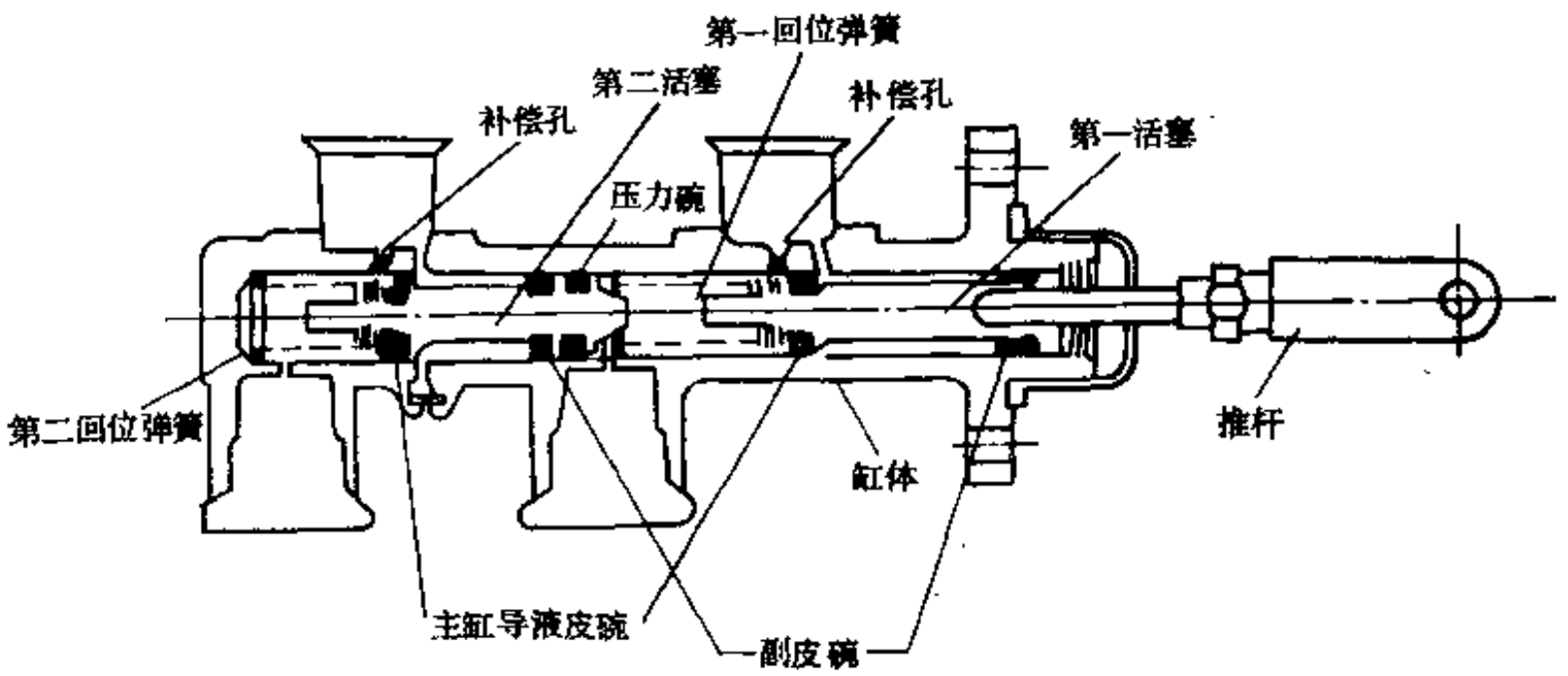


图 1-2-99　串联式主缸

（四）与制动橡胶皮碗匹配的制动液简介

汽车制动液是各种汽车液压制动系统中传递压力，使车轮制动机械实现制动作用的液体，汽车的制动和行驶安全性与所使用的制动液有关。

表 1-2-47　醇型制动液的性能及组成

指标名称	制动液名称（或代号）	
	101	303
相对密度(d_4^{15})	0.87～0.88	
沸点，℃　　≥	78	105
运动粘度（50℃），$10^{-6}m^2/s$	5.0～9.5	9.6～13.8
水溶性酸碱	无	无
酸值，mg KOH/g ≤	1.0	
挥发试验(40℃×30min)	不分离 结块	不分离
制动液成分的组成①	蓖麻油＋乙醇	蓖麻油＋正丁醇

① 醇型制动液在低负荷汽车上使用很广泛，但其低温流动性差，沸点低，易产生气阻，影响安全。

1．制动液应具有的性能

（1）制动液应有较好的粘温性能，适宜的高低温粘度、润滑性和低温流动性。

（2）应有较高的沸点，以减少或避免气阻的产生。

（3）制动液不应腐蚀装置中的零部件和对橡胶有适度的溶胀性。

（4）制动液具有较好的稳定性，在贮存和使用过程中不应有分层、沉淀、乳化、变质等现象发生，吸水要少，但溶解性要好。

2．国内市场上的制动液

（1）醇型制动液　其性能指标见表1-2-47。

（2）矿油型制动液　其性能指标见表1-2-48。

矿油型制动液具有粘度适当，低温流动性好，沸点高，压力传递迅速，对金属不腐蚀等优点。但用这种制动液时所匹配的橡胶皮碗必须是耐油丁腈橡胶皮碗，而用天然橡胶制成的皮碗是不行的。

（3）合成油型制动液　目前，根据我国制动液的发展情况属于合成油型的制动液有719、ZSM-41、207、4604等类型。其性能指标见表1-2-49。

随着我国汽车工业的发展，为适应边远山区交通运输的需要，要求耐高、低温的制动液，合成制动液能满足要求，近年来在国内有了迅速的发展，特别是在国外引进的大量汽车

表 1-2-48 矿油型制动液的性能指标及组成

指标名称	制动液名称（或代号）		指标名称	制动液名称（或代号）	
	7号	9号		7号	9号
运动粘度，$10^{-6}m^2/s$ 50℃	7～9	9～11	皮碗浸泡试验(70℃×24h)		
-20℃ ≤	—	700	重量变化率，%	0～5.0	0～5.0
-40℃ ≤	700	—	刃口变化率，%	0～5.0	0～5.0
酸值，mg KOH/g ≤	0.10	0.10			
凝固点，℃	-72.5	-62			
闪点（开口），℃ ≥	(150) 100	(156) 130	矿油型制动液的组成	采用克拉玛依低凝原油的常压二线馏分(235～312℃)为原料	以25号变压器油为基础油，根据使用要求加入适量的增粘剂、抗氧剂、防锈剂等添加剂
苯胺点，℃	91.6	86.12			
机械杂质	无	无			
水分	无	无			

表 1-2-49 合成制动液的性能指标

指标名称		制动液名称（或代号）					
		719	ZSM-41	ZSM-207	ISO	SAEJ-1703	4604
外观		透明液体					
平衡回流，℃	干沸点 ≥	193	105	205	205	205	190
	湿沸点 ≥			140	140	140	
运动粘度，$10^{-6}m^2/s$	100℃ ≥	2.5		1.5	1.5	1.5	
	50℃	7.16	8～10				
	-40℃≤	1538	1000	1500	1800	1500	
低温流动性(-50℃×6h)		不分层，不沉淀					
金属腐蚀试验(100℃×120h)mg/cm²	钢	0.2		0.2	0.2	0.2	
	铝	0.1		0.1	0.1	0.1	
	铸铁	0.2		0.2	0.2	0.2	
	黄铜	0.4		0.4	0.4	0.4	
	铜	0.4		0.4	0.4	0.4	
	马口铁	0.2		0.2	0.2	0.2	
胶碗增重(120℃×70h)，%		1.5～2.0	不大于2.0	0.15～1.4	0.15～1.4	0.15～1.4	

中，基本也都采用合成制动液，所以合成制动液的需求量在不断发展。在今后的国际交往和贸易中，若GB（国家标准）和ISO（国际标准）能统一起来，可扫除在国际上各国家之间的技术壁垒，以利发展。

我们国内各种合成制动液的类型、生产单位及其标准见表1-2-50。

表 1-2-50 国内合成制动液的类型

牌号	类型	生产单位	执行标准	牌号	类型	生产单位	执行标准
719	醇醚型	无锡炼油厂	苏Q/SY—13—79	ZSM-207	醇醚型	浙江大学化工厂	浙Q/HG—315—84
ZSM-41	醇-醇醚型	浙江大学化工厂	浙Q/HG—188—81	4604	酯型	重庆一坪化工厂	SY—4005—81

关于从日本进口的制动液类型牌号与性能见表1-2-51。

表 1-2-51　日本进口制动液类型及性能

性能 \ 类型	DOT-3	DOT-4	DOT-5	ATE-super-DOT4(注)
最低沸点	205	230	260	260
溶水后的沸点	140	155	180	180
粘度(－45℃)，$10^{-6}m^2/s$	1500	1800	900	1400

注：能承受较高热负荷的制动液。

（五）橡胶皮碗（或称胶碗）的结构特点

汽车工业的发展将成为国民经济的支柱产业，各类汽车更趋向高速，高运载和高制动的性能，汽车制动胶碗是汽车的主要基础部件，对其性能则有更高的要求。为适应我国南北地区不同的气候条件及复杂的路面条件，制动机构已有了新的发展，传递液压从2MPa发展到10MPa，增设真空压力器，提高制动压力，为保证汽车的制动效能和安全可靠，制动机构也从原单回路主缸发展双回路串联主缸。因此，作为制动机构中的橡胶胶碗在结构上也有较大变化，在要求承压高的场合下，材质的刚度也应相应的提高，胶碗容积趋向减小，大部分结构由碗式向环状圈式发展，使密封装置体积减小，使汽车向低能源化发展。

1．主缸胶碗

基体配合活塞部分有内密封面，同缸壁配合有外密封面，外密封面的周向上有用于传递或保存油液的轴向槽和径向槽，其直径为0.5～1mm左右，在密封面和配合面接触时形成一个接触压力较小的区域，为线密封，以达到理想的润滑状态；回油槽的最深处位于产生最大的密封压力处。密封唇部有一棱形尖端，与主缸或轮缸壁形成一定交角为楔形的沟槽，如图1-2-100，可进一步减小运动阻力，提高密封效能。

无论主缸或轮缸胶碗，在底厚和壁厚上都有适度增厚的趋向，但除考虑增加刚性外，还应注意在使用中制动反应的灵敏性的适度，太厚是不理想的，一般为1.8～3.2mm左右，壁部以内轮廓采用圆弧形为利。现部分小轿车中为增加刚性，有时在轮缸胶碗上加有一塑料垫圈（如图1-2-101），这样，胶碗底部可以稍薄，既有刚性也有一定的灵敏性。

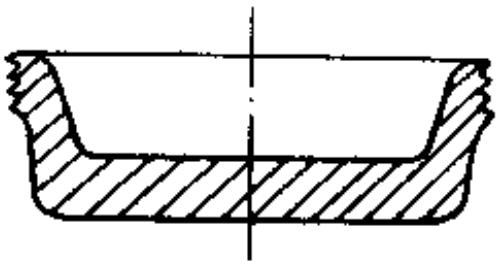


图 1-2-100　带轴向沟槽的胶碗剖面图

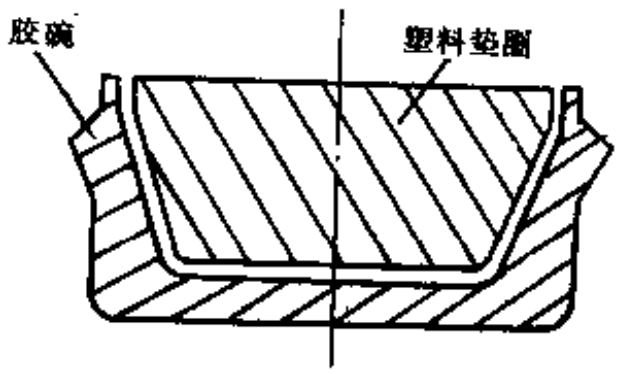


图 1-2-101　周向倒角轮缸皮碗

2．胶碗刃口斜率的确定

斜率与皮碗刃口高度有关，按国内部分厂家经验介绍，以7°左右为好，刃口高度的极限，应以保证油缸油路的畅通，主缸胶碗的刃口高度一般离主缸总成中的旁通孔以下0.5～1mm左右为好。

3．主缸副皮碗

在单回路主缸中，有传统型活塞即柱塞型结构的，也有中心阀型结构的，单回路主缸都为单回路用一个金属铝合金制的活塞（见图1-2-98）。在串联式主缸中有两个活塞，即第一活塞和第二活塞串联起来（见图1-2-99）。无论单回路一个活塞主缸或串联式两个活塞主缸，其活塞上与推杆运动方向相同方向的圈式碗都为主缸副皮碗，其刃口过盈量比承压副圈和导液胶碗稍小。

主缸胶碗的结构形式，无论是碗状或圈状，其材质硬度都较轮缸胶碗软一些为好。因为在主缸中橡胶件的运动行程较轮缸运动行程为大，虽其软些，但其弹性和耐磨性要好。为达到制动传递液压快，一般在主缸导液碗的周向都均匀分布有回油槽。主缸副皮碗的三种构形在设计中要考虑哪些是动密封面，哪些是静配合面，必须掌握一定的分寸，是动密封面要保证刃口密封面的尖锐、无毛刺，形成一定的线密封带；是静配合面则须有一定的对活塞配合过盈量，但须安装机体后根部不卡住缸体，一般在安装自由状态下根部直径比缸体直径小，以0.5～1mm为好，但太小会造成和缸壁间隙大，在高速传递油压下易窜油；但太大则会使间隙小，在油压大时，碗根部膨胀而堵塞油路，造成回位慢面制动失灵或与缸壁摩擦，磨损根部。副皮碗构形中孔的过盈量是根据孔所起什么密封作用考虑的，静密封一般是上下孔径相同，即直孔，过盈量一般为1～2mm；动密封是上小、下大，为斜孔，既要保证密封效应，又要有一定的在往复运动中的润滑性，所以副皮碗的下孔径等于柱塞直径或大于柱径0.5～1mm，上孔径则小于柱径1～1.5mm，孔高在静密封时可以相同，在动密封时双口圈碗孔高则大于唇高，考虑孔径的切割工艺要求，要保证割刀的进退量，一般内孔比外唇高0.5～1mm。

4．轮缸皮碗

轮缸皮碗的一般装置如图1-2-102。轮缸皮碗的结构形式多种，由其使用场合面定，目前在一般结构研究中逐步采用人体工程学的研究方法，将人的踏板力和操作动作不同、环境变化都考虑到制动件的结构中去。在轮缸皮碗中，如铆头型轮缸胶碗（工装剖面如图1-2-103），在国内SH-141车型中和国外GMC车型中都有使用。这种车型是有拖挂的，吨位在4～10 t之间，属高载荷，是液压制动助力器活塞型的轮缸，铆头是起限位作用，保护主密封刃口在运动中不致碰到出油缸壁快口面损伤。轮缸胶碗由于因其制动液来自增压器，因此过盈量应比主缸大，轮缸吃压力大，一般胶碗材质较主缸为硬，以适应高温热负荷的制动液。

无论主缸和轮缸，在其密封装置的胶碗结构中都有数个参数：外径、内径、底径、高度。轮缸胶碗外径主要和轮缸配合，一般过盈量取1～2mm，且过盈随缸径增大而增大。由于轮缸制动液来自增压器，所以其过盈量应比主缸胶碗大，轮缸皮碗的底部周向为圆角，倒R（半径）以0.2～0.3mm为好，这样可以保证模具型腔清洁，不易沾污物。

外密封的刃口也采用倒角结构和多道密材刃口，外倒角的优点是胶碗在弹簧和油压下易形成周向线密封，径向密封力随压力增大面增大，提高了密封效能。

倒角刃口由模具保证，避免了切割刃口时的易出废品，更能保证产品质量。多道螺纹口使胶碗和缸壁接触中达到良好的密封，且螺纹口有贮油效能，提高胶碗在往复运动中的润滑性。但这两种构型要求模具的精度高，加工制作上较困难。一般胶碗外径掌握上公差$^{+0.30}_{-0}$mm，底径掌握上公差$^{-0.30}_{+0}$mm，胶碗底厚一般为总高度的25～35%，太薄时易翻口，太厚会影响制动的灵敏性，胶碗上边口宽度控制在0.5～1mm，这样既方便切割加工，又不影响密封性，主缸胶碗的壁厚一般为1～3mm，太薄会翻口，油槽的内轮廓采用圆弧来代替直线

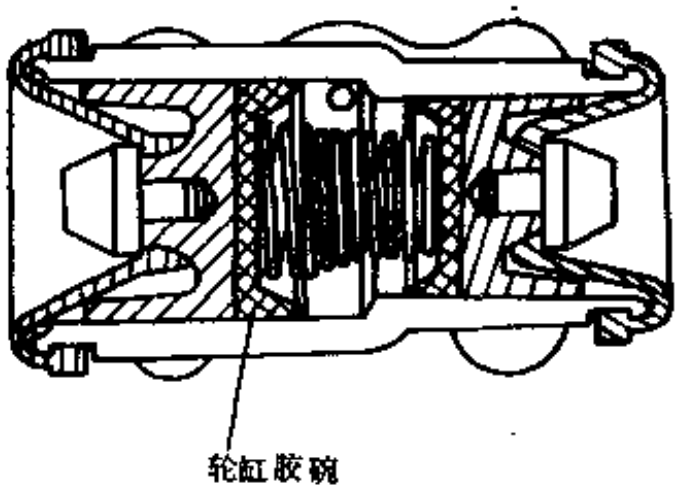


图 1-2-102　轮缸皮碗的工装剖面图

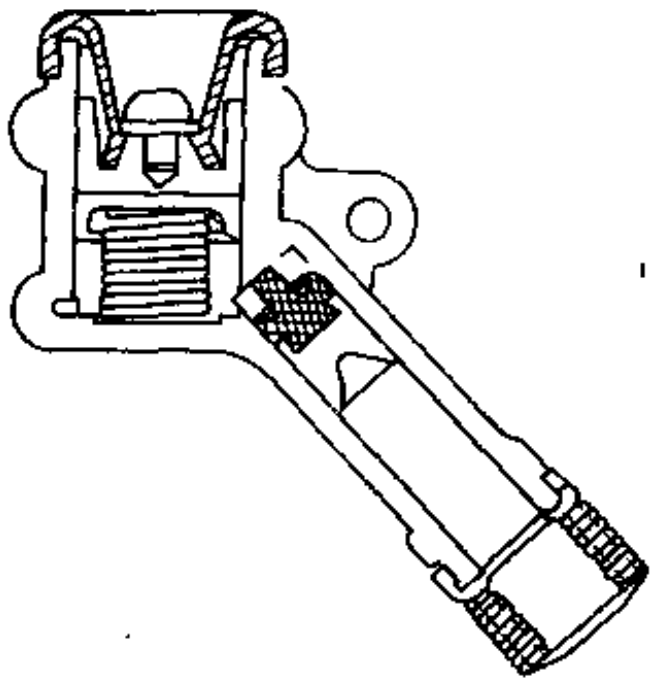


图 1-2-103　铆头型轮缸胶碗工装剖面图

以增加厚度，提高胶碗的刚度。

（六）皮碗皮圈加工的工艺要求

（1）混炼胶料要返炼均匀，混炼胶可塑度掌握在0.35～0.45左右，在未加硫化剂前要进行过滤，滤去杂质和沙粒。

（2）加硫化剂后要翻炼均匀，每车料要做硫化曲线，合格后进行复料。

（3）以精密预成型机出半成品，以保证成品的尺寸精度。硫化操作中为防止成品出模时的热脆性，一般都使用铜棒撬进行启模，且注意掌握上的软韧劲。

（4）为使切割工艺顺利进行，一般加水作业，采用锋钢尖刀或工业钢圆口刀。

（5）一般圈式胶碗在下口处的废边宜采用冲头冲除，以保证光洁性。

（七）制动皮碗、皮圈的模具制造

（1）汽车液压制动皮碗、皮圈的模具制作，一般均采取一模多孔式模腔、翻板式结构，模腔一般有5、8、11孔等。

（2）在外径小于25mm的助力器或加力泵胶碗，一般模具采用7孔或9孔模腔生产，模具淬火硬度为HS220～270。

（3）导液的主缸胶碗中回油槽可采用冷挤压，但不宜淬火调质而采用表面氮化。

（4）合模一般以锥面定位，高度小于10mm采取研配。

（5）放缩率一般为1.6～1.8%（外径），碗根径稍小，底厚一般缩小0.1～0.2mm作为硫化压制产品时分溢面废边的补偿。

（6）胶碗　如是切割的刃口，一般模具设计时都加放切割余量1～2mm。

（7）模具制造时，为保证产品尺寸精度，最好在产品图放大10倍作图后再定。

（8）凡是胶碗的根径和内孔配合面处，最好不采用直口配合而取0.2～0.3mm的倒R为好，这样对清洗模型和产品光洁都有良好的影响。

（9）主缸导液碗的回油槽　除采用冷挤压加工外，还可采用如下方法加工：用锋钢W_8的小圆杆（相当于回油槽半径R尺寸），材料硬度为HRc40，模腔用CrW钢，其硬度为HRc50～60，两材质硬度相差一个几何级。将锋钢小圆杆加热后，趁热一次压入模腔做成镶块，保证紧配合，这样做成的模型，既可保证回油槽尺寸的精度，又不易磨损。

（10）模型加工光洁度　一般模腔内面和配合锥面要求R_a0.4～0.8μm，其余R_a3.2μm即可。

（11）模型的公差配合选择　一般直径公差采用±0.10mm或±0.05mm，仅胶碗底厚采用负公差。为保证精度采用形位公差的要求，也可列入不平行度、同心度等。

（12）模型的后处理　加工后的模型要求调质、淬火，也可以氮化或表面镀硬铬。

（八）制动皮碗、皮圈的配方设计原则

制动皮碗、皮圈是汽车制动机构中的主要结构部件，也是易耗零件。随着汽车工业的发展，每年要有几十万的新车配制和数百万件胶碗的更换消耗，为满足汽车性能增长的要求，在皮碗、皮圈胶料的设计、配方上应重点注意下列诸方面。

（1）要保证有较好的耐热性和耐低温性能。

（2）应满足适应各种工况下和制动介质的配伍性，使用中应不产生沉淀，不产生有害金属及腐蚀金属配件的污染。

（3）既要满足与成品有良好的密封效能，又要能迅速传递压力及减少传递滞后，所以胶料需有好的压缩变形性。

（4）配方设计要考虑到产品的加工工艺要求，易脱模，少热脆性。胶种选择：常规温度下在醇型制动液中可采用天然橡胶为主体的材质，为有良好性能，配有硫和硒粉结合的硫化体系，少用软化剂为佳；如高温下合成制动液中可采用丁苯橡胶和三元乙丙橡胶胶种，选择过氧化物的硫化体系，配以适当的硫化促进剂、活性剂、防老剂和增塑剂。

（5）实用配方例

① 适用于醇型制动液的配方体系举例：

天然橡胶	100	炭黑	10～20
硫黄	1.5～2	填充剂	50～80
氧化锌	6～8	增塑剂	0～5份
组合促进剂	1.5		
组合防老剂	2～3		

② 为考虑国内引进车辆的配套，以适应合成油的要求，举国外配方实例：

丁苯橡胶（SBR 1503）	100	硬脂酸（NBS 372）	1
油炉炭黑（NBS 378）	40	4-叔丁基-2-苯基噻唑亚磺酰胺	1
氧化锌（NBS 370）	5	DCP（40%沉淀碳酸钙）	4.5
硫黄（NBS 371）	0.25	β-萘基对苯二胺	1

表 1-2-52　胶碗胶料的物理机械性能

性能	试验条件		试验项目	指标	
	A 类	B 类		A 类	B 类
常态	23℃		硬度（邵尔A） 拉伸强度，MPa ≥ 扯断伸长率，% ≥	60±5 10 300	
压缩永久变形	70℃×22h	120℃×22h	压缩永久变形，% ≤	35	
热空气老化	70℃×96h	120℃×70h	硬度（邵尔A）变化 拉伸强度变化，% ≤ 扯断伸长率变化，% ≤	-5～+5 -30 -30	 -40 -40
耐液体（供需双方同意的制动液）	70℃×120h	120℃×70h	硬度（邵尔A）变化 拉伸强度变化，% ≤ 扯断伸长率变化，% ≤ 体积变化，%	0～-10 -25 -25 +0.1～+15	0～-15 -40 -40 +0.1～+20
耐寒性			脆性温度，℃ ≤	-50	

（九）制动胶碗的胶料及成品的性能要求

（1）胶碗胶料的物理机械性能　见表1-2-52。

（2）皮碗成品的理化性能　见表1-2-53。

表 1-2-53　皮碗成品的理化性能

性能	试验条件		试验项目	指标	
	A 类	B 类		A 类	B 类
常态	23℃		硬度（邵尔A）	60±5	
耐液体	70℃×120h	120℃×70h	体积变化，%	+0.1～+15	+0.1～+20
			唇径变化率，%	+0.1～+5	
			端径变化率，%	+0.1～+5	
			硬度（邵尔A）变化	0～-10	0～-15
			外观变化	无发粘及异常现象	
沉淀			沉淀体积比，% ≤	0.3	
金属腐蚀	100℃×120h		质量变化量，g/m²	镀锡铁皮 ±2	
				钢 ±2	
				铝 ±1	
				铸铁 ±2	
				黄铜 ±4	
				铜 ±4	
			金属试片外观变化	无腐蚀痕迹，允许变色	
			皮碗端径变化率，%	+0.1～+5	
			皮碗外观变化	无发粘及异常现象	
（供需双方同意的）制动液变化，沉淀体积比，%				0.2	
贮存腐蚀	湿度95%下，45℃×16h 和20℃×8h为一周期共12周期		皮碗接触的金属件表面变化	无腐蚀痕迹，允许变色	
工作耐久	工作频率：1000次/h		试后唇径过盈量最少，mm	唇径	主缸皮碗	轮缸皮碗
				小于19	0.30	0.40
				20.5～26	0.40	0.51
				28～38	0.51	0.65
				大于42	0.65	0.80
	70℃×120h 液压：3.4MPa	120℃×70h 液压：6.9MPa	缸壁活塞工作面外观变化	无腐蚀痕迹，允许变色	
			试验过程主缸液压	稳定	
			试验过程密封状态	无制动液滴下	
低温密封	-40℃×120h（供需双方同意的制动液）		泄漏	无制动液滴下	
耐寒	-40℃×22h		低温弯曲	无裂口，1min内基本复原	
			硬度（邵尔A）变化	0～+25	

（十）胶碗的切割及后整理

硫化后胶碗成品需在手工半自动切割机上进行修饰，如图1-2-104所示。切割废边一般是按照需要割边的胶碗、胶圈来选择割模，再行安装。割模应是一个规格一副，割模上下要吻合，不能过松，应注意割模的底座不得嵌入杂物，以免影响切割尺寸。一般先试割，测试其外径或高度是否符合标准，当测试合格后方可大量切割。切割中为保证废边切除干净，无毛刺，通常是在加水下进行切割操作，若是胶圈，除刃口切割废边外，还要在中心用冲模冲去眼孔的废边，一般的割模结构有图1-2-105～图1-2-108四种。

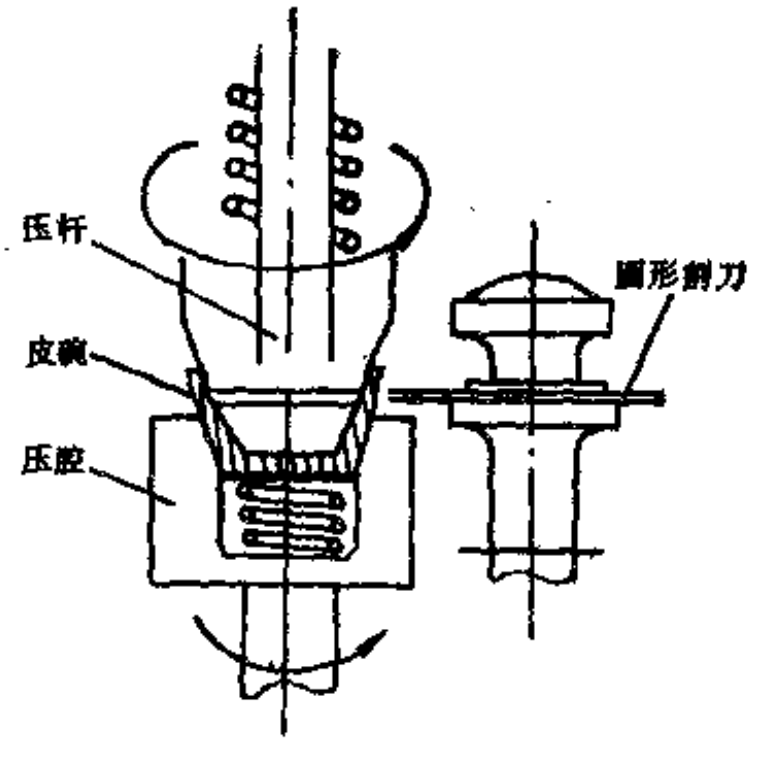


图 1-2-104　胶碗切割机

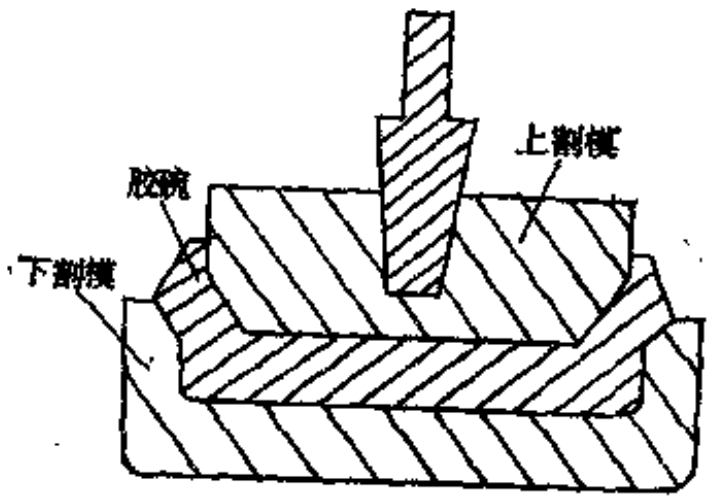


图 1-2-105　倒角碗割模

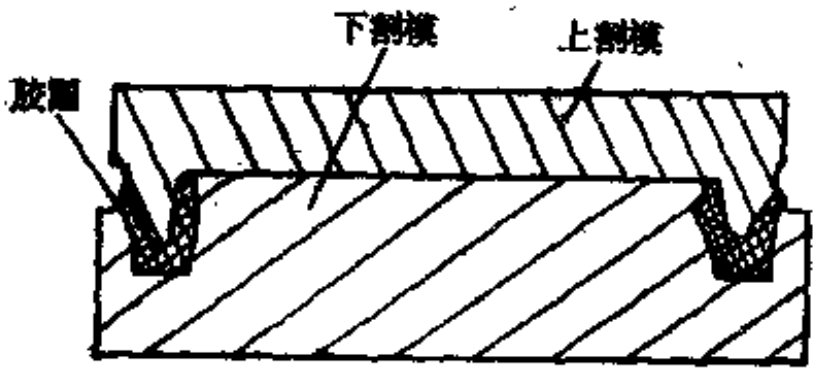


图 1-2-106　双口圈胶碗割模

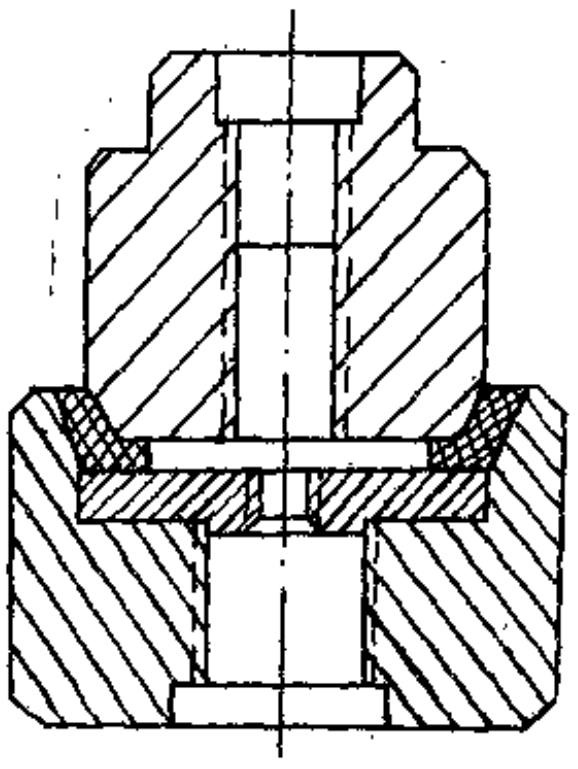


图 1-2-107　单口圈胶碗割模

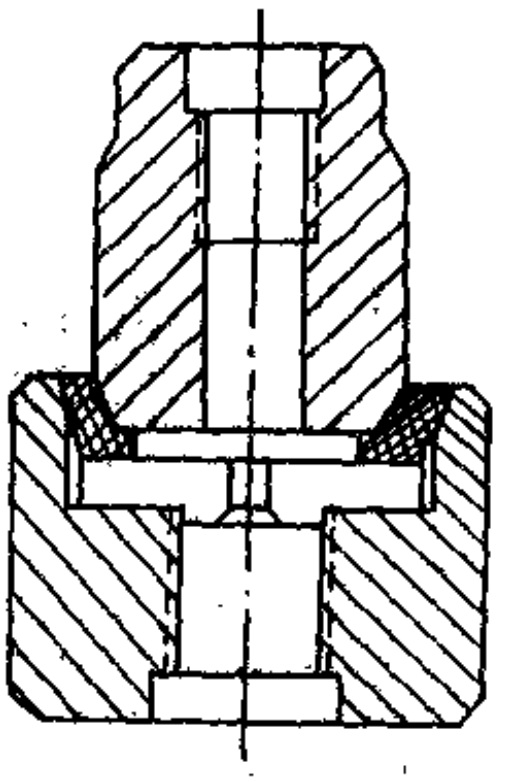


图 1-2-108　C型单口圈胶碗割模

（十一）胶碗的包装要求

胶碗的包装要以产品直径尺寸和高度来选择盒装，最好选择有分隔层的纸盒进行包装，

这样可使每个胶件稳定定位，不影响密封刃口及其变形。一般直径小于10mm的胶碗，允许无规则排列包装。在包装盒外面如再加上塑料袋密封，这是最理想的。国内有的生产单位选择与胶碗同一规格（直径大小和高度适当）的塑料筒进行封装，既稳定又美观，这是值得推荐的。另外也可按用户要求，每一车型中的不同规格胶碗，作为一件总体归入包装袋（或称维修包），这样为维修使用提供了方便。

（十二）汽车液压制动皮碗的外观质量要求

汽车液压制动皮碗的外观质量，是要求胶碗的表面清洁，色泽均匀，不允许有气泡、损伤，主缸导液碗的导液槽处无废边。缺陷类型有：模痕、缺胶、杂质、流痕、过度修边、表面污渍，缩边、单边、焦口、冷却、变形、熟皮、拉坏等。对于不同部位的允许缺陷限度见表1-2-54。

（十三）汽车液压制动皮碗的台架试验及要求

作为基础配件的胶碗是汽车作业中的保安件，为保证使用中的安全性和稳定性，在批量生产中必定要做工作耐久性的台架试验，如图1-2-109所示，台架试验条件见表1-2-55。

表 1-2-54 各部位的缺陷限度

部位		技术要求
工作面	刃口	平整，无任何缺陷
	外表面	光洁，不允许有轴向纹路
偶合面		平整，允许有1处缺陷
非工作面		平整，允许有2处缺陷
同一皮碗缺陷总数		不超过2处

表 1-2-55 台架试验条件

频率，次/h	温度，℃	液压，MPa	时间，h
1000±100	70±5	3.4±0.3	120±2
	120±5	6.9±0.3	70±1

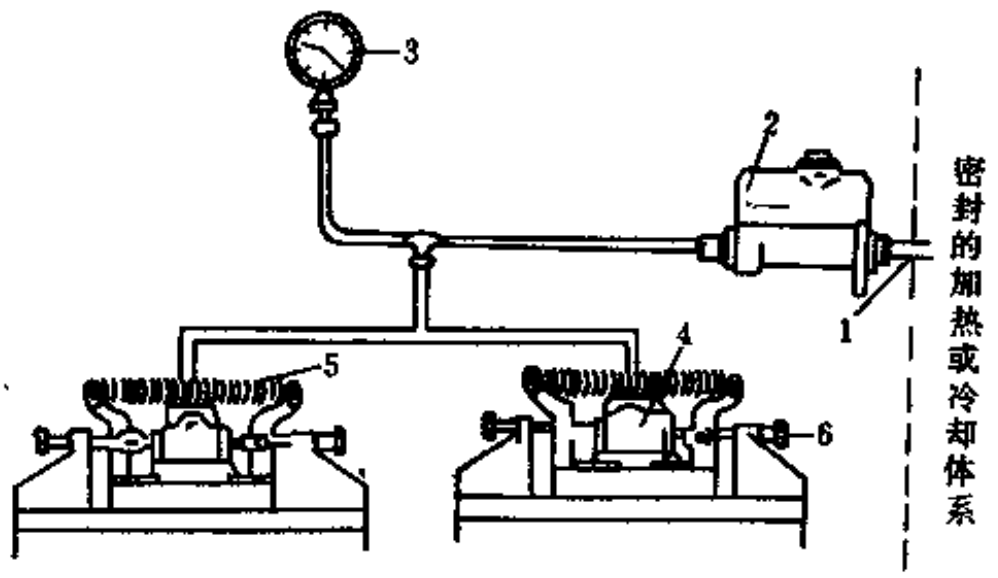


图 1-2-109 胶碗台架试验示意图

1—活塞推杆；2—主缸总成；3—压力表；4—轮缸总成；5—回位弹簧；6—调节螺栓

试验结果：整个试验过程中不允许产生泄漏，无制动液滴下。

试验要求：

① 试验过程中要求液压稳定，缸壁和活塞工作面无腐蚀痕迹，允许污斑和变色；

② 在试验后，胶碗平均刃口过盈量的变化不大于65%；

③ 缸体和活塞直径在试验过程中变化不大于0.13mm；

④ 胶碗硬度下降不大于15（邵尔A），胶碗外观不应有过分粘结、划伤、磨损、鼓气、碎裂；

⑤ 橡胶皮碗底直径增大不大于0.9mm；

⑥ 试验过程中制动液的体积损失不大于36ml，不应有明显污泥、胶状物或磨下的固体颗粒；

⑦ 试验过程中，缸孔表面或其它金属部件上不应有胶状物，不应沉积、有磨损性物质，整个过程中活塞在缸孔内不应有卡死或运动不适状态。

（十四）橡胶皮碗安装使用中的注意事项

（1）胶碗使用安装于缸体时，对于主缸胶碗，首先要检查胶碗的质量是否符合产品标准要求，特别是回油槽有否因模具易损常用砂皮擦等引起的回油槽变浅，有否因模具开制得不当及紧配不够在回油槽中易引起硫化废边逃毛，以免影响胶碗的工作效能。

（2）胶碗放入主缸中，特别要考虑主缸中的补偿小孔 ϕ0.60，加工的粗糙度，有否金属切屑的残留物，以及缸体及贮油罐中有否污物及粘附的砂粒存在，在缸体的有效行程内，即在胶碗的滑动面处不得有伤痕、气孔、针孔及锈蚀等缺陷，否则会影响胶碗的密封效能。

（3）为保证胶碗的密封功能，在装配或维修汽车主缸、轮缸、增压缸、离合器缸等时，必须在胶碗和金属偶合体的工作面上，薄涂一层橡胶脂，防止胶碗和金属偶合件接触处产生锈蚀粘结。在工作情况下，橡胶脂呈现的润滑剂特性使胶碗工作时的润滑性得到满足，使胶碗能产生良好密封并制动灵敏，目前国内市场上的属GTE8501标准的橡胶脂就是属于非石油基类的系统，贮存期较长约 6 个月左右。

汽车液压制动皮碗在使用中常见疵病及原因见表1-2-56。

表 1-2-56　汽车液压制动皮碗在使用中常见疵病及原因

疵　　病	原　　因
小 泄 漏	1.汽缸及活塞光洁度差，易拉坏胶碗的工作面 2.缸体磨损超差或失圆 3.皮碗尺寸公差偏低或偏高，导致和活塞互配尺寸不良 4.刃口唇沿有废边毛刺
大 泄 漏	1.主缸或轮缸中的胶碗安装时有翻边存在 2.胶碗本身尺寸超差，主缸导液碗高度超标堵塞外供油孔 3.主缸导液碗密封唇面，被粗糙加工的补偿孔拉坏引起 4.胶碗低温弹性差
制 动 无 力	1.制动液气化，产生气阻 2.制动鼓与蹄间隙小，不易散热而升温易导致热辐射 3.胶碗易损，失去密封作用
回 位 缓 慢	1.胶碗密封唇过厚或硬度太高 2.主缸导液胶碗的回油槽太浅 3.主缸胶碗和副碗在主缸体内根部发胀所致 4.不正常发热引起气阻 5.少量真空增压器吸油，活塞材料铝受热膨胀引起 6.主缸活塞和推杆之间的间隙超差
第一脚无刹车	1.主缸出油胶阀密封不良，导致无残余油压 2.轮缸或真空加力泵渗油 3.气阻，油回主缸

六、汽车制动气室橡胶隔膜

汽车制动气室橡胶隔膜是适用于汽车制动气室中起传递压力作用的橡胶夹织物膜片，其工作压力为0.5～0.8MPa，工作温度 -40～$+70$°C。

（一）汽车制动气室橡胶隔膜的设计根据

汽车制动气室橡胶隔膜的有效面积是依汽车最大制动力矩来确定，面最大力矩又是与车轮和地面的最大附着力矩相关的，4t载重车其前轮最大制动力矩是6906J左右，后轮是10791J

左右，而载重车轮停止转动的阻力就是由传动系统的制动力矩产生。

汽车制动气室橡胶隔膜工作原理：在各式汽车上制动气室有几种标准尺寸，即按同一气压下产生的各种张开力而设计。制动时压缩空气到达橡胶隔膜上，橡胶隔膜靠在推杆的平板盘上，压缩弹簧，推动制动；放松制动时，当司机操纵制动总阀，让气室的压缩空气排出，橡胶隔膜在弹簧作用下回到原来位置。

橡胶隔膜在制动气室中是一种单向作用的推动装置，在较小行程下，提供较大的推力，由橡胶隔膜的周向凸缘来保证整个机件的绝对密封。

（二）汽车制动气室橡胶隔膜的类型和尺寸公差

国内已定型的产品类型是第一汽车制造厂的“新解放CA15”和第二汽车制造厂的“东风EQ140”两种类型，其橡胶隔膜断面示意图如图1-2-110及图1-2-111所示；规格尺寸和公差见表1-2-57。国外汽车橡胶隔膜的结构形式还有如图1-2-112及图1-2-113的形式。

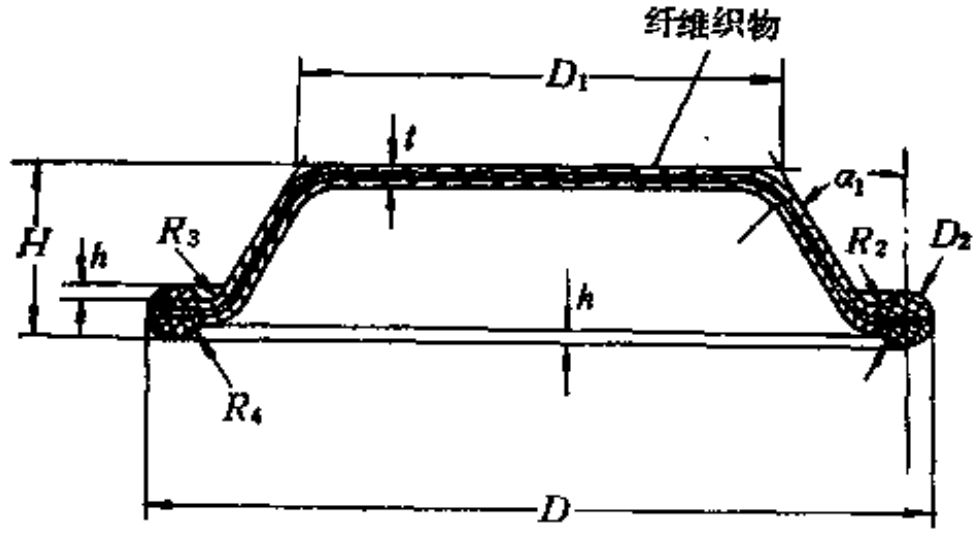


图 1-2-110 “新解放”汽车橡胶隔膜断面示意图

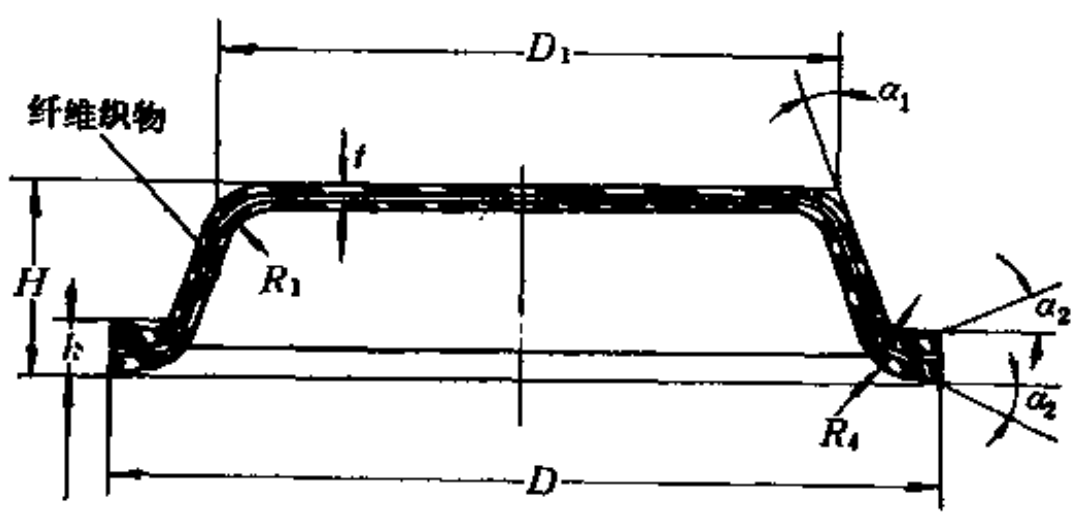


图 1-2-111 “东风”汽车橡胶隔膜断面示意图

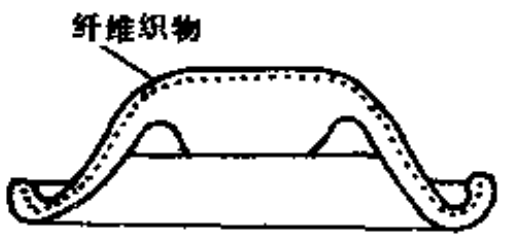


图 1-2-112 国外重载车隔膜

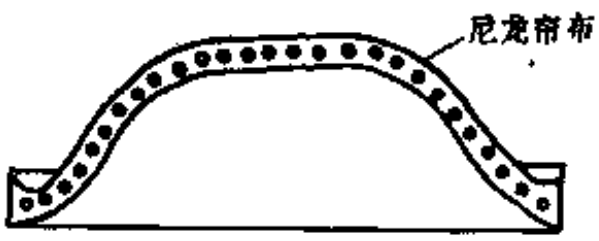


图 1-2-113 国外中吨位车隔膜

制动气室橡胶隔膜的大小由所用气室来决定，而制动气室的选择是可以通过传动轴所受载荷、用的轮胎大小、制动鼓直径和凸轮臂力及所受气压来确定的，制动气室分为12、16、

表 1-2-57　汽车制动气室橡胶隔膜主要尺寸和公差　　单位：mm

型式	D		D_1		H		h		D_2		t		α_1	α_2	R_1	R_2	R_3	R_4
	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差	(°)	(°)				
Ⅰ-Ⅰ	152	±1.5	112	−0.8	36	±0.7	10	−1			4	±0.3	20	20	8	4.5		10
Ⅰ-2	178				40		10				4		33	20	8	4.5		10
Ⅱ-1	163	±1	100	−0.8	36.5	±0.7	2.5		11	−0.5	3	±0.3	30		12	6	8	5
Ⅱ-2	179		110		40.5		2.5		11		3		30		12	6	8	5

20、24、30、36in，其所用橡胶隔膜的行程分别为45、57、57、57、76mm。

（三）汽车制动气室橡胶隔膜配方设计

（1）产品是作为气室制动使用，所以在配方设计中要考虑有一定的定伸应力要求，保证良好的动态屈挠性和对压力稳定的敏感性。

（2）胶料要和补强纤维粘合，所以必须对织物有较好的密着力和硫化时的良好流动性。

（3）产品要有良好的弹性复原性，能承受频繁的载荷压力。

（4）由于汽车使用地区广阔，作为配套的基础件要有较好的适温性和耐老化性。

表 1-2-58　汽车制动气室橡胶隔膜所用胶料性能

项　　目		指　标
硬度（邵尔A）		50±5；60±5
拉伸强度，MPa	≥	14
扯断伸长率，%	≥	400
压缩永久变形（70℃×22h），%	≤	50
脆性温度，℃	≤	−45
胶与织物附着强度，kN/m	≥	2
热空气老化(70℃×70h)扯断伸长率变化，%	≤	−30

（5）制动气室橡胶隔膜的胶料性能要求如表1-2-58。

（四）对汽车制动气室橡胶隔膜成品的性能要求

（1）在室温20°C、最大压力0.8MPa、频率为15次/min时，完成0.6×10^6次。

（2）−40°C下低温密封性试验，在压力0.4～0.8MPa、频率为4次/min时完成0.1×10^6次。

（3）在80°C、压力0.4～0.8MPa、频率为15次/min时，完成0.1×10^6次。

（4）高温下作密封性试验，频率15次/min、压力0.4～0.8MPa，完成0.4×10^6次。

（五）汽车制动气室橡胶隔膜的生产工艺要点

1．产品生产准备工艺

（1）胶料的塑炼可塑度可保证胶料良好成型性和硫化时的流动性，一般塑炼可塑度为0.35～0.40，混炼胶可塑度为0.35～0.45。

（2）生产中保持半成品胶料的清洁，不得有粉尘和油污。

（3）夹织物的处理：如果是布纤维，可以在帆布上进行擦胶和涂胶处理，如果是合成纤维夹织物，就必须要根据不同夹织物采用不同的方法去处理。

2．一般锦纶纤维（尼龙）表面的预处理

尼龙布先用589树脂处理，即用589树脂:水（1:20，重量比)进行溶解，浸渍后在140～150℃下干燥(反复几次），再上厚浆和薄浆一次（本体胶配方做浆最宜），若用氯丁橡胶做胶浆，则加入含有胺基的化合物可以提高粘接时的热稳定性。如果采用聚酯夹织物，用异氰

酸酯的溶液浸渍可收到好的效果，这是因为其活性基团和纤维上次甲基的氢原子发生化学反应，但异氰酸酯只能溶解于有毒的极性溶剂如甲苯、二甲苯、二氯乙烷中，易使环境污染，使人受到有毒气体的侵袭，因此一般仍采用天然橡胶胶浆，浸渍胶浆后的织物一般贮存期不超过2～3 d 。

3．半成品的成型

（1）用半机械切圆片装置裁制不同规格的半成品圆胶片，将胶料混炼均匀后在出片机上制成规定厚度的胶片，冷却停放4h以上，然后放入划圆的切片机中进行割划，机械切圆片机如图1-2-114。

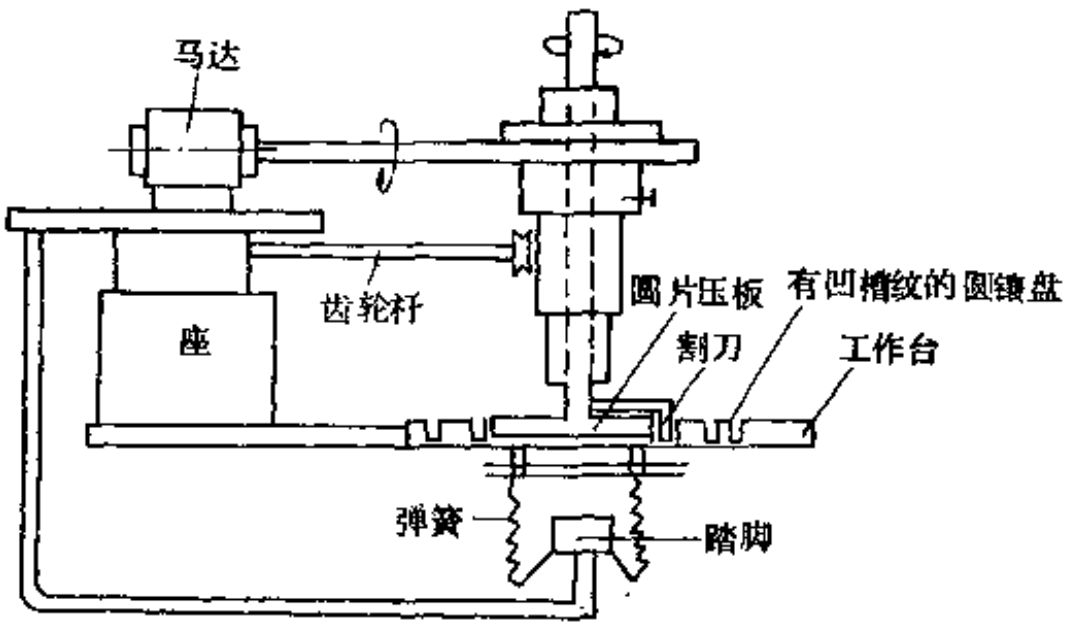


图 1-2-114　机械切圆片机

（2）有的产品的批量大，要进行连续化的成型，即在出片机的辊筒对面搁置一已烧焊有切刀的框架辊，此切刀辊筒的设计要由出片机的转速、速比和出片宽度等参数来确定，切刀辊筒直径计算（如图1-2-115）：

$$d = 2r_{长} + L + 2Q/\pi$$

式中　$r_{长}$——椭圆形刀片的长轴，$= r + 0.02r + 0.12r = 1.14r$；

$r_{短}$——椭圆形刀片的短轴，$= r + 0.02r = 1.02r$；

L——正方块胶的边长，$= 0.4r$；

Q——刀片之间的间隙，取5～10mm；

r——橡胶隔膜半成品的实际直径；

0.02——为胶料的收缩率；

0.12——为胶片在传送过程中的纵向伸长。

切刀辊筒上覆盖有方形刀口和椭圆形刀口，这样就达到一面投料，一面制成圆形橡胶隔膜半成品，其落入输送带上由人工将另一已裁制好的夹织纤维圆片加入二层胶片中，就使成型作业成为连续化的流水线。

4．硫化时模具所受压力

必须先是轻压，否则，重压下内夹织物在模具中易碎。受轻压1min左右再受重压，放回气1～2次，排除模具中的空气，保证无气泡产生。

5．产品的修整

将已硫化好的产品放入橡胶隔膜切割机中进行后整理割除废边，橡胶隔膜修边机如图1-2-116所示。修整的工作步骤如下：

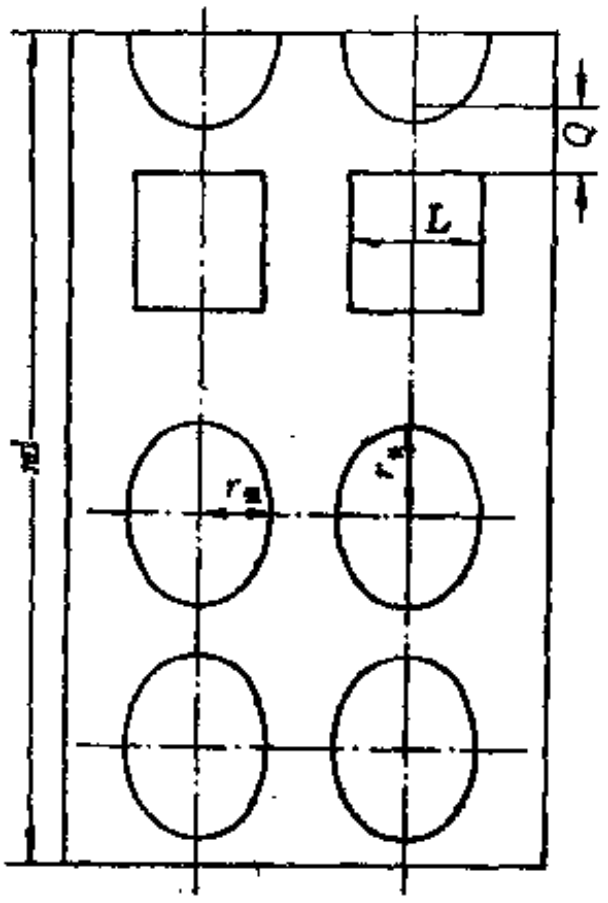


图 1-2-115　框架辊展示

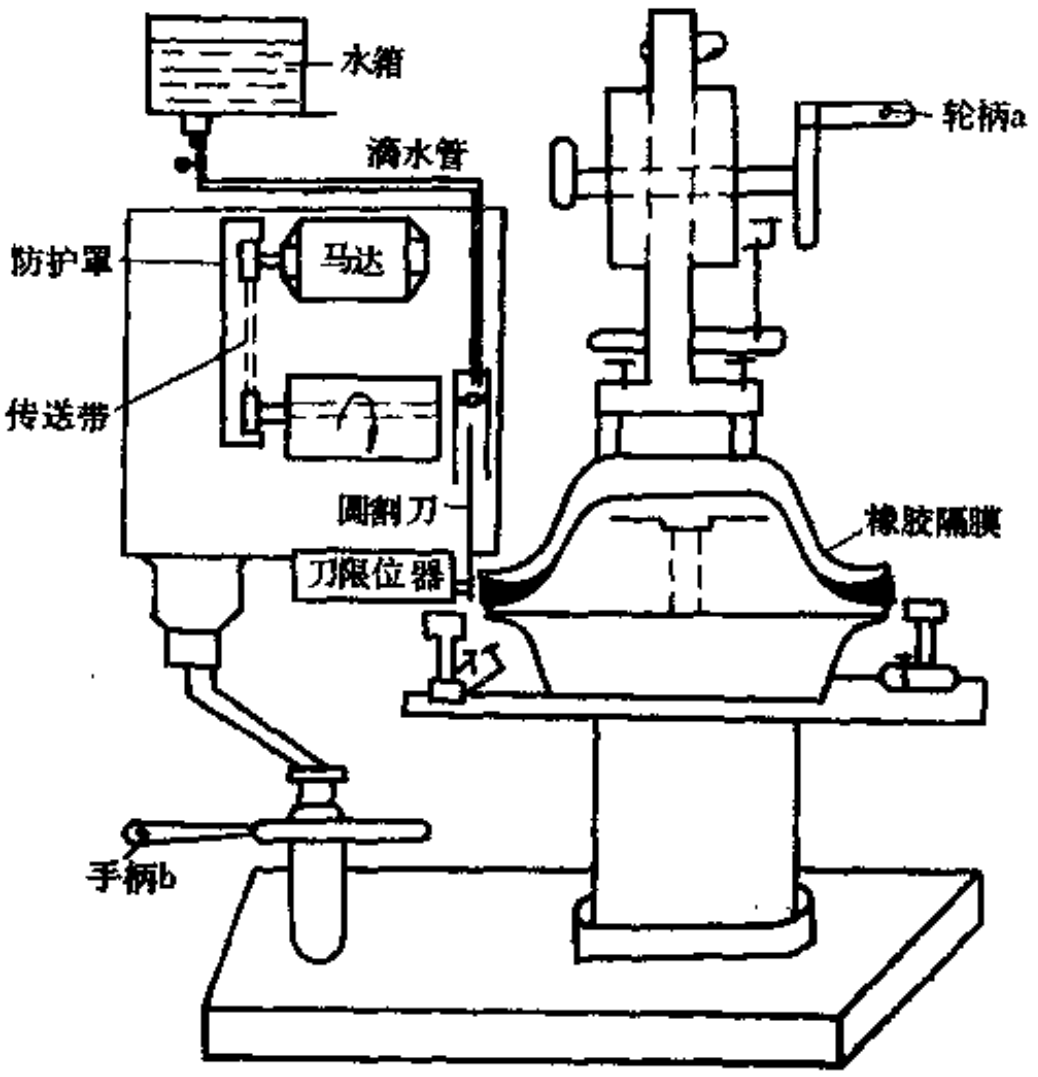


图 1-2-116　橡胶隔膜修边机

（1）手上举轮柄 a；

（2）将橡胶隔膜置于下壳体座上；

（3）压下轮柄 a；

（4）起动手柄 b 向机座底靠拢，使圆割刀和成品相切，割除废边；

（5）上举轮柄 a，拿出割好周边的橡胶隔膜产品。

修整好的橡胶隔膜送至检验工段，检验合格的成品进行包装、入库。

（六）汽车制动气室橡胶隔膜的模具制造

产品中含有纤维夹织物，所以在模具设计中必须要考虑良好的逸气，在周向要多开设几处逃气槽，防止气泡产生。另外，因为产品直径一般都大于120mm，大多开设单眼模，因此，上下模生产时固定于压机热板上为好，模具开制要保证产品底厚、均匀，简单示意图如图1-2-117。

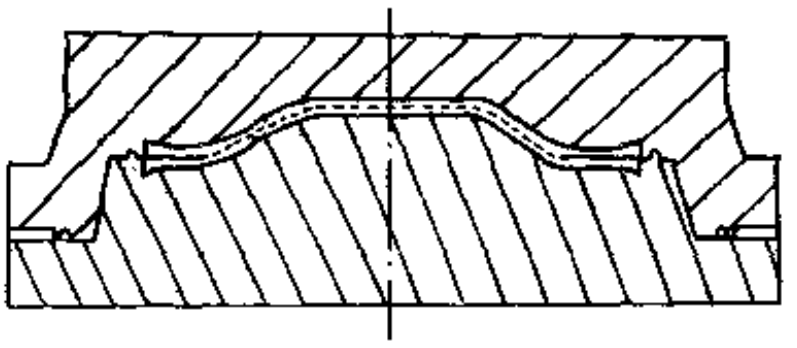


图 1-2-117　制动气室橡胶隔膜模具

（七）汽车制动气室橡胶隔膜的成品台架试验

橡胶隔膜是属汽车保安的零部件，为考察其内在质量的稳定性，必须对生产的产品作实际台架抽动试验的考核。

台架试验考核条件：

室温，压力0.5MPa，频率为15±1次/min，工作行程为28±2mm，完成25万次动作，在此进出气不大于0.5s，台架试验装置如图1-2-118所示。

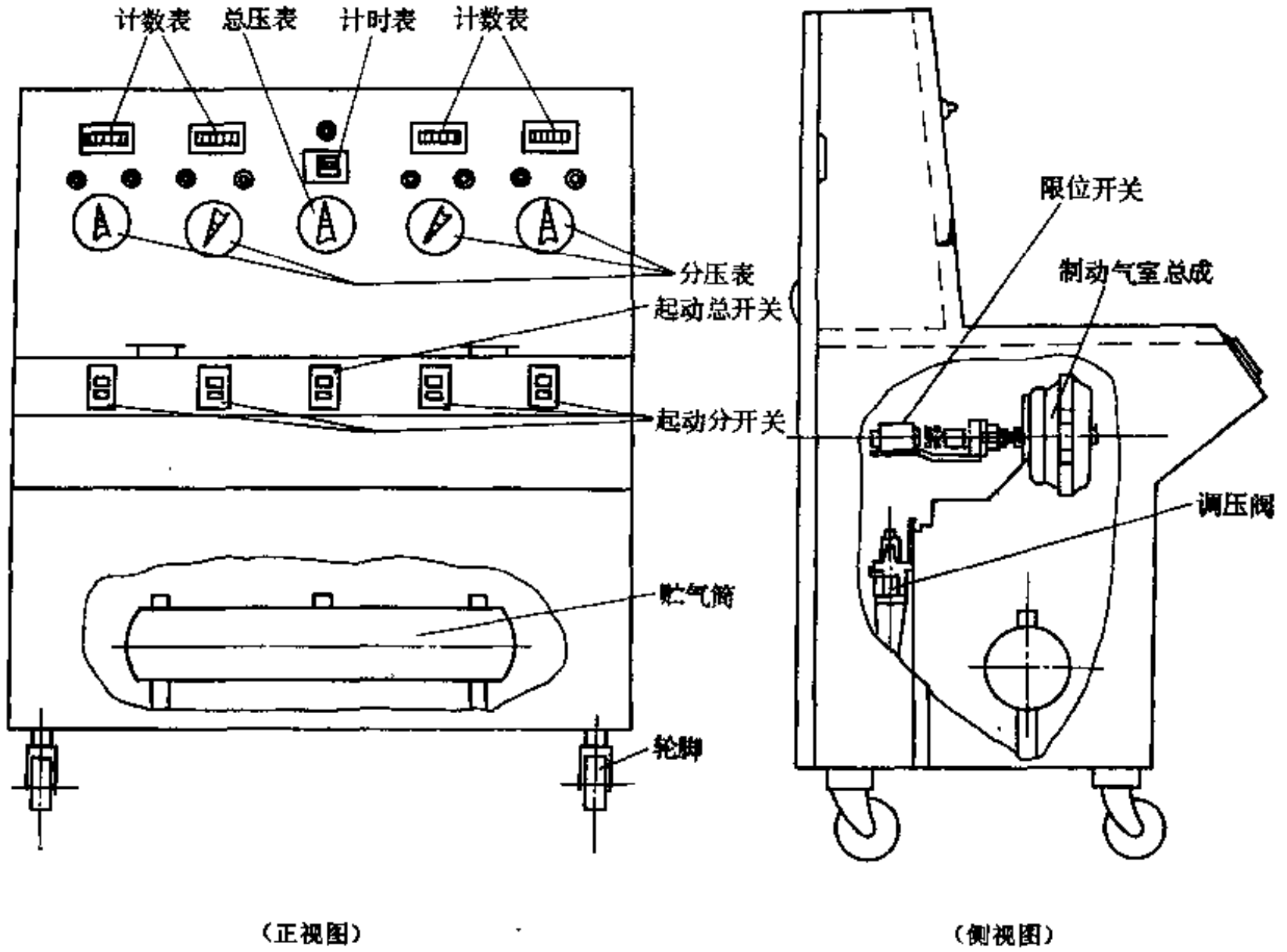


图 1-2-118 台架试验装置（正视）示意图

（八）产品外观检验的要求

产品外观检验的要求列入表1-2-59中。

表 1-2-59 橡胶隔膜成品外观要求

缺陷名称	指标
模痕	允许有，但凹凸度不大于0.3mm，长不大于1.5mm
气泡	直径2～3mm的气泡不允许多于2处
杂质	允许长不大于0.5mm，宽不大于0.5mm的杂质存在，但杂质长不大于3mm，宽不大于1.5mm，深不大于1.5mm者，不允许多于2处
缺胶	缺胶长不大于3mm、宽不大于1.5mm者，不允许多于2处
织物断裂	不允许有
修边损伤	深度不大于1mm、累计长度不允许大于周长的六分之一
边缘毛边凸出	高度不允许大于1mm
胶边流动痕迹(包括流痕、水波纹及轻微麻点)	允许有轻微存在，但不允许有裂口
周边缺布	累计长度不允许大于周长的六分之一
累计缺陷	气泡、杂质、缺胶缺陷总数不允许超过4处

（九）产品安装的要求

在任何一个密封结构的机构中，起主要作用的是安装于这一密封结构的橡胶件，它要承受介质、温度以及各种载荷的作用，但橡胶元件是与密封结构中的其它零部件直接起作用的，结构上匹配与否是关系到整个密封系统的工作能力，所以橡胶制动气室隔膜也不例外，其在气刹的制动体系中对安装中的偶合件如金属壳体、托片、顶杆，弹簧也有相应的要求。

（1）金属壳体是和橡胶隔膜的凸缘部分匹配，其加工的光洁度、有无毛刺、倒角、壳体边缘上口角度和图纸相符否，都是在安装中要检验，否则由于角度差异就会导致密封效能不良且壳体本身不得有变形和裂纹。

（2）托片也必须是光洁无毛刺，边缘做成圆角，否则在抽动中要割损橡胶隔膜。

（3）顶杆，要检查其垂直度和牢固定，应无明显的弯曲，在充入压缩空气时应能迅速推出。

（4）制动的回位弹簧不得有裂纹，要保证有一定载荷下的伸长度。

汽车制动气室橡胶隔膜的工装如图1-2-119。

制动时，压缩空气进气，压到橡胶隔膜上，隔膜靠在推杆的托盘上，压缩回位弹簧推动制动。

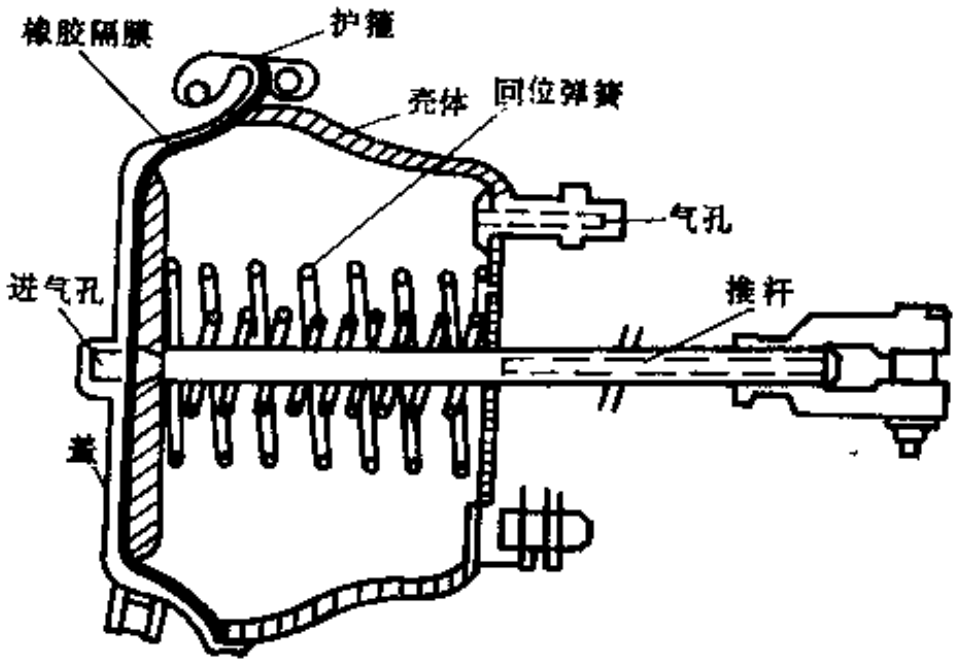


图 1-2-119 汽车制动气室橡胶隔膜工装

放松制动时，当司机操纵制动总阀让气室内的压缩空气排出，橡胶隔膜在回位弹簧的作用下回到原来位置。

安装后如发现制动室有漏气可拆开检查，装配时橡胶隔膜要放正，弹簧托盘也要放正，然后将卡箍装紧（卡箍螺栓的拧紧力矩应为15N/m），再用螺母以20～30N/m力矩锁紧，装完后踩下和放松制动踏板进行检查，此时制动气室推杆应能迅速灵活移动，无卡滞现象发生。

七、橡胶密封条

橡胶密封嵌条是供铁路机车、汽车、飞机、高层建筑、各种电冰箱及工业零件上使用，起防止外界灰尘、空气、水等进入系统的一种橡胶密封元件。近年来随着我国交通运输工业及家用电器工业的迅速发展，其生产方式也日新月异，趋向精简化、文明化、高速化，产品的结构也从一种的单元体向多单元的组合体发展。

（一）橡胶密封条的特征和分类

1．特征

橡胶密封条主要是利用本体结构中唇空腔凸缘等部位的弹性与组装的装饰件（玻璃或金属件）等接触物体的表面产生接触压力而起到密封和装饰作用，一般在－50～＋70℃范围内使用。

2．分类

（1）实心胶条，

（2）海绵胶条；

（3）空心胶条；

（4）复合胶条（海绵与实心橡胶、海绵纯胶与金属嵌件、橡胶金属嵌件和海绵加皮革、纤维实体等）。

（二）主要结构型式

1．实心橡胶密封条型式

（1）H型密封条　由主体和嵌芯条二部分组成，如图1-2-120和图1-2-121。

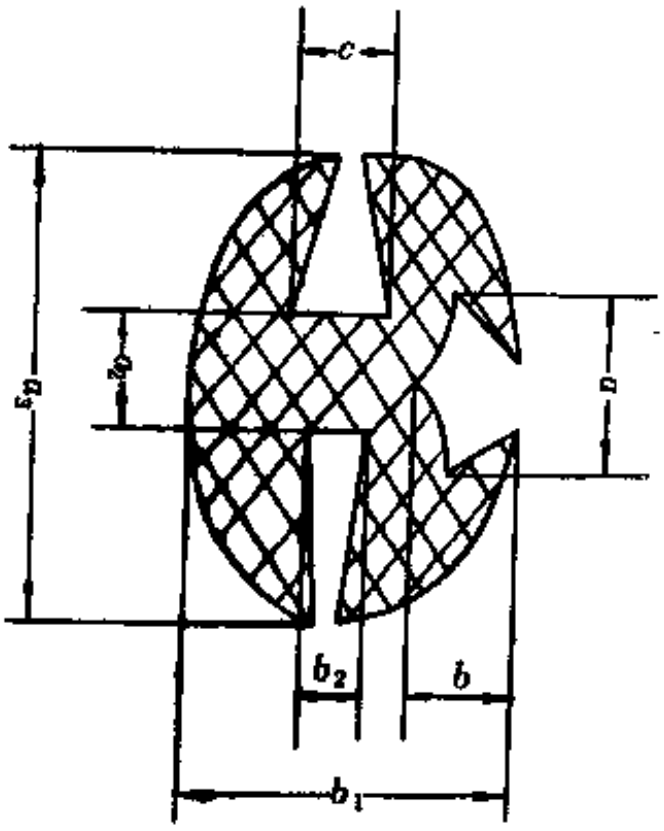


图 1-2-120　H型密封条主体

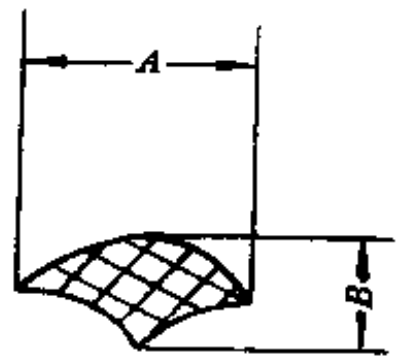


图 1-2-121　密封条嵌芯

H形主体密封条的尺寸如表1-2-60所示，H形密封条嵌芯的尺寸加表1-2-61所示。

表 1-2-60　H形主体密封条的主要尺寸　　单位：mm

序号	主要尺寸						
	a	a_1	a_2	b	b_1	b_2	c
1	7	22	6.5	6	16	4	6
2	7	22	6.5	7.5	16.5	2.4	4.8
3	7	29.5	9	9.2	22.4	2	5
4	8	25	6	5.5	16.5	3	5
5	8	26	6	5.6	18	3.5	5
6	9	28	7	7.5	21	3	5
7	10	33	9	9	27	3	6

（2）U形密封条　主要形状和规格尺寸如图1-2-122和表1-2-62所示。

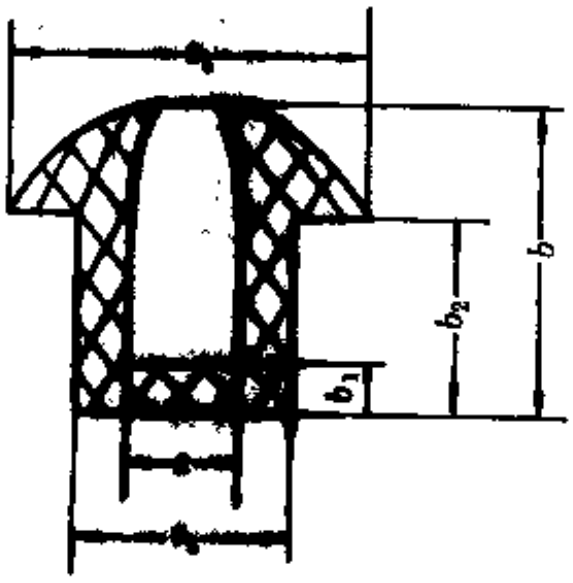


图 1-2-122　U形密封条的断面

表 1-2-61　H形密封条芯条主要尺寸

单位：mm

序号	主要尺寸	
	A	B
1	8.5	6.7
2	9.0	5.0
3	9.5	7.5
4	9.5	8.0
6	10.5	9.0

表 1-2-62　U形密封条的主要尺寸　　单位：mm

序　号	主　要　尺　寸					
	a	a_1	a_2	b	b_1	b_2
1	4		7	10.5	1.2	—
2	5		8	13.0	1.5	10
3	5		9	10.0	—	—
4	5	15	9	12.0	2.0	8
5	5		9	14.0	2.0	10

2．海绵橡胶密封条

海绵橡胶密封条如图1-2-123所示。

3．复合橡胶密封条

（1）实心橡胶与海绵复合密封条　如图1-2-124。

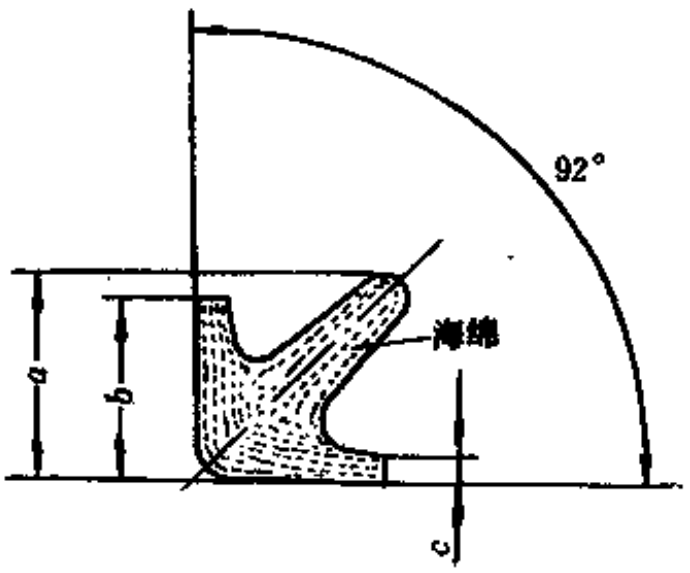


图 1-2-123　海绵橡胶密封条断面

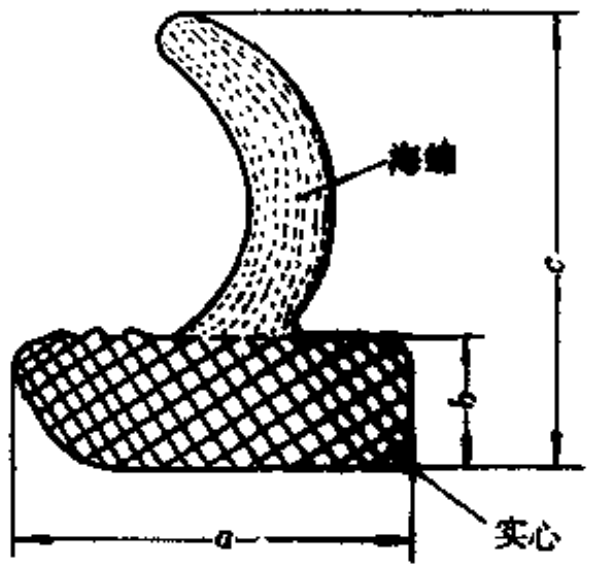


图 1-2-124　实心与海绵复合密封条

（2）实心橡胶与金属复合密封条　如图1-2-125。

（3）实心橡胶、海绵橡胶、金属混合型密封条　如图1-2-126所示。

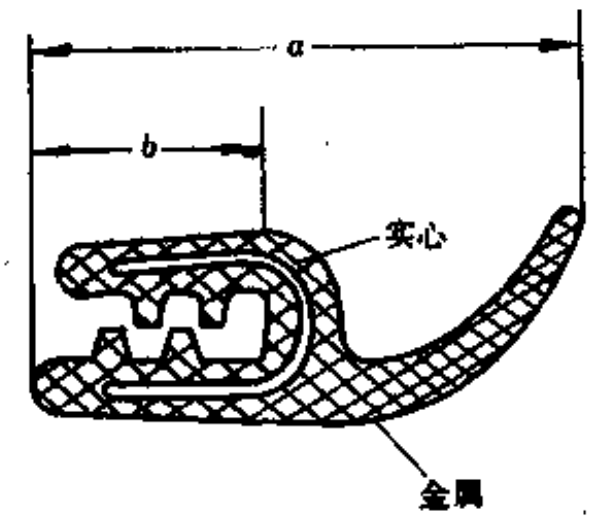


图 1-2-125　实心与金属复合密封条

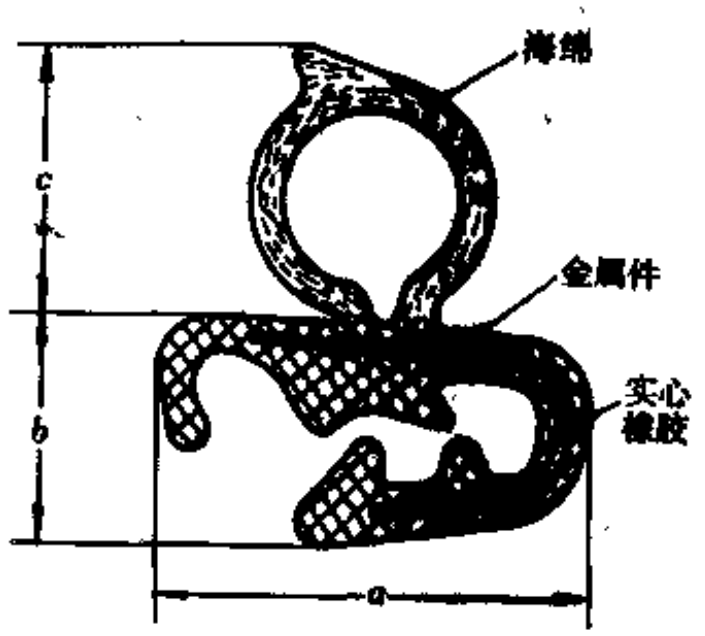


图 1-2-126　实心、海绵、金属复合密封条

（三）橡胶密封条的性能要求

橡胶密封条因为大部分是用于汽车、火车、飞机的门窗及高层建筑作密封使用，所以要

求材料有良好的耐候、耐老化性能，较好的机械强度、伸长率和压缩变形及耐寒性能。

根据主体部件的使用范围，温度适应性要求很高，从－50～＋70℃的广阔温度范围内，考虑到使用中嵌条的装饰部位，所以对材料提出耐大气的臭氧老化的要求，橡胶密封条装饰件大气臭氧浓度下至少稳定在3年以上，一般对臭氧浓度不稳定橡胶是不作考虑的，已制定了密封胶条的物性要求如表1-2-63。

表 1-2-63　密封条的胶料性能指标

项目 \ 组别			Ⅰ组，普通胶料		Ⅱ组	Ⅲ组，耐热胶料		Ⅳ组
			Ⅰ-1	Ⅰ-2	耐寒胶料	Ⅲ-1	Ⅲ-2	海绵胶料
硬度（邵尔A）			60±5	70±5	60±5	60±5	70±5	
拉伸强度，MPa		≥	7	7	7	7	7	
扯断伸长率，%		≥	350	250	350	250	250	
压缩永久变形	70℃×22h时，%	≤	50	50	50			
	100℃×22h时，%	≤				50	50	
	23℃×70h压缩量50%，%							积累数据
撕裂强度，kN/m		≥	15	15	15	15	15	
热空气老化 70℃×70h	扯断强度变化，%	≤	－25	－25	－30			
	扯断伸长率变化，%	≤	－25	－25	－35			
热空气老化 100℃×70h	扯断强度变化，%	≤				－25	－25	
	扯断伸长率变化，%	≤				－25	－25	
耐臭氧性（200pphm，拉伸20%，40℃×70h）						不出现龟裂		
污染性（23℃×168h）			在试样上允许有轻微的浅黄色污染轮廓					
脆性温度，℃		≤	－30	－30	－50	－50	－50	
视密度，g/cm³								0.35～0.60

（四）橡胶密封条胶料配方设计的原则

（1）胶种的选择　考虑到橡胶密封条对臭氧的能耐度及要求有良好的耐老化性能，一般选择氯丁橡胶，如要求更良好的性能，选择三元乙丙橡胶，乙丙橡胶嵌条在一般情况下可稳定使用十几年，但通常使用中考虑到胶料的工艺性能一般以并用胶为好，如天然橡胶和氯丁橡胶及丁苯橡胶三种橡胶并用或天然橡胶和聚乙烯、三元乙丙橡胶和天然橡胶或是橡塑型并用以改进耐臭氧性。

（2）添加剂的选择　根据胶料是浅色还是黑色分别采用不同的活性填充剂，若要求耐老化性好，一般以抗氧剂和防老剂并用为好，如采用防老剂4010-NA1份和防老剂RD或AW 1份并用，在浅色胶料中用苯酚类防老剂再加物理防老剂如极性胶料中加入氯化石蜡，在实心胶条生产中需加入吸水剂CaO，其细度要求为400目以上，且与油类混配预制成膏状加入胶料中，以5～10份为宜，太多要影响胶料性能。

（3）如是海绵橡胶条，根据工艺性能要求要考虑发泡剂和硫化剂使用后产生的发孔速度和硫化速度的平衡，这样使生产的成品能保持密度稳定，孔度均匀。

（4）特种配合剂的应用　为保证橡胶密封胶条的外观质量，以及异型橡胶密封胶条结

构的尺寸稳定性，在配方中采用具有支撑性的配合剂使成品胶条挺性好，变形小，如油膏、高分子蜡改性塑料等。

（5）其它注意事项　如采用增塑剂，则要考虑和选用胶种的适应性如极性要求、互溶性要求，在氯丁橡胶中如采用的增塑剂选用变压器油，即以石油基为基础的环烷油类为好，如60号润滑油、T 50石油脂等，一般三元乙丙橡胶选用46号润滑油、克炼12～14润滑油或Sapper2280油、日本太阳油等。

（6）橡胶密封胶条的配方实例如表1-2-64。

表 1-2-64　橡胶密封条配方示例

组成 \ 名称	风窗嵌条	开孔海绵	闭孔海绵	组成 \ 名称	风窗嵌条	开孔海绵	闭孔海绵
丁苯橡胶	70	—	—	防老剂RD	—	—	1
三元乙丙橡胶	30	—	—	促进剂CZ	2.6		0.8
丁腈橡胶	—	100	100	促进剂D	0.8		0.4
氧化锌	5	5	5	促进剂TT	0.3		
硬脂酸	1	2	2	硫黄	2	2	1.5
快压出炉黑	45	30	30	发泡剂TSH		4	
环烷油	20	—	—	发泡剂DPT		8	
液体丁腈橡胶	—	15	—	发泡剂AC			5
邻苯二甲酸二丁酯	—	12	25	发泡剂OBSH			5
碳酸钙	50	—	—	促进剂DM		1.2	
钛白粉	—	5	30	促进剂TS		0.2	
防老剂SP	2	—	—	加工助剂	8		

（五）橡胶密封条的断面设计和尺寸公差要求

1．断面设计

橡胶密封条的断面结构一般包括密封和安装两个主体部分，有时也在产品剖面加有备注装饰面的要求，如植绒、涂膜等，密封部分根据密封空间位置及其大小，起密封部分的受压方向和最适宜的压缩量来进行设计或选型，安装部分则取决于固定部位尺寸的大小和固定的方式，固定方式分嵌入固定、机械（铆钉）固定和粘合固定等。密封胶条断面形状设计有很大的选择性，如表1-2-65中所举几种门窗用密封条，形状设计中若靠唇形起密封作用时，唇的腰部尺寸应沿着根部逐渐加厚以保证密封唇有足够的弹性和接触压力，减少压缩时的变形。对于空腔形的设计，其壁不能过厚也不宜过薄，厚的弹性虽好但关闭时费力，太薄则密封部位缺乏挺性面易变形。如门窗胶条断面设计中为保证胶条良好的密封效能，就采用如图1-2-127这种结构的设计，是多种材质的组合体。

2．橡胶密封胶条的尺寸公差要求

大部分的橡胶密封条是以压出硫化，所以属橡胶压出制品的范畴，除要求严格控制胶料、工艺及性能外，对作复合制品时还需具有精密尺寸的支撑体骨架材料如弹簧钢片骨架等，形状如图1-2-128。

骨架钢片厚度一般为0.3mm，在超高频硫化当中，骨架的形状尺寸牵涉到高频渗透金属表面层的深度，在感应升温时避免微波反射，遮断传送回路，并且其所示状态在高频硫化的特定条件下，为避免诱发火花造成着火。一般在金属件的表面不应有水分、油等，以防产品产生气泡和腐蚀现象。另外，金属骨架材料在使用中要考虑其所处空间的部位，以防高频硫化中电场电路中断。除海绵外各种型式橡胶密封条根据使用要求，尺寸 公差执行 GB3672—

表 1-2-65　几种门窗的密封条正确与不正确设计举例

使用特点	正确设计	不正确设计	用途
用于扁形开关的门或窗上			用于汽车驾驶室和轿车的车门上
			用于电冰箱上
用于闸式窗上			用于列车闸式窗上
			用于列车闸式窗上
			用于大型客车升降玻璃窗上
			用于载重汽车驾驶室窗上

83“橡胶实心模压和压出制品尺寸公差”，其中装配尺寸公差按 E_2，非装配尺寸公差按 E_3 执行，长度尺寸公差按表 中 L_3 执行。海绵压出制品截面和长度尺寸公差参考 按ISO3302—76 中执行。

作为压出制品的橡胶密封条，其生产中的制品尺寸公差要求比模压橡胶密封制品要大，

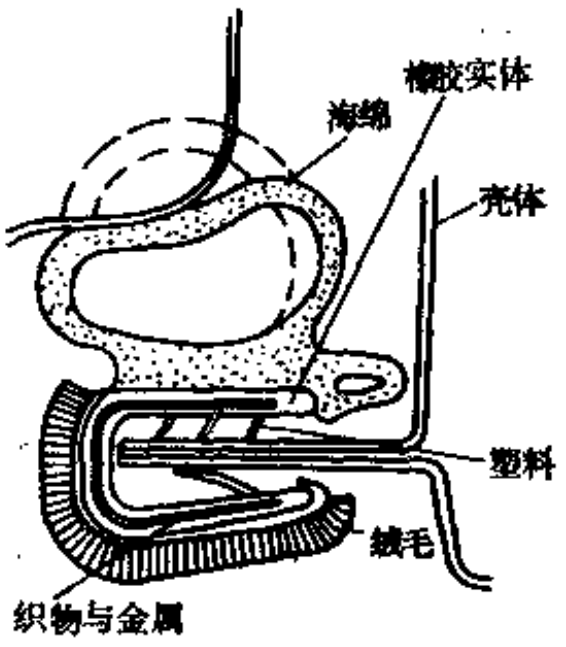


图 1-2-127　多元截面可变组合体密封条

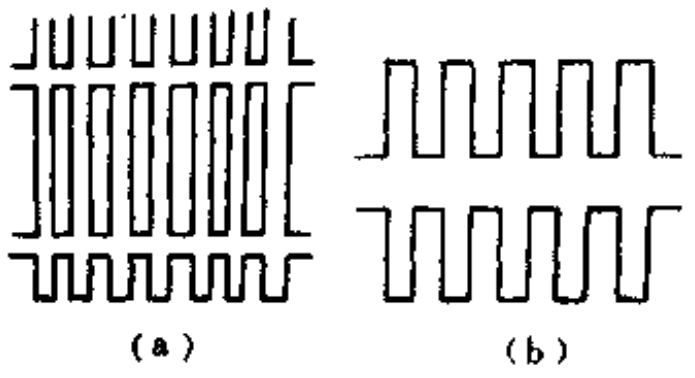


图 1-2-128　弹簧钢片

胶料在强制通过口型后发生膨胀并在随后的硫化过程中发生收缩和变形，一般软的硫化胶（即硬度 50IRHD）比硬度大的硫化胶需要更大的公差，在橡胶密封条横截面的尺寸中一般要限定二个公差即可，关键部位尺寸要严，其它部分可酌情宽一些，公差一般是选取对称分布。

（六）橡胶密封条的生产工艺

橡胶密封胶条因形状复杂，给生产工艺带来一定的困难，模压加工对于形状简单的密封胶条虽然有效，但产量不高，并且制品接头不平整，模具费用也大。压出加工可使复杂的产量大的制品没有分型面，硫化后无须修剪，仅用一简单的成型口型就能解决了，所以模压加工已逐渐被压出加工所代替，在胶条的压出加工中以往用单头螺杆压出，现已采用真空排气装置进行冷喂料的螺杆压出机在常压下生产无汽泡的胶条。

1．口型制作

橡胶密封胶条因断面形状复杂，胶料的成型是在成型的机头内进行的，口型使胶料具有一定的形状，口型虽是一种结构简单的成型口型模，但在几何尺寸上是很难确定的，一定要通过反复试验修改才能使生产出的胶条断面符合产品图纸要求。口型的几何尺寸随着橡胶胶种及配方含胶率、胶料的可塑度而变化，这种口型模的设计要通过试验反复摸索来提供设计参数，连续压出的成型模对制品尺寸不是收缩而是膨胀。口型示例如图1-2-129，所以在口型制作时首先根据胶料的膨胀率作出形状与产品断面相似的口型，产品断面可放大10倍作图，采用线切割制作然后反复投料压出校正，确定合格的几何尺寸，挤出成型模要充分考虑到型口每一部位的胶料挤出阻力和流量的关系，一定要使挤出的胶料均匀，如某一部位流量大就会引起某一部位断面厚薄不一，使压出速度不平衡面造成半成品弯曲或起波纹，可在口型背面加一“压脚”以增加该部位的压出阻力使压出平衡，如图 1-2-130。

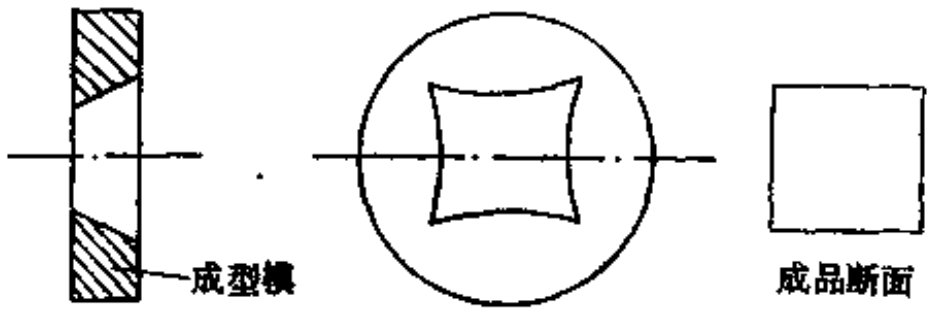


图 1-2-129　压出橡胶制品成型模和成品断面

压出温度是压出工艺的关键，一般天然橡胶压出温度比合成橡胶的压出温度相对高些，但压出温度过高或过低均会直接影响压出速度和产品表面的光滑性。一般是冷机身、温机头、热口型，但温度的掌握以保证半成品不自硫或表面不发生毛糙和起泡为准。

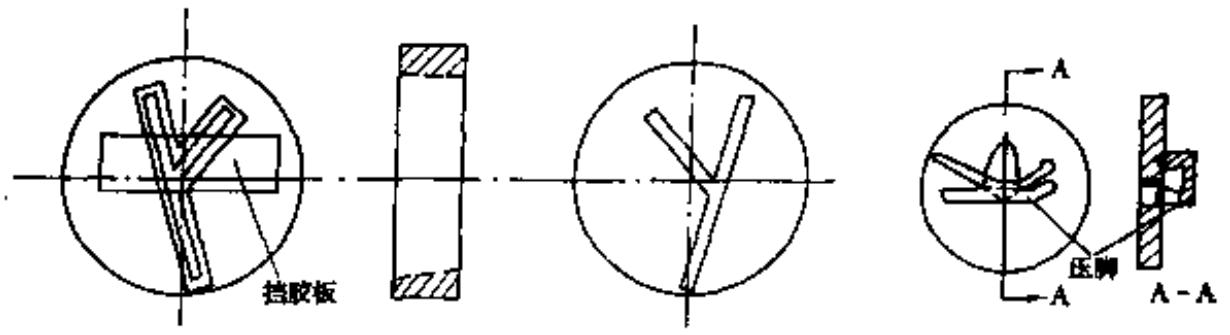


图 1-2-130　口型挡胶板和压脚

2．半制品的放置

胶料经口型压出后如不是连续硫化，则半成品为防止变形通常用二种方法来处置。

（1）用滑石粉作填埋剂起支撑作用，减少半成品的变形，但这种方法粉尘污染程度大，易造成环境混浊，目前趋于淘汰。

（2）如半成品比较硬可用水作隔离剂，放入用铝制成的圆盘或长盘内。

目前国内大部分厂家为了配合交通运输业的发展，相继使用不同的连续硫化装置，因为是连续硫化，半制品胶料直接从机头压出后就进入硫化设备，所以无需考虑半制品的放置。

3．硫化

一般生产厂还停留在用间接蒸汽或直接蒸汽进行硫化的状态，但在大批生产同一规格或尺寸相近的制品时，就应考虑连续硫化的特型生产流水线，这样在操作过程中用不着贮存和运送半成品，可以较经济地利用热能，无粉尘污染之害，对产品质量和外观都有保证。

目前国内陆续引进了不少国家的连续硫化装备，有热空气烘道连续硫化设备，也有微波连续硫化设备等。密封胶条也随着汽车工业的发展而提出越来越高的质量要求，除在连续硫化设备中采用复合机头的复合型橡胶密封条生产外，还要求表面植绒，提高装饰的密封性和美感，这些工艺目前国内各生产厂家相继投入使用。

橡胶密封胶条基于其产品规格不大，但长度长，可连续化生产的特点，适于用多种热载体的硫化，如盐浴硫化、热空气烘道硫化、高频硫化、玻璃微珠沸腾床硫化、辐射电子束硫化、远红外硫化等。

（七）橡胶密封条的质量控制

1．成品性能控制

生产厂家根据测试装配及用户要求，在满足质量要求的前提下，控制半制品和成品的要求也是不一样的，现例举日本丰田株式会社对汽车门窗胶条成品性能要求如表1-2-66。

2．橡胶密封嵌条的外观质量控制要求

产品主要尺寸用精确度为 0.02mm的游标卡尺进行抽验，每批数量不少于 3 处，抽验结果不合格时应再配双倍数量的样品进行复验。

（1）实心制品外观控制标准　如表1-2-67所示。

（2）海绵密封胶外观质量要求　如表1-2-68所示。

（八）橡胶密封胶条的贮存包装要求

橡胶密封胶条的贮存一般按橡胶密封制品贮存的一般规定，但包装成品要根据类型、规格分别用袋、箱包装，严禁损坏成品质量的现象发生，如胶条变形、扭曲等，一般袋、箱重量不超过30kg，长度不超过3m。

（九）密封胶条安装的方法

1．嵌入固定法

表 1-2-66　日本丰田合成株式会社对汽车门窗胶条成品要求

材料规格		项　目	规　格	性　能
EPDM	海绵胶条	发泡密度	0.4～0.9g/cm³	0.5～0.7g/cm³
		吸水率	127.5mmHg减压水中在60min下为5%以下	0.2～1.8%
		低伸长压力	0.15～0.4MPa	0.28～0.35MPa
		拉伸强度	0.8MPa以上	1.5～2MPa
		伸长率	80%以上	150～250%
		撕裂强度	1.0N/m以上	1.1～1.7N/m
	实心胶条	硬　度	60±5	60～65
		拉伸强度	7MPa以上	9～11MPa
		伸长率	300%以上	500～600%
成品规格		压缩永久变形	70℃×22h在标准强度下变形率为30%以下	23～28%
EPDM			70℃×100h在标准强度下变形率为50%以下	40～47%
		耐臭氧性能	50ppm×38℃×30%伸长×70h下须无龟裂	无龟裂
		耐候性	在日光曝晒仪器300h须无污染和异常	无迁移污染
		冷板磨耗性	频率31000cpm×振幅3×7压缩量	无异常
		玻璃板的磨损性	2mm×5h下无异常，频率120cpm×振幅80×压缩量35cm/n×372次下须无异常	无异常
		耐屈挠性	频率300cpm×50万次×标准+2mm下须无异常	无异常
		耐寒性	40℃×5h后弯折180℃下无龟裂无异常发生	
		耐水性	40℃×240h下须无异常发生	
		压缩载荷	按制品的形状而划分	
		抽出强度	按制品的形状而划分	
		保持贴紧的强度	成品在200mm/min拉伸下15N以上	30～45N
		粘接强度	按成品200mm/min拉伸下40N以上	60～80N

表 1-2-67　实心制品外观控制标准

缺陷名称	质量指标	缺陷名称	质量指标
裂　纹	不允许有	弯曲现象	允许半制品连续盘卷成型所造成的弯曲现象
喷　硫	不允许有		
表面边角明显无锯齿形	不允许有	圆断面变形	不超过公称尺寸的20%
杂质气泡	面积不超过3mm²，深度不超过2mm的表面杂质汽泡每米不多于3处	缺角缺陷	深度不超过1mm，长度不超过4mm的缺角缺陷每米内不得多于3处
		水　纹	深度与宽度均不得超过0.2mm
扭曲变形	不允许有明显的扭变	粗细不匀	允许在尺寸公差范围内

表 1-2-68　海绵密封胶外观质量要求

缺陷名称	标准要求	缺陷名称	标准要求
波皮缺胶	深度不超过2mm，长宽＞3mm者每米内不得多于两处	欠硫变形	不允许
		表面炸裂鼓起	裂缝深2mm、鼓起2mm
软硬度	要求均匀	接头前后密度不一致	0.3～0.8g/cm³以下
塌　坑	深度不超过1mm		

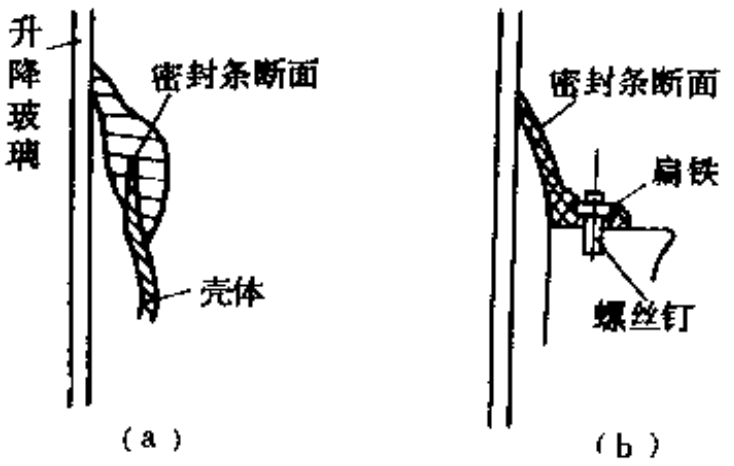


图 1-2-131 密封胶条安装固定法

利用密封条本身的凹凸部分过盈插入门或窗的相应部位来达到固定的目的，如图1-2-131（a），此法操作简单，但易脱落，一般只宜用于货车或建筑物的钢窗上。

2．机械固定法

此法虽然牢固可靠，但工序复杂，成本高，多用于载重汽车和大型客车上，如图1-2-131（b）。

采用嵌入固定和机械固定两种方法视使用的场合与要求而定，如果设计得恰当，嵌入固定法更能表现它的优点，占用位置小，而且紧凑和经济。

3．粘合固定法

即采用胶粘剂或填入腻子直接将橡胶密封条与金属粘合，工艺简单效率高且牢固，一般采用的胶粘剂和腻子是JX-19胶粘剂，它具有好的初始粘力，在常温下不需加压可进行粘合或推荐用SL-4多用途结构胶粘剂，其耐热老化、耐湿老化、耐温度交变、耐振动性好，可作非平面粘合固定用，也可用JN-8 风窗密封胶，它以一种解聚丁基橡胶为主体，并配入低分子量的聚异丁烯及填充剂，较好用于汽车挡风玻璃和胶条的密封，能防风、防水、防寒，也可用JN-4(S-2) 密封胶，即以液态聚硫橡胶为主体，适于门窗的顶面和立面粘合固定 操作用。

（十）各种橡胶密封胶条的剖面

各种橡胶密封胶条的剖面归纳示例如表1-2-69。

八、橡 胶 皮 套

橡胶皮套一般是汽车和农业机械即拖拉机的前后轮轴及传动轴等部位为防灰、防油脂外溢以及建筑机械、变电站等工业系统中为吸收振动的悬架装备及主体装备，作保护滑动面和部分整机防灰、泥沙侵入机械及设备的橡胶罩状配件都称为橡胶皮套。

（一）橡胶皮套的种类

1．按使用场合分类

分为普通温度工作条件（－35～＋80℃）和高温工作条件（－40～＋120℃）用。

2．按结构类型分类

不同类型橡胶皮套的形状如图 1-2-132所示。可压缩式密封 宝塔形如图（a），筒形如图（b）；固定式密封 球形如图（c），圆罩形如图（d），环形如图（e），不规则形如图（f）和（g）。

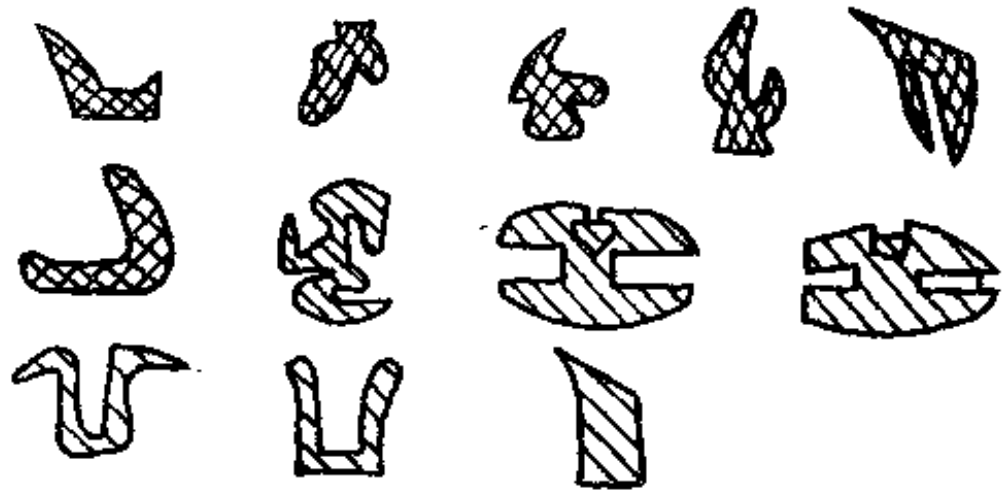
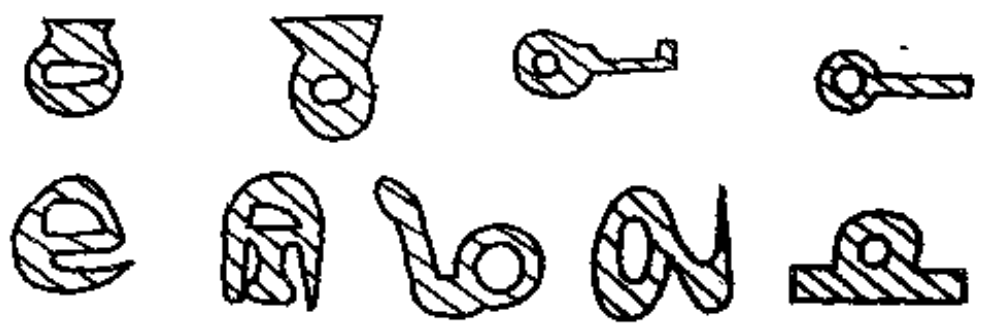
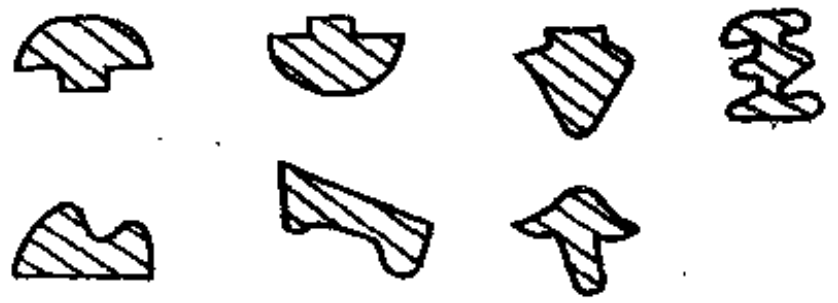
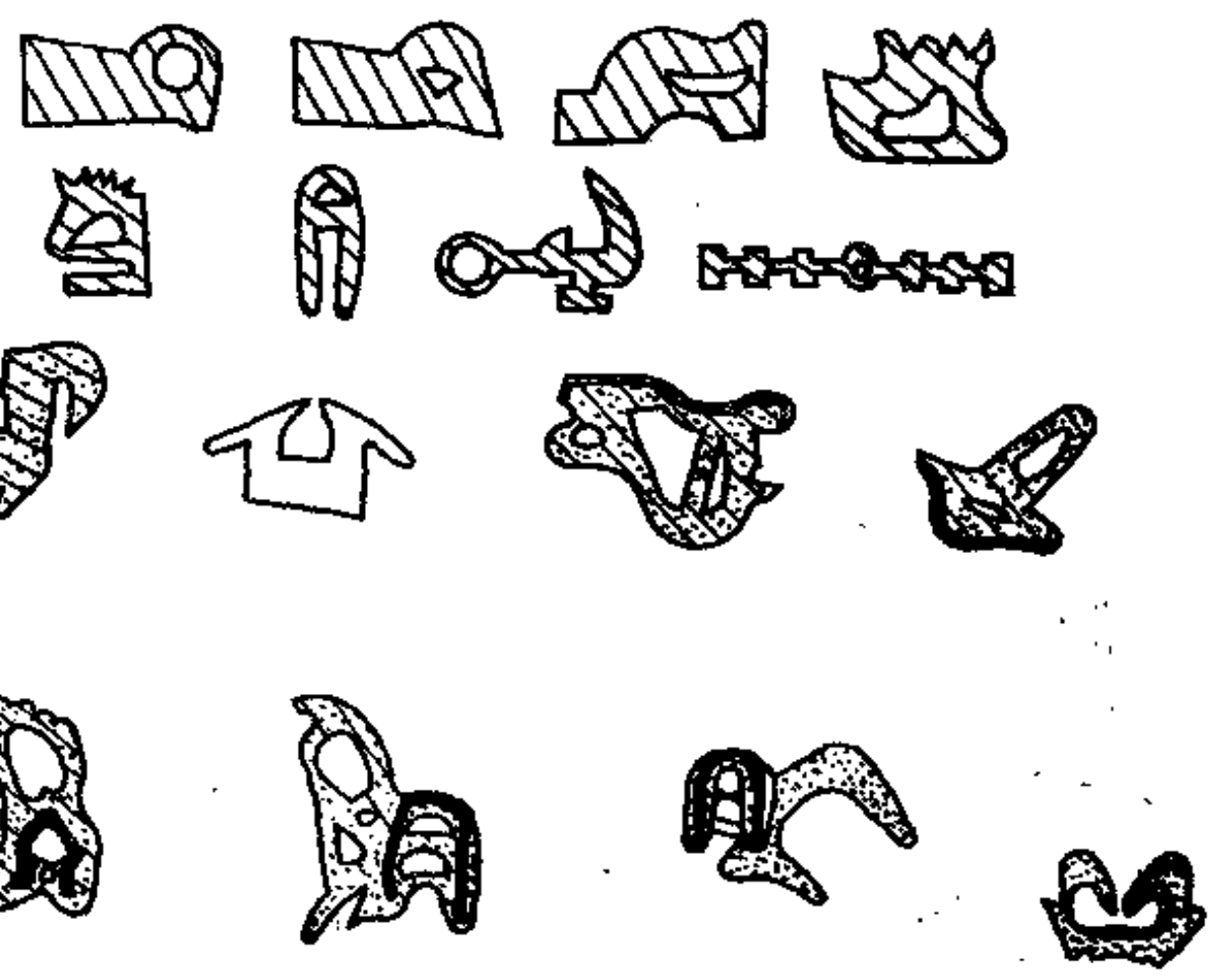
（二）橡胶皮套成品和模具结构设计要点

橡胶皮套结构基体分成密封罩上下口和罩体三个部分，罩体设计根据运动及作用的不同特点采用波纹形、球形、不规则形等。

（1）带波纹形的罩体无论是直筒形状、宝塔状、无规状，其在工作情况下被密封的构体，有一定的工作行程，物体的最大正行程是罩体的充分伸展的长度，最大的负行程是罩体被折叠后的高度，实际上罩体充分伸展的长度和折叠后的高度分别比物体最大的正行程大，比最大负行程小，这样保证罩体自由的工作。

（2）球形、圆罩形、杯形等大部分用于操纵杆的球节或活塞阀体的外面，使用中被密

表 1-2-69　各种橡胶密封胶条剖面

种　类	形　状
唇密封形	
空腔形	
凸缘形	
复合形	

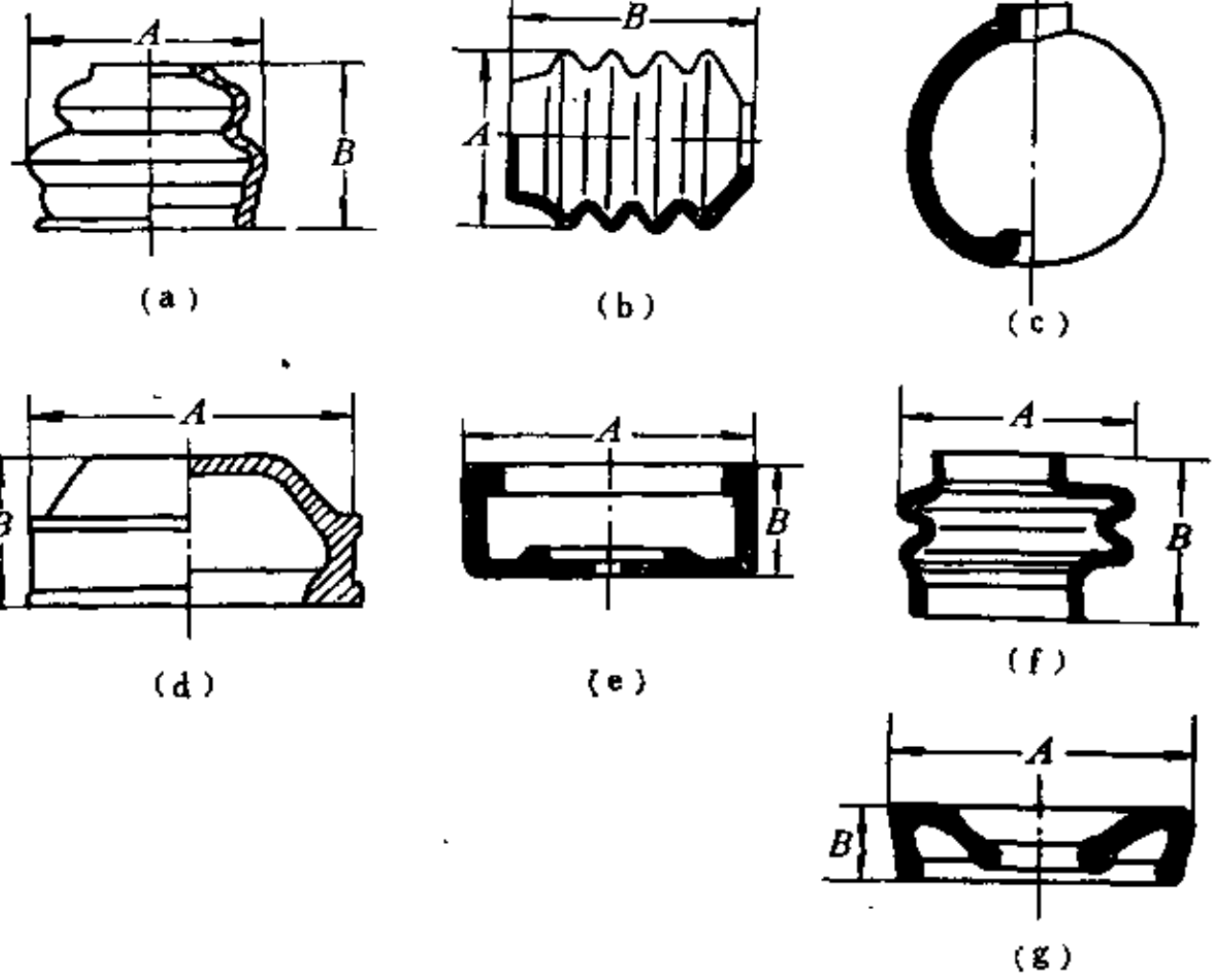


图 1-2-132 各种形状的橡胶皮套

封机体本身无行程变化，但可能有角度或径向、轴向变化，罩体在工作情况中往往经受拉伸、压缩或扭转，因此在设计上如球形面不能受过分的拉伸面脱落，静止密封的皮套虽结构形式各异，但必须保证上下罩口过盈配合起密封作用而不致脱落，罩口可自紧过盈密封或内径设计成突缘和被密封物体相应成凹槽匹配，但突缘不宜过高，以防产品在硫化中形成缺陷和窝气，也可加机械卡箍锁紧罩口。

（3）设计橡胶皮套罩口，要考虑其中一个罩口其直径与罩体最大直径不宜相差太大，否则造成模压加工脱模困难，特别是采用稍有热脆性的胶料时，易一经扩张造成断裂，导致成品废次较多。

（4）筒式波纹形橡胶皮套在使用上要求它拉伸和压缩范围大，因此设计中波谷深些（或波峰密些）的办法来达到这一目的，但这样成品硫化后脱模困难，往往把模型芯子分为几瓣组成，使脱模方便，结构示意如图1-2-133。

对于使用要求不太高，即拉伸和压缩范围要求不高的防尘罩，采用整体模如图1-2-134，但罩口应设计得大一些。

罩口外径40～50mm，模具为2×3的6孔

罩口外径＞50～70mm，模具为4孔

罩口外径＜40mm，模具为5×5的25孔

罩口外径＞100mm的一般为单模，可以二副一缸平板生产，双模定位模具如图1-2-135。

（5）橡胶皮套罩体的厚度确定：为罩体柔软能自由拉伸和压缩，一般不宜太厚，约0.5～2mm左右，大型橡胶皮套外直径在300～500mm的其罩体厚度可在3～5mm左右。

（6）一般波形橡胶皮套如弯曲度的曲率小，加之是耐油场合使用，采用整体芯子剥下时困难大，一般可采用充气脱模，模具辅助工装如图1-2-136。硫化模出缸时撬起上下盖板，将带有橡胶皮套的模芯放入辅助夹具，在芯子上插入通气（压缩空气）头子，使压缩空气在芯

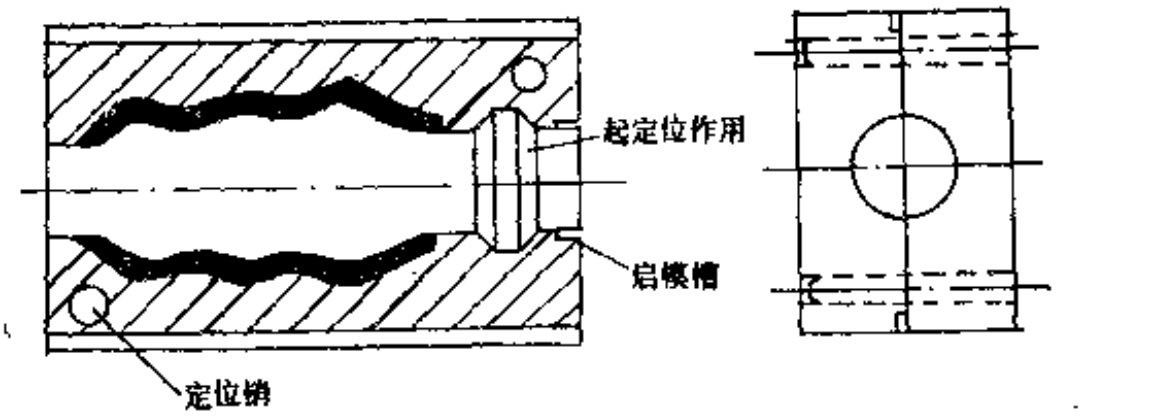


图 1-2-133　组合结构橡胶皮套模

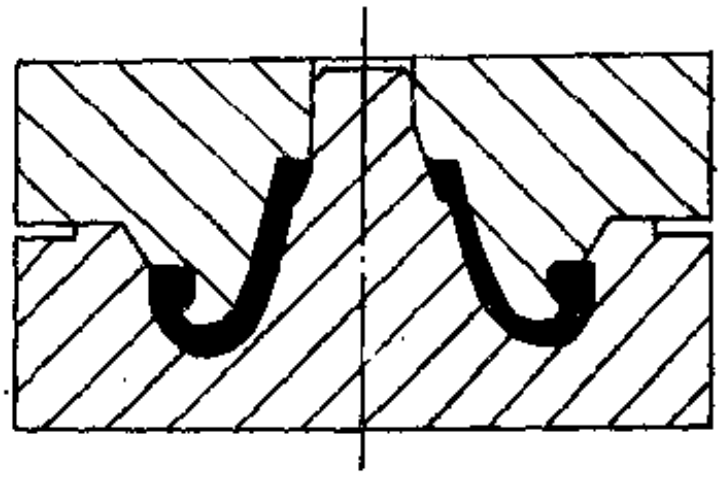


图 1-2-134　单眼整体橡胶皮套模

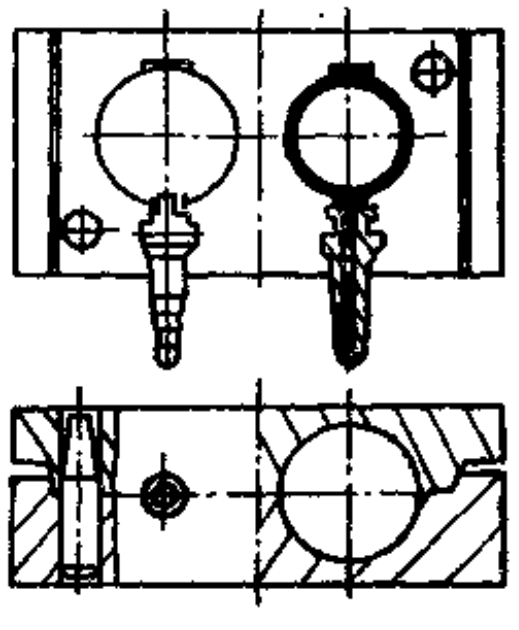


图 1-2-135　双眼整体橡胶皮套模

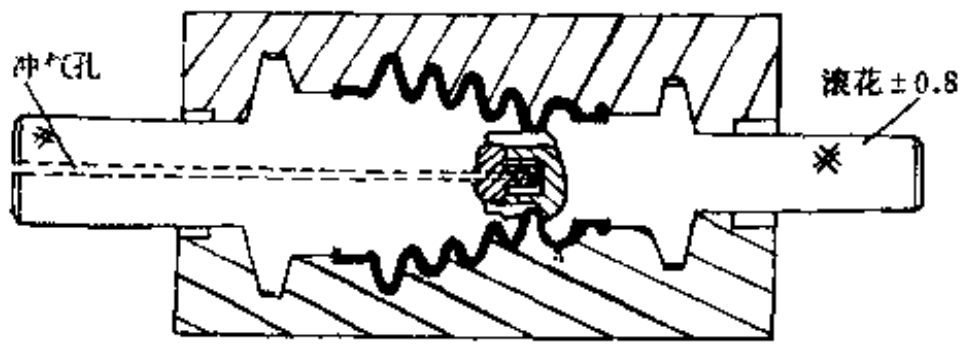
模和橡胶皮套间壁中流入，随之气压增大，使橡胶硫化皮套膨胀吹起和模芯分离，即后模芯顺利抽出。但冲气过程中要防止压力过大，导致成品膨胀爆破，辅助夹具直径比成品皮套直径略大就可以了。

（三）橡胶皮套的基本性能要求

橡胶皮套要有优越的耐磨、耐候、耐屈挠性，要求压缩变形小，有一定的机械强度，以及较好的抗臭氧龟裂，并在一定程度上要和匹配的介质、牛油脂或变压器油相适应，橡胶皮套胶料基本性能参阅表1-2-70（为日本JIS D2608—82 汽车轮缸橡胶皮套材质性能）。

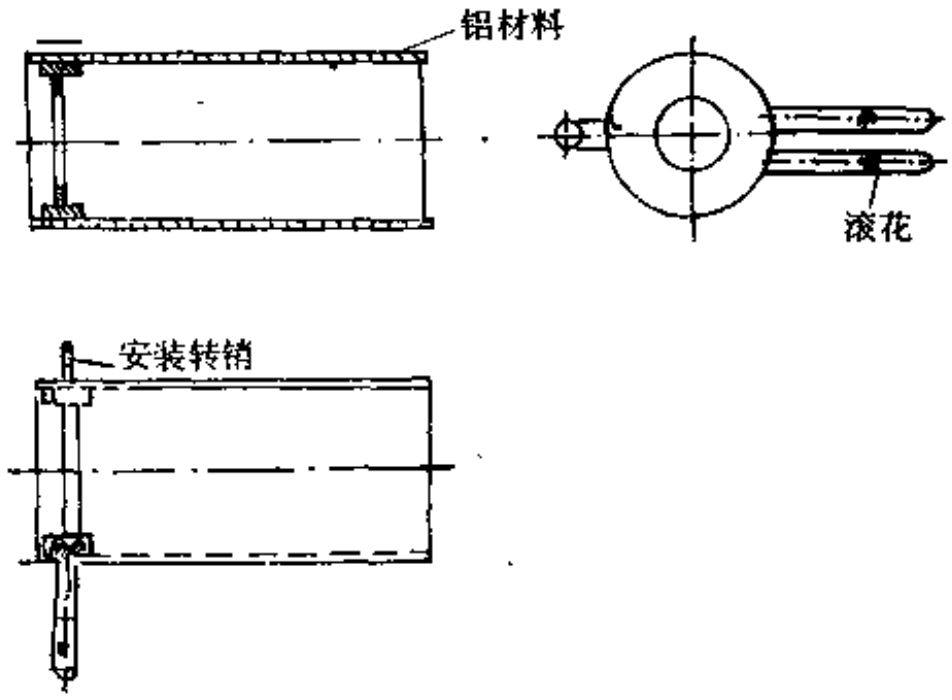
（四）橡胶皮套配方实例

氯丁橡胶	100	丁腈橡胶（NBR1704）	50	氧化镁	4	硫黄	2	变压器油	15	四氧化三铅	25
耐热防老剂	4	氯醚橡胶（CHR）	50	硬脂酸	1	硬脂酸	2	凡士林	2	古马隆树脂	5
防老剂4010NA	2	硬脂酸锌	1	快压出炉黑	25	防老剂NBC	2	促进剂NA22	1	促进剂NA22	1
氧化锌	5	氧化锌	10	高耐磨炉黑	25	高耐磨炉黑	50	促进剂TT	0.5	二丁酯	10
										促进剂DM	1.5
										促进剂CZ	1



充气模具

(a) 充气模具



充气脱模辅助工装

(b) 充气脱模辅助工装

图 1-2-136 橡胶皮套充气模

（五）橡胶皮套外观质量要求

橡胶皮套表面应平整，无分层、裂缝、气泡及海绵状，表面无发粘及欠硫存在，不应混入杂质。

（六）橡胶皮套工艺特点

橡胶皮套成型按规格及工艺规程称取胶片，胶料放平直并要保持清洁，硫化中模型要预热，耐油胶料防止表面粉尘，胶料装模后上下模压掀紧后加压放回气。

橡胶皮套成品若过硫出模时极易热脆撕裂，所以一定要准时硫化，成品出模一般采用铜撬棒启模芯。

九、叠层填料

（一）概述

填料函填料习惯称为螺旋盘根，主要用于填塞反应釜、搅拌器、泵等的旋转轴或往复活塞杆及阀杆轴贯通处的填料函（stuffing box）中，以抑止旋转运动或往复运动的轴杆处的低压蒸汽、气体、热水、高压冷水、溶液及各种介质的泄漏。典型填料函密封装置如图1-2-137所示。

表 1-2-70 橡胶皮套材料的性质

项目		种类	
		1 种	2 种
常态	硬度（Hs）	50±5或60±5	
	定伸应力	9.8MPa以上	
	伸长率	300%以上	
老化性	温度及时间	100±2℃，70±1h	120±2℃，70±1h
	硬度（Hs）变化	0～10	
	定伸应力变化率	-40%以下	
	伸长变化率	-40%以下	
压缩永久变形	温度及时间	100±2℃，22±1h	120±2℃，22±1h
	压缩永久变形	30%以下	40%以下
耐液性	温度及时间	100±2℃，70±1h	120±2℃，70±1h
	试验液	符合JIS 2233的标准液	
	硬度（Hs）变化	-10～+10	
	定伸应力变化率	-40%以下	
	伸长变化率	-40%以下	
	体积变化率	-15～+15%	
低温屈挠性	温度、时间、状态	-40±2℃，22±1h下须不发生裂痕	
耐臭氧性	臭氧浓度	50±6pphm	
	温度	40±2℃	
	试验时间	48±1h或按当事者协议72±1h	
	伸长（静态）	20-$^{8}_{5}$%	
	状态	用10倍的放大镜验证，用肉眼看时须无裂纹	

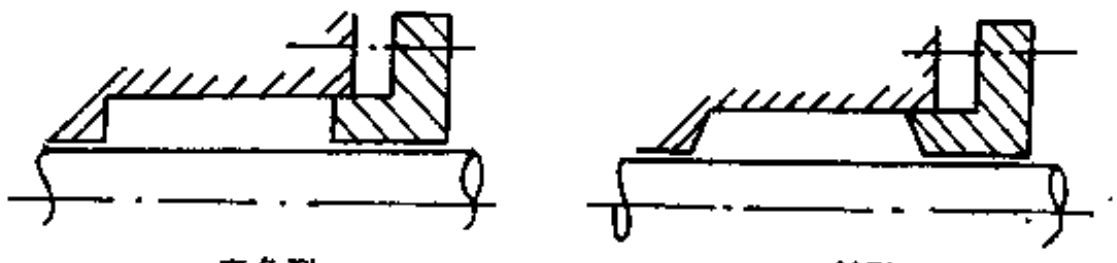


图 1-2-137 填料函密封构造形式

填料函填料常以棉麻、石棉、聚四氟乙烯树脂、碳素纤维、金属箔等单独或几种材料组合，经捻合、编织或与橡胶材料并用制成。填料的横断面有正方形、梯形、圆形等，填料并按其断面的大小，绕成不同直径的螺旋状制品，使用时将其切断成适当周长的环，卷于轴的四周，依次填塞入填料函中，然后用填料函盖锁紧，完成密封。

对填料性能有下列一些要求：

① 可挠性，可藉填料函压盖的锁紧压力使填料充满轴杆面及填料函内腔；

② 填料不被密封介质和流体、气体侵蚀；

③ 具有一定弹性，可随轴杆少许偏心运动而不致破坏密封性能；

④ 不腐蚀或磨蚀活动的轴杆及填料函腔；

⑤ 填料不易磨耗，能抗耐被挤出密封处的缝隙，只允许体积徐徐减少；

⑥ 拧紧压盖及添加或更换填料方便，在预定运转使用期间，更换填料的次数极少。

前述各种纤维等材料与橡胶并用制成的填料能符合上述要求，品种规格甚多，其中橡胶与石棉纤维经编织、缠绕制造的密封填料，见第十一章第一节的橡胶石棉密封制品有关品种。

由胶布层与橡胶层间隔叠合经硫化定形制成的螺旋状填料称为积层填料或叠层填料(Wrapped rolled or Laminated type Packings)，橡胶层与棉胶帆布交替贴合成方形断面，其积层方向垂直轴面者被称为Amazon填料。叠层填料的断面结构见图1-2-138。

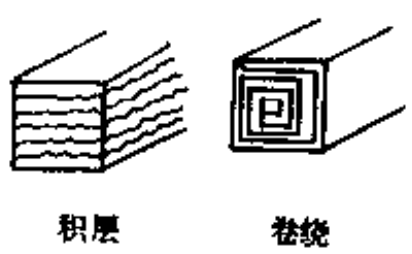


图 1-2-138　叠层填料断面

螺旋形叠层填料由胶帆布与橡胶层间隔叠合，经半硫化、切割、卷绕、复硫化定型等工序制成。积层填料中的涂胶帆布是填料的主要受力部分，它起承压、抗磨耗、防挤出作用，面橡胶层则起粘合、弹性缓冲和气密性作用。

(二) 叠层填料制造

1．工艺流程

叠层填料生产工艺流程见图1-2-139。

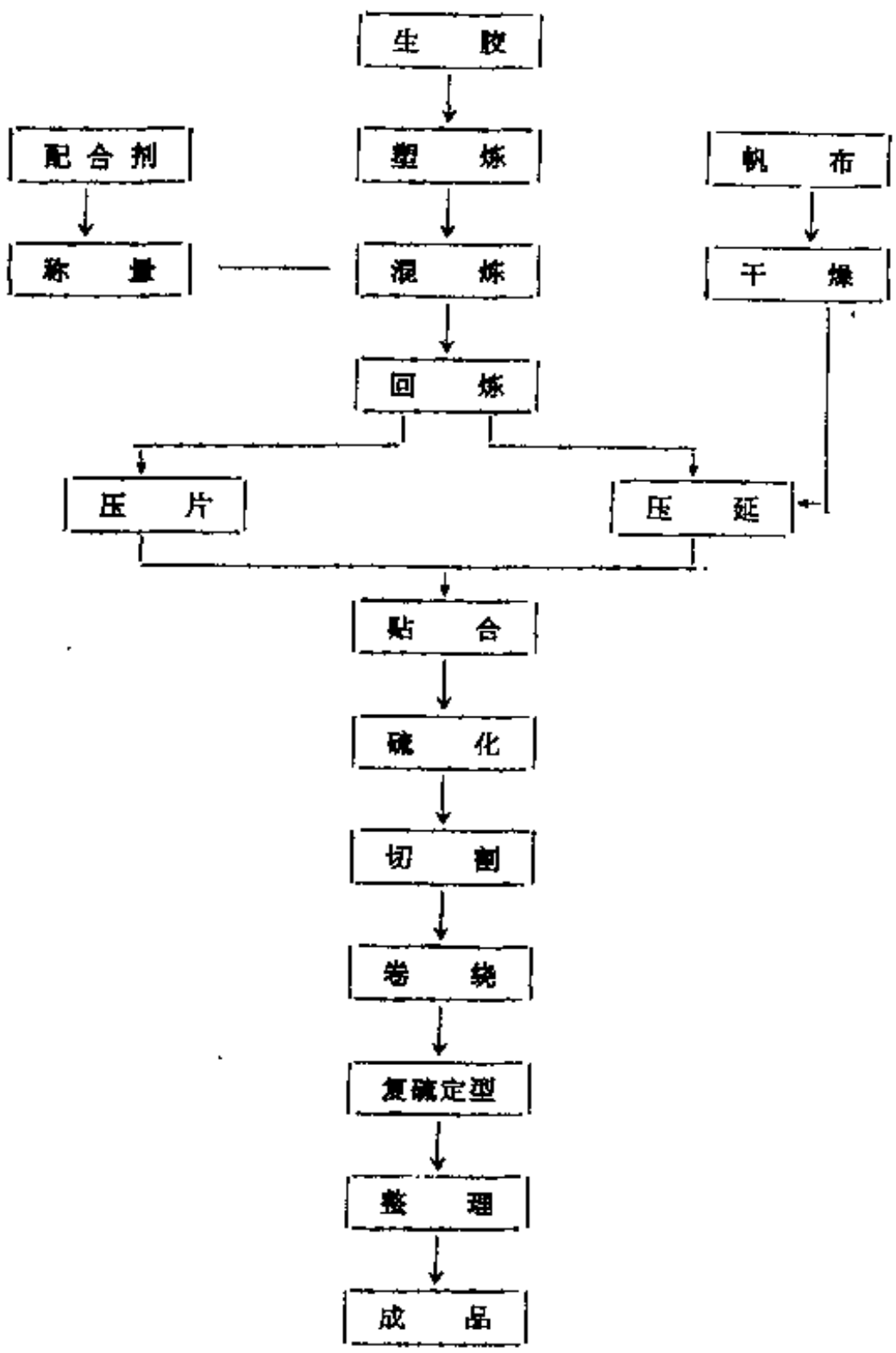


图 1-2-139　叠层填料生产工艺流程

2．胶料配方例

叠层填料用橡胶胶料分压延擦布胶料及压片贴胶两种，配方例见表1-2-71。

表 1-2-71　叠层填料橡胶配方例（重量份）

原材料名称	擦布胶	贴　胶	原材料名称	擦布胶	贴　胶
通用型氯丁橡胶	30	30	氧化镁	1.5	2
烟片橡胶	70	70	固体古马隆	—	18
高耐磨炉黑	8	50	液体古马隆	—	13
喷雾炭黑	15	—	沥青	—	5
氧化锌	5	5	石墨粉	—	15
硫黄	0.2	1.5	硫酸钡	40	—
促进剂M	0.35	0.35	碳酸钙	32.45	105.63
促进剂DM	0.5	0.5	机油	5	—
促进剂 TMTD	—	0.2	再生胶	—	15
防老剂	2	2	共　计	212	330
硬脂酸	2	2			

3．配炼工艺

（1）塑炼胶可塑度　擦布胶为0.5，复贴胶为0.4左右。

（2）混炼加料顺序　塑炼胶包辊后加硬脂酸→促进剂、防老剂→炭黑及软化剂→填充剂→硫黄。

（3）混炼完毕后，辊距 1 mm薄通 3 次，放厚至 6mm 左右包辊下片，充分冷却，贮存检验备用。

4．压延工艺

压延前胶料需经热炼，然后送入压延机，使用 10*10×10 棉帆布，用三辊压延机加工成胶布，压延机辊温及上胶量见表1-2-72。

表 1-2-72　压延辊温和上胶量

	辊　温，　℃			上胶量，kg/100m
	上	中	下	
胶布两面擦胶	95±5	85±5	50±5	38±2
胶布-面贴胶	80±5	75±5	50±5	130±2
胶片压延	50	55	50	按不同厚度压片

胶布厚度控制在 1.8±0.1mm；胶片厚度分为 0.5、0.8、1.0、1.5、2.0mm 等各种规格。压延的胶布及胶片经冷却辊冷却后用衬布卷取，贮存备用。

5．成型工艺

胶布按 45° 斜角裁断，搭接，各层接头应错开，按施工技术要求将不同厚度胶布及胶片贴合至所需厚度。各种规格叠层填料用夹布胶板的夹布层数、成型厚度见表1-2-73。在成型过程中随时检查厚度，并用成型机辊压紧贴合，制成的夹布胶板表面薄施滑石粉隔离，平整存放备用。

6．硫化

将成型夹布胶板放入平板压力机加压硫化，硫化压力 2.0～2.5MPa，硫化温度 150℃，各种规格产品硫化时所用垫铁厚度及硫化时间见表1-2-73。

表 1-2-73　夹布胶板成型硫化及盘卷复硫

产品公称尺寸 mm	英制参考尺寸 in	胶布层数	成型夹布胶板厚度 mm	硫化垫铁厚度 mm	150℃ 硫化时间 min	盘卷管芯直径 mm	复硫时间 min
3	1/8	2	3.5～4.0	2.5	9	15	15
5	3/16	2	5.5～6.0	4.0	11	24	15
6	1/4	3	6.5～7.0	5.0	12	24	20
8	5/16	4	8.5～9.0	7.0	16	32	20
9	3/8	4	9.5～10.0	8.0	17	32	20
10	13/32	5	10.5～11.0	9.0	18	32	22
11	7/16	5	11.5～12.0	10.0	19	32	22
13	1/2	6	13.5～14.0	12.0	21	44	25
14	9/16	7	14.5～15.0	13.0	22	44	25
16	5/8	8	16.5～17.5	15.0	24	57	25
19	3/4	8	19.5～20.5	18.0	27	70	30
22	7/8	8	23.0～23.5	20.5～21	30	90	30
25	1	9	26～27	23.5～24	33	103	35
28	$1^1/_2$	10	29～30	26.5～27	36	103	35
32	$1^1/_4$	11	33～34	30.5～31	40	135	40
38	$1^1/_2$	12	39～40	36.5～37	46	135	40

7．切条、盘卷、复硫

将已初步硫化定形的夹布胶板，用切条机切成所需宽度的长条。然后将胶条按规格要求呈螺旋状盘卷于铁芯上，端部扎紧后放入硫化罐架上补充硫化。各种规格产品盘卷所用管芯及复硫时间见表1-2-73。硫化完毕后将其取出，由铁芯上将填料取下，整理包装。

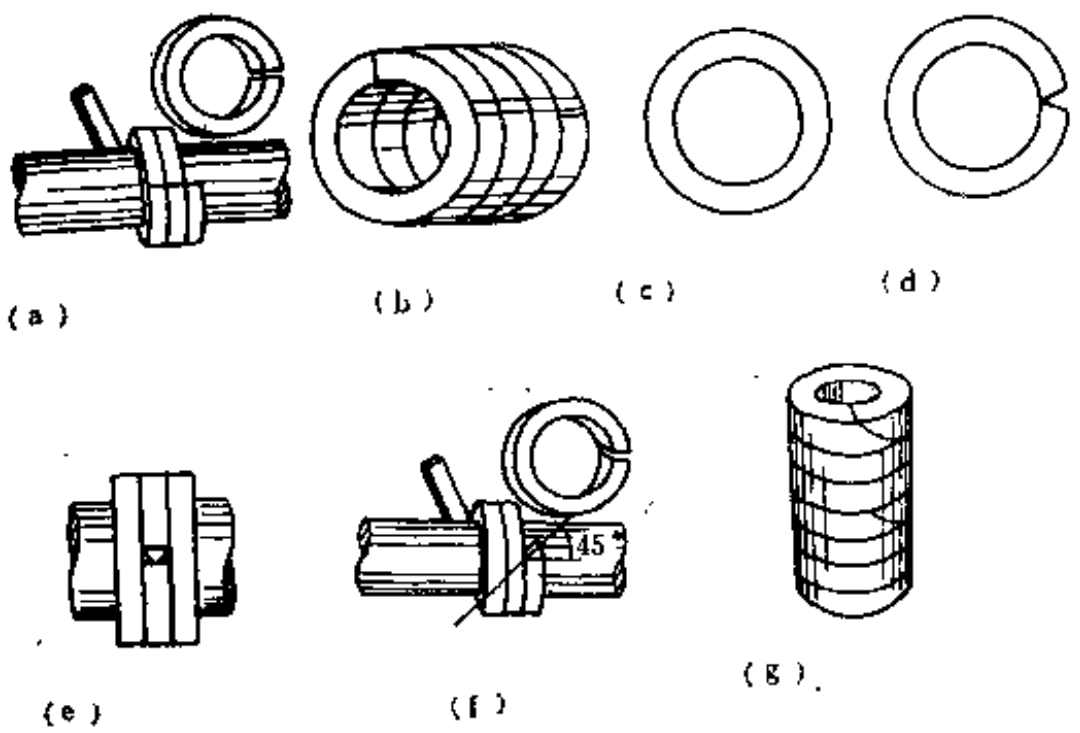


图 1-2-140　填料的切断法与重叠法

(a)—直角切断面；(b)—重叠法；(c)—切口正确的环；(d)—切口不良的环；(e)—切口不良的环安装后的情况；(f)—45°切断面；(g)—45°切断面环的重叠法

（三）安装使用要点

螺旋形叠层填料在使用时，首先应正确切成直角形或45°斜角的填料环，要注意切断口的平整度，如切口不良，极可能在安装后会形成间隙而发生泄漏。然后将各填料环的切口错开90°逐个装入填料函中。填料的切断及重叠安装示意见图1-2-140。填料环装入填料函时必须涂敷润滑脂或适当的润滑剂。

填料装满后，可施加适当的压力，试运转，观察密封情况。

使用填料断面尺寸一般由轴径及填料函尺寸来决定，常用的尺寸规格见表1-2-74。

表 1-2-74 常用轴径与填料的配合

轴　径，mm	20～50	30～90	60～120	90～150	>100
填料断面尺寸，mm	10	13	16	19	22
in	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8

填料函压盖锁紧后，通常是接近压盖处的填料所受压力最大，因而接触面压力也最大，随填料函的深度增加其压力下降；填料密封用作旋转轴密封时，接近压盖处的磨耗量也较大，填料密封接触面压力及磨耗量示意图见图1-2-141。

因此，在填充填料的最初向填料函中加填料环时即应压实，力求整个填料函中的填料受力均匀。

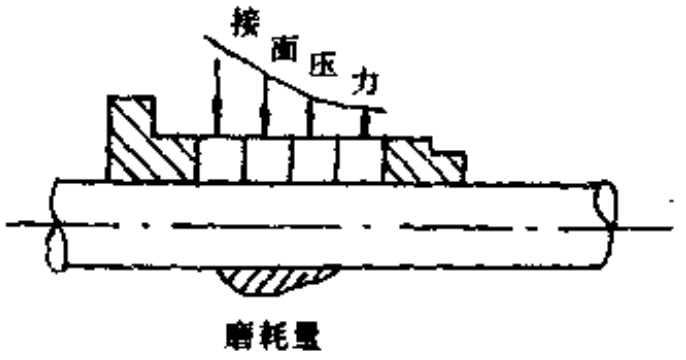


图 1-2-141 填料接触面压力及磨耗量

第三节 通用橡胶密封制品的密封性能试验研究

橡胶密封制品的密封性能试验研究是指密封制品成品基本特性的研究，这是一项应用理论的基础研究工作，所研究的特性规律和各项技术参数是橡胶密封制品设计、制造和使用的理论依据。由于橡胶密封制品种类繁多，本节只能对通用橡胶密封制品中的主要产品：骨架油封、往复密封圈和O形密封圈三大类产品的基本特性的内容作以简略的介绍。

一、成品性能测试及装置

为了保证橡胶密封制品的质量，除了保证产品结构、制造工艺上的合理以及半成品的性能严格控制之外，成品的测试也是一个非常重要的环节。通过成品性能测试，不但可以保证产品的规格尺寸和性能，而且也是研究密封特性，提高产品的密封性能和工作寿命的重要方面。

（一）通用测试项目

1．内径的测量

橡胶密封制品是一种精密的橡胶制品，因此产品的尺寸公差要求比较严密。关于密封制品直径的测量可按O形密封圈和油封分别叙述。

（1）O形密封圈直径的测量　O形密封圈直径的测量比较困难，特别是大规格的O形

密封圈必须使用专门的工具进行测量。直径在ϕ45以下小规格的O形密封圈可使用投影仪或锥形棒进行测量。

投影仪测量是将O形密封圈直接放在投影仪上，用一定放大倍数的镜头将产品图放大，再反射到显影屏上，然后用透明纸将产品图像描绘下来用量具测量即可。

锥形棒测量也是用于ϕ45以下小规格O形密封圈直径的测量。每种规格的O形密封圈各用一个标准的锥形棒。锥形棒是用淬火钢制成，锥度为百分之一。锥棒表面每距10mm有一刻度表示刻线位置的直径。使用锥棒测量的方法是将被测O形密封圈套在锥形棒上，O形密封圈沿锥棒下滑，下滑停止的位置相对于锥棒刻线的直径就表示O形密封圈的内直径。为了使O形密封圈能够平稳下滑，备有一个导套，利用导套保证O形密封圈的平稳下滑。另外O形密封圈停止的位置必须使O形密封圈抱紧在锥棒上，不能有空隙的位置，为此必须装加一个压码，压码的重量要适当，既能使O形密封圈抱紧锥，又不使O形密封圈伸长。压码的内孔比锥棒粗端大0.1mm，壁厚是6mm的圆环，高度分别有几种供选用。

大规格O形密封圈直径的测量必须使用专用工具。近些年来我国研制出一种回转测长仪可用于测量ϕ45～500直径的大规格O形密封圈，测量精度 0.02mm。回转测长仪的测量原理是用一个转盘沿O形密封圈内周转动，测量出O形密封圈的内周长，然后再换算出O形密封圈的直径。测量方法是将被测O形密封圈挂在转盘上的内外限制环之间，外限制环的位置可按O形密封圈截面大小来调节。当转盘转动时，O形密封圈无滑动的随转盘转动，用一个带目镜的低倍显微镜观察O形密封圈的一个标志，准确的观察O形密封圈被转盘带动运转一周，由读数机构读出数据。此种装置用来测量较大规格的O形密封圈的直径是比较适宜的。

（2）油封内径的测量　游标卡尺用来测量油封的内径是一种最简单的方法，但是测量精度不高，人为误差较大。近些年来出现了一些专用测量工具，例如：用锥形轴进行油封内径的测量方法，其装置示意图见图1-3-1。该装置的锥体加工要求非常精确。锥面上每隔2mm的高度相当于直径方向的0.1mm。当被测油封套在锥形轴上后，靠油封本身自重下滑，油封下滑停止的位置所对准锥形轴上的刻度线，即为油封内径的尺寸。锥形轴两侧有千分表和定位螺栓以调整油封的水平。同时油封转动一周可测出油封外直径的波动范围。有的密封制品生产厂报道用光箱测定仪测量油封的内径，此种装置也是用一个锥形体，锥体的底部有一个光箱，当油封套在锥体上，油封下滑到停止的位置时，检查唇口与锥体接触是否透光，如果有光透过，说明油封唇接触不良，如无光透过，说明唇口与锥体接触很好，此处就是油封内径尺寸。

近年来，国内不少单位已采用工具显微镜测量油封内径，测量精度高，比较适用。

2．油封外径的测量

用于油封外径的测量装置举例见图1-3-2。这种装置需要配备各种规格的标准方框尺，利用方框尺预先测定出比被测油封外径略小的尺寸，并将千分表以此调为零点，然后去掉方框尺放入被测油封，这时千分表上表示的数值加上方框尺的尺寸就是被测油封的外径尺寸。这种测量装置结构简单，测量较精确，测量效率也比较高。

用游标卡尺测量油封外径也是一种简易的方法，但人为误差较大。工具显微镜用来测量油封外径测量精度高，误差小。

3．断面几何尺寸的测量

橡胶密封制品的断面几何尺寸多用投影仪进行测量。投影仪是根据不同放大倍数的镜头将预先切好的产品断面进行放大投影，绘出图形进行测量。其简单的投影原理见图 1-3-3。

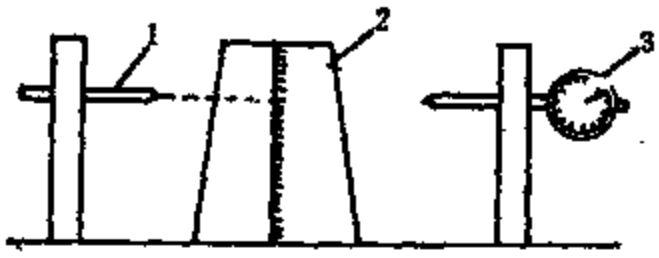


图 1-3-1　油封内径测定装置示意图

1—定位螺丝；2—锥形体；3—千分表

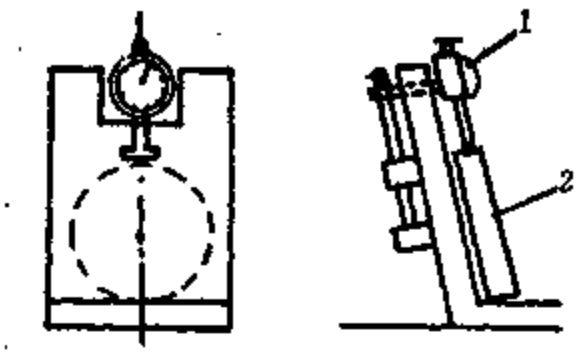


图 1-3-2　油封外径测定装置示意图

1—千分表；2—被测油封

测量方法是：首先切割被测产品的断面，断面切割厚度应越薄越好；然后将断面放在透明的放物台上，选取一定放大倍数的镜头装好，打开光源，被测产品断面经过放大后再经折射，产品断面几何形状将显示在显影屏上，然后再用透明纸将投影图形描绘下来用尺子测量即可。用投影仪测量产品断面几何尺寸比较真实精确，使用比较方便，这种测量设备可测出各种密封制品的断面形状。

O形密封圈断面直径的测量除了用投影仪之外，还可采用断面测量百分表进行测量。可参考图1-3-4。

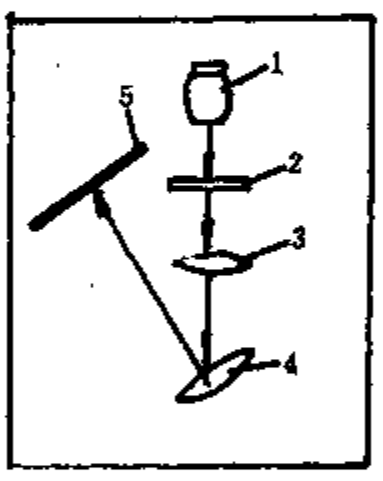


图 1-3-3　投影仪原理示意图

1—光源；2—透明放物台；3—放大镜；4—折射镜；5—毛玻璃

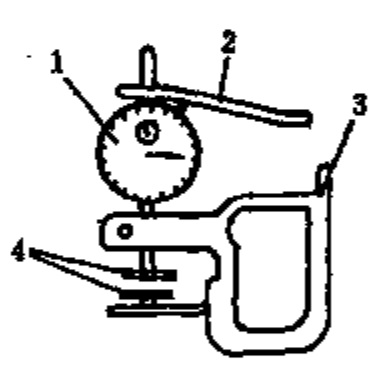


图 1-3-4　O形密封圈断面测量百分表

1—百分表；2—手柄；3—表架；4—试样卡盘

这种测量装置主要是用来测量O形密封圈径向和轴向的断面直径。采用改装的百分表显示数据，测量精度达0.01mm。测量误差不大于0.05mm。此装置结构简单、使用方便、测量效率比较高。

（二）旋转运动用油封的性能测试

1．唇口接触宽度

油封唇口接触宽度是指油封安装在轴上之后，油封唇口尖端与轴接触面的宽度。一般是用专门的油封唇口接触宽度测定仪进行测量，见图1-3-5。这是一种特别的显微镜，其构造

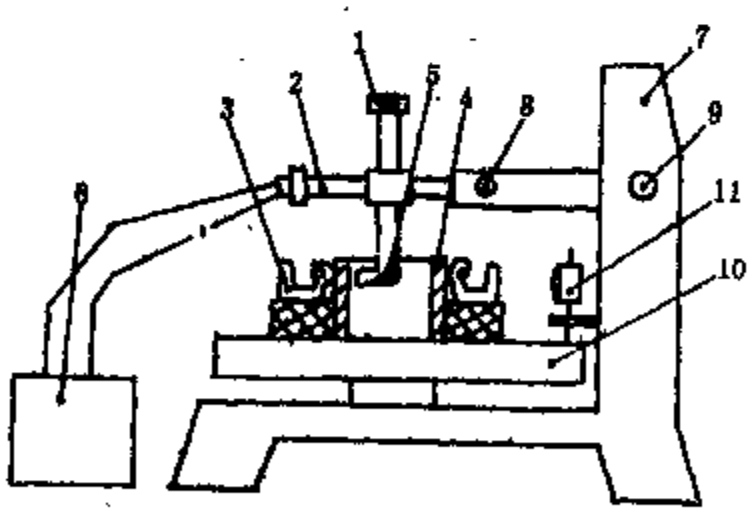


图 1-3-5　唇口接触宽度测量仪示意图

1—显微镜；2—照明装置；3—被测油封；4—透明轴；5—棱镜；6—变压器；7—机架；8—前后移动把手；9—上下移动把手；10—旋转平台；11—千分表

是目镜与物镜呈L型装配，被测油封需安装在空心透明的有机玻璃轴上，放在可旋转和升降的平台上，将物镜从透明轴内部对准油封唇口接触部位，唇口接触宽度就可以通过物镜再由棱镜折射到目镜上去，即可看到唇部与轴的接触状况是一条黑色的接触带。然后移动升降平台并借助于目镜内的横座标线和千分表读出唇口接触宽度值。

2．径向力

油封径向力是指油封装在轴上时，唇口对轴所产生的抱紧力，这个力等于唇口的预张力、弹簧的箍紧力和密封介质的附加径向力的总和，油封径向力是控制油封质量的重要指标。油封径向力的测量按测量装置的结构形式大致可分为三种：整轴式、滑销式和半轴式。目前半轴式是采用较普遍的一种。下面仅将半轴式径向力测定装置及测量方法作以简单的介绍。

半轴式径向力测定装置是将测量轴分割为两半，其中一半是固定的，另一半轴是可动的。两半轴的分割间隙为2mm。为了减小可动半轴在移动时的摩擦阻力，可放置适当的减摩滚轴或滚珠使其灵活移动。测量时把油封套在两半轴上，然后将可动半轴外推，当推到两半轴构成整圆标准轴时，此刻测出的油封唇对轴的压力值就是油封的径向力数值。关于半轴式径向力测量装置的数据计示方法又有空气计示法和应变电测法两种。空气计示法是用双臂曲柄连杆通过气动计力传感器直接由压力计读出唇口与轴接触的径向力。应变法是通过贴有电阻应变片组成的传感器使之电讯号发生变化，然后将变化的电讯号输入电表显示或记录仪记录下来，再按预先传感器的标定值换算出径向力。目前采用电测法较多。关于电测法半轴式径向力测定装置举例见图 1-3-6。该测定装置为YJ-Ⅱ型油封径向力测定仪，它是采用伺服电机带动应变传感器推动滑动半轴，用差动变压器控制使两半轴达到整圆位置。因而自动化程度高。测力系统是用电阻应变法并用记录仪表信号自动记录下来。测力精度较高，测试性能稳定。

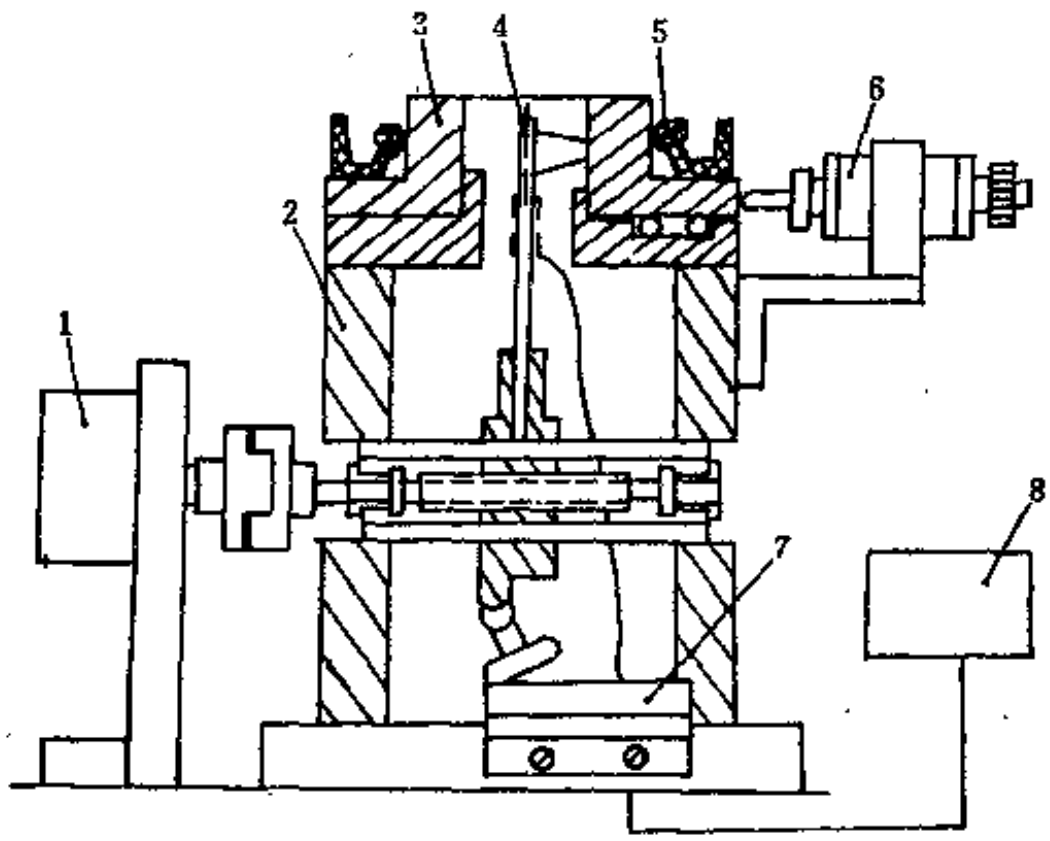


图 1-3-6　YJ-Ⅱ型油封径向力测量仪示意图

1—电机；2—壳体；3—两半轴；4—测力传感器；5—被测油封；6—差动变压器；7—行程开关；8—记录仪表

关于油封径向力的换算可用下列公式。

（1）全周径向力　全周径向力的计算式见式（1-3-1）：

$$P_r = \pi P = \pi(P_0 - F_0) \tag{1-3-1}$$

式中　P_r——油封全周径向力，N；

P_0——测量平均值，N；

F_0——空载阻力，N；

P——活动半轴的推力，N。

（2）单位周长径向力　单位周长径向力的计算式如式（1-3-2）。

$$Q = P/D \tag{1-3-2}$$

式中　Q——油封单位周长径向力，N/cm；

P——活动半轴的推力，N；

D——轴径，cm。

3．摩擦扭矩

油封在使用过程中，由于轴的高速旋转使轴与油封唇产生了摩擦力，这个摩擦力与力臂的乘积称之为摩擦扭矩。摩擦扭矩是油封的一个重要的特性参数，它是油封使用过程中综合性能的表现。

油封摩擦扭矩的测量设备一般有立式和卧式两种，以卧式居多。这些测量设备都是借助于外加负荷将油封产生的摩擦扭矩进行平衡，然后通过机械的方法或电测方法测出与之平衡的外加扭矩，就是油封的摩擦扭矩。在测量方法上又有杠杆上加砝码、弹簧秤法、应变电测法三种，其中以应变电测法比较先进，测量精度高，并可自动记录出摩擦扭矩的全过程。关于这三种方法的测量机构示意图可参见图1-3-7、图1-3-8和图1-3-9。

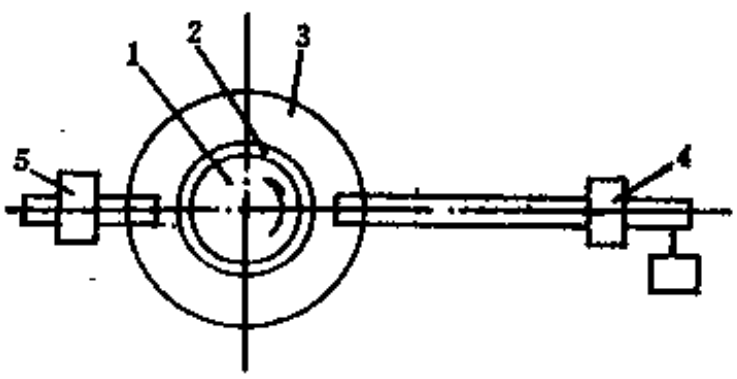


图 1-3-7　用杠杆挂砝码测定装置示意图

1—轴；2—试验油封；3—油箱；4—砝码；5—平衡铊

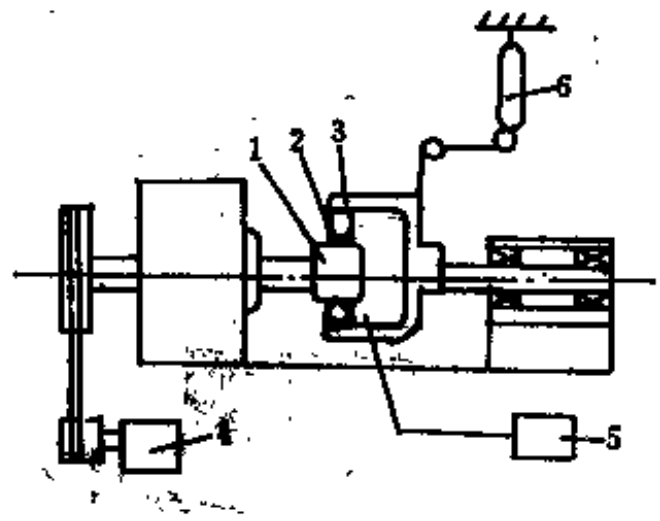


图 1-3-8　用弹簧秤测量装置示意图

1—试验轴；2—油封；3—油箱；4—电机；5—温度调节器；6—弹簧秤

图1-3-9表示的是YM-2型油封摩擦扭矩试验机。它是用可控硅控制直流电机变化试验机主轴的速度。可在0～5000r/min之间无级变化。主轴由前轴承座支撑。摩擦扭矩的测量是用应变传感器将被测油封产生的摩擦扭矩信号传递，通过稳压电源再由自动平衡记录仪连续记录下来。油箱内的介质温度可以调节并自动控制。测力传感器应预先标定作出应力应变曲线，用测得的摩擦扭矩曲线按预先标定值经过换算得出油封运转过程中各点的摩擦扭矩值。

除了上述三种测量方法外还可以用扭矩传感器进行油封摩擦扭矩的测量。这种扭矩传感器属于非接触式，它的工作原理是由装在扭矩杆上的外齿轮和装在套筒内的内齿轮分别转

动，在二端线圈内感应出电势，以测量由扭力杆扭转产生的相位差来测量出摩擦扭矩。这种扭矩传感器一般是与数字式转矩测量仪配合使用。

4．唇口摩擦温度

油封在使用过程中，由于轴的高速旋转，轴与唇口相对摩擦产生比较高的温度，这会加速唇口材料的老化，降低油封的使用寿命。为此测量唇口的摩擦温度对于正确选择油封结构和材质以及提高油封的使用寿命都是十分重要的。

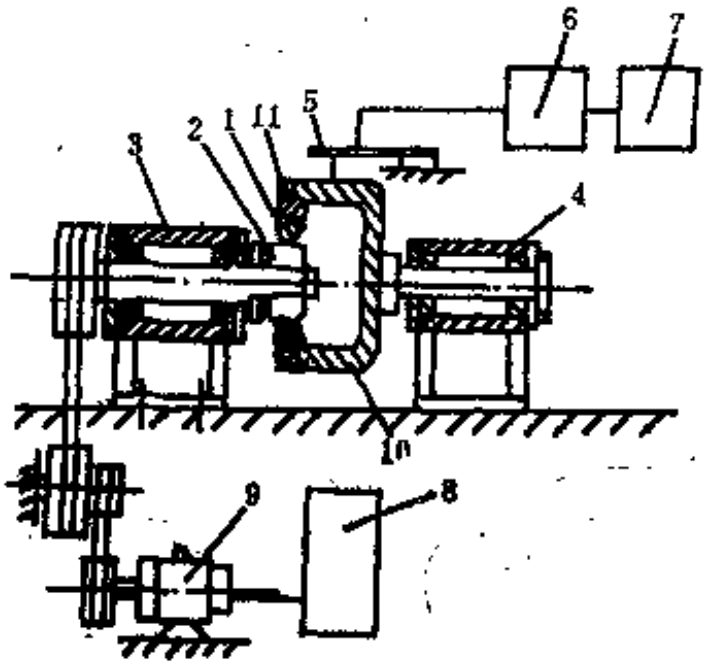


图 1-3-9　YM-2型摩擦扭矩试验机

1—试验油封；2—试验轴套；3—前轴承座；4—后轴承座；5—应变传感器；6—稳压电源；7—自动平衡记录仪；8—可控硅装置；9—电机；10—油箱；11—油封座

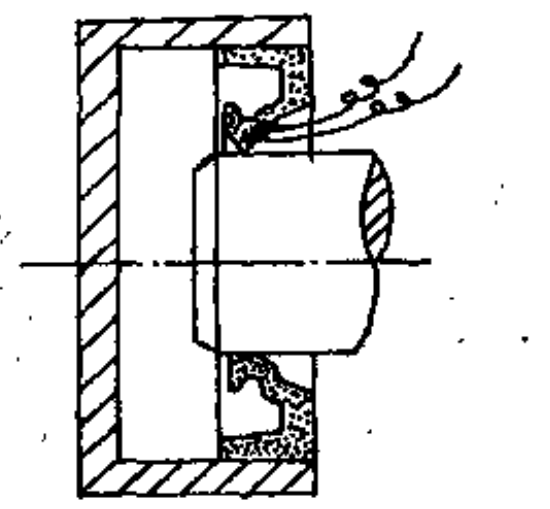


图 1-3-10　唇口打孔埋设热电偶示意图

关于油封唇口温度的测量方法一般是用热电偶进行测量。通常有两种方法：一种是在唇口上打孔埋入热电偶；另一种是在唇口与轴接触部位的轴上打孔埋入热电偶，见图1-3-10和图1-3-11。在唇口上打孔一般是采用冷冻的方法，趁低温橡胶发硬时打孔将热电偶线埋入，再用环氧树脂或胶粘剂粘接牢即可。此种方法冷冻较困难，温度测量有误差，因而很少采用。在轴上打孔埋入热电偶线也需要焊死磨平，埋入的形式可参考图1-3-12。

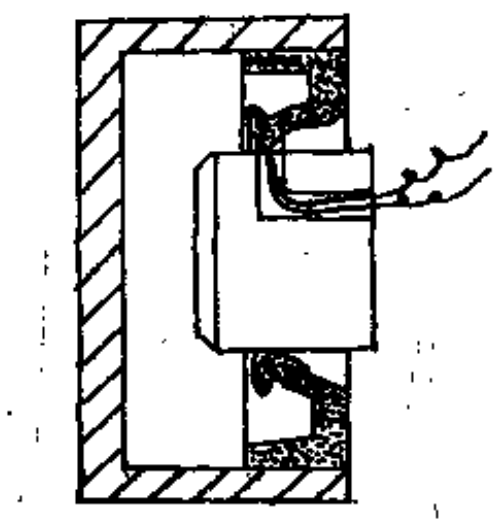


图 1-3-11　轴上开孔埋设热电偶示意图

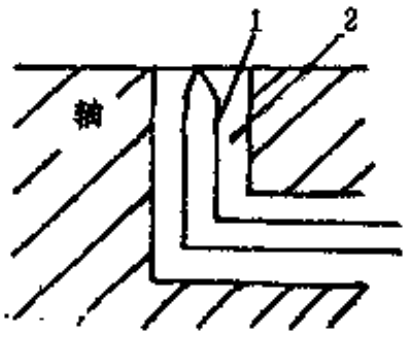


图 1-3-12　热电偶埋入结构示意图

1—热电偶；2—绝缘材料

在温度测量过程中，前一种方法的热电偶线是固定不动的，后一种方法热电偶线是跟随轴同步旋转。为了将热电偶线的另一端能够连接在静止的仪表上将温度信号显示记录下来，必须装配一个由旋转到静止的传导过渡装置，一般是用电刷、滑环或集流环等，但是这些方

法用于油封唇口温度测量都存在一些缺点，给温度测量带来一定的困难。近年来国内研制成功用遥测技术测量唇口温度装置，效果很好。它的工作原理可见图1-3-13。

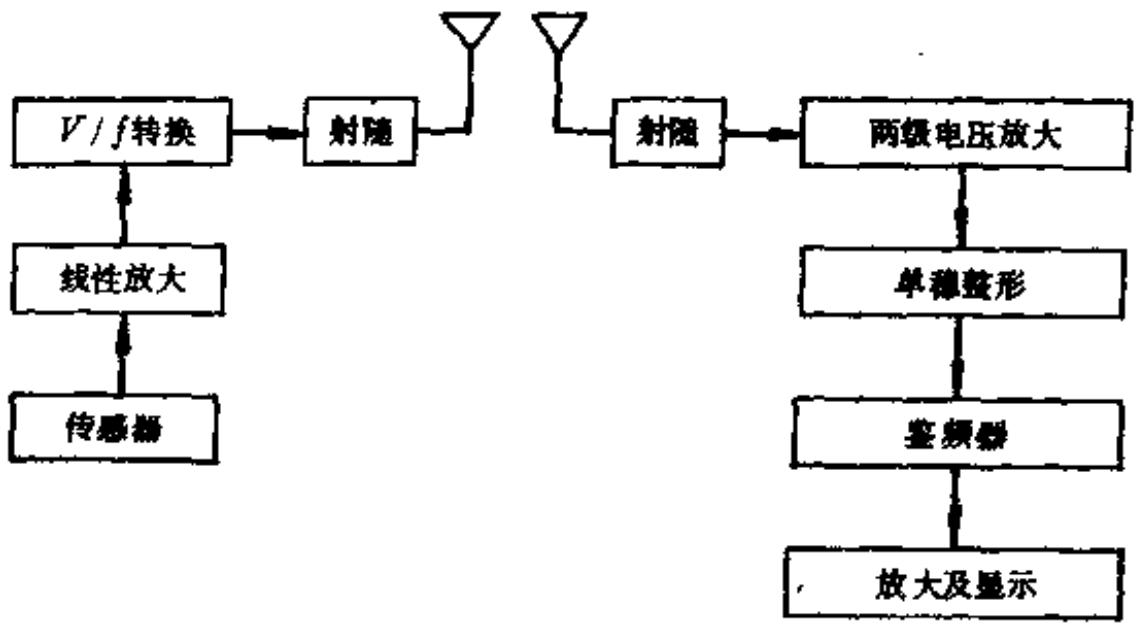


图 1-3-13　遥测装置工作原理方框图

由传感器将温度信号转换成电压信号输入发射机的输入端，由线性放大器将微弱的电压信号放大后输入压控振荡器，经电压/频率（V/f）转换后的频率信号通过射随再由发射天线发射出去；然后由接收天线接收到的频率信号通过射随变成低阻，再送到接收机本体，经两级放大和单稳整形，使信号变成等幅等宽的矩形脉冲，送到鉴频器还原成电压信号，再经过放大后输入电表显示或记录下来。利用遥测装置测量油封唇口的摩擦温度测量精度高，测量数据可靠，并可记录出唇口摩擦温升的全过程，是测量旋转轴油封唇口摩擦温度的一种较理想的方法。

5．寿命与泄漏

油封的性能和质量的好坏最终是表现在油封的密封性能和使用寿命上。油封的密封性能和使用寿命试验有两种方法，一种是实际装机使用试验，另一种是在试验室里进行模拟台架试验，两者都很重要。台架试验可以在较短的时间里观察、分析和比较油封的质量和工作寿命情况。因此进行模拟台架试验是非常重要的一个测试项目。油封的台架试验可根据产品的实际使用条件来规定台架的试验条件，如：温度、速度、压力、时间等。它可以规定泄漏标准，来观察和考核油封工作寿命的时间。超过规定的泄漏标准时的运行时间即为该油封的工作寿命时间。还可以规定运转时间来观察和考核油封的泄漏情况。在台架试验方法上运转和停止的时间是有规定的。国际标准是规定运转20 h、停机4 h为一个试验周期，如此循环。也有采用其它运转方式的。在同样的试验条件下，停机和起动次数越多，条件越苛刻。关于油封台架试验的泄漏标准，各生产厂家都有一些规定，举例如表1-3-1。

泄漏与寿命试验所使用的油封寿命试验机按其结构形式可分为单头和多头两种，见图1-3-14和图1-3-15。目前以单头的居多，这些试验机更换机械部件可试验多种规格的油封，轴速可以调节，油温能够自动控制，可以测量泄漏量。关于泄漏量的测量是将泄漏出的介质集中流入定重的容器里用天平称量即可。

6．油封弹簧张力

弹簧的径向力是组成油封径向力的一个部分，它是一个很重要的密封参数。弹簧的径向力一般是通过选择适宜的弹簧张力予以保证，因而弹簧张力的测量也是十分重要的。弹簧的

表 1-3-1 油封的泄漏试验

国　别	资料来源	允许泄漏量	运转方法
国际标准	ISO/DP6194/4	6个油封不允许超过 12g/240h 任意一个油封不允许超过 3g/240h	24h为一个周期，共运转10个周期，每个周期运转20h，停机4h，其中14h为一般工作温度，6h为最高工作温度
美　国	MIL-S-45005A 军用标准	不允许超过 0.5ml/24h 停机时不允许泄漏	
英　国	BS1399	6个油封不允许超过 6g/24h 每个油封不允许超过 1g/24h	
日　本	基珀公司	不允许超过 0.03cm³/h	运转20h，停机4h，循环
中　国 (某单位)		平均不允许超过 0.1g/h	运转7h，停机1h

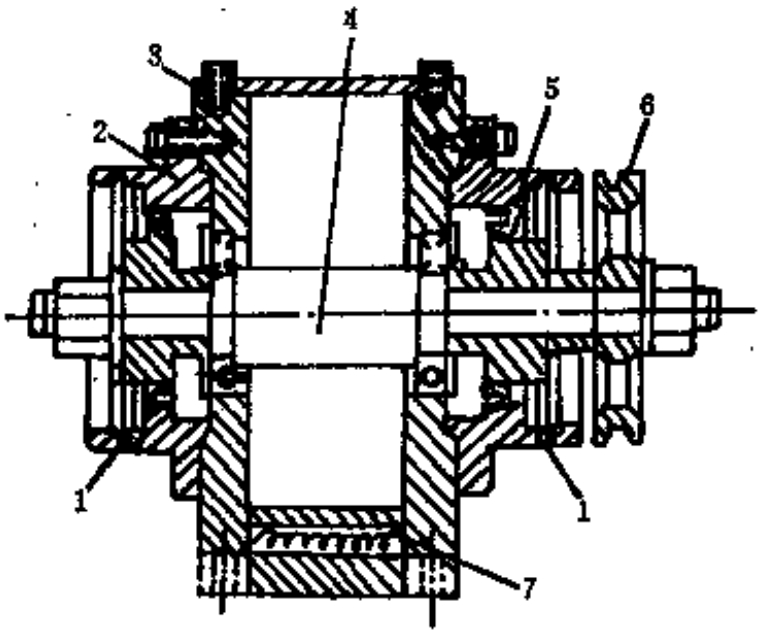


图 1-3-14 双头油封寿命试验机结构图

1—漏油口；2—油封座；3—油箱；4—主轴；5—油封；6—皮带轮；7—电炉丝

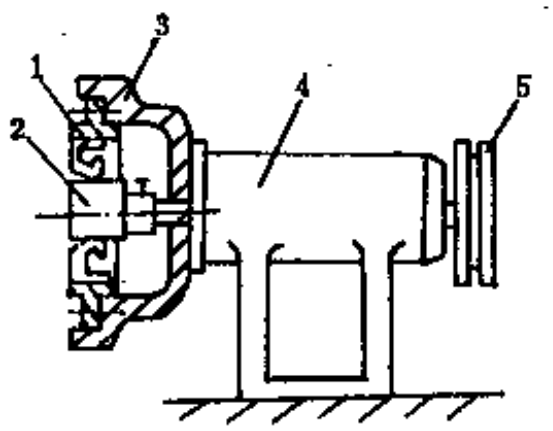


图 1-3-15 单头油封寿命试验机

1—试验油封；2—试验轴套；3—油箱；4—轴承座；5—皮带轮

张力是弹簧拉伸一定长度时的定伸力，一般是采用定型的弹簧拉力试验机进行测量，它可以将弹簧拉伸各种长度测出各种长度下的张力绘出应力-应变曲线，在这条曲线上找出不同伸张的张力值。另外弹簧的张力也可以用实测的弹簧径向力进行换算，其公式如下：

$$P_{rs} = 2\pi P_c \tag{1-3-3}$$

$$P_c = \frac{P_{rs}}{2\pi} \tag{1-3-4}$$

式中 P_{rs}——弹簧全周径向力，N；

P_c——弹簧张力，N。

当在全周径向力用轴单位长度所受的力 q 表示时，公式(1-3-4)又可变化为式(1-3-5)：

$$P_c = \pi D_s q / 2\pi = \frac{D_s}{2} \cdot q \tag{1-3-5}$$

式中 D_s——轴径，mm；

q——轴单位周长径向力，N/cm。

用上式可以通过弹簧张力计算出全周径向力，也可通过弹簧全周径向力算出弹簧张力。

（三）往复运动用密封制品的性能测量

1．压缩应力松弛

压缩应力松弛是橡胶密封圈在一定的压缩应力作用下其性能的变化特征。一般采用压缩应力松弛仪进行测量。目前通用的测量仪器是路卡斯压缩应力松弛仪，主要用于测量一般橡胶件和O形圈密封力的变化及长期压缩应力松弛。路卡斯应力松弛仪外形构造图见图1-3-16。该仪器备有小高温箱和低温箱，可用于－60～250℃较宽温度范围的测量。还备有不锈钢的密封罐，用于耐介质的性能测量。测量应力量程为0～250N，灵敏度0.01N。测量橡胶O形密封圈最大断面直径为5.5mm，最大O形密封圈外直径为25mm，最小内直径为9mm。测量仪器还备有专用夹具，不同压缩率可用不同厚度的滑规块作为限制器，滑规块的厚度等于试样件的厚度减去预定的压缩量。测量数据可由天平砝码中直接读数。

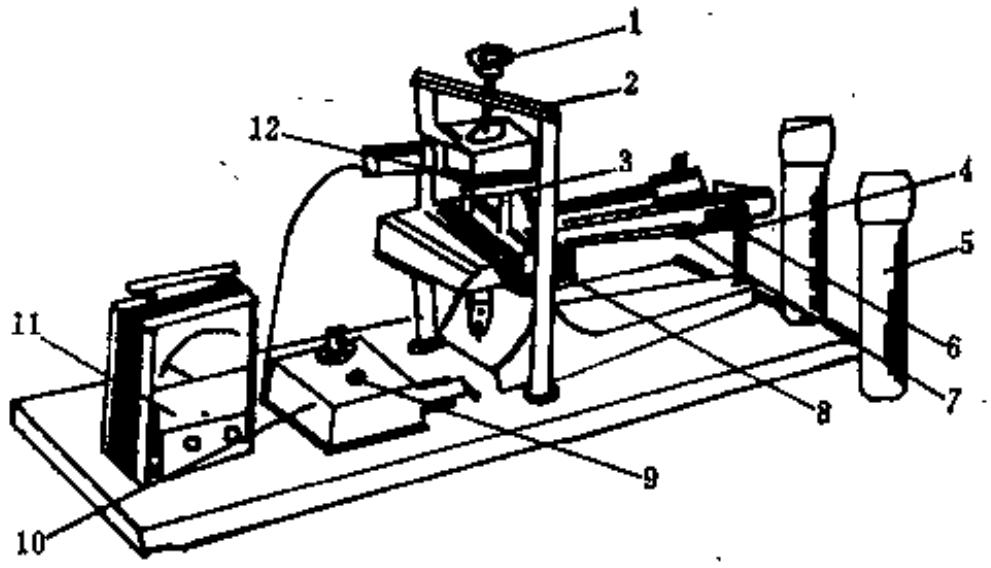


图 1-3-16　路卡斯压缩应力松弛仪示意图

1—加荷螺栓；2—横梁；3—负荷测量平台；4—专用天平；5—老化密封管；6—平衡用砝码；7—大砝码；8—中砝码；9—指示灯；10—温度控制器；11—电子温度计；12—高温试验室

应力松弛率及应力松弛系数可按式（1-3-6）计算：

$$\eta = \frac{f_t - f_0}{f_0} \times 100\% \tag{1-3-6}$$

式中　η——应力松弛率，%；

f_0——试样老化前压缩应力，N；

f_t——试样老化后压缩应力，N。

$$k = \frac{f_t}{f_0} \tag{1-3-7}$$

式中　k——应力松弛系数。

2．接触压力分布

往复运动使用的O形密封圈、Y形密封圈、U形密封圈、V形密封圈等密封制品安装在轴上后对轴产生一个径向压力，这个径向压力等于密封圈本身对轴的过盈量而产生的力和密封的流体压力附加在密封圈上的力的总和。由于往复密封制品的断面形状不同，造成密封圈的接触面上轴向各部位对轴的压力大小也不同，如图1-3-17和图1-3-18所示。

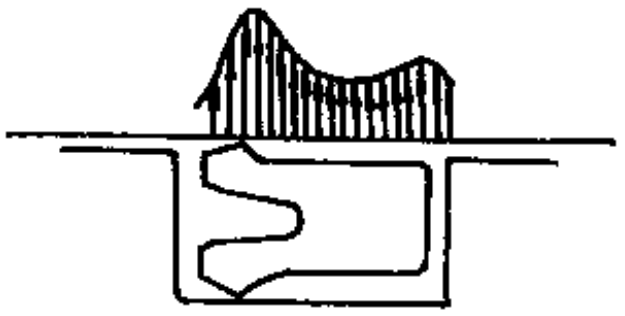


图 1-3-17　Y形密封圈接触压力分布图形

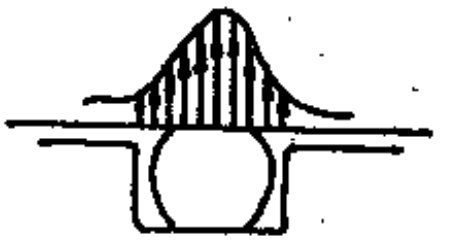


图 1-3-18　O形密封圈接触压力分布图形

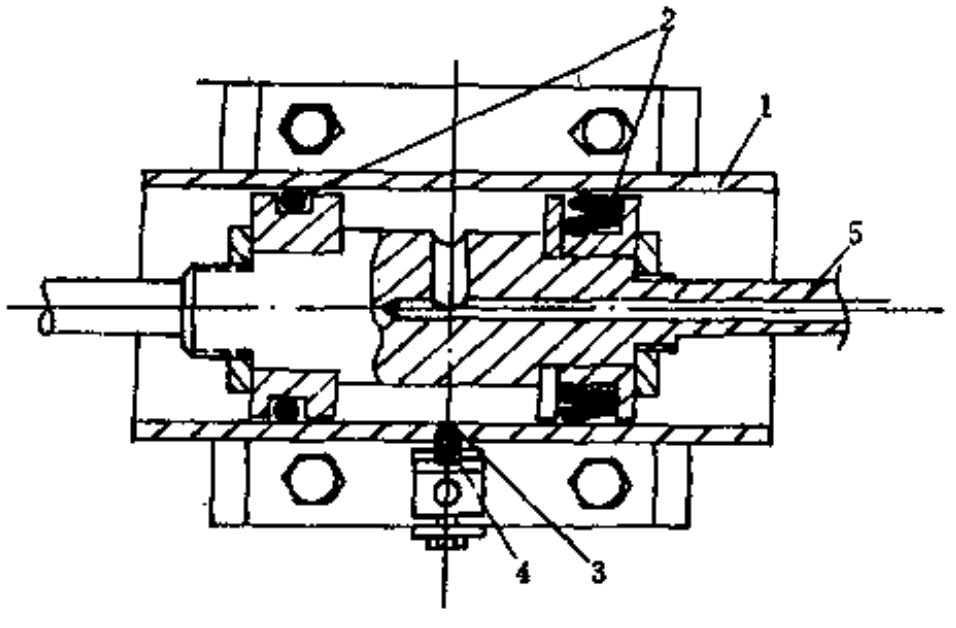


图 1-3-19　动态接触压力分布测量装置示意图

1—油缸；2—被测试样；3—探针；4—应变梁；5—活塞轴

测量密封圈轴向各部位对轴的压力大小称之为接触压力分布。往复密封制品的接触压力分布是一项重要的技术参数，它直接影响到往复密封制品的密封性能和工作寿命。接触压力分布有静态和动态两种，动态接触压力分布是在工作状态下测量，它与静态接触压力分布有较大的差异，因为往复密封制品在作往复运动时有两个方向的运动，即 P 冲程（轴向大气侧运动）和 M 冲程（轴向液压油侧运动）；而静态接触压力分布特性是在静态下测量，测出的图形只相当于动态的 P 冲程的特性，而得不出 M 冲程的分布图形。另外，往复密封制品由于受到初始过盈力、工作压力以及受工作压力后使密封制品运动中又增加了切向力的作用，这也造成了接触压力分布的变化。所以测量动态接触压力分布比测量静态的更有实际意义。

图1-3-19表示了动态接触压力分布测量装置的一个实例。该测量装置是在缸壁上打一个直径为0.5mm的小孔，孔内装配一个滑动灵活的探针，为了防止探针受力弯曲，又将探针后端加粗到1mm，这一端与贴有应变片的应变梁相接触，探针的另一端伸向缸内并与油缸壁而相平。当被测密封圈作往复运动时，密封圈经过探针，由于密封圈各部位接触压力的不同，作用在探针上的压力也不同，使探针外端对应变梁的作用力不同，并使应变梁发生不同的变形，由于应变梁变形不同，产生的电信号大小也不同。这些电信号通过电阻应变仪的放大再输入光电示波器，由紫外线感光纸将信号记录下来。即可得出动态接触压力分布的波形。

3．摩擦力

摩擦力是往复密封制品的密封性能和工作寿命。因此摩擦力也是往复密封制品的一项重要的技术指标。测量往复密封制品摩擦力的试验机一般有立式和卧式两种，以卧式居多。这种试验机可测量O形、矩形、Y形、U形等密封圈的摩擦力。图1-3-20表示了摩擦力试验机的一个实例。该试验机是用液压传动带动试验缸进行往复运动，最大行程 250mm、往复速度0～15m/s，往复频率5～30次/min，最高试验压力15MPa。更换油缸和试验轴可测量多种规格的密封制品。摩擦力的测量是靠固定在试验轴一端的应变梁的变形产生的电信号输入记录仪表将摩擦力波形记录下来。

4．寿命与泄漏

往复密封制品的工作寿命是考核密封制品质量的一项重要的技术指标。一般是在室内进行台架试验，也可以装机进行实际使用试验。寿命试验机试验属模拟性的，但是它非常接近实际使用条件。图1-3-21和图1-3-22列举了两种往复寿命试验机的实例。

图1-3-21为往复寿命试验机，它是靠拉拉杆轴作往复运动，其拉杆贯通整个油缸，两端装有试验密封圈，油缸中间部位注入密封压力油，拉杆轴用偏心轮驱动作往复运动。该机的泄漏量的测量是把泄漏的油集中流入漏杯中，每隔 1 h 称量一次得出漏油量。图1-3-22表示了密封压缩空气的往复寿命试验机，它是属于活塞密封，活塞轴进行往复运动，压缩空气由

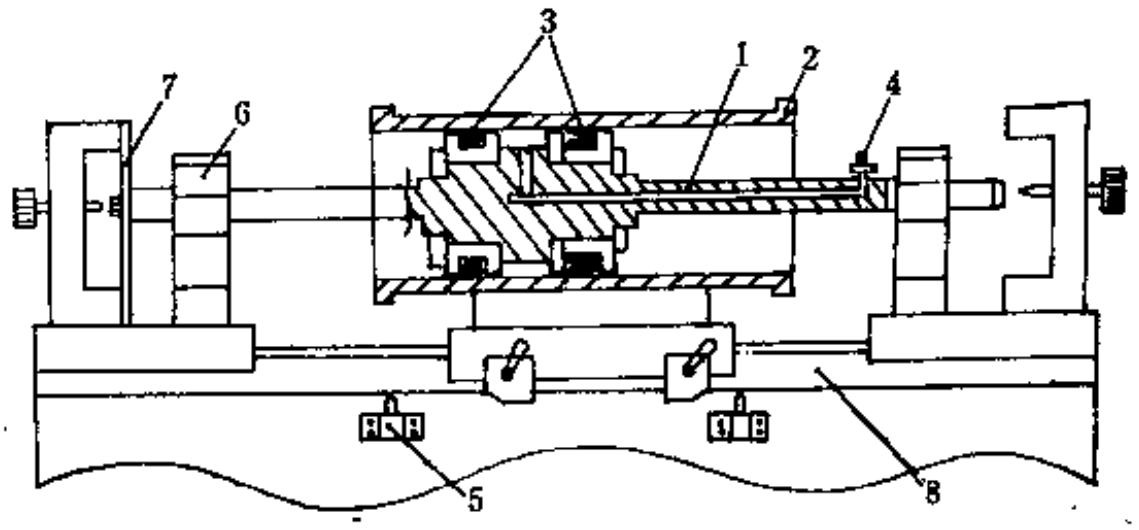


图 1-3-20　RS-1型往复密封制品摩擦力试验机示意图

1—试验轴；2—试验油缸；3—试验密封圈；4—油压嘴；5—行程开关；6—滑动轴承；7—测力应变梁；8—道轨

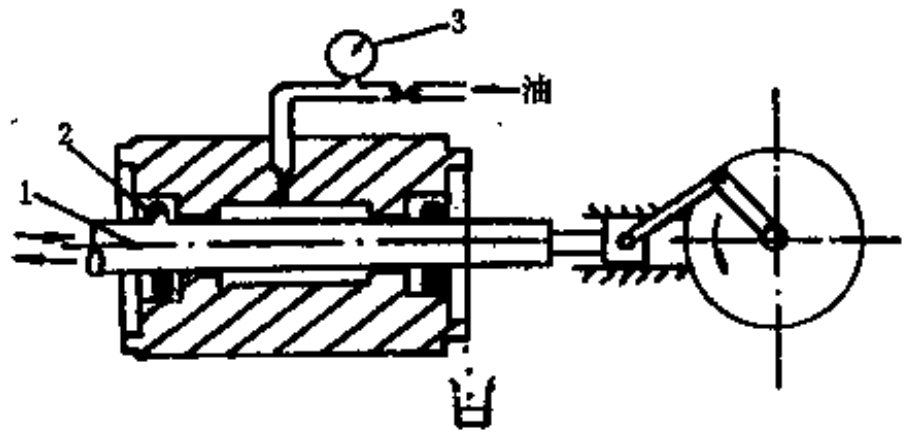


图 1-3-21　往复运动O形圈泄漏测定试验机

1—拉杆轴；2—试样O形圈；3—压力表

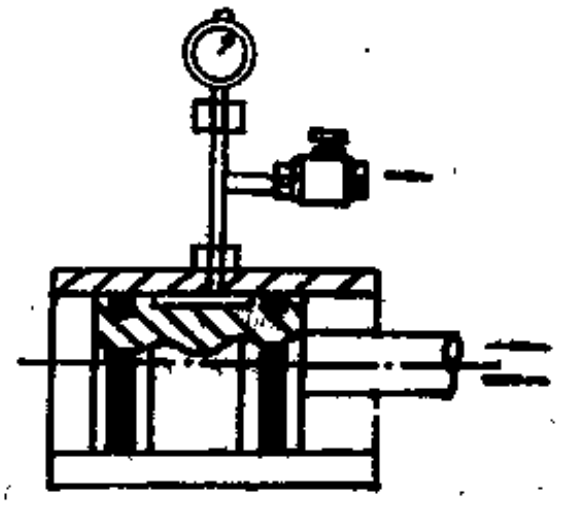


图 1-3-22　空压用寿命试验台

气缸盖上端的阀门控制，工作压力由压力表指示。

其它往复寿命试验机与上述两种相类似，只是在安装产品的部件上略有差异。在驱动系统由于液压技术的发展，不少往复寿命试验机采用了液压传动，但机械传动仍在继续采用。往复密封制品可根据实际使用条件规定不同的试验条件进行寿命和泄漏试验。试验结果可用往复次数表示，漏油量可用g/h表示。

二、密封制品基本特性研究

（一）旋转轴油封基本特性

1．油封径向力

径向力是油封的一项重要技术指标，它是影响油封密封性能和工作寿命的一个重要因素。油封的径向力必须选择在适宜的范围内，过大过小都会影响密封性能。当径向力选取过小时，油封唇口对轴的接触压力太小，密封不住介质会造成泄漏；当径向力选取过大时，油封唇对轴的接触压力太大，会增加油封的摩擦扭矩和摩擦温度，加速了唇口材料的老化而导致油封的早期损坏。因此径向力必须选择适当，能够使油封唇与轴接触面之间构成一种适宜厚度的油膜，保持一种良好的润滑与摩擦状态，以减少功耗，达到良好的密封效果和长久的工作寿命。

关于油封径向力的选取范围可见表1-3-2。

由表1-3-2说明油封径向力一般是选取在100～200N/m。另外由图1-3-23 的试验曲 线表明油封径向力选取在 1 N左右时工作寿命最长。若径向力超过400N/m时，油封的 工作 寿命最短。总之径向力选取的大小应根据实际工作条件来考虑，因为油封唇口部温度上升是与摩擦系数、径向力及轴速成正比。当轴速越大时，应尽量减小摩擦系数和径向力，但由于摩擦系数受橡胶材料及配方的限制，一般在0.2～0.4之间，不宜再减小。因此对于高速用的油封减小摩擦能，降低生热以延长油封的工作寿命，其径向力应选取小一些。相反，对摩擦系数小的油封可适当加大径向力以提高油封唇的追随能力。据此可以推荐高速油封的径向力一般选取在100～150N/m为宜；低速用油封一般取值可略 高 一 些。总 之 径 向 力 选 取 在100～200N/m是比较适宜的。

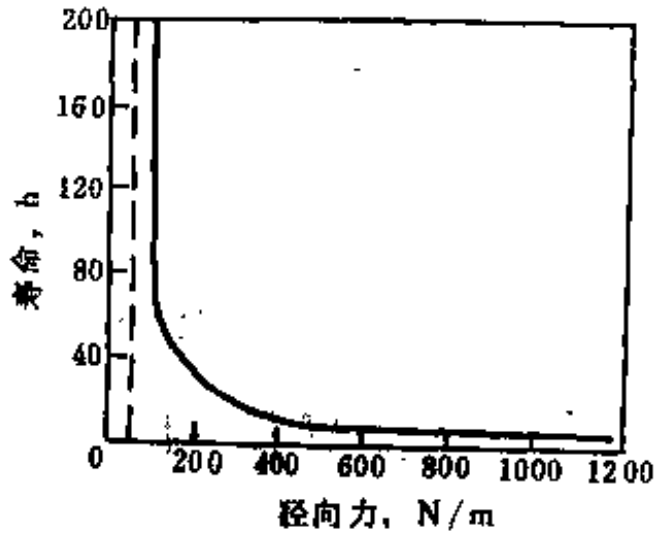


图 1-2-23　丁腈橡胶油封寿命与径向力的关系

表 1-3-2　径向力的选取范围

轴　径 mm	全周径向力，N		单位周长径向力，N/m	
	最　低	最　高	最　低	最　高
40	16	32	121	242
60	17	37	90.2	196.3
80	28	58	111.5	230.9
100	31	60	98.7	207

注：上表油封为单唇口，带弹簧。

影响径向力的因素很多，如油封的过盈量、油封弹簧的张力、油封结构形状及油封胶料的硬度等都会导致油封径向力的变化。一般情况下，过盈量、弹簧张力、胶料硬度越大其径向力也大，这些都是油封设计时必须认真考虑的。另外根据试验证明油封在贮存过程中径向力也会增加。图1-3-24表明了油封经过长期贮存径向力增加的试验结果。这是因为油封在贮存过程中内径减小，同时受到光、热、空气等的影响使橡胶分子网状结构进一步增加，使胶料硬度、弹性模量增加的结果。为了保证油封设计时选取的适宜径向力，油封的贮存不宜过长，这项试验证明油封自生产之日起贮存时间不宜超过 1 年，最长不要超 过1.5年。否 则会因径向力的增加而影响油封的性能。

2．摩擦特性的研究

旋转轴油封的密封性能是由旋转动态下的轴与油封唇及其界面油膜相互接触的状态而实现的。这个接触状态是油封密封各因素的综合表现。所以研究动态密封时的接触摩擦特性及其有关的影响因素是油封设计的基础工作。

（1）油封的旋转摩擦特性及影响因素　油封的旋转摩擦特性主要表现在摩擦扭矩和摩擦生热两个方面。关于油封摩擦生热的研究将在下面专题论述，这里只介绍油封的摩擦扭矩性能。

油封的摩擦扭矩可用下式表示：

$$M = f \cdot P_r \cdot r \cdot 10^{-3} \qquad (1\text{-}3\text{-}8)$$

式中　M——摩擦扭矩，N·m；

f——摩擦系数；

P_r——全周径向力，N；

r ——轴半径，mm。

这个公式表示出油封的摩擦扭矩是与摩擦系数、全周径向力、轴半径的乘积成正比。更重要的是反映出动态下径向负荷的大小与密封效果的关系，反映油封唇的密封接触状况，包括唇的形状、过盈量、胶料性质、轴速度、油的粘度等因素在动态下的变化和作用情况。

a．摩擦扭矩曲线　一般规律是油封在开始运转时摩擦扭矩较大（起始扭矩），而后逐渐下降而趋于稳定，大约1h左右达到稳定（稳定扭矩），见图1-3-25。

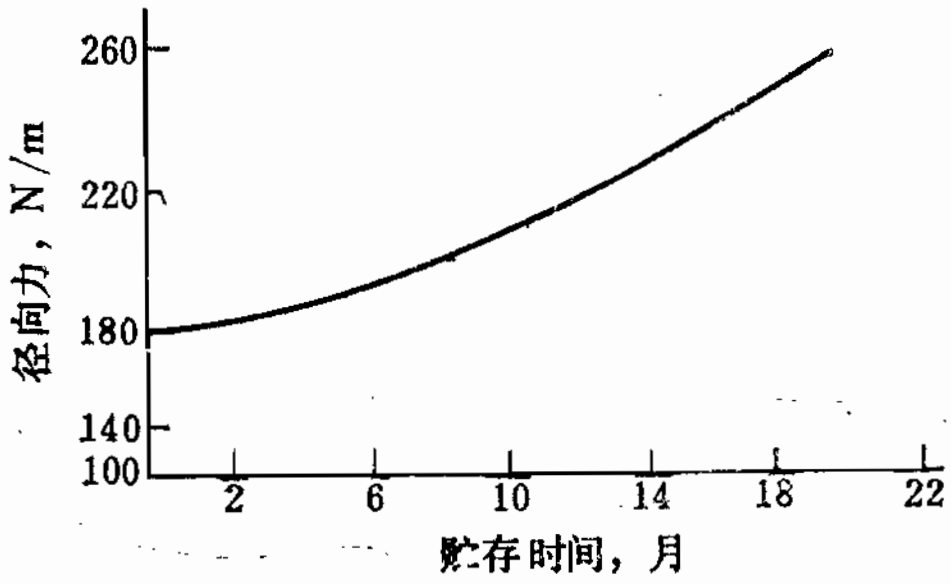


图 1-3-24　有弹簧油封贮存时间与径向力的关系

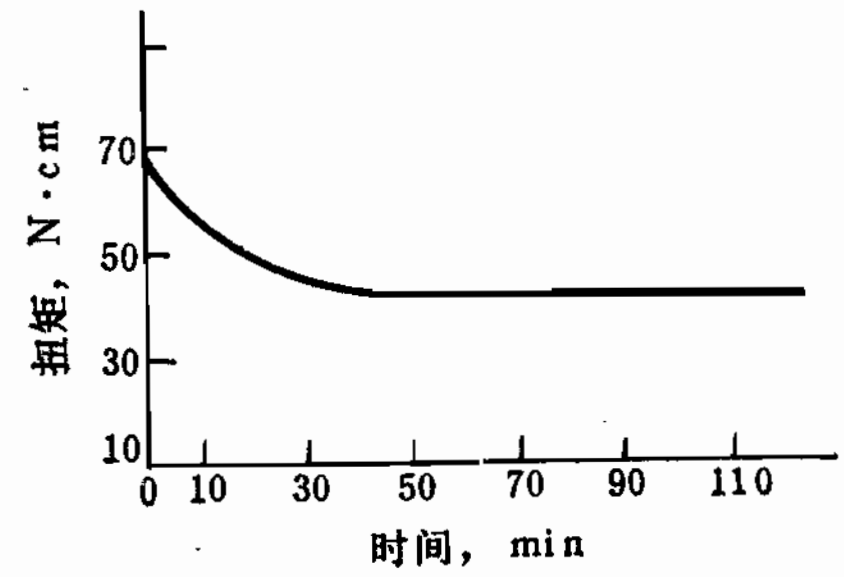


图 1-3-25　油封摩擦扭矩稳定曲线
（油温50℃、转速3000r/min）

这是因为油封在运转初期唇口与轴的接触状态及油膜尚不稳定，唇口的温度较低，油的粘度较大，因而表现出摩擦扭矩值高。随着运转时间的增加，这些因素逐渐趋于稳定，唇口摩擦温度升高，油的粘度下降，所以摩擦扭矩值逐渐下降而至稳定。

b．轴速的影响　轴速对摩擦扭矩的影响有三种情况：当轴速增加时，摩擦扭矩值有时增加，有时降低，有时变化不大。其原因是当轴速增加时，油封的摩擦温度增高，油的粘度下降，摩擦系数降低。另一种情况是当轴速增加时油封振动大，会出现油膜不稳定易被切断，造成干摩擦因素增多，增加了摩擦系数而使摩擦扭矩增加。当前者因素居多时，摩擦扭矩值随轴速增加而降低，当后者因素居多时摩擦扭矩值随轴速增加而增加，当两者因素居中时摩擦扭矩值随轴速增加而变化不大。

c．油温的影响　油温高时，油封的摩擦扭矩值降低，见图1-3-26，这是由于当油温增高时，油的粘度下降，油封摩擦系数降低，唇口材料变软，弹性模量下降，从而使摩擦扭矩值降低。

d．径向力的影响　径向力增加油封的摩擦扭矩值也增大，见图1-3-27，这是由于当径向力增大时，油封唇对轴的接触压力也增大，减薄了油膜厚度，因而增加了油封的摩擦扭矩值。

e．胶料的影响　不同的油封胶料对摩擦扭矩值也有一定的影响。图1-3-28列举了丁腈橡胶、硅橡胶和丙烯酸酯橡胶三种材质的油封，在径向力相差不大的条件下测得的摩擦扭矩值，结果表明：丁腈橡胶和丙烯酸酯橡胶油封摩擦扭矩值相差不大，但两者都比硅橡胶油封的摩擦扭矩值大。其原因是硅橡胶本身自润滑能力较大，受热后胶料易变软，弹性模量下降，油封径向力降低，因而导致摩擦扭矩的降低。一般硅橡胶油封使用寿命比较长，这是一个很重要的因素。

影响油封摩擦扭矩还有其它的因素，这里不再列举了。总的来讲应当是在保证油封密封性能的前提下，摩擦扭矩值应当是越小越好。摩擦扭矩小的油封功能消耗少，可以延长油封

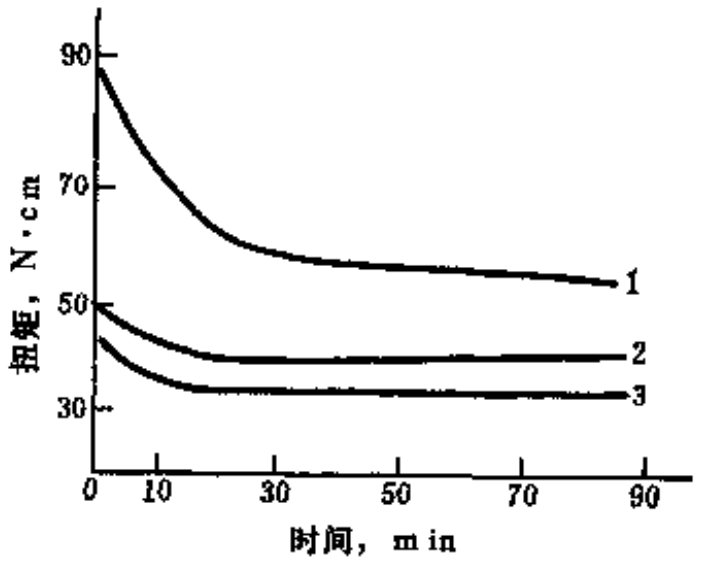


图 1-3-26　不同油温下的扭矩变化

1—油温50℃，2—油温75℃，3—油温100℃

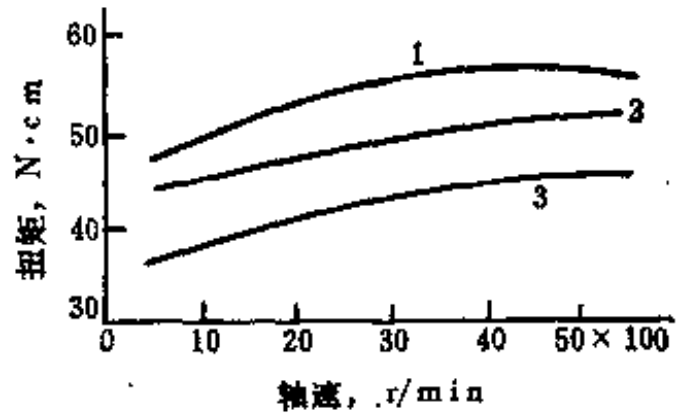


图 1-3-27　不同径向力与摩擦扭矩的关系

1—径向力40.1N，2—径向力37.3N，3—径向力26.5N

的使用寿命。

（2）油封摩擦特性与密封性能的关系　根据油封的密封机理是：油封唇口与轴接触面之间存在着一层很薄的粘附油膜，如图1-3-29所示。这层油膜的存在一方面可以起到密封流体的作用，另一方面还可以起到唇与轴之间的润滑作用。但是油封在使用过程中，由于油封唇的作用，轴表面及转动情况和流体密封性质的不同，以及三者的相互作用和相互配合条件是经常会发生变化，所以油封在动态下经常是处于流体润滑、边界润滑和干摩擦三种状态交替共存的情况，而其中主要是流体润滑。因此必须细致地研究油封唇与轴接触面间的润滑与摩擦状态，处理好这些有关因素，稳定油膜保持在适宜的厚度范围，使油封唇与轴保持在一种最适宜的润滑与摩擦状态以实现良好的密封效果。

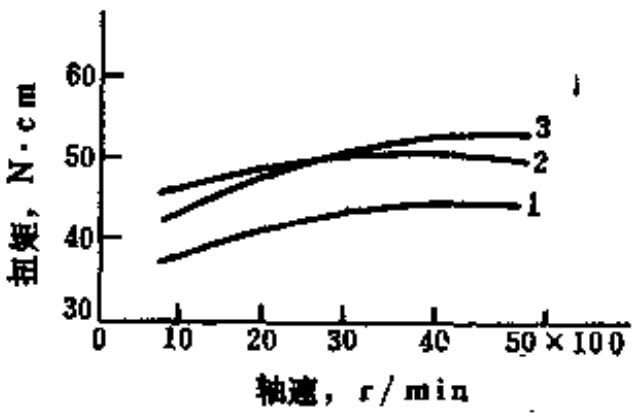


图 1-3-28　不同胶种油封的摩擦扭矩

1—硅橡胶油封；2—丁腈橡胶油封；3—丙烯酸酯橡胶油封

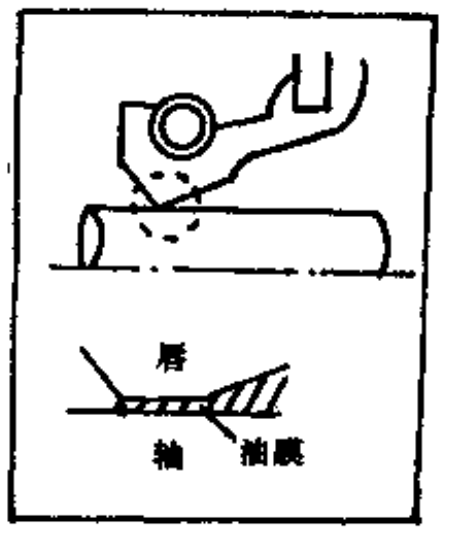


图 1-3-29　密封油膜放大示意图

油封的动态摩擦类似于一般轴承的摩擦特性。我们可以把油封看成是一个宽度很小的轴承。根据轴承的润滑理论，摩擦系数f是用$ZN/\bar{P}$的函数来表示：

$$ZN/\bar{P} \propto \frac{ZVb}{P_r} = G \tag{1-3-9}$$

$$G = \frac{ZVb}{P_r} \tag{1-3-10}$$

式中 f ——摩擦系数；

G ——功率参数；

N ——轴转速，r/min；

V ——轴线速度，m/s；

Z ——润滑面附近油的粘度，N·s/cm²；

P_r ——油封全周径向力，N；

$\bar{P}$ ——油封单位面积的径向力，N/cm²；

b ——油封唇接触宽度，cm。

为了测出摩擦系数 f 与功率参数 G 的函数关系可用同一油封在不同轴速下及控制一定的油温进行测量试验。首先将油温保持在50℃，分别做轴速1000、2000、3000、4000、5000r/min的运转试验测出摩擦扭矩值。然后分别再做75、100、125℃各轴速的同样试验也测出摩擦扭矩值。按摩擦扭矩公式 $f = M/P_r \cdot r$ 和 $G = \frac{ZVb}{P_r}$ 公式分别计算出摩擦系数 f 和 G 值，然后做 $f-G$ 的关系图，见图1-3-30。由图中结果表明：各轴速在不同温度时的 $f-G$ 都呈线性关系，证明了摩擦系数 f 与功率参数 $G^{1/3}$ 是成正比关系，即 $f \propto G^{1/3}$。设此比例常数为 ϕ，则 $f = \phi G^{1/3}$。根据此公式可计算出 ϕ 值，即：

$$\phi = f/G^{1/3} = f \Big/ \sqrt[3]{G} = f \Big/ \sqrt[3]{\frac{ZVb}{P_r}} \qquad (1\text{-}3\text{-}11)$$

ϕ 值的大小与泄漏是直接相关的。它与在一定界限时的 ϕ_c 之间的关系是：$\phi > \phi_c$ 则密封、$\phi < \phi_c$ 则泄漏，由图1-3-31可以明显看出密封与泄漏的规律。ϕ 值与油膜的性状相对应，它是油膜性状的一个参数。

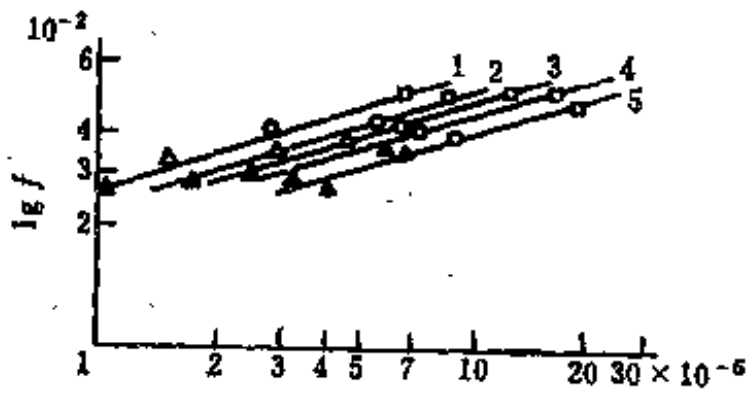


图 1-3-30 $f-G$ 摩擦特性曲线图

1—1000r/min，2—2000r/min，3—3000r/min，4—4000r/min，5—5000r/min，□—油温50℃，○—油温75℃，△—油温100℃，▲—油温125℃

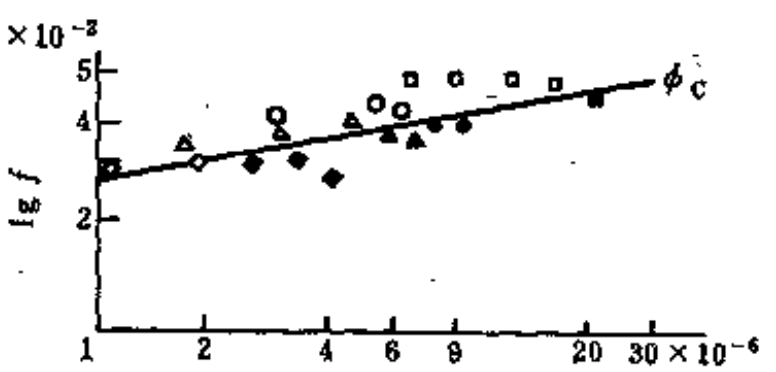


图 1-3-31 密封与泄漏的界限值 ϕ_c，中黑为泄漏

轴速是影响 ϕ 值的一个因素，见图1-3-32。

图中结果表明：轴速增加，ϕ 值降低。当 ϕ 值降低时，油膜变厚容易引起油封的泄漏。影响 ϕ 值的因素很多，除轴速外，轴表面粗糙度、轴偏心，唇材料性能、流体粘度、径向力等都会影响 ϕ 值的大小。从油封摩擦特性来看，密封特性数 ϕ 值对密封与泄漏有着直接的关系。

3．油封胶料硬度与密封性能的关系

油封胶料硬度是油封性能的一个重要指标，因为它直接影响到油封的密封性能及工作寿命。一般油封胶料硬度的取值各生产厂家掌握不太一样，表1-3-3列出了国外一些油封胶料

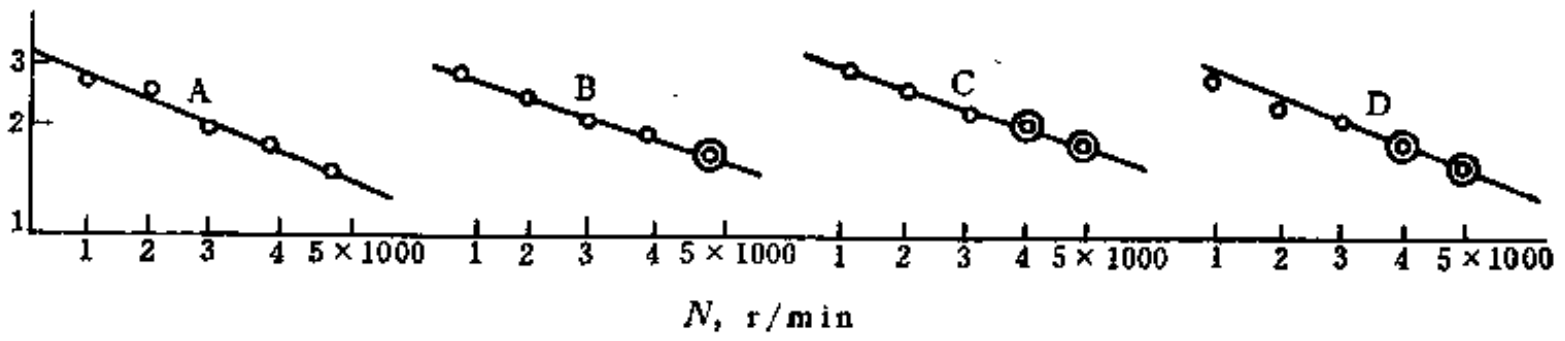


图 1-3-32　不同油温下的ϕ（纵座标）-N关系图

A—油温50℃；B—油温75℃；C—油温100℃；D—油温125℃

硬度的资料可供参考。

表 1-3-3　国外部分丁腈橡胶油封的胶料硬度

国　别	生产厂或报道人	胶料硬度	国　别	生产厂或报道人	胶料硬度
美　国	N·Tatham	77	日　本	NOK公司	73
	J·D·Symons	70		石渡秀男	70
英　国	Angus公司	70		广越久夫	70
法　国	Paulstra公司	78±3		小室任治等	65
日　本	基玥公司	70			

由表 1-3-3 可以看出国外油封胶料硬度的选取是除个别硬度略高以外，一般都在70左右。从油封的密封性能出发，胶料硬度保持在 70±5 为宜，这已经过密封性能和泄漏试验所证实。下面叙述不同硬度胶料的油封性能变化情况。

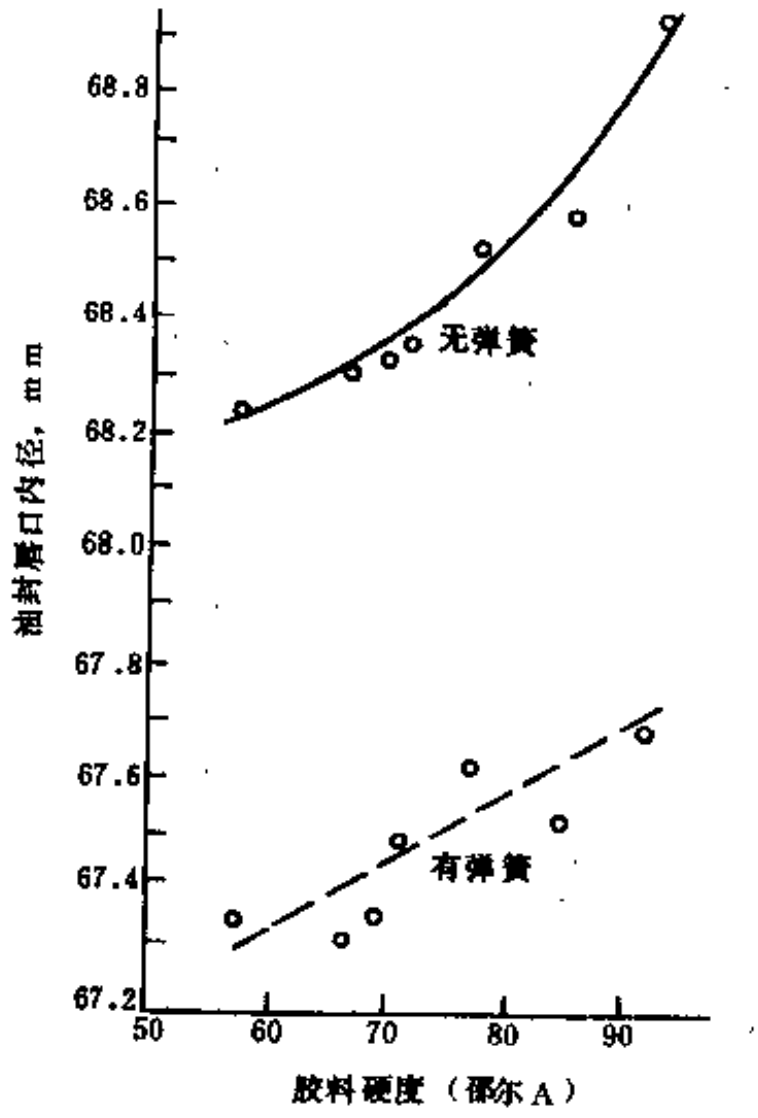


图 1-3-33　油封唇口内径与胶料硬度的关系

（1）胶料硬度与油封内径的关系　油封使用的胶料硬度不同油封的内径也不同，见图1-3-33。

图中结果表明，在一定范围内，胶料硬度越高，制出的油封内径越大。这是因为胶料收缩率不同的缘故，胶料硬度越高收缩率越小，因此制得的油封内径就越大。

（2）胶料硬度与唇口接触宽度的关系　用不同硬度的胶料制出的油封通过唇口接触宽度的测量，其结果见图1-3-34。由图可见：胶料硬度越高的油封唇口接触宽度越小，这是因

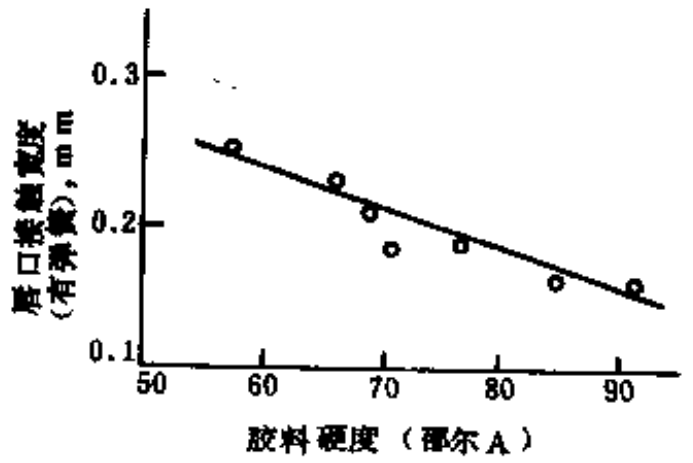


图 1-3-34　唇口接触宽度与胶料硬度的关系

为硬度高的油封内径大，同时受压缩变化小的缘故。

（3）胶料硬度与径向力的关系　胶料硬度越高的油封其径向力越大，见图1-3-35。由试验结果表明：油封不论加金属弹簧或不加金属弹簧都表明了这一规律。

（4）泄漏试验　用不同硬度的胶料制成的油封进行台架泄漏试验，其结果见图1-3-36。图中可以明显看出胶料硬度过低和过高的油封在短时间内都发生了泄漏。这是因为硬度过低的胶料弹性模量小，油封的径向力就小，因而密封性能比较差。而硬度过高的胶料弹性差，油封唇部和腰部追随性能不好，因而也容易产生早期泄漏。硬度在65～75之间的油封有较好的密封性能，运转时间长而不泄漏。这证明油封胶料在此硬度范围内，油封的各项性能是比较适宜的。其径向力，接触宽度、摩擦扭矩等性能都比较适宜，而且胶料弹性好，唇口有较好的追随能力。唇口与轴接触面间能够构成一种较好的润滑与摩擦状态，因而获得了较好的密封效果。由此证明在一般条件下，普通油封的胶料硬度应选取在70±5为宜。

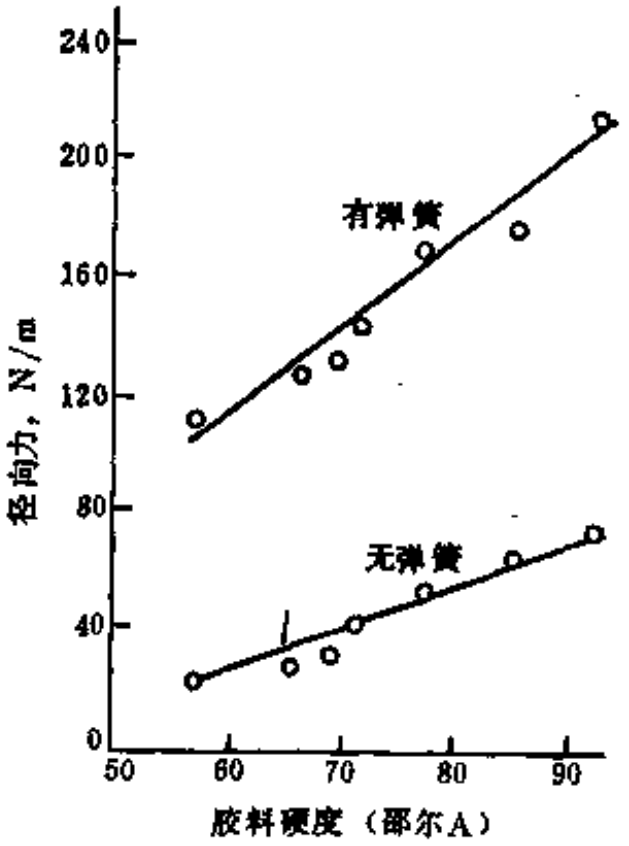


图 1-3-35　油封径向力与胶料硬度关系

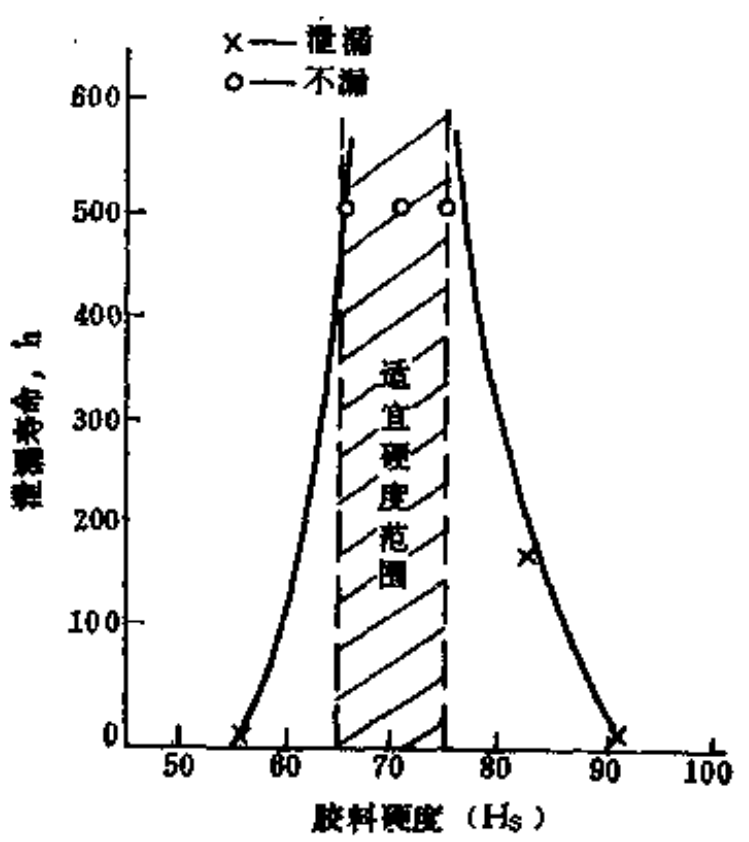


图 1-3-36　胶料硬度与油封寿命的关系

4．轴偏心与密封性能的关系

油封在使用中旋转轴的偏心也是影响密封性能的一个重要因素，一般常见的偏心有静偏心和动偏心两种。静偏心是由于轴的中心线与油封的中心线不重合而造成的，其偏心方向和偏心量在运转过程中不变，这是由于油封座与轴中心对不正或是油封本身的偏心或是安装不正等原因造成的；动偏心其偏心方向在运转过程中是变化的，这主要是由于轴的旋动或轴的松动、轴的弯曲、轴本身不圆等原因造成的。我们可以用轴的动偏心为例分析一下轴的动偏心与密封性能的关系，见图1-3-37。

图中表示当轴有偏心时，轴旋转一周，轴的圆心是在变化。其轴心变化的轨迹是：当轴心在B点时，与之相对应的轴表面切点为B_1；当轴心在C点和A点时，与之相对应的轴表面切点分别是C_1和A_1点。由此可见当偏心轴旋转一周时，轴心的运动轨迹是以O点为圆心，以O—C为半径的轨迹圆。其相对应的轴表面切点的轨迹是以O_1点为圆心；以O_1—C_1为半径的轨迹圆，两者轨迹圆是相同的，其直径都是e。实际上e就是轴的动偏心。当油封装在这种轴上后，由于e的存在，对于油封唇上任一点的运动也应当是e。这样油封唇才能够追随上偏心

轴的变化，不会造成缝隙而泄漏。但是由于油封唇材料是一种柔性材料，具有一定的滞后现象，所以唇上任一点的运动轨迹就不一定等于e或小于e。这样就会使唇与轴的接触产生间隙，造成油膜厚度的增加而导致泄漏。出现这种情况就必须提高油封唇的追随能力才能达到密封的效果。

（1）轴偏心与轴速的关系　轴偏心与轴速对密封性能的影响见图1-3-38。图中曲线表明当轴偏心量增大时，必须降低轴速的使用范围。这是因为当轴偏心增大时，油封唇口运动追随不上轴的 e 的变化，致使唇与轴接触产生间隙，增加了油膜厚度而引起泄漏。轴速越高，这种泄漏就越严重。所以轴速越高，允许的轴偏心就越小，否则只能降低轴速使用。

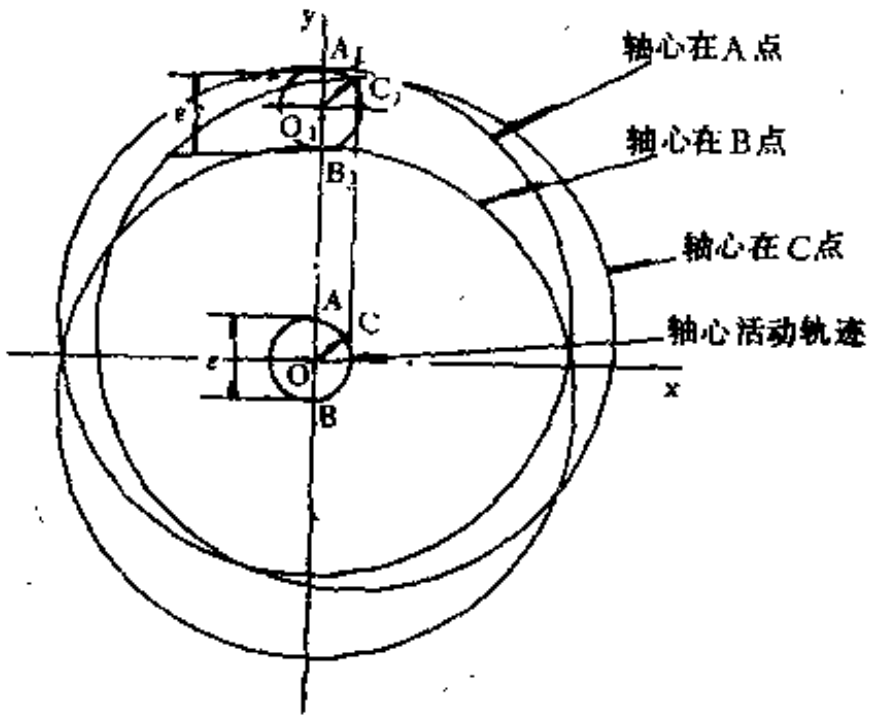


图 1-3-37　偏心轴的圆心与切点的运动轨迹

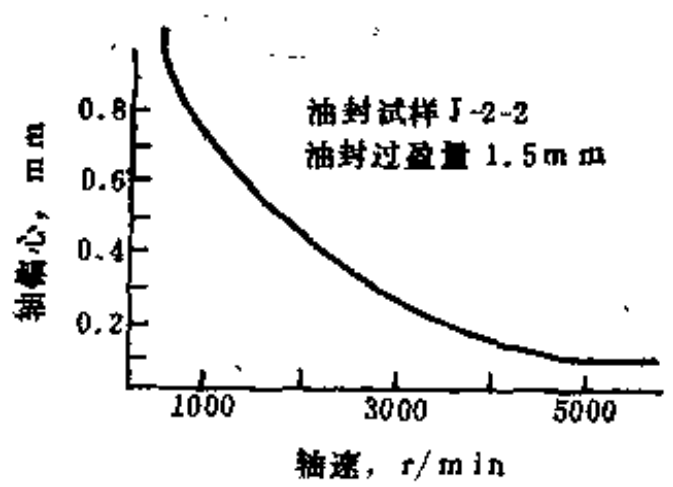


图 1-3-38　轴偏心与轴速密封界限

（2）轴偏心与油封过盈量的关系　当轴偏心增大时，可以采用增加油封过盈量来提高油封唇口的追随能力，很多试验都证明了油封过盈量越小，轴偏心越大，轴速越高，油封越容易泄漏。如果在同一轴速下增加油封的过盈量，可以提高适应轴偏心的能力。这是因为增加了油封的过盈量会提高油封对轴的接触压力，增加油封的径向力，减小了唇与轴接触间隙和油膜厚度，因而阻止了泄漏。但是增加油封的过盈量会导致油封的摩擦扭矩和摩擦温度的增加，这就会加速唇材料的老化而引起油封的早期损坏。所以应当根据油封的实际使用条件正确选择适宜的过盈量，既能达到密封效果，又可减少摩擦功耗以达到长久的使用寿命。

（3）轴偏心与油封金属弹簧的关系　油封加金属弹簧是提高油封对轴偏心适应能力的另一途径。因为油封在使用过程中，由于受到温度、介质及其它使用条件的影响，油封唇材料会发生松弛、变形、磨耗等现象，使径向力也会发生变化，因此必须加入金属弹簧以保证油封在使用过程中的安全。油封加入弹簧后可提高油封对轴偏心的适应能力，见表1-3-4和表1-3-5。

比较两表中的结果可以看出，加金属弹簧比不加金属弹簧的油封适应轴偏心的密封界限有显著的提高（表中粗黑线为密封界限），说明油封加入弹簧对于提高密封效果是有重要作用的。但是加入金属弹簧的油封同样会引起油封的摩擦扭矩和摩擦温度的增加，容易降低油封的工作寿命，其原因是和增加过盈量是相同的。因此加入金属弹簧不能造成油封的径向力过大，特别是刚性大或过短的弹簧更容易增大油封的功耗而缩短油封的使用寿命。

5．轴表面粗糙度对密封性能的影响

表 1-3-4　不加弹簧的油封与轴偏心的密封界限

轴偏心，mm \ 轴速 r/min	5000	4000	3000	2000	1000
0.6	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
0.4	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
0.2	⊗	⊗	○	○	○
0.03	⊗	○	○	○	○

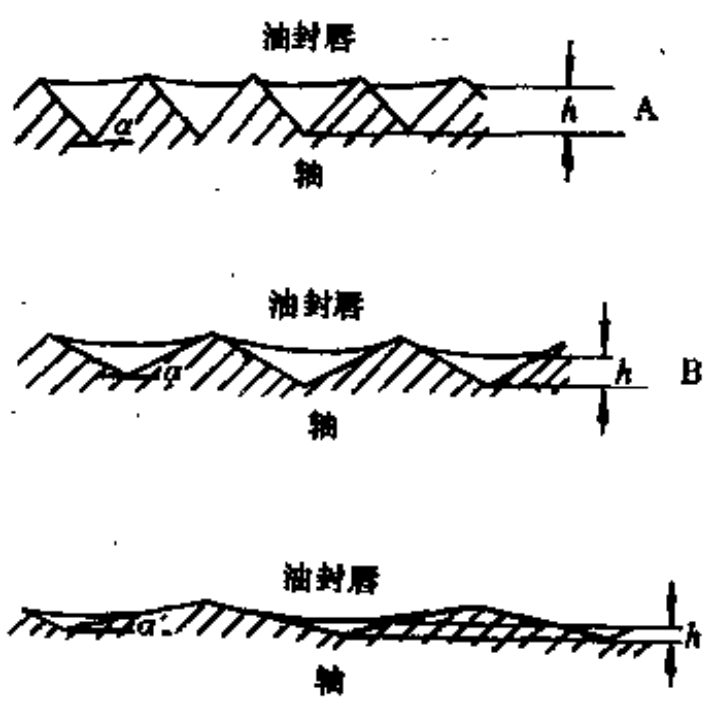
注：○—密封；⊗—泄漏。

表 1-3-5　加弹簧的油封与轴偏心的密封界限

轴偏心，mm \ 轴速，r/min	5000	4000	3000	2000	1000
0.6	⊗	⊗	⊗	○	○
0.4	⊗	○	○	○	○
0.2	⊗	○	○	○	○
0.03	○	○	○	○	○

注：○—密封；⊗—泄漏。

轴表面粗糙度是指与油封相配合的轴表面加工的程度。轴表面粗糙度必须保持在适宜的范围，因为它与密封性能有着密切的关系。从理论上仍可以用油膜密封理论进行解释，如图1-3-39所示。当轴表面粗糙度过大时（图1-3-39A），粗糙峰倾斜角 α 大，粗糙峰尖锐，其尖部插入唇材料之间形成一个间隔油膜，在轴旋转时唇材料严重被切削会使油封早期损坏。同时由于粗糙峰过大，油膜厚度 h 过厚，也容易引起泄漏。相反，当轴表面粗糙度过小时（图1-3-39C），粗糙峰倾斜角 α 小，由于唇与轴接触的径向压力作用，容易将油膜从粗糙峰凹部挤出，使油膜厚度 h 变得很薄，容易形成干摩擦，从而使摩擦扭矩和摩擦温度增加而引起油封的早期损坏。根据上述两种情况说明，轴表面粗糙度必须保持在适宜范围（图1-3-39B），使油膜厚度保持适当，以便构成一种最适宜的摩擦与润滑状态以达到理想的密封效果。关于轴表面粗糙度对油封性能的影响见图1-3-40和图1-3-41。



h-表示最大油膜厚度

图 1-3-39　油封唇与轴表面粗糙峰放大示意图
h—最大油膜厚度

图中结果表明在一定范围内轴表面粗糙度越大，油封的摩擦扭矩和摩擦温度越低。这是因为在轴表面粗糙度大时油膜比较厚，摩擦系数小，因此油封的摩擦扭矩与摩擦温度都比较小。另外，轴表面粗糙度的大小与油封的密封性能也有较大的关系，试验结果见表 1-3-6。

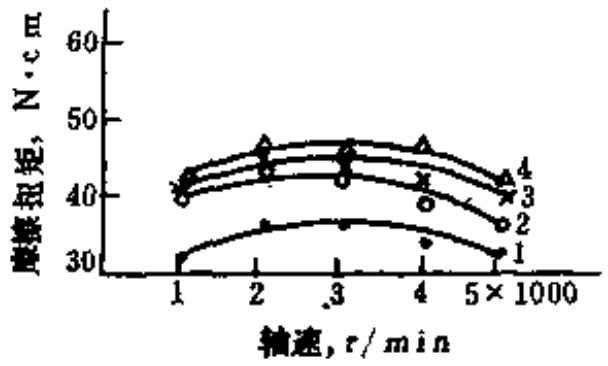


图 1-3-40 轴表面粗糙度与摩擦扭矩

1—粗糙度25～40μm；2—粗糙度7.5～10μm；3—粗糙度2～3.2μm；4—粗糙度0.6～0.8μm

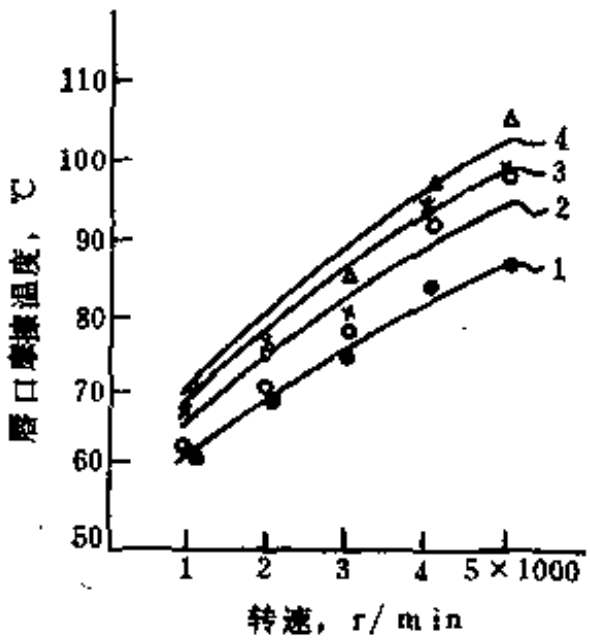


图 1-3-41 轴表面粗糙度与唇口温度

1—粗糙度25～40μm；2—粗糙度7.5～10μm；3—粗糙度2～3.2μm；4—粗糙度0.6～0.8μm

表 1-3-6 不同轴表面粗糙度的泄漏试验

粗糙度 / 转速 r/min	▽10 0.6～0.8μm			▽8 2.0～3.2μm			▽6 7.5～10μm			▽4 25～40μm		
1000	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△
2000	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	△
3000	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△
4000	○	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△
5000	○	○	中	○	△	△	△	△	△	△	△	△
温度, ℃	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90

注：○—密封；中—微渗；△—泄漏。油封试样 $H_{1.}$。

表中结果表明了轴表面粗糙度、轴速、介质温度三因素对密封性能的关系。表中粗黑线为密封界限，黑线左侧是密封区，黑线右侧全部是泄漏。其密封与泄漏的规律是随轴表面粗糙度、介质温度和轴速的增加，油封泄漏越严重。当介质温度和轴速一定时，轴表面粗糙度越大越容易泄漏。这是因为在轴表面粗糙度增大其油膜厚度也增大，密封特性数ϕ值降低，因而引起泄漏。因此轴表面粗糙度必须保持在适当的范围，一般应保持在0.6～3.2μm，最适宜的粗糙范围应保持在0.6～0.8μm。

6. 温度对油封性能的影响

油封在使用过程中，由于介质的温度和油封唇与轴的摩擦温度的存在会严重影响油封的性能和工作寿命。因为橡胶是一种热的不良导体，唇口与轴相对摩擦产生较大的热量，容易在唇口部位聚集而产生较高的温度，从而使唇材料的老化加剧而导致油封密封性能和工作寿命的下降。据资料报道，温度每升高10℃，油封的工作寿命降低40～50%。这说明温度对油封的工作寿命有着严重的影响。通过大量的试验证明，油封唇口的摩擦温度一般比介质温度高10～40℃，特殊条件下会低于或高于此温度范围。

影响油封唇口温度的因素比较多，下面列举几个方面作以简单的叙述。

（1）摩擦温度曲线 油封开始运转时摩擦温升比较快，随运转时间的增加其摩擦温升逐渐减缓，一般情况下约 1 h 左右摩擦温升趋于稳定。油封摩擦温升曲线见图1-3-42。这种

摩擦温升规律是因为油封在开始运转时，唇与轴的接触尚不稳定，油温也比较低，油的粘度比较大，起始扭矩也比较高，因而开始运转时油封的摩擦温升增加的很快。随着运转时间的增加，唇与轴的接触逐渐趋于稳定，油的温度增高，油粘度下降，摩擦扭矩也降低，因而使摩擦温升也逐渐减小而达到稳定。一般唇口温度是指稳定摩擦温度值而言。

（2）轴速的影响　轴速是影响唇口温度的一个因素。一般规律是轴速越高，唇口的摩擦温度越高，如图1-3-43所示。这种温升规律的原因是当轴速增高时，油封唇与轴的摩擦强化，油封消耗的功能大，因而产生的热量也大，表现出温升就高。

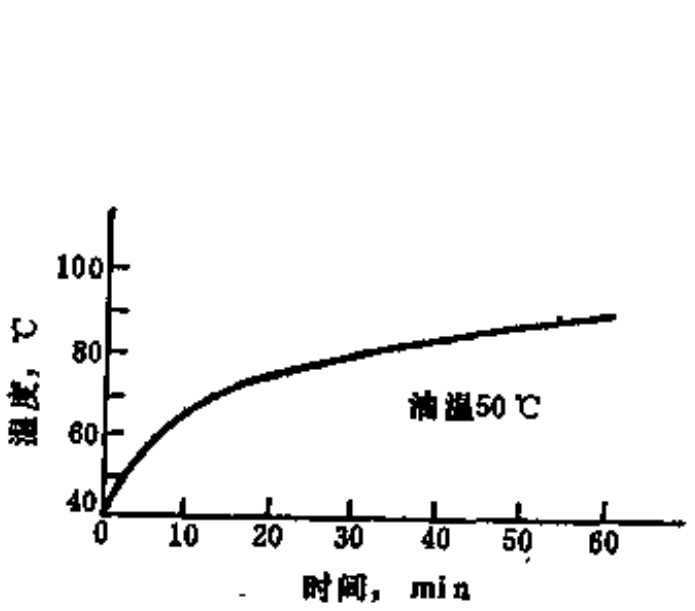


图 1-3-42　遥测测量温度曲线

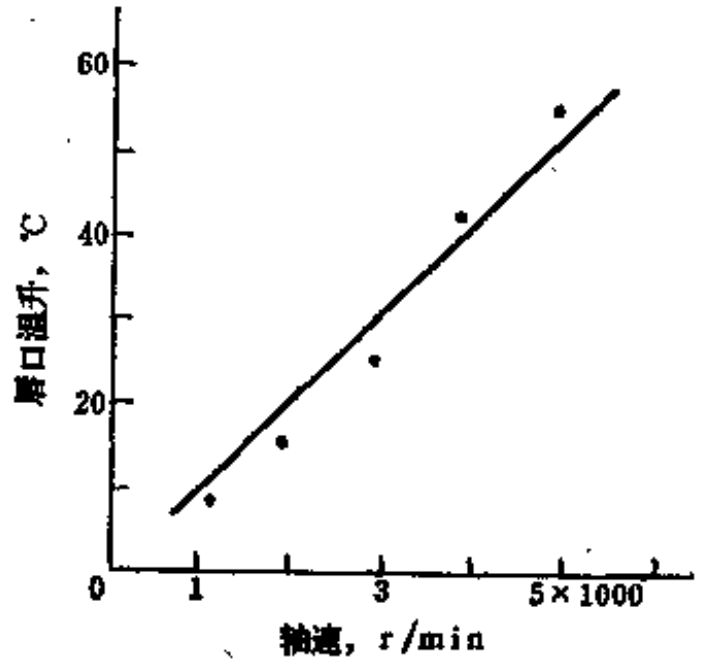


图 1-3-43　轴速与唇口温升的关系

（3）油温的影响　油温与唇口摩擦温升有关。一般规律是被密封的介质油的温度越低，其摩擦温升就越高，见图1-3-44。这是因为油温高时，油的粘度下降，因而导致唇口温升的降低。

（4）径向力的影响　油封径向力的大小对油封唇口温升的影响规律见图1-3-45。

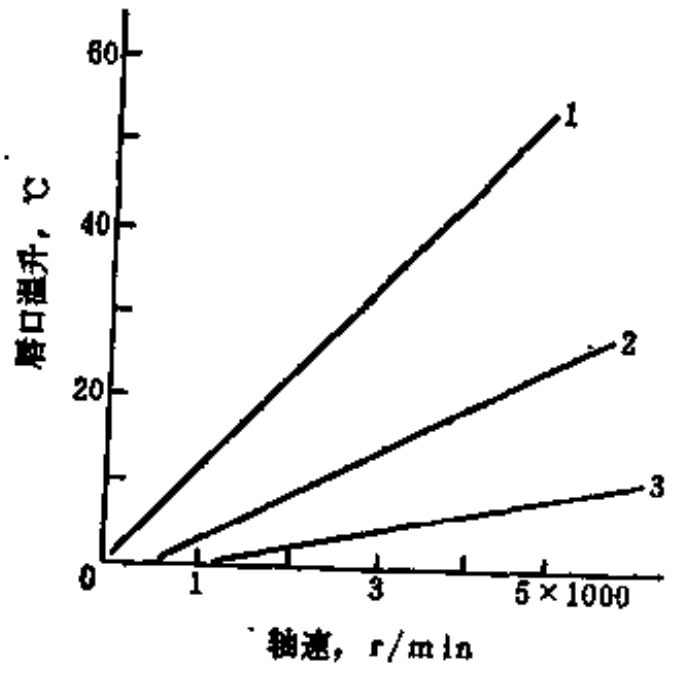


图 1-3-44　不同油温对唇口温升的影响
1—油温50℃；2—油温75℃；3—油温90℃

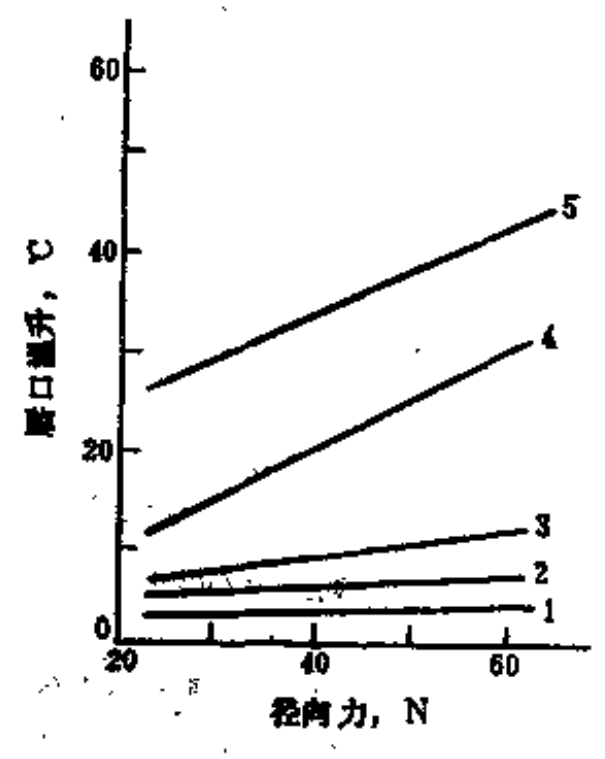


图 1-3-45　径向力对唇口温升的影响
1—1000r/min；2—2000r/min；3—3000r/min；
4—4000r/min；5—5000r/min

图中结果表明油封径向力越大，唇口摩擦温升越高。其原因是当油封径向力增加时唇口对轴的接触压力增加，油膜厚度减薄，增加了摩擦系数和摩擦扭矩，因而使唇口摩擦温升增

加。这说明油封径向力不能设计过大，否则将会因温度的升高加速油封材料的老化而导致油封的早期损坏。

（5）胶料的影响　不同的油封材质对唇口温度也有一定的影响，见图1-3-46。图中选取了制造油封常用的几种材质丁腈橡胶、丙烯酸酯橡胶和硅橡胶制成的油封，在结构相同、径向力基本相近的条件下，测得的唇口温升的结果。表明丁腈橡胶和丙烯酸酯橡胶两种材质的油封唇口摩擦温升相差不大，但是都比硅橡胶油封温度高。这是因为硅橡胶本身自润滑能力比较强，摩擦系数比较低，另外硅橡胶受热后变软使油封径向力变小，因而硅橡胶油封比其它两种橡胶的油封唇口温升低。

影响油封唇口温度还有其它方面的因素，不再列举。油封唇口温度是影响油封工作寿命的一个重要因素，因此在油封设计过程中应当考虑各影响因素以便降低唇口的摩擦温度，保证油封的良好密封性能和长久的工作寿命。

7．金属弹簧的试验

金属弹簧是油封径向力的一个重要组成部分。弹簧的径向力是靠弹簧伸长形成的张力大小决定的。因此在油封设计中，正确的选取弹簧的各项参数也是保证油封性能的一个重要方面。

（1）弹簧张力与伸长率的关系　弹簧的应力-应变曲线见图1-3-47。图中表明弹簧的张力和相对伸长率是呈线性关系。张力是由初张力（截距）和变形所产生的张力两部分组成，从图中可以看出，当弹簧伸长率小于5％时呈非线性关系；当伸长率大于5％时，呈很好的线性关系，这与弹簧的初张力有关。在进行弹簧设计时必须尽可能使弹簧的伸长率要大于5％，一般伸长率取值为5～10％。

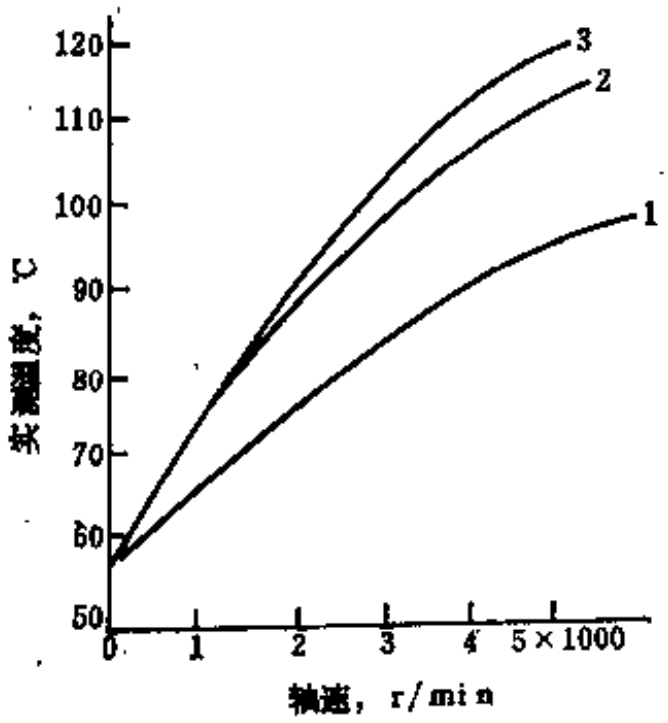


图 1-3-46　不同胶料与唇口温度的关系

1—硅橡胶；2—丙烯酸酯橡胶；3—丁腈橡胶

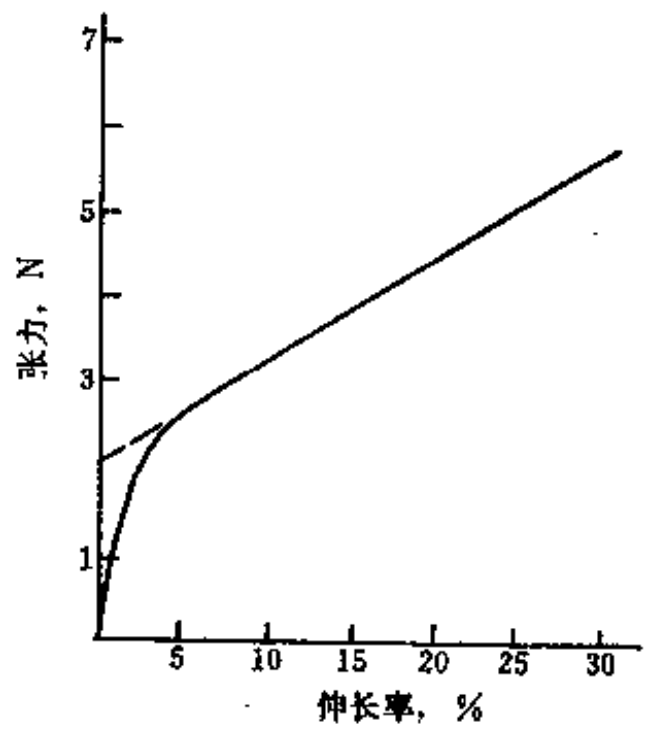


图 1-3-47　弹簧张力变形曲线

（2）钢丝直径与弹簧性能的关系　图1-3-48表示了两组缠绕比相近似而钢丝直径不同的弹簧的张力变形曲线，结果表明两种弹簧缠绕比相近而钢丝直径不同，其斜率与截距却不相同，钢丝直径大的弹簧斜率与截距都大。这说明当需要张力大的弹簧时，必须选择直径大的钢丝。

（3）缠绕比对弹簧性能的影响　缠绕比是弹簧直径与钢丝直径之比，图1-3-49表示了三种不同缠绕比的弹簧张力变形曲线。可以看出，当钢丝直径相同，缠绕比越大的弹簧初张力越小，曲线的斜率也小。即在同样伸长率下，缠绕比大的弹簧张力小。在油封弹簧设计时，希望伸长率变化时张力不要变化太大，希望曲线平坦些，这就需要缠绕比大一些的弹簧。一般油封弹簧的缠绕比应控制在5～7。

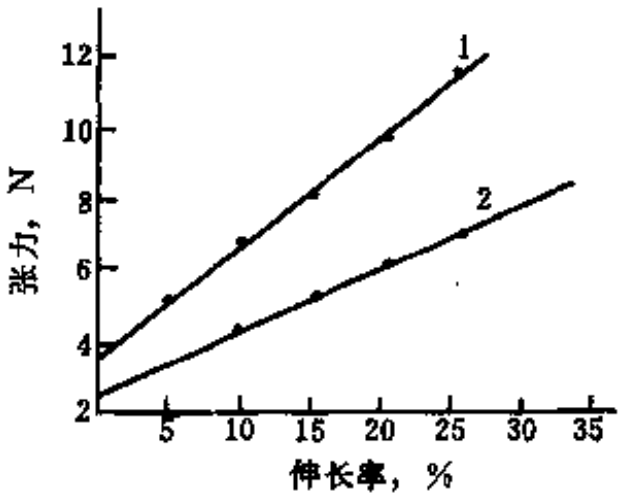


图 1-3-48　不同钢丝直径弹簧张力变形曲线
1—钢丝直径0.6mm；2—钢丝直径0.45mm

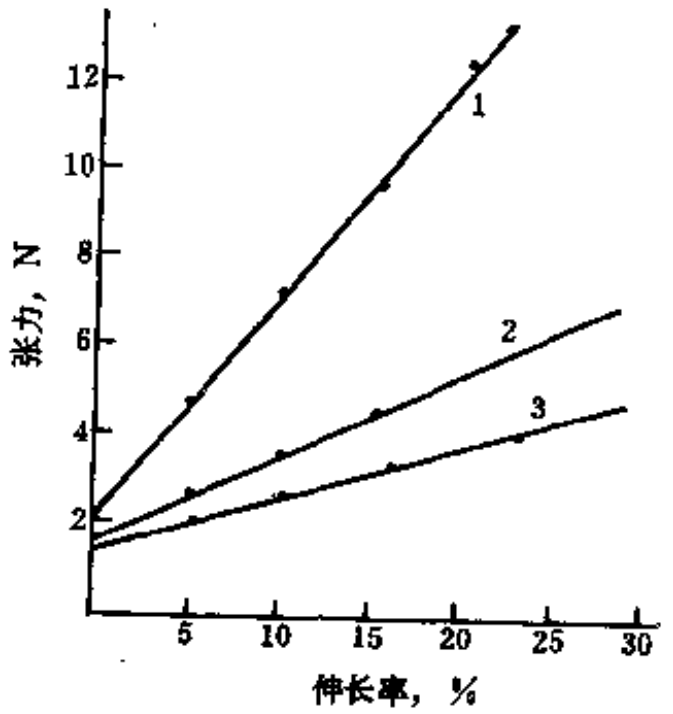


图 1-3-49　不同缠绕比弹簧的张力变形曲线
1—缠绕比3.44；2—缠绕比4.7；3—缠绕比6.45

（4）弹簧张力与径向力的关系　弹簧张力与径向力之间的换算已在前面叙述，可按公式换算即可。

（5）弹簧长度计算式　通过试验认为公式（1-3-12）可以作为油封用弹簧长度的计算公式，公式代号参见图1-3-50。

$$L=\pi(D_s+2t+d_{外})(1-\varepsilon) \qquad (1\text{-}3\text{-}12)$$

式中　D_s——轴径，mm；

t——唇部厚度，mm；

$d_{外}$——弹簧外径，mm；

ε——弹簧相对伸长率，%；

L——弹簧长度，mm。

上式是把油封唇安装后的压缩忽略不计。

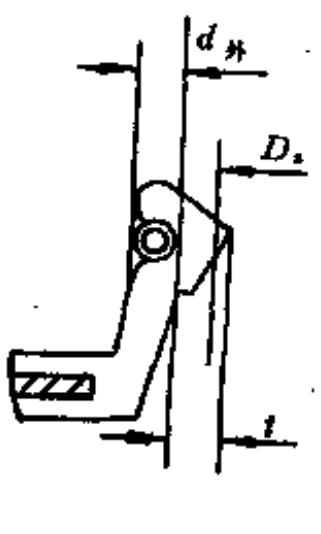


图 1-3-50　弹簧安装部位尺寸

（6）弹簧性能附表　为了便于弹簧设计时各项参数的取值，选择几种规格的油封弹簧的实例性能列入表1-3-7，可供参考。

（二）往复密封制品基本特性试验

1．接触压力分布

（1）静态接触压力分布　是指往复密封制品在工作条件下，静止状态的接触压力分布特性，以Y形密封制品为例，其静态接触压力分布状态如图1-3-51所示。这说明在一般情况下，Y形密封制品的唇部接触压力最大，跟部次之，腰部最小。实测静态接触压力分布曲线见图1-3-52。

表 1-3-7　几种规格油封弹簧的性能

钢丝直径 mm	弹簧外径 mm	弹簧缠绕比	弹簧常数	弹簧初张力 N	弹簧张力，N	
					5%	10%
0.30	1.7	4.6	7	0.40	0.75	1.10
0.30	1.9	5.3	6	0.30	0.60	0.90
0.35	1.9	4.4	10	0.50	1.00	1.50
0.40	2.5	5.25	11.5	0.48	1.05	1.63
0.40	2.8	6.00	7	0.45	0.80	1.15
0.50	3.2	4.93	18	1.20	2.10	3.00
0.50	3.54	5.4	13	1.15	1.80	3.45
0.60	3.6	5.0	32	1.30	2.90	4.50
0.60	3.9	5.5	24	1.00	2.20	3.40
0.70	4.1	4.85	45	1.65	3.90	6.15
0.70	4.6	5.57	28	2.00	3.40	4.80

注：表中弹簧均为碳素弹簧钢丝，冷卷成型并经热处理，表中数据均为实际测量平均值。

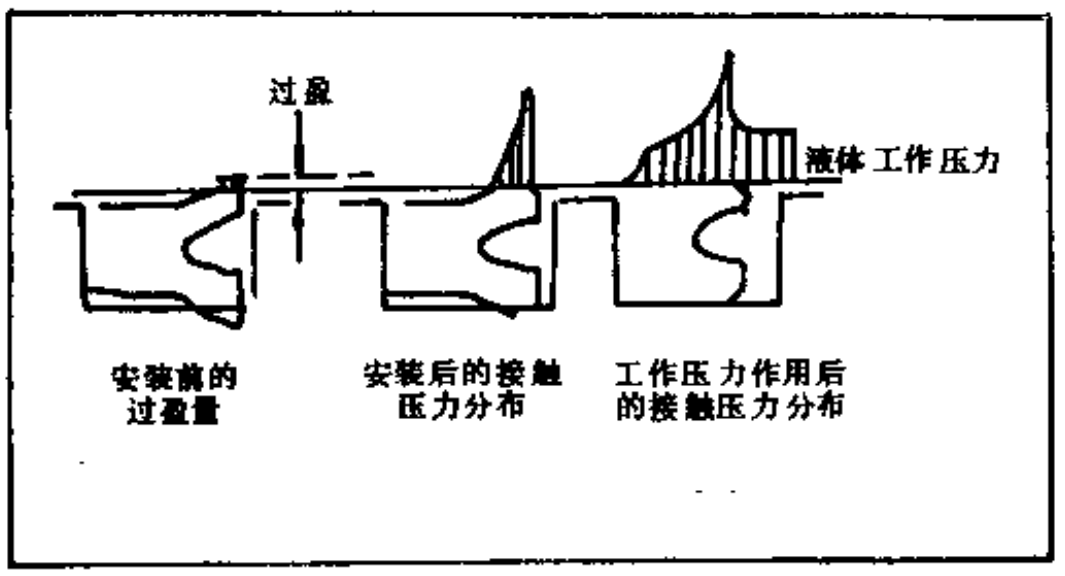


图 1-3-51　Y形密封圈接触压力分布情况

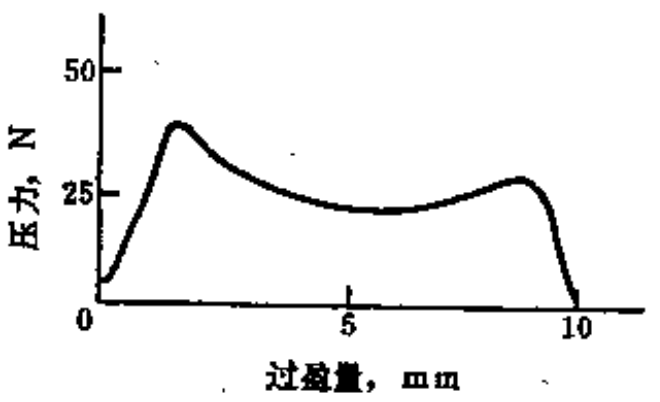


图 1-3-52　Y形密封圈静态接触压力分布曲线

由实测曲线表明，Y形密封圈在使用过程中，由于工作压力的作用，Y形圈沿轴方向的全部高度均与轴或缸接触，而唇部的贡献最大。但在高压情况下，Y形密封圈的跟部易被挤出，在这种情况下，Y形密封圈的跟部接触压力就会过大，甚至超过唇部的接触压力。出现这种情况时，说明Y形密封圈的结构与工作压力已不相适应，应当尽量避免这种挤出情况的出现。在Y形密封制品的跟部加挡圈是可以提高密封圈的抗挤出能力。

静态接触压力分布曲线可以观察密封圈在工作压力下对轴或缸的接触压力小及接触压力分布情况，从而判别往复密封制品结构的优劣。

（2）动态接触压力分布　动态接触压力分布与静态接触压力分布特性有较大的差异，因为往复密封制品在进行往复运动过程中有正反两个方向的运动，即P冲程（轴向大气侧运动）和M冲程（轴向液压油侧运动）。而静态接触压力分布图形只相当于动态的P冲程的特性，而得不出M冲程的分布图形。另外，往复密封制品在运动过程中又增加了切向力的作用，也造成了接触压力分布特性的变化。因此研究动态接触压力分布特性比静态的更有实际意义。

a．动态接触压力分布图形　通过实际测量得出的Y形密封圈的*P*冲程与*M*冲程的动态接触压力分布曲线见图1-3-53。

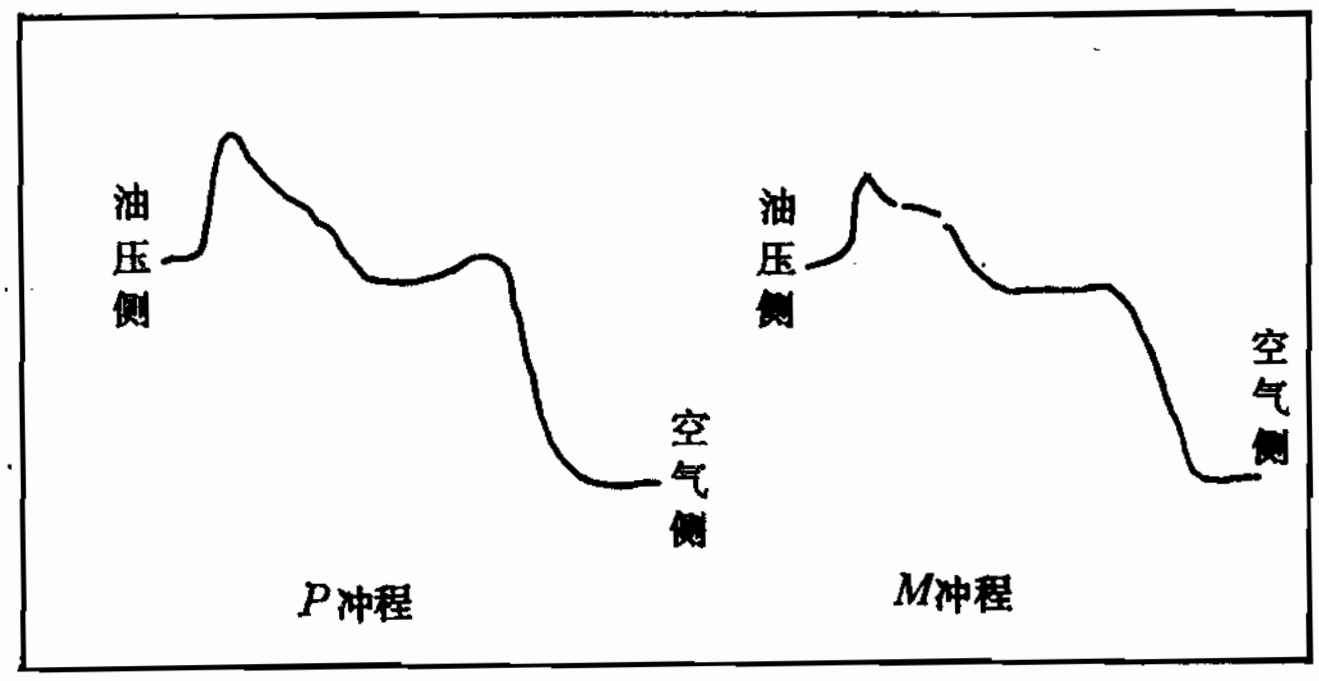


图 1-3-53　Y形密封圈*P*冲程与*M*冲程动态接触压力分布曲线

由曲线表明，Y形密封圈的*P*冲程比*M*冲程的动态接触压力分布值略高，尤其是跟部更为明显。这种差异说明*P*冲程方向运动时受工作压力影响大，Y形密封制品受变形也大。同时由于切向力的作用，表现出*P*冲程比*M*冲程的动态接触压力分布值大。O形密封圈的动态接触压力分布图形的测量结果见图1-3-54。

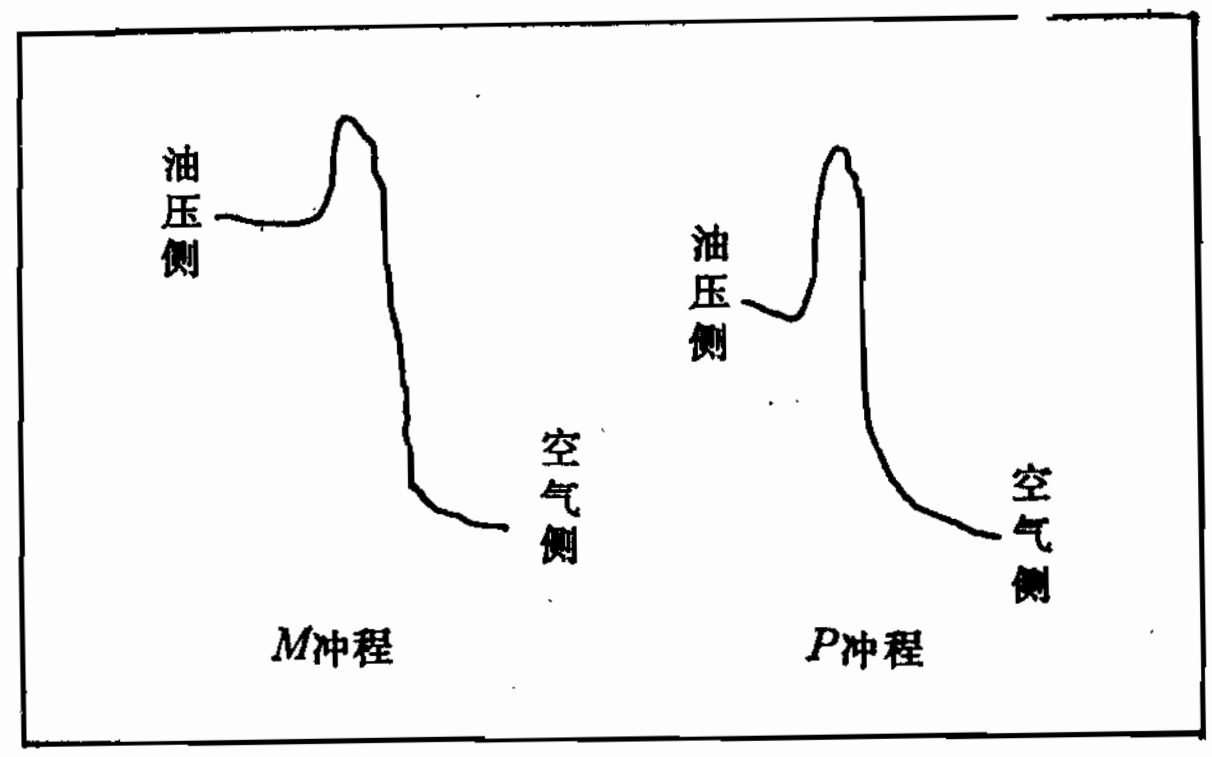


图 1-3-54　O形密封圈*P*冲程与*M*冲程动态接触压力分布曲线

曲线表明，O形密封圈的*P*冲程与*M*冲程的接触压力分布图形的变化不大，这是因为O形密封圈的结构为圆形断面，正反运动方向基本相同，因此*P*冲程与*M*冲程的接触压力值变化不大。另外O形密封圈的最大压力值是在O形密封圈断面直径最大处，因为此点受压缩最大，表现出接触压力值也最大。

b．工作压力的影响　往复密封制品在使用过程中需要承受一定的工作压力，工作压力的大小不同会影响到密封制品的接触压力分布。图1-3-55和图1-3-56表示了在不同工作压力下Y形密封圈和O形密封圈的动态接触压力分布的波形，表1-3-8和表1-3-9表示了它们的接触压力值。

表 1-3-8　Y形密封圈动态接触压力值与工作压力的关系

工作压力，MPa / 冲程	0		1		3		5		10		15	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
*M*冲程	17.5	10.5	38	24.1	74.3	51.6	110.1	84.8	178.1	141.7	256.3	210
*P*冲程	24.5	15.5	43.5	31.3	81.5	74.6	112.2	105.5	173.1	165.4	244.3	231.8

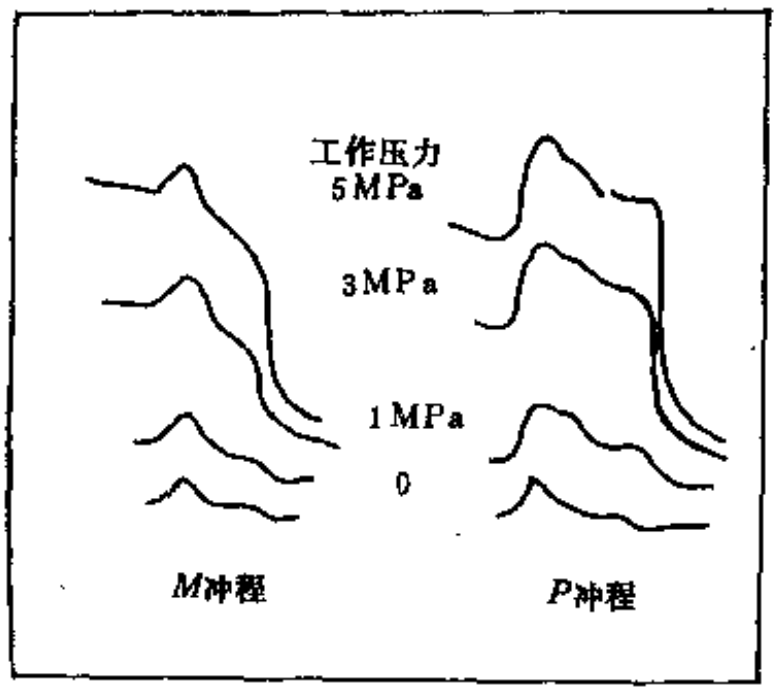


图 1-3-55　工作压力对Y形密封圈动态接触压力分布的影响

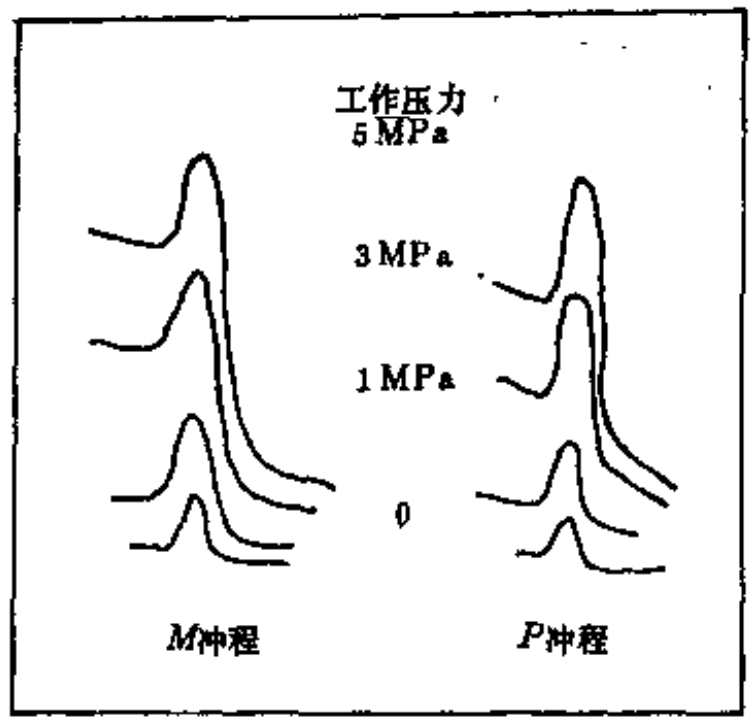


图 1-3-56　工作压力对O形密封圈动态接触压力分布的影响

表 1-3-9　O形密封圈最大动态接触压力值与工作压力的关系

冲程 \ 工作压力，MPa	0	1	3	5	10	15
*M*冲程	27.5	50.8	87.1	123.9	181.3	243.1
*P*冲程	28.5	48.9	86.2	121.5	179.5	243.4

结果表明在不同工作压力下，Y形密封圈和O形密封圈的动态接触压力值的变化规律基本是相同的，都是随工作压力的增加动态接触压力值也增加。在*P*冲程与*M*冲程方面的变化是O形密封圈变化不大，而Y形密封圈却表现出明显的不同。不论是最大值或是最小值的*P*冲程基本上都高于*M*冲程的接触压力值。

从往复密封制品的接触压力分布波形来看，当工作压力增高时，波形的尾部出现小的压力峰，工作压力越高小峰值越大，见图1-3-57。

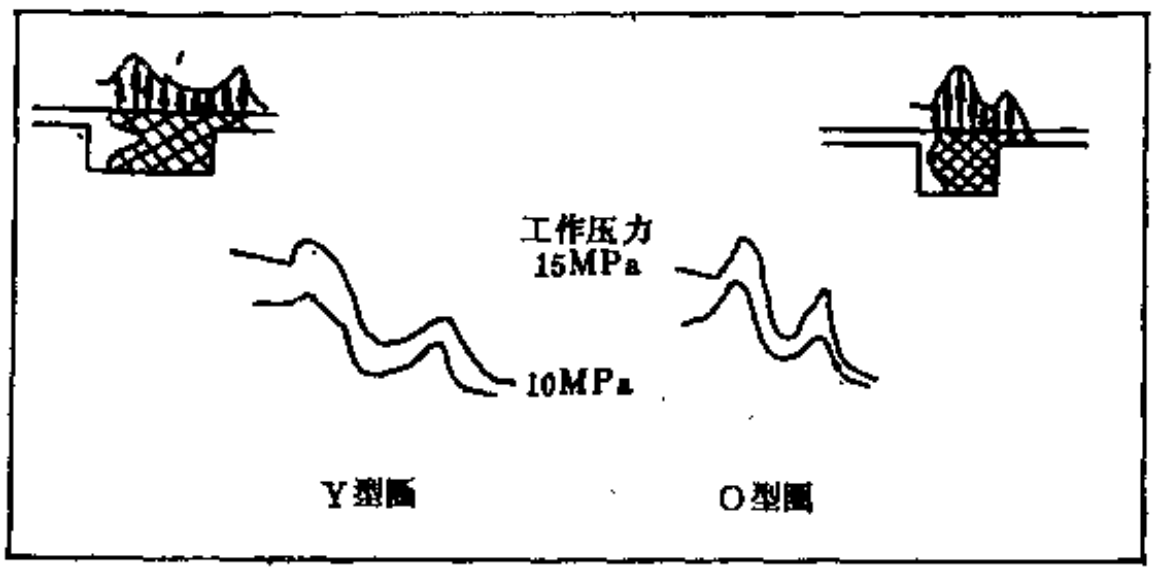


图 1-3-57　Y形密封圈和O形密封圈跟部出现小的压力峰

由图中可以看见当工作压力在10MPa时，Y形密封圈和O形密封圈的波形都出现了小的峰值。当工作压力增加到15MPa时，小峰值也相应增加，可见工作压力越高，小峰值越大。尾部小压力峰值的出现说明往复密封制品在高工作压力下已有挤出现象，工作压力越高，密封圈被挤出越严重，小压力峰值也就越高。在同样的工作压力下，Y形密封圈比O形密封圈的小压力峰值小，这说明Y形密封圈比O形密封圈更适合于高压下工作。但是，往复密封制品在使用过程中，应尽量避免小挤出峰的出现。一般在高工作压力下，采用加挡圈的方法可以减小尾部小挤出峰的出现，可以提高往复密封制品的抗挤出能力。

c．往复频率的影响　往复运动频率对密封制品的动态接触压力分布影响不太明显，在其它工作条件不变的情况下，只变换往复运动的频率，其动态接触压力分布的试验结果见表1-3-10和表1-3-11。由两个表可以看出无论是Y形密封圈或是O形密封圈，在工作压力不变的条件下只变化往复运动的频率，其接触压力值基本变化不大。

表 1-3-10　Y形密封圈动态接触压力分布值（工作压力5MPa）

频率，次/min / 冲程	6.5		8		10		12		15	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
*M*冲程	110.1	86	109.3	85.4	108.6	85.4	108.4	85.4	108.0	85.2
*P*冲程	115.2	102.3	115.2	101.9	114.9	101.8	115.6	101.7	115	97.9

表 1-3-11　O形密封圈动态接触压力值（工作压力5MPa）

频率，次/min / 冲程	6.5	8	10	12	15
*M*冲程	123.9	124.0	123	122.7	122.6
*P*冲程	121.5	120.3	119.7	119.5	119.3

2．摩擦力的试验

往复密封制品本身设计有一定的过盈量，因此安装后对轴或缸产生一定的接触压力，由于接触压力的存在，在往复运动中则产生与密封制品运动方向相反的摩擦力。当橡胶材质与产品结构一定时，摩擦力的大小即可反映出密封性能的好坏。一般情况下摩擦力大的密封性能好，但是摩擦力大会增加往复密封制品的功耗，降低密封制品的工作寿命。因此在往复密封制品的设计中，必须正确处理好二者的关系，使密封制品既保证其密封性能，又要减小摩擦力以减小功耗延长工作寿命。因此摩擦力也是往复密封制品的一项重要的特性。

（1）运动频率的影响　运动频率对往复密封制品的摩擦力有一定的影响。图1-3-58表示了Y形密封圈的摩擦力受往复运动频率影响的试验结果，图中表明在工作压力不变的条件下，摩擦力随往复频率的增加而降低，即往复频率越高，摩擦力越小。这种规律是因为往复运动频率增加时，往复运动二冲程交替变换速度加快，这样就容易破坏稳定的流体润滑油膜的形成，引起油膜厚度的增加，从而导致摩擦力的下降。

（2）工作压力的影响　往复密封制品承受的工作压力越高，其摩擦力也增加，如图1-3-59和图1-3-60所示。摩擦力随工作压力的增加而增加的原因是因为在低工作压力下密封制品的密封面没有全部与轴或缸接触，接触压力比较小，所以摩擦力也小。当工作压力增加

时，密封制品的密封面全部与轴或缸接触，增加了接触面积，同时接触压力也相应增加，因此也就增加了摩擦力。Y形密封圈在不同工作压力和不同往复运动频率条件下的摩擦力的波形见图1-3-60。

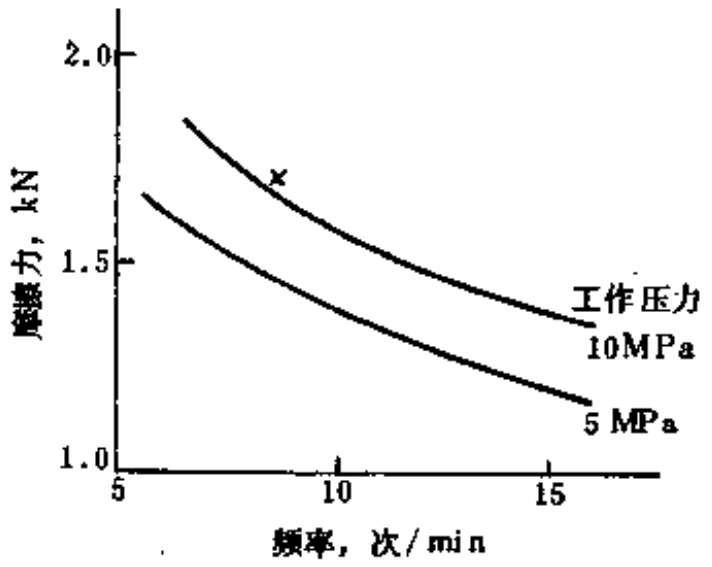


图 1-3-58　Y形密封圈摩擦力与频率的关系

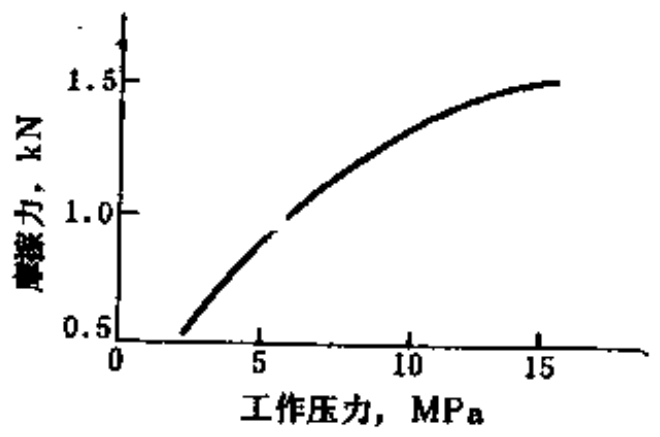


图 1-3-59　Y形密封圈摩擦力与工作压力的关系

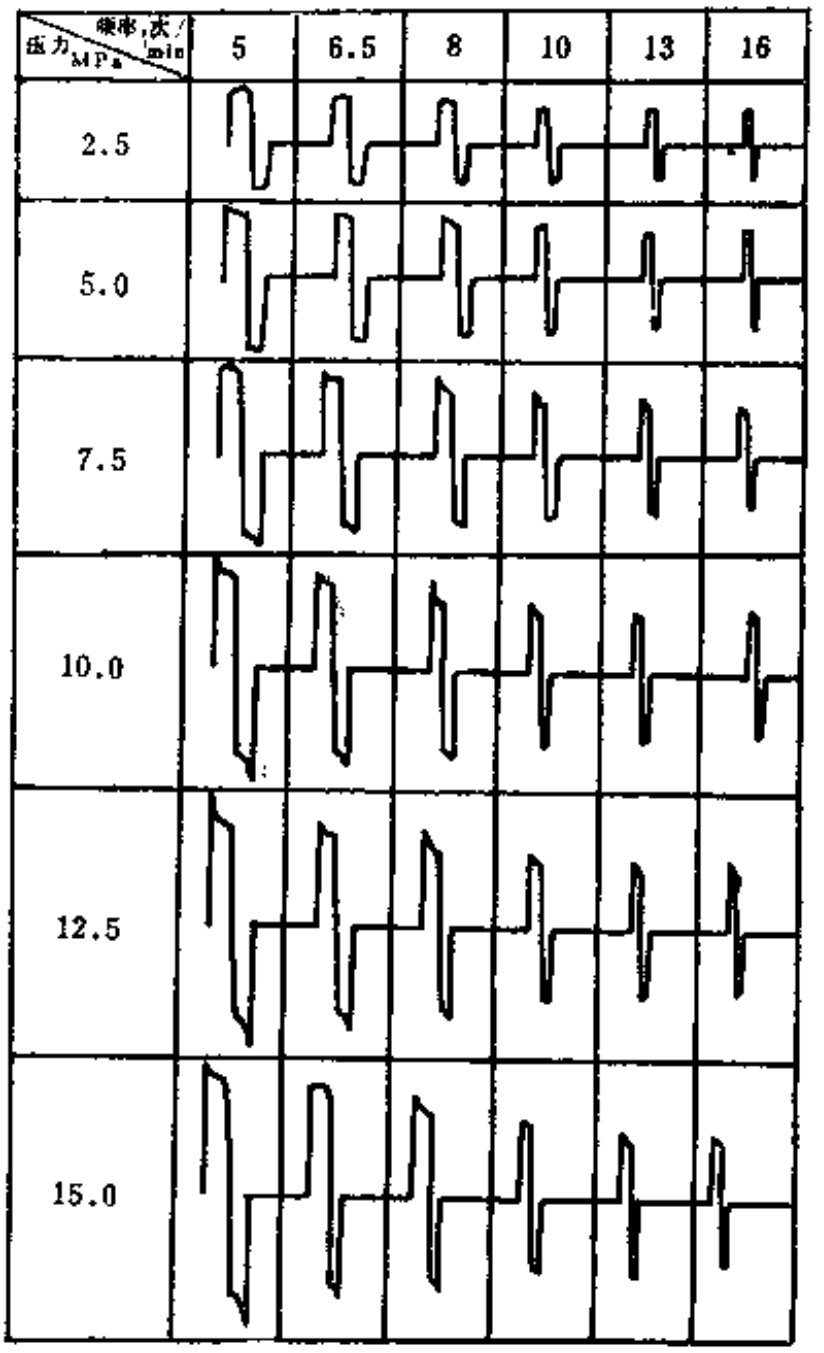


图 1-3-60　Y形密封圈摩擦力图形

第四节　橡胶薄膜密封制品

一、橡胶薄膜的分类及其特性

按其作用原理和结构形态有以下两种分类法。

（一）按作用原理分类

1．隔离薄膜

简称隔膜，仅仅对流体起隔离作用，被隔离的两个部分之间没有压差。

2．渗透薄膜

利用橡胶薄膜对气体或液体具有一定的透过性和选择性这一特点，对某些流体起到分离的作用。薄膜本身移动很小，甚至没有移动。

3．运动薄膜

这类薄膜在静止部件和运动部件之间起密封装置作用。同时一般都是传递动力或压力的。这类薄膜应用最广。

（二）按结构形态分类

各种形态的橡胶薄膜的截面见图1-4-1。

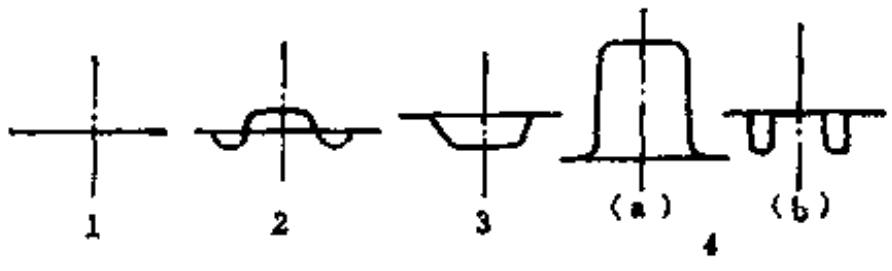


图 1-4-1 各种形态的橡胶薄膜

1—平面薄膜；2—波纹薄膜；3—碟形薄膜；4—滚动薄膜

1．平面薄膜

主要应用于小型的、使用条件（如膜的行程、压力、往复次数等）要求不太苛刻的装置。由于薄膜工作时承受较大的伸长应力和反复伸缩，故要求纤维材料和胶料具有足够的拉伸强度和优异的伸长疲劳性能。此外，与其它类型薄膜相比，在同一压力等级下，平面膜承受的应力较大，故它一般比其它薄膜要厚。因而对微量压力变化的灵敏性较差，滞后损失较大。

平面薄膜在装配前尽管是一个简单的平面形，可是装配以后，在工作压力的反复作用下，可导致薄膜形成一种波纹，见图1-4-2（a），因此薄膜在整个行程的工作有效面积变化很大。图1-4-2（a）是薄膜的平衡位置，向最高位置（b）移动时，有效面积减小，向最低位置（c）移动时，有效面积增加。由于这种薄膜有效面积的变化，故需要按比例位移动的任何装置就不能采用平面薄膜。

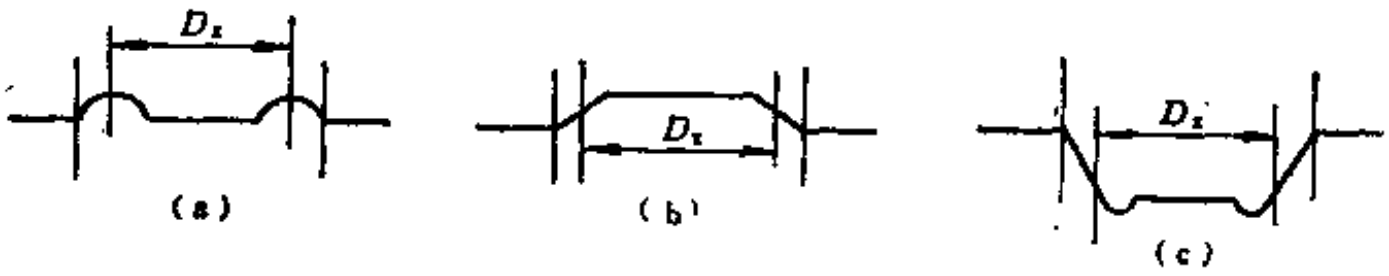


图 1-4-2 平面膜工作状态

2．波纹薄膜

波纹薄膜的行程大于平面膜。工作时，薄膜本身伸缩较小，但要求能够自由屈曲。

波纹薄膜在整个行程范围内，其有效面积变化比平面薄膜小，并且波纹越深其有效面积的变化越小。大体上来说是与波纹深度的增加成比例的减小。

一般来说，波纹薄膜的行程为波纹沟深的2倍。但波纹加果太深，制造比较困难，故波纹薄膜的行程也是有某种限制的。

3．碟形薄膜

形状如同碟子，有圆碟形、方碟形和长方碟形几种。在要求行程较大的场合使用，最大行程为碟高的2倍。碟形薄膜有效面积变化也比平面薄膜小。

4．滚动薄膜

这种薄膜因其动作时工作部位呈滚动状态而得名。其装置与活塞相似，见图1-4-3。当压力增加活塞下降时，薄膜侧面离开活塞壁，贴向气缸壁；当压力减低活塞上升时，薄膜侧面离开气缸壁，贴向活塞壁。

滚动薄膜的装置与活塞相似，但由于增加了橡胶膜，工作原理则大不相同。有以下特点：①因滚动工作，摩擦阻力极小；②完全不泄漏；③不需要润滑；④允许流体中带有微小的粒子；⑤对活塞和气缸表面加工、材质和硬度等没有十分严格的要求；⑥活塞与气缸之间即或有微小的偏心或偏角，对工作装置都影响不大，并具有自动找正作用。如图1-4-4所示，

活塞偏右，则薄膜贴于活塞右面的部分大于左面，即活塞所受径向力右边大于左边，从而迫使活塞复位。

它与一般平面形、碟形和波纹形薄膜相比，又具有行程最长、耐压最高和在全行程中其有效面积不变等特点。

图1-4-5是压力作用于滚动薄膜时的状态，虽然薄膜表面都受到压力作用，但可以看到，在活塞头、活塞壁及缸壁部分都有金属件承受，薄膜承压只限于狭窄突出的翻折部分，因而它可以承受较大的压力，并且耐压程度随活塞与缸的间隙缩小而增大。

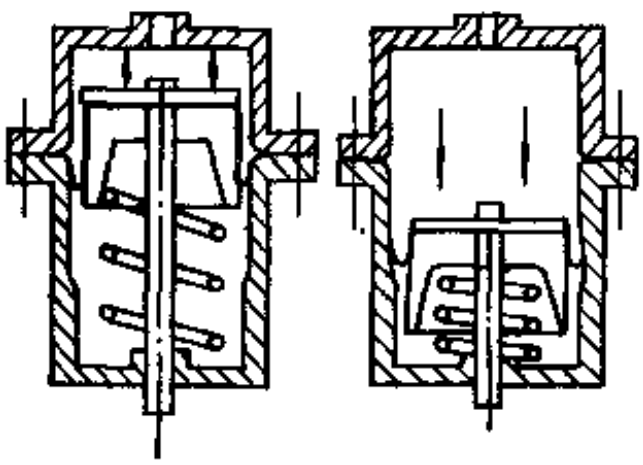


图 1-4-3　滚动薄膜的翻折动作

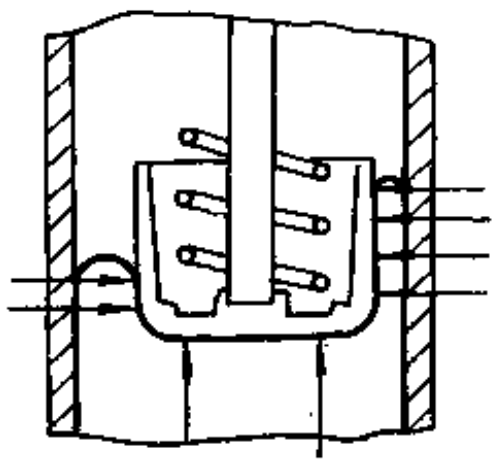


图 1-4-4　滚动薄膜的自动找正作用

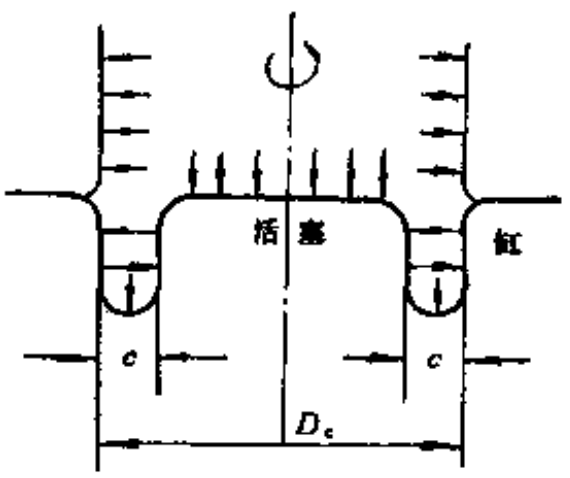


图 1-4-5　滚动薄膜的受压关系

滚动薄膜的有效受压面积（AE）在整个行程的任何位置都是一个定值。这是滚动薄膜的一大特点，它特别适用于要求行程与压力按比例变化的装置中，AE可以从式（1-4-1）求出：

$$AE = \frac{\pi}{4}(D_c - c)^2 \qquad (1\text{-}4\text{-}1)$$

式中　D_c——缸径；

c——缸和活塞之间的间隙。

滚动薄膜上下往复运动时，其侧面以缸壁移到活塞壁，又从活塞壁移向缸壁。由于缸与活塞之间有一定间隙，故要求薄膜在圆周方向具有一定伸缩性，而轴向不得伸长，故对材质选择时应予考虑。

这种薄膜只允许单向受压，如果出现压力换向，当正常低压侧压力超过正常高压侧时，薄膜侧面就要向正常高压侧变形，出现扭别现象，致使薄膜早期破损。若要求薄膜双向受压，可选用一对背靠背装配起来的滚动薄膜以解决此弊病。

滚动薄膜有两种基本类型，最常用的是图1-4-1（a）所示的帽形滚动薄膜。装配时将薄膜翻转形成波纹；另一种如图1-4-1（b）所示，其波纹是在薄膜制造过程模压定型的，它的工作行程一般比帽形小。

二、橡胶薄膜的技术性能

橡胶薄膜不论形态、几何尺寸和材质都必须适应使用条件的要求。应该特别注意下述几方面。

1．耐温性

各种薄膜必须适应温度条件的要求，在选择橡胶胶料和织物品种时，应充分估计其温度

适应范围，必须保证薄膜的高温稳定性和低温下良好的屈挠性能。

2．耐介质性

薄膜所接触的介质种类甚多，根据其装置类别和用处的不同，分别有空气、煤气、天然气、石油裂解气，还有油、水、水蒸汽以及某些强腐蚀性介质如酸、碱、氯、硫化氢等。针对所接触的介质，对薄膜胶料和纤维织物需进行严格选择，尤其是附有高温要求时更得慎重。

3．耐压强度和灵敏度

橡胶薄膜，尤其是运动薄膜，一般都要承受一定压力。承压高低主要取决于纤维织物的强度，故必须选择强度高的织物。这有两方面，一是材质类别；二是织物纱支粗度与编织结构。

另一方面，薄膜又是一种敏感性元件，为了保证装置足够灵敏，在极小的压差下薄膜仍能有所反应，故选择织物和胶料时，又要充分考虑其柔屈性能。一般来说，对同一材质，越薄灵敏度越高。但是灵敏度与耐压强度往往存在矛盾，薄膜越薄，灵敏度越高，强度则越低，故实际选择时必须兼顾两方面要求。一般是在满足耐压强度的前提下，尽可能将薄膜做得薄一些，这也有利于提高薄膜的疲劳寿命。

4．有效受压面积变化率

有效受压面积变化率是薄膜重要特征之一。尤其是对于需要按比例位移的仪表及其它控制装置，必须选择工作有效受压面积变化小的薄膜。

有效受压面积变化率，以平面形薄膜最大，波纹薄膜和碟形薄膜则较小，滚动薄膜的有效受压面积变化率最小，它在整个行程范围内其有效受压面积基本上是一个定值。

5．屈挠性

为保证薄膜经久耐用，所有薄膜除耐介质、耐老化外，还应具有优越的疲劳性能。而这与橡胶及织物的材质、织物的结构、橡胶与织物的粘接系统都密切相关。橡胶与织物都应该具有优异的屈挠性能，并且两者粘接良好。至于不同形态的薄膜对织物又有不同要求。例如，碟形和波纹形薄膜动作时不希望织物伸长，平面薄膜则要求织物有一定伸长度，而滚动薄膜却要求织物在薄膜圆周方向自由伸长，而轴向不得伸长，否则薄膜的使用性能和耐久性都将受到严重破坏。

为了改善薄膜的屈挠性和疲劳性能，在结构方面应尽可能将薄膜做得薄些。若强度不够，可将单层改为更薄的多层组合形式。国外还将内层胶改为微孔结构，以提高其屈挠性能。

三、橡胶薄膜的设计与装配

橡胶薄膜使用性能的好坏，寿命的长短，虽然与材质及制造工艺有密切关系，但与薄膜设计，例如形态结构选择是否合理，有关参数的确定是否合适，以至产品装配等都有直接关系。

（一）设计

在着手设计薄膜之前，首先应该明确采用薄膜的有关装置的特点和使用条件对薄膜的具体要求。例如：缸的内径，所需行程，可利用的空间，有效受压面积要求，流体种类，压力和温度范围以及薄膜预期的使用寿命等。然后，根据具体情况和各种薄膜的特点，选择薄膜形态，并进一步确定有关参数。

1．平面薄膜

由于有效受压面积变化较大，只适宜于不要求按比例位移的场合。

平面薄膜的有效行程较小，一般确定为薄膜直径的7～9%，它受材料的伸长性和柔曲性影响较大，因而这个数字仅供参考。在工作条件下的实际试验是确定这类薄膜有效行程的最准确方法。

中心夹板边缘应避免锐角，见图1-4-6（a），以免工作中薄膜被割坏。

薄膜过厚，工作部位容易产生如图1-4-6（b）所示的折绉，致使推动阻力增加，并促使薄膜“脱层”，早期损坏。

为利于薄膜屈挠，法兰与中心夹板之间应保持一定距离S，可是在满足薄膜位移和屈挠的前提下，S取小一些，可减小膜应力，增加薄膜耐压强度。

2．碟形薄膜

壳体为圆形、方形或长方形的装置都可以采用碟形膜。其深度一般取薄膜直径（或宽度）的1/4。有效行程为碟高的2倍。碟形薄膜的弯曲部位应圆滑过渡，决不能采取折线形式，以免应力集中以及给制造带来麻烦。

碟形薄膜尽管行程较大，但在行程范围内，有效受压面积变化仍较大，所以不能应用于要求按比例位移的任何装置。

3．波纹薄膜

设计波纹薄膜时，一般选波纹高度等于其宽度，有效行程约为波纹高度的2倍。在工作有效行程范围内，波纹薄膜的有效面积比平面薄膜稳定，并且其稳定程度依波纹深度的增加而增加，但波纹过深将为制造带来困难。

4．滚动薄膜

这种薄膜行程大，阻力小，耐压高和有效面积不变等都是它很宝贵的特性。虽然有两种基本类型，但最常用的是图1-4-1（a）所示的帽形滚动薄膜。

（1）行程　帽形滚动薄膜的行程虽然较其它各种形态要大得多，但并非本身高度的2倍。薄膜动作时，在任何位置，其侧面折叠处都应该保持一个圆滑的弯曲部分。当达到图中虚线所示的上下行程两个极端位置仍然有些要求。只有这样才能保证薄膜自始至终的滚动状态。若图1-4-7之实线为薄膜的平衡位置，则S_A为上行程，S_B为下行程；S_A+S_B即为薄膜的允许行程。其值最大为薄膜高度的1.8倍，一般取1.5倍。

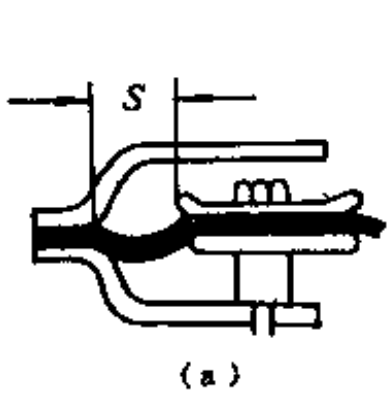


图 1-4-6　平面膜设计中应注意之处

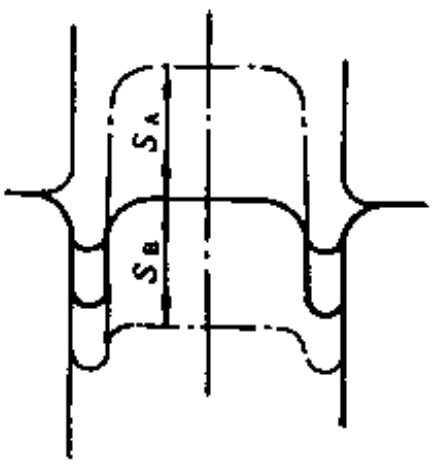


图 1-4-7　滚动薄膜的行程

（2）尺寸　薄膜尺寸主要根据缸径和行程要求确定。膜高H与缸径D_0之比一般最大不超过1，否则制造困难。

国外对滚动薄膜的规格已形成系列。考虑到同一缸径对行程要求的不同，系列中膜高H与缸径D_o之比有取0.2，0.3，0.6，1.0四挡，也有取0.3，0.4，0.6，0.8，1.0五挡的。

（3）中心板　安装帽形滚动薄膜时，需将薄膜翻转，形成波纹。但由于薄膜本身的弹性，因而具有自动返回原状的趋势，见图1-4-8（a）。若采用图1-4-8（b）所示的具有凸缘的中心板，则可解除此弊。

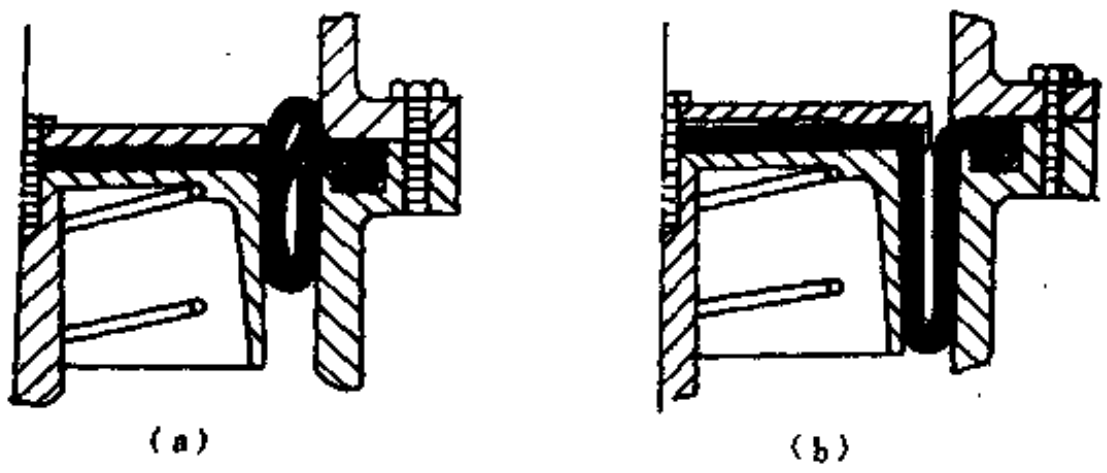


图 1-4-8　滚动薄膜采用不同结构中心板效果

（4）侧缘　滚动薄膜的侧缘有图1-4-9所示的4种类型。其中（c）型为基本型式，应用最普遍，（a）型满足外壳最小直径的要求，（b）和（d）型适应接触面粗糙或卷压、夹板等固定方式。

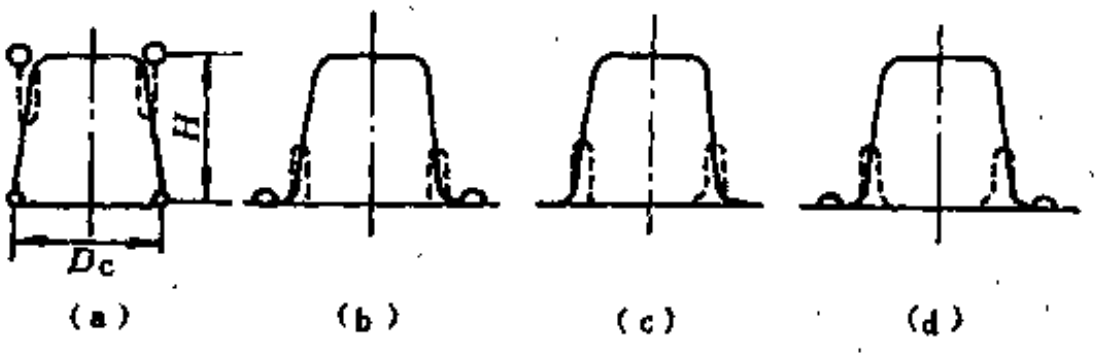


图 1-4-9　滚动薄膜侧缘的几种不同类型

（二）装配

1．薄膜与装置外壳的联接

薄膜不仅应牢固地装配在外壳的联接处，同时必须保证密封良好。这可以通过螺栓栓紧、卷压或夹压来实现。

（1）螺栓栓紧　这种方式常被采用，但所有螺栓转矩应相同，以保证接触面压力相等。转矩过大的区域能将薄膜侧缘挤出，甚至割坏，转矩过小，则压力不足。这两种情况都可能导致泄漏。

（2）卷压　即将法兰面边缘卷复到另一法兰面，从面在薄膜侧缘产生压力，以实现对薄膜的固定和密封。此法快面经济，但卷压力不足时，易引起薄膜脱出，卷压力过大则易损坏薄膜，且难以校正。

（3）夹压　夹压与卷压类似，不同的只是使用机械夹钳代替卷边。因夹钳压力比卷压力容易控制，故应用此法损坏薄膜的危险不大，而且可以不折坏整个部件更换损坏的薄膜，然面夹压不十分经济。

2．中心板的联接

联接中心板可采用粘合法。这样，薄膜没有中心孔，不会出现任何泄漏的危险。某些情况下，甚至可以在薄膜制造时将中心板与薄膜模压成一体。

此外，还可以采用旋压、铆接以及螺栓栓住等方法。

3．装配中易出现的问题及原因分析

薄膜装配中常出现的问题有：薄膜泄漏、边缘割坏、过分歪斜和偏心移动等。

泄漏可能由于法兰盘或中心板之间密封不良造成，也可能在固定处薄膜织物泄出产生的“灯芯作用”。薄膜在装配中损坏，也是泄漏的主要原因之一。卷曲折断、薄膜起绉、法兰和中心板的毛口，都可能损伤薄膜。

薄膜边缘割坏，可能由于过大的转矩、过度的卷压、法兰盘表面不平、法兰盘面积不足等原因造成。

薄膜过于歪斜，产生折绉，很容易导致早期损坏，这是曲绕时薄膜自身磨损引起的。

为防止薄膜偏心移动，有必要使用推杆或弹簧等诱导系统进行调节。另外，法兰面上压力不均，也容易产生偏心，装配时应注意。装配前应对所有部件一一校准，仔细检查。

四、橡胶薄膜的材质选择

橡胶薄膜的材质包括纤维织物和橡胶胶料两个方面。织物起承受压力和骨架作用，橡胶则覆于织物起密闭作用。

（一）织物

薄膜织物应具备下述性能：①强度高而均一；②质地柔软，疲劳性能好；③一定的耐温性；④耐腐蚀性介质。

织物常用的材质有聚酰胺、聚酯、聚酰亚胺等。

聚酰胺即锦纶或称尼龙，有尼龙 6 、尼龙66等。它具有高强力和优异的耐磨、耐疲劳、耐腐蚀性能，缺点是不耐碱和耐热较差。在温度超过120℃时其性能急剧下降。另外在压力状态下有蠕变倾向，于伸长状态保持在固定位置也容易产生永久变性。但对于一般要求不太高的产品，仍不失为一种优良的骨架材料。

聚酯即涤纶，具有优异的耐磨、耐腐蚀和疲劳性能。它强力高，耐热好。可以在175℃下长期使用。由于其分子结构比较稳定，不易与橡胶粘合，使用时需进行表面处理和选取适当的胶粘剂。

聚酰亚胺具有很高的耐热性和优异的综合性能。在部分高温薄膜中取代了玻璃丝和氟碳织物。它可以在260℃下长期使用。

几种纤维的强伸性能以及耐温、耐介质性能对此数据列于表1-4-1。

关于薄膜织物的结构，以平纹较好。对于平面薄膜和波纹度不大的薄膜，宜选择伸缩性小、弹性好的平纹织物；对于波纹多，深度大的薄膜，可采用伸缩性大的织物，如斜纹布或针织布。

（二）橡胶

薄膜胶料应具有卓越的柔曲性和气密性，并具有滞后损失小，抗耐腐蚀性介质和在一定温度条件下正常工作的性质。常用的胶种有丁腈橡胶、氯丁橡胶、硅橡胶、氟橡胶和乙丙橡胶等。

丁腈橡胶的应用最为广泛。它具有优良的耐油、耐溶剂和抗耐许多种腐蚀性介质的能力，并具有很好的气密性和耐磨、耐屈挠性能。使用温度范围一般为－40～120℃。它不耐

表 1-4-1 几种纤维骨架材料性能比较

项目 \ 品名		棉	蚕丝	尼龙6	尼龙66	聚酯	聚酰亚胺	玻璃丝	维纶	毛
拉伸强度，$10^{-3}\times N/den$		39	36	55	44	51	60	66	34	14
延伸率，%		5	20	37	45	26	10	35	20	25
空气 150℃	强度保持率，%	41	49	58	63	88	93	46	57	74
	延伸保持率，%	61	50	121	130	95	110	94	86	80
蒸汽 138℃×14h	强度保持率，%	42	0	17	92	65	—	44	43	—
	伸长保持率，%	78	0	20	156	120	—	70	180	—
硫化氢液 常温×16d	强度保持率，%	92	103	102	103	101	91	98	82	—
	伸长保持率，%	98	103	98	109	91	90	50	58	—
氯气 常温×90h	强度保持率，%	15	4	0	—	116	—	2	67	5
	伸长保持率，%	66	24	0	—	130	—	52	124	57
冰醋酸 100℃×24h	强度保持率，%	62	49	0	—	84	—	50	66	60
	伸长保持率，%	113	57	0	—	160	—	44	200	133

臭氧，但加入某些添加剂后可予以弥补。

氯丁橡胶具有优良的拉伸强度和耐臭氧及天候老化性能。在油和一些化学药品中也比较稳定。它还具有极佳的耐火焰性，通常不能维持燃烧。其使用温度范围是－35～120℃。

硅橡胶具有最为宽广的使用温度范围，一般在－100～300℃。它具有优良的耐臭氧和天候老化性能，抗耐许多化学介质腐蚀。其介电性能也很好，甚至当完全烧损时，仍起绝缘作用。此外，它无毒、无味，可应用于医药和生物条件。在要求耐油、耐溶剂和芳香烃的场合，可采用氟硅橡胶，其使用温度范围是－50～250℃。

乙丙橡胶具有非常好的耐水蒸汽、耐天候和耐臭氧性能，耐腐蚀性能也很好，其使用温度范围是－40～150℃

氟橡胶的应用也比较广泛。它在一个比较宽广的使用范围内（－30～250℃）对许多介质仍具有很好的稳定性，还具有优良的物理机械性能和极佳的耐臭氧，耐天候老化性能，并且不易燃烧。

另外，还有一些胶种在特殊用途中被采用。如丙烯酸酯橡胶，用于120～170℃的油中；二甲基硅橡胶用于要求流体透过性较高的渗透薄膜；丁基橡胶和氯醚橡胶则用于要求流体不透过性特高的场合。其中均聚氯醚橡胶的不渗透性最佳，并能抗耐多种腐蚀性介质；氯磺化聚乙烯则多用于耐酸碱和氯气等腐蚀性介质中。

五、橡胶薄膜的制造工艺

（一）制造工艺流程

制造工艺流程见图1-4-10。

（二）配方举例

配方举例见表1-4-2。

（三）胶浆制备

橡胶胶料涂覆于织物，除采用压延机挂胶以外，不论浸、刷、刮等都需要将胶料制成胶浆。

胶料经返炼下薄片，置于一定的溶液中浸泡过夜，然后充分搅拌，即可制成一定浓度的胶浆。胶浆制成后应保持在40℃以下的环境中，为提高胶浆贮存稳定性，有时可将硫化剂单

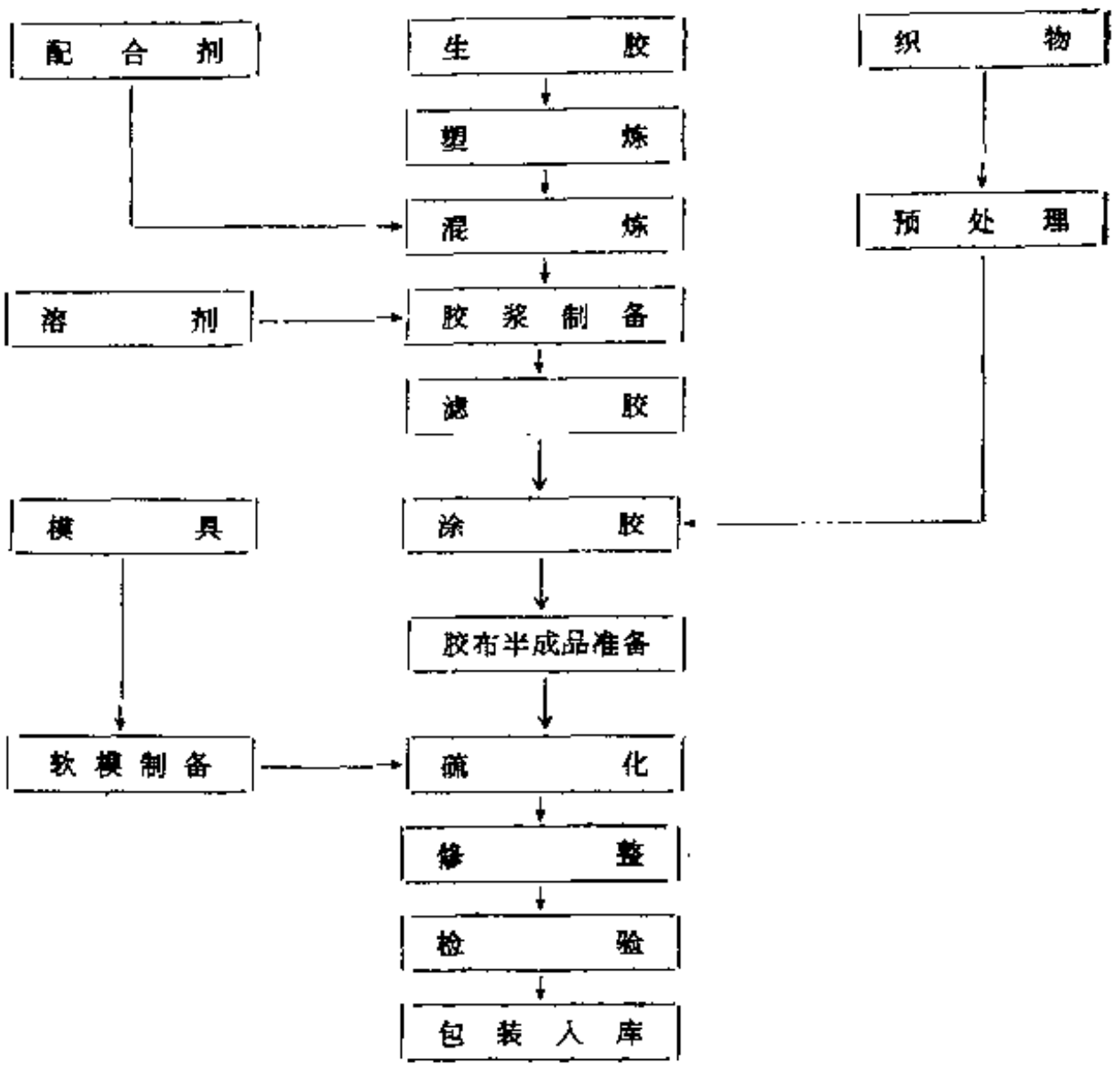


图 1-4-10 橡胶薄膜制造工艺流程

独溶于溶剂，使用前加入胶浆。

胶浆制备过程采用的溶剂，因胶种不同而有所差异。此外，为提高溶解效果，减小毒性，降低成本，可采取两种或三种并用。几种橡胶常采用的溶剂见表1-4-3。

（四）织物预处理

聚酰胺（尼龙）和聚酯（涤纶）受热后变形较大，常影响薄膜的外观尺寸以及橡胶与织物的粘接。所以，这类织物若在织造厂未进行热定型时，挂胶前需作热定型处理。处理条件：聚酰胺为170～175℃×1min；聚酯为215～220℃×1min。至于聚酰亚胺，因熔点高，加工和在使用温度下，热收缩不明显，故不需热定型。

聚酯织物，由于其本身纤维分子的结晶性与高密度，与橡胶粘接比较困难，故在热定型处理后，还要进行表面化学处理。用20%氢氧化钠水溶液在常温下浸渍2h，可获良好效果。聚酰亚胺织物因其纤维分子结构中含有极性基，故不必对其表面作化学处理。

玻璃布，由于玻璃纤维在拉丝过程表面涂有石蜡等润滑剂(占织物重量的2.0～2.5%)，硫化温度下易分解，影响胶料上织物的粘接，故涂胶前应予以脱除。一般采用加热法脱除润滑剂，即在250～300℃条件下，烘烤3～10h（至不冒烟为止）。

（五）粘接

橡胶薄膜胶料与织物之间必须粘接良好，才能保证对产品使用性能的要求。为提高粘接性能可采用胶粘剂，但有些胶料，例如氟橡胶、氯磺化聚乙烯等，与一些织物已具有较好的粘接能力，可不作考虑。

胶粘剂的用法，一种是将它直接混入胶料中，另一种是对织物进行表面处理。

丁腈橡胶与聚酰胺粘接，两种方法都可以采用。直接混入法一般采用苯酚甲醛树脂（即

表 1-4-2 配 方 举 例

材料名称 \ 配方编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
丁腈橡胶-18	30	—	30	—	—	—	—	—	—
丁腈橡胶-26	—	100	—	—	—	—	—	—	—
氯丁橡胶（通用型）	70	—	—	—	—	—	—	—	—
氯醚橡胶（均聚）	—	—	70	—	—	—	—	—	—
三元乙丙橡胶	—	—	—	100	—	—	—	—	—
氯磺化聚乙烯橡胶	—	—	—	—	100	—	—	—	—
二甲基硅橡胶(1 1-2)	—	—	—	—	—	100	—	—	—
乙烯基硅橡胶(110—2)	—	—	—	—	—	—	100	—	—
氟硅橡胶(130)	—	—	—	—	—	—	—	100	—
氟橡胶(26-41)	—	—	—	—	—	—	—	—	100
硫　　黄	0.5	0.5	—	0.3	—	—	—	—	—
促进剂TMTD	1.0	1.0	—	—	2.0	—	—	—	—
促进剂DM	—	2.0	—	—	—	—	—	—	—
促进剂NA-22	0.5	—	2.2	—	—	—	—	—	—
促进剂D	—	—	—	—	0.5	—	—	—	—
DCP	—	—	0.8	3.0	—	3.0	—	—	—
膏状BP(50%)	—	—	—	—	—	—	2.0	3.0	—
乙二胺氨基甲酸盐	—	—	—	—	—	—	—	—	1.2
氧化锌	5.0	5.0	2.0	5.0	—	—	—	—	10
硬脂酸	1.0	1.0	—	—	2.5	—	—	—	—
四氧化三铅	—	—	4.0	—	—	—	—	—	—
氧化铁	—	—	—	—	—	1.0	2.0	2.0	—
氧化镁	4.0	—	—	—	20.0	—	—	—	—
硬脂酸锌	—	—	1.0	—	—	—	—	—	—
二碱式亚磷酸铅	—	—	—	—	—	—	—	—	10.0
二苯基硅二醇	—	—	—	—	—	—	4.0	3.5	—
防老剂4010NA	1.5	1.5	1.0	—	—	—	—	—	—
防老剂NBC	—	—	1.0	—	—	—	—	—	—
半补强炉黑	70.0	60.0	—	—	—	—	—	—	—
通用炭黑	—	—	40.0	40.0	—	—	—	—	—
喷雾炭黑	—	—	—	—	—	—	—	—	—
碳酸钙	—	—	—	—	20.0	—	—	—	8.0
沉淀白炭黑	—	—	—	—	—	35.0	—	—	—
气相白炭黑	—	—	—	—	—	—	40.0	35.0	—
癸二酸二辛酯	20.0	20.0	—	—	—	—	—	—	—
合　　计	203.5	211.0	152.0	148.3	145.0	139.0	148.0	143.5	129.5
配 方 特 性	适用于空气、煤气等一般介质条件		耐油、臭氧及其它介质	耐臭氧、水蒸汽等	耐酸碱、氯气	透气性好	耐高低温	耐热油及其它腐蚀性介质	

2123树脂）15～20份和六亚甲基四胺2～3份，其效果良好，粘接力强，性能稳定。织物表面处理可采用1%环氧胺树脂的水溶液对织物进行二次浸渍。在丁腈橡胶液中加入一定量的异氰酸酯（如MDI）也可获得一定效果，但稳定性较差。

硅橡胶与织物的粘接，一般采用烷氧基硅烷系统，对织物进行表面处理。适用于玻璃布与硅橡胶粘接胶粘剂的组成为：乙烯基三乙氧基硅烷3份、酒精50份、水50份。对聚酰胺、聚酯等织物可采用：乙烯基三乙氧基硅烷5份、烯丙基三乙氧基硅烷15份、硼酸丁酯2份、

表 1-4-3　几种橡胶常用的溶剂

橡胶品种 \ 溶剂类型	单　用	并　用
丁腈橡胶	苯、甲苯、乙酸乙酯等	乙酸乙酯＋乙酸正丁酯＋二氯乙烷(1:1:1) 苯（甲苯）＋二氯乙烷 氯苯＋甲乙酮(1:4) 氯苯＋二氯乙烷＋甲乙酮(1:7:3)
氯丁橡胶	苯、甲苯、二甲苯等	乙酸乙酯＋汽油(2:1) 乙酸乙酯＋甲苯(9:1) 环己烷＋甲苯(4:1) 甲乙酮＋甲苯(4:1) 丙酮＋汽油＋甲苯(2:2:1)
氯醚橡胶	环己酮、二甲基甲酰胺、四氢呋喃等	二甲基甲酰胺＋乙酸乙酯(1:1) 环己酮＋丙酮(3:1) 环己酮＋乙酸乙酯(3:1)
氯磺化聚乙烯	苯、甲苯、二甲苯等	甲苯＋正丁醇(94:6)
聚硫橡胶	苯、甲苯等	香蕉水
乙丙橡胶 硅橡胶 氟橡胶	汽油、苯 汽油、甲苯、二甲苯等 甲乙酮、乙酸乙酯等	

乙酸乙酯100份、DOP4份。

乙丙橡胶与织物的粘接可在胶浆中加入一定量异氰酸酯或者采用间甲白体系。

（六）涂胶

涂胶的目的是将胶浆涂覆到织物表面，其工艺方法有刷涂、浸涂、辊涂、刮涂和喷涂等几种，应用最普遍的是刮涂，多采用卧式刮刀涂胶机。

（七）胶布半成品准备

织物涂胶后，应大约放置一昼夜，让溶剂充分挥发和胶布半成品收缩定型，然后才能按需要尺寸裁制、备用。

织物涂胶后可扑上隔离剂，防止粘连和尘土等杂质粘染。某些特殊要求的产品不允许涂抹隔离剂时，胶布半成品应特别注意保持清洁，裁完后逐片用塑料膜隔开或保存在特制的托板内。

（八）硫化

1．硫化方式

平面薄膜可以用模具硫化，也可以采用鼓式硫化机连续硫化，或进入连续硫化室硫化，还可以将胶布半成品涂抹隔离剂，卷取后放入罐中硫化。热源取热空气或直接蒸汽均可。唯采用直接蒸汽时需将布卷两端封闭，以防蒸汽对织物（尤其是聚酰胺）的侵蚀。

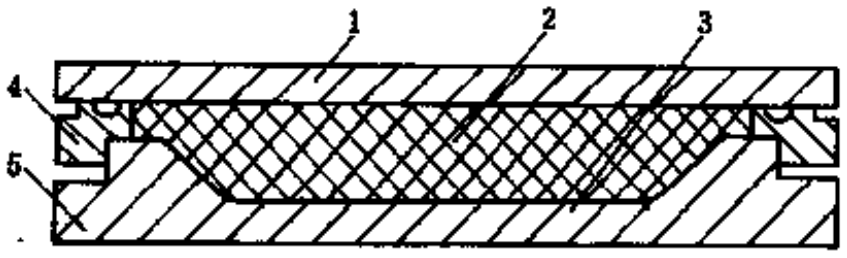


图 1-4-11　“软模”模具示意图

1—垫板；2—软模；3—薄膜；4—压环；5—下模

至于其它碟形、波纹形和滚动薄膜制品可采用模具硫化。

2．模具类别

橡胶薄膜硫化所用的模具有“硬”、“软”模之分。所谓“硬模”，即整个模具全用金属制成，与一般橡胶制品所用的模具基本相同。而“软模”则不是全用金属，其上模一般采用橡胶制成（见图1-4-11）。

由于橡胶薄膜的主要特点之一，就是“薄”。厚度一般为0.2～0.45mm，最薄的只有

0.15mm，用金属的“硬模”压制这类产品很困难。首先，它要求模具精度高，并且产品越薄，精度要求越高。但是模具受机加工条件限制，型腔尺寸往往难于符合要求。合模后各部位厚薄不一，尤其是方碟形薄膜模具更为严重。所以压制产品时，模具型腔偏厚的部位，产品“压不着”，偏薄的部位，薄膜织物易被压破，即或表面仍保持完好，但织物局部受到强制伸张，影响使用性能。另一方面，即或模具加工精度很高，型腔尺寸完全符合要求，但胶布半成品各部位半成品也不可能完全一致。以致胶薄或胶厚的部位仍然存在“压不着”或“压破”的现象，为克服上述弊病，可采用“软模”模具，它特别适用于薄的或形状复杂的夹布制品。

3、“软模”模具设计

夹布橡胶薄膜“软模硫化”所使用的模具，主要分软（上）模、下模和压环三部分。

（1）下模　即金属底膜，是薄膜模具中最重要的部件。它直接控制着橡胶软模的几何尺寸和外观质量，也是决定薄膜产品几何尺寸和外观质量的关键部件。因此，模具设计和加工中，其几何尺寸必须符合薄膜产品要求，边角相接应圆滑过渡，R不小于3mm。

（2）软模　简述如下。

a．类型　按结构的不同，有实芯和嵌接两种型式（见图1-4-12）。采用实芯软模，模具加工比较简单，硫化时加一块平面上盖板即可。软模更换也比较方便，但耗胶量较大，模腔压力也不很均匀。嵌接型软模，耗胶量较少，软模各部位胶层厚度基本一致，产品受压比较均匀，但模具加工比较复杂且整体重量大。一般应用于大型或形状比较复杂的产品，嵌接型软模的胶芯与上模板一般固定成一整体。

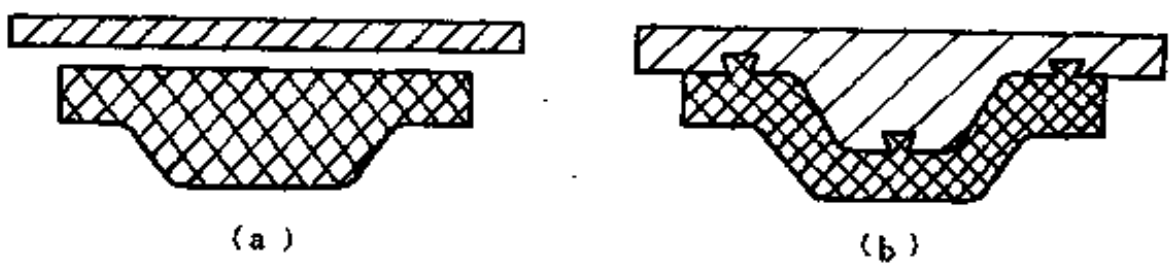


图 1-4-12　软模不同结构型式

(a) 实芯软模；(b) 嵌接型软模

b．尺寸　一般情况下，软模是由下模和压环压制出来的，因此软模的结构尺寸实际上是由下模和压环所决定，但在进行压环设计时，对其软模相关联的尺寸，必须根据软模的要求来确定。

软模外径　一般要求比薄膜产品外径大3～8mm，以让出产品裁剪线，保证薄膜边缘裁剪后整齐完好，还可以弥补设计收缩率的误差，避免产品实际尺寸小于安装尺寸的弊病。

表 1-4-4　软模边部厚度与薄膜外径关系

薄膜外径，mm	软模厚度，mm
50～100	6～8
100～200	8～12
150～200	12～15
200以上	15～20

软模边部厚度　一般根据薄膜产品外径确定。过厚，耗胶量大，过薄，易早期损坏，设计时可参考表1-4-4数据。

c．材质　制造软模的胶料应具有低压缩变形和耐热老化的特点，邵尔硬度以75～80为宜。至于胶种选择应避免与薄膜用胶重复，否则不易脱模。例如丁腈橡胶薄膜硫化时，软模

胶种可取氯丁橡胶、乙丙橡胶或硅橡胶。

（3）压环　薄膜，尤其是深度较大的薄膜，在硫化时为利于胶布半成品沿下模舒展不起折绉，必须采用压环或弹性圈等绷布装置。最常用的压环型式见图1-4-13。

压环内径D取决于薄膜外径，但要求比薄膜外径的设计尺寸大3～8mm，压环高度H_2应根据软模边部厚度确定。H_1一般取5～10mm，导向角α一般取3～5°，夹布间隙S与胶布半成品厚度及薄膜深度有关，一般取胶布厚度的1.2～1.5倍，间隙过大，压环失去撑布作用，易产生软模偏心、薄膜打折以及薄膜边缘压破等质量问题。间隙过小，压环装卸困难且胶布过度伸张，影响产品性能。对于大型的或深度较大的薄膜产品，采用压环操作不便，可采用弹性圈箍紧，见图1-4-14，弹性圈选用金属弹性圈或橡胶圈均可。

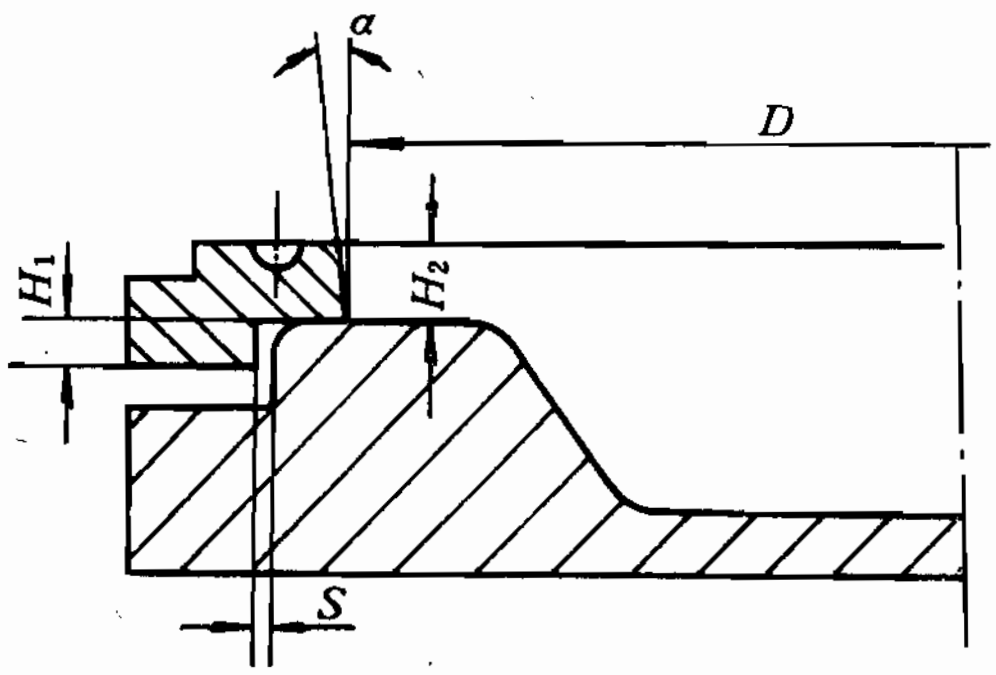


图 1-4-13　压环结构及其与下模的装配

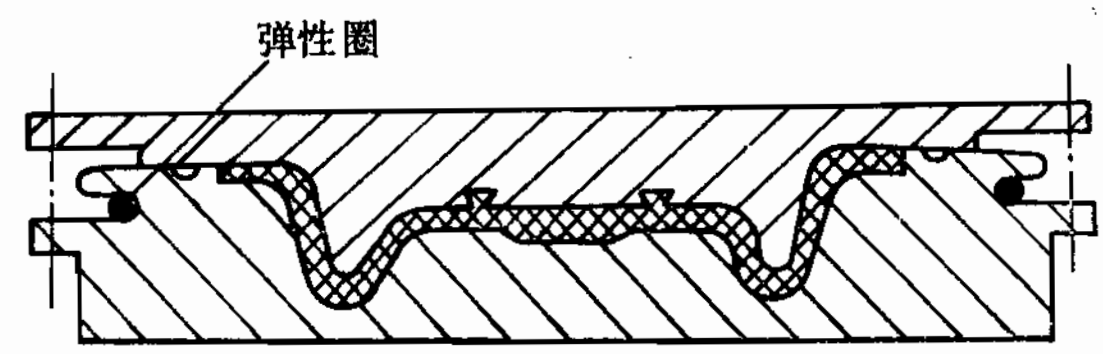


图 1-4-14　采用弹性圈的模具图

薄膜软模硫化的模具设计，除了上述软模、下模和压环等几个主要部件以外，有时还涉及到几个部件装配成一体，并实现彼此间的配合、定位以及整个模具中起辅助作用的结构零件，如定位销、导柱、手柄和各种连接螺钉的设计。鉴于该部分设计要点与一般橡胶模具设计相同或相似，不再赘述。

4．硫化条件

硫化过程在平板硫化机上进行。硫化温度主要取决于橡胶特点和织物性质，同时还要考虑生产效率和设备所能达到的实际温度，目前一般采用150～170℃。

“薄”是橡胶薄膜的特征，硫化时不存在传热快慢的问题，故硫化时间较短，一般为5～15min。

硫化压力直接影响胶料的致密程度，但对于橡胶薄膜这样一种夹布制品，压力过高不利于胶料对织物的渗透。此外还易损坏软模，压坏产品，故压力范围一般为1.5～2.0MPa。

六、成品检验

橡胶薄膜压制、修整完毕，应通过成品检验以考核其是否符合使用要求。目前主要从外观尺寸和机台模拟试验进行检验。

对薄膜的外观质量要求主要是：表面平整光洁，不应有破损、杂质、气泡、折绉、喷霜、透光、脱层、发粘以及露骨架等缺陷。薄膜的几何尺寸应符合设计要求，厚薄均匀，各部位厚度差一般不大于薄膜本身厚度的10%。

机台模拟试验主要是模拟使用条件，对薄膜的某些使用性能如耐压强度、压力损失、密封性、灵敏性、变差、非线性偏差以及疲劳寿命等进行检验。

此外，根据薄膜的使用条件和技术要求，还可截取产品的一部分，进行拉伸强度、伸长率、撕裂强度等一般物理机械性试验以及透气、透水、耐热、耐寒、屈挠和油扩散试验。

第五节　单 螺 杆 泵

一、概　　述

单螺杆泵是一种内啮合的密闭式螺杆泵，属回转式容积泵。它是靠作旋转运动的螺杆把液体推出去的办法来输送液体的。当螺杆旋转时，相互啮合的螺旋把被输送液体关闭在啮合封闭空间内，使液体由吸入口沿着螺旋轴向均匀无搅拌地推到排出口去，其作用可以看成连续不断的活塞在汽缸内从进口向出口移去液体，或者看成为螺杆与螺帽的相对运动。

螺杆泵是在泵类产品中出现较晚的一种。但一经使用，就发现这种泵在许多场合却有其它类型泵所不可比拟的优点。在同样的工作参数下，螺杆泵与其它泵比较，它的主要特点是：输送液体时扰动小、流量匀、压力稳、效率高、吸入性能好，宜于输送粘稠的非牛顿液体，还可以用改变泵的转速来调节流量。而且结构简单、体小轻便、工作可靠。

目前，单螺杆泵已在各工业部门逐渐得到应用，较多的是代替离心泵、齿轮泵或往复泵作输送泵用。如可以用在以下几方面。

① 污物处理：污水、污油、含有固状物的污泥。

② 化学工业：酸、碱、盐液，各种粘滞糊状、乳状化学浆液。

③ 石油工业：采油、输油。

④ 勘探采矿：各种钻探泥浆、各种成分的采矿用水、浮选浆状物和悬浮液。

⑤ 造船业：船底污水、污油、各种燃油、淡水。

⑥ 陶瓷工业：瓷土、耐火粘土、釉料。

⑦ 能源工业：各种燃油、油煤浆、水煤浆、煤泥及核废料。

⑧ 造纸工业：各种纤维素及纸浆、涂料、黑液处理等。

⑨ 医药、食品、化妆工业：各种糖浆、果酱、淀粉糊、膏剂、薯泥、酒糟等。

近几十年来，单螺杆泵的发展较快、美、英、德和前苏联等国都有专业公司或工厂进行研究和生产。我国也有一些工厂生产单螺杆泵。

二、结 构 原 理

单螺杆泵又称摩伊诺泵（Moyno），结构如图1-5-1所示。由转子-定子副、万向传动、吸水室、出水室、输入轴和承座组成。单螺杆泵仅有两个输液元件：定子和转子。转子为圆形截面的偏心螺杆，定子有双头内螺纹，定子的导程为转子螺距的2倍。图1-5-2为定子的主截面图。

单螺杆泵的液压输送原理：一根单头螺旋的金属杆-转子，在固定的壳体-定子的双头螺旋孔腔内，啮合而成若干闭腔容积，当转子绕定子轴行星回转时，吸入腔的容积逐渐扩大，造成负压，从而吸入液体，转子继续旋转，这些闭腔容积内的液体，作螺旋推进，藉此完成液压输送的任务。转子是金属件，定子是由弹性材料制成的，两者组成的密封，很容易在入口管路中获得高的真空度，使泵具有自吸能力。这种由弹性元件和非弹性元件的材料组合，在输送含磨料的介质时，更显示其优越性。实践证明，对于此种组合，输液元件的磨损比纯金属组合要小。

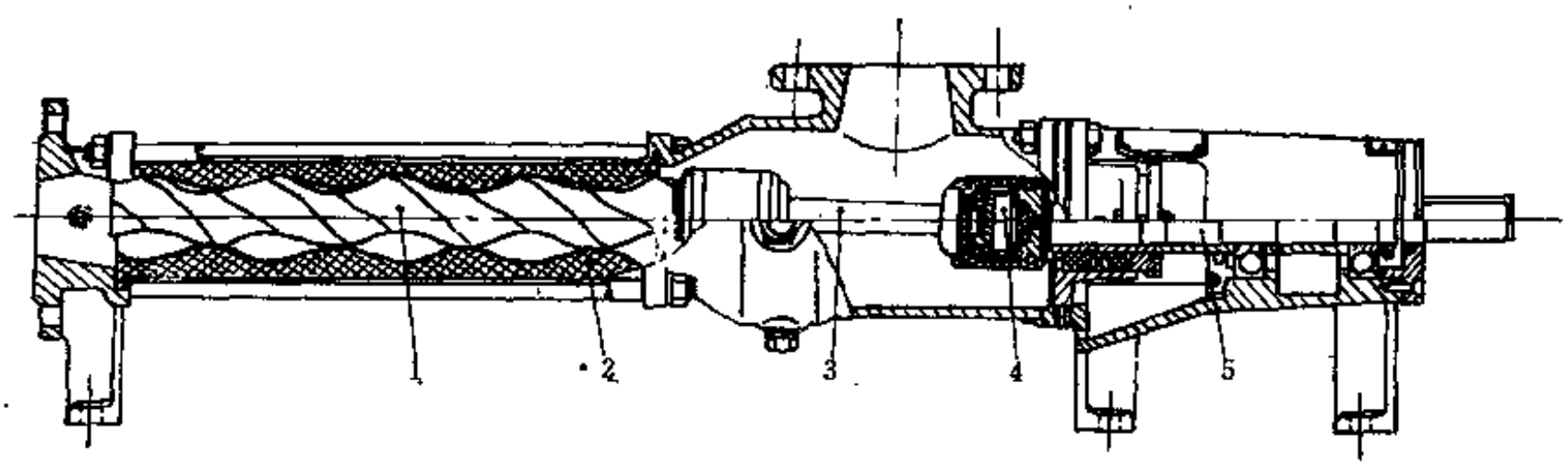


图 1-5-1　单螺杆泵

1—转子；2—定子；3—万向节；4—销轴；5—输入轴

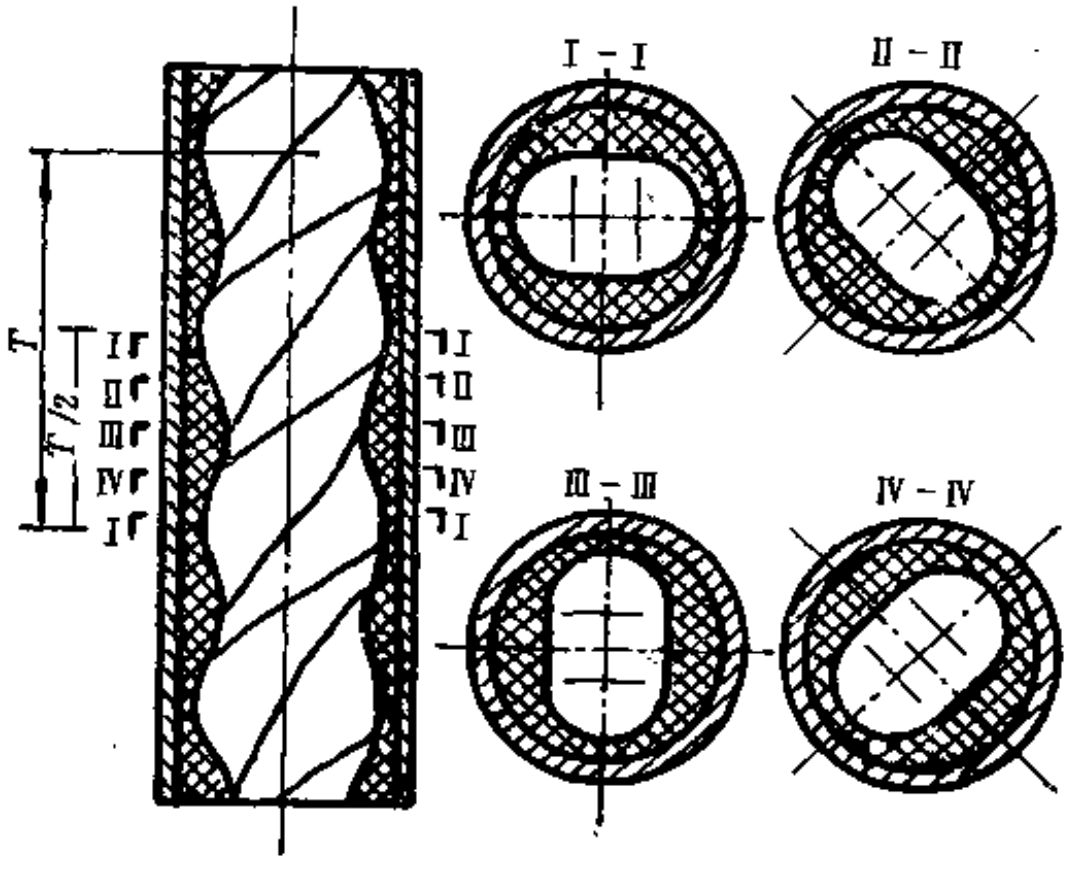


图 1-5-2　定子主截面图

单螺杆泵实际上是台多级泵，它的每个闭腔容积相当于一级泵。在闭腔容积内的液体压力，则随着液体从吸入腔向压出腔方向推移而逐级提高，每级压差为ΔP。转子与定子啮合时，每二个螺距构成一个闭腔容积。所以，单螺杆泵的转子-定子副的最小啮合长度不能小于二个螺距（即定子螺旋孔的一个导程），否则吸入腔与压出腔相通而不能工作。

单螺杆泵的流量由下式计算：

$$Q = 4.8 \times 10^{-7} \eta_0 neRT \quad m^3/h$$

式中　Q——流量，m^3/h；

n——输入轴的转速，r/min；

e——转子的偏心，mm；

R——转子横截面圆的半径，mm；

T——定子螺旋孔的导程，mm；

η_0——泵的容积效率，一般在0.7～0.95之间。

由上式可知，当泵的输入轴为恒转速回转时，流量也是均匀的，所以泵压波动小，从而使

单螺杆泵可以在每分钟几十转到数千转范围内稳定运行。泵的特性曲线高效区广阔，泵的流量、压力可调幅度大，并且泵的流量与泵的转速近似正比。

表1-5-1列出单螺杆泵的基本参数。

三、定子内衬材料选择

单螺杆泵的主要组成为转子和定子（又称衬套）。转子一般用金属制造，采用的材料有：不锈钢或表面镀硬铬的普通钢。定子分弹性和刚性两类，弹性定子是在金属壳体内衬弹性材料，如各种橡胶、塑料。刚性定子则多数采用金属制造。

弹性内衬材料的负荷有：转子对它的挤压和高速度的滑动摩擦，滑动速度高达2.5～3m/s，转子绕定子轴线行星回转时产生的离心力对定子内衬的冲击，以及由于摩擦和冲击的机械能转变成热量，使内衬温度升高。所以弹性内衬的材料要求具有良好的耐磨、耐冲击、耐热和耐腐蚀等性能，同时其成型工艺要简便。橡胶是最适宜用作弹性定子的材料。

选择定子弹性内衬材料应考虑以下几个方面。

① 输送介质的技术要求。如耐油、耐酸、耐碱、耐热、耐低温、耐溶剂、无毒等。

② 弹性材料硬度的选择。在液体中含有机械夹杂物时，宜采用硬度较低（邵尔A型硬度50～60）、弹性较大及具有较小变形的橡胶；污秽而含有固体磨削材料的混合液体，硬度（邵尔A）不宜超过65；1.568MPa以上的中压单螺杆泵，如果是长期连续运转的纯洁液体，则硬度（邵尔A）以70～75为宜。

③ 转子与弹性内衬定子一般采用过盈配合。过盈量的大小取决于该泵输送的介质物理性能、泵的转速等。

常用的定子弹性内衬材料按表1-5-2选用。定子内衬材料配方举例见表1-5-3。

如前所述，单螺杆泵结构中的转子、万向节、销轴、输入轴及承座等，均为金属构件。定子中的内衬材料橡胶件的制造工艺如下。

单螺杆泵定子是由金属外壳及内衬弹性材料组成。由于橡胶（弹性材料）在金属壳体的里面，采用一般的模压硫化方法很难保证定子的内在质量，必须采用注压的方法才能达到满意的结果。

橡胶硫化前的注压方法有二种：移模注压及注压机注压。

所谓移模注压法，就是在模具上面装一只可脱卸的注料筒，橡胶胶料从注料筒中流入模具中，当模具两端边的排气孔中有胶料流出时，说明模具内已充满胶料，这时，把注料筒移去，然后进行硫化。移模注压法只适用小规格的单螺杆泵定子。因为移模注压是依靠平板硫化机的压力，由径向把胶料注入模具中去，如遇模芯是细长的，胶料容易把模芯挤变形，这样制得的定子就很难与转子匹配。另外，大规格的定子势必要求加大注料筒的尺寸，这给加工注料筒和操作带来困难，这时，就得采用注压机注压的办法了。

注压机注压对油田及煤矿中使用的单螺杆泵定子的加工尤其适合。因这些地方使用的定子长度较长而定子的直径较小，利用注压机可以从轴向注入胶而不使模芯变形，从面保证了定子的质量。定子的硫化一般采用硫化罐硫化。

在制造单螺杆泵定子时，另一个关键问题是橡胶与金属必须很好密着。定子金属外壳一般采用喷砂办法来清除锈渍等杂质，若是细长的金属外壳，也可采用酸洗的方法获得新鲜的表面。胶粘剂一般采用列科纳胶浆，对于特殊胶种（如乙丙橡胶等）及要求粘合性能好的场合下，则须采用Chemlok（开姆洛克）系列胶粘剂。

表 1-5-1 单螺杆泵的基本参数

转子、定子几何参数代号	每100转理论流量 q L	流量 Q m³/h	流量 Q L/s	排出压力 P MPa	允许最高转速 n r/min	必需汽蚀余量 (NPSH) g m	轴功率 P kW	效率 η %	转子、定子尺寸推值① 转子直径 D mm	转子偏心距 e mm	定子螺孔导程 T mm	吸入法兰通径 mm	排出法兰通径 mm
15-1	1.63	2.45	0.68	0.6	3000	4	0.92	49	17	3	80	32	25
15-2				1.2			1.72	50					
15-3				1.8			2.53						
15-4				2.4			3.42	49					
15-5				3.0			4.20						
15-6				3.6			5.19	48					
20-1	3.11	3.74	1.04	0.6	2400		1.36	51	21	3.7	100	40	32
20-2				1.2			2.53	52					
20-3				1.8			3.73						
20-4				2.4			5.02	51					
20-5				3.0			6.25						
20-6				3.6			7.62	50					
25-1	6.26	6.31	1.75	0.6	2000		2.15	54	26	4.2	128	50	40
25-2				1.2			4.02	55					
25-3				1.8			5.93						
25-4				2.4			7.98	54					
25-5				3.0			9.93						
25-6				3.6			12.09	53					
35-1	13.00	9.87	2.74	0.6	1500		3.13	58	34	6	160	65	50
35-2				1.2			6.87	59					
35-3				1.8			8.65						
35-4				2.4			11.64	58					
35-5				3.0			14.47						
35-6				3.6			17.61	57					
40-1	25.2	15.88	4.41	0.6	1250		4.57	64	42	7.5	200	80	65
40-2				1.2			8.57	65					
40-3				1.8			12.64						
40-4				2.4			16.97	64					
40-5				3.0			21.11						
40-6				3.6			25.64	63					
50-1	50.1	25.23	7.01	0.6	1000	4.5	7	66	52	9.4	250	100	80
50-2				1.2			12.97	68					

续表

转子、定子几何参数代号	每100转理论流量 q L	流量 Q m³/h	流量 Q L/s	排出压力 P MPa	允许最高转速 n r/min	必需汽蚀余量 (NPSH)$_r$ m	轴功率 P kW	效率 η %	转子、定子尺寸推值① 转子直径 D mm	转子偏心距 e mm	定子螺孔导程 T mm	吸入法兰通径 mm	排出法兰通径 mm
50-3	50.1	25.23	7.01	1.8	1000	4.5	19.21	68	52	9.4	250	100	80
50-4				2.4			25.72	67					
50-5				3.0			31.99						
50-6				3.6			38.85	66					
70-1	104.45	42.11	11.7	0.6	800		11.33	68	68	12	320	120	100
70-2				1.2			21.03	70					
70-3				1.8			31.51	69					
70-4				2.4			42.29	68					
85-1	201.6	64.01	17.78	0.6	630		16.73	70	84	15	400	150	120
85-2				1.2			31.08	72					
85-3				1.8			46.54	71					
85-4				2.4			62.44	70					
105-1	400.42	100.9	28.03	0.6	500		26.37	70	104	18.6	512	200	175
105-2				1.2			48.99	72					
105-3				1.8			73.36	71					
105-4				2.4			98.43	70					
135-1	885.58	168.45	46.79	0.6	400	5	43.7	70	136	24	640	225	200
135-2				1.2			81.47	72					
135-3				1.8			122.14	71					
135-4				2.4			160.98	70					
170-1	1612.8	260.11	72.75	0.6	320		67.94	70	108	30	800	300	250
170-2				1.2			122.67	72					

①表中所列的转子偏心距和定子螺孔导程系按$e\approx0.18D$，$T\approx4.8D$计算。

表 1-5-2 定子内衬材料的选用

输送介质或工作条件	内衬材料	备注
清水、污水、泥浆、有机涂料、水泥浆、酒精等	天然橡胶	不耐油
水稀的介质、废水、氨水、液体肥料、有限的有机酸等	丁苯橡胶	不耐油
矿物油、脂肪烃油、弱酸、弱碱等	丁腈橡胶	
高耐磨、高强度、耐油等	聚氨酯橡胶	不耐水
医药、食品、化妆品等	丁苯橡胶、丁腈橡胶等	不含对人体有害的配合剂
酸、碱、油、化纤浆液等	氯磺化聚乙烯	
酸、碱及蒸汽等	乙丙橡胶	不耐油
苯、烷烃及油等	氟橡胶	

表 1-5-3 定子内衬材料配方举例

组分 \ 用途	油田用	油煤浆	食品用	丙烯腈浆液
丁腈橡胶	100	100	100	—
氯磺化聚乙烯	—	—	—	100
氧化锌	5	7.5	3	—
硬脂酸	1	1	1	—
硫　黄	1.5	2	—	1
DCP	—	—	1.5	—
促进剂DM	1.25	1.5	—	—
促进剂D	0.25	0.25	—	—
促进剂TMTD	—	—	—	2
防老剂D	2	2	—	—
防老剂NBC	—	—	—	2
沉淀白炭黑	—	—	50	—
一氧化铅	—	—	—	20
半补强炉黑	80	100	—	60
邻苯二甲酸二丁酯	25	30	5	5

第六节　船舶尾轴密封

一、概　　述

（一）尾轴密封在船舶上的功用及地位

船舶航行的动力是靠装在船体内部的发动机，通过轴系驱动位于船后浸于水中的螺旋桨回转而产生的。由于轴系必须伸出船舶位于水线以下后部的船壳，才可能进入水中去带动螺旋桨，为了避免船外水通过轴系与船壳的连接处渗入船内，也为了不致使尾管内用来润滑尾轴轴颈与尾轴承的润滑油不致漏入水中，为此必须设置尾轴管装置。

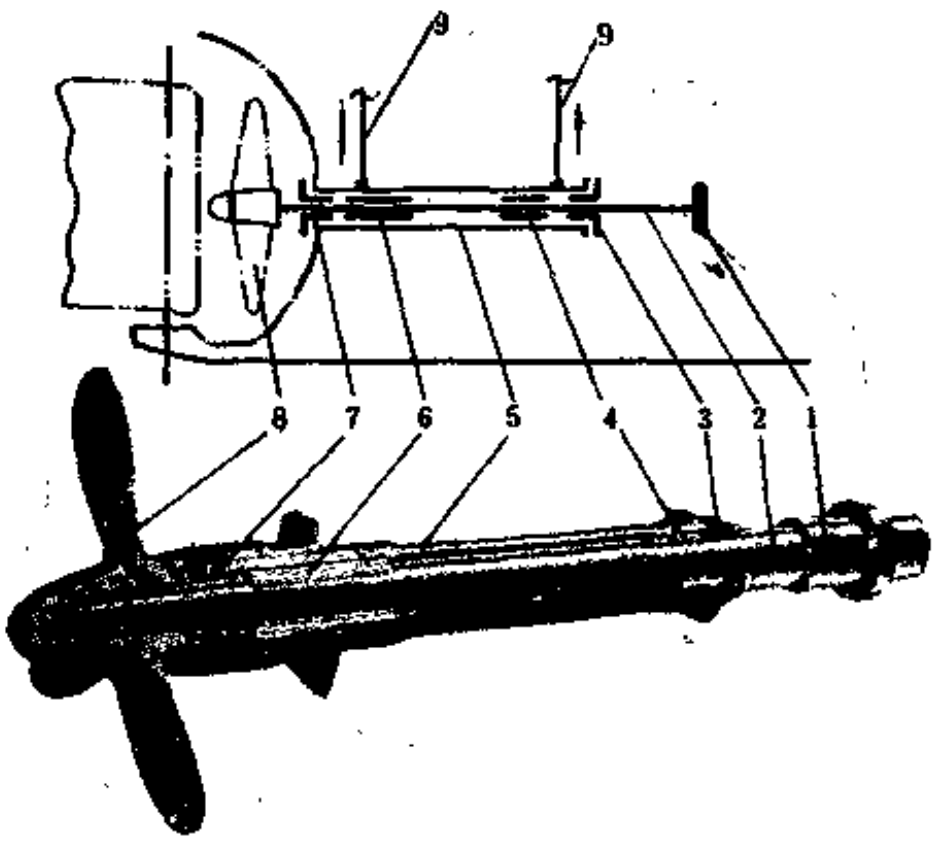


图 1-6-1　船舶螺旋桨尾轴管装置

1—联轴器；2—螺旋桨轴；3—首部密封；4—前尾轴承；5—尾管；6—后尾轴承；7—尾部密封；8—螺旋桨；9—润滑油管

图1-6-1所示即为一种尾轴管装置示意图。图中件2为带有螺旋桨8的螺旋桨轴，4与6是用来支承件2的重量及其回转能量的支承件。件5为尾管，它被固定在船体上，除用来贮存供尾轴承及其密封3与7作润滑用的润滑油外，往往还用其作支承尾轴承的支承件。尾管5则安装于船体上，尾轴工作时的动载荷是通过尾轴承及尾管最后传送给船体，并由船体来承受的。件3与件7即为尾轴密封，它主要用来防止船外水进入舱内及阻止尾管中的润滑油漏入船外

的水中。

船舶尾轴密封装置由其密封元件（摩擦偶件）及其夹持定位部件所组成，它是船舶动力装置的一个十分重要的部件，由于它的后密封安装于水线下的船外，经常处在与舷外相接触的条件下工作，一旦发生故障，拆装极为困难，问题严重时还将迫使船舶停航，进坞或起坡才可能对它进行修换，这将影响到船舶的正常营运与生产，使航运企业经济上蒙受重大损失。因为尾轴密封发生严重故障时，将使尾管中的滑油大量漏出，不仅造成浪费，而且对水域发生污染，国际海洋防污公约已于1983年10月2日起生效，对因尾轴漏油使水域污染的处罚很严厉。而且尾轴密封一旦失效时，还会导致船外水侵入船内，影响航行安全，为此，国内外有关部门（造船、航运及橡胶等行业）自60年代以来对船舶的尾轴密封技术均十分重视。

（二）尾轴密封的工作条件及要求

1．尾轴密封的工作条件

船舶的尾轴密封一般均采用回转密封，其密封偶件是由密封件及转轴（或轴套）组成的。由于它长期浸泡在水中受到海水的腐蚀或在其工作时受到江、河水中的泥砂磨损，加之修换不便，故其工作条件在一定程度上比陆用密封更为恶劣。在其工作时，密封偶件的接触处将受到剧烈的磨损及摩擦高温的作用。由于在不同轴径的螺旋桨轴与尾轴承之间分别存在着0.45～1.2mm的安装间隙，使用一段时间后，其间隙还会逐步扩大，最后达2～5.6mm的极限间隙，故密封偶件在工作时受到强烈的径向跳动，特别是在尾轴承磨耗较大使螺旋轴下沉时，这种跳动幅度更大；在轴向方面，由于推力轴承与推力环之间具有0.1～0.9mm的轴向安装间隙和1.2～1.6mm的极限间隙，故在正、倒车或因温度变化时，密封件还将受到轴的前后串动的作用；对吃水较深的远洋船舶（吃水可达十余米），还受到海水与滑油静压和两者压力差的作用。此外，密封件在其工作时还承受螺旋桨运行时不均匀悬臂载荷及船舶振动的影响。

由于尾轴密封工作条件恶劣，为了减少滑油的漏损及其对海域的污染，确保其工作的可靠性，能延长船舶进坞的间隔期，提高其营运率，故对尾轴密封的材质、结构设计及其润滑、冷却与调试、安装等均须有严格要求。

2．对尾轴密封的要求

（1）工作可靠，结构合理，材质的耐磨性及耐温性要好；要有较长的使用寿命，对中、大型船舶尾轴密封件的使用寿命要能确保2～4年。

（2）所消耗的摩擦功要小，以减少船舶的动力消耗。故对所采用的橡胶制品密封件，以选用唇口式回转密封为宜。

（3）摩擦副接触处的温度要低，散热也要好。

（4）由于船用尾轴密封件的径向跳动及前后串动较大，故对密封偶件要求有良好的跟踪性，以便尾轴在较大偏心转动及轴向串动时仍有较好的密封性。

（5）对于橡胶密封件，要求其结构合理，避免有急剧的转折或突变，以免产生疲劳或应力集中。

（6）对于橡胶密封件，所选用的各项技术参数要合理，例如对橡胶密封件的过盈量和弹簧箍紧力（径向力）等，由于船用尾轴密封件的尺寸一般较大，故上述数据也相对略大。径向力一般可在0.1～0.15N/mm的范围内选取。

（7）橡胶密封件的唇口要妥善，不能使其唇口出现偏置、偏斜和唇口受力不匀情况；产品装船前应经过调试与试验，其平均泄漏量应控制在20～60ml/h以内。

（8）密封偶件的润滑与冷却要好，使其工作时的温度不致过高。

（三）尾轴密封的类型

尾轴密封装置根据其布置的位置可分为首部密封装置及尾部密封装置两种。对于用油润滑的尾轴管装置，其首部密封装置的任务主要是封油，使其不致漏入船内；而尾部密封装置则担负着封水和封油的双重任务。对于水润滑的尾轴管装置则只设首部密封装置，它仅担负着不使船外水漏入船内的任务。

（四）尾轴密封的基本方法

主要是将填料充填于转轴与其支承的相关固定件的缝隙之中。方法之一是在流体流出（进）的轴向实现阻油（水）和防漏的目的；另一种密封方式是：通过密封偶件的静、动二零件端面的紧密接触，从径向进行阻油（水）。后者也常称其为端面密封。

二、首部密封装置

（一）骨架式橡胶油封

图1-6-2所示是目前我国中、小型船舶上广泛应用的一种首部密封装置。其密封填料一般采用骨架式橡胶油封3，它被置于密封圈座1中，剖分式压盖2及定位螺栓将其夹紧定位，依靠其唇部与转轴间的接触进行阻油。为延长其使用寿命，当工作的油封磨损或变形失效后，可拆开压盖2，并将工作油封3剪断去掉，换上备用油封6，然后再装上压盖2；当耐磨衬套表面受油封摩擦起槽过深时，可松开夹紧环5，沿轴向移动耐磨衬套位置，使其表面完好处与油封相接触，这样可延长其使用寿命。这种密封装置我国已有标准化图纸，可供设计选型参考。

（二）填料函型水密封装置

图1-6-3为填料函型水密封装置（只表示其上半部分），填料4装在尾管3中，借填料压盖6及压盖衬套5的压紧力使其与转轴紧密接触，以达到封水的目的。这种装置一般均设有进水管，以便引入具有压力的冷却水，对尾轴承进行润滑、冷却或冲走其中的泥砂。配水环2的作用是保证引入的水流能均匀地沿着整个尾管的圆周进行分配，并防止短路及涡流的形成。填料4常用渗油脂的麻索或石棉制品制成，上述材质制成的填料，由于受压盖6压紧时对轴工作（运转）时的摩擦阻力过大，近年来有的中、小型船舶已改用腰部具有较大挠度唇式橡胶密封制品所代替。填料密封在船舶航行时压盖不能上得过紧，以免加剧轴或轴套的磨损，可适当地让舷外水通过填料沿压盖渗漏进来一点（每分钟约数滴），这对轴套的冷却和减少其磨耗都将有好处。为了避免海水的腐蚀，填料函的压盖5、管接头和配水环2常用青铜或黄铜制成。我国的一些水润滑尾管装置多采用这种首密封装置。

这种密封装置虽有结构简单、工作可靠、修换方便等优点，但其主要缺点是消耗摩擦功较大，且易使螺旋桨轴或轴套磨损，故它渐为一些结构优良的密封装置所取代。

（三）EVK型水润滑首部密封装置

它是日本油封公司为改进老式填料函型密封面研制成功的一种新结构，从原理上说它是一种端面接触式密封，图1-6-4为这种密封装置的简图。图中示出的工作环11、备用环13均由橡胶制成，分别由弹簧12紧固于螺旋轴10上，工作时并随之一同转动。件11的端面（即与轴线相垂直的侧平面）与静环8的平面相接，件8是固定在静止不动的密封支座4上的，靠静、动二环端面的紧密接触进行密封封水。为了减少磨损和避免密封偶件运转时发热而导致橡胶老化，在橡胶密封环11的端面上开有环槽，以便由冷却水管9供入压力水对件11及件8

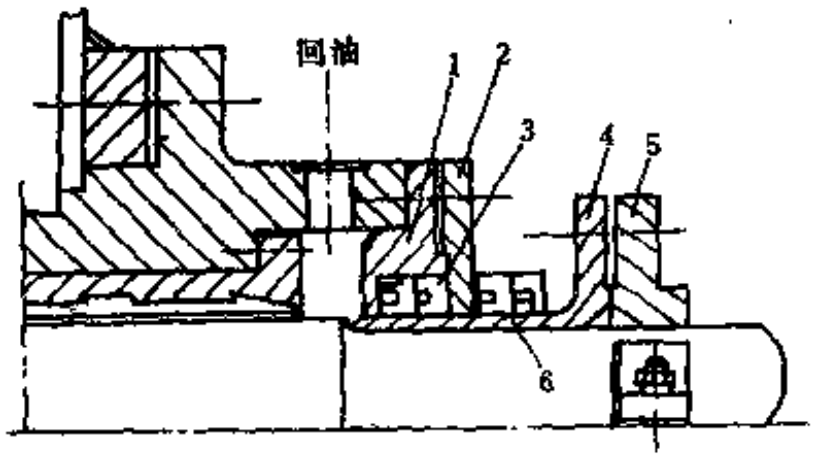


图 1-6-2 首部骨架式橡胶油封

1—密封圈座（铸铁），2—剖分式压盖；3—骨架式橡胶油封；4—防磨衬套（表面一般应镀铬）；5—夹紧环；6—备用油封

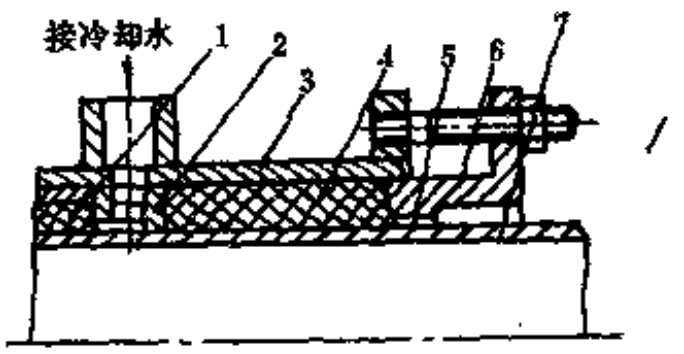


图 1-6-3 填料函型水密封装置

1—橡皮轴承；2—配水环；3—尾管；4—填料；5—压盖衬套；6—压盖；7—轴套

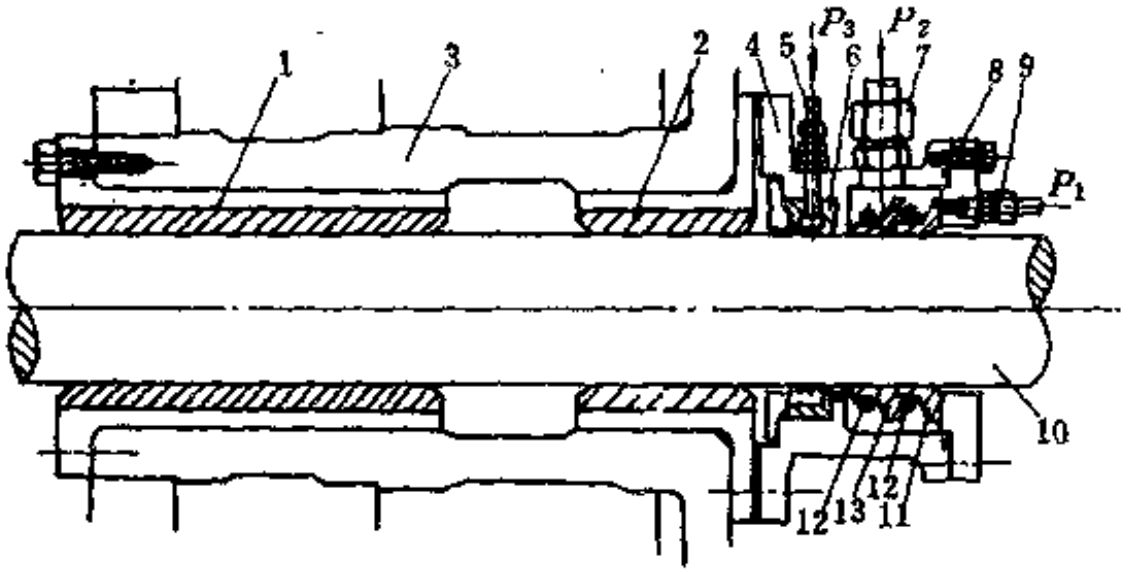


图 1-6-4 EVK型水润滑尾轴首部密封装置

1、2—橡胶尾轴承；3—尾管；4—密封支座；5—充气接头；6—橡胶制品制成的气胎；7—供水接头；8—静环；9—注水接头；10—螺旋桨轴；11—工作密封环；12—弹簧；13—备用环

的接触面进行润滑和冷却；件 8 的端面被磨损后，尚可在船舶航行中拆下修理，这时可将气胎 6 进行充气，使其内孔的环带面将转轴抱住，以阻止舷外水的侵入。从管接头 7 引入的压力水，是用来对橡胶轴承 1 与 2 进行冷却及冲走泥砂与杂物的。

静、动二环封水接触面的比压要适当，并应保证有水膜存在，一般可采用0.49MPa。图中P_1和P_2的注水压力及其注水量为：

当$P_2 \approx (0.5 \sim 1.5) \times 10^5$Pa时，$P_1 = P_2 + (0.2 \sim 0.8) \times 10^6$Pa

当$P_2 \leqslant 0.5 \times 10^5$Pa时，$P_1 = P_2 + (0.1 \sim 0.2) \times 10^6$Pa

注水量：P_1处3～4L/min

P_2处4～5m³/h

气胎空气压力：$P_3 \approx 0.29 \sim 0.39$MPa。

（四）辛波莱克司（Simplex）首部密封

这种密封是德国HDW公司研制成功的（见图1-6-5），主要特点是：橡胶唇式油封的腰部做得较长，使其弹性与跟随性较好，加之唇口的接触宽度小（约0～0.35mm），唇部及弹簧的径向力选用合适，而且在其后面有中间托环 4 和密封前盖 6 的护托支承，以防其受压翻边或过度变形，故其密封效果良好，使用寿命也较长，目前它已在国内外中、大型船舶上获

得广泛应用。这种装置的密封圈 2 与 5 的防漏和阻油原理与前面提到的骨架油封相同，图中的注油螺孔 3 可由油管充入润滑油。在此油腔的底部往往还开设了一个放油螺孔，必要时可使腔室的滑油进行自然循环或定期强制循环对其进行冷却，以保证密封偶件具有良好的工作状态。耐磨衬套 7 借助螺栓固定于前面的夹紧环上，夹紧环是剖分式的，它可沿轴向移动，以供件 7 与油封唇口接触部位磨损时能够沿轴向移动，使摩擦偶件在其接触处的表面能有良好的工作状态。

三、尾部密封装置

用油润滑尾轴承的尾管装置，其尾端尚须设有尾部密封装置，它置于船体之外的水下，工作环境与条件恶劣，船舶在航行时无法对其检查。尾部密封装置一旦发生泄漏，无法对其滑油回收，将造成浪费和对水域的污染。因此对尾部密封装置的要求比首部更为严格。设计、制造和安装都须充分注意。常用的尾部密封装置的种类很多，这里主要结合橡胶制品在其中的应用介绍几种。

（一）油圈式

图1-6-6是其结构示意图。它是较古老的一种密封装置，由三道油圈 9 和 三 道油令板 8 所组成。件 6 、件 7 、件 8 以及垫板10用螺栓固紧在尾管后轴承11或尾管上，油圈 9 则紧套在防磨衬套 2 上，使其与轴同转，因油圈 9 和油令板 8 之间的轴向与径向间隙均很小，且滑油在流经装置时是迷宫或 Z 形前进，使油流的阻力增加，越向后润滑油的压力渐次减弱，从而限制和减少了油的泄漏。油圈的侧表面开有油槽润滑其接触面，以防止油圈与油令板的磨损。在压板 7 内装有橡皮 3 和油毛毡 4 ，其向左伸出部分紧贴在防腐衬套的外圆上，以防海水的漏入。

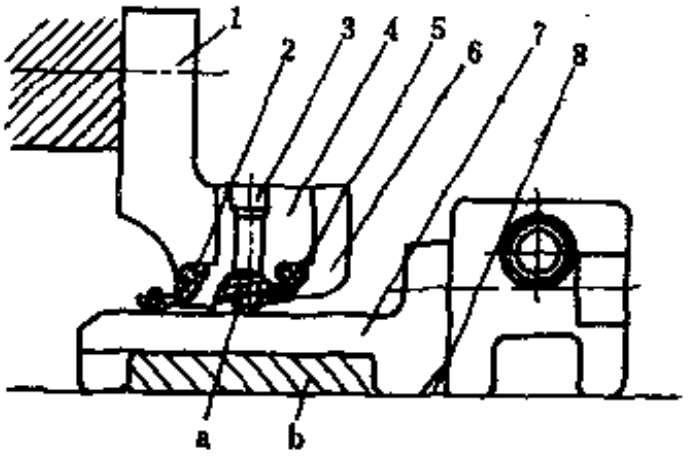


图 1-5-5　辛泼莱克司首部密封

1—前壳体；2—密封圈；3—注油螺孔；4—中间托环；5—密封圈；6—密封前盖；7—防磨衬套；8—O形密封圈；
a—密封油腔；b—冷却油腔

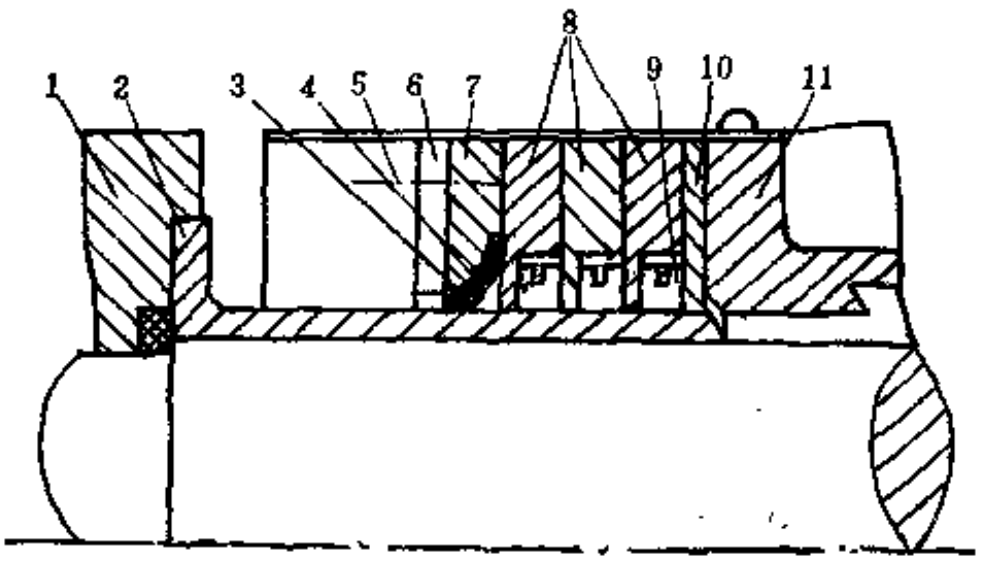


图 1-6-6　油圈式尾部密封装置

1—螺旋桨；2—防磨（腐）衬套；3—橡皮；4—油毛毡；5—螺钉；6、7—压板；8—油令板；9—油圈；10—垫板；11—尾管后轴承

油圈式密封装置设计时应注意以下几点。

（1）油令板与油圈的结构尺寸，通常是用类比法决定的。

（2）油圈的内孔与轴套的外圆面之间无相对转动是良好密封效果的重要因素之一，一般是通过二者之间的过渡配合来实现的。

（3）翻边橡皮3所起的阻水作用是不应忽视的，最好选用耐油、耐磨的橡皮，压板的内孔应妨碍橡皮的转弯，一般其内孔与橡皮之间应留有2～4mm的间隙，以免在轴下沉时因间隙不足而使轴（或防腐衬套）的外圆外磨损起槽。油圈式密封装置使用历史较长，它的结构简单，重量轻，有一定的使用寿命，故至今仍有一些船舶仍有使用，但使用时间一长，油圈与油令板之间的侧隙往往因磨损而增加；另外，由于推力轴承与轴上的推力环之间在轴向也予留有一定的间隙（根据不同的轴径其间隙约为0.4～0.9mm），故当使用正倒车时整个轴就会前后移动，这就导致油圈内孔与轴套外圆的松动及磨损，上述两种原因均会使密封性能变差，往往易产生漏水和漏油现象。故近年来渐被其它性能较好的密封（橡胶油封）所取代，或在其油圈内孔的环带中嵌入橡胶O形圈来加以改善和补救。

（二）骨架式

图1-6-7为这种密封装置的结构图，它是属于一种轴向阻油的接触式密封。为了担负封水和阻油的双重任务，故所用的油封道数，比首部油封为多，一般用3～4道。其中，两道向外翻边的件5和件6，主要用来阻水，向内翻边的两道或只用一道油封则主要用来阻油。另在尾端设一道翻边橡皮4用来阻水和挡砂。这种油封目前已被广泛应用于我国的中、小型船舶上，并已制订了轴径为ϕ70～120的JT标准，可供设计建造时选用。为了改善这种密封装置密封偶件的工作性能，在油封6与7之间常加了一道布油环，并在油封的支承壳体上部加油注滑油的螺塞，以便在船舶安装及下水时对密封偶件的接触处进行充油。这种密封的优点是：结构简单，有一定密封效果，油封可通过市购解决，使船厂加工制造工作简化，而且修换方便；缺点是对螺旋桨轴偏心运动或下沉时跟随性与适应性差，故使用寿命不太长。

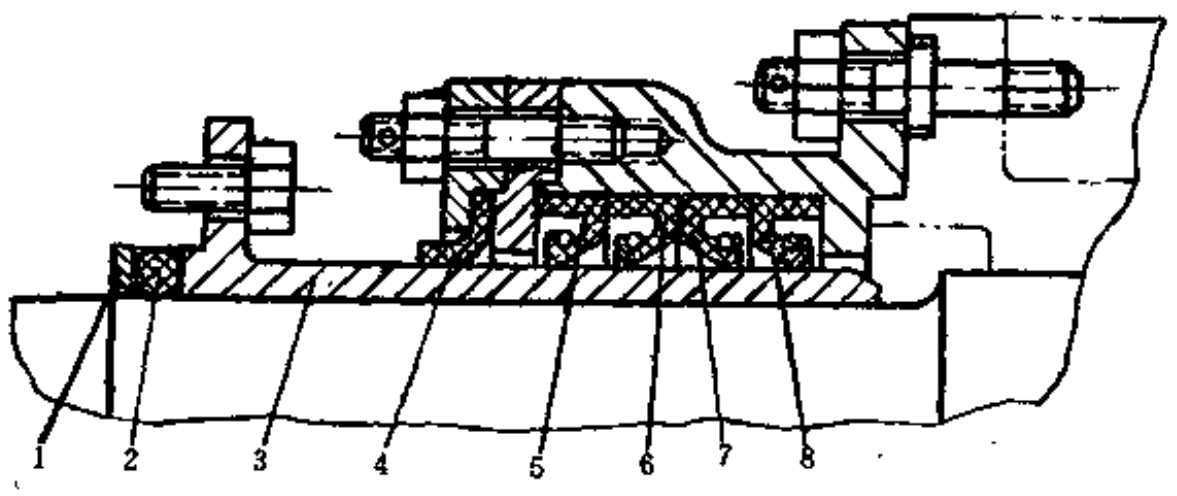


图 1-6-7　装有J型骨架油封的后密封装置

1—垫板；2—O形橡皮圈；3—防腐（防磨）衬套；4—翻边橡皮；5、6、7、8—J型骨架油封

（三）浮动式密封

浮动式密封就是为了克服骨架橡胶油封对轴作径向偏移转动时适应性差，容易早期磨损而设计的，其结构原理见图1-6-8。这种密封其轴向密封由三道橡胶密封圈9及防磨衬套2所组成，油封9其唇口朝前的两道主要用来封油，唇口朝后的一道及翻边橡皮4则主要用来封水，三道油封预先安装在密封圈浮动支座7中，靠前密封盖及螺钉11压紧在浮动轴承8的两侧端面上。端面密封则由嵌在件7及件14中的O形橡胶圈所担任，在安装支座5及12时应使该密封圈有一定的压缩量，以保证件7与件8既具有一定的浮动性能，又有端面密封的能力。件8与件2之间只允许具有较小的间隙（约0.2mm左右），件8是被过盈地嵌在件7中的，所以当尾轴及其轴套2作偏心转动时，件8与件7也会带着油封9一起作浮动，这样就

能补偿骨架油封唇部适应能力及跟随性差的缺陷。在件7与固定件6之间应留有足够的间隙。此间隙应能补偿因尾轴承磨耗使轴下沉的下沉量；定位螺栓10则具有限位的作用，故可使件7与件8既可以沿径向作上、下浮动，并能限制其作周向转动。

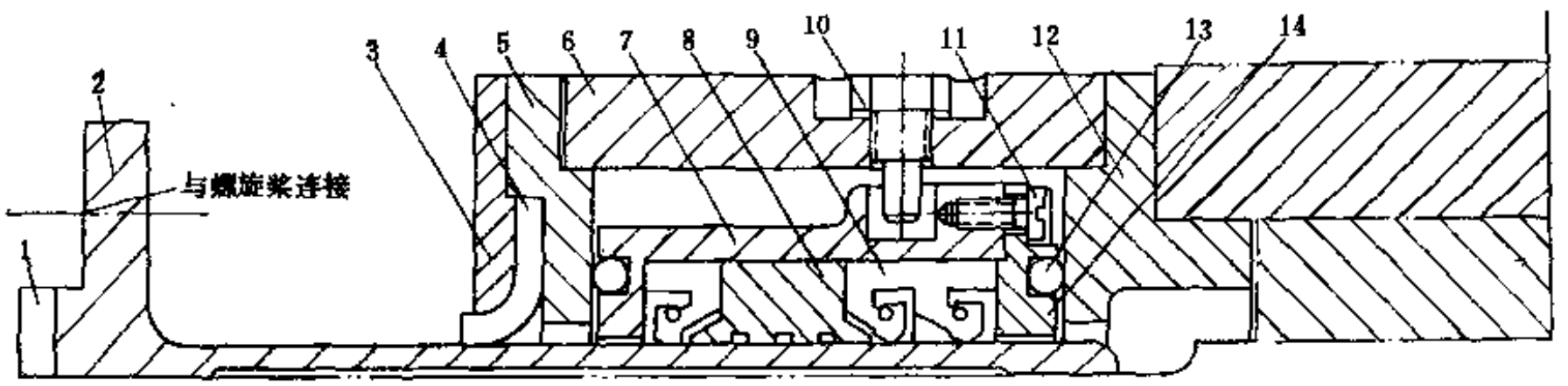


图 1-6-8　带有骨架橡胶密封圈的浮动密封装置

1—橡胶垫圈；2—防磨衬套；3—压盖；4—挡砂翻边橡皮；5—后支座；6—密封外套；7—密封圈浮动支座；8—浮动轴承；9—骨架式橡胶密封圈（HG 4—692—67）；10—定位螺钉；11—固定螺钉；12—前支座；13—O形橡胶密封圈；14—密封盖

这种密封装置虽然结构较复杂，但却有较好的密封性及较长的使用寿命，在我国南方有些地方使用效果较好。

（四）端面密封式

图1-6-9即为端面式密封装置，其中图（a）是曾在中型船舶上采用较多的一种型式，它主要依靠静摩擦盘6和动摩擦盘3两端面的紧密接触来阻止滑油的外漏。件6的周向运动被限制，只允许它作轴向移动，它对件3的压紧力是靠橡皮筒8的压缩弹力来保证的，而压缩弹力的大小靠调整橡皮筒的压缩量来达到。所以在动静摩擦盘的端面磨损以后，不用停航或进厂修理，只要把尾轴与中间轴法兰间垫片抽去几片，使整个尾轴前移，就可增加橡皮筒的压缩量，达到减少或阻止滑油泄漏，翻边橡皮4用来保护动、静摩擦盘，并有防水挡砂的作用。这种尾部密封装置在安装时还可通过泵油试验检验其密封性。如果泵油漏油，应再增加压缩量，直至其不漏油为止。这种密封因结构比较复杂、制造和安装工艺要高，除某些船舶尚在继续使用外，新建船舶应用渐少。图中的（b）为瑞典生产的一种端面密封装置。其主要特点是：利用弹簧对两摩擦接触面（件12和件13）产生的接触压力来达到密封效果；加之这种密封在其摩擦盘与支承座之间装有O形橡胶密封圈衬垫，故能使其摩擦面在接触时有一定弹性及应变能力，避免了图（a）中动摩擦盘不能浮动的缺点，故也称后者为浮动端面密封。据介绍，这种密封受气温及背压的影响较小，且两摩擦面的接触压力可随意进行调节，故其适应性较广：它既适合用于油润滑的尾部密封，也可用于水润滑的首部密封，还可供深海密封应用。（b）图中的件11、12和13还可制成剖分式，故拆装修换也比较方便。近年来英国深海密封（DEEP SEA SEAL）公司生产的端面密封产品颇受用户欢迎。这家公司对小型船舶仍采用整体橡皮筒作弹性零件，对端面密封偶件的接触面进行压紧。中、大型船舶则采用了特制的Q形弹性环对端面密封偶件作预紧和压力自动调整；为了便于密封件的拆修，该密封设有部分对开式或全对开式，端面密封的摩擦副采用了瑞典雷尔柯（RAILKO）轴承塑料与镀镍光磨钢环。雷尔柯增强塑料轴承材料既适于油润滑又适于水润滑的特性，故密封偶件的寿命很长，它有不怕绳网卷入轧环的优点。其密封偶件接触面的比压，初始为0.1～0.11MPa，随吃水深度的增加会自动增大到0.27～0.42MPa，仍可安全使用。Q形预紧弹性

环是由双层或单层以蒙乃尔合金弹性片为骨架，外复橡胶层的特制弹性环。该环的设计不仅解决了摩擦偶件接触面比压的自动调整和自动补偿磨损，而且解决了过去端面型密封在承受尾轴振动及轴向窜动的适应性不如唇口式密封的缺点。该公司产品的正常漏油量每24 h约4 L。

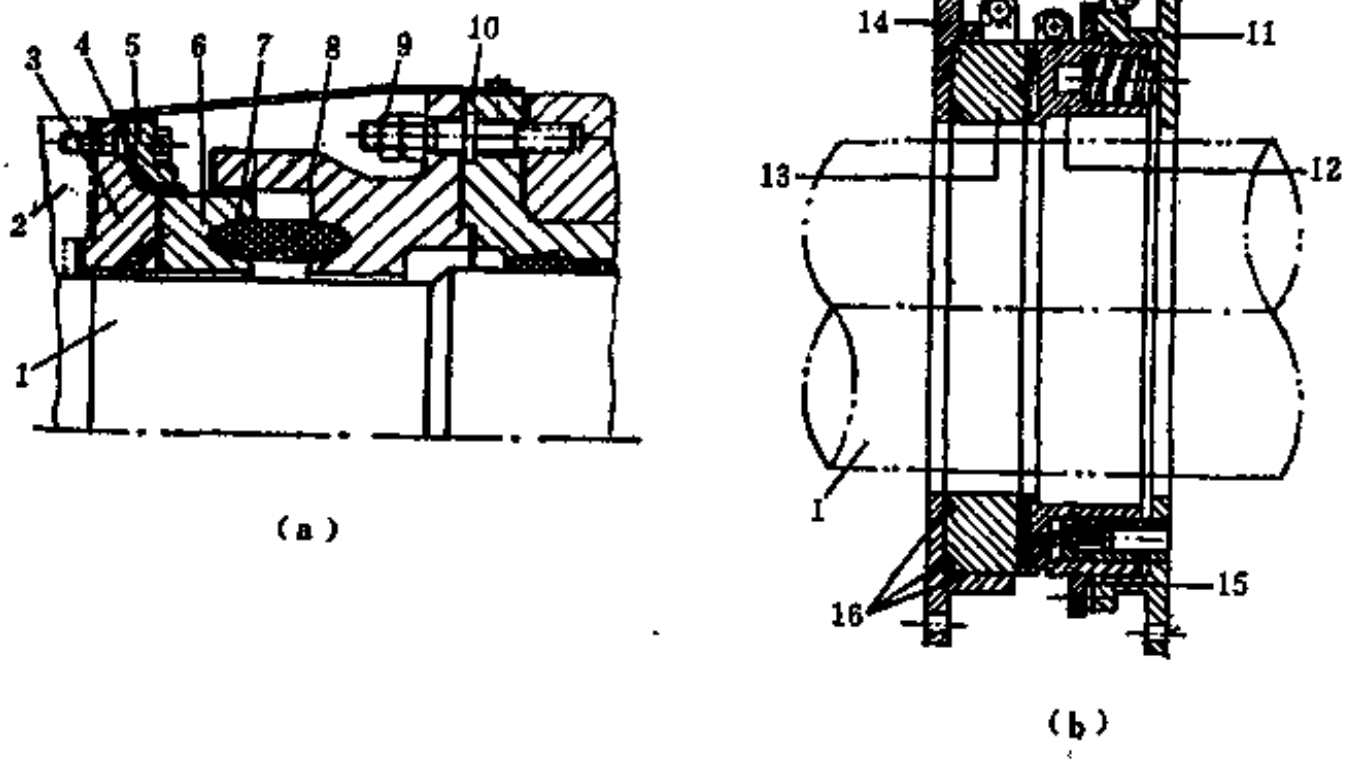


图 1-6-9 端面式密封装置

1—尾轴；2—螺旋桨；3—动摩擦盘；4—橡皮；5—压板；6—静摩擦盘；7—橡皮筒；8—橡皮筒座；9—连接螺栓；10—尾管轴承；11—密封盘壳；12—密封盘；13—浮动摩擦盘；14—摩擦盘壳；15—填料；16—O形橡胶密封圈

（五）辛泼莱克司改进型尾密封

图1-6-10为目前世界上广泛采用的辛泼莱克司改进型（也称紧凑型）尾部密封装置，其密封元件是由三个唇部装有箍紧弹簧的辛泼莱克司橡胶密封圈组成，一道向前翻、两道向后翻，其头部分别被夹持在后壳体7、中间环5、托环3及后压盖2之中。这种固定密封圈的方法，取消了原老式该型密封所用的浮动导环，也不需要在橡胶密封圈的外圈穿螺栓固定，故对橡胶的压缩量易于保证。这种密封装置可以在车间预装及试验。装置中的件2、3、5和7等可以分开单独进行装拆，故修换密封圈较方便，并设有磨损检测器（图中未示出）用来探测尾轴承及密封件的磨损及工作性能，以便及早发现问题制定修理计划。安装时在各密封油腔里应充以滑油（通过螺塞预先向有关腔室灌油或采用单独的密封油柜供油），以免密封圈运转时发生干摩擦现象。为了加强对密封圈唇部的散热，将防磨衬套1做成中空的，以便流入的滑油对其进行冷却。这种密封装置结构紧凑，其密封性及对螺旋桨轴的跟随性均较好，故其滑油的漏损小，使用寿命较长，且拆装管理均较方便。

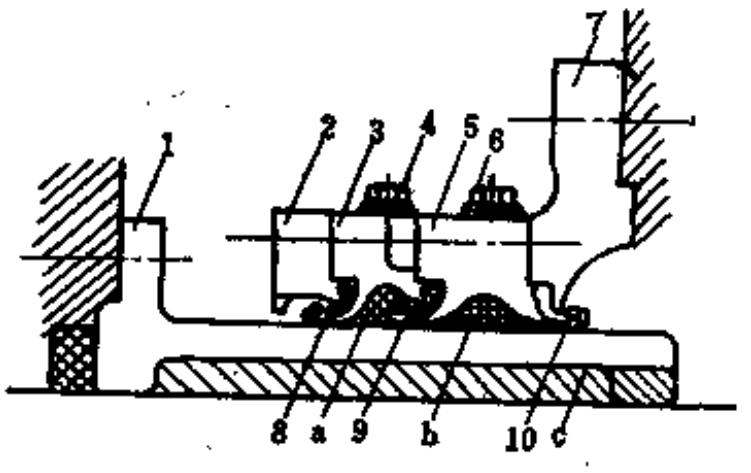


图 1-6-10 辛泼莱克司改进型尾部密封装置

1—防磨衬套；2—后压盖；3—托环；4—螺塞；5—中间托环；6—螺塞；7—后壳体；8、9、10—密封圈；a、b—密封油腔；c—冷却油腔

图1-6-11为某船的辛泼莱克司橡胶密封圈的结构实例。从图中可见，在唇口与转轴或耐磨衬套的接触处有前后刃角α和β角。设计时所选的刃角必须合理，过小将使唇部的接触面积增加，这就会导致增加磨损与发热；过大又会使其平衡稳定性差；一般推荐前刃角$\beta\approx50\sim60°$，后刃角$\alpha\approx20\sim40°$。密封圈的头部Ⅰ常用的有矩形及球鼻形两种（图示为球鼻形结构），不论哪种结构，在其转弯过渡处应用圆弧过渡，以免产生应力集中。腰部一般做得较长，以改善其跟随性。

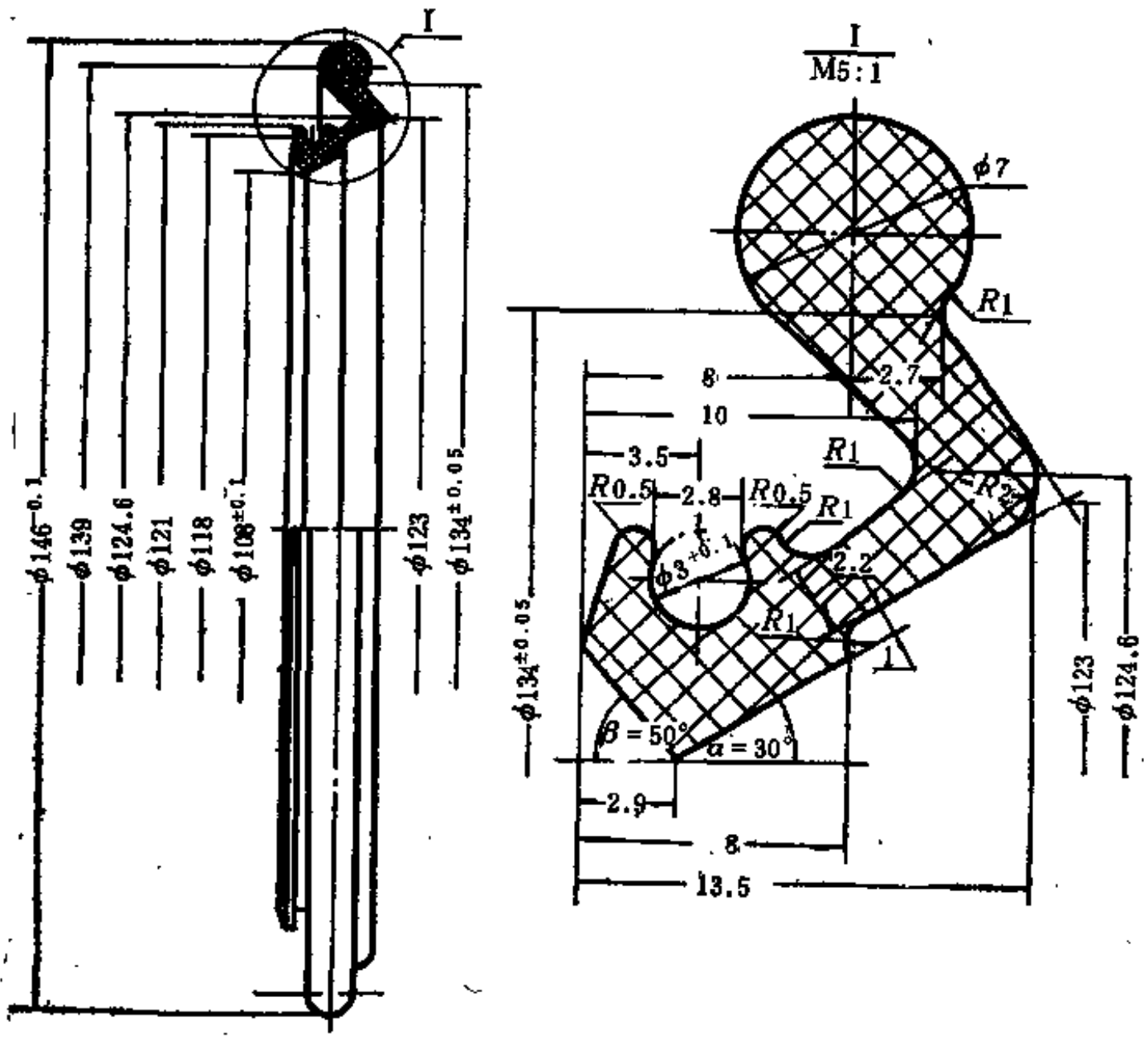


图 1-6-11　辛泼莱克司改进型密封圈实例

为了筛选所设计密封圈的技术参数，优化其结构尺寸，检验其摩擦偶件结构和布置的合理性，对中、大型的船舶尾轴密封圈来说，除对其头部、腰部及弹簧等诸组成部分应进行径向力计算外，一般还应采用有限单元法对密封圈在各种受力及变形状态进行综合分析与计算。有时还应对其密封偶件工作时的温度场进行计算与验证。以便使所研制的密封装置更加完善，计算密封圈的受力时，一般是取密封圈唇口中点的截面按轴对称情况进行简化后来建立有限元计算模型的，所采用的单元划分方案如图1-6-12所示。在单元划分时，对密封圈的头部因其受力较平，其网格就分得粗点，对腰部和冠部则分得细点；面在唇口附近因要计算接触宽度和压力分布等。

下面介绍一下根据密封圈受力、计算所获得对其受力与变形的影响情况。

（1）头部夹紧时对唇部变形的影响　密封圈的头部在安装夹紧时，它会受到挤压，将使其产生一定的变形，并使唇口发生位移，其变形情况（通过理论计算绘出）如图1-6-13所

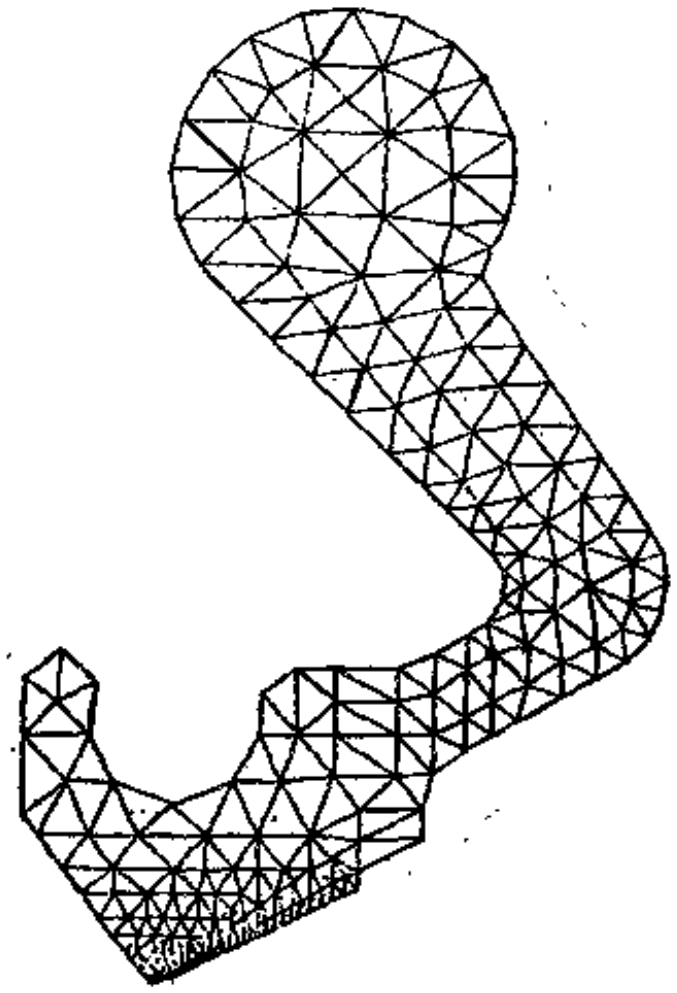


图 1-6-12　密封圈单元的划分方案

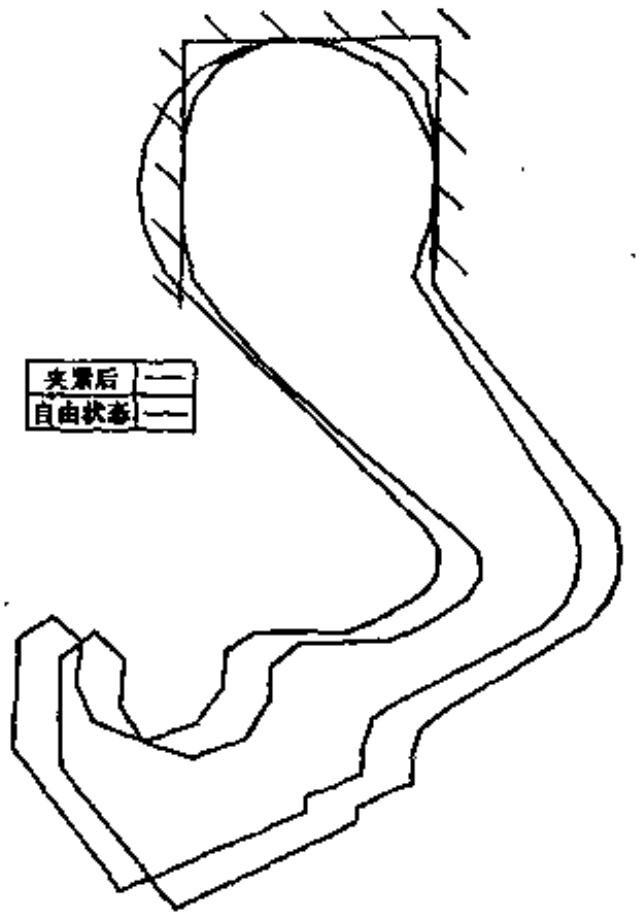


图 1-6-13　密封圈在头部夹紧后的变形

示。在夹紧之后密封圈内径将缩小1%左右，实测在头部夹紧后的唇口内径缩小量与计算结果基本一致，故在设计与选用密封圈时应根据夹紧变形的大小来考虑自由状态的设计过盈量。

（2）密封圈工作时的变形计算　密封圈在受到头部夹紧、过盈和不同液压（在密封圈前、后端受不同液压作用时的压力差）作用下工作时的计算结果所绘制的变形如图1-6-14所示。图中用粗实线、双点划线和虚线分别代表压力差，分别为0、0.02和0.03MPa时密封圈所产生的变形。图中还用细实线绘出了密封圈自由状态的形状，以便进行比较。从图中可看出：密封圈在工作状态与自由状态有很大的不同，它在受到压力差作用之后，产生了较大的变形，特别是腰部的后退距离较大，其前、后刃角也会相应发生变化（α角将会变小），所以计算出密封圈工作状态的变形，对

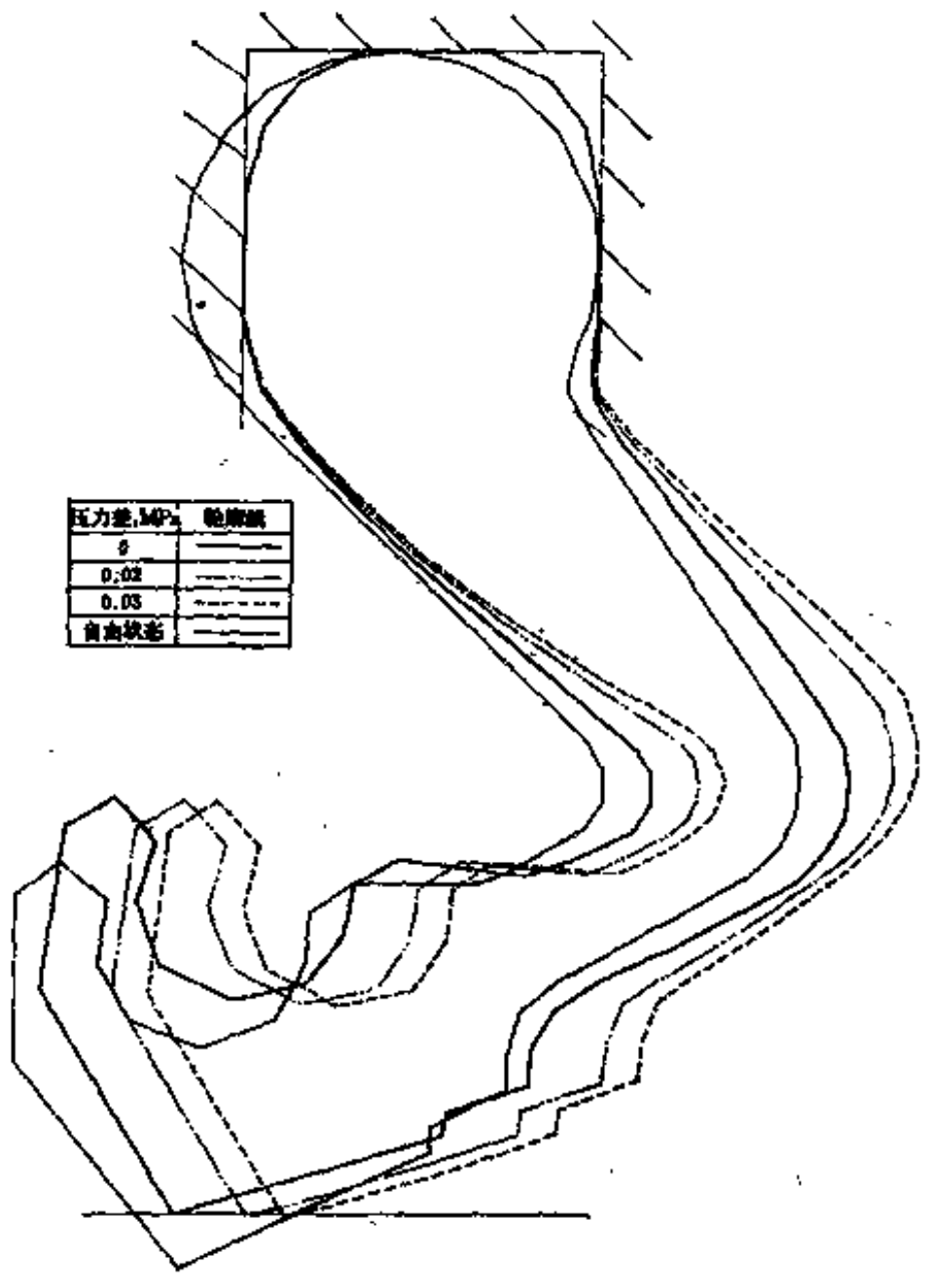


图 1-6-14　密封圈工作状态的变形

分析密封圈的几何形状及其布置情况是否合理，以及决定是否要加护托和设计护托的形状等均是十分必要的。

（3）应力及其分布的计算　通过对密封圈在静、动态工作条件下的应力计算，可以找到密封圈的应力集中区及其变化情况，这对决定和设计密封圈的尺寸及转弯处的过渡半径值均是有价值的。这项计算工作也可以用有限元法来解决。

近几年来由于国际海洋防污染要求日趋严格，对因尾轴密封发生漏油及污染处罚非常严厉，加之大型船舶尾轴密封进坞检修拆装工程量大，需花费大量劳力及修理费，为此各国航运、造船界对此也更为关注，不断在进行技术改进，例如德国HDW公司推出的辛泼莱克司E型及L型（防漏型）；日本舵波公司推出的4SC集油型，基本上均能做到具有不让油漏至水里的功能，这不仅能防污染，而且可延长进坞时间，提高运力和减少修理费。在材质方面，为了改善唇口的耐磨性及其使用寿命，对于轴径大于500mm的大型船舶，由于橡胶制品的散热条件较差，易使橡胶圈唇口产生老化变质，故往往要求采用耐热性较好，但价格较高的氟橡胶代替丁腈橡胶。防磨衬套则采用表面喷涂陶瓷等。

四、密封装置的润滑与冷却

（一）润滑与冷却的必要性

前面提到，国内、外船舶尾轴密封以采用橡胶制品唇式接触的密封较多。橡胶唇口与螺旋桨（或其轴套）接触处的线速度约2～7m/s，在工作时其接触面将产生高温；加之船舶属昼夜连续工作的运行方式，零部件修换又极不方便，为了确保其运行的可靠性及延长其使用寿命，对尾轴密封偶件的接触处施以必要的润滑与冷却是非常重要的，否则密封圈的唇口将会因接触温度太高而产生龟裂或加剧其磨损。

（二）密封装置的润滑方法

给密封偶件的接触表面处供给润滑油，实际上既有润滑功能，又有冷却作用。密封装置润滑的供油方式有以下几种。

1．封闭式润滑

将图1-6-10中的螺塞4、6松开，或自图1-6-5中的螺孔注入滑油，使其液位超过2/3以上，然后再分别装上各螺塞，这样在该图中所示出的油腔Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ就盛有滑油，当螺旋轴运行时被上述油腔所封闭的滑油就可对各密封圈唇口的摩擦工作面进行润滑。这种润滑法目前在中、小型船舶上被广泛采用。

2．靠尾轴密封油柜供油

目前国内外不少中、大型船舶均设有独立的尾轴密封油柜及其润滑系统作为给尾轴密封供油用，如图1-6-15所示，该图中的油柜2专为前密封供油用，油柜3则为后密封供油用。鉴于以往船舶的水线位置较尾管的油位低，不少新设计或新建的船舶为了减少密封油腔的油与舷外水之间的压力差，以减少滑油的外漏，将后密封油柜的位置放得最低。当重力油柜1中的滑油靠重力将两个密封油柜充满后，关闭阀16、17、18、20，并开启阀6，使其与各相应的密封油腔相通，即可形成两个独立的前后密封的封闭润滑系统。它有以下好处：当从密封油柜的液位计上发现滑油消耗至最低液位线时，就可以及时进行补油；还可以从滑油的消耗率及其质量来对密封元件的工作情况进行判断，以便及时采取相应措施；同时由于这种独立系统的密封油柜放得较低，可以减少密封元件上所受的静压作用，使其工作状况有所改善；当开启阀17还能对后密封油腔进行换油。在后密封失效时关闭阀20、21、6，开启阀16、

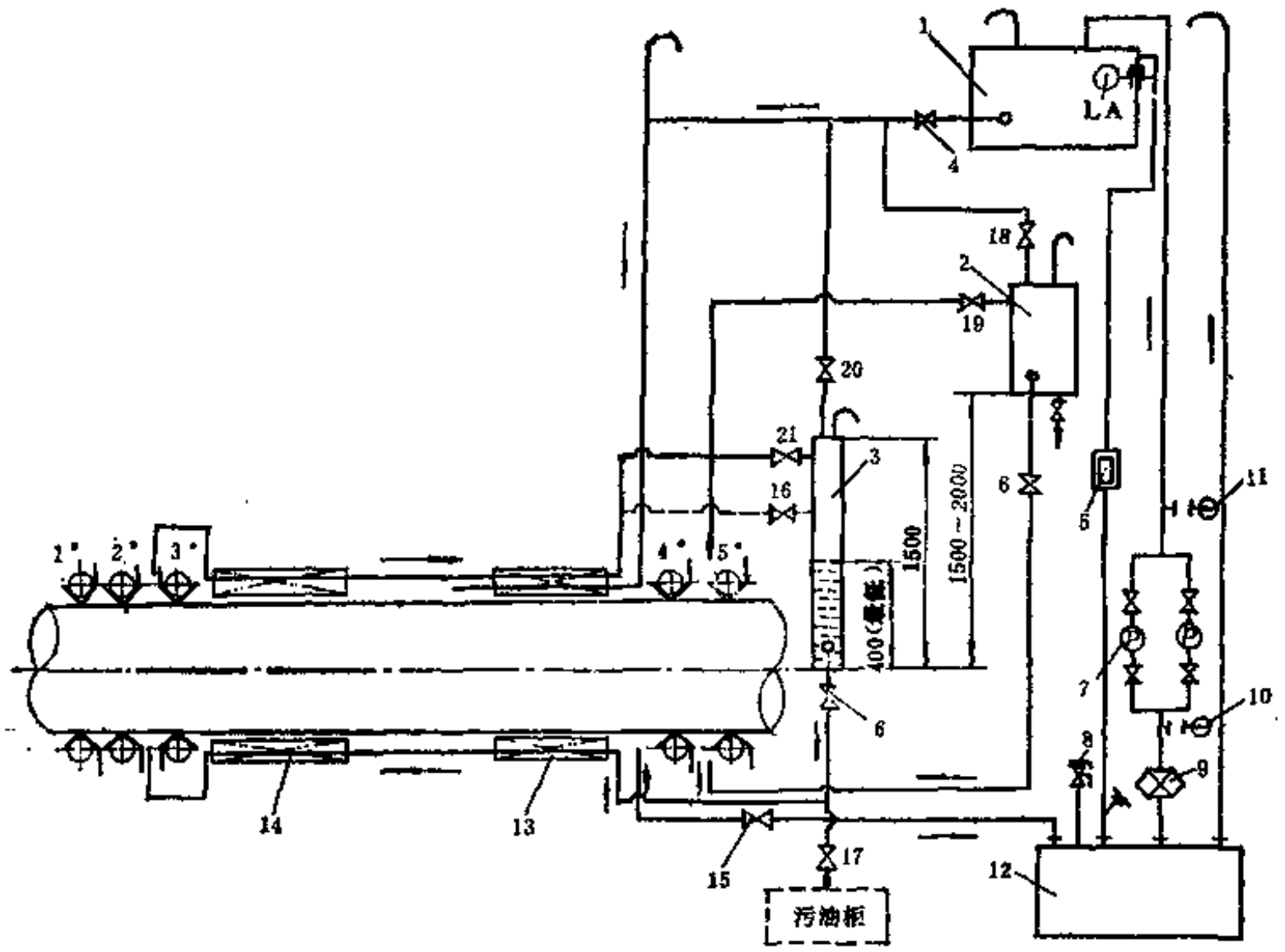


图 1-6-15　利用尾轴密封油柜给密封装置供油

1—重力油柜；2—前密封油柜；3—后密封油柜；4—截止阀；5—视流器；6—截止阀；7—循环油泵；8—测深自闭旋塞；9—过滤器；10—真空表连旋塞；11—压力表连旋塞；12—下油柜；13—前尾轴承；14—后尾轴承；15、16、17、18、19、20、21—截止阀

17，便可减少甚致杜绝漏油于水中，或通过它们排出侵入的舷外水。日本与德国所生产的无漏油型密封产品就是利用上述基本原理与方法。

3．水润滑密封装置的润滑

对于填料函型首部密封，一般均采用封闭式润滑方式，即在密封填料的中段设置布油环，通过螺塞将滑油或油脂注入，然后再通过布油环分配至密封偶件工作时的接触处；对于EVK型首部密封则采用压力水注入摩擦偶件端面的接触处。

（三）密封装置的冷却

由于橡胶的传热性差，受高温作用后又会发生老化变质，缩短其使用寿命，故对密封摩擦副的冷却与散热，也必须给以足够重视，一有疏忽遇有冷却不良时，往往便会发生故障，导致严重损失。密封装置的主要冷却方法如下。

1．对封油腔充入滑油

它与前面提到的封闭式润滑法类同，即在这么做的结果，既可对密封偶件的摩擦部件进行润滑，对其又具有散热与冷却效果（参见前面的图1-6-5和图1-6-10）。

2．密封及尾轴承外围装冷却水套

对尾轴管后端的密封装置及尾轴承因其沉浸在水里，故其冷却条件较好，一般可不需另加冷却，面对首端的密封装置及尾轴承，因其冷却条件较差，对某些中、大型船舶则往往需要考虑冷却措施。图1-6-16所示即为这种尾管的一种冷却方法，图中水套3中的水最好采用清水，此水可通过膨胀水箱2供给，此膨胀水箱尚可使水套中的水受热有膨胀的余地，当水

套中的水消耗以后，可开启阀 1 进行补水；也可以使阀 1 常开，而靠 2 中设置的液位器自动补水，以保证首端尾轴承及密封装置的散热与冷却。

3．首部密封油腔里设循环器

德国的HDW公司为了增强对某些中、大型船舶首端密封的散热效果，曾研制了一种辛泼莱克司（Simplex）循环器，如图1-6-17所示，该装置在前密封油腔设循环器1，及低位循环油柜，进出油管路等。安装时将件 1 固定于托环上，使其底部与尾轴上的前防磨衬套的外圆面之间留有较小的间隙，这样在轴套随尾轴转动时，油腔中的滑油就会按图中箭头所示方向形成循环了。日本KOBE STEEL公司也曾引进过该装置专利，并已有产品供应。

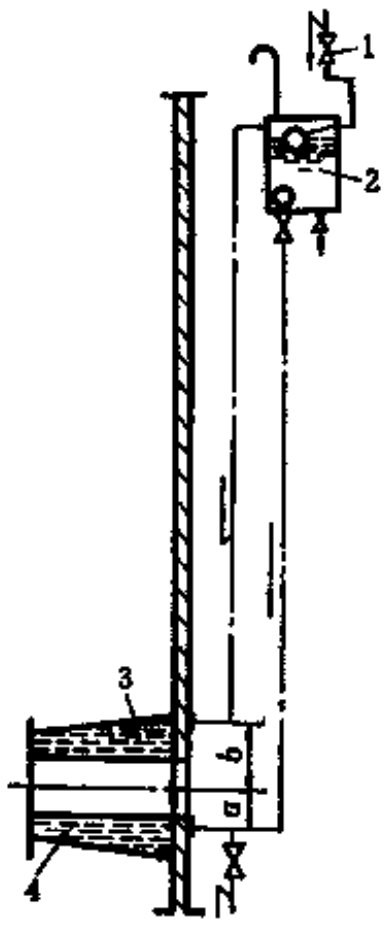


图 1-6-16　尾管的冷却水套

1—截止阀；2—膨胀水箱；3—尾管的外包水套；4—尾管；a、b—进、出水管接头离轴线的距离

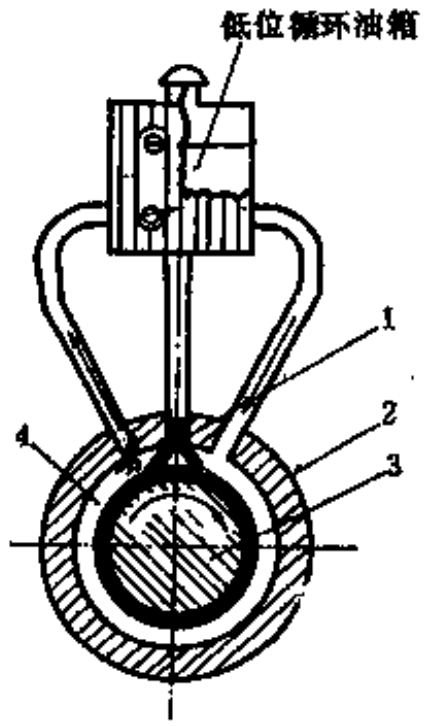


图 1-6-17　首部密封油腔装设的循环器

1—循环器；2—中间支承环；3—螺旋桨轴；4—润滑油

4．采用间歇或强制循环

有些较大的船舶，为了使密封装置能有效散热及改善其润滑油质量采用这种方法。强制循环法就是使密封润滑系统增设循环泵、过滤器及密封油柜等，使密封腔室中的润滑油能够定期或间歇地进行循环。在图1-6-15中开启其中的阀17将其中的污油放出，同时并开启阀20及21对尾密封油腔充油，也可获得定期地间歇循环；图中的首部密封油腔里设有循环器，依靠前密封油柜 2 通过循环器对首密封油腔的滑油实行强制循环，使首部密封能有良好的散热与冷却。

5．冷却与润滑的新改进

尾部密封一旦发生故障，由于它处于水中拆检困难，故世界造船、航运界一直在致力于改善其工作性能，其中一项重要的工作就是改进其冷却及润滑的工作条件。图1-6-18为辛泼莱克司防漏型尾部密封装置，其最突出特点是：在尾密封油腔里设置了循环器 8，可对尾部密封实行循环冷却，这就大大地改善了尾密封的散热状态，图中还示出了油路接通其循环器的情况。为了不拆卸螺旋桨便可拆装密封装置，该装置的各护托均可径向剖分。密封圈上也设有接口，以便在不拆后面的螺旋桨的情况下，在船上进行现场硫化粘结修换。图1-6-19为

辛泼莱克司L型防漏系统的工作原理及液压分布情况示意图，主要特点是除首密封油腔设有循环器外，在尾部密封油腔里也设有循环器，并供给比水线的水压低的低压油，当尾轴回转时首部循环器2即自行将油从密封沉淀柜4抽出，并利用该循环器（固定件）对油所产生的动压头，使其送往尾部循环器3，润滑油即可自动地在系统中进行压力循环。据介绍这种系统可有效地对密封件进行冷却与润滑，并具有延长摩擦偶件的使用寿命，防止滑油外漏及排除渗入的水分等功能。

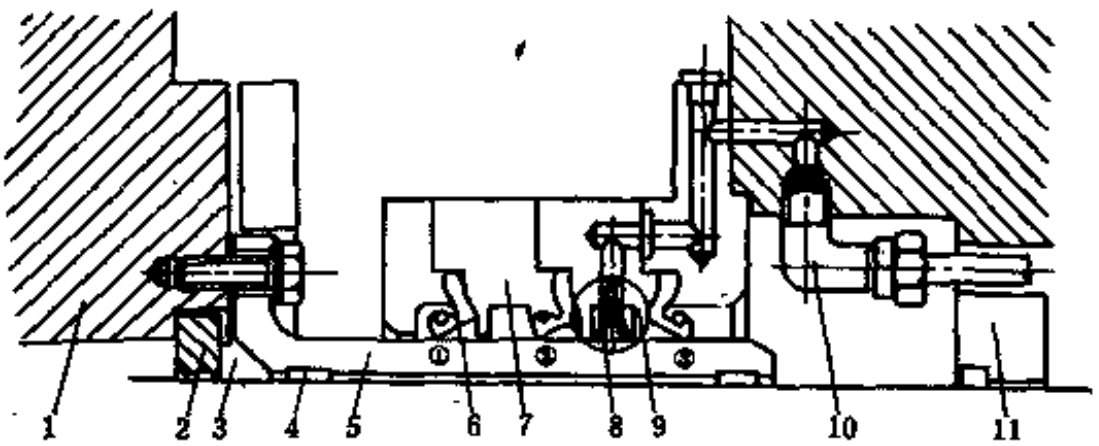


图 1-6-18　Simplex-Compact防漏型尾密封

1—螺旋桨；2—垫圈；3—橡胶O型圈；4—衬圈；5—后防磨衬套；6—密封圈；7—护托；8—循环器；9—中护托；10—管接头；11—尾轴承

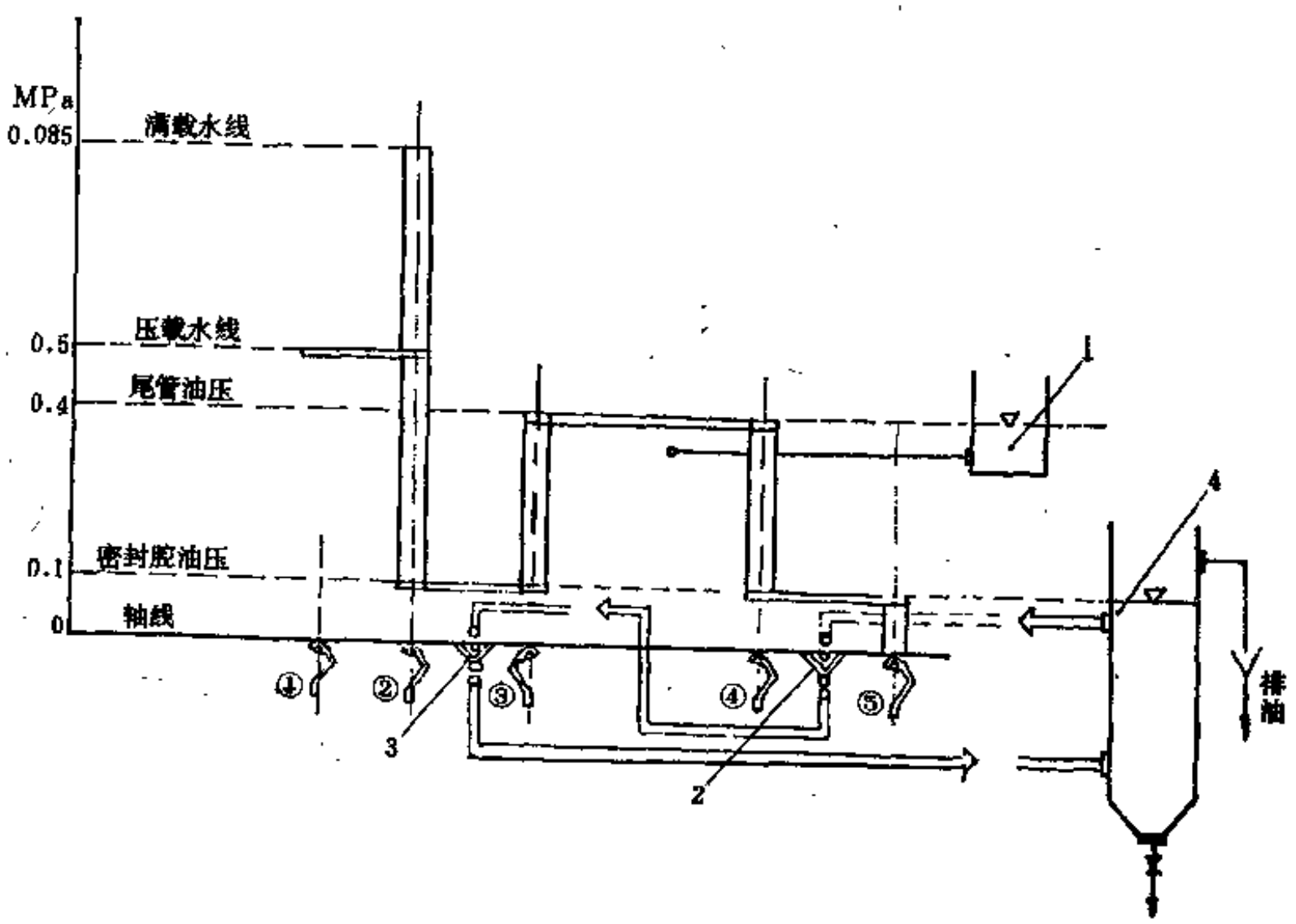


图 1-6-19　辛泼莱克司L型防漏系统原理

1—尾轴油柜；2—首密封油腔循环器；3—尾密封油腔循环器；4—密封沉淀油柜

6．结构上所采用的冷却措施

利用防磨衬套内孔通入滑油，用以对摩擦件进行散热，前面的图1-6-5中的件7及图 1-6-

11中的件1均为防磨衬套。为了便于给摩擦偶件散热，其内孔被车成大于螺旋桨轴的外径，使其可供形成冷却水腔，在其端部设止口用以与尾轴外圆面定位，并在其止口上沿轴向开若干个槽，使其能与尾管中的油路相通，这样尾管中的油就可以进入图中的冷却油腔Ⅰ或Ⅴ，并带走密封偶件的部分摩擦热；选用结构合理的橡胶密封圈，例如，使其唇口具有较小的接触宽度（对辛泼莱克司密封圈一般不应超过0.35mm，选用合适的过盈量及弹簧径向力，这都将有利于散热及提高其密封性能。

五、橡胶唇式密封的主要性能指标及检测基本方法

（一）主要性能指标

对中、小型骨架油封的各项性能指标，有关国家标准已有规定，可参照选用。这里主要介绍中、大型船舶油润滑唇式油封的性能指标。

1．径向力

径向力对尾轴密封也是一项十分重要的性能指标，过大会引起密封偶件摩擦、磨损增加，过小则又会影响密封性能，增加漏泄。上海船舶设计院提出的径向力值如表1-6-1所示，表中的数据与陆用J型骨架油封所推荐的数据相近。对船舶而言，由于其轴系的振动、偏心运动及变形等工作情况均极为复杂，对此数据的要求照理应更为严格，但根据一些实船多年实践结果表明，采用上述数据还是合适的，效果也较好，故可供参考。

表 1-6-1 径 向 力 值

试验的耐磨衬套（或轴）线速度，m/s	＜4	≥4～7
径向力，kN/m	0.15～0.22	0.95～0.13

2．过盈量

一般来说，密封圈唇口的过盈量与径向力约成正比关系，即过盈量大，径向力就大；过盈量小径向力也小。唇口的过盈量取小，虽对密封偶件的润滑有利，但容易漏油；而过盈量取得太大又影响密封偶件间的油膜形成，使之磨损失效加快。故其大小必须取得合理，根据有关资料推荐，尾轴密封的摩擦偶件的过盈量可按表1-6-2选取。

其相对过盈量δ(%)则可用下式表示：

$$\delta = \frac{D - d}{D}$$

式中 D——尾轴防磨衬套外径，mm；

d——加装弹簧后的橡胶密封圈唇口内径，mm。

不同轴径的相对过盈量δ可根据表1-6-3选取。

从表1-6-3可知，对于尾轴直径较大的船舶，如果其螺旋桨转速降低不多，因其轴套直径的加大将使其接触的线速度增大，为了避免偶件摩擦时温度过高，其选取的过盈量相对较少。另外，为了保证摩擦偶件有良好的润滑性，对于防磨衬套的表面光洁度、耐磨性及其形位公差等均应提出相应要求。

3．唇口的接触宽度

尾轴密封圈唇口的接触宽度也应尽量窄，使唇口的压力分布呈集中的尖峰状态，以便在

表 1-6-2　尾轴密封圈唇口与防磨衬套配合的过盈量

单位：mm

型　式	衬套外径	带有弹簧的密封圈内径	过盈量	加工裕量	型　式	衬套外径	带有弹簧的密封圈内径	过盈量	加工裕量
125	125	121.5	3.5	1.5	500	500	495.5	4.5	1.5
155	155	151.5	3.5	1.5	530	530	525.5	4.5	1.5
170	170	166.5	3.5	1.5	560	560	555.5	4.5	1.5
190	190	186.5	3.5	1.5	600	600	595.5	4.5	1.5
200	200	196.5	3.5	1.5	630	630	625.5	4.5	1.5
220	220	216.5	3.5	1.5	670	670	665.0	5.0	2.0
240	240	236.0	4.0	1.5	710	710	705.0	5.0	2.0
260	260	256.0	4.0	1.5	750	750	745.0	5.0	2.0
280	280	276.0	4.0	1.5	800	800	794.5	5.5	2.5
300	300	296.0	4.0	1.5	850	850	844.5	5.5	2.5
330	330	326.0	4.0	1.5	900	900	894.5	5.5	2.5
355	365	351.0	4.0	1.5	950	950	944.5	5.5	2.5
380	380	375.5	4.5	1.5	1000	1000	994.5	5.5	2.5
400	400	395.5	4.5	1.5	1060	1060	1054.0	6.0	2.5
420	420	415.5	4.5	1.5	1120	1120	1114.0	6.0	2.5
450	450	445.5	4.5	1.5	1180	1180	1174.0	6.0	2.5
480	480	475.5	4.5	1.5	1250	1250	1244.0	6.0	2.5

较小的径向力时就能得到较好的密封性能，及减少唇口的发热。唇口的接触宽度将随密封圈前后两侧作用的液体液压差有关。液压差愈大则接触宽度也越大，在液压差为零时接触宽度约在0～0.35mm的范围内。

表 1-6-3　不同轴径的过盈量δ

D, mm	δ, %
ϕ 125～220	2.8～1.59
ϕ 240～500	1.6～0.9
ϕ 500～1000	0.85～0.55

4．漏油率

它是标志密封性能的关键指标。船用密封因工作条件恶劣，其漏油率相对陆用动力装置略高，根据目前掌握的一些情况，德图HDW 公司的允许泄漏率为密封直径的百分之一，即0.01DL/d，日本舵波公司允许的泄漏率为12L/d以内；我国的尾轴密封专业工厂规定的平均泄漏量为 20～60ml/h。这些都是已经装在船上的允许泄漏数值，它已考虑了在实际使用时其密封性能已受到外界条件的种种干扰。在对出厂台架试验时的要求是：在作静压试验时一般不许泄漏；对不同轴径的尾轴密封在作动压试验时允许有少量的泄漏。

5．使用寿命

这也是表示和考核密封性能的重要指标之一。对小型尾轴密封的使用寿命要求达到 2 年以上；对中型尾轴密封则要求达到 3 年以上，大型船舶应确保寿命达 4 年以上。

（二）检测与试验的基本方法

1．密封专业厂的试验与验收

（1）静态检测　包括内径的测量、弹簧弹力的校验、径向力的测量、密封偶件在静压作用时的校验等。这些检测对确保密封质量有重要作用。

（2）动态模拟综合试验　主要用来模拟船舶在实际运行的复杂状态下的各种技术经济参数。它主要包括：转速的模拟；实船密封圈上所受的液压及压力差的模拟；在不同水质及

油质工作条件的模拟；尾轴在运行时其不同下沉量与径向振动量的模拟；油腔平均温度及唇口接触温度的模拟与测量；密封偶件在不同工作条件下其摩擦扭矩的测量；在各种运行条件下滑油漏泄量（漏油率）的测量等。

（3）出厂试验及验收要求　产品出厂必须进行密封圈的单圈静态检测，及其在额定转速时其最大液压差的条件下，将密封圈单圈正装运转12 h 后测量密封偶件1 h 的 漏 泄量及其摩擦扭矩，所测结果必须符合出厂要求。试验验收时所规定的“使用油压”是指与所装备的船舶相对应的重力油柜之油压；所相应的动态工作情况是指无偏心、无轴向移动时的情况。

2．船台试验

尾轴密封装置在船台上装船完毕后，尚应做静压试验，要求在 0.15～0.2MPa 的压力作用下应无泄漏发生。

（三）国产船舶尾轴密封的代号及尺寸系列

1．型号标记的说明

图1-6-20为油润滑尾轴密封装置的代号表示与说明。其中，Y表 示油润滑的尾轴密封，它又可分为前、后两种结构型式，尾轴前密封装置代号为Q；尾轴后密封装置代号为H；其它各代号含义可参见图中的说明。

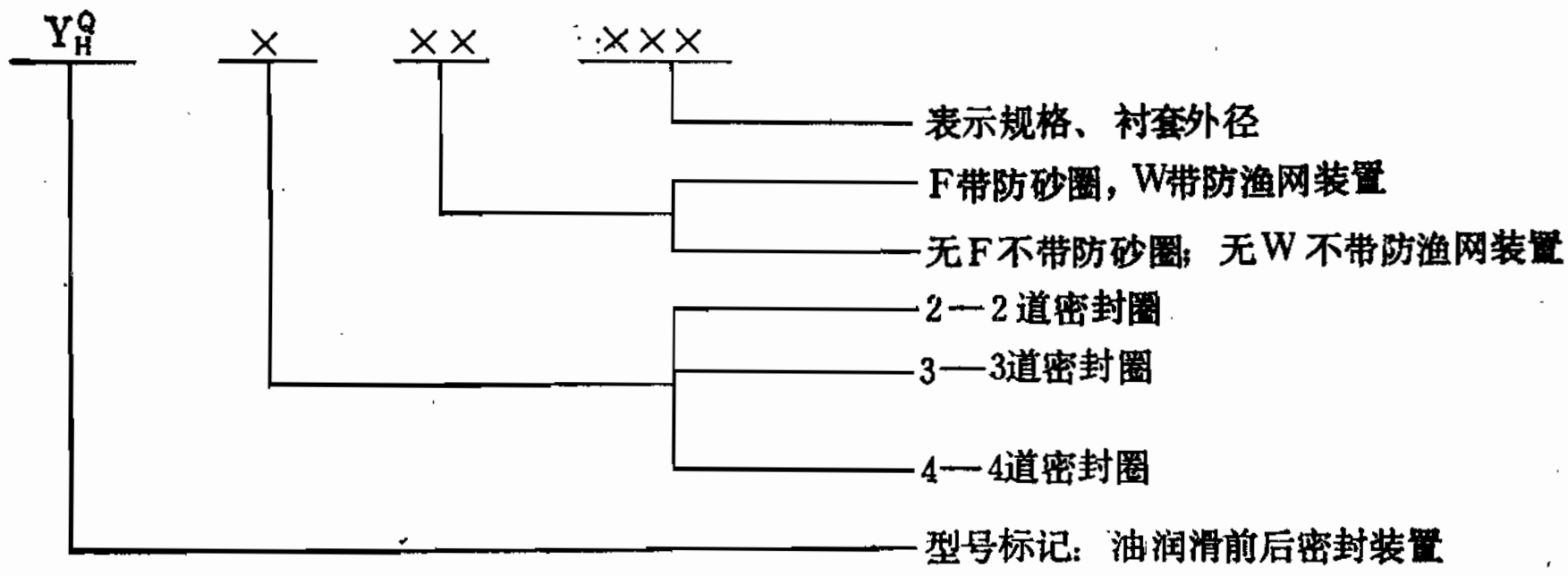


图 1-6-20　油润滑尾轴密封装置的代号

现将标记示例说明：衬套外径为ϕ330，前密封具有二道密封圈，后密封具有三道密封圈并带有防沙圈，则分别可表示为：

尾轴前密封装置　　型号为：YQ2-330

尾轴后密封装置　　型号为：YH3F-330

2．尾轴密封的基本结构和主要相关尺寸

图1-6-21及图1-6-22为我国船用专业尾轴密封生产厂（江苏东台船用配件厂）按船标生产的产品结构，其可供订货的尺寸系列参见表1-6-4～表1-6-7。

六、尾轴密封的动态与综述

1．在采用新装置与系统方面

日本舵波公司生产的4BL辅助密封圈型，它多设了一道密封圈（尾 部 密 封 有 4 道 密封圈），据称此备用的密封圈一般情况下可使其不发生作用，一旦相邻的密封圈有故障，则可通过改变控制油压，使此备用圈发挥作用。据称这种密封既可减少漏泄，又可延 长 其使用寿命。但德国HDW 公司则认为尾部密封只要采用 3 道密封圈已足够，关键是改善密封 偶件的

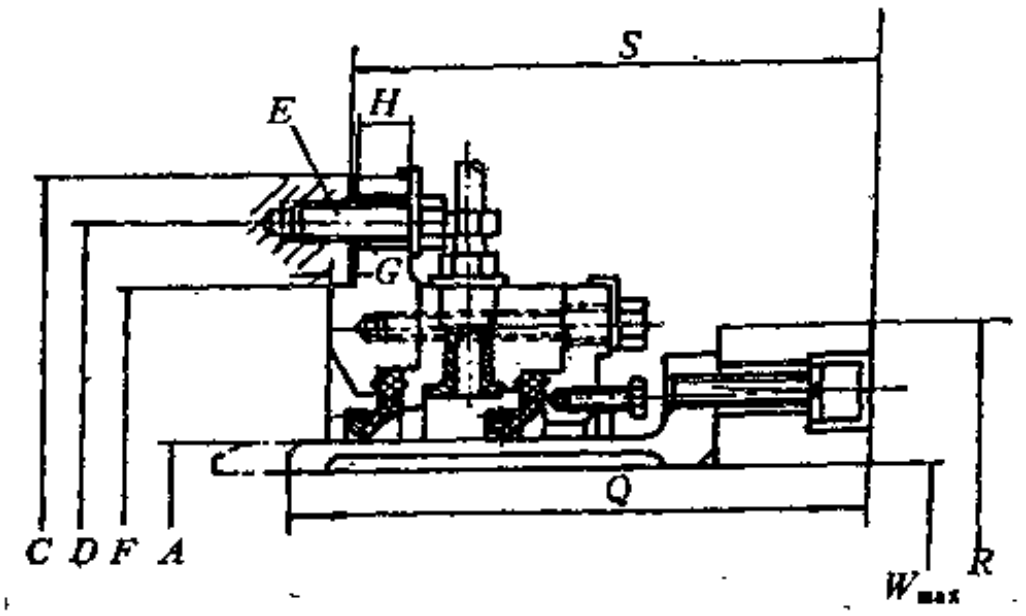


图 1-6-21　尾轴前密封装置

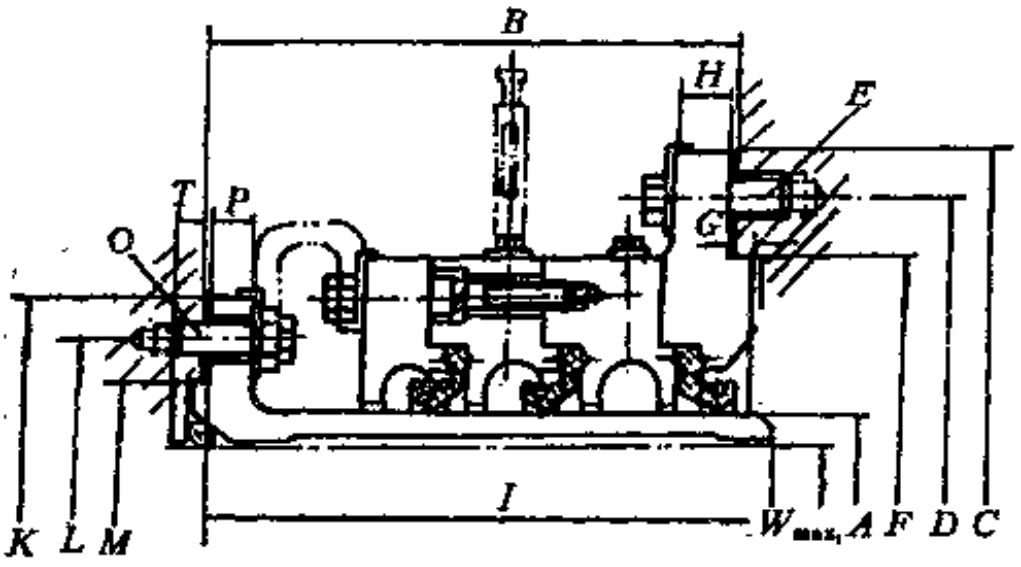


图 1-6-22　尾轴后密封装置

材质，以延长其使用寿命；国外各公司与厂家均一致对采用低油位防漏系统的技术给予充分的肯定。目前仍以辛泼莱克司改进型系统具有较大的市场。但其固有的弱点是：其橡胶密封圈最怕渔网或绳等夹入，一旦夹入就会导致密封圈的永久损坏，故新的该密封装置已备有双刃不锈钢割网刀，并在其套筒上采用了电绝缘防电化腐蚀的措施。“端面式密封”由于采用了对开式密封环，又因其所采用的硬材料密封面不太怕尼龙绳网夹入，所以这种密封可以不抽轴、不拆桨即可检查及更换，英国深海密封公司的产品据称其寿命可达6～8年，加之它承受轴向窜动的能力有20～25mm，仅次于辛泼莱克司型的 29mm，又能适合深海使用，故这种密封结构对大型船舶的船东具有较大的吸引力；瑞典塞特瓦尔公司产品的最大优点是结构简单紧凑，轴向尺寸也小，前、后密封相似，可耐10m/s的圆周速度，对径向 跳动的适应性较好，特别是造价最低，但对轴向窜动的承受能力只有3mm，故其主推力轴承的间隙必须小于3mm方可使用。此产品在北欧用得较多。

2．在材质与制造、安装工艺方面

据国外介绍，轴径在500mm以上的轴封，必须采用氟橡胶，因丁腈橡胶的耐热性差，使用是不可靠的。一般在大型船舶中最多只能把这种材质作成第一道防水圈，因此处的冷却条件较好。造型及成品要注意光洁、致密、无气泡等，特别是在唇口处应光洁无毛边，在头部夹紧的转折处应有较大的过渡半径，以改善密封圈的应力状态。防磨衬套的材料用铜材是不

表 1-6-4 YQ2

尺寸 \ 规格	110	125	155	170	190	200	220	240	260	280	300	330	355	380	400	420
A	110	125	155	170	190	200	220	240	260	280	300	330	355	380	400	420
W_{MAX}	95	110	140	155	175	185	205	220	240	260	280	310	330	355	375	395
B	160	160	160	160	160	160	160	170	175	175	175	175	195	195	200	200
C	245	275	305	320	340	350	370	425	445	465	485	515	565	590	610	630
D	220	245	275	290	310	320	340	390	410	430	450	480	525	550	570	590
E	8	8	8	8	8	8	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	M10	M12	M12	M12	M12	M12	M12	M16	M16	M16	M16	M16	M20	M20	M20	M20
F	195	210	240	255	275	285	305	345	365	385	405	435	475	500	520	540
G	5	5	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7
H	15	15	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30
I	180	180	180	180	180	180	180	190	195	195	195	195	215	215	220	220
K	165	184	214	240	270	280	300	320	340	360	375	425	450	480	500	520
L	145	164	194	220	240	250	270	290	310	330	346	390	416	440	460	486
M	125	145	175	200	214	224	240	260	284	300	320	360	384	406	424	450
T	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	18	18	18
O	8	8	8	8	8	8	8	8	8	12	12	12	12	12	12	12
	M8	M8	M8	M8	M12	M12	M12	M12	M12	M12	M12	M12	M16	M16	M16	M16
P	12	12	12	12	12	12	12	12	15	15	15	15	15	15	20	20
Q	145	145	160	160	160	160	160	175	175	175	176	175	195	195	195	195
R	175	190	210	230	250	260	280	310	330	350	370	400	430	460	480	500
S	130	130	146	145	145	145	145	160	160	160	160	160	184	184	184	184
a	—	—	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
V	—	—	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8	φ8

表 1-6-5 YQ4尺寸

B	—	—	200	200	200	200	200	215	220	220	220	200	235	235	240	240
I	—	—	220	220	220	220	220	235	240	240	240	240	255	255	260	260

表 1-6-6 YQ3F尺寸

B	180	180	180	180	180	180	180	190	195	195	195	195
I	200	200	200	200	200	200	200	210	215	215	215	215

表 1-6-7 YH4F尺寸

B	—	—	220	220	220	220	220	240	240	240	240	240
I	—	—	240	240	240	240	240	260	260	260	260	260

YH3 尺寸

单位：mm

450	480	500	530	560	600	630	670	710	750	800	850	900	950	1000	1060	1120	1180	1250
450	480	500	530	560	600	630	670	710	750	800	850	900	950	1000	1060	1120	1180	1250
425	455	475	500	530	560	599	630	670	710	750	795	840	890	940	990	1040	1090	1150
225	225	225	225	240	240	245	245	280	280	310	310	330	330	330	350	355	355	370
675	705	725	755	820	860	890	930	990	1030	1090	1140	1200	1250	1300	1400	1460	1520	1595
630	660	680	710	765	805	835	875	930	970	1030	1080	1135	1185	1235	1325	1385	1445	1520
12	12	12	12	12	12	12	12	16	16	20	20	20	20	20	24	24	24	24
M20	M20	M20	M20	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M30	M30	M30	M30
575	605	625	655	700	740	770	810	865	905	960	1010	1065	1115	1165	1245	1305	1365	1440
8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11
30	30	30	30	35	35	35	35	40	40	40	40	45	45	45	50	50	50	50
245	245	245	245	260	260	265	265	300	300	330	330	350	350	350	370	375	375	390
550	590	600	630	675	700	760	820	840	885	945	1000	1070	1130	1170	1230	1300	1300	1430
510	550	580	590	630	660	710	750	790	836	890	950	1010	1070	1110	1170	1230	1290	1360
478	510	526	550	588	620	670	710	740	780	825	870	920	970	1040	1100	1160	1220	1290
18	18	18	18	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
12	12	12	12	12	12	12	12	12	16	16	16	16	16	20	20	20	24	24
M16	M20	M20	M20	M20	M20	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M24	M30	M30	M30
20	20	20	20	20	20	25	25	25	25	30	30	35	35	35	35	40	40	40
220	220	220	220	240	240	255	255	285	285	285	285	305	305	305	325	325	325	325
530	560	580	610	650	690	730	785	830	870	915	960	1010	1060	1130	1200	1250	1300	1380
206	206	206	206	224	224	241	241	270	270	270	270	290	290	290	310	310	310	310
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	18	18	18	18	18	16	16	16	16
φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ12	φ16	φ16	φ16	φ16

（其余尺寸同上表）

270	270	270	270	285	285	290	290	330	330	385	385	385	385	385	405	410	410	425
290	290	290	290	305	305	310	310	350	350	393	393	417	417	417	436	441	441	461

（其余尺寸同上表）

215	215	220	220	245	245	245	245	260	260	265	265
235	235	240	240	265	265	265	265	280	280	285	285

（其余尺寸同上表）

255	255	260	260	290	290	290	290	306	305	310	310
275	275	280	280	310	310	310	310	325	325	330	330

大合适的，虽然铜材有良好的防海水腐蚀作用，但因其材质太软，经不起橡胶唇口的长期剧烈摩擦，容易早期凹陷，使唇口处预紧力减小或松脱，加大漏油。所以一般衬套材质仍以采用不锈钢为宜。对衬套局部采用喷涂陶瓷的技术在国外已有应用，效果较好，我国对这项技术尚处于探索阶段。盲目地加大密封圈的过盈量、加粗和缩短弹簧以求唇口对衬套抱得很紧，以达到船舶出坞时滴油不漏的观点是错误的，这样做的结果必然会引起摩擦副缺少润滑。在运转中，因摩擦而使温升超过许可值，加速材质老化与磨损。为了一时的“滴油不漏”造成以后的大量漏油，值得有关部门注意。备用密封圈在保存时不应将其挂起来，以免唇口受损，而应当将其放平，单个置于定制的木盒中及凉爽干燥处，以防变形和变质。为了能使船舶不停航对橡胶密封圈进行修换，有的公司已将辛泼莱克司密封圈备件制成具有45°或30°搭口的带型，以便在船台进行修换时使其很快就位，并将搭口粘结快速硫化成型，以避免拆轴等复杂工艺。这项在现场硫化成型的粘结安装工艺还比较麻烦，要求也较高，一般工厂难以承担这项任务，我国也尚未实施，但这项技术是值得研究和尽快移植的。

3．在理论研究方面

国内、外近年来对密封件的理论研究与计算均很重视，主要开展了以下工作。

（1）用有限元法分析和计算密封圈在不同工作情况（背压、过盈量、偏移量）下的各点应力及变形情况，并用试验手段对其进行验证，借以作为决定其合理的结构型式、外形尺寸及护托轮廓等。

（2）计算和分析尾轴运转时在振动的干扰下，各腔室容积的大小、形状所产生的压力波对密封性能的影响，以便能较合理地决定出密封腔室的形状与大小。

（3）用有限元法对密封圈唇口及防磨衬套表面的接触温度场进行计算，以探明密封偶件在静、动状态时温度分布状态，用作决定润滑、冷却及密封偶件材质的参考。

4．在试验与检测方面

引进国外技术的基础上已建立了自己的试验研究基地，不仅可对密封圈的尺寸、径向力以及在所受不同背压时的静态密封性进行检测与标定，同时还在多处已建立了动态模拟试验台，它可模拟实船运行时的各种工作条件，并在这些工作情况下检测出其摩擦扭矩、所耗功率、密封偶件的接触温度及油腔平均温度以及漏泄量等参数，以便对各密封圈的性能进行评定，并可为设计研究提供基础。

5．在制订统一标准方面

我国自1978年在对尾轴密封的各种结构型式进行调研的基础上，对其结构型式进行了简化，先后制订了ϕ40～100；ϕ100～230；ϕ230～1150各挡轴径的尾轴密封系列化标准，这不仅对简化设计和促进生产已经取得了显著的效果，而且为船舶的设计、建造及使用也打下了良好基础。

第七节　橡胶水封制品

水封是水电工程闸门的一个重要组成部分，是保证闸门密闭封水、正常运行的关键部件。水封材料可以根据水头高低和孔口大小等具体条件进行选择，最常用的莫过于橡胶水封。

橡胶水封又名止水橡皮，它的最大优点是弹性好，适应变形能力强；结构简单、封水严密可靠；比较经济，安装更换方便；耐老化，使用寿命较长。

近年来，随着水电工程建设向高水头方向发展，对水电工程闸门，也对闸门的止水材料

和结构提出了更高更新的要求。

一、橡胶水封制品的分类

橡胶水封一般按下述方法分类。

1．按设置地点分类

一般分为门叶上水封和门槽上水封两类。

（1）门叶上水封　设置在闸门活动部分上的水封。

（2）门槽上水封　设置在闸门埋固部分上的水封。如潜孔弧门的顶水封和侧、底水封；舌瓣闸门的底水封；下沉式平面闸门的侧、底水封。

2．按水流方向分类

一般分为上游水封、下游水封和双向水封三类。其中双向水封上下游均有水封；顶、侧水封在下游，而节间水封和底水封在上游。

3．按水压方向分类

一般分为压力方向水封和无压力方向水封两类。

在一般正常情况下，水流方向与水压力方向是一致的，压力方向水封就是上游水封，无压力方向水封就是下游水封。但在特定的情况下，如电站尾水管检修闸门和工作闸门下游的检修闸门，其水流方向与水压力方向是相反的，此时，压力方向水封就是下游水封。

4．按在闸门上的位置分类

一般分为顶水封、侧水封、底水封和节间水封四类。

5．按水封变形的外力分类

一般分为预压变形水封、水压变形水封和机械变形水封三类。

6．按材料分类

一般分为橡胶水封和复合材料水封两类。复合材料水封如橡胶与四氟塑料复合水封；橡胶与铜复合水封；夹帆布水封等。

二、水电工程闸门橡胶水封的定型结构及尺寸

水电工程闸门橡胶水封定型结构及尺寸见图1-7-1和表1-7-1。

近年来采用的部分新型橡胶水封结构见图1-7-2。

水电工程闸门橡塑复合水封的型号规格见表1-7-2。

三、橡胶水封的主要物理机械性能及胶料配方

（一）橡胶水封的主要物理机械性能

（1）相对密度　1.2～1.5。

（2）拉伸强度　大于13.0MPa。

（3）硬度（邵尔A）　55±5；65±5。

（4）扯断伸长率　400～550%。

（5）在－40～40℃温度下工作不发生冻裂和硬化。

（6）试样压缩到原始高度的60%，然后移去外力，在5min内测得最大变形不超过0.2%；压缩应力为0.9～1.0MPa，试样压缩到原始高度的80%，压缩应力为0.3～0.4MPa。

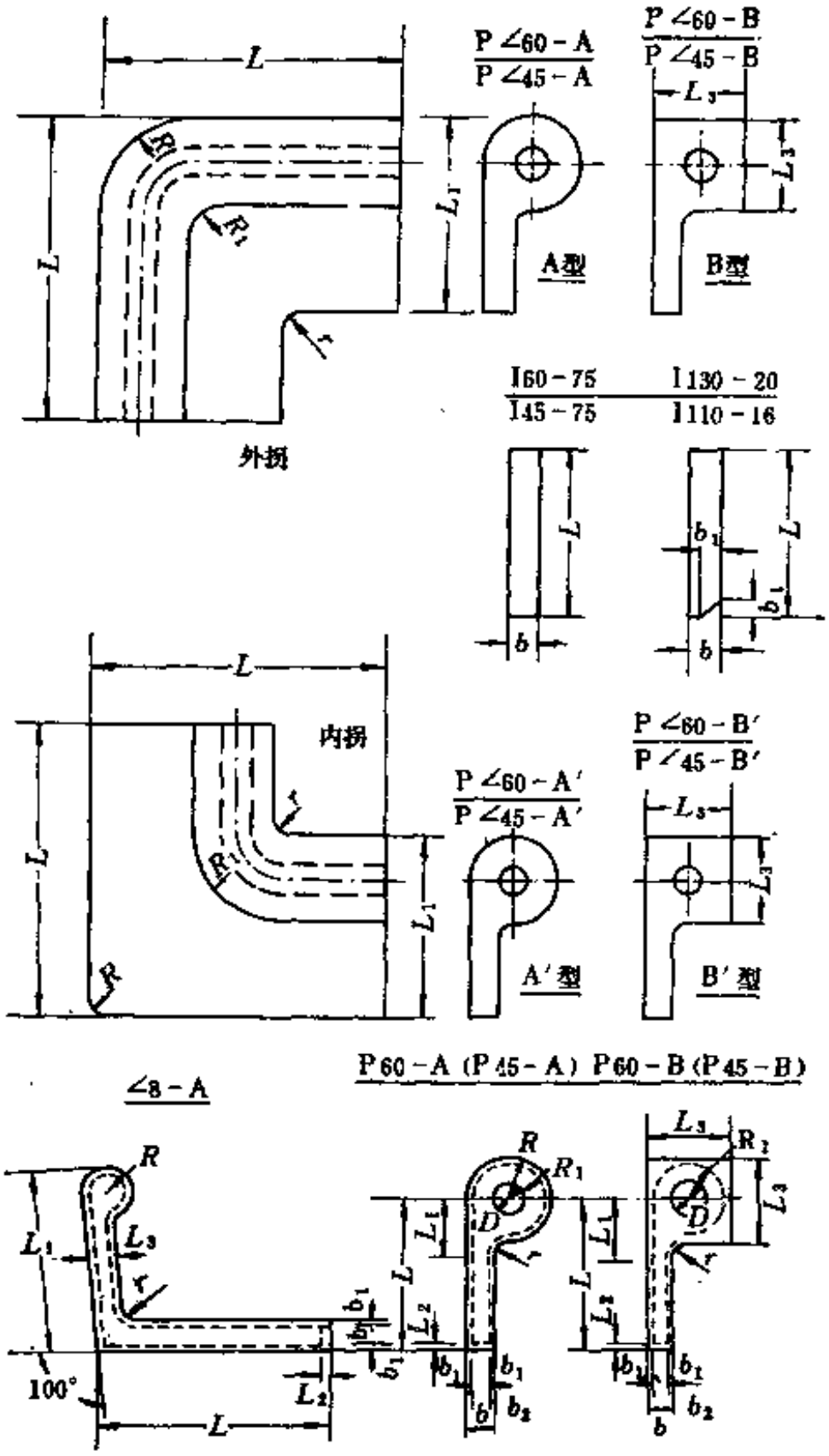


图 1-7-1 橡胶水封定型结构

（二）胶料配方设计

1．胶种

各国对于胶种的选择，多根据其资源情况及地理条件的不同而异。在天然橡胶资源丰富的国家，认为天然橡胶的耐低温性能比氯丁橡胶好，而在使用氯丁橡胶的国家，则认为氯丁橡胶有比天然橡胶好得多的耐候性能。我国幅员辽阔，地理条件相差很大，因此应根据具体情况选择胶种。水电工程闸门橡胶水封所用胶种应满足下列要求。

（1）有较高的抗压强度。

（2）有良好的弹性且适应变形的能力强。

（3）夏季不会变软，强度无显著下降，冬季不会发脆，仍能保持所需的弹性。

（4）耐天候老化的性能良好。

橡胶水封常用的胶种有天然橡胶、顺丁橡胶、丁苯橡胶和氯丁橡胶。

表 1-7-1 水电工程闸门橡胶定型结构尺寸

闸门类别	止水部位	型号	各部尺寸，mm											应用范围
			L	L_1	L_2	L_3	b	b_1	b_2	R	R_1	r	D	
平面闸门和潜孔弧形闸门	顶侧止水	P60-A	110	40	6	—	20	6	8	30	24	10	20	1.P60-A适用于孔口大的闸门 2.P45-A适用于孔口中、小的闸门 3.P60-B及P45-B适用于潜孔弧门 4.P60-A及P60-B内有帆布三层
		P60-B	110	40	6	60	20	6	8	—	24	10	20	
	转角止水	P45-A	100	31	5	—	16	5	6	22.5	18	8	20	
		P45-B	100	31	5	45	16	5	6	—	18	8	20	
	转角止水	P∠60-A	350	140	—	—	—	—	—	80	20	20	—	1.P∠60-A、P∠45-A及P∠60-B、P∠45-B适用于下游止水的转角 2.P∠60-A′、P∠45-A′及P∠60-B′、P∠45-B′适用于上游止水的转角
		P∠60-A′	350	140	—	—	—	—	—	20	80	20	—	
		P∠60-B	350	140	—	60	—	—	—	80	20	20	—	
		P∠60-B′	350	140	—	60	—	—	—	20	80	20	—	
		P∠45-A	350	122.5	—	—	—	—	—	65	10	10	—	
		P∠45-A′	350	122.5	—	—	—	—	—	10	55	10	—	
		P∠45-B	350	122.5	—	45	—	—	—	55	10	10	—	
		P∠45-B′	350	122.5	—	45	—	—	—	10	55	10	—	
	底止水	I130-20	130				20	10						适用于孔口大的闸门（无帆布）
	底止水	I110-16	110				16	8						适用于孔口中、小的闸门（无帆布）
	橡皮垫	I60-75	75				20							适用于P60-A
	橡皮垫	I45-75	75				16							适用于P45-A
露顶式弧门	侧止水	L8-A	80	60	6	12	6	3	—	8	—	5	—	

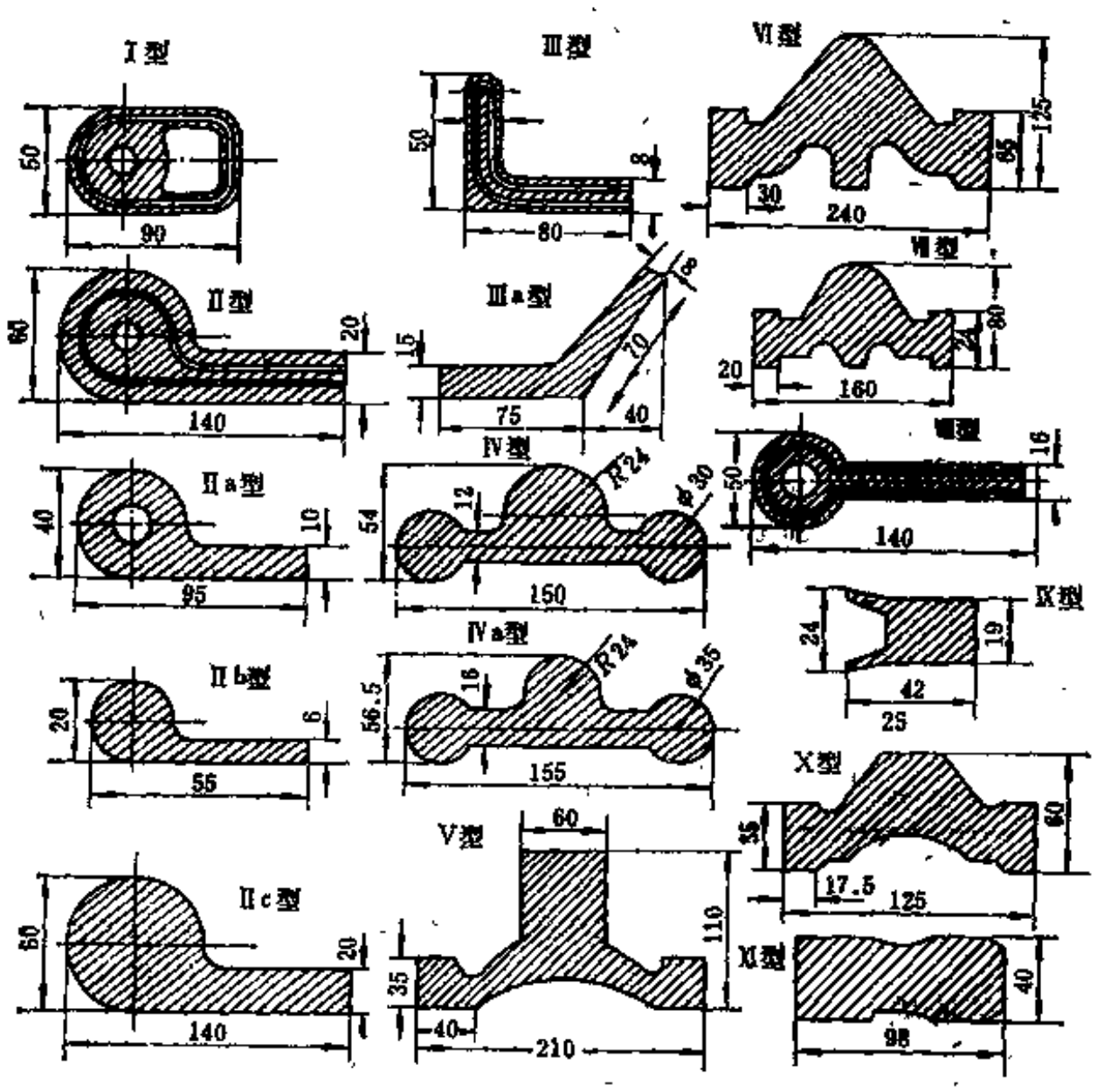
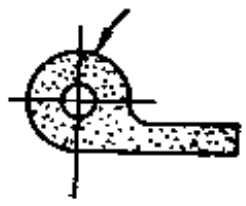
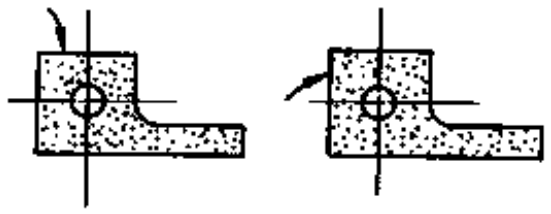
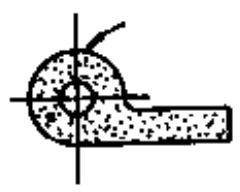
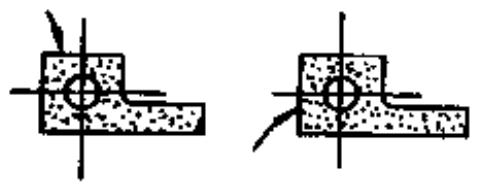


图 1-7-2 新型橡胶水封结构

表 1-7-2 水电工程闸门橡塑复合水封目前生产的型号规格

型　号	聚四氟乙烯带材的位置	带宽，mm	带厚，mm
P60A		70	1
PL60A		70	1
PL60A′		70	1
P60B		60	1
PL60B		60	1
PL60B′		60	1
P45A		50	1
PL45A		50	1
PL45A′		50	1
P45B		45	1
PL45B		45	1
PL45B′		45	1

注：各型号的各部尺寸与“水利水电工程钢闸门设计规范”（SDJ13—78)附录七附表7所列同型号的各部尺寸相同，表内不再注明。

2．胶料配方举例

胶料配方举例如表1-7-3所示。

表 1-7-3 橡胶水封胶料配方举例

配合剂名称	天然橡胶		天然橡胶与顺丁橡胶并用	氯丁橡胶	配合剂名称	天然橡胶		天然橡胶与顺丁橡胶并用	氯丁橡胶
	配方1	配方2				配方1	配方2		
天然橡胶	100.00	100.00	50.00	—	氧化镁	—	—	—	4.00
顺丁橡胶	—	—	50.00	—	炉法炭黑	50.00	35.00	40.00	45.00
氯丁橡胶	—	—	—	100.00	软化剂	8.00	10.00	8.00	15.00
再生胶	—	30.00	—	—	石　蜡	2.00	1.50	1.50	1.50
硫　黄	2.50	2.60	1.80	—	硬脂酸	2.00	2.00	2.00	2.00
促进剂	0.80	1.90	1.30	—	碳酸钙	—	15.00	20.00	20.00
防老剂	2.20	2.00	2.00	1.50					
氧化锌	5.00	5.00	4.00	5.00	合　计	172.50	205.00	180.60	194.00

四、橡胶水封的制造工艺

（一）生产工艺流程

生产工艺流程如图1-7-3。

（二）基本生产工艺

1．塑炼和混炼

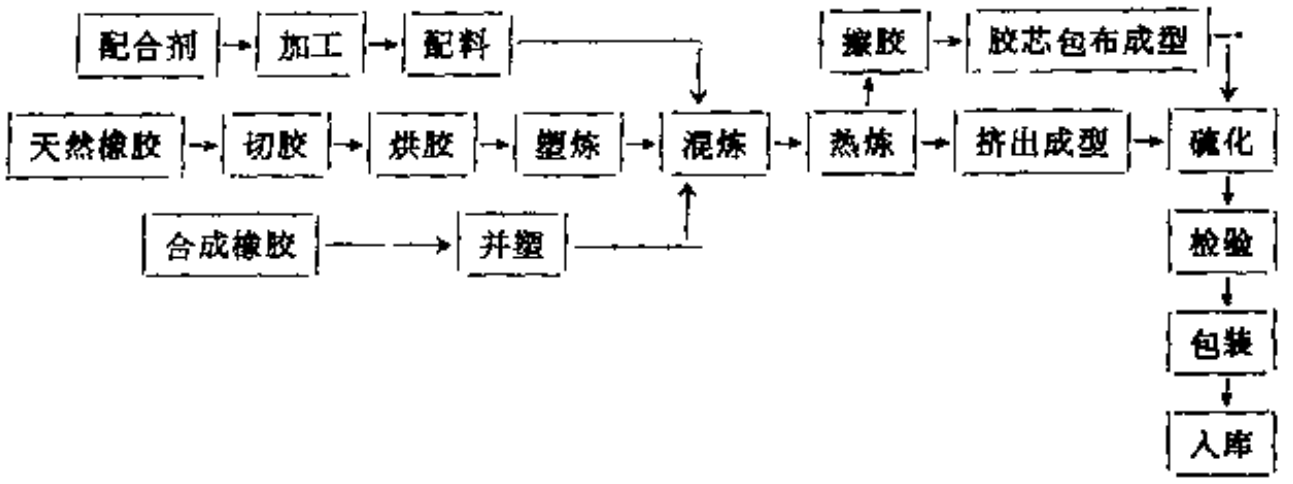


图 1-7-3 生产工艺流程

天然橡胶、氯丁橡胶以及天然橡胶和顺丁橡胶并用胶的塑炼、混炼工艺参见本手册第三分册基本工艺的有关部分。

2．压出成型

（1）压出口型的制造 由于影响挤出物变形的因素太多，所以很难一次完成口型设计。通常的做法是：①根据橡胶水封产品的几何形状，先制一近似口型；②测定挤出橡胶水封胶料硫化前后各部位的尺寸，以求各部位的变形（膨胀或收缩率）；③和成品设计所要求的各部位尺寸进行比较。采用边试验、边修正，最后得到所需口型。

口型设计的关键是考虑胶料的膨胀或收缩率，影响胶料膨胀收缩的因素有以下几个方面。

a．胶种和配方 顺丁橡胶、氯丁橡胶等的膨胀率大于天然橡胶。配方中含胶率高的胶料膨胀率大于含胶率低的，填充量多的胶料膨胀率小于填充量少的。另外，与填充剂品种也有很大关系，例如快压出炉黑的胶料要比填充同样份数的槽法炭黑要小的多。

b．胶料的可塑性 胶料的可塑度越大，挤出膨胀率越小；可塑度越小，挤出膨胀率越大。橡胶水封胶料的可塑度一般控制在0.35±0.05较合适。

c．机头温度 机头温度高，膨胀小；温度低，膨胀大。

d．压出速度 在温度不变的条件下，挤出速度越快，则胶料所受的瞬时应力亦小，所以膨胀也越小。

e．规格 同样配方的胶料，由于规格大小不同，挤出物膨胀率也不同，随规格的增大而减小，无论是中空橡胶水封还是实芯橡胶水封都是如此。

总的来说，要控制好挤出胶料的膨胀收缩率，应该着重掌握好口型设计、联动装置和挤出速度的配合以及胶料的可塑性等。

（2）压出操作 简述如下。

a．设备预热 挤出机运转之前需先在机筒、铝模、机头等部位通蒸汽加热，使各部位的温度调节到规定值（预热时间一般需10～15min，但也随季节而变，以温度均一为准）。与此同时，口型也应事先在预热柜中加热到80℃以上。口型旋上机头，紧固好各部位螺丝，然后开车供胶。

b．口型调节 供胶开始就调节口型位置，检查压出物尺寸，厚薄均匀程度，表面是否光滑及有无气泡等，一直调节到完全符合要求为止。

c．压出温度 压出中控制挤出机各部位温度是一个很重要的条件。通常以口型处温度为最高，机头较低，机身最低。采取这样的原则是为了使挤出物外表光滑，挤出过程顺利和

减小膨胀率。压出物尺寸的精确度和表面光滑性受挤出温度的影响很大，如温度过低会使半成品表面粗糙，断面增大，电负荷增大；反之，温度过高又会引起胶料自硫、起泡而影响质量。

d．积胶处理　在调换口型或停车时，必须先拆除口型，后清除留存在机身中的全部积胶。如果只是调换口型，则停车时间应限在5min以内，以防止胶料焦烧。清除的积胶应降级使用。另外，在运转中如发现胶料焦烧，必须一方面停止喂料，一方面拆口型清除存胶，以免焦烧蔓延。

e．冷却与停放　压出的半成品离开口型时，温度较高，需要冷却。冷却一方面能降低挤出物的温度，增加存放期内的安全性，减少焦烧的可能，另一方面能降低挤出物的流变性，使形状尽快地稳定下来，以防变形。

常用的冷却方法是使半成品进入冷却水槽中。冷却水槽的水温宜在15～25℃，水流方向与半成品挤出方向相反，水槽中的水要不断更换排放。冷却水槽的长度和宽度以足够容纳挤出物并使其有效地冷却到25～35℃为准。

挤出机的挤出速度，输送半成品的传送带和水槽中的传送带的传动速度要保持一致，以防止半成品的变形。

3．硫化

橡胶水封的硫化，有硫化罐硫化和模型硫化两种方法。硫化罐硫化是以卧式硫化罐为容器，以饱和蒸汽为热源，硫化时将待硫化的半制品平整地放在托架上，然后送入罐内，关闭罐盖后通入蒸汽加热进行硫化。模型硫化是预成型的半制品装入模具内，在热压机上进行加热加压硫化。

五、橡胶水封的现场胶接

工厂生产的橡胶水封，一般来说，单根长度都不能生产的太长，主要原因是受设备、生产场地和运输的限制，再加上各水电工程需要的橡胶水封规格多样，长短不一，所以橡胶水封的工地现场胶接至关重要。

橡胶水封的胶接方法有两种：一是热胶接法，另一种是冷胶接法。

1．热胶接法

用割刀把待接的水封面切成45°面（或平面），用钢丝刷（或手提电动砂轮）打毛，用洁净的毛刷把磨下的胶屑除掉，再用汽油清洗。将两个待接面放入模型内，并在两个面之间放入和水封材质相同的未硫化胶，加热加压硫化。

2．冷胶接法

冷胶接法是使用胶粘剂胶接的方法。胶接是一种技术性的粘接，由于它具有独特的优越性，现已越来越为人们重视。胶粘剂产品种类繁多，而且组成各异，用于橡胶水封胶接的胶粘剂主要是常温固化的胶粘剂，其中氯丁橡胶胶粘剂使用得最多。因为氯丁橡胶是一种结晶性强的橡胶，所以在室温下极易结晶面内聚力增加，使得胶接强度较高。氯丁橡胶胶粘剂结晶性大，初粘力大，工艺性能优越，耐臭氧、耐老化、耐水或海水的特点。粘接型氯丁橡胶胶粘剂其胶接力比通用型氯丁橡胶胶粘剂的胶接力高1～2倍，稳定性也较好，在涂后短期内（2h左右）即可获得较高的胶接强度。如加入JQ-1胶粘剂，对于提高氯丁橡胶胶粘剂的胶接强度有明显的作用，但却大大降低了氯丁橡胶胶粘剂的稳定性。

六、橡塑复合水封

橡胶水封的最大优点是弹性好，适应变形能力强。它的缺点是摩擦系数大，耐磨损性能差，在高水头深孔闸门中，这些缺点却成了橡胶水封的致命性的弱点，它使启闭机容量显著增加，橡胶水封磨损加剧。

聚四氟乙烯具有异常的润滑性，并有极低的动、静摩擦系数。为此，橡塑复合水封是使橡胶和聚四氟乙烯这两种材料，经过一定的工艺处理，复合而成的新型水封，现已在推广使用过程中。

橡塑复合水封具有以下特点

（1）摩擦系数小，且静、动摩擦系数较接近。根据南京橡胶厂和水电部华东勘测设计院等单位联合测试，橡塑复合水封最大摩擦系数采用0.16，最小摩擦系数采用0.1是适宜的。

（2）摩擦系数随负荷增加和滑动速度的降低而减少。在低速高载的条件下，摩擦系数可低于0.01。这一特点对于闸门的工作条件是最合适且有利的，特别是高压闸门，它将大大减小水封启闭阻力。

（3）提高了水封的耐磨损性能。由于聚四氟乙烯大分子间相互引力小，表现为硬度低，抗磨性差。如在聚四氟乙烯中加入适当填料，其耐磨性有较大提高。

第八节　吸水膨胀橡胶

一、概　　述

橡胶通常是由疏水性的碳氢化合物构成的，为了使它具有低的玻璃化温度，在常温下呈现优良的弹性，它不能含有过多的极性取代基。由此可见，从本质上讲，橡胶必然是一种疏水性的材料。然而，如果能够在保持橡胶优良弹性的同时赋予它适当的亲水吸水功能，那么就有可能为这种材料开拓出一些特殊的用途。

80年代初，在专用于各种土木建筑工程堵漏的止水材料方面出现了一种所谓的吸水膨胀材料，它作为嵌缝腻子、止水带、截水材料，在与水接触时会迅速溶胀，从而充斥缝隙的各个空间，保持高度的密封性。这种使橡胶材料获得亲水溶胀功能的方法大致上可分为在橡胶中添加亲水性物质和对橡胶进行化学接枝改性，在其分子中引进亲水性基团两种方法，在目前的实践中采用前一种方法较多，而后一种方法也已陆续有报道。

二、通过掺加亲水性物质使橡胶材料获得水膨胀性能

尽管橡胶从本质上讲是疏水性的。但是，由于在橡胶中总含有少量水溶性或亲水性的物质，例如，在天然橡胶中作为杂质存在的亲水性蛋白质、树脂、糖类和无机盐等以及存在于合成橡胶中的乳化剂、聚合引发剂、pH调节剂、凝固剂等。因此当橡胶与水接触时，这些亲水性的物质就会被扩散入橡胶的水所溶解或溶胀，从而在橡胶的内外形成渗透压差，这个渗透压差对于水向橡胶内部的渗透具有促进作用。这就是为什么在实际上与水接触的橡胶都具有一定程度的吸水性的缘故。根据这个原理，有意识地把具有高度亲水性的物质掺混在橡胶中，只要它们不被水所溶解抽出，那么它们就会大量吸收水分，造成整个橡胶材料的体积膨胀。

（一）吸水性树脂

70年代中期国际上发表了以丙烯腈与淀粉接枝聚合，再将它水解而得到的高吸水性树脂。其后，这种吸水性树脂受到了普遍的关注，现已开发出吸水后能达到其本身重量数十倍乃至数百倍的各种高吸水性树脂，目前已臻于实际应用的吸水性树脂主要有如下一些类别。

（1）淀粉类　如淀粉-丙烯腈的接枝共聚物的皂化产物、淀粉-丙烯酸的接枝聚合物等。

（2）纤维素类　如纤维素-丙烯腈接枝聚合物、羧甲基纤维素的交联产物等。

（3）聚乙烯醇类　如聚乙烯醇的交联产物，丙烯腈-乙酸乙烯酯的共聚物的皂化产物等。

（4）丙烯酸类　如聚丙烯酸盐（主要是钠盐）、甲基丙烯酸甲酯-乙酸乙烯酯共聚物的皂化产物等。

（5）聚亚烷基醚类　如聚乙二醇以二丙烯酸酯交联的产物等。

（6）马来酸酐类　如异丁烯-马来酸酐的交替共聚物等。

可见吸水性树脂大多是由原先的水溶性树脂经部分交联或皂化而成。一般为颗粒状或细粒状的粉末，它们绝大多数不易在橡胶中分散，采用一般的加工工艺是不能把它们与橡胶混炼均匀的。而且制得的材料的吸水性也不及这些吸水性树脂本身那么大。但是，亲水性的聚氨酯却可以作为比较适用的水溶胀性物质而掺用于橡胶材料。

（二）掺用吸水性聚氨酯的水膨胀橡胶材料

一般说来，生产聚氨酯的原料是聚酯多元醇或聚醚多元醇。用于水膨胀弹性橡胶材料的，主要是以聚醚多元醇为原料制成的亲水性聚氨酯预聚体。当这种多元醇中亚乙基醚单元（$—CH_2—CH_2—O—$）的含量相当高（例如超过20%）时，就可以制成具有吸水性的聚氨酯材料。这种聚氨酯材料中存在着大量极性较大的$—CH_2—CH_2—O—$链节，容易旋转，因此经用适当交联剂固化后，能产生较好的回弹性能，而在遇到水时，该链节又会与水生成氢键，导致材料的体积膨胀增大。因此这种聚氨酯预聚体，既可以用一定的固化剂交联而制成遇水膨胀的弹性防水材料（主要是嵌缝腻子之类），也可以通过与一定量的橡胶混合，成为复合的遇水膨胀弹性体，前者难以制成一定的形状，后者可以压出机或压机模压成型。

上述吸水性聚氨酯材料通常是由环氧乙烷与环氧丙烷（80～60%/20～40%重量比）在以甘油之类的醇作为引发剂，氢氧化钾之类的碱作为催化剂条件下共聚而制成聚醚多元醇再与适量的异氰酸酯反应，而得到含有异氰酸酯端的基团预聚体，该预聚体经用适当的固化剂，如4，4′-亚甲基-双-2-氯苯胺（MOCA）、1，4-丁二醇、水、氢醌-双-(β-羟乙基）醚（HQEE）等交联而成。为了改善它同其它橡胶的相容性，可以采用具有特定组成及部分固化的糊状水溶胀性聚氨酯。例如以甘油为引发剂使环氧乙烷与环氧丙烷以7:3（重量比）无规共聚得平均分子量为4000的聚醚多元醇。该多元醇再与甲苯二异氰酸酯（TDI）以1:3摩尔反应，生成水溶胀性聚氨酯预聚物，该预聚物92重量份与液态胺类固化剂（MOCA40%）9份在40℃下反应，得到粘度为12Pa·s（40℃）的糊状聚氨酯树脂材料。取天然橡胶100份，糊状聚氨酯树脂101份，按一般的橡胶加工工艺共混，再配加通常的填充剂、硫化助剂混炼后，用平板压力机硫化得到的性能为：

对天然橡胶的共混性	良好	伸长率，%	650	1个月	70
硬度（JIS）	50	浸水后的溶胀率（重量%）		3个月	70
拉伸强度，MPa	9.3	7天	70		

国内于1984年研制成功的遇水膨胀密封材料821AF和821EF，也系属于这一类型的产品。821AF是由一定的聚醚型多元醇与甲苯二异氰酸酯反应得到预聚体，经用硫化剂MOCA固化后制成的弹性防水材料。为了便于操作和改进弹性体的强度，制备时可加入适量的邻苯二甲酸二了酯。这种材料可直接在施工现场浇注，也可先浇注在模型内，制成定形材料后再到现场粘贴。这种材料在水中浸渍7天后的膨胀率可以达到140～160%。它的物理力学性能如表1-8-1所示。

表 1-8-1　821AF防水材料的物理力学性能

项　目		浸水前	浸水后	项　目	浸水前	浸水后
硬度（邵尔A）		67～72	—	拉伸强度，MPa	4.3～4.7	1.9～2.35
抗压强度 MPa	压缩30%	3.4～3.9	2.45～2.94	伸长率，%	250～300	75～100
	压缩50%	7.8～8.3	5.9～6.4	抗渗标号	>8kg	>8kg

注：1.浸水膨胀后的物理力学强度按材料膨胀后的几何尺寸计算。
2.抗压强度：用20×20×20mm的试样测单轴抗压强度。
3.拉伸强度和伸长率用3mm哑铃形试片测定。
4.抗渗性：采用测定不同宽度接缝止水时间的装置，测定防水材料压缩15%，接缝再以可相当于材料厚度30%的抗渗标号。

821BF是由亲水性的聚氨酯预聚体与氯丁橡胶、丁基橡胶、丁腈橡胶、三元乙丙等合成橡胶在炼胶机上经充分混炼，再在压机上加热硫化而成。根据聚氨酯预聚体中聚醚上亲水基团的不同，可以得到具有不同遇水膨胀率及力学性能的各种材料。兹以由聚氨酯预聚体与氯丁橡胶混炼而成的821EF为例，其主要性能如表1-8-2。

表 1-8-2　821BF防水材料的物理力学性能

项　目		浸水前	浸水后
硬度（邵尔A）		35～40	—
抗压强度 MPa	压缩30%	0.88～1.17	0.78～0.98
	压缩50%	2.45～2.74	2.16～2.55
拉伸强度，MPa		4.21～5.88	1.47～1.86
伸长率%		>700	>250
遇水膨胀率，%（体积）		—	180～200
抗渗标号		>8kg	>8kg

（三）掺用其它高吸水性树脂的水膨胀能胶材料

除了掺用亲水性的聚氨酯外，也可以通过在橡胶中掺用其它吸水性树脂而制得水膨胀橡胶材料。这时宜选用吸水倍率较高，吸水后强度较好的吸水性树脂，如部分交联的聚丙烯酸钠、异丁烯-马来酸酐的共聚物等，其中，以含羧酸盐的高分子电解质作为吸水性高分子树脂材料尤为适宜，特别是以乙烯基醚和烯烃不饱和羧酸或其衍生物为主要成分的共聚物的皂化物以及聚乙烯醇/丙烯酸盐的接枝共聚物，不但吸水后的强度很高，而且还能提高吸水后材料的刚性。

这种在弹性体基材中混入吸水性高分子树脂来制造水膨胀橡胶的方法，由于吸水性高分子的吸水能力远高于基材，该高分子在吸水膨胀后必然会与基材相脱离，也就是说，这种复合材料在接触到水时，表面附近吸水性高分子材料会吸水而膨胀，从而从弹性体基材表面上脱落下来。这种现象会从表面依次向内部发展，一直延续到所有的吸水性高分子材料与基材分割脱落，因此，不仅复合材料的表面比较粗糙，而且随着吸水性物质的脱落，材料的吸水性和保水性逐渐消失。

为了克服上述缺点，要求把掺入橡胶的吸水性树脂的平均粒度控制在100μm以下，如果能小于50μm，则更好。其原理估计是细粉状的吸水性高分子吸水后的弹性能与橡胶基质的

弹性达到基本平衡，从而使两者能共存于同一体中，而不发生分离与脱落。此外，还要求掺用吸水性高分子树脂在吸水后能达到其本身自重的50乃至100倍以上。例如，在含有10gNaCl的水300ml中，使用0.5g过氧化苯甲酰作为聚合引发剂，使用3g部分皂化的聚乙烯醇作为分散稳定剂，使60g乙酸乙烯酯与40g丙烯酸甲酯以65℃×6h的条件悬浮聚合；再取制得的聚合物8.6g悬浮于由200g甲醇、10g水和40ml 5mol/L NaOH组成的皂化液中，以25℃×1h和65℃×5h的条件相继进行皂化反应；最后以甲醇洗涤减压干燥得到6.8g粒径为20～300μm的球状干燥皂化物，其吸水倍率为750(g/g)。把如此制得的吸水性高分子材料，按粒径分级分成平均粒度为75μm和200μm的两种，分别以100重量份掺用于乙丙橡胶，按表1-8-3制成混炼胶，再以160℃×15min的条件用热压机硫化成1mm厚的试片，作浸水试验的结果仍如该表所示。

表 1-8-3 吸水性高分子的粒度对吸水膨胀橡胶性能的影响

吸水性高分子的平均粒度，μm	75	200	吸水性高分子的平均粒度，μm	75	200
试验胶料配方（重量份）			促进剂M	0.5	0.5
三元乙丙橡胶(エスプレン501A)	100	100	促进剂IDC	1	1
氧化锌	5	5	硫　　黄	0.7	0.7
硬脂酸	1	1	吸水性高分子	100	100
炭黑FEF	40	40	浸水试验后	均匀膨胀	吸水性高分子从表面脱落
石蜡油	30	30			
一硫化四甲基秋兰姆	1	1	吸水率	14.3	2.6

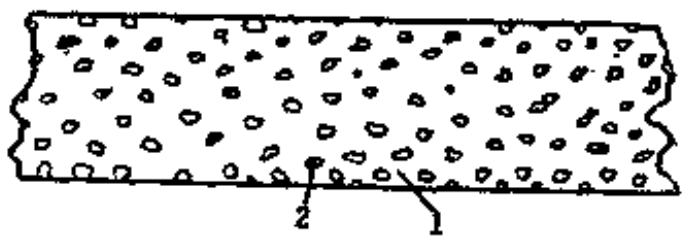


图 1-8-1 吸水性树脂与橡胶的简单共混体
1—橡胶；2—吸水性树脂颗粒

除了吸水性树脂的粒度外，橡胶的掺混工艺对制成品的外观、物理机械性能等也有重要影响。这是因为吸水性聚合物，特别是具有交联结构的吸水性聚合物与橡胶的相容性十分差，故两者共混后吸水性树脂会如图1-8-1所示那样以颗粒状分布在橡胶基质中，这就会影响到成型的外观及吸水溶胀的均匀性，这不利于产品物理机械性能的提高。为了改善吸水性树脂与橡胶的共混性，为了使具有交联结构的吸水性聚合物能与橡胶直接混合，有人提出了掺水混炼的工艺，即预先进行橡胶与非相容性的吸水性树脂的混炼，然后在其中掺加水和按配方规定的各种其它添加剂。采用这种方法后，不但可以使共混体中不再有吸水性聚合物粒子残留，而且炼胶作业也变得极为方便。在吸水性聚合物均匀分散于橡胶基质中后，所掺入的水会在开炼机的混炼热作用下蒸发掉，因而对后续加工毫无妨碍。必要时，还可以通过添加氧化钙等把残留的水分完全除去，掺水量（以吸水性聚合物为100重量份计）为50～100重量份，也还可以把跟吸水性聚合物具有相容性的物件；如甘油等与水并用，一起掺混。胶料配方中的其它配合剂，如填充剂、活化剂、硫化促进剂、硫化剂、防老剂、软化剂等并非绝对要与水同时掺用，也可以在掺水之前或之后掺入。也有一些资料报道，在吸水性树脂中掺入季铵盐或某些表面活性剂也能促进和改善吸水性聚合物在橡胶中的分散性。

吸水性树脂-橡胶复合体的吸水膨胀率无疑是随着吸水性树脂用量的增加而增大，例如，以异丁烯-马来酸酐的共聚物作为吸水性树脂，将它以不同量掺用在天然橡胶中，按表1-3-4

表 1-8-4 掺用不同量吸水性树脂的天然橡胶配方

配方编号	1	2	3	4	5
天然橡胶	100	100	100	100	100
异丁烯-马来酸酐共聚物	20	40	60	80	150
沉淀白炭黑 (VN_3)	40	40	40	40	40
氧化锌	5	5	5	5	5
硫黄	3	3	3	3	3
促进剂 D	1	1	1	1	1
促进剂 DM	1	1	1	1	1

配方制备混炼胶，混炼方法是先以橡胶与吸水性树脂及硫化体系混炼，接着再将沉淀白炭黑与水的预混体掺入胶料，混炼均匀后，装入模型以160℃×10min硫化，得到的产品的拉伸强度为11.37MPa，伸长率为485%，硬度(JIS)为60，它们的吸水溶胀率如图 1-8-2 所示。

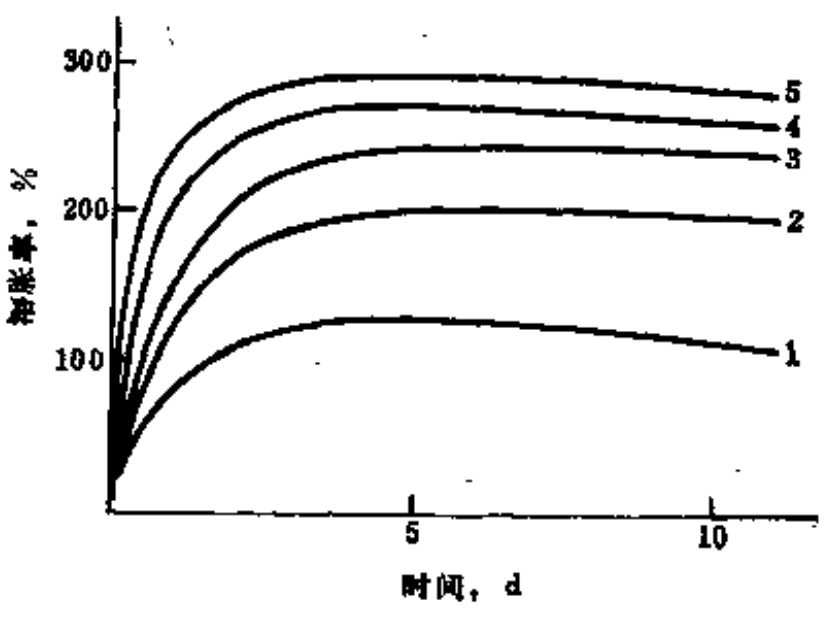


图 1-8-2 掺用不同量吸水性树脂的天然橡胶浸水后的溶胀率

1、2、3、4、5如表1-8-4

对于作为主体材料的橡胶来讲，由通常的非结晶性橡胶与吸水性树脂共混而成的材料易发生冷流现象，用作止水材料时会丧失止水效果，因此最好采用常温下结晶区域或玻璃化区域达到5～50%的1，3-二烯类橡胶，特别是氯丁橡胶和热塑型SBS橡胶。

在橡胶中掺混吸水性树脂的同时，若再并用上面谈到的亲水性聚氨酯，则可以起到协同效果，所得材料的吸水性和保水性要比它们两者单独掺用时高，但这时吸水性树脂的粒度最好在20μm以下。此外，在掺用吸水性树脂的同时再掺用少量（如10重量份左右）水溶性树脂（如聚环氧乙烷等）有助于提高膨胀速率和倍率。

应该指出，上面所述的遇水膨胀橡胶材料在纯水中的溶胀率是与水中含有杂质时，特别是含有盐类时的情况不同的，也就是说，当水中存在两价以上多价金属离子时，材料的溶胀率就会降低，因此当它用作止水密封材料时，其应用受到一定限制，具体地说，当它应用于与海水接触的海洋工程时，当雨水或淤泥水中含有金属离子时，它的吸水膨胀性能就会受到影响。

为了使水膨胀橡胶材料的水膨胀性能不受水中所含金属离子的影响，可在上述复合材料中掺用金属离子封闭剂作为该材料的组分之一。适用的金属离子封闭剂是缩合磷酸盐和像乙二胺四乙酸及其金属盐那样的氨基羧酸衍生物，也就是说，大于 1 的多价螯合剂，其用量可以在1～50重量份之间。例如在由氯丁橡胶和交联的异丁烯-马来酸酐共聚物为主要成分组成的吸水性橡胶材料中，掺用或不掺用三磷酸钠 ($Na_2P_3O_{10}$) 而制成的样品，置于含有 2.5% $Ca(OH)_2$的淤浆中作浸渍的试验的结果如表1-8-5所示。

除了上面提到的以水溶胀性聚合物与橡胶共混的方法外，以未交联的橡胶与特定量的白炭黑及增塑剂组成的胶料，也可以成为具有水膨胀性的密封材料。这种密封材料由（A）

表 1-8-5 金属离子封闭剂在水膨胀橡胶中的效果

橡胶的主要组成（重量份）		
氯丁橡胶	100	100
交联的异丁烯-马来酸酐共聚物	30	30
三磷酸钠	30	0
在淤浆中浸渍后的溶胀率，重量%		
15天	498	550
1个月	640	630
3个月	890	420
6个月	1050	350
1年	1180	320

热塑性橡胶，（B）白炭黑和（C）增塑剂三种必需成分组成，并且以（A）为100重量份计，（B）宜为70～300重量份，（C）为30～200重量份，还要求在整个密封材料中（B）组分的含量达到20～50重量%。例如，以Shell公司出品的SES和SIS型热塑性橡胶及Cariflex TR4113和TR1147为基材按上述原则配合的诸胶料，以140℃混炼后，压出成矩形断面(30×5mm)，制成密封材料作试验的结果如表1-8-6所示。

表 1-8-6 以热塑性橡胶和白炭黑为基材的水膨胀橡胶（重量份）

配方编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TR 4113	100	100	100	100	100	100	100	100	100	—
TR 1107	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10
芳烃油	100	70	70	70	70	40	150	150	100	70
硬脂酸	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
トクシールGU	130	140	—	80	140	140	250	140	160	140
リーレツクスCM	—	—	140	—	—	—	—	—	—	—
エスコレツツ1102B	—	—	—	—	30	70	70	70	100	70
溶胀度，%	27	22	19	10	23	13	26	23	13	11
弹性复原性，%	54	58	58	82	54	71	47	44	65	77
发生漏水的水压，kPa	686	637	637	686	637	686	588	588	686	686

注：1.トクシールGU—气相白炭黑；リーレツクスCM—沉淀法白炭黑；エスコレツツ1102B—主要成分为不饱和烃聚合物的增粘剂。

2.溶胀度（%）$=\frac{\text{样品在水中浸泡1 d后重量}-\text{水中浸泡前的重量}}{\text{水中浸泡前的重量}}\times 100$

3.弹性复原性：加24.5MPa初面压，停放30min，除压后放置24h后测量。

弹性复原性（%）$=\frac{\text{压缩后样品厚度}}{\text{原来的厚度}}\times 100$ 。

4.漏水压力——把矩形断面的材料夹置在铁制的凸缘中，以24.5MPa的初面压压缩2h，除压后把凸缘间隙固定在2mm，施加490kPa的水压，满30min后不出现漏水现象，到增压后出现漏水。所有样品在发生漏水后，再经过2～3h就停止漏水即具有自动堵漏的性能。

三、通过化学改性使弹性体本身获得亲水吸本性

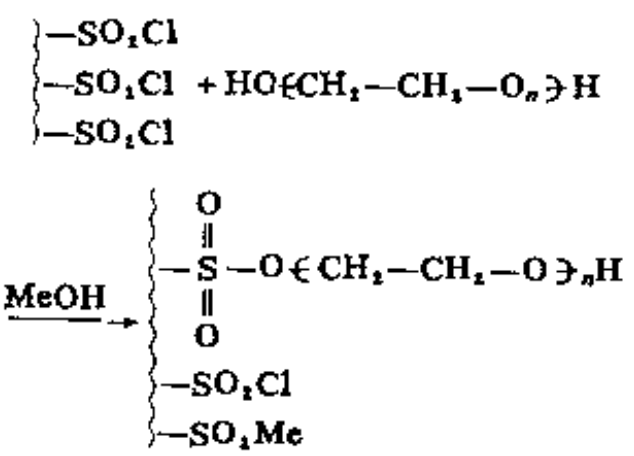
上面所介绍的一些水膨胀橡胶材料基本上都是通过把吸水性的聚合物均匀地分散在疏水性的橡胶基质中制成的，这种材料在吸水后强度的降低甚为明显。最近的研究发现，以亲水性的聚合物，如聚环氧乙烷、聚环氧丙烷等与弹性体接枝可以合成出在保持橡胶状性质的同时，又具有相当吸水性的材料。尤其令人感到兴趣的是，这种弹性体在吸水后，水兼有软化剂和补强剂的作用。所用的弹性体主要是氯磺化聚乙烯，这是因为这种橡胶具有如下的特殊结构：

$$\{\{CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_2\}_m\underset{\displaystyle SO_2Cl}{\underset{|}{CH}}\}_n$$

其中的氯磺酰基团（$-SO_2Cl$）原本是作为交联活性点面引进聚合物的，但也可以利用该基团的反应活性而对该聚合物进行改性。

1．由氯磺化聚乙烯与聚乙二醇组成的接枝聚合物。

聚乙二醇（PEG）是一种典型的水溶性聚合物，各种分子量的产品均已工业化生产。为了实现聚乙二醇对氯磺化聚乙烯的接枝，不能采用这两种成分的共溶剂进行均相反应，而应在与水不相容的氯磺化聚乙烯的有机溶剂溶液中进行反应，也就是说把氯磺化聚乙烯的有机溶剂溶液、碱水溶液以及聚乙二醇以任意顺序混合，在加热搅拌下反应，即可制得具有亲水性的接枝弹性体。其中的有机溶剂可以是四氯化碳、三氯乙烷、二氯乙烷之类卤化烃；聚乙二醇的用量宜掌握为它所含的羟基对所用氯磺化聚乙烯中的磺酰氯（$-SO_2Cl$）基相比，为等摩尔或更高些。所用的碱一般是氢氧化钠，其用量宜比所用的聚乙二醇当量高一些。溶解碱所用的水的量应保证能使所用的聚乙二醇完全溶解，而且还能借助于乳化作用使反应混合物形成均匀的乳液。反应温度通常为40～80℃。此反应的模式估计如下：



也即，氯磺化聚乙烯中的$-SO_2Cl$基，一部分与聚乙二醇中的端羟基发生了缩合反应，生成了聚亚乙基醚支化链，还有相当一部分被碱水解，生成了磺酸盐基团，再有一部分未参与反应。反应温度高时，$-SO_2Cl$几乎全部消耗于接枝和水解，而反应温度低时，未反应的$-SO_2Cl$基残留较多。据透视电镜观察，在反应产物中存在着许多无规分布的直径约10～25nm的粒子，说明它是模式结构，如图1-8-3所示的离聚体，即这些微小的粒子是由磺酸盐离子相互凝聚而成的凝聚区，它具有相当于硫化胶交联点的效果。此外，在该产物中也存在着一定数量的聚乙二醇结晶区域，因而是一个三相体系，它不溶于通常的有机溶剂，而溶于四氢呋喃、二氧杂环己烷、二甲基甲酰胺、吡啶等极性有机溶剂。这种聚合物的亲水性（吸水性）随接枝率的提高而增大。使用不同分子量的聚乙二醇得到的各种接枝聚合物在水中浸渍的时间与吸水率的关系如图1-8-4所示。



图 1-8-3　离聚体的结构模式

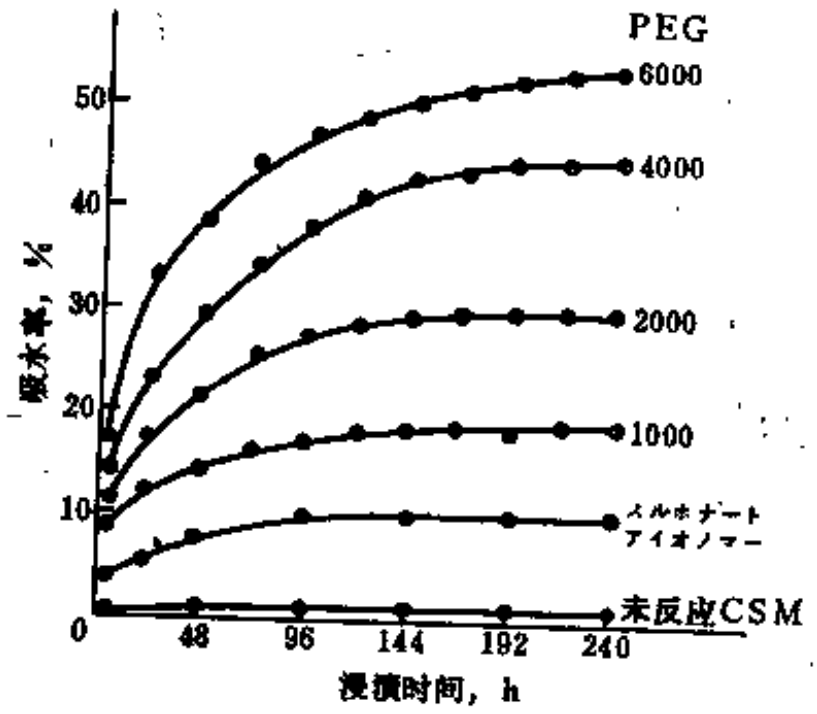


图 1-8-4　氯磺化聚乙烯-聚乙二醇接枝聚合物的吸水曲线

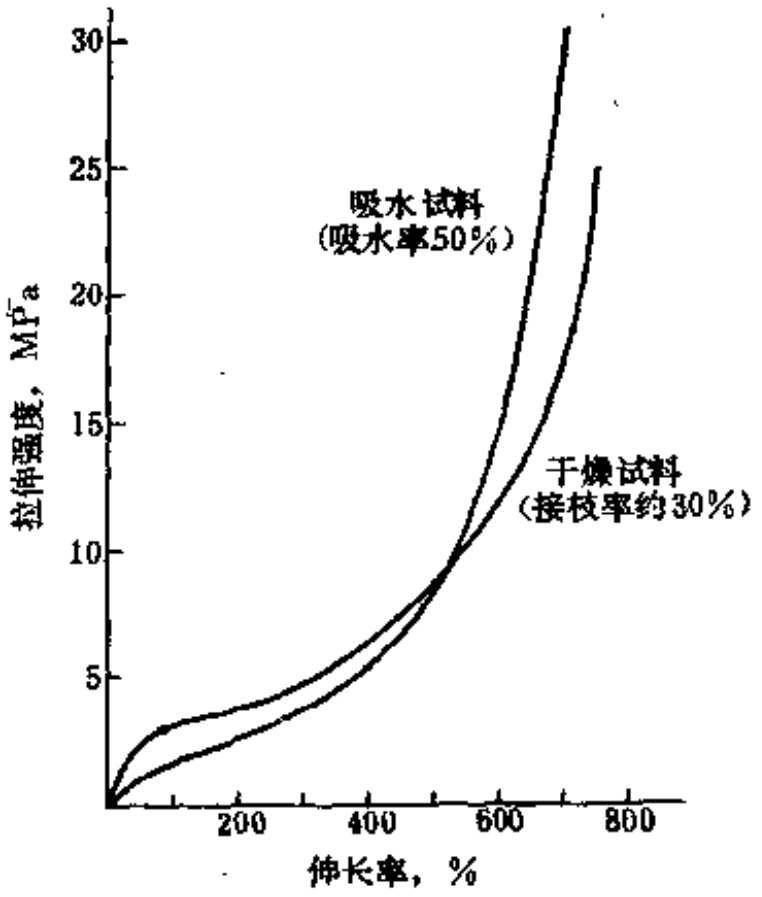


图 1-8-5 氯磺化聚乙烯-聚乙二醇接枝聚合物的拉伸试验结果

图中的磺酸盐离聚体是指不使用聚乙二醇，而单单使用碱而得到的产物。图1-8-5是使 PEG 6000（后面的数字指分子量）得到的接枝率约30%的样品的溶液浇铸膜在干燥状态和含水状态下的拉伸强度测试结果。这些样品虽仅仅是在室温下经真空干燥处理而成，但已显示出完全可与普通的硫化橡胶相比拟的拉伸强度。特别是与干燥样品比较，含水样品在低伸长时的定伸应力虽然较低，但拉伸强度却大得多，显然水在这类材料中兼起软化剂和补强剂两种效果。

最近也有报道，在配备多轴搅拌系统的反应釜中用碱处理氯磺化聚乙烯的水不溶混性溶剂溶液，再在水存在下蒸馏掉溶剂，也能够制得亲水性的离聚体。例如，在二氯乙烷中用NaOH处理氯磺化聚乙烯（Hypalon 40）可以制得吸水率（72h）为15%的离聚体。

2．由氯磺化聚乙烯与含氨端基的聚亚乙基醚组成的接枝聚合物

由氯磺化聚乙烯与至少分子链的一端含有伯氨基的聚亚乙基醚在溶液中反应，也可以得到具有橡胶弹性的吸水性接枝聚合物，这时可以采用两种反应成分的共溶剂（如氯仿等）进行均相反应，此反应模式推测如下：

$$\left\{\begin{matrix}-SO_2Cl\\-SO_2Cl\end{matrix}\right. + 2N_2N\leftarrow CH_2-CH_2-O\rightarrow_nNH_2 + \left.\begin{matrix}ClO_2S-\\ClO_2S-\end{matrix}\right\} \rightarrow \left\{\begin{matrix}-SO_2NH\leftarrow CH_2-CH_2-O\rightarrow_n \quad NHO_2S-\\-SO_2NH\leftarrow CH_2-CH_2-O\rightarrow_nNH_2ClO_2S-\end{matrix}\right\}$$

例如，在60℃恒温下使海伯隆40与分子两端含伯氨基的聚亚乙基醚（PEOA-6000）在氯仿中反应，再用甲醇沉析，可以得到平衡吸水率达到45%的接枝产物。此产物与上述的聚乙二醇接枝产物一样，是一个多相体系。它不经硫化的浇铸膜，不论是在吸水前还是吸水后，强度均比未硫化的氯磺化聚乙烯高，水同样兼有软化剂和补强剂的效果。

四、水膨胀橡胶材料的应用

在地下工程和土木建筑中，如地铁、隧道、大坝、屋面、厂房等，都存在着接缝和施工缝，或因各种原因造成的裂缝，这些接缝和裂缝是造成建筑物渗漏水的症结所在。对此曾提出过许多解决措施，但效果大多不够理想。以往在这方面应用比较成功的是丁基橡胶系列的未交联橡胶密封腻子，这种材料粘性很高，叠接时会形成一整体，并且对所施部位的凹凸具有很高的应顺性，但是它在高负荷下的变形很大，缺乏弹性复原性，当间隙变化较大时，就容易发生漏水、渗水现象。此外，氯丁橡胶制的防水密封嵌条应用也很普遍，使用这种材料时，为了取得密封效果，需保持一定的压缩率，因而材料用量大，但长期压缩会引起应力松弛和弹性疲劳，从而影响防水密封效果。在用作盾构隧道管片的防水密封时，还会因管片预留槽过多

而在施工中损坏剥落，造成涌水或漏水。其它一些防水建筑材料，如沥青、油毡、塑料等，经过不长时间就会发粘、变硬、脆裂，而失去防水作用。

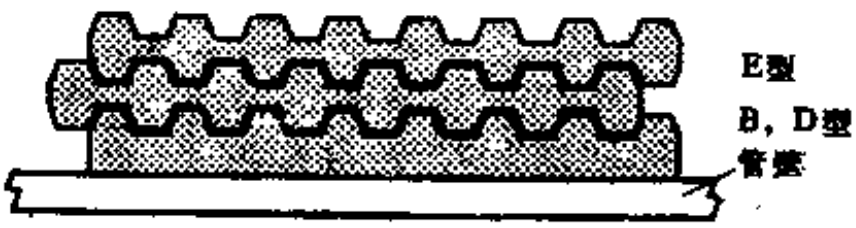
水膨胀橡胶材料不仅具有与橡胶相似的弹性和延伸性，还具有遇水膨胀的特性，因此用它作为堵漏密封止水材料，当接缝或施工缝发生位移，造成间隙超出材料的弹性范围时，该材料还能通过吸水膨胀来止水，因此使用这种材料不仅用量可以节省，而且还可消除一般弹性材料因过大压缩而引起弹性疲劳和施工时易擦坏剥落的缺点，使防水效果更为可靠，因而广泛应用于大坝、竖井、水池、隧道、地铁等建筑工程中。日本一些主要厂家在专利文献中公布的用作止水材料的水膨胀橡胶材料概要如表1-8-7所示。

表 1-8-7　日本生产的水膨胀橡胶制品止水材料

专　利　文　献	专利申请人	技　术　概　要
JP 昭60—35074	三葉ゴムレ業（株）	橡胶/与水相溶的吸水性树脂/石灰-石膏膨胀剂
JP 昭59—164332	琦玉ゴム（株）	在反应树脂或橡胶中掺混反应性水溶胀性树脂
JP 昭59—145228	クラレイソプレン（株）	氯丁橡胶或氯磺化聚乙烯/高吸水性树脂/金属氧化物类硫化剂
JP 昭57—190065	三洋化成（株）	天然橡胶或合成橡胶/淀粉或纤维素的接枝聚合物
JP 昭57—158279	桥石轮胎（株）	未交联橡胶/白炭黑/增塑剂/炭黑
JP 昭57—151670	桥石轮胎（株）	热塑性橡胶/白炭黑/增塑剂
JP 昭57—135160	クラレイソプレン（株）	含吸水性树脂的水溶胀性橡胶层/水不溶胀性橡胶层的层压产物
JP 昭57—119972	旭電化工業（株）	分子内含有亲水性聚醚键和乙烯型不饱和键的水溶胀性物质/橡胶/分子间交联物

为了改善由吸水膨胀橡胶材料的止水密封件的耐压缩性能，可以把非吸水膨胀型的两种橡胶材料通过共压出制成复合体。例如把表1-8-8所示的胶料A捏炼20min后以 170℃×10min 压制成2.8mm厚的板材；得到吸水膨胀倍率为11.6的水膨胀材料，然后以胶料B与之共压出，再进行模压硫化，即可得到耐压缩性能优良，且在水中也不分层的复合止水材料。

据报道，日本应用地质株式会社利用丁苯橡胶和住友化学公司出品的高吸水性树脂スシカゲル开发出了供地下水勘查用的截水材料，商品名称叫做ナイスシール。这种材料的吸水膨胀倍率达到25倍（体积比），在膨胀率达到10倍时，即能产生数兆帕的压力。为了能有效地产生截水作用，它制成特殊的形状见图1-8-6。



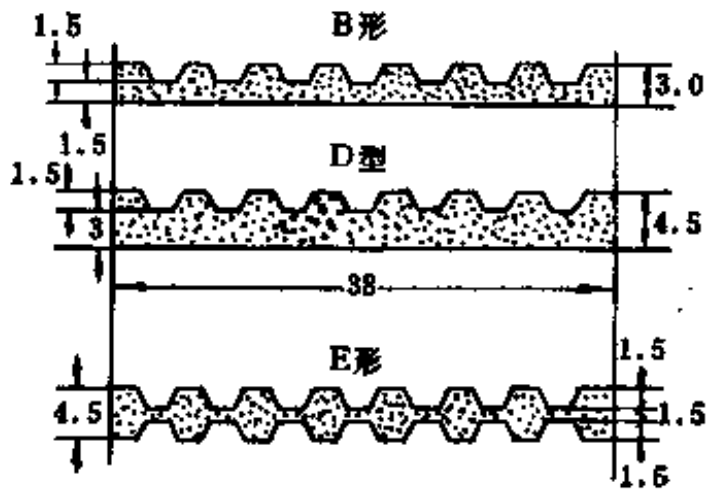


图 1-8-6　ナイスシール的断面形状及其重叠方式

表 1-8-8　复合止水材料的配合例（重量份）

胶料A（吸水膨胀型）		胶料B（非吸水膨胀型）	
氯丁橡胶	100	氯丁橡胶	100
氧化镁	4	氧化镁	4
活性氧化锌	5	活性氧化锌	5
促进剂	1	促进剂	2
硬脂酸	1	硬脂酸	0.5
防老剂	2.0	防老剂	3.0
操作油	20	操作油	16
吸水聚合物（吸水后增重200倍）	100	炭黑	50
白炭黑（HV300）	10	碳酸钙	30
合　计	243	合　计	210.5

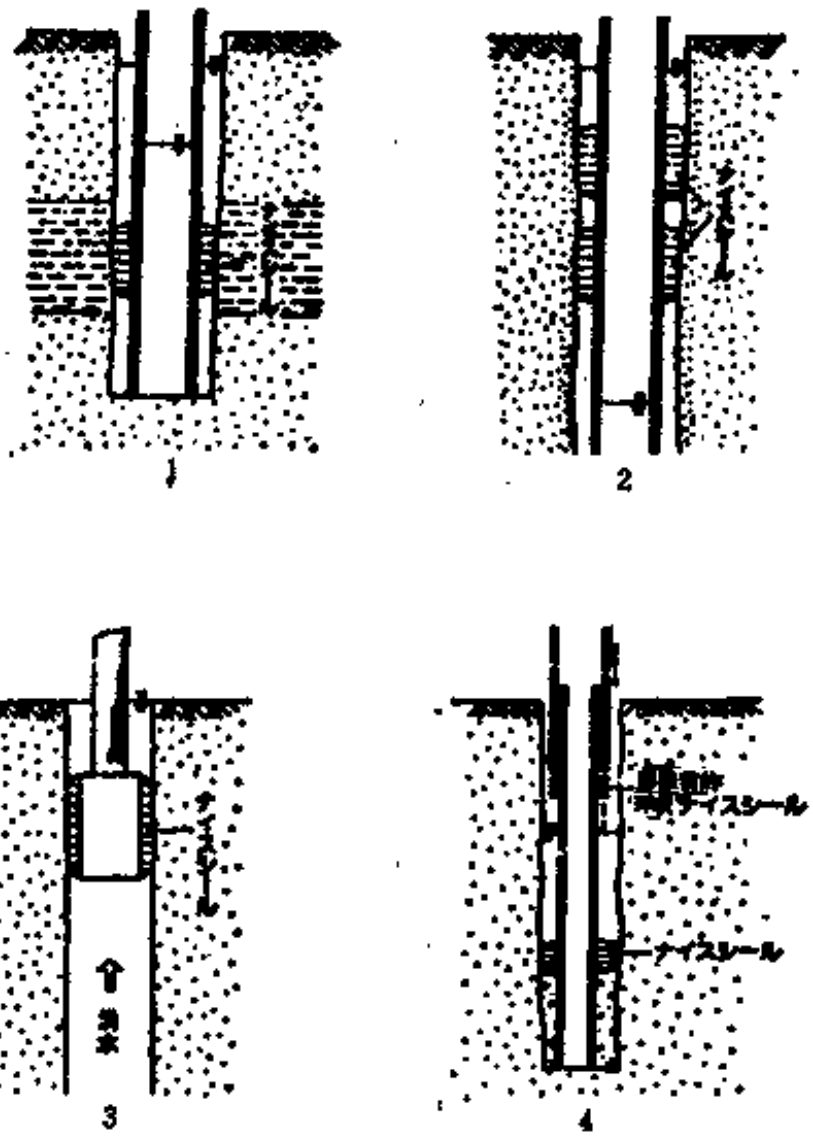


图 1-8-7　ナイスシール的应用例

1—用于透水试验等的封隔；2—用于地下水位与内管水位之间落差大时的多级密封；3—用于堵截钻孔的涌水涌气；4—用于砂砾铺设后上部的截水

并可通过不同型号的相互重叠获得各种不同的厚度，以满足不同场合的需要。以往在这类勘探中主要采用膨润土、水泥等从钻孔口投放到规定深度或者用充满空气或水的橡胶件来截水的，但是这些方法截水的可靠性较低，并要求具备熟练的操作技巧，特别是在山地作业时，需要把许多机械和设备运送上去，十分不便。此外，随着截水位置深度的增加，操作难度呈几何级数增大，当深度达到200～300m时，几乎不能再采用这类方法。反之，采用上述以水膨胀橡胶制的截水材料时，在地面上即可按照要插入地内钻孔中物体所决定的厚度，预先盘绕好，为防止插入时松散开来，还可用胶粘带作暂时性固定，然后送至有地下水的规定深度就可以了。不需要任何额外的机械和工具，在所希望的截水深度上能起到可靠的截水作用，而且其深度没有限制，因此该法方便、廉价而且可靠。具体应用例如图1-8-7所示。

此外，使用上面所述的吸水性橡胶材料还可以制成防结露壁材，亲水性辊筒等特殊产品。再者，上面提到的通过接枝改性制成的亲水性弹性体，估计在制作功能膜、医用卫生材料等方面，也将大有作为。

第九节　桥面橡胶伸缩缝

一、概　　述

桥梁由于温度变化、混凝土的收缩与蠕变及荷载等因素的影响，其连接端部会产生一些变形，为适应这些变形，并且保持桥面平顺，需要设桥梁伸缩缝装置。传统桥梁伸缩缝多为梳形板之类结构形式，这类结构的伸缩缝在伸缩过程中会形成沟槽，在其上加盖覆盖板后会有凸棱使桥面失去平整，当车辆通过时受冲击振动大，缝体易损坏，虽经常保养维修，严重者也会使桥梁早期损伤，并且没有防漏效能。橡胶桥梁伸缩缝是伸缩缝中的较好型式，它发挥了橡胶材料的大变形和高弹性特性，对运动有微不足道的阻力来满足各种因素所引起的桥梁的伸缩变形，除能使行车平稳舒适外，并对桥面有防渗漏功能，避免因渗漏造成桥梁金属件的锈蚀，改善结构受力状况和桥梁整体的美观，延长桥梁的寿命。

橡胶桥梁伸缩缝与以往的钢结构梳齿伸缩缝比较，具有良好的防水防尘性能，重量轻，噪声小，行车跳动小，不易损坏，造价低廉，并且毋需经常养护等优点。随着交通量的增大，车

速和车重的提高，立交桥工程和大跨度桥梁的发展，桥面橡胶伸缩缝的应用日益广泛。

我国拥有90万km公路和14万座桥梁，正确设计和选择橡胶伸缩缝将对提高桥梁的使用寿命和经济效益起着重要的作用。

50年代中期，经济发达国家的城市交通感到紧张，原来平面交通已无法满足和适应。城市街道立体交叉和高架道路的建设日益增多，桥面伸缩缝装置的耐久性，行驶性和防水性等问题开始受到重视。因此发展了能防止渗漏水保持行车平稳并能减小噪声的各种橡胶伸缩装置。

常用的橡胶伸缩缝品种主要有长条中空式橡胶伸缩缝（即空心板型，其伸缩量为30～60mm）、板式橡胶伸缩缝（其伸缩量为45～330mm），以及M型、W型和管状橡胶伸缩装置等。后几类橡胶伸缩装置伸缩量不大，但也能满足一般桥梁使用。

60年代中期，经济发达国家高速公路有较大的发展，它对桥面提出了最好少设置接缝的要求，以利车辆高速平稳通过桥面，因面要求有大位移的桥面伸缩装置。

由于纯橡胶制品的伸缩装置很难做到满足大位移的要求，钢制的伸缩装置又不能做到密封不透水，容易对车辆冲击，影响车辆的行驶性，因此发展了各种类型的组合伸缩装置，既利用橡胶吸震缓冲性能及密封性能，又利用钢材强度高，刚性好，能在大位移情况下支承车辆荷载的特点。

这类组合伸缩装置保留了橡胶和钢制伸缩装置的优点，克服了各自的缺点，成为既能满足桥梁大位移要求，又能承受车辆荷载，还能防止渗水，减缓冲击，减低噪声，行驶性好等诸优点的组合装置。主要有预应力弹性伸缩装置和V组合伸缩装置，最大伸缩量可达1040mm左右。

我国对于橡胶伸缩缝的研究和应用始于60年代末期，开始应用的橡胶伸缩装置绝大部分是双孔空心板型橡胶条，伸缩量30～60mm，在国内桥梁及援外的一些桥梁上广泛应用，取得良好效果，随后有些桥梁用了M型、W型、Q型等各种形式的伸缩条。到1985年左右，由于桥梁建设大幅度发展，平板式橡胶伸缩缝、EF型橡胶伸缩装置逐步开始应用，其伸缩量为30～200mm，国内的公路、城市中小桥梁和高速公路桥梁、立交桥梁均已逐步使用这两种型式伸缩缝。近几年来，有关科研单位和生产工厂已开始研究和试产更大位移量的橡胶伸缩缝。

二、各类橡胶伸缩缝（装置）的性能和特点

由于各类型的橡胶伸缩装置有着各自不同的特点和适用条件，应根据桥型特点和条件选择适当的伸缩装置。国内已使用的几种主要橡胶伸缩装置的适用性、结构、特点分别介绍如下。

1．空心板型橡胶伸缩缝

空心板型橡胶伸缩缝为长条状的橡胶制品，它的构造是把空心橡胶嵌入两端预埋的角钢之间并用胶粘剂使其粘接，其断面结构见图1-9-1，它适用于中小跨径桥梁使用。这种型式的伸缩缝装置，构造简单，伸缩性好，防水防尘经久耐用，为我国最早用于桥梁伸缩缝的橡胶制件，在1969年上海西藏路桥安装使用，经10多年的运营迄今完好。证实橡胶密封条作为桥梁伸缩缝的合理性，并对橡胶配方在桥梁伸缩缝使用的工程性能积累了实践经验。

空心板型橡胶伸缩缝弹性高，耐老化性能优良，能随桥梁伸缩而伸缩，伸缩量为20～60mm，在正常情况下，橡胶条始终保持受压状态。空心板型胶条断面孔上部胶层较厚，面

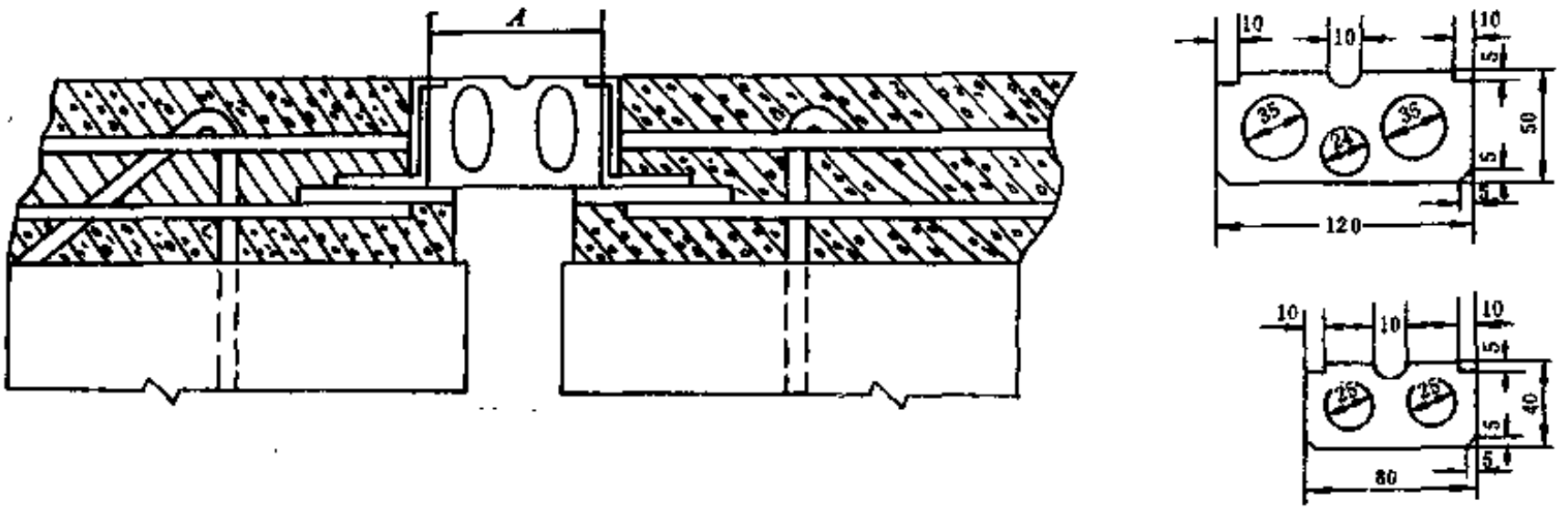


图 1-9-1　空心板橡胶伸缩缝结构及橡胶件断面图

部中线并有凹槽，断面孔下部胶层较薄。当胶条沿桥向受压时，胶条向下变形，不会发生向上拱起现象，这样就保证了路面平整。

橡胶条根据伸缩量不同，其结构分成两孔和三孔两种形式。两孔的伸缩缝一般适用于10～30m跨径，伸缩量不大于30mm的桥梁；三孔的一般适用30m跨径，伸缩量不大于60mm的桥梁。该类型式伸缩装置的优点是构造简单，施工安装方便，造价低廉，适合中小跨径的桥梁使用；缺点是如果安装马虎，没有正确计算好预压缩量，则会发生胶条上跳下掉现象而损坏。

2．W型橡胶伸缩缝

W型橡胶伸缩装置的构造见图1-9-2。

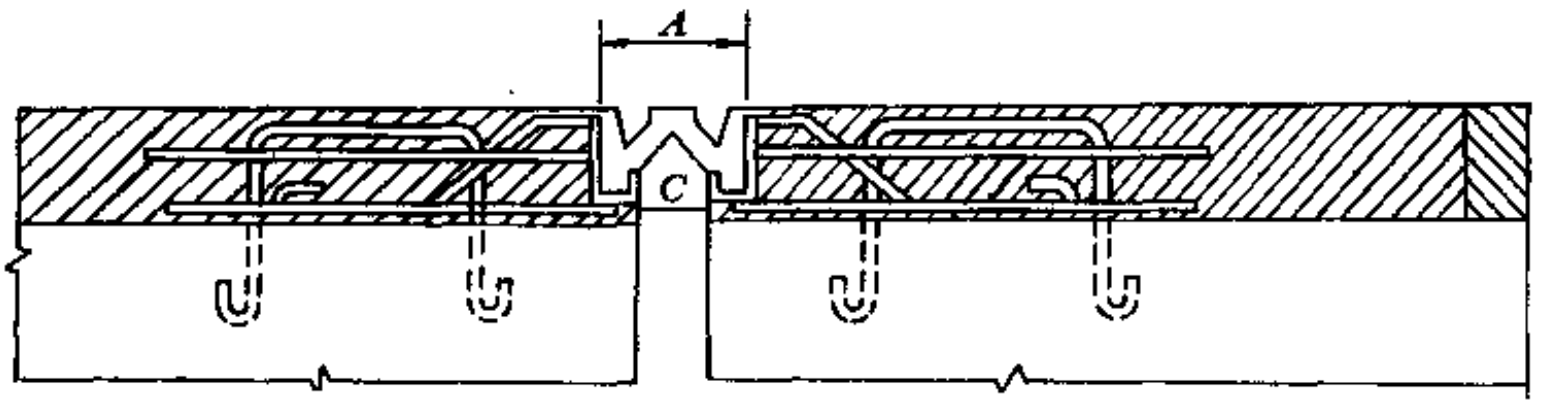


图 1-9-2　W型橡胶伸缩装结构

W型橡胶伸缩装置由断面为W型的橡胶和型钢组成，是针对空心板型伸缩缝的缺陷而设计的一种伸缩装置，它从根本上克服了空心板式橡胶伸缩缝只靠水平力压缩，不能在构件收缩时借助外力膨胀的缺点。也改变了国外小变形橡胶伸缩构件依靠橡胶和环氧之间的粘接力进行伸缩，容易脱胶的弱点面加以改进的。

W型橡胶伸缩缝，横向受力如弹簧，易伸易缩，水平压缩反力小，无水平拉应力。竖向受车轮荷载时又如拱结构能，承受较大荷载，结构造型也比较轻巧和美观。同时由于W型橡胶条嵌在异形钢件中，一般不会发生上跳下掉现象，密封和防水性也较好，安装施工方便。其缺点是行车时有一定的跳动感，成本较空心板型伸缩缝略高。

W型橡胶伸缩缝分成30mm和50mm两种，适用于中小跨径桥梁。

3．M型橡胶伸缩缝

M型橡胶伸缩装置构造见图1-9-3。

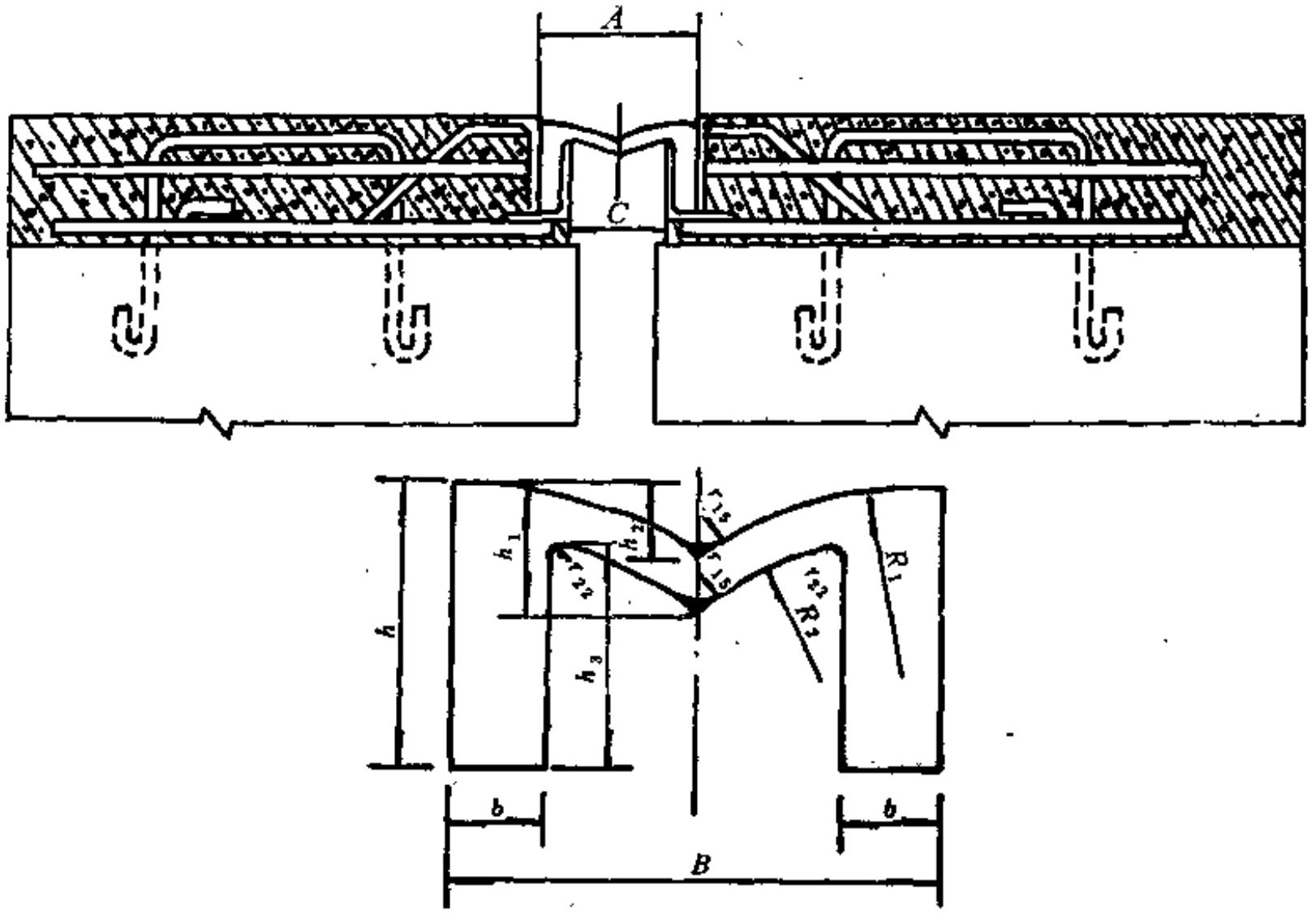


图 1-9-3　M型橡胶伸缩装置结构及橡胶件断面图

M型橡胶伸缩装置由断面为M型的橡胶条和定位型钢构件组成，其伸缩量分成 30mm 和50mm两种，适用于中小跨径桥梁。

M型橡胶伸缩装置的优点是变形量较大，比较平整。缺点是横向刚度小，易漏水。

4．管型橡胶伸缩缝

管型橡胶伸缩装置构造见图1-9-4。

管形橡胶伸缩装置由管状橡胶条（有单管和双管两种形式）和定位角钢、扁钢、紧固螺栓等钢构件组合而成。其伸缩量分成30mm和60mm两种，该类形式伸缩缝是依靠橡胶条的管状部分的拉伸、压缩来适应梁因气温变化而引起的伸缩。主要用于小跨径桥梁。

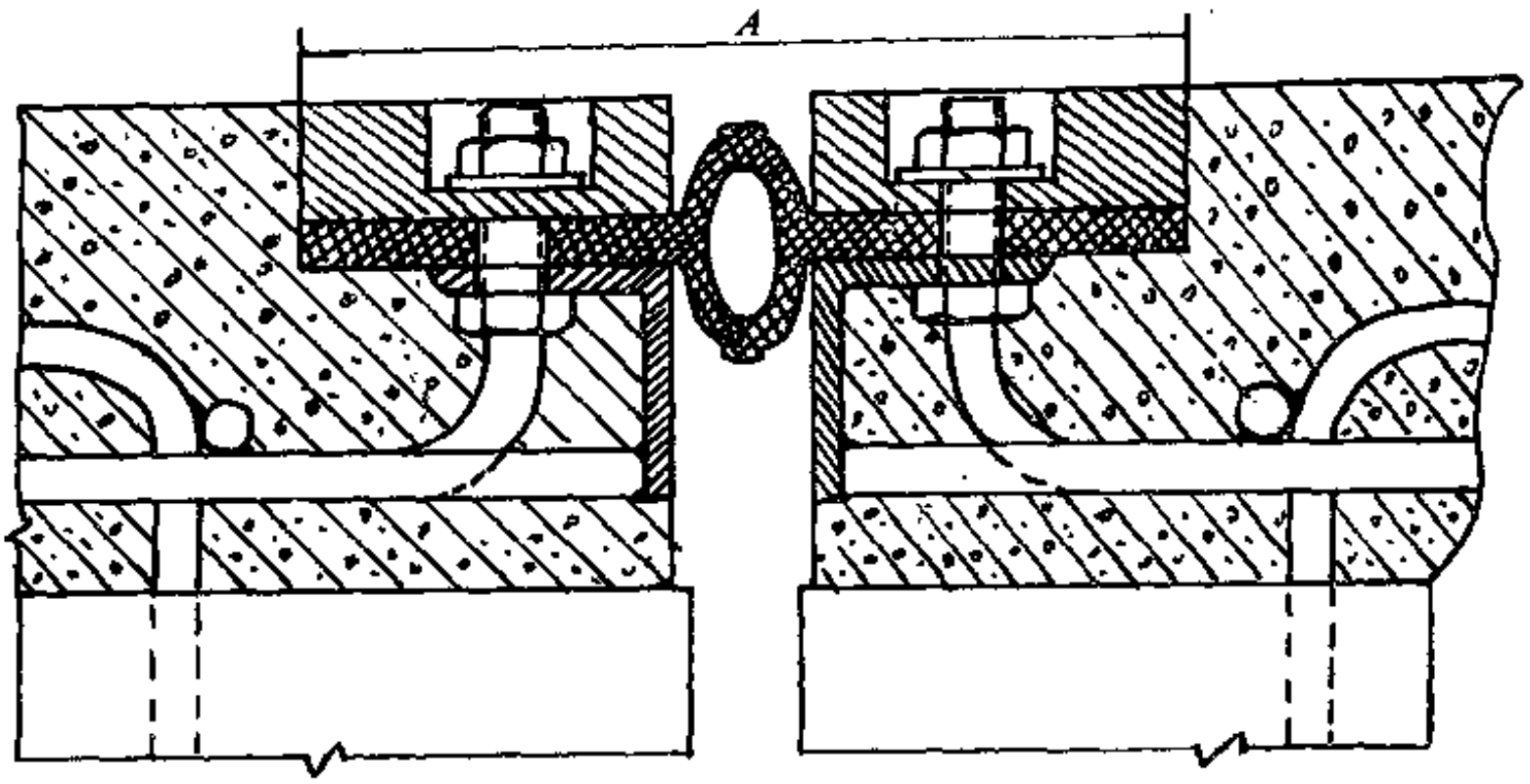
管状橡胶伸缩缝的优点是与梁体联结紧密，不易渗水，抗冲击，耐久性好，便于施工，尤其是适用于纵坡较大的桥梁上。

5．Ω型橡胶伸缩缝

Ω型橡胶伸缩缝结构见图1-9-5。

Ω型橡胶伸缩缝是由断面为Ω型的夹布橡胶条和橡胶压块组成。安装后依靠其拱型部分的伸缩来适应桥梁应温度变化引起的伸缩。Ω型橡胶伸缩缝的伸缩量分 成 40mm、60mm 和80mm三种，适用于中小跨径桥梁。

Ω型橡胶伸缩缝的优点是安装施工简单，胶条的平面部分可用螺钉或压铁固定不会脱出，但橡胶带和压块安装不密贴时，则易造成漏水。此外，在高温时橡胶带受压缩时会形成微凸，影响外观。



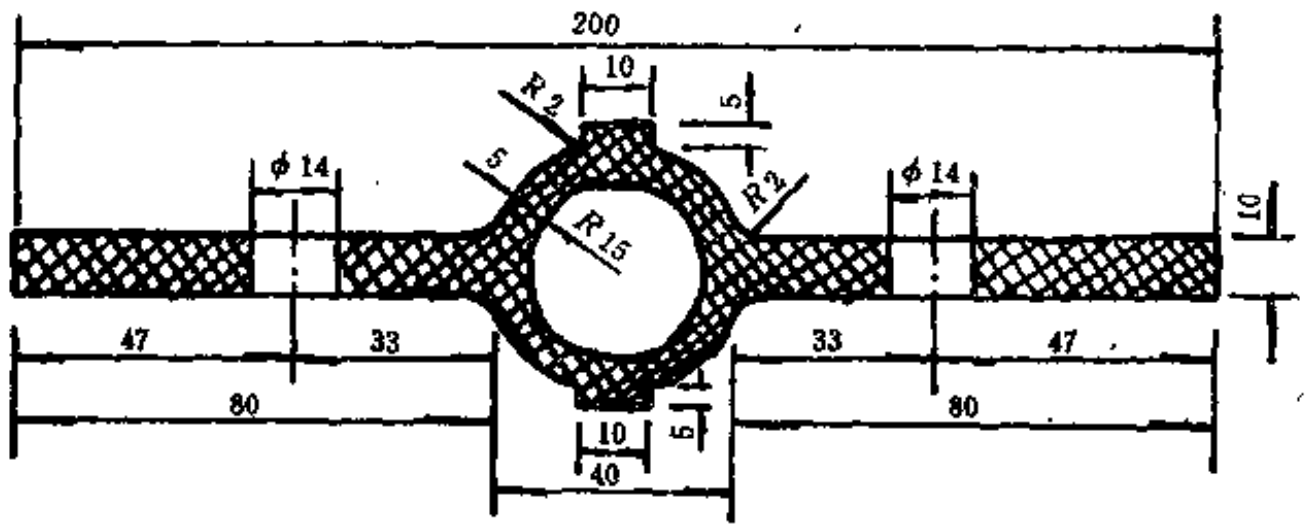


图 1-9-4　管式橡胶伸缩缝装置结构及橡胶件断面图

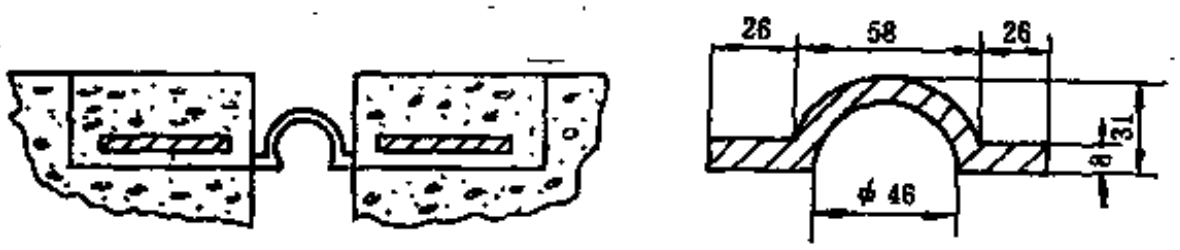


图 1-9-5　Ω型橡胶伸缩缝装置结构及橡胶件断面图

6．板式橡胶伸缩缝

板式橡胶伸缩缝结构见图1-9-6。

板式橡胶伸缩缝是我国80年代中期产品，这种伸缩缝由氯丁橡胶和加劲钢板组合而成，是一种钢柔相结合的装置。

板式橡胶伸缩缝由钢板作骨架，分段组装螺栓连接，每块1m（也可制成其它尺寸的），接合处由契口槽榫配合。内部的加劲钢板使这类伸缩缝能承受各种车辆的荷载，具有一定的垂直刚度。由于橡胶的不可压缩性，伸缩缝压缩时橡胶板上特殊形状的伸缩槽可防止向上隆起。

该类伸缩缝根据橡胶剪切模量低的原理，由橡胶板的剪切变形来适应温度及混凝土徐变

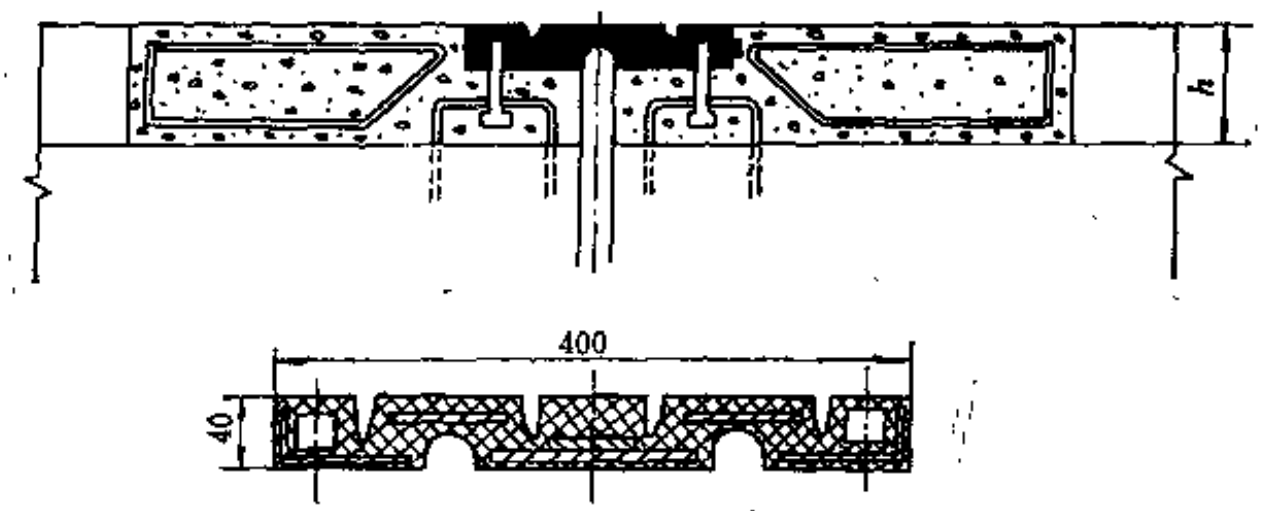


图 1-9-6　板式橡胶伸缩缝结构及橡胶金属板构件断面图

与干缩产生的梁端伸缩位移。

板式橡胶伸缩缝具有下列优点：

（1）施工安装快速方便，维修养护更换也较简便；

（2）这类伸缩缝每米接合处由契口槽榫相配，螺栓孔加配盖帽，并灌涂胶粘剂，有一定的防水防尘作用；

（3）行驶平稳好，其接缝平整，吸震性良好，行车平稳、舒适，噪声小；

（4）结构简单，价格低廉，与传统梳齿型钢板伸缩缝相比，用钢量为1/5，价格为1/2；

（5）适用面广，伸缩量较大，除用于直线桥外，也能用于斜桥和弯桥，目前，国内最大伸缩量为250mm，基本上能满足大部分中小型桥梁的要求。

这类型伸缩缝的缺点，一是安装马虎时极易漏水，二是橡胶板在车辆车轮反复作用下引起震动，螺栓受震动后产生破坏，同时锚固螺栓容易锈蚀，需定期紧固和加强保养。

国产板式橡胶伸缩缝型号规格见表1-9-1。

表 1-9-1　板式橡胶伸缩缝型号规格表

型　号	规格，mm	全伸缩量，mm	型　号	规格，mm	全伸缩量，mm
30型	1000×230×35	≤30	100型	1000×550×54	≤100
45型	1000×250×45	≤45	150型	1000×700×80	≤150
50型	1000×270×42	≤50	200型	1000×810×86	≤200
60型	1000×400×40	≤60	250型	1000×850×95	≤250

7．橡胶板钢梳齿组合式伸缩缝

橡胶板钢梳齿组合式伸缩装置，简称BF型橡胶伸缩装置，其结构见图1-9-7。

BF型橡胶伸缩装置是80年代末期的产品。该装置实质上是在梳齿钢板缝上加一块橡胶伸缩板组合而成的，分段组装，每块1 m，接合处由契口槽榫配合。由梳齿钢板承受竖向荷载，由橡胶的“W”形褶裥的弹性变形来满足梁端的伸缩位移。

该类型伸缩装置有如下优点。

（1）由于是“W”型橡胶褶裥作手风琴式的空间位置变化来完成水平向的伸缩，不依赖橡胶本身的拉伸、压缩或剪切，所以其伸缩位移的水平力远小于板式橡胶伸缩缝。根据试验测定，每延米伸缩缝完成全部压缩变形时的水平抗力仅4～5 kN左右，比板式伸缩缝减少2/3。

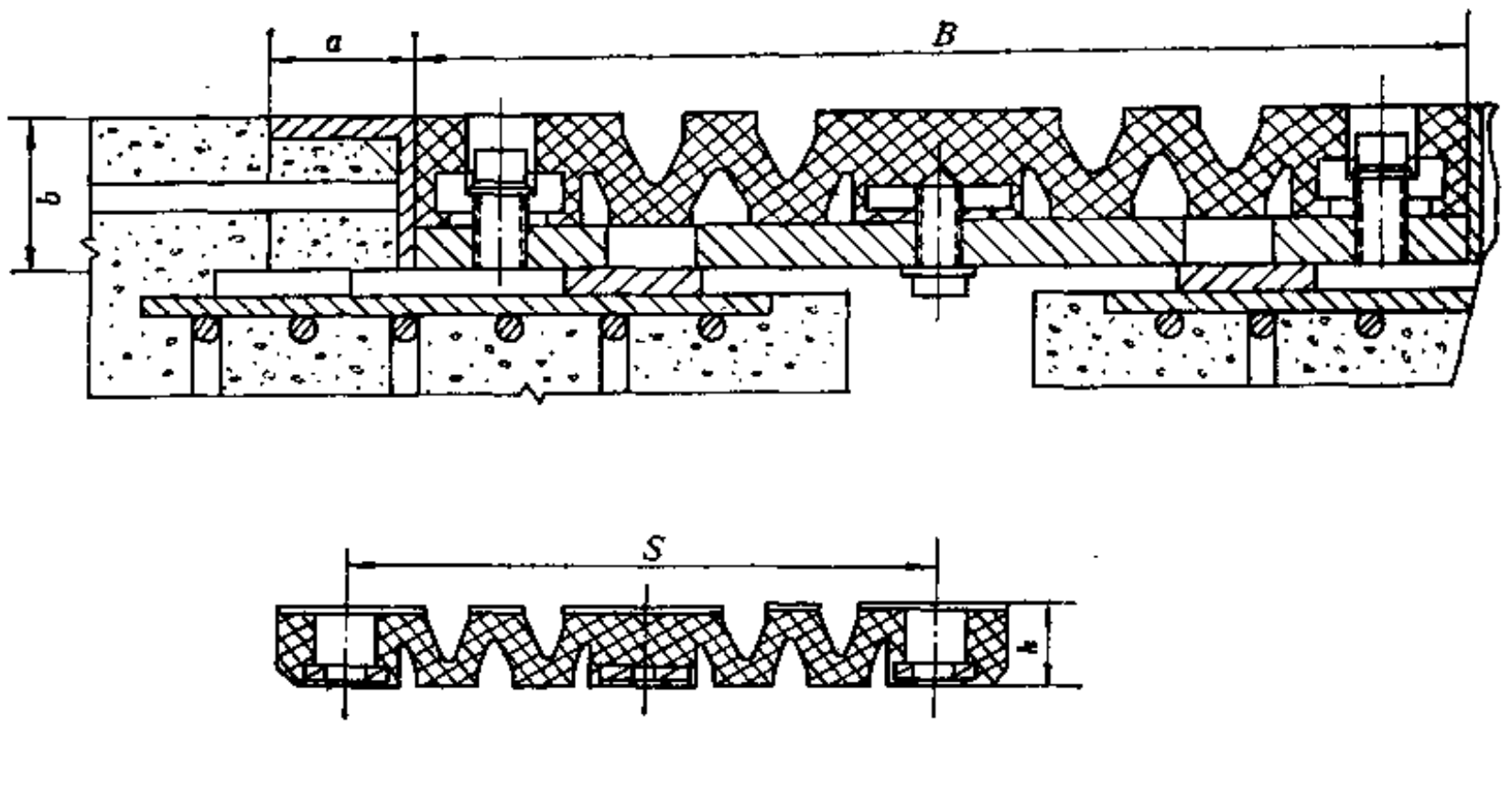


图 1-9-7　橡胶板钢梳齿组合式伸缩装置及橡胶金属构件断面图

（2）由于下有梳齿钢板作竖向承托，通车后不会发生伸缩缝中枢下陷，同时由于橡胶板用螺栓与梳齿钢板连结，夏季受压缩时绝对不会上拱。故接缝平整，行车平稳舒适，安全可靠，不易损坏。

（3）该类伸缩装置高度较小，可设置在桥面铺装层内，且因本装置水平向极其柔软，在安装时不需任何机械操作，只需人力即可将橡胶板轻松压缩就位，安装十分简单。

（4）本装置由于有两组橡胶组成的W型褶裥，不但可以依靠自身的折曲提供顺桥向的变形，还可以依靠橡胶的剪切变形，产生横向的错动，因此不仅适用于正交接缝，也可以用于交角α小于90°的斜交缝。

（5）造价低廉，与同等伸缩量的伸缩缝相比，用钢量仅为1/3～1/5，造价不到1/2。

目前这种伸缩装置已形成系列，其设计伸缩活动量分别为40、60、80、120、160、200mm，可以分别在中小桥梁和桥面计算伸缩长度达200mm的大型桥梁上使用。

BF型橡胶伸缩装置系列简要参数见表1-9-2。

表 1-9-2　BF系列橡胶伸缩装置系列

型　号	设计活动量 Δ mm	板　宽，mm 最大 B_{max}	板　宽，mm 最小 B_{min}	板　宽，mm 标准 B	板　厚 h_s mm	总　重 h mm	用钢量 W/G kg/m
BF-40	40	250	210	240	40	66	75
BF-60	60	345	285	330	45	73	116
BF-80	80	440	360	420	45	80	147
BF-120	120	560	440	530	50	80	207
BF-160	160	660	500	620	60	90	290
BF-200	200	790	590	740	75	100	433

注：BF型橡胶伸缩缝每块标准长度为1 m，但为适应人行道伸缩缝和不同桥宽需要，也有异形及折角形的型式。

8．异形管组合体桥梁伸缩缝

异形管组合体桥梁伸缩缝是以多个橡胶异形管分上下两排，分别与钢板粘接后构成的组

合，每段长度为 2 m。为防止砂石等卡入伸缩缝内，以及保护胶管避免意外损伤和杜绝雨 水渗漏避免金属体锈蚀，在伸缩缝路面缝内用橡胶胶浆嵌平。其结构断面示意见图1-9-8。

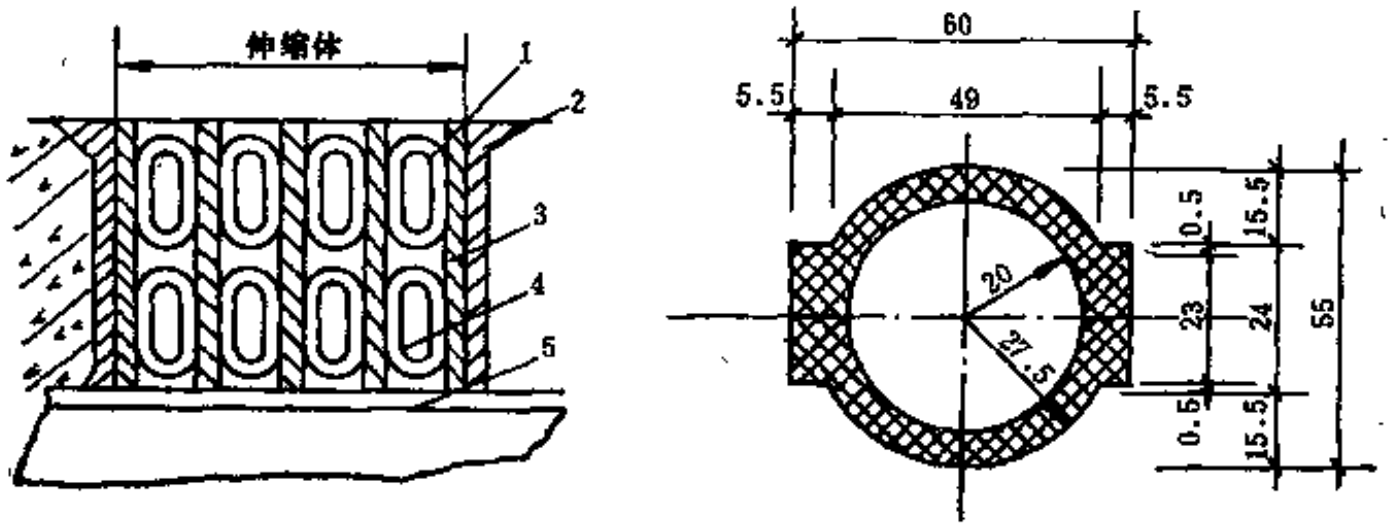


图 1-9-8 异形管组合体伸缩缝结构示意图

1—嵌缝胶；2—衔接梁；3—异形胶管；4—钢板；5—滑动横梁

异形橡胶软管用模型硫化后，经修整，钢板用机械处理；胶管与钢板用室温硫化胶浆粘接。在嵌缝部位注入嵌缝胶，停放使其自硫。每组异形管组合体在桥面安装时现场嵌合。

异形管组合体压缩一定程度后安装于桥缝，当桥梁受热膨胀时，胶管深度压缩；而当遇冷收缩时，受压缩的胶管跟随伸张，胶管在伸缩过程中都处于压缩状态。

异形管组合体桥梁伸缩缝把大的伸缩缝分解为若干个小的伸缩缝，缝穴宽度缩小，并且缝口用自硫橡胶嵌平、密封，与路面保持平整，减少了车辆通过缝穴的震动，也使车辆通过时平稳，缝体不易损坏。

异形管组合体桥梁伸缩缝的伸缩量为80～110mm。

9．型钢-橡胶组合式伸缩缝

型钢-橡胶组合式伸缩缝结构见图1-9-9。

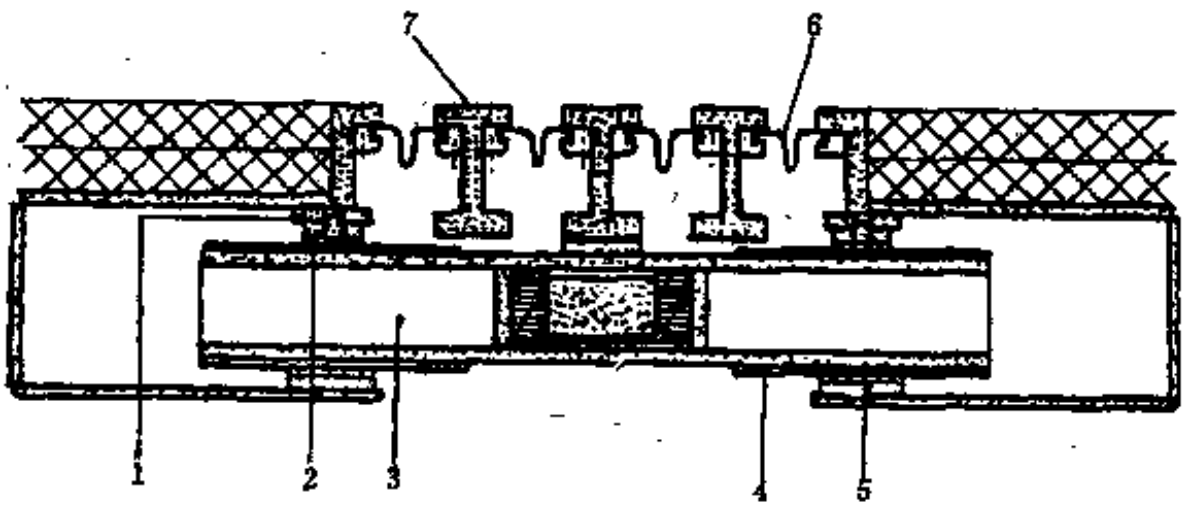


图 1-9-9 型钢-橡胶组合式伸缩缝

1—边纵梁下垫块；2—减震支座(含F_4板)；3—横向支承梁；4—不锈钢板；5—支承支座（含F_4板)；6—橡胶条；7—钢梁

这类组合型伸缩缝由型钢、弹性支承和位移控制体系等两个部分组成。其传力支承体系由中间梁、边梁、支承横梁及弹性支座组成，中间梁由特种型钢构成，中间梁间距一般为

60～80mm，其数量根据桥面伸缩量大小可任意组合。位移控制体系主要由防水伸缩橡胶带及位移控制系统组成。该类伸缩装置包括多种型号，为SSF系列，其最大位移量为640mm，设计位移分级为80、160、240、320、400、480、560、640mm，横向长度不限。

该类伸缩装置的优点是活动量大，可以根据伸缩量需要任意组合，适用于大中型桥梁，其使用寿命也较长。缺点是造价较高。

三、橡胶伸缩缝用原材料选择及配方设计

1．橡胶材料的选择

桥梁橡胶伸缩缝是直接用于桥面接缝的装置，它直接经受风吹雨淋、日光照射和各种车辆车轮的水平冲击和摩擦，并长期受到温度应力引起的拉伸和压缩，使用条件恶劣，因此要求橡胶具有优良的耐天候老化、耐臭氧老化性能，较高的拉伸强度，良好的耐磨性、弹性和抗压缩变形性。且要求气温变化时各种性能变化小，与金属等材料能较好的粘接，并应考虑材料来源及价格。

根据上述要求，橡胶伸缩缝一般使用氯丁橡胶是最适宜的，因为氯丁橡胶的耐臭氧老化，特别是在外力拉伸状况下的耐臭氧老化性能良好，而且强度高，弹性及减震性良好，与钢板粘接性能特佳等。在北方地区使用的橡胶伸缩缝可采用耐寒型氯丁橡胶或三元乙丙橡胶。

2．橡胶硬度

伸缩缝橡胶硬度是根据伸缩缝位移的形式决定的。一般来说，通过橡胶剪切变形来完成位移的（如板式橡胶伸缩缝），橡胶硬度不宜过高，采用硬度（邵尔A）50～55±5为宜，以降低剪切模量，减少伸缩的水平反力；通过“M、W、Ω、空腔型”的橡胶空间位置变化来完成伸缩位移的一类橡胶伸缩缝，其硬度以60～65±5为宜。

BF型橡胶伸缩装置由于橡胶接缝板易受车辆整车荷重的直接压力，橡胶板下虽有梳齿钢板做衬托，但仍需有一定的刚度才能适应。若橡胶硬度太低，不仅会影响承载能力，还影响使用寿命。同时该类伸缩缝不依赖橡胶的剪切变形来完成压缩，橡胶硬度稍高而增加的剪切模量对压缩的水平反力无多大影响，所以硬度为65±5是合适的。

3．配方设计原则

（1）由于各类橡胶伸缩缝一般均属厚制品，因而胶料硫化速度不宜过快，另外氯丁橡胶胶料易焦烧，在配方设计时要考虑胶料的焦烧性能，在夏季要采用适当的防焦配合措施。

（2）因产品使用环境恶劣，在桥面直接受到日光紫外线照射及臭氧的侵蚀。氯丁橡胶虽有良好的耐天候老化性能，但为进一步提高使用寿命，可以使用数种相容性好的高效防老剂并用，以充分发挥防老剂协同作用，增强抗老化能力。

（3）补强剂、填料方面，应以炭黑为主，一则提高耐磨性，二可使产品具有一定刚性和弹性。炭黑品种宜选用高耐磨炉黑及中超耐磨炉黑，非炭黑填料一般少加或不加为好。为使炼胶工艺操作易进行，有利于炭黑分散及改善氯丁橡胶的耐低温性，需要适量配合与之相容性好的软化剂，但不宜多如合成酯类，以防炼胶时粘辊及酯类易被抽出和迁移。

（4）用三元乙丙橡胶作主体材料时，要选择合适的硫化系统，还要特别注意与金属的粘接性，要采用粘接强度较高的胶粘剂。

（5）耐天候性氯丁橡胶配方的体积含胶率应在50%以上，否则老化性能会大幅度下降。因此伸缩缝橡胶的含胶率宜在60%左右，以确保成品的高性能、高寿命。

（6）橡胶伸缩缝配方举例见表1-9-3。

表 1-9-3 橡胶伸缩缝配方举例

材料名称	1	2
氯丁橡胶LDJ-120	100	100
硫黄	0.3	0.75
氧化锌	5	5
氧化镁	4	4
硬脂酸	1	1
防老剂A	1.5	1.5
防老剂BLE	1.5	1.5
防老剂4010NA	1	1
高耐磨炉黑	20	—
半补强炉黑	10	45
软化剂	20	10
活性碳酸钙	10	10
合　计	174.3	179.75

材料名称		1	2
硬度（邵尔A）		51	63
拉伸强度，MPa		16.7	17.5
扯断伸长率，%		635	410
脆性温度，℃		−50	−42
恒定压缩永久变形（室温×24h），%		8	8
热空气老化试验	试验条件	70℃×144h	70℃×96h
	拉伸强度变化率	+13	−6
	扯断伸长变化率	−6	−9
	硬度变化	+5	+5
钢板与橡胶剥离强度，kN/m		8.7	9.2

四、橡胶伸缩缝的物理机械性能

橡胶伸缩缝的物理机械性能对产品性能有重要影响。国外已制订了有关标准。日本新旧ベルト标准和德国MAURER标准等有关规定如表1-9-4所示。

表 1-9-4 国外橡胶伸缩缝胶料性能

项　　目		日本新田ベルト公司有关规定	日本道路协会有关规定	英国Honel-Holding（乙丙橡胶）	德国Wabo·Maurer有关规定
拉伸强度，MPa	≥	14.7	14.7	11.76	13.7
扯断伸长率，%	≥	400	300	300	250
硬度（邵尔A）		50±5	55±5	60	55±5
恒定压缩变形，（70℃×22h），%	≤	5	—	—	
老化试验 70℃×96h	拉伸强度，MPa ≥	13.0	12.75	100℃×72h 9.5	70℃×144h 11
	扯断伸长率，% ≥	300	250	100℃×72h 270	200
	硬度变化 ≤	10	10	100℃×72h 10	0～10
脆性温度，℃		—	—	−55	—

我国橡胶伸缩缝企业标准见表1-9-5。

从表1-9-4与表1-9-5比较可以看出，我国现在执行的产品企业标准指标与国外生产企业的标准基本相同。

五、橡胶伸缩缝制造工艺

橡胶伸缩缝制造工艺流程（以板式伸缩缝和BF型橡胶伸缩缝为例）如图1-9-10所示。

表 1-9-5 橡胶伸缩缝企业标准

项目		板式橡胶伸缩缝	空心板型橡胶伸缩缝	BF型橡胶伸缩缝
硬度（邵尔A）		60±5	60±5	65±5
拉伸强度，MPa	≥	14.7	14.7	14.0
扯断伸长率，%	≥	400	400	350
脆性温度，℃	≤	-40	-40	-35
恒定压缩永久变形（室温×24h），%	≤	20	20	20
热空气老化试验 试验条件，℃×h		70×144	70×96	70×96
热空气老化试验 最大拉伸强度变化率，%		-5	-15	-15
热空气老化试验 最大扯断伸长变化率，%		-20	-20	-25
热空气老化试验 硬度（邵尔A）变化		0～+10	0～+10	0～+10
耐臭氧老化（25～50pphm，20%伸长，40℃×96h）		无龟裂	无龟裂	无龟裂
与钢板粘接剥离强度，kN/m		7	—	7

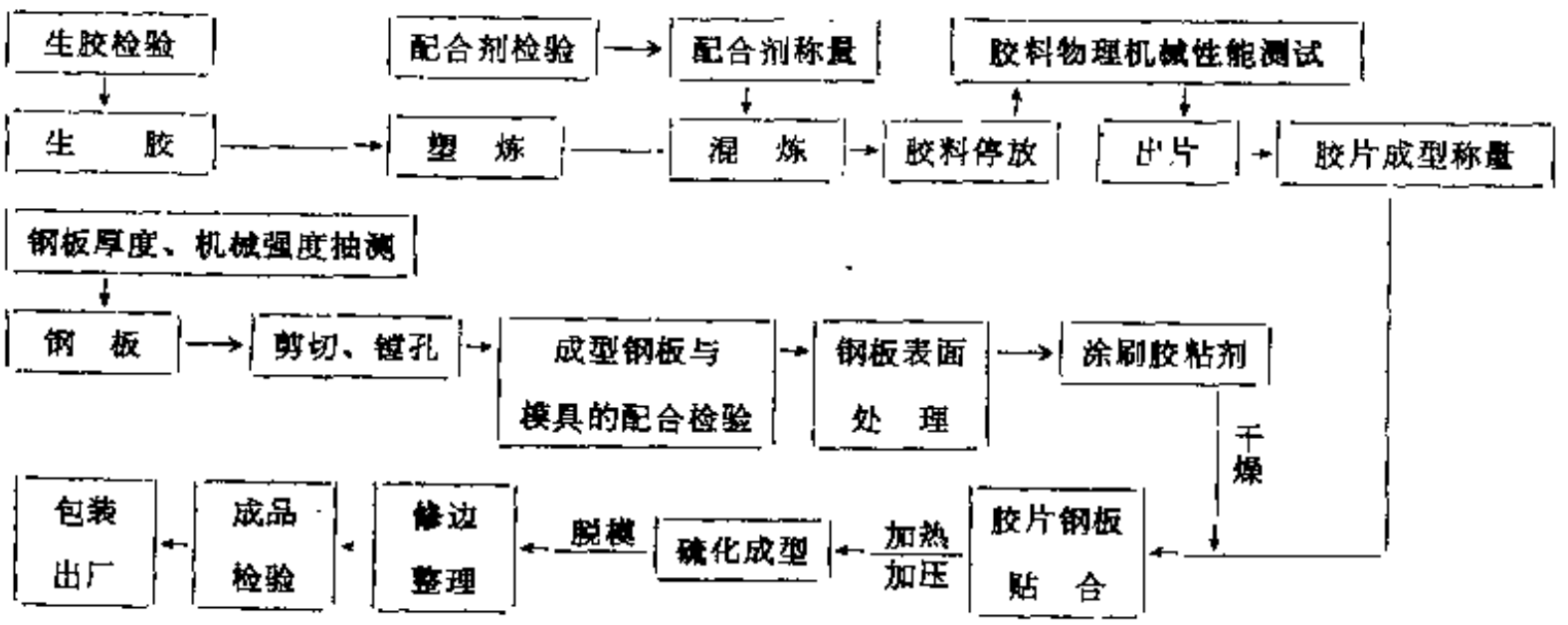


图 1-9-10 橡胶伸缩缝生产工艺流程

按配方制成混炼胶后，根据需要尺寸压延成片，裁成一定规格的半成品胶片。钢板按要求加工后进行喷砂处理，再涂二次胶粘剂。将预成型的胶片、钢板按要求和图纸规定依次迭合，加入预热好的模具内加热加压硫化，硫化压力应不小于8.0MPa，硫化时间则根据胶料和产品厚度来决定。硫化时应注意，由于产品结构的特殊性，在模具设计上和制造时端板采用活络拆卸式，注意不使榫口部位损坏，安装时吻合平整。模型两端左中右分设活络拖撬板，产品硫化完毕必须先用活络拖撬板撬松产品，再取出后平整放置。经修去废边，即得成品。

六、橡胶伸缩缝安装注意事项

设计使用橡胶伸缩缝除应按所需伸缩量选择正确的型号、规格外，均需精心按图纸要求施工，必须严格掌握伸缩缝的预压缩量。现将几种有代表性的橡胶伸缩缝安装计算举例如下。

1．空心板型橡胶伸缩缝

这类伸缩缝的型钢定位与橡胶条压缩量的确定是安装效果好坏的关键，如果在安装时忽略季节温度，不管梁长多少均以1cm的压缩量来施工，则会产生有的伸缩缝在冬季非但没有

预压力，而且会与型钢脱开，致使伸缩缝漏水，车辆通过时产生明显跳动。因此必须正确控制型钢的位置与橡胶条的压缩量安装定位值，见表1-9-6。

型钢的位置和橡胶条的压缩量的计算应根据梁体的材料、梁体的长度、建桥地区最高最低的温差以及安装伸缩缝气温来确定。

计算示例如下。

（1）设计条件

结构型式：预应力混凝土简支梁

伸缩梁体长度：$L=30\,m$

地区温度变化：$\Delta t=-5\sim+35℃$

混凝土线膨胀系数：$\alpha_t=0.00001$。

表 1-9-6 空心板型伸缩缝安装定位值

伸缩量 mm	伸缩范围，mm		伸缩装置安装定位值 mm
	最 大	最 小	
20	50	30	80－10－梁缩短量
30	50	20	80－10－梁缩短量
40	90	60	120－10－梁缩短量
50	90	40	120－10－梁缩短量

表 1-9-7 混凝土徐变、干燥收缩递减系数

混凝土的龄期，月	0.25	0.5	1	3	6	12	24
徐变干燥收缩的递减系数	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1

混凝土干燥收缩递减系数可按表1-9-7选用。设预制后3个月安装，则，

混凝土干燥收缩递减系数$\beta=0.4$；

由预应力产生的平均轴向应力$\sigma_p=6MPa$；

混凝土弹性模量$E_c=3300000N/cm^2$；

干燥收缩按降温20℃计算；

伸缩缝安装定位时的温度假定为15℃。

（2）计算方法

a．由温度变化产生的位移量

$$\Delta l_t=\alpha_t\cdot(t_{max}-t_{min})\cdot L=0.00001[35-(-5)]\cdot 30000=12mm$$

15℃安装时，安装后的伸长量$\Delta l_t^{\oplus}$

$$\Delta l_t^{\oplus}=0.00001\times(35-15)\times 30000=6mm$$

安装后的缩短量$\Delta l_t^{\ominus}$

$$\Delta l_t^{\ominus}=0.00001\times[15-(-5)]\times 30000=6mm$$

b．由于混凝土干燥收缩产生的位移量

$$\Delta l_s=\Delta t\cdot\alpha_t\cdot\beta\cdot l=20\times 0.00001\times 0.4\times 30000=2.4mm$$

c．由于混凝土徐变产生的位移量

$$\Delta l_c=\frac{\sigma_p}{E_c}\cdot\varphi\cdot l\cdot\beta=\frac{600}{3300000}\times 2\times 30000\times 0.4=4.4mm$$

由以上计算所得总伸缩量为

$$\Delta l=l_t+l_s+l_c=12+2.4+4.4=18.8mm$$

根据以上计算结果，选择规格为80×40mm，允许伸缩量20mm的空心板型伸缩缝（拉

伸、压缩各为10mm）。

安装后梁的伸长量为6mm；

安装后梁的缩短量为6 + 2.4 + 4.4 = 12.8mm；

则15℃安装时，伸缩装置的安装定位值A计算如下：

$$A = 80 - 10 - 12.8 = 57.2\text{mm}$$

2．板式橡胶伸缩缝

板式橡胶伸缩缝的安装，主要利用铺装层中的预埋螺栓把橡胶板锚固在桥面上，并在橡胶伸缩缝板的两边各设30～60cm的混凝土过渡段。

在安装板式橡胶伸缩缝时应注意：

① 施工的平坦性；

② 增强伸缩缝与桥面铺装层接合处混凝土强度；

③ 预埋螺栓埋设必须坚固；

④ 应当根据安装时的气温条件对伸缩缝进行预压缩或预拉伸，但由于不宜在冬季0℃以下进行施工，所以预拉伸通常就没有必要；在一般情况下，不进行预压缩，只是在夏天施工时，梁的伸缩量较大的，才进行必要的预压缩。

（1）预压缩量计算方法

$$\Delta S = \Delta L_t^{\ominus} + \Delta L_s + \Delta L_c - A$$

式中 $\Delta L_t^{\ominus}$——安装后由温度变化产生的缩短量；

ΔL_s——混凝土干燥收缩产生位移量；

ΔL_c——混凝土徐变产生位移量；

A——橡胶板式伸缩缝允许的拉伸量。

（2）算例

结构形式：预应力混凝土桥

伸缩梁长度：40m

温度变化：－10～＋40℃

混凝土的徐变系数：一般$\rho = 2$

混凝土的干燥收缩量：20×10^{-5}（相当于温度下降20℃）

预应力引起的平均轴向应力：$\sigma_p = 6\text{MPa}$

混凝土弹性模量：$E_c = 33\text{GPa}$

导入预应力后3个月递减系数：$\beta = 0.4$

设置伸缩缝时的环境温度为25℃

橡胶板式伸缩缝选用30型 $A = 15\text{mm}$

$$\Delta L_t^{\ominus} = \alpha_t(t_{\text{最}} - t_{\min}) \cdot L \approx 0.00001 \times [25 - (-10)] \times 40000 = 14\text{mm}$$

$$\Delta L_s = \Delta_t \cdot \alpha_t \cdot \beta \cdot L = 20 \times 0.00001 \times 0.4 \times 40000 = 3.2\text{mm}$$

$$\Delta L_c = \frac{\sigma_p}{E} \cdot P \cdot L \cdot \beta = \frac{600}{3300000} \times 2 \times 40000 \times 0.4 = 5.8\text{mm}$$

$$\Delta S = \Delta L_t^{\ominus} + \Delta L_s + \Delta L_c - A = 14 + 3.2 + 5.8 - 15 = 8\text{mm}$$

得出预压缩量为8mm。

另外在安装板式橡胶伸缩缝时，还应注意下面二点。

① 安装应尽量避免使用预压缩工艺，因此安装时间应在合适温度下进行。

② 预压缩时橡胶板有向上拱的现象，故预压缩量不宜过大，一般只能达到橡胶板伸缩量的50%，如果计算压缩量无法满足，可采取两种办法：一是控制伸缩缝的安装温度，二是可以选用伸缩量大一些的规格。

3．BF型橡胶伸缩缝

（1）按设计要求的伸缩缝橡胶安装宽度，可在桥面上弹出墨线，如设计没有特殊要求，在温热地区，BF型系列橡胶伸缩缝安装宽度可按表1-9-8,其它温度下的安装宽度可用内插法按比例推算，放样宜在下午2～3时气温稳定时进行，这时的气温作为放样时的气温。

（2）BF型橡胶伸缩缝如用于斜交缝时，可按表1-9-9进行选择。

表 1-9-8 各种BF型伸缩缝在不同气温时的安装宽度 单位：mm

BF型伸缩缝型号	安装时气温，℃		
	5	20	35
BF-40	240	230	220
BF-60	330	315	300
BF-80	420	400	380
BF-120	530	500	470
BF-160	620	580	540
BF-200	740	690	640

表 1-9-9 用于斜交缝时BF型伸缩缝型号选择

顺桥向设计活动量 mm	BF型伸缩缝型号 接缝斜交角		
	0～10°	>10～30°	>30～45°
40	BF-40	BF-60	BF-80
60	BF-60	BF-80	BF-120
80	BF-80	BF-120	BF-160
120	BF-120	BF-160	BF-200
160	BF-160	BF-200	—
200	BF-200	—	—

BF系列橡胶伸缩缝用于斜交缝时，原设计用于正交缝的限位块一律取消，另外托板和固定板齿型也要作出相应的改变。

（3）在BF系列橡胶板的拼缝处，应涂嵌氯丁橡胶胶粘剂，以增加防渗漏性能。

主要参考文献

〔1〕西北橡胶制品研究所，国外特种橡胶密封制品分册——制品部分2，（12），235～238（1979）。
〔2〕郭世霞，国外橡胶文选，第28辑，1～17页。
〔3〕化工适用技术情报，（1），1～4（1984）。
〔4〕GB 9877—88.
〔5〕GB 7040—86.
〔6〕GB 9884—88.
〔7〕GB 7525—87.
〔8〕（日）近森德重著，朱仁杰译，《密封元件——O形密封圈》，5～11页，机械工业出版社，1976年。
〔9〕（苏）B.X.阿费鲁辛科著，刘耀祖译，《橡胶密封》，138页，机械工业出版社，1983年。
〔10〕黄绍宗 张佩斐，橡胶工业设计，（3），42～50（1981）。
〔11〕黄绍宗 张佩斐，橡胶工业设计，（4），48～61（1981）。
〔12〕北京橡胶工业研究设计院，橡胶工业，（6），47～82（1975）。
〔13〕黄绍宗 汪慧琴，橡胶工业，（4），39～42（1983）。
〔14〕黄绍宗 汪慧琴，橡胶工业，（7），25～29（1981）。
〔15〕北京橡胶工业研究设计院，润滑与密封，（4），87～100（1977）。
〔16〕黄绍宗 汪慧琴 王民，特种橡胶制品，（5），38～43（1985）。
〔17〕黄绍宗 汪慧琴 王民，特种橡胶制品，（1），51～56（1984）。
〔18〕黄绍宗 汪慧琴，橡胶工业，（6），23～28（1981）。
〔19〕北京橡胶工业研究设计院，橡胶工业，（3），14～20（1980）。
〔20〕北京橡胶工业研究设计院，橡胶工业，（1），28～32（1980）。
〔21〕往复密封制品基本特性研究技术，北京橡胶工业研究设计院，1984，9。
〔22〕铁岭橡胶研究院，橡胶技术，（3）（1976）。
〔23〕易正义，特种橡胶制品，（3）（1984）。

〔24〕 Machine Design, 49（2）, （1984）.
〔25〕 Machine Design, 45（22）, （1983）.
〔26〕 Bellofram Diaphragms Standard Size list, Revised, No50, 1979.
〔27〕 仇铭佳，水泵技术，（4），26～31（1986）。
〔28〕 GE10884—89。
〔29〕 张乐天主编，《民用船舶动力装置》，人民交通出版社，1985年。
〔30〕 《水利水电工程钢闸门设计规范》SDJ13—78，水利电力出版社，1978年。
〔31〕 Г.А.Пономкий，陆望程 罗宗贤译，《水工建筑物的深孔闸门》，电力工业出版社，1981年。
〔32〕 《水工建筑物金属结构制造、安装及验收规范》SLJ201—80，电力工业出版社，1980年。
〔33〕 山路功，ポリマーダイジェスト，36（10），17～25（1984）.
〔34〕 柿沢纪世雄，ポリマーダイジェスト，22（11），26～30（1985）.
〔35〕 ポリマーダイジェスト，38（2），94～98（1986）.
〔36〕 上海市隧道建设公司 浙江大学化工研究所，“遇水膨胀弹性材料的研制”，1984年4月。
〔37〕 日本公开特许 昭56-33032（1981）.
〔38〕 日本公开特许 昭57-23654（1982）.
〔39〕 日本公开特许 昭57-111336（1982）.
〔40〕 日本公开特许 昭57-151670(1982）.
〔41〕 日本公开特许 昭58-7651 （1983）.
〔42〕 日本公开特许 昭59-8753 （1984）.
〔43〕 日本公开特许 昭59-89105（1984）.
〔44〕 日本公开特许 昭60-92339（1985）.
〔45〕 日本公开特许 昭60-203651(1985）.
〔46〕 杨震东，橡胶工业，（10），10～12（1981）。
〔47〕 “桥面橡胶伸缩缝”企业标准，常熟市橡胶制品厂，1990年3月修订。

第二章　橡胶减震制品

第一节　橡胶减震器

随着人类生活水平的提高，人类对环境的要求也越来越高。而科学技术和工业的发展，使机器设备的功率增大，转速加快，振动和噪声的危害也愈来愈突出。

振动和噪声除了影响机器设备的使用寿命，造成设备的损坏外，还影响人们的工作效率甚至危害人类的健康。

消除振动和噪声的最好方法是减小振动源的振动。这包括提高旋转机器的动平衡，减小气流的脉动，修改或重新设计机器结构等。但在实际上，要想完全消除振源的振动是不可能的。因此，必须采用其它控制振动的方法。其中使用最广泛、最有效的一种方法是使用各种减震器，以减少振动的传递，隔绝固体声的传播。对于结构本身的振动和结构噪声，则只有采取阻尼处理。

减震器中最常用的是橡胶减震器，它广泛用于飞机、车辆、舰船等的动力机械及风机、水泵等辅助设备及仪器仪表的振动隔离。这是因为橡胶减震器具有如下优点。

（1）不但橡胶的形状能够自由地选择，而且可以调整橡胶的配方和硬度，因此较容易满足对各方向刚度和强度的要求。

（2）应力-应变曲线为滞后回线，其面积等于每个振动周期转变为热量的振动能，称为阻尼。调整橡胶的配方，可以改变椭圆面积。适当的阻尼，有利于越过共振区。橡胶减震器阻尼比一般为0.05～0.1，对于无法避开共振的随机振动，可使阻尼比调整到0.15～0.25。

（3）冲击刚度大于动刚度，动刚度大于静刚度，有利于减小冲击变形和动变形。

对于结构振动和结构噪声的阻尼处理，也广泛地使用特殊的橡胶，称为粘弹性高阻尼材料。

一、减震原理概述

有二种形式的隔振：积极隔振和消极隔振。机器设备本身是振源，为防止它对周围环境的振动污染，为积极隔振；振源来自基础，为防止基础对精密仪器和设备的影响为消极隔振。

一个振动系统可以用三个物理量来描叙：质量M、刚度K和阻尼C。其中质量M与系统的动能有关，刚度K与系统的势能有关，阻尼C与系统的能量消耗有关。

在许多工程问题中，安装减震器后的机器可以简化为图 2-1-1 所示的单自由度受迫振动系统。假设机器的质量为M，减震器的刚度为K，且具有与速度成正比的粘性阻尼C，机器转速为ω，由于不平衡而引起的干扰力为$P_0\cos\omega t$，机器的位移为x。

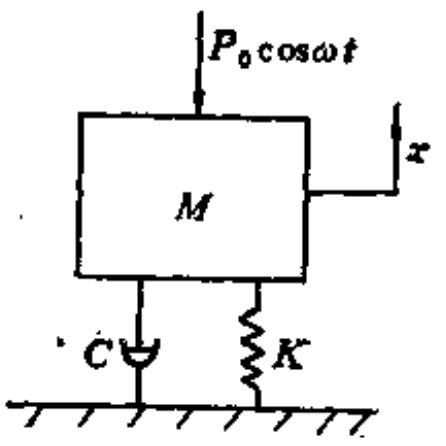


图 2-1-1　单自由度受迫振动系统

这是一个典型的积极隔振问题。机器的运动可由下

面的微分方程求出：

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = P_0\cos\omega t$$

其解由两部分组成：

$$x = x_1(t) + x_2(t)$$

其中，$x_1(t)$ 是个衰减振动，称为瞬态振动，它只在振动开始后的一小段时间内有意义。一般情况下可以不予考虑，而 $x_2(t) = x_0\sin(\omega t - \psi)$

$$x_0 = \frac{P_0}{K\sqrt{(1-\lambda^2)^2 + (2\mu\lambda)^2}}$$

其中

$$\lambda = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\omega}{\sqrt{K/M}}$$

$$\mu\lambda = \frac{C}{C_C} = \frac{C}{2\sqrt{KM}}$$

积极隔振的效果用积极隔振系数T_1表示，其定义为

$$T_1 = \frac{\text{隔振后传到基础上的力}P_1}{\text{没有隔振时传到基础上的力}P}$$

当机器未加减震器时，传到基础上的力显然为干扰力 $P_0\cos\omega t$。经隔振后，传到基础上的力有两部分组成：一部分是通过弹簧传到基础上的力P_K

$$P_K = Kx = Kx_0\sin(\omega t - \psi)$$

另一部分是通过阻尼器传到基础上的力P_C，

$$P_C = C\dot{x} = C\omega\cos(\omega t - \psi)$$

这两个力频率相同，但存在一夹角 90°。由矢量相加的平行四边形法则，可知它们 的合力的最大值为

$$P = \sqrt{P_{K\max}^2 + P_{C\max}^2} = Kx_0\sqrt{1 + (2\mu\lambda)^2}$$

将P_1及P代入积极隔振系数T_1的定义中，得

$$T_1 = \frac{P_1}{P} = \frac{Kx_0\sqrt{1 + (2\mu\lambda)^2}}{P} = \sqrt{\frac{1 + (2\mu\lambda)^2}{(1-\lambda^2)^2 + (2\mu\lambda)^2}}$$

以μ为参数，可以画出T_1随频率比λ变化的曲线（见图2-1-2）。

消极隔振用消极隔振系数T_2表示，其定义为：

$$T_2 = \frac{\text{减震后设备振幅}}{\text{基础运动振幅}}$$

消极隔振系统如图2-1-3所示。

设基础的运动是$x = x_1\sin\omega t$，则减震系统的运动微分方程为

$$M\ddot{y} + C(\dot{y} - \dot{x}) + K(y - x) = 0$$

y是设备的振幅。由微分方程可以求出

$$y = x_1\sqrt{\frac{1 + (2\mu\lambda)^2}{(1-\lambda^2)^2 + (2\mu\lambda)^2}}$$

式中各符号的意义同积极隔振。

$$T_2 = \frac{y}{x_1} = \sqrt{\frac{1 + (2\mu\lambda)^2}{(1-\lambda^2)^2 + (2\mu\lambda)^2}}$$

消极隔振的隔振系数与积极隔振的隔振系数相同，即 $T_1 = T_2$。

从上面简短的讨论可以知道：

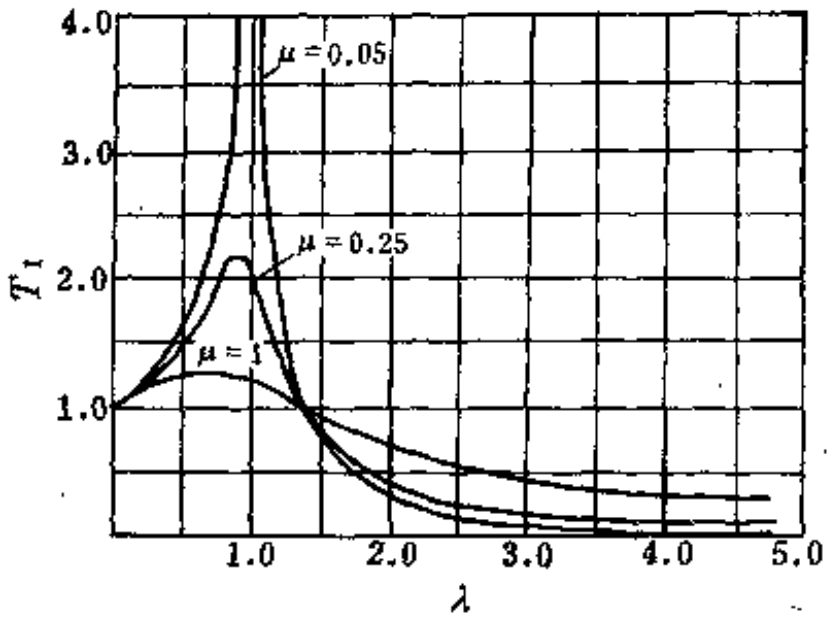


图 2-1-2　减震系数随频率变化的曲线

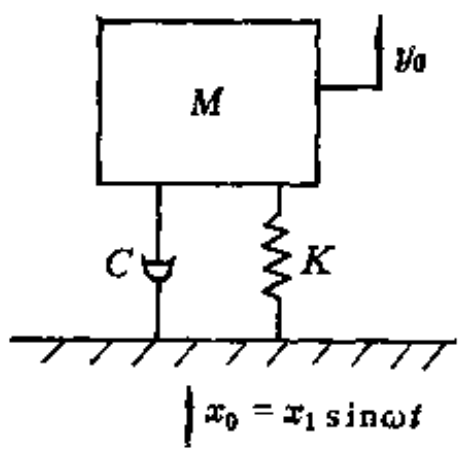


图 2-1-3　被动减震系统

（1）无论是积极隔振还是消极隔振，只有当频率比 $\lambda>\sqrt{2}$ 时，才有隔振效果，图2-1-2清楚地反映了这一事实；

（2）在$\lambda>5$时，随着 ω的增大，隔振系数几乎不变，因此在工程实际中，时常选用频率比λ在2.5～5之间；

（3）当$\lambda<\sqrt{2}$时，不但没有隔振，反而增加了振动的传递，这时，增大阻尼可以减小隔振系数；但在$\lambda>\sqrt{2}$时，隔振系数随阻尼的增大而提高，此时，阻尼增大不利于隔振。

以上讨论的是单自由度的振动系统。工程上遇到的多半是多自由度（最多可达 6 个自由度）的振动系统，即不但要考虑机器的质量，而且还要考虑转动惯量。这时隔振设计既要选择或设计适当的减震器，也要考虑到减震器的合理布置，避免产生耦合振动。

对于机器设备的结构振动，以及由结构振动产生的结构噪声，无法采用减震器隔振，这时应采用阻尼减震处理，减小结构振动。常用的阻尼处理有二种方法：自由层阻尼处理和约束层阻尼处理。

自由层阻尼处理如图2-1-4所示。在结构的表面粘贴一层粘弹性高阻尼材料。当结构振动时，阻尼材料受到拉伸，高分子的分子链之间的粘性内摩擦消耗部分振动能，减小了结构的振动。为了有较明显的减震效果，一般阻尼材料的厚度是结构厚度的1～3倍，且要求阻尼材料有较大的弹性模量，即阻尼材料要较硬。

约束层阻尼处理如图2-1-5所示。在结构的表面粘贴一层粘弹性高阻尼材料，在外面再粘贴一层约束板。当结构振动时，阻尼材料主要受到剪切作用，一部分振动能变为热能，起到了减小结构振动的目的。



图 2-1-4　自由层阻尼处理



图 2-1-5　约束层阻尼处理

采用约束阻尼，可以用较薄的阻尼材料，起到较大的减震作用。在这种场合，阻尼材料应有较小的剪切模量。

当一层约束阻尼处理不能满足要求时，可以采用多层约束阻尼处理。

此外，旋转机械的曲轴等引起的扭转振动常常采用扭振减震器来消除。扭振减震器的工作原理更象一个动力吸振器。曲轴的扭转振动引起扭振减震器的外面一块金属圈的扭转振动，从而消耗了部分曲轴扭振的能量，减小了机体的扭转振动。因此扭振减震器的固有频率应当与曲轴的扭振频率相等。

二、橡胶减震器的设计

从隔振原理可知，要获得良好的隔振效果，首先要确定隔振系统的固有频率，即减震器在额定负载下的固有频率。这可以根据使用要求和目的而定。当已知振动源的干扰频率ω后，对于一般减震器，隔振系统的固有频率可以定为

$$\omega_0 = \frac{\omega}{2.5 \sim 5}$$

对于扭振减震器

$$\omega_0 \doteq \omega$$

当机器的质量已知时，立即可以求出隔振系统的总刚度：$K = M\omega^2$

除扭振减震器外，一般机器均使用多个减震器。多个减震器有二种布置方式：串联和并联。

弹性元件串联布置时，系统的总位移等于各个弹簧位移之和（见图 2-1-6 (a)）。系统的总刚度K的倒数等于各个弹簧的刚度的倒数之和：

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \cdots + \frac{1}{K_n}$$

弹性元件并联布置时，系统的总位移等于各个弹簧的位移（见图2-1-6(b)，(c)）。系统的总刚度K等于各个弹簧的刚度之和：

$$K = K_1 + K_2 + \cdots + K_n$$

根据减震器的布置，由平行力的合成法则即可以知道减震器所受的负载，也就知道单个减震器的刚度。一般把减震器等负载地布置在设备的下面，这时候每个减震器都有相同的刚度值。

橡胶减震器的刚度决定于橡胶的弹性模量及橡胶制品的几何形状、外形尺寸和温度等。

为了表示形状对减震器刚度的影响，定义形状系数m

$$m = f(n);\quad n = \frac{\text{约束面积}}{\text{自由面积}}$$

$m = f(n)$ 关系很复杂，日本机械学会提出的关系为

$m = 1 + 1.645n^2$（适用于圆柱体，n 较小时）

$m = 1 + 1.98n^2 - 1.15n^3$（适用于圆柱体，$n$ 较大时）

$m = 1 + 2.19n^2$（适用于正方体，n 较小时）

$m = 1 - 0.39n^2 - 2.73n^3$（适用于正方体，$n$ 较大时）

$m = 1.33 + 1.093n^2$（适用于长度远大于宽度的矩形体）

简单形状的橡胶减震器可以给出经验公式，公式中的静压缩弹性模量E和剪切模量G同橡胶有一定的关系，如图2-1-7所示。

1，圆形

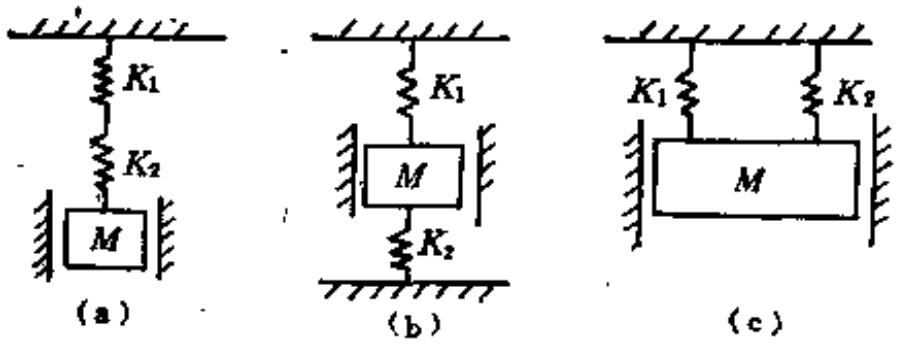


图 2-1-6　弹性元件的安装形式

(a)—串联；(b)、(c)—并联

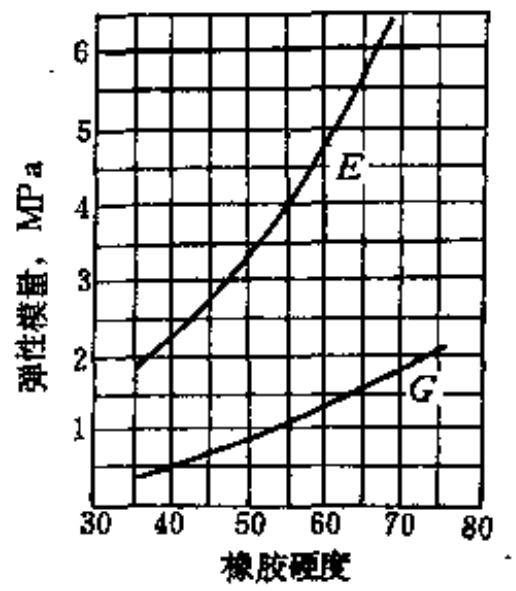


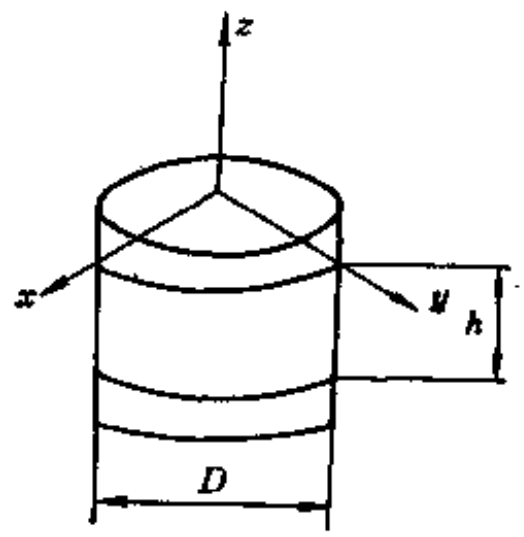
图 2-1-7　橡胶硬度和弹性模量关系

各向刚度

$$K_z = \frac{A_L m_z}{h} E$$

$$K_x = \frac{A_L m_x}{h} G$$

$$K_y = \frac{A_L m_y}{h} G$$



式中 $A_L = \frac{\pi}{4} D^2$；

h ——橡胶件厚度；

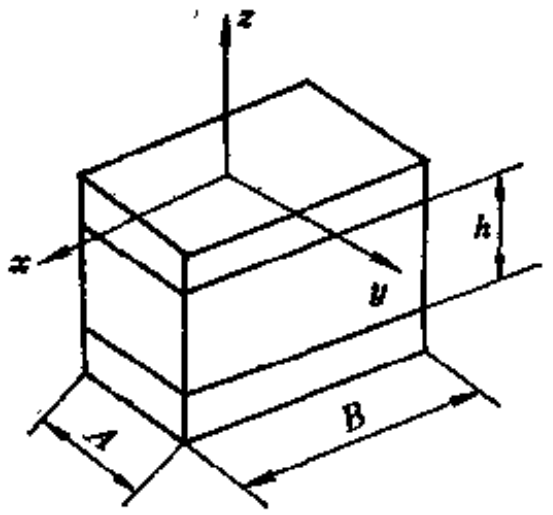
$m_z = 1.20(1 + 1.65n^2)$；

$$m_x = m_y = \frac{1}{1 + 0.38\left(\frac{h}{D}\right)^2}$$；

$$n = \frac{A_L}{A_F}$$

$A_F = \pi D h$

2．方形



各向刚度

$$K_z = \frac{A_L \cdot m_z}{h} E$$

$$K_x = \frac{A_L m_x}{h} G$$

$$K_y = \frac{A_L m_y}{h} G$$

式中 $A_L = A \cdot B$;

h ——橡胶件厚度;

$m_z = 1 + (1 \sim 1.5) n^2$;

$n = \dfrac{A_L}{A_F}$;

$A_F = 2(A + B)h$;

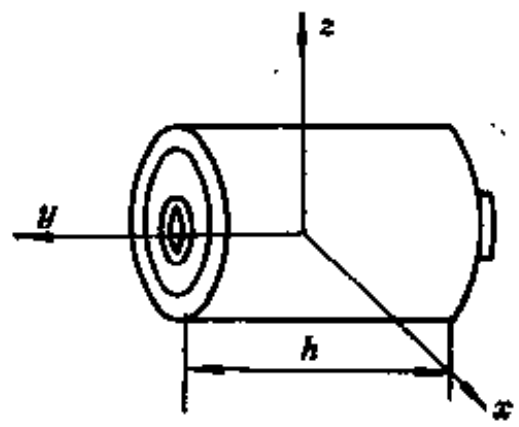
$m_x = m_y = \dfrac{1}{1 + 0.31\left(\dfrac{h}{A}\right)^3}$。

3. 圆筒形

各向刚度

$$K_x = K_z = \frac{\pi h}{\ln \dfrac{r_2}{r_1}} (\mu E + G)$$

$$K_y = \frac{2\pi h}{\ln \dfrac{r_2}{r_1}} \sum G$$



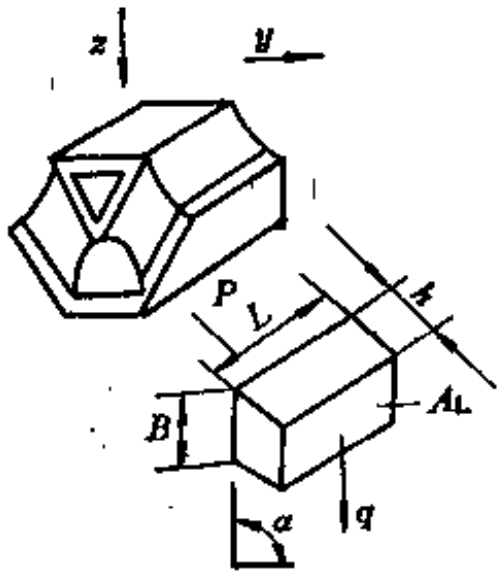
式中 $\mu = 3 \sim 5$;

$\sum = 0.8 \sim 1.0$;

r_1——内筒外圆半径;

r_2——外筒内圆半径。

4. 倾斜布置型



各向刚度

$$K_P = \frac{A_L \cdot m_x}{h} E$$

$$K_q = \frac{A_L \cdot m_y}{h} G$$

$$m_x = 1 + 2.2n^2$$

$$m_y = \frac{1}{1 + 0.31\left(\frac{h}{L}\right)^2}$$

$$n = \frac{A_L}{A_F}$$

$$A_L = L \cdot B$$

$$A_F = 2(L + B)H$$

$$K_x = 2K_p(\cos^2\alpha + K\sin^2\alpha)$$

$$K_y = 2K_p(\sin^2\alpha + K\cos^2\alpha)$$

$$K = \frac{K_q}{K_p}$$

对于形状复杂的减震器可以看作它是由几个简单形状的减震器按串并联原则复合而成。

如果减震器的形状相当复杂，难于用简单的串并联方法来求算刚度时，可应用相似法则。其要点为：同一橡胶配方的几何形状线性相似的两隔振器，其刚度之比等于线性尺度之比；在同一变形状态下，产品所能承受的载荷将为模型的比值平方倍。即：

如 $$\frac{L_{产品}}{L_{模型}} = \frac{B_{产品}}{B_{模型}} = \frac{H_{产品}}{H_{模型}} = n$$

则 $$\frac{K_{产品}}{K_{模型}} = n$$

如 $$\frac{\delta_{产品}}{\delta_{模型}} = n$$

则 $$\frac{P_{产品}}{P_{模型}} = n^2$$

式中 δ ——变形；

P ——承受载荷。

确定了减震器的刚度后，应根据使用条件及用户提出要求，确定橡胶类型和几何尺寸。并校核减震器的强度。

强度校核的主要内容是：

（1）橡胶本身的许用应力；

（2）橡胶与金属间的粘结强度；

（3）橡胶的变形应据厚度控制在下面百分比范围内；

静态负荷下 { 压缩变形<15%
剪切变形<25%

动态负荷下 { 压缩变形<5%
剪切变形<8%

此外，要特别注意不要产生应力集中。为了避免有可能造成应力集中的结构，应以圆角代替锐角。

三、橡胶减震器性能测试

橡胶减震器的主要性能测试项目是刚度和阻尼。就刚度而言，又按载荷速度的不同分为静刚度、动刚度和冲击刚度。对于有特殊要求的还有强度、耐疲劳性能、蠕变（即在载荷保持不变的情况下，变形量在一段时间内仍继续增加的现象）以及其它专门要求的试验。

当载荷缓慢地加于减震器时，其变形速度大约在 1cm/min 左右，甚至更低，而且橡胶的变形量不超过橡胶受试方向厚度的 20%时所测得的力与变形的关系称之为静刚度，以 K_s表示。

减震器在以一定振幅（不超过橡胶厚度的 5 %）和一定频率（一般为 5～60Hz）交变的载荷作用下，测得的振动刚度简称为动刚度，以 K_d表示。

载荷以2～6m/s的速度使减震器变形时，测得的刚度称为冲击刚度，以 K_{sh}表示。

试验研究证明，橡胶减震器的三种刚度在一般情况下存在这样的关系：

$$K_d = (1.3 \sim 2.2) K_s$$

$$K_{sh} = (1.5 \sim 2.0) K_d$$

在测试橡胶减震器的动态和冲击参数时，应使组成的弹性系统尽可能地接近单自由度振动系统。也就是说负载的质量中心，动载荷或冲击载荷的作用力线与减震器受试方向的刚度中心线尽可能一致，并且要求试验场地、试验机架牢固坚实。

环境温度对上述试验的结果有显著影响。在有条件的地方最好能在恒温下进行试验。

下面就最常用的静刚度、动刚度和阻尼的测试方法作一简单介绍。

（一）静刚度测试

一般都是在万能材料试验机上进行的。试样应预压三次，再测定其数值。加载要缓慢而均匀。刚度大的减震器加载速度可适当快些；刚度小的减震器加载速度应慢些，以使减震器的变形速度大致相同。

橡胶减震器在加载和卸载时所得到的载荷与变形曲线是不重合的，形成一滞后回线，如图2-1-8所示。这给计算刚度带来了一定困难。我们可以用加载与卸载的平均曲线来计算减震器的静刚度。计算式加下：

$$K_s = \frac{2(P_2 - P_1)}{\delta_1' - \delta_1' + \delta_2 - \delta_1}$$

式中 P_1和P_2应和减震器的额定负荷P大致保持如下的关系：

$$P_1 = (0.5 \sim 0.75) P$$

$$P_2 = (1.25 \sim 1.5) P$$

δ_1和δ_1'为在负荷P_1下减震器在加载和卸载时的变形；

δ_2和δ_1'为在负荷P_2下减震器在加载和卸载时的变形。

一般来说，减震器的静刚度仅仅用于确定安装了减震器的机器设备的静平衡位置，或舰船、车辆斜倾摇摆时计算机器设备四周所留下的空间是否足够。实际上卸载的意义是不大的。因此可以只做出减震器的加载刚度曲线，并用它计算减震器的静刚度。这样做不仅简化了试验，而且得出的数据在一些场合下也更确切。此时计算K_s式可简化为：

$$K_s = \frac{P_2 - P_1}{\delta_2 - \delta_1}$$

（二）动刚度和阻尼系数的测试

1．共振法

将橡胶减震器和质量为M的物体按单自由度振动系统安装在振动台上（见 图 2-1-9）。启动振动台，调节振动台的频率进行连续扫描，找出系统的共振点，测量在共振时物体的振幅x_0、振动台台面振幅x_{0s}及共振频率ω_n。根据振动理论可求得动刚度为

$$K_d = \omega_n^2 \cdot M$$

式中ω_n为角频率(rad/s)，与振动频率f的关系为$\omega_n = 2\pi f$。

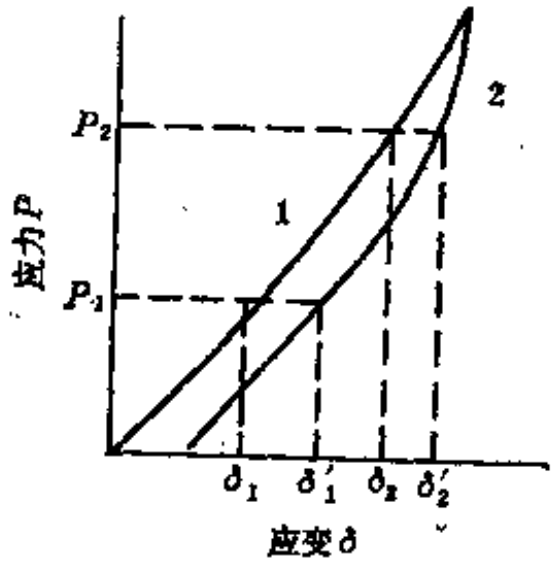


图 2-1-8 应力-应变曲线

1—加载；2—卸载

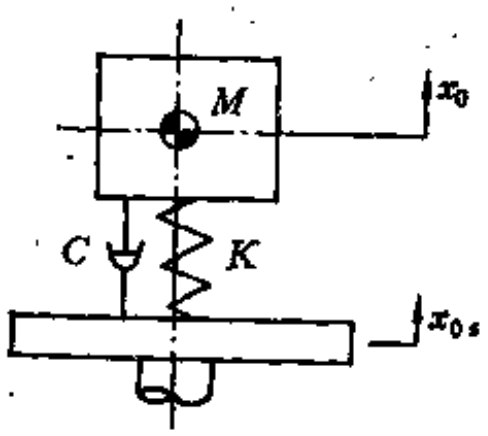


图 2-1-9 用共振法测动刚度

阻尼

$$C = \frac{\omega_n M}{\sqrt{\left(\frac{x_0}{x_{0s}}\right)^2 - 1}}$$

阻尼比

$$\mu = \frac{1}{2\sqrt{\left(\frac{x_0}{x_{0s}}\right)^2 - 1}}$$

注意：① 上述公式只有在共振状态下才能成立；

② 调节振动台的激振力，使振动台台面振幅大致在0.2～0.5mm范围内，使质量为M的物体的共振振幅与减震器在静载荷作用下的总变形量不超过原橡胶高度的15± 5 %；

③ 在共振区测量应迅速而准确，以免因减震器内部激剧生热而引起减震器温度升高，刚度减小，甚至损坏。

2．半功率点带宽法

将激震器安装在由质量为M_1、刚度为K_d、阻尼为C的橡胶减震器所构成的单自由度弹性系统上面或下面，如图2-1-10所示。M_2为激震器中参加与M_1一起振动的质量。系统中参加振动的总质量为$M = M_1 + M_2$。由减震原理可知，只要测量出系统共振频率ω_n，质量M的共振振幅x_0和共振振幅下降至$\frac{x_0}{\sqrt{2}}$的二个频率ω_1和ω_2，（见图 2-1-11）即可计算出动刚

度、阻尼比，其计算式如下：

动刚度 $$K_d \approx \omega_n^2 M$$

阻尼比 $$\mu \approx \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\omega_n}$$

$\omega_1 - \omega_2$称为半功率点带宽。

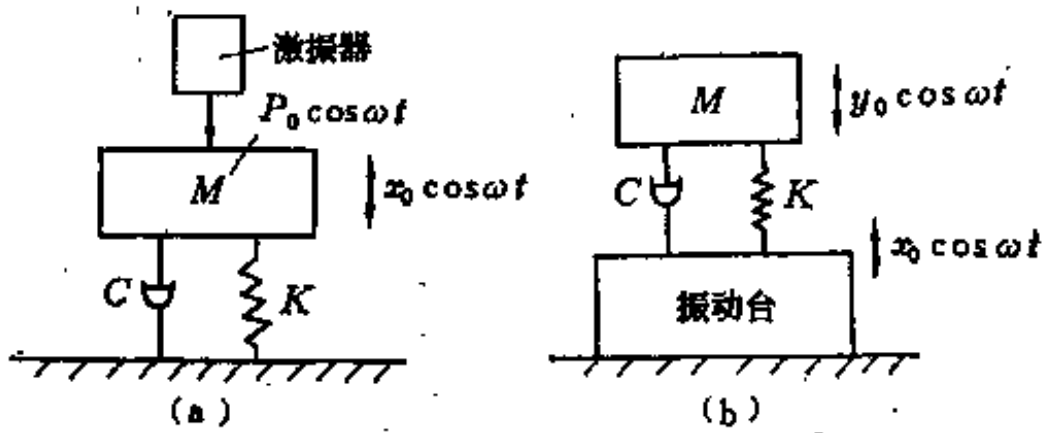


图 2-1-10 用激震法测动刚度
(a) —主动激震；(b) —被动激震

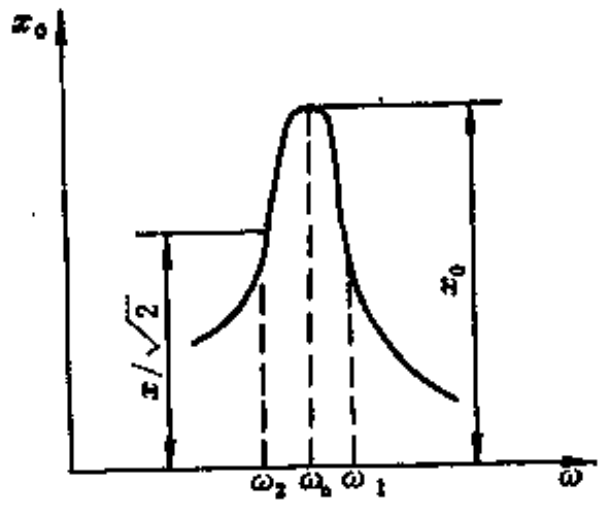


图 2-1-11 半功率点带宽法

常用的用激震法测减震器动刚度的装置见图2-1-12。

3．时域信号衰减法

使安装在减震器上的质量块共振（如敲击质量块或激震质量块），停止扰动后，它便产生一个衰减的自由振动。用记录器和测振仪配合记录其衰减波，如图2-1-13所示。

常用光线示波器记录这类信号，同时也记录下已知频率的讯号波，作为标准时间标记（例如50Hz的市电讯号）。将振动信号与标准时间标记作比较，就可以求得系统的自振频率ω_n，并由此计算出动刚度。

根据振幅的对数衰减关系可求出阻尼比：

$$\mu = \frac{\ln \frac{x_K}{x_{K+1}}}{2\pi}$$

式中x_K和x_{K+1}为衰减波上相邻两个振幅。

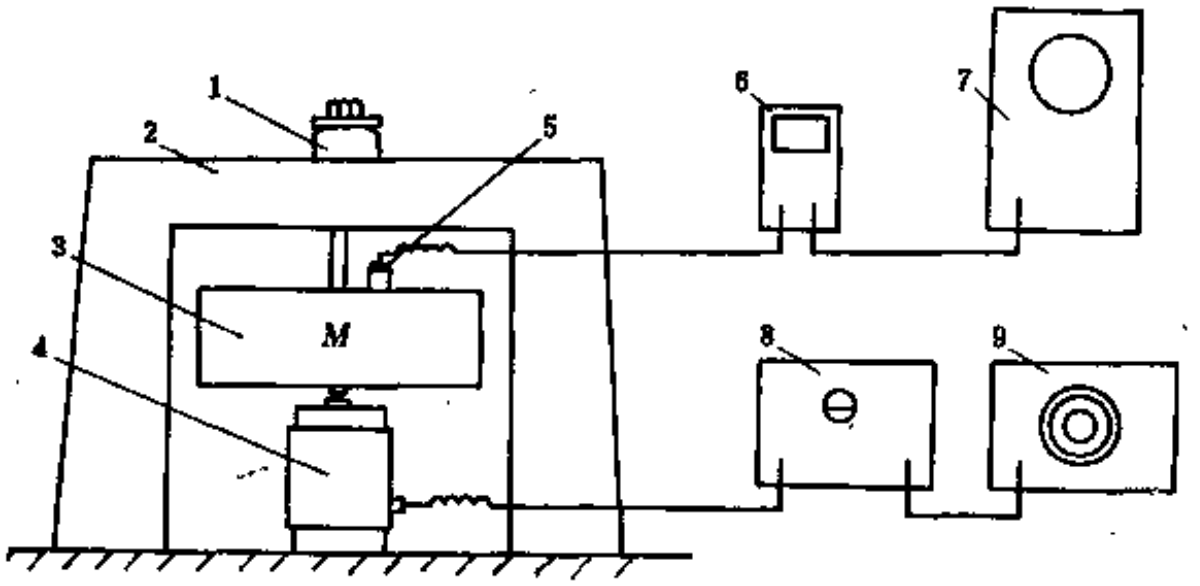


图 2-1-12 激震法测减震器动刚度装置
1—橡胶减震器；2—刚性试验架；3—重块；4—电磁激震器；5—拾振器；6—测振仪；7—示波器或记录器；8—功率放大器；9—振荡器

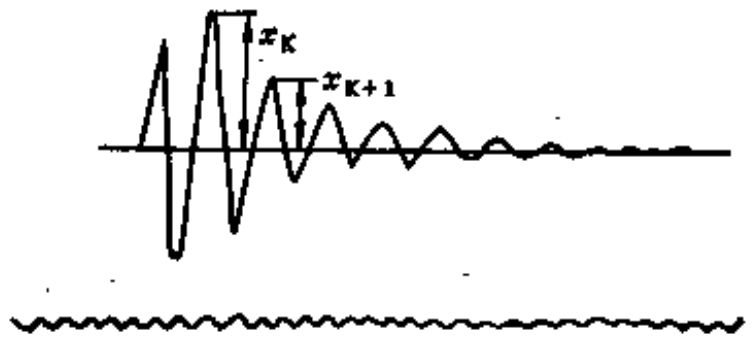


图 2-1-13　衰减波

四、橡胶减震器简介

橡胶减震器品种很多，常用减震器品种如下。

1．JP型橡胶减震器

该产品适用于无线电、仪器仪表设备，以保护其整机免受振动和冲击的影响。图2-1-14为JP型橡胶减震器。表2-1-1为JP型橡胶减震器技术数据。

表 2-1-1　JP型橡胶减震器技术数据

型　　号	额定负荷，N	Z向固有频率 Hz	Z向变形(常温) mm	工作温度 ℃	冲击试验	外形尺寸，mm $D\times A\times H$
JPⅠ-1	4.41	15±2	1.2～2.0	−40～+80	4g 2000次	25×32×10
2	8.82					
3	13.23					
4	17.64					
5	22.05					
JPⅡ-4	17.64				6g	38×45×16
6	26.46					
8	35.28					
JPⅢ-10	44.1				4000次	
12	52.92					
15	66.15				10g 4000次	51×57×25
20	88.20					
25	110.25					
35	154.35					

2．JPZ型三向等刚度减震器

图2-1-15为JPZ型三向等刚度减震器。该产品国内首创，适用于宇航事业，导弹控制仪等隔振抗冲击、仿美70年代水平。表2-1-2为JPZ型减震器的技术数据。

表 2-1-2　JPZ型减震器技术数据

型　　号	负　荷 N	三向在三倍负荷时的变形（常温） mm	轴向极限静负荷 N	三向自振频率 Hz	工作温度 ℃	三向阻尼比 C/C_0
JPZ1-0.35	3.43	2.6±0.4	147	18.5±1.5	−45～+80	0.04
0.50	4.90		147			
0.75	7.35		245			
JPZ2-1.15	11.27		343			
1.70	16.66		490			
2.50	24.50		588			

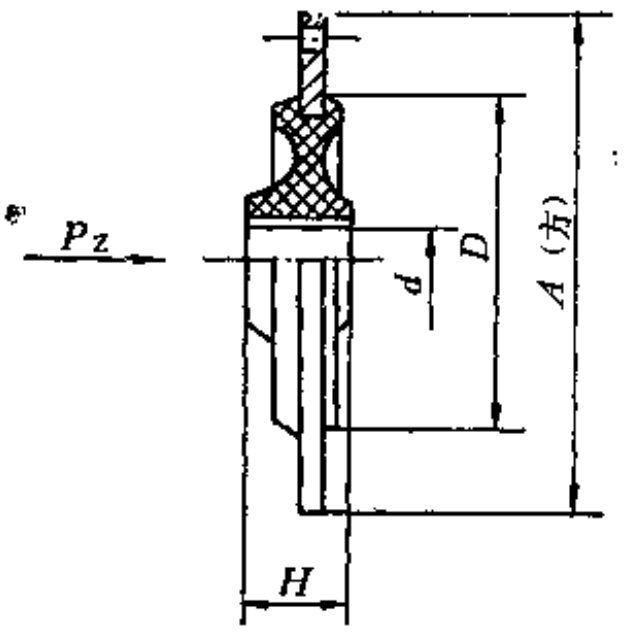


图 2-1-14　JP型橡胶减震器

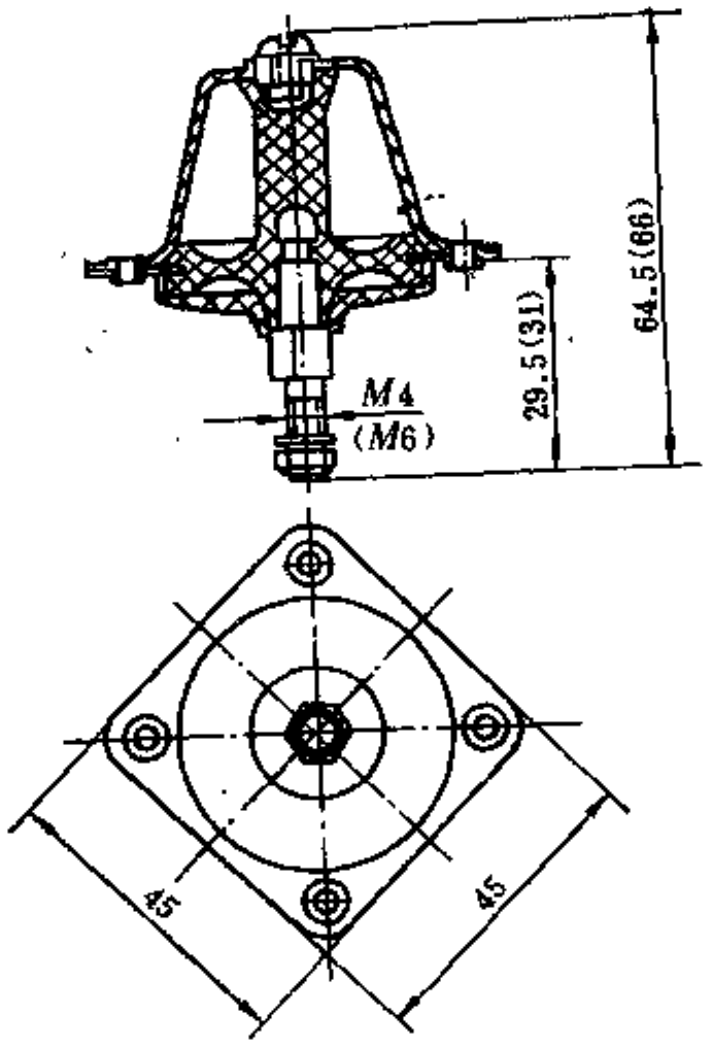


图 2-1-15　JPZ型三向等刚度减震器（单位：mm）

注：括号内尺寸为2型产品

3．JPL型小型航空减震器

图2-1-16为JPL型小型航空减震器。

该产品为国内首创，是国内先进产品。该产品结构轻巧，性能良好，能忍受0.7N的冲击，抵抗盐雾、霉菌、核辐射。产品适用于宇航事业、导弹主控仪、地面交通、航海船舶等各种隔振、防冲击的仪器装置。表2-1-3为JPL型航空减震器技术数据。

表 2-1-3　JPL型小型航空减震器技术数据

产品型号	额定负荷，N	静变形 mm	自振频率 Hz	极限静负荷，N	阻尼比 C/C_c
JPL1-0.3	2.94	2.3±0.45	11.5±1.5	294	0.04
0.6	5.88			294	
0.9	8.82			294	
JPL2-1.2	11.76			588	
1.6	15.68			588	
2.0	19.6			588	

4．JG型剪切减震器

图2-1-17为JG型剪切减震器。

本产品广泛用于“三机一泵”（风机、空压机、冷冻机、水泵）及精密仪器仪表机床设备，隔振、降噪效果显著。技术数据详见表2-1-4。

5．Z型橡胶等频减震器

Z型橡胶等频减震器如图2-1-18。表2-1-5为Z型橡胶等频减震器技术数据。

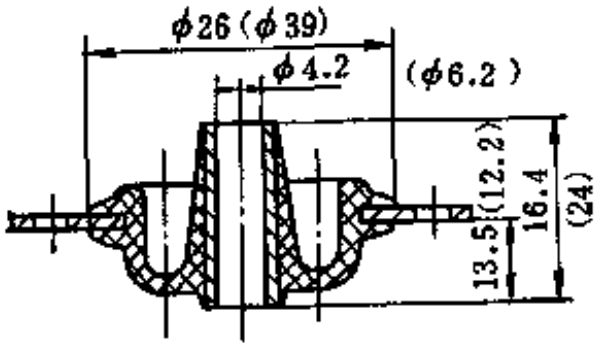


图 2-1-16 JPL型小型减震器（单位：mm）

注：括号内尺寸为2型产品

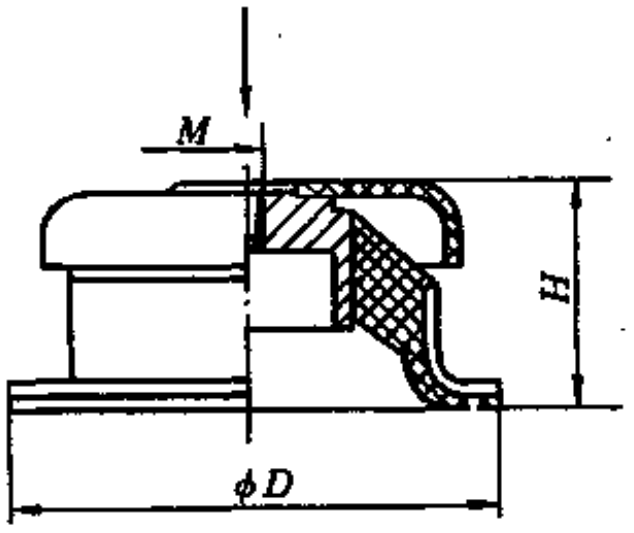


图 2-1-17 JG型剪切减震器

表 2-1-4 JG型剪切减震器技术数据

产品型号	积极隔振			极限压缩量	外型尺寸
	额定负荷 N	静变形 mm	固有频率 Hz	mm	$D\times H\times M$
JG1-1	186.2	3～5.5	10.8～15.3	12	100×43×12
2	264.6				
3	362.6				
4	470.4				
5	568.4				
6	686				
7	823.2				
JG3-1	980	6～11.5	7～10	28	200×87×16
2	137.2				
3	1960				
4	2646				
5	3234				
6	3969				
7	4733.4				
JG4-1	2940 (300)	10.5～22	5.1～7.4	50	290×133×20
2	4116 (420)				
3	5684 (580)				
4	7056 (720)				
5	9016 (920)				
6	10584 (1080)				
7	12348 (1260)				

表 2-1-5　Z型橡胶等频减震器技术数据

型　　号	垂向额定负荷，N	静变形量 mm	固有频率 Hz	外形尺寸 $A\times B\times H$
Z 1	980	～3	12	120×95×40
Z 2	1960	～5	10	170×140×58
Z 3	3430	～7	9	225×185×75
Z 4	5880	～8.5	8	250×210×90
Z 5	9800	～10	7	285×240×110

本产品特点：三向等频，大变形；碗形上盖，保护橡胶不受光晒，因而增加使用寿命；结构紧凑重量轻。产品可广泛用于各种机械、仪表、机床、设备、动力机械等方面。

6．6JX型防冲击减震器

6JX型防冲击减震器如图2-1-19。

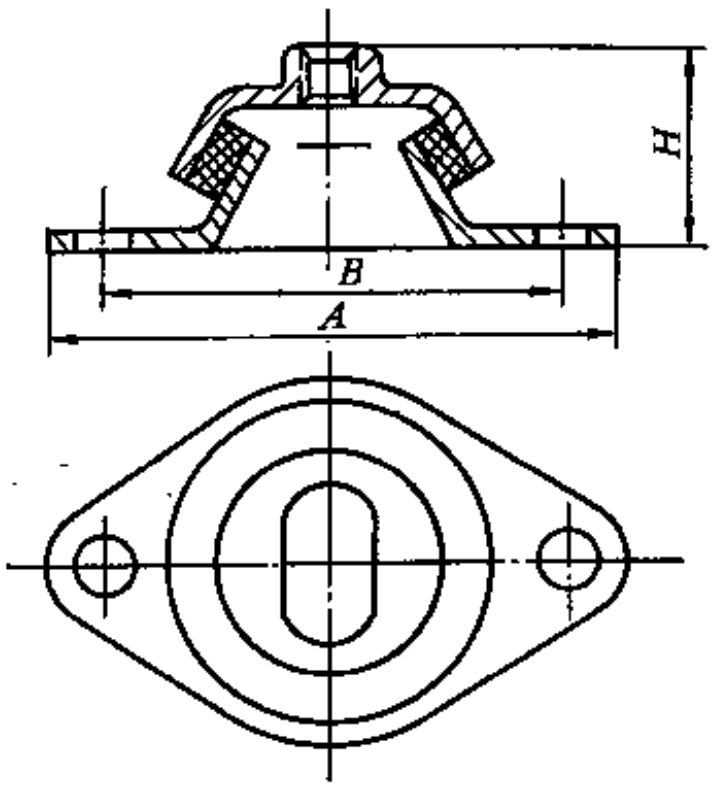


图 2-1-18　Z型橡胶等频减震器

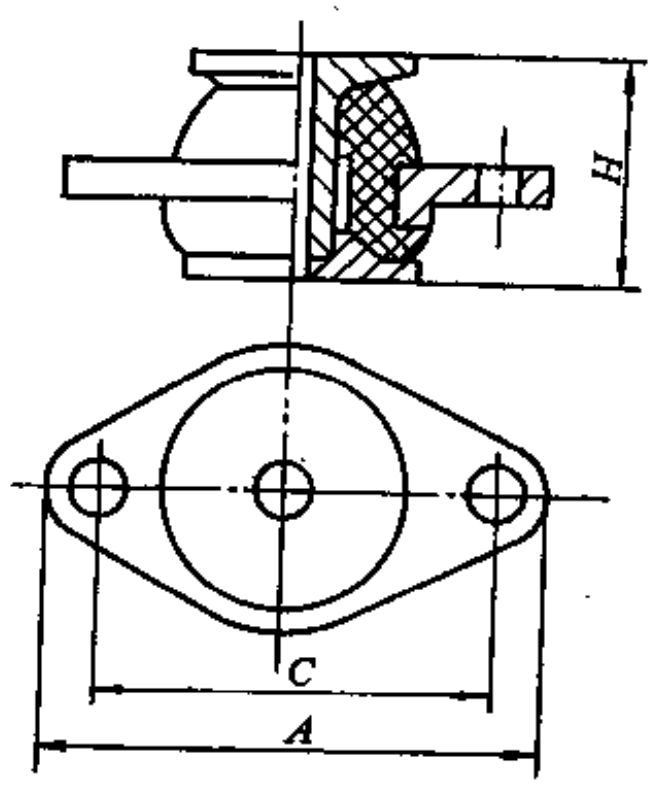


图 2-1-19　6JX型防冲击减震器

6JX型减震器是属非线性大变形的隔振防冲元件。主要适用于船舶车辆等对随机振动和冲击隔离要求较高的动力机械及电子等设备。产品特点：固有频率低，隔振效果好；承载范围宽，等频性能好，特别适用于变负荷条件下使用的防冲击设备；封闭结构，即使橡胶破裂也可以保证设备不会与基础脱开，而能正常工作。6JX型防冲击减震器技术数据如表 2-1-6。

7．6WN型内燃机车减震器

6WN型内燃机车减震器如图2-1-20。

该产品适用于内燃机车主机隔板、缓冲、降噪之用，司机室噪声可以85dB降低到80dB。利用70kN模具可以生产5t、9t产品（将胶料硬度调正）。表2-1-7为6WN型内燃机车减震器技术参数。

8．“31”型橡胶减震器

“31”型橡胶减震器如图2-1-21。

产品技术数据：垂向额定负荷21kN，静变形为0.64～0.96mm，静刚度为27300kg/cm±20%，动刚度为52000kg/cm，阻尼系数C/C_c为0.065～0.070，产品重85kg。产品适用于船

表 2-1-6　6JX型防冲击减震器技术数据

产品型号	额定负荷，N	适用范围 kg	变形量 mm	固有频率 Hz	外形尺寸 $A\times H$	C
6JX45	441	25～45	9±2	6.5±1	150×66	120
70	686	45～70	11±2	6±1	168×68	136
200	1960	100～200	15±3	6.5±1	172×80	140
400	3920	200～400	14±3	6.5±1	248×108	210
900	8820	400～900	18±4	6±1	290×115	244
1200	11760	600～1200	22±4.5	6.5±1	340×135	288

表 2-1-7　6WN型内燃机车减震器技术参数

产品型号	额定负荷，N	静变形 mm	参考频率 Hz	外形尺寸 $D\times H$
6WN2000	19600	9.6±1.6	6±1	100×102
7000	68600	9～12	6±1	252×258
7000A	68600	10.5±1.5	6±1	280×250

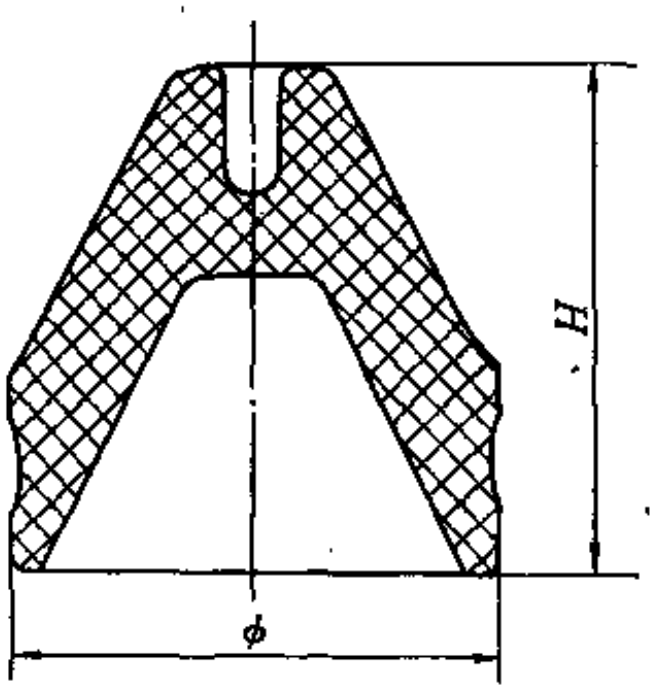


图 2-1-20　6WN型内燃机车减震器

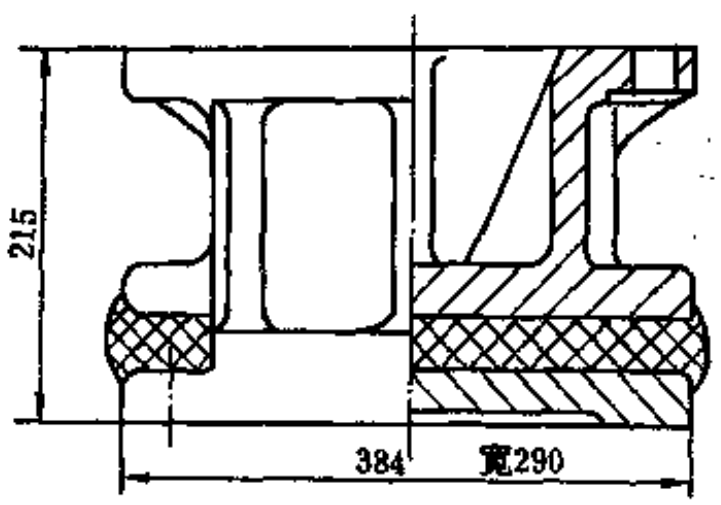


图 2-1-21　“31”型橡胶减震器

用主机隔震防冲击用，也可用于电子称隔振抗冲击。

9．SH型双板式减震器

SH型双板式减震器如图2-1-22。

表2-1-8为SH型双板式减震器的技术参数。

产品主要供船舶机械和设备减震、隔音和缓冲之用。

10．E型、EA型减震器

此类减震器是耐油橡胶所制成的橡胶金属制品。它粘结强度高，寿命长、安装方便、安全可靠。产品适用子主机、辅机、仪表设备等，具有良好的隔音和抗冲击性能，已普遍配套使用于舰艇、船只、陆上等设备。产品见图2-1-23，性能见表2-1-9。

11．YLJ系列压路机减震器

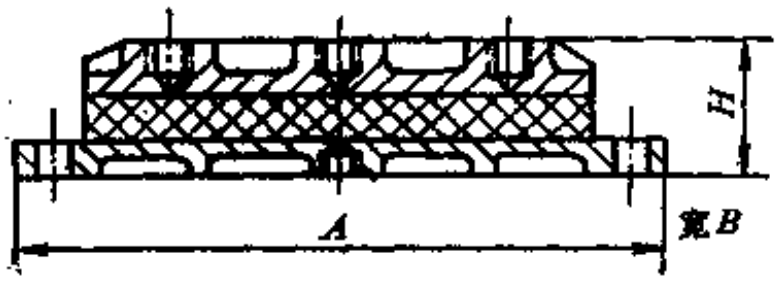


图 2-1-22 SH型双板式减震器

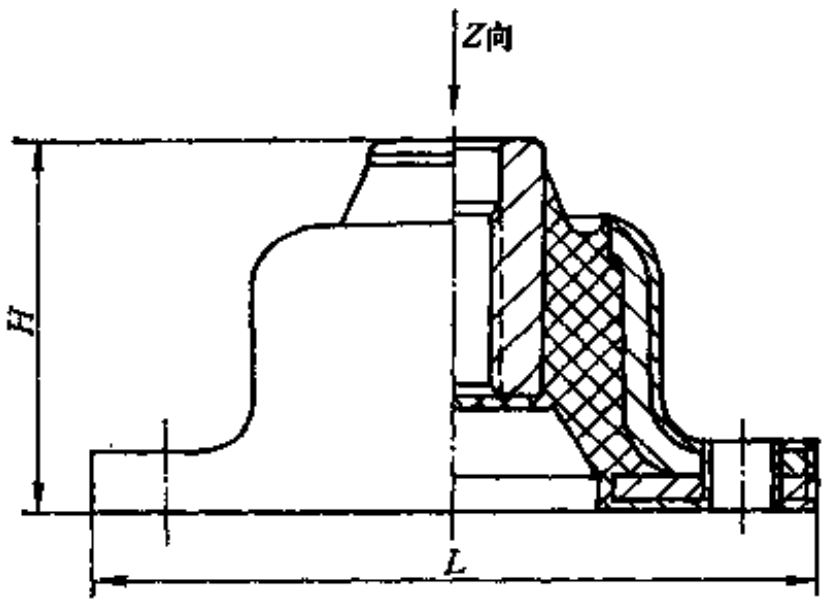


图 2-1-23 E型、EA型减震器

表 2-1-8 SH型双板式减震器技术参数

产品型号		额定负荷	变形值	工作温度	外形尺寸
现用	原用	N	mm	℃	$A\times B\times H$
SH-500	161-B66	4900	0.6～1.1	-5～+70	230×90×68
750	B62	7350			280×110×68
1150	B83	11270	0.4～0.9		330×108×64
1750	B91				460×140×93
2200a	B86	21560	0.3～0.9		565×140×98
2200b	B89	21560			

表 2-1-9 E型、EA型减震器技术参数

型号	外形尺寸，mm		技术数据		
	L	H	Z向负荷N	Z向动刚度,N/cm	阻尼比C/C_c
E10	70	40	100	E/EA 3300/3300	
E15	70	40	150	4500/4500	
E, EA25	70	40	250	7500/5000	
40	85	46	400	13000/8700	
60	100	50	600	16000/15000	
85	120	60	850	20000/18500	0.08～0.12
120	140	65	1200	25000/15300	
160	145	60	1600	55000/40000	
220	151	60	2200	70000/45000	
300	155	65	3000	110000/66000	
400	175	65	4000	130000/65000	

YLJ系列压路机减震器如图2-1-24。

表2-1-10为YLJ系列压路机减震器技术参数。

12. WJ橡胶减震垫

该产品是通用性较强的产品，故也称“万能垫”。它具有4种不同直径、不同高度的圆凸台两面交叉配置组成，可以承受任意方向的载荷，减震性能达到世界同类产品水平。它在载荷作用下，当较高的圆凸台受压变形而较低的圆凸台尚未受压，其中间部位受载而成为波

表 2-1-10 YLJ系列压路机减震器技术参数

型　号	Z向负荷 N	剪切静刚度 N/cm	外形尺寸，mm $A\times B\times H\times C$	适用机型
YLJ-8	2000	2200	147×147×116	YZJ-8
10F	2000	2000	130×130×70×66	YZJ-10C
12F	2000	1750	130×130×77×66	12ZJ.227 YZJ.10B
16F	3000	3500	155×155×104×115	YZJ-16
19	3000	3000	180×180×75×146	YZJ-19A.7Q.11Q

浪形，因此能吸收任意方向的振动。由于圆凸台是斜向地被压缩起到了制动的作用，因此不必采用紧固措施即可防止机器滑移，当受到横向压力时，四种凸台均向压力方向倾斜；载荷越大越不会滑动，因此可以省去庞大的基础费用。该产品应用广泛，使用方便，耐热耐油性好，价格低廉，使用寿命长，是一种极其优良的减震元件。

图2-1-25为WJ橡胶减震垫。表2-1-11为WJ橡胶减震垫技术参数和应用。

表 2-1-11 WJ橡胶减震垫技术参数与应用

规　格	橡胶硬度(H)	承载能力，MPa	应　用　范　围
WJ-40	40	0.2～0.4 极限载荷 3	钟表工业机械、电子仪器、光学仪器、计测仪器、医疗音响等精密仪器
WJ-60	60	0.4～0.6 极限载荷 5	压力机、发电机组、离心分离机、搅拌机、升降机、起重机、及其它振动较大的场合
WJ-85	85	0.6～0.8 极限载荷 7	冲床、车床、磨床、铣床、镗床透平、电火花加工机床、砂轮机、工业缝纫机、桥梁建筑等场合
WJ-90	90	0.8～1 极限载荷 9	锻压机、废品处理机、钣金加工机、精密磨床、纺织机械、印刷机等水平较高处

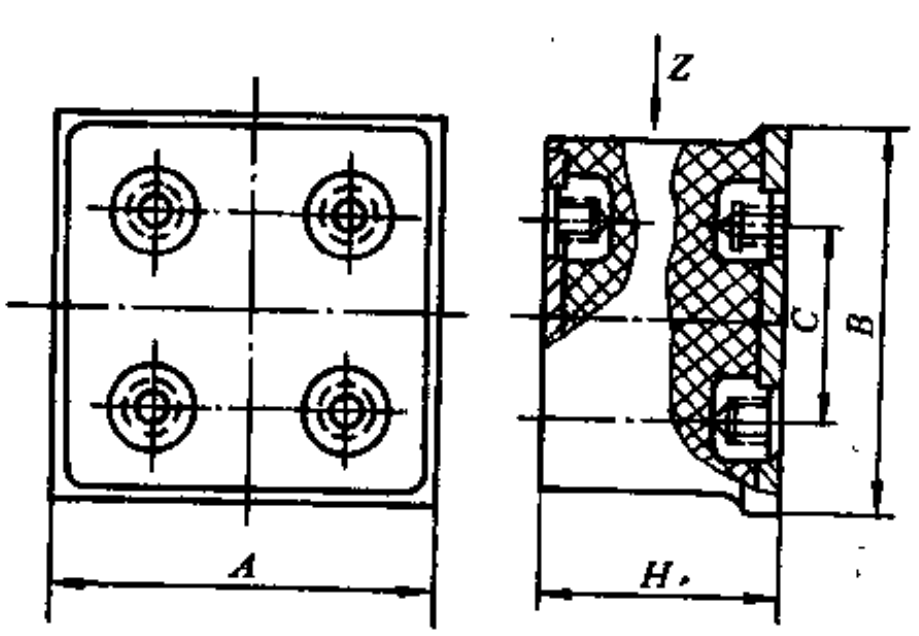


图 2-1-24 YLJ系列压路机减震器

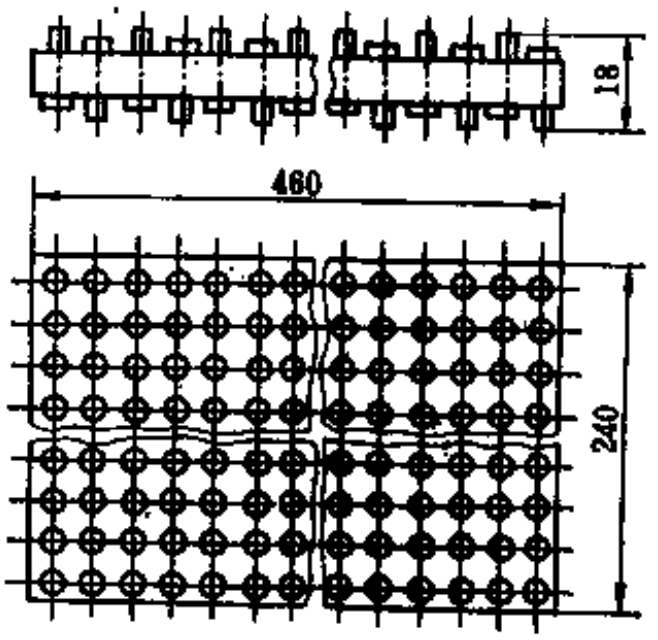


图 2-1-25 WJ橡胶减震垫（单位，mm）

13．XL系列高弹性橡胶联轴器

XL橡胶联轴器如图2-1-26。

该产品是我国用系列化、标准化和通用化观点设计研制的第一个高弹性橡胶联轴器国家标准（GB 2496—81)系列产品。该产品是通过连接同一轴线的两根轴来传递功率的一种高弹性联轴器，其功率是通过特殊设计的整圈式橡胶来传递的。产品特点：具有很高的弹性（低刚度、大柔度），可以降低轴系固有振动频率，改变轴系扭转振动，使柴油机不出现危险的共振转速；具有较好的阻尼减震特点，吸收部分振动能量；可以吸收和降低柴油机输出扭矩的波动，提高功率传递品质；能弥补轴系安装误差；结构紧凑、重量轻、安装方便、售价低。

产品适用于下列动力装置：

（1）船用柴油机主推进动装置；

（2）装有减速齿轮箱、离合器的中、高速柴油机动力装置；

（3）柴油机发电机组；

（4）柴油机驱动的泥浆泵、水泵、压气机等动力装置；

（5）液力传动内燃机车、汽车等动力装置；

（6）电动机或其它动力机械驱动的减速器、轧钢机、搅拌机等动力装置。

表2-1-12所示为XL系列高弹性橡胶联轴器技术参数。

14．YXN、XN橡胶扭振减震器

YXN、XN橡胶扭振减震器如图2-1-27。

表 2-1-12 XL系列高弹性橡胶联轴器技术参数

型号 \ 参数		马力/速度	额定扭矩	最大允许转速	M_0 时扭转角	外形尺寸				
		N_0/n	M_0	n_{max}	ψ_0	$D1$	$D2$	$D5$	$D6$	L
			N·m	r/min	(°)	mm				
XL	7	0.098	700	4000	10	295	275	150	130	150
	11	0.154	1100	3800	10	335	315	170	145	170
	18	0.251	1800	3600	10	390	365	190	165	200
	28	0.391	2800	3000	10	440	415	220	180	230
	40	0.559	4000	2800	10	490	465	250	210	265
	55	0.768	5500	2500	10	530	500	290	240	300
	75	1.047	7500	2200	10	600	565	320	270	316
	110	1.536	11000	1950	10	680	640	380	320	355
	150	2.050	15000	1750	10	760	720	420	370	380
	180	2.513	18000	1650	10	810	770	450	400	410
	240	3.351	24000	1500	10	860	820	480	430	440
	300	4.189	30000	1400	10	950	900	530	460	475
	400	5.585	40000	1300	10	1000	950	570	500	515
	560	7.819	56000	1200	10	1120	1060	600	520	580
	710	9.913	71000	1100	10	1200	1140	650	570	695
	900	12.560	90000	1000	10	1290	1200	700	620	825

该产品是一种新型曲轴减震元件，能解决4缸以上车用发动机曲轴系统的扭振，齿轮撞击、机件磨损、噪声增大、振动加剧，甚至共振时的曲轴断裂等严重问题。压入式产品适用于汽缸直径从93到135mm的高速车用发动机。其特点是结构新颖、尺寸紧凑、重量轻、减震效率高，使用寿命长。

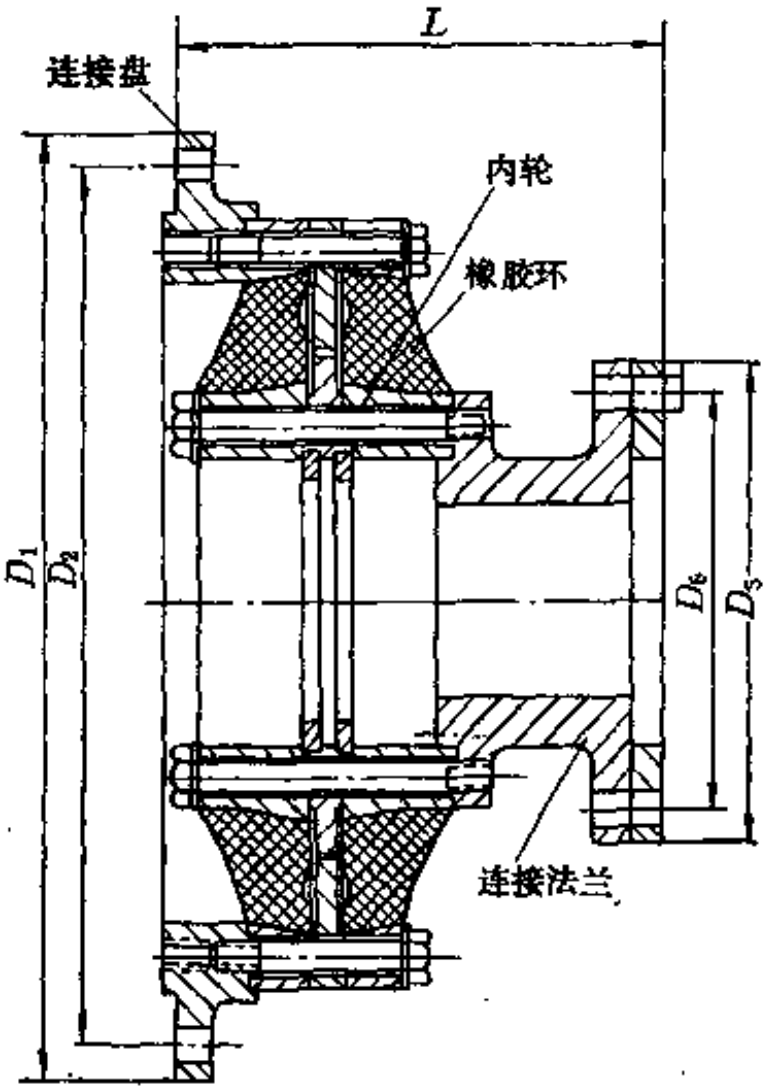


图 2-1-26 XL橡胶联轴器

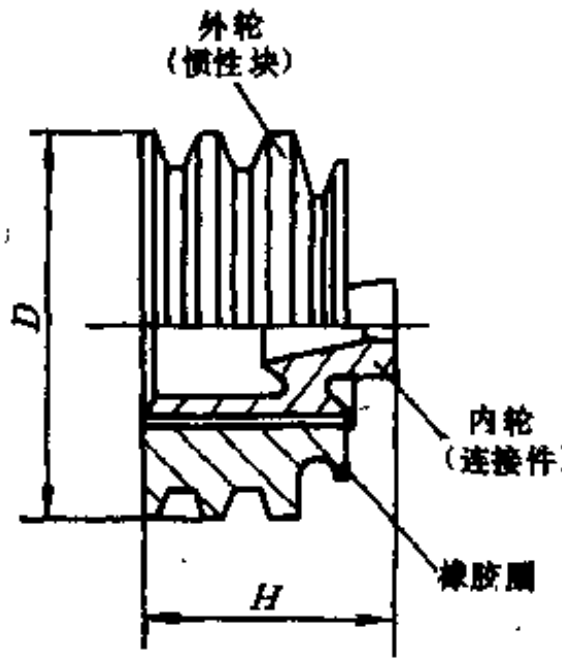


图 2-1-27 橡胶扭振减震器

表2-1-13为橡胶扭振减震器技术参数。

表 2-1-13 橡胶扭振减震器技术参数

型式	型号	技术指标	外形尺寸，mm $D\times H$
压入式	YXN100系列	固有频率420Hz，静扭300N·m	145×57.5
	YXN120系列 （原YXN300）	固有频率 280～400Hz 静扭600N·m	170×120.5 O型 190×86.5 B型 170×119.5 C型 190×58 D型
	YXN150系列	固有频率250～420Hz 静扭600～800N·m	240×59 247×53.5
硫化式	XN 130 XN 245 XN 280 XN 165 其 它	固有频率，130 Hz 245 Hz 280 Hz 165 Hz 240～384Hz	262×46 331.5×34.2 248×135 248×135 194×21.5 270×23等

15，25AB、949橡胶接管

（1）25AB接管 如图2-1-28和表2-1-14所示。

（2）949接管 如图2-1-29和表2-1-15所示。

25AB与949型橡胶接管广泛用于舰船的机械和设备减震隔音之用，介质为淡水、海水、

表 2-1-14 25AB 橡胶接管技术参数

型　　号	内　径 mm	工作压力 MPa	接管最大拉伸量 mm	工作温度 ℃	外形寸尺，mm $D\times H\times A$
25AB-23	20	1	4.5		96×70×65
25	25	2.5	6.8		105×75×73
26	60	2.5	6.8	−5～+70	158×120×118
27	80	2.5	6.8		192×155×147
28	100	2.5	8.10		215×165×167
29	150	2.5	8.10		280×220×226

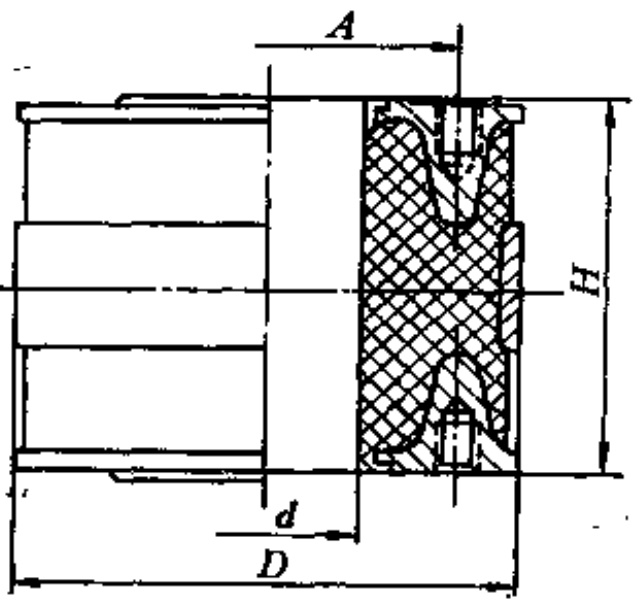


图 2-1-28　25AB橡胶接管

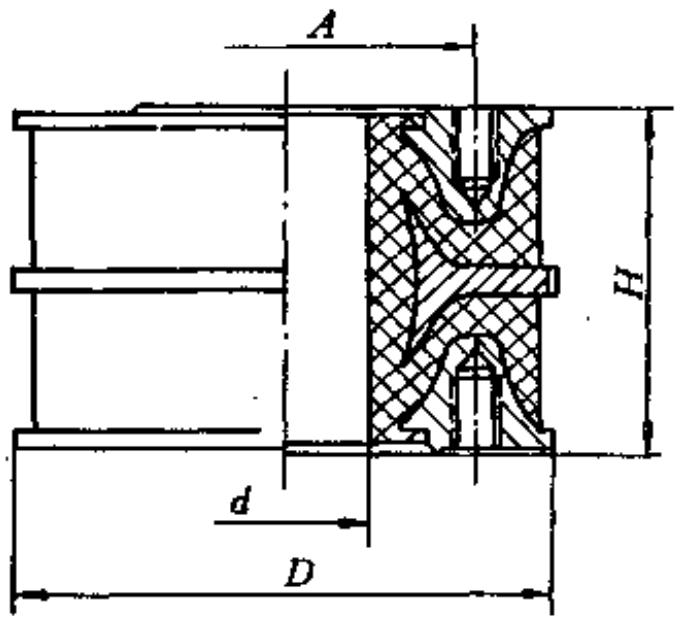


图 2-1-29　949橡胶接管

表 2-1-15 949橡胶接管技术参数

型　　号	内　径 mm	工作压力 MPa	伸 长 量	工作温度 ℃	外形尺寸，mm $D\times H\times A$
949-12-286	60	4	4	−5～+70	195×123×123
289	80				210×129×152
292	100				235×133×181
298	150				300×143×236

滑油，特制的可通蒸汽。

16．粘弹性高阻尼材料

粘弹性高阻尼材料如图2-1-30。表2-1-16为粘弹性高阻尼材料技术参数。

粘弹性高阻尼材料是一种高分子聚合物，随着温度或频率的变化，它的弹性模量值和损耗因子值有较大的变化。粘弹性高阻尼材料是国内外当前发展的一种隔震降噪新材料，广泛应用于航空、造船、汽车、铁路、建筑、纺织等行业，也可适用于建造隔声罩，是一种理想的高阻尼处理新材料。

该产品自熄性好、耐油、耐水、耐海水、无毒。阻尼控制处理优点多；对宽频带激励、脉冲激励等场合、对声振源、对共振状态，效果均较明显，并能相应延长部件的使用寿命。

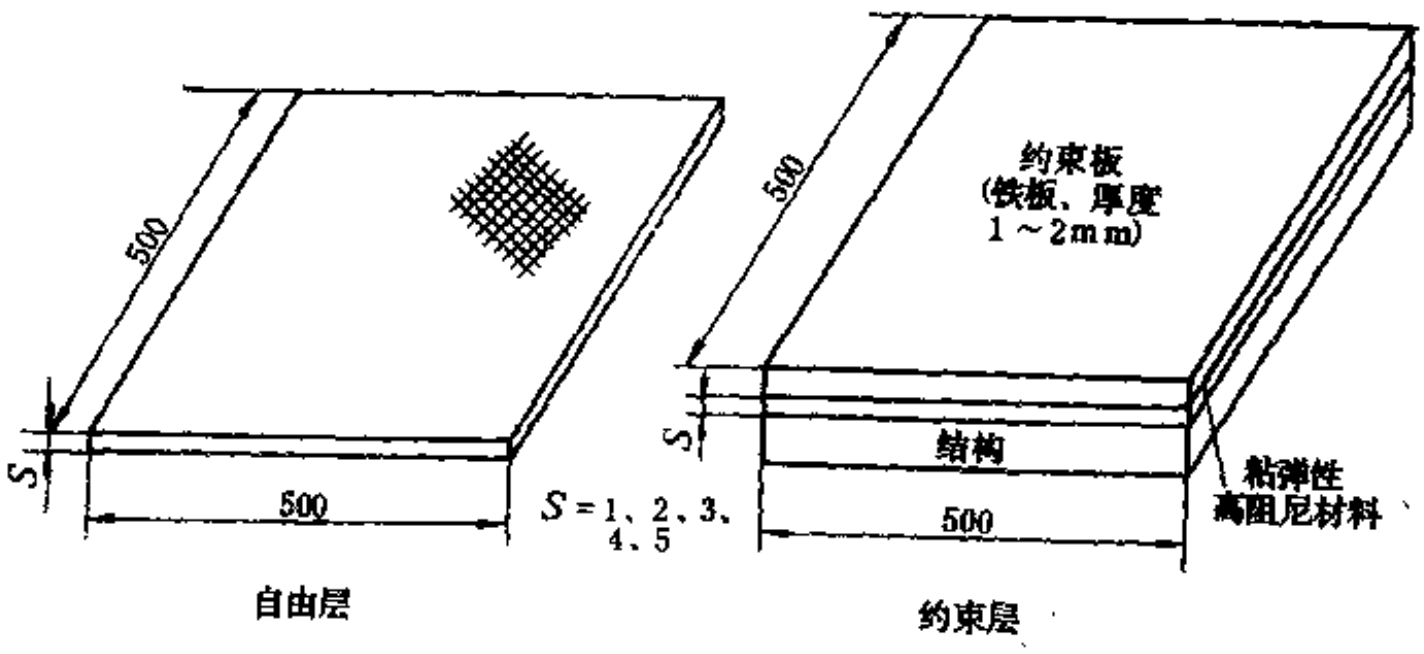


图 2-1-30 粘弹性高阻尼材料

表 2-1-16 粘弹性高阻尼材料技术参数

类型规格	最大损耗因子 B_{max}	200Hz时B_{max}对应的弹性模量E MPa	最佳使用温度 ℃	最佳使用频率 Hz
3101	0.45	140	20	100～5K
3102	0.65	200	42	100～5K
3103	0.92	650	60	100～5K
9030	1.4	5.8	8	100～5K
9050	1.5	6.5	10	100～5K
9050A	1.3	7	32	100～5K

五、减震器的布置

一般的设备仪表由弹性体支承时，其运动有6个自由度（沿x、y、z轴及绕这三根轴的转动）。减震布置应考虑6个自由度。在减震器布置时，主要应考虑干扰力的方向、设备的重心及减震器布置的几何尺寸。

当干扰力通过设备的重心，且方向为垂直时，只要将减震器按重心对称布置，使减震器受力相等。例如设备重500kg，底面为长方形，重心在几何中心，干扰力通过重心，那末只要在四个角上布置4只相同型号的减震器，这时每个减震器的负重相同。当干扰力频率大于设备与减震器组成的隔振系统的固有频率时，设备四周的环境就获得了良好的隔振效果。对于消极隔振，也只要考虑仪表设备的重心，使减震器按重心对称分布。

在设备仪表质量分布不均匀，减震器无法按重心对称分布时，可以采用同一型号但刚度不同的减震器，使离重心近的减震器有较大的刚度，离重心远的减震器有较小的刚度，而使各个减震器产生的合反力与设备的重心一致。这样布置减震器，一般也可以获得满意的隔振效果。

在某些场合，设备产生的干扰力的力线不通过重心。这时按上述布置减震器后，由于减震器产生的合反力通过重心，与干扰力不在一直线上，设备除了发生上下振动外，还由于干扰力对重心产生的力矩而使设备产生摇晃，即发生了耦合振动（上下振动同时摇摆振动）。为了避免耦合振动，除了设法使设备重心与干扰力调整到一条直线外，也可以考虑使减震器在加载后的反作用力对重心的力矩与干扰力对重心的力矩相等，以抵消产生摇摆振动的

力矩。

应当强调的是，在工程问题中尽可能使减震器按对称原则布置。对于非对称布置，应当慎重设计计算，以免产生耦合振动。

减震器的安放大致有二种形式：平置式和斜置式。平置式是最常见，也是最简单的安装形式。其特点是减震器只受到垂直方向的压力。斜置式是减震器底面与地平面有一倾角，此时减震器受到垂直方向的力，可以分解为垂直于减震器的正压力和剪力。斜置式的倾角决定此两分力的大小。斜置式可以降低设备的重心，增加稳定性；但它对减震器也有较高的要求。

根据不同的情况，可以采用不同的方式及它们的组合形式。

六、橡胶减震器的制造

橡胶减震器根据设计大多是由橡胶与金属件通过胶粘剂粘合或通过橡胶与金属件的紧配合组合而成，也有以纯橡胶制成的。

制造橡胶减震器的工艺流程大致如图2-1-31所示。

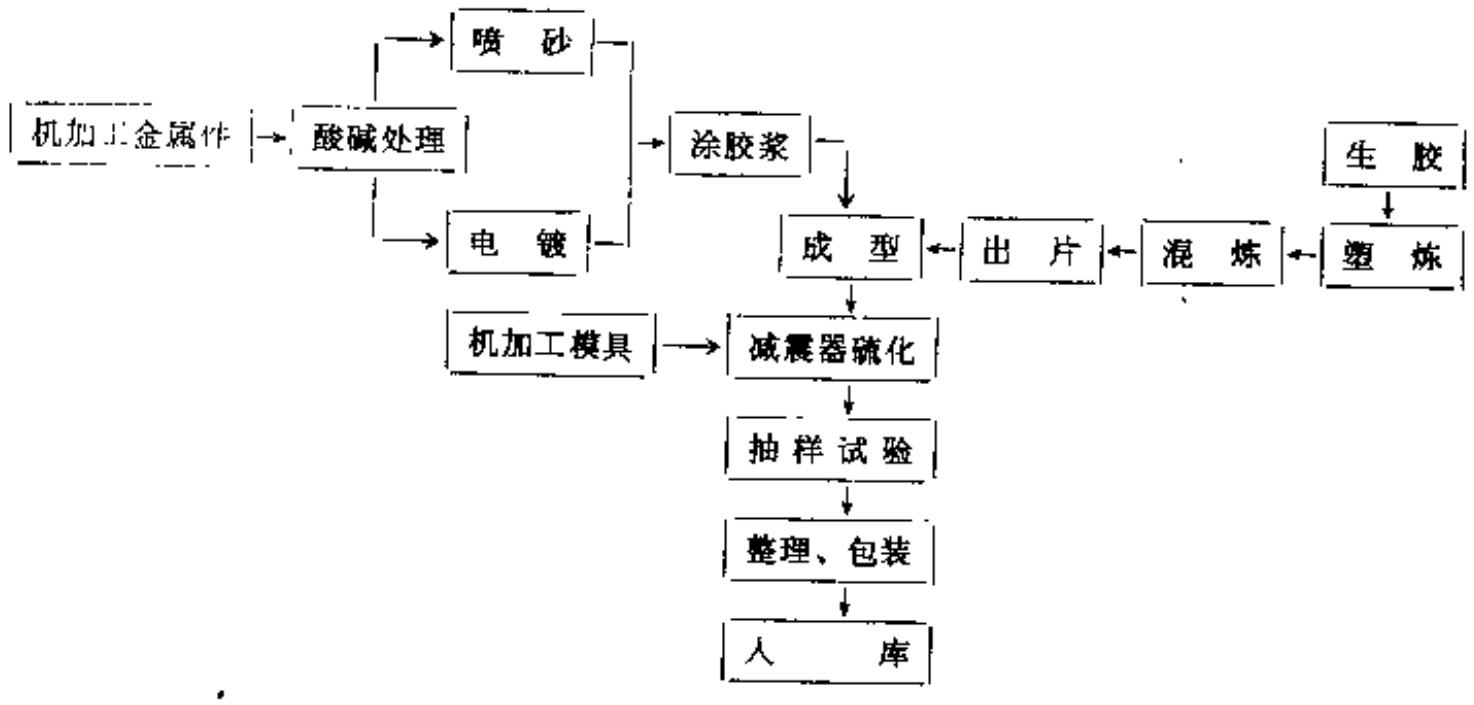


图 2-1-31 橡胶减震器生产工艺流程

为了制得性能良好的橡胶减震器，必须采用合理的胶料配方和制造工艺，并对半成品和成品进行必要的检验和控制。

（一）配方设计

根据减震器的使用性能要求筛选出所需的生胶和各种配合剂的种类、规格及其用量，这个过程称为配方设计。

1．配方设计的原则

减震橡胶应保证减震器具有良好的减震效果，高的粘结强度，低蠕变，低成本以及使用寿命长等性能，减震橡胶配方设计的基本任务就是最大限度地满足这些性能的要求。

从减震器的设计计算知道，在橡胶件的形状确定以后，橡胶件的刚度K就主要取决于橡胶的弹性模量E的大小。减震系统的自振频率ω是随着刚度K而变化的。为了达到设计给定指标以获得减震效果，关键就在于调节和控制橡胶的弹性模量E。橡胶弹性模量E与硬度存在着一定关系（见图2-1-7），在生产中常以控制胶料的硬度来保证获得减震效果。

橡胶阻尼性能是橡胶减震器的一个优异的特性。它能衰减振动，帮助减震器越过共振区（图2-1-2）。对于在激励频率范围宽，并可能会有随机性能的场合，以及在激励的性能难于预先确定的地方，都希望减震器的阻尼大一些，对于抗冲击来说，阻尼更是必须的。但是阻尼作用也有其导致橡胶生热的不利的一面，因为阻尼产生于橡胶的滞后特性和变形时的内摩擦，它使振动时的机械能转变为热能，一部分散逸，一部分积累起来，使橡胶发热。因此，为了兼顾橡胶的减震性能和生热特性，必须适当调节和控制橡胶的阻尼值。橡胶的滞后和内摩擦特性通常用橡胶损耗系数表示，阻尼及生热随损耗系数的增大而增加。

蠕变是橡胶的变形量随时间的延长而增加的一种现象。橡胶减震器的最大使用力应该考虑能够避免过度蠕变，因为它会引起连接轴和管于的不对中，而且厚度的减少会引起减震器所不希望的刚度增加，频率提高。蠕变依赖于橡胶化合物的结构、环境温度和硫化程度。

粘合性能对橡胶减震器来说是非常重要的，橡胶减震器通常是由钢和橡胶粘合而成，也有使用铸铁、铝合金、铜、不锈钢等材料。因此要求橡胶与各种金属有良好的粘合性能。对于承载能力大的减震器要求粘合强度大于4MPa。

除上述以外，由于橡胶减震器是在动态下使用的，为了使减震器获得良好的使用性能和较长的使用寿命，减震橡胶必须具有良好的耐疲劳、耐动态老化等性能。

2．减震器胶料各配合组分的选用原则

（1）生胶　为了获得所需要的减震特性，配方中生胶的选择十分重要。橡胶的弹性模量是用填充剂和增塑剂调节橡胶的硬度来达到，它受胶种的影响较小，相反，橡胶的损耗系数则主要取决于生胶的种类。在常温下天然橡胶和顺了橡胶的损耗系数较小，丁苯橡胶、氯丁橡胶、乙丙橡胶、聚氨酯橡胶和硅橡胶的损耗系数为中等，丁基橡胶和了腈橡胶的损耗系数较大。参见表2-1-17。

表 2-1-17　橡胶的损耗系数

橡　　胶	损 耗 系 数
天然橡胶	0.05～0.15
丁苯橡胶	0.15～0.3
氯丁橡胶	0.15～0.3
丁腈橡胶	0.25～0.4
丁基橡胶	0.25～0.4

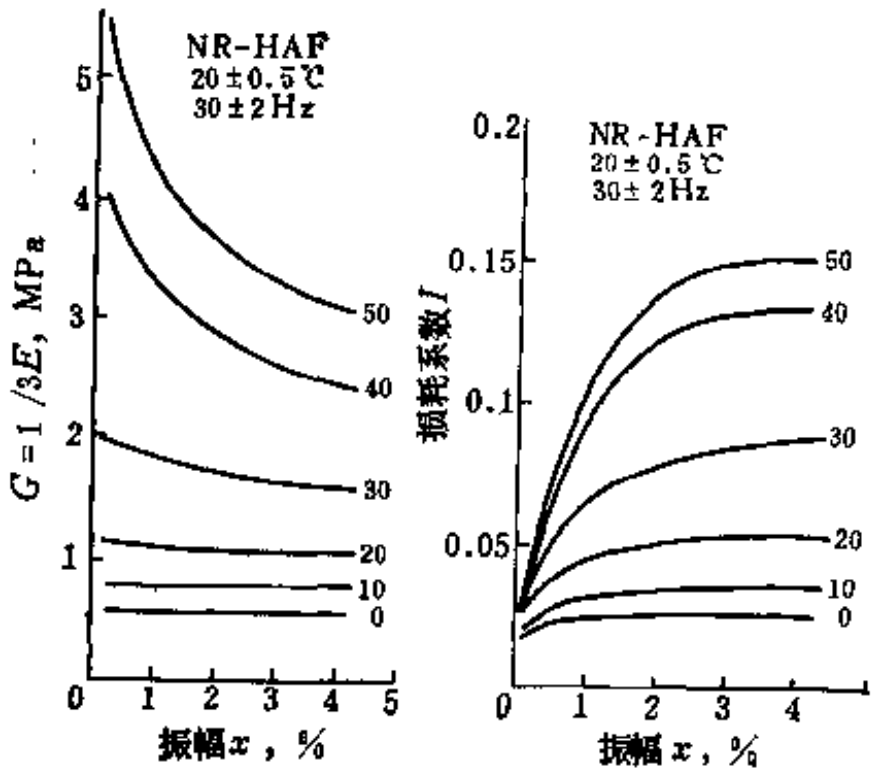
疲劳性能与胶种也有一定的关系，因为疲劳是由分子间相互作用的变化面造成的，各种橡胶的分子结构特征不同，其疲劳性能也不同。天然橡胶的耐疲劳性能较好，其次是顺丁橡胶。

由于天然橡胶具有良好的机械性能，在应力-应变的低应变重要区域具有高弹性和低滞后损耗，生热低和蠕变性能好，同时还具有好的耐撕裂、耐曲挠和耐磨耗性能。因此，天然橡胶广泛地应用于橡胶减震器的生产，顺丁橡胶可作为天然橡胶的并用胶，以增加胶料的弹性和低温性能。至于它们的耐氧化和耐臭氧能力差，可通过添加剂而加以克服。

此外，在有特殊要求的场合时，必须多少损失一些减震特性来考虑胶种，例如要求耐油时选择丁腈橡胶，要求耐天候老化时选择氯丁橡胶，这些都是在实际生产中经常遇到的情况。

（2）补强填充剂　填充剂是对橡胶减震特性和耐疲劳性能等有着重要影响的因素。在减震橡胶的配方中，天然橡胶和合成橡胶几乎都含有补强填充剂。粒子大小是填料对物性影响的主要依据，补强填料粒径极小，能赋予非结晶橡胶以有用的强度性能，并对结晶橡胶的强度也有一些改进。

炭黑是橡胶的重要补强填充剂，一般来说，橡胶的弹性模量和损耗系数会随着填充剂炭



（a） （b）

图 2-1-32 天然橡胶的弹性模量（a）和损耗系数（b）对振幅的依赖关系

黑用量的增加而增大，同时对振幅的依赖性也随之增大，如图2-1-32所示。

图中标志 0 者为纯橡胶，G、I 均是线性。增加填充剂含量时，G 随振幅 x 的增加而显著下降，I 值增加。在微小振幅（$x \to 0$）时的损耗系数 I 与填充剂的含量无关，大体上是不变的。

在等量配合条件下，炭黑粒径越小，补强效果越好，弹性模量越高；炭黑粒径越大(即比表面积越小)，则回弹率越高，损耗系数越小，生热越低。

弹性模量是设计时给定的值，在弹性模量相同的条件下，仍然是采用大粒径炭黑可以获得损耗系数较小的橡胶。因此，为了降低损耗系数宜采用粒径较大的软质炭黑。

对于减震橡胶配方来说，在天然橡胶中大多配合半补强炉黑和细粒子热裂法炭黑；在合成橡胶中有时因补强效果不够，只得采用快压出炉黑和通用炉黑等。

从疲劳和屈挠性能来看，炭黑在减震橡胶中起着不良影响，炭黑粒径越小，补强效果越大，则疲劳作用越显著，屈挠破坏也越严重。这是由于炭黑粒径越小，在橡胶中越容易形成局部应力集中，在振动条件下就导致橡胶分子键断裂，破坏硫化胶的初始结构，使物理机械性能降低。与考虑橡胶的减震和生热特性一样，为了获得较好的耐疲劳和耐屈挠性能，也应选用粒径较大的炭黑。

除此以外，其它填充剂有碳酸钙、碳酸镁、陶土、白炭黑和各种树脂等。它们的补强性能一般较弱，为了获得规定的弹性模量，需要较多量地配用。虽然在等量配合下，它的损耗系数的增大较配用炭黑的为少，但是在相同的弹性模量下采用这些填充剂时的损耗系数比用炭黑的稍大，所以一般很少采用。

气相白炭黑粒径较小，补强效果可与炭黑相比拟，但是与补强程度相同的炭黑比较，生热较大，动态特性较差。

各种树脂会降低橡胶的减震特性和增大生热，也不是减震橡胶的良好填充剂。

（3）硫化体系　硫化体系对橡胶的减震性能、生热和疲劳性能影响很大。一般来说，在C—S_n—C型交联中硫原子及未结合硫黄量越少，交联越牢固，弹性模量越大，损耗系数越小。硫化促进剂以噻唑类和次磺酰胺类促进剂为佳。

硫黄和促进剂的用量应以适度为限，配合量超过一定限度时会降低橡胶的耐热性，此外，硫化胶的交联密度增大后，橡胶的玻璃化温度随着上升，从而导致低温减震性能变差，特别是对玻璃化温度较高的丁腈橡胶和氯丁橡胶来说，这种影响尤其明显。

（4）增塑剂　在减震橡胶配方中，随着增塑剂用量的增加，硫化胶的弹性模量降低，损耗系数增大。使用增塑剂可以改善橡胶的低温性能和耐疲劳性能。遗憾的是，这会引起塑性而不是弹性的增强，会导致蠕变和应力松弛速度的增加，因此增塑剂的用量不宜过多。

在天然橡胶中通常加入松焦油、锭子油等增塑剂，在丁腈橡胶中的增塑剂以邻苯二甲酸

二丁酯、癸二酸二辛酯、邻苯二甲酸二辛酯、己二酸二异辛酯等为主。

（5）其它配合剂　其它配合剂如氧化锌、硬脂酸和防老剂等一般用量较少，对橡胶的弹性模量和损耗系数无显著的影响。

减震橡胶是在动态下使用的，它的老化（氧老化、臭氧老化和疲劳老化）远比静态时严重得多。各老化因素不仅单独作用，还以各种各样的耦合形式对橡胶施加作用，如机械方面的影响因素（载荷、振动条件等），常常有大气中的氧、臭氧和光等参与作用，还有热（温度）也参与作用，从而将导致橡胶的发粘（切断交联）、硬化（交联的进行）或龟裂及裂纹等现象发生，所以配方中防老剂的应用十分重要。

减震橡胶中通常使用的防老剂有防老剂4010、4010NA、H、MB、D等。

3．减震橡胶配方举例

橡胶减震器所用生胶大部分是天然橡胶，此外还有丁腈橡胶和氯丁橡胶等合成橡胶。选择橡胶原料的种类时，要根据使用目的和条件以及橡胶原料的特性来决定。然后根据弹性模量、机械强度、动态特性、疲劳特性、加工特性、成本等确定能发挥原料特性的配方。减震橡胶的配方通常是以橡胶为100重量份，掺入1～3重量份硫黄作为硫化剂和1～2重量份硫化促进剂，5重量份氧化锌助促进剂。为调节弹性模量，改进各种机械性能，加入炭黑等补强填充剂；为了增加可塑性和未硫化时的加工性能，加入硬脂酸和其它软化剂；为了改进老化性能加入1～2份防老剂。橡胶减震器的配方举例如表2-1-18。

表 2-1-18　橡胶减震器的配方举例

名称 \ 配方编号	1	2	3	名称 \ 配方编号	1	2	3
天然橡胶	100	—	—	轻质氧化镁	—	—	4
通用型氯丁橡胶	—	—	100	硬脂酸	1	1	1
丁腈橡胶40	—	100	—	邻苯二甲酸二丁酯	—	22.5	—
硫黄	2.5	1.5	—	变压器油	—	—	7
促进剂M	1.5	—	—	防老剂4010	1	1	1.5
促进剂DM	—	2	—	防老剂4010NA	2	2	1.5
氧化锌	5	5	5	防老剂H	0.3	—	—
半补强炉黑	25	25	25				
高耐磨炉黑	—	10	—	合计	138.3	170	155
喷雾炭黑	—	—	10				

（二）制造工艺

1．塑炼和混炼

在配合之前先把生胶进行充分塑炼，以利于获得均匀的可塑度和良好的分散性，使不均匀的橡胶变成均匀的，否则易使减震特性波动，并影响其它物理机械性能，如图2-1-33所示。随着塑炼时间的增加，橡胶的损耗系数降低，并对振幅的依赖性减少，橡胶的弹性模量的变化不显著。

混炼的好坏直接影响橡胶减震器的质量，为控制减震橡胶的刚度应特别注意使配合剂分散均匀。

2．金属件的表面处理和粘合工艺

为了提高橡胶与金属的粘合强度，生产减震器用的金属件表面必须首先进行除油除锈处理，然后，在此清洁的表面上再进行喷砂和表面化学磷化，镀黄铜等表面处理。

（1）除油　除油可采用清洗剂或碱脱酯等方法。清洗剂除油是取3%清洗剂的自来水溶液，温度不低于90℃，通常除5～10min，以油去尽为止。

碱脱酯是取烧碱50～100g/L、纯碱40～60g/L、磷酸三钠20～40g/L、水玻璃2～3g/L，温度不低于90℃，时间通常为20～30min，以油去尽为止。

（2）除锈　除锈通常采用30%盐酸处理，时间以除掉表面氧化物为准，但也不宜过长，否则边缘会出现蜂窝状。

（3）喷砂或化学磷化或镀黄铜　金属件经除油除锈处理后，为提高粘合强度而进行喷砂或化学磷化处理的。对喷砂件来说，在喷砂前首先要把水气烘干，喷砂用的磨料以3号石英砂为好，砂粒力求清洁、干燥，外形尖削。喷砂时间以金属面全部喷均匀为主。喷砂后金属表面上残留的石英砂应清除干净。

（4）粘合工艺　用胶粘剂将已硫化好的橡胶和金属粘合，这种方法强度不高。现在都采用在硫化的同时，将橡胶与金属粘合的方法。

胶粘剂有异氰酸酯系列、酚醛树脂系列等，市售种类很多，可根据橡胶种类、配方、金属件材质、减震器的使用条件、环境等适当选用。

对极性橡胶（例如丁腈橡胶、氯丁橡胶）与金属粘合时，金属件表面进行喷砂，然后可涂以JQ-1聚异氰酸酯橡胶和氯化橡胶的甲苯溶液作胶粘剂，性能较好，随配随用，8h内用完。

对非极性的天然橡胶与金属粘合时，采用高硫配合的橡胶胶粘剂，硫黄用量为15%，用甲苯作溶剂，在使用前加入5%聚异氰酸酯橡胶，在金属件上电镀黄铜，使铜层与橡胶能牢固地结合。

天然橡胶与金属的另一种粘合方法，是在天然橡胶的配方中加入极性基团，例如胶粘剂A、胶粘剂RS和白炭黑体系，然后金属表面酸洗喷砂，并涂以JQ-1聚异氰酸酯胶粘剂，也能使天然橡胶与金属牢固地粘合。

目前，粘合天然橡胶与金属已不需要在天然橡胶的配方中加入极性基团，可直接使用如Chemlok胶粘剂，粘合强度大于天然橡胶本身的强度。

3．模型设计

橡胶制品主要用金属模制造。由于橡胶减震器的形状尺寸、硫化方式、硫化压机的构造以及制品数量等各有不同，所以金属模具的构造也不同。

金属模的好坏不仅影响制造效率和生产成本，而且还直接影响产品质量。因此在设计金属模时须充分注意各种条件，还要注意操作方法。

在着手进行模型设计时，需要对该产品的性能、作用等方面进行了解，抓住重点，然后从模型设计的角度出发，对产品提出工艺要求，包括产品的金属嵌件和模型的配合公差，金属件和橡胶的配合如图2-1-34所示。

接着确定模型的结构，模型有压模和挤模两种，压模的加料腔部分通常是成型部分（型腔）的延续，而挤模通常具有单独的加料腔（挤缸），胶料在加热（约70～80℃）情况下，借压力作用经过挤料孔进入模腔成型。前者主要优点是简单方便、生产效率高；后者能用于较复杂产品的生产，具体应根据产品结构和设备情况选择。

模型设计时，必须考虑定位和导向的问题，这是保证产品形状正确，便于操作的一个重

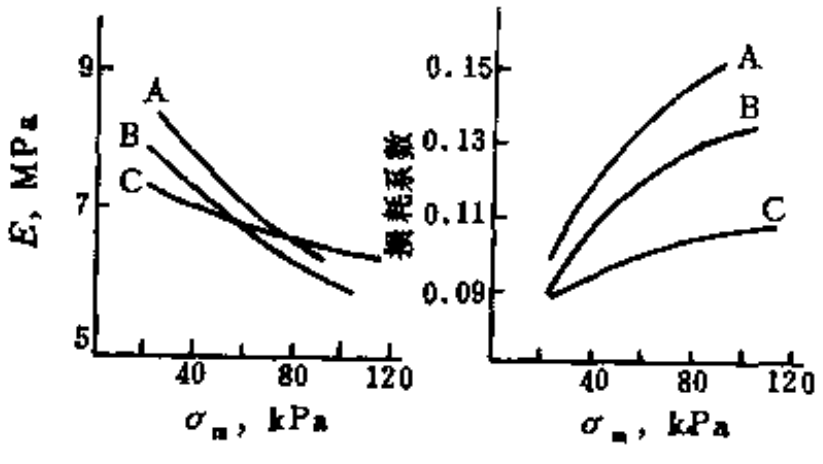


图 2-1-33 塑炼时间对弹性模量E和损耗系数的影响（以应力σ_m代替应变）

A—塑炼时间5min，B—塑炼时间20min，C—塑炼时间40mim

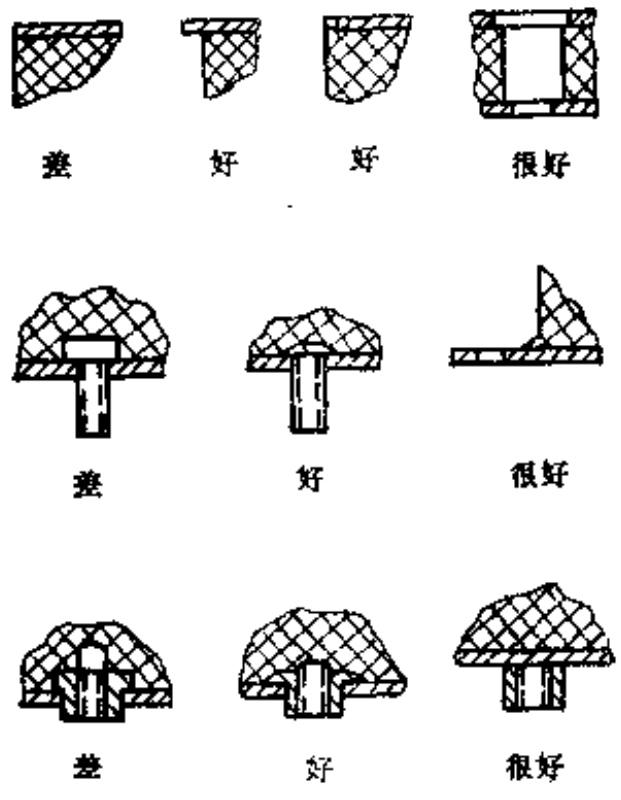


图 2-1-34 金属件与橡胶结合示意图

要方面。

用压模硫化时，混炼胶应先放在型腔内。为排除气泡，其体积应大于模腔，所以金属件在压制前往往要高于实际位置（最终位置）。如果没有定位或定位的导向部分太短，往往容易损坏模型或者给操作带来困难，这是设计时必须注意的问题。为了启模方便，导向部分往往采用锥度。

为了获得比较准确的外形尺寸，设计模型时还要考虑橡胶硫化收缩率，因为橡胶热膨胀系数大于金属模型，硫化后的产品冷却时要收缩，因此设计模具时应予以考虑。影响硫化收缩率的因素很多，主要有胶种、配合剂品种和用量等。一般来说，丁腈橡胶随着硬度不同，硫化收缩率在1.5～2.5%范围内变化。此外，胶料收缩特性与产品的结构也有很大关系，平行于金属件的方向缩得多，垂直于金属件的方向缩得少。此外，模型设计还要考虑以下问题：

① 尽量使模型重量轻，启模方便，减轻劳动强度；

② 应使模型形式简单，尽量采用同圆型，便于机械加工；

③ 模型一定要有气孔和逃胶槽，让剩余胶料和空气排出型腔外，避免产品产生气孔和夹皮。

4．硫化

在硫化前混炼好的橡胶应进行再一次的回炼，一般在开炼机上薄通 3 次，然后按所需胶片厚度出片，注压成型时使用长带状胶片；压出成型时使用相当于制品的板状胶料；普通模压成型时，如果是小型的，使用体积与制品相适应的片状材料，如果是大型的，则大致加工成制品的形状。

成型后的橡胶和金属件一起装入金属模中，或压出和注压硫化时，使橡胶分子在温度和压力下通过硫化剂产生交联反应，橡胶变成弹性体。在这期间橡胶和金属件也由于胶粘剂的

作用产生粘合反应。两者坚固地粘合在一起，压制成具有所需特性的橡胶减震器。

硫化方式有普通的模压硫化、注压移模硫化和注压硫化。

普通的模压硫化，热从上、下两加压面传给金属模和橡胶，所以形状高的制品和厚制品在硫化时侧面的热量损失大，加压面和中心附近的热量差也大，此时，金属模应有适当的辅助热源，使热量平衡。

注压移模法硫化的原理是橡胶从金属模的外部利用压机的压力注入金属膜腔的。它与普通的模压不同，胶料不必按每个制品单独成型，而是将模腔内的全部橡胶量做成板状材料装入罐内，压机通过柱塞把罐内的橡胶经注入孔注入金属模中，所以成型效率高；此外橡胶是通过注入孔注入模腔内的，摩擦力使橡胶温度有所升高，而且在注压前橡胶是经过预热的，所以可以缩短硫化时间；同时在橡胶注入时可使新产生的橡胶而与金属件相粘合，所以又能提高粘结力和稳定性。

注压硫化是利用注压成型机将橡胶压入金属模中进行硫化。注压成型机的注压部分和加热加压部分构成一体，注压部分的注压机构为柱塞型和螺旋杆型。橡胶成带状或片状放入柱塞内，经充分预热后，以高压注入金属模腔，所以能缩短硫化时间，可制造形状复杂的制品，并能大量生产，提高劳动生产率。

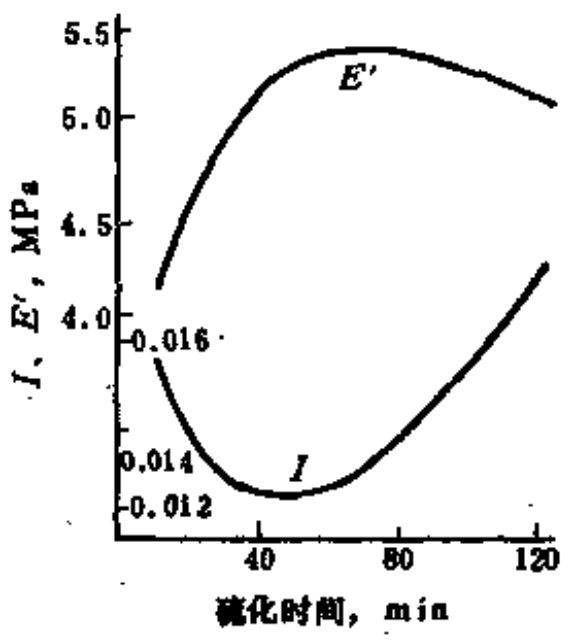


图 2-1-35 弹性模量E'和损耗系数I与硫化时间的关系

减震器在硫化时要严格控制硫化时间和温度。这两个工艺参数对制品的质量影响很大。一般来说，橡胶的交联度是随硫化时间的增加而增长的；与此同时，橡胶的弹性模量也增大，而橡胶的损耗系数降低。但是，对于天然橡胶来说，超过一定时间以后，热降解反应超过交联反应，此时，弹性模量下降，损耗系数增大（图2-1-35）。因此橡胶弹性模量和损耗系数的变化曲线分别有一个极大值和极小值，它们的时间坐标位置比拉伸强度达到最大值时间要长得多，几乎与交联度达到最大值时的位置相一致。天然橡胶较易降解，其弹性模量和损耗系数对硫化时间的依赖性较大，丁腈橡胶、丁苯橡胶、丁基橡胶等不易降解，在达到最大值后不会发生这样显著的变化。所以在使用过程中还会因温度升高而继续硫化，随后产生疲劳。

硫化温度对橡胶的物理机械性能有很大的影响，特别是影响橡胶减震器的刚度，这种倾向在丁腈橡胶等一些合成橡胶中较不明显，此外，为了防止橡胶减震器硫化后严重收缩，硫化温度也不宜过高。

总之，橡胶减震器必须经过充分硫化，但也要严格按照工艺规定的温度和时间执行。

（三）橡胶胶料和橡胶减震器成品的试验

1．橡胶胶料的试验

首先，在生产前必须对每车混炼胶料进行拉伸强度、扯断伸长率、扯断永久变形、硬度、可塑度、冲击弹性等试验。

其次，是定期进行检测试验，其试验项目除了上述基本项目必须进行以外，还应做下列试验：橡胶与金属粘合强度、恒定压缩永久变形、脆性温度、耐热老化、耐臭氧老化、耐介

质等试验。

2．减震器的成品检验

检验分出厂检验和型式检验两种，减震器的出厂检验方式分全检和抽检。全检项目为橡胶减震器的外观和外形尺寸。

减震器橡胶表面应光滑，无气泡、瘤块、裂痕、局部脱胶等现象，至于橡胶减震器成品的尺寸误差可按照有关标准进行。

抽检项目的判定方法可按GB 2828（逐批检查计数抽样程序及抽样表）进行。出厂抽检必须进行载荷-变形特性试验、静刚度试验、硬度试验和粘结性试验。

型式检验项目的判定方法可按GB 2829（周期检查计数抽样程序及抽样表）进行。型式检验每半年进行一次，除了必须进行上述全检项目和抽检项目以外，还应做动态振动试验，通过动态试验得出以下性能：减震器的固有频率-静态载荷曲线；额定载荷下的动态弹性刚度；额定载荷下的损耗系数。

此外，还要做振动疲劳试验、蠕变试验、耐臭氧老化、耐热老化、耐介质、耐低温等试验。

七、粘弹性高阻尼材料

（一）粘弹性高阻尼材料的特性

粘弹性高阻尼材料是由塑料和橡胶等高分子材料组成，它具有弹性和粘性双重特性，这是由高分子化合物的分子结构的特性所决定的。一般材料在通常情况下受到不太大的拉伸力和压缩力作用时会产生弹性形变，除去外力作用后立即恢复原状。这种形变称为“普弹形变”，可以解释为在外力作用下组成分子的原子间的距离发生变化。高分子材料除了同样有普弹形变之外，还会发生所谓的高弹形变，这是由于大分子的链段在外力作用下可以运动，可以设想原来卷曲的大分子链在拉力作用下伸展开来，而当外力除去时又趋向恢复原状。这种形变比原子间距离在外力作用下的变化要大得多，这就是所谓的高弹形变。如果分子链之间没有交链，链段不断运动的结果使整个分子链发生位移，这就是粘性流动，这样造成的形变是不能恢复的。由于分子链与分子链之间，即使没有交链也有相当大的作用力，链的位移要克服相当大的阻力，这就是粘性之由来。

高分子材料在交变应力（例如振动）作用下，链状大分子的链段运动要克服阻力，需要一定的时间，因此形变往往滞后于应力的变化。而在一定的频率和温度范围内，这种滞后现象十分明显。滞后的形变运动意味着要克服很大的阻力，这就将外力转化为热能。由于这种能量的消散，结构振动的振幅可通过它而降低，由此振动而产生的噪声也减小。图2-1-36为粘弹性材料应力和应变的变化曲线，图2-1-37为粘弹性材料在一次交变应力下的滞后环。

粘弹性材料的特性可用复模量来表示：

$$E^* = E_1 + iE_2 = E_1\left(1 + i\frac{E_2}{E_1}\right)$$

$$\eta = \frac{E_2}{E_1} = \tan\delta$$

$$E^* = E_1\ (1 + i\eta)$$

式中 E_1——模量之实部（又称贮藏模量）；

E_2——模量之虚部（又称损耗模量）；

η——损耗因子。

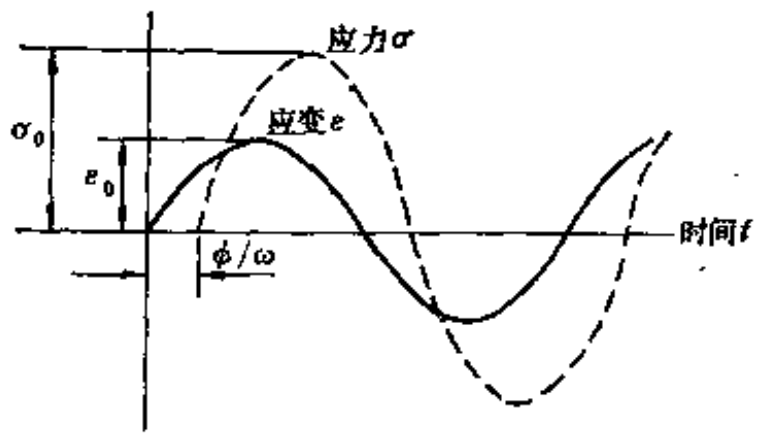


图 2-1-36　粘弹性材料应力和应变的变化曲线

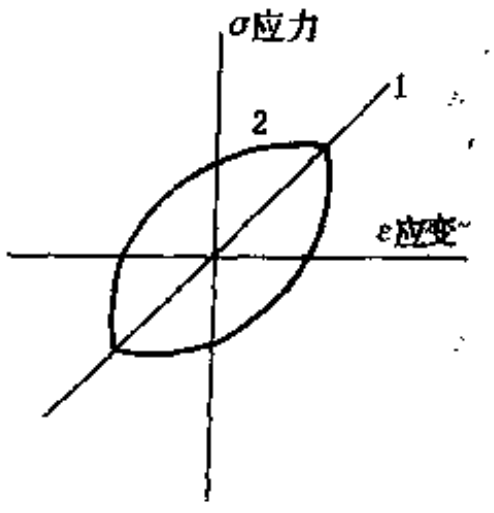


图 2-1-37　粘弹性材料的滞后环

1—理想弹性材料；2—粘弹性材料

粘弹性材料在一周加载过程中每一单位体积所消耗的能量，若采用复模量表达式得：

$$D = \pi E_1 \eta \varepsilon_0^2$$

为了最大限度地增加耗散能量，务必使上式每一项达到最大。E_1和η是表达粘弹性材料阻尼性能的二个重要物理量；ε_0——为材料的应变峰值，与处理方法有关系。显然，要成功地控制噪声振动，必须了解阻尼材料的特性和处理方法的特点。

粘弹性材料的模量实部E_1和损耗因子η随温度变化，在特定温度范围内具有较高的阻尼。模量实部E_1和损耗因子η随温度变化曲线示于图2-1-38。

从图中可以看到，存在着三个不同区域。第一区域是玻璃态区，材料分子在外力作用下发生普弹形变，链段运动冻结，在此区域内材料显示很高的刚性，损耗因子相当低；第二个区域是玻璃态与高弹态间的转变态区，随着温度的升高，分子链段得以开始，弹性模量从硬到软(1～1000MPa)，发生急剧变化，同时由于分子中链段运动导致内耗增加，因而其损耗因子也增大。在玻璃化温度T_g时达到最高值（可达到0.5～10），第三区域是高弹态区，这时分子链段运动比较自由，链段间的滑移绝大部分趋向恢复原状，出现高弹形变，形变率较大，模量值较低，材料是柔软的，损耗因子中等，在这个区域，材料的模量和损耗因子随温度的变化都很缓慢。

粘弹性材料的阻尼特性除受温度影响外，频率对阻尼特性的影响也很重要。在温度恒定时，粘弹性材料的模量实部随频率的增高总是增加，而其损耗因子在橡胶态区时随着频率的增加也增大，但在玻璃态区随着频率的增大而减小。在这两个区域中间也存在着一个转移区，在转移区的损耗因子几乎与频率无关。粘弹性材料的弹性模量和损耗因子随频率而变化示于图2-1-39。

（二）高阻尼橡胶

前面已经提到，粘弹性材料的阻尼在玻璃化温度附近达到最大，对使用来说，总是希望材料的最大阻尼正好处在使用的温度和频率范围之内，同时还希望具有最大阻尼的玻璃化转变态区越宽越好。

对于橡胶来说，丁基橡胶的tanδ值较大，所以可以看作是用于减震材料的理想胶种。图2-1-40是一些经常用于阻尼方面的橡胶的tanδ峰值。这个图相当好地反映出tanδ随频率变化的本质，还显示出阻尼最大时的相应频率。

表2-1-19选录了一些频率10～1000Hz整个范围内(属正常实用范围) tanδ≥0.5 的橡胶。

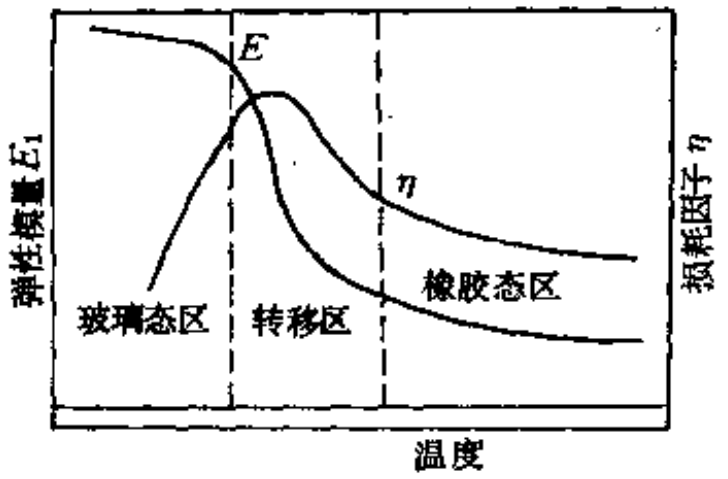


图 2-1-38 粘弹性材料的弹性模量、损耗因子与温度的关系

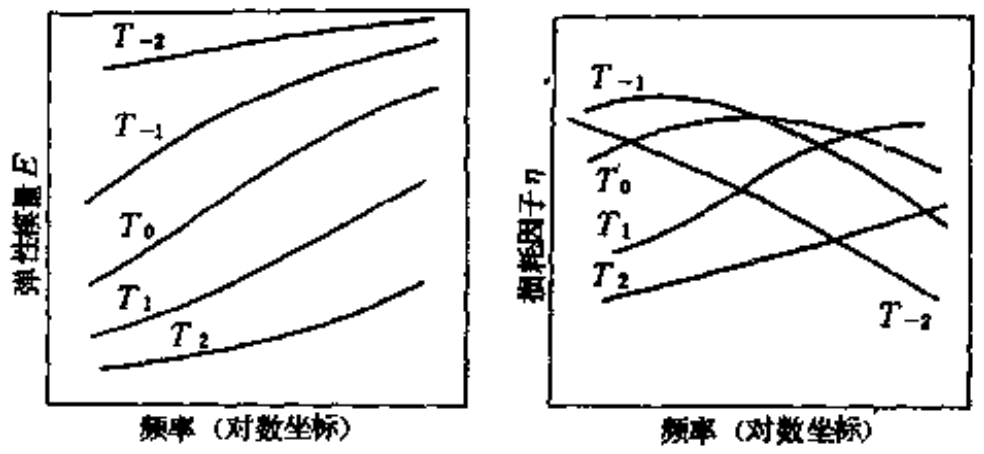


图 2-1-39 弹性模量和损耗因子随频率变化的示意图

T_{-1}、T_{-2}—材料工作在玻璃态区；T_1、T_2—材料工作在橡胶态区；T_0—材料工作在转变态区

从图2-1-40中的曲线和表2-1-19看来，聚异丁烯是最好的材料，它的优点是在具有宽的温度范围的同时，还具有非常宽的频率范围，在tanδ≥0.5时频率范围超过6个数量级，氯磺化聚乙烯橡胶的阻尼特性类似于聚异丁烯，但它的范围较窄。即使是聚异丁烯，在温度高于25℃或频率低于10Hz时，tanδ值也迅速下降，因而变得较不理想。在另一方面，由于氟橡胶（VitonA）和2-氯丁二烯-丙烯腈共聚物的曲线在频率曲线图中位于聚异丁烯曲线的左边，它们都呈现出更有益的高阻尼温度区域。然而，它们的范围是较窄的。

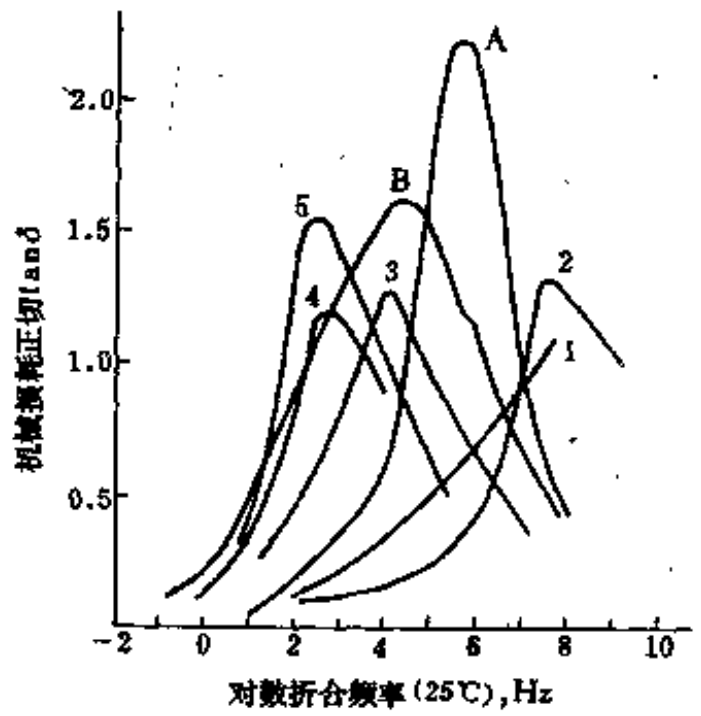


图 2-1-40 几种橡胶的tanδ与对数折合频率曲线

1—氯丁橡胶；2—三元乙丙橡胶；3—氯磺化聚乙烯橡胶；4—氟橡胶；5—2-氯丁二烯-丙烯腈共聚物

A—天然橡胶；B—聚异丁烯

表 2-1-19 一些橡胶的温度范围

（tanδ≥0.5，频率10≤f≤1000Hz）

聚合物	温度，℃		范围
	始	终	℃
氯磺化聚乙烯橡胶(20)	−5	13	18
氟橡胶	4	25	21
2-氯丁二烯-丙烯腈共聚物	4	25	21
天然橡胶	−45	−23	22
丁苯橡胶	−33	−14	19
聚异丁烯	−47	18	65
聚氨酯№1	−34	2	36
聚氨酯№2	17	50	33
聚氨酯№3	27	69	42
聚氨酯№4	34	66	32
聚氨酯№5	−35	30	65
聚氨酯№6	9	45	36

为了获得比用这些聚合物更有效的处理，特种橡胶正在发展中，特种聚氨酯橡胶，它们的有效阻尼区域能够调节到覆盖一个极其宽的温度和频率范围。

聚氨酯橡胶一般来说具有比普通弹性体宽的温度范围，而且它们还具有能够交联的优点，交联能够减小蠕变。当粘弹性材料受到连续应力时，比如受到静载荷时，就会出现蠕变问题。

橡胶和塑料共混可制成多相共混体系，达到调节材料的弹性模量和阻尼系数，可提高材

料的玻璃化转变温度和加宽转变区的温度范围，可在宽广的温度和频率范围内得到较高的阻尼系数和需要的弹性模量，这是制造粘弹性材料的一种比较经济的方法。

两种或两种以上聚合物共混时，需要考虑他们各自的玻璃化温度，可把玻璃化温度高的材料与玻璃化温度低的材料共混。共混材料的玻璃化温度和阻尼峰总是介于母体的玻璃化温度和阻尼峰之间，并随着并用比例而起变化。共混材料的相容性对能否通过共混得到均匀的理想复合材料具有决定性的影响。同时要考虑到共混材料的共硫化性。高阻尼的丁基橡胶能与溴化叔辛基苯酚甲醛树脂共混，树脂既是丁基橡胶的硫化剂，又与丁基橡胶组成共混体系。

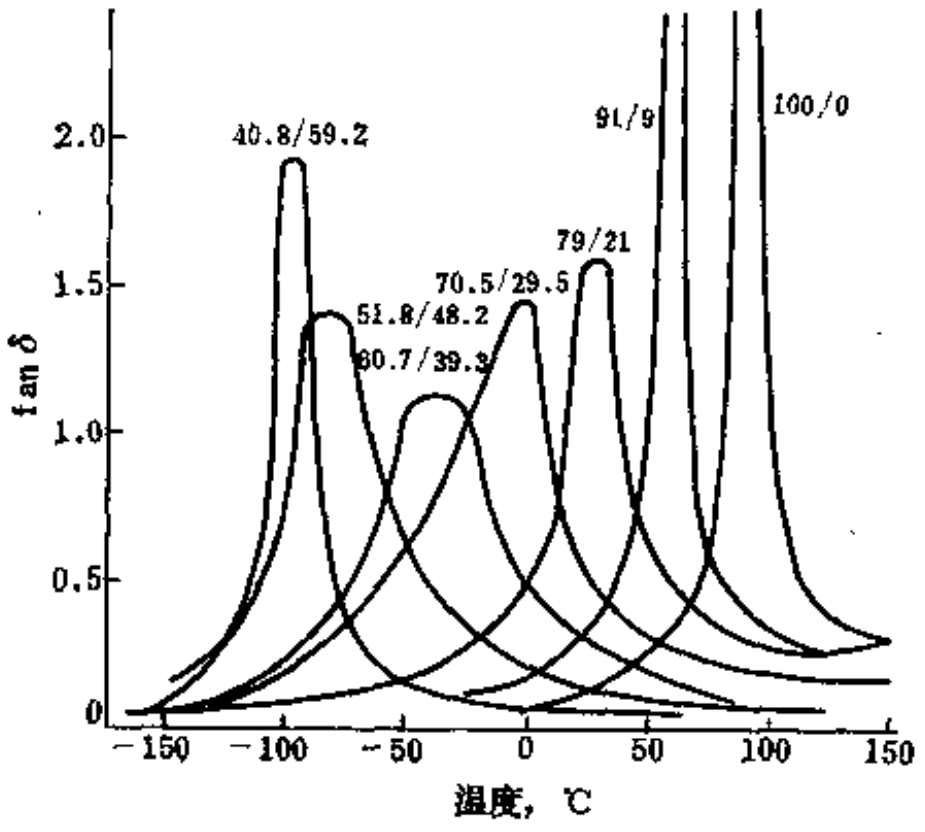


图 2-1-41 在聚氯乙烯中增塑剂含量对tanδ的影响曲线

在配方中可以加进增塑剂，以降低最大阻尼时的温度，而利用增塑剂使最大阻尼的温度降低，可以看成是在任何特定温度下出现最大阻尼时的频率减低。作为增塑剂，如果要具有降低玻璃化温度的能力，它就必须溶于该聚合物中。

除了降低玻璃化温度以外，增塑剂通常还加宽玻璃化温度区域，这种效果示于图2-1-41。

在配方中通过掺加填料和各种助剂，可进一步改善性能和降低成本。蛭石和石墨都能增加材料的阻尼(tanδ)。有这种效果的原因也许与石墨或蛭石的片状结构有关，利用云母，特别是当云母层平行于表面时，也能得到类似的效果。当材料发生应变时，硬材料的层片可能有助于增加层间聚合物的剪切变形，图2-1-42说明了填充剂在增加阻尼方面的有益效果。

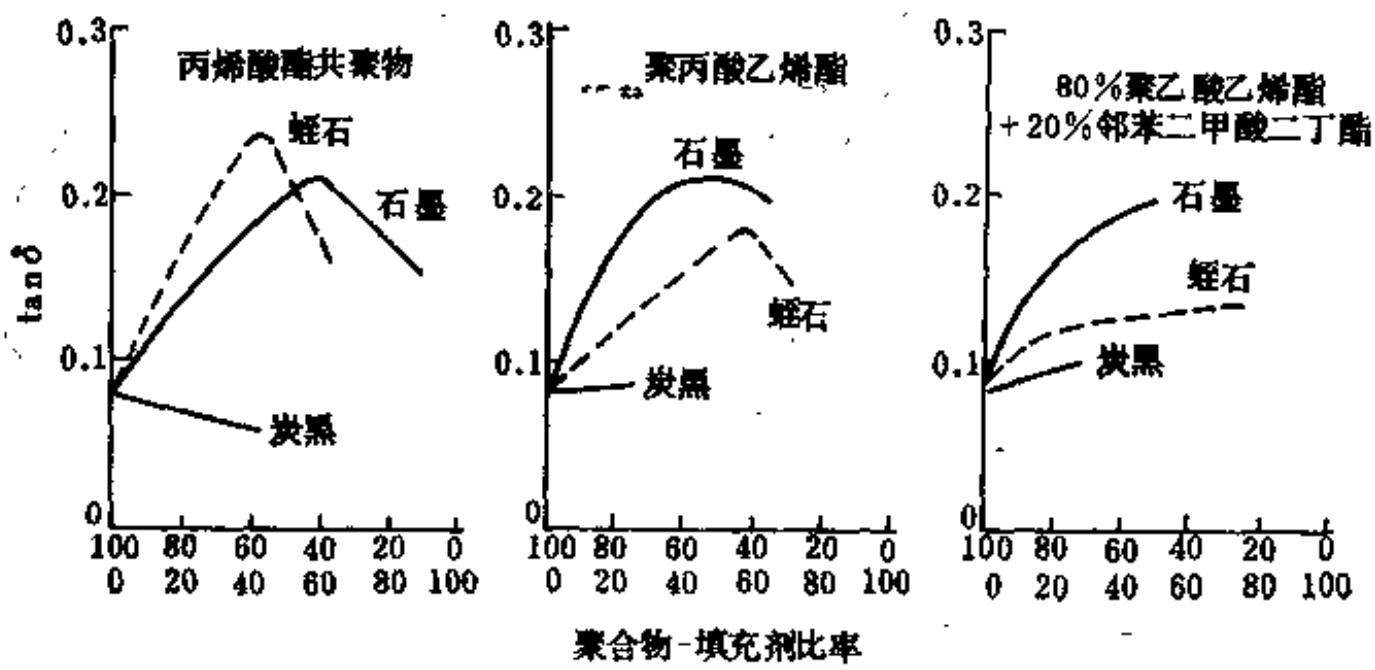


图 2-1-42 tanδ对聚合物-填充剂比率的依赖关系

研制材料的配方必须考虑阻尼处理方法，一般阻尼处理有自由层和约束层两种，见图

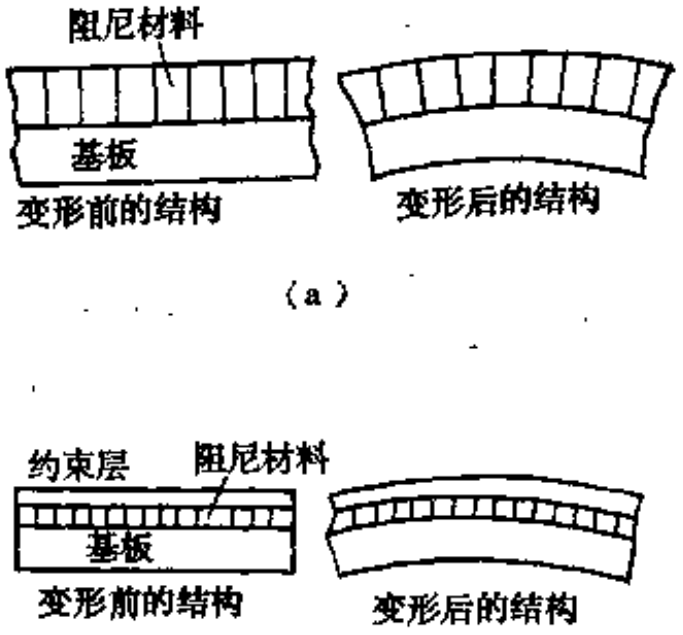


图 2-1-43 阻尼结构示意图

(a) —自由层阻尼结构；(b) —约束层阻尼结构

表 2-1*20 高阻尼橡胶材料配方举例

名称 \ 配方编号	1	2
丁腈橡胶	—	60
氯化丁基橡胶	100	—
聚氯乙烯	—	40
硫 黄	2	1.5
促进剂	3	2.5
氧化锌	5	5
硬脂酸	1	1
稳定剂	—	2
填 料	10	100
合 计	121	212

-1-43。用于自由层阻尼结构的粘弹性高阻尼材料的杨氏模量为10^2～10^3MPa；用于约束层阻尼结构的粘弹性高阻尼材料的剪切模量为0.1～1MPa。因此前者要求高阻尼橡胶的硬度为80左右，后者要求为40左右。表2-1-20是高阻尼橡胶材料的配方举例。

（三）粘弹性高阻尼材料的性能测试

粘弹性高阻尼材料的性能控制指标主要是在各种温度和各阶频率下的损耗因子。美国和德国都是通过测试金属板与高阻尼材料复合试样的结构损耗因子，然后算出材料的损耗因子和弹性模量。试样和测试框图分别见图2-1-44和图2-1-45。

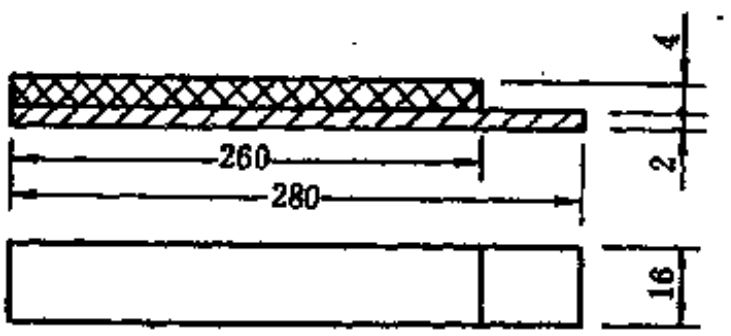


图 2-1-44 试件结构尺寸（单位：mm）

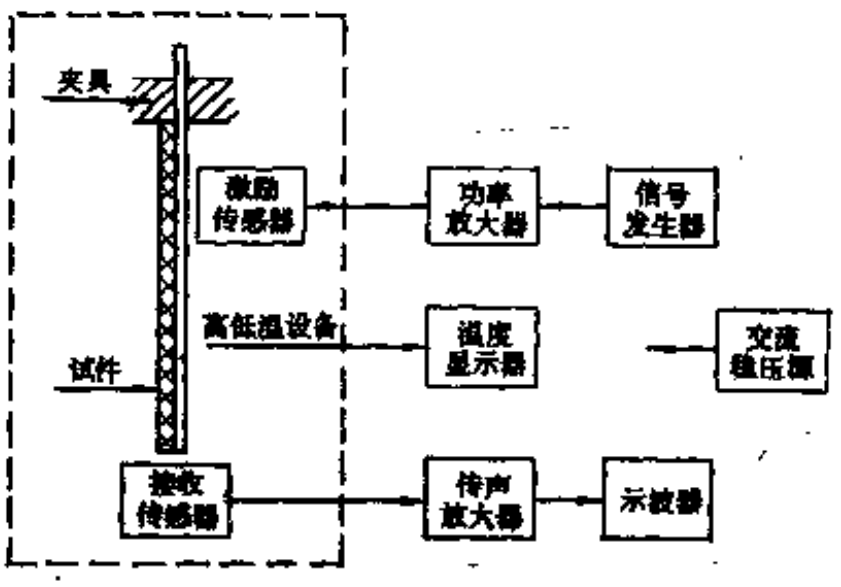


图 2-1-45 测试框图

下面例举自由层结构的计算公式

a．首先测量在不同温度下的各阶频率的复合结构损耗因子

$$\eta = \Delta f / f$$

式中 η——结构损耗因子；

Δf——半功率点带宽，是各阶复合共振频率时下降3dB的带宽，Hz；

f——结构共振频率，Hz。

b．计算自由层结构的材料损耗因子β和弹性模量E

$$\beta = n \Big/ \left[\frac{m}{m_1} \left(\frac{f}{f_1} \right)^2 - 1 \right]$$

$$E = \left\{ \left[\frac{m}{m_1} \left(\frac{f}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \Big/ \xi(3 + 6\xi + 4\xi^2) \right\} E_1$$

式中 β——材料损耗因子；

m——$(m_1 + m_2)$，g；

m_1——基板质量（扣除夹持部分质量），g；

m_2——材料质量，g；

f_1——基板共振频率，Hz；

E——阻尼材料的弹性模量，Pa；

E_1——基板的弹性模量（对钢基板E_1取2×10^{11}Pa）；

ξ——d_2/d_1厚度比；

d_2——阻尼材料厚度，cm；

d_1——基板厚度，cm。

第二节 橡胶空气弹簧

一、概 述

弹簧的种类很多，按其弹性介质的不同可分为三大类：金属弹簧（如钢板弹簧、螺旋弹簧等）、非金属弹簧（如橡胶弹簧、塑料弹簧等）和流体介质弹簧（如橡胶空气弹簧、空气液力弹簧等）。其中，非金属弹簧和流体介质弹簧的单位体积材料所贮能量较大，具有较好的材料利用率；而动态承载性能则以橡胶空气弹簧为最好。此外，金属弹簧和非金属弹簧较容易疲劳断裂，性能受外界温度的影响。液体弹簧则因体积压缩弹性小而使用不多。由于橡胶空气弹簧有其独特的优点，所以应用日益广泛。除大量用于各种车辆的悬挂系统之外，还广泛用于飞机的着陆机构、抗冲击和振动的隔离器、气动仪表、座垫弹簧、气动刹车，以及轮胎成型机的压辊等。

橡胶空气弹簧装置主要包括四部分：①橡胶空气弹簧；②传力-导向机构；③高度控制机构，即高度阀等；④空气供给系统。

橡胶空气弹簧主要是承受垂直向载荷，横向承载性能较差，因此在大多数使用条件下都应配置一套传力-导向机构。也有采取橡胶空气弹簧与钢板弹簧相结合，即利用几张钢板弹簧为导向装置而承受水平力及侧向力，从而简化传力-导向装置。

橡胶空气弹簧内的空气量取决于簧上载荷量，载荷增加时需补充空气，载荷减少时应排泄空气，这样可保持弹簧的高度，并得到较好的等频性。充气和排气是由高度控制机构控制的，高度控制机构一般由高度阀及其连接杠杆组成。

空气供给系统由空气压缩机、贮气罐，以及根据不同要求而装置的调压阀、单向阀（防止橡胶空气弹簧中的空气倒流）、减压阀和安全阀等组成。

橡胶空气弹簧具有三大作用，即弹簧作用、减震作用和作动作用。

橡胶空气弹簧是内部充满空气的橡胶-帘布囊膜，利用气体的体积弹性发挥作用。它与利用固体本身弹性发挥作用的金属弹簧和非金属弹簧相比，具有很多不同的特点。现以橡胶空气弹簧用作支承装置举例如下。

1．弹簧高度、承载能力和弹簧刚度的选择

设计时，可彼此独立地、范围相当广泛地选择弹簧高度、承载能力和弹簧刚度，且可获得极其柔软的弹簧特性。

（1）弹簧高度　使用高度控制阀，可根据使用要求适当控制橡胶空气弹簧的高度，在簧上载荷变化的情况下保持高度一定。

高度控制阀的作用原理是：当簧上载荷发生变化而影响空气弹簧的高度时，高度控制阀可自动使空气弹簧充气或排气，从而提高或降低空气弹簧的内压，使弹簧高度维持一定。

图2-2-1是安装在铁路机车上且带有高度控制阀的橡胶空气弹簧悬挂装置的工作原理图，车体3和转向架2之间的橡胶空气弹簧1通过节流孔与附加空气室4沟通，附加空气室与高度控制阀6由风管连接，高度控制阀固定在车体上，并通过杠杆7及拉杆9与转向架连接，空气经主风缸8引至高度控制阀，主风缸中的空气压力高于橡胶空气弹簧的内压。

当簧上载荷增加时，车体下沉，高度控制阀的杠杆在拉杆作用下按顺时针方向转动，与主风缸连接的高度控制阀的进气阀因此而被打开，空气因压力差而开始流入附加空气室和橡胶空气弹簧，直到车体升高到原来位置为止，于是杠杆恢复到原来的水平位置，高度控制阀的进气阀关闭。在簧上载荷减少时，车体上升，高度控制阀的杠杆按逆时针方向转动，通大气的高度控制阀的排气阀被打开，空气从橡胶空气弹簧和附加空气室排到大气中，直到车体降到原来位置为止，此时排气阀被关闭。

（2）承载能力　对于相同尺寸的橡胶空气弹簧，改变内压，可得到不同的承载能力，承载能力大致上与内压成正比。这便达到了同一种橡胶空气弹簧可适应多种载荷的要求，因此经济效果好。此外，还可利用高度控制阀使空气弹簧在一定载荷的作用下具有不同高度，适应多种结构上的要求。

（3）弹簧刚度　在设计橡胶空气弹簧的刚度时，可以依靠改变弹簧内压而加以选择，刚度与内压大致成正比，因此可以根据需要将刚度选得很低。对于一个尺寸既定的橡胶空气弹簧来说，弹簧刚度是可变的，它随载荷的改变而变化，因而在任何载荷下自振频率几乎不变，所以它能使被支承系统具有几乎不变的性能。

图2-2-2是钢弹簧与橡胶空气弹簧的静特性比较，左图为载荷-挠度特性，右图为载荷-频率特性。由图可知，金属弹簧的静挠度随载荷的增加而增大；而带高度控制阀的橡胶空气弹簧，其静挠度则在所有的载荷条件下都保持几乎不变，因而其自振频率也保持几乎不变。

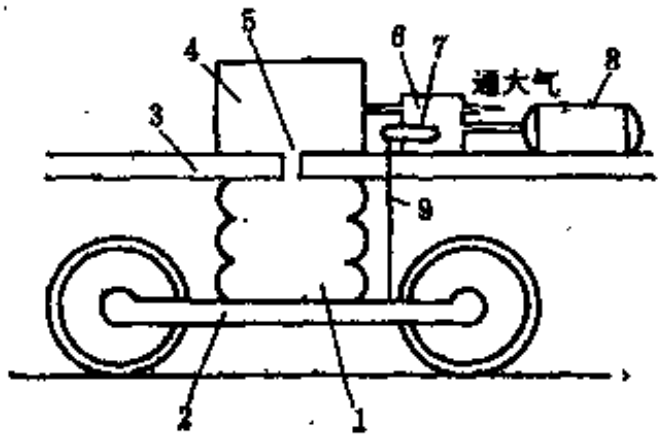


图 2-2-1　带高度控制阀的橡胶空气弹簧悬挂装置的工作原理图

1—橡胶空气弹簧；2—转向架；3—车体；4—附加空气室；5—节流孔；6—高度控制阀；7—杠杆；8—主风缸；9—拉杆

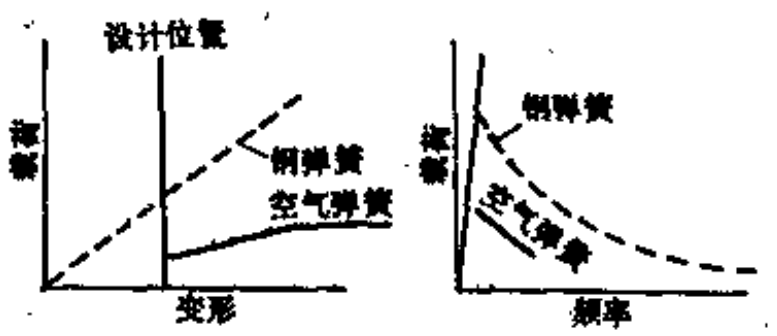


图 2-2-2　钢弹簧与橡胶空气弹簧的静特性比较

（4）弹簧特性　橡胶空气弹簧具有非线性特性，可以将它的特性曲线（载荷-挠度曲线）设计成理想的形状。用于车辆悬挂系统时，特性曲线的最理想形状是“S”形，即在曲线的中间区段具有比较低的刚度，而在拉伸和压缩行程的边缘区段则刚度逐渐增大。这样，可保证车辆在正常行车范围内的运行性能柔软；而在通过弯道和道岔等偶然场合发生大幅度伸张和压缩时，橡胶空气弹簧可逐渐坚硬，从而能限制车体的振幅，使它不至过大。普通钢弹簧的特性曲线是线性的，要使钢弹簧悬挂装置具有上述非线性特性，其结构势必复杂化。图2-2-3为钢弹簧与橡胶空气弹簧的动载荷-挠度特性比较。

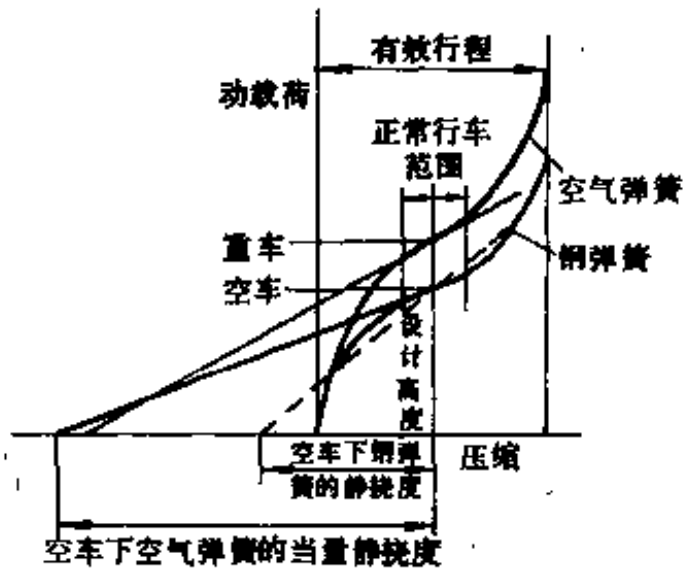


图 2-2-3　钢弹簧与橡胶空气弹簧的动特性比较

2．固有振动频率较低

橡胶空气弹簧与附加空气室相连，可使橡胶空气弹簧装置的固有振动频率降低到0.5～3Hz。在任何载荷的作用下，橡胶空气弹簧都可以保持较低而近乎相等的振动频率。

3．能隔绝高频振动及隔音效果好

橡胶空气弹簧是由空气和橡胶构成的，内部摩擦小，不会因弹簧本身的固有振动而影响隔离高频振动的能力。此外，橡胶空气弹簧没有金属间的接触，因此能隔音，防音效果也很好。

4．可利用空气的阻尼作用

在橡胶空气弹簧和附加空气室之间加设一个节流孔，当簧上载荷发生振动时，空气流经节流孔发生能量损失，因而起到衰减振动的作用。

5．使用寿命较长

橡胶空气弹簧的耐疲劳性能优于金属弹簧许多倍。对用于车辆空气悬挂系统中的弹簧进行疲劳试验，钢板弹簧仅振动数十万次就折断了，而橡胶空气弹簧则在振幅±40mm、频率2.7Hz（160次/min）的条件下振动500万次后仍未破坏。

6．本体结构

橡胶空气弹簧的本体结构柔软，因此具有轴向、横向和旋转向的综合隔振作用。

7．制造及安装

橡胶空气弹簧制造容易，安装、更换方便，维护保养简单，不需经常检修，无需加油。

橡胶空气弹簧的缺点：

① 橡胶空气弹簧的横向承载能力较差，一般情况下不能传递侧向力和力矩，故需增添传力杆件，而目前的传力件结构较复杂；

② 必须装有高度调整阀及压缩空气系统；

③ 横向稳定性较差，需要增加必要的措施，如添加平衡扭杆、加强减震器等；

④ 使用寿命与使用条件有很大关系。一般来说，利用横向弹簧作用时，橡胶空气弹簧的寿命较短。橡胶囊膜的最佳使用温度为－20～50℃；超过70℃时，使用寿命便显著降低。使用温度在0℃以下时，还要注意因水滴冻结而引起的阀功效下降的现象。

二、橡胶空气弹簧的基本构造、分类及其性能

（一）橡胶空气弹簧的基本构造

橡胶空气弹簧的基本构造与无内胎轮胎相似，以帘线层为耐压层（有加钢丝弹簧的），内有气密性橡胶层，外有防油耐老化的橡胶保护层（见图2-2-4）。

簧上载荷主要由帘线承受，因此帘布层应具有较强的耐气压性、较好的耐屈挠性及较高的橡胶附着性，通常采用聚酯、人造丝和尼龙等涂胶帘线的2层或4层普通斜交叠层。为了提高帘线与橡胶的附着强度，应使用专用胶粘剂对帘线进行预处理。单根帘线粗度为0.7mm，2层斜交叠层的总厚度为2mm。

内胶层采用气密性、耐屈挠性及与帘线的附着强度均较高的配方，橡胶材料主要使用天然橡胶和丁苯橡胶，或采用耐油性、耐热性及气密性均较好的氯丁橡胶和丁基橡胶。

外胶层要求采用耐屈挠、耐臭氧老化和耐天候老化性均较好且与帘线的附着强度较高的胶料制作，主要采用天然橡胶与氯丁橡胶并用。

钢丝圈的断面呈圆形或方形，单根钢丝的粗度为1mm。根据橡胶空气弹簧的规格，钢丝圈一般采用3×3的排列结构。钢丝圈的外包布采用涂胶的棉布、玻璃丝布或塑料。钢丝圈的作用是将帘布层固定在橡胶囊的端部，与配置的金属件密接，使胶囊保持较高的气密性和承受住胶囊端部的载荷。钢丝圈一般采用硬质钢丝制作，如日本多采用SWRH型号的钢丝，我国常采用19号钢丝。

（二）橡胶空气弹簧的分类及性能

目前，橡胶空气弹簧的种类很多，基本上可以分为三大形式：长枕式、曲囊式和膜式，见图2-2-5。

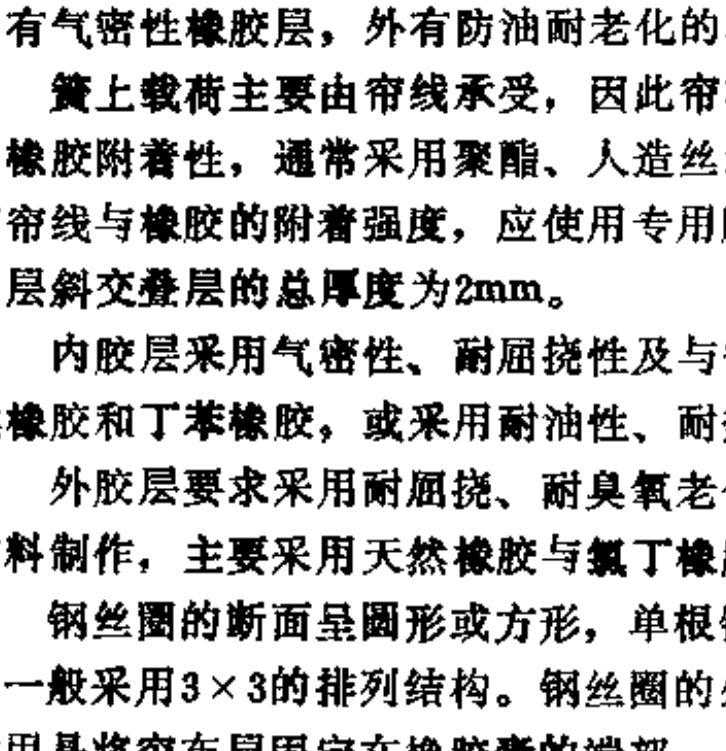


图 2-2-4 橡胶空气弹簧橡胶囊膜的结构剖面图

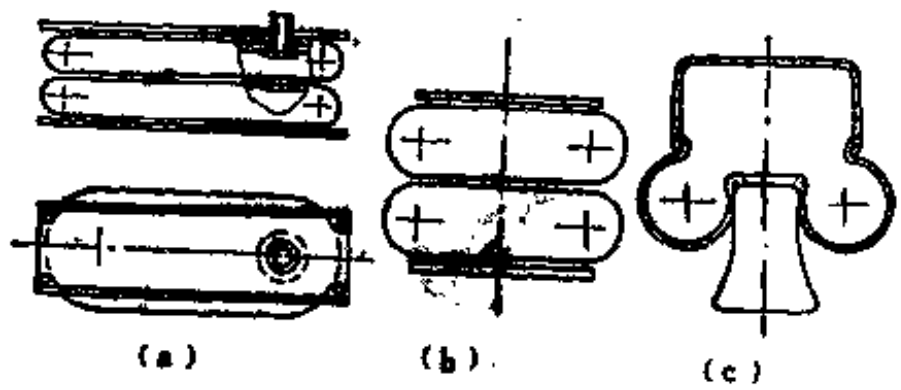


图 2-2-5 橡胶空气弹簧的类型
(a) 长枕式；(b) 曲囊式；(c) 膜式

1．长枕式橡胶空气弹簧

承载能力大于曲囊式和膜式橡胶空气弹簧，用于拖拉机和载重量较大的牵引车，早期亦曾应用于公共汽车。采用长枕式橡胶空气弹簧时，仅需很小的侧向空间，布置安装极为方便，作用在车架上的载荷是按均布载荷来确定的，而其它形式的弹簧则需按集中载荷确定。长枕式橡胶空气弹簧的刚度较高，制造较为复杂，工艺困难，原材料（胶料和帘布层、金属

配件等）的消耗量较大，因而近年逐渐为其它型式的空气弹簧所代替。

2．曲囊式橡胶空气弹簧

曲囊式橡胶空气弹簧是目前应用较广泛的一种橡胶空气弹簧，多用于载重汽车、公共汽车、铁道车辆和工业机械，有单曲、双曲、三曲、四曲等型式，双曲以上的又称为折叠灯笼式。此外，还有由几个单曲式橡胶空气弹簧组成的多曲式橡胶空气弹簧。当胶囊的内容积相同时，胶囊曲线越多，弹簧越柔软，同时径向空间随之减小。但曲数若过多，不仅胶囊制造麻烦，而且会降低橡胶空气弹簧的横向稳定性。因此，一般以四曲为限，车辆悬挂系统较多采用的是单曲、双曲和三曲式的，工业机械则采用单曲式较为合适。

双曲以上的胶囊，其曲与曲之间均加有镀锌或包胶的金属腰环，以防胶囊在充压时产生中部径向膨胀和两断面的相互摩擦。橡胶空气弹簧的两端用法兰盘固接在位于托架（托臂）或车架上的弹簧支座上。法兰盘的尺寸和形状对橡胶空气弹簧的弹性、特性有影响，需注意选择之。

曲囊式橡胶空气弹簧与法兰盘的连结方式有两种：①利用螺钉与法兰盘固定(图2-2-6)；②利用充气压力本身自封（图2-2-7)。后者具有结构简单、加工容易、节省材料、安装方便等优点。

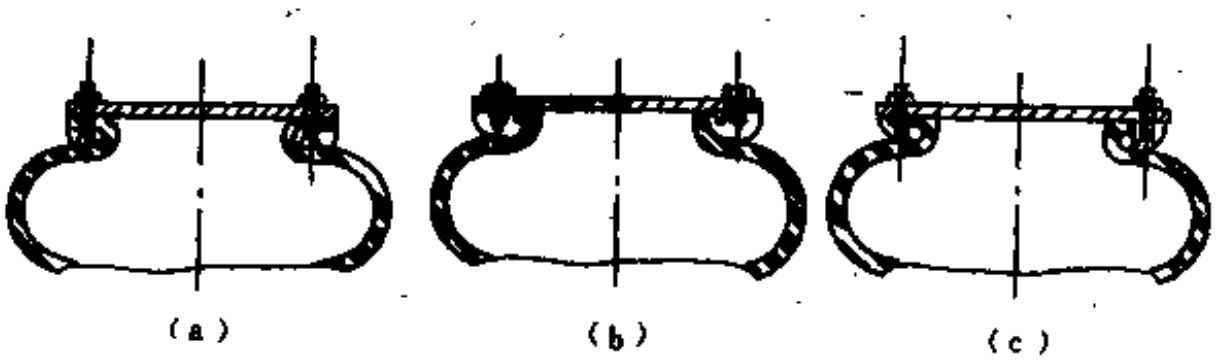


图 2-2-6　用螺钉和法兰盘固定橡胶空气弹簧

(a) 螺钉、法兰盘与橡胶空气弹簧硫化成一体；(b)、(c) 螺钉、法兰盘与橡胶空气弹簧各自独立，用时组装在一起

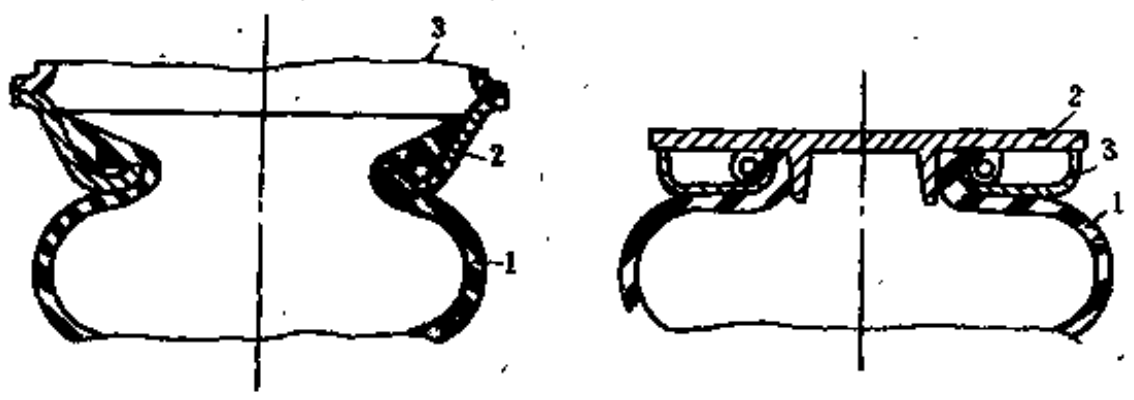


图 2-2-7　橡胶空气弹簧利用充气压力而本身自封

1—橡胶空气弹簧；2—盖板；3—密封压环

另有一种密封型曲囊式橡胶空气弹簧，其胶囊两端无法兰盘，面是在胶囊两端埋入金属件，此金属件既可用作供气装置，又起安装固定的作用（见图2-2-8)。

曲囊式橡胶空气弹簧的主要优点是：适于大量生产；制造工艺与轮胎相似；在保证承受较高载荷的前提下，结构很紧凑。但是，曲囊式橡胶空气弹簧与膜式橡胶空气弹簧相比，则刚度较大、固有振动频率较高（一般为1.2～3Hz）。为了获得较低的频率，一般需要另加

附加空气室。三曲或四曲橡胶空气弹簧有较大的动行程，单曲、双曲橡胶空气弹簧的行程较小。曲囊式橡胶空气弹簧的横向承载性能很差。

用于车辆的曲囊式橡胶空气弹簧的规格和特征见表2-2-1。

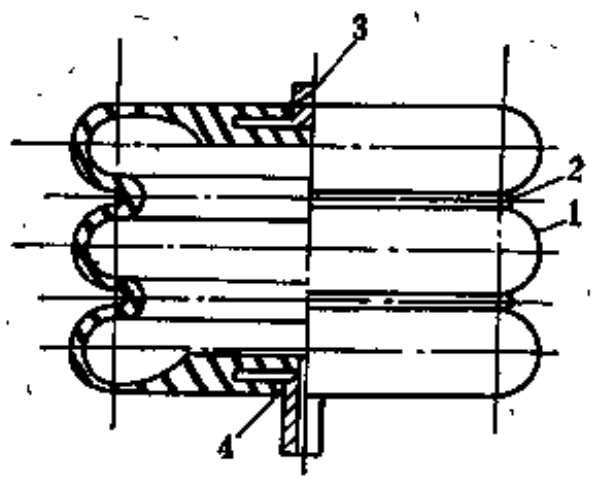


图 2-2-8 密封型曲囊式橡胶空气弹簧

1—橡胶-帘布囊膜；2—腰环；3、4—供气兼固定件

3．膜式橡胶空气弹簧

膜式橡胶空气弹簧的刚度较小，固有振动频率较低，轮廓尺寸较小，附加空气室很小，甚至可以完全不要，因而重量轻、安装方便。而且横向承载性能较长枕型和曲囊型好一些。但是，这类弹簧的工作压力较高，压缩行程大，因而强度要求较大，疲劳寿命较短。橡胶空气弹簧与其它元件固定连接处的气密性比较差。

表 2-2-1 用于车辆的曲囊式橡胶空气弹簧的规格和特征

规　　格	120	200-Ⅰ	260-Ⅰ	310	390	520	200-Ⅱ	280-Ⅱ
曲　　数	3	2	2	2	2	2	3	3
帘布层数	2	2	2	2	4	4	2	2
标准外径，mm	120	200	260	310	390	520	200	280
标准高度①，mm	178	172	172	172	172	178	218	246
承压面积，cm^2	50	154	314	490	850	1660	170	380
承载能力，kg	300	800	1500	2940	6000	12000	800	1750
橡胶空气弹簧的自重，kg	0.4	1.2	1.6	2.2	4.0	7.2	1.5	2.0
应用范围	微型汽车 电瓶车	吉普车 载重汽车	载重汽车 公共汽车 挂　车	无轨电车 公共汽车	轻便列车	普通列车	载重汽车 公共汽车	载重汽车 公共汽车

① 标准高度为橡胶空气弹簧在标准负荷及标准内压下的设计高度。

由于膜式橡胶空气弹簧具有固有振动频率低的特点，因此多用于小汽车。不过，今后还会广泛用在公共汽车及载重汽车上。

膜式橡胶空气弹簧的结构形式很多，大致可以分为三种类型：①自由膜式（见图 2-2-5（c））；②半约束膜式（见图 2-2-9）；③约束膜式（见图 2-2-10）。约束膜式橡胶空气弹簧具有一个一定形状的约束裙，限制橡胶空气弹簧向外扩张，使橡胶空气弹簧的屈挠部分集中在约束裙与活塞之间的很小区域内变化；而自由膜式橡胶空气弹簧没有约束裙，橡胶空气弹簧可按其势能最小的形状自由伸张，其屈挠部分的弧线曲率半径较大；半约束式橡胶空气弹簧介于上述两者之间，在一定的行程内具有自由膜式橡胶空气弹簧的特性，而在橡胶空气弹簧因受压而受到约束裙的约束作用时，则具有约束膜式橡胶空气弹簧的特性。

另外，还有曲囊式和膜式相结合的橡胶空气弹簧（见图2-2-11）。

自由膜式橡胶空气弹簧是一种利用简单塞柱和较小空气体积而获得低刚度的弹簧，除应用于小汽车外，还可以制造较大尺寸装配在重载荷车辆上。应用这种弹簧时，要求精确控制塞柱和车架之间的装配位置。

半约束膜式橡胶空气弹簧的弹性特性随塞柱尺寸的大小而改变，若再改变帘线角度，则

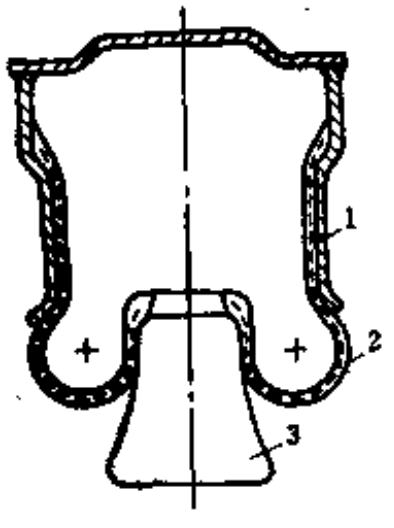


图 2-2-9 半约束膜式橡胶空气弹簧

1—约束裙；2—橡胶空气弹簧；3—塞柱

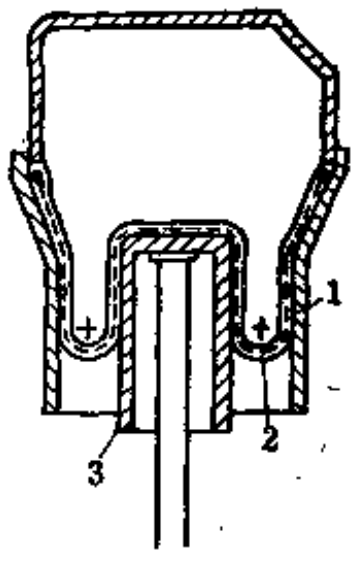


图 2-2-10 约束膜式橡胶空气弹簧

1—约束裙；2—橡胶空气弹簧；3—塞柱

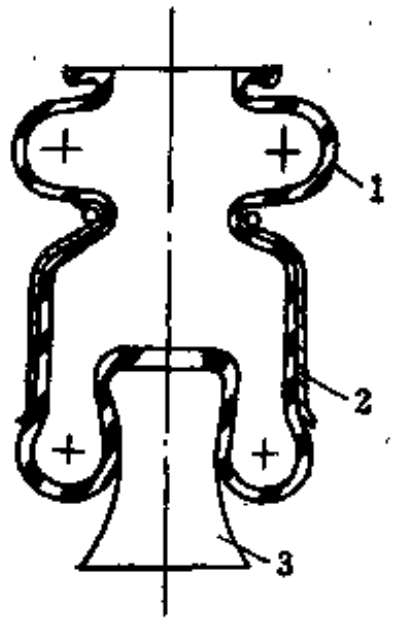


图 2-2-11 曲囊式与膜式相结合的橡胶空气弹簧

1—橡胶空气弹簧；2—约束裙；3—塞柱

可使有效面积得以修正。

约束膜式橡胶空气弹簧的塞柱外轮廓可设计成特殊形状，以获得不同的组合刚度。细腰形的可得低刚度，喇叭口裙式的可获高刚度。这种橡胶空气弹簧不需附加空气室就能获得低刚度和低固有振动频率，适应性很好，可用在各种悬挂系统中。

用于车辆的膜式橡胶空气弹簧的规格和特征见表2-2-2。

表 2-2-2 用于车辆的膜式橡胶空气弹簧的规格和特征

规　格	BM-130	BM-140	BM-220	BM-420
型　式	半约束式	自由膜式	半约束式	自由膜式
层　数	2	2	2	2
外　径	192	200	282	500
橡胶空气弹簧高度，mm	92	76	92	96
承压面积，cm^2	133	154	380	1380
承载能力，kg	800	1100	1900	8500
橡胶空气弹簧的自重，kg	0.5	0.65	1.2	3.0
应用范围	载重汽车	小汽车	载重汽车	轻快列车

三、橡胶空气弹簧的设计及有关计算

（一）橡胶空气弹簧的结构及外形尺寸设计

橡胶空气弹簧是车辆悬挂系统或机械的减震零件，在设计橡胶空气弹簧时，首先需收集下列资料：

① 车辆或机械的类型及用途；

② 簧上载荷的大小及变化；

③ 车辆悬挂的类型和结构，或机械减震装置的结构；

④ 装配橡胶空气弹簧所允许的最大空间及高度；

⑤ 橡胶空气弹簧承受的最大压力及允许工作压力；

⑥ 对橡胶空气弹簧的特殊要求（如耐油、特大行程等）；

⑦ 对振动频率和刚度的要求；

⑧ 橡胶空气弹簧的现状和发展远景。

根据上述基本资料进行橡胶空气弹簧结构及外形尺寸的设计。首先选定适用的类型，然后确定结构及外形尺寸。

一般来说，对于载重汽车、公共汽车、铁道车辆和工业机械的减震，均可采用曲囊式橡胶空气弹簧，其中汽车减震用弹簧的曲数可采用单曲～四曲；铁道车辆减震用弹簧的曲数不宜超过三曲；工业机械减震则宜采用操作方便的最普通的单曲式空气弹簧。对于载荷变化小、重心低及翻车危险性小的乘用车辆，如小汽车，适于选用膜式橡胶空气弹簧。对于拖拉机和载重量较大的牵引车，最好选用长枕式橡胶空气弹簧。

橡胶空气弹簧的结构尺寸，是根据标准位置的外形测绘的。但需注意，橡胶空气弹簧充气后，结构尺寸还要受断面轮廓、内部帘线角度、帘布规格、帘布伸长率以及封口法兰盘、密封压板、活塞座芯型等因素的影响，且这些因素对于不同类型的橡胶空气弹簧的影响又有所不同。

设计橡胶空气弹簧结构时，需考虑橡胶空气弹簧密封部位的结构对生产工艺组装难易程度的影响及对使用过程中密封性能的影响。

橡胶空气弹簧，其产品已基本上实现标准化和系列化。若无特殊要求，一般选择合适的类型，按标准化规格制造。

（二）橡胶空气弹簧特性计算

1．承载能力

橡胶空气弹簧的工作原理如图2-2-12所示。作一平面A-A与橡胶空气弹簧胶囊表面相切，且垂直于胶囊轴线（图2-2-12（a））。因为胶囊是柔软的橡胶薄膜，根据薄膜理论中一般采用的基本假设，胶囊不能传递弯矩和横向力，因此在胶囊切点处只传递平面A-A中的力。根据力的平衡条件得：

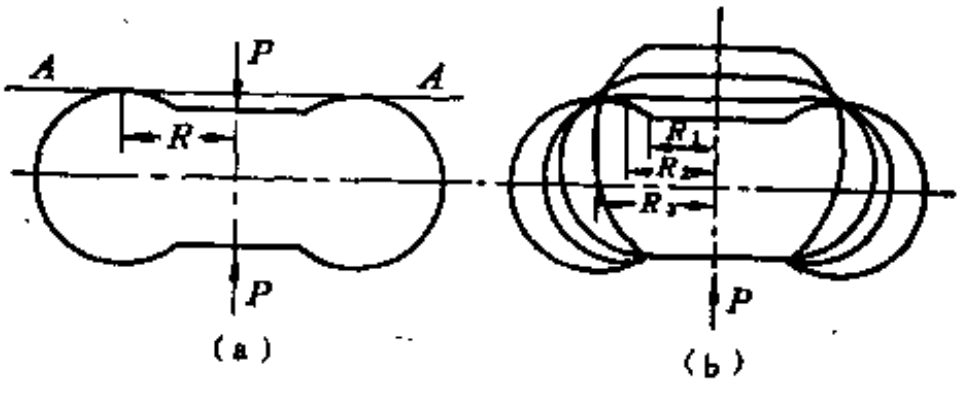


图 2-2-12 橡胶空气弹簧的工作原理图

$$P=(p-p_a)\ A=(p-p_a)\pi R^2 \tag{2-2-1}$$

式中 P——橡胶空气弹簧承受的载荷，N；

p——橡胶空气弹簧的内压（绝对压），N/cm^2；

p_a——大气压，通常取为$10N/cm^2$；

A——橡胶空气弹簧的有效面积，又称承载面积，cm^2；

R——橡胶空气弹簧的有效半径，cm。

在采用一个以上的橡胶空气弹簧时，式（2-2-1）应转变为：

$$P=i(p-p_a)\ A=i(p-p_a)\pi R^2 \tag{2-2-2}$$

式中 i——橡胶空气弹簧的个数。

橡胶空气弹簧胶囊的破坏内压一般在说明书上规定为2.5MPa以上，实际上可达到3.0～5.0MPa，因此在常用内压为1.0MPa时能保证使用安全。但在常用内压为1.0MPa时，橡胶囊膜内的帘线会产生蠕变，常年累月使用后会使橡胶囊膜的弹性发生变化。若使用不大于

0.5MPa的压力，则便于在风管安装作业方面采取措施以防漏气。所以，平常较多采用不大于0.5MPa的内压。

利用橡胶空气弹簧的横向刚性时，应考虑帘线因横向位移而产生的应力，此时所用内压应比专用轴向的橡胶空气弹簧的内压低0.1～0.2MPa。

使用高度调整阀时，考虑到调整阀内止回阀的弹簧压力，故规定橡胶空气弹簧本身的常用最大内压比空气源的最低压低0.1～0.2MPa。不使用调整阀时也要考虑作用在橡胶空气弹簧轴向上的微小摩擦力，使空气源的压力超过橡胶空气弹簧的内压，二者之间保持0.1MPa左右的压力差。

一般来说，橡胶空气弹簧的常用合适内压为0.3～0.5MPa。

橡胶空气弹簧的有效面积及有效半径不是常量，而是随载荷而变化的。当载荷P改变时，胶囊形状随着改变，因而有效面积A及有效半径也改变了。由图2-2-12 b可看出，当载荷P减小时，胶囊的有效半径R随之减小，最后等于盖板半径R_1，此时胶囊的有效面积A就等于盖板面积。当载荷继续减小时，则不能再作出胶囊的切面。此时可利用式（2-2-1）计算有效面积A或有效半径R。

2．弹簧刚度

（1）垂直刚度　橡胶空气弹簧的垂直刚度是压缩弹簧单位高度时所需的载荷量，表示弹簧的柔软程度。

橡胶空气弹簧的垂直刚度可随簧上载荷的变化而变化，固有振动频率也因之而调整，使空载和重载保持等频。

根据气体状态方程：

$$p \cdot V^m = p_0 \cdot V_0^m \tag{2-2-3}$$

式中　p——任意状态下橡胶空气弹簧的内压（绝对压），MPa；

V——任意状态下橡胶空气弹簧的容积，cm^3，

$V = V_1 + V_2$，V_1——胶囊的容积，cm^3，V_2——附加空气室的容积，cm^3；

p_0——标准状态下橡胶空气弹簧的内压（绝对压），MPa；

V_0——标准状态下橡胶空气弹簧的容积，cm^3，

$V_0 = V_{10} + V_2$，V_{10}——标准状态下胶囊的容积，cm^3；

m——多变指数，簧上载荷发生静态变化，$m=1$；动态变化，$m=1.3\sim1.38$。

综合式（2-2-1）和式（2-2-3）得：

$$P = \left(\frac{p_0 V_0^m}{V^m} - p_a\right) A \tag{2-2-4}$$

有效面积A是位移x的函数，即$A = A(x)$；容积V也是位移x的函数，即$V = V(x)$。将$A = A(x)$和$V = V(x)$代入式（2-2-4）中，即可得载荷P与位移x间的关系（弹力特性）：$P = P(x)$。

同时，有效面积A与容积变化有关，等于容积对位移x的负导数，即：

$$A = -\frac{dV}{dx} \tag{2-2-5}$$

对式（2-2-4）进行微分运算，并把式（2-2-5）代入，即得弹簧刚度：

$$K = \frac{dP}{dx} = mA^2 p_0 \frac{V_0^m}{V^{m+1}} + \left(\frac{p_0 V_0^m}{V^m} - p_a\right)\frac{dA}{dx} \tag{2-2-6}$$

橡胶空气弹簧处在标准状态下时，$x=x_0$，$A=A_0$，$V=V_0$，则弹簧刚度为：

$$K_0=mp_0\frac{A_0^2}{V_0}+(p_0-p_a)\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0} \tag{2-2-7a}$$

若用相对压力表示，$p_{r0}=p_0-p_a$，则式（2-2-7a）为：

$$K_0=m(p_{r0}+p_a)\frac{A_0^2}{V_0}+p_{r0}\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0} \tag{2-2-7b}$$

这是橡胶空气弹簧垂直刚度的计算式，按此式计算时，主要问题在于确定橡胶空气弹簧的有效面积变化率$\frac{dA}{dx}$，而$\frac{dA}{dx}$则取决于弹簧的几何形状。常用类型的橡胶空气弹簧的有效面积变化率计算公式及其刚度计算公式如下。

a．曲囊式橡胶空气弹簧　图2-2-13为曲囊式橡胶空气弹簧的变形简图，其几何参数为R、r和θ，在弹簧变位dx后，几何参数分别变为$(R+dR)$、$(r-dr)$和$(\theta+d\theta)$。n为橡胶空气弹簧的曲数。

假设橡胶空气弹簧在变形前后其胶囊在经线方向的断面保持为圆弧，且断面弧长保持不变。由弹簧的几何关系得：

$$\frac{dx}{n}=2r\sin\theta-2(r-dr)\sin(\theta+d\theta)=2dr(\sin\theta-\theta\cos\theta)$$

$$\therefore\quad dr=\frac{dx}{2n}\frac{1}{\sin\theta-\theta\cos\theta} \tag{2-2-8}$$

又
$$\theta r=(\theta+d\theta)(r-dr)\approx\theta r+rd\theta-\theta dr$$

$$\therefore\quad d\theta=\frac{\theta}{r}dr=\frac{dx}{2n}\frac{\theta}{r}\frac{1}{\sin\theta-\theta\cos\theta} \tag{2-2-9}$$

橡胶空气弹簧有效半径的增量dR为：

$$dR=(r+dr)\cos(\pi-\theta-d\theta)-r\cos(\pi-\theta)=dr\cos\theta+rd\theta\sin\theta \tag{2-2-10}$$

将式（2-2-8）和式（2-2-9）代入式（2-2-10），得：

$$dR=\frac{1}{2n}\frac{\cos\theta+\theta\sin\theta}{\sin\theta-\theta\cos\theta}dx \tag{2-2-11}$$

弹簧变位dx后的有效面积增量为：

$$dA=\pi(R+dR)^2-\pi R^2\approx 2\frac{dR}{R}A$$

$$=\frac{1}{nR}\frac{\cos\theta+\theta\sin\theta}{\sin\theta-\theta\cos\theta}Adx$$

$$\therefore\quad\frac{dA}{dx}=\frac{1}{nR}\frac{\cos\theta+\theta\sin\theta}{\sin\theta-\theta\cos\theta}A \tag{2-2-12}$$

将式（2-2-12）代入式（2-2-7b）中，则得曲囊式橡胶空气弹簧在标准位置时的垂直刚度计算式：

$$\left.\begin{aligned}K_{d0}&=m(p_{r0}+p_a)\frac{A_0^2}{V_0}+ap_{r0}A_0\\ a&=\frac{1}{nR}\frac{\cos\theta+\theta\sin\theta}{\sin\theta-\theta\cos\theta}\end{aligned}\right\} \tag{2-2-13}$$

式中 a 取决于橡胶空气弹簧的几何形状，因此称之为橡胶空气弹簧的形状系数。由此式可知：增加曲数，可使曲囊式橡胶空气弹簧的垂直刚度减小。

b．自由膜式橡胶空气弹簧　图2-2-14是自由膜式橡胶空气弹簧的变形简图，几何参数为R、r、θ和φ（φ是胶囊圆弧部分的回转轴与弹簧中心线之交角）。在弹簧变位dx后，它们分别变为：$(R+dR)$、$(r-dr)$、$(\theta+d\theta)$ 和 $(\varphi-d\varphi)$。

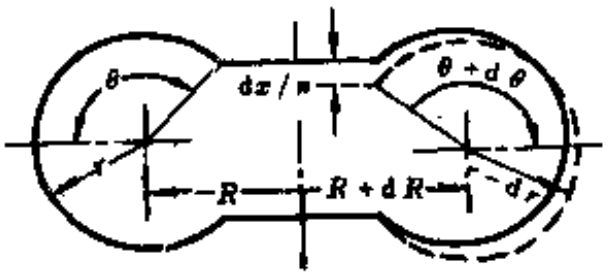


图 2-2-13　曲囊式橡胶空气弹簧的变形简图

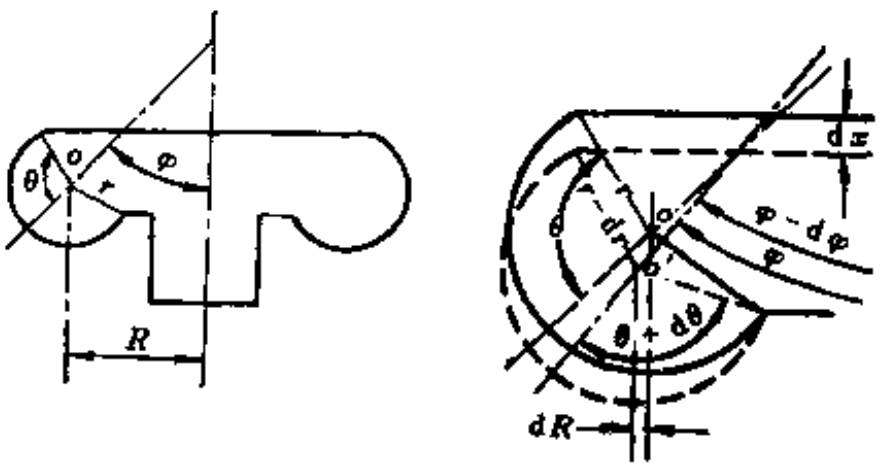


图 2-2-14　自由膜式橡胶空气弹簧的变形简图

仍假设橡胶空气弹簧在变形前后其橡胶囊在经线方向的断面保持为圆弧，且断面弧长保持不变。由弹簧的几何关系得：

$$2r\theta = 2(r-dr)(\theta+d\theta) = 2r\theta + 2rd\theta - 2\theta dr$$

$$\therefore \quad d\theta = \frac{\theta}{r}dr \tag{2-2-14}$$

又

$$dx = 2r\sin\theta\sin\varphi - 2r\sin\theta\cos\varphi \cdot \mathrm{tg}(\varphi-d\varphi)$$

$$= \frac{2rd\varphi\sin\theta}{\cos\varphi + d\varphi\sin\varphi}$$

整理并略去高阶微量项后得：

$$d\varphi = \frac{1}{2r}\frac{\cos\varphi}{\sin\theta}dx \tag{2-2-15}$$

此外，由几何关系亦可写出：

$$dx = 2r\sin\theta\sin\varphi - 2(r-dr)\sin(\theta+d\theta)\sin(\varphi-d\varphi)$$

$$= -2rd\theta\cos\theta\sin\varphi + 2rd\varphi\sin\theta\cos\varphi + 2dr\sin\theta\sin\varphi$$

将式（2-2-14）和式（2-2-15）代入上式中并整理后得：

$$\left.\begin{aligned} dr &= \frac{\sin\varphi}{\sin\theta - \theta\cos\theta}dx \\ d\theta &= \frac{\theta}{r}\frac{\sin\varphi}{\sin\theta - \theta\cos\theta}dx \end{aligned}\right\} \tag{2-2-16}$$

同样，由几何关系得有效半径的增量为：

$$dR = r\sin[\pi-(\theta+\varphi)] - (r-dr)\sin[\pi-(\theta+d\theta)-(\varphi-d\varphi)]$$

$$= r(\cos\theta\cos\varphi - \sin\theta\sin\varphi)(d\varphi-d\theta) + dr(\sin\theta\cos\varphi + \cos\theta\sin\varphi)$$

将式（2-2-15）和式（2-2-16）代入上式中并整理后得：

$$dR = \frac{1}{2}\frac{\sin\theta\cos\theta + \theta(\sin^2\theta - \cos^2\varphi)}{\sin\theta(\sin\theta - \theta\cos\theta)}dx \tag{2-2-17}$$

因此，弹簧变位dx后其有效面积的增量为：

$$dA = 2\frac{dR}{R}A = \frac{1}{R}\frac{\sin\theta\cos\theta + \theta(\sin^2\theta - \cos^2\varphi)}{\sin\theta(\sin\theta - \theta\cos\theta)}Adx$$

$$\therefore \quad \frac{dA}{dx} = \frac{1}{R}\frac{\sin\theta\cos\theta + \theta(\sin^2\theta - \cos^2\varphi)}{\sin\theta(\sin\theta - \theta\cos\theta)}A \qquad (2\text{-}2\text{-}18)$$

将式（2-2-18）代入式（2-2-7 b），则得自由膜式橡胶空气弹簧在标准位置时的垂直刚度计算式：

$$\left.\begin{aligned} K_{d0} &= m(p_{r0} + p_a)\frac{A_i^2}{V_0} + ap_{r0}A_0 \\ a &= \frac{1}{R}\frac{\sin\theta\cos\theta + \theta(\sin^2\theta - \cos^2\varphi)}{\sin\theta(\sin\theta - \theta\cos\theta)} \end{aligned}\right\} \qquad (2\text{-}2\text{-}19)$$

当 $\varphi = \frac{\pi}{2}$时，式（2-2-19）中的形状系数将变为：

$$a = \frac{1}{R}\frac{\cos\theta + \theta\sin\theta}{\sin\theta - \theta\cos\theta}$$

这实际上是曲囊式橡胶空气弹簧的情况。

图2-2-15所示的形状系数 a 计算图是根据式（2-2-18）作出的。由这个图可以很方便地根据需要选择适当的几何参数，使形状系数取得根小，以达到降低弹簧刚度的目的。

由图2-2-15可看出，形状系数a随φ 角的增大面增大。当$\varphi = \frac{\pi}{2}$时，a 为最大，而这正是曲囊式橡胶空气弹簧的情况。所以，在其它条件相同的情况下，自由膜式橡胶空气弹簧的垂直刚度要比曲囊式的低。此外，还能看出，θ角较小时，φ 对 a 的影响很大；而随着θ角的增大，φ的影响越来越小。

c．约束膜式橡胶空气弹簧　图2-2-16为约束膜橡胶空气弹簧的变形简图，其几何参数为R、r、α和β。在弹簧变位dx后，R 和 r 分别变为（$R + dR$）和（$r - dr$），而内外筒的倾斜角α和β不变，是常量。

为了便于研究，以B-B为基线，且设胶囊圆弧之圆心O到基准线B-B的距离为h，内外约束筒的距离为S，而基准线以下之胶囊断面长度为L。

由几何关系得：

$$\left.\begin{aligned} L &= h\left(\frac{1}{\cos\alpha} + \frac{1}{\cos\beta}\right) - r(\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\beta) + r(\pi + \alpha + \beta) \\ S &= -h(\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\beta) + r\left(\frac{1}{\cos\alpha} + \frac{1}{\cos\beta}\right) \end{aligned}\right\} \qquad (2\text{-}2\text{-}20)$$

橡胶空气弹簧变位dx后，得：

$$\left.\begin{aligned} \frac{dL}{dx} &= \frac{1}{\cos\beta} \\ \frac{dS}{dx} &= -\operatorname{tg}\beta \end{aligned}\right\} \qquad (2\text{-}2\text{-}21)$$

由式（2-2-20）和式（2-2-21）得：

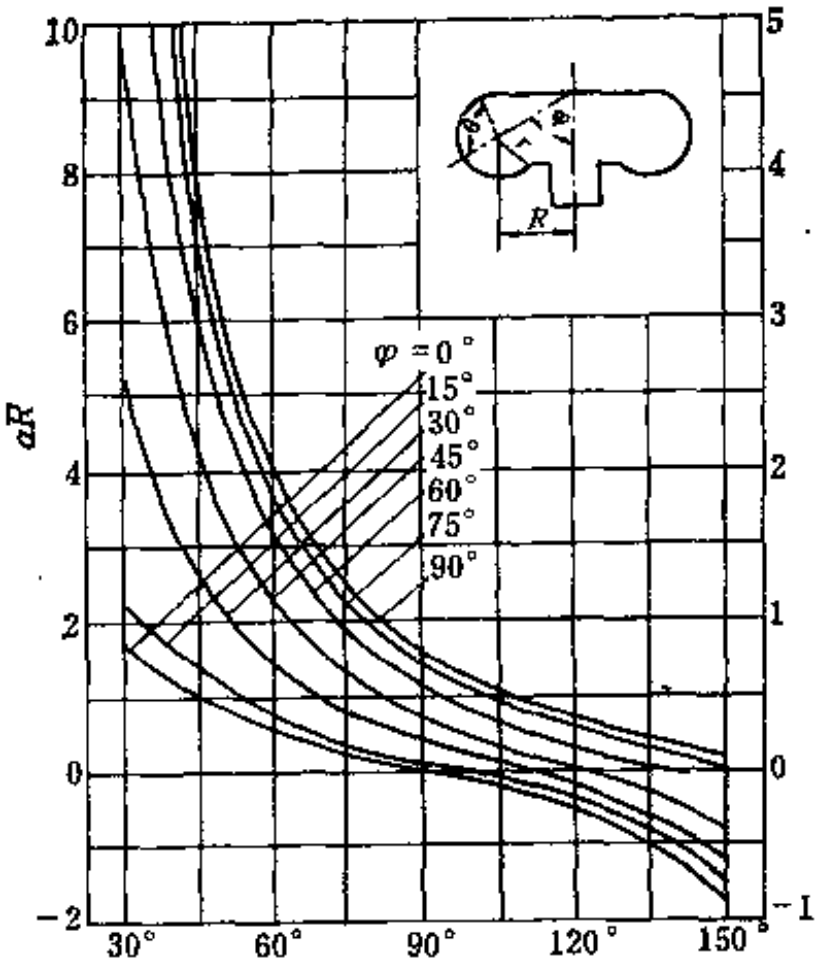


图 2-2-15 自由膜式橡胶空气弹簧的形状系数α

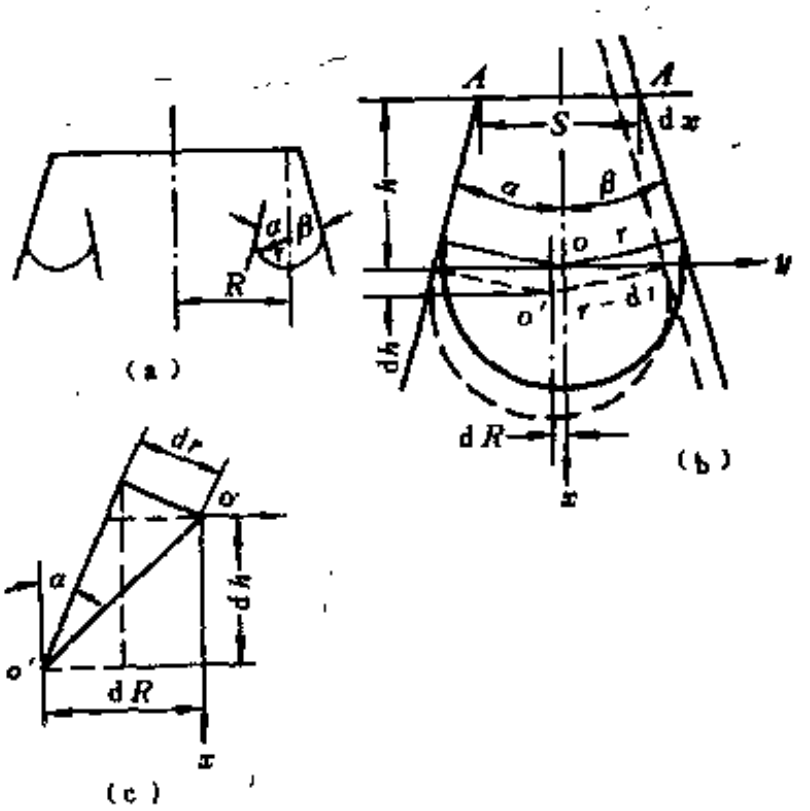


图 2-2-16 约束膜式橡胶空气弹簧的变形简图

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}x}\left(\frac{1}{\cos\alpha}+\frac{1}{\cos\beta}\right)-\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}x}\left[(\operatorname{tg}\alpha+\operatorname{tg}\beta)-(\pi+\alpha+\beta)\right]=\frac{1}{\cos\beta}\\&-\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}x}(\operatorname{tg}\alpha+\operatorname{tg}\beta)+\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}x}\left(\frac{1}{\cos\alpha}+\frac{1}{\cos\beta}\right)=-\operatorname{tg}\beta\end{aligned}\right\}\qquad(2\text{-}2\text{-}22)$$

求解联立方程式（2-2-22），得：

$$\left.\begin{aligned}\mathrm{d}h&=\frac{1}{b}\left[1+\cos(\alpha+\beta)+(\pi+\alpha+\beta)\sin\beta\cos\alpha\right]\mathrm{d}x\\\mathrm{d}r&=\frac{1}{b}(\sin\alpha-\sin\beta)\mathrm{d}x\\b&=2\left[1+\cos(\alpha+\beta)+\frac{1}{2}(\pi+\alpha+\beta)\sin(\alpha+\beta)\right]\end{aligned}\right\}\qquad(2\text{-}2\text{-}23)$$

由图2-2-16(c)的几何关系得：

$$\mathrm{d}R=-\frac{\mathrm{d}h\sin\alpha-\mathrm{d}r}{\cos\alpha}\qquad(2\text{-}2\text{-}24)$$

将式（2-2-23）代入式（2-2-24），整理后得：

$$\mathrm{d}R=-\frac{\sin(\alpha+\beta)+(\pi+\alpha+\beta)\sin\alpha\sin\beta}{2\left[1+\cos(\alpha+\beta)+\frac{1}{2}(\pi+\alpha+\beta)\sin(\alpha+\beta)\right]}\mathrm{d}x\qquad(2\text{-}2\text{-}25)$$

因此，弹簧变位dx后，其有效面积的增量为：

$$\mathrm{d}A=2\frac{\mathrm{d}R}{R}A=-\frac{1}{R}\cdot\frac{\sin(\alpha+\beta)+(\pi+\alpha+\beta)\sin\alpha\sin\beta}{1+\cos(\alpha+\beta)+\frac{1}{2}(\pi+\alpha+\beta)\sin(\alpha+\beta)}A\mathrm{d}x$$

$$\therefore \quad \frac{dA}{dx} = -\frac{1}{R}\,\frac{\sin(\alpha+\beta)+(\pi+\alpha+\beta)\sin\alpha\sin\beta}{1+\cos(\alpha+\beta)+\frac{1}{2}(\pi+\alpha+\beta)\sin(\alpha+\beta)}A \qquad (2\text{-}2\text{-}26)$$

将式（2-2-26）代入式（2-2-7b），得约束膜式橡胶空气弹簧在标准位置时的垂直刚度计算式：

$$K_{d0} = m(p_{r0}+p_a)\frac{A_0^2}{V_0} - ap_{r0}A_0$$

$$a = \frac{1}{R}\,\frac{\sin(\alpha+\beta)+(\pi+\alpha+\beta)\sin\alpha\sin\beta}{1+\cos(\alpha+\beta)+\frac{1}{2}(\pi+\alpha+\beta)\sin(\alpha+\beta)} \qquad (2\text{-}2\text{-}27)$$

图2-2-17所示约束膜式橡胶空气弹簧的形状系数计算图表是按式（2-2-27）计算而作的。由此图可清楚看出，约束膜式橡胶空气弹簧的内外筒倾斜角α和β对几何形状系数a的影响。$\alpha=\beta=0°$时，$a=0$。a随β的增大而增大，且β越大，曲线越陡；同时，a也随α的增大而增大，即刚度将减小。

在实际运用中，内外筒同时设计成倾斜的情况（α不等于0°，β也不等于0°）是几乎没有的，一般为α不等于0°，β等于0°；或α等于0°，β不等于0°；或α等于0°，β也等于0°。

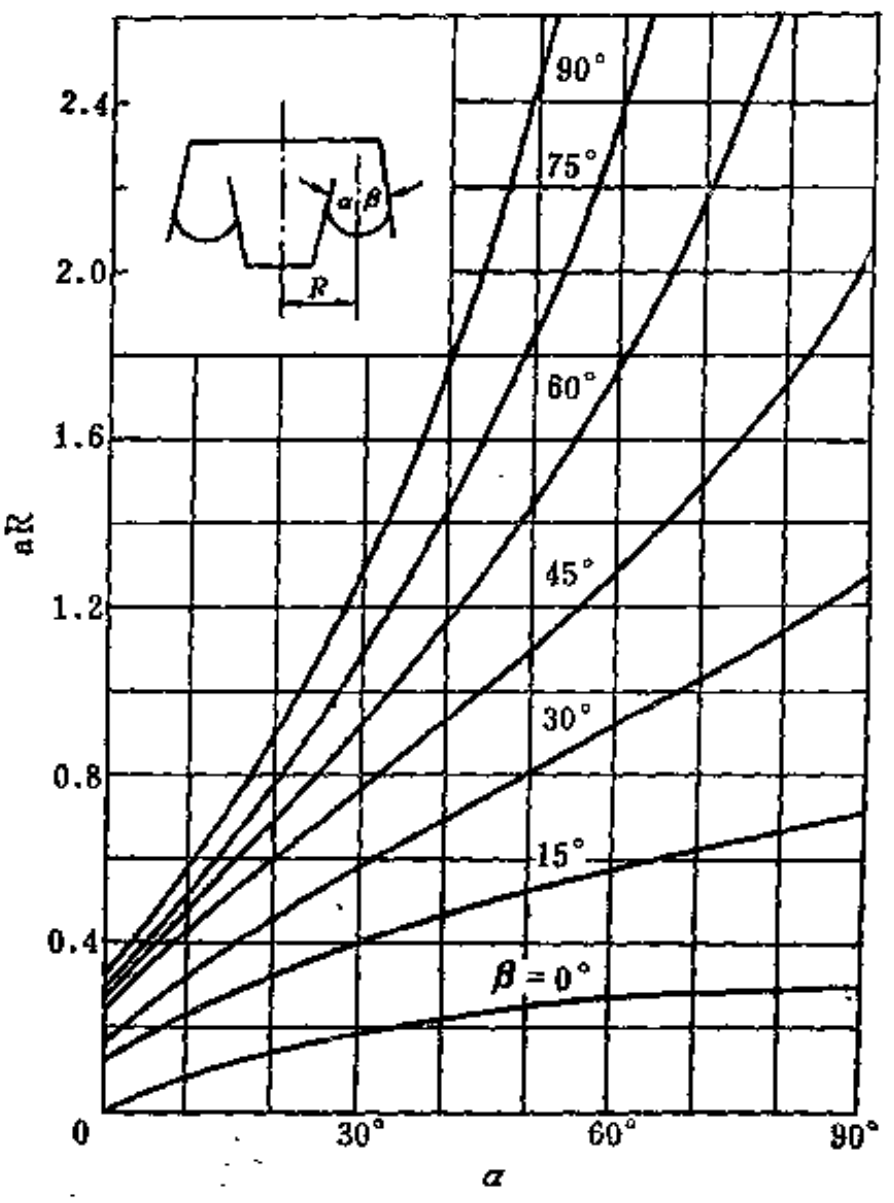


图 2-2-17　约束膜式空气弹簧的形状系数a

（2）影响垂直刚度的因素　从橡胶空气弹簧垂直刚度计算式（2-2-7b）可知，影响橡胶空气弹簧垂直刚度的因素有如下几个。

a．多变指数m　当多变指数m增大时，垂直刚度K将增大。静态时，簧上载荷变化极慢，弹簧中气体膨胀及压缩所经历的时间相当长，弹簧中的气体可与外界充分进行热交换，若外界温度恒定，则气体的状态变化过程是等温过程，m取为1。动态时，则载荷变化很快，弹簧中的气体与外界的热交换来不及全部进行，因此气体的压缩及膨胀过程是一个多变过程，取m为1.3～1.38。实际使用中橡胶空气弹簧的伸张和压缩，可以认为是动态过程。

b．有效面积变化率$\frac{dA}{dx}$　在有效面积A及容积V均相等的条件下，受压时A变大$\left(即\frac{dA}{dx}>0\right)$的橡胶空气弹簧，其刚度较大；反之，则较小。此外，$\frac{dA}{dx}$越大，弹簧刚度越大；$\frac{dA}{dx}$越小，弹簧刚度则越小。

c. 橡胶空气弹簧在标准状态下的容积V_0。V_0越大，弹簧刚度越小。所以，连接附加空气室可以减小弹簧刚度。但增加附加空气室并不能使橡胶空气弹簧的刚度减小到任意值，最多只能减到$K_0=p_{r0}\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}$，而此时要求附加空气室为无穷大，实际上这是不能实现的。就刚度减小的效果而言，$\frac{dA}{dx}<0$的弹簧比$\frac{dA}{dx}>0$的弹簧更加显著。

d. 橡胶空气弹簧的几何参数　橡胶空气弹簧的动静比λ（动刚度与静刚度之比值）与其几何参数有关。

把式（2-2-7b）表示为如下形式：

$$K_0=mu+w$$

式中的$u=(p_{r0}+p_a)\frac{A_0^2}{V_0}$，$w=p_{r0}\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}$，于是，橡胶空气弹簧的动刚度$K_{d0}$与静刚度$K_{s0}$的比值$\lambda$为：

$$\lambda=\frac{K_{d0}}{K_{s0}}=\frac{mu+w}{u+w}=\frac{m+\frac{w}{u}}{1+\frac{w}{u}}$$

λ与$\frac{w}{u}$的关系如图2-2-18所示。

若$\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}=0$，则$\frac{w}{u}=0$，此时$\lambda=m$，这属于活塞-汽缸式空气弹簧的情况，橡胶空气弹簧中一般无此现象。

若$\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}>0$，则$\frac{w}{u}>0$，这时$\lambda<m$。$\frac{w}{u}$越大，$\lambda$越小，图2-2-18中的曲线渐近于直线$\lambda=1$，即动刚度与静刚度相同。

若$\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}<0$，则$\frac{w}{u}<0$，这时$\lambda>m$。当$\frac{w}{u}$的绝对值增大时，$\lambda$急剧地增大。由此可见，在借以利用负的倾斜曲线$A=f(x)$的方法来减小弹簧刚度时应谨慎，否则容易得到比静刚度大若干倍的动刚度。在橡胶空气弹簧用于车辆悬挂系统时，如果根据运行平稳性要求的条件选择动刚度，则静刚度就太小了，而且甚至还得到$K_s<0$，这意味着橡胶空气弹簧不稳定。一般来说，橡胶空气弹簧装置中都采用高度控制阀系统，所以在各种载荷下，橡胶空气弹簧的有效面积A_0及导数$\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}$也大致一样。因而，内压（相对压力）$p_r$随载荷$P$而成正比地增大。刚度计算式（2-2-7b）的右边第一项与绝对压力（$p_{r0}+p_a$）成正比，第二项与相对压力p_{r0}成正比。因此，在静载荷增加时，刚度并不随它成正比地增大，而是稍稍低于成正比增大值。

（3）横向刚度　橡胶空气弹簧横向刚度的计算式虽然有，但计算值与实验值不太相符，故此省略。必要时，希望使用实验值。

最初采用橡胶空气弹簧，主要是为了改善车辆或机械的垂直振动性能，近年来已在考虑利用橡胶空气弹簧同时吸收垂直振动和横向振动。关于橡胶空气弹簧的横向承载特性，在今

后的实际应用中是个重要问题。下面分别讨论曲囊式和膜式橡胶空气弹簧的横向刚度及横向承载特性。

a. 曲囊式橡胶空气弹簧的横向刚度及横向承载特性　实验证实曲囊式橡胶空气弹簧的横向承载特性是非线性的，此非线性与前述所希望的垂直承载特性曲线的非线性不一样，此非线性是不利的。弹簧的刚度随载荷而变化，而且特性曲线有一较大的滞后回线，见图2-2-19所示。

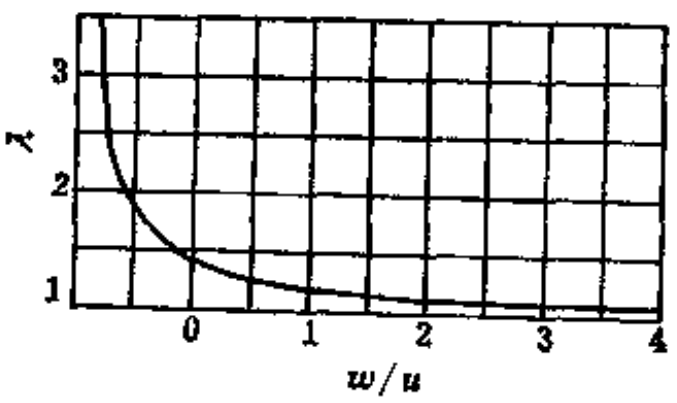


图 2-2-18　橡胶空气弹簧的动静比与弹簧几何参数间的关系

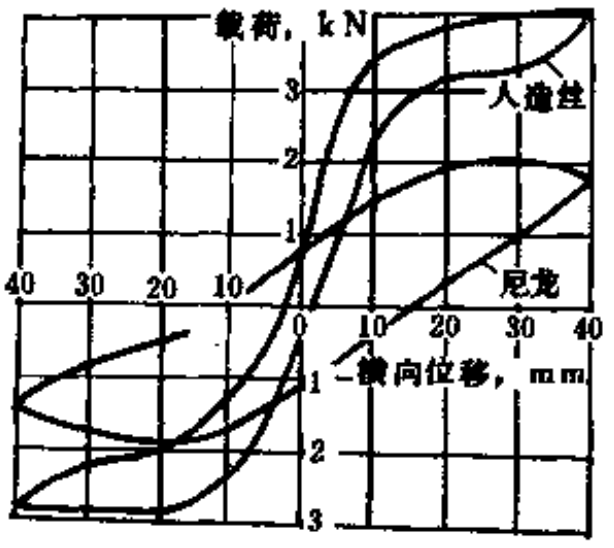


图 2-2-19　普通曲囊式橡胶空气弹簧的横向承载特性实例

影响曲囊式橡胶空气弹簧横向刚度及横向承载特性的因素。

① 帘线的材质　帘线为尼龙时，挠度对载荷有较大的滞后现象，当载荷为零时，空气弹簧的残余挠度较大。而且，横向刚度愈小，残余挠度愈大。帘线为人造丝时，当挠度较小时其线性关系较好，残余挠度也较小。但是当挠度较大时，屈服变形发生很快，而对尼龙来说，屈服变形的发生则不迅速。将空气弹簧沿横向作反复试验，其结果表明，破坏强度以尼龙为较好；而就反复负载后其特性变化情况而言，则以人造丝为好，刚度变化不大。

② 帘线的角度　帘线相对空气弹簧橡胶囊经线的倾斜角度见图2-2-20，一般在65～35°的范围内。角度愈小，空气弹簧的横向刚度愈大，横向负载特性的线性度愈好。

③ 帘布的层数　帘布的层数愈多，空气弹簧的横向刚度愈大，其横向负载特性的线性度也愈好。

④ 橡胶的硬度　橡胶的硬度愈高，空气弹簧横向刚度愈大。

⑤ 橡胶囊与上下盖板的装配方法　若橡胶囊与上下盖板的装配对变形的限制较大，则空气弹簧的横向刚度较大，其横向负载特性的线性度也较好。因此，螺钉紧固式要比压力自封式强一些。

⑥ 中间腰环的形状　采用椭圆形断面的腰环与采用圆形断面的腰环相比，前者空气弹簧的横向刚度要大些，其横向负载特性的线性度也要好些。

⑦ 气空弹簧的高度　对于有效直径和曲数相同的空气弹簧，高度愈高，横向刚度愈小，其横向负载特性的线性度愈好；对于同一个空气弹簧来说，拉伸使用时的横向刚度要比压缩使用时的横向刚度小些，其横向负载特性的线性度也较好。

⑧ 空气弹簧的有效直径　空气弹簧的有效直径愈大，其横向刚度也愈大。

⑨ 橡胶空气弹簧的内压　橡胶空气弹簧的内压愈高，其横向稳定性愈差，即有产生横向挠曲的倾向。

⑩ 上下盖板的形状　普通曲囊式橡胶空气弹簧的横向变形是橡胶囊受弯曲和受剪切后产生的合成变形。曲囊式橡胶空气弹簧横向负载特性的一些缺点，主要是由剪切变形造成的。所以，要改善曲囊式橡胶空气弹簧的横向负载特性，应该使变形以弯曲为主，而剪切变形则应该尽量小一些。因此应该设法减小橡胶囊的弯曲刚度，而增大其剪切刚度。使弹簧剪切刚度增大的最可靠方法是增加帘布的层数。问题是如何使弯曲刚度减小。图2-2-21所示为橡胶囊在两种不同形状盖板下的弯曲变形。使橡胶囊的高度不变，而上下盖板以A点为中心相对地转动，这样，橡胶囊变形后其内压在A点将产生复原力矩。当然，作用在盖板上的力，在A点左侧的则比在右侧的大。图2-2-21所示的两种盖板中，以（b）形的角位移力矩为较小，而（a）形则较大。因此，将原先采用两层帘布和（a）形盖板的普通曲囊式橡胶空气弹簧改为采用四层帘布和（b）形盖板，其横向负载特性可有很大改善，滞后现象也大为减小。

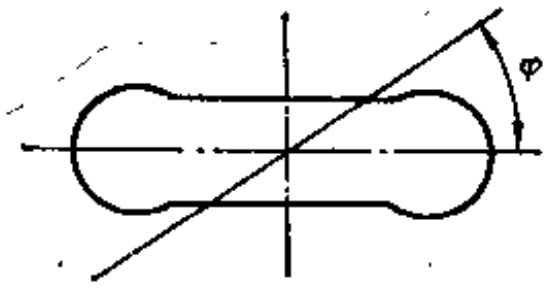


图 2-2-20　曲囊式橡胶空气弹簧帘线的角度

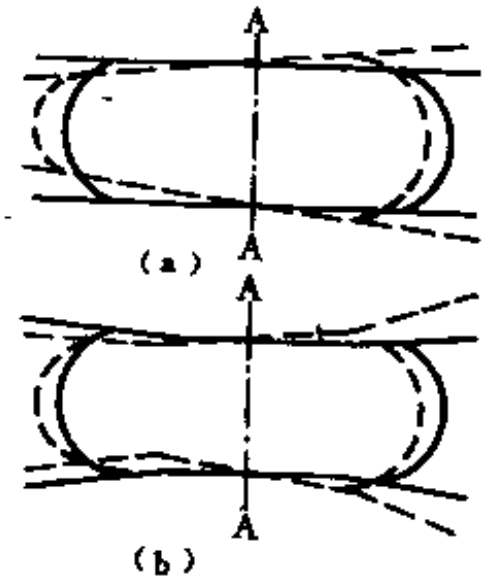


图 2-2-21　橡胶囊的弯曲变形

改进后的曲囊式橡胶空气弹簧，虽然能初步满足实用，但并未达到完善，还存在一些本质上的缺点没有解决，例如，负载特性的线性度还不很理想，而且因温度的变化和时效的影响而不稳定等，所以不能令人满意。

b．膜式橡胶空气弹簧的横向刚度及横向承载特性　此类弹簧的横向负载特性比较理想，其横向弹性作用原理说明如下：为使说明简单明了，可把此类弹簧设想为内筒和外筒均为圆柱形表面的空气弹簧。若使内筒向右移动，则内筒与外筒的相对位置及橡胶膜的变化如图2-2-22所示。就空气作用在内筒上的力来说，有一个相当于PL_1的力由右向左作用，以及一个相当于PL_2的力由左向右作用。从几何上可看出$L_1>L_2$，故从左面与从右面作用在内筒上的力是不平衡的，于是正比于（L_1-L_2）的力矩形成了弹簧力。就此情况来说，因为横向位移δ很小，所以，可以认为（L_1-L_2）与δ成正比。结果得到与位移成正比的复原力。此弹簧力还可很据需要，通过改变内筒或外筒的倾斜角度而加以控制，如图2-2-23所示。

膜式橡胶空气弹簧的横向弹性特点如下。

① 横向刚度和振幅无关　横向复原力与位移成正比，不论位移多大，其横向刚度随位移的增大而减小，在极端情况下变为零，从而发生弯曲。而膜式橡胶空气弹簧则无此虑。

② 横向负载特性曲线的滞后较小　对于曲囊式橡胶空气弹簧，在利用橡胶囊的横向弹性时，由于橡胶内部的摩擦，其滞后较大。因此，车体在静止时将从中立位置偏移一个距离。而膜式橡胶空气弹簧由于橡胶膜的滞后很小，所以车体的这种偏移很小。

③ 横向刚度比较稳定　曲囊式橡胶空气弹簧的特性与橡胶囊材质随年代和外界气温而

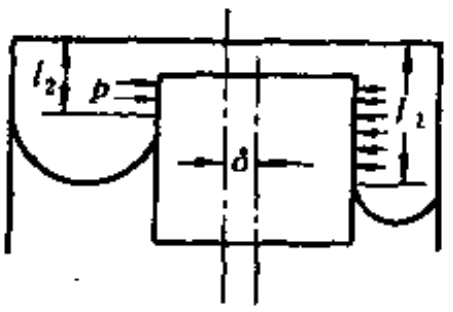


图 2-2-22 膜式空气弹簧横向弹性作用原理图

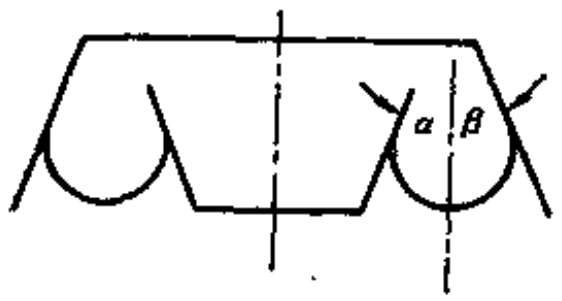


图 2-2-23 由两个斜筒构成的膜式空气弹簧的简图

变化，因此弹簧特性也将随之变化。而膜式橡胶空气弹簧的特性受时效和温度变化的影响很小。

④ 横向刚度与空气弹簧的内压成正比 由于膜式橡胶空气弹簧的横向刚度与其内压成正比，因此当车体的载荷改变时，和垂直振动情况一样，其横向振动的自振频率不变，所以能得到不变的横向振动性能。

⑤ 横向刚度容易控制 通过改变内外筒的倾斜角度，可以很容易地得到所需要的横向刚度。当然，这时垂直刚度也将相应改变，但变化不大。

由于膜式橡胶空气弹簧具有上述良好横向负载特性，所以近代设计的无摇动台机构的橡胶空气弹簧转向架多半采用这种空气弹簧，而且在实际应用上已经获得了满意的结果。

3．固有振动频率

固有振动频率的大小是衡量系统平稳性的主要指标之一。一般来说，低一些较好。例如，小汽车要求为0.67～1.0Hz（40～60次/min），载重汽车为1.3～2.0Hz（80～120次/min）等。

假设一个充气的橡胶空气弹簧与簧上载荷（一个质量为M的物体）一起构成一个单自由度的振动系统，则此振动系统的固有振动频率为：

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{M}} \tag{2-2-28}$$

把式（2-2-7 b）代入式（2-2-28），且 $M = \frac{p_{r0} \cdot A_0}{g}$，（$g$ 为重力加速度），则

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{p_{r0}+p_0}{p_{r0}} \cdot \frac{mgA_0}{V_0} + \frac{g}{A_0}\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}} \tag{2-2-29}$$

若振动系统中含有多个橡胶空气弹簧，则式（2-2-28）应为：

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\sum K}{M}} \tag{2-2-30}$$

式中 f_n——系统的固有振动频率，Hz；

$\sum K$——多个橡胶空气弹簧的总刚度，N/m；

M——簧上质量，kg。

（1）频率与橡胶空气弹簧的内压有关 提高弹簧内压，可使频率降低。在弹簧内压较低时，此影响比较显著。当弹簧内压较高时，$\frac{p_{r0}+p_0}{p_{r0}}$就接近于1，稍微改变$p_{r0}$值，其影响就并不太大。

（2）频率与有效承载面积的相对变化率$\left(\frac{1}{A}\cdot\frac{dA}{dx}\right)$有关 $\left(\frac{1}{A}\cdot\frac{dA}{dx}\right)$愈大，则频率

愈高，反之则低。

（3）频率与折算高度$H=\frac{V}{A}$有关　H值愈大，则频率愈低。特别是有效承载面积的相对变化率$\left(\frac{1}{A}\cdot\frac{dA}{dx}\right)$较小的橡胶空气弹簧，若增大容积与有效承载面积的比值，即提高折算高度H，则频率的降低较显著。

4．振动传递率

$$\tau=\sqrt{\frac{1+4\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\left(\frac{c}{c_0}\right)^2}{\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2+4\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\left(\frac{c}{c_0}\right)^2}} \tag{2-2-31}$$

式中　τ——振动传递率；

c——衰减系数；

c_0——临界衰减系数，$c_0=2M\cdot\sum K$。

假设c/c_0为零，则式（2-2-28）可简化为：

$$\tau=\frac{1}{1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \tag{2-2-32}$$

对于振动传递率的粗略估算，采用式（2-2-32）即可。

5．振幅

$$x_0=\frac{M'r\omega^2}{\sum K\left|1-\frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right|} \tag{2-2-33}$$

式中　x_0——振幅（半振幅），cm；

$\sum K$——系统的总弹簧刚度，N/m；

ω——弹簧上载荷的强迫振动角频率，rad/s；

M'——不平衡质量，kg；

ω_n——系统的固有振动角频率，rad/s；

r——不平衡质量的旋转半径，cm。

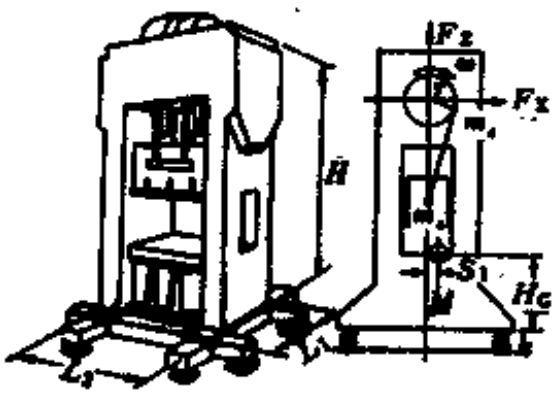


图 2-2-24　压力机的结构及振动体系

6．计算实例

试求图2-2-24所示压力机防振装置的防振性能及机械振幅。已知：该压力机重4500kg，防振台重2000kg，转速400r/min，可动部件重600kg，压力机冲程为±12.5mm，且假设采用任何形式的橡胶空气弹簧均可。

解：

（1）橡胶空气弹簧的内压　假设橡胶空气弹簧的内压（绝对压）$p=45N/cm^2$，则由式（2-2-2）知：

$$NA = \frac{P}{p - p_a} = \frac{(4500 + 2000) \times 10}{45 - 10} = 1857\text{cm}^2$$

假设选用 4 个相同的橡胶空气弹簧，即N等于 4，则：

$$A = \frac{1857}{N} = \frac{1857}{4} = 464\text{cm}^2$$

假设采用日本住友电气工业公司的单曲囊式橡胶空气弹簧标准产品，则根据$A = 464\text{cm}^2$，参照该公司产品规格及技术参数，选用19号，其$A = 440\text{cm}^2$，与$A = 464\text{cm}^2$最相近。因此由式（2-2-2）得：

$$p = \frac{P}{NA} + p_a = \frac{(4500 + 2000) \times 10}{4 \times 440} + 10 = 47\text{N/cm}^2$$

（2）橡胶空气弹簧的弹簧刚度　查产品表得：V_1等于5.4L，即等于5400cm³，V_2等于10L，即等于10000cm³，$\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}$等于49cm

取$m = 1.38$，则按式（2-2-7b）：

$$K_0 = m(p_{r0} + p_a)\frac{A_1^2}{V_0} + p_{r0}\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}$$

$$= mp\frac{A_1^2}{(V_1 + V_2)} + (p - p_a)\left(\frac{dA}{dx}\right)_{x=0}$$

$$= 1.38 \times 47 \times \frac{(440)^2}{5400 + 10000} + (47 - 10) \times 49 = 2630\text{N/cm}$$

$$\sum K_0 = 4 \times 2630 = 10520\text{N/cm} = 10.52\text{kN/cm}$$

（3）固有振动频率　根据式（2-2-30）：

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\sum K}{M}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{10520 \times 100}{(4500 + 2000)}} = 2.0\text{Hz}$$

（4）振动传递率　橡胶空气弹簧附加空气室时，取$c/c_0 = 0.18$

$$\omega/\omega_n = \frac{f}{f_n} = \frac{400}{60 \times 2.0} = 3.3$$

$$(\omega/\omega_n)^2 = 10.9$$

根据式（2-2-31）

$$\tau = \sqrt{\frac{1 + 4\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\left(\frac{c}{c_0}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right] + 4\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\left(\frac{c}{c_0}\right)^2}} = \sqrt{\frac{1 + 4 \times 10.9 \times 0.18^2}{(1 - 10.9)^2 + 4 \times (10.9)^2 \times (0.18)^2}}$$

$$= 0.156$$

该防振装置的防振性为15.6%，也就是说，如果取没有固定基础时为100，则使用防振装置就可将地基振动降低到16%左右。

（5）机械振幅

$$\omega^2 = (2\pi f)^2 = \left(2\pi\ \frac{400}{60}\right)^2 = 1755(\text{rad/s})^2$$

由式（2-2-32）得：

$$x_0 = \frac{M'r\omega^2}{\sum K\left|1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right|} = \frac{600\times1.25\times1755}{(10520\times100)|1-10.9|} \approx 0.13\text{cm}$$

机械半振幅为1.3mm，全振幅为2.6mm。

（三）橡胶空气弹簧主体结构材料——帘布计算

1．帘线角度

橡胶空气弹簧胶囊帘线角度是指帘线与径向所成的角度，与使用条件有关。

$$\beta_0 = \text{arc tg}\sqrt{\frac{q_\theta}{q_r}} \qquad (2\text{-}2\text{-}34)$$

式中 β_0——橡胶空气弹簧危险点断面帘线角度，（°）；

q_θ——作用于危险点断面周向的张力，N；

q_r——作用于危险点断面径向的张力，N。

通常，橡胶空气弹簧危险点断面的帘线角度选取为48～55°。

帘线角度对橡胶空气弹簧的缓冲性能、强度和使用寿命等都有影响。

2．帘布层数的确定

橡胶空气弹簧中的帘布层都与径向成一定的角度，相邻帘布层的帘线交叉排列，因面帘布层数必须是偶数，一般为两层或四层。

根据单根帘线所受应力和橡胶空气弹簧所应选取的安全倍数，通过计算可确定橡胶空气弹簧的帘布层数。橡胶空气弹簧的安全倍数通常为7，高速列车用橡胶空气弹簧的安全倍数则为10以上。

计算公式如下：

$$\sigma_{max} = p\frac{R_c^2 - R_0^2}{2R_0\eta i_0}\cdot\frac{1}{\cos^2\beta_0} \qquad (2\text{-}2\text{-}35)$$

$$i_0 = i_0\frac{r_0}{R_0}\cdot\frac{\cos\alpha_0}{\cos\beta_0} \qquad (2\text{-}2\text{-}36)$$

$$e = \frac{s}{\sigma_{max}} \qquad (2\text{-}2\text{-}37)$$

式中 σ_{max}——橡胶空气弹簧单根帘线所受最大应力，N/根；

p——橡胶空气弹簧的内压，N/cm²；

R_0——橡胶空气弹簧危险点断面帘布层半径，cm；

R_0——橡胶空气弹簧胶囊与法兰盘相切点的断面半径，cm；

η——帘布层数，层；

β_0——危险点断面的帘线角度（°）；

i_0——帘布裁断前的帘线密度，根/cm；

r_0——帘布在成型鼓上的半径，cm；

α_0——帘布裁断角度，（°）；

e——橡胶空气弹簧的安全倍数；

s——单根帘线强度，N/根。

四、橡胶空气弹簧的胶料配方、制造工艺及设备

（一）胶料性能要求及配方举例

各层胶料性能要求为：①外层胶需要耐老化、耐屈挠，与帘布附着力好，有较高的定伸应力；②内层胶需要耐老化、低的气透性及与帘布良好的附着力；③帘布层胶需耐屈挠、耐热及与帘布的附着力高。

各种胶料配方举例如表2-2-3所示。

表 2-2-3 橡胶空气弹簧胶料配方 （重量份）

原材料名称	外层胶Ⅰ	外层胶Ⅱ	内层胶	帘布胶	原材料名称	外层胶Ⅰ	外层胶Ⅱ	内层胶	帘布胶
天然橡胶	50	100	100	100	石蜡	1	—	—	—
氯丁橡胶	50	—	—	—	黑油膏	2.5	—	—	—
促进剂M	0.5	0.5	0.5	—	硬质炭黑	15	40	—	—
促进剂TMTD	—	—	0.05	0.04	软质炭黑	15	10	40	15
促进剂DM	—	0.5			防老剂	2	2	1.5	1.5
氧化锌	5	5	10	25	硫黄	1.50	2.85	2.50	2.50
氧化镁	3	—	—	—					
硬脂酸	1	4	2	2					
松焦油	1	3	1	1.5	合计	147.50	167.85	156.05	147.54

（二）制造工艺及设备

橡胶空气弹簧胶囊的制造工艺流程（见图2-2-25）与汽车外胎的制造工艺流程有许多相似之处。混炼胶的制备和尼龙帘布的挂胶、压延及裁断工艺及设备均与汽车外胎制造完全相同。橡胶囊的内外橡胶层，即气密性橡胶层和保护性覆盖胶，在压片压延机上制备，覆盖胶压片后，用刀按规定长度裁断，压延帘布由立式裁断机裁断。

曲囊式橡胶空气弹簧，其胶囊的腰环采用预硫化胶带，该预硫化胶带的制造工艺与子午胎胎圈带的制造工艺相似。

胶囊钢丝圈的制造与汽车外胎钢丝圈的制造相同，通常采用19号钢丝，根据受力断面的强度计算而选择，经压出成型，然后用细钢丝缠绕，外包涂胶细布一层。钢丝圈的成型在专门的钢丝圈联动成型装置上进行，该联动装置由缠圈机及安装在缠圈机上的涂胶钢丝带整平装置所组成。

1．成型及其装置

橡胶空气弹簧胶囊的成型方法及成型装置与汽车外胎的成型相似，但是，橡胶空气弹簧胶囊的规格尺寸一般比汽车外胎小得多，因此，成型比较困难。

曲囊式橡胶空气弹簧胶囊采用单张帘布在半鼓式成型鼓上成型；而膜式橡胶空气弹簧胶囊，则需预先作好帘布筒，然后在锥形成型鼓上成型。成型鼓的轮廓线根据腰环、钢丝圈及法兰盘的尺寸进行设计。

现以苏联СПБ-2И型胶囊成型机成型胶囊为例，介绍橡胶空气弹簧胶囊的成型过程，见图2-2-26。

首先在成型鼓上成型半成品帘布筒，再用辊压机构的压辊将已成型的帘布筒压实。然后，囊圈卷封机构连同嵌入样模的钢丝圈一起从初始位置移到固定钢丝圈的位置。而后，套筒的锥形尾杆将成型鼓柄杆张开，半成品囊圈部份就定型在锥形体上，同时把钢丝圈也固定

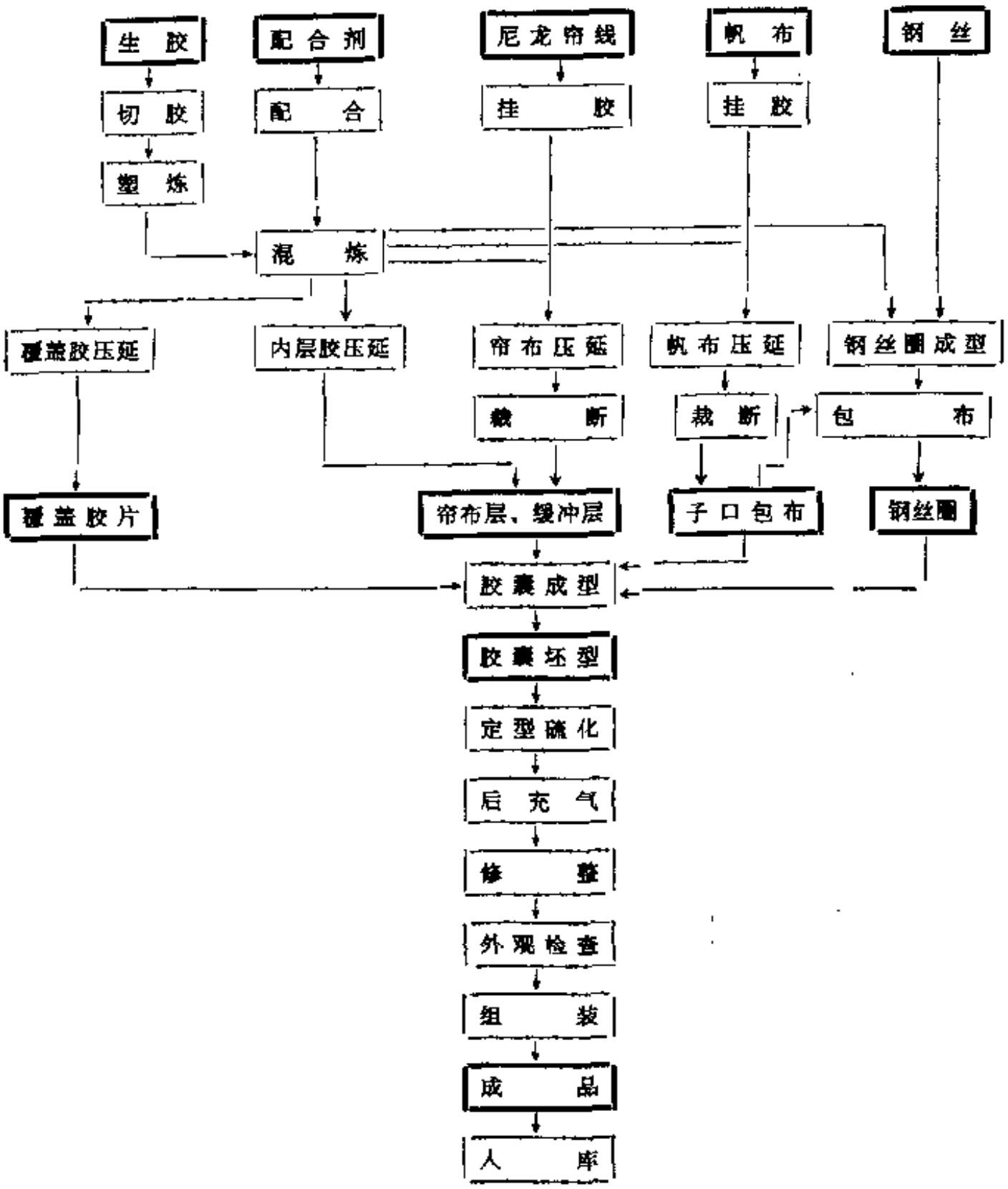


图 2-2-25 橡胶空气弹簧胶囊的制造工艺流程图

注：□ = 原材料、半成品、成品

□ = 操作工序

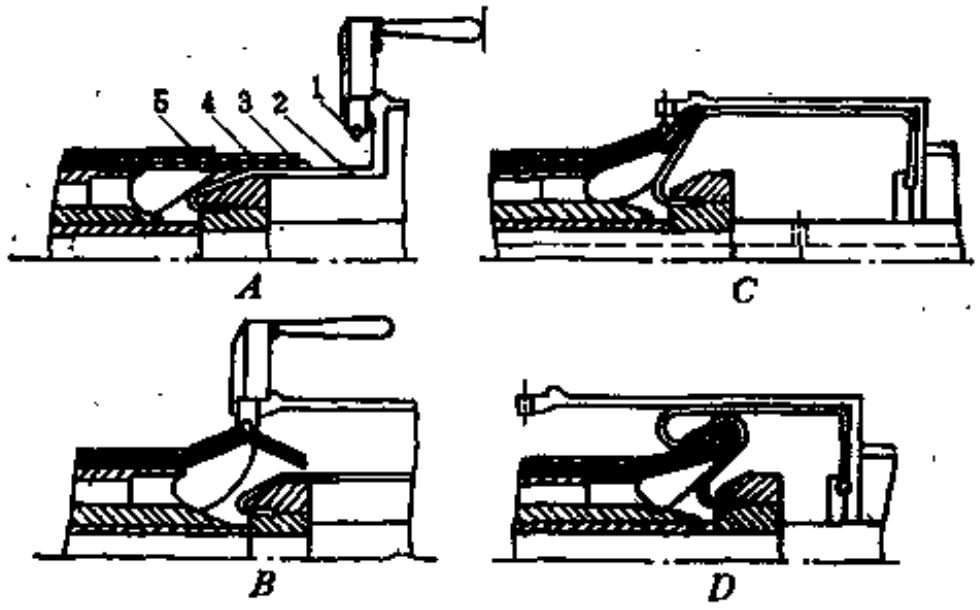


图 2-2-26 橡胶空气弹簧胶囊成型示意图

A—钢丝圈压入样模，并在成型鼓上贴上胶囊各结构层；B—将钢丝圈移至工作位置，并将其固定在成型鼓上；C—开始向钢丝圈包卷；D—钢丝圈包卷结束

1—钢丝圈；2—腔室；3—内胶层（即密封层）；4—帘布层；5—外胶层（即覆盖层）

在它的上面。这时，向卷封机构的橡胶内腔充气，从成型鼓上垂下的胶层和挂胶帘布层边缘就紧贴在卷封机构的壳体上。当卷封机构向成型鼓方向推进时，胶层和帘布层边缘便围绕钢丝圈包卷并沿边缘压紧。

橡胶空气弹簧各部件的制备及成型具有薄壁胶布制品的制备及成型特点，主要表现为成型要求较高。橡胶帘布件应进行仔细压延和贴合，厚度应均匀，尺寸和物理机械性能指标应符合要求。钢丝圈应根据内径尺寸在专门的钢丝圈测长装置上挑选。尤其要注意的是，必须用检查测量仪调整СПБ-2И型成型机。成型帘布筒半成品时的对接和滚压的质量，对后工序——制品的定型和硫化有很大的影响。

在橡胶空气弹簧胶囊的成型过程中，主要需解决两个问题：防止成型鼓展开杆将囊圈部份拉扯在一起；防止囊圈下部产生绉折。为了消除这些现象，应根据校准压圈调整成型机。同时应检查钢丝圈彼此间的平衡性以及钢丝圈相对于成型鼓的垂直度和同心度。

2．胶囊硫化及其装置

橡胶空气弹簧胶囊半成品的定型和硫化，国外一般采用隔膜定型硫化机进行。该装置与轮胎生产用的隔膜定型硫化机相似。

图2-2-27是苏联的橡胶空气弹簧隔膜定型硫化机示意图。该硫化装置主要由可拆卸压模、机架、隔膜传递件、液压系统、控制箱和操作盘组成。压模的每一部分均附有独立的蒸汽室，单独供给蒸汽和冷却水。压模侧部增设封闭锥体，配合封闭器压缩关闭锥嘴。所有部件均安装在机架上，下平板固定在与机架和上模梁相连的两根支柱之间。活动的上平板沿固定在支柱上的导向装置移动。压模侧部活动部分沿固定在平板上的导向杆移动。通过安装在固定平板上的反作用力机构使压模侧部迁离。压模上部和下部用定位销连接，压模侧部则借助位于左右两边的封闭器移动。由水压系统控

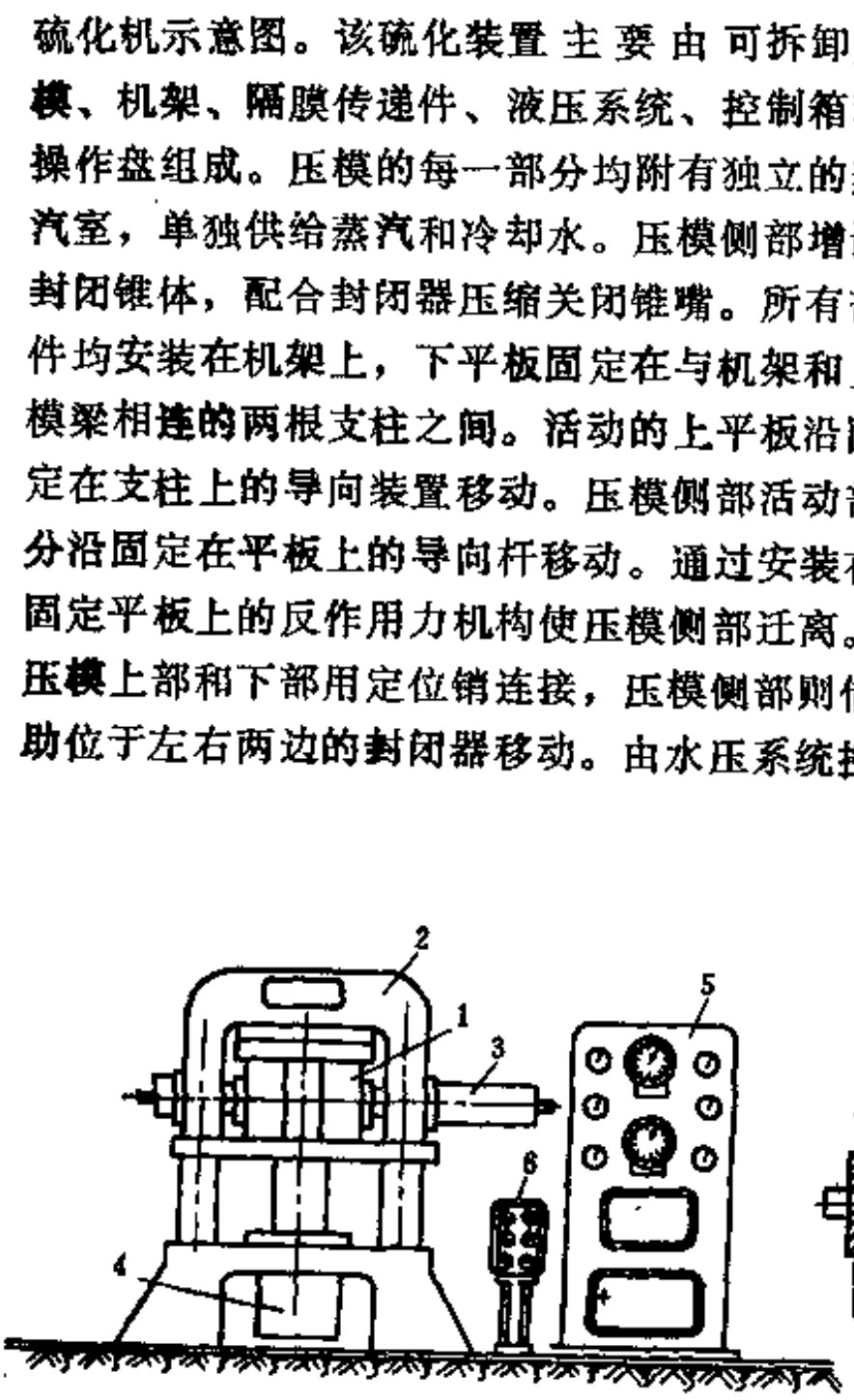


图 2-2-27　橡胶空气弹簧定型硫化机

1—压模；2—机架；3—隔膜传递部分；4—水压系统；5—控制箱；6—操作盘

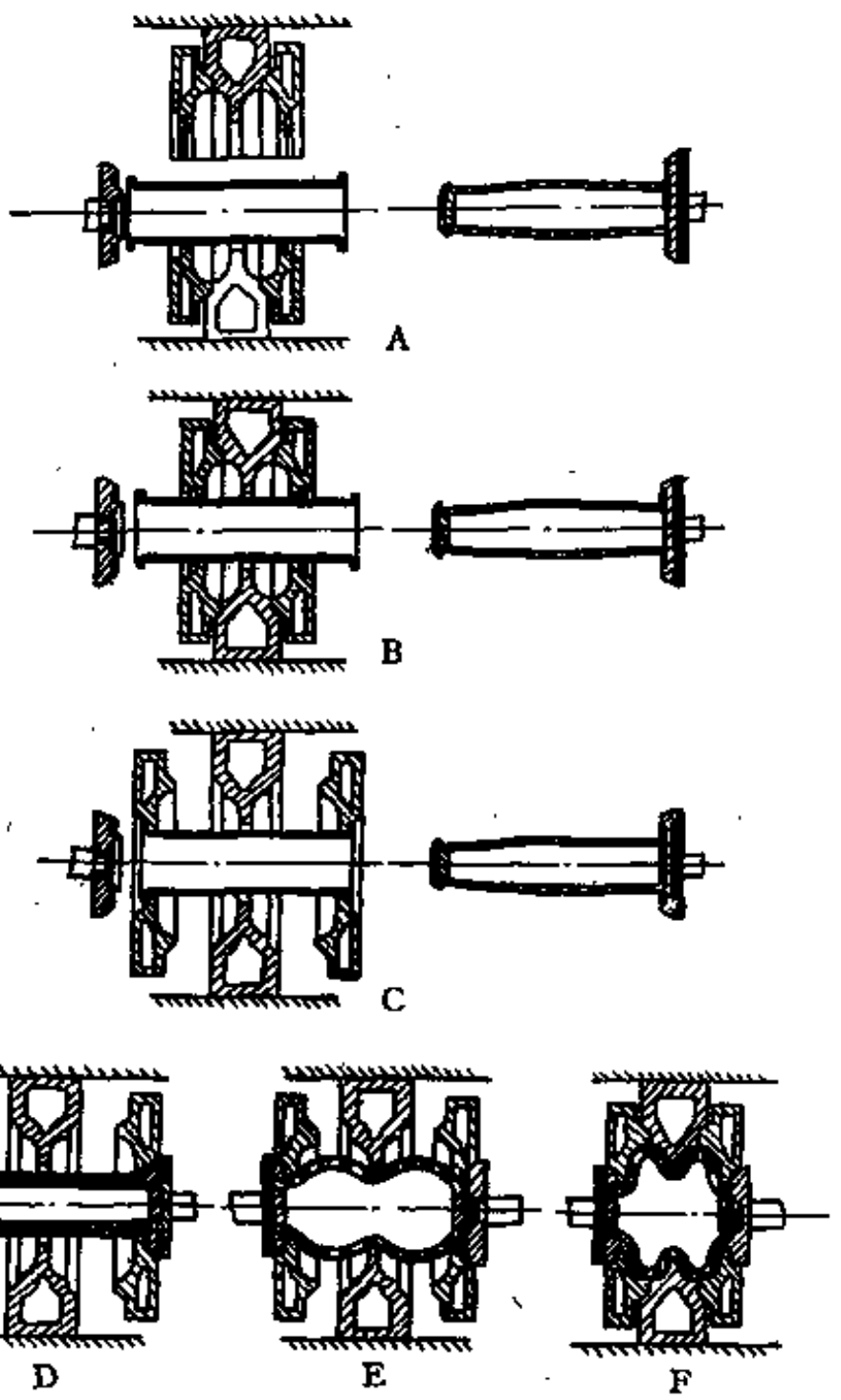


图 2-2-28　胶囊半成品——胶囊胚的定型过程图

A—放入半成品（胶囊胚）；B—合模；C—定位；D—插入隔膜；E—定型；F—硫化

制封闭器和平板的启动，通过仪表盘控制硫化机的工作。加热蒸汽通过套管式装置进入硫化机的活动部分。

橡胶空气弹簧胶囊半成品（胚型）的定型工序按以下步骤进行（图2-2-28）：

① 将胶囊半成品——胶囊胚水平地放入下模中；

② 移动压模侧部对胶囊胚进行定位；

③ 将硫化隔膜插进胶囊胚；

④ 合模定型；

⑤ 开始硫化。

为了正确地放置隔膜，在隔膜和囊胚的内表面上涂有润滑剂。隔膜按三次供给饱和蒸汽的办法加热，蒸汽压力为0.1～0.15MPa。

用该定型硫化机硫化双曲囊式橡胶空气弹簧的胶囊时，乃系通过金属压模和硫化隔膜两面对胶囊进行加热。进入硫化腔的蒸汽压力为0.6MPa，进入硫化隔膜的蒸汽压为1.0MPa。

五、φ500自由膜式橡胶空气弹簧的设计制造举例

自由膜式橡胶空气弹簧是一种使用简单塞柱和较小空气体积面获得低刚度的弹簧，多用于小汽车；尺寸大的可用于重载荷车辆，如地铁列车等。自由膜式橡胶空气弹簧的设计制造举例如下。

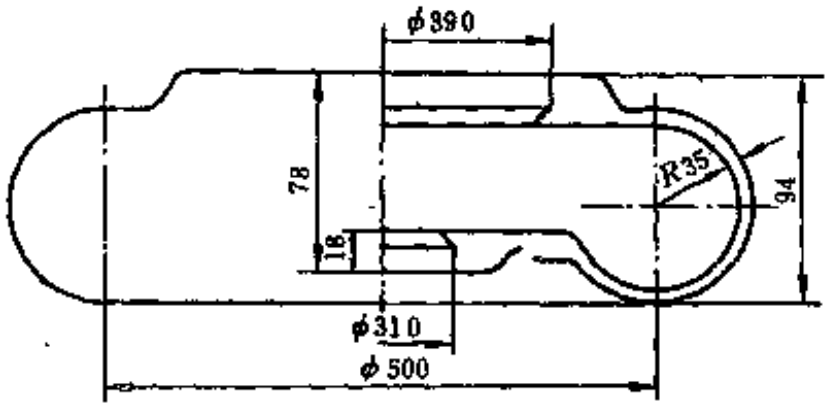


图 2-2-29 自由膜式橡胶空气弹簧的外形尺寸（单位：mm）

1．外形尺寸

橡胶空气弹簧是列车上的一个减震零件，因此，弹簧的外形尺寸是根据列车的要求来决定的，即根据弹簧的标准位置和垂直水平两方向的振动幅度范围、橡胶空气弹簧承受的载荷、上下盖板的几何尺寸等因素来决定的，主要外形尺寸见图2-2-29。

2．承载能力估算

公式：
$$Q=(p-p_a)\frac{\pi D^2}{4}$$

已知：p——橡胶空气弹簧工作内压，为50N/cm²；

D——橡胶空气弹簧有效直径，为50cm。

计算：
$$Q=(50-10)\times\frac{3.1416\times 50^2}{4}\approx 78540\text{N}$$

3．主要材料的选取和胶料配方

（1）帘布　为了满足载荷的要求和获得较好的使用性能，同时考虑原材料来源和便于生产管理，决定选取四层轮胎用人造丝帘布，其中1～2层为内层，3～4层为外层。经实际试验结果，安全系数及使用性能均符合要求。

（2）钢丝圈　采用轮胎生产用的19号钢丝。为了使橡胶空气弹簧牢固地安装在盖板上，并保证在动态下不漏气，一个钢丝圈由48根19号钢丝组成。

（3）胶料配方　为便于生产管理起见，帘布胶及钢丝圈胶料采用人造丝轮胎的相应配方。至于内外胶层，则选取耐老化、耐屈挠、气密性能较好的顺丁橡胶。胶料配方举例如表2-2-4。

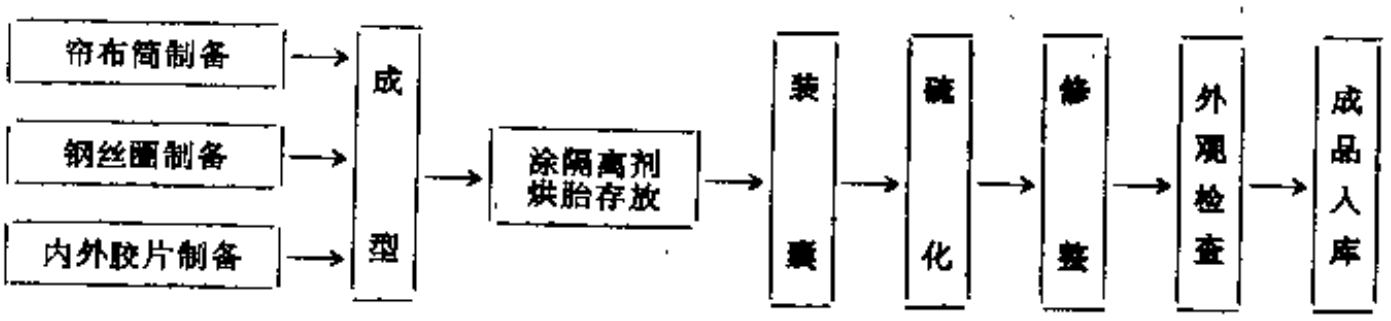
表 2-2-4　自由膜式橡胶空气弹簧胶料配方

单位：重量份

原　材　料	内外层胶	帘布胶	三角胶	钢丝胶	原　材　料	内外层胶	帘布胶	三角胶	钢丝胶
天然橡胶	50	100	100	100	高耐磨炉黑	25	—	—	—
顺丁橡胶	50	—	—	—	灯烟炭黑	25	—	20	—
硫　黄	1.7	2.5	2.5	7	灯烟半补强炉黑	—	30	35	80
氧化锌	3	—	10	5	碳酸钙	—	—	—	40
促进剂NOBS	0.8	—	—	—	硫酸钡	—	—	—	140
促进剂M	—	0.5	0.7	—	硬脂酸	3.0	1.5	1.5	3.5
促进剂DM	—	0.4	—	—	石　蜡	1	—	—	—
促进剂TMTD	—	0.03	—	—	三线油	6	—	—	—
防老剂A	—	1.0	—	—	松焦油	—	1	—	—
防老剂D	1.0	1.5	1.1	—	松　香	—	—	—	3.5
防老剂H	0.35	—	—	—	古马隆	—	—	—	4.0
防老剂MB	—	—	0.3	—					
防老剂W	—	—	0.6	—	合　计	167.85	138.43	172.7	383
防老剂4010	1	—	—	—					

4．制造工艺

由于橡胶空气弹簧的外形及材料配置情况与轮胎相近似，故制造工艺与轮胎相同。制造膜式橡胶空气弹簧的主要工艺流程如下：



各工序之操作情况均与轮胎相同。自由膜式橡胶空气弹簧内外轮廓及水胎轮廓分别举例如图2-2-30和图2-2-31所示。

现将成型和硫化工艺分述如下。

（1）成型　根据弹簧外形和材料配置情况，决定采取半鼓式成型机头进行，又根据弹簧两口径相差很大的特点，机头形状设计举例如图2-2-32。

成型机头宽度BS的计算（中间部分）

$$BS=\left(\frac{\sum b_0}{\delta_1}-\sum b_0^1\right)\cos\alpha\delta$$

式中　$\sum b_0$——成品胎中帘线长度，根据材料配置图测量列表计算得知为348.58mm；

$\sum b_0^1$——机头曲线部位帘线长度，根据材料配置图列表计算得知为140.37mm；

δ_1——假定伸长值，对于人造丝帘布，δ_1取为1.04；

$\alpha\delta$——机头上的帘线角度，根据选定的37°帘布裁断角度计算得39°46′。

计算：

$$BS=\left(\frac{348.58}{1.04}-140.37\right)\times\cos39°46'=194.8\times0.7687=149.7\text{mm}$$

可选取148mm。

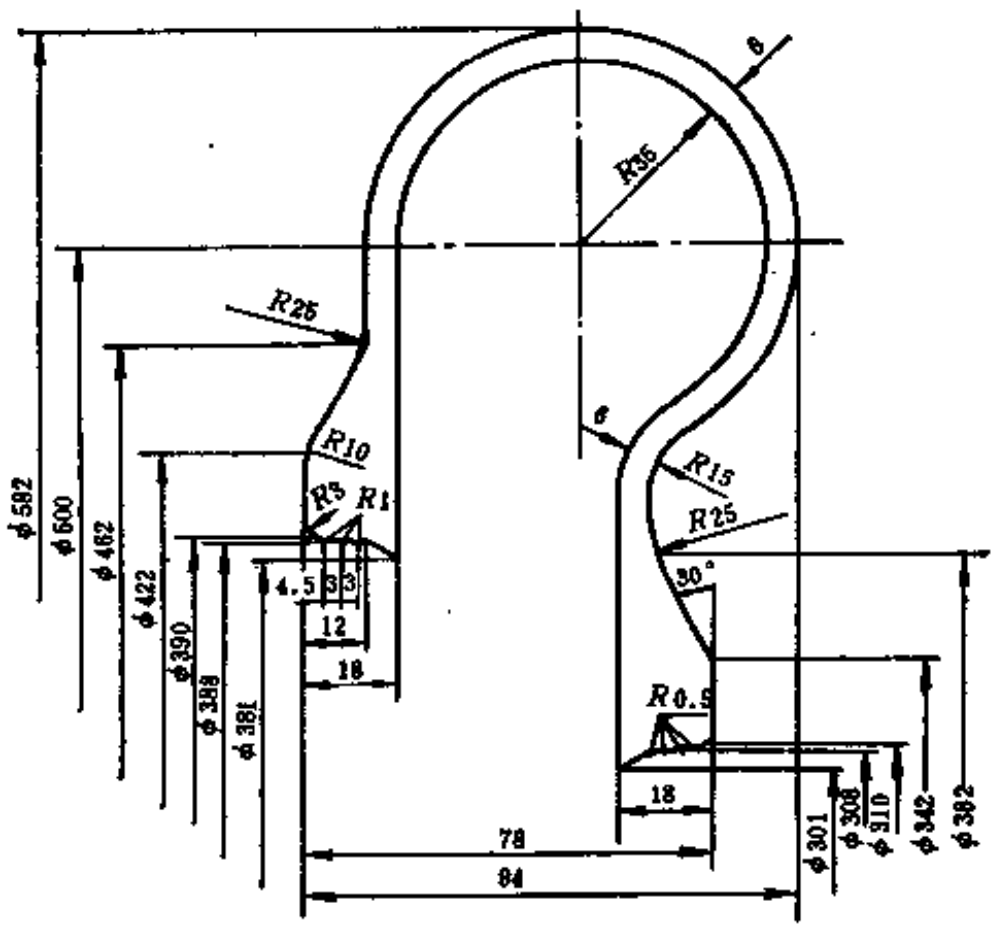


图 2-2-30　自由膜式橡胶空气弹簧内外轮廓（单位：mm）

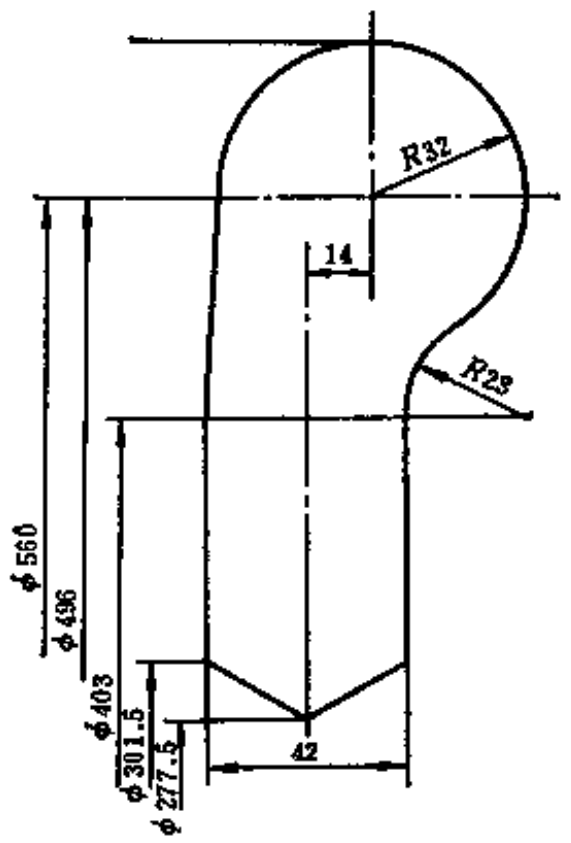


图 2-2-31　自由膜式橡胶空气弹簧水胎轮廓（单位：mm）

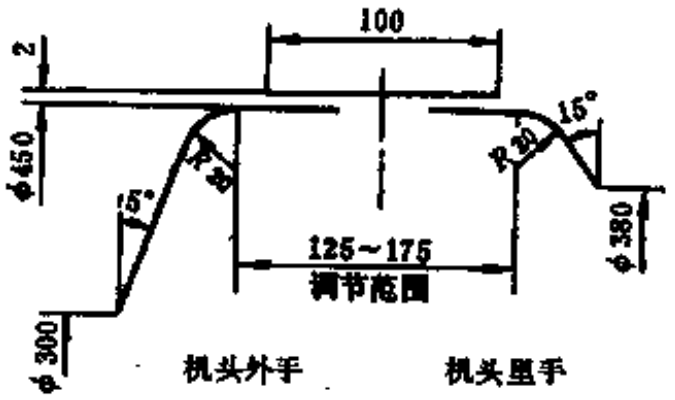


图 2-2-32　成型机头的形状尺寸例（单位：mm）

另外，根据对材料配置图测量计算，决定帘布筒、钢丝圈、内外胶片等半成品制备规格，列于施工表2-2-5及表2-2-6。

（2）硫化　在双模硫化机内硫化，条件如下：

充内压2min；升温10min；正硫化141℃×50min；降温10min；合计72min。

三角胶规格为8×15mm；

钢丝圈规格为6根×8排，直径404×324mm；

机头直径为454mm；

机头宽度为148（中间部分）mm。

表 2-2-5 胶帘布施工表

层　次	帘布号	厚度，mm	角　度	宽度，mm	长度，mm	差级，mm
1	12V-1	1.15	37°	410	1340	10
2	12V-1	1.15	37°	390	1348	10
3	12V-2	1.15	37°	345	1353	7.5
4	12V-2	1.15	37°	330	1360	7.5

表 2-2-6 胶片施工表

胶片号	厚度，mm	宽度，mm	长度，mm	说　明
1	2.0	280	1345	内层胶贴于第一层帘布下，外层胶成型时铺在第四层帘布上；机头外手翻边后加贴的胶片，在2号布筒包围后贴于机头外手，高25 mm
2	2.0	310	1480	
3	2.5	80		
4 菱形	3.5×45		1230	

六、橡胶空气弹簧的性能测试及产品质量检验

设计试制或批量生产的橡胶空气弹簧通常都需经过性能测试和产品质量检验方可入库或交付使用。

1．性能测试

橡胶空气弹簧的性能测试指标有多项，主要归纳如下。

（1）物理机械性能　按标准试验方法测定胶囊内外胶层的拉伸强度、伸长率、永久变形、定伸应力、硬度和老化系数，以及帘布层单根帘线的强度和相对伸长率，帘布层之间及胶层与帘布层之间的剥离力，帘布层的疲劳强度等。

（2）压力试验　把橡胶空气弹簧限制在标准高度，然后压入空气，空气的压力为空气弹簧常用最大内压的2.5倍，3min 后检查胶囊各部分，观察是否出现异常，如漏气、胶囊剥离等。

根据使用要求的不同，橡胶空气弹簧的内压可以达到1.0MPa。内压一旦高达2.0MPa，即使再降至常压，胶囊的帘线也会出现轻度位移现象。因此，对于一般条件下使用的橡胶空气弹簧，可采用1.2～1.3MPa的试验压力，此试验压力对制品质量无不利影响。

铁道车辆及汽车用橡胶空气弹簧的常用最高内压一般为0.5MPa，因此试验内压取1.25MPa（2.5倍）。

（3）气密性（漏气）试验　利用专门的夹具将橡胶空气弹簧限制在标准高度，充气到橡胶空气弹簧的常用最高内压后保压，24 h 后测定其压力下降情况，要求24 h 内压力下降量不得超过0.02MPa。若试验始末测定压力时温度有变化，则须按下式进行修正：

$$\text{压力降} = (\text{试验初始内压绝对值}) - (\text{试验结束内压绝对值}) \times \frac{\text{试验初始绝对温度}}{\text{试验结束绝对温度}}$$

本气密性试验方法与实际使用情况相似，故效果比较理想，但若对大批产品作此试验，则费时过多。因此，可根据使用情况采用费时少的漏气试验方法取代。漏气试验方法是将压力为常用最高内压的氦-空气混合气体压入处于标准高度的胶囊中，胶囊外部用浸渍酚酞液的布覆盖，根据酚酞液颜色变化的程度来检查漏气情况。试验用气体的混合比及观察时间应与使用部门商确。

（4）伸张压缩试验　此试验旨在观察胶囊处反复屈挠状态下的变形均一性及变形

过程。

试验时，使橡胶空气弹簧处于标准高度，压入常用最高内压空气，使胶囊缓慢而反复地进行5次最大伸张和压缩之后，再恢复到标准高度，观察胶囊变形是否均一及压盖是否偏移和漏气等。试验过程中，每次最大伸张和最大压缩间的间隔时间为30 s 。此外，当使用附加空气室时，必须记录空气室的容积。

（5）膨胀试验　使胶囊处于允许的极限伸张高度，压入压力为常用最高内压的空气，停放3min后检查胶囊各种变化状态。

（6）爆破试验（即强度试验）　测定橡胶空气弹簧帘线及腰环、法兰盘、金属固接螺钉等的强度。试验时，将空气弹簧按使用情况装配法兰盘或塞芯，用两块压板将空气弹簧限制在标准高度，向胶囊注入压力水使空气弹簧的内压升高，内压上升速率低于1.0MPa/min，最后测出爆破时的最大压力（表压）。铁道车辆和汽车用橡胶空气弹簧的常用最高内压为0.5MPa，安全系数为5，因此爆破压力应高于2.5MPa。

（7）疲劳试验　疲劳试验机的结构型式很多，一般是在橡胶空气弹簧的两端装置密封板，一端固定在试验台的大梁上，另一端则与摇杆连接。摇杆通过偏心轮使密封板作上下往复运动，于是橡胶空气弹簧产生压缩和伸张。试验开始时，使橡胶空气弹簧处于标准高度，充入空气，使胶囊内压高于空气弹簧常用最高内压，然后使空气弹簧在常用最大伸张位置与常用最大压缩位置间作反复变形，变形频率为1～3Hz，直至空气弹簧破损。试验期间胶囊中的平均内压应不低于常用最高内压。疲劳试验要求产品在破损前的伸缩总次数超过 10^6 次，试验过程中需定时检验橡胶空气弹簧的外形尺寸、变形状态、胶层裂口、脱层等现象。

（8）静力学特性测定　橡胶空气弹簧的变形与其受力之间的关系曲线称为空气弹簧的静力学特性。静力学特性的测定在载荷-变形专用压力机上进行。首先对橡胶空气弹簧进行充气，使空气弹簧的高度等于设计高度（与静载荷相符），此时胶囊内形成一定的压力，同时压力机维持空气弹簧的压力恒定。然后，压力机对空气弹簧逐渐加载（由零增加到最大值）使其高度从静高度升到最大高度。加载期间，间隔地测定充气胶囊在载荷作用下的变形。测定间隔最好为空气弹簧变形20mm。

此外，还应通过空气弹簧的受力及内压的测定求出有效面积-位移和压力-位移特性，即 $\frac{dA}{dx}$ 和 $\frac{dP}{dx}$ 的值。

（9）动力学特性测定　橡胶空气弹簧的变形与变载荷间的关系曲线称为动力学特性。试验频率应等于或大于橡胶空气弹簧的固有振动频率，这样得到的动力学特性才比较合理。

动力学特性由图2-2-33所示的装置测得。双曲囊式橡胶空气弹簧由该装置进行压缩，其振动频率为200次/min，振幅为 ±100mm。同时记录下施加于空气弹簧上的负荷及其变形。载荷是由贴在四个特制螺栓上的金属应变传感器测定的，而应变则通过滑线变阻传感器进行记录。根据波形图确定载荷与应变之间的关系，从而获得动力学特性。

此外，可将橡胶空气弹簧整体置于专门设计的振动试验台上进行试验见图2-2-34，以研究橡胶空气弹簧的动态承载情况。

橡胶空气弹簧除了在室内进行各种试验之外，还需进行实际使用试验，以考核其质量。一般是在实际使用条件下测定系统垂直振动、水平振动的最大振幅和平均频率。

2．产品质量检验

（1）外观检查　每个成品均需作外观检查，确定成品等级，但外观检查只能确定外部

和部分内部的缺点（如脱层等），因此外观检查不能完全鉴定橡胶空气弹簧的质量。

在实际中经常遇到的有如下的缺陷：脱层，表面胶重皮、缺胶，子口密封部位缺胶，帘线移位或稀松，水胎偏位，以及由于水胎变形后所引起的内层胶缺陷等。

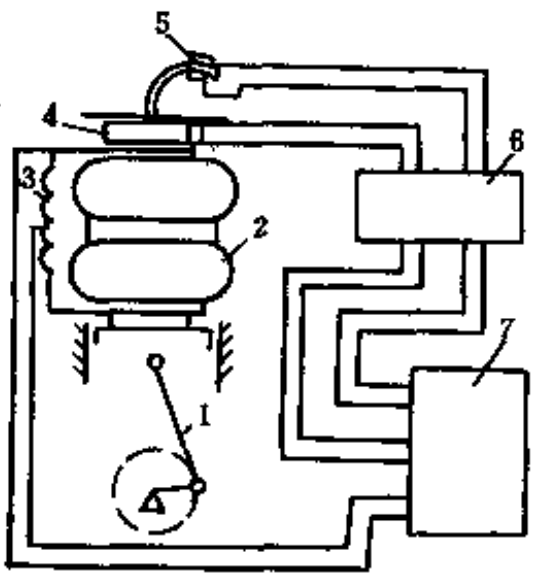


图 2-2-33 橡胶空气弹簧动态特性测定装置线路图

1—曲柄；2—橡胶空气弹簧；3—滑线变阻器；4—作用力变换器；5—压力变换器；6—放大器；7—示波器

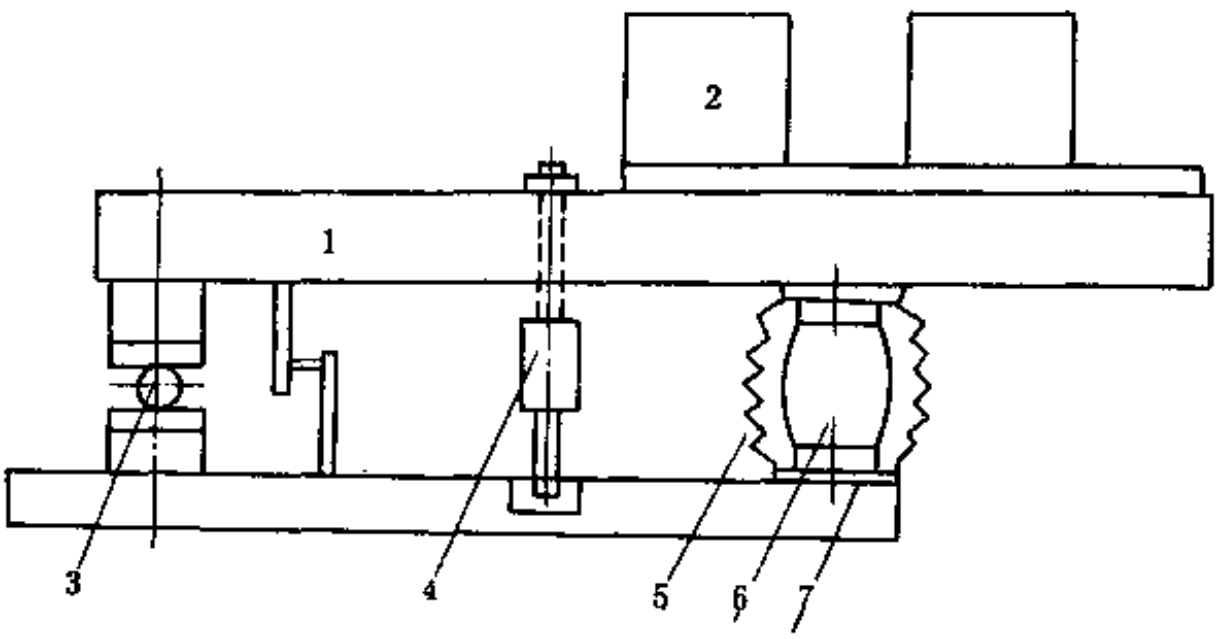


图 2-2-34 橡胶空气弹簧振动试验台

1—振动梁；2—簧上重量；3—轴销；4—气顶；5—挠性件；6—橡胶空气弹簧；7—污染物

（2）结构检验 结构检验是检验帘布层各层帘线的密度、角度和帘线均匀度等，检验的位置应以非安全点部位（即受力最大的部位）为准，并且检查空气弹簧的横切面、纵切面和各部件间的剥离面，以及各层的厚度。从而确定是否符合设计要求，或发现外观检查时未能查出的缺点，包括内部的褶子、帘线打弯、各层粘叠是否正确、个别部件空胶、以及各种轻度的脱层现象等。

（3）外缘尺寸及径向变形的测定 利用卡尺直接测定橡胶空气弹簧在充气和未充气状态下的尺寸，以检验其变形尺寸是否符合设计要求。

第三节 橡胶弹性联轴器

一、概 述

橡胶弹性联轴器是用于机械传动轴系中联接两轴或轴与回转件的一种重要部件。它不但能传递运动和动力，面且具有补偿两轴相对位移和缓冲减震等功能，是动力机械向大功率和高速化方向发展中所不可缺少的橡胶减震制品。

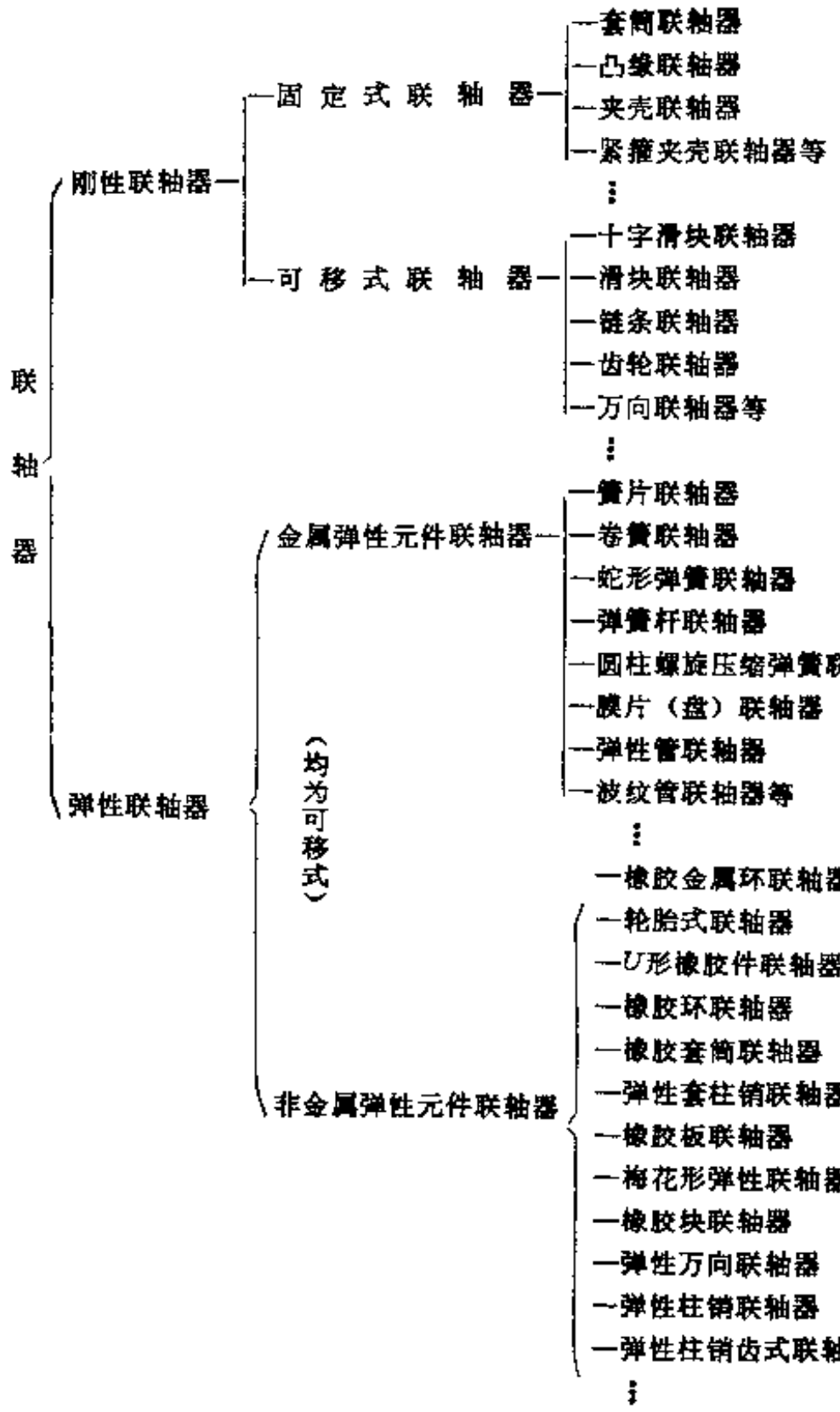
橡胶弹性联轴器与其它橡胶减震制品不同，它主要用于衰减传动轴系的扭转振动，而后者则主要用于衰减机械直线振动。

扭转振动问题的提出已有90多年的历史，最初由船舶推进轴系出现断轴现象而发现。以后在不均匀输出功率的活塞式发动机和不均匀吸收扭矩的工作机械（如往复式压缩机和破碎机等）中也相继发现扭转振动。为了衰减扭转振动，保护动力机械转动装置，提高工作性能及改善工作环境和条件，开发并应用了联轴器。

联轴器的种类很多，主要类型可归纳如表2-3-1所示。

橡胶弹性联轴器兼有弹性和阻尼特性，为金属弹性联轴器所不及；它的弹性远比工程塑

表 2-3-1 联 轴 器 的 类 型



料大。因此，橡胶弹性联轴器应用最为广泛，它的特性如下：

① 弹性模量小，弹性变形量较大，并能通过改变橡胶组分获得不同的弹性模量，以满足所需要的刚度和非线性弹性特性；

② 容易获得复杂的几何形状，可用同一弹性件承受不同方向的载荷（如可获得 3 个方向的弹性），且能使橡胶-金属结合件在受剪切时充分发挥橡胶的高弹性特点；

③ 单位体积贮存的变形能比金属弹性件大10多倍，内摩擦大，阻尼性能好，可消耗30～50%的变形能，具有缓冲和衰减高频振动的良好效果；

④ 与金属件接触面一般没有相对滑动，不需润滑，且有绝缘性；

⑤ 价格低廉。

橡胶弹性联轴器的缺点是：其耐候性、耐热性、耐油性、强度和承载能力均不及金属弹性联轴器。

二、品种和类型

橡胶弹性联轴器品种很多，按其橡胶件受力状况可分为两大类：压缩型（及压 缩-拉 伸

型）和剪切型（及剪切-拉伸型）。压缩型橡胶弹性联轴器出现较早，扭转刚度大（比剪切型大 6～10倍），减震性能较小，但结构简单、更换方便，一般在载荷较平稳的中小功率两轴联接中仍广泛使用。剪切型（及剪切-拉伸型）橡胶弹性联轴器的扭转刚度较小，既能传递大功率，又具有足够的扭转弹性，减震性能优于压缩型橡胶弹性联轴器，是发展较快的一类橡胶弹性联轴器。

（一）压缩型（及压缩-拉伸型）

压缩型橡胶弹性联轴器主要包括橡套柱销联轴器、橡胶板联轴器、梅花形弹性联轴器、橡胶块联轴器和弹性万向联轴器。压缩-拉伸型橡胶弹性联轴器有空气弹簧联轴器，其性能优于压缩型橡胶弹性联轴器。

1．橡胶套柱销联轴器

橡胶套（又称弹性套）柱销联轴器的结构如图2-3-1所示。

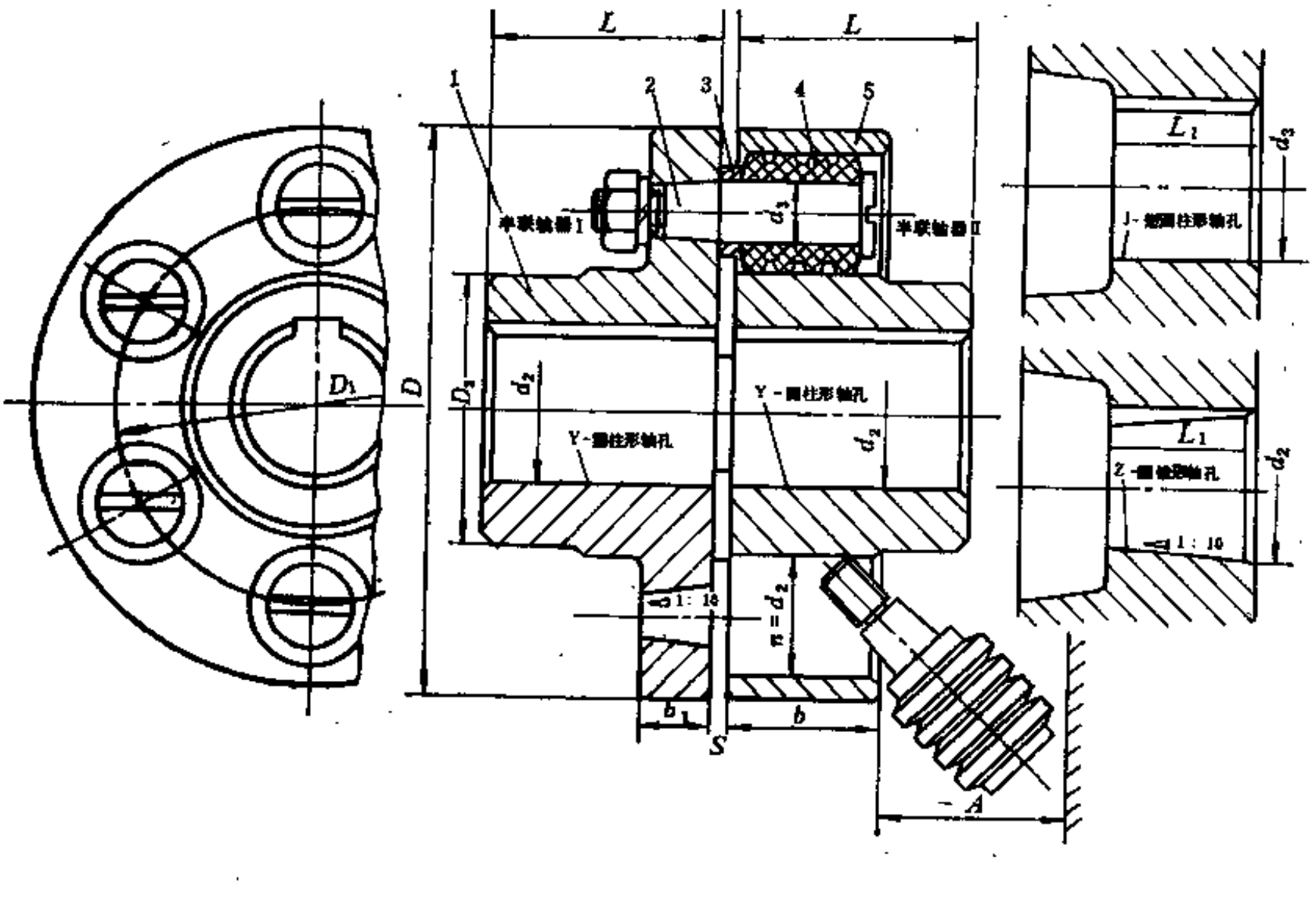


图 2-3-1 弹性套柱销联轴器

1、5—半联轴套；2—柱销；3—挡圈；4—弹性套

由图2-3-1可见，该联轴器利用一端带有橡胶（4）的柱销（2）装在两半联轴器凸缘孔中来实现两半联轴器的联接，其弹性件为外表面带有梯形环槽的整体式橡胶套。联轴器的型号和特性如表2-3-2所示。

联轴器用橡胶件的硬度（邵尔A）为70±5，拉伸强度＞15MPa。

2．橡胶板联轴器

橡胶板联轴器的弹性件通常为圆环形或多边环形橡胶板，沿板的周边有若干柱销孔，孔中穿过尾端带螺纹的柱销，交错与两半联轴器的凸缘联接。其典型结构如图2-3-2所示。

为了改善橡胶板中应力分布的均匀性，提高柱销孔部位的强度，可增加柱销孔部位橡胶

板的厚度，并加入一金属衬套与橡胶硫化粘接在一起，能提高联轴器的承载能力 1 倍以上，其结构如 图 2-3-3所示。

橡胶板也可采用多层迭叠形式，且由橡胶与增强织物制成，其结构如图2-3-4所示。

橡胶板联轴器的类型和特性如表2-3-3所示。

表 2-3-2 弹性套柱销联轴器的

型号	许用扭矩 N·m	许用转速 r/min		轴孔直径，mm d_1、d_2、d_3		轴孔长度,mm		
						Y型	I、I_1、Z型	
		铁	钢	铁	钢	L	L_1	L
TL1	6.3	6600	8800	9	9	20	14	—
				10、11	10、11	25	17	
TL2	16	5500	7600	12	12、14	32	20	42
				12、14	12、14			
TL3	31.5	4700	6300	16	16、18、19	42	30	
				16、18、19	16、18、19	42	30	42
TL4	63	4200	5700	20	20、22	52	38	52
				20、22、24	20、22、24			
TL5	125	3600	4600		25、28	62	44	62
				25、28	25、28			
TL6	250	3300	3800	30、32	30、32、35	62	60	82
				32、35	32、35、38			
				40	40、42			
TL7	500	2800	3600	40、42、45	40、42、45、48	112	84	112
TL8	710	2400	3000	45、48、50、55	45、48、50、55、56			
					60、63	142	107	142
TL9	1000	2100	2850	50、55、56	50、55、56	112	84	112
				60、63	60、63、65、70、71	142	107	142
TL10	2000	1700	2300	63、65、70、71、75	63、65、70、71、75			
				80、85	80、85、90、95	172	132	172
TL11	4000	1350	1800	80、85、90、95	80、85、90、95			
				100、110	100、110	212	167	212
TL12	8000	1100	1450	100、110、120、125	100、110、120、125			
					130	252	202	252
TL13	16000	800	1160	120、125	120、125	212	167	212
				130、140、150	130、140、150	252	202	252
				160	160、170	302	242	302

3．梅花形弹性联轴器

梅花形弹性联轴器又称爪形弹性联轴器。它的两半联轴器的结构尺寸相同，其端面各有若干个凸爪，依次嵌入呈梅花形分布的弹性元件的凸部之间，并通过它们之间的接触实现传动扭矩。

主要尺寸和特性参数

D	D_1	D_2		d_3	d_4	b	b_1	c	A	n	许用径向位移	许用角位移	质量	转动惯量
mm	mm	铁	钢								Δy	$\Delta\alpha$	kg	kg·m²
71	45	22	28	8	17	14	10	3	18	4	0.2	1°30′	1.16	0.0004
80	53	30	28										1.64	0.001
95	63	35	32	10	20	21	15		35	6			1.90	0.092
106	76	42	38										2.30	0.004
130	90	56	48	14	28	34	17	4	46		0.3		8.36	0.011
160	112	71	63							8			10.36	0.026
190	141	80	77										15.6	0.06
224	170	95	85	18	36	44	19	5	65	10	0.4	1°00′	25.4	0.13
250	190	110	100										30.9	0.20
315	240	150	130	24	48	54	22		80	12			65.9	0.64
400	300	190	179	30	60	66	30		100		0.5	0°30′	122.6	2.06
475	375	220	200	38	75	83	38	6	130				218.4	5.00
600	450	280	259	45	90	100	44		180		0.6		425.8	16.00

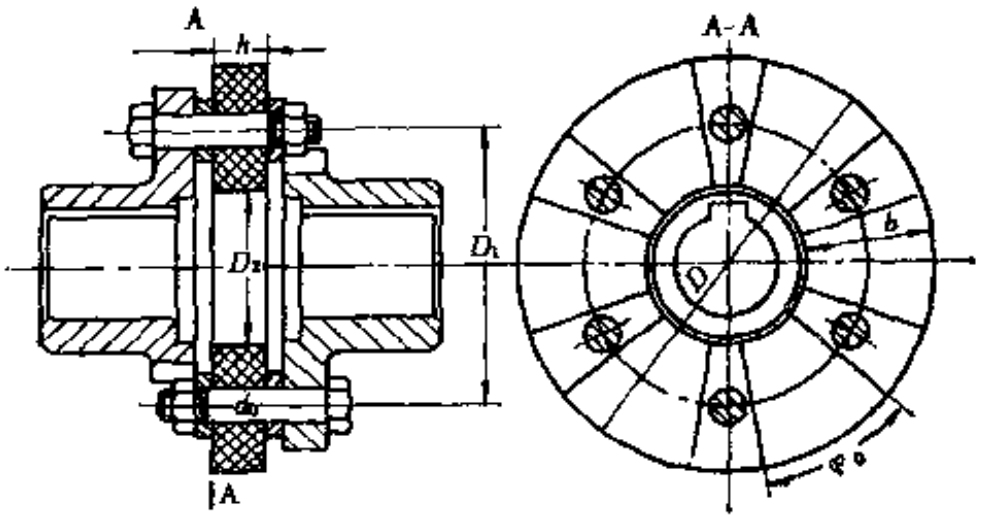


图 2-3-2　橡胶板联轴器

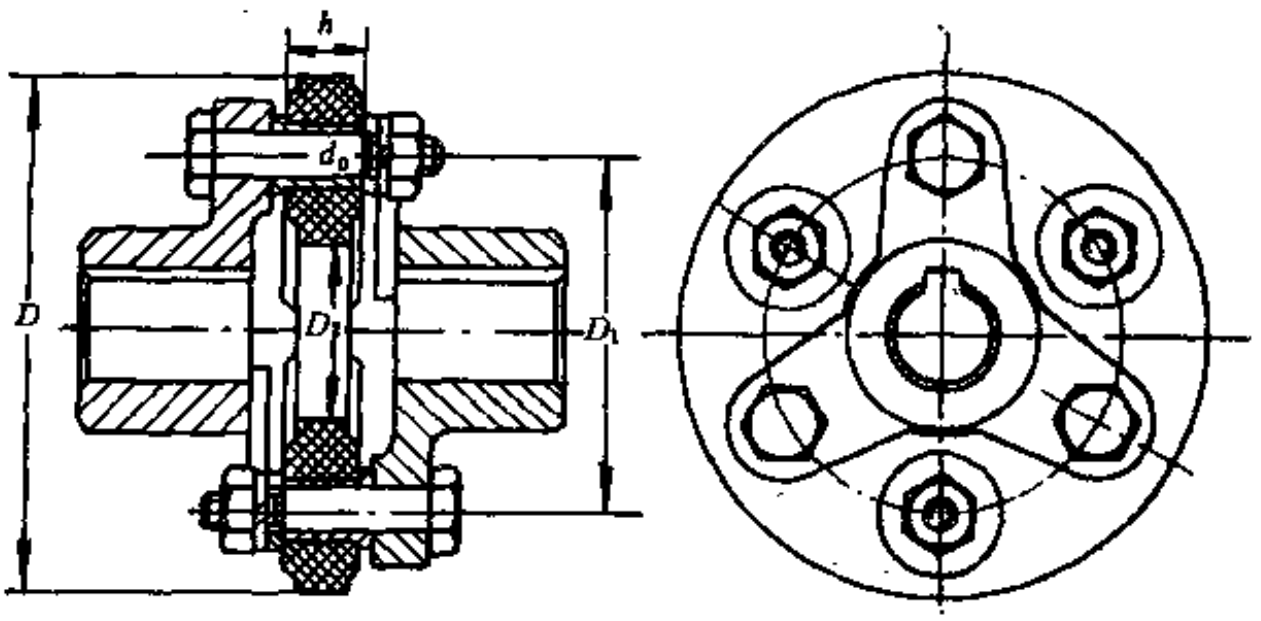


图 2-3-3　采用加强结构的橡胶板联轴器

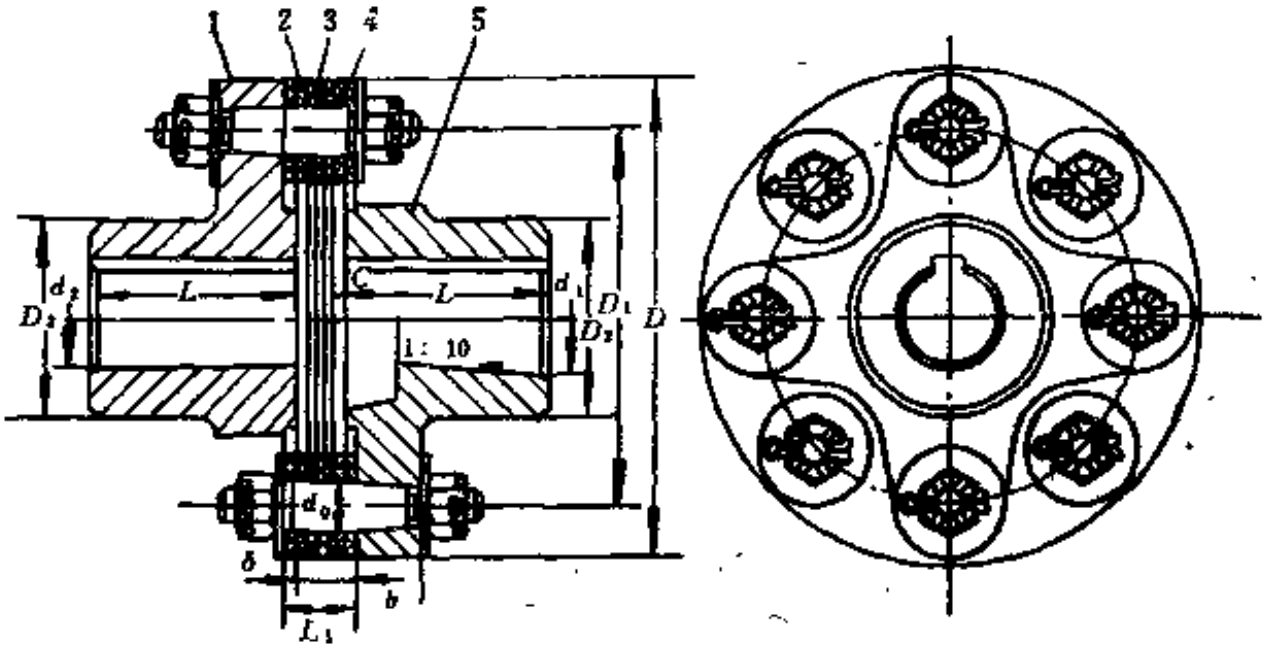


图 2-3-4　Q/ZB122-73橡胶板联轴器

1、5—半联轴器；2—橡胶块；3—垫圈；4—柱销

该联轴器的橡胶件可为圆形凸部，也可为矩形或长弧形凸部等形式，其结构如图2-3-5～图2-3-7所示。

表 2-3-3 橡胶板联轴器的主要尺寸和特性参数（Q/ZB122—73） 单位：mm

轴孔直径 d_1、d_2	L Y形轴孔	L Z形轴孔	D	D_1	D_2	L_1	b	c	橡胶板 δ	橡胶板 数目	柱销 d_0	柱销 数目	转动惯量 kg·m²	许用扭矩 N·m	许用转速 r/min
50、55	70、110	110	300	230	130	50	35	30	9.5	4	30	8	0.325	2000	2500
60、65	110、140	140													
70、75															
70、75	110、140	140	360	280	160	60	45	30	12	4	40	8	1.375	4100	2180
80、85	125、170	170													
90、95	140、170														
90、95	140、170	170	450	350	190	75	55	45	16	4	60	8	3.25	8500	1700
100、110、120	160、210	210													
120	160、210	210	520	400	240	100	65	30	20	4	60	8	7.75	15000	1470
130、140、150	200、250	25													
140、150	200、250		690	540	300	140	75	30	20	6	75	8	20.5	35000	1100
160、170、180	240、300														
190	280、350														
180	240、300		880	680	350	180	80	70	20	8	80	8	55	52000	860
190、200、210	280、350														
220、230															
220、240	280、350		1000	800	480	220	85	40	26	10	90	8	164.5	100000	760
250、260															
280	350、420														
300、320															

注：材料半联轴器ZG35Ⅱ，柱销A3。

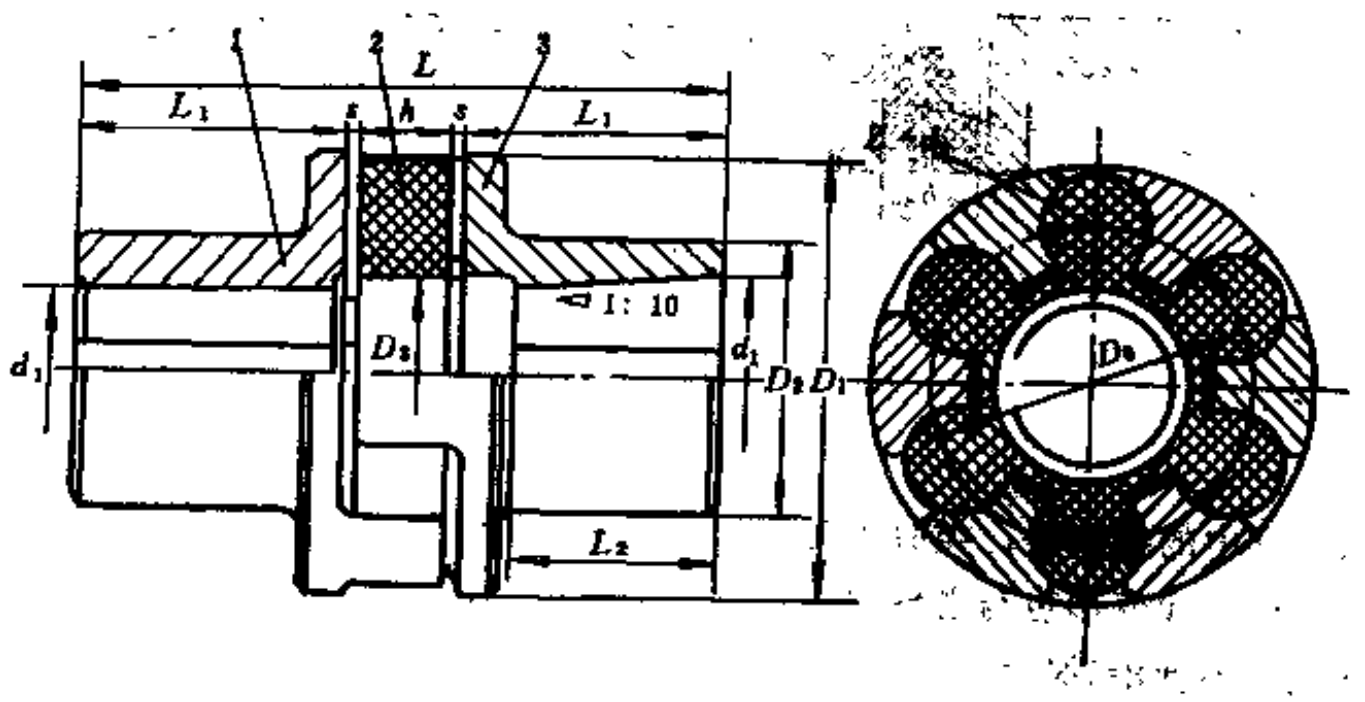


图 2-3-5 梅花形弹性联轴器

1、3—半联轴器；2—梅花形弹性件

梅花形弹性联轴器的型号和特性如表2-3-4所示。

矩形凸爪的梅花形弹性联轴器的规格尺寸和特性如表2-3-5及图2-3-8所示。

4．橡胶块联轴器

橡胶块联轴器利用若干块状橡胶件嵌在两半联轴器的相应槽内以实现两半联轴器的联接，其结构如图2-3-9所示。

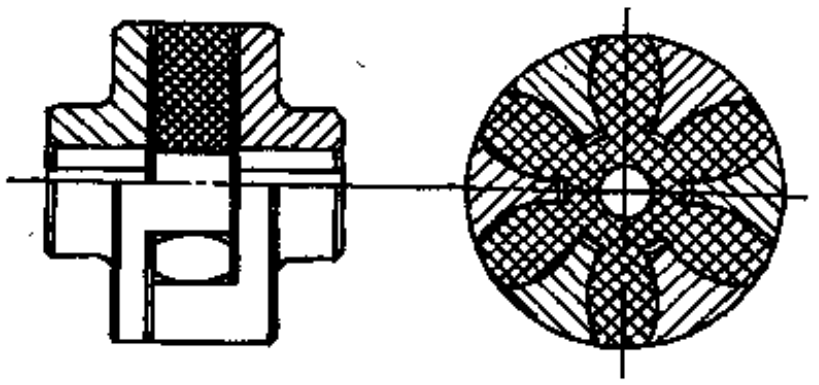


图 2-3-6　长弧形凸部梅花形弹性联轴器

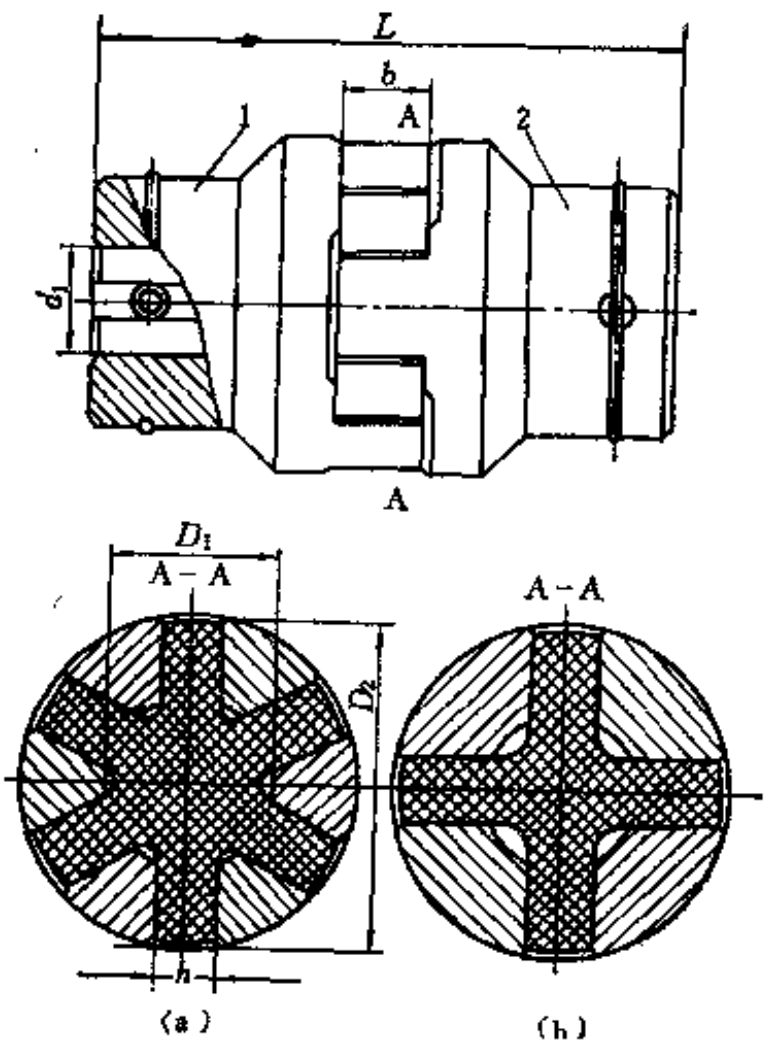


图 2-3-7　小型梅花形弹性联轴器

(a) 尺寸较大；(b) 尺寸较小

1、2—半联轴器

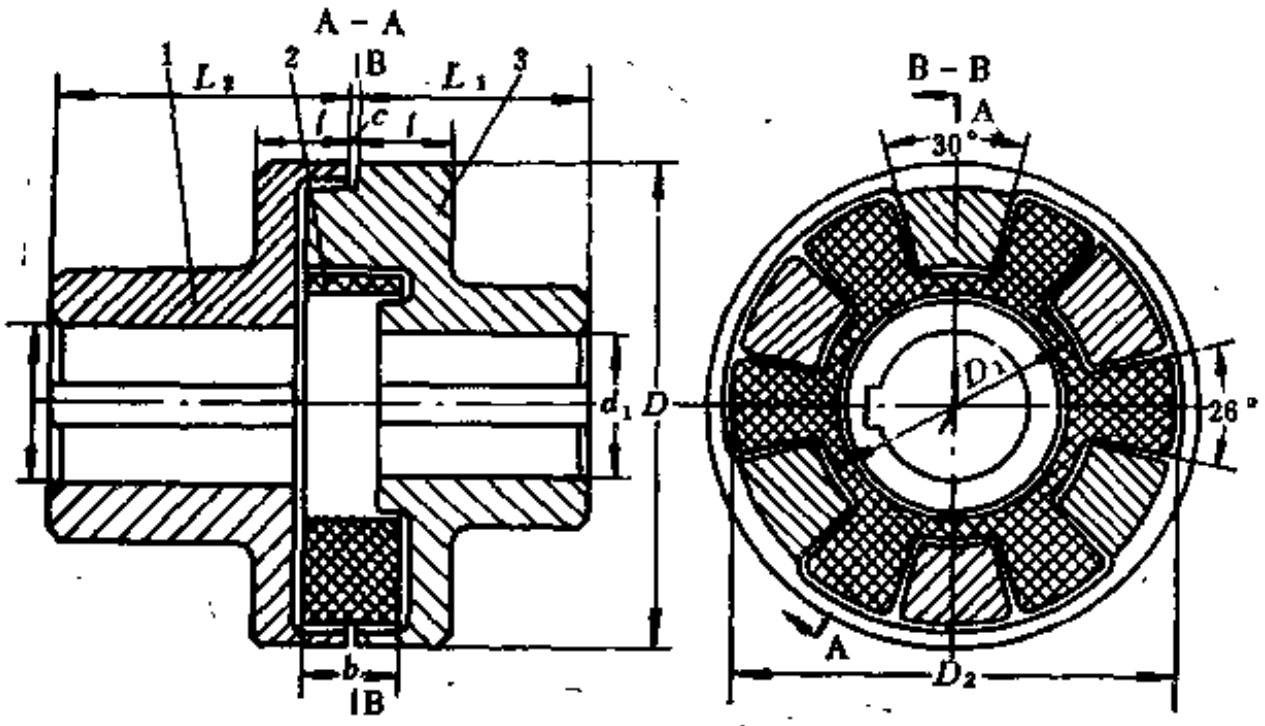


图 2-3-8　梅花型弹性联轴器

1、3—半联轴器；2—梅花形弹性元件

这种联轴器中的橡胶块，类似于梅花形弹性联轴器中梅花形弹性件的每一承载凸部，在工作中产生的应力和变形也与之相似。在制造和应用更换方面则比梅花形弹性件简易。适用于外形尺寸大、不便沿轴向移动的大功率传动。

这种结构的橡胶块联轴器尚未形成系列尺寸。

5．万向弹性联轴器

表 2-3-4 梅花形弹性联轴器的主要尺寸和特性参数①

型号	许用扭矩(N·m) 弹性件硬度(HA) a④ ≥75	b ≥85	c ≥94	许用转速 r/min 铁	钢	轴孔直径 d_1、d_2	轴孔长度 Y型 L	J、Z型 L_1	L	D	D_1	D_2	D_3	D_4	h	c	n-d_3	许用径向位移 Δy	许用轴向位移 Δx	许用角位移 $\Delta\alpha$ (°)	质量② kg	转动惯量 N·m²
ML1	16	25	46	11600	16300	12、14	32	27	80	50	30	40	10		12	2		0.5	1.2		0.66	0.14
						16、18、19	42	30	100													
						20、22、24	52	38	120													
ML2	63	100	200	3200	10900	20、22、24	52	38	127	70	48	50	28		18	2.5			1.5		1.55	0.75
						25、28	62	44	147													
						30、32	82	60	187													
ML3	90	140	280	6700	8000	22、24	52	38	128	85	60	60	34		18	3		0.8	2.0	2.0	2.5	1.78
						25、28	62	44	148													
						30、32、35、38	82	60	188													
ML4	140	250	400	5500	7600	25、28	62	44	161	105	72	65	42		20	3.5			2.5		4.3	4.12
						30、32、35、38	82	60	191													
						40、42	112	84	257													
ML5	250	400	710	4600	6100	30、32、35、38	82	60	197	125	90	75	52		25	4			3.0		6.2	7.3
						40、42、45、49	112	84	257													
ML6	400	630	1120	4000	5300	35*③、38*	82	60	203	145	104	85	64		30	4.5		1.0		1.5	8.6	18.5
						40*、42*、45、48、50、55	112	84	263													
ML7	710	1120	2240	3400	4500	45*、48*、50、55	112	84	265	170	139	100	90		30	5.5			3.5		14.0	38.8
						60、63、65	147	107	325													
ML8	1120	1800	3550	2900	3800	50*、55*	112	84	272	200	156	120	100		35	6.5		1.5	4.0		25.7	92.2
						60、63、65、70、71、75	142	107	332													

续表

型号	许用扭矩(N·m) 弹性计硬度(HA) a④ ≥75	b ≥85	c ≥94	许用转速 r/min 铁	钢	轴孔直径 d_1、d_2	轴孔长度 Y型 L	J、Z型 L_1	L	D	D_1	D_2	D_3	D_4	b	s	n-d_4	许用径向位移 Δy	许用轴向位移 Δx	许用角位移 $\Delta\alpha$ (°)	质量② kg	转动惯量 N·m²
ML9	1800	2800	6600	2500	3300	60*、63*、65*、70、71、75	142	107	334	230	180	150	115		35	7.5		1.5	4.5	1.0	41.0	189.5
						80*、85*、90、95	172	132	394													
ML10	2800	4500	9000	2200	2900	70*、71*、75*	142	107	344	260	205	180	140		45	7.5		4.5			69.0	396.8
						80*、85*、90、95	172	132	404													
						100、110	212	167	484													
ML11	4000	6300	12000	1900	2500	80*、85*、90*、95*	172	132	411	300	245	200	170		50	8.5					87.0	734.3
						100、110、120	212	167	491													
ML12	7100	11200	20000	1600	2100	90*、95*	172	132	417	360	300	225	215		55	9		6.0	5.0	1.8	140	1784.5
						100*、110*、120*、125*	212	167	497													
						130	252	202	577													
ML13	8000	12500	25000	1400	1900	100*、110*、120*、125*	212	167	497	400	335	250	250		55	9					160	2087.5
						130*、140*	252	202	577													

① 半联轴器材料HT20-40、ZG35Ⅱ、ZG45Ⅱ，梅花形弹性体材料聚酯型聚氨酯，销型尼龙或丁腈橡胶。

② 表中质量为联轴器最大质量。

③ 带*号轴孔直径可用于Z型轴孔。

④ 表中a、b、c为弹性件硬度代号。

表 2-3-5 梅花形弹性联轴器的主要尺寸和特性参数 单位：mm

d_1	d_2≤	D	D_1	D_2	L_3	L_1	l	b	c	质量 kg	许用扭矩 N·m	许用转速 r/min
20	32	90	50	79	40	50	15	16	2	1.78	29.1	6300
22										1.67		
25										1.48		
25	42	105	56	94	45	60	17	18	2	2.40	57.2	5400
28										2.24		
30										2.12		
25	48	120	66	108	55	75	23	24	2	4.10	102	4700
30										3.91		
35										3.63		
30	70	165	90	154	65	85	27	28	2	10.20	272	3400
35										8.57		
40										7.92		

注：材料半联轴器HT20-40弹性件橡胶。

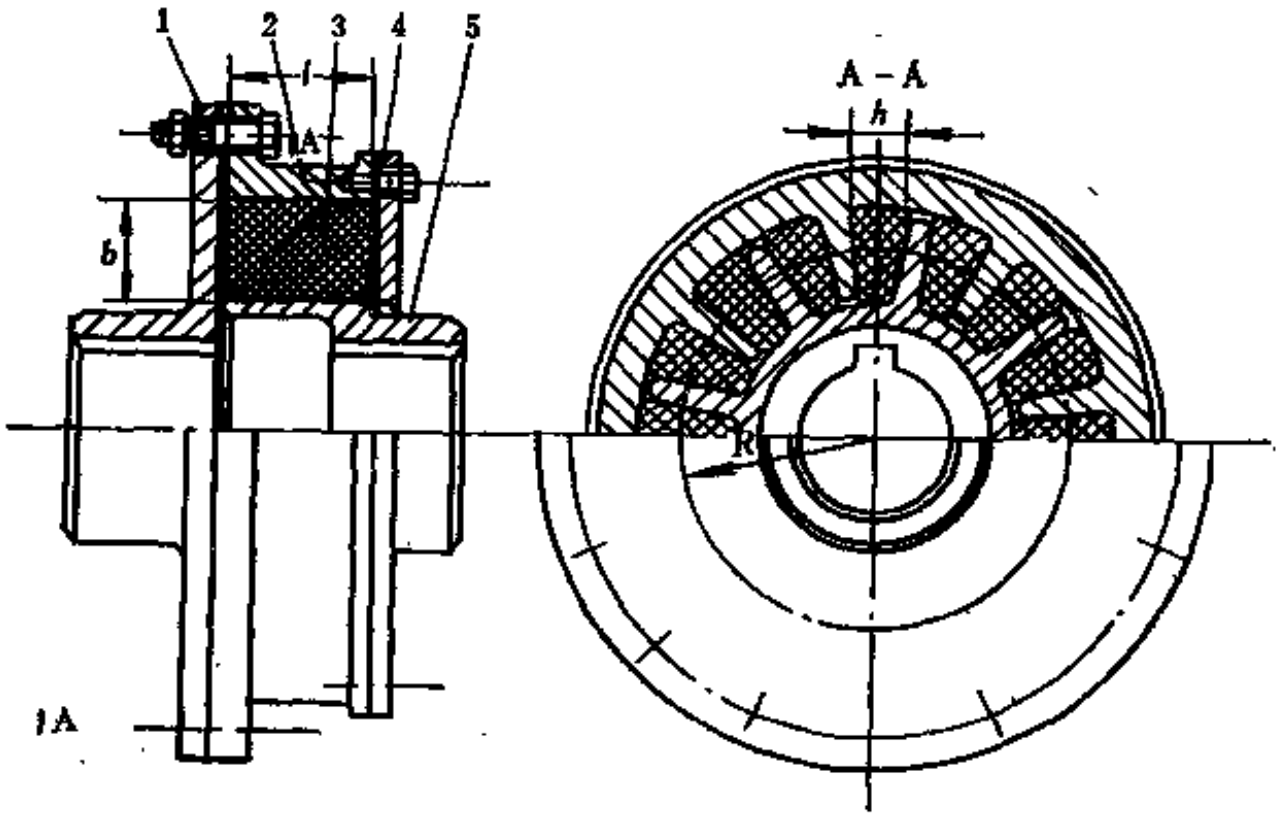


图 2-3-9 橡胶块联轴器

1、5—半联轴器；2—外圈；3—橡胶块；4—端盖

万向弹性联轴器，又称多角形橡胶联轴器，其结构如图2-3-10所示。

由图2-3-10可见，这是一种六角形万向弹性联轴器，此外，还有八角形等形式。其主要部件是截面为圆形的六角形橡胶元件，在每一角处嵌有一套管，与橡胶硫化粘接在一起。利用螺栓穿过套管，交错地与主、从动轴轴端上的两半联轴器凸缘联接，以实现变轴线间夹角的两相交轴之间的传动。

该联轴器允许两轴有较大的轴线间夹角（5～12°）和轴向位移（20～25mm）万向弹性联轴器的主要参考规格尺寸和特性如表2-3-6和表2-3-7所示。

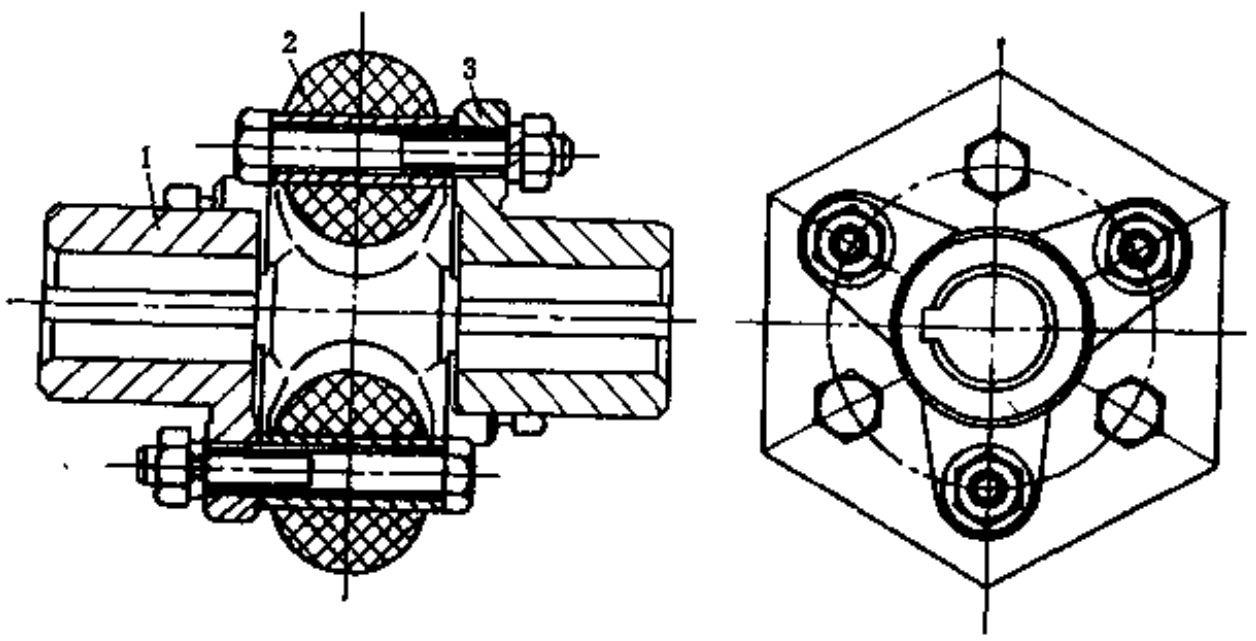


图 2-3-10　六角形橡胶弹性万向联轴器

1、3—半联轴器；2—六角形橡胶件

表 2-3-6　万向弹性联轴器的主要尺寸　　单位，mm

型　号	形　状	联轴器尺寸			法兰尺寸					螺栓尺寸			全长	有效内径	质量，kg		
		外径	厚度	中径	外径	厚度	轴孔直径		间距	螺栓直径	螺　纹	长度			联轴器本体	法兰	组合件
		A	*B*	*C*	*D*	*E*	最大	*d*	*F*	*G*	*H*	*I*	*J*	*K*	W_1	W_2	*W*
CGM-5502	六角形	96	28	65	41	33	25	9.5	4	10	M10×1.25	38.5	106	27	0.24	0.50	1.6
CGM-5503	六角形	117	32	85	54	48	32	13.5	5	12	M12×1.5	39	128	37	0.37	0.90	2.8
CGM-5504	六角形	142	46	100	67	61	40	16.5	7	14	M14×1.5	38	168	40	0.81	1.70	5.2
CGM-5505	六角形	181	51	132	94	76	55	20	9	16	M16×1.5	102	203	60	1.30	3.90	10.5
CGM-5506	六角形	234	62	170	122	85	72	25	12	20	M18×1.5	120	232	80	3.40	7.80	21.5
CGM-5506S_1	六角形	257	68	186	128	102	75	25	12	20	M18×1.5	129	272	85	4.80	10.3	28.1
CGM-5507	八角形	281	78	210	148	111	85	25	13.5	24	M22×1.5	152	300	110	6.20	15.5	40.3
CGM-5508	八角形	373	100	280	190	145	115	25	15	30	M27×1.5	187	390	150	12.2	33.8	91.5
CGM-5508S_1	八角形	419	115	310	221	145	135	35	15	36	M32×1.5	219	405	165	21.6	47.0	135
CGM-5508S_2	八角形	464	130	340	241	165	150	45	15	42	M38×2.0	253	460	175	30.4	35.5	193
CGM-5509	八角形	520	150	380	260	225	160	60	20	55	M50×2.0	300	600	190	48.7	98.1	318

6．空气弹簧联轴器

空气弹簧联轴器是利用一组空气弹簧（空气胶布气囊）作弹性元件组成的部件。它由若干空气弹簧分别沿圆周紧固在固定板上，通过固定板分别与主、从动轴轴端的两半联轴器联接，以实现传动。其结构如图2-3-11所示。

该联轴器性能良好，大型空气弹簧联轴器最大扭矩可达1.8×10^3kN·m，额定扭矩达900kN·m，额定转速为200r/min。空气弹簧直径为450～500mm，充气压力为1MPa。

国外空气弹簧联轴器性能如表2-3-8所示。

（二）剪切型（及剪切-拉伸型）

剪切型及剪切-拉伸型橡胶弹性联轴器主要包括橡胶金属环联轴器、轮胎式联轴器、U形橡胶联轴器、橡胶环联轴器和橡胶套筒联轴器。

表 2-3-7 万向弹性联轴器特性参数

型号	许用扭矩	许用转速	静扭转刚度	允许弯曲角度	允许轴向位移	允许径向位移	转动惯量 ×10, N·cm·s²		
	N·m	r/min	N·m/rad	(°)	mm	mm	联轴器本体	法兰	组合件
CGM-5502	50	10000	5.1×10^{2}	5	4	1	2.47×10^{-4}	1.72×10^{-4}	9.21×10^{-4}
CGM-5503	90	7000	8.7×10^{2}	5	5	1	6.7×10^{-4}	5.63×10^{-4}	2.9×10^{-3}
CGM-5504	170	5500	1.8×10^{3}	4	6	1	2.2×10^{-3}	1.43×10^{-3}	7.49×10^{-3}
CGM-5505	300	4500	3.0×10^{3}	4	7	1.5	5.2×10^{-3}	5.7×10^{-3}	2.27×10^{-2}
CGM-5506	600	3000	6.3×10^{3}	3	8	1.5	2.5×10^{-2}	1.69×10^{-2}	7.7×10^{-2}
CGM 5506S_1	800	3000	8.0×10^{3}	3	8	1.5	4.11×10^{-2}	2.99×10^{-2}	0.125
CGM-5507	1300	2500	2.2×10^{4}	3	8	2	7.69×10^{-2}	6.2×10^{-2}	0.409
CGM-5508	2650	2000	5.7×10^{4}	2	9	2	0.23	0.217	0.699
CGM-5508S_1	3900	1800	7.0×10^{4}	2	9	2	0.506	0.412	1.81
CGM-5508S_2	5600	1650	1.05×10^{5}	2	10	2	0.875	0.713	4.19
CGM-5509	8200	1500	1.50×10^{5}	2	10	2	1.80	1.57	7.61

注：1.许用的瞬时冲击扭矩一般为2.5倍许用扭矩。
2.许用转速为弯曲角度为1°时的许用转速。
3.扭振计算中动态扭转刚度为静态扭转刚度的1.5倍。

表 2-3-8 国外空气弹簧联轴器主要性能参数

型号	额定扭矩	最大扭矩	额定扭矩时转角	最大扭矩时转角	空气压力	橡胶角对数	空气弹簧型号	主要尺寸，mm			
	kN·m	kN·m	(°)	(°)	MPa			ϕA	ϕB	ϕC	ϕD
L407-375	5.4 6.8 8.5	13.5 17 21.4	22.5 22 21.5	31 31 31	0.3 0.4 0.5	2	L207/1-10	600	340	140	375
L607-515	11.8 14.2 17.5	29.5 35.6 44	16.5 16 15.5	23 23 23	0.3 0.4 0.5	3	L207/1-10	770	345	280	515
L612-565	15.5 19 22.5	39 48 56	13.5 13 12.5	21 21 21	0.3 0.4 0.5	3	L212/1-10	800	410	290	565
L812-755	28 34.2 40	70 85.5 100	10.5 10 9.5	15 15 15	0.3 0.4 0.5	4	L212/1-10	1000	420	480	755
L1012-945	43.5 53 62.5	108 134 153	8.5 8 7.5	12.5 12.5 12.5	0.3 0.4 0.5	5	L212/1-10	1215	450	670	945
L2012-1800	168 205 238	415 510 595	4.3 4.2 4	6.5 6.5 6.5	0.3 0.4 0.5	10	L212/1-10	2080	530	1525	1800

1．橡胶金属环联轴器

橡胶金属环联轴器的结构如图2-3-12所示。

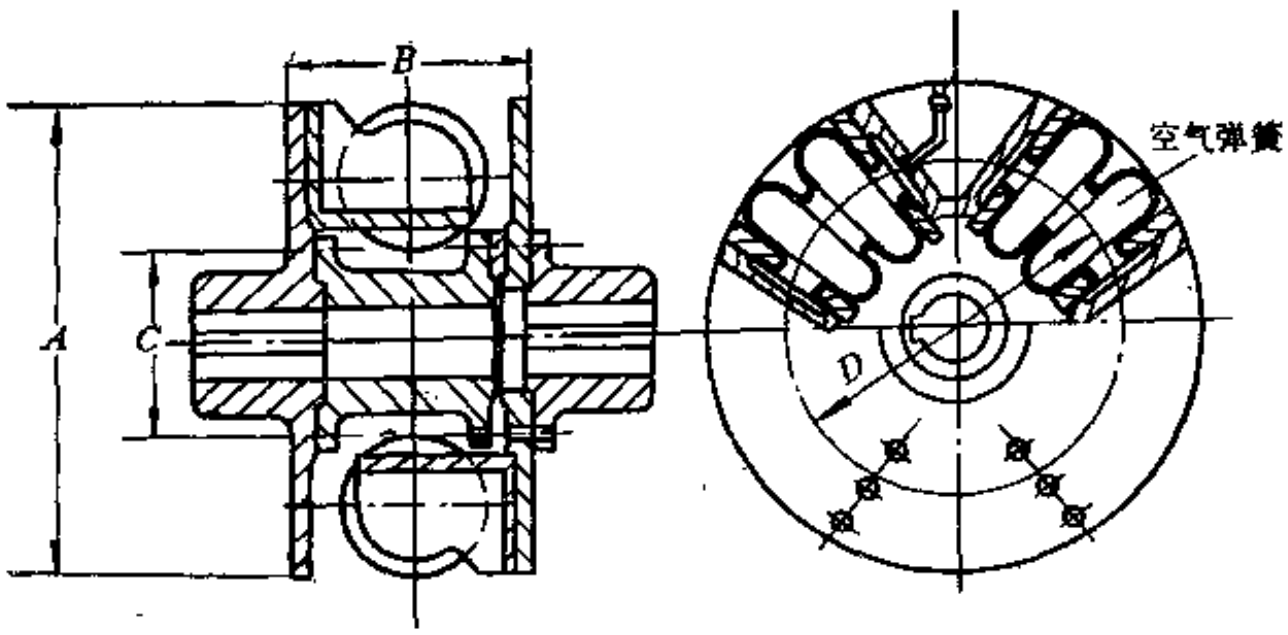


图 2-3-11　空气弹簧联轴器结构

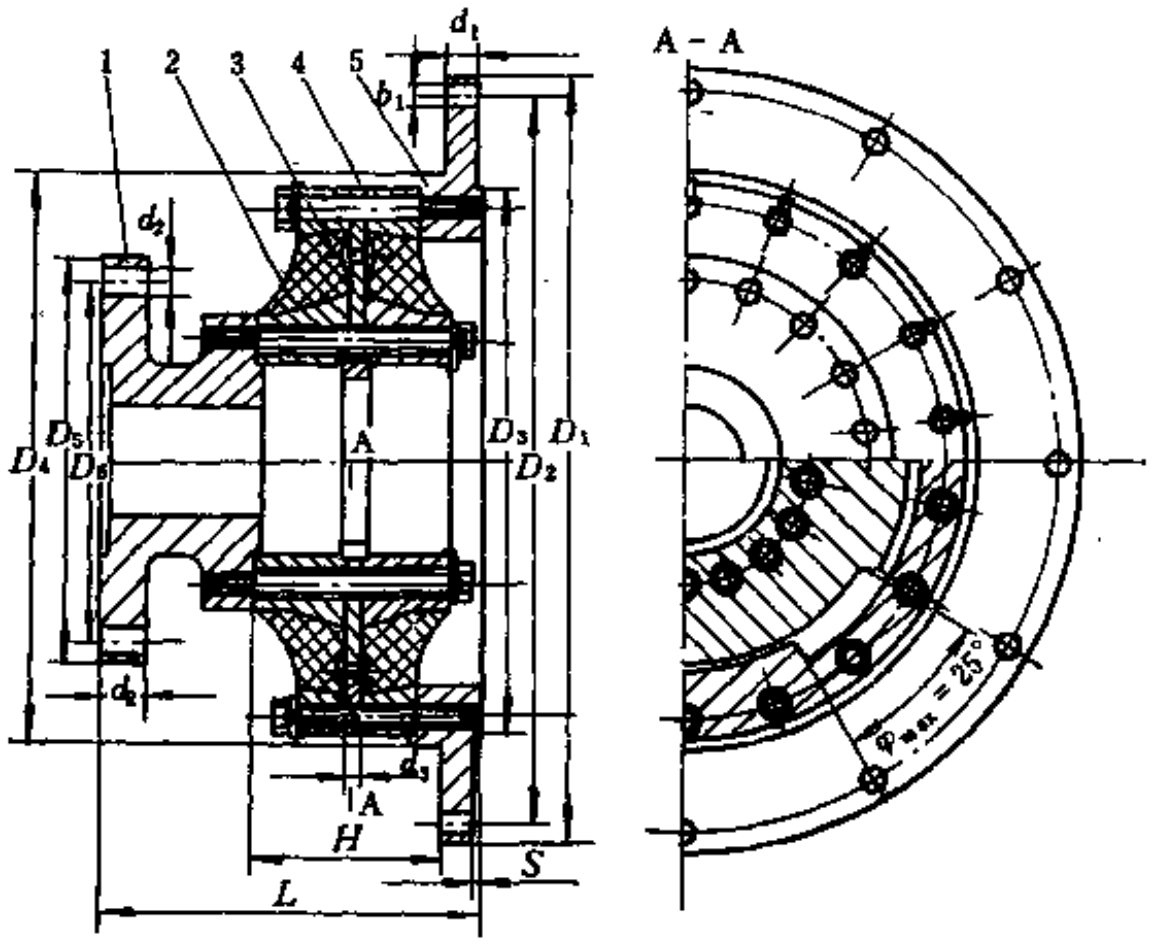


图 2-3-12　橡胶金属环联轴器

1—联接凸缘；2—橡胶组合件；3—内限制盘；4—外限制盘；5—联接盘

该联轴器的橡胶件为带内外金属环的橡胶圈，胶圈与金属环经硫化粘接在一起。内外金属环利用螺栓分别固定在主、从动轴轴端的两半联轴器凸缘上，即实现联接。联轴器工作时，橡胶件受剪切力作用产生扭转弹性变形，比受压拉时弹性好。因此它又称高弹性联轴器。该联轴器的主要特点是：

① 具有很高的弹性，可降低轴系固有振动频率，改变动力装置的扭振特性，避免出现危险性共振；

② 具有较好的阻尼特性，可吸收部分振动能量、减小扭振振幅，降低轴的扭振应力；

③ 补偿两轴相对位移量较大，主要用于船舶动力传动系统。

橡胶金属环联轴器的主要规格和特性如表2-3-9所示。

表 2-3-9　橡胶金属环联轴器的主要尺寸和特性参数

单位：mm

D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	H	L	b_1	b_2	b_3	S	螺栓数目 d_1	螺栓数目 数目	螺栓数目 d_2	螺栓数目 数目	许用扭矩 kN·m	瞬时最大扭矩 kN·m	许用转速 r/min	许用位移 轴向 Δx	许用位移 径向 Δy	许用位移 角向 $\Delta\alpha$	质量 kg
295	275	240	250	150	130	85	140	10	12	10	5	12	12	11	12	0.7	1.75	4000	0.7	1.2	3.2	20
335	315	275	285	170	145	100	160		15					13		1.1	2.75	3800	0.8	1.5		30
390	365	320	330	190	165	110	190	12	20				16			1.8	4.5	3500	0.9	1.7		45
440	415	370	380	210	180	130	215			15						2.8	7	3000	1.0	2.0		70
490	465	410	420	250	210	160	250	15	25			14		17		4.0	10	2890	1.2	2.2		100
530	500	450	460	290	240	170	280		30	20			24		16	6.5	13.75	2500	1.3	2.4		135
600	565	510	520	320	270	180	295					18	16	21	12	7.5	18.75	2200	1.4	2.6		180
680	640	580	595	380	320	205	335	20	35	25			24		16	11	27.5	1950	1.6	3.0		265
760	720	640	655	420	370	225	360					22	16	25	12	15	37.5	1750	1.8	3.2		350
810	770	690	705	450	400	245	385	25		30						18	45	1650	2.0	3.6		415
860	820	750	765	480	430	265	415		40	35	10		24		16	24	60	1500	2.2	4.0		500
950	900	820	835	530	460	285	445					26	16	31	12	30	75	1400	2.4	4.4		700
1000	950	870	885	670	500	315	485	30	45	40			24			40	100	1300	2.6	4.8		845
1120	1060	970	985	600	520	350	550		50	45		32	16	37	16	56	140	1200	2.8	5.2		1185
1200	1140	1030	1050	650	570	405	655	40	60				24			71	177.5	1100	3.0	5.8		1540
1390	1220	1100	1120	700	620	465	785	50	80	50		38	16	49		90	225	1000	3.6	6.2		2145

2．轮胎式联轴器

轮胎式联轴器的弹性件为轮胎状橡胶件，它利用螺栓分别与主、从动两半联轴器联接。该联轴器有多种结构形式，常见者如图2-3-13～图2-3-16所示。

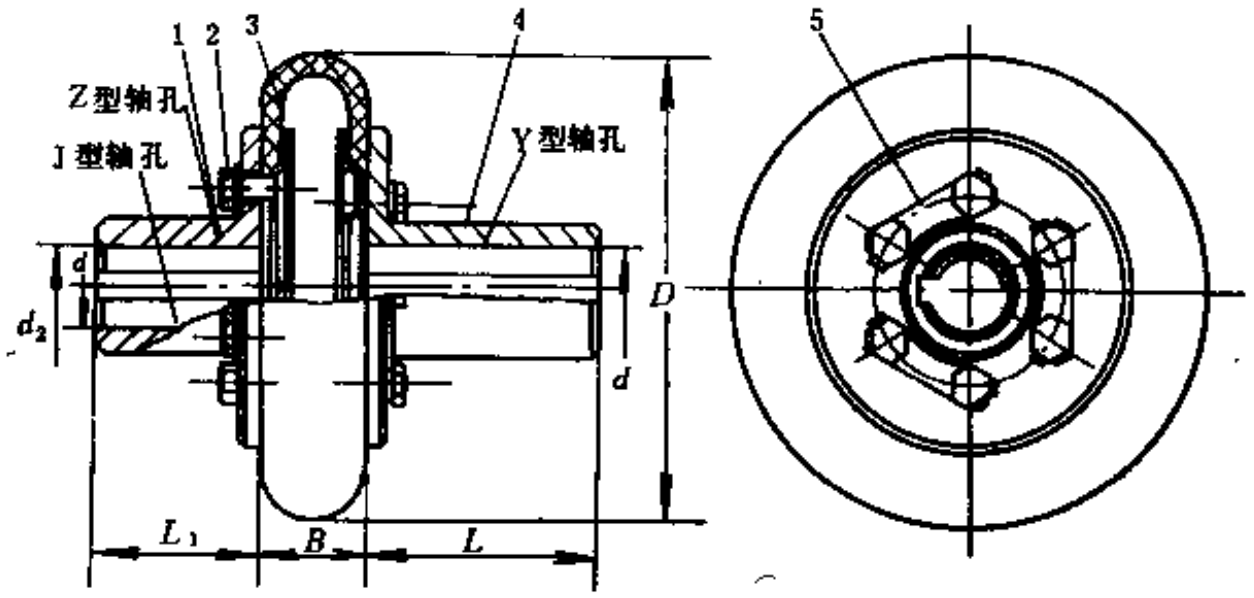


图 2-3-13　带骨架轮胎式联轴器

1、4—半联轴器；2—螺栓；3—轮胎环；5—止退垫板

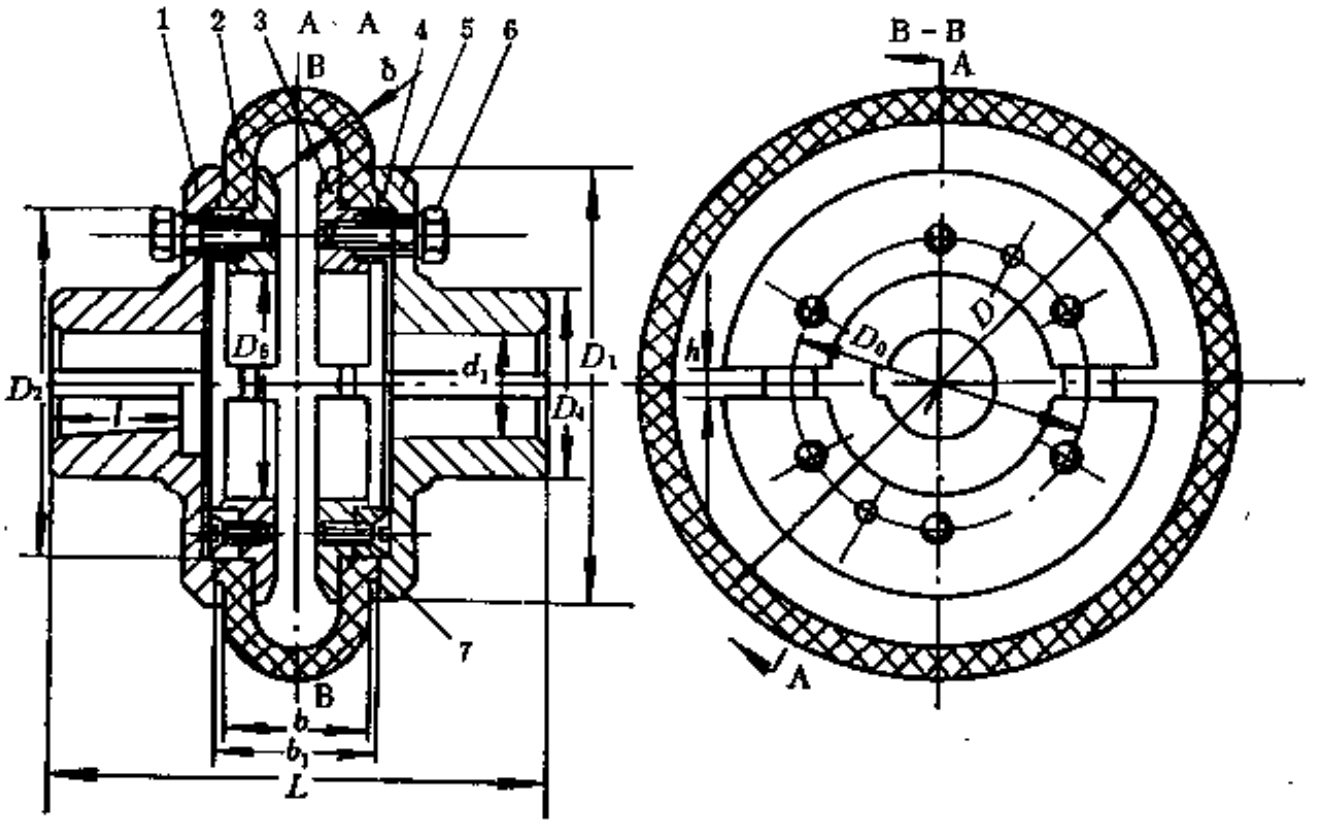


图 2-3-14 整体轮胎式联轴器

1、5—半联轴器；2—轮胎环；3—剖分压板；4—环；6、7—螺钉

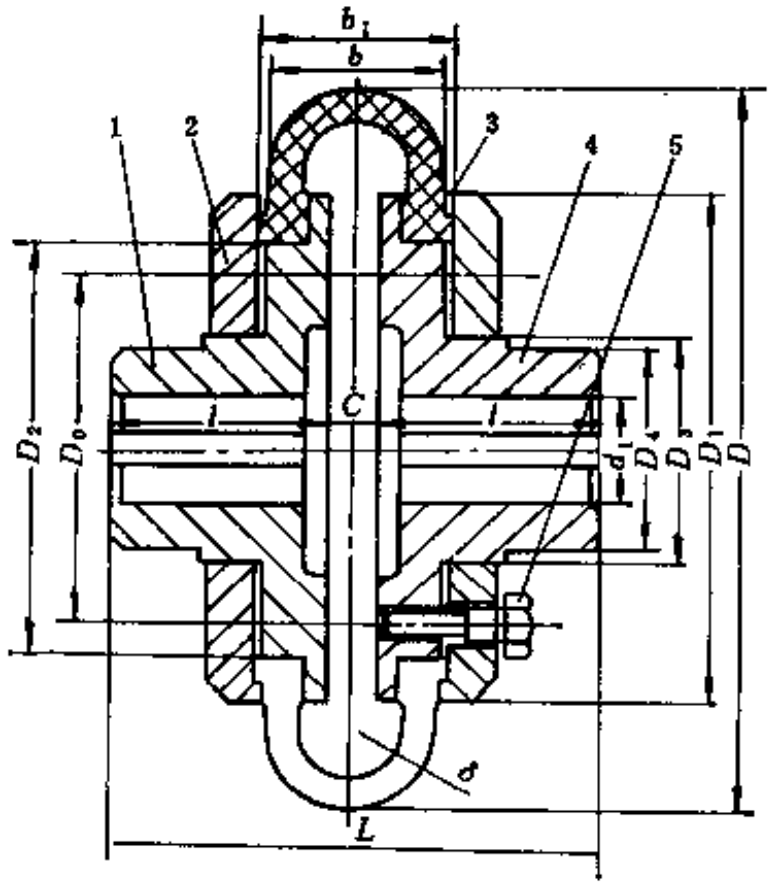


图 2-3-15 开口轮胎式联轴器

1、4—半联轴器；2—压板；3—轮胎环；5—螺栓

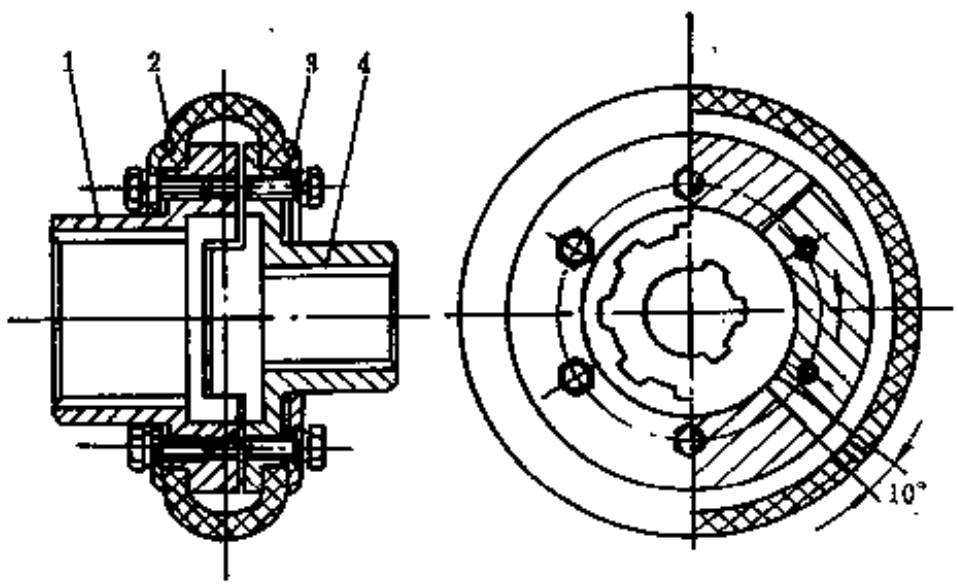


图 2-3-16 嵌合轮胎式联轴器

1、4—半联轴器；2—轮胎环；3—压板

在带骨架轮胎式联轴器（图2-3-13）中，橡胶轮胎环与低碳钢骨架经硫化粘接在一起，骨架上焊有螺母，供装配联接。

整体轮胎式联轴器（图2-3-14）中橡胶轮胎环利用压板固定，装配比较方便。固定部位可以夹紧，减薄厚度，由此产生的夹紧力能传递短时最大扭矩。

开口轮胎式联轴器（图2-3-15）的结构简单，但承载能力较低，不适宜于高速（外缘线速度＜30m/s）传动。

嵌合轮胎式联轴器（图2-3-16）的两半联轴器的凸缘端面上有凹凸相互嵌合部分，嵌合

的牙沿周向具有一定间隙。在正常扭矩作用下，牙嵌侧面没有接触，不起作用。但过载或轮胎环破裂时，两牙嵌直接接触，因而联轴器具有安全保护作用。适宜于不能使两轴断开的传动系统，如起重机械等。

轮胎环有纯橡胶型和橡胶-织物复合型两种。前者弹性高、减震好，补偿两轴相对位移量大，附加载荷小；后者承载能力大，寿命长，但弹性较差。实用上以后者为多。

轮胎环的结构和形状对联轴器的承载能力和其它使用性能影响很大。边缘夹紧处的应力最大。用帘布增强可以提高其承载能力，帘布层一般宜分布在轮胎环中心层的外侧，如图2-3-17所示。

带骨架轮胎式联轴器的主要规格尺寸和特性如表2-3-10所示。开口轮胎式联轴器的主要规格尺寸和特性如表2-3-11所示。

3．U形橡胶联轴器

U形橡胶联轴器的弹性元件是外形稍有弯曲的橡胶件（见图2-3-18）。装配时由若干块弯曲橡胶元件弯成U形，用压板分别固定在主、从动两半轴联轴器上，组成U形橡胶联轴器。其结构如图2-3-19所示。U形橡胶联轴器的主要规格和特性如表2-3-12所示。

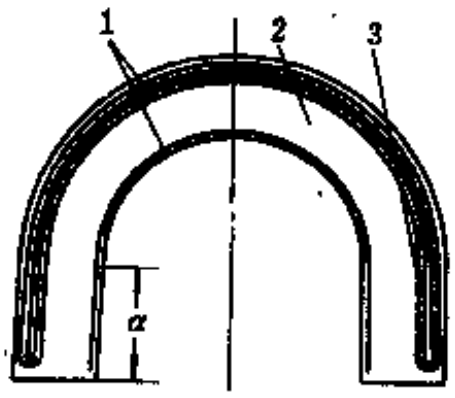


图 2-3-17　轮胎环的结构

1—橡胶帘线复合材料；2—橡胶；3—钢丝箍圈

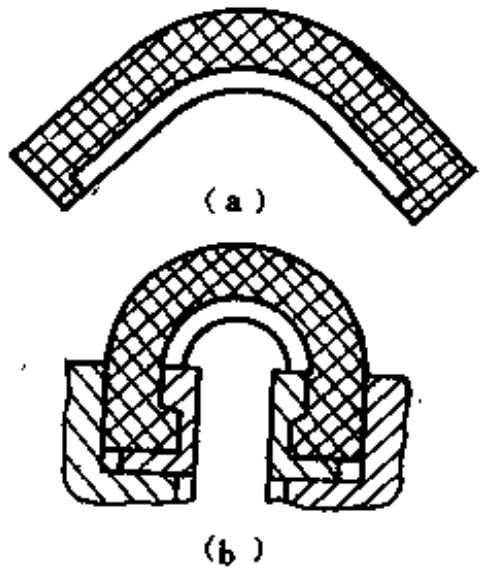


图 2-3-18　U形橡胶元件

(a) 装配前；(b) 装配后

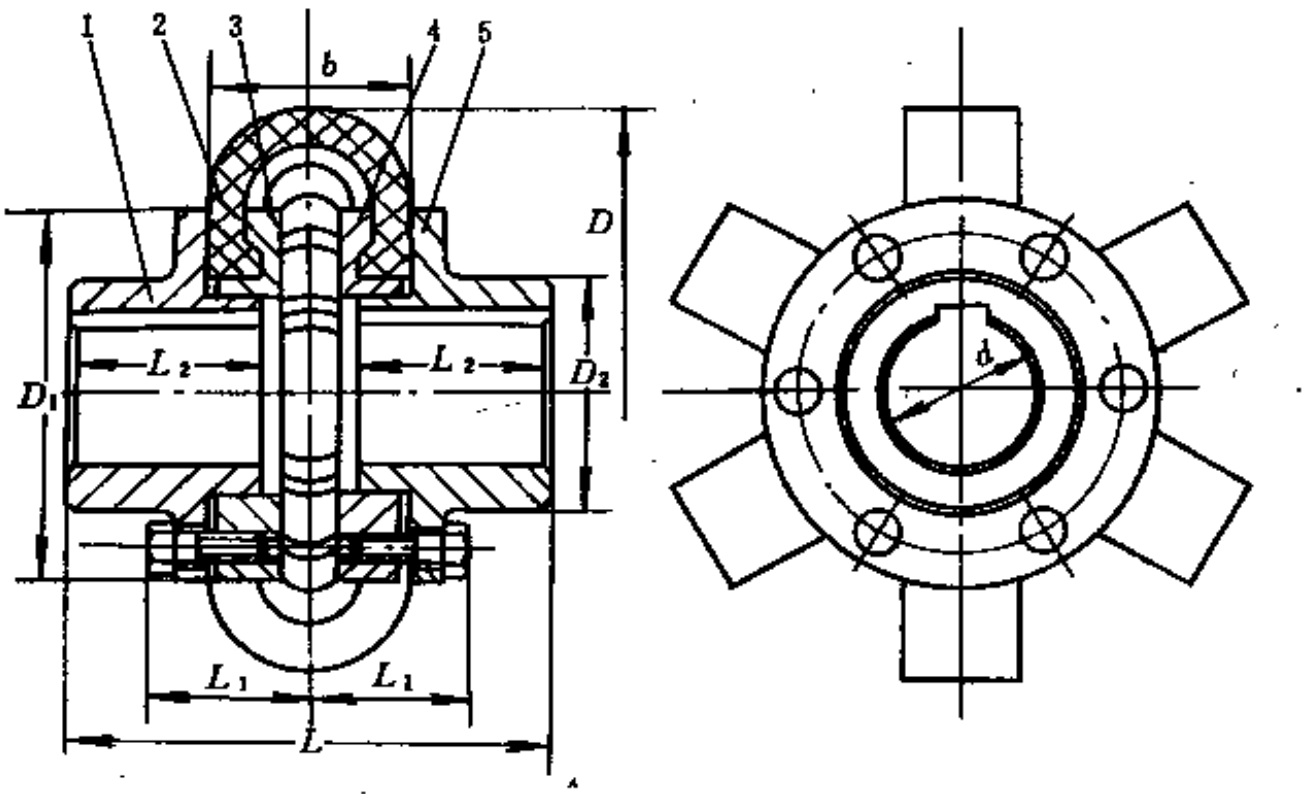


图 2-3-19　U形橡胶联轴器

1、5—半联轴器；2—U形橡胶元件；3、4—压板

表 2-3-10 轮胎式联轴器的主要尺寸和特性参数 单位：mm

型号	许用扭矩 N·m	瞬时最大扭矩 N·m	许用转速 r/min 钢	许用转速 r/min 铁	轴孔直径 d_1、d_2 钢	轴孔直径 d_1、d_2 铁	轴孔长度 J、Z型	轴孔长度 Y型	D	B	质量 kg	转动惯量 kg·m²	许用径向位移 Δy	许用轴向位移 Δx	许用角位移 $\Delta\alpha$
NLG1	10	31.5	5000	3500	11	11	22	26	80	20	0.6	0.0003	1.0	1.0	1°
					12、14	12、14	27	32							
					16 18	16 —	30	42							
NLG2	25	30	5000	3000	14	14	27	32	100	28	1.0	0.0008			
					16、18、19	16、18、19	30	42							
					20 22	20 —	38	52							
NLG3	63	180	4800	3000	18、19	18、19	30	42	120	32	1.7	0.0021	1.6	2.0	
					20、22 24	20、22 —	38	52							
					25	—	44	62							
NLG4	100	315	4500	3000	20、22、24	20、22、24	36	52	140	38	2.6	0.0040			
					25 28	25 —	44	62							
					30	—	60	82							
NLG5	160	600	4000	3000	24	24	38	52	160	45	3.9	0.0080			
					25	25、28	44	62							
					30 32、35	30 — —	60	82							
NLG6	250	710	3600	2600	28	28	44	62	180	50	6.1	0.0153	1.6	2.0	1°
					30、32、35 38	30、32、35 —	60	82							
					40	—	84	112							
NLG7	315	900	3200	2500	32、35、38	32、35、38	60	82	200	56	9.8	0.00275	2.0	2.5	
					40、42 45、48	40、42 — —	84	112							
NLG8	400	1250	3000	2000	38	38	60	82	220	63	11.5	0.0432	2.5	3.0	
					40、42、45 48、50	40、42、45 — —	84	112							
NLG9	630	1800	2800	2000	42、45、48 50、55、58	42、45、48 50、55 —	84	112	250	71	20.4	0.0874			
					60	—	107	142							
NLG10	800	2240	2400	1600	45 48、50、55 56	— 48、50、55 60	84	112	280	80	28.9	0.1523	3.0	3.6	1°30′
					60、63、65 70	60、63、65 —	107	142							
NLG11	1000	2500	2100	1600	50 55、56	— 55、56	84	112	320	90	36.1	0.2699	3.0	3.6	
					60、63、65 70、71、75	60、63、65 — — —	107	142							

续表

型号	许用扭矩 N·m	瞬时最大扭矩 N·m	许用转速 r/min 钢	许用转速 r/min 铁	轴孔直径 d_1、d_z 钢	轴孔直径 d_1、d_z 铁	轴孔长度 J、Z型	轴孔长度 Y型	D	B	质量 kg	转动惯量 kg·m²	许用径向位移 Δy	许用轴向位移 Δx	许用角位移 $\Delta\alpha$
NLG12	1600	4000	2000	1600	55、56	— —	84	112	360	100	52	0.4985	3.6	4.0	
					60、63、65 70、71、75	60、63、65 70、71、75	107	142							
					80、85	80 —	132	172							
NLG13	2500	6300	1800	1600	53、65 70、71、75	— — 70、71、75	107	142	400	110	77.4	0.8653	4.0	4.5	1°30′
					80、85、90 95	80、85、90 95	132	172							
NLG14	4000	10000	1600	1400	75	—	107	142	480	130	123	2.0794		5.0	
					80*、85* 90*、95*	80、85 90、95	132	172							
					100*、110*	100*、110*	167	212							
NLG15	6300	14000	1200	1120	35、90、95*	———	132	172	560	150	201.2	4.4068		5.6	
					100*、110* 120*、125*	100、110* 120*、125*	167	212							
NLG16	10000	20000	1000	1000	100*、110* 120*、125*	— — 120、125			630	180	292	7.9685		6.0	
					130*、140*	130*、140*	202	252							
NLG17	16000	31500	900	850	120、125	— —	167	212	750	210	447.5	17.5248	5.0	6.7	1°30′
					130*、140* 160*	— — —	202	252							
					160*	—	242	302							
NLG18	25000	50000	800	750	140、150	— —	202	252	900	250	748.9	40.3384		8.0	
					160*、170* 180*	— — —	242	302							

注：1.有*轴孔可按GB3852—83的规定制成有沉孔的圆柱型轴孔。

2.表中联轴器质量和转动惯量为钢制各型号最小轴孔直径、Y系列的近似计算值。

表 2-3-11　开口轮胎式联轴器的主要尺寸和特性参数

许用扭矩 N·m	许用转速 r/min	轴孔直径 d_1 (H7)	轴孔长度 l	D	D_1	D_2	D_4	D_0	L	b	d	C	螺栓 $d_2\times l_2$	螺栓 数量 n	转动惯量 kg·m²	质量 kg
10	5000	8、9	20	63	50	40	20	30	44 46 48	20	4	4	M4×20	12	0.00044	0.35
		10、12	22													
20		12、14	27	100	80	60	34	50	62 65 70 73	32	7	8	M6×20		0.005	1.33
		16、18 19	30													
80	4000	20、22 24	38	135	100	84	48	68	92 98 100 106	40		12	M8×25		0.022	3.4
		25、28	44													
160	3150	25、28		180	140	112	64	95	112 127 128 143	51	8	16	M10×30		0.071	7.4
		30、32 35、38	60													

续表

许用扭矩 N·m	许用转速 r/min	轴孔直径 d_1 (H7)	轴孔长度 l	D	D_1	D_2	D_4	D_0	L	b	δ	C	螺栓 $d_2 \times l_2$	螺栓 数量 n	转动惯量 kg·m²	质量 kg
315	2800	30、32 35、38	60	210	165	135	80	110	143 167 168 192	56	10	16	M10×40	16	0.154	13.6
		40、42 45、48 50	84													
630	2500	40、42 45、48 50、55	84	265	200	165	100	140	198	72	12	24	M12×40		0.48	22.6
1250	2000	46、48 50、55		310	245	194	120	165	202 225	84	16	28	M16×50	16	0.89	34.8
		60、65 70、75	107						232 255							
2500	1600	60、65 70、75		400	320	255	160	210	265 290 315	108	20	38	M20×60		3.67	74.3
		80、85 90、95	132													
5000	1250	80、85 90、95		450	350	290	190	240	319 354 389	122	22	42	M20×70	20	0.74	111.5
		100、110 120	167													
10000	1000	100、110 120	167	560	430	350	220	280	399 434 439 474	150	27	52	M24×80		17.55	191.3
		130、140 150	202													
20000	800	130、140 150		700	540	440	280	364	492 532 542 582	190	35	70	M30×100	24	54.1	373
		160、170 180	242													

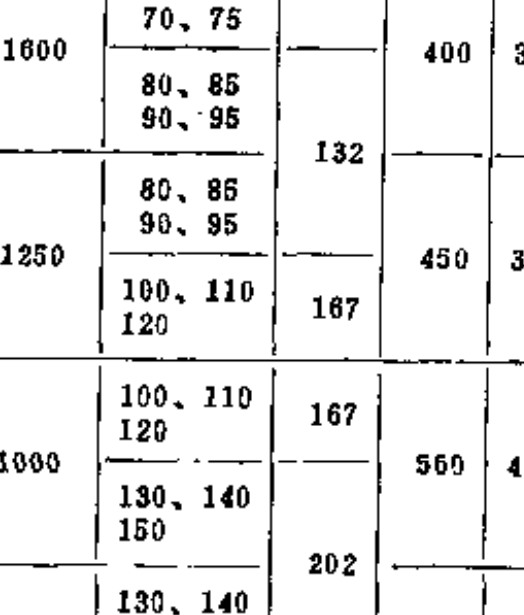


图 2-3-20 橡胶环联轴器

1、4—半联轴器；2—橡胶环；3—金属环；5—螺钉

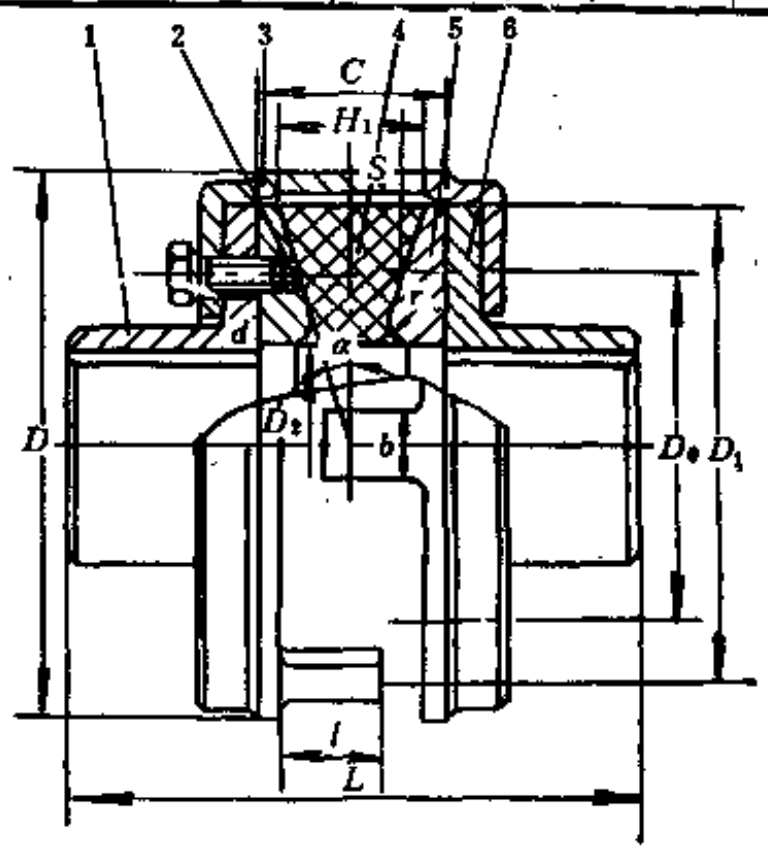


图 2-3-21 带保护环的橡胶环联轴器

1、6—半联轴器；2—盖板；3—保护环；4—橡胶环；5—金属环

表 2-3-12 U形橡胶联轴器的主要尺寸和特性参数

单位：mm

d	许用扭矩 N·m	许用转速 r/min	D	D_1	D_2	L	L_1	L_2	b	螺钉 数量	螺钉 直径	许用两轴相对位移 径向 Δy	许用两轴相对位移 轴向 Δx	许用两轴相对位移 角向 $\Delta\alpha°$	橡胶件数	扭转角 (°)
9～22	30	6200	110	72	40	85	36	32	45	3	M6×20	3	±3	6°	3	32
10～28	45	5500	125	83	50	89		35		4					4	27
15～35	80	5100	135	93	60	118		48		6				4.5°	6	24
18～50	140	4100	165	122	80	138		58		8					8	18
20～55	210	3700	187	148	96	157		65		10				3°	10	15
22～60	300	3200	216	175	95	167		70		12					12	12
14～30	65	4300	160	105	60	121	53.5	46	70	3	M8×25	5	±5	6°	3	20
15～35	135	3900	176	120	70	131		51		4					4	18
16～50	230	3300	203	140	80	145		80		5				4.5°	5	17
18～60	300	3100	218	155	100	165		63		6					6	16
20～65	500	2600	264	200	110	185		78		8					8	12
25～75	800	2200	312	250	120	195		80		10				3°	10	10
30～90	1200	1900	360	300	140	235		98		12					12	9
26～70	400	2100	322	195	105	190	80.5	70	110	3	M14×40	9	±8	6°	3	24
30～80	650	2000	335	212	120	210		78		4					4	21
30～80	1200	2000	340	230	120	224		85		5				4.5°	5	19
32～95	1600	1800	385	260	155	240		93		6					6	18
40～110	2650	1500	463	340	165	205		120		8					8	14
45～120	4000	1300	637	415	175	350		140		10				3°	10	11
50～130	6000	1100	620	500	195	360		145		12					12	9
70～140	6500	1200	580	380	225	390	13.5	150	180	5	M24×70	16	±12	4.5°	6	20
88～170	9000	1000	660	440	280	430		170		6					6	15
98～180	10000	900	799	580	300	500		200		8					8	13
98～220	24000	800	900	700	320	500		200		10				3°	10	10

表 2-3-13 橡胶环联轴器的主要尺寸和特性参数

单位：mm

D	D_1	D_0	D_2	r	d	α (°)	L	C	许用扭矩 N·m	半联轴器上螺钉数	两轴许用相对位移 角向	两轴许用相对位移 径向
110	95	65	38	4.0	M 6	17	120	38	63	6	1°12′	1.0
125	110	75	40	4.0	M 8		135	45	100	6		1.1
150	130	90	50	5.0	M 8		155	60	160	8		1.5
170	150	100	60	6.0	M 8		180	60	250	8		1.7
205	180	120	70	7.0	M10		220	72	400	8		1.9
240	210	140	86	8.5	M12		250	85	630	8		2.3
250	220	145	90	9.0	M12		270	90	800	8	1°20′	2.5
275	240	160	95	9.5	M16		290	95	1000	8		2.6
320	280	186	115	11.5	M16		350	115	1600	8		3.2
390	340	225	140	14.0	M20		420	140	2500	8		3.9
435	380	255	160	15.0	M20		450	152	4000	12		4.2
515	450	300	180	18.0	M24		540	180	6300	12		5.0
595	520	345	210	21.0	M24		630	210	10000	12		5.8

4．橡胶环联轴器

橡胶环联轴器的弹性元件是断面呈梯形的橡胶圈，两端有金属环经硫化粘接在一起，胶圈的边角呈圆形，圆角半径一般为橡胶圈内径宽度的1/3。装配时，用螺钉将橡胶环分别固定在主、从动两半联轴器上，工作时橡胶件产生轴向扭转变形。橡胶环联轴器结构如图2-3-20所示。为了装拆方便，可加一保护环，其结构如图2-3-21所示。

橡胶环联轴器的主要规格和特性如表2-3-13所示。

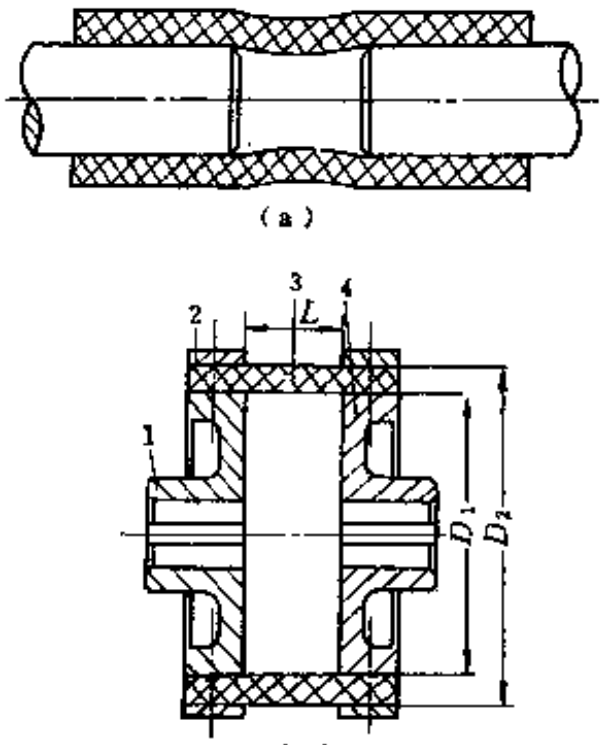


图 2-3-22 橡胶套筒联轴器

(a) 大尺寸 (b) 小尺寸

1、4—半联轴器；2—压板；3—橡胶套筒

5．橡胶套筒联轴器

橡胶套筒联轴器的弹性元件为橡胶筒或胶管。装配时，将胶套分别套在两半联轴器凸缘上，并用压环箍紧而成。对于小型传动系统，可将主、从动轴直接套入胶套或胶管即成。它们的结构如图2-3-22所示。

这类联轴器适用于转速不高、扭矩不大的传动。其主要规格尺寸可参考橡胶环联轴器。

三、橡胶件的设计计算

（一）橡胶件的特性

弹性联轴器由橡胶件和金属件组成，橡胶件（又称橡胶元件）的主要性能包括硬度、弹性模量、许用应力、刚度和阻尼等。

1．硬度

橡胶件的硬度对联轴器减震性能和承载能力的影响较大。硬度大，则承载能力大，弹性低；硬度小，则承载能力小，而弹性大。一般需根据联轴器的使用要求来确定。常用橡胶件的硬度为30～90（邵尔A）。

2．弹性模量

橡胶是粘弹体，其应力与应变之间呈非线性关系。但应变＜15%时，在近似计算中可作线性关系处理。

橡胶受剪切时，剪切应力与剪切应变关系如下：

$$\tau = G_s \cdot \nu \tag{2-3-1}$$

式中 τ——剪切应力，MPa；

G_s——表观剪切弹性模量，MPa；

ν——单位剪切变形量，$\nu = Y/h = \tan\theta$。

其中，Y为剪切变形量（mm），h为受剪切橡胶宽度（mm），θ为剪切变形角。

橡胶受压缩时，其正应力与正应变关系如下：

$$\sigma = E_s \cdot \varepsilon \tag{2-3-2}$$

式中 σ——正应力，MPa；

ε——相对正应变；

E_a——表观弹性模量，MPa。

弹性模量与橡胶件的形状有关。

当橡胶件两受剪切面之间宽度与剪切应力截面的边长之比小于0.5时（对圆柱体或衬套为$h/d<0.5$，d为外径；对矩形块为h/a或$h/b<0.5$，a、b为矩形块两边的长度），弯曲的影响很小，可近似地（误差≤10%）取$G_a=G$。对受拉伸橡胶件，表观弹性模量可近似取$E_a=E=2(1+\nu)G=3G\left(\nu\text{为泊桑比近似取}\frac{1}{2}\right)$。但对受压缩橡胶件，$E_a$值与硬度及弹性件的几何形状有关，其关系式为：

$$E_a=iG\ (\text{MPa}) \tag{2-3-3}$$

式中 i——硬度和几何形状影响系数，

对圆柱形件，$i=3+K_as^2$；

对衬套形件，$i=4+0.56K_as^2$；

对矩形块件，$i=\dfrac{1}{1+\dfrac{b}{a}}\left[4+2\dfrac{b}{a}+0.56\left(1+\dfrac{b}{a}\right)K_as^2\right]$；

此处，$K_a=10.7-0.0098\text{HS}$，

$s=A_L/A_r$，s为形状系数，A_r为弹性件的自由表面积，A_L为弹性件的承载面积。对于圆柱体$s=\dfrac{d}{4h}$，矩形块$s=\dfrac{ab}{2h(a+b)}$。

橡胶弹性模量主要与硬度有关，剪切弹性模量近似值可按下式计算：

$$G=1.19e^{0.034H} \tag{2-3-4}$$

式中 G——剪切弹性模量，N/mm^2；

e——自然对数的底；

H——硬度（邵尔A）；

1.19——系数。

G值也可根据硬度由图2-1-7查得。

3．许用应力

联轴器用橡胶件的许用应力与橡胶组分应力或应变的状态与大小等有关。当应变在10%左右时，一般可按表2-3-14推荐值选用。

对于受变载荷的橡胶件，为了避免过早疲劳破坏，保证有足够的使用寿命，在安装时可使橡胶件产生一定的预压缩变形，以防止工作时出现反向应力。此外，在设计橡胶件结构形状时，应力求避免截面形状的突变，以减轻应力集中对橡胶件疲劳强度的影响。

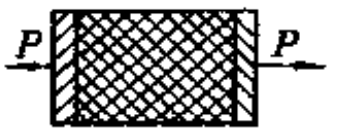
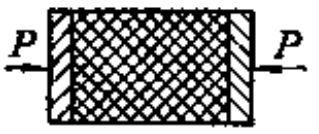
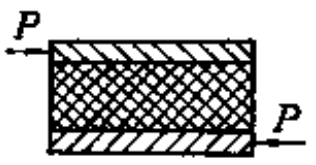
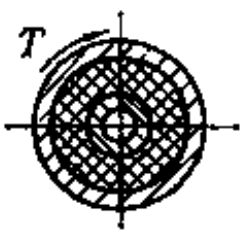
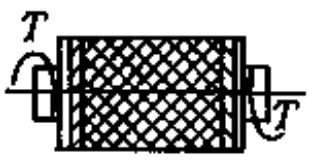
4．橡胶性能与温度的关系

橡胶的性能会随温度的变化面变化。一般超过常温（20℃）时，橡胶强度会急剧下降，当温度下降时强度又会上升。大多数橡胶在150℃以内其橡胶弹性模量和剪切模量基本保持不变，温度继续上升，则二个模量会下降，同时橡胶变软。天然橡胶性能随温度变化曲线如图2-3-23所示。

5．刚度

联轴器的刚度可分为径向刚度、轴向刚度和扭转刚度。由于载荷变化多以扭矩波动形式出现，由此引起的振动也以扭转振动为主，所以联轴器的最主要的刚度是扭转刚度。

表 2-3-14 橡胶件的许用应力

应力或应变状态		许用应力，N/mm²		
		静止	冲击	循环
拉伸		1～2	1.0～1.5	0.5～1.0
压缩		3～5	2.5～5.0	1.0～1.5
平移剪切		1～2	1～2	0.3～0.5
旋转剪切		2	2	0.3～1.0
扭转		2	2	0.3～1.0

橡胶件的刚度与载荷性质有关：在静载作用下的刚度为静刚度C；在变载荷作用下的刚度则为动刚度C_d。动刚度比静刚度大些，一般取$C_d=(1.2\sim1.7)C$，硬度大时取大值。

由图2-1-7可见，减震效果取决于振动频率ω与传动轴系固有频率ω_n之比值，当$\omega/\omega_n>\sqrt{2}$时，减震系数$T<1$，即可获得减震效果。ω/ω_n值越小，T值越小，减震效果越好。但ω/ω_n值也不能太大，否则会使传动性变差，一般ω/ω_n值在2.5～4.5之间。

在振动频率ω和转子转动惯量确定的条件下，传动轴系的固有频率ω_n取决于刚度，一般可表示如下：

$$\omega_n=\sqrt{\frac{C}{I_p}} \tag{2-3-5}$$

式中 ω_n——轴系固有频率；

C——刚度；

I_p——综合转动惯量。

在受剪条件下，橡胶件的刚度C (N/mm) 与剪切弹性模量G_n的关系如下：

$$C=G_n\cdot\frac{A}{h} \tag{2-3-6}$$

式中 A——橡胶件受剪切的面积，mm²；

h——平行面之间距离，mm。

在受压缩条件下，刚度C（N/mm）与压缩弹性模量E_a的关系如下：

$$C = E_a \cdot \frac{A}{h} \tag{2-3-7}$$

式中 A/h为形状系数。

根据上述关系，令$\omega/\omega_n > \sqrt{2}$，即采用适当刚度，可避开共振而获得减震效果。

6．阻尼

橡胶是粘弹性材料，在变形过程中存在着内部粘性摩擦，能吸收一部分动能（阻尼能）转化为热能，使温度升高。这就是橡胶的阻尼性能。阻尼性能对联轴器的缓冲和衰减振动十分重要，特别是在共振区内，阻尼作用是不可缺少的。阻尼性能可用阻尼或阻尼比等表示。

共振时阻尼比对减震系数T的影响如图2-3-24所示。

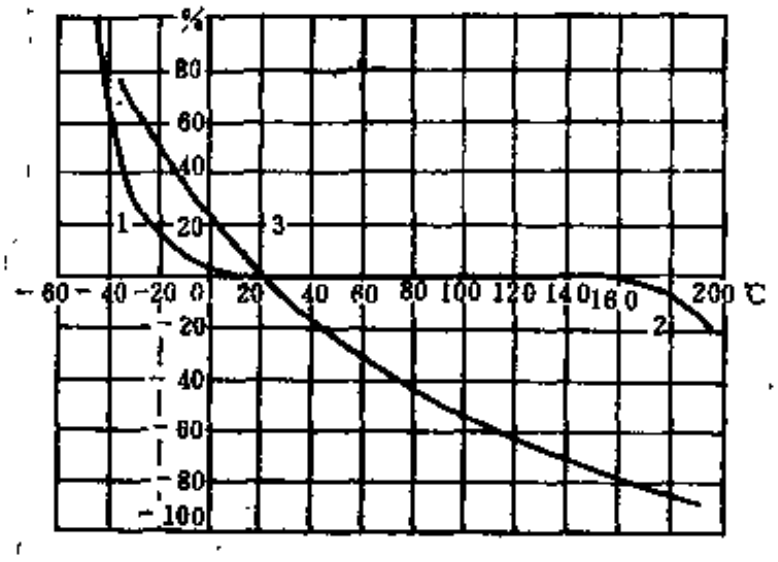


图 2-3-23 橡胶性能与温度的关系

1、2—刚度；3—拉伸强度

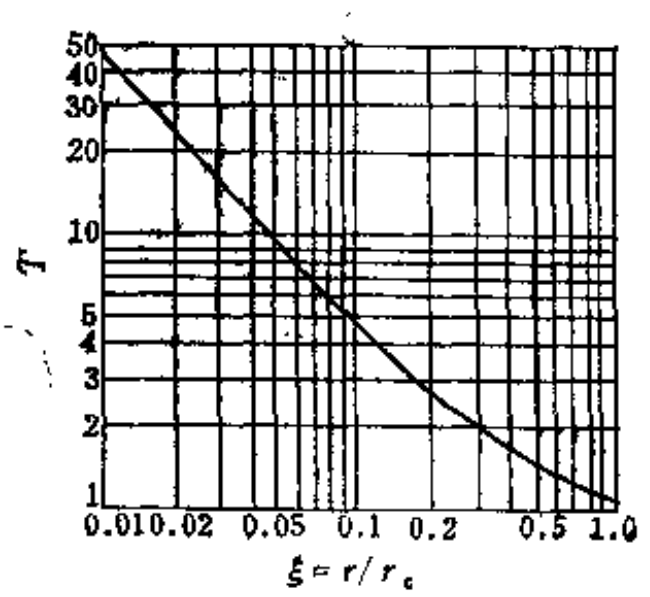


图 2-3-24 共振时阻尼比对减震系数的影响

由图2-1-7和图2-3-24可见，阻尼作用可以保证联轴器在共振区内的振动振幅大幅度衰减，以便在发动机起动和停机时安全通过共振区。

表 2-3-15 常用橡胶弹性联轴器的额定扭转角φ_n及相对阻尼ψ

橡胶弹性联轴器名称及型号	额定扭转角 φ_n，（°）	相对阻尼 ψ	橡胶弹性联轴器名称及型号	额定扭转角 φ_n，（°）	相对阻尼 ψ
弹性圆柱销联轴器	0.60～1.1	—	PE型圆盘橡胶联轴器	4～5.7	1.04
爪型橡胶联轴器	2～2.5	—	PD型圆盘橡胶联轴器	4.8～6.8	0.9
橡胶板联轴器	0.40～1.48	—	锥盘型橡胶联轴器	10～12	—
矩形橡胶块联轴器	1～2	—	VULKARDAN-L型锥盘联轴器	3.2～12	≥1.6
圆锥形橡胶块联轴器（系列6和8）	2.7～3.4	0.6～1.5	带切口轮胎型联轴器	3～5	—
多角形橡胶联轴器（CGM）	2.5～6	—	无切口轮胎型联轴器（ГОСТ20884）	2.5～5.5	—
空气弹簧联轴器（伏尔康）	4～22.5	—	皮碗型橡胶联轴器（EZ-S）	9～25	1.1
橡胶金属块联轴器（轴向排列）	2～3	—	单皮碗型橡胶联轴器（EZ/2S）	11.5～25	1.1
橡胶金属块联轴器（径向排列）	2.5～3	—	VULKARDAN-P型皮碗联轴器	3.4～4.4	≥1.6
平圆筒型橡胶联轴器	1.5～2.5	—	轴向预压缩整圈橡胶环联轴器	8～12	0.55～1.51
UC型圆筒橡胶联轴器	2.5～3.3	1.2	径向预压缩整圈橡胶环联轴器	6～8	—
PS型圆盘橡胶联轴器	3.2～7	0.78～1.04			

橡胶的阻尼性与生胶类和混炼胶组分有关。一般橡胶高弹性联轴器的相对阻尼$\psi=0.5\sim1.55$，阻尼比$\xi=0.04\sim0.12$。当$\xi=0.1$时，相应共振时的减震系数T约为5。这在实际使用中是允许的。因为一般发动机不会长期在共振区工作，而以较快速度通过共振区。

常用橡胶弹性联轴器的额定扭转角φ_0与相对阻尼ψ如表2-3-15所示。

（二）橡胶件的结构形状与设计计算

弹性联轴器用橡胶件，按其在传递扭矩时受力状态主要可分为剪切型和压缩型两种，受拉伸应力和弯曲应力的较少。

设计橡胶件时，主要要求承载能力高，缓冲和减震性能好。橡胶的许用压缩应力比许用剪切应力大得多。为了提高承载能力，宜采用压缩型橡胶件。压缩型橡胶件还具有一定的过载能力，即使因严重过载而损坏，还有可能暂时继续工作。

橡胶件的表观压缩弹性模量大于其表观剪切弹性模量。要使联轴器的刚度低、富有弹性和有较高的缓冲吸震性能，应采用剪切型橡胶件。此外，压缩型橡胶件受载后如变形受到约束时，其刚度将显著增加，甚至失去弹性（当变形后充满全部约束空间时）而成为刚体。

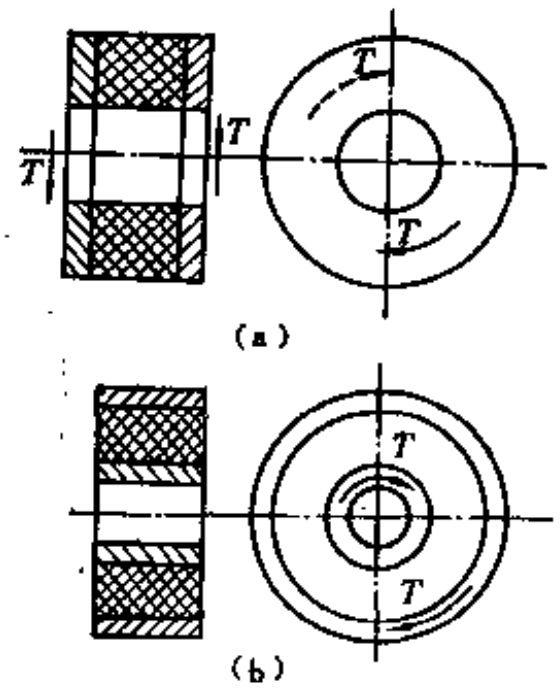


图 2-3-25 橡胶件受扭转情况

(a) 两端面相对扭转；(b) 内外径相对旋转

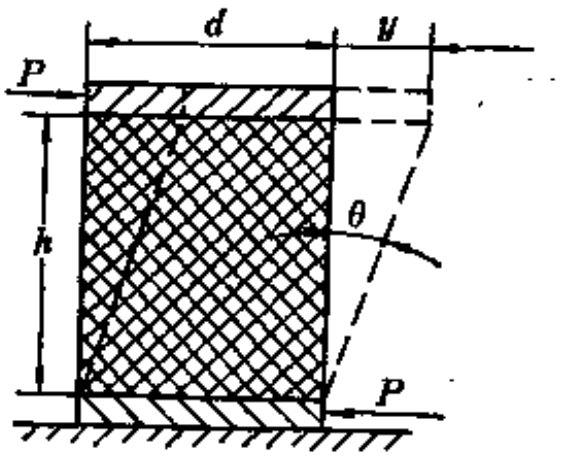


图 2-3-26 受剪切橡胶件

1．剪切型橡胶件

联轴器中剪切型橡胶件往往采用整体式结构，并用硫化方法与金属粘接，以简化与两半联轴器的联接。当联轴器传递扭矩时，橡胶件的剪切应力和切向变形有两种不同的分布形式：沿径向相对扭转和沿轴向相对扭转，如图2-3-25所示。几种比较简单的剪切型橡胶件的应力、变形和刚度的计算参见表2-3-14。

（1）平行移动橡胶件　当作用力P与橡胶件表面平行时，如图2-3-26所示，橡胶件受剪切应力而发生剪切应变，剪切应力τ（MPa）为：

$$\tau=\frac{P}{A}$$

或

$$\tau=G_s\tan\theta$$

式中　A——橡胶件受剪切的截面面积（等于与金属硫化粘接的面积），mm^2；

θ——剪切变形角；

G_s——表观剪切弹性模量，MPa。

由图2-3-26，$\tan\theta = y/h$，h为两平行表面间的距离，即橡胶件的高度。于是可得：

$$\tan\theta = y/h = \tau/G_s = \frac{P}{G_s A}$$

而剪切变形为：

$$y = \frac{hP}{AG_s}$$

剪切刚度为：

$$C = P/y = \frac{AG_s}{h}$$

受剪切橡胶件可以是圆柱形、矩形块或方块，它与金属粘接面的直径或边长应大于高度，以提高剪切稳定性。许用变形量y一般不大于高度的25%。变形时，在橡胶件体内还产生拉伸应力。为了提高橡胶与金属的粘接强度和使用寿命，可以在高度方向进行预压缩变形，或者把橡胶件制成截面向载荷方向倾斜的菱形，以抵消受载时产生的拉伸应力。采用这两种措施还可增加橡胶件的稳定形，但橡胶件的刚度也随之增大。

（2）旋转剪切橡胶件　如图2-3-27所示，橡胶件在内、外径处分别与两半联轴器联接。传递扭矩时，内径与外径相对转过某一角度。在橡胶件内产生的剪切应力τ(MPa)为：

$$\tau = G_s\tan\theta = \frac{T}{2\pi r^2 L}$$

式中　T——联轴器所传递的扭矩，N·mm；

r——橡胶件上任一圆周的半径，mm；

L——橡胶件的轴向宽度，mm。

由上式可知，橡胶件中的剪切应力沿径向分布是不均匀的，在内径处即与金属件粘接的表面达到最大值：

$$\tau_{max} = \frac{T}{2\pi r_1^2 L}$$

橡胶件的扭转变形，可通过单元体上的扭转变形表示，并考虑到$\tau = G_s\tan\theta = \frac{T}{2\pi r^2 L}$得

$$\tan\theta = r\frac{d\varphi}{dr} = \frac{T}{2\pi r^2 L G_s}$$

因此有：

$$d\varphi = \frac{1}{r^2}\cdot\frac{T}{2\pi L G_s}dr$$

上式积分后可得内外径r_1、r_2处两表面的相对旋转角，亦即橡胶件的扭转角φ(rad)为：

$$\varphi = \int_0^{\varphi} d\varphi = \frac{T}{4\pi L G_s}\left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2}\right)$$

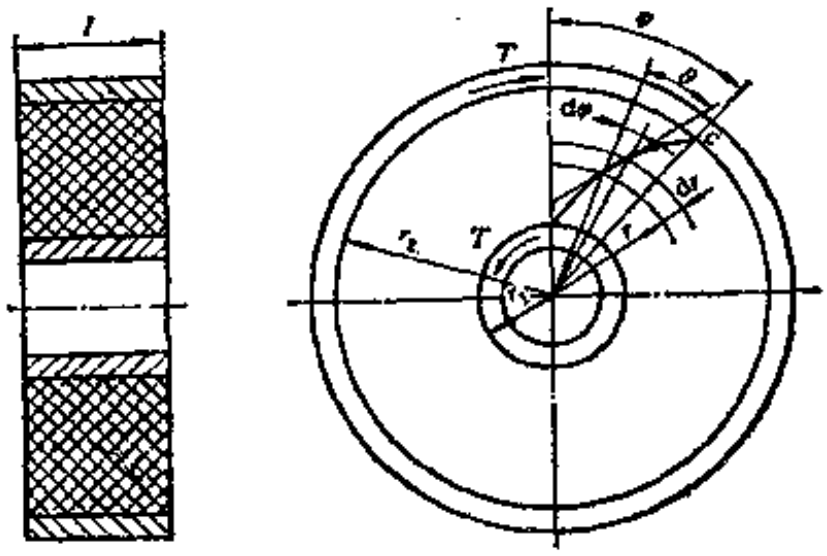
橡胶件的扭转刚度C(N·mm/rad)为：

$$C = \frac{T}{\varphi} = 4\pi L G_s\left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2}\right)^{-1} \qquad (2\text{-}3\text{-}8)$$

这种橡胶件，允许内外直径处两表面相对扭转达40°，此时，仍能保持扭转变形与扭矩成

线性关系。

（3）内外径表面相对旋转的等剪切应力橡胶件　前述橡胶件中的剪应力，随半径增大而减小，因此，橡胶件外径处的材料没有充分利用。为了充分利用材料，可按等强度条件确定橡胶件的截面尺寸，提高结构的合理性。



内外径表面相对旋转的橡胶元件

图 2-3-27　内外径表面相对旋转的橡胶件

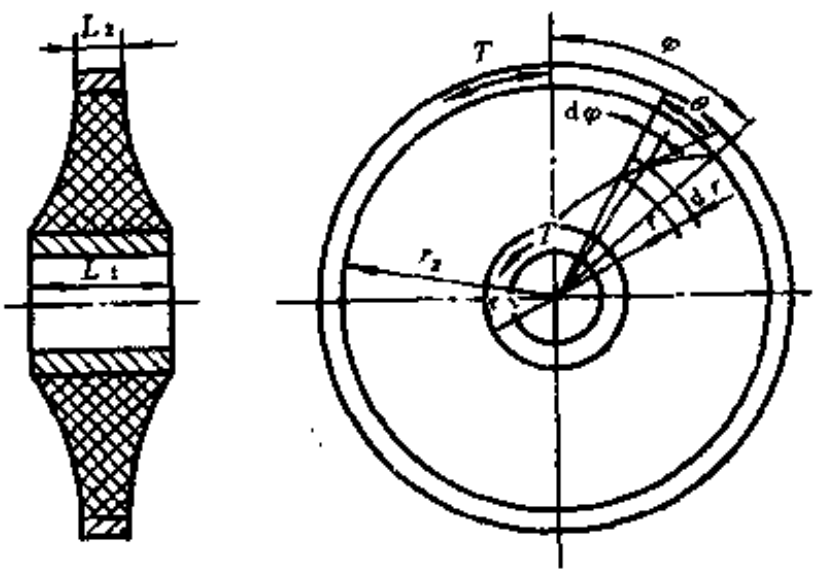


图 2-3-28　内外径表面相对旋转的等剪切应力橡胶件

参看表2-3-14及图2-3-25，等剪切应力的条件为：

$$r = G_s\tan\theta = \frac{T}{2\pi r^2 L} = \frac{T}{2\pi r_1^2 L} = \frac{T}{2\pi r_1^2 L} = 常数$$

或

$$r_1^2 L_1 = r_1^2 L_2 = r^2 L = 常数$$

此式表明，如要求沿不同半径上的剪切应力相等，则任意半径的平方与该半径处的宽度乘积应保持不变。此时，橡胶件各半径处宽度不同，两端面也不平衡。

取一单元体，与上述推导方法一样，可得橡胶件的扭转角φ(rad)计算式为：

$$\varphi = \frac{T}{2\pi r_1^2 L_1 G_s}\ln\frac{r_2}{r_1} \qquad (2\text{-}3\text{-}9)$$

橡胶件的扭转刚度C(N·mm/rad)为：

$$C = \frac{T}{\varphi} = 2\pi r_1^2 L_1 G_s / \ln\frac{r_2}{r_1}$$

与前一种等宽橡胶件比较，在传递相同扭矩的条件下，这种橡胶件由于外径处宽度减小，扭转刚度略小，扭转变形较大。

（4）两端面相对扭转橡胶件　这种橡胶件的两端硫化在金属件上（图2-3-29），传递扭矩时，两端面相对扭转。

根据剪切应力与扭转应变的关系得：

$$\tau = G_s\tan\theta$$

式中θ为扭转时橡胶件在任意半径r处的轴向扭转角，它与任意半径处的径向扭转角φ的关系为：

$$\tan\theta = \frac{r\varphi}{L}$$

式中　L——橡胶件的轴向宽度。

代入上式得：

$$\tau = \frac{\varphi r G_s}{L}$$

此式表明，这种橡胶件上的剪切应力也是不均匀分布的。

取垂直于轴线的截面上单元体受力平衡条件，则得：

$$dT = \tau r dA$$

式中 dA——单元体的面积，$dA = 2\pi r dr$。

以$\tau = \varphi r G_s / L$代入上式，整理并积分得：

$$T = \int_{r_1}^{r_2} 2\pi r^2 = \frac{\varphi r G_s}{L} dr = \varphi \frac{\pi G_s (r_2^4 - r_1^4)}{2L}$$

由此得橡胶件的扭转角φ(rad)为：

$$\varphi = 2TL / \pi G_s (r_2^4 - r_1^4)$$

橡胶件的扭转刚度C(N·mm/rad) 为：

$$C = \frac{\pi G_s (r_2^4 - r_1^4)}{2L} \qquad (2\text{-}3\text{-}10)$$

（5）两端面相对扭转的等剪切应力橡胶件　橡胶件（图2-3-30）与金属粘接表面上的剪切应力均匀分布的条件为：

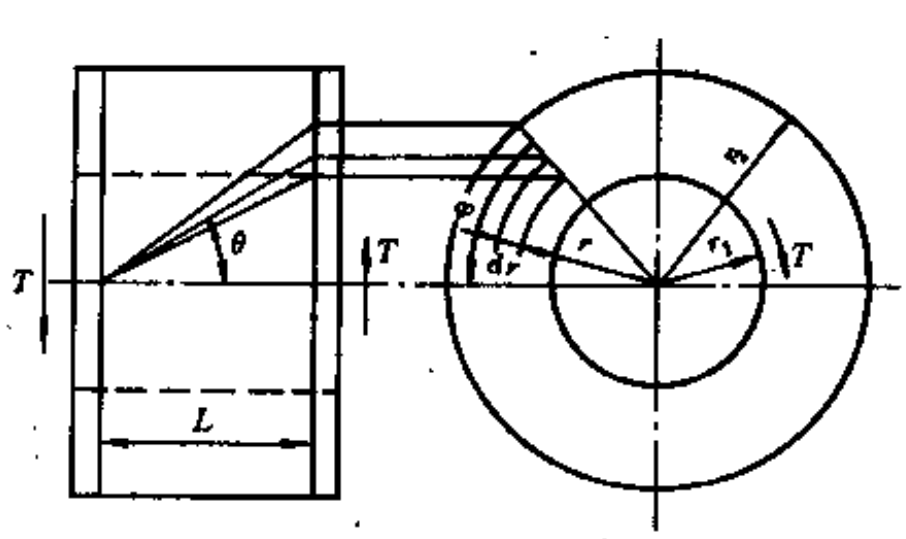


图 2-3-29　两端面相对扭转的橡胶件

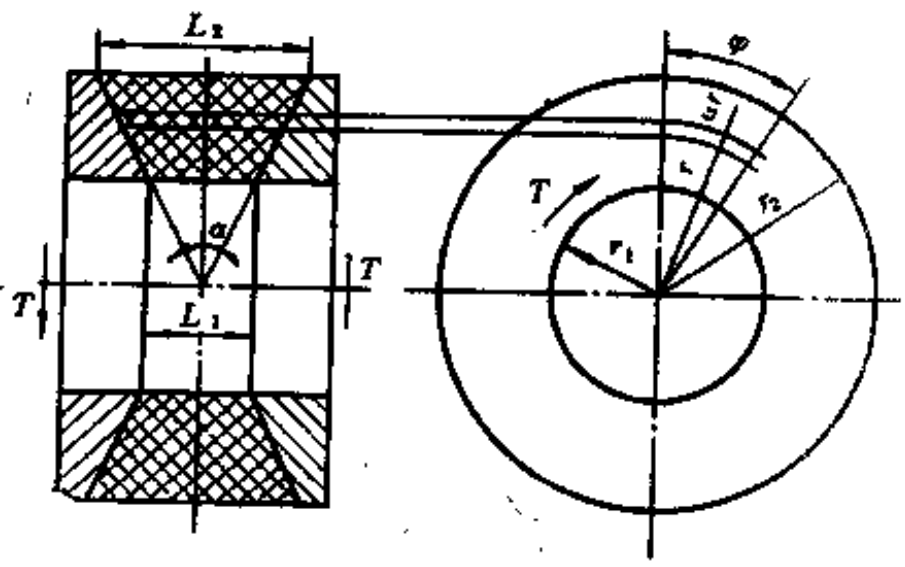


图 2-3-30　两端面相对扭转的等剪切应力橡胶件

$$\tau = \frac{\varphi r G_s}{L} = \frac{r_1}{L_1}\varphi G_s = \frac{r_2}{L_2}\varphi G_s = 常数$$

即

$$\frac{r}{L} = \frac{r_1}{L_1} = \frac{r_2}{L_2} = 常数$$

上式表明，橡胶件轴向宽度应随半径增加而增大，即橡胶件通过轴线的轴向截面应为圆锥形。橡胶件在扭转时的变形仍可由单元体的受力平衡条件求得，现有

$$dT = 2\pi r^2 \tau dr$$

代入以上常数关系，则

$$dT = 2\pi r^2 \frac{G_s \varphi r_2}{L_2} dr$$

积分得

$$T = \varphi \frac{2\pi r_2 G_s}{3L_2}(r_2^4 - r_1^4)$$

所以，橡胶件的扭转角为：

$$\varphi = \frac{3L_2 T}{2\pi r_2 G_s (r_2^4 - r_1^4)}$$

橡胶件的扭转刚度为：

$$C = \frac{T}{\varphi} = \frac{2\pi r_2 G_s}{3L_2}(r_2^4 - r_1^4)$$

与上述端面扭转件比较，在传递相同扭矩的条件下，这种橡胶件由于宽度随内径的减小而减小，扭转刚度略大，扭转变形较小。

比较内外径表面相对旋转和两端面相对扭转橡胶件的刚度计算式（2-3-8）和式（2-3-10）可以看出，径向尺寸和轴向宽度对这两种橡胶件在刚度方面的影响相反，增加内、外径的差值将减小内、外表面相对旋转橡胶件的刚度，但却增大两端面相对扭转橡胶件的刚度。轴向宽度增加，则情况相反。通常端面扭转橡胶件的扭转角≤25°，当结构尺寸完全相同时，端面扭转橡胶件刚度较大。

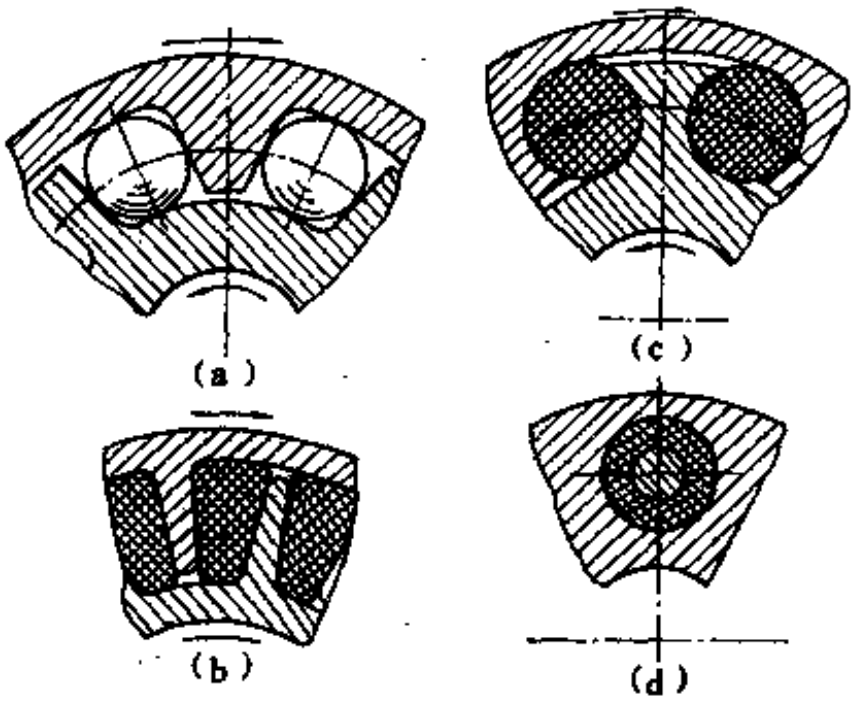


图 2-3-31 压缩型橡胶件

(a) 橡胶球；(b) 橡胶多面体；(c) 橡胶圆柱体；(d) 橡胶衬套

2．压缩型橡胶件

常用的受压缩橡胶件结构形式如图2-3-31所示。一般压缩型橡胶件都制成分体式，即一个联轴器中放置若干个受压缩橡胶件，共同传递扭矩。因此，它们的形状都比较简单，制造容易，其中以圆柱形、球形、衬套形及其它多面体较为常见。这些橡胶件在联轴器中都处在金属件的包围之中，所以变形受到限制，刚度较大。为了提高弹性，也可采用如图2-3-32所示结构，以金属销插入整块橡胶板的孔中。

压缩型橡胶件的刚度计算比较困难，因为橡胶件的刚度与承压表面面积、对能够自由膨胀的表面面积的比值，以及支承面是否和金属件硫化粘接等因素有关。图2-3-33所示的橡胶件在压力 P 作用下，圆柱体中部膨胀变形成为鼓形，使原来与轴线平行的纤维成为曲线。这

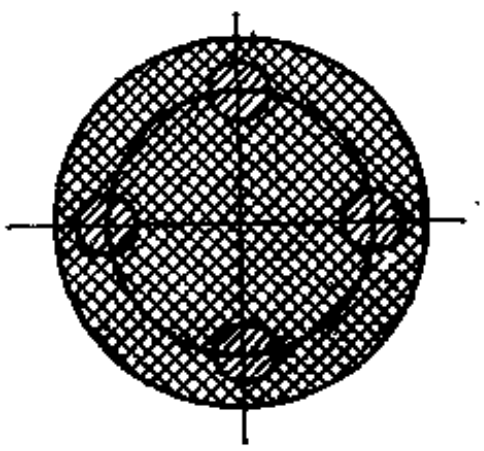


图 2-3-32 受挤压橡胶板

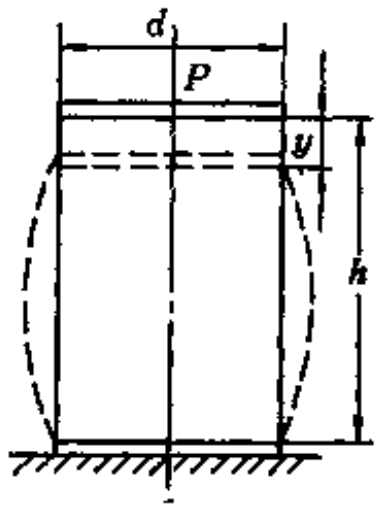


图 2-3-33 受压缩橡胶件的变形

表明沿高度垂直于轴线的各截面上，剪切应力大小并不相等，越靠近金属接触的界面，横向变形越小，材料受抑制越严重，剪切应力越大。如果与金属件硫化粘接，则界面上完全没有横向变形，因此，在界面上剪切应力达到最大。应力分布不均匀，使应力与应变的关系也复杂化，影响橡胶件受压缩时的刚度不再是常量，但当压缩变形量小于橡胶件高度的15%，而橡胶件的自由表面（如圆柱体的柱面）可以自由变形时，为了简化计算，仍然可以认为应力与应变呈线性关系：

$$\sigma = E_s \varepsilon = \frac{y}{h} E_s$$

又因$\sigma = P/A$，代入上式得：

$$y = \frac{Ph}{AE_s}$$

故橡胶件受压缩时的刚度为：

$$C = \frac{AE_s}{h}$$

式中 C——刚度，N/mm；

E_s——表观弹性模量，MPa；

y——压缩变形量，mm；

A——橡胶件受压面积，mm^2；

h——橡胶件高度，mm。

橡胶件与金属粘接面边缘处，有可能因结构等原因产生应力集中，并使刚度增加。为了改善应力分布状态，实际上，边缘处都用圆角过渡，当圆角半径 r 大于高度 $0.2h$ 时，需要修正刚度计算式，即将式中的 h 用下面的值代入：

圆柱体 $$\left[h - (8 - 2\pi)\frac{r^2}{d} \right]$$

矩形块 $$\left[h - \left(2 - \frac{\pi}{2}\right)\frac{a + b}{ab} r^2 \right]$$

其中 d 为圆柱体直径，a、b 为矩形的两边长度。为了保证橡胶件受压缩过程的稳定性，应限制橡胶件的高度，一般应使 $h < 0.25d$ （或a，或b）。

例如：设有一轴向受压缩的圆柱形橡胶件，直径$d = 100mm$，高度 $h = 50mm$，硬度（邵尔A）55，计算此橡胶件的刚度。

解：先求橡胶件受压缩时的形状系数 S

$$S^2 = \left(\frac{Ac}{Ar}\right)^2 = \left(\frac{\pi d^2}{4\pi dh}\right)^2 = \left(\frac{100}{4 \times 50}\right)^2 = 0.25$$

已知 $H = 55$

所以 $K_s = 10.7 - 0.098H = 10.7 - 0.098 \times 55 = 5.31$

于是 $i = 3 + K_s S^2 = 3 + 5.31 \times 0.25 = 4.33$

当硬度为55时，由图2-1-7查得橡胶的剪切弹性模量

$G_s = G = 0.78MPa$，故

$$E_s = iG = 4.33 \times 0.78 = 3.4 \ (MPa)$$

故受压缩时橡胶件的刚度为：

$$C = \frac{AE_s}{h} = \frac{\pi d^2 E_s}{4h} = \frac{\pi \times 100^2 \times 3.4}{4 \times 50} = 534 \ (\text{N/mm})$$

若将作用力改为沿圆柱体的端面，而使橡胶件产生剪切变形，则受剪切时橡胶件的刚度为：

$$C = \frac{AE_s}{h} = \frac{\pi d^2 G}{4h} = \frac{\pi \times 100^2 \times 0.78}{4 \times 50} = 123 \ (\text{N/mm})$$

可以看出，同样的橡胶件，受剪切时的刚度约为受压缩时刚度的1/4。

例如：选择橡胶联轴器，用于联接发动机与传动装置，需要传递的最大扭矩为500N·m，已知发动机一侧的转动惯量为$I_1 = 3.5\text{N·m·s}^2$，传动装置一侧的转动惯量$I_2 = 0.3\text{N·m·s}^2$，要求轴系的固有频率为$f = 95l/\text{s}$。

解：轴系的等效转动惯量I_p为：

$$I_p = \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} = \frac{0.3 \times 3.5}{0.3 + 3.5} = 0.276(\text{N·m·s}^2)$$

由刚度C与固有频率f的关系式得：

$$C = f^2 \cdot I_p = 95^2 \times 0.276 = 2494 \ (\text{N·m/rad})$$

当扭矩$T = 550\text{N·m}$时，联轴器的相对扭转角为：

$$\varphi = \frac{T}{C} = \frac{500}{2494} = 0.20\text{rad} = 11°27'36''$$

由于扭转角较大，因此不宜用压缩型橡胶件，应该用剪切型橡胶件，例如选用轮胎式联轴器或橡胶金属环联轴器等。

再看以下情况，原动机是电动机，载荷冲击较轻，传递扭矩仍为500N·m，但受空间限制，联轴器的最大直径不应超过200mm。

当需要传递的扭矩$T = 500\text{N·m}$，如仍采用剪切型橡胶联轴器，例如选用橡胶金属环联轴器，其最大外径亦为250mm（见表2-3-9），若用轮胎式联轴器，其最大外径为250mm(见表2-3-10），均超过200mm。所以宜改选压缩型橡胶联轴器。例如选用弹性套柱销联轴器，其最大外径为190mm，符合要求。

从计算实例可以看出，剪切型橡胶件的弹性高，但用这种橡胶件的联轴器外形尺寸大，适用于对减振和缓冲要求较高的传动；而压缩型橡胶件的弹性低，但可使联轴器的结构紧凑，用于要求补偿两轴相对位移和稍有缓冲作用的传动轴系。

四、配合与制造

橡胶件的胶料配方设计对弹性联轴器的性能影响极大，是产品质量的重要保证。

胶料配方设计首先应满足产品设计对刚度和阻尼性能的要求，即要求弹性好、机械强度高，又要求耐屈挠、生热低，与金属粘接好，并具有一定耐油和耐热性能。

联轴器常用橡胶的物理机械性能如表2-3-16所示。

实践表明，天然橡胶性能较好，应用较多。特别在力学性能和耐屈挠性等方面比其它橡胶为优。联轴器用天然橡胶的性能如表2-3-17所示。

联轴器在运转时承受反复扭转作用，由于橡胶内摩擦生热，使橡胶内部温度升高。从而引起物理机械性能下降。为此，配方设计应尽量减小升温值。天然橡胶生热较低，在一般联轴器中升温约为1～10℃，橡胶件中心部比表面约高30℃左右。丁腈橡胶等则升温较高。

橡胶与金属的粘接强度是影响联轴器使用性能和使用寿命的重要性能之一。联轴器在长

表 2-3-16 常用弹性橡胶的性能比较

性能	天然橡胶	合成橡胶			
		丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁基橡胶	丁腈橡胶
相对密度	0.9～0.95	0.92～0.94	1.15～1.3	0.91～0.93	0.96～1.20
拉伸强度，MPa	25～35	15～20	25～27	17～21	15～30
伸长率，%	650～900	500～800	800～1000	650～800	300～800
耐磨性	优	优	良～优	可～良	优
回弹性	优	良	良	次	良
耐屈挠性	优	良	良～优	优	良
疲劳生热，℃	58	83～91	74	97	83～84
压缩永久变形	良	良	良	优	良
硬度（邵尔A）	30～98	40～95	40～95	40～90	40～95
最高使用温度，℃	120	120	150	170	170
常用的温度上限，℃	70～80	80～100	120	150	120
耐冲击性能	优	优	良	良	可
耐老化	良	良	优	优	可～良
与金属粘接性	优	优	优	良	优
与织物的粘接	优	良	优	良	良
耐矿物油	差	差	好	差	好
耐化学性	差	良	良	良	良

表 2-3-17 联轴器用橡胶的性能

性能 \ 标准类型	国家标准	企业标准	日本企业指标	性能 \ 标准类型	国家标准	企业标准	日本企业指标
100%定伸应力，MPa	—	1.9	1.8	硬度（邵尔A）	57±3	57	56
拉伸强度，MPa	≥16	22.6	15.6	热老化系数(70℃×96h)	≥0.7		
扯断伸长率，%	≥400	544	460	粘接强度（与金属）MPa	≥3	6～8	—
永久变形，%	≤25	20	46				

期动态载荷下的扭矩剪切应力设计取$\tau_0 = 0.35 \sim 0.4$MPa，静态安全系数约为7.5～9；额定扭转角取$\varphi_1 = 10$rad，最大扭转角为25rad。采用胶粘剂时，橡胶与金属扯离强度可达6.0～8MPa，此时安全系数n可按下式计算：

$$n = \frac{\tau_{max}}{\tau_0}$$

$$\tau_{max} = \frac{M_{max}}{2\pi r L}$$

式中 M——扭矩，N·cm；

r——半径，cm；

L——半径r处的橡胶厚度，cm。

将上述数据代入，即得：

$$n = \frac{\tau_{max}}{\tau_0} = \frac{40.6}{3.8} = 10.7 \quad (\text{取}\tau_0 = 0.38\text{MPa})$$

实践证明，符合上述性能的联轴器是安全可靠的。

为了提高橡胶耐老化性能，除胶料中加入防老剂外，还可在橡胶件表面涂覆耐老化

涂层。

第四节　气胎式离合器

我国生产气胎式摩擦片离合器（以下简称离合器）已有30年的历史，目前有径向和轴向离合器两大类，共有40多种规格。离合器除用在重型、超重型石油钻机外，还用于矿山、冶金、工程机械和船舶、军舰等大型设备之中，作为连接和卸开传递动力矩的重要传动元件。

近年来，离合器在大型设备中的使用越来越显示出它的优越性，要求配用离合器的工矿企业越来越多，从而使离合器的生产和新产品开发，在国民经济的发展中占有重要的位置。

一、气胎式离合器的分类、组成、构造、规格和技术标准

（一）气胎式离合器的分类

气胎式离合器基本可分为两大类，即径向离合器和轴向离合器。

1．径向离合器

这种离合器的优点是传动柔和，能抗冲击和振动，并能补偿相连两轴间不大的不平行度和不同轴度。径向离合器又分为普通型和通风型两种。

（1）普通型离合器　目前我国各油田钻机大部分使用普通型离合器，基本上属50年代的产品，气室容积大，耗气量多，进出气慢（例如1070×200、700×200离合器约6～7s），挂挡离合时，打滑时间长，发热严重，易烧坏气胎，使用寿命短。

（2）通风型离合器　它的特点是结构简单、可靠、气室容积小，进出气快，挂挡离合灵敏，通风完善，不易烧坏和打滑，使用寿命长。例如一只1070×200通风型离合器可打3300～4702m深的油井三口，而在同一地区打一口3200m深的油井，平均要消耗7个同一规格的普通型离合器。

2．轴向离合器

轴向离合器也称盘式离合器。它的基本特点在于其摩擦副的工作表面为环状平面，面摩擦片在工作时沿轴向移动。按其摩擦副数目的不同，可分为单盘、双盘或多盘等几种形式。其优点是结构紧凑，可传递更大的扭矩，其缺点是结构复杂，制造技术水平高和成本高。轴向离合器按气动机构的不同又分为隔膜型、气囊型和活塞型等三种。

（1）隔膜型离合器　它产生摩擦扭矩的机构是被中间盘所隔开的两副摩擦盘，摩擦盘两面都装有摩擦片，而这两副摩擦盘的外侧分别与侧盘和主动盘相邻。主动盘通常是用键与扭矩输入轴相连接，中间盘和侧盘往往通过花键或内齿而套在主动盘上，并可沿轴向滑动，摩擦盘则以外齿分别与两个外齿圈相啮合，也可沿外齿圈作轴向移动。连接盘用螺栓与两个外齿圈相连接。

（2）气囊型离合器　这种离合器与隔膜型的主要区别是气室，是一个与径向离合器相似的内胎环状胶囊，它装在中间盘和法兰盘之间。工作时，气囊沿轴向膨胀。

（3）活塞型离合器　活塞型离合器的气室主要由推盘上的气缸和活塞组成，活塞与离合器体的法兰连成一体。工作时压缩空气沿通道进入气室，使气缸（推盘）移动，挂合离合器。摘开时，空气排出，装在销子上的弹簧使推盘退回到原始位置，销子是直接拧在推盘上的，离合器的间隙用调节螺钉来调节。

（二）气胎式离合器的组成和构造

1．径向离合器

普通型离合器由外层胶、内胎胶和帘布层、气嘴、连接片等部件组成。其结构如图2-4-1所示。普通型离合器又有外胀型和压缩型两种。

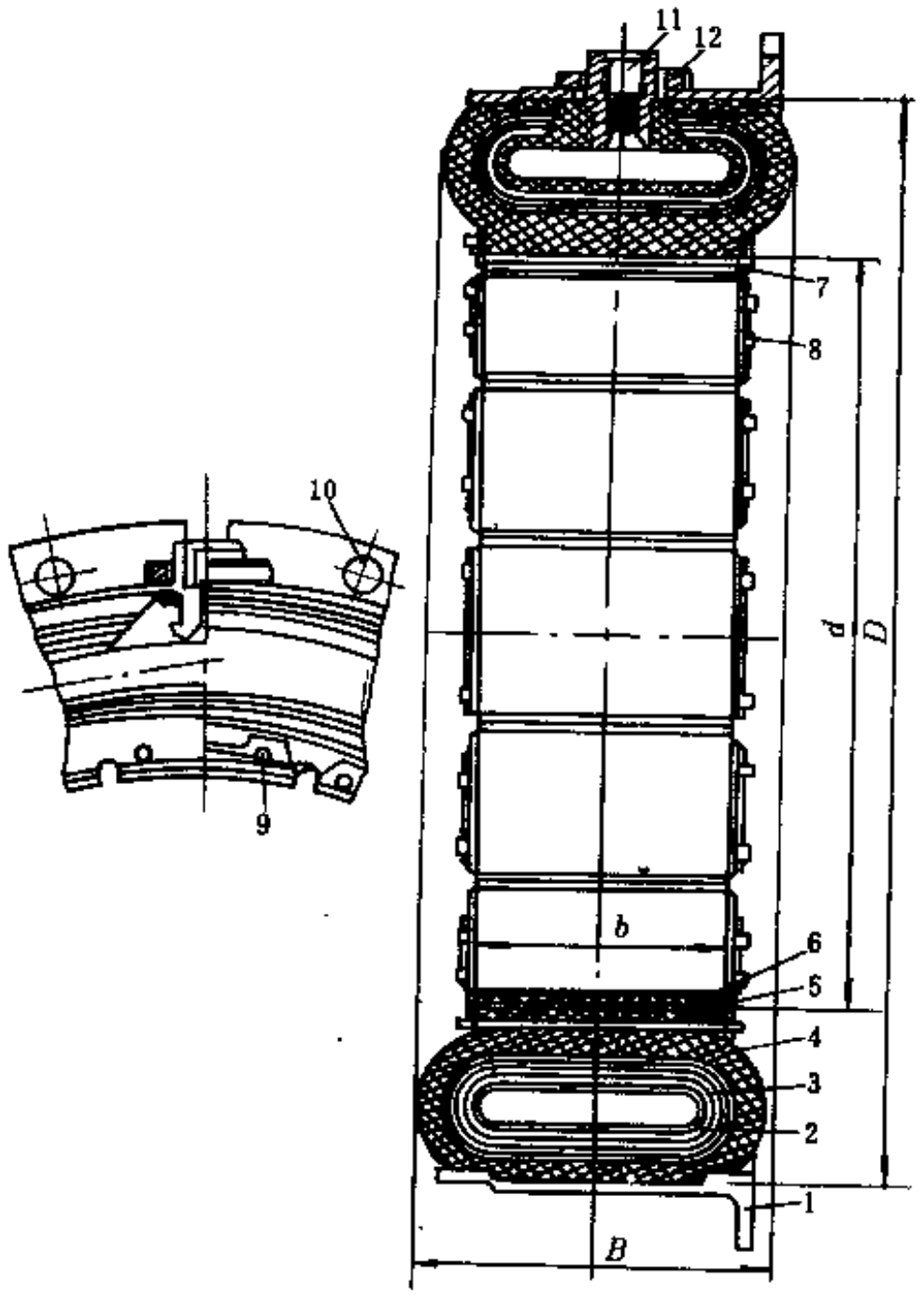


图 2-4-1　普通型离合器结构图

1—钢圈；2—内胎；3—帘布层；4—外胶层；5—金属衬瓦；6—摩擦片；7—隔热板；8—圆柱销；9—铅丝；10—孔；11—嘴子；12—螺母

通风型离合器由外层胶、内胎胶和帘布层、金属嘴子等部件组成。其结构如图2-4-2所示。

2．轴向离合器

轴向离合器也是由外层胶、帘布层和内胎胶、一个或多个嘴子组成。其结构图如图2-4-3及图2-4-4所示。

这种装置的优点是结构紧凑、反应快、效率高、动作准确和传动力矩大等。国外这种装置已系列化，其规格由101mm到1324mm，力矩由10.8kN·m到58840kN·m，共30余种，广泛应用于金属加工、矿山、石油、造纸、工程机械等领域，有取代一般离合器和制动器的趋势，有着广泛的前途。国产品性能良好但规格较少。

（三）气胎式离合器规格的表示方法

离合器的规格以外直径D、内直径d、断面宽B（或断面高H）等主要尺寸表示。如图2-4-1、图2-4-2和图2-4-5所示。

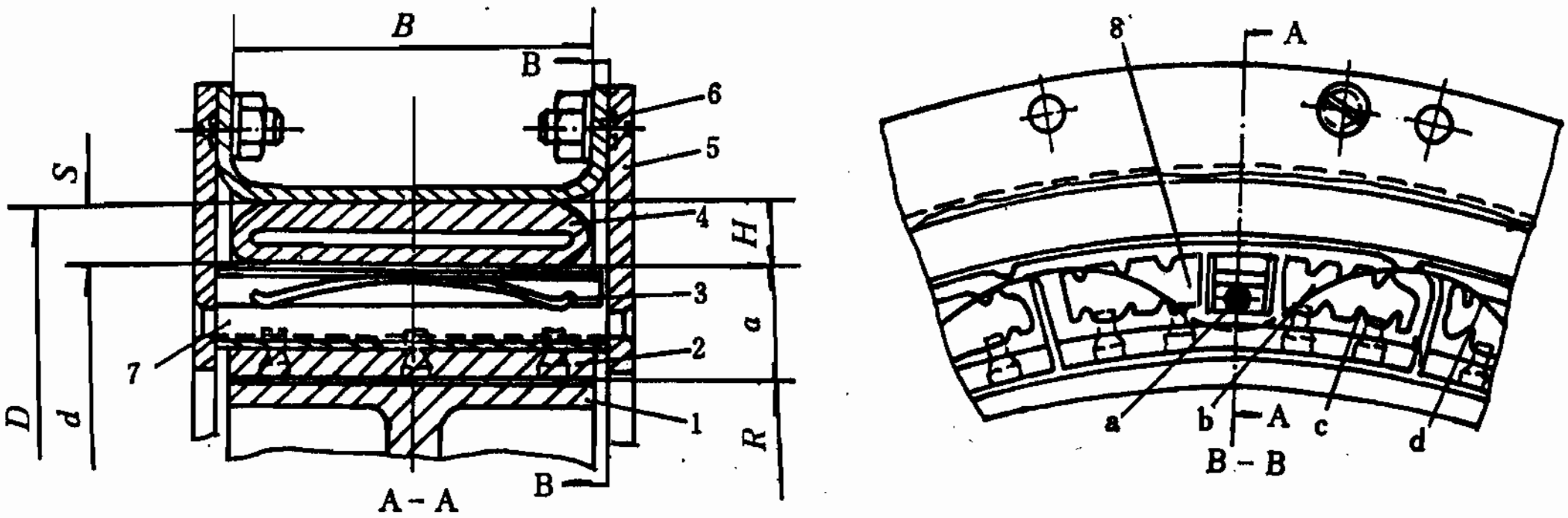


图 2-4-2　通风型离合器结构剖视图

1—摩擦轮；2—摩擦片；3—板簧；4—气胎；5—挡 板；6—钢 圈；7—承扭 杆；8—扇形体；a—导 向槽；b—通风孔；c—散热片；d—圆弧槽

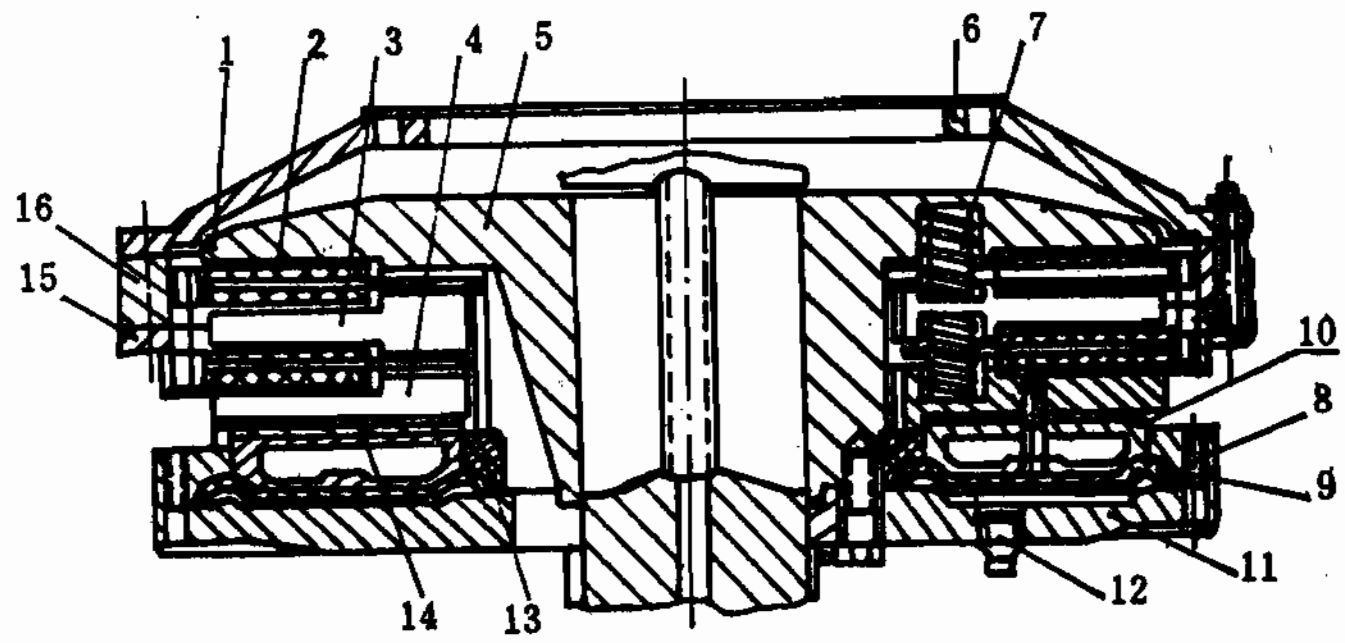


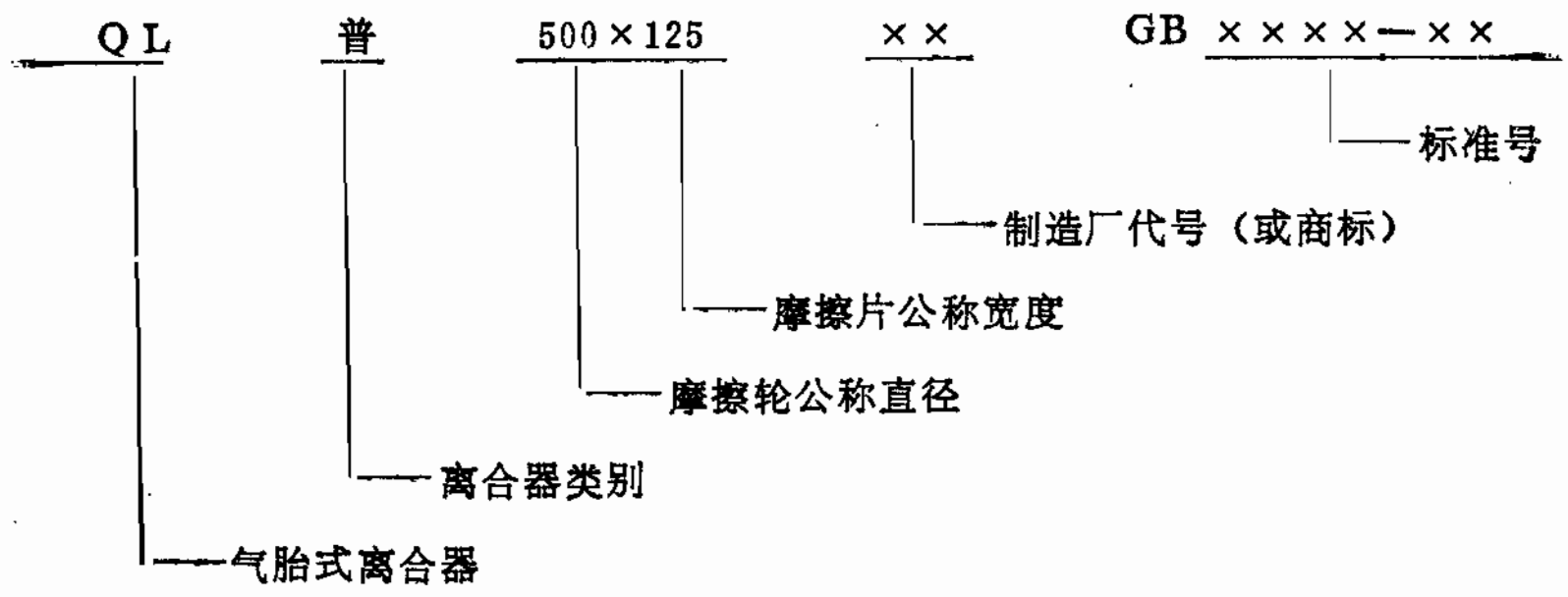
图 2-4-3　隔膜型离合器剖面图

1—摩擦片；2—摩擦盘；3—中间盘；4—侧盘；5—主动盘；6—连接盘；7—弹簧；8—外压圈；9—橡胶隔膜；10—推盘；11—隔膜固定盘；12—接嘴；13—内压圈；14—隔热板；15、16—外齿圈

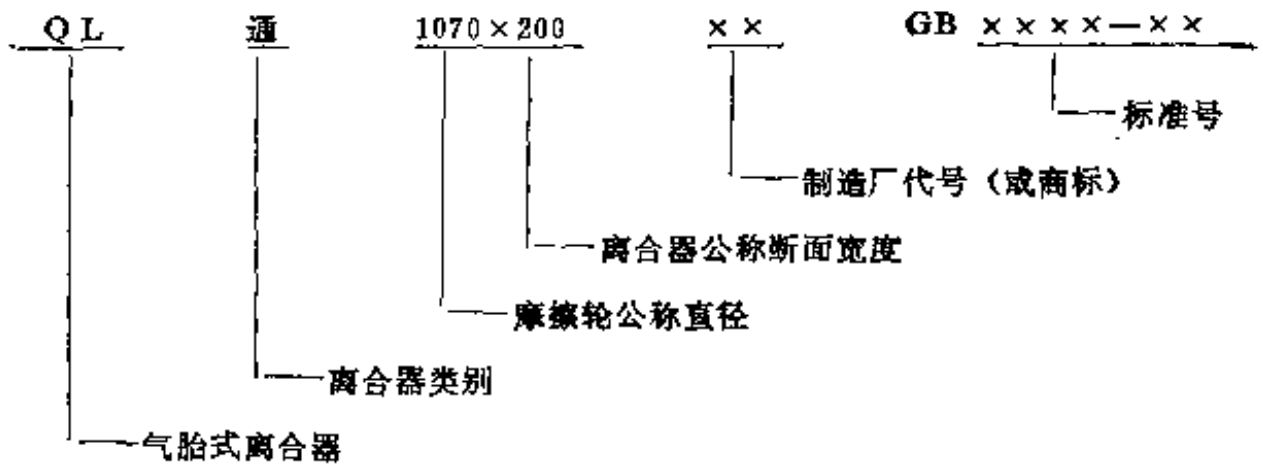
离合器的表示方法采用“产品名称、类别、规格、制造厂、标准号”对产品进行标记。

1．径向离合器

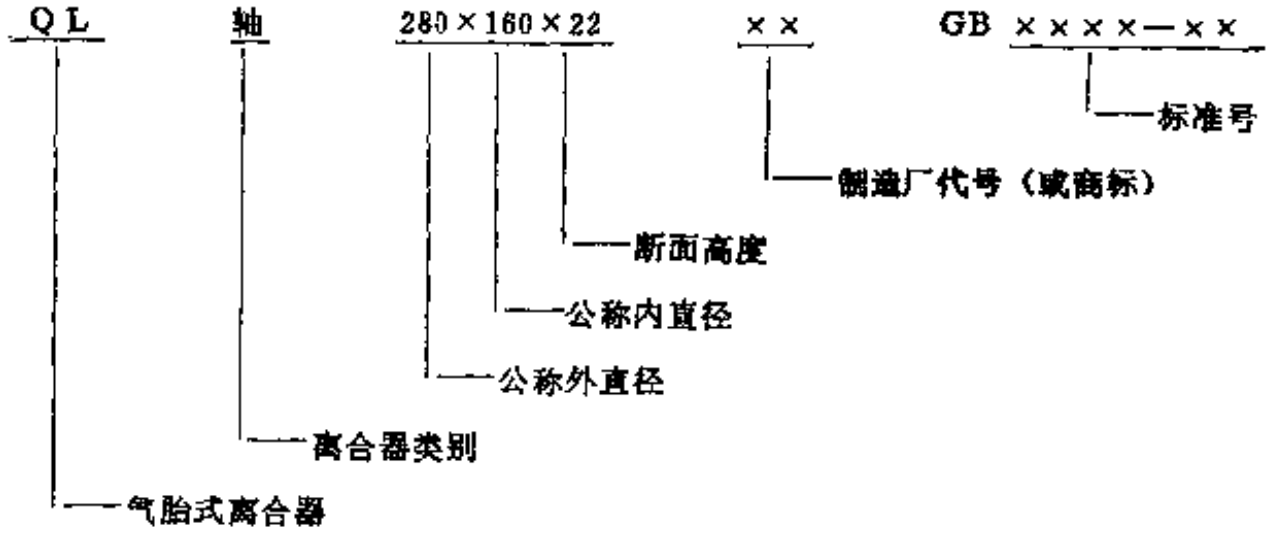
（1）普通型离合器　规格可表示如下。



（2）通风型离合器　规格可表示如下。



2．轴向离合器规格可表示如下。



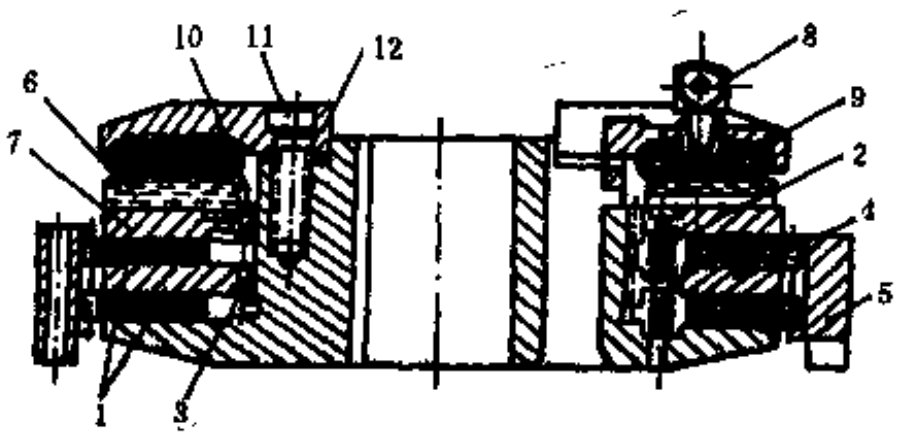


图 2-4-4　气囊型轴向离合器剖视图

1—摩擦片；2—弹簧；3—水套；4—隔离片；5—主动轮摩擦片；6—中间盘；7—压盘；8—气嘴接头；9—气胎；10—通风孔；11—螺栓；12—法兰盘

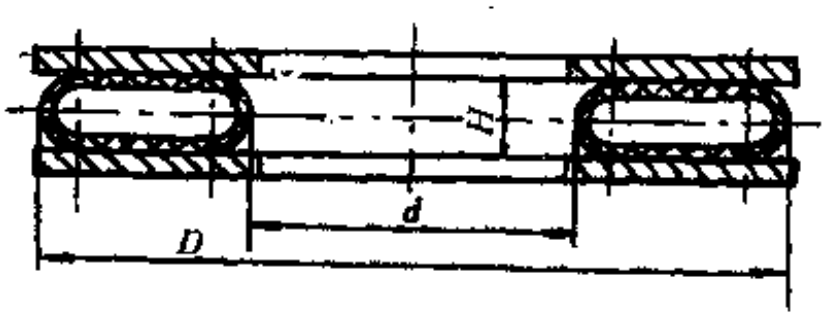


图 2-4-5　轴向（盘式）离合器剖面图

（四）气胎式离合器的规格和技术标准

1．径向离合器

（1）普通型离合器的规格和技术标准　普通型离合器规格、基本参数、主要尺寸应符

合表2-4-1的规定，工作特性应符合表2-4-2的规定。

（2）通风型离合器的规格和技术标准　通风型离合器规格、基本参数、主要尺寸应符合表2-4-3的规定；工作特性应符合表2-4-4的规定。

2．轴向离合器

轴向离合器的规格、基本参数、主要尺寸如表2-4-5所示。

3．气胎式离合器外观质量标准

（1）普通型离合器外观质量　应符合表2-4-6的规定。

（2）通风型和轴向离合器外观质量　应符合表2-4-7的规定。

（五）气胎式离合器胶料的物理机械性能

离合器胶料的物理机械性能应符合表2-4-8的规定。

二、气胎式离合器的工作过程和工作特性

（一）气胎式离合器的工作过程

为了正确设计、合理选择与使用离合器，必须对其工作过程进行分析。离合器的工作过程可分为挂合、稳定运转和停止工作三个阶段，如图2-4-6所示。

在挂合阶段，离合器的从动部分处于不稳定的运动状态，即其转速在逐渐增长，直到与主动部分同步，而进入稳定状态，这时离合器的摩擦扭矩与从动部分的阻力矩（即负荷扭矩）相平衡。当离合器摘开时，从动部分就逐渐减速，直到完全停止，这时，它也处于不稳定的运动状态。

对于钻机各机组所用的各种离合器，以及在不同工作情况下工作的同一种离合器，其工作过程三个阶段所占的时间不同。例如，绞车滚筒轴离合器在起落钻作业时，第一阶段和第三阶段占的时间较长，而在正常钻进时，离合器基本上处于稳定运转阶段。

一般钻机在不稳定运动状态中持续时间较长，动力特性变化较大的挂合阶段，不仅对离合器的工作特性和使用寿命影响最大，而且直接影响生产效率。因此必须着重分析离合器在此阶段的工作特性。

研究结果表明：离合器的挂合阶段可再划分为三个阶段。为了便于分析，将扭矩特性近似地看作线性变化，见图2-4-7。

（1）初期　打开阀门，接通气源，气室开始充气并胀大，使摩擦片开始与摩擦轮接触，所需时间（t_0）约0.03～0.07s，它取决于气路特性。随着压力继续增大，在摩擦表面产生的摩擦扭矩$M_{摩}$就从零逐渐增加，直到经过t_1后，增大到与离合器从动部分的阻力矩$M_{阻}$相等。

所以，当$t<t_0$时，摩擦表面还没有接触，这时$M_{摩}=0$；而当$t_0<t<t_1+t_0$时，$M_{摩(1)}<M_{阻}$。这时，由于离合器的从动部分还没有开始运动，所以其阻力矩就等于负荷产生的静力矩$M_{静}$，即

$$\omega_{从(1)}=0,\quad M_{阻}=M_{静}$$

$\omega_{从(1)}$为离合器从动部分的角速度。主动部分的角速度$\omega_{主(1)}$则随阻力矩的增长而逐渐下降。因此，在$t\geqslant t_0$时，摩擦表面就开始产生滑磨。即$t=t_0+t_1$时，$M_{摩(1)}=M_{阻}=M_{静}$。

（2）中期　在$t=t_0+t_1$以后，随气室压力的增大，$M_{摩}$也增大，离合器的从动部分在$M_{摩(2)}>M_{静}$的作用下开始运动，即$\omega_{从(2)}$从零逐渐增大，这时的阻力矩除了$M_{静}$以外，还包括从动部分的惯性力矩$M_{惯}$，即

表 2-4-1 普通型离合器尺寸系列和公差

规格	基本参数，mm 内径 d	基本参数，mm 外径 D	基本参数，mm 断面宽度 B	摩擦面宽度 b mm	固定销孔数量和尺寸 个×mm	连接片个数和螺纹规格 个×mm	连接片中心距 mm	气嘴数量和规格 个×mm
290×100	224±1.5	290±1.5	93±1	78±1	24× φ4	6×12M10×1.5	30±0.5	2×M20×1.5
300×100	315±2	392±2	115±2	98±1	24× φ4.5	6× 2 M10×1.0	40±0.5	1×M20×1.5
500×125	515±3	646±3	152±2	123±1	24× φ6	6× 2 M10×1.0	60±0.5	1×M20×1.5
600×125	627±3	750±3	159±2	123±1	28× φ6.5	6× 2 M10×1.0	60±0.5	1×M20×1.5
700×135 (带钢圈)	722±3	814±3	238±3	136±1	36× φ8	—	—	2
CBC700	722±3	814±3	644±3	137±1	36× φ6	6× 2 M12×1.5	70±0.5	2×M20×1.5
700×200	722±3	880±4	238±3	198±1	36× φ8	8× 2 M10×1.0	65±0.5	2×M33×1.5
770×135	682±3	770±4	166±2	135±1	32× φ8	8× 2 M10×1.0	65±0.5	1×M20×1.5
1000×200	880±4	973±4	246±3	200±1	36× φ8	11×2M10×1.0	65±0.5	1×M33×1.5
1070×200	1093±4	1270±4	238±3	198±1	52× φ8	14×M10×1.0	70±0.5	2×M33×1.5

表 2-4-2 普通型离合器的工作特性

规格	工作压力 MPa 正常	工作压力 MPa 最大	气室容积 L	旋转扭矩 (工作压力：0.49MPa) kN·m	最大转速 r/min
300×100	0.49	0.88	1.2	1.61	1500
500×125	0.49	0.88	5	1.42	1500
600×125	0.49	0.88	4	1.44	1000
700×135	0.49	0.88	66	19.37	1000
700×200	0.49	0.88	15	19.61	1000
770×135	0.49	0.88			
1070×200	0.49	0.88	28	65.71	500

表 2-4-3 通风型离合器尺寸系列和公差

规格	基本尺寸，mm 内径 d	基本尺寸，mm 外径 D	基本尺寸，mm 断面宽度 B	摩擦面宽度 b mm	帘布层数	气嘴数和规格 个×mm
318×100	318±2	358±2	100±2	98±1	2	1
400×130	377±2	419±2	130±2	—	2	1
450×130	444±3	487±3	132±2	—	2	1
580×150	640±3	680±3	150±2	—	2	1
610×160	612±3	670±3	160±2	130±2	2	4
610×260	612±3	670±3	260±3	235±3	2	4
910×300	910±3	980±3	269±2	—	2	1
965×305	1098±3	1168±3	315±2	—	2	4
VC1070×200	1194±4	1264±4	230±2	198±2	2	2×M33×1.5
1170×250	1303±4	1367±4	264±2	—	2	2×M33×1.5

表 2-4-4 通风型离合器的工作特性①

规格	工作压力 MPa		气室容积 L	旋转扭矩 (工作压力0.49MPa) kN·m	最大转速 r/min
	正常	最大			
318×100	0.49	0.88	0.4	最大11.38，许用5	
400×130	0.64	0.88	0.5	最大11.38，许用5.69	220
450×130	0.64	0.88	0.55	最大11.38，许用8.14	245
580×150	0.49	0.88	0.6	16.18	140
610×160	0.64	0.88	2	12.16	720
610×260	0.64	0.88	4	23.11	720
910×300	0.59	0.88	8	最大46.58，许用23.29	150
VC1070×200	0.49	0.88	12	85.32	300

① 环境工作温度为－30～50℃。

表 2-4-5 轴向离合器尺寸系列和公差

规格	内径 d mm	外径 D mm	断面高度 H mm	嘴子数量 个	备注
280×160×22	160±1	280±2	22	2	
400×230×24	225±2	396±2	24	3	
470×270×25	270±2	470±3	25	3	
ATD118、ATD218	268±2	470±3	27	3	
ATD116	225±2	400±2	27	2	
600×200×45	230±2	600±3	45	4	
646×400×32	404±3	646±3	32	3	
ATD224	403±3	656±3	27	3	
1320×760×40	760±3	1320±4	40	4	
LT700/1350Y	810±3	870±3 (断面宽度)	173		隔膜型

表 2-4-6 普通型离合器外观质量

缺陷名称	一级品	二级品
胎侧露帘线纹	无	允许有轻微露帘线纹，但总长度不超过周长的1/4
内圆欠圆变形	无	允许直径不超过4mm，但总长度不超过周长的1/4
明起、皱纹、重皮机械损伤	无	深度不超过外层胶厚的50%，总长度不超过周长的1/5，必须一次修理完善
销孔裂缝	裂口长度不大于7mm，数量：公称直径为300、500、600mm不超过5个；100mm不超过7个；1070mm，不超过10个	裂口长度不大于10mm，数量同一级品
外胶起泡	无	深度不超过2.0mm，面积不大于100mm²。数量，公称直径600mm以下不超过3个；700mm以上不超过5个

续表

缺陷名称	一级品	二级品
内圈胶花纹边角发软	允许有轻微发软，数量：公称直径为300、500、600mm不超过3个；700mm、1070mm不超过5个	允许有轻微发软，数量：公称直径为300、500、600mm不超过6个；700、1070mm不超过8个
气嘴螺丝脱扣	不允许有	不允许有
连接片螺丝脱扣	不允许有	单片可以不超过1个眼孔，公称直径为300、500、600mm不超过1片；700、1070mm不超过2片，但不能连续
嘴子根部露线头	无	可以有露线，但长度不超过周长的1/3
脱层	不允许有	不允许有
连接片边缘裂口	不允许有	允许有，但不得露线，总长度不超过连接片边长的1/3，数量：公称直径为300、500、600mm不超过2个；700、1070mm不超过5个
气嘴歪斜	两边垂直高度差不大于1mm	两边垂直高度差不大于3mm
气嘴凹陷	不允许有	公称直径为300mm，外露长度不小于14mm；500、600mm外露长度不小于16mm；700mm以上的外露长度不小于18mm
销孔弯曲	不允许有	不允许有
横缝溢胶	无	溢胶厚度不大于2.5mm，长度不大于周长，但不得露线

表 2-4-7 通风型和轴向离合器外观质量

缺陷名称	一级品	二级品
横缝溢胶厚度	0.5mm以下	1mm以下，修理完善
胎侧露帘线纹	无	允许有轻微露帘线纹，但总长度不超过周长的1/4
明疤、皱纹、重皮机械损伤	不允许有	深度不超过外胶厚度的30%，每处长度、宽度分别不大于12mm、10mm；公称直径500mm以下不多于2处；600mm以上不多于4处
起胶泡	不允许有	不允许有
气嘴歪斜	两边垂直高度差不大于1mm	两边垂直高度差不大于3mm

表 2-4-8 离合器胶料物理机械性能

层次	项目		指标
外层胶	硬度（邵尔A）		60±5
	拉伸强度，MPa	≥	16
	扯断伸长率，%	≥	450
	永久变形，%	≤	60
	经100±2℃×24h热空气老化后		
	拉伸强度变化率，%	≥	−20～10
	扯断伸长变化率，%	≥	−30

续表

层　次	项　　目		指　　标
内胎胶	硬度（邵尔A）		50±5
	拉伸强度，MPa	≥	16
	扯断伸长率，%	≥	450
帘布层	橡胶与帘布粘着强度，kN/m	≥	4.5
	帘布间粘着强度，kN/m	≥	4.0

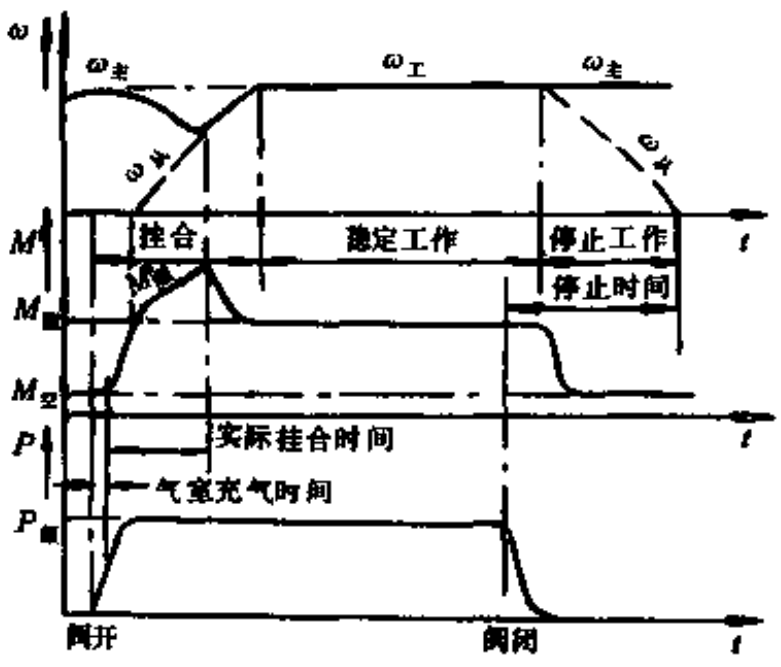


图 2-4-6　气胎式离合器的工作过程

$\omega_{主}$—离合器主动部分的角速度；$\omega_{从}$—离合器从动部分的角速度；$\omega_{工}$—稳定工作时的角速度；$M_{阻}$—离合器从动部分的阻力矩；$M_{空}$—空转转矩；$M_{惯}$—惯性力矩

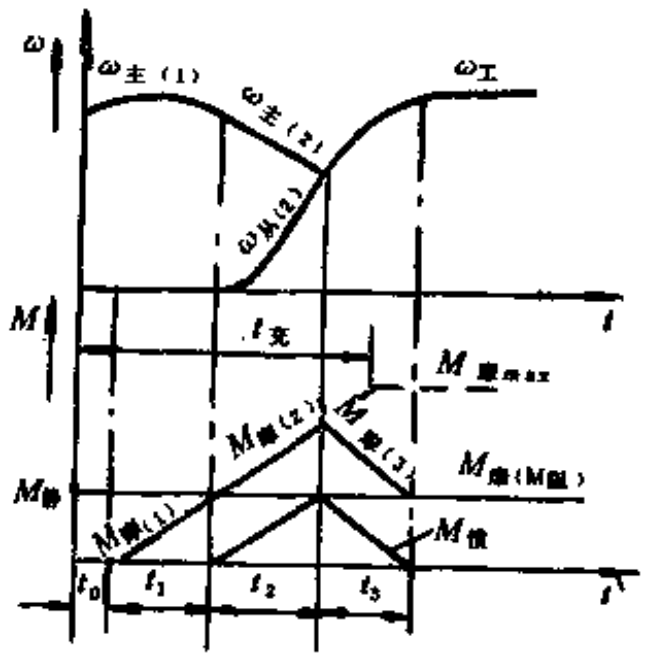


图 2-4-7　离合器典型挂合过程

$$M_{摩}=M_{阻}=M_{静}+M_{惯}$$

与此同时，主动部分的角速度随阻力矩的进一步增长而急剧下降，但$\omega_{主(2)}>\omega_{从(2)}$。所以摩擦表面仍在滑磨，直到$t=t_2+t_1+t_0$时，$\omega_{主(2)}=\omega_{从(2)}$，摩擦表面滑动停止。

（3）后期　在$t=t_2+t_1+t_0$以后，离合器的主动部分与从动部分同步运转而成为一个整体。这时离合器在$M_{摩}>M_{静}$的作用下进行加速，直到$t=t_3+t_2+t_1+t_0$时，离合器达到稳定的工作转速$\omega_{工}$。

在整个离合器加速的同时，由于其加速度逐渐减小到零，所以其惯性力矩也相应的减小到零，而$M_{摩}$在此加速过程中也逐渐减小，第三阶段终了时达到

$$M_{惯}=0，\ M_{摩}=M_{阻}=M_{静}$$

通过以上分析，可以得出以下几点。

① 挂合阶段时间的长短由其速度和扭矩的变化特性所决定。

② 在任何工作情况下，离合器的挂合阶段都包含一个滑磨过程。在此过程中，离合器所消耗的功，除了一部分用于加速离合器的从动部分外，其余都消耗在摩擦表面的发热和磨损上。因此，离合器挂合阶段是决定其热状态的最重要阶段。

③ 挂合过程的速度变化特性取决于离合器的稳定工作转速和动力机的空转速度及其驱动特性。离合器的稳定工作转速越高，挂合时间就越长，动力机的特性越软，空转转速越低，则在挂合阶段中滑磨的时间就越短。

④ 挂合阶段的扭矩变化特性取决于摩擦扭矩的最大值，即极限摩擦扭矩$M_{摩max}$和阻力

矩$M_{离}$（主要是$M_{摩}$）的大小。

从离合器工作过程的分析中可以知道，要正确设计或选用离合器，以最大限度地发挥其工作能力，延长其使用寿命，就必须深入地认识其工作特性，并在此基础上合理地确定其主要工作特性指标。

（二）气胎式离合器的扭矩特性

通常用来表示摩擦离合器工作性能的主要指标是极限摩擦扭矩，它是指摩擦离合器在稳定的工作情况下所能传递的摩擦扭矩最大值。其计算通式：

$$M_{摩max} = \mu N R \qquad (2\text{-}4\text{-}1)$$

式中 μ——摩擦系数；

R——摩擦表面的有效作用半径，m；

N——通过气室作用在摩擦表面上的有效正压力，N。

而

$$N = PA \qquad (2\text{-}4\text{-}2)$$

式中 P——工作压力，MPa；

A——摩擦表面的有效面积，cm^2。

1．影响转矩特性的因素

根据$M_{摩}$的计算通式（2-4-1）和（2-4-2），可以看到影响离合器转矩特性的因素是有效压力、摩擦系数、有效面积和有效半径。

（1）有效压力 系指压缩空气通过气室作用在摩擦表而的有效压力。而有效压力主要取决于以下三个因素。

a．气源压力 钻机上配备的气源压力通常在0.68～0.98MPa范围之内，最高达1.2MPa。

b．离合器执行机构和复位机构在工作时产生的压力损失 径向离合器一般在0.05～0.12MPa；而轴向离合器约1.4MPa。

c．离合器执行机构的承压面和摩擦表面的面积之比 对于径向离合器和单盘轴向离合器来说，其面积比一般都可以达到设计要求。由于多盘轴向离合器实际有效的面积比往往要比名义值低很多，所以设计时应考虑这点。

（2）摩擦系数 由于摩擦系数越大产生的摩擦扭矩也越大，离合器在滑磨过程中产生的热量也就越大。而该系数值是随摩擦表面的状态、温度、比压、滑动速度等因素而变化。因此摩擦系数值应根据离合器的实际使用条件综合考虑。

（3）摩擦表而的有效而积 摩擦表面的有效面积是指在摩擦表面上实际能够产生扭矩的有效面积。它主要决定于摩擦表而的实际接触状态，而影响接触状态的因素有摩擦片的刚性、热变形、摩擦间隙的不均匀性、摩擦片磨损的不对称性等。所以摩擦面的结构应当愈简单愈好。径向离合器接近100%，单盘式离合器在80%以上，多盘离合器大多数在50%以下。

（4）摩擦表面的有效半径 摩擦表面的有效半径对于径向离合器是指摩擦轮的半径；对于轴向离合器，一般只能取相当于摩擦片宽度一半处的半径，面不能按摩擦片的最外缘计算。

2．极限摩擦扭矩的计算

（1）径向离合器

a．普通型离合器 可按下式计算：

$$N = Q_1 - Q_2 \qquad (2\text{-}4\text{-}3)$$

式中 Q_1——离合器充气产生的径向压力的总和，N；

Q_2——离合器工作时所有零件发生径向位移所产生的离心力的总和，N。

$$Q_1 = 2\pi R_m B(p_{min} - p_0) \tag{2-4-4}$$

式中 R_m——橡胶内胎的最小半径，cm；

B——橡胶内胎的宽度（可近似地认为摩擦片的宽度），cm；

p_{min}——最小允许工作压力，MPa；

p_0——初压力，MPa（可按表2-4-9选取）。

表 2-4-9 普通型离合器的初压力

离合器规格	300×100	500×125	700×200	1070×200
p_0，MPa	0.039～0.049	0.058～0.068	0.039～0.049	0.029～0.039

$$Q_2 = 1.12 \times 10^{-3} G R_g n^2 \tag{2-4-5}$$

式中 G——所有零部件的重量，N；

R_g——所有零部件截面重心处的半径，cm；

n——离合器的转速，r/min。

将式（2-4-3）、（2-4-4）、（2-4-5）代入式（2-4-1）后得：

$$M_{m\max} = [2\pi R_m B(p_{min} - p_0) - 1.12 \times 10^{-4} G R_g n^2]\mu R \tag{2-4-6}$$

选用离合器时，除了满足使用的前提下，必须保证规定的使用寿命和良好的动力指标。即单位摩擦片表面所传递功率W（有效正作用力）

$$W = M_{m\max} \cdot n \tag{2-4-7}$$

b．通风型离合器 这种离合器在工作时，气室充气后沿径向膨胀还必须克服板簧的作用力才能使摩擦片抱紧摩擦轮，所以

$$N = Q_1 - (Q_2 + Q_3) \tag{2-4-8}$$

式中 Q_3——板簧的作用力，N。

面压缩空气通过气室产生的径向压力的总和，根据通风式离合器的特点（见图2-4-2），可按下式计算：

$$p = 2\pi(p_{min} - p_0)(R + a + S)(B - H) \tag{2-4-9}$$

式中 B——离合器的断面宽度，cm；

H——离合器的断面高度，cm；

S——离合器的断面厚度，cm；

a——摩擦片和板簧的总厚度，cm；

R——摩擦轮半径，cm；

p_0——取0.02～0.03MPa。

至于板簧的作用力，可由式（2-4-10）计算

$$Q_3 = c(\Delta + \delta)z \tag{2-4-10}$$

式中 c——板簧的刚性系数；

Δ——板簧的顶压量，cm；

δ——离合器在自由状态下摩擦片与摩擦轮的径向间隙，cm；

z——板簧数量。

离心力的计算式（2-4-11）和式（2-4-5）相似：

$$F = 1.12 \times 10^{-3} z G R_m n^2 \tag{2-4-11}$$

式中 F——离心力，N；

G——一个扇形体的重量，N；

$R_{重}$——扇形体重心位置的半径，cm。

将式（2-4-8）、（2-4-9）、（2-4-10）和式（2-4-11）代入式（2-4-1），整理后可得其极限摩擦扭矩的计算式：

$$M_{静max}=\{2\pi(R+a+S)(B-H)(p_{min}-p_0)-z[1.12\times10^{-4}GR_{重}n^2+c(\Delta+\delta)]\}\cdot\mu R \tag{2-4-12}$$

c．多气室径向离合器 根据式（2-4-1）和式（2-4-2）可导出其极限摩擦扭矩的计算式：

$$M_{静max}=[BL(p_{min}-p_0)-1.12\times10^{-3}GR_{重}n^2]zt\mu R \tag{2-4-13}$$

式中 B——气室的断面宽度，cm；

L——气室的断面周长，cm；

G——气室压缩变形部分重量，kg；

$R_{重}$——气室压缩变形重心位置的半径，cm；

z——气室数量；

t——在离合器轴向配置气室排数。

（2）轴向离合器 对于轴向离合器，其摩擦表面就是装在各摩擦盘上的摩擦片的平面，所以其极限摩擦扭矩不受离心力的影响。这种离合器扭矩的计算应采用下式：

$$M_{静}=z_{静}\cdot\mu\cdot Q_0\cdot R_{平} \tag{2-4-14}$$

式中 $z_{静}$——摩擦表面副的数量；

μ——摩擦系数；

Q_0——气室内空气压力造成的摩擦表面上的总轴向力（要考虑弹簧的反力），N；

$R_{平}$——所有摩擦力作用的平均半径，m。

$$z_{静}=a+b+1 \tag{2-4-15}$$

式中 a——主动盘数量；

b——从动盘数量。

该离合器摩擦表面的比压认为是均匀分布的，则一个盘的某摩擦环的面积为：

$$df=2\pi p dp$$

它所传递的转矩由式（2-4-16）决定：

$$dM_{静}=q\mu p df=2\pi q p^2 dp \tag{2-4-16}$$

式中 q——比压；

p——摩擦环的半径，m。

由式（2-4-16）从半径 r 到半径 R 积分可得：

$$M_{静}=2\pi\mu q\int_r^R p^2 dp=\frac{2}{3}\pi\mu q(R^3-r^3) \tag{2-4-17}$$

式中 r——摩擦盘的摩擦面的内半径，m；

R——摩擦盘的摩擦面的外半径，m。

设比压在摩擦面上均匀分布，则：

$$q=Q_0/\pi(R^2-r^2) \tag{2-4-18}$$

从以上各式可求得：

$$R_{平}=\frac{2}{3}\cdot\frac{R^3-r^3}{R^2-r^2}\approx\frac{R+r}{2}$$

其精确度为3%，如有几个摩擦副，则离合器的扭矩可写成：

$$M_{离}=z_{摩}\cdot\mu\cdot Q_0\cdot\frac{R+r}{2} \tag{2-4-19}$$

$$q=\frac{[(D-H)^2-(d+H)^2](p-p_0)-c_{弹}\cdot z_{弹}(\Delta+\delta)}{4(R^2-r^2)}$$

根据气室结构的不同，可得到其有效正压力为：

$$Q_0=\frac{1000\pi}{4}(p-p_0)[(D-H)^2-(d+H)^2]-c_{弹}z_{弹}(\Delta+\delta) \tag{2-4-20}$$

式中 Q_0——有效正压力，kN；

p——空气压力，MPa；

p_0——消除摩擦盘间隙使气胎变形所消耗的压力，为0.02～0.03MPa；

D——离合器挂合状态的气胎外径，m；

d——离合器挂合状态的气胎内径，m；

H——气胎的断面高度，m；

$c_{弹}$——压缩弹簧的刚度，kN/m；

$z_{弹}$——弹簧的数量；

Δ——弹簧预压量；

δ——在离合器摘开状态时各盘间的总间隙，m。

把式（2-4-20）代入式（2-4-19）得：

$$M_{离}=\left\{\frac{\pi}{4}(p-p_0)[(D-H)^2-(d+H)^2]-c_{弹}z_{弹}(\Delta+\delta)\right\}\cdot\frac{\mu z_{摩}(R+r)}{2} \tag{2-4-21}$$

（三）气胎式离合器的热负荷特性与摘挂特性

1．热负荷特性

离合器在挂合阶段总会产生滑磨，面使摩擦表面发热和磨损；然而滑磨也是摩擦离合器所具有的一种保护机能。如果在挂合时离合器主从两部分的相对转速很大或从动部分的惯量很大，则滑磨就很显著，以至使摩擦表面大量发热和剧烈磨损，特别是挂合频繁时，摩擦表面会积累大量的热（见图2-4-8），从而导致离合器的使用寿命和工作特性大幅度下降。

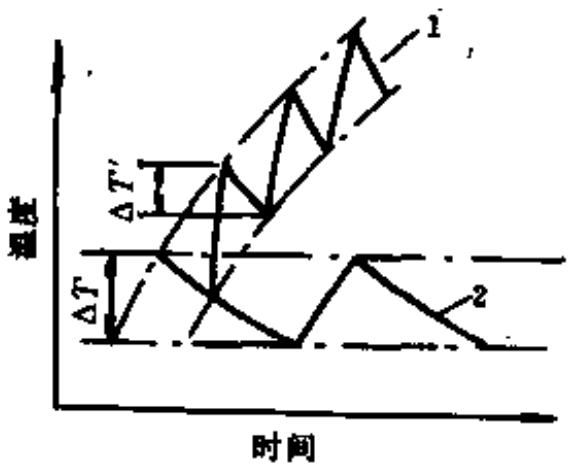


图 2-4-8 离合器的热负荷特性

1—摘挂频繁的升温曲线；2—摘挂不频繁的升温曲线；$\Delta T'$—摘挂一次的温升；ΔT—两次摘挂间隔的降温

所以，离合器的热负荷特性与其挂合特性是密切相关的，它反映了离合器本身所具有的散热性能。而决定其散热性能的主要因素之一是离合器的结构。一般认为径向比轴向的散热性能好，而盘式离合器的散热性能最差。

通常采用以下两种特性指标来表示离合器的热负荷特性。

（1）能量指标 现分述如下。

a．平均发热强度 离合器挂合一次的平均发热强度可用下式表示：

$$q = \frac{Q}{At} \tag{2-4-22}$$

式中 q——平均发热强度，J/(cm²·s)；

Q——在挂合阶段摩擦表面发出的热量，J；

A——摩擦表面的面积，cm²；

t——在一次挂合中滑磨过程的延续时间，s。

b．平均比滑磨功 在离合器挂合一次的挂合阶段中，其摩擦表面的平均发热强度与其平均比滑磨功（即在一次滑磨过程的延续时间内，单位表面的滑磨功的平均值）是等效的，因而它也可以作离合器的热负荷特性指标：

$$\alpha_w = \frac{M}{At} = \mu p v \tag{2-4-23}$$

式中 α_w——平均比滑磨功，kN·m/(cm²·s)；

p——比压，MPa；

v——滑动速度（对于盘式离合器，取摩擦片的计算半径处的数值），m/s；

W——在挂合一次的滑磨过程中，由摩擦转矩所作的滑磨功。

滑磨功的计算（加速取“－”，减速取“＋”号）：

$$W = \frac{GD^2 n M_m \times 1.37}{(M_m \pm M_f)} \tag{2-4-24}$$

式中 W——滑磨功，kN·m；

GD^2——离合器从动部分的飞轮惯量，kN·m；

n——离合器的转数，r/min；

M_f——离合器从动部分的静力矩（负荷力矩），kN·m；

M_m——离合器从动部分的惯性力矩，kN·m。

下面分别介绍GD^2和M_m的计算方法：

$$GD^2 = 39I \tag{2-4-25}$$

式中 I——转动惯量，kN·m·s。

$$M_m = \frac{GD^2 n}{t} \times 26.2 \tag{2-4-26}$$

式中 t——离合器实际挂合的时间，s。

此外，根据功和热量以及功率之间的关系，还可以得到以下关系式：

$$W = \frac{Q}{427} \tag{2-4-27}$$

$$\alpha_N = \frac{\alpha_w}{75} \tag{2-4-28}$$

α_N称为比滑磨功率。

（2）温度指标 通常以离合器挂合终了时摩擦片的平均温度作为表征其热负荷特性的温度指标。对于径向离合器，一般采用式（2-4-29）：

$$T = \frac{Q\alpha_T}{\delta_0 A t} + T_0 \tag{2-4-29}$$

式中 T_0——周围介质温度，℃；

t——离合器两次挂合之间的间隙时间，h；

δ_0——与周围介质的热交换系数，一般可根据摩擦片的圆周速度v由图2-4-9确定其数值，J/(m·h·℃)；

α_T——热流分布系数。

α_T可按式（2-4-30）确定：

$$\alpha_T = \frac{\sqrt{\lambda_2 c_2 \gamma_2}}{\sqrt{\lambda_1 c_1 \gamma_1} + \sqrt{\lambda_2 c_2 \gamma_2}} = 0.07 \sim 0.10 \qquad (2\text{-}4\text{-}30)$$

式中 λ_1、λ_2——摩擦轮和摩擦片材料的热传导系数，J/(cm·s·℃)；

c_1、c_2——摩擦轮和摩擦片材料的比热容量，J/(kg·℃)；

γ_1、γ_2——摩擦轮和摩擦片材料的密度，g/cm³。

对于盘式离合器，可分别按下列公式计算主动和从动摩擦片的平均温度。

$$T_{主} = T_{初} + \sum \frac{Q\lambda_{主}}{\lambda_{主} c_{主} G_{主} + \lambda_{从} c_{从} G_{从}} \qquad (2\text{-}4\text{-}31)$$

$$T_{从} = T_{初} + \sum \frac{Q\lambda_{从}}{\lambda_{主} c_{主} G_{主} + \lambda_{从} c_{从} G_{从}} \qquad (2\text{-}4\text{-}32)$$

式中 $T_{初}$——挂合开始时摩擦片的温度，℃；

$\lambda_{主}$、$\lambda_{从}$——主动和从动摩擦片材料的热传导系数，J/(cm·s·℃)；

$c_{主}$、$c_{从}$——主动和从动摩擦片材料的比热容量，J/(kg·℃)；

$G_{主}$、$G_{从}$——主动和从动摩擦片单片的重量，kg。

在以上计算中，应取热负荷最大的摩擦片计算。例如，在双盘或多盘式离合器中，应按有两个摩擦表面的内摩擦片计算。

2．摘挂时间与操作性能

为了挂合平稳，一般希望挂合操作逐渐完成。至于摘开，则应越快越好，特别是当离合器与其它机构存在连动作用时，这就更加必要。从这点考虑，径向离合器比有发生空转扭矩危险的多盘式轴向离合器优越得多，因它还可以利用离心力的效果。

影响挂合时间的因素主要有以下两个。

（1）充气时间　它是指从气源到执行机构的气路中充气到额定压力（离合器达到额定扭矩）所需的时间，见图2-4-10。在一定气源压力下，它取决于气路中管线的构成及其尺寸。

在离合器工作时，若气罐中的压缩空气按平均绝对温度（$T = 340K$）考虑，则充气时间

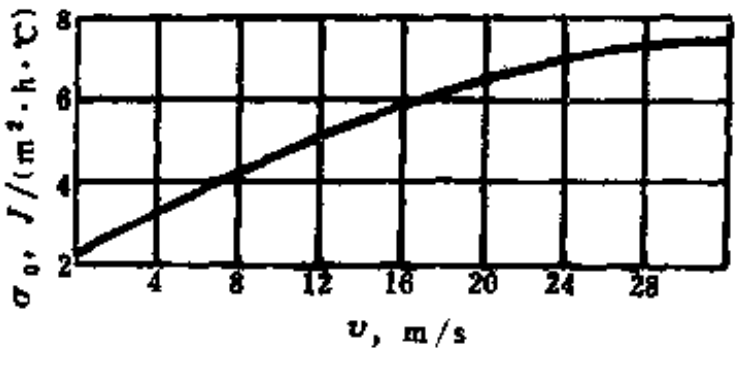


图 2-4-9　热交换系数σ_0

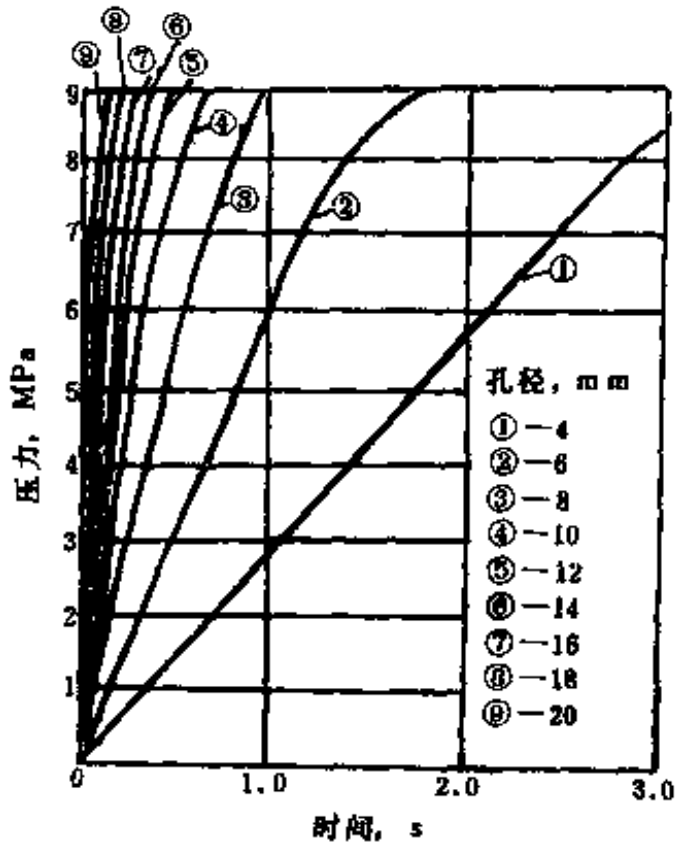


图 2-4-10　压力增长的特性

可按下式计算：

$$t = \frac{0.005V}{F}\sqrt{1+\xi}\left[\frac{1.2(P_{max}-P_0)}{\gamma P_0}+1\right] \qquad (2\text{-}4\text{-}33)$$

式中 V——气室和相应管线的容积，m^3；

F——气管线的最小截面积，m^2；

ξ——局部阻力系数；

P_{max}——气室内的压力，MPa；

P_0——气室内的初压力，MPa；

γ——空气的密度，g/cm^3。

通常为了考虑一定的安全倍数，充气时间应以比额定转矩大50～65%的转矩来计算。

（2）从动部分达到同步转速所需的时间 可按式（2-4-34）计算：

$$t = \frac{GD^2n}{375M_e} \qquad (2\text{-}4\text{-}34)$$

对于操作的遥控性，各种离合器都能实现。至于适应操作多样性的要求（如缓慢挂合、反复的半挂合、微动操作，以及频繁快速的摘挂操作等），则往往取决于离合器的散热性能，具有敞开结构的径向离合器，尤其是通风型离合器比盘式离合器优越得多。即使普通型离合器，其挂合频繁也可达到30～80次/min。

此外，盘式离合器在挂合时还会产生轴向推力，此推力使轴承的温度升高，并给其它相关零件带来不良的影响。

三、气胎式离合器的结构设计和模具设计

（一）气胎式离合器的结构设计

1．径向离合器

（1）设计原则 离合器结构设计合理与否，直接影响其使用性能，包括挂挡、灵敏度、转矩的大小和使用寿命。因此，结构设计时必须遵守下列几项原则。

a．能满足石油钻机等机械传递转矩的使用要求。

b．离合器的内外直径、断面尺寸应与使用机械的有效空间相配合。

c．断面空腔应尽可能小，即气室的容积应越小越好，使得进出压缩空气的时间短，挂挡、离合均灵敏。

d．确保内直径与摩擦轮之间的距离，一般为5～10mm。

e．采用的骨架材料必须能满足工作压力的要求（490kPa），可选用2～6层人造丝、尼龙或聚酯胶帘布。

f．外层胶必须能耐高温、耐燃，可采用氯丁橡胶和天然橡胶、丁苯橡胶并用。

g．内胎胶必须采用气密性好的天然橡胶和氯化丁基橡胶。

（2）主要设计参数 现以CDC700×135mm离合器的主要设计参数（如图2-4-11）为例列举如下。

摩擦轮直径为700mm，摩擦片厚度为6mm，闸瓦在自由状态下的内径为706mm，摩擦片宽度为135mm，摩擦片数为18片，摩擦片最大允许磨损量为2 mm，容积为2～4L，帘布层4～6层，外径为900mm，宽度为176mm，单个离合器传递最大转矩为2.0kN·m，单个离合器传动最大功率为736kW，净重86kg。

胶帘布厚度为1.25mm，4层，外层胶厚度为3 mm，内胎胶厚度为4.5mm，围条帆布厚度为1.25mm，帘布裁断角度为42°。

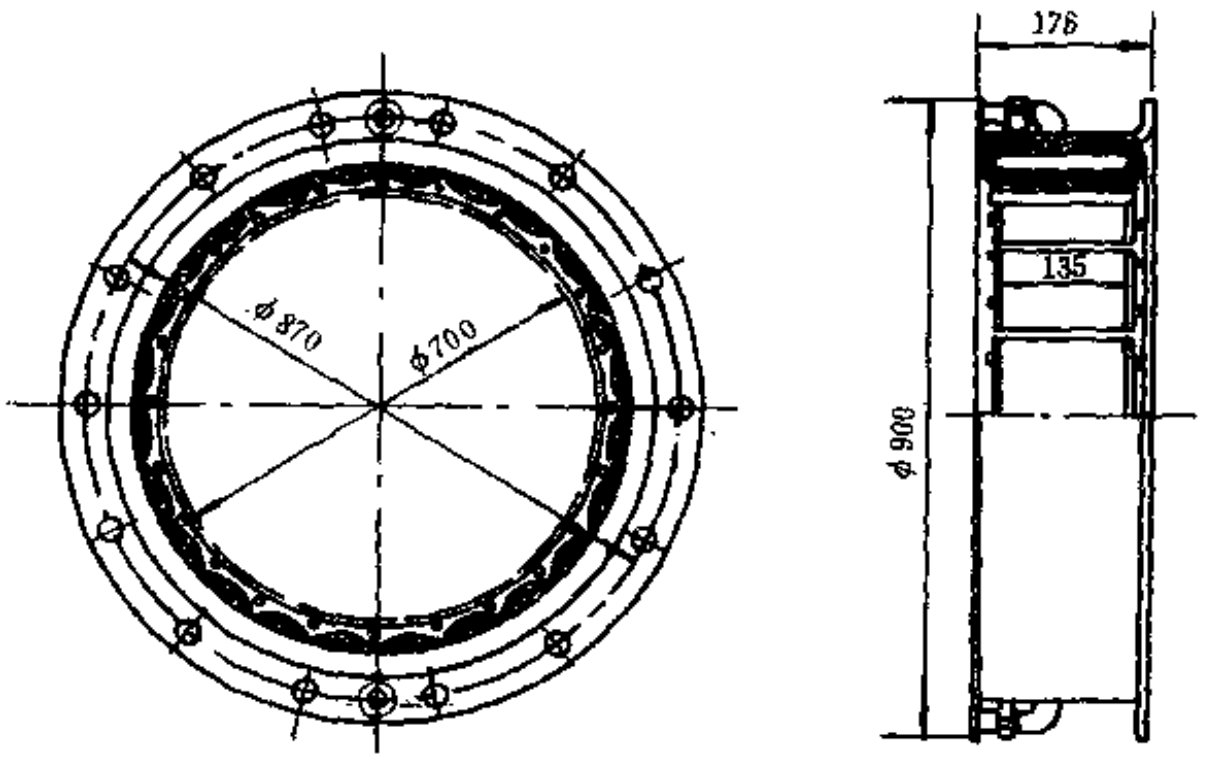


图 2-4-11 CBC700×135离合器示意图

2．轴向离合器

（1）设计原则

a．能满足石油钻机、冶金、轧钢等机械传递转矩的需要。

b．气胎能承受0.74MPa的工作压力，最大的工作压力为0.98MPa，适应温度为－55～40℃。骨架材料可采用高强力的尼龙帘布或人造丝帘布。

c．气胎在重复变形下工作，有一定的耐久性，并能在磨料介质中可靠工作。

d．外层胶和内胎胶可采用与径向离合器相同的胶种。

e．气胎结构侧面应尽可能厚，径向应尽可能薄，以保证动作快速、灵敏。

（2）结构设计例 现以280×160×22的盘式离合器为例，分述如下。

a．结构参数 主要包括摩擦副、复位弹簧和传动部分飞轮矩的参数。

① 摩擦副 外径$D_1=290$mm，内径$D_2=210$mm，数量$m=4$；材料：石棉刹车带或粉末冶金片。

气胎盘式离合器，外径$D_{01}=280$mm，内径$D_{02}=160$mm，高度$H=22$mm；扩张量：新衬板$\delta=4$mm，磨损后$\delta=8$mm，进气口数量$n=2$，进气口管径$D_y=15$mm，进气口面积$A=3.53cm^2$，容积$V=218.8cm^3$。

② 复位弹簧 刚度$c=20.78N/m\cdot$↑；数量：离合器$n=16$（串联为8组），制动器$n=16$，预压缩量$\Delta=1.745$mm，工作压缩量$\Delta_1=3.745$mm，最大压缩量$\Delta_{max}=5.745$mm；气胎盘式离合器结构见图2-4-12，制动器结构见图2-4-13。

③ 转动部分飞轮矩 离合器主动部分为36.6N·m²，从动部分为25.35 N·m²；制动器为9.56N·m²。

b．传动力矩 在不同的气压下离合器和制动器所能传递的力矩如表2-4-10。气胎的扩张情况见图2-4-14。

c．动作时间 离合器的动作时间由以下各项组成，如图2-4-15所示。

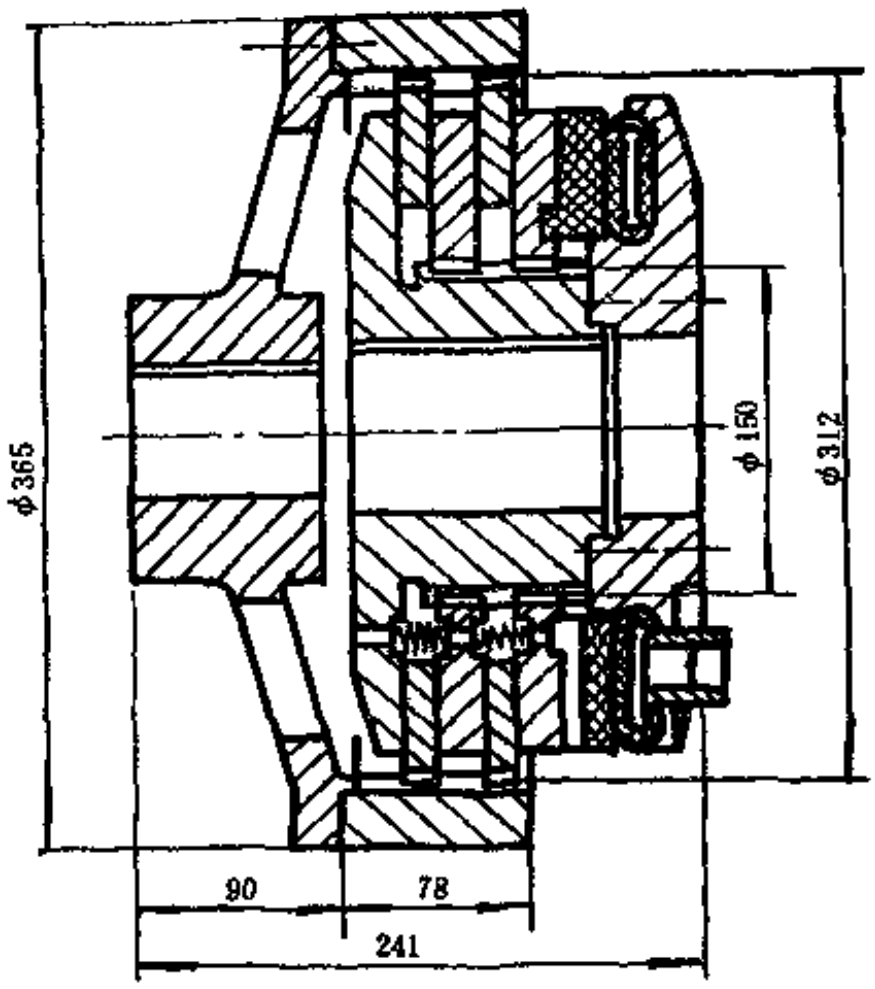


图 2-4-12　气胎盘式离合器结构图

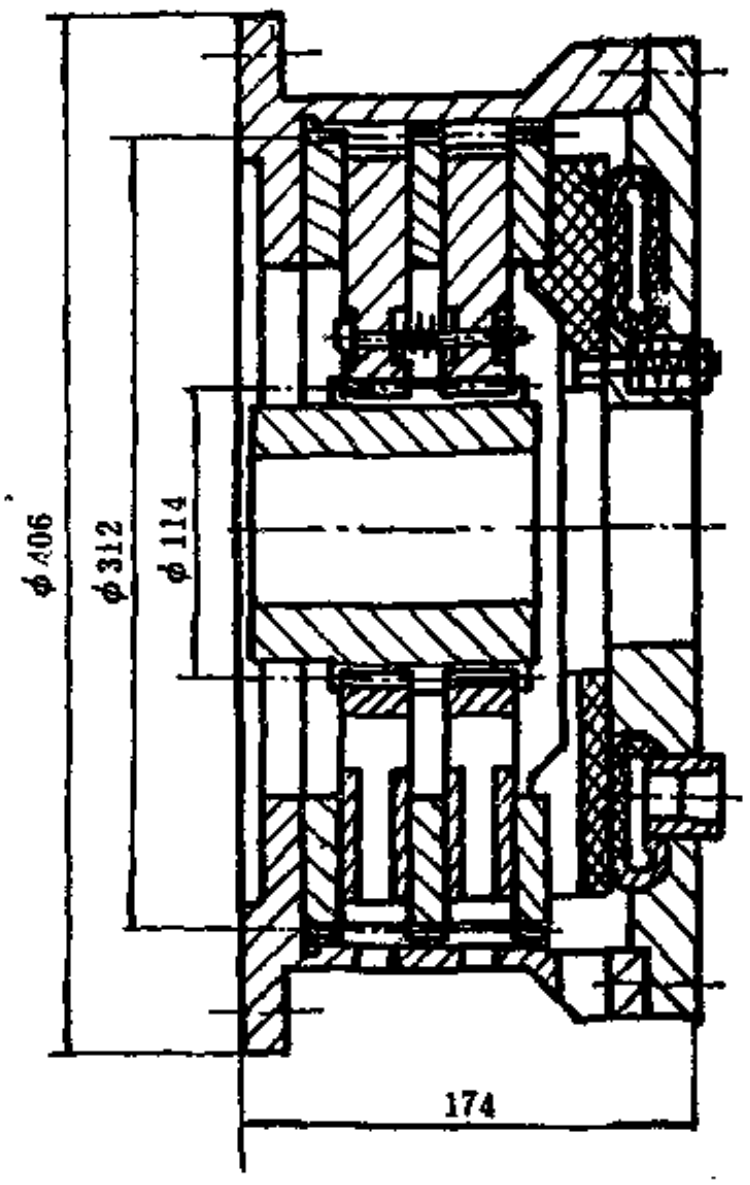


图 2-4-13　制动器结构图

表 2-4-10　不同气压下气胎盘式离合器和制动器传递力矩

类别 \ 空气压力 MPa	0.392	0.490	0.588	0.687
轴向力，kN				
离合器	91.50	118.85	115.24	179.85
制动器	82.10	109.44	139.94	167.30
计算力矩①，kN·m				
工作力矩 $\mu=0.25$	115.7/102.97	150.04/138.27	189.27/176.52	227.51/210.84
最大力矩 $\mu=0.35$	161.81/145.3	209.86/193.19	265.76/247.13	317.74/296.16

① 分母为制动器，分子为离合器的力矩。

① 电磁阀接电后，压力波的扩展时间t_{0-1}。

② 气胎和导管中的压力增长到克服反压力的时间t_{1-2}。

③ 从动轴力矩不断增长而未能克服从动轴上的阻矩，从动轴不动（即离合器打滑）的时间t_{2-3}。

④ 离合器力矩继续增长，从动轴从开始转动直到达到最大力矩的时间t_{3-5}。

⑤ 主动轴与从动轴达到同步运转所需的时间t_{5-6}。

⑥ 主动轴与从动轴同时升速到额定转速的时间t_{6-7}。

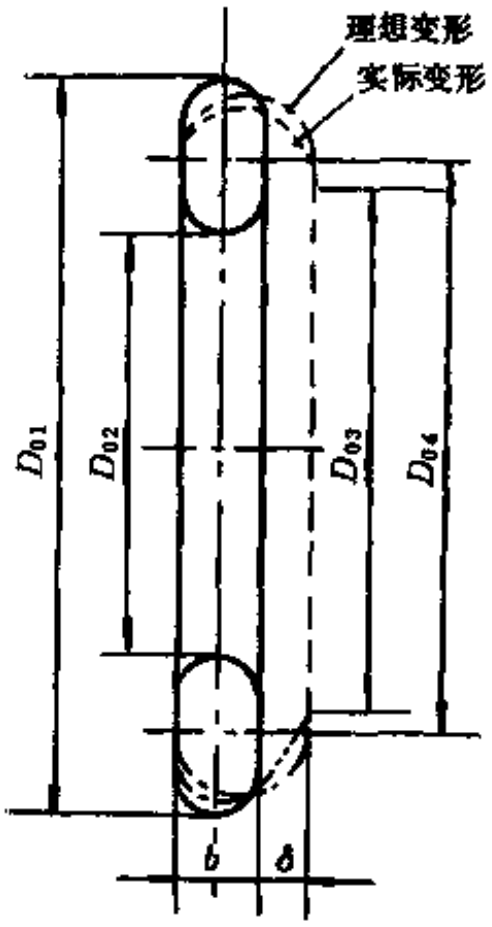


图 2-4-14 气胎盘式离合器实际变形

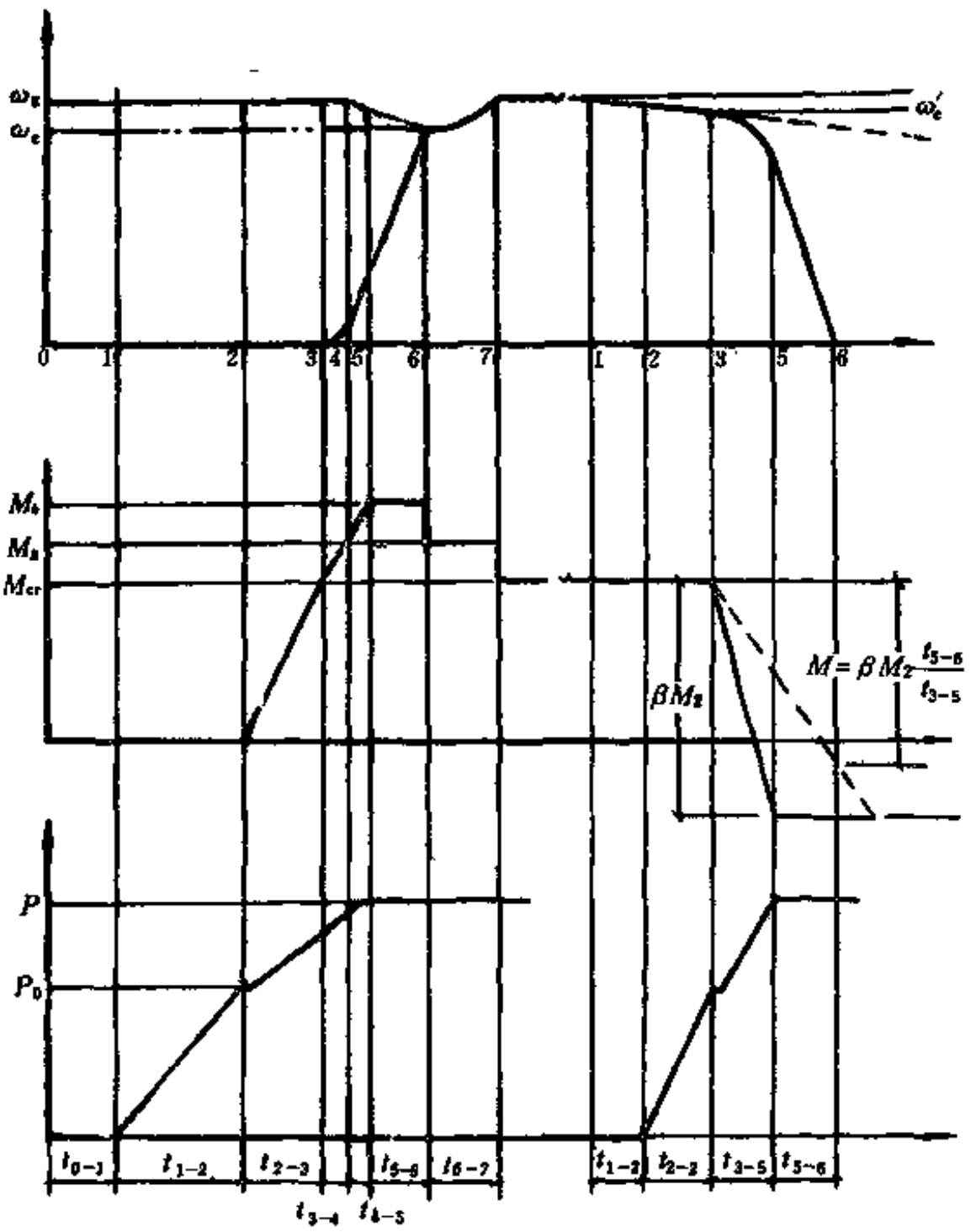


图 2-4-15 气胎盘式离合器动作时间、压力、力矩、线速度变化图

前三项由于从动轴尚未运转，所需的时间可以通过调整起动时间来补偿，后两项是取决于主动轴和从动轴的转动惯量，与气胎的性能无关。因此，研究的重点是第四项t_{3-5}，它与气胎容积、气阀至气胎间导管的截面、长度和空气压力有关。当空气压力为：$P=0.39$MPa时，$t_{3-5}<0.05$s；$P=0.49$ MPa时，$t_{3-5}<0.055$s；$P=0.58$ MPa时，$t_{3-5}<0.059s$；$P=0.68$MPa时，$t_{3-5}<0.064$s。

d．发热 离合器和制动器允许一次结合功和1h的发热量之值应根据计算和实验确定。

设：从动轴惯性力矩$J=20.6\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^2$；主动轴转速$n=200$r/min；结合次数K=200次/min。

则计算摩擦件温升$\Delta t=69$℃。

（二）气胎式离合器的极限扭矩计算

1．径向离合器的极限扭矩计算

从上面CБC700×135离合器的结构参数得知：R_1为38cm；B为13.5cm；P_0为29.4kPa。

则$Q_1=2\pi\times38\times13.5(P-0.029)=3223.3(P-0.029)$

还得知：G为165.3N；R'为36.4cm；R为0.35cm。

则$Q_2 = 1.12 \times 10^{-4} GR'n^2 = 6.74 \times 10^{-2} n^2$

把Q_1、Q_2值代入式（2-4-8）得：

$$M_{\#max} = (Q_1 - Q_2)\mu R = [3223.3(P - 0.029) - 6.74 \times 10^{-2} n^2]\mu R$$

$$W = M_{\#max} \cdot n = [3223.3(P - 0.029) - 6.74 \times 10^{-2} n^2]0.35\mu n$$

令$\frac{\partial \omega}{\partial n} = 0$

则$n = 395.4 \times \sqrt{\frac{P - 0.029}{0.0980665}}$

当$P = 0.52$MPa时，则$n = 884.7$r/min；

当$P = 0.76$MPa时，则$n = 1079.5$r/min。

假设摩擦系数μ分别为0.3和0.22，则可按上述公式分别计算出$M_{\#max}$、W、n值列于表2-4-11和表2-4-12。这些计算值与实测值相近似，说明上述计算公式符合离合器工作时的实际情况。

表 2-4-11 不同转速n与扭矩M功率W的关系

$P = 0.51$MPa　　$\mu = 0.3$

n r/min	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
Q_1 kN	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2
Q_2 kN	0	0.68	2.70	6.07	9.90	16.85	24.26	33.03	43.14	54.60	67.40	81.56
M kN·m	16.50	16.44	16.82	15.87	15.37	14.73	13.95	13.03	11.97	10.77	9.42	8.00
W kW	0	172.11	306.70	498.67	643.56	771.55	876.72	955.41	1003.22	783.45	987.04	914.96

$P = 0.76$MPa　　$\mu = 0.3$

n r/min	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
Q_1 kN	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95
Q_2 kN	0	0.677	2.697	6.070	9.905	16.85	24.28	33.03	43.14	54.60	67.40	81.56
M kN·m	24.67	24.60	24.39	24.03	23.54	22.90	22.12	21.20	20.14	18.94	17.59	16.10
W kW	0	257.43	510.44	754.62	985.57	1198.87	1390.10	1554.11	1687.24	1785.06	1842.43	1855.67

2．轴向离合器的极限扭矩计算

现以轧钢机上的气胎盘式离合器为例，计算其M_*值。

已知：P为0.59MPa；P_0为0.029MPa；D为0.596m；d为0.228m；H为0.045m；C_*为27.5 kN/m；Z_*为 8 根；Δ为0.012m；δ为0.008m；μ为0.71。把上述参数代入式（2-4-20）得：

表 2-4-12　不同转速n与扭矩M功率W的关系

$P=0.51$MPa　　$\mu=0.22$

n r/min	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Q_1 kN	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2	157.2
Q_2 kN	0	0.68	2.70	6.07	9.90	16.85	24.26	33.03	43.14	54.60	67.40	81.56	97.06	113.92
M kN·m	12.10	12.05	11.89	11.64	11.27	10.80	10.23	9.56	8.78	7.90	6.91	5.83	4.64	3.33
W kW	0	126.22	249.22	364.56	472.04	565.58	642.99	700.69	735.62	744.20	723.72	671.0	581.98	453.29

$P=0.76$MPa　　$\mu=0.22$

n r/min	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Q_1 kN	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95	234.95
Q_2 kN	0	0.677	2.697	6.070	9.905	16.85	24.26	33.03	43.14	54.60	67.40	81.56	97.06	113.93
M kN·m	18.09	18.04	17.88	17.62	16.26	16.79	16.22	15.55	14.77	13.89	12.90	11.81	10.62	9.32
W kW	0	188.88	374.56	563.68	723.09	879.31	1019.31	1139.73	1237.33	1308.82	1351.0	1360.6	1334.21	1305.53

$$Q_0=\frac{1000\pi}{4}(0.59-0.029)[(0.596-0.045)^2-(0.228+0.45)^2]-27.5\times8\times$$

$$\times(0.012+0.008)=9.6\times10^4\text{N}$$

再代入式（2-4-18）得：

$$q=\frac{9.6\times10^4}{\pi(29.8^2-11.4^2)}=40.3\text{N}\cdot\text{m}$$

又因$a=1$，$b=1$，所以$Z_m=3$

代入式（2-4-17）得：

$$M_m=\frac{2}{3}\pi\times0.71\times40.3\times(29.8^3-11.4^3)=15.0\text{kN}\cdot\text{m}$$

再代入式（2-4-14）得：

$$M_m=3\times0.71\times9.6\times10^4\times\frac{0.298+0.114}{2}=42.2\text{kN}\cdot\text{m}$$

（三）气胎式离合器模具设计

模具设计正确与否，直接影响到产品质量、工艺操作、劳动生产率的高低，因此，掌握好气胎式离合器模具设计是十分重要的。

离合器使用的硫化模具主要分上盖板、下盖板、内圈板和外圈板四大件，如图2-4-16所示。

1．径向离合器模具设计

（1）上盖板和下盖板的设计　普通型和通风型离合器的上、下盖板的设计基本一致。其设计首先考虑与内、外圈板的配合，配合沟槽宽度与内、外圈板的宽度一致，并以倾斜15～30°相接触；板内侧的弧度半径和断面高度与同规格产品结构图的尺寸一致；板的厚度一般为35～40mm，这是考虑到适应离合器在充1.9MPa内压下所需要的强度。板的内径和外径与内、外圈板相适应，并考虑紧固螺母的大小。板内、外开口紧固螺栓的多少，根据规格的大小而定。例如500×125、600×125离合器内开3个口，外开6个口，而1070×200则内开口4个，外开口8个，开口的宽度为40mm，深度为60mm。为便于装卸螺栓，下盖板外侧的中部设计出凸棱，使固定螺栓的部位离开地面。普通型离合器模具上盖板还要设计能窝藏固定杆的沟槽。此外，上、下盖板很重，不便搬运，必须在外缘设计握柄，以便吊装搬运。

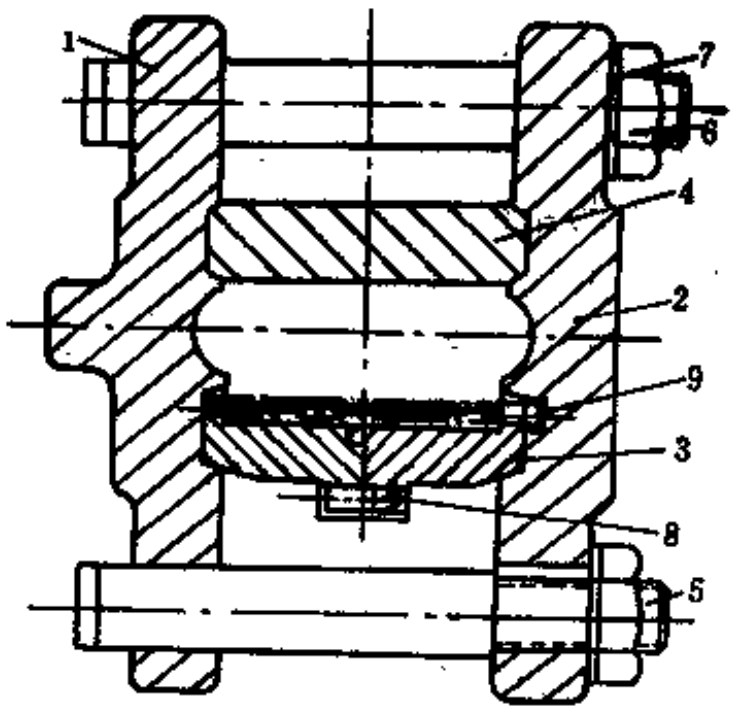


图 2-4-16　普通型离合器模具图

1—下盖板；2—上盖板；3—内圈板；4—外圈板；5—螺栓；6—螺母；7—垫圈；8—定位销；9—固定杆

（2）内圈板和外圈板的设计　模具断面的内腔尺寸是以气室的结构尺寸为依据的，其断面宽度、摩擦面宽度、胎侧的弧度半径、连结片和固定杆的位置和多少等设计都与结构均布一致。内径和外径则应考虑离合器硫化后的收缩率，一般收缩率为2%左右。

a．内圈板的设计　内圈板的设计，首先考虑板摩擦面的外直径，一般比成品的内径约大2%，摩擦面的宽度与成品尺寸一致；为了便于硫化操作和成品脱模，把内圈板分成上下两半；内圈板外径上的半圆筋的大小、数量和均布应与成品结构的均布一致，如图2-4-17所示。同时要考虑与摩擦轮之间的间距，其间距一般为10～15mm；连接杆的销孔直接应大于成品对应直径0.5mm，其数量和圆周均布与成品一致。为了内圈板的吊钩，也应在内圈板设计吊耳。上下半的内圈板吊耳应错开90°。上下半内圈板的销孔和半圆筋加工时，一定要保

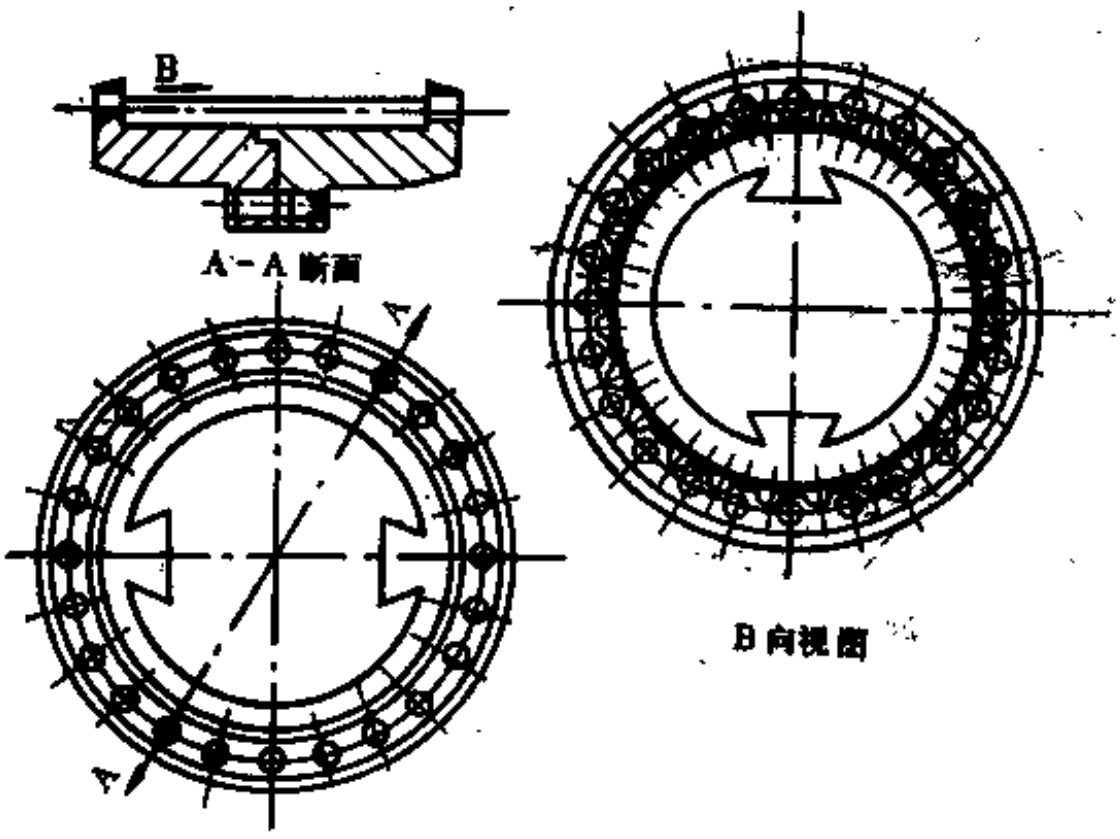


图 2-4-17　内圈板

证同心。为了便于加工，半圆筋允许镶入，但必须保证牢固。它与上下盖板以倾斜15°连接 。

b．外圈板的设计　普通型和通风型离合器外圈板的设计基本一致。只不过通风型外圈板的设计比普通型简单一些，它仅考虑与上下盖板连接的配合和嘴子的位置，外圈板嘴子孔的大小和形状是根据成品的尺寸而定，一般比成品尺寸大0.5mm。而普通型离合器外圈板的设计不仅要考虑以上的配合，还要考虑连接片的位置，数量应与成品的分布一致，螺孔的大小、中心距与结构一致，如图2-4-18所示。外圈板的内直径比成品的外直径约大2%，板的厚度为35～40mm。以倾斜25～30°与上下盖板连接，连接的深度为8mm。外圈板还要设计挂钩，便于硫化时的吊装。

（3）相关零部件的设计主要内容如下

a．紧固螺栓和螺母　紧固螺栓和螺母采用T36×1.5的梯形螺纹，螺栓的长度是根据不同规格气胎断面宽度加上下盖板的厚度，螺母的高度和垫圈的厚度，以及螺栓根底的厚度而定。一般螺纹的长度约150～200mm，螺纹以下为长方形钢，这样使拧紧上下盖板时，螺栓不会转动。螺栓厚度为40mm，螺栓根厚为30mm，螺母为ϕ66×T36×1.5×35。

b．固定杆的设计　固定杆的有效长度为普通型离合器摩擦面的宽度，直径为成品销孔的直径，固定杆的端头分两层，厚度分别为2mm和4mm，直径分别比固定杆直径大1.5～4mm。

c．外圈板挂钩的设计　挂钩用螺栓固定于外圈板上，作为吊装之用，它与外圈板的接触而，其弧度半径与外圈板的外半径相等，厚度是根据外圈板的重量而定，强度够就行，形状见图2-4-19所示。

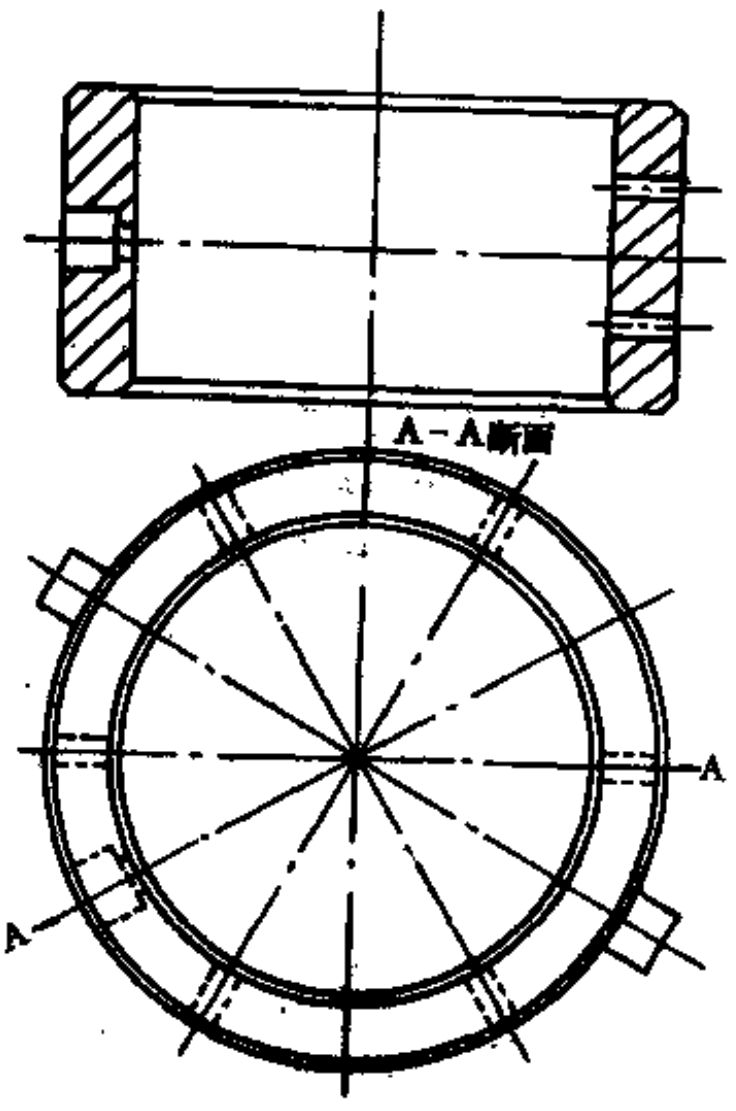


图 2-4-18　外圈板

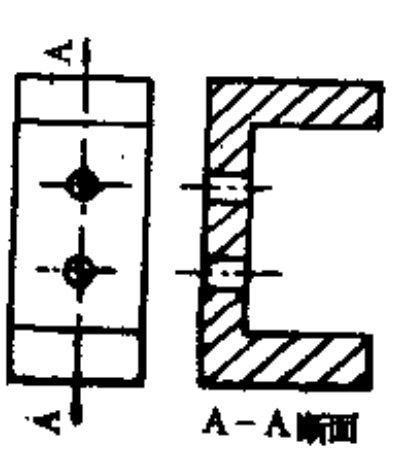


图 2-4-19　外圈板挂钩

2．轴向离合器的模具设计

轴向离合器（即盘式离合器）的设计比径向离合器简单得多，硫化模具主要分成上盖板和下盖板、紧固螺栓等，盘式离合器的内外径比成品内外径约大2%，其高度和断面弧度与成品一致，见图2-4-20所示。板的厚度为30～40mm，盖板圆周紧固螺栓处应开口多少，视不同的规格而定。例如540×300×40，外圆周开口6个，内圆只用一个大螺栓固定。上盖板嘴子的位置、形状与成品的分布一致，但尺寸较实物略大些，便于硫化时的装卸。其余部分和径向离合器的模具设计基本相同。

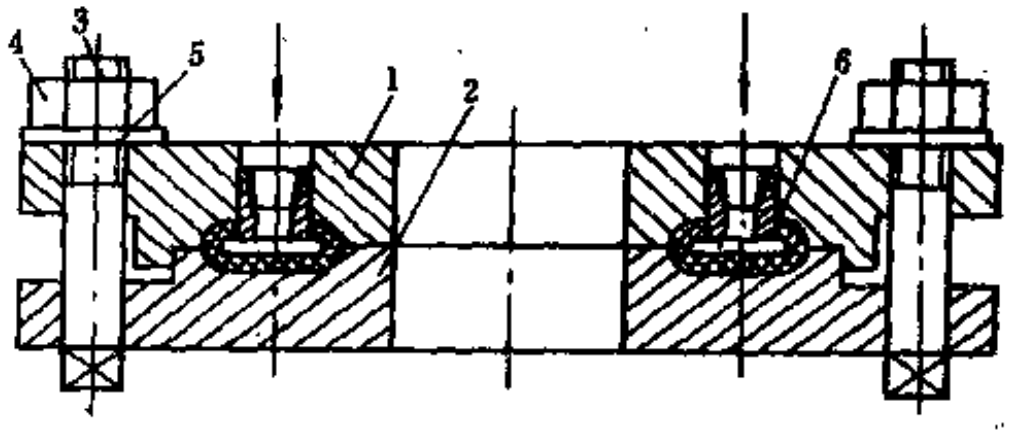


图 2-4-20　盘式离合器硫化模具

1—上盖板；2—下盖板；3—螺栓；4—螺母；5—垫圈；6—气胎离合器

四、气胎式离合器胶料配方设计

（一）离合器主要胶料的物理机械性能要求

1．外层胶

它直接与摩擦轮或摩擦副接触摩擦，须使离合器在运行中具有传递扭矩、耐磨损、耐热、不易燃烧、缓冲冲击以及防滑等使用性能。因此，外层胶应有较高的拉伸强度和良好的抗撕裂性，优异的耐热和耐磨性，还有较好的弹性、耐曲挠疲劳等。在高温热老化下保持一定的物理机械性能。

上述各项物理机械性能是互相联系、互相影响的。例如拉伸强度高，胶料的耐磨性、抗撕裂性也提高了，但胶料的耐热、阻燃性得不到改善。为了合理解决这一矛盾，外层胶中采用氯丁橡胶与天然橡胶（50:50）并用。

2．帘布胶

帘布胶的主要作用是将帘布层、外层胶与内胎胶粘结成一个整体。帘线与胶料在使用中受到反复压缩、伸张的应力变形，生热量大。因此，帘布胶要求生热小、耐热、耐老化、永久变形小、附着力高。提高帘布胶的定伸应力对减少生热与提高耐疲劳性有一定的好处。

3．内胎胶

内胎胶要求气密性好，较高的拉伸强度、耐热、耐撕裂，伸长率大，永久变形小，好的粘合力。

（二）离合器胶料的配方举例

现将离合器用的主要外层胶、帘布胶和内胎胶的配方举例列于表2-4-13。

表 2-4-13　离合器外层胶、帘布胶和内胎胶配方

组分 \ 胶料名称 重量份	外层胶	内胎胶	帘布胶	组分 \ 胶料名称 重量份	外层胶	内胎胶	帘布胶
烟片胶	40	100	100	防老剂	2.5	2.0	2.0
氯丁橡胶	50	—	—	软化剂	7	5	8
丁苯橡胶	10	—	—	水杨酸	0.3	—	陶土7
氧化锌	4.5	5	4.5	石蜡	—	1	—
炭黑	45	25	30	碳酸钙	—	13	—
硫黄	0.5	2	2.5				
促进剂	0.4	1.1	0.9	合计	163.7	156.6	154.9
硬脂酸	1	2	2	含胶率	61.08%	63.80%	64.55%

五、气胎式离合器生产工艺流程简述

（一）生产工艺流程

气胎式离合器生产工艺流程见图2-4-21所示。

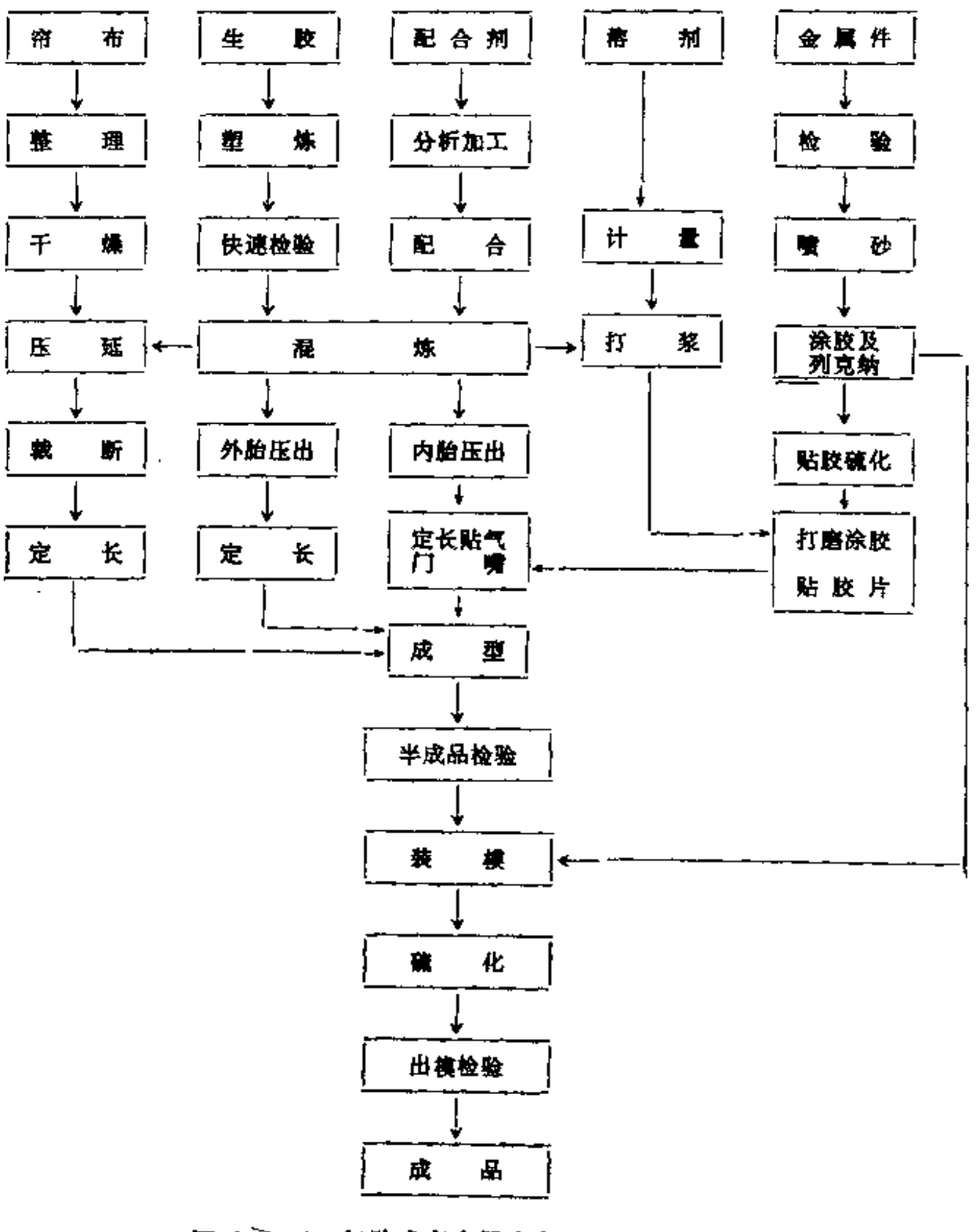


图 2-4-21 气胎式离合器生产工艺流程图

（二）准备工艺

1．金属件

金属件（金属气门嘴、连接片和钢圈）用喷砂处理，使用空气压力为0.44～0.59MPa，金钢砂粒度为16目，经喷砂处理过的金属件用汽油清洗后，在室温下干燥15～20min，涂JQ-1胶浆两遍，干燥15～25min，浸上胶浆，按工艺规范贴胶片或胶条，然后在硫化模中硫化，硫化条件是用蒸汽压力为0.39MPa，500×125以下的气门硫化15min，大于此规格的硫化20min。

2．帘布的压延与裁断

帘布使用四辊压延机进行压延，帘布的压延技术标准见表2-4-14。

表 2-4-14 帘帆布压延技术标准

项目 / 帘布名称	压延贴胶第一面		压延贴胶第二面	
	包辊胶厚度 ±0.01mm	工艺要求	胶布厚度 ±0.01mm	工艺要求
棉帘布	0.38	辊距压力适当	1.06	压力贴胶余胶适量
棉帆布	0.38	辊距压力适当	0.90	压力贴胶余胶适量

使用立式裁布机裁断，压延后的胶布停放时间为2～72h，裁布机的空气压力为0.39MPa，胶布裁断按生产先后顺序使用，帘布裁断的宽度、长度及公差须符合施工表的规定。将其拼接，用垫布卷成小卷，保持清洁，架空卧放，存放时间不多于48h。

3．内胎胶压出工艺

使用φ150压出机压出，机头温度为75±5℃，机身温度为40℃以下，螺杆温度为30℃以下，口型温度为85±5℃。

热炼及供胶使用开炼机，辊温为50～55℃，辊距为6～7mm，返回胶料的掺用量不大于30%。

4．外层胶制备

可用压出机、压延机或开炼机出型，胶片出型公差应符合表2-4-15的规定。

表 2-4-15 胶片出型公差

胶片厚度 mm	公差	胶片宽度 mm	公差
1.5 以下	±0.1	300 以下	±5
1.5～4	±0.2	300 以上	±10
4～6	±0.3	300 以上	±10

5．胶浆制备

按所需胶浆的浓度，先将定量的溶剂汽油放入打浆螺内，在搅拌状态下加入厚度为2mm左右的小片胶料，经数小时后溶成胶浆，停止搅拌，由出浆口把胶浆装入专用贮胶桶中备用。

胶浆浓度有（胶料∶汽油）1∶5，1∶7和1∶9等几种。

（三）成型

按施工标准裁好内胎胶，内胎里均匀涂滑石粉，将打毛后的气门嘴刷胶浆，按规定位置与内胎牢固粘合，最后接头贴合成内胎筒。

外层胶、帘布层、内胎筒依次套在成型机头上，帘布层用压辊压紧，帘布搭接为3～5根帘线，包边搭接宽度为5～10mm，各层帘布搭接部位应错开。包外层胶并将胎侧仔细包好压实，气门嘴贴胶条，周围贴直径60mm的胶帆布增强。

半成品的停放时间不超过20h，夏季不超过12h。

半成品的断面周长应符合表2-4-16的规定。

（四）硫化

使用立式硫化罐硫化或个体硫化机。

离合器胎胚检查后装入模具中，平稳放入硫化罐中，接好内压和回水管路，过热水内压为1.18～1.96MPa（温度为140℃以上），硫化罐蒸汽压力为0.34～0.44MPa，逐步升温。

表 2-4-16 常用离合器半成品断面周长

普通型	规　格	1070×200	700×200	500×125	300×100
	断面周长，mm	565±5	560±5	365±5	265±5
通风型	规　格	1070×200	500×260	580×150	318×100
	断面周长，mm	490±5	550±5	325±3	220±2

硫化时间为80～100min。

六、气胎式离合器的试验分析

（一）径向离合器的试验分析

1．离合器使用胶料性能要求

（1）6层离合器胶料物理机械性能要求　硬度（邵尔A）为59（上、下层胶料要求相同）。上层胶料：拉伸强度为18.2MPa；300%定伸应力为11.2MPa；扯断伸长率为451%；永久变形为5%。下层胶料：拉伸强度为8.7MPa；300%定伸应力为3.3MPa；扯断伸长率为637%；永久变形为14%，总的用胶量为12kg；气室容积为3.6L。

（2）4层离合器胶料物理机械性能要求　硬度（邵尔A）为60（上、下层胶料要求相同）。上层胶料：拉伸强度为19.4MPa；300%定伸应力为11.7MPa；扯断伸长率为475%；永久变形为4%。下层胶料：拉伸强度为18.9MPa；300%定伸应力为3.3MPa；扯断伸长率为618%；永久变形为13%。总的用胶量为13.3kg；气室容积为6.6L。

2．离合器传递能力测试

以CBC700×135离合器为例说明测试全过程。

（1）传递能力试验　试验装置如图2-4-22所示。试验开始时，将电磁刹车载荷除去，调整电机达到所需要的转速，气罐达到要求的空气压力。然后，挂合被测离合器，它的被动端和电磁刹车载荷开始旋转。当稳定后再给电磁刹车逐步增加载荷量，即离合器传递扭矩逐步加大，载荷达到一定值时，离合器开始打滑，传递扭矩由最大降低到另一稳定值，被动端转速由同步到零。图2-4-23反映了离合器在增加载荷时产生打滑过程中各个参数的变化规律。



图 2-4-22　离合器传递能力的试验装置

1—1000kW直流电机；2—1.53减速器；3—4000kW扭力传感器；4—离合器；5—电磁刹车载负；6—试验件

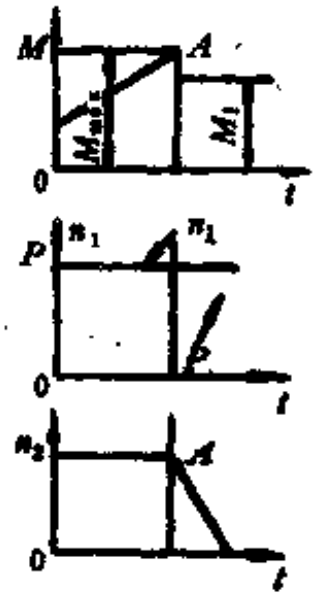


图 2-4-23　离合器试验在增加载荷时产生打滑过程中各参数的变化规律示意

A—打滑点；M_{max}—打滑前的最大扭矩；M_1—打滑后的传递扭矩；*P*—离合器工作压力；n_1—离合器主动端转速；n_2—离合器被动端转速；*t*—时间；*M*—扭矩

试验结果列于表2-4-17，从表2-4-17数据中可以计算出离合器的静摩擦系数$\mu_{静}\approx0.37$，动摩擦系数$\mu_{动}\approx0.31$。

表 2-4-17 离合器传递能力测试结果

测试项目 / 试验次数	M_{max} kN·m	M_1 kN·m	n_1 r/min	P MPa	$\mu_{静}$	$\mu_{动}$	$\mu_{静}/\mu_{动}$
1	15.63	—	396	0.43	0.37	—	—
2	14.04	—	98	0.40	0.38	—	—
3	14.53	12.35	97	0.40	0.39	0.33	1.18
4	19.37	—	100	0.49	0.37	—	—
5	17.28	15.34	100	0.42	0.39	0.35	1.13
6	15.65	—	97	0.42	0.36	—	—
7	15.38	13.05	97	0.42	0.35	0.30	1.18
8	14.68	12.16	297	0.40	0.35	0.29	1.21
9	14.72	12.16	297	0.40	0.35	0.29	1.21

（2）离合器快速挂合试验　试验装置如图2-4-24所示。首先调整电磁刹车的励磁电流、气罐中压缩空气压力、电机转速，使三个参数都达到要求。然后，开始挂合试验。由于负荷不大时，离合器被动端会被带动一起旋转，当转动稳定后，放出压缩空气，一次挂合试验结束，再间隔2.5～3min后，再重做一次挂合试验。图2-4-25为每次挂合试验过程中各参数值变化情况。

离合器共进行了50次的挂合试验，均未发现有严重的损坏现象。当n_1为900r/min，气罐



图 2-4-24　离合器快速挂合试验装置示意

1—1000kW直流电机；2—1.63减速箱；3、5—40kN·m扭力传感器；4—离合器；6—1:3减速器；7—电磁刹车负载；8—试验件

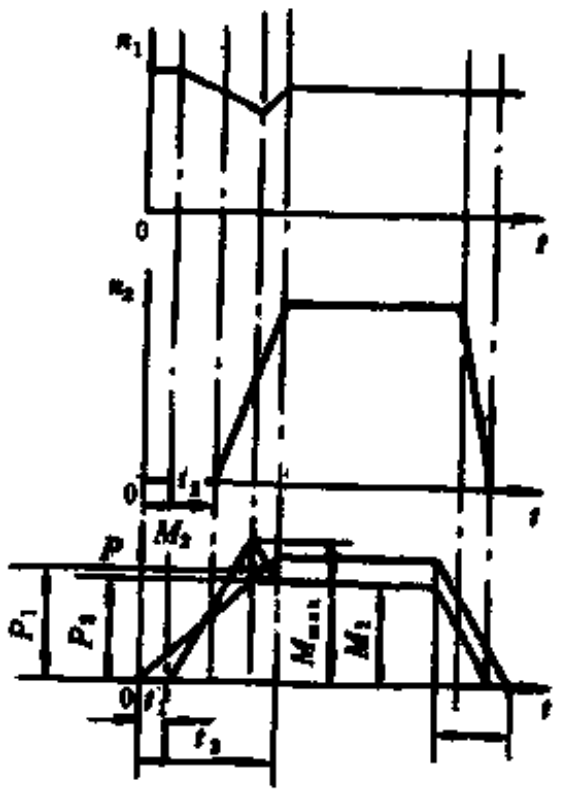


图 2-4-25　离合器快速挂合过程中各参数值的变化情况示意

M_{max}—挂合过程中最大传递扭矩；M_1—负载扭矩；P_1—传递扭矩达到M_1时的压力；P_2—传递扭矩达到M_{max}时的压力；t_1—从挂合到离合器被动端开始产生扭矩所需的时间；t_2—从挂合到离合器被动端开始旋转所需的时间；t_3—从挂合到离合器转速稳定所需的时间；t_4—排出压缩空气时间；n_1—离合器主动端转速（400r/min）；P—气罐内空气压力；n_2—离合器被动端转速(900r/min)；M_2—从动元件的惯性扭矩；t—挂合时间

中压缩空气压力为0.78MPa时，进行离合器快速挂合试验，测得的结果列于表2-4-18。

（3）进、放气时间的测试结果　当气罐中空气压力为0.39MPa，n_1为300r/min时，测得离合器进气时间为7s；放气时间为2.5s。当气罐内空气压力为0.78MPa，n_1为0时，测得进气时间为6s；放气时间为2.5s。

（4）离合器气密性能试验结果　当气室压力为0.78MPa，并保持一定时间，未发现有

表 2-4-18 离合器快速挂合试验结果

试验项目 / 试验次数	t_1 min	t_2 min	t_3 min	M_1 kN·m	P_1 MPa	P_2 MPa	t_4 min	M_{max} kN·m
1	1.4	2.1	3.1	8.7	0.57	0.59	2.6	10.6
2	1.5	2.1	3.1	7.7	0.57	0.59	2.8	10.3
3	1.6	2.1	3.1	7.2	0.56	0.59	2.7	9.3
4	1.6	2.1	3.1	8.0	0.57	0.59	2.6	10.3
5	1.5	2.1	3.1	7.6	0.56	0.59	2.6	9.2
6	1.4	2.1	3.0	7.5	0.54	0.59	2.6	9.2
7	1.5	2.1	3.2	7.7	0.57	0.59	2.6	9.9
平均	1.5	2.1	3.1	7.8	0.56	0.59	2.6	9.6

漏气现象，说明其气密性能良好。

3．试验结果分析

（1）表2-4-17试验结果分析　从表2-4-17数据中可看出，试验测得的μ_m值与表2-4-11和表2-4-12中的计算值数据相近，前者平均为0.31，后者为0.3。

（2）表2-4-18试验结果分析　离合器的挂合时间为3.1s、放气时间为2.6s，是试 验所得的较合适的工作时间。

4．试验结果评价

（1）该型离合器在低转速（n_1＜400r/min)时，可取μ_m为0.3；在高速转速(n_2＞900r/min）时，可取μ_m为0.22。这样，该离合器就能完全满足ZJ-45型链条石油钻机的要求。

（2）4层胶帘布离合器（气室容积6.6L)，重13.3kg，使用单气嘴，在转速为900r/min时，挂合时间为3.1s，放气时间约2.6s，挂合50次功率可达736kW左右。

（3）靠近摩擦片处的离合器外层胶较软，当充内压时有向外凸起现象。

（4）该离合器与隔膜型（DY-700×135）离合器相比，进气时间较长；但与普通型（700×200）离合器相比，进气时间较短。

（5）离合器与摩擦片之间的隔热纸在试验中有损坏现象。

（二）轴向盘式离合器的试验分析

1．轴向盘式离合器使用性能和制造材料性能的要求

（1）使用性能　气胎采用耐热的氯丁橡胶和高强力的尼龙帘布制造。气胎应能承受0.74MPa的工作压力，最大的工作压力为0.98MPa，工作温度为40～－55℃。气胎在重复变形下工作，有一定的耐久性，并能在磨料介质中可靠工作。气胎的容积尽可能小，使动作快速、灵敏。

（2）制造材料性能的要求　气胎外层胶采用天然橡胶和氯丁橡胶并用，内胎胶采用天然橡胶，其性能是：拉伸强度为15.7MPa；扯断伸长率为500%；硬度（邵尔A）为55～60；永久变形为14%；帘布与帘布粘附强度为3.92kN/m；硫化胶与帘布粘附强度 为 4.9kN/m。骨架材料为 2 层尼龙网眼布，外层胶厚度为2.5mm；内胎胶厚度为2.5mm。

2．传递力矩的测试

气胎盘式离合器传递力矩测试装置如图2-4-26所示。测试是在 4 种供气压力，3 种转速和 3 种从动轴惯量相互组合条件下进行的。试验结果见表2-4-19。

3．离合器在不同工作情况下动作时间的测定

（1）从动惯量为 20.6N·m·s² 时，动作时间测定结果见表2-4-20。

（2）从动惯量为 17.7N·m·s² 时，动作时间测定结果见表2-4-21。

（3）从动惯量为 14.7N·m·s² 时，动作时间测定结果见表2-4-22。

4．温升的测定

从动惯量为 20.6N·m·s²，离合器轴转速为200r/min，动作为 20次/min，温升情况见图2-4-27。

表 2-4-19 离合器和制动器传递力矩试验结果

气压 MPa	$\mu_{静}$	$\mu_{动}$	离合器M_{max} kN·m	制动器M_{max} kN·m
0.39	0.316	0.265	1.37	1.73
0.49	0.31	0.260	1.69	2.12
0.59	0.317	0.266	2.06	2.59
0.69	0.33	0.277	2.52	3.17

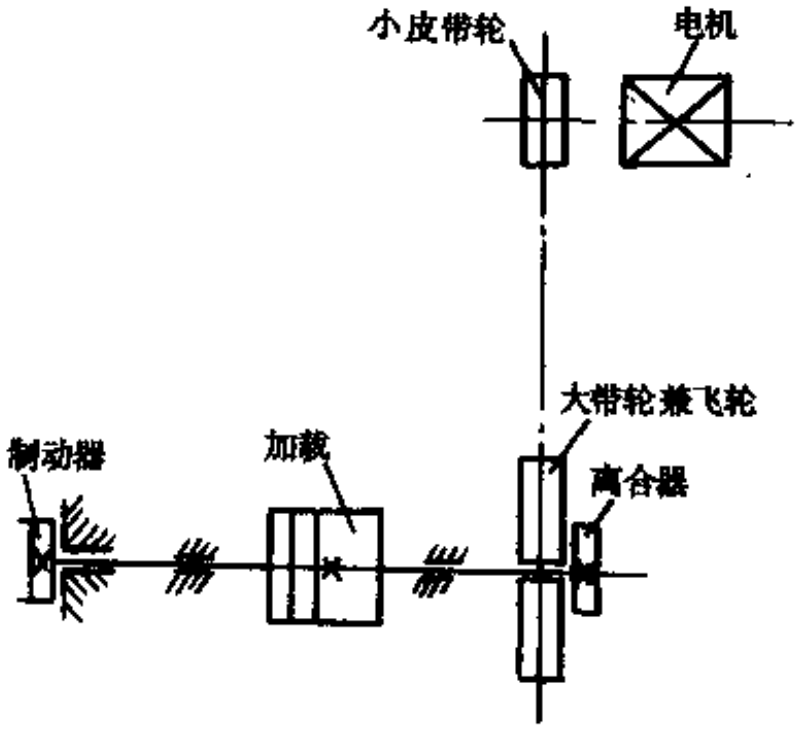


图 2-4-26 气胎盘式离合器力矩时间测试装置

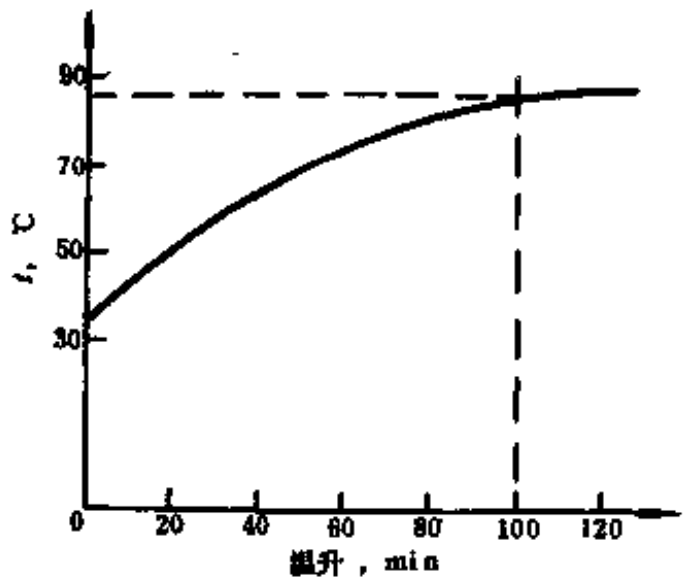


图 2-4-27 温升与时间关系曲线图

表 2-4-20 离合器动作时间试验结果

从动惯量J N·m·s²	气压 MPa	飞轮转速 r/min	t_1 s	t_2 s	t_3,s/n, r/min	t_4 s
20.6	0.39	200	0.15	0.26	0.26/186	0.289
		300	0.13	0.26	0.31/280	0.319
		400	0.11	0.26	0.36/377	0.371
20.6	0.49	200	0.16	0.30	0.28/187	0.282
		300	0.12	0.30	0.31/280	0.318
		400	0.11	0.30	0.35/379	0.360
20.6	0.59	200	0.14	0.34	0.27/188	0.276
		300	0.12	0.34	0.30/281	0.309
		400	0.10	0.34	0.35/379	0.359
20.6	0.69	200	0.13	0.36	0.27/189	0.277
		300	0.11	0.38	0.30/282	0.306
		400	0.09	0.38	0.34/380	0.356

注：t_1代表电磁阀接电至从动轴开始动的时间。

t_2代表电磁阀接电至离合器扭矩最大值的时间。

t_3、n代表电磁阀接电至从动轴转速达到同步的时间与此时的转速。

t_4代表电磁阀接电至从动轴达到额定转速的时间。

表 2-4-21 离合器动作时间试验结果

从动惯量J N·m·s²	气压 MPa	飞轮转速 r/min	t_1 s	t_2 s	t_3,s/n, r/min	t_4 s
17.7	0.39	200	0.14	0.26	0.25/188	0.258
		300	0.12	0.26	0.29/283	0.298
		400	0.10	0.26	0.33/380	0.340
17.7	0.49	200	0.13	0.30	0.24/198	0.247
		300	0.11	0.30	0.28/284	0.289
		400	0.09	0.30	0.33/381	0.340
17.7	0.59	200	0.12	0.34	0.24/189	0.248
		300	0.11	0.34	0.28/284	0.289
		400	0.08	0.34	0.32/282	0.330
17.7	0.69	200	0.12	0.38	0.32/190	0.237
		300	0.10	0.38	0.27/285	0.278
		400	0.08	0.38	0.32/382	0.330

注：t_1、t_2、t_3、t_4、n同表2-4-20。

表 2-4-22 离合器动作时间试验结果

从动惯量J N·m·s²	气压 MPa	飞轮转速 r/min	t_1 s	t_2 s	t_3,s/n, r/min	t_4 s
14.7	0.39	200	0.13	0.26	0.24/189	0.247
		300	0.10	0.26	0.28/248	0.298
		400	0.09	0.26	0.31/381	0.319
1.47	0.46	200	0.12	0.03	0.23/190	0.237
		300	0.10	0.03	0.26/230	0.268
		400	0.08	0.30	0.31/308	0.32
14.7	0.59	200	0.11	0.34	0.23/190	0.237
		300	0.10	0.34	0.26/286	0.268
		400	0.07	0.34	0.29/383	0.300
14.7	0.69	200	0.10	0.38	0.20/192	0.210
		300	0.09	0.38	0.22/287	0.230
		400	0.07	0.38	0.26/384	0.272

注：t_1、t_2、t_3、t_4、n同表2-4-20。

5。试验结果分析

（1）关于传递力矩的分析　从表2-4-19中取$\mu_{动}$为0.26～0.27和$\mu_{静}$为0.31～0.33，按此系数计算的工作力矩列于表2-4-23。

表 2-4-23 在不同气压下计算力矩和实测力矩

气　压，MPa	0.392	0.490	0.588	0.686
计算力矩（动），kN·m	1.23/1.15	1.56/1.44	2.02/1.88	2.52/2.34
计算力矩（静），kN·m	1.46/1.31	1.86/1.72	2.40/2.24	3.00/2.79
实测力矩，kN·m	1.37/1.73	1.69/2.12	2.06/2.59	2.59/3.17
$\lambda=\frac{\text{实测侧面积}}{\text{计算侧面积}}$	0.94/0.96	0.91/0.94	0.86/0.92	0.84/0.91

注：表中分子为离合器，分母为制动器。

λ值为离合器充气膨胀的实际侧面积和理论计算侧面积之比，见图2-4-14。从表2-4-23中的数据可获得以下的规律。

a．充气压力越高，气胎侧面的接触面积越小，即λ系数越小；

b．气胎直径越大，厚度越薄，气胎扩张量越小，λ系数越高。扩张量取决于摩擦副的多少和允许的磨损量；

c．λ系数的大小与截面形状有关，由于条件的限制，这次试验的盘式离合器的胶层是按等厚制造的，以后可将侧面胶加厚，弧面胶减薄，以提高λ系数。

（2）动作时间的分析　简述如下。

a．实测的动作时间与计算动作时间相差较大，如表2-4-24。

反应速度慢的原因是多方面的，根据资料介绍，气胎内气体压力与时间的关系如图2-4-28所示。气胎内压力在0.528MPa之内是成比例关系的，否则将延长充气时间，降低了气胎的灵敏度。

表 2-4-24　实测动作时间与计算动作时间表

气压 MPa	0.392	0.490	0.588	0.687
计算值,s	<0.05	<0.055	0.059	<0.064
实测值,s	0.11～0.17	0.15～0.22	0.20～0.27	0.26～0.31

b．充气时间随充气压力而增加，在容积389cm³条件下，压力每升高9.8×10^{-2}MPa，需延长充气时间0.04s，而计算仅需0.005s。

c．在同样的负荷条件下，充气压力愈高，充气时间愈长，而从动轴开始动作也愈早，因此力矩增长时间（t_{3-5}）相应愈长。

d．在同样负荷下，转速愈高，力矩的增长时间也愈长。压力、转速与力矩增长时间的相互关系见图2-4-29所示。

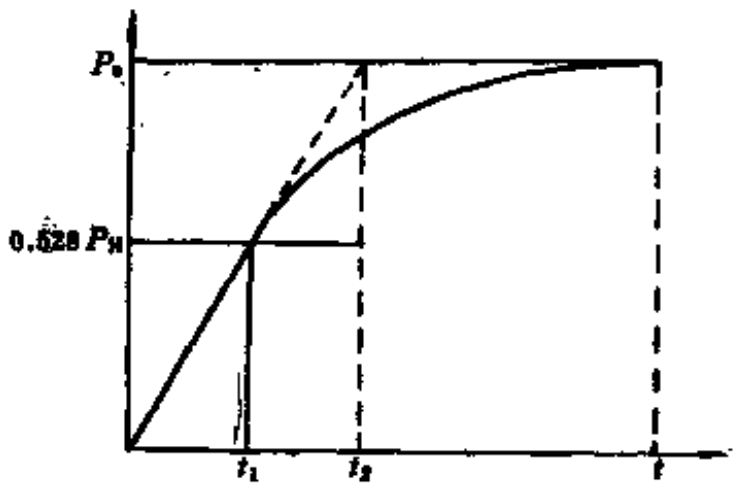


图 2-4-28　气胎内空气压力与时间的关系

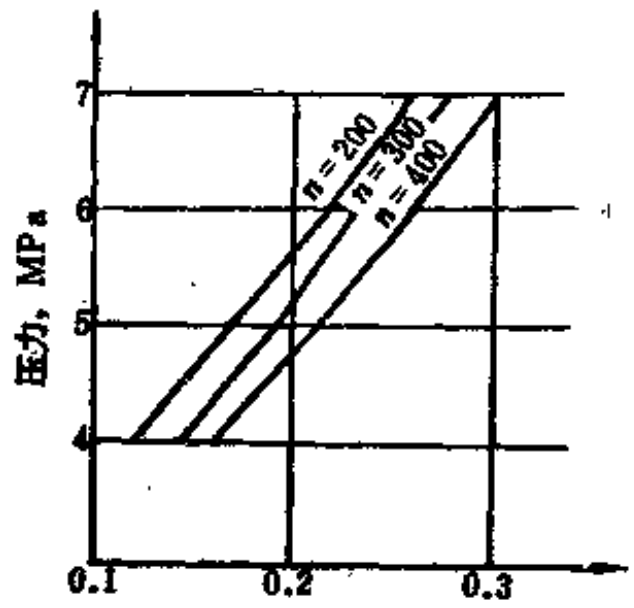


图 2-4-29　压力、转速与力矩增长时间的关系

e．上述试验没有装快速排气阀，如安排气阀后，时间还能缩短些。

f．盘式制动器的动作时间为0.13s，因此盘式离合器电磁阀断电和制动器电磁阀 通 电可同时进行，无需延时。

（3）发热问题的分析　简述如下。

a．由测试测得当连续工作60min时，摩擦片的温度为75℃，室温为35℃，温升40℃，这是从制动器摩擦副中定片测得的温度，散热条件较差。

b．试验100min后达到平衡，最高温度是85℃，温升50℃。对石棉衬的盘式离合器，允

许温度一般在100～150℃。

c．试验是在从动轴$GD^2=804N\cdot m^2$，1min动作20次条件下进行，工作条件繁重。

6．同类产品的对比

测试使用的离合制动装置相当于美国（Wichita Clutch Co.)的ATD-211离合制动装置，其性能对比见表2-4-25。

表 2-4-25 国产离合制动装置与美国的ATD-211性能对比

项　　目	美　国 ATD-211	国产测试装置	项　　目	美　国 ATD-211	国产测试装置
摩擦盘直径，mm	379.2	290	允许热马力,kW	1.36	1.53①
0.680MPa气压下传递力矩,kN·m	2.11	2.52	总重量（不包括法兰),kg	48.6	71.6
气胎面积，mm^2	348.3	2.18	从动侧总重量，kg	16.8	51.268
新衬板扩张量，mm	9.5	4	总GD^2(不包括法兰),$N\cdot m^2$	29.91	50.69
旧衬板扩张量，mm	14.3	8	从动侧GD^2，$N\cdot m^2$	18.24	25.35

① 允许热马力$P_{xu}=\dfrac{\Sigma GD^2n^2}{4500\times7160}\times0.7457$。

七、气胎式离合器的选择

选用离合器的基本原则是：在满足使用条件要求的前提下，离合器应有较长的使用寿命和良好的动力指标（即单位摩擦表面所传递的功率，对于径向离合器，一般为0.05～0.11kW；对于单盘和双盘的轴向离合器，分别为0.04～0.06kW和0.04～0.11kW）。

（一）径向离合器的选择

1．不产生滑磨的工作情况　如果要求在挂合离合器时，基本不产生滑磨，应按下式选用容量较大的离合器：

$$M_{max}=K\frac{5.2W}{n} \tag{2-4-35}$$

式中　W——传递功率，kW；

n——相应转速，r/min；

K——安全系数，一般取1.5～2.5。

式（2-4-35）中乘以K是从以下三方面的原因考虑的。

（1）离合器从动部分的质量与负载在挂合阶段产生了惯性力矩。

（2）由于材质及制造、安装、使用等各种因素的影响，离合器在工作时不能完全达到设计性能。

（3）气室充气及其压力增长有一个过程，达到M_{max}所需的时间往往大于离合器从动部分与主动部分完全同步的时间。

应当指出，K值选得过大，不仅会增大离合器的尺寸，降低其动力指标，并丧失过载保护作用，并且还会使离合器刚性增大，动负荷加大，以至引起冲击、扭振，造成工作不平稳甚至在转动机构中产生危险应力。

当离合器从动部分的惯量较大时，应直接根据从动部分的飞轮惯量GD^2和规定的加速时间，按式（2-4-26）选定离合器的容量（即根据惯性力矩来选取）。或对已选定的离合器，按下式验算其加速时间t(s)：

$$t = \frac{GD^2n}{375M_{摩擦}} \tag{2-4-36}$$

当$t \leqslant 5$s时，可选用普通型离合器，但一般选用通风型离合器更好。如$t > 10$s时，则宜选用在摩擦轮内和钢圈上加装散热片的通风型离合器，它的比滑磨功率一般可达到0.09kW，为普通型离合器的4倍。

通常，对这种工作情况，选用这两种离合器均可，但对于转速高、转矩大的场合，则应选用通风型离合器。

2．连续滑磨和半挂合的工作情况

一般可选用通风型离合器。它能实现30s左右的连续滑磨，或在圆周速度为25m/s的情况下实现3～4min的滑磨。

如果希望在满负荷下连续滑磨，则可选用摩擦轮内有冷却水套的通风型离合器。并按下式选用离合器的转矩：

$$M_{摩擦} = \frac{7.02\alpha_w A}{n_{max}} \tag{2-4-37}$$

式中 M——转矩，kN·m；

α_w——比滑磨功率，kW；一般在0.006～0.012kW范围内选取；

A——整个离合器摩擦表面面积的总和，cm²；

n_{max}——相对滑动的最大转速，r/min。

3．频繁挂合工作情况

在此工作情况下，两种离合器均可选用，但普通型一般只适合于轻负荷的工作情况。当摩擦表面的圆周速度在16.7m/s以上，而且离合器从动部分的惯量大时，宜选用通风型。同时，为了加速离合器的摘挂操作，应增多或加大进气孔，并在执行机构上或其它附近装上快速放气阀，以尽量减小滑磨功。

用于这种工作情况的离合器，一般可按下式计算摩擦表面所需的面积：

$$A = \frac{fW}{\alpha'_w} \tag{2-4-38}$$

式中 A——所需面积，cm²；

f——挂合频率，次/min；

W——离合器挂合一次的滑磨功，kN·m；

α'_w——比滑磨功，kN·m/cm²，取0.06。

（二）轴向离合器的选择

对摘挂频率低，离合器从动部分的负荷转矩或飞轮惯量小的工作情况，一般根据使用条件计算的转矩选定离合器的容量。反之，则还应计算其滑磨功。如果需要在超过容许滑磨功的工作情况使用，则还应校核离合器的发热量。

1．摩擦转矩的计算

分以下两种情况。

（1）挂合时从动部分的负荷转矩或飞轮惯量小，挂合后负荷转矩才达到最大值。

对于这种情况，离合器的容量可根据挂合时的动摩擦转矩，按下式确定：

$$M_{动} = \frac{GD^2n}{375t} + M_{静} \tag{2-4-39}$$

式中，$M_{挂}$为挂合时的负荷转矩，其它的符号同前。当挂合时动摩擦转矩小于挂合后的最大负荷转矩$M_{静max}$的一半时，离合器的容量应根据静摩擦转矩按下式选定：

$$M_{静} \geqslant K M_{静max} \tag{2-4-40}$$

式中的安全系数K可按表2-4-26选取。

表 2-4-26 轴向离合器的安全系数

负荷性质 \ 动力机类型	电动机	内燃机	
		4-8缸	1-3缸
有规律的启动，运转平稳	1.2～1.4	1.6	1.7～2.5
中等负荷启动，运转时有轻微振动	1.4～1.8	2.0	1.9～2.8
重负荷启动，运转时有振动	1.8～2.2	2.5	2.4～3.3
超重负荷启动，运转时大振动	2.5	3.0	4.5

$$M_{静} \geqslant K\left(\frac{GD^2n}{26.2t} + M_{静max}\right) \tag{2-4-41}$$

2．滑磨功的计算

对于经常在滑磨工作情况下使用的离合器，则不宜按离合器额定的极限摩擦转矩选用，而应降低使用。其滑磨功可按式（2-4-24）计算。

3．发热量的计算

当需要离合器在超过容许滑磨功的工作情况下使用时，须进行发热量计算。一般希望离合器的使用温度不高过60℃，为此，应按下式检查离合器在1h内平均发热量：

$$Q = 9.81Wi \tag{2-4-42}$$

式中 Q——1h的发热量，J/h；

i——1h内平均的挂合次数。

八、通风型离合器应用新领域——在市政工程中的应用

气胎式离合器多用于石油钻机，此外则用于矿山、冶金机械，如挖掘机、牙轮钻机；盘式离合器在轧钢机组上的应用都是作为连接和卸开传递扭矩的重要元件而使用的。

由于城市建设的迅速发展，因而地下给、排水管道施工工程随之增多，而管道的接口质量是整个工程质量的关键，当采用预应力钢筋混凝土管时，则需经管道的水压试验来检验，使用的工具为单口试验机，它是定量检查接口质量，我国北京地区采用通风型离合器作为管道的活堵头，代替了以往使用的盲板，可随用随装，操作方便，性能可靠，节约人力、物力和时间。

通风型离合器在单口试压机中作为密封件使用，被简称为胶囊。

（一）胶囊的工作原理

1．胶囊的安装

单口试压机是在管道接口处装上两个胶囊，中间由钢板连接，如图2-4-30所示。在胶囊和钢板上分别装上压力表。当胶囊充水至一定压力后与管壁形成密封，使管道接口处形成一个密封空腔，然后向空腔内注试压水，使胶囊和接口空腔的水压至恒定。略停片刻，如水压下降，说明管道接口漏水，必须重新安装；如水压不下降，说明管道安装的接口质量可靠。

2．胶囊的作用

胶囊在这里是作为试压的活堵头。胶囊充水后产生膨胀，使外壁钢管内壁与工具环紧密相贴并压紧，起到密封止水的作用。钢管内水压产生的推力由工具环传给工字钢横梁，又通过拉环给焊块承受，起到止推的作用，如图2-4-31所示。

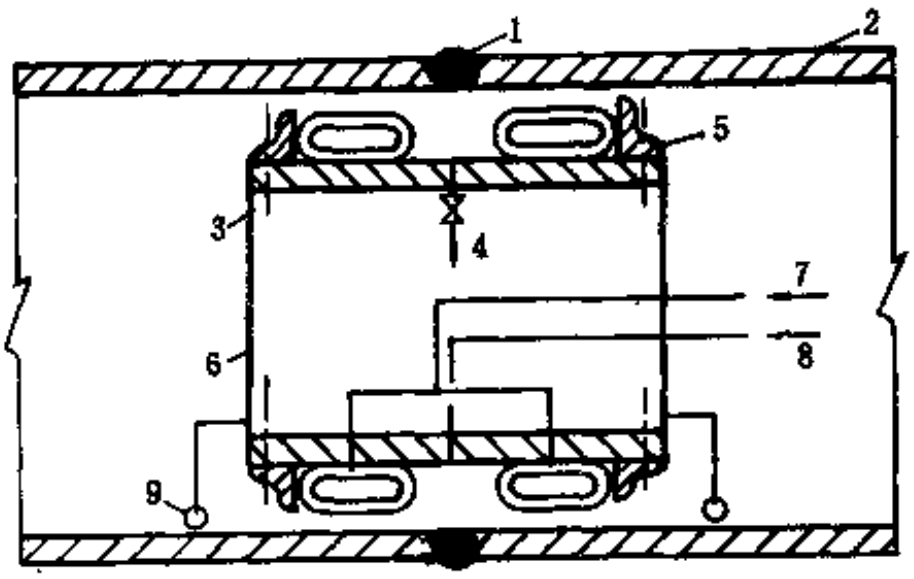


图 2-4-30 单口试压机安装胶囊示意图

1—接口焊缝；2—钢管；3—胶囊；4—放气口；5—角钢；6—工具环；7、8—进水口；9—胶轮

（二）胶囊主要技术参数的确定

1．空心胶囊断面尺寸

空心胶囊断面尺寸的确定原则，是胶囊在工作状态时与管壁有足够的摩擦力，以防止胶囊在密封空腔内水压下产生位移，并保证有较好的密封性能，如图2-4-32所示。

为保胶囊在工作状态时不产生位移，则：

$$F_1 + F_2 \geqslant PS$$

$$F_1 = f_1 P_1 \times B\pi D$$

$$F_2 = f_2 P_1 \times B\pi D$$

式中 F_1——胶囊与管壁的接触摩擦力，N；

F_2——胶囊与工具环的接触摩擦力，N；

f_1——胶囊与钢管的摩擦系数；

f_2——胶囊与钢环的摩擦系数；

B——胶囊与钢管的接触宽度，cm；

D——钢管内径，cm；

P_1——胶囊的充水压力，MPa；

P——密封空腔的充水压力，MPa；

S——密封空腔内水压作用面积，cm^2。

取$f_1 = f_2 = 0.17$（由试验取值），$S = \pi(D^2 - d^2)/4$

式中 d——钢环的外径，cm。

则 $B \geqslant P(D-d)/4f_1P_1 \geqslant 11.8cm$

式中，P为0.98MPa；D为100cm；d为88cm；P_1为1.47MPa。

所以 $L = 11.8 + \delta = 17.8cm$（取20cm）

式中 L——胶囊设计宽度，cm；

δ——钢管与工具环之间隙，cm（取6cm）。

为保证胶囊在正常工作状态下有足够的接触宽度，其宽度一般为200mm，厚度为40mm。为使胶囊在安装后不产生悬垂，设计胶囊内径必须与工具环相一致，即880mm。胶囊断面尺寸如图2-4-33所示。

2．胶囊结构

胶囊呈扁平形，中间有空腔，壁厚为14mm，宽度为200mm。内外胶之间有帘布层，胶料物理机械性能：拉伸强度为19.6MPa；扯断伸长率为450%；硬度（邵尔A）为50±10；

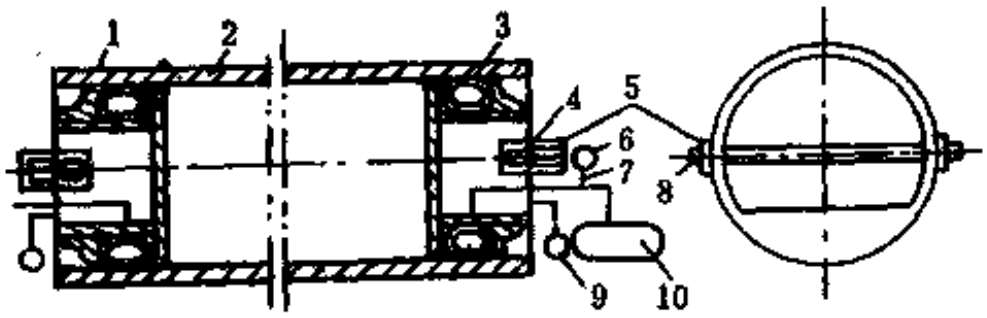


图 2-4-31 管道试压堵头装置示意图

1—工具环；2—钢管；3—胶囊；4—焊块；5—拉环；6—压力表；7—管路；8—工字钢横梁；9—胶轮；10—手压泵

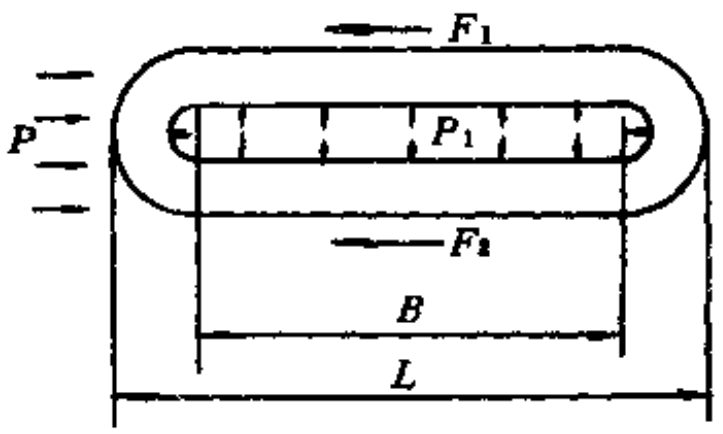


图 2-4-32 胶囊工作状态示意图

永久变形为40%；胶与帘布粘附强度为4.9kN/m，帘布层间粘附强度为3.9kN/m。

3．胶囊安装

以尺寸（外径×宽度）ϕ960×200胶囊为例，工作压力为2.0MPa，试验堵头尺寸（外径×宽度）ϕ900×280，适用于ϕ1000钢管试压试验，试验压力为1.0MPa，胶囊安装在工具环上，如图2-4-34所示。胶囊两侧有挡板，处于四面有约束力的状态，工作时能抵消胶囊在充压时向外的张力，以提高胶囊的使用寿命。

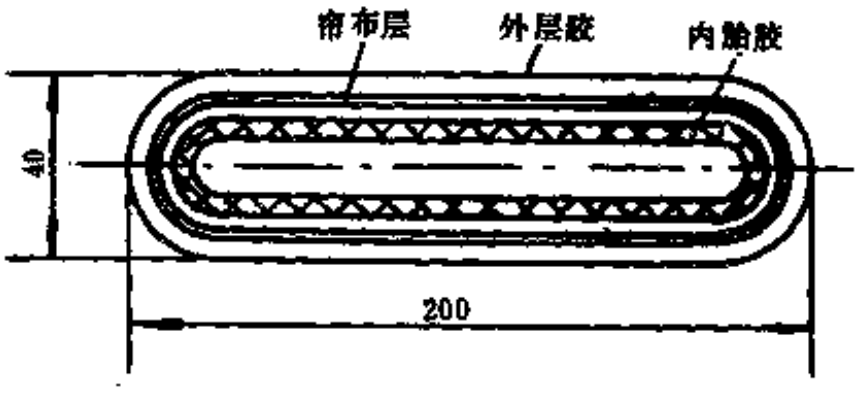


图 2-4-33 胶囊断面尺寸

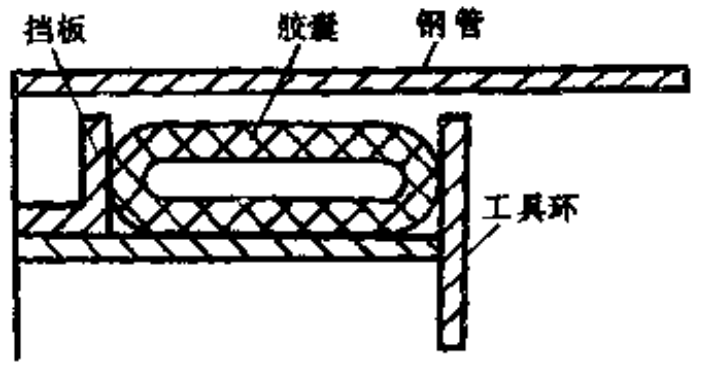


图 2-4-34 胶囊安装位置

4．胶囊的密封作用

单口试压机利用胶囊充水压或气压，使胶囊充分伸张膨胀达到密封作用，其管道系统如图2-4-35所示。

（三）胶囊的经济效益

采用胶囊作试压堵头，满足了钢管管道接口水压试验的要求，试验压力为1.0MPa，稳压10min。与原来使用的钢制盲板（死）堵头相比，制作和安装都方便，提高试工程的进度，取得的经济效益如下：

	钢制盲板堵头	胶囊堵头
材料费，元/个	303	1720
使用次数	5	200
平均费用，元/个	60.6	8.6

综上所述，ϕ1000胶囊单口试压机经北京、天津地上水钢管接口检验和混凝土管接口试验，都证明效果良好，性能可靠，能适用ϕ1000～2000不同口径的管道接口质量检验之用，应

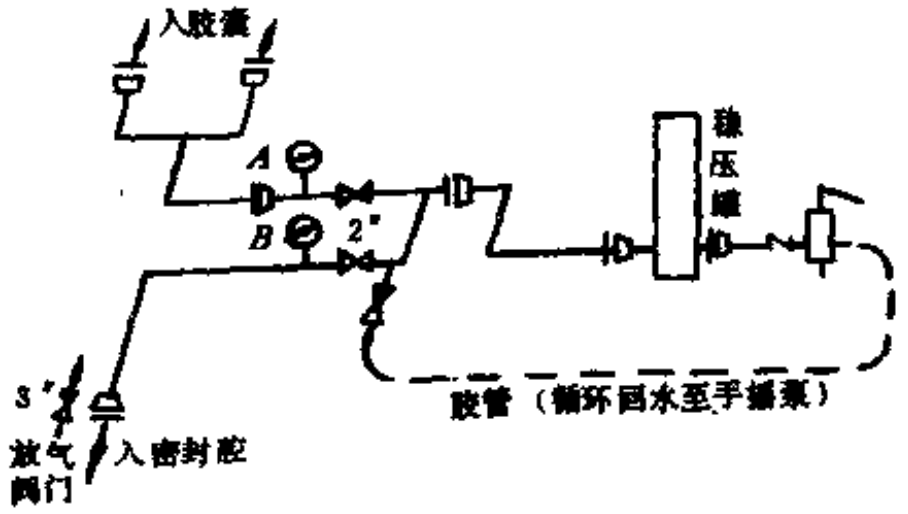


图 2-4-35 管路系统示意图

扩大机具的使用范围，向系列化、轻型化、装配化方向发展，使胶囊能更好地符合市政工程建设需要。

九、国外气胎式离合器及其在钻机上的应用

（一）美国的气胎式离合器及其应用概况

在美国重型和超重型钻机上采用的气胎式离合器类型较多，主要是普通型和通风型离合器，其中通风型又分宽窄两个系列，共38种型号，其主要技术特征分别见表2-4-27和表2-4-28，图2-4-36和图2-4-37为其转矩特性曲线。这些气胎式离合器除三家生产钻机的公司自行配套外，主要由三家专门生产离合器的公司供应气胎式离合器。他们是Fawick Airflex公司。此外，（Nationol Supply公司也生产一种Dy-A-Flex通风型离合器。在美国生产轴向隔膜型盘式离合器的有Continental-Emsco公司、Twin-Disk公司和Dodge MFG公司。表2-4-29列出了Continental-Emsco公司生产的C系列隔膜型盘式离合器的主要技术特征。Twin-Disk公司生产的PO系列，其规格从203～1067mm），最大转矩为372.653kN·m。Wichita Clutch公司专门生产气囊型盘式离合器，包括普通型和通风型在内，共30种型号，表2-4-30列出其主要技术特征。

通过对美国六家重型钻机主要生产公司近年来生产的58种型号的钻机（功率在514.85kW以上）统计分析可以看到：在钻机上采用的各类离合器中，一般除了绞车滚筒轴上常采用盘式外，其它各机组所采用的基本上都是径向离合器。以工作情况较繁重的绞车滚筒轴上的离合器而论，虽然一般在超重型钻机（驱动功率在1471kW以上者）中采用轴向的居多（低速离合器全部为轴向），但就整个钻机来说，还是径向多于轴向，并且在径向离合器中，通风型占绝大多数，尤其是高速离合器，见表2-4-31。

但Mid-Continent Supply公司和Dresserldeco公司生产的驱动功率在514.9～2924kW的21种型号的钻机（包括电驱动和柴油机-变矩器驱动）的绞车滚筒轴高低速离合器和转盘离合器全部采用通风型离合器。而Wilson MFG公司生产的驱动功率在662～2207kW的六种型号的钻机（包括电驱动和柴油机-变矩器驱动）上所有的离合器则全部采用气囊型盘式离合器。

（二）罗马尼亚的气胎式离合器及其应用概况

在罗马尼亚，为钻机生产了两种类型三个系列的气胎式离合器。肯比纳工厂专门生产普通型和通风型离合器，而米查工厂则专门生产隔膜型盘式离合器。其主要技术特征见表

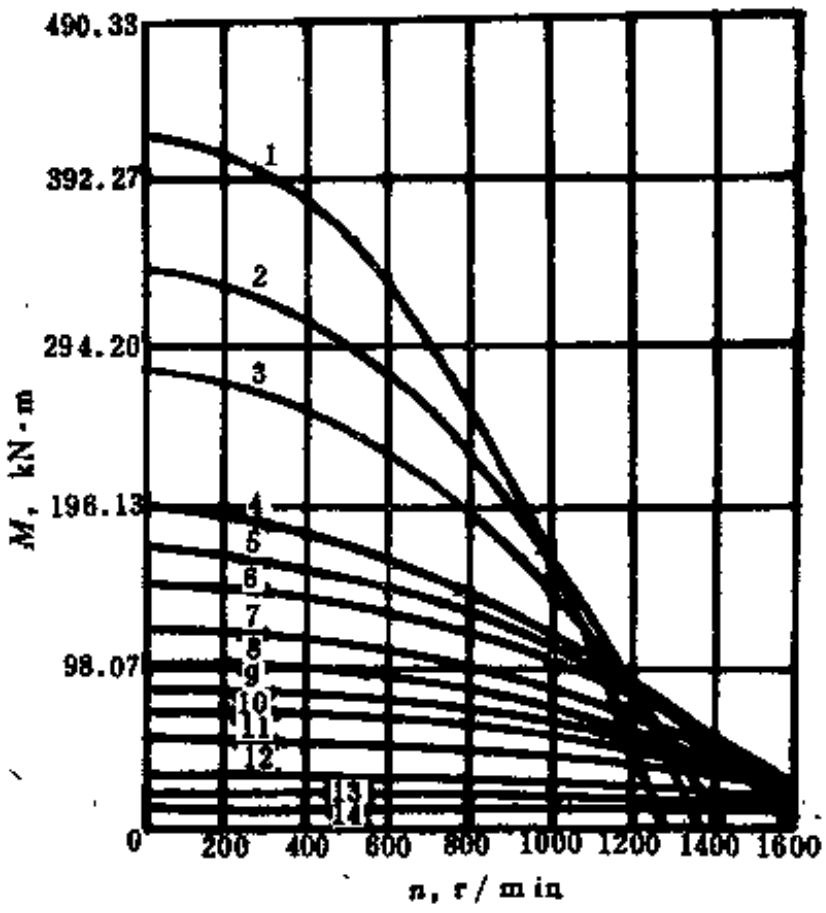
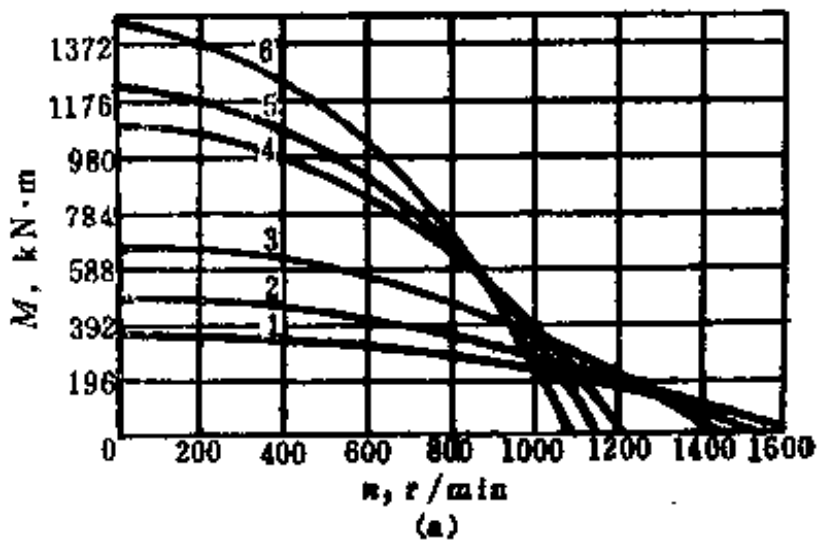
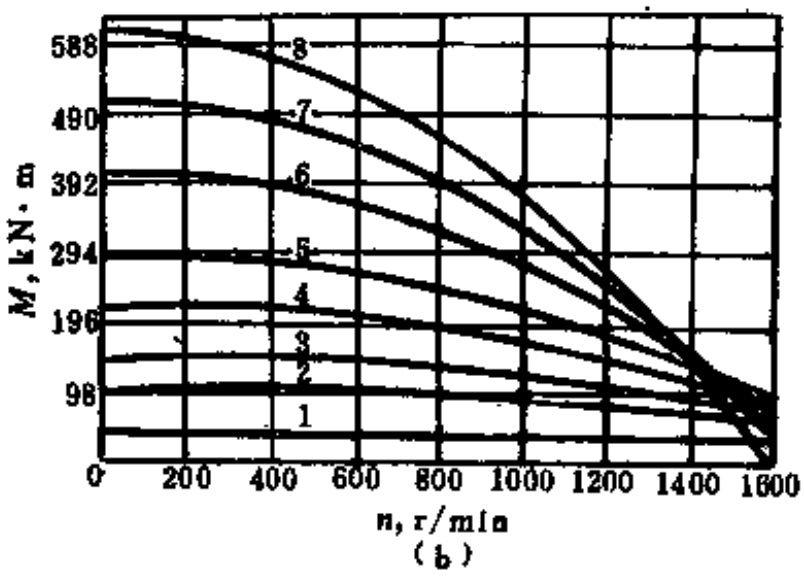


图 2-4-36 CB型气胎式离合器转矩特性曲线

1—45CB525；2—40CB525；3—36CB525；4—30CB525；5—28CB525；6—26CB525；7—24CB500；8—22CB500，9—20CB500，10—18CB500，11—16CB500，12—14CB500，13—12CB350，14—10CB300



(a)



(b)

图 2-4-37 VC型气胎式离合器特性曲线

(a) 宽系列：1—24VC1000，2—28VC1000，3—32VC1000，4—38VC1000，5—42VC1200，6—46VC1200；
(b) 窄系列：1—11.5VC600，2—16VC600，3—20VC600，4—24VC650，5—28VC650，6—32VC650，7—37VC650，8—42VC650

2-4-32和表2-4-33。通过对罗马尼亚生产的15种钻机配用的气胎式离合器统计分析，可得出以下几点看法（参看表2-4-34）。

（1）在早期生产的钻机，径向和轴向两种离合器各占一半。随后轴向的比重显著下降。

（2）在早期制造的4LD-150D型和DH系列钻机（2DH-1000型除外）中，传递功率较大，挂合频繁的钻机全部采用轴向离合器。而其它机组均采用普通离合器。

表 2-4-27 Fawick Airflex 公司的普通型离合器技术特征

型号	空气压力 $P=0.52$MPa		摩擦片			摩擦轮直径	外形尺寸 mm		重量
	极限摩擦转矩 kN·m	100r/min 时传递功率 kW	自由状态内径 mm	宽度 mm	数量 个	mm	外径	宽度	kg
4CB200	0.113	1.47	105	50.8		101.6	184	66.5	
6CB200	2.295	2.207	165	50.8		152.4	273	74.6	
8CB250	4.82	4.413	207	63.5		203.2	327	87.3	
10CB300	9.17	8.826	257	76.2	10	254	390	105	8.6
12CB350	15.00	15.45	308	89	12	304.8	448	120	11.8
14CB400	22.163	22.80	358	102	14	355.6	498	133	14.1
16CB500	39.717	40.45	411	127	10	406.4	597	168	33.6
18CB500	49.527	50.75	462	127	11	457.2	647	168	36.7
20CB500	60.311	62.52	513	127	12	508	700	168	40.0
22CB500	70.118	72.079	564	127	13	558.8	750	168	43.1
24CB500	84.824	161.79	614	127	14	609.6	800	168	46.3
26CB525	104.44	107.38	665	133	16	660.4	865	176	60.3
28CB525	119.64	123.56	716	133	17	711.2	915	176	63.5
30CB525	146.12	141.22	767	133	18	762	965	176	67.1
32CB525	154.95	159.60	818	133	19	812.8	1040	176	71.2
36CB525	194.17	200.79	919	133	22	914.4	1130	176	80.7
40CB525	237.32	245.66	1021	133	24	1016	12350	176	91.1
45CB525	294.20	303.03	1148	133	27	1143	1360	176	119
50CB650			1280	165.0	30	1270.0	1575	227	209
84CB650	1274.64	1287.13		165.0	34	2133.6	2438	227	

表 2-4-28 Fawick Airflex 公司的通风型离合器技术特征

型号		空气压力 $P=0.52$MPa		摩擦片尺寸 mm		摩擦轮直径	外形尺寸 mm	
		极限摩擦转矩 kN·m	100r/min 时传递功率 kW	自由状态内径	宽度	mm	外径	宽度
宽系列	16VC1000	128.47	133.86	412	254	406.4	648	286
	20VC1000	181.42	186.08	513.6	254	508.0	748	286
	24VC1000	246.15	255.95	615.2	254	609.6	864	293
	28VC1000	303.03	345.69	716.8	254	711.2	965	293
	32VC1000	466.80	525.88	817.6	254	812.8	1115	296
	38VC1000	765.90	794.34	970	304.8	965.2	1252	349
	42VC1200	882.60	875.25	1072.4	304.8	1066.8	1364	349
	46VC1200	1068.92	1051.77	1174.8	304.8	1168.4	1530	349
	52VC1200	1372.93	1419.52	1327.2	304.8	1320.8	1700	362

续表

型号		空气压力 $P=0.52$MPa		摩擦片尺寸 mm		摩擦轮直径	外形尺寸 mm	
		极限摩擦转矩 kN·m	100r/min时传递功率 kW	自由状态内径	宽度	mm	外径	宽度
窄系列	11.5VC500	30.40	31.63	298	127	2921	498	155
	14VC500	44.13	45.60	361	152.4	355.6	596	155
	16VC600	73.56	75.76	412	152.4	406.4	648	187
	20VC600	104.93	108.85	514	152.4	508.0	748	187
	24VC650	152.00	157.40	615	165.1	609.6	864	195
	28VC650	205.94	212.56	717	165.1	711.2	965	195
	33VC650	288.32	297.88	844	165.1	838.2	1135	195
	37VC650	361.87	373.63	944	165.1	938.2	1235	195
	42VC650	430.61	443.51	1072	165.1	1066.8	1364	195

表 2-4-29 Continental-Emsco 公司的隔膜型盘式离合器的技术特征

型号	当$P=0.68$ MPa时极限摩擦转矩 kN·m	100r/min传递功率 kW		摩擦盘外径 mm	最大轴孔 mm	外形尺寸 mm	
		重启动负荷（按50%极限转矩）	轻启动负荷（按75%极限转矩）			外径	宽度
C-214	78.10	40.45	60.68	355.6	95.2	384.2	150.8
C-314	117.28	60.68	91.20	355.6	95.2	384.2	184.2
C-218	150.77	77.96	116.94	457.2	127	485.2	174.6
C-318	226.43	116.94	175.05	457.2	127	485.2	198.4
C-224	386.40	199.32	298.61	609.6	152.4	638.2	201.6
C-227	540.96	279.49	419.24	685.8	177.8	714.4	211.1
C-324	578.94	298.61	448.66	609.6	152.4	638.2	249.2
C-327	810.77	419.24	628.85	685.8	177.8	714.4	258.8
C-330	1153.80	595.76	889.96	762.0	177.8	790.6	322.3
C-236	1450.73	750.21	1117.96	914.4	203.20	984.2	320.7
C-336	2169.31	1117.96	1676.94	914.4	203.20	984.2	392.1

表 2-4-30 Wichita Clutch 公司盘型盘式离合技术特征

型　号	当$P=0.68$ MPa时转矩 kN·m	最大转速 r/min	当100r/min时传递功率 kW	摩擦盘外径 mm	轴　径 mm	外形尺寸，mm	
						外　径	宽　度
ATD-106	2.65	1800	2.57	152			
ATD-206	5.30	1800	5.14	152			
ATD-108	4.71	1750	4.78	203	49.21	(264)	(102)
ATD-208	9.32	1750	9.56	203	49.21	(264)	(137)
ATD-111	12.85	1400	11.03	279	76.2	(365)	(105)
ATD-211	21.08	1400	22.06	279	76.2	365	138(149)
ATD-114	19.52	1200	18.39	356	82.55(76.2)	444	130(141)
ATD-214	36.68	1200	36.78	356	82.55(76.2)	444	165(190)
ATD-116	28.24	1200	29.42	406	85.72	508	130(146)
ATD-216	56.49	1200	58.84	406	85.72	508	165(194)
ATD-130	130.23	700	132.39	762	152.4	864	184(200)
ATD-118	42.86	1000	44.13	457	88.90	559	143(167)
ATD-227	229.38	700	235.36	686	127.0	787	219(244)
ATD-218	87.97	1000	88.26	457	88.90	559	181(216)
ATD-127	114.64	700	117.68	686	127.0	787	171(189)
ATD-121	58.25	900	58.84	533	114.3	635	164(168)
ATD-224-H	204.27	700	213.30	610	114.3	711	219(232)
ATD-221	116.60	900	117.68	533	114.3	635	213(219)
ATD-124-H	102.09	700	106.65	610	114.3	711	167(178)
ATD-124	63.74	900	66.20	610	114.3	711	167(178)
ATD-224	127.39	900	132.39	610	114.3	711	219(232)
ATD-230	260.56	700	264.78	762	152.4	864	248(295)
ATD-130-H	217.71	600	220.65	762	152.4	864	197(210)
ATD-230-H	425.61	600	441.30	762	152.4	864	257(295)
ATD-136	337.74	600	349.36	914	203.2(190.5)	1041	225(241)
ATD-236	675.58	600	698.73	914	203.2(190.5)	1041	302(327)
ATD-142	482.68	500	675	1067	254.0(203.2)	1251	251(351)
ATD-242	965.46	500	1000.28	1067	254.0(203.2)	1251	327(324)
ATD-148	932.02	400	956.15	1219			
ATD-248	1864.05	400	1912.30	1219			

注：表中括弧内数字为通风型尺寸。

表 2-4-31 美国钻机选用气胎式离合器的统计

类　型 ＼ 使用条件		低速离合器	高速离合器	
			无变矩器	有变矩器及柴油机电气驱动
径　向	通风型（VC系列）	41.6%	45.7%	58.4%
	普通型（CB系列）	10.4%	11.9%	0
轴　向		48%	42.4%	41.6%

表 2-4-32 CB 系列普通型离合器主要技术特征

型号	极限扭矩(当μ=0.3时) kN·m		摩擦尺寸，mm		摩擦轮直径 mm	外形尺寸，mm		重量 kg
	当P=0.68 MPa时	当P=0.98 MPa时	自由状态内径	宽度		外径	宽度	
CB300×100	28.44	40.70	305	100	300	450	115	13.5
CB400×125	70.61	100.03	405	125	400	600	175	23.2
CB500×125	108.85	155.93	505	125	500	720	175	33.2
CB600×125	156.91	225.55	605	125	600	820	175	36.4
CB700×20	343.23	490.33	705	200	700	1015	200	117

表 2-4-33 AVB 系列通风型离合器主要技术特征

型号	极限摩擦转矩(当μ=0.3时) kN·m		摩擦轮直径 mm	摩擦片宽度 mm	外形尺寸，mm		重量 kg
	当P=0.68 MPa时	当P=0.98 MPa时			外径	宽度	
AVB300×125	35.70	51.00	300	125	555	155	
AVB400×160	81.40	116.70	400	160	660	190	
AVB500×200	159.36	227.51	500	200	770	230	116.5
AVB600×250	286.35	407.96	600	250	880	280	166
AVB700×250	402.07	547.67	700	250	1000	290	
AVB800×250	512.89	730.60	800	250	1100	290	
AVB900×250	649.20	927.63	900	250	1220	290	383
AVB900×300	779.63	1113.05	900	300	1220	340	
AVB1000×300	961.05	1372.93	1000	300	1320	350	
AVB1120×300	1206.22	1721.07	1120	300	1440	350	612
AVB1250×300	1500.42	2137.85	1250	300	1570	350	784

（3）在近年来新开发的F系列钻机中，采用通风型离合器呈上升趋势，一般都用于绞车和转盘的挂合。至于总离合器，除了F-200-2DH型和F-320-3DH型采用轴向之外，其它都采用通风型离合器。

钻井深度达万米的超重型钻机(F-500型)，1973年采用AVE-1600通风型离合器，近来已改用AD3-100型轴向离合器。

表 2-4-34 罗马尼亚钻机选用气胎式离合器

钻机型号或系列 \ 类型	轴向	径向	
		普通型	通风型
4LD-150D	50%	50%	0
DH系列	19.8%	78.2%	2%
F系列	6.4%	55.6%	38%

（三）英国的气胎式离合器

目前，在钻机上所采用的气胎式离合器中，有一类是英国Renold Crofts公司生产的克劳夫达尔（Croftair）气胎式离合器。这类离合器是该公司30年前从美国引进并改进而生产的。用在钻机上的主要有三种类型。

（1）CEC型（普通型）可用于高速，但对于操作频繁的工作情况只能用于轻负荷。主要技术特征见表2-4-35。

（2）AR-C型（普通型，宽系列为AR-CW型）可用于高速，可以在重负荷频繁工作，带有扭力杆使气胎不传递扭矩，摩擦片改为耐热材料，这种离合器是在普通型的基础上改进而成的。这种离合器的技术特征见表2-4-36和表2-4-37。

（3）AR-VC型（通风型，宽系列为AR-VCW型）这种离合器一般用于高速，可在重负荷下频繁操作，也带有扭力杆，使气胎不传递扭矩，摩擦片采用耐热材料，固定摩擦片的衬块为空心结构，用铝合金制造，使空气易于流通而散发摩擦表面产生的热量，并防止传热到气胎上，其侧板形状也制成有助于空气流通，故此种离合器称为通风型离合器。其主要技术特征见表2-4-38。

（四）德国的气胎式离合器

早在60年代初期，德国的AWHL系列车装钻机的绞车滚筒轴上就采用了一种多气室径向离合器，离合器的摩擦轮通常都直接固定在滚筒的法兰盘上。

这种离合器是德国Eisenwerk Wülfel公司的专利，称为Wülfel气胎式离合器，共有11种型号，每种型号又分成普通型和通风型两种形式。该离合器还可以将两个或三个并列组合使用，即组成双列离合器或三列离合器。表2-4-39列出该离合器的主要技术特征。空气压力为0.59MPa。

（五）日本的气胎式离合器

日本活塞环公司已生产了普通型AFK系列和通风型AFP系列的离合器。近年来，又在通风型的基础上研制了新的通风型双排多列气胎组合的离合器。

普通型AFK系列离合器的主要技术特征见表2-4-40。而通风型AFP系列离合器的主要技术特征见表2-4-41。这种离合器的摩擦轮有空冷和水冷的两种型式。

AFP系列通风型和美国VC系列通风型在结构上的区别，是每个扇形体中有两个沿周向布置的板簧，装在承扭杆的两端，而在VC系列的离合器中，每个扇形体只有一个沿轴向布置的板簧。

通风型双排多列组合离合器的主要特点有以下几点。

（1）由整体大气胎的气室改为轴向双排沿圆周均匀分布的气室（两列中相应的各小气室都在轴向对齐）。

表 2-4-35 CBC 型离合器的主要技术特征

型号	当$P=0.52$MPa时 额定转矩 kN·m	当$P=0.52$MPa时 100r/min时传递功率 kW	最大转速 r/min	摩擦片尺寸，mm 自由状态内径	摩擦片尺寸，mm 宽度	外形尺寸，mm 外径	外形尺寸，mm 宽度	气室容量 L	重量 kg
4CBCX	1.42	1.47	2000					0.131	2.04
5CBC	2.14	2.21	2000	130.2	57.1	242.9	73.0	0.18	2.38
6CBC	2.84	2.94	2000	156.4	50.8	273.1	74.6	0.296	3.40
8CBC	4.96	5.15	1600	207.2	63.5	327	87.3	0.46	4.09
10CBC	12.06	12.50	1500	257.2	76.2	390.5	104.8	0.786	8.63
10CBCX	15.59	16.18	1500	260.4	101.6	431.8	127	0.787	17.7
12CBC	18.44	19.12	1300	308	88.9	447.7	118.3	1.15	11.8
14CBC	25.60	26.48	1100	358.8	101.6	498.5	132.6	1.07	14.1
16CBC	44.03	45.60	1000	411.2	127	596.9	168.3	2.25	33.6
18CBC	54.13	55.90	900	462	127	647.7	168.3	2.48	36.8
18CBCX	54.13	55.90	900	466.7	139.7	695.3	166.1	2.48	52.1
20CBC	60.61	69.14	800	512.8	127	698.5	168.3	2.70	39.9
22CBC	79.73	82.38	750	563.6	127	749.3	168.3	2.92	43.1
24CBC	93.85	97.09	700	614.4	127	800.1	168.3	3.15	46.3
26CBC	122.58	126.51	650	665.2	133.4	863.6	176.2	3.87	60.4
28CBC	142.20	147.10	600	716	133.4	914.4	176.2	4.15	80.4
30CBC	161.81	167.69	550	766.8	133.4	965.2	176.2	4.41	67.1
32CBC	185.35	191.23	500	817.6	133.4	1016	176.2	4.69	71.3
36CBC	227.51	113.60	400	919.2	133.4	1133.5	176.2	5.24	80.8
40CBC	227.53	286.85	350	1020.8	133.4	1235.1	176.2	5.77	91.2
45CBC	347.16	360.40	300	1147.8	133.4	1359.5	176.2	6.45	119

表 2-4-36 AR-C 型离合器主要技术特征

型号	当$P=0.52$MPa 100r/min时的最大功率，kW	最大转速 r/min	摩擦片尺寸，mm 自由状态内径	摩擦片尺寸，mm 宽度	外形尺寸，mm 外径	外形尺寸，mm 宽度	气室容量 L	重量 kg
4AR-C	1.47	2000	104.8	63.5	217.5	73		227
5AR C	2.21	2000	130.2	63.5	242.9	73	0.0069	2.38
6AR-C	2.94	2000	156.4	63.5	273.1	74.6	0.0133	3.40
8AR-C	5.15	1600	207.2	63.5	327	74.6	0.0625	7.72
10AR-C	12.50	1500	257.2	92.1	390.5	106.4	0.153	15.9
10AR-CX	16.18	1500	260.4	108	431.8	123.8	0.224	20.4
12AR-C	19.12	1300	308	104.8	447.7	119.10	0.266	20.2
14AR-C	26.48	1100	358.8	104.8	491.5	191.1	0.397	232
16AR-C	45.69	1000	411.2	144.5	596.9	173	1.2	51.6
18AR-C	55.90	900	462	144.5	647.7	173	1.62	56.7
20AR-C	69.14	800	512.8	144.5	698.5	173	2.33	68.4
22AR-C	82.38	750	563.6	144.5	749.3	173	2.92	73
24AR-C	97.09	700	614.4	144.5	800.1	173	3.68	78.5
26AR-C	126.51	650	665.2	150.8	863.6	181	5.45	100
28AR-C	147.1	600	716	150.8	914.4	181	6.94	111
30AR-C	167.69	550	766.8	150.8	965.2	181	8.36	119
32AR-C	191.23	500	817.6	150.8	1016	181	10.2	128
36AR-C	235.36	400	919.2	149.2	1133.5	182.6	15	149
40AR-C	286.85	350	1020.8	149.2	1235.1	182.6	21.1	174
45AR-C	360.40	300	1147.8	149.2	1365.9	182.6	29.1	194

注：AR-C系列中各种离合器与CBC系列中相应各种离合器的额定转矩完全相同。

表 2-4-37 AR-CW型离合器的主要技术特征

型号	当$P=0.52$MPa时		摩擦片尺寸，mm		外形尺寸，mm		最大转速	气室容积
	额定转矩 kN·m	100r/min时最大功率 kW	自由状态 内径	宽度	外径	宽度	r/min	L
18AR-CW	99.05	102.97	463.5	203.2	698.5	276.2	700	2.96
20AR-CW	124.05	126.51	514.3	203.2	749.3	276.2	650	3.28
22AR-CW	144.16	150.04	565.1	203.2	800.1	276.2	600	3.61
24AR-CW	177.50	183.88	615.9	203.2	863.6	290.5	550	3.94
27AR-CW	237.32	245.66	692.1	203.2	965.2	290.5	500	4.26
30AR-CW	291.26	301.56	768.3	203.2	1016	290.5	470	4.59
36AR-CW	415.80	429.53	920.7	203.2	1181.1	298.4	400	4.92
40AR-CW	505.04	522.21	1022.3	203.2	1282.7	298.4	375	5.74
45AR-CW	651.16	673.72	1149.3	203.2	1412.7	298.4	340	6.24
50AR-CW	804.15	832.59	1276	203.2	1554.8	298.4	300	9.02
55AR-CW	961.05	995.87	1406.4	203.2	1679.8	298.4	275	9.54
60AR-CW	1147.38	1198.87	1531	203.2	1830	301.6	250	10.2
72AR-CW	1657.32	1716.66	1836.4	203.2	2142.7	304.8	225	12.8
84AR-CW	2255.53	2353.6	2136.4	203.2	2452.7	304.8	180	13.95

表 2-4-38 AR-VC型和AR-VCW型离合器的主要技术特征

型号		当$P=0.52$MPa时		摩擦轮直径	摩擦片尺寸，mm		外形尺寸，mm		重量
		额定转矩 kN·m	100r/min时最大功率 kW	mm	自由状态 内径	宽度	外径	宽度	kg
窄系列	11.5AR-VC	30.40	31.63	293	296.1	127	498.5	155.6	43.5
	16AR-VC	73.16	75.76	406	412	152.4	647.7	187.3	68.5
	20AR-VC	104.93	108.85	509	513.6	152.4	749.3	187.3	81.3
	24AR-VC	152.00	157.40	610	615.2	165.1	863.6	195.3	112
	28AR-VC	205.94	212.56	711	716.8	165.1	965.2	195.3	127
	33AR-VC	287.33	297.88	839	843.7	165.1	1133.5	195.3	190
	37AR-VC	360.88	273.63	940	945.3	165.1	1235.1	195.3	196
	42AR-VC	427.57	443.61	1070	1072.4	165.1	1360.9	195.3	220
宽系列	24AR-VCW	247.13	255.95	610	615.2	254	863.6	293.7	172
	28AR-VCW	333.43	345.69	711	716.8	254	965.2	296.9	196
	32AR-VCW	467.78	525.88	814	817.6	254	1114.4	304.8	283
	38AR-VCW	766.88	794.34	966	970.7	304.8	1254.1	358.8	310
	42AR-VCW	846.31	875.25	1070	1072.4	304.8	1360.9	358.8	406
	46AR-VCW	1019.89	1051.77	1170	1174.7	304.8	1526.4	358.8	444.5

表 2-4-39 Wülfel气胎式离合器主要技术特征

型号			5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18
外形尺寸 mm	外径	普通型	345	420	475	575	685	655	765	905	1120	1330	1580
		通风型	375	450	505	605	715	685	795	935	1150	1360	1620
	宽度		171	171	173	173	173	226	226	226	237	237	240
摩擦轮轴径，mm			40	45	50	55	60	70	80	90	100	110	125
离合器体轴径，mm			60	75	90	100	110	125	140	160	180	200	220
转速 r/min	100	传递功率 kW	4.41	10.30	16.92	28.68	43.39	57.37	88.26	132.39	216.97	319.94	483.96
	320		14.71	31.63	52.96	88.26	132.39	180.20	275.81	411.88	661.95	970.86	1540.87
	450		20.59	44.13	73.55	121.36	180.20	246.39	378.78	558.98	893.63	1287.13	
	560		25.00	54.43	88.26	147.10	216.97	297.88	459.69	665.63	1051.77		
	710		30.16	66.93	110.33	176.52	257.43	360.40	547.95	790.66			
	800		33.10	44.13	117.68	187.55	275.81	397.17	592.08				
	1000		40.45	86.79	136.07	206.62	294.20	448.66					
	1250		47.81	96.35	147.10								
	1600		52.22	97.82									

表 2-4-40 AFK系列离合器的主要技术特征

型号	$P=0.54$ MPa时额定转矩 kN·m	100r/min时传递的功率 kW	最大转速 r/min	气室容积 L	型号	$P=0.54$ MPa时额定转矩 kN·m	100r/min时传递的功率 kW	最大转速 r/min	气室容积 L
AFK-25	2.45	2.21	1800	0.3	AFK-600	62.86	65.50	900	2.7
AFK-50	37.51	5.51	1800	0.5	AFK-700	73.06	76.49	900	2.9
AFK-100	9.61	10.30	1600	0.8	AFK-850	87.87	91.94	800	3.2
AFK-150	15.59	16.18	1500	1.2	AFK-1050	108.36	113.27	800	3.9
AFK-250	23.14	24.27	1200	1.6	AFK-1250	124.25	129.45	800	4.2
AFK-300	30.50	31.63	1200	2.0	AFK-1450	141.90	147.84	700	4.4
AFK-400	41.29	43.40	1000	2.3	AFK-1650	160.53	166.96	700	4.7
AFK-500	51.58	53.69	1000	2.5	AFK-2050	201.72	209.62	700	5.2

表 2-4-41 AFP系列离合器的主要技术特征

型号	$P=0.54$ MPa时额定转矩 kN·m	摩擦片尺寸，mm		摩擦轮尺寸，mm		外形尺寸，mm		气室容积，L		GD^2 kN·m²	重量 kg
		自由状态内径	宽度	直径	宽度	外径	宽度	新摩擦片	摩擦磨损后		
AFP-300	31.68	297	127	292	175	498.5	156	0.80	1.33	0.64	39.3
AFP-500	35.40	361	127	356	175	596.9	156	0.96	1.69	1.20	51.8
AFP-800	76.20	411	153	406	200	647.7	187	1.48	2.52	1.78	62.7
AFP-1100	109.05	513	153	503	205	749.3	187	1.77	3.00	2.98	74.8
AFP-1600	152.49	615	165	610	215	863.6	195	2.00	4.03	5.49	100.7
AFP-2200	213.39	716	165	711	215	965.2	195	2.24	4.73	8.08	114.8
AFP-3000	298.51	843	165	838	215	1133.5	195	3.97	6.88	14.48	149.5
AFP-3800	375.20	945	165	940	215	1235.1	195	4.37	7.59	19.45	165.6

（2）每个小气室都是由一对左右对称布置的U形断面的环状折箱式元件和上下对称布置的盘形上、下盖以及芯部的橡胶缓冲垫组成。

（3）外轮圈由轴向并列的两部分组成，各气室通过沿圆周均匀分布的各个连接板，用螺钉连接在其内表面上，以增强输出部分的刚性。连接板外面（与轮圈贴合的一面）为圆弧形，内面（与气室接合的一面）为平面。

（4）空气由导管经环形分配室分别通过每个管进入每对气室。采用许多组合式的小气室，不仅每个折箱元件的尺寸小，而且其批量大，即金属模分摊到每个折箱式元件上的费用就更小，所以制造成本将显著下降。表2-4-42列出了由三种折箱式元件组合而成的双排多列离合器的主要技术特征。

表 2-4-42　双排多列离合器的主要技术特征

型　号	空气压力$P=0.83$MPa时的转矩，kN·m	最大转速 r/min	型　号	空气压力$P=0.83$MPa时的转矩，kN·m	最大转速 r/min
AFP-6000	1173.86	530	AFP-17000	2987.11	450
AFP-7500	1408.23	480	AFP-20000	3413.69	530
AFP-9000	1636.73	450	AFP-24000	4180.57	510
AFP-1000	1917.20	420	AFP-29000	5023.95	480
AFP-12000	2093.72	530	AFP-34000	5945.77	450
AFP-14000	2522.27	490			

（六）前苏联的气胎式离合器

前苏联生产的钻机基本上都配用普通型离合器。从对前苏联近期18种重型和超重型钻机的统计分析中可以看到以下几点。

（1）基本上沿用50年代以来的四种型号（即300、500、700和1070）普通型离合器，而且仍然大量使用双气胎的离合器，其中双1070离合器主要用在超重型钻机的绞车上。

（2）盘式离合器基本上仍处在试用阶段。

前苏联在使用的气胎式离合器存在的主要问题是使用寿命短、工作性能差、型号规格少，因面不得大量采用双气胎或尺寸过大的离合器，在使用上很不合理。

因此，近年来前苏联提出改进气胎式离合器的方向：改善工作性能、提高使用寿命（达到5000 h）、建立新系列。具体措施有以下几项。

① 提高摩擦材料的性能及离合器的柔性。要求摩擦材料具有较高面且稳定的摩擦系数（在600℃时不低于0.4），保证离合器的极限摩擦转矩较高而且稳定。

② 提高离合器的耐热性和耐磨性。选用耐热的橡胶品种，用尼龙6作胎体帘布。此外，采用强制通风或便于通风的结构。

③ 制订MIII 型气胎式离合器的新系列，这类离合器具有以下的特点。这种新系列主要技术特征见表2-4-43。

a．采用新型的摩擦材料（摩擦系数为0.4，在400℃时为0.32），比旧系列大大提高了离合器的极限摩擦转矩。

b．改变了摩擦片的固定方法，直接硫化在气胎上，采用耐热的气胎，而且1330型为小气室，使离合器的工作性能和使用寿命得到进一步改善。

c．系列中增加了600、900和1330三种型号，可分别取代双500、双700和双1070型，这样提高了系列的经济性和钻机的适应性。

表 2-4-43 MIII型气胎式离合器的主要技术特征

型号	n①=100r/min时的极限摩擦转矩 kN·m	极限转速 r/min	柔性±15%②		摩擦片尺寸,mm		摩擦轮直径 mm	气胎最大宽度 mm	气室容积不大于 L
			扭转×10^{-1} 弧度/N·cm	径向×10^{-1} cm/N	自由状态内径	宽度			
MIII-300	44.13	1500	66685	2746	302±2	93±0.5	293±3	115	1.5
MIII-500	127.49	1500	22555	2157	504±2	123±1	650±3	150	5.5
MIII-600	343.23	1200	12749	1667	606±2	198±1	766±3	245	12.0
MIII-700	441.30	1000	7845	1471	708±3	198±1	882±3	245	17
MIII-900	813.95	800	4413	1373	908±3	198±1	1093±3	245	25
MIII-1070	1127.76	500	2059	834	1078±3	198±1	1270±3	245	30
MIII-1330	15690	500	1569	588	1345±3	198±1	1500±3	245	23

① 气胎中的计算压力为0.74MPa。

② 柔性是指离合器补偿其主动与从动两部分安装偏差的一种特性。扭转柔性是离合器两部分在单位转矩的作用下的相对转角，而径向柔性是指离合器两部分在单位径向力作用下的相对径向位移。

d．系列中的300、500、700和1070型的连接尺寸分别与旧系列中相应各型号的连接尺寸相同。

第五节 可曲挠橡胶接头

可曲挠橡胶接头是一种新颖的橡胶减震制品，它由中空管状橡胶件与金属法兰或平形活接头松套组合而成，用于输送固体、液体和气体等物料的各种金属管道的柔性连接，以此降低机械振动和噪音在固体中的传递，并可消除因温度变化引起的热胀冷缩和陆地或基础沉降等因素对设备和管道系统造成的损坏现象，起到调节和补偿作用。在振动机械与金属管道之间，合理安装一组可曲挠橡胶接头，一般可降低结构传递噪声15～25dB。因此，可曲挠橡胶接头在各种管道系统得到广泛应用，对环境保护事业的发展起着十分重要的作用。

一、分类、名称及表示方法

（一）分类

可曲挠橡胶接头一般按以下几种方法进行分类。

1．按连接形式分类

按连接形式一般可分为三类：①松套法兰式可曲挠橡胶接头；②固定法兰式可曲挠橡胶接头；③螺纹式可曲挠橡胶接头。

2．按产品结构分类

按产品结构一般可分为五类：①单球体可曲挠橡胶接头；②双球体可曲挠橡胶接头；③异径体可曲挠橡胶接头；④弯球体可曲挠橡胶接头；⑤风机盘管可曲挠橡胶接头。

3．按用途

按用途一般可分为三类：①通用型可曲挠橡胶接头；②耐油型可曲挠橡胶接头；③耐热耐强腐蚀介质的特殊型可曲挠橡胶接头。

各种类型可曲挠橡胶接头的特性和用途列于表2-5-1。

（二）可曲挠橡胶接头的名称及表示方法

可曲挠橡胶接头的用途较广，品种规格较多，目前一般按下列办法来确定产品的名称和表示方法。

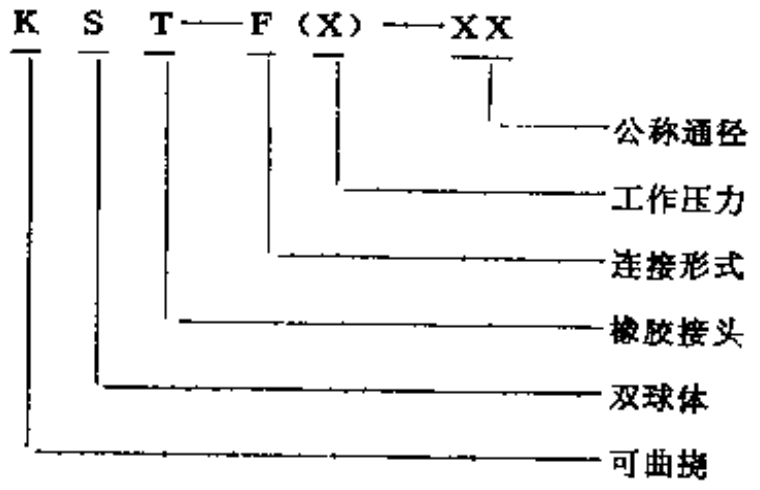
表 2-5-1　各种型号可曲挠橡胶接头的特性及用途

名　称	连接形式	型　号	通径规格(mm)	特性及用途
单球体可曲挠橡胶接头	松套法兰 固定法兰	KXT KGT	32～1200	1.通用型产品采用通用橡胶作内、外胶层，锦纶帘布为骨架层，产品主要用于水、空气、弱酸弱碱类介质的管道连接，使用温度－20℃～＋70℃ 2.耐油型产品采用丁腈橡胶作内、外胶层，锦纶帘布作骨架层，产品主要用于油类管道的连接，使用温度－10℃～＋100℃ 3.特殊型产品采用氟橡胶作内、外胶层，芳纶帘布为骨架层，主要用于高温或强腐蚀性化学介质的管道连接，使用温度可达200℃
双球体可曲挠橡胶接头	松套法兰 螺　纹	KST-F KST-L	32～300 15～65	
异径体可曲挠橡胶接头	松套法兰	KYT	50/25～600/500	
弯球体可曲挠橡胶接头	松套法兰	KWT	50～300	
风机盘管可曲挠橡胶接头	螺　纹	FPT	15～20	该产品专用于风机盘管机组进出口水管的连接，使用温度为－20℃～＋80℃

产品名称：用途—结构—可曲挠橡胶接头

示例：通用型单球体可曲挠橡胶接头

可曲挠橡胶接头品种规格的表示方法，在确定工作压力后，一般以公称通径、品种型号表示：



标记示例：通用型KST-F(Ⅱ)-150

150表示公称通径150mm；

（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）表示工作压力分别为2.0、1.2、0.8MPa三级；

F表示法兰连接形式；

KST表示双球体结构的产品。

二、产品结构和技术性能

（一）产品结构

可曲挠橡胶接头按其不同的结构可分为以下5种。

1．单球体可曲挠橡胶接头

该类结构的产品包含松套金属法兰配合和固定橡胶法兰二种形式，结构见图2-5-1。它由内胶层、帘布骨架层和钢丝圈、外胶层以及法兰组合而成。可根据使用条件和工作压力的需要适当地改变胶种和帘布品种，以满足通用、耐油、耐热或耐强腐蚀等三种不同用途的需要。

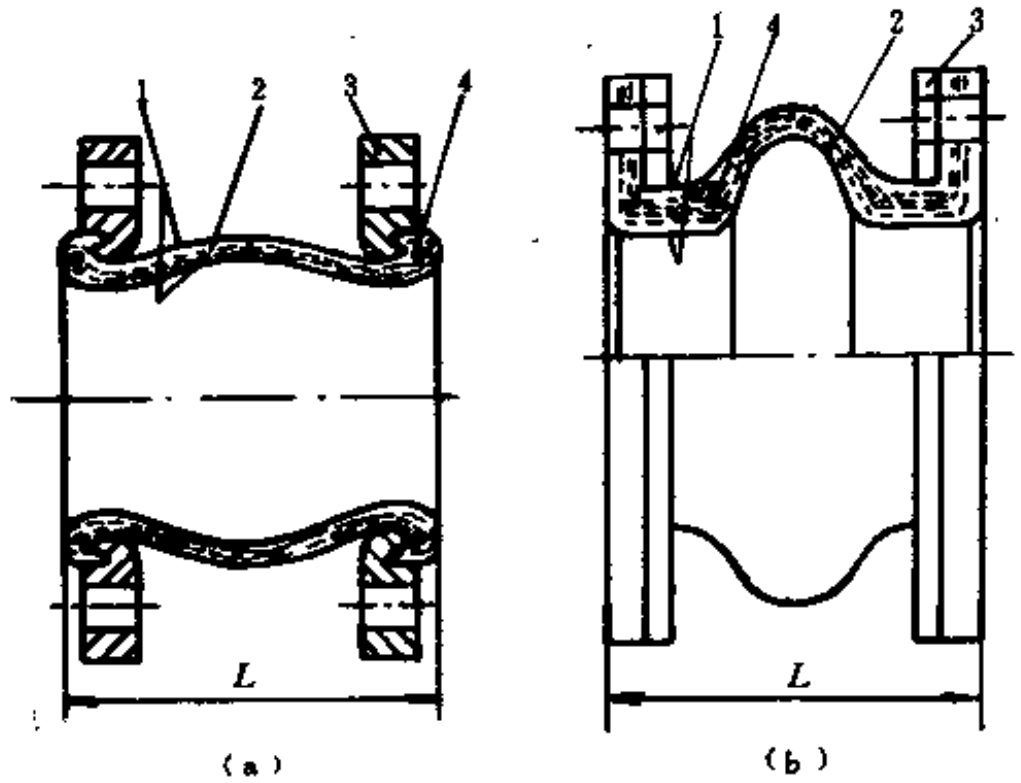


图 2-5-1 单球体可曲挠橡胶接头

(a) 松套金属法兰式；(b) 固定橡胶法兰式

1—内、外胶层；2—帘布骨架层；3—法兰；4—钢丝圈

2．双球体可曲挠橡胶接头

该类产品包括松套法兰和平形活接头二种类型的连接方式，结构见图2-5-2。它是由两个球体合成的结构，因此具有自身变形位移值大的特点。同样可以根据不同的使用要求适当改变内外胶层的橡胶和骨架材料，制造满足各种使用要求的产品。

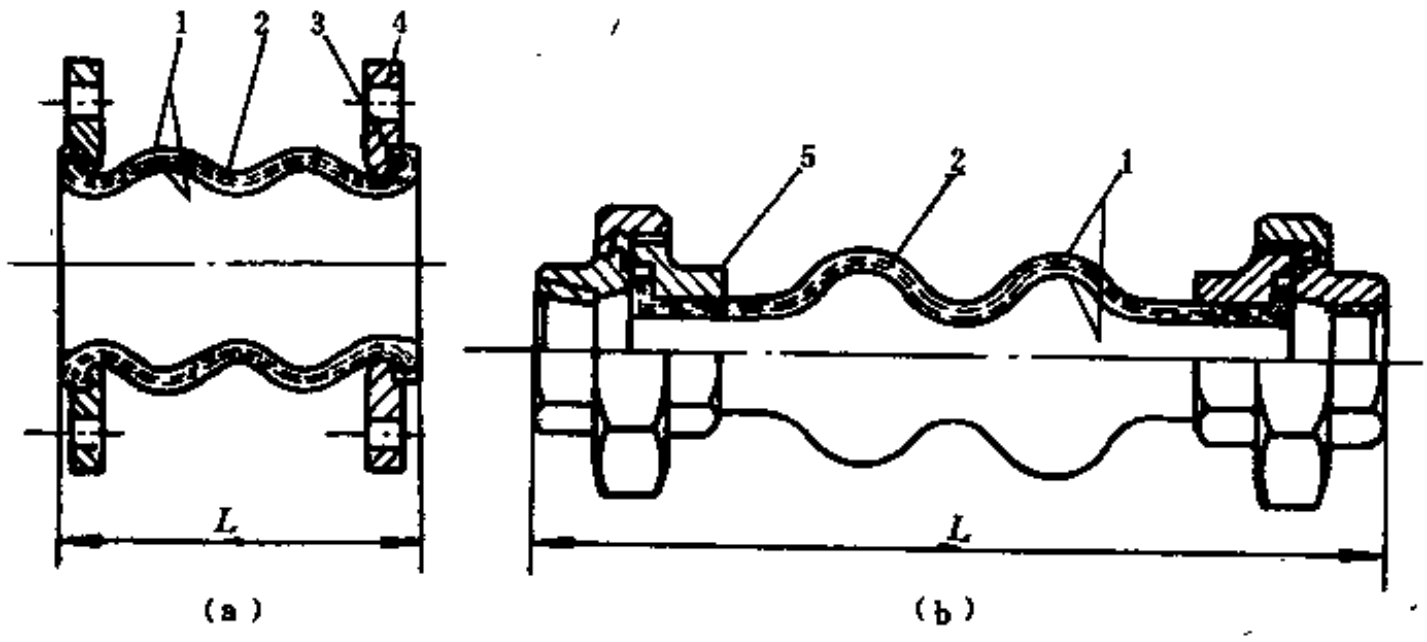


图 2-5-2 双球体可曲挠橡胶接头

(a) 松套金属法兰式；(b) 平行活接头式

1—内、外胶层；2—帘布骨架层；3—钢丝圈；4—法兰；5—平形活接头

3．异径体可曲挠橡胶接头

这种结构的产品主要应用于二根直径不同的管子之间的柔性连接。它是一种新颖的异径连接件，既可以替代铸铁异径件，又可以作为柔性补偿件缓解金属管道的变形现象。产品由内层胶、帘布骨架层和钢丝圈、外层胶及法兰组成，结构见图2-5-3。可根据不同的使用要求来改变橡胶胶种和骨架材料以满足不同的使用需要。

4．弯球体可曲挠橡胶接头

它是由内胶层、帘布骨架层和钢丝圈、外胶层硫化成弯球形状，两侧配合的法兰互相垂直，结构见图2-5-4。产品主要用于金属管道转向时连接，是一种新颖的弯形柔性连接件。

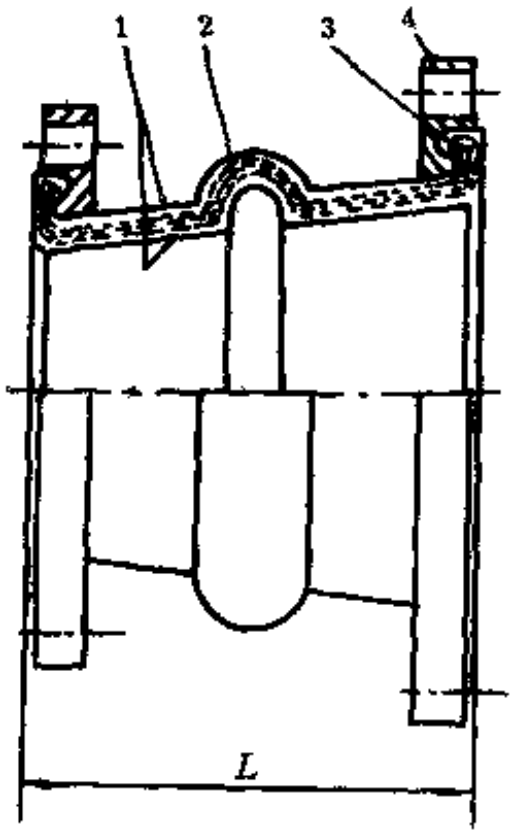


图 2-5-3　异径体可曲挠橡胶接头

1—内、外胶层；2—帘布骨架层；3—钢丝圈；4—法兰

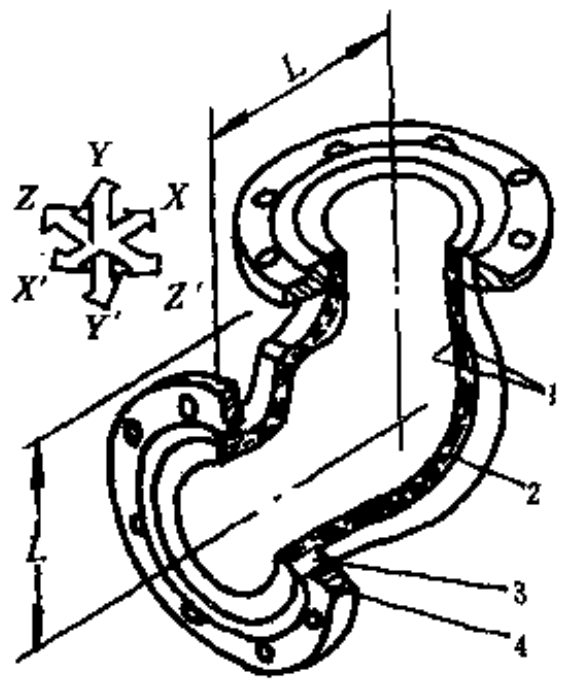


图 2-5-4　弯球体可曲挠橡胶接头

1—内、外胶层；2—帘布骨架层；3—钢丝圈；4—法兰

5．风机盘管可曲挠橡胶接头

该产品专用于暖通空调风机盘管机组的进出口与管道之间的柔性连接。由内胶层、帘布骨架层、外胶层和平形活接头组成，结构见图2-5-5。

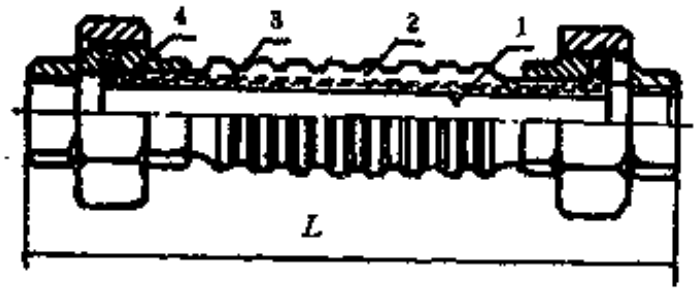


图 2-5-5　风机盘管可曲挠橡胶接头

1—内胶层；2—外胶层；3—帘布骨架层；4—平形活接头

（二）技术性能

各种类型可曲挠橡胶接头的规格和技术性能见表2-5-2～表2-5-8。

通用型可曲挠橡胶接头用橡胶胶料的物理机械性能指标见表2-5-9。

三、可曲挠橡胶接头的结构设计

结构设计是可曲挠橡胶接头制造中的重要环节，它不仅决定产品的生产工艺难易，而且会直接影响到产品的使用性能和使用寿命。设计时应首先考虑产品的使用条件和使用要求来决定产品的结构，然后按照工作压力要求选用相应的骨架材料，再根据使用环境和介质采用不同的胶料及各胶层的厚度，帘布层数可通过耐压计算来确定。

可曲挠橡胶接头是一种不规则管状结构的复合材料橡胶制品，产品在使用过程中要承受正压、负压、轴向、径向、剪切等极复杂的作用力，骨架帘布层所受到的力是不均匀且十分复杂的。可曲挠橡胶接头随外形结构与选用的骨架材料不同，产品的耐压设计参数取值也不尽相同。常见单球体可曲挠橡胶接头是基本的典型结构单元，其受力计算方法如下。

表 2-5-2 KXT型可曲挠橡胶接头技术性能

公称通径		长度	工作压力	轴向位移，mm		横向位移	偏转角度
mm	in	mm	MPa	伸长	压、缩	mm	$(\alpha_1+\alpha_2)$
32	1¼	95	0.8, 1.2, 2.0	6	9	9	
40	1½	95	0.8, 1.2, 2.0	6	9	9	
50	2	105	0.8, 1.2, 2.0	7	10	10	
65	2½	115	0.8, 1.2, 2.0	7	12	11	
80	3	135	0.8, 1.2, 2.0	8	15	12	
100	4	150	0.8, 1.2, 2.0	10	19	13	
125	5	165	0.8, 1.2, 2.0	12	19	13	
150	6	180	0.8, 1.2, 2.0	12	20	14	
200	8	190	0.8, 1.2, 1.5	14	22	18	
250	10	230	0.8, 1.2, 1.5	16	25	22	
300	12	245	0.8, 1.2, 1.5	16	25	22	15°
350	14	255	0.8	16	25	22	
400	16	255	0.8	16	25	22	
450	18	255	0.8	16	25	22	
500	20	255	0.8	16	25	22	
600	24	260	0.8	16	25	22	
700	28	260	0.6	16	25	22	
800	32	260	0.6	16	25	22	
900	36	260	0.6	16	25	22	
1000	40	260	0.6	16	25	22	
1200	48	260	0.6	16	25	22	

注：摘自沪Q/NJ423—89。

表 2-5-3 KGT型可曲挠橡胶接头技术性能

公称通径		长度	工作压力	轴向位移，mm		横向位移	偏转角度
mm	in	mm	MPa	伸长	压缩	mm	$(\alpha_1+\alpha_2)$
50	2	150	1.15	11	6.35	12.5	19°
65	2½	150	1.15	11	6.35	12.5	19°
80	3	150	1.15	11	6.35	12.5	13°
100	4	150	1.15	11	6.35	12.5	10°
125	5	150	0.98	11	6.35	12.5	8°
150	6	150	0.98	11	6.36	12.5	6°
200	8	150	0.98	17	9.5	12.5	6°
250	10	203	0.98	17	9.5	12.5	5°
300	12	203	0.98	17	9.5	12.5	5°
350	14	203	0.60	17	9.5	12.6	4°
400	16	203	0.45	24	12.5	12.5	4°
450	18	203	0.45	24	12.5	12.5	3°
500	20	203	0.45	24	12.5	12.5	3°
600	24	254	0.45	24	12.5	12.5	3°
700	28	254	0.38	27	14.3	12.5	3°
750	30	254	0.38	27	14.3	12.5	3°
900	36	254	0.38	27	14.3	12.5	2°
1000	40	254	0.38	27	14.3	12.5	2°
1100	44	305	0.38	36	19	12.5	2°
1200	48	305	0.38	36	19	12.5	2°

注：引自美国General Rubber 公司产品。

表 2-5-4 KST-F型可曲挠橡胶接头技术性能

公称通径		长度 mm	工作压力 MPa	轴向位移，mm		横向位移 mm	偏转角度 $(\alpha_1+\alpha_2)$
mm	in			伸长	压缩		
40	$1^1/_2$	175	0.8, 1.2, 2.0	30	50	45	40°
50	2	175	0.8, 1.2, 2.0	30	50	45	40°
65	$2^1/_2$	175	0.8, 1.2, 2.0	30	50	45	40°
80	3	175	0.8, 1.2, 2.0	30	50	45	40°
100	4	225	0.8, 1.2, 2.0	35	50	40	35°
125	5	225	0.8, 1.2, 2.0	35	50	40	35°
150	6	225	0.8, 1.2, 2.0	35	50	40	35°
200	8	325	0.8, 1.2, 1.5	35	60	35	30°
250	10	325	0.8, 1.2, 1.5	35	60	35	30°
300	12	325	0.8, 1.2, 1.5	35	60	35	30°

注：摘自沪Q/NJ423—89。

表 2-5-5 KST-L型可曲挠橡胶接头技术性能

公称通径		长度 mm	工作压力 MPa	轴向位移，mm		横向位移 mm	偏转角度 $(\alpha_1+\alpha_2)$
mm	in			伸长	压缩		
20	$^3/_4$	180	1.0	6	22	22	45°
25	1	180	1.0	6	22	22	45°
32	$1^1/_4$	200	1.0	6	22	22	45°
40	$1^1/_2$	210	1.0	6	22	22	45°
50	2	220	1.0	6	22	22	45°
65	$2^1/_2$	245	1.0	6	22	22	45°

注：摘自沪Q/NJ423—89。

表 2-5-6 KYT型可曲挠橡胶接头技术性能

规格，mm			规格，mm			规格，mm		
大径	小径	长度	大径	小径	长度	大径	小径	长度
50	25	162	150	125	203	400	300	305
65	50	152	200	125	203	400	350	228
80	50	203	200	150	203	450	300	305
100	50	228	250	150	305	450	350	254
100	65	178	250	200	178	450	400	203
100	80	203	300	200	228	500	350	355
125	80	254	300	250	203	500	400	305
125	100	178	350	250	254	500	450	203
150	80	178	350	300	203	600	450	406
150	100	178	400	250	280	600	500	330

注：引自美国General Rubber公司产品。

表 2-5-7 KWT型可曲挠橡胶接头技术性能

公称通径		长度 mm	工作压力 MPa	正向，mm		反向，mm		横向，mm	
mm	in			X	X′	Y	Y′	Z	Z′
65	$2^1/_2$	127	1.5	20	15	20	15	15	15
80	3	140	1.5	20	15	20	15	15	15
100	4	165	1.5	20	15	20	15	15	15
125	5	190	1.5	20	15	20	15	15	15
150	6	203	1.5	20	15	20	15	15	15
200	8	228	1.5	20	15	20	15	15	15
250	10	280	1.5	20	15	20	15	15	15
300	12	305	1.5	20	15	20	15	15	15

注：引自日本Mason Industries公司产品。

表 2-5-8 FPT型风机盘管可曲挠橡胶接头技术性能

公称通径		长度	工作压力	轴向位移，mm		横向位移	偏转角度
mm	in	mm	MPa	伸长	压缩	mm	$(\alpha_1+\alpha_2)$
15	1/2	180	1.0，1.6	5	10	20	45°
20	3/4	200	1.0，1.6	5	10	20	45°

注：摘自沪Q/NJ529—90。

表 2-5-3 通用可曲挠橡胶接头用胶料物理机械性能指标

项目名称	指标		项目名称	指标	
	内胶层	外胶层		内胶层	外胶层
拉伸强度，MPa	12	10	脆性温度，℃	-30	-30
扯断伸长率，%	450	450	老化系数 (100℃×48h) 拉伸强度保持率，%	80	80
扯断永久变形，%	25	30	扯断伸长率保持率，%	70	70

（一）耐压强度（爆破压力）及膜数计算

1．耐压强度计算

耐压强度计算见式（2-5-1）：

$$P_B = \frac{N \cdot K_B \cdot i \cdot C}{D_H} \cdot C' \times 10^{-2} \qquad (2\text{-}5\text{-}1)$$

式中 P_B——可曲挠橡胶接头的理论爆破压力，MPa；

N——单位长度的帘线排列根数，根/cm；

K_B——单根帘线的最低强力，N/根；

i——帘布层数；

C——骨架层强力损失的修正系数，（一般取0.70～0.90）；

D_H——计算直径（即：D_H＝产品内径＋2×内胶层厚度），cm；

C'——综合修正系数（可查表2-5-10）。

2．帘布层数计算

帘布层数计算见式（2-5-2）：

$$i = \frac{P \cdot K \cdot D_{计}}{N \cdot K_B \cdot C \cdot C'} \times 10^{-2} \quad (2\text{-}5\text{-}2)$$

表 2-5-10 综合修正系数C'值

公称通径 mm	C'	公称通径 mm	C'
32～150	0.70～0.80	300～500	0.85～0.90
150～300	0.80～0.85	600以上	0.90～0.95

式中 i——帘布层数；

P——设计工作压力，MPa；

K——耐压安全系数，（一般取3～4倍）；

$D_{计}$——计算直径（即：$D_{计}$＝产品内径＋2×内胶层厚度），cm；

N——单位长度的帘线排列根数，根/cm；

K_B——单根帘线的最低强力，N/根；

C——骨架层强力损坏的修正系数；

C'——综合修正系数。

（二）计算举例

1．耐压强度计算举例

耐压强度（爆破压力）的计算举例如下。

设可曲挠橡胶接头产品的通径为100mm，现选用 6 层140tex/2（1260den/2）的锦纶 6 帘布，内胶层的厚度要求3mm，计算其爆破压力。

由表2-5-11可查得N＝10根/cm；　K_B＝196N/根；

表 2-5-11 可曲挠橡胶接头用帘布规格性能

品种及规格			单根断裂强力 N/根	直径 cm	密度 根/10cm	幅度 cm
锦纶帘布	93.3tex/2(840den/2)	-6	145.0～149.0	0.55±0.03	128±1	140±2.5
		-66	138.2～149.0	0.55±0.03		
	140tex/2(1260den/2)	-6	196.0～225.4	0.65±0.03	100±1	145±2
		-66	196.0～215.6	0.66±0.03		
	186.6tex/2(1680den/2)	-6	274.4以上	0.76±0.03	88±1	145±3
		-66	274.4以上	0.76±0.03		
芳纶帘布	166.6tex/2(1500den/2)		482			
	166.6tex/3(1500den/3)		786			

由表2-5-10查得C'＝0.75；　C值取0.80；

$$D_{计} = 10.0 + 2 \times 0.3 = 10.6\text{cm}$$

代入式（2-5-1）得：

$$P = \frac{196 \times 10 \times 6 \times 0.80}{10.6} \times 0.75 \times 10^{-2} \approx 6.65\text{MPa}$$

则该规格可曲挠橡胶接头的爆破压力为6.65MPa。

2．帘布层数计算举例

帘布层数计算举例如下。

设有用于输水泵出口处的可曲挠橡胶接头，口径是125mm，要求最大工作压力是1.2MPa，求所需帘布层数。

又设内胶层厚度为3mm，骨架材料选用140tex/2（1260den/2）锦纶6帘布，由表2-5-11可查得$N=10$根/cm；　$K_B=196$N/根；K值取3；由表2-5-10取$C'=0.80$；　C值取0.80；

$$D_H=12.5+2\times0.3=13.1\text{cm}$$

代入式（2-5-2）得：

$$i=\frac{1.2\times10^6\times3\times13.1}{10\times196\times0.8\times0.80}\times10^{-3}=3.76\approx4\text{层}$$

则该规格产品需用4层锦纶帘布作骨架层。

（三）骨架材料

帘布是可曲挠橡胶接头的主要骨架材料。产品在使用过程中要承受来自内压和轴向、径向、偏转等极复杂的力。作为骨架材料的帘布受到拉伸、压缩、弯曲、剪切及扭转力矩的作用，因此要求帘布具有高强度、高模量、耐疲劳、耐冲击、滞后损失小等性能，并且要求帘布与橡胶具有良好的粘合性能。

帘线材质的选择，帘布结构和规格的选用，应该以可曲挠橡胶接头的结构规格及使用条件、经济效益等因素综合起来考虑，既要满足产品在使用中的正常耐压性能要求，又要考虑产品的减震、降噪声的效果。一般在保证产品正常工作压力的使用情况下，尽可能的降低产品刚度，使产品具有一定的柔性。目前生产可曲挠橡胶接头所用骨架材料，主要以锦纶帘布为主。对用于耐热耐强腐蚀介质等特殊使用条件的可曲挠橡胶接头，可采用芳纶帘布为骨架材料。下面将一些常用帘布的品种规格、性能列于表2-5-11。

四、制 造 工 艺

（一）配方设计

为了适应各种场合的使用需要，可曲挠橡胶接头的胶料配方设计，应首先满足产品的基本特性；同时考虑到可曲挠橡胶接头是受压产品，且安装在管道中与各种介质接触，因此要求橡胶胶料具有良好的物理机械性能和各种特性要求，现分述如下。

1．内层胶料

内层胶料应具有较好的耐老化、耐屈挠、耐磨性能和与骨架材料有良好的粘着性能，还应该具有较低的气透性和优异的胶料流动性及较高的定伸应力。

2．外层胶料

外层胶料除具有与内层胶料相应的各种性能外，还应该具有良好的耐日光老化和抗撕裂等性能要求。

3．特殊用途胶料

用于特殊使用条件的产品胶料除要求具有一般的物理机械性能以外，还应该考虑耐油或耐高温、耐强腐蚀性化学介质等要求的特殊性能。

4．供饮用水管道的产品胶料

用于供饮用水管道的可曲挠橡胶接头的橡胶胶料，除常规物理机械性能要求外，并应具符合无毒、无有害气味等食品用橡胶的卫生规定要求。

现以通用类和耐油类可曲挠橡胶接头产品为例，其胶料配方举例如表2-5-12和表2-5-13所示。

表 2-5-12 通用类胶料配方

材料名称	重量份	
	内层胶	外层胶
烟片胶	50	50
丁苯橡胶	50	—
氯丁橡胶	—	50
氧化锌	5	7
氧化镁	—	5
硫黄	2	0.8
促进剂	2.5	2
防老剂	2.5	2.7
硬脂酸	2	2
石蜡	0.5	0.5
炭黑	30	35
古马隆	5	5
操作油	10	10
硫酸钡	10	—
陶土	30	30
合计	199.5	200
硫化胶物理机械性能		
硬度（邵尔A）	56	58
拉伸强度，MPa	17.6	16.8
扯断伸长率，%	650	570
扯断永久变形，%	20	20
脆性温度，℃	-40(不断)	-40(不断)
拉伸强度保持率，%	0.86	0.84
扯断伸长率保持率，%（100°×48h）	0.73	0.72
硫化条件	153℃×16min	

表 2-5-13 耐油类胶料配方

材料名称	重量份	
	内层胶	外层胶
烟片胶	—	20
丁腈橡胶	50	—
氯丁橡胶	50	80
氧化锌	5	5
氧化镁	4	4
硫黄	1	0.5
促进剂	2.2	1
防老剂	2.5	2.5
硬脂酸	1.5	2
石蜡	1	1
邻苯二甲基二丁酯	10	10
古马隆	5	5
炭黑	30	30
轻质碳酸钙	25	35
合计	187.2	196
硫化胶物理机械性能		
硬度（邵尔A）	59	61
拉伸强度，MPa	12.5	11.2
扯断伸长率，%	420	435
扯断永久变形，%	23	24
脆性温度，℃	-30（不断）	-30（不断）
老化系数(100℃×48h)		
拉伸强度保持率，%	0.83	0.84
扯断伸长率保持率，%	0.74	0.73
硫化条件	153℃×16min	

（二）工艺简述

1．工艺流程图

工艺流程图见图2-5-6。

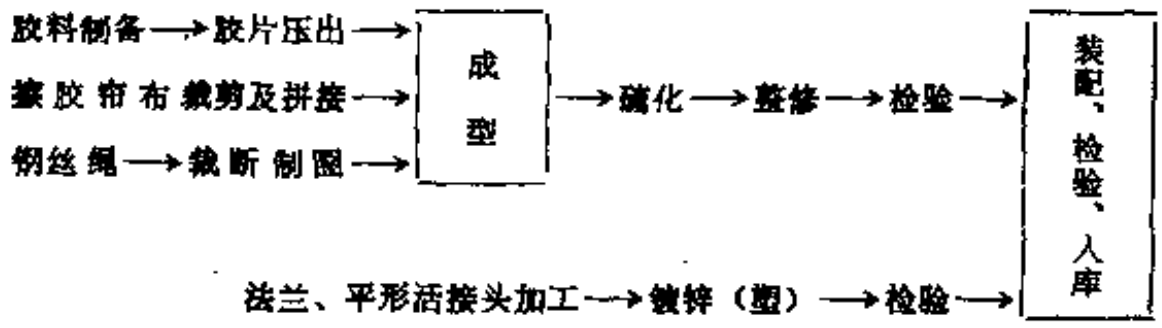


图 2-5-6 生产工艺流程简图

2．准备工艺

（1）胶料制备和胶片压出 这是整个生产过程中重要的环节之一。配料要准确，塑炼、混炼要严格按工艺操作规程的要求执行。胶片压出要保证胶片表面光洁、无气泡，胶片厚度要均一。

（2）钢丝圈　钢丝圈要求焊接圆整，焊接部位要牢固光滑，对于油污的钢丝圈应采用碱洗法去污或溶剂清洗去污。

（3）帘布裁剪和拼接　应根据可曲挠橡胶接头的结构和工艺要求，按宽度裁成45°角度；帘布的拼接是按所需长度将同宽度的帘布进行搭接，一般搭接重叠帘线在2～4根之间。

3．成型

可曲挠橡胶接头的成型工艺与一般轮胎外胎的半鼓式成型方式基本相似，其成型顺序：

内胶层⟶第一层帘布$\xrightarrow{\text{压实}}$第二层帘布$\xrightarrow{\text{压实}}$端胶层⟶钢丝圈⟶翻口$\xrightarrow{\text{压实}}$第三层帘压$\xrightarrow{\text{压实}}$……$\xrightarrow{\text{压实}}$最后一层帘布$\xrightarrow{\text{压实}}$外胶层⟶打孔排气。

操作要点如下。

（1）成型过程中要求骨架材料交叉角度单层贴合，帘布周向重合位置叠线在2～4根，并要求每层贴合时压实，发现有气泡存在时必须排除。

（2）钢丝圈按放时要求对称到位，并与成型鼓保持同圆。

（3）帘布或胶片表面有污物（如油、灰尘、隔离剂等）时应该用溶剂清除，并待溶剂充分挥发后再进行贴合。

4．硫化

硫化是决定产品质量的关键之一。硫化条件选择不当会严重影响产品的质量和使用性能，因此必须根据产品的不同规格或不同胶种相应确定各种硫化条件。目前生产可曲挠橡胶接头的硫化方式有二种。

（1）平板硫化机硫化　这种硫化方式的优点是投资少、占地面积小、生产效率高、操作简便，但仅适宜生产小规格产品。

（2）卧式硫化罐硫化　这种硫化方式的优点是设备简单、产品质量好，但投资较大且消耗热能多，因此适合生产大规格产品。

硫化过程中常见的产品缺陷以及产生原因列于表2-5-14。

表 2-5-14　常见缺陷及产生原因

缺陷项目	产生原因
端口缺胶或裂口	模具冷却不够、排气孔阻塞、端面胶量不够、内压不足
球面起泡、裂纹	胶料中水份含量高、半成品受污、排气孔阻塞
内胶层裂缝或冷疤	充气内压不足、内层胶料流动性差、接口不好、隔离剂使用不当
骨架层帘布分层	成型时空气未排净、溶剂未挥发净、帘布表面受污
钢丝圈移位	半成品成型尺寸过长或太短、成型时钢丝圈未安放到位

五、可曲挠橡胶接头的成品检验

可曲挠橡胶接头的成品检验，是保证产品质量的最后一道检验环节，现将可曲挠橡胶接头的常用成品检验项目和试验方法介绍如下。

（一）耐压试验

可曲挠橡胶接头的耐压试验项目分试验压力试验和爆破压力试验二种。试验压力值一般取产品最高工作压力的1.5倍。爆破压力试验属产品的破坏性试验，一般仅是在试制新产品或某些特殊需要时进行，爆破安全倍数一般取产品最高工作压力的3～4倍。在可曲挠橡胶接头的耐压试验过程中，应注意试样在受压状态下的变形情况，同时注意压力表指针，记录试

样爆破瞬间压力表读数值。耐压试验装置见图2-5-7。

（二）X射线检验

利用X射线机对可曲挠橡胶接头进行X射线透视检验，可检验产品的内部质量，观察可曲挠橡胶接头两侧内部的钢丝圈的接口质量，检查钢丝圈是否错位、折断和橡胶球体内是否脱层以及帘布分布情况。

（三）真空试验

可曲挠橡胶接头的真空试验装置见图2-5-8所示。将可曲挠橡胶接头两侧用夹具封住，然后开启真空泵将试样内部空气逐渐抽吸排出，当真空压力表读数达到产品标准规定数值时，保持5min，并注意观察试样在真空状态下有无异常变形和吸瘪现象。记录真空压力表读数值和保持真空的时间。

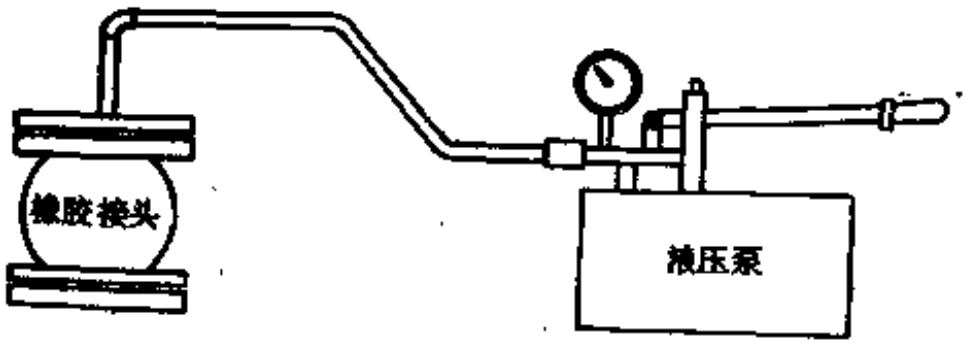


图 2-5-7　耐压试验装置简图

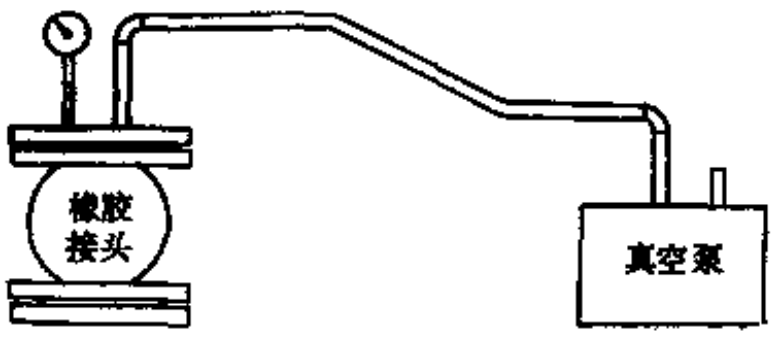


图 2-5-8　真空试验装置简图

（四）位移试验

可曲挠橡胶接头的位移试验是模似产品使用状态而鉴定产品质量的一种方法，可以比较方便地测定可曲挠橡胶接头的变形性能。位移试验分轴向位移、横向位移和偏转位移三个项目，试验装置见图2-5-9～图2-5-11所示。试验时，先将试样两侧用夹具封住，在试样内部

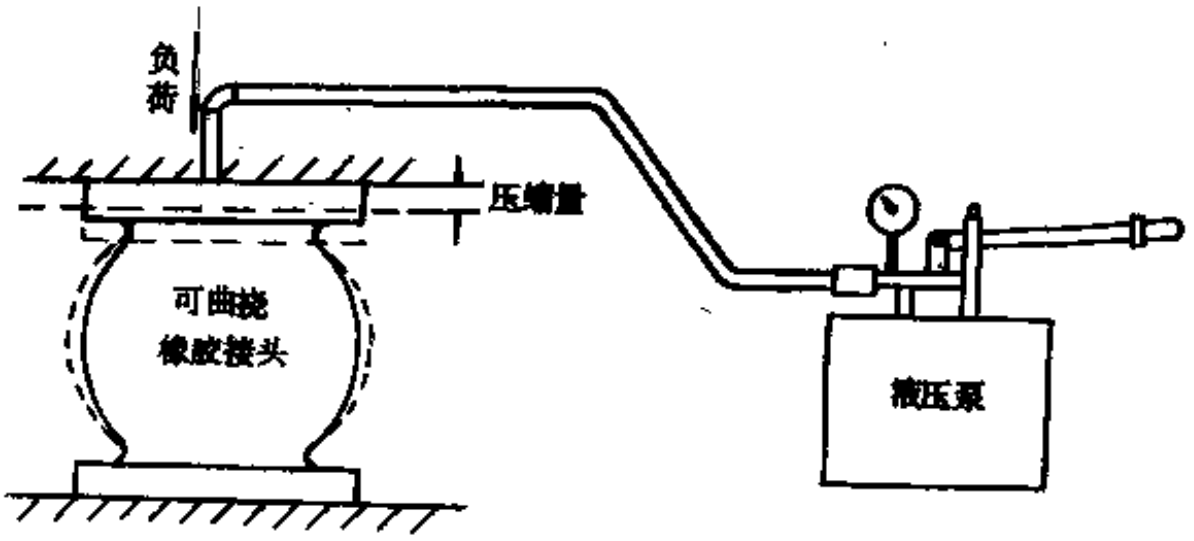


图 2-5-9　轴向位移试验简图

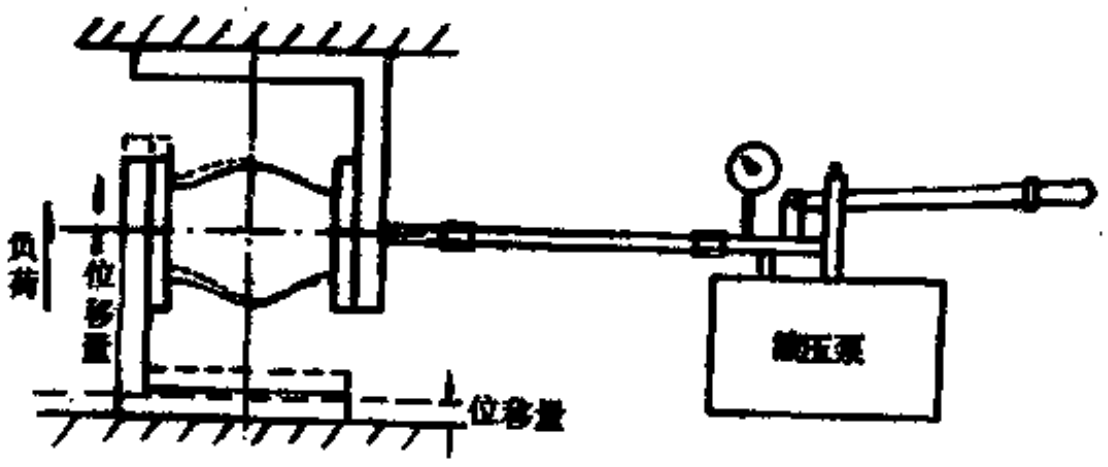


图 2-5-10　横向位移试验简图

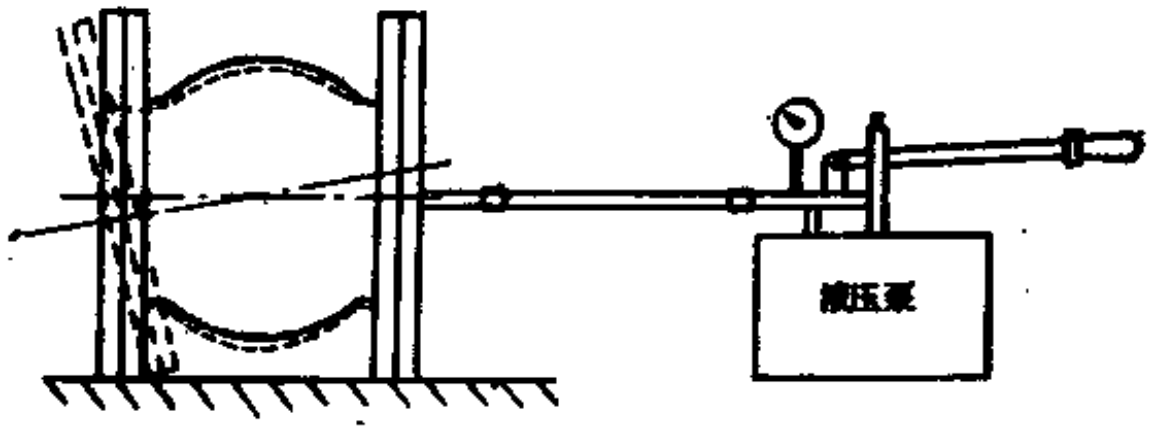


图 2-5-11　偏转位移试验简图

充满水（或合适的液体）并排尽空气后停泵，测量试样的初始状态，然后按产品标准规定要求对试样进行轴向伸长或压缩（或横向位移、偏转位移），待达到最大位移量后将试样固定住，开启试压泵，待压力表读数达到产品的最高工作压力值时，保持2min，并注意观察试样在位移和受压状态下有无渗漏或其它异常变形现象。

六、可曲挠橡胶接头的选用和安装

1．选用方法

可曲挠橡胶接头以不同的连接和结构形式，各成系列，在实际选用时，根据不同的使用要求而相应选择，现将各种型号可曲挠橡胶接头的特性及使用列表2-5-15。

表 2-5-15　各种型号可曲挠橡胶接头的产品特性及使用

产品型号	产品主要特性		产品使用场合	
	相同点	不同点	相同点	不同点
KXT KGT KYT KWT KST-F KST-L	破裂强度高，弹性好可承受较高的操作压力，变形小 采用多层次的球形结构，吸振能力强，噪声小耐老化，耐腐蚀 结构简单灵活、便于安装更换	KXT 型产品的法兰可以 360°旋转，故比 KGT 型产品安装灵活方便 KYT 型产品两端的通径不同 KWT 型产品两端面成直角 KST 型产品比 KXT、KGT KYT型产品补偿量大，吸振效果更佳	能广泛用于： 给排水管道 循环管道 消防管道 空气调节系统 化学品防腐管道 泵的吸入和输出 其他各种管道系统	水泵空压机等机组进出口一般应选用 KXT 型、KYT型或KWT型 小口径管道选用 KST-L 型产品 在输送管道中作补偿连接用，应选用KST型产品
FPT	两端采用活接头连接，安装方便灵活，橡胶件破裂强度高，弹性好，吸振能力强，噪声小		适用于各种风机盘管机组的进出口连接	

2．安装方法及注意事项

（1）可曲挠橡胶接头在管道中安装时，要尽可能的让其处于自然状态，不要人为的在安装时使产品产生变形，这样可以避免导致产品的早期损坏和使用效果的减弱。

（2）法兰连接的可曲挠橡胶接头在安装时，螺栓的螺杆应伸向法兰外侧，以防止螺纹尖端擦伤接头在膨胀变形时的橡胶球体。每一法兰端面的螺栓应逐步均匀地加压拧紧，要求所有的螺栓松紧程度尽可能一致，使用条件恶劣的场合，除垫平垫圈外，可添加弹簧垫圈，以防螺母松动。

（3）当橡胶接头实际使用压力达到产品额定工作压力70%以上时，为减少产品长度变化而给管道带来的影响，可在两法兰两端加装限位装置。

（4）在机组（如水泵、空压机）进出口上安装可曲挠橡胶接头的同时，如图2-5-12所示，应在机组底座下加垫惰性基础块，在惰性基础块下面相应选用安装隔振垫，这样一是可以取得理想的隔振效果，再是能减少设备疲劳，增加机组使用寿命。对于架空管道，可用普通锚架、支架固定，若有隔振要求时，也应采用弹性吊架、支架和托架将管道加以固定。

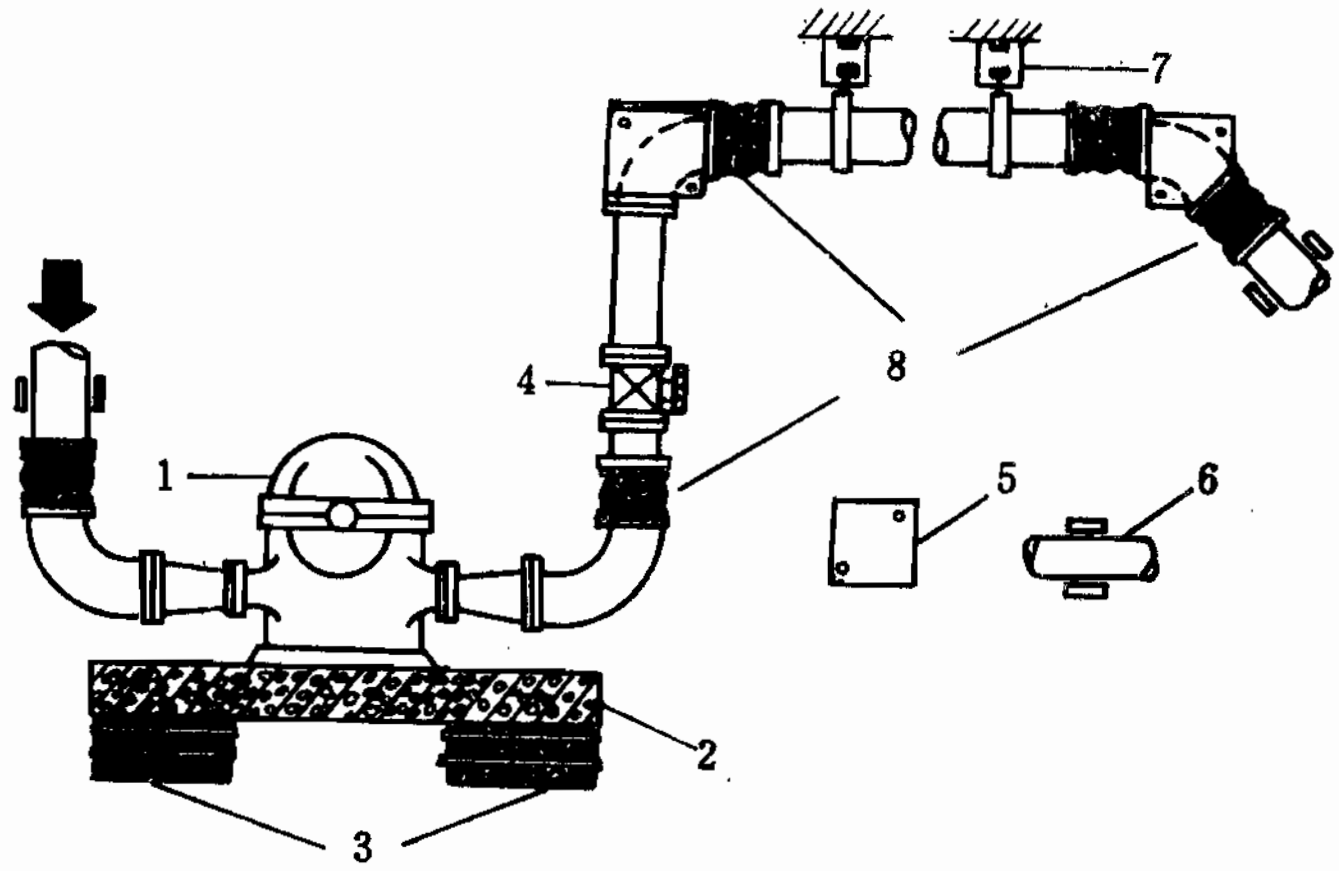


图 2-5-12 水泵机组安装简图

1—泵；2—惰性基础块；3—橡胶隔振垫；4—阀门；5—锚架；6—管道；7—弹性吊架；8—可曲挠橡胶接头

第六节 橡 胶 护 舷

一、概 述

橡胶护舷又称橡胶护木，是码头或船舶上使用的一种缓冲装置，用以减缓船舶与码头或船舶与船舶在靠泊（后者又称接舷）或系泊时的冲击，保护船舶和码头免受损失。

近年来随着港口吞吐量日益增加，船舶特别是油轮、矿石船等逐渐大型化，集装箱运输，中、长距离轮渡日益普及，船舶在海上靠泊量日益增多，以及岛式码头的出现等，对防冲设备的需要量愈来愈大，要求愈来愈高，世界各国采用的防冲设备类型及品种相应地亦愈来愈多，规格尺寸也更多。橡胶防冲设备具有弹性好，吸能大，维护方便，使用寿命长，能大批定型生产等优点，在日本、欧美、东南亚国家，已被广泛采用。

合理地选用防冲设备型式，不仅可以保证船舶和码头在停靠及系泊时的安全，延长船舶和码头的使用寿命，还可减少作用于码头的水平载荷，提高原有码头的停泊能力，使新建码头结构轻型化，降低了码头的造价。

码头防冲设备的发展过程与船舶、港口的技术发展密切相关。从远古时代的木筏至今的超级油轮，船舶的发展具有十分悠久的历史。与此相比，防冲设备的历史则很短，从最简单的形式出现起，至今只不过200年的历史，而橡胶防冲设备问世则更晚，至今只有数十年的时间。

第二次世界大战以后造船工业迅速发展，船舶类型不断增多，吨位迅速增大，港口也日

益发达，出现了轻型的码头结构形式，木护木、防冲桩已不能很好地适应船舶的靠泊要求，于是陆续出现了利用其它材料制造的防冲设备，其中利用高弹性材料橡胶来制造的防冲设备，由于性能优良，尔后就得到了很大的发展。码头橡胶护舷最早于1932年，首先在美国使用和生产，从40年代起欧洲也逐渐采用和制造，到50年代，在码头上（尤其是在油码头上）使用橡胶护舷增多；1954年日本在横岛丸善油公司码头上开始使用橡胶护舷，并从1956年起开始成批生产。

二、橡胶护舷的种类

（一）剪切型橡胶护舷

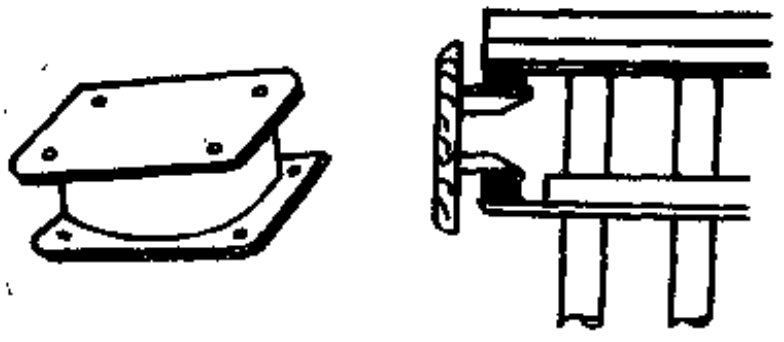


图 2-6-1　剪切型橡胶护舷及码头安装图

剪切型橡胶防冲设备系利用橡胶的剪切变形吸收船舶的撞击能量，这种防冲设备是将橡胶块粘结于两块钢板之间，钢板分别用螺栓固定在护木和码头上，见图2-6-1，橡胶块的安全变形为45°，在钢板的表面附有一薄层覆盖胶，以防金属被锈蚀。

剪切型护舷的吸能值可按下列公式计算：

$$E = \frac{1}{2} ph = \frac{1}{2} A\tau h$$

式中　A——橡胶块截面积，cm^2；

τ——橡胶允许剪应力，一般为1.09MPa；

h——胶块高度；

E——剪切型橡胶护舷的吸能值。

另一种为折箱式防冲设备（Raykin式），见图2-6-2，是一种较完善的剪切型防冲设备，由许多橡胶块与钢板粘合组成。这种防冲设备单位反力的吸能值较大，缺点是对船舶沿码头方向作用的摩擦力抵抗较差，同时因构件尺度较大，占地也大。

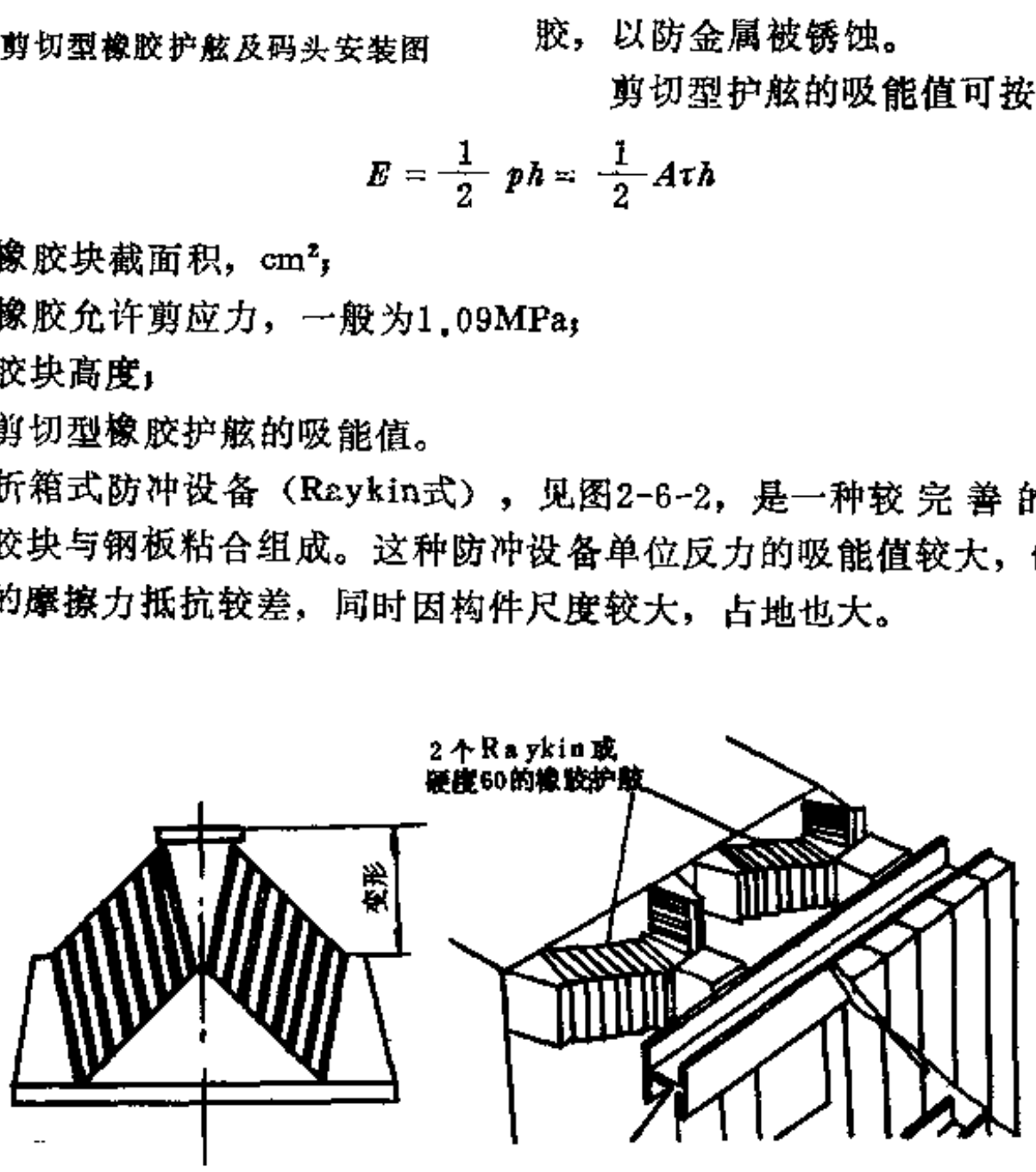
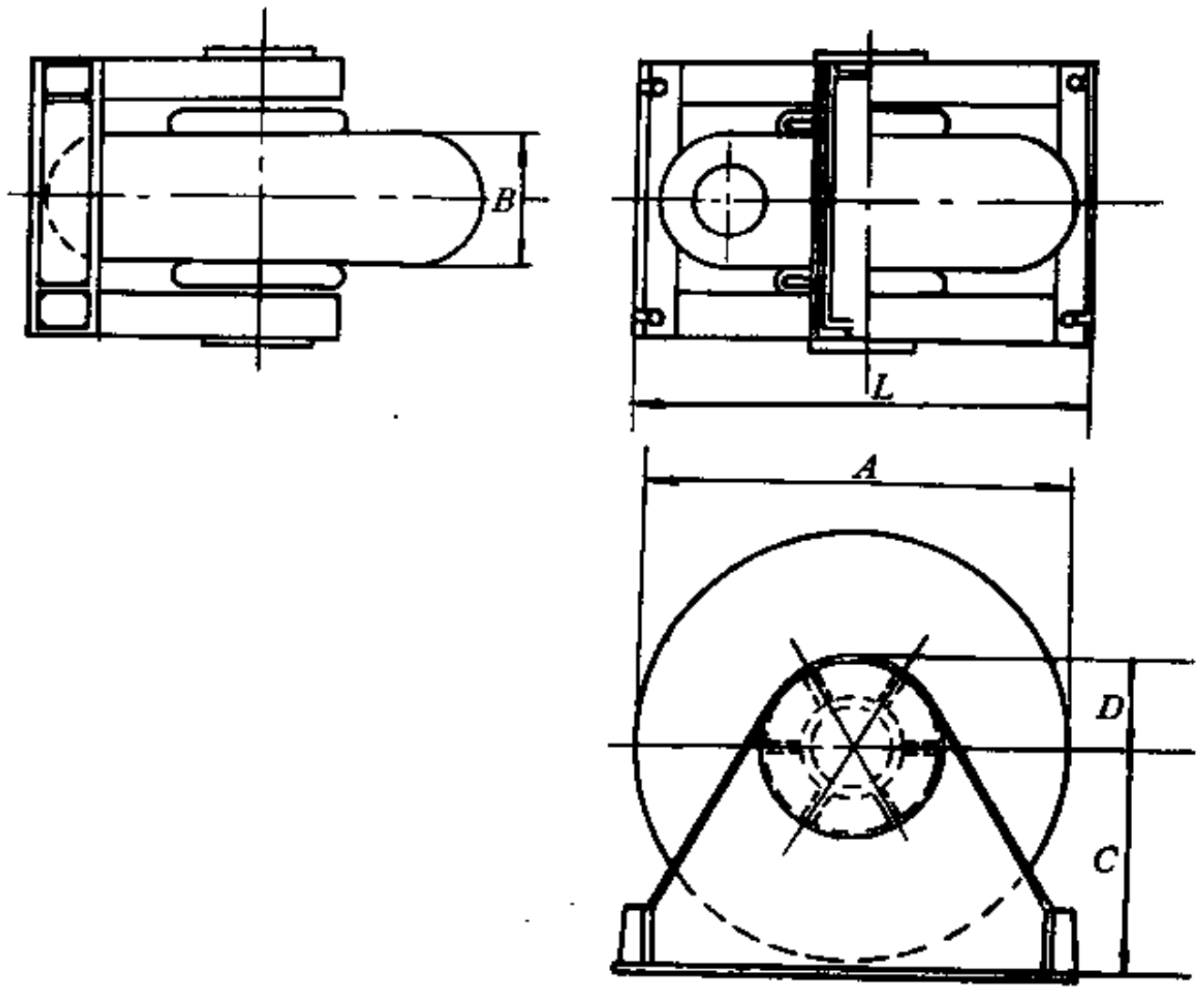


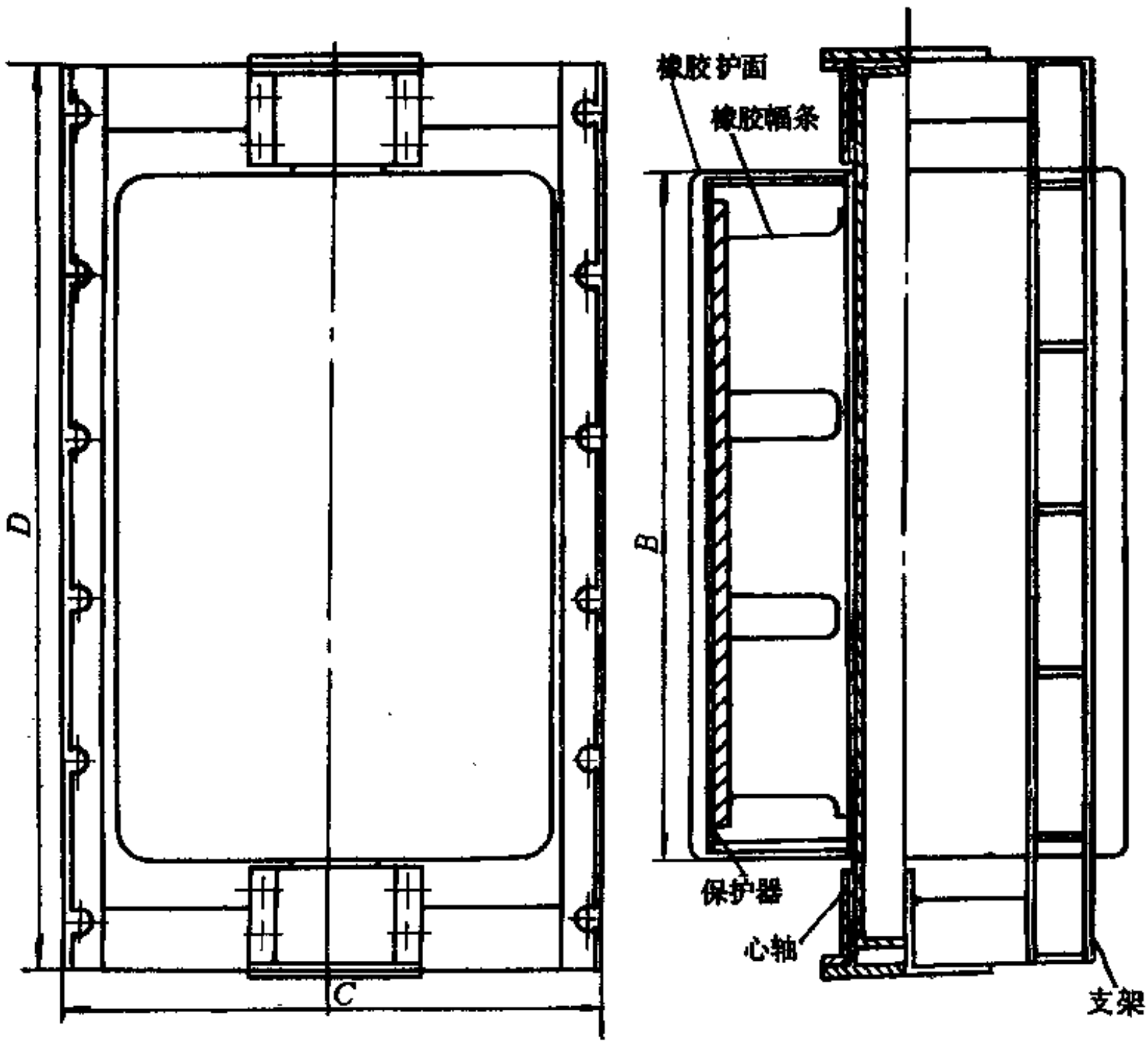
图 2-6-2　折箱式橡胶护舷及在码头安装

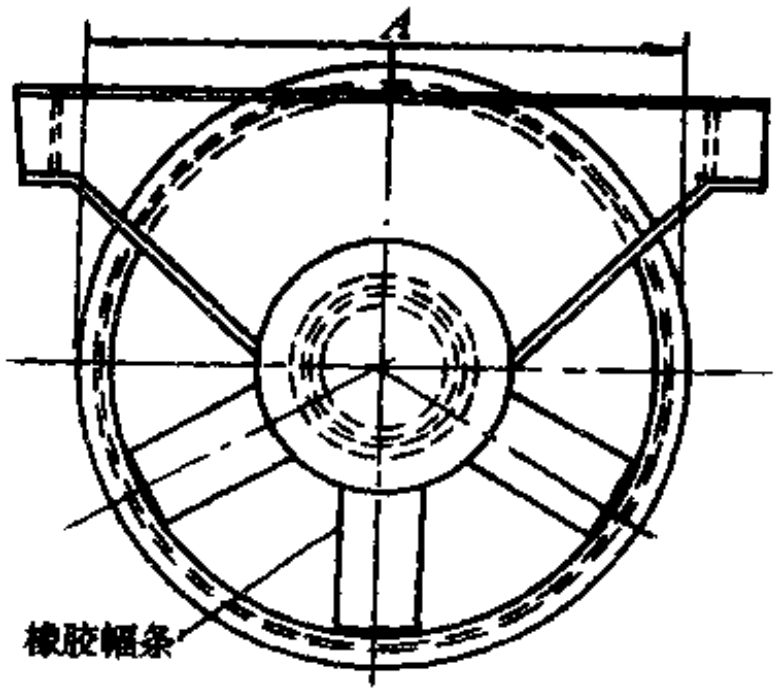
（二）转动型橡胶护舷

转动型橡胶护舷系利用防冲设备的转动和压缩变形吸收船舶的撞击能量，其特点是可以转动，自身不产生剪切应变，而仅有压缩变形。当船舶靠泊或移位时，防冲设备能适应船体



(a)





（b）

图 2-6-3 转动型橡胶护舷

（a）D型转动压缩型；（b）P型转动压缩型

的移动而产生转动，故船体与防冲设备不产生滑动摩擦，因此不会刮掉船体油漆，对码头的保护也较好，这种防冲设备一般适用于水位比较平稳、潮差较小的港口和船坞口处。转动型橡胶护舷见图2-6-3（a）、（b），安装实例见图2-6-4。

（三）压缩型橡胶护舷

压缩型橡胶防冲设备系凭借橡胶制品的结构形状变形和橡胶本身的材料压缩变形来吸收船舶的冲击能量，多系全胶制品，间或夹有补强层，橡胶体与岸壁连续处采用钢板加强。这类防冲设备的性能与橡胶体的断面形状和胶料的硬度有密切关系。压缩型橡胶护舷的特点是结构简单、制造容易、安装方便，适用范围广等，是目前国内外应用最多的一个品种。

压缩型橡胶护舷的品种甚多，有圆筒型、D型、V型、H型、鼓型和π型等，其中圆筒型和D型为早期产品，近年来应用有所减少；V型为60年代出现的产品，直至目前应用仍较多；H型、鼓型和π型是为大型船舶靠泊的需要，于近几年出现的产品，它们主要特点是制品较大，并且在橡胶体的前面均装有金属（或木制）防冲板，以增加防冲设备与船舶的接触面积，降低作用于船体旁板的面压，因此在开敞海面的码头、墩式码头、其它大型码头中应用较多，效果亦较好。

1．圆筒型橡胶护舷

圆筒型橡胶护舷是中空的筒型橡胶制品，用链条或链条加钢辊悬挂在码头上，见图2-6-5，这种形式的防冲设备，早在50年代初期已开始采用，由于它制造简单，安装方便，对大小船舶适应性较好，因此至今国内外码头采用仍不少。

圆筒型橡胶护舷在码头上有三种悬挂方式，即横式、竖式和斜式。随着橡胶护舷规格的加大，目前采用前者为多，表2-6-1为目前国内圆筒型橡胶的系列产品的规格、尺寸和性能。

圆筒型橡胶护舷的主要缺点是橡胶耗用量大，吸能效果稍差，单位制品重量吸能量小，因此在大型码头中采用已见减少。

圆筒型橡胶护舷一般都按外径的50%变形时的反力和吸能量作为反力和吸能值，但对反力不受限制的码头，如重力式码头，则允许采用外径的67%变形值的反力和吸能值。



图 2-6-4　D型（轮船式）转动橡胶护舷的安装实例

2．D型橡胶护舷

D型橡胶护舷是一种断面象D字的固定式防冲设备，用螺栓固定安装，其高度与宽度相等，这种橡胶护舷的内轮廓有圆形和D字形二种，前者称为D型，后者则称为改良D型，见

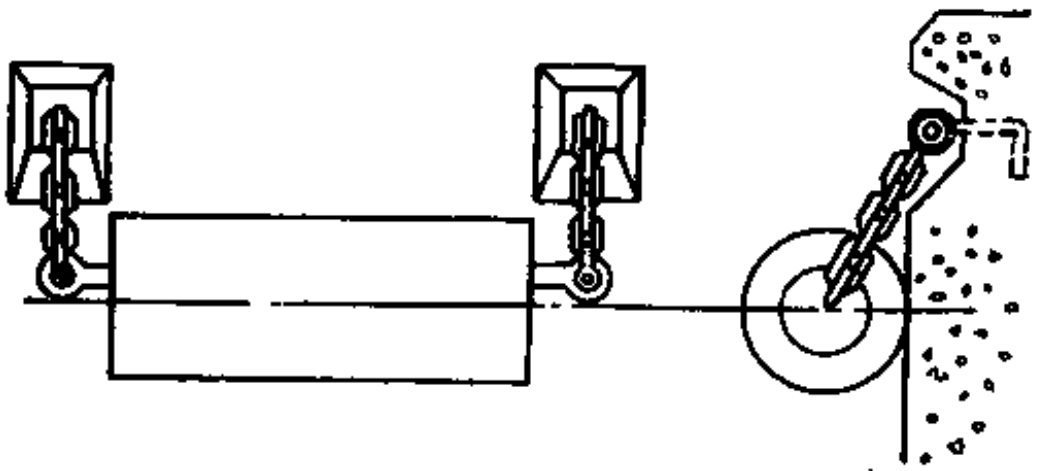


图 2-6-5　圆筒形橡胶防冲设备

表 2-6-1　国产圆筒型橡胶护舷

产品名称	尺寸 mm			反力值	吸能值	参考重量
	外径	内径	长度	kN	kN·m	kg
H200	200	100	1000	70	2	30
H300	300	150	1000	100	6	65
H400	400	200	1000	130	10	120
H500	500	250	1000	160	16	180
H600	600	300	1000	190	24	260
H800	800	400	1000	250	43	460
H1000	1000	500	1000	310	67	720
H1200	1200	600	1000	370	97	1050
H1400	1400	700	1000	430	130	1400

图2-6-6，D型橡胶护舷与圆筒型橡胶护舷比较，可节约少量橡胶，但其反力则较圆筒型为大，D型橡胶护舷主要安装在船舶（包括囤船）和框架式码头上，安装较为方便，改良D型橡胶护舷的规格一般以制品的高度表示，通常其断面高度与密度相等。

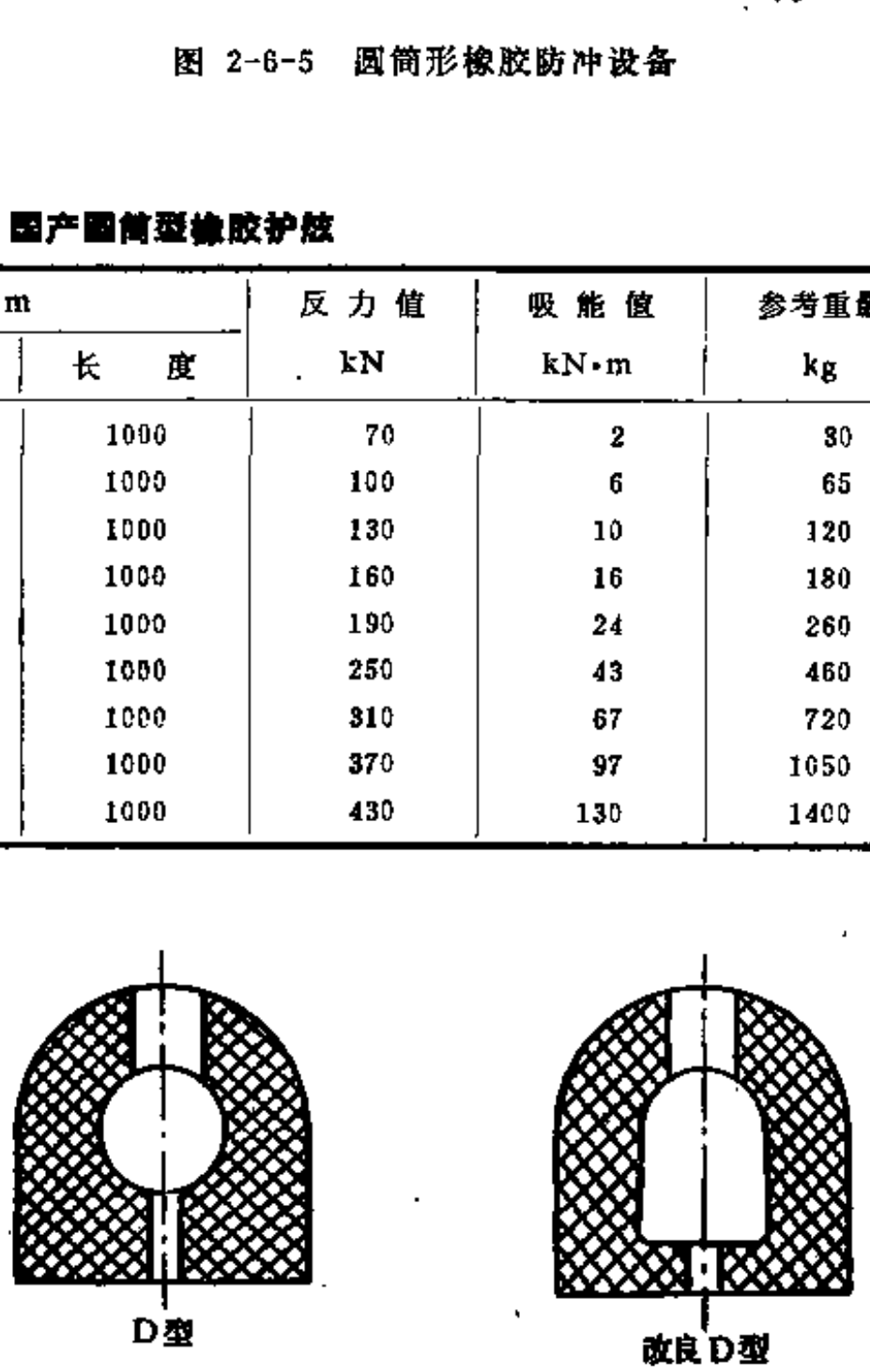


图 2-6-6　D型橡胶护舷断面

国内目前生产的D型橡胶护舷均属改良型。表2-6-2为国内制造的D型橡胶护舷系列、规格尺寸和性能。

3．V型橡胶护舷

V型橡胶护舷是一种断面形状像V字的固定式防冲设备，用螺栓固定在码头上，这种橡胶可分为封闭式和开口式两类，见图2-6-7。它们的具体断面有些变异品种，例如有一种在

表 2-6-2 国产D型橡胶护舷

产品名称	尺寸 mm		反力值	吸能值	参考重量
	高 H	宽 D	kN/m	kN·m/m	kg/m
H200	200	200	160	5	38
H300	300	300	250	13	67
H500	500	500	420	35	200

橡胶体根部带凹槽的开口式V型橡胶护舷，称为超拱型，如图2-6-8所示，根部凹槽可以使橡胶护舷的反力降低。

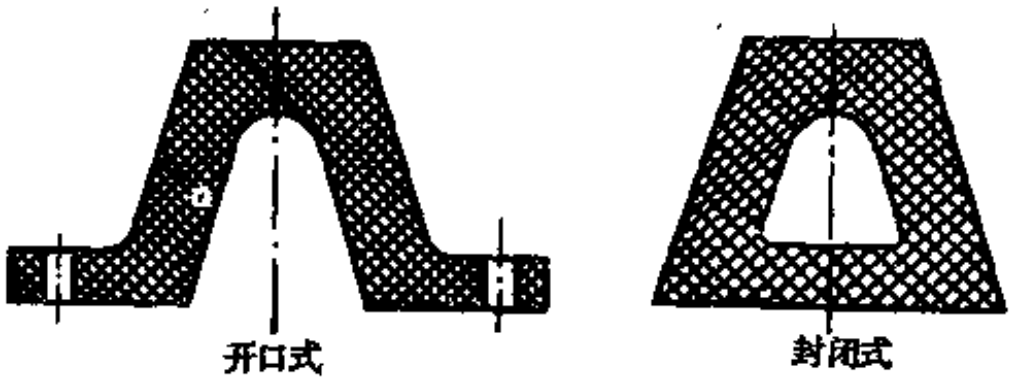


图 2-6-7 V型橡胶护舷断面

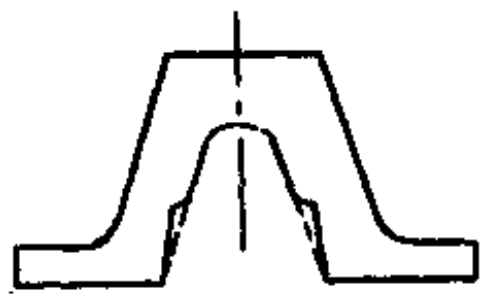


图 2-6-8 超拱型橡胶护舷

V型橡胶护舷与码头连接处采用钢板加强，为增加钢胶粘合强度，可在钢板上预留若干孔眼。这种橡胶护舷的主要优点是断面用胶量少，吸收能量高，因此可以相应地降低造价，适用于港口、码头和船坞坞室使用；它的缺点主要是作用于建筑物的反力较大，一般高达882～1079kN/m²，对船体较差的大型油轮不大适用。

为了降低船舶钢板与橡胶护舷的摩擦系数，可在V型橡胶护舷的顶部，加贴一层树脂，树脂层主要由聚四氟乙烯组成，也可采用聚氨酯、尼龙等作表面涂层，表2-6-3为国内制造的V型橡胶护舷的规格尺寸及性能。

表 2-6-3 国产V型橡胶护舷

产品规格	尺寸，mm			反力值	吸能值	参考重量
	顶宽	底宽	高度	kN/m	kN·m/m	kg
H300	196.5	1600	300	170	1.17	200
H500	227.5	1000	500	290	4.7	375
H600	393	1200	600	340	6.8	545
H800	524	2000	800	480	12	973

上述性能的橡胶护舷压缩率为45%。

V型橡胶护舷一般都按变形高度的45%时的反力和吸收能量值作为计算反力和吸收值，当承受斜向压缩时，其性能将降低，因此设计时应根据船舶可能的靠泊角度考虑折减系数，图2-6-9(a) 为H600V型橡胶护舷的压缩性能曲线，图2-6-9(b) 为橡胶护舷压缩情况。

4．H型橡胶护舷

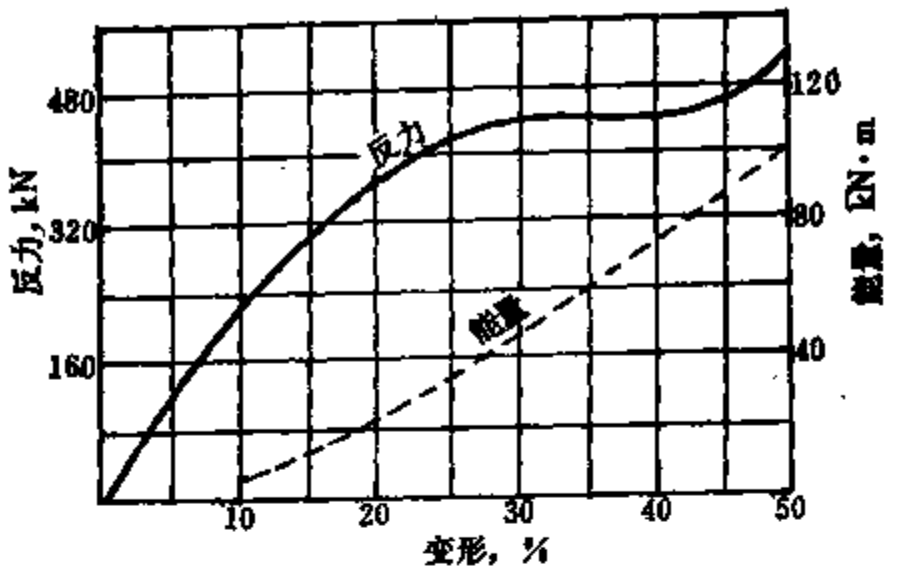
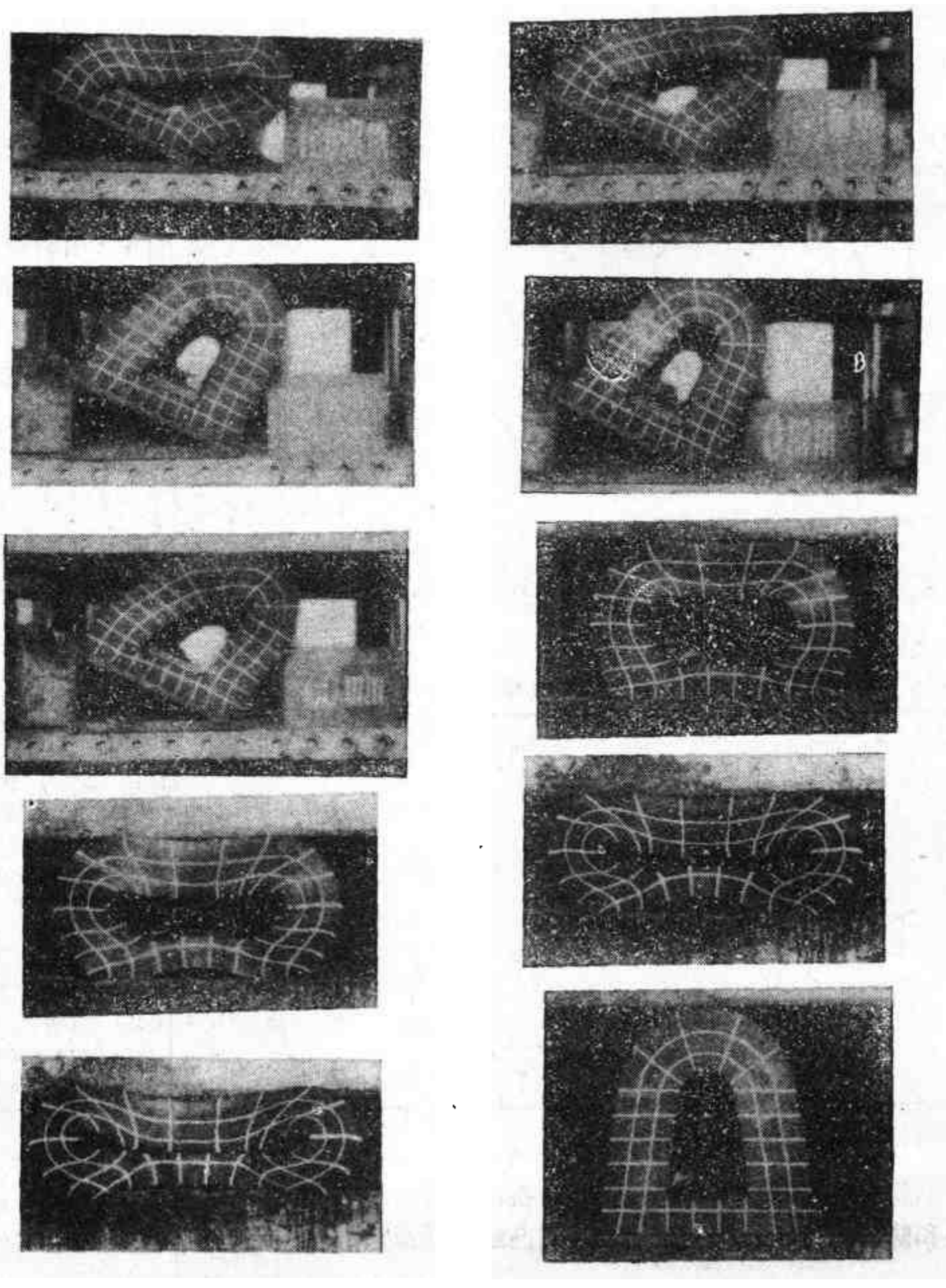


图 2-6-9(a)　H600V型橡胶护舷压缩性能曲线



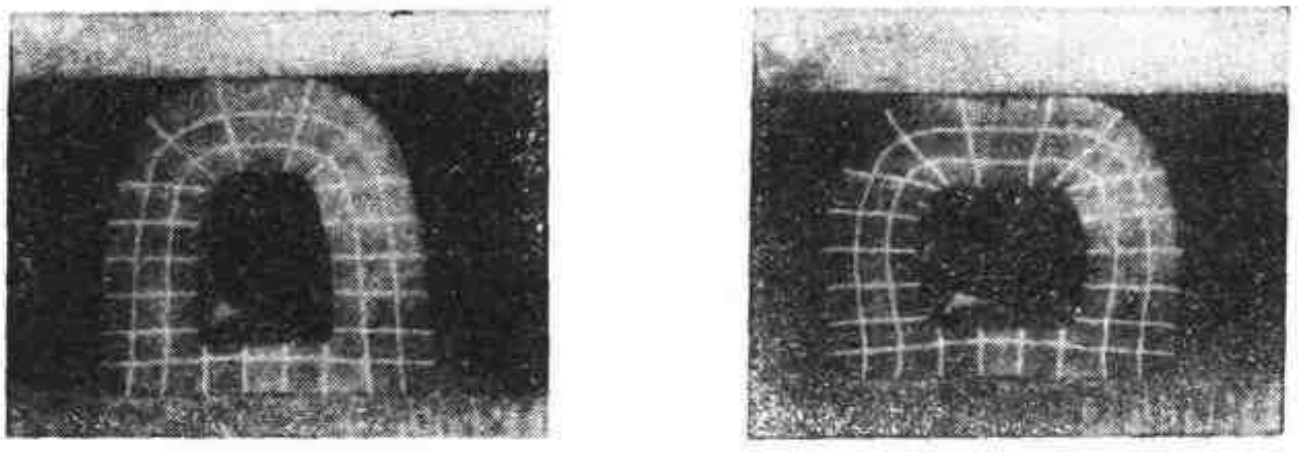


图 2-6-9(b)　橡胶护舷压缩试验情况

H型橡胶护舷是日本1968年才投入生产的大型固定式防冲设备。可供50万 t 的油轮靠泊，也是用螺栓固定在码头上，前面设有钢性防冲板，防冲板与橡胶体间用螺栓连结橡胶体根部与防冲板连结处，均用钢板加强，防冲板的前面贴有树脂板。

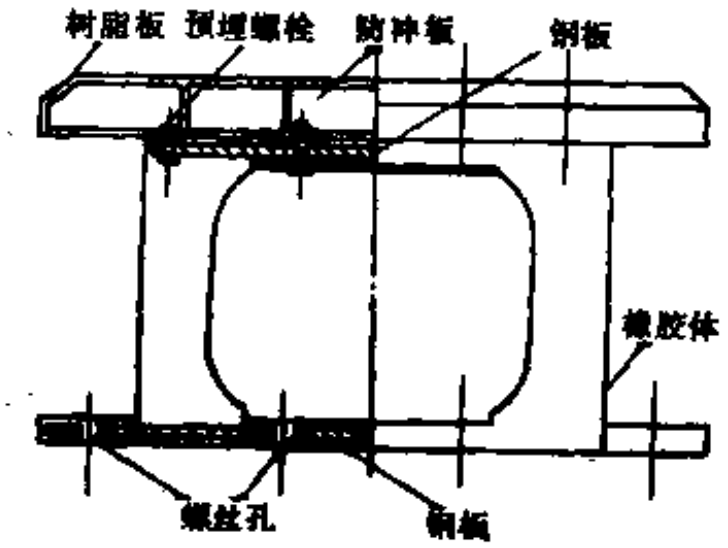


图 2-6-10　H型防冲设备

这种防冲设备的优点是，橡胶体不直接与船舶接触，因此橡胶体不易磨损，使用寿命较长，而且由于没有防冲板，加大了防冲设备与船舶的接触面积，因此作用于船舶旁板的面压就大大减少，一般均在船舶旁板允许压力392 kN/m²以下，因此适用于大型码头及建在开敞海域的泊位等情况，其缺点是构造比较复杂，安装维护比较麻烦，又因其制品较大，致使船舶与码头间距增大。

H型橡胶护舷的规格一般以其高度和长度表示，以橡胶体变形为高度的50%时的反力和能量来计算其反力和吸能值，图2-6-10为H型橡胶护舷的结构示意。规格尺寸性能见表2-6-4。

表 2-6-4　H型橡胶护舷的主要规格及性能表

橡胶体长度，mm	1500		2000		2500		3000		3500		4000	
性能 / 橡胶体高度 mm	能量 kN·m	反力 kN	能量 kN·m	反力 kN	能量 kN·m	反力 kN	能量 kN·m	反力 kN	能量 kN·m	反力 kN	能量 kN·m	反力 kN
600	109	480	145	640	182	800	218	960	255	1120	290	1270
800	194	640	258	850	323	1060	388	1270	452	1490	517	1700
1000	303	800	404	1060	505	1330	606	1590	707	1860	808	2120
1400	594	1120	792	1480	990	1860	1188	2230	1385	2600	1583	2970
1700	876	1360	1167	1800	1460	2260	1750	2700	2043	3160	2335	3600
2000	1212	1600	1676	2120	2020	2660	2424	3180	2828	3720	3232	4240

5．鼓型橡胶护舷

鼓型橡胶护舷也是一种固定式防冲设备，由鼓型橡胶筒和防冲板二部分组成，鼓型橡胶筒与码头和防冲板连接处作成类似法兰的凸缘，凸缘采用钢板加强，分别用螺栓与码头，防

冲板固定，防冲板为刚性金属结构，为避免船舶与防冲板直接摩擦，防冲板前面贴有橡胶板或尼龙板。见图2-6-11。

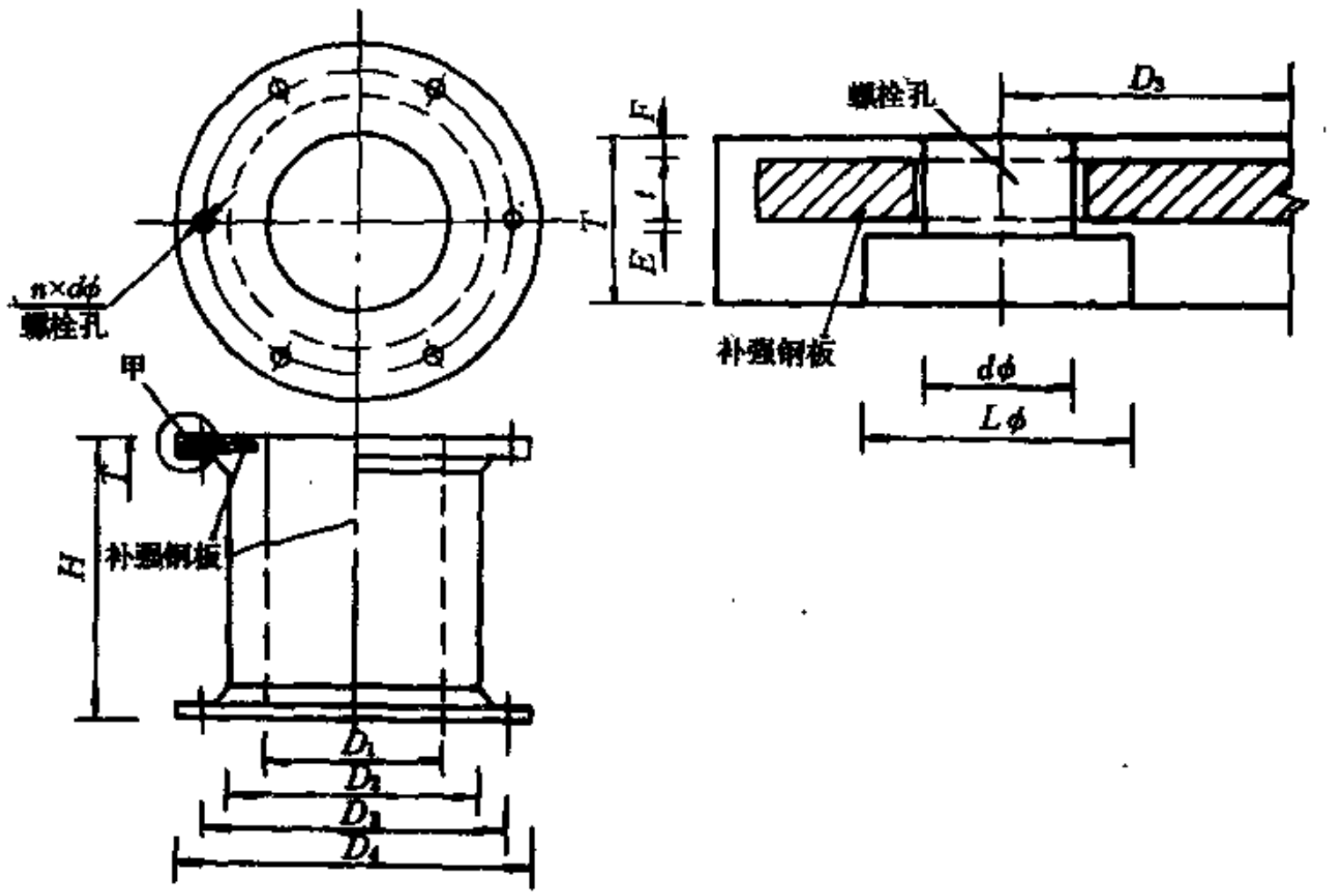


图 2-6-11　鼓型防冲设备构造

鼓型橡胶护舷是以鼓型橡胶筒变形来吸收船舶冲击能量的，因此它与圆筒型、D型、V型等比较，具有吸能大，反力低，橡胶用量省等优点，同时因设有防冲板，加大了与船舶的接触面积，故其作用于船舶旁板的面压低，一般均在245kN/m²左右，小于船舶旁板的允许面压，又因橡胶筒不直接与船舶接触，因此不易磨损，使用寿命较长，对大型码头及外海墩式码头等尤为适用，如日本的鹿儿岛附近，建造的50万吨级的油码头，就是采用了H3000大型鼓型橡胶护舷的，但这种橡胶护舷也有其缺点，如构造复杂，安装维护比较麻烦，特别是防冲板要求镀锌处理，以避免锈蚀，还因其制品较大，增大了码头与船舶的间隙，使装卸效率降低。

鼓型橡胶护舷的规格一般以鼓型橡胶筒的高度表示，国内目前生产的鼓型橡胶护舷有H1000和H1250与H2000、H2500等4种，日本的产品为H400至H3000共9种，其具体规格尺寸与性能见规格表和性能表2-6-5。

鼓型橡胶护舷一般均以橡胶筒变形为其高度的47.5%时的反力和吸能量作为设计反力和吸能值，当承受斜向压缩时其性能要降低，因此在设计时应根据船舶可能的靠泊角度考虑折减系数，鼓型橡胶护舷的反力折减系数表、能量折减系数表分别见表2-6-7及表2-6-8。国产鼓型橡胶护舷安装实例见图2-6-12。

6．π型橡胶护舷

π型橡胶护舷也是一种较大型橡胶护舷，由橡胶体和防冲板两大部分组成，断面形状似π，橡胶体为两片实体的橡胶制品，与码头、防冲板的连结处作成凸缘，凸缘采用钢板加强，分别用螺栓与码头、防冲板固定，防冲板的构造与H型及鼓型橡胶护舷的防冲板相似，见图2-6-13，这种橡胶护舷的主要优缺点基本与H型橡胶护舷相同，唯制造略为简便。

表 2-6-5A 鼓型橡胶护舷主要规格尺寸

规格	H mm	D_1 mm	D_2 mm	D_3 mm	D_4 mm	E mm	F mm	t mm	T mm	$L\phi$ mm	n mm	d mm	螺栓 mm	重量 kg
H3000	3000			3250	3500						12	90	76	18500
H2000	2000	1300	1800	2000	2200	3	5	36	50	125	8	68～70	64	4400
H1600	1600	1000	1500	1800	2000	3	5	28	45	105	8	55～59	51	3000
H1250	1250	790	1170	1450	1650	3	5	22	40	90	6	48～53	44	1450
H1000	1000	630	940	1100	1300	2	5	20	35	78	6	42～46	38	813
H800	800	450	670	900	1050	2	4	16	30	68	6	35～40	32	445
H630	630	360	480	700	850	2	4	14	25	64	4	32～37	29	171
H500	500	300	450	550	650	2	4	9	25	58	4	28～32	25	96
H400	400	300	400	550	650	2	4	9	25	50	4	26～30	22	76

表 2-6-5B 鼓型橡胶护舷（标准品）性能表

规格		H3000	H2000	H1600	H1250	H1000	H800	H630	H500	H400
性能	反力，kN	4400	1775	1115	710	445	280	175	110	65
	吸能，kN·m	4600	1360	680	340	170	85	42	21	10

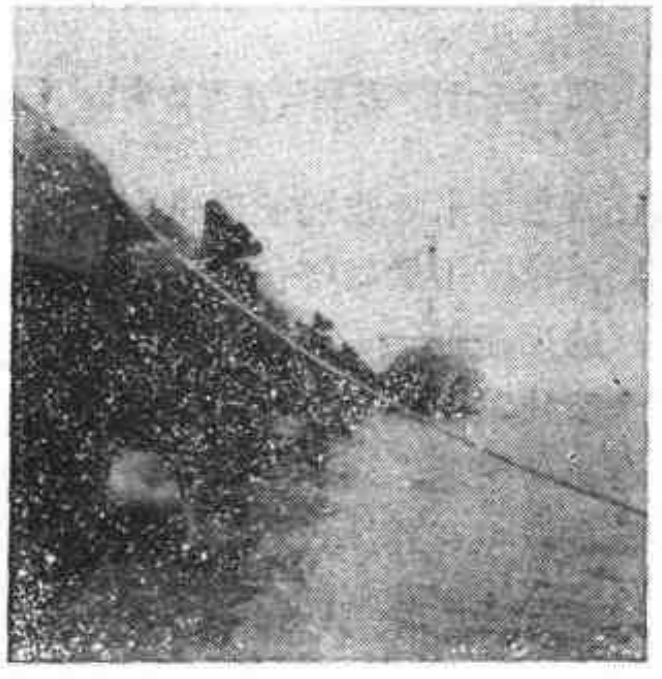


图 2-6-12 鼓型橡胶护舷安装实例

π型橡胶护舷的规格一般以橡胶体的高度表示，自H600至 H2000 等 6 种，下为日本制造的π型橡胶护舷的规格尺寸及性能表2-6-6。

表 2-6-6 π型橡胶护舷主要规格及性能表

规格	H400	H600	H800	H1000	H1400	H1700	H2000
反力，kN/m	240	330	440	550	770	940	1100
能量，kN·m	31	76	134	210	412	607	840

7．环型橡胶护舷

环型橡胶护舷也有称为帽型的，是一种新型固定式防冲设备，断面为V型的环状橡胶制

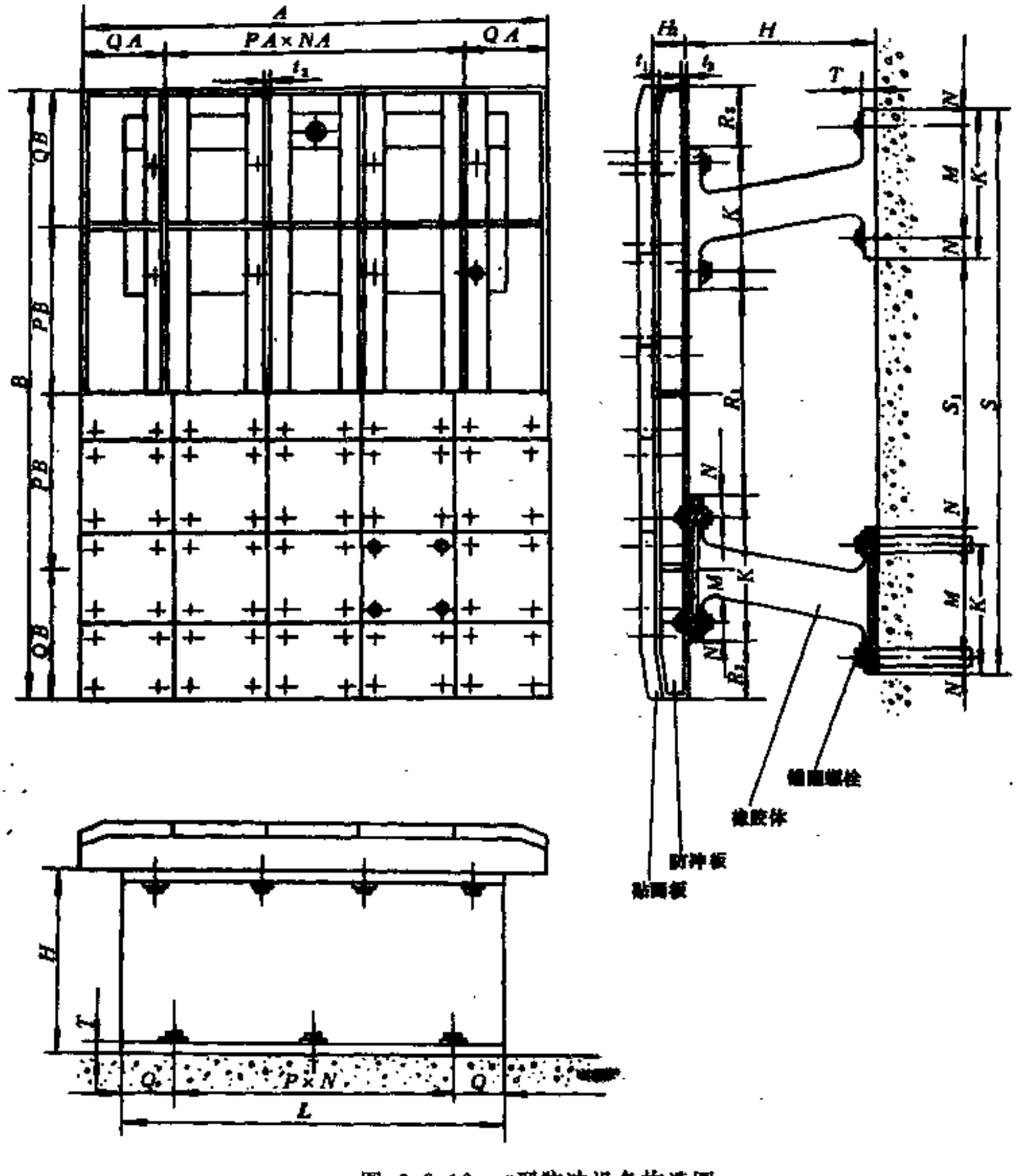


图 2-6-13 π型防冲设备构造图

表 2-6-7 鼓型橡胶护舷反力折减系数

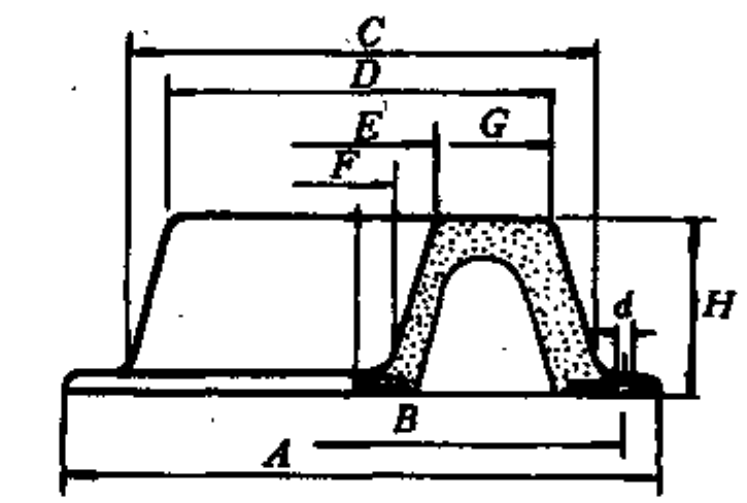
变形，% \ 角度	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	12°	15°	20°
5	1.00	0.865	0.729	0.594	0.459	0.324	0.282	0.241	0.200	0.159	0.118	0.106	0.099	0.059
10	1.00	0.934	0.869	0.803	0.728	0.672	0.564	0.456	0.348	0.239	0.131	0.118	0.098	0.066
15	1.00	0.963	0.925	0.886	0.850	0.813	0.720	0.628	0.535	0.443	0.350	0.310	0.250	0.150
20	1.00	0.975	0.949	0.924	0.899	0.874	0.816	0.759	0.701	0.64[illegible]	0.586	0.543	0.478	0.368
25	1.00	0.984	0.969	0.953	0.937	0.921	0.874	0.827	0.780	0.733	0.685	0.645	0.580	0.449
30	1.00	0.980	0.959	0.939	0.918	0.898	0.873	0.848	0.823	0.798	0.775	0.711	0.620	0.466
35	1.00	0.975	0.949	0.924	0.899	0.874	0.860	0.846	0.832	0.818	0.805	0.743	0.651	0.494
40	1.00	0.967	0.933	0.900	0.867	0.833	0.829	0.824	0.819	0.814	0.810	0.755	0.674	0.536
45	1.00	0.956	0.912	0.867	0.823	0.779	0.772	0.763	0.758	0.751	0.744	0.712	0.663	0.581
47.5	1.00	0.949	0.899	0.848	0.799	0.748	0.729	0.710	0.692	0.674	0.655	0.635	0.603	0.550
50	1.00	0.943	0.887	0.830	0.774	0.717	0.687	0.657	0.626	0.596	0.566	0.557	0.543	0.519

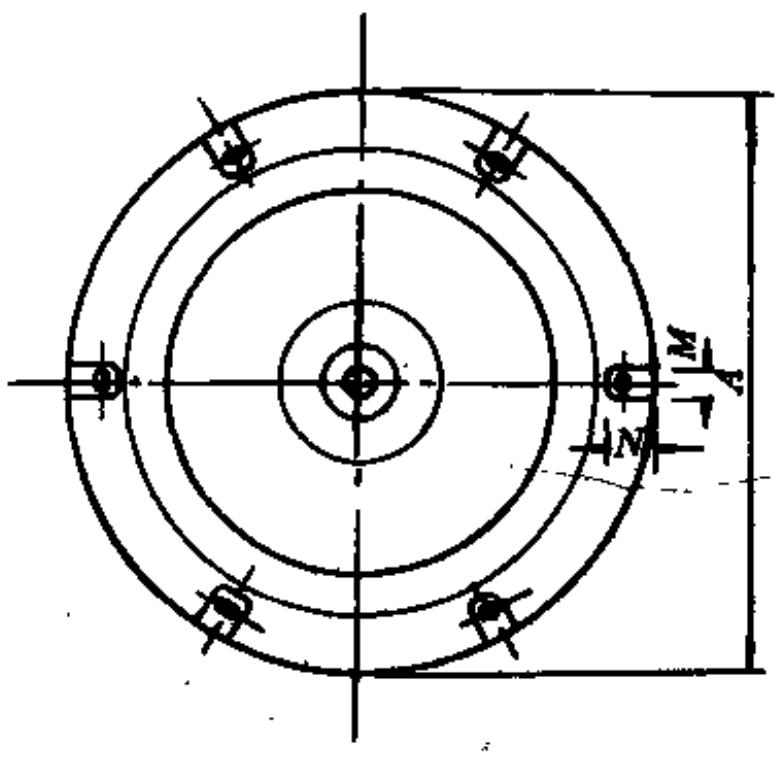
表 2-6-8　鼓型橡胶护舷能量折减系数

变形，% \ 角度	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	12°	15°	20°
5	1.00	0.864	0.729	0.593	0.459	0.322	0.282	0.240	0.200	0.158	0.118	0.106	0.087	0.059
10	1.00	0.898	0.795	0.693	0.591	0.488	0.416	0.342	0.270	0.197	0.124	0.112	0.092	0.062
15	1.00	0.925	0.850	0.776	0.701	0.626	0.539	0.450	0.366	0.279	0.193	0.172	0.140	0.089
20	1.00	0.942	0.884	0.826	0.767	0.709	0.623	0.546	0.464	0.382	0.300	0.271	0.228	0.156
25	1.00	0.953	0.906	0.858	0.811	0.763	0.690	0.627	0.543	0.470	0.396	0.364	0.314	0.228
30	1.00	0.959	0.918	0.878	0.837	0.796	0.731	0.666	0.601	0.536	0.471	0.434	0.378	0.280
35	1.00	0.963	0.925	0.888	0.850	0.812	0.756	0.699	0.642	0.585	0.529	0.487	0.425	0.316
40	1.00	0.964	0.927	0.892	0.855	0.819	0.762	0.719	0.670	0.620	0.570	0.526	0.461	0.346
45	1.00	0.963	0.927	0.891	0.854	0.817	0.773	0.729	0.685	0.641	0.597	0.553	0.483	0.374
47.5	1.00	0.963	0.926	0.888	0.850	0.813	0.770	0.728	0.685	0.643	0.601	0.558	0.495	0.385
50	1.00	0.962	0.923	0.885	0.846	0.808	0.767	0.726	0.685	0.644	0.604	0.562	0.502	0.396

品，其根部与码头连结处以钢板加强，防冲设备用螺栓固定在码头上，见图2-6-14及图2-6-15安装实例图。

环型橡胶护舷具有吸能量较高，可承受船舶各个方向的撞击，当承受倾斜压缩时，其性能降低较少，而且安装方便，可用于大小型码头，这种橡胶护舷的主要缺点仍然是面压较大，因此船体强度较差的不甚适用，日本制造的环型橡胶护舷规格自H270至H710共有12种，其具体规格尺





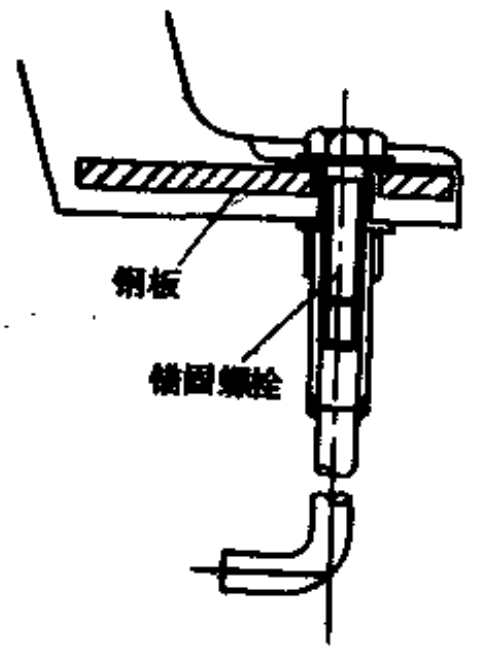


图 2-6-14　环型橡胶防冲设备

寸及各项性能见表 2-6-9 环型橡胶护舷主要规格及性能表。

8．各种压缩橡胶护舷的性能比较

压缩型橡胶护舷的综合性能比较见表2-6-10。

（四）充气型橡胶护舷

充气型橡胶护舷是用织物两面覆以橡胶制成的贮存压缩空气的特殊容器，利用压缩空气作为缓冲介质来吸收船舶的撞击能量，这类橡胶护舷可分为飘浮式（简称充气胶囊）和固定式（简称A、B、F型）两种，前者用链条吊挂在码头上，飘浮在水中，可随潮位变化而升降，后者采用螺栓直接锚固在码头上。

1．充气胶囊

又称巨象式空气防冲设备，最初日本应用在捕鲸船队的海上靠泊，之后为挪威、原苏联等国捕鲸船队先后采用，这种橡胶护舷利用压缩空气作缓冲介质，吸收船舶的撞击能量，因



图 2-6-15　环型橡胶护舷的安装实例

表 2-6-9　环型橡胶护舷主要规格及性能表

规格		H270	H315	H365	H420	H460	H488	H507	H530	H580	H620	H660	H710
变形	反力kN	210	290	400	530	620	690	750	820	940	1100	1260	1460
40%	能量kN·m	16	25	40	61	80	94	111	130	160	200	250	310
变形	反力kN	220	300	410	540	640	710	770	840	980	1130	1290	1500
45%	能量kN·m	18	28	46	70	92	108	128	160	184	230	288	358

表 2-6-10　压缩型橡胶护舷的综合性能比较

橡胶护舷类型	规格	吸能量 E kN·m	反力 R kN	制品重量 W, t	每吨橡胶吸能量 E/W kN·m/t	单位反力吸能量 R/W kN·m/t	面压 kN/m²	制造条件	安装及维护	备注
圆筒型	ϕ1000×ϕ500×l1000	67	310	0.711	94	2.2	394	简单	方便	H型鼓型
D型	H500×l1000	32	480	0.220	145	0.7	—	较简单	较方便	π型均未
V型	H500×l1000	63	380	0.375	168	1.7	1150	较简单	较方便	计防冲
H型	H600×l1000(1个)	96	430	—	—	2.2	<400	复杂	复杂	板重量
鼓型	H800(1个)	68	215	0.445	153	3.2	<400	较简单	较方便	
π型	H600(1个)	76	330	—	—	2.3	<400	稍复杂	较方便	
环型	H420(1个)	70	540	0.426	164	1.3	1000	复杂	较方便	

此与一般压缩型橡胶护舷比较具有吸能大，产生的反作用力小，与船舶的接触面积大，作用于船舶的单位面压小（一般在198kN/m² 以下），并且当倾斜压缩时性能不降低等优点，因此可适应船舶的斜向靠泊，这种橡胶护舷目前已被广泛应用在多种船舶在海上的靠泊，此外还用于墩式和其它大型码头。充气胶囊结构示意图见图2-6-16，安装实例见图2-6-17。

充气胶囊的规格一般以直径ϕ×长度l表示常用的充气胶囊规格见表2-6-11。

尚在研制超大型充气胶囊其规格为ϕ4500×l12000可供100万吨级油轮靠泊的需要。

充气胶囊的技术性能以各种型号压缩量为50%（设计压缩量）及55%（胶囊允许压缩上限）时的反力及吸能量值来表示。各种规格的充气胶囊性能见表2-6-12。

表 2-6-11 充气胶囊规格表

型　号	ϕ（直径）×l（长度），mm
小　型	ϕ300，ϕ500(球型)，ϕ700×l1500，ϕ1000×l1500
中　型	ϕ1000×l2000，ϕ1200×l2000，ϕ1350×l2500，ϕ1500×l3000，ϕ1700×l3000，ϕ2000×l3500 ϕ2500×l5500
大　型	ϕ3300×l6500，ϕ4500×l9000

表 2-6-12 各种规格的充气胶囊性能

充气胶囊规格 mm	压缩变形量为50%		压缩变形量为55%	
	反　力	能　量	反　力	能　量
ϕ300	0.94	0.046	1.32	0.064
ϕ500	1.43	0.126	2.00	0.176
ϕ700×l1500	7.4	0.8	10.0	1.1
ϕ1000×l1500	9.6	1.3	13.4	1.9
ϕ1000×l2000	13.9	2.0	19.1	2.9
ϕ1200×l2000	15.9	2.7	22.0	3.8
ϕ1350×l2500	23.1	4.5	31.7	6.3
ϕ1500×l3000	31.3	6.9	43.0	9.6
ϕ1700×l3000	34.4	8.4	47.5	11.8
ϕ2000×l3500	47.0	13.5	65.0	19.1
ϕ2500×l5500	111.0	42.2	151.0	58.5
ϕ3300×l6500	199.0	100.0	253.0	138.0
ϕ4500×l9000	386.0	266.0	491.0	365.0

表 2-6-13 大型充气胶囊单位重量吸能值

充气胶囊规格	单位反力所吸收能量值 kN·m/kN	制品单位重量吸收能量值 kN·m/t
ϕ3300×l6500	0.508	385
ϕ4500×l9000	0.689	532

充气胶囊的主要优点，在于吸收船舶冲击能量大，而作用于码头结构的反力小，因此特别适合大型船舶及外海靠泊的情况。

另外，作用于船舶旁板的表面压力小，可保证船舶停靠安全，规格尺度大于ϕ2500×l5500的充气胶囊，当压缩量为55%时，其表面压力仅为145kN/m²，小于船舶旁板的允许压力245kN/m²，其次在受倾斜压缩时，性能不降低，因此能适应船舶以各种斜度的靠泊。

由于充气胶囊飘浮在水面，故能适应潮位变化，并且安装十分简便，在寒冷地区使用性能基本不受影响。其缺点是由于充气胶囊直径较大，使码头与船舶（或船与船）间隙太大，因此起重机吊幅得不到充分利用，充气胶囊用于船舶靠码头时，码头需要有一个较大的接触平面以及使用与维护比较复杂。

2．固定式充气橡胶护舷

固定式充气橡胶护舷（简称A、B、F型）和充气胶囊一样也是利用压缩空气作为缓冲介质吸收船舶的撞能量，它具备充气胶囊的主要优点，从而弥补了其它固定式橡胶护舷的不足之处。

固定式充气橡胶护舷其外形可作成圆型、方型和长方型三种，其中外型为圆型的又称为帽型，是该产品的标准形式，见图2-6-18。

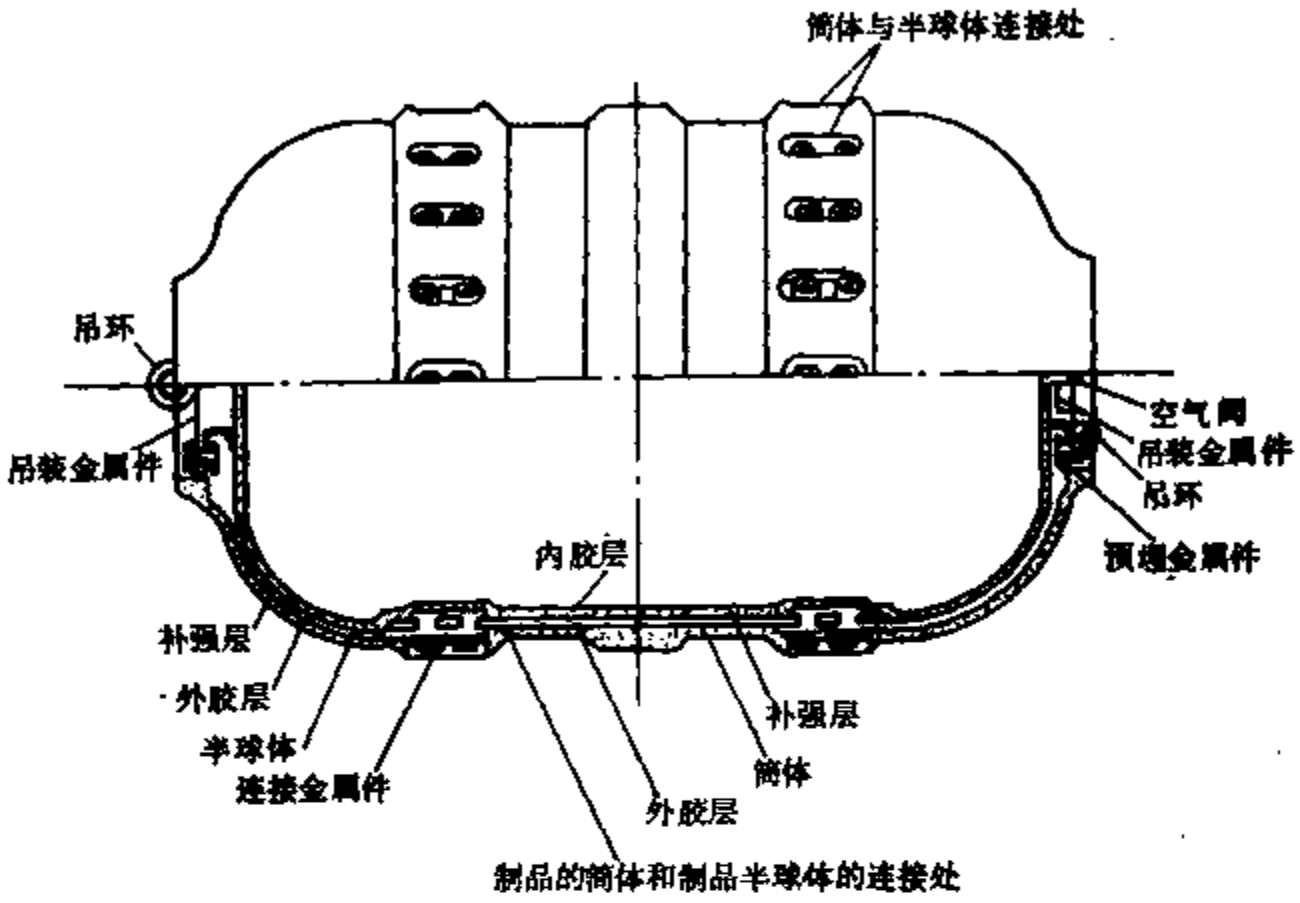


图 2-6-16　充气胶囊结构图



图 2-6-17　充气胶囊安装实例

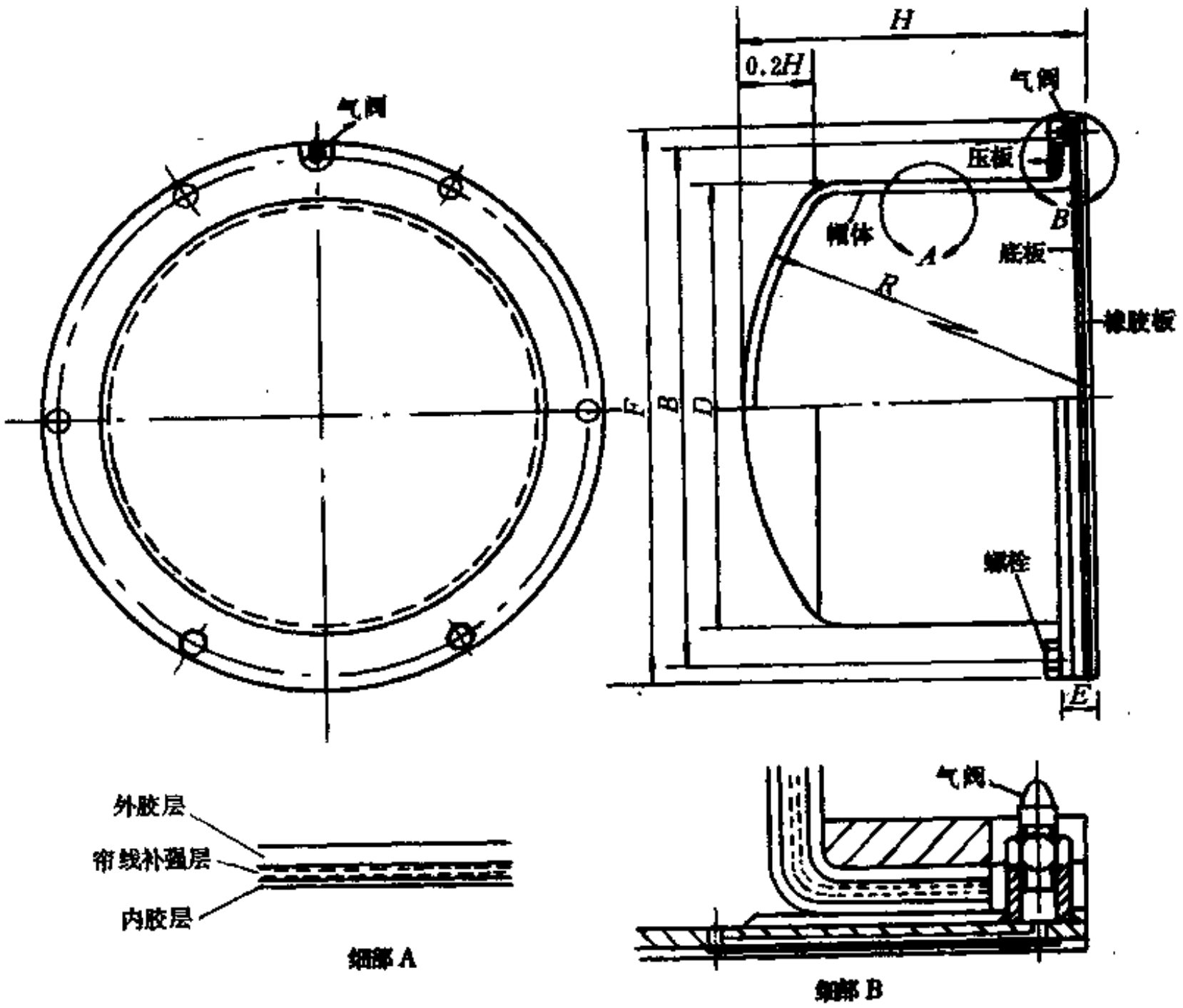


图 2-6-18 充气帽型防冲设备

充气帽型橡胶护舷的规格一般以高度×直径表示，帽型橡胶护舷由帽体，底板及气阀等主要部分构成，帽体为橡胶制品，由外胶层帘线补强层及内胶三层组成，底板由钢板橡胶板组成，压板为钢板，而气阀则类似于车胎的气门芯、帽体、底板和压板用螺栓连成正体后，送入硫化罐中进行硫化，帽体顶部厚度为壁厚的2倍，壁厚一般为10～18mm帘线层数为2～4层不等（取决于护舷的规格），帽体顶部外胶层厚度一般为5～15mm。其规格及性能分别见表2-6-14及表2-6-15。

表 2-6-14 充气帽型橡胶护舷规格及主要尺度

规格	H mm	D mm	F mm	B mm	R mm	E mm
H300× φ400	300	400	580	530	360	26
H450× φ600	450	600	860	790	540	30
H600× φ800	600	800	1140	1050	720	37
H750× φ1000	750	1000	1300	1220	900	44
H900× φ1200	900	1200	1540	1450	1080	48
H1200× φ1600	1200	1600	2060	1940	1440	58
H1500× φ2000	1500	2000	2560	2410	1800	75

表 2-6-15 充气帽型橡胶护舷性能表

规格	压缩变形为55%		工作压力	制品重量	螺栓直径
	吸能量 kN·m	反力 kN	kPa	kg	mm
H300×φ400	0.24	3.7	5	20	19～20
H450×φ600	0.81	8.4	5	60	19～20
H600×φ800	1.9	14.9	5	140	25～26
H750×φ1000	3.8	23.3	5	240	25～26
H900×φ1200	6.5	33.3	5	350	31～32
H1200×φ1600	15.4	59.3	5	780	45～46
H1500×φ2000	30.0	93.3	5	1520	60～61

充气帽型橡胶护舷的优点是吸收能量较大，而作用于船舶旁板的面压较小，一般在245kN/m² 以下，在受倾斜压缩时性能亦不降低，尤其是它的两端因无金属附件，因此设计压缩量较充气胶囊为大，可达55%，能适应船舶以便大斜度靠泊，此外充气帽型橡胶护舷在船舶侧向力作用下，有很大的变形量，所以它不像其它固定型橡胶护舷那样，易为船舶侧向力所损坏，同时固定在码头上的螺栓也不易被松动，但是充气帽型橡胶护舷受压缩后，由于体积变化较小，因此内压升高较快，另外还存在帽体顶部易被磨损的缺点，尚需进一步改进。图2-6-19为充气帽型橡胶护舷安装实例。

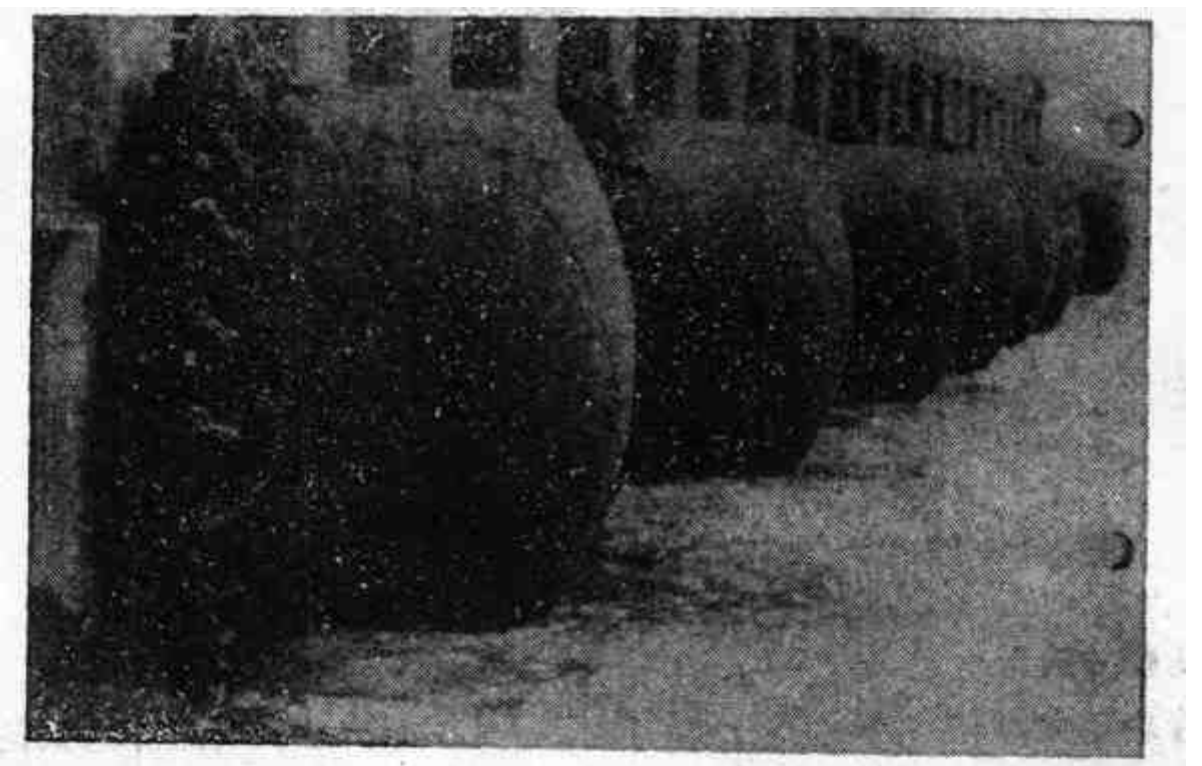


图 2-6-19 中国北仑港安装的$H2100\times\phi2800$大型充气帽型橡胶护舷

（五）水压型橡胶护舷

水压型橡胶护舷系利用水为缓冲介质，靠水被挤击过程吸收船舶的撞击能量，由于水为非弹性体，因此它和其它橡胶护舷不同，不产生弹性变形，不贮存弹性变形能，不会因欲恢复原状而产生反弹作用，故对船舶无反弹力，可使船舶平稳靠泊，因此这种护舷最适宜于渡船码头和客运码头使用，它的主要缺点是制造、构造比较复杂，维护保养比较麻烦。

这种防冲设备由装满水的橡胶袋（或橡胶袋与V型橡胶体组合）防冲板、水箱和水管等部分组成，当防冲板承受冲击时，由于压缩作用使橡胶袋中的水从小孔排出，通过水管排入上部的水箱当外力消除时，水由水箱流回橡胶袋，这样反复的作用吸收船舶的撞击能量。橡胶袋分为大型和小型二种，前者可用于5000～20000 t 轮渡码头使用，后者则只能在1000～

5000 t 的客运码头中使用。

水压型防冲设备，因橡胶袋无反弹力，故通常和V型橡胶体并用籍V型橡胶体以恢复原状，这时防冲设备的性能曲线为橡胶袋和V型橡胶体两者性能曲线的迭加。

水压型橡胶袋用螺栓固定在防冲板上，防冲板用两根链条悬挂在码头上，为防止船舶撞击时防冲板产生横向位移，其顶部需加设斜向链条，另外防冲板下部也需装设链条以防止防冲板因波浪作用而飘浮。水压型橡胶护舷安装实例见图2-6-20。

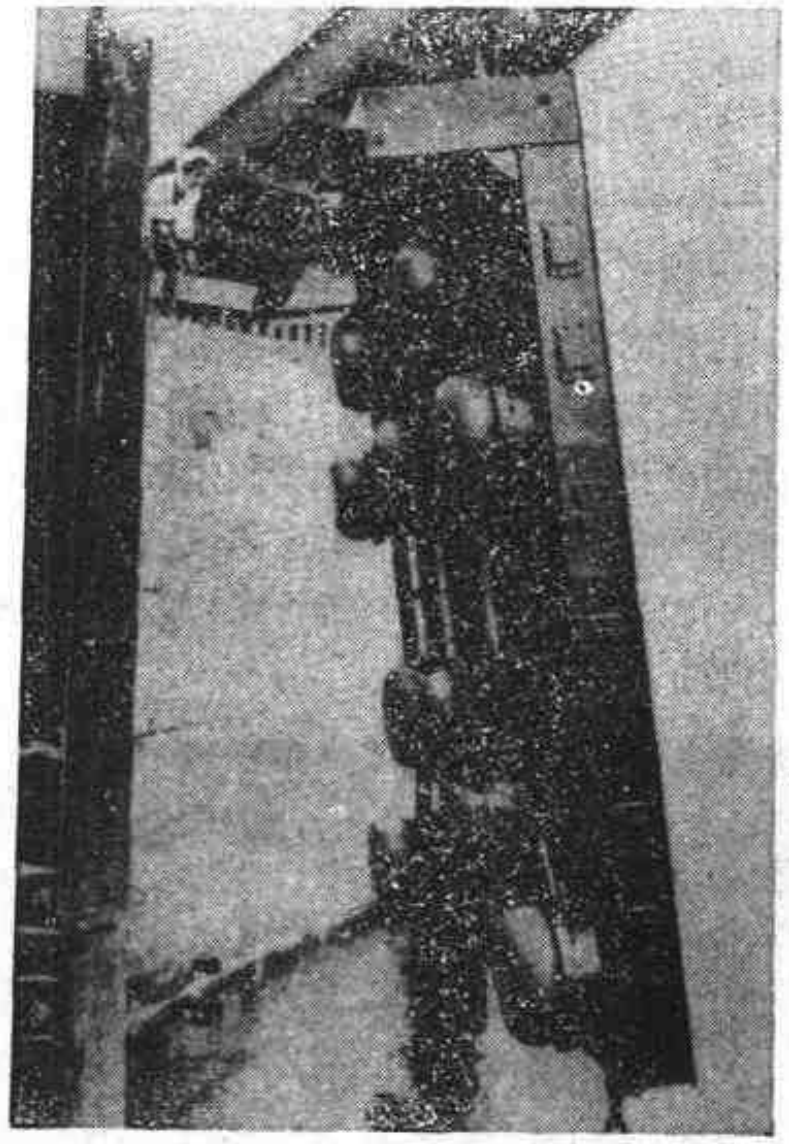


图 2-6-20　水压型橡胶护舷安装实例

三、胶料与粘合

（一）胶料配方设计

近年来随着船舶大型化和外海靠泊量的增加，对橡胶护舷提出愈来愈高的要求，最基本的要求是要吸能量高，反力低，对船体的单位面压小，此外还要求橡胶具有耐磨、耐海水、耐油污和钢胶粘合强度高等性能，而且造价还要便宜，这些在设计橡胶配方时，必须予以充分的考虑，特别是对压缩型橡胶护舷，不同配方对护舷的吸能量、反力及对船体单位面压值影响很大。

压缩型橡胶护舷在吸收船舶撞击能量时所产生的反力，取决其类型、型号及胶料硬度，而对船体的单位面压主要取决于橡胶体的类型及胶料硬度。胶料的硬度高，产生的反力及面压亦大，此外，压缩型护舷是一种厚度很大的橡胶制品，为此要求配方具有相当宽的硫化平坦范围。

国外橡胶护舷一般多采用天然橡胶制造，这是因为天然橡胶的综合性能好，如具有极为平坦的硫化特性，这对大型护舷之类的厚壁制品是十分必要的，对海水低温的抗耐性也较好，能适应较广阔的地域，自粘性佳，工艺性能优良，制品具备足够的耐剪切、耐压缩性能，耐

疲劳性能亦较好。通过适当的防老化措施，使产品的使用寿命长达10 a 以上。

随着高聚物的发展，也有采用天然橡胶与合成橡胶并用的。也有采用复层结构的，如内胶层采用天然橡胶与合成橡胶并用胶料，外胶层则采用耐候、耐油性较好的氯丁橡胶。但也有人认为天然橡胶已充分耐用，外层采用氯丁橡胶作保护层会导致成本提高，不一定合算。

压缩型橡胶护舷大都均系纯胶制品，以其结构变形和橡胶的弹性变形来吸收船舶靠岸时的冲击能量，虽然制品的形状并不复杂，但对其技术性能却有着较高的要求，因此护舷胶料的物理机械性能就显得很重要，尤其是硬度、定伸应力等性能，往往是决定橡胶护舷力学性能的主要因素。日本橡胶护舷所用胶料物理机械性能见表2-6-16。

表 2-6-16　日本橡胶护舷所用胶料物理机械性能指标

测试方法		项目	石桥标准	日本港务局标准
根据 JIS K6301	老化前	扯断力，MPa	≥16	≥160
		硬度	≤72	≤72
		伸长率，%	≥350	≥350
		压缩永久变形，%	≤30	≤30
		撕裂强度，kN/m	≥70	
		磨耗，cm^3	≤1.5	
	老化后	扯断力，MPa	≥13	13
		伸长率，%	≥280	280
		硬度	≤+8	+8及≤7.6
动态测试（运输省标准）		断裂弹力，kN		≥6.7
		永久变形（压缩），mm		≤1.0
耐油试验（JIS K5301）		重油（体积），%		≤20
		工业汽油（体积），%		≤60

国内制造橡胶护舷已有10余年的历史，护舷胶料的配方大体分为全天然橡胶和天然橡胶与合成橡胶并用两类，表2-6-17为两类胶料的参考配方。

表 2-6-17　护舷胶料参考配方及物表机械性能

原料名称＼配方编号	1	2	原料名称＼配方编号	1	2
天然橡胶	100	60	防老剂	1.5	1.5
顺丁橡胶		40	软化剂	—	16
炭黑	40	65.7	合计	169.4	200
硬脂酸	3	3	含胶率，%	59	50
白蜡	1	—	物理机械性能		
氧化锌	16	4	硬度（邵尔A）	60	64
松焦油	4	—	拉伸强度，MPa	23.0	20.0
硫黄	2.9	1.6	扯断伸长率，%	540	590
古马隆树脂	—	7	扯断永久变形，%	85	16
促进剂	1	1.2	冲击弹性，%	43	37

（二）橡胶与纤维及金属的粘合

橡胶护舷的橡胶体常采用纤维或钢板予以增强，以利于应力分散，如充气胶囊和水压型护舷的橡胶袋均采用纤维作骨架，V型、鼓型等橡胶护舷的根部则采用钢板增强，因此，胶

纤维与胶钢的粘合问题必需予以很好解决，否则将影响橡胶护舷的使用质量和使用寿命。

1．橡胶与纤维的粘合

随着材料的不同粘合方法也有差异，尼龙和人造丝与橡胶的粘合，国外目前主要沿用传统的RFL（间苯二酚-甲醛-胶乳）浸胶法，影响粘合的因素包括：①间苯二酚和甲醛的摩尔比；②缩聚用触媒的种类和数量；③缩聚反应温度和时间；④胶乳的种类；⑤间苯二酚、甲醛初期缩聚物与胶乳的混合比例；⑥织物的附胶量；⑦干燥条件等。

橡胶与聚酯的粘合有二段浸胶和一段浸胶二种，前者应用较为普遍。

关于胶料配方对RFL粘合的影响。炭黑和白炭黑填充剂的种类对粘合没有影响；当采用硫黄硫化时，促进剂的酸、碱性和粘合几乎没有关系，当采用无硫硫化时，则粘合显著变差；延长胶料的焦烧时间，有利于橡胶对纤维的浸润，可提高粘合效果；RFL胶液的pH值对粘合影响较大，试验证明，不同胶料都存在一个最适宜的pH值。上述各点，主要是指橡胶与尼龙的粘合，对聚酯来说，促进剂和炭黑的种类则会影响其和橡胶的粘合。

从硫化胶物性看，伸长率小、强力高的胶料，则粘着性好，这是因为粘着面受应力分布影响的结果。

橡胶和纤维的粘合，除采用RFL浸胶法外，也有采用将间苯二酚、甲醛或甲醛给予体——白炭黑加入胶料中进行直接粘合的，采取直接粘合时，由于粘合的正硫化点在胶料的正硫化点之后出现，因此应适应延长硫化时间。

橡胶与纤维的粘合，还可采用天然橡胶胶粘剂和氯丁橡胶胶粘剂等方法进行。

2．橡胶与金属的粘合

在橡胶护舷中所谓金属实际上几乎都是钢板，因此确切地说是钢胶粘合。钢胶粘合的质量，是用钢板加强的橡胶护舷的技术关键，由于H型、鼓型和V型等橡胶护舷其单件产品重量大，（H2000的鼓型橡胶护舷的鼓体橡胶就重达18000kg），价格昂贵，如果粘合不当，则整个产品就会失去其实用意义，这样就会造成很大的损失，因此钢粘合方法必需稳定可靠，目前国内外用于橡胶护舷的钢粘合方法大致有下列几种。

（1）硬质胶粘合　硬质胶粘合很早就在工业生产上得到了广泛的应用，此法就是在金属表面上贴合一层（或涂一层）硫黄含量高的胶料，然后再逐层粘合软质胶片，此法工艺简便，广泛地用于橡胶辊和实芯轮的制造。

常用的硬质胶胶料配方如下：

天然橡胶 100，硫黄 32，碳酸镁 20，碳酸钙 56，锌钡白 20，陶土 20，古马隆树脂 2，消石灰 6，氧化铁红 20，沥青 12。

硬质胶与各种金属的粘合强度如表2-6-18。

表 2-6-18　硬质胶与各种金属的粘合强度

材　　料	3号钢	不锈钢	铸　铁	生黄铜、	不含锡的黄铜	硬　铝	镁合金
与天然橡胶的粘合强度 MPa	4.0～6.0	4.0～6.0	4.0～6.0	4.0～6.0	<2.0	4.0～6.0	<2.0

但硬质胶耐冲击性能差，耐温性更差，曾经在鼓型橡胶护舷的试制中采用过，事后发现粘着不稳定，易产生局部脱胶现象，没有达到预期的效果。

（2）硫化磷直接粘合　这种方法工艺较为简便，且可避免采用有害溶剂，只要将硫化

磺（一般为五硫化二磺）直接加入胶料混炼即可，但须保持胶料新鲜，一般以本班次需用量配制，存放时间过长会影响粘合强力。

其粘合胶料的参考配方如下：

天然橡胶 100，乙炔炭黑 30，促进剂 DM 0.5，五硫化二磺 1.6，硬脂酸 1，邻苯三酚 1.5，氧化锌 10，防老剂RD 2，硫黄 8，氧化钙 7，促进剂PX 1，氧化镁 5。

上列配方胶料经测试钢胶粘合强力可达 4.4MPa 以上，硫化磺直接粘合法虽有其很多优点，但钢胶粘合强力对大型橡胶来说不够理想，且硫化磺遇水易分解，对空气湿度有相当要求，否则会因硫化磺分解而大大降低其粘合强力。

（3）异氰酸酯粘合　代表性产品为 JQ-1 胶粘剂，其成分为20%的 4，4′，4″,-三苯甲烷三异氰酸酯的二氯乙烷溶液。

异氰酸酯的应用极为广泛，除橡胶工业外，如胶粘皮鞋等亦大量采用，然而异氰酸酯亦有其缺点，如极不稳定，遇水易被分解和其溶剂二氯乙烷对人体有害等，但由于其粘合强度高，应用范围广，能耐高温、耐酸碱等优良性能，因此虽有其不足，但无损其发展。

作为橡胶护舷的加强钢板在使用前必需经过喷砂处理，国内外资料和研究都证明异氰酸酯与光滑表面的金属粘合不良，钢板表面处理方法与钢胶粘合强度的影响见表2-6-19。

表 2-6-19　钢板表钢处理方法对粘合影响

钢板表面处理方法	喷　砂	车床加工	磨　光	酸　洗
钢板与天然橡胶粘合，MPa	6.04	2.75	2.40	5.32
钢板与氯丁橡胶粘合，MPa	8.10	2.26	3.67	6.18
钢板与丁苯橡胶粘合，MPa	2.94	2.06	2.06	2.84

凡涂刷过异氰酸酯的钢板必须在较短时期内使用，否则将影响钢胶粘合强力，停放时间与钢胶粘合强力的影响见表2-6-20。

表 2-6-20　停放时间对钢胶粘合强力的影响

停放时间 h	粘合强力，MPa		
	天然橡胶	丁苯橡胶	氯丁橡胶
2	4.55	2.66	8.15
4	5.49	2.94	7.70
8	5.77	2.80	7.28
24	3.29	2.62	7.70
48	2.80	1.79	1.61
96	1.82	0.70	0.0

异氰酸酯对硬度较高的橡胶有着更高的粘合强力，硬质丁腈橡胶与钢的粘合强力可高达 9.81MPa，根据这一事实，又由于停放时间过长会使粘合强力大大下降，因此采用较高硬度〔一般为80～85（邵尔A）〕胶料的胶浆来保护已涂刷过异氰酸酯的加强用钢板是必要的，保护胶浆的胶料配方如下：

天然橡胶 100，炭黑 40，硬脂酸 3，氧化锌 16，硫黄 16，白炭黑 40，促进剂 CZ 0.6，合计 215.6。

在涂刷过保护胶浆钢板的受力面，再加贴一层保护胶浆胶料（胶片厚度一般为 8～10mm），在软质胶与高硬度胶料之间再以缓冲胶作过渡层则更好（缓冲胶料的简单办法为可取其二种胶料等量混合即可），采用上述工艺措施经测定其钢胶粘合强力可达 7 MPa 以上。

（4）商品胶粘剂粘合　目前已有许多商品胶粘剂可供使用，例如Chemlok 胶粘剂系列

产品，根据不同需要有很多品种，其中适宜于橡胶护舷作钢胶粘合的有Chemlok 205和Chemlok 220二种配合使用，Chemlok 205为灰色胶浆，用作打底涂层，然后再涂刷一层黑色的Chemlok 220胶浆，即可进行压模、硫化。

四、制造工艺

（一）粘贴（成型）工艺

充气胶囊和水压型护舷的橡胶袋，均以帘布为其加强层，因此采用的是粘贴成型的方法，国外大体分为二种：中小型的护舷采用纸壳模芯，由里向外贴合成型；大型护舷则采用金属外模，由外向里贴合成型，此种制造工艺较为复杂。另外也有采用谓称“无芯成型”工艺方法的，即先内充气，使胶囊定型，成型后经硫化即可。

制造充气胶囊的工艺流程如下：

模具→成型→充气检查（大型胶囊）→硫化→脱模（大型胶囊）→成品检查→套钢丝绳网兜。

囊体成型前，所有金属部件如钢圈、预埋钢板等均需经喷砂处理，而后涂以胶浆，以保证钢胶粘合强度。端部顶埋钢板并先挂胶，进行半硫化，而后与囊体整体成型。整体成型时，采用由里向外贴合的成型方法，即在金属模具上先贴外层胶，其次贴帘布层，再贴内胶层，成型过程中模具可按需要而转动，聚酯帘布须经浸液处理，以增加粘结力，并进一步减小其收缩率。充气胶囊成型后，内部通入压力0.1MPa的空气，加压4h，以检查成型质量，并增加胶层的密实度，而后整体送进卧式硫化罐硫化（端盖可不进硫化罐），硫化时内外通入0.3MPa压力的蒸汽及空气，各种规格的胶囊硫化条件参见表2-6-21。

表 2-6-21 胶囊硫化条件

胶囊规格	硫化时间 h	硫化温度 ℃	备注
ϕ2500×*l*5500	6	130	硫化时间逐步升温逐步降温
ϕ3300×*l*6500	13	110	
ϕ4500×*l*9000	17～18	110	

脱模时先卸去囊体二端模具，而后在金属模具与囊体间加入0.1MPa压力水进行脱模，然后再将二端端盖用螺栓与囊体固紧，并进行成品的耐压漏气及外观检查，耐压检查可在水池中进行，囊体内都通入0.25MPa的压力水，检查制品的耐压性能，以保证制品在承受压力的条件下经常使用，漏气检查系通入0.005MPa压力的空气，放置24h，而后测其内压变化情况，可在囊体二端抹以肥皂水，观察其有无漏气现象。

小型充气胶囊不设外模，采用纸芯内模，纸芯由厚纸板制成，内用纸支架支撑，采用由里向外贴合的成型方法，即在纸芯上先贴内胶层，再贴帘布层，而后贴外胶层，囊体端部顶埋钢板与金属件处理，均同大型胶囊，胶囊成型后，整体进硫化罐硫化（硫化条件见表2-6-21）。硫化后纸芯内模可不拆除，而后与大型胶囊一样，进行成品的耐压、漏气及外观等检查。

（二）模压硫化工艺

压缩型橡胶护舷大部分采用模压硫化工艺，其基本原理相同于其它橡胶模压制品，但由于护舷产品体积较大，H2000的鼓型护舷其鼓体重量就达4400kg，H3000的重量达18000kg，就目前而论，虽然同是模压，但有二种不同的方法，其一是采用先将模型预压成型，然后送入硫化罐进行硫化，其二是采用空心夹套模具在大型平板压力机上，压实后直接在夹套中通入蒸汽进行硫化，这种方法生产的产品质量优于前者。

五、橡胶护舷成品的技术检查

压缩型橡胶护舷的力学性能如表2-6-22～表2-6-26所示。

表 2-6-22 护舷胶料的物理机械性能

项目		指标
拉伸强度，MPa		≥16.0
扯断伸长率，%		≥350
300%定伸应力，MPa		≥8.0
硬度（邵尔A）		65±5
冲击弹性，%		≥30
钢胶粘合强力，MPa		≥5.0
热空气老化 70℃×72h	扯断强度变化率，%	+10～−20
	扯断伸长率变化率，%	+10～−20

表 2-6-23 圆筒圆橡胶护舷的力学性能（压缩量50%）

产品规格	反力 kN/m	吸能量 kN·m/m
φ200×1000	69	1.96
φ300×1000	98	5.98
φ400×1000	127	9.08
φ500×1000	157	14.54
φ600×1000	186	21.8
φ800×1000	245	39.07
φ1000×1000	304	60.88
φ1200×1000	363	88.14
φ1400×1000	422	118.12
公差	±10%	±10%

表 2-6-24 D型橡胶护舷的力学性能（压缩量50%）

产品规格	反力，kN/m	吸能量，kN·m/m	产品规格	反力，kN/m	吸能量，kN·m/m
H200×1000	39	4.9	H500×1000	412	34.3
H300×1000	245	12.7	公差	±10%	±10%

表 2-6-25 V型橡胶护舷的力学性能（压缩量45%）

产品规格	反力 kN/m	吸能量 kN·m/m
H300×1000	167	16.7
H500×1000	284	46.1
H600×1000	324	66.7
H800×1000	441	118.6
H1000×1000	559	186.0
公差	±10%	±10%

表 2-6-26 鼓型橡胶护舷的力学性能（压缩量为47.5%）

产品规格	反力，kN/m		吸能量，kN·m	
	低反力	中反力	低反力	中反力
H1000	349	436	133	167
H1250	557	696	266.7	333
H1600	875	1093	533	667
H2000	1395	1740	1067	1334
H2500				
H3000		4315		4511
公差	±10%		±10%	

第七节 汽车用橡胶减震器

一、概 述

当代社会生活中，汽车已成为人们必不可少的交通工具之一。无论从历史发展，还是从技术进展方面来说，汽车制造业的发展速度和进步水准都是相当惊人的。近年来，人们对汽车的乘坐舒适性、驾驶安全性、行驶高速性以及乘坐豪华性都提出了高要求。为此，研究解

决汽车的公害问题、安全措施问题和噪音问题已成为热门课题。目前汽车上使用的弹性体的品种规格已达到300种。鉴于汽车的车轮、车型、车种以及悬挂机构的不同，减震橡胶件的种类也各不相同（见图2-7-1）。

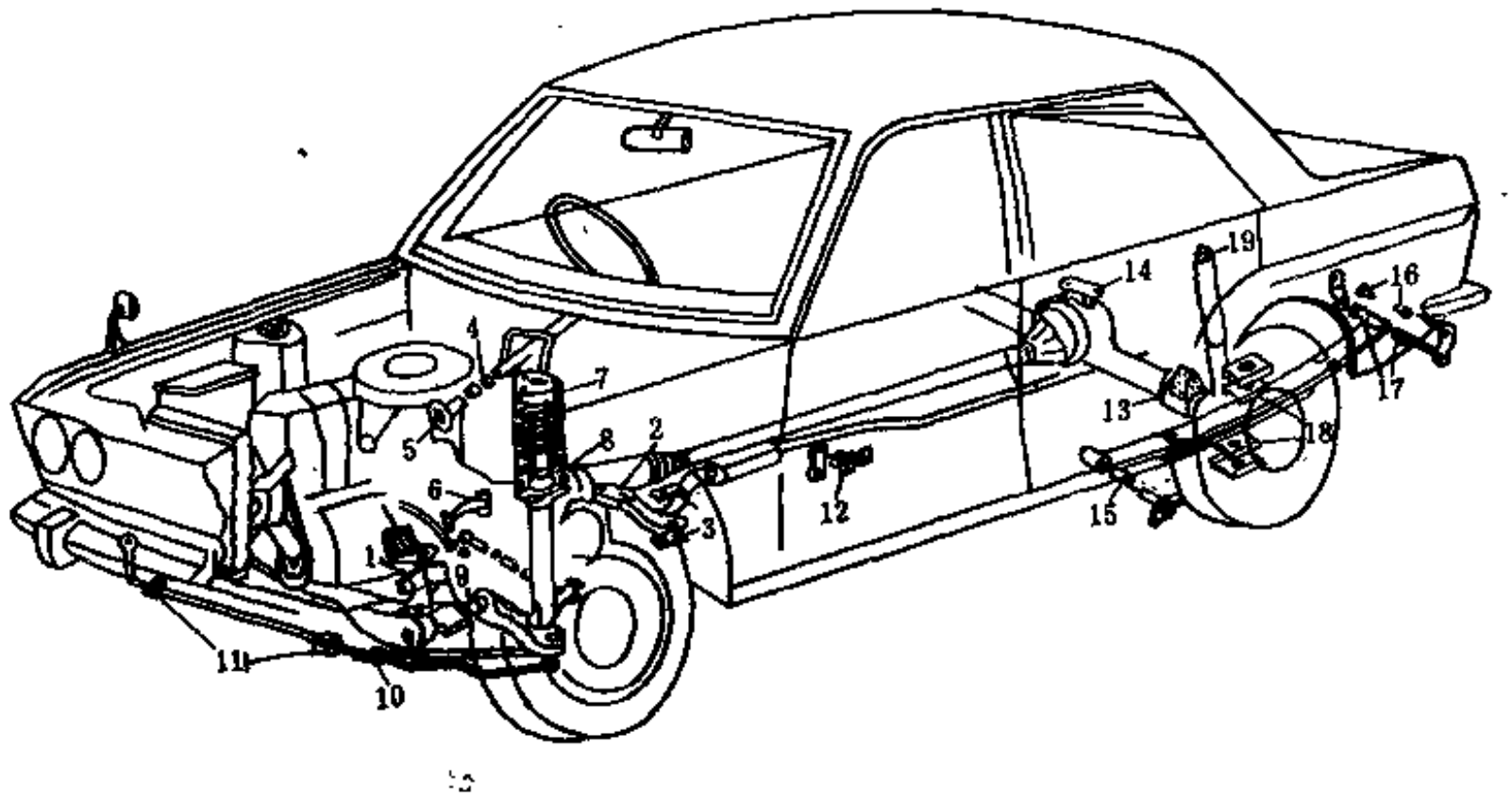


图 2-7-1 汽车用橡胶减震件示例

1—发动机前机架橡胶减震件；2—发动机后机架橡胶减震件；3—横梁支架橡胶减震件；4—转向柱衬套；5—挠性联轴节；6—空转轮臂衬套；7—支柱隔振橡胶件；8—螺旋弹簧止动橡胶件；9—横杆衬套；10—拉杆衬套；11—稳定杆衬套；12—排气管隔振橡胶件；13—后桥缓冲橡胶件；14—扭距限制器止动橡胶件；15—钢板弹簧前衬套；16—钢板弹簧后上衬套；17—钢板弹簧后下衬套；18—钢板弹簧衬垫；19—吸振器上衬套

由于对排气管制有所要求，人们正在研究能耐高温的减震橡胶材料，尤其研究材料的耐久性和振动特性。用橡胶作为减震材料，主要是因为：

① 与金属相比，橡胶的弹性模量相当小，隔振性能优良；

② 橡胶是非压缩性材料，其泊松比接近0.5，在应力与应变之间，时间上有滞后现象，因此，橡胶作为非线性减震材料是有效的；

③ 金属弹簧质量大，由内部摩擦产生的衰减性小，故弹簧本身会诱发固有振动，产生冲击性的谐振现象，而橡胶弹簧不会产生这一现象；

④ 形状能自由选择，可自由选择三个方向的弹簧常数比；

⑤ 容易与金属牢固地粘合成一个整体，使减震橡胶件体积小，重量轻，且支承方法也很简单；

⑥ 安装后无需维修和保养；

⑦ 橡胶弹簧可通过采用不同的橡胶和不同的配方来选择阻尼系数；

⑧ 能在不改变形状的情况下改变其弹簧常数，或者在弹簧常数不变的情况下改变其形状。

汽车的振动现象十分复杂。归纳起来，汽车振动分成两部分：一部分是由悬挂弹簧装置支承的簧上质量；另一部分是车轮与悬挂弹簧装置之间的有效质量的簧下质量。其中最明显的振动是簧上质量的固有振动和簧下质量的固有振动。

（一）簧上质量固有振动

簧上质量固有振动的形式是6自由度的，一般平移运动容易与回旋运动耦合。如以车辆的前进方向为X轴，左右方向为Y轴，上下方向为Z轴，则

① 跳动——上下振动，是以Z轴方向的平移振动为主的固有振动；

② 纵摇——纵向摇动，是以绕Y轴的回旋振动为主的固有振动；

③ 横向摆动——绕X轴的回旋振动和沿Y轴方向的平移振动耦合后产生的固有振动；

④ 偏向运动——摇头振动，是以绕Z轴的回旋振动形式出现的固有振动。

（二）簧下质量固有振动

若以车轮的前进方向为X′轴，左右方向为Y′轴，上下方向为Z′轴，则簧下质量的振动形式为：

① 垂直跳动——沿Z′轴方向平移的固有振动；

② 颠簸——以绕X′轴的回旋振动为主的固有振动；

③ 绕车桥轴线的角振动——以绕Y′轴的回旋振动为主的固有振动。

簧上簧下质量的振动对乘坐舒适性的影响很大。表2-7-1为各种汽车簧上簧下质量振动的固有频率。

表 2-7-1　用涡旋响应法得到的各振动系的固有振动频率

车种＼振动系	簧下固有振动频率 Hz	簧上固有振动频率 Hz	车种＼振动系	簧下固有振动频率 Hz	簧上固有振动频率 Hz
轻型汽车	13～17.5	1.5～2.1	小型汽车	11～15	1.3～1.5
普通汽车	10～17	1.4～1.6	中型汽车	12～14	1.2～1.4

在各种振动中，最影响乘坐舒适性的因素是上下振动。左右振动的影响相当于上下振动的20～40%，前后振动的影响相当于上下振动的15～30%左右。汽车振动的形式包括以下5种。

1．摇动

这是一种道路条件较好，但在高速行驶时也会发生的振动现象。产生原因是车轮的不平衡或偏心力引起的激振力造成的。产生频率取决于车轮的转速，一般为10～15Hz左右。这种振动现象与簧下质量的上下振动特性、左右振动特性及绕车桥轴线的角振动特性有关。达到谐振状态时会诱发车身的低频弯曲振动和扭振，从而使整个车身发生很大振动，影响乘坐舒适性。这就表明，摇动现象是车身的谐振现象。通常车身弯曲扭转固有振动频率为20～50Hz，不会与车轮的振动发生谐振。由于发动机、前后机架及悬挂装置的不同配置，作为整体系统的车身，它的一次谐振频率降低，从而容易形成谐振的条件。

2．路面冲击振动

这是车轮通过路面接缝和轻微不平处时产生的冲击振动。人们为提高低频范围内的乘坐舒适性，降低悬挂机构和轮胎的上下刚度，减小弹簧常数。这样，这种振动现象就成为一个突出的问题。就振动而言，上下方向的影响比水平方向的大。从对声音的评价看，水平方向的影响更为敏感。分析一下频率，这是胎壁和胎面的固有振动频率（60Hz和120Hz左右）。

3．车桥跳振

这是在紧急制动和在低速档急速起动时产生的振动现象，它与簧下质量的上下振动特

性，如垂直跳振、前后振动、颠簸振动、摇摆振动和驱动系统的扭振特性有关，是一种自激振动。

4．颤抖

颤抖现象有两种情况。一种是采用摩擦离合器的汽车，在低速档起动时整个车身明显振动（10Hz）。产生这种振动的主要原因是离合器摩擦盘转速在逐渐接近发动机转速的过程中，摩擦盘的滑动速度产生变化，传递系统产生了自激振动。它与整个动力传递系的扭振、整个发动机的横摆、后机架悬挂的角振动有很大关系。另一种情况是在高速档下以20～40km/h的低速行车时，可感觉到20～40Hz的高频振动。车内可感觉到强烈的沉闷音，车地板和座位感到很大的振动。

5．不平稳振动

这是从低速转到高速时，仪表盘和车内各部件产生高频振动音的一种现象，在点火不良和发动机紧急加速时，各部件的变形落后于压力上升的振动，它与整个发动机的振动特性有关，尤其与发动机机架的位移有关。

针对汽车在行驶中所产生的各种振动现象，人们采取了不少措施，其中之一是在汽车上有关部位设置各种形式的橡胶减震器，获得了良好的效果。因此，橡胶减震器又成为现代汽车上不可缺少的一类重要零部件。

二、汽车用橡胶减震器的种类

按所用的发动机来分，汽车可分成内燃机汽车和电力汽车两大类。内燃机有活塞汽油机、柴油机和转子发动机。按安装部位分，有前置发动机和后置发动机。目前，轿车所用的发动机呈V型和直列型排列。发动机气缸有2～8个不等，通常较多采用4～6缸直列型发动机，有8个汽缸的发动机往往呈V型排列。

（一）发动机系列用的橡胶减震器

1．汽车发动机机架

发动机机架有前后之分，机架形状见图2-7-2和图2-7-3。以前，轿车发动机的支承系采用4点支承法。现在，除卡车和大型汽车外，轿车系列几乎全部采用3点支承法，即前面两个机架，后面一个机架。后机架的设计采用剪切复合型，提高前后方向的弹簧系数，以控制前后方向的运动。前机架由压缩配置改为剪切配置，制成具有制动机构的形状，倾斜配置。后机架采用天然橡胶。前机架可采用天然橡胶、丁苯橡胶和丁基橡胶，视不同车种而异。

一般，确定发动机和机架的配置、形状和弹簧特性时，往往将发动机和底架看成刚体，根据弹性悬挂的6自由度运动方程式算出它的振动形式，但光有这些是不够的。汽车在行驶时会产生各种振动现象，因此，确定汽车减震支承方法时需充分考虑。

按照通常的减震橡胶设计方法，固有角振动频率ω_0与常用旋转振动频率ω的关系，一般为$\omega_0=\omega/(2.5\sim3.0)$。汽车上采用比空载时的转速略高的振动频率（10～15Hz），图2-7-4列出了发动机前机架的弹簧常数对车内噪音的影响。该项试验的条件为，前机架采用丁基橡胶，在90kg、±1mm、1000cpm的激振条件下，动态弹簧常数有1.96MPa和2.35MPa两种。后机架采用天然橡胶，动态弹簧常数一定。该项试验结果表明，发动机的转速无论高低，总是弹簧常数低的，减震效果好。弹簧常数与车内噪音有密切的关系。这是一项重要特性。然而，若弹簧常数过低，由发动机重量产生的初始载荷使静变形增大，从而增加蠕变量，降低耐振动性能，使橡胶处于最恶劣的条件下。所以，弹簧常数低也得有个限度。橡胶材质的选

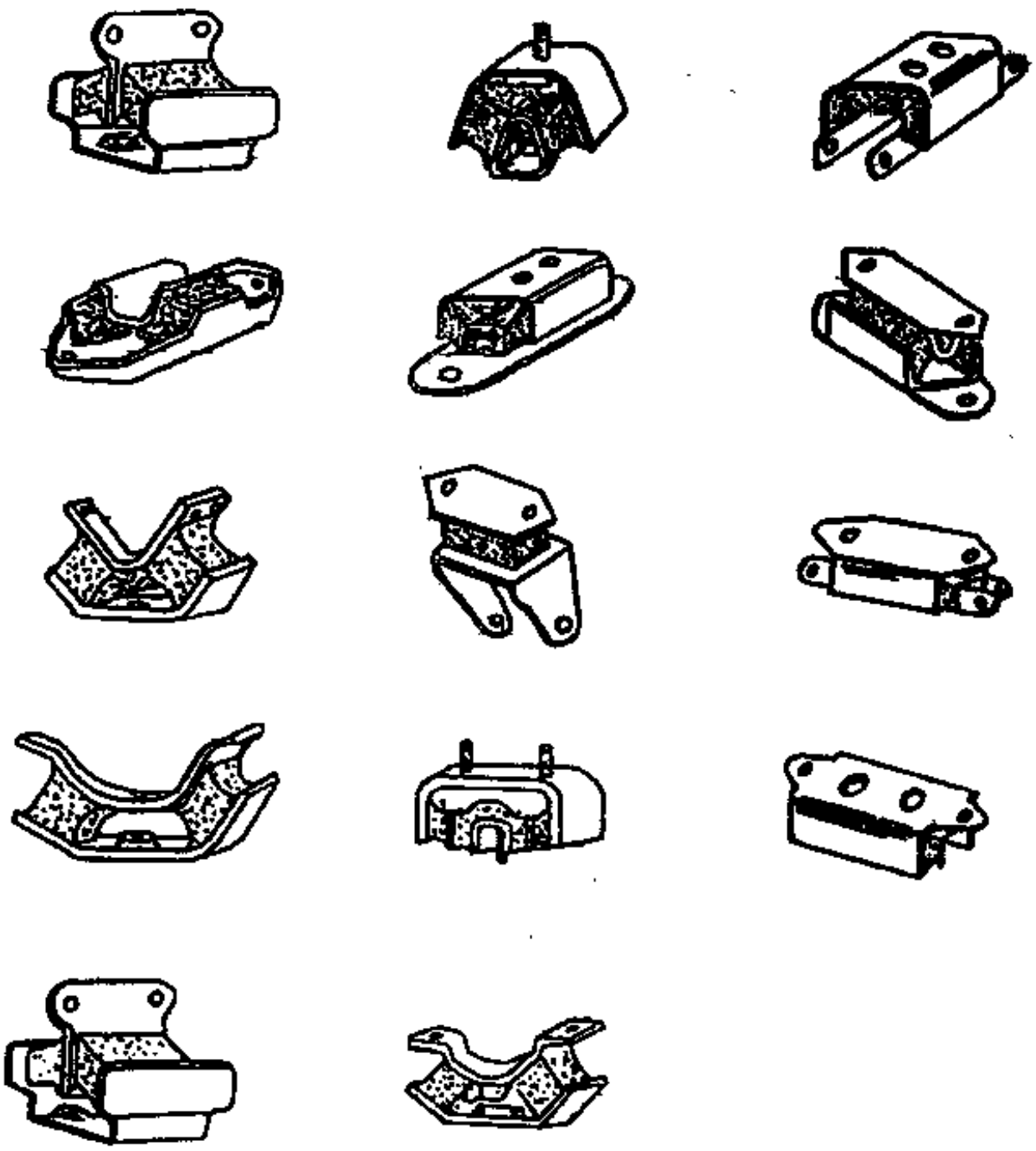
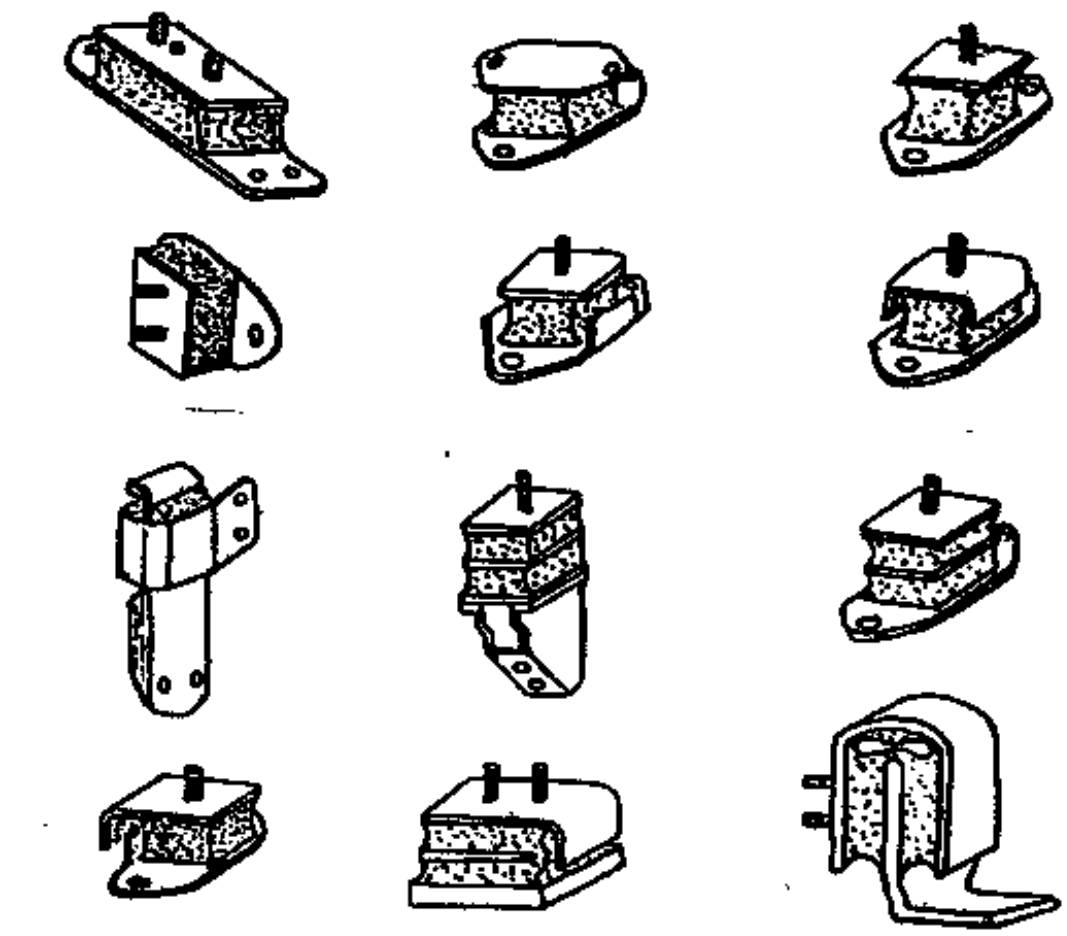


图 2-7-2　发动机后机架（轿车）



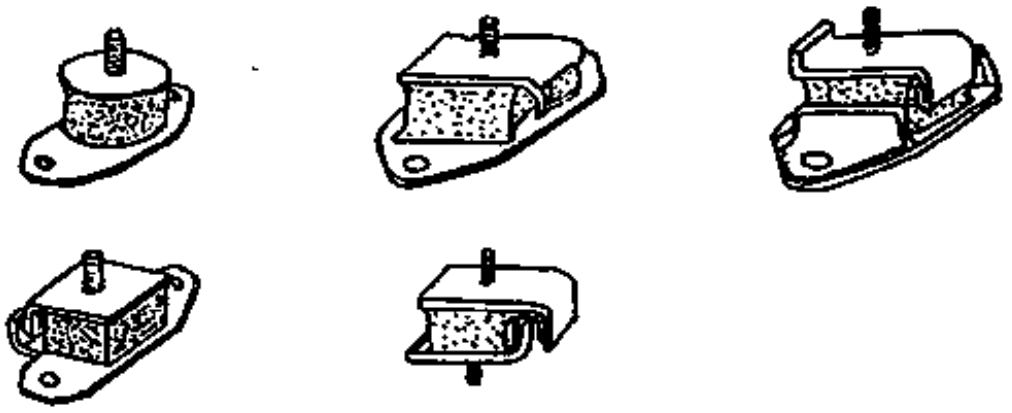


图 2-7-3　发动机前机架（轿车）

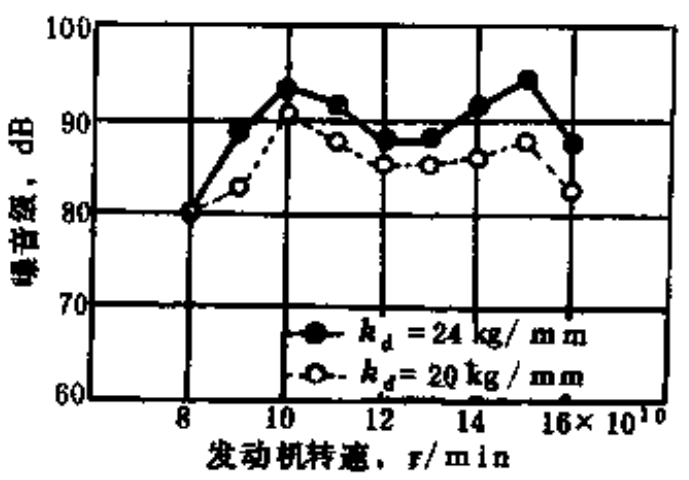


图 2-7-4　发动机前机架的弹簧常数与车内噪音的关系

取要根据振动的情况来决定，片面认为阻尼大的材质吸收振动的效果好。

发动机空转时往往会产生发动机熄火这样的不规则振动，这种现象称为发动机反冲，产生原因是发动机转矩不规则变化的时间间隔与发动机的横摆与车身的谐振时间相一致。因此，要设法使发动机的横摆形式与车体的横向振动形式不耦合。仅仅降低机架的弹簧常数，并不能解决问题。发动机机架的移动性对它有所影响，所以必须从材质上进行研究。采用阻尼系数大的材质来解决发动机的反冲是有效的。另一方面，当点火不良和发动机急剧加速时，因构件的变形落后于压力上升而产生令人心烦意乱的振动和噪音，即不平稳振动现象，采用阻尼系数低的橡胶，效果反而良好。

发动机的固有振动频率大致是 20Hz 以下的低频，防止传递 30Hz 以上的高频振动，采用弹簧常数和阻尼系数都很低的橡胶是有效的。当产生前部摇动现象（车身谐振的一种）时，采用比簧下质量固有振动频率（约12Hz）低、阻尼系数大的材质是有效的。另外，从发动机的振动情况看，以不太摇动为好。所以材质的弹簧常数也是应该高些为好。就高频振动的传递和减震性能上看，若固有振动频率变高，则必须降低弹簧常数。解决这一问题的方法是按照不同形状适当改变三个方向的弹簧常数，灵活使用止动器，使之具有非线性弹簧特性。

综上所述，发动机机架的形状、弹簧特性和橡胶材质的设计，要根据汽车需解决何种振动现象来决定。

发动机机架支承位置也是一个重要问题。传统的减震支承方法也很重要，但仍需进一步考虑下述振动现象。一般，4 缸 4 冲程发动机的二次激振力就是一个问题。3000r/min 时产生100Hz的激振力，如同铁一般坚牢的发动机-变速器系统也会产生弯曲振动。这种弯曲振动造成的触点位置并不固定，而是随频率波动，汽车实际行驶时，随发动机转速的增加而向前迁移，特别是变速器系统方面的触点位置移动量大，在确定发动机机架支承位置时是一个不可忽视的重要因素。

在汽车用橡胶减震器的设计中，需考虑减震器的支承方法，固有振动频率和各种振动现象。先确定弹簧特性，再考虑安装空间悬挂方法等条件，继而确定其大致的形状。减震橡胶的弹簧特性和橡胶材质及形状是函数关系，有多种组合形式。因此，必须先试制，制作多种

金属模进行试验，这样就很费事。需要有一种方法能概略地推算弹簧常数和弹簧特性之间的曲线关系。下例为复合型橡胶减震器的计算值与实测值的试验比较结果。

试验采用二种复合型橡胶减震器。在计算式中，将X、Y、Z方向的弹簧常数看成是二个棱柱型橡胶减震器的组合〔（A）和(B)〕，$R_{\perp}$表示压缩方向的弹簧常数，$R_{//}(b)$ 表示与 b 平行的剪切弹簧常数，$R_{//}(c)$ 表示与 c 平行的剪切弹簧常数，若符合服部-武井公式，则

$$R_{\perp}G \cdot bc(3 + 6.580S^2)/a \tag{2-7-1}$$

$$S = bc/2a(b + c) \tag{2-7-2}$$

$$R_{//}(b) = G \cdot bc/\{1 + a^2/3b^2\}a \tag{2-7-3}$$

$$R_{//}(c) = G \cdot bc/\{1 + a^2/3c^2\}a \tag{2-7-4}$$

但是，（A）和（B）的粘接面的角度相差$\pi/2$，如分别以R_X、R_Y、R_Z表示X、Y、Z方向的弹簧常数，则

$$\text{（A）的}R_X = 2R_{//}(c) \tag{2-7-5}$$

$$R_Y = 2\{R_{//}(b)\sin^2\theta + R_{\perp}\cos^2\theta\} \tag{2-7-6}$$

$$R_Z = 2\{R_{//}(b)\cos^2\theta + R_{\perp}\sin^2\theta\} \tag{2-7-7}$$

$$\text{（B）的}R_X = 2R_{//}(c) \tag{2-7-8}$$

$$R_Y = 2\{R_{//}\sin^2\theta + R_{//}(b)\cos^2\theta\} \tag{2-7-9}$$

$$R_Z = 2\{R_{\perp}\cos^2\theta + R_{\perp}(b)\sin^2\theta\} \tag{2-7-10}$$

（A）的计算条件：

$a = 1.5\text{cm}$　　$b = 3.0\text{cm}$　　$c = 5.3\text{cmm}$　　$\theta = 20°$

$G_S = 0.54\text{MPa}$天然橡胶

（B）的计算条件：

$a = 3.0\text{cm}$　　$b = 2.5\text{cm}$　　$c = 6.7\text{cm}$　　$\theta = 40°$

$G_S = 1.28\text{MPa}$天然橡胶

将上述条件分别代入公式（2-7-5）～式（2-7-10），求各弹簧常数。就压缩方式而言，适用有限变形校正的公式，绘成曲线图，将计算值与实测值进行对比。结果发现，在剪切方向（X方向）（A）、（B）的计算值和实测值比较一致。在压缩方向（Z方向）（B）的计算值与实测值比较一致，而（A）的计算值和实测值差异很大。但是，从此例可以明了，若橡胶减震器的形状简单，可从理论上推算弹簧特性值。

2．机架横梁

发动机安装在前部的后轮驱动轿车一般将后机架安置在横梁上，再将横梁安装到车体上。如果发动机-变速系统和传动轴系相结合，产生变曲振动，加之由传动轴旋转不平衡引起激振力，往往会增大各部分的振幅。为防止由发动机扭距变化引起的前部摇动现象，必须要确定适当的机架支承位置以及弹簧常数，限制旋转不平衡量。有时采用胶垫或衬套型支座支承车体，防止车内噪音和振动。横梁上下使用两片胶垫，采用衬套型支座时与一般衬套不同，外套是裂开的。使用方向系轴向悬挂，弹簧特性是线性的。安装时将橡胶粘接在上下圆板的止动器上，使支座的弹簧特性成为非线性的。材质多半使用天然橡胶和丁苯橡胶。与发动机架一样，它是一种弹簧特性严格规定的部件。从振动学的观点看，至少对上下振动特性要通过2自由度振动方程式求解，求出它的弹簧特性。

3．扭振阻尼器

扭振阻尼器有粘型、摆型等不同形式，带橡胶的阻尼器是最简单的一种（图2-7-5），有

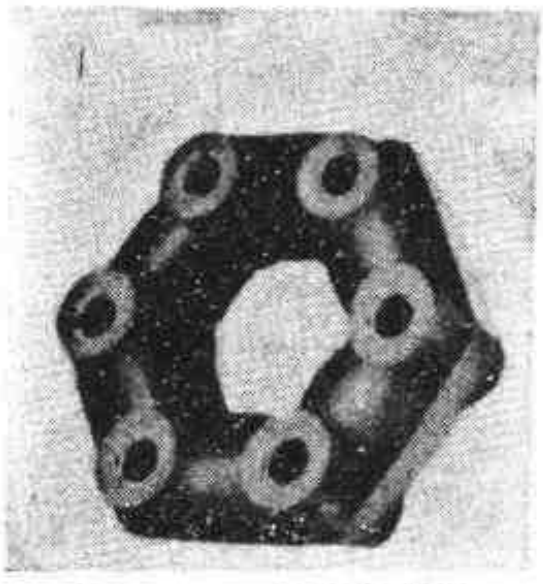


图 2-7-5　扭振阻尼器

一定的效果。皮带轮起动时它具有缓和旋转冲击力的作用。

曲轴的振动有弯曲、扭转和纵向振动三种形式。实际上这些振动是交织在一起的，根据系统的支承状态呈现出各种振动形态。扭振阻尼器主要用于6缸以上发动机的汽车，旨在减小扭振的谐振振幅，降低发动机噪音。尤其在汽车高速行驶时可降低曲轴的应力振幅，以防止疲劳损坏。

在振动学上，阻尼可通过2自由度的强迫振动方程式求得。为避免主振动系的谐振，可增设阻尼器来吸收振动。这样，主振动体有2个谐振点。用R表示质量比，在扭振系统中用R表示惯性矩比。γ作为固有振动频率比，λ表示强迫振动频率比，r表示阻尼系数比，则对任意r的曲线群必定通过二个交点，即$\lambda=0$的点与$\gamma=0$时的谐振曲线的交点，以及$\lambda=0$的点与$\gamma=\infty$时的谐振曲线的交点。该交点决定于R和γ。吸振器的最佳调整条件是使这二个点，即谐振峰值相等。此时，R、γ、r的关系为：

$$\gamma=1\times(1+R) \tag{2-7-11}$$

$$r^2=3R/8\times(1+R)^3 \tag{2-7-12}$$

扭振阻尼器的设计条件：$R=0.135$，$\gamma=0.081$，因此，最佳的调整条件$r=0.186$。选择天然橡胶作为阻尼系数接近这个条件的橡胶材质，按谐振频率为400Hz的设计图，制作橡胶扭振阻尼器。这种阻尼器的阻尼效果列于图2-7-6。

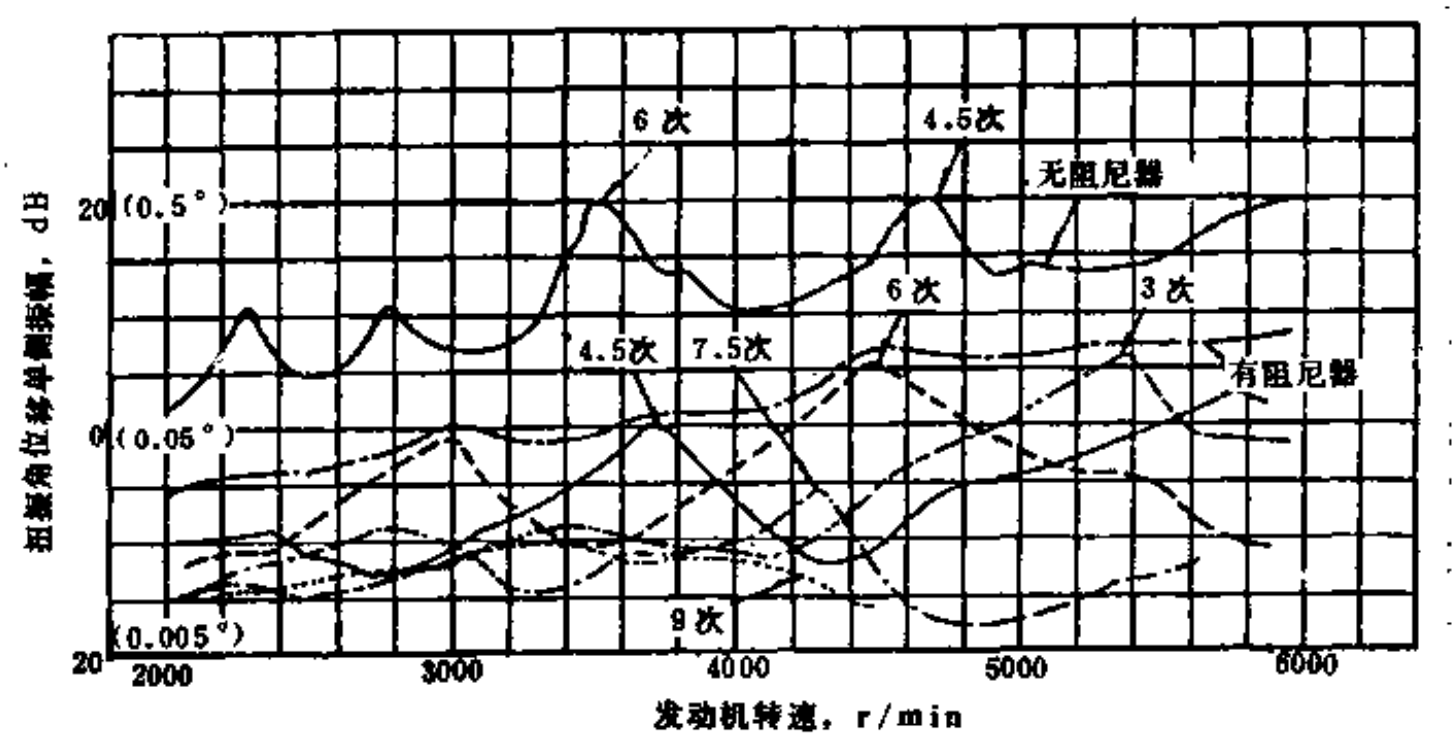


图 2-7-6　扭振阻尼器的阻尼效果

（二）驱动装置用橡胶减震器

驱动装置是将发动机的动力传递给车轮，使汽车开动的机构的总称。它包括离合器、变速器、传动轴、减速器、差速器、驱动桥、车轮等7个部分。按汽车的驱动形式有前轮驱动、后轮驱动和前后轮同时驱动。

1．中心轴承

在动力传递机构中，离合器、变速器、减速器、差速器均安装在箱内，它们的振动形式可以认为主要是扭振。这种扭振和变速箱齿轮的锤击作用以及差速齿轮的速差有关。一般是采用改变各部分扭转刚度和惯性矩的办法，使频率处于发动机常用转速之外。如采用图2-7-7和图2-7-8所示的CG联轴节或中心轴承。传动轴的作用是从变速器向驱动桥的减速器传递动力。卡车、公共汽车等的变速器与后车桥间的距离长，所以传动轴也长。由于这一原因，传动轴的固有振动频率降低，在运行中容易达到危险的速度。因此，将传动轴分割开来，中间安装轴承，通过橡胶将它安装在大梁上。



图 2-7-7　装在传动轴上的CG联轴节

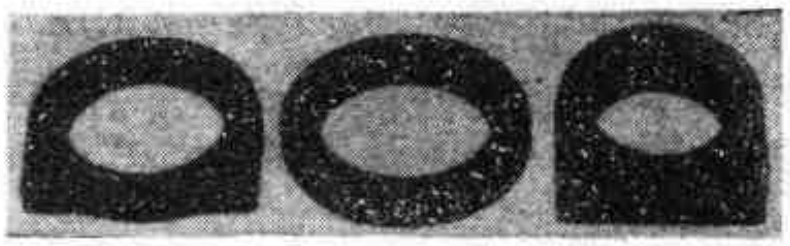


图 2-7-8　中心轴承

中心轴承的扭转和径向弹簧特性是设计时的重要因素。为得到这种特性，设计时在橡胶中心部位开孔，也可制成胶皮套型，尽量降低弹簧常数。材质多半采用天然橡胶，由于会附着润滑脂，有时也用丁腈橡胶制作。

2．差速噪音阻尼器

传递动力的扭振会引起差速器齿轮的速差和噪音，这一现象称为差速噪音。加之，减速齿轮和差速齿轮的啮合力传递到悬挂装置系统，在车内发生400～1500Hz的高频异常音。这些噪音几乎都是高频率的，一般采用吸振器降低噪音。吸振器安插在传动轴和差速齿轮轴之间，对550Hz高频的谐振频率很有效。采取这种措施后完全消灭了差速噪音。差速噪音阻尼器是扭振阻尼器的一种，功能相同。困难的是，温度对橡胶有影响，由于温度不同谐振频率多少有所变化。

3．缓冲橡胶件

离合器的作用是发动机空载起动，将旋转力缓慢地传递给驱动轮，使汽车开动。它的另一作用是变速器换档时通过离合器切断负荷，离合器安装在发动机与变速器之间。采用摩擦离合器的汽车用1档、2档或倒车档起动时，整个汽车产生10Hz左右的强振动，表现为颤抖现象，操作离合器时发生的旋转冲击和扭振使变速齿轮产生异常噪音，为防止这些现象往往使用嵌入橡胶的离合器。在通常的摩擦离合器的摩擦片上，在片与凸起部之间插入小螺旋弹簧，也可在它们之间插入如图2-7-9所示的橡胶，制成缓冲吸振的离合器摩擦片。这种缓冲橡胶要求旋转方向的刚度高，阻尼性能好。此外，随着离合器内温度上升，要求橡胶具有较好的耐热性。

（三）操纵装置用橡胶减震器

操作装置的功能，第一是将方向盘的角变位通过转向轴，用齿轮装置加以扩大后再传递给导向车轮；第二是支配车轮，将转向轴与左右车轮连接起来，起连杆系的作用。操纵系统的动作方式多为扭转，因此，所用的减震橡胶亦多半是衬套式的。操纵系统产生的振动形式

独特。主要有：

① 颤动——因车轮不平衡，绕方向盘转向销产生的强迫振动；

② 摆动——由轮胎变形、横向滑动引起的绕方向盘转向销产生的自激振动；

③ 摆振——方向盘绕前后桥的旋转振动（颠簸振动）和摆动因陀螺效应耦合产生的自激振动。

1．随动转向臂衬套

随着独立悬挂装置的发展，为避免与悬挂装置相互干扰，转向连杆系有各种不同的结构。一般转向连杆系的构造力求减小因路面凹凸不平引起的反冲和摆振，从而减缓方向盘的摆振。原先使用许多球关节，但有很多接点，给油困难。现已将随动转向臂旋转支承部的螺旋式衬套改为橡胶衬套，成功地减少了给油点。

随着转向臂衬套是内外套不粘接的压入型橡胶。一般用臂本身作外套，扭转弹簧的特性相当严格。尤其是一定扭转角的往复滞后现象是个问题。理想的状况是要有某种程度的滞后现象，而经过一个往复运动后仍还原到初始的出发点，即希望蠕变小的材料。

2．转向柱衬套

操作系会因松动而引起振动，转向柱和主轴向产生高频振动，为使这类振动不致传递给方向盘，往往在转向柱支架与主轴之间安置图2-7-10所示的衬套。

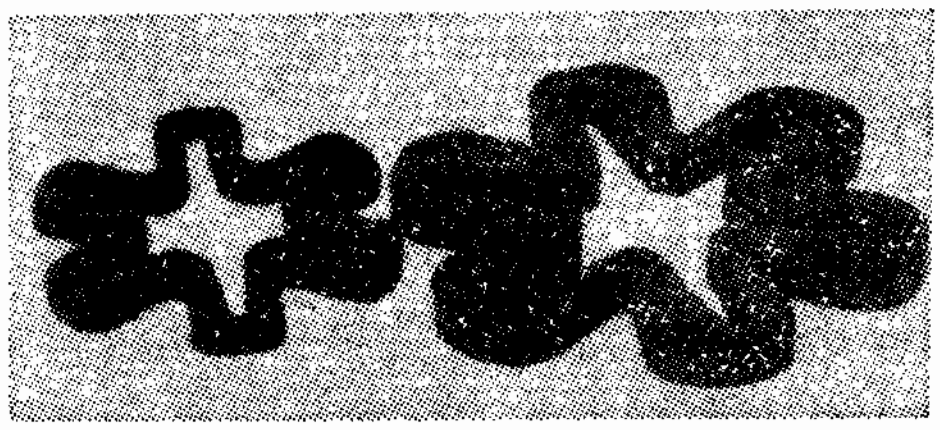


图 2-7-9　吸振橡胶

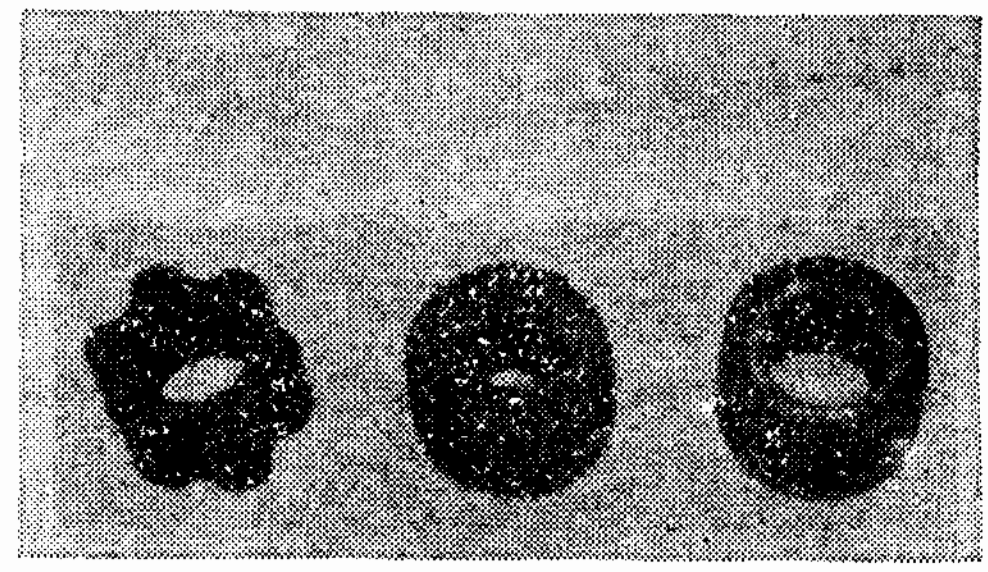


图 2-7-10　转向柱衬套

转向柱衬套的内套有主轴通过，为了有助于旋转运动，要求滑动阻力小且耐磨，通常不用金属管，而是用特殊的胶粘剂与橡胶粘接起来。为了降低径向刚度，增大自由表面，其外周往往设计成凹凸面或锯齿状。

3．橡胶联接器

为了隔断路面反冲产生的冲击力和前悬挂系统产生的振动，在转向齿轮轴和主轴间采用图2-7-11所示的橡胶联接器。这种橡胶连接器具有挠性，是决定方向盘操纵性能的重要部件之一。

橡胶连接器要求扭转刚度大，歪斜刚度小，根据减震橡胶的设计理论，扭转刚度和歪斜刚度是有联系的，提高其中一个刚度，另一刚度亦随之增高。所以，橡胶连接器形状设计是比较困难的。加之，方向盘旋转次数频繁，须经久耐用。为增加其强度，保持弹簧特性，往往将定位凸起做成有橡胶夹层的结构。

图2-7-12在转向主轴的中间设置挠性连接器的二接头式，路面的冲击不会传递给方向盘。

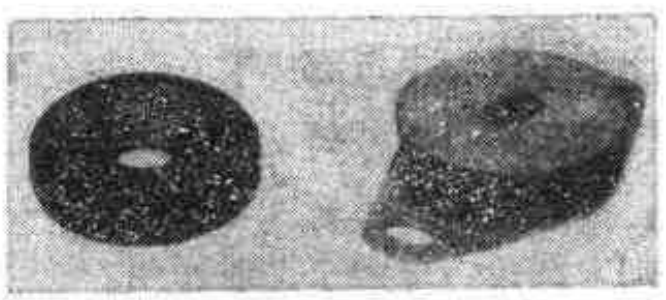


图 2-7-11　橡胶连接器

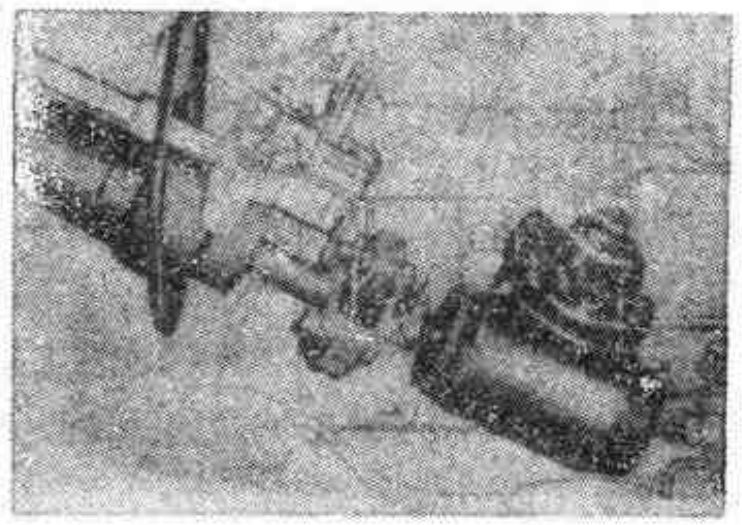


图 2-7-12　橡胶挠性连接器应用示例

（四）前悬挂橡胶减震器

悬挂装置承担车体重量，防止车轮上下振动传给车身，抑制簧下的不规则运动，传递动力、制动力和操纵时的侧向反力，使汽车正常行驶。

悬挂方法很多，主要包括车桥式悬挂方法和独立式悬挂方法。车桥式悬挂方法用于卡车和公共汽车等大型车辆，其结构是用一个车桥连接左右车轮，通过板簧悬挂车身。独立式悬挂方法有不同的方式，比较典型的有图2-7-13所示的支撑式和图2-7-14所示的叉杆式。

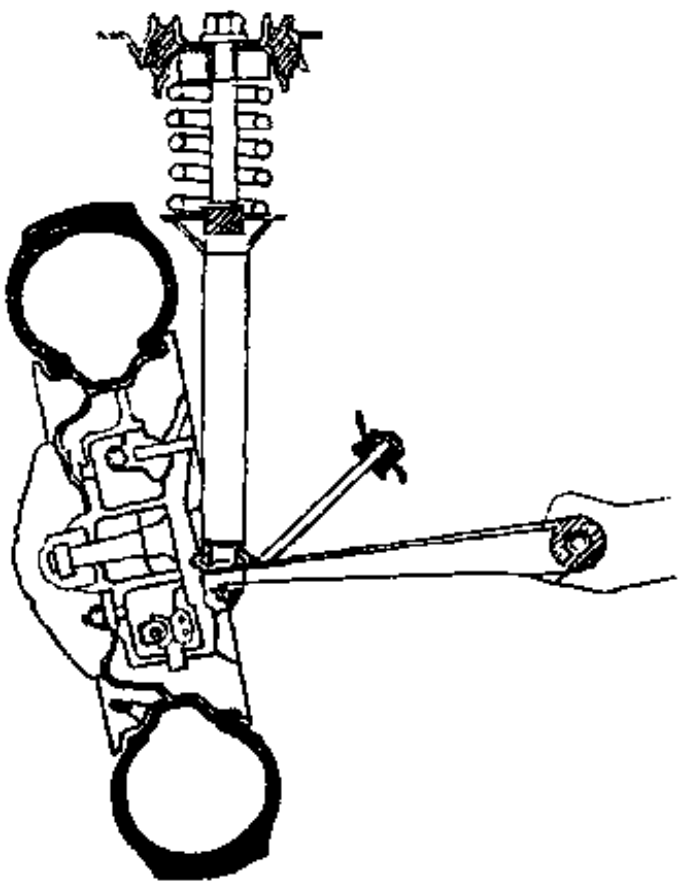


图 2-7-13　支撑式悬挂断面图

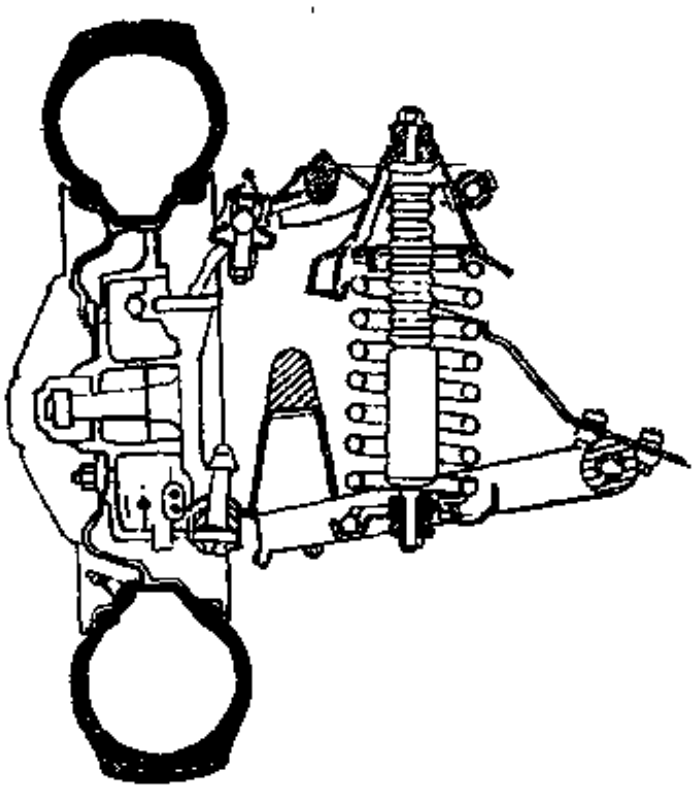


图 2-7-14　叉杆式悬挂装置

一般前悬挂装置与操纵系统及发动机系统关系密切，对它的安置、乘坐舒适性以及操纵稳定性都应加以注意。近年来，为提高乘坐舒适性而采用柔软的弹簧系统，由于受路面冲击容易产生动程过大和偏向运动等现象，从而影响操纵连杆系，使方向盘承受冲击。前悬挂系统的振动与摇动、路面冲击振动和摆振等现象有关。为避免上述各种振动现象，在前悬挂装置上使用多种橡胶减震器。

1．支撑式悬挂装置

支撑式悬挂装置的结构是将悬挂弹簧和缓冲器装配成一个单元，发动机室内的空间变大，悬挂方法也较简单。在悬挂装置的前端，通过轴承用螺钉把它安装在车身上，以缓和路

面冲击，承受来自轮胎的振动和冲击。从安装和功能上考虑，将橡胶制成圆筒型。由剪切方向承受负荷，不同车种要求不同的弹簧，形状亦各异。基本上都属于承受剪切变形的圆筒型橡胶减震器。

支撑式悬挂装置的弹簧常数是一个重要因素，冲击特性亦很重要。从高频振动隔离性能和耐久性考虑，材质系选用天然橡胶。普通圆筒型橡胶减震器将外筒金属部分压缩一定的量，它相当于橡胶厚度的5～7%左右。提高耐久性，对支撑式悬挂装置来说，从形状上考虑是不可能的，但可在与橡胶粘接的边缘设置沟槽或加大圆角，以解决上述问题。

2．前悬挂止动器

橡胶止动器和发动机机架不同，它不是用来防止振动，而是用于缓和冲击的。即载荷过大时防止弹簧动程过大造成部件损坏，用它还可防止金属接触时产生的噪音。

装用机构和安装部位不同，止动器的形状也各不相同。图2-7-15为叉杆式悬挂装置用的止动器，将弹跳和回弹的二个橡胶止动器成对地安装，使其呈相互冲击的形式。材质系采用天然橡胶，为了减小压缩变形时产生的凸出程度并考虑弹簧特性，采用辅助机构的形式。它可用低发泡聚氨酯制作。与橡胶不同的是，在压缩变形时它的体积会收缩，所以凸出量小，避免与螺旋弹簧相互干扰。

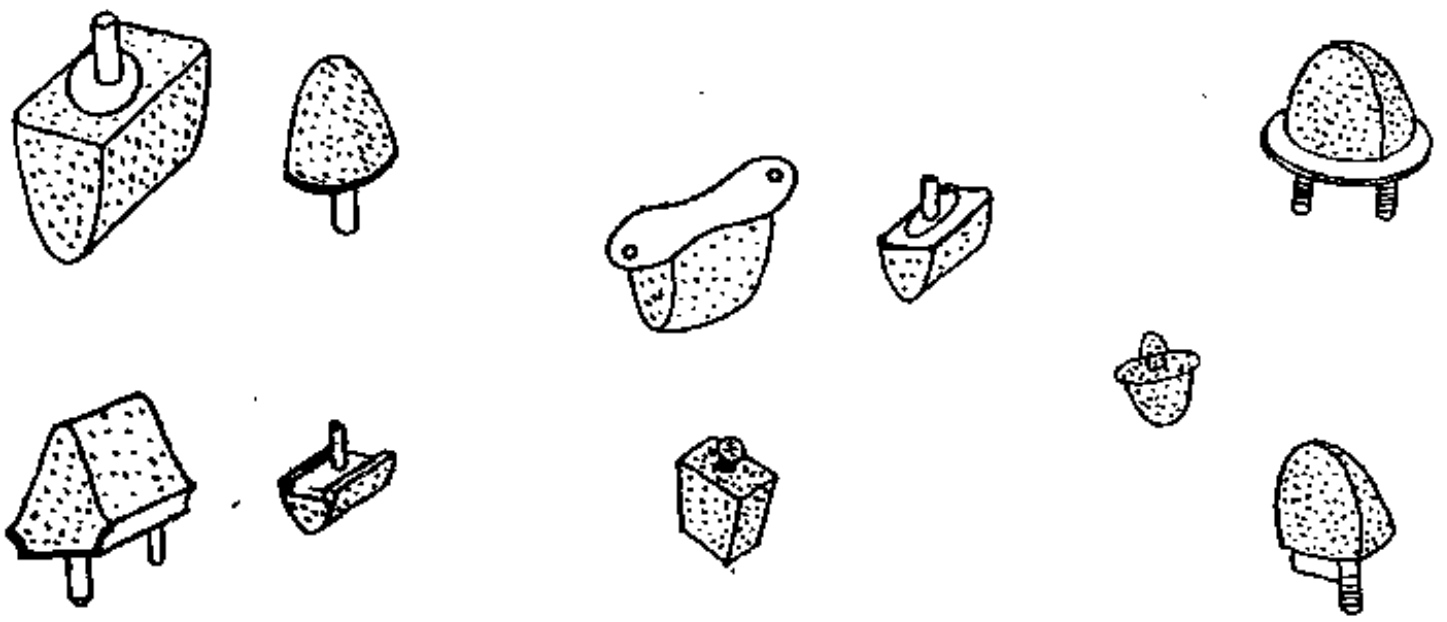


图 2-7-15　前悬挂装置的止动器（叉杆式悬挂用）

前悬挂使用的止动器不宜用回弹性太小的材料，而应采用具有一定程度回弹性的材料。止动器在功能上很重视冲击特性，尤其在设计形状时须考虑避免冲击音。弹簧特性根据最大载荷时允许最大位移的条件来决定，但希望对初始冲击力的反作用力要小。

3．连杆臂衬套

前部连杆衬套多数采用减震消音块的形式，其方法是在金属内套管内和外套管内嵌入橡胶，根据不同的连杆有单侧支承和双侧支承两种安装方法。前一种方法因结构关系产生扭转刚性，不宜使用内外套不粘接的压入型衬套。这种衬套的生产成本低，在特性上兼具优点和缺点。一般要求压入的结合强度应相当于金属管的粘接强度，所以必须具有相当高的压缩率。因此，径向的弹簧常数要高于粘接型的。

大型车辆的连杆因载荷关系而改用橡胶衬套。近年来发现，它和前部摇动及路面冲击等高度振动现象有关，从而开始重视弹簧特性，尤其是径向的刚度决定前悬挂系统振动的特性，低刚度对防止路面冲击现象有利。此外，还开始重视连杆衬套的耐久性。即为使前轮外

倾角保持适当值，如果连杆衬套不好，外倾角就会遭到破坏，造成轮胎偏磨和出现摆振现象。

4．稳定杆衬套

稳定杆衬套与连杆衬套不同，它不是功能性部件。在前轮独立悬挂方式中，为了保持车轮定位稳定，如图2-7-1所示，用稳定杆将前方的左右连杆连接起来。稳定杆通过图2-7-16和图2-7-17所示的橡胶衬套安装在金属托架上，稳定杆对连杆的上下运动形成扭转运动，所以对它的扭转特性和内径对扭转的耐磨性能有特别要求。

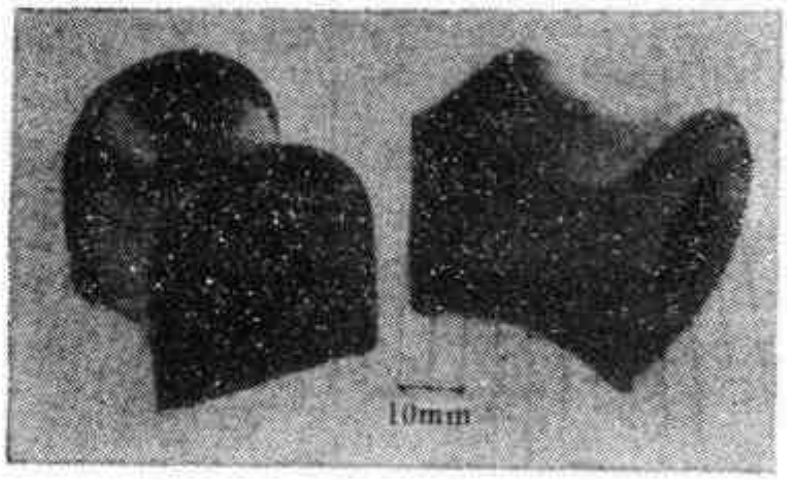


图 2-7-16　稳定杆衬套（a）

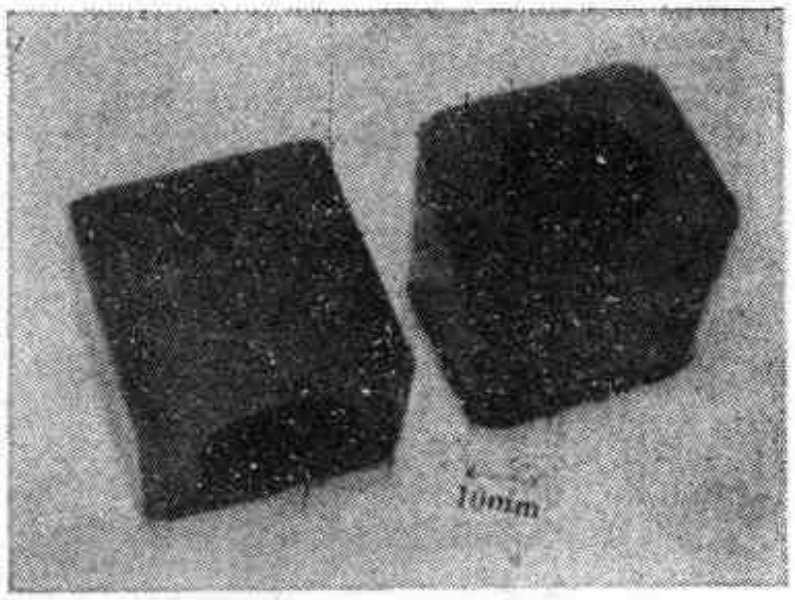


图 2-7-17　稳定杆衬套（b）

5．拉杆衬套

采用支撑式悬挂方式时连杆的横向刚度差，故用拉杆支承。至于安装拉杆的部位，将图2-7-18上所示的一对衬套通过垫圈用螺母拧紧在托架上。因此，连杆的前后上下运动变成揉搓运动和扭转运动，承受非常苛刻的载荷。

（五）后悬挂橡胶减震器

后悬挂装置有各种方式，比较典型的有以下几种。

（1）独立悬挂式：①摆动半轴式；②前置定位臂式（见图2-7-19）；③双叉杆式；④前置斜定位臂式（见图2-7-20）。

（2）整体桥悬挂式：①钢板弹簧式；②连杆整体桥式（见图2-7-21）。

（3）其它：空气弹簧。

后悬挂振动的形式是路面冲击振动，它是作用在车轮上下、左右、前后三个方向上的强制力，尤其40～60Hz 的振动频率与车身的弹性振动及镶板的固有振动密切相关。所以，它对车内噪音和乘坐舒适性影响颇大。另外，100～200Hz的高频主要起因于轮胎的弹性振动，它随着悬挂系统的振动而产生一种来自路面的噪音。

采用摩擦离合器的汽车会产生10Hz左右的自激振动，即颤抖现象。在高速档用低速行驶时会产生20～40Hz的振动，由发动机转距变化产生的激振力和绕车桥的回转振动（角振动）谐振变成车内的闷音。为了消除这些现象，在后悬挂系统中也应用各种橡胶减震件。

1．后悬挂止动器

近年来为提高乘坐舒适性，后承重板簧也变得十分柔软。在弹跳和回弹时产生了动程过大的现象。为了预防这种现象，可适当选择橡胶的形状、以配合载荷位置。使用图2-7-22所示的各种止动器缓和冲击性能。

在设计后悬挂止动器形状时要考虑到，一般对于初始变形的反作用力低，随着变形的发

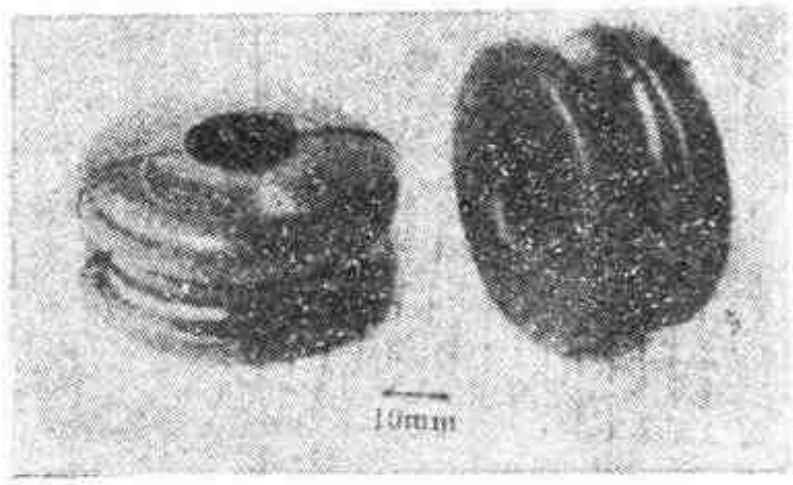


图 2-7-18　拉杆衬套

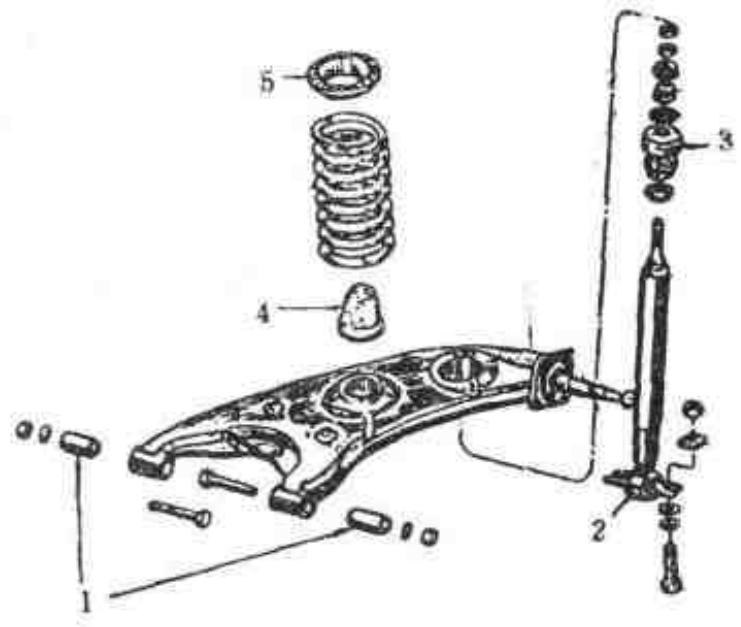


图 2-7-19　前置定位臂式构件图

1—定位臂衬套；2—减震器下衬套；3—减震器上衬套；
4—后止动器；5—螺旋弹簧垫

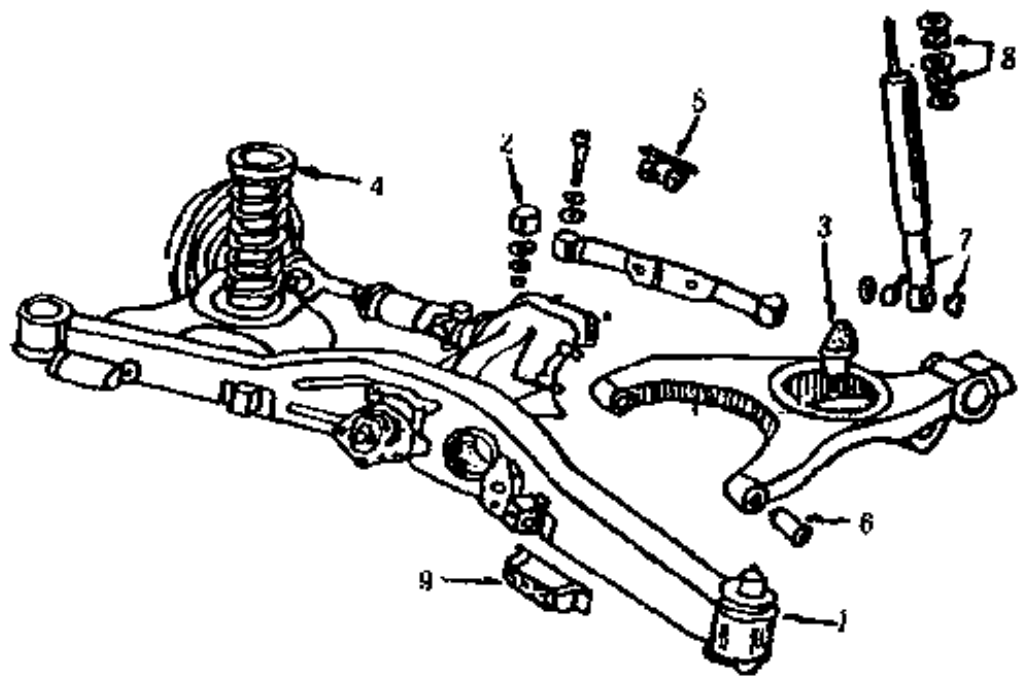


图 2-7-20　前置斜定位臂式构件

1—横梁支架；2—差速器支架；3—后止动架；4—螺旋弹簧垫；5—转距限动器；6—定位臂衬套；
7—减震器下衬套；8—减震器上衬套；9—动态减震器

展，反作用力增大，达到临界位移值时，反作用力急剧增大，从而能发挥止动器的作用。因此，其形状多采用锥台型或变异锥台型。为了调整载荷位移，可改变端部的角度和曲率，也可在橡胶中心部位开孔或者插入能阻止变形的板。为发挥弹簧特性，采用挤缩的金属配件，使之在位移小的情况下能获得最大的载荷。

止动器通常承受相当于自由高度70～80%左右的压缩变形，必须注意选择橡胶的材质和形状。安装方法是，用骑马螺栓拧紧在车桥上，也可倒装在车身上，或者安装在钢板弹簧上。安装方法不同，金属配件的形状也随之变化，而橡胶的基本形状不变。

计算止动器的弹簧特性非常困难，要通过试验和多次修正误差的方法求得。例如，将炮弹型止动器看成旋转抛物体，得出下式：

$$K = \pi A / b \qquad (2\text{-}7\text{-}13)$$

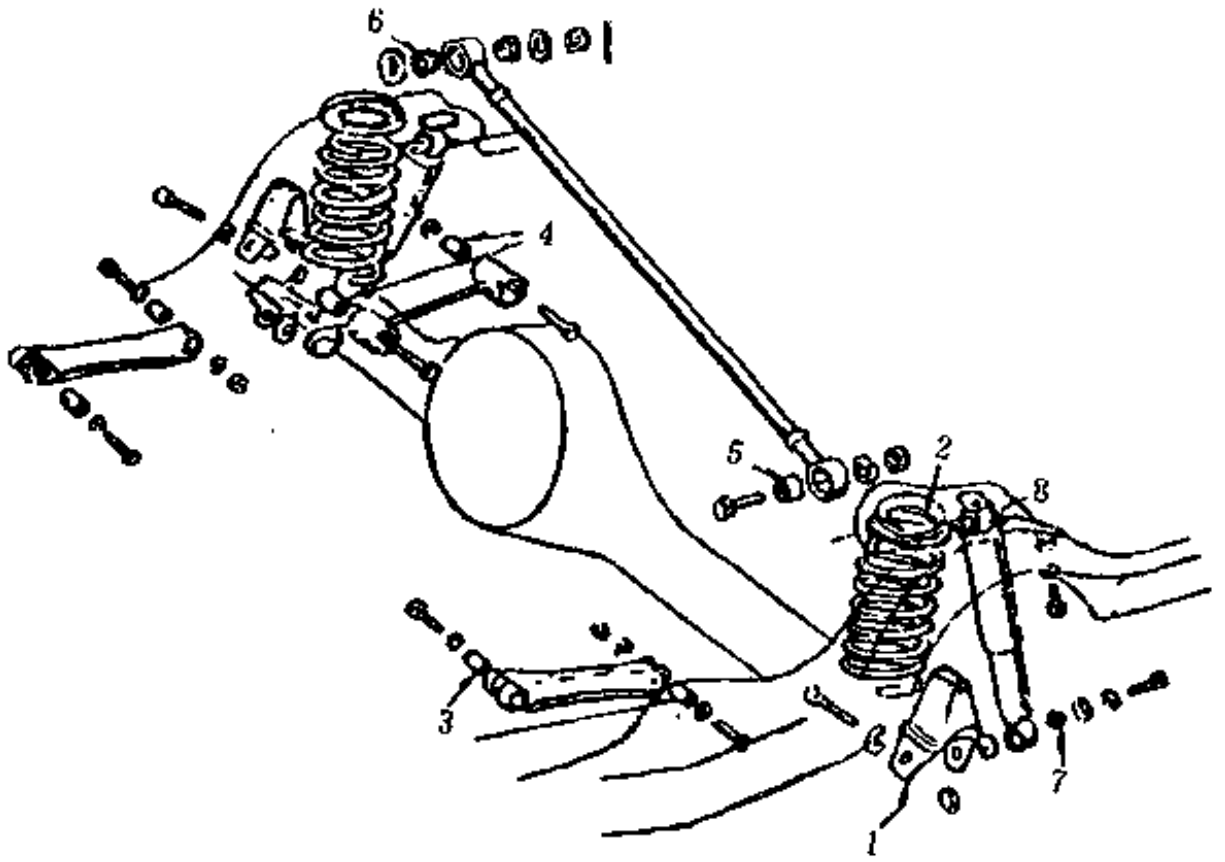


图 2-7-21　连杆整体桥式构件

1—后减震橡胶；2—螺旋弹簧垫；3—车杆衬套；4—衬套；5—导杆下衬套；6—导杆上衬套；
7—减震器下衬套；8—减震器上衬套

$$A = 4.837Gs\sqrt{a \cdot b}\,\lg b \qquad (2\text{-}7\text{-}14)$$

适用条件：当纵断面为$x-y$ 面时，外廓曲线必须是下列抛物线：

$$y = b - ax^2 \qquad (2\text{-}7\text{-}15)$$

为防止差速齿轮差动时的上下运动造成的与车地板的接触，也采用止动器（也称为扭矩限动器），形状与差动形式相适应，将接触面制成马背状或角锥台状，弹簧特性和普通的车桥止动器完全相同。

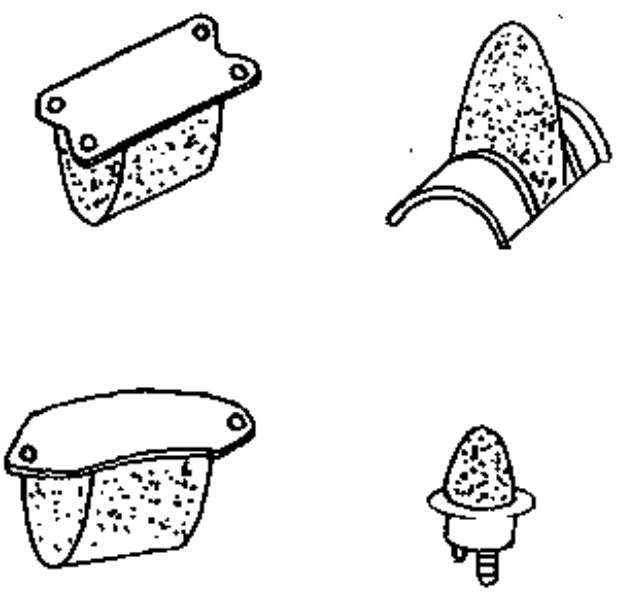


图 2-7-22　后悬挂止动器

2．辅助橡胶弹簧

卡车的载荷变动很大，虽然按照标准载荷规定了这种汽车的弹簧特性，但空载乘坐时人会感到不舒服。为此，将主弹簧与辅助弹簧组合起来，或者使用刚度可变的叠板簧。

辅助弹簧的功能是在主弹簧位移大时发挥作用，载荷进一步增大时主弹簧和辅助弹簧组成两级弹簧发挥作用。若将这种辅助弹簧换成橡胶就是辅助橡胶弹簧。它的优点是动程比止动器的大，并可降低初始应力（如图2-7-23和图2-7-24）。

辅助橡胶弹簧的形状如图2-7-25所示。在橡胶的中心部位开有空洞，囊曲数根据使用条件确定，压缩变形率与止动器的相同，它不仅具有缓和冲击的功能，还能反复变形，所以具有重要的低振动特性。辅助橡胶弹簧反复产生非常大的位移，在选择材料时必须充分考虑生热、蠕变、断裂等因素。

3．扭杆橡胶

轻型汽车的摆动半轴式独立悬挂的扭杆采用如图2-7-26那样的衬套。它除了具有弹簧功

能外，还兼有保持悬挂摆臂的轴承的功能。但是应当注意，采用连杆型式时，插在连杆中的橡胶会影响绕后桥中心线的角振动特性。另外，径向的刚度和路面冲击振动及车身的振颤现象有关。所以，橡胶的弹簧特性相当重要。

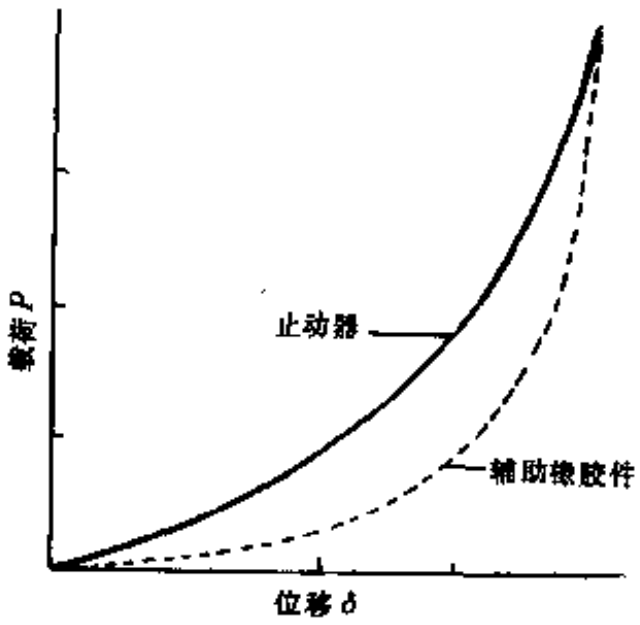


图 2-7-23　止动器和辅助橡胶件的弹簧特性

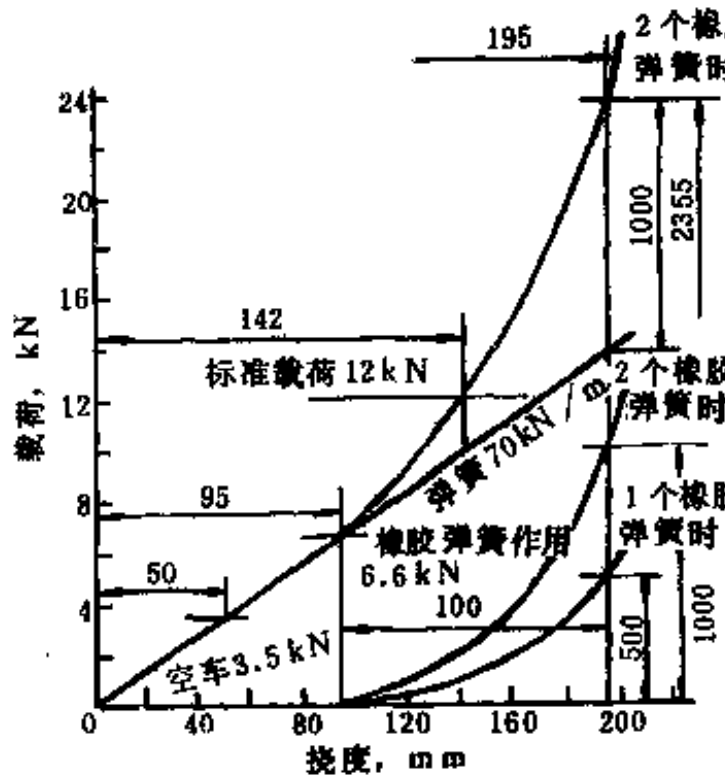


图 2-7-24　辅助弹簧的弹簧特性

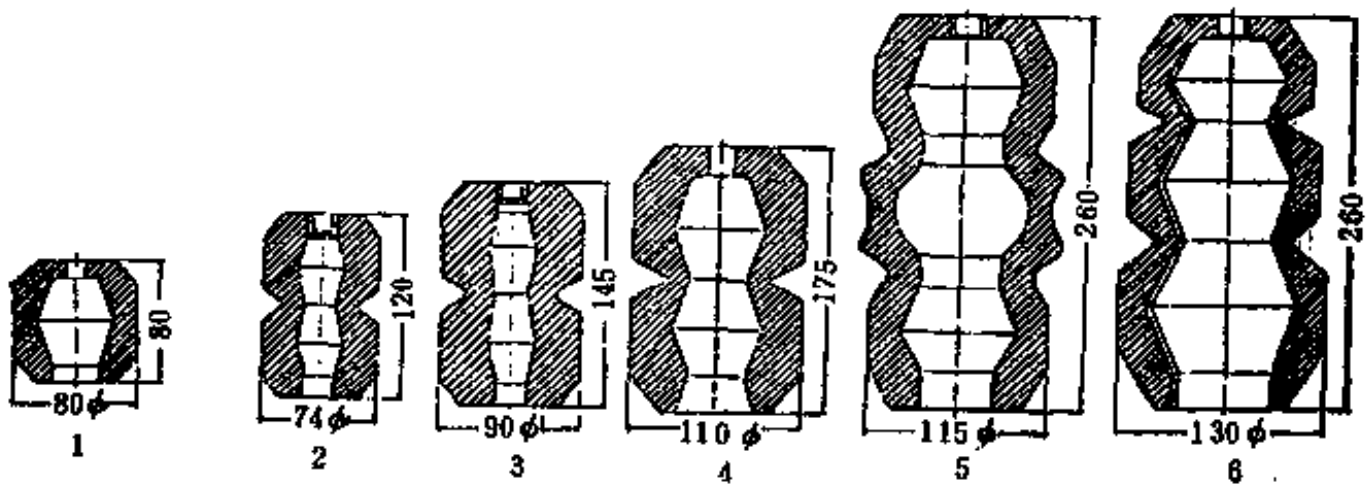


图 2-7-25　辅助橡胶弹簧

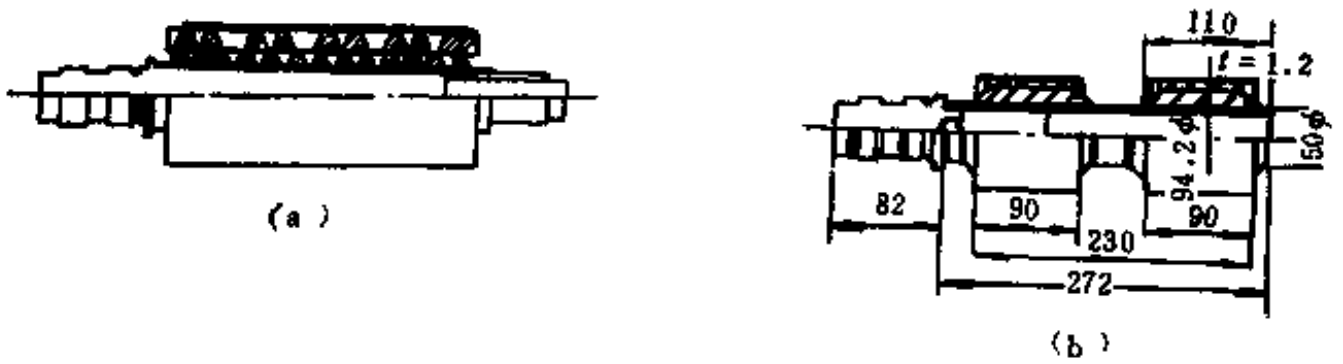


图 2-7-26　扭杆橡胶（单位：mm）

(a) 由内外两层环状橡胶组成，(b) 由一层环状橡胶组成（a）的一个橡胶的变形比（b）的小

4. 钢板弹簧衬套

橡胶衬套的优点是无需加油、维修和保养，用以校正车辆组装时的对准定向，修正各种误差。此外，它还可以起抑制振动的作用。振颤现象、路面冲击和发动机转距变化造成的后承重板簧系统的角振动谐振是产生车内噪音的主要原因。橡胶衬套的动态特性对此有所影响，所以，应设计成各种形状。通常的衬套按制造方法和特性分为以下几类：①只有橡胶的衬套；②只有内筒的衬套；③有内外筒的衬套。其中，有内外筒的衬套又分为内外筒粘接型，内筒粘接、外筒压入型；内外筒压入型。

只有橡胶的衬套用于钢板弹簧，在载荷不太大的吊耳后部按图2-7-27那样插入2个。吊耳有两种安装方法（图2-7-28所示）。前部一般使用有内外筒的衬套。

橡胶衬套在承受径向载荷时，内径面的磨耗严重，所以从耐久性看，要求使用有内筒的橡胶衬套。对径向变形来说，使用橡胶衬套能延长使用寿命。所以，对有内外筒衬套的橡胶在径向上进行预压缩，以压缩量与橡胶厚度之比表示收缩率：

内外筒粘接型10～15%；

内筒粘接、外筒压入型30%左右；

内外筒压入型40～50%。

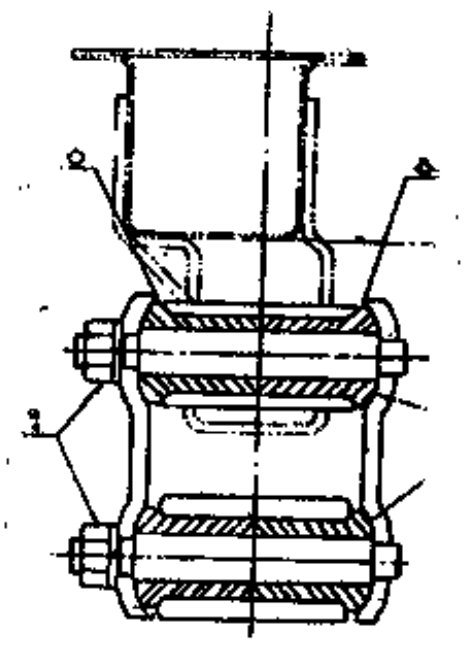


图 2-7-27　橡胶衬套的安装

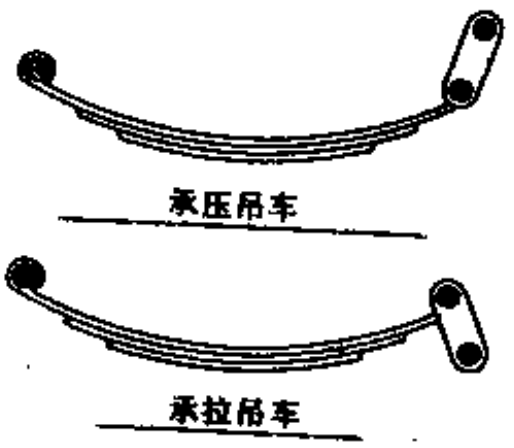


图 2-7-28　吊耳的种类

内外筒压入型衬套的内筒受拉、外筒受压，需要分别分配收缩率。其标准可采用扭转剪应力的比例分配法。设内筒的剪应力为τ_1，内筒的外径为r_1，外筒的应力为τ_2，外筒的内径为r_2，则

$$\tau_1 = (r_2/r_1)^2\tau_2 \tag{2-7-16}$$

收缩率可按上式计算分配，若全部挤收缩率为λ、内筒的为λ_1，外筒的为λ_2，则

$$\lambda_1 = \lambda a/(1+a) \tag{2-7-17}$$

$$\lambda_2 = \lambda/(1+a) \tag{2-7-18}$$

$$a = (r_2/r_1)^2 \tag{2-7-19}$$

内外筒粘接型衬套采用挤缩外筒和扩张内筒两种方法。目前多采用挤缩外筒的方法。衬套被挤缩后，从理论上讲，扭转方向和轴向的弹簧常数会降低，径向的弹簧常数会提高。但是，实测结果并非如此。相反，有时二个方向的弹簧常数都提高。究其原因，可能是经过挤缩后橡胶长度发生变化所致。内外筒粘接型衬套的收缩率和弹簧特性所用的计算式如下：

① 轴向

$$K_{//} = 2.73hGa_p/\lg(r/r_1) \tag{2-7-20}$$

$$Ga_p = G_0(1+\lambda)/\{1+(r-r_1)^2/3h^2\} \tag{2-7-21}$$

$$P = K_{//},\ \delta \tag{2-7-22}$$

② 径向

$$K_{\perp} = \pi h(Ea_p + Ga_p)(r+r_1)/2(r-r_1) \tag{2-7-23}$$

$$Ea_p = G_0\{1+\lambda/(1+\lambda)^3\}\{4+3.29h^2/4(r-r_1)^2\}/3 \tag{2-7-24}$$

$$Ga_p = G_0(1+\lambda)/\{1+(r-r_1)^2/3h^2\} \tag{2-7-25}$$

$$P = (r-r_1)K_{\perp 2}f(\varepsilon)/3 \tag{2-7-26}$$

③ 扭转方向

$$\psi = T\{(1/r_1^2 - 1/r_2^2)/4\pi G(1+\lambda)\} \tag{2-7-27}$$

式中 G_0——橡胶弹性模量；

λ——对$(r-r_1)$的收缩率；

$f(\varepsilon)$——有限变形修正函数；

ε——对橡胶厚度的变形比；

δ——轴向位移。

实验结果：

① 轴向和扭转方向的计算值和实测值大致相同，径向的计算值和实测值不太一致；

② 轴向和扭转方向从理论上讲，收缩时其弹簧常数应该减小，实验结果反而提高。

根据上述结果，设收缩前后的长度分别为h_0和h_λ，则下列修正系数近似地成立：

$$\beta = h\lambda(1+\lambda)/h \tag{2-7-28}$$

所以 $$K_{//}(\lambda) = \beta K_{//}(0),\ T_\lambda = \beta T$$

一般，衬套的径向刚度高，为了改善动态特性，在衬套上开孔以改进径向的弹簧常数，然而组装时存在着方向性，耐久性也降低，这是不可避免的缺点。

5．弹簧支架

为了防止汽车振动，采用改进弹簧衬套动态特性的方法，但也不能完全消除振动。根据汽车受路面冲击时产生振动的频率分析，各种车轮的胎壁和胎面的固有振动频率有60Hz和120Hz左右的高频成分。为消除这些高频成分，可使用橡胶支架，防止路面冲击的振动。若欲同时消除摇动现象，使用低模量了基橡胶是有效的。

6．动态减震器

发动机-变速器系统的振动，加上传动轴不均衡旋转产生的激振力，会使各部分的振幅加大，不仅产生车内噪音，甚至破坏接合部分，烧坏轴承。若产生高频的振颤和后轮悬挂弹簧系统绕后桥中心线的角振动谐振，人就会感到极度不适。为防止这一现象，可安装动态减震器。动态减震器上橡胶形状虽然简单，但动态特性很为重要，要良好地与谐振频率相配合。对这种动态减震器来说，要求其动态弹簧常数几乎不受橡胶振动的影响，参数差异要小。

7．橡胶空气弹簧

橡胶空气弹簧现在主要用于大型汽车。它的优点是弹簧常数低，固有振动频率大致保持一致，与空车或重车的状态无关。它对高频振动的隔离性能好，也可防止噪音。不足之处在于确定车桥位置的机构复杂，容易产生横向摆振和纵摇。需要配备高度调整及稳定机构，维修费和造价都比较高。

空气弹簧分为囊式、膜式和复合式三种。图2-7-29为公共汽车上使用的膜式空气弹簧。图2-7-30所示的空气弹簧的特点是，装有气柱管式减震器，对簧下振动的减震作用大，气柱管中的空气柱由活塞和膜中的空气所支承。空气柱的谐振频率与簧下固有振动频率一致时，空气柱的运动量最大，利用管壁和空气柱的摩擦得到较大的减震作用，吸收簧下的谐振。图2-7-31为弹簧特性图，图2-7-32是组成空气弹簧的配件。

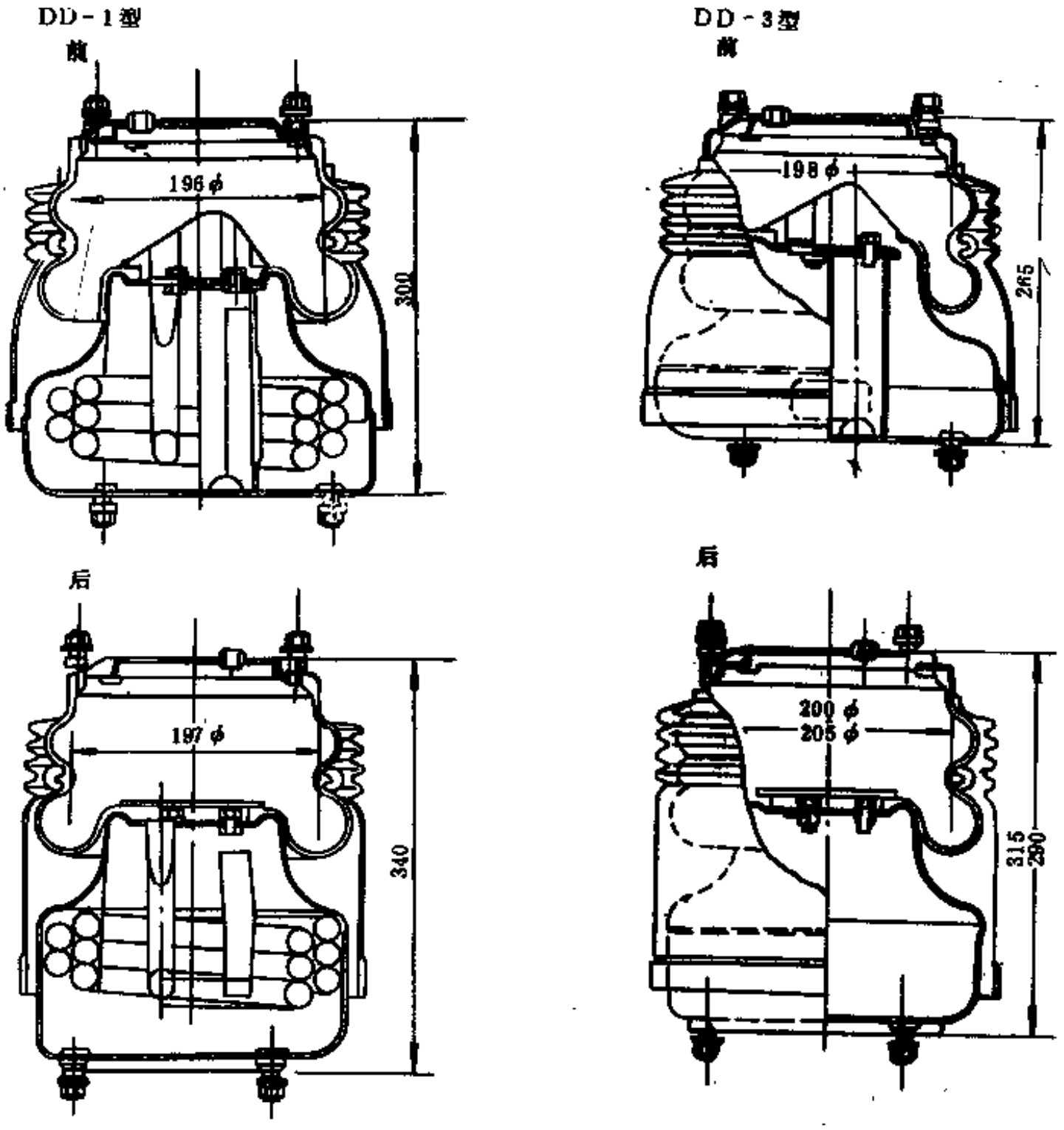


图 2-7-29 膜式空气弹簧（单位：mm）

（六）车身用橡胶减震器

车身结构有车架式和单壳式（无骨架式）两种。车架式结构的优点是容易采取防振和隔离噪音的措施，而单壳式构造的车身和车架完全形成一个整体，重量轻、刚度大，可降低车地板的高度。

车身振动的主要原因是摇动产生的弯曲和扭转等一次振动。乘用车弹性振动的频率为20～50Hz，车内局部振动达30～100Hz。载重汽车摇动的主要原因是车身的弯曲振动。

1．车身支承橡胶

这种橡胶用于车架式结构的汽车上，乘用车身多系单壳式结构，几乎不采用这种车身支承橡胶。图2-7-33所示的那种大支承橡胶用于载重汽车的后车身，上下两个支承橡胶将车架

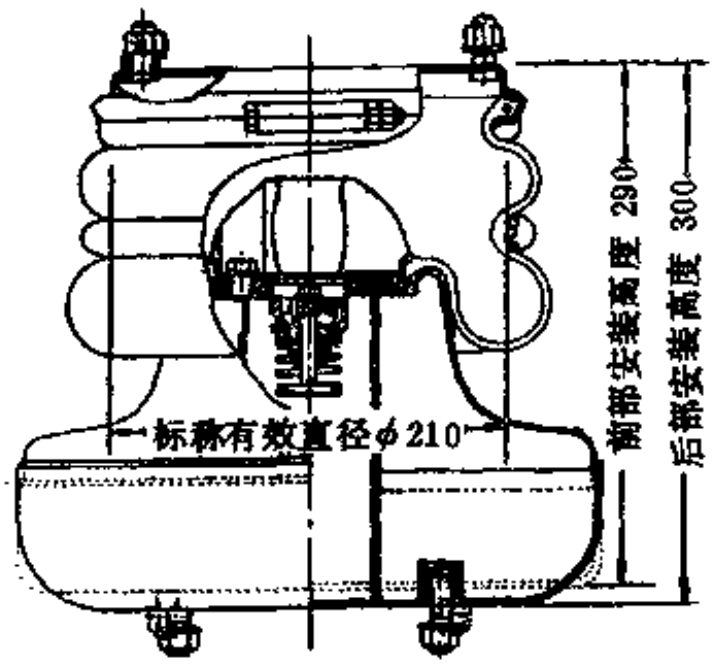


图 2-7-30 膜式空气弹簧

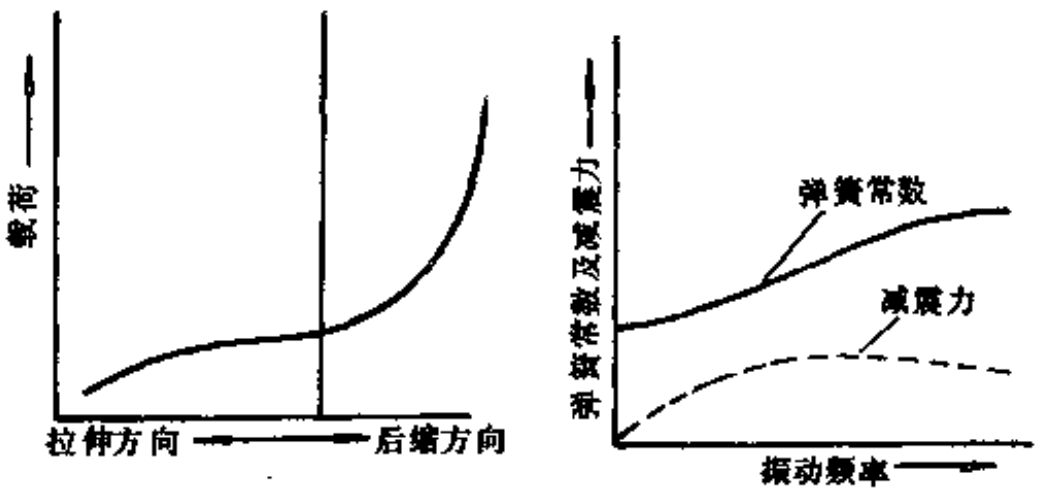


图 2-7-31 CH-1型空气弹簧的特性数据

夹在中间用螺栓拧紧。

车身最重要的变形是扭转和弯曲振动引起的，这些振动必须相互充分隔离，同时也要与簧下振动隔离，否则车身发生弹性振动引起车内噪音。在设计时要分配各部分的固有振动频率。一般上限频率定为音频的上限，即1.5～2.0×10Hz，下限按悬挂系统的各参数来定。因此，车身的一次弯曲和扭转固有振动频率的下限是簧下振动频率，上限是发动机二次激振力的振动频率。一般车身发生摇动时的振动现象呈现弯曲和扭转的一次振动形态。载重汽车和大型车辆的车架式结构之谐振频率中有 5Hz左右的低频。车身支承橡胶的作用是防止车身振动，但从隔离高频振动来看，采用阻尼系数小的天然橡胶有效，为抑制摇动引起的弹性振动使用阻尼系数大的丁基橡胶为好。支承橡胶是支承载重汽车驾驶室用的，比后车身支承橡胶的形态复杂，对橡胶特性的要求也严格。车身支承橡胶也和发动机一样，要根据振动形态选用橡胶材质，否则得不到效果。

2．减震机构的减震橡胶件

根据联合汽车安全标准（MVSS）第215条规定的安全措施，研制了吸收冲击 用的机构。将钢制的减震缓冲系统改为橡胶弹性减震器，以吸收冲击能量。材质系选用聚氨酯，优点是降低了冲击吸收机构的重量。

减震机构的特性和止动器的特性的不同点是能量吸收效率必须大。形状设计时必须兼有二种弹簧特性，否则便不能发挥其应有的功能，另外，不同材质也对冲击能量的吸收效率有很大的影响。

3．车身用其它橡胶件

车身用其它橡胶件包括图2-7-34所示的车门止动器，开关机罩时缓和冲击用的机罩止动器，载重汽车后车身板升降开关时为防止与金属接触用的止动器等。

这些止动器采用回弹性小的材质来制造，载重汽车的后门或边板用止动器使用丁基橡胶是有效的。

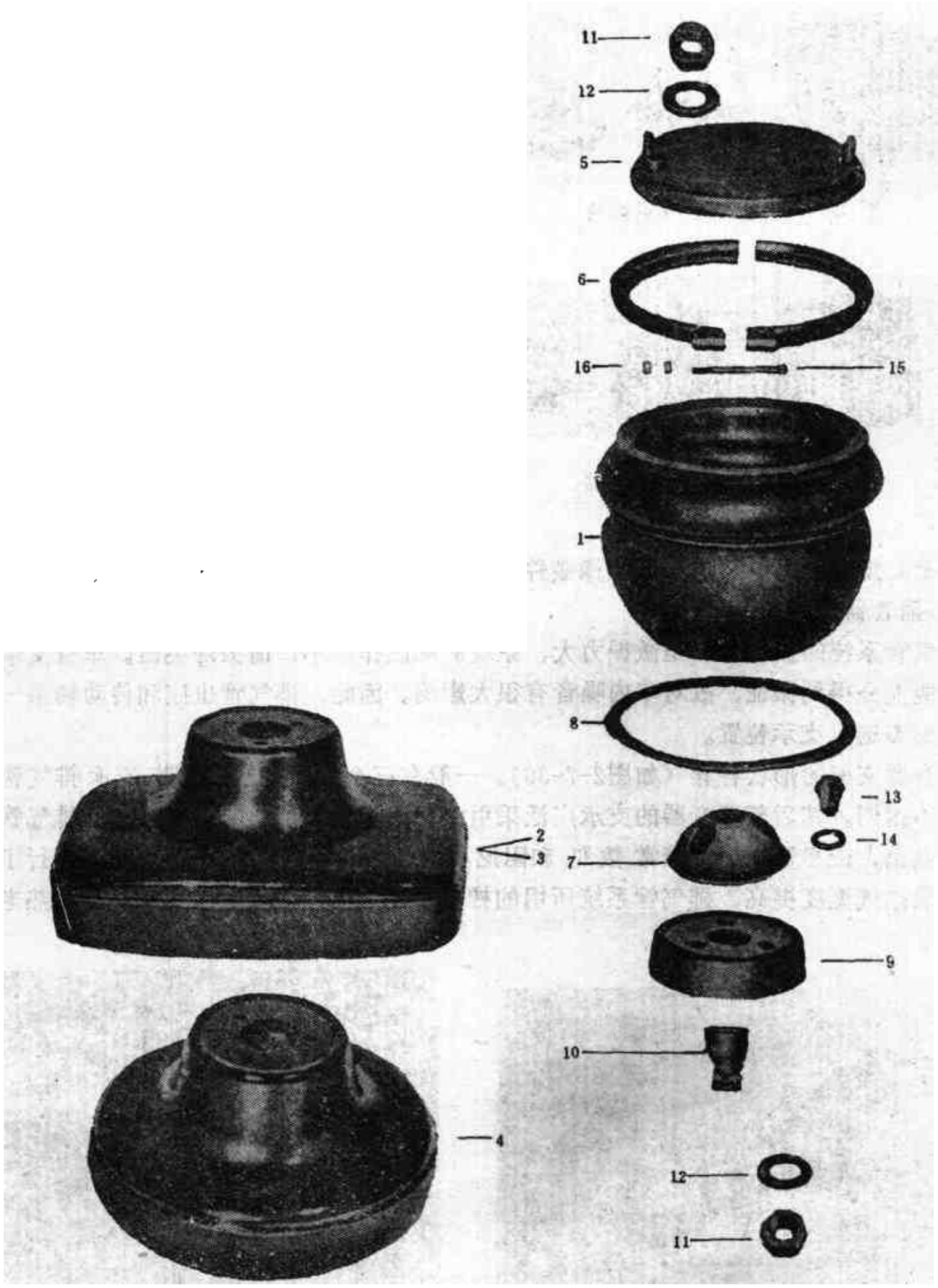


图 2-7-32 CH-1型空气弹簧的结构

	部件名称	部件号码					部件名称	部件号码			
1	膜	6	033	8106	10	11	六角螺母	1	240	1210	00
2	前右活塞	6	033	8106	20	12	弹簧垫圈	1	280	1230	00
3	前左活塞	6	033	8106	30	13	六角螺栓	1	130	1020	00
4	后活塞	6	033	8106	90	14	弹簧垫圈	1	280	1025	00
5	圆板	6	033	8106	40	15	六角螺栓	1	130	1080	00
6	紧环	6	033	8106	50	16	六角螺帽	1	240	1008	00
7	减震挡块	6	033	8106	60	组件号码	前右	6	031	8107	00
8	护圈	6	033	8106	70		前左	6	031	8108	00
9	活塞帽	6	033	8106	80		后	6	031	8109	00
10	阀	6	032	8110	00						

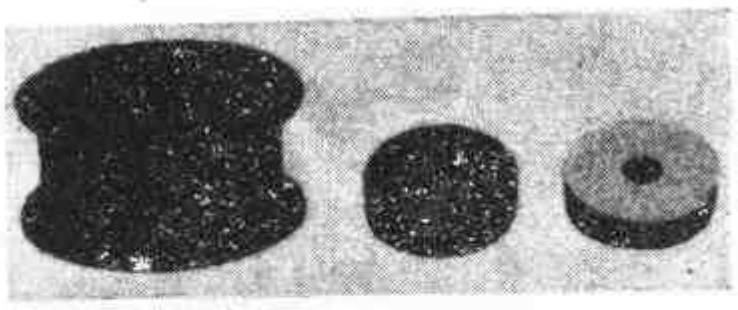


图 2-7-33　后车身支承橡胶

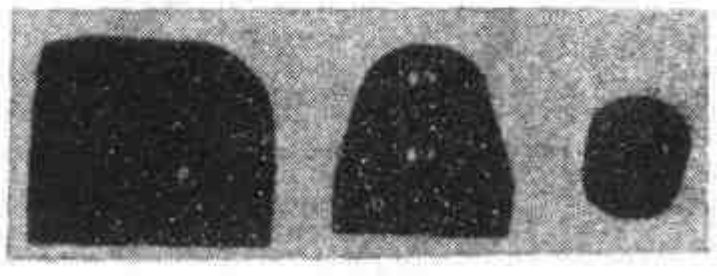


图 2-7-34　车门止动器

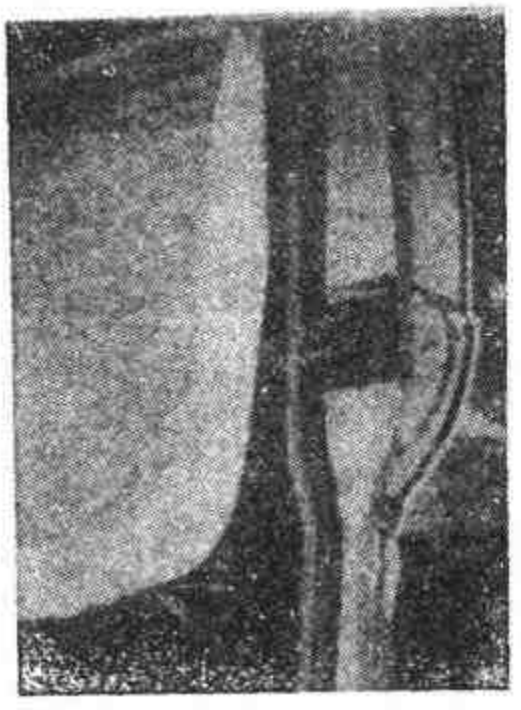


图 2-7-35　车门止动器的安装

（七）排气管系统及其它减震橡胶件

1．消音器支架

排气管系统的振动特点是激振力大，系统的减震作用小，谐振峰突出。车身支承部分的刚度不能充分得到保证，故对车内噪音有很大影响。因此，排气管也应和传动轴系一样，根据振动形态选定支承位置。

消音器支架的形状各异（如图2-7-36）。一般在三个点上用支承橡胶支承排气管，其形状也各不相同。其后部消音器的支承广泛采用由两个橡胶环吊装的办法。由于排气管系统的振动峰突出，应尽量使用弹簧常数低和阻尼小的材质。近年来，对排放废气实行了种种限制，造成排气温度提高，排气管系统所用的橡胶材质耐热性能要特别好，不易受热老化。

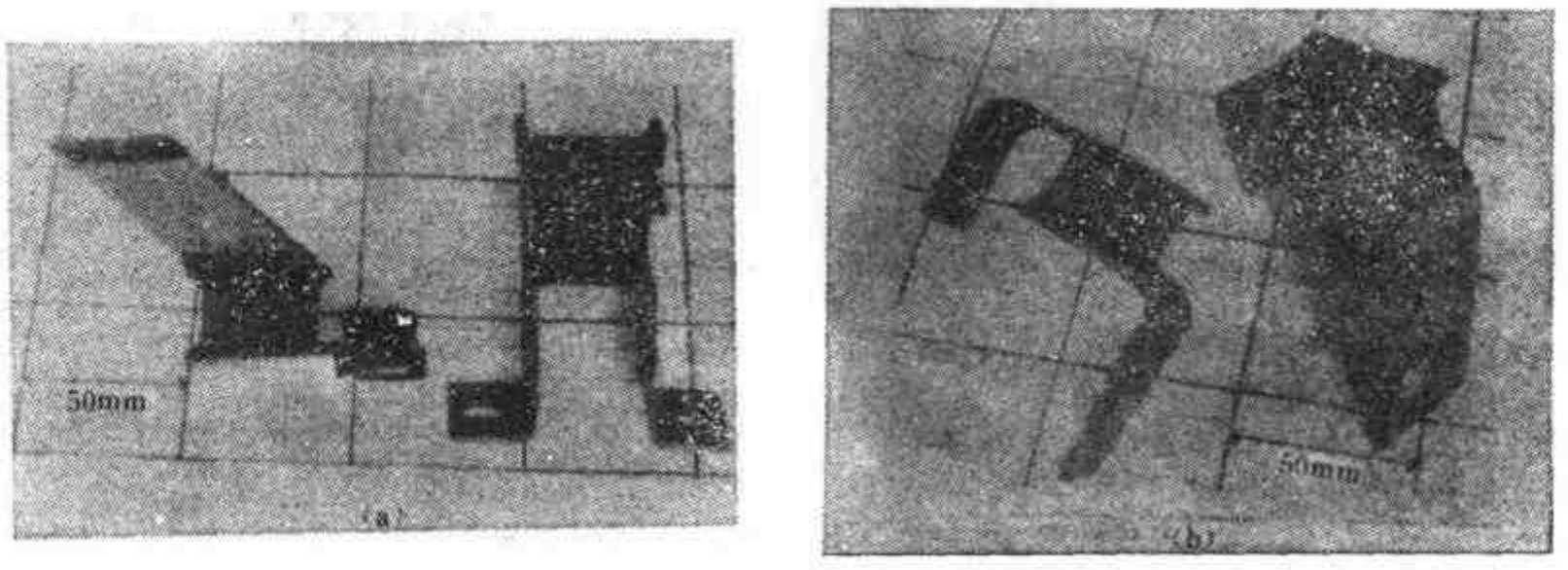


图 2-7-36　消音器支架

2．其它减震橡胶件

汽车上都有使用吸振器的部件，在该部件的上下端组装图2-7-37所示的橡胶衬套。吸振器和金属弹簧并用，对大冲击力则十分有效；而对细小的振动却不能发挥其功能。因此，使用橡胶来吸收这种振动。零件本身很小，但数量多，对弹簧特性的要求比较严格。

其它减震橡胶件还有管路隔振橡胶。汽车地板下有许多管路，如燃料管、制动管等。管

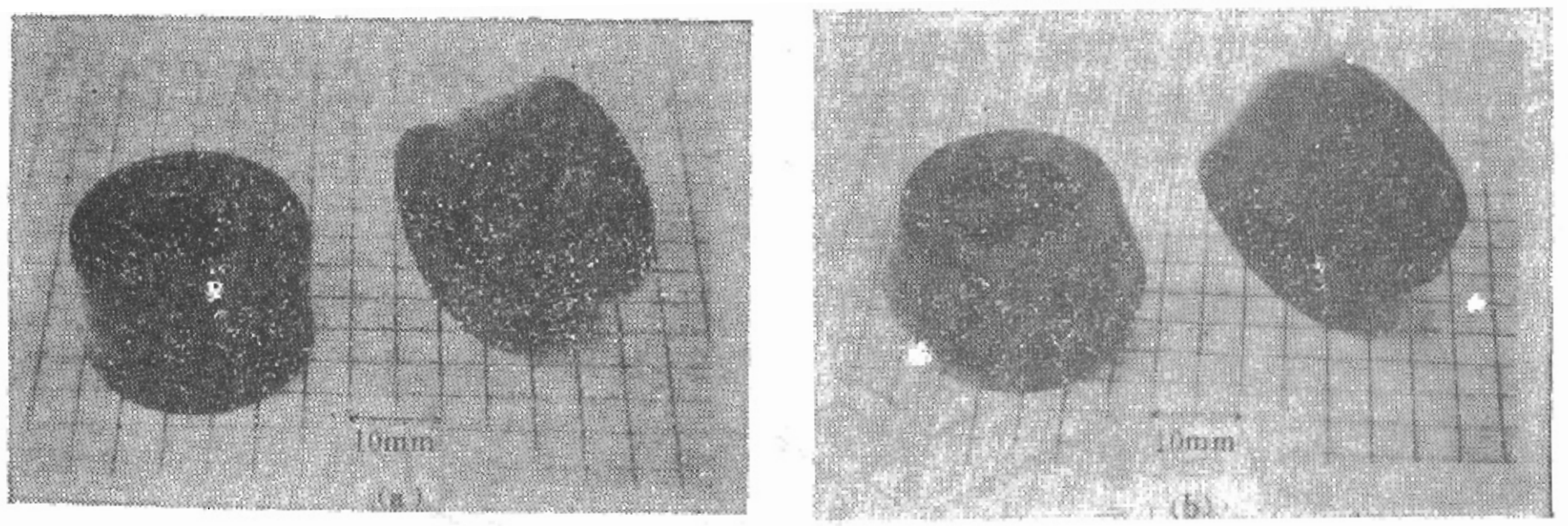
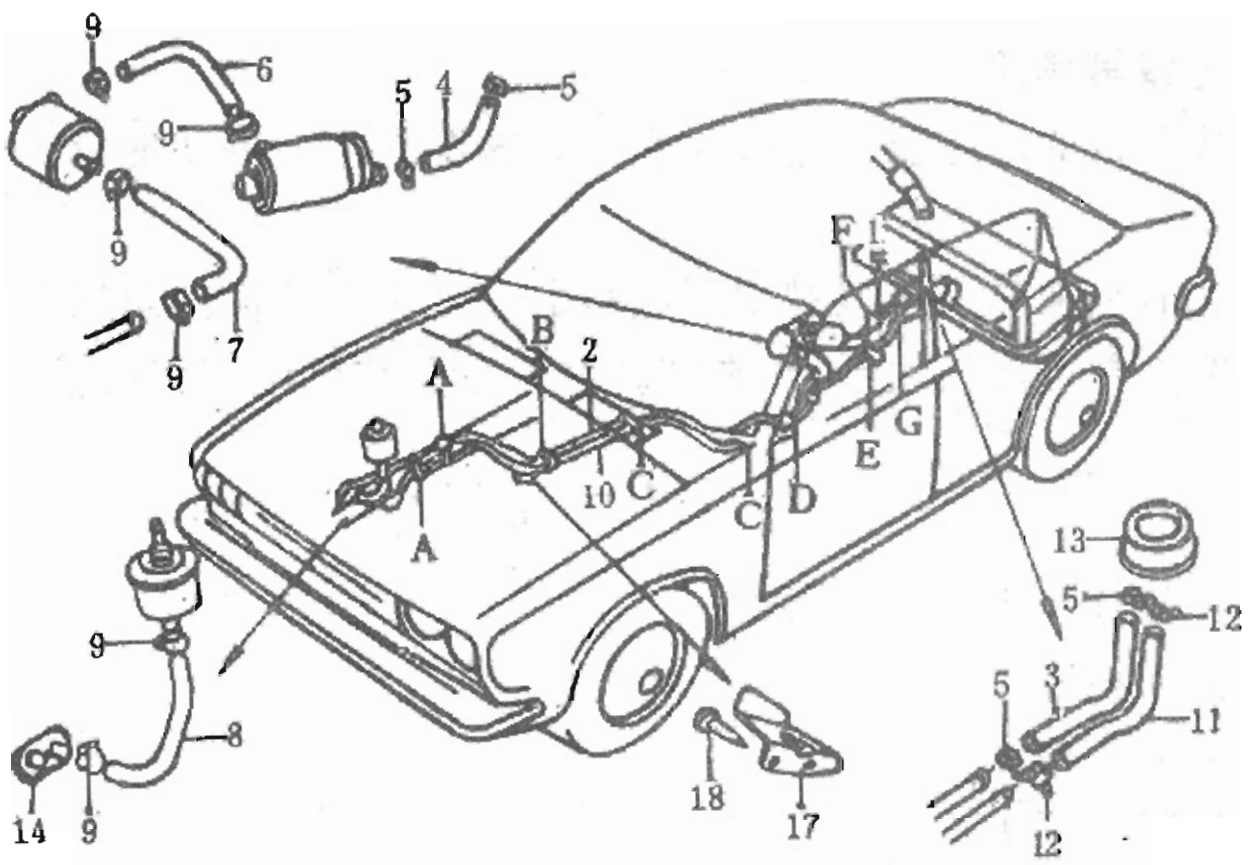
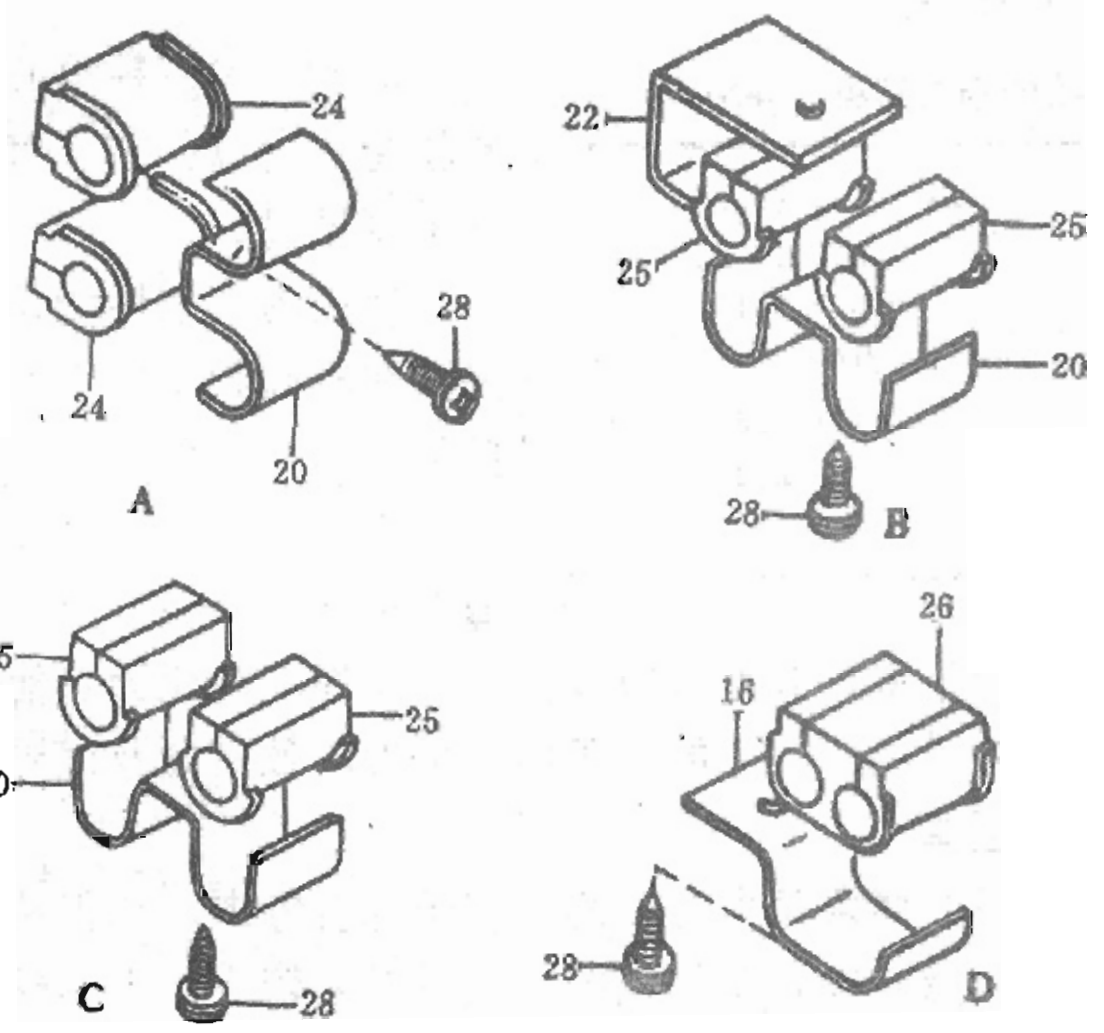


图 2-7-37 吸振器衬套

路隔振橡胶就是支承这些管路用的（图2-7-38）。这种支承橡胶的数量不少，对特性的要求不太严格，但需要耐臭氧和耐腐蚀。





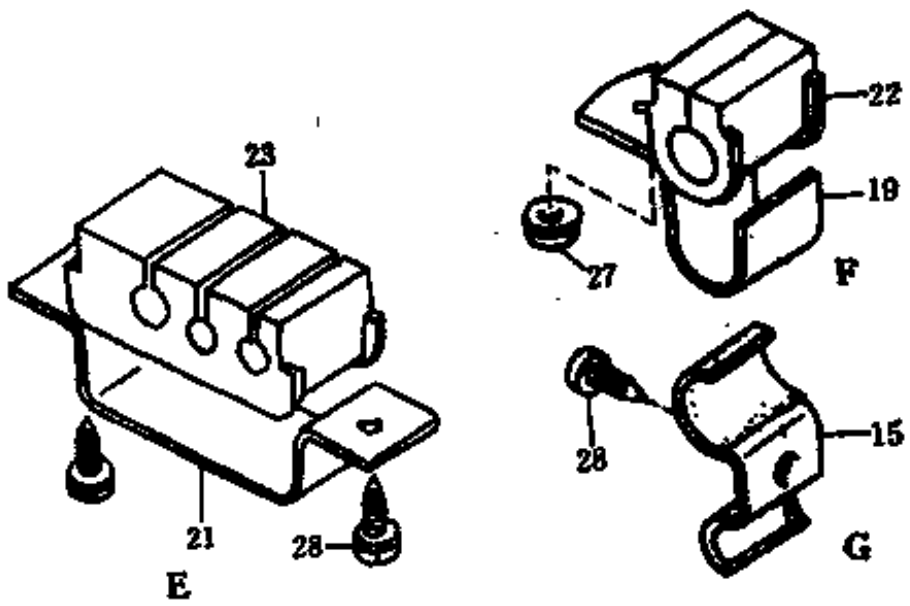


图 2-7-38　管路支座隔振橡胶

三、汽车用橡胶减震器常用橡胶材料特性

（一）橡胶的减震作用

将橡胶用于减震目的，主要用它吸收和反射振源发生的振动能量，阻止由于振动波产生的共振效应。

橡胶的阻尼性能是橡胶之所以被用于减震的一项优异特性。阻尼产生于橡胶的滞后特性和变形时的内摩擦，它可用损失系数ε表征。损失系数与单位体积内损失能量的关系为：

$$\Delta W = \frac{\omega\sigma_0^2}{2E'} \cdot \varepsilon \qquad (2\text{-}7\text{-}29)$$

式中　ΔW——单位体积内损失的能量；

ω——振动频率；

ε——损失系数；

σ_0——初应变振幅；

E'——动态弹性模量。

E'值与橡胶种类的关系不大，可用填充剂和软化剂加以调节，而ε值主要取决于橡胶的种类（见表2-7-2）。

表 2-7-2　不同橡胶的损失系数（tanδ）

橡　胶　种　类	损失系数（tanδ）
天然橡胶	0.05～0.15
丁苯橡胶	0.15～0.3
氯丁橡胶	0.15～0.3
丁腈橡胶	0.25～0.4
丁基橡胶	0.25～0.4

橡胶的阻尼性能是橡胶粘弹性行为的结果。在较高频率的机械振动下，橡胶产生多次反复变形（拉伸、压缩、剪切等），因其粘弹性行为，使体系中消耗掉一部分弹性能，转变为不可逆的热能散失。所以，橡胶阻尼效应就是应用了橡胶滞后损失的结果，利用其吸收振动机械能，转化为热能积蓄在橡胶中，并逐渐散发出来。因此，橡胶分子应有较大的分于间作用力，致密性及优异的耐热性和导热性。

（二）橡胶材料的选择

减震制品对橡胶材料的要求是多方面的，应予综合考虑，现仅从减震角度加以叙述。

在常温条件下，天然橡胶和顺丁橡胶的损失系数ε较小，丁苯橡胶、氯丁橡胶、乙丙橡胶、聚氨酯橡胶和硅橡胶的ε值中等，丁基橡胶的ε值较大。一般用作减震的橡胶应选择ε值

较大的橡胶（如丁基橡胶、丁腈橡胶）是适宜的。

橡胶动态弹性模量 E' 和损失系数随温度而变，在低温范围内变化尤为明显。橡胶的 ε 值在玻璃化温度下可达最大值，低于玻璃化温度时，随温度的降低而急剧增大，橡胶失去弹性，从而失去减震作用。所以，橡胶的玻璃化温度愈低，可应用的温度范围愈广。据此，橡胶的减震特性以硅橡胶和丁基橡胶为最好，其次是丁苯橡胶、氯丁橡胶、天然橡胶和顺丁橡胶。丁腈橡胶有较高的玻璃化温度，若稍低于室温，就明显地表现出 E' 和 ε 对温度的依赖性。故应选用丙烯腈含量低的丁腈橡胶，进行适宜的配合以改善其耐低温性能。关于各类橡胶材料的特性见表2-7-3。

表 2-7-3 减震橡胶材料的特性

橡胶种类	特性	使用温度，℃
天然橡胶	动态性能、耐久性、加工性等综合性能最佳，耐油耐天候性不佳	−30～70
氯丁橡胶	仅次于天然橡胶、耐油、耐候性优良，品质不稳定	−20～70
丁腈橡胶	耐油性好，耐候性差，动态性能和松弛性能不佳	−10～80
丁基橡胶	阻尼大，动态性能、粘着性差，耐油差，耐候性好	−10～70
乙丙橡胶	除阻尼性外，其它近似于氯丁橡胶，耐热性好	−10～80

用作减震目的的橡胶材料一般可分为以下 5 种。

1．普通橡胶材料——天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶

在一般环境下，从耐疲劳性能和蠕变性能考虑，可使用这一类材料，较多使用的是天然橡胶。丁苯橡胶的耐热性优于天然橡胶，与金属件摩擦不会发粘，顺丁橡胶的优点是动态生热小，可考虑与天然橡胶和丁苯橡胶并用。

2．耐油橡胶材料——丁腈橡胶

这种橡胶的优点是耐各种润滑油，适宜于在与油类接触的场合使用。

3．耐天候橡胶材料——氯丁橡胶

主要利用氯丁橡胶的耐天候性能（日光照射、大气温度、臭氧）制造减震橡胶制品，汽车用橡胶减震器亦因它具有一定耐油性与耐热性用作减震橡胶材料。

4．高阻尼橡胶——丁基橡胶

为使自由振动尽快衰减，可使用丁基橡胶来缓冲或隔离冲击。缺点是耐疲劳性能和蠕变性能低于天然橡胶，对于应力问题应倍加注意。

5．耐热橡胶材料——乙丙橡胶

由于对汽车排放废气的标准加强了限制，使发动机和排气管的温度偏高，用于这些部位的橡胶材料要求耐热性能特别好，一般多采用三元乙丙橡胶。

上述材料用于减震时，它们的剪切弹性模量（静态）$G=0.5\sim2$MPa。

四、配合特性

汽车用橡胶减震器的制造，要根据使用目的和使用条件来研究确定橡胶原材料及各种配合剂的种类和用量；设计适用的配方，规定加工工艺。

（一）橡胶硫化体系的选择

硫化体系对减震橡胶制品的生热性和疲劳性影响颇大。在硫化胶网构中，当交联键中含硫原子数较少，且含少量游离硫的时候，硫化胶的动态模量 E 就增大，损失系数 e 减小。因

表 2-7-4 硫化体系对胶料减震性能的影响

硫化体系			减震特性	
硫黄，份	促进剂，份		E'，MPa	e
3.5	促进剂D	1.75	7.46	0.130
3.0	促进剂M	0.5	6.28	0.112
	促进剂TMTD	3.5	6.09	0.111

此，在天然橡胶和丁苯橡胶的配方中适宜选用噻唑类或秋兰姆类促进剂，比选用胍类促进剂效果更好（见表2-7-4）。

若损失系数 e 较大，则多次变形过程中胶料的生热也就大，要求橡胶具有较高的耐热性。

此外，还必须适当选择硫黄和促进剂的用量，增加硫黄和促进剂的用量可以提高交联密度，增大E值。但不能过多地损失e值。它们的用量若超过一定限度还会降低橡胶的耐热性。再者，提高硫化胶的交联密度，会使玻璃化温度升高，从而降低低温减震性能。对玻璃化温度较高的丁腈橡胶和氯丁橡胶来说，这种影响尤为突出。所以，设计配方时必须对上述各项性能的综合权衡利弊。

（二）补强体系的选择

补强剂对橡胶减震特性的影响亦十分重要。E'和 e 值随填充剂（如炭黑、白炭黑等）用量的增多而增大，随振幅的增大而增大。在用量相同的前提下，炭黑的粒径愈小，补强效果愈好，E'值也越高。炭黑粒径对E'值的影响更加明显。相反，炭黑粒径越大，回弹率越高，e 值越小，生热越低。

因此，在减震橡胶件的天然橡胶配方中可多添加半补强炉黑或粒径小的热裂法炭黑。而在合成橡胶配方中应多少用一些会使 e 值增大的快压出炉黑、槽法炭黑。至于碳酸钙、碳酸镁、陶土、白炭黑等，它们的补强效果较低，为获得必要的E'值，可提高添加量。在等量配合的条件下，虽然它们的e值的增大比炭黑的小，但在相同的E'值时，添加这些填充剂的e值比添加炭黑时的略大。

随着软化剂用量的增加，硫化胶 E'值降低，e 值增大。在橡胶配方中使用一定量的软化剂可改善橡胶的低温性能。对于石油系软化剂，一般采用烷烃油类，其e值较小，生热较低。若芳香烃含量越多，e值就越大。软化剂用量在10份以下，对 e值影响不明显，若大量配合填充油，e 值会显著增大，提高升热性。

其它配合剂（如氧化锌、硬脂酸、防老剂等）一般用量很少，对橡胶的 E'值和 e值几乎没有影响，本节不再叙述。

（三）配方举例

各种橡胶减震件配方如表2-7-5～表2-7-10。

表 2-7-5 减震橡胶件配方 单位：重量份

静态剪切弹性模量，MPa	0.59	0.98	1.37	静态剪切弹性模量，MPa	0.59	0.98	1.37
天然橡胶	100	100	100	碳酸钙	10	8	4
硬脂酸	1	1	1	硫 黄	2.5	3	3
防老剂	2	2	2	促进剂	1	1	1
氧化剂	5	5	5	合 计	136.6	150	166
炭 黑	15	30	50				

五、制造过程简述

汽车用橡胶减震器的制造过程可用以下流程图表示（见图2-7-39）。

表 2-7-6 汽车转向件配方（丁腈橡胶）

配　　方	重　量　份
丁腈橡胶（JSR N2405）	100
氧化锌	3
硬脂酸	1
半补强炉黑（N770）	60
增塑剂DOP	40
促进剂TT	2
表面处理硫黄	0.5
合　计	206.5

表 2-7-7 汽车用减震橡胶垫（丁腈橡胶）

配　　方	重　量　份
中高丙烯腈丁腈橡胶	100
氧化锌	5
硬脂酸	1
硫　黄	1.5
快压出炉黑	35
促进剂TS	0.4
防老剂NBC	1.0
合　计	143.9

表 2-7-8 发动机用橡胶减震件配方（丁基橡胶）

配　方	重　量　份		配　方	重　量　份	
	硬度50(邵尔A)	硬度60(邵尔A)		硬度50(邵尔A)	硬度60(邵尔A)
丁基橡胶生胶（埃克森268）	100	100	硫　黄	1.5	1.5
高耐磨炉黑	40	45	促进剂CD（TT）	2.0（1.6）	2.0（1.5）
操作油（Flexon）	20	10	促进剂DM	0.5	0.5
氧化锌	5	5	合　计	169（168.5）	164（163.5）

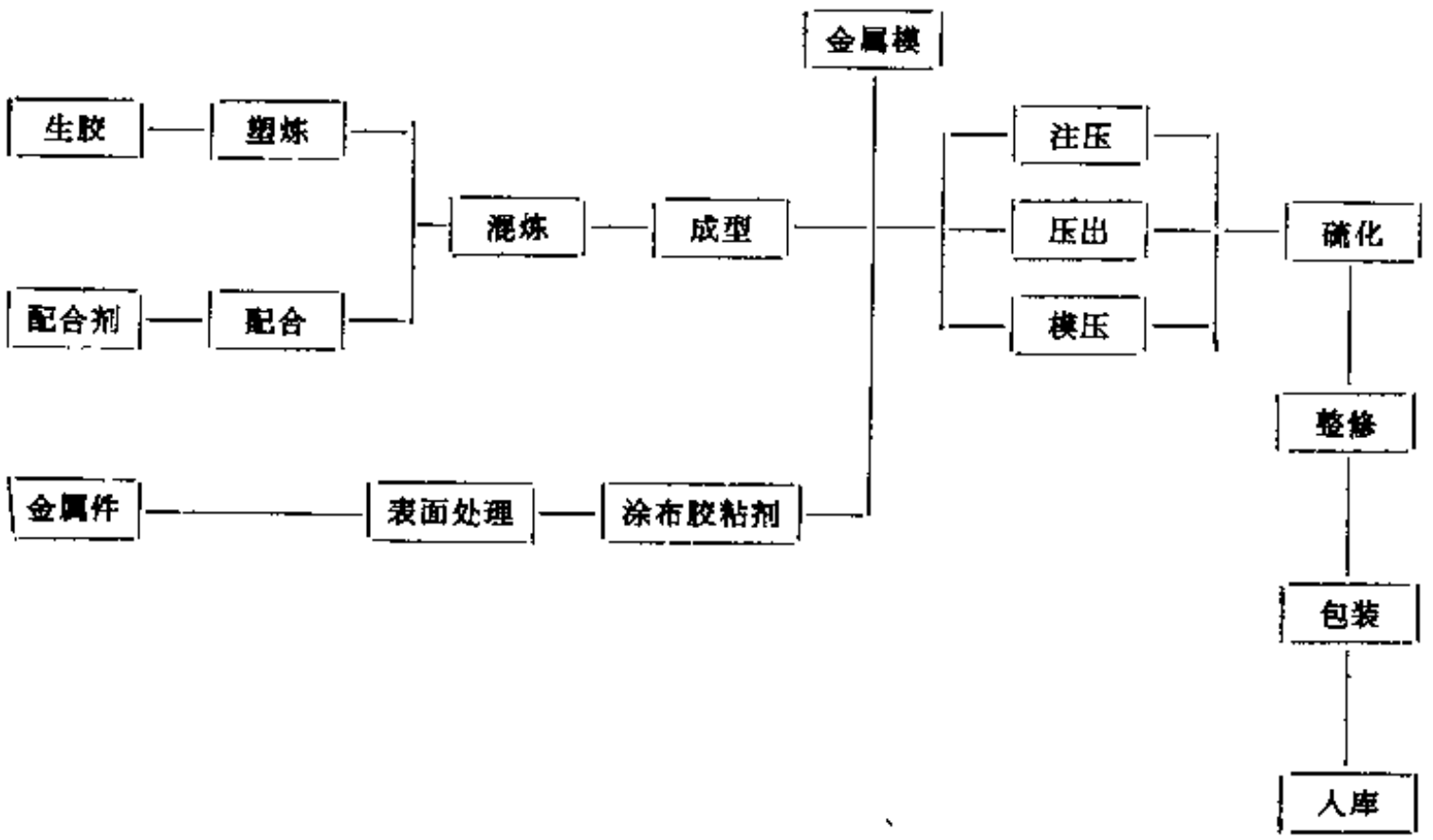


图 2-7-39 汽车用橡胶减震器的制造流程图

六、试验和检测

汽车用橡胶减振器的试验和检测包括两大方面。

1．试样试验

这类试验主要是胶料的物理机械性能试验，试验项目包括：拉伸强度、定伸应力、永久

表 2-7-9　发动机用橡胶减震件配方（丁基橡胶/三元乙丙橡胶，硬度（邵尔A）58）

配　　方	重量份
丁基橡胶（Exxon 268）	75
三元乙丙橡胶（Vistolon 4608）	25
高耐磨炉黑	55
中粒子热裂法炭黑	25
操作油（Flexon 765）	40
硬脂酸	1
氧化锌	5
硫　黄	1.5
促进剂TT	1.5
促进剂M	0.5
合　计	229.5

表 2-7-10　固定车身用橡胶减震件配方（丁基橡胶）

配　　方	重量份	
	硬度45（邵尔A）	硬度50（邵尔A）
丁基橡胶（Exxon 268）	100	100
高耐磨炉黑	35	45
中粒子热裂法炭黑	10	10
软化剂 Plastogen ①	25	25
氧化锌	5	5
硫　黄	1	1
促进剂TT	1	1
促进剂M	0.5	0.5
合　计	177.5	187.5

① 磺酸盐和石蜡油的混合物。

变形、硬度、老化、脆性温度、耐油和耐腐蚀等。均按化工部颁发的有关标准进行。

2．成品试验

成品试验相当重要，它直接关系到产品的质量和使用性能。成品试验项目有：外观检查，形状、尺寸检查、载荷-挠度特性试验，静态弹簧常数试验，粘接性能试验，动态弹簧常数试验等。具体来说，还包括：额定负荷下的压缩变形；70±2℃×144h或96h后的老化试验；在－45℃低温箱中经24 h后的压缩变形试验；振动试验，橡胶与金属结合强度试验等。

第八节　机车用橡胶减震器

一、概　　述

橡胶富有弹性而具有良好的减震、隔音和缓冲性能，因此，在铁路各种机车上，越来越广泛地应用橡胶减震器。

1．橡胶材料特性

橡胶材料具有下列特性。

（1）橡胶具有良好的阻尼特性，在硬度为40～50时，天然橡胶的阻尼当量为0.04，损失因素e为0.08，共振的振幅比为12.3。

（2）橡胶的弹性变形非常大，而弹性模数比金属的小得多。钢的弹性模数为196GPa，橡胶的弹性模数为0.049～0.294MPa。

（3）橡胶的弹性伸长率为300%，钢的弹性伸长率只有0.03%。

（4）橡胶的声速小，为40～200m/s，钢的声速却为5000m/s。

（5）橡胶的压缩负荷为1.5～2.0MPa，剪切负荷为0.49～0.78MPa。

（6）橡胶的动模数与静模数之比为1.5左右。

（7）橡胶在弹性范围内的相对滞后值可以达到10～65%。

2．橡胶减震器的特性

因为橡胶材料具有各种各样极佳性能，应用橡胶减震器的特性也很多，其主要特性有下列几种。

（1）橡胶减震器的形状可以任意选择，使上下、左右、前后三个方向的刚度可以通过减震元件的合理设计来得到，这样可以大大地简化减震器的结构。

（2）橡胶减震器具有三个方向的变形特性，安装时允许有较大的误差。

（3）橡胶与金属之间可以牢固的结合。

（4）由于橡胶具有阻尼特性，吸收振动能转化为热能，其消震能力比金属大得多，特别适应于高频振动情况。

（5）橡胶减震器的结构简单，使用维修方便，几乎不需要修理，无磨耗、无锈蚀、无需用油润滑，对水、灰尘的作用不敏感，使用中不产生突然性破坏，使用安全可靠，成本低而且有足够长的使用寿命。

由于橡胶减震器具有上述的特点，在机车的走行部分的转向架上得到广泛应用。电力机车上应用橡胶减震器的有中央支承橡胶锥体、轴箱拉杆弹性体、旁承橡胶堆、电机悬挂橡胶垫、弹性车轮、弹性齿轮、空气弹簧、传动装置的弓形橡胶块和球铰、车钩橡胶缓冲器等。

应用于机车上的橡胶减震器，其主要作用是承受压缩应力、剪切应力和扭转力矩，以及同时承受两种或两种以上的应力复合作用。各种橡胶减震器彼此都具有一定的特殊性能，起着重要的作用。铁道机车的速度不断提高，对线路的动力作用急剧增加，引起线路、轮箍及机车走行部分的元件产生剧烈的磨损。因而应用橡胶减震器越来越普及。

二、中央支承橡胶锥体

（一）应用特性

中央支承橡胶锥体最早是法国GEC-ALSTHOM公司设计的车体悬挂装置，应用于50年代发展起来的电力机车上。后来前苏联的H60型电力机车及T3J160型内燃机车，英国的86 型电力机车、我国进口的6Y$_2$型电力机车、我国国产韶山1型和韶山2型电力机车、北 京型和东风型内燃机车上也应用了中央支承橡胶锥体。

中央支承橡胶锥体要承受比较复杂的多种作用力，它将承受车体的全 部 重 量 的静态应力，线路的不平和钢轨接头的冲击力，机车通过弯曲道路时所产生的交变动态应力的影响。它不仅承受垂直载荷，而且传递水平载荷、转向架的牵引力和制动力全部通过中央支承橡胶锥体传递到车体底架上去。

车体悬挂装置又称为二系弹簧悬挂，因为来自车轮的冲击振动经过悬挂装置的缓冲减震以后，还需要经过车体悬挂装置进一步缓和而传到车体。车体与转向架之间是通过车体悬挂装置来连接的，悬挂装置的中央支承橡胶锥体的主要作用如下。

（1）将把车体自重和在车体上的设备重量分配给转向架。

（2）将转向架产生的牵引力或制动力传递给车体上。

（3）车体通过中央支承装置，弹性地与转向架相连接，当机车通过曲线时可以使车体与转向架产生相对位移，同时将车体的离心力传于转向架。

（4）进一步起着缓和机车的冲击和振动。

在这些力的作用下，减震的中央支承橡胶锥体便产生压缩应力、剪切应力、弯曲应力和扭转力矩等。

中央支承橡胶锥体结构由图2-8-1所示。

（二）中央支承橡胶锥体特性

中央支承橡胶锥体的橡胶物理机械性能：

300%定伸应力，MPa	14	撕裂强度，kN/m	80
拉伸强度，MPa	25	扯断永久变形，%	35
扯断伸长率，%	400	硬度（邵尔A）	70

中央支承橡胶锥体在电力机车悬挂装置中承受垂直载荷为90kN力时，其挠度为14mm；当承受垂直载荷125kN力时，其挠度为18mm。其静特性的应力-应变曲线如图2-8-2所示。

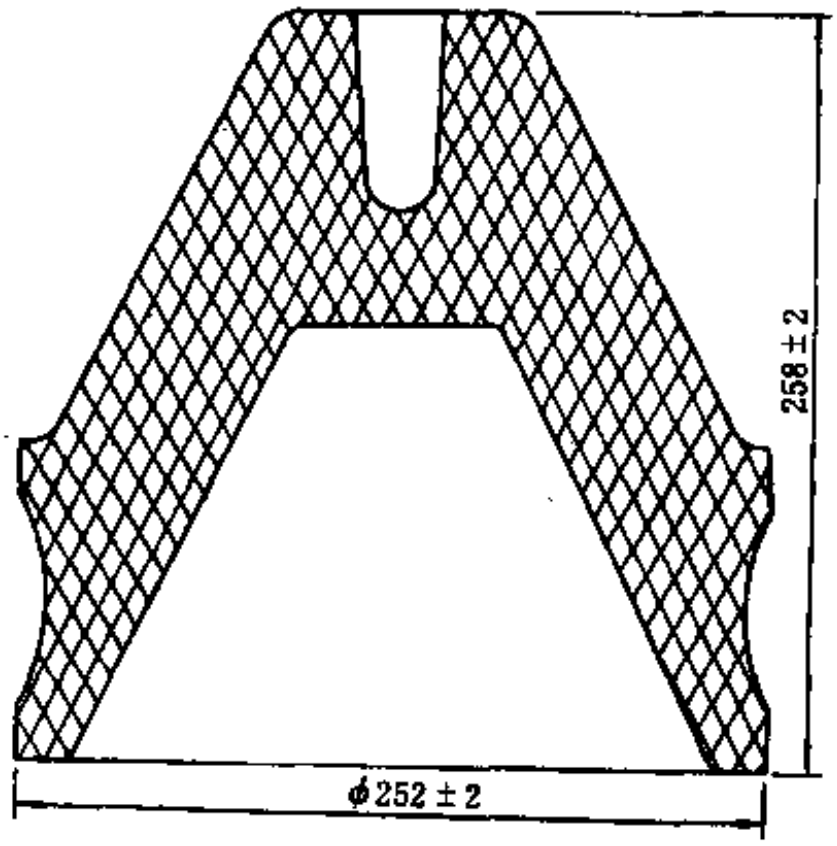


图 2-8-1　中央支承橡胶锥体结构

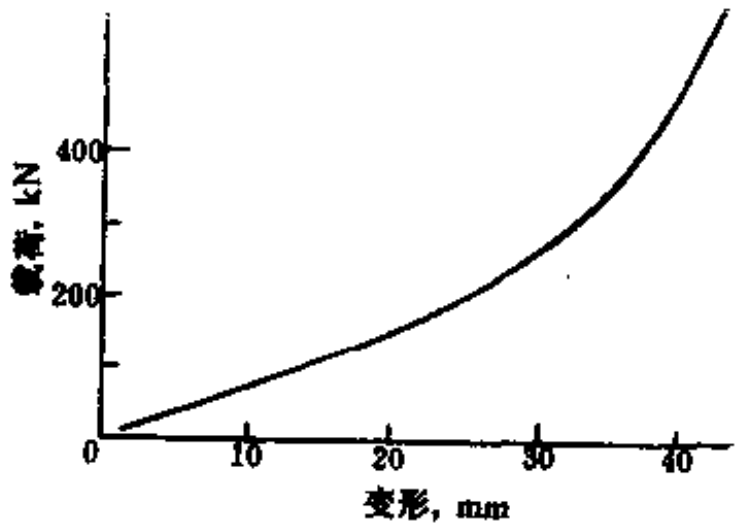


图 2-8-2　橡胶锥体应力-应变曲线

（三）中央支承橡胶锥体计算

中央支承橡胶锥体的面积比值$K_0=1/2\delta$，而考虑到橡胶锥体在压缩和剪切的双重作用下，变形对面积比值的相互影响，则橡胶层厚度δ应为变形后的实际厚度来代替，所以中央支承橡胶锥体的面积比值成为：

$$K_0=\frac{l}{2(\delta-f\sin\beta)}$$

式中　l——橡胶锥体厚度中心平均长度，cm；

δ——橡胶锥体的厚度，cm；

f——橡胶锥体的压缩挠度，cm；

β——橡胶锥体的顶角一半，(°)。

中央支承橡胶锥体的形状系数应为：

$$K=1+mK_0=1+m\frac{l}{2(\delta-f\sin\beta)}$$

m是一个不依面积比值面变化的系数，它主要取决于橡胶元件与支承附件之间的结合形式和橡胶材料中的填料比例。

在通常相对变形不大的情况下，按照橡胶材料符合虎克定律的假定组合的橡胶锥体轴向压缩特性公式为：

$$P_1=\frac{\pi l(R_c+r_c)f}{\delta}\cdot(EK\sin^2\beta+G\cos^2\beta)$$

式中　R_c——橡胶锥体大端平均半径，cm；

E——橡胶弹性模数，MPa；

r_c——橡胶锥体小端平均半径，cm；

G——橡胶剪切模数，MPa。

橡胶锥体的载荷特性除压缩特性之外，主要的有垂直于压缩特性的径向力，其径向力为：

$$P_2=\frac{\pi(R-r)y_0}{\tan\beta\ln\left(1+\frac{2S}{R+r}\right)}(EK\eta+G)$$

式中 y_0——径向力作用下的径向变形，cm；

R——橡胶锥体底端的内径，cm；

r——橡胶锥体顶端的内径，cm；

S——橡胶锥体的径向厚度，cm；

η——根据y_0/δ与η之间关系，可查为1.06。

从设计资料可知，橡胶锥体$l=24$cm，$\delta=5.4$cm，$f=1.5$cm，$R_c=11.8$cm，$r_c=2.8$cm，$\beta=26°$，$m=0.49$，$E=4$MPa，$G=1.3$MPa。$y_0=0.5$cm，$R=10.4$cm，$r=1.6$cm，$S=6$cm。

$$K=1+m\frac{l}{2(\delta-f\sin\beta)}=1+0.49\ \frac{24}{2(5.4-1.5\times0.44)}=2.24$$

$$P_1=\frac{\pi l(R_c+r_c)f}{\delta}(EK\sin^2\beta+G\cos^2\beta)$$

$$=\frac{\pi24(2.8+11.8)1.5}{5.4}(4\times2.24\times0.44^2+1.3\times0.8988^2)=835.7\text{N}$$

$$P_2=\frac{\pi(R-r)y_0}{\tan\beta\ln\left(1+\frac{2S}{R+r}\right)}(EK\eta+G)$$

$$=\frac{\pi(10.4-1.6)0.5}{0.48\ln\left(1+\frac{2\times6}{10.4+1.6}\right)}(4\times2.24\times1.06+1.3)=441.4\text{N}$$

三、轴箱拉杆弹性体

（一）应用特性

早期在机车上的轮对对轴箱采用刚性导框或导筒对构架导向，此导向装置存在着摩擦面，维修量又大等缺点，不利于降低轮轨间的作用力。以后法国 GEC-ALSTHOM 公司设计了轴箱导向装置的轴箱拉杆弹性体，使用于电力机车和内燃机车。轴箱拉杆弹性体装有橡胶衬套的橡胶元件，在轴箱两侧对转向架的构架进行导向。轴箱拉杆弹性体结构如图2-8-3所示。

从图2-8-3轴箱拉杆弹性体结构可见，作为弹性体的橡胶衬套系采用特殊的压装工艺装入拉杆两端的套筒和轴芯之间，在拉杆套筒两端装有橡胶层的端盖。通过端盖在轴向的压缩弹性使轴箱相对于转向架的构架有适当的横动量，其值通常为1～3mm。转向架的构架相对于轴箱的垂直运动是通过橡胶衬套的扭转弹性提供的。轴箱拉杆弹性体在电力机车的轴箱部位，由于受到簧上部分的振动作用，将产生同轴扭转变形，轮对横向位移产生的剪切变形和倾斜变形，以及传递牵引力或制动力而产生的径向压缩变形，亦常常产生既压缩又扭转的复合状态。可见，轴箱拉杆弹性体的受力状况较为复杂。

轴箱拉杆弹性体的垂直、纵向和横向的刚度值，可以根据机车运行速度确定。以改变橡胶材质或设计尺寸，可以得到轴箱拉杆弹性体所需要的刚度和各向刚度比。

轴箱拉杆弹性体重量轻、结构简单、相对变形大，因而能容量亦大。从结构上看，刚度大、不产生磨损、不要油润滑、橡胶的耐久性也很好，多次变形可达10^7次。

轴箱拉杆弹性体装在韶山1104型电力机车的轴箱两侧，测定的静态垂直和横向的刚度值分别为431.2～666.4kN/m和3391～10780kN/m 。此后测定的动力学性能表明，在电力机车的构造速度内，机车的横向平稳性指标均是理想的。可是，如果采用垂直和横向的刚度值分别为431.2kN/m和3391kN/m的轴箱拉杆弹性体，对轴箱和构架水平的振动加速度，在试验速度范围内均有大幅度地下降，如v = 80km/h时构架加速度降低48.5%，轴箱加速度降低19%；构架力也得到改善，如v = 80km/h时构架力下降70.6%；从速度变化来看，构架力随速度增长十分缓慢；其次，虽然轴箱拉杆弹性体的横向刚度降低后显示蛇行运动频率有所提高，可是这不影响运动的平稳性。由此对轴箱、构架加速度和构架力等都有十分明显的改善，这正是机车所需要的。从300m曲线上试验表明，构架力无论是最大值、常见值，还是稳定值随轴箱拉杆弹性体的刚度值下降而变小，侧压力亦同理。

采用横向刚度小的轴箱拉杆弹性体，大大地降低曲线时的侧压力和构架力；直线上的构架力、构架以及轴箱水平加速度亦有明显的降低。可见，对于弯道多、半径小的线路，这种侧压力的降低无论对机务和工务都是迫切要求的，将有利于减少轮缘与钢轨之间的磨耗，以及提高机车运行平稳性。

轴箱拉杆弹性体的特性表明，可得到轴箱拉杆弹性体所需要的刚度和各向刚度比，国内外电力机车和内燃机车均已使用这种导向装置。但是，轴箱悬挂的横向刚度要2倍于垂直刚度，纵向刚度10倍于垂直刚度，轴箱拉杆弹性体结构已不适应。而目前采用的人字形轴箱悬挂装置是一种三明治橡胶-金属结构，由V形橡胶层和V形金属层叠合而成。图2-8-4所示的为人字形悬挂弹簧结构。

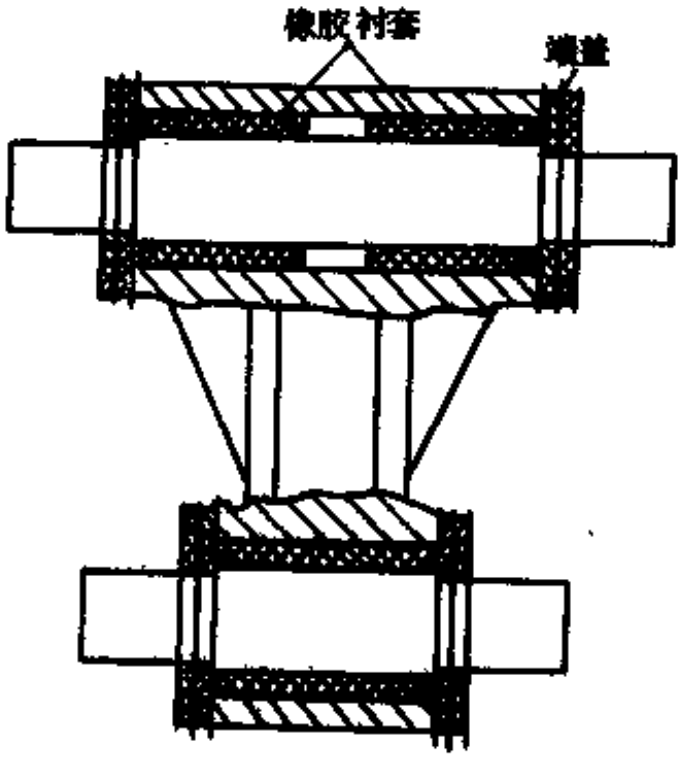


图 2-8-3　轴箱拉杆弹性体结构

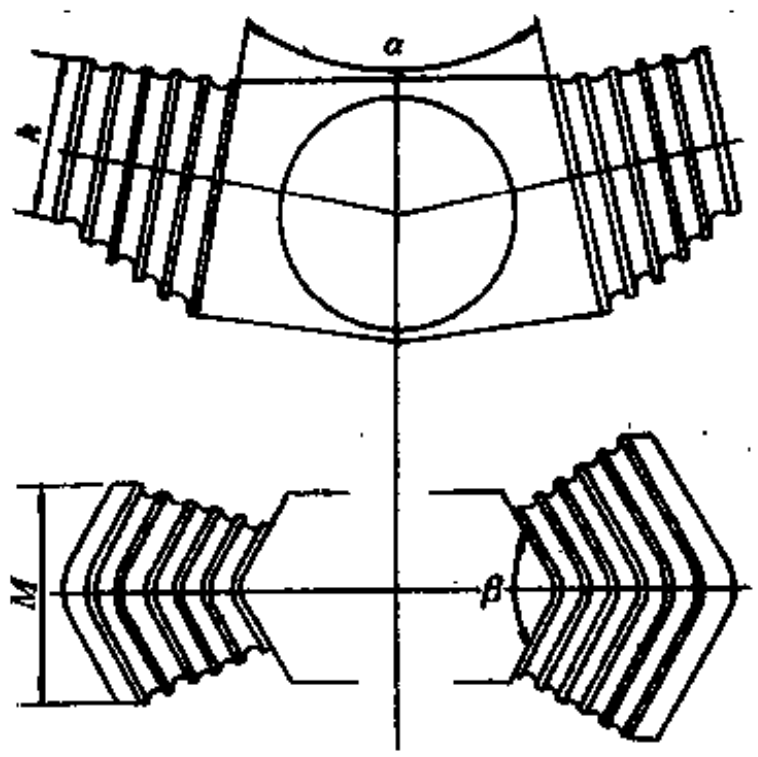


图 2-8-4　人字形悬挂弹簧结构

α—轴箱两侧人字形弹簧的夹角；h—人字形弹簧高度；
β—人字形弹簧水平面内V形角；M—人字形弹簧宽度

人字形悬挂弹簧可改变夹层钢板的形状和数量，使人字形悬挂弹簧在各个方向得到需要的刚度，由此适应于轴箱悬挂各向刚度的相应关系。适当地改变人字形悬挂弹簧的尺寸，亦可使其各向刚度在很大范围内变化。由此，可以不改变基本设计，即可使各种轴箱悬挂弹簧得到适应于不同情况的最佳动态特性。

人字形悬挂弹簧具有良好的垂直向动特性，橡胶在压缩和剪切情况下产生剪切刚度特性，由此可避免机车运行时由轮对动载荷增加而促使弹簧在垂直向动刚度急剧增加，失去减震作用。人字形悬挂弹簧在轴箱悬挂中，同时起着轮对导向作用。由于这种弹簧具有合适的纵向刚度值，减少了机车在曲线通过时的轮轨冲击角，有利于降低轮缘导向力。人字形悬挂弹簧在各国已广泛应用于机动车、电力机车以及内燃机车。

（二）轴箱拉杆橡胶件计算

轴箱拉杆弹性体在电力机车上的使用条件，其轴箱拉杆座上承受的径向力P为39.2kN，承受轴向力Q为9.8kN；在轴箱两端的扭转角φ为11°；根据机车的振动取定于轴箱拉杆弹性体的振动频率n为75次/min。由此轴箱拉杆弹性体在电力机车上的使用条件，可以进行橡胶件的计算。

（1）用压装法生产的轴箱拉杆橡胶件必须保证在轴箱两端的上下运动，橡胶件在内外金属套之间不发生滑动，因此必须考虑取决于振动频率n的橡胶泊松系数r，根据r值可以按下式计算最大扭转角φ_0：

$$\varphi_0 = \varphi / r$$

机车的振动频率n值为75次/min时，可查得$r=0.52$，此时可计算出轴箱拉杆橡胶件最大扭转角φ_0为：

$$\varphi_0 = \varphi / r = 11° \times \frac{\pi}{180°} \Big/ 0.52 = 0.3690 = 21°$$

（2）压装法轴箱拉杆弹性体结构，随着使用条件的不同，径向挤压程度一般采用$\nu=0.2\sim0.4$。挤压程度的选择对于轴箱拉杆弹性体的性能是有重要的意义，如果ν值较低时橡胶件在外套筒内产生滑动，两端的橡胶块将被切割而损坏。然而增加ν值就使轴箱拉杆弹性体的刚度得到提高，对径向负荷的敏感力较差，此时轴箱拉杆的耐磨性得到提高。通常橡胶材料的ν值不得超过某一定值，不然橡胶与外套之间的切应力增如若干倍，将促使橡胶自外套中脱落下来。电力机车的轴箱拉杆ν值已达到50%。

（3）设计轴箱拉杆的杆子直径d为6cm，橡胶件压入后的厚度定为0.7cm。这样径向挤压为50%时，其橡胶件在压入前的厚度为1.4cm。

（4）轴箱拉杆外套的内径

$$D = d + 2h$$

式中 d——杆子的直径，cm；

h——压入后橡胶件的厚度，cm。

则
$$D = d + 2h = 6 + 2 \times 0.7 = 7.4\text{cm}$$

（5）压入前橡胶件的内径

$$C = \frac{d + 2h_0}{2}$$

式中 h_0——压入前橡胶件的厚度，cm。

则 $$C=\frac{d+2h_0}{2}=\frac{6+2\times1.4}{2}=4.4\ \text{cm}$$

（6）径向挤压后橡胶件的长度

$$l=\frac{C-\frac{d}{2}}{\frac{D}{2}-\frac{d}{2}}\times\frac{l_0}{2}$$

式中 l_0——轴箱拉杆外套的长度，cm。

已知轴箱拉杆外套长度l_0为11cm。

$$l=\frac{C-\frac{d}{2}}{\frac{D}{2}-\frac{d}{2}}\times\frac{l_0}{2}=\frac{4.4-\frac{6}{2}}{\frac{7.4}{2}-\frac{6}{2}}\times\frac{11}{2}=11\text{cm}$$

（7）轴箱拉杆橡胶件根据机车的振动频率而取定的橡胶泊松系数r为0.52，压入后橡胶体积必须填满杆与外套之间的空间体积。但是设计计算时，橡胶件的l值不要超过l_0值。如果超过l_0值（从结构上需要的话），此时轴箱拉杆外套长度应取为l_0的倍数。

（8）当橡胶材料选定之后，橡胶材料的剪切模数G值可通过试验计算出来。因此橡胶件压入后，在外套内壁上最大压力可按下式计算：

$$P=\frac{Gr_0}{2}\left\{B+\left(A\frac{l_0}{2}+\frac{D}{2}\times\frac{h}{h_0}-B\right)e^{\frac{Nl_0}{2}}\right\}$$

式中 $$r_0=\frac{\frac{l_0}{2}-l_{cp}}{2h},$$

$$l_{cp}=\frac{l}{2}=\frac{h_0(d+h_0)}{h(d+h)}\cdot\frac{l_0}{20},$$

$$B=\frac{\frac{d}{2}\cdot h(d+h)}{2\mu^2 l_0\left(\frac{d}{2}+h\right)^2},$$

μ——橡胶对金属的摩擦系数，有少量润滑油时为0.25；

$$N=\frac{2\mu\left(\frac{d}{2}+h\right)}{h(d+h)},$$

$$A=\frac{\frac{d}{2}}{\mu\left(\frac{d}{2}+h\right)\times\frac{l_0}{2}}。$$

计算：

$$l_{cp}=\frac{h_0(d+h_0)}{h(d+h)}\cdot\frac{l_0}{20}=\frac{1.4(6+1.4)}{0.7(6+0.7)}\times\frac{11}{20}=1.2$$

$$r_0 = \frac{\frac{l_0}{2} - l_{cp}}{2h} = \frac{\frac{11}{2} - 1.2}{2 \times 0.7} = 7.5$$

$$B = \frac{\frac{d}{2} \cdot h(d+h)}{2\mu^2 l_0 \left(\frac{d}{2} + h\right)^2} = \frac{\frac{6}{2} \times 0.7(6+0.7)}{2 \times 0.25^2 \times 11 \left(\frac{6}{2} + 0.7\right)^2} = 0.75$$

$$N = \frac{2\mu\left(\frac{d}{2} + h\right)}{h(d+h)} = \frac{2 \times 0.25\left(\frac{6}{2} + 0.7\right)}{0.7(6+0.7)} = 0.4$$

$$A = \frac{\frac{d}{2}}{\mu\left(\frac{d}{2} + h\right) \times \frac{l_0}{2}} = \frac{\frac{6}{2}}{0.25\left(\frac{6}{2} + 0.7\right) \times \frac{11}{2}} = 0.32$$

测定橡胶件的橡胶材料$G = 0.44\text{MPa}$。

$$P = \frac{Gr_0}{2}\left\{B + \left(A\frac{l_0}{2} + \frac{D}{2} \cdot \frac{h}{h_0} - B\right)e^{\frac{Nl_0}{2}}\right\}$$

$$= \frac{0.44 \times 7.5}{2}\left\{0.75 + \left(0.32 \times \frac{11}{2} + \frac{7.4}{2} \times \frac{0.7}{1.4} - 0.75\right)e^{\frac{0.4 \times 11}{2}}\right\}$$

$$= 4382\text{N}$$

（9）轴箱拉杆弹性体扭转时橡胶件在外套内开始滑动的最大允许角度

$$\eta = \frac{h(D+h)\mu}{6G\left(\frac{D}{2}\right)^2} \cdot \frac{P}{2}$$

由上述计算可得：

$$\eta = \frac{h(D+h)\mu}{2G\left(\frac{D}{2}\right)^2} \cdot \frac{P}{2}$$

$$= \frac{0.7(6+0.7) \times 0.25}{6 \times 0.44\left(\frac{6}{2}\right)^2} \times \frac{43.8}{2} = 1.0807 = 62^\circ$$

（10）压入后橡胶件在外套中的扭力矩

$$M = 24\pi\varphi G \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2\left(\frac{D}{2} + h\right)}{h} l_{cp}$$

已知设计值$\varphi = 11^\circ$。

$$M = 24\pi\varphi G \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2\left(\frac{D}{2} + h\right)}{h} l_{cp}$$

$$= 24\pi \times 11^\circ \times \frac{\pi}{180} \times 0.44 \times \frac{\left(\frac{6}{2}\right)^2\left(\frac{6}{2} + 0.7\right)}{0.7} \times 1.2 = 363.236\text{N} \cdot \text{cm}$$

（11）轴箱拉杆橡胶件在径向力P_1作用下，橡胶件的径向变形

$$f = P_1 \frac{3.37\left[\left(\frac{D}{2}+h\right)^2-\left(\frac{D}{2}\right)^2\right]+9.37\left[\left(\frac{D}{2}+h\right)^2+\left(\frac{D}{2}\right)^2\right]\ln\left(\frac{\frac{D}{2}+h}{h}\right)}{1000\pi^2 E_2 l_{cp}\left[\left(\frac{D}{2}\right)^2+\left(\frac{D}{2}+h\right)^2\right]}$$

式中 E_2——从P与E_2的曲线图可查出$E_2=270$。

已知轴箱拉杆弹性体在拉杆座上承受的机车牵引时的径向力为39200N。由此可求出：

$$f = P_1 \frac{3.37\left[\left(\frac{D}{2}+h\right)^2-\left(\frac{D}{2}\right)^2\right]+9.37\left[\left(\frac{D}{2}+h\right)^2+\left(\frac{D}{2}\right)^2\right]\ln\left(\frac{\frac{D}{2}+h}{h}\right)}{1000\pi^2 E_2 l_{cp}\left[\left(\frac{D}{2}\right)^2+\left(\frac{D}{2}+h\right)^2\right]}$$

$$= 39200 \times \frac{3.37\left[\left(\frac{6}{2}+0.7\right)^2-\left(\frac{6}{2}\right)^2\right]+9.37\left[\left(\frac{6}{2}+0.7\right)^2+\left(\frac{6}{2}\right)^2\right]\ln\left(\frac{\frac{6}{2}+0.7}{3}\right)}{1000\pi^2\times 270\times 1.2\left[\left(\frac{6}{2}\right)^2+\left(\frac{6}{2}+0.7\right)^2\right]}$$

$$= 0.07754\text{cm}$$

四、橡胶堆弹簧

（一）应用特性

首次用于机车车体悬挂上的橡胶弹簧元件是法国GEC-ALSTHOM公司设计的摆式中央支承橡胶锥体弹簧，这种弹簧不利于降低轮轨之间的侧压力，故而机车的发展未能继续广泛使用这种结构。1955年法国在BB66080型内燃机车上开始采用一种橡胶-金属三明治结构，就是我们通称的橡胶堆弹簧，又叫做橡胶钢板叠层弹簧。1966年以后，法国的BB66000系列电力机车全部采用橡胶堆弹簧，并且在BB67000、AIA-AIA68000和Z5300等系列电力机车上推广应用。同时在试验型TGV型燃汽轮动车组应用结果，进一步检验了橡胶车体支承弹簧的高速动力学性能，直到240km/h时性能优异。从此法国铁路所有电力机车、内燃机车以及机动车上均应用橡胶堆弹簧。如同摆式悬挂弹簧一样，橡胶堆弹簧能同时具有垂直载荷、车体与转向架之间的横向联结，限制车体侧滚的作用。橡胶堆弹簧不仅结构更为简单，重量轻，而且亦无需维修，无摩擦面。试验表明，橡胶堆弹簧可成功地实现车体-转向架的横向复原作用，有利于降低轮轨间的侧压力，具有优异的悬挂特性。

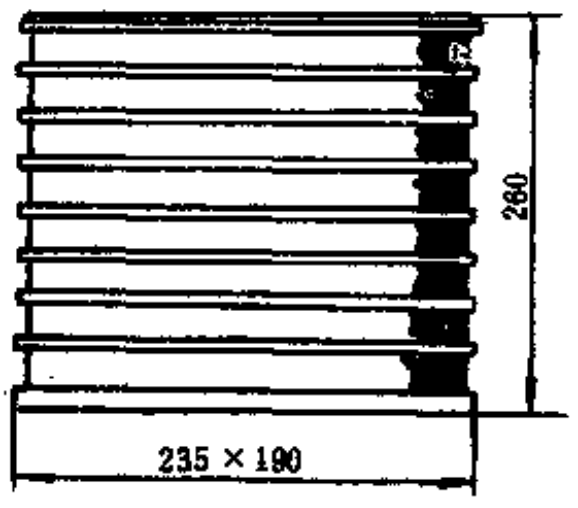


图 2-8-5 橡胶堆弹簧结构（单位：mm）

橡胶堆弹簧应用于机车悬挂，主要具有良好的横向特性，较大的垂直压缩特性和较小的横向剪切特性。垂直压缩特性可为横向剪切特性的几十倍，在承受压缩剪切情况下，其压缩刚度随着垂直动载挠度的增加而增大，而其横向的剪切刚度随着垂直挠度的增加而减小，具有负剪切刚度的特性。由于橡胶堆弹簧的横向挠度大，在转向架相对车体作横向运动时，使车体对转向架运动的约束力较小，有利于降低导向力。

我国的电力机车和内燃机车应用的橡胶堆弹簧结构如图2-8-5所示。

1．压缩特性

橡胶堆弹簧垂直压缩的应力-应变曲线如图2-8-6所示。从图中可以看出其压缩刚度可达9kN/mm。

2．剪切特性

橡胶堆弹簧在235mm边长方向的剪切变形如图2-8-7所示，在190mm 边长方向的剪切变形如图2-8-8所示。从图中可以得出其剪切刚度分别为178kN/m和90kN/m。

3．扭转特性

橡胶堆弹簧的扭转力矩如图2-8-9所示。从图中可以得到其扭转刚度为50N·m/1°。

4．不同压缩载荷下剪切特性

橡胶堆弹簧在不同压缩载荷下的剪切刚度变化如图2-8-10所示。从图中可看出其剪切刚度随着垂直压缩载荷的增加而减小。

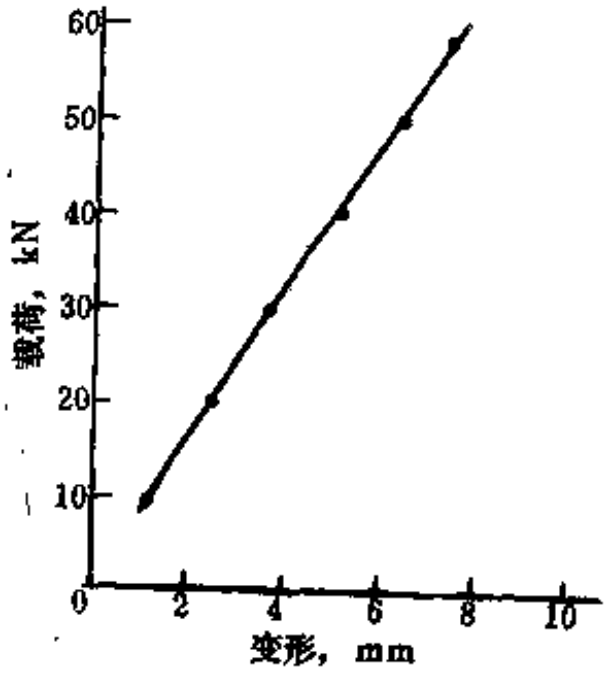


图 2-8-6 压缩应力-应变曲线

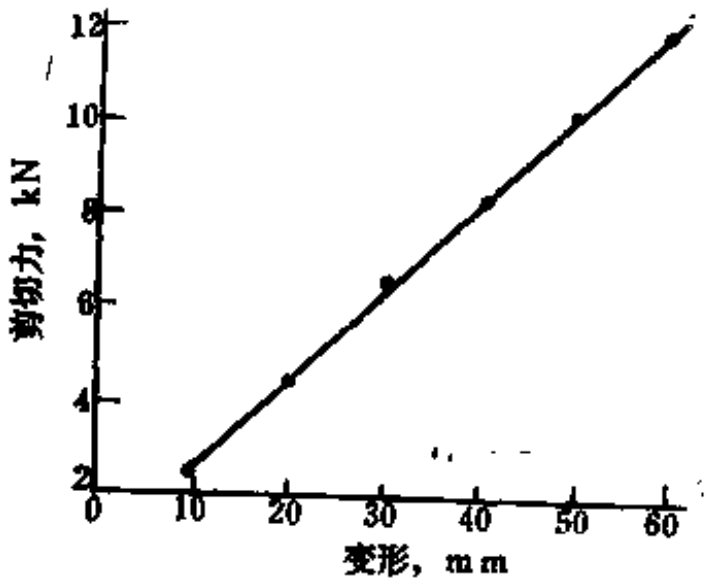


图 2-8-7 235mm边长剪切变形

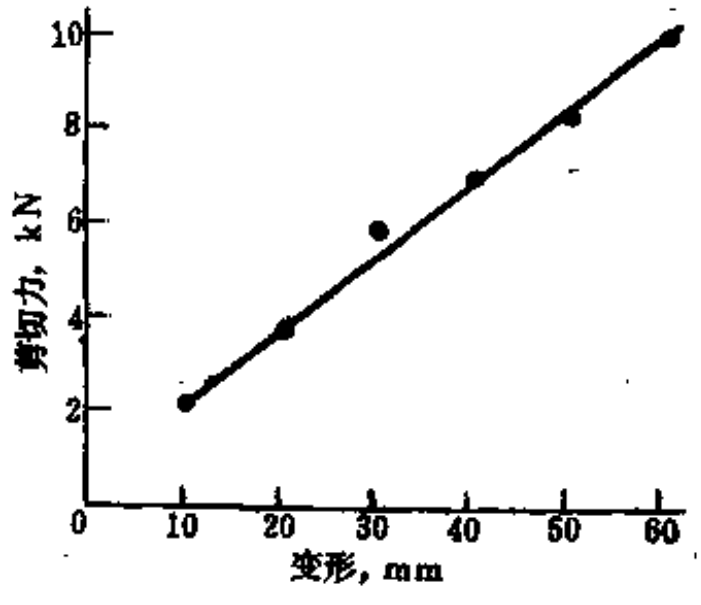


图 2-8-8 190mm边长剪切变形

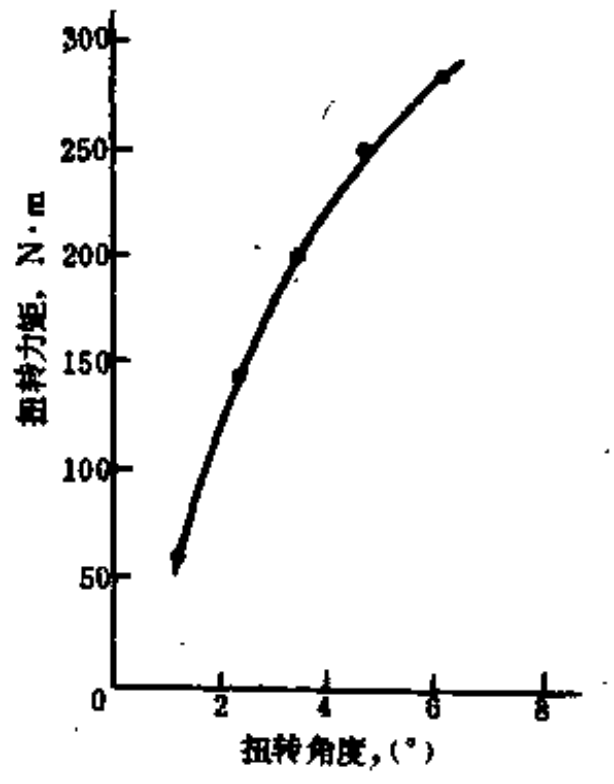


图 2-3-9 扭转力矩

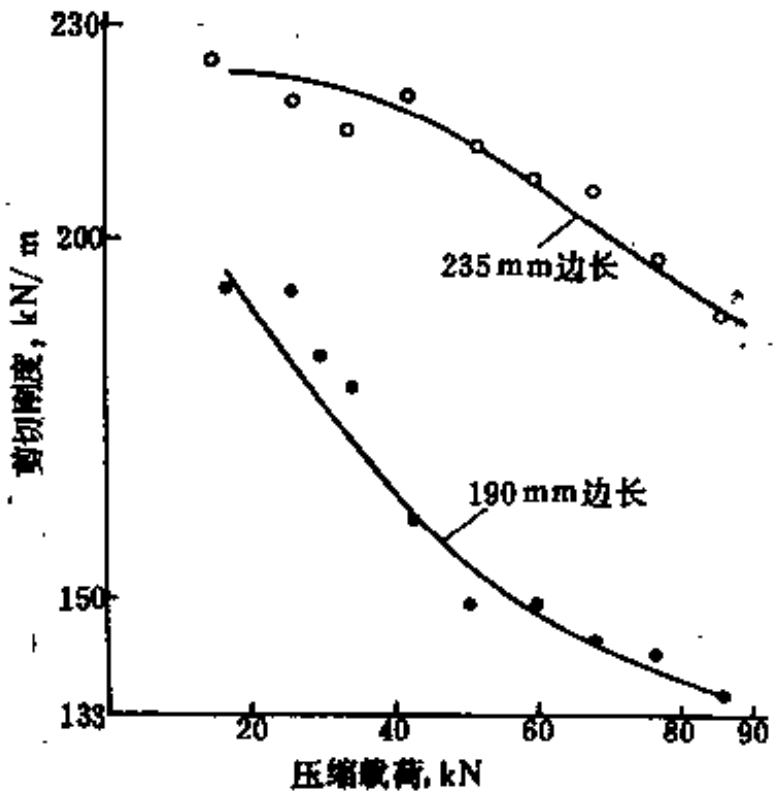


图 2-8-10　不同压缩载荷下剪切刚度

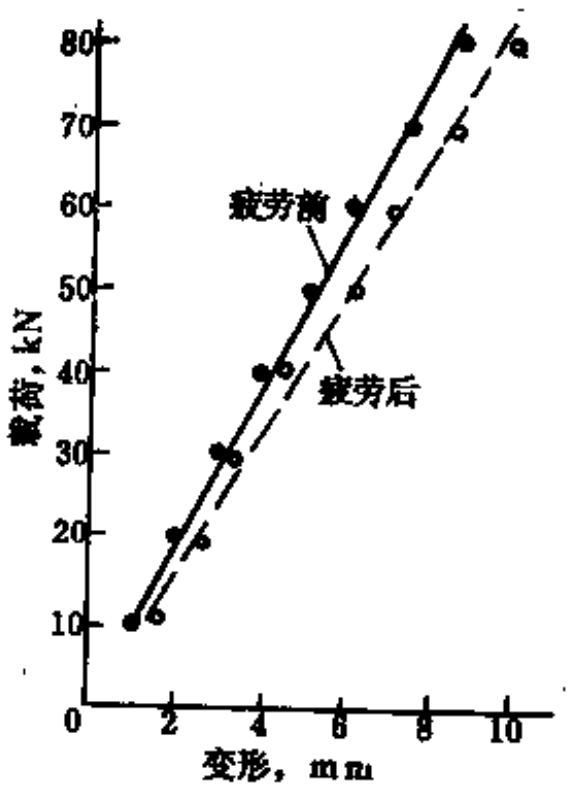


图 2-8-11　疲劳前后应力-应变曲线

5．粘结特性

橡胶堆弹簧的橡胶与金属之间的粘结扯离力试验值可达到60～140kN，比日本同类产品标准值40kN大很多，可见其粘结强度是可取的。

6．疲劳特性

橡胶堆弹簧的振动疲劳试验，在垂直方向加振动力为80kN，振动频率为350Hz，全振幅达4～5mm；在垂直载荷作用下，以剪切方向施加剪切力17kN，振动频率为250Hz，以剪切量50mm时进行全振幅为5～6mm。这样通过的垂直和剪切各2×10^6次振动疲劳试验可以表明，橡胶堆弹簧的下沉量只有1mm，橡胶表面温升为15℃，外形表面正常，无倾斜、无裂纹、无剥离、无弯曲等现象。由图2-8-11的橡胶堆弹簧疲劳前后的应力-应变曲线也可以看出，橡胶堆弹簧振动疲劳试验前后的应力-应变曲线离散性不大，说明橡胶物理机械性能经过振动疲劳试验后变化不大，橡胶材质遵合于橡胶堆弹簧结构要求。

7．动力学特性

橡胶堆弹簧低刚度材质在ND4型内燃机车上与法国的橡胶堆弹簧进行动力学性能对比试验表明，ND4内燃机车的车体悬挂方式，对现有橡胶堆弹簧结构能满足曲线运行的要求。若降低车体的悬挂刚度，使用国产橡胶堆弹簧压缩刚度为5.5MN/m，比法国橡胶堆弹簧的压缩刚度降低1.85倍，剪切刚度为96.0kN/m，比法国橡胶堆弹簧的剪切刚度降低将近1倍，将更有利于小半径曲线的运行。

橡胶堆弹簧高刚度材质在韶山3型电力机车上进行动力学性能试验结果如下。

（1）机车以70km/h速度通过曲线半径为300m轨道时，脱轨系数最大值为0.6，最大侧压力75kN。可见，试验值在允许范围内，运行是安全的。

（2）韶山3型电力机车在构造速度范围内的直线上运行，车体垂直振动总加速度最大值为0.369 g，并不超过极限值。低频加速度在$v=100$km/h时最大值不超过极限值。但高频加速度则过大。

（3）韶山3型电力机车在构造速度范围内的直线上运行，车体横向振动总加速度的最大平均值为0.132 g，不超过极限值。低频加速度最大值平均为0.096 g，高频加速度最大值

平均为0.122 g，都不超过允许极限值。说明水平横向振动性能良好，运行比较平稳。

（4）机车通过曲线时为减轻对线路的破坏作用，延长机车和线路的零部件寿命，应减少运行中的动载荷，特别是簧下质量的破坏作用。韶山 3 型电力机车的车轮垂直载荷，特别是通过曲线时的垂直载荷变化偏大。

（5）橡胶堆弹簧的垂向最大动挠度在300m曲线上不超过1.7mm，在直线上运行时不超过1.8mm；横向最大剪切变形在300m曲线上不超过47mm，在直线上运行时为 5.6～6.5 mm，此值在结构尺寸许可的范围内。

（二）橡胶堆弹簧计算

根据矩形减震橡胶的计算，橡胶堆弹簧的计算为：

压缩刚度 $$K_{\perp}=\frac{AL\mu E}{H}$$

式中 AL——压缩承载面积，cm^2；

E——橡胶材料弹性模数，MPa；

H——橡胶高度，cm；

μ——形状系数，$\mu=1.2(1+2.22S^2)$，$S=\frac{AL}{AF}$；

AF——自由表面积，cm^2。

剪切刚度 $$K_{//}=\frac{ALG}{\left[1+\frac{1}{3}\left(\frac{H}{A}\right)^2\right]H}$$

式中 A——矩形的长边，cm；

G——橡胶材料剪切模数，MPa。

已知橡胶堆弹簧结构尺寸：

$AL=22.5\times18=405cm^2$，$AF=2(22.5+18)\times2.7=218.7cm^2$，

$S=\frac{AL}{AF}=\frac{405}{218.7}=1.85$，$\mu=1.2(1+2.22S^2)=1.2(1+2.22\times1.85^2)=10.3$，

$H=24.4cm$，$A=22.5cm$。

如果低刚度橡胶堆弹簧材质其$E_1=2.7MPa$，$G_1=0.9MPa$。

则 $$K_{\perp}=\frac{AL\mu E}{H}=\frac{405\times10.3\times2.7}{24.4}=461.6N/m$$

$$K_{//}=\frac{ALG}{\left[1+\frac{1}{3}\left(\frac{H}{A}\right)^2\right]H}=\frac{405\times0.9}{\left[1+\frac{1}{3}\left(\frac{24.4}{22.5}\right)^2\right]24.4}=10.73N/m$$

如果高刚度橡胶堆弹簧材质其$E_2=5MPa$，$G_2=1.7MPa$。

则 $$K_{\perp}=\frac{AL\mu E}{H}=\frac{405\times10.3\times5}{24.4}=854.8\ N/m$$

$$K_{//}=\frac{ALG}{\left[1+\frac{1}{3}\left(\frac{H}{A}\right)^2\right]H}=\frac{405\times1.7}{\left[1+\frac{1}{3}\left(\frac{24.4}{22.5}\right)^2\right]24.4}=20.27\ N/m$$

五、弹性齿轮橡胶元件

（一）应用特性

牵引齿轮是电力机车和内燃机车的主要部件之一，其工作条件复杂又苛刻，结构尺寸又受到安装空间位置的限制，齿轮的润滑和散热条件比较差，齿轮速度的变化也很大，传递的扭矩以及承受的载荷都很高。其次，由于齿轮存在着制造上的误差而引起啮合时有内部的动载荷。机车在线路上运行时，通过钢轨接缝、道岔和线路不平顺产生的机车振动带来附加冲击，也将直接传给轮齿上，这样将直接和间接地影响着牵引齿轮的可靠性和寿命，对机车的正常运行影响很大，对铁路客货运输量的不断增长和运行速度的提高有很大关系。

通常牵引电动机采用抱轴式半悬挂结构，存在一些不利的工作状况。首先，电动机的抱轴承存在间隙，传递动力时将使电动机倾斜。其次，电枢轴（即主动齿轮轴）由于齿轮啮合时的反作用力以及电枢的重量而产生弯曲。此外，车轴轴颈处承受着机车的重量，使车轴弯曲。这些将引起牵引齿轮互相啮合的不正常和齿轮上载荷分布不均匀，而主从动齿轮在电动机的一侧产生一端接触，齿根弯曲应力增加1.5～2倍，齿面产生局部过大的接触应力（约增加30～40%）。从齿轮的承载能力说，齿宽上的啮合不均匀性和较大动载荷是造成牵引齿轮损坏的因素之一。为减少过早损坏齿轮，提高牵引齿轮的使用寿命，如今采用通用的弹性齿轮元件。

首次采用弹性齿轮的弹性元件是钢弹簧，如法国进口的$6Y_2$电力机车上使用的齿 轮是用钢簧装配的弹性件。后来，英国、前苏联、法国和日本相继发展采用橡胶材料作为弹性齿轮的弹性元件，用橡胶具有弹力特性逐步取代钢簧作用。我国韶山 2 型电力机车的齿轮便是采用橡胶元件的弹性齿轮。而且弹性齿轮的弹性元件的形式和结构都是多种多样的，不过其结构形式均是以圆筒形橡胶衬套为主。

英国内燃机电力机车使用的牵引齿轮为弹性直接的直齿轮，单面传动。其弹性连接的大齿轮有两种基本形式，如图2-8-12所示。

图2-8-12中连接弹性元件是用两个或一个圆筒形橡胶衬套。这种弹性元件无摩擦面，使大小齿轮的磨耗均匀，运转声音小，橡胶可防止共振产生，对小齿轮的使用寿命更为有益，成本比钢簧低。橡胶弹性齿轮经过 9 年时间使用，齿面仅有0.762mm磨耗，橡胶元件的使用寿命可达120万km，结果令人满意。

前苏联在弹性齿轮中首先使用橡胶元件有，在2ТЭ10Б和2ТЭ116干线内燃机车动轴上装有自动调节弹性齿轮的牵引传动装置。全苏铁路运输科学研究院改进的自动调节弹性齿轮装有长寿命的棱形弹性齿轮，又装在2ТЭ10内燃机车上。而弹性元件采用橡胶和金属套 筒压装在芯轴上组成一个整体形式，亦装在首批的内燃机车自动调节的弹性齿轮上。齿圈要得到必要的非线性剪切刚度特性，在齿轮上应采用两种形式的元件，即有 8 个弹性的和 8 个刚性的橡胶金属组件，如图2-8-13所示。

图2-8-13中刚性元件寿命仅有40万km，而弹性元件刚度下降 1 倍多，以及工艺上关系，其使用质量受到影响。为此全苏铁路运输科学研究院又提出一种新式弹性元件——棱柱状橡胶金属元件，它不同于结构简单的套筒式组件，具有良好的稳定性和较长的寿命，如图2-8-13中（3）所示，它由两块金属体和一个装于其间的橡胶件组成。金属体是半圆柱状，其直径与齿轮上安装金属组件的孔径相等。半圆柱形的内部有一定深度的长孔，以便把橡胶件安装在支承面上。橡胶件的各个侧面为中凹的棱柱形。利用金属体内的长孔壁围成的属于

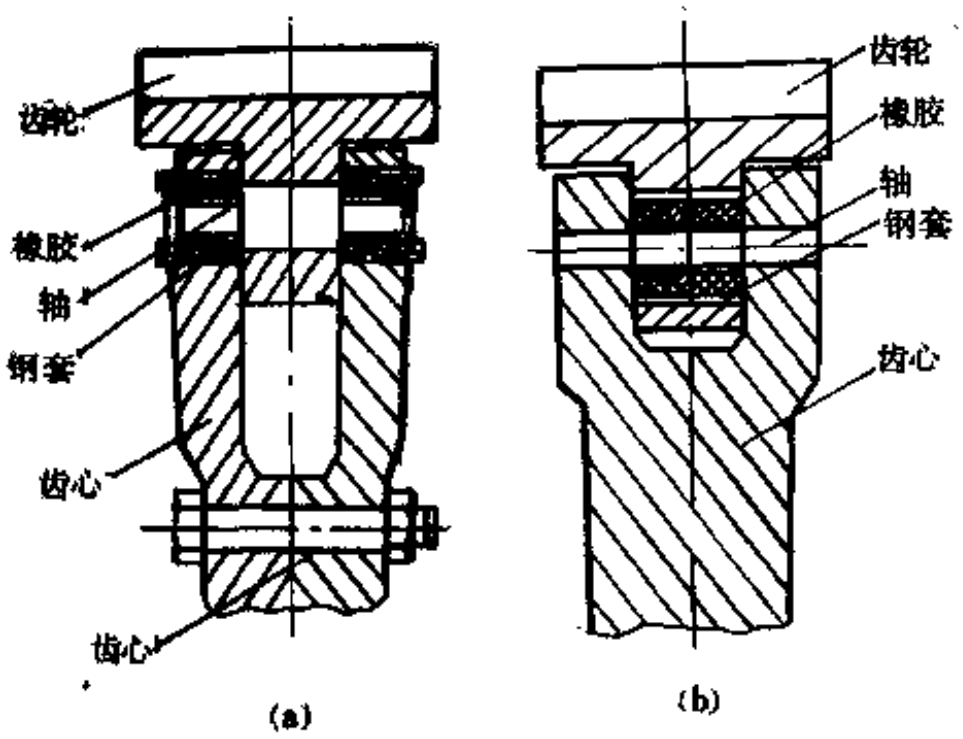


图 2-8-12　两种基本形式弹性齿轮

(a) Wielman工厂橡胶弹性元件；(b) AEI电力机车橡胶弹性齿轮

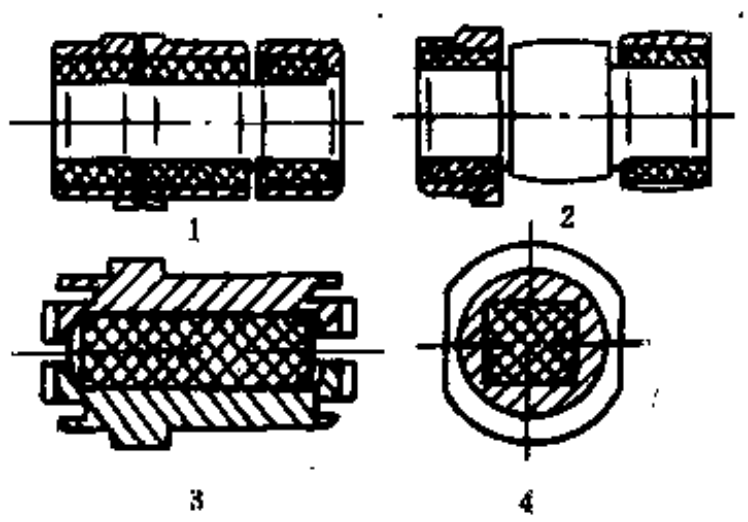


图 2-8-13　橡胶金属组件

1—8个弹性元件；2—8个刚性元件；3—棱柱状弹性元件；4—极限压缩状态下棱柱状态元件的横断面

支承面的凸肩，使橡胶件固定在金属体内，同时亦能防止橡胶与金属接触处的横向位移。棱柱状固定方法完全消除了橡胶相对于金属表面间摩擦，使弹性元件更加可靠耐用，它是以金属体内的长孔所构成空间内压缩橡胶件而工作的。在整体上橡胶件达到一定压缩变形，各个侧表面呈平面状，实际上此时橡胶件尚未被压缩，相反却自然地填满于长孔的空间，造成橡胶在各个侧面的形状再无改变的可能，橡胶件成为有弹性又能承受较大的载荷，使元件刚度增加。

棱柱形橡胶金属元件在机车高速运行时，对牵引传动中的动载荷表现出有足够刚度弹性。在机车起动或加速时，橡胶元件又成为刚性元件。所以装有16个这样相同元件的弹性体，不仅结构尺寸得到最大限度的利用，而且保持理想的刚度特性不变，橡胶件应力显著降低，能可靠地运行120万km。

日本从50年代初开始研制减震橡胶的弹性齿轮。50年代末在EF58机车上首先采用减震橡胶作牵引齿轮元件，把原有螺旋弹簧式弹性齿轮改成橡胶套筒式弹性齿轮，其结构特点在轮缘和轮心之间，沿半径660mm圆周上等距离排列13个圆柱形套筒式橡胶滚子为弹性元件。试验表明，在防止偏载方面橡胶套筒式优于螺旋式，两者都具有缓冲作用，通过几年检验，橡胶套筒式寿命长，耐油性和耐老化性等都较好。所以1961年设计的EF70机车正式应用减震橡胶弹性牵引从动齿轮，其结构与EF58机车相似。62年到68年设计的ED75、EF65、EF71、ED93和ED94等机车都采用橡胶套筒式弹性齿轮，如图2-8-14所示。

橡胶套筒式弹性齿轮的主要特征是，在齿轮半径为620mm圆周上等距离排列着16个减震橡胶套筒滚子，轮心外侧挡板以5个ϕ40定位销定位，并且用10个28.6mm特殊螺钉固定在轮心上。套筒橡胶滚子用硫化方法把金属套筒与芯轴粘结在一起。每个套筒橡胶滚子的橡胶衬套，在180°对称部位开设两个对称轴向通孔以减小刚度。安装时开孔部位应装在齿轮圆周方向，而且用固定螺钉定位，以保证齿轮周向比径向有更好的柔性。这种套筒式橡胶的弹性齿轮，是性能较好的弹性牵引齿轮，在日本机车上广为应用。但是，圆柱形套筒式橡胶滚子的弹性齿轮元件，对橡胶衬套应该施以压缩量为橡胶厚度的12%预压缩，以提高橡胶元件刚

度。如x-x′方向为2.2±0.22mm，y-y′方向为1.3±0.20mm。

我国自行设计韶2型电力机车牵引齿轮开始采用橡胶元件装配弹性齿轮，1969年装车运行，1972年架修检查橡胶元件正常，1976年又架修检查橡胶元件无损坏，其自由高下沉1 mm，使用正常，继续装车运行检验。橡胶元件结构如图2-8-15所示。

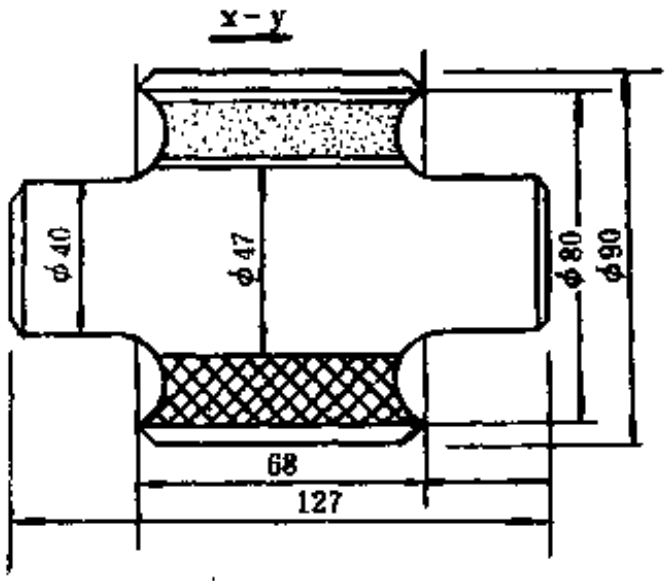


图 2-8-14 套筒式橡胶滚子结构

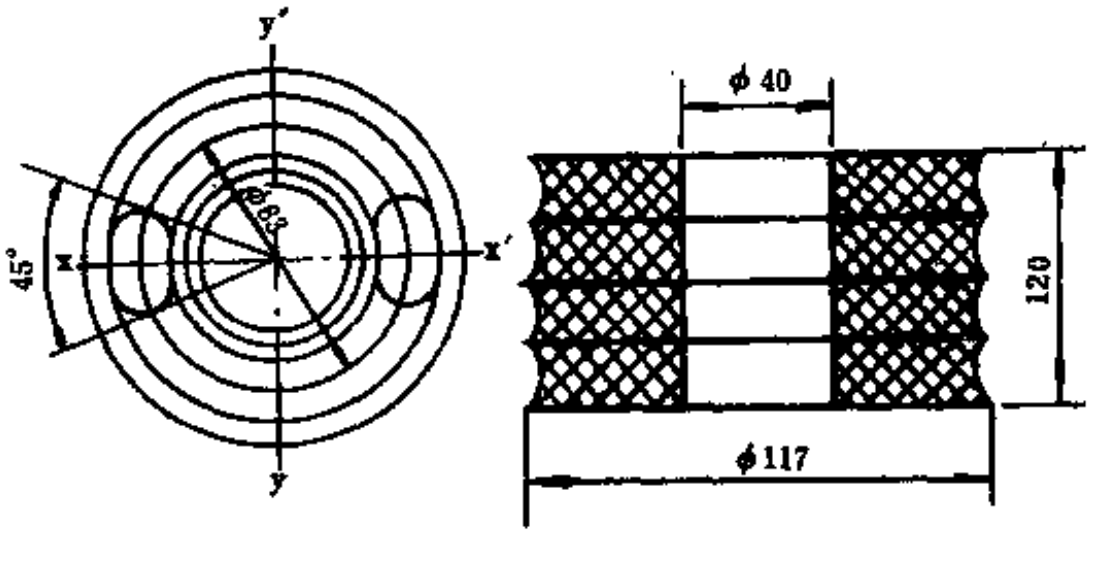


图 2-8-15 橡胶元件结构

图2-8-15为韶2型电力机车弹性齿轮的橡胶元件，外形尺寸为φ117×φ40×120，上下端面铁板厚度为5.5mm，中间层铁板厚度为3mm。其橡胶材料的橡胶物理机械性能：拉伸强度为13MPa，扯断伸长率为250%，拉断永久变形为2%，撕裂强度为32kN/m，硬度（邵尔A）为80。弹性齿轮橡胶元件的径向压缩刚度为1.8 MN/m（1.5 kN），1.96 MN/m（20kN），2.1MN/m（30kN）。

1983年研制了图2-8-13中（1）（2）两种山字形式弹性齿轮橡胶元件以及图2-8-14套筒式橡胶元件。山字形式橡胶元件的径向压缩刚度为5 MN/m；套筒式橡胶元件的径向压缩刚度：在y-y′方向为43MN/m，在x-x′方向为2.4 MN/m。山字形式和套筒式橡胶元件分别装于整体弹性齿轮中试验，结果如下。

（1）试验弹性齿轮在机车起动和小时工况（机车在运行中发挥出来的最大功率）下，其齿根的最大应力和平均应力都比刚性齿轮要小，减小的幅度分别为10～30%和2～15%。

（2）橡胶元件的弹性齿轮都具有程度不同的齿向载荷自调整作用。自调作用的程度与橡胶元件刚度和橡胶元件有效长度有关，刚度小和有效长度大者的自调性能好。减震效果以山字形式的橡胶元件为佳。试验拉伸测出两端齿根应力之比值均不超过2。因此载荷有均匀分布于轮齿全长的效果。

（3）由于齿根应力值的降低和齿根应力沿齿长的均匀分布性，将有利于改善轮齿的磨耗和提高齿轮的使用寿命。

（二）橡胶元件计算

1．图2-8-15所示橡胶元件的计算

中心有孔的减震橡胶件的压缩刚度

$$K_{\perp}=\frac{AL\mu E}{H}$$

式中 AL——压缩承载面积，cm^2；

E——橡胶材料弹性模数，MPa；

H——橡胶高度，cm；

μ——形状系数，$\mu = 3.6(1 + 1.65\,S^2)$，$S = \dfrac{AL}{AF}$；

AF——自由表面积，cm^2。

其剪切刚度

$$K_{//} = \frac{ALG}{\left[1 + \frac{4}{9}\left(\frac{H}{2r_2}\right)^2\right]H}$$

式中 r_2——中心孔半径，cm；

G——橡胶材料剪切模数，MPa。

已知橡胶元件结构尺寸：$r_1 = 2cm$，$r_2 = 5.85cm$，$H_1 = 2.5cm$，$H = 10.9cm$。

弹性齿轮橡胶元件的橡胶材质：$E = 5.5MPa$，$G = 1.8MPa$。

$$AL = \pi(5.85^2 - 2^2) = 95cm^2,\quad AF = 2\pi \times 5.85 \times 2.5 = 91.9cm^2$$

$$S = \frac{AL}{AF} = \frac{95}{91.9} = 1.04$$

$$\mu = 1.2(1 + 1.65S^2) = 1.2(1 + 1.65 \times 1.04^2) = 3.34$$

则

$$K_{\perp} = \frac{AL\mu E}{H} = \frac{95 \times 3.34 \times 5.5}{10.9} = 160.1N/m$$

$$K_{//} = \frac{ALG}{\left[1 + \frac{4}{9}\left(\frac{H}{2r_2}\right)^2\right]H} = \frac{95 \times 1.8}{\left[1 + \frac{4}{9}\left(\frac{10.9}{2 \times 5.85}\right)^2\right]10.9} = 11.32N/m$$

2．图2-8-13中（1）山字形橡胶元件的计算

当橡胶材料选定之后，便可知橡胶的剪切模数G值，橡胶元件压装后外套壁上的最大压力可按下式求出：

$$P = \frac{Gr_0}{2}\left[B + \left(A\frac{l_0}{2} + \frac{D}{2}\ \frac{h}{h_0} - B\right)e^{\frac{Nl_0}{2}}\right]$$

式中 $r_0 = \dfrac{\frac{l_0}{2} - l_{cp}}{2h}$，$l_{cp} = \dfrac{h_0(d + h_0)}{h(d + h)}\ \dfrac{l_0}{20}$；

$$B = \frac{\frac{d}{2}h(d + h)}{2\mu l_0\left(\frac{d}{2} + h\right)^2};$$

$$A = \frac{d/2}{\mu\left(\frac{d}{2} + h\right)l_0/2};$$

$$N = \frac{2\mu\left(\frac{d}{2} + h\right)}{h(d + h)};$$

d——内套的外径，cm；

h——压入后橡胶厚度，cm；

h_0——压入前橡胶厚度，cm；

l_0——外套的长度，cm；

μ——橡胶对金属的摩擦系数，有少量润滑油时$\mu=0.25$；

D——套筒的内径，cm。

已知橡胶元件结构尺寸：$h_0=3.3$cm，$h=1.5$cm，$d=6.5$cm，$l_0=12$cm，$G=0.75$MPa，$D=9.5$cm。

$$l_{cp}=\frac{h_0(d+h_0)}{h(d+h)}\cdot\frac{l_0}{20}=\frac{3.3(6.5+3.3)}{1.5(6.5+1.5)}\cdot\frac{12}{20}\approx 1.6$$

$$r_0=\frac{\frac{l_0}{2}-l_{cp}}{2h}=\frac{\frac{12}{2}-1.6}{2\times 1.5}\approx 1.5$$

$$B=\frac{\frac{d}{2}h(d+h)}{2\mu^2 l_0\left(\frac{d}{2}+h\right)^2}=\frac{\frac{6.5}{2}\times 1.5(6.5+1.5)}{2\times 0.25^2\times 12\left(\frac{6.5}{2}+1.5\right)^2}\approx 1.2$$

$$N=\frac{2\mu\left(\frac{d}{2}+h\right)}{h(d+h)}=\frac{2\times 0.25\left(\frac{6.5}{2}+1.5\right)}{1.5(6.5+1.5)}\approx 0.2$$

$$1=\frac{d/2}{\mu\left(\frac{d}{2}+h\right)l_0/2}=\frac{6.5/2}{0.25\left(\frac{6.5}{2}+1.5\right)12/2}\approx 0.5$$

则

$$P=\frac{Gr_0}{2}\left[B\left(A\frac{l_0}{2}+\frac{D}{2}\cdot\frac{h}{h_0}-B\right)e^{\frac{Nl_0}{2}}\right]$$

$$=\frac{0.75\times 1.5}{2}\left[1.2+\left(0.5\times\frac{12}{2}+\frac{9.5}{2}\times\frac{1.5}{3.3}-1.2\right)e^{\frac{0.2\times 12}{2}}\right]=792.9\text{N}$$

橡胶元件压装后，在径向力P_1作用下，橡胶在径向变形为：

$$f=P_1\frac{3.37\left[\left(\frac{D}{2}+h\right)^2-\left(\frac{D}{2}\right)^2\right]+9.37\left[\left(\frac{D}{2}+h\right)^2+\left(\frac{D}{2}\right)^2\right]\ln\left(\frac{\frac{D}{2}+h}{\frac{D}{2}}\right)}{600\pi^2E_2l_{cp}\left[\left(\frac{D}{2}\right)^2+\left(\frac{D}{2}+h\right)^2\right]}$$

式中 E_2——根据P与E_2的曲线图，可查出$E_2=60$。

橡胶元件径向力$P_1=11760$N。

$$f=11760\frac{3.37\left[\left(\frac{6.5}{2}+1.5\right)^2-\left(\frac{6.5}{2}\right)^2\right]+9.37\left[\left(\frac{6.5}{2}+1.5\right)^2+\left(\frac{6.5}{2}\right)^2\right]\ln\frac{\frac{6.5}{2}+1.5}{\frac{6.5}{2}}}{600\pi^2 60\times 1.6\left[\left(\frac{6.5}{2}\right)^2+\left(\frac{6.5}{2}+1.5\right)^2\right]}$$

$=0.192$cm

六、传动装置的弓形橡胶块和球铰

由于橡胶具有弹力特性，可以自由地在三个方向选择弹性变形，这正适用于机车全悬挂的需要，作为电机传动装置的弹性元件。这种弹性元件在传动装置中运用，通常有下列两种方式。

第一种方式，作为连接空心轴与动轮的连杆或传动盘的弹性元件。例如法国 Slethom 式游动盘和德国 Henclel 式传动中采用连杆衬套，法国 Sfal 式万向空心轴传动装置的传动盘衬套。

第二种方式，作为空心轴与动轮之间直接传递转矩的弹性元件。例如意大利E656型B_0B_0机车连接的空心轴与动轮之间的橡胶圆盘和德国SSW式机车传动采用的扇形橡胶块（弓形橡胶块）。

第一种方式的连接或传动盘弹性元件，是将橡胶环压装在内外金属套筒之间，叫做橡胶金属活节，然后压入轴销孔内，构成弹性轴销零件，而且与有关传动部件（连杆、游动盘或传动盘）轴销孔紧配合。为得到更大的活节弹性，可把这种活节的内外接触面设计成球面（称为球铰）。球铰的橡胶衬套通过硫化工艺粘结于内外金属球面之间，外金属体分为三个等分，以便组装时用轴孔紧缩橡胶衬套。这种橡胶衬套弹性元件可以沿活节表面扭转变形和轴向剪切变形，为各向变形提供需要的变形弹性。

第二种方式是直接传递扭矩的弹性元件，采用更大弹性的弓形橡胶块。弓形橡胶块和橡胶圆盘传递牵引电动机的扭矩，能牵引电动机起动时电枢相对于车轴具有更大的旋转弹性，可以防止换向器承受过大的起动电流。弓形橡胶块结构如图2-8-16所示。

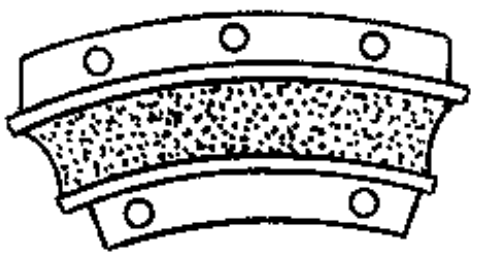


图 2-8-16　弓形橡胶块结构

弓形橡胶块是用硫化方法把内外弓形金属件和橡胶粘结为一体，橡胶在传递扭矩时承受剪切力。运用过程中橡胶不处于拉伸状态，组装时应在径向对橡胶施加预压力。弓形橡胶块承受剪切应力和扭矩的大小，与机车运行速度有关，一般为50～300kPa剪切应力，最大不超过此值（E40机车上弓形橡胶块使用时要求值）。

德国 SSW 式传动弓形橡胶块技术数据：拉伸强度为 18～22MPa，扯断伸长率为 550～650%，在压缩应力1.96MPa作用下承受60s后变形值为41%，剪切应力为0.685～1.37MPa，硬度（邵尔）为40～60。

弓形橡胶块传动时在各向都具有弹性，可以保护牵引电动机受横向冲击，传递扭矩有较大旋转弹性对起动特别有利，粘着值超过也不出现空转，尤其打滑时旋转弹性耗尽之后也能迅速恢复到静止时的状态，以及制动时轴箱弹簧装置部分被截住也能使电动机正常工作。当两倍电网频率的脉动转矩引起振动，在通过弓形橡胶块后剪切弹性得到衰减，因此机车运行如同直流机车那样平稳。弓形橡胶块在机车重载起动牵引电机换向器时对无启动轮对可转动某一角度，从而降低换向片在短时间内承受过大起动电流，亦大大地避免起动对牵引电机换向器的危害。弓形橡胶块传动牵引电机各侧弹性大，为 10～30mm，对机车在线路上产生相应的保护作用，尤其大大地减少起动轮缘对钢轨的横向峰值压力，提高轮周牵引力和改善导向运行性能，降低因钢轨冲击所产生的垂直加速度$\left(\text{为抱轴式悬挂的}\frac{1}{5}\right)$。所以弓形橡胶块传动支承在车轴上结构简单，机车负荷轻，对运行有很大意义。

1979年我国试制了作为空心轴与动轮之间传递转矩的弹性元件——弓形橡胶块，以及作为空心轴与动轮的连杆或传动盘弹性元件——橡胶环压装在内外金属套之间的橡胶金属活节。这两种弹性元件装在全悬挂传动试验台上进行运转试验。

试制的弓形橡胶块静特性测定：压缩载荷为16kN时压缩量为2.9mm；压缩载荷为25kN时压缩量为5.2mm；压缩载荷为36kN时压缩量为7.1mm。压缩量 5mm，剪切力为20kN时，其剪切量为16.6mm。试验如图2-8-17应力-应变曲线和图2-8-18剪切变形曲线。

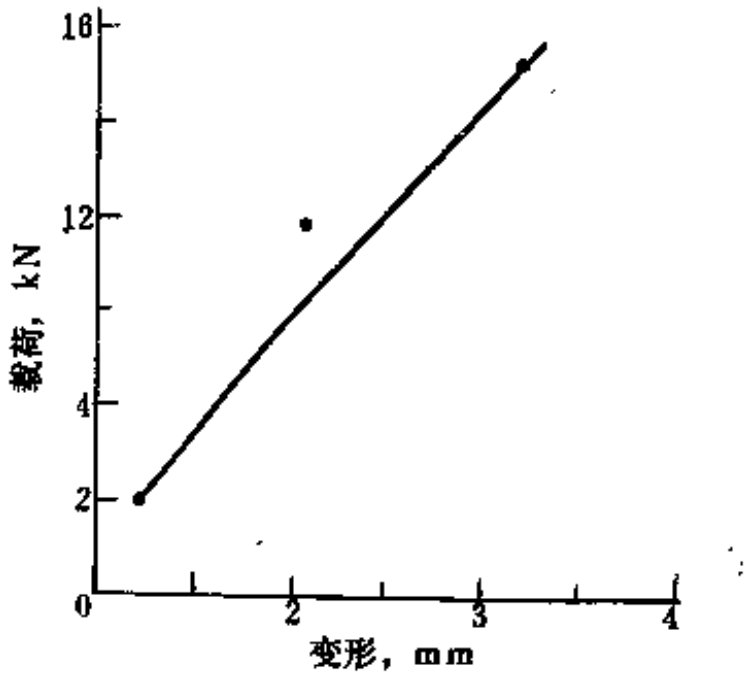


图 2-8-17 应力-应变曲线

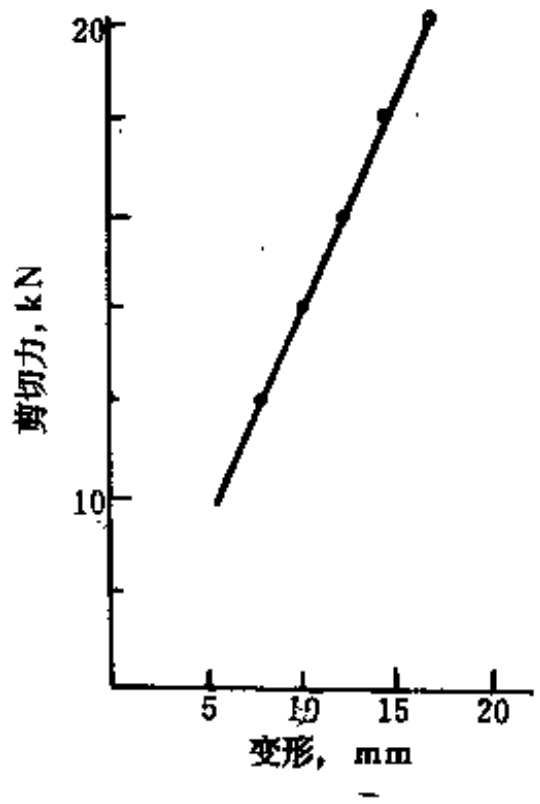


图 2-8-18 剪切变形曲线

试制的橡胶金属活节——球铰静特性测定于下表：

径向载荷，kN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
径向变形，mm	1.7	2	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	3.9	4.1	4.3

全悬挂传动试验台，800kW电机转矩由安装在电机转轴的M12圆柱小齿轮传给空心轴套上大齿轮（通过滚动轴承），通过大齿轮心的连杆臂和六根带橡胶球铰的连杆驱动于轮轴的空心轴，以及空心轴和动轮之间通过 6 个弓形橡胶块将转矩传给轮对，以适应动态下的旋转特性。全悬挂传动试验台测出牵引电机最大起动转矩为14.9kN·m，齿轮传动比为2.294，传动装置承受最大扭矩为34kN·m，相当于机车牵引力为 56kN，相当于机车速度为 178km/h。在全悬挂传动试验台测定条件下，弓形橡胶块在全悬挂传动装置中运转，当以最大扭矩为35kN·m起动时，其最大剪切位移量为21.6mm。

弓形橡胶块计算：根据矩形减震橡胶计算其压缩刚度

$$K_{\perp} = \frac{AL\mu E}{H}$$

式中 AL——承载面积，cm；

E——橡胶材料弹性系数，MPa；

H——橡胶块高度，cm；

$\mu \approx 1.2(1+2.22S^2)$，$S = \frac{AL}{AF}$

AF——自由表面积，cm。

剪切刚度 $$K_{//}=\frac{AG}{\left[1+\frac{1}{3}\left(\frac{H}{A}\right)^2\right]H}$$

式中 G——橡胶材料剪切模数，MPa；

A——橡胶块长度，cm。

从弓形橡胶块结构可知：承载面的上表面积为323cm²，承载面下表面积为318.25cm²，平均值为320.6cm²。前后自由表面积为554cm²，左右两端自由表面积为131.9cm²，自由表面积总值为686cm²。橡胶块高度为8.5cm，橡胶块长度为38cm。

从弓形橡胶块材料可知：$E=5.2\text{MPa}$，$G=1.74\text{MPa}$。

$$S=\frac{AL}{AF}=\frac{320.6}{686}=0.47$$

$$\mu=1.2(1+2.22S^2)=1.2(1+2.22\times0.47^2)=1.8$$

$$K_{\perp}=\frac{AL\mu E}{H}=\frac{320.6\times1.8\times5.2}{8.5}=3.53\text{MN/m}$$

$$K_{//}=\frac{ALG}{\left[1+\frac{1}{3}\left(\frac{H}{A}\right)^2\right]H}=\frac{320.6\times1.74}{\left[1+\frac{1}{3}\times\left(\frac{8.5}{38}\right)^2\right]\times8.5}=646\text{kN/m}$$

七、生产工艺

现代橡胶工业生产工艺是采用模压法和压注法两种。国外橡胶工业生产大多数采用压注法，我国橡胶工业制品尚很少用压注法生产，均采用模压法。电力机车橡胶减震器是用压注法和特殊工艺生产。在此对压注法和压装法加于说明。

橡胶制品，尤其是橡胶金属制品用压注法生产，如机械加工过程那样，可以做到：

① 可生产各种复杂而模压法不能或不易生产的制品；

② 生产具有更好的物理机械性能和使用性能的橡胶金属制品；

③ 减少废边和节省一些辅助材料，如垫布、滑石粉、汽油和胶浆，从而也减少劳动消耗，降低成本；

④ 成品率比模压法高，不易产生次品或废品，提高生产效率；

⑤ 显著地减少硫化时间，从而缩短生产周期。

橡胶压注法，实质上是橡胶弹性材料受压缩时应力达到一定临界值，可以说应力不变，而橡胶材料在此恒压下继续变形。这种变形与粘性液体的流动过程相似。橡胶本身就是一种粘性材料，在小压力下便呈现流动状态。但是，具有可塑性最大的胶料流动时，也需要施加一定相应压力，以克服分子间摩擦力以及注压流动产生的摩擦力。所以橡胶压注定义是假设概念，是用以表示橡胶在压力作用下的压出过程。

橡胶压注法工艺是胶料直接装入金属压注筒内，在压杆或螺杆压力作用下，胶料经过一个或多个孔（浇口）被压入压注室下面的模型中。模型空腔设计成阴模形式，制品便在压注胶模型中进行硫化。胶料在压注过程中由于通过浇口产生摩擦而生热，可以大大地缩短硫化时间。胶料压注的单位压力、温度和可塑性，对压注室压出速度和压注制品质量都有很大影响。

压注法生产橡胶制品的设备，可以制成适用于胶料装模的设备形式，也可以制成本身具

有压注室、压杆和闭锁装置的专用模型形式。机车橡胶减震器采用后一种形式。

压注橡胶制品生产对模型设计要求不同于模压法，虽然模型设计过程都具有各自不同的特点，但是，其中亦有某些共同之点，可归纳为下列几点。

① 在压注过程中模型内产生很大压力，其值可等于压注室内的单位压力49～78.4MPa。这个压力在设计模型时要加以注意。设计模型要求结构简单而容易拆装，以及在生产中使用简单工具。

② 正确地从模型内排出空气是设计压注模型很重要的问题。因为模型内腔深处在压注胶料中总是最后被填充，这样内腔深处没有排气孔，会使制品产生气泡，以致产生缺胶使产品成为废品。所以在可能积聚空气的模腔深处要有排气槽。

③ 设计模型时，应该注意浇口的型式及其位置，使胶料填满模型。浇口应有光滑表面和4～6°圆锥度，并朝向模腔部位。

④ 模腔必须考虑胶料的收缩率，它比模压法要大，一般可取3～4%左右。橡胶在不带配件的收缩方向指向制品中心，带配件制品内，胶料收缩趋向于配件。由此制品尺寸可根据压注形式的不同而减少或增大。

⑤ 模型材料通常采用工具钢，视制品的具体要求而选用不同的钢材，试验制品可用低碳钢，大批量制品使用优质结构钢和热处理，设计复杂模型时采用合金钢为宜。模腔表面应磨光、抛光和镀铬处理，以便延长模型使用寿命和易从模腔内取出制品，此外尚可改善橡胶制品外观。

橡胶压注模型遵循一些基本原则，但要为模型设计和制造列出通用准则还是不易办到。因此对一个新模型，必须在已掌握的经验基础上，给予新的设计。或者是，虽然具有一切必要知识，设计每一种模型，总要应用各种专门的补充措施，才能使模型更为完善。

橡胶金属关节是一种连接两个彼此能作多向运动的零件联接件，在各种机械中经常可见到，应用十分广泛。过去，关节的各零件都用金属材料制成，随着橡胶在机械工程中应用范围的扩大，出现了橡胶与金属制成的关节，叫做橡胶金属关节。橡胶金属关节多数制成圆筒形，应用很广。如汽车后桥、飞机和汽车马达的弹簧吊架、杠杆离合器、万向节离合器、各种振动筛部件、坦克履带接头、拖拉机悬挂，又如电力和内燃机车等的轴箱拉杆、复原装置接头、传动装置连杆及弹性齿轮的橡胶元件等。

圆筒形橡胶金属关节由内外金属套筒及嵌入其间的橡胶圈组成。橡胶圈嵌入其内外金属套筒的方法可归纳为下列几种。

① 硫化式橡胶金属关节，橡胶以压注法或填入法充入内外金属套筒之间，然后经硫化而成。这种生产方法因产生热应力容易使金属与橡胶出现剥离，将严重影响使用寿命。为此可采用粘接力较大的粘合剂，或外套筒设计为等分式，等分式可由二片或三片同心的扇形片组成。此法变形大，应力小，工艺复杂，成本高，在扭转和径向变形较大时，橡胶与外套筒发生剥离现象，使关节刚度和工作性能产生了变化，影响使用寿命。

② 压装式橡胶金属关节，用硫化橡胶圈通过压装工艺装备，将橡胶压入内外套筒之间。这是橡胶圈借助金属套筒间的摩擦力而固定在其间，摩擦力是橡胶圈压入金属套内产生的变形所致。橡胶圈在径向压缩可达20～50%，而其轴向伸长最大达到120%。用这种方法制成的关节大多数用于径向大负荷和扭转变形的场合。

压装式关节与硫化式关节相比有下列特点：

i．使用寿命比硫化式关节高达11～14倍；

ii. 制造成本大大降低，而且任何单位均可生产；

iii. 变形小而应力大，应用面广。

③ 混合式橡胶金属关节，这是上述两种方法的组合应用。橡胶圈硫化在内金属套筒上，然后将其压入外金属套筒内。这种关节刚度适中，比硫化式关节大，橡胶与金属之间不发生剥离现象。电力和内燃机车等的弹性齿轮橡胶元件采用此法制作，其刚度值可达5～10MN/m。

第九节　橡胶轨枕垫

一、概　　述

钢筋混凝土轨枕，由于其与木枕价格相当，且使用寿命高出木枕数倍，并且轨道框架结构稳定，铁路轨道使用混凝土轨枕，不但可以节省大量优质木材，取得较大的经济效益，还可以减少轨道轨向方面的变化，相应地减少有关项目养护工作量。因此混凝土轨枕自50年代末在我国铁路铺设上大量推广使用。

但是使用混凝土轨枕后，轨道弹性较木枕线路显著降低，造成轨道对轮轨冲击的缓冲性能下降，加之混凝土轨枕的质量大，增大了轨枕对道床的冲击力，加速了轨枕底面的道床过分压密和道碴的粉化，并且铁路线路用混凝土轨枕后，因缺乏弹性和电绝缘性而振动很大，影响了信号系统。为提高混凝土轨枕的缓冲性能，减少轨枕对道床的冲击力，增加绝缘性，目前国内外均采用弹性高聚物来解决混凝土轨枕轨道的弹性问题。橡胶轨枕垫就是用于钢轨和混凝土轨枕之间或枕下的弹性垫（此外还有软土橡胶轨枕垫、层压木轨枕垫和塑料轨枕垫等），橡胶轨枕垫以其独特的弹性和良好的绝缘性而广泛应用于铁路线上。它的主要作用是缓冲列车通过路轨时所产生的高速振动和冲击，保护路基和轨枕，并对信号系统进行绝缘。目前我国主要铁路干线上已铺设了6000万根以上的混凝土轨枕，相当于34000多延长公里，近年来生产数量仍有上升的趋势。随着铁路运输业的发展，高架铁路宽轨枕、版式轨道等的出现和发展，橡胶轨枕垫将不断得到发展。

二、橡胶轨枕垫的种类及其用途

根据用途不同，混凝土轨枕橡胶垫板一般分为枕上（钢轨下）垫板和枕下垫板两种类型。按照使用部位及使用场所的不同又分为各种型式，现分述如下。

（一）枕上（钢轨下）橡胶垫板

1. 绝缘垫片

按形状和宽度不同，分为普通和加宽两种，如图2-9-1所示。

橡胶绝缘垫片主要是作扣板扣件用，具有吸收振动（缓冲性）并对信号系统进行绝缘的作用。目前铁道部门对钢轨与枕的固定方式已作了改进，原用扣板扣件固定将逐步改用弹条件固定，弹条部位用塑料件或橡塑改性件代替橡胶垫片，因此橡胶绝缘垫片将逐步减少。

2. 轨下橡胶垫板

系置于钢轨和混凝土轨枕之间的弹性垫层。其主要作用是把钢轨和轨枕弹性地结合起来，极力隔离车辆通过时所引起的振动和冲击，保护路基和枕木。按每米钢轨承受负荷的不同，又可分为430N、500N、600N三种，每种有不同规格尺寸。板据今后发展要求，运载量的增大，还将有750N钢轨用橡胶垫板。这种垫板一般为带沟槽的中硬度橡胶板，以适应

受力时变形的需要，起吸振、缓冲作用。其结构形状如图2-9-2所示。

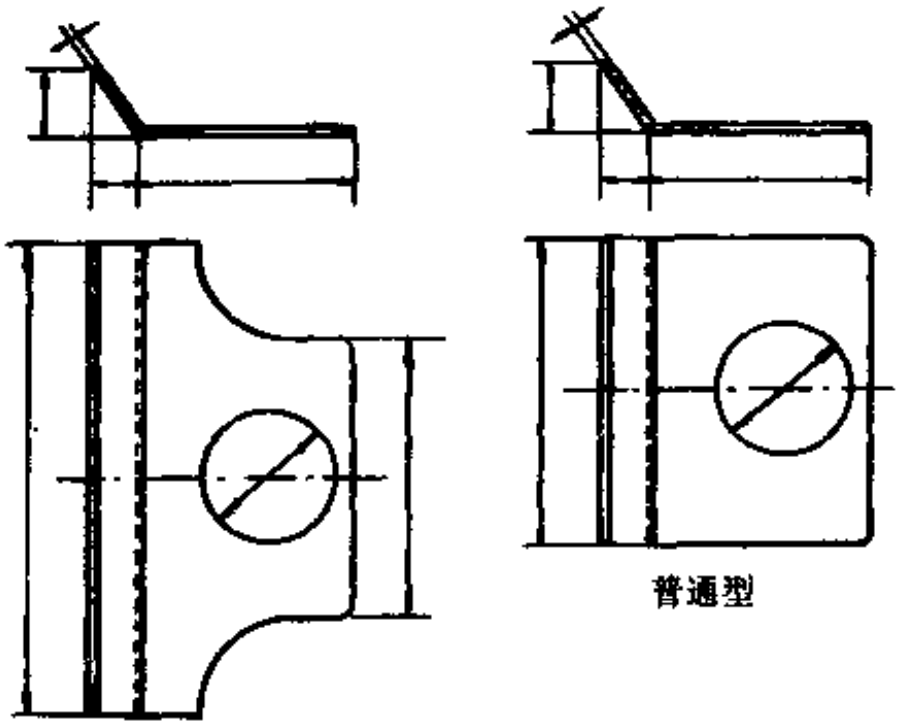


图 2-9-1　橡胶绝缘垫片

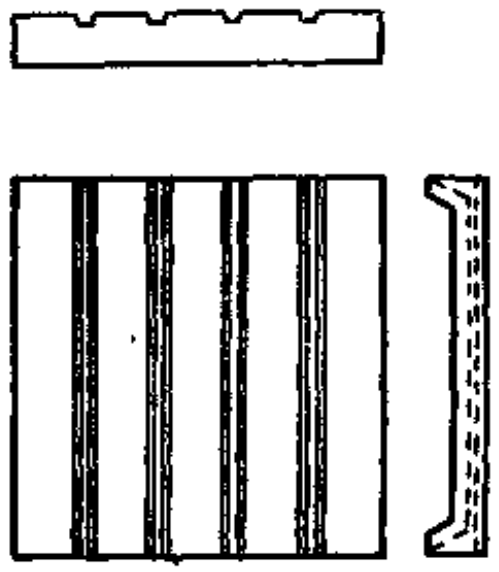


图 2-9-2　橡胶轨枕垫结构形状

3．高弹性圆柱形轨下橡胶垫板

设置部位与轨下橡胶垫板相同。这是近年来发展起来的新品种之一。经使用表明，这种胶垫能有效地提高轨道结构的整体弹性，提高线路质量。尤其是在钢轨接头部位，减缓了列车通过时所产生的较大的附加动力，对整治“接头病害”取得了良好的效果，减少了线路维修量，延长了维修周期。一般使用于钢轨接头部轨枕，与不同厚度的轨下橡胶垫板配合使用效果更好。其结构形状如图2-9-3所示。

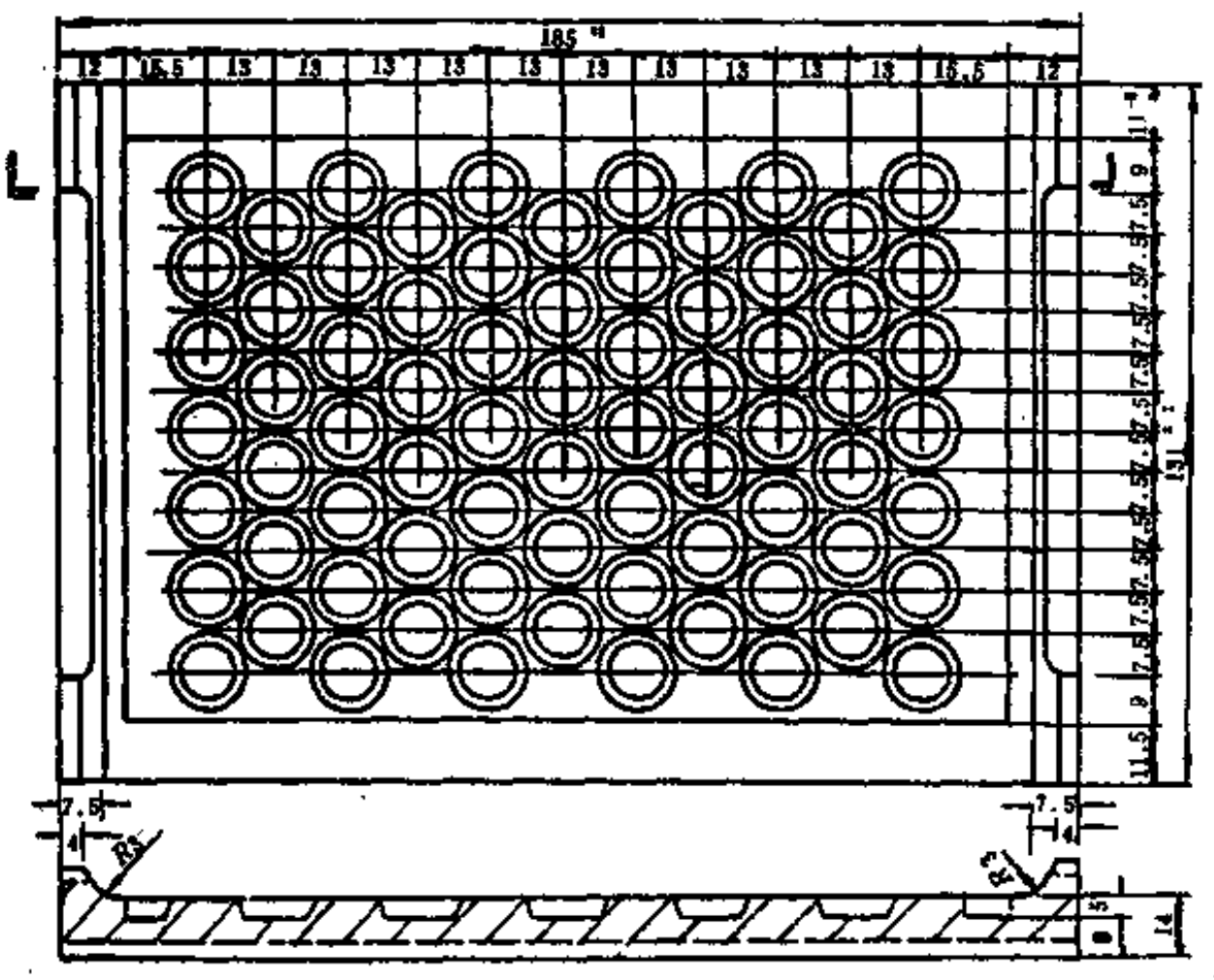


图 2-9-3　高弹性圆柱形轨下橡胶垫板（单位：mm）

4．道岔垫板

主要用于道岔处轨枕，作用与轨下橡胶垫板相同。

5．弯道用坡型垫板

主要用于弯道处，顺坡夹布的几种规格系近年来增加的新品种。

（二）枕下（底）橡胶垫板

系设置于混凝土轨枕枕下或高架桥和有碴桥梁等的道床下面、版式轨道下的橡胶垫板。

1．钢轨接头处混凝土轨枕枕下橡胶垫板

一般铺设于钢轨接头处两边的混凝土轨枕枕下。其主要作用是减缓列车高速通过接头处时的振动和附加冲击动力，防止道床硬结和道碴的粉化，使钢轨接头处平顺，降低轨道维修费用，延长维修周期。铺设使用表明：它是综合整治铁路上的“接头病害”的有效措施之一，如与高弹性圆柱形轨下橡胶垫板配用则效果更佳。结构形状如图2-9-4所示。

一般使用 $800\times\begin{matrix}250\\230\end{matrix}\times15\sim20$mm 的规格较多，目前宽枕轨板使用规格为1000×500×20mm。

2．道床橡胶衬垫

一般铺设在高架桥和有碴的桥梁、隧道等的道床下面。主要作用是减轻行车时的振动和噪音，减少轴重的变动，防止道碴粉化，降低轨道维修费用。其铺设断面图及平面图如图2-9-5和图2-9-6所示。

3．版式轨道轨板橡胶衬垫

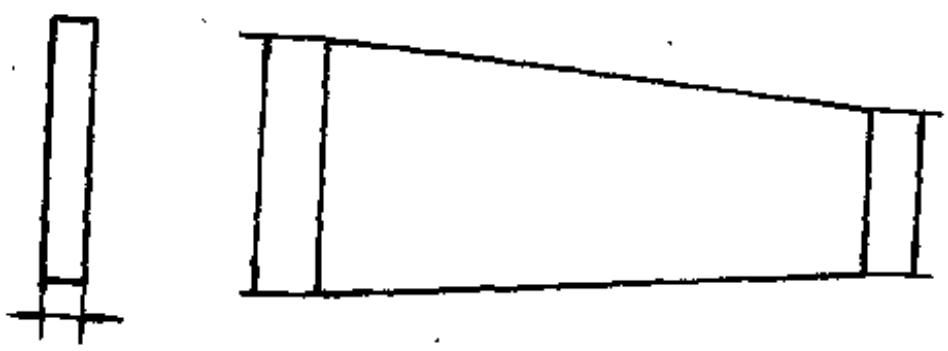


图 2-9-4　钢轨接头处混凝土轨枕枕下垫板构造简图

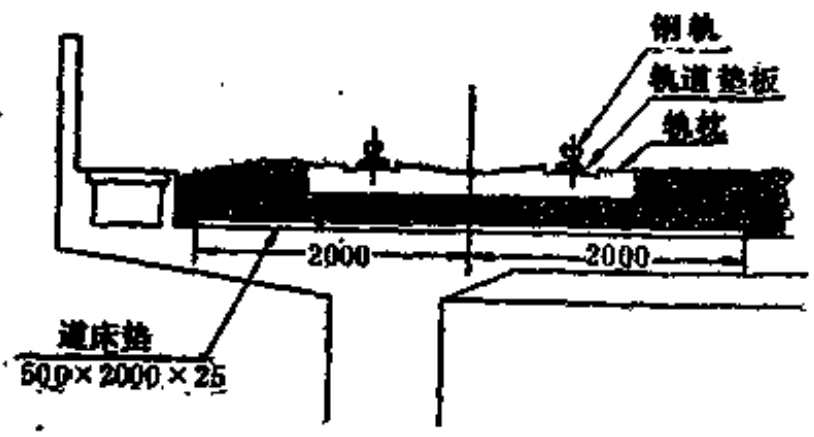


图 2-9-5　道床垫铺设断面图

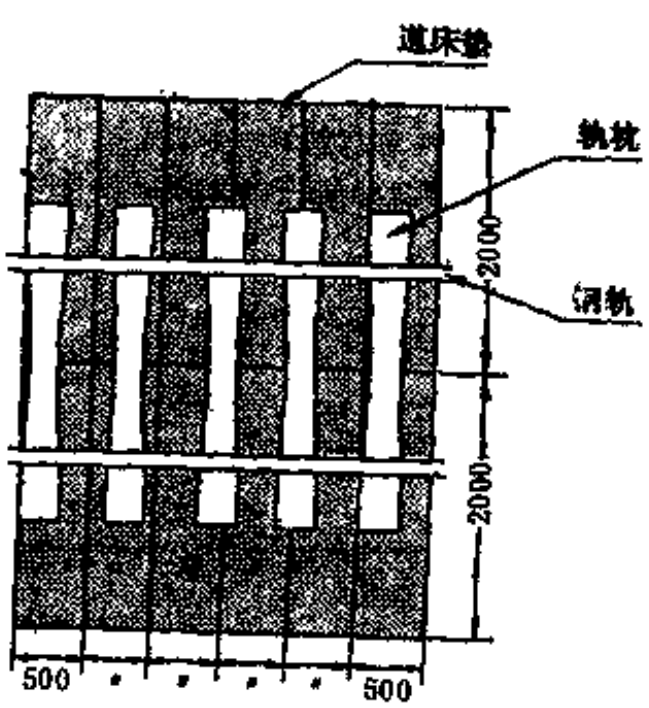


图 2-9-6　道床垫铺设平面图（单位：mm）

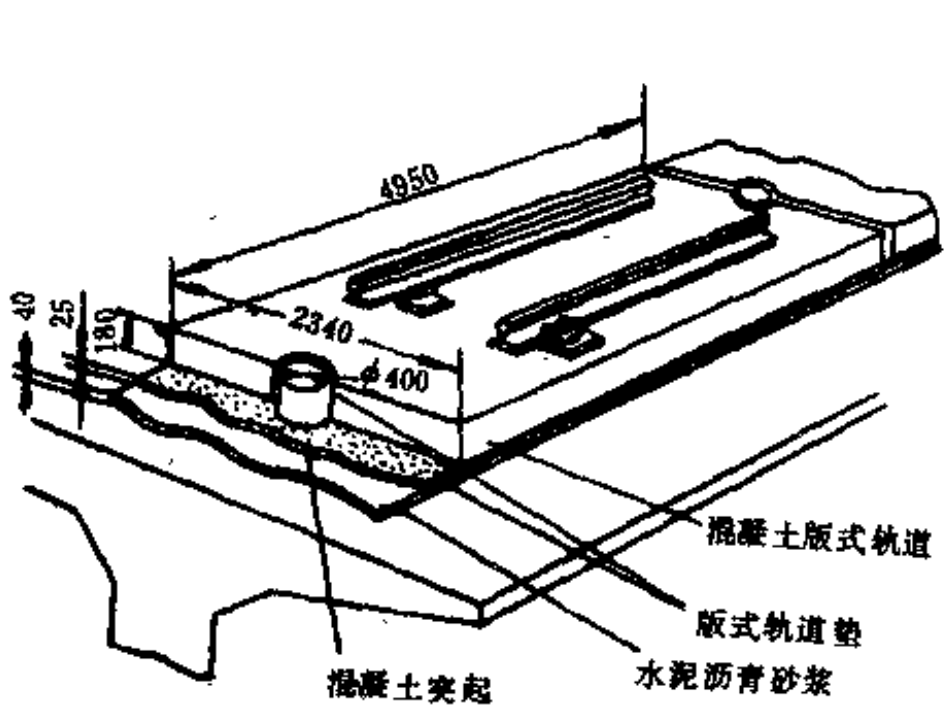


图 2-9-7　版式轨道轨板橡胶衬垫铺设断面简图

主要作用是降低轨道的支承弹簧常数，提高防振、隔音效果。其构造简图如图 2-9-7 所示。一般多用于高架路面上所铺设的平板状预力混凝土轨道板的下面。

三、橡胶轨枕垫的使用性能要求

橡胶轨枕垫由于长期裸露于大气中或置于枕底使用（南方夏季轨枕下温度高达 50℃以上，北方冬季温度最低在－40℃以下），不断经受机车通过时的振动和冲击，因此要求具有良好的耐自然老化、耐热、耐寒，良好的弹性和缓冲、吸震性能。此外还要具有较好的耐磨、电绝缘、抗压、抗剪切等性能。按照使用要求，其物理机械性能指标如表 2-9-1（化学工业部HG 4—1281—80标准）。

表 2-9-1 橡胶轨下（枕上）垫板物理机械性能标准

项　　目	普通垫板标准	项　　目	圆柱形高弹性垫板标准
拉伸强度，MPa	≥12.75	拉伸强度，MPa	≥12.75
扯断伸长率，%	≥300	200%定伸应力，MPa	≥9.8
扯断永久变形，%	≤25	扯断伸长率，%	≥200
硬度（邵尔A）	68～78	扯断永久变形，%	≤25
电阻（500V），Ω·cm	≥10^8	硬度（邵尔A）	75～85
100℃×72h老化后		阿克隆磨耗，cm^3/1.61km	≤0.6
拉伸强度，MPa	≥9.8	电阻（500V），Ω·cm	≥10^8
伸长率，%	≥200	100℃×72h老化后	
		拉伸强度，MPa	≥9.8

枕底橡胶垫板按使用部位不同而有不同性能指标，以道床垫为例，其标准如表2-9-2所示。

表 2-9-2 道床橡胶垫板物理机械性能标准

项　　目		日本国铁标准值 JRSO7116-1A-13BR，B	试　验　方　法
弹簧常数，MN/m		4.5±1.0	JIS K6385试样100×100×25mm 载荷1000～4000N
压缩永久变形，%		＜25	JIS K6801 6301 30%压缩 70℃×22h
拉伸强度，MPa		＞2.45	JIS K6301哑铃状 3 号
扯断伸长率，%		＞100	JIS K6301哑铃状 3 号
撕裂强度，kN/m		＞10	JIS K6301 B型试样
老化试验	拉伸强度变化率，%	－10～＋25	70℃×96h
	扯断伸长率变化率，%	－20～0	
	撕裂强度变化率，%	－10～＋25	
吸水率，%		＜1.5	常温水×96h
疲劳强度，mm		＜1.5	SRIS 3502最大下沉值

四、配方设计要求

橡胶轨枕垫在铁道混凝土轨枕线路上使用量很大，并且要在大气中长期使用和不断经受机车高速通过时的振动和冲击，所以配方设计时考虑橡胶材料的耐久性和成本很重要。常

用拉伸强度、伸长率、弹性模量及其老化特性、弯曲疲劳、压缩变形、电气性能等作为耐久性的特性指标。对于枕底橡胶垫而言，虽然不像枕上橡胶垫那样长期裸露于大气中，但它一般均与道碴接触，既要承受机车、轨、枕的压力和振动冲击，又要受道碴的作用，其规格尺寸较大，用胶量多，因此除满足耐久性的规定外，成本特别重要，价格必须低廉，否则不易在铁路上推广应用。

1．胶种选择

常用的橡胶如天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶、氯丁橡胶、三元乙丙橡胶等均可应用于枕上垫板，但各有优缺点。天然橡胶有优异的弹性、耐寒性和电绝缘性，机械性能好，加工容易，但耐热及耐天候性能较差；丁苯橡胶是合成橡胶中产量最大，应用历史最久的材料之一，耐天候、耐热性能较天然橡胶好，通过适当配合，机械强度接近于天然橡胶；顺丁橡胶具有优良的弹性、耐寒性、耐磨性，较小的生热和变形，但撕裂强度及工艺性能较差，一般多与天然橡胶、丁苯橡胶并用；氯丁橡胶具有优良的耐天候性能，但耐寒性较差；三元乙丙橡胶耐天候、耐臭氧老化性能好，电绝缘性较高，耐热，耐寒，但价格较常用橡胶高。橡胶枕上垫板一般采用天然橡胶、丁苯橡胶单用或天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶并用。氯丁橡胶已较少使用。三元乙丙橡胶虽有试用，但尚未推广使用。

对于枕底橡胶垫而言，必须以低成本为目标。目前国外一般采用以废旧轮胎粉化所得的

表 2-9-3 各种橡胶轨枕垫配方举例

原材料名称	天然橡胶 配　方	丁苯橡胶 配　方	氯丁橡胶 配　方	天然橡胶＋顺丁橡胶 配　方	枕下大垫 配　方
天然橡胶	100	—	—	70	再生胶 230
丁苯橡胶	—	100	—	—	20
顺丁橡胶	—	—	—	30	—
通用氯丁橡胶	—	—	100	—	—
硫　黄	1.0	1.6	—	1.2	5
促进剂CZ	1.2	—	—	1.5	—
促进剂TMTD	0.4	0.2	—	0.1	促进剂D 0.1
促进剂DM	—	1.8	—	1.0	0.8
促进剂NA22	—	促进剂D2.2	1.0	—	—
防老剂4010	—	—	—	1.0	—
防老剂A	1.5	1.0	1.0	1.5	1
防老剂D	1.0	1.0	1.0	—	—
混气炭黑	25	—	30	23	半补强炉黑 35
高耐磨炉黑	—	35	20	10	33
氧化锌	5	5	5	5	4
硬脂酸	2.0	2	2	2.5	1
石　蜡	2.0	4	4	2	—
碳酸钙	（轻质）9.8	—	15	15	—
碳酸镁	10	—	—	13	—
滑石粉	15	—	—	10	—
白炭黑	35	25	—	—	沥　青 7.5
固体古马隆	—	4	—	—	—
变压器油	—	—	6	—	松焦油 5.5
轻质氧化镁	—	—	5	—	橡胶废边粉 200
陶　土	—	17	—	17	40
合　计	208.9	199.8	190	203.8	582.9

橡胶粉为主，掺用少量天然橡胶或丁苯橡胶。国内现大多选用轮胎再生胶、橡胶废边粉为主，再掺用少量天然橡胶或丁苯橡胶。也有采用聚氯乙烯为主的改性材料或直接利用废轮胎切割、整平成所需规格，如钢轨接头处混凝土轨枕枕下垫板。

2．配合剂

硫化体系选择可用一般常规体系，按橡胶轨枕垫现行标准，多用低硫高促和高硫高促系统。目前以高硫高促使用较多。但从提高耐老化性方面考虑将向低硫高促过渡。补强剂及其它填充剂对产品的性能影响较大。炭黑的品种、用量对电性能关系较大，应很好地加以控制和选择。白炭黑提高电绝缘性、硬度和耐老化性，但价格较高，混炼工艺性差，可适量采用。碳酸钙、陶土、滑石粉等填料，根据产品的耐久性和成本适当采用。增塑剂（软化剂）采用一般橡胶制品常用的软化剂，无特殊要求。防老剂宜采用各方面性能较优的防老剂4010、4010NA与防老剂A、RD并用，防老剂D现已不多采用。

3．橡胶轨枕垫的硬度

从隔离振动和冲击考虑，最好是用软一些的支承垫；但由于钢轨和轨枕的连接直接关系到列车的运行安全，不宜采用太软的支承。橡胶轨下（枕上）垫板硬度（邵尔A）为70～80；含胶率一般控制在50%左右，枕底橡胶垫按使用条件的不同，规定有一定的弹簧常数。

4．配方举例

根据以上配方设计原则，各种橡胶的轨枕垫配方举例如表2-9-3所示。其物理机械性能见表2-9-4。

表 2-9-4　各种橡胶轨枕垫胶料的物理机械性能

项目名称	天然橡胶 配　方	丁苯橡胶 配　方	氯丁橡胶 配　方	天然橡胶＋顺丁橡胶 配　方	枕下大垫 配　方
拉伸强度，MPa	17.5	17.0	16.2	18.6	7.7
伸长率，%	448	424	435	488	290
永久变形，%	22	20	6	24.8	—
硬度（邵尔A）	70	72	73	70	70
电阻，Ω·cm	2.5×10^{11}	5×10^{9}	8×10^{8}	1×10^{6}	—
70℃×144h老化后					
拉伸强度，MPa	17.2	15.6	15.4	14.6	—
伸长率，%	399	320	323	323	—
硫化条件：MPa×min	0.5×4	0.5×6	0.5×6	0.5×4	0.5×15

五、各种橡胶轨枕垫生产工艺

1．生产工艺流程

生产工艺流程如图2-9-8及图2-9-9所示。

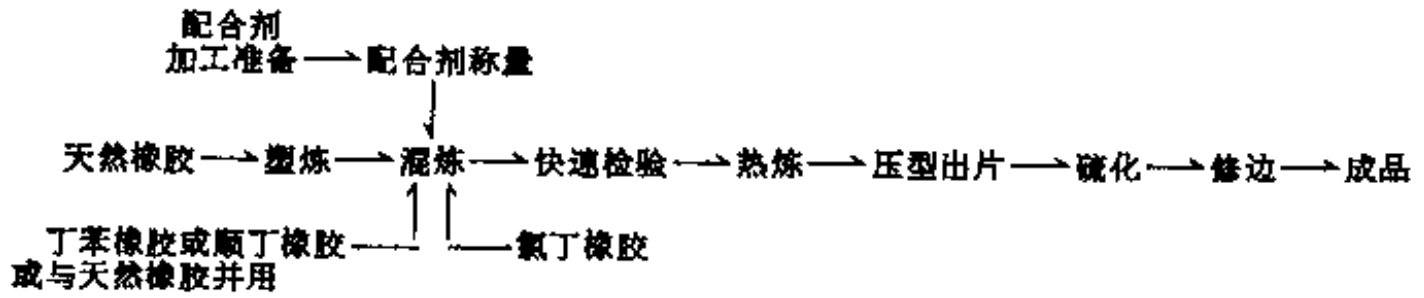


图 2-9-8　轨下（枕上）橡胶垫（片）板生产工艺流程简图

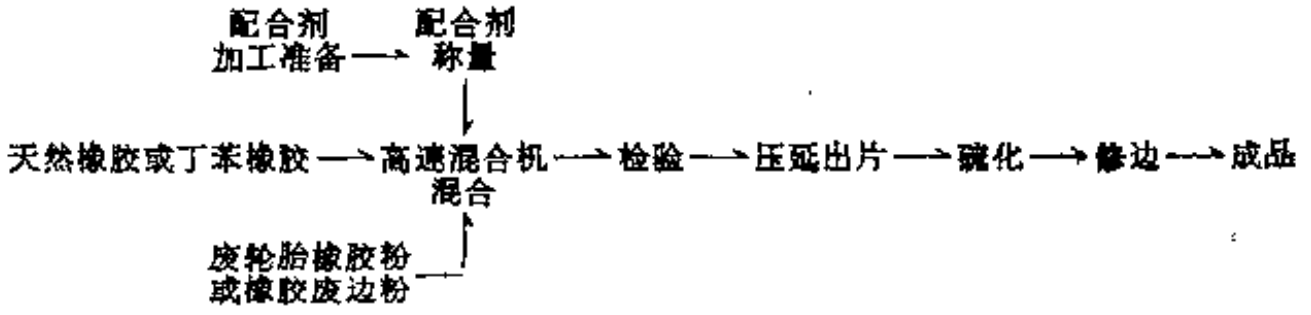


图 2-9-9　道床橡胶垫板和版式轨道轨板橡胶垫板生产流程简图

版式轨道轨板较道床橡胶垫的生胶量要多增加一些，增塑剂的品种及用量也要作部分调整，严格控制橡胶粉的粒度分布与配合的关系。

2．塑炼和混炼

为保持产品的强力和耐老化性能，天然橡胶的可塑度不宜太高，一般控制在0.2～0.24即可。松香丁苯橡胶及通用型氯丁橡胶，可不必塑炼，破料后即可直接混炼。但根据经验，混炼前进行适当塑炼，对混炼工艺及胶料的可塑度均有好处。天然橡胶轨枕胶料的开放式混炼方法与一般天然橡胶料基本相同，但在混炼后期要防止脱辊。丁苯橡胶和氯丁橡胶由于加入的炭黑量较多，因此采用一般薄通混炼法混炼难以使炭黑分散均匀，根据经验可在加炭黑后放大辊距，厚炼4～5min并充分捣胶，最后薄通2～3次，可使炭黑较充分分散。如采用密炼机，二段混炼方法则效果更佳，生产效率高。

3．热炼、压型出片、成型

混炼胶经冷却停放及快速检验合格后即可进行热炼，热炼时返回胶与混炼之比应控制在1:4左右，过多会影响硬度及造成焦烧现象。

热炼后经压片机出成长方形胶片，再经裁片机裁成所需形状尺寸供硫化使用。压出法国内目前已不采用。

4．硫化

一般采用平板硫化机硫化，为提高生产效率，减轻操作人员的体力劳动，可将模具上半部固定在平板硫化机的上平板上；模具下半部固定在硫化机下平板上并配置导轨，以便进出模。也有采用自动转盘硫化机硫化的，这种硫化机由电子控制，能自动记时，合模、启模。目前国外已采用注压法硫化，国内有的企业也引进了一些。硫化条件：天然橡胶、丁苯橡胶是0.5MPa（蒸汽压力）×7min；氯丁橡胶为0.5MPa×8min。若采用0.5MPa以上的蒸汽硫化，则硫化时间可以减少。

5．成品的修边及检验

表 2-9-5　橡胶轨枕垫外观质量问题及解决办法

常见外观质量问题	产生原因	解决办法
缺胶、明疤	半成品形状尺寸或重量不当，模具温度过低，压力不足，压力机加压不平衡	严格控制半成品尺寸、重量、硫化温度及压力并检查模具安放位置
气泡	装模温度太高，装模后停放时间过长，硫化压力不足	一般注意在硫化初期加压，合模后再松压1～2次。合模速度不要太快，合模后勿使停放时间过长。注意硫化温度、压力、时间
泛白、变软	平板温度低，硫化不足	注意检查平板温度，严格控制硫化时间

产品硫化脱模后修去余边，并经质量检查部门检查合格后入库。常见的外观质量问题，产生原因及其解决办法如表2-9-5所示。

6．半成品、成品检验要求

为确保橡胶枕垫的质量，每车混炼胶均需作电阻、硬度等快速试验，每天作成品电阻试验一次。

第十节　桥梁橡胶支座

在桥梁工程中梁式桥桥跨的两端均需设置支座。支座主要作用是把桥跨结构上的全部荷载（包括恒载和活载）可靠地传递到桥墩台上去，并同时能承受桥跨结构由于荷载作用所发生的如端部水平变位、转角等各种变形。桥梁支座一般有固定支座和活动支座两种。固定支座用来固定桥跨结构在桥梁墩台上的位置，它可以使桥跨结构的端部支点自由转动而不能移动。活动支座不仅使端部支点能自由转动而且还要求能自由移动，以承受桥跨结构由于混度变化、混凝土收缩以及荷载等因素引起的伸缩变位。

桥梁支座的结构型式很多。根据桥梁跨度和梁端支点反力的大小，以往常用的有：油毛毡垫、钢制弧型支座、铸钢平板支座、摇轴支座和钢筋混凝土摆柱支座等。国外50年代末开始使用橡胶支座，至60年代已有较多国家采用橡胶支座，我国亦于1965年在上海枫泾及广东肇庆公路桥安装使用了板式橡胶支座；铁道部门很据使用要求经进一步测定性能后，于1969年在安徽固镇、京包线也开始使用了橡胶支座。多年来在公路和铁路桥梁上逐步推广使用，产品数量及品种都有较大增长。20多年的实际生产使用经验及各研究设计院所对支座性能测试考核表明，桥梁橡胶支座与其它刚性支座相比，不仅工作性能可靠，而且构造简单，材料来源充足，加工制造容易，造价低，用钢量少，建筑高度小，安装使用方便，使用寿命长，可减轻日常养护工作，并具有吸收部分振动，减少活载对桥梁结构及墩台的冲击作用等许多显著优点。由于橡胶支座的适用范围广，能适应宽桥、曲线桥和斜交桥的上部结构在各个方面的变形，故橡胶支座目前不仅在中小跨径公路、城市桥梁及铁路桥梁上得到广泛应用，而且也在大跨径的桥梁上大量使用。

近年来，有关设计计算数据已分别列入公路和铁路桥梁设计规范，制定了产品系列规格和产品标准。

一、桥梁橡胶支座的构造原理

桥梁橡胶支座，通常由不同厚度的橡胶层和加劲钢板平行交替叠加组成。由于加劲板材的约束使橡胶层侧向膨胀受到限制，提高了橡胶支座的抗压强度，使它在承载荷重时具有所需的刚度；而在受剪切时仍然保持柔性，以适应桥梁冷热变化及外力所引起的水平移动，同时在不同载荷下高度变化甚微。同一总厚度的橡胶件，在夹入加劲板材前后，受压及受剪与变形的比较见图2-10-1。

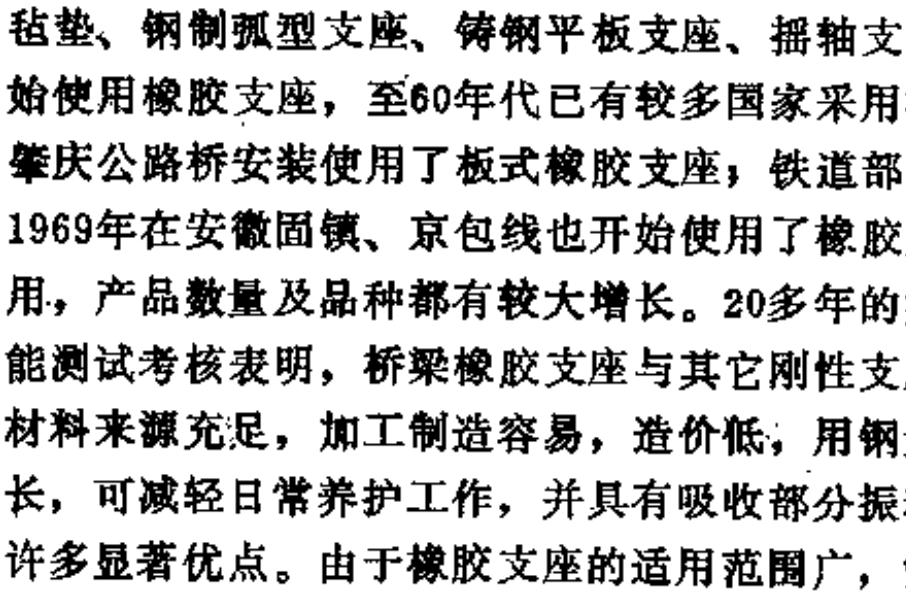


图 2-10-1　桥梁橡胶支座构造原理

支座的加劲钢板与橡胶层完全包覆在橡胶中，使橡胶支座获得长期的耐天候老化作用，同时橡胶包覆层还起着弥补桥梁下平面和桥墩

表面凹凸不平的作用。

在桥梁橡胶支座结构中，橡胶材料的一些主要特性如下。

1．橡胶的高弹性和体积不可压缩性

橡胶材料具有高弹性，其体积几乎不可压缩。在一定的压力下，可以把橡胶材料近似地视作线性弹性体，由此根据广义虎克定律有：

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \dfrac{1}{E}[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \varepsilon_y = \dfrac{1}{E}[\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \\ \varepsilon_z = \dfrac{1}{E}[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \end{cases} \tag{2-10-1}$$

式中 ε_x、ε_y、ε_z——分别为x、y、z方向的正应变；

σ_x、σ_y、σ_z——分别为x、y、z方向的正应力；

E——材料的弹性模量；

ν——材料的泊松比。

由此，材料的体积应变（或称体积膨胀）e为：

$$e = \frac{(dx + \varepsilon_x dx)(dy + \varepsilon_y dy)(dz + \varepsilon_z dz) - dxdydz}{dxdydz}$$

$$= (1 + \varepsilon_x)(1 + \varepsilon_y)(1 + \varepsilon_z) - 1$$

$$= \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z + \varepsilon_x\varepsilon_y + \varepsilon_x\varepsilon_z + \varepsilon_x\varepsilon_y\varepsilon_z$$

略去高阶微量后：

$$e = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z \tag{2-10-2}$$

引入记号

$$\Theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \tag{2-10-3}$$

Θ为体积应力。把式（2-10-1）中三式相加得

$$e = \frac{1 - 2\nu}{E}\Theta \tag{2-10-4}$$

式（2-10-4）表明体积应变与体积应力成正比，比例常数$\frac{E}{1-2\nu}$为容积模量（或称体积膨胀模量）。根据测定橡胶材料的泊松比接近0.5，因而$e \to 0$，这表示橡胶材料的体积几乎是不可压缩的。

2．形状系数

橡胶材料的抗压缩性能与橡胶片的形状有关，而其抗剪切性能与形状无关。通常用“形状系数”来表示橡胶材料的形状特征。“形状系数”可定义为橡胶胶片的承压面积与自由膨胀侧面积之比，即：

$$S = \frac{ab}{2t(a+b)}$$

如图2-10-2所示：a——橡胶片短边边长；b——橡胶片长边边长；t——橡胶片厚度。

3．橡胶模量与温度的关系

橡胶的弹性模量E、剪切模量G与橡胶硬度、外界气温有关。在一般情况下，橡胶材料的E、G值随气温下降而增大，随气温升高而减小。

4．橡胶的弹性模量与橡胶硬度(邵尔 A)的关系

橡胶材料的 E、G 值随橡胶的硬度增加而增大。硫化橡胶的弹性模量与硬度(邵尔A)的关系如图2-10-3所示。由于橡胶硬度的测定很方便，又不会损坏制品，因而在工程应用上常常通过测定橡胶材料的硬度，利用图 2-10-3 可很方便的得出橡胶材料的动态 弹性模量($E_{动}$) 和静态弹性模量（$E_{静}$）。

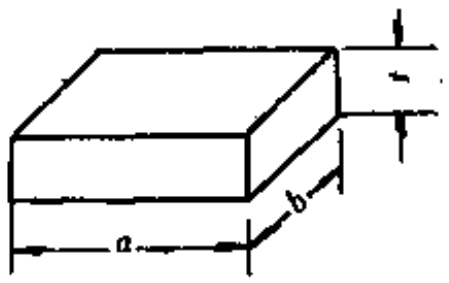


图 2-10-2　橡胶胶片

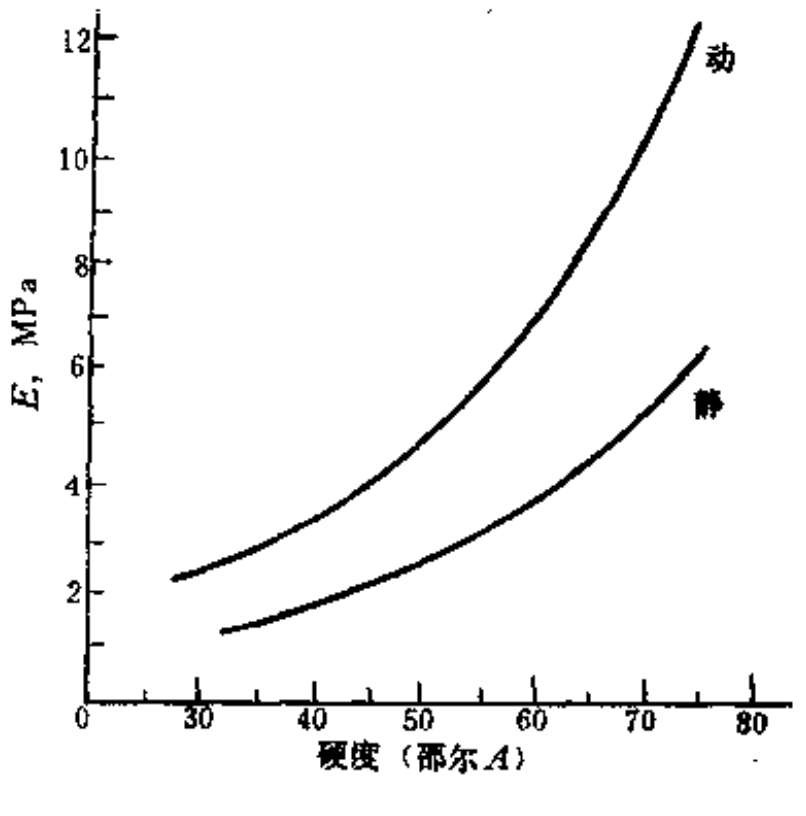


图 2-10-3　橡胶硬度与弹性模数的关系

5．橡胶材料的蠕变特性

在载荷的作用下橡胶材料的变形量随时间的延长而增加，这种现象称为蠕变。蠕变速度并非恒定值，蠕变过程的初期以物理过程为主，此时发生链缠结的解脱和分子链的伸张，当充分伸张之后，由于环境的化学作用和所受应力超过其适应的应力，于是就发生了分子链的断裂过程。为了在一定程度上阻止蠕变的发展，保证产品的尺寸稳定性，往往是在橡胶材料间嵌入骨架材料，提高它的承载能力，桥梁橡胶支座多使用薄钢板作为骨架材料。

不同硬度胶料制作的橡胶支座，在受压力作用时，都是在最初10天内 的 蠕 变 值增长最大，以后的增长速度就大为降低。由图2-10-4的曲线可见，以蠕变值最 大的硬度（邵尔A）为70的胶料制品为例，最初10天的蠕变值约为初时变形的35%，而10年之后的数值仅为初始变形的45%。

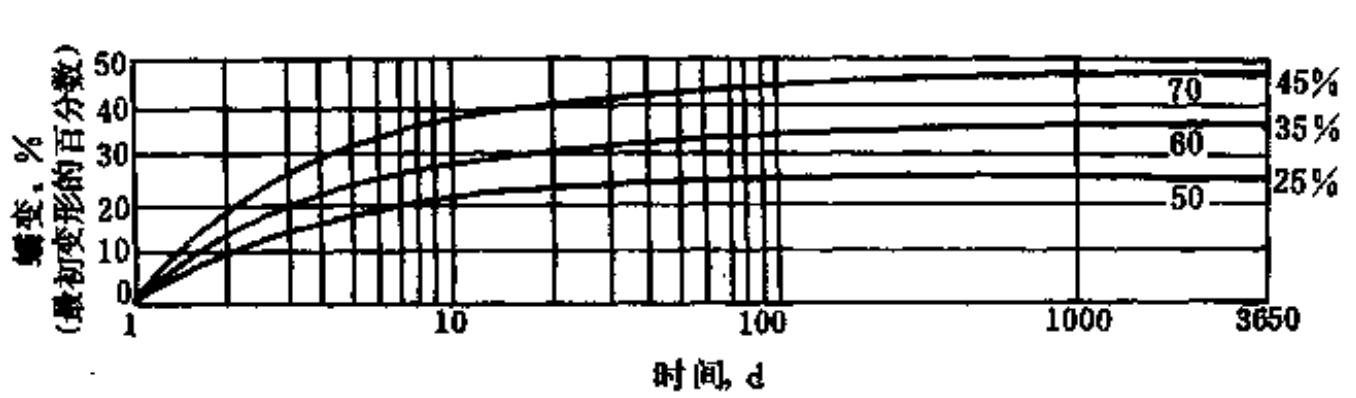


图 2-10-4　氯丁橡胶受压蠕变

〔图中数字为硬度（邵尔）〕

6．橡胶的老化现象

橡胶材料像其它有机材料一样，其性能随时间而逐渐变坏。主要原因是因大气中氧的氧化作用，它会因光或高温及某些微量元素而促进其老化，结果会损害橡胶的机械强度、延伸性能和其它有用的物理机械性能。光的老化作用主要是橡胶制品的表面老化，如果制品为黑色的，则其影响往往很小。一种更为严重的表面作用是微量的臭氧对伸长状态下的橡胶制品所引起

的裂纹，然后渐渐地向制品内部发展，形成裂口而导致严重的损坏。因此要延长橡胶支座的使用寿命，应该尽量的避免或减少其表面的伸长，此外则应在橡胶配方中考虑防老剂和防臭氧剂的用量。氯丁橡胶的耐天候老化性能较好；天然橡胶的耐天候老化性能较差，因此，更应注意增加防老剂和防臭氧剂的用量和防老剂品种的选择。

二、桥梁橡胶支座的类型

目前在桥梁工程上广泛采用的橡胶支座有普通板式橡胶支座、四氟板式橡胶支座、盆式橡胶支座三种类型。橡胶材料一般在常温地区（－20℃以上）可采用硬度为55～60氯丁橡胶，低温严寒地区可试用硬度稍低的天然橡胶或三元乙丙橡胶。

1．普通板式橡胶支座

普通板式桥梁橡胶支座的构造如图2-10-5所示，其特性既由橡胶片的弹性和形状所决定，又由加劲薄钢板的刚性所约束、补充。

显然在橡胶片之间嵌入加劲钢板的目的在于改变橡胶片的“形状系数”，阻止橡胶片的侧向膨胀，从而提高它的抗压刚度。大量试验表明，橡胶片的厚薄以及在橡胶片之间嵌入薄钢板对橡胶材料的剪切刚度影响甚微，即可以认为G值与“形状系数”无关。加劲薄钢板为普通钢板，其厚度随支座的平面尺寸、橡胶片的厚度而变，但不得小于2mm。加工制造时支座中同一层橡胶片的厚度必须保持均匀，加劲薄钢板不得外露。由于这类支座依靠其自身的剪切变形来适应桥跨结构的水平变形(伸长或缩短)，因而可用调整支座高度的方式来得到“活动”或“固定”支座。一般情况下普通板式橡胶支座只能适用于中、小跨径的简支梁式体系桥梁。

通用板式橡胶支座其平面多数呈矩形，少数为方形或菱形。此外使用较多的尚有圆形板式橡胶支座，它是由圆形橡胶片与圆形钢板经硫化粘合而成的支座，它与通用板式橡胶支座的结构原理相同，示意如图2-10-6。主要用于圆柱形柱墩的立交桥等桥墩形式的桥梁，除具有矩形板式橡胶支座的优点之外，还有下列一些特点。

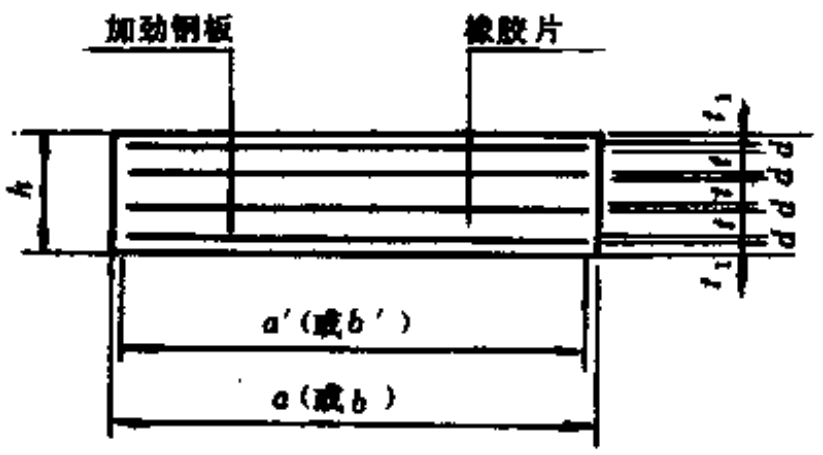


图 2-10-5　普通板式桥梁支座构造图

a—支座短边边长；b—支座长边边长；a'—加劲钢板短边边长；b'—加劲钢板长边边长；t_1—顶层或底层橡胶片厚度；t—中间层橡胶片厚度；d—加劲钢板厚度；h—支座厚度

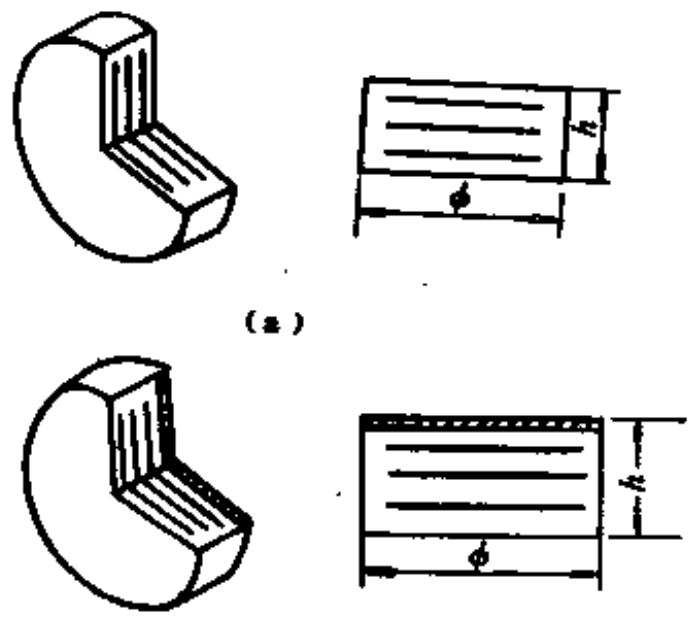


图 2-10-6　圆形板式橡胶支座

(a) 普通圆形板式橡胶支座；(b) 聚四氟乙烯面板式橡胶支座

① 有效地运用橡胶的等向性，支座可吸收桥梁上部结构的任何方向的变形。

② 圆形橡胶支座没有矩形等支座的局部应力集中现象。

③ 圆形橡胶支座在安装时没有方向性问题。因而这种橡胶支座用量近年增长较快，我国交通部也专门制订了技术标准。

2．聚四氟乙烯面板橡胶支座

聚四氟乙烯面板式橡胶支座构造基本上与普通板式橡胶支座相同，只是在橡胶支座的顶面都有一层1.5～3 mm的聚四氟乙烯面板，也有矩形及圆形等不同形状，结构示意见图2-10-7，它除了具有板式橡胶支座的优点，满足支座的反力等要求之外，由于聚四氟乙烯与梁底不锈钢板之间的摩擦系数甚小，因此这种支座可以适应较大桥跨结构的简支梁桥，以及简支桥面连续的桥梁中连续梁桥等的水平位移作为活动支座。聚四氟乙烯板式橡胶支座在加劲钢板的层数与结构上作适当的调整后，还可以作为桥梁顶推施工中的滑块使用。

聚四氟乙烯面板式橡胶支座所用的橡胶材料，力学性能以及安装施工方法，基本上与通用板式橡胶支座相同，不同的是梁底需要预埋或粘贴不锈钢滑板，支座的两端需设防尘罩。

3．盆式橡胶支座

盆式橡胶支座由上支座板、密封圈、聚四氟乙烯板、橡胶块、下支座钢盆、支座锚栓等组成，又称为盆式橡胶组合支座。

如前所述，在外界压力作用下，橡胶材料的体积应变趋近于零，盆式橡胶支座的基本设计原理是利用被密封在钢盆内的橡胶块其变形受到约束面处于三向应力状态，大大提高了抗压刚度和承载能力，并且可以依靠橡胶本身变形以适应梁端的转动；依靠聚四氟乙烯板与不锈钢板之间的低摩擦系数（$\mu \leqslant 0.05$）来实现梁的水平位移。它与普通板式橡胶支座相比较，具有承载能力大，允许支座位移量大的特点。

我国盆式橡胶支座承载能力为100～5000t。并分为多向活动支座（DX）、纵向活动支座（ZX）和固定支座（GD），分别用符号标明其用途，DX及ZX二者都是活动支座，除梁在支点处可以竖向转动外，都允许有水平位移，不同之处为多方向活动支座（DX）可以适应任意方向的水平位移，而纵向支座（ZX）仅能适应与两根导向块平行方向的水平位移，其它方向的水平位移则受到导向块的限制。固定支座（GD）则只允许梁在该处竖向转动而限制梁的任何方向的水平位移。这类支座适用于大跨径桥梁结构。

图2-10-8为活动盆式橡胶支座，图2-10-9为固定盆式橡胶支座示意图。

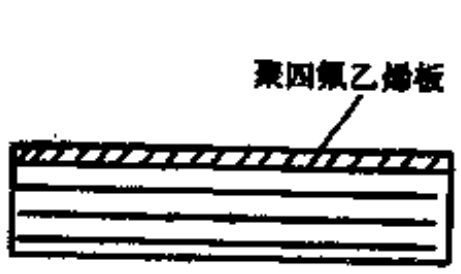


图 2-10-7　聚四氟乙烯面板橡胶支座

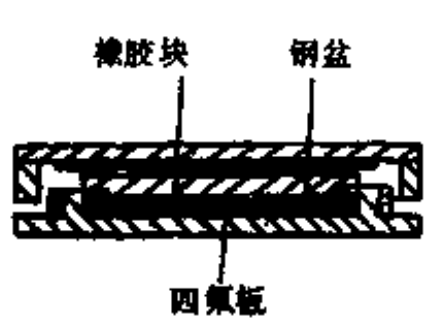


图 2-10-8　活动盆式支座

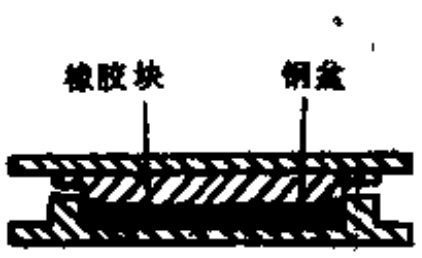


图 2-10-9　固定盆式支座

三、桥梁橡胶支座的使用材料

（一）一般材料

1．薄钢板

橡胶支座加劲材料采用A_3钢板，或不低于A_3强度的薄钢板，其屈服强度和抗拉极限强度及钢板厚度偏差均应符合GB 912—82“普通碳素结构钢和低合金结构钢板技术条件”的有

关规定。

薄钢板的厚度应大于或等于2mm。钢板必须除锈去油污且周边应仔细加工以避免产生应力集中。

桥梁橡胶支座的薄钢板，在使用时需仔细除去油污，用溶剂洗涤后，经喷砂处理，然后再涂刷或喷涂专用胶粘剂，以使其能与橡胶材料良好粘接。

2．不锈钢板

聚四氟乙烯滑板式支座所使用的不锈钢板，采用OCr17Ni12Mo 或1Cr18Ni9Ti不 锈钢，其技术条件应符合GB 3280—84 “不锈钢冷轧钢板” 的有关规定。表面粗糙度的轮廓算术平均偏差R_a小于0.8μm。当不锈钢板最大尺寸小于或等于500mm时，厚度不得小于2mm；而当尺寸大于500mm时，厚度不得小于3mm。

3．硅油

所用硅油的技术条件应符合HG 2—1491—83 “295硅脂” 的有关规定。必须经过检验，应保证在－40℃时不会凝固。对滑移面材料不得有损害，并具有良好的抗臭氧、防腐蚀、防水的性能。

（二）聚四氟乙烯板及其表面处理

1．聚四氟乙烯板

聚四氟乙烯（PTFE）是单体四氟乙烯的均聚物，相对密度2.2，弹性模数在400MPa左右，回弹性差，拉伸强度为15～30MPa，扯断伸长率取决于加工处理条件，在50～400％之间，有韧性及延展性，硬度（邵尔A）为50～70，摩擦系数为塑料中最低者，它与钢的摩擦系数为0.2～0.3，静摩擦系数与荷重间的关系为：

$$\mu_{静} = 0.178\overline{W}^{-0.1}$$

因此，随着荷重增加静摩擦系数变小。动摩擦系数则随滑动速度而变。

$$\mu_{动} = c \cdot v^{\alpha}$$

式中，α为常数0.27，c随速度而异，速度为0.01～0.1cm/s时，$c = 0.034 \sim 0.078$；速度0.01cm/s时，$c = 0.04 \sim 0.1$；面当速度为0.1～100cm/s时；$c = 0.06 \sim 0.12$。

聚四氟乙烯而板式橡胶支座使用的聚四氟乙烯板材的技术要求应符合交通部标准JT 3132·2 “公路桥梁板式橡胶技术条件” 中的规定。根据不同规格产品设计要求，厚度为1.5～3.0mm。为降低摩擦系数，聚四氟乙烯板表而有压制成直径为8～10mm，深度为2mm的贮油凹坑，其总平面而积不得小于支座总平面积的10％，也不得大于30％。

国内外橡胶支座用聚四氟乙烯板的性能见表2-10-1。

表 2-10-1 国内外桥梁橡胶支座用聚四氟乙烯板

标准名称	相对密度	拉伸强度 MPa	扯断伸长率 %	硬度（布氏）
英国 BS5400	2.1～2.23	＞24	＞300	—
德国GHH公司	2.14～2.2	27～33	300	HB60＝22～30MPa
美国 AASHTO	2.13～2.19	＞19	＞200	—
中国	2.1～2.3	＞17.5	≥250	HB60＝17.5～20MPa

2．聚四氟乙烯板表而处理

聚四氟乙烯是极稳定的高分于材料，有良好的耐热性及最佳的耐腐蚀性，表而活性很

低，能耐王水，故俗称为塑料王。聚四氟乙烯与橡胶粘合必须经过表面处理才能用其它胶粘剂粘接。聚四氟乙烯在工业上常用的表面活化处理方法有两大类：放电处理法及碱金属溶液处理法。放电法是把聚四氟乙烯板放在等离子发生器或辉光放电管中经抽真空，通入微量惰性气体使其活化，然后与聚四氟乙烯板表面反应。碱金属溶液处理法虽有多种配方工艺，而以萘-钠络合液的化学腐蚀处理最为常用。

萘-钠络合液的配制是把1000ml的四氢呋喃保温在3～5℃，加入128g精萘，搅拌溶解后缓慢地通入氮气，再加入23g金属钠，继续搅拌30min，至溶液呈现墨绿色为止，即可使用。

聚四氟乙烯经过表面脱脂等净化处理后，将其浸入络合液中数秒钟取出，以丙酮洗去过剩有机物，再经水冲洗后于红外线下干燥，备用。这一方法比较方便，但有一缺点，就是紫外线能使表面变质失效，所以经处理过的聚四氟乙烯表而应避免强光或其它强紫外线的照射，避光保存。

（三）橡胶材料及配方举例

1．橡胶材料的选择

各国用于制造桥梁橡胶支座的橡胶材料的选择，在能满足工程性能的前提下，多根据其资源情况及使用环境条件的不同而异。在天然橡胶资源丰富的国家，认为天然橡胶的综合性能优良，耐低温性能比氯丁橡胶好，相对密度小，价格便宜；而使用氯丁橡胶者则认为在桥梁工程上氯丁橡胶已经承受了－35℃的低温，面且有比天然橡胶好得多的耐候性能。在桥梁橡胶支座材料国际标准草案中也主要制订了这两种橡胶材料的标准，此外并列举可供选择的三元乙丙橡胶、丁基橡胶、氯化丁基橡胶等三种橡胶材料的质量控制性能规范。我国幅员广阔，地理环境条件相差很大，因此可根据具体情况来选择橡胶材料。桥梁支座用的橡胶材料应满足下列要求：

① 应具有较高的抗压强度；

② 有良好的弹性且无很大的蠕变；

③ 热天不会变软，强度无显著下降，冬天不会变脆，仍能保持所需的弹性；

④ 耐老化性能良好；

⑤ 胶料工艺性能良好；

⑥ 成本不宜过高。

当前用作桥梁支座的橡胶材料主要为氯丁橡胶和天然橡胶，也有采用三元乙丙橡胶、丁基橡胶和氯化丁基橡胶的。

2．配方举例

桥梁橡胶支座生产常用的氯丁橡胶和天然橡胶配方，以及可以使用的三元乙丙橡胶、丁基橡胶和氯化丁基橡胶，参考配方分别列举如下。

（1）氯丁橡胶支座　氯丁橡胶支座配方及性能举例见表2-10-2。

（2）天然橡胶支座　天然橡胶支座配方及胶料性能见表2-10-3。

（3）三元乙丙橡胶支座　三元乙丙橡胶支座配方及性能见表2-10-4。

（4）丁基橡胶及氯化丁基橡胶　丁基橡胶及氯化丁基橡胶与三元乙丙橡胶并用的橡胶支座配方分别见表2-10-5及表2-10-6。

（四）橡胶胶料技术标准

1．我国交通部公路桥梁板式橡胶支座技术条件

JT 3132·2—88规定胶料的物理机械性能如表2-10-7。

表 2-10-2 氯丁橡胶支座配方及性能

组分与性能 \ 配方编号	1	2	3
氯丁橡胶	100	100	100
氧化镁	4	4	4
氧化锌	5	5	5
防老剂D	2	2	2
硬脂酸	1	1	1
炉法炭黑	30	30	30
硫黄	0.75	0.75	0.75
操作油	15	10	10
物理机械性能（硫化148℃×40min）			
300%定伸应力，MPa	8.3	9.8	14.2
500%定伸应力，MPa	16.2	19.1	—
拉伸强度，MPa	20.6	23	21.6
扯断伸长率，%	625	600	480
扯断永久变形，%	12	12	10
硬度（邵尔A）	55	60	65
与 45 号钢扯离强度，MPa	8.3	8.8	9.3
70℃×144h 热老化：			
按拉伸强度计老化系数	1.10	0.99	1.07
按扯断伸长率计老化系数	0.9	0.88	0.87
硬度（邵尔A）变化	+9	+7	+5
臭氧老化浓度 $3.82\times10^{-4}\times9$ h			
按拉伸强度计的老化系数	1.09	1.00	1.07
按扯断伸长率计的老化系数	0.90	0.92	0.86
硬度（邵尔A）变化	+5	+3	+5
天候老化70℃×144h，每30min喷水6min			
按拉伸强度计的老化系数	1.20	1.06	1.07
按扯断伸长率计的老化系数	0.75	0.80	0.72
硬度（邵尔A）变化	+18	+15	+16
吸水性试验			
室温×72h 增重，%	1.51	1.38	1.21
室温×144h 增重，%	2.31	2.17	1.93

表 2-10-3 天然橡胶支座配方及性能

组分与性能 \ 配方编号	1	2	3
1号烟片胶	100	100	100
氧化锌	6	10	30
硬脂酸	1	1	1
增塑剂	2	2	2
防老剂D	1	1	1
防臭氧剂 UOP88	4	4	4
硫黄	2.5	2.5	2.5
炭黑	15	35	60
促进剂CZ	0.7	0.7	0.7
共　计	132.2	156.2	201.2

组分与性能 \ 配方编号	1	2	3
物理机械性能（硫化条件，141℃×20min）			
拉伸强度，MPa	22.4	21	16.4
扯断伸长率，%	600	520	380
硬度（邵尔A）	50	60	70
70℃×144h 老化后			
按拉伸强度计的老化系数	1.06	1.04	1.01
按扯断伸长率计的老化系数	0.88	0.92	0.90
硬度（邵尔）变化	+2	+2.5	+1.5
日光暴露10周	无龟裂	无龟裂	无龟裂

表 2-10-4 三元乙丙橡胶支座配方及性能

组分与性能 \ 配方编号	1	2	组分与性能 \ 配方编号	1	2
三元乙丙橡胶	100	100	物理机械性能（150℃×30min）		
氧化锌	5	5	拉伸强度，MPa	20	21
硬脂酸	0.5	0.5	扯断伸长率，%	390	400
炉法炭黑	50	60	扯断永久变形，%	13	15
二异丙苯过氧（DCP）	4	4	硬度（邵尔A）	64	68
防老剂 RD	0.5	0.5	100℃×70h 热空气老化后		
防老剂 MB	1	1	拉伸强度变化率，%	+1	+4
石蜡系操作油	5	5	扯断伸长率变化率，%	−6	−7
			硬度变化	+2	+3
共　计	166	176	脆性温度，℃	−70以下	−70以下

表 2-10-5 丁基橡胶配方及性能

组分与性能	指标	组分与性能	指标
丁基橡胶 400	100	胶料性能	
对,对′-二苯甲酰基苯醌二肟	0.5	门尼粘度ML_{1+4}，100℃	60
超耐磨炉黑	60	胶料原始物理机械性能	
氧化锌	5	（166℃×min）	10　20　40
硬脂酸	0.5	300% 定伸应力，MPa	7　8.6　7.7
石　蜡	3	拉伸强度，MPa	17.4　17.2　17.3
合成芳烃聚合物 KenflexA	5	扯断伸长率，%	540　450　480
防老剂 4010	2	硬度（邵尔A）	70　69　70
硫　黄	1.5	撕裂强度，kN/m	—　64　58
二乙基二硫代氨基甲酸锌	2	压缩变形（ASTM D），%	
促进剂 DM	1.0	70℃×22h	17
		100℃×70h	35
		耐臭氧（25pphm×49℃）	
		裂口时间，h	150
		裂口深度，mm	0.02

表 2-10-6 氯化丁基橡胶配方及性能

组分与性能 \ 配方编号	1	2	组分与性能 \ 配方编号	1	2
氯化丁基橡胶	77	83	物理机械性能		
三元乙丙橡胶	23	17	（160℃×20min）		
氧化锌	4	4	300%定伸应力，MPa	8.8	9.3
硬脂酸	1	1	拉伸强度，MPa	21	19.4
超耐磨炉黑	45	50	扯断伸长率，%	600	610
石蜡油	5	6	撕列强度，kN/m	54	53
氧化镁	0.8	0.8	硬度（邵尔A）	65	68
防老剂D	0.8	0.8	100℃×70h 热空气老化后		
硫　黄	0.8	0.6	拉伸强度变化率，%	+1.1	+6.8
促进剂 TMTD	0.75	0.8	扯断伸长率变化率，%	−21	−21.5
促进剂 DM	1.5	1.7	硬度变化	+4	+4
共　计	159.25	165.7			

表 2-10-7 交通部公路桥梁板式橡胶支座胶料性能条件

（JT3132.2—88）

性能 \ 胶种	氯丁橡胶	天然橡胶	三元乙丙橡胶
硬度（邵尔A）	60±5	60±5	60±5
拉伸强度，MPa	≥17.0	≥17.5	≥15.2
扯断伸长率，%	≥400	≥400	≥350～400
橡胶与钢板粘接的剥离强度，kN/m	>7	>7	>7
脆性温度，℃	≤-40	≤-50	≤-60
恒定压缩永久变形（70℃×22h），%	≤20	≤25	≤25
臭氧老化（25～50pphm，20%伸长，40℃×96h）	无龟裂	无龟裂	无龟裂
热空气老化（100℃×70h，70℃×168h，100℃×70h）			
拉伸强度变化率，%	<15	<15	<15
扯断伸长率变化率，%	<40	<20	<40
硬度（邵尔A）变化	+15	—	+10
聚四氟乙烯板与橡胶粘接的剥离强度，kN/m	>4	>4	>4

2．桥梁橡胶支座材料规范国际标准草案

在国际标准草案中，对橡胶支座材料的规定分为二种情况，将氯丁橡胶及天然橡胶列为质量性能规范，见表2-10-8；此外，将三元乙丙橡胶、丁基橡胶及氯化丁基橡胶列为可供选择材料的质量控制性能，见表2-10-9。

表 2-10-8 质量控制性能规范

性能	氯丁橡胶	天然橡胶	性能	氯丁橡胶	天然橡胶
全部硬度范围 IRHD	46～75	45～75	耐热老化性能		
拉伸强度，MPa ≥	15	15.5	老化温度，℃	100	70
扯断伸长率，% ≥			老化时间，h	70	168
45～55 IRHD	400	450	性能变化最大值		
56～65 IRHD	400	400	硬度IRHD	+15	±10
66～75 IRHD	300	300	拉伸强度，%	-15	-15
压缩永久变形（70℃×22h），% ≤	20	30	扯断伸长率，%	-40	-20

表 2-10-9 可供选择橡胶材料的质量控制性能

性能	EPDM	IIR	CIIR
硬度范围	60～75	55～65	55～65
拉伸强度，MPa >	15.2	16.6	16.6
扯断伸长率，% >			
65 IRHD	—	600	600
60 IRHD	400	550	450
65 IRHD	350	550	400
70 IRHD	300	—	—
压缩永久变形（70℃×22h），% <	25	25	20
耐热空气老化（100℃×70h）变化，%			
硬度 IRHD	+10	±10	+10
拉伸强度	-15	-2	-15
扯断伸长率	-40		-25

四、桥梁橡胶支座制造

（一）桥梁橡胶支座生产流程

桥梁橡胶支座生产流程见图2-10-10。

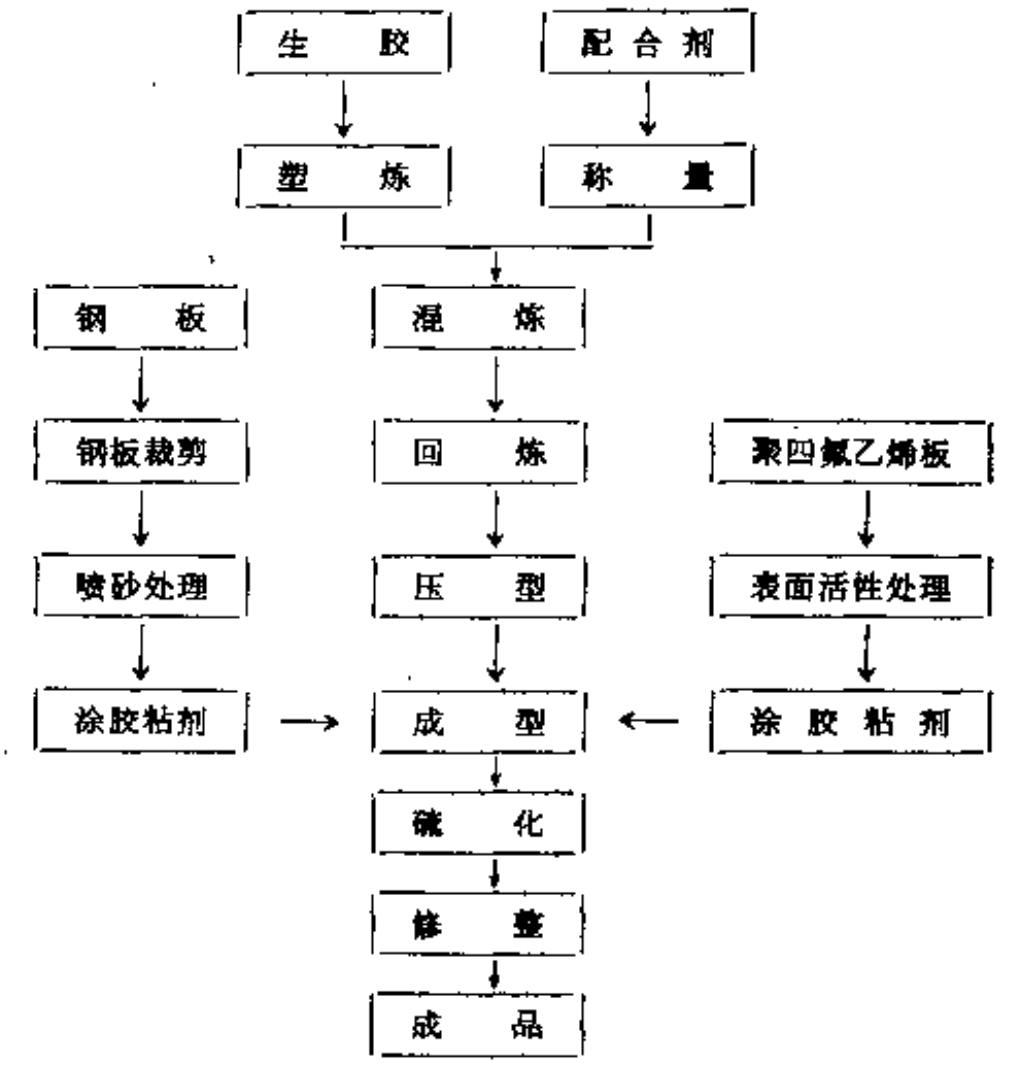


图 2-10-10　桥梁橡胶支座生产流程

（二）桥梁橡胶支座制造概述

桥梁橡胶支座多用模型制造，生胶经塑炼后与配合剂按配方制成混炼胶，经停放和回炼后，根据需要尺寸将混炼胶压延出片，剪裁成一定规格的半成品胶片。

钢板亦按要求规格冲裁，其规格尺寸应比所需橡胶支座的尺寸每边小5mm左右。钢板表面需经喷砂处理，并清洗干净，然后涂刷4，4′，4″-三苯甲烷三异氰酸酯（JQ-1溶液）两次，或其它胶粘剂，备用。

将胶片和经喷砂处理后的薄钢板及经表面活化处理过的聚四氟乙烯板，按图纸设计要求依次贴合成型后，装入已经预热好的模具中硫化。

硫化模具用45号钢制成，分为上盖板、中框及底板三部分。为了能精确面迅速地合模，上盖板和中框上设置导位销钉及导位孔如图2-

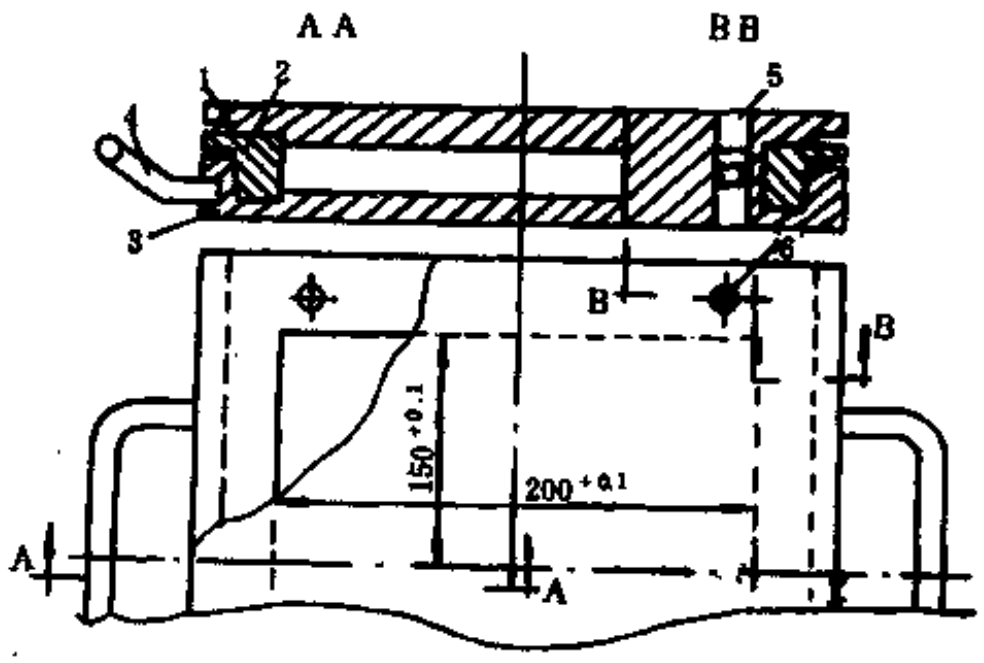


图 2-10-11　橡胶支座硫化模具例（单位：mm）

1—上盖板；2—中框；3—底板；4—手柄；5—导位销钉；6—导位孔

10-11所示。

中框可制成不同厚度，以供制不同厚度的橡胶支座使用。模具的内部表面需磨光或镀铬（0.02～0.04mm），模具零件应经表面淬火处理。

将已装好胶料及钢板半成品的模具，盖好上盖板，放入平板硫化机中，加压硫化。硫化压力应不小于8MPa，硫化开始前应使硫化平板升降2～3次，以排除模具内的残余空气，使胶料能充满模腔，然后再保持恒压和按配方工艺要求的硫化温度和时间进行硫化。硫化时应注意使硫化模具放在平板硫化机的中心部位，以避免成品厚薄不均及钢板移动。

硫化完毕后，拆卸模具。硫化好的橡胶支座很容易从模具中取出。冷却后修剪废边即得成品。

常用板式橡胶支座的剖面见图2-10-12。

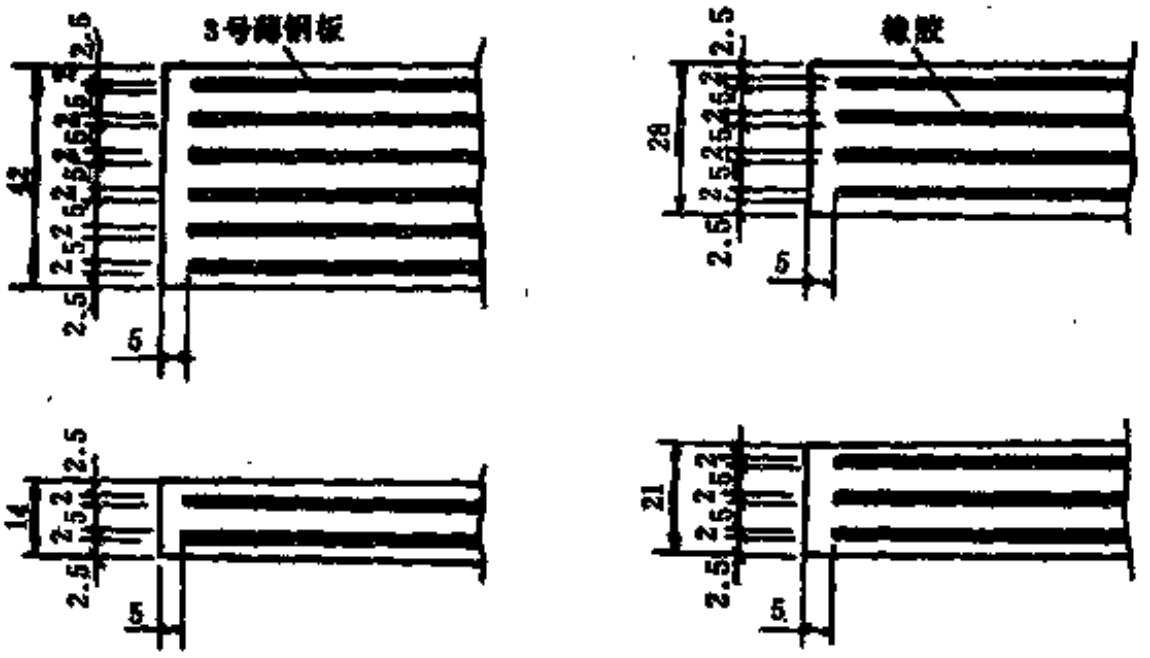


图 2-10-12 橡胶支座构造尺寸（单位，mm）

五、桥梁橡胶支座的力学性能试验

为了了解橡胶支座的物理力学性能，确定橡胶支座设计数据，要对前述三类橡胶支座进行试验研究。其中包括：中心受压试验；偏心受压试验；剪切试验；反复荷载试验；破坏试验；静摩阻试验等。

（一）各种力学性能试验简介

1．中心受压试验

进行中心受压试验的目的是为了测定受压时压力（σ）与应变（ε）的关系和橡胶支座在设计荷载下的压缩变形，并据此求出橡胶支座的抗压弹性模量（E），以及观察橡胶支座在受正压条件下的工作状态。

中心受压用压力试验机试验，在试验机上下机头的四角上安有4块百分表，用来测定橡胶支座的压缩变形，试验装置见图2-10-13。试件对中就位后，先预压三遍（压力由0→15MPa）后，再正式进行试验，逐级加荷至满载，每级持续加荷3min读表，随后再逐级卸载，每次持续3min读表，卸载至0，停10min后读表。每个试样反复测定3次。然后根据测定数据，绘制出橡胶支座中心受压的σ-ε关系曲线。在测试过程中对橡胶支座在外荷作用下的侧面变形外貌观察记录。

橡胶支座抗压弹性模量E，根据σ-ε中的直线段按公式：$E=\frac{\sigma}{\varepsilon}$求出。

2。剪切试验

如前所述，由于温度变化，梁体的收缩与蠕变以及机车水平制动力等所引起的水平位移，将使橡胶支座产生剪切变形。

剪切试验测定剪应力（τ）-剪应变（γ）的关系，并从中决定抗剪弹性模数（G）和容许剪切角φ。剪切试验装置安装在压力试验机上，试验装置示意图见图2-10-14。

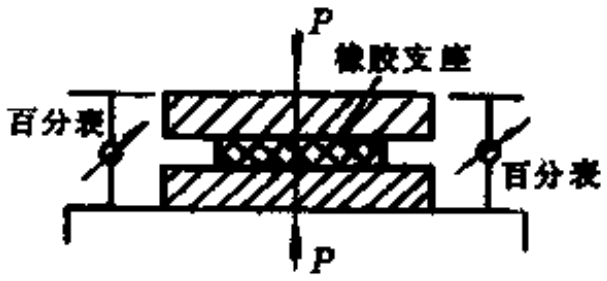


图 2-10-13 中心受压试验装置

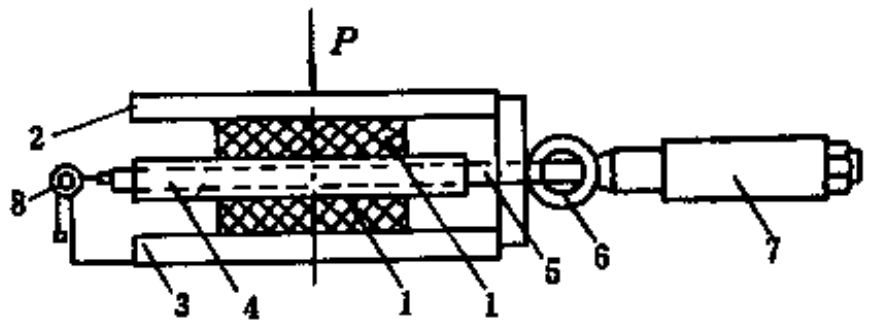


图 2-10-14 橡胶支座剪切试验装置示意图

1—橡胶支座试件；2、3—上下承压板；4—中支承板；5—拉杆；6—测力环；7—油压千斤顶；8—回转式挠度计

剪切试件对中放置后，施加10MPa正压力，然后用千斤顶预施水平拉力三次，再正式开始进行橡胶支座的剪切试验。水平拉力τ由0开始以均匀速度加载，直至$\tau=1$MPa为止。逐级读表，根据测定数据绘制剪应力-剪应变（τ-γ）曲线图。不同橡胶硬度，总厚度相同的橡胶支座τ-γ曲线见图2-10-15；橡胶硬度相同，但总厚度不同的橡胶支座τ-γ曲线见图2-10-16。

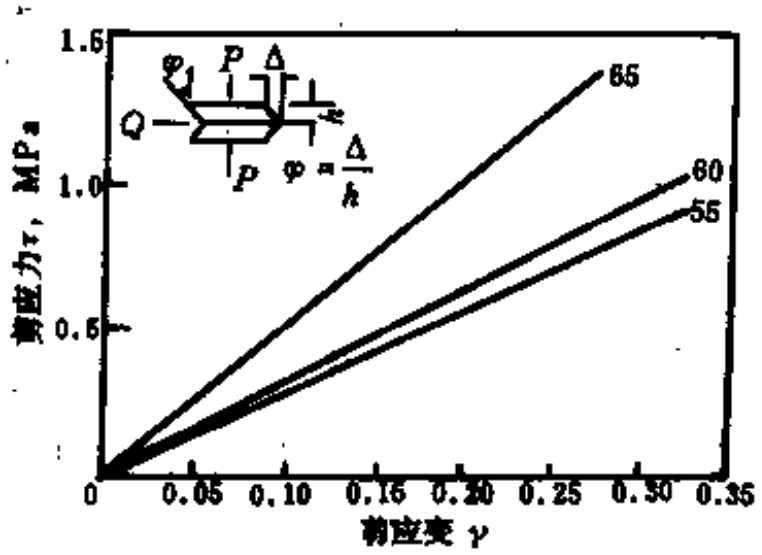


图 2-10-15 不同硬度的橡胶支座剪应力与剪应变的关系曲线

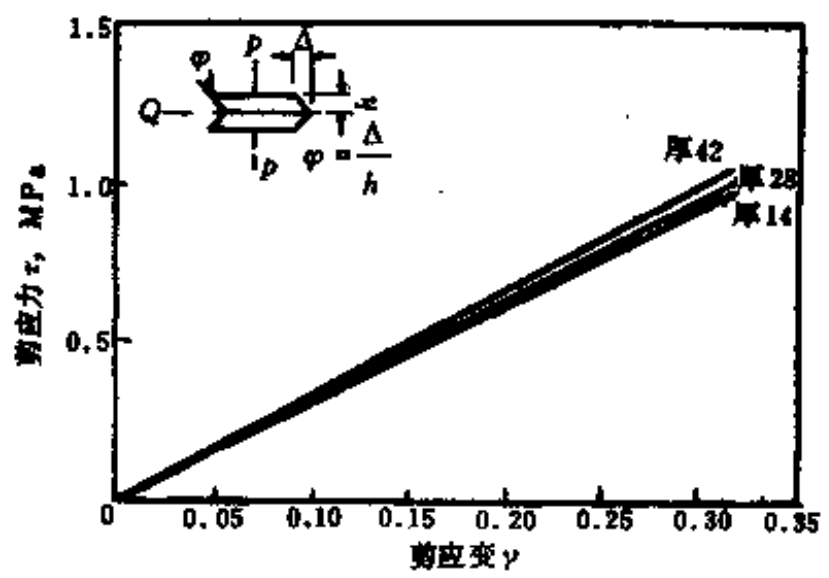


图 2-10-16 橡胶硬度相同但总厚度不同的剪应力与剪应变的关系曲线

计算剪变形时，由于只是橡胶层发生变形，因此应当采用橡胶层的净厚来计算，见图2-10-17。即$\nu_0=\operatorname{tg}\varphi=\frac{\Delta}{h_0}$，$G_0=\frac{\tau}{\nu_0}=\frac{\tau h_0}{\Delta}$。

3。偏心受压试验

偏心受压试验是为了观察橡胶支座在偏心荷载下的转动角度能否适应梁端的转动要求。偏心受压试验亦用压力试验机，转动试验装置如图2-10-18。

转动试验装置安放在试验机上，试样放置在由重型钢轨组成的钢性梁之间。试验机经上下两个圆柱铰对橡胶支座中心加载，在钢梁一端，距试件中心L处安装有穿心式千斤顶，千

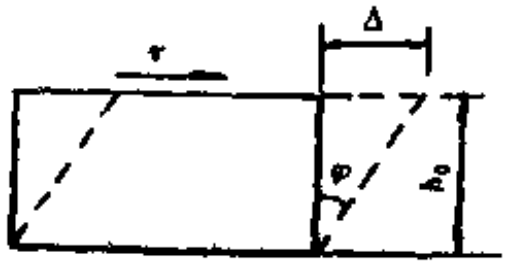


图 2-10-17　橡胶支座的剪切变形

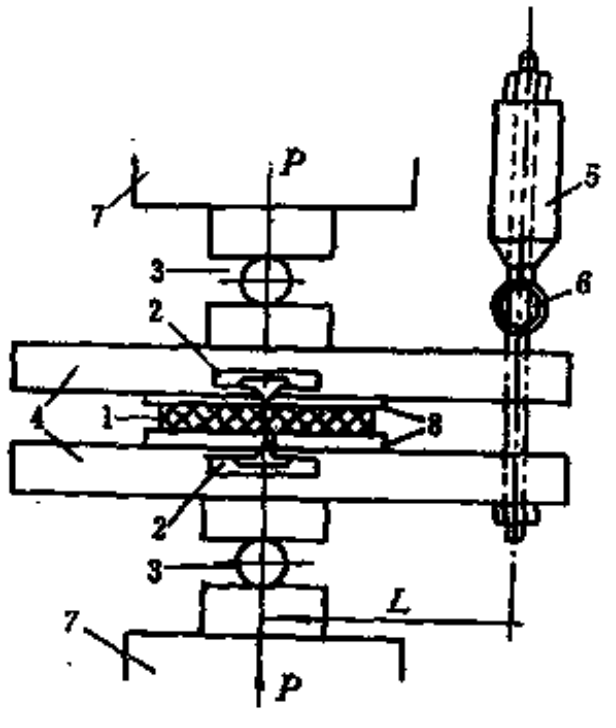


图 2-10-18　板式橡胶支座转动试验装置

1—橡胶支座试件；2—倾角仪；3—圆柱铰；4—刚性梁；5—千斤顶；6—测力环；7—试验机头；8—上下承压板

斤顶底部置一测力环。用油泵使千斤顶加压，对试件施加转动力矩。由安装在支座上下承压板上的倾角仪测定所产生的转角，上下仪表读数之和即为支座的转角。

试验开始时，先对试样施加一定的正压力，并保持荷载。然后用千斤顶预压三遍后再正式逐级对试件施加转动力矩，$M = P \cdot L$，由 4 个倾角仪测出各级荷载下橡胶支座的转角。

4．静摩擦系数

橡胶支座与混凝土的静摩擦试验装置示意如图2-10-19所示。如滑动时的最大摩擦力为 F，垂直压力为 P，摩擦系数 $f = \frac{F}{P}$。则由垂直压力产生的压应力 σ 与 f 的关系如图2-10-20所示。

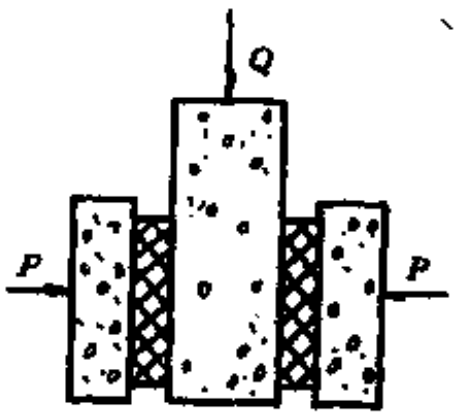


图 2-10-19　橡胶支座与混凝土的静摩擦装置示意图

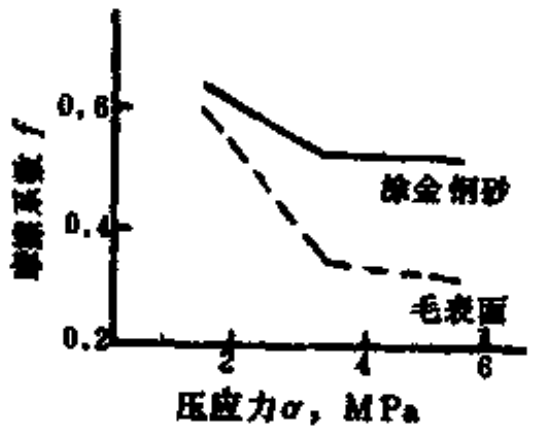


图 2-10-20　摩擦系数与压应力的关系

当水平力 $Q \leqslant F$ 时，则橡胶支座不会产生滑动。

5．反复荷载试验

进行反复荷载试验是为了了解活载和温度变化等因素对橡胶支座性能的影响。试验在疲劳试验机上进行。使支座在150～300kN的脉冲压力下中心受压，冲击200万次，剪切和偏心受压反复荷载试验装置如图2-10-21所示，脉冲力为40～130kN（剪切时的剪切应力为3～6MPa），冲击次数仍为200万次。除在剪切试验时橡胶支座有少量的磨损外，在整个试验过程中支座未发生任何异常情况，经反复荷载试验的支座其弹性模数也未发生显著变化。由于

反复荷载时支座受到不间断的摩擦，支座温度升至40～50℃，因此可以认为在40～50℃的温度下，支座的力学性能没有改变。

6．振动试验

试验采用自振法，将一质量为M的重物放在支座上，使其重心线穿过橡胶支座中心，在中心点给预冲击，使系统产生垂直振动，用拾振器记录振动曲线。以厚度为28mm的氯丁橡胶支座为例，其振动曲线如图2-10-22所示。

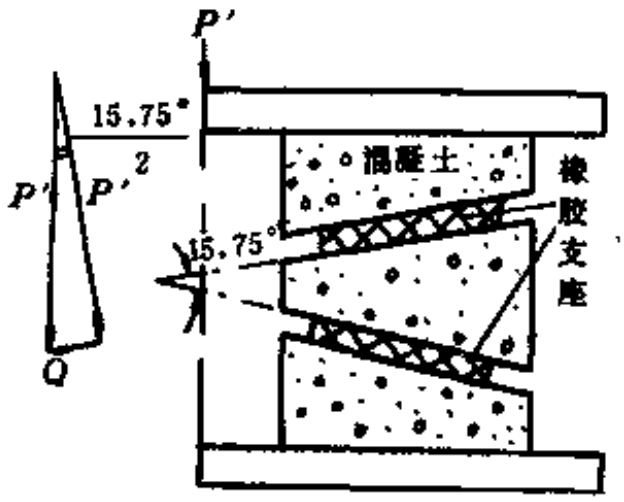


图 2-10-21　反复荷载试验装置

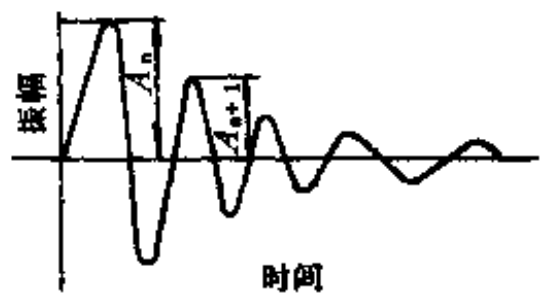


图 2-10-22　氯丁橡胶支座的振动曲线

表 2-10-10　氯丁橡胶支座的振动频率及对数衰减率

	试样厚度 mm	频率 Hz	$\ln\frac{A_n}{A_n+1}$	
垂直振动	21	60.4	0.693	0.693
	28	60.4	0.693	0.513
水平振动	21	19.0	0.693	0.588
	28	19.0	0.693	0.864

所测得的不同厚度规格的氯丁橡胶支座的振动频率及利用振幅求得的对数衰减率如表2-10-10所示。

7．破坏性试验

支座的强度安全系数，可通过破坏性试验来确定。以硬度60的氯丁橡胶支座为例，其中间橡胶片厚度为5mm，支座总厚度为21mm，中心受压破坏荷载达2900kN，$\sigma_{破压}=97$ MPa；中间橡胶片厚度为12mm，支座总厚度为28mm，破坏荷载为2000kN，$\sigma_{破压}=67$MPa。支座破坏系钢板拉断所致。

按图2-10-14所示的装置，用总厚度为14mm的支座来测定“极限剪应力”，当加荷至540kN（$\tau=2.425$MPa）时，混凝土楔块破裂，但橡胶支座仍然完整无损。如以$\tau=2.425$MPa为“极限剪应力”，已经远远超过实际使用时可能产生的剪切应力。

（二）试验结果综述

（1）板式橡胶支座（包括普通的和聚四氟乙烯板两种）的弹性模量E与橡胶材料的硬度、气温以及橡胶片的形状有关，而与支座的总厚度无关。弹性模量E与形状系数的关系如图2-10-23所示。

中心受压的试验结果表明：板式橡胶支座受压时，应力、应变关系并不符合线性弹性理论，开始受荷时初始变形较大，当有一定压力时，应力、应变渐趋规则，并接近于直线，由试验决定的E值就取自应力、应变图上规则部分。由于带薄钢板的弹性模量远大于橡胶的弹性模量，在决定板式支座的抗压弹性模量E的数值时，可以近似地把钢板看作是无限刚性的，因而在计算时支座的压缩厚度为橡胶层的总厚度。由于橡胶材料的不可压缩特性，盆式橡胶支座的抗压刚度主要取决于钢盆的刚度。

（2）普通板式橡胶支座的剪切模量G仅与橡胶材料的硬度、气温有关，而与“形状系数”、橡胶层的总厚度无关。根据测试结果，G值的变动范围为0.8～1.5MPa，而大部分在1.0～1.5MPa。试验时支座最大的剪切角的正切值tg γ可达到1.0，此时支座仍保持完好无损。

（3）板式橡胶支座的偏心受压试验结果表明：橡胶层的总厚度大，对主梁在挠曲时的端部转动有利。如支座短边沿桥梁纵向放置，支座易于产生转动。试验结果还表明：由于盆式支座内的橡胶块有类似于液体的传力特性，盆式支座完全能适应梁端的转角变位。

（4）上述三类支座均进行过200万次反复荷载试验。试验后支座的弹性特性未发生显著变化，在整个试验过程中支座也未发生异常情况，仅在做剪切反复荷载试验时，聚四氟乙烯板有一定程度的磨耗，厚度减小。这说明支座能很好地适应桥梁上的活载作用和温度变化等因素的影响。

（5）破坏性试验结果说明：板式支座有足够的强度安全贮备。支座受压时由于橡胶片产生侧向膨胀，致使钢板受拉，支座破坏均系钢板被拉断所致。支座的破坏强度与中间橡胶片的“形状系数”及加劲钢板的厚度有关。当加劲钢板为2mm时板式支座的破坏强度与形状系数的关系如图2-10-24所示。盆式橡胶支座的破坏强度则取决于钢盆的强度。

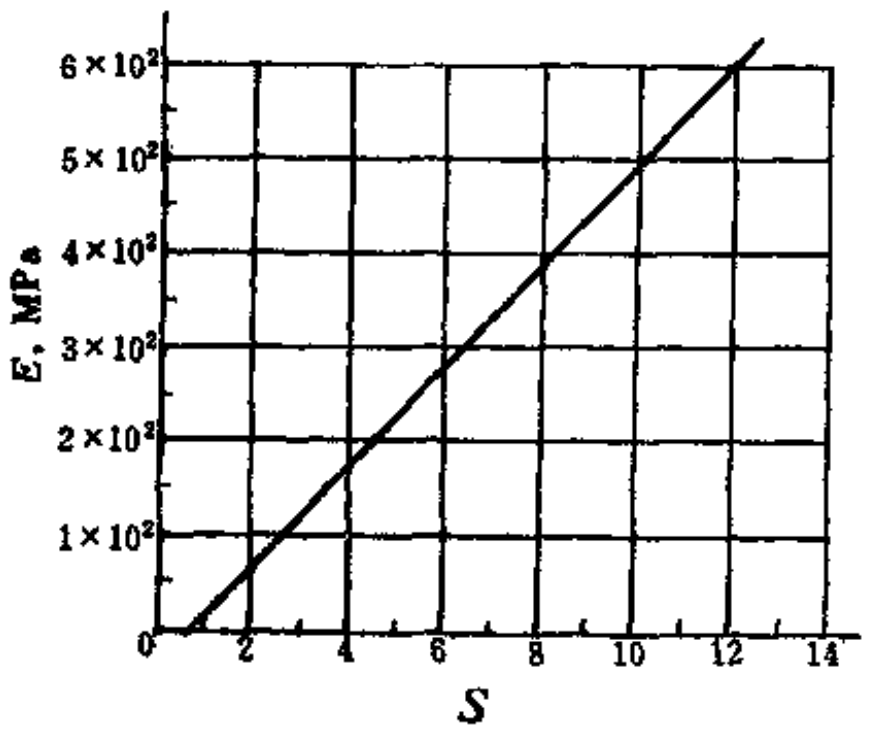


图 2-10-23　弹性模量E与形状系数S的关系

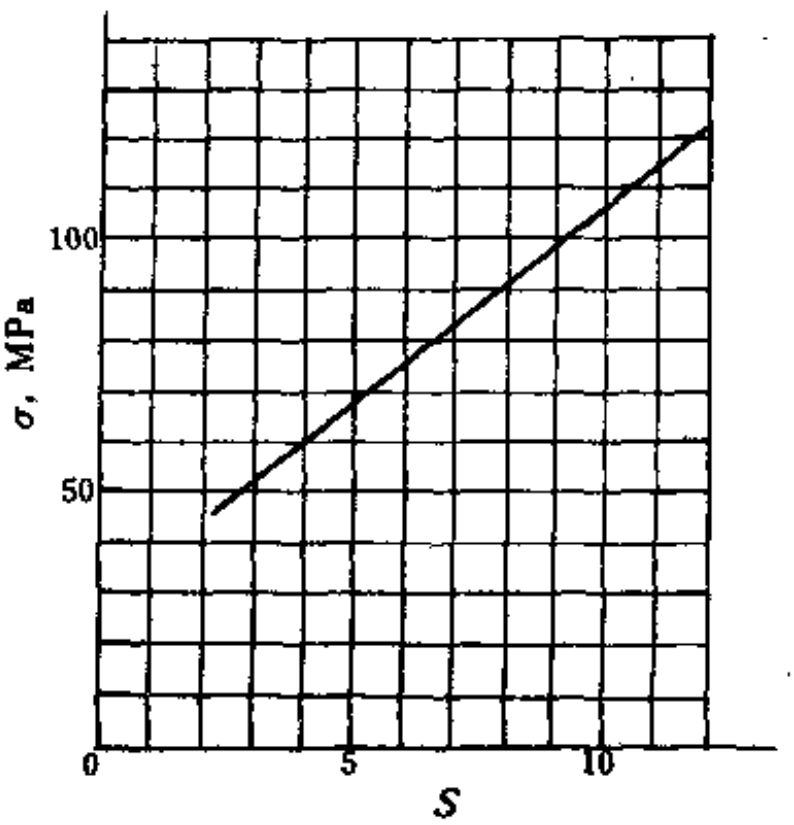


图 2-10-24　2mm钢板板式支座的破坏强度σ与形状系数S关系

（6）根据试验，普通板式支座与钢板或混凝土之间的摩阻系数为0.25～0.40。通常橡胶与钢板的摩阻系数取小值。聚四氟乙烯板与光洁度较好的不锈钢板之间的摩阻系数为0.05～0.10。由此可见板式橡胶支座中橡胶材料与钢板或混凝土之间的摩阻力足以抵抗桥梁上部构造的水平力，支座在使用时不会在上、下部构造之间产生相对滑移。

六、橡胶支座的设计计算

桥梁橡胶支座的设计计算可参照有关设计规范规定进行。本节根据普通板式支座的受力特性与多年来的实际使用情况，给出这类支座在设计中采用的基本数据与计算公式。

1．设计数据

平均容许压应力$[\sigma_m]$

当形状系数$S>8$时，$[\sigma_m]=10MPa$

$5\leqslant S\leqslant 8$时，$[\sigma_m]=7.0\sim9.0MPa$

橡胶支座的弹性模量E、剪切模量G应由试验决定。如无试验数据，对于硬度55～60的板式橡胶支座可参照图2-1-7确定E值。G值取1.1MPa。

支座橡胶片容许剪切角的正切值为0.5～0.7。

2．计算公式

平均承压应力 $$\sigma_m=\frac{R_{max}}{A}\leqslant[\sigma_m] \tag{2-10-5}$$

橡胶层的总厚度 $$\sum t=2t_1+(n-1)t=h-nd \tag{2-10-6}$$

如不计活载制动力 $$0.2a\geqslant\sum t\geqslant 2\Delta_{恒} \tag{2-10-7}$$

如计入活载制动力 $$0.2a\geqslant\sum t\geqslant 1.43(\Delta_{恒}+\Delta_{制}) \tag{2-10-8}$$

而 $$\Delta_{制}=\frac{T_{制}\sum t}{2GA} \tag{2-10-9}$$

平均压缩变形 $$\delta=\frac{\sigma_m\sum t}{E} \tag{2-10-10}$$

且 $$0.05\sum t\geqslant\delta\geqslant Q\cdot\frac{a}{2} \tag{2-10-11}$$

水平力 $$fR_{min}\geqslant 1.4GA\frac{\Delta_{恒}}{\sum t}+T_{制} \tag{2-10-12}$$

或 $$fR_{恒}\geqslant 1.4GA\frac{\Delta_{恒}}{\sum t} \tag{2-10-13}$$

式中 R_{max}——支点的最大反力（恒载＋最大活载）；

R_{min}——支点的最小反力（恒载＋最小活载）；

$R_{恒}$——支点的恒载反力；

A——支座承压面积即$A=a\cdot b$；

h——支座厚度；

n——钢板层数；

d——钢板厚度；

$\Delta_{恒}$——由上部构造温度变化、桥面纵坡等因素引起的支座顶部最大水平位移；

$\Delta_{制}$——由水平制动力等荷载因素引起的水平位移；

Q——梁端最大转角；

f——橡胶与钢板或混凝土之间的摩阻系数$f=0.2\sim0.3$，对于钢板取小值；

$T_{制}$——一个橡胶支座承受的水平制动力。

3．关于设计数据与计算公式的说明

上述普通板式橡胶支座的设计数据与计算公式的拟定考虑了下述因素：

① 支座破坏强度；

② 试验数据（包括弹性模量E、剪切模量G、支座与钢板或混凝土之间的摩阻系数f、破坏强度等）的离散程度；

③ 支座使用温度与试验温度的差异；

④ 支座受剪时的稳定条件；

⑤ 桥梁行车状况；

⑥ 橡胶材料的老化；

⑦ 计算图式与实际受力情况的差异。

平均容许压应力$[\sigma_m]$，根据国外资料介绍有取$[\sigma_m]=5.0MPa$，(如日本)；也有取$[\sigma_m]=15MPa$（如德国、法国）。按照国内试验资料（见图2-10-24），如取上述建议的数据，支座破坏强度安全系数$K>8$。根据这类橡胶支座的构造原理和破坏状况，如需要提高“形状系数”在$5\leqslant S\leqslant 8$范围内的支座承压应力，可适当增加加强钢板的厚度。

正确选择橡胶支座的平面尺寸，橡胶片的厚度能形成各种力学性能不完全相同的普通板式支座，使之适用于各种不同跨度的中、小跨径梁式桥，这实际上就是设计这类橡胶支座的本质所在。

式（2-10-5）用于选择支座的平面尺寸，式（2-10-6）～式（2-10-11）用于确定支座的厚度，其中：

不等式$0.2a\geqslant\sum t$考虑了支座受剪切时的稳定条件。

如前所述a为置于顺桥向的支座短边边长。

不等式$\sum t\geqslant 2\Delta_{恒}$规定支座容许剪切角的正切值$\operatorname{tg}\gamma\leqslant 0.5$。

不等式$\sum t\geqslant 1.43(\Delta_{恒}+\Delta_{活})$规定支座容许剪切角的正切值$\operatorname{tg}\gamma\leqslant 0.7$。

不等式$0.05\sum t\geqslant\delta$主要是为了使支座在活载作用下不致产生过大的压缩变形以确保行车平顺。

不等式$\delta\geqslant Q\cdot\frac{a}{2}$，使支座能适应于梁端的转动要求。采用这一算式主要考虑了由于温度降低，试验数据的离散程度，橡胶材料的老化，计算图式与实际受力情况的差异等种种不利因素的影响。从桥梁上更换下来的旧支座所做的力学试验结果表明，即使是氯丁橡胶支座还是存在一定的老化情况，随着使用年限的增加，弹性模量E和剪切模量G都有所提高。上海橡胶工业制品研究所曾用旧支座上剥离下来的氯丁橡胶片做过材料的物理力学性能试验，试验结果同样也说明了这一点。

计算公式（2-10-12）和式（2-10-13）用于验算橡胶支座的抗滑性能，系数1.4反映了剪切模量G值的变化范围。满足式（2-10-12）和式（2-10-13）就能保证橡胶支座与梁底台帽或盖梁之间不会产生相对滑移，上部构造的水平位移全部由支座的剪切变形承受。

至于聚四氟乙烯板式支座，前已指出，其构造原理与普通板式支座类似，由于支座顶部粘贴有摩阻系数极小的聚四氟乙烯板，一般在桥梁上用作活动支座，因此也可参照普通板式支座取用$[\sigma_m]$及E值，设计时只须考虑平均压应力，平均压缩变形、梁端转角等因素。

盆式橡胶支座中，橡胶块的平均容许压应力$[\sigma_m]=25MPa$。根据它的受力特性和使用要求设计，主要考虑钢盆的强度和刚度。

目前已有按使用要求和梁端反力大小划分的系列产品。

七、桥梁橡胶支座的安装

（1）安装时支座中心线应与主梁中心线重合或平行。对于板式支座，支座短边须置于沿桥轴方向，并应保证其上下表面与梁底面及墩台支承垫石顶面平整密贴、受力均匀，不得有“脱空”现象。盆式支座四角高差不得大于2mm。

（2）桥梁纵坡大于或等于1%时（但不超过3%），应在支座表面与梁底之间采取构造措施以使支座平面仍保持水平。

（3）对于肋宽较宽的预制梁，在同一根梁上横向不得设置多于两个的支座，且施工时要密切注意使两个支座能共同受力。

（4）在斜交桥、曲线桥上使用板式橡胶支座，必须在支座处设置限制上部构造横向位移的构造措施，对于聚四氟乙烯板式支座在安装时更须采取措施限制横向位移。

（5）为了便于调整、更换支座，可在下部构造设计中考虑留出一定位置以放置顶升上部构造的千斤顶。

（6）普通板式支座可以用厚度较小的支座作为固定支座，也可以采取其它构造措施。

八、橡胶支座的应用

橡胶与金属板制成的叠层橡胶支座不仅已用于桥梁工程，而且也进一步发展用作建筑物的底座，用于隔离振源，地震的防护和水域建筑物的隔振等。

（一）隔离振源

在本世纪初，对建筑物由于机车、城市交通等引起的振动噪音的隔离进行研究，采用了毛毡、软木、铅皮和石棉组成的构件作为隔振材料。但工程实践不能满足人们的期望，因而只能选择建筑地点，使建筑物远离振源，这种情况直到60年代初几乎没有改变。

由于现代生活水准的提高，日益增长的交通密度导致更大的振动和噪音污染。同时，大中城市中心建筑用的土地日趋紧张，不得不注目于过去靠近铁路线、地铁等被认为不适宜建造办公楼和住宅的地段，因而土木建筑物的振动和噪音的隔离就成为亟待解决的问题，并成为热门的研究课题。

在规划大型建筑方案时用隔离公路和铁路、地铁等的振源是最理想的方法，比分别对各建筑物进行振动的隔离要经济得多，但是对于现有的城市建筑物，实际上更多的仍然是对建筑物本体个别进行隔振设计。

地面振动的传播取决于建筑工地和振源下面土壤和岩石层的性质，须先测定振动的频率范围和强度，再根据建筑物的功能要求来决定底座的基本设计参数，所选定的底座如不引起驻波效应，就能起到对振动的有效隔离。

桥梁橡胶支座经多年的生产和应用，不但使橡胶制品厂具备了按严格要求制造大型建筑物底座的专门技术基础，也使土木工程部门对大型建筑物底座的设计和使用有所借鉴。1964～1965年在英格兰建造的 Albany Court 六层公寓大楼首次采用天然橡胶底座隔离交通噪音及振动，它座落在地下铁道车站之上，所在地产生的干扰频率为22Hz，安装天然橡胶与钢板组成的叠层底座后，自然频率：垂直方向频率为7Hz，水平方向为2.5Hz。这些底座承受总荷重约1400 t，其中最大底座承荷216 t，经15年后测定橡胶底座的橡胶表面硬度基本上没有增加，未发现龟裂和蠕变，经试验室试验推算100年后全部蠕变小于6mm，证明橡胶材料与工程上使用的钢筋水泥等材料有同样的耐久性。

1973年，Crockett发表了在铁路干线上部旅馆的卧室内测定的加有弹性底座和无弹性底座时振动噪音水平比较（见图2-10-25）。

由图2-10-25可见，加弹性底座后有明显的效果。

（二）地震防护装置

与隔离交通振动及噪音不完全相同，载重汽车的振动多在18Hz以上，地铁建筑物则很

注意63Hz的频率；地震的响应谱带分析表明，其主要破坏力是与地面平行的并集中在1～10Hz频带范围之间，峰值为4Hz，接近建筑在硬土上建筑物的固有频率，因面这类建筑会与地震冲击波发生共振。此外，绝大多数的建筑物设计都着重于承受垂直载荷，对侧向力一般只考虑风力影响，所以承受侧向力的能力较差。然而在大地震中地面高度上的侧向力可达到建筑物重量的30%，加上与地面运动发生共振，因面破坏很大。传统的防震措施是加强建筑物结构刚度和强度，这种作法虽然能对结构的完整起到一定的保护作用，但是由于刚性较大的结构的共振产生更大的作用力，将会使室内的装置和设备仍然会受到较大的损害，甚至对人员也会造成伤亡。

由于橡胶底座在垂直和水平方向的柔性，当建筑物遭遇地震时，橡胶底座会提供较大的水平变位和绕水平轴的转角，因面可延长结构的自振周期，使其自然频率降低到地震频率之下，以避开地震的谐震周期，从而减小结构对地震的反应。其次，使用橡胶底座的结构体系阻尼增大，从而也减小了共振时的反应，并且由于橡胶底座绕垂直轴的扭转刚度较小，可减小结构的扭转反应，建筑物因面可以得到满意的保护。自1970年以来，英国马来西亚橡胶生产者研究协会的Tun Abdul Razak试验室（TARL）与美国加利福尼亚州立大学的地震工程研究中心进行了橡胶底座隔震研究。进行了大规模的振动台模拟试验，在电子计算机输入峰值为0.3g的加速度，弹性隔震与刚性连接地基振动试验比较结果见图2-10-26。

1．对基础隔震装置的技术要求

① 基础隔震系统必须能在承受建筑结构的垂向载荷能力上具有足够大的安全系数；

② 隔震装置的垂直刚度足以防止地震垂直量的显著放大；

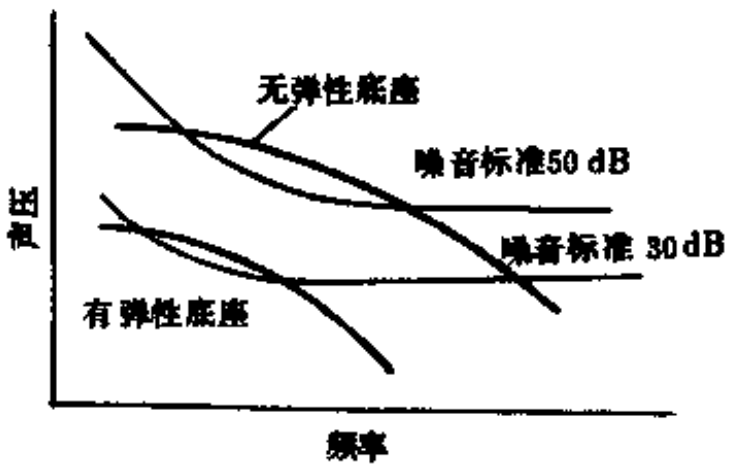


图 2-10-25 在铁路干线上部旅馆卧室振动噪音比较

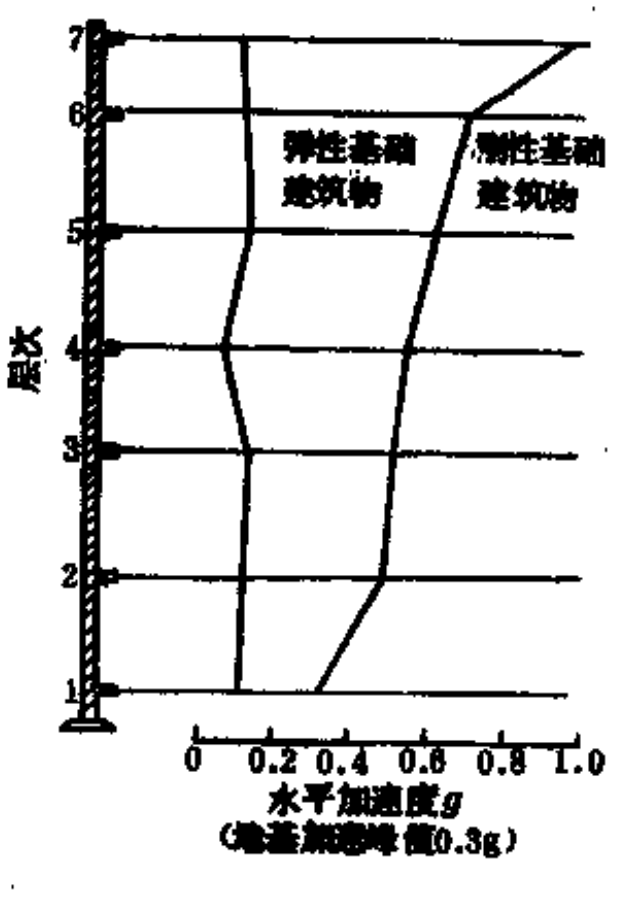


图 2-10-26 弹性隔震与刚性连接的比较

③ 隔震装置的剪切刚度须小到充分衰减大部分地震频率的地震量；

④ 地震期间建筑物可以在隔震装置上作各种侧向运动，在达到极端位置时，隔震底座必须仍能支承建筑结构的垂向载荷；

⑤ 隔震装置的阻尼须足以防止地震期间建筑结构中产生振幅叠加现象；

⑥ 在刮大风时建筑物的运动不应对室内人员有显著的影响；

⑦ 隔震装置应具有回复力，以使建筑物能复原到初始静止位置；

⑧ 隔震装置不应引起建筑结构或其内部设施的高次激振；并应具有良好的阻燃性；其使用寿命至少应与建筑物的使用寿命相当。

2．隔震装置的结构形式

隔震装置基本上由两个功能部分构成，一个是弹簧支承，另一个是缓冲装置。隔震橡胶底座作为弹簧支承其作用是支承建筑物的垂直载荷并在发生地震时延长建筑物水平方向的摇晃周期，使之超过震波的周期，起到保证水平方向缓冲往复运动的弹簧作用；缓冲装置的功能是在地震时将建筑物的水平位移控制在一定范围内，并使建筑物的摇晃尽快地得到衰减，隔震装置结构示意见图2-10-27。

这种隔震橡胶底座与缓冲装置并列设置用作建筑物的隔震，但由于占地面积大，缓冲装置及施工、维护保养等费用都相应增加，并且施工难度大，外观欠佳，需要改进，从而开发了兼具弹簧与阻尼性能的整体隔震橡胶底座。一种整体隔震阻尼橡胶底座是在橡胶底座中心加入铅合金柱塞，其剖面图见图2-10-28。美国加利福尼亚州San Bernadino司法中心的建筑物，就采用了这种隔震橡胶底座。

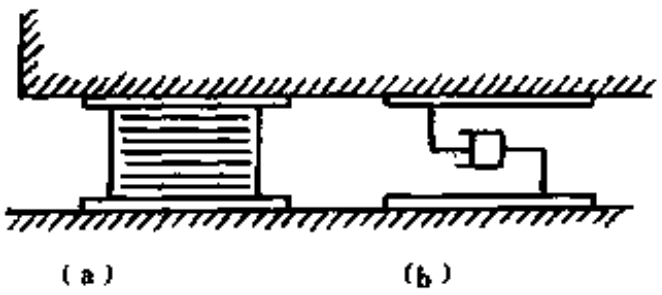


图 2-10-27　隔震装置示意图
(a) 隔震橡胶底座；(b) 缓冲装置

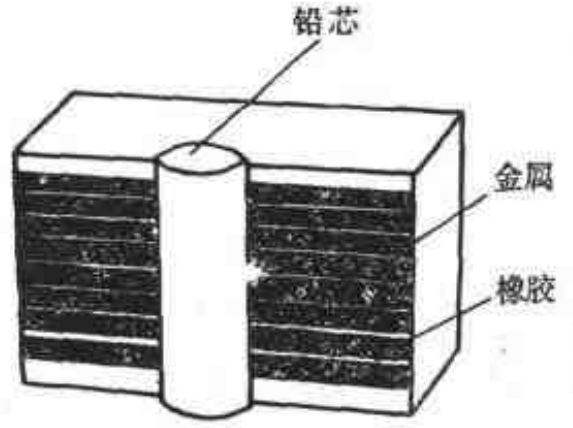


图 2-10-28　铅芯整体型隔震橡胶底座

日本桥石橡胶公司开发的高阻尼隔震橡胶底座称为MRE-HD，使用了高阻尼橡胶制作，为了确保其耐天候老化性能，外表包覆了耐老化的包覆橡胶层，其结构见图2-10-29。

高阻尼橡胶呈典型非线性力学性能，它的剪切变形与剪切刚度曲线见图2-10-30。

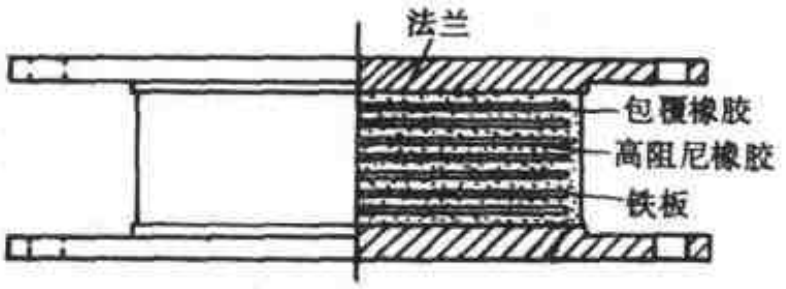


图 2-10-29　高阻尼隔震橡胶底座

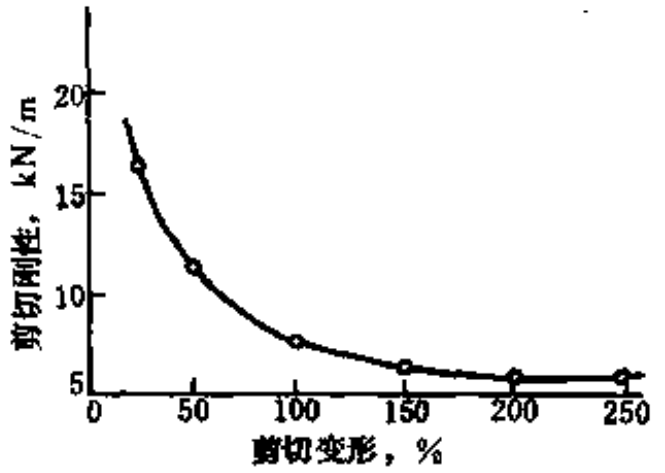


图 2-10-30　高阻尼隔震橡胶的力学非线性曲线

随着科研试验研究工作的进展，还新设计了将高阻尼隔震橡胶与普通低补强天然橡胶（标准隔震橡胶）复合而成的隔震橡胶底座，它在微小变形时刚度增加极小，而随着变形的增大显示出高阻尼橡胶的特性。其结构示意如图2-10-31所示。

对高阻尼隔震橡胶底座将根据所需的弹簧特性、衰减特性及建筑物特性来设计的新产

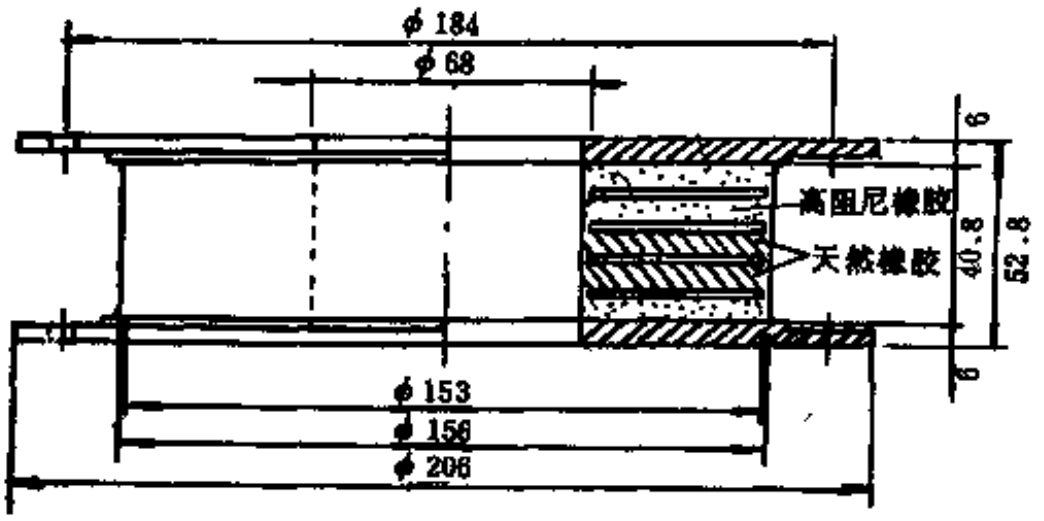


图 2-10-31 复合型隔震底座（单位：mm）

品。今后着重研究的问题是：第一，要进一步降低底座的水平刚性，使隔震适用范围更宽，效果更好；第二，使底座具有更高的当量粘滞阻尼，即具有更高的消能性，以便使隔震结构的摆动更小。

3．建筑物用隔震支座举例

（1）例1 美国加利福尼亚州San Bernadino司法中心是一座4层楼的建筑物，总重13000 t，采用98个橡胶金属底座支承，每件直径为760mm，高约400mm，重约500kg。隔振系统具有非线型高阻尼特性，建筑物设计能经受里氏（Richter Scale）8.3级地震的水平。当大楼竣工后不久，在1985年10月2日Red lands发生了里氏4.9级地震。它并非是破坏性地震但却相当强烈，地震中心距该建筑物31km；与地震区其它4座建筑物用相同的地震仪测定了各建筑物所在地的地面运动、最大加速度及各建筑物结构运动的加速度，数据见表2-10-11。

表 2-10-11 Red land地震测定数据

编号	位置名称	结构尺寸形式	震中距离 km	地面运动最大加速度g	建筑结构运动加速度g
23497	Rancho Cucamonga San Bernadino county 司法中心	4层基础隔振钢结构建筑物	31	0.04	0.03
23495	Red lands 州际运输线仓库	一层预制钢筋混凝土斜置建筑物	5	0.05	0.11
23481	Red lands Federal Savings大厦	七层钢结构建筑物	7	0.03	0.06
23285	San Bernadino州立学院图书馆	五层钢筋混凝土抗剪建筑物	18	0.03	0.15
23466	Ftiwanda SCE 3号发电厂	蒸汽发生车间	27	0.03	0.13

从表中的数据可以看到：在装有传统防御地震设施的几座建筑物中，地面加速度输入建筑物结构中时都被放大，放大系数最小是2，最大为5，而在装有橡胶隔震底座的建筑物中，地震力传递到建筑结构中时被衰减，致使大楼里的工作人员对发生的地震没有察觉。

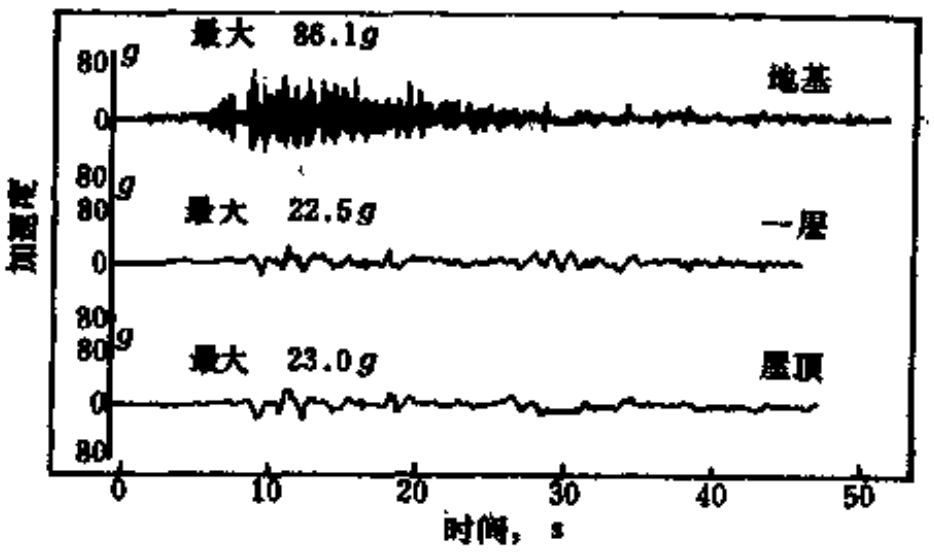


图 2-10-32 日本千叶地震隔震测定结果

（2）例2 1987年12月17日，

日本千叶县海面20km处发生了6.7级地震，千叶县为5级地震，在其附近的西船桥旁的竹中工务所装有隔震底座的单身宿舍测定的振动结果见图2-10-32。

用橡胶底座作建筑物基础隔震，能有效地降低建筑物水平加速度从而起到保护建筑物的目的。与刚性加固抗地震方法比较，可以节省投资，其更大的优点是保护建筑物内的设备、仪器和其它非结构建筑不被破坏、人员生命免受威胁，对于像医院、科学试验室、原子能发电站等配备精密仪器、贵重设备和危险物品的建筑物尤为适用。隔震橡胶底座建筑物，在1988年以前世界各国总计不过10余栋，并且多为各建筑公司自己使用的研究大楼和宿舍，属于试验性质的建筑，经过若干次地震实践，已初见功效，因此近几年开始有较大发展，例如日本在1985年仅有一栋，以后2年建造了9栋，面在1988年就建造了8栋，鉴于目前实际大地震的经历还不多，橡胶隔震底座的结构设计还在不断设计研究，继续积累经验以正确评价橡胶隔震底座的效果。

（三）在水域建筑工程中的应用

橡胶底座也开始在水域建筑中得到应用。目前在淡水水域或海水水域中都已有应用，在这类环境中应用，除常规的力学性能外，还必须考虑到其它因素的影响。

应用于泰晤士河堤底座的直径1m，橡胶厚度218mm，六层10mm增强钢板的承重支座，它可以承受1100 t 恒载，适应因膨胀、收缩、沉降和镇重的位移外，须耐水及水底腐蚀介质和细菌的侵蚀。

海上石油生产的海上设施使用的橡胶底座，广泛地用作噪音及振动的隔离和增强电讯的灵敏度。要求与陆上建筑物一样，必须具有高垂直荷载能力外，还需要能调节较大的水平方向力及大范围动态负荷，在使用过程中高风力载荷形成的脉冲力。大多数海上防震底座因装备及条件差异较大，必须全面考虑荷载、规格、间距、频率特性及环境因素，例如油沾污、海环境腐蚀和阻燃性。

主要参考文献

〔1〕清华大学工程力学系固体力学教研组振动组编，《机械振动》，机械工业出版社，1980年。
〔2〕严济宽编著，《机械振动隔离技术》，上海科学技术文献出版社，1986年。
〔3〕White, R.G. and Walker, J.G., Noise and Vibration, Ellis Horwood Limited, 1982.
〔4〕松本一男，机械设计，12月号特集，1966。
〔5〕Freakley, P.K. and Payne, A.R., Theory and Practice of Engineering, With Rubber Applied Science Publishers Ltd. London, 1978.
〔6〕林中柏，减震橡胶通讯，(2)，1～151 (1982)。
〔7〕施高义等合编，《联轴器》，88～102页，机械工业出版社，1988年。
〔8〕孙竹生主编，《内燃机车》，57～67页，唐山铁道学院出版社，1961年。
〔9〕大西弘伸，机械设计，22(12)，34 (1978)。
〔10〕DIN740
〔11〕Гозман, Е.А., Каучук и резина, (12), 39～42 (1978).
〔12〕林礼贵，橡胶工业，(8)，44～47 (1985)。
〔13〕林礼贵，橡胶工业，(1)，27～29 (1986)。
〔14〕林礼贵，橡胶工业，(12)，10～18 (1986)。
〔15〕林礼贵，橡胶工业，(9)，31～36 (1987)。
〔16〕张鹏伟编，《石油钻机的气动摩擦离合器》，石油工业出版社，1980年。
〔17〕Harry Long editor, Basic Compounding and Processing of Rubber, p.213, ACS Rubb Divis, Akron, Ohio, OSA.
〔18〕户原春彦，"防振ゴム"，昭和50年 8 月再版。
〔19〕山东化工学院 邓本诚 纪奎江主编，《橡胶工艺原理》，化学工业出版社，1984年。
〔20〕機械の研究，(2)，43 (1978)。
〔21〕河岗 丰著，《橡胶配方手册》，化工部橡胶工业科技情报中心站，1989年。

〔22〕钱之勉，《塑料性能应用手册》，上海科学技术文献出版社，1980年。
〔23〕Barbara Dalies, Plastics and Rubber International, 10 (6), 17～22 (1985)。
〔24〕Derham, C.J., Rubber world, 195 (6), 32～35 (1987)。
〔25〕White Liz, Rubber Development, 41 (2), 45～53 (1988)。
〔26〕JT3132.2—88。
〔27〕深堀美英，日本ゴム協会誌，62 (5)，41～54 (1989)。

第三章　硬质橡胶

橡胶中配入大量硫黄，经硫化后可得到硬质橡胶。

二烯类橡胶如天然胶橡、丁苯橡胶、丁二烯橡胶和丁腈橡胶都能用硫黄硫化制成硬质橡胶。此外，用含有乙烯基的橡胶可在不配合硫黄的情况下，在高温（200～300℃）、高压和无氧的条件下，经过长时间加热制成无硫硬质橡胶。

硬质橡胶在室温下是黑色角质状的坚硬物质，具有良好的化学稳定性，室温下不易老化，具有优良的耐化学药品和耐有机溶剂的腐蚀性，低的吸水性，很高的拉伸强度和抗折断强度，并有极好的电绝缘性能。硬质橡胶还可以进行切削、钻孔等机械加工和热塑定型。无硫硬质橡胶的分子结构呈立体规则状态，因此它的某些性能更优于含硫硬质橡胶，如高的耐热性，在宽广的温度范围内有良好的化学稳定性、耐水性和机械加工性，以及在宽广的频率范围内的介电性能。硬质橡胶的主要缺点是脆性大，制品受冲击时容易碎裂；在日光或紫外线的照射下极易光老化，使制品表面的介电性能迅速下降；另外，硬质橡胶的软化温度低，色泽不美观，在使用上亦受一定限制。硬质橡胶的一般性能见表3-1。

表 3-1　硬质橡胶的一般性能

项　　目	高级制品	一般制品	项　　目	高级制品	一般制品
拉伸强度，MPa	55.2～78.5	19.6～39.2	比热容，kJ/(kg·K)	1.39	1.42
抗折断强度，MPa	82.4～103	39.2～78.5	线膨胀系数(30℃)，%	).0035～0.008	
抗冲击性，J/m²	1.47×10^5以上	9.81×10^4左右	耐热温度，℃	60～80	50～60
相对密度	1.16～1.20	1.2～1.3			

硬质橡胶可用于制造电绝缘制品，目前主要用于化工耐腐蚀槽、管、泵的衬里，蓄电池外壳和钢笔的笔舌。用微孔硬质橡胶制成的胶片大量用于蓄电池中作正、负极的隔板。硬质橡胶还具有特殊的声乐性能，可做乐器和黑管。硬质橡胶与金属粘结强度较好，因此常用来作为使软质橡胶与金属粘结的粘结层，制造胶辊、轻载荷实心轮胎及化工衬里等制品。

第一节　硬质橡胶的主要性能

一、化学稳定性和耐溶剂性

由于硬质橡胶具有良好的化学稳定性，因而被广泛应用，其制品在酸碱中不易被腐蚀，一般化学药品亦很少使它变化，其耐腐蚀性能优于通用橡胶制成的软质橡胶。例如在乙酸、磷酸、氯化铁溶液中，天然橡胶、丁苯橡胶的硬质橡胶能适应任何浓度，而相应的软质橡胶在这些溶液中所能适应的最大浓度分别为80、85和50%。硬质橡胶在40%的氢氧化钠和60%硫酸中浸渍10天后，其物理机械性能基本不变，见表3-2。在不同酸液中能适用的硬质橡胶胶种见表3-3。丁腈橡胶在酸和氯气中皆不适用。

硬质橡胶耐有机溶剂性能非常好，其膨胀率比软质橡胶小得多。天然橡胶硬质橡胶与软

表 3-2 硬质橡胶耐酸碱性能

项目	浸酸，碱前	浸渍 240 h（常温）		
		30% 盐酸	60% 硫酸	40%氢氧化钠
耐热温度，℃	56	55	56	55
抗冲击性，kJ/m^2	280	315	255	314
抗折断强度，MPa	90	92.4	91.2	92.6

表 3-3 在不同酸液中橡适用的胶种

试剂名称	适用胶种	不适用胶种
盐酸(20℃，84d)	天然橡胶，丁苯橡胶，丁二烯橡胶	丁腈橡胶皆不适用
稀硫酸(20℃，84d)	天然橡胶，丁苯橡胶，丁二烯橡胶	
氢氟酸(20℃，14d)	高填料的天然橡胶和丁二烯橡胶并用胶 氯丁橡胶，丁苯橡胶	
32%硝酸(20℃，56d)	丁苯橡胶，氯丁橡胶	
氯气(70℃，28d)	天然橡胶，丁二烯橡胶	
次氯酸钠(20℃，56d)	丁苯橡胶，丁腈橡胶	

表 3-4 天然橡胶硬质橡胶与软质橡胶在各种溶剂中的膨胀比例（以软质橡胶为1）

溶剂类别	溶剂名称	体积膨胀比	
		生胶100，硫黄54	生胶100，硫黄39
脂肪族碳氢化合物	石油醚	0	0.015
	石蜡	0	很小
	变压器油	0	很小
氢化芳香族碳氢化合物	环己烷	很小	0.02
	萘烷	很小	0.012
芳香族碳氢化合物	苯	0.125	0.17
	二甲苯	0.115	0.18
含卤素和硫化合物	四氯化碳	—	0.11
	氯苯	0.135	0.16
	二硫化碳	0.130	0.18
极性化合物	丙酮	±0.12	0.55
	醋酸乙酯	0.72	1.0
	硝基苯	0.38	0.44
脂油	亚麻仁油	0	0

表 3-5 各种胶种硬质橡胶在有机溶剂中的体积变化，%

胶种	硫黄重量份（生胶100份）	硫化条件 ℃×h	浸渍条件（25℃）					
			苯 150d	石油醚 50d	汽油 64d	变压器油 70℃×28d	二硫化碳 3d	硝基苯 50d
天然橡胶	53.8	156×5	62	−0.1			83	27
丁苯橡胶	47	155×11	10	0.3	0.2	0.0	52	0.6
丁腈橡胶	47	155×11	0.5	0.0	0.0	−0.5	0.0	0.2
丁二烯橡胶	47	155×11	12.5	0.2	0.9	0.0	46	0.7
丁二烯橡胶	59	155×11	1.5	0.3	0.1	0.0	32	0.2

质橡胶（生胶95份，硫黄5份，结合硫黄为4.2%）在各种有机溶剂中的膨胀比例见表3-4。用合成橡胶制得的硬质橡胶，特别是丁腈橡胶的硬质橡胶在有机溶剂中的耐膨胀性能优于天然橡胶的硬质橡胶，见表3-5。

二、电 性 能

硬质橡胶有优良的电绝缘性，见表3-6。影响硬质橡胶电性能的因素很多，与橡胶的种类、生胶中的非橡胶成分、填充剂的种类和配入量等都有关。各种填充剂的丁二烯橡胶硬质橡胶的击穿电压见表3-7。天然橡胶、丁苯橡胶和丁腈橡胶不同含硫量的硬质橡胶在1到100kHz频率下的电性能见表3-8。天然橡胶和丁苯橡胶硬质橡胶都有良好的电性能，而丁腈橡胶硬质橡胶的电性能较差。

表 3-6 硬质橡胶的电绝缘性能

项　　目	性　　能
表面电阻，Ω·cm	$1.0\times10^{15}\sim3.5\times10^{16}$
体积电阻，Ω·cm	$1.0\times10^{15}\sim2.5\times10^{16}$
介电常数($10^3\sim10^7$Hz)	2～3
介质损失角tgδ	0.01以下
击穿电压，kV/4mm	50～65

表 3-7 各种填充剂对丁二烯橡胶硬质橡胶击穿电压的影响

填充剂 \ 用量	为生胶的25%时的击穿电压 MV/m	为生胶的50%时的击穿电压 MV/m	填充剂 \ 用量	为生胶的25%时的击穿电压 MV/m	为生胶的50%时的击穿电压 MV/m
滑石粉	37.5	36.5	氧化铁	18.2	10.8
碳酸钙	38.5	27.5	内胎再生胶	34.8	33.0
硫酸钡	35.3	27.6	胶鞋再生胶	27.5	24.0
浮石粉	30.5	22.5	纯胶硬质橡胶粉	32.5	32.5
氧化锌	29.5	22.5	硬质橡胶粉	27.5	24.0

表 3-8 不同含硫量的硬质橡胶在不同频率下的电性能(25℃)

胶　　种	硫黄含量%	介电常数					功率因数				
		1 kHz	3 kHz	10 kHz	30 kHz	100 kHz	1 kHz	3 kHz	10 kHz	30 kHz	100 kHz
天然橡胶（硫化条件：140℃×25～40h）	20	2.73	2.72			2.70	0.30	0.35			0.58
	23	2.73	2.72			2.70	0.25	0.33			0.63
	26	2.76	2.75			2.74	0.32	0.39			0.74
	29	2.79	2.78			2.75	0.42	0.48			0.75
	32	2.82	2.81			2.78	0.43	0.47			0.72
丁苯橡胶（硫化条件：153℃×8h）	20	2.86		2.84		2.82	0.48		0.43		0.53
	23	0.85		2.84		2.82	0.39		0.37		0.47
	26	2.94		2.91		2.89	0.68		0.65		0.63
	29	2.98		2.95		2.93	0.66		0.56		0.61
	31	2.97		2.94		2.92	0.67		0.56		0.64
丁苯橡胶（50%丁二烯50%苯乙烯，硫化条件：153℃×8h）	23	2.94		2.92		2.92	0.81		0.34		0.44
	26	2.87		2.86		2.85	0.31		0.33		0.48
	29	2.86		2.84		2.83	0.31		0.33		0.40
	31	2.91		2.89		2.88	0.36		0.35		0.39
丁腈橡胶（硫化条件：142℃×10h）	30	3.81	3.77	3.71	3.65	3.58	1.62	1.79	2.10	2.44	2.79
	26	3.94	3.89	3.80	3.72	3.61	3.03	2.83	3.09	3.37	3.53

三、耐老化性

硬质橡胶耐空气老化性能非常好，在正常保管和使用条件下放置多年，其物理机械性能基本不受影响。在70℃温度下，热空气老化14d,其性能亦不变。但在更高温度时,如经100℃热空气老化7d，其拉伸强度不降低，但脆性有些增加；经150℃热空气老化60h，则抗冲击性和抗折断强度均有较大下降。

当硬质橡胶曝露于日光或紫外线下，表面会形成一层硫酸薄膜，其色泽由光亮的深黑色转变为浅灰色，这就是硬质橡胶的光老化现象。受光老化的硬质橡胶会失去其优良的电绝缘性能，表面电阻下降，电泄漏增加，如用蒸馏水洗去这层酸膜，则电阻能得到部分恢复。硬质橡胶中配有碳酸钙和碳酸钡填充剂，能中和硫酸，生成不溶性硫酸盐，能改善光老化引起的电性能下降。天然橡胶硬质橡胶经紫外线照射800h,其表面电阻为$4.8\times10^5\Omega$,丁苯橡胶硬质橡胶经110h照射后，表面电阻为$3.3\times10^5\Omega$，而配有重质碳酸钙的天然橡胶和丁苯橡胶硬质橡胶经紫外线照射800h，其表面电阻分别为$3.4\times10^8\Omega$和$3.8\times10^7\Omega$。丁苯橡胶、丁腈橡胶和丁二烯橡胶硬质橡胶在光照下，表面电阻下降速度要比天然橡胶硬质橡胶下降得快。各种硬质橡胶的电阻值下降至$10^{14}\Omega$时的光照时间见表3-9。

表 3-9 各种硬质橡胶的表面电阻下降至$10^{14}\Omega$时的光照时间

胶　　种	天然橡胶	丁苯橡胶	丁腈橡胶	丁二烯橡胶		
硫黄，重量份（生胶100）	47	47	47	35	47	59
光照时间，h	17.5	12.5	8	9.5	9	10.5

四、热稳定性

硬质橡胶对热的变化相当敏感，当温度逐渐升高时，硬度逐渐降低。硬质橡胶的缺点是软化点低，当温度升高到60～70℃时开始软化，在85℃左右时可热塑变形,温度升高到100℃时便会完全失去原来的坚硬性，变成柔软但很脆的弹性体。利用硬质橡胶热塑变形的特性，可以对产品进行整形。在温度较高时，硬质橡胶会分解出硫化氢气体。硬质橡胶的含硫量越高,分解出来的硫化氢气体越多。天然橡胶80份、硫黄20份的硬质橡胶在105℃以上加热8h，硫化氢气体逸出量为1.7%，当天然橡胶68份、硫黄32份时，在同样条件下硫化氢气体的逸出量达10.4%。温度升高到260～280℃之间，硬质橡胶便熔融成黑色树脂状物质，经冷却，就结为坚硬而极脆的固体。这种固体物加热到80℃左右，即具有塑性和良好的粘性，可作为硬质橡胶制品的修补胶。

丁苯橡胶、丁腈橡胶和丁二烯橡胶硬质橡胶的耐热性比天然橡胶硬质橡胶好。丁苯橡胶中苯乙烯含量高的比苯乙烯含量低的有更高的耐热性。生胶与硫黄比为68:32的硬质橡胶的软化温度见表3-10。

表 3-10 硬质橡胶的软化温度

胶　　种	天然橡胶	丁二烯橡胶	丁苯橡胶（苯乙烯25～29%）	丁苯橡胶（苯乙烯42～46%）
软化温度，℃	80	85	90～95	101～110

五、吸 水 性

经水洗的天然橡胶制得的硬质橡胶，在相对湿度为97.2%的潮湿环境中经6d后，其吸水增重为0.45～0.50%。丁苯橡胶硬质橡胶的吸水性与天然橡胶的相仿，在同样条件下吸水增重为0.64%。丁二烯橡胶硬质橡胶为0.93～1.5%，而丁腈橡胶硬质橡胶则增重至4.5%，吸水性大。天然橡胶和丁苯橡胶硬质橡胶的吸水性很小，因此在潮湿环境中仍有较好的电性能。天然橡胶硬质橡胶经吸水后的电性能见表3-11。

表 3-11 天然橡胶硬质橡胶吸水后的电性能

材、料①	吸水时间 d	吸水量 %	介电常数② 干	介电常数② 吸水后	比电阻 Ω·cm×10¹⁵ 干	比电阻 Ω·cm×10¹⁵ 吸水后	功率因数，% 干	功率因数，% 吸水后
硬质橡胶（橡胶75，硫黄25）	315	0.28	2.8	2.9	20	10	0.8	0.9
硬质橡胶（橡胶70，硫黄30）	315	0.23	2.9	3.0	20	10	0.8	0.6
硬质橡胶③	315	1.56	3.0	4.0	20	8	1.3	1.4

① 试片厚度为 1mm，浸入蒸馏水。
② 试验条件为1000Hz，25℃。
③ 配方：烟片胶 100，再生胶 69.8，硫黄 56.6，白蜡 7.55，硬质橡胶粉 132，矿质橡胶 7.55，炭黑 1.88，氧化镁 1.88。

六、机 械 强 度

硬质橡胶具有很高的拉伸强度和抗折断强度。高质量的天然橡胶硬质橡胶的拉伸强度达78.5MPa，抗折断强度在100MPa以上。合成橡胶硬质橡胶在这些性能上较天然橡胶硬质橡胶差，拉伸强度在60MPa左右，抗折断强度在68MPa左右。同样，天然橡胶硬质橡胶的抗冲击性为（1.67～3.92）$\times10^5$J/m³，而合成橡胶硬质橡胶为（1.37～3.33）$\times10^5$J/m³。

第二节 硬质橡胶的配合

一、橡 胶 种 类

天然橡胶、丁苯橡胶、丁腈橡胶和丁二烯橡胶都能制得所需性能的品质优良的硬质橡胶制品。选用天然橡胶和丁苯橡胶可制得机械强度高、吸水性低、电性能好和耐化学药品腐蚀的硬质橡胶制品。一般讲，选用合成橡胶可使制品有较高的耐热性和硬度，而且抗塑性流动好，硫化时不易变形。耐有机溶剂的硬质橡胶制品，则用丁腈橡胶更好。丁苯橡胶在含硫量适当时，其硫化反应生成热小，有利于硫化过程中温度的掌握。天然橡胶和丁苯橡胶并用，可弥补相互的缺点而制得质量较为完善的硬质橡胶制品。也可以用再生橡胶代替部分生胶，使用再生橡胶可使混炼胶料收缩小，有利于压延、压出工艺，并有利于控制硫化过程中胶料内部温升和减轻制品在直接蒸汽硫化时的变形。用橡胶烃含量高的优质再生橡胶代替部分生胶，对制品的机械性能影响不大。在低级硬质橡胶制品中，可以全部用再生橡胶代替生胶。橡胶中掺有部分高苯乙烯树脂，有利于改善制品的抗冲击性能。

二、硫　化　剂

硬质橡胶都用硫黄作硫化剂。对电性能要求高的硬质橡胶，应用不含游离亚硫酸的硫黄。硫黄与硒并用能提高硬质橡胶的耐热和电性能。

硬质橡胶的硫化除一个橡胶烃分子和一个硫分子交联生成一硫化物外，还可有多硫化物的形式和一个橡胶烃分子结合，也可以和几个橡胶烃分子结合，还有橡胶烃和硫黄以双键相联。所以，硫化产物的分子式除了$(C_5H_8S)_n$外，还可有$(C_5H_8S_x)_n$、$[(C_5H_8)_2S]_n$和$[(C_5H_8)_2S_x]_n$的形式，同时还有游离态硫存在。天然橡胶和合成橡胶按单分子交联的理论硫化系数见表3-12。

表 3-12　天然橡胶和合成橡胶硬质橡胶的硫化系数

胶　　种	硬质橡胶的理论硫化系数	非橡胶成分近似，%	校正非橡胶成分后的硫化系数
天然橡胶	47.0	6	44.2
丁苯橡胶（苯乙烯25%）	44.5	6～8	41～41.8
丁腈橡胶（丙烯腈18%）	48.6	3	47.2
丁腈橡胶（丙烯腈25%）	44.5	3	43.2
丁腈橡胶（丙烯腈35%）	38.6	3	37.2
丁腈橡胶（丙烯腈40%）	35.6	4	34.2
丁二烯橡胶	59.3	0.5	59.0

硬质橡胶中实际硫黄用量，应根据制品的用途而定。硫黄用量的多少，可调整制品的物理机械性能。

天然橡胶硬质橡胶的理论结合硫黄量为47，实际生产中硫黄用量为35～50份（橡胶100份），但也有超过此数。随着硫黄用量的增加，硬质橡胶的拉伸强度、耐热、耐溶剂和耐水性能提高，但抗冲击性能有所下降。

丁苯橡胶硬质橡胶的理论硫化系数为44.5，实际生产用量一般为35份（橡胶100份），超过此数一直到50份，其抗折断强度和硬度逐渐有所增加，耐热性能有所改善，但抗冲击性能下降。在不超过40份硫黄时，硫化生热量比天然橡胶硬质橡胶小，这是丁苯橡胶有利之处。硫黄用量如超过45份，则生热量会超过天然橡胶硬质橡胶，硫化温度控制不当，则易发生爆裂。

丁腈橡胶因丙烯腈含量不一，理论硫化系数随丙烯腈含量减少而增加，因此硫黄用量应根据丙烯腈含量来确定。丙烯腈含量为40%的丁腈橡胶，硫黄用量为35份（橡胶100份)时，其硬质橡胶的拉伸强度、抗冲击性和耐热等性能都较好。

三、促　进　剂

硬质橡胶可以不用促进剂进行硫化，但这需要很长的硫化时间。硬质橡胶中使用有机促进剂和无机促进剂可以提高橡胶与硫黄的反应速率。在制造硬质橡胶制品特别是厚制品时，应注意促进剂种类的选择和其用量，防止由于反应速度过快而引起制品起孔、发脆、甚至爆裂。

软质橡胶中常用的有机促进剂对硬质橡胶硫化也起作用，但有些促进剂在硬质橡胶中并不显现出在软质橡胶中的相应促进效果，如促进剂TMTD在硬质橡胶中的促进硫化效果反不

如促进剂808或促进剂D。另外，在硬质橡胶中加促进剂并不能降低硫黄用量，或像在软质橡胶中那样明显变更结合硫黄与物理性能之间的关系。使用有机促进剂仅缩短硫化时间，对硬质橡胶的性能无多大改善。

硬质橡胶中常用的无机促进剂为氧化镁和氧化钙。用氧化钙能制得硬度高和耐热性较好的制品，但较脆，因此多使用氧化镁。

硬质橡胶通常使用的有机促进剂为胍类和醛胺类等中、慢速促进剂。氧化镁和胍类或醛胺类促进剂并用，能取得比各自单用更好的促进效果。一般硬质橡胶配方中常用5份氧化镁和1.5份促进剂808，或5份氧化镁和1.5份促进剂D。如果配方中含有大量硬质橡胶粉、再生胶或其它填充剂，可增加促进剂用量或使用噻唑类促进剂，以缩短硫化时间。

四、软 化 剂

在硬质橡胶胶料中使用软化剂，与在软质橡胶中一样能改善混炼、压延和压出工艺，增加胶料的粘性。一般常用的软化剂为沥青、凡士林、矿物油、石蜡和古马隆树脂，亦有用干性油和油膏等。大部分软化剂都会影响制品的抗冲击性、抗折断强度和耐热性，对于非模形制品，加入软化剂后，硫化时制品易变形，故软化剂的用量不宜过多。丁苯橡胶和丁腈橡胶的粘性差，塑性低，软化剂的使用量要比天然橡胶多些。

用凡士林、石蜡做软化剂的硬质橡胶变形较小。石蜡、亚麻仁油及菜子油可使制品增加光泽。沥青、古马隆树脂则可增加胶料的粘性。

五、填 充 剂

硬质橡胶中加入填充剂，其目的是节约生胶，降低成本，提高胶料硬度，减少操作中的变形，有利于工艺操作，降低收缩率，降低硬质橡胶在硫化时的生成热，使厚壁制品在硫化时不易爆裂。填充剂在硬质橡胶中不起补强作用。加入填充剂会降低硬质橡胶的拉伸强度、抗折断强度和抗冲击性能，对电性能亦不利。

硬质橡胶常用陶土、白垩粉（其主要成分为$Al_2O_3$20%、$SiO_2$65%、$Fe_2O_3$2.5%）、滑石粉和硬质橡胶粉，亦可用二氧化硅、硅藻土和白垩等。在耐酸的制品中可加入陶土、白垩粉、重晶粉以及二氧化硅、硅藻土等作为填料。亦有用煤粉作耐酸填料。用碳酸钙能获得较好的耐光老化和耐热制品。

硬质橡胶中最好的填充剂是硬质橡胶粉。使用硬质橡胶粉的优点：能减轻半成品在存放时和硫化时的变形；减少胶料的收缩率，使压延、压出的半成品尺寸准确；降低硬质橡胶硫化反应时的生成热，配有硬质橡胶粉的制品能适应高温硫化和制成厚制品；减轻制品的收缩率；不像其它填充剂那样会显著降低硬质橡胶的机械性能，提高机械加工性能。硬质橡胶粉在硫化过程中会吸收硫黄和促进剂，因此在大量使用硬质橡胶粉的胶料中，应适当增加硫黄和促进剂的用量。在合成橡胶硬质橡胶中加丁腈橡胶硬质橡胶粉有利于提高制品质量，而加天然橡胶硬质橡胶粉对制品质量不利。

硬质橡胶粉是用硬质橡胶经粉碎而成。硬质橡胶粉按成分分为4种：①生胶和硫黄；②生胶、硫黄和优质再生橡胶；③生胶、硫黄和无机填充剂；④利用废旧硬质橡胶制品。前两种硬质橡胶粉能得到良好光泽的硫化制品，而生胶和硫黄加工制造的纯硬质橡胶粉，可使制品的强度和电性能达到最佳水平。

六、着 色 剂

硫化后的硬质橡胶，其本色是暗褐色至深黑色，因此不易制得色泽鲜艳的制品。如要制成有色制品，其着色原理和软质橡胶配合相同。先用锌钡白作底色，再加入其它着色剂。氧化锌不宜作为白色颜料，因为加入氧化锌会迟延硬质橡胶的硫化并降低制品质量。由于硬质橡胶硫化时间长，要求着色剂能长期耐热，还需有化学稳定性和不溶于制品所接触的溶剂。硬质橡胶的着色剂多使用无机颜料。

制淡红色的制品，着色剂可用硒镉色素。三硫化二锑和五硫化二锑亦可用，但在高温时（155～160℃）会变成暗黑色，而且不适于水硫化。

红色制品，着色剂可用氧化铁、硫化汞、硒镉色素。

绿色制品，着色剂可用氧化铬。

蓝色制品可用少量普鲁士蓝。

丁苯橡胶硬质橡胶的本色比天然橡胶硬质橡胶略淡，着色效果较好。

有机促进剂会使硬质橡胶呈不均匀的暗淡黑色，在制造有色制品时要避免使用，尤其是醛胺类促进剂。减少硫黄用量、缩短硫化时间、降低硫化温度，可使硬质橡胶的色泽性好些。

目前很少使用着色的硬质橡胶，在工业上一般使用本色或加入少量炭黑着色的深黑色制品。硬质橡胶经抛光后，其表面显得非常光亮。

七、防 老 剂

硬质橡胶不易老化，因此配合中不使用防老剂。

第三节 硬质橡胶的硫化

一、硬质橡胶硫化时的生成热

硬质橡胶硫化时放出大量的热。随着结合硫黄的增加，放热量亦随之增加。天然橡胶与硫黄之比为68:32的硬质橡胶，硫化时每克胶料在形成硬质橡胶阶段时的放热量最大可达1260 J。若硬质橡胶比热容为0.33，理论上此热量可使胶料温度升至1000℃。因此，硫化工艺中应控制胶料内的升温温度，使绝大部分热量在硫化时有足够的时间得以散失掉，否则就会产生严重过热，引起制品出现气孔甚至炭化、爆裂。硬质橡胶硫化时，胶料内部温度升高多少，散热难易与硫化温度、制品厚度、制品选用的胶种、配合剂的数量以及硫化方法等均有关。

天然橡胶硬质橡胶（橡胶100份，硫黄54份）用平板硫化的方法，在不同厚度和硫化温度时，胶料内部的生热温度的典型曲线见图3-1。图中表明，制品愈厚，内部升温愈高；硫化温度愈高，内部升温愈高，而且温度高峰提前。这种现象轻则使制品产生气泡，严重的引起爆裂。可见硬质橡胶硫化时，选取适当的温度非常重要，也说明硬质橡胶一般采取低温长时间硫化的原因。

丁苯橡胶和天然橡胶硬质橡胶硫化时的内部温升曲线见图3-2。显然丁苯橡胶硬质橡胶在含硫量不超过40份时（橡胶100份），比天然橡胶硬质橡胶温升低。但当硫黄用量超为40份时，温度则骤然升高。

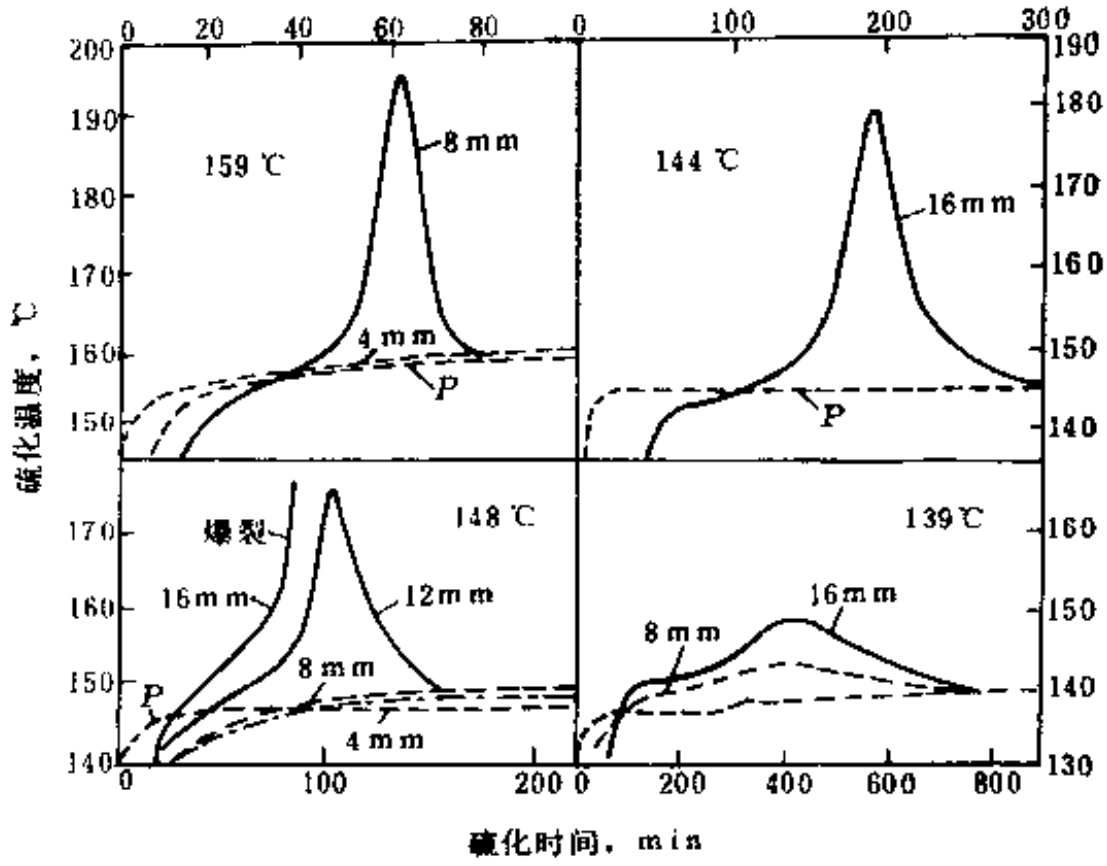


图 3-1　天然橡胶硬质橡胶硫化时内部温升曲线

P—平板温度

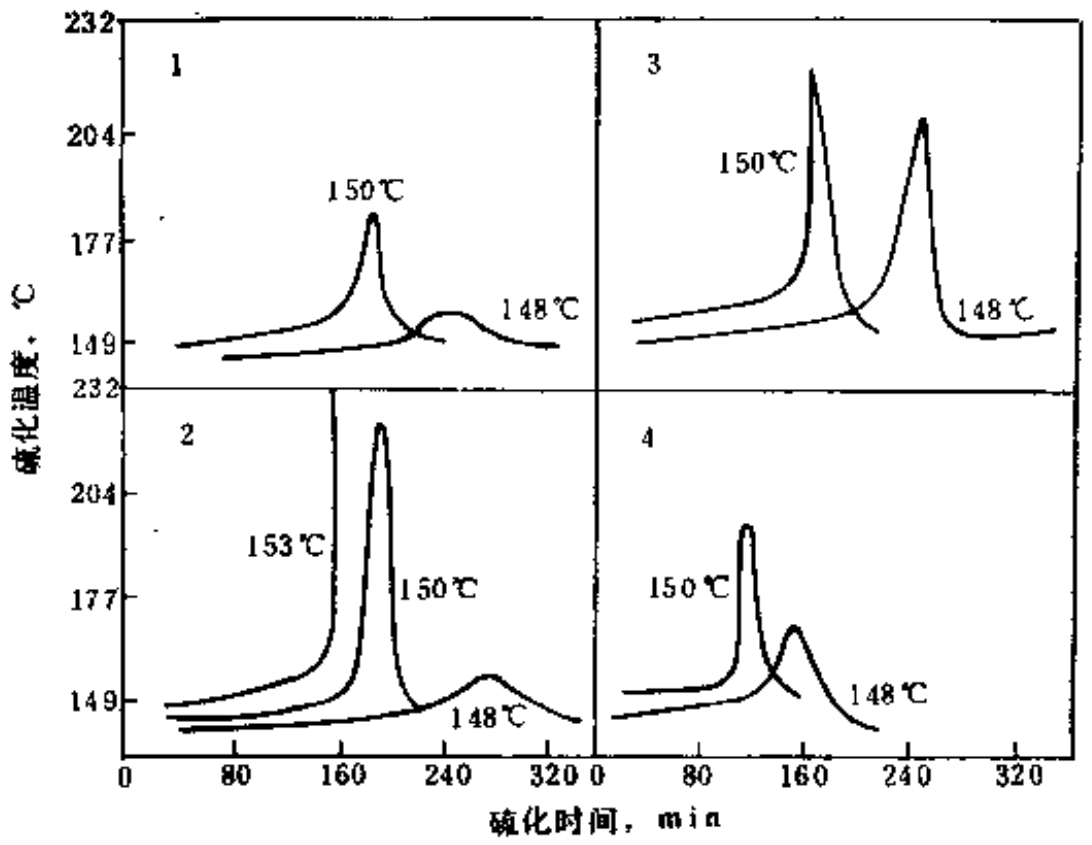


图 3-2　丁苯橡胶与天然橡胶硬质橡胶硫化时内部温升比较

1—丁苯橡胶100份，硫黄40份；2—丁苯橡胶100份，硫黄45份；3—丁苯橡胶100份，硫黄 50 份；4—天然橡胶100份，硫黄47份

加入填充剂可以减少温度上升幅度。天然橡胶硬质橡胶（生胶100份，硫黄48份）中加入0、20、50和100份硬质橡胶粉作填充剂的胶料的温度上升差异见图3-3。

当采用直接蒸汽硫化硬质橡胶时，由于蒸汽导热性差，胶料内部生成热不易散失，因此温升比用平板硫化的方法高。用这两种硫化方法硫化硬质橡胶，胶料内部温升比较见表3-13。由于这一原因，在相同的硫化温度下，采用直接蒸汽硫化硬质橡胶的硫化速度较用平板硫化的快。

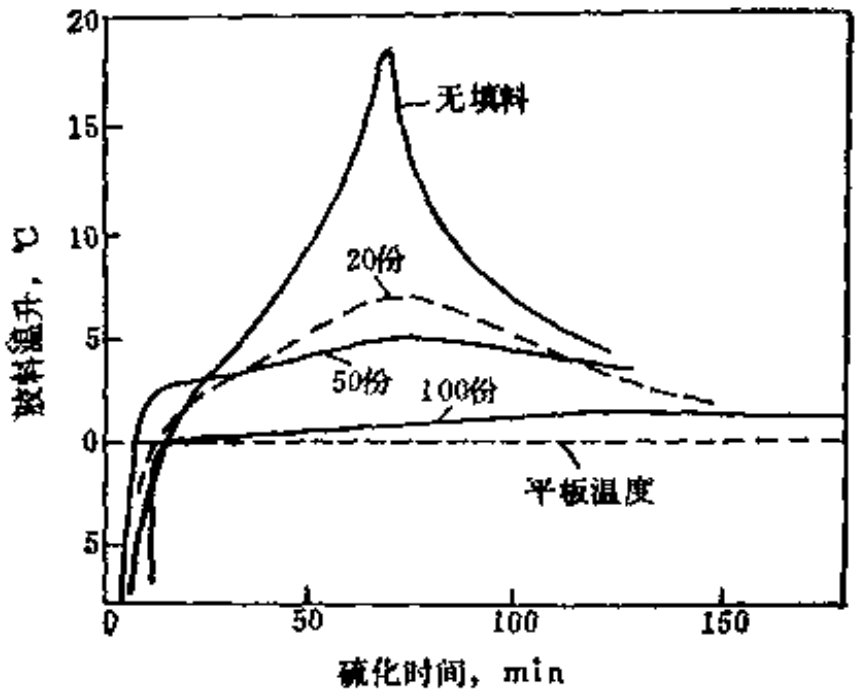


图 3-3　加入不同数量硬质橡胶粉的天然橡胶
硬质橡胶硫化时内部温升情况（试片厚8mm、平板温度157℃）

表 3-13　用直接蒸汽和平板硫化硬质橡胶胶料的温升情况

胶片厚度，mm	直接蒸汽	平板硫化
4	5℃	1℃
8	42℃	9℃

二、硬质橡胶的硫化方法

为防止硬质橡胶制品在硫化时生成热过高，胶料配方中应避免使用超速促进剂以缓和生热速度，或在配方中尽可能配入大量填充剂以减少胶料内部温升。对含胶量高的制品，其硫化条件则宜采取低温长时间。在硫化方法上应考虑使胶料内部的热量能较快被导出，使能采用较高的硫化温度，缩短硫化时间。

硬质橡胶的硫化方法，有平板硫化机硫化、硫化罐直接蒸汽硫化和硫化罐水浴硫化三种。用平板硫化，胶料内部的热量可借助金属导散，用水浴硫化可借助水散热。因此，硫化工艺比用直接蒸汽硫化容易掌握，平板硫化时，因加有外压，制品的质地较密实，抗折断性能较好。用直接蒸汽和水浴硫化的硬质橡胶制品的相对密度较平板硫化的小。在实际生产中，由于制品的形状要求，制品的厚度，胶料含量的高低，以及考虑设备利用率等因素，除选用上述三种硫化方法之一外，尚有采用兼取的分段硫化方法，因而硫化方法很多。

1．直接蒸汽硫化法

对于表面质量要求不高的薄型制品或细小的棒材，如化工设备衬里、成品需经机械加工的棒、管等常采用直接蒸汽硫化法。

2．平板硫化法

对有形状要求且含有大量填充剂并可恒温硫化的模型制品，如蓄电池胶槽、胶盖，以及棒、管和板材等宜用平板硫化法。

3．水浴硫化法

此法用于含胶量较高的板材以及用含水硅酸为填料的蓄电池用微孔隔板。

4．先平板硫化后直接蒸汽硫化的分段硫化法

制品先在平板硫化机上模压定型，取出脱模冷却，然后集中放入硫化罐内用直接蒸汽进行第二次硫化。此法多用于批量较大的产品，以提高设备的利用率。

5．先平板硫化后水浴硫化的分段硫化法

将经平板硫化机模压定型的半制品集中置入水浴桶内，然后在硫化罐内用直接蒸汽加热进行第二次硫化。对含胶量较高的制品宜采用这种分段硫化法，使硫化过程中散热快并提高设备利用率。

此外，对硫化过程中生热量高、易爆的硬质橡胶制品尚需采用三段，甚至四段的多段硫化法。总之，硬质橡胶制品的硫化方法应按具体情况来选取。

硬质橡胶的硫化，除选择硫化方法外，尚需结合考虑硫化条件。采用恒温硫化，还是阶梯逐步升温（图3-4(1)）或升降交替逐步升温（图3-4(2)），或上述二段、多段硫化方法的每段间隔间降温要求等，皆应经实践而定。总之，要避免出现胶料在硫化时内部温升过高而出现质量问题。一般来讲，除配方中含有大量填充剂并采用模型加压硫化外，硫化条件多采用逐步升温。

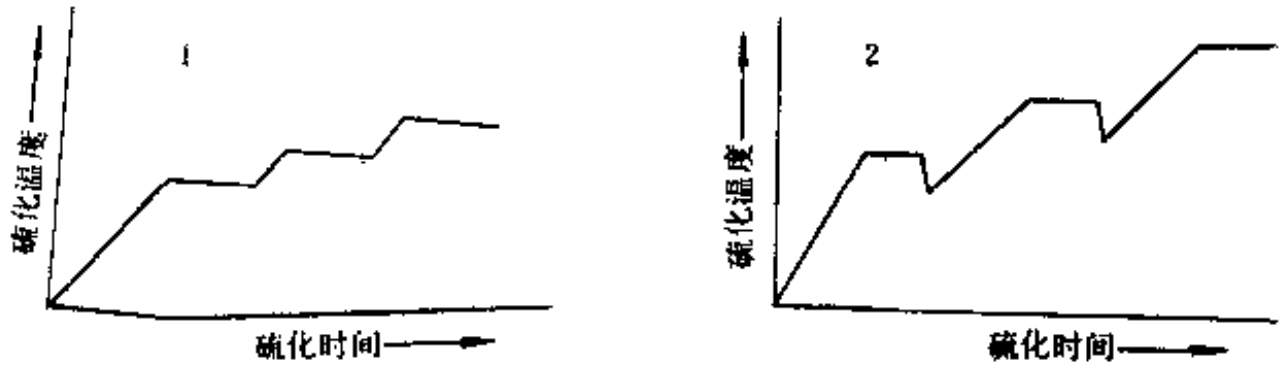


图 3-4　硫化升温示意图

1—阶梯逐步升温；2—升降交替逐步升温

第四节　硬质橡胶制品举例

一、蓄 电 池 槽

蓄电池槽是汽车、拖拉机、各种内燃机、搬运车、叉车、航标灯等的起动、点火、照明以及铁路客车停车照明、通风、风扇等用的供直流电源的蓄电池容器。蓄电池槽可用硬质橡胶制成，亦有采用塑料制成。

（一）蓄电池槽的种类和规格尺寸

蓄电池槽的种类和规格尺寸是根据蓄电池要求而定。国家标准GB 5008·2—85“起动用铅蓄电池产品品种和规格”，部标准 JB 1864—76“铁路客车用铅蓄电池”，JB1365—76“蓄电池车用铅蓄电池”和JB 1866—76“航标用铅蓄电池”中分别规定了各类蓄电池的最大外形尺寸（见附录Ⅰ），可供生产蓄电池槽（盖）时参照。

按国家标准GB 5008·2—85中所列最大外形尺寸要求，并根据蓄电池槽内腔所装配的极板尺寸、极板片数等规定，该种蓄电池用的硬质橡胶槽见图3-5，型号尺寸见表3-14。与之相配套的硬质橡胶盖见图3-6，型号尺寸见表3-15。

（二）配方举例

蓄电池以硫酸作为电解液；在搬运、使用过程中常受碰撞、震动以及在充电时液温有所

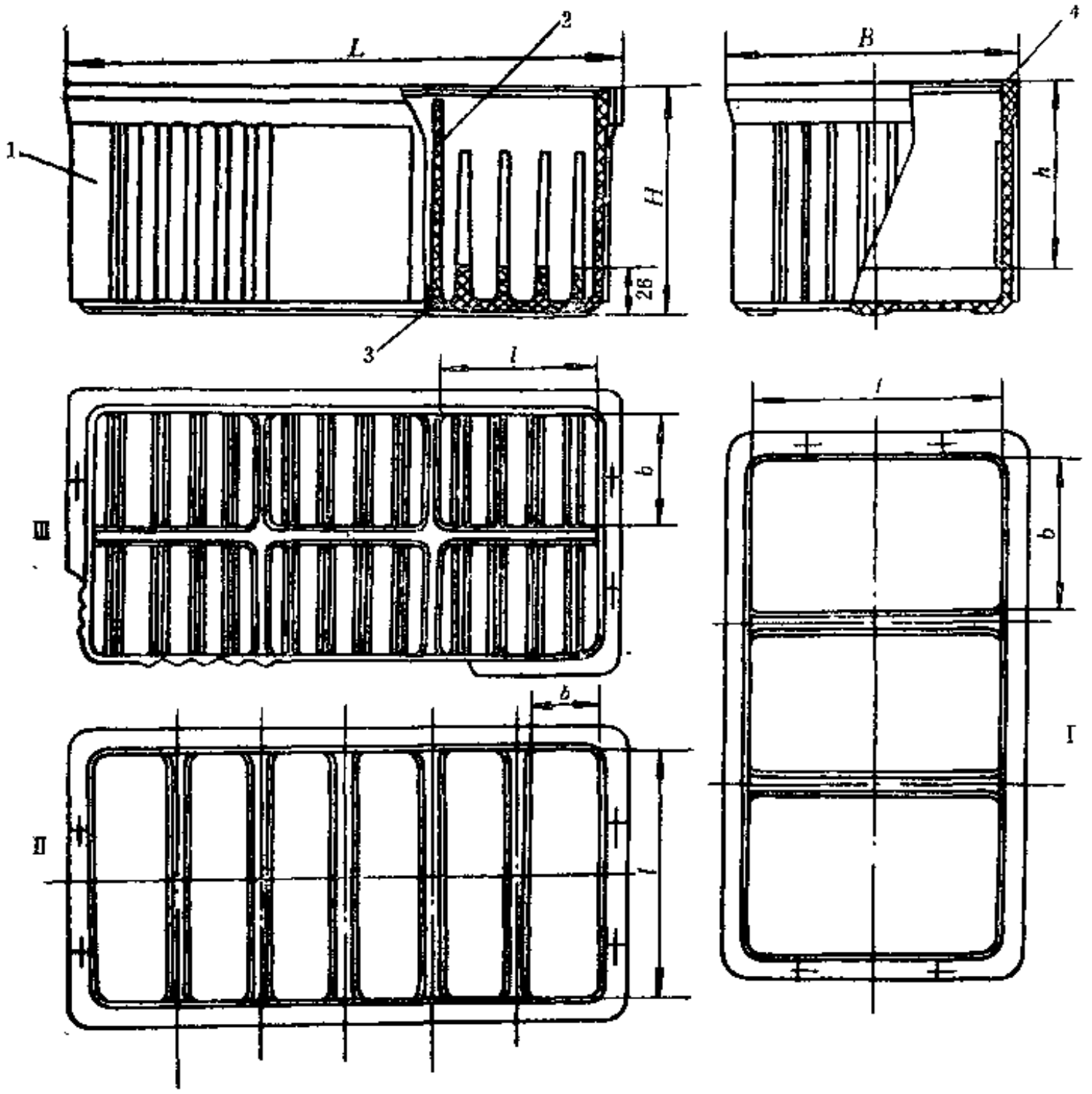


图 3-5　起动用铅蓄电池硬质橡胶槽

1—槽体；2—隔板；3—沉淀槽；4—蓄电池槽盖装配槽；Ⅰ—第一类；Ⅱ—第二类；Ⅲ—第三类

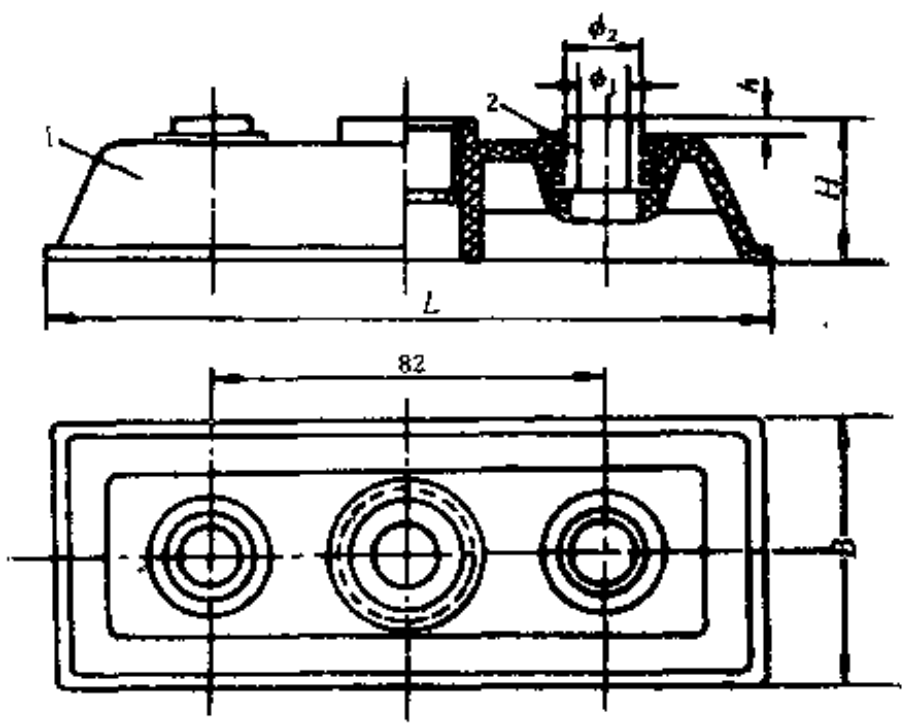


图 3-6　起动用蓄电池槽盖

1—盖；2—铅圈

表 3-14 起动用铅蓄电池硬质橡胶槽型号尺寸及公差

类别	型号	外型尺寸，mm			内腔尺寸，mm		
		长（L）±2	宽（B）±2	高（H）±2	长（l）±0.5	宽（b）±1	高（h）$\pm\frac{1}{2}$
第一类	3-Q-75	183	173	210	153	51	184
	3-Q-90	208	173	210	153	60	184
	3-Q-105	234	173	210	153	68	184
	3-Q-120	259	173	210	153	76	184
	3-Q-135	285	173	210	153	85	184
	3-Q-150	310	173	210	153	94	184
	3-Q-195	403	173	210	153	119	184
第二类	6-Q-60	279	173	200	153	40	178
	6-Q-75	345	173	210	153	51	184
	6-Q-90	412	173	210	153	60	184
	6-Q-105	437	173	210	153	63	184
第三类	6-Q-120	505	186	210	153	76	184
	6-Q-135	505	203	210	153	85	184
	6-Q-150	505	220	210	153	94	184
	6-Q-165	505	237	210	153	102	184
	6-Q-180	505	254	210	153	110	184
	6-Q-195	505	271	210	153	119	184

表 3-15 起动用铅蓄电池硬质橡胶盖的型号尺寸和公差

类别	型号	外型尺寸，mm			板孔（铅圈）尺寸，mm		
		长（L）$^{+1.0}_{-0.5}$	宽（B）$^{+0.0}_{-0.5}$	高（H）±1.0	内径（ϕ_1）$^{+0.5}_{-0.0}$	外径（ϕ_2）±1.0	露出高度（h）±0.5
第一类	3-Q-75	155	50	29.5	12	16	4
	3-Q-90	155	59	29.5	14	19	4
	3-Q-105	155	67	29.5	14	19	4
	3-Q-120	155	76	29.5	14	19	4
	3-Q-135	155	85	29.5	14	19	4
	3-Q-150	155	93	29.5	16	21	4
	3-Q-195	155	118	29.5	18	23	4
第二类	6-Q-60	155	40	29.5	12	16	4
	6-Q-75	155	50	29.5	12	16	4
	6-Q-90	155	59	29.5	14	19	4
	6-Q-105	155	62	29.5	14	19	4
第三类	6-Q-120	152	75	29.5	14	19	4
	6-Q-135	152	84	29.5	14	19	4
	6-Q-150	152	93	29.5	16	21	4
	6-Q-165	152	101	29.5	16	21	4
	6-Q-180	152	109	29.5	18	23	4
	6-Q-195	152	118	29.5	18	23	4

升高，因此蓄电池槽应能耐酸腐蚀、适当的机构强度和耐热变形。

蓄电池槽（盖）用硬质橡胶胶料的生胶可选用天然橡胶、天然橡胶与丁苯橡胶或顺丁橡胶并用。配方含胶量在20～30%之间可达到技术标准要求。多腔蓄电池槽的内腔隔板，既是分

腔需要，又能起到对槽体结槽加强作用，因此胶料含胶量可略低，而单腔槽胶料含胶量应稍高些。配方中可掺用部分再生橡胶以改善胶料硫化工艺。如选用橡胶烃含量高的再生橡胶，则可适当减少生胶用量。在槽体配方中硫黄用量应兼顾制品的耐热性和抗冲击性，而在槽盖配方中，硫黄可适量减少，以求有较好的抗冲击性。大量耐酸填充剂可配入蓄电池槽胶料中，常用的有陶土、白泥粉和煤粉。添加煤粉能使制品表面光亮，但制品的抗冲击性和耐热性逊于使用添加陶土和白泥粉的胶料。促进剂可用无机促进剂和有机促进剂并用。无机促进剂常用氧化镁5份（橡胶100份），有机促进剂多以促进剂D为主促进剂，促进剂M为副促进剂。由于胶料中填入大量填充剂，并加入再生橡胶，因此促进剂用量在考虑好防止胶料焦烧和掌握好硫化工艺的条件下，其用量对橡胶100份可达3份左右。软化剂可用沥青和凡士林。石蜡能提高制品的表面光泽。当配有含炭黑的再生橡胶时，可不再配炭黑作着色剂。

表 3-16 蓄电池槽配方 单位：重量份

原材料名称	槽体		槽盖	原材料名称	槽体		槽盖
	多腔槽	单腔槽			多腔槽	单腔槽	
天然橡胶	40.00	60.00	40.00	沥青	25.00	13.00	23.40
丁苯橡胶	60.00	40.00	60.00	凡士林	5.00	5.00	5.00
车胎再生胶	23.40	—	23.40	硬脂酸	1.50	2.00	—
氧化镁	5.00	5.00	5.00	白泥粉	283.30	158.30	291.90
促进剂D	2.00～2.30	2.00	2.00～2.30	石蜡	5.00	3.00	3.00
促进剂M	1.00	—	1.00	合计	500.00	333.30	500.00
硫黄	48.50	45.00	45.00	含胶率，%	20	30	20

表 3-17 蓄电池槽体胶料物理机械性能要求

试验项目		指标	试验方法
抗折断强度，MPa	≥	31.4	GB 1696—81
抗冲击性，J/m²	≥	4.9×10^4	GB 1697—82
马丁耐热，℃	≥	45	GB 1699—82
耐酸重量变化率，（40%H_2SO_4，70℃×144h）	%	±0.6	GB 1690—82

注：耐酸重量变化率的试片尺寸规定为10mm×10mm×10mm。

蓄电池槽、盖的配方举例见表3-16。胶料的物理机械性能应符合表3-17。

（三）生产工艺流程

蓄电池槽的生产工艺流程见图3-7。

（四）硫化

蓄电池槽的胶料中加入了再生橡胶和大量填充剂，因此硫化工艺就较易掌握。硫化方法可采取平板一次恒温模型硫化，亦可先平板恒温模压定型，然后集中放入硫化罐内用直接蒸汽以逐步升温的硫化条件进行第二段硫化。

蓄电池槽体较高，加热模具依靠平板硫化机的上、下热板传热，显然会造成温度不匀，因而蓄电池槽体模具的各面皆应加热。平板硫化机需有较大的总压力，以求胶料能迅速充满模腔。

按表3-16所列多腔槽蓄电槽体配方，可采用平板一次恒温模压硫化，模具温度在170℃左右，硫化时间根据产品的大小及壁厚可为13～18min。

蓄电池槽盖如采取先平板恒温模压定型，然后集中放入硫化罐用直接蒸汽硫化的方法，按表3-16所列槽盖配方，平板硫化机的热板温度为160～165℃，定型硫化时间2min左右，

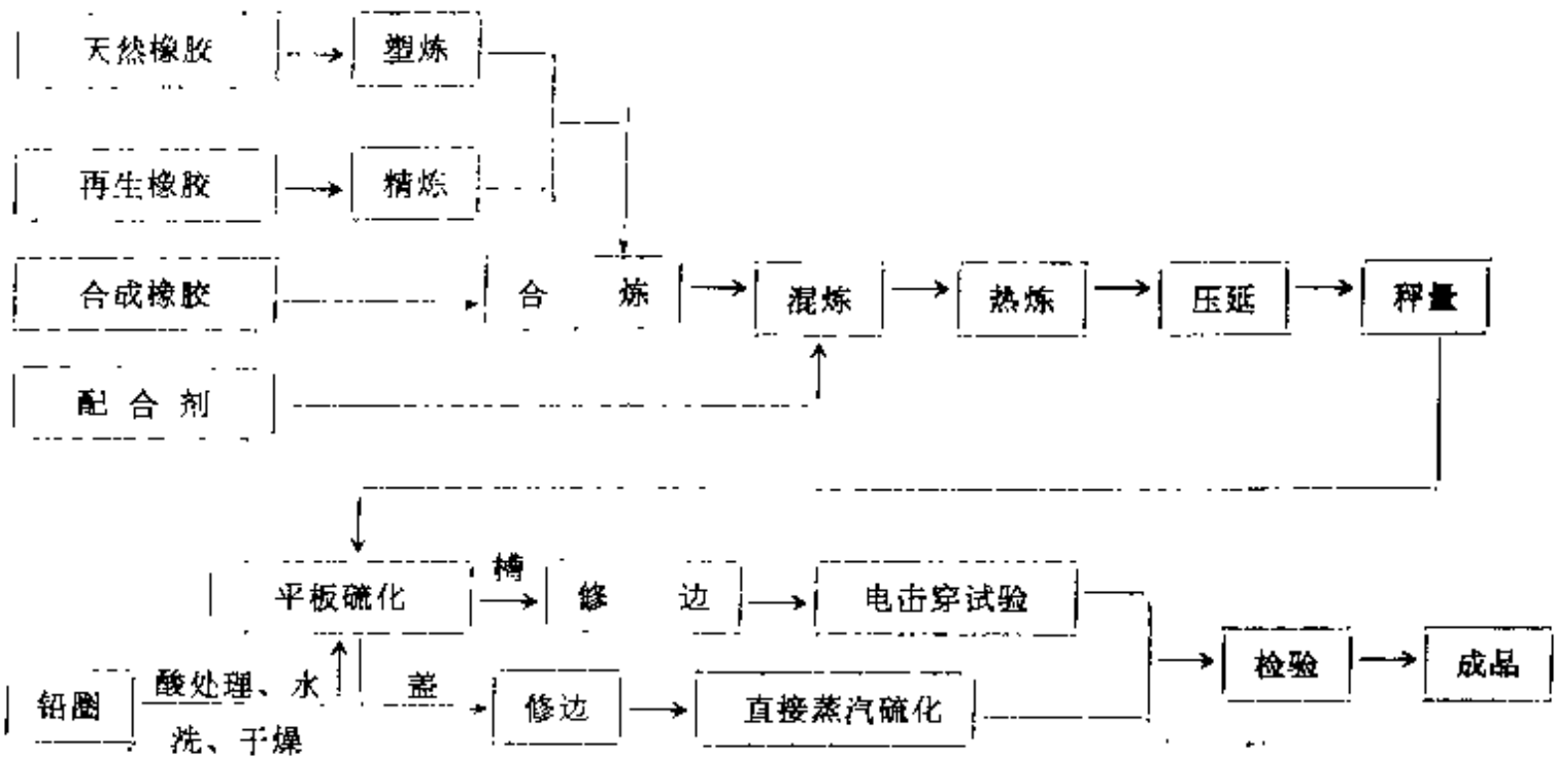


图 3-7 硬质橡胶蓄电池槽生产工艺流程

然后将半成品槽盖逐个放于铅板上，集中在硫化罐内用直接蒸汽以逐步升温法硫化，其硫化条件如表3-18。

表 3-18 蓄电池槽盖硫化罐硫化条件

蒸汽压力，MPa	0.15	0.20	0.25	0.29	0.34	总 时 间
硫化时间，min	30	30	30	30	45	165

注：每一升温阶段，应排汽一次。

（五）成品性能

蓄电池槽性能应符合JB 3076—82“铅蓄电池槽”标准中规定，见表3-19。

表 3-19 蓄电池槽性能指标

检 验 项 目		指 标
耐 酸 性		1. 重量增减小于 0.6g/dm²； 2. 渗出铁含量小于 0.6g/dm²； 3. 渗出有机物，消耗 0.1mol/L 浓度的高锰酸钾溶液小于50ml/dm³
耐 电 压	干 法	8000～12000V交流电压作用 3 ～ 5s 不击穿
	湿 法	5000～10000V交流电压作用 1 ～ 5s 不击穿
落球冲击强度		不产生裂痕及细小裂纹
热 变 形	整 体 槽	不能有 2 mm以上的变化
	单 体 槽	不能有 1 %以上的变化和槽体变形

注：1. 干、湿法耐电压试验同样有效；
2. 整体槽即本文中多腔槽，单体槽即单腔槽；
3. 试验方法见附录Ⅱ。

二、矿灯蓄电池槽

矿灯蓄电池槽是供矿工在矿井内使用的照明灯用直流电源的蓄电池容器，槽体的主要尺寸见表3-20，表中符号见图3-8。

表 3-20 矿灯蓄电池槽尺寸（KS-8型）

外型尺寸及公差，mm			内腔尺寸及公差，mm		
长（L）	宽（B）	高（H）	长（l）	宽（b）	高（h）
138.5^{+0}_{-1}	$40^{+0}_{-6.2}$	165 ± 1	$58^{+0.74}_{-0}$	$30.5^{+0.62}_{-0}$	152 ± 1

（一）配方举例

矿灯蓄电池槽用硬质橡胶的配方设计要求与一般蓄电池槽类似。由于矿灯蓄电池由矿工随身携带，当矿工在矿井内工作时碰撞异物的情况较多，因此胶料配方中的橡胶含量应高些，以提高制品的抗冲击性能。矿灯蓄电池槽配方举例见表3-21。胶料的物理机械性能要求见表3-22。

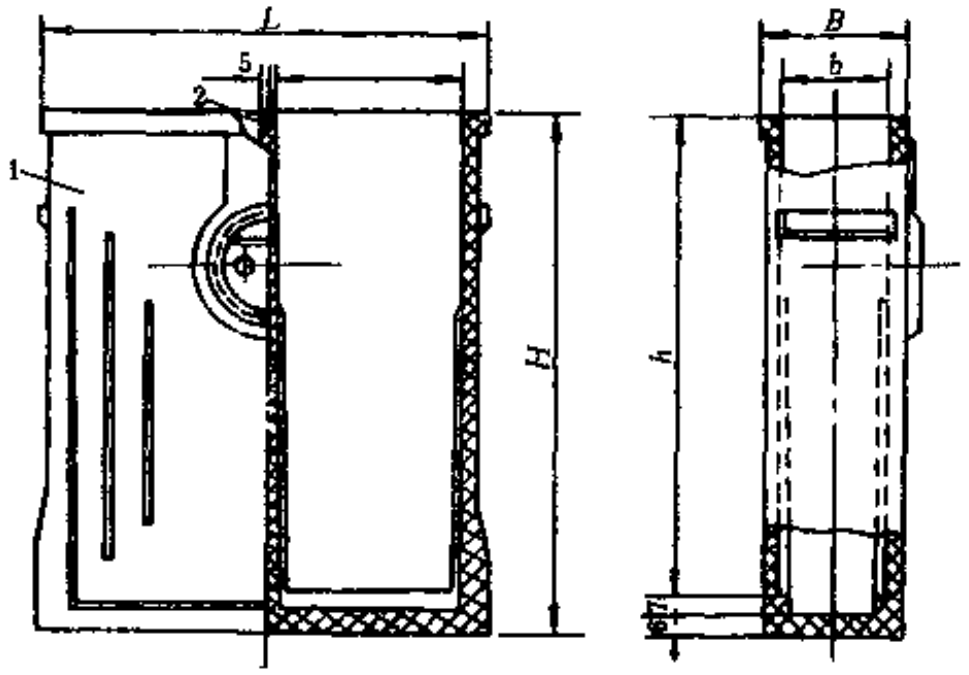


图 3-8 矿灯蓄电池槽

1—槽体；2—隔板

（二）硫化

矿灯蓄电池槽亦可采用先平板硫化，再集中放入硫化罐内用直接蒸汽硫化的分段硫化方法。平板硫化为恒温模压定型，按表3-20所列配方的胶料，其硫化条件为：平板温度160±2℃，硫化时间15±1min。第二段是将半成品集中放入硫化罐内，半成品应竖放于铝盘上，每个半成品之间需有一定的间隙，不能互碰。硫化采用逐步升温，硫化条件举例如表3-23。

表 3-21 矿灯蓄电池槽配方

单位：重量份

原材料名称	用 量	原材料名称	用 量
天然橡胶	70.00	炭 黑	5.00
丁苯橡胶	30.00	沥 青	3.00
氧化镁	5.00	凡士林	5.00
硫 黄	44.00	石 蜡	2.00
硬脂酸	2.00		
促进剂D	1.40	合 计	285.70
硬质橡胶粉	118.30	含胶率，%	35

表 3-22 矿灯蓄电池槽胶料物理机械性能要求

试 验 项 目	指 标	试验方法
抗折断强度，MPa	58.8	GB1696—81
抗冲击性，kJ/m^2	196	GB1697—82
耐酸重量变化率，% （40% H_2SO_4，70℃×144h）	±0.6	GB1690—82
马丁耐热，℃ ≥	45	GB1699—82

矿灯蓄电池槽含胶率较高，在第二段硫化时，应注意胶槽内升温高峰出现，引起产品发生气孔或爆裂。如果第二段的硫化升温条件选择是正确的，而且配方中原材料质量、数量及

表 3-23 矿灯蓄电池槽硫化条件例

升温分段数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
蒸汽压力，MPa	0.15	0.15	0.15	0.15	0.17	0.17	0.17	0.20	0.20
硫化时间，min	30	30	30	30	30	30	30	45	45
累计时间，min		60	90	120	150	180	210	255	300

注：每一升温段应排放回汽一次，蒸汽压力下降 0.1MPa，然后缓慢升至下一升温段的蒸汽压力。

准备工艺没有变动，则造成气孔、爆裂的原因和解决办法一般如表3-24所述。

表 3-24 矿灯蓄电池槽在第二段硫化时引起气孔、爆裂的原因和解决办法

原因	解决办法
第一段平板硫化时定型时间不足	1.严格遵守硫化时间 2.随时排除平板内的冷凝水，使平板温度保持正常
第二段升温过快，硫化反应加剧	1.每升温段的升压时间和蒸汽压力要控制好，不应提前 2.每次排放回汽后，蒸汽压力上升应缓慢，一般升压至规定压力的时间为20min左右
未按时排放回汽，制品周围温度上升	按时排放回汽，使制品周围蒸汽流动，带走积蓄的热量
硫化罐内产品放得过多，罐内温度升高，硫化反应加剧	1.每罐放入数量要规定，不可任意增加 2.如增加数量，应另行试验决定硫化条件
产品互碰	产品要排列整齐，每个产品周围，每盘上、下层都应有一定间距
硫化罐内温度不均匀，局部温度过高	1.按时排放回汽 2.如多次发现硫化罐内某一部位的产品经常出现气孔、爆裂，应减少该部位放置产品的数量，并放大放置间距

（三）成品性能

矿灯蓄电池槽的成品性能要求见表3-25。

表 3-25 矿灯蓄电池槽成品性能要求

试验项目	指标
耐电压，kV，不击穿	10
落球冲击强度（球重 0.4kg，高度 1 m）	不碎裂（积累）

注：1. 性能要求摘自上海市企业标准沪Q/HG16—369—82“硬质橡胶矿灯用蓄电池胶槽”。
2. 试验方法见附录Ⅱ。

附录Ⅰ　蓄电池槽基本规格和尺寸

a. 起动用铅蓄电池

（国家标准GB 5008.2—85）

类　别	蓄电池型号	最大外形尺寸，mm		
		长	宽	高
第一类	3-Q-75	197	178	250
	3-Q-90	224		
	3-Q-105	251		
	3-Q-120	278		
	3-Q-135	305		
	3-Q-150	332		
	3-Q-195	413		
第二类	6-Q-60	319		
	6-Q-75	373		
	6-Q-90	427		
	6-Q-105	485		
第三类	6-Q-120	517	198	250
	6-Q-135		216	
	6-Q-150		234	
	6-Q-165		252	
	6-Q-180		270	
	6-Q-195		288	

注：表中最大外形尺寸的高度系蓄电池槽、盖和极柱等总装后的高度，其它种类蓄电池所列高度亦同。

b. 铁路客车用铅蓄电池

（部标准 JB 1864—76）

蓄电池型号	最大外形尺寸，mm		
	长	宽	高
TG-450	260	195	405
TG-540	300	195	405

c. 蓄电池车用铅蓄电池

（部标准 JB 1865—76）

类　别	蓄电池型号	最大外形尺寸，mm		
		长	宽	高
Ⅰ	6-DG-75	422	142	338
	DG-250	214	142	338
Ⅱ	DG-120	81	182	363
	DG-320	176	182	363
	DG-360	195	182	363
	DG-400	214	182	363
Ⅲ	DG-330	138	182	448
	DG-440	176	182	448
Ⅳ	DG-490	175	184	530

d. 航标用铅蓄电池

（部标准 JB 1866—76）

类　别	蓄电池型号	最大外形尺寸，mm		
		长	宽	高
Ⅰ	3-B-80	214	183	293
	2-B-120	198	183	293
	B-160	198	125	293
	B-240	218	130	353
Ⅱ	B-500	215	190	410

附录Ⅱ　蓄电池槽成品主要性能测试方法

（一）耐电压试验

1. 干法

（1）试验装置　如图3-9所示。

（2）试验方法　蓄电池槽的槽体耐电压试验如图3-9(a)。将蓄电池槽 9 放入金属槽11内，在蓄电池槽的各内腔中分别插入金属芯10。金属芯的上沿低于蓄电池槽边不少于15mm，并应与金属槽上沿等高。将导线C端连接在其中一个金属芯上，其它内腔内的金属芯用短导

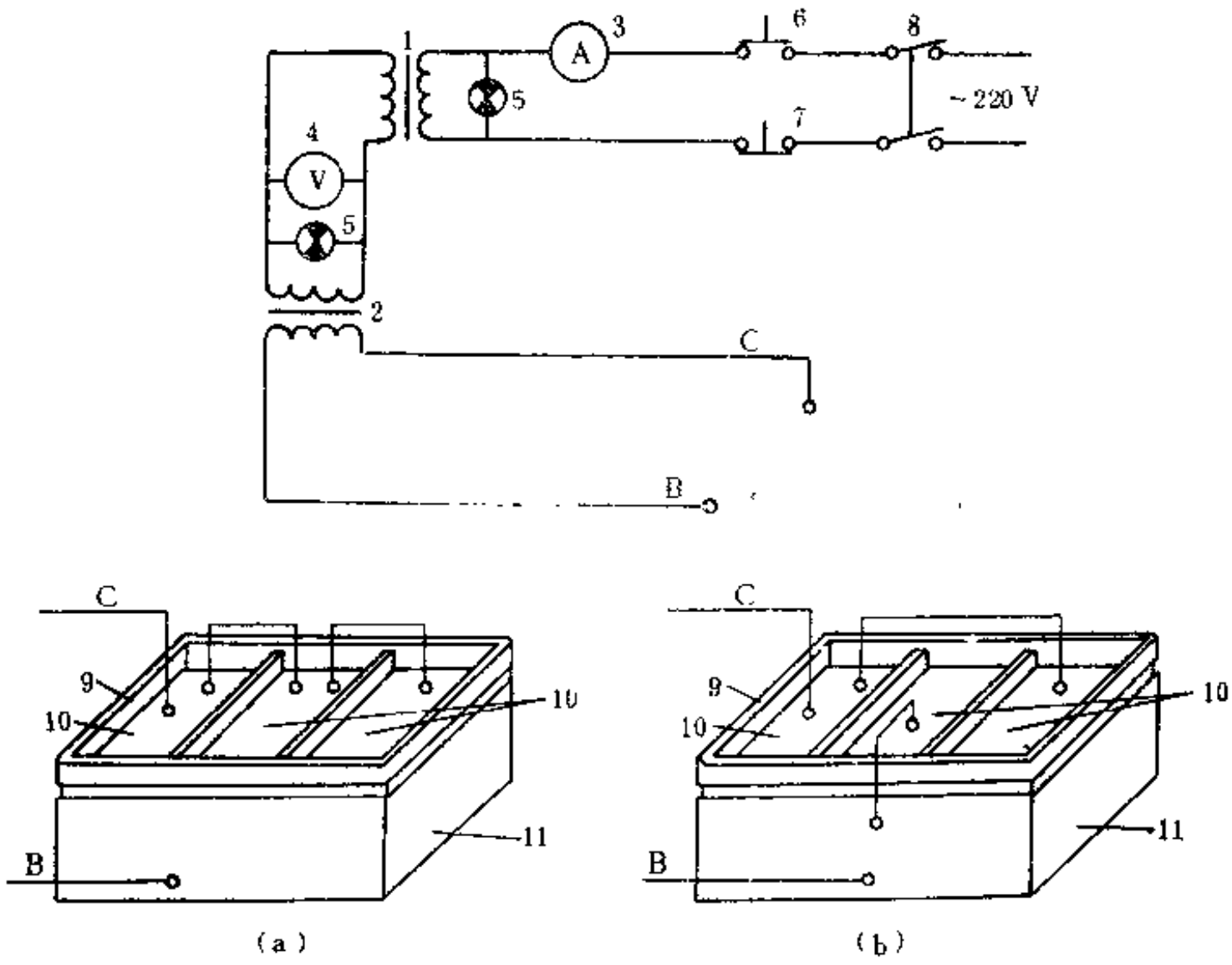


图 3-9 蓄电池槽干法耐电压试验装置

(a) 槽体试验；(b) 隔板试验

1—0～25V（1kVA）调压变压器；2—220V/0～15000V霓虹灯变压器；3—交流电流表，0～10A；4—交流电压表，0～250V；5—指示灯；6—手动按钮；7—脚踏按钮若干只串联（装在操作人员踏脚板下的安全开关）；8—电源开关；9—蓄电池槽；10—金属芯；11—金属槽；C，B—高压电源导线

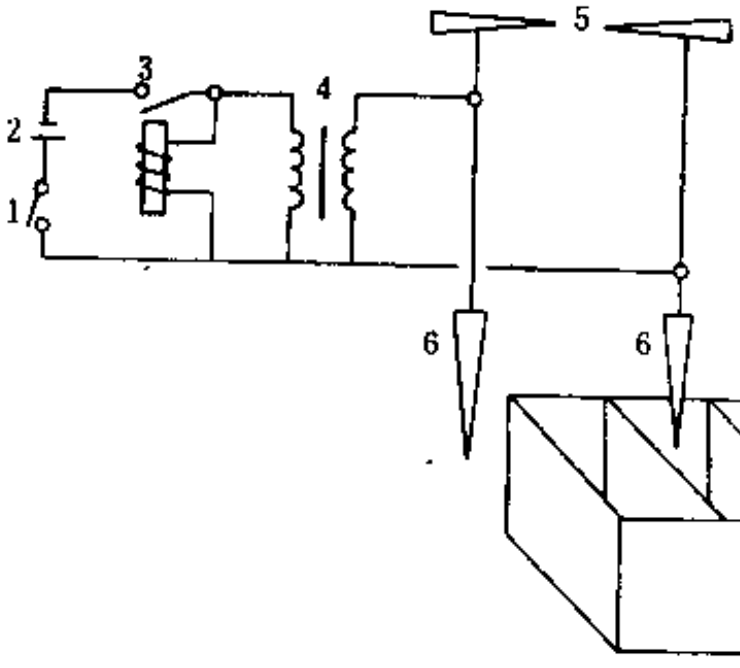


图 3-10 蓄电池槽湿法耐电压试验“尖端放电感应圈”装置

1—开关；2—12V电源；3—振动子；4—12V/0～10000V升压变压器；5—金属针（间距0～8mm）；6—测试棒；7—蓄电池槽

线相连。导线B端连接于金属槽上。试验时，接通电源，升压至规定电压（8000～12000V），保持3～5s。如电压表指针未急剧下降，耐电压试验为合格。关闭电源，按图（b）接线，按同样条件进行蓄电池槽的隔板耐电压试验。

用干法耐电压试验的方法简单快速，因此亦常用来对所有生产的蓄电池槽进行逐个检验，以避免用目测法检查蓄电池槽的外观缺陷时不易发现的槽体内的杂质、气泡及硫化时胶料并缝不良等隐患。

2. 湿法

（1）用试验变压器进行试验　试验设备为IDJ-5/50TH“试验变压器”（上海变压器厂生产）。试验时将水注入蓄电池槽各内腔内，水面距槽口30±2mm，槽外水面与槽内水面

应等高。以槽的内外水为电极，输入电流控制在10±1A，在5000～10000V电压下保持3～5s，检查是否击穿。

（2）用尖端放电感应圈进行试验　试验装置如图3-10。

此法采用教学用“尖端放电感应圈”标准仪器进行高压检验。将金属电极与蓄电池槽的内外两面接触，调整感应圈放电金属针的间距为5～6mm，合上开关1～2s，检查针隙火花是否熄灭。试验时，将蓄电池槽内外注入等高的水，水面高度与用试验变压器检验法相同。将测试棒的一端放入水槽中，另一端分别放入蓄电池槽的各内腔中，以测试蓄电池槽的槽体，然后再将测试棒分别放入相邻的两个间隔内腔内，以测试蓄电池槽的各个隔板。测试时如金属针不放电，则表示被测部位已被击穿。

（二）落球冲击试验

1．落球冲击试验用钢球重量和下落高度各种型号和规格的蓄电池槽落球冲击试验用钢球重量和下落高度见表3-26。

表 3-26　落球冲击试验条件

蓄电池用途	蓄电池槽型号和规格	钢球重 g	下落高度 mm
起动用	3-Q-75 ～3-Q-195	500	250
	6-Q-60 ～6-Q-105	500	250
	6-Q-120～6-Q-195	500	300
航标用	3-B-80，2-B-120	500	300
	B-160，B-240，B-500	500	450
摩托车用	各种规格	200	350
铁路客车用	各种规格	500	450
蓄电池车用	各种规格	500	300
内燃机车用	各种规格	500	750
井下防爆机车用	各种规格	500	1500

2．落球冲击试验装置

落球冲击试验装置如图3-11。

3．试验方法

将蓄电池槽平放在厚25mm，长、宽尺寸比受试蓄电池最大尺寸大25mm的木板上。多腔槽的冲击点位于极板平面一侧的中心10mm直径范围内（不带商标图案的一面），单腔槽冲击点位于大面中心10mm直径范围内。冲击面应保持水平位置。

试验时按被测型号规格的蓄电池槽选取所需重量的钢球和调整钢球下落高度，接通试验装置的电源，将钢球固定在电磁铁中，然后关闭电源使钢球自由落下。钢球落在蓄电池槽上只准一次，不应任其回弹造成第二次冲击。冲击后用目测和敲打是否发出异样声音方法检查是否碎、裂或细小裂痕，必要时可用电击穿法进行判断，若有击穿则按碎、裂不合格处理。

（三）热变形试验

使用精度为0.05mm的量具测量蓄电池槽中心部位对应点的长（L_1）、宽（W_1）并标以记号。在槽内注入温水，水面距槽口20±2mm。将蓄电池槽放入恒温箱中，按表3-27要求进行热变形试验，恒温时间从槽内水温升至规定温度开始计时，达到规定时间后打开恒温箱门，在

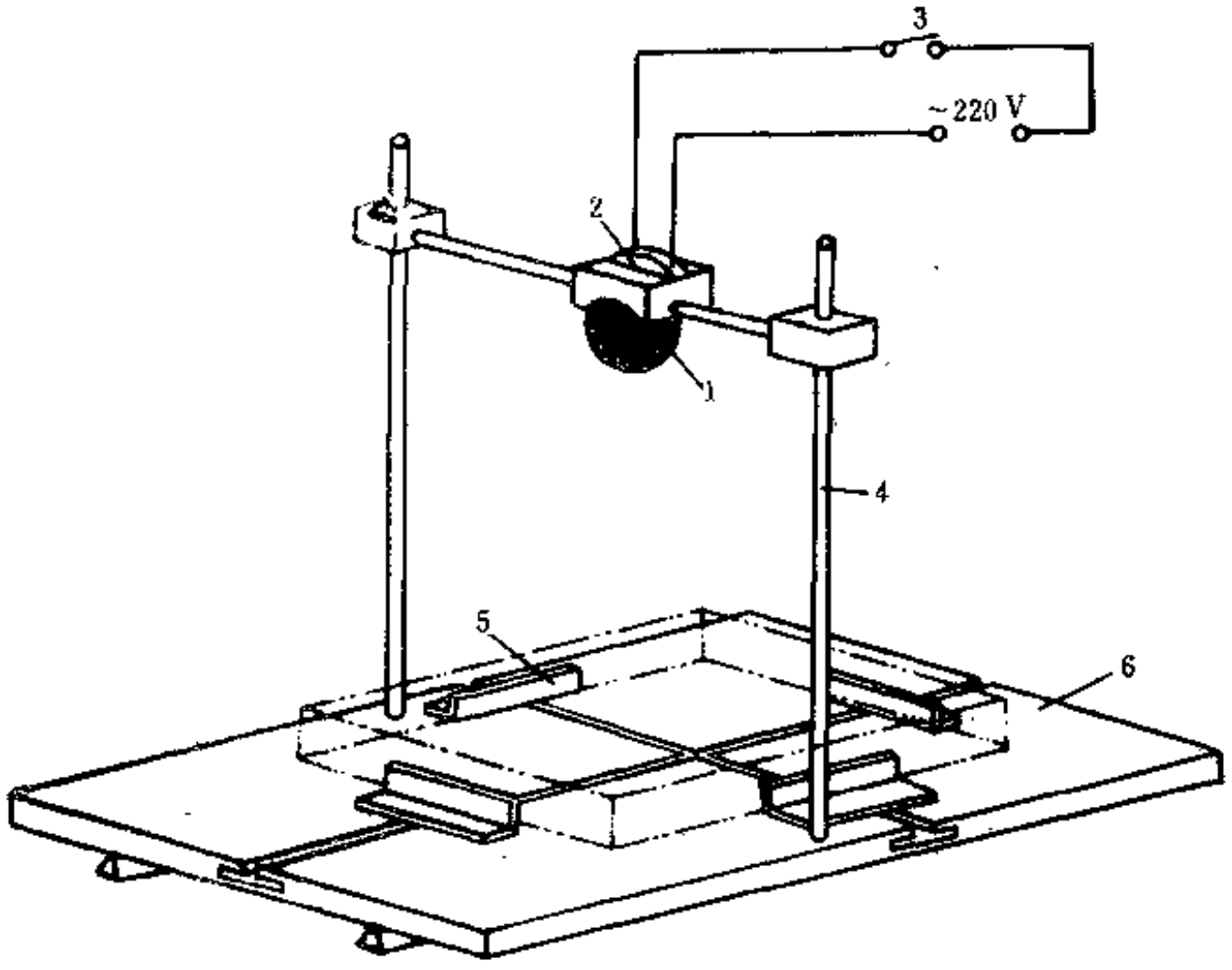


图 3-11　落球冲击试验装置

1—钢球；2—电磁铁；3—开关；4—标尺；5—蓄电池槽固定框；6—支撑板

表 3-27　蓄电池槽热变形加热条件

蓄电池槽种类	水　　温 ℃	恒温温度 ℃	恒温时间 h
单 腔 槽	60 ± 2	60 ± 2	3
多 腔 槽	70 ± 2	70 ± 2	3

箱内冷却至室温，然后取出蓄电池槽放置10～15 h，倒出槽内的水。再以同样精度的量具测量蓄电池槽同一位置的长（L_2）、宽（W_2）。

单腔蓄电池槽的耐热变形变化率、长（L）、宽（W）按式（3-1）和式（3-2）计算：

$$L = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100\% \qquad (3\text{-}1)$$

$$W = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \qquad (3\text{-}2)$$

多腔蓄电池槽热变形变化量、长（L），宽（W）按式（3-3）和式（3-4）计算：

$$L = L_2 - L_1 \qquad (3\text{-}3)$$

$$W = W_2 - W_1 \qquad (3\text{-}4)$$

附录Ⅲ　矿灯蓄电池槽成品性能测试方法

（一）耐电压试验

矿灯蓄电池槽耐电压试验采用干法试验，其装置与蓄电池槽耐电压试验装置类同，见附录Ⅱ图3-9。将矿灯蓄电池槽按图3-12放入金属槽2内，槽内腔中插入金属芯3。高压电源线C端与其中一个金属芯相连，B端与金属槽相接。试验槽体耐电压击穿时，按图3-12(a)用短导线D连接二个金属芯；试验隔板耐电压击穿时，按图3-12（b）将短导线D与金属槽相连。试验电压为10000 V，保持5s，以不击穿为合格。

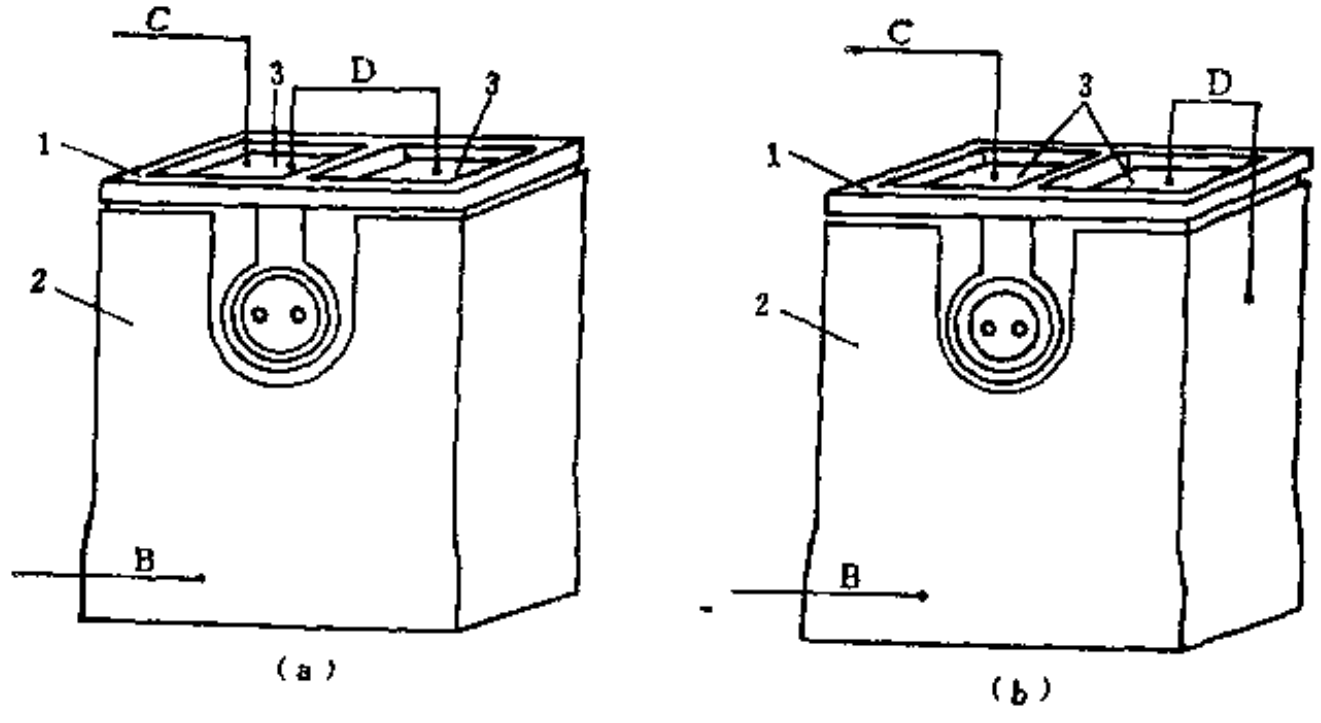


图 3-12 矿灯蓄电池槽耐电压试验接线图

(a) 试验槽体； (b) 试验隔板

1—矿灯蓄电池槽；2—金属槽；3—金属芯； B、C—高压电源线；D—短导线

（二）落球冲击试验

矿灯蓄电池槽落球冲击试验装置与附录Ⅱ图3-11蓄电池槽落球冲击装置类同。将矿灯蓄电池槽正面水平放在厚30mm的木板上，冲击用钢球重为400 g，下落高度为1 m，冲击位置为左右各一处，冲击点位置见图3-13的a、b点。落球点应在冲击点的10mm直径范围内。每冲击点冲击一次，不应任其回弹而造成第二次冲击。冲击后用目测法检查，以不碎、无裂痕为合格。

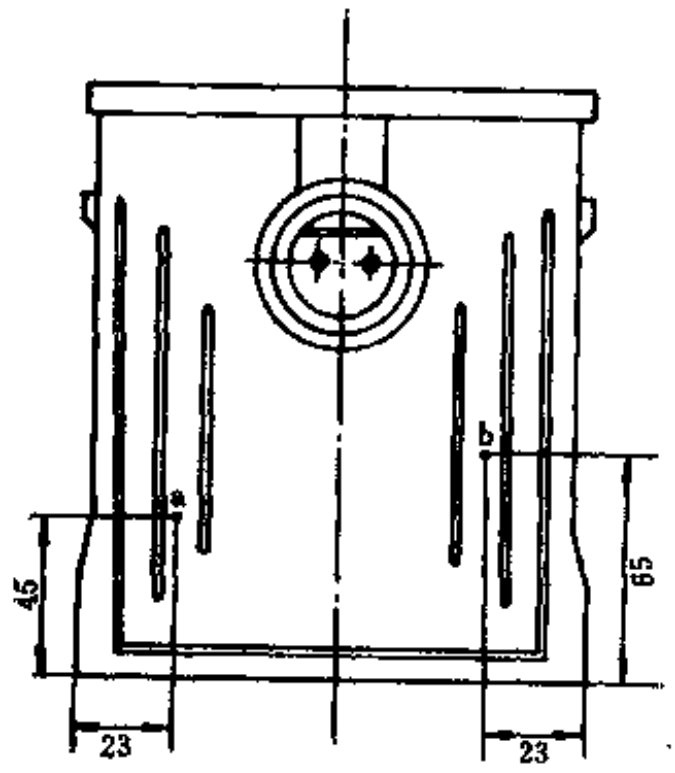


图 3-13 矿灯蓄电池槽冲击试验的冲击点位置

三、黑管管体

黑管是乐队吹奏用乐器，其管体用硬质橡胶制成，经机械加工后，配上键钮等附件而制成。

（一）配方举例

黑管管体要求管体轻，相对密度小，并要求有良好的机械加工性能，以便切削成不同形

状的管体段，经切削后的管体应表面光滑，抛光后乌黑光亮。黑管管体胶料含胶率高，其填充剂选用纯硬质橡胶粉。黑管管体配方举例见表3-28。

表 3-28 黑管管体配方

原材料名称	黑管管体	硬质橡胶粉	原材料名称	黑管管体	硬质橡胶粉
天然橡胶	100.00	100.00	促进剂D	1.20	1.20
硫黄（140目过筛）	37.00	55.00	硬质橡胶粉	70.00	—
硬脂酸	2.50	1.00	凡士林	1.00	—
氧化镁	5.00	3.00	合　计	220.20	162.2
石　蜡	3.50	2.00	含胶率，%	45.4	61.6

黑管管体胶料中硬质橡胶粉是按表3-28中所列配方制成 5mm 厚胶板，经粉碎后，用140目筛网过筛而成。胶料经压延成胶片，先平板硫化成半成品胶板，其硫化条件为：平板温度158±2℃，硫化时间 30min。第二段硫化是将半成品胶板集中放入硫化罐内，用直接蒸汽以逐步升温法硫化。半成品胶板应用铝板隔开，不应互叠。硫化条件如表3-29。

表 3-29 黑管管体硫化条件

蒸汽压力，MPa	0.15	0.20	0.24	0.29	总 时 间
硫化时间，min	30	60	120	210	420

注：每间隔30min排放回汽一次，蒸汽压力下降0.1MPa，然后在15min内升压至所规定的蒸汽压力。

（二）生产工艺流程

黑管管体生产工艺流程见图3-14。

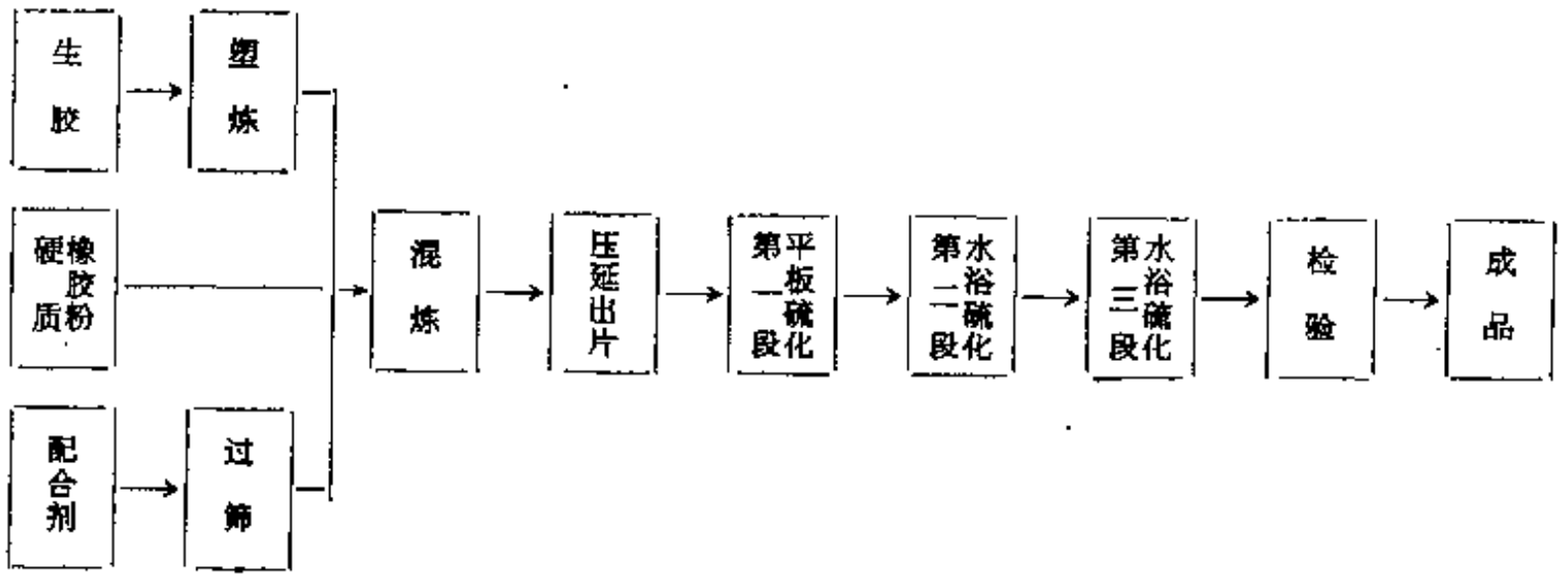


图 3-14 黑管管体生产工艺流程

（三）硫化

黑管管体胶料含胶率很高，硫化反应时放出大量的热，必须设法导散，因此其硫化方法宜采用平板硫化和水浴硫化相结合的多段硫化法。第一段平板硫化是将胶料放入模型内，经加压、恒温硫化，硫化条件为：硫化温度148±2℃，硫化时间 40min。硫化后，将定型的半成品脱模冷却，然后集中放入水箱内，产品必须全部浸没在水中。水浴硫化是在硫化罐内用

直接蒸汽加热。第一次水浴硫化后，经冷却并补足蒸发掉的水，产品不允许露出水面，再进行第二次水浴硫化。水浴硫化的硫化条件举例如表3-30。

表 3-30 水浴硫化条件

蒸汽压力，MPa	0.15	0.20	0.25	0.29	0.34	总时间
第一次水浴硫化时间，min	30	30	60	60	120	300
第二次水浴硫化时间，min	30	30	30	30	60	180

四、微孔橡胶隔板

微孔橡胶隔板是用于各种型号的酸性铅蓄电池的配套产品。品种有平片、槽片（磨槽片、压槽片），用以分隔蓄电池内部正负板板之用。

微孔橡胶隔板系橡胶用硅酸及大量硫黄制成的微孔板，亦称硬质橡胶隔板。该产品在蓄电池中，既起隔离阴阳极板的绝缘材料，又在蓄电池电解液中，通过充电，能使电离子迅速渗透和扩散，以达到蓄电池起动电阻小，放电性能好的目的。微孔橡胶隔板耐腐蚀性能好，使用寿命长，在一般正常情况下，充放电可达400～500次，大大地高于蓄电池阴阳极板的使用寿命。从目前来看，国内所生产的微孔橡胶隔板极优于硬质烧结塑料隔板及软质隔板。以往使用的蓄电池木隔板，纸张隔板几乎全部淘汰。橡胶隔板其孔径细（15～30μm），孔率高，不易穿孔，在蓄电池工业配套产品中，质量最为稳定并占有优先地位，目前全国产量预计达2亿片之多。微孔橡胶隔板技术标准见表3-31。

表 3-31 微孔橡胶隔板技术标准

项目	指标	项目	指标
直流比电阻，Ω·dm²/mm	≤0.003	铁含量，%	≤0.03
拉伸强度（纵），MPa	≥1.96	氯含量，%	≤0.003
透水性，s/mm	≤4	还原性有机物消耗0.01mol/L高锰酸钾，ml	≤25
孔率，%	≥58		
水分，%	≤3	酸碱性	中性或微酸性

（一）微孔橡胶隔板制造工艺

1．工艺流程图

工艺流程图见图3-15。

2．胶料配方举例

微孔隔板配方见表3-32。

3．硅酸制造

硅酸是制造微孔橡胶隔板的主要配合剂，为液体硅酸钠和工业硫酸反应而制得的产品。其质量稳定与否对隔板质量有着直接的影响，因此在硅酸生产过程中，对硅酸化合温度、凝固老化时间、漂洗方法等都应严格控制，硅酸的质量对隔板生产工艺亦有着很大的影响。

硅酸生产工艺流程为：

化合——→凝固老化——→漂洗——→压水——→粉碎——→筛选

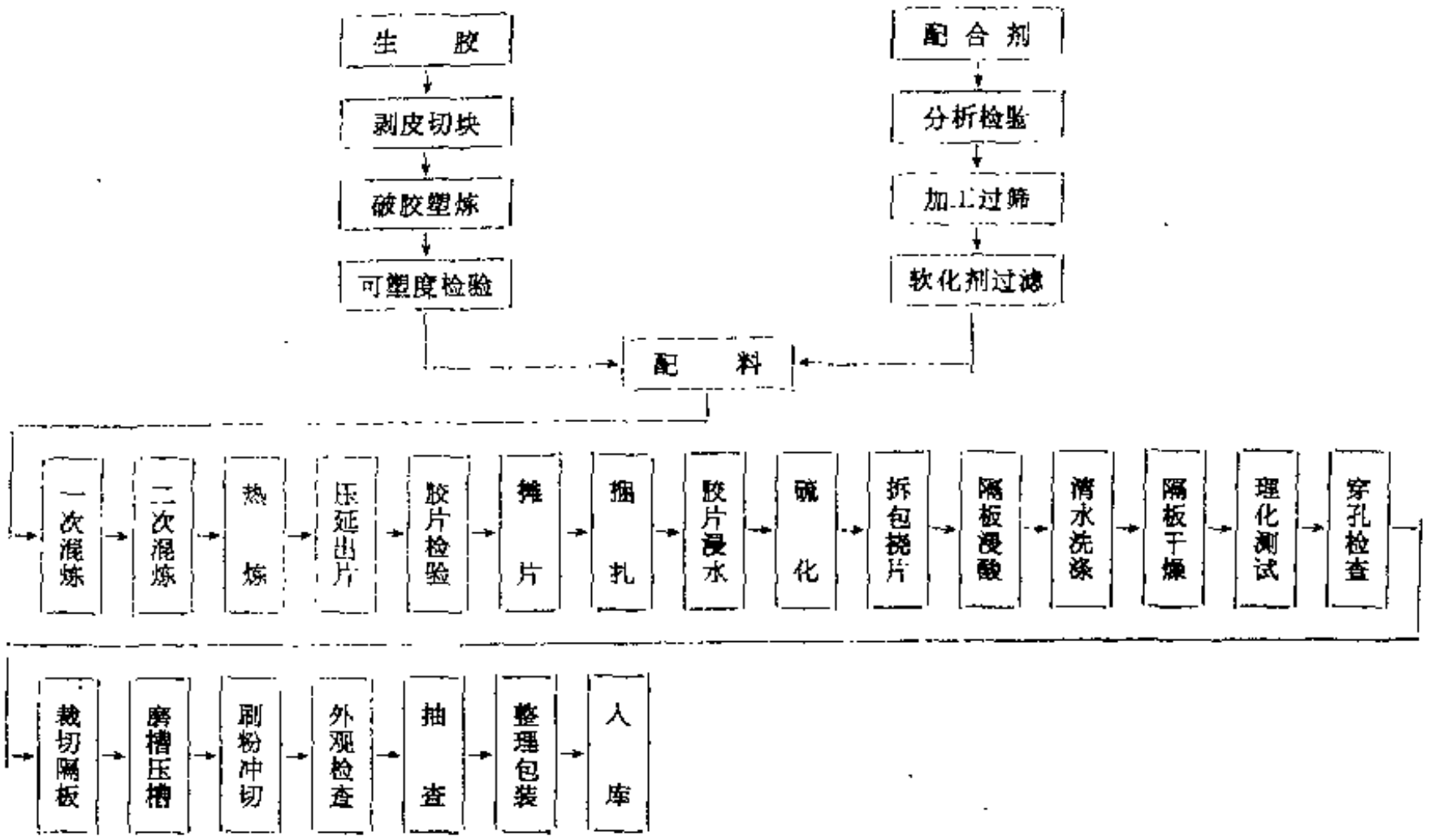


图 3-15 微孔橡胶隔板制造工艺流程图

硅酸化合 $Na_2SiO_3 + H_2SO_4 = H_2SiO_3 + Na_2SO_4$

表 3-32 微孔隔板胶料配方

原材料名称	指标，重量份
烟片胶	100
硫黄	40
硅酸	300
沥青	10
凡士林	5
合计	455

在化合时必须控制酸碱两者溶液的密度和浓度，在反应过程中，溶液温度愈高，则凝固愈快。根据生产工艺要求，在化合时一般控制其 pH 值范围，并保持其硅胶的透明度和均匀度，然后放置存放池中凝固老化。

硅酸凝固老化，随着气候条件的不同，老化时间亦随之而变化。然后经清水漂洗，使大量盐类物质溶解于水中除去，再将硅酸内含有的大量游离水进行挤压，使之达到配方中所规定之含水范围，再予粉碎筛选。

4．胶料混炼条件

用ϕ400×1400开炼机进行混炼，辊筒温度控制在 50℃左右，生胶可塑度为 0.60 以上。混炼程序：混炼分为二次进行。

第一次：生胶——→沥青——→凡士林——→硫黄——→薄通——→下料冷却。

第二次：一次混炼胶——→硅酸——→薄通——→热炼。

5．胶料压延出片

压延机规格为ϕ250×600，双辊立式等速压延机，压延机辊筒温度为 50～60℃，压延后胶片进行检测，然后再予搓片、捆扎、浸水、待硫化。

6．隔板硫化

在卧式硫化罐内，用直接蒸汽进行水浴硫化。硫化条件：蒸汽压0.4MPa×6h。

微孔橡胶隔板的硫化，与硬质橡胶硫化相似，在硫化过程中放出大量的热，随着结合硫

黄的增加，其硫化氢浓度亦随之增加，胶料在硫化时，胶料内部产生的热量大于外界供给的热，如在硫化工艺上不严格控制，就会使制品产生大气孔，严重者甚至碳化爆裂，胶料内部升温温度的增加，与其制品的体积大小、硫化温度以及配合剂的量有关。

微孔橡胶隔板采用水浴硫化，这样既能保持胶料内硅酸水分的饱和，使隔板造孔均匀；又能使在硫化过程中，胶料内产生的热量借助于水扩散，达到硫化温度均匀。

7．隔板浸酸处理和干燥

硫化后微孔橡胶隔板需进行浸稀酸处理，除去隔板内所含有的金属盐类杂质和有机物，然后经清水漂洗至中性后再经烘房干燥，使隔板内水分符合产品标准之要求。

8．磨槽、压槽

隔板经半成品检测后，然后进行磨槽或压槽。从蓄电池要求来说，带槽隔板比平片优越，可增加蓄电池电容量，并对极板表面氧化下来的活性物随着沟槽流入蓄电池槽底。

槽形隔板有磨槽和压槽两种，前者是采用特别砂轮按照用户提供之图纸进行组装后磨槽，但在加工工艺上，原材料的浪费达30%以上，同时粉尘飞扬，对车间环保工作亦带来了困难。另一种加工方法，采用金属刃具切削，但总的来看，对原材料的浪费还是存在。压槽法为隔板通过加温进行压槽，其槽形有弧形、梯形两种，弧形相似于波形，梯形相似于磨槽沟形，这种隔板平均厚度比磨槽隔板薄，所以既能提高蓄电池电性能，又能节约原材料，同时又改善了车间的环境卫生。

9．穿孔检查

隔板穿孔检查是保证蓄电池产品质量的重要一关。一张薄型隔板如果有了细小的杂质或砂眼，当蓄电池在充电或使用过程中，会造成蓄电池导电或电源短路。因此在隔板生产过程中除了对原材料质量要求外，在各工序生产过程中，亦必须认真对待，穿孔检查则更为重要。过去一般采用灯光检查，在暗室中用肉眼来观察有无砂眼，这种检查方法，劳动条件差，检验人员长期在暗室中，随着灯光对肉眼的刺激，视力极度疲劳，因而也就不能完全保证质量。目前已采用电源进行检查，不仅对穿孔砂眼有效，而对细小导电杂质亦会有效，比用肉眼借灯光检查质量更有了保证。

（二）微孔橡胶隔板质量控制

微孔橡胶隔板的质量控制，大体上分为两个方面。第一，橡胶隔板的内在性能如电阻、孔率、透水、拉伸强度，氯含量等；第二，橡胶隔板外观质量，表面不允许有导电类杂质存在以及其它可见杂质的嵌入。

隔板拉伸强度控制在一定范围，强度过高则隔板的孔率降低，会使隔板的水渗透性差，电阻值增大影响蓄电池起动电阻，放电性能差。隔板内的游离氯对蓄电池是有害物质，如果游离氯值过大，因氯离子吸附于阳极板上，阳极板会遭到腐蚀，影响蓄电池使用寿命。

（三）微孔微胶隔板特性测试

1．电阻

微孔橡胶隔板的电阻用直流电测试，其线路图如图3-16所示。

（1）隔板电阻测试　使用设备有0.5级毫伏表和安培表，耐酸有机玻璃槽见图3-17，槽内格子体中分别装有铅板和隔棒作为电流电极和电压电极、滑线电阻和直流电源。

（2）试验前的准备工作

a．试片的规格　从原张产品上切取 140mm² 大小的试片 5 个，首先进行任意点厚度测量后，再在配制好密度为1.28的精制[illegible]浸泡24 h，

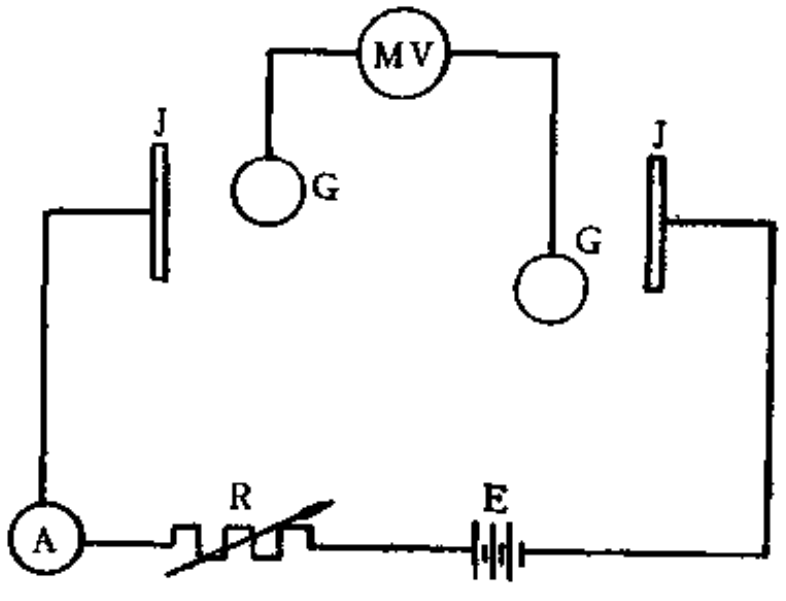


图 3-16　直流电阻测试线路图

代号	名　　称	规　格　型　号	数量
E	直流电源	整流器或12V蓄电池瓶	1
R	滑线电阻	—	1
A	直流电流表	0.5级　0～3A	1
MV	毫伏表	0.5级　0～100mV	1
J	电流电极	3mm厚铅板	2
G	电压电极	φ10镉棒	2

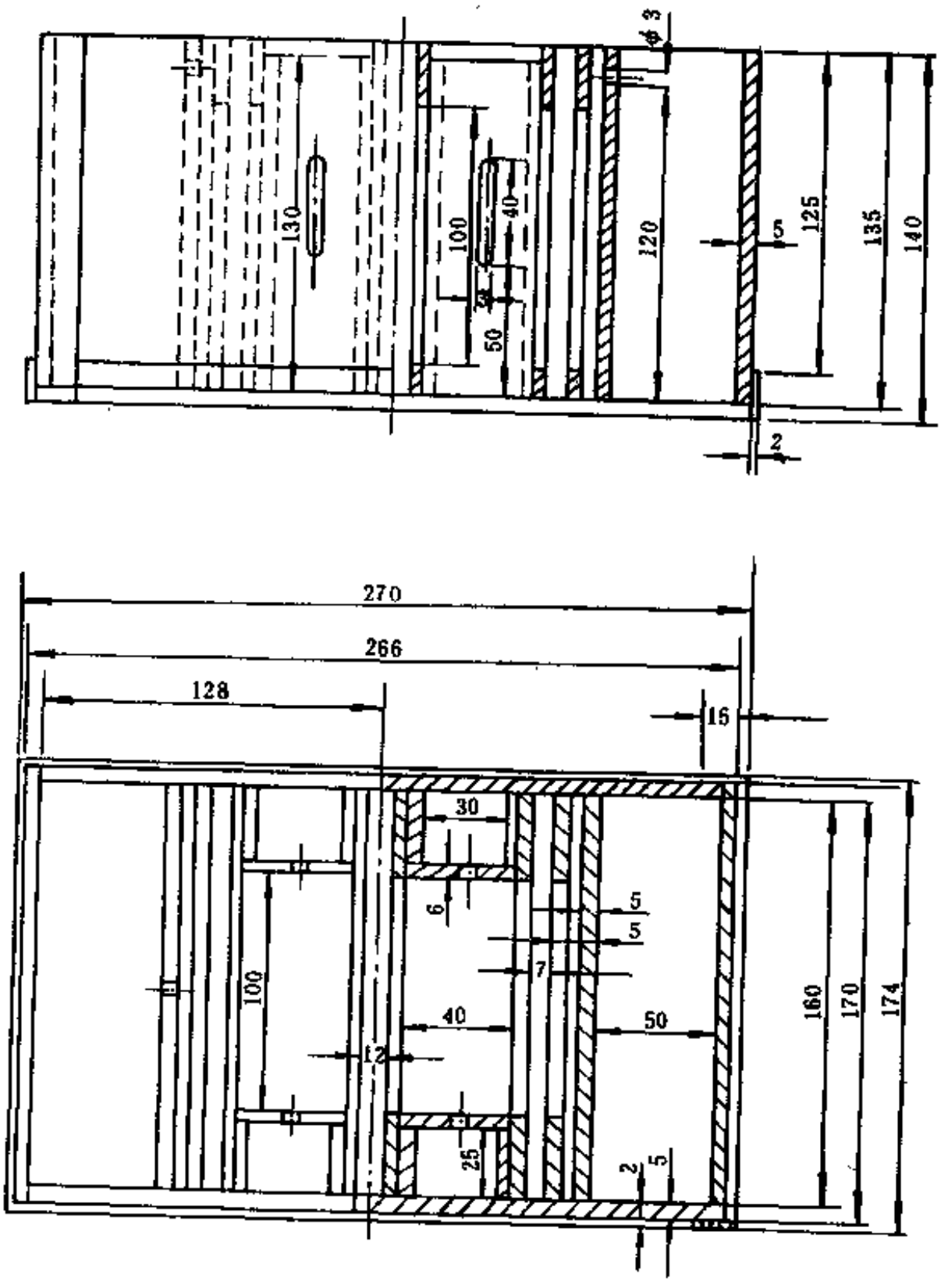


图 3-17　耐酸有机玻璃槽图（单位：mm）

b．按直流电阻线路图接通线路，充电不少于30min，待毫伏表稳定后开始测试。

（3）试验步骤

a．调整滑线电阻，使电流稳定在 1 A。

b．将隔板放入试验槽，记录毫伏表读数V_2，取出隔板后，看其空白读数V_1并记录。

（4）试验结果计算●

$$R=\frac{V_2-V_1}{I\times 1000}\qquad P=\frac{R\cdot S}{D}$$

式中 R——电阻，Ω；

V_1——电解液空白电压读数，mV；

V_2——放入隔板时电压读数，mV；

S——隔板有效面积，dm^2；

I——电流强度，A；

D——隔板平均厚度，mm；

P——直流比电阻，$\Omega\cdot dm^2/mm$。

2．孔率测定

将干燥后的隔板切成25×20mm的试片，并在试片上系上毛发，在分析天平上称量，精确值0.0002g。记录其重量W_1，然后将试片浸于水中 1 h，然后将此试样浸入水中，称得水中重量W_2，称量后将试样取出，用滤纸将隔板下角处滴水迅速吸掉，后立即在天平上称量其重量W_3。

计算公式：

$$\text{孔率}\%=\frac{W_3-W_1}{W_3-W_2}\times 100$$

式中 W_1——干燥隔板在空气中的重量；

W_2——浸水后隔板在水中的重量；

W_3——浸水后隔板在空气中的重量。

3．透水性测定

（1）需用工具设备 滴管、秒表、搁片架、镜面。

（2）试验步骤 将干燥后的隔板样品一片，面积150mm^2，放置于搁片架上，镜面向上置于搁片架底部。然后用5ml移液管吸入清水2～3ml。置于隔板上方 20～50mm 处，一手按秒表，一手将移液管内全部清水滴至隔板表面（同时进行）。并迅速看其透水所用的时间。

透水性计算公式：

$$V=\frac{T}{D}$$

式中 V——透水速度，s/mm；

T——清水透过隔板所用的时间，s；

D——隔板厚度，mm。

4．隔板拉伸强度测定

隔板拉伸强度按国家标准 GB 528—82 进行，隔板试片按纵向压延方向裁取，下夹具的下降速度为100mm/min。

5．氯含量的测定

● 测试时，测试槽内的稀硫酸液面必须高于隔板插入格子的有效高度，试片数量不少于 5 片。

（1）需用试剂

a．1:10的无氯离子硝酸。

b．10%硝酸银溶液。

c．每毫升含氯0.00005 g 的标准氯溶液。

（2）标准氯溶液的配制　取经500～600℃下烘至恒重的分析纯氯化钠0.1642 g，溶解于蒸馏水中。将制得的溶液稀释至1000ml即制得A溶液；取A溶液50ml 加蒸馏水至 100ml 即制得B溶液。B溶液中每毫升含氯0.0005g。

（3）试验步骤❶　将隔板样品切成1cm²左右，准确称 量 10g，放入烧杯中，加相对密度为1.3的硫酸100ml，烧杯用表面皿盖上。在室温下浸24h后取出隔板，并将所得酸液过滤。取50ml滤液倒入三角烧瓶（或比色管中），加入1ml 1:10 不含氯硝酸，再加入 1 ml 10%硝酸银溶液，并摇匀。同时作一标准。在同样的三角烧瓶（或比色管）中，加入50ml相对密度为1.3的硫酸，1ml 1:10硝酸，1ml 10%的硝酸银。再滴入标准氯溶液（B 溶 液） 3 ml，停放20min，比较其透明度，样品透明度不低于标准的为合格。

主要参考文献

〔1〕The Chemistry and Technology of Rubber, Carroll C. Davis, Editor, 1952, Chapter Xvlll, Hard Rubber (Ebonite) , Kemp, A.R.and Malm, F.S. .

〔2〕Synthetic Rubber, Whitby, 1954, Chapter 16, Synthetic Hard Rubber, Frank S. Malm and Henry Peters.

❶ 如测定时遇到溶液发黄，允许用0.1mol/L高锰酸钾溶液脱色后比色。

第四章　橡胶海绵制品

第一节　海绵橡胶制品

一、概　　述

海绵橡胶是一种多孔性的高弹性材料，俗称多孔橡胶、泡沫橡胶、微孔橡胶或网眼橡胶，它是具有孔眼结构的各种橡胶的总称，按照ASTM对“多孔材料”的定义，这种孔眼应遍及材料整体。根据孔眼结构的不同，可分为闭孔（孔眼与孔眼之间互不相通）、开孔（孔眼与孔眼相互之间未被孔壁完全隔开，具有一定程度的联通性）和混合孔（兼有开孔和闭孔两种结构）三种。从制造海绵橡胶所用的主体原料形态来看，分成为干胶海绵和胶孔海绵两种，本章所要述及的是以块状干胶为主体材料的海绵橡胶制品，胶孔海绵和聚氨酯海绵由于生产工艺及化学反应有其各自的特殊性，将有专门的章节介绍。

海绵橡胶由于其结构上的特殊性，即多孔性，可以产生各特殊的效果，如：

① 降低密度，减轻重量；

② 增加弹性和柔软性，提高缓冲效果；

③ 提高花纹、图案的印染效果；

④ 增加隔热作用；

⑤ 改善触感，提高舒适性；

⑥ 提高隔声、吸声效果。

因此，海绵橡胶制品广泛用于密封、减震、隔热、隔音、印染乃至离子交换等许多方面。其外形有板状、长条状、辊筒、衬垫、垫圈等，规格繁多，形状各异。面且，不同的使用条件，要求有不同的孔眼结构和孔径尺寸，为此，要求在配方设计和加工工艺上作相应的调整。

二、配 方 设 计

海绵橡胶制品的配方设计原则基本上与其它橡胶制品相似，但由于其多孔的特点，在配方设计上也有其特殊性。

（一）生胶选择

已有的大多数橡胶，包括天然橡胶以及丁苯橡胶、顺丁橡胶、丁腈橡胶、丁基橡胶、氯丁橡胶、乙丙橡胶、高苯乙烯、聚乙烯、乙烯-乙酸乙烯酯类聚物（EVA）、硅橡胶等合成橡胶，都能制成多孔海绵。因此，选用何种生胶，是否需要进行两种或两种以上聚合物并用，可以根据该海绵制品的具体使用条件，诸如环境湿度、工作介质等遵照一般的橡胶制品的胶种选择原则来决定。

（二）配合剂选择

在海绵橡胶制品的生产中，十分强调硫化速度与发孔速度的相互匹配，因此可以毫不夸张地说，海绵橡胶制品生产的好坏，与其配方设计中发泡剂和硫化系统的正确选择有着极大

的关系。

1．发泡剂

广义地说，配加在橡胶或塑料之中能使产品获得海绵状或微孔结构的物质均可叫做发泡剂，它分为借助物理状态变化而发泡（如压入二氧化碳气体）和借助化学变化而发泡两大类。在干胶海绵制品中主要使用化学发泡剂。在实际使用发泡剂时，总是从操作方便，发泡容易的角度来进行选择的，因此理想的发泡剂应满足如下一些条件：①贮藏稳定性好；②运输方便；③容易称量；④气体的发生量恒定；⑤气体的发生量大；⑥在一定的限度条件下才产生气体；⑦应用时对人体无害；⑧对橡胶（海绵体）无污染，也无臭味残留；⑨在橡胶中的分散性好；⑩分解时的生热尽可能少；⑪价廉。

事实上能完全满足上述诸条件的发泡剂是没有的，这就要求在设计配方时权衡利弊，加以选用。

目前在市场上作为发泡剂商品应市的，其基本性能范围如下：

外观	细微的粉末	分解温度	100～260℃
气体发生量	100～270ml/g	发生的气体	主要是氮气，此外，也有是二氧化碳、一氧化碳和氨气

当然除了粉体外，气态或液态产物如二氧化碳、氟里昂、丁烷、异戊烷、已烷等也可以作为发泡剂使用，但是它们很少应用于橡胶制品。

（1）发泡剂的分类及其特性简介　橡胶中使用的发泡剂可大体上分为无机和有机两大类。无机发泡剂的主要品种如表4-1所示，其特征是：

表 4-1　无　机　发　泡　剂

名　称	结　构　式	发泡温度，℃	发生的气体及气体量	备　注
碳酸氢钠	$NaHCO_3$	60～150	CO_2，H_2O　267ml/g	用量 5～15%，需并用5～15%脂肪酸作发泡助剂
碳酸铵	$(NH_4)_2CO_3$	40～120	CO_2，NH_3，H_2O 700ml/g	用量10～15%，有强烈氨味
碳酸氢铵	NH_4HCO_3	36～60	CO_2，NH_3，H_2O	不易混炼均匀
亚硝酸铵	NH_4NO_2		N_2，NH_3	非常不稳定

① 粒子较粗，所以得到的海绵体孔眼较大；

② 多数是白色产物，所以不会对海绵体产生色泽污染；

③ 大多数是水溶性的；

④ 大多数具有不燃性；

⑤ 产生的气体多数是二氧化碳、水蒸汽、氨气等，而不是氮气；

⑥ 分解温度不稳定；

⑦ 多数是吸热分解。

早期的海绵橡胶多采用以碳酸氢钠和碳酸铵为主的无机发泡剂，由于其气体发生量不稳定，而且难以获得高发泡倍率的产品，目前除部分用于制造开孔结构海绵以及与有机发泡剂并用外，已基本上不再使用。

有机发泡剂是继无机发泡剂之后发展起来的，它的发展历史较短，自1954年以后才陆续有所报道，但是在当前的海绵橡胶制品中基本都是采用有机发泡剂发孔的，这是因为有机发泡剂使用方便，容易制得优质海绵体，其特征如下：

① 粒子较细，因而得到的海绵体孔眼细小；

② 放气量大，释出的气体以氮气为主；

③ 分解温度稳定；

④ 分解反应多为放热反应；

⑤ 品种多；

⑥ 大多数产品具有易燃性；

⑦ 有些产品套在海绵体中残留气味和色泽污染。

有机发泡剂之所以使用比较方便是因为它的分解是一个放热反应，如图4-1所示。当达到一定温度时有机发泡剂就会迅速地开始分解，因而放气量比较稳定，能够按照用量来计算发泡倍率。然而由图 4-1 可见，无机发泡剂的分解，由于是吸热反应，不会马上就开始分解，俟它全部分解需要一定的时间和热量，所以它所产生的有效气体量往往是不稳定的。

常用有机发泡剂如表4-2所示。

表 4-2 有 机 发 泡 剂

分　类	化学名称（缩写）	分解温度 ℃	在橡胶中的分解温度范围，℃	释出气体及其释出量，ml/g
亚硝基化合物（2N—NO）	二亚硝基五亚甲基四胺（DPT）	195	130～190	N_2 100（40%） 200（80%）
	N,*N*′-二甲基-*N*,*N*′-二亚硝基对苯二甲酰胺（DMDNTA）	105	90～105	N_2 126
酰肼或肼类化合物（—NHNH₂ —NHNH—）	苯磺酰肼（BSH）	103	95～100	N_2 130
	对甲苯磺酰肼（TSH）	102～110		N_2 120
	二苯基砜-*S*,*S*′-二磺酰肼（DPSDSH）	148	120～130	N_2 110
	对，对-二苯磺酰肼醚（OBSH）	150～160	120～140	N_2 125
	三肼三嗪	240		
	对甲苯磺酰氨基脲	235		N_2, CO_2 146
	4，4′-双（脲基氨基磺酰）二苯醚	210～220		N_2, CO_2 145
偶氮、重氮化合物（—N₂N—）	偶氮二甲酰胺（ADCA或ABFA）	195～200	160～200	N_2 220～250
	偶氮二异丁腈（AIBN）	115	90～115	N_2 130
	重氮氨基苯（DAB）	103	95～100	N_2 115
	偶氮甲酸铁	270	240	

由表4-2可见，有机发泡剂中大多具有 N-N′键，这个键较不稳定，受热后就会断裂而释放出氮气，氮气是一种惰性气体，无嗅无毒。以氮气作为橡胶发泡气体的优点可以通过简单的气球试验显示出来。图4-2示出了几种气体对天然橡胶的相对透过性，每只气球预先充入相同体积的规定气体，在试验室里静置4h，可以清楚地看出氨气和二氧化碳透过胶膜散逸的速度较快，氮气散逸得最慢。几种主要气体在橡胶中的透过系数也证明了这一点。表4-3利用氮气容易制成闭孔结构海绵，而大多数释放出CO、CO_2等气体的无机发泡剂，易形成开孔结构海绵，其原因之一也许就在于此。

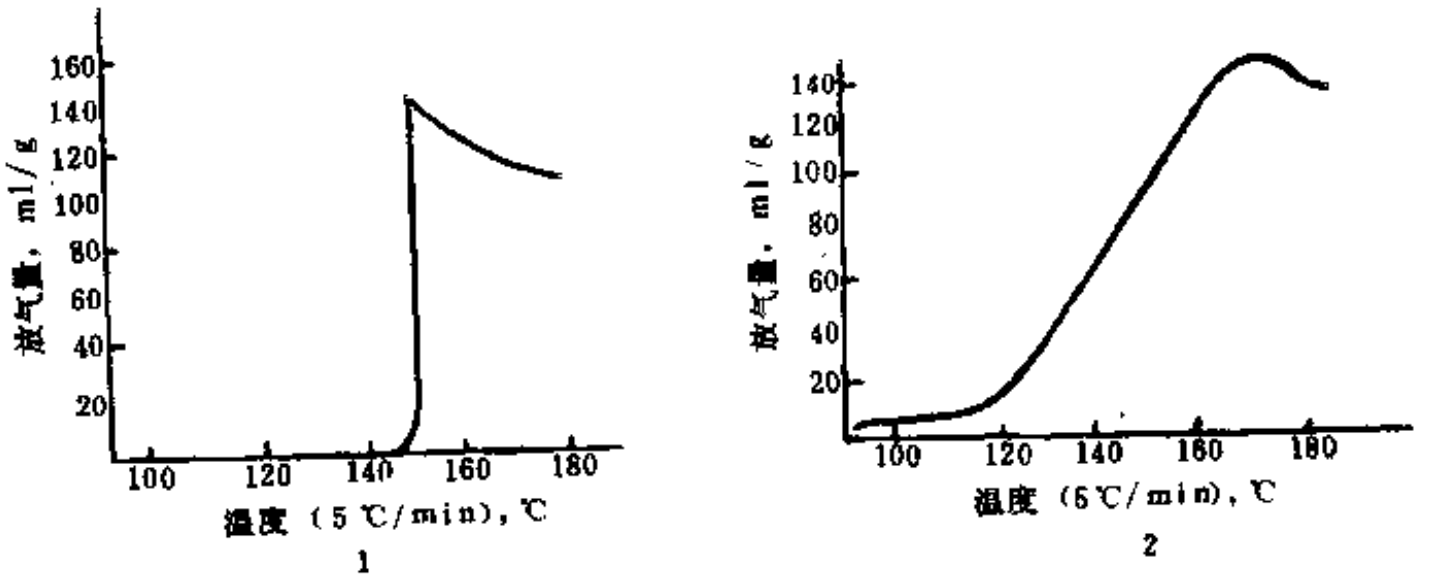


图 4-1 有机发泡剂（OBSH）（1）和无机发泡剂（碳酸氢钠）（2）的升温-放气量曲线

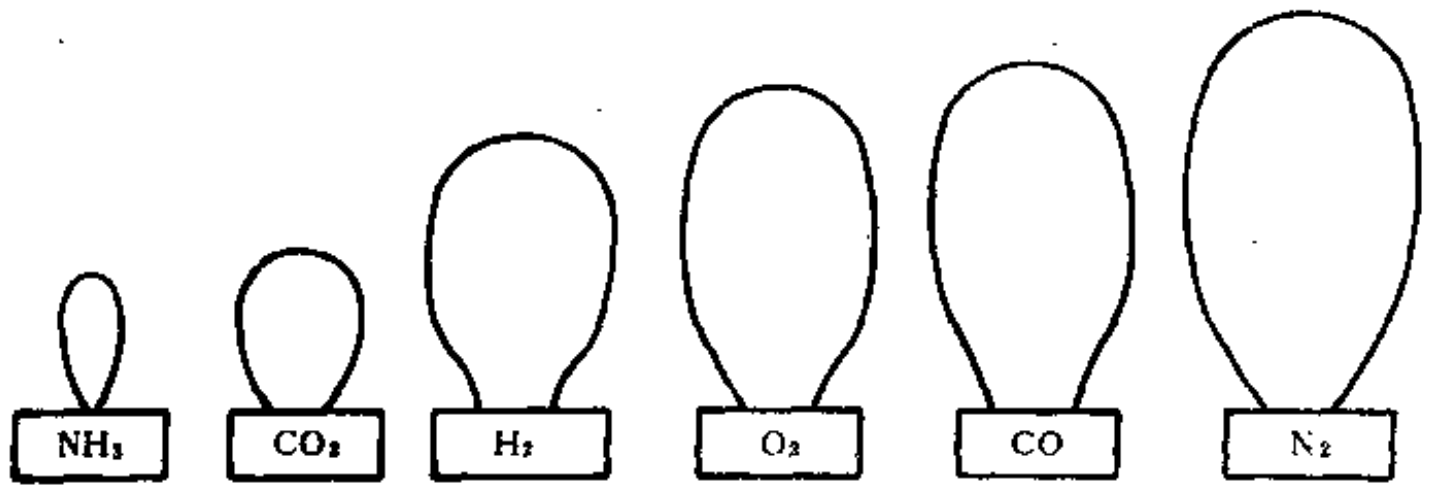


图 4-2 显示各种气体对橡胶相对透过性的气球试验

表 4-3 气体在各种橡胶中的透过性系数（25℃）

单位：$cm^4 \cdot cm/(cm^2 \cdot s \cdot MPa)$

橡胶 \ 气体	H_2	O_2	N_2	CO_2
天然橡胶	374	177	61	996
丁苯橡胶	303	129	48	936
顺丁橡胶	122	145	50	1050
氯丁橡胶	101	30	9	200
丁基橡胶	56	10	2	40
丁腈橡胶（丙烯腈32%）	89	18	5	141

此外，以氮气发孔制造橡胶海绵还具有如下一些优点：

① 氮气不活泼，不会对海绵体和设备产生不良影响；

② 氮气不燃烧，不爆炸；

③ 氮气没有毒性；

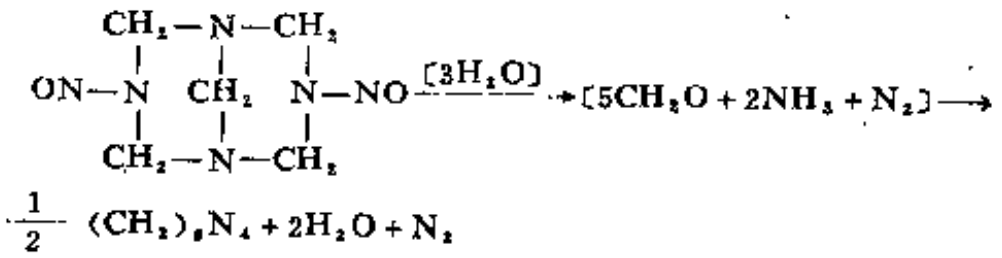
④ 氮气在橡胶聚合物中的溶解度小，有效利用率高；

⑤ 氮气的临界温度（-147.0℃）和临界压力（3.29MPa）均较低，故不易发生相变化。

然而，应该指出上述有机发泡剂有一个比较明显的缺点，那就是当其N-N键分解断裂后，

其它部分比较稳定，因此在释放出N_2后，其余部分会作为残渣而留下，在配方设计选用发泡剂时，不应忽略这些残渣产生的影响，如气味、毒性、污染等。正因为如此，目前真正能用于海绵橡胶制品生产的发泡剂基本上不超过10种，而其中最常用的仅如下几种。

a．二亚硝基五亚甲基四胺（DPT） 外观为淡黄玉白色的细粉；商品名称叫做发泡剂BN或H，不污染、不变色，会赋予制品微弱的气味，难溶于水、甲醇、丙酮等，易溶于二甲基甲酰胺、二甲亚砜、吡啶。它的化学特性是易燃，具有弱的爆炸性，在热、直射阳光和酸（无机酸及有机酸）的作用下会分解而析出大量气体和热量，其分解机理为：



$$\frac{1}{2}\ (CH_2)_6N_4 + 2H_2O + N_2$$

所生成的甲醛可通过添加发泡助剂使之基本消失，但残留的胺会使制成的海绵体带有特殊的鱼腥味，加入尿素、三聚氰胺和某些氨基化合物可以部分地减弱这种气味，此时，这些助剂同时也能使DPT的分解温度及分解特性发生变化，故也可借此调整生成海绵体的工艺条件。

各种发泡助剂对DPT分解温度的影响如图4-3所示。一般说，无机酸可使DPT的分解温度降低，但很不稳定，通常采用水杨酸、邻苯二甲酸等有机酸以及二甘醇、甘油等醇类，尿素或它的衍生物等。

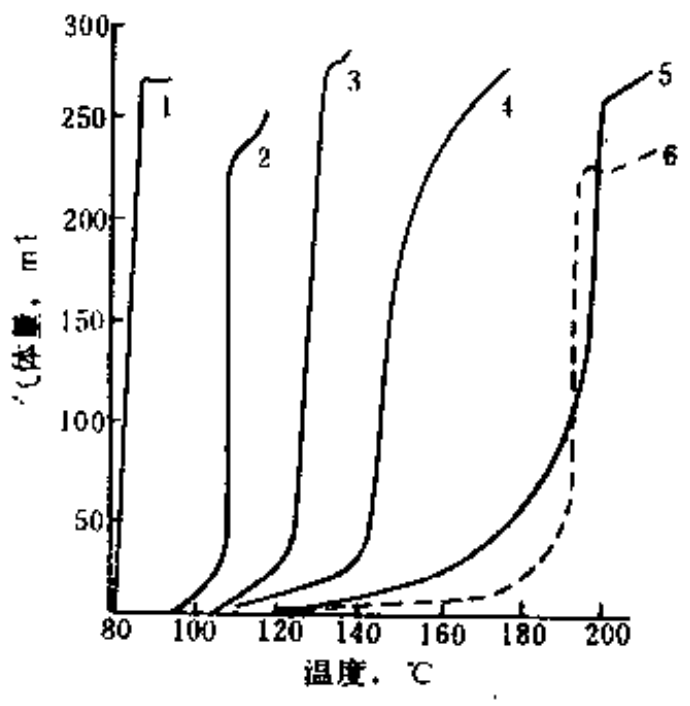
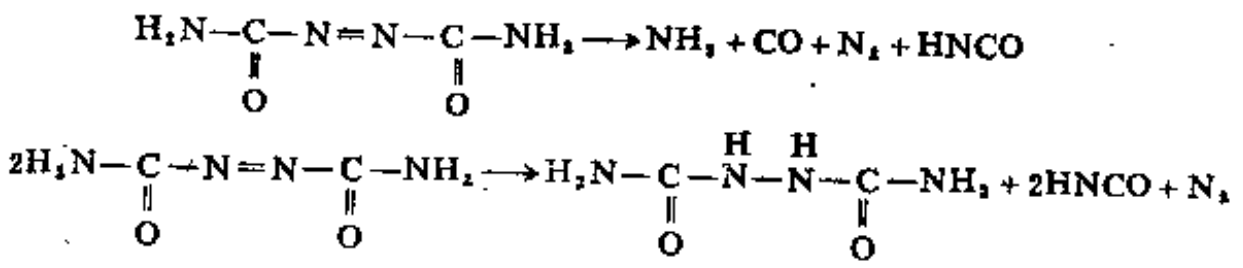


图 4-3 不同助剂作用下发泡剂DPT分解温度的变化

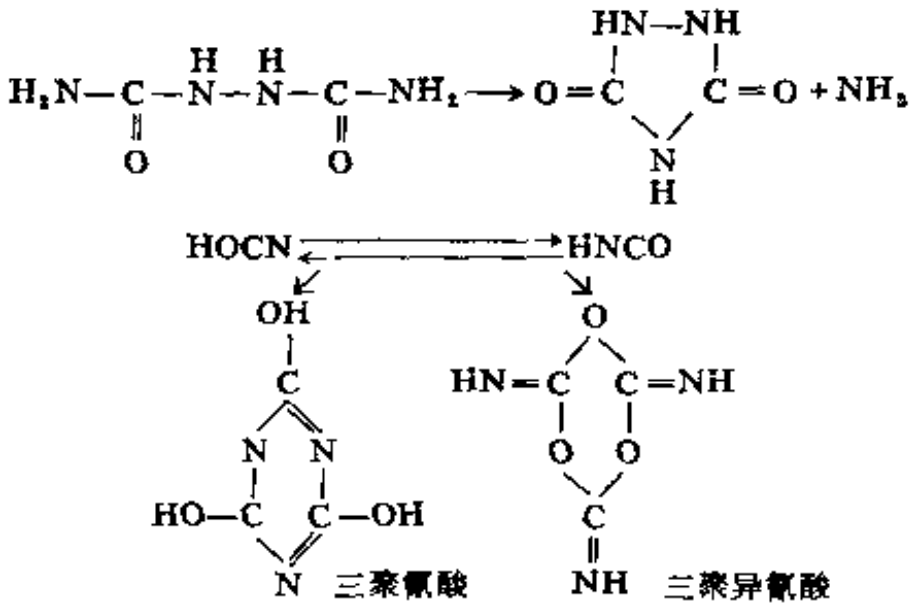
1—水杨酸；2—安息香酸；3—尿素；4—二甘醇；5—硬脂酸；6—无助剂作用的DPT

b．偶氮二甲酰胺（ADCA） 外观为黄橙色细粉，商品名称叫作发泡剂AC，难溶于冷水、甲醇，易溶于二甲基甲酰胺、二甲亚砜和热水，会与强酸及强碱的浓溶液发生剧烈的放热反应。难燃，无爆炸危险。本品无毒，无气味，不污染，不变色，是比较稳定的一种发泡剂，但分解产物对设备有一定腐蚀性。它所分解的气体成分和残渣会因发泡条件而异，据美国Vniroyal公司分析，由偶氮甲酰胺分解出来的气体是氮、一氧化碳、氨和二氧化碳组成的混合物，其中$N_2$62%；CO35%，NH_3+CO_2 3 %。气体分解产物占原发泡剂重量的32%，残剩的固体分解物占41%（尿唑 39%，联二脲 2 %），升华物占27%（三聚氰酸 26%，三聚异氰酸1%）。有人推测偶氮二甲酰胺的分解途径主要有如下两种：



$$2H_2N-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-N=N-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-NH_2 \longrightarrow H_2N-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-\overset{H}{\underset{|}{N}}-\overset{H}{\underset{|}{N}}-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-NH_2 + 2HNCO + N_2$$

联二脲脱去 1 摩尔氮生成尿唑，氰酸和异氰酸之间会相互转换或形成各自的三聚体：



为了适应各种发泡条件，往往需要使用发泡助剂来促进或抑制ADCA的分解过程，常用的助剂是有机酸的金属盐或者金属氧化物、尿素、乙醇胺等。图4-4和图4-5分别示出了硬脂酸的金属盐和金属氧化物对ADCA分解过程的影响。

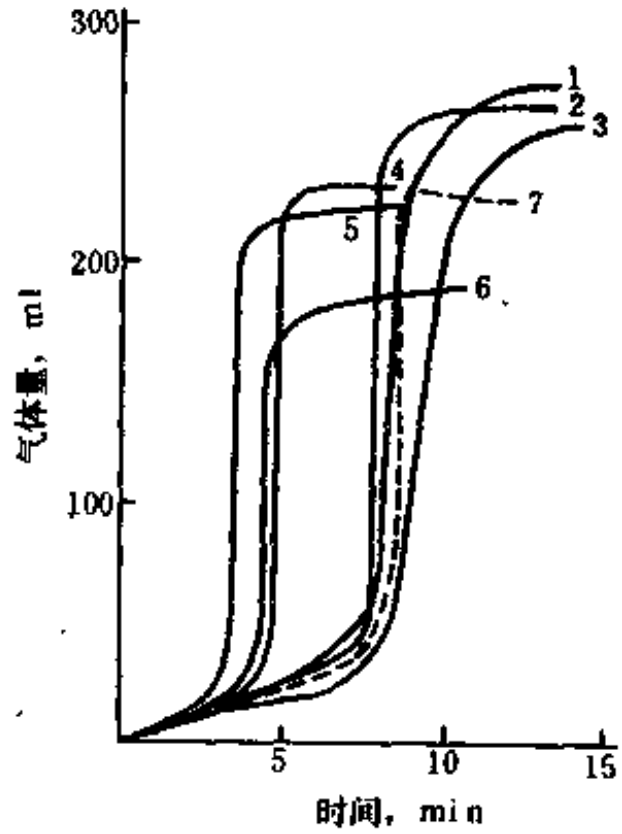


图 4-4 硬脂酸金属盐对ADCA分解过程的影响（200℃）

1—硬脂酸钙；2—硬脂酸镁；3—硬脂酸钡；4—硬脂酸锌；5—硬脂酸镉；6—硬脂酸铅；7—单用ADCA

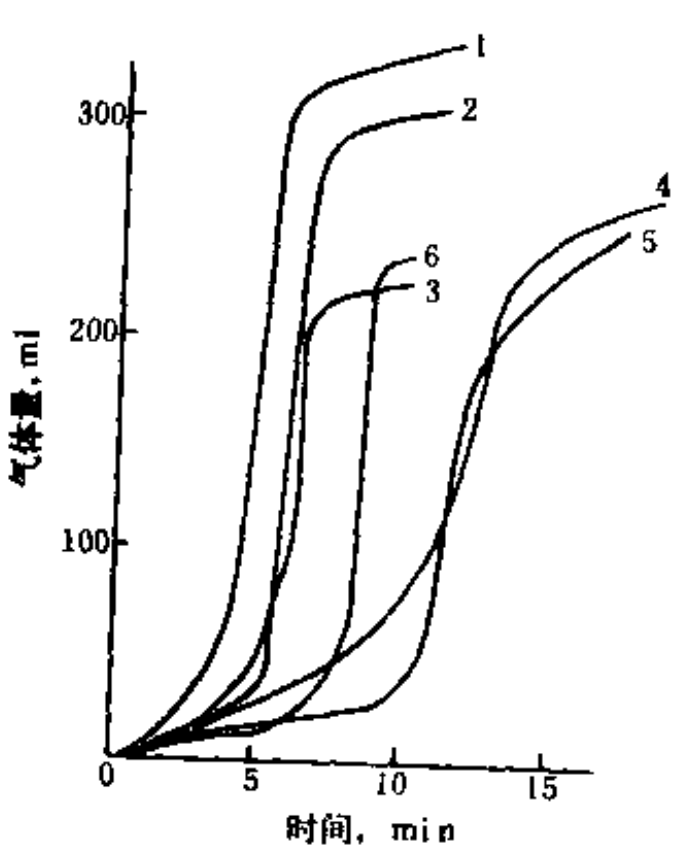
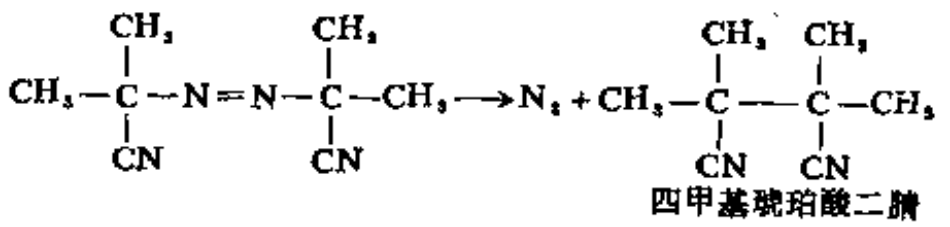


图 4-5 金属氧化物对ADCA分解过程的影响（200℃）

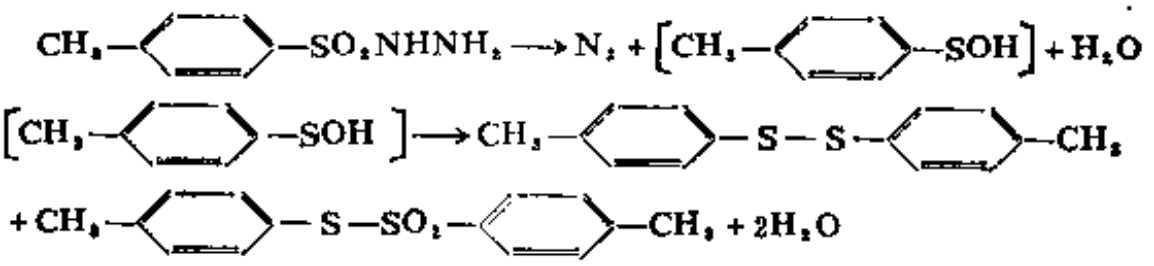
1—ZnO；2—CdO；3—PbO；4—MgO；5—CaO；6—单用ADCA

c. 偶氮二异丁腈（AIBN） 外观为白色的细粉或无色结晶物，基本上不溶于水，溶于乙醇、乙醚、丙酮。很易被火花所点燃，在阳光烘烤或热源附近会自燃，有毒，但不变色，不污染。它的分解温度低，发热量小，压力以及增塑剂、稳定剂对它分解的影响不明显，可用以制得细小而均匀的微孔结构。以其分解机理看，分解残渣是有毒的四甲基琥珀酸二腈，这就限制了它的应用。在美国已对使用这种化合物作为发泡剂提出异议，但欧洲各国仍声称它能成功地应用于聚氯乙烯发泡，只要保证适当通风，可保无虞。偶氮二异丁腈的分解机理为：

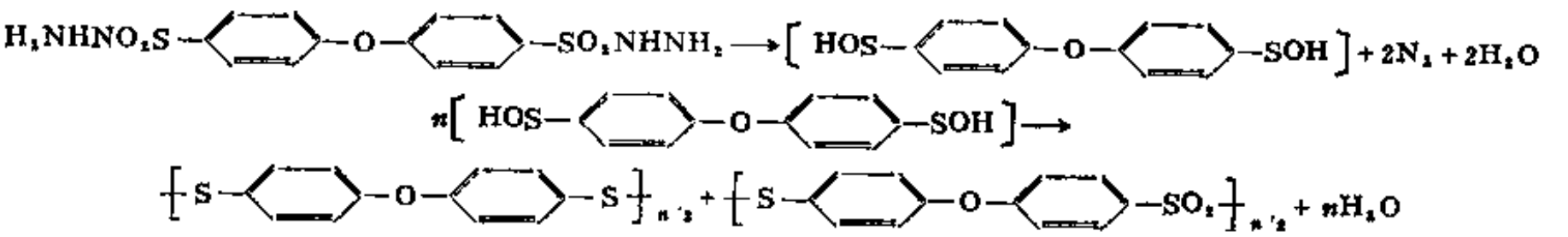


由于偶氮二异丁腈在分解时有自由基生成，它作为聚合引发剂的应用比作为发泡剂更常见。

d. 对甲苯磺酰肼（TSN） 外观为白色细粉，难溶于水、四氯化碳，可溶于热水、甲醇、苯等。它是酰肼类发泡剂的代表性产品，分解较其它发泡剂缓慢，符合于橡胶硫化的工艺条件，能做到发泡和硫化同步进行，能制得微孔结构产品，对橡胶的污染少，无毒，无气味，分解气体几乎都是氮气，制品的收缩率小，分解机理为：

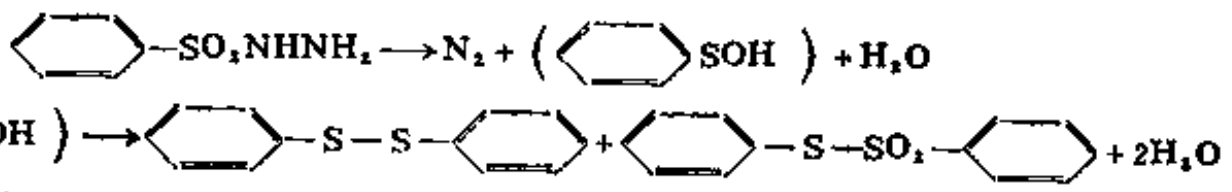


e. 对，对′-二苯磺酰肼醚（OBSH） 外观为白色细粉，商品名称叫做发泡剂OB，难溶于水、乙醇、乙醚，可溶于丙酮，但有反应性，可燃，不污染制品，是一种应用范围较广的发泡剂，但价格较贵，对氯丁橡胶的硫化具有活化作用，特别适用作氯丁橡胶的发泡剂，所得海绵孔眼极细，生成的残渣无损于橡胶材料的电性能，故可以用于电线、电缆的包覆层。其分解机理为：



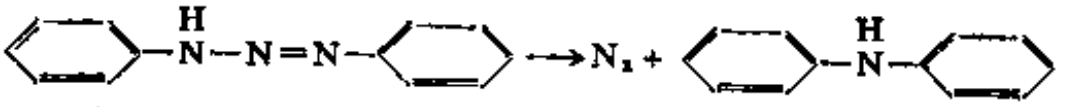
各种添加剂也会影响TSH的分解温度和气体发生量，例如添加Pb、Cd、Zn等的盐能降低它的分解温度，添加尿素或其衍生物能增加放气量等。

f. 苯磺酰肼（BSH） 成品是白色的结晶粉末，溶于无机酸和碱的水溶液，不溶于水，无毒，但贮藏稳定性不佳，会给产品留下强烈难闻的有点象硫酚的气味，据推测可能是二苯二酸的气味，放气反应的可能机理如下：



苯磺酰肼用于塑料（如聚氯乙烯）的发泡，气味很强烈，但是用于橡胶的发泡，则气味就会变弱，乃至消失，这可能是发泡剂分解后的含硫残剩物（或含硫中间体）会与橡胶发生作用，而形成无气味的化合物。

g. 重氮氨基苯（DAB） 是橡胶工业中最早采用的有机发泡剂之一，成品是带有特殊气味的黄褐色结晶，溶于苯、热乙醇、乙醚，不溶于水。这种化合物易溶于橡胶形成一种极细小而均匀的细孔结构，有时会有结晶喷出在制品表面。它的分解产物会使发泡产品染上暗色，并会污染与它接触的其它材料。其分解过程如下：



残剩的二苯胺是出名的污染性化学物质。现已证明重氮氨基苯对鼠有致癌作用，故一般不宜再使用它作发泡剂。

（2）发泡剂的应用 制造海绵橡胶制品时，发泡剂的选用应根据加工工艺、加工温度以及发泡剂的分解温度来决定。橡胶一般是在80℃以下混炼加工的，在100～160℃下硫化，故选用的发泡剂分解温度也大多应在100～160℃范围内，用量一般为1～5份，在填充剂和

软化剂用量多时也使用到7～8份。随着近年来以使用合成橡胶为基础的连续发泡成型技术的推广，分解温度在150℃以上的发泡剂应用多起来。为了使发泡剂的分解温度适应所用的硫化工艺条件，可以采用发泡剂并用或添加发泡助剂的方法。常用发泡助剂对化学发泡剂分解的影响如表4-4所示。

表 4-4 发泡助剂对化学发泡剂分解的影响

发泡助剂 \ 发泡剂	碳酸氢钠	DPT	BSH	ADCA
硬脂酸	抑制→加速	显著加速	抑　制	抑制→加速
氧化锌	加　速	加　速	显著加速	显著加速
明　矾	—	显著加速	抑制→加速	加速→抑制
尿　素	—	显著加速	显著加速	显著加速

事实上，发泡助剂，包括橡胶胶料中的某些配合剂对化学发泡剂的分解可以分为加速与抑制两个方面，这两个方面又有程度上的不同，而且也受到温度以及加热时间的影响。例如硬脂酸和氧化锌都能加速DPT的分解。当硬脂酸与DPT同时存在时，反应初期氧化锌的加速作用极其显著，但随着时间延长加速作用逐渐消失，甚至表现出抑制作用。

在大多数场合，处在胶料中的发泡剂，其分解温度范围有展宽和降低的倾向，例如，本来在150℃下分解的发泡剂，加入胶料中后可能在140～150℃或者130～150℃发生分解。但是，在低于发泡剂的分解温度下发泡时，往往会出现气体发生量不稳定，未分解的色泽污染，产生令人不快的嗅味，腐蚀模具等现象。

除了温度外，掌握好发泡剂的分解速度也很重要。分解速度是指发泡剂开始分解到结束分解的时间。鉴于发泡速度比较缓慢时，容易与硫化速度相配合，所以应用分解速度比较慢的发泡剂较为妥当。基于同样的理由，希望发泡剂具有一定程度的初期分解性，即发泡剂在达到分解温度以前，有少量的气体放出，单纯的有机发泡剂，很少具有这种初期分解性，因此，有些商品发泡剂是掺混了一定比例无机发泡剂的混合物。

发泡剂分解时的放热量也是一个不可忽略的因素，以DPT分解时的放热量最大，ADCA、TSH和OBSH仅及它的50%还不到。一般说来，分解放热量低的较为适用，不然在发泡剂用量高时，会引起材料内部因生热而变色降解。然而，对于厚壁制品来讲，发泡剂的分解热又有助于弥补其内部深层处的欠硫。

发泡剂的气体发生量一般在100～150ml/g之间，但是，海绵胶中的有效率，在采用二段发泡工艺时一般为60%，采用一段发泡工艺和无压发泡工艺时在50%以下，当发泡剂释出的不是氮气体时，由于后收缩率大，有效率更低。

从易于制得气孔小的海绵体角度上讲，发泡剂可作如下顺序排列：

ADCA＞DFSH＞TSH＞DPT

但是应该指出，海绵制品气孔的优劣在很大程度上与加工方法、硫化条件、配方设计等因素有关，因此有时即使采用DPT也能制得气孔比采用ADCA时小的产品。

最后，在使用发泡剂时，还应考虑它的毒性问题，不但希望其本身无毒，而且还要求其分解后的产物及残渣是无毒的。AEIN之类发泡剂的分解残留物是有毒的，DPT分解时有甲醛产生，都是应该给予注意的。要有效地使用这类发泡剂，就要设法减轻或消除其毒性，或者将产品应用于不必考虑毒性的场所。

表4-5列出了各国对发泡剂用量的限制。

2．硫化系统

海绵橡胶的硫化系统与它的发孔情况关系极大，也就是说，胶料的硫化速率必须与发泡速率相匹配。海绵橡胶不同于一般的实心橡胶制品，在其硫化加热过程中同时发生两种主要过程，即发泡剂分解析出气体和橡胶在硫化剂作用下交联。由于发泡剂析出的气体，最初溶解在胶料中，当气体溶解达到饱和以后，即有气相产物形成，胶料是在所形成的气体的压力下沸腾发泡的，与此同时胶料通过硫化交联而把孔眼结构固定下来。为此，要求硫化速度能调节到使析出气体所产生的对孔壁的拉伸膨胀力稍大于孔壁本身对应力的阻力。如果气体相的形成速度过快，由于胶料来不及硫化，则形成的一个个气泡就会破裂，导致气体从各个孔眼扩散逸出，发泡压力降低；反之，若气体相形成速度过慢或硫化速度过快，则胶料就会在形成多孔结构之前就完成硫化定型。

表 4-5　发泡剂应用量的限定值

发泡剂名称	国　名	适用范围	限 定 值
ADCA	美　国	食品容器用密封垫圈	2%以下
		反复使用的橡胶制品	5%以下
	意大利	垫　　圈	2%以下
		其　　它	不应析出有害于健康的物质
	德　国	食品包装材料	允许添加
		与食品接触材料	允许添加
	法　国	发泡聚合物	2%以下
OBSH	美　国	食品容器用密封垫圈	0.5%以下
		反复使用的橡胶制品	5%以下

在采用硫黄硫化系统时，应用秋兰姆类超速促进剂比单用噻唑类或次磺酰胺类成孔数量多而且好，常用量为0.5～2份。

鉴于发泡剂是一种化学活性物质，在它的分解过程中可能有自由基生成，因此也会对硫化过程产生影响。实验证明，发泡剂对硫化过程的影响在有促进剂和没有促进剂同时存在的情况下是不一样的。一般说来，在单用硫黄不用促进剂的情况下，掺用发泡剂能加快硫黄结合的速率，然而在有促进剂与发泡剂同时存在的情况下，硫黄结合的速率既可能加速，也可能减缓。

如图4-6所示，在含促进剂DM、秋兰姆和AZ的三种天然橡胶胶料中掺加发泡剂ADCA会导致硫黄结合的速度降低约33%，这就要求把硫化时间延长30～50%；含促进剂DPG的胶料，在这种情况下几乎不受影响。然而，在采用发泡剂DPT时，却出现了发泡剂与促进剂相互活化的现象，这时达到最宜硫化的时间缩短了约50～75%如图4-7。

某些橡胶材料，如硅橡胶、乙丙橡胶、丁腈橡胶、并用了聚乙烯的橡胶以及EVA等，需要采用过氧化的硫化系统，常用的有：过氧化苯甲酰（BP）、二异丙苯基过氧（DCP）、2，5-二甲基-2，5-二叔丁基过氧己烷等。这时必须注意过氧化物硫化与硫黄硫化的相异之处，即过氧化物在橡胶中的用量是按聚合物固有交联效率来计算的，不能采用延长或缩短硫化时间的方法，而应借助于过氧化物用量的增减。此外，两种硫化系统对硫化温度和时间的关系也不相同。对于硫黄硫化系统来讲，温度相差10℃，硫化速度相差2倍，而过氧化物系统则相差3倍。使用过氧化物系统的海绵胶料的硫化温度应在130～190℃之间，高于190℃，聚合物会降解，低于130℃过氧化物的—O—O—键不会分解，故不能引发交联。过氧化物系统的硫化时间要按它在硫化温度下的半衰期来决定。例如，以150℃加热该过氧化物，若在最初1min里 $\frac{1}{2}$ 量的其活性成分分解成自由基，如此经过5min加热，其活性成分仅为其原先

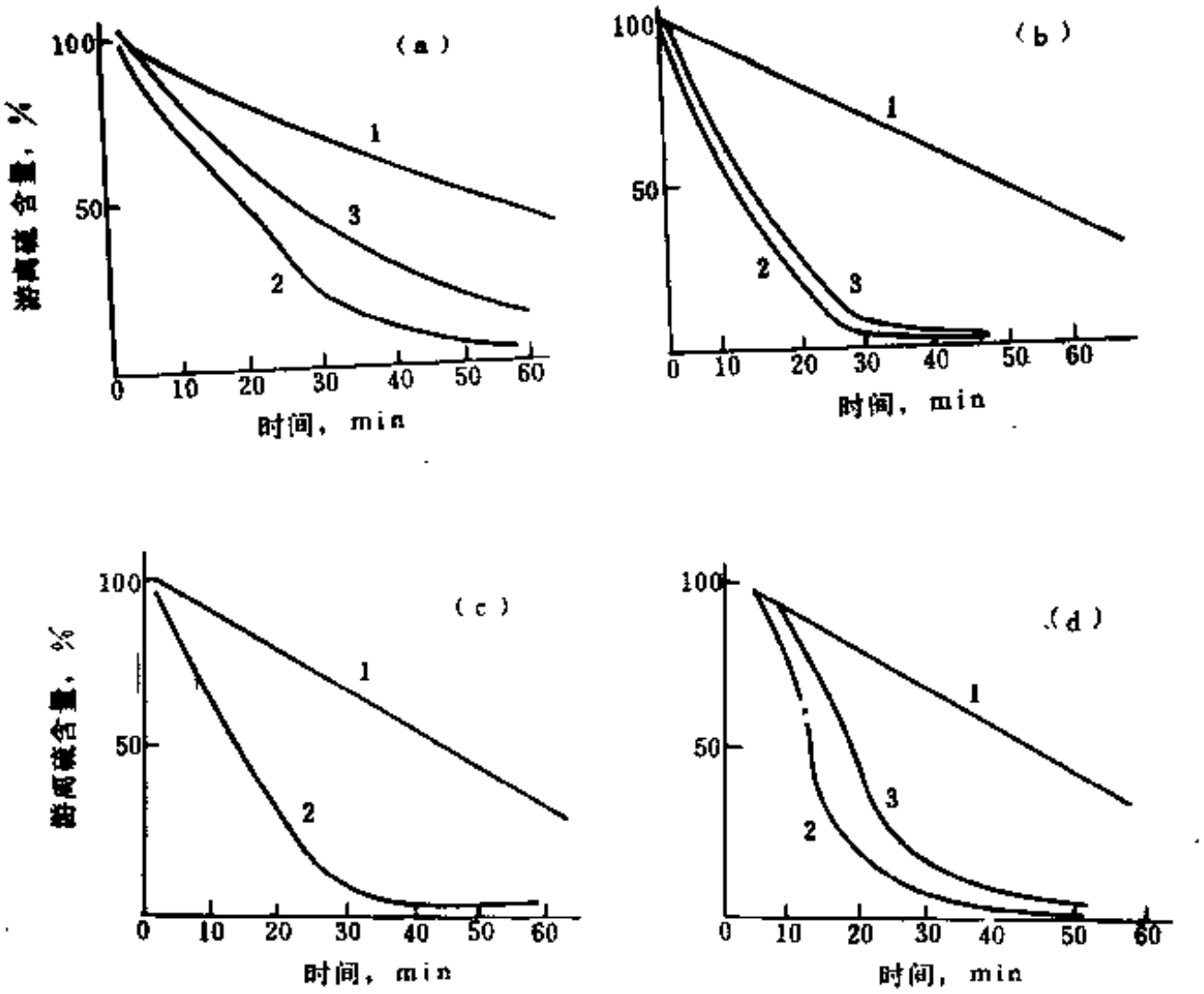


图 4-6　发泡剂ADCA对含促进剂的天然橡胶胶料硫黄结合率的影响（硫化温度155℃）

(a) 秋兰姆；(b) DM；(c) DPG；(d) AZ；

1—天然橡胶＋硫黄＋ADCA；2—天然橡胶＋硫黄＋促进剂；3—天然橡胶＋硫黄＋促进剂＋ADCA

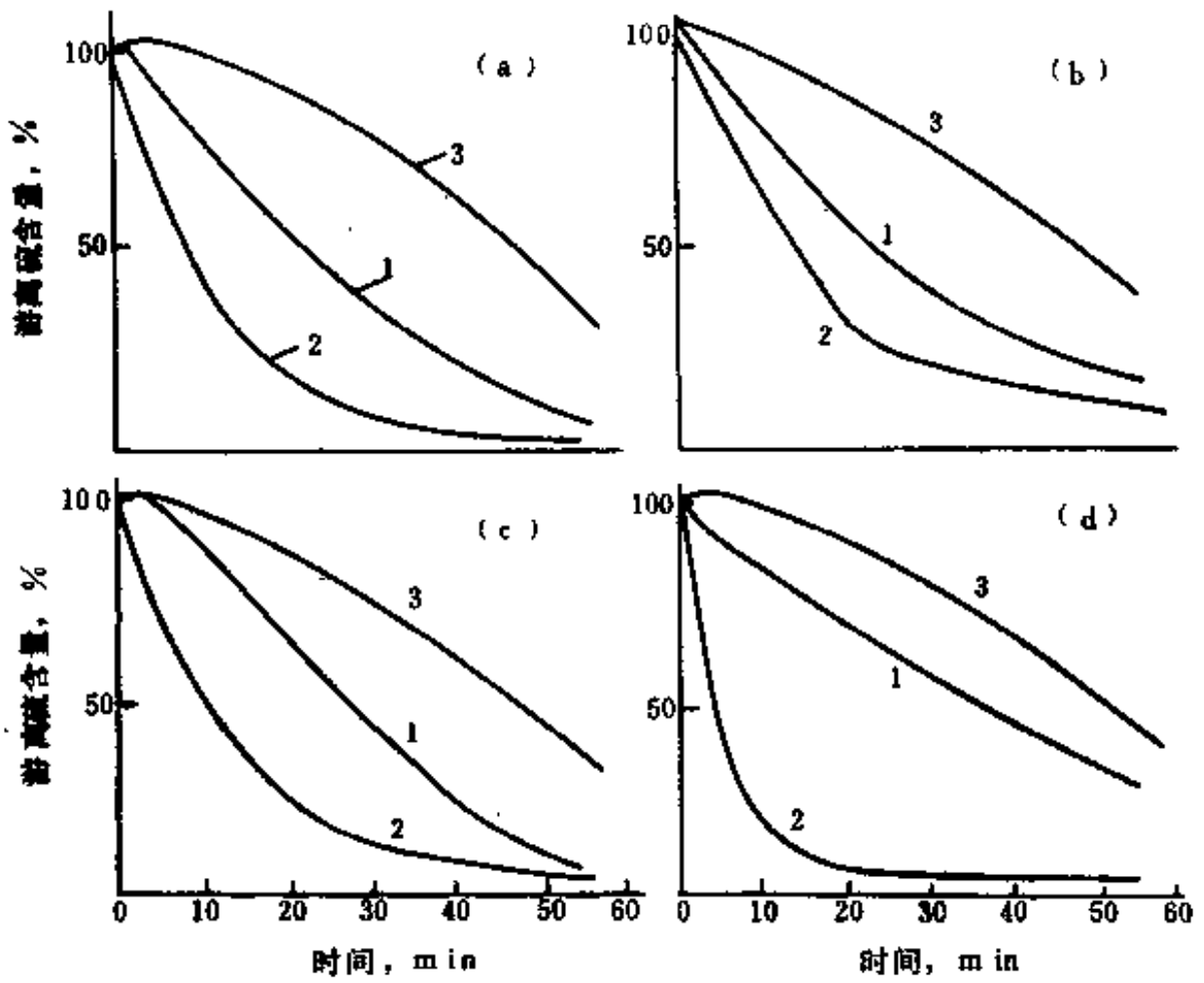


图 4-7　发泡剂DPT对含有促进剂的天然橡胶胶料硫黄结合速率的影响（硫化温度140℃）

(a) DM，(b) 秋兰姆；(c) AZ，(d) DPG；

1—天然橡胶＋硫黄＋促进剂；2—天然橡胶＋硫黄＋促进剂＋DPT，3—天然橡胶＋硫黄＋DPT

的$\left(\frac{1}{2}\right)^n$，即几乎完全分解成自由基，因此再进一步延长加热时间并不能进一步促进硫化。可见过氧化物硫化系统，只要取其在硫化温度下半衰期的5～10倍作为硫化时间就可以了。基于同样的理由，在作配方筛选试验时，对于使用不同过氧化物的胶料，以同样的硫化时间和硫化温度条件作比较，不仅毫无意义，而且会导致错误的结论。

3．软化剂

海绵胶的发孔情况与生胶的可塑度直接有关。为此在海绵制品的配方中，软化剂的用量应比一般橡胶制品配方多一些，可以用到5～30份。至于选用何种软化剂，应按其与所用生胶的相容性以及制品的使用条件来决定，常用的有凡士林、机油、变压器油、邻苯二甲酸酯、油膏等。

硬脂酸既是橡胶的软化剂，有时又具有硫化活性剂的作用，还可作为发泡助剂用，是海绵胶配方中的必需成分之一，用量有时高达10份左右。

4．填充剂

海绵橡胶的质量不是以拉伸强度、硬度、撕裂强度、磨耗等一般橡胶制品所采用的传统质量指标来衡量的。因此填充剂的选择主要用以影响胶料的可塑性和流动性，以有助于海绵的发孔过程。一般说来，各种填充剂基本上都不会对发泡剂的分解温度和分解速度产生影响，但是细分散的固相粒子的存在能促进孔胚的形成。其中以白炭黑（沉淀法和气相法）较好，其它如炭黑、活性碳酸钙、碳酸镁、陶土等均可采用。要指出的是，填料用量增多，并不能提高海绵的硬度，相反只会降低弹性，使视密度增大，有时为了降低成本而多用材料，结果效果适得其反，这是因为表面上胶料成本降低了，而实际用胶量却增加了。

5．其它配合剂

其它配合剂包括防老剂、防焦剂、着色剂等。由于海绵胶具有多孔结构，与空气接触的面积大，所以比其它橡胶制品容易老化。为此，要在配方中根据海绵的色泽加入一定的防老剂，特别是浅色、彩色海绵制品，应注意选用非污染性的防老剂。防老剂中的水杨酸是海绵胶中常用的配合剂之一，但是由于海绵胶可塑度高，在混炼存放过程中一般不易发生焦烧，所以这时水杨酸的应用与其说是为了防止焦烧，还不如说是作为发泡助剂，借以使发泡剂过程与硫化过程相匹配。

色泽对海绵橡胶制品的内在性能没有多大影响。多数民用海绵制品要求具有鲜艳的颜色，如旅游鞋、海绵大底、乒乓球拍等，不仅要求海绵本身色泽鲜艳，而且还要求能与其它部件配色协调，相映衬托，因而要注意着色剂的选择。与此同时，还要注意不能使用含有污染性防老剂的生胶材料。有时为了获得较好的色泽效果，需要以几种着色剂并用，此时应注意保持并用比的恒定，以保证批量生产时色调一致。碳酸钙可能引起某些着色剂移栖，需要加以注意。

海绵橡胶制品配方中有时会使用一种起特殊作用的配合剂，即所谓的“发泡助剂”，它是用于改变发泡剂分解温度的配合剂的统称。鉴于OBSH、TSM的分解温度较低，所以很少使用助剂，而DPT、ADCA由于分解温度在200℃左右，用于橡胶海绵配方时多需并用助剂。DPT的常用助剂为尿素或其衍生物，这时，如同前面所述，不仅DPT的分解温度降低，而且其分解时所产生的甲醛会被助剂所吸收，从而使发泡剂所产生的臭味减弱或消失。至于ADCA，适用的助剂种类很多，主要是含锌的化合物，如氧化锌、硬脂酸锌、碱或碳酸锌等，而且通过两种以上助剂的并用，还可以更进一步调整ADCA的分解温度。

三、加 工 工 艺

海绵橡胶胶料的加工方法与一般的橡胶胶料相比，既有相似之处，也有其独特之处。对于海绵橡胶来讲，首要的要求是要形成均匀的孔眼结构。从配合和加工的角度上讲，为了获得细小而均匀的多孔结构海绵体，一般应注意下列几点；

① 使用分解温度与硫化温度接近的发泡剂；

② 使用粒度细小的发泡剂；

③ 使用粒度细小的填充剂；

④ 尽可能改善配合剂的分散；

⑤ 使用发热量低的发泡剂；

⑥ 使硫化过程稍稍领先于发泡过程；

⑦ 在高压下发泡；

⑧ 采用低温长时间硫化条件，对形成均匀的细孔有利。

（一）塑炼

海绵橡胶胶料通常应具有较高的可塑度，以天然橡胶为例，一般要求威氏可塑度达到0.6以上，为此通常要采用四段塑炼，薄通40～60次。合成橡胶尽管塑炼效果不及天然橡胶，但也宜进行适当的塑炼。

（二）混炼

海绵橡胶胶料的混炼，主要的是力求配合剂均匀分散，防止物料结团结块，或有粗粒子和杂物存在，这些都是导致在其后发泡过程中形成大孔的因素。混炼后胶料的停放时间对海绵发孔的质量有重要影响。一般说来，停放时间长些有利于发泡，通常宜停放一星期后再用。由于海绵胶料可塑度高，通常不易自硫，可以放置2～3个月或更长些时间。某些海绵制品在生产过程中出现一些质量问题，往往与出于时间紧迫，胶料没有停放足够时间有关，值得引起注意。当然也有一些胶料，例如用EVA制造海绵时，不经停放就能正常发孔。这时停放时间长了，反而不利于发孔，所以应该根据具体的胶种和硫化系统来确定停放时间。

（三）精炼

海绵胶料在硫化前需经精炼，然后放宽辊距出片，如果用膨胀法硫化，出片厚度应高于模框3～4mm。出片胶片不得有气泡存在，否则在硫化发孔过程中可能形成大泡。用抽真空压出机挤出胶坯或在胶料中配加氧化钙等吸湿剂有助于消除这类气泡，这对于采用无压连续硫化工艺的长条海绵制品尤为重要。

（四）称量

装入模腔的胶坯称量的正确与否会影响得到的海绵制品的质量。与一般的橡胶模压制品按流失胶边的多少来确定胶坯称量的方法不同，海绵胶料由于内含发泡剂，硫化时会释放出气体，造成内部压力增大，势必会有胶边挤出，所以不能单纯地按胶边量的多少来判断称量正确与否。正确判断海绵胶料料坯称量是否适当的依据应该是硫化后海绵表层下孔的形状。若孔是扁状的则说明胶坯的称量不足，应该增大称量；若要是圆形的，则说明胶坯称量比较适中。当然称量过大时会有大量胶边产生造成无谓浪费。一旦每模的正确胶坯称量确定后，在具体操作时，还要注意不能通过添补小块胶料来补充原先份量不足的胶坯，因为硫化后小块胶体不会与原先的大块胶体很好地结合。为此每遇称量不足时，需另行称量予以掉换才是。

（五）硫化方法

多孔海绵橡胶的孔结构除受发泡剂的影响外，也与硫化方法有关。采用无机发泡剂、水等可得开孔结构；无机发泡剂与有机发泡剂并用可得混合孔结构；单纯采用有机发泡剂，在正常情况下可获闭孔结构，但如果改变硫化方法，也可获得开孔结构或混合孔结构。海绵橡胶制品的硫化方法基本上可分成模型法与非模型法两大类。

1．模型法

根据胶坯在模型腔中填充程度的不同本法又可分为膨胀法和充模法两种。

（1）膨胀法　此法适用于海绵底、海绵板等构型比较简单、尺寸精度要求不高的产品的生产。这时要求上下平板平整，温度控制在±1℃，硫化时间要精确到以秒计算，成品海绵的厚度不宜超过25mm，这样有助于制得发孔均匀，长、宽、厚较为整齐的海绵板。模型可采用一个方框，胶坯的出片厚度如前面所述，应比模框高3～4mm，按模型大小和胶料相对密度严格确定胶坯的称量。海绵胶料在平板压力机的作用下于规定时间内硫化后，去压启模时，海绵体会因其内部气体压力的作用而膨胀，跳出模框，膨胀率通常达到其压体积的2～3倍。然后又会回缩。如果海绵板从模框跳出而膨胀时受到平板压力机四周架柱等的阻碍，则会在海绵表面留下痕迹，并导致海绵板畸变。为此，应在考虑到材料启模弹出的情况下，选择尺寸合宜的平板硫化机。如果硫化发泡后，海绵的中间部位隆起，则说明硫化不足，需延长硫化时间；如果产品有不平整现象，则可能是平板压力机的上下平板温度有差异所致，应作相应调整，如果海绵体的尺寸偏小，手感僵硬，则提示过硫。

此法由于发泡剂是在密闭模型内加压条件下分解的，橡胶海绵并不立即膨胀，而在这期间胶料发生了均匀的交联，因此可有效地制得发泡倍率高的海绵体。事实上，本法还可分为一段法和两段法两种。一段法是如前述那样简单地对胶料进行加压加热，使之硫化发泡，除去压力后，即得海绵体。用这样方法生产制品时，由于压力变化剧烈，容易导致制品变形或开裂，产品的后收缩率也比较大。为克服这些缺点，可采用二段法，即在第一段先进行胶料的硫化和部分发泡，然后在规格比原先大20～50%的另一个模型内进行第二次加热加压，使发泡剂完全分解，这样，发泡剂可以得到充分有效的利用，可制得发泡倍率高的厚壁制品，产品的后收缩率也小。有时，不采用这种二段法，而将制品放入沸水中煮沸一定时间，也可以收到降低收缩，减轻海绵制品气味的效果。

（2）充模法　此法适用制造辊筒、机械配件等具有一定几何形状的海绵制品。这时要求半成品胶坯成型细致，外表平整，称量精确，接头处粘接良好。胶坯安装入冷模或温模中送入平板硫化机，硫化后模型要放入冷水中冷却后，再启模，取出成品。在生产这类产品时，上下模要用螺栓等加以紧固，以防海绵膨胀，顶开模具造成制品爆破。还有一种称作为“恒压法”的海绵制品成型硫化方法，在本质上与此法相似。它实质上也把产品的成型硫化过程分成两段，第一段是对胶料施加高压，让发泡剂分解析出的气体充斥在胶料内，在第二段降低压力，让胶料发泡，为此要采用模板（阳模板）能作一定程度位移的柱塞式压力模或注压机。这时在塑化筒内均匀加热的胶料在高压下注射入模型中。由于塑化筒（塑化筒装有适当的阀门，以防胶料在高压下随意流出）和模型内保持着很高的压力，由发泡剂分解析出的气体集中在胶料中。其后由于压力机柱塞稍稍后退，允许模板作一定程度的位移，模型内的压力降低，充斥在胶料中的气体开始解吸过程，形成多孔结构。此法的优点是，得到的产品密度小，几何尺寸稳定，表面质量好，微孔结构均匀，收缩率小。用此法制造微孔大底，可以通过调节保持高压的时间来调节实芯外表层的厚度。应用此法时制品的质量决定于释除

高压时发泡剂的分解程度和硫化反应进行的情况。希望发泡剂的完全分解稍稍领先于胶料的起硫点。

此外，作为模压海绵制品的加热介质，还可以使用热空气、蒸气等，值得一提的是水浴法，适用于海绵小球、微孔电隔板等多孔制品的生产。水浴法的优点是由于水的密度比空气或蒸气大，所以传热更为均匀，硫化速度比较快，有利均匀发泡。在制备一定几何形状的海绵制品时大多需用模具，因为某些质地较轻的半成品不用模具，硫化发孔后会浮出水面，致使形状和规格不能保证。

2．无模硫化法

无模硫化法用于长条海绵制品，如门窗密封条的连续生产。半成品胶坯通常由压出机，特别是抽真空压出机挤出，然后进入连续硫化装置发孔并硫化。常见的硫化方法有盐浴法、沸腾床法和微波法三种。

（1）盐浴法　此法最早是在50年代中期提出来的，最初使用甘油为载热体，目前已广泛采用由亚硝酸盐和硝酸盐组成的共熔混合物，即KNO_3 53%，$NaNO_3$ 7%，$NaNO_2$ 40%。这种混合物的热扩散系数很高（700W/(m²·℃)），加热温度可以达到170～250℃。在配方和工艺条件选择适当的情况下，10～15m长的盐浴硫化槽，生产效率可以达到0.25～0.41m/s，熔盐混合物的密度（一般大于1900kg/m³）通常比橡胶胶料的密度（一般为1100～1300kg/m³）高，容易导致制品漂浮于盐浴的表面，造成断面形状发生畸变。为克服这种缺陷，先将密度较小的聚亚烷基二醇注入混合盐中，通过加热使之分层，并保持两液层温度相同，可在一定程度上解决由于制品在盐浴上漂浮所造成的畸变问题。此外，制品自盐浴送出时会有一部分盐附着在制品表面而被带走，造成盐浴液面液位逐渐降低，也会成为成品发生畸变的原因，因此要经常向盐浴补充熔盐。据介绍在盐浴出口处设置适当的轧辊并吹送热空气，可以使熔盐所带走的损失比原来减少75～80%。

本法的优点是：①熔盐对制品的传热系数高（约为热空气的50倍），②硫化温度可以在150～300℃范围内调节；③制品不会在加热介质中氧化。其缺点是：①生产效率与制品的尺寸及断面构层有很大关系，一般只适宜于生产断面构型比较简的小尺寸产品；②熔盐消耗量大；③硫化后的产品要用热水清洗除去附着的盐，会产生三废问题；④使熔盐熔融的温度较高，停机损失大，能耗高。

（2）沸腾床法　本法又称硫化床硫化或流动床硫化，它是以传热系数很高的细粒于固体材料作为热载体，在载体容器的下部吹入水蒸气或热空气，使载体在保持原有物理状态的情况下，全体呈沸腾的流动状态，压出的胶坯通过此流动床而硫化。常用的热载体为粒径150～600μm，最好是150～250μm的玻璃微珠。粒子越细，其对橡胶件的传热效果越好。这种装置能够保证硫化槽的有效区域内具有比较均匀的温度场，因此能克服盐浴硫化所固有的缺点，可以用于制备断面比较复杂的海绵胶条。生产效率通常为0.13～0.16m/s。载热体的加热和冷却均较迅速。

此法的缺点是：①由于存在高温下受氧作用而氧化的可能性，在胶体的选择上有一定限制；②要附设专门装置来清除和回收附着在硫化产品上的微珠；③能耗较大，据估计每米硫化槽的能耗达到1.4kW以上；④零件易磨损。

（3）微波硫化法　这是让压出胶坯通过一交变电磁场，使胶坯的分子在该电磁场的作用下发生剧烈运动，即通过介质损耗而生热完成硫化。这是一种不同于上述两种方式的硫化方法，不存在载热体向胶坯传热以及热量在胶料内部传导的问题，所以加热十分均匀，特别

适用于断面构型不规则、形状复杂的海绵胶条的硫化，硫化后的产品毋需清刷或清洗，在工艺状态稳定的情况下，得到产品的均匀性和尺寸精确性均较佳。微波加热装置通常与抽真空压出机配套，挤出的胶坯由微波装置预热到硫化温度，接着由传送带送入热空气烘道，完成最终硫化。这种装置的生产效率,特别是在生产断面尺寸较大（例如大于20mm）的产品时，要比盐浴法和沸腾床法高得多，而且设备占地面积小，能耗低。其缺点是，只能用于极性胶料的硫化，因此当生胶为非极性聚合物时，一定要掺用高极性的炭黑，如中超耐磨炉黑、高耐磨炉黑、易混槽黑等，若用量达到30重量份以上，一般不会造成加热升温速度过慢的问题。此外，采用少量极性添加剂如二甘醇、三乙醇胺、丙烯酸低聚物等也能获得类似效果。为了改善发孔的均匀性，除采用抽真空压出机挤出胶坯外，宜在胶料中掺用适量超细粒子氧化钙之类吸湿机。

（六）海绵橡胶制品硫化后的收缩与后处理

一般橡胶制品的收缩率大致在0～4%范围内，而海绵橡胶制品的收缩率却明显地高于一般橡胶制品，其范围达到0～15%。此收缩率除与胶种、配方及制品规格有关外，还与硫化方法、硫化条件以及孔的结构有很大关系。一般说来，用膨胀法硫化的海绵制品收缩率较大，这也许是海绵孔中的气体逐步扩散散逸的结果。通常是海绵橡胶制品在硫化后的最初24 h内收缩较大，约一星期之后，趋于稳定，不再收缩。

采用前面所述的二段硫化方法是解决海绵制品硫化后收缩的有效措施之一。此外，把硫化后的制品投入沸水中煮沸一定时间也能降低其收缩率。值得一提的是，将海绵制品生产过程中多余的边角废料，经轧炼粉碎成粉末后，适量配入胶料，可以在不影响海绵制品质量的前提下，一定程度地降低制品的收缩率。并用适量热塑性树脂，如聚乙烯、高苯乙烯树脂等，既能降低成品的相对密度，又能减小其硫化后的收缩率，缩短后收缩时间。

四、海绵橡胶制品的性能检测

海绵橡胶制品由于其具有多孔结构的缘故，不能采用一般橡胶制品的物理机械性能来表证其质量。为此通常采用的检测项目为硬度、弹性、视密度以及孔径大小和孔数等。

1．硬度

采用如德国出品的“Zwick”海绵橡胶硬度计，其原理是测量在一定的压力作用下圆柱体沉入试样的深度。试样厚度2.0～2.40mm，表面要平整。硬度计由荷重锤、千分表和测量圆柱等组成，荷重总计为49N，圆柱体直径为11.4mm，开始接触压力为0.49N，圆柱体沉入深度控制为0～5mm。测试步骤是，首先让圆柱体与试样表面接触，此时千分表指针应指向零点，外加负荷至试样上，经30s后，记录由千分表指示的圆柱体下沉量，试验结果按下式计算：

$$H = \frac{P}{Sh}$$

式中 H——硬度，N/(cm²·cm)；

P——作为于试样的压力 = 49 N；

S——圆柱体的底面积 = 1cm²；

h——圆柱体的下沉量，cm。

同一试样，测三点，取平均值。

2．弹性

测试方法与硬度相似，基本原理是用外力将圆柱体压入试样，观察释除外力后试样变形的复原程度，即按千分表记录在压力作用下经30s后，圆柱体沉入试样的距离 h_1，接着测量记录除负荷后经30～60s，圆柱体受试样弹性恢复的作用而回升的情况，按下式计算测试结果：

$$\theta = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100$$

式中 θ——海绵橡胶的弹性，%；

h_1——在负荷压力作用下圆柱体沉入试样的深度，mm；

h_2——除去负荷压力后圆柱体沉入试样的深度，mm。

同一试样，测三点，取平均值。

3．视密度

又称表观密度，是衡量海绵发孔情况的重要控制项目，采用规格为 $20 \times 20 \times 2$mm 的试样，用精确度为0.0001 g 的天平称量，按下式计算视密度：

$$\rho_a = \frac{W}{V}$$

式中 ρ_a——视密度；

W——称得的试样在空气中的重量，g；

V——试样的体积，cm^3。

4．孔径和孔数

这是一个在试制和研制海绵橡胶制品时可供采用的参考项目。通常把测定视密度用的试样置于读数显微镜下测定最大孔径和最小孔径（以mm 为单位），并计数单位面积中孔的个数。

上述一些方法由于测试手段比较简单，可以作为质量检测的参考项目。此外，近年来对于海绵橡胶材料的标准测试方法也开展了一些探讨。

5．海绵橡胶硫化程度的测定

由于多孔结构的缘故，海绵橡胶不能像普通橡胶材料那样通过定伸应力的测定来评估它的硫化程度。为此一般采用结合硫量的测定或体积溶胀率的测定来判断其硫化程度。前一种方法比较繁琐，故多用后一种方法，即采用直径为30 ± 2mm，高0.6～2.2mm的圆柱形试样。置于溶剂中溶胀24 h，然后在相互垂直的两个方向上测量试样的直径，精确到0.5mm。接着让试样中的溶剂挥发干燥（24 h），再用同样方法测量试样直径，结果按下式计算：

$$Q = \left(\frac{d_M}{d_0}\right)^3 \times 100\%$$

式中 Q——相对体积溶胀率，%；

d_M——溶胀后试样的平均直径，mm；

d_0——除去溶剂后试样的平均直径，mm。

同时要至少测试三个试样。

6．强度性能的测定

ISO 1798提议采用厚度为10～15mm的哑铃形试片作强度性能测试用试片，但是在裁切试片时易发生变形，而且试样越厚、越软，此畸变程度就越大，为此在原苏联标准（ГОСТ 11721）中提出采用底面积为10 ± 0.25cm^2，高15～50mm的圆柱形试样，以200 ± 10mm/min 速度拉伸，作强度性能测试，测定拉伸强度和伸长率，据称ГОСТ 11721与ISO 两种方法之

间的测试结果具有可比性，但ISO方法的复现性较差。

7．变形性能的测定

利用设有两个平行平面的拉伸试验机，以恒速自动压缩样品，并自动记录在规定应变下的应力或在规定负荷下的变形量。这时要注意的是变形量不宜超过40%，变形过大，材料被过度压紧后，性能就变得有如实芯橡胶材料。裁取的样品应在70℃下干燥1 h，因为裁切样品时所用的水会影响测试结果。

8．热物理性能的测定

有不少海绵橡胶制品用于起绝热保温作用，因此有的需要了解海绵橡胶的热物理性能。曾提出过原理如图4-8所示的装置，能用于综合测定海绵橡胶的热容量、导热和导温系数。

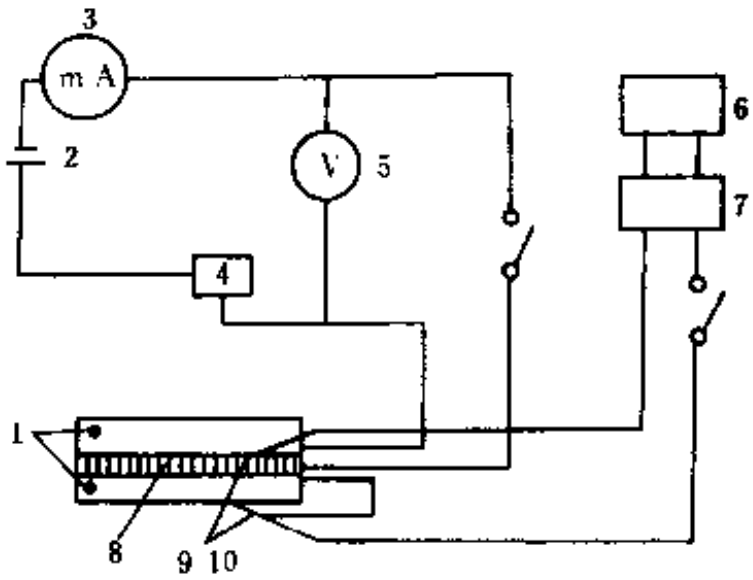


图 4-8 测定海绵橡胶热物理性能用的仪器原理方框图

1—试样；2—电源；3—毫安表；4—降压电阻；5—伏特表；6—电子记录器；7—放大器；8—加热元件；9、10—表示热电

采用两块同样厚度的海绵板把加热元件夹在其间，测量组件置于恒温箱内，达到规定恒温后，对加热元件接通直流电，加热，达到平衡温度后，借助于放大器和记录器记录温差。

9．压缩永久变形的测定

标准方法是采用底面积为10～20cm²，高15～50mm的圆柱形试样，置于由两平行板组成的夹具中，在70±2℃压缩24 h。解除压缩后试样在22±2℃下放置30min 后，测量高度，按下式计算弹性复原率：

$$\Delta e = \frac{h_2 - h_1}{h_0 - h_1} \times 100\%$$

式中 Δe——弹性复原率，%；

h_0——试样的原始高度，mm；

h_1——压缩试样的高度，mm；

h_2——去除压缩停放后的高度，mm。

压缩率宜掌握为50%。

五、产品举例

海绵橡胶制品的种类很多，要求各异，现举一些实例如下。

1．微孔大底

配方 1

天然橡胶	10	硫　黄	2	防老剂HB	1
高苯乙烯	90	发泡剂DPT	4.5	钛白粉	5
氧化锌	5	白炭黑	15	凡士林	8
硬脂酸	4	促进剂TMTD	2	颜　料	适量

硫化条件：144℃×12～15min

高苯乙烯与天然橡胶可以按任何比例掺用，硬度随高苯乙烯用量增加而提高，弹性随之下降。

配方 2

EVA	100	发泡剂ADCA	4
DCP	3.5	颜料	适量
碳酸钙	10		

硫化条件：170℃×14～15min

2．乒乓球拍用橡胶海绵

乒乓球拍上的橡胶海绵系粘贴在拍板与胶皮之间，起着缓冲、减震的作用，为运动员发挥各种技艺创造条件。当然，不同的球艺，要求有不同的海绵性能与之相适应，但其共同的一点是，要求海绵材料轻盈、灵敏、易于控制，没有僵木感。这些要求反映在海绵上，就涉及到微孔结构的问题，微孔太少，使用起来给人以僵木、沉闷之感，就会出现不灵敏，不易控制的问题，反之，微孔过多，虽然易于控制，但缺乏弹力，有如败絮，为此一般说来孔数宜在2000～5000个/mm^2之间，孔径宜在0.25～0.20mm之间，举一个配方实例如下：

天然橡胶	100	促进剂TMTD	3	凡士林	15
氧化锌	5	白炭黑	30	白油膏	30
硬脂酸	3	碳酸镁	15	水杨酸	1.5
硫　黄	2	碳酸钙	15	颜料（黄色）	适量
防老剂MB	1	发泡剂DPT	4.5		

硫化条件：144℃×3.5min

3．冷凝器自动清洗用海绵小球

发电厂汽轮机组冷凝器的清洗状况，关系到该机组发电量的多少，效率的高低以及能耗的多寡，以人工清除冷凝器铜管的沉积物由于其所处环境状况恶劣，不仅工作量大，而且严重影响人体健康。为此，提出了利用海绵小球的摩擦作用进行自动清洗的方案。这时，对海绵橡胶小球的技术要求是：①气孔均匀，孔门联通，吸水性强，瞬间吸水后球的相对密度近似于1；②耐磨、柔软，具有中等弹性，易变形，易恢复；③耐老化，长期运行不会发粘，在35～40℃温水中运行，球径涨大＜1mm，以后保持稳定。适用的配方举例如下：

天然橡胶	90	凡士林	10
丁苯橡胶	10	邻苯二甲酸二丁酯	10
2，5-二甲基-2，5-二叔丁基过氧已烷	3	防老剂MB	1
氧化锌	5	防老剂RD	1
过氧化苯甲酰	1	发泡剂DPT	3
沉淀白炭黑	30	颜料	适量
硫酸钡	35		

采用模具内水浴硫化，逐步升温，在15min内蒸气压力由0逐步升至0.39MPa，再保持恒温20min。

第二节　聚氨酯泡沫

一、概　　述

聚氨酯泡沫是现代弹性体多孔材料中发展最快的品种之一。它的主要特征是具有多孔性，密度小，比强度高。根据所用的原料不同和配方的变化，通过改变分子中链节的结构，能较大幅度地进行各种改性，可制成软质、半硬质和硬质聚氨酯泡沫。若按所用的多元醇品种分类又可分为聚酯型、聚醚型和蓖麻油型泡沫等。若按其发泡方法分类又有块状、模塑和喷涂聚氨酯泡沫等类型。

制造聚氨酯泡沫的主要原料为多元醇化合物，有机多异氰酸酯和各种助剂，如催化剂、发泡剂、泡沫稳定剂、阻燃剂、链增长剂、防老剂和颜料等。

聚氨酯泡沫的密度大小及软硬程度均可随着原料及配方的不同而改变，加上成型施工方便，因此应用范围十分广泛，几乎渗透到国民经济各部门。特别是在家具、运输、冷藏、建筑、绝热等部门使用十分普遍。近年来，又在农业、医药卫生、节能、宇宙飞行、国防军事尖端等领域开辟了新的用途，发展非常迅速，成为国民经济中不可缺少的材料。

二、聚氨酯泡沫的成泡原理

（一）基本反应

在氨基甲酸酯高聚物的形成过程中，主要的反应如下：

1．异氰酸酯和羟基的反应

多异氰酸酯和多元醇（聚醚、聚酯或其它多元醇）反应，生成氨基甲酸酯：

$$OCN-R-NCO+HO-R'-OH\longrightarrow OCN-R-NH-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-R'-O-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-NH-R-NCO$$

2．异氰酸酯和水的反应

带有异氰酸酯基团的化合物或高分子链节和水反应先生成不稳定的氨基甲酸，然后分解成胺和二氧化碳：

$$R-NCO+H_2O\longrightarrow\left[R-NH-C\begin{matrix}\diagup O\\ \diagdown OH\end{matrix}\right]\longrightarrow R-NH_2+CO_2\uparrow$$

氨基进一步和异氰酸酯基反应生成含有脲基的高聚物：

$$R-NH_2+R'-NCO\longrightarrow R-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}-R'$$

上述两项反应都属于链增长反应，后者还生成二氧化碳，因而又可视作发泡反应。在无催化剂存在下，上述异氰酸酯和氨基反应速率通常是很快的，所以在反应中不但使过量的水和异氰酸酯反应，而且还能得到高收率的取代脲，很少有过量的游离胺存在。这样可以把上述反应直接看作是异氰酸酯和水反应生成取代脲。

3．脲基甲酸酯反应

氨基甲酸酯基团中氨原子上的氢与异氰酸酯反应，生成脲基甲酸酯：

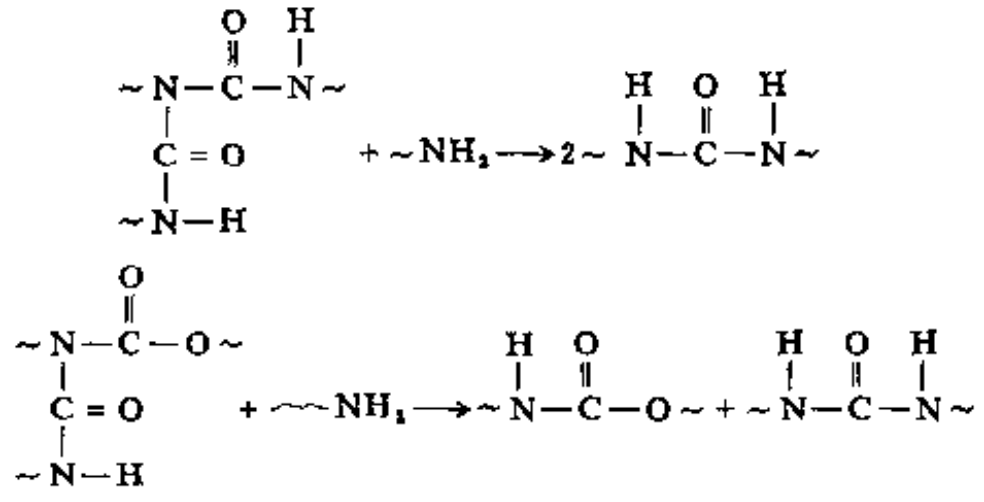
$$R-NCO+R'-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-R'\longrightarrow R'-\overset{\overset{\displaystyle HN-R}{|}}{\overset{\overset{\displaystyle C=O}{|}}{N}}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-R'$$

4．缩二脲反应

脲基中氮原子上的氢与异氰酸酯反应，生成缩二脲：

$$R-NCO+R'-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}-R'\longrightarrow R'-\underset{\underset{\displaystyle R-N-H}{|}}{\overset{\overset{\displaystyle C=O}{|}}{N}}-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{N}-R'$$

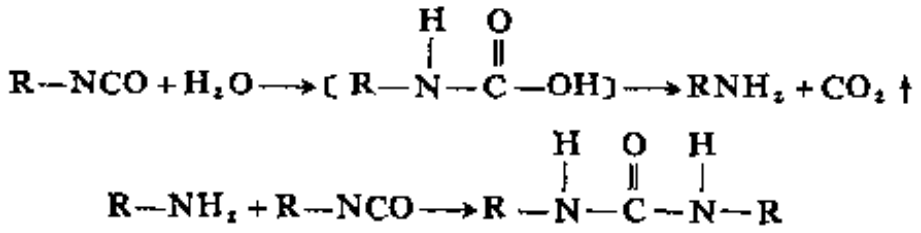
脲基甲酸酯反应和缩二脲反应均属于交联型反应，一般说来，反应速度较慢，在没有催化剂存在下，需在110～130℃下反应。在较高温度下，则反应速度较快。此外，必须指出的是，缩二脲和脲基甲酸酯链节都不太稳定，在较高温度下又能和过量的氨基反应生成脲基和氨基甲酸酯：



发泡配方中一般异氰酸酯用量大于含活泼氢化合物，即异氰酸酯过量5%左 右，形 成末端含有异氰酸酯基的预聚体。

（二）起泡反应

聚氨酯泡沫制备中起泡方法有两种：一种是利用低沸点卤代烃（如F11）受热汽化 达到成泡目的，大多用于硬泡制品；另一种是利用水与异氰酸酯的化学反应放出CO_2来起 泡，大多用于软泡制品，其反应式如下：



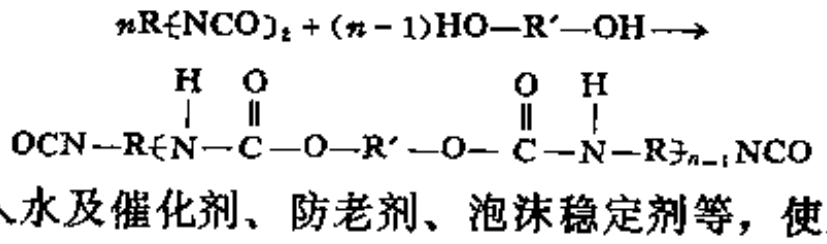
值得指出的是：异氰酸酯与水之间的反应，在无催化剂存在下，作用比较缓慢，而与胺类化合物的反应速度相当快。因此，以水为发泡剂时，相对地会生成脲键化合物。脲类物质极性大，链节较为刚性，所以水量过多，软泡的手感性差，回弹性下降，必须引起重视。

（三）泡沫体的形成机理简述

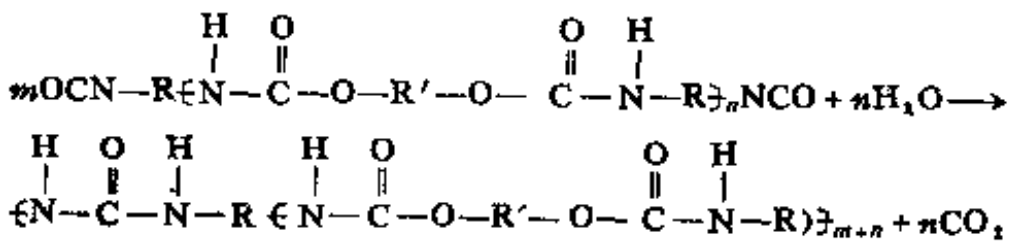
聚氨酯泡沫在工业上有三种制造方法，即预聚体法、半预聚体法和一步法，有关机理简述如下。

1．预聚体法

该法首先由异氰酸酯和多元醇反应生成预聚体：



然后在预聚体中加入水及催化剂、防老剂、泡沫稳定剂等，使水和异氰酸 酯 基 进 行反应，在发泡的同时进行链增长，形成高分子化合物：



该法特点是由于预聚体已有一定粘度，涉及反应较为单一，故发泡时较易控制。但工艺较复杂。

2．半预聚体法

该法是将部分聚醚或聚酯多元醇和配方中异氰酸酯进行反应，形成末端带有异氰酸酯的低聚物和大量未反应的游离异氰酸酯预聚体的混合物。该混合物再与剩余部分的聚醚或聚酯多元醇、水、催化剂等混合进行发泡，其特点是可以调节发泡体系中的物料粘度，较适用于制

造硬质聚氨酯泡沫。

3．一步法

一步法发泡就是将聚醚或聚酯多元醇、多异氰酸酯、水以及其它助剂一次加入，使链增长、气体发生及交联等反应在短时间内几乎同时进行，在物料混合均匀后，1～10s即进行发泡，1～3min内发泡完毕，得到具有较高分子量并有一定交联密度的泡沫制品。要得到泡沫孔径均匀和性能优良的泡沫体，必须采用复合催化剂和控制合适的条件，使这三种反应（链增长—起泡—交联）得到较好地协调。该法的特点是工艺较简单。

三、聚氨酯泡沫的主要组分及其作用

（一）有机多元醇化合物

有机多元醇化合物是合成聚氨酯泡沫的主要原料之一。凡是有机化合物分子内含有两个以上羟基的化合物，均称为有机多元醇化合物。它依靠分子内的羟基与有机多异氰酸酯分子内的异氰酸酯基反应生成氨基甲酸酯链段：

$$R-NCO+R'-OH\longrightarrow R-\overset{H}{\underset{|}{N}}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-R'$$

作为聚氨酯泡沫的原料，则要求多元醇化合物分子中羟基数大于2，属于这类有机多元醇化合物的品种很多，主要有以下几类。

1．聚醚多元醇树脂

凡聚合物分子主链由—R—O—R′—组成，分子端基或侧基含羟基的树脂称为聚醚多元醇树脂。氧化乙烯、氧化丙烯等环氧化合物以多羟基化合物为起始剂开环均聚和共聚反应所生成的树脂均属这类树脂。

用于聚氨酯泡沫的聚醚多元醇树脂一般可分成两大类：通用聚醚多元醇和特种聚醚多元醇。

（1）通用聚醚多元醇　这是用量最大的一类聚醚多元醇，一般都以多元醇、多元胺或其它含有活泼氢的有机化合物为起始剂与氧化烯烃开环聚合而成。常用的起始剂有乙二醇、乙二胺、丙二醇、三羟甲基丙烷、季戊四醇、木糖醇、甘露醇、蔗糖、山梨醇等。主要产品有二羟基聚氧化丙烯醚，如国产的N-210、N-230等；三羟基聚氧化丙烯醚，如国产N-330等。

二羟基聚氧化丙烯醚主要应用于制备聚氨酯软泡、橡胶、胶粘剂、纤维、人造革等。在软泡制备中，一般采用二羟基聚氧化丙烯醚与三羟基聚氧化丙烯醚的掺合物。二羟基聚醚的分子量约为2000，即羟值约为56mgKOH/g。由于二羟基聚醚与二异氰酸酯反应生成的是线型直链聚氨酯，所以起到增加泡沫弹性、相对伸长率等物性的作用。二羟基聚醚的分子量越大，制品的柔软度、伸长率也越高。

三羟基聚氧化丙烯醚是聚氨酯软质、半硬质、硬质泡沫的基础原料。所不同的是三羟基聚醚多元醇的分子量，或羟值。软泡要求三羟基聚醚多元醇的分子量为3000左右，即羟值约为56mg，KOH/g；半硬泡要求三羟基聚醚的分子量在4500～6000范围内，即羟值约26～40mgKOH/g；硬泡要求三羟基聚醚分子量在300～400范围内，即羟值为450～550mgKOH/g。

其它还有四羟基聚氧化丙烯醚、五羟基聚氧化丙烯醚、六羟基聚氧化丙烯醚、八羟基聚氧化丙烯醚等。

（2）特种聚醚多元醇　凡具有特殊性能与用途的聚醚称为特种聚醚。近几年来合成了一系列具有特殊性能的多元醇化合物，改善了泡沫制品的成型工艺，提高了泡沫制品的性

能，开拓了泡沫制品的新用途。其新品种主要有高反应活性的聚醚多元醇化合物、接枝聚合型的聚醚多元醇化合物、高分子量高官能度聚醚多元醇化合物、芳杂环系聚醚多元醇化合物、含卤素、磷、锑等多种阻燃元素的聚醚多元醇化合物、已内酯型聚醚多元醇化合物等。

2．聚酯多元醇树脂

聚氨酯泡沫所用的聚酯是羟基聚酯，因这类聚酯末端含有羟基，是醇式结构，所以又称羟基聚酯为聚酯多元醇，一般是由有机多元酸与多元醇在多元醇过量的条件下经缩聚反应制得。

有机多元酸中主要是以有机二元酸作合成聚酯的原料，其中有己二酸、戊二酸、庚二酸、辛二酸、癸二酸、琥珀酸等饱和脂肪酸，使用最普遍的是己二酸。芳香族二元酸有邻苯二甲酸、间苯二甲酸或其酐。

多元醇化合物种类较二元酸复杂。二元醇化合物有乙二醇、丙二醇、丁二醇、一缩乙二醇、二缩乙二醇等。三元醇化合物包括三羟甲基丙烷、三羟甲基乙烷、丙三醇（甘油）、己三醇等。

各种酸、醇的不同配合，将分别合成出各种歧化度、不同分子量的聚酯多醇。一般来说，软质聚氨酯泡沫所需的聚酯歧化度小，分子量大，羟值在50～60mgKOH/g之间。硬质聚氨酯泡沫塑料则要求聚酯的歧化度高，羟值在300mgKOH/g以上，分子链段中含有刚性的苯二甲酸残基结构。

另外，作为聚氨酯级的聚酯多醇，必须是低酸度（1～4mgKOH /g）和低含水量（0.1%左右）。

聚酯多元醇树脂主要有两大类，即己二酸系聚酯多醇和醇酸树脂系聚酯多醇。

典型的线型己二酸系聚酯合成配方为：

	摩尔数	重量份	规格	
己二酸	3.2	469.2	羟值	50～60mgKOH/g
乙二醇	2.79	178.3	酸值	<2mgKOH/g
一缩乙二醇	0.930	99.40	粘度（25℃）	5.0～9.0Pa·s

典型的带有支化度的己二酸系聚酯合成配方为：

己二酸	1.0mol	100 重量份	三羟甲基丙烷	0.06mol	5.6重量份
一缩乙二醇	1.0mol	72.7重量份			

己二酸系聚酯多元醇是聚氨酯软质、半硬质泡沫常用的一系列聚酯多元醇。

典型的醇酸树脂系聚酯多元醇的合成配方为：

癸二酸（工业级）	116.3kg	甘油（96%以上）	96.4kg	
苯酐（99%以上）	21.2kg	乙二醇（98%以上）	9.6kg	

醇酸树脂系聚酯多元醇由于其分子结构中含有苯环和三元醇，可增加聚酯分子链的刚性和支化度，从而使制得的聚酯型聚氨酯制品具有较大的硬度与耐温性能，所以醇酸树脂系聚酯多元醇主要用于合成聚氨酯硬质泡沫。

（二）有机多异氰酸酯化合物

在分子结构中含有异氰酸酯基团（－NCO）的有机化合物统称为有机异氰酸酯化合物。

作为聚氨酯泡沫的原料，要求异氰酸酯分子内含有两个以上异氰酸酯基团，即官能团数$n \geqslant 2$。

异氰酸酯在合成聚氨酯泡沫过程中有两方面的功能。

（1）与多元醇化合物的羟基（或其它化合物的活性氢）反应生成氨基甲酸酯链段

（$-\overset{H}{\underset{|}{N}}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-$），起链增长与交联的作用：

$$nHO-R-OH+mOCN-R'-NCO\rightarrow\{O-R-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-\overset{H}{\underset{|}{N}}-R'-\overset{H}{\underset{|}{N}}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-\}_{m\cdot n}$$

（2）与水反应放出二氧化碳，起内发泡剂的作用：

$$R-NCO+H_2O\longrightarrow[R-\overset{H}{\underset{|}{N}}-\overset{O}{\overset{//}{C}}-OH]\longrightarrow R-NH_2+CO_2\uparrow$$

有机多异氰酸酯化合物是聚氨酯泡沫的主要原料之一，其用量约占聚氨酯泡沫总重量的28～50%。

作为聚氨酯泡沫原料的异氰酸酯品种繁多，约有60～70种，其中最常用的异氰酸酯有TDI（甲苯二异氰酸酯）、MDI（二苯基甲烷二异氰酸酯）以及PAPI（多苯基多亚甲基多异氰酸酯）等。TDI常用于制备聚氨酯软泡与半硬泡，MDI与PAPT常用于制备聚氨酯硬泡。近年来也有用改性MDI制备软泡，TDI与PAPI掺合物制备半硬泡及高回弹冷熟化泡沫制品。

（三）发泡剂

制造聚氨酯泡沫常用水和低沸点氟烃类作发泡剂。软质泡沫常用水或水和氟烃类的混合物作发泡剂。一般认为水可使泡沫材料得到较大的开孔率。也可以用二氯甲烷和一氟三氯甲烷（F-11）的混合发泡剂，降低密度，同时使链节中取代脲键的密度降低，增加柔软性。

硬泡沫制品闭孔率较大，多用氟烃类作发泡剂，它们的沸点都很低，当异氰酸酯和活性氢化合物发生反应时，放出大量热量，使氟烃类化合物汽化，产生大量气泡，作为材料泡孔的来源。它们和其它组分不会发生化学变化。这样的发泡剂有一氟三氯甲烷（F-11），沸点24℃，二氟二氯甲烷（F-12），沸点-29.8℃。

在选择发泡剂时，要根据发泡剂在泡沫生产过程中的作用以及成品的性能而定，氟烃可以使泡沫的导热系数降低，所以常用于硬泡沫制品。用水作发泡剂时，产生的热量比低沸点溶剂大得多，生成的二氧化碳和空气在泡沫体中通过的速度较快，给开孔造成有利的条件，所以常用于软泡沫生产中。

（四）催化剂

在聚氨酯泡沫的发泡体系中，化学反应较为复杂，同时又要求物料的粘度、增长速度与发泡速度在短时间内达到平衡，尤其是在制造软泡沫时更是如此，否则将出现一系列工艺上的问题，如开裂、开孔、收缩等不良现象。解决这些问题的关键是采用不同品种的催化剂，控制相对用量，以达到调节体系的反应速度。

在制备聚氨酯泡沫时，使用的催化剂主要有两类，即有机锡类化合物和叔胺类化合物，这两类催化剂的作用机能是不一样的，有机锡类催化剂主要是促进聚合物链的增长，也就是促进异氰酸酯基和羟基之间的反应；而叔胺类催化剂主要是促进物料体系的产气量，也就是促进异氰酸酯基与水之间的反应。

有机锡类催化剂的种类虽然很多，但实际应用的数量并不多，最重要的就是辛酸亚锡和二丁基锡二月桂酸酯。

1．辛酸亚锡

$$(CH_3-\overset{C_2H_5}{\underset{|}{C}}H-CH_2-CH_2-COO)_2Sn$$

辛酸亚锡又称2-乙基已酸亚锡，分子式为$(CH_3-\overset{C_2H_5}{\underset{|}{C}}H-CH_2-CH_2-COO)_2Sn$，它是一种高效低毒催化剂，既可单独使用，又可以和胺类化合物混合使用，大量用于软泡沫生产

中，其活性比二丁基锡二月桂酸酯高，所以用量可以减少，但缺点是最易水解而失效。

2。二丁基锡二月桂酸酯

它是最早使用的有机锡类催化剂，至今在软泡沫生产中仍占有重要地位，它的物理性质如下：

相对密度（25℃）	1.025～1.066	活性组分分子量	631.56
锡含量，%	18.6±0.6	闪点，℃	440
色泽	＜3	溶解性	溶于一般增塑剂及溶剂
粘度(25℃),Pa-s	＜0.05	结构式	$(C_4H_9)_2Sn(OCOC_{11}H_{23})_2$

该催化剂的毒性较大，操作时应注意劳动保护。

叔胺类催化剂是聚氨酯泡沫中最大的一类催化剂，其活性主要取决于叔胺分子结构及碱性大小，一般碱性越大，催化活性越高。分子结构的影响是指连在氮原子上有机基团的位阻及取代基的电性能，空间位阻较大的基团，其催化活性较低，在氮原子上连有推电子取代基，则使原子的电子云密度增加，即碱性增加，因而其活性也提高。

叔胺类催化剂品种繁多，而且不同的叔胺类催化剂适用于不同的应用范围，例如聚脂型聚氨酯泡沫由于其发泡体系物料粘度大，混溶效果差，所以最适宜使用一些碱性小、侧基链长的叔胺，如*N*，*N*-二甲基环已胺、*N*，*N*-二甲基十二烷胺、*N*，*N*-二甲基十六烷胺等。高回弹冷熟化泡沫叔胺催化剂是一些醚胺化合物，例如，双-2-二甲基胺乙基醚、2-(*N*，*N*-二甲基胺乙基-3-(*N*，*N*-二甲基胺）丙基醚、3-二甲基胺-*N*，*N*-二甲基丙酰胺等。

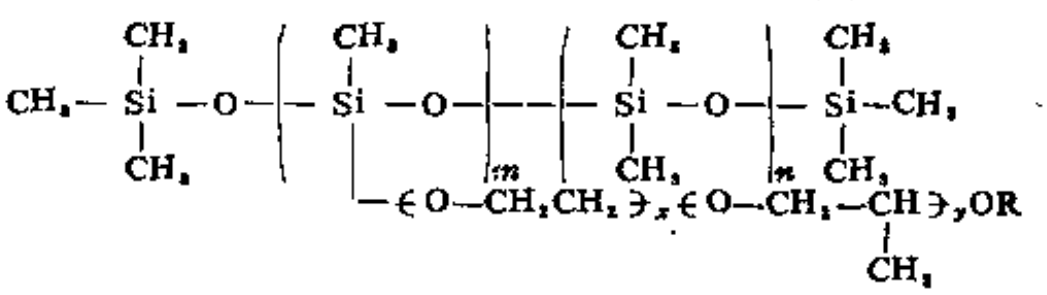
实际应用中，有机锡类催化剂和叔胺催化剂采用混合催化系统，催化效果可以大大加强，催化剂用量最小而可达到最大效果。

（五）泡沫稳定剂

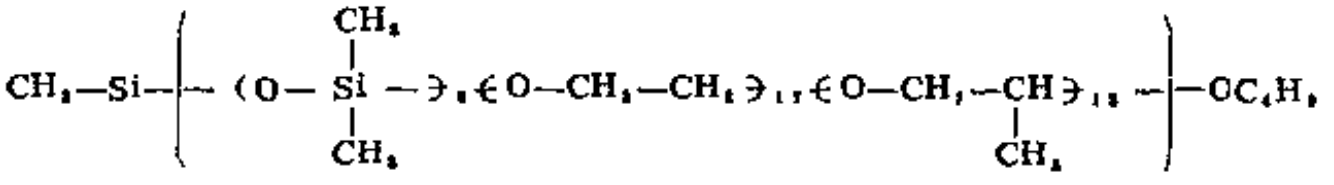
泡沫稳定剂是聚氨酯发泡工艺中不可缺少的原料之一。它在发泡体系中能降低各种原材料的表面张力，增加互溶性，稳定发泡体系，使泡孔细而均，泡沫稳定剂的用量一般在0.5～5%的范围内。用量虽然不大，但对泡沫体的泡孔结构、物理机械性能、制造工艺都有着重大的影响，例如气孔的细度、气孔的开孔或闭孔、泡沫体的倒塌或产生裂缝等。

泡沫稳定剂的品种繁多，主要有两种类型，即硅-氧-碳键型（俗称水解型）和硅-碳键型（俗称非水解型）。

硅氧碳键型泡沫稳定剂就是在聚二甲基硅氧烷段和聚氧亚烷基之间通过Si—O—C键连接。这类共聚物不耐水解，在胺缓冲下也只能保存1周左右，其结构式如下所示：

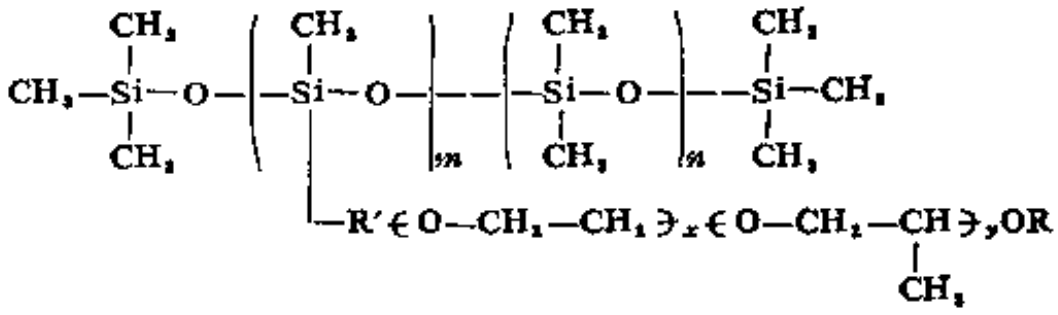


国内应用较广的一种泡沫稳定剂——发泡灵，或水溶性硅油，就是属于这类Si—O—C键稳定剂，其中R为丁基，$m=6$，$x=17$，$y=13$，其分子式为



硅碳键型稳定剂中聚硅氧烷和聚氧亚烷基之间是以Si—C键形式连接的，它对水稳定，无氧下可保存2a以上。

其结构式为



式中，R为烷基，R'为烷撑基。

（六）阻燃剂

聚氨酯泡沫和其它有机化合物一样，容易燃烧，再加上其密度小，和外界的暴露面比其它材料大，因此更加容易燃烧，所以耐燃烧性的问题就显得突出。提高阻燃性的途境主要有两条，一条是添加含氯、溴、磷等元素的有机化合物，另一条就是在聚醚或异氰酸酯链上引入磷、氯、溴、锑等元素，得到结构型阻燃泡沫。

主要的阻燃剂有二-（氯乙基）磷酸酯、三-（氯丙基）磷酸酯、磷酸铵、氧化锑、氢氧化铝等。

（七）防老剂

和其它高分子材料一样，聚氨酯材料在光、热等外界因素作用下，会发生老化，并对热、光较敏感，不耐水解，在光、热的作用下，材料的物理机械性能会下降，使用防老剂可减少这种破坏作用。

酚类化合物及其衍生物最常用作聚氨酯材料的防老剂，例如1，3，5-三甲基-2，4，6-三（3′，5′-二叔丁基）-4-（羟基苄基）苯和2-（2′-羟基-3′-叔烷基苄基）苯甲醚等。如果它们与氢醌并用效果更显著，其用量约0.1～1.0%（产品重量计）。

（八）链增长剂

链增长剂也是一类比较常用的配合剂，它们对于改善和调节聚氨酯泡沫的性能有很大的作用。近几年来所发展的一些新的泡沫材料品种如高回弹泡沫、微孔弹性体等，链增长剂的作用更大些。

链增长剂大多是一些含有多官能团的活性氢化合物，如分子量较小的多元醇和多元胺类化合物，其中1，4-丁二醇是较好的链增长剂；若制品使用温度较高，可使用芳香族二醇。

（九）颜料

聚氨酯材料可制成色彩鲜艳的制品，它的染色性是比较好的。在使用时，应考虑到颜料的耐酸性、耐碱性、抗氧化性、耐水性、耐溶剂性以及耐热性、耐光性、着色力、价格等，特别要注意颜料中有无能和配方中组分发生反应的官能团或化合物，以免影响材料的性能。

可用于聚氨酯材料的颜料种类很多，如红色的氧化铁、硫化镉、黄色的钛黄、铬酸铅、青色的群青、黑色的炭黑等。

四、聚氨酯泡沫的基本种类及其制造方法

（一）软质聚氨酯泡沫

聚氨酯软质泡沫是用量最大、产量最高的一个品种。在配方中，有机多元醇化合物大多采用聚醚多元醇，其官能团数在2以上，羟值当量约1000左右，通常以分子量为3000的三羟基聚醚应用最多。异氰酸酯部分大都为80:20的TDI，TDI指数一般控制在103～107%，以水作为发泡剂（称为内发泡剂），有时添加一些低沸点溶剂（称为外发泡剂），如一氟三氯甲

烷等，这样可以降低泡沫制品的密度，提高制品柔软度，还可移去反应热，催化剂一般选用活性较高的辛酸亚锡、二丁基锡二月桂酸酯和三亚乙基二胺等高效复合催化剂。由于聚醚粘度远较聚酯为小，因而必须加入高效泡沫稳定剂，通常采用聚硅氧烷-聚氧化烯烃镶嵌共聚物。聚酯多元醇一般采用己二酸--一缩乙二醇聚酯或其它各种牌号的己二酸聚酯，异氰酸酯部分通常采用80:20和65:35的TDI。催化剂主要采用叔胺类催化剂。

1．化学计算

正确的化学用量是确保聚氨酯泡沫合成的关键。如上所述，合成中所发生的链增长、起泡、交联等均涉及到异氰酸酯的用量，所以，如何准确地计算异氰酸酯在配方中的使用量，是聚氨酯合成者所首先掌握的。

（1）一步法软泡配方中异氰酸酯用量计算与每100份多元醇反应所需的异氰酸酯用量按式（4-1）计算：

$$W=\frac{\text{羟值}\times M_n\times n}{561} \tag{4-1}$$

式中 W——异氰酸酯的用量（重量份）；

M_n——异氰酸酯的分子量；

n——异氰酸酯的活性官能团数。

水为发泡剂时，将消耗的异氰酸酯按式（4-2）计算：

$$W_1=\frac{W_水\cdot M_n}{18n} \tag{4-2}$$

式中 W_1——水所消耗的异氰酸酯的重量；

$W_水$——配方中所含水的总量；

M_n——异氰酸酯的分子量；

n——异氰酸酯的活性官能团数。

配方中若还有其它交联剂，可按式（4-1）的原理计算。

在聚氨酯泡沫中，所需异氰酸酯的总量，除了将式（4-1）和式（4-2）合并之外，还应考虑各种配方对异氰酸酯过量程度的要求和纯度，为此，异氰酸酯总用量可用式（4-3）进行计算

$$W_总=I\cdot\frac{M_n}{n}\cdot\left(\frac{W_醇}{\frac{56.1\times1600}{\text{羟值}}}+\frac{W_水}{18}\right)\times\frac{1}{\rho} \tag{4-3}$$

式中 $W_总$——所需异氰酸酯总量；

$W_醇$——配方中多元醇的总量；

$W_水$——配方中水的总量；

I——异氰酸酯指数（一般为1.03～1.05）；

ρ——异氰酸酯纯度。

（2）二步法软泡生产中异氰酸酯用量计算　此法生产中预聚体合成时所需异氰酸酯的用量与聚醚用量及最终产品中NCO含量等有关，可按式（4-4）进行计算

$$W_总=\frac{M_n\cdot W_醇\cdot\text{羟值}}{56100\cdot n}\cdot\left(\frac{100\times42+D\cdot\frac{56100}{\text{羟值}}}{100\times42-D\cdot\frac{M_n}{n}}\right)\cdot\frac{1}{\rho} \tag{4-4}$$

式中　W_a——所需异氰酸酯总用量；

W_b——配方中多元醇的重量份；

D——最终产品中NCO含量，%；

ρ——异氰酸酯纯度。

2．制造方法

软质聚氨酯泡沫的制造方法可分为三种，即预聚体法（又称二步法）、半预聚体法和一步法。

（1）预聚体法　制造分两步进行：第一步，首先将多元醇（末端带有两个以上羟基的聚醚或聚酯）和二异氰酸酯反应制成末端带有异氰酸酯基团的低分子聚合物，称为预聚体；第二步，将水在高速搅拌下加入预聚体内，反应后生成脲基，进行链聚合形成高聚物；此外，由于在反应中生成CO_2，因而在形成链增长的同时进行发泡反应，最终形成泡沫材料。在反应过程中，物料中还加入催化剂和表面活性剂以相应地调节反应速率和泡沫孔径。

（2）半预聚体法　该法是将一部分聚醚或聚酯和过量的二异氰酸酯反应，使之生成一定粘度的低分子量低聚物，然后将配方中余下的多元醇和水一起加入到预聚体中，在催化剂和表面活性剂存在下，采用高速搅拌混合后进行发泡。该法多数应用于硬质或半硬质泡沫，而在软质泡沫中应用不多。其主要目的是为了调节物料粘度。

（3）一步法　一步法就是将配方中有机多元醇化合物、二异氰酸酯及其它组分一次加入，在高速搅拌下进行发泡，这种方法最早使用于聚酯型泡沫，以后由于高效催化剂和有机硅泡沫稳定剂的技术突破，聚醚型泡沫也大量采用了一步法发泡工艺；一步法工艺具有流程简单，原料可不经加工直接使用，制品性能比较优良，因面目前在软质泡沫工业生产中已占主要地位。聚醚型软泡沫典型配方见表4-6，聚酯型软泡沫典型配方见表4-7。

表 4-6　聚醚型软泡沫典型配方

原　材　料	重　量　份
聚醚三元醇（M_w3000）	100.0
TDI(80:20)	46.0
有机锡类催化剂	0.4
叔胺类催化剂	0.2
有机硅表面活性剂	1.0
水	3.6
F11	0～15.0

表 4-7　聚酯型软泡沫典型配方

原　材　料	重　量　份	
部分酰化聚酯多元醇（羟值60）	100.0	100.0
高酸化聚酯多元醇（羟值213）	—	30.0
TDI(65:35)	52.3	53.2
水	4.5	3.6
叔胺类催化剂	1.4	1.5
非离子型乳化剂	1.5	1.6
离子型乳化剂	3.6	2.1
TDI指数	95	100

（二）半硬质聚氨酯泡沫

半硬质泡沫是聚氨酯泡沫的一大品种，该类制品的特点是具有较高的压缩负荷值和较高的密度，它的交联密度远高于软质泡沫而仅次于硬质泡沫。按其软硬度而言，它是处于软泡沫和硬泡沫之间的一种泡沫材料。

聚氨酯半硬泡制品按密度分类，有高密度半硬泡、低密度半硬泡；按用途来分，有吸能半硬泡、填充半硬泡等；按聚醚多元醇分类，有通用性半硬泡及高回弹半硬泡等。但无论哪种半硬泡，其分子结构的特点是两交联点之间的平均分子量$\bar{M}_c$一般是在650～2500之间，但最好是在1200～2000之间。半硬泡的物理机械性能均直接受所选用的聚醚种类、交联剂品种与用量、异氰酸酯、发泡剂等影响，其制造方法大多采用一步法和预聚体法。

以PAPI为基的半硬质泡沫配方、工艺与性能如表4-8。

表 4-8 半硬质泡沫配方、工艺及性能

原材料 \ 配方编号	1		2		3		4		5	
聚醚三元醇(M_w3000)	85		85		70		70		90	
交联剂	15		15		30		30		—	
三乙醇胺	—		—		—		—		15	
四甲基丁二胺	2		2		2		1.5		0.5	
辛酸亚锡	0.05		0.05		0.05		0.05		—	
二月桂酸二丁基锡	—		—		—		—		1.5	
泡沫稳定剂	2		2		2		3		1.5	
发泡剂	0.2		0.2		0.2		0.2		0.2	
水	4		3		4		3		4	
PAPI	95		80		116		94		150	
乳化时间，s	3		4		3		4		3	
上升时间，s	97		143		120		148		84	
不粘时间，min	5		5		5		5		5	
发泡方式	自由发泡	模塑发泡	自由发泡	模塑发泡	自由发泡	模塑发泡	自由发泡	模塑发泡	自由发泡	模塑发泡
物理机械性能 密度，kg/m³	29.4	39.2	44.1	59.4	33.3	37.2	45.1	49.9	49.9	49.9
拉伸强度，MPa	0.07	—	0.086	—	—	—	—	—	0.14	—
扯断伸长率，%	30	—	20	—	—	—	—	—	35	—
压缩变形，%	19.5	36	17.8	22	40	43	42	42	16	25

用于运动鞋半硬泡配方及性能见表4-9。

表 4-9 运动鞋用半硬泡配方及性能

原材料	重量份	原材料	重量份
聚酯多元醇($\bar{M}_w$2000)	100	物理机械性能	
1,4-丁二醇	16	密度，g/cm³自由发泡	0.34
水	0.3	模塑发泡	0.6
三乙烯二胺(33%溶液)	0.7	硬度（邵尔A）	65±5
二月桂酸二丁基锡	0.06	拉伸强度，MPa	8.2
泡沫稳定剂	1.0	扯断伸长率，%	440
MDI预聚体指数	1.05	撕裂强度，kN/m	15

（三）硬质聚氨酯泡沫

聚氨酯硬泡沫的制造化学基本上与软泡沫的化学原理一样，唯一不同的是异氰酸酯与多元醇化合物的支化度比较高，形成的聚氨酯硬泡沫交联密度大，各交联点之间的分子量比较小。这种泡沫在一定负荷作用下不发生变形，当负荷过大时，发生变形后不能恢复到原来的形状。

在硬泡沫中使用的多元醇，一般要求分子量在1300以下，羟值在700mgKOH/g以下，官能度在3～8之间。异氰酸酯常用PAPI，因其粘度适中，低毒，制品的物理机械性能好，发泡剂大多采用卤化烃类化合物。催化剂有两类，一类是叔胺类化合物；另一类是有机锡类化

合物。催化剂是一个很重要的因素，应针对各种成型方法，合理选择催化剂。泡沫稳定剂的选用原则是，对于聚醚型硬泡沫一般选用有机硅类化合物，对于聚酯型硬泡沫常用离子型或非离子型泡沫稳定剂，包括磺化蓖麻油和聚氧化烯烃类化合物。

发泡方法有三种基本方法，完全预聚体法、半预聚体法和一步法。成型工艺主要有以下几种方法。

1．手工发泡法

把各种原料精确称量后，置于一容器中，然后立即把这些原料混合均匀，注入模具或需要充填泡沫的空间中去，起化学反应并发泡后得到泡沫。

2．块状泡沫体法

物料分别由料罐通过计量系统送入机械混合头，经搅拌均匀后注入衬有牛皮纸的皮带运输机上，物料在罐混合头经几秒钟后，即在皮带运输机上进行发泡，泡沫体经装有红外线（或其它热源）和具有排气装置的加热烘道中熟化成型后，由另一端连续送出，在出口处装有切割刀具，可根据需要将块状泡沫切成一定长度即为半成品，该半成品在室温下放置一个阶段熟化后，即可达到最终强度。

3．注入发泡成型法

该法是常用的成型方法，50%以上的硬质聚氨酯泡沫是用此法成型的，其操作过程是：按配方比例，将各种化学原料均匀混合后，注入模具或制件的空腔（例如冰箱内外壳体之间），在发生化学反应的同时进行发泡。

注入发泡配方例如表4-10。

表 4-10 注入发泡配方例(重量份)

配方例 1		配方例 2	
改性蔗糖聚醚（羟值430～470mgKOH/g）	100	聚醚（羟值500mgKOH/g左右）	100
二乙基乙醇胺	1.0	泡沫稳定剂	2～4
二月桂酸二丁基锡	0.1	三乙醇胺	2～6
泡沫稳定剂	2	一氟三氯甲烷	30～40
一氟三氯甲烷	38	PAPI	130左右
PAPI	117		

4．喷涂发泡成型

一般采用两组分发泡，以多元醇、发泡剂、催化剂、泡沫稳定剂及其它添加剂为一个组分，以多异氰酸酯为另一组分，两个组分分别按配比由计量泵送至喷枪，以压缩空气为动力，将物料在喷枪出口处充分混合并直接喷至工作面后，随即进行发泡。配方如表4-11。

表 4-11 喷涂发泡配方例(重量份)

配方例 1		配方例 2	
聚戊四醇聚醚（M_w400左右）	100	含磷含氯阻燃聚醚（羟值500mgKOH/g左右）	100
乙二胺聚醚（羟值780mgKOH/g左右）	103	乙二胺聚醚（羟值780mgKOH/g左右）	40
一氟三氯甲烷	8.6	三-(β-氯乙基）磷酸酯	30
二丁基锡二月桂酸酯	0.70	泡沫稳定剂	4
三亚乙基二胺	1.70	二丁基锡二月桂酸酯	0.5
含硅型泡沫稳定剂	2.42	三亚乙基二胺（33%溶液）	8
PAPI指数	1.05	一氟三氯甲烷	40
		PAPI	230

5．沫状发泡成型法

该法又称二次发泡工艺，发泡剂有两种，第一次发泡时用的发泡剂是二氟二氯甲烷（F-12），其沸点较低（-29.8℃），当原料从发泡机混合头吐出时，原料从具有一定压力状态突然变为常压，二氟二氯甲烷立即气化，使原料呈沫状，此时体积增大，这样第一次发泡倍数是10～12倍。第二次发泡时用的发泡剂是一氟三氯甲烷，当多元醇与异氰酸酯反应时，放出的热量使一氟三氯甲烷气化，进行第二次发泡。第二次发泡的发泡倍数一般是3～6倍。其主要优点是泡沫密度小，各个方向密度与强度差别较小，发泡压力低。

五、聚氨酯泡沫的应用

聚氨酯泡沫具有优良的物理机械性能、声学性能、电学性能和耐化学性能，其密度大小及软硬程度均可以随着原料和配方的不同而改变，加上成型施工方便，使其它品种无法与其相比，在国民经济的各个领域几乎都有聚氨酯泡沫的应用之处。

聚氨酯软泡沫是聚氨酯泡沫中用量最大、产量最高的一个品种，主要用于家具、床具、纺织品和各种泡沫衬垫、地毯等作垫材与保暖以代替棉花。在工业上也用作吸音、隔音、过滤、缓震、绝热、保温等材料。在普通软泡基础上发展起来的高载荷泡沫，非常适用于飞机、汽车、火车等运输工业中作座垫及缓冲抗震材料。尤其是近几年来开发的冷熟化高回弹泡沫，其相对密度小，承载负荷大，回弹性佳，抗震缓冲并能吸收冲击能，在运输工业中发展很快，有取代胶乳海绵之趋势。

聚氨酯半硬质泡沫主要应用于车辆、飞机等运输工业作为缓冲抗震材料、座垫材料、吸能材料以及民用的制鞋工业。在汽车上可制成仪表嵌板、方向盘、枕头架、扶手、沙发座垫以及汽车前后保险杠等。

聚氨酯硬质泡沫由于具有绝热效果好、比强度大、电学性能佳、耐化学腐蚀及隔音效果优越等特点，已广泛用作保温、保冷材料、结构材料和“合成材料”等，现已渗透到建筑、石油化工、冷藏、电气、造船、车辆、航空、机械等工业部门，做绝热防腐材料与结构材料。

第三节　硅橡胶海绵

硅橡胶海绵是由硅橡胶制成的海绵制品和材料。具有耐高能量冲击和高电热绝缘性等特点，能满足电子工业和空间技术的要求，并能解决对封装材料所需的防震、防潮、防腐蚀的“三防”要求，为目前电于工业用优异的轻质封装材料。

硅橡胶海绵还具有生理惰性，无毒、无臭、无腐蚀，而且容重小，柔软而富有弹性。可用作医疗方面的矫形材料、医用橡胶制品和包敷料。

硅橡胶海绵按所用生胶的硫化特性和方法分为加热硫化型和室温硫化型两种，其气孔结构则有开孔和闭孔两种形式。

一、硅橡胶品种和特性

硅橡胶是一种有机聚硅氧烷弹性体，它具有下列特点：

① 硅氧键的键能较高，分子为高饱和结构，因而具有优异的耐光老化性、耐候性、耐臭氧性以及对热氧老化的稳定性和耐热性；

② 具有非结晶性，分子间的相互作用小，内聚能密度也小，因而在低温下能保持极佳

的弹性；

③ 具有优异的电绝缘性、高透气性；

④ 具有生理情性，对人体无毒害，并有良好的防霉菌性。

硅橡胶具有上述特性，因而在耐高低温、耐老化和耐各种环境条件的橡胶制品中都得到应用。然而硅橡胶与其它通用橡胶比较，其物理机械性能及耐酸碱性能要低些，对生产工艺环境条件要求较高，而且产量少、价格高，属于特种橡胶的范畴。

硅橡胶按其硫化特性分为热硫化型硅橡胶及室温硫化型硅橡胶。

（一）热硫化硅橡胶

热硫化硅橡胶的主要品种及特性见表4-12。

表 4-12 热硫化硅橡胶主要品种及特性

名　称	结　构　式	特　性	主要用途
二甲基硅橡胶	$\{(CH_3)_2SiO\}_n$ $n=5000\sim10000$	耐温 $-60\sim+250$℃	涂覆用橡胶
甲基乙烯基硅橡胶	$\{(CH_3)_2SiO\}_m\{(CH_2CH_2=CH)SiO\}_n$	耐温 $-70\sim+300$℃	通用型硅橡胶
甲基苯基乙烯基硅橡胶	$\{(CH_3)_2SiO_{1/2}\}_m\{(C_6H_5)_2SiO\}_n$ $\{(CH_2CH_2=CH)SiO_{1/2}\}_p$	①低苯基（苯基6～11%）$-100\sim+350$℃ ②中苯基（苯基20～40%）耐烧蚀 ③高苯基（苯基40～50%）耐γ射线	低温用、高强度
氟硅橡胶	$\{(CH_3\cdot CH_2CH_2CF_3)SiO\}_m$ $\{(CH_3\cdot CH_2=CH)\ SiO\}_n$	耐温 $-50\sim+250$℃ 耐燃料油耐溶剂	
腈硅橡胶	$\{(CH_3)_2SiO\}_m\{(CH_3)(CH_2CN)SiO\}_n$ $\{(CH_3\cdot CH_2=CH)_2\cdot SiO\}_p$	耐温 $-70\sim+200$℃ 耐油、耐溶剂性能与氟硅橡胶接近	
亚苯基硅橡胶	$\{(CH_3)_2Si-\langle\rangle-(CH_2)_2-O\}_m$ $\{(C_6H_5)_2SiO\}_n$ $\{(CH_3)_2SiO\}_p\{CH_3\cdot CH=CH_2SiO\}_q$	耐温 $-10\sim300$℃ 耐γ射线	
硼硅橡胶	$(CH_3)_2Si-CB_{10}H_{10}C-(CH_3)_2SiO$ $\{(CH_3)_2SiO\}_n\{CH_2\cdot C_2B_{10}H_{10}-CH=CH_2\}_p$	耐温 $-60\sim400$℃	

硅橡胶最早的品种为二甲基硅橡胶，由于其结构的规整性以及存在结晶倾向造成耐寒性能不够高、压缩永久变形大、硫化过程复杂等不足之处。后来在硅橡胶分子链中引入少量乙烯双键，得到在侧链中含有不饱和基团的硅橡胶，提高了它的交联活性，可减少交联剂有机过氧化物的用量，增加了可使用的品种，减少了在硫化过程中生成不利于交联过程的物质，提高了硫化胶的热稳定性，并且由于引入乙烯基破坏了结构的规整性，因而有利于耐寒性能的提高，使得硅橡胶的应用得到扩大。在此基础上在侧链再引入其它有机基团，则得到具有特殊性能的硅橡胶，硅橡胶的品种得以增多，性能和用途得以扩大。从表 4-3-1 也可以清楚地看出具有各种不同特性的硅橡胶都是在甲基乙烯基硅橡胶的基础上发展起来的，因而它具有代表性，是硅橡胶中最为通用的品种，许多基本配方研究试验都是用它来进行的。

为使用方便，热硫化硅橡胶可以以混炼母胶形式出售，从而形成各种特性的胶料，牌号繁多。

（二）室温硫化硅橡胶

室温硫化硅橡胶是一种液体橡胶，其结构、品种和性能与热硫化硅橡胶相似，所不同

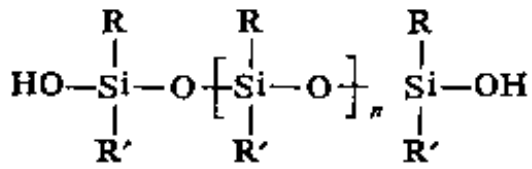
者是分子链两端带有一个或两个官能团。加入适量硫化剂和催化剂后在室温或稍高于室温条件下，可产生交联，成为弹性体。

室温硫化硅橡胶具有工艺性能优良和使用方便等优点，因此自1954年问世以来发展极为迅速。

室温硫化硅橡胶按硫化机理可分为缩合型和加成型两种。

1．缩合型

它是分子链端带有羟基的低分子量聚有机硅氧烷，例如二甲基羟基聚硅氧烷，其结构式为

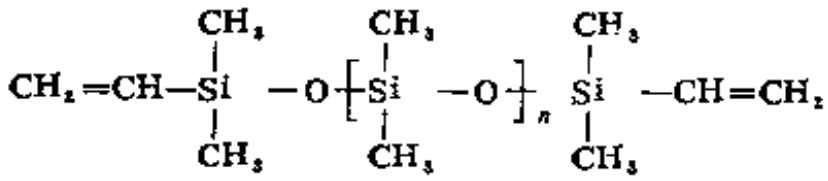


其中R与R′可以是$-CH_3$、$-CH=CH_2$、$-C_6H_5$、$-CH_2CH_2CF_3$等。

羟端基室温硫化硅橡胶根据需要可制成单组分和双组分两种形式使用。

2．加成型

主要原料是分子链端带有乙烯基和丙烯基等不饱和的聚有机硅氧烷，通常是甲基乙烯基聚硅氧烷，化学结构式为：



在催化剂作用下，它能与含有$-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-H$基的聚有机硅氧烷，如甲基含氢聚硅氧烷，通过加成反应而硫化。

为了延长使用期，可在胶料中加入微量阻聚剂，如丙烯腈、苯乙炔或低粘度甲基乙烯基聚硅氧烷，但硫化温度要提高到80℃以上。

加成型与缩合型双组分室温硫化硅橡胶特性比较见表4-13。

表 4-13　缩合型与加成型双组分室温硫化硅橡胶

性　能	缩　合　型	加　成　型	性　能	缩　合　型	加　成　型
可用时间	短	较　长	机械强度	中等→高强度	可达高强度
硫化速度	通过催化剂用量调节，受温度影响小	受温度影响很大，加热可促进交联反应	线收缩率	0.1～0.8%	<0.1%
			粘着性	良　好	不　好
硫化时的副产物	水、醇、氢等	无	自熄性	不　好	良　好
使催化剂中毒物质	无	含氮、硫、磷的物质	对金属氧化物还原性	无	有
电绝缘性	硫化不充分时下降	没有下降			
对金属腐蚀性	有	无	纯胶透明性	透　明	完全透明

二、热硫化硅橡胶海绵

（一）配方设计

热硫化硅橡胶海绵的组合包括：热硫化型硅橡胶、交联剂、补强剂、结构控制剂和发泡剂。它们对海绵制品的性能都有重要影响。

1．硅橡胶

各种热硫化硅橡胶均可制造海绵，并具有不同特性。最常用的是甲基乙烯基硅橡胶，如硅橡胶110-2。

硅橡胶分子量对海绵的性能有较大影响。一般来说，随着分子量增大，海绵的硬度增加，拉伸强度也增大；分子量降低，胶料工艺操作容易控制。分子量较小者，海绵发泡膨胀率较小，反之则较大。一般认为分子量40～50万者属较小，分子量55～65万者属较大。

2．交联剂

热硫化硅橡胶制品的有机过氧化物硫化剂通常采用 6 个品种，如表4-14所示。目前我国使用最为普遍的有以下 4 种。

表 4-14　热硫化硅橡胶常用硫化剂

名　　称	主要分解生成物（熔点，沸点℃）	在硅橡胶中的用途							
		常压热空气硫化	连续硫化	模压	涂复	薄制品	原制品	海绵制品	配合炭黑
过氧化二苯甲酰(BP)	安息香酸(122,250)	—	✓	✓	✓	✓	—	✓	—
2,4-二氯过氧化二苯甲酰(DCBP)	①2,4-二氯安息香酸(164,升华) ②间二氯苯（－24,172） ③CO_2↑	✓	✓	✓[7]	—	✓	✓	✓	—
过氧化苯甲酸叔丁酯(TBPB)	①特丁醇(26,82) ②安息香酸(122,250)	—	✓	✓	—	—	—	✓	—
过氧化二叔丁酯(DTBP)	①特丁醇 ②丙酮(－94,56)	—	—	✓	—	✓	✓	—	✓
过氧化二异丙苯(DCP)	①乙酰苯(20,202) ②α-甲苯乙烯(－,7.55) ③异丙醇	—	—	✓	—	—	✓	—	✓
2,5-二甲基-2,5-二叔丁基过氧化己烷(DBPMH,2.5B)	①特丁醇(26,82) ②2,5-二甲基-2,5-二醇(89,－)	—	—	✓	—	—	✓	✓	✓

（1）2,4-二氯过氧化二苯甲酰　一般用于硅橡胶热空气硫化制品，由于其半衰期温度较低，硫化速度和发泡速度不能取得一致，硫化速度大子发泡速度，发泡率明显减少，膨胀率也大大降低，且气泡不均，整个泡体密度上升，硬度增加。因此极少采用。

（2）过氧化二异丙苯　呈颗粒状，分散较困难，因此，也不宜作为硅橡胶海绵制品的硫化剂。

（3）过氧化二苯甲酰　通常制成母炼胶形式使用（其用量比为硅橡胶:BP＝1:1）。由于该硫化剂的半衰期温度也较低，且发泡剂和发泡助剂的起始温度相符，在盐浴硫化和模压硫化的一段硫化工艺中均适宜，用量为0.53～0.92%。

（4）2,5-二甲基-2,5-二叔丁基过氧化己烷　在BP 硫化剂和发泡剂及发泡助剂完成一段定型发泡硫化之后，PBPMH硫化剂可在蒸汽压力0.55～0.6MPa、温度为76℃左右使发泡剂的放气量达到最大值，同时使泡体进一步硫化定型，使海绵体的密度减少，硬度下降，且拉伸强度和伸长率得到丁提高。用量为0.62～0.66%。

3．补强性填料

未填充的硅橡胶胶料及硫化胶的性能很差。为获得在技术性能上有用的硫化胶，必须使

用填料，尤其是补强性填料。硅橡胶的性能因填料性质、用量的不同而有很大差别。硅橡胶常用填料有二氧化钛、氧化铁、碳酸钙、氧化铝、氧化锌、硅藻土、硅酸锆、硅酸钡和炭黑等，但是使用最多的是二氧化硅一类的补强性填料。

BET比表面积为150～400m²/g的气相白炭黑补强效果最好，加入胶料后胶料门尼粘度较高，存放过程中显著结构化(但可逆)。其硫化胶具有较高的拉伸强度。沉淀法白炭黑的补强效果比气相白炭黑要差一些。当二者用量相同时，含沉淀法白炭黑胶料的门尼粘度较低，硫化胶的拉伸强度也较低，在贮存过程中结构化倾向较小。弱补强性的填料是经过各种特别加工处理的天然产物，代表性的如硅藻土，可大量填加而胶料仍保持良好的工艺操作性能。与高补强性填料相比，当制品的邵尔硬度相等时，弱补强性填料的胶料抗压缩变形较好。这几种填料在甲基乙烯基胶料中的性能对比见表4-15。

表 4-15 甲基乙烯基硅橡胶硫化胶的性能

组分及性能 \ 配方编号	1	2	3	4
甲基乙烯基硅橡胶	100	100	100	100
高活性白炭黑	40	—	—	—
沉淀白炭黑	—	43	—	—
硅藻土	—	—	50	100
过氧化苯甲酰	1.25	1.25	1.25	1.25
经200℃×16h硫化处理后的物理机械性能				
拉伸强度，MPa	6.7～7.5	5.5～6.5	2.5～3.5	4.0～5.0
扯断伸长率，%	250～300	300～350	200～250	150～200
硬度（邵尔A）	60± 5	55± 5	40± 5	60± 5
回弹率，%	35～40	30～35	35～40	30～35
压缩变形(175℃×22h)，%	30～40	20～30	30～45	40～50
密度，g/cm³	～1.17	～1.18	～1.23	～1.40
线收缩率，%	～2.5	～2.6	～1.8	～1.5
经200℃×14d热空气老化后的物理机械性能				
拉伸强度，MPa	5.5～6.5	5.6～6.5	2.5～3.5	4.0～5.0
扯断伸长率，%	200～250	250～300	150～200	100～150
硬度（邵尔A）	65± 5	60± 5	45± 5	65± 5
电性能（1mm板材）				
介电强度，kV/cm	200～220	200～220	220～240	250～230
介电损耗因子(800Hz)	5×10^{-3}	9×10^{-3}	2×10^{-3}	3×10^{-2}
介电常数(800Hz)	～25	4.5	3.0	3.5
电阻率（最小值），Ω·cm	5×10^{15}	4×10^{15}	3×10^{14}	2×10^{14}

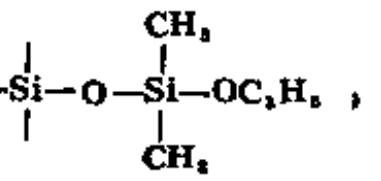
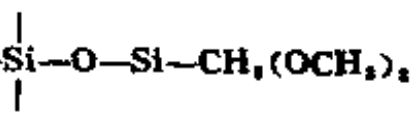
气相白炭黑表面活性对硅橡胶海绵制品性能的影响较大（见图4-9）。随着表面硅烷处理程度的增加，当白炭黑表面活性基团改性百分率达87%左右时，压出和模压硅橡胶海绵制品的软性增加，伸长率也增大，发泡膨胀率增加，相对密度减小，硬度降低；相反，则制品硬度偏高，拉伸强度和伸长率也降低。在通常配方中，压出盐浴硫化硅橡胶海绵制品中白炭黑用量为26.5～31%，高模压硫化硅橡胶海绵制品中白炭黑用量为21.3～26.5%。

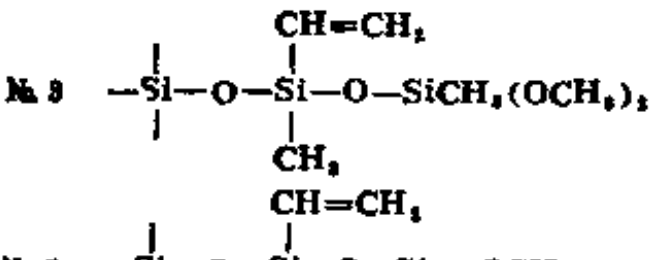
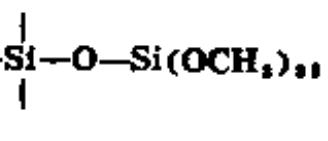
4．结构控制剂

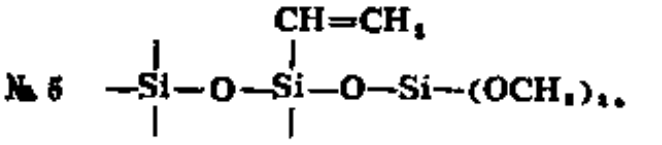
为防止胶料产生结构化现象，尚须加入结构控制剂，常用品种见表4-16。目前最通用的

表 4-16 常用结构控制剂对硅橡胶性能影响

结构控制剂品种		二苯基硅二醇	羟基硅油（羟基含量7.65%）	高羟基硅油（羟基含量21%）	甲基苯基二乙氧基硅烷	烷氧基硅氧烷① No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
110-2($\bar{M}$=61万) 胶料返炼性及硫化胶物理机械性能②										
返炼性③		C	C	A	D	D	D	D	C	D
常温	拉伸强度，MPa	8.0	7.8	8.7	—	—	—	—	8.1	—
	扯断伸长率，%	293	273	335	—	—	—	—	274	—
	硬度（邵尔A）	46	58	56	—	—	—	—	57	—
老化（250℃×72h）	拉伸强度，MPa	6.3	5.8	4.6	—	—	—	—	6.1	—
	扯断伸长率，%	325	333	303	—	—	—	—	340	—
	硬度（邵尔A）	37	65	54	—	—	—	—	53	—
	压缩永久变形，%（200℃×24h）	21.2	29.2	24.5	—	—	—	—	24.3	—
	回弹率，%	58	55	46	—	—	—	—	61	—
110-2（$\bar{M}$=51万）胶料返炼性及硫化胶物理机械性能										
返炼性		B	A	A	A	B	A	B	A	A
常温	拉伸强度，MPa	7.1	5.7	6.9	6.1	5.5	6.2	4.5	6.0	4.7
	扯断伸长率，%	300	320	333	305	238	292	225	260	245
	硬度（邵尔A）	54	57	56	57	64	58	67	64	64
老化（250℃×72h）	拉伸强度，MPa	4.9	3.3	3.9	3.9	4.4	4.3	4.2	4.5	4.2
	扯断伸长率，%	358	336	337	370	180	300	360	355	347
	硬度（邵尔A）	53	59	58	57	59	49	51	52	54
	压缩永久变形，%（200℃×24h）	19.7	21.7	20.4	22.4	20.9	—	18.1	23.0	17.4
	回弹率，%	39	37	37	37	40	38	42	40	40

① 烷氧基硅氧烷，No.1  ，No.2 

No.3  ，No.4 

No.5 

② 试验基本配方为：110-2硅橡胶($\bar{M}$=61万或$\bar{M}$=51万)100；气相白炭黑2*50；三氧化二铁5；硫化剂双 2,5 0.5；结构控制剂（品种见表）4。

③ 返炼性：A—可正常返炼；B—稍有结构化；C—结构化；D—严重结构化。

有两种：①二苯基硅二醇，其用量为2～4份；②羟基硅油，〔OH〕≥8%，其用量为2～6份。

5．发泡剂及发泡助剂

发泡剂及发泡助剂是生产海绵橡胶的重要配合组分。在热硫化型硅橡胶海绵中都使用热分解型有机发泡剂，按其化学结构可分为4大类：亚硝基类、偶氮类、酰肼或肼类，以及其它类。常用有机发泡剂的名称、结构及主要物理常数见本章第一节 表4-2。几种常用有机发泡剂用差动分析仪测定的DSC曲线见图4-10。

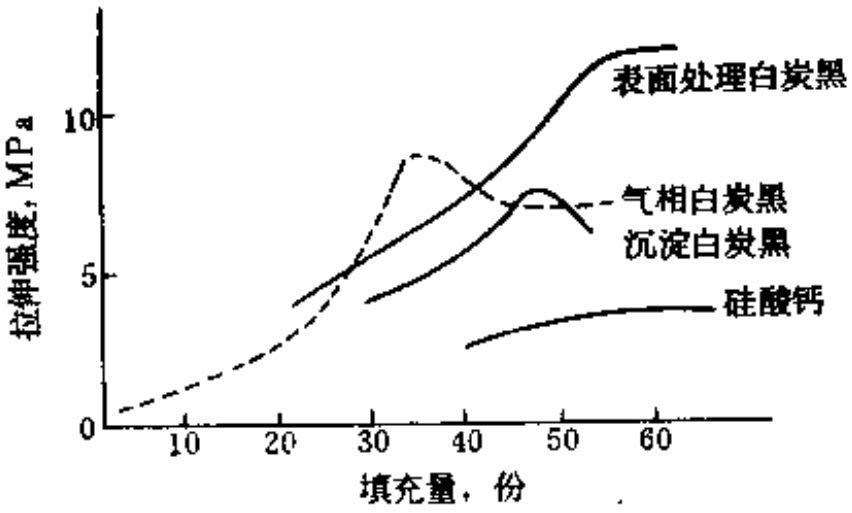


图 4-9　白炭黑表面硅烷处理对硅橡胶拉伸强度的影响

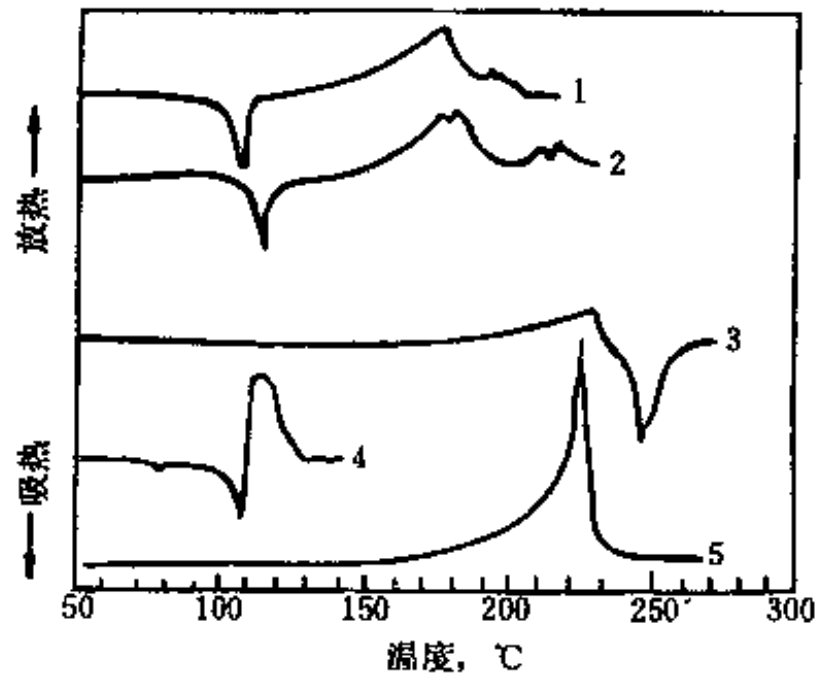


图 4-10　化学发泡剂的DSC曲线

1—发泡剂BSH；2—发泡剂TSH；3—发泡剂AC；
4—发泡剂N；5—发泡剂H

由图4-10可看出所试验的 5 种有机发泡剂的熔化吸收峰、开始分解温度、分解速度、分解放热峰等发泡剂的分解性能。

按化学反应动力学的理论，温度会影响反应速度。温度高，反应速度快；温度低，则反应速度慢。图 4-10 中 5 种常用发泡剂在不同温度下分解的气体量与时间的关系分别见 图 4-11～图4-15。

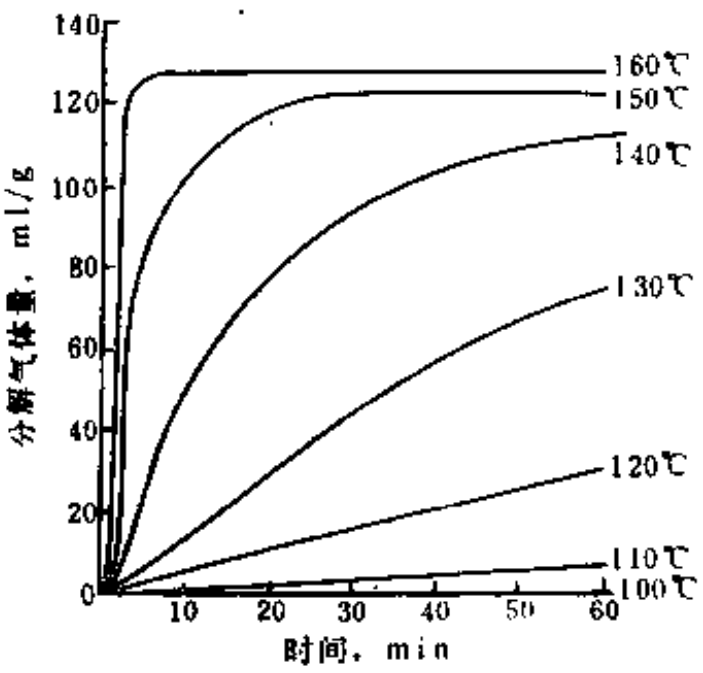


图 4-11　发泡剂BSH的分解气体量曲线

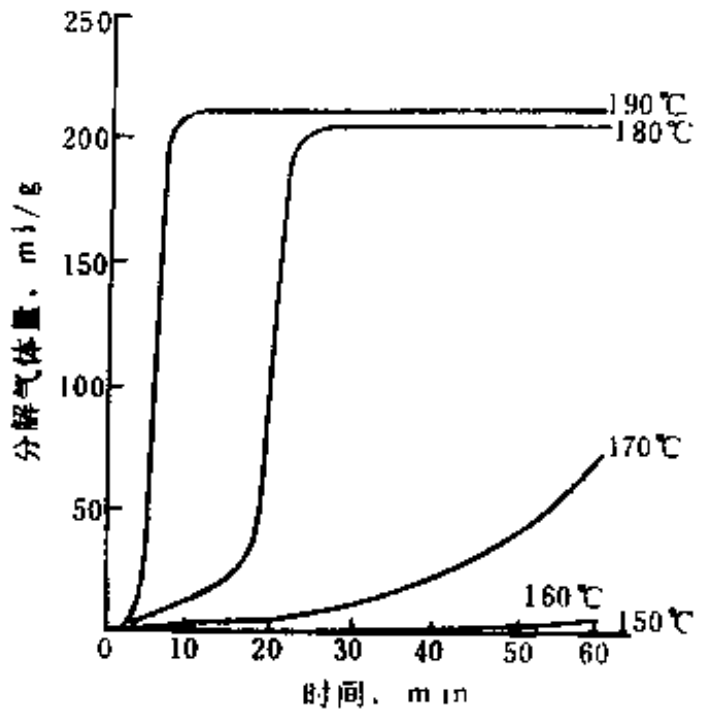


图 4-12　发泡剂AC的分解气体量曲线

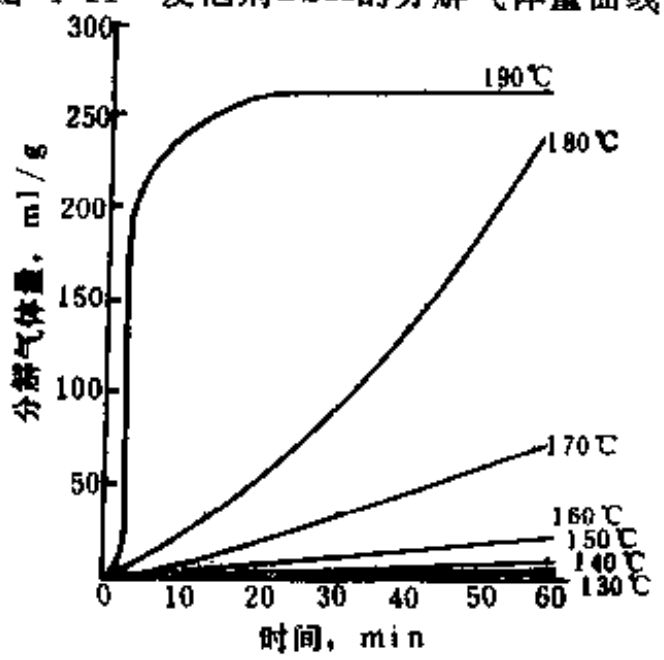


图 4-13　发泡剂H的分解气体量曲线

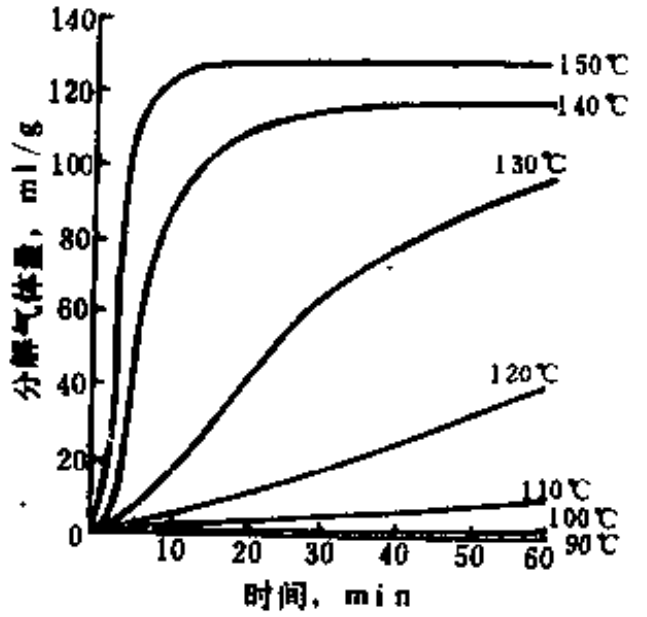


图 4-14　发泡剂TSH的分解气体量曲线

在橡胶海绵生产配方中常加入发泡助剂，以调节发泡剂的分解温度和分解速度，帮助发泡剂分解或提高发气量，改进发泡工艺，稳定泡沫结构和发泡体质量。目前工业上常用的发泡助剂有以下 6 类：

① 尿素衍生物和氨基化合物， 如尿素、二乙基胍、乙醇胺等；

② 有机酸，如硬脂酸、月桂酸、 水杨酸和苯甲酸等；

③ 有机酸或无机酸盐类， 如硬脂酸锌、硫酸铝钾（明矾）等；

④ 碱土金属氧化物，如氧化锌、 氧化铝等；

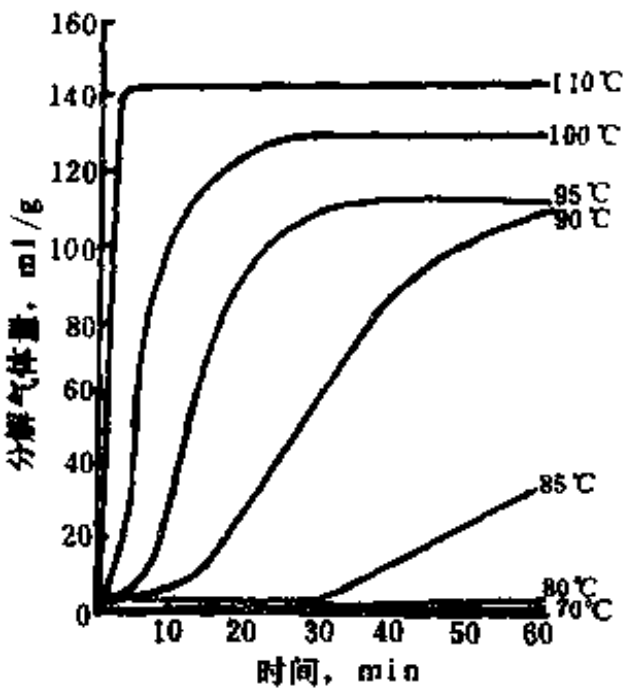


图 4-15 发泡剂N的分解气体量曲线

⑤ 多元醇，如丙三醇（甘油）等；

⑥ 有机硅，如聚硅氧烷-聚烷氧基醚共聚物（发泡灵）等。

在硅橡胶海绵配方中常用尿素作为发泡助剂。有机发泡剂H及发泡剂 AC 分解温度都较高，在通常硫化温度下不能充分分解发泡，因此须加入发泡助剂调节其分解温度，它们与尿素等量混合物的分解气体量曲线分别见图4-16及图4-17。

由图4-13与图4-16比较可见，由于加入尿素，使发泡剂H的分解速度大为提高。这很可能是由于发泡剂H 和尿素的分解产物相互活化的结果。同样将图4-12与图4-17比较，尿素的加入也加速了发泡剂AC的分解，使10min大量分解气体的温度从190℃下降到150℃，因而能符合橡胶硫化工艺的要求。

总观 5 种发泡剂和 6 类发泡助剂以及它们之间的协同效应，按硅海绵制品的操作工艺需要，采用发泡剂H 和发泡助剂尿素是最适宜的。通常在制造硅海绵制品的过程中，将发泡剂H和尿素以及硫化剂BP以母胶形式提供，混炼成的母胶料一般以停放 24h 以上为宜。压出盐浴硫化硅海绵，其母胶料占整个胶料的 5.9%，发泡剂和助发泡剂占整个胶料的 2.02%。模压硫化硅海绵制品，其母胶料和发泡剂、助发泡分别占整个胶料的3.84%和1.39%。然而，在硫化剂和其它配合剂定量的条件下，通常该海绵胶料的发泡膨胀率为1.5～2倍。这与硅橡胶海绵混炼胶胶料的门尼粘度存在着一定的反比关系，即硅海绵胶料门尼粘度越大，则发泡膨胀率越小，其密度就较大。必须恰如其分地掌握好每种胶料发泡膨胀率的倍数，才能正确无误地达到预期确定的海绵体外形尺寸。

6．配方举例

110-2硅橡胶100份；沈化2*$SiO_2$25～30份；沉淀$SiO_2$20～15 份，二苯基硅二醇 4 份；氧化锌 3 份；发泡剂H 1.8～3份；发泡助剂尿素0.3份；BP1.5 份；DBPMH 1 份。其中发泡剂H、发泡助剂尿素及硫化剂BP 分别按与生胶 1∶1 的配合比预先混炼成母胶，停放 24 h 以上即可，其中配制母胶的生胶用量4.8份可从总用量100份中除去。

7．配合要点

（1）交联速度与发泡速度的匹配 在微孔橡胶配方设计中，首先要平衡交联速度与发泡速度。初期交联速度应稍快于发泡速度，然后同时进行交联与发泡，此时孔壁已具有足够的强度，能防止因气体膨胀而冲破孔壁。若交联速度过快，则起发率太小；若发泡速度过快，

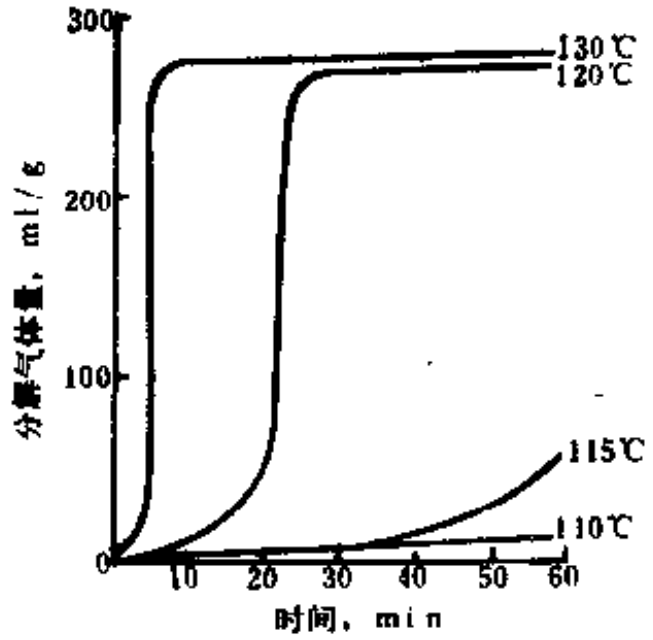


图 4-16 发泡剂H、尿素混合物的分解气体量曲线

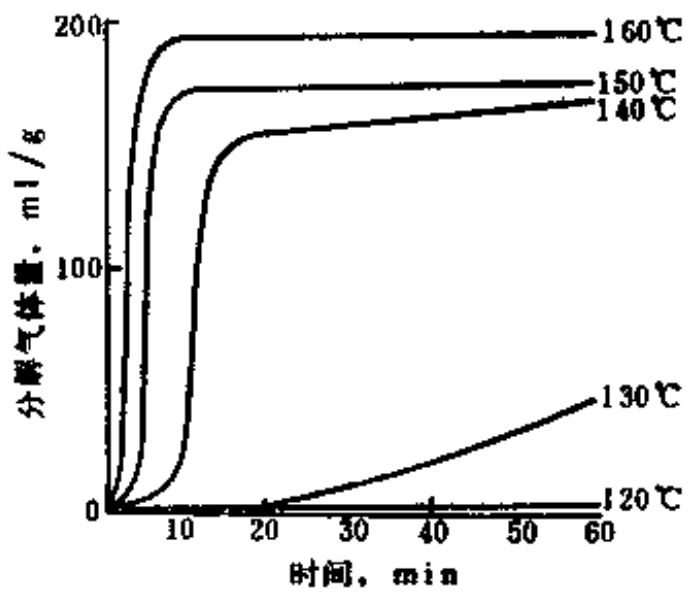


图 4-17 发泡剂AC、尿素混合物的分解气体量曲线

则起发率过大，致使微孔的孔径太大，孔壁薄而不牢固，甚至会冲破，造成微孔容易塌陷，表面起麻点，弹性不良，以致起皮脱层。实践表明，孔径小而均匀细密、孔壁厚度适中时，其海绵制品的机械强度、弹性及耐磨性较好。

（2）交联剂和发泡剂分解温度的匹配　交联温度应处于交联剂与发泡剂的温度相匹配的温度范围内。当胶料部分交联结构形成后，发泡剂才开始分解，以便与发泡剂分解出的气体压力保持平衡。这个温度范围可以发泡剂分解温度的下限为其上限，以交联剂分解温度的上限或略高一点为其下限。例如在DCP和AC体系中，DCP的分解温度为140～170℃，AC的分解温度为160～200℃，因此其最佳匹配温度为160～170℃，交联温度定为170℃是适宜的。

（3）主要性能的配合　通常硅橡胶海绵制品的3项物理性能特别重要：①要求有显著的硬度或柔软性；②要求有显著的低密度（表观密度）或高密度；③要求有较好的拉伸强度、伸长率和撕裂强度。因此，生产硬度和密度偏高的硅海绵制品时，一般不必对气相白炭黑和沉淀白炭黑进行硅烷表面钝化改性处理。若需要硅海绵制品的硬度和密度偏低或更低时，则需对补强填料，尤其是高比表面积的气相白炭黑进行硅烷表面钝化改性处理。其处理百分比例越大，则白炭黑表面的硅烷接枝率越高，疏水性越突出。此时，硅海绵制品的柔软性和低密度性即突出。其次，发泡剂和发泡助剂的用量也可直接影响到硅海绵制品的软硬度和泡体密度性，其关系通常呈正比例的线性几何上升，但有一定的限度。同时，硫化剂的用量对硅海绵制品的软硬度和密度也呈正比关系，但若用量超过其上限，则会致使整个海绵制品变脆及其它物性指标低劣。

（二）制造工艺

1．胶料制备

（1）将发泡剂H、发泡助剂尿素及硫化剂BP与等量的甲基乙烯基硅橡胶生胶在开炼机中混炼，然后缩小辊距，薄通3次下料，停放24 h后待用。

（2）胶料混炼步骤如下：

a．称量生胶放入开炼机中，应有适量堆积胶；

b．称量过的白炭黑慢慢倒入堆积胶上，同时逐次加入二苯基硅二醇，最好能同时加完；

c．均匀加入氧化锌；

d．均匀滴加完硫化剂，将胶料滚炼均匀。

2．硅海绵硫化工艺

（1）压出盐浴硫化硅海绵制品　在工艺操作和硫化过程中，压出机的加料速度须与压出速度相一致。压出口型的尺寸应根据胶料的硬度来选择和确定，从而确定一定的发泡膨胀率。盐浴硫化用盐浴配方为：硝酸钾53%；硝酸钾 7 %；亚硝酸钠40%。一段硫化温度控制在160～170℃，时间为 2～3min。当然，还应根据实际产品大小而定。二段硫化工艺应为：

室温$\xrightarrow[\text{升温}]{1\text{h}}$>100℃$\xrightarrow[\text{升温}]{1\text{h}}$>160℃，再恒温2 h 即可。硬性胶料（即门尼粘度较大者）其压出膨胀率较大，用盐浴硫化时，则发泡膨胀率较小。相反，软性胶料（即门尼粘度较小者）其压出口型膨胀率较小，用盐浴硫化时，则发泡膨胀率较大。

（2）平板模压硫化硅海绵制品　在硫化过程中，视海绵胶料发泡膨胀系数正确称量。将胶料均匀地安放在第一副模具的模腔四周，进行硫化。其一段定型硫化温度和时间为120℃×2～3min，出模，待海绵胶料平整后放入第二副模具的模腔进行第二段定型硫化，其温度和时间为160℃×10min。最后烘箱硫化：定温→100℃×1h，100～160℃×1h，160℃×2 h。一般情况下第二模腔的外形尺寸比第一模型的外形尺寸放大20～40%。在此条件下，海绵发泡膨胀率仅≤1,5 倍。硅海绵制品也可采用一步法到位的方法制造，但须设计特性胶料配方，硫化温度直接采用160℃，时间延至20min 左右。

三、室温硫化硅橡胶海绵

（一）配方设计

室温硫化硅橡胶海绵的配方组分主要包括室温硫化硅橡胶、补强剂、交联剂、结构控制剂、发泡剂、均泡剂和溶剂等。

1．室温硫化硅橡胶

室温硫化硅橡胶海绵通常采用端羟基聚二甲基硅氧烷（如硅橡胶107*）来制造。其分子量对海绵制品的硬度、回弹性和脆性度等均有明显影响，如表4-17所示。

由表4-17可见，随着生胶分子量的增大，硅橡胶海绵的硬度（阿斯卡硬度）降低，回弹性变小，但幅度并不大，常温下海绵制品的脆性也变小，柔软性增大。

2．补强剂和结构控制剂

补强剂能大幅度提高室温硫化硅橡胶（如107号生胶）的性能，常用品种为硅烷偶联剂处理的气相白炭黑，如 2 号SiO_2、4号SiO_2。

实际上气相白炭黑的表面处理是不完全的，为了防止产生结构化，仍需加入适当结构控制剂，如二甲基二乙氧基硅烷等。在低分子量生胶中，疏水性气相白炭黑为10～40份时，结构控制剂用量一般为 1 ～ 4 份。在高分子量生胶中，疏水性气相白炭黑为10～40份时，结构控制剂用量一般为2～8份。

在制备室温硫化硅橡胶海绵时，一般将所需生胶与补强剂和结构控制剂制成母胶使用，

表 4-17 室温硫化硅橡胶分子量对其海绵性橡的影响

性能 / 生胶分子量	硬度（ASKER硬度计）	回弹性，①m	脆性度（压缩50～80%）
3～4万	80～60	≥0.7	严重（爆裂响声甚大）
5～7万	50～25	0.65～0.55	尚可（爆裂响声较小）
8～10万	15～5	0.52～0.48	无（爆裂响声无，柔软性极好）

① 试样规格为10×20×20mm方块或直径15mm球体，试验条件为1m高自由落体回弹高度。

因此习惯上该母胶又称基础胶。

室温硫化硅橡胶加入补强剂后的性能如表4-18所示。

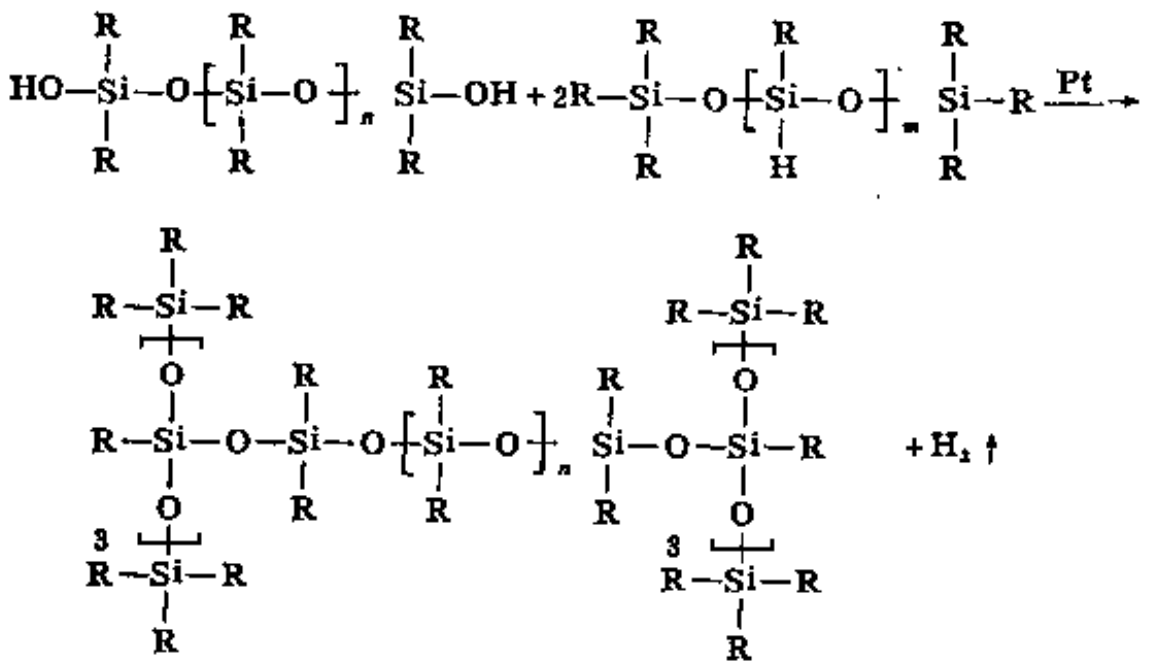
表 4-18 补强剂对室温硫化硅橡胶性能的影响(25℃×72h)

生胶分子量	补强剂（30份）	性能					
		拉伸强度 MPa	伸长率，%	永久变形，%	硬度（邵尔A）	撕裂强度 kN/m	贮存期，月
3～4万	2号SiO_2	3.0～4.0	200～250	0	73～64	10.2～12.5	>12
	4号SiO_2	3.6～4.9	280～350	0～3	75～66	13.6～17.8	≥3
5～7万	2号SiO_2	4.5～6.2	390～550	0～1	49～36	14～19.8	>12
	4号SiO_2	5.0～6.5	450～620	1～5	52～39	21.6～31.4	≥1
8～10万	2号SiO_2	5.5～7.8	420～570	0～2	41～34	16.2～23.4	≥12
	4号SiO_2	7.0～9.0	650～820	3～8	46～38	34.7～39.2	≥0.5

3．交联体系

室温硫化硅橡胶海绵的交联体系包括交联剂、助交联剂、交联迟缓剂和催化剂。

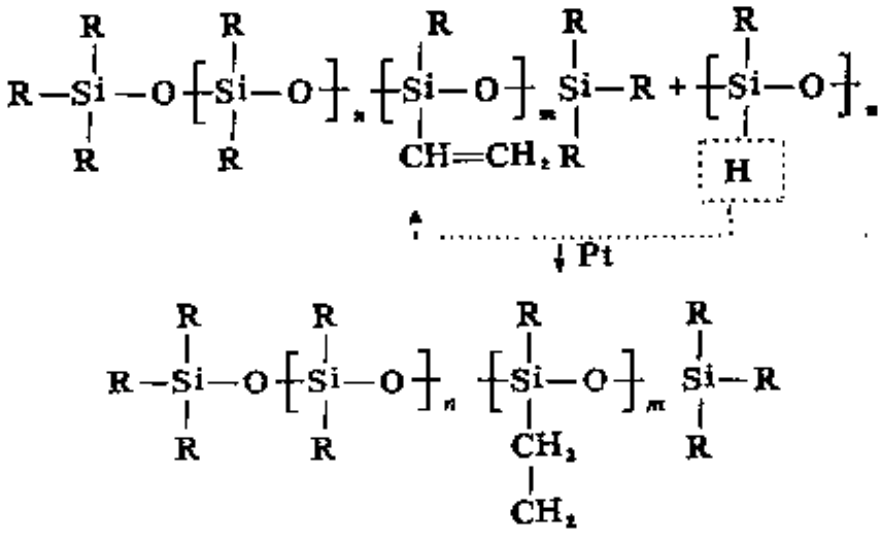
（1）交联剂 室温硫化硅橡胶海绵用交联剂主要有甲基含氢硅油等，在氯铂酸或有机锡催化下，通过缩合反应使硅橡胶形成交联：



(4-5)

式（4-5）中，R为甲基，n和m分别为107号硅橡胶和含氢硅油的聚合度。

（2）助交联剂 室温硫化硅橡胶海绵用助交联剂（又称C胶）作用主要是进一步加强胶料交联程度，产生集中交联。所用品种是高乙烯硅油，其交联反应如下：



(4-6)

助交联剂的应用十分重要，它能显著提高海绵制品的强度，特别是撕裂强度和伸长率，如图4-18和图4-19所示。助交联剂用量通常为3～5重量份。

（3）交联迟缓剂　上述海绵交联体系的交联速度一般较快，不能适应某些大型制品和复杂构形制品的工艺需要。为此，必须使用交联迟缓剂，以控制交联速度。常用交联迟缓剂是

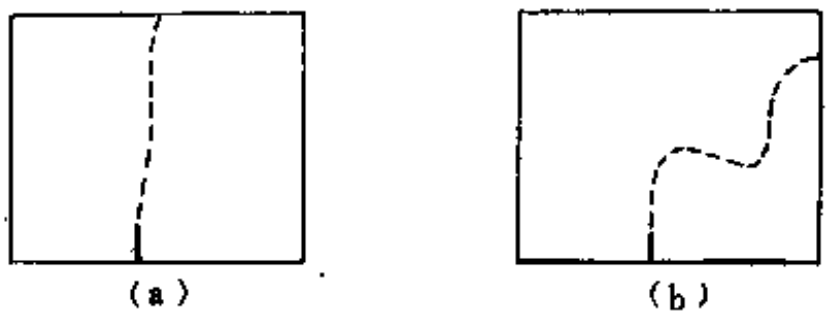


图 4-18　助交联剂（C胶）对硅橡胶海绵撕裂性能的影响（试样边长为20mm）

(a) 无助交联剂；(b) 加助交联剂 4 份；实线—剪开裂缝（2mm）；虚线—撕裂裂缝

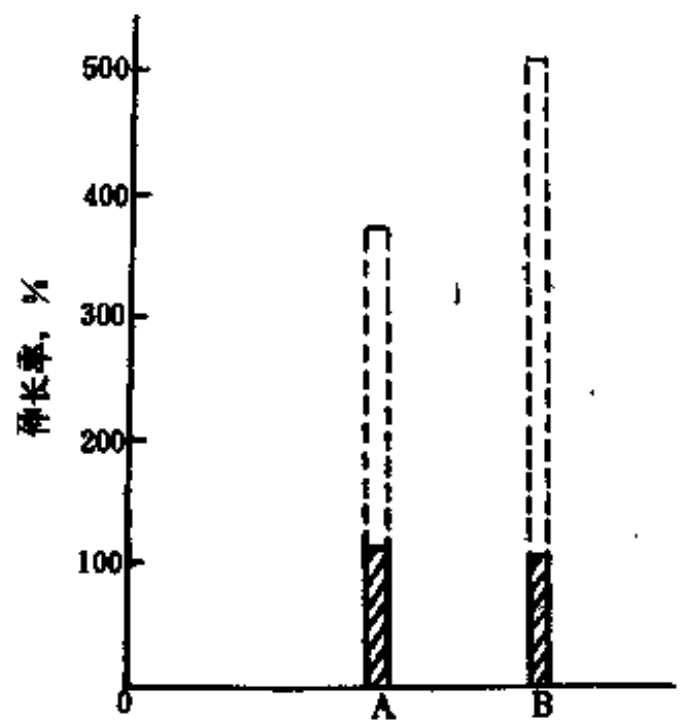


图 4-19　助交联剂（C胶）对硅橡胶海绵伸长率的影响（试样规格为φ10×150mm）

A—无助交联剂；B—加助交联剂 4 份；实线—初始长度；虚线—伸长后长度

硅烷类低聚物，如甲基硅油低聚物等，用量通常为2.1～4.5%。交联迟缓剂对海绵胶料交联速度的影响，如表4-19所示。

由表4-19可见，迟缓剂还能降低海绵制品的硬度，增加海绵的柔软性，这是十分宝贵的性能。

（4）催化剂　室温硫化硅橡胶的交联必须在催化剂存在下才能进行。主要采用铂络合物和有机锡(如顺丁烯二酸单辛酯二正辛基锡、二月桂酸二丁基锡和辛酸亚锡等)。铂络合物用量一般为0.55～0.5 份，其 催化活性较大，但也容易失去活性，因此必须密封存放，并防止各种金属和其它带有酸碱性的有害物质使之中毒。有机锡一般为0.6～1份，它也存在失去活性问题，但相对不容易失活。应用时比较容易控制。

4．发泡体系

发泡体系在室温硫化硅橡胶海绵胶料配合中占有重要地位，对海绵制品的性能影响很大，其配合组分包括发泡剂、均泡剂和助泡剂。

（1）发泡剂　室温硫化硅橡胶海绵胶料一般不另外配合发泡剂，而利用交联剂在硫化过程中产生的氢气（见 式 4-5）发泡。因此所用发泡剂即为甲基含氢硅油。用量一般为 8 ～

10份。

发泡剂的含氢值对海绵性能影响较大。含氢值过低（<0.8%）时，海绵泡孔的细密性和均匀性都较差；含氢值过高（>1.4%）时，放气量增大，海绵泡孔的细密度和均匀度也变差，容易使泡孔胀穿，操作时间明显缩短，来不及操作，海绵体硬度增加，柔软性降低。适用的含氢值为1～1.2%。

（2）均泡剂　均泡剂的作用是改善海绵的致密度和均匀度，所用品种主要有氢羟基硅油等，用量一般为4～8份。

均泡剂对海绵泡孔密度的影响如表4-20所示。

表 4-19　交联迟缓剂对硅橡胶海绵胶料交联速度的影响

细分 \ 性能	允许操作时间(30℃)，min	硬度（阿斯卡）
未加交联迟缓剂	3～5	20～35
硅烷迟缓剂(3.6%)	10～20	5～10

表 4-20　均泡剂对硅橡胶海绵泡孔细密度的影响

均泡剂用量，份	0	4	8
泡孔相对细密度，孔/cm²	100	150	220～230

（3）助泡剂　助泡剂属辅助发泡剂，能缓慢释放氢气、氮气和二氧化碳等，具有均匀助泡功能，同时能进一步改善海绵的柔软性，也可代替一部分均泡剂使用。所用品种主要有无机金属盐类，如次碳酸铋和氧化钡等。用量一般为10～25份。

5．溶剂

溶剂的主要作用是调节海绵浇注胶料的粘度。便于操作也具有迟缓交联作用。主要采用与硅橡胶相溶性较好、挥发较快、毒性较低的有机溶剂，如石油醚、汽油和甲苯等。用量根据工艺要求而定。

6．配方举例

配方1：基础胶MSE-S-10 100份；甲基含氧硅油8～10份；氢羟基硅油4～6份；乙烯基铂络合物0.35～0.5份。

配方2：基础胶HRS-E-20 100份；甲基含氢硅油8～12份；高乙烯基硅油0.5～1.0份；硅烷低聚物5～10份；氢羟基硅油（或无机金属盐）6～10（5～10）份；乙烯基铂络合物（或有机锡）0.35～0.5（0.8～1.5）份；有机溶剂10～20份。

室温硫化硅橡胶海绵制品的各项物性要求主要取决于室温硫化硅橡胶的基础胶性能优劣。它与室温硫化硅海绵胶料的特殊区别是：室温硫化硅橡胶海绵的基础母胶中，补强填料气相白炭黑必须预先进行十分完全的表面改性硅烷化处理，否则该类基础胶的结构化现象尤为严重，这对硅橡胶海绵制品的各项物性指标是非常不利的。其次，若需生产柔软性和伸长率性能特别优越的产品，必须考虑掺入适宜的低分子硅烷类，同时又可充分地解决室温硫化发泡硅橡胶海绵的允许操作时间。有机溶剂的参与也不能忽视，其整体海绵制品的收缩率视产品大小而异，一般可考虑高度为0.5～1%，直径为0.2～0.8%。

经过发泡硫化后的硅橡胶海绵在－60～150℃下可长期使用，经150℃×72h热老化或－60～70℃10次冷热交变作用后硅橡胶海绵仍保持原来的性能。

硅橡胶海绵的拉伸强度>0.25MPa，3天以后拉伸强度>0.46MPa。

电性能指标：表面电阻$>2\times10^{12}\Omega$，体积电阻系数$>2.1\times10^{12}\Omega\cdot cm$；介电损耗角正切

值为1.3～2.3×10^{-3}；击穿电压5kV/mm；介电系数1.3～2.0。

（二）制造工艺

1．胶料制备

胶料制备包括基础胶制备和混炼胶制备两个步骤。举例如下。

（1）混炼胶1　基础胶MSE-S-10制造混炼胶时，其母胶组成为：107号生胶100份；2号SiO_2（MMN处理过）10份；二苯基硅二醇5份。

采用开炼机，将预先称量的生胶倒入已缩小辊距的两辊之间，使辊筒上方存有部分堆积胶，然后慢慢加入2*气相白炭黑，同时均匀加入二苯基硅二醇，待均匀混炼后，再夹紧辊距，上刀薄通3～5次，下料放入干净料盘中，进烘箱150～160℃×1h，再上炼胶机薄通3～5次下料待用。

将上述待用硅橡胶海绵母胶基料MSE-S-10正确称量，再依次称量加入甲基含氢硅油、氢羟基硅油，待搅拌均匀后再滴加入正确称量的乙烯基铂络合物，然后再搅拌均匀，即可进行模具或现场实物浇注成型硅橡胶海绵制品。

混炼胶的工艺特性如表4-21所示。

（2）混炼胶2　用基础胶HRS-E-20制造混炼胶时，其母胶组成为：107号生胶100份；2号$SiO_2$20份；二甲基二乙氧基硅烷4份。

采用开炼机将预先称量的生胶倒入已夹紧辊距的两辊之间，使辊筒上方存有部分堆积胶，然后慢慢加入2号气相白炭黑，同时均匀加入二甲基二乙氧基硅烷，待均匀混炼后，再夹紧辊距，上刀薄通3～5次，下料放入干燥料盘中，进烘箱140～150℃×1h，再上炼胶机薄通3～5次下料待用。

将上述待用硅橡胶海绵母胶基料HRS-E-20正确称量，放上炼胶车，再称量无机金属酸盐均匀加入基料中，待混炼均匀后，薄通3～5次，下料，放入干净料盘中，然后再依次将称量的甲基含氢硅油氢羟基硅油，高乙烯基硅油、低聚物硅烷类、有机溶剂均匀地加入基料的料盘中，待搅拌均匀后再滴加正确称量的乙烯基铂络合物或有机锡化合物，待再次搅拌均匀后即可进行模具或现场实物浇注成型硅橡胶海绵制品。

混炼胶性能如表4-22所示。

表 4-21　硅橡胶海绵胶料的工艺性能

工艺性能 \ 环境温度，℃	20～30	5～15
允许操作时间，min	1～2	3～5
完成发泡交联时间，min	6	10

表 4-22　硅橡胶海绵混炼胶工艺性能

工艺性能 \ 环境温度，℃	28～30	5～15
允许操作时间，min	5～10	15～20
完成发泡交联时间，min	15～70	30

2．发泡硫化工艺

室温硫化硅橡胶海绵的硫化发泡可参考上述条件进行。在低于5℃的环境温度下，为了缩短制作周期，可以适当提高模具或现场实物的温度，使之达到30℃或更高。

主要参考文献

〔1〕 陆迎庚，胶鞋工业，（3），1～6（1984）。
〔2〕 工藤功，日本ゴム协会誌，52（10），614～620（1979）。

〔3〕 方禹声　朱吕民等编，《聚氨酯泡沫塑料》，化学工业出版社，1984年。
〔4〕 聚氨酯工业，1987年第1、2期。
〔5〕 日本公开特许　JP57，128，725。
〔6〕 Boonstra，B.B.Cochraine，H；and Dannenberg，E.M.Rubber Chemistry and Tcchndogy，148（4），558（1975）。
〔7〕 林广梁等，化学发泡剂分解性质的研究，中国化工学会橡胶助剂和配方讨论会，长沙，1985年。
〔8〕 村上进二，高分子加工，22（1），21～28（1973）。
〔9〕 铁岭橡胶工业研究所，橡胶工业，（4），240（1988）。
〔10〕 李星兰，有机硅材料及应用，（4），1～5（1988）。
〔11〕 陈叔信，天津橡胶，（3），24（1988年）。

第五章　胶板与卷材

胶板及卷材的用途很广，可分为未硫化的型材及经硫化后定型的型材两大类。

未硫化的胶板及卷材如化学衬里板材、补胎胶等，它们是一些具有典型特性的胶料经压延、压出成型，用隔离材料衬垫成卷的板材或卷材，可供给没有炼胶设备的工矿企业使用。

硫化胶板及卷材从结构上可分为纯胶胶板，它可以由单一种胶料制成，也可是各层使用不同胶料组成的。另一种是带有夹布层的胶板，它是用压延机将胶料贴合在织物材料上经硫化而制成的。夹布胶板与纯胶胶板比较，伸长率减小而强度增大。

在工业上使用的胶板与卷材有各种特性要求，并且要兼备有其它一般性能，因而极为繁杂，品种较多。国家标准GB 5574—85“工业用硫化橡胶板”中仅规定了普通胶板、耐酸碱橡胶板、耐油橡胶板及耐热橡胶板等四类共17种橡胶牌号的胶料。

第一节　非硫化胶板

一、化学设备衬里用未硫化橡胶板材

一般化工设备的金属部件受外部介质的化学作用或电化学作用而腐蚀，所带来损失不只是被腐蚀损坏的金属设备费用，还应包括修理费，更换损坏设备的费用，以及由于被迫停工和有时发生事故所引起的损失。防腐蚀的方法是多样的，使用被覆耐化学腐蚀的非金属材料，就是延长与腐蚀介质接触的设备使用期限的有效方法之一，其中橡胶材料占有重要的地位。用橡胶材料制成的衬里，不仅能很好地防止腐蚀性介质的作用，而且还可以很好地耐磨料的磨蚀及空蚀作用和反复的变形、振动以及温度的波动。化工设备衬里橡胶胶料要求具备下列性能：良好的耐腐蚀性和一定的耐磨耗性，与金属粘着性强，在腐蚀介质与温度作用下膨胀收缩变形小。

化工设备的衬里工作一般是在专业橡胶厂进行，但是化工厂有些容器过分庞大搬运不便，有些已定位使用的设备到期需要修复，如果拆装运输则要较大的费用和时间，因此往往在化工厂中设有橡胶衬里车间或维修工段可及时自行进行衬胶施工，所使用的胶料多采购商品未硫化衬胶用胶板。

目前在防腐蚀方面可使用的合成橡胶胶料品种很多，它们多针对使用要求作专门的配方工艺设计，这方面多在橡胶衬里专业工厂施工（可参阅本分册第九章），而对通用的化工设备衬胶胶料则按GB 5575—85“化工设备衬里用来硫化橡胶板的标准”由橡胶工厂作为生产质量的依据。GB 5575—85中规定的未硫化胶板的规格尺寸有三种厚度：1.5±0.25mm、2.0±0.3mm、3.0±0.5mm，胶板宽度应大于500mm，胶板长度大于5000mm，其它规格则由供需双方另订协议，标准中规定的胶料物理机械性能见表5-1，各种性能的测定方法按国家有关标准或化学工业部部颁标准测定。衬里用未硫化橡胶胶板配方见表5-2。

二、补　胎　胶

各种补胎胶的规格尺寸及物理机械性能见表5-3和表5-4。

表 5-1 化工设备衬里未硫化橡胶胶板胶料物理机械性能要求

项目及性能 \ 胶种		硬胶	软胶	胶浆
未硫化胶可塑性		0.5±0.1	0.5±0.1	—
抗折断，MPa	≥	65	—	—
冲击强度，kJ/m²	≥	20	—	—
马丁耐热，℃	≥	55	—	—
拉伸强度，MPa	≥	—	9.0	—
扯断伸长率，%	≥	—	500	—
扯断永久变形，%	≤	—	50	—
硬度（邵尔A）		98～100	50～60	—
耐酸碱系数（室温×240h）≥	60%硫酸	0.9	—	—
	50%硫酸	—	0.85	—
	30%盐酸	0.9	0.9	—
	40%氢氧化钠	0.9	0.8	—
硬质胶与金属结合力，MPa		—	—	6.0

表 5-2 通用化工设备衬里用未硫化橡胶胶板配方例

硬质胶		软质胶		胶浆	
组成	重量份	组成	重量份	组成	重量份
天然橡胶	100	天然橡胶	100	天然橡胶	100
氧化镁	2	氧化锌	5	硫黄	39
松焦油或古马隆树脂	1	炭黑	15	氧化铅	5
硬质胶粉	60	滑石粉	40	三氧化二铁	20
炭黑	5	硫黄	4	硫酸钡	100
滑石粉	10	氧化镁	3	松香	0.5
硫黄	43	促进剂D(或DOTG)	1		
促进剂D（或DOTG）	1	矿质橡胶	4		
		石蜡	2.5		
		硬脂酸	1		
		防老剂D	2.5		
共计	222	共计	178	共计	264.5

各种补胎胶每批出厂数量不超过3000kg，规定各在1000kg以上成品中抽取样品测定物理机械性能，可塑度则由制造厂每批抽验，出厂产品物理机械性能均应符合表5-4规定。

各种补胎胶每卷有 5、10、25kg包装，采用塑料纸或布衬垫隔离。补胎胶应贮存于20℃以下的阴凉通风处，勿靠近热源，防止日光直射，最长有效期自制造日期起为 6 个月。

补胎胶的配方设计与生产新胎所用配方的基本原则相同，即不但应能满足轮胎各部位的技术性能要求，考虑原材料的来源和经济效果等，作为商品胶料还得考虑胶料制成后有较长的贮存运输时间，到使用时能保持性能稳定及防止胶料中某些配合剂的迁移喷出。此外还要求：①胶料的硫化诱导期的粘流性好，具有良好的渗透扩散能力，使翻修轮胎各部件间有效粘合面积增大从而有助于附着力的提高；②由于修补处厚度增大，硫化时存在传热滞后现象，为减少原胎体受重硫化损害，要求内层胶料具有较快的硫化速度；③翻修轮胎胎料应具有较好的硫化平坦性以适应众多的硫化条件的工艺要求；④应能满足新旧胶层及新胶与胎体

表 5-3 各种补胎胶规格尺寸及用途

胶料代号	总宽度，mm		正面中央宽度，mm		厚 度，mm		用 途
	规 格	公 差	规 格	公 差	规 格	公 差	
101	235	±2	171	±2	12.7	±1.5	胎面修补或翻新
	216	±2	152	±2	12.7	±1.5	
	210	±2	146	±2	11.1	±1.5	
	184	±2	121	±2	9.5	±1.0	
	159	±2	102	±2	8.7	±1.0	
	203	±2	190	±2	12.7	±1.5	
	190	±2	178	±2	12.7	±1.5	
	165	±2	152	±2	12.7	±1.5	
201	406	±20	—	—	3.2	±0.5	帘布及胶层胶
301	406	±20	—	—	0.8	±0.2	缓冲层修理
	406	±20	—	—	1.6	±0.2	
401	406	±20	—	—	1.6	±0.2	胎面局部修理
	406	±20	—	—	2.4	±0.5	
	406	±20	—	—	3.2	±0.5	
402	406	±20	—	—	0.8	±0.15	力车胎
	406	±20	—	—	1.6	±0.2	
501	406	±20	—	—	1.6	±0.2	内胎修理
601	406	±20	—	—	1.6	±0.2	修理胎体破损专用

表 5-4 各种补胎胶的物理机械性能要求

胶料代号	拉伸强度 MPa ≥	扯断伸长率 % ≥	硬 度 (邵尔A)	磨耗量 $cm^3/1.61km$ ≤	可 塑 度
101	16.7	400	65±5	0.8	0.36～0.45
201	17.4	500	40±5	—	0.5～0.60
301	13.7	450	45±5	—	0.5～0.60
401	11.8	400	60±5	2.5	0.38～0.45
402	7.8	350	55±5	4.0	0.45～0.55
501	12.7	450	40～55	—	0.45～0.55
601	12.7	400	40～55	—	0.50～0.60

原帘布层间的粘合质量要求。

（一）胎面胶

胎面胶常使用天然橡胶与丁苯橡胶、顺丁橡胶并用，或者这三种通用橡胶的并用，也有全部使用丁苯橡胶者。顺丁橡胶与天然橡胶的并用量一般不超过50%，以免轮胎的抗湿滑性能下降。对于局部修理及马车胎等的胎面胶亦常用天然橡胶与优质胎面再生橡胶并用。

炭黑是胎面胶的优良补强剂，炭黑粒径多选用20～40μm范围，根据所用胶种使用不同的品种和用量，例如，对天然橡胶胎面可单用槽法炭黑或以槽法炭黑与高耐磨炉黑并用，常用的并用比为15:35、20:30、25:25，炭黑总用量在45～50重量份之间；天然橡胶与丁苯橡胶并用时常以炉法炭黑如高耐磨炉黑、中超耐磨炉黑为主并用少量槽法炭黑，炭黑总用量在50重量份左右；天然橡胶与顺丁橡胶并用时可采用高耐磨炉黑、中超耐磨炉黑单用或并用，当顺丁橡胶含量较大时则需增加中超耐磨炉黑份数以提高硫化胶的抗撕裂性能，炭黑总用量

为50～55重量份。

胎面胶使用硫黄、噻唑类及次磺酰胺类促进剂组成硫化体系，近年来多采用低硫高促进剂用量的配合，对于全天然橡胶与再生胶并用时硫黄用量为2.2～2.5份；天然橡胶与丁苯橡胶并用时硫黄用量为1.5～2.2份；天然橡胶与顺丁橡胶并用时硫黄用量略低，一般为1.2～1.8份。促进剂用量则随配方中所用胶种、炭黑及促进剂品种不同，单用或并用，用量在0.7～2.0份。硫化活性剂为氧化锌3～5份，硬脂酸为2份左右。

胎面胶防老化体系，常用1份石蜡与萘胺类及对苯二胺类防老剂并用，作为商品补胎胶要注意这些配合剂的喷出。例如萘胺类防老剂甲在橡胶中的溶解度可高达5份而防老剂丁用量超过2份时则会喷霜，对苯二胺类防老剂中的IPPD在橡胶中的溶解度比CPPD大，较DPPD则更佳。在补胎胎面胶中常常数种防老剂并用，这不但能发挥各种防老剂的特性，而且能减少用量和防止喷出。防老剂的总用量在1.5～2.5份之间。

胎面胶操作助剂全天然橡胶中采用松焦油、古马隆树脂及石油系软化剂，在并用合成橡胶的胶料中由于它与石油系有良好的相溶性，因此可填加多量的石油系操作油，对降低炼胶过程中生热，加速配合剂的分散都是有利的。例如在含顺丁橡胶的胶料中石油系软化剂总用量为8～10份。

胎面补胎胶的配方例见表5-5的101。

（二）胎体修补胶

胎体修补胶料要求低定伸应力，导热性能良好，补强填充剂多采用氧化锌与半补强炉黑及轻质碳酸钙。胎体修补胶配方见表5-5。

（三）缓冲胶

缓冲胶用于胎面胶与胎体顶部磨糙面之间的过渡层，提高胎面与胎体间的附着力，承受轮胎行驶时产生的剪切应力，起缓冲与分散应力的作用，防止因应力集中而导致帘布层早期损坏，要求缓冲胶定伸应力较高，具有良好的弹性、耐疲劳抗剪切性能良好，生热低耐热和具有良好的粘接性能。

缓冲胶一般都使用天然橡胶配方，硫化体系中硫黄用量为2.5份左右，促进剂采用噻唑类促进剂与少量秋兰姆类并用，例如，促进剂M 0.4，DM 0.6与TMTD 0.06；或促进剂DM 1.2，促进剂TMTD 0.1，促进剂M 0.8，促进剂TMTD 0.05并用等。补强剂以槽法炭黑、高耐磨炉黑与半补强炉黑、通用炉黑并用，总用量为35～40份。防老剂、硫化活性剂与胎面胶相仿，软化剂大多使用松焦油。缓冲胶配方例见表5-5的301。

（四）胶浆胶料

补胎胶浆一般不考虑与纤维的直接粘接，但它能使帘布胶层及帘布胶层与橡胶层能够硫化粘接，以及在修补工艺过程中具有良好的初粘性，为提高新胶与旧胎帘布间的粘接力，要求增加胶浆的渗透扩散能力。

补胎胶浆胶料使用天然橡胶，有时也并用5份丁苯橡胶来增进附着力，使用槽法炭黑补强的胶料制成胶浆后一般都能满足橡胶与旧胎体帘线层或帘线层之间的粘着性能。

用帘布胶层胶配制胶浆后用涂刷或喷涂方法涂敷于修补轮胎的锉磨表面，待胶浆中的溶济挥发后即可进行粘接施工。

补胎胶浆胶料配方举例见表5-5的201。

（五）内胎修补胶

内胎装在外胎内充入压缩空气呈伸长状态下使用，在轮胎行驶过程中积聚的热量不易逸

表 5-5 补胎胶配方例

胶料代号 / 原料名称	101						401		402	201			301			501	601		
	1	2	2	4	5	6	1	2		1	2	3	1	2	3		1	2	3
天然橡胶	100	70	50	30	70	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
丁苯橡胶	—	30	50	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
顺丁橡胶	—	—	—	—	30	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
胎面再生胶	—	—	—	—	—	—	30	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
硫　黄	2.5	2.2	2.1	2	1.7	1.2	2.6	2.7	2.5	2.65	2.7	2.65	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.5
氧化锌	5	5	5	5	5	5	5	3	5	10	10	15	5	6	5	5	20	15	15
硬脂酸	4.5	3.5	3	3	3	3	3	3	1.5	2	1.5	1.5	3	2	2	2	2	2	2
促进剂M	—	—	—	—	—	—	0.75	—	0.5	0.6	0.4	0.6	0.8	0.4	—	0.5	0.6	0.6	0.4
促进剂DM	0.75	—	—	—	—	—	—	—	0.5	0.4	0.8	0.6	—	0.6	1.2	0.7	0.4	0.4	0.8
促进剂CZ	—	0.7	0.85	1.0	0.9	0.9	—	0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
促进剂TMTD	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.8	0.8	0.1	0.05	0.05	0.05	—	0.06	0.06	0.06
防老剂	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.5	1.5	2	2	2	2	1.5	2	2	2
石　蜡	1	1	1	1	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—
槽法炭黑	15	20	20	30	—	—	15	40	—	—	20	25	20	—	—	—	—	—	—
高耐磨炉黑	35	30	30	20	50	—	30	—	20	—	—	—	—	20	20	2	—	—	—
中超耐磨炉黑	—	—	—	—	—	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
半补强炉黑	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	10	—	15	15	—	—	—	15	20
通用炉黑	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—	—
碳酸钙	—	—	—	—	—	—	—	—	80	—	—	—	—	—	—	40	15	5	—
松焦油	4.5	5.5	—	—	—	—	4.5	4	6	3	3.5	3	4	4	4	—	2	3	3
操作油	—	—	7	8	6	7.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
松　香	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.5	1.5	2	—	—	—	—	1.5	1.5	1

散，因而对内胎胶料要求有优良的气密性及较低的定伸应力和在积聚的温度下能保持较佳的撕裂强度，保持高弹性及永久变形小等性能。

丁基橡胶是最理想的制造内胎的材料，但在国内尚不普及，目前仍然以天然橡胶为主要原料制造内胎，也有以天然橡胶与丁苯橡胶并用的内胎。

第二节　工业用硫化橡胶板

工业用硫化橡胶板为胶板类制品中产量较大，品种很多的，适用于工矿机械、交通运输设备中作橡胶垫、密封垫片、缓冲垫板等用途。

几乎所有的橡胶都能用来制作工业用硫化胶板，根据各种橡胶的特性，经配方设计可制成不同水平的具有各种性能的胶板，各种橡胶的特性概括见表5-6。

国家标准GB 5574—85“工业用硫化橡胶胶板标准”，仅对胶板中用量最大的品种作了规定，按橡胶板的性能和用途分为普通胶板、耐酸碱橡胶板、耐油橡胶板及耐热橡胶板四种类型。每种类型中根据胶料的物理机械性能各有若干个牌号。

胶板代号用四位数字表示，代号的千位数代表胶板类别（1为普通橡胶板，2为耐酸碱橡胶板，3为耐油橡胶板，4为耐热橡胶片），百位数代表橡胶板的硬度最高值（6为邵尔A60，7为邵尔A70，8，为邵尔A80），十位及个位数字表明胶料的拉伸强度。从胶板代号即可很容易地了解橡胶板的大致物理机械性能。各种代号工业用橡胶胶板的物理机械性能及适用范围见表5-7。

GB 5574“工业用硫化橡胶板”的规格尺寸公差见表5-8，但对橡胶板的长度未作具体规定。

表 5-6 各种橡胶的特性

	天然橡胶	丁苯橡胶	顺丁橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	乙丙橡胶	氯磺化聚乙烯	丙烯酸酯橡胶	聚氨酯橡胶	硅橡胶	氟橡胶
纯 胶												
密 度	0.92	0.93～0.94	0.91～0.94	1.15～1.25	1.00～1.20	0.91～0.93	0.86～0.87	1.11～1.18	1.09～1.10	1.00～1.30	0.95～0.98	1.80～1.82
门尼粘度(ML_{1+4},100℃)	90～150	30～60	35～55	45～120	30～100	45～75	30～150	30～55	45～60	25～26或液体	膏状	65～180
硫化橡胶												
硬度（邵尔A）	20～100	30～100	30～100	10～90	20～100	20～90	30～90	50～90	40～90	50～100	30～90	50～90
拉伸强度，MPa	3～30	5～20	2～20	5～25	5～25	5～15	5～20	7～20	7～12	20～45	4～10	7～20
扯断伸长率，%	1000～100	800～100	800～100	1000～100	800～100	800～100	800～100	800～100	800～100	800～300	500～50	500～100
回弹性	Ex	G	Ex	Ex	G	F	G	G	F	Ex	Ex	F
抗撕裂性	Ex	F	G	G	G	G	F	G	F	Ex	P-F	G
耐磨耗性	Ex	Ex	Ex	G-Ex	Ex	G	G	Ex	G	Ex	P-F	Ex
耐屈挠龟裂性	Ex	G	F	G	G	Ex	G	G	G	Ex	P-G	G
耐热性能												
最高使用温度，℃	120	120	120	130	130	150	150	150	180	80	280	300
常用温度界限，℃	100	100	—	120	120	150		100	170	—	200	200
121℃拉伸强度，MPa	12.7	8.4	8.4	10	4.9	7.0	14	3.5	9.1	12	6	2～5
扯断伸长率，%	500	250	250	350	120	250	400	60	400	300	350	100～350
204℃拉伸强度，MPa	0.9	1.2	1.2	1.3	0.9	2.5	2.8	1.4	1.6	1.4	2.8	2.0
扯断伸长率，%	80	60	60	～100	20	80	～120	20	150	140	200	50～160
长期受热(100℃)	G	G	F	G	G	Ex	Ex	Ex	Ex	F-G	Ex	Ex
低温性能												
变硬温度，℃	-29～-46	-18～-46	-34～-51	-12～-29	-28	-23～-40	-29～-46	-34～-46	～-12	-23～-34	-51～-100	-7～-34
脆性温度，℃	-50～-70	-35～-60	-72	-35～-55	-10～-30	-30～-55	-40～-60	-20～-60	～-30	-30～-60	-70～-120	-10～-50
耐冲击性	Ex	Ex	G	G	F	G	G	F-G	P	Ex	P-F	P-F
耐老化性	G	G	G	Ex	G	Ex	Ex	Ex	Ex	G	Ex	Ex
耐臭氧性	P	P	P	Ex	P	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex
耐燃性	P	P	P	G	P-F	P	P	G	P-F	P-F	P-G	Ex
耐溶剂性												
汽油轻油	P	P	P	G	Ex	P	P	G	Ex	Ex	P-F	Ex
苯、甲苯	P	P	P	P	P-F	F	P	P-F	P	P-F	P-F	Ex
三氯乙烯	P	P	P	P	P	P	P	P-F	P	F-G	F-F	P
醇	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex	P	F	Ex	Ex
醚	P	P	P	P-F	P-F	F-G	G	P	P	P	P-F	P-F
酮(MEK)	F-G	F-G	F-G	F-G	P	Ex	Ex	F-G	P	P	G	P
乙酸乙酯	P-F	P-F	P-F	P	P-F	Ex	Ex	P	P	F-G	F	P
水	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex	F	F	G	Ex
有机酸	P	P	P	P-F	P-F	F-G	P	F	P	P	G	P
无机酸（高浓度）	P	P	P	G	F	Ex	G	Ex	F	P	F	Ex
（低浓度）	G	G	G	Ex	G	Ex	Ex	Ex	G	F	G	Ex
碱（高浓度）	G	G	G	Ex	G	Ex	Ex	Ex	F	P	Ex	P
（低浓度）	G	G	G	Ex	G	Ex	Ex	Ex	G	P	Ex	F

注：Ex—优，G—良，F—尚可，P—不佳。

表 5-7 橡胶板的物理机械性能及适用范围

橡胶板类型	胶板代号	拉伸强度 MPa ≥	扯断伸长率% ≥	扯断永久变形 %	硬度（邵尔A）	老化系数① ≥	耐变压油，重量变化② ≤	汽油:苯(75:25)，重量变化③ ≤	耐酸系数④ ≥	耐碱系数 ≥	适用范围
普通橡胶板	1704	4	280	35	60～70	0.65					在压力不大，温度－30～＋60℃的空气中工作
	1804	4	280	35	70～80	0.65					
	1608	8	350	35	50～60	0.75					
	1708	8	350	35	60～70	0.75					有较好耐磨性，在较高压力下温度为－35～＋60℃的空气中工作
	1613	13	400	30	50～60	0.80					
	1615	15	500	30	40～60	0.80					
耐橡酸胶碱板	2707	7	300	36	60～70	0.70			0.8	0.8	具有耐酸碱性能，在温度为－30～＋60℃的20%酸碱液体中工作
	2807	7	300	35	70～80	0.70			0.8	0.8	
	2709	9	350	35	55～70	0.75			0.8	0.8	
耐油橡胶板	3707	7	250	25	60～70	0.75	＋8	＋20			在温度－30～＋60℃的机油、变压器油、汽油等介质中工作
	3807	7	250	25	70～80	0.75	＋8	＋20			
	3709	9	250	25	60～70	0.75	＋20	＋35			在温度为－30～＋60℃的机油、润滑油，汽油等介质中工作
	3809	9	250	25	70～80	0.75	＋20	＋35			
耐热橡胶板	4708	8	300	35	60～70	0.60	100℃×48h				在温度为－30～＋100℃，压力不大的条件下，在热空气、蒸汽中工作
	4808	8	300	35	70～80	0.60	100℃×48h				
	4710	10	350	35	55～70	0.60	100℃×48h				
	4604	4	230	20	40～60	经250℃×72h老化后物理机械性能指标					具有优良的耐热老化，耐臭氧性能可在－60～＋250℃的热空气中工作
		3	150	30							

① 70℃×72h按抗张积计。
② 70℃×24h。
③ 23±2℃×24h。
④ 20%氢氧化钠或氢氧化钾，23±2℃×24h。

表 5-8 橡胶胶板的规格尺寸

厚度，mm 公称尺寸	厚度，mm 公差	宽度，mm 公称尺寸	宽度，mm 公差	厚度，mm 公称尺寸	厚度，mm 公差	宽度，mm 公称尺寸	宽度，mm 公差
0.5	±0.15	500～2000	±20	8.0	±0.80	500～2000	±20
1.0	±0.2	500～2000	±20	10.0	±0.80	500～2000	±20
1.5	＋0.30 －0.20	500～2000	±20	12.0	±0.80	500～2000	±20
2.0	＋0.40 －0.30	500～2000	±20	14.0	±0.85	500～2000	±10
				16.0	±1.00	500～2000	±10
2.5	＋0.50 －0.40	500～2000	±20	18.0	±1.00	500～2000	±10
				20.0	±1.25	500～2000	±10
3.0	＋0.60 －0.40	500～2000	±20	22.0	±1.25	500～2000	±10
				25.0	±1.25	500～2000	±10
4.0	±0.45	500～2000	±20	30.0	±1.5	500～2000	±10
5.0	±0.45	500～2000	±20	40.0	±1.5	500～2000	±10
6.0	±0.50	500～2000	±20	50.0	±1.5	500～2000	±10

一、普通胶板

普通胶板所用配方的含胶率一般比较低，约为30%左右，普通胶板配方设计要求为：①硫化胶板的物理机械性能需符合技术性能指标要求；②能保证操作工艺如混炼，压延出片，

硫化等过程顺利进行；③原料易得，合理使用原材料；考虑经济成本。普通胶板配方见表5-9。

表 5-9 普通胶板配方

组分 \ 种类	普通胶板 1	普通胶板 2	普通夹布胶板	卷筒硫化普通胶板 1	卷筒硫化普通胶板 2
天然橡胶	—	40	20	50	100
丁苯橡胶	100	40	80	50	—
胎面再生橡胶	—	40	—	—	—
硫黄	1.8	2.5	2	2	2
氧化锌	4	5	4	4	6
硬脂酸	2	2	2	2	2
促进剂M	—	1.5	0.1	0.5	0.7
促进剂DM	2	—	1.5	1.2	1.0
促进剂D	1	1	1.5	0.7	0.3
防老剂	1.5	1	1.5	1.5	1
炭黑	50	30	30	30	—
氧化铁红	—	—	—	—	2
古马隆树脂	10	—	8	5	—
操作油	10	6	10	8	4
沥青	4	—	4	3	4
重晶石粉	110.7	193	88	50	50
碳酸钙	35	60	78.4	123.1	154
碳酸镁	—	—	—	—	4
石　蜡	1	1	2	2	2
共　计	333	333	333	333	333

二、耐酸碱胶板

橡胶的耐酸碱性取决于橡胶固有的性质，因而在耐酸碱配方设计中选用橡胶品种至关重要。一般氧化性药品（浓硫酸，硝酸，铬酸等）和容易与橡胶起加成作用的药品（盐酸，湿氯气等）都很容易侵蚀橡胶。不同浓度、温度下各种橡胶对酸碱的抗耐程度也不相同。例如：①硫酸：在常温下即使达到60%的浓度，除硅橡胶和聚硫橡胶之外，几乎一些常用的橡胶都能使用；当温度70℃，浓度70%时除了天然硬质橡胶、丁基橡胶、氯磺化聚乙烯、乙丙橡胶和氟橡胶之外，其它橡胶不能使用；98%以上的浓硫酸或80%浓度高温下氧化作用非常强烈，除氟橡胶外都不能使用。②硝酸：即使是稀溶液氧化作用也很强，当其浓度为10%时只能使用氟橡胶及树脂硫化的丁基橡胶，当使用温度升高至70℃只有氟橡胶能够使用，如果温度再高，即使是氟橡胶也会发生老化而不能使用。铬酸对橡胶的情况相仿。③盐酸：高浓度高温下盐酸对橡胶有不良影响，但是有时天然橡胶也用来作为耐盐酸的材料，这是因为盐酸能使其表面形成盐酸橡胶硬膜，这层硬膜却具有优良的耐盐酸性，但它没有弹性，因此在需要有弹性变形的用途中就不能使用；湿的氯气也有类似情况。④氢氧化钠：大多数通用橡胶和碱不起反应，所以都可使用；氟橡胶在高温高浓度碱中会被侵蚀，硅橡胶也不耐碱。橡胶在不同浓度的各种酸碱中，室温与70℃温度下抗耐性比较见表5-10。

在耐酸碱配方设计中也应注意填充剂的选择，应使用化学惰性的填充剂和补强剂如炭黑、陶土、硫酸钡等。碳酸盐（如碳酸钙、碳酸镁等）耐酸性很差应避免使用；二氧化硅类

表 5-10 一些橡胶耐酸碱性能比较

	天然橡胶		硬质天然橡胶		丁苯橡胶		氯丁橡胶		丁腈橡胶		丁基橡胶		乙丙橡胶		氯磺化聚乙烯		氟橡胶	
	室温	70℃	室温	70℃	室温	70℃	室温	70℃	室温	70℃	室温	70℃	室温	70℃	室温	70℃	室温	70℃
盐酸（5%）	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	—	—	○	○	○	○
（10%）	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○
（20%）	○	○	○	○	○	—	○	○	○	△	○	○	○	—	○	○	○	○
（36%）	○	○	○	○	○	—	○	○	△	×	○	○	—	—	○	○	○	△
硫酸（10%）	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
（50%）	○	○	○	○	○	—	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○
（70%）	○	△	○	○	△	—	○	△	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○
（98%）	×	×	×	×	×	—	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
硝酸（5%）	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	○	△	○	—	○	△	○	○
（10%）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×	×	○	△
（50%）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×
氢氟酸（20%）	×	×	○	—	×	×	○	—	×	×	○	△	—	—	△	—	○	○
（40%）	×	×	○	—	×	×	○	—	×	×	○	—	—	—	△	—	○	○
铬酸（10%）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	○	×	○	○
（25%）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×	×	○	○
磷酸（50%）	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	—	—	○	○	○	○
（100%）	○	○	○	○	○	—	○	○	○	△	○	○	—	—	○	○	○	○
乙酸（50%）	×	×	○	○	×	×	△	×	△	×	○	×	—	—	×	×	○	—
冰醋酸	×	×	○	△	×	×	×	×	×	×	○	×	—	—	×	×	△	—
湿氯气	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	—	—
氢氧化钠（50%）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
次氯酸钠（13%）	×	×	△	—	×	×	×	×	×	×	○	△	—	—	○	△	○	○
无机盐类	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

填充补强剂、苯酚树脂、滑石粉等在碱中易被侵蚀。在碱中能被皂化的天然树脂及植物油类配合剂亦不使用为宜。

耐酸碱胶板配方举例

例 1

天然橡胶	100	硫黄	2.5	氧化锌	3
硬脂酸	1	促进剂M	0.9	促进剂TMTD	0.1
防老剂	2	炭黑	10	重晶石粉	210
凡士林	3	石蜡	1.5	共计	334

例 2

氯丁橡胶	100	氧化锌	5	氧化镁	4
硬脂酸	0.5	防老剂A	1.5	防老剂D	1
炭黑	25	硫酸钡	60	陶土	25
变压器油	8	共计	230		

例 3

三元乙丙橡胶	100	硫黄	1.5	氧化锌	5
促进剂M	0.5	促进剂TMTD	1.5	炭黑MT	60
操作油	20	共计	188.5		

例 4

氯磺化聚乙烯	100	氧化铅	25	炭黑SRF	40
促进剂M	0.5	促进剂TcTron A	2	共计	167

例 5

氟橡胶26	100	氧化镁	15	炭黑MT	20
Diak No 3	3	共计	138		

三、耐 油 胶 板

与油类长期接触使用的橡胶板由于油的逐渐渗透扩散会使它膨胀或溶胀，使硫化胶网状结构遭受破坏，键接合断裂，橡胶和配合剂被抽出，致使橡胶物理机械性能下降，失去使用价值。橡胶耐油性的强弱主要取决于橡胶与油之间的相溶性，一般带有极性基团的橡胶对非极性的油类具有较好的稳定性。

耐油橡胶配方设计首先要选用合适的生胶品种。橡胶的耐油性主要依赖于聚合物与油的相互作用系数，橡胶胶种的选择为耐油性配方设计的最基本技术。作为耐油橡胶使用的胶种有氯丁橡胶、丁腈橡胶、丙烯酸酯橡胶、聚氨酯橡胶、氯醚橡胶、氟橡胶、氟硅橡胶和聚硫橡胶。

氟橡胶、氟硅橡胶对碳氢化合物、氯化碳氢化合物、芳香族的溶剂都表现出良好的抗耐性，但对酮、酯之类的极性溶剂的抗耐性不佳。由于其价格昂贵，只用于有耐高温(200℃)要求的特殊胶板。

丙烯酸酯及聚氨酯也能耐碳氢化合物等非极性溶剂，在极性溶剂中膨润，但是在含水分的热油中不能使用。

氯醚橡胶的耐油性介于丙烯酸酯橡胶和高丙烯腈含量的丁腈橡胶之间，并具有良好的耐氯化碳氢化合物和芳香族化合物溶剂的特性。

聚硫橡胶既能耐非极性溶剂，同时在极性溶剂中也具有很好的抗耐性，所以常常被用于耐混合溶剂的场合，然而它的物理机械性能不高，因此也只在特殊胶板等制品中使用。

丁腈橡胶对油类有良好的抗耐性，并随着所含丙烯腈含量的增加而提高。胶料各种物性可调节的范围广。

氯丁橡胶的耐油性能稍逊于丁腈橡胶，但它是自补性的橡胶，纯胶配合即具有良好的物理机械性能，因而各种物理机械性能平衡调节范围也较大。

在我国大量生产的耐油胶板最常用的胶种为丁腈橡胶和氯丁橡胶，氟橡胶等作为特种用途的耐油胶板生产。

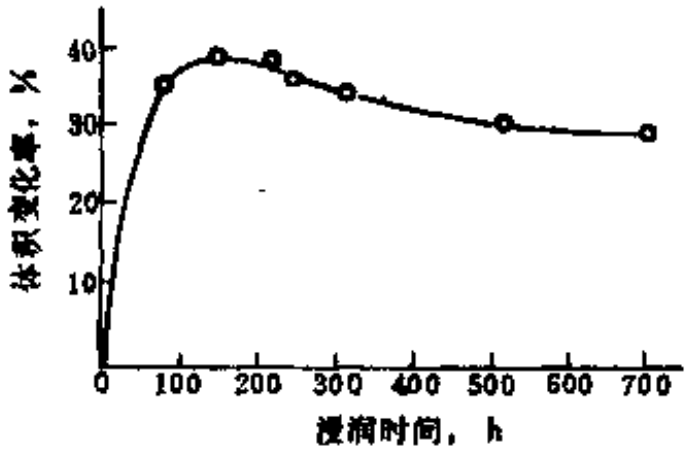


图 5-1 含增塑剂丁腈橡胶浸油后时间-体积变化曲线

耐油胶板配方为丁兼顾各项物理机械性能和工艺性能的需要，常使用软化剂，这类配合剂对耐油性能有些影响，会使硫化橡胶较快的膨润，硫化胶浸油膨胀当其达到最大值后因被抽出，暂时达到膨润平衡，最后趋向体积收缩及重量减少。图5-1是含增塑剂的丁腈橡 胶 在浸油中的典型曲线，因而在耐油配方中尽可能选用不被油抽出的软化剂，或使用低分子聚合物、油膏等。

适当增加填充补强剂的用量也有助于胶料的耐油性能的提高，实质是降低了配方中的橡

胶容积。

此外，提高交联密度，在硫化时尽量达到正硫化点；增加防老剂的用量或使用高效的防老剂，使橡胶具有较好的耐老化性等措施对提高硫化胶的耐油性能也有裨益。

耐油胶板配方举例

例 1

丁腈橡胶26	100	硫黄	2.5	氧化锌	5
促进剂DM	1.5	硬脂酸	1.5	防老剂D	1.5
炉法炭黑	25	喷雾炭黑	25	碳酸钙	35
白油膏	20	古马隆树脂	10	邻苯二甲酸二丁酯	10
共计	237				

例 2

丁腈橡胶40	70	液体丁腈橡胶40	30	硫黄	0.2
DCP	2	硬脂酸	0.5	防老剂MB	1
防老剂RD	1	邻苯二甲酸二辛酯	5	喷雾炭黑	130
共计	239.7				

四、耐热胶板

橡胶材料在高温环境中机械强度显著下降，橡胶这种对温度的敏感性称为橡胶的耐温性，而橡胶在长时间热老化作用下能保持原来物理机械性能的能力则被称为橡胶的耐热性。硫化橡胶在高温、长期作用下会引起交联键断裂或主链氧化裂解致使性能下降，橡胶老化是由日光、氧、臭氧、应力及介质等因素综合作用的结果，加热通常会加速老化进程。

硫化胶的耐热性与所用的橡胶种类有密切的关系。通用橡胶大多含有双键以便于硫化而获得良好的物性，但也带来容易受热氧老化的缺点，饱和度较高的橡胶如丁基橡胶及双键在侧链上的三元乙丙橡胶，以及分子侧链上含有卤族元素的氟橡胶、氯丁橡胶、氯化丁基橡胶等都有较好的耐热性能，此外主链链段中带有无机元素的橡胶如硅橡胶等则有更好的耐热性能。在各种温度等级中可较长期使用的工业化生产的一些橡胶品种见表5-11。

表 5-11 各种橡胶的耐温等级

耐热等级	橡胶名称
70℃	天然橡胶，丁苯橡胶，顺丁橡胶
100℃	丁腈橡胶，氯丁橡胶
130℃	丁基橡胶，三元乙丙橡胶，氯磺化聚乙烯，氯醚橡胶
175℃	丙烯酸酯橡胶
200～250℃	硅橡胶，氟橡胶

经过专门的配合，各种橡胶的耐热性能会有些提高，但一般不会超越等级线，因此耐热橡胶配方的设计，首先是根据所需耐热性能要求来选用适合的橡胶品种。

橡胶硫化体系对耐热性能有影响，这主要是与硫化胶中的交联键的耐热稳定性有关。许多橡胶使用秋兰姆等硫载体或有效硫化体系硫化的耐热性能比使用硫黄硫化的要好些；丁腈橡胶、三元乙丙橡胶等采用有机过氧化物交联，丁基橡胶使用树脂硫化等，它们的耐热性也都较硫黄硫化的优良。

橡胶制品在热的作用下促进了氧老化的进程，因而耐热橡胶配方中选用对热氧具有良好防护作用的防老剂并且需要增大其使用剂量，以提高耐热效果，为了防止它们从橡胶中喷出或发挥各种防老剂的特长，常常二种或多种防老剂并用。

一般硫化胶中的软化剂与热氧老化关系较小，但低分子量的品种因受热会从橡胶中迁移挥发而使橡胶收缩，硬度增加，伸长率下降，弹性降低，因此在强调高温要求时应选用分子量大、沸点高的品种，或者使用反应性的软化剂。

此外在耐热配方设计时，将热硬化型和热软化型的橡胶并用，相互增益以保持原来的物理机械性能也不失为一种有效的方法。典型的例子为三元乙丙橡胶与丁基橡胶的并用。

耐热胶板配方举例

例 1

天然橡胶	100	氧化锌	20	硬脂酸	1.5
促进剂TMTM	0.5	促进剂TMTD	3	防老剂A	1.5
防老剂D	1	立德粉	20	碳酸钙	20.5
陶土	30	凡士林	1	石蜡	1
共计	200				

例 2

氯丁橡胶	100	氧化锌	15	防老剂A	1.5
促进剂NA22	0.5	陶土	62	喷雾炭黑	60
操作油	10	石蜡	1	共计	250

例 3

甲基乙烯基硅橡胶	100	白炭黑	50	二苯基硅二醇	4
三氧化二铁	5	DBPMH	0.5	共计	195.5

五、工业用硫化胶板制造

（一）胶料制备

工业用硫化胶板胶料制备时对原材料检验、加工整理、配合等工序的要求和工艺与其它橡胶制品完全相同，炼胶工艺及半成品胶料性能检测、贮存停放等则根据不同胶种的工艺进行。

（二）胶料的压片和贴合

硫化胶板半成品的压片方式有多种型式：经开炼机将胶料回炼后用压延机压片；冷喂料挤出机压出胶料后再用两辊压片机压片；L型宽幅高压抽真空压出机出片；L型冷喂料压出机出片等各种方法。国内应用最多的是用压延机压片。

为了使压延胶片的厚度均匀和表面光滑，先使用开炼机将混炼胶回炼，待胶料均匀柔软后，在炼胶机上割成连续的胶条，用输送带将胶条送入压延机压出薄胶片，全胶胶板的贴合方法根据工厂设备条件有多种，以其中的压延输送带贴合为例，说明压延贴合的全过程，其工艺过程如图5-2。

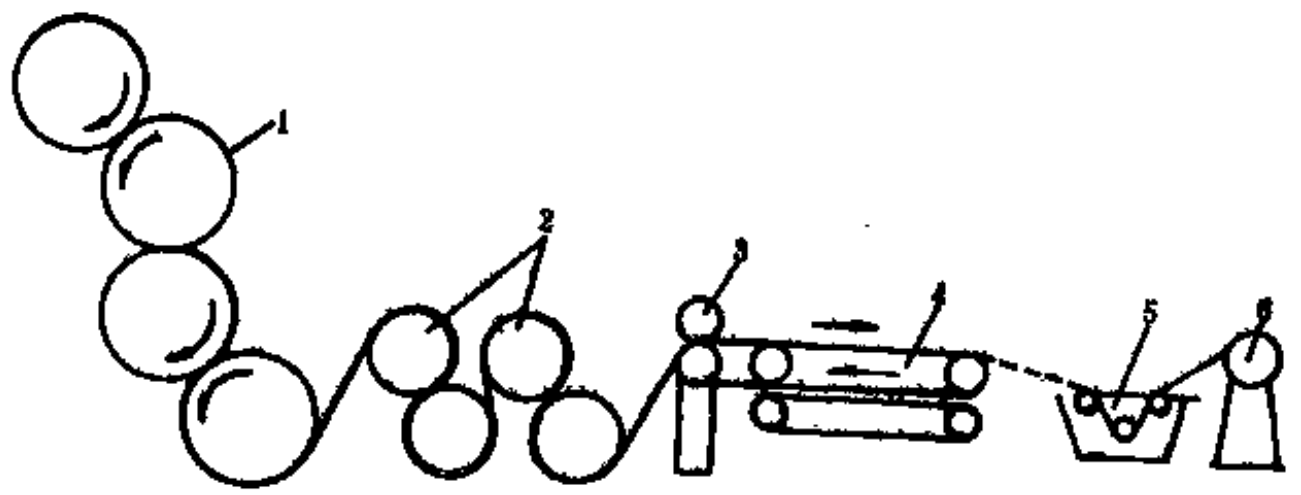


图 5-2　制造橡胶胶板时胶料压片和贴合示意图

1—四辊S形压延机；2—冷却鼓；3—贴合装置；4—取料贴合输送带；5—扑粉装置；6—卷取装置

经回炼好的胶条送入压延机 1 的上面第一第二辊中，依次通过下面两个辊筒压出胶片，

经冷却辊2，贴合装置3，贴合输送带4，由下输送带返回到贴合装置3与压延机新压出的胶片贴合，待达到要求厚度后将其截断，经过扑粉装置5由卷取装置6卷取后存放待硫化。如果压延胶片一次就已达到要求厚度而不需要贴合时，则将压延胶片经输送带4直接引导过扑粉装置5用卷胶装置6卷取。压片速度每分钟可达20m。

不具备压延联动装置的工厂常将经热炼的胶料压成胶片，然后用专用的衬布衬垫缠卷隔离成卷备用。将胶片平铺在长案板上，取另一卷胶片，一端与案板上的胶片叠齐粘贴妥，将胶卷向平铺胶片的另一端滚动，随时取下衬布，加压使胶片层紧密贴合，贴合时一般不使用溶剂涂抹胶片。厚度6mm以下的胶板可以一次压出胶片不需要贴合，厚度大于6mm的胶板采用贴合工艺成型，贴合层数视成品胶板的厚度而定，出型贴合规则见表5-12。

表 5-12 厚规格胶板出型贴合规则

成品要求厚度，mm	贴合规则(每层厚度)，mm	成品要求厚度，mm	贴合规则(每层厚度)，mm
6	6	14	5+5+4
8	4+4	16	4+4+4+4
10	5+5	20	5+5+5+5
12	4+4+4	25	5+5+5+5+5

从表5-12可以看到，厚胶板贴合实际上是由4mm及5mm压出胶片为单元而组成的，因此可参考贴合规则制得所需各种厚度半成品的厚胶板。

有些工厂用开炼机压片，这时胶片很容易含有气泡和缺陷，因此半成品胶片还必须进行修整，修整胶片气泡使用低压电烙铁，加温至60℃左右，胶表面缺陷及气泡较小时．用热电烙铁在缺陷或气泡的周围加压挤动胶料使空气排出填满缺坑，然后再将表面压平。如果胶片表而气泡较大，缺陷较严重时，则先用电烙铁挤出气泡中的空气，再视凹坑的大小填补些相同胶料，最后再用电烙铁压平即可。采用这种方法较之用胶浆填补的方法修补速度快得多，硫化后，经修理过的表面亦无可见的痕迹，但必须注意控制电烙铁温度以免修整部位发生半硫化使得硫化后的胶板出现疤痕影响质量。

普通胶板压延出片厚度见表5-13，夹布胶板压延出片厚度见表5-14。

表 5-13 普通胶板压延出片厚度

成品厚度 mm	压延胶板厚度 mm	常用硫化方法	成品厚度 mm	压延胶板厚度 mm	常用硫化方法
0.5 ± 0.15	0.5～0.7	辊筒硫化	$3.0^{+0.6}_{-0.4}$	3.0～3.4	平板硫化
1.0 ± 0.2	1.0～1.2	辊筒硫化	4.0 ± 0.45	4.0～4.5	平板硫化
$1.5^{+0.3}_{-0.2}$	1.5～1.8	辊筒硫化	5.0 ± 0.45	5.0～5.5	平板硫化
$2.0^{+0.4}_{-0.3}$	2.0～2.3	辊筒硫化	6.0 ± 0.5	6.0～6.5	平板硫化
$2.5^{+0.5}_{-0.4}$	2.5～2.8	辊筒硫化或平板硫化			

（三）胶板硫化

胶板硫化有三种方法：①硫化罐辊筒缠卷硫化；②平板压力硫化机硫化；③鼓式硫化机连续硫化。

1．硫化罐辊筒缠卷硫化

表 5-14 夹布胶板压延出片厚度

成品厚度 mm	夹布胶片压延总厚度，mm	第一次压延厚度 mm	第二次压延厚度 mm	成品厚度 mm	夹布胶片压延总厚度，mm	第一次压延厚度 mm	第二次压延厚度 mm
1.0 ± 0.2	1.0～1.2	0.5～0.6	0.5～0.6	$3.0^{+0.6}_{-0.4}$	3.0～3.4	1.5～1.7	1.5～1.7
$1.5^{+0.3}_{-0.2}$	1.5～1.8	0.8～0.9	0.7～0.9	4.0 ± 0.45	4.0～4.5	2.0～2.3	2.0～2.3
$2.0^{+0.4}_{-0.3}$	2.0～2.3	1.0～1.2	1.0～1.2	5.0 ± 0.45	5.0～5.5	2.5～2.8	2.5～2.8
				6.0 ± 0.5	6.0～6.5	3.0～3.3	3.0～3.3
$2.5^{+0.5}_{-0.4}$	2.5～2.8	1.3～1.4	1.3～1.4				

硫化罐辊筒缠卷硫化是将整理好的胶片缠卷在直径＞600mm的金属辊筒上放入硫化罐中硫化。为保证胶板成品端部厚度，连接一段劈尖形的胶条，其厚度按成品厚度选用。辊筒缠卷硫化胶片的隔离方法有两种。

（1）涂隔离剂法　将压延后的经停放 8 h 的胶片重新涂隔离剂(例如滑石粉)，然后平整地卷在硫化辊筒上，包胶厚度 40mm 左右，硫化前胶卷用铅皮包转加压放入硫化罐中用直接蒸汽硫化。

（2）湿垫布隔离法　先将衬垫布平服地卷在木辊芯上，放在热水中浸泡使其全部湿润，然后取出与经整理后的压延胶片同时缠卷在辊筒上，其厚度也在 40mm 左右，卷妥之后外面再包一层硫化丁基橡胶薄片，用布条扎紧送入硫化罐中硫化。这种方法缠卷较紧密，硫化后有利于顺利地从辊筒上取下成品胶板，硫化胶板表面有布纹。硫化罐硫化时空气压力 0.3MPa，蒸汽压力 0.4～0.5MPa，硫化升温时间及硫化条件随胶料配方的硫化条件而定。普通硫化胶板升温为120min，定温105min。

2．平板压力硫化机硫化

用平板压力硫化机硫化胶板有以下两种方式。

（1）用模型硫化　将半成品胶片放入经预热后的模型中硫化，可以制成光面平板也可以制成特定规格和有花纹表面的胶板，规格尺寸较稳定，使用多层平板硫化机可以提高生产效率。

（2）用模框逐段硫化　半成品胶片放入平板压力硫化机的模框中连接硫化，在硫化机的一端通入冷水防止胶板接头粘接不良，也可减少接头部位二次硫化时过硫程度。胶板硫化

表 5-15 胶板平板压力机模框硫化条件

成品厚度 mm	半成品厚度 mm	垫铁厚度 mm	硫化时间 min	成品厚度 mm	半成品厚度 mm	垫铁厚度 mm	硫化时间 min
2.5	2.5～2.8	2.0	13	16.0	17.0～18.0	15.0	26
3.0	3.0～3.4	2.5	13	18.0	19.0～20.0	17.0	28
4.0	4.0～4.5	3.5	14	20.0	21.0～22.0	19.0	30
5.0	5.0～5.5	4.5	15	22.0	23.0～24.0	21.0	32
6.0	6.0～6.5	5.0	16	25.0	26.0～27.0	24.0	35
8.0	8.5～9.0	7.0	18	30.0	31.0～32.0	29.0	40
10.0	11.0～12.0	9.0	20	40.0	41.0～42.0	38.0	50
12.0	13.0～13.5	11.0	22	50.0	51.0～52.0	48.0	60
14.0	14.5～16.0	13.0	24				

注：平板温度148～150℃；
硫化压力2～2.5MPa。

时两侧需用垫铁限位以保证硫化胶板成品的宽度和厚度。垫铁的厚度一般比产品规定厚度薄些，用平板硫化机模框硫化胶板时，半成品厚度、垫铁厚度等工艺条件见表5-15。

3．鼓式硫化机连续硫化

用鼓式硫化机硫化胶板与前两种方法不同，是连续硫化方法。现在更进一步发展成连续贴合和硫化，其过程见图5-3。压延胶片 11 和垫布导出后，通过粘合辊10贴合成所需厚度胶板半成品，并与垫布12同时进入蒸汽加热的硫化鼓 8 与钢带 5 的间隙，用张紧辊 6 使钢带 5 压紧并合的胶板半成品。胶板的硫化温度为150～155℃，硫化速度随胶板厚度及配方硫化条件在2～20m/h调节，硫化好的胶板经过压辊 9 及导辊后被卷在辊筒 1 上，垫布则卷在垫布辊 2 上。

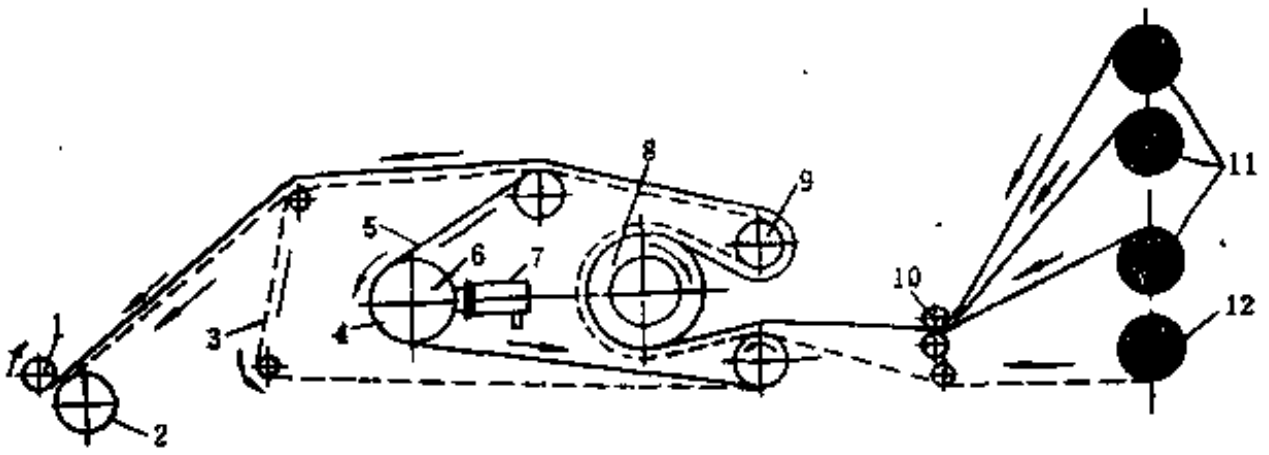


图 5-3　用鼓式硫化机贴合和硫化工业胶板示意图

1—成品辊；2—垫布辊；3—夹布胶带；4—张紧鼓；5—钢带；6—张紧鼓轴承；7—液压缸；8—蒸汽加热鼓；9—压辊；10—贴合辊；11—压延胶片卷；12—垫布辊

第三节　防 水 卷 材

一、概　　述

橡胶防水卷材是近代随着合成橡胶的发展而开发的新型防水卷材，由于它为单层防水结构，1m²仅重2kg左右（传统的屋顶防水层为1m²重 10～15kg。具有强度高及延伸性、抗撕裂性、耐老化性能好，对温度适应性强，使用寿命长，冷施工，不污染环境，可改善施工人员操作条件等许多优点，因而在欧美、日本等经济发达国家竞相发展各种新型的合成橡胶防水卷材，目前已占防水材料总量的30%以上，所使用的橡胶品种有：氯丁橡胶，丁基橡胶，三元乙丙橡胶，聚氨酯橡胶，氯磺化聚乙烯橡胶，氯化聚乙烯，以及它们的并用胶，品种繁多。

合成橡胶卷材一般不用衬垫骨架材料，但是根据工程设计需要也有用无纺布、纤维网布作衬垫的。硫化防水卷材大致分为两种，一种为单纯的成卷硫化胶片，另一种是硫化胶片背面带有粘着层的卷材，断面示意如图5-4。

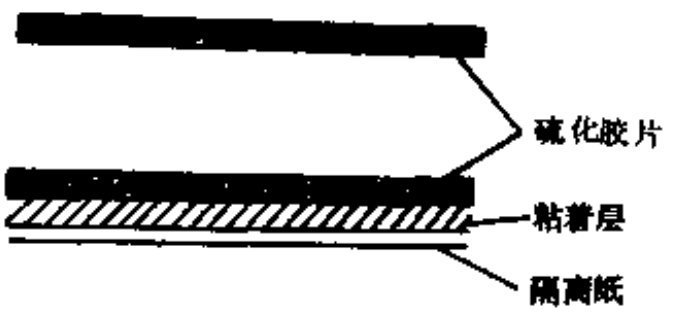


图 5-4　防水卷材断面示意图

硫化胶片在橡胶工厂加工成具有一定尺寸的成卷材料，使用时再用专用的胶粘剂将卷材与基底粘合，卷材与卷材搭接合缝成整体，从而形成防水层。

我国对橡胶防水卷材的研究起步也很早，在60年代已开始研究，然而只在少量工程中使用，进展很慢，影响也很小。70年代后期随着建筑工业的迅速发展和工程结构的变化，特

别是大板、条板等装配化建筑和轻板框架的推广，高层建筑的日益增多，传统的防水设施已不能适应建筑工程的需要，以橡胶为主的高分子材料防水卷材的研究开发近年来得到较快的发展，但就目前水平而言，与国际上经济发达国家相比较，无论是品种、产量方面以及应用技术方面皆有一定的差距。

橡胶防水卷材是较理想的防水材料，除广泛用于屋顶防水层、地下土木工程防水之外，还可用于农业灌溉的水槽衬里及干旱地区的贮水池衬里及工业废水贮池衬里等。

建筑防水工程中使用的卷材应具备的基本性能为：

① 能抗水的浸润与渗透，吸湿性小；

② 具有对温度变化的稳定性；

③ 有一定的物理机械强度、延伸性、抗撕裂性及柔韧性；

④ 对天候、酸、碱和微生物的腐蚀有一定的抗耐性。

⑤ 能与其它建筑材料粘结。

二、屋顶防水材料

组合式屋顶在过去100年内实质上变化很少，它是由数层油毡和沥青交替组合而成，即俗称两毡三油或三毡四油的迭层屋顶防水结构，这种结构在建筑工程上曾起过相当大的作用，至今我国建筑工程中仍有甚多的屋面和地下防水结构仍在应用，是目前主要的防水结构。使用油毡沥青防水材料的主要优点是材料来源丰富、价格低廉和拥有具有多年积累施工经验的人员，但是这种防水材料在应用中却存在温度适应性差、热淌冷脆、伸长率低、耐老化性能不理想及施工过程中所造成的污染和不安全，在使用中发生鼓起，老化龟裂，腐烂而引起渗漏，许多工程的屋面漏水，厕所卫生间漏水，装配式壁板建筑板缝及地下室渗漏水等“四漏”问题屡见不鲜。这种防水材料的性能以及原来的施工工艺已不能适应现代化建筑工程的要求。

国外除了对传统的沥青油毡改性外，积极地发展以橡胶为主的新型高分子防水卷材。在本世纪的50年代已试图将橡胶薄膜用于屋顶，最初使用的材料为氯丁橡胶和丁基橡胶，至1963年Du Pont公司发明了三元乙丙橡胶，由于它优异的耐天候老化性能，是理想的建筑用防水材料，使橡胶防水卷材渐趋完善。

随着材料结构的变化，屋面防水结构也由传统的多层重叠防水发展到单层防水层，而使结构重量减轻，节约了原材料和人工；施工技术亦由热施工发展到冷施工，这样不仅大大地减轻了劳动强度，避免了熔化沥青时对环境污染和操作安全问题，而且提高了防水效果，保证了工程质量。因此，传统的沥青防水油毡用量逐年下降，例如日本采用沥青油毡防水由1981年的70%下降到1987年的55%，美国沥青油毡防水材料已由1982年的83%下降到1987年的68%，以橡胶为主的合成橡胶高分子材料防水材料则逐年上升。

（一）氯丁橡胶卷材

氯丁橡胶是很早问世的合成橡胶。自1931年从乙炔制氯丁橡胶成功，发展很快，目前其产量仅次于丁苯橡胶和顺丁橡胶，同时氯丁橡胶具有良好的耐老化、耐天候、阻燃、耐酸碱、耐油等特性，因此最先用于防水卷材。但是氯丁橡胶的耐寒性较差，在0℃时结晶最快，所以不适用于长期在0℃以下的环境中使用；此外当温度高于70℃时它有继续交联的倾向，使定伸应力与硬度增加而伸长率逐渐下降，因此使用地域受到限制，加之生胶密度较大，胶料体积成本也高些。近年虽出现了新型的三元乙丙橡胶防水卷材，然而氯丁橡胶防水卷材的

使用历史较久，并且有阻燃和耐油性能，曾经大量和长期的使用考验，因此目前仍为橡胶防水卷材的主要品种之一。

氯丁橡胶卷材作为屋顶防水使用的配合，考虑到加工操作的安全以及耐天候老化可使用通常的氧化锌、氧化镁交联体系，对配方中大量使用的填充剂只需要选择其耐水性就可以了。至于特别强调耐水性能时可采用以氧化铅为主的交联体系。

一些橡胶填充补强剂在室温25℃、湿度100%的环境下放置30天后其吸湿重量增加百分率见表5-16。氯丁橡胶卷材的配方例见表5-17。

表 5-16 一些填充补强剂的吸湿增重

填充补强剂名称	重量增加,%	填充补强剂名称	重量增加,%	填充补强剂名称	重量增加,%
中粒径热裂炭黑	0.6	石灰石粉	0.8	硬质陶土	16.0～19.0
细粒径热裂炭黑	0.7	沉淀碳酸钙+2%妥尔油	3.0	硅藻土	1.5
乙炔炭黑	2.5	沉淀碳酸钙	5.0	气相白炭黑	57.0～67.
易压出炉黑	3.5	被覆碳酸钙	8.0	硫酸钡	0.5
易操作槽黑	13.0～15.0	滑石粉	1.8	立德粉	3.5
中超耐磨炉黑	14.0*	煅烧陶土	3.5	氧化锌	1.5
高耐磨炉黑	14.0*	硅酸镁	4.0	钛白粉	3.0
半补强炉黑	19.0	软质陶土	8.0		
超耐磨炉黑	21.0	硅酸钙	9.0		

表 5-17 氯丁橡胶卷材配方例

配　　方	指标，重量份	配　　方	指标，重量份
氯丁橡胶	100	原始物性	
氧化锌	5	拉伸强度，MPa	14
氧化镁	4	扯断伸长率，%	325
硬脂酸	0.5	硬度（邵尔A）	70
防老剂	2	撕裂强度，kN/m	31
炭　黑	50	脆性温度，℃	-40通过
陶　土	20	热空气老化(100℃×70h)后物性	
石　蜡	2	拉伸强度变化，%	+6
操作油	10	扯断伸长变化，%	-13
促进剂NA-22	0.5	硬度变化	+5
共计	194	臭氧老化(1ppm×100h，38℃，伸长20%)	无裂口

（二）丁基橡胶卷材

丁基橡胶是一种饱和度高的橡胶，由于丁基橡胶本身的线性结构及结构高度紧密性，它具有优异的不透气性，因此是用来制造轮胎内胎、探测气球、防辐射手套和其它气密性要求高的制品理想的弹性材料。此外它的耐热、耐臭氧、耐老化、耐强酸等性能都很优良，所以在军事工业上具有重要意义，在第二次世界大战期间美国一直垄断着丁基橡胶的生产技术，直到1959年后其它国家才开始陆续工业化生产。

按丁基橡胶耐天候、抗臭氧的特性及生胶资料来源，加拿大首先在防水卷材方面获得应用。所需的胶粘剂亦同时配套提供。最初发展的丁基橡胶卷材有白色和黑色两种，屋顶防水

卷材和背衬压敏胶粘剂的配方及其物性分别见表5-18～表5-21。黑色卷材的物理性能和耐候性都比白色的好，黑色卷材可用于条件严酷的地方，而白色配方价格较廉。

表 5-18 黑色屋顶卷材配方

丁基橡胶(100或301)	100.0
快压出炉黑	75.0
氧化锌	5.0
硬脂酸	1.0
凡士林	5.0
石　蜡	6.0
促进剂TL(二乙基二硫代氨基甲酸锑)	3.0
防老剂4010	1.5
硫　黄	1.5
共　计	198.0

表 5-19 白色屋顶卷材配方

丁基橡胶402	100.0
氧化锌	5.0
硬脂酸	1.5
二甘醇	2.0
硫　黄	1.5
促进剂TMTD	1.0
4,4′-二硫代吗啉	1.5
促进剂M	1.6
促进剂BZ	0.7
水合硅酸镁	112.0
共　计	265.7

表 5-20 丁基橡胶屋顶防水卷材性能

性　能	黑色	白　色
拉伸强度，MPa	7.0	5.0
永久变形，%	2.5	7.5
硬度（邵尔A）	55～60	55～60
耐寒性，℃	－54	－54
吸水性(100℃水中浸渍25h)，mg/m²	2.3	—
耐臭氧性(100pphm,40℃,伸长25%),h	100	—

表 5-21 丁基橡胶防水卷材背面衬压胶胶粘合剂配方

丁基橡胶301	100
聚乙烯（融熔指数20）	15
硬质陶土	25
半补强炉黑	40
合成树脂	20
Dunpro油	60
共　计	260

压延温度为93℃，胶料在此温度下能从压延机上脱下，压敏面需衬涂有机硅的隔离纸防粘。

（三）丁基橡胶/丁基再生胶卷材

用丁基橡胶内胎或水胎制造的丁基再生胶有良好的物理机械性能和耐老化性能，丁基橡胶中加入一般再生胶性能不佳，而用部分丁基再生胶取代丁基橡胶来制造防水卷材，并用胶吸收填充剂的过程及压出和压延速度快，并且半成品收缩性小，胶料的骨架稳定性良好，丁基橡胶与掺用丁基再生胶的胶料配方和性能对比见表5-22。

（四）三元乙丙橡胶防水卷材

三元乙丙橡胶是以乙烯、丙烯为主要单体原料，再加入非共轭双键的第三单体：双环戊二烯（DCPD），乙叉降冰片烯（ENB），1，4-己二烯（1，4HD）等而成的合成橡胶，因主要原料易得，加之具有比氯丁橡胶和丁基橡胶更好的耐候性、耐臭氧性，适当配合可用于－60～150℃的广阔温度范围，对酸、碱、水蒸汽的抗耐性也很优良。自1963年意大利和美国工业化生产以来，目前生产乙丙橡胶的国家很多，牌号也较繁多，它所具有的特性很适于制作防水卷材。

三元乙丙橡胶卷材基本配方见表5-23，表中对其物理机械性能与ASTM卷材标准的规定值进行了比较。这一配方的性能远远地超过了标准所规定的性能指标，因此尚应加以调整。

表 5-22　丁基胶与掺丁基再生胶的胶料配方及物性对比

组分与性能	1	2	组分与性能	1	2
丁基橡胶218	100.0	80.0	物理机械性能		
促进剂M	0.5	0.5			
丁基再生胶	—	37.0	相对密度	1.288	1.243
促进剂TMTD	1.3	1.3	门尼粘度	75	72
氧化锌	5.0	5.0	门尼焦烧时间，min	19	23
硬脂酸	2.0	2.0			
细粒子热裂法炭黑	80.0	75.0	硫化时间，min	7	6
环烷烃油	5.0	5.0	拉伸强度，MPa	10.5	10
易混槽法黑	20.0	20.0	300%定伸应力，MPa	4.0	4.2
防老剂BLE-25	1.0	1.0			
防日光老化剂	1.0	1.0	扯断伸长率，%	660	650
硫　黄	1.5	1.5	硬度（邵尔A）	65	63
共　计	217.3	229.3	在50pphmO_3中开裂时间，h	100	100

表 5-23　三元乙丙橡胶防水卷材配方例及物理机械性能

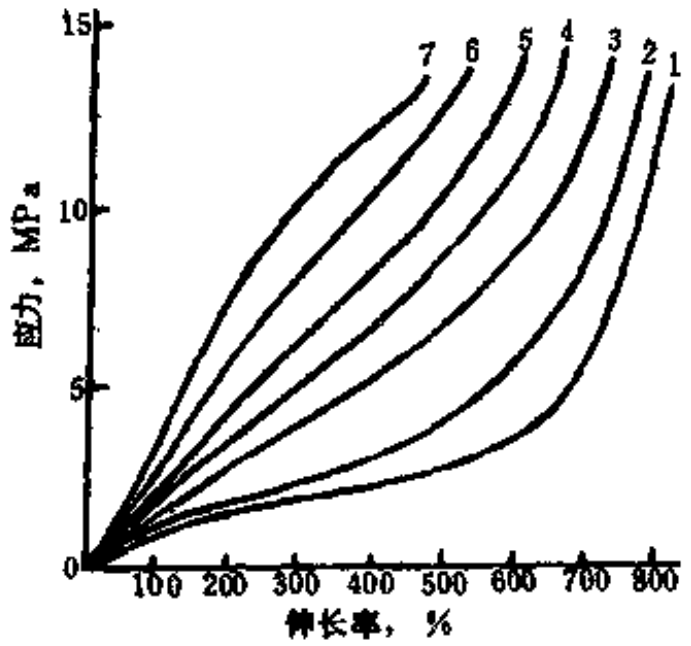
三元乙丙橡胶	160	物理机械性能	指标	ASTM标准
氧化锌	5	拉伸强度，MPa	13.3	9.0
硬脂酸	1	扯断伸长率，%	590	300
易压出炉黑	50	撕裂强度，kN/M	28	22
硬质陶土	100	吸水量，重量%	+3.5	+8-2
石蜡油	35	脆性温度，℃	通过	-45
促进剂TMTD	0.7	最大拉伸变形，%	2	5
促进剂MBT	1.5	尺寸稳定性，%	0	±2
二硫代吗啡啉	1.0	116℃热老化2周后的性能		
硫　黄	0.5	拉伸强度，MPa	13.9	8.3
共　计	344.7	扯断伸长率，%	560	225

在配方中，炭黑与陶土的配比对胶料的物理机械性能和经济性都需要兼顾。不同配比的填充补强剂胶料老化前后的拉伸强度及抗撕裂性能示于图5-5，显然，增加陶土的比率，对性能并无多大的不良影响。炭黑与陶土用量比率可在较大范围中变动，这将决定于卷材制造工艺要求及使用所需性能和卷材成本的平衡。

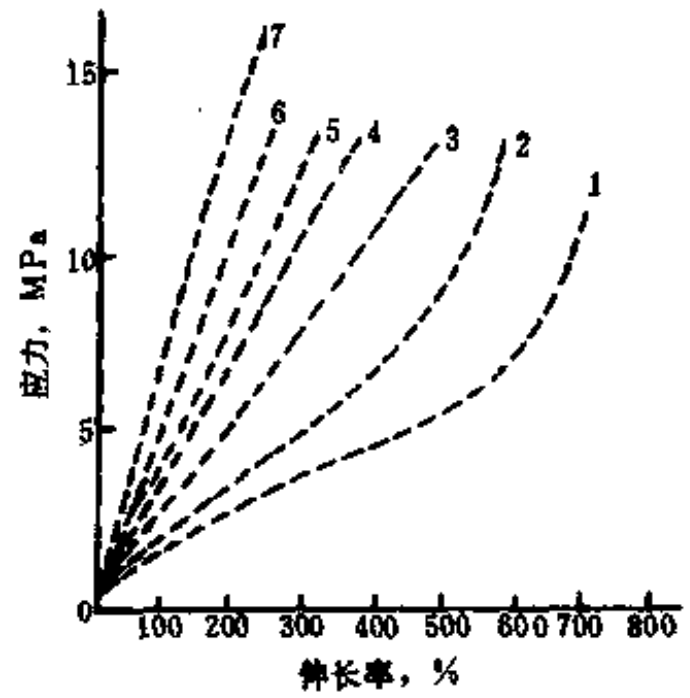
（五）三元乙丙橡胶与丁基橡胶并用卷材

由于丁基橡胶在热和机械力作用下会产生老化断链，制品产生发粘现象，从70年代国外开始研究丁基橡胶与乙丙橡胶的并用。三元乙丙橡胶耐热和耐老化性能优于丁基橡胶，它在老化过程中产生交联，弥补了丁基橡胶老化过程中的断链作用对橡胶卷材性能的损失，从而改善丁丁基橡胶制品长期使用后发粘和变形大的毛病。埃克森（EXXON）化工公司开发了一种适于与丁基橡胶并用的三元乙丙橡胶，牌号为VISTALON2200（简称V2200），掺用V2200的丁基橡胶制品，具有老化前后变化小的优点，克服了全丁基橡胶制品老化后定伸应力和硬度降低，伸长率增大的缺点，拉伸强度，撕裂强度保持率较高，并且并用胶料的工艺性能，混炼均匀性，出型尺寸稳定性能都较好。

三元乙丙橡胶与丁基橡胶并用防水卷材的配方及物理机械性能见表5-24。



陶土/炭黑质量比对含填充剂/油为150/85份三元乙丙橡胶的影响



经116℃老化后（1周）的影响

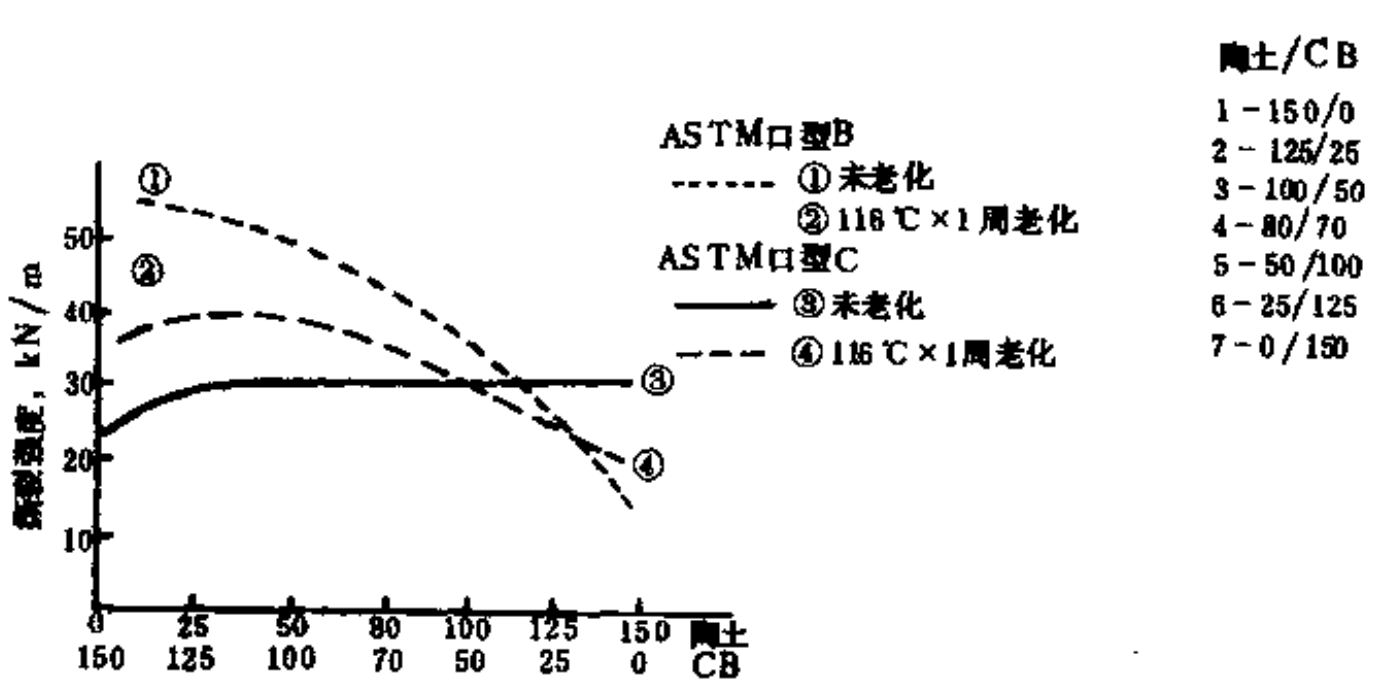


图 5-5 不同配比填充补强剂老化前后的基本性能比较

（六）氯化聚乙烯防水卷材

氯化聚乙烯是由聚乙烯经过氯的取代反应制成的无规聚合物，它在主键上几乎不存在双键，具有优良的耐候性，抗臭氧性，色稳定性，耐化学药品，耐油，耐热和阻燃性等特性的合成橡胶。

氯化聚乙烯通过单独配合及同其它橡胶的并用，可用于许多橡胶工业制品，也可用作硫化或非硫化的防水卷材。由于氯化聚乙烯最初只是作为塑料改性剂使用，直到1965年美国联合化学公司和道化学公司开始生产氯化聚乙烯弹性体，经过多年研究方始找到有效的硫化体系。它的应用也由塑料范围扩展到合成橡胶领域，1969年开始有几家公司生产，目前我国也能批量生产供应。氯化聚乙烯防水卷材的出现相对来讲是比较年青的。

氯化聚乙烯可以与天然橡胶、丁苯橡胶、氯丁橡胶、三元乙丙橡胶等并用，并用胶料的抗臭氧性、耐天候老化、耐热性及阻燃性都很良好。并用氯化聚乙烯后还能改善一些通用橡胶的工艺性能，例如少量并用氯化聚乙烯后即可改善氯丁橡胶的粘辊，使乙丙橡胶不发生脱辊现象等。

以氯化聚乙烯与乳液聚合丁苯橡胶1502溶液聚合丁苯橡胶Solprene1204及镶嵌共聚丁苯橡胶Solprene1205的并用配方及性能举例如表5-25。

表 5-24　三元乙丙橡胶与丁基橡胶并用配方及物理机械性能

原材料 \ 配方编号	1	2	3	4	5	6
丁基橡胶065	100	100	—	—	—	—
丁基橡胶268	—	—	80	80	70	70
三元乙丙橡胶V2200	—	—	20	—	30	—
三元乙丙橡胶V-2555	—	—	—	20	—	30
高耐磨炉黑	48	40	35	35	35	35
半补强炉黑	24	30	35	35	35	35
软质陶土	10	—	—	—	—	—
碳酸钙	—	5	20	20	20	20
石　蜡	8	3	3	3	3	3
硬脂酸	1	1	2	2	2	2
氧化锌	5	5	5	5	5	5
防老剂NBC	—	1	—	—	—	—
促进剂MBT	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5
促进剂TL	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
促进剂TT	0.5	1	—	—	—	—
促进剂ZDMC	—	—	1.5	1.5	1.5	1.5
石蜡油	—	6	20	20	20	20
硫　黄	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
共　计	199.5	195.5	224	224	224	224
胶料及硫化胶物理机械性能						
门尼粘度 (ML_{1+8}, 100℃)	58	57	52	53	53	56
孟山都流变仪						
t_s, min	3	3.33	1.33	1.58	1.38	1.5
t_{90}, min	3.67	23.5	20	20.83	16.25	16.25
硫化, 160℃×min	30	20	20	20	16	16
100%定伸应力,MPa	2	1.5	2.2	2.3	2.4	2.3
300%定伸应力,MPa	7.5	4.9	8.6	8.5	9	8.7
拉伸强度, MPa	13.2	13.2	14.0	14.2	14.2	14.6
扯断伸长率, %	580	670	490	510	470	510
硬度 (邵尔A)	61	63	60	59	61	60
撕裂强度, kN/m	34	36	29	30	32	33

（七）非硫化防水卷材

非硫化防水卷材是以合成橡胶，填料及石油沥青等混合后经过压延成卷材，不经过硫化就可以使用的卷材。这种卷材相互之间的粘接以及与砂浆的粘结性都很好，制造简便，价格便宜。但是它们的拉伸强度一般都较小。

非硫化防水卷材可分为橡胶非硫化防水卷材及橡胶沥青非硫化防水卷材两大类。

1．橡胶非硫化防水卷材

这类防水卷材的制造方法与塑料防水卷材相似。使用的橡胶有丁基橡胶，氯化聚乙烯等，配方例如下：

丁基橡胶402 100，氧化锌5，硬脂酸1.5，硅烷改性硬质陶土（Nucap 100）100～120。

2．橡胶沥青非硫化卷材

表 5-25 氯化聚乙烯卷材配方及物理机械性能

氯化聚乙烯50，丁苯橡胶50（不同品种见表），炭黑SRF40，DOP 20　氧化镁 5　氧化锌 3　硬脂酸 0.5
硫黄 2，　促进剂NA-22 1.5　促进剂CZ 1　防老剂 2　石蜡 1　共计 176

	SBR 1502	Solprene 1204	Solprene 1205
门尼粘度（MS_{1+4}）	21.0	19.0	12.5
焦烧时间，min　t_5	16.41	18.91	20.78
t_{35}	19.61	22.28	24.5
$t\Delta_{35}$	3.2	3.37	3.71
155℃硫化30min			
300%定伸应力，MPa	7.5	8.8	8.0
拉伸强度，MPa	16.0	14.7	10.6
扯断伸长率，%	670	510	480
硬度（邵尔A）	63	61	69
耐寒（吉姆冻结点），℃	−42	−42	−42
100℃×4d热空气老化后物理机械性能变化率，%			
300%定伸应力	+65	+53	+46
拉伸强度	+2	+11	+19
扯断伸长率	−30	−29	−31
硬　度	+4	+8	+10
天候老化后物理机械性能变化率，%			
300%定伸应力	+30	+17	+15
拉伸强度	−3	−1	+3
扯断伸长率	−12	−14	−6
硬　度	−4	−2	−2
臭氧老化试验（O_3浓度50pphm，预拉伸20%，38℃）			
龟裂发生时间，h	>200	>200	>200

这种防水卷材的延伸率大，低温柔性和耐朽蚀性较好，常使用的橡胶类材料有丁基橡胶，卤化丁基橡胶，氯丁橡胶，再生胶等，这类卷材品种很多，以再生胶为例，其配方及物理机械性能见表5-26。

再生橡胶沥青卷材规格见表5-27。

表 5-26 橡胶沥青非硫化卷材配方及性能

再生橡胶	30～32%
石油沥青	12～16%
填　料	40～50%
拉伸强度，MPa　横向	>0.8
扯断伸长率，%　纵向	>100
吸水性（24h），%	<0.3
耐热性120℃×5h	不流淌，不起泡，不发粘
低温柔性（−15±2℃×1h）φ1mm圆棒对折	无裂纹
不透水性（保持30min水压），MPa	>0.3

表 5-27 再生橡胶沥青卷材规格

厚度，mm	幅宽，mm	长度，m
1.3±0.1	600±10	≥10.20
	800±10	
	1000±10	

3．再生橡胶沥青纤维粉防水卷材

以废纤维粉，例如再生胶生产过程中产生的废纤维粉取代上述配方中的部份填料，经混合均匀，压延成卷材，也可以作为一般的防水卷材使用，这种防水卷材可充分利用橡胶工业生产中的废旧物料，同时又解决了废料堆存困难，污染环境，以及长期堆放自燃造成火灾的危险。一举两得。

三、贮水橡胶卷材

合成橡胶防水卷材也在水利工程，如水库、水渠、河堤防渗等各种工程中使用，最早是用于蓄水池工程中，在缺水地区，贮水是很重要的。蓄水池有两大类，一种是粘土地，另一种为混凝土蓄水池，前者贮水质量不及后者，但混凝土蓄水池建造比较困难成本较高，因此致力于用橡胶卷材来衬填水池壁。这种新型结构只需将池身挖好。筑好池，再将橡胶卷材铺上，然后再在堤顶处锚固即成，因此这种蓄水池经济合理性是非常明显的，其结构示意如图5-6。

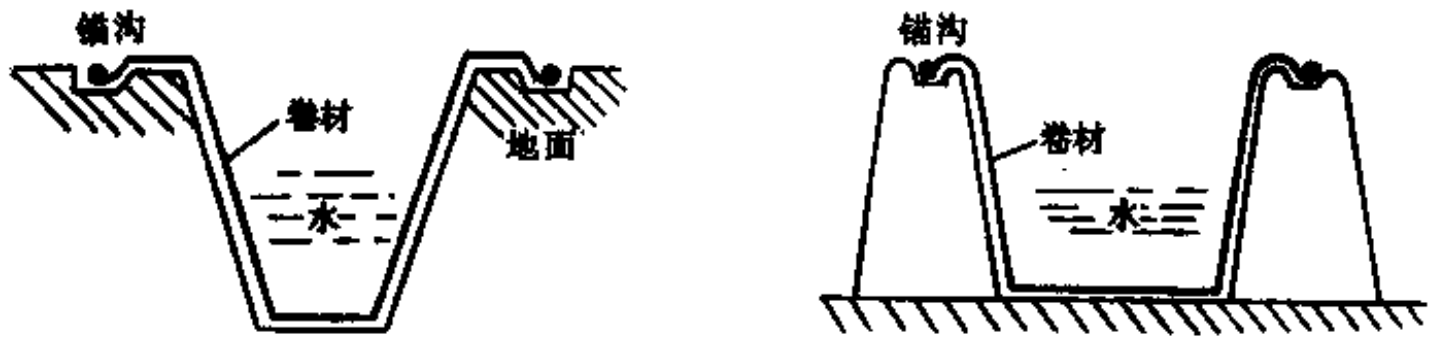


图 5-6　贮水池结构示意图

当然蓄水池的设计，详情比一般想的要复杂些，这方面则属于水利工程设计技术范畴。高分子材料蓄水衬里与混凝土，粘土贮水池的宏观比较见表5-28。

表 5-28　几种蓄水池材料的宏观比较

性　　能	丁基橡胶卷材	塑料卷材	沥青衬里	混 凝 土	粘　　土
耐侯及耐日光	行	否	行	行	不能曝晒
耐热及耐寒	行	否	行	行	行
安装简便	是	是	否	否	是
强力	可	否	有限	可	有限
修理简易	是	否	否	否	是
下沉后不受影响	是	否	否	有限	否
使用寿命，a	25～40	5～7	20	50	无定

表 5-29　丁基橡胶贮水卷材配方及物理机械性能

丁基橡胶	70	三元乙丙橡胶	30	通用炉黑	10	硫化胶物理机械性能	
高耐磨炉黑	40	贝壳粉	20	硅酸铝	20	160℃×20min硫化	
操作油	7	石　蜡	3	凡士林	4	300%定伸应力，MPa	9.7
促进剂TDC	0.5	氧化锌	5	硫　黄	1	拉伸强度，MPa	14.0
硬脂酸	1	促进剂ZDC	1.5	促进剂M	0.5	扯断伸长率，%	410
共　计	213.5					硬度（邵尔A）	65
						撕裂强度，kN/m	25

由表5-28对比情况可见橡胶防水卷材是比较理想的贮水使用的卷材。

丁基橡胶贮水卷材配方例及其物理机械性能见表5-29。

丁基橡胶贮水卷材衬垫的蓄水池，不仅能满足缺水地区储存饮用之水，或者是农村灌溉使用，同样也能满足工业储水的需要，因为丁基胶料能耐各种化学药品和液体，如肥料，工业废水等。上述各种屋顶防水卷材也可以选用作各种不同贮水要求所使用的卷材，它们的配方大致可以通用。

四、防水卷材制造工艺

防水卷材的制造工艺，主要包括胶料制备、胶片成型和硫化。前者与一般橡胶制品的加工方法相同，而卷材的成型和硫化方法有下列几种。

1．压延卷蒸法

胶料用压延机出片，用垫布卷取或经涂粉隔离卷取，然后进入硫化罐硫化。此法的缺点是间歇操作，热能浪费大，胶卷内外部硫化程度不一致，质量难以保证，用隔离剂者硫化后尚需洗除涂粉。

2．压延鼓式硫化法

胶料用压延机出片，卷取后用鼓式硫化机硫化。此法的优点是胶片平滑光亮，缺点是硫化设备投资较大，胶片有气泡，特别是丁基橡胶生产时，低温出片更不易解决气泡。

为了减少气泡，此法可改进，即用冷喂料挤出机向两辊筒压片机供料，成型胶片，然后用鼓式硫化机硫化。此方法的优点是胶片气泡少，规格品种多；缺点是设备投资较大，生产效率较低。

3．压出鼓式硫化法

胶片用L型宽幅高真空挤出机制备（不用两辊压片机），压力为14.7～19.6MPa；压出时挤出机须抽真空。然后，用鼓式硫化机硫化。此法优点是胶片气泡少，可生产厚度为0.8～8mm的卷材，能高温短时间硫化；缺点是设备投资较高，生产效率较低。

4．压出卷蒸法

胶片用L型冷喂料挤出机制备，自动卷取，然后送入硫化罐硫化。罐内蒸汽管压力为1.2MPa，风压为0.3MPa，系间接蒸汽硫化。此法优点是硫化速度较快，胶片汽泡少，生产效率高；缺点是胶片断面有波状变形，垫布接头处有凹形槽，生产卷材厚度只能达到3mm。垫布用尼龙织物，使用寿命可达3000～5000h。

5．压出辊压硫化法

此法的胶片成型方法与压出卷蒸法相同，但胶片进入硫化罐后，经过10个 ϕ1000的辊筒（上下两排各5个）进行硫化，然后卷取。辊筒内蒸汽压力为1.2MPa，硫化罐内蒸汽管压力也为1.2MPa。此法优点是生产效率高（比压出卷蒸法提高10%），胶片质量好，胶片两面布纹清晰，断面平整，投资低于鼓式硫化机；缺点是产品单一，只能生产薄型胶板。

五、防水卷材的标准

除产品企业标准外，还有参用的国外标准，如日本标准 JIS A6008和 美国标准 ASTM D 4637。

主要参考文献

〔1〕 GB5574—85.
〔2〕 GB5575—85.
〔3〕〔日〕高桥明，工业材料，17 (11)，124 (1969)。
〔4〕 前田守一，日本ゴム協会誌，46 (8)，672 (1973)。
〔5〕〔日〕齐藤孝臣，工业材料，17 (11)，65 (1969)。
〔6〕 出口正太郎，日本ゴム協会誌，47，474 (1974)。
〔7〕 Robert v Kidd, Elastomerics, 116 (5)，37～40 (1984)。
〔8〕 Strong, A.G., Elastomerics, 116, (5)，19～32 (1984)。
〔9〕 Strong, A.G.，彭程纪译，1983年国际橡胶译文集上册，p118，橡胶译丛专辑，1985年。
〔10〕 梁宗义，天津橡胶，(3)，3 (1988)。
〔11〕 郑云生编，《汽车轮胎翻修》，人民交通出版社，1985年。

第六章　胶辊与胶毯

第一节　胶辊的应用

胶辊由金属芯外覆橡胶组成，广泛用于工业的各个部门，通称为工业胶辊。

一、胶辊在工业中的应用

利用辊面胶层的微量弹性变形使产品面承受一定的压力，以适于工艺要求但又不致产生过度的剪切应力，损伤产品，例如造纸机中的压榨辊，印染机中的轧液辊，能在不损伤纸或布的情况下，挤去纸或布中的水分，这种胶辊的橡胶硬度不宜太高，一般为80～90（邵尔A）。

在各种机械部件中，常以胶辊代替金属辊使用，这种胶辊（俗称胶木辊）的硬度较高，为90～100（邵尔A），一般起传导和支托的作用，如造纸机中的案辊、毛布辊和印染机中的导布辊等。

若在高硬度胶辊的表面，车制倒顺向螺纹，便成为分毯或分布辊，有使毛毯或布伸张平直的作用。

由于橡胶具有耐酸、耐碱和不生锈的优点，在印染、带钢、带铜等工业的酸洗中也得到广泛应用。

冶金、矿山、码头、堆场大量装备的皮带运输机中作传动用的主动辊，过去用的都是平面光辊，为提高摩擦系数，防止胶带打滑，近年国外辊面均已改进为人字形或菱形，见图6-1。



图 6-1　人字形辊面胶辊

利用硅橡胶的耐高温及不热粘特性而制成的硅橡胶辊已是塑料编织布、纸张织物树脂的热贴、喷涂、复合等新兴工业部门不可缺少的部件。

丁基橡胶具有耐酯类和环乙酮的优点，因此丁基橡胶胶辊在塑料的印花刮浆、人造革仿羊皮等机器中起着重要的作用。

工业胶辊具体应用遍及造纸印染、印刷、粮食加工、冶金、塑料等各个工业部门，主要品种按用途可分造纸胶辊、印染胶辊和其它等三类。

（一）造纸胶辊

造纸胶辊是造纸机上的重要部件，一台普通的长网造纸机就要有大小胶辊七、八十支，从网部压榨部直至烘干部，几乎哪个部位也离不开胶辊，造纸胶辊就本身的结构而言，大体上可分为：①光辊（胸辊、导网辊、案辊、上伏辊、毛布挤水辊、施胶辊）；②沟纹辊（压榨辊）；③真空辊；④螺旋辊；⑤活动弧形辊（即空心弯辊）；⑥中高辊；⑦中高辊（有固定中高与可控中高之分）。

近年来随着造纸机车速和生产能力的提高，对胶辊的要求也愈来愈高，湿部用辊要求具有良好的泄水性，压榨及真空辊要求在高硬度下具有高弹性全幅密度均匀，耐高线压力及负荷作用下的几何形状保持性，易于脱水、易于剥离、易于精加工（包括车、磨、钻孔、加工沟纹）及辊芯与胶的粘接强度等。

（1）真空胶辊　利用真空吸水是造纸工艺的近代技术，它能使纸页迅速脱水，减少压榨工序，可大大提高产量，真空胶辊的辊芯材料，国内外仍以锡青铜铸造，表面覆有25～30mm厚的橡胶层，其上钻有直径5～8mm的孔眼数万个，每个孔眼都穿通胶层与辊芯，如胶辊规格为$\phi 806 \times 4450$mm的真空胶辊上就钻有6～8万个孔眼，图6-2为日产量200t纸的真空吸水压榨辊。

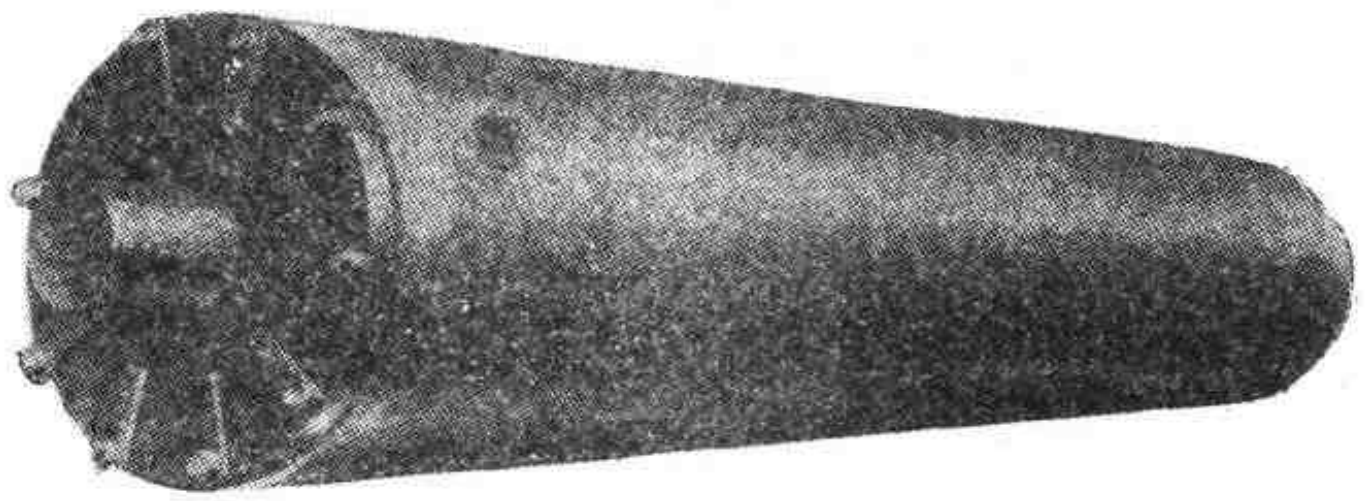


图 6-2　200t级真空造纸伏辊

（2）人造石辊　目前国内平压榨辊一般采用天然石辊、橡胶辊及金属辊，也有选用国产人造石辊的，国外则以采用人造石辊者居多，人造石辊系模仿天然花岗石的性点，用酚醛树脂、橡胶和精制石英砂混合制造而成，其表面坚硬如石，光滑似镜，并具有分布均匀的细孔，释纸性及泄水性均较好，在高速运转中，纸页与石辊易预剥离，是高级薄型纸生产所必不可少的。

（3）聚氨酯沟纹辊　在胶辊表面车成沟纹，主要是提高其泄水性，国内一般以普通橡胶辊经机械车削制成，由于橡胶受压强度降低，故易变形造成脱水不畅，在国外这种胶辊采用聚氨酯为原料，浇铸成型，适用于高线压、高速纸机的需要。

（4）可控中高胶辊　在现代纸机的设计中，压辊的固定中高已越来越不能满足操作要求，60年代初德国Kusters公司采用液压来抵消挠度变形而研制成游动辊(国内称为均匀辊)，此辊可不必将辊面制成中高，因而改善了纸张质量和提高了车速，这是60年代造纸行业一项较为重大的改革，此后美国Beloit公司发明运用长活塞加压和动力轴承原理的可控中高辊(即包胶沟纹可控中高辊）得到了应用，70年代初瑞士与德国Escher Wyss公司发明了运用多个圆形小活塞和静压轴承原理的分区可控中高辊被称为第三代可控中高辊，在理论上比前二者都优越，但结构较为复杂。

目前这三种形式的可控中高辊仍都在生产之中，产量最大的是德国和日本，后者是游动辊的外壳上包胶或浇聚氨酯应用在压榨辊，取得了较好的效果。

（二）印染胶辊

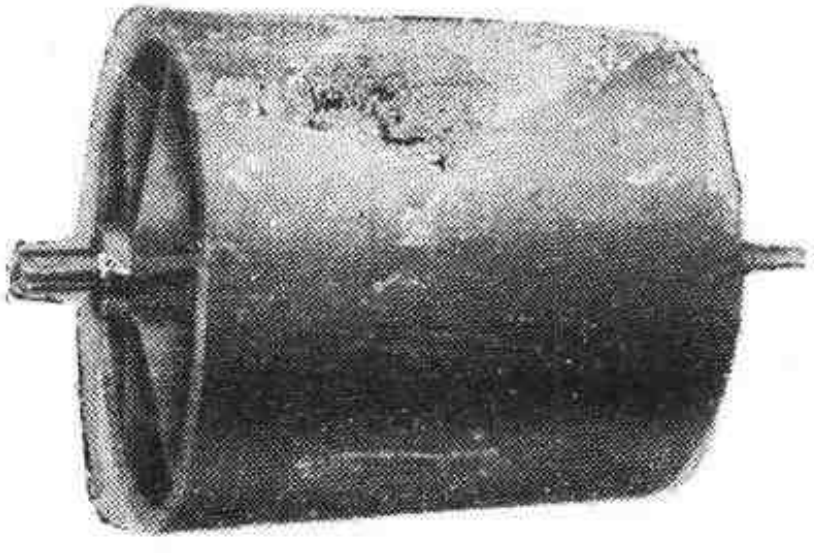


图 6-3　印花承压胶辊

印染胶辊在印染机械中作印花、轧液轧染、导布之用。其中分生动和被动两大类，但主被动辊均配合使用，主动辊的硬度甚高，达98～100（邵尔A），由于是决定线速要求，因此其尺寸定型性要好，不必有弹性，一般被称为胶木辊，而被动辊均具有弹性，硬度较低，一般为70～85(邵尔A)。其中印花机承压辊（俗称大雪林）质量要求很高，尤其是在“无衬布印花”新工艺中，对橡胶硬度的分差要求严格，硬度过低和过高都不能符合使用要求，造成套色不准和崩花等现象，图6-3为印花承压胶辊。

均匀橡胶轧辊为国内MH-552均匀轧染机的重要部件。其作用原理同造纸机中的可控中高、游动辊一样，以液压来抵消挠度变形，可使胶辊在运转中受压均匀，达到轧染色泽均匀一致的目的，国内目前生产的有两种不同结构，一种仍是采用硬质胶结合手工或贴合成型，中间应用过渡胶层，面胶为70%丁腈橡胶与30%天然橡胶并用，此种方法投产容易，但使用质量不甚理想，报废率高，另一种则采用100%丁腈橡胶制造，胶粘剂粘合，使用整体压出成型工艺，钢胶粘合强度高，完全排除了产生气泡的可能性，由于避免了硬质胶层（一般硬质胶层厚度为5～6mm），相对地提高了胶辊的弹性层厚度，更使使用寿命有所提高。图6-4为均匀橡胶轧辊的结构示意图。

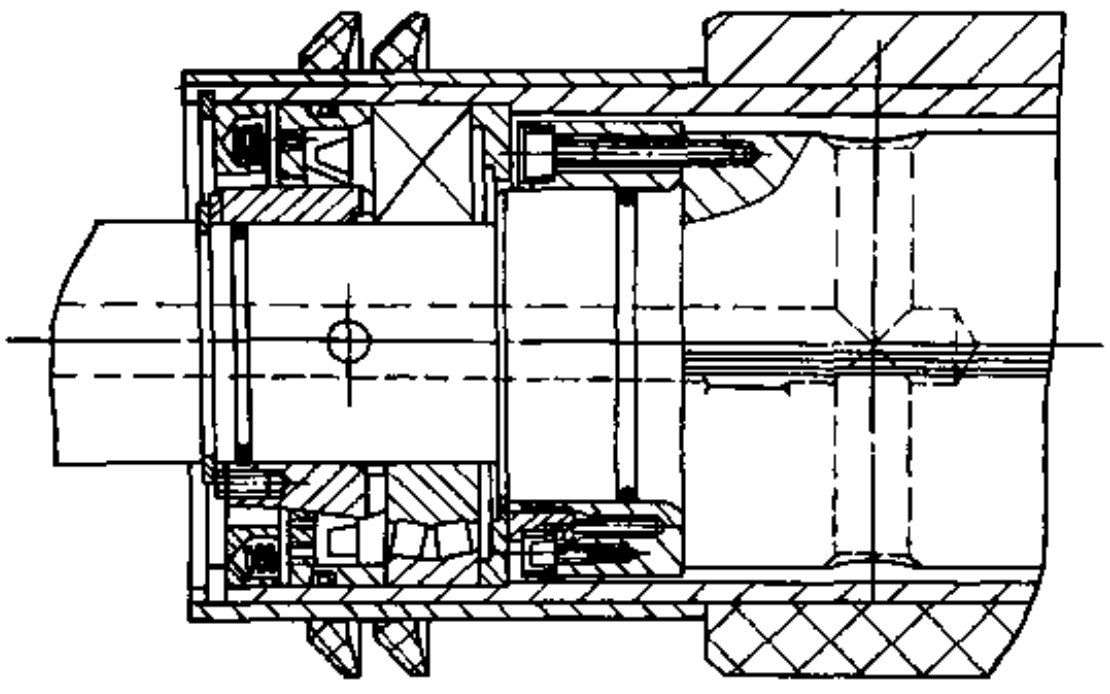


图 6-4　均匀橡胶轧辊结构示意图

（三）其它工业胶辊

1．印刷墨辊

印刷墨辊是用在印刷机械中的橡胶辊，可用作压印、调墨和传墨之用，其中以传墨胶辊的质量要求最高，除要求有规定的硬度和适当弹性外，还必须有较高的耐油性、耐洗涤溶剂

性、耐磨性和形状稳定性。此外，还要求生热小，易清洗，表面性能好及具有一定的吸附和传递油墨的性能。用来制造印刷胶辊的材料有：氯丁橡胶、丁腈橡胶和聚氨酯等。

2．砻谷胶辊

砻谷胶辊是砻谷机的易损部件，用以脱去谷壳，要求橡胶具有较高的耐磨性、耐热性和抗撕裂性，过去国内生产的由于采用炭黑作补强剂．因此全为黑色的，近年来随着中国大米大量出口和人们对大米色泽要求的提高，因此黑色胶辊已不受用户欢迎，为适应时代需要，浅色（有浅黄色、浅棕色等）砻谷胶辊国内亦已有生产，质量较优，获得用户单位的好评。橡塑并用在浅色砻谷胶辊中是一个广有发展前途的新技术，更有利于胶辊质量的提高。

3．硅橡胶胶辊

由于硅橡胶具有耐高温，耐臭氧，化学惰性及独特的对塑料不粘附性，特别适用于加工热粘产品，如聚氯乙烯的压延、压纹、印花以及纸张和织物的涂覆胶粘剂等，也有在糖果生产和包装机上作释料辊的。此外，硅橡胶还可用于无纺布的制造，牛仔布的液氨深冷处理，在复印机中硅胶辊是唯独无二的配件。

4．玻璃珠橡胶压浆辊

玻璃珠橡胶压浆辊是浆纱机的关键部件，胶辊的使用性能直接影响着浆纱的质量，过去浆纱均用平铁辊外包毛毯和绒布，为了提高浆纱质量和降低操作工人的劳动强度，目前国内已广泛采用玻璃珠橡胶压浆辊，以代替原来的平铁辊，橡胶压浆辊的技术要求是能在pH值为4～10的浆液中长期使用不变硬、发粘和掉色，橡胶硬度一般为65（邵尔A），富有较好的弹性，表面具有微孔以便吸附浆液，且能在98～100℃的浆液中长期使用，此种胶辊多采用



图 6-5　玻璃珠橡胶压浆辊

丁腈橡胶制造，用0.3～0.5mm 直径的玻璃珠造孔胶辊使用寿命一般可达2年(中间只需修磨数次），图6-5为玻璃珠橡胶压浆辊，图6-6为其表面放大图。

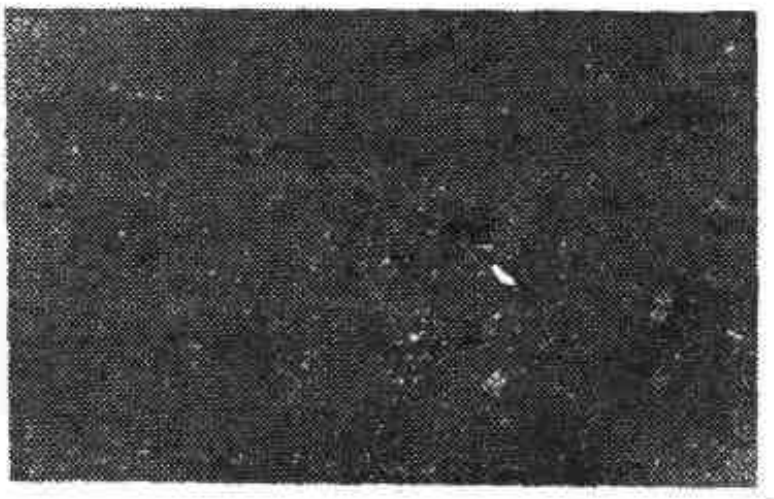


图 6-6　玻璃珠橡胶压浆辊表面放大图

5．人字形花纹胶辊

人字形花纹胶辊（见图6-7）是带式运输机的主动部件，它起着驱动输送带的作用，过去国内均采用平面胶辊，由于摩擦系数低，胶辊的驱动力小。面人字形胶辊则可使胶辊与胶带的摩擦系数从0.3增加到0.5，这样根据计算结果，便可使驱动胶辊的轴功率提高184%，相应地增加了胶带的运输能力，采用人字形胶辊还可使胶辊带泥情况得到很大的改善，我国生产的人字形胶辊在不同工作情况下，其摩擦系数与一些国外规定的比较见表6-1。

表 6-1　人字形花纹胶辊的摩擦系数

工作情况	国内产品	国际 ISO 6048	日本 JISB 8805	德国 DIN 22101
泥　水	0.311～0.411	干　态 0.4～0.45	0.2～0.3	泥水　0.3
煤　粉	0.48～0.579	污　浊 0.25～0.3	干　0.35	干　0.5
清　水	0.521～0.737	清水　0.35		潮湿　0.35

从上表可以看出，人字形胶辊较之平面辊有着很大的优点，但经过一段时期的实用结果发现人字形胶辊仍有不足之处，因人字形胶辊在使用时必需只能顺向，不能反用．近年来为克服这一缺点已将胶辊辊面的人字形改进为菱形，这样就可以不受方向的限制，正、反二向均可使用，避免了由于粗心而造成的报废，目前国内制造人字形（或菱形）胶辊有二种方法，其一是先预制成人字形（或菱形）胶板，然后应用胶粘剂进行冷粘合，此种工艺较为复杂，粘结强度较低（一般为1.5MPa）；而另一种则是采用软性模整体浇注，这种工艺方法粘结强度较高可达4.0MPa，没有拼缝，使用寿命长。

根据测试结果证明，采用人字形胶辊较之平面胶辊有着根好的节能效果，在相同条件下，人字形胶辊机组日耗电568.35kW·h/台，而平面胶辊日耗电则需601.65kW·h/台，每天每台可节电5.53%。这对大量使用皮带运输机作输送系统的矿山、码头、堆场等单位是一项惊人的节约潜力。

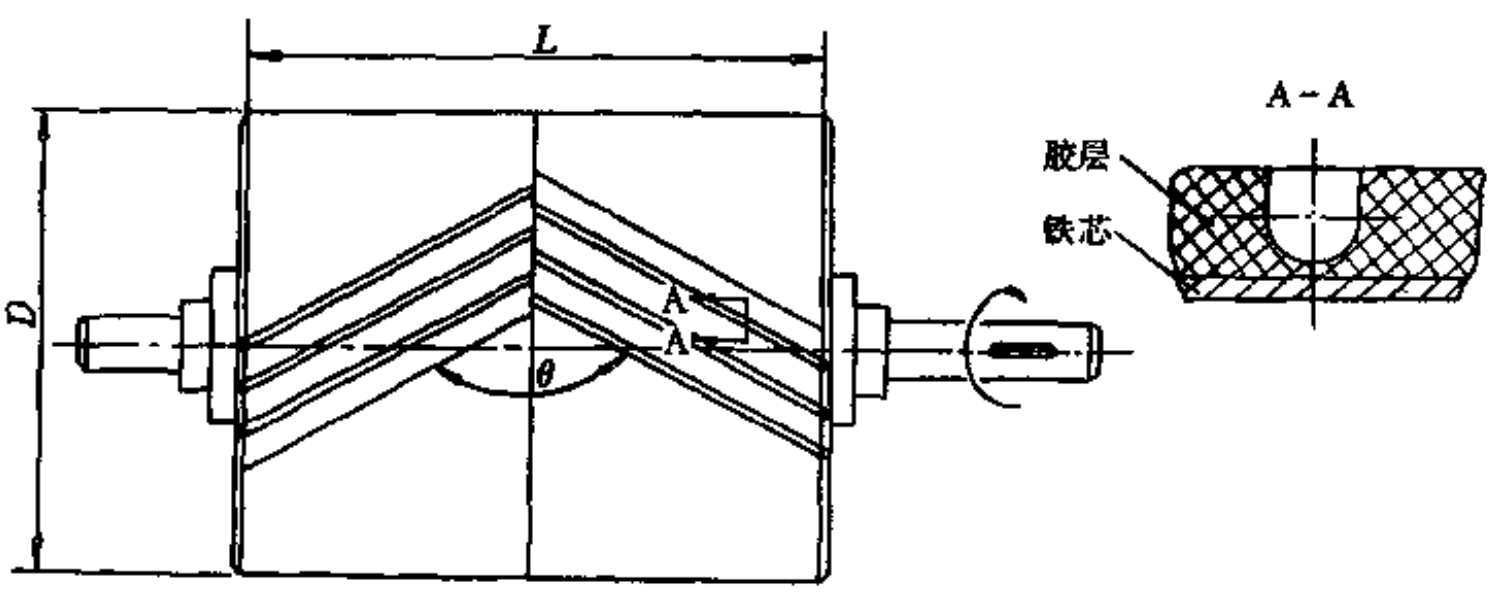


图 6-7　人字形花纹胶辊结构示意图

二、胶辊在文教用品中的应用

1．油印胶辊

在油印机中起压印的作用，要求柔软、耐油和表面平正，在使用中不损伤蜡纸，使字迹清晰。油印胶辊一般采用氯丁橡胶、丁腈橡胶制造，硬度较低，一般为（邵尔A）15～30。

2．打字机胶辊

打字机用胶辊需要具有较高的硬度，一般为（邵尔A）85～90及较好的弹性，变形小和一定的耐油性。除了在橡胶配方上采取措施外，为适应打字机胶辊的使用要求，也可采用两层胶料结构，即胶辊的橡胶层分为内外两层，内层胶较软，硬度为（邵尔A）60～70；而外

层胶的硬度为（邵尔A）90，这种结构可使打字字迹清晰，橡胶胶辊富有弹性。

第二节　胶辊的结构、规格与主要技术性能

一、胶辊的结构

一般胶辊和防腐蚀胶辊的结构见图6-8。

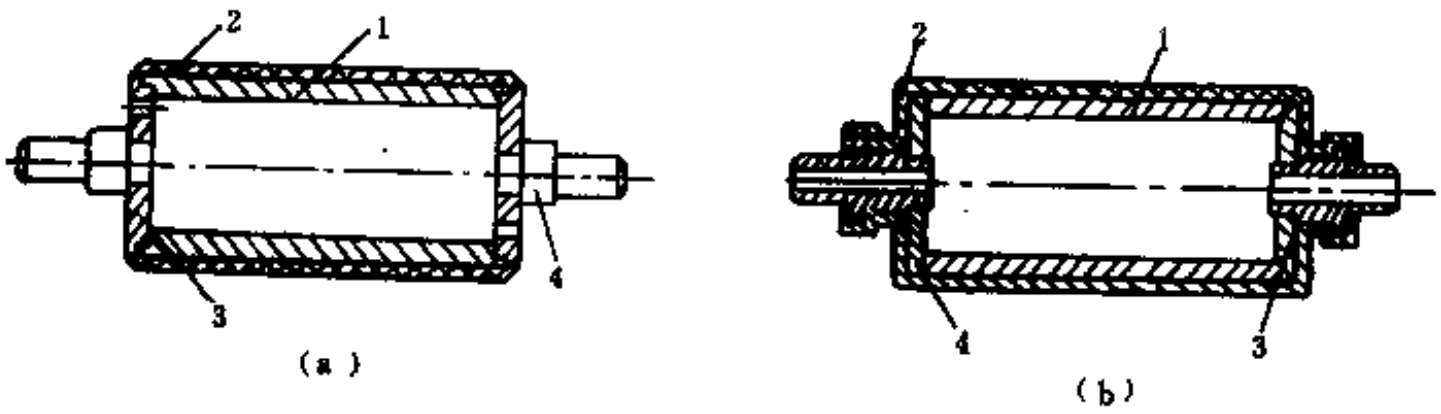


图 6-8　覆胶空心辊的断面图

(a) 端面有孔；(b) 辊颈中心有孔；
1—金属芯；2—橡胶覆层；3—辊筒端面；4—辊颈

在机电、冶金，特别是印染工业中，为了防止某些液体（如酸、碱、氧化剂等）对金属芯的腐蚀，胶辊的端面和轴颈部分必须被覆橡胶层，其作用类似化工衬里（即衬胶）。

二、胶辊的规格

胶辊的规格尺寸，由于其使用范围极为广泛，因此大小悬殊，需根据各种机械的实际需要而定，小的直径仅20mm，重量不足0.5kg，大的如造纸胶辊，直径为1000mm，长度在6000～7000mm之间，重达12000kg，而有些胶辊长度仅3000mm，而直径却有2000mm。

三、胶辊的主要技术性能

1．硬度

表 6-2　各种胶辊的硬度参考值

造纸胶辊		印花胶辊		印刷胶辊		其它胶辊	
名　称	硬　度（邵尔A）	名　称	硬　度（邵尔A）	名　称	硬　度（邵尔A）	名　称	硬　度（邵尔A）
压榨胶辊	80～90	印花胶辊	92～97	高速轮转机墨　辊	20～25	制革胶辊	50～60
挤水胶辊	75～85	丝光轧辊	85			人字形辊	70～80
烘缸托辊	85～95	丝光轧辊	80～85	高速平台墨辊	25～30	压浆辊	60～65
铜网伏辊	35和80	丝光平洗辊	80～35	一般平台墨辊	20～25	硅胶辊	70～75
分毯胶辊	95～100	平洗机上辊	100	胶印机墨辊	30～35	油印胶辊	25～30
案　辊	95～100	平洗机下辊	80	一般印刷墨辊	40～45	打字机胶辊	85～90
胸　揿	70～80	绳洗机辊	85～90			着谷胶辊	75，80，85，90，95
毛布导辊	95～100	轧染胶辊	85				
真空伏辊	80～90	空心弯辊	55～60				

表 6-3 造纸胶辊中高率（Ⅰ/25400mm）

辊长 mm	辊直径，mm															
	152.4	203.2	254.0	304.8	355.6	406.4	457.2	508.0	558.8	609.6	660.4	711.2	762.0	812.8	863.6	914.4
508	101.6	76.2	25.4	25.4												
762	482.6	203.2	101.6	50.8	25.4	25.4	25.4									
1016	1092.2	457.2	228.6	127.0	101.6	76.2	50.8	25.4	25.4							
1270	1981.2	838.2	431.8	254.0	177.8	127.0	101.6	76.2	50.8	25.4	25.4	25.4				
1524	3352.8	1397.0	762.0	431.8	279.4	203.2	152.4	101.6	76.2	76.2	50.8	50.8	25.4	25.4		
1778	5334.0	2286.0	1193.8	685.8	431.8	304.8	228.6	152.4	127.0	101.6	76.2	50.8	50.8	25.4	25.4	
2032		3556.0	1828.8	1066.8	660.4	457.2	330.2	228.6	177.8	152.4	101.6	76.2	76.2	50.8	50.8	25.4
2286		5080.0	2590.8	1498.6	914.4	660.4	457.2	330.2	254.0	203.2	152.4	127.0	101.6	76.2	76.2	50.8
2540			3556.0	2057.4	1168.4	914.4	635.0	457.2	355.6	279.4	228.6	177.8	152.4	127.0	101.6	76.2
2794			4572.0	2667.0	1676.4	1168.4	863.6	609.6	482.6	381.0	304.8	228.6	177.8	152.4	127.0	101.6
3048			5994.4	3479.8	2184.4	1524.0	1092.2	787.4	609.6	482.6	381.0	304.8	254.0	203.2	152.4	127.0
3302				4445.0	2794.0	1955.8	1371.6	990.6	762.0	609.6	482.6	381.0	304.8	254.0	203.2	177.8
3556				5461.0	3479.8	2438.4	1701.8	1244.6	939.8	762.0	635.0	482.6	381.0	304.8	254.0	203.2
3810					4267.2	2997.2	2108.2	1524.0	1168.4	939.8	787.4	584.2	482.6	406.4	330.2	279.4
4064					5232.4	3657.6	2565.4	1854.2	1422.4	1143.0	939.8	711.2	584.2	482.6	405.4	355.6
4318						4368.8	3073.4	3209.6	1701.8	1371.6	1117.6	838.2	685.8	558.8	457.2	406.4
4572						5130.8	3632.2	2641.6	2006.6	1625.6	1295.4	1016.0	812.8	660.4	558.8	482.6
4826							4292.6	3098.8	2387.6	1905.0	1524.0	1193.8	965.2	787.4	660.4	558.8
5086							5003.8	3606.8	2794.0	2209.8	1778.0	1397.0	1117.6	914.4	762.0	635.0
5334							5791.2	4191.0	3225.8	2540.0	2057.4	1625.6	1295.4	1066.8	889.0	736.6
5588								4800.6	3683.6	2895.6	2362.2	1854.2	1498.6	1219.2	1016.0	838.2
5842								5511.8	4216.4	3251.2	2717.8	2108.2	1727.2	1397.0	1168.4	965.2
6096									4826.0	3708.4	3098.8	2438.4	1955.8	1727.2	1320.8	1066.8
6350									5461.0	4191.0	3505.2	2743.2	2209.8	1955.8	1498.6	1244.6

胶辊面胶层的硬度在胶辊中是一项重要的质量指标，虽然其它的质量指标均达到了，但往往由于所需要的橡胶硬度选择不当，却达不到预期的使用效果，这种现象在造纸机中压榨辊，印染机中的印花承压辊以砻谷胶辊等均极为明显，压榨胶辊的硬度过高，会使毛毯发生早期损坏，反之如果硬度不足，则达不到纸页迅速脱水的效果。

印花胶辊的硬度不足而发生崩花的现象是很常见的。

曾经对砻谷胶辊做过这样的试验，选用含胶率为60%，硬度为（邵尔A）70的轮胎胎面胶料和含胶率仅40%硬度为（邵尔A）85的二种不同胶料制成砻谷胶辊作实用对比试验，结果前者的使用效果远不及后者，当然砻谷胶辊的硬度也不是愈高愈好，过高了也将降低使用质量，使碎米率增加。

各种胶辊的参考硬度见表6-2。

2。表面要求

胶辊的表面要求可根据具体用途而不同，有的要求表面光洁，有的表面尚需经过特殊处理。

表 6-4　胶辊用各种橡胶的性能比较

介质及指标	天然橡胶	异戊橡胶	顺丁橡胶	丁苯橡胶	丁腈橡胶	氯丁橡胶	丁基橡胶	乙丙橡胶	聚硫橡胶	聚氨基甲酸酯橡胶	丙烯酸酯橡胶	硅橡胶	氟橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶
耐介质稳定性：														
水	1	1	1	1	1	2	1	1	2	3	3	2	2	2
酸	2～3	2～3	2～3	2	2	2	1	1	2	3～4	3	2～4	1	1
碱	2	2	2	2	2	2	1	1	3	3～4	4	2～4	3	1
脂族烃	4	4	4	4	1	2	4	4	1	1	1	3	1	3
芳族烃	4	4	4	4	2	4	4	3～4	2～3	2	4	3	1	4
氯化溶剂	4	4	4	4	4	4	4	4	3～4	2	4	3	3	4
酮	2	2	2	2	3	3	2	1	2～3	3	4	3	4	3
酒精	2	2	2	3	1	3	1	2	2	2	4	2	1	3
润滑油	4	4	4	4	1	2	4	4	1	2	1	4	2	4
合成油	3	3	3	4	2	4	3	3	2	4	2	3	2	4
液压油	4	4	4	3	3	2	3	2	3	4	2	4	2	2
燃料油	1	1	4	4	1	2	4	4	1	1	1	3	1	3
气候	3	3	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
氧化	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1＋	1
臭氧	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1＋	1＋
拉伸强度	2/2	2/2	3/4	2～3/4	2～3/4	2/2	3/3	3/4	4/4	1/1	3/4	3～4/4	3/3	3/3
扯断伸长率	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	3	1	3	3
撕裂强度	1	2	2	3	2	2	2	3	3	1	3	3	3	2
耐磨	1	1	1	1	1	2	2	2	3	1	2	3	2	2
抗龟裂	1	1	3	2	2	2	1	2	4	2	2	3	3	2
压缩永久变形	2	3	3	2	2	2	3	3	4	1	2	1	1	2
弹性	1＋	1＋	1＋	2	2	2	3	2	3	1	2	2	3	2
介电性能	1	1	1	1	4	3	1	1	3	2	3	1	2	2
耐寒性	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	4	1	4	2
耐热性	2	3	3	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1

注：1．规定符号：1—优；2—良好；3—及格；4—差。

2．拉伸强度一项中，分子表示填充橡胶，分母表示未填充橡胶。

3．中高率

胶辊的中高率就是胶辊的中心直径与端边直径之差，其作用是弥补胶辊在运转中的挠度变形，所以造纸压榨辊和压光机胶辊均需有一定的中高率，胶辊的中高率随着胶辊长度的增长而增大。造纸胶辊的中高率参考表见表6-3。

4．耐介质性能

有些胶辊需要在浸液的条件下使用，因此在配方设计前首先应对其在何种介质中使用进行了解，胶辊的耐介质性能取决于生胶的品种和主要填充剂的选用有关，胶辊用各种橡胶的耐介质性能比较见表6-4。

在要求耐酸的胶辊中，应避免采用易于被酸分解的碳酸盐类作填充剂。

5．耐温性能

胶辊的耐温性能，取决于选用生胶的品种及钢胶粘合的方法，常用的硬质胶结合，由于硬质胶随着温度的升高而发生软化现象，使金属与橡胶的粘合强度急剧下降，一般只能在不超过70℃的温度下使用，若采用JQ-1作胶粘剂，则可使使用温度提高到100℃左右。

选用商品胶粘剂（如Chemlok205和220）作粘合的话，则其使用温度便有可能大于100℃，如果胶辊的面胶是耐高温的（如硅橡胶），则应另选相应能耐高温的胶粘剂（如Chemlo 607等）。

第三节　配方设计及硬度调整方法

一、配方设计

胶辊应具有准确而均匀的表面硬度，其硬度范围从12～93（邵尔A），又要求未硫化胶料具有良好的自粘性能，以适合成型工艺的需要，因此如何求得既能符合使用所需要的硬度，又有良好的工艺操作性能，是制订胶辊胶料配方的一个重要目标，根据使用要求的不同，选择合适的生胶品种也是极为重要的，目前用于制造胶辊的胶种有天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶、聚氨酯、氯磺化聚丁烯和硅橡胶等。

在进行配方设计时应注意下列各要点。

（1）胶辊是厚制品，胶层厚度一般在20～25mm之间，也有特殊要求加厚至40mm的，因此在考虑配方时应充分注意到厚型制品的设计原则，即需要有较长而平坦的硫化曲线，以适应低温长时间硫化的特点，在采用以天然橡胶为主的配方中，选用促进剂DM、CZ等较为安全，性能亦佳。

（2）在硬质胶配方中以消石灰作无机促进剂可避免硬质胶过硫而发脆，若与促进剂DM并用性能更佳，此外软化剂的用量不宜过多，应避免采用易喷出的石油烷烃类，否则容易产生脱层现象。

（3）采用高质量的硫黄粉亦是极为重要的，这样可以避免发生硬度不均和不足。

各种常用胶辊配方例见表6-5，特种胶辊配方见表6-6，胶浆及胶粘剂配方见表6-7。

二、胶料硬度的调整方法

1．用填料量调整

此种方法以胶料中的填充剂（主要是炭黑或白炭黑）量增减来控制硬度，因此高硬度的胶料，其含胶率就相对地降低了，高填料量的胶料自粘性就会较差，造成操作困难，且硫化

表 6-5 各种胶辊胶料的配方举例

材料名称	造纸胶辊		印染胶辊		印刷胶辊	空心弯辊	着谷胶辊
	硬度（邵尔A）		硬度（邵尔A）		硬度(邵尔A)	硬度(邵尔A)	硬度(邵尔A)
	65～95	35	65～95	98～100	30	55～60	85
天然橡胶	100	100	100	100	32	100	10
氧化锌	40	10	33	8	10	16	5
陶　土	8	—	28	80	—	32	
硬质炭黑	40	—	—	16	—	—	70
碳酸钙	24	37	48	76	16	40	—
碳酸镁	8	12	44		—	20	—
锌钡白	—	—	—	16	8	24	—
硬脂酸	2	1	3	2	1	2	3
松焦油	4	—	—		10	—	4
黑油膏	—	28	—	4	50	8	—
白油膏	—	16	—		30	—	—
氧化铁	—	16	—		16	—	—
凡士林	—	—	—	4	—	—	—
沥　青	—	—	—	16	—	—	—
白　蜡	—	—	—	1	—	—	—
防老剂RD	1.5	1.5	1.5	—	1.5	1.5	1
促进剂M	—	1	—	—	1.2	1	—
促进剂DM	0.4	—	0.6	0.4	—	—	0.44
硫　黄	变量	5	变量	27	2	5	7
促进剂D	—	—	—	0.2	—	—	0.56
丁腈橡胶	—	—	—	—	68	—	—
丁苯橡胶	—	—	—	—	—	—	90
乙二醇	—	—	—	—	1	—	—
二丁酯	—	—	—	—	30	—	—
合　计	2	227.5		350.6	276.7	249.5	191
含胶率，%		43.9		28.5	36.1	40	52.4

表 6-6 特种胶辊配方举例

材料名称	丁基橡胶辊	人造石辊	硅胶辊	材料名称	丁基橡胶辊	人造石辊	硅胶辊
天然橡胶	—	100	—	轻操作油	5	—	—
硅橡胶（甲基乙烯基）	—	—	100	三丁氧基乙基磷酸脂	2	—	—
氯化丁基胶 400	80	—	—	硫　黄	1.5	45	—
氯磺化聚乙烯 20号	15	—	—	促进剂TT	1	—	—
氯丁橡胶（W型）	5	—	—	二乙基二硫代氨基甲酸碲	1	—	—
氧化镁	5	—	—	促进剂M	1	DM1.5	—
氧化锌	30	5	—	氧化铁	—	16	2.5
硬脂酸	1	2	—	酚醛树脂 2127 号	—	100	—
聚三甲基二氢喹啉	1.5	—	—	石英砂（30～50目）	—	550	—
对，对-二胺基二苯基甲烷	0.5	—	—	二苯基硅二醇	—	—	3
石蜡	1	—	—	交联剂DCP	—	—	2
白炭黑	（沉淀）25	—	（气相）60				
硅藻土	20	—	—	合　计	210.5	819.5	157.5
高耐磨炉黑	15	—	—	硬度（邵尔A）	70	100	55～60

表 6-7　胶浆和胶粘剂配方举例

材料名称	硬质胶	氯丁橡胶环氧树脂粘合胶	硅胶胶粘剂	材料名称	硬质胶	氯丁橡胶环氧树脂粘合胶	硅胶胶粘剂
天然橡胶	100	—	—	氧化镁	—	8	—
氯丁橡胶	—	100	—	环氧树脂 634 号	—	40	—
氧化锌	—	15	—	间苯二胺	—	8	—
锌钡白	20	—	—	甲基乙烯基硅橡胶	—	—	100
碳酸钙	32	—	—	二苯基硅二醇	—	—	3
碳酸镁	11	—	—	DCP	—	—	2
氧化铁	20	—	—	白炭黑	—	（沉淀）50	（气相）60
古马隆（固体）	2	—	—		—	—	
陶土	60	45	—	202 硅油		—	5
沥青	12	—	—				
消石灰	5.6	—	—	合　计	296.2	270	168
硫黄	33.6	—	—	含胶率，%	33.8	37	58.14
硬脂酸	—	—	—	胶浆配比	胶：汽油	胶：甲苯：丙酮	胶：甲苯
苯二甲酸二丁酯	—	4	—		1：1.5	1：1：0.25	1：5

表 6-8　胶辊面胶胶料中硫黄用量与硬度的关系

硬　度（邵尔A）	造纸胶辊硫黄用量，%	印染胶辊硫黄用量，%
65	4.5	6
70	5.5	10
75	8	12
80	12	14
85	15	16
90	17	19
95	19	22

胶的滞后性较大。

2．用硫黄量调整

这种方法就是根据胶料中硫黄用量的多少来控制硬度，橡胶的硬度随着胶料中硫黄用量的增加而提高，此法在生产上易于掌握，管理上亦较方便，含胶率相对地稳定，胶料的自粘性好，便于操作，成品又能具有适宜的弹性，其缺点是耐热性差，受热硬度下降幅度较大，目前国内多数胶辊制造厂还是采用此法来控制硬度的。造纸胶辊、印染浅色胶辊面胶胶料配方中硫黄用量与硬度的关系见表6-8。

3．用软化剂（增塑剂）量调整

在低于硬度（邵尔A）为60的胶料中（如印刷墨辊），由于配方中的硫黄用量已属较低，上述二种方法均已不能起作用，则可采用增减胶料中的软化剂（增塑剂）量来获得所需要的低硬度，在耐油的印刷墨辊中用来调正硬度的增塑剂，应尽量选用不被油墨所抽出的品种。

4．其它

某些助剂也能有效地提高胶料的硬度，例如在氯丁橡胶配方中硅酸钙加上 4 %的二甘醇（一缩二乙二醇）和有白炭黑的配方中，加上2～3%的Si-69〔四硫化双（3-三乙氧基甲硅烷基丙烷)〕，都能使橡胶的硬度比原来的提高 3 ～ 4 （邵尔A）。

第四节　工 艺 简 述

一、胶料制备概述

通用胶种的塑混炼工艺可参见本手册第三分册基本工艺部分，不再赘述。

硅橡胶胶料的制备，硅橡胶生胶可不经塑炼即行混炼，混炼前应先搞好炼胶机和粉盘的清洁工作，第一次应先加约0.5kg白炭黑和2.5g硅氮烷，须待白炭黑完全混入胶料呈半透明后，方可进行第二次加粉，混炼好的硅橡胶胶料须经热处理，将厚度为4～5mm的胶片（不宜过多重叠，一般保持在4层以下）经烘箱加热处理（温度为180±5℃，时间为1.5～2h），胶片呈透明状为止。

凡经热处理过的胶料，应在24h内进行返炼，返炼至胶料柔软、光洁、无空洞为止。

用作打底的硅橡胶胶料，尚需加胶粘剂，加过胶粘剂的胶料必须用塑料袋封存，以免变质失效，每批胶料使用前，均应先测试其粘结性能。

面胶胶料加入交联剂（DCP），做硬度测试是否达到要求。

二、胶料过滤

凡是用来制造胶辊的面胶胶料，均必须进行过滤，因为成品胶辊的表面若有微小的砂眼、杂质，也会严重地影响使用质量，因此过滤工艺是必不可少的，过滤可采用一般过滤机进行，过滤后胶料趁热在开炼机上进行加促进剂、硫黄，然后下片冷却待用。

三、成　型

胶辊产品的主要特点是品种复杂、规格多、批量小，因此机械化操作程度受到一定限制。

胶辊成型方法迄今无非是贴合法或缠绕法两大类，国外已采用压出缠绕法，国内大都为贴合法，1985年已引进了胶辊压出缠绕成型机。

1．手工贴合成型

手工贴合成型顺次粘贴胶片至规定要求的厚度（并应按规定加放、车、磨、余量尺寸），手工贴合成型时应彻底压实胶片，并随时排除胶层中残留的空气，贴合所用的胶片不宜过厚，一般为5～6mm左右。

胶层总厚度与硬质胶层厚度参考比例如表6-9。

2．机械贴合成型

（1）间歇法　系模仿手工贴合动作，无须再用手辊滚压，这种机械制造简便，可降低劳动强度，适用于长度较大的胶辊成型（见图6-9）。

表 6-9　胶层厚与硬质胶厚度

胶层总厚度，mm	硬质胶厚度，mm
6	1.5
7～12	3.0
13～ 9	4.5
20～25	

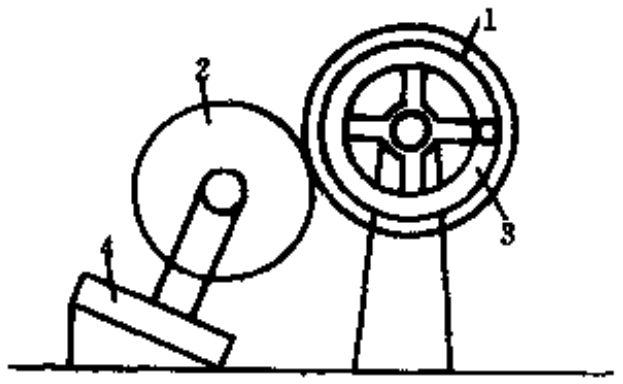


图 6-9　间歇法成型机

1—待贴胶片；2—辊芯；3—手轮；4—支架

（2）连续缠卷成型　系采用厚度为2～3mm的热胶片在成型机连续缠卷至所需的外径尺寸（加加工余量）即成，此法产量高，贴合性好，并可避免接口缝的产生，适宜于批量较大的产品，但由于受胶片宽度的限制，不能使用于长度较大的胶辊（见图6-10）。

3．单辊滚压贴合成型

本法为半机械化的简单装置，见图6-11，辊筒轴颈安放在支架上，移动支座可沿机座移动，并根据胶辊的长度定位，在固定的支架一侧装有一台摩擦传动马达传动装置与胶辊，通过装在轴颈上的联轴器联结，上面安装一台由滚压辊和传动装置组成的滚压装置，经传动装置带动，滚压装置在单轨上沿辊筒轴向移动，并对胶片进行滚压，滚压一遍后，电动机通过减速器使辊筒传一个角度，再进行第二次滚压，对滚压过的部分尚须用手压滚及锥子进行检查。

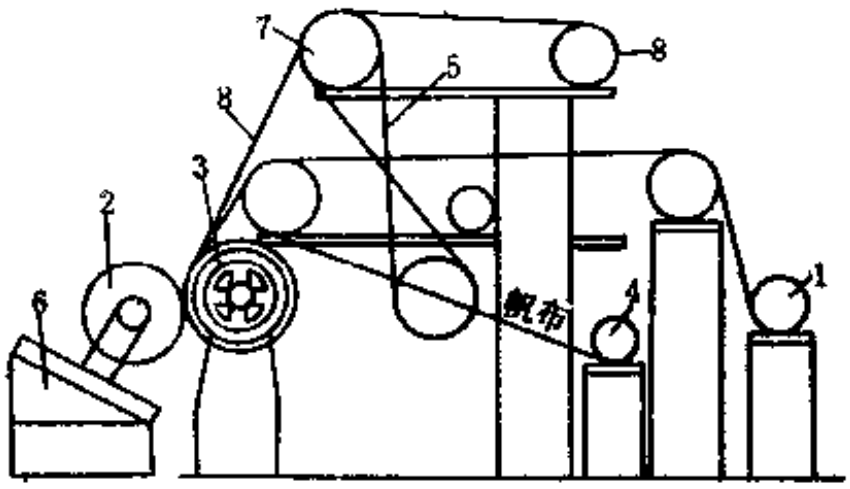


图 6-10　连续缠卷成型机

1—待贴胶片；2—辊芯；3—手轮；4—垫布卷取；5—传动带；6—支架；7—硬质胶片垫布卷取；8—待贴硬质胶胶片

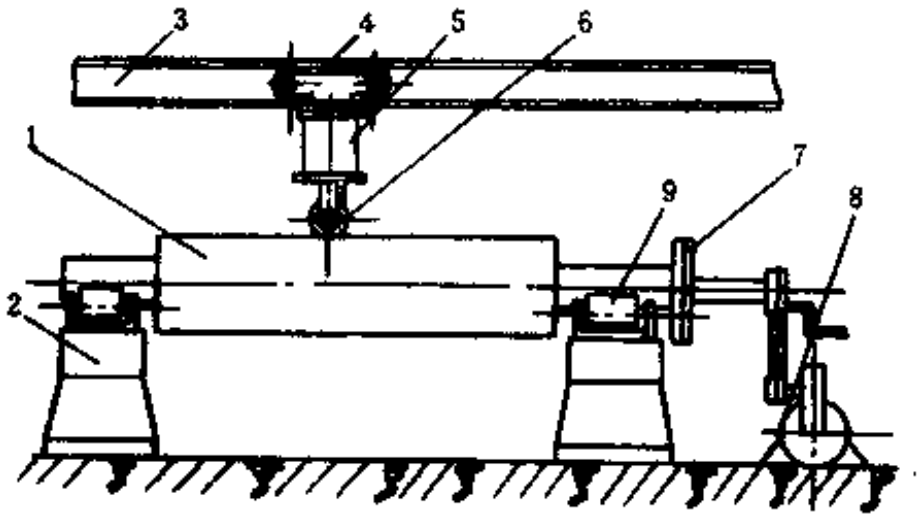


图 6-11　单辊滚压机示意图

1—辊子；2—移动支架；3—单轨；4—传动装置；5—滚压装置；6—滚压辊；7—联轴器；8—电动机；9—固定支架

4．压出缠绕成型

采用滚压、贴合、胶片的方法，都有不少缺点，不能或难于使用粘度较大而粘合性能较低的胶料，这种胶料成型时劳动强度较大，不能保证所需的粘合质量，这些缺点只有采用压出机压出的热胶条，螺旋缠卷和滚压才能克服，采用这种方法成型还可省去一系列补助操作，如压延胶片和展开压延垫布、裁料、溶剂清洗面以及垫布的修补等手工操作，使用压出胶条向辊面缠绕，同时滚压，这种装置的生产效率最高，质量也最好。图6-12为美国A.M.F.公司制造的胶辊缠绕机。

待加工的辊芯轴颈放在自定中心的轴上，另一端轴颈放在支架上，支架能纵向移动转动辊芯，开动压出机并向压出机喂入胶料，压出所需断面的胶条，通过预先调好缠绕方向的异向轮，成一定角度（一般为45°）搭接并轻轻压住粘合于辊芯上，这时压出机与台车一起沿辊芯纵向慢慢移动，当压出胶条粘合于辊芯上时，开动滚压装置的液压缸，于是滚压辊将压出胶条压向辊芯表面，台车沿辊芯走一单程后停下。由于粘合胶条导致辊筒直径及其圆周速度增大，可通过专用电动机（调速电动机）辊芯转速与压出速度同步，以后每层胶条都与上一层反向粘合于辊芯上，直到胶层达到所需要的厚度为止。

四、对胶辊芯的技术要求、检查及其表面处理方法

1．对胶辊芯的技术要求

由于胶辊的使用条件各不一致，而大多数辊芯又是由需方制备提供，因此很难对辊芯的材料与结构作统一的规定，为了确保胶辊的质量和工艺需要以及粘合技术的要求，所以对胶辊芯还得有一些必要的规定。

胶辊芯一般由铸铁、钢、铜、铝等金属材料制成，其结构有实心、空心、管式等多种。

金属芯表面应车制成“V”形螺纹并成倒顺向，从中心往两端分开，这样可使胶辊在运转中达到应力平衡。

辊芯表面应无砂眼、巢孔，机床加工时不应有严重偏心等现象。

用钢板或钢管制成的金属芯的壁厚应符合下述要求。

直径≤100mm的应不小于5mm；

直径＞100mm至250mm的应不小于8mm；

直径＞250mm至500mm的应不小于12mm；

直径＞500mm的应不小于15mm。

直径大于200mm的辊芯，其两端应有导入内腔的通气孔，以达到硫化均匀。

辊体表面具有孔眼的真空状辊辊芯，其孔眼直径大于5mm的应事先用木塞塞住，以防止加热硫化时发生逃胶现象。

金属芯表面均应彻底除去油污和铁锈，一般对胶辊芯均采用喷砂法进行表面处理。

2．辊芯的喷砂处理

喷砂装置示意如图6-13所示。用吊车将辊芯放在台车覆胶托辊上，台车可沿轨道由密封室移出，辊芯放好后台车推入密封室，然后将移动架连同喷嘴一起移到轴的任一端，关闭密封室，靠托辊使待加工的辊芯移动，然后接通移动架及喷砂机的传动装置，沿已转动的辊芯缓慢移动喷嘴架，由喷嘴喷砂对辊芯表面进行加工，铁砂用压缩空气喷射，压缩空气的压力为0.6～0.7MPa，压缩空气必须净化，滤除水分和油，铁砂冲刷辊芯表面后，即经过地面上的网栅落入锥形壁坑内，提升机将铁砂提升到接收槽，灰尘和碎砂在此被排出，然后落入中间槽，铁砂由中间槽送到喷砂装置，然后再送入喷嘴。建议采用粒度为0.4～0.7mm的铁砂。喷砂处理时必须检查磨料的类型、纯度及质量、系统内压缩空气的压力以及磨料的冲击力与砂粒的分布。

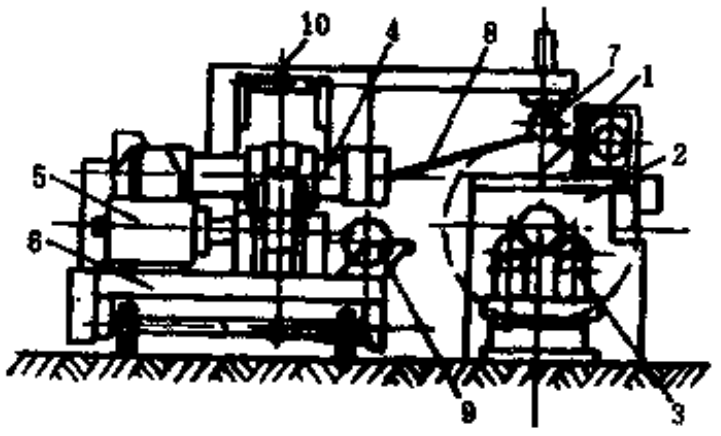


图 6-12　辊面压出胶条螺旋缠卷装置示意图

1—待加工辊子；2—主轴；3—活动支架；4—压出机；5—传动装置；6—台车；7—液压辊；8—胶条；9—缠绕装置；10—喂料辊

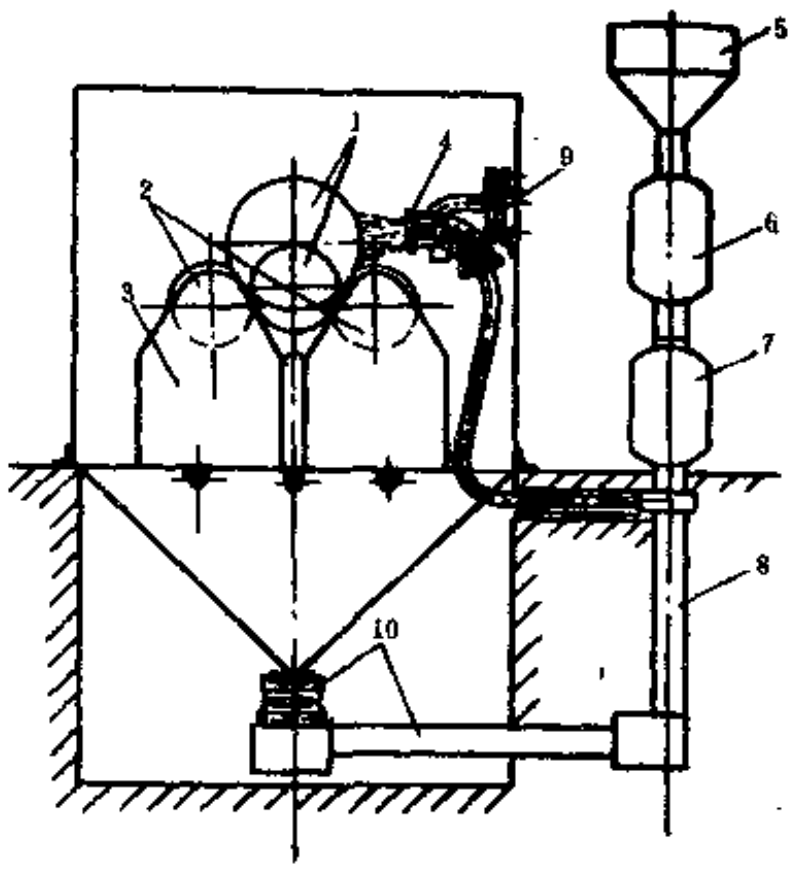


图 6-13　辊芯喷砂处理装置示意图

1—辊芯；2—覆胶托辊；3—台车；4—喷嘴；5—料斗；6—中间斗；7—喷砂机；8—提升机；9—滑架；10—皮带运输机

喷砂加工的表面质量，可以根据其粗糙度来确定，从不同角度观察表面时，都不应有闪光的部位。

五、橡胶与辊芯的粘合方法

根据橡胶与辊芯材质的不同，应选用各种不同的粘合方法。

（一）硬质胶粘合法

此法早就在工业中得到了广泛的应用，虽然还存在着不少的缺点，如硫化时间过长，耐热、耐冲击、耐震动等性能较差，但由于此法工艺简单，便于生产，因此在胶辊制造中仍被普遍采用，尤其是大型胶辊至今仍采用硬质胶粘合的方法。

硬质胶与铁、钢、黄铜等都有较高的结合强度，而且还能与硬铝等其它合金相结合，硬质胶与常用金属的粘接强度见表6-10。

表 6-10 硬质胶与常用金属的粘接强度

材　质	3号钢	不锈钢	铸　铁	生黄铜	镁合金	硬　铝	不含锡黄铜
粘接强度，MPa	4.0～6.0	4.0～6.0	4.0～6.0	4.0～6.0	<2.0	4.0～6.0	<2.0

在硬质胶配方中，配用氧化铁，可以提高橡胶与钢和铁的结合强力，试验结果认为配方中的氧化铁用量达到20%时，则橡胶与钢铁的结合强力可较原来的提高1倍左右，但若配用量超过20%时，则结合强度反有下降的趋势。

用硬质胶粘合耐热性是比较差的，在使用中钢胶结合强力随着使用温度的升高面下降（如图6-14）。试验结果表明，硬质胶与钢的结合强力，当使用温度达到70℃时则只及20℃时的1/5，此外由于硬质胶的热膨胀系数（由0℃至100℃时为0.00007～0.00011）比钢铁的热膨胀系数（0.000012）要大得多，因此当温度发生变化时，硬质胶与铁芯便容易发生脱壳现象（图6-15）。

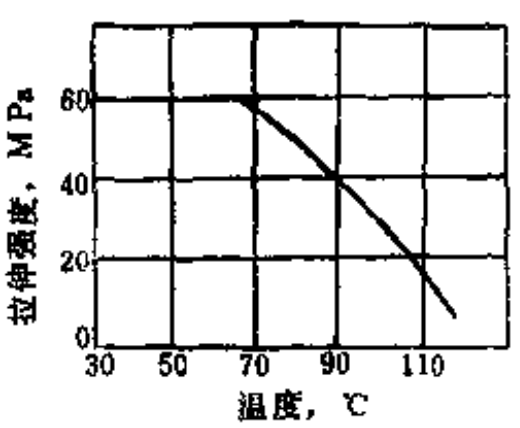


图 6-14 硬质胶的耐热性

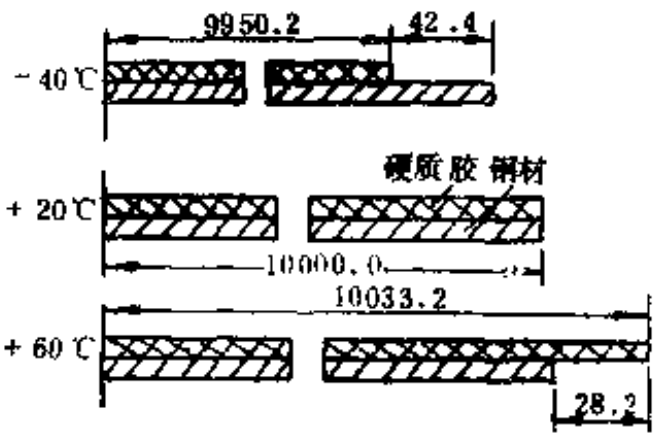


图 6-15 硬质胶和钢材在不同温度下的长度变化
（单位，mm）

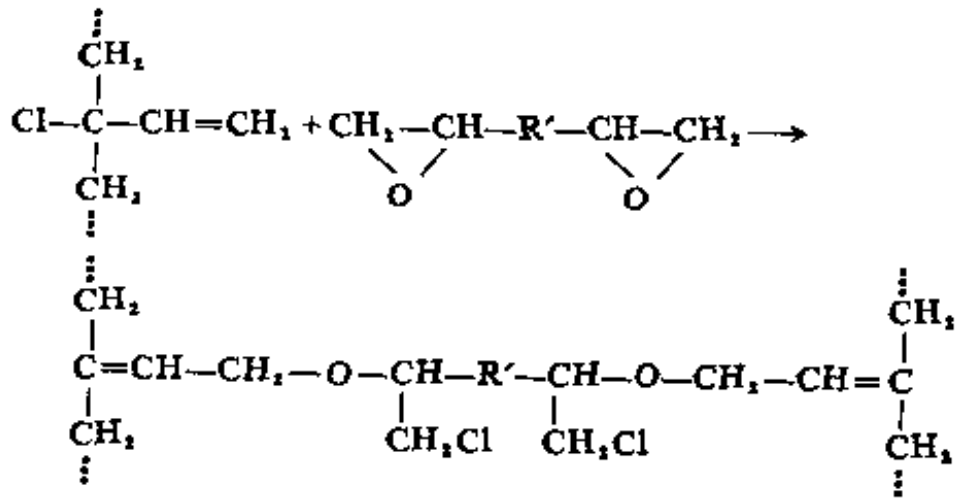
（二）氯化橡胶粘合法

氯化橡胶系采用经过塑炼的天然橡胶通氯气化合而得，商品氯化橡胶为白色或乳黄色的轻质粉末，含氯量为60%左右，相对密度为1.5～1.7，能溶于芳香族碳氢化合物，通常以甲苯作溶剂。氯化橡胶粘合能用于橡胶与铸铁、钢、铝、铝合金、镁、锌、木材等材料的粘合，但与紫铜和黄铜的粘合不良。

（三）氯丁橡胶环氧树脂粘合法

造纸真空伏辊的辊芯材料系锡青铜铸成（其成分为铜90.25%、锡9.48%，锌痕迹量），含锡的青铜是难以和橡胶粘合的材质，胶辊工艺常用的粘合方法，其粘接强度均达不到设计的要求，硬质胶与锡青铜的粘接强度仅 2.0～3.0MPa；表面经镀L68黄铜后其粘接强度可以达到 5.0MPa；JQ-1胶粘剂由于不适宜于蒸汽直接硫化，故不能采用；氯丁橡胶酚醛树脂粘合，因酚醛树脂胶膜自粘性较差，成型困难，亦无采用可能。经过实践试验证明，采用氯丁橡胶环氧树脂粘合的方法，能够符合使用要求，它的粘接强度可以达到7.0MPa以上。

由于氯丁橡胶与环氧树脂并非单纯的混合，而是进行化学交联，因此它就具有较为稳定的粘合强力，其化学反应大致如下：



氯丁橡胶明显的交联倾向归因于 2-氯-1,3-丁二烯单体具有极高的反应性，其单体分子结构中结合在烯丙基叔碳原子上的氢原子易被分裂，具有活泼反应能力。

在环氧树脂中的环氧基也是很活跃的，在一定温度或碱性触媒下，能产生交联作用，在交联过程的同时，由于环氧树脂结构中有着羟基存在，具有较高的极性与相邻的金属面产生电磁吸力，易于与有活泼氢金属表面形成牢固的化学键，达到较高的粘合力。

（四）JQ-1胶粘剂粘合法

铸铁、钢板或铝质的辊芯可用JQ-1（商品JQ-1的成分为三苯甲烷三异氰酸酯的20%二氯乙烷溶液，不需稀释即可使用）进行粘合，它能使天然橡胶，丁苯橡胶，丁腈橡胶，氯丁橡胶等与金属辊芯进行很好的粘合，用于较硬的橡胶与金属粘合可望得到较高的粘接强度。

硬质丁腈橡胶使用JQ-1胶粘剂与钢粘合，其粘接强度可达10.0MPa，国内外资料和研究都证明，异氰酸酯与光滑表面的金属粘合不良，因此采用JQ-1胶粘剂时，辊芯均需进行表面处理，处理方式与粘接强度的关系见表6-11。

表 6-11　金属处理方式与粘接强度

表面处理方式	喷砂	车床加工	磨光	酸洗
天然橡胶与钢板的粘接强度，MPa	6.1	2.8	2.4	5.4
丁苯橡胶与钢板的粘接强度，MPa	3.0	2.1	2.1	2.9
氯丁橡胶与钢板的粘接强度，MPa	8.2	2.8	3.7	6.3

异氰酸酯由于在空气、水分和光的作用下，异氰基被还原成氨基而失去其优良的技术性能。

因此一般待胶浆干燥后即可进行成型操作，并应控制环境湿度不宜过高，停放时间过长亦会使粘接强度下降，见表6-12。

表 6-12 停放时间与粘接强度

停放时间 h	粘接强度，MPa			停放时间 h	粘接强度，MPa		
	天然橡胶	丁苯橡胶	氯丁橡胶		天然橡胶	丁苯橡胶	氯丁橡胶
2	4.5	2.6	8.0	24	3.2	2.6	7.6
4	5.4	2.9	7.6	48	2.7	1.8	1.6
8	5.7	2.8	7.1	96	1.8	0.7	0

若在涂刷过JQ-1胶粘剂的辊芯表面，再刷一层橡胶浆予以保护，则能使停放时间延长，异氰酸酯粘合具有广泛的用途，与多种金属均有很好的粘接强度，见表6-13。

表 6-13 JQ-1胶粘剂与各种金属的粘接强度

金属名称	粘接强度,MPa	金属名称	粘接强度,MPa	金属名称	粘接强度,MPa
铅	5.4	不锈钢	4.6	磷青铜	2.3
硬铝	4.4	铸铁	8.2	铜	0
软铝	5.7	钼	3.0	镀铜	5.6

（五）商品胶粘剂Chemlok的应用

美国Lord公司的Hughson Chemicals制品厂生产的各种胶粘剂在胶辊产品中常用的有205、220、218等若干种。

205胶粘剂系不透明的灰色胶浆，其主要溶剂为甲基异丁基酮和二甲苯，干固物含量为22～26%，密度为911～971kg/m³，燃点为19℃，（宾斯克-马丁，闭匣式试验器）贮藏有效期1年。205胶粘剂大都作打底层使用（即辊芯的第一次涂刷），若胶辊的面胶为丁腈橡胶时，则可用205胶浆进行直接粘合，不必再刷其它胶浆，胶浆涂层厚度为0.1～0.3mm为最宜，过厚容易产生溶剂不干而结皮现象，反面导致粘合力大大下降。205胶浆的硫化允许温度较宽，可以从120～232℃之间进行选择。

采用Chemlok 205作钢胶粘合的性能试验结果见表6-14。

表 6-14 Chemelok 205与钢粘合结果

试验条件	橡胶种类	粘合剂品种	粘合力保持率，%
汽油室温×22d	丁腈橡胶	205	100
航空油室温×22d	丁腈橡胶	205	100
美国3号油149℃×24h	丁腈橡胶	205	100
涡轮油149℃×24h	丁腈橡胶	205	100
沸　水 2h	天然橡胶	205+220	95
沸　水 2h	天然橡胶	205+233	100
盐水喷雾 48h	氯丁橡胶	205+233	100
沸　水 100h	丁腈橡胶	205+233	100

Chemlok 220胶粘剂系不透明的黑色胶浆，其主要溶剂为二甲苯和氯乙烯溶液，干固物含量为23～27%，密度995～1090kg/m³，燃点为28℃，贮藏稳定期2年以上。

220胶粘剂一般不单独使用，通常以205胶粘剂作底涂层配合使用（因为205胶粘剂除与丁腈橡胶粘合时可作单涂层外，在其余情况下均需与220胶粘剂配合使用）。

Chemlok 233胶粘剂系黑色胶浆，干固物含量为23～27%，密度995～1090kg/m³，燃点为28℃，贮藏期为1年，它可与天然橡胶、丁苯橡胶、丁基橡胶、氯丁橡胶等粘合。

Chemlok 218胶粘剂系清晰的琥珀色液体，主要为树脂的溶 解液，干固物含量为18.5～20.5%，相对密度为0.95～0.99，可以用甲苯和甲基异丁基甲酯或者三氯乙烯进行稀释，贮藏期为 1 年。

218胶粘剂用于聚氨酯弹性体与金属的结合，无论是浇注型或是轧炼型均可适用，218胶粘剂涂刷后可在149℃×30min的条件下进行干燥，刷过218胶粘剂的金 属部件，只要保存得当，经3个月以后尚可用，聚氨酯橡胶与钢的粘合力用ASTM D429方法B作 的测试结果见表6-15。

表 6-15 聚氨酯橡胶与钢的粘合力

聚氨酯型号和上浆方式			粘 合 力，N/m	附 胶 量，%
浇铸型		刷 浆	5.4	100
		滚 涂 浆	5.6	100
		喷 涂 浆	7.0	100
轧炼型	硬度75	刷 浆	23.6	80
		滚 涂 浆	23.8	80
		喷 涂 浆	22.6	80
轧炼型	硬度75	刷 浆	52.5	100
		滚 涂 浆	52.5	100
		喷 涂 浆	52.5	100

（六）硅橡胶与金属的粘合

硅橡胶胶辊大都用于高温，但在使用中由于受高温的影响，易使胶层与金属芯粘合强度迅速下降，因此钢胶粘合强力是决定硅胶辊使用寿命的主要因素，过去曾采用物理的方法来防止脱壳，即在胶层中加入稀网状织物，织物材料可为棉、聚酰胺、聚酯玻璃纤维或金属丝混纺等，织物靠近金属辊芯，但又不与辊芯直接接触，尔后由于胶粘剂的出现及其性能的优异，因此物理的方法实际上已被淘汰。

硅橡胶胶粘剂国外主要由有机硅树脂等混合组成，哈尔滨化工研究院于1981年试制成功了适用于使硅橡胶、氟橡胶、乙丙橡胶等与金属，玻璃纤维和其它合成纤维织物均有很好粘接性能的胶粘剂。乙烯基三叔丁基过氧硅烷（简称VTPS）是以乙烯基三 氯 硅烷和叔丁基过氧化氢为原料在触媒的作用下化合而得。合成的VTPS经精制后 加 入甲苯配成40%的溶液。

VTPS有二种使用方法。

（1）涂刷 即将VTPS配成2～20%的甲苯溶液，均匀地涂刷在已经处理过的金属辊芯上或其它粘结物的表面，待干燥后，将压成片的胶料与粘接紧密接触经硫化即可。

（2）直接混入 即将VTPS2～3份（折算成纯品）直接混入胶料中，混 合均匀压成胶

表 6-16 VTPS胶粘剂对金属的粘接强度

材 料 名 称	铸 铁	钢A₃	10 号 钢	不 锈 钢	黄 铜
粘接强度，MPa	3.05	3.1	3.5	4.0	3.0

片与被粘物直接接触，经硫化即可。硅橡胶采用VTPS作胶粘剂 对金属具有较好 的 粘 接 强度，见表6-16。

六、硫化与表面加工

（一）胶辊硫化前的准备

凡已成型好的胶辊，其表面必须先贴一层薄 型 纸 作 隔离（两端用“闷头”挡住，如图6-16和图6-17），然后再缠包二层帆布，胶辊采用柔性模具进行补充加压，即用车床将铁丝（通常选用10号镀锌铁丝经用扎铁丝器，如图6-18所示）以一定的张力缠绕在包布上，由于橡胶和包扎外层（铁丝）的热膨胀系数不同而产生必需的压力，由于采用柔性模具，便可以在普通的蒸汽硫化罐中进行硫化，以获得高质量的产品性能。

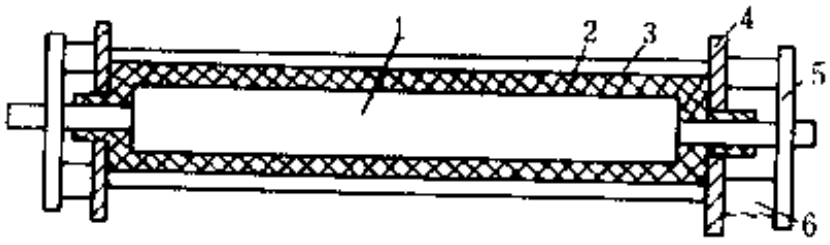


图 6-16　一般胶辊上闷头（不贴头）示意图

1—金属芯；2—橡胶层；3—铁丝层；4—金属闷头；5—夹具；6—填料（木块）

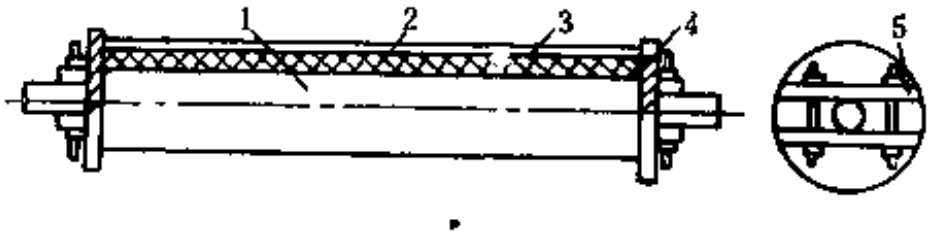


图 6-17　防腐蚀胶辊上闷头（贴头）示意图

1—金属芯；2—橡胶层；3—铁丝层；4—金属闷头；5—夹具

（二）胶辊硫化的特点

胶辊从两面加热硫化，外面由硫化介质加热，里面通过辊芯金属壁加热，胶质很厚，各层受热不均，为了降低胶层性能的不均匀性，胶辊硫化应该在低温下进行，一般以阶梯式加热为宜。图6-19及图6-20分别为阶梯式和登峰式硫化升温方式。

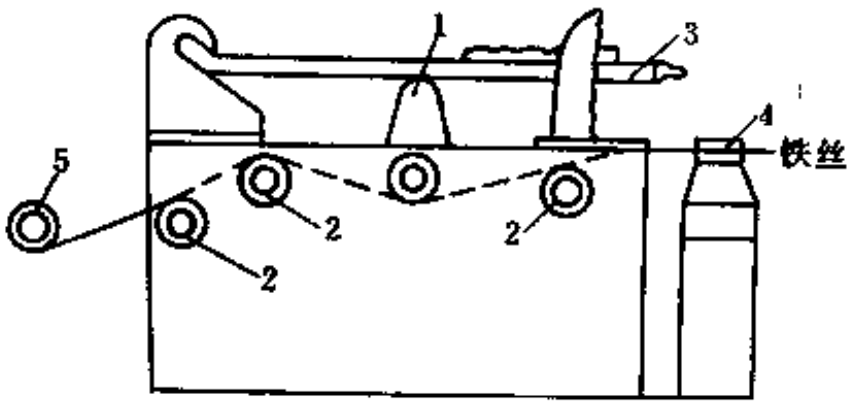


图 6-18　扎铁丝器

1—压辊；2、4—定滑轮；3—压板；5—胶辊

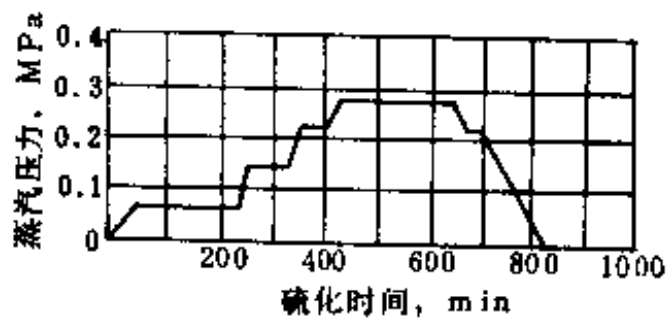


图 6-19　阶梯式硫化升温方法

在考虑大型制品的硫化时间时，必须考虑到热滞后现象，尤其是在制品中心，加热停止后硫化作用还会继续 一段时间，因此在加热过程中不必使坯料在整个厚度上都充分硫化，胶料在变化温度下硫化程度一般都根据硫化等效时间来评定，等效时间是指在给定温度下确定的硫化时间。在变化温度条件下，实际的硫化过程必须花费这些时间，才能得到同样性能的橡胶制品，用得最广泛而普通的方法是在硫化罐中用饱和蒸汽作介质，对胶层进行硫化，能使胶辊在转动状态下进行硫化的硫化罐如图6-21。

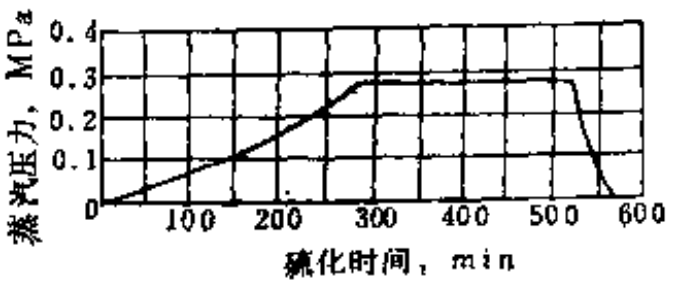


图 6-20　登峰式硫化升温方法

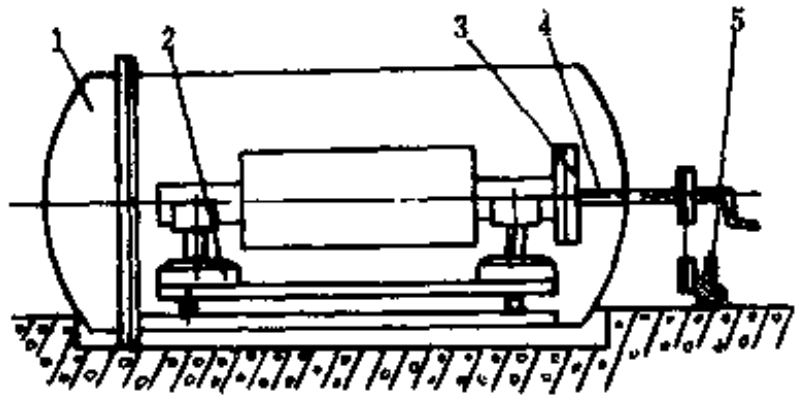


图 6-21　硫化罐示意图

1—罐盖；2—台车；3—联轴器；4—轴；5—胶辊传动装置

（三）胶辊硫化条件的确定

由于胶辊的规格尺寸大小不一，辊芯的材质与结构又各不相同，因此很难用计算的方法来确定硫化条件，在实际生产中，主要是根据辊芯壁厚、直径、长度、辊芯材质、胶层厚度、橡胶硬度等诸因素，给予综合考虑，一些胶辊硫化条件举例如表6-17。

表 6-17　一般胶辊的硫化条件（登峰式）

胶辊名称	印刷胶辊	造纸压榨辊	真空伏辊	人造石辊	印花胶辊	印染胶辊	特重(9.2t)造纸胶辊
规　格	ϕ160×2000	ϕ400×2000	ϕ840×4000	ϕ400×2000	ϕ1000×1200	ϕ300×1200	ϕ750×4400
蒸汽压力 MPa	硫化时间 min	硫化时间 min	硫化时间 min	硫化时间 min	硫化时间 min	硫化时间 min	硫化时间 min
0.07	60	60	60	120	60	60	120
0.14	60	60	60	120	60	60	120
0.21	90	90	90	120	60	60	240
0.28	60	120	120	240	120	120	360
0.35	60	420	240	240	150	180	540
0.21	—	—	30	—	—	—	—
合计，min	330	750	600	840	450	480	1380

大型胶辊的用胶量很大，虽然包缠得很紧密，但在硫化过程中受热的胶料可能在其自重的作用下下垂，并从辊芯上脱落，尤其是硬度要求较高的印花胶辊在硫化时最好辅以机械转动装置，这样可以达到硫化均匀和硬度一致的目的。

胶辊硫化完毕后不能立即出罐，以防止急剧冷却而发生脱壳，出罐后也必须经过充分冷却（一般以铁丝可以松动为准）方能解去铁丝和包布。

（四）胶辊的表面加工

胶辊胶层经过硫化后照例要进行机械加工，机械加工包括车床上进行旋切和磨光，胶层旋切需用图6-22所示专用刀具。

胶辊橡胶硬度在60（邵尔A）以下的，可先在车床上旋切至比要求直径大 2～3mm，再以砂轮磨光，橡胶硬度在65（邵尔A）以上的胶辊在车床上旋切至要求规格后也可用砂布进行砂光，也可采用图6-23所示柔性砂布带研磨装置表面加工。

研磨装置由底板、接触辊、张紧辊、滑板、砂布带、托架、电动机、带轮及支架组成。使用该装置磨光胶辊表面，可按下列三种方式进行：接触辊压带法，砂布带包围法，砂布带

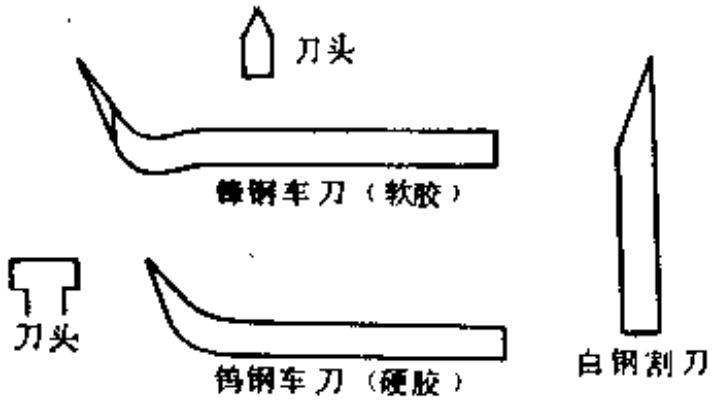


图 6-22　胶辊旋切用车刀示意图

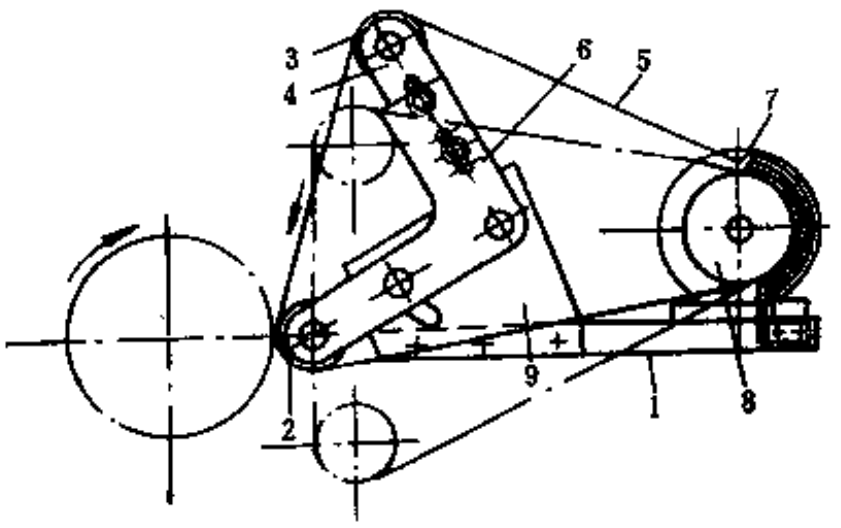


图 6-23　柔性砂布带研磨装置示意图

1—底板；2—接触辊；3—张紧辊；4—滑板；5—砂布带；6—托架；7—电动机；8—带轮；9—支架

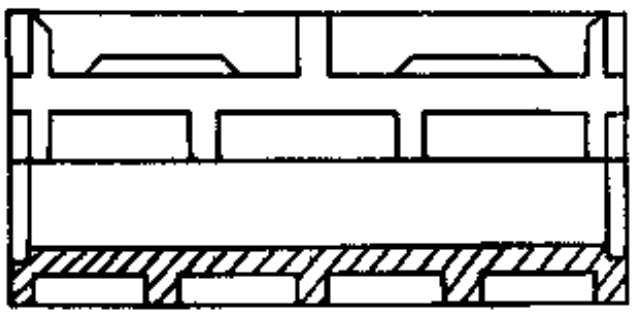


图 6-24　磨谷胶辊对合模具

自由载边法。建议采用耐水砂布带应以棉布为背材，磨料宜用粒度为63～40标准氧化铝、黑色或绿色碳化硅，所用砂轮应选择敞口式结构，孔隙度应尽可能高，精磨时采用的砂轮粒度要比粗磨时小，研磨过程中须采用加有浓度为2％的苛性钠水溶液作为润滑冷却液，砂轮或砂布带在研磨过程中的圆周速度为15～35 m/min，精磨时则为 0.1m/min，砂轮与砂布带旋转方向与胶辊的旋转方向一致，因此砂轮和胶辊产生磨削的接触点上，其旋转方向是相反的，研磨时不得使胶辊胶层发热，硬度低的建议采用液体冷却。

（五）磨谷胶辊的模压工艺

磨谷胶辊有预压移模硫化和单体模压硫化二种。前者系采用对合模（见图6-24）冷压和普通硫化罐成批硫化，因此产量高，设备、模具简单，易于上马，但其产品质量不及后者；单体模压硫化则采用筒状模型（见图6-25）和带压硫化罐（见图6-26）进行硫化，这种产品的密度大，耐磨性高，使用寿命长。

（六）聚氨酯印刷胶辊的浇注工艺

浇注型聚氨酯以甲苯二异氰酸酯作为交联剂，橡胶的硬度随着甲苯二异氰酸酯用量的增加而提高，聚氨酯与铁本身就有着很好的粘接力，因此在浇铸前可不必再涂刷其它胶粘剂，浇注胶辊的模具一般用无缝钢管，也可用玻璃管或卡纸板制成，但模型内壁必须事先涂上一层隔离剂（可用钡基润滑脂）以利脱模。

聚酯和甲苯二异氰酸酯在带有搅拌器的真空锅内进行混合，用加热（100～110℃）和抽真空的方法除去水分和二氧化碳，这样可避免产生气泡，经混合均匀而又无气泡的聚氨酯即可用来进行浇铸。

浇铸时聚氨酯顺着辊芯倾泻较为适宜，且速度不宜过快，浇好的聚氨酯需放入烘箱内，先用80℃加热60min，再以120℃硫化180min。硫化完毕后冷却，聚氨酯便从液态转变为弹性体，此时即可脱模，如果表面光滑，则可不必再经磨光加工。

浇注中最易发生的工艺问题是产生聚氨酯凝胶。混合反应温度过高，抽真空时间过长，聚氨酯本身粘度过大和加入的甲苯二异氰酸酯量过多，都会导致凝胶，应特别加以注意。聚

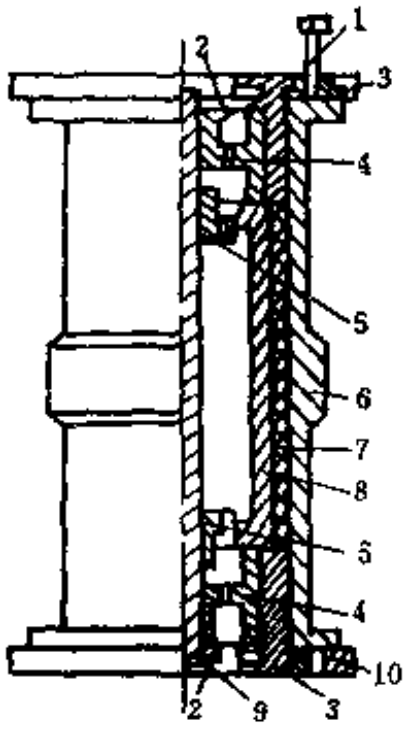


图 6-25 碧谷胶辊单体压模硫化筒状模型

1—拆模螺丝；2—螺母；3—上、下外盖；4—上、下里盖；5—芯子闷头；6—模体；7—橡胶层；8—辊芯；9—长螺丝；10—拆模螺母

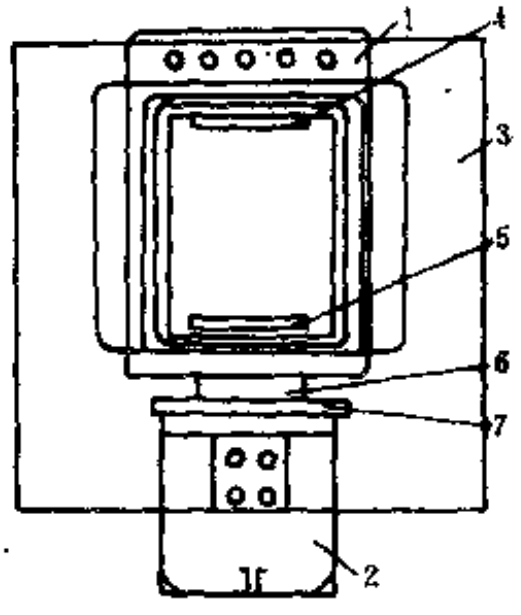


图 6-26 单体加压硫化罐

1—缸体；2—气缸；3—墙板；4—上热板；5—下热板；6—活塞；7—法兰

氨酯的物理机械性能如下：硬度（邵尔A）16；拉伸强度0.648MPa；伸长率317%；永久变形2%。浇注型聚氨酯橡胶的耐溶剂性能如表6-18。

表 6-18 浇注型聚氨酯橡胶的耐溶剂性能

溶剂名称	变化程度	溶剂名称	变化程度	备注
汽油	0	三氯乙烷	+ −	0—无变化；
煤油	0	乙酸乙酯	+ −	+—微膨胀溶剂挥发后恢复原状；
润滑油	0	丙酮	+ −	+ −—膨胀并有部分溶解；
乙醇	0	苯酚	+ −	+ +—溶解
二硫化碳	+	碳酸钠10%	−	
乙醚	+	苛性钠10%	−	
苯	+	盐酸10%	−	
甲苯	+	苛性钠30%	+ +	
浓硝酸	+ +	硫酸98%	+ +	

七、橡胶辊的几个主要质量指标

普通橡胶辊的硬度公差要求见表6-19。

表 6-19 普通胶辊硬度要求

标准硬度（邵尔A）	全辊平均硬度公差	同一辊最高与最低公差	标准硬度（邵尔A）	全辊平均硬度公差	同一辊最高与最低公差
40	± 3	≤3	75	± 3	≤2
45	± 3	≤3	80	± 3	≤2
50	± 3	≤3	85	± 3	≤2
55	± 3	≤3	90	± 3	≤2
60	± 3	≤3	95	± 2	≤2
65	± 3	≤3	100	± 2	≤2
70	± 3	≤3			

印染胶辊的硬度公差要求如表6-20。

表 6-20 印染胶辊的硬度公差要求

标准硬度（邵尔A）	全辊平均硬度公差	最高与最低硬度公差	标准硬度（邵尔A）	全辊平均硬度公差	最高与最低硬度公差
100	－2	≤2	85	±3	≤2
95	±2	≤2	80	±3	≤2
90	±3	≤2			

印染胶辊胶料的物理机械性能要求见表6-21。

表 6-21 印染胶辊物理机械性能要求

项目	半硬质胶		胶钢
	黑色	浅色	结合胶
硬度（邵尔A）	85±3	85±3	—
扯断力，MPa	≥8	≥7	—
扯断伸长率，%	≥120	≥100	—
永久变形率，%	≤25	≤25	—
耐酸系数（10%H_2SO_4×168h×室温）	≥0.7	≥0.7	—
耐碱系数（10%NaOH×168h×室温）	≥0.7	≥0.7	—
老化系数（70±1℃×72h）	≥0.7	≥0.7	—
磨耗减量，cm^3/1.61km	≤0.6	≤0.7	—
钢（A_3）胶粘合强力，MPa	—	—	≥4.5

砻谷胶辊的胶料物理机械性能要求见表6-22。

硅胶辊胶料的物理机械性能要求见表6-23。

表 6-22 砻谷胶辊的物理机械性能要求

项目	标准	
	一级	二级
硬度（邵尔A）80、85、90、95	±3	±3
拉伸强度，MPa	120	100
扯断伸长率①，%	200	150
磨耗减量，cm^3/1.61km	<1.2	<1.5

① 伸长率指标仅适用于硬度85以下的胶料。

表 6-23 硅胶辊胶料的物理机械性能要求

项目	指标
硬度（邵尔A）	70±3
拉伸强度，MPa	≥60
伸长率，%	≥300
永久变形，%	≤8
冲击弹性，%	≥30
粘结强力，MPa	≥2.0
使用工作温度，℃	－60～250

第五节 胶辊制造常见的质量问题和产生的原因

胶辊常见质量问题和产生原因如下。

（1）脱层（重皮） 胶料轧炼不透，有油污或粉尘，胶层中间空气未排除干净，成型时胶片温度太低，胶料自粘性差，扎铁丝不够坚实，胶片上揩拭的汽油没有完全干燥，另外热天手汗接触胶片也会产生脱层现象。

（2）汽泡和凹形　胶层间空气没有完全排除，揩拭的汽油未干燥，胶辊两端“闷头”装置不妥而流胶过多，也会产生凹形现象。

（3）针孔状　铁丝没有扎紧压实，二端闷头松动而失去作用，胶料（或粉料）中含水分太高，配方中选用了沸点过低的增塑剂和软化剂。

（4）结构脱层（面胶层与底胶层脱层）　底胶成型后停放时间过长，尤其是硫黄、防老剂等喷出表面形成隔离层，面胶配方中（特别是低硬度印刷胶辊）油、酯类增塑剂用量过多而渗出表面，底胶与面胶硫化速度相差过大，未采用缓冲胶过渡层。

注意：配制缓冲胶层的简单方法是取底胶与面胶等量相混即可。

（5）脱壳（起鼓）　辊芯处理不善，表面有油污、锈斑，铸件夹砂、砂眼、漏气等，底层结合胶料中含水分高或胶浆未干燥，欠硫（硬质胶发软）和严重过硫（硬质胶发脆），此外硫化后对胶辊采用急剧冷却措施或采用未经退火处理的钢板焊制辊芯，也会产生脱壳现象。

（6）砂眼、杂质　胶料未经过滤（3层30目钢丝网）或滤网破碎，胶料保管不善等。

第六节　胶辊缺陷的修补方法

由于胶辊是大件产品，价值高，为使物尽其用，在制造过程中所产生的某些缺陷或使用过程中由于不慎面造成的局部受损，在不影响使用质量的前提下，可以进行修理。

一、小面积气孔、砂眼、杂质或轧坏

先将缺陷处挖成凹形（见图6-27）用刷蘸汽油，将修挖处揩干净，待汽油干燥后，填满

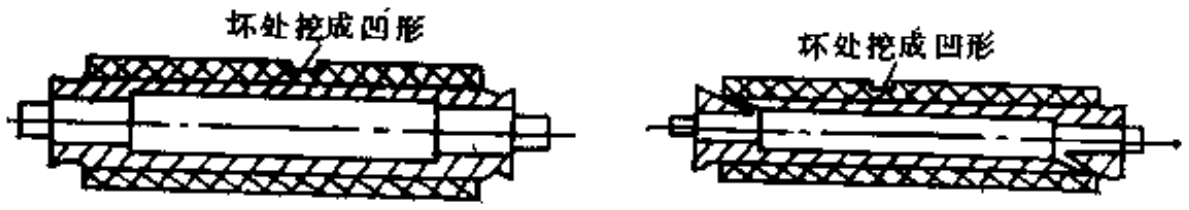


图 6-27　胶辊修补示意

胶料（用同一硬度的同样胶料酌量加些超速促进剂如促进剂TMTD等）至较原辊面稍高，贴上一层纸作隔离，再在纸上垫衬一块薄的白铁皮，然后用电熨斗贴压在白铁皮上加热（电熨斗温度保持在120～140℃之间），加热时间则根据胶料硬度决定（一般为15～20min即可），加硬度不够则继续硫化，达到所要求的硬度为止，冷却后用纱布磨平即可。

二、制造不当所产生的局部脱层

如果胶辊发生局部脱壳，而胶辊的使用要求又不很严格时，则可采用“接段”的方法，即车去脱壳部分，重新贴上胶料，同样包帆布，扎铁丝和进行硫化，硫化时间应酌情较原来的减少。

如果是脱层或者是大而积气孔，则可采用“覆胶”的方法，即将胶辊的表面胶层车去8～10mm至完好部分，再刷上面胶胶浆，然后再成型，包帆布，扎铁丝和硫化（硫化时间同上），此法适宜于硬度80（邵尔A）以上的胶料。

三、人造石辊的修补

在运输或运转中，如果造成局部损坏，则可用下列配方的材料进行修补。

人造石辊修补用配方

环氧树脂634号	100	氧化铁红（着色剂）	适　量
邻苯二甲酸二丁酯	8～10	精制石英砂	适　量
乙二胺	8～10		

第七节　橡　胶　毯

橡胶毯是一个中空圆筒体，如图6-28。橡胶毯在工业上主要用于印染行业织物的后整理（即织物预缩橡胶毯）和造纸行业，水泥包装袋纸的弹性处理（即为伸性毯）。

一、预缩橡胶毯的应用

在现代染整工业中，利用橡胶的弹性压缩性，采用预缩橡胶毯来达到织物预缩的目的（如棉布、人造棉、涤棉布、丝绸等），可使纺织品的“缩水率”达到先进水平，如棉布的缩水率经过此项处理后，可使降低到1％以下。

在造纸工业中，为了提高水泥包装纸袋的抗破裂强度，采用纸张“伸性”处理的新工艺，经过伸性处理的纸张伸长率可达20～28%，这样便可提高水泥包装袋的抗冲击破裂强度，为原纸袋的1～2倍，用于“伸性”处理的胶毯的规格较大，一般为ϕ2000×宽度2300mm。

二、预缩橡胶毯的作用原理

利用橡胶毯进行织物预缩处理或纸张“伸性”处理的作用原理如下。

橡胶制品在外力作用下能伸长，但在外力消除时即能恢复原状（回缩），设有一块一定厚度的橡胶（如图6-29），当其水平放置时上下二边相等，即AB＝EF，而将其弯曲时一边伸长，一边压缩，此时二边长度就不再相等，即A"B"＞E"F"（图6-30）。



图 6-28　橡胶毯中空圆筒体

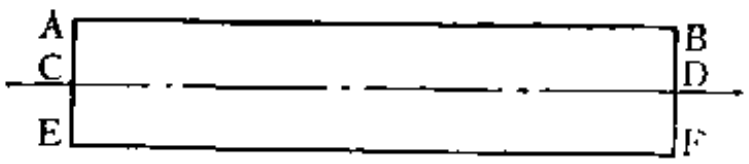


图 6-29　胶板原始状态

如果将这块橡胶做成带状，经过一只辊筒迫使其弯曲（图6-31），在与辊筒接触的一段，则有不同的变化，其内边长不等于外边长，两边长度之差可用下列公式算出。

设辊筒半径为R，橡胶厚度为S，则内边长B"C"以周长计为$2\pi R$，外边长BC以周长计为

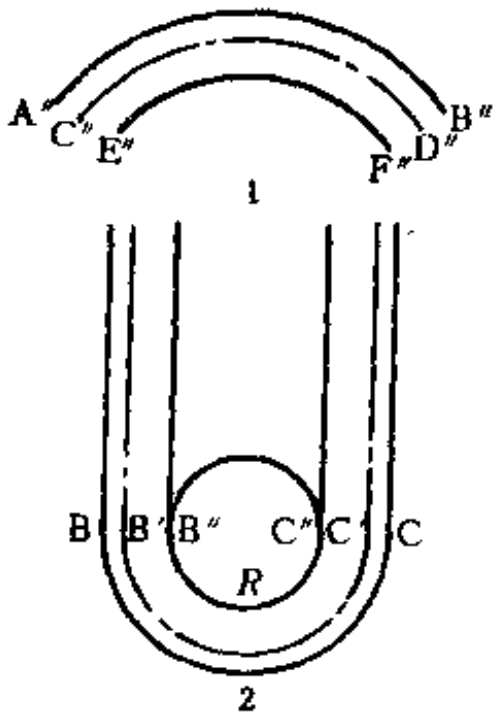


图 6-30　织物预缩处理的作用原理

1—受作用力后弯曲；2—橡胶毯的内外周长差

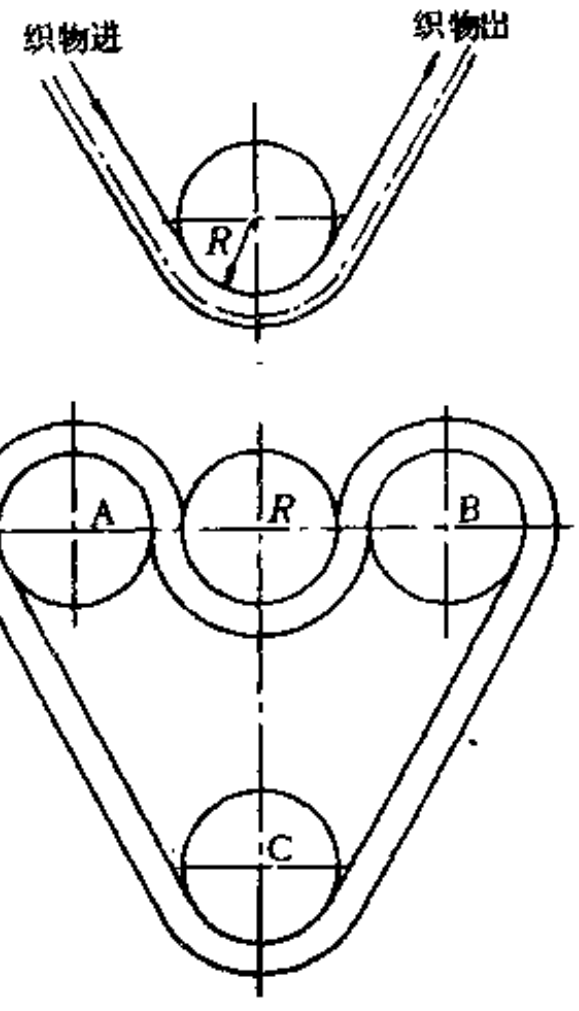


图 6-31　织物预缩示意图

$2\pi(R+S)$，并设长度之差为n，长度相差百分率为H

则　$n=2\pi(R+S)-2\pi R=2\pi S$

所以

$$H=\frac{S}{R+S}\times 100$$

因此橡胶毯在没有进入辊筒时，其内外二边长度不变，当进入辊筒时则二边长度发生变化，也就是橡胶内外二边产生了长度差，依靠摩擦力迫使织物压缩而达到了预缩的效果。

由式$H=\frac{S}{R+S}\times 100$而得出防缩率的大小对橡胶毯有效厚度成正比，与承压辊筒的半径成反比。现举例如下。

设橡胶毯的总厚度为25mm，有效厚度（指橡胶层厚度，不包括帆布层厚度）为19mm，承压辊筒半径R为100mm。则

$$\text{长度相差百分率（理论收缩率）}=\frac{19}{100+19}\times 100=15.97\%$$

实际收缩率低于理论收缩率，织物的预缩率也不同，棉布的实际测试结果如下表：

织物品种	承压辊半径，R mm	长度，mm		缩水率，%	
		预缩前	预缩后	预缩前纬	预缩后纬
府绸	100	100	93	3.7	-0.7
纱卡其	100	100	94.5	2.5	0
线卡其	100	100	94	4.8	1.0

图6-32是织物预缩橡胶毯的实际使用情况。在造纸工业中作“伸性”处理的胶毯，其作用原理基本同前述，弹性纸伸性处理如图6-33。图6-34为不同温度下纸张伸性处理后的结果。

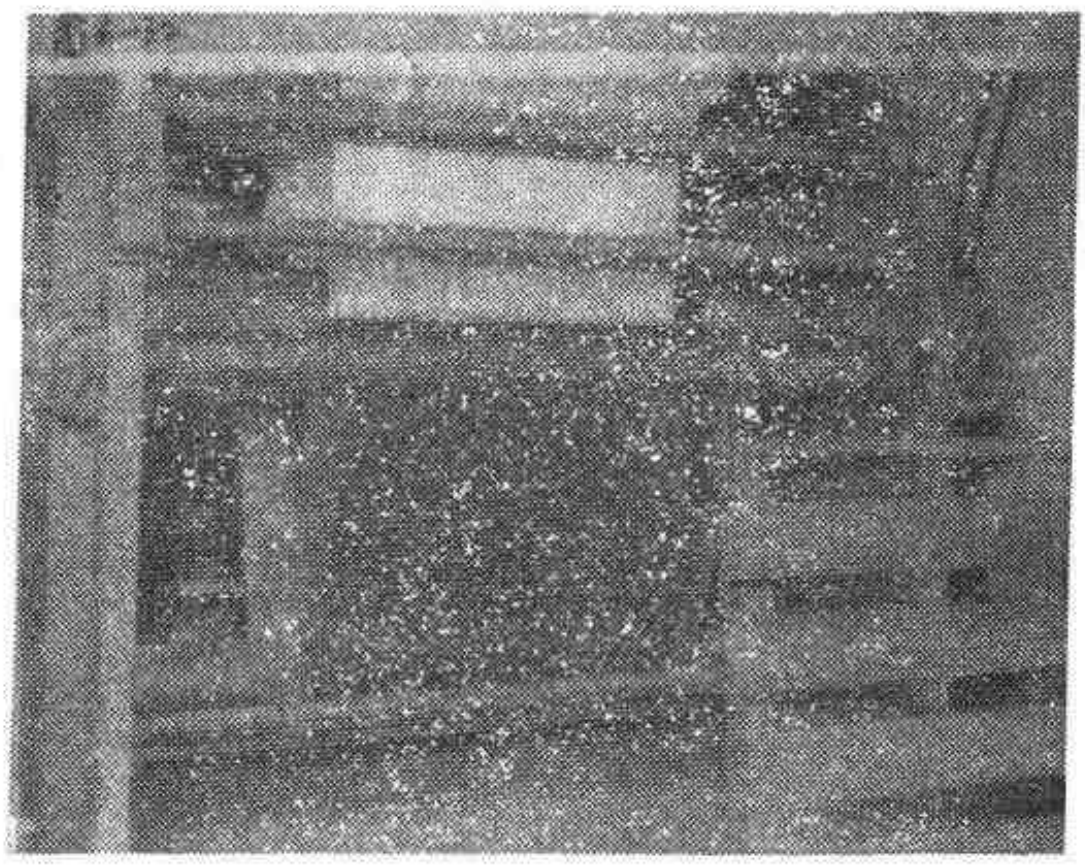


图 6-32　织物预缩毯实况

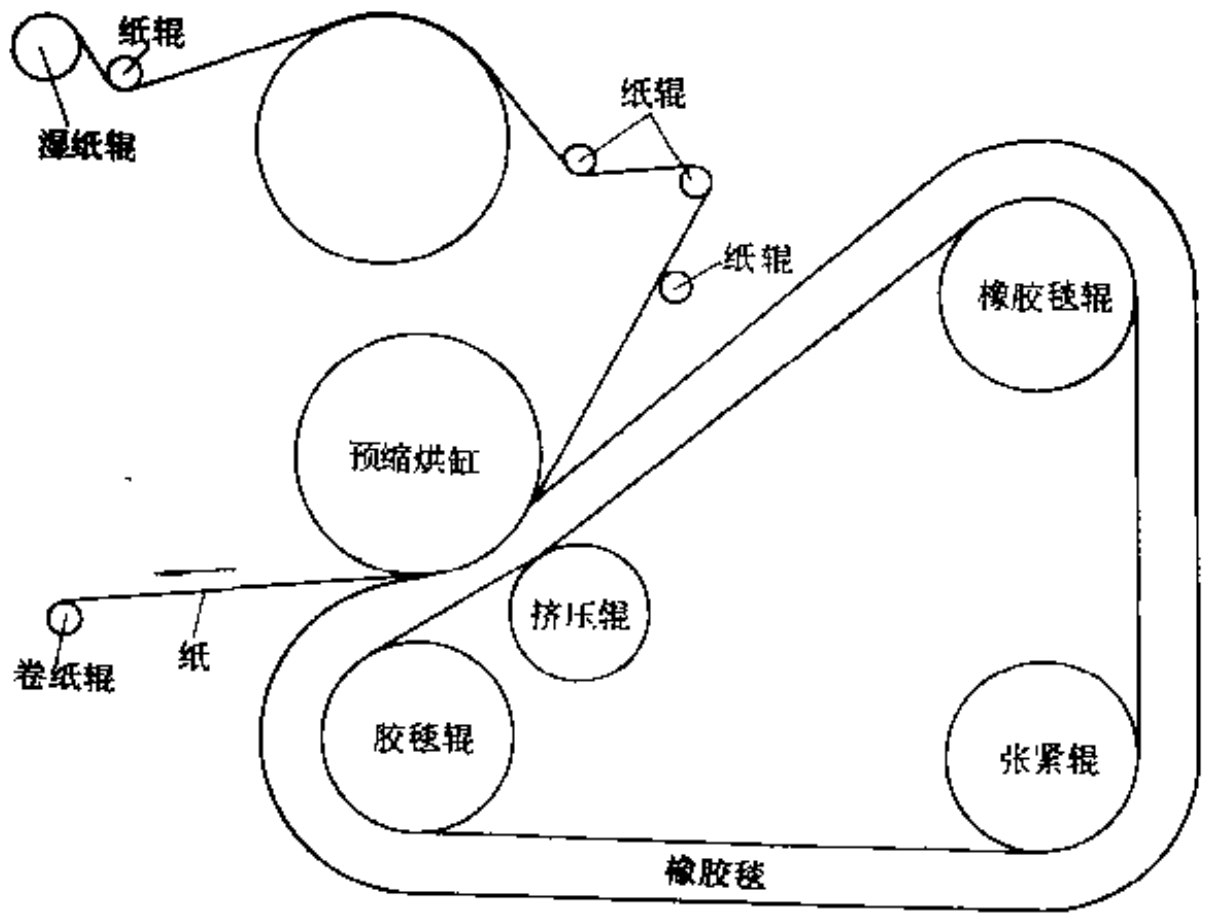


图 6-33　弹性纸伸性处理示意图

从照片可以看出，在较高温度下进行伸性处理的纸张纵向伸长率高，所呈现的绉纹也均匀密致。表6-24为“伸性”处理温度与纵向伸长率的关系。表6-25为挤压辊的线压力与纸幅的纵向伸长率的关系。

表6-26为橡胶毯硬度与纸幅纵向伸长率的关系。橡胶硬度低则可使经“伸性”处理的纸幅的纵向伸长率提高，但高硬度的橡胶毯所预缩出来的纸幅其绉纹密度较高。

表6-27为橡胶毯的厚度与纸幅纵向伸长率的关系。

综合以上结果可以看出，造纸工业用的“伸性胶毯”的技术要求为：①耐热；②耐挤压

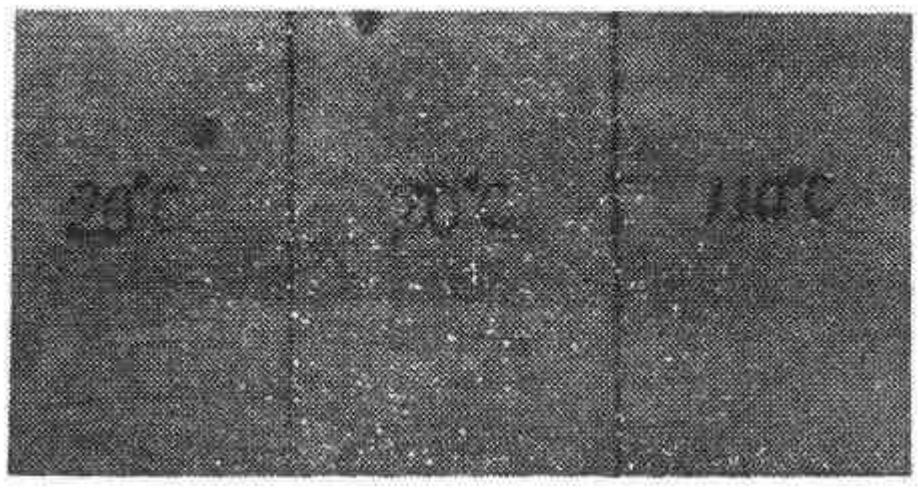


图 6-34　纸张伸性处理后结果

表 6-24　纸张伸性处理后的纵向伸长率

原纸水分	温度 ℃	挤压辊线压 N/cm	橡胶毯张力 N/cm	预缩后纸纵向伸长率 %
30±2	130	60	60	29.5
30±2	110	60	60	28.4
30±2	90	60	60	27.3
30±2	20	60	60	18.5

表 6-25　挤压辊线压力与纸纵向伸长率

温度 ℃	挤压辊线压 N/cm	橡胶毯张力 N/cm	预缩后纸纵向伸长率 %
110	80	60	30.6
110	60	60	28.4
110	40	60	25.6
110	20	60	20.2

表 6-26　橡胶毯硬度与纸纵向伸长率

橡胶毯硬度（邵尔A）	纸幅纵向伸长率，%
48	28.4
68	19.6

表 6-27　橡胶毯厚度与纸纵向伸长率

橡胶毯厚度，mm	纸幅纵向伸长率，%
6	8.3
10	9.4
15	10.2

（即弹性恢复性要好）；③硬度不宜高〔一般为50（邵尔A）〕；④橡胶毯厚度一般为25～30mm。

三、橡胶毯制造工艺简述

自1929年Sanford Cluett发明织物预缩后，又于1955年应用同样的原理用作了纸张的伸性处理，当时采用炭黑作为主要的补强材料，因此成品均为黑色，50年代起由于织物预缩大都是浅色产品，因而对橡胶毯的颜色就有了新的要求，所以从这以后黑色的胶毯几乎已被淘汰，而代之为白色的胶毯，为弥补白色补强剂的补强效果不及炭黑，以及胶毯厚度增加有利于织物预缩率的提高，再加之要求胶毯具有低硬度等因素，因此就目前而论除了纸张伸

性胶毯仍为黑色外，应用于织物预缩的胶毯，国内外均已改换了白色，胶毯厚度也已从过去的25mm发展到超厚型的70mm，国外最厚的可达80mm，橡胶硬度也从原 来的60（邵尔A）降低至35～40（邵尔A），并且完全取消了过去作为骨架结构的帆布层而代之为全胶层，使胶毯柔软，耐曲挠性能提高。

橡胶毯的制造工艺与胶辊的制造方法相似，采用一中空、表面光滑的金属筒体为模芯，为使硫化后胶毯易于脱芯，在成型前先往金属模芯上贴一层纸，然后按胶辊方式成型至要求厚度，再缠帆布和扎铁芯进行硫化，硫化后半成品经车削和磨光后即告完成。

胶毯硫化条件如表6-28。胶毯的参考配方见表6-29。

表 6-28 橡胶毯硫化条件

胶毯厚度，mm	25	30	50	60	70
蒸汽压力，MPa	时间，min	时间，min	时间，min	时间，min	时间，min
0.14	30	30	30	30	30
0.21		30			
0.28	30	30	30	60	90
0.35	120	120	240	270	300
合计，min	18	210	300	360	420

表 6-29 橡胶毯配方举例

材料名称	黑　色	白　色	材料名称	黑　色	白　色
天然橡胶	90	100	防老剂4010	1	1.2
顺丁橡胶	10	—	促进剂DM	0.35	0.5
氧化锌	30	20	促进剂M	0.65	0.5
硬脂酸	2	2	沉淀白炭黑	—	20
碳酸镁	15	—	凡士林	—	6
碳酸钙	5	16	硫　黄	2.8	2.8
高耐磨炉黑	27	—			
古马隆（固体）	3	—	合　计	188.8	170.2
防老剂RD	2	1.2	含胶率，%	53	59

四、橡胶毯的主要质量指标

胶料的物理机械性能指标见表6-30。国内制造的胶毯规格尺寸表见表6-31。

表 6-30 胶料的物理机械性能

项目名称	黑　色	白　色	项目名称	黑　色	白　色
硬度（邵尔A）	50±5	45±5	永久变形，%	<40	<40
拉伸强度，MPa	≥18	≥15	冲击弹性，%	≥40	≥40
伸长率，%	≥500	≥500	老化系数(90+1℃×24h)	≥0.75	≥0.8

表 6-31　国内制造的胶毯规格尺寸表

用　途	预缩毯	预缩毯	预缩毯	预缩毯	预 缩 毯	伸 性 毯
规格，mm	1100	1200	1400	1650	1700	2300
内直径，mm	927±10	927±10	927±10	1080±10 1260±10	1080±10 1260±10	2000±10
高，mm	1100±10	1200±10	1400±10	1650±20	1700±20	2300±30
胶厚度，mm	30±2	30±2	30±2	50±5 60±5	50±5 60±5	25±2

第七章　纺织用橡胶制品

在纺织工业的纺纱和织造过程中需要用大量的专用橡胶部件。例如牵伸机构中的并条、粗纱、细纱橡胶皮辊，粗纱、细纱橡胶皮圈和织机投梭构中的纺织胶布皮结，都是纺织机械上的重要部件。特别是近年来纺织工业向高速度、重加压、大牵伸方向发展，纤维品种日益增多，化学纤维（例如涤纶、锦纶、维纶、腈纶等)在纤维中所占的比例不断增长。原来的天然皮革（牛皮、羊皮等）皮辊、皮圈和皮结的性能不能满足要求，因而被合成橡胶制品所取代。

采用合成橡胶取代天然皮革制造纺织橡胶件，具有许多优点：

① 橡胶资源丰富，成本较低；

② 橡胶材质均匀，弹性优越，其制品握持力大，纺纱质量好；

③ 橡胶的物理机械强度高，具有耐磨、耐油、耐老化等特点，使用寿命长；

④ 改变配方可获得各种特性，适应多种纺织机械和纤维的需要；

⑤ 使用方便，保养简便，经济效果好。

由于纺织橡胶制品有上述优点，因此它已完全取代皮革制品，成为现代纺织工业不可缺少的重要部件。

第一节　纺织橡胶牵伸皮圈

一、用途、结构和种类

1．用途

用于棉纺、毛纺、麻纺及绢纺、化纤纺的粗纺、精纺等机台的牵伸。

2．皮圈的结构

皮圈结构比较简单，由内层、外层和增强层三部分构成（见图7-1）。外层系橡胶层，纺纱时直接与纤维接触，要求柔软、光洁，能很好地握持纤维。内层系橡胶层，纺纱时与金属部件罗拉、销子接触，要求耐磨、光滑、不粘销，能正常运转。增强层由螺旋形棉线或尼龙线构成，要求棉线或尼龙线伸长小，强力高、粗细均匀，其作用是使皮圈保持固定的内径。

3．皮圈的种类

皮圈一般成对使用，分上皮圈、下皮圈两种。按用于不同纤维品种来区别，基本可分为三大类。

（1）棉纺皮圈　用在棉纺上，内径一般有27～40mm和75～85mm两种。

（2）毛纺皮圈　用在毛纺上，内径一般在90mm以上，有的品种制造时内层带有特殊的花纹，以防打滑，要求能抗和毛油和防止静电。

（3）化纤皮圈　用在人造棉及合成纤维的纺纱上。由于化学纤维具有纤维长、摩擦力大、静电大、含有表面处理剂等特点，要求皮圈能适应化纤的需要。

二、配方设计

皮圈是纺织牵伸机构中重要部件之一。长期生产实践证明，皮圈的摩擦系数（对各种纤

维及金属的）、弹性、硬度是决定皮圈能否正常使用的主要指标，因此设计皮圈配方应掌握两个原则。

① 能满足纺纱质量的要求，即须有一定的表面摩擦系数、弹性和硬度。

② 有较长的使用寿命，即具有耐磨、耐屈挠、耐老化、耐油和适当的强度等。

其中，首先是以保证纺纱质量为主。即在保证皮圈能正常使用的基础上，再达到耐磨、耐屈挠、耐老化、耐油等，以获得最长的使用寿命。

由于纤维品种的不同（例如棉、羊毛、化纤等），设计产品配方时既要抓住共性要求，也要掌握各种纤维牵伸工艺过程的特殊要求。例如毛纺皮圈和人造棉皮圈还需具有特殊的耐和毛油及耐表面处理剂性能，才能适应使用要求。

现将皮圈配方设计诸方面问题介绍如下。

（一）胶种的选择、并用及含胶量

1．胶种的选择

丁腈橡胶具有较好的耐磨、耐热、耐老化性能。由于丁腈橡胶分子结构中有强极性基（－CN)的存在，因此其介电常数大，表面电阻和体积电阻低，是目前已有各种合成橡胶中导电性能最好的橡胶（见表7-1），可以特别有效地阻止牵伸过程中的静电积聚。目前纺织牵伸皮圈基本都采用丁腈橡胶为基材。

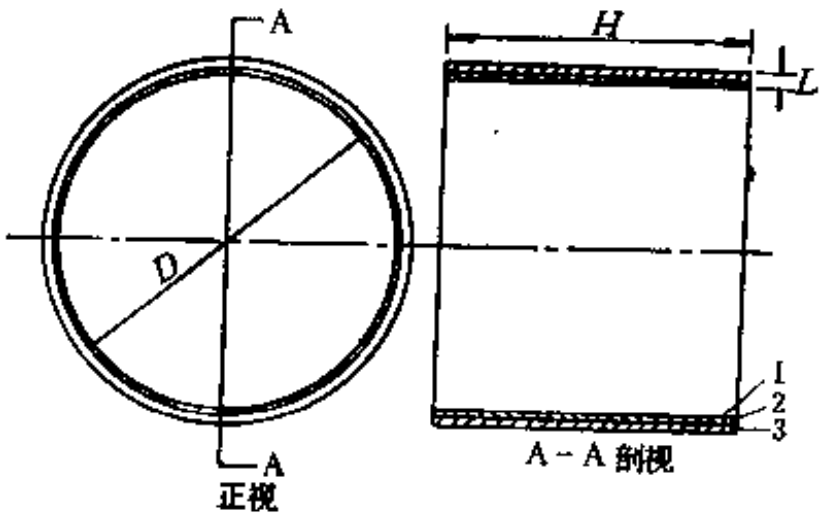


图 7-1 纺织橡胶牵伸皮圈结构

D—内径；*H*—宽度；*L*—厚度

1—内层；2—增强层；3—外层

表 7-1 各种生胶的电性能

生胶胶种	电性能		
	介电常数	功率因数 %	体积电阻 Ω·cm
天然橡胶	2.4～2.6	0.16～0.29	10^{15}～6×10^{16}
丁苯橡胶	2.4～2.5	0.1～0.3	10^{14}～10^{15}
丁腈橡胶	7～12	5～6	10^{10}～10^{11}
氯丁橡胶	7～8	3	10^{10}～10^{12}
丁基橡胶	2.1	0.04	$>10^{15}$
乙丙橡胶	2.35	0.02～0.03	6×10^{15}
硅橡胶	3～4	0.04～0.06	10^{11}～10^{12}

丁腈橡胶的耐油、耐磨和强力等随丙烯腈含量增加面提高，但耐寒性能降低。因此，丁腈橡胶中丙烯腈含量高低与它的性能有密切关系（见表7-2）。

表 7-2 丙烯腈含量与丁腈橡胶性能的关系

橡胶性能	丙烯腈含量（由低至高）	橡胶性能	丙烯腈含量（由低至高）
耐油及耐溶剂性	由低至高	低温时的脆性温度	由低至高
耐化学腐蚀	由低至高	弹性及屈挠	由高至低
强度及定伸应力	由小至大	透气性	由大至小
耐磨及硬度	由小至大	与聚氯乙烯、酚醛树脂相容性	由小至大
耐热性	由低至高	与增塑剂的相容性	由大至小

商品丁腈橡胶中，丙烯腈含量一般在15～50%的范围内。国产丁腈橡胶按丙烯腈含量分为丁腈橡胶-18、丁腈橡胶-26和丁腈橡胶-40等三种。从棉纺皮圈的使用性能与加工性能综

合考虑，采用中等丙烯腈含量的丁腈橡胶较宜。因毛条中含有和毛油，为阻止膨胀变形，毛纺皮圈应选择高丙烯腈含量的丁腈橡胶制造。

特别是牵伸工艺过程向重加压、大牵伸发展，丁腈橡胶单用存在不耐磨易龟裂的缺点，已不能适应高速、高效发展的纺织工业需要。因此，丁腈橡胶通过与塑料并用进行改性是提高质量的重要途径，也是当前纺织橡胶皮圈配合技术的新发展。

根据并用理论，丁腈橡胶与结构、极性相似，溶解度参数（见表7-3）接近的多种高分子材料可以互容。利用这种特性，丁腈橡胶中加入聚氯乙烯或氯乙烯与乙酸乙烯酯共聚体（简称氯醋树脂）能显著提高其物理机械性能和耐臭氧性能。这种并用，在皮圈制造技术中已被广泛采用。

表 7-3　各种聚合物的溶解度参数

聚　合　物	溶解度参数	聚　合　物	溶解度参数
丁腈橡胶(丁二烯：丙烯腈)		乙丙橡胶	7.95
82:18	8.7	氯化橡胶	9.4
75:25	9.39	环氧树脂	11.0
70:30	9.64	乙基纤维素	10.3
61:39	10.30	尼龙66	13.6
丁苯橡胶(丁二烯：苯乙烯)		聚丙烯腈	14.5
96:4	8.1	聚异丁烯	7.95
87.5:12.5	8.31	聚四氟乙烯	6.2
85:15	8.5	聚苯乙烯	8.83
71.5:28.5	—	聚氯乙烯	9.57
60:40	8.67	聚醋酸乙烯酯	9.4
氯丁橡胶	8.6	聚偏二氯乙烯	12.4
天然橡胶	8.1	聚甲基丙烯酸甲酯	9.30
丁基橡胶	7.9	聚丙烯	8.10
顺丁橡胶	8.1	硝酸纤维素	11.5
硅 橡 胶	7.3	聚乙烯	7.8

2．丁腈橡胶与氯醋树脂的并用

（1）氯醋树脂及对于腈橡胶的补强性　氯醋树脂是氯乙烯与少量乙酸乙烯酯（5～20%）的共聚体，共聚物对光、热抵抗能力优于聚氯乙烯。由子分子结构中存在乙酸乙烯酯组分，使共聚体的流动温度、玻璃化温度都随之下降。

氯醋树脂较聚氯乙烯有下列优点。

① 共聚体本身有内增塑作用，可不需或只需加少量增塑剂。这种内增塑效应随乙酸乙烯酯含量而增加。共聚体易加工，塑化温度低，低温性能好。

② 含有适量乙酸乙烯酯（5～20%）的共聚物与丁腈橡胶的相容性极佳，此种并用胶较丁腈橡胶与聚氯乙烯并用胶有更优的物理机械性能。

丁腈橡胶与氯醋树脂并用胶的性能兼具两组分之优点，可全面提高丁腈橡胶的拉伸力、耐磨、耐屈挠、耐油、耐老化等性能（见表7-4）。

丁腈橡胶与氯醋树脂并用制得的皮圈较丁腈橡胶皮圈耐磨，不粘销，不易龟裂，使用寿命长。

（2）并用胶配方的设计及其特性　根据丁腈橡胶皮圈性能要求，硫化胶硬度一般控制

在60～65（邵尔）为宜。若并用大量树脂而又要保持较低硬度，则需加大量增塑剂，这有损制品性能，是不合理的。所以并用胶应以丁腈橡胶为主掺用少量氯醋树脂（20～40%）为宜。

表 7-4 丁腈橡胶与氯醋树脂并用胶料的物理机械性能

硫化条件，142℃min	30	40	60
拉伸强度，MPa	31.8	32.0	30.9
硬度（邵尔A）	62	63	63
伸长率，%	695	671	605
扯旋变形，%	27	22	20
300%定伸应力，MPa	8.7	9.4	10.3

注：配方见表7-6配方。

（1）并用胶的特性　并用胶的性能不但与氯醋树脂用量有关，也与丁腈橡胶及树脂的品种有关。

随树脂并用量增加及树脂中乙酸乙烯酯含量减少，硫化胶硬度增加，生胶门尼粘度上升。

耐油性能随树脂并用量的增加而提高（见图7-2），随并用树脂中乙酸乙烯酯含量的增加而降低（见图7-3）。耐溶剂、耐化学药品性能均随树脂并用量增加而提高；拉伸强度、伸长率、磨耗性能均随树脂并用量增加而提高；硫化胶永久变形随树脂并用量增加而增大，弹性下降。丁腈橡胶/氯醋树脂为100/40以下的并用胶具有较佳的弹性。

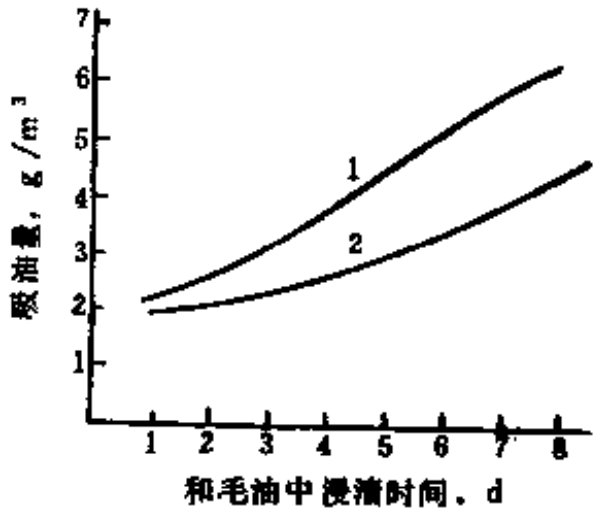


图 7-2 丁腈橡胶中氯醋树脂含量对耐油性能的影响

说明：测试条件　（1）试片尺寸100×24×1mm硫化胶片；（2）室温（18～20℃）和毛油浸1～7d
1—丁腈橡胶/氯醋树脂=100/20；2—丁腈橡胶/氯醋树脂=100/30

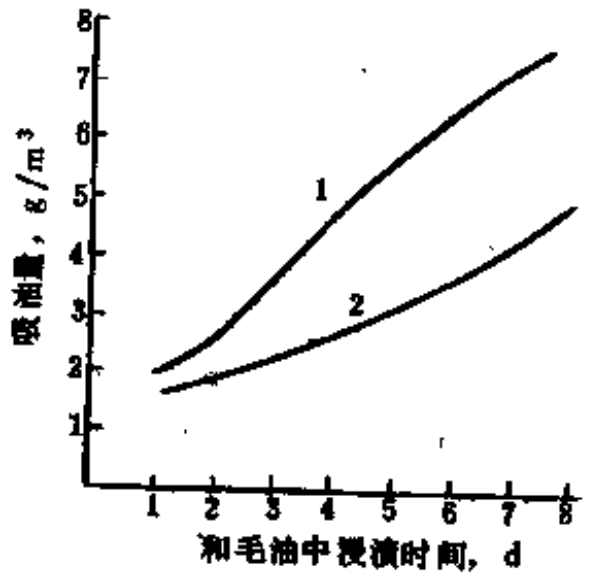


图 7-3 氯醋树脂中乙酸乙烯酯含量对耐油性能的影响

1—丁腈橡胶/氯醋树脂=100/30（氯醋树脂中乙酸乙烯酯含量10%）；2—丁腈橡胶/氯醋树脂=100/30（氯醋树脂中乙酸乙烯酯含量5%）

（2）橡胶与树脂的选择　丁腈橡胶与氯醋树脂的相容性随丁腈橡胶中丙烯腈含量增加而递增。但随丙烯腈含量增加，并用胶耐寒性、弹性有所下降，且生胶门尼粘度上升，压延、压出工艺性能转劣。为防止操作困难，得到弹性、耐寒性能良好的材料，宜采用中等丙烯腈含量的丁腈橡胶（丙烯腈含量26%左右）。

氯醋树脂的分子量及其组成也很重要。采用分子量稍低的树脂（1%的二氯乙烷粘度在1.9MPa·s以下）与丁腈橡胶并用分散的互容情况较佳。树脂中乙酸乙烯酯含量增加时，树脂塑化温度下降，加工性能得到改善，制品也趋向柔软。当乙酸乙烯酯含量超过20%时，耐油、耐溶剂及物理机械强度有显著下降。为得到良好的综合性能，采用乙酸乙烯酯含量5～15%的树脂较为妥当。要求耐油、耐溶剂的制品宜采用乙酸乙烯酯含量为5%的树酯。

（3）稳定剂的选择　氯醋树脂的分解温度与加工温度接近，因此稳定剂是并用体系不可缺少的重要组分。以丁腈橡胶为主的配方中一般都配合一定量的硫黄，稳定剂的选择不仅要考虑稳定效果，还必须重视与硫化氢反应而产生的污染作用，否则不能获得色泽鲜艳及物

理机械性能良好的硫化胶。

无机或有机铅化物，例如三碱式硫酸铅、硬脂酸铅、碱式碳酸铅等铅系稳定剂，将与硫化氢作用产生严重污染，使制品变色，性能劣化。硬脂酸钡、硬脂酸镉、月桂酸二丁基锡等稳定剂都可采用。稳定剂并用效果比单用好。其中以硬脂酸镉与月桂酸二丁基锡并用最好，一般以后者为主。稳定剂用量在1～1.5份左右。

稳定剂对丁腈橡胶/氯醋树脂并用胶性能的影响见表7-5。

表 7-5 稳定剂对丁腈橡胶/氯醋树脂并用胶性能的影响

配合比 丁腈橡胶/氯醋树脂	稳定剂组合	并用比	拉伸强度 MPa	伸长率 %	300%定伸应力 MPa	扯断变形 %	硬度 (邵尔A)
100/0		—	4.1	420	2.3	—	50
80/20	硬脂酸镉/硬脂酸钡	8/2	14.4	450	7.2	5	68
80/20	硬脂酸镉/月桂酸二丁基锡	4/6	17.0	500	5.8	—	64
80/20	月桂酸二丁基锡	—	13.1	410	5.5	5	65

配方：丁腈橡胶-26/氯醋树脂 100；硫黄 1.5；促进剂CZ 1.5；促进剂TMTD 0.2；氧化锌 3；稳定剂 0.6。

（4）硫化体系的选择　丁腈橡胶常用的硫化体系，如硫黄、促进剂，低硫或无硫（秋兰姆），过氧化物（例如二异丙苯基过氧）等，同样可用于并用胶。

尽管树脂加入并用胶中冲淡了丁腈橡胶的浓度，但是橡胶/树脂二者并用后可视为一种改性橡胶，仍应按树脂加丁腈橡胶为100作基准计算硫化体系用量，否则会影响交联密度和制品性能。加强硫化体系（增加硫黄、促进剂用量）可有效地改善压缩变形，提高低温下的弹性。

3．含胶量

根据纺纱工艺过程对皮圈的性能要求，外层胶直接接触纤维，为了充分地握持纤维，要求皮圈的质地柔软，并考虑到屈挠性能，含胶量不宜过低，一般控制在50%左右。

纺纱时皮圈内层胶与金属部件罗拉、销子接触，由于橡胶的摩擦系数较大，往往给皮圈的正常运转带来困难。为了降低内层胶的摩擦系数，改善橡胶的涩性，其含胶量一般低于外层胶。因为含胶量下降，橡胶摩擦系数有下降的趋向。

（二）补强填充剂选择

从补强性说一般以炭黑为优，但炭黑制品磨砺加工升热大，易引起火灾事故，且黑色皮圈使用磨损后有污染机械及纤维等弊病，故宜采用浅色补强剂。

常用的浅色补强填充剂有：白炭黑、陶土、碳酸镁、钛白粉、滑石粉、碳酸钙等。从补强性观点出发，白炭黑最好，它仅次于炭黑，耐热老化性能比炭黑更佳。目前丁腈橡胶皮圈胶料中，以用沉淀法白炭黑为主，用量为40～50份。然而，白炭黑对促进剂有吸附作用，应适当增加硫化剂用量。白炭黑混炼时不易分散，操作不当易造成混炼不均，严重影响制品质量。

碳酸钙、钛白粉等配入丁腈橡胶，可使制品具有细洁、柔软、低定伸等特点，又不致大幅度提高硫化胶硬度，可根据需要单用或并用，以调节制品性能。

（三）其它配合剂的选择

丁腈橡胶皮圈用增塑剂，应根据制品性能与工艺特点适当选择。以酯类最为常用，一般

用量10～15份左右。

为使丁腈橡胶皮圈达到长期正常运转的目的，配用防老剂是非常必要的。常用的防老剂有防老剂A、D等，这两种防老剂对改善制品耐氧化、耐龟裂、耐屈挠都有效果，但都有污染性。防老剂4010和4010NA除具有耐氧化、耐热、耐屈挠和耐老化等特点外，还具有较佳的抗臭氧能力，若与防老剂A、D并用则效果更佳，用量在1～2份。

（四）丁腈橡胶皮圈配方举例

丁腈橡胶皮圈配方举例见表7-6。

表 7-6 丁腈橡胶皮圈配方举例

原材料 \ 配方编号	1		2		3	
	外层	内层	外层	内层	外层	内层
丁腈橡胶26	100	95	100	100	100	100
氯醋树脂	30	35	20	20	30	—
硫黄	2.75	2.75	2.5	3	2.75	3
促进剂DM	1.75	1.75	3	2.5	1.5	1
促进剂D	0.5	0.5	—	—	0.3	—
酚醛树脂（217）	—	—	—	—	—	10
促进剂H	—	—	—	—	—	0.3
硬脂酸	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
防老剂D	1.75	1.75	2	2	1	1
氧化锌	5	5	5	8	5	5
钛白粉	5	5	10	5	5	—
轻质碳酸钙	—	—	—	—	—	30
白炭黑	50	50	45	55	60	—
邻苯二甲酸二丁酯	3	4	10	—	—	8
磷酸三甲酚酯	9	3	—	—	—	—
月桂酸二丁基锡	1	1	—	—	—	—
硬脂酸镉	—	—	—	—	1.5	—
硬脂酸钡	0.5	0.5	—	—	0.6	—
邻苯二甲酸二辛酯	—	—	—	—	10	—
永固黄	—	—	—	2	—	—
乙炔炭黑	0.15	0.025	—	—	—	—
高耐磨炉黑	—	—	—	—	0.125	40
酞青兰	0.25	0.1	0.05	—	—	—
石蜡	—	—	—	0.75	1	—

三、丁腈橡胶皮腈的制造工艺

生产工艺流程见图7-4。

1．原材料准备

由于工艺过程的特点及纺纱工艺的要求，丁腈橡胶皮圈对配合剂要求较高。丁腈橡胶皮圈系薄型管状制品，一般总壁厚在1.2mm以下，内层厚度仅0.4mm。成品表面要求光洁，不含杂质和砂眼，因此要求配合剂分散性好、粒子细、不结块、无杂质，以确保压出工艺的顺利进行和产品质量。

为此需要采取适当的技术措施。

① 原材料含水率超过标准者，应烘干使用。

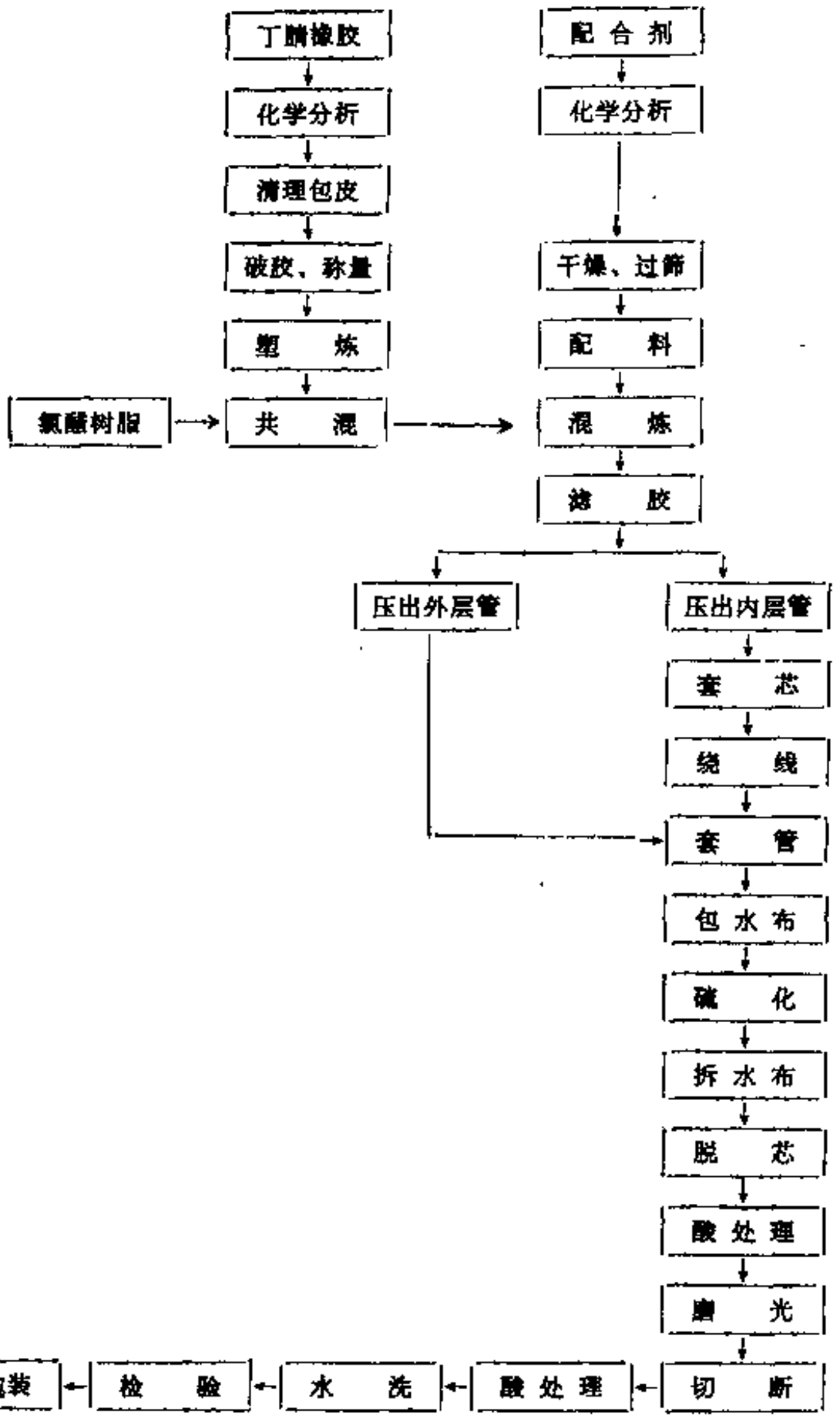


图 7-4　丁腈橡胶皮圈生产工艺流程图

表 7-7　原材料的具体加工要求

原材料名称	加工要求	原材料名称	加工要求
丁腈橡胶	将丁腈橡胶表面包装（纸屑、塑料薄膜等）剥去	钛白粉	120目过筛
		氧化锌	100目过筛
		白炭黑	120目过筛
		硫　黄	80目过筛

② 原材料结块者应粉碎过筛。

③ 原材料中的机械杂质及粗粒应过筛除去（原材料的加工要求见表7-7）。

④ 经过加工的各种原材料应存放在干燥的盛器或干燥房间中备用。

2. 炼胶工艺

（1）丁腈橡胶的塑炼　丁腈橡胶本身可塑度很低，一般在0.12左右。为了取得一定可塑度，保证混炼时生胶与配合剂易于混合均匀，便于成型，应进行塑炼。目前采用的塑炼方法有低温机械塑炼和加增塑剂机械塑炼两种。塑炼时若加入芳香酯类增塑剂（例如邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯），虽然由于增塑剂的浸润，使橡胶分子膨胀，可塑度可以提

高较快，但对一个既定配方而言，却相应减少了混炼时增塑剂的用量，并不能有效地提高混炼胶的可塑度（见表7-8）。

表 7-8 不同塑炼方法对丁腈橡胶胶料可塑度的影响

塑炼条件	塑炼方法	塑炼胶可塑度	混炼胶可塑度
辊距 0.5mm① 辊温40～50℃	塑炼时加入邻苯二甲酸二丁酯10份，薄通30次	0.394	0.282
辊距 0.5mm① 辊温40～50℃	塑炼时不加增塑剂先薄通30次，混炼时加邻苯二甲酸二丁酯10份	0.364	0.315
辊距 0.5mm① 辊温50～55℃	塑炼时不加增塑剂先薄通30次，混炼时加邻苯二甲酸二丁酯10份	0.258	0.258

① 辊距用软铅测定厚0.5mm。

丁腈橡胶采用机械塑炼时，辊温应尽可能低，辊距尽可能小，但以不损伤机械设备为原则。辊速不宜过高，速比以1：1.15左右为宜。随着塑炼段数增加，可塑性相应增加，开始增加较快，以后逐渐缓慢。丁腈橡胶具有热塑性，加热时可塑性提高，在冷却时又恢复原状。为获得良好的塑炼效果，以分段（2～3段）低温薄距塑炼为好，每段之间停放冷却时间最少8h。丁腈橡胶-26一般塑炼工艺条件举例如下。

设备型号	φ400×1000开炼机	辊距，mm（软铅厚）	0.5
速比	1:1.15	塑炼时间	二段塑炼每段20min
容量，kg	8	停放时间	每段之间停放最好12h以上
辊温，℃	45±5		

在生产中，由于丁腈橡胶的牌号不同，可塑度差异很大，塑炼时间应视具体情况而定。丁腈橡胶可塑性低时弹性大、缓慢拉伸很易拉断；可塑性高时，在拉断处会拉成许多细长的胶丝，此法可粗略地判断塑炼胶的可塑性高低。

（2）丁腈橡胶与氯醋树脂的共混　橡胶与树脂并用的工艺方法有下列几种：

Ⅰ．用开炼机或密炼机机械共混；

Ⅱ．用橡胶乳液与树脂乳液混合后共沉；

Ⅲ．两者用溶剂溶解混合，然后与溶剂离析；

Ⅳ．两种或两种以上单体共聚合。

第一种方法设备简单，操作方便，一般制品加工厂都可实现。目前各生产厂基本都采用此法。

氯醋树脂与丁腈橡胶并用时，由于机械共混条件不同，可能得到下面三种不同的并用状态。

① 多相不均一态　树脂与橡胶呈物理多相不均一分散状态，效果差，性能不好。

② 多相均一态　树脂与橡胶达到物理状态的均匀分散，混合物是一个物理状态的多相均一体系。

③ 单相均一态　树脂与橡胶之间产生化学嵌段或接枝，彼此结合成为一种物质，这时已无相界存在，形成单相均一状态。这种并用能产生最大的改性效果，丁腈橡胶与氯醋树脂共混，有可能产生一部分这类嵌段或接枝产物（见图7-5）。

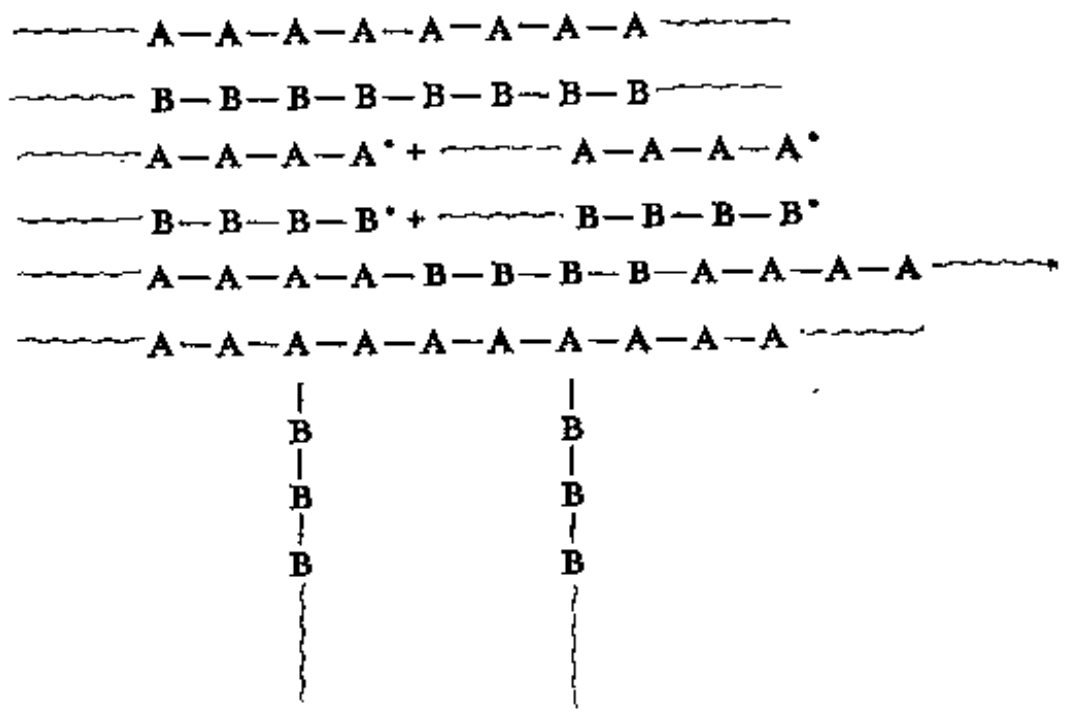


图 7-5 丁腈橡胶与氯醋树脂嵌段、接枝示意

A—丁腈橡胶；B—氯醋树脂

表 7-9 两种并用温度的效果比较

比　较	工艺路线	
	高温掺合①	低温掺合②
混合分散状态	易于混合均匀 机械接枝效果好	呈物理多相分散状态不能发挥机械接枝效果
制品性能与加工性能	(1) 硬度低 (2) 物理机械强度高 (3) 弹性低温性能好 (4) 粘度高	(1) 硬度高 (2) 机械强度低 (3) 焦烧时间短 (4) 粘度低

① 高温掺合系将树脂（乙酸乙烯酯量5%）、稳定剂、适量的增塑剂在冷辊上加入丁腈橡胶中分散均匀，在150℃辊温下轧炼。

② 低温（或中温）掺合系在40～50℃（或80～90℃）将树脂、稳定剂、适量的增塑剂与丁腈橡胶均匀掺合。

a．并用温度　氯醋树脂与丁腈橡胶的并用应在树脂塑化温度下进行，这样机械轧炼才能得到预期效果。不同并用温度对并用效果的影响见表7-9。

高温掺合时，氯醋树脂处于熔融粘流状态，分子间吸力最小，整个链段产生移动。轧炼时的机械作用力使树脂和橡胶分子相互扩散，体系趋向均一，使高分子裂解，生成活性自由基，最终生成机械-化学接枝或嵌段共聚体而得到改性产物。

低温、中温掺合时，树脂因处于玻璃化状态，不能塑化。这时树脂是以大分子集团分布在橡胶中，体系是一个多相不均一态，因而制品性能低劣。

举例：机械轧炼温度对丁腈橡胶与氯醋树脂并用物理性能的影响，见图7-6。

机械轧炼温度的选择，须视树脂的品种、分子量大小而定。氯醋树脂（乙酸乙烯酯含量5～20%）因组成不同，塑化温度在130～170℃范围内变动，必须正确选定。低于树脂塑化温度掺合时，制品表面粗糙，硫化胶中出现树脂的分解黑点，性能低劣，温度过高则树脂、橡胶分解。并用时添加适量的增塑剂可以降低塑化温度，便于掺合均匀。

b．掺合时间　因树脂、橡胶在高温下不稳定，掺合时间控制与温度有同等的重要性。掺合时间直接影响混合物的均匀性，分散效果及最终产物的性能。混合时间过长，胶料变色分解，影响产品质量。

举例：机械轧炼时间对丁腈橡胶与氯醋树脂并用物理性能的影响，见图7-7。

总之，速比、混合时间、辊温、辊距等是相互影响的，必须严格控制，才能保证并用胶质量均一，性能稳定。

c．机械共混操作要点简述如下：

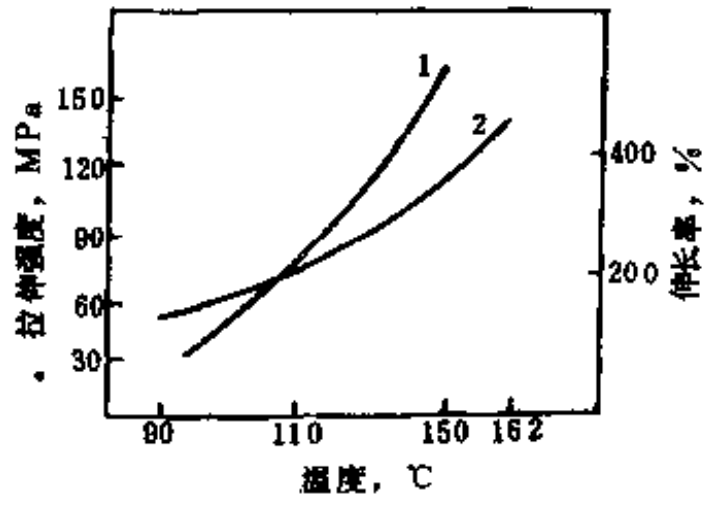


图 7-6　机械轧炼温度对性能的影响

1—拉伸强度-温度曲线；2—伸长率-温度曲线
配方：丁腈橡胶 70；氯醋树脂 30；硬脂酸 1；氧化锌 3；硫黄 1.75；促进剂CZ 0.8；防老剂D 1；硬脂酸钡 0.65；硬脂酸镉 1.3

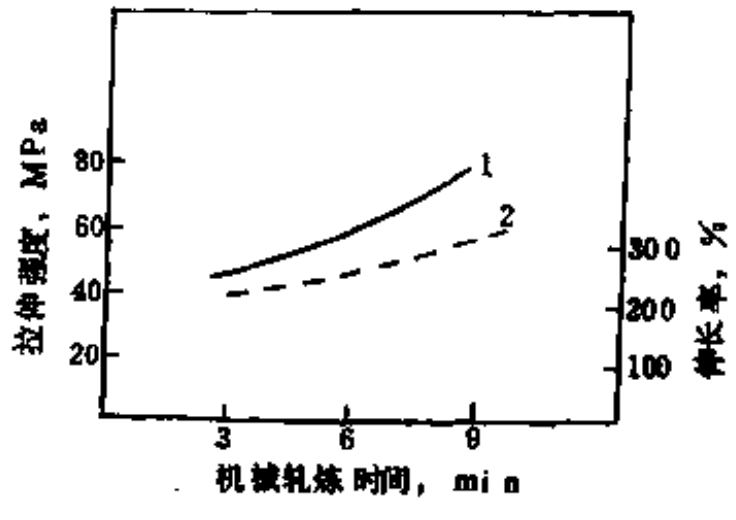


图 7-7　机械轧炼时间性能

1—拉伸强度曲线；2—伸长率曲线
配方：丁腈橡胶-70；氯醋树脂 30；氧化锌-3；硫黄 1.75；硬脂酸1；促进剂CZ 0.8；防老剂D 1；硬脂酸钡 0.65；硬脂酸镉 1.3；机械轧炼温度150℃

① 高温并用，容量不宜过多（例如ϕ400×1000开炼机以4kg为宜），否则效果不好；

② 一般操作方法是先将丁腈橡胶、氯醋树脂、稳定剂、增塑剂等在冷辊上混合均匀，然后在树脂塑化温度下先用1.5～2mm辊距将胶料包辊，翻炼均匀，充分预热、再用 0.5mm以下辊距薄通至均匀透明（正常情况下薄通5次左右）；

③ 混合效果可用这样方法检查：取一片混合料，用手拉成极薄的薄膜，用肉眼观察是否透明，如有白点则说明分散效果不佳。

（3）混炼　丁腈橡胶的混炼比天然橡胶或丁苯橡胶困难，具体表现在：

① 生胶不易包辊，即使包辊，在加入粉料后又易脱辊，给混炼操作带来困难；

② 丁腈橡胶内聚力大，粉料不易与生胶捏和，混炼时间比天然橡胶或丁苯橡胶要长；

③ 粉料不易均匀分散；

④ 混炼时间发热量大，操作不当易焦烧。

由于以上几种原因，混炼一般应采取小容量，小辊距（约3～4mm）吃粉不开刀为好（开刀易使粉剂成片，不易分散），前辊辊温比后辊辊温低些。

丁腈橡胶皮圈配方中，白炭黑用量较多，为了使操作方便和保证混炼质量，混炼应采用中小型，低转速的开炼机。辊温不超过65℃为宜（辊温过高易产生脱辊现象）。

混炼胶的质量可用下列项目检查：

① 外观检查，均匀分散的混炼胶切断面具有光泽，无不分散的粉料，混炼不匀的胶料切断面暗淡无光，有结团的粉料；

② 测定可塑度、相对密度；

③ 物理机械性能试验。

3．压出工艺

包括过滤和胶管压出等两个工序，分述如下。

（1）混炼胶的过滤　目的是通过筛网将胶料中的机械杂质滤出，以保证制品质量及压出工艺的顺利进行。为了确保胶料的清洁，采用先加硫黄过滤的工艺。过滤可用专用滤胶机或普通压出机上装滤胶机头来进行。不过一般压出机螺杆长径比大，机身应严格控制温度以防焦烧。过滤网由10×36×60目三层组成，也有采用五层的。

待过滤的胶料应裁制成胶条保温备用。过滤机头温度的控制视混炼胶的可塑度而定。一般以出料光洁、无焦烧现象为原则。

过滤操作时如出现局部出料特快，显著减慢及胶条变形等异常情况，可能是滤网破穿，杂质过多及胶条焦烧等原因造成，应停车检查处理。

（2）胶管的压出　丁腈橡胶皮圈系薄壁管状制品，采用压出法成型。内层管壁厚为0·4mm；外层管壁厚根据规格要求一般在0.85～1.25mm范围内。胶管的压出是通过配有专用口型的压出机成型的，口型由外型、芯型及支架三部分组成，见图7-8。

胶料自口型压出后，长度收缩，断面及壁厚增大，这种现象称为压出膨胀，它与胶料的配方、可塑性、压出温度及压出速度都有关系。外型及芯的尺寸要根据压出膨胀率来选择，一般是通过实际生产试验来确定的。压出规格与口型尺寸之间关系如表7-10所示。

表 7-10　丁腈橡胶皮圈压出规格与口型尺寸关系

压出规格，mm	外模，mm	压出规格，mm	外模，mm
27～28.5	22	33～33.25	27
29～30	23	33.5～34.5	28
30.5～31.5	25	35～35.5	29
31.75～32.5	26	36～36.5	30

注：1. 内芯固定，小头直径22mm，大头直径31mm。

2. 配方见表7-6配方1。

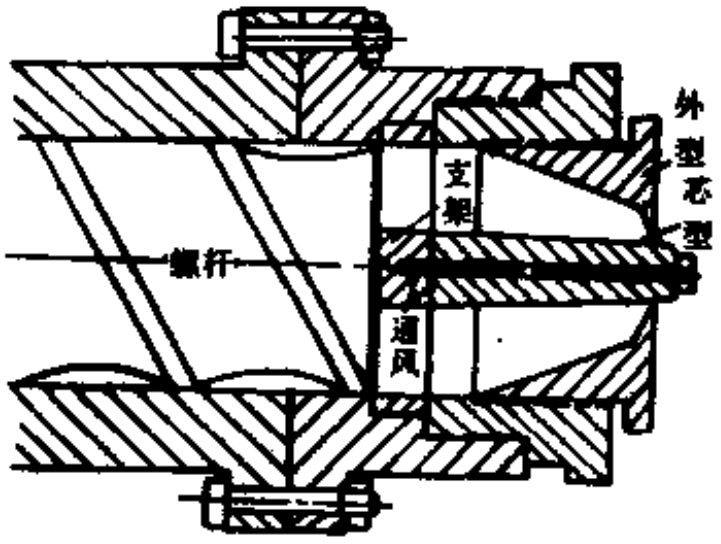


图 7-8　胶管压出机口型装配简图

但是，在一般工业生产中，由于原材料及操作等因素，在同一配方情况下，不同批号胶料的可塑性和压出膨胀率都存在一定的差异，生产时还应适当调整。

（3）胶管压出注意事项　胶料应严格保持清洁，不得混入杂质，否则将造成胶管破裂。压出温度控制非常重要，它直接影响压出质量，因此，胶料加热后既要增加塑性以利于造型，又要防止胶料过热发生焦烧现象。机身部分主要是使胶料受压温度要低，机头部分要使胶料加热，提高塑性温度，口型是造型部位温度最高处。压出机各部位温度控制范围如下：

机身30～50℃；机头65～90℃；口型90～100℃。

压出过程中由于胶料与螺杆摩擦产生大量的热量，应通冷水冷却。压出后的胶管要迅速冷却，以防粘连。这种粘接性与配方及胶料可塑性有密切关系，设计配方选择橡胶时应有所考虑。丁腈橡胶与氯醋树脂并用可改善粘接，不需喷涂隔离剂，可改善劳动条件。若非用隔离剂不可，应选用硬脂酸锌。使用滑石粉会造成内外层胶隔离面使产品分层，故不能使用。

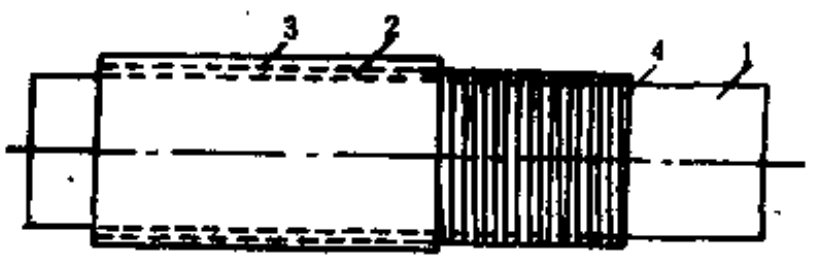


图 7-9　成型胶管结构

1—芯棒；2—内层管；3—外层管；4—增强线

4．成型工艺

成型工艺由芯棒上套内层管、绕线、套外层管、包水布等工序组成。成型后的皮圈胶管结构见图7-9。

（1）套内层管　用压缩空气适当扩张内层胶管，套在专用的成型芯棒上，常用芯棒规

格见表7-11。皮圈芯棒要求表面光洁度达到▽8，外径公差±0.01mm，见图7-10。操作时应防止芯棒碰撞损坏皮圈，影响质量。

表 7-11　常用芯棒规格一览表　　单位：mm

直　径	直　径	直　径	直　径	直　径	直　径	直　径	直　径	直　径
27	28.5	30	31.5	33	34.5	36.25	37.75	83
27.25	28.75	30.25	31.75	33.25	34.75	36.5	38	84
27.5	29	30.5	32	33.5	35	36.75	38.25	
27.75	29.25	30.75	32.25	33.75	35.25	37	38.5	
28	29.5	31	32.5	34	35.75	37.25	76	
28.25	29.75	31.25	32.75	34.25	36	37.5	80	

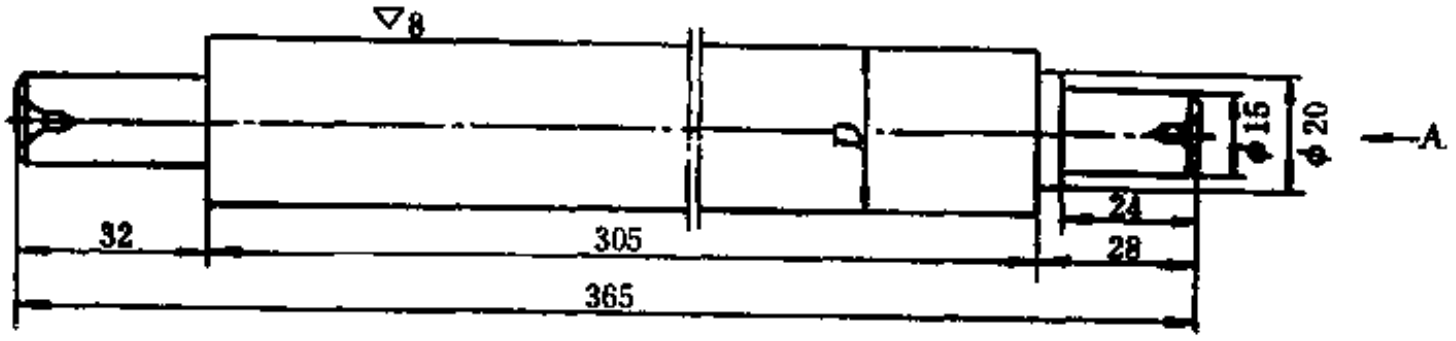


图 7-10　皮圈成型芯棒（单位：mm）

D—直径

（2）绕线　皮圈内、外胶层间的强力线，是在专用绕线机上缠绕的（见图7-11）。

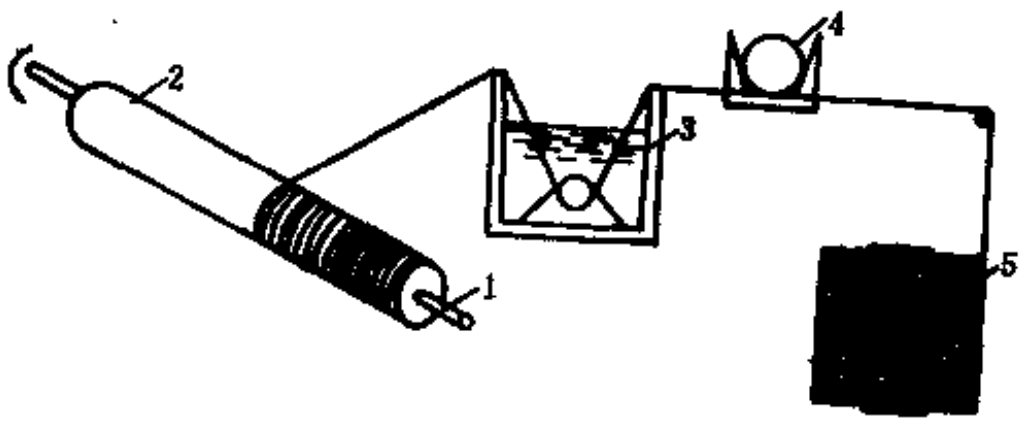


图 7-11　绕线机装置简图

1—芯棒；2—内层管；3—溶剂槽；4—张力弹子；5—强力线

敷设强力线的目的是使皮圈保持固定的内径，减少伸长。因此，要求强力线的强度高，伸长小，粗细均匀，一般选用高支数多股棉纱制成。例如150支/8股、110支/6股、50支/3股（强力线）等，100支/6股强力线的质量指标见表7-12。

强力线应经过盛有苯（或邻苯二甲酸二丁酯）的溶剂槽，浸透苯液再缠绕在内层管上，以保证强力线与橡胶紧密粘在一起。强力线的间隔距离应分布均匀，一般线距0.8mm左右。为了防止强力线松弛，缠绕时应预先给强力线施加适当的张力，这种预张力应合理的调节，以防止强力线嵌入内胶层产生横向皱纹。

皮圈的经向伸长主要取决于强力线的伸长，所以除严格控制绕线操作条件外，提高强力

表 7-12　100支/6股强力线质量指标

项　　目	指　　标	项　　目	指　　标
按照国家标准品质	上等优级	支数不匀率	0.80
强力修正数	215.4	强力不匀率	5.96
捻　　度	21.1	干 格 林	53.17
捻度不均率	0.46	回　　潮	7.1

线的质量，对强力线进行预处理或选用低伸长的纤维作强力线等，对减少伸长也有重要意义。

（3）套外层管　用压缩空气适当扩张外层胶管，套在已缠好线的内层胶管上。操作时应注意，不得使线移动，油、水不得混入内外层之间以防脱层。

（4）包水布　胶管成型后在包布机上按螺旋形绕上水布。水布用细布或斜纹布都可。一般布条宽度40mm左右。包布时压力应均匀，将胶管中的空气排出，布条的间距应均匀，并不得产生皱折。

包水布用的专用布条应保持清洁，无线丝、无杂质及破洞。如硫化后水布与胶管粘牢不易拆除，可在包水布前在胶管外面擦一层滑粉水，减少粘连。为了减轻劳动强度，也有采用三辊筒半自动包布的方法（见图7-12）。这种方法系利用两只传动辊带动成型胶管将块状平布包在胶管外面，包布时压力辊对胶管施加一定的压力，并将胶管壁中空气排出。此法的关键是需保证排出胶管壁中的空气。半自动包布可延长水布的使用寿命，并为降低磨光余量、节约橡胶提供有利条件。

5．硫化工艺

硫化首先要选择正硫化点，在橡胶制品生产中常以拉伸强度及扯断伸长率为标准。对丁腈橡胶皮圈而言，在确定适宜的硫化条件（温度和时间）时，还应着重考虑耐屈挠、耐磨、耐变形、耐老化等性能。

丁腈橡胶皮圈一般都采用硫化罐以直接蒸汽硫化。硫化时将铁芯整齐地排列在专用支承装置上，装入硫化罐，通入蒸汽进行硫化。硫化时当表压达到规定的蒸汽压力时开始计算硫化时间，硫化必须严格按工艺选定的条件（蒸汽压、加热时间）操作，以免将造成产品质量的波动。硫化过程中，每隔一定时间应放回汽二次，并严格执行安全操作，确保安全生产。

硫化后拆去水布，用压缩空气脱芯，如脱芯有困难，可在成型芯棒上涂脱模剂，脱模剂其配比为：甲基硅油 5 %，汽油95%，二者混合均匀。

6．成品的精加工

胶管硫化后还需经过酸处理、磨砺、切割等几个工序。

（1）酸处理　目的是利用酸液使橡胶表面起氧化作用，使橡胶表面光滑，降低摩擦系数，适应牵伸工艺的要求。

酸处理根据棉纺厂的实际需要，有的只处理皮圈的内层，有的内外层都进行处理（如只需内层处理，可在磨光加工前进行处理，磨砺加工后则暴露出新的橡胶层）。

酸处理液的配比如下：先将1kg漂白粉用少量的水调匀，再添加其余水（共计60kg），最后加入1.2kg盐酸搅拌均匀，用盖盖紧备用。

操作时先将皮圈用肥皂水洗涤清洁，再用清水过清，浸入酸液中处理 2～4min后取出，用清水过清，放入专用烘箱中燥干，烘箱温度控制在95℃左右，烘干时皮圈应不断翻动。烘箱装置见图7-13。

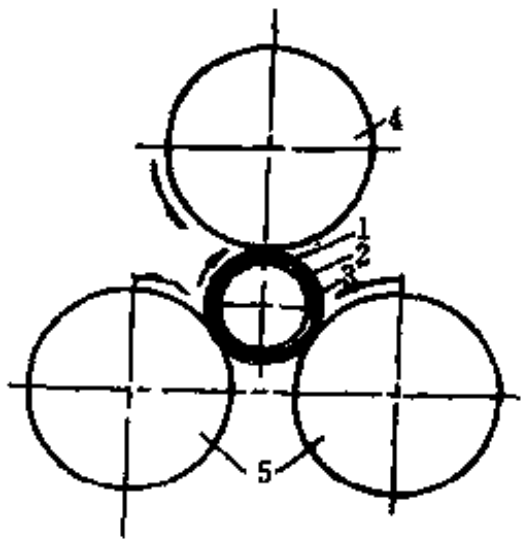


图 7-12　三辊筒包布示意图

1—水；2—胶管；3—铁芯；4—压力力辊；5—传动辊

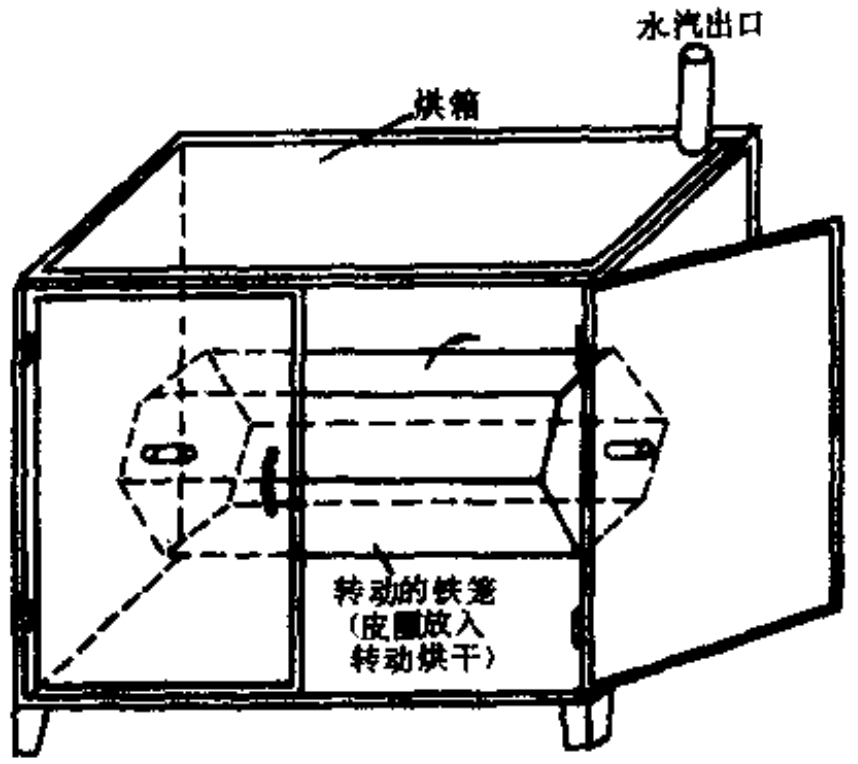


图 7-13　烘箱装置简图

处理时间应适当，处理时间不能过长，太长会造成表面龟裂，影响质量。酸液处理后浓度将逐步降低，一般应根据消耗量补充适量盐酸及漂白粉，以保持酸处理液的浓度。

（2）磨光　磨砺皮圈的专用磨床有MG39、M120等两种型号。标准芯模是磨砺工艺的重要工具。各种规格的胶管都备有其相应的标准芯模，要求这种标准芯模两端中心孔对外圆同心度偏差≤0.005mm（见图7-14）。

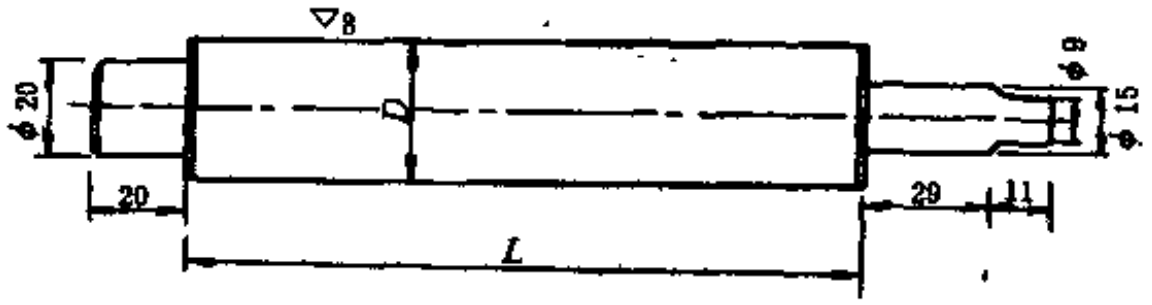


图 7-14　皮圈标准芯模（单位：mm）

D—直径；*L*—长度

操作时首先检查砂轮及机械运转是否正常。将胶管套在标准芯模上，把芯模的两端对准两头顶针，装在磨床上，先校正顶针的锥度，再按规格要求校正胶管的壁厚，胶管壁厚公差为±0.02mm。

磨光工艺条件的选择与外管胶的弹性、硬度、耐磨性及摩擦升热有密切的关系，应通过试验最后选定合理的工艺条件。一般常用的工艺参数如下：

砂轮转数，r/min	1800～1900
工作物转数，r/min	300～400
砂轮粒数，粒（氧化铝或炭化硅）	60～80

砂轮粒度型号选择的原则是：升热小，既要求锋利又能达到磨砺，光洁。砂轮粒度粗则锋利，但光洁度差，粒度细则反之，故应全面均衡考虑。

砂轮与工作物的转动方向有两种方式（见图7-15）。

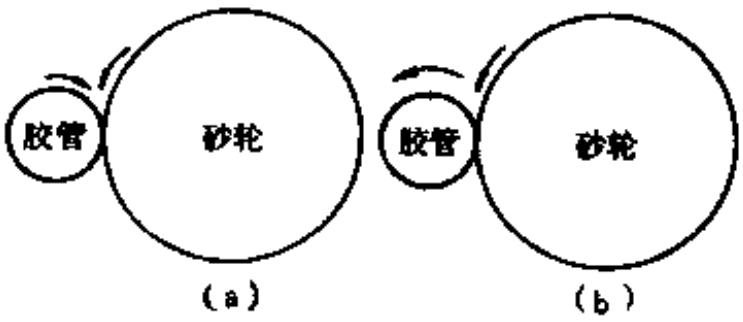


图 7-15　砂轮与工作物的转动方向

生产实践证明砂轮与工作物反向转动〔见图7-15(a)〕。这种方式有利于磨屑的排除，可以减低磨光阻力，降低摩擦升热，提高磨光效率。常规生产中磨削余量控制在0.5mm左右，磨砺过程中产生大量的橡胶屑应设置专用的吸尘装置。以便及时排除磨屑及热量，否则磨屑积压升温造成自燃（吸尘装置见图7-16）。

（3）切割　磨光后的胶管套在专用的切割芯模上，利用专用的刀架，根据棉纱厂要求的规格，将胶管切断成一定宽度的单只皮圈（见图7-17）。

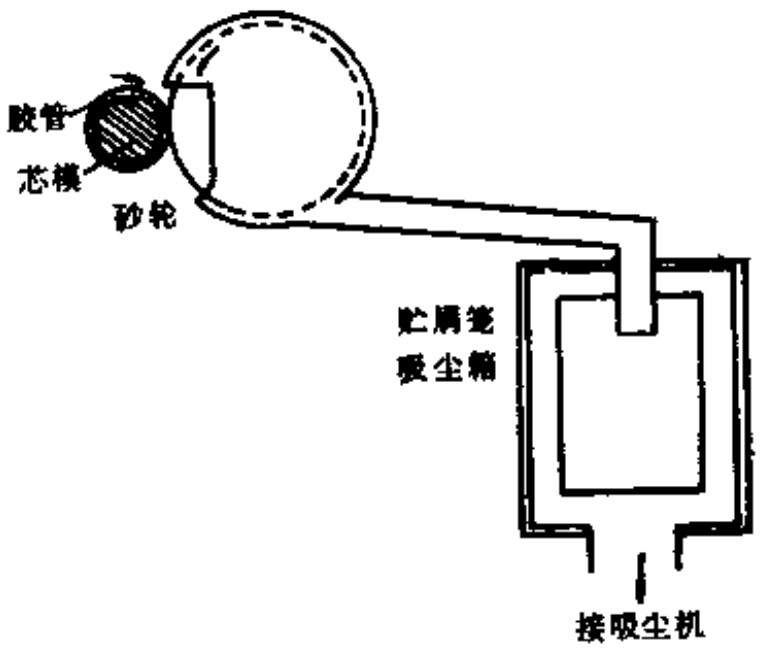


图 7-16　吸尘装置示意图

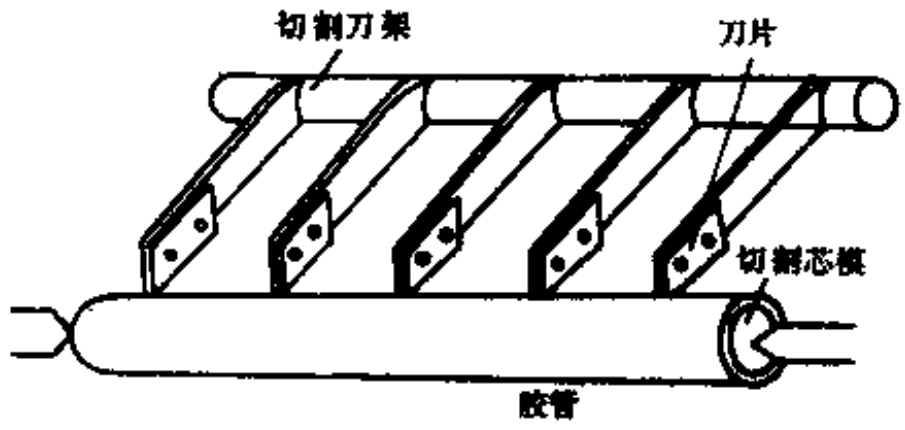


图 7-17　皮圈的半成品及成品检验

四、皮圈的半成品及成品检验

1．半成品试验

为了控制皮圈在生产过程中的质量，应按规定对胶料半成品进行试验。

试验项目主要包括密度、可塑度、焦烧、硬度、拉伸强度、扯断伸长率、变形、弹性、磨耗、屈挠以及老化等。

2．成品检验

（1）检验方法　用仪器检验皮圈的厚度、周长及弹性，并按外观质量情况划分为正品及废品。

（2）丁腈橡胶皮圈的质量标准

① 规格公差	宽度，mm	−0.5
		+0
	厚度，mm	±0.02
	周长，mm	厚度在1以上（即下圈）+0.5
		厚度在1以下（即上圈）+0.8

② 外观　皮圈外层导纱动程（占宽度的70%），不允许有杂质、砂眼，瘪洞、包扎印、严重的粉点、严重粗皮和高低不平等现象。皮圈外层表面两边（导纱动程外）允许有一处小于1.5mm大小的瘪洞或杂质、砂眼和很不明显的包扎印。

皮圈外层表面应无砂粒割开现象，无碰坏，无严重花纹。
内层应光滑（用手对折皮圈前后移动不发涩），无突出粒子。
用手对折皮圈表面不准有龟裂细纹、硬化或烘焦现象，不得有严重变色现象。
切断面应平整，不应有双刀痕迹和线头外露及无严重的荷叶边现象。
皮圈应呈正圆圈状，不应有严重曲折变形。

五、丁腈橡胶皮圈质量问题、产生原因及改进措施

丁腈橡胶皮圈的外观质量直接影响纺纱质量，生产中必须加以注意。现将丁腈橡胶皮圈常见质量问题、原因及改进措施，列于表7-13中。

表 7-13　丁腈橡胶皮圈常见质量问题、产生原因及改进措施

质量问题	产　生　原　因	改　进　措　施
脱　层	1.空气没有排出 2.内层胶管之间有油水混入 3.绕线溶剂未干	1.改进包布操作 2.排除压缩空气中的油水 3.待溶剂凉干后套外管
表面凹瘪	1.成型芯棒损坏 2.标准芯模损坏 3.磨砺时夹入垃圾	1．2．分析情况，检查芯棒芯模，损坏者更换 3.保持胶管内壁清洁无垃圾
包扎印磨不掉	1.包布操作不当 2.压出胶管过薄 3.水布中夹有线丝垃圾	1.改进包布操作 2.调整胶管压出厚度 3.保持水布清洁
表面露线	1.内层胶太厚 2.磨励过薄	1.降低内层厚度 2.检查厚度，纠正
杂质，砂眼	1.杂质混入胶料 2.配合剂中粗粒 3.配合剂结块，不能均匀分散	1.防止杂质混入 2.配合剂过筛 3.改进混炼操作特别要防止白炭黑分散不均
内层凹凸不平	1.成型芯棒损坏 2.杂质夹入内层管	1.更换芯棒 2.防止杂质混入
皮圈周长过长	1.强力线质量不好 2.绕线张力太小	1.提高强力线质量 2.适当调整张力

第二节　纺织皮辊胶管

一、纺织皮辊胶管的用途、种类及规格

1．用途

纺织皮辊用于纯棉纤纺、化纤纺、棉纤与化纤混纺等机台的牵伸。

2．种类

根据用途分为并条皮辊胶管，精梳皮辊胶管、粗纺皮辊胶管及细纱皮辊胶管。

3．规格

常用规格见表7-14。

表 7-14 棉纺皮辊胶管常用规格 单位：mm

名称	长度	内径×壁厚（内径公差±0.20；壁厚公差±0.20）				
并条皮辊	420 +5 −0	17×5.5	18×5.5	19×5.0	20×5.0	21×5.0
		17×6.0	18×6.0	19×5.5	20×5.5	21×5.5
	440 +5 −0	17×6.5	18×6.5	19×6.0	20×6.0	21×6.0
胶管	840 +5 −0	17×10.0	18×10.0	19×9.0	20×9.0	
		17×11.0	18×11.0	19×10.0	20×10.0	
	880 +5 −0	17×12.0	18×12.0	19×11.0	20×11.0	
		17×13.0	18×13.0	19×12.0	20×12.0	
粗纱皮辊胶管	500 +5 −0	15×6.0	16×5.5	17×5.0	18×5.0	19×5.0
		15×6.5	16×6.0	17×5.5	18×5.5	19×5.5
	1000 +5 −0	15×7.0	16×6.5	17×6.0	18×6.0	19×6.0
				17×6.5	18×6.5	19×6.5
细纱皮辊胶管	600 +5 −0	13×5.5	14×5.0	15×4.5		
		13×6.0	14×5.5	15×5.0		
	1000 +5 −0	13×6.5	14×6.0	15×5.5		
		13×7.0	14×6.5	15×6.0		

注：精梳皮辊胶管选用细纱皮辊胶管规格。

二、棉纺皮辊胶管配方设计

棉纺皮辊胶管（包括化纤和化纤与棉纤混合及纯棉纤），一般用通用型丁腈橡胶及特种丁腈橡胶、羧基丁腈橡胶制造，也有用丁腈橡胶与聚氯乙烯树脂及其它合成材料并用来制造的。

棉纺皮辊胶管的磨耗、老化、弹性、硬度、压缩变形，导电等性能对纺纱质量和皮辊使用寿命都直接有关。

棉纺皮辊胶管加工成橡胶皮辊后的抗绕纱性能是决定橡胶皮辊质量好坏的重要指标之一，造成绕纱的原因基本可归结为静电和皮辊表面状态及棉纺织厂车间的湿温度等因素。为了提高抗绕纱性能，在皮辊胶管配方中加入抗静电剂，表面活性剂、高分子电解质等，以提高橡胶皮辊的吸湿抗温性能和导电性能。橡胶皮辊表面光爽无粘附性也有助于克服绕纱倾向，因此从配方设计角度来说合理选用各种配合剂，尽量满足抗绕纱性能要求。棉纺织厂的皮辊制成间（小组）的皮辊加工工艺和纺棉和纺纱车间的湿温度调节适当也能影响抗绕纱性能。因此，纺织皮辊胶料的要求可归纳如下：

硬度（邵尔A）80；

低的压缩永久变形；

良好的动态性能和耐磨性能；

优良的抗静电性能。

纺织皮辊胶料的类型一般如下：

（1）普通丁腈橡胶胶料；

（2）白炭黑补强的羧基丁腈橡胶胶料；

（3）白色动物骨胶补强的羧基丁腈橡胶胶料；

其中有改进的骨胶型胶料和未改进的骨胶型胶料。

单用常用纺织皮辊胶管配方举例如表7-15所示。

表 7-15 棉纺皮辊胶管配方举例

原材料 \ 配方编号	1	2	3	原材料 \ 配方编号	1	2	3
丁腈橡胶-26	100	100	100	液体SN抗静电剂	1.5	—	1.8
明　　胶	35	50	36	癸二酸二丁酯	—	—	15
氧 化 锌	10	10	6	邻苯二甲酸二丁酯	15	10	—
钛 白 粉	20	20	18	酞 菁 兰	0.5	0.5	—
氧 化 镁	10	10	10	二硫化钼	—	—	0.3
硫　　黄	7.5	9	7	桔　　黄	—	—	1
硬 脂 酸	—	—	0.2	水 杨 酸	—	—	0.9
白 炭 黑（沉淀）	15	—	30				

注：硫化条件　配方1为142℃×120min；配方2为142℃×165min；配方3为148℃×80min。

羧基丁腈橡胶纺织胶辊配方如表7-16所示。

表 7-16 标准丁腈橡胶与羧基丁腈橡胶用白炭黑和骨胶补强皮辊胶料配方与性能

组 分 与 性 能	1	2	组 分 与 性 能	1	2
丁腈橡胶　Krynac 1450	100	—	国际硬度　IRHD	88	84
羧基丁腈橡胶　Krynac 110	—	100	硬　度（邵尔A）	78	77
硫　　黄	10	10	100%定伸应力，MPa	4.7	8.2
改进的骨胶	—	75	拉伸强度，MPa	10.7	12.5
二氧化钛	10	10	扯断伸长率，%	190	170
氧 化 锌	5	5	压缩永久变形(压缩25%,B方法),%		
磷酸二甲苯酯	—	10	室温×22h	8	4
增塑剂醚硫醚	10	—	70℃×22h	49	42
促 进 剂　DM	1.5	1.5	密　　度	1.23	1.23
白 炭 黑　Ultra Sil VN3	35	—	100℃×70h热空气老化		
聚乙烯二醇	2	—	国际硬度/变化	89/+6	88/+4
防 老 剂　246	2	—	硬度（邵尔A）/变化	86/+8	83/+6
加工助剂　TE80	1	—	100%定伸应力(MPa)/变化率，%	10.1/+115	14.3/+74
胶料性能			拉伸强度(MPa)/变化率，%	14.5/+36	14.9/+19
胶料门尼粘度，ML_{1+4}，100℃	56.1	112.5	扯断伸长率(%)/变化率，%	133/−30	131/−23
胶料门尼焦烧时间,t(125℃),min	16.8	21.6	室温×7d水中浸泡后体积变化，%	7.5	23.8
硫化胶性能（160℃×20min 硫化）			100℃×7d水中浸泡后体积变化，%	+2.3	58.8
			DIN4843　磨耗，mm^3	264	227

明胶类型对胶辊性能有明显影响。改性明胶对胶辊的配方举例如表7-17所示。

抗静电增塑剂对配方中明胶性能有一定影响，如表7-18所示。

总之，纺织皮辊胶料采用一系列新材料，对胶料的物理机械性能和工艺性能有重要影响。从表7-17和表7-18可以看出，普通丁腈橡胶加白炭黑的皮辊胶料不如羧基丁腈橡胶加骨胶的皮辊胶料。羧基丁腈橡胶皮辊胶料的物理机械性能，如强度、热老化性能、压缩永久变

形、耐磨耗性能、抗静电性能都明显地优于普通丁腈橡胶胶料。而这些优点恰恰正是纺织皮辊所要求的关键指标。但在采用明胶方面还存在着一些问题，主要是明胶质量不稳定，加工工艺麻烦，混炼时难分散，需要采用蒸煮进行热处理，因此对明胶进行了改进。显然，改进后的明胶工艺性能有所改善，硫化胶的扯断伸长率和高温老化性能大大提高。其它性能基本保持着未改进明胶的性能水平。但改性后的明胶并未彻底根除明胶在加工工艺上的弊病，而采用最新型的明胶——珍珠骨胶W7713后，基本上取得了满意的效果。

表 7-17 改性明胶型与未改性的明胶型皮辊胶料配方举例

组分与性能 \ 配方编号	1	2	3	4
羧基丁腈橡胶 Krynac 110	100	100	100	100
硫　　黄	10	10	10	10
改性明胶	75	—	75	—
未改性明胶	—	59	—	—
珍珠明胶 W7713	—	—	—	65
二氧化钛	10	10	10	10
氧 化 锌	5	5	5	5
磷酸三甲苯酯	10	10	10	10
促 进 剂 DM	1.5	1.5	1.5	1.5
未硫化胶性能				
胶料门尼粘度（ML_{1+4}，100℃）	112.5	96.0	120	112.5
胶料门尼焦烧时间（125℃），min	21.6	9.6	5.8	21.6
硫化胶性能（160℃×12min硫化）				
国际硬度 IRHD	84	84	—	—
硬　　度（邵尔A） 1	78	78	—	—
硬　　度（邵尔A） 3	77	77	8.0	77
100%定伸应力，MPa	8.2	12.2	10.1	8.2
拉伸强度，MPa	12.5	13.5	19	12.5
扯断伸长率，%	170	107	115	170
DIN4843磨耗，mm^3	227	197	183	227
压缩永久变形（压缩95%，方法B）				
室温×22h	4	3	5.7	4
70℃×22h	42	37	40.5	42
相对密度	1.23	1.19		
100℃×70h热空气老化				
国际硬度IRHD/变化	88/+4	87/+3	—	—
硬度（邵尔A）/变化	83/+6	81/+4	80/+2	83/+6
100%定伸应力(MPa)/变化率，%	14.3/+74	—/—	—	—
拉伸强度(MPa)/变化率，%	14.9/+19	13.3/0	20.3/+7	14.9/+19
扯断伸长率(%)/变化率，%	120/−23	75/−30	90/−22	131/−23
室温×7d水中浸泡后体积变化，%	23.6	8.9		
100℃×7d水中浸泡后体积变化，%	58.8	99.3		

注：1.改性明胶主要是用水溶性电解物质$Ca(NO_3)_2$对动物骨胶进行改性处理。配方参照美国专利2450410动物骨胶50，硝酸钙15，水20。骨胶牌号为Kornerleim, Topas AK150 (Scheidemandel A.G.公司) Boticol 1200 Graupen (AGS Chemie GMBH公司)。

2.珍珠明胶W77B较软，含水分30%，可在胶料中直接混炼，易分散。

表 7-18　不同抗静电增塑剂对珍珠骨胶W7713的性能影响

组分与性能 \ 配方编号	1	2	3	组分与性能 \ 配方编号	1	2	3
羧基丁腈橡胶Krynac 110	100	100	100	流变仪曲线：最大扭矩，N·m	40.8	87.4	50.8
硫　　黄	10.0	10.0	10.0	T_1，min	1.8	1.1	1.1
珍珠骨胶 W7713	65	65	65	T_{10}，min	13.9	13.2	7.7
二氧化钛	10	10	10	硫化胶性能（160℃×20 min 硫化）			
氧 化 锌	5	5	5	硬度（邵尔 A）	77	82	86
磷酸三甲苯酯	10	—	—	100%定伸应力，MPa	12.0	12.1	19.0
抗静电剂 Struktol AW-1	—	10	—	拉伸强度，MPa	14.4	15.0	21.2
抗静电剂 Larostat 519	—	—	10	扯断伸长率，%	110	130	110
促进剂 DM	1.5	1.5	1.5	表面电阻（电压600V，时间 60s），Ω/cm²	1.6×10^{15}	1.2×10^{14}	2.5×10^{13}
未硫化胶性能							

三、棉纺皮辊胶管制造工艺

1．生产工艺流程

生产工艺流程见图7-18。

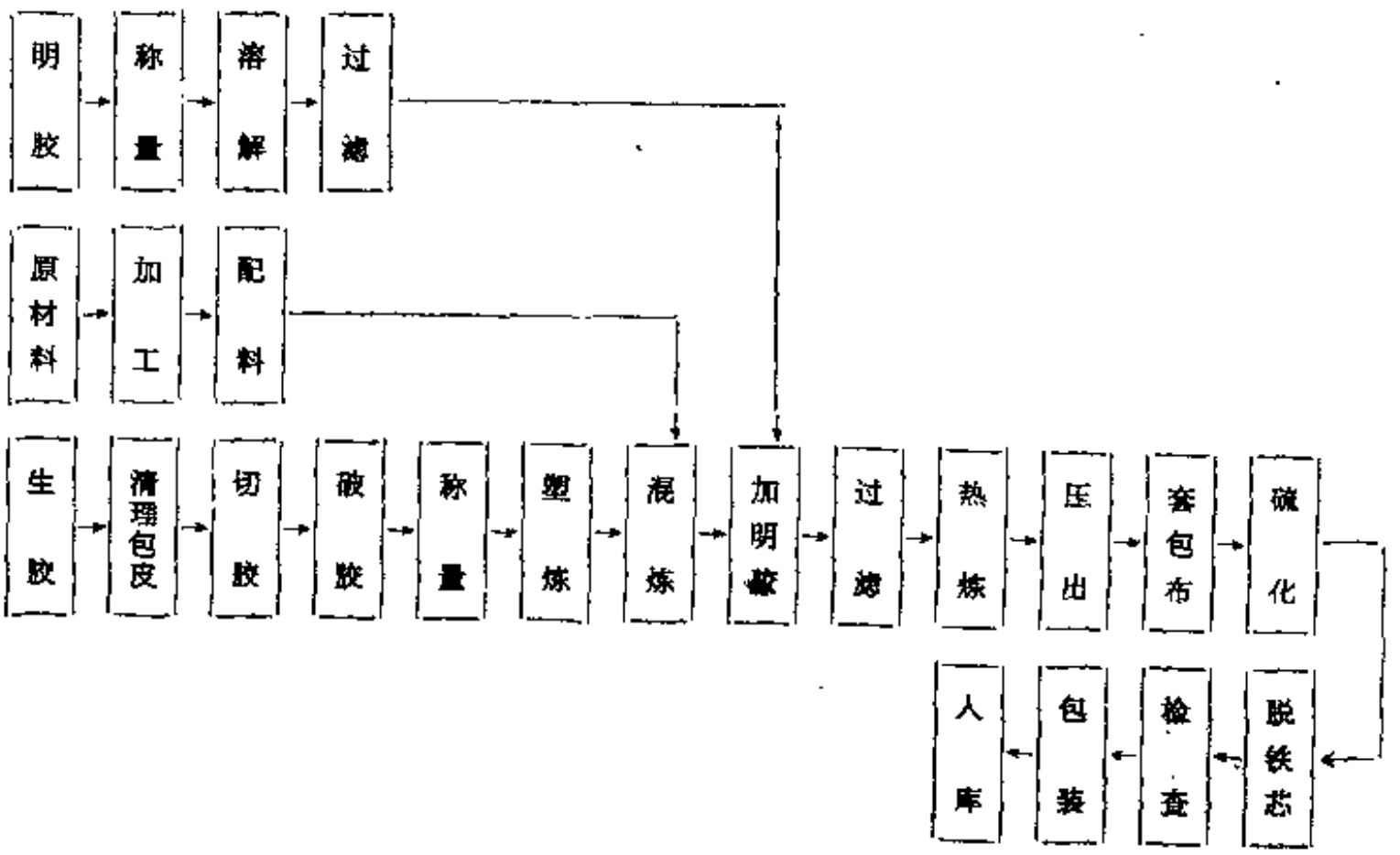


图 7-18　棉纺皮辊胶管生产工艺流程

2．基本生产工艺

（1）原材料准备　对各种配合剂的质量要求及其技术措施参见纺织橡胶牵伸皮圈。棉纺皮辊胶管配方中专用的明胶溶液，配制方法如下：明胶中加1.2倍的水蒸煮溶解均匀，然后用80目筛过滤后使用。如明胶粘度过大，应适当增加水量。

（2）炼胶工艺　棉纺皮辊胶管用胶种大都使用兰州合成橡胶厂生产的硬丁腈橡胶，丙烯腈含量26%用得最多，这就给塑炼提高可塑度带来困难。因为棉纺皮辊胶管是压出套铁芯的硫化制品，对可塑度有一定要求的规定。可塑度不能低于0.25以下，可塑度以0.3最好。所以硬丁腈橡胶塑炼时，在不影响设备安全情况下辊距越小越好，辊温越低越好，因硬丁腈橡

胶生热大，应进行分段塑炼。硬丁腈橡胶-26分三段塑炼（塑炼全用薄通，每段塑炼薄通8～10次），每段间隔时间最好24 h，如能使塑炼后的胶迅速冷却，每段间隔时间至少也不能少于8h。混炼参见纺织橡胶牵伸皮圈胶料混炼工艺，关于加明胶液工艺的设备要求和操作要点如下。

设备一般采用ϕ400×1000开炼机，辊筒内装有蒸汽管。操作时在加明胶溶液前，先将开炼机的挡板向中间夹拢，两端各留出10cm左右。这时辊温控制在80～90℃，辊距6mm左右。加入混炼胶辊压几次，将辊距调到3mm左右，开始将少量明胶溶液逐渐均匀地在堆积胶与包辊胶中间加入，防止在未加入胶料前明胶溶液中的水分已被蒸发而造成明胶结块现象。须注意，在逐渐加入明胶时，辊距要根据实际情况逐渐放大，这样既能将明胶溶液均匀加完，又能使胶料中水分蒸发，容易下片（落盘胶料厚度根据实际情况而定）。

加明胶工艺除上述外，还须注意如下几点：

① 各车胶料之间应清理料盘；

② 每车胶料开放蒸汽时间，以控制好辊温为标准，一般是开始加明胶时开蒸汽，水分蒸发干后闭汽，但也需根据季节气候变化来调整；

③ 凡挤出挡板外的干边胶及料盘角落的干胶，均不得扫入料内，应连同其它可疑物，在扫盘时清除，另行处理；

④ 加完明胶后的混炼胶需停放一定时间，并经过滤再加硫黄，其过滤工艺参见丁腈橡胶皮圈混炼胶的过滤。

表 7-19 压出规格与口型尺寸的关系

单位：mm

压出规格（内径×壁厚）	芯型	外型	压出规格（内径×壁厚）	芯型	外型
13×5	8.5	15	17×6	12.5	21
13×6	8.5	17	18×5	13.5	20
14×5	9.5	16	18×6	13.6	22
14×6	9.5	18	19×5	14.5	21
15×5	10.5	17	19×6	14.6	23
15×6	10.5	19	20×5	15	22
16×5	11.5	18	20×6	15	24
16×6	11.5	20	21×5	16.5	23
17×5	12.5	19	21×6	16.5	25

注：1. 本表适用于表7-15所列之配方2的胶料。

2. 具体选用芯型、外型时，还应根据胶料膨胀率适当调整。压出注意事项参见纺织丁腈橡胶皮圈压出。

（3）皮辊胶管的成型　棉纺皮辊胶管是用压出法成型的。外型及芯型的选择，一般是通过实际生产试验来确定的。压出规格与口型尺寸的关系见表7-19。

（4）套铁芯　操作要点如下：

① 压出管坯停放12 h后才能套铁芯，胶管压出后内壁涂以少量滑石粉使铁芯容易套入；

② 检查压出管坯规格和铁芯相符后才可进行套铁芯；

③ 铁芯套入后应用手在管壁上舒展一下，以便管坯在铁芯上松紧一致，两端留出的铁芯长短应大致相同；

④ 要注意避免铁芯碰撞损伤，以保证铁芯的平直度；

⑤ 铁芯应经常检查，不合格者应修理后再用。

（5）包水布　包布用$21^S/2\times2$或$21^S/3\times3$规格的细布。包布使用前先浸水，以便包扎紧实。胶管采用三辊筒包布机包布，手工卷布时要包正，特别是布头接触胶管的部分绝不允许有打折现象。

（6）硫化工艺　棉纺皮辊胶管生产中，为了达到均匀和最佳的硫化状态，常用硫化罐以直接蒸汽为热介质，进行低温长时间硫化。硫化时将铁芯整齐地排列在专用支架上（使铁芯不能移动），装入硫化罐。当表压到达规定的蒸汽压力时，开始计算时间。必须严格按工艺规定的条件（蒸汽压力、加热时间）操作，否则将造成产品质量的波动。硫化过程中，每

隔一定时间（按实际情况规定）应放尾气一次，并严格执行安全操作，确保安全生产。

如硫化中途遇到蒸汽中断，应准确记好中断时间，待处理。

（7）脱铁芯　硫化出罐后，用手工拆去包布。在脱芯机上脱芯，尽量减少铁芯之间碰撞损伤，要按规格放好铁芯。

（8）皮辊加工注意事项　将纺织皮辊胶管制作成实际使用的纺织皮辊的加工工艺应注意事项如下：

① 切割皮辊坯后，检查每只切割好的皮辊坯口不能有裂口，因如有裂口在套皮辊铁时易产生整个皮辊坯裂掉；

② 切割好皮辊坯内径不能有胶屑和杂质，因如有胶屑和杂质，使套好铁壳皮辊虽然经过表面磨砺看上去表面光滑，但运转使用时手摸表面总有疙瘩感，影响使用性能；

③ 磨砺皮辊时表面磨砺深度不能一下子太深（最好在0.1～0.15mm内），速度不能太快；因如磨砺深度一下子很深，速度又很快，易造成皮辊表面炭化现象（用肉眼不一定看得出），但使用时会提前出现龟裂现象，降低使用寿命。

四、成品检验要求和方法

1．质量要求

（1）皮辊胶管的胶料物理机械性能　应符合表7-20的规定。

表 7-20　皮辊胶管胶料物理性能指标

性能名称	指标	性能名称	指标
硬度（邵尔A）	80～84	磨耗，$cm^3/1.61km$	0.20
拉伸强度，MPa	≥1.1	老化系数（70℃×96h）	>0.7
扯断伸长率，%	≥120	体积电阻，Ω·cm	$\leqslant 10^{10}$
扯断后永久变形，%	≤12	静压缩变形，%（室温×2h×30%压缩率）	2.5

注：硬度指标有的使用厂要求不在这范围内，可另行提出要求，协商解决。

（2）皮辊胶管外观及尺寸公差

① 胶管经磨砺后，表面应光洁、爽利，无杂质、气泡、树纹形及海绵状等缺陷，胶管外表不允许有裂纹，内壁不允许有缺胶。

② 胶管壁厚公差±0.2mm。

③ 胶管内径要圆正，公差±0.2mm。

④ 胶管两端不允许有塌头现象（但塌头部截去后长度符合规定者例外）。

2．检验方法

（1）胶管外观质量用目测法进行检验。

（2）胶管外形几何尺寸用通用量具或游标卡尺进行测量。

（3）物理机械性能按国家标准和部颁标准规定方法进行试验。

五、质量问题和改进意见

丁腈皮辊胶管常见的质量问题、产生原因和改进意见如表7-21所示。

表 7-21 棉纺皮辊胶管常见质量问题及改进措施

质量问题	产生原因	改进措施	质量问题	产生原因	改进措施
杂质、砂眼	1.杂质混入胶料 2.配合剂中有粗粒 3.配合剂结块，不能均匀分散	1.防止杂质混入 2.配合剂过筛 3.改进混炼操作，防止配合剂分散不均	胶管两端塌头	1.硫化时管坯在支架上放置不当 2.胶管套芯不正，致使铁芯两端留出长短不一	1.进罐硫化时检查管壁是否压着支架 2.铁芯两端应按规定留出一定长度
胶管内径不圆正	1.铁芯不圆正 2.坯管内径太大	1.检验铁芯是否圆正 2.调整口型尺寸	胶管表面布痕太深	包布时打摺	改进包布操作

第三节 毛纺、麻纺、绢纺、化纤纺橡胶皮辊

一、用途、种类和规格

用于毛纺、麻纺、绢纺、化纤纺的并条、精梳、粗纺及细纺等机台的压条和牵伸。

按用途不同分为毛纺、麻纺、绢纺和化纤纺等四类。它们各自又可以分有铁芯和无铁芯两种。由于机台不统一，因此尚无统一的型号和尺寸。常用规格见表7-22。

表 7-22 毛纺、麻纺、纺纺、化纤纺棉胶皮辊常用规格

毛纺皮辊		麻纺皮辊	
型号名称	规格①	型号名称	规格
B581细纱皮辊	φ48×35×32	C261~1200-1	φ235×215×140
细纱皮辊	φ52×33×35.5	C262×1600-1	φ220×200×60
细纱皮辊	φ99×82×28	C263×1600-1	φ220×200×40
混条机皮辊	φ75×55×270	C271×1600-1	φ225×200×90
绢纺皮辊		**化纤纺皮辊**	
型号名称	规格	型号名称	规格
细纱皮辊	φ63×32×25	B412延展皮辊	φ77×53×195
延展皮辊	φ80×200	BR2H-2300毛条皮辊	152×105×265
延绞皮辊	φ58×82		
粗纱皮辊	φ75×42		

① 规格表示为外径×内径×高度（单位：mm）。

常用皮辊的硬度：毛纺75～80；麻纺85～90；绢纺75；化纤纺82～87。

二、配方设计

皮辊在运转过程中与毛条、麻条、绢条、化纤条发生摩擦均会产生静电，导致纤维绕皮辊造成断头停车，而且皮辊表面产生高热量（如夏天有的化纤纺毛条皮辊表面温度能达到100～115℃，皮辊铁芯温度能达到135～160℃，从而造成运转中皮辊爆裂），因此皮辊不但应具有导静电的特殊性能，而且要有良好的散热性能。为此，皮辊除采用体积电阻较低的丁腈橡胶制造外，配合剂要采用尚可辅以表面活性剂的平平加O、二硫化钼、抗静电剂和生热低导电性较好的补强剂喷雾炭黑及与丁腈橡胶结合后耐热性能好又能起补强作用的氧化镁。

配方举例如表7-23。

表 7-23　毛纺、麻纺、绢纺、化纤纺皮辊胶料配方　　单位：重量份

原材料名称	皮辊类别			
	毛纺	麻纺	绢纺	化纤纺
丁腈橡胶-40		—	—	100
丁腈橡胶-26	100	100	100	—
氧化锌	10	5	10	5
硬脂酸	1	3	1	1
硫　黄	15	12	6	
邻苯二甲酸二丁酯	10	10	10	6
2123酚醛树脂	—	5	—	—
白炭黑	—	80	40	—
喷雾炭黑	—	—	—	85
陶　土	—	40	24	—
碳酸钙	80	—	—	—
钛白粉	—	4	—	—
氧化铁红	—	—	6	—
促进剂DM	1.5	1	1.6	1.48
促进剂H	—	0.25	—	—
促进剂TMTD	—	—	—	1.48
防老剂D	1	—	1	1
酞菁蓝	0.4	—	—	—
酞菁绿	—	—	0.5	—
白油膏	—	—	10	—
平平加O	5	—	—	—
石　蜡	1.5	—	5	—
二硫代吗啡啉	—	—	—	2.5
防老剂MB	—	—	—	1

三、制造工艺

（一）生产工艺流程

有铁芯及无铁芯毛纺、麻纺、绢纺橡胶皮辊的制造工艺分别见图7-19及图7-20，有铁芯化纤纺橡胶皮辊工艺流程见图7-21。

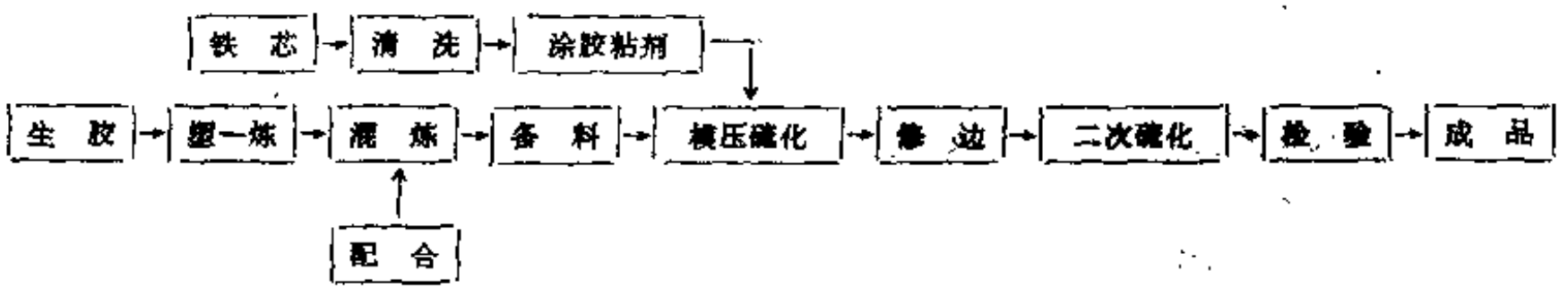


图 7-19　有铁芯毛纺、麻纺、绢纺橡胶皮辊工艺流程

（二）生产工艺

1．原材料准备

毛纺、麻纺、绢纺、化纤纺橡胶皮辊经磨砺后表面光滑，不含杂质和砂眼，因此要求配合剂分散性好、粒子细、不结块、无杂质，以确保压出工艺的顺利进行和产品质量。

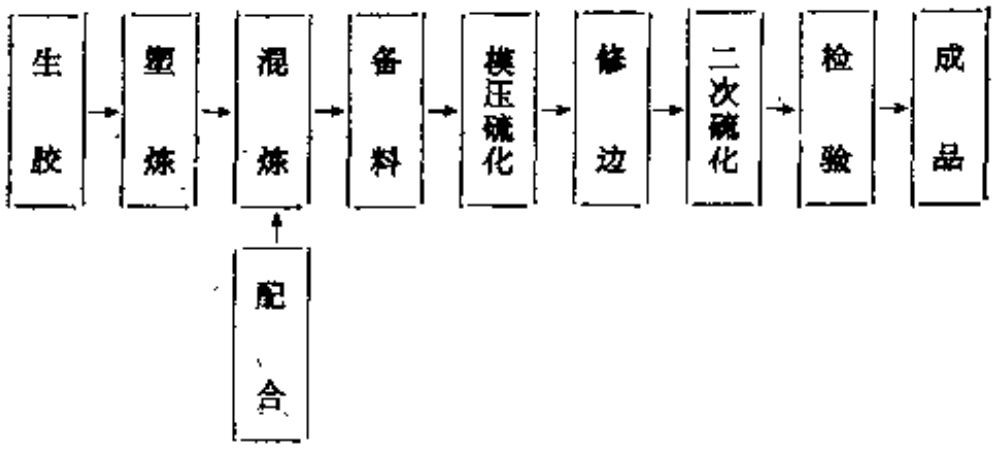


图 7-20　无铁芯毛纺、麻纺、绢纺橡胶皮辊工艺流程

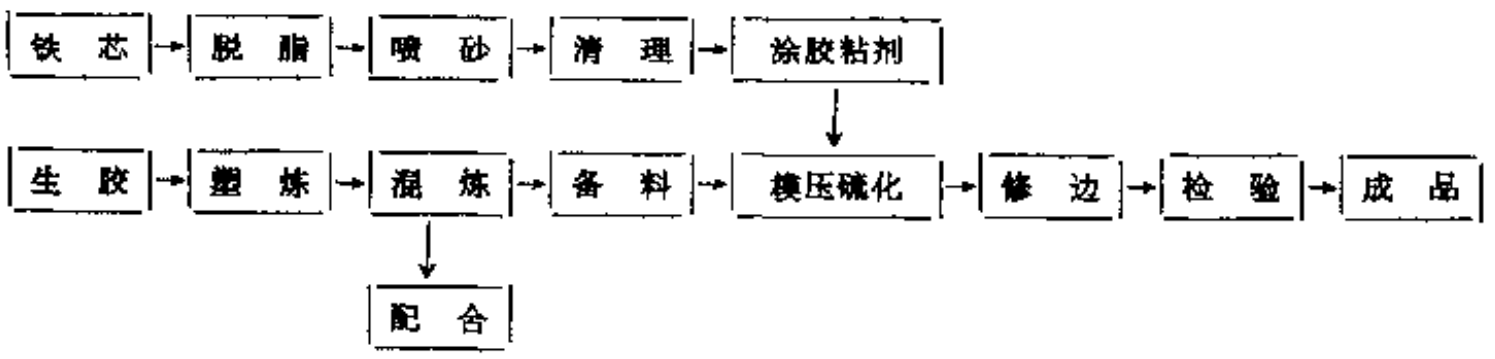


图 7-21　有铁芯化纤纺橡胶皮辊工艺流程

为此需要采取适当的技术措施：

① 原材料含水率超过标准者应烘干使用；

② 原材料结块者应粉碎过筛；

③ 各种原材料应存放在干燥的盛器中或烘房中备用；

④ 原材料中的机械杂质及粗粒应过筛除去。

原材料的具体加工要求：

① 生胶表面的杂质、纸袋屑、塑料薄膜或者污染物要清理干净；

② 白炭黑和钛白粉要经120目过筛；

③ 氧化锌要经100目过筛；

④ 硫黄要经80目过筛。

2．炼胶工艺

（1）塑炼工艺　参见棉纺皮辊胶管。

（2）混炼工艺　参见纺织橡胶牵伸皮圈。

3．半制品胶料准备

无铁芯圈式橡胶皮辊采用压出成型，这样可避免发生接口开裂现象。麻纺橡胶皮辊由于胶料硬性大，不采用压出工艺，而采用出片卷绕。

4．胶料与铁芯的粘接

参见第六章胶辊与胶穗第四节。

5．硫化

毛纺、麻纺、绢纺等橡胶皮辊为了提高设备利用率采用二次硫化，化纤纺橡胶皮辊一般是采取一次平板模压硫化。

毛纺、麻纺、绢纺橡胶皮辊第一次硫化都是平板模压硫化，硫化条件：毛纺、绢纺橡胶皮辊蒸汽压力为0.6MPa(164℃)，硫化时间为15～20min；麻纺橡胶皮辊是蒸汽压0.6MPa，

硫化时间30min。第二次硫化都是硫化罐硫化，毛纺、麻纺、绢纺橡胶皮辊硫化条件都相同，蒸汽压力0.35MPa（142.8℃），硫化时间20min。

四、成品质量标准及检验方法

1。质量要求

（1）外观质量

① 橡胶皮辊表面应无分层、裂纹、杂质、气泡、脱壳、缺角和海绵状现象。

② 橡胶皮辊允许有轻微的冷斑和不大的粗糙痕迹等缺陷，缺陷深度：毛纺、化纤纺橡胶皮辊不得超过0.5mm；麻纺橡胶皮辊不得超过0.3mm。

③ 橡胶与金属粘接处不应有裂缝、脱壳等现象。

④ 毛纺、化纤纺橡胶皮辊偏芯度不允许超过0.5mm。

（2）物理机械性能

橡胶物理机械性能应符合表7-24规定。

表 7-24 毛纺、麻纺橡胶皮辊物理机械性能指标

技术指标	毛纺皮辊	麻纺皮辊	技术指标	毛纺皮辊	麻纺皮辊
拉伸强度，MPa >	5.0	8.0	硬度（邵尔A）	78～86	85～95
扯断伸长率，% >	120	90	老化系数（70℃×70h） >	0.7	0.7
扯断永久变形，% <	12	16	磨耗，cm³/1.61km <	0.5	0.8

2。检验方法

（1）外观用目测方法进行检查。

（2）规格尺寸用卡尺测量。

（3）橡胶物理机械性能试验项目按化工部颁布标准“橡胶物理机械试验方法”中所规定方法进行。

五、常见质量问题和改进措施

皮辊常见质量问题和改进措施如表7-25所示。

表 7-25 常见质量问题和改进措施

质量问题	产生原因	改进措施	质量问题	产生原因	改进措施
脱壳（铁芯与橡胶脱离	1.胶粘剂失效 2.铁芯处理不当 3.铁芯洗涤后溶剂未干燥 4.胶浆未完全干燥 5.辊芯材质不适合胶粘剂性能 6.铁芯喷砂不当	1.采用合格的胶粘剂 2.改进处理操作 3.溶剂干燥后再贴胶 4.使胶浆干燥 5.选择适当胶粘剂 6.改进喷砂操作	缺胶	1.胶料不足 2.半成品高度太大，造成透胶 3.压模速度太快	1.补足缺料 2.严格控制半制品高度 3.降低压模速度
分层	1.胶料沾上油污杂质等 2.胶料自粘性差	1.保持半成品清洁 2.提高胶料自粘性	成品发脆	1.过硫或二次硫化时间太长 2.配合差错	1.严格控制硫化条件 2.加强检查

第四节　纺织胶布皮结

纺织皮结是一种用于织布机投梭的胶布层压制品，它由皮结身体及立仁两部分以铆钉连接组成（见图7-22）。

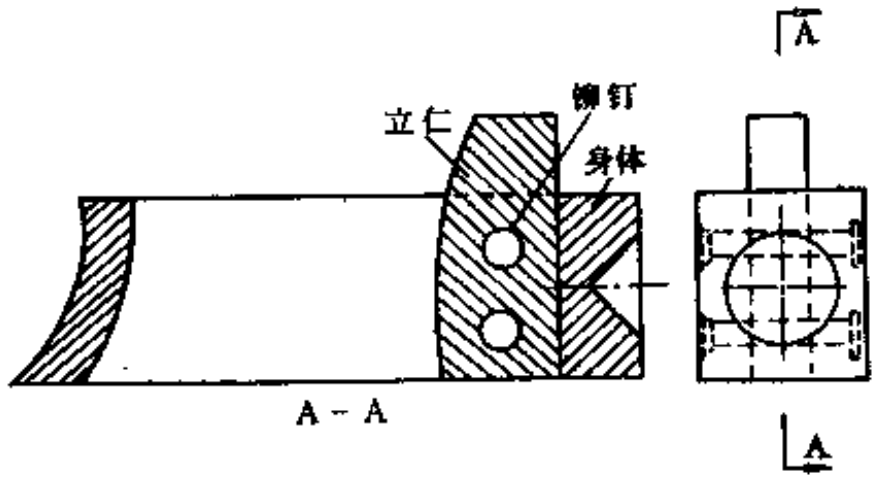


图 7-22　纺织胶布皮结结构

一、纺织皮结的性能要求

皮结是织机投梭机构的重要部件，织造过程中它直接承受梭子及打梭棒高冲击力的作用。虽然由于织机型号的不同，皮结的外型尺寸也相应变化，但是总的性能要求是相同的。一般说来，要求皮结冲击强度大，断裂强度高，耐磨、耐热、滑爽、缓冲性能好，具有适度的弹性及硬度。

二、骨架材料的选择

皮结的骨架材料一般都采用帆布。棉布按其厚度分为轻型布（150g/m² 以下）、中型布（150～300g/m²）及重型布（300g/m² 以上）。重型布具有较高的冲击强度，帆布是重型布的一种，它具有强度大、耐磨、耐热、伸长度适宜，吸湿性小的特点。帆布的性能主要取决于布的质量及编织方式（见表7-26）。

一般采用 28×36（$21^{S}/8\times8$）帆布为皮结骨架。皮结投梭时与梭箱高速摩擦，并随之产生高热，为了使皮结表面光洁，滑爽，降低摩擦系数，皮结成型时表面一般贴一层涂胶浆细布或府绸。

三、胶浆配方设计

为了满足皮结耐冲击、耐磨、耐热、高强韧性的使用要求，设计合理的胶浆配方是非常重要的。

丁腈橡胶/酚醛树脂胶浆是一种发展较为成熟并获得广泛应用的胶浆，它以耐热、耐磨、强度大、富有弹性著称，这些特性是能适应皮结使用要求的。

1．树脂和橡胶的选择

酚醛树脂是丁腈橡胶/酚醛树脂胶浆配方中的重要组成，树脂的用量及性质对胶浆性能有着重要的影响。一般采用热塑性酚醛树脂（例如2123酚醛树脂），这种热塑性树脂是以苯酚与甲醛在酸性接触剂中缩合制得的（见表7-27）。热塑性酚醛树脂分子量以350～450为宜。

表 7-26 不同规格的帆布性能比较

帆布规格	扯断强力，kN	伸长率 %
棉帆布标准GB2909.1—82		
25×26(20s/8×8)	1.300	40
28×36(21s/8×8)	1.550～1.590	50～52
5041细布(20s/2×2)	8.410	18.6

表 7-27 2123酚醛树脂产品指标

项目	指标
外形	不定形块状，黄色至红棕色树脂
熔点	50/80℃（毛细管法），或100℃以上(环球法)
游离酚	6%以下

酚醛树脂与丁腈橡胶的配比对最终性能影响很大。随酚醛树脂用量增加，强度和耐热性增大，但柔韧性降低，随橡胶用量增加拉伸强度和硬度降低（见表7-28）。应根据纺织皮结的性能要求，通过实验的方法来确定酚醛树脂和丁腈橡胶的最佳配比。

表 7-28 酚醛树脂与丁腈橡胶不同配比的性能

组分名称	配比，重量份					
丁腈橡胶	100	100	100	100	100	100
酚醛树脂	50	60	70	80	90	100
硫化胶性能						
拉伸强度，MPa	19	23	23	24	33	29.0
扯断伸长率，%	200	250	200	150	100	100
硬度（邵尔A）	43	48	54	60	68	73

注：1.硫化条件：154℃×30min。
2.基本配方：氧化锌 5；硫黄 1.5；促进剂 DM 1.5；硬脂酸 1.5（重量比）

实际生产中，一般皮结身体中酚醛树脂用量为50份左右，立仁部分直接承受打梭棒的冲击和摩擦作用，要求有更高的强度、硬度和耐热、耐磨性能，所以酚醛树脂用量较身体部分为多，一般达70份以上。

酚醛树脂与丁腈橡胶的混容性随丁腈橡胶中丙烯腈含量增加而提高，耐热性能也随丙烯腈含量而提高，但弹性及缓冲性能则有所降低，应视具体情况选择，一般以中、高丙烯腈含量的丁腈橡胶为宜。

2．硫化体系的选择

丁腈橡胶/酚醛树脂胶浆配方中，硫化体系一般采用硫黄和有机促进剂体系。

因硫黄不能固化酚醛树脂，它只能使配方中的橡胶部分硫化，所以还必须配入酚醛树脂的固化剂——六亚甲基四胺（促进剂H），它的用量为树脂量的10～15%时最佳。

3．补强填充剂

在丁腈橡胶/酚醛树脂胶浆配方中，若配合适当的补强填充剂，除了补强以外，还能改进耐热、增粘和降低制品在使用受热时的膨胀系数。炭黑因有污染织物的弊病，一般不采用。常采用浅色补强填充剂，例如配合适量的白炭黑不仅可以提高强力和耐热性，而且能提高对帆布的粘接能力。

氧化锌为丁腈橡胶的活化剂，因它有增粘及导热的作用，其用量为10份左右。

4．增塑剂

增塑剂能改善操作，调节硬度。常用的增塑剂有：①酯类，如邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯等，②煤焦油衍生物，如古马隆树脂（可提高拉伸强度、抗撕裂性能，还能改

进粘接性，提高粘接能力）。

5．配方举例

丁腈橡胶皮结用胶浆配方示例见表7-29。

表 7-29　丁腈橡胶皮结用胶浆配方举例

原材料名称	配方 1		配方 2		原材料名称	配方 1		配方 2	
	身体	立仁	身体	立仁		身体	立仁	身体	立仁
丁腈橡胶	100	100	100	100	促进剂H	4	8	5	7.5
2123酚醛树脂	50	100	50	70	防老剂D	1.2	1.2	—	—
硫　黄	2.8	2.8	2.5	2.5	硬脂酸	1.8	1.8	2.5	2.5
氧化锌	10	10	10	10	白炭黑	50	100	—	—
促进剂DM	1.1	1.1	1	1	邻苯二甲酸二丁酯	5	5	10	10
促进剂M	—	—	1	1	石　蜡	1	—	—	—
促进剂TMTD	0.8	0.8	—	—					

四、纺织胶布皮结的制造工艺

（一）生产工艺流程

丁腈橡胶皮结的生产工艺流程见图7-23。

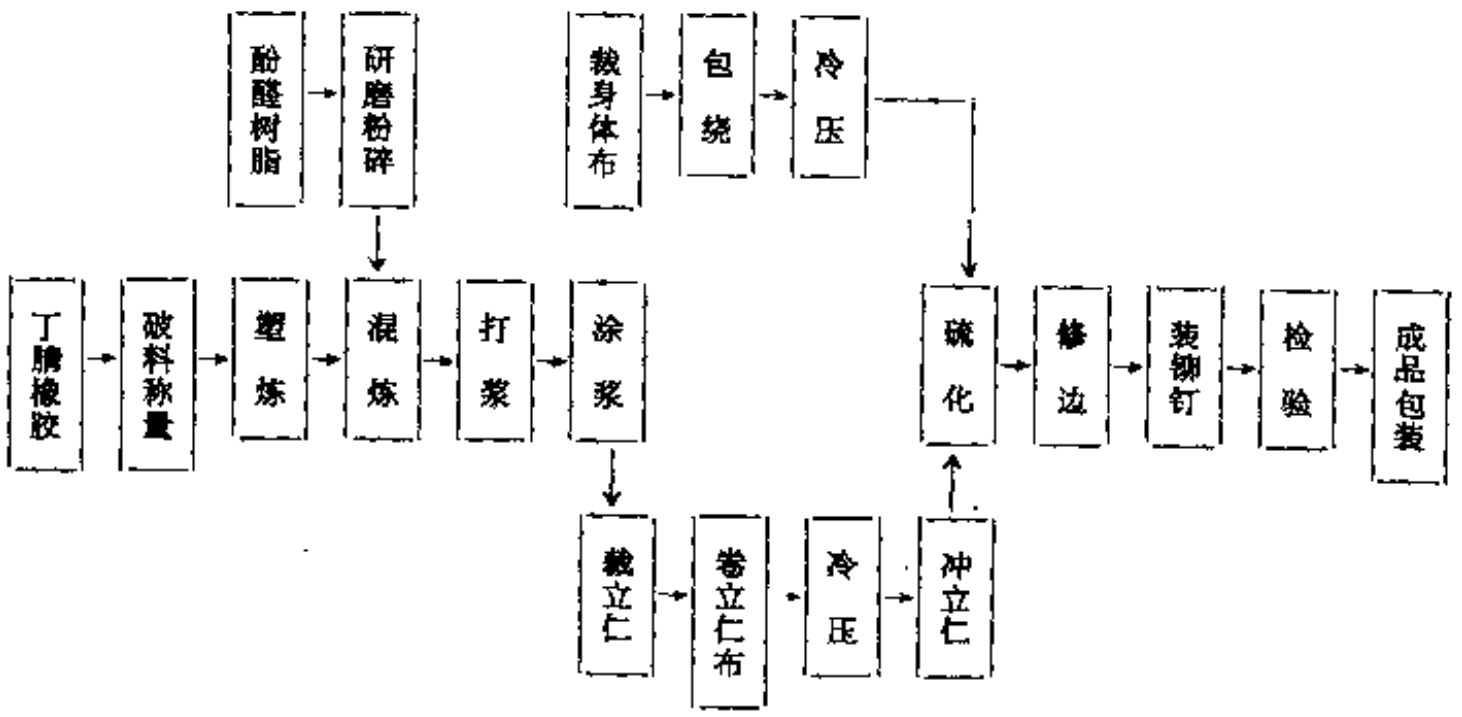


图 7-23　丁腈橡胶皮结生产工艺流程

（二）生产工艺

1．丁腈橡胶的塑炼和混炼

丁腈橡胶在制备胶浆前应先塑炼。塑炼可以在开炼机上以低温、小辊距分段进行。丁腈橡胶的原始可塑性因牌号不同而差异甚大，因此塑炼时间应根据具体情况而定。

生胶经塑炼后平均分子量降低了，这样明显提高了其在溶剂中的溶解速度，相应降低了制成后胶浆粘度，提高涂胶浆效率，节约了溶剂。

混炼要求各种橡胶配合剂均匀地分散在胶料中，辊筒温度须经充分冷却，一般先加部分增塑剂翻炼均匀，再加入全部酚醛树脂翻炼均匀，接着加入促进剂、补强填充剂，最后加入硫黄。加入酚醛树脂时应关闭冷却水，提高混炼温度使树脂熔化，以便在橡胶中均匀分散。混炼操作原则上应在最短时间内达到最均匀的分散，时间过长易产生焦烧，使胶料溶解性

降低。

2．胶浆的制备

制备胶浆首先应选择溶剂。溶剂的选择应以溶解性大、所制胶浆稳定、低毒性及价廉为原则。丁腈橡胶能溶解于酮、酯、芳香烃及氯化烃等溶剂。酚醛树脂最常用的溶剂为乙醇。生产中常采用几种溶剂并用，最常用的为苯、丙酮、乙醇三组分并用。常用的配比举例：混炼胶料∶混合溶剂＝1∶17～2.7，混合溶剂配比为苯∶丙酮∶乙醇＝85∶10∶5。供涂浆用的丁腈橡胶/酚醛树脂胶浆浓度常为25～35%。

制胶浆时将混炼胶片与一定比例的溶剂混合，在搅浆机中先浸泡溶胀一定时间，然后搅拌均匀即成。为了提高打浆效率和减少溶剂损失，刮浆时搅拌机内可先加全部溶剂的1/2～2/3，将切碎的胶片分批投入，缓慢搅拌，待胶片溶胀均匀后，再加入其余溶剂，快速搅匀后使用。

3．涂浆

最常用的涂浆机为卧式涂浆机，由上浆、干燥、卷布三个部分组成。卧式涂浆机工作示意图见图7-24。

待上浆的帆布应先进行干燥处理，因织物湿度能影响浆布质量，水分太大会降低胶浆与帆布的附着力，太干会使帆布变脆，强力降低。含水量一般控制在2%左右。通常织物的干燥采用鼓式干燥装置与涂胶机组成联动作业，这样可以节约劳动力，并能保证质量，因为采用间断操作的话，帆布干燥后在贮藏过程中又容易吸湿。

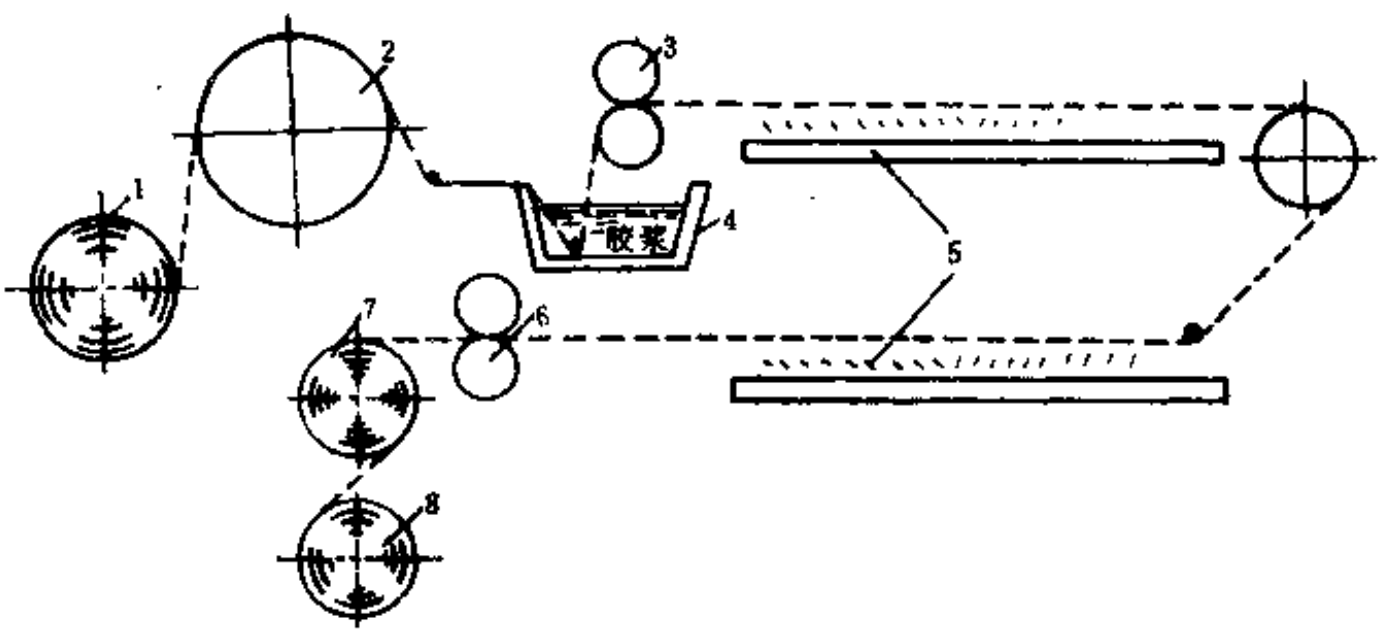


图 7-24　卧式涂浆机工作原理示意图

1—帆布；2—干燥器；3—涂浆辊；4—浆槽；5—加热器；6—拉布辊；7—卷取辊；8—垫布

干燥后的帆布，通过浆槽双面浸胶浆，再穿过涂浆辊的间隙挤去余浆，即可得一层均匀的胶浆。然后经干燥箱干燥，再穿被拉布辊牵引至卷取辊进行卷取。

胶布的附胶量可以通过调节涂浆辊的间隙来控制，控制在胶布总重的35%左右。为了便于控制附胶量，一般采用多次上浆，多次上浆还有助于提高布层的粘接力，胶浆对帆布的渗透性及涂胶均匀性，并可进一步提高产品质量。干燥温度及胶布卷取速度直接影响到胶布质量，必须严格控制。

4．成型

皮结的成型由裁布、包绕、冷压等几个工序组成。

（1）裁布　胶布首先按规格要求沿布的径向裁成一定宽度的长条。以棉纺为例，阔幅布机用皮结身体，以 $21^S/8\times8$胶布裁成32.5mm，或以 $21^S/2\times2$胶布裁成 32mm，普通布机用皮结身体，以$21^S/8\times8$胶布裁成34mm，或以$21^S/2\times2$胶布裁成33.5mm。立仁胶布按横向裁成400mm。裁好的胶布应严格保持清洁，防止弄脏或受潮。

（2）包绕　皮结身体的成型，系用专用的包绕机将胶布长条按规定层数包绕在芯板上，最后取下芯板在表面贴上一层细胶布，见图7-25。

包绕操作应严格控制半制品的重量。半制品的重量与帆布的规格、配方、涂胶量及皮结的规格有密切的关系，一般需通过试验来确定。为了达到定长包绕，确保产品质量，必须严格涂胶量绕好的半制品应紧密整齐。

因丁腈橡胶皮结的头部较厚，还需填以衬布，衬布的包绕方式有下面几种，如图7-26的(a)、(b)、(c) 所示。

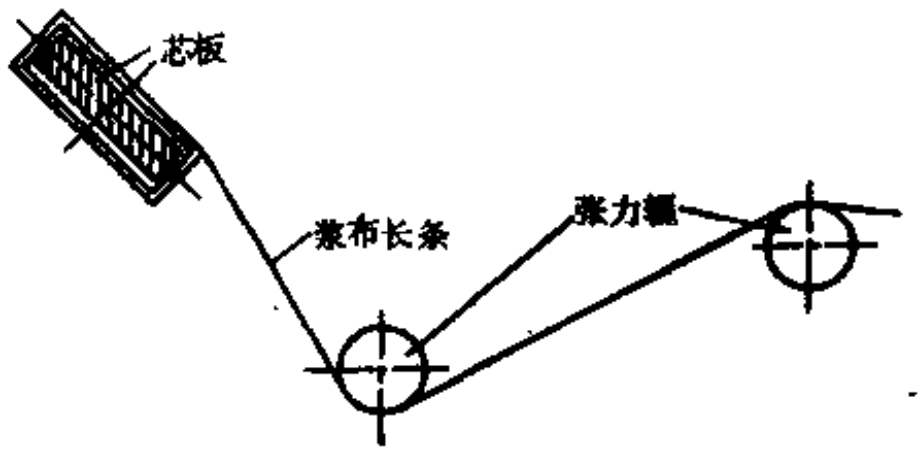


图 7-25　包绕装置工作原理

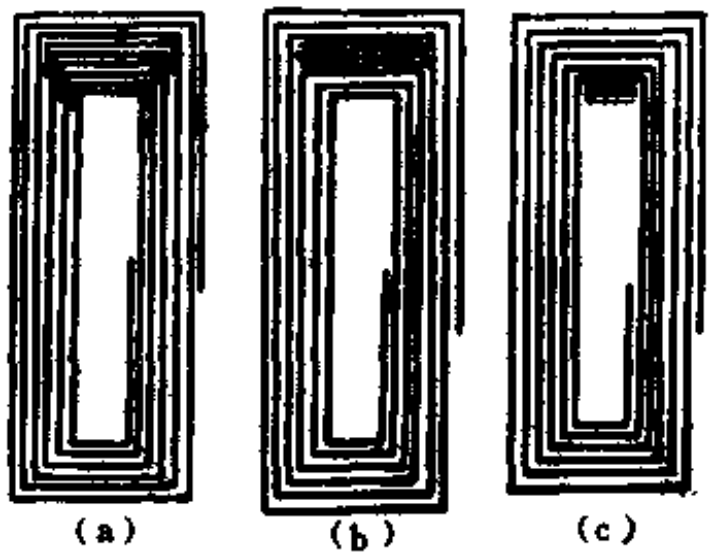


图 7-26　皮结头部包绕方式

立仁的包绕很简单，将胶布卷成圆柱形即可。

（3）冷压　冷却是皮结成型最后一道工序。采用专用的模具将已包绕好的皮结身体、立仁半制品压制成成品的坯形。皮结身体的成型是在三面加压的压机上进行的。其操作原理及模具组合的情况见图7-27。

立仁的压制比较简单，将包绕好的胶布半制品置于模型中，利用平板压力机将其压制成矩形（见图7-28）。生产中也有利用滚压法将胶布滚压成矩形（见图7-29），然后在冲切机上将其冲切成单只的小块，供硫化使用。

5．硫化

在专用的模具中于热压机上进行。加压的方式有两种：①平板硫化机上单向加压；②三个方向加压（工作原理与皮结身体的冷压相同）。由于加压方式的不同，其热压模具结构也有所不同，其中以三方向加压的模具结构比较简单。

为了获得性能优异的产品，必须合理地选择正硫化条件，并要注意硫化条件对织物（帆布）性能的影响。

硫化时必须有足够的压力，以保证胶料能均匀的渗入布隙，提高产品质量。

对于胶布制品皮结来说，硫化操作一开始便应加压，否则如果硫化已经进行到某个阶段，再给以压力，则效果极差，以致产生起泡、脱层等无可挽救的缺陷，严重影响产品

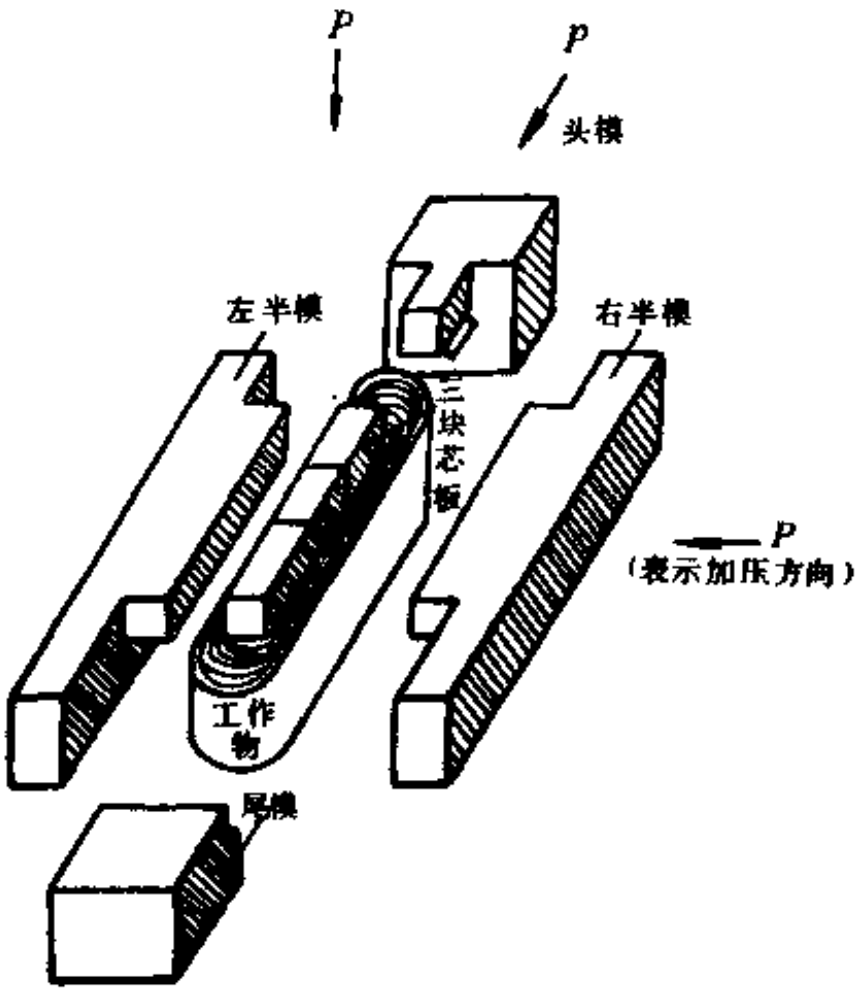


图 7-27　皮结身体冷压模具组合图

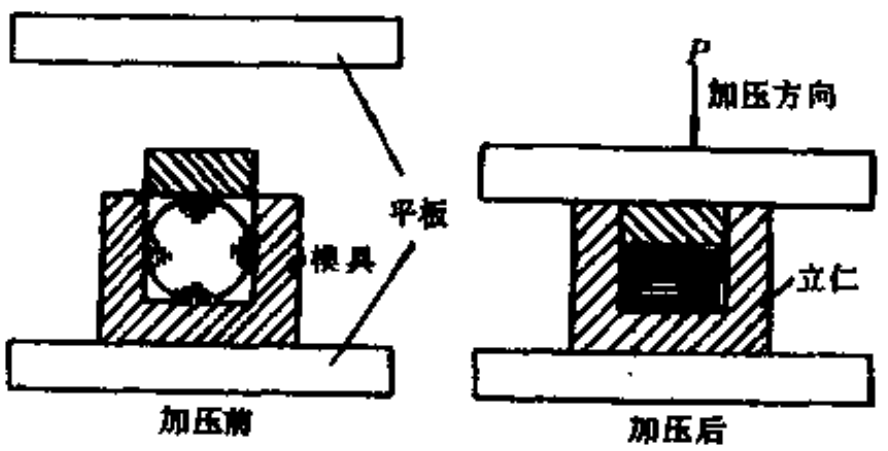


图 7-28　皮结立仁冷压工作原理

质量。

硫化过程中应严格控制硫化温度与时间。皮结身体出模后，应立即将定型板插入槽里，防止冷却后收缩变形。然后修去产品的毛边。

平板硫化机的加热方式，常采用电加热及蒸汽加热两种，其中以蒸汽加热比较均匀稳定。

6．装铆钉

将立仁按装配要求固定在皮结身体的槽中，然后在专用钻床上打眼（见图7-30）。插进铆钉，装上垫图，用锤头铆紧。注意铆钉不得弯曲，头部不得露出平面。

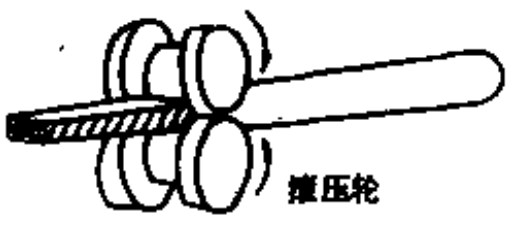


图 7-29　皮结立仁滚压工作原理

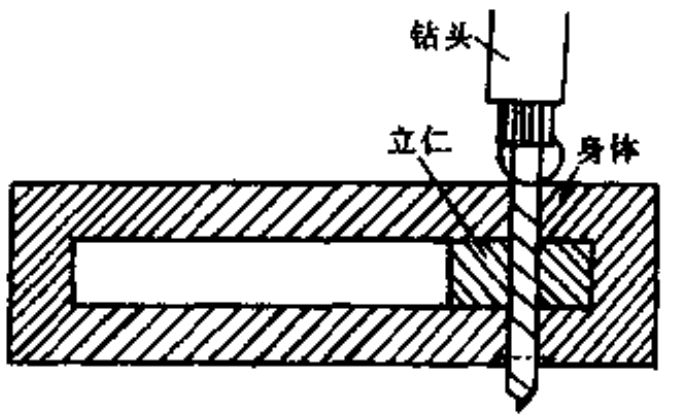


图 7-30　钻头打眼操作原理

五、丁腈橡胶皮结半成品试验及成品检验

1．半成品试验

为了控制生产过程中的质量及设计配方的性能，一般应有选择性地对半成品进行物理性能测试。根据丁腈橡胶皮结的使用要求，应测定如下项目：弹性、硬度、断裂强度、冲击强度、剥离强力、耐热性能等。

2．运转试验

将成品在布机上进行运转，考察产品质量，根据损坏情况，进行分析研究。

3．成品质量

丁腈橡胶皮结的外观质量及公差应符合下列要求，

（1）外形与皮结应符合图纸要求，不得有变形现象；

（2）皮结宽度为30±$^{1}_{5}$mm；

（3）不得有缺料现象，不得有严重的单边，壁厚公差为±0.5mm；

（4）铆钉不得高于平面，不得有严重歪出销槽的现象；

（5）铆钉面无严重击伤。

丁腈橡胶纺织胶布皮结常见质量问题，产生原因和改进措施（见表7-30）。

表 7-30 纺织胶布皮结主要质量问题及改进措施

质量问题	产生原因	改进措施	质量问题	产生原因	改进措施
制品色泽太浅 硬度不足	欠硫	调整硫化温度和时间	脱层	1.胶布自硫	1.严格控制存放时间，妥善保管
缺料	胶布重量不足	定量加料		2.胶布在干燥过程中焦烧	2.改进涂浆操作
成品焦化	过硫	调整硫化温度和时间		3.胶布沾染油污	3.保持胶布清洁
尺寸不合要求	1.加料量过多或过少 2.模具精度不够 3.硫化压力不足	1.定量加料 2.提高模具精度 3.增加压力	铆钉弯曲	装配操作不当	改进装配操作

第八章　印刷工业用橡胶制品

第一节　印刷橡胶制品的种类及用途

一、各种印刷方法的概述

一般的印刷方法随印液的不同大致可分为凸版印刷、平版印刷、凹版印刷和滤过版印刷。

1．凸版印刷

凸版印刷的印版版面主要特征是图文部分凸起，非图文部分凹下（见图8-1）。当着沾有油墨层的墨胶刷过印版时，其凸起的图文部分就吸着油墨，印刷物通过压印机构在压力的作用下将印版图文部分的油墨转印到印刷物的表面，以获得各种文字和图画成为印刷品，此称为直接印刷。国内一般的报纸、杂志印刷均采用此类印刷方法。

2．平版印刷

其印版版面的主要特征是图文部分和空白部分几乎处于同一平面上（见图8-2）。它利用水油相斥的基本原理使图文部分抗水亲油而着墨，空白部分抗油亲水而拒墨，通过压印滚筒在压力的作用下，将图文部分的油墨经过外包橡皮布的滚筒转印到印刷物表面成为印刷品。橡胶布作为中间媒介起着印版网点油墨的吸墨传墨作用，此称为间接印刷。由于其印版部分所需的传墨部分均采用细网点构成，精密度高，印刷物富于层次，生产效率又高，故象画册、年历、地图等彩色印刷品大多采用此种方法印刷。

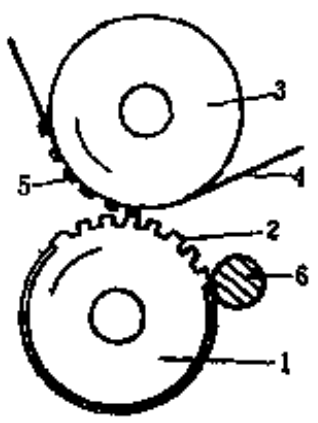


图 8-1　凸版印刷原理示意

1—装版辊筒；2—印版；3—压印辊筒；4—印刷物；5—印刷图文；6—刷墨胶

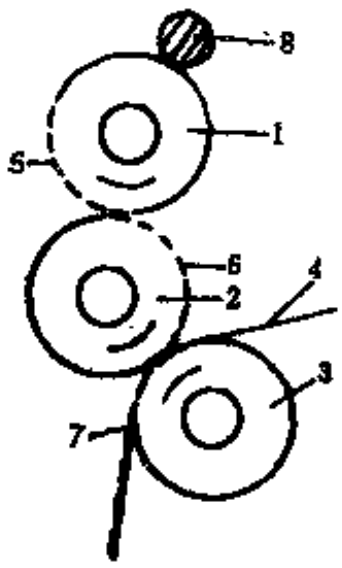


图 8-2　平版印刷原理示意

1—装版辊筒；2—橡皮布辊筒；3—压印辊筒；4—印刷物；5—印版；6—橡皮布；7—印刷图文；8—刷墨胶辊

3．凹版印刷

凹版印刷印版版面的主要特征是图文部分凹下，空白部分凸起，正好与凸版印刷相反，（见图8-3）。印刷时印液滚筒浸在油墨槽里滚动，使整个印版表面都涂满油墨层，然后通过

特别的刮墨刀将印版表面空白部分的油墨层刮掉使凸起的部分形成空白；凹进的部分则填满油墨层。再通过压力的作用，把凹进部分的油墨层转印到印刷物表面，呈现鲜艳而饱满的印刷效果。一般的钱币及有价证券等均用此法印刷。

4．滤过版印刷

滤过版印刷也称孔版印刷或丝网印刷。

滤过版印刷的印版，图文部分是由大小不同的孔洞组成，油墨通过孔洞挤到纸张或其它物体的表面而形成印迹。滤过版印刷使用的印版种类有：誊写版、镂空花版、喷花板及丝网漏印版等。常见的油印和有些彩色画面、招贴画、商品包装、仪表刻度、印刷电路等产品均属滤过版印刷（见图8-4）。

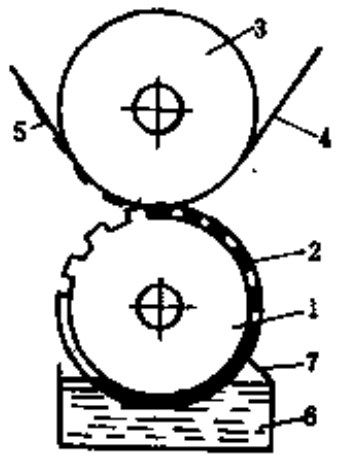


图 8-3　凹版印刷原理示意

1—印刷辊筒；2—印版图文；3—压印辊筒；4—印刷物；5—印刷图文；6—墨槽；7—括墨机构



图 8-4　滤过版印刷示意

1—传墨辊；2—印刷滤网；3—印刷图文；4—印刷物

二、印刷橡胶制品的种类及用途

综上所述，根据不同的印刷方法需要不同的印刷橡胶制品。其性能要求亦不同。凸液印刷用橡胶呢及配套衬垫主要是起缓冲垫衬作用。平版印刷用胶印橡胶布及胶印衬垫，其中胶印橡胶布起吸墨传墨作用。凹版印刷用凹印橡胶布主要起缓冲衬垫作用，还有胶印橡胶衬垫、晒版机橡胶布、印铁橡胶布等。此外印刷机中油墨的传递还需要相当数量的橡胶胶辊以及诸如纸张传递所需要的橡胶吸气头、橡胶输送带等多种橡胶杂件。

第二节　平印印刷橡胶布

一、产品的结构设计和胶料配方

（一）产品的技术要求

前已述及平印印刷橡胶布（俗称胶印橡皮布）在印刷过程中与印版上图纹网点部分的油墨直接接触，通过压印滚筒施加一定的压力（一般为25丝左右），将该网点或文字部分的油墨传送到纸张上，又因为平印印刷使用亮光树脂油墨和采用高沸点煤油等作溶剂，同时在印刷过程中常需要用汽油或甲苯等溶剂洗涤橡胶布表面。为了使印版的空白部分不着墨，整个印版在着墨前还需用磷酸、铬酸药水润湿。胶印机工作过程中，印版辊筒与胶版辊筒有相当大的剪切压力，印刷橡胶布版经常处于压缩状态（如一般的自动双色胶印机其印版及橡胶布辊筒转速为6000r/h）。为了保证印刷过程中吸墨传墨的均匀一致，套印准确，传印的网点文

字完整圆满，图片层次清晰，印刷橡胶布的技术要求为：

① 表面胶要有良好的吸墨传墨性能，耐油耐溶剂性能；

② 表面胶要有亲水抗酸性能；

③ 印刷橡胶布要有良好的抗压缩变形性能，较好的弹性；

④ 印刷橡胶布整体要求厚度均匀一致、平整度误差小于0.04mm；

⑤ 印刷橡胶布整体径向伸长小，定负荷伸长小于2%（2.5cm×25kg×4h）；

⑥ 印刷橡胶布面层胶表面呈微细绒毛状，既保证了吸墨传墨过程的顺利进行，又使印刷橡胶布具有良好的排纸性能。

（二）产品的结构设计

根据上述的产品技术要求，在结构设计中应考虑以下几个方面。

1．产品厚度

包括总厚度、表面胶厚度、布层胶厚度。印刷橡胶布的总厚度主要取决于胶印印刷机的特性（印版辊筒与橡胶布辊筒的间隙）和所用衬垫的厚度。一般要求印刷橡胶布的总厚度为1.85±0.05mm。表面胶的厚度要适当，一般应在0.6～0.7mm。表面胶过薄，则弹性偏低，硬度偏高，使转印的网点不饱满，画面产生深浅不一的条子，俗称画面起杠子；印版磨损快，影响耐印率，甚至在橡胶布装版后辊筒牙齿绞紧后表面显露布纹印，反映到印刷品上则影响使用；表面胶过厚，则使印刷品的网点变形（如网点扩大，拉长等），导致印迹移动，套印不准，画面模糊。内层胶的厚度因受到总厚度及表面胶的限制，一般为1.2～1.3mm（包括基布的厚度）。印刷橡胶布的整体结构（横断面）见图8-5所示。

2．基布层数及其主要性能

基布是印刷橡胶布的骨架基础。基布的层数必须保证印刷橡胶布具有足够大的径向强力及尽量小的伸长，径向强力不足在使用时就有绷断之弊；伸长大，在印刷过程中印刷橡胶布就会逐渐伸长，造成印迹模糊变形，同时表面胶及布层胶层的变薄，致使橡胶布整体弹性下降，影响印刷质量。根据胶印印刷机的实际需要及印刷橡胶布在辊筒上张紧后实际数据的测定，一般要求印刷橡胶布的径向强力要达到700N/cm，径向定负荷伸长率在2%以下(25kg×3cm×4h)。依据印刷橡胶布在实际使用中的要求，坯布的设计采用一级新疆长绒棉花纺纱，组织结构采用径向24支双股纬向24支单股，径密大于纬密。此外由于印刷橡胶布的特殊要求，其基布的性能大大优于一般胶布或输送带中的基布的性能，因此必须由棉纺厂、织布厂及印染厂专纺、专织、专门后整理加工，供制造印刷橡胶布的坯布布面必须光洁无纱结头，平整无折皱，无荷叶边、破边、破洞等。印刷橡胶布基布的技术指标见表8-1。

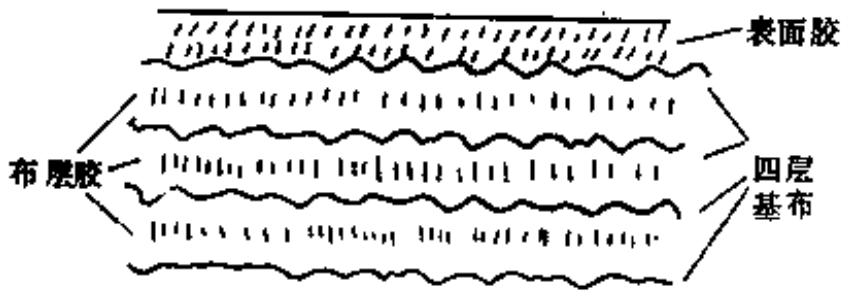


图 8-5　印刷橡胶布结构断面图

根据上述基布的技术指标，印刷橡胶布结构设计采用四层平纹基布。

（三）胶料配方

根据产品的结构设计，印刷橡胶布胶料配方主要由两个部分组成，即表面胶及布层胶。

1．表面胶配方

（1）生胶　由于表面胶在使用过程中经常与油墨接触，并且要用甲苯、汽油等溶剂擦拭表面堆积的油墨及纸毛等。印刷的纸张又经常有砂粒及折叠，所以要求表面橡胶要有一定的抗伸强度及优良的耐油耐溶剂性能，所以生胶选用丁腈橡胶与氯丁橡胶并用，以及丁腈、

表 8-1 印刷橡皮布基布的技术指标

项目 / 名称	质量 g/m²	厚度 mm	密度 根/10cm 径向	密度 根/10cm 纬向	织缩 % 径向	织缩 % 纬向	径向断裂(5cm宽) 伸长 %	径向断裂(5cm宽) 强力 N	纬向断裂(5cm宽) 伸长 %	纬向断裂(5cm宽) 强力 N	组织 1/1平纹 径向	组织 1/1平纹 纬向	幅宽 cm
长绒棉基布	200以下	0.27±0.01	0.90±8	200以下	2.46	18.52	<10	1250以上	<25	500以上	245/2	245/1	$96^{+2.0}_{-1.0}$

氯丁、氯醋树脂三者并用，以保证达到印刷的满意效果。一般并用比例为：丁腈-26：通用型氯丁：氯醋树脂（氯乙烯与乙酸乙烯树脂，乙酸乙烯含量5%）= 70：30：10，或者是丁腈-26：通用型氯丁 = 70：30。

（2）硫化体系　主要考虑两个方面的因素：即焦烧性能好，以保证操作的安全性；以及弹性和抗压缩变形性好。为此选用硫1.8～2份，促进剂CZ及 TT 并用。选用此种硫化系统的胶料其焦烧、抗压缩变形性、弹性和耐老化性能均较好。

补强填充剂的选择：印刷橡皮布系浅色橡胶制品，因此补强填充剂一般选择白炭黑、陶土、轻质碳酸钙等。白炭黑虽然对胶料的补强性高，但由于在使用中易磨损印版，一般不宜采用。陶土的亲油性好，且有一定的补强性能，可以选用，但其变形较大。轻质碳酸钙虽然补强性不大，但作为填充料加于配方中能使表面胶有较好的吸墨传墨性，保证了印刷的顺利进行。

（3）增塑剂　由于印刷橡胶布整体硬度要求在（邵氏A）78左右，表面胶的硬度一般应为55左右为宜，故胶料配方中应考虑一定数量的增塑剂。增塑剂的品种选择及数量的多少是影响印刷橡胶布使用性能及使用寿命的一个重要因素。往往由于增塑剂被高沸点煤油、甲苯、汽油等溶剂抽出，导致印刷橡胶布表面橡胶硬度增加，弹性降低面影响印刷过程的正常进行。己二酸二丁酯能赋于表面胶良好的弹性，但由于其不耐抽出而影响使用寿命。一般选用邻苯二甲酸二丁酯及邻苯二甲酸二辛酯并用能达到较好的弹性耐抽出性能，如适当并用少量聚酯（低分子的多元醇及多元酸聚合物）则其耐抽出性能更佳，并能适当增加表面胶料的拉伸强度。

2．布层胶配方

（1）生胶　布层胶主要起二个作用：保证产品具有较好的弹性及抗压缩变形性；能牢固地粘合底布。据此生胶选用 1 号烟片胶是适宜的。

（2）硫化体系　采用低硫高促（EV硫化系统）硫化系统能赋于胶料优良的抗压缩变形性及弹性。加果采用常规硫化系统，当硫黄用量超过 2 份时，由于硫黄在天然橡胶中的相容性随温度的降低面下降，故在冬季布层胶浆中的硫黄在存放期间会渐渐析出，以致影响印刷橡胶布的硫化均匀性，严重的甚至造成局部过硫，导致产品报废。氧化锌用20份可增加胶料的导热性。

配方举例见表8-2和表8-3。胶料的物理机械性能见表8-4。

二、产品的生产工艺规程

印刷橡胶布的生产工艺主要采用涂胶法。由于使用条件的限制使它不同于一般的胶布类制品，除了前已述及的各项技术条件外，尤其是对其表面橡胶的质量要求极高。例加整个成

表 8-2 表面胶配方举例

单位：重量份

原材料	配方		原材料	配方	
	1	2		1	2
丁腈-26	70	70	硬脂酸锌	0.2	—
通用型氯丁橡胶	30	30	硬脂酸钡	0.2	—
氯醋共聚体	10		聚酯	6	—
氧化锌	10	5	陶土	50	—
氧化镁	1	2	轻质碳酸钙	—	50
硫黄	1.8	1.8	防老剂SP-C	6	6
促进剂CZ	0.5	0.5	酞青绿	—	0.3
促进剂TT		0.2	合计	194.7	185.3
硬脂酸	1.5	1.5	含胶率，%	51.4	53.7
邻苯二甲酸二丁酯	3.5	12			
邻苯二甲酸二辛酯	5	6			

表 8-3 布层胶配方举例

单位：重量份

原材料	配方	原材料	配方
1号烟片胶	100	碳酸钙	34
硫黄	0.5	氧化锌	20
促进剂TT	2.0	防老剂SP-C	9
促进剂DM	1.0	合计	167.0
硬脂酸	0.5	含胶率，%	59.9

表 8-4 表面胶及布层胶物理机械性能

项目	指标		
	表面胶1	表面胶2	布层胶
硬度（邵氏A）	55±2	52±2	48±2
拉伸强度，MPa	9.81	3.92	21.6
扯断伸长率%，≥	480	420	600
扯断永久变形，%	22	8	12
冲击弹性，%≥	21	40	70
门尼焦烧，min	20以上	25以上	10以上

品表面（91×91cm）只要有0.1mm 的杂质（包括粉子、纱头、针孔等），就要因影响油墨网点的传印而使产品报废，因此，原材料的选择、处理及各道工序的清洁和操作都必须严格控制。

（一）生产准备

印刷橡胶布的外观质量要求极高，印刷网版的线数最高可达300线/in，如表面橡胶中有极微小的杂质就会影响网点油墨的传递，所以生胶及各种配合剂均不允许有杂质混入。生胶要仔细除去外包皮及杂质，各种配合剂也应根据不同情况选用不同目数的筛网进行筛选。粉状配合剂还需进烘房干燥，以利下道工序的正常进行。由于印刷橡胶布生产是采用涂胶法生产，不同于压延法生产，故配料的准确称量（尤其是硫化促进剂）也很重要。基布应仔细除去布结头和布毛等杂质，并避免折皱，以保证产品的平整度。

（二）生胶塑炼

所用的天然橡胶及丁腈橡胶都必须进行充分的塑炼，一般情况天然橡胶要二段塑炼，国产丁腈橡胶要三段塑炼（与氯醋共聚体高温掺合的丁腈橡胶需二段塑炼），以保证混炼、制浆工序的顺利进行。表面胶可塑度控制在0.45～0.50（威氏），天然橡胶可塑度需控制在0.60～0.65（威氏）。

（三）混炼

根据产品的要求混炼要尽量均匀细致，且应避免杂质混入混炼胶中，因此炼胶过程及周

围环境必须保持清洁。

1．表面胶 1 的混炼（表8-2中配方 1）

（1）母炼胶的制备顺序

① 先将氯醋共聚体及1/3二丁酯，稳定剂均匀捏和。

② 将已捏和的共聚体在高温开炼机上（辊温150℃以上）均匀薄通，使成为柔软的透明薄片，直至无白色小颗粒出现为止。薄通辊距为0.5mm。

③ 丁腈塑炼胶与已预塑化的共聚体再进行高温掺合（辊温必须保持在150～160℃），薄通至掺合均匀，无白色小颗粒为止。为防止丁腈橡胶在高温下的降解，掺合时间一般应控制在15min左右。

④ 掺合的母炼胶不能立刻打卷，需冷却至50℃以下成卷备用，否则内部局部过热会造成胶料焦烧变质。应该指出高温掺合必须在150～160℃进行（因为 5 %的氯醋共聚体的熔融软化点为150℃）。共聚体中严禁混有聚氯乙烯，否则因聚氯乙烯的熔融点高于160℃，影响丁腈橡胶与共聚体的均匀掺合，导致印刷橡胶布成品表面胶上出现大量黄棕色麻点，使产品报废。

（2）氯丁橡胶薄通二次，辊距为0.5mm，辊温在50℃以下。

（3）丁腈-塑料母炼胶薄通 4 次。

（4）二种胶料混合翻炼。

（5）缓缓加入硫黄翻炼（左右各 3 刀以上。因硫黄在丁腈橡胶中不易分散，故应首先加硫黄翻三角包，保证硫黄的均匀分散）。

（6）加硬脂酸、氧化镁（左右各 3 刀以上）。

（7）加2/5增塑剂均匀翻炼（薄通 6 次，打三角包）。

（8）加防老剂、氧化锌均匀分散。

（9）加填料、3/5增塑剂、促进剂翻炼（左右各 3 刀以上，薄通 6 次打三角包）。

(10) 放厚辊距、下片。

2．表面胶 2 的混炼（表8-2中配方 2）

除省略表面胶 1 工艺中母炼胶的制备外，其它工艺均相同。

3．布层胶的混炼（表8-3中配方）

（1）加入已塑炼的 1 号烟片胶薄通二次（辊距0.5mm），放厚辊距包辊。

（2）加硬脂酸、防老剂翻炼（左右各 3 刀以上）均匀分散。

（3）加氧化锌、填料、翻炼（左右各 3 刀以上）。

（4）加硫黄、促进剂翻炼（左右各 3 刀以上，薄通 6 次打三角包）。

（5）放厚辊距，下片。

（四）酸浆制备

1．环境卫生

室内保持清洁无尘；盛浆桶必须清洁无尘，室内应保持一定的温度、湿度，并安装自动灭火装置。

2．溶剂的选择

根据“相似相容”的原则，表面胶采用苯或甲苯作溶剂，布层胶采用20号汽油作溶剂。由于苯的熔点在5.4℃，故冬季需保温，以避免胶浆冻结影响使用。

3．胶料与溶剂配比

① 表面胶：溶剂＝1∶1.8～2（重量比）

② 布层胶：溶剂＝1∶1.6～1.8（重量比）

4. 采用立式桨叶搅拌机（加夹套冷却水冷却），打浆温度不得超过60℃，以避免胶浆在制造过程中焦烧自硫。

布层胶浆搅拌4h以60目锦纶丝网过滤，表面胶浆搅拌5h，冷却至室温以120目锦纶丝网一次过滤，200目锦纶丝网二次过滤。在滤浆过程中严禁用苯或甲苯稀释胶浆，以防止粉料的析出，并防止杂质及粉尘的混入。胶浆的停放过程冬季一般不超过3天，夏季不超过2天。

（五）涂胶

涂胶采用卧式涂胶机进行。布层胶采用连续涂胶法边涂胶边干燥边卷取。涂至一定厚度逐步拼合，最后四层拼合后涂面胶。表面胶涂布采用环形涂胶法，逐步放浆涂至一定厚度，干燥、冷却后，表面涂滑石粉卷取。涂胶机和周围环境应保持清洁无尘及一定的湿度。涂胶机应安装导静电装置。表面胶涂胶应装置溶剂回收装置及送排风装置，以保证上浆的干燥以及涂胶室和周围环境的卫生。布层胶涂胶工艺详见表8-5。

表 8-5 布层胶涂胶工艺

单位：mm

胶浆名称	层次	织物面	织物厚度	织物名称	涂胶次数	涂胶后厚度	备注
布层胶	1	正	0.29±0.01	平纹	2	0.36±0.01	涂胶以厚度为准，次数只作参考
布层胶	2	正	0.29±0.01	平纹	3	0.40±0.01	
1、2层贴合（第一层在顶架上）厚度0.70±0.02							
布层胶	3	正	0.29±0.01	平纹	3	0.40±0.01	
布层胶	4	正	0.29±0.01	平纹	2	0.35±0.01	
3、4层贴合（第4层在顶架上）厚度0.68±0.02							
布层胶	1、2层夹胶布，第二层上	反	0.70±0.02	平纹	2	0.78±0.02	
布层胶	3、4层夹胶布，第三层上	反	0.68±0.02	平纹	2	0.76±0.02	
1、2层夹胶布，3、4层夹胶布贴合（后者在顶架上）厚度1.45±0.02							

（六）干燥

为了保证涂好表面胶的半成品胶浆中的溶剂充分挥发，以防止硫化时产生面泡等质量问题，必须将待硫化的半成品置于通风良好的干燥室中进行充分的干燥，一般需晾24 h后再送下工序硫化。

（七）硫化

印刷橡胶布硫化采用鼓式硫化机定型硫化，硫化罐补充硫化。这样可保证印刷橡胶布整体有更好的弹性并可大大提高生产效率。由于硫化工序是印刷橡胶布橡胶定型的最后一道工序，所以硫化机及周围环境的清洁卫生也十分重要。尤其要着重提出的是鼓式硫化机上钢丝带上的覆胶必须非常清洁，否则将严重影响印刷橡胶布的内在质量。

硫化技术条件：鼓式硫化机定型硫化时间为9min，钢丝带压力为15MPa，蒸气压力为

0.6MPa；硫化罐硫化时间为15min，温度140℃。

（八）表面处理

为了保证印刷橡胶布具有良好的吸墨传墨性能及极佳的厚度均匀性，印刷橡胶布表面还需采用特制设备进行表面处理。以使产品符合印刷机的使用要求。印刷橡胶布工艺流程示意见图8-6。

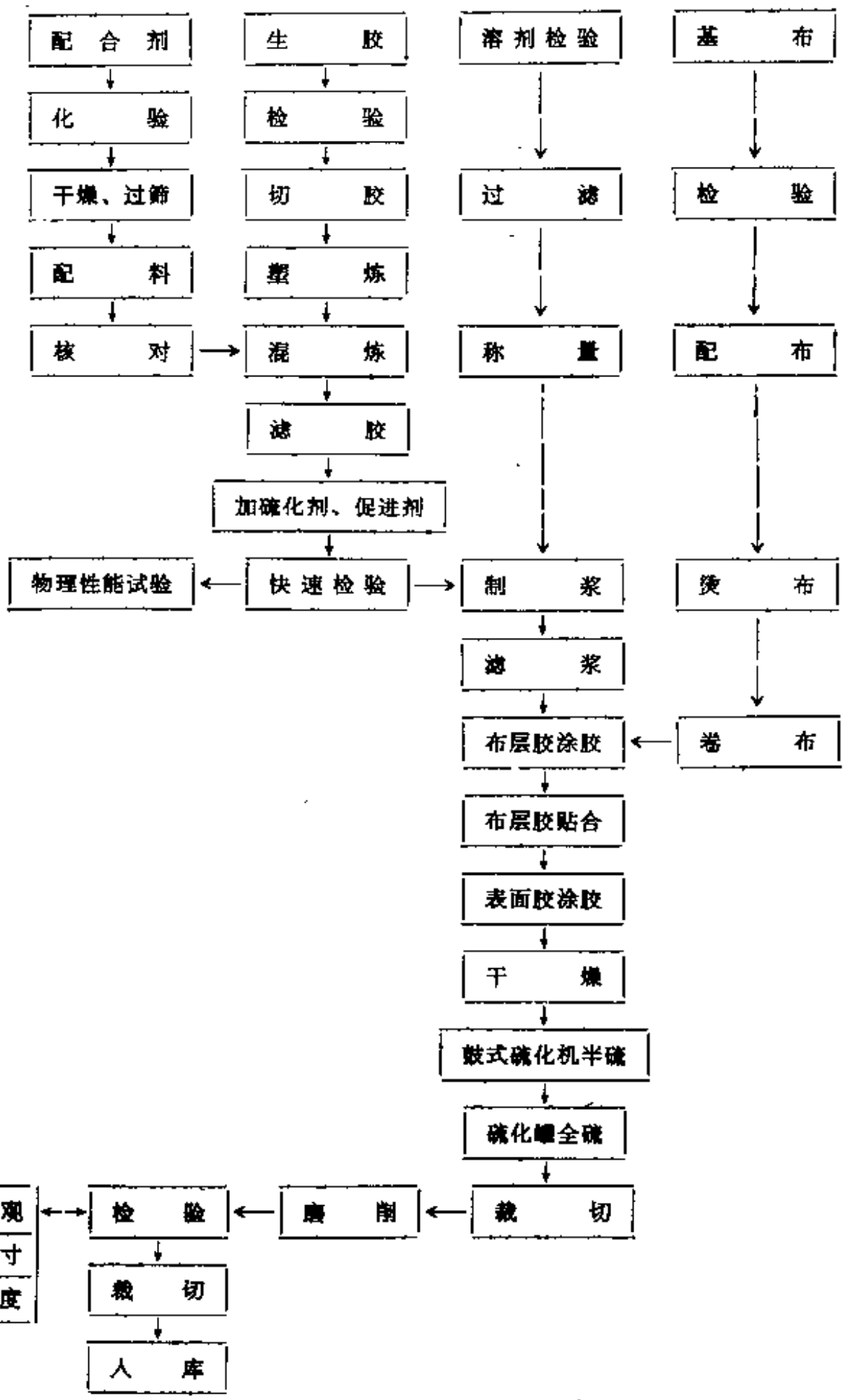


图 8-6 印刷橡胶布制造工艺流程

三、印刷橡胶布技术标准

名称：平印印刷橡胶布

规格：对开（长×宽）915×915mm；全张1220×1220mm
结构：四层基布（一层面胶三层结合胶组成）
厚度：1.85±0.05mm
平整度（厚度误差）：≤0.04mm
定负荷伸长：≤1.5%（25kg×3cm×4h）
布层间粘合强度：≥1.60kN/m
成品硬度：76±2（邵尔A）

四、胶印印刷橡胶布的新发展

印刷技术在不断的发展，从70年代起国内大量引进四色胶印机及轮转胶印机（即卷筒纸两面双色印刷机），它的特点是印刷速度快、印刷压力小，因此印刷橡胶布的要求就更高，它必须具有更优良的瞬时变形恢复，更高的平整度及极佳的排纸性能和耐溶剂性能。从而促使印刷橡胶布从生胶的选择、硫化系统的选择及整体结构都要有一个大的改进和提高。一般的胶印印刷橡胶布已远不能适应印刷的要求，因此气垫式胶印印刷橡胶布就应运面生了。

第三节　凸印印刷橡胶呢及配合衬垫

一、产品结构设计和胶料配方

（一）产品的技术要求

凸印印刷橡胶呢及配套衬垫主要用于铅印印报轮转机上，它紧包于呢布辊筒上，承受铅版辊筒很大的剪切压力，起着良好的缓冲作用，使铅版与新闻纸很好地接触，将铅版上的油墨转印到纸张上以保证字迹及图片清晰逼真。由于印报轮转机印刷速度快、压力大，在印报过程中常发生断纸和多层纸张缠于呢布辊筒上，并且在印刷过程中要用煤油或二甲苯等溶剂洗涤橡胶呢表面。因此要求橡胶呢及配套衬垫具有一定的硬度、优良的回弹性及抗拉伸性，要求表面胶及衬套胶有较好的耐磨、耐溶剂性能，表面胶需要有较高的拉伸强度和爽滑性。

（二）结构设计

根据上述技术要求，橡胶呢结构设计采用二层平纹基布作骨架基础，以保证足够的径向强力及较小的伸长，两层平纹布间涂以内胶，以保证优良的回弹性及附着力，表面涂以橡塑并用胶料使表面有较高的拉伸强度及爽滑性和耐溶剂性能，由此组成橡胶呢面衬，经硫化后再与一层毛呢冷粘粘合（毛呢赋于成品良好的弹性和抗压缩变形性能）组成橡胶呢（见图8-7）。

配套衬垫采用三层平纹基布，内涂二层布层胶，表面涂以耐溶剂胶料，以保证衬垫具有一定的弹性、硬度和耐溶剂性。并保证衬垫及橡胶呢总厚度在3.8～4.0mm，以适应印报轮转机所需的包衬厚度（其中橡胶呢2.2～2.3mm，配套衬垫1.6～1.7mm）。其结构示意见图8-8。

（三）胶料配方

1．橡胶呢胶料配方

根据结构要求，橡胶呢需设计三种胶料配方（表面胶、布层胶、冷粘胶），表面胶采用丁腈-26与塑料（氯醋共聚体）并用，补强填充剂采用高耐磨炉黑以保证有较高的拉伸强度、较高的硬度和耐磨、爽滑性能。布层胶采用1号烟片胶，硫化系统采用高硫低促（EV有效

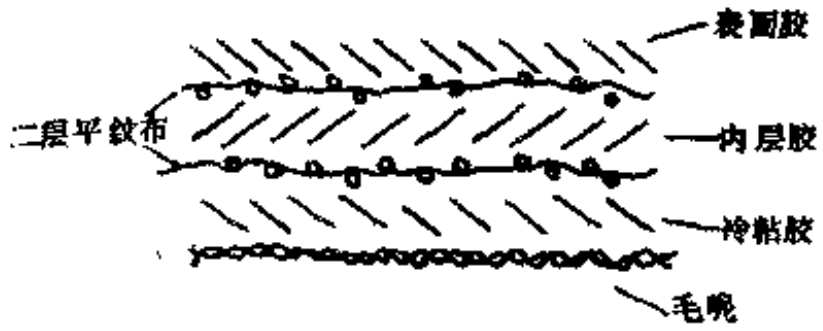


图 8-7　橡胶呢结构示意



图 8-8　配套衬垫结构示意

硫化系统）以保证成品有良好的抗压缩变形性及粘着力。冷粘胶采用通用型氯丁橡胶，硫化剂采用硫代乙酰胺（室温硫化）以保证毛呢与橡胶呢有足够的粘合力。

2．衬垫胶料配方

根据结构要求，衬垫布层胶及表面胶采用同一胶料配方。考虑到一定的耐溶剂性能要求及良好的弹性及布层间粘合力，生胶采用氯丁橡胶与1号烟片胶并用，补强填充剂采用白炭黑。

3．配方举例

配方举例及胶料的物理机械性能分别见表8-6及表8-7。

表 8-6　印刷橡胶呢及配套衬垫胶料配方举例

原材料名称	印刷橡胶呢			衬垫
	表面胶	布层胶	冷粘胶	表面胶与布层胶
丁腈橡胶 26	100.0	—	—	—
通用型氯丁橡胶	—	—	100.0	50.0
1 号烟片胶	—	100	—	50.0
5%氯乙烯乙酸乙烯共聚体	25.0	—	—	—
硬脂酸	0.5	—	—	—
硬脂酸钡	0.5	—	—	—
硫黄	2.0	0.5	—	0.5
促进剂 M	0.9	—	—	—
促进剂 DM	0.9	1.0	—	0.5
促进剂 TT	—	2.0	—	1.0
氧化镁	—	—	4.0	4.0
氧化锌	15.0	20.0	5.0	10.0
硬脂酸	1.5	0.5	—	0.5
固体古马隆	5.0	—	—	—
邻苯二甲酸二丁酯	2.0	—	—	—
30 号机油	1.0	—	—	5.0
防老剂 SP-C	6.0	6.0	6.0	6.0
高耐磨炉黑	60.0	—	—	—
半补强炉黑	40.0	—	—	—
白炭黑	—	4.0	—	70.0
硫代乙酰胺①	—	—	1.2	—
总量	269.1	170.0	116.2	198.0

①硫代乙酰胺用乙酸乙酯溶解，在临用时加入冷粘胶浆中。

二、产品生产工艺

1．生产准备

① 生胶及配合剂均需检查化验是否符合质量标准。

② 生胶要仔细拣去杂质， 配合剂要过滤筛选，保证干燥。

③ 基布应仔细挑去杂质、纱头、 并烫平避免折皱。

2．炼胶工艺

（1）丁腈橡胶及天然橡胶必须塑炼，达到一定的可塑度。

表 8-7 胶料物理机械性能

项目	橡胶呢		衬垫
	表面胶	布层胶	表面胶及布层胶
硬度（邵尔A）	63±2	56±2	71±2
拉伸强度，MPa	15.48	19.62	10.88
扯断伸长率，%≥	220	550	520
永久变形，%≥	10	12	16
冲击弹性，%≥	20	60	43

（2）混炼前必须仔细按配方清点所需生胶及配合剂是否齐全，清扫机器及周围环境，防止灰尘杂质的混入。加料顺序及操作方法分别见表8-8、表8-9、表8-10和表8-11。

表 8-8 表面胶混炼加料顺序和操作方法

加料顺序	原材料名称	操作方法	时间 min
1	丁腈橡胶26，共聚体室温掺合	辊温150℃以上薄通，掺合	15
2	掺合料、硫黄、硬脂酸防老剂	薄通6次，放厚辊距，切割左右3次以上	
3	氧化锌、增塑剂、补强填充剂	切割左右各4次以上	
4	促进剂	切割左右3次以上，薄通打三角包4次下片	60+10

表 8-9 布层胶混炼加料顺序和操作方法

加料顺序	原材料名称	操作方法	时间 min
1	1号烟片、防老剂、硬脂酸	薄通4次，放厚辊距，左右切割四次以上	
2	氧化锌、白炭黑	切割左右各四次以上	
3	硫黄、促进剂	切割左右各三刀以上，薄通、打三角包3次下片	50+10

表 8-10 冷粘胶混炼加料顺序及混作方法

加料顺序	原材料名称	操作方法	时间 min
1	通用型氯丁橡胶	薄通6次，放厚辊距	
2	氧化镁、防老剂	不切割，以免氧化镁粘附在辊筒上	
3	氧化锌	左右切割4次以上，打三角包薄通3次以上，下片	30+5

表 8-11 衬垫胶混炼加料顺序及操作方法

加料顺序	原材料名称	操作方法	时间 min
1	通用型氯丁橡胶及天然橡胶	各薄通3次以上，放厚辊距共混	
2	防老剂、硬脂酸	切割左右各二次以上	
3	氧化镁	不切割，粉料吃完，切割二次	
4	白炭黑、机油	切割左右各6次以上	
5	氧化锌、促进剂、硫黄	切割左右各4次以上，薄通6次，打三角包，下片	70+10

3．胶浆制备

（1）溶剂选择　橡胶呢表面胶采用苯加环已酮作溶剂，布层胶采用120号汽油作溶剂、衬垫胶采用苯或甲苯作溶剂，冷粘胶采用苯或甲苯作溶剂。

胶料与溶剂比例，表面胶:溶剂＝1:3（苯:环已酮＝2:1）；布层胶:溶剂＝1:1.8＋2；冷粘胶:溶剂＝1:2；衬垫胶:溶剂＝1:1.8＋2。

（2）胶浆制备　表面胶在立式桨叶搅拌机中搅拌6h左右，以80目锦纶过滤网过滤。布层胶、冷粘胶及衬垫胶搅拌5h左右至无浆块以40目锦纶滤网过滤，备用。

4．涂胶工艺

涂胶采用卧式涂胶机。橡胶呢面衬布层胶及衬垫布层胶工艺条件分别见表8-12及表8-13。

表 8-12　橡胶呢面衬布层胶涂胶工艺条件

胶料名称	织物名称	织物层次	织物厚度，mm	涂胶次数	涂胶后厚度，mm	备注
布层胶	平纹	1	0.29±0.01	3	0.40±0.02	涂胶次数仅供参考，主要以厚度为准
布层胶	平纹	2	0.29±0.01	3	0.40±0.02	
烘一遍						
布层胶	平纹	1	0.38±0.02	4	0.55±0.02	
布层胶	平纹	2	0.38±0.02	4	0.55±0.02	
烘一遍						
布层胶	平纹	1	0.50±0.02	3	0.65－0.02	
布层胶	平纹	2	0.50±0.02	3	0.65－0.02	
烘一遍						
1、2层贴合（第2层在顶架上）厚度1.00±0.05						

表 8-13　橡胶呢衬垫布层胶涂胶工艺条件

胶料名称	织物名称	织物层次	织物厚度，mm	涂胶次数	涂胶厚度，mm	备注
布层胶	平纹	1	0.29±0.01	3	0.36±0.02	涂胶次数仅供参考，主要以厚度为准
布层胶	平纹	2	0.29±0.01	3	0.36±0.02	
布层胶	平纹	3	0.29±0.01	3	0.36±0.02	
1、2层布贴合（第2层在顶架上）0.60±0.02						
布层胶	平纹	第2层上	0.60±0.02	7	0.80±0.02	
1、2层夹胶布与第三层贴合（第三层在顶架上）1.05±0.02						

（1）橡胶呢面衬布层胶及衬垫布层胶采用边涂胶边干燥边卷取方式涂胶。其表面胶均采用环形连续涂胶、干燥的方式涂胶。

（2）布层胶涂胶应注意辊刀二边平整度误差控制在0.02mm以下。涂胶及拼布时应仔细拣去纱头等杂物并避免杂质粘附于布面上。拼布时上下张力需保持一致，并力求拼整齐。

（3）表面胶涂胶时应控制每次放丝的厚度不超过0.05mm，尤其是橡胶呢表面胶因有环已酮溶剂不易挥发，每次放丝0.03mm左右，并保证环已酮挥发干燥。

（4）橡胶呢表面胶上浆至1.35±0.02mm，衬垫表面胶上浆至1.85±0.02mm，涂胶结

束干燥45min，冷却30～60min，涂滑石粉卷取待硫。

5．硫化工艺

橡胶呢面衬及衬垫均采用鼓式硫化机硫化。

硫化条件：钢丝带压力15MPa；蒸气压力0.55MPa；硫化速度20min。

（1）硫化前应将热鼓表面用金相砂纸（GBM28＝0.1）沾少许硬脂酸仔细擦拭清洁。将蒸气压力升至0.55MPa预热15min，使鼓面受热均匀后，再将制品入鼓硫化。

（2）硫化过程中应始终保持钢丝带压力及蒸气压力均匀一致，并仔细拣去沾于表面胶上的杂质。

（3）当硫化至半成品离开木蕊失去张力时，应以人工补偿适当的张力，避免出现折绉折边等现象，造成产品报废。

6．橡胶呢面衬与毛呢冷粘工艺

（1）橡胶呢面衬与毛呢的贴合，采用大面积室温自然硫化胶浆冷粘工艺。

（2）已硫化好的面衬经检查后与毛呢配套，面衬涂一遍冷粘胶浆后用衬布卷取，放于拼布架上。

（3）毛呢环形缝于涂布机上，涂3～4遍冷粘胶浆，与面衬拼合（涂冷粘胶浆时干燥室温为25℃）。

（4）拼合后用压辊压实15次，卷取。

（5）冷粘胶浆采用硫代乙酰胺作室温自然硫化剂，其配制可参考表8-14。硫代乙酰胺溶于乙酸乙酯中，在冷粘开始时现配现用。

表 8-14　硫代乙酰胺冷粘胶浆配制

混炼干胶 kg	配比			
	0.8	1.0	1.1	1.2
	硫代乙酰胺加入量，g			
0.5	3.6	4.5	4.95	5.4
1.0	7.2	9	9.9	10.8
2.0	14.4	18	19.8	21.6
3.0	21.6	27	29.7	32.4

7．成品的裁切和检验

橡胶呢面衬与毛呢冷粘后一般经过48h即硫化定型。然后裁成（长×宽）1175×820mm，并检验其表观质量是否符合标准。

8．成品的包装与存放

橡胶呢及配套衬垫应平整地叠放于木箱中，用牛皮纸包好，不得折绉。木箱应注意防潮、防霉、并远离热源。

三、产品的技术标准

名称：凸印印刷橡胶呢及配套衬垫

规格：长×宽　1175×820mm

厚度：橡胶呢　2.3mm
　　衬　垫　1.6～1.7mm
结构：橡胶呢（一层面胶加二层基布加毛呢）
　　衬　垫（三层基布，二层布层胶一层面胶）
平整度（厚度误差）：≤0.08mm
定负荷伸长（%）：　≤9（25kg×3cm×4h）
成品硬度（邵尔A）：橡胶呢　80±2
　　衬　垫　78±2
毛呢与面衬粘合强度：≥1.2kN/m

第四节　气垫式可压缩橡胶布

一、概　述

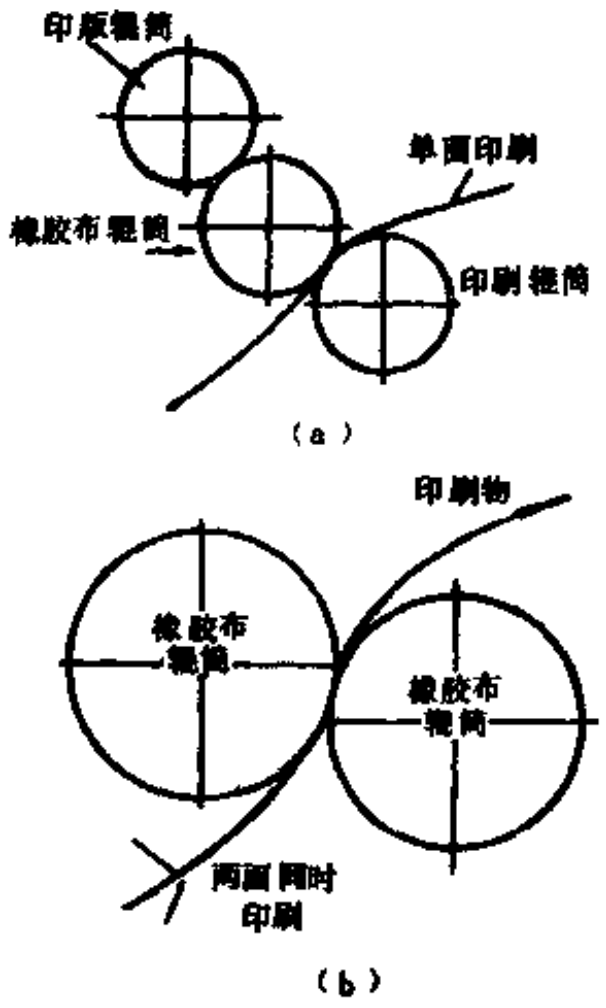


图 8-9　双面印刷原理示意
（a）通常印刷；（b）双面印刷

前已述及，平版印刷中所使用的胶印印刷橡胶布在印刷中所起的作用是传递印版图纹网点及文字的油墨，一般只适用于单色单张纸胶印机，有一个金属压印辊筒承受印刷压力。面凸版印刷虽属卷筒纸双面印刷，但由于它为直接印刷，即凸版（大部分是铅版或树脂版）上的文字或图片油直接传印到纸张上，凸版橡胶呢及衬垫只起缓冲作用。随着印刷技术不断发展和提高。印刷机已从单色单张纸胶印机开发出双色、四色胶印机及双色双面印刷机以及卷筒纸双面印刷胶印机。其中双色双面印刷胶印机及卷筒纸（轮转）双面印刷胶印机中，橡胶布辊筒既起着传送油墨的作用，又起着压印辊筒的作用，见图8-9。

因此一般的胶印橡胶布就不能适应此种印刷机的需求。一般单色单张机胶印机的速度为4000张/h，而卷筒纸胶印机可达 20000 张/h以上，一般胶印机的印刷压力为25丝左右、凸版轮转印刷机压力为40丝左右，而卷筒纸胶印机的印刷压力仅10丝左右。如此高的印刷速度和如此小的印刷压力，就要求橡胶布必须具备优良的瞬时抗压缩变形恢复性能，具有极佳的整体平整性及快速纸张剥离性能等，为此就必须在基布的布层间设计一层极微细的闭孔发泡橡胶，以满足印刷机的要求。此即为气垫式可压缩橡胶布。

二、气垫式可压缩橡胶布结构设计及胶料配方

（一）气垫式可压缩橡胶布的优点

气垫式可压缩橡胶布及一般胶印橡胶布在印刷过程中有着不同的印刷效果，见图8-10。由图中可以看出一般橡胶布在与印版辊筒和压印辊筒接触受到压力时，其整体尤其是表面胶

的应力扩散是向两侧流动的，在辊缝前形成一个“鼓包”而影响油墨的转移性能，造成网点变形、图片不清晰等弊病。而气垫式可压缩橡胶布在受到印刷压力时，其整体及表面橡胶的应力扩散是向内侧的压缩层移动，而不会产生“鼓包”。当印刷压力消除后，由于压缩层中闭孔发泡空隙中空气形变的快速恢复，而使印刷压力基本保持恒定，从而保证了网点油墨转移的完整性而使图片文字饱满而清晰。

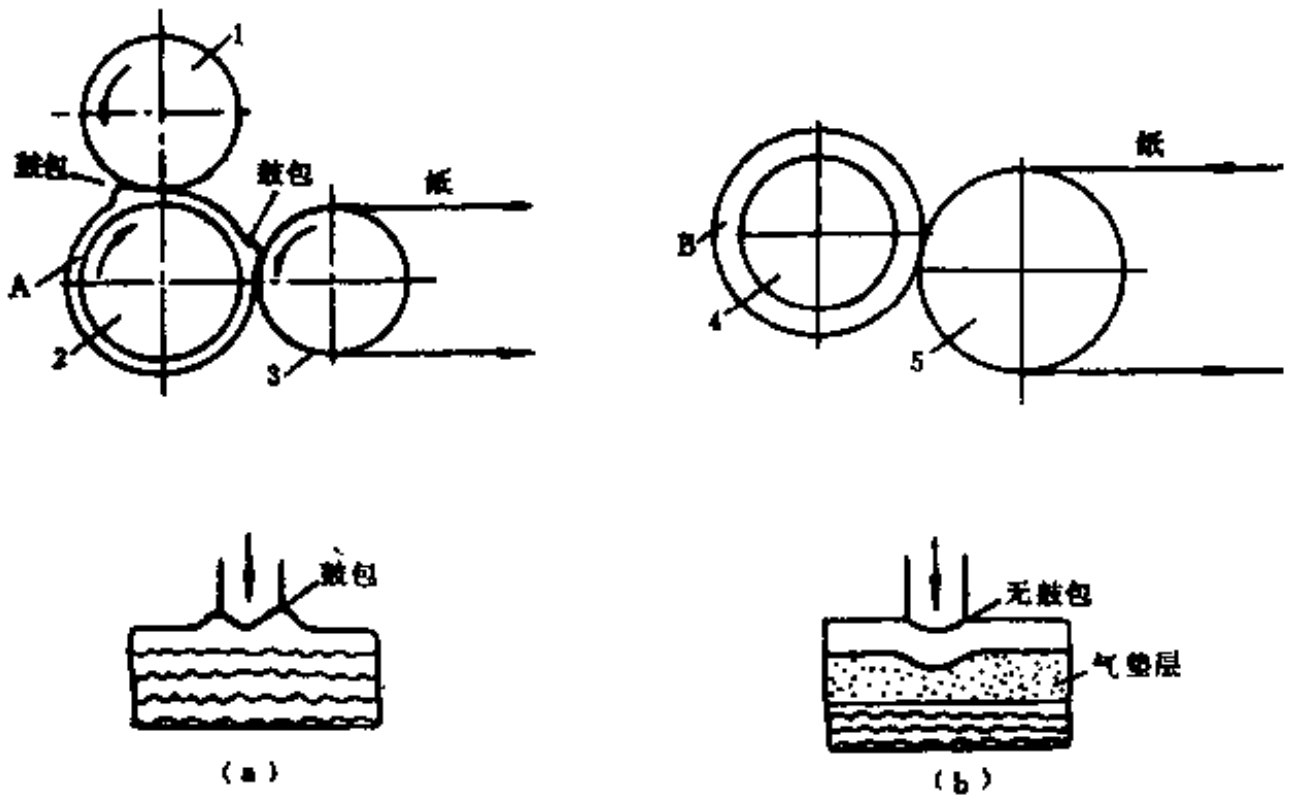


图 8-10　不同的印刷效果示意

(a) 一般橡胶布受到应力时向两侧移动，(b) 气垫橡胶布受到应力时向下压缩
1—印版辊筒；2、4—橡胶布辊筒；3、5—压印辊筒

气垫橡胶布及一般橡胶布在印刷过程中的收缩状况见表8-15。

印刷网点的再现状况见图8-11。

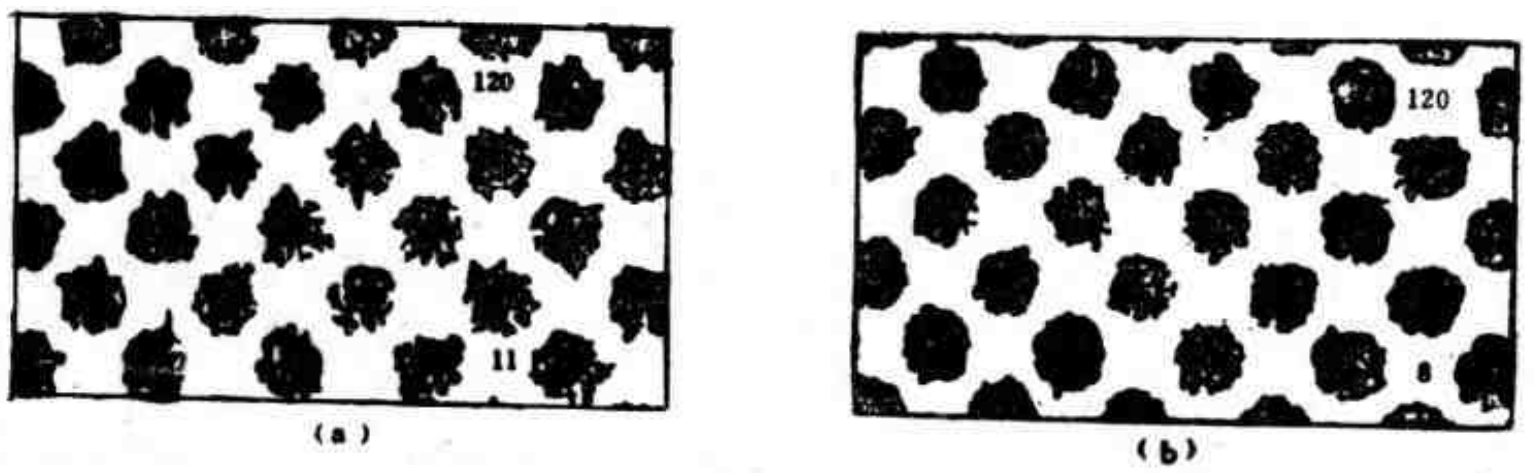


图 8-11　印刷网点再现情况的比较

(a) 再现性不好，(b) 再现性良好

综上所述，气垫式可压缩橡胶布由于在结构中设计了一层闭孔发泡海绵层，赋予产品优良的抗压缩变形特性，使其能适应各类印刷机的要求。其压缩特性示意见图8-12。由图中可见气垫橡胶布对适性印刷压力的容许范围（b）大，而普通橡皮布对适性印刷压力的容许范围（a）窄。

表 8-15 不同橡胶布的收缩情况

	气垫橡胶布	一般橡胶布
印刷中的橡胶布收缩状态	100万张印刷时0.05～0.06mm 500万张印刷时0.07～0.08mm以后收缩有停止的趋势	100万张印刷时0.08～0.10mm 500万张印刷时0.15～0.17mm以后继续收缩

（二）结构设计

气垫式可压缩橡胶布的厚度规格一般有两种：1.05±0.02mm及1.90±0.02mm。其结构横断面示意如图8-13。根据不同厚度，设计采用三层或四层基布作骨架。在一、二层基布间有一层闭孔海绵发泡橡胶。该发泡层的厚度一般控制在0.40mm左右。由于印刷中的特殊要求（尤其是单张双面印刷及卷筒纸双面印刷），因此表面胶一般不能超过0.40～0.45mm，基布的抗拉伸性能要求更高（一般扯断伸长率不能超过7%），否则将影响印刷的正常进行。

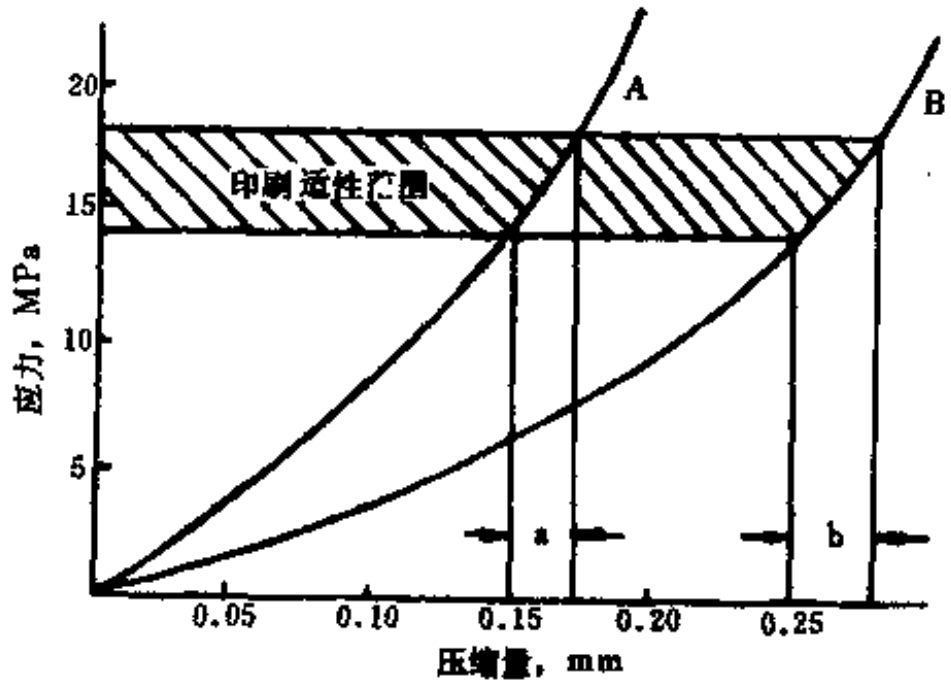


图 8-12 橡胶布压缩特性曲线

A——般橡胶布，B—气垫橡胶布

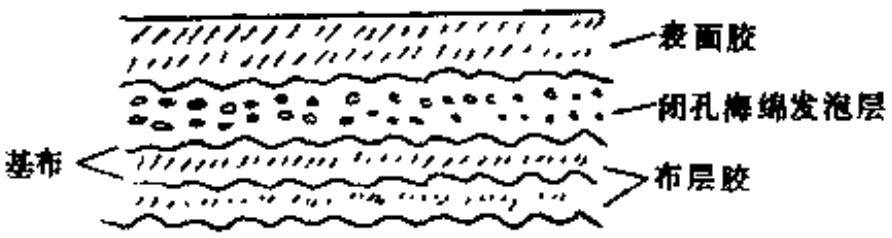


图 8-13 气垫橡胶布结构横断面

（三）胶料配方

根据产品的结构设计气垫式可压缩橡胶布胶料配方主要由三部分组成。即表面胶、布层胶及发泡胶。

1．表面胶

根据气垫橡胶布的技术要求，其表面胶必须有一定的拉伸强度、耐溶剂性，表面滑爽、耐磨性好。因此丁腈橡胶的补强填充剂采用白艳华与白炭黑及碳酸钙并用，以弥补丁腈橡胶无自补强性的缺点面达到一定的拉伸强度。配方中选用 4 份抗静电剂-SN，可使表面胶 表面电阻达到$10^9\Omega\cdot cm$，有一定的导静电性能，以适应及克服卷筒纸轮转胶印机高速运转时产生静电而带来的弊端，使橡胶布与纸张能很好地剥离，并尽可能不粘附纸毛。硫化系统采用硫黄0.5、促进剂CZ1.5、促进剂TT1.5的低硫高促有效硫化体系，既保证胶料有优良的抗压缩变形性，又由于CZ为后效性的促进剂，保证了胶料在工艺过程中的抗焦烧性能。

2．布层胶

布层胶要求有良好的抗压缩变形性，还要有较好的粘合力保证基布的粘合，因此生胶选用1号烟片胶。由于气垫橡胶布的基布抗拉伸性好，而生产工艺又采用涂胶法，因此如采用前已述及的一般橡胶布的布层胶配方，当布层胶涂胶拼合后，有时会因基布及胶层的收缩率不同，而造成夹胶基布收缩皱拱，无法再涂布面胶。因此，在原布层胶的配方基础上作了改进，增加了20份黑油膏，既增加了胶料的弹性，又大大减少了胶料的收缩性，保证了工艺的顺利进行。

3．发泡胶

发泡胶是气垫橡胶布制造中一个至关重要的部分。要在20～100m长、1m宽的布层间仅0.40mm厚的胶料中保证均匀一致地制造闭孔海绵发泡层是很不容易的，它不仅取决于胶料本身的配方，也取决于硫化设备压力是否均匀一致。生胶的选择由于考虑到气垫橡胶布在使用过程中常有二甲苯、煤油等溶剂掺入，因此一般选用氯丁橡胶及丁腈橡胶。发泡剂的选用在国外经历三步演变过程。60年代初期曾采用极细的硫酸镁晶体加入到胶料中，硫化后再用热水浴将硫酸镁解析，此称为盐析法。60年代中期采用化学发泡剂，至70年代中期采用能在一定的温度、压力下自身膨胀成内含气体的小球体的微球体（由偏二氯乙烯聚合的极细粉末）。以数种发泡剂制作发泡胶的胶料配方工艺概述如下。采用几种发泡剂并用，通过一定的硫化系统配合产生微细闭孔海绵发泡层。其关键在于胶料本身的硫化速率与化学发泡剂分解发泡速率的匹配，以保证闭孔气垫层的形成。因此在硫化体系中以促进剂来调节硫化速率。硬脂酸作为发泡剂的发泡助剂，其使用的数量对于发泡剂的分解及降低分解温度、适应发泡层连续硫化保证闭孔的孔径及密度也是十分重要的，此外软化剂的选用及保证胶料具有一定的可塑度也是不容忽视的。胶料配方举例见表8-16，其物理机械性能见表8-17。

表 8-16　气垫橡胶布胶料配方举例

原材料	表面胶	布层胶	发泡胶	结合胶	原材料	表面胶	布层胶	发泡胶	结合胶
丁腈橡胶26	100	—	—	—	邻苯二甲酸二丁酯	8	—	10	—
氯丁橡胶(通用)	—	—	100	100	凡士林	—	—	2	—
1号烟片	—	100	—	—	机　油	—	—	10	—
氧化锌	20	20	5	5	黑油膏	—	20	20	—
氧化镁	—	—	4	4	抗静电剂SN	4	—	—	—
硫　黄	0.5	0.5	—	—	半补强炉黑	—	—	50	—
促进剂CZ	1.5	1.5	—	—	酞青蓝B	0.5	—	—	—
促进剂TT	1.5	1.0	—	—	防老剂CEA	2	2	—	—
促进剂NA-22			0.5	0.5	混合发泡剂	—	—	4	—
硬脂酸	1.0	0.5	3	—	白艳华	30	—	—	—
白炭黑	10	—	—	10	总　量	179	185.5	208.5	121.5
碳酸钙	—	40	—	—					

表 8-17　胶料的物理机械性能

项　目	指　标	
	表面胶	布层胶
硬度（邵尔A）	55±2	53±2
拉伸强度，MPa	9.85	12.5
扯断伸长率，%≥	550	520
扯断永久变形，%≥	10	16
冲击弹性	25	62

三、产品的生产工艺

1．简述

气垫式可压缩橡胶布采用涂胶法生产。其原材料的烘、筛处理及环境的清洁卫生等要求基本与一般胶印印刷橡胶布相同。但在胶浆的制备、涂布及硫化与表面处理上则有更严格的要求。

2．制胶浆

采用立式带双卫星式桨叶搅拌机制胶浆。用压缩氮气、200目金属滤网压滤胶浆。

3．发泡层涂胶

发泡层胶浆涂胶采用双头式涂布机（见图8-14）。面层胶采用高精度涂胶机环形涂胶（见图8-15）。每次上浆量0.01mm，干燥采用热风过滤循环喷吹热空气加热方式，以保证上浆的充分干燥。上浆采用特殊形状的刮刀自动控制调整厚度，以保证二边的厚度误差在0.01～0.02mm之内。

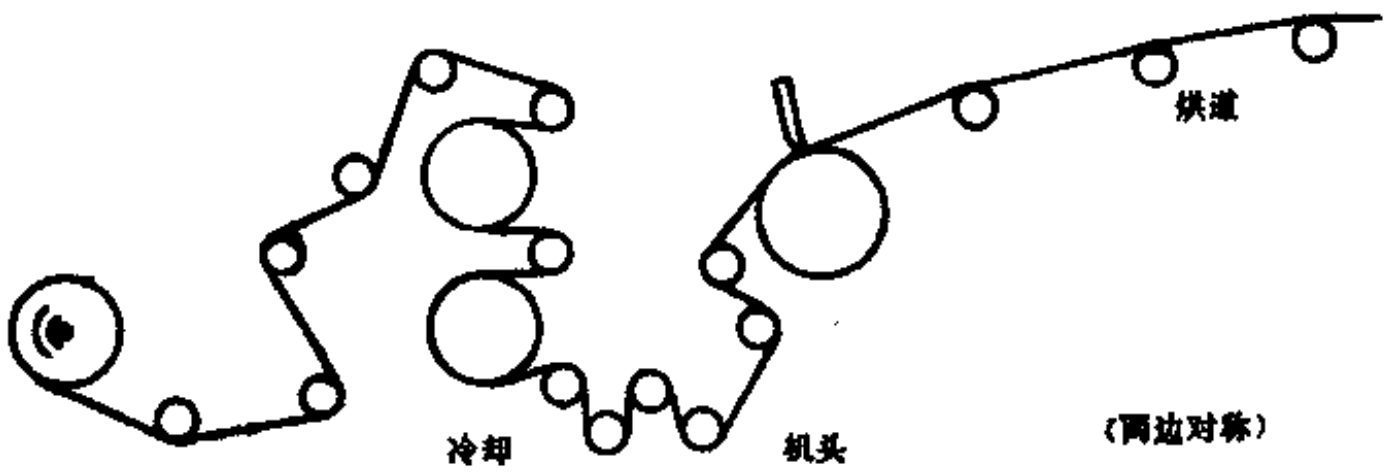


图 8-14　双头涂胶机示意图

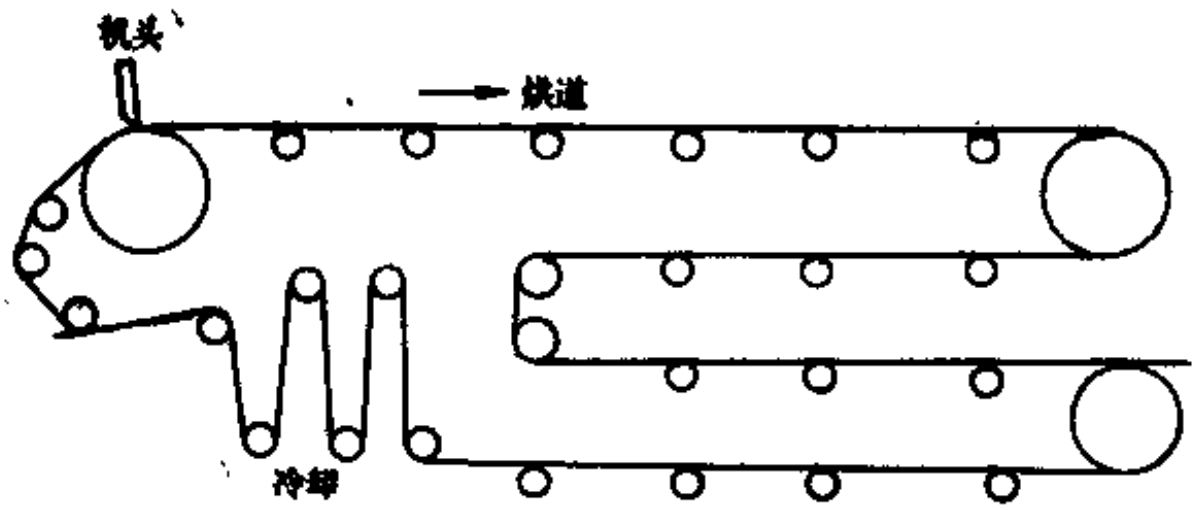


图 8-15　高精度涂胶机示意图

4．卷纸

待硫化的半成品与隔离纸在卷纸机上卷在空心大辐筒上，然后进入硫化罐硫化成型，见图8-16。

5．硫化

由于发泡海绵层要求硫化设备的压力均匀一致，以及采用化学发泡剂分解放出气体的特殊情况，所以用通常带钢丝带覆胶层的鼓式硫化机硫化发泡胶层是不可取的。发泡胶层的硫

化是在一特殊设计的硫化辊筒上进行的。该金属热鼓表面大面积地覆盖不锈钢金属丝网板，发泡层硫化时，既保证了一定的硫化压力，又便于发泡剂分解气体的逃逸，保证了发泡层发泡的均匀一致。硫化后的发泡胶层再与带布层胶的夹胶布在拼布机上贴合，然后涂布表面胶。已衬隔离纸的半成品置于间接蒸气的硫化罐中硫化。硫化后立即放在带冷却辊筒的装置中，将隔离纸与成品分开。卷取时采用自动控制（气动）纠偏装置操作，以保证卷取的整齐（气垫层硫化及取纸机示意见图8-17及图8-18）。

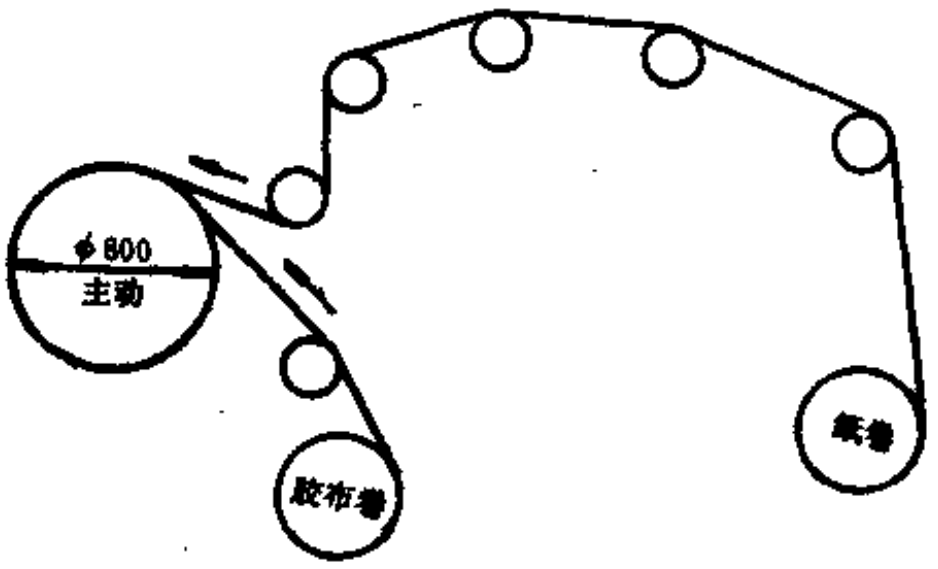


图 8-16　卷纸机示意图

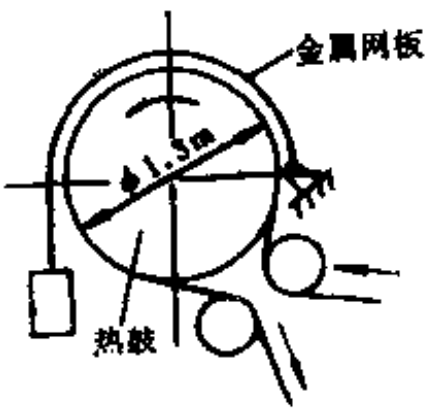


图 8-17　气垫层硫化机示意图

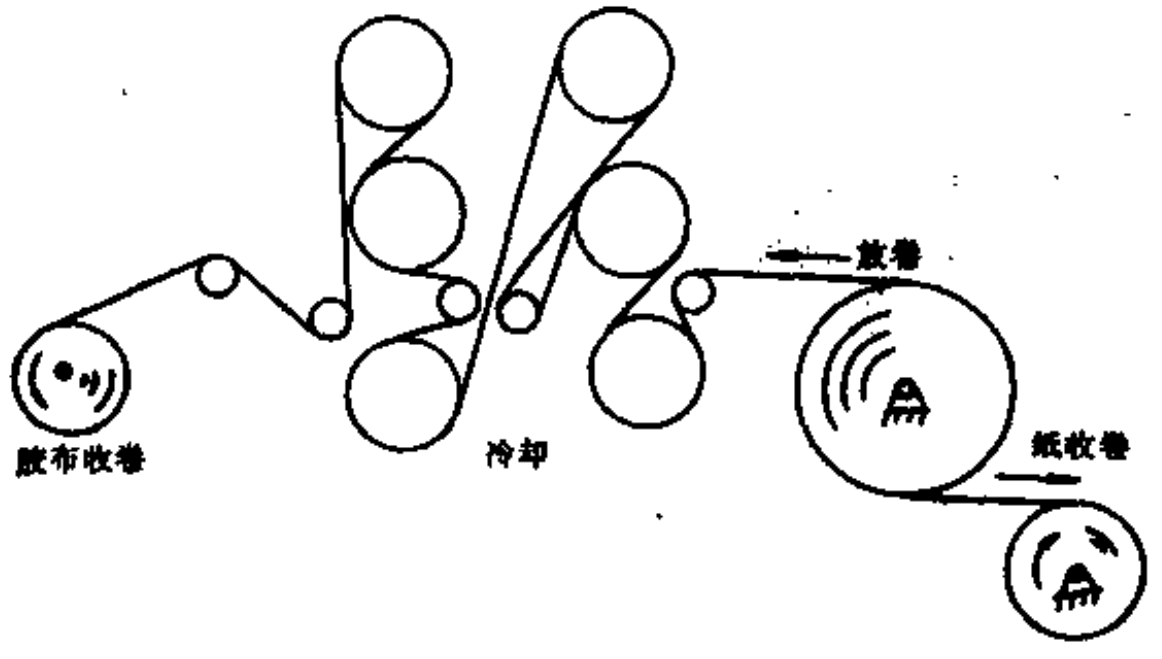


图 8-18　取纸机示意图

6．表面处理

为了保证气垫式可压缩橡胶布有优良的平整度及一定的表面光洁度，硫化后的橡胶布还需置于带环形砂带的磨削机上进行表面处理。一般分为粗磨和精磨两个步骤。粗磨进刀约0.04mm左右，精磨进刀约0.01～0.02mm。以保证橡胶布整体的平整度误差在0.01～0.02mm之内。应该指出，一般来说不光滑的表面层有利于纸张的解卸（即排纸性好），但它会使网点的再现性降低；光滑的表面网点再现性好，但由于粘聚力强，不利纸张的解卸。所以橡胶布表面的光滑度状态应既考虑排纸性，又考虑网点的再现性，取中等光滑度状态最佳。

四、气垫式可压缩橡胶布的技术标准

名称：气垫式可压缩橡胶布

规格：长×宽　870×1050mm　1200×800mm

结构：三或四层基布（一层面胶、一层发泡海绵胶、一或二层布层胶组成）
厚度：1.65±0.02mm　1.90±0.02mm
平整度（厚度误差）：≤0.02mm
定负荷伸长：≤1.2%（25kg×3cm×4h）
成品硬度（邵尔A）：>8±2

五、气垫式可压缩橡胶布的展望

气垫式可压缩橡胶布是配合印刷技术的飞跃发展而开发的一种新颖的必不可少的印刷器材。国外是从60年代中期开发至70年代末期才有产品投放市场。而国内是从70年代末期开发，80年代中期有少量产品问世。目前国内对于一般橡胶布及气垫橡胶布的需求比例在5:1左右，但随着印刷机的不断更新，凸版印报逐步向胶印印报方向过渡，其需求比例不断缩小。由此可见气垫橡胶布有着极强的生命力，其需求量将不断上升。因此如何选用新颖的发泡材料、不断完善关键的生产设备以及健全必要的测试仪器都是放在技术人员面前的科研题目。

第五节　光敏橡胶

光敏高分子材料是典型的功能性高分子材料之一。它的特征是能够吸收光能，在光能的作用下，其分子内或分子间发生结构变化。

光敏高分子材料最初主要用于印刷行业的照相制版，即所谓的光刻胶（Phstoresist）。1954年美国伊思曼·柯达公司首先推出了以肉桂酸与聚乙烯醇加成而成的感光材料，其后不久该公司又进一步推出了环化天然橡胶为原料，以二叠氮化合物引发交联反应的负片型光刻胶。鉴于这类材料品质不够稳定，不适于分辨力要求特别高的精密光刻加工之用（诸如一些精细的印刷电路特别是在硅片上进行线路腐蚀加工用的光刻胶），于是转向采用以合成聚异戊二烯、聚丁二烯的环化产物为原料的光刻胶，现在这种光刻胶已成为发展集成电路、半导体元件、金属表面处理、玻璃及陶瓷等材料的精密酸蚀加工等的不可缺少的材料。

此外，吸收光能而发生化学或结构变化后，仍在一定程度上保持弹性体性能的光敏橡胶材料，作为印刷行业中的挠性凸版、电子仪表等行业中的灌封材料、胶粘剂等，也具有很大的实用价值。

一、光敏高分子材料的分类

光敏高分子材料可以按各种方式分类，例如，按光反应的种类来分，有：光交联型、光聚合型、光降解型等；按光敏基的种类来分，有：偶氮型、叠氮型、肉桂酰基型和丙烯酸酯型等；按基础聚合物材料来分，有聚乙烯醇、聚酯、尼龙、丙烯酸类、环氧类和聚氨酯类等；但是比较明确和常用的是按聚合物的形态和组成来分类（见图8-19）。

作为光敏橡胶，目前臻于实用的主要是“光敏化合物+高分子”和“光合组成物”两种类型，前者以光刻胶为代表，后者以挠性凸版为代表。展望将来，含光敏基的高分子也将成为光敏橡胶的重要组成部分。

二、光刻胶

以环化橡胶为原料制成的光刻胶，主要用于形成1μm厚的耐酸性薄膜，将它涂覆在金属板、玻璃陶瓷材料以及硅片上，经底片用紫外光等曝光后，再用溶剂洗去未曝光部分，即能

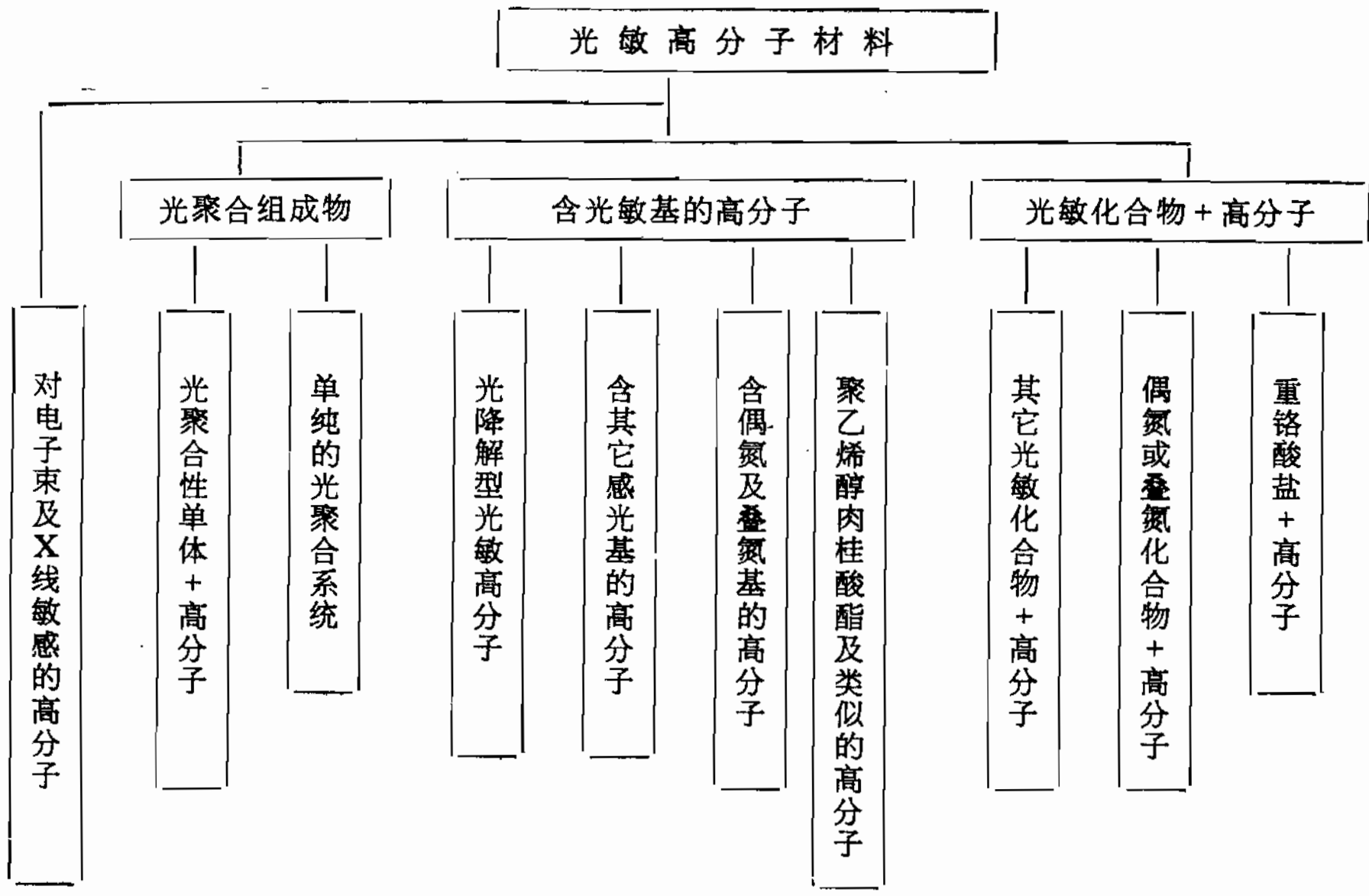
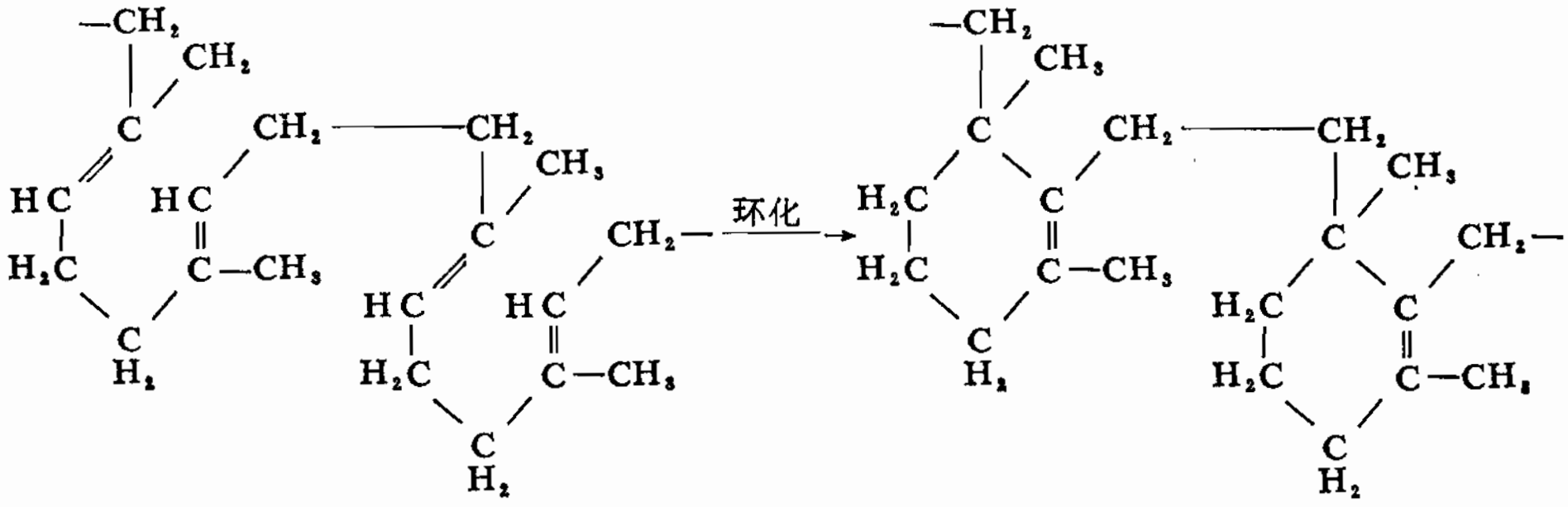


图 8-19 光敏高分子材料的分类

形成耐酸性的画面膜，其后再用适当的酸性腐蚀液对基材作刻蚀处理，可以制得各种精细的雕刻画面。这种技术最初用于印刷行业的照相制版，现在则与摄影技术相结合，大量应用于集成电路中硅片的加工，可用于64 K贮存器中2.5～3.0μm那样细小图形的刻蚀。

（一）原料橡胶

早就发现，天然胶乳在硫酸、氯磺酸或无水氯化亚锡的作用下会发生橡胶分子的环化反应，其结果是橡胶材料对基材的粘接性提高，对溶剂的溶解度增大，成像性改善。



由于天然橡胶胶乳原料的品质难以保持稳定，因此，不适用于形成高分辨力的精细图象，故现在开始采用合成橡胶，主要是顺式-1，4-聚异戊二烯和顺式-1，4-聚丁二烯作为光刻胶用环化橡胶的原料。这时，作为中间原料的合成橡胶的分子量、分子量分布、微观结构等都是影响光刻胶性能的重要因素，橡胶的分子量过大，光刻胶在溶剂中的溶解性能不佳，因而形成的图像的质量也不佳。一般说来，用于光刻胶的合成环化聚异戊二烯橡胶的分子量在60000左右为宜。分子量分布越窄越好并要求原料橡胶中不含有微凝胶。环化率宜掌握在60～80之间，环化率过高，由于配键减少，不利于与光敏剂反应，导致敏感度降低。日本合成橡

胶公司生产的两种光刻胶的性能如表8-18所示。其生产工艺流程如图8-20。

这种光刻胶还可以用作半导体元件的绝缘膜，其耐热性（分解温度约400℃）虽比不上聚酰亚胺类材料，但是，由于它对紫外光的感敏性高，容易形成精细的画形，而且粘接性、耐湿性、耐化学药品性优良，又不含金属等杂质，因此作为数微米厚的绝缘膜使用能发挥其优良的性能。日本合成橡胶公司出品的环化聚丁二烯光刻胶薄膜的电性能如表8-19所示。

表 8-18 光刻胶的性能

光刻胶牌号	环化率 %	M_w	M_N
JSR CIR 701	74	19×10^4	12×10^4
JSR CIR 707	69	$\times10^4$	18×10^4

（二）光敏剂

在光刻胶的组成中，除了上述环化橡胶外还要加入光敏剂才能形成感光液，通常采用二

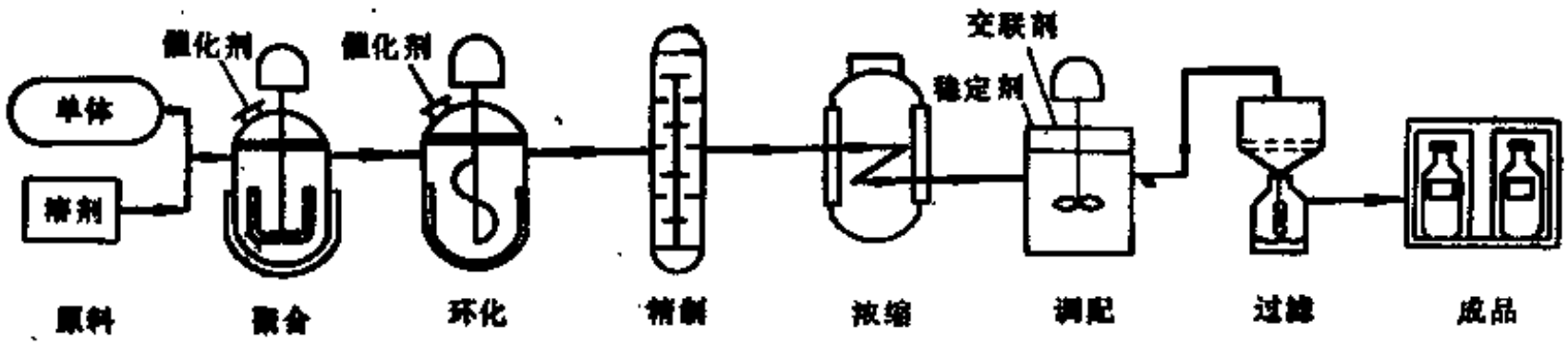
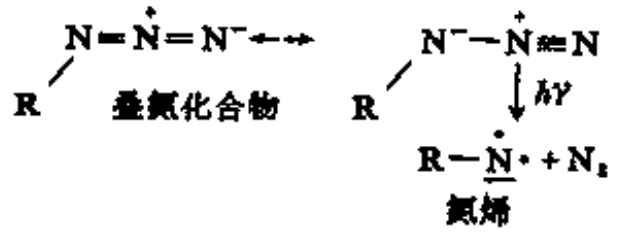


图 8-20 光刻胶的生产流程

表 8-19 JSR CBR 的电性能

体积电阻	7×10^{16} Ω·cm	体积电阻	7×10^{16} Ω·cm
介电常数 10^3 Hz	2.36	介电损失角正切 10^3 Hz	1.2×10^{-3}
		10^4 Hz	1.0×10^{-3}
10^4 Hz	2.34	10^5 Hz	2.2×10^{-3}
10^5 Hz	2.32	击穿电压	250 MV/m

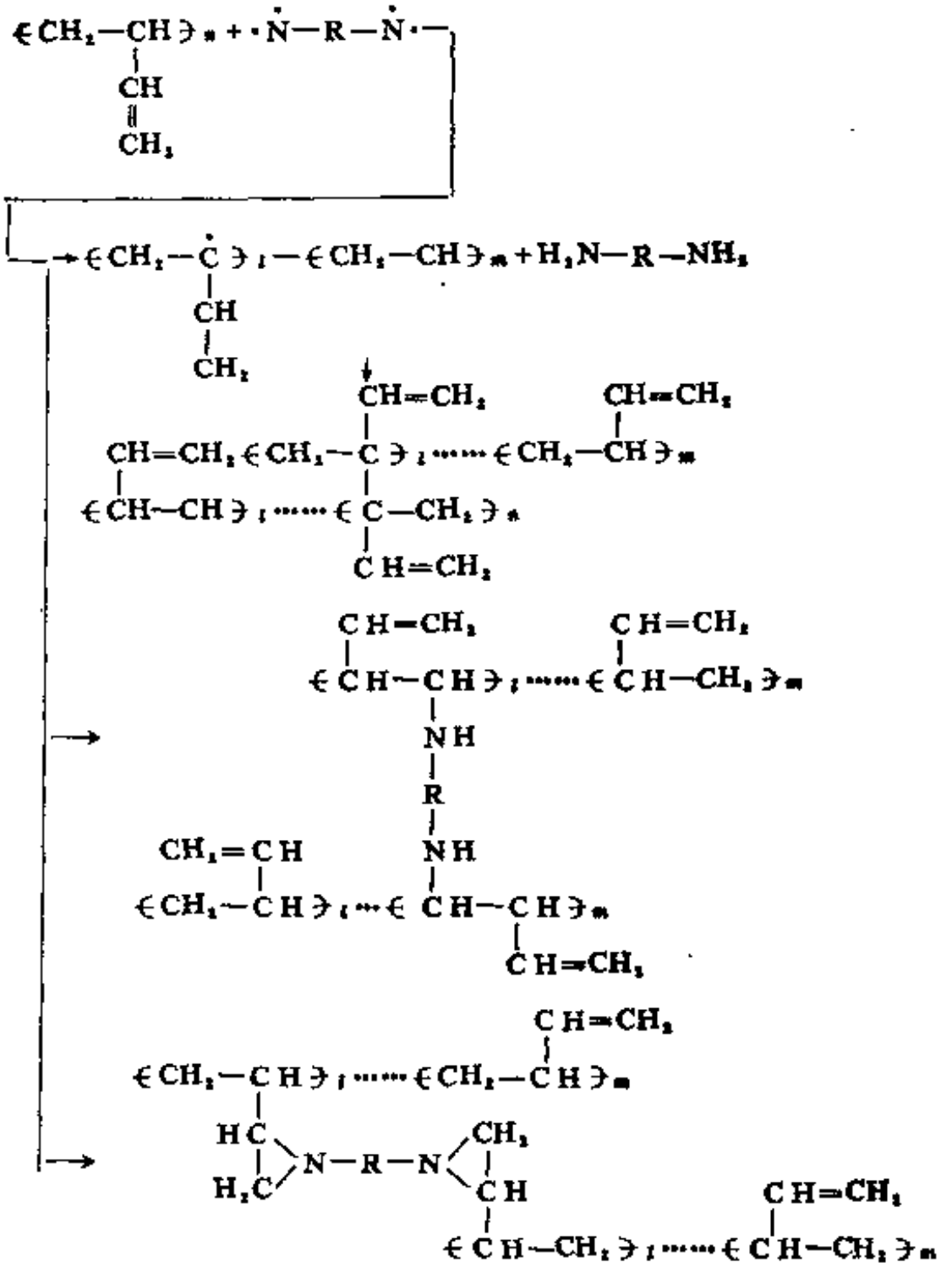
叠氮化合物，因为该化合物中的叠氮基具有光学活性。在吸收了紫外线那样的高能光线后，其N—N通常就会断裂，生成活性的中间体氮烯（nitrene）。



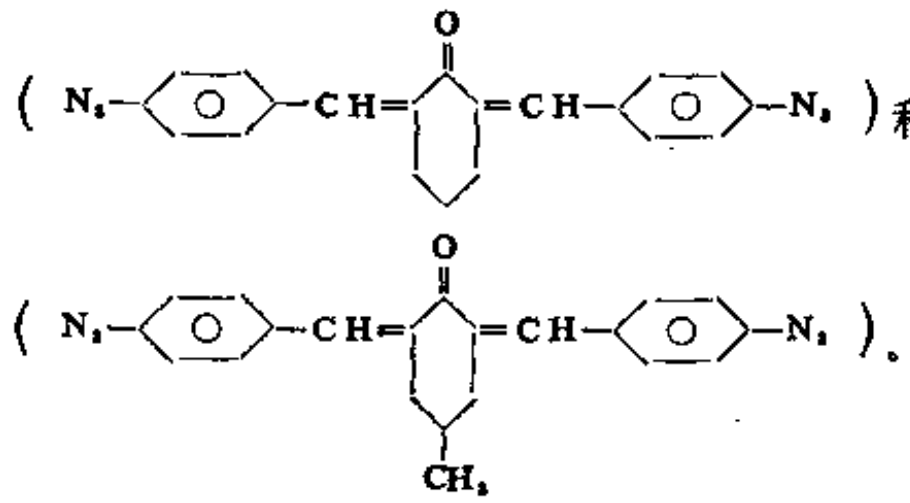
接着，富有反应性的氮烯会与周围聚合物中的双键或C—H键反应，生成交联结构，造成光刻胶曝光部分对溶剂的溶解度降低。

$$N_3-R-N_3 \xrightarrow{\text{紫外线}} \cdot\dot{N}-R-\dot{N}\cdot + 2N_2$$

（R为芳烃衍生物）　　二氮烯



作为环化橡胶光敏剂的二叠氮化合物，常用的是2，6-二（4-叠氮亚甲基苯基）环己酮



和2，6-=(4-叠氮亚甲基苯基)-4-甲基环己酮

。

此两种化合物的分光敏感度如图8-21所示。

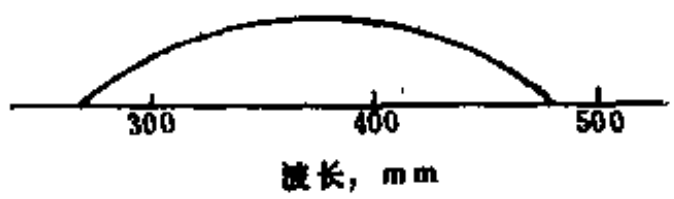


图 8-21　2，6-=(4-叠氮亚甲基苯基)环己酮和2，6-=(4-叠氮亚甲基苯基)-4-甲基环己酮的分光敏感度

环化橡胶感光液通常以甲苯或二甲苯作溶剂，橡胶浓度调整到约10%（重量计），再加入以环化橡胶重量计为3%的光敏剂，将此感光液薄薄地施涂于要求形成图案的金属或硅片

的表面，经过干燥或预烘烤后，贴上负片，以紫外光照射后，再用甲苯或二甲苯溶剂把未曝光部分洗去，显出图案，即可用腐蚀液作刻蚀加工，有时，由于图案比较精细，在刻蚀前可能还要作第二次烘烤。

美国和日本生产的较著名的环化橡胶光刻胶的商品名称和主要成分如表8-20所示。

表 8-20 美国及日本出品的环化橡胶感光液

商品名称	生产厂	用途	主要成分
KTFR	柯达（美国）	印刷线路，集成电路	平均分子量为 65000～5000 的环化聚异戊二烯
Microresist Nega 747	林达（美国）	集成电路	环化聚异戊二烯
EPPR	东京应化工业（日本）	印刷线路，铭牌	环化天然橡胶
OMR	东京应化工业（日本）	集成电路	环化聚异戊二烯
富士 Superresist (FSR)	富士药品工业（日本）	印刷线路，铭牌	环化天然橡胶
チイツシエレジスト S	岡本化学工业（日本）	印刷线路，铭牌	环化天然橡胶
Ky Resist	Xマトヤ（日本）	印刷线路，铭牌	环化天然橡胶
Waceat IC	Hunt（美国）	集成电路	环化聚异戊二烯

三、挠性凸版

从橡胶弹性体的本义上说，上述光刻胶充其量只能看作是一种耐酸性的涂层，经光交联后是没有弹性的，因此真正可称作为光敏弹性体的几乎都是图8-19分类中的光聚合组成物。这种组成物的主要组分（重量份）加下：

作为结合剂（基后）的高分子（聚合物或预聚物）	90～150	热聚合抑制剂（稳定剂）	0.5～5
单体（单官能团或多官能团的）	1～50	增塑剂、颜料等添加剂	适量
光聚合引发剂（光敏剂）	0.01～20		

其中作为结合剂的高分子以及单体种类的选择是获得具有橡胶弹性的光固化材料的关键。单纯的依靠多官能团单体或者多官能团单体与单官能团单体的光聚合，一般是不能获得具有足够敏感性和橡胶弹性的固化物的。为此一般使用已经高分子化的弹性体作为高分于结合剂成分，如丁苯橡胶、顺丁橡胶、丁腈橡胶等合成橡胶，不饱和聚酯树脂、含异氰酸酯基团的聚氨酯预聚物等。常用的含官能团单体，多为乙烯基单体，如丙烯酸或甲基烯酸及其衍生物、丙烯酰胺、苯乙烯、甲基苯乙烯、三缩四乙二醇等多元醇以及三烯丙基氰尿酸酯之类烯丙基化合物等。多数采用几种单体并用的方式。光聚合引发剂通常使用二基甲酮及其衍生物、蒽酮、苯偶姻及其衍生物、苯甲醛、一氯乙酸等。热聚合抑制剂通常使用对苯二酚和氢醌及其衍生物。

上述组成物基本上是通过在未硫化的弹性体材料中掺加光敏性单体和光聚合引发剂，以紫外线照射使弹性体转变成不溶于溶剂的交联产物。此反应基本过程可概括如下：

$$I \xrightarrow{\text{紫外线}} I^* \qquad \text{激发反应}$$

$$I^* \xrightarrow{\text{产生自由基}} I\cdot \qquad \text{自由基化反应}$$

$$I\cdot + M \longrightarrow IM\cdot \qquad \text{引发反应}$$

$$IM\cdot + nM \longrightarrow IM_{n+1}\cdot \qquad \text{聚合交联反应}$$

$$IM_{n+1}\cdot + I\cdot \longrightarrow IM_{n+1}I \qquad \text{终止反应}$$

式中，I为引发剂；M为单体。

由此得到的聚合物其分子交叉纠结在作为组成物基质的橡胶分子链之间，形成网状结构，使该组成物转化为难溶于溶剂。模式示意如图8-22所示。所以，它在一定程度上属于一种IPN（互穿网络）型聚合物材料。

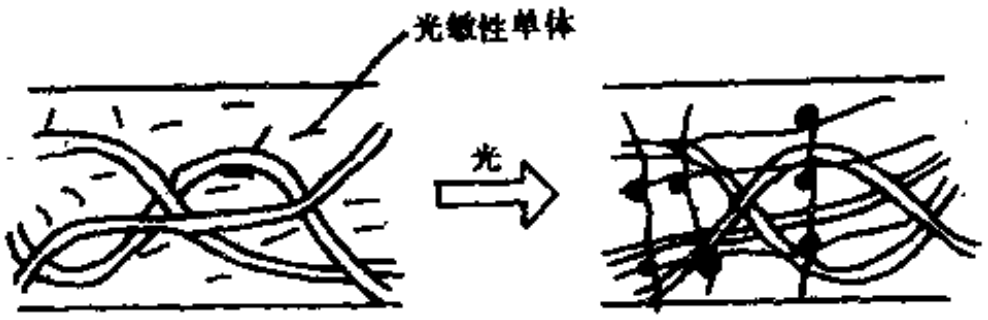


图 8-22 光聚合组成物型弹性体的结构转换模式

采用光敏橡胶制造印刷用挠性凸版时，印刷版上感光层厚在1mm以上，要求该感光层不仅具有橡胶弹性，而且在光固化后不会受到印刷油墨中所含有机溶剂的侵蚀。兹将制造挠性印刷凸版用的光敏橡胶材料分述如下。

（1）丁苯橡胶 例如，使用苯乙烯含量为35～50%（重量计）的丁苯橡胶（分子量为1000～5000的液态聚合物），在其中混入分子量为1000的聚丁二烯，再加入具有光聚合反应活性的单体、三缩四乙二醇、三羟甲基丙烷三丙烯酸酯以及引发剂（光敏剂）苯偶姻异丙醚和热阻聚剂甲基氢醌。这些组分混合均匀后，将它溶解在甲乙酮中，于塑料板上浇铸成约2.5mm厚的挠性版。在此感光层上贴复负片，以紫外光照射，然后用四氯乙烯和正丁醇的混合溶剂洗去未曝光部分，即成为具有橡胶弹性的挠性印刷版。

（2）聚丁烯橡胶 例如，在混合设备中把具有光聚合活性的单体、三羟甲基丙烷三甲基丙烯酸酯、甲基丙烯酸月桂酯以及引发剂苯甲酰异丙醚混入结晶度为15%的结晶性1，2-聚丁二烯，用压机将该光敏组成物成型为厚约2mm的板片状，在其上下两面都贴复聚酯薄膜。使用时将其一个侧面的聚酯膜揭去，贴复负片，以紫外光照射，曝光后的冲洗显影采用二甲苯。

（3）SBS或SIS嵌段共聚物 例如，在分子量约76000的SBS（聚苯乙烯-聚丁二烯-聚苯乙烯）嵌段共聚物中加入少量阻氧化剂2，6-二叔丁基-4-甲基苯酚，溶解在环己酮中制成溶液；另外，将少量乙基蒽醌与对甲氧基苯酚溶解在少量四氢呋喃中，再加三羟甲基丙烷三丙烯酸酯制成溶液。上述两溶液在加热下混合，浇铸在两涤纶膜片之间，制成厚约0.76～1.63mm的片材。使用时揭去一侧涤纶膜，贴复负片，用紫外光照射，然后用四氢呋喃冲洗显影。

（4）聚二烯烃和芳烃硝基化合物 例如，在顺式-1，4-聚戊二烯中加入少量三乙醇胺和*N*-十八烷基-1,3-二氨基丙烯以及以白炭黑作为载体的二叔丁基过氧，用混炼设备混合后，压制成约3mm厚的片材，以170℃加热固化。在其表面施涂光敏剂对硝基苯甲酸乙酯的二甲苯溶液，干燥后就成为正片型的光降解性印刷用挠性版。在其上贴复正片，以紫外光照射后，浸于已烷中，用刷子洗刷。非线条部分因光降解而被刷去，留下凸出的画面。

（5）丁腈橡胶 例如，在丁腈橡胶中加入具有光聚合活性的三羟甲基丙烷三丙烯酸酯作为交联剂，以及少量的引发剂二苯甲酮，然后溶解在甲基异丁酮中制成光敏组成物。将此感光液施涂在预先涂有防晕层的聚酯薄膜上，形成约6.35mm厚的光敏层，在贴复负片前，为便于在曝光后揭去负片，可在感光层上涂布一层由丙烯酸酯乳液或有机硅材料形成的防粘层。以紫外线照射后，用氯甲烷喷淋，溶解除去未曝光部分，即成挠性凸版。

（6）聚氨酯预聚物 这是一种液态印刷版。例如，以多异氰酸酯与聚-ε-己内酰胺之

类聚酯反应，制成多异氰酸酯聚酯，然后再使之与含有二个以上羟基的聚酯反应，制成高分子链末端含有异氰酸酯单元的预聚物。预聚物再与羟基聚乙二醇丙烯酸酯之类的具有乙烯基的化合物反应，制成分子链末端含乙烯基的预聚物。在此预聚物中加入具有光聚合活性的单体，如苯乙烯、氯苯乙烯、丙烯酸衍生物等作为交联剂，以及苯偶姻甲基醚等作为引发剂，即成为液态光敏印刷版材料。

将此感光液浇铸在内衬10μm厚聚酯薄膜，间隙为3mm的两块玻璃板 之间，通过 负片以紫外光照射后，可用2%的苛性钠水溶液冲洗掉未曝光部分制成挠性版材。

上述挠性凸版材料的制版工艺流程可以简单地归结成如图8-23所示。

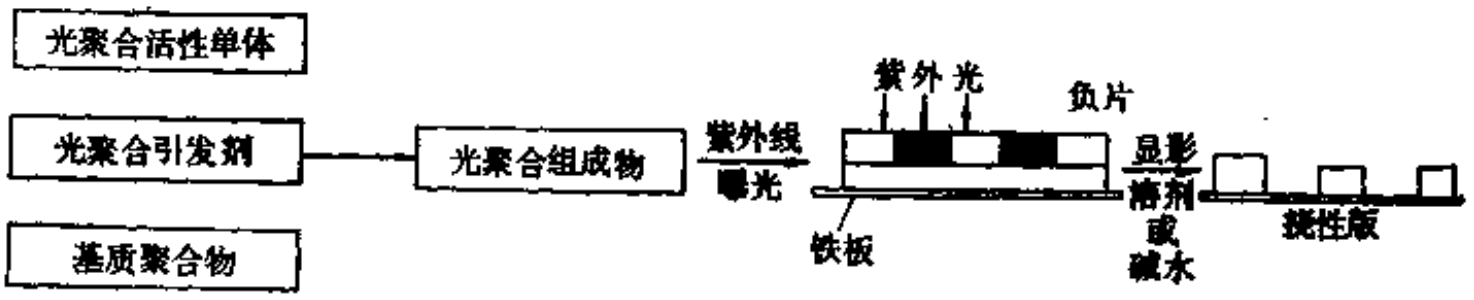


图 8-23 制版工艺流程

目前已经作为商品供应于市场的光敏型挠性印刷版材料如表8-21所示。

表 8-21 作为商品应市的光敏型挠性印刷版

生产厂	商品名称	版型	显影冲洗液	基质聚合物	文献
Du Pont	Cyrel	固体	全氯乙烯+正丁醇	SBS或SIS嵌段共聚物	特公昭51—43374
Goodrich	Econ-O-Etch	固体	三氯乙烷	SBS、EVA、天然橡胶、异戊橡胶	特公昭47—9685
Uniroyal	Flex-Light	固体	全氯乙烯+正丁醇	丁腈橡胶	EP.1358062
日本 Paint	ルナフレックス	固体	三氯乙烷+异丙醇	聚丁二烯橡胶	特公昭52—12004
东京应化工业	エラスロソ	固体	三氯乙烷+异丙醇	聚丁二烯、丁苯橡胶、丁腈橡胶	特公昭53—37764
BASF	Nyloflex	固体	全氯乙烯+正丁醇	聚酰胺	特公昭59—95533
旭化成工业	Aph-Fx	液体	碱水溶液	聚醚聚酯	特公昭52—7362
	AFP	固体	三氯乙烷+异丙醇		

四、其它光敏橡胶材料

除了上述的光刻胶和挠性凸版外，光敏橡胶材料还可以用作绝缘涂层，电子灌封材料、粘合剂、密封胶乃至模型制品等，其优点是硫化时不需加热，不损及相应载体材料。

（一）光交联硅橡胶

一般由多乙烯基端基聚硅氧烷，含巯基烷基的聚硅氧烷以及光敏剂等组成，经紫外线照射后可得到表面不发粘和高伸长率的硅橡胶材料。典型配合（重量份）如下：

三乙烯基封端二甲基聚硅氧烷（粘度$1\times10^{-3}m^2/s$）	95	白炭黑	15
		4-乙基二苯甲酮	2
三甲基封端巯丙基（每个分子含10个）聚硅氧烷（粘度$25\times10^{-6}m^2/s$）	5	氢醌	500ppm

上述组成物用三辊机混和（薄通二次），制成2mm胶片，以160W高压汞灯，80mm的距离，照射1.0s。另外，从上述组成中除去4-乙基二苯甲酮，仍制成2mm片材，用低能电子加速器，以2×10^4GY剂量辐照，也可以获得以电子束辐照硫化的弹性体。两种 交联方 法所获

得的性能如表8-22。

表 8-22 两种交联方法所获性能

交联方法	表面粘性	固化状态	硬度（邵氏A）	伸长率 %	拉伸强度 MPa
紫外线	无	橡胶状弹性体	10	485	0.8
电子束	无	橡胶状弹性体	13	480	1.0

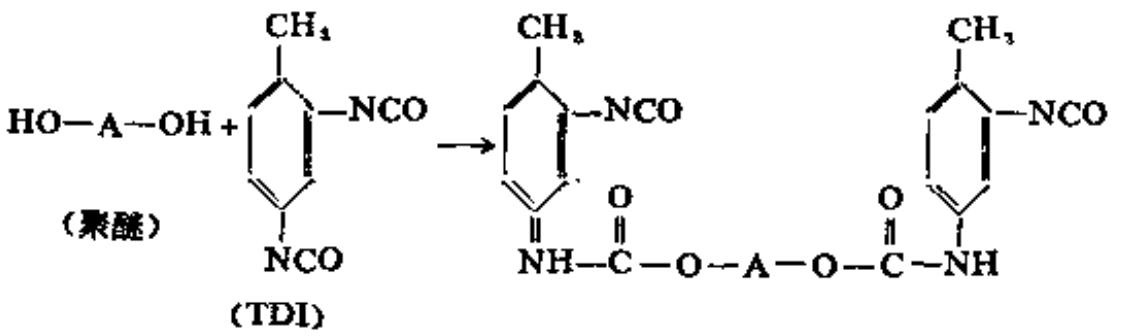
这种材料可用作电绝缘性灌封、印刷线路涂层、建筑用密封胶、电绝缘用浸渍剂和疏水剂等。其体积电阻可达$1.2\times2.5\times10^{13}\Omega\cdot cm$，击穿电压达到22～25MV/m。

（二）光交联聚氨酯橡胶

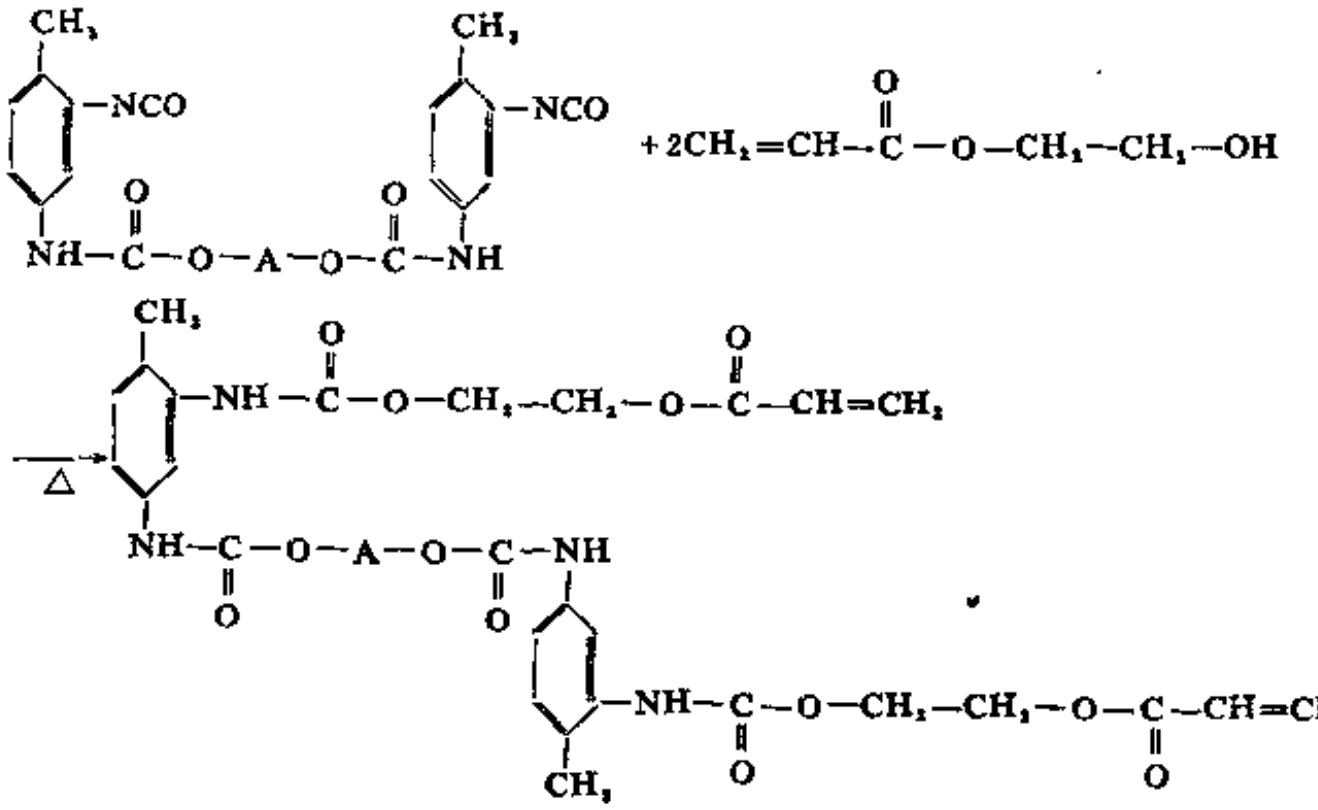
这种材料大多先制成具有光反应活性的聚氨酯丙烯酸双酯，然后再加入必要的活性稀释剂、光敏剂和填料等，成为可以用紫外线交联弹性体。

1．聚氨酯丙烯酸双酯的合成

合成反应分为两步。第一步是聚醚与异氰酸酯反应生成—NCO端基聚氨酯预聚体：



第二步是—NCO端基聚氨酯预聚体与丙烯酸羟乙酯反应，生成聚氨酯丙烯酸双酯：



实验室合成方法举例。

将2 L装有搅拌器、温度计和冷凝管的四口烧瓶置于水浴锅上，加入计量的羟基丁二烯、1,4-丁二醇以及催化剂等，开动搅拌，然后升温到90℃，在此温度下用1 h时间等速滴入TDI(a)。滴加完后，反应30min，再一次性地加入TDI(b)，继续反应30min，得到分子两端含异氰酸酯基团的聚氨酯预聚物，然后，把烧瓶中的反应物冷却到75℃加入等当量的丙烯酸-2-羟乙酯和阻聚剂2，6叔丁基-4-羟基甲苯的混合物，一次性投入反应系统，反应2 h，使异氰

酸酯反应率达到99%以上，即得到聚氨酯丙烯酸双酯，见表8-23。

表 8-23 聚氨酯丙烯酸双酯的组成

单位：重量份

序号	羟基聚丁二烯分子量	羟基聚丁二烯	1,4-丁二醇	TDI		游离TDI %	丙烯酸羟二酯	阻聚剂①	双酯分子量
				a	b				
1	794	768.0	21.7	210.3	52.6	1.7	49.4	0.5	37200
2	1189	832.1	15.7	152.1	38.0	1.0	28.7	0.3	39640
3	1813	883.2	10.9	105.9	26.5	0.4	11.3	0.1	47900

① 2，6-叔丁基-4-羟甲基甲苯酚混合物。

2．光敏弹性胶的配方举例及性能

将上述聚氨酯丙烯酸双酯按表8-24的配方均匀混合在一起，制成2mm厚胶片，以高压汞灯（300～400mm紫外线）照射60s，得到的性能如表8-24所示。此性能相当于O形圈用材料的性能，可用作密封和缓冲防振材料。

表 8-24 聚氨酯光敏弹性体组成物

单位：重量份

组分与性能	1	2	3	组分与性能	1	2	3
聚氨酯丙烯酸双酯		30		硬度（JISA）	60	50	40
乙氧基乙氧基丙烯酸乙酯①		30		拉伸强度，MPa	50	40	30
二环戊二烯-丙烯酸酯②		7		伸长率，%	150	250	600
丙烯酸-2-羟丙酯③		7		撕裂强度，kN/m	12	17	20
苯偶姻异丙醚		1		压缩永久变形，%	25	30	35
白炭黑		21		（100℃±1℃×70h）			
碳酸钙		3					
乙烯基三(2-甲氧基乙氧基)硅烷		6					

① 反应性稀释剂，用于产生弹性，提高耐油性。
② 与反应性稀释剂并用，用于提高强韧性和撕裂强度。
③ 与反应性稀释剂并用，以提高密着效果和强韧性。

光敏橡胶的涉及面很广，按照配合原理，不仅仅文中提到的一些橡胶材料，也还包括其它一些橡胶材料，如乙丙橡胶、氯丁橡胶、聚硫橡胶等都能配制成相应的光敏橡胶材料，将其作为涂层、粘合剂、密封胶等。由于固化过程仅仅是一个表面光照的过程，不用加热，不会损及与其相结合的基材，所以特别适用电子、仪表等精密元件的生产。

展望今后，随着高分子合成技术的不断进步，特别是分子设计技术的应用，将有可能在橡胶材料本身的分子中引入光敏性活性基团，从面合成出本身即含有光敏基团的橡胶高分子材料，目前已有在聚环戊烯橡胶的分子侧链中引入肉桂酸基团作为光敏基的报道，其光二聚化的速度会随着感光基浓度的提高而增大。这类材料光固化的性能如何，是值得今后加以密切关注的。

主要参考文献

〔1〕角田隆弘，日本工业协会誌，52（2），78～81（1979）。

〔2〕渡边徹，石油と石油化学，27（3），31～33。

〔3〕延与弘次，日本ゴム协会誌，61，（12），857～863（1988）。

〔4〕J. Hilbom, B.Ranby, Rubber Chemistry and Technology, 62（4），592～608（1989）。

〔5〕日本公开特许　昭60—104158。

〔6〕日本公开特许　昭60—163911。

第九章　橡胶衬里

橡胶衬里对防护金属或其它基材免受各种介质的侵蚀具有重要意义。各种橡胶衬里，不仅能耐受酸、碱、无机盐及多种有机物介质的腐蚀，而且具有良好的综合性能。尤其是橡胶的弹性、耐磨性、耐屈挠性、吸震性以及与金属或其它基材的良好粘接能力，都是作为衬里材料所需具备的基本条件。采用橡胶制做衬里材料的另一个重要因素是，橡胶通常在成本上较其它防腐蚀材料为低。尽管工业材料的发展迅速，在目前各种防腐措施中，橡胶衬里仍然保持其重要地位，在工业、交通以及环境保护等各部门得到广泛应用。特别在承受复杂应力和强烈腐蚀的苛刻工作条件下以及大型容器的防腐蚀，橡胶衬里更是首选的重要方法。

在橡胶工业处于天然橡胶加工的时代，橡胶衬里常采用硬质胶或半硬质胶以提高抗腐蚀能力和粘接性能。随着合成材料的发展，多种合成橡胶及其它材料逐渐引入橡胶衬里，使其在耐热、耐油、耐酸碱等性能上有了实质性的改进。同时，氯丁橡胶、丁基橡胶（氯化丁基橡胶）及氯磺化聚乙烯橡胶等软质橡胶衬里的广泛应用，更扩展了其适用范围。

橡胶衬里技术广义上是指“衬胶”技术，即在金属或其它基材的工作表面用橡胶材料形成一连续的隔离性覆盖层，以防护介质侵蚀、磨蚀及其它可能的机械损伤。衬胶技术是橡胶工业中专业性很强的一个分支，在配合技术、操作工艺、硫化方法以及质量检验上都有其特殊性。传统的贴合胶片、热压硫化的工艺是最基本的方式，也是衬胶技术的基础。由于合成材料和工艺技术的进步，衬胶技术也在不断发展。如，常压蒸汽硫化已成为大型容器衬里的常用方法。在一定条件下的室温硫化和预硫化胶片衬贴的方法也已获得实际应用。此外，液态（溶液、悬浮液或乳液）橡胶材料的防腐蚀涂层及热塑弹性材料的热喷涂工艺也在一定条件下趋向实用。随着合成橡胶和工艺技术的发展，橡胶衬里技术也必将得到不断地改进和提高，从而在经济建设中发挥更大的作用。

第一节　衬里胶料及选择

一、衬里的硬度、结构及厚度

1．衬里胶料的硬度

衬里胶料依其硬度可分为软质胶、硬质胶和半硬质胶。

（1）软质胶　有高度的弹性、耐磨性、柔韧性和吸收震动的能力。能适应温度急剧波动并能承受外力作用产生的变形、冲击和震动。适当选择胶种和配方，能得到性能比较全面的衬里材料。

（2）硬质胶　通称胶木，是具有最高化学饱和度的橡胶。天然橡胶、丁苯橡胶、丁腈橡胶以及异戊二烯橡胶等都可制成不同特性的硬质胶。其抗腐蚀性能比相应胶种的软质胶要高、范围也宽，抗渗透性好，但耐磨性则相对降低。硬质胶由于与金属粘接性好，所以也常用作软质衬里的过渡层。这不仅改进了粘接效果，也同时提高了衬里的抗渗透性。硬质胶是热塑性材料，一般在经受70℃以上温度时明显软化，应用上必须考虑。硬质胶不能承受过度的震动、变形和温度急剧变动，其热膨胀率比钢要大3～5倍，并且在低于－5℃的温度下易

于脆裂。这些都需要在设计衬里时综合权衡、慎重选择。通过采取合理的衬里结构设计可以扬长避短，充分发挥硬质胶的特性。

（3）半硬质胶　半硬质胶其硬度和抗腐蚀能力介于上述二者之间，而兼有抗冲击、抗弯曲的能力。可用于经受较大温度变动和有不太剧烈机械震动的情况。

2．衬里的结构

根据防腐蚀工作条件不同，衬里可以有单层、双层或多层等不同结构。

采用一种硬度胶料单层结构的，如天然橡胶、天然橡胶与丁苯橡胶并用或丁腈橡胶的硬质胶；又如氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯或丁基橡胶的软质胶。此种结构方式，施工、管理都比较简便，相对成本较低。然而只能适于耐腐蚀要求不苛刻、温度变动小，工作条件比较简单的情况。

更为普遍的情况是采用不同硬度的胶料，以两层或更多层叠合而成的结构方式。常用的如：自金属面起始为硬质胶-软质胶，软质胶-硬质胶-软质胶，软质胶-硬质胶-软质胶-硬质胶等。以其中三层的软-硬-软结构为例，说明其作用。第一层以软质胶与金属基材相结合，其目的在于缓解金属与橡胶之间由于膨胀系数的显著差异面产生的应力；第二层采用抗介质渗透能力强的硬质胶作为中间隔离层，能有效地阻止腐蚀介质向金属基材的扩散；第三层的软胶层则直接承受介质的腐蚀，并能抗机械冲击和磨损。此种结构形式能适应有强烈搅拌和温度明显波动的防腐蚀条件。是大型罐体衬胶最常采用的方式。在腐蚀极为苛刻的情况下则可再增加第四层的硬质胶层。

3．衬里的厚度

对于单层衬里，3mm是最通用的厚度，双层叠合则取 4～6mm。硬质胶作为过渡层也可采用1.5mm或更薄。多层叠合的结构，则视介质腐蚀程度、物料流动速度、温度变动急缓等适当增减各层厚度。

二、各种橡胶衬里的主要特性

各种橡胶由于其化学结构和物理性质不同，对各种介质的耐受能力不尽相同。不同的使用条件对衬里的强度、耐冲击、耐磨、耐温的要求也各有差异。配合技术可以在不同程度上对某方面的性能有所改善，但不可能改变橡胶的本质。因此，合理选择胶种是决定衬里使用效能的一个重要因素。这里基于衬里的性能要求，扼要列举各种橡胶的主要特性。同时也给出部分可供实用的配方作为参考。

（一）天然橡胶

天然橡胶的综合化学、物理性能优良，工艺性能最优。制造软质胶、硬质胶和半硬质胶都适用。其软质胶能耐受多数无机酸、碱和盐、有机醇类和部分有机酸及其它含氧衍生物。配合适当也能耐磷酸和氯。其硬质胶耐腐蚀能力比软质胶更强，但同样都不适用于烃类、矿物油和强氧化剂。此外，硬质胶由于是热塑性材料，一般长期使用温度限于65℃以下，短时使用温度可以高些。

天然橡胶的耐腐蚀性能详见本章附表。

衬里胶料配方举例见表9-1～表9-4（表中配方均为重量份）。

表9-4所列的胶浆可以通用于天然橡胶各种衬里胶片与金属的相互粘接。

（二）丁苯橡胶

丁苯橡胶适于制造软质胶和硬质胶。

表 9-1 软质胶料配方举例

材料名称 \ 配方编号	1	2	3	材料名称 \ 配方编号	1	2	3
天然橡胶	100	100	100	石蜡	—	—	2.5
硫黄	3.6	3	4.0	古马隆	—	—	2.0
促进剂 D	—	—	1.0	沥青	—	8	4.0
氧化镁	8.0	5	3.0	凡士林	10	12	—
硬质炭黑	—	—	15.0	氧化锌	—	—	5.0
喷雾炭黑	60	60	—	防老剂 D	—	1.5	2.5
滑石粉	—	—	40.0	黑油膏	10	—	—
重晶石粉	—	—	50.0				
硬脂酸	—	—	1.0				
共计				共计	191.6	189.5	230.0

表 9-2 硬质胶胶料配方举例

材料名称 \ 配方编号	4	5	6	7
天然橡胶	100	100	100	100
硫黄	43	43	43	59.13
促进剂 D	1	1	1	1.80
氧化镁	2	2	—	23.67
喷雾炭黑	—	5	3	2.7
软质炭黑	5	—	—	—
滑石粉	10	70	30	35.01
硬质胶粉	60	—	—	—
松焦油	1	1	—	5.4
陶土	—	—	13	18.90
共计	222	222	190	246.61

表 9-3 半硬质胶胶料配方举例

材料名称 \ 配方编号	8	9
天然橡胶	100	100
硫黄	30	20
促进剂 D	1.2	1
氧化镁	6.0	2
硬质炭黑	—	5
滑石粉	75	10
硬质胶粉	—	60
沥青	10	—
松焦油	—	2
共计	222.2	200.0

表 9-4 衬里用胶浆胶料配方举例

材料名称 \ 配方编号	10	11	12	材料名称 \ 配方编号	10	11	12
天然橡胶	100	100	100	氧化铁（红）	20	19.60	79.60
硫黄	39	36.7	38.70	氧化铅	8	4.14	4.13
碳酸钙	59	79.60	19.60	松香	0.5	0.97	0.97
重晶石粉	40	—	—	共计	268.50	243.01	243.00

丁苯橡胶软质胶的抗腐蚀性能与天然橡胶大致相同，但与盐酸接触时，由于不能形成氯化物保护膜而易受侵蚀。制成硬质胶时，耐腐蚀性能有明显提高。不仅能在80℃浓盐酸中长期使用，而且能耐甲酸、乙酸、糠醛等有机物。在65℃以下也可以耐干、湿气的腐蚀。

丁苯橡胶的耐热性能稍高于天然橡胶。二者并用可以在物理性能和工艺性能上互相补充，故常为衬里制造者所乐于采用。并用胶料配方见表9-5。

表9-5所列胶料的衬里胶片仍可用前述天然橡胶胶浆粘接。

丁苯橡胶的耐腐蚀性能详见本章附表。

表 9-5　丁苯橡胶与天然橡胶并用胶料配方

单位：重量份

材料名称	软质胶	硬质胶			材料名称	软质胶	硬质胶		
	1	2	3	4		1	2	3	4
天然橡胶	40	40	60	60	胶木粉	—	—	88	
丁苯橡胶	60	60	40	40	高耐磨炉黑	—	3	4.5	—
硫黄	3.6	65	64.5	45	喷雾炭黑	6.0	—	—	—
氧化锌	8	25	3	9	黑油膏	10.0	—	—	—
促进剂 D	—	2	—	3	陶土	—	10	—	—
沥青	—	—	—	10.5	重晶石粉	—	19.9	—	—
凡士林	10	3	4.5	3.3	亚麻仁油	—	5.0	—	—
滑石粉	—	3.0	15	112.5	共计	137.6	235.9	279.5	283.3

（三）氯丁橡胶

氯丁橡胶适于制造软质胶衬里，也常采用其液态形式作防腐蚀涂层。

氯丁橡胶的粘接能力极强，易与多种材料粘接。这不仅便于用它制作衬里，而且也可用它制造胶浆，广泛用于金属与多种其它材料的粘接。

氯丁橡胶易 在100℃以下的温度进行硫化，故适用于不宜加压硫化的衬胶工艺；也适用于室温硫化的衬里和涂层。

氯丁橡胶为极性高聚物，因而对油脂、矿油和烃类溶剂有一定的耐受性，但作为耐油材料长期应用则嫌不足。在有氨存在时不宜使用。

氯丁橡胶的腐蚀性能见本章附表。

衬里胶料配方举例见表9-6。

表9-6所示配方为通用耐腐蚀胶料，其中配方 1 有良好的耐强碱性能。

（四）丁腈橡胶

丁腈橡胶分子中含有强极性的氰基，为典型的耐油橡胶，能耐受烃类气体、链烃及低芳烃（30%以下）石油系溶剂。

丁腈橡胶耐一般腐蚀介质的能力相当于或优于丁苯橡胶及氯丁橡胶，但对极性的醇类、酯类等应慎重选择。其软质胶耐磨性极好，还可 在100℃下长期使用，特殊配合时其耐热性还可以显著提高。

丁腈橡胶也适于制硬质胶，其耐溶剂性能优于软质胶，适用范围也更宽。耐热性能可达90℃。不同丙烯腈含量的丁腈橡胶性能有显著差异，必须根据使用条件慎重选择。

丁腈橡胶的耐腐蚀性能详见本章附表。丁腈橡胶衬里胶料配方举例如表9-7。

（五）氯磺化腈乙烯橡胶

氯磺化聚乙烯橡胶常用 品 种 有 Hypalon20、30、40、45、48 等，衬里中以采用48型为宜，也可以用40型。

Hypalon 是 主 链 不 含 双键的饱和型弹性体，故化学性能极稳定。与一般二烯烃橡胶相比，耐氧化性酸的能力十分突出。由于分子中引入了氯，使其具有耐燃性、耐天候性和耐臭氧性，耐热性可达120℃，耐磨性也很高。

用作衬里材料时，Hypalon 常采用金属氧化物硫化。一般采用氧化镁、一氧化铅或二者并用体系。为达到充分硫化，也可加入有机促进剂。配方举例如表9-8。

表 9-6 氯丁橡胶衬里胶料配方举例

单位：重量份

材料名称 \ 配方编号	1	2
氯丁橡胶	100	100
氧化镁	4	4
氧化锌	5	5
硬脂酸	1	—
喷雾炭黑	80	20
氯化石蜡	10	—
陶土	—	80
操作油	—	12
凡士林	1	—
防老剂A	2	—
共计	203	221

表 9-7 丁腈橡胶衬里胶料配方举例

材料名称	用量，重量份
丁腈橡胶	100
硫黄	2
炉法炭黑	90
氧化锌	20
陶土	15
磷酸三甲苯酯	15
煤焦油	20
促进剂D	1
防老剂A	1
共计	264

表 9-8 氯磺化聚乙烯衬里胶料配方举例

单位：重量份

材料名称 \ 配方编号	1	2	3	4
氯磺化聚乙烯	100	100	100	100
氧化铅	25	25	40	20
氧化镁（高活性）	—	—	—	10
松香	—	—	10	—
促进剂M	—	—	1	—
促进剂DM	—	0.5	—	0.5
促进剂TRA（四硫化双五亚甲基秋兰姆）	—	2.0	1	2.0
促进剂TT	2	—	—	—
硫黄	1	—	—	—
防老剂NBC	—	—	—	3.0
半补强炉黑	40	40	—	40
共计	168	167.5	152	175.5

表 9-8 所示配方 1、2 为通用配合，其中配方 1 的操作安全性好，成本低，而配方 2 硫化更为充分。配方 3 为耐水性配合，配方 4 为耐热性配合。氧化铅在胶料中的分散程度对胶料性能有明显影响，采用预分散体有良好效果。

氯磺化聚乙烯橡胶耐腐蚀性能详见本章附表。

（六）丁基橡胶

丁基橡胶由于具有高饱和度、低渗透性和很低的极性，适于作为衬里材料。它在浓盐酸、浓磷酸、低浓度硫酸和稀硝酸中能保持稳定，耐碱性极好，对浓苛性碱和氨水都能适应。丁基橡胶可以在－5～105℃下应用，但温度高时其耐介质能力降低。在极性有机物中，丁基橡胶能很好地耐低级脂肪族酮、酸、酯和乙二醇。其介质的烃基越大，胶料的抗耐性能越差。抗植物油脂的性能优于天然橡胶。接触卤素、芳烃、卤代烃及矿油的使用条件下不宜选用丁基橡胶。

丁基橡胶制成硫化胶板后，也常用胶粘剂粘接于基材上，构成容器衬里或作为耐酸磁砖等其它衬里的防渗透隔离层。

丁基橡胶硫化速度缓慢，这在一定程度上影响了它的应用。如使其分子中的异戊二烯链节进行氯代形成氯化丁基橡胶，其硫化速度即可明显加快，并能用氧化锌硫化，耐化学腐蚀性能基本上与上述标准丁基橡胶相等，而由于交联程度更为紧密，耐某些介质的能力还有所提高。对中等浓度的硫酸、硝酸、醇、酮及酯类等含氧溶剂的耐受力优于标准丁基橡胶。

耐酸的丁基橡胶衬里胶料配方见表9-9。

表 9-9 丁基橡胶衬里胶料配方举例 单位：重量份

材料名称 \ 配方编号	1	2	材料名称 \ 配方编号	1	2
丁基橡胶268	100	—	防老剂	1	1
氯化丁基橡胶HT1066	—	100	促进剂TDEDC	1.5	—
炉法炭黑	80	70	促进剂TRA	—	1.25
氧化锌	5	5	促进剂DM	1	—
氧化镁	—	1	硫　黄	1.5	1.25
硬脂酸	1	1			
操作油	5	5	共　计	196	185.5

丁基橡胶衬里粘接用胶浆可采用如表9-10的配方。

表 9-10 丁基橡胶衬里粘接用胶浆配方举例

材料名称	用量，重量份
丁基橡胶衬里胶料	250
非反应酚醛树脂	7
氢化松香酸酯	3
乙　烷	2340
共　计	2500

（七）聚异丁烯

聚异丁烯是异丁烯在低温催化聚合的产物，分子量在15～20万，呈弹性状态。由于分子中不含双键，化学性质极为稳定，耐各种酸、碱介质的能力很强，耐热、氧老化及耐水性也很高，透气性比各种橡胶都要低。但在油脂及矿物油中极易受侵蚀并且不抗磨损。

聚异丁烯不能硫化（有机过氧化物可使之有微弱的交联），因而也不能制成耐热性高的弹性体。通常是加入高量补强炭黑或其它填料，也可以加入聚乙烯或聚苯乙烯等降低其冷流性并改善工艺性能。由于不需硫化，简化了工艺，可以降低衬里成本。同时，衬里材料可以很方便地重复利用。粘接良好的衬里可以在－40～65℃下使用。采用耐热性胶粘剂粘接，使用温度可以达到80℃或更高。但在此种情况下要注意到胶粘剂的耐热老化性能。

聚异丁烯胶板与金属的粘接可采用氯丁-酚醛胶粘剂或环化橡胶胶粘剂。搭接缝可以用热接。聚异丁烯胶料配方举例见表9-11。

表 9-11 聚异丁烯衬里胶料配方举例 单位：重量份

材料名称 \ 配方编号	1	2	材料名称 \ 配方编号	1	2
聚异丁烯	100	100	硬脂酸锌	—	10
槽法炭黑	100	120	石蜡油	—	7
热解炭黑	—	80	聚乙烯	—	40
石　墨	100	—			
			共　计	300	357

聚异丁烯胶片与金属粘接用的胶粘剂如下：

环化橡胶	10	苯乙烯	88	过氧化苯甲酰	2

胶粘剂的制备方法是先将环化橡胶与苯乙烯混合，经24 h 后充分搅拌均匀，临用前再将过氧化苯甲酰加入混匀。

聚异丁烯的耐化学腐蚀性能见本章附表。

（八）乙丙橡胶

乙丙橡胶其分子链为饱和结构或含少量第三单体引入的不饱和键，故有优良的耐臭氧和耐天候老化性能。作为衬里材料有优良的耐热性和化学稳定性。对醇类、酮类及酯类等强极性溶剂，无机盐、盐酸及强碱溶液都有很高的耐受能力。在100℃的磷酸及乙二醇 中 能保持良好性能。其耐水性与丁基橡胶相近，但透气性只能与天然橡胶相近。乙丙橡胶不能用于浓硫酸和硝酸；对乙酸和冰乙酸只能在室温下使用。另外，对动植物油脂的抗耐能力稍好于天然橡胶和丁苯橡胶，对矿物油则完全不能适用。

二元乙丙橡胶硫化极为缓慢，并且不能用硫黄硫化。采用亚乙基降冰片烯为第三单体的三元乙丙橡胶以硫黄硫化时有相当快的速度，但不同牌号的产品间 有 明 显 差异，须注意选择。乙丙橡胶衬里配方举例如表9-12。

表 9-12　乙丙橡胶衬里胶料配方举例

单位：重量份

材料名称 \ 配方编号	1	2
二元乙丙橡胶	100	—
三元乙丙橡胶	—	100
炉法炭黑	70	70
操作油	5	5
防老剂	1	1
氧化锌	5	5
硫　黄	0.3	1.5
硫化剂DCP(活性组分40%)	7.0	—
促进剂TS	—	1.5
促进剂M	—	0.5
共　计	188.3	184.5

乙丙橡胶耐化学腐蚀性能见本章附表。

（九）氯化聚乙烯

氯化聚乙烯是将一定品种的聚乙烯控制氯化可得到橡胶态的 无规 氯 化 物，其氯含量在30～40%，密度为1.10～1.20。从物理性能和工艺性能上考虑以氯含量高者为好，但弹性、耐寒性和抗撕裂性则以氯含量低者为优。

氯化聚乙烯有优良的耐紫外线、耐臭氧及耐天候老化性。其耐油及耐氧化性酸侵蚀能力相当强。此外还有良好的耐磨、耐低温和耐燃性能。

氯化聚乙烯的硫化可以采用NA-22（2 份）与少量硫黄（0.5份），并加入氯 化 氢吸收剂（如氧化镁、氧化铅或环氧树脂），取得良好效果。而采用过氧化物(如过氧化二异丙苯)则效果更好，硫化胶的压缩永久变形、耐热性及耐油性均较其它硫化体系要高。其配比可采取过氧化二异丙苯（活化组分40%） 5 份，环氧树脂 5 份，并加入异氰尿酸三烯丙酯为活化助剂。氯化聚乙烯耐化学腐蚀性能见本章附表。

（十）聚硫橡胶

聚硫橡胶是主链上含有硫原子的聚合物。其二硫化物的两个硫原子均位于主链上，当为四硫化物时，硫原子的排布尚不完全明了。聚硫橡胶曾经是早期合成橡胶中的重要品种，在多种制品中广泛应用。由于它在硫化后仍具有强烈的臭味，所以在一般制品中已为后起的其它合成橡胶所代替。

聚硫橡胶不仅有很好的耐化学腐蚀性能，而且可以有优良的耐臭氧、耐油、耐溶剂及耐水性能，透气性相当低，适当配合可以兼有与金属和其它材料的良好粘接性能。因此，极适

宜用作要求耐油及耐溶剂的防腐蚀衬里。

目前应用的产品有干胶、液态橡胶及其胶乳，而以液态橡胶应用较多。由于其分子中有反应性很强的巯基，只需经简单的氧化即可变成高分子聚合物。此外也可以与其它聚合物相键合。因此，多种无机氧化物和有机过氧化物均可用作硫化剂，最常用的为过氧化铅及过氧化氢异丙苯。较低分子量的液态聚硫橡胶也常与环氧树脂并用，通过共聚合而固化，所得产物既改善了环氧树脂的弹性和耐冲击性能，又具有优于聚硫橡胶的强度和耐腐蚀性能。

用过氧化铅硫化聚硫橡胶时，其纯度和细度对活性有决定意义，必须根据需要仔细进行选择。酸性物质可以作为迟延剂，一般以硬脂酸和油酸效果为好。硬脂酸的铅、锌及铝盐也可使用。补强剂以采用半补强炉黑和热裂法炭黑最为适宜。煅烧陶土和经表面处理的超细碳酸钙可作为白色补强剂。为改善胶料柔软性可加入氯化联苯。为提高粘接性能可加入酚醛树脂及环氧树脂。必须注意，配合剂的水分和酸度对硫化有明显影响，必须严格控制。

聚硫橡胶的耐化学腐蚀性能见本章附表。

除上述各种橡胶之外，还有性能近似天然橡胶的聚异戊二烯橡胶可用子代替天然橡胶制做各种衬里，耐磨、耐寒性能优良的顺丁橡胶也逐渐在衬里中得到应用。随着橡胶的合成技术和加工技术的不断发展，必将使更多的合成橡胶品种引入橡胶衬里中。

三、选择衬里的原则

1．选择橡胶衬里

橡胶衬里的选择，主要根据接触介质的特性、被衬物的大小、形状和工作条件选定衬里的种类、厚度及层数，大致可有下列原则。

① 充分考虑介质的腐蚀特性、工作温度及压力、机械作用以及施工条件等相关因素，慎重选择胶种并通过试验选定适宜的胶料配方。

② 不承受机械振动、介质温度变化不大的设备和管道，一般可采用1～2层硬质胶，总厚度3～6mm。

③ 工作介质为气体的，为阻止气体扩散渗透，以采用包含硬质胶层的衬里为宜。

④ 工作介质含有固体悬浮物的，可采用2mm厚的硬质胶作底层，再衬贴所需厚度的软质胶层。

⑤ 工作介质腐蚀性强，但温度变化不大的宜采用硬质胶。

⑥ 对因温度或其它因素可能引起胶层变形的设备，以及大型容器，宜采用软质胶-硬质胶-软质胶的三层衬里结构，各层厚度取2～3mm。腐蚀性根强的还可以增加硬质胶的第四层。小型设备也可以采用半硬质胶。

⑦ 设备外表面可能经受撞击的，可采用2mm厚的软质胶底层，再衬以半硬质胶或软质胶面层。

⑧ 介质温度，浓度超出橡胶衬里允许范围的，可以在橡胶衬里上附加瓷砖或其它适当材料构成复合衬里。

2．橡胶衬里适用的温度和压力

橡胶衬里适用的温度和压力，一般在如下范围。

① 硬质胶的使用温度在0～65℃，最低不得低于－5℃。采用丁腈橡胶硬质胶温度上限可提高至90℃。

② 半硬质胶、软质硬与硬质胶组成的多层衬里，可以适用于－30～75℃的范围。

③ 软质胶衬里中，天然橡胶、丁基橡胶和顺丁橡胶衬里使用温度一般在－60～100℃；丁腈橡胶、丁苯橡胶、氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯及三元乙丙橡胶衬里的使用温度，一般为－30～100℃；适当配合的丁基橡胶、丁腈橡胶、氯磺化聚乙烯和乙丙橡胶衬里的使用温度，可以达到100℃以上。

橡胶衬里适用的工作压力一般在0.6MPa至负压79kPa之间。

第二节　橡胶衬里施工对设备的要求

设备材质有金属和非金属两种，本节只讲金属设备的橡胶衬里施工技术。

一、对橡胶衬里设备的设计要求

橡胶衬里设备的质量好坏，除了与橡胶本身的耐腐蚀性能直接有关外，也与橡胶衬里设备的材质、结构、性能、大小有关。

1．基体材料

多数钢、铁设备均可衬胶，其中铸铁、铸钢因表面有大量气孔不宜衬胶，但某些铸造质量较高的产品还是可以衬胶的。铬、锌、锡、黄铜均可衬胶；紫铜不宜直接衬硬质胶，但可衬软质胶。

2．衬里设备大小

设备小于硫化罐的敞口容器可在硫化罐内硫化，如果长度超过硫化罐则必须分段衬里硫化；各段再用法兰连接。对可密闭容器，可采用本体硫化，体积不受条件限制，但从衬胶安全及劳动保护考虑，容器直径不大于700mm的，其高度应不大于700mm；容器直径为800～1200mm的，其高度应≤1500mm；容器高度超过规定数据时，应分段用法兰连接；容器直径大于1200mm时，高度不限。

3．金属壳体的强度与刚度

如果衬里设备采用硫化罐硫化，则金属壳体有足够刚度，不得在硫化等过程中产生局部变形。如采用本体硫化时，则壳体强度应按照操作压力进行计算，但操作压力小于0.3MPa时，应按0.3MPa压力进行计算。

4．衬里施工时对设备的要求

如所衬容器封头不可拆卸时，必须开直径不小于600mm的人孔2个，并应考虑设备在衬胶施工时有良好通风。

本体硫化的设备需考虑计量仪器（温度计、压力表、安全阀）的接口，底部需设计冷凝水排出口，以避免冷凝水积存，影响硫化质量。

对于回转设备必须在衬里施工前达到静平衡或动平衡的要求，衬里后再加工，并予以校正。

对衬里设备应保证施工方便。

5．对金属壳体结构的要求

对金属壳体结构的要求有如下几点。

① 金属表面应平整、光滑，不得有气孔、凹陷，尤其是连通性的小孔，因衬胶后，此处残存的气体，在硫化过程中，会使橡胶衬里鼓起，使衬胶质量低劣。因此，金属表面如有少量气孔、凹陷时必须经过严格清理，用胶浆和胶片填平，然后再进行衬里施工。

② 金属壳体的衬胶部分不宜采用丝扣、销等连接，最好采用焊接。焊接时必须用对接

焊，最好采用x形双面焊或单面V形坡口焊。双面对焊的焊缝最好进行打磨，对焊缝的要求见图9-1。如果焊缝不平，有沙眼、漏焊以及未焊透等缺陷，则必须补焊并打磨，以免被凸起的焊缝刺破胶板。或在凹陷、砂眼以及未焊透等地方留下空气，造成衬里鼓泡等现象。

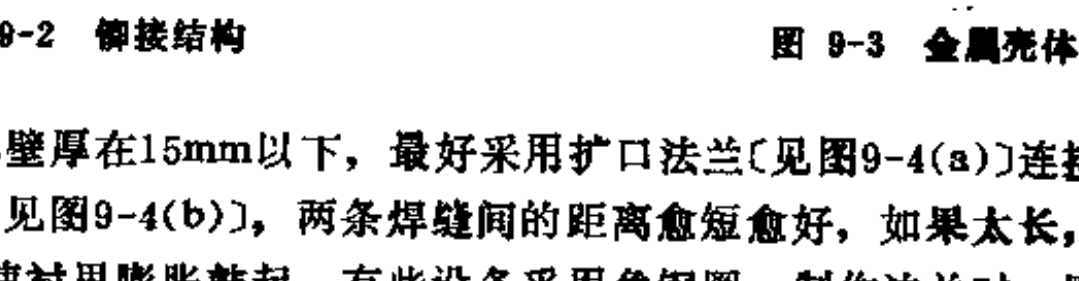


图 9-1 对焊缝的要求

③ 金属壳体的衬胶部分必须采用铆接结构时，则必须用埋头铆钉，见图9-2。

④ 金属壳体凡具棱角的部分，应呈圆弧过渡，其半径R应不小于5mm，对于特殊部位允许不小于3mm，见图9-3。

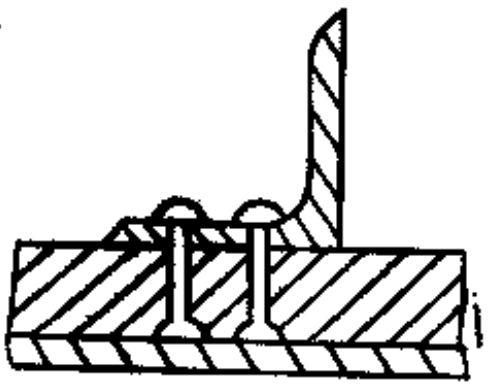


图 9-2 铆接结构



图 9-3 金属壳体棱角结构

⑤ 金属壳体壁厚在15mm以下，最好采用扩口法兰〔见图9-4(a)〕连接，如果采用焊接法兰最好用双面焊〔见图9-4(b)〕，两条焊缝间的距离愈短愈好，如果太长，则缝隙中存有空气，在硫化时会使衬里膨胀鼓起。有些设备采用角钢圈。制作法兰时，则应在两条焊缝间的法兰颈上钻一小孔，使空气能够由此排出〔见图9-4(c)〕，焊制法兰的焊缝应打磨成圆弧。法兰要求平整且与设备中心线垂直，在压紧法兰时，为避免衬里层受力不均而产生开裂，垫片宜用软质胶，其宽度最好超出法兰螺栓孔以外，但向内不得超出法兰平面部分，以免设备壁上所衬橡胶因受切向力作用而与设备壁脱开。

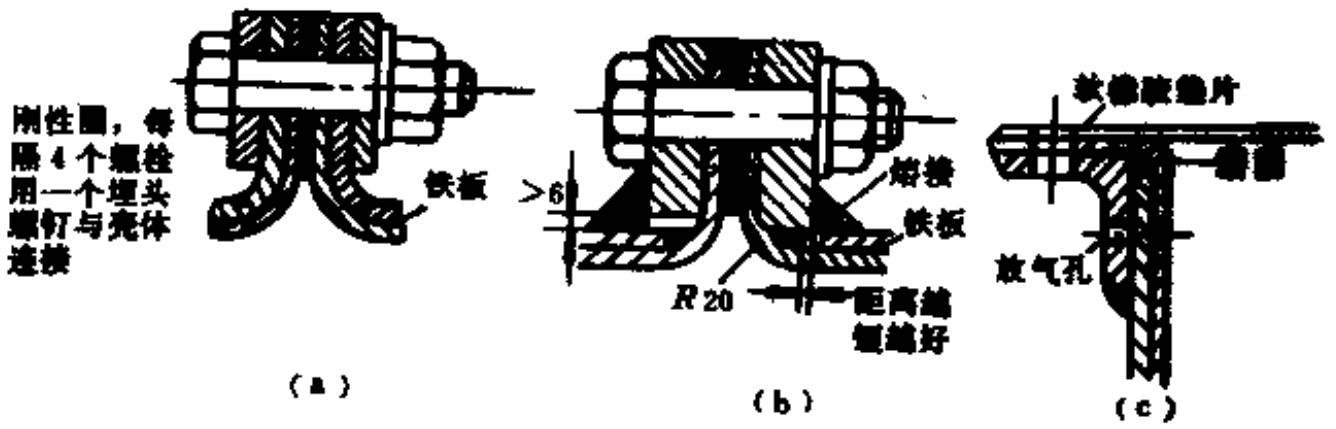


图 9-4 法兰连接结构

(a) 扩口法兰；(b) 双面焊法兰；(c) 角钢圈法兰

⑥ 定型和通用设备（如离心机、泵、阀和槽车等）需要衬胶时，必须按衬胶的特殊要

求进行修改，例如离心机转鼓必须扩大孔眼，槽车必须增设人孔等。

⑦ 金属壳体必须在衬里前按规定作水压及气密性试验。

⑧ 容器底的折边应有圆弧过渡，此外焊缝应位于壳体圆筒部分，如图9-5所示；折边呈直角时，在衬里前，需填以与衬里胶片成分相同的橡胶条，其厚度不超过胶片厚度的两倍，见图9-6和图9-7。

⑨ 多孔板离心机的转鼓之类设备的零部件衬里时，其小孔衬里结构应如图9-8(a)、(b)所示，金属上孔径应增大，增大量应为衬胶厚度的 2 倍〔见图9-8(b)〕。

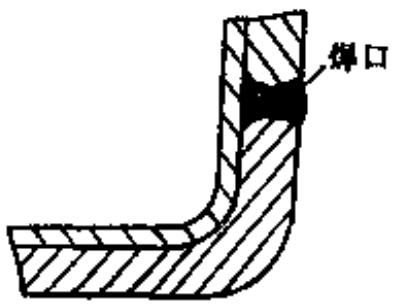


图 9-5 容器折边有圆弧过渡时的焊缝位置

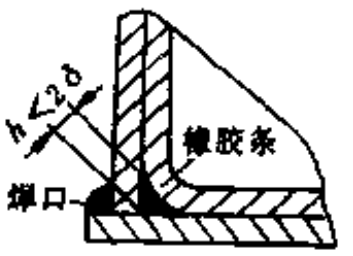


图 9-6 容器折边呈直角时焊缝位置之一



图 9-7 容器折边呈直角时的焊缝位置之二

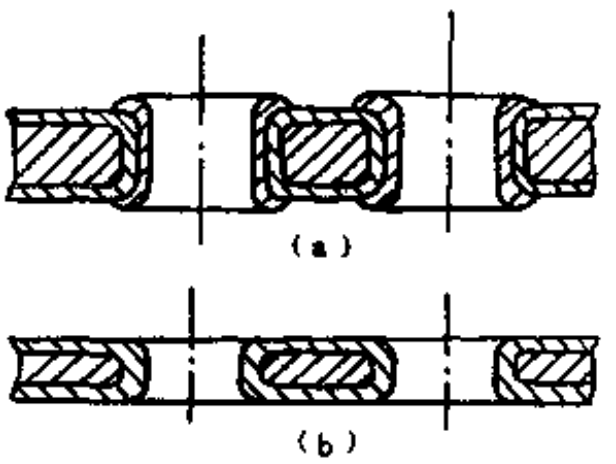


图 9-8 多孔板衬里结构

⑩ 应保证金属表面无凹陷，避免衬里和金属表面间残留空气，为避免在焊接 接 缝内存留空气，应在金属壳体上设有排气孔，以便让空气逸出，见图9-9。

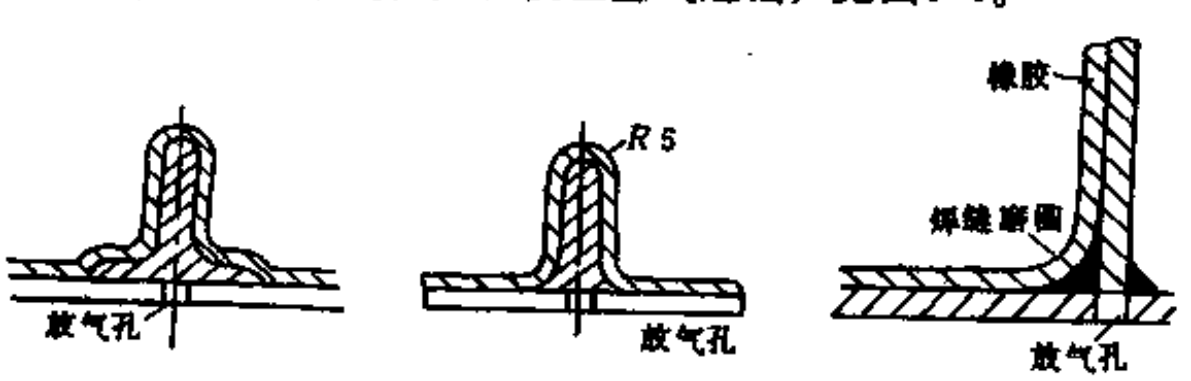


图 9-9 放气孔示意图

⑪ 加热的容器蒸汽盘管，应离衬里表面不小于100mm，以免局部过热。用 蒸 汽直接加热液体时，应避免蒸汽直接侵蚀衬里。

⑫ 设备接管以短为宜。当用法兰连接时，衬胶应超过法兰平面，以免受介质腐蚀，且管口中心线尽量与设备表面垂直。

6．对衬胶管件的要求

对衬胶管件的要求，有以下几点。

① 对直管的要求，见表9-13。

② 管道与管件（如三通等）连接处不宜施工时，必须设置法兰如图9-10所示。

③ 直径小于200mm的弯头管件应以无缝管制成，直径大于200mm的弯头管件，允许以焊接制成，但弯头主体的焊缝不能多于4个，弯曲半径不小于管径的4倍，如图9-11所示。

④ 橡胶衬里的三通管或四通管，其主体管长和侧面接长度应符合表9-14规定。

⑤ 橡胶衬里的球心阀、隔膜阀、旋塞等，其公称直径应不小于40mm。

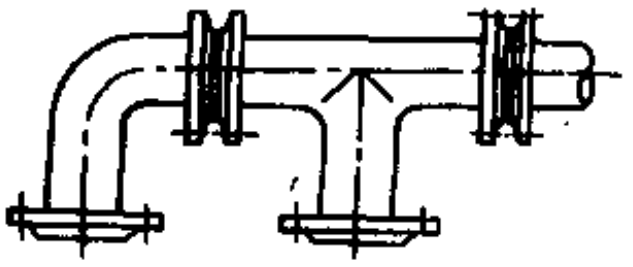


图 9-10 管道和管件用法兰连接示意图

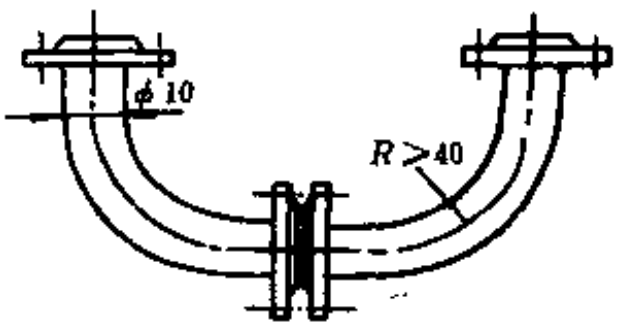


图 9-11 供衬胶用的弯头

表 9-13 对衬胶直管的要求

管径(衬胶直管规格)，mm	长 度，mm
25	<500
37～50	<1000
75	<1500
100	<1800
150～150以上	≤2000

表 9-14 主体管和侧面接管的长度

单位：mm

管 径	主体管长度	侧面接管长度
37	<280	<50
75～200	<500	<100
200 以上	<直径的三倍	<直径尺寸

二、金属制件表面处理和热处理

在衬胶之前，设备的表面应先清除油污、铁锈、氧化膜层及其它有机杂质等，使表面呈金属光泽。衬胶设备的表面处理好坏，直接影响衬胶的质量，如设备表面处理不好，则橡胶与金属面粘接力降低，甚至影响制品的质量（起气泡、局部脱落）。部分衬胶设备，在表面处理之前，必须进行热处理。除去油污水分杂质，保证衬里质量，否则铸件微孔内的空气、水分、杂质等，在硫化时会产生气泡。如铸造制件一般所采用的处理方法有喷砂、酸洗、火焰、机械、高压水、蒸汽与手工处理等，其中以喷砂处理为佳，应用也较为普遍。

1．金属部件热处理

金属部件热处理一般采用设备为卧式直接蒸汽硫化罐。使用压力为0.3～0.5MPa。热处理条件：温度为130～145℃；蒸汽压力为0.25～0.3MPa；时间为240min。热处理要求，一般采用蒸汽处理为宜，温度要均匀；热处理后，必须自然冷却，防止用冷水和在高温度的场合下进行冷却。

2．被衬胶设备的表面处理

（1）喷砂处理 喷砂处理是用压缩空气把1～4mm大小的石英砂或其它类似性能的粒状物投射到被处理金属表面，除去铁锈和杂质，同时得到粗糙的表面。所用的石英砂应不含有粘土或其它杂质并要经过100℃温度烘干或在阳光下晒干。石英砂使用后会产生粉末，需要过筛除去，方可使用。面压缩空气在进入喷砂罐前需经冷却过滤，除去水分及油类等杂质。喷砂时一般采用压力为0.6～0.7MPa的压缩空气；排气量为180m³/h，喷罐的有效容积为150L左右。对于铸铁件的衬胶，必须先经过热处理，才能进行喷砂。喷砂流程见图 9-12。

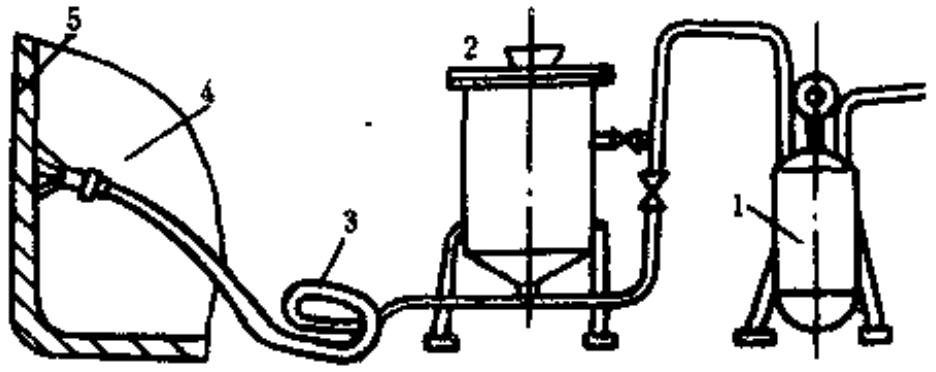


图 9-12　喷砂流程示意图

1—风罐；2—喷砂罐；3—橡胶管；4—喷嘴；5—被清理的金属表面

喷砂处理后金属表面应达到下列要求。

① 显出均匀一致的金属本色。

② 除净金属氧化物或其它附着物。

③ 处理后应及时使用或放在干燥的地方，不应被其它物质所污染。

④ 如大型设备件，应采用多喷头进行加工处理，以缩短时间，否则处理时间长了，先处理的地方易被氧化，影响产品质量。

（2）化学处理　化学处理有酸洗和酸膏涂洗二种。

酸洗一般采用硫酸（配成10～20%浓度）、盐酸（配成10～15%浓度）和加入缓蚀剂的酸。一般方法有刷洗、淋洒和浸泡三种。酸洗温度为20～80℃。

酸膏涂洗的酸膏由稀硫酸和黄土配制面成。使用时涂于金属表面，厚度为8～12mm，时间根据氧化物的厚薄而定，一般为8～12 h。

经酸洗或酸膏涂洗后，必须用水彻底洗刷，再用20%的石灰乳或5%的碳酸钠溶液冲洗，最后以温水冲洗2～3次，然后擦干并迅速干燥以免生锈。

（3）机械及人工处理

a．机械处理　采用机床切削、磨床砂轮研磨以及用钢丝刷或其它类似的机械，来除去金属表面的氧化物或其它附着物。若在易燃易爆场所施工时，应采用钢丝刷轮。

b．人工处理　一般采用砂纸、锉刀、金属刷子、刮刀或其它类似工具来除去金属表面的氧化物或其它附着物。当金属经处理显出均匀一致的金属本色后用刷子或压缩空气彻底将粉屑等物除去，再用溶剂（苯、汽油等）除净其表面上的有机物质。

第三节　衬里胶的制造

一、衬里胶板制造

1．工艺流程

衬里胶板的工艺流程如图9-13所示。

2．塑混炼

（1）塑炼　硬质胶与半硬质胶的塑炼胶可塑度一般为0.56～0.62；软质胶的可塑度一般为0.45～0.50。

（2）混炼　混炼加料顺序如下：

天然橡胶或合成橡胶→软化剂→胶木粉→其它配合剂→硫黄。

加硫黄时，辊温要求在45～55℃之间。硫黄用筛子（40～60孔/cm²）逐步均匀加入，能防止结块。硬质胶、半硬质胶、软质胶的混炼胶可塑度均为0.30～0.45。硬质胶的混炼胶可塑度要求高一点为佳，可减少产品在硫化过程中的生热量，防止产品表面裂纹等不良现象。

3．出片

一般采用压延出片，最好用压出法出片，因压出法可消除胶片中的气泡，提高衬胶质量。

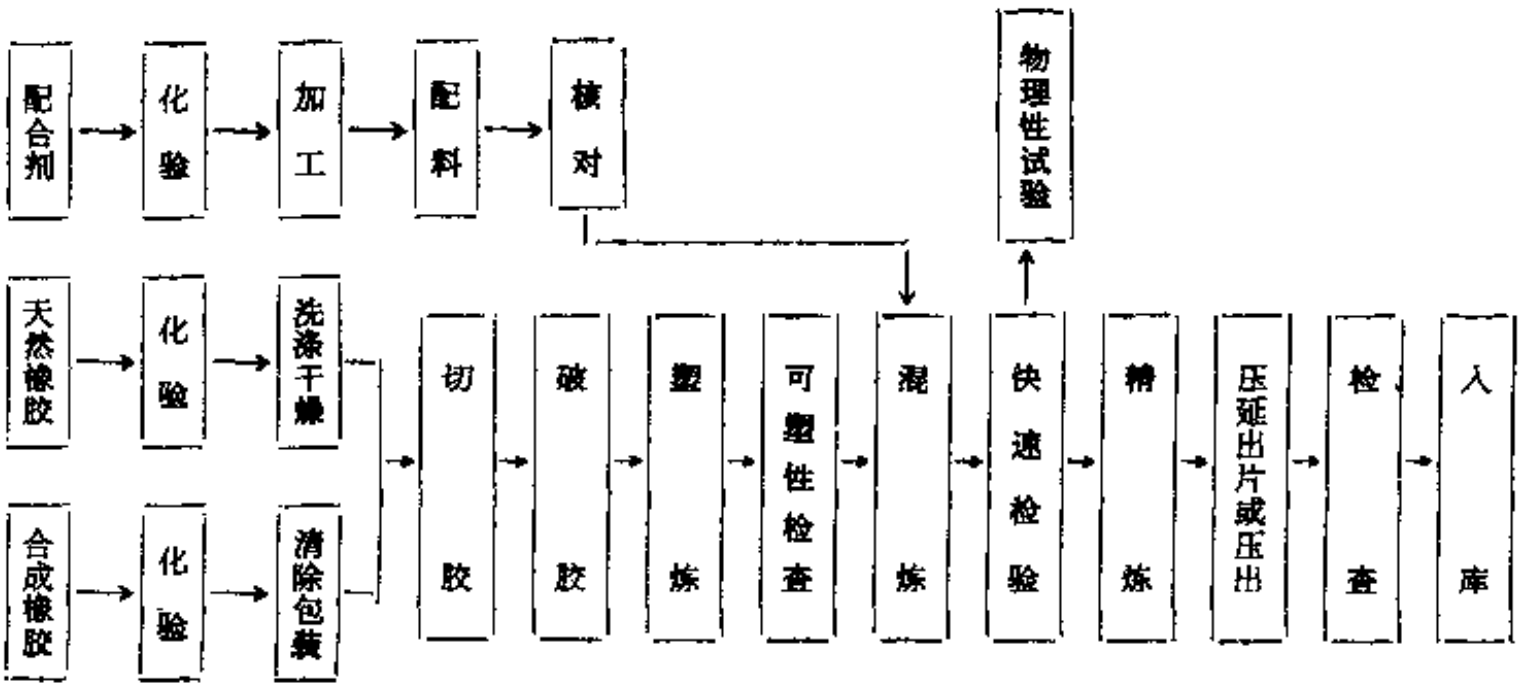


图 9-13　衬里胶板的工艺流程

压延法与压出法的比较见表9-15。

表 9-15　压延法与压出法的比较

项目名称	压 延 法	压 出 法	项目名称	压 延 法	压 出 法
气泡	胶料有气泡	胶片中无气泡	质地	质地较松	质地较紧密
表面	胶片表面粗糙	胶片表面光滑	设备	通用压延机	需使用专用压出机

（1）压出法出片　压出机出片工艺有下述几点。

① 压出机出片温度，机身温度一般为45～50℃，机头温度一般为50～60℃。因硬质胶中含硫黄量较多，温度宜控制得低些，过高容易焦烧。

② 出片后必须充分冷却，方法有风冷、水冷、自然冷却。一般用水冷较多，但水冷后，水分必须挥发干净，否则要影响产品质量（如气泡、脱层等）。

③ 回炼、压出可见基本工艺。

（2）压延法出片　压延出片采用一般的压延设备。胶片厚度分1.5±0.25mm、2.0±0.35mm、5.0+0.5mm等几种。宽度不小于500mm；长度不小于5000mm，每批中长度不足5000mm而在2000mm以上的，不应多于30%。

4．外观质量、包装、运输及贮存

① 胶板不应有大于0.5mm的外来杂质，但允许有垫布本身粘附的线毛、线头、垫布折皱等所造成的印痕，然而该处胶厚应在规定的公差范围内。

② 在规定的存放条件下，硬质胶、半硬质胶、软质胶的胶板6个月内不应产生自硫现象，胶浆胶在两个月内不产生自硫现象。

③ 胶板用木箱（或铁架）包装。胶板用白细布或塑料布作垫布卷于木辊上，悬于木箱（或铁架）中，每箱胶板不多于50kg。

④ 胶板应贮存在温度为0～30℃和相对湿度为50～80%的通风暗室中。放置时不应受压、受热、并距离发热装置2m以外。

⑤ 胶板在运输和贮存中禁止与汽油、煤油、有机溶剂及酸碱等有损胶板质量的物质接触。

二、衬里胶浆制造

1．衬里胶浆工艺流程

衬里胶浆制造的工艺流程见图9-14。

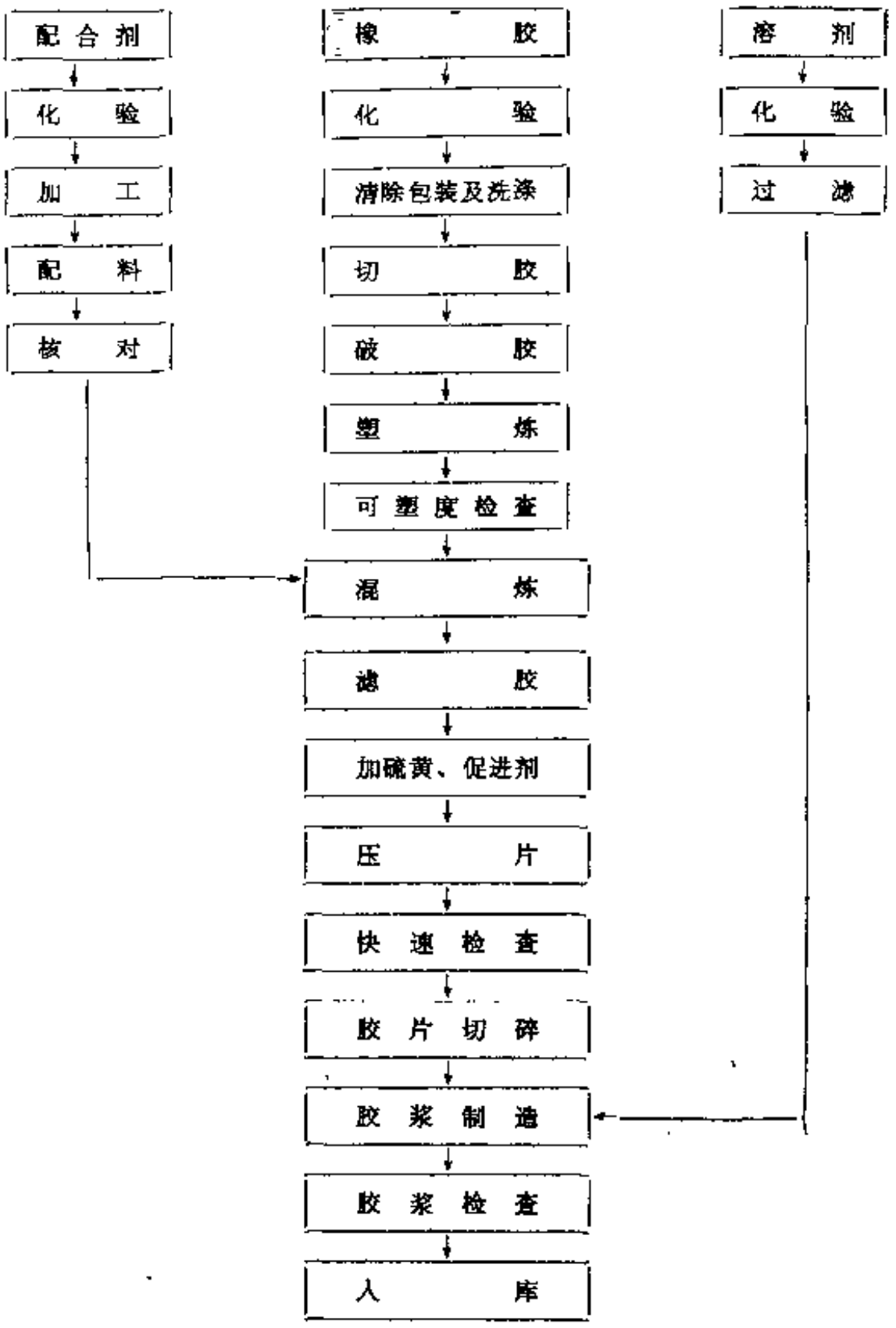


图 9-14 衬里胶浆的工艺流程

2．衬里胶浆配方

衬里胶浆配方举例见表9-16。

3．胶浆胶料的制备

胶浆用的塑炼胶可塑度一般应较高，太低了易焦烧；太高了影响胶浆粘性。硬质胶浆塑炼胶的可塑度为0.52～0.60。对混炼胶的要求为粉尘分散均匀，否则会影响胶浆质量，胶片柔软。

混炼胶的加料顺序是：天然橡胶→松香和软化剂→氧化铅→氧化铝→氧化铁→碳酸钙→

表 9-16 衬里胶浆配方举例 单位：重量份

原材料名称	配方编号①			
	1	2	3	4
天然橡胶（1～2号）	100	100	100	—
环化橡胶	—	—	—	100
硫　　黄（一级）	39	38.7	4	
氧化铝	—	4.13	5	
碳酸钙	59	79.6		
三氧化二铁（氧化铁红）	20	19.6		
松　　香	0.5	0.97		
氧化铅	5	—		
硫酸钡（一级）	40	—		
防老剂D			1	
对酚磺酸				7.5
合　　计	263.5	243	110	107.5
含　胶　率	37.95	41.15	90.9	93.02

① 1、2号胶浆配方可用于硬质胶、半硬质胶与金属的粘合，橡胶与金属的粘接力一般为4～8 MPa。3号配方胶浆可用于硬质胶、半硬质胶的粘接。1、2号配方也可代替3号胶浆使用。4号胶浆可用于软胶与金属的粘接。

其它配合剂→硫黄。硫化速率为60min（0.27MPa）。

4．胶浆的制备

胶浆的制备一般采用立式打浆机。胶料与溶剂之比及打浆时间见表9-17。

制成的胶浆、胶料应全部溶解，并有一定粘性和光滑性，不应有沉淀、结块和悬浮物及其它不良现象。另外，也可采用环化橡胶、异氰酸酯（JQ-1胶粘剂）和树脂等的软质胶与金属粘接的胶粘剂。其粘接强度不应小于2MPa。

5．胶浆的涂刷

金属表面清理后，应于8 h内涂完第一遍胶浆，以防重新生锈。一般涂刷3～4次。涂刷胶浆的顺序见表9-18。

表 9-17 衬里胶浆的浓度

胶浆编号	胶料:溶剂（汽油）①	打浆时间 h	定放时间 h
1	1:10	5	12
2	1:8	5	12
3	1:6	5	12
4	1:4	5	12

① 汽油性能指标要求见本手册第二分册第六章中的汽油。

表 9-18 涂刷胶浆的顺序

涂胶次数	胶浆浓度（胶料:溶剂）	干燥时间 h	温度 ℃	备注
第一次	1:10	1～3	25～40	湿度不大于70%
第二次	1:8	2～4	25～40	
第三次	1:6	3～5	25～40	
第四次	1:4	3～10	25～40	

胶浆涂刷时应注意以下几点。

① 遇到阴天或雨天、湿度高时、适当延长干燥时间。

② 一般金属件涂3～4次，胶板涂两次，涂刷第一遍后，干至不粘手时，再涂第二、三、四遍。

③ 涂刷最后一次胶浆时，应在衬贴片前3～8 h内进行。

④ 施工温度应不低于150℃，但也不应超过35℃。

⑤ 施工过程中，必须注意周围环境，湿度不应太大、腐蚀性气体浓度不应过高。空气湿度过大时溶剂挥发吸热，在胶膜表面形成水珠，影响胶与金属的结合；腐蚀性气体浓度过度时，气体会透过胶浆膜腐蚀金属，使胶层脱开。

⑥ 在每次涂刷胶浆过程中，应涂刷均匀。不应有积胶，以防气泡。

⑦ 涂刷管道时，管道应斜放以防止胶浆积聚在管道内。

第四节　衬里胶板的裁剪、贴合和硫化

一、裁　　剪

衬里胶板根据设备的几何形状，加上接缝、边量和加工量等进行裁剪。具体步骤如下。

① 胶板使用前应检查外观质量、牌号和规格是否符合要求。

② 裁剪时，应根据部件情况，尽量减少接缝数量。

③ 胶板如有气泡、杂质，应刺穿或剔除，然后涂上胶浆，并用同样胶料填补，加热烫平。胶板上的硫黄粉、棉绒和线头等，应用刷子清除。

④ 金属壳体清理后，根据其表面形状和尺寸进行胶板裁剪。裁剪时，必须留出足够的搭接边，并将搭接边切成10～25mm的坡口。

⑤ 裁剪管道胶板时，应按小于管道内径的原则计算其周长（不包括接缝部分），其总长度应等于管道实际尺寸加上法兰翻边部分。

⑥ 胶板尺寸应保证在贴合时完全合适，特殊部件应预制样板避免不足或多余。

⑦ 接缝应根据设备结构情况，确定削边或搭接方向。接缝可采用搭接与对接两种形式。为了增加接缝强度，可在接缝上贴合同一种橡胶，其宽度为30～50mm，如图9-15所示。

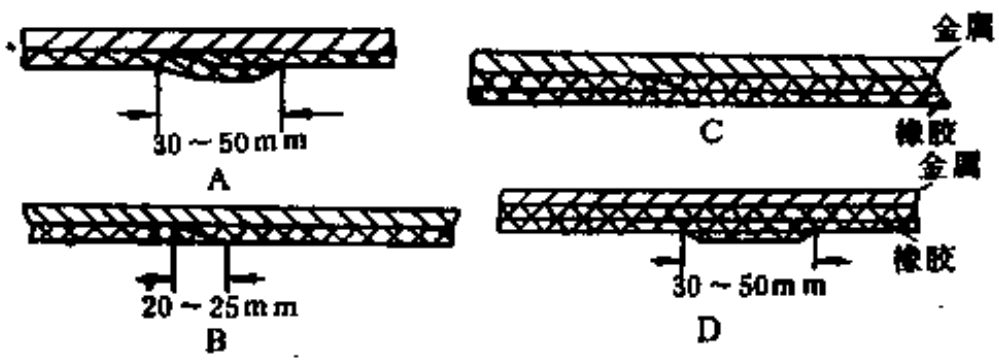


图 9-15　衬里胶板接缝形式

A—胶缝搭接；B—胶缝对接；C—双层胶交叉平接；D—双层胶交叉平接加封胶条

二、贴　　合

1．贴合方法

贴合方法一般有热胶贴合和冷胶熔铁加热贴合两种。

热胶贴合是将裁制好的胶板涂好胶浆后，放在预热台上加热至50～60℃（加热时间不宜太长），然后将胶板贴于金属上并用纱布球依次赶出空气。冷胶熔铁加热贴合是将裁制好的胶板涂浆，干燥后，贴于金属上，然后用80～100℃的熔铁，依次熔平，赶出空气。但贴合时要避免胶板被拉薄。贴合后用电火花检验衬胶质量。热胶贴合的优点是压印工作部位较窄；在压实衬里时，易将沟槽内空气驱净，工具轻、操作方便，衬层清洁美观，无需热源；

在易燃易爆车间均可施工，施工效率高。缺点是劳动强度高，在低凹不平或有沟槽部位用胶条堵塞后，不易将胶条压平。冷胶烙铁加热贴合的优点是空气易于驱除，用热烙铁，胶板受热析出硫，使烙铁易于移动，故劳动强度低；在低凹不平或有沟槽部位，用胶条堵塞后，胶条易压平。缺点是烙铁温度不易控制，有时高于150℃,而使胶层局部烫成有硬焦膜的痕迹，产生过硫；操作不便，易烫伤人；温度过高时可能引起火灾；烙铁易冷，不能连续操作；在大型衬胶设备中不易进出时，传递烙铁时间长，操作人员劳累。

从使用情况看，热胶贴合比冷胶热烫寿命长、效率高。

2．衬贴程序

衬贴程序依设备使用情况而定。立式设备应由下向上，先衬底、后衬四壁，卧式设备先衬上半部后衬后半部。连接设备、管口时，应使接缝顺着介质流动方向搭接，如图9-16所示。

3．贴合注意事项

贴合注意事项有以下几点。

① 衬贴胶板时，拉伸用力不可过大，以防胶板变形。粘贴过程中，金属和胶片表面的胶浆膜如被粘掉或擦伤，应重新补刷，干燥后再行粘贴。橡胶板贴合厚度在3mm时，其允许偏差为±0.3mm，其搭接边缝宽度应不小于10mm；厚度在4～6mm时，其允许偏差为±0.5mm；厚度在7～10mm时，其允许偏差为±1mm。

② 大型设备和重要设备应采用全搭接，也有在搭接缝上另加补强带的。

③ 由两层软质胶与一层硬质胶组成的三层衬里，其硬质胶接缝需用软质胶层隔开，如图9-17所示，以使硬质橡胶接缝处有伸缩余地，防止裂纹。

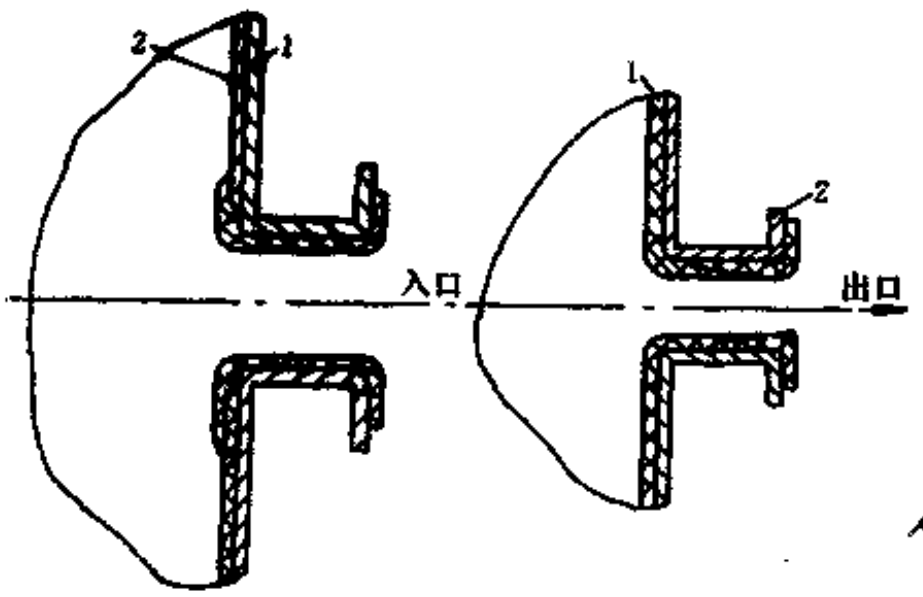


图 9-16　流体出入口部位的衬胶
1—金属；2—衬胶层



图 9-17　三层衬里胶搭接方式
1—金属；2、4—软胶；3—硬质胶

④ 第一层胶片衬完后，应进行仔细的检查，有否未封严的接缝及针孔等缺陷，如有需修整好后，方可贴第二层。衬第二层时，应在两层贴合面上分别刷两遍胶浆，并按前述方法贴到第一层衬胶上，第二层衬完后，同样进行检查。三、四层贴合同一、二层。

⑤ 硫化后需要进行加工切削的衬胶部件，其衬里胶板厚度应留出加工余量（根据图纸要求或具体情况而定）。

⑥ 各层橡胶衬贴后应用毛刷辊用力滚压，再用热烙法将接缝烙平，烙铁温度一般在80～100℃。

4．检验

用观察法检查贴合的外观质量，用电火花检验器检查衬胶质量有无漏电现象，如果漏电进行修补。

三、硫　　化

1．硫化前的准备工作

硫化前准备工作有如下几点。

① 应按种类、规格及结构的不同，分别进行硫化。

② 硫化前，半成品堆放时衬胶面不应互相粘着或放置不平，并应防止积水。

③ 内外衬胶部件应用搁架或专用设备平稳地安放在硫化平车上，以防止硫化过程中因胶料软化而受压变形。

④ 本体硫化设备（立式）应将回气管装在最低部分，尽量排除冷凝水。遇到个别平孔而又无排气管装置时，允许稍松螺栓自由排水。

⑤ 本体卧式硫化设备应该斜放，便于硫化时的冷凝水从最低部位排出。

2．硫化

硫化有硫化罐硫化和本体硫化两种。

（1）硫化罐硫化　将衬胶设备先在80℃温度下预热15min，检查无气泡后，再开始硫化。硫化方法有混气和直接蒸汽硫化两种。

a．混气硫化　是在恒压0.3MPa条件下进行的。操作步骤是先往罐内通0.3MPa压力的压缩空气，再逐步通入蒸汽置换冷气，并按下列硫化条件进行逐步升温硫化。

① 压缩空气升压由0至0.3MPa，升压时间50min。

② 硫化条件：

0～35℃×30min	100～120℃×30min
35～80℃×30min	120～140℃×30min
80～100℃×30min	140～145℃×180min

降温2～3h（从145℃下降到40℃时，压力保持0.3MPa，到40℃时全部减压）。

b．直接蒸汽硫化

直接蒸汽硫化可按下列条件进行：

蒸汽压力，MPa	时间，min	蒸汽压力，MPa	时间，min	蒸汽压力，MPa	时间，min
0～0.1	60	0.2～0.3	20	0.2～0.1	15
0.1	10	0.3	120	0.1	10
0.1～0.2	30	0.3～0.2	20	0.1～0	5
0.2	10	0.2	20	共　计	320

（2）本体硫化　本体硫化举例如下：

规格为φ3020mm×5000mm。本体由主体、封头两件、多孔板两件及人孔盖4件组成。

表 9-19　橡胶化工衬里的硫化条件

混气压力 MPa	实际温度 ℃	时　间 min	混气压力 MPa	实际温度 ℃	时　间 min
0→0.2	30～108	40	0.3	132→135	480
0.2→0.25	108～124	30			总计 640
0.25→0.28	124～130	90	保持原压力	135→30	—

室外温度为30℃，衬胶为硬质胶，厚度5mm。

硫化条件如表9-19所示。

第五节　衬里质量检验和缺陷修补

一、质 量 检 验

1．目测检验

观察衬里表面有无突起、气泡及接头不牢等缺陷。

2．敲击检验

用木制小锤敲击衬胶层，有无脱层现象。敲击时发出清脆悦耳的金属声音，证明没有脱层；如发出沙哑的声音，则证明该处有脱层存在。

3．用电火花检验器检验

电火花检验器的应用原理如图9-18所示。

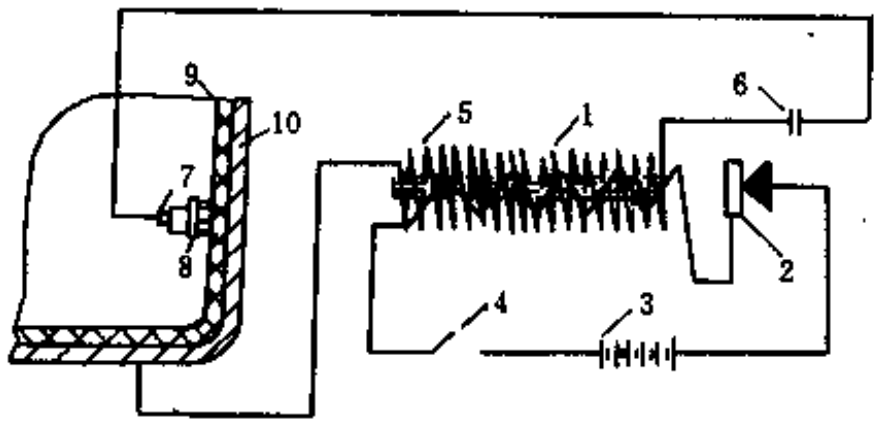


图 9-18　电磁检验器应用原理

1—一次线圈；2—断续器；3—电池组；4—开关；5—二次线圈；6—电容器；7—手柄；8—电刷；9—橡胶层；10—设备的外壳

仪器使用时，接通电路后，从电池组经断续器2进入一次线圈，造成磁场感应，二次线圈电压升高压15000～20000V，其电流送至设备10的外壳上，另经电容器6送至电刷8。当电刷沿橡胶衬里层表面移动时，在缺陷的地方就产生剧烈火花。放电以后，缺陷处如留下白色薄膜，则可判定衬里质量不好；如无火花产生，则说明衬里质量良好。

4．利用电解质溶液检验橡胶衬里的微孔质量

将橡胶衬里的设备注满3～5%硫酸溶液或20%食盐溶液，放置48h，然后将电流计接有导线接头的一端（正极）放在电解质溶液中，另一端（负极）放在设备外壳上，然后通入6或12V的电流。当设备的橡胶衬里有气泡、孔眼等缺陷存在时就会形成通路，则电流计的指针从0位上偏移；如通电后电流计指针不发生偏移，则证明橡胶衬里质量良好，电流计指针偏移允许公差范围的大小，可由设备面积而定，在10m²的面积上允许指针偏移 3～5mV。

5．其它

其它质量要求见衬里标准。

二、缺陷的修补

1．修补

衬胶层常见的缺陷有橡胶与金属脱层、橡胶与橡胶之间脱层、鼓泡、胶面龟裂、针孔、胶合缝不严等，这些缺陷如果超过质量标准所规定的容许范围，则必须予以修补。

修补衬胶层缺陷的方法可根据施工的原材料和设备等条件进行选择，常用的方法有以下5种：

① 用原衬里层同种牌号的胶板修补；

② 用低温硫化的软橡胶板修补；

③ 用环化橡胶熔灌；

④ 用聚异丁烯胶板修补；

⑤ 用酚醛胶泥粘贴硫化的软橡胶板修补。

用第①种方法修复时，先将鼓泡和脱层等部位的衬里层铲去，直到没有脱开处为止，然后将四周铲成坡口见图9-19，并将四周和金属表面清理干净，然后刷三次相应的胶浆，分别干燥。把修补用的胶板刷2～3次胶浆，粘贴在修补处，并用烙铁压贴严密。有些设备衬里为防止“过硫”，不允许再次硫化，热法即不适用。第②、③、④、⑤种方法，则不需加热硫化，故较为方便。除第③种方法外，其它四种方法主要用于修补鼓泡、脱层等面积较大的缺陷，面方法③只能用于修补龟裂、针孔和接缝不严等小面积缺陷。第①种方法的缺点是需在较高温度下硫化，但检修部位易于修复。第④种方法粘接强度较低。第⑤种方法的酚醛胶泥对金属面有一定的腐蚀性，易降低粘接强度，且酚醛胶泥弹性很差。



图 9-19 修理部位坡口图

1—金属；2—硬质胶；3—软质胶

用聚异丁烯修补时，可用氯丁橡胶胶浆或环化胶浆作胶粘剂。如用氯丁胶浆粘接时，只在底面涂刷而搭接边不涂，用热烙铁将聚异丁烯熔接烫牢；用环化胶浆时，搭接处全部涂刷，亦用热烙铁熔接烫牢。用环化橡胶修补针孔、龟裂缝和接缝脱开等缺陷时，应将开口处扩大打磨，用汽油擦洗两次，每次干燥10～15min，再刷以环化胶浆（浓度为1∶10～1∶12）并干燥10～15min，胶膜干燥后，把环化橡胶片熔化，使其填满修补位置并比原衬层略高一些，冷却凝固后，再用热烙铁烫平或砂纸打磨平整。

2．修补部位的硫化

允许再次硫化的设备，可以按硫化技术条件进行整体硫化，但其最高压力应比原硫化压力低0.05MPa（指原硫化压力0.3MPa而言）。利用软橡胶修补或不能再次硫化的设备，可用各种局部加热方法（用加热模具等）进行硫化。低温硫化橡胶亦可在修补处压上铁板，然后用蒸汽直接加热铁板以进行硫化。局部硫化时，必须经常进行检查判断硫化是否完全。对较小面积的修补可将软质胶硫化后，用酚醛胶泥粘贴于经过除锈清理的修复处。还有一种用熔融的原硬质胶修补衬里孔眼的方法，这种方法比前述几种简单、可靠，效果很好。修补时先将孔眼扩大到1～10.5cm，再将一块含硫量高的胶板涂上胶浆卷成圆棒，其直径大于20mm，长度大于200mm，将圆棒一端点燃，使其熔融，然后用小刀将融液刮入孔眼，使其高出衬层1.5～2mm，等凝固后再用锉刀锉平。这种方法适用于硫化中出现的、面积在25cm²以下的空气泡或其它缺陷。

第六节 常压硫化衬里

现代工业技术发展迅速，对衬里的性能和工艺技术也提出了新的要求。在化工、冶金及其它工业、交通部门乃至环境保护设施上，许多大型或异型的反应器、贮器以及防治环境污染的各种装置，从工作条件和耐腐蚀要求考虑，应采用橡胶衬里。但此类容器本身不能承受压力，被衬容器的本体硫化过程必须在常压下进行。对于体积庞大，不便运输的设备，衬胶施工更需要在设备安装场所就地进行。因此，现场施工的常压硫化橡胶衬里逐渐成为设备防腐蚀的重要手段。

常压硫化衬里技术在50年代已有资料报道。目前，各国有不少厂家专业承造不同性能要

求的此类衬里。国内对此已进行了一些试验工作，工业应用正在开发中并取得了良好效果。

一、胶层结构

在采用天然橡胶和天然橡胶与丁苯橡胶并用胶料的衬里时，通常按传统工艺方式，即根据腐蚀介质的性质及工作条件，选择不同的软质、硬质胶层的组合形式。最常用的为软质-硬质-软质三层组合方式。其底层以软质胶与金属母材接触，以缓冲振动、冲击、并可吸收橡胶-金属间因热膨胀系数明显差异而产生的应力，防止硬质胶层出现裂纹。对于强腐蚀介质，也可以再增加一层硬质胶层成为软质-硬质-软质-硬质的四层组合。因为硬质胶层的抗介质渗透性能远高于软质胶。应当注意的是各胶片搭接处应如图9-20所示，形成硬质胶片间的软胶隔离层才能切实起到软胶层的缓冲作用。

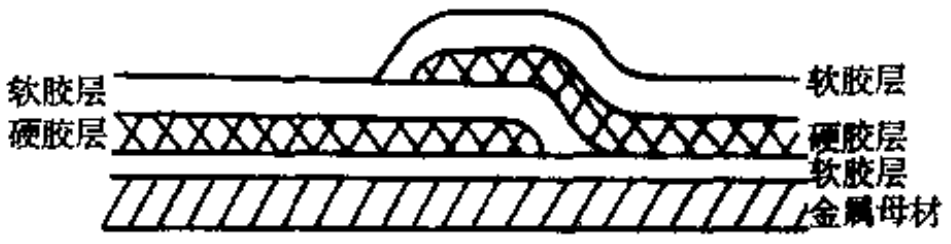


图 9-20　胶片搭接形式

衬里胶层的总厚度一般以6～10mm较为常用，即每一胶层厚度在 2～3mm之间。搭接处相应适当加厚。对强腐蚀性介质的衬里也可以增加厚度，但从实用效果考虑，过度加厚并不适宜。

对了基橡胶等不适宜制造硬质胶衬里的，可根据实际使用情况选择其厚度。

二、胶料配方

常压硫化衬里胶料的配方，除一般应考虑的因素外，需着重考虑硫化体系。为了使衬胶胶料在低于100℃的温度下迅速定型、硫化，必须采用超速硫化促进体系。

通用的软-硬-软型衬里胶料多采用全天然橡胶或与部分丁苯橡胶并用。此类胶料可以采用高配合量的超促进剂体系，如5～8重量份的二硫化四甲基秋兰姆与适量的硫黄，或再并用部分二苯胍。用一硫化四甲基秋兰姆取代二硫化物可以改善胶料的焦烧性能，有利于工艺操作及贮存、运输。采用相应数量的二硫代氨基甲酸盐类促进剂，如二乙基二硫代氨基甲酸锌效果也很好。由于硬质胶在硫化阶段开始后，放热反应比较激烈，配方设计时要考虑到胶料应具有良好的导热性。此外，各胶层硫化进程与硫化程度的协调，当然也是重要的。

此种类型的衬里具有广谱抗腐蚀性，抗渗透性强，经济性好，应用范围很广。对于有机械搅拌和磨损的条件也能适用。

丁基橡胶和卤化丁基橡胶也用于常压硫化的橡胶衬里，并能进行现场施工作业。丁基橡胶硫化速度相对慢些。为使其衬里胶料能在较低温度下充分硫化，宜选择不饱和度高的品级，并采用对醌二肟硫化体系。为增强硫化效果可加入金属氧化物或提高氧化锌用量。配用二亚硝基苯胺类活化剂也有良好效果。

丁基和氯化了基橡胶由于不饱和度极低，渗透性低，极性也小，制造的衬里能适用于无机酸、碱，对浓盐酸、中等浓度的硫酸和稀硝酸等条件，加少量聚乙烯还可以提高耐酸性能，尤其是耐浓磷酸。此外还可用于耐低脂肪族酸、酮、酯及二元醇类场合，但不适于耐脂肪烃类介质。

氯丁橡胶也适于低温硫化，但用于衬里时多采用自然硫化方式。所制衬里可耐稀酸、碱及其它无机化学品，对浓磷酸、硫酸、硝酸不适用。

常压硫化的橡胶衬里由于没有外加的硫化压力、硫化胶层的致密程度相对较差。为改善这一情况，可采用如下措施：

① 胶片压延采用约1mm的薄胶片复贴至所需厚度；

② 配方设计上采用适宜的定型、硫化速度；

③ 配方中加入适量橡胶用干燥剂，以吸收胶料中可能存在的水分。

根据实际情况，选用上述措施可以明显改善硫化胶层的致密性。

下面几个胶料配方举例供试验时参考。

1．通用软质胶料（重量份）

天然橡胶	50～100	硫　　黄	1～2.0
炭　　黑	50～90	丁苯橡胶	50～ 0
硬 脂 酸	1 ～ 2	无机填料	50
软 化 剂	3 ～ 5	氧 化 锌	5
秋兰姆促进剂	1.5～2.5	防 老 剂	2

2．硬质胶层胶料

硬质胶层胶料两个配方举例（重量份）如下：

	配方 1	配方 2
天然橡胶	100	50
丁苯橡胶	—	50
硫　　黄	40	35
氧 化 锌	5	5 ～10
硬 脂 酸	1	2
氧 化 镁	—	5 ～10
硬质炭黑	—	45
软质炭黑	3	0 ～45
陶　　土	50	45～ 0
黑 油 膏	10	—
操 作 油	3	3 ～ 5
促进剂TT	—	7
促进剂D	—	3
促进剂ZDC	7	—
防 老 剂	2	2

3．丁基橡胶低温硫化胶料

丁基橡胶低温硫化胶料举例（重量份）如下：

丁基橡胶365	100	槽法炭黑	30	对醌二肟	2
N-甲基-*N*-4-二亚硝基苯胺	0.5	重晶石粉	80	促进剂DM	4
氧　化　锌	10	矿质橡胶	2	硫化条件：95℃×8h	
硬　脂　酸	3	硫　　黄	1.5		

4．氯化丁基橡胶热水硫化胶料

氯化丁基橡胶热水硫化胶料配方举例（重量份）如下：

氯化丁基橡胶10-66	100	pentalyn×（松香酸酯增粘剂）	1.5
炭黑HAF	10	防老剂2246	1.0
低分子聚乙烯	10	硬脂酸	2.0
重晶石粉	80	二苯基硫脲	1.5
滑石粉	25	氧化锌	10.0
Amberol ST 137×（增粘剂）	3.5	二乙基硫脲	3.0

硫化条件：80℃×16h

5．溴化丁基橡胶衬里胶料

溴化丁基橡胶衬里胶料配方举例（重量份）如下：

溴化丁基橡胶2030	100	石蜡油	10	促进剂576	2
通用炉黑	40	凡士林	8	亚乙基硫脲	2
氧化钡	75	铅　丹	10	硫　　黄	10

三、胶 粘 剂

粘接也是常压硫化橡胶衬里的一个重要因素，胶层间特别是保证胶层与金属或其它母材粘接牢固是保证使用性能的首要条件。对于普通钢质母材，下述橡胶粘接配方可供参考。

1．底涂层胶料（重量份）

天然橡胶	100	氧化锌	140	促进剂TT	1.5
无机填料	20～40	硫 黄	20	促进剂M	1

制备胶浆时可将促进剂单独溶解，使成二液型，以利贮存。

2．粘接层胶料（重量份）

天然橡胶	100	硫黄	2	促进剂TT	0.5
氧化锌	10	硬质炭黑	30		
促进剂D	1	促进剂DM	1		

上述配方胶料作为通用胶粘剂用于常压硫化橡胶衬里可以有一定的效果，加入树脂类增粘剂可以改善粘接性能。

四、硫 化 方 式

常压硫化橡胶衬里多采用本体硫化工艺，其硫化热介质可有多种，饱和蒸汽硫化；热水硫化、热空气硫化、其它热载体硫化。

1．饱和蒸汽硫化

常压下以饱和蒸汽进行硫化是经常采用的方法。将饱和蒸汽经分布器直接导入被衬器体内使所衬胶层加热硫化。被衬容器需留有蒸汽逸出口，以防止器内升压。蒸汽冷凝水需及时排出，器体外部需有适当的保温措施。此种方式升温速度快，受热均匀，硫化效果好。硫化时间相对较短。然而耗用蒸汽量大。

2．热水硫化

热水硫化是将被衬容器充入约五分之三容积的水，再直接通入饱和蒸汽进行硫化。为使衬胶部分能全部浸没水中均匀受热，常需在器体上部增加1 m 左右的辅助高度，硫化完成后再行撤去。此法的热能利用率高，然而，硫化后形成的大量含硫化氢热水，需经无害化处理后排放，以免污染环境。

3．热空气硫化

热空气硫化是将空气通过热交换器加热后，导入被衬容器内对胶层加热。此法可提高硫化温度，但由于空气的热交换系数很低〔约为11.63W/(m²·℃)〕，为 完成硫化所需的气体交换量相当大。此外，质量均匀性亦不及前述二者。

4．其它热载体硫化

其它热载体硫化系指用常压下沸点高于100℃的液体在专门装置中形成高温气态热载体。所用液体必须是热稳定的、相对无毒、不燃，且成本较低。可采用的物质以多元醇类比较方便，如乙二醇、丙二醇成丙三醇。也可以使用不同多元醇或多元醇与水的混合物。调节不同配比所得蒸汽温度可达120～180℃。此类介质不仅可以提高硫化温度，而且其蒸汽的热交换系数相当高〔如1163W/(m²·℃) 级〕，因此，硫化过程中所需加热和流通的介质量相对较少，从而成本可以降低。据资料介绍，此法所得的硫化衬里胶层，其物理性能和化学性能可以与硫化罐中的硫化物相当。由于制气需专门设备及专门材料，不及饱和蒸汽应用方便，所以推广应用也受到一定限制。

附表　橡胶与各种介质接触时的耐化学腐蚀性能

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
氢氧化钠	25	75	好	好	50%	30% 25℃	好	好	好	好	好	好
	25	150	好	好	38℃好	好	好					
	50		好38℃	好92℃		70℃好	25℃好	30℃好	70℃好	好	好	好
氢氧化钾	25	150	好	好		35℃好	好			好		
	50	54				好		好	浓的 25℃好	好		
氢氧化钙		65	好	好	好	好	好	好		好	好	
	饱和	150	好	好			好			好		
氢氧化镁		65	好	好	好	好	好	好		好		
氢氧化钡		65	好	好	好	好	好	好		好	好	
氢氧化铵						36℃可	40℃好	好		好	好	好
氨　水	28	75	好	好	37% 71℃好	36℃好	好	25% 30℃好				
	28	150				100% 36℃好	可	100% 36℃好				
氨	30	25	好	好	好	好	好	好				
氨(液)		25	好	好			好			好	好	
		65	可	好	好	差	好					
氨(气)		25	好	好	好	好	好			好	好	
		75	可	好	可	差	可					
过氧化氢	3	25	33%好	好	10%好	好	好	好	38%好	好	好	
氢		65	好	好	好	好	好			好		
氧		25	可	好	可	好	可			好	好	
		100	差	差	差	可	差					
过氧化钠		25	好	好	好	好	好					
		65	好	好	好	好	可			好		
臭　氧		25	差	可	差	好	差	100% 好		好		
空　气		50	好	好	好	好	好			好	好	
氯(干)		25	差	可	可	可	好	差		差	差	
		75	差	差		100% 40℃可	可	100% 40℃可				
		150	差	差		差	差					
氯（湿）		25	差	可	可	好	好	差		可		
		75	差	差		100% 43℃可	好	100% 43℃差				
		150	差	差		差	可					
二氧化碳(干)		65	好	好	好	好	好	好		好	好	
(湿)		65	好	好	好	好	好			好	好	
碘		65		可	可		差					
溴		25	差	差	差	差	差	差		差	可	
发生炉煤气		25	差	好	好		可				好	
化铁炉煤气		25	好	好	好	可	可					
天然气		25	可	好	好	差	可		好	差	好	
硫　黄		25	可	好	好	好	可					
海　水		65		好	好		好					
蒸　汽		100	好	好	好	好	可					
		200	差	差		差	差					
水　银		25	好	好	好	好	好			好		

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
氟	100	27	差		差	差		差				
氢氟酸	40	75	好	差	可		好	48%	微量	好	好	
	40	150	好	差			可	70℃好	100℃好			
氢溴酸			可	可	可	好	好	好	好	好	好	
	<65	25	可	好	可	好	好			可		
	<65	60	差	差	差	可	可					
氟酸	>60	25	可	可	差	可	可					
	>60	65	差	差	差	可	可					
	40	75	好	差			好					
溴酸	40	150	可	差			可					
盐酸	10	25	好	好	好	好	好	8% 52℃好				好
	10	70	好	好	好	好	好					
	37	25	好	好	好	好	好	好	50℃好	可		可
	37	75	好	差	可	好	可	好	可	可	好	
	37	150	好	差			可					
硫酸	10	65	好	好	好	好	好	好				好
	30	25	好	好	好	好	好	好				可
	30	65			可	好	可	25% 99℃好				可
	50	25	好	好	好	好	好	好				可
	50	75				好	好	可	可			差
	50	150	好	可			好					
	70	75	好	差		75%可	可	75%好				差
	70	150	差	差		差	差					
	93	75～150	差	差	差	差	差					
	98	25					可	可	好			
发烟硫酸		25	差	差	差	差	差					
混合酸（HNO_3 38% H_2SO_4 57%）		75	差	差								
		150	差	差								
王水		25	差		差	可	差			可		
硝酸	5	75	差	可			可					差
	5	150	差	差			差					差
硝酸	10	25	可	可	可	好	差	可	好	好	好	
	20	75	差	差			差		可			
	20	150	差	差			差					
	30	25	差	差	差	好50℃	35% 20℃差		70℃差			
	40	75	差	差		90℃差	差	32% 50℃好				
	40	150	差	差				40% 90℃差				
	50	25	差	可	差	好	差	可	好	可	差	
	50	75		差	差	可	差		可			
磷酸	85	75	好	好 93℃可		25%～50%	好	25%～50%	93℃好	好	好	可
	85	150	好	可		71℃好	好	71℃好				
	<45	25	好	好	好	好	好	好				

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
	>45	25	好					好				
	>45	65	差	可	差	好	好	好				
硼酸	10	150	好	好			好			好		
	10	75	好	好						好		
		65	好	好	好	好	好			好		
铬酸		25	差	差	差	10%19℃好	差	10%19℃差		差	好	
	50	75	差	差			差	差	50%93℃好			
砷酸		65		好	好	80%100℃好	好	80%100℃好		好		
氯酸		65					可					
次氯酸		25					好			好		
	10	75	好	差			好			好		
	10	150	可	差			可			好		
过氯酸	10	50		好	好		好					
	40	75	可	好			好					
	40	150	可	差			好					
高氯酸	10	65	100%43℃差				好					
硅氟酸	40	75	好	好	50%25℃好	32%60℃好	好	32%50℃好		好	好	
	40	150	好	好			好					
氟化硅酸		65		10%38℃好	可	32%60℃好	好					
硫化氢（干）		65	好	好	可	好	好			好		
（湿）		25	可	好	可	好	可					
（湿）		65	差	差	差	好	可					
二硫化碳		25	差	差	可	差	差	差		差	可	
亚硫酸（饱和）		50				好	好					
SO_3无水硫酸			可	差		好	差	差				
二氧化硫		25	可	好	可	好	好	好				
氟硼酸		65					好			好		
亚硫酸		25	好	好	好	好	好	任意浓度79℃好				
氯化钠		25	好	好	好	25%99℃好	好	25%99℃好		好		好
氯化钾		65	好	好	好	好	好			好		
		90				33%99℃好		33%99℃好				
氯化钙		65	75%好	好	好	75%93℃好	好	75%99℃好		好		
氯化镁		65	好	好	好	好	好	好		好		
氯化汞			好	好	好	好	好			好		
氯化钡		65	好	好	好	好	好					
		150	好	好		好	好					
氯化铝		80	好	好	好	好	好	好		好		
氯化锌		65	75%好	好	75%好	75%99℃好	好	75%99℃好		好		好
	10	150	好	可			好					

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
氯化锡		65	好	好	好	好			好	好	好	
	100	150	好	可			可			好		
	100	75		好			好			好		
氯化亚锡		65		好			好		93℃好	好	好	
氯化铁		65	好	好	可	好	好		93℃好	好	好	
		75	好	可		好	好	好		好		
		150	好	差			好			好		
氯化亚铜		90					好					
氯化铜		65	好	好	好	好	好	好		好		
		150	好	好			好			好		
氯化镍		150	好	好	好	50% 52℃好	好	50% 52℃好		好		
氯化汞		150	好	好	好	好				好		
三氯化锑	59	63	好		75% 24℃好					好		
氯化铵		65	好	好	可	75% 30℃好	好	75% 80℃好		好	好	
		150	好	好			好			好		
氯化硫		25	差	好	可	差	可					
氯化溶剂		25	差	差		差	差					
二氧化氯		25		差			差					
氯酸盐水		65					好					
氯酸钾		65					好			好		
氯酸钠	50	80				好		好		好		
次氯酸钾		50					好					
次氯酸钠		25	好	好	好	好	好		98℃好	好		
		70		好			好			好		
次氯酸钙		25	好	好	好	好	好	好		好		
	25	25		差			50℃好	55℃好				
漂白液		65		好	可		好					
过氯酸	10	50										
硝酸钾		55			好		好			好		
硝酸钠	50	65	好	好	好	好	好	98℃好		好		
硝酸钙		65			好					好		
硝酸镁		65		任意浓度43℃好			好			好		
硝酸铝		65		可	可		好			好		
硝酸铅		65		可			好					
硝酸锌		75	好	好			好					
		150	好	可			好					
硝酸铁		65		好	可		好			好		
		75	好	可			好			好		
			180℃好	150℃差			150℃好					
硝酸铜		75	好	好			好					
		150	可	好			好					
硝酸银		65		好	好		好					
硝酸铵		65					好			好		
硝酸铵		75	好	好	好	好	好					

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
		150	好	好			好					
	60	70				好						
芒硝		65		可	可		好					
硫酸钠		65	好	好	好	好	好	好		好		
硫酸钾		65	好	好	好	好	好	好		好		
硫酸钙		65	好	好	好		好			好		
硫酸镁		65	好	好		好	好	好		好		
硫酸钡		65	好	好	好	好	好					
		150	好	好		好	好					
硫酸锰		65		好	好		好					
硫酸铝		65	好	好	好	好	好	好		好		
硫酸锌		65	好	好	好	50% 95℃好	90℃好	50% 99℃好		好		
	100	150	好	好		好	好			好		
硫酸铁		65	好	好	可	75% 73℃好	好	75% 73℃好		好		
硫酸铅		65	好	好	好							
硫酸亚铁		65	好	好	好	好	好			好		
		75	好	可			好			好		
		150	好	差			好			好		
硫酸铜		65	好	99℃任意浓度好	好	好	好			好		好
硫酸镍		25	好	好	好	75% 99℃好	好	75% 99℃好		好		
		150	好	好	好	好	好			好		
硫代硫酸钠		25	好	好	好	好	好			好		
五水合硫代硫酸钠		65		可	可		好					
硫代硫酸钾		65					好					
硫酸铵		65	好	好	好	37% 80℃好		37% 80℃好		好		
		150	好	好			好			好		
明矾		65	好	好	好	好	好			好		
过硫酸铵		25		好	好		好			好		
亚硫酸氢钠			8% 52℃好		8% 52℃好	33% 71℃好				好		
亚硫酸盐废液		65					好					
亚硫酸氢钙	25	65					好			好		
亚硫酸铁铵		65					好					
硫化钠		150	好	好	好	好	好	50% 71℃好		好		
硫化钾		90					好					
硫化钙		25			好							
亚硫酸钠		25	好	好	好	37% 71℃好	好	37% 71℃好		好		
		80						好				
碳酸钠		65	好	好		25% 88℃好	好			好		
碳酸钠		150	好				好			好		
碳酸钾		65					好	好		好		
碳酸钙		65		好	可		好			好		

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
碳酸铵		65		好	差		好			好		
碳酸氢铵	25	93				好		好		好		
磷酸钠		65	好	好	好	好	好	好				
磷酸钠	10	150	好	好			好					
磷酸铵		65	好	好	好	好	好			好		
偏磷酸钠		25	好	好	好	好	好					
硼砂（四硼酸钠）		65	好	好	好	好	好			好		
硼酸钠		65			好							
过硼酸钠		25	好	好	好	好	好					
硼酸钾		90					好					
高硼酸钠		65					好					
chlorux （氯化钠与偏硼酸钠）		25					好					
溴化铝		65		可	可		好					
硅酸钠		25	好	好	好	好	好			好		
重铬酸钠		25	好	好	好	好	好		好	好		
重铬酸钾		25		好				好		好		
镀铬液		25	差			差	差		70℃好			
电解液		65					好					
氟化铝		65	好	好	好	好	好			好		
丙　烷		25	差	好	好	差	差			好		
氯乙烷		25	好	好	好	好	好			好	可	差
二氯乙烷					差					差		
硝基甲烷		25	好	好	差	好	好			好		
硝基乙烷			可	差	差	好	好			好		
硝基丙烷		25	好	好	差	好	好			好		
氯代甲烷		25	差	差		好	差					
二氯丙烷		25	差		可	差	差					
二氯甲烷		26	差	差		差				差		差
环氧氯丙烷		70										
丁　烷		25	差	好	好	差	差			可	好	好
己　烷		25	差	好	好	差	差			差		
环己烷		25	差	差	好	差	差			差		
氯化硝基乙烷		25	差	差	差	差	差			差		
庚　烷		25		好	好			差		可		
正辛烷		25		差								
异辛烷		25	可	好	好	差	差					
癸　烷		25		差								
异癸烷		25		好	可		差					
二噁烷		25	差	差	差	差	差			好		
汽　油		25	差	好	好	差	差	差		差		好
汽　油		75	差	好			差					
汽　油		150	差	可								
原　油		75	差	好								好
原　油		150	差	可								
煤　油		25	差	可	好	差	差	差	差	差	好	好
动力油		25	差	可	好		差					
润滑油		25	差	可	好	差	差			差	好	
润滑油		70	差	可	好	差	差			差	好	

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
重油		100		可	好							
轻操作油		25	可	好	好	可	可					
ASTM 1 号油		70	差	好	好	差	差					
煤焦油		65	差	好	好	好	差		可	差		
矿油			差	可	好	可	差	差	好	差	好	好
石脑油			差	可	好	差	差		可	差	可	
氯仿		25	差	差	差	差	差	差		差		差
四氯化碳		25	差	差	差	差	差	差	差	差	可	可
沥青		25	差	可	好	好	差			差		
汽油（粗挥发油）		25	差	差	好	差	差	差	差			
氯化乙烯		25	差		可	差	差					
二氯化乙烯		25		差	可		差		差	差		
三氯化乙烯		25	差	差	差	差	差	差	差	差	差	差
过氯乙烯			差	差	差	差	差		差	差	可	
丁烯-1		25		好	好							
丁二烯		25		可	可		差					
醋酸镍		65		好	好		好					
萘二烯		25	差	差	好	差	差					
2-乙基-丁烯-1		25		好	好							
己烯		35		可	好							
乙炔		25	好	好	好	好	好			好		
单乙烯基乙炔		25										
甲醇		25	好	好	好	好	好	好	好	好	好	好
甲醇		65					好	好				
乙醇		150	好	好	好	好	好	96% 60℃好		好	好	
乙二醇		75	好	好	好	好	90℃好	好	好	好		好
丙醇		65		好	好		好					
异丙醇		25	好	可	好	好	好			好		好
甘油		65	好	好	好	100% 71℃好	好	100% 71℃好		好	好	好
二甘醇		25	好		好	好	好			好		
丁醇		25	好	好	差	好	好			好	可	好
异丁醇		25	可	好	可	好	好			好		
戊醇		65	好	好	好	好	好	差		好	好	
戊醇	100	71				好		好				
乙基硫醇		25	差	差	差	差	差			差	差	
丁硫醇		65	差	差	差	差	差			差		
苄醇		65	好	可	好	好	差			好		
双丙酮醇		65		好	可		可					好
啤酒		25	好	好	好	好	好			好	好	
（对）叔丁基邻苯		25	差		差	差	差					
甲醛	37	75	好	好			好	65℃好		好	好	
甲醛		25	好	好	好	好	好		37%好	好		
乙醛		25	差	可	差	好	可			好		
丁醛		25		差			差			可		
甲醛肟		25	好	好	好	好	好					
丙酮		25	好	可	25% RT差	好	好	100% 25℃好	可	好	好	可

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
丙酮	100	75	差	差		可	好	100% 56℃差				
	100	150	差	差			可					
氯化丙酮		25		可	可		好					
甲乙酮		25	差	差	差	可	差	差	可	可	可	可
环己酮			差	差	差	可	差			可		
异丙叉丙酮			差		差	可	差			可		
二异丙基酮		25	差	差	差	好	差			可		
甲基异丁酮		25	差	可	差	可	差		可	可	好	可
二噁茂酮		25	差	差	差	可	可					
甲醚		25	好		好	好	好					
乙醚		25	差	差	好	可	差			差		
二乙醚		25	差	可	好	差	差		可	差	可	
异丙醚		25	差	可	好	差	差					
二丁基醚		25		差	可		差					
二苄基醚		26	差	差	差	好	可					差
苯乙基醚		25	差	差	差	差	差			差		
硝基醚		25	可		差	好	好					
乙胺		65	好	好	好	好	可					
二乙胺		25	好	好	好	好	好			好		
二环己胺		25	可	差	好	差	差					
二氯化胺		25		好	好		好					
三乙醇胺		25	好	好	好	好	好	好		好		
果糖		65	好	好	好	好	好					
沙糖水		65		好	好	好	好			好	好	
葡萄糖		90					好			好		
丙烯腈		25	差	好	差	可	好			可		
氟里昂12		25	可	好	好	差	好		好	可		好
氟里昂21		25	差	可	差	差	差			差		差
氟里昂22		25								差		可
氟里昂13		25										好
苯		25	差	差	差	差	差	差		差	差	差
苯		75	差	差	差	差	差					
甲苯		25	差	差	差	差	差	差	差	差	差	可
乙苯		23	差	差	差	差	差			差		
氯化苯		70	差	差	差	差	差			差		差
二氯苯		25	差		可	差	差			差		
氯化甲苯		25	差	差	差	差	差			好		
二甲苯		26	差	差	差	差	差		差	差	差	可
苯乙烯		25	差	差	差	差	差			差		
溴化苯		25	差		差	差	差			差		
硝基苯		25	差	差	差	好	差		差	好	可	
氯化苯		65	差		差	70℃差 差	差			差		
乙基五氯代苯		25	差	差	可	差	差			差		
（对）异丙基甲苯		25	差	差	差	差	差					
Dowtherm E		25	差	差	差	差	差					
（热处理后的邻二氯苯）		150	差	差	差	差	差					
Berdol B(高级芳香烃煤焦油)		25	差	可	差	差	差					

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
联　苯		25	差		差	差	差			差		
氧化联苯		25	差		差							
苯　胺		25/150	可	差/差	差/差	100% 66℃好 /差	好		可	好	可	
二甲基苯胺		25	差	差	差	差	差			差		
盐酸苯胺							好					
Dowtherm A(联苯与氧化联苯混合物)		70	差	差	差	可	差					
苯　酚		25	差	好	差	好	好			好	好	
		150		差	差	好	可					
	50	50					好					
甲　酚		50	差	可	可	差	差			差		
苯　肼		25	可		差	可	好			可		
苦味酸（2,4,6-三硝基苯酚）		25	可	好	可	可	好			可		
	10	75	好	可			可			可		
	10	150	好	差			差			可		
	20水液	25	可	可	好	好	可					
叔丁基邻苯二酚		25	好	好	差	好	好			好		
焦棓酚		65					好					
苯　醛		25		差	差		差					
萘		25'	差	差	差	差	差					
苄基氯				差	差		差					
戊　萘		25	好	好	差	好	好			差		
邻-氯萘		25	差	差	差	差	差			差		
戊氯萘		25	差	差	可	差	差			差		
1,2,3,4-四氢化萘		25	差	差	可	差	差					
十氢化萘		25		差								
哌　啶		25	差	差	好	差	差					
溴　烯		25	差	差	好	差	差					
吡　啶		25	差	差	差	好	差					
显影液		65		好	可		好					
氯（杂）茂		25	可	差	差	可	好					
噻　吩		25	差	差	差	好	差					
呋　喃		25	差	差	差	可	差					
糠　醛		25	可	可	差	好	可					
甲酸液	40	25	好	好	好	好	好					
甲　酸	90	75	差	好		好	可	25%～75%		好		
甲　酸	90	150	差	可			差	60℃好		好		
甲　酸		50	差	好	好	25%～75% 60℃好	可					
醋酸（蒸汽）		25	好	好	好	好	好					
乙　酸	10	75	可	可			好			好	好	好
	10	150	好	差			差					
	25	25		好	好	50% 43℃好	好	50% 43℃好		好	好	可
乙酸（无水）		25	好	好	差	好	好			好	好	
冰乙酸		25	可	差	差	好	可		可	可	好	可

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
		75	差	差			差					
甲基丙烯酸		25	差	差	差	好	差					
氯乙酸		75	差	可			好			RT好		
		150	差	差			差					
丁酸		27		可						差		
苯甲酸		90					好			好		
		38	好		好							
十六烷酸		65					可					
五焙子酸		65					好					
环烷酸	100	24	差		可							
柠檬酸		25		好				好		好	好	好
		65	好	好	好	好	好	好				
	40	43			好			好				
油酸		65	可	差	好	好	差	差		可		
油酸	100	75	好	可		好	差	52℃差				
油酸		150	好	差			差					
油酸		40	可	可	可	好	可		好	好	好	
果汁		25		可	可							
水杨酸		60		可	可		好					
草酸		65	可	可	可	好	好	好	好	好	好	
草酸	100	150	好	好	RT好		好			好		
脂肪酸		65	可	好	好	好	可	差		好	好	
		75	好	可			可					
		150	好	差			差					
酒石酸		65	好	好	好	25～50%好	好	25～50%好	好	好	好	
硬脂酸		25	差	差	差	100% 71℃好	差	100% 71℃差	可	可		
氰酸		65	差	好	可		好					
丹宁酸		65	可	好	好	好				好		
乳酸		25	好	好	好	好	好			好		好
	25	150	好	好		25～75%	好	25～75%				
乳酸	45	60				46℃好	好	46℃好				
棕榈酸		25	好	好	好	好	差		好	好	好	
己酸酐		25	差	好	差	好	差					
没食子酸		65		好	好		好					
苹果酸		65		可	可		好					
马来酸		25					好			好		
焦木酸		25	可		差	好	好					
安息香酸（饱和）		75	好	好			好					
		150	好	好			好					
酪酸	100	75	差	可			差					
	100	150	差	差			差					
顺丁二烯酸	25	75	好	好			好					
	25	150	好	可			好					
反式丁二烯酸		65										
萘酸		25	差	差	好							
乙酸钾		65			好							

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
乙酸纤维素		25	好	差	差	好	好			好		
乙酸铅		65		好		可	好					
乙酸钙		65		好	好		好					
乙酸铵		25		好	好		好					
乙酸乙酯		25	可	差	差	好	差	差		可	可	可
		75	差	差			差					
乙酸丁酯		25	差	差	差	好	差	差		可	可	可
乙酸戊酯		25	差	差	差	差	差			可		
乙酰乙酸乙酯		25	好		差	好	好			好		
醋酸异丙酯		25	差	差	差	好	可					
氯化乙酸		25	可	好	可		差					
草酸乙酯		25	好	可	差	好	好					
硅酸乙酯		25	好	好	差	好	好			好		
蚁酸甲酯		50	可		差	可	可			可		
乙酰胺		25	可		好	可	可					
乙酰苯		25	差	差	差	好	可					
乙基纤维素		25	好	好	好	好	好					
丁基纤维素		25	好	好	好	好	好			可	可	
乙基乙酰硅酸酯		25	差	差	差	好	好					
醋酸异戊醇酯		20		差		100% 43℃可		100% 45℃差				
醋酸异戊醇酯	100	43				可						
水杨酸甲酯		25			差							
硬脂酸丁酯		25	差	差	好	差	差			差		
甲基丙烯酸甲酯			差	差	差	可	差			可		
乙基溶纤剂			可	差	差	好	可			好		好
丁基溶纤剂			好		好	好	好			好		
硼酸戊酯		65	差	好	好	差	差			差		
苯酸苄酯		25	差	差	差	好	可					
苯磺酸	10	150	差	好			好					
氰酸钾		65	好	好	好	好	好		好	好	好	
氰酸钠		65	好	好	好	好	好					
氰酸铜		65		好	好		好					
甲基纤维素		25		好	好		差					
癸二酸二乙酯		25		差	差		差			可		
磷酸三甲苯酯		25	好	差	差	好	好			差		
邻苯二甲酸二丁酯		25	差	差	差	好	差			可		可
邻苯二甲酸二辛酯		25	差	差	好	可	差			可		好
甘油三醋酸酯		25	好	好	好	好	好			好		
磷酸三丁酯			可	可	差	可	可			差		好
磷酸三丁基乙酯					差					可		
三氯亚磷酸酯		25			差							
三苯基亚磷酸酯		26			差							
三丁基亚磷酸酯		25	可	差	差	好	差					
三丁氧基亚磷酸乙酯		25	好	好	差	好	好					
动物油		25			好		差			好		
动物脂		65		可			差					
动物胶		66	好	好	好	好	好			好		

续表

介质	介质浓度%	温度℃	丁苯橡胶	氯丁橡胶	丁腈橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	聚异丁烯橡胶	氯磺化聚乙烯橡胶	乙丙橡胶	氯化聚乙烯	聚硫橡胶
黄油		38		好	好		差					
牛（奶）油		25	好	好	好	好	好					
猪油		25		好	好		差					
油漆		25	差	差	差	差	差			差		
牛乳			可	可	好	好	可		好	好	好	
鳕鱼肝油		25		好	好		差					
大豆油		25	差	可	好	好	差		好	好	好	好
玉米油		25	差	好	好	好	差	好		好	好	好
中国桐油		25		好	好		差			差		
植物油		25	差	好	好	好	差					
蓖麻油		25	好	好	好	好	差	差		好	好	好
椰子油		65					好					
棉子油		65	差	好	好	好	差		可	好	好	好
菜子油			差	好	好	好	差		好	好	好	
松节油		25	差	可	好	差	差		差	差	好	好
亚麻仁油		25	差	好	好	好	差	差		好	好	好
分散油		25	差	差	差	可	差					
橄榄油		65		好	好		差	好		好		
芥子油		25					好					
杂酚油		65	差	好	好	好	差			差		
苯胺盐酸酯		25					好					
皂水		65	好	好	好	好	好					
石油基液压油			差	好	好	差	差	差	好	差	好	
烷基磷酸酯液压油			差	差	差	好	差	好	差	好	好	
芳基磷酸酯液压油			差	差	差	好	差	好	差	好	可	
混合磷酸酯液压油			差	差	差	好	差	好	差	好	差	
硅酸酯液压油			差	差	差	好	差	好	可	好	可	
醋			好	可	好	好	好		好	好	好	
果酒			好	好	好	好	好		好	好	好	

第十章　橡胶电绝缘制品

第一节　橡胶的电学性能

研究橡胶的电学性能具有很大的实际意义，一方面通过橡胶电学性能的研究可以为工业技术部门选用材料提供数据，为合成或制造具有预想电学性能的橡胶分子结构提供理论依据；另一方面橡胶的介电性质往往非常灵敏地反映其内部结构和精细运动之间的关系，因而对橡胶介电性质的测量，可以用来研究橡胶的结构及其变化，特别是由于它能在相当宽广的频率范围内进行观察，因此这里所得到的结果有时比力学性能的结果更可靠、更深入。所以橡胶介电性能的研究已成了这门学科研究分子运动最重要的手段之一。

一、橡胶的极性

分子中原子间的强烈相互吸引作用称为化学键。橡胶的分子主要由共价键构成，这种键的本质是成键电子对的电子云在成键方向上重叠的结果，由于共价键的电子云分布可以恰好在两个成键原子的中间，也可以偏向电负性较大的原子一边，前者构成非极性键，后者构成极性键。分子极性的强弱或键的极性强弱常用一个物理量——偶极矩μ来表示、它相当于两个电荷中心之间的距离d和电荷q的乘积（式10-1）。偶极矩是一个矢量，它的方向规定从正到负。

$$\mu = q \cdot d \tag{10-1}$$

正负电荷中心之间的距离d是和原子或分子直径大小同一数量级，即10^{-8}cm，电荷的大小q是以10^{-10}静电单位●为数量级的（电子的电荷为4.80×10^{-10}静电单位），所以偶极矩大小的数量级为10^{-18}cm静电单位；习惯上就把此作为偶极矩的单位，称之为Debye，用D表示。

$$1D = 10^{-18}\text{cm}\cdot\text{静电单位}$$

目前许多分子的偶极矩已被测定，并总结出了一条规律，分子中每一个化学键有一个偶极矩，分子的偶极矩等于分子中所有键矩的矢量和，称为偶极矩的矢量加和规律。非极性分子的偶极矩为零，极性分子则依其组成和结构而各有一定大小的偶极矩。在表10-1中列出了一些共价键的键矩和分子的偶极矩，可以借以判断出极性的大小。

在橡胶中，硅橡胶、硫化聚乙烯橡胶、丁基橡胶、二元乙丙橡胶，顺丁橡胶及天然橡胶等属于非极性橡胶，而氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、氟橡胶、聚氨酯橡胶和丁腈橡胶等均属极性橡胶。

二、橡胶分子在电场中的极化

将橡胶置于两块电极的极板之间时，由于分子受到外电场的作用，其分子的电荷分布将发生相应的变化，从而产生一个附加的偶极矩。对于橡胶中的极性分子来说除了发生上述的变化外，还会发生使不规则排列的分子沿电场方向排列取向，结果使橡胶呈现极性，这就称

● 新发布的电量法定计量单位用库仑（C）表示，1静电单位电量（esC）≈3.33564×10^{-10}C。

表 10-1 某些常用键矩和分子的偶极矩

键	键矩 (D)	键	键矩 (D)	分子式	偶极矩 (D)
C—C	0	C—F	1.83	C_nH_{2n+2}	0
C=C	0	C—Cl	2.05	CH_3Cl	1.86
C≡C	0	C—Br	2.04	C_2H_5OH	1.70
C—H	0.4	C—T	1.80	CH_3COOH	1.73
C—O	1.12	C—N	0.61	$(CH_3)_2O$	1.30
C=O	2.70	N—H	1.66	$(CH_3)_2CO$	2.80
O—H	1.58	C≡N	3.50	C_6H_6	0

为极化，根据极化机理，通常有电子极化、原子极化和取向极化。除此之外，近年来随着复合，共混材料的发展，不同的亚微观相表面极化问题也越来越突出。下面将分别作介绍。

1．电子极化的特征

① 分子中原子最外层电子在外电场作用下向正极方向偏移，引起电子云对分子骨架相对移动，使分子内正负电荷中心不重合。

② 这种变形是在基本上维持原有化学键的基础上微小的变化，因而能量消耗几乎可以忽略不计，属于普弹形变。

③ 极化过程所需的时间极短，约为10^{-15}～10^{-13}s，且在外电场消除时，很快恢复原状。即使在可见光频率下，仍能随之交变地建立极化，因此电子极化又称快速弹性极化，由此产生的偶极矩称为诱导偶极矩。

④ 诱导偶极矩μ_e大小与电场强度E有关，即：

$$\mu_e = E\alpha_e \tag{10-2}$$

式中 α_e——电子极化率。

由于这种极化是同电子运动有关，因此热温对μ_e的影响很小。

2．原子极化的特征

① 原子极化同电子极化不同，前者是以原子作为移动单位。即整个分子中某些分子骨架在电场作用下发生形变。如分子内荷电原子Na^+、Cl^-在外电场作用下，势必改变Na^+和Cl^-位置。同样 CO_2分子本来是线型分子、而在外电场作用下，电负性大的氧原子移向正极而电负性较小碳原子偏向负极，发生形变破坏了分子的对称性。

② 因为移动单元为原子，由于原子质量较大，故运动稍有阻力；这种极化过程所需时间约在10^{-12}～10^{-13}s，此种极化也属普弹变形。

③ 由此产生的诱导偶极矩μ_a也同外电场强度E有关。

$$\mu_a = E\alpha_a \tag{10-3}$$

式中 α_a——原子极化率。

④ 原子极化也同温度关系不大。

3．永久偶极矩的取向极化特征

① 具有永久偶极矩的极性分子，在无外电场时，由子分子的热运动，偶极矩在空间上采取不规则排列，偶极矩指向各个方向的机会相同，所以平均偶极矩等于零，介质表现中性。

② 在外电场作用时，极性分子沿电场方向排列，产生分子的取向。这种现象被称为偶极极化，更确切地说为取向极化。该过程可用图（10-1）来示意。

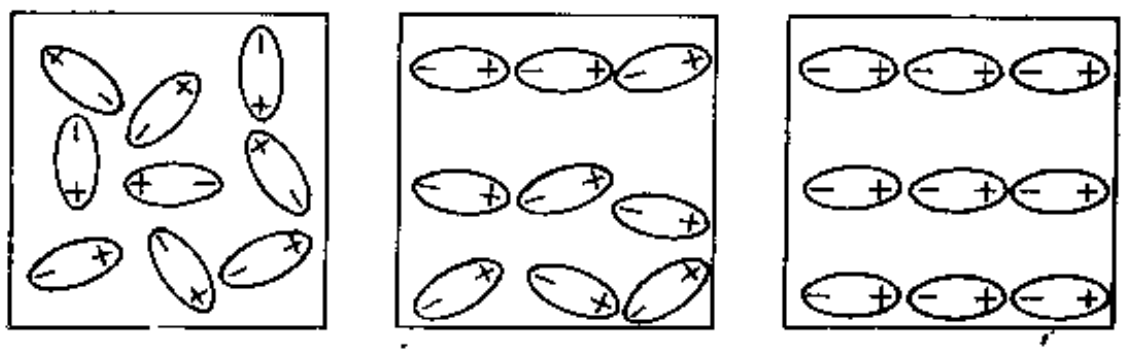


图 10-1　极性分子极化取向示意图

③ 由于这种极化是极性分子或链节沿着电场方向转动，所以要克服其惯性和旋转阻力，需要较长的时间，约10^{-3}～10^{-10}s，并消耗相当的能量。

④ 取向极化而产生的偶极矩$\bar{\mu}_0$，也同外电场强度（E）成正比。

$$\bar{\mu}_0 = \alpha\mu E \tag{10-4}$$

式中　$\alpha\mu$——取向极化率。

式中$\alpha\mu$同固有偶极矩μ、温度等有关。经推导可得：

$$\alpha\mu = \frac{\mu^2}{3KT} \tag{10-5}$$

式中　K——波兹曼常数；

μ——固有的偶极矩。

即$\alpha\mu$与μ^2成正比而同T成反比。这一关系说明温度高时，由于热运动抵消了电场对分子的极化，故$\alpha\mu$下降；反之$\alpha\mu$可上升。同时固有偶极矩越大，在外电场作用下，越容易取向。

⑤ 经过取向极化后，偶极子可在电极上产生感应电荷，从而极板上的电荷由$q \longrightarrow q + q'$。q'为感应电荷。

4．亚微观表面极化的特征

① 亚微观表面极化也称界面极化或交界极化，这种极化产生子具有不同极化率的非均相体系（共混体系、复合材料）介质之中，象硫化橡胶通常为多种材料的共混体，在外电场的作用下，能使电荷在组分间的界面积累，引起极化。

② 这种极化因涉及较为庞大的粒子，所以极化所需时间较长，从几分之一秒至几分钟甚至更长。研究这些极化时可用微波频电场，所以对橡胶材料的研究工作很有意义。

以上4种极化的频率特性如图10-2所示。

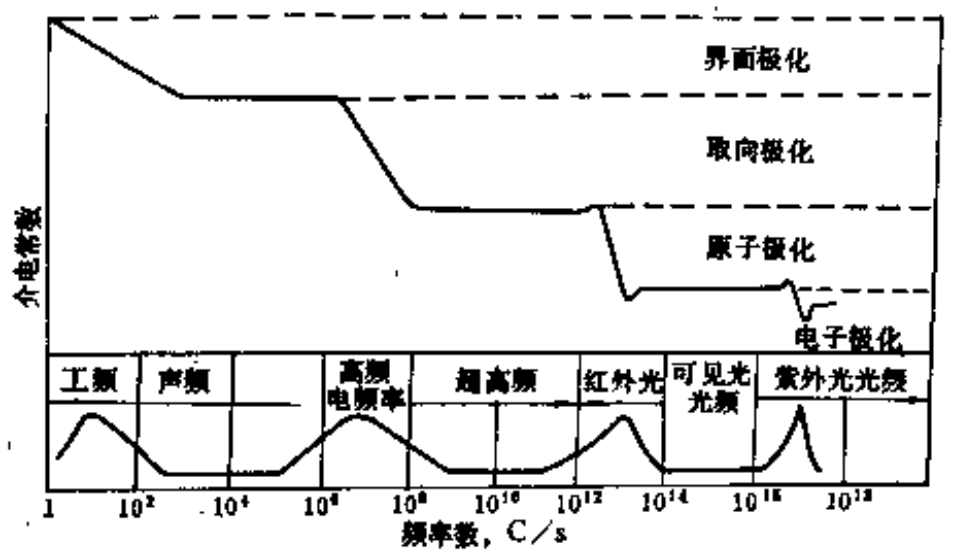


图 10-2　橡胶极化的频率特性

三、橡胶的介电常数

上面从微观的角度考察了分子在电场下极化的各种可能性，下面将考察橡胶在外电场作

用下的极化。

当测量相同几何尺寸的各种橡胶试样时会发现它们的电容数值是不等的，这是由于这些橡胶的介电常数不相等的缘故。

今设一个平板电容器，在其两个极板面施加恒定电压U，当这电极系统处于真空时，极板上充有电荷为Q_0，此平板电容器在真空下的电容C_0为：

$$C_0 = \frac{Q_0}{U} \tag{10-6}$$

如果在电极间填放进橡胶，由于极化的作用，两个极上出现了感应电荷Q'，从面使极板上的电荷增加，$Q = Q_0 + Q'$，即填有橡胶的电容器的电容C增加了：

$$C = \frac{Q_0 + Q'}{U} = \frac{Q}{U} \tag{10-7}$$

电容C增加多少，完全取决于所采用的橡胶材料，因而把电容增加的比值称为这种材料的介电常数。通常用ε表示：

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0} = \frac{Q}{Q_0} \tag{10-8}$$

必须指出的是橡胶介电常数是橡胶充填材料对真空的相对值，此数值不能用来直接计算电容值。对平板电容器来说，如果认为电场是均匀的，且略去边缘电场畸变，在真空下电容为：

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \tag{10-9}$$

式中 S——电极面积；

d——电极板间距离；

ε_0——是一个常数，称真空电容率。

$$\varepsilon_0 = 0.08854\text{〔pF/cm〕}\left(= \frac{1}{36\pi \times 10^9}\ \text{F/m}\right)$$

如果S取cm^2；d取cm；带有介电常数为ε的橡胶材料的平板电容器的电容为：

$$C = \varepsilon C_0 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d} = 0.08854 \cdot \varepsilon \frac{S}{d}(\text{pF}) \tag{10-10}$$

从上述的关于分子在电场中的极化讨论可知，电容器由于引入橡胶材料后，其电容增加是橡胶材料在电场中极化的结果。由于橡胶材料的极化，使其与电场垂直的界面出现束缚电荷。这极化电荷的存在将使极板上充上更多的电荷。极化电荷越多，极板上增加的电荷也越多，这时表示介电常数越大，所以介电常数是衡量橡胶材料极化程度的一个宏观物理量，它与材料极化的微观物理量极化率之间存在着内在的联系，它们之间的关系为：

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4}{3}\pi N_0 \alpha \qquad \text{（克-莫方程）} \tag{10-11}$$

式中 M——材料的分子量；

ρ——密度；

N_0——阿佛加德罗常数。

橡胶材料介电常数值取决于材料的极化，分子的极性越大，极化程度越大，对于非极性橡胶材料来说，其偶极矩趋于零、不会发生取向，所以其极化程度非常小，则介电常数也较

小。对于极性橡胶材料来说由于各种极化都可能发生，尤以取向极化为最强，所以介电常数也大。

橡胶中分子结构的对称性对介电常数有很大影响，此外，橡胶交联、拉伸和支化等对介电常数也有影响，橡胶交联增加了极性基团取向的阻力，使介电常数随之降低；橡胶受力拉伸使分子排列整齐，从而增加了分子间的互相作用力，也降低了极性基团的活性，所以使介电常数减小，相反，支化会使分子间的相互作用减弱，使介电常数升高。

除了分子结构对橡胶的极化有影响外，外加电场的频率对极化过程也有很大影响，因而在不同频率的交变电场下，测到的介电常数就不同，在频率非常低的情况下，四种极化都能跟随电场的方向，介电常数具有静电场下的数值，当外电场的频率增加时，首先界面极化跟不上电场变化、总极化率只是取向极化、原子极化及电子极化的贡献，相应的介电常数也会发生降落，并出现一个平坦区，当频率再度升高时，随着取向极化降落，介电常数再度降低，又出现一个平坦区，如此等等，当频率极高时，最后只发生电子极化，介电常数达到最小（见图10-2）。

在通常情况下，电子极化和原子极化是不依赖于温度的，因此非极性橡胶的介电常数随温度变化不大（图10-3），但温度对极性橡胶的极化则有两种相反的作用。一方面升高温度，由于分子间互相作用力减弱、粘度降低、分子热运动增加使偶极转动取向容易进行，极化加强。当温度进一步升高，对偶极干扰增大反而会不利于偶极取向，使极化率降低，因而极性橡胶的介电常数随温度的变化要视正反两种因素的消长面定。通常在温度不太高时，随温度升高介电常数增加（见图10-4）。

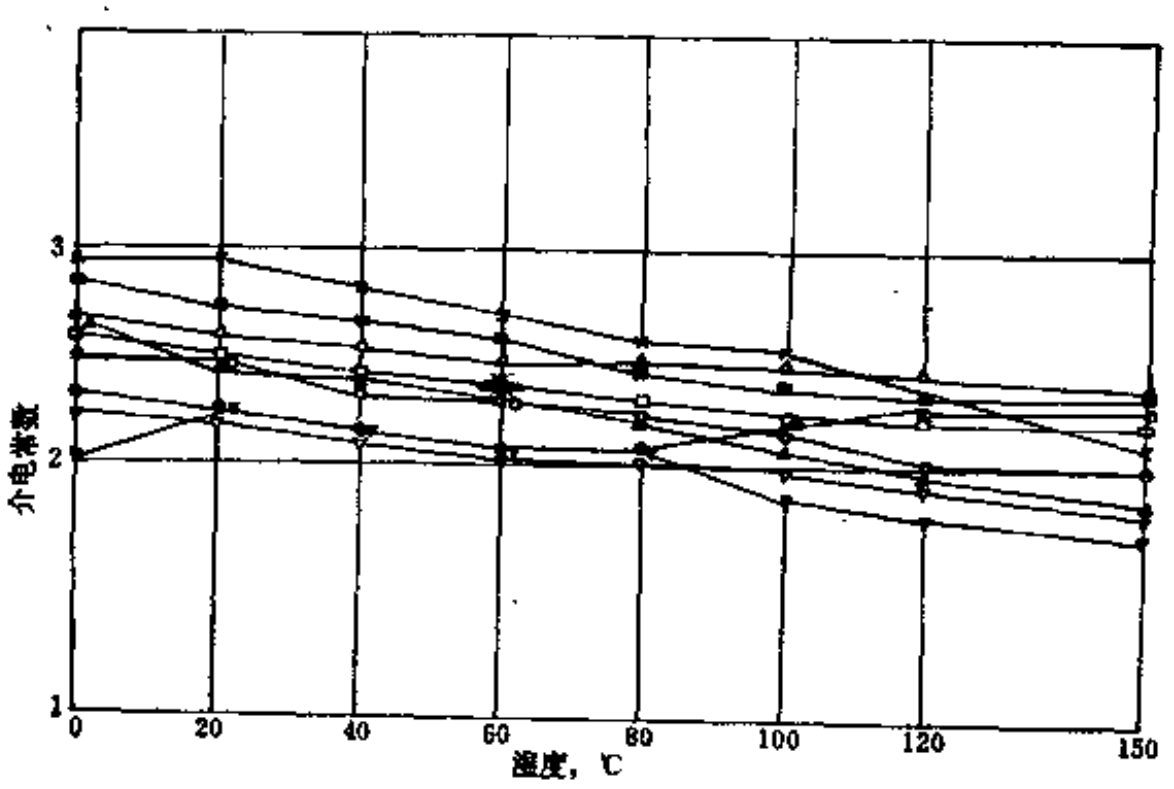


图 10-3　非极性橡胶（生胶）介电常数的温度特性（50Hz）

○ 天然橡胶（1）；□ 丁苯橡胶；▲ 丁基橡胶（2）；× 硅橡胶；▼ 交联聚乙烯；△ 天然橡胶（2）；● 丁基橡胶（1）；■ 顺丁橡胶；▽ 二元乙丙橡胶

四、橡胶的介电损耗

一般橡胶材料在交变电场中由于消耗一部分电能，使材料本身发热，这种现象就是介电损耗。

橡胶产生介电损耗的原因有两个：

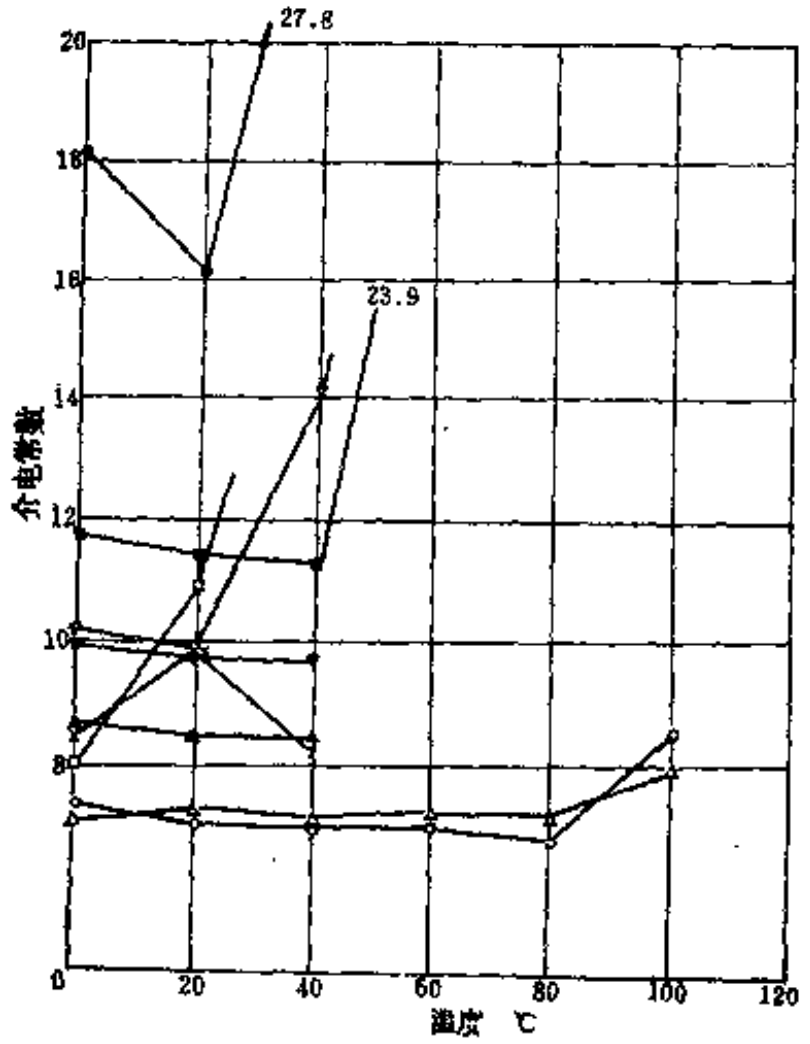


图 10-4 极性橡胶（生胶）介电常数的温度特性（50Hz）

○ 氯磺化聚乙烯20°；□ 氯丁橡胶；▲ 聚硫橡胶；× 聚氨基甲酸酯橡胶（1）；▼ 聚氨基甲酸酯橡胶（3）；△ 氯磺化聚乙烯40°；● 丁腈橡胶；■ 氟橡胶；▽ 聚氨基甲酸酯橡胶（2）

① 在橡胶中掺入了含有能导电的配合剂或杂质，它在外电场的作用下产生电导电流，消耗掉一部分电能使橡胶发热；

② 极性橡胶在电场中发生极化时，为了克服内粘滞阻力也要消耗一部分电能，其中尤以偶极子转向滞后于电场改变时的取向极化，消耗电能最大。

为了描述橡胶的介电损耗，一般引入了介电损耗角正切 $\mathrm{tg}\,\delta$ 的概念，其意义是：

$$\mathrm{tg}\,\delta = \frac{\text{每个周期内介质损耗的能量}}{\text{每个周期内介质储存的能量}} \tag{10-12}$$

因此 $\mathrm{tg}\,\delta$ 越大，表示材料在交变电场中能量损耗越大。

下面从橡胶产生介电损耗的现象，进一步分析其物理本质及规律性。

当电流通过电阻时会消耗电能，并发热，所以可以用图10-5所示的电路来等值在交变电场下橡胶的介电损耗。

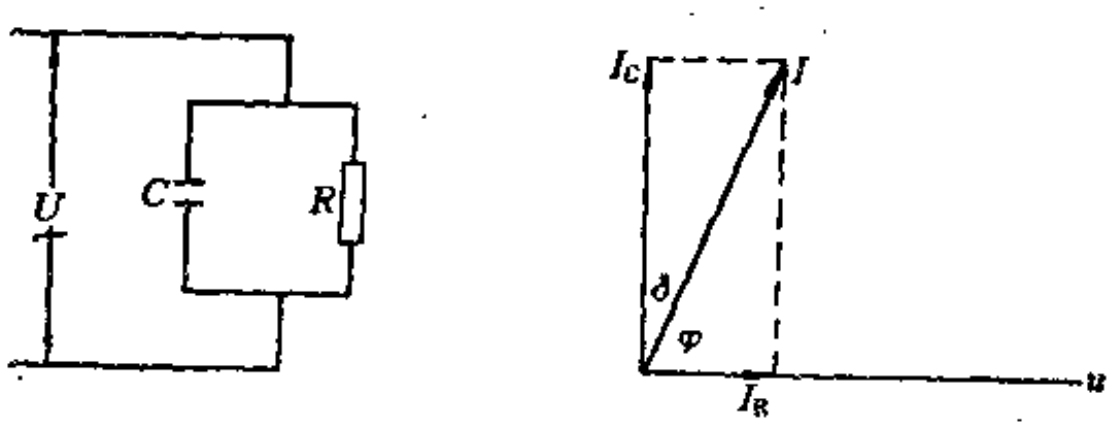


图 10-5 橡胶介电损耗的等值电路

图中C表示材料的电容，R表示电阻，当外加正弦电压$u=U_m\sin\omega t$时，有功电流I_R与电压同相位，其数值为：

$$I_R=\frac{u}{R} \tag{10-13}$$

无功电流I_C超前电压$\frac{\pi}{2}$，其数值为：

$$I_C=\omega CU \tag{10-14}$$

所以这时橡胶中流经的总电流I应是这二者的时间向量和，也即这时I与电压U的相角不再是$\frac{\pi}{2}$，而是略小于$\frac{\pi}{2}$的一个φ角。

若用$\delta=\frac{\pi}{2}-\varphi$来表示，$\delta$与$R$和$C$的关系为：

$$\operatorname{tg}\delta=\frac{I_R}{I_C}=\frac{1}{R\omega C} \tag{10-15}$$

这时实际介质的损耗功率W可表示为：

$$W=UI\cos\varphi=UI_R=UI_C\operatorname{tg}\delta=\omega\cdot C\cdot\operatorname{tg}\delta u^2 \tag{10-16}$$

从上式可以看出介电损耗即热量的放出，它与电压的平方、频率、电容以及介质损耗成正比。

在工程上，橡胶的介电损耗多以损耗角正切值$\operatorname{tg}\delta$来量度，但有时也用功率因素$\cos\varphi$来表示，在δ角比较小时，$\operatorname{tg}\delta\approx\cos\varphi$，因此$\operatorname{tg}\delta$、$\cos\varphi$都是表示电能损耗的尺度。

橡胶作为介电材料时希望介电损耗尽量小，这时介电损耗是不利的方面，但介电损耗也可以被利用作为有利的因素，如橡胶制品的微波硫化便是一例。应该指出橡胶$\operatorname{tg}\delta$的变化范围远比ε的变化范围大，所以要减小介电损耗，主要是通过降低$\operatorname{tg}\delta$来达到。

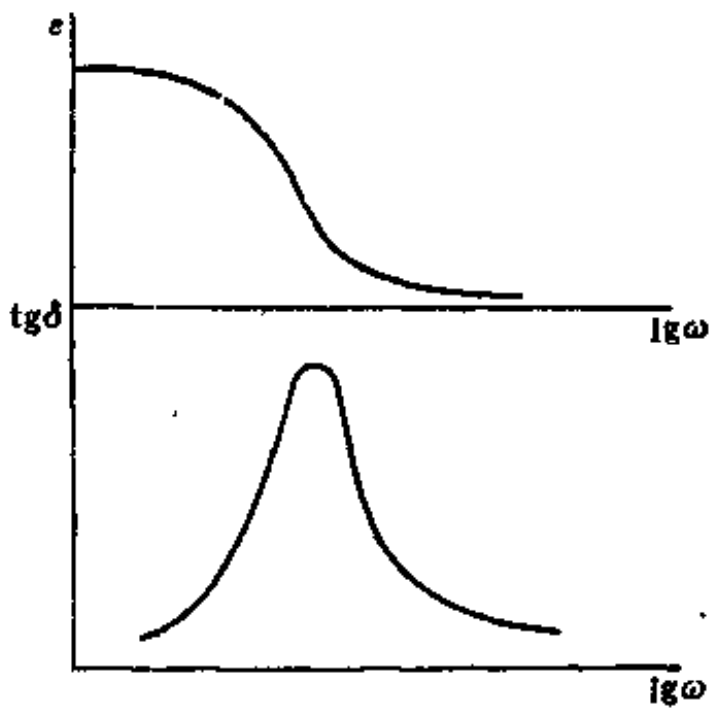


图 10-6　在同一温度下橡胶介电常数和介电损耗与电场频率的关系

外电场频率对硫化胶$\operatorname{tg}\delta$有影响，如图10-6，在同一温度下，当频率很低时，偶极的取向完全能跟上交变电场的变化，这时橡胶介质的极化率最大，能量损耗最小，所以介电常数最大，而介电损耗很小，随着频率升高使偶极极化的取向要跟上交变电场的变化有困难，发生了偶极取向滞后于电场的变化。电能被介质吸收而发热，介质损耗增大，当偶极取向滞后于电场$\pi/2$时介电损耗达到最大值。若频率增至足够高时，则所有偶极子因介质的“内粘滞”阻碍而无法追随电场的变化，此时取向极化也不会发生，使介电常数、介电损耗下降。

温度对介电损耗有影响，如图10-7所示，当温度变化时，橡胶分子间的内聚力也随之而变，因而介质中极化过程所需的时间也起变化，在一个固定频率下，温度太低时分子在电场中取向困难，完全跟不上电场的变化，因此介电损耗较小，而当温度很高时，由于分子的热运动不利于分子的极化取向，介电损耗也表现得很小。唯有在某一温度区域内，当需要外电

场供给较大的能量，克服其内粘滞的取向时，介电损耗随温度提高而增大。图10-8及图10 9为在0～150℃温度范围内各种纯胶配方的硫化橡胶的介电损耗温度特性。其中图10-8为非极性橡胶的介电损耗温度特性，图10-9为极性橡胶的介电损耗温度特性。

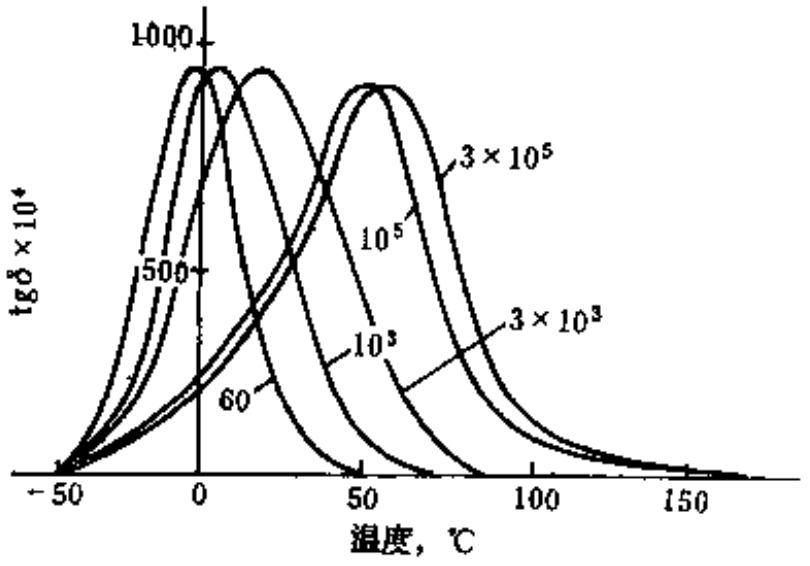


图 10-7　温度对硫化胶tgδ的影响
（曲线上的数字为频率，Hz）

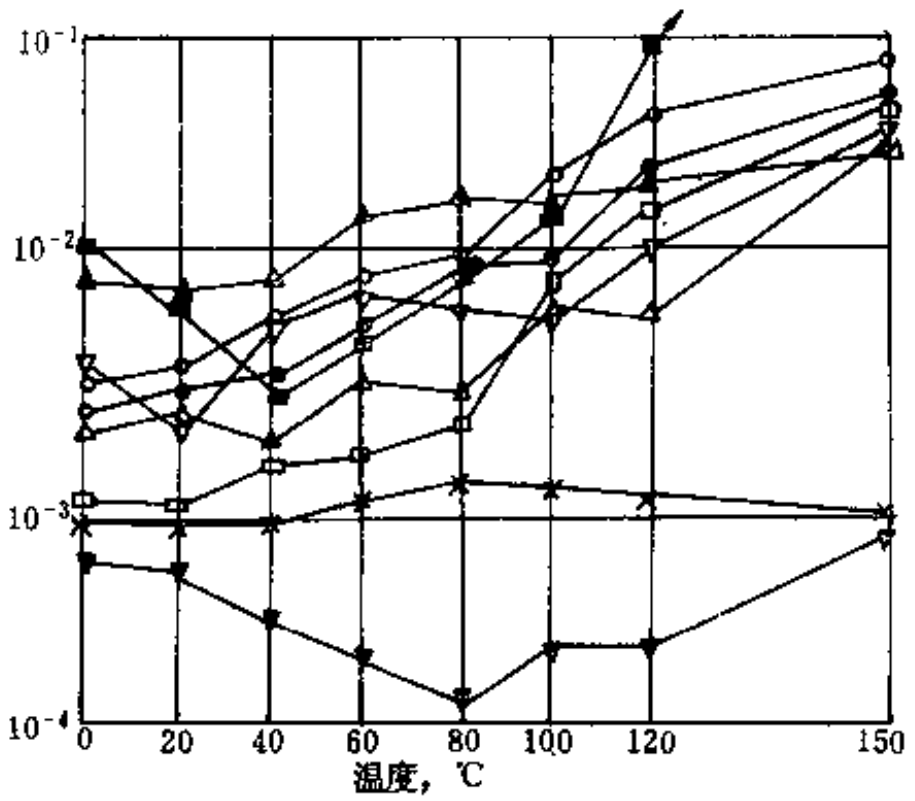


图 10-8　非极性橡胶(生胶)的介电损耗温度特性（50Hz）
○ 天然橡胶（1）；□ 丁苯橡胶；▲ 丁基橡胶（2）；× 硅橡胶；▽ 交联聚乙烯；△ 天然橡胶（2）；● 丁基橡胶（1）；▩ 顺丁橡胶；▼ 二元乙丙橡胶

五、橡胶的体积电阻和表面电阻

所有绝缘材料都不是完全绝缘的，橡胶也不例外，在直流电压作用下或多或少有一些电流通过，称为泄漏电流，这说明橡胶的电阻不会无限大，而是一个有限的数值。当电流通过橡胶时可以贯穿橡胶体内，也可沿着橡胶表面。前者称为体积电流，它决定橡胶的体积电阻，后者称为表面电流，它决定材料的表面电阻。通常，表面电流只占总电流的很小一部分，但当表面被沾污或吸附水分后，可使表面电流大为增加。

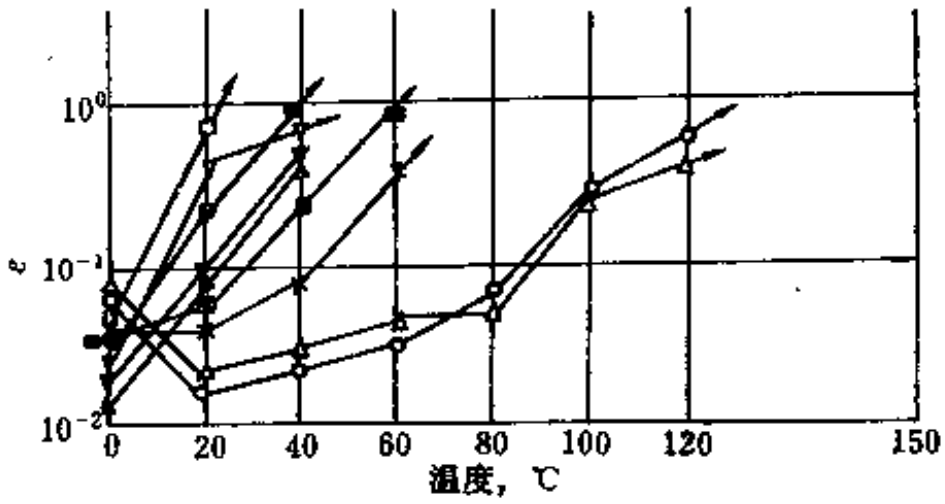


图 10-9　极性橡胶（生胶）的介电损耗温度特性（50Hz）
○ 氯磺化聚乙烯20；□ 氯丁橡胶；▲ 聚硫橡胶；× 聚氨酯橡胶（1）；▼ 聚氨酯橡胶（2）；△ 氯磺化聚乙烯40*；● 丁腈橡胶；▩ 氟橡胶；▽ 聚氨酯橡胶

实践证明，在一定的电压范围内，橡胶内的泄漏电流符合欧姆定律。这样橡胶的电阻就可由泄漏电流和施加的电压来决定，即

$$R = \frac{U}{I} \tag{10-17}$$

橡胶的电阻数与其几何尺寸有关（图10-10），为了使橡胶电阻便于比较，应排除几何尺寸的因素。通常可取单位体积的电阻即电阻率来表示。如有面积为S、厚度为d的一块橡胶，其体积电阻为R_V，则其电阻率ρ_V可用下式计算：

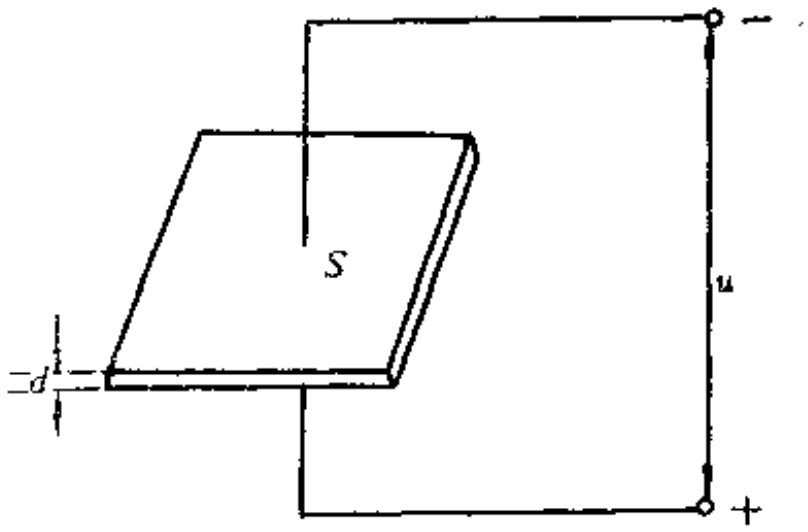


图 10-10　电阻率的计算

$$\rho_V = R_V \cdot \frac{S}{d} \quad (\Omega \cdot cm) \tag{10-18}$$

所以，如果作用在橡胶上的电压和通过的电流以及几何尺寸都能测出，那么就能确定橡胶的电阻率。

$$\rho_V = \frac{U}{I} \cdot \frac{S}{d} \tag{10-19}$$

橡胶的体积电导率为其电阻率的倒数。

$$\gamma_V = \frac{1}{\rho_V} = \frac{1}{R_V} \cdot \frac{d}{S} = G_V \cdot \frac{d}{S} \quad (\Omega^{-1} \cdot cm^{-1}) \tag{10-20}$$

$$\rho_S = \frac{U}{I} \cdot \frac{L}{d} \quad (\Omega) \tag{10-21}$$

橡胶的表面电导率为其电阻率的倒数

$$\gamma_S = \frac{1}{\rho_S} = \frac{1}{R_S} \cdot \frac{d}{L} = G_S \frac{d}{L} \quad (\Omega^{-1}) \tag{10-22}$$

式中ρ_V、ρ_S分别为体积电阻率及表面电阻率，G_V、G_S分别为体积电导及表面电导，γ_V、γ_S分别为体积电导率及表面电导率。S为电极面积、d 为试样厚度（测表面电阻时为电极之间的距离）；L为电极长度。

橡胶的电阻率与配合情况有关，如在橡胶中掺入金属粉末、石墨、导电炭黑等填充料其电阻将显著下降。

在一定温度范围内，温度对橡胶电阻的影响与对金属导体电阻的影响不同。对金属导体来说，温度提高增加了导体内分子的热运动，使导电性能变差，电阻提高。面当提高橡胶温度时，其导电性能反面随温度的提高而增高，这是由于橡胶导电主要为离子电导，温度升高使橡胶内充填物或杂质的离解离子数增多的缘故。图10-11和图10-12分别列出了非极性橡胶与极性橡胶体积电阻率的温度特性情况。

六、橡胶的电击穿

前面所讨论的关于橡胶的电导、极化、损耗等现象都是指处于介电状态而言。在电场作用下，橡胶保持介电状态是有一定限度的，当超过某一极限电场强度时，橡胶的介电状态被破坏，此时橡胶将完全丧失其原有的介电性能，而伴随着有强大电流通过，产生大量热，足以使橡胶的化学结构破坏，并引起火花、声响，在橡胶局部点上被电流击穿。橡胶发生击穿时所承受的最大电压叫做击穿电压。击穿电压数值与橡胶的厚度有关，所以往往用橡胶所承受的最大电场强度来表示，这叫做电场击穿强度。

$$E = \frac{V}{h} \tag{10-23}$$

式中　E ——击穿电压强度；

V ——击穿电压；

h ——样品厚度。

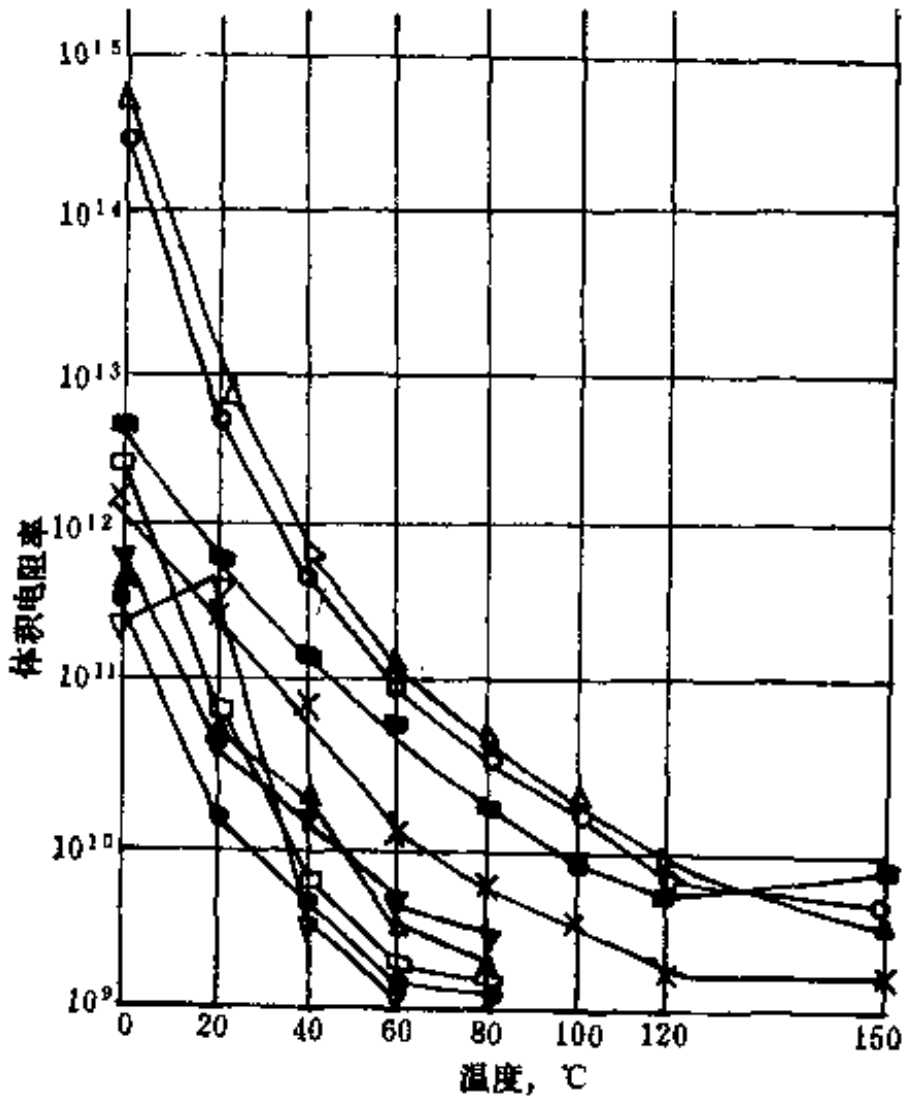


图 10-11 非极性橡胶（生胶）体积电阻率的温度特性

○ 天然橡胶（1）；△ 天然橡胶（2）；□ 丁苯橡胶；● 丁基橡胶（1）；▲ 丁基橡胶（2）；■ 顺丁橡胶；× 硅橡胶；▽ 二元乙丙橡胶；▼ 交联聚乙烯

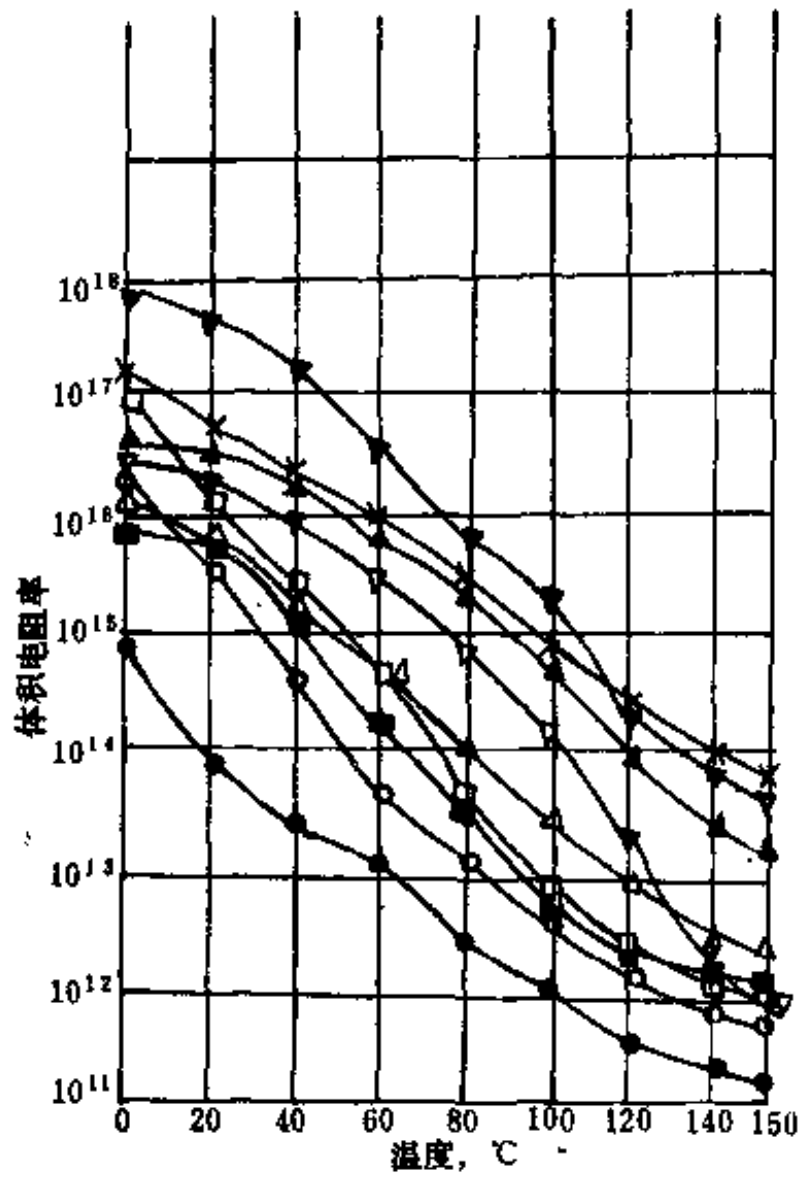


图 10-12 极性橡胶（生胶）体积电阻率的温度特性

○ 氯磺化聚乙烯20；△ 氯磺化聚乙烯40；□ 氯丁橡胶；● 丁腈橡胶；▲ 聚硫橡胶；■ 氟橡胶；× 聚氨酯橡胶（1）；▽ 聚氨酯橡胶（2）；▼ 聚氨酯橡胶（3）

橡胶的击穿按其形成的机理大致可分为电击穿、热击穿和化学击穿 3 种形式。

电击穿是橡胶在高压电场作用下，其中最初被游离的离子和自由电子就会沿电场方向作高速运动，撞出新橡胶分子，继而又使橡胶分子发生游离、分裂成电子和阳离子，这些新发生的电子又沿电场撞击出更多的新电子和阳离子，这连锁过程反复进行，自由电子和阳离子就会雪崩似的产生，以致电流急剧上升，最终导致击穿的形式。

热击穿是在一定的电压下，由于介电损耗所产生的热量来不及散失，使橡胶的温度急剧上升，而随温度的升高电导率又增加，介电损耗变得更大，产生更多的热量，使温度进一步上升。这样循环的结果导致橡胶氧化、焦化、熔化而损坏发生击穿的形式。

化学击穿是橡胶在高电压下长期工作后出现的，强电场的作用会在橡胶的表面或内部的气泡中引起局部的空气碰撞电离，从而生成臭氧（O_3）和亚硝基（NO_2），这些物质使橡胶老化，可引起电导增加，最终导致击穿。

橡胶的击穿不仅与其本身的性质有关，也随测试条件而变化，如发生击穿所需的电场强度与施加的电压及波形、升压速度、材料厚度，电场的频率、温度、电极的几何形状有关。

不同的电压施加方式对击穿电压有影响，从表10-2可以看出其区别。

不同的电压施加方式对橡胶击穿电压强度的影响与电晕及介电损耗有关，所以也与橡胶在电场中裸露的时间长短有关。如裸露的时间越长，受到的电晕时间长，介电生热也越多，所以

击穿电压值就越低；反之击穿电压值就高。图 10-13 所示的为丁基橡胶在电场中裸露时间与击穿电压的关系。

表 10-2 不同电压施加方式的击穿电压强度

单位：MV/m

橡胶名称 \ 电压施加方式	交流 500V/s	交流 1000V/60s	直流 700V/s	冲击电压
丁基橡胶	14.6	13.0	43.3	31.5
天然橡胶	11.8	10.0	32.3	28.4

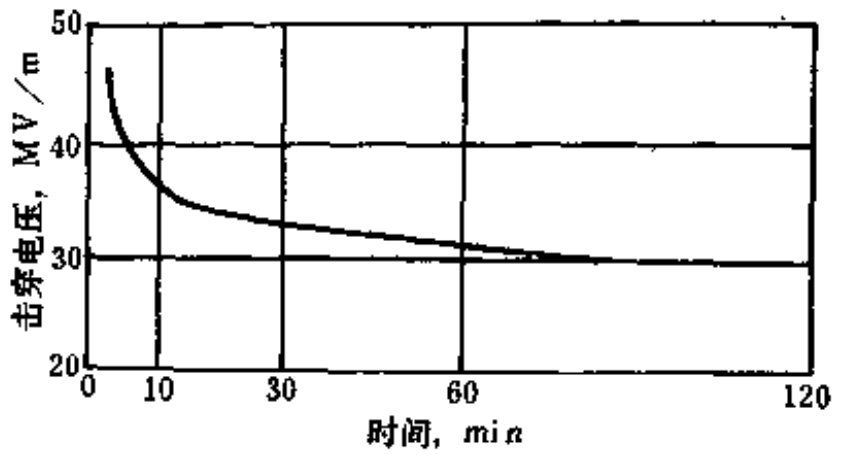


图 10-13 在电场中裸露时间对丁基橡胶击穿电压的影响

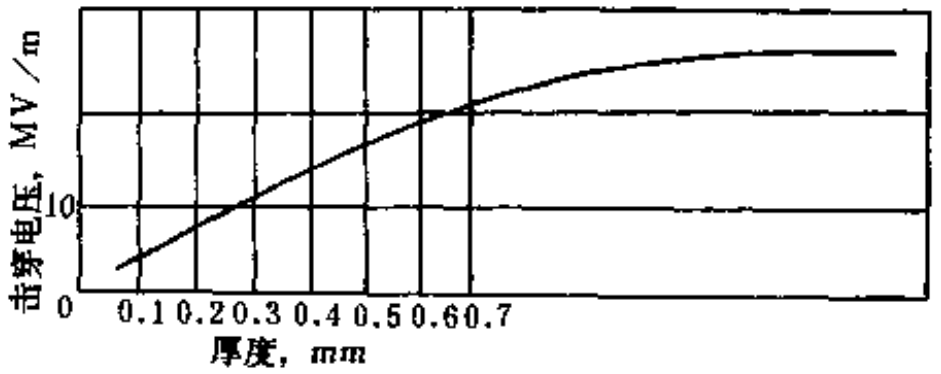


图 10-14 丁基橡胶的厚度与击穿电压的关系

在均匀交变电场下，在一定的试样厚度范围内，击穿电压与试样厚度成比例上升，图10-14为在50V/60s的升压速度下，丁基橡胶的厚度在 0.1～0.7mm 范围内的击穿电压与橡胶厚度的关系。但一般认为随着橡胶厚度的继续加厚，击穿电压梯度将变小，所以在比较击穿电压强度大小时应在相同厚度范围内进行。

七、各种橡胶电性能

橡胶的电性能与其分子结构之间有着密切关系。按分子结构橡胶有极性与非极性之分，这些区别导致橡胶电性能的宏观差异十分明显，表10-3和表10-4所示的分别为生橡胶与硫化橡胶的电性能。

表 10-3 各种生橡胶的电性能

橡胶名称	介电常数	功率因素 %	体积电阻率 Ω·cm	击穿电压 MV/m
天然橡胶	2.4～2.6	0.16～0.29	$1\sim6\times10^{15}$	20～30
丁苯橡胶	2.4～2.5	0.1～0.3	$10^{14}\sim10^{16}$	20～30
丁腈橡胶	7～12	5～6	$10^{10}\sim10^{11}$	20
氯丁橡胶	7～8	3	$10^{9}\sim10^{12}$	20
丁基橡胶	2～2.5	0.04	$>10^{16}$	24
二元乙丙橡胶	2～2.5	0.02～0.03	6×10^{16}	20～30
硅橡胶	3～4	0.04～0.06	$10^{11}\sim10^{14}$	15～20

采用橡胶的并用来改善橡胶的电性能是相当普遍的，例如在丁基橡胶、乙丙橡胶中并入聚乙烯、EVA等电性能更优的塑料后，可进一步提高制成品的介电性能，在丁苯橡胶、天然橡胶中并入乙丙橡胶也可适当改善其电性能。一些并用胶的电性能见表10-5。

表 10-4 各种硫化橡胶的电性能

橡胶名称	介电常数 ε	介电损耗 $tg\delta(\times10^{-2})$	体积电阻率 ρ_v, Ω·cm	交流击穿电压强度 MV/m	直流击穿电压强度 MV/m	耐漏电痕迹性
天然橡胶	3.0～4	0.5～2.0	10^{14}～10^{15}	20～30	45～60	—
丁苯橡胶	3.0～4	0.5～2.0	10^{14}～10^{15}	20～30	45～60	—
顺丁橡胶	3.0～4	0.5～2.0	10^{14}～10^{15}	20～30	45～60	—
丁基橡胶	3.0～4	0.4～1.5	10^{15}～10^{16}	25～35	70～100	100滴以上(0.1mm～0.3mm)
二元乙丙橡胶	2.5～3.5	0.3～1.5	10^{15}～10^{16}	25～45	70～100	100滴以上(0.1mm以下)
三元乙丙橡胶	2.5～3.5	0.3～1.5	10^{15}～10^{16}	25～45	—	100滴以上(0.1mm以下)
氯丁橡胶	5.0～8.0	2～20	10^{12}～10^{13}	15～20	—	3～10滴
丁腈橡胶	5.0～12	2～20	10^{10}～10^{11}	—	—	—
氯磺化聚乙烯	4～5	2～10	10^{12}～10^{14}	20～25	—	10滴以上(0.5mm～1.0mm)
氟 橡 胶	3～6	2～10	10^{12}～10^{13}	20～25	—	—
聚硫橡胶	4～6	2～10	10^{13}～10^{14}	15～20	—	—
聚氯乙烯	6～8	10～20	10^{13}～10^{14}	25～35	—	—
聚 乙 烯	2.2～2.4	0.02～0.04	$>10^{18}$	45～65	—	—
硅 橡 胶	3～4	0.5～2.0	10^{15}～10^{16}	20～30	—	10滴以上(0.1mm以下)
氯化聚乙烯	4～6	2～10	10^{12}～10^{14}	20～25	—	100滴以上(0.2～0.5mm)

表 10-5 并用橡胶的电性能

		丁基橡胶+聚乙烯	乙丙橡胶+聚乙烯	丁基橡胶+乙丙橡胶	乙丙橡胶	丁 基 橡 胶	交联聚乙烯
吸水前	ρ_v(Ω·cm)	$1～3\times10^{15}$	$5～9\times10^{15}$	$2～6\times10^{15}$	$4～7\times10^{15}$	8×10^{14}～2×10^{15}	1×10^{15}
	ε	3.3～3.4	2.8～3.0	3.2～3.3	2.9～3.0	3.5～3.5	2.3～2.4
	$tg\delta$	$4～6\times10^{-3}$	$2～5\times10^{-3}$	$3～6\times10^{-3}$	$2～6\times10^{-4}$	$7～9\times10^{-3}$	$4～6\times10^{-4}$
80℃×7d 吸水后	ρ_v(Ω·cm)	$1～3\times10^{15}$	$4～9\times10^{15}$	$2～5\times10^{15}$	$2～6\times10^{15}$	9×10^{13}～1.5×10^{14}	1×10^{15}
	ε	3.4～3.5	2.9～3.0	3.3～3.4	2.9～3.1	3.9～4.0	2.3～2.4
	$tg\delta$	$4～6\times10^{-3}$	$2～5\times10^{-3}$	$4～8\times10^{-3}$	$2～7\times10^{-3}$	8×10^{-3}～1×10^{-2}	$4～5\times10^{-4}$
击穿强度, MV/m		32～36	38～44	34～38	37～43	25～30	45～50

第二节 电线与电缆

一、品种规格和用途

（一）概述

橡胶电线电缆的生产在很大程度上有赖于各种原材料的发展。所以，随着新品种橡胶的不断出现，推动了电线电缆品种的发展和性能的提高。目前在国民经济各个领域里，都需要各种各样的橡胶电线电缆。在电力工业方面，乙丙橡胶绝缘电力电缆已被用于 69kV 的输电线路上，使用可靠。大型露天煤矿挖掘机用的乙丙橡胶绝缘移动式橡套电缆，电压可达 35kV，整根长度达500～1000m。矿井井下用的各种用途电缆大多为乙丙橡胶绝缘电缆。此外，采油工业、造船工业、发电厂、建筑业等等，无不需要橡胶电线电缆。

橡胶绝缘电线电缆是电线电缆中应用最广泛的一类产品，因此具有品种繁多、性能各异的特点。按照用途来分，主要有电力电缆、控制和信号电缆、船用电缆、矿用电缆、发电厂用电缆、海上石油平台用电缆、石油和地质勘探用电缆、橡套软电缆、直流高压电缆、航空用电缆、汽车和拖拉机用电线、安装用电线、电器用软电线、电机和电器引接电线、电热偶

补偿电线，以及湿热带用电线电缆等。

由于科学技术发展的需要，产品日趋专业化。譬如：造船工业的发展，要求有专门的船用电缆；随着世界能源开发从内陆转向海洋，近海石油开采工业日益发达，就需要专门适用于海上石油平台的电缆；近代单机大容量发电机组装备起来的火力发电厂和核电厂，对电缆性能有严格、特殊的要求，这样就形成了发电厂用的专用电缆等等。这些专用电缆的基本特征是技术性能要求比普通电缆高，具有特殊的结构和技术参数。在这些专用电缆中，一般都包括电力电缆、控制和信号电缆、照明电缆、计算机用电缆、通讯电缆等系列品种。因为，不论在万吨级以上远洋船舶中、发电厂中，还是在海上石油平台中，其本身就构成了一个完整的系统，各种各样用途的电线电缆都成为不可少的组成部分。

橡胶绝缘电线电缆的品种和规格非常繁多，还有一些品种正在开发当中，但就其结构来说，有其共同的地方。它们主要都是由导电线芯、绝缘层、护套层、屏蔽层、铠装层、填充、包带等结构元件所组成。各种产品由不同的结构元件组成。不同产品对结构元件的技术参数也有各自的特殊要求。作为生产工艺来说，不论制造什么产品，有很多地方是具有共性的。

（二）品种规格和用途

1．电力电缆

电力电缆是在电力系统中固定敷设作传输或分配电能用的电缆。早期生产的橡胶绝缘电力电缆适用于固定敷设在交流电50Hz、额定电压6kV以下的输配电线路上。这种电力电缆的绝缘橡胶是采用天然橡胶制成的。由于天然橡胶的老化性能差，我国从60年代中期起已大多采用天然橡胶和丁苯橡胶并用的橡胶作为电缆的绝缘，老化性能有所改善，并已纳入标准，至今仍被广泛应用。

丁基橡胶进入电缆工业已有很长历史，50年代已被用作电力电缆的绝缘，虽然这种橡胶具有优良的电气性能和老化性能，尤其是耐潮性能方面更为突出，但由于其工艺性能差，在使用上受到限制。直到60年代初乙丙橡胶进入电缆工业作为绝缘橡胶的主要材料后，对橡胶绝缘电力电缆的发展起到了很大的作用。乙丙橡胶具有较全面的、非常卓越的技术性能，是目前做各种橡胶电线电缆的优良绝缘材料。

（1）天然橡胶与丁苯橡胶绝缘电力电缆　电压级分500V和6kV，铜芯和铝芯，线芯标称截面1～630mm²。电缆有一、二、三及四芯电缆，是由三根主线芯和一根中性线芯组成。电缆导电线芯的长期允许工作温度应不超过＋65℃。

产品品种有：橡胶绝缘聚氯乙烯塑料护套电力电缆；

橡胶绝缘氯丁橡胶护套电力电缆；

橡胶绝缘聚氯乙烯塑料护套内钢带铠装电力电缆；

橡胶绝缘裸铅包电力电缆；

橡胶绝缘铅包钢带铠装电力电缆。

（2）乙丙橡胶绝缘电力电缆　乙丙橡胶绝缘电力电缆具有一系列优良的技术性能。电缆导电线芯的长期工作温度应不超过＋90℃，短时过载温度应不超过＋130℃，短路时温度（最长持续时间5s）应不超过＋250℃。电缆具有良好的耐低温性能，其敷设时的允许温度：聚氯乙烯塑料护套电缆为0℃；氯丁橡胶护套电缆为－20℃。乙丙橡胶绝缘电力电缆最突出的性能之一是优异的抗臭氧性能。试验证明，在臭氧浓度高达0.025～0.030%下经受300h后，乙丙橡胶绝缘仍未见开裂，而在同样条件下，天然橡胶与丁苯橡胶并用橡胶绝缘仅几分钟就出现了开裂。

由于乙丙橡胶所赋予的优良的物理机械性能和电性能，同时其生产工艺性能也较好，因此不仅适用于制造低压电力电缆，更适宜制造中、高压电力电缆。国际电工委员会IEC502已公布额定电压为1、3、6、10、15、20及30kV的乙丙橡胶绝缘电力电缆。美国爱迪生照明商协会标准AEIC CS6-82规定了额定电压5～69kV乙丙橡胶绝缘屏蔽电力电缆的技术要求。美国和意大利在70年代先后研制成功138kV和150kV的乙丙橡胶绝缘高压电力电缆。在中、高压电力电缆中，乙丙橡胶绝缘的耐局部放电和耐水等性能都是优异的。

产品品种主要有下列几类：

乙丙橡胶绝缘、氯磺化聚乙烯橡胶（氯丁橡胶或聚氯乙烯塑料）护套电力电缆；

乙丙橡胶绝缘、屏蔽、氯磺化聚乙烯橡胶（氯丁橡胶或聚氯乙烯塑料）护套电力电缆；

乙丙橡胶绝缘金属护套电力电缆；

乙丙橡胶绝缘、屏蔽、金属护套电力电缆；

乙丙橡胶绝缘金属铠装电力电缆；

乙丙橡胶绝缘、屏蔽、金属铠装电力电缆。

当电缆的电压级在6kV以上时，线芯都应具有屏蔽。屏蔽分导体屏蔽和绝缘屏蔽。导体屏蔽应是非金属的，由半导电带或挤包半导电热固性材料所组成。其中以乙丙橡胶制成的半导电橡胶的屏蔽层质量较好。绝缘屏蔽应由非金属的半导电层或由非金属半导电层和金属层组合而成。金属层可分为铜带绕包层、纵包皱纹铜金属套和圆（扁）铜线缠绕层等几种。

金属护套是电缆的铠装层，通常有镀锌钢带连锁软管铠装和钢或铝波纹金属套铠装等三种。在这些金属套外面应具有聚氯乙烯塑料外护套。金属铠装还有扁钢丝铠装、圆钢丝铠装及双钢带铠装。

导电线芯标称截面：铜芯最大为630mm²；铝芯最大达1000mm²。

a．乙丙橡胶绝缘无铠装电力电缆　无铠装型电力电缆，主要适用于无外加机械损伤的场合，有单芯和三芯两种，电压等级为1kV以下无屏蔽层的电缆，但6kV以上的电缆应有屏蔽层。它们的结构分别见图10-15和图10-16。

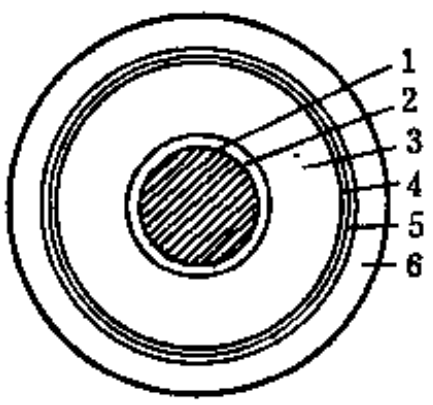


图 10-15　6kV单芯无铠装电力电缆

1—铜或铝导体；2—导体屏蔽层、半导电橡胶；3—乙丙橡胶绝缘层；4—绝缘屏蔽层、半导电橡胶；5—金属屏蔽层（铜带或铜丝）；6—护套（氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶或聚氯乙烯塑料）

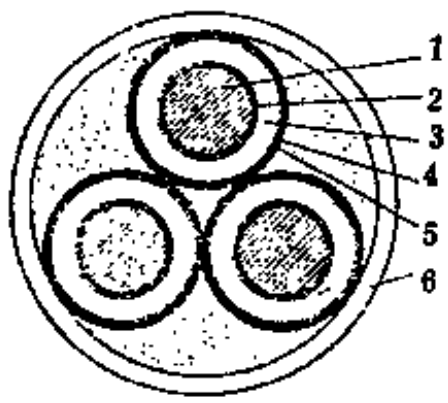


图 10-16　6kV三芯无铠装电力电缆

1—铜或铝导体；2—导体屏蔽层、半导电橡胶；3—乙丙橡胶绝缘层；4—绝缘屏蔽层、半导电橡胶；5—金属屏蔽层（铜带或铜丝）；6—护套（氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶或聚氯乙烯塑料）

b．乙丙橡胶绝缘铠装电力电缆　铠装型电力电缆的铠装层起到较好的机械保护作用，具有较强的机械强度，适用于直接埋地、水中等场合。单芯电缆导体通过交流电流时会产生交变磁场，如果在电缆上有钢带、钢丝等磁性材料铠装层，将会因电磁感应作用产生损耗而

发热。因此，单芯电力电缆不能用磁性材料做铠装。所以交流铠装电力电缆通常是三芯的，它不会产生这种现象。图10-17和图10-18是6kV及以上两种铠装电力电缆。

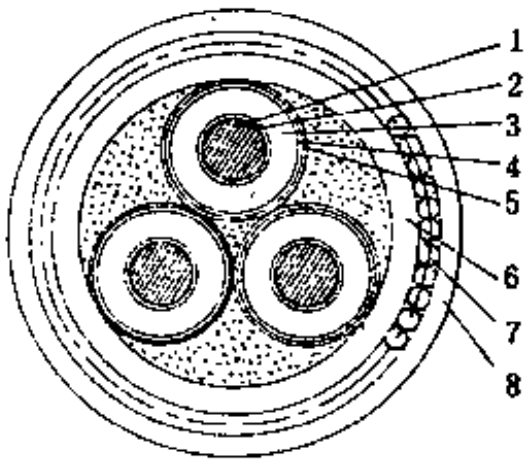


图 10-17　圆钢丝铠装电力电缆

1—铜或铝导体；2—导体屏蔽层（半导电橡胶）；3—乙丙橡胶绝缘；4—绝缘屏蔽层（半导电橡胶）；5—金属屏蔽层（铜带或铜丝）；7—钢丝铠装；6、8—内、外护套（氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶或聚氯乙烯塑料）

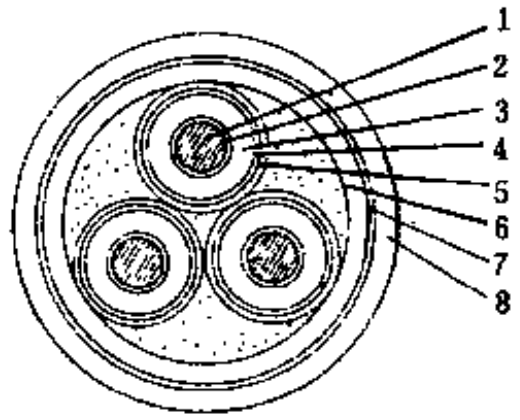


图 10-18　钢带铠装电力电缆

1—铜或铝导体；2—导体屏蔽层（半导电橡胶）；3—乙丙橡胶绝缘；4—绝缘屏蔽层（半导电橡胶）；5—金属屏蔽层（铜带或铜丝）；7—钢带铠装；6、8—内、外护套（氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶或聚氯乙烯塑料）

c．乙丙橡胶绝缘金属护套电力电缆　这种电缆具有密封的金属护套，可保护电缆绝缘，免受水、油及其它化学品的侵袭作用。金属护套有铝和铅两种，如果采用铝护套，当电缆发生故障时，还允许在铝护套中通过较大的故障电流，借以与电路的继电保护系统构成回路。因此，这种电缆可适用于化工厂和需要通过较大故障电流的场合。图10-19和图10-20分别为单芯皱纹铝护套和三芯铝或铅护套电力电缆。

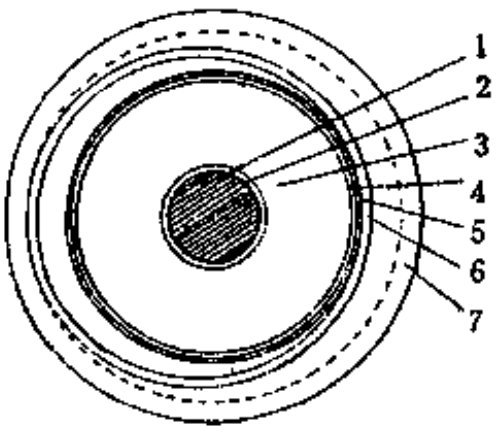


图 10-19　单芯皱纹铝护套电力电缆

1—铜或铝导体；2—导体屏蔽层（半导电橡胶）；3—乙丙橡胶绝缘层；4—绝缘屏蔽层（半导电橡胶）；5—金属屏蔽层（铜带）；6—皱纹铝护套；7—外护套（氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶或聚氯乙烯塑料）

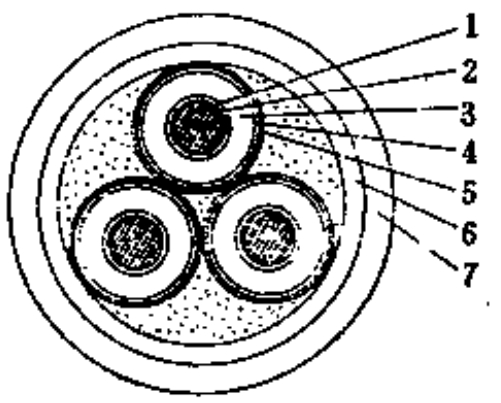


图 10-20　三芯铝或铅护套电力电缆

1—铜或铝导体；2—导体屏蔽层（半导电橡胶）；3—乙丙橡胶绝缘层；4—绝缘屏蔽层(半导电橡胶)；5—金属屏蔽层（铜带）；6—表面光滑的铝或铅护套；7—外护套（氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶或聚氯乙烯塑料）

2．控制电缆

控制电缆主要作发电厂、变电所以及工矿企业，供交流额定电压500V以下或直流电压1000V以下的配电装置、仪器仪表等控制电路连接用。控制电缆的品种规格甚多，在产品标准内部有具体规定。就电缆结构特性而言，基本上可分为以下几种。

（1）导体　铜或镀锡铜绞线或铜单线。考虑到控制电缆在使用中的重要性，为了防止单根铜导体的断裂，因此越来越多的用户要求采用多根绞合的铜绞线，以提高其可靠性。

选用控制电缆的铜导体截面大小必须考虑载流量、电压和机械强度等因素，通常应不小于1 mm²。

（2）绝缘　有天然橡胶与丁苯橡胶并用橡胶、乙丙橡胶等几种。天然橡胶与丁苯橡胶并用橡胶绝缘今后将日趋减少。乙丙橡胶的各项性能优良，可靠性高，在发电厂等场所常被采用。

（3）护套　电缆的护套应与绝缘相协调。电缆采用乙丙橡胶绝缘的，其护套为氯丁橡胶或氯磺化聚乙烯橡胶。

（4）屏蔽　随着仪器仪表和自动控制系统的发展，要求控制电缆有抗磁场干扰、抗静电场干扰、抗串音等特性。这类电缆在结构上都有屏蔽层，称为屏蔽型控制电缆。屏蔽型控制电缆具有抗干扰能力，对保证控制电缆的可靠性起着重要的作用。

如果干扰源来自电缆外界，则采用整个电缆屏蔽，即总屏蔽。倘若干扰来自电缆自身，则采用线芯或线组屏蔽，再加总屏蔽。

控制电缆的线芯往往是同心成缆的，这种结构对抗干扰不利。所以，在屏蔽型控制电缆为了提高抗电磁干扰和抗串音性能，把绝缘线芯做成二线或三线组。

在信号非常微弱的控制回路中，由于电缆移动所产生结构元件之间的摩擦电荷就足以影响电路的正常运行。为此，在电缆结构中就要有减少摩擦和消除电荷的设计，这种电缆称为低噪音控制电缆。

电缆的总屏蔽常采用镀锡铜线编织、绕包铜带或铝带、绕包铜（或铝）聚酯复合带。为了保证屏蔽层的连续性和便于对屏蔽层的连接，在绕屏蔽带的同时，沿电缆纵向放置1根由多根镀锡铜线绞合而成的接续线。接续线必须与屏蔽带的金属面保持良好的接触。

用皱纹铜带纵包层作为电缆的总屏蔽，对固定敷设的电缆来说，是一种生产效率高、屏蔽性能好的结构。

（5）外护层　电缆的外护层有：内钢带铠装、钢丝铠装、金属连锁软管铠装等。钢丝应镀锌，钢带应镀锌或涂防锈漆，以提高耐蚀性能。在金属铠装的外面需挤包聚氯乙烯塑料外护套，进一步提高电缆的机械强度和金属的耐蚀性能。

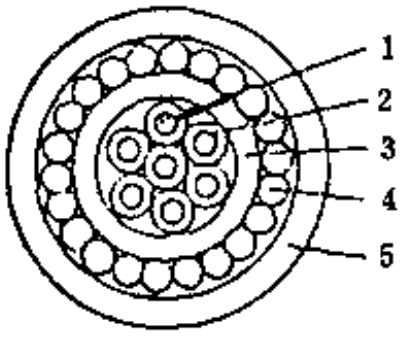


图 10-21　铜芯橡胶绝缘橡胶护套钢丝铠装控制电缆

1—铜导体；2—橡胶绝缘；3—橡胶内护套；4—钢丝铠装；5—外护套（氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、聚氯乙烯塑料）

图10-21为铜芯橡胶绝缘橡胶护套钢丝铠装控制电缆。

3、船用电缆

随着船舶工业不断的发展，船用电缆的用量和品种也与日俱增。一艘万吨级的远洋海轮需要各种规格的船用电缆，长度常为50km至一百多km。由于远洋船舶航行的特殊条件，必然要求船用电缆标准趋向国际通用化。国际电工委员会从1957年起就先后公布了IEC92-3、IEC92-373、IEC92-375、IEC92-503以及IEC18A-43等船用电缆标准。

橡胶绝缘船用电缆主要可分为：船用电力电缆；船用一般仪表、控制和通讯电缆；船用硅橡胶绝缘电缆。

船用电缆的品种规格繁杂，可达几千个之多。

（1）电压等级　电气控制系统为交流0.44/0.75kV；中压电力系统为交流3、3.3、6、6.6、10、11kV。

（2）导体所有橡胶绝缘船用电缆的导体　均应由7根及7根以上镀锡铜绞线组成。

（3）绝缘　按IEC92-3规定，绝缘材料及其长期允许工作温度为：丁基橡胶80℃；乙丙橡胶85℃；硅橡胶95℃。船用电缆的绝缘耐热等级，由于船舶技术规范中其它条款的限制，所以与别的电缆规定不一样。

（4）护套　按IEC92-3规定，电缆护套材料的耐热等级应与绝缘材料的长期允许工作温度相配合。可与绝缘长期允许工作温度相配合的护套材料为：普通氯丁橡胶护套配合75℃；耐热氯丁橡胶护套配合85℃；普通聚氯乙烯塑料护套配合75℃；耐热聚氯乙烯塑料配合85℃；氯磺化聚乙烯橡胶配合90℃。

船用硅橡胶绝缘电缆采用玻璃纤维编织层作护套。

（5）铠装　镀锌钢丝或镀锡铜丝编织铠装层是船用电缆最常用的形式，这种铠装层主要起机械保护作用，同时也起到一定的电磁屏蔽作用。

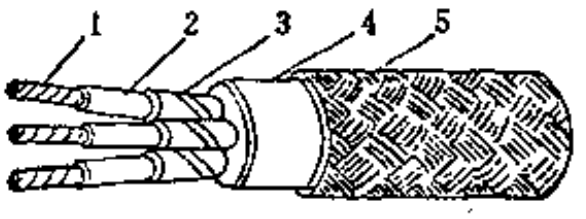


图 10-22　乙丙橡胶绝缘氯丁橡胶护套镀锡铜丝编织船用电缆

1—铜导体；2—乙丙橡胶绝缘层；3—包带；4—氯丁橡胶护套；5—镀锡铜丝编织层

此外，尚有圆形或扁形镀锌钢丝绞包的铠装层，以及双层钢带绕包铠装层。这两种铠装层的机械强度较好，但质量重、成本高。图10-22为乙丙橡胶绝缘氯丁橡胶护套镀锡铜丝编织船用电缆。

4．矿用电缆

各种采煤机械和运输机械都需用电能来驱动。矿用电缆是指煤矿采掘系统所用的电力电缆、控制电缆、照明电缆以及通讯电缆。

（1）矿用电缆的技术特征

① 机械强度高，能经受拉伸、扭转、冲击、拖磨、弯曲等各种机械损伤。

② 按照不同使用条件，要求电缆具有不同的柔软程度。

③ 要求具有优良的耐老化性能和电性能，且在潮湿环境中仍十分稳定。

④ 应具有阻燃特性。

⑤ 额定电压在1kV及以上电缆应为屏蔽型电缆，其直流过渡电阻和屏蔽效能应达到标准规定，且能满足继电保护系统的要求。

（2）井筒电缆　井筒电缆的作用是把电能从地面变电站输送到井下中央配电室，电缆沿井壁用夹具固定垂直敷设，落差很大，环境十分潮湿。

电缆的工作电压主要随矿井规模而异，一般为5～35kV。乙丙橡胶绝缘电力电缆具有优良的物理机械性能和电性能，可用作井筒电缆。为了提高电缆抗拉等机械强度，应采用镀锌钢丝铠装，并在铠装层外挤包聚氯乙烯塑料护套，以提高钢丝的耐蚀能力。

（3）矿井电力电缆　这类电缆把电能从中央配电室传输到采区变电峒室或移动变电站。这段距离很长，常有几千米。现代采煤机械功率较大，一个工作面装机容量可达1000W以上，而一个采区变电峒室同时要给几个工作面供电。所以，从输电效率和减少远距离供电的电压损失方面考虑，输电线路的工作电压常为6～10kV。

（4）6kV乙丙橡胶绝缘矿用监视型屏蔽电缆　是最常用的一种矿井电力电缆，电缆由主线芯、接地线芯和监视线芯组成。在镀锡铜导体上包一层半导电带，乙丙橡胶绝缘，再包一层半导电带，以直径为0.3mm的镀锡铜线与纤维材料交织编织作屏蔽层兼作接地线芯。每个主线芯表面的屏蔽层的铜导体截面应为总接地线芯截面的1/3。监视线芯是用镀锡铜线编织

扁带所组成，它夹在两层半导电带之间。当电缆受到损坏时，与电缆相联结的监视系统就会动作，发出信号，以至切断电路，保证用电安全。

（5）矿用拖曳电缆　各种矿用移动设备，如采煤机、掘进机和电铲，都要用拖曳电缆来供电。

电缆在使用中常受到频繁的拖动、强烈的弯曲、快速收放卷绕、落石的冲击和挤压，以及磨损等机械作用。在露天矿使用时，还受到日光的照射和严寒的低温作用。当使用电压在6kV及以上时，电缆要受到臭氧的袭击。这些因素对电缆使用寿命有明显的影响。

矿用拖曳电缆不论是低电压的还是高电压的，都普遍采用乙丙橡胶绝缘，氯丁橡胶或氯磺化聚乙烯橡胶作护套，也可采用丁腈橡胶与聚氯乙烯并用橡胶作护套。电缆护套必须具有阻燃性能。

目前井下使用的采煤机组用矿用拖曳电缆，其额定电压常在1100V，带有控制线芯、监视线芯及接地线芯，实际上是一种多功能的组合型电缆。在井下，要求电缆护套颜色有明显标志，便于识别。1140V以下的用黄色护套，6kV电缆用红色护套。露天煤矿电铲用拖曳矿用电缆，因电铲功率甚大，必须采用高压供电，其额定电压6、10、15、25和35kV。电缆的技术性能要求很高，它应具有优良的电性能，机械强度、弯曲性能，以及耐热、耐湿、抗臭氧、阻燃、耐油等性能。

（6）500V矿用电钻电缆　电钻电缆在使用时弯曲非常频繁，要求特别柔软。因此要在结构设计上给予考虑，以满足此项特殊要求。

电缆由五芯组成，其中有三个主线芯、一个接地线芯和一个监视线芯。导体由直径为0.20mm的镀锡铜线绞合组成，挤包乙丙橡胶绝缘。图10-23、图10-24及图10-25为三种屏蔽橡胶护套软电缆。

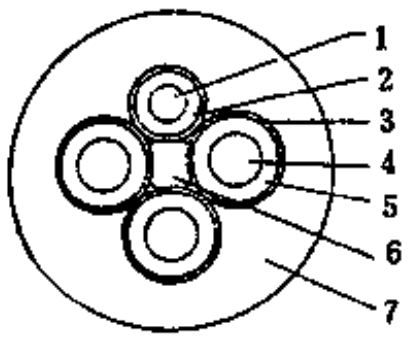


图 10-23　UP型1kV矿用移动屏蔽橡胶护套软电缆

1—接地线芯；2—半导电橡胶；3—半导电层；4—主导电线芯；5—乙丙橡胶绝缘；6—半导电橡胶垫芯；7—氯丁橡胶护套

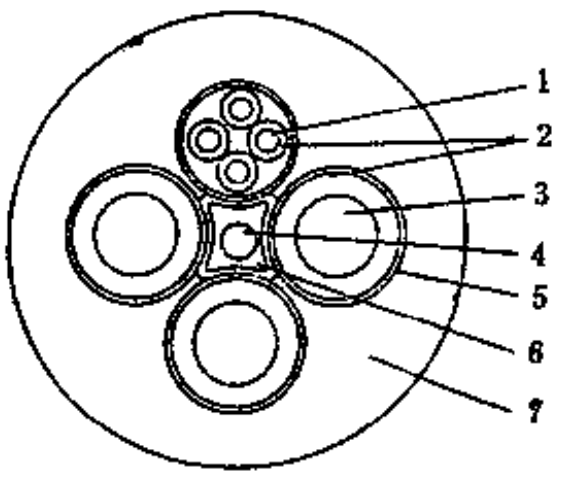


图 10-24　UCP型1kV采掘机用屏蔽橡胶护套软电缆

1—控制线芯；2—乙丙橡胶绝缘；3—主导电线芯；4—接地线芯；5—半导电层；6—半导电橡胶；7—氯丁橡胶护套

5．石油勘探和开发电缆

（1）承荷勘探电缆　耐热温度为90℃的绝缘材料采用天然橡胶与丁苯橡胶并用橡胶或乙丙橡胶，单芯电缆导体由7或19根直径0.20～0.39mm的铜线绞合组成，挤包乙丙橡胶绝缘，包带、双层高强度镀锌钢丝铠装。图10-26为七芯承荷勘探电缆。

（2）海上石油平台用电缆　近海大陆架地下油蕴藏量十分丰富，石油资源的开发正在从大陆迅速地向海洋转移。要开发海上石油，必需建造平台，将勘探和采油作业在平台上进

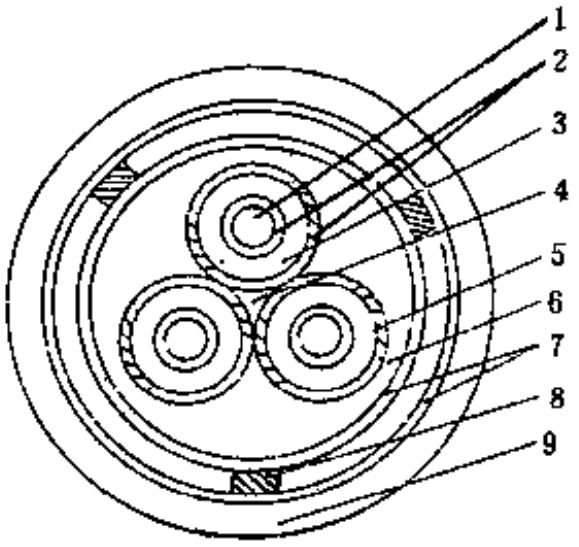


图 10-25　UGSP型6kV矿用监视型屏蔽层电缆

1—主线芯；2—半导电布带；3—乙丙橡胶绝缘；4—橡胶填芯；5—接地线芯；6—绝缘橡胶填充套；7—半导电带；8—监视线芯；9—氯丁橡胶护套

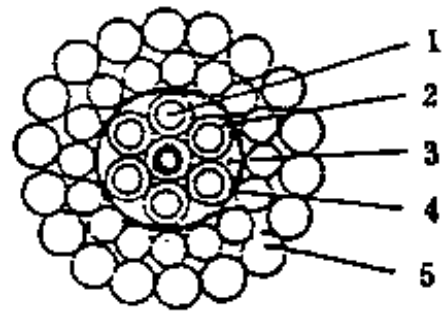


图 10-26　七芯承荷勘探电缆

1—导体；2—乙丙橡胶绝缘层；3—填充；4—包带；5—钢丝铠装层

行，石油平台各种设施上使用的电缆称平台电缆。平台电缆除必须达到陆上电缆的规定外，还应满足海上特殊条件的要求，必须安全可靠，具有耐火、耐热、防潮、耐油、耐磨、防蚀和耐光等性能。为了保证平台电缆的质量，必须获得有关船级社或船舶检验局的认可才能供平台使用。

（3）阻燃电缆　主要用于可能引起火灾的危险区域。因此，不但要求电缆本身不能引起火灾，而且要求遭到外界火焰的情况下，电缆具有较好的阻燃性。同时，电缆材料燃烧时释放的烟雾如氯化氢、一氧化碳、二氧化硫等有害气体应降至最少程度，因为这些气体对人体极其有害，对设备和仪器有严重的腐蚀作用，甚至失去正常功能。电缆燃烧产生大量烟雾，影响工作人员视线，妨碍灭火工作。所以，阻燃电缆所用材料燃烧所产生的烟密度应尽量小。

（4）潜油泵用电缆　当油井不能自喷时，需将潜油泵放置在井下，把油抽提到地面上来，潜油泵电缆是用作电力传输的。

电缆在油井中所经受的温度和压力随井深而增加。油泵周围的油、气介质的温度可达150℃，压力可达28.37MPa。此外，还有硫化氢及各种盐类。因此，电缆不仅要能经受高温高压，而且要有很好的耐腐蚀性能。

扁形电缆的结构：3个乙丙橡胶绝缘线芯并列，紧密挤包耐热、耐油、高机械强度的丁腈橡胶，再用蒙乃尔合金（一种镍、铜、铁、锰的合金）或异型青铜带绕包连锁铠装。

圆形电缆的结构：3个乙丙橡胶绝缘芯成缆，中心用耐热、耐油、高强度的丁腈橡胶紧密填充，其外紧密挤包同样性能要求的丁腈橡胶护套。

6．阻燃和耐火电缆

随着科学技术的发展，发电厂、海上石油平台、地下铁道、隧道、矿井、地下建筑，高层建筑以及远洋海轮等都日益增加。在这些场所，电气化程度十分密集，用电量越来越大，防火已成为非常重要的问题。火灾的起因有各种原因，但电气火灾事故占有相当比例。

在电缆线路中可能由于短路或绝缘击穿使电缆温度迅速上升而引起着火。有的是由于外部着火的火焰蔓延到电缆，使电缆着火，并沿着电缆线路延燃到它处，造成灾情扩大。现代电缆线路的设计和以往有所不同，电缆成束垂直或平行敷设，每束电缆可由几很至几十根组成，一旦着火，十分容易延烧，因此由电缆引起的火灾事故几率增加了，必须采取有效对

策，以保证防火安全。阻燃与防火电缆就是适应这种客观需要而产生的。电缆的阻燃和防火性能的技术要求，引起世界电缆工业界的重视，各国订出了各自的试验方法并纳入有关标准。

阻燃和耐火电缆按其耐燃程度可分为：一般要求阻燃电缆、蔓延限制阻燃电缆和耐火电缆3类。

（1）一般要求阻燃电缆　这是一种具有一般阻燃性能的电缆，包括低压电力电缆、照明电缆和控制电缆等，要求单根电缆的燃烧试验能满足国际电工委员会标准IEC332（第一部分）的规定，其试验条件并不苛刻。但当这种电缆多根成束敷设在一起进行燃烧试验时，火焰就会蔓延而不能自熄。

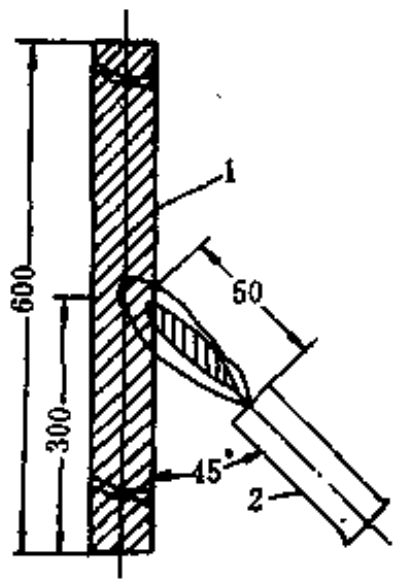


图 10-27　单根电缆燃烧试验

（单位：mm）

1—电缆试样；2—火源（喷灯）

一般要求阻燃电缆（如IEC92-3标准中的船用电力电缆）其耐燃性能应符合IEC332（第一部分）的燃烧试验要求。通常只要采用具有一定阻燃性能的材料做护套就可满足此项要求，如氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、丁腈橡胶与聚氯乙烯并用胶以及聚氯乙烯塑料。必须指出，在上述护套材料的配方设计时仍应充分考虑各种组分的耐燃性能，并添加适当的阻燃剂。IEC332（第一部分）的燃烧试验方法如图10-27所示。

（2）蔓延限制阻燃电缆　单根电缆燃烧时，由于热量容易散失，所以电缆用具有一定阻燃性能的材料做护套就能在某种程度上阻止火苗扩散，达到阻燃目的，满足有关标准规定要求。实践证明，单根燃烧试验合格的电缆，在多根成束敷设条件下燃烧时，火焰却不能自熄，达不到阻燃的要求。为此，国际电工委员会IEC332（第三部分）标准和美国电气及电子工程师学会标准IEEE-383都规定了多根电缆成束垂直敷设的燃烧试验方法。要求电缆试样经受规定的燃烧时间、温度和热量后，火焰在电缆上蔓延距离应限制在规定的范围内而自熄。

IEEE-383与IEC332（第三部分）的技术要求相似，但与IEC332（第一部分）相比，则相差很大，现将IEEE-383与IEC332（第一部分）的燃烧试验条件比较（摘要）见表10-6。

从表10-6所列对比数据看出，IEEE-383较之IEC-332（第一部分）有以下主要特点：供火时间约长10倍；火源总供热量约多80倍；试样表面接触火焰的面积约大100倍；成束电缆燃烧时不易散热，燃烧是在自然通风的环境中进行，有充足的氧气补给助长燃烧。图10-28为多根电缆垂直燃烧试验装置示意图、图10-29为扁火嘴的火焰温度分布情况，这些表明了IEEE-383要比IEC332（第一部分）的耐燃烧试验要求严酷得多。所以，要满足IEC332（第二部分）或IEEE-383的燃烧试验要求，仅具有一般阻燃性能的绝缘和护套材料是不能达到的。为此，必须在电缆结构设计和所用材料的耐燃性能等方面采取措施。

这种电缆主要有：低压电力电缆、照明电缆、控制电缆以及其它低压电缆。在电缆的结构元件中不应有易燃的物质。

a．绝缘材料　电缆的绝缘材料以乙丙橡胶为主，但乙丙橡胶易于燃烧。因此，要做成耐燃性能优良的绝缘橡胶，必须从配方设计上来考虑。在胶料的组分内应尽量不用易燃物质，添加适当的阻燃剂，必要时，还应与难燃的高聚物共混面得阻燃性材料。

材料的氧指数、燃烧热和火焰温度是判断一种材料耐燃特性的重要参数。对耐燃材料面

表 10-6 两种方法燃烧试验条件的比较

燃烧试验条件	IEEE-383	IEC-332（第一部分）
燃　　料	丙烷或煤气	煤气或丙烷
燃料理论发热量，J/m³	18.84×10^6	18.84×10^6
火焰喷嘴形状	扁平形	圆形
供火时间	20min	（60＋W/25）s（W为试样质量，g）
火源总供热量，J	24.56×10^6	$25.12\times10^4\sim31.4\times10^4$（供火3min，计算的总供热量）
试样表面火焰温度，℃	约900	约1500
火焰燃烧温度，℃	815～840	约1500
火焰高度，mm	约600（氧化焰150～300）	125（蓝色氧化焰40～50）
火嘴与试样距离，mm	约100	50（火嘴与试样成45°夹角）
试样接触火焰面积，mm	约500×300	约75×25
燃烧通风条件	试样四周自然通风	试样上下不通风
试样安放状态	多根2400mm长试样并列放在垂直的电缆托架上	试样直立放置
试验结果判定	如上述	移去火源应自熄，烧焦或受损部分应不达到试样顶端

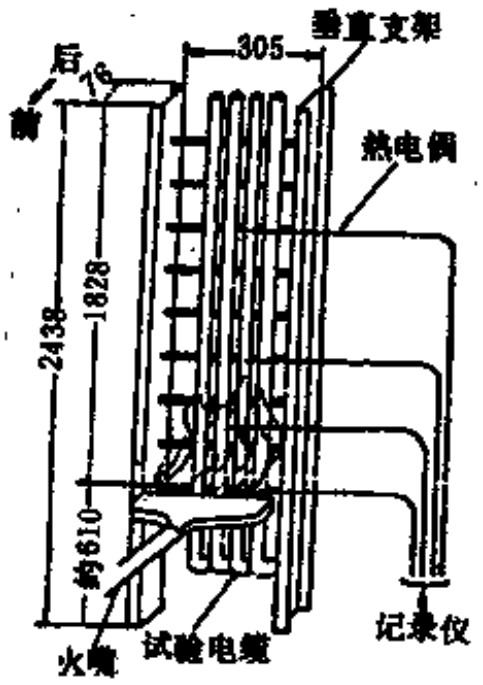


图 10-28 多根电缆垂直燃烧试验装置示意图（单位，mm）

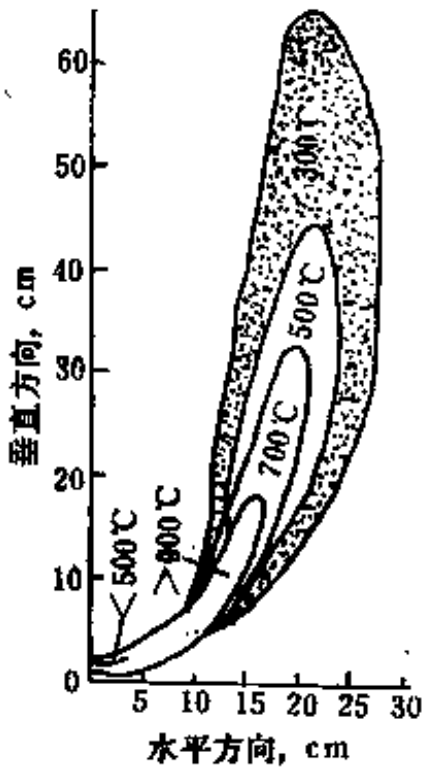


图 10-29 扁火嘴的火焰温度分布

言，氧指数越高越好，燃烧热和理论火焰温度要求越低越好。乙丙橡胶的耐燃特性参数：一般的氧指数大于21、耐燃的大于28，燃烧热为15.11×10^5J/mol，理论火焰温度为2120℃。因此乙丙橡胶自身易于燃烧，其氧指数甚低。为了达到阻燃性能要求，必须添加阻燃剂或掺混具有阻燃性能的高聚物，才能使氧指数大于28。

表 10-7 几种护套材料氧指数的比较

材料名称	氧指数	
	一般的	耐燃的
氯丁橡胶	>26	>43
氯磺化聚乙烯橡胶	>25	>40

b．护套材料　电缆的护套材料常用的有：氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶和氯化聚乙烯橡胶。这些高聚物本身都含有氯原子，具有一定的耐燃性能。不过，作为耐燃电缆的护套，材

料的氧指数还需借助配方设计使进一步提高。几种护套材料氧指数的比较见表10-7。

电缆的绝缘和护套材料既要满足耐燃性能，同时还应符合有关标准规定的一系列物理机械等性能。为了提高材料的耐燃性能，往往会使材料的物理机械等性能降低。显然，这就需权衡各项性能的综合平衡问题。

（3）耐火电缆　耐火电缆的最主要特征是要求电缆在燃烧的条件下，仍能维持一定时间正常工作，一般为20min到3h，温度为750～1000℃。这就要求电缆不仅要达到蔓延限制阻燃电缆的技术要求，而且要求在规定的燃烧条件下保持一定的绝缘电阻，并能承受电缆额定的工作电压。有些耐火电缆还要求同时经受模拟消防水的喷射和机械震动情况。这种电缆适用于各种应急系统，包括电力、照明、控制信号、报警等系统。

硅橡胶绝缘耐火电缆是较常用的品种。由于硅橡胶燃烧后的残余物是二氧化硅，只要不脱落、不受潮，二氧化硅还是能保持一定的电性能。

耐火电缆结构上的特点在于导线和绝缘层之间有一层耐火隔离层，绝缘线芯和护套之间还有一层耐火垫衬层、耐火包带。常用云母玻璃纤维带、硅橡胶玻璃纤维带作耐火隔离层和包带。

（4）无卤素阻燃和耐火电缆　早期阻燃与耐火电缆的耐燃性能，主要是利用含卤素的高聚物为基体，或添加含有卤素的各种阻燃剂来提高耐火性能，如所用的高聚物包括氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、氯化聚乙烯橡胶、氟塑料、聚氯乙烯塑料等等。阻燃剂也主要是一些含氯或含溴的有机化合物。当电缆燃烧时，这些材料就产生大量的酸雾和烟雾。聚氯乙烯塑料在燃烧时，可能释放出30%的氯化氢气体，当室内浓度达到50～100ppm时，有毒的一氧化碳和二氧化碳烟气会造成窒息，有致命危险。同时，由于氯化氢的腐蚀作用，会使室内仪器和设备严重损坏。电缆燃烧时产生的烟雾太浓，会给人员撤离和消防工作造成困难。

近年来，人们认识到含有卤素的阻燃与防火电缆的这些缺点，在某些场所甚至是不允许的。因此，电缆工业就专门开发了无卤素的阻燃和耐火电缆，这种电缆在燃烧时所产生的气体，要求烟雾密度小，不危害人身，所有仪器设备不被损坏。这种新型的阻燃与耐火电缆一经问世，就受到用户的重视和欢迎。无卤阻燃与耐火电缆的绝缘、护套、填充垫衬等材料是利用无卤、无硫、无氮的高聚物和添加不含卤素的阻燃剂制成的。图10-30为含卤素与无卤素电缆燃烧时烟密度的比较。

7．通用橡胶护套软电缆

根据电缆所受的机械外力，产品分为轻型、中型和重型三种。

（1）轻型橡胶护套软电缆　主要用于连接交流电压小于250V的轻型移动电气设备，如日用电器、小型电动设备，要求柔软、轻巧、弯曲性能好。电缆有二芯和三芯，铜导体标称截面为0.3～0.75mm²。

（2）中型橡胶护套软电缆　主要用于连接交流电压小于500V的各种移动电气设备，除用于工业外，广泛用于农业电气化中。电缆有二芯、三芯和四芯（其中一芯为接地线芯）。铜导体标称截面为0.5～6mm²。

（3）重型橡胶护套软电缆　主要连接交流电压低于500V的各种移动电气设备，但能承受较大的机械外力作用。电缆用于港口机械、农业大型电力排灌以及其它野外施工工程等有较大机械外力的场合。电缆有一、二、三和四芯（其中一芯为接地线芯）。铜导体标称截面为2.5～120mm²。

通用型橡胶护套软电缆应用在移动场合，电缆应具有较好的柔软和弯曲性能。因此，铜

导体采用柔软结构，必要时可在导体表面绕包一层纸或三乙酸纤维薄膜、聚酯薄膜，使电缆更为柔软。

8．扁型橡胶护套电缆

在港口机械和门式起重运输机械上使用的电缆，要求具有承受拉力和频繁的弯曲性能。扁型橡胶护套电缆就是为适应这种条件而产生的。作为低压输电用的扁型橡胶护套电缆额定电压500V，铜导体标称截面可达300mm²。为了提高电缆的弯曲性能，铜导体由许多根细铜丝组成，其单线直径采用0.18～0.45mm。由于起重运输机械的功率不断增大，低压供电已难以满足技术上的要求。目前已有额定电压6kV的扁型橡胶护套电缆。500V三芯扁型橡胶护套电缆的结构见图10-31。

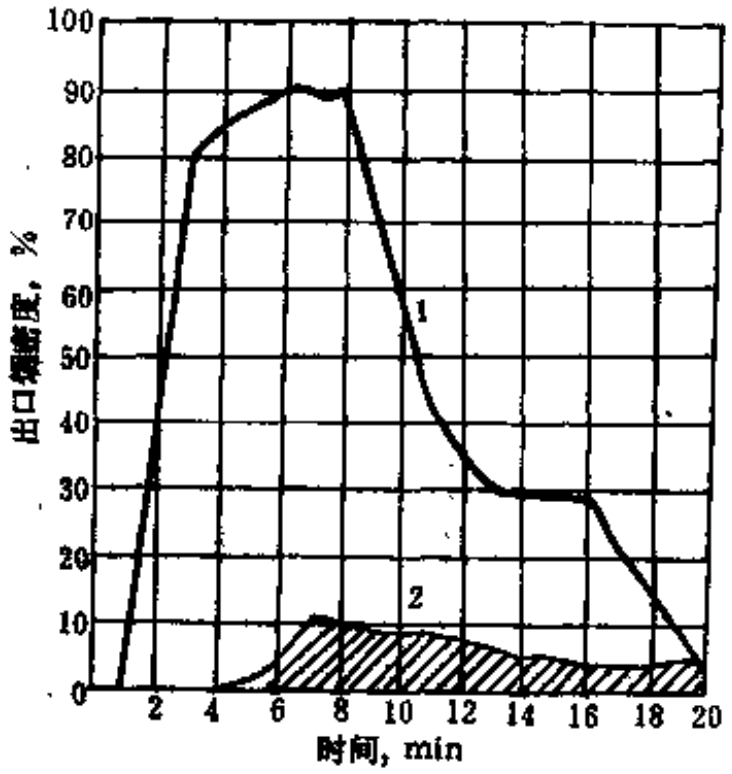


图 10-30　含卤素与无卤素电缆燃烧时烟密度的比较

1—含卤素电缆（聚氯乙烯绝缘、聚氯乙烯护套电缆）；2—无卤素电缆

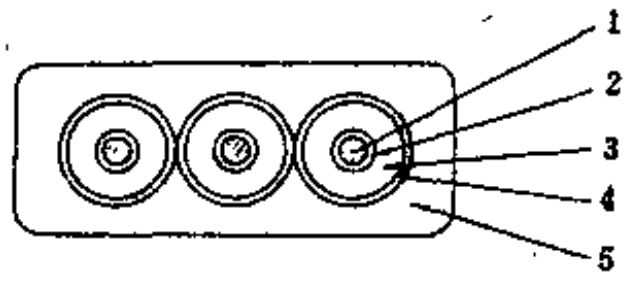


图 10-31　500V三芯扁型橡胶护套电缆结构

1—铜导体；2—聚酯薄膜隔离层；3—乙丙橡胶绝缘层；4—标志带；5—氯丁橡胶护套

9．电焊机用电缆

适用于电焊机二次侧接线及连接电焊钳的软电缆，其额定电压为220V。电焊机用电缆要求特别柔软、弯曲性能优异、轻巧而使用可靠。为了满足这些技术要求，在电缆结构上应予特殊的设计。电缆的导体结构是决定电缆上述特性的重要因素。其特征是铜单线的直径用得很细。导体标称截面为16～95mm²，单线直径采用0.20mm。120～185mm²单线直径采用0.30mm。同时，这种以复绞型式的导体，股线的绞合方向与本层复绞方向相同，使电缆在弯曲时，导体中的股线易于相互滑移。在导体表面必须绕包一层聚酯薄膜作隔离层，使橡胶与导体之间易于相互滑移。电缆结构之间能相互滑移，对提高电缆的柔软性和弯曲性能有着重要的作用。电焊机用电缆的绝缘可采用乙丙橡胶或天然橡胶与丁苯橡胶的并用橡胶，护套橡胶可采用氯磺化聚乙烯橡胶或氯丁橡胶。由于这种电缆常在户外移动使用，因此，护套应经受大气老化、耐油和具有足够的机械强度。如果电焊机用电缆的额定电压低于120V，可考虑采用合适的材料作绝缘兼护套。当然这种橡胶的技术性能仍要满足绝缘橡胶和护套橡胶的要求。

10．X射线装置用高压电缆

这种电缆用于将灯丝电流和高压电流引入X射线管，作为传输高压电能之用。这种电缆主要有两个品种。

（1）单焦点管X射线机用直流高压电缆，主要用于脉动直流电压为110kV的X射线

机上。

（2）双焦点管X射线机用直流高压电缆，主要用于脉动直流电压为60kV的X射线机上。

电缆的结构由绝缘线芯、橡胶半导电层、高压橡胶绝缘层、镀锡铜线编织以及纤维编织（或聚氯乙烯塑料层）等组成。

11．电机和电器引接电线

电机和电器引接电线是将电线一端和电机电器的绕组焊接牢固，电线的另一端引接到接线柱或待连接备用。

通用电机、电器的绕组接上引接电线后，还需经真空干燥、绝缘漆浸渍、烘干等绝缘处理工艺过程。因此，要求电线具有耐热、耐漆中溶剂等性能。电线的耐热等级要求与连接的电机、电器的耐热等级相配合。

（1）乙丙橡胶绝缘丁腈橡胶护套引接电线　适用于交流额定电压500V及1140V的B级绝缘电机、电器用。铜导体采用多根镀锡单线绞合而成，标称截面为0.12～120mm²。

丁腈橡胶耐溶剂性能较好，但抗臭氧性能不良，所以这种电线只能用于低压电机、电器中。

（2）氯磺化聚乙烯橡胶绝缘引接电线　适用于交流额定电压500V和1140V的B级绝缘电机、电器用。氯磺化聚乙烯橡胶的机械性能、耐热老化性能及耐溶剂性能均十分优良，但电性能较差。此种橡胶通常只做电线电缆的护套，但经特殊设计的橡胶配方，将其比体积电阻系数作适当的提高后，也可作低电压引接电线的绝缘之用。

电线的导体结构和截面与上述乙丙橡胶绝缘丁腈橡胶护套引接电线相同。

（3）乙丙橡胶绝缘氯磺化聚乙烯橡胶护套引接电线　适用于交流额定电压为500V、1140V、6kV的F级绝缘电机、电器用。导体采用多根镀锡铜线绞合而成。标称截面为0.2～400mm²。

6kV电线的绝缘层内外应有半导电层。当电线的工作电压在6kV以上时，较高的电场强度导致电线及其周围空气发生游离面产生臭氧。乙丙橡胶和氯磺化聚乙烯橡胶均具有优良的抗臭氧作用，所以这种电线可用作6kV的电机、电器引接电线。

（4）硅橡胶绝缘引接电线　适用于交流额定电压500V以下的H级绝缘电机、电器用。导体由多根铜单线绞合组成。标称截面0.2～95mm²。

硅橡胶的耐热性能极佳，可与耐热等级较高的H级电机、电器相配合。

以硅橡胶绝缘绕包经硅树脂浸渍的玻璃纤维带，再用玻璃纤维编织并浸渍硅树脂漆。

12．橡胶绝缘布电线

橡胶绝缘布电线适用于交流额定电压500V以下或直流1000V以下的电气设备及照明装置，包括：户外架空绝缘电线、用户引入电线、以及户内配电电线等的总称。

布电线广泛应用于工厂、农村、住宅的照明、动力以及生活设施中，所以布电线是一类量大面广的产品。

（1）橡胶绝缘棉纱编织涂蜡布电线　分固定敷设和固定敷设时要求柔软的两种。固定敷设的电线有铜芯和铝芯，铜芯标称截面0.75～630mm²，铝芯2.5～630mm²。固定敷设时需要柔软的电线，导线只有铜芯，标称截面0.75～400mm²。电线的绝缘采用天然橡胶与丁苯橡胶并用橡胶，导电线芯长期允许工作温度不超过+65℃。这种产品是线缆工业早期产品，应积极予以改进。

（2）橡胶绝缘氯丁橡胶护套布电线　用天然橡胶与丁苯橡胶并用橡胶作绝缘，氯丁橡胶作护套，可制得绝缘性能和耐大气老化性能都较好的布电线，电线导体长期允许工作温度应不超过+65℃。

这种电线的外观和防潮性能好，无污染，敷设方便，使用寿命也较长。所以，在室内安装和户外架空敷设时，用以代替橡胶绝缘棉纱编织涂蜡布电线，受到用户欢迎。

由于这种电线氯丁橡胶护套对铁管摩擦系数大，因此不宜作穿管敷设之用。目前制造这种电线都采用绝缘和护套两层橡胶一次挤出，生产效率比橡胶绝缘棉纱编织涂蜡布电线有显著提高。

（3）橡胶绝缘黑色聚乙烯护套布电线　黑色聚乙烯具有表面光滑、摩擦系数小、机械强度高、耐寒性好、电性能优良等优点，这种电线的综合性能比橡胶绝缘氯丁橡胶护套布电线要好。

13．橡胶绝缘软电线

橡胶绝缘软电线使用范围十分广泛，主要适用于各种日用电器作电源等连接用。这类电线的特征是柔软，可多次弯曲，外径小，质量轻，同时要求色泽和谐、手感舒适等。随着家用电器的品种日新月异，要求与其配套的电线在质量和数量上都应相应的提高和增加。

电线的工作电压大多为交流250V或直流500V以下，部分电线要求用于交流500V 或直流1000V以下。

（1）橡胶绝缘软电线　可分为橡胶绝缘棉纱编织对绞软电线和橡胶绝缘棉纱总编织软电线。这类电线主要用于日用电器和照明灯头中，因此要求特别柔软，所以导体用细铜线束绞而成。如果铜线不镀锡，则在导体外面应绕包一层适合材料制成的隔离层，通常绕包纤维材料；若为镀锡铜线，是否绕包隔离层可任选。导体标称截面 0.2～0.75mm² 者，铜单线直径为0.15mm；导体标称截面1.0～2.0mm²者，铜单线直径为0.20mm。

棉纱编织用的是蜡光纱，这种经过上蜡处理的棉纱表面光滑，机械强度好，可染成各种颜色，编织层可有各种颜色和有色线嵌点成花纹，所以又通称花线。

橡胶绝缘棉纱总编织软电线分为两芯和三芯，线芯在成缆时，用纤维材料填充使其圆整，然后用蜡光线总编织。

（2）橡胶绝缘橡胶护套软电线　导体与橡胶绝缘棉纱编织软电线的相同。每个绝缘线芯表面应绕包胶带或聚酯、聚丙烯薄膜，防止护套和绝缘线芯相互粘连。在成缆中心间隙处应填充纤维材料。成缆后挤包橡胶护套。

电线规格有二芯和三芯，导体标称截面0.75～2.5mm²。

二、电线电缆用绝缘橡胶和护套橡胶

（一）一般规定

电线电缆中所用的橡胶按其用途的不同可分为：绝缘橡胶、护套橡胶、半导电橡胶及填充橡胶，按其特性分为普通和阻燃、耐油、耐寒、防霉等等。为了满足各种不同的技术要求，必须采用不同品种的生胶，诸如：天然橡胶、丁苯橡胶、丁基橡胶、乙丙橡胶、硅橡胶、热塑弹性体、氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、氯化聚乙烯橡胶、顺丁橡胶、丁腈橡胶等。

由于在电线电缆中所用的各种绝缘和护套等橡胶归根结底是为满足电线电缆产品技术性能要求的。也就是说，这里所列出的绝缘橡胶和护套橡胶的性能要求，都是指从电线电缆产

品中取样试验所得的数据。

1．类别、工作温度和特性代号

电线电缆导体长期工作温度可分为若干档，因此，橡胶的长期工作温度应与电线电缆导体长期工作温度相一致。

类别代号

绝缘橡胶 XJ；　　护套橡胶 XH。

工作温度代号

65℃ 0；　　70℃ 1；
85℃ 2；　　90℃ 3；
180℃ 8。

特性代号

一般 0；　　一般不延燃 1；
重型 2；　　重型不延燃 3。

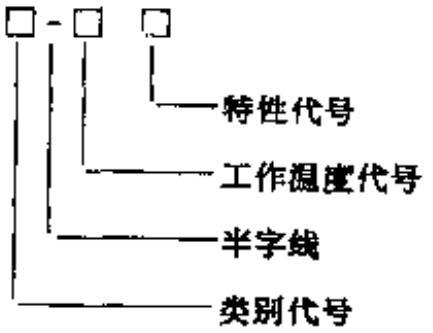
2．表示方法

① 绝缘橡胶和护套橡胶用型号表示。型号由类别代号、工作温度代号等组成。

② 工作温度代号排在类别代号后面。

③ 特性代号排在工作温度代号后面。

④ 型号结构示意



举例：工作温度为65℃的电线电缆绝缘橡胶，表示为：XJ-00。

工作温度为85℃的电线电缆一般不延燃橡胶护套，表示为：XH-21。

3．工作温度

① 绝缘的工作温度系列为：65℃，70℃，90℃，180℃。

② 护套的工作温度系列为：65℃，85℃，90℃，180℃。

③ 产品设计时，绝缘橡胶和护套橡胶的工作温度应作适当配合。

4．技术要求

应满足有关的电线电缆产品标准的规定。

5．试验

① 橡胶绝缘和护套应由制造厂的技术检查部门，按有关标准规定，从成品电线电缆上取样进行检验。

② 由有关的电线电缆产品标准规定的技术要求，按相应的标准规定试验。

③ 试验方法按GB2951规定。

6．定义

（1）中间值　将获得的应有个数的试验数据，以递增或递减的顺序排列，当有效数据的个数为奇数时，则当中的一个数值即为中间值。若为偶数时，则当中的两个数值的算术平均值为中间值。

（2）变化率　老化前和老化后的中间值之差与老化前中间值之比，以百分数表示。

$$\text{变化率} = \frac{\text{老化前中间值} - \text{老化后中间值}}{\text{老化前中间值}} \times 100$$

（3）橡胶（绝缘或护套） 橡胶是经过适当选择、配比、加工和硫化的橡胶混合物，其特性组分为天然橡胶或合成橡胶，或两者的混合物。如天然橡胶、氯丁橡胶等。

（4）工作温度 工作温度采用电线电缆导体长期允许工作温度定义。

（二）橡胶绝缘

橡胶绝缘按电线电缆导体长期允许工作温度来划分，可分为耐热65℃、70℃、90℃和180℃ 4种。耐热65℃和70℃ 2种绝缘橡胶主要采用天然橡胶与丁苯橡胶的并用橡胶。耐热90℃绝缘橡胶主要应由乙丙橡胶胶料组成。耐热180℃主要应由硅橡胶胶料组成。橡胶绝缘的型号和性能见表10-8。

作为电线电缆的橡胶绝缘除了应满足表10-8所示的物理机械和老化性能外，同时也应具有优良电绝缘性能。天然橡胶、丁苯橡胶、乙丙橡胶以及硅橡胶都是属于弱极性的高分子聚合物，有良好的电性能。但是，实际应用的橡胶是由生橡胶和多种配合剂混合物的硫化胶料。由于配合剂品种、数量和加工工艺的不同，同一种生橡胶可加工得到电性能差异较大的硫化胶料。

电线电缆的电性能在产品的专业标准中均有具体规定，必须采用达到一定电性能技术参数的橡胶作为绝缘层才能满足产品的技术要求。一般而言，作为电线电缆用的橡胶绝缘，其常用电性能参数应符合表10-9中所列数值。

（三）橡胶护套

电线电缆用护套是为了保护绝缘层免受外界的侵袭。护套的功能主要是为了提高电线电缆的机械强度、耐油性能、防潮性能、不延燃性能等。通常一种橡胶护套难以满足以上所有性能。因此，应按产品的用途和技术要求加以适当选用。

橡胶护套按耐热温度、延燃性、普通型或重型等分为几个型号。橡胶护套的型号和性能的技术要求见表10-10。

三、硫　化

橡胶绝缘和护套的硫化方法有以下几种。

① 硫黄硫化或硫给予体硫化 适用于二烯类橡胶。

② 金属氧化物硫化 适用于氯丁橡胶和氯磺化聚乙烯橡胶。

③ 醌类硫化 适用于丁基橡胶。

④ 过氧化物硫化 适用于乙丙橡胶、硅橡胶。

⑤ 硅烷硫化 适用于乙丙橡胶。

⑥ 电子辐照硫化 适用于硅橡胶、乙丙橡胶。

电线电缆产品最宜硫化条件的确定比较困难，主要原因是热传导问题。胶料被挤包成电缆的绝缘或护套后，在硫化时首先接触传热介质的只是胶料的表层，然后随时间推移逐渐向内传热至导体，直至热平衡。这是一个很复杂的热传导过程。硫化的历程是把这个热传导物理过程和胶料的交联反应化学过程结合起来，才能确定胶料在任意时间、任意点的交联度。近年来，由于电子计算机技术的发展，已可将一组复杂的热传导方程和化学动力学方程组求解，从而可制订出不同规格和胶料的制品，在一定的受热条件下，算出最宜硫化时间，确定最佳的工艺参数。

表 10-8 橡胶绝缘的型号和性能

试 验 项 目	XJ-00①	XJ-10②	XJ-30③	XJ-80④
	技术要求	技术要求	技术要求	技术要求
老化前试样				
拉伸强度（中间值，最小），MPa	5.0	5.0	4.2	5.0
扯断伸长率（中间值，最小），%	250	250	200	150
热空气老化				
老化条件 温度，℃	75±2	80±2	135±2	200±2
时间，h	10×24	10×24	7×24	10×24
老化后拉伸强度（中间值，最小），MPa	4.2	4.2	—	4.0
（变化率，最大），%	±25	±25	±30	—
老化后扯断伸长率（中间值，最小），%	250	350	—	120
（变化率，最大），%	±25	±25	±30	—
4天氧弹老化试验				
老化条件 温度，℃	75±2	80±2	127±1	—
时间，h	14×24	4×24	40	—
老化后拉伸强度（中间值，最小），MPa	4.2	4.2	—	—
（变化率，最大），%	±35	±35	±30	—
老化后扯断伸长率（中间值，最小），%	250	250	—	—
（变化率，最大），%	±35	±35	±30	—
7天氧弹老化试验				
老化条件 温度，℃	75±2	80±2	—	—
时间，h	7×24	7×24	—	—
老化后拉伸强度（中间值，最小），MPa	4.2	4.2	—	—
（变化率，最大），%	±25	±25	—	—
老化后扯断伸长率（中间值，最小），%	250	250	—	—
（变化率，最大），%	±35	±35	—	—
热延伸试验				
试验条件 空气温度，℃	200±3	200±3	250±3	200±3
载荷时间，min	15	15	15h	15h
机械应力，MPa	0.2	0.2	0.2	0.2
载荷下伸长率（最大），%	175	175	175	175
冷却后永久变形（最大），%	25	20	15	25
抗臭氧试验				
试验条件 臭氧浓度（按体积），%	—	—	0.025～0.030	—
时间，h	—	—	30	—
表面变化	—	—	无 开 裂	—

① XJ-00型橡胶，适用于作电线电缆导体，长期允许工作温度为+65℃的橡胶绝缘，其应由天然橡胶或合成橡胶，或两者并用橡胶组成。通常应用天然橡胶与丁苯橡胶并用橡胶胶料。

② XJ-10型橡胶，适用于作电线电缆导体，长期允许工作温度为+70℃的橡胶绝缘，由天然橡胶或合成橡胶，或两者并用橡胶组成。通常应用天然橡胶和丁苯橡胶并用橡胶胶料。

③ XJ-30型橡胶，适用于作电线电缆导体，长期允许工作温度为+90℃的橡胶绝缘，由乙丙橡胶组成。

④ XJ-80型橡胶，适用于作电线电缆导体，长期允许工作温度为+180℃的橡胶绝缘或护套，由硅橡胶组成。

表 10-9 橡胶绝缘型号的电性缘

试 验 项 目		试验条件	XJ-00	XJ-10	XJ-30	XJ-80
体积电阻率，Ω·cm	>	20℃	1×10^{14}	1×10^{14}	1×10^{15}	1×10^{15}
介电常数	<	20℃	4.5	4.0	3.5	3.5
介电损耗角正切值	<	20℃	0.010	0.010	0.005	0.005
击穿介电强度，MV/m	>	20℃，50Hz	25	25	28	30

表 10-10 护套橡胶的型号和性能技术要求

试验项目	XH-00①	XH-01②	XH-02③	XH-03④	XH-21⑤	XH-31⑥
老化前试样						
拉伸强度（中间值 最小），MPa	7.6	10.0	12.0	11.0	10.0	10.0
扯断伸长率（中间值 最小），%	300	300	300	250	300	250
热空气老化试验						
老化条件 温度，℃	75±2	75±2	75±2	75±2	100±2	120±2
时间，h	10×24	10×24	10×24	10×24	7×24	7×24
老化后拉伸强度（中间值 最小），MPa	—	—	—	—	—	—
（变化率 最大），%	±20	−15	±20	−15	±30	−30
老化后扯断伸长率（中间值 最小），%	250	250	250	200	250	—
（变化率 最大），%	±20	−25	±20	−25	±40	−40
热延伸试验						
试验条件 空气温度，℃	200±3	200±3	200±3	200±3	200±3	200±3
载荷时间，min	15	15	15	15	15	15
机械应力，MPa	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
载荷下伸长率（最大），%	175	175	175	175	175	175
冷却后永久变形（最大），%	25	25	25	25	15	15
浸油试验						
试验条件 温度，℃	—	100±2	—	100±2	100±2	100±2
时间，h	—	24	—	24	24	24
浸油后拉伸强度（变化率 最大），%	—	±40	—	−40	±40	−40
浸油后扯断伸长率（变化率 最大），%	—	±40	—	−40	±40	−40
撕裂强度（中间值 最小），kN/m	5	—	—	5	—	—

① XH-00型橡胶，适用于电线电缆导体，长期允许工作温度为+65℃的一般橡胶护套，由天然橡胶或合成橡胶，或两者并用胶料组成。

② XH-01型橡胶，适用于电线电缆导体，长期允许工作温度为+65℃的一般不延燃橡胶护套，由氯丁橡胶或其它相当材料的混合物组成。

③ XH-02型橡胶，适用于电线电缆导体，长期允许工作温度为+65℃的重型橡胶护套，由天然橡胶或合成橡胶，或两者并用的胶料组成。

④ XH-03型橡胶，适用于电线电缆导体，长期允许工作温度为+65℃的重型不延燃橡胶护套，由氯丁橡胶或其它相当材料的混合物组成。同时，根据电缆的结构、使用环境和产品的要求等，可与工作温度为70℃的橡胶绝缘配合使用。

⑤ XH-21型橡胶，适用于电线电缆导体，长期允许工作温度为+85℃的一般不延燃橡胶护套，由氯丁橡胶或其他相当材料的混合物组成。

⑥ XH-31型橡胶，适用于电线电缆导体，长期允许工作温度为+90℃的一般不延燃橡胶护套，由氯磺化聚乙烯橡胶或其他相当材料的混合物组成。

目前应用得较广的还是利用胶料试片的最宜硫化条件，以经验式推算，再从实际生产出来的产品的不同部位取样，测定其硫化程度或交联度。经多次实测，求出某一产品的最宜硫化条件，作为生产工艺。

产品的硫化工艺方法有三种：硫化罐硫化、低温硫化和连续硫化。连续硫化工艺在以后论述。

1。硫化罐硫化

（1）特点 硫化罐硫化是一种传统的硫化工艺。虽然在电缆工业中越来越多地采用连续硫化工艺，但因硫化罐硫化所具有的某些优点是连续硫化工艺所难以做到的，所以，至今在电缆工业中仍广泛地采用这种工艺，尤其对二烯类橡胶如天然橡胶等耐热程度不高的橡胶，使用硫化罐硫化工艺可制得机械强度高、热老化系数高的胶料。

对移动用的橡胶护套电缆，要求橡胶护套与绝缘之间不能过于紧密，使电缆在移动使用时线芯与护套之间有良好的滑移性能。而连续硫化工艺制造出来的橡胶护套电缆，是在高压高温条件下硫化加工的，致使绝缘线芯与橡胶护套之间非常紧密，电缆移动时，不易相互滑动，屈挠性差，故不宜采用连续硫化工艺，可用硫化罐硫化。

（2）硫化罐　硫化罐有单层和双层两种。双层硫化罐的夹套内通以蒸汽作为硫化罐的保温层，不使罐内产生冷凝水。在硫化罐外壳包覆很厚的石棉等热绝缘材料，使罐内温度稳定。硫化罐内置有小铁轨，需硫化的电缆装在小车上沿铁轨推入硫化罐。为了使硫化的电缆受到的温度均匀起见，电缆绕于可缓慢转动的硫化筒上，尤其对大规格电缆的硫化更为重要。

（3）硫化工艺　电缆工业中硫化的加热介质都采用饱和蒸汽，因为它具有下列优点：①饱和蒸汽的压强与温度有一定关系，容易控制温度；②饱和蒸汽的热容量要比热空气大得多，热传导性好；③饱和蒸汽硫化时对电缆不但有热量而且还有压强，这对电线电缆的硫化特别重要，可防止橡胶起孔或起泡。

a．硫化的常用蒸汽压力　常在0.29～0.49MPa之间。胶料在硫化过程中，先是受热变软，此时硫化交联反应正在开始，但物理机械性能还未明显改变。胶料可塑性显著提高（如温度每升高16℃，天然橡胶的威廉士可塑性相应增加0.05～0.06）。在电缆自重及绕线等机械应力的影响下，很可能使胶料变形而导致产品报废。为了克服这一现象，绝缘线芯或护套电缆在硫化前必须采取工艺措施，其方法有：绕包带子加强，挤包铅套或塑料套加强。

当采用绕包带子加强时，通常使用重叠式绕包带子一层。对制品直径较大或胶料厚度较厚的产品，为了相应加强其机械强度，可采用重叠式绕包两层带子进行加强。绝缘线芯硫化后，绕包在绝缘层上而的涂胶布带，如无特别要求，一般可不必拆除；而护套上面绕的带子则在大多数情况下必须拆除。包带硫化后，在制品表面有绕包的痕迹。

为了改善橡胶护套表面光滑程度及提高产品质量起见，橡胶护套电缆硫化较好的工艺方法是压铅硫化，即在橡胶护套上用压铅机挤包一层厚约1.0～1.5mm的纯铅，经硫化后再在剥铅机上将铅层剥掉。护套表面光滑，质量较好。对绝缘线芯及橡胶护套直径较小的制品，也有采用直接盘绕再用滑石粉作隔离剂的硫化托盘上，或小心地绕在硫化筒上进行硫化，但这种工艺方法有相当的局限性。

上而讨论的硫化方法除盘绕在硫化托盘者外，其余都是将需硫化的制品整齐地绕在硫化筒上进行的。硫化筒外形类似一般线盘，用铁板制成。在圆筒表面以棉花等纤维物质为垫衬，使保持一定的柔软和弹性，防止硫化时产生胶料压扁等现象。但值得注意的是，这种垫衬层必须保持干燥状态，否则，因潮湿的衬垫吸收较多的热量致使制品硫化的质量下降。

b．硫化的温度和时间　在电缆制造过程中，关子确定硫化的温度和时间，应考虑到胶料的厚度和特性的不同等因素，有时对硫化工艺作较复杂的规定。

硫化罐硫化工艺对每种制品的硫化都要分作试片（从零逐渐升压到规定的压强）、硫化（稳定地保持规定的压强）、放汽（从硫化压强慢慢地降到零）三个阶段。进汽和放汽时间一般各为10min，硫化时间在15～60min，按胶料配方、厚度、制品在硫化筒上缠绕层数等具体情况而定。

饱和蒸汽的压力和温度之间有一定的关系，很据研究结果，这种关系可用一个十分复杂的公式来计算。在应用中，以实测值来表示。表10-11是饱和蒸汽的表压强和温度之间的关系。

表 10-11 饱和蒸汽压强和温度的关系

饱和蒸汽表压强 MPa	温度 ℃	饱和蒸汽表压强 MPa	温度 ℃	饱和蒸汽表压强 MPa	温度 ℃
0.1	119.7	0.8	174.6	1.5	200.5
0.2	132.9	0.9	179.1	1.6	203.4
0.3	142.9	1.0	183.2	1.7	206.4
0.4	151.1	1.1	187.1	1.8	208.9
0.5	158.1	1.2	190.8	1.9	211.4
0.6	164.2	1.3	194.2	2.0	213.8
0.7	169.6	1.4	197.4		

四、绝缘橡胶和橡胶护套的配合

（一）绝缘橡胶的配合

绝缘橡胶是作为产品电绝缘层使用的，它是保证产品电性能达到规定要求的部件。各种产品按使用条件不同而采用不同特性的绝缘橡胶。绝缘橡胶应具有各种优良的物理机械性能及电性能，其中电性能、老化性能和耐温性能更为重要。

1．天然橡胶与丁苯橡胶并用的绝缘橡胶

这种胶料是利用丁苯橡胶比天然橡胶具有较好的耐热空气老化性能而被采用的。胶料是采用TMTD或多硫聚合物JL-1（即硫化剂VA-7）作为硫化剂而制成的无硫橡胶，其长期使用温度为65～70℃。胶料内的天然橡胶与丁苯橡胶的并用重量比以 50:50 为最常用，可取得机械、物理、电性能和老化性能之间的适当平衡。胶料的重量含胶率常为35%。

（1）影响电性能因素

a．橡胶品种　丁苯橡胶的电气性能比天然橡胶差一些，因而作为绝缘橡胶用的丁苯橡胶应具有较好的电性能、良好的耐湿和耐热空气老化性能，这种丁苯橡胶的苯乙烯含量约占25%，相当于牌号1502或1503电绝缘用丁苯橡胶。

b．配合剂　各种配合剂对电性能均有一定的影响，以TMTD为硫化剂的无硫绝缘橡胶，其绝缘电阻较高。凡是碱性促进剂（如促进D等）均会增加胶料的吸水性能，从而使电性能显著下降，所以在配方内不能使用。加入污染性防老剂会使胶料的绝缘电阻有所下降。加入同量的非污染性防老剂（如防老剂MB等），则对胶料的绝缘电阻影响很小。

绝缘胶料内所用的填充剂主要是滑石粉、活性碳酸钙以及经硅烷表面处理的煅烧陶土。填充滑石粉的胶料要比填充活性碳酸钙的胶料的绝缘电阻高。在滑石粉品种中，因颗粒结构不同而对胶料的电性能影响也会不同。如填充片状结构超细滑石粉的胶料，其绝缘电阻和工频击穿介电强度均有进一步提高。吸湿性的填充剂对胶料电性能有严重影响，所以不能使用。

（2）影响老化性能的因素　天然橡胶与丁苯橡胶以 1:1 并用的绝缘胶料的热空气老化寿命要比天然橡胶绝缘胶料长得多，这对提高产品热老化性能起到十分重要的作用。

2．乙丙绝缘橡胶

在橡胶绝缘电缆中，乙丙绝缘橡胶是最主要的一种。事实上，在通用型橡胶绝缘体中，诸如天然橡胶、丁苯橡胶和丁基橡胶等已逐渐被乙丙橡胶所代替。

（1）乙丙橡胶　乙丙橡胶有二元共聚物和三元共聚物两类。二元乙丙橡胶是一种分子结构饱和的聚合物，其抗臭氧和耐电晕性能优异。因此在电缆工业中常用作6kV及以上的中、

高压电缆的绝缘。在二元乙丙橡胶中引入了非共轭二烯类作第三单体，即称为三元乙丙橡胶。由于第三单体中有不饱和的双键，所以，三元乙丙橡胶的抗臭氧和耐电晕性能稍低于二元乙丙橡胶，但具有硫化速度快、交联密度高以及机械强度大等优点，因此多用作低压电缆的绝缘橡胶。

三元乙丙橡胶中第三单体的品种和含量对胶料的硫化速率也有明显影响。第三单体主要有亚乙基降冰片烯、1,4-已二烯和双环戊二烯，其中以亚乙基降冰片烯的硫化速度最快。第三单体的含量越多，不饱和度就越大，通常可用碘值来测定，三元乙丙橡胶的碘值在10～20之间。

乙丙橡胶的乙烯与丙烯摩尔含量的比例随乙丙橡胶的品种不同而异。乙烯含量高的乙丙橡胶受拉伸后易结晶、机械强度高，但低温性能和加工性能较差；若丙烯含量高时，则上述特性相反。乙丙橡胶的乙烯与丙烯的比例，常在68/32～40/58之间。应根据产品的电压级和生产工艺方法来选择适应的乙丙橡胶品种。二元乙丙橡胶具有饱和的分子结构，其电性能、老化性能以及耐电晕性能优异，适宜做中、高压绝缘橡胶。三元乙丙橡胶的老化和耐电晕性能不及二元乙丙橡胶，所以通常用作低压乙丙绝缘橡胶。乙丙橡胶的各项参数对胶料物理机械性能及工艺性能的影响见表10-12。

（2）硫化体系　乙丙橡胶的硫化系统有三种：过氧化物硫化、硫给予体硫化和硫黄硫化。二元乙丙橡胶只能用过氧化物硫化，三元乙丙橡胶用以上三种硫化体系中任一种都可以。目前在电缆工业中即使是三元乙丙橡胶，其硫化体系也多数采用过氧化物硫化。

过氧化物硫化同其余两种硫化体系相比，具有如下特点。

优点是大分子以碳-碳键交联，具有优良的耐热性和低压缩变形；较好的电性能；在160～200℃间硫化速度很快，硫化返原性小；工艺操作安全；焦烧时间很长；无污染性；在硫化过程中和在日光中不易变色。

缺点是在配方内应避免采用对过氧化物活性基团有干扰的配合剂，如：芳香族油；对氧敏感，在硫化时应避免有氧存在。

过氧化物硫化体系由硫化剂、硫化助剂和偶联剂所组成。

表 10-12　乙丙橡胶的几项参数对胶料性能的影响

乙丙橡胶的参数	对下列性能有利	对下列性能不利
提高分子量（门尼粘度）	拉伸强度 撕裂强度 生胶拉伸强度	混　炼 挤　出 压　延
增加乙烯含量	生胶拉伸强度 高温挤出流动性 拉伸强度 胶料成本	混　炼 低温可绕性 温度较高时的生胶拉伸强度
增加不饱和第三单体含量	硫化速度 压缩永久变形 定伸应力	门尼焦烧 热空气老化 成　本 耐电晕 扯断伸长率
增宽分子量分布	综合加工性	出模膨胀率 挤出速度

a．硫化剂　过氧化物在交联温度时分解成两个游离基。这些游离基在聚合物的碳链上产生活化位置，并发生碳与碳之间的交联，使聚合物大分子变成网状结构。最常用的过氧化物是过氧化二异丙苯（即DCP），理论用量是每100份橡胶含0.01mol，等于2.7份。但在实际生产中，考虑到胶料内的某些防老剂、填充剂和软化剂等配合剂都对过氧化物的交联度和交联速率有降低的作用，因此，DCP的实际用量需按配方组分的具体情况作适当调整，可稍高于2.7份，但不宜大于3.5份。

b．硫化活性助剂　采用过氧化物硫化时会因生成游离基而使橡胶大分子的主链断裂，

引起机械强度的降低。为了阻止这一断链现象，应添加硫化活性助剂。硫化活性助剂是一些多官能不饱和有机聚合物，它可使胶料得到高的硫化程度和硫化速率，并可适当降低过氧化物的用量，也可借以减轻过氧化物的臭味。常用的硫化活性助剂如表10-13所示。

表 10-13 硫化活性助剂

化学名称	商品名称	常用量,份
乙基二甲基丙烯酸	EDMA	1.0
三烯丙基氰脲酸酯	TAC	1.5
N,*N'*-间苯马来酸亚胺	HVA-2	1.0
1，2-聚丁二烯	1，2PBD	1.0～3.0
对醌二肟	GMF	2.0
P,*P'*-二苯甲酰醌二肟	DIBENZO-GMF	2.0
三烯丙基异氰脲酸酯	TAIC	1.5
四硫化二(五亚甲基)秋兰姆	DPTT	1.0～2.0

（二）护套橡胶的配合

橡胶绝缘电线电缆的护套，主要是起到保护绝缘橡胶层免受各种损伤的作用，保证产品正常使用。根据各种产品使用条件的不同而采用不同特性的护套橡胶。

1．天然橡胶护套

用天然橡胶制成的护套橡胶是一种最普通的电线电缆护套，这种橡胶的含胶率最常用的有40%和50%两种。

（1）硫黄硫化系统　一般可有下列几种配合。

a．硫黄 2.0～2.3 份；促进剂M 0.8～1.2 份。这种硫化体系的胶料焦烧时间较长、硫化速度较慢，适用于硫化罐硫化工艺。

b．硫黄2.0～2.3份；促进剂CZ 1.0～1.2份；促进剂M 0.20～0.25份；促进剂TMTD 0.1～0.2份。这种硫化体系的胶料焦烧时间较长，且硫化速度快，可适用于连续硫化工艺。若用于硫化罐硫化，则促进剂M和促进剂TMTD均可不加。

（2）无硫硫化体系　为了解决硫黄硫化的护套胶料在硫化过程中产生硫黄对无硫绝缘橡胶迁移的问题，可采用无硫硫化体系的护套胶料。无硫护套胶料的硫化系统主要由TMTD 3.0～3.5份作为硫化剂，再加促进剂M 1.0～2.0 份作为防焦剂组成。采用多硫聚合物JL-1 作为护套胶料的硫化剂，同时加入适量的促进剂DM和促进剂EZ，也可制成无硫护套胶料。

2．氯丁橡胶护套

在通用型硫调节氯丁橡胶中的硫化体系，对硫化罐硫化的护套胶料可加入氧化锌 5 份；煅烧轻质氧化镁 4 份。对挤出连续硫化的护套胶料，可加入氧化锌 5 份；煅烧轻质氧化镁 4 份；促进剂NA-22　0.6～1.2份。

对耐湿性要求较高的氯丁护套胶料，不应加入煅烧轻质氧化镁，因为这种配合剂极易吸湿，常用四氧化三铅10～20份代替氧化镁。

3．天然橡胶与丁苯橡胶护套

为了改善护套橡胶的耐老化性能，常将天然橡胶与丁苯橡胶并用。这种胶料如果采用低硫硫化系统，虽然在物理机械性能方面稍低于相当的天然橡胶胶料，但其耐老化性能则有所提高。同时，护套橡胶对绝缘橡胶的老化性能的影响也有改善。

4．丁腈橡胶护套

丁腈护套橡胶主要用于耐油的电线电缆。护套橡胶耐油程度随橡胶中的丙烯腈含量多少而异。常用的丁腈橡胶丙烯腈含量为25～40%，胶料的耐油性能随丙烯腈含量的增加而相应提高。主要用作耐油的丁腈护套橡胶，应采用丙烯腈含量为40%的丁腈橡胶。

（1）硫化体系　丁腈橡胶的硫化体系见图10-32所示。

在不同硫化体系所制得的丁腈护套橡胶，具有不同的性能特点。

用作耐油电缆橡胶护套，应使胶料具有较高的交联密度，较好的回弹性和较小的永久变

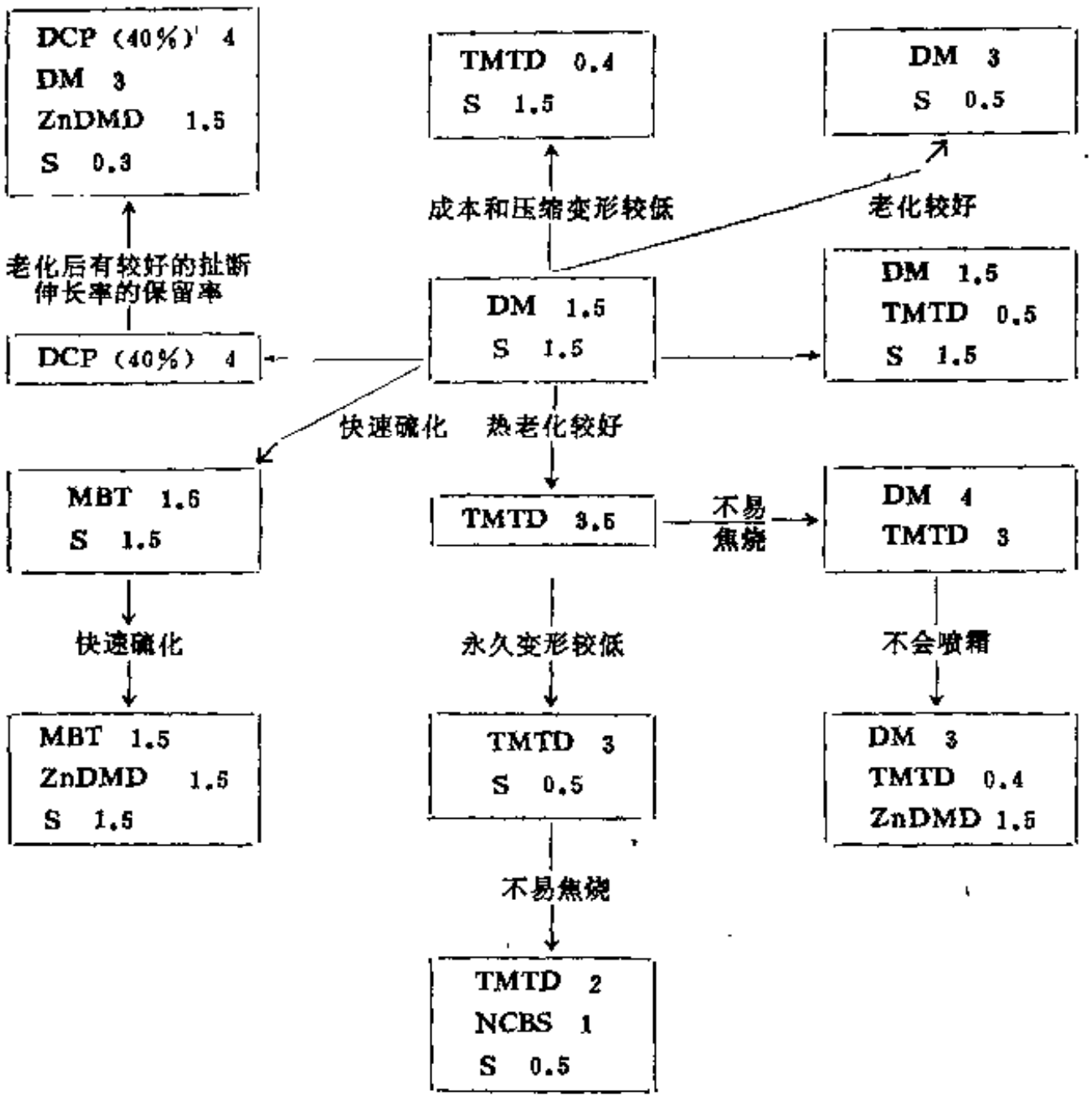


图 10-32 丁腈橡胶的硫化体系

形，为了满足这些技术要求，可采用DM 1.5；TMTD 0.5；S 1.5组成的硫化体系。

（2）其它配合剂 丁腈橡胶护套橡胶的其它配合剂与天然橡胶护套橡胶的相似。

5．氯磺化聚乙烯护套

氯磺化聚乙烯橡胶是一种优良的电线电缆护套材料，它的耐热老化、耐油性能以及机械强度等都比氯丁橡胶好，耐大气老化和耐臭氧性能更为突出。因此，氯磺化聚乙烯橡胶已广泛用作电线电缆的护套。

（1）氯磺化聚乙烯橡胶的选用 氯磺化聚乙烯橡胶的商品名称为“海帕隆”，其主要品种有氯磺化聚乙烯-40，含氯量为35%，是电缆工业中最常用的品种。

（2）硫化体系 氯磺化聚乙烯橡胶常用的硫化剂有金属氧化物、季戊四醇、胺类和环氧树脂等。电缆工业主要采用氧化铅和煅烧轻质氧化镁。用氧化铅作硫化剂的硫化体系的橡胶具有优良的物理机械性能、良好的耐水性、不易焦烧。氧化镁硫化体系的胶料耐热性能优越，但耐水性和焦烧性能较差，但因氧化锌有降低胶料老化作用，故不宜采用。

促进剂 M、DM、EZ、DPTT、NA-22、DPG 等均对氯磺化聚乙烯橡胶有促进硫化作用。

（3）其它配合剂 一般油类、酯类和含氯增塑剂均可用作软化剂，其中以含氯的软化剂具有较好的相容性。

五、电线电缆铜、铝导电线芯

1．材料

电线电缆导电线芯的材料，可分为铜线、镀锡铜线和铝线三类。每类导电线芯。按截面大小和结构的不同又可分成许多规格，每种规格的导电线芯是由单根或多根的铜线、镀锡铜线或铝线构成。单根铜线的技术要求应符合《电工圆铜线》(GB3953—83) 中的软铜线的规定。单根镀锡铜线的技术要求应符合《镀锡圆铜线》(GB4910—85) 中的镀锡软圆铜线的规定。单根铝线应符合《电工圆铝线》(GB3955—83) 的规定。

2．分类和结构

按照电线电缆产品的不同技术要求，导电线芯可分为4种。

① 适合固定敷设电线电缆用的，应采用第1种单芯和多芯电线电缆实心导体（见表10-14）和第2种单芯或多芯电缆绞合导体（见表10-15）。

② 适合软电线和软电缆用的，应采用第3种单芯和多芯电线电缆软铜导体（见表10-16）和第4种单芯和多芯电线电缆用软铜导体（见表10-17），但其弯曲性能比第3种结构的软铜导体更软。

③ 电线电缆用的所有导体，除单根实心导体外，都应束合或绞合，使导体具有较好的弯曲性能。导体的束合或绞合的节距比和绞向应符合表10-18的规定。

3．导体直流电阻的温度校正系数 K_t

表10-14～表10-17所示的铜、铝导体的直流电阻都标明是在20℃时的数值。因为铜、铝导体的直流电阻是随温度而变化的，温度升高，铜铝导体的直流电阻随之增加。表10-19是铜、铝线芯电阻温度校正系数 K_t。

表10-19中的 K_t 值是根据下列近似公式计算得出的：

$$K_t = \frac{1}{1+0.004(t-20)} = \frac{250}{230+t} \tag{10-24}$$

式中 t ——测量时的导体温度，℃。

铜和铝的精确电阻温度校正系数公式：

铜（包括镀锡铜）导体

$$K_{t\text{-}Cu} = \frac{254.5}{234.5+t} \doteq \frac{1}{1+0.00393(t-20)} \tag{10-25}$$

铝导体

$$K_{t\text{-}Al} = \frac{248.0}{228.0+t} = \frac{1}{1+0.00403(t-20)} \tag{10-26}$$

六、制造工艺

橡胶绝缘电线电缆的制造工艺随产品结构不同而异，主要包括：铜或铝导体的加工（轧制铜或铝杆、拉线、韧炼、镀锡、绞合或束合）、被覆橡胶绝缘包带、硫化、屏蔽、成缆、被覆橡胶（或聚氯乙烯等塑料）护套、铠装等。

当然，不是每个规格的电线电缆都包含以上各个结构元件，按产品标准具体规定而有差异。

如船用电缆，由于产品型号规格甚多，其制造工艺比较复杂，举例如图10-33所示。

电线电缆的生产工艺因产品结构面有根大差异，在这里仅论述电线电缆的绝缘和护套的被覆工艺。

在现代电缆工业中，各种类型的橡胶、塑料挤出机已成为最重要的被覆设备之一。挤出

表 10-14　第1种单芯和多芯电线电缆实心导体

标称截面 mm²	最大外径 mm	直流电阻，Ω/km（20℃）≤		
		铜芯		铝芯
		不镀锡	镀锡	
0.035	—	587.8	604.8	—
0.05	—	576.2	386.9	—
0.06	—	261.2	268.7	—
0.08	—	225.2	229.6	—
0.12	—	144.1	146.9	—
0.2	—	92.3	94.0	—
0.3	—	64.1	65.3	—
0.4	—	47.1	48.0	—
0.5	0.9	36.0	36.7	—
0.75	1.0	24.5	24.7	—
1	1.2	18.1	18.2	—
1.5	1.5	12.2	12.2	—
2.5	1.9	7.41	7.56	11.8
4	2.4	4.61	4.70	7.39
6	2.9	3.08	3.11	4.91

表 10-15　第2种单芯或多芯电缆线合导体

标称截面 mm²	导体中单线最少根数		最大外径 mm	直流电阻，Ω/km（20℃）≤		
	铜芯	铝芯		铜芯		铝芯
				不镀锡	镀锡	
0.5	7	—	1.1	36.0	36.7	—
0.75	7	—	1.2	24.5	24.7	—
1	7	—	1.4	18.1	18.2	—
1.5	7	—	1.7	12.1	12.2	—
2.5	7	—	2.2	7.41	7.56	—
4	7	—	2.7	4.61	4.70	—
6	7	—	3.3	3.08	3.11	—
10	7	7	4.2	1.83	1.84	3.08
16	7	7	5.3	1.15	1.16	1.91
25	7	7	6.6	0.727	0.734	1.20
35	7	7	7.9	0.524	0.529	0.868
50	19	19	9.1	0.387	0.391	0.641
70	19	19	11.0	0.269	0.270	0.443
95	19	19	12.9	0.193	0.195	0.320
120	37	37	14.5	0.153	0.154	0.253
150	37	37	16.2	0.124	0.126	0.206
185	37	37	18.0	0.0991	0.100	0.164
240	61	61	20.6	0.0754	0.0762	0.125
300	61	61	23.1	0.0601	0.0607	0.100
400	61	61	26.1	0.0470	0.0475	0.0778
500	91	91	29.2	0.0366	0.0369	0.0603
630	127	127	33.2	0.0283	0.0286	0.0469
800	127	127	37.6	0.0221	0.0224	0.0367

表 10-16　第 3 种单芯和多芯电缆电缆软铜导体

标称截面 mm²	导体中单线最大直径 mm	最大外径 mm	直流电阻，Ω/km（20℃）≤	
			不镀锡	镀锡
0.06	0.11	—	366	384
0.08	0.13	—	247	254
0.12	0.16	—	158	163
0.2	0.16	—	92.3	95
0.3	0.16	—	69.2	71.2
0.4	0.16	—	48.2	49.6
0.5	0.21	1.1	39.0	40.1
0.75	0.21	1.3	26.0	26.7
1	0.21	1.5	19.5	20.0
1.5	0.26	1.8	13.3	13.7
2.5	0.26	2.6	7.98	8.21
4	0.31	3.2	4.95	5.09
6	0.31	3.9	3.30	3.39
10	0.41	5.1	1.91	1.95
16	0.41	6.3	1.21	1.24
25	0.41	7.8	0.80	0.795
35	0.41	9.2	0.554	0.565
50	0.41	11.0	0.386	0.393
70	0.51	13.1	0.272	0.277
95	0.51	15.1	0.206	0.210
120	0.51	17.0	0.161	0.164
150	0.51	19.0	0.129	0.132
185	0.51	21.0	0.106	0.108
200	0.51	24.0	0.0801	0.0817
300	0.51	27.0	0.0641	0.0654
400	0.61	31.0	0.0486	0.0495

表 10-17　第 4 种单芯和多芯电线电缆用软铜导体

标称截面 mm²	导体中单线最大直径 mm	最大外径 mm	直流电阻，Ω/km（20℃）≤	
			铜芯	
			不镀锡	镀锡
0.012	0.08	—	1466	1634
0.03	0.08	—	748	783
0.06	0.08	—	349	365
0.12	0.08	—	174	183
0.2	0.08	—	93.5	97.8
0.3	0.08	—	68.0	71.2
0.4	0.11	—	52.3	54.8
0.5	0.16	1.1	39.0	40.1
0.75	0.16	1.3	26.0	26.7
1	0.16	1.5	19.5	20.0
1.5	0.16	1.8	13.3	13.7
2.5	0.16	2.6	7.98	8.21
4	0.16	3.2	4.95	5.09
6	0.21	3.9	3.30	3.39

续表

标称截面 mm²	导体中单线最大直径 mm	最大外径 mm	直流电阻，Ω/km（20℃）≤ 铜芯 不镀锡	直流电阻，Ω/km（20℃）≤ 铜芯 镀锡
10	0.21	5.1	1.91	1.95
16	0.21	6.3	1.21	1.24
25	0.21	7.8	0.780	0.795
35	0.21	9.2	0.554	0.565
50	0.31	11.0	0.386	0.393
70	0.31	13.1	0.272	0.277
95	0.31	15.1	0.206	0.210
120	0.31	17.0	0.161	0.164
150	0.31	19.0	0.129	0.132
185	0.41	21.0	0.106	0.108
240	0.41	24.0	0.0801	0.0817

表 10-18 导体的束合或绞合的节距比和绞向

种类	一次绞束线芯	绞线			外层绞向
		股线	内层	外层	
	节距比 ≤				
1	—	—	—	—	—
2	—	—	40d ①	20d	左
3	25d	30d	20d	14d	左
4	25d	30d	20d	14d	左

① d 为各该层导体计算外径，mm。

表 10-19 铜铝线芯电阻温度校正系数

测量时导体温度 t，℃	校正系数 K_t	测量时导体温度 t，℃	校正系数 K_t	测量时导体温度 t，℃	校正系数 K_t
5	1.064	14	1.026	23	0.988
6	1.059	15	1.020	24	0.984
7	1.055	16	1.016	25	0.980
8	1.050	17	1.012	26	0.977
9	1.046	18	1.008	27	0.973
10	1.042	19	1.004	28	0.969
11	1.037	20	1.000	29	0.965
12	1.033	21	0.996	30	0.962
13	1.029	22	0.992		

硫发明至今已有 100 余年历史了，随着橡胶品种的发展，硫化工艺方法的改进，以及电气和机械装置的日趋完善，已从早期简单的挤出机组发展成为由微型计算机控制的自动化程度很高的挤出连续硫化生产线，使制品质量有很大提高，生产效率大幅度上升。

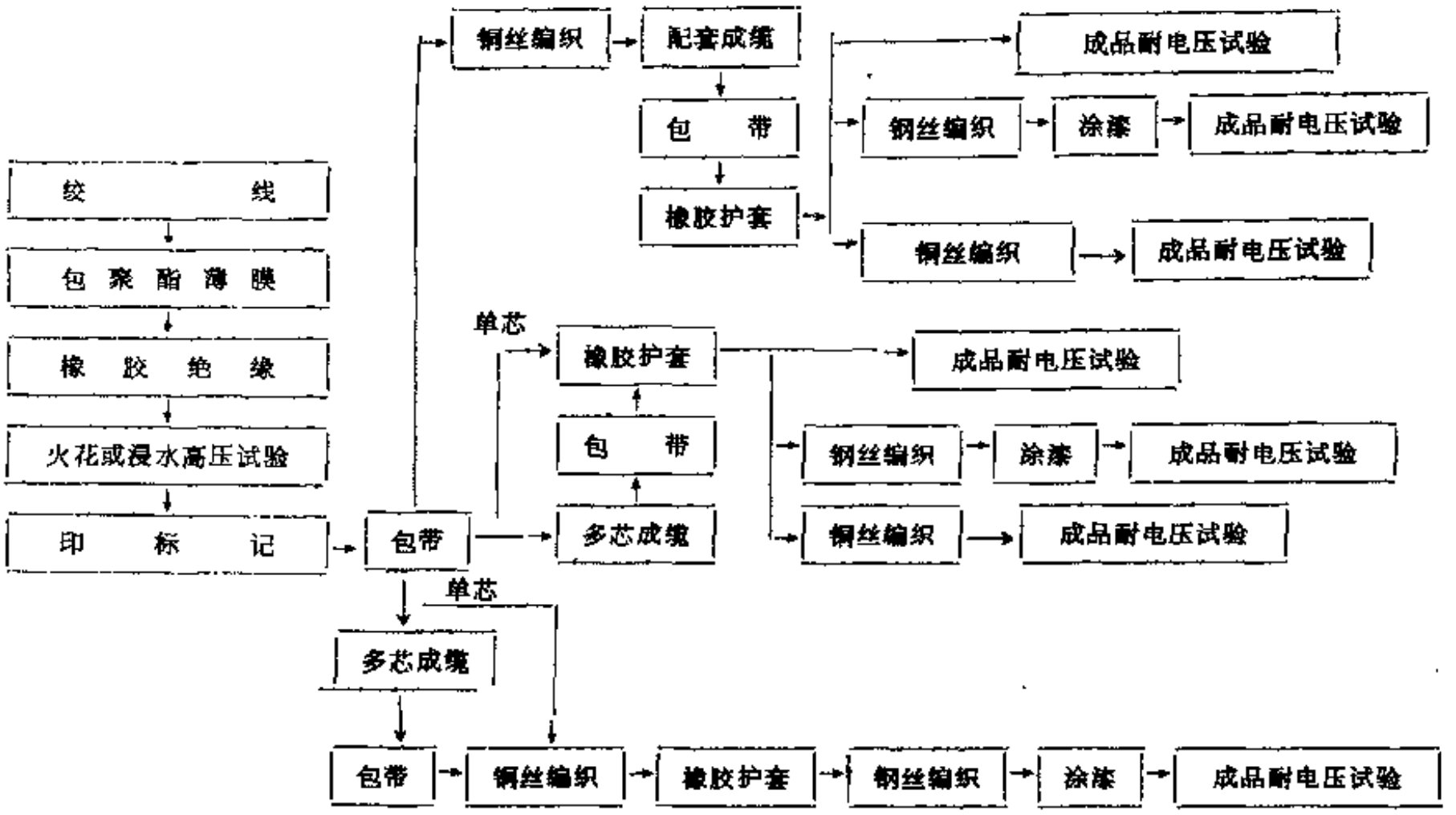


图 10-33　橡胶绝缘船用电力电缆生产工艺流程图

电缆挤包橡胶绝缘或护套后，都要经过硫化。硫化工艺有两种，一种是放在硫化罐中进行，而另一种是通过直接与挤出机的机头相联结的硫化管来完成硫化。前者称非连续硫化挤出机组，后者称为挤出连续硫化机组。

（一）非连续硫化橡胶挤出机组

一般来说，非连续硫化橡胶挤出机组是属旧式机组，它已逐渐被连续硫化机组所代替。因为这种机组制造出来的制品尺寸波动大，生产效率低，但由于设备投资费用低、占用场地少，而且对生产小批量、短长度的制品比较方便、经济。所以，这种机组在电缆工业中还在广泛应用。

非连续硫化橡胶挤出机组一般由下列部件所组成：放线装置、长度计、涂隔离剂装置、挤出机、冷却水槽、牵引轮收线装置。

如果制品表面需涂隔离剂，那么牵引轮有近一半的位置浸入在水粉箱中。在水粉箱内盛有添加碳酸钙和滑石粉的冷却水，由于牵引轮的转动，使装在牵引轮两侧的小叶片搅动水粉混合物，使制品通过牵引轮就能涂上隔离剂。

（二）橡胶挤出连续硫化生产线

橡胶挤出连续硫化生产线是由许多不同功能的部件所组成。按照机组的不同用途可分为以下几类。

① 按生产线的型式可分为水平式、悬链式和垂直式。水平式机组生产小规格的制品；悬链式生产大、中规格的制品；垂直式机组生产大和特大规格的制品。

② 按挤出机的台数，生产线上通常有 1～3 台不同规格的挤出机。每台挤出机可被覆一层橡胶，也就是说，在挤出连续硫化生产线上同时可以被覆不同橡胶 1 至 3 层。

③ 按硫化的介质可分为饱和蒸汽、过热蒸汽、加热氮气、熔融盐等。

1．水平式挤出连续硫化生产线

是指硫化管和冷却管近似水平装置而得名。水平式硫化和冷却管总长约 50～100m，从挤出机一端开始，以1.5°的倾斜度一直延伸至管子的末端。实际上，制品通过硫化和冷却管时呈悬链曲线状，制品单位长度的质量愈大，悬垂度也就愈大。因此，制品通过仅有1.5°的倾斜管时必然要与管壁相擦，制品单位质量大小与相擦程度成正比，所以水平式挤出连续硫化生产线主要用作小规格电线电缆的生产，其导体截面0.75～6mm²，制品的外径不大于6mm。这种生产线一般仅有一台挤出机，其螺杆直径大多为60～90mm。图10-34是水平式橡胶挤出连续硫化生产线的示意图。

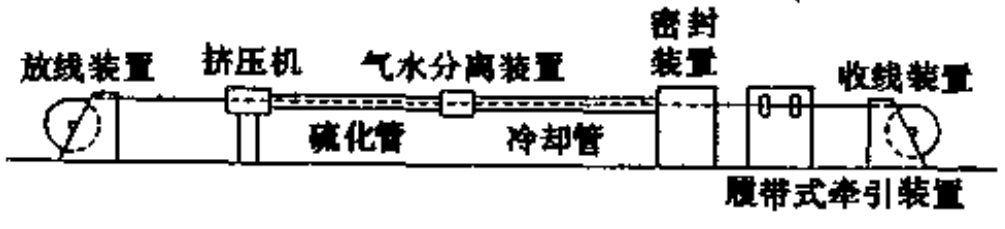


图 10-34　水平式橡胶挤出连续硫化生产线

2．悬链式挤出连续硫化生产线

如前所述，制品通过硫化管时呈悬链曲线状，如果把硫化管也做成悬链曲线，这样就可减轻制品在管内与管壁相擦。再在管内安装一个悬垂度自动控制器，制品在管内的位置，通过传感器发出信息，调整上下两台牵引轮对制品的张紧程度，使制品始终保持在管子的中心位置，从而避免了制品擦管现象。

悬链式挤出连续硫化生产线是在改进水平式橡胶挤出连续硫化生产线的不足而发展出来的，它可以生产大、中规格的制品，电缆的铜导体截面可从16～630mm²，制品外径可达80mm。这种型式的生产线可分为中型生产线和大型生产线。中型生产线常有2台挤出机，其螺杆直径为60mm和90mm；90mm和90mm；90mm和120mm。大型生产线常拥有2台和3台挤出机组，如螺杆直径为90mm和150m；120mm和150mm；60mm、90mm和150mm；90mm、90mm和150mm等。2台或3台组合机组的螺杆直径大小的确定，主要按照生产线的主要用途而异。图10-35是悬链式橡胶挤出连续硫化生产线。

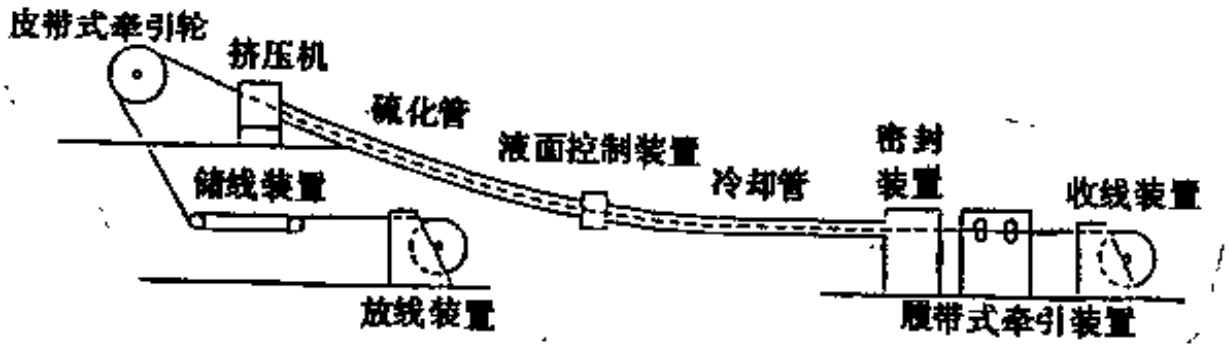


图 10-35　悬链式橡胶挤出连续硫化生产线

3．垂直式橡胶挤出连续硫化生产线

由于电缆加工处于垂直状态，电缆因重力作用而垂直向下，使制品始终保持在硫化管、冷却管的中心位置，基本上不存在制品擦管的问题。因此，它特别适用于制造大规格、高电压、大截面的电缆，可生产电缆外径达 100～150mm，导体截面最大可达 2000mm²。这种生产线需建造高为50～75m的硫化塔，投资费用较大，在硫化塔的上部有1～2个工作平台、安

装挤出机，它同时挤包1至3层不同的橡胶。图10-36是垂直式橡胶挤出连续硫化生产线的示意图。

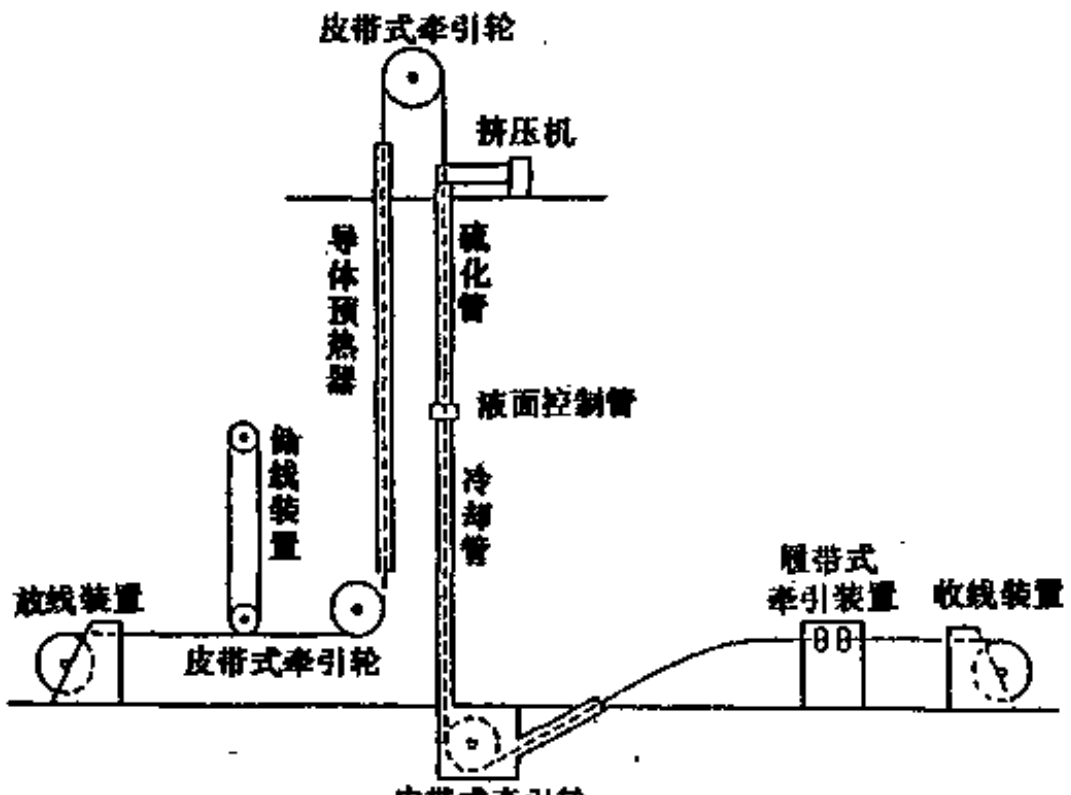


图 10-36　垂直式橡胶挤出连续硫化生产线

4．挤出机组的排列

在悬式橡胶挤出连续硫化生产线上，可安装1～2台不同大小规格的挤出机，这样就可能同时一次被覆几层橡胶，不但生产效率高而且产品质量也较好。例如：利用两台挤出机同时挤包，常把两台设备成180°相对方向排列，规格大的挤出机固定安装，另一台规格小的挤出机安放在导轨上并可移动。另一种排列是将两台挤出机前后排列，当内层挤包后，再进入另一台挤出机挤包外层，这种排列方式操作比较方便，但当制品进入挤出机挤包外层时易擦伤内层橡胶。近年来对挤出机排列方式作了改进，将两台挤出机安装在生产线中心线的同一侧，而操作者则在中心线的另一侧工作，十分方便。在悬链式橡胶挤出连续硫化生产线上经常安装3台挤出机，同时一次可被覆3层橡胶。3台挤出机的排列方式有3种：即3台挤出机前后顺序排列；1台挤出机和两台挤出机共机头挤出前后排列（见图10-37）；以及3台挤出机共机头排列。图10-38是1台、两台和3台挤出机前后排列方式。图10-39是3台挤出机共机头排列方式。

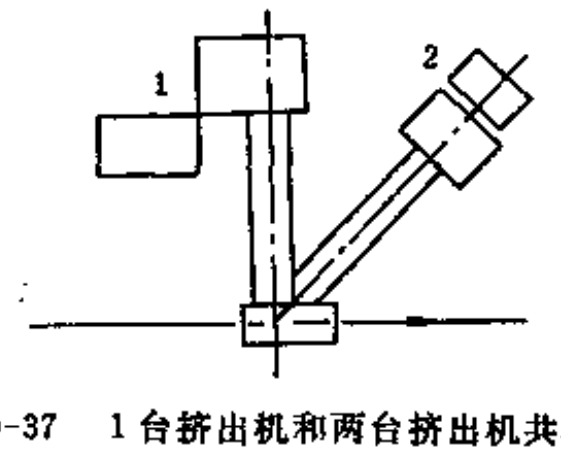


图 10-37　1台挤出机和两台挤出机共机头挤出前后排列方式

在垂直式橡胶挤出生产线上，如果装有两台挤出机，其排列方式常与图10-37相同。装有3台挤出机的排列方式有两种：一种方式是在上面的操作平台上安装1台挤出机，再在下面的操作平台上安装两台共机头挤出机，如图10-38所示；另一种排列方式，则在同一个操作平台上，如图10-39所示，装有3台挤出机共机头挤出，这种工艺方法制品质量较好，但工艺较复杂。

5．橡胶挤出连续硫化生产线的组成

各种连续硫化生产线其组成的部件不尽相同，主要视生产线的用途而异。现以悬链式橡

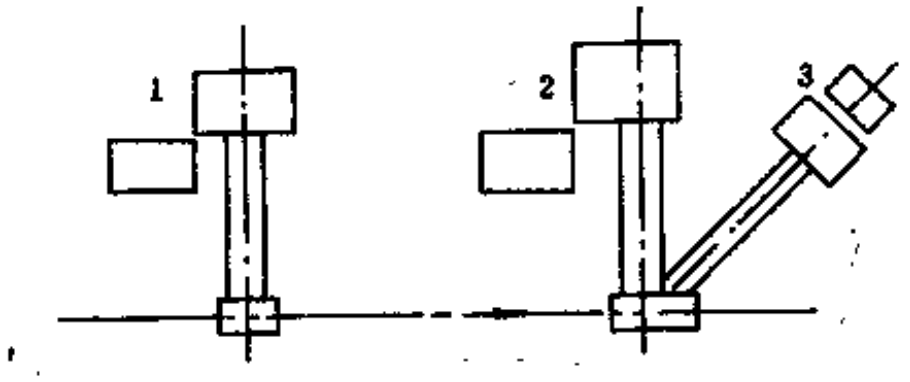


图 10-38　1 台、两台和 3 台挤出机前后排列方式

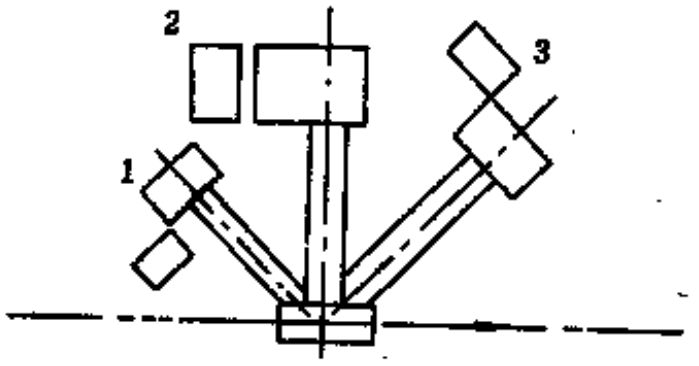


图 10-39　3 台挤出机共机头排列方式

胶 3 层挤出连续硫化生产线为例，按其部件排列顺序分述如下。

① 放线装置　应有两台放线设备组成，以保证不停机换盘，连续生产。

② 辅助牵引装置　如果放线装置是被动式的，需要一台履带式牵引设备，把制品从放线盘上拉出来，并与储线装置相联动，使制品保持一定的张力。

③ 储线器　是保证制品在调换规格等情况下仍能不停机，它是保持连续生产的必需的部件。

④ 皮带式牵引轮　又称上牵引轮，是整条生产线的主牵引装置，它与下牵引装置同步，以控制制品在硫化管中的悬垂度，是保持制品线速均衡的关键部件。

⑤ 小型挤出机　三层挤出机组生产线主要用来加工中、高压电力电缆的绝缘之用。在这种情况下，这台挤出机做挤包导体屏蔽的半导电胶料之用。

⑥ 大型挤出机　挤包电缆的绝缘胶料之用。

⑦ 中型挤出机　挤包绝缘屏蔽的半导电胶料之用。

⑧ 硫化装置　包括：硫化管、冷却水管、水密封器、伸缩联结器、永久性标记压印器、外径测定仪、悬挂度控制器以及加热和冷却温度控制器等。

⑨ 皮带式牵引轮　又称下牵引轮，也是整条生产线的主牵引装置，其技术规格与上牵引轮完全相同，有利保持同步，该牵引轮装置在冷却水管末端的密封箱内，制品通过该牵引轮转向，往收线装置方向而去。倘若下牵引轮不用皮带式牵引轮而用履带式牵引装置时，则在原来皮带式牵引轮的位置上装一转向导轮。

⑩ 履带式辅助牵引装置　采用下牵引用皮带式牵引轮时，则在通往收线装置的流程中，应配备此辅助牵引装置。若采用履带式牵引装置，则此辅助牵引装置可省略。

⑪ 火花电压试验器。

⑫ 油墨标记打印机。

⑬ 收线装置　由两台收线设备组成，以保证连续生产。

⑭ 电视监视系统。

⑮ 生产线电话通讯系统。

⑯ 外径测量、显示及返馈自动控制系统。

⑰ 配电柜。

⑱ 设备控制及报警系统。

⑲ 工艺控制系统。

⑳ 其它　如导体预热器、张力控制传感器等等。

每条挤出连续硫化生产线，其部件多少不尽相同，应按生产线的用途而定。

（三）机头

1．固定中心型机头

此型机头的模芯和模套在机头中的位置是固定的，要求胶料挤出被覆在导体上的径向厚度及其偏差值能保证在产品标准的允许范围内。在挤出机工作时不需调正偏芯度，工艺操作方便，生产效率较高，废品率也低。

固定中心型机头的关键在于胶料在机头内流动必须保持良好的稳流状态，使胶料的压强和流量都十分对称和稳定。模芯与模套的间距和角度的配合要合适，即胶料沿模芯流动至模芯端头时已近乎管状，且已进入模套承线部分。为了保持模芯和模套相对位置的稳定性，模芯模套在机头中的机械配合要求十分精确，模芯与模芯座的配合精度达到推入配合、无松动现象；当然，模芯与模芯座的配合也可用螺纹紧固。这种几何尺寸要求很高精度的模芯和模套最宜用碳化钨制做，胶料流经的金属表面需抛光加工。尺寸大一些的模具也可用硬质合金钢做成。

固定中心型机头的制造难度较大，通常只应用于导体截面为6mm²及以下的小型机头。近年来已有所发展，固定中心型机头已可生产到导体截面至120mm²，被覆后的制品外径可达20mm。

2．可调中心型机头

由于胶料在机头中的流动状况与胶料的品种、可塑性、温度、流量以及模芯模套的配合等有关，因此要求挤包的胶料径向厚度的偏芯度保持在工艺规定范围内，就必须借助手工调节来达到。先调节模芯与模套之间的间距，可拧动模芯，使它在模芯座上作轴向移动。再调节模套。模套安装在模套座上，在模套座相应位置的机头上装有4个调节螺栓，螺栓的端部顶住模套座。只要调节这4个螺栓就可移动模套的位置。以实测胶料被覆厚度作为调正偏芯度的依据。

可调中心型机头结构如图10-40所示。

由于电缆品种发展的结果，要求在同一机头内，一次能挤包两层或3层不同的胶料。例如：6kV及以上的中压电力电缆，要求在导体表面和绝缘层表面各有一层挤包型的半导电层；千伏级屏蔽型矿用电缆，要求在绝缘层表面挤包一层电阻率很低的半导电层作为屏蔽层；有些电缆的接地线芯要求黄、绿双色绝缘。用一次同时挤包双层或3层胶料的工艺方法，不仅产品质量好，而且生产效率高。

现代新型挤出机常配有双层或三层的挤出机头。显然，这种机头的结构和调整偏芯度的工艺要比单层挤出机头要复杂得多。图10-41及图10-42分别为双层及三层挤出机机头。

3．双色胶料挤出机头

在双层挤出机头基础上，配置适当的胶料分流环，使两根螺杆挤出来的不同颜色的胶料同时挤包在同一绝缘层上。按照国际电工委员会（IEC）标准规定，有些电缆的接地线芯的绝缘层应具有黄绿双色，以便在应用时容易识别。

利用双色挤出机头可挤出一种胶料为黄色，另一种胶料为绿色。两种胶料配方是相同的，仅仅着色剂不同而已。黄色和绿色在绝缘层表面圆周长度上可互为30～70%。绝缘层厚度的比率，如果以黄色作为基本色，那么绿色胶料作分色，只占黄色胶料径向厚度的10～20%。

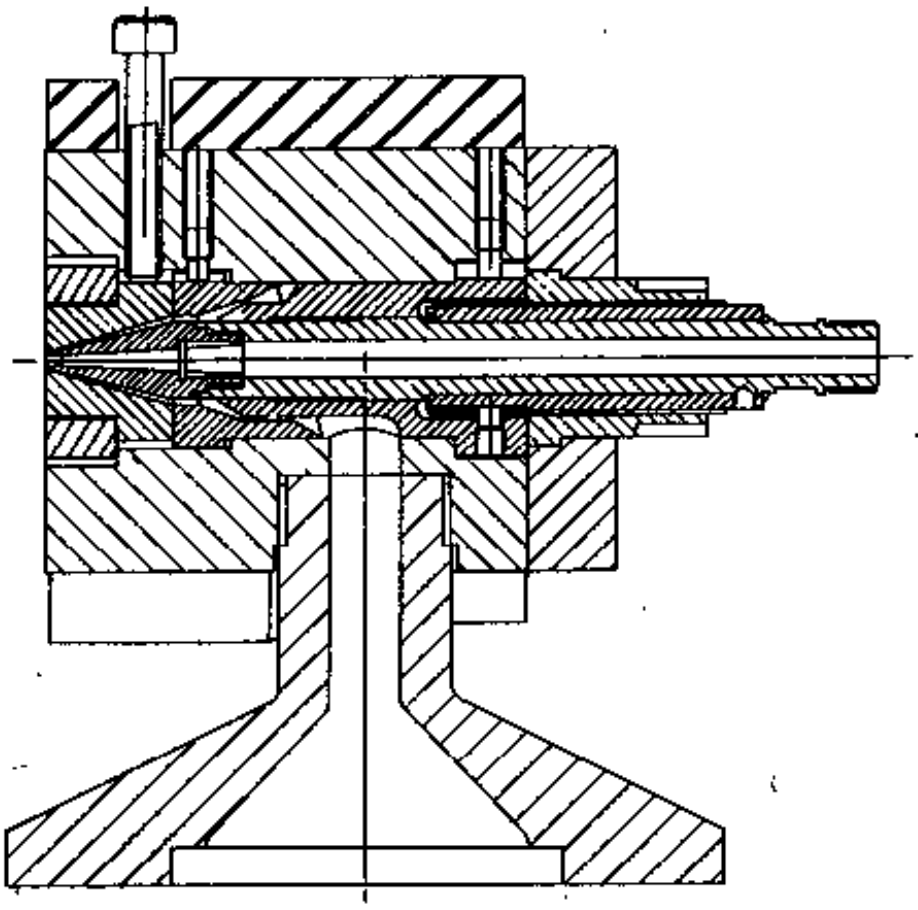


图 10-40　可调中心型机头结构示意图

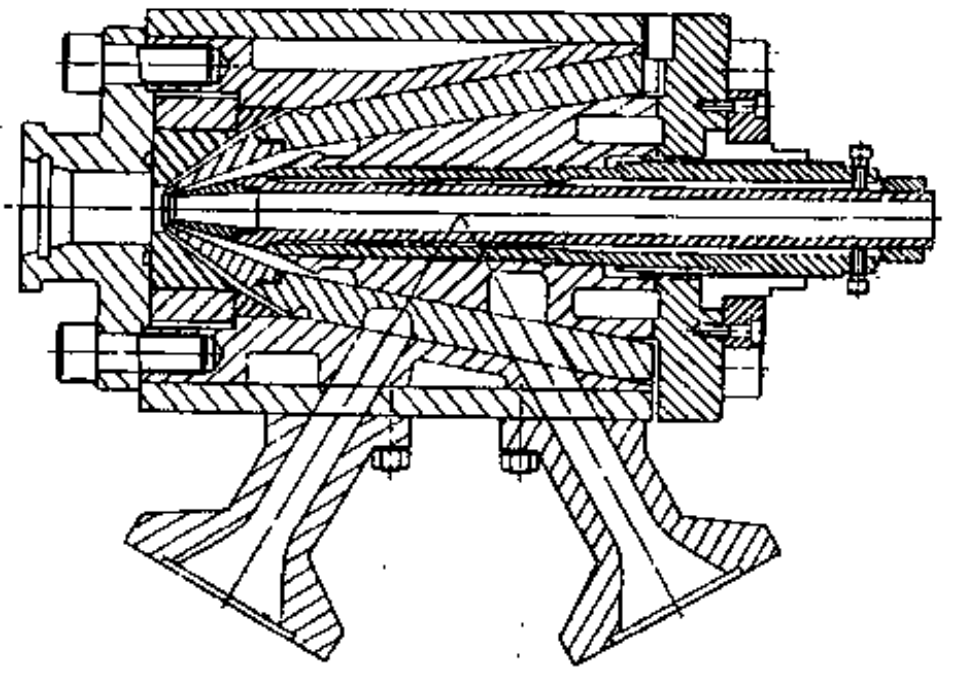


图 10-41　双层挤出机机头结构示意图

（四）螺杆

实践表明，挤出机的螺杆是影响设备质量最重要的部件。因此，挤出机的技术进展，以改进螺杆设计最为突出。

电缆工业用挤出机螺杆的结构可分两类，一类是普遍型螺杆，另一类是塑化型螺杆。

1．普通型螺杆

（1）等深不等距螺杆　这种螺杆的螺纹深度不变，螺距由大变小，所以又称为收敛式螺杆、由于收敛式螺杆的加料段螺距大，螺槽较浅，因此，螺杆机械强度好，进料能力强，胶料塑化较均匀，但这种螺杆的制造工艺比较复杂，需用专门机床切削，挤出量较小。

（2）等距不等深螺杆　螺纹螺距不变，螺纹深度从加料口至螺纹端部逐渐变浅，如图10-43所示。这种螺杆能使胶料均匀压实，且制造容易，但由于胶料承受较大的剪切应力，发热量大，因而胶料温度控制成为关键。此外，当螺杆的压缩比较大时，螺杆加料段的机械强度削弱。

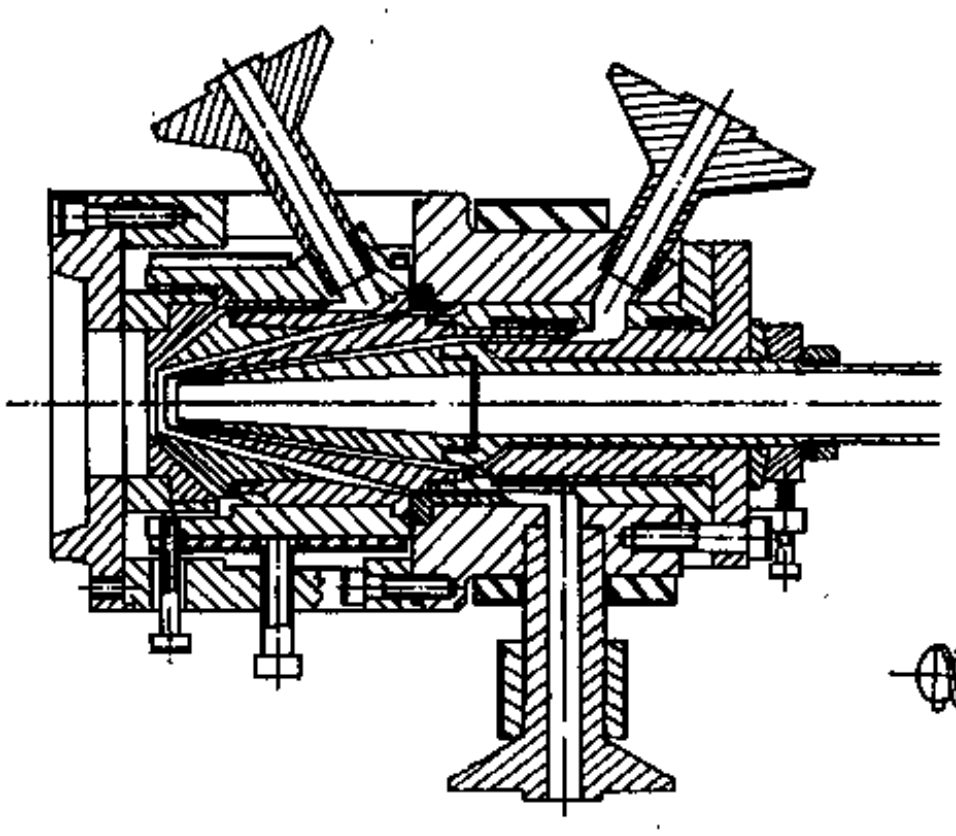


图 10-42　三层挤出机机头结构示意图

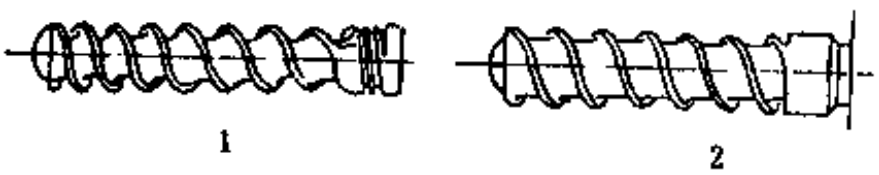


图 10-43　普通型螺杆结构形式

1—等深不等距；2—等距不等深

普通型螺杆在挤压时，胶料在螺槽中的流动呈有规则的层流，多用于一般热喂料挤出机。早期的橡胶挤出机几乎都是热喂料的，将胶料预先在开炼机上回炼至60～80℃，切成一定形状的条子，乘热用手工喂入挤出机。由于手工用力难以均匀，胶料温度会渐渐降低，这些因素造成胶料挤出量不稳定，影响制品的外径波动等质量。

（3）螺杆长径比　螺杆的有效工作长度L与直径D之比称为长径比。较长的长径比有利于胶料均匀的混合和塑化，并能使升温过程变得缓和，因而为提高螺杆转速提供了可能性。同时，长径比增加能建立起胶料均匀挤出所需要的较高压力，保证挤出物的致密性，减少胶料在螺槽中的漏流和回流。

热喂料挤出机的长径比以5～6为宜。

（4）螺纹的头数　单头螺纹的螺槽有效容积大，输送胶料能力强，发热少，但挤出量的波动较大，双头螺纹的螺槽有效容积较小，输送胶料能力较低；且胶料与螺槽表面接触面积大，因而升温快，限制了螺杆转速的提高，因而生胶量较少，但双头螺纹挤出量较为稳定，对提高制品的质量是有好处的，目前采用较多。

（5）螺杆压缩比　螺杆压缩比分为几何压缩比和物理压缩比。几何压缩比是指加料段最初一个螺距螺槽的容积与挤出段最终一个螺距螺槽的容积之比。它的作用是压实胶料、排除气体，产生必要的挤出压力，保证胶料在螺杆末端有足够的致密度。热喂料挤出机的螺杆几何压缩比一般可取1.3～1.5。

随着生产工艺技术的发展，在电缆工业中，橡胶挤出机的喂料方式逐步由热喂料过渡到冷喂料，冷喂料的胶料有两种形式，一种是条状或片状的，另一种是粒状的。在制造中，为了避免污染，高压电缆用的乙丙绝缘胶料应采用粒状胶料。粒状胶料在室温时质地较硬，需要有较强塑化效果的螺杆来挤出，因此，螺杆的长径比要求以15～16为宜。较大的长径有利于胶料均匀的混和与塑化，并能使升温过程变得缓和，因面为提高螺杆转速提供了可能性。所以，长径比大的螺杆，其挤出量也较大。

（6）分离型螺杆　近10多年来，为了提高挤出机的制品质量和产量，改进螺杆的设计已成为重要的研究课题。首先在塑料挤出机中，相继出现了多种类型可增强物料塑化程度的螺杆，这类螺杆通称塑化型螺杆。

分离型螺杆是塑化型螺杆中的一种主要类型，它是由瑞士 Maillefer 公司开发成功的，又称 BM 型塑化螺杆。这种螺杆全长分为三段，即加料段、分离段和挤出段。在分离段内，由两条螺距不等的主副螺纹所组成。副螺纹的高度略低于主螺纹，塑化好的胶料越过副螺纹的螺棱进入副螺纹螺棱背侧螺槽，未塑化好的胶料仍留在副螺纹螺棱正侧螺槽内，以待进一步塑化。

图10-44是分离型螺杆的三段情况。图10-45是分离型螺杆中分离段的主、副螺纹结构。



图 10-44　分离型螺杆的三段结构

L_1—加料段，L_2—分离段，L_3—挤出段

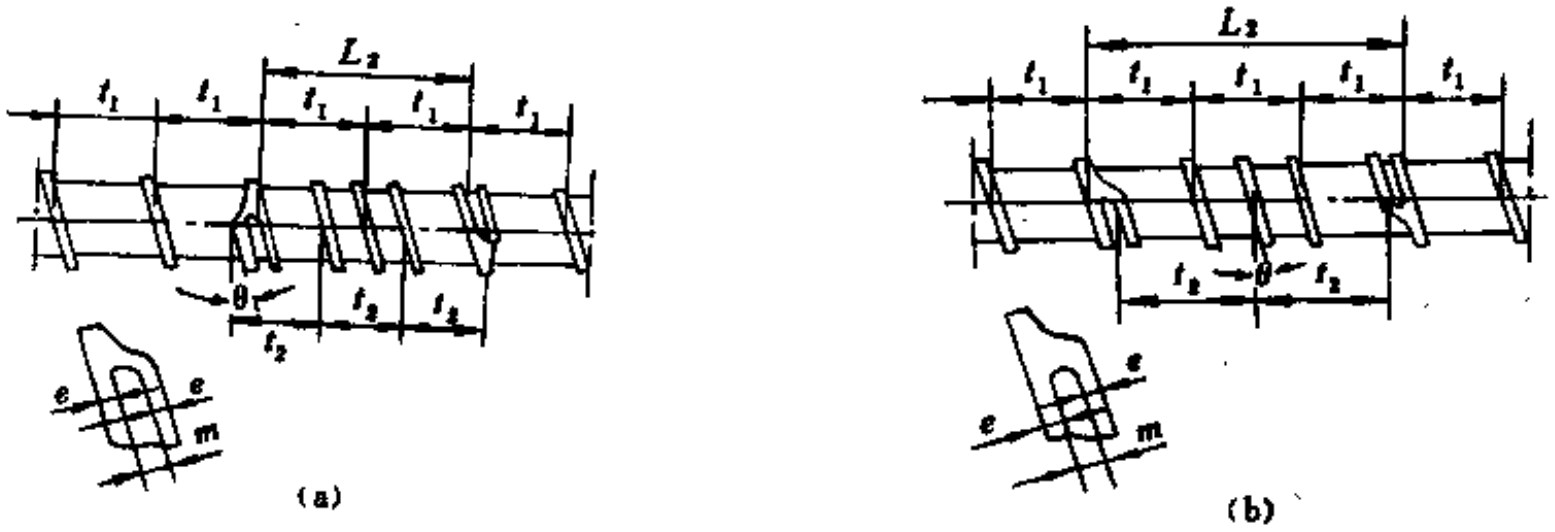


图 10-45　分离型螺杆中分离段的主、副螺纹结构

(a) $t_1>t_2$，(b) $t_2>t_1$

t_1—主螺纹螺距；t_2—副螺纹螺距；θ_1—主螺纹螺旋角；L_2—副螺纹的轴向长度

第三节　橡胶绝缘制品

一、概　　述

橡胶材料的最大特点之一是具有高电阻率，天然橡胶和大部分合成橡胶都有很高的介电性能，所以橡胶是比较好的绝缘材料，被用来制造各种电绝缘制品。用作电防护制品时，还应有耐高压电性能。随着工业的发展，橡胶作为电绝缘材料更加得到了广泛的应用，如各种电线与电缆的绝缘层、劳动防护用绝缘手套、绝缘地毯、彩电显像管用橡胶绝缘阻燃楔子，各种电视机用橡胶高压帽、护套以及工业上或日常生活上的电绝缘橡胶配件。

橡胶绝缘性能一般常用介电常数、介电损耗、体积电阻、击穿电压和功率因数等的数值高低来衡量其电绝缘性能的好坏。

二、配合与设计

1．橡胶的选择

在设计绝缘橡胶制品配方时，使用何种橡胶应根据各种橡胶的电性能特性来选择。通过各种橡胶电性能的比较，可见一般电绝缘制品选用非极性橡胶如天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶（或它们的并用胶）、硅橡胶等品种有利于达到电绝缘要求。但异戊橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶由于它们在合成反应过程中加入的乳化剂等残留物都是电介质，特别是水溶性离子对电性能有很大影响，制造绝缘制品时要控制橡胶纯度。对电绝缘性能要求较高的，特别是在高电压下使用，考虑到电晕放电对橡胶的影响，则应选用耐臭氧及耐热性能好的硅橡胶、乙丙橡胶、丁基橡胶、低不饱和度的丁基橡胶等橡胶更好。

极性橡胶不宜作为电绝缘材料，但氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、氯化丁基橡胶等作为低绝缘程度的材料还是适宜的。氯醚橡胶、氟橡胶、丁腈橡胶等与聚氯乙烯并用已用作耐热、阻燃、耐油的电绝缘性能用橡胶。

橡胶与塑料并用体或某些橡胶高聚物也广泛应用于制造电性能制品，例如乙烯与乙酸乙酯共聚物（EVA），乙烯与丙烯酸乙酯共聚物（EEA），丁腈橡胶-聚氯乙烯并用胶或交联聚乙烯等。进一步改善这些高聚物材料的硬度、弹性等物理机械性能，将在电绝缘制品中得到广泛的应用。各种橡胶的电性能详见本章第一节。

2．硫化剂

橡胶制品的电绝缘性能除与橡胶品种有关外，也取决于配方中的硫化体系。天然橡胶、丁苯橡胶等通用橡胶一般以硫黄硫化体系为主，因此硫黄对电性能有很重要的影响。不同硫黄用量对天然橡胶电性能的影响如图10-46所示。

由图可知，各种电性能随硫黄用量的增加而下降，但当硫黄用量超过一定数量后，电性能又逐渐改善。但硫黄量过大时，耐热性能和耐水性能将降低。可见在软质绝缘橡胶的配方中，增加硫黄用量对电性能不利。所以在天然橡胶、丁苯橡胶等通用橡胶配方中，硫黄用量宜低（低硫高促），或用TMTD促进剂作为硫化剂。但各种通用橡胶在无硫硫化时，与蒸汽或水接触会显著降低绝缘电阻，如加入少量硫黄，则可改善这种情况。丁基橡胶的配方一般使用醌肟硫化体系或硫黄-促进剂体系。经常使用的醌肟硫化体系有：对苯醌-促进剂DM和二苯甲酰苯醌二肟-硫黄，硫黄用量一般不宜超过0.1份。醌肟交联硫化胶的耐热性及电性能均较高。对机械强度有较高要求的丁基橡胶，电绝缘制品选用硫黄-促进剂体系较好。乙丙橡胶所用硫化体系与丁基橡胶几乎相同，不同的硫化剂对各种电性能有不同的结果，如表10-20所示。由表可看出，醌肟交联和过氧化物交联的硫化胶的耐热性及电性能都十分优越。

3．促进剂、防老剂

常用促进剂、防老剂中大多含氧和硫，因此即使用量极少，对电性能的影响仍很显著。尤其是含有极性大的促进剂、防老剂的胶料、吸水性大，介电性能会明显下降。通常采用二硫化氨基甲酸盐类或噻唑类促进剂较好，秋兰姆类次之。碱性促进剂均会增加胶料吸水性能而使电性能显著下降，一般不宜采用。

4．填充剂

制造电绝缘橡胶时，填充剂对绝缘性能起着重要作用。炭黑一般都会使橡胶电绝缘性下降，特别是结构高、补强性大的炭黑。对电阻性能影响比较稳定的是粒径较大的热裂法炭黑，如中粒子热裂法炭黑、细粒子热裂法炭黑等。炭黑用量愈大，电绝缘性愈差。因此，对于电绝缘性能要求高的橡胶制品，除用少量炭黑作着色剂外，一般不使用炭黑。

绝缘橡胶制品中常用的填充剂有白炭黑（二氧化硅）、陶土、滑石粉、碳酸钙、硬质陶土、氢氧化铝、云母粉等。用作补强性填充剂的无机填料用量较大时，对橡胶的绝缘性能影响也较大。

高压绝缘橡胶制品中，以采用滑石粉、表面处理的煅烧陶土和煅烧陶土为宜。天然橡胶和丁苯橡胶作为低压电绝缘橡胶时，可用碳酸钙、滑石粉。

选择填充剂时，还应注意填充剂的吸水性。吸水性强的填料会导致橡胶电绝缘性能降低。一般，陶土、二氧化硅具有强吸水性，使用时要注意。为提高填充剂表面与橡胶之间的亲和力，可以采用脂肪酸、硅烷偶联剂进行表面处理，特别是后者具有排斥橡胶和填充剂间水分的作用，这样就可防止湿热硫化作用或长期浸水后电阻性能的降低。乙丙橡胶、丁基橡胶加入陶土及滑石粉的电性能如表10-21所示。乙丙橡胶加入表面处理陶土后的电性能如图10-47所示。

此外，填充剂的粒子形状对电性能亦有显著影响。几种不同粒子形状的滑石粉对丁基胶胶料电性能影响见表10-22。可见，绝缘制品中，以选用粒子扁平的片状滑石粉为好。

5．软化剂及增塑剂

用天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶制造耐低电压的制品时，选用软化剂的问题都不大，一般采用石蜡烃油。但用丁基橡胶和乙丙橡胶制造耐高电压的制品时，必须注意选择软化剂。

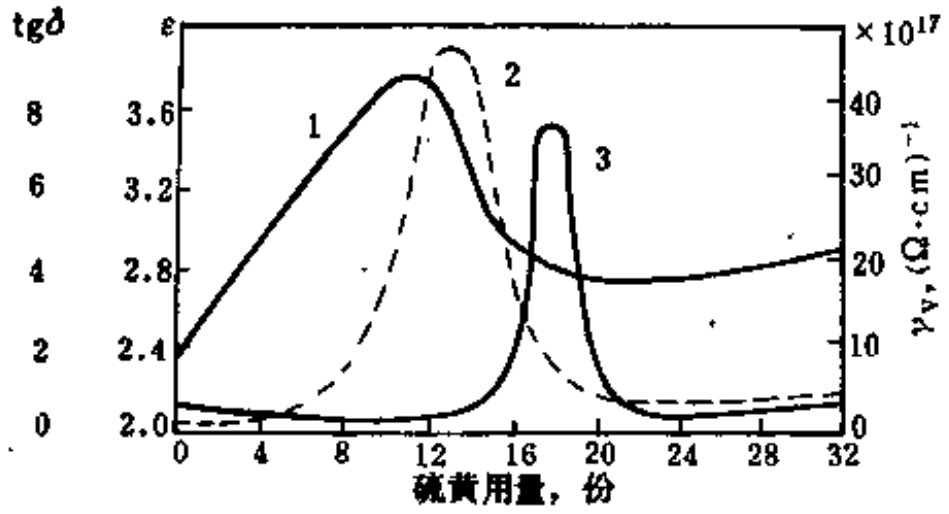


图 10-46 硫黄用量与电性能的关系

1—介电常数ε；2—介电损失tgδ；3—比电导γ_v。

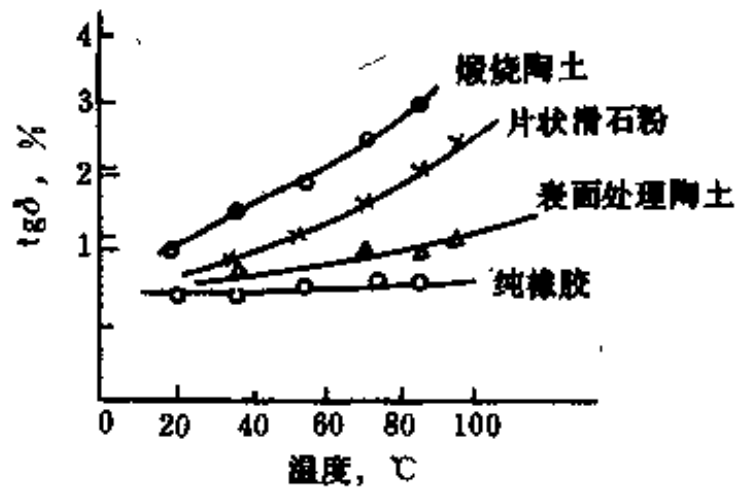


图 10-47 各种填充剂对乙丙橡胶tgδ的影响

表 10-20 乙丙橡胶的各种硫化体系对电性能的影响

电性能 / 硫化体系	体积电阻率 Ω·cm		介电常数 ε		介电损耗 tgδ %		交流击穿电压强度（常温） MV/m	直流击穿电压强度 MV/m	
	40℃	80℃	40℃	80℃	40℃	80℃		常温	100℃
硫黄硫化	1.5×10^{16}	3.0×10^{15}	3.0	3.0	0.9	3.10	44	83	56
无硫硫化	9.0×10^{14}	1.5×10^{15}	2.9	2.9	1.0	3.5	43	81	54
肟类硫化	3.0×10^{15}	6×10^{14}	2.9	2.9	0.70	2.15	35	72	49
过氧化物硫化	2.5×10^{16}	4.5×10^{14}	2.9	2.9	0.60	2.20	42	85	f 58

表 10-21 填充剂对乙丙橡胶、丁基橡胶电性能的影响

性能	乙丙橡胶			丁基橡胶	
	纯橡胶	填加陶土	填加滑石粉	纯橡胶	填加陶土
体积电阻率，Ω·cm 40℃	5.0×10^{15}	8.5×10^{14}	1.3×10^{15}	3.0×10^{15}	1.5×10^{14}
常温	5.2×10^{16}	2.0×10^{16}	2.3×10^{16}	4.0×10^{15}	3.0×10^{15}
介电常数 ε 40℃	2.6	3.1	3.0	3.0	3.6
常温	2.6	3.1	3.0	3.0	3.6
介电损耗 tgδ，% 40℃	1.3	1.1	0.7	0.5	0.9
常温	1.26	3.8	2.0	1.9	3.0
交流击穿电压强度(常温)，MV/m	28	41	42	22	30
直流击穿电压强度（100℃） MV/m	60	71	75	50	64
常温	—	43	51	—	27

表 10-22 不同形状的滑石粉对丁基胶胶料电性能的影响

电性能项目	煅烧陶土	滑石粉				
		片状	片状	扁平纤维状	针形纤维状	结晶纤维状
粒子直径，μm		3	5	1	5	3
短时间击穿电压，MV/m	27.8	46.7	45.9	39.0	20.4	28.9
体积电阻率，10^{14} Ω·cm	4.5	5.8	5.6	6.1	6.6	5.1
85℃温水浸后 19d	2.1	2.7	2.8	2.3	2.0	2.3
介电常数(1kHz，25℃)，0d	2.99	3.78	3.74	2.97	3.14	3.12
19d 后	3.32	3.36	3.16	3.72	4.29	4.47
介电损耗 (1kHz，25℃)，0d	0.37	0.81	0.87	1.08	1.47	1.08
19d后	0.98	1.40	1.40	5.52	3.41	5.03

在加工性能许可的范围内，应选用含芳香烃成分和环烷烃成分较多的操作油为好。对既要求耐热又要求一定电阻性能的增塑剂，多选用分子量较大的聚酯类化合物，但此类化合物若在直接蒸汽硫化下，会引起加氢分解，生成低分子极性基团，从而使电阻性能降低。

6．高分子聚合物的并用

为改善电性能、降低成本或提高某些绝缘制品的耐热、耐老化性能等，通常采用不同橡胶并用或橡胶与电性能较好的塑料并用。如天然橡胶与丁苯橡胶并用；天然橡胶与氯丁橡胶或聚乙烯并用；丁腈橡胶与聚氯乙烯并用；乙丙橡胶与丁基橡胶或聚乙烯并用等等。某些并用体系的电性能如表10-23所示。

表 10-23　几种并用聚合物的电性能

电性能 \ 并用物		丁基橡胶-聚乙烯	乙丙橡胶-聚乙烯	丁基橡胶-乙丙橡胶	乙丙橡胶	丁基橡胶	交联聚乙烯
吸水前	电阻率（ρ），Ω·cm	$1\sim3\times10^{16}$	$5\sim9\times10^{15}$	$2\sim6\times10^{15}$	$4\sim7\times10^{15}$	$0.8\sim1.2\times10^{15}$	1×10^{15}
	介电常数（ε）	3.3～3.4	2.8～3.0	3.2～3.3	2.9～3.0	3.5～3.6	2.3～2.4
	介电损耗（tgδ），%	0.4～0.6	0.2～0.5	0.3～0.6	0.2～0.6	0.7～0.9	0.04～0.06
吸水后	电阻率（ρ），Ω·cm	$1\sim3\times10^{15}$	$4\sim9\times10^{15}$	$2\sim5\times10^{15}$	$2\sim6\times10^{15}$	$0.9\sim1.5\times10^{14}$	1×10^{15}
	介电常数（ε）	3.4～3.5	2.9～3.0	3.3～3.4	2.9～3.1	3.9～4.0	2.3～2.4
	介电损耗（tgδ），%	0.4～0.6	0.2～0.5	0.4～0.8	0.2～0.7	0.8～1.0	0.04～0.05
击穿电压，MV/m		32～36	38～44	34～38	37～43	25～30	45～50

在乙丙橡胶中掺用聚乙烯并采用过氧化物交联，可以提高乙丙橡胶的击穿电压，这种材料以及交联聚乙烯现已被广泛用作耐高电压材料。丁基橡胶与聚乙烯难于共硫化，常采用过氧化物与其它硫化体系并用（如与肟类或促进剂体系并用）进行硫化。

三、工 艺 要 点

绝缘橡胶在加工工艺中，必须注意胶料的清洁工作，如果混入机械杂质，就会使电性能明显下降。因此绝缘橡胶内所用的配合剂，根据原材料的情况进行过筛或过滤。生胶和胶料最好均应过滤，以尽量除去杂质。配料时盛器要清洁，每次炼胶前应将设备彻底清扫，以免杂质混入。此外，炼胶机应选用表面光滑、硬度高的辊筒。硬度低的辊筒（如生铁辊）在炼胶时辊筒表面往往会被割刀划伤，铁屑就可能混入胶料中，影响胶料的电性能。

为获得更好的电性能及工艺性能，某些胶料可采用热处理工艺，如丁基橡胶与三元乙丙橡胶的绝缘胶料经热处理后，不仅可提高物理机械性能、电性能和耐水性能，还可使粉状填料在橡胶中分散得更为均匀。在加工工艺中，经热处理后胶料压出速度加快，压出胶表面光滑。

四、制 品 举 例

（一）绝缘橡胶手套

橡胶绝缘手套按原料和生产方法可分为胶乳浸渍法制造的绝缘手套和混炼胶片经模压法制造的绝缘手套两种，这里仅介绍后一种。

1．用途、规格、尺寸和公差要求

橡胶绝缘手套是电力、电器工人在进行电工作业时所使用的绝缘安全用具，在1000V以上高压电力设备上作为辅助安全用品；在1000V以下的电力设备上作为基本安全用品。

绝缘手套的形状一般采用分指式，如图10-48所示，其规格尺寸及公差见表10-24。

2．制造工艺

（1）工艺流程　橡胶绝缘手套生产工艺流程如图10-49所示。

（2）工艺要点　生胶一般采用天然橡胶（白绉片或1号烟片），使用时应清除包装表皮，并挑选去除有霉斑、杂质的部分，以便提高胶料的电绝缘性能。

配合剂使用前要过筛或过滤，控制细度和除去杂质。

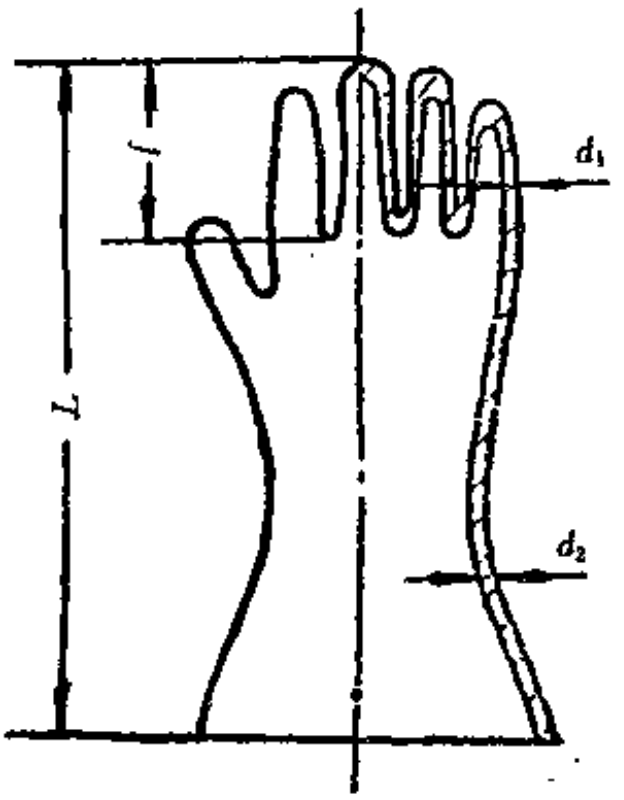


图 10-48　绝缘橡胶手套

L—全长；l—中指长度；d_1—手指面厚度；d_2—统掌面厚度

表 10-24　绝缘橡胶手套的规格尺寸和公差

型　号	全　长 L mm	中指长度 l mm	手指面厚度 d_1 mm	手指两侧厚度 偏差比例	统掌面厚度 d_2 mm	统掌两侧厚度 偏差比例
350	350±10	82±5	1.8±0.3	1:1～1:2	1.4±0.3	1:1～1:2
380	380±10	85±5	1.8±0.3	1:1～1:2	1.4±0.3	1:1～1:2

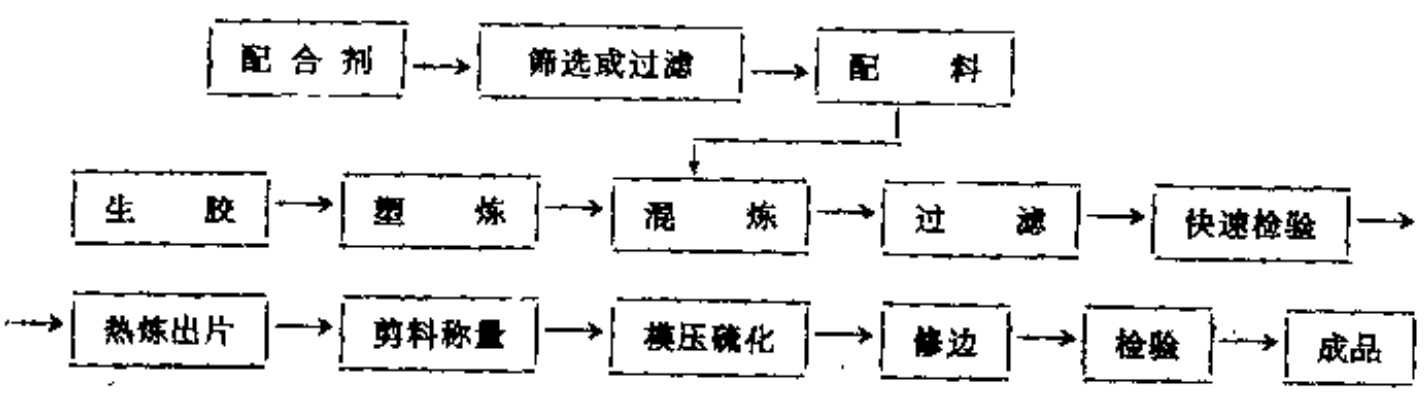


图 10-49　橡胶绝缘手套生产流程

塑、混炼时，炼胶机应清扫干净。在塑炼及混炼过程中尽量少用刀划胶，防止金属屑落入胶内影响电绝缘性能。混炼后最好进行滤胶，以除去胶料内的杂质。塑炼及混炼胶的可塑度对胶料的性能、模压工艺性能均有较大的影响，应严格控制。塑炼胶可塑度在0.54～0.60，混炼胶可塑度在0.6～0.65为宜。工艺过程中，胶料均不得沾污和涂抹隔离剂。

硫化时，模型亦不使用隔离剂。硫化后，模型内如发现有模垢或沾污，则应清除干净。

硫化后，手套脱模芯时，应先把统口处翻卷起一部分，并在手套外表浇一些中性肥皂水，用小刀小心划开手套间的边皮，然后将手套自统口部开始拉出模芯，再将手套翻回原状并套在架上冷却晾干。

绝缘橡胶手套硫化条件，一般是用模型在400×600mm平板硫化机内加压硫化，模型压

力在2～3MPa之间。硫化时蒸汽压力为0.55～0.6MPa，时间为9min。

3．配方举例

配方举例见表10-25。

表 10-25 绝缘橡胶手套生产配方举例

原材料名称	配合量,份	原材料名称	配合量,份	原材料名称	配合量,份
白绉片	100	白油	2.0	促进剂 DM	0.5
氧化锌	3.0			防老剂A	0.5
硬脂酸	1.5	合计	175	防老剂D	0.5
硫黄	0.25	含胶率，%	80	白蜡	1.0
促进剂 TMTD	1.0	1号或2号烟片胶	100	凡士林	4.65
促进剂 DM	1.0	碳酸锌	2.0	轻质碳酸镁	2.12
非污染性防老剂	1.0	硬脂酸	4.0	合计	116.27
轻质碳酸钙	13.75	硫黄	0.35	含胶率，%	86
白蜡	1.5	促进剂 TMTD	0.65		

（二）绝缘橡胶地毯

1．用途、规格尺寸和公差要求

绝缘橡胶地毯主要用于配电所或高低压电力设备上作为电绝缘的辅助安全用具。其规格主要按厚度划分，有4、6、8及10mm四种，宽度和长度根据使用要求和设备条件而定。以一般较多采用的850×815mm红色绝缘地毯为例，其公差要求如表10-26所示。

表 10-26 绝缘橡胶地毯规格尺寸和公差

厚度，mm	公差	长度，mm	公差	宽度，mm	公差
4	$^{+1.0}_{-0.5}$	850	±10	815	±10
6	$^{+1.0}_{-0.5}$	850	±10	815	±10
8	$^{+1.0}_{-0.5}$	850	±10	815	±10
10	$^{+1.0}_{-0.5}$	850	±10	815	±10

2．制造工艺

（1）绝缘橡胶地毯生产工艺流程与绝缘橡胶手套基本相同。

（2）工艺注意事项　硫化时要控制投料量，每张半成品胶片均应称量。模型上可涂薄硅油作为脱模剂（特别是表面有雷丝花纹的地毯）以利脱模和防止扯坏。

（3）硫化条件　绝缘橡胶地毯是用模型在平板硫化机内硫化的，其硫化条件如表10-27所示。

3．配方举例

绝缘橡胶地毯生产配方举例见表10-28。

根据使用要求，也有生产表面无花纹的黑色绝缘橡胶地毯，生产时采用模压接长法，其长度可任意选择。

表 10-27　绝缘橡胶地毯的硫化条件

厚度 mm	蒸汽压力 MPa	硫化时间 min	厚度 mm	蒸汽压力 MPa	硫化时间 min
4	0.5～0.55	8	8	0.5～0.55	12
6	0.5～0.55	10	10	0.5～0.55	14

表 10-28　绝缘橡胶地毯生产配方举例

原材料名称	配合量，份	原材料名称	配合量，份	原材料名称	配合量，份
天然橡胶	70	促进剂DM	2.0	橡胶大红粉	0.2
丁苯橡胶1502	30	防老剂	1.5	白　蜡	4
氧化锌	5	碳酸镁	10	合　计	334
硬脂酸	3	碳酸钙	169.1	含胶率，%	30
硫　黄	2.0	白油膏	20		
促进剂M	2.2	变压器油	15		

（三）电源橡胶插头

1．用途、规格尺寸和公差要求

电源橡胶插头一般由绝缘橡皮头和两片铜插脚组成，主要用作250V以下的移动式电气器具或家用电器与单相电源连结之用。有黑色和各种彩色。电源橡胶插头有各种外形结构，结构形状示例见图10-50所示。

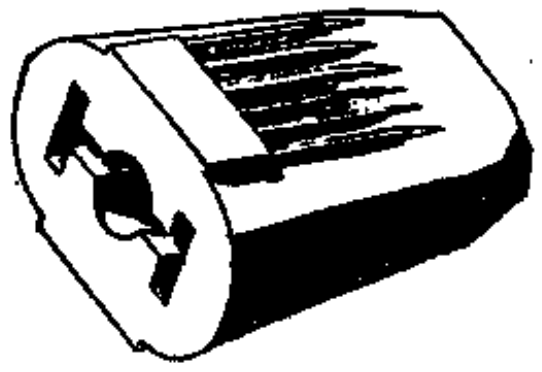


图 10-50　电源橡胶插头结构形状

主要尺寸如下：

上端：长16±1mm；宽9±1mm，线眼直径ϕ5±0.5mm；线眼偏差长方向不大于0.6mm（但孔眼与边缘间距不得小于1.5mm）。

下端：长23±1mm；宽14±1mm，电极孔距离11±1mm；电极槽长17±1mm；电极宽度5±0.5mm；电极厚1±0.2mm。

2．制造工艺

（1）制造工艺流程　电源橡胶插头为模型制品其制造工艺流程见图10-51。

（2）工艺要点　电源橡胶插头有黑色和彩色数种。一般选用天然橡胶、丁苯橡胶单用或掺入优质再生胶制造。电源橡胶插头的电绝缘性虽然要求不高，但胶料应注意清洁，不得混入金属杂物。

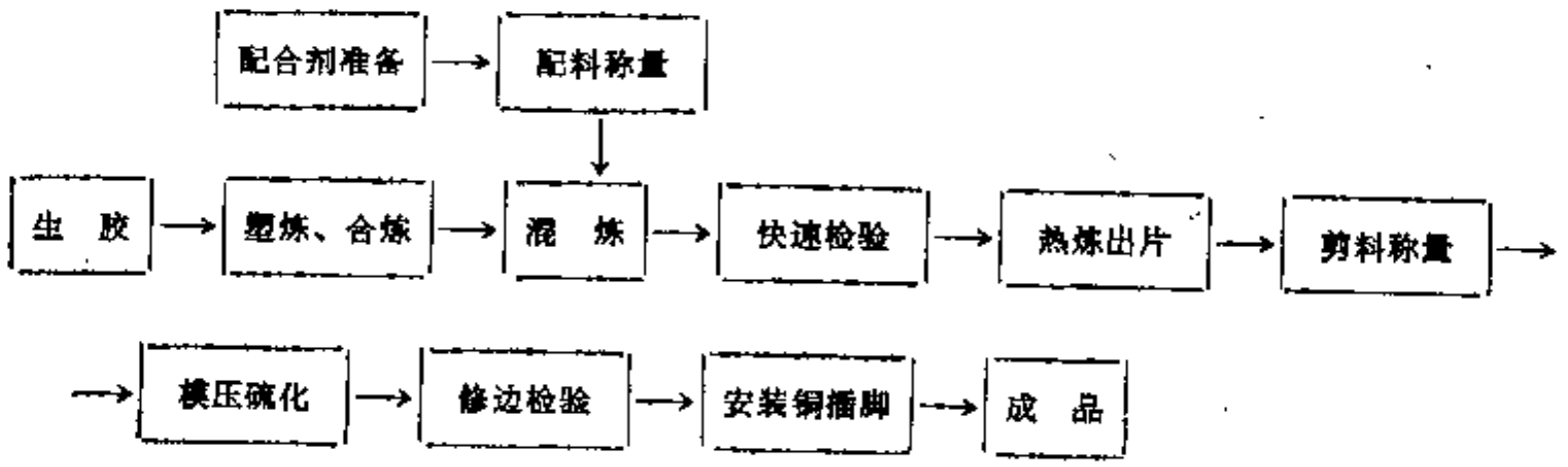


图 10-51　橡胶插头制造工艺流程

（3）配方举例　配方举例见表10-29。

表 10-29　电源橡胶插头配方举例

原材料名称	配合量，份		原材料名称	配合量，份	
	彩色	黑色		彩色	黑色
天然橡胶	100		防老剂	2.0	1.5
丁苯橡胶	—	100	碳酸钙	237	80
轮胎再生胶	—	50	陶土	—	50
氧化锌	4.0	5.0	白油膏	10	—
硬脂酸	2.0	1.0	机械油	30	—
硫黄	2.2	2.5	古马隆	—	18
促进剂	2.5	2.8	沥青		8
白蜡	0.5	2.0	颜料	根据色彩要求而定	—

（四）电视机用绝缘橡胶制品

为配合电视机工业的发展和与引进彩色电视机生产线配套，近几年来发展了电视机用各种橡胶元件。产品举例见图10-52。这类橡胶制品普遍要求优异的电绝缘性能、耐热性能和阻燃性能等。现将其用途简介如下。

（1）彩色显像管偏转线圈用橡胶楔子　主要用作彩色电视机显像管的偏转线圈校正后的固定。橡胶楔子要求具有优异的介电性能(体积电阻率大于$10^{10}\Omega\cdot cm$；击穿电压强度大于10MV/m；阻燃性UL-94V-0级等），目前一般采用有机硅改性阻燃乙丙橡胶胶料制造。



图 10-52　电视机用橡胶元件

(a) 彩电橡胶楔子，(b) 彩电用高压帽

（2）行输出变压器用高压帽、高压护套，聚焦护套　击穿电压强度要求大于20kV/mm。目前采用阻燃乙丙橡胶胶料和阻燃硅橡胶胶料制造，其性能优于原使用的聚乙烯、聚氯乙烯、氯丁橡胶制造的产品。

（3）大功率管垫片　要求体积电阻率大于$10^{14}\Omega\cdot cm$；击穿电压大于等于15kVmm。采用绝缘、阻燃、导热胶料制造。

（五）架空输电线路用复合式绝缘子

复合式绝缘子是大型的橡胶绝缘制品，也是输电线路上不可缺少的重要配件。长期以来在输电线路上用的绝缘子主要是绝缘陶瓷制品，但由于陶瓷表面易形成水膜，加上空气中的尘埃及其它工业污染物的沉积，会形成湿润而且有一定盐碱度的脏膜。这层脏膜会导致飞弧，造成供电事故。为解决这个问题，曾经采取在陶瓷绝缘子表面涂覆有机硅树脂及室温硫化硅橡胶的办法。由于现代电力输送需要更高的电压和在更严酷的环境下输电，这就意味着需要更大更重的绝缘子，也就相应需要更大的支撑结构，故总工程费用将更加可观。

随着高分子材料的发展，自70年代起已出现了以合成材料为芯棒，使用绝缘性及耐候性

良好的橡胶材料为伞裙所组成的复合式绝缘子，经实际应用试验验证，它的电绝缘性及耐紫外线、耐臭氧、耐风霜雨雪等天候老化性能都能满足使用要求，而它与同等规格的陶瓷绝缘子比较，其重量仅为陶瓷绝缘子的1/10，因而减轻了杆塔荷重，使线路间距缩小，线路走廊宽度减小，显示了重量轻、效能高、总费用低的优点，使城市架空电力路线小型化，为高压输电线路提供了新的技术条件。国际上已有工业化生产，我国上海、武汉及西安等地也取得了进展。

典型的架空输电线路使用的复合式绝缘子的基本结构是由起支承作用的用无碱玻璃纤维增强的环氧树脂玻璃钢棒或由聚酯树脂拉铸芯轴的中间芯棒，在芯棒外装置橡胶制成的伞裙，芯棒两端装备上下金属端帽所组成。复合式绝缘子的结构示意见图10-53。

1．绝缘子芯棒

无碱玻璃纤维经处理后浸渍环氧树脂，缠绕成所需直径的芯棒，加热固化，按规定长度截断即成绝缘子芯棒。

2．绝缘子伞裙

耐候伞裙用橡胶胶料模压制作，其开口直径略小子芯棒直径，硫化后的伞裙经抛光除去废边，然后用液压设备串套在玻璃钢芯棒上，为了更牢固地结合，芯棒与伞裙之间用专用的胶粘剂胶接，或者直接在玻璃钢芯棒上用模压硫化上伞裙。

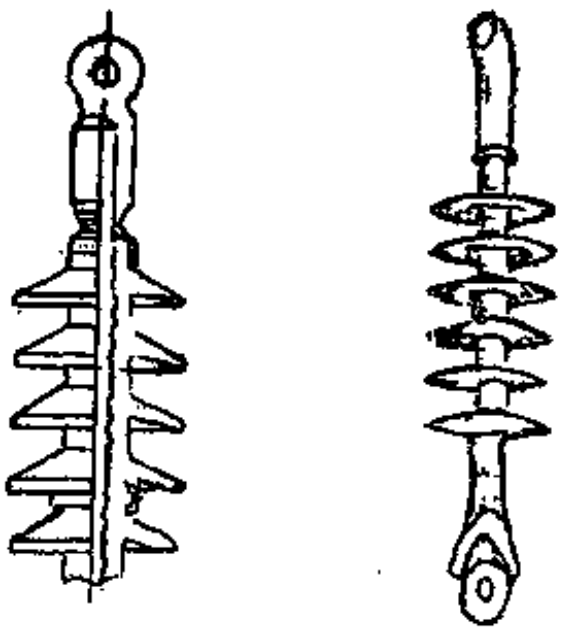


图 10-53　复合式绝缘子

3．金属端帽

将已串套好伞裙的芯棒两端安装金属端帽，并用楔子固定。见图10-54。

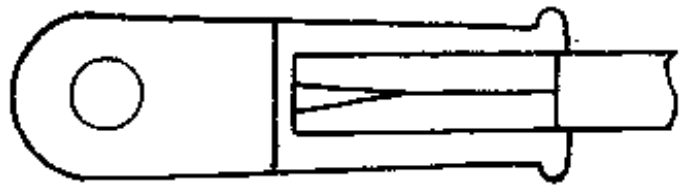


图 10-54　金属端帽的固定

复合式绝缘子成串后要经受规定的拉力试验，有3个关键部位：①芯棒与金属端帽；②耐候伞裙；③耐候伞裙与芯棒。芯棒与金属端帽的交界需要仔细地检测。一种新型的绝缘子除拉伸强度、抗弯等机械性能和装配性能有严格要求之外，还必须经过紫外线、耐电弧、盐雾室、跳火等试验及户外运行考验（这是很费时日的），最后才能确定是否可用。我国已在上海-南京间的高压线路上进行了国产复合绝缘子的工业试运行，要求在运行中不清扫、不维护，一年后作定期性能检验，结果见表10-30。

复合式绝缘子中耐候伞裙是一个重要的部件，它的主要作用为：①作为复合绝缘子的外绝缘元件；②保护芯棒耐各种条件的影响。复合绝缘子的持久性能很大程度上取决子橡胶耐候伞裙的耐候性。作为耐候伞裙使用的橡胶有硅橡胶与三元乙丙橡胶，也有使用硅橡胶与三元乙丙橡胶共混胶来制作耐候伞裙者。乙丙橡胶伞裙复合绝缘子用在高压输电线路上不够理想，它的耐电晕能力只有硅橡胶伞裙复合绝缘子的50～60%，在潮湿和污染严重的地区容易产生电碳痕迹，硅橡胶伞裙复合绝缘子则可用于超高压线路中但其价格较高。

乙丙橡胶填充44重量份$Al_2O_3(H_2O)_3$的胶料，从－150℃到180℃间，未老化原始性能与经

表 10-30 复合式绝缘子试运行前后性能

项目 \ 结果	绝缘子投入试运行前	绝缘子经试运行后	要求值
直流泄漏，μA	＜2	＜5	≯10
局部放电PC	＜5	＜5	≯10
工频耐压	通过	通过	265kV×5min
冲击试验，kV 1.5×40us全波峰值	通过	通过	不低于640kV(正负)在1.3$\frac{1.15\times110}{\sqrt{3}}$kV下
污闪试验(浸水24h)	通过	通过	耐受20min盐污浓度为20g/L，80g/L
50周闪路电压，kV	—	350	—
拉伸破坏负荷	通过	通过	1.96×10^3N×2h不得变形
弯曲破坏负荷	通过	通过	1.96×10^3N×2h不得变形
硬度(邵尔A)	56～72	56～72	55～57
颜色	灰或蓝	无明显变化	灰或蓝
外观	平直完整	平直完整	平直完整，且无残余变形

室外老化9年后的损耗因子与温度、模量与温度的相互关系见图10-55；硅橡胶填充$Al_2O_3(H_2O)_3$64重量份的胶料老化前及试样经室外老化8年后的损耗因子与温度、模量与温度的相互关系见图10-56。

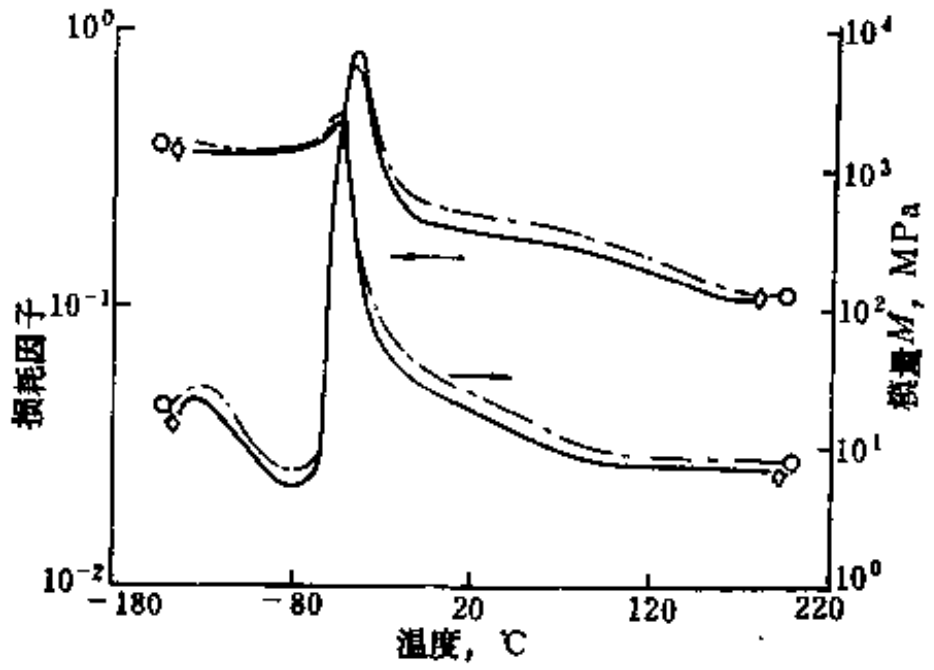


图 10-55 乙丙橡胶损耗因子、模量与温度的关系

·—·—·未老化；——大气老化9年

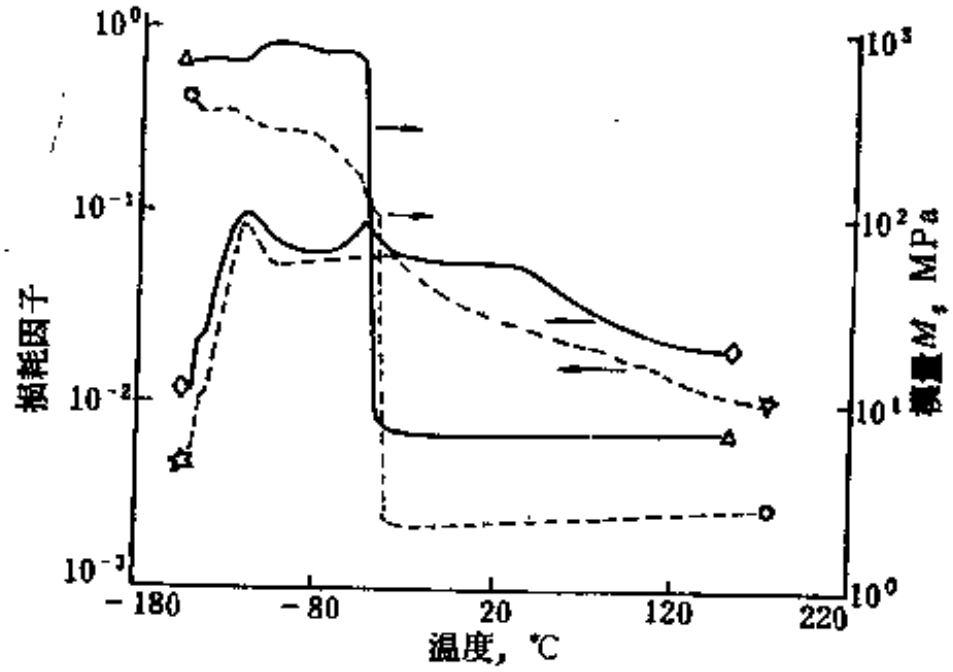


图 10-56 硅橡胶损耗因子、模量与温度的关系

——未老化；- - - - - -大气老化8年

五、产品标准及试验方法

1．绝缘橡胶手套性能标准

绝缘橡胶手套性能标准和外观质量检验指标见表10-31和表10-32。

表 10-31 绝缘橡胶手套性能标准

（HG4—403—66试行）

项目名称	指 标	项目名称	指 标
拉伸强度，MPa	≥15.69	耐交流电压，V	12000
扯断伸长率，%	≥600	泄漏电流，mA	12以下
扯断永久变形，%	≤ 20	持续时间，min（不击穿）	1
硬度（邵尔A）	35±5		
70℃×72h老化系数	≥0.8		

表 10-32 绝缘橡胶手套外观质量检验指标

缺陷名称	一级品	二级品
颜色不均匀	不允许	允许在一付中略有深浅
两测厚薄偏差比例	1:1～1:1.5	1:1.6～1:2
裂缝缺口，修剪损伤撕裂	不允许	不允许
气泡	不允许	直径不大于1.5mm，深度不大于0.3mm者不得超过两处
硬杂质和表面凹陷	直径不大于0.5mm，深度不大于0.3mm者各不超过两处	直径不大于0.5mm，深度不大于0.3mm者各不超过四处
喷霜、发粘发脆	不允许（但允许喷蜡）	不允许（但允许喷蜡）

绝缘橡胶手套应逐只进行外观质量检验。外观质量检验合格后的产品，还需进行耐电压性能检验。绝缘橡胶手套耐电压性能的检验装置见图10-57。检验时用50Hz的交流电，周围温度15～35℃。方法是先将橡胶手套内部注入清水（水量距统口边缘50mm），而后将橡胶手套浸入盛有清水的器皿中，使手套内外水面相齐，统口应保持干燥。然后在手套中放入一个电极，此电极通过毫安计接地。另一个电极连接在盛水的金属器皿上，并经过变压器接地。此时将电压均匀地逐步升高，其速度每秒不得超过1000V，至电压达到12000V时，保持1min，泄漏电流在12mA以下面不击穿者为合格品。每只手套检验完毕即将电压降至零后进入检验间将手套取出，再按上述步骤进行另一只检验。绝缘橡胶手套在使用中，每6个月必须进行耐电压性能复验，以保安全。在复验时规定电压为6000V，泄漏电流不应超过7mA，复验时间为持续1min。在检验时，如有击穿，应在绝缘橡胶手套上盖上“击穿”的标志，切防误用。

2．绝缘橡胶地毯性能指标

绝缘橡胶地毯性能指标和绝缘橡胶地毯外观检验指标见表10-33和表10-34。

绝缘橡胶地毯耐电压性能检验方法：每张绝缘橡胶地毯均需进行耐电压性能检验。检验设备与绝缘橡胶手套所用的基本相同，但不需用盛水的金属器具。其方法是将绝缘橡胶地毯放在铺有金属板（一般可用铝板）的框架上，在地毯上面放一块各边小于地毯10cm的金属板，再在金属板上放连接变压器的一块电极，另一根电极接于橡胶地毯下的金属架上，然后以每秒1000V左右的速度升到检验规定的电压，持续1min并记录毫安计上所指示的读数。不击穿者为合格品。检验时被高电压击穿的橡胶地毯，在洞穿处允许修补，但修补后必须重新进行耐电压检验，合格者才能使用，并且只能作二级品。

3．电源橡胶插头性能指标

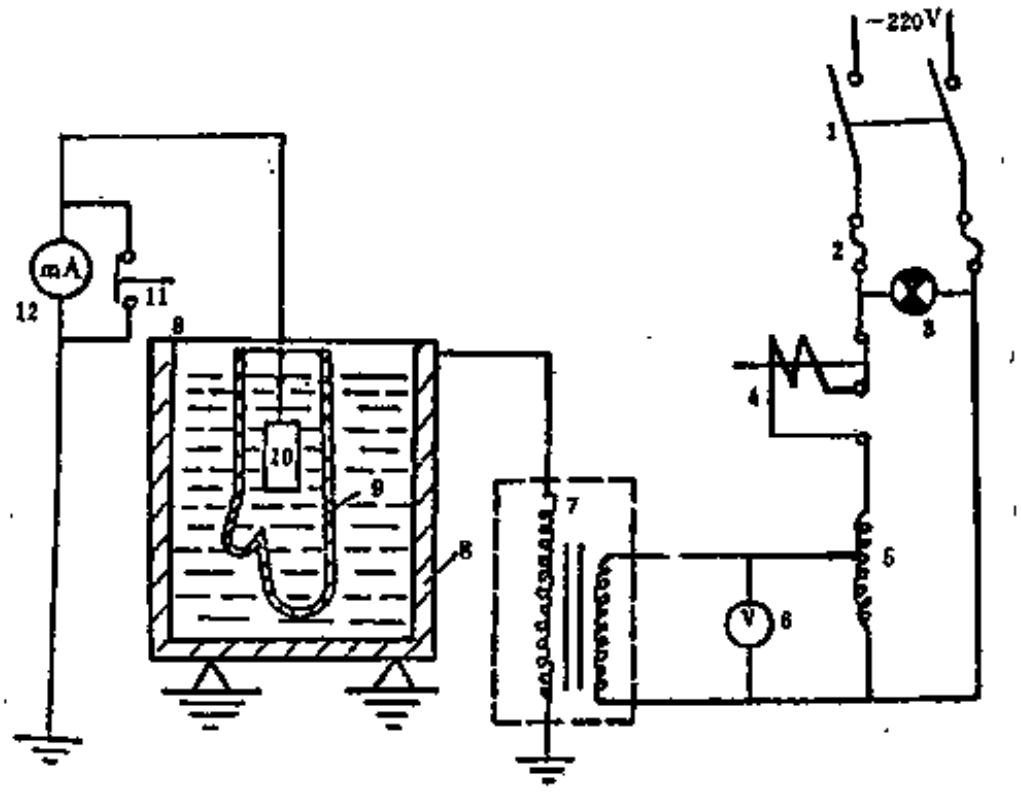


图 10-57　绝缘橡胶手套耐电压检验装置示意图

1—闸刀开关；2—可断熔丝（保险丝）；3—电源指示灯；4—过负荷开关（也可用过流继电器）；5—调压器；6—电压表；7—变压器；8—盛水金属容器；9—橡胶手套；10—电极；11—毫安表短路开关；12—毫安表

表 10-33　绝缘橡胶地毯性能指标

项目名称	指标	项目名称	厚度，mm			
			4	6	8	10
拉伸强度，MPa	≥6.86	耐交流电压，V	7500	20000	25000	30000
扯断伸长率，%	≥400	泄漏电流，mA	7.5以下	20以下	25以下	30以下
硬度（邵尔A）	60±5	持续时间，min（不击穿）	1	1	1	1
70℃×72h老化系数（拉张积）	≥0.75	适用范围	低压	高压	高压	高压

表10-34　绝缘橡胶地毯外观质量检验指标

缺陷名称	一级品	二级品
缺胶	面积不大于10mm²，深度不超过1mm	面积不大于20mm²，深度不超过1mm
透痕	总面积不大于100cm²	总面积不大于300cm²
表面花纹裂开	允许有轻微痕迹透痕	允许有痕迹透痕
海绵状	在侧边允许有宽度不大于1cm，全长不超过1/4	在侧边允许有宽度不大于2cm，全长不超过1/2
表面气泡、杂质	直径不大于3mm，不超过10个	直径不大于3mm，不超过15个
花纹断裂	允许轻微存在，但不允许集中一处	允许存在但不集中一处
花纹交叉	允许有	允许有
边缘缺角	面积不大于4cm²一处	面积不大于4cm²两处
色差及沾污	允许稍有颜色深浅及沾污	允许有

电源橡胶插头性能标准和电源橡胶插头外观质量检验指标见表10-35和表10-36。

耐电压试验方法：电源橡胶插头一般不作成品的耐电压检验，而是用该品胶料硫化成$150\times120\times2^{\pm0.2}$mm的试片进行电性能测定。检验规定电压为2000V，持续时间1min，不击穿者为合格。试验时相对湿度不大于65%。

4．电视机用橡胶配件

表 10-35　电源橡胶插头性能指标

项目名称	指　标	项目名称	指　标
拉伸强度，MPa	≥3.43	耐交流电压，V	≥2000
扯断伸长率，%	≥300	持续时间，min（不击穿）	1
硬度（邵尔A）	50～65		

表 10-36　电源橡胶插头外观质量检验指标

缺陷名称	允许范围
明疤（凹凸起气泡）	深度不超过0.5mm，面积不超过4mm²
表面杂质	1mm²以下杂质不超过两处、不允许影响耐电压
修剪痕迹	边缘上修剪痕迹不超过0.5mm
微　孔	不允许
裂　纹	不允许

彩色显像管偏转线圈用橡胶楔子性能指标见表10-37。

表 10-37　彩色显像管偏转线圈用橡胶楔子性能指标

项目名称	指　标	项目名称	指　标	项目名称	指　标
硬度（邵尔A）	65±5	体积电阻率ρV，Ω·cm	≥1×10¹⁰	拉伸强度保持率，%	≥70
拉伸强度，MPa	≥3.92	击穿电压强度E，kV/mm	≥10	扯断伸长保持率，%	≥70
扯断伸长率，%	≥180	150℃×120h热老化后		阻燃性UL-94	V-0级
100℃×24h压缩永久变形，%	≤25	硬度（邵尔A）变化	±10		

电性能测试方法按部颁标准试验方法进行。高压帽、护套、大功率管垫片等绝缘、阻燃、耐热橡胶制品的性能标准按各使用单位的不同要求而定。

第四节　绝 缘 胶 带

一、绝缘胶带的结构和用途

绝缘胶带（又称绝缘胶布，简称胶布带）由带基和胶层构成，其断面结构如图10-58所示。

面胶层和底胶层由特殊配方胶料组成，它除了为绝缘胶带提供一定耐电压性能外，还使绝缘胶带有一定的自粘性，以便于缠绕。

带基是面胶层和底胶层的载体，它是绝缘胶带的强力承受者，也具有一定的耐电压性能。绝缘胶带通常采用棉布作为带基，也有用维-棉混纺或维尼纶织物、塑料薄膜等作为带基的。胶层也有以电绝缘性能较好的树脂作为粘性涂层的。以塑料薄膜为带基，以树脂作为粘性涂层的绝缘胶带称塑料薄膜绝缘带。

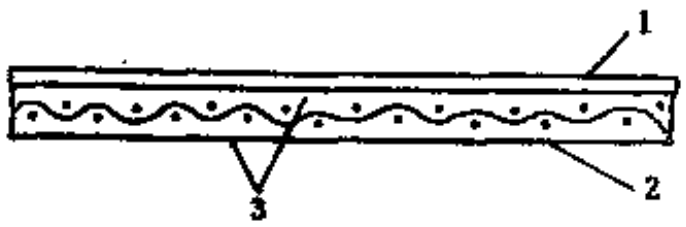


图 10-58　绝缘胶带结构

1—面胶层；2—带基；3—底胶层

绝缘胶带供380V或以下的导线包扎绝缘用，在工业电器和家用电器上使用十分广泛。

我国从50年代就已开始生产绝缘胶带，至今已有50多个生产厂家。绝缘胶带年产量在4500万盘左右。生产工艺路线有压延擦胶法和涂胶法两种。

1．压延机擦胶法

使用压延机将粘流态的粘胶通过擦胶方式制成绝缘胶带。这种方法不用溶剂，故不污染

环境，生产效率高、工艺流程短，但是设备及工艺技术难度较大，采用此法的厂家较少。

2．涂胶法

采用涂胶法（括浆法），工艺及设备都比较简单，目前仍有90%的生产厂采用此法。我国每年用于溶液胶浆涂布的溶剂汽油约3000t。不仅消耗了大量溶剂汽油，而且常因室内汽油浓度过大，静电打火而导致火灾，造成经济损失；操作人员因长期接触溶剂而中毒，所以必须配备溶剂回收装置，在正常情况下其回收率可达60%以上。

二、绝缘胶带制造工艺

（一）原材料选择和配方举例

1．带基的选择

带基是绝缘胶带胶层的承载体，承受着包扎缠绕的全部张力，因此绝缘胶带的带基既要有一定的强度和良好的电绝缘性能，又要求与涂胶层有良好的粘着力以及在－10～40℃的条件下物理机械性能变化不大。质地优良的棉布和电绝缘性能良好的塑料薄膜都可作为绝缘胶带的带基材料，通常采用的棉布规格和技术要求如表10-38。

表 10-38　绝缘胶带用棉布性能规定

品　种	纱支结构		密　度 根/2.5cm		拉伸强度 MPa		厚　度	宽　度	长　度	花壳纱结 1100cm²范围内允许数
	经	纬	经	纬	经	纬	mm	cm	m	
56×64 棉　布	32	32	55 以上	53 以上	1.0	1.0	0.22	90	100	10以下

2．涂胶层材料的选择

（1）电绝缘性能　要求有较好的电绝缘性能，一般采用天然橡胶和非极性填充剂。导电性能好的金属氧化物等材料不宜使用。

（2）对铜导线腐蚀性　所用材料不应对铜导线有腐蚀作用，含有硫和酸碱性强的原材料不允许使用，所用材料对带基应有良好的粘着力。

（3）原材料质量　原材料质量与性能必须按规定严加控制，不允许使用不合格的原材料（特别是含有铜、锰、锌等金属的原材料），以免影响电绝缘性能。

（4）工艺性能　选择的原材料必须有利于工艺制造。如混炼、打浆等，要易于分散和混合均匀。

3．配方举例

配方必须符合绝缘胶带的性能要求，通常采用的配方举例如表10-39。

（二）生产流程及工艺操作

1．生产流程

生产流程如图10-59所示。

2．炼胶

底层胶用二段塑炼天然橡胶；面层胶用一段半塑炼天然橡胶。底层胶含粉量高，混炼胶较硬，如控制不当易使密炼机损坏。面层胶含油量太高，混炼胶太软，致使密炼机排胶困难，所以绝缘胶带胶料一般宜采用开炼机进行混炼。混炼胶下片冷却时，应采用滑石粉作为隔离

表 10-39　绝缘胶带胶料配方举例

原材料	底层胶	面层胶	原材料	底层胶	面层胶
1号烟片胶	100	100	松焦油①	—	40
机油	22	—	重质碳酸钙	700	—
沥青①(软化点36～40℃)	81	120	炉法炭黑	22	—
沥青（软化点70～110℃）	—	30	共计	925	330
松香	—	40	含胶率，%	10.8	30

① 在打浆时加入沥青搅拌混合。

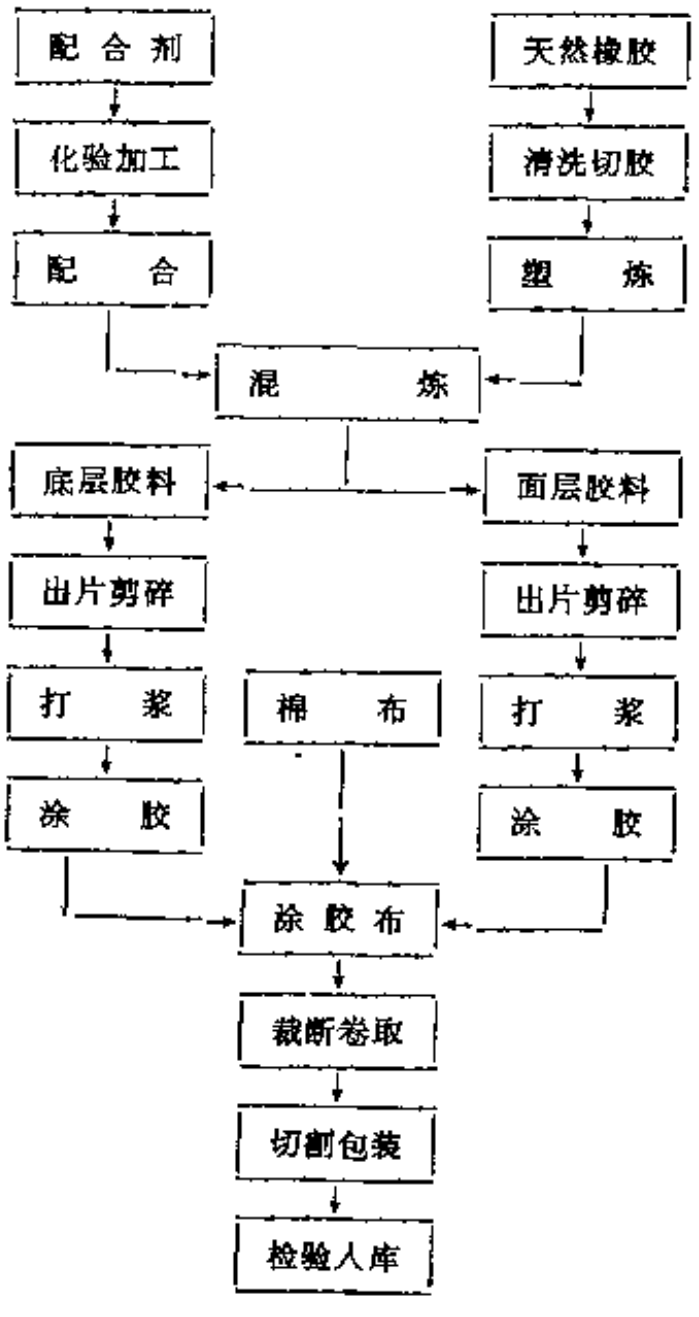


图 10-59　绝缘胶带生产流程

剂，禁止使用液体隔离剂。

开炼机一般采用的混炼工艺如表10-40。

表 10-40　绝缘胶带胶料混炼工艺条件

名称	面层胶	底层胶	名称	面层胶	底层胶
每车容量，kg	≤40		补充加工方法	6mm辊距混合均匀	3次三角包（1mm辊距）
辊距，mm	6～10	6～10	下料方式	划短卷	划片
前辊温，℃	50～60	50～60	划片厚度，mm	6～8	3～4
后辊温，℃	45～55	45～55	隔离剂	划卷不涂隔离剂	干滑石粉
加料顺序	塑炼胶→沥青	塑炼胶→炭黑→机油→重质碳酸钙			

3．胶浆制备

将混炼胶出片，剪成约10cm长，8cm宽，2～3mm厚的胶片。

配制胶浆需注意以下几点：

① 严格掌握胶与溶剂的比例　面层胶：汽油（重量比）为1：0.4；底层胶：汽油（重量比）为1：1。

② 搅拌时间及加料顺序如表10-41所示。其中软化沥青（软化点36～40℃）在使用前应加热熔化，加热温度不超过100℃。

表 10-41　绝缘胶带胶浆搅拌时间及加料顺序

面层胶加料顺序	搅拌时间，h	底层胶加料顺序	搅拌时间，h
汽油、胶片	1	汽油、胶片	$2\frac{1}{2}$
松　　香	1	软化沥青（软化点36～40℃）	$2\frac{1}{2}$
松 焦 油	$\frac{1}{2}$		
软化沥青（软化点36～40℃）	$2\frac{1}{2}$		
合　　计	5	合　　计	5

③ 掌握胶浆质量　打浆时先将汽油放入打浆桶内，即开动搅拌器，徐徐加入胶片，并要一次加完，防止在打浆过程中结块。打浆时间长短应以搅拌至无胶粒状物为准，已打好的胶浆用40×40孔/in规格铜丝布过滤，并停放24h后备用。

④ 做好防火措施　打浆间所使用的电动机、照明系统都应有防爆功能，转动部分要润滑良好，严禁与金属物件碰撞，打浆人员需穿软底鞋，防止因鞋钉摩擦地面而引起火灾，并应做好一切防火措施。如不用防爆电机，也可用普通电机，但必须将电机与打浆间隔离，通过枢动轴带动打浆叶轮转动。

4．涂胶

分别用两台刮浆机进行底层胶和面层胶的刮浆，胶布厚度与胶浆耗用量控制如表10-42。

成品每筒长20m，宽0.9m，纸筒重0.2kg，总重量为6.1～6.3kg；每筒长10m，宽0.9m，纸筒重0.2kg，总重量为3.1～3.3kg。

表 10-42　胶布厚度及胶浆耗用量

棉布规格	胶布厚度，mm			涂胶浆重量，kg/100m		
	底层胶浆		面层胶浆	底层胶浆		面层胶浆
56×54	第一面	第二面	第三面	第一面	第二面	第三面
	0.2±0.02	0.24±0.02	0.3±0.02	8.6～8.9	7.5～7.8	4.1～4.3

5．切割

将成卷的绝缘胶布切成一定宽度的绝缘胶带，切割可在改装的车床和专用设备上进行。

三、成品整理包装和贮存

1．成品的整理包装

① 经过切割的每盘绝缘胶带，应用蜡纸或塑料薄膜等防潮材料进行小包装，然后装箱。

② 绝缘胶带每盘的纸芯上应印有制造年月、生产厂名或商标。

③ 绝缘胶带每盘小包装上应印有产品名称、商标、规格、使用说明和制造厂名。

④ 绝缘胶带按同种规格装箱，每箱内应附有合格证。箱上应印明如下标志：产品名称、商标、规格、数量、批号、重量、体积、制造厂、出厂日期，防潮及防晒标志。

2。成品贮存

成品贮存保养要点如下：

① 绝缘胶带应保存于－10～＋30℃、相对湿度80%以下的环境中，应距热源设备不少于1.5m。

② 堆放处应距离地面及墙壁不少于20cm以防受潮，堆垛应以底层产品不得压损为原则，堆垛方法应保证散热。

③ 绝缘胶带在运输、保管中应避免日光直射、雨雪浸淋、受潮，并不应与油类溶剂、酸、碱、盐类等对纤维织物和橡胶有害的物质接触。

四、绝缘胶带规格性能标准和试验方法

（一）绝缘胶带规格标准

绝缘胶带的规格尺寸、性能标准应符合HG 4—395—82，其规格尺寸如表10-43。

（二）绝缘胶带性能标准

（1）耐电压性能　绝缘胶带在1000V交流电压（频率50Hz）下保持1min不应击穿。

（2）粘着性能　绝缘胶带的粘着性能按表10-44规定的下坠负荷，其下降速度不应大于30cm/min。

表 10-43　绝缘胶带的规格和公差

长度，m	宽度，mm	厚度①，mm
10±1.5	10±1.0 15±1.0 20±1.0	0.30±0.05
20±0.15	10±1.0 15±1.0 20±1.0	0.30±0.05

① 厚度标准因纤维织物影响，允许供需双方商定。

表 10-44　绝缘胶带粘着性能

胶布宽度，mm	下坠负荷，g
10	700
15	1050
20	1400

（3）老化后粘着性能　绝缘胶带经70±2℃×24h老化后，其粘着性能按表10-45规定的下坠负荷，下降速度不应大于30cm/min。

表 10-45　绝缘胶带经老化后粘着性能

胶布宽度，mm	下坠负荷，g
10	500
15	750
20	1000

（4）腐蚀性能　绝缘胶带不应对铜导线有腐蚀作用。

（5）耐温范围　绝缘胶带应能在－10～40℃温度条件下使用。

（6）外观质量　绝缘胶带外观质量应符合10-46规定。

（7）贮存期　绝缘胶带在8个月的存放期内应符合以上性能要求，在8～12个月范围内，则在下坠负荷减少50%的情况下，其剥离速度应不大于30cm/min。

表 10-46 绝缘胶带外观质量

缺陷名称①	合格品		缺陷名称①	合格品	
	一级品	二级品		一级品	二级品
露布 盘面离缝	不允许 离缝宽度不大于1cm，两面长度总和不大于10cm	不允许 离缝宽度不大于2cm，两面长度总和不大于20cm	脱胶② 凹(凸)心 斜眼	不允许 凹（凸）心处高低相差不大于1mm 20mm宽，1mm长度内不允许超过5个	不允许 凹（凸）心处高低相差不大于3mm 20mm宽，1mm长度内不允许超过10个
双刀痕 切面不平	不允许 同一平面内高低相差不大于0.5mm	不允许 同一平面内高低相差不大于1mm			

① 允许存在因棉布的棉籽壳渣、纱结所造成的斑点。

② 脱胶：从原盘胶布上以1s内1次快拉出0.5m的长度进行观察。

（三）绝缘胶带性能试验方法

1．外观质量的测试

绝缘胶带的外观质量用目测法检验，并以量具测量缺陷的程度；长度和宽度用直尺和卷尺测量。厚度测量应按下列要求和步骤进行：

① 在产品批量中任取3卷，从每卷上剥除外面3圈然后取样；

② 将试样粘胶（面胶层）向上平坦在玻璃板上，以面胶面相对对折，第二次对折后试样成为4层；

③ 用重1kg的压辊缓慢地滚压（不得在压辊上施加附加压力）一次，以消除皱折和气泡；

④ 将已处理的4层绝缘胶带用带有平台接触面，直径为5mm的百分表进行测量；

⑤ 数据处理　测量结果以下列公式计算：

$$\text{绝缘胶布厚度（mm）}=\frac{\text{测量厚度}}{4}$$

再算出3个试样的平均值即为绝缘胶带厚度。

2．耐电压试验

耐电压试验应按下列要求进行。

① 电压表最小刻度应为250V。

② 两极板尺寸及上极板重量按表10-47规定。

③ 试验条件　温度23±5℃，相对湿度80%以下。

④ 试验方法　截取长100mm的胶带试样，其表面不应触及任何物质，将试样单层夹于上下两极板之间，并应放正，接通电源，电压上升速度每秒不应超过100V，当电压升至1000V时，保持1min，无击穿现象者为合格。

3．粘着性能试验

粘着性能试验应按下列要求进行。

① 取样　在产品批量中任取3卷，置于温度20±2℃、相对湿度80%以下的条件下停放1～4h，然后从每卷试样上剥除外面3圈，再从试样上截取700mm的胶带待用。

② 卷取　将已取试样一端缠于粘力机上（面胶面缠于粘力机轴上），另一端挂上规定的上缠负荷（如表10-48），粘力机的卷取轴直径为6mm，长度为60±1mm，轴转动灵敏度以5～7gf的负荷使轴转动为准。

挂上上缠负荷后，在1min内缓慢均匀地卷上550mm，卷取必须整齐，上缠完毕后，连同上缠负荷停留3min；粘着性能试验如图10-60所示。

表 10-47　两极板尺寸及上极板重量

胶布宽度 mm	两极板尺寸（长×宽×厚） mm	上极板重量 g
10	60×6×2	27±1
15	60×11×2	50±1
20	60×16×2	72±1

表 10-48　上缠负荷规定

胶布宽度，mm	10	15	20
上缠负荷，g	1800	2700	3600

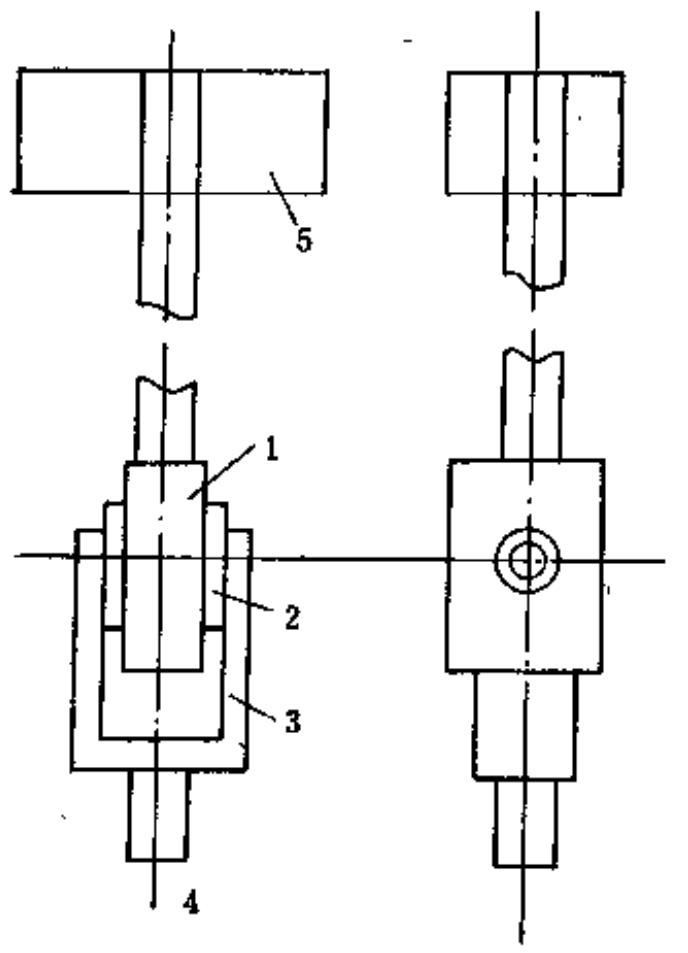


图 10-60　绝缘胶带粘着性能试验示图

1—试样；2—卷轴；3—支架；4—活动夹头；5—固定夹头

③ 测量下降速度　将上缠负荷换以规定的下坠负荷，在最初下坠10cm后标记处开始记录时间，经1min的下降距离即为粘着性数据。下坠负荷应按照表10-48规定。

4．老化后粘着性能试验

将欲进行试验的胶带试样3个，分别以螺旋状缠于干净的玻璃棒上，面胶朝外，胶带不应重叠。然后将试样悬挂于恒温70±2℃的老化箱中，保持24h，箱内应鼓风，以使温度均匀。老化后粘着性能试验的取样和试验方法与“粘着性能试验”相同。

5．对铜腐蚀作用试验

绝缘胶带对铜的腐蚀作用试验应按下列方法进行。

① 铜棒的处理　电解铜棒长200mm，直径7～10mm，铜棒表面用“0”号细砂纸擦光，再用乙醚或无硫挥发溶剂洗涤，最后干燥待用。

② 取样　在产品批量中任意抽取3卷，从每卷试样上剥去3圈，然后各截取胶带条100mm。

③ 试样缠绕　将胶带面胶面朝向铜棒，按螺旋式进行缠绕，然后放入洁净、干燥的玻璃管中，并将玻璃管两端用软木塞封闭，然后放入100±2℃的老化箱中保持16h后取出（同时进行空白试验），冷却至室温，将铜棒取出，与空白试验的铜棒进行对比，原缠绕有胶带的铜棒上不应呈现硫化铜的蓝黑色等腐蚀现象。

6．检验规则

检验规则如下：

① 绝缘胶带应由制造厂按照HG 4—395—82标准的各项技术规定进行验收，并附有检验

合格证；

② 绝缘胶带应成批提交验收，每批数量应不多于20000盘，不同规格的产品可划为一批；

③ 绝缘胶带的外观质量应百分之百地进行检查；

④ 在每批绝缘胶带中至少抽取3盘试样，每盘进行一次规格尺寸、耐电压试验和粘着性能检查；

⑤ 绝缘胶带的老化后粘着性能及对铜腐蚀作用试验，应定期进行检验，但每月不少于1次，每次试样不得少于 3 盘，每盘做 1 次试验；

⑥ 成品性能检验结果有不合格项目时，应再另取双倍试样进行不合格项目的复试，复试后仍有 1 项或一个试样不合格时，则该批产品为不合格品；

⑦ 用户有权按照HG 4—395—82标准的各项技术规定检验产品质量。

主要参考文献

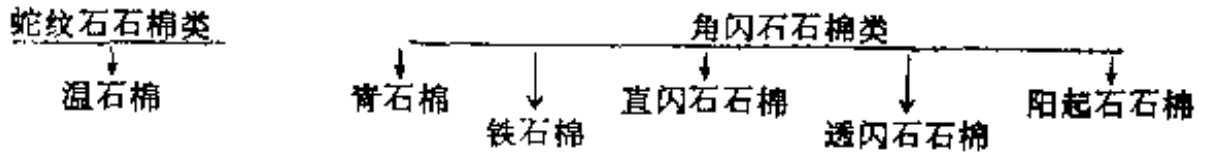
〔1〕(日) 占部诚亮等编，“ゴムの性质と加工”，地人書馆，東京，1965。
〔2〕Birks, J.B.ed., “Modern Dielectric Materials”, p. 19, Heywood & Co. Ltd., London, 1960。
〔3〕Norman, R. H., Proc. I.R.I., (4), 49～52(1957)。
〔4〕建林，ゴム协會誌，29，537(1959)。
〔5〕Fischer, W.F., Wire and Wireproduots, 36, 584～587(1961)。
〔6〕Studebaker, M.L.S., India Rubber World, 129, 485(1954)。
〔7〕川井 高桥 神谷 吉田 增田，古河电工时报，26，34(1961)。
〔8〕兴代 高橋 吉田 神谷 长田，古河电工时报，22，37(1960)。
〔9〕篠原卯吉 稻垣荣一，电工誌，81，39(1961)。
〔10〕华南工学院编 朱敏主编，《橡胶化学与物理》，化学工业出版社，1984年。
〔11〕日本ゴム协会誌，46(8)，688～703(1973)。
〔12〕Fischer, W.F. and Neu, R. F., Ind. Eng. Chem., 51(2), 205(1959)。
〔13〕Wolfe, J.R., Rubber World, 149, 62(1963)。
〔14〕Quirh, J.F., Rubber Age, 97, 94(1965)。
〔15〕于清溪，橡胶工业，(8)，1～7(1981)。
〔16〕张中俊，天津橡胶，(4)，39～42(1985)。
〔17〕Q/GHX0010—91，“橡胶绝缘地毯企业标准”，上海工程橡胶厂。
〔18〕Q/GHX0010—91，“彩电橡胶楔子企业标准”，上海工程橡胶厂。
〔19〕顾森昌等，橡胶工业，(5)，17(1987)。
〔20〕俞菊英译，“橡胶译文汇编”，50～62页，上海橡胶制品研究所，1985年。

第十一章　石棉与软木橡胶制品

第一节　石棉橡胶密封制品

石棉是商业上的名词，不是矿物名称，目前关于石棉的定义有很多说法，比较具有代表性的定义为“石棉是矿物纤维的总称，凡是具有纤维结构，而且可以劈为纤维状的矿物都称为石棉。”

石棉一般可分为蛇纹石石棉和角闪石石棉两大类。



我国的水镁石石棉已越来越为人们所认识、利用和开发，此外海沧石石棉、叶蜡石石棉也开始为人们利用。各种石棉中以蛇纹石石棉，即温石棉的工业价值最大，产量最高，是最重要的一种石棉。在石棉制品工业上，除非特别指出，一般都是指温石棉。温石棉是纤维状含水硅酸镁，分子式为$3MgO\cdot 2SiO_2\cdot 2H_2O$，理论成分是MgO 43.46%；$SiO_2$43.50%；$H_2O$ 13.04%。石棉能劈分成微细而柔软的纤维，理论上讲，可利用化学方法将石棉分散成单纤维。石棉单纤维很象一根极细的空心管子，管壁从内向外，呈螺旋形卷曲状；管内径为5～13nm，外径为20～50nm；是所有人工和合成纤维中最细的纤维。

石棉纤维具有优良的物理和化学性能，具有较高的拉伸强度，比钢丝的强度（21MPa）还好。

石棉经机械或化学处理可使其松解，充分松解的石棉纤维，表面积相当大，吸附性能又极为良好，故是最优良的复合材料的基材。

石棉纤维不燃烧，具有优良的耐热性能，最高的安全使用温度为500～550℃，宽广的使用温度基本上能满足现代工业的需要，而人工合成纤维的耐热温度仅200℃，而且会燃烧。

石棉纤维电绝缘性能优良、导热系数小，是优良的电绝缘材料和保温材料。温石棉耐碱，几乎不受碱液的侵蚀，角闪石石棉最大的特点是化学稳定性好，尤其对酸性物质有优良的性能。石棉具有可贵的抗风化性能，被称为“永不腐烂”的纤维。

石棉最大的工业价值是价廉。随着科学技术的发展，医学实验手段的提高，石棉纤维对环境的污染和对人体的危害越来越为人们所认识。石棉的尘害主要是飘浮在空气中的石棉粉尘被吸入人体所造成，直径小于5μm，长度小于200μm的石棉纤维最具危险性。统计资料表明，造成石棉疾病主要是石棉的采选和制品加工的过程，发生在石棉矿和石棉制品厂之石棉粉尘浓度高的场合。石棉的危害程度与吸入人体的纤维量有关系，即与环境中的粉尘浓度和接触时间的长短有关系。我国规定室内空气中石棉粉尘及含有10%以上石棉的粉尘最高容许浓度为2mg/m³（GBJ—1—62）。

我国石棉资源丰富，应当充分利用石棉纤维，也要积极研究开发石棉代用材料，代用纤维，使石棉纤维和非石棉纤维并存，使各种纤维材料相互补充，取长补短，综合使用。

以石棉为主要原材料或制品中石棉纤维的含量超过8%时，该制品称为石棉制品。我国

的石棉制品按其用途分成5类：石棉保温制品；石棉密封制品；石棉制动制品；石棉建筑制品❶；石棉特种制品。

本章仅介绍含有橡胶成分的石棉密封制品和石棉制动制品，称为石棉橡胶密封制品和石棉橡胶制动制品。

石棉橡胶密封制品可分成以下3类：

垫片类——使用在管道法兰和容器法兰上的板状和片状密封制品；

垫圈类——使用在泵、阀、釜上的模压成型、密封制品；

盘根类——使用在泵、阀、釜上的绳状和绒状密封制品。

石棉橡胶密封制品主要产品如下所示：

- 石棉橡胶密封制品
  - 垫片类
    - 石棉橡胶板
    - 耐油石棉橡胶板
    - 增强石棉橡胶板
    - 石棉钢片
    - 石棉橡胶板垫片
    - 复合垫片
    - 缠绕式垫片
    - 石棉石墨钢丝布
    - 石棉橡胶钢丝布
    - 石棉乳胶板
    - 钢架石棉复合板
    - 汽缸密封垫片
    - 石棉护口圈
  - 盘根类
    - 橡胶石棉盘根
    - 铅片盘根
  - 垫圈类
    - 石棉橡胶垫圈
    - 旋塞衬套
    - 波型垫圈
    - 自密封垫圈
    - 缓蚀型制品

一、垫 片 类

（一）石棉橡胶板

石棉橡胶板是用石棉、橡胶、配合剂经辊压而成的管法兰、高压容器法兰及各种接触面所用的密封材料。

石棉橡胶板因配料、工艺、性能及用途不同，按GB3985—83标准，可分XB450、XB350和XB200三个牌号，习惯上又分别称为高压石棉橡胶板（高压板）、中压石棉橡胶板（中压板）和低压石棉橡胶板（低压板）。XB450石棉橡胶板可以用作密封高温高压（温度450℃，压力6.0MPa）的水、饱和蒸汽、过热蒸汽、空气、煤气以及其它惰性气体等。并可用来密封常温高压下的汽油、煤油、润滑油和酒精等；XB350石棉橡胶板可用于温度350℃、压力4.0MPa以下密封水管和蒸汽管道等；XB200石棉橡胶板可以用来密封一般水暖设备及低压水管和蒸汽管道等。

1．原材料

（1）石棉　石棉的工业价值一般来说主要取决于纤维的长度和强度，GB8071—81温石

❶ 石棉建筑制品即常称的石棉水泥制品。

棉质量标准就是以石棉纤维长度来划等级的。主要的检验工具是“石棉检验筛”。石棉因呈纤维状结构，其筛分结果在相当程度上具有假定性质。石棉检验筛虽然有这样的缺点，但是目前还没有更好的分析方法来代替。

原棉需经处理之后才能使用，处理的主要目的是使石棉纤维松软，除去石屑、粉尘和其它杂质。在处理过程中应尽量减少石棉纤维长度和强度的损伤。原棉处理是石棉制品的第一道工序。也是制成优质石棉制品的极为重要的第一个环节。原棉处理包括碾棉、锤击、风选、筛选、开棉等工艺。不同品种石棉的处理要根据石棉在矿山的处理程度、石棉本身的结构、长度、强度、块束状态以及制品的不同特点而定。

为保证制品质量、降低成本、提高经济效益，原棉处理好后，还需进行混棉，以解决不同品种原棉性能上的差异及回收绒的再利用问题。有的制品还需在混棉时添加棉花以改善工艺性能，混棉后称为石棉绒。

（2）石棉绒　石棉橡胶板所用石棉绒可分为：大料用石棉绒、皮料用石棉绒和薄料用石棉绒。其加工工艺见图11-1和图11-2。

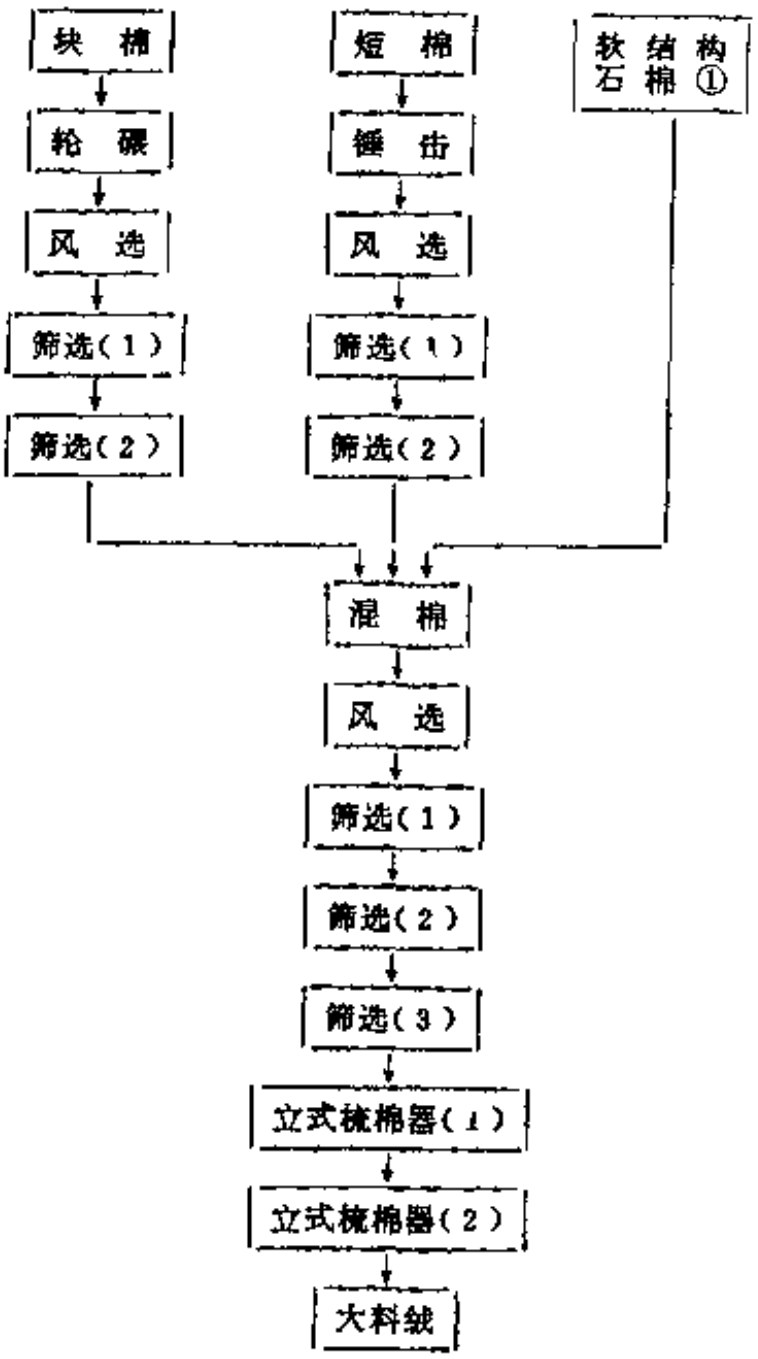


图 11-1　大料工艺流程

①软结构石棉或石棉矿处理较好的石棉

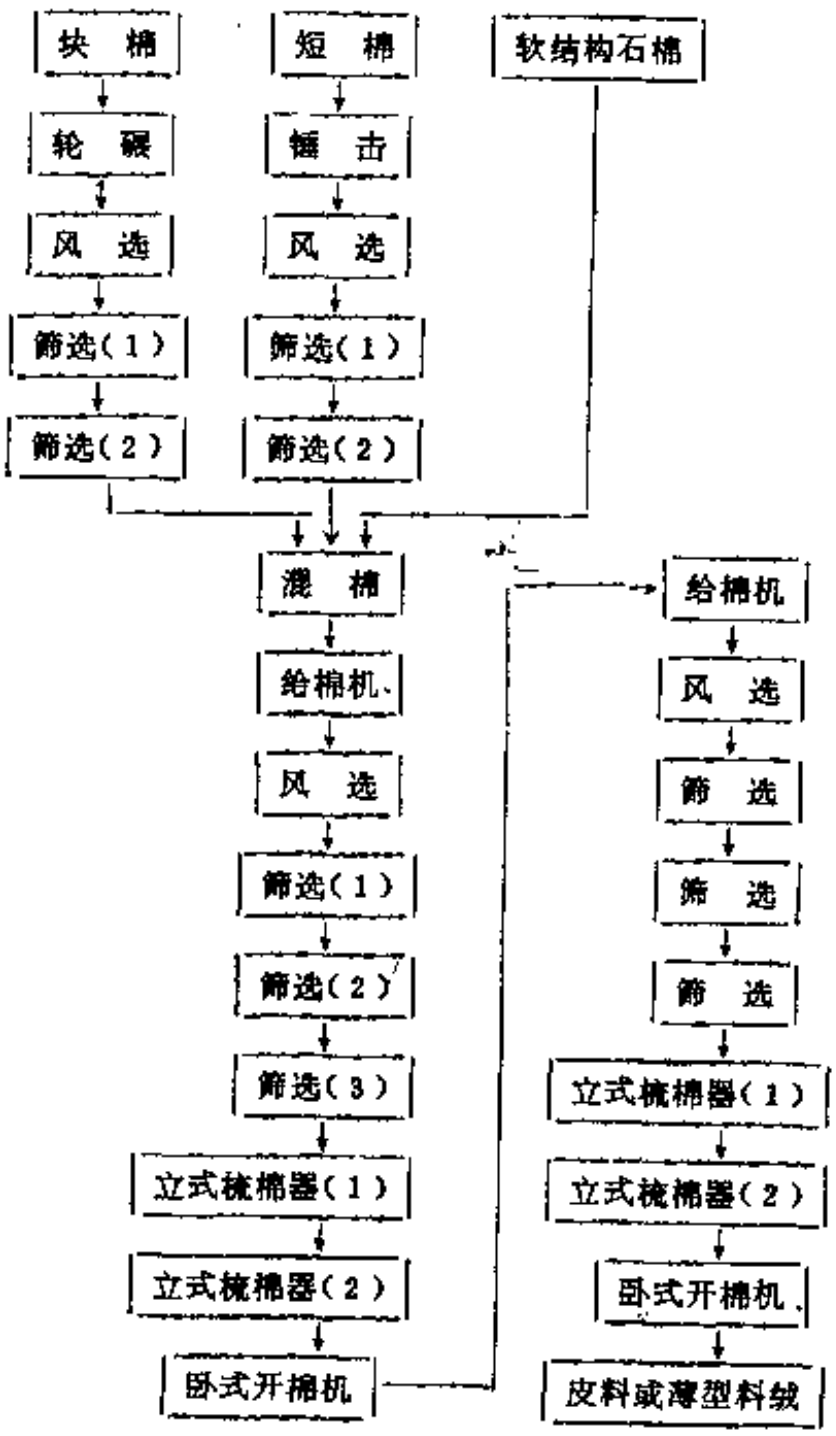


图 11-2　皮料绒和薄型绒工艺流程

石棉绒的筛余量应按表11-1控制。

石棉绒所含木片的最大允许量为：皮料用石棉绒每500g中不多于0.020g；大料用石棉绒

表 11-1 石棉绒的筛余量

品种	筛余量，%≥			石屑	备注
	12.7	4.8	1.35	%	
XB 450 绒	50	30	13	—	高一级纤维的超额部分可抵充
XB 350 绒	—	60	20	—	低一级纤维的不足部分
XB 200 绒	—	—	50	1	
皮料绒	—	—	50	1	

每500g中不多于0.075g。

试验方法：任取500g石棉绒，放入4～5kg水中，利用浮选法收集木片（收集时要反复搅动石棉绒，直至无木片发现为止）。将收集的木片放在烘箱中烘干，称量。

（3）纸边绒　纸边绒为石棉橡胶板生产、使用过程中所产生的边角废料，经锤击处理而成充分松散的绒状物。纸边绒有甲级和乙级两种。以耐油板及XB450石棉橡胶板制成的为甲级绒；以XB350及XB200石棉橡胶板制成的为乙级绒。

（4）橡胶　石棉橡胶板一般采用天然橡胶，其它石棉制品有时还使用丁腈橡胶、氯丁橡胶、丁苯橡胶、丁基橡胶、硅橡胶、氟橡胶等。

（5）溶剂　溶剂汽油是石棉橡胶板常用的溶剂。溶剂汽油的初馏点不低于80℃；98%馏罐温度不高于120℃；相对密度（ρ_4^{20}）不大于0.730；无机械杂质及水分。

2．工艺简述

（1）胶料制备　目前，我国生产石棉橡胶板以橡胶加工的工艺来划分，有清胶打浆法、清胶浸胶法和清胶拌料法3种。

a．清胶打浆法　橡胶稍经塑炼，待包辊之后，即投入硫黄混合，几个三角包之后，减少辊距，压光即可下片，利用安装在炼胶机后的扯片机，将胶片扯成橡胶小片，按一定工艺与配合剂和溶剂在打浆桶中成为胶浆，再与石棉绒搅拌成胶料。

b．清胶浸浆法　将清胶打浆法中橡胶小片，浸在溶剂汽油中使之软化，再与石棉绒、配合剂等直接在搅拌机中搅拌成胶料。

c．清胶拌料法　橡胶在炼胶机上破料，加入硫黄，破料时辊温控制在70℃左右，胶料混合均匀后压光即可下片。利用扯片机将橡胶扯成橡胶小片，不经打浆或浸浆。直接将橡胶小片、溶剂汽油、配合剂等在搅拌中搅拌成胶料。该工艺的特点是工艺简单，改善了劳动条件等，缺点是胶料在石棉中分布不匀。

三种基本工艺用制成品的质量来衡量，以清胶打浆法工艺（其工艺流程见图11-3）较佳，它能使橡胶和配合剂均匀地分配在制品中，制成品性能较均匀，质量稳定。清胶打浆法工艺生产的石棉橡胶板配方举例见表11-2。

（2）打浆　橡胶小片与一定比例的溶剂混合，在打浆机内搅拌，使橡胶小片溶解在溶剂中，成为胶浆。

打浆时一般应注意以下几点。

① 打浆时少量溶剂汽油、橡胶小片、部分配合剂投入打浆桶中搅拌，逐步添加溶剂汽油，经3～4h打成胶浆。

② 粘合胶片的含胶量较高，溶解时比较困难，一般需搅拌8～9h左右，为了避免在打浆

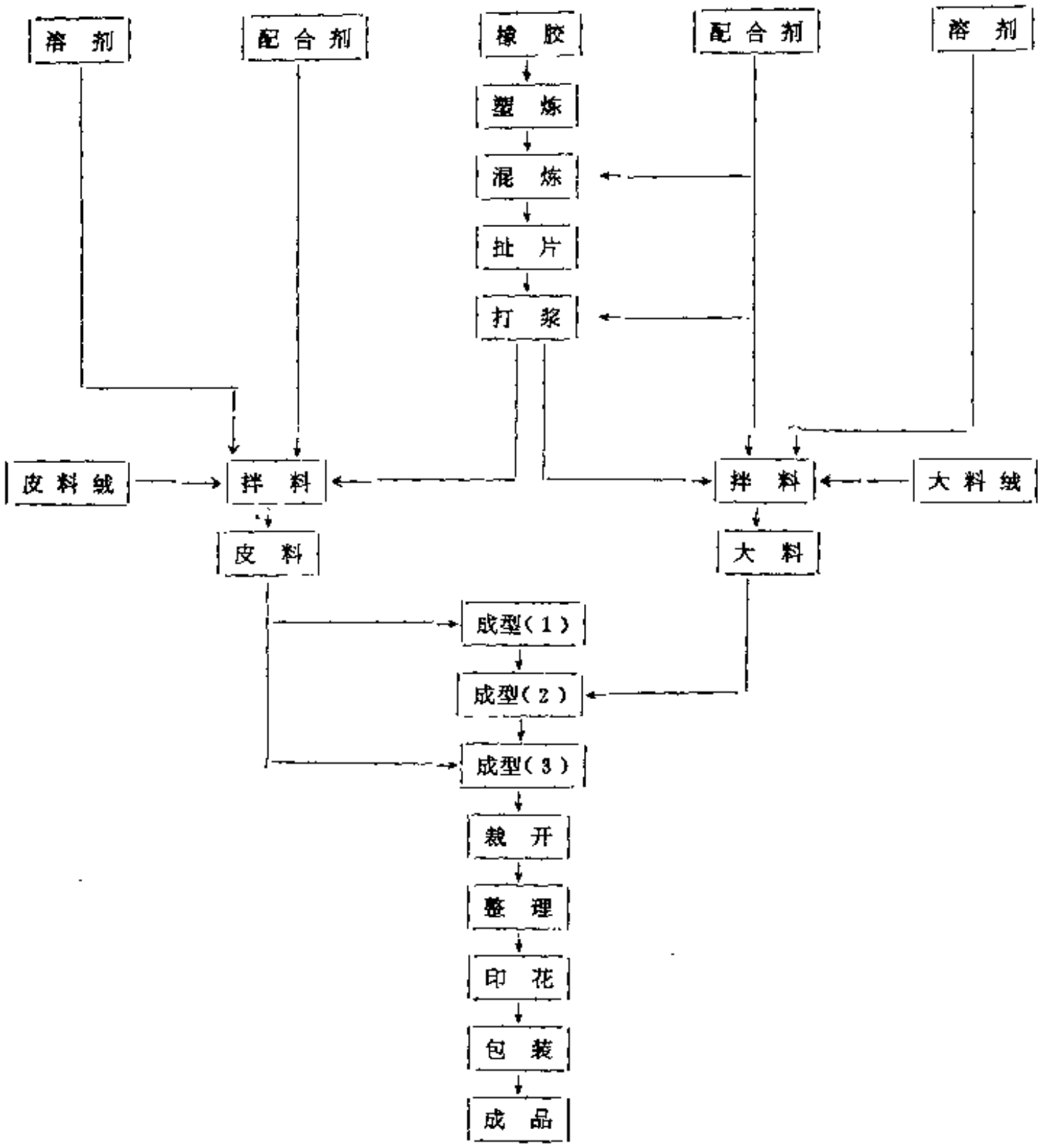


图 11-3 清胶打浆法生产橡胶板工艺流程示意图

薄型石棉橡胶板不分皮料和大料直接用薄型绒生产

表 11-2 石棉橡胶板实用配方举例

原料名称	皮料，kg			大料，kg			粘合胶①
	XB_{450}	XB_{350}	XB_{200}	XB_{450}	XB_{350}	XB_{200}	
烟片胶	28	28	28	28	28	28	28
硫黄	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.56
氧化锌	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	5.6
硬脂酸	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
促进剂	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
防老剂	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
填料	32	32	32	24	36	36	—
着色剂	19	21	2	—	—	—	—
石棉绒	135	185	185	180	180	180	—
纸边绒	—	—	—	—	40	120	—
溶剂汽油	180	180	180	170	180	160	400

① 粘合胶是生胶经塑炼、混炼后，在切胶片机上切成橡胶小片。

时发生早期硫化现象，硫黄应在最后加入。

③ 打浆时间和溶剂的用量随着季节和气温等的变化可稍加调节。

④ 溶剂汽油和苯都是易燃物品并有毒性，因此打浆设备和贮料桶等，都要有消除静电、防火及密封装置等。

（3）拌料　拌料是将石棉绒、纸边绒、着色剂、胶浆、溶剂等投入搅拌机内，搅拌成均匀的混合物料。料分皮料、大料和薄型料3种。皮料是石棉橡胶板两表面的料；大料指石棉橡胶板中间的料；薄型料不分皮料和大料，其性能要求较高，通常以改进石棉绒和橡胶的配方来满足。

皮料拌制时一般分干炒、湿炒、湿拌三个阶段。大料拌制时可以只使用其中的一个或两个阶段。

（4）干炒　开动机器（搅拌桨），先将50%的石棉绒投入拌料机，再加入配合剂，然后将余下的石棉绒加入，目的是使石棉纤维与配合剂均匀混合。

（5）湿炒　加胶浆和溶剂使石棉润湿，便于下道工序的操作。

（6）湿拌　将余下的大量胶浆和溶剂加入拌料机，使石棉纤维均匀地粘上胶。

拌料时间及投料情况一般按表11-3进行控制。

表 11-3　拌料时间及投料操作情况

工艺		皮料	大料		
			XB450	XB350	XB200
干炒时间，h		2	1	—	—
湿炒	时间，h	2	3	1	—
	胶浆，kg	60	60	60	—
	溶剂，kg	—	—	—	—
湿拌，h		2	1.5	1.5	1.5

拌料时间是控制质量措施之一，料子质量主要是通过观察胶浆与石棉纤维混合的均匀程度来判断的。待料子无显著白花，粒子大小适当，不粘手时即可放料。料放出后应立即贮入密闭的盛料桶中备用。盛料桶应清洁，不得有硬块积存，以免影响质量。由于石棉品种常有变动，配方随机调整，因此拌料时间也要作相应的调整，以使质量符合要求。

（7）成型　石棉橡胶板的成型是在成型机上进行的，其工作部分由两个平行的大小不一的中空辊筒组成，大辊直径约为小辊的3倍，大辊的轴承固定在机架上，小辊的轴承则能和小辊一起作平行于大辊的前后移动，即进辊和退辊。两个轴承之间有一个弹簧。辊距的调节是利用自动给进机构带动蜗轮蜗杆，使小辊自动进退，进辊时，压缩弹簧使辊距缩小甚至靠拢；退辊时，利用弹簧的弹力使小辊的轴承退出，辊距增大，利用退辊进辊来调节石棉橡胶板不同厚薄的要求。

成型机的工作部分密闭成一个成型室，大小辊筒以相同的线速度相对回转。大辊通蒸汽，小辊通冷却水（5℃左右）。成型室与冷凝塔之间有管道相联，成型室内的溶剂气体借助鼓风机作用输入冷凝塔，溶剂气体遇冷重新凝成液体，经过油水分离器使溶剂与水分离。

石棉橡胶板所用溶剂回收装置一般有两种，第一种是利用水（冷冻机控制水温为2～3℃）使溶剂气体冷凝成液体，另一种是利用活性炭的吸附作用使溶剂析出。还有些单位二者兼用。使第一种装置的尾气再进入第二种装置，提高回收效率，回收率一般可达到总溶剂投量的60～70%以上。

密闭的成型室可防止易燃气体弥漫车间引起燃烧或爆炸和溶剂对人体的危害，同时回收的溶剂又可以反复利用。

石棉橡胶板成型后，其纵向（与辊筒轴线垂直的方向）和横向（与辊筒轴线平行的方向）的机械性能不同，纵向的拉伸强度较横向的拉伸强度要大，一般来说，横向是纵向的40～45%，这种纵横向差异的现象叫做石棉橡胶板的定向效应，定向效应对制品的使用是不利的。定向效应一般与辊速，石棉纤维的处理和配比、辊温、配合剂、操作等都有关系。理想的石棉橡胶板定向效应小。石棉橡胶板的拉伸强度主要取决于石棉、石棉纤维的强度和长度、石棉绒的均匀和松散度，石棉绒与橡胶的比例以及胶料的配方等均对产品质量有影响。

在成型操作工艺上应注意以下各点。

① 成型机大辊在成型开始前2h即需通入蒸汽预热，并保持辊筒转动，使大辊表面温度均匀一致，大小辊之间应留有一定辊距，勿使小辊受热。

成型时，大辊温度按蒸汽压力表计应在0.2～0.3MPa范围内，根据石棉橡胶板品种不同和料子质量情况，灵活掌握。

② 投料前先将大小两辊适当靠拢，投料后保持原状转动几周，由于大辊是热辊，溶剂挥发后，料子紧紧地包裹在大辊上，然后陆续松开小辊，退辊间隙力求均匀，速度以料子层层清晰、不起毛、不粘小辊为度。料应分批投入，待辊筒尚留存少量料时（此时基本上已达预定辊距），停止退辊，待料擦光后，紧辊至背面压光即可。

成型结束，切除纸边，松辊停车、开口揭纸。如制品有缺陷存在时，开口处应尽可能选在缺陷处，以减少损失。

第一层表面皮料用量（根据表面花纹清晰程度，控制投料量）应比最后覆盖层的皮料量多一些，以防止制品起壳。每张成品约用1kg皮料。

成型时尽量保持成型室密闭，投料口用后应随时关好，以减少溶剂挥发，做到安全生产。

③ 成型过程中常会发生料子粘在小辊上的现象，妨碍成型，此现象宜采用少量汽油浇在辊上来消除（用冷水来消除，虽然效率高，但会影响制品质量，应少用或不用）。

④ 制品厚度以辊距和大料投料量来控制（参考表11-4）。但是由于石棉品种、配方等因素所造成料子干湿变化，厚度常波动，因此必须按制品实测厚度随时调整。

表 11-4 大料投料量控制表

规格	投料量，kg			规格	投料量，kg		
	XB450	XB350	XB200		XB450	XB350	XB200
0.3	5	—	—	1.0	16.5	14	13
0.4	6	—	—	1.5	25	21	20
0.5	8	7	6.5	2.0	32.5	28.5	27
0.6	10	8	7.5	2.5	40	36.5	34
0.8	13	11	10	3.0	50	41	40

⑤ 在成型时要密切注意防止制品起壳。起壳的原因不外退辊太快、辊温太低、硬杂物掉入、成型时间过长等。发现起壳要及时将气体逐出、随机处理、尽量修补、减少损失。

⑥ 成型时应重视安全操作，并制定出相应的操作规程。生产车间为二级防爆车间，一切电气、照明、开关、设备等应有防爆装置，严禁火种入内，防止产生火花。应设有良好的通风装置。

（8）贴合　XB450，XB350，XB200石棉橡胶板单张成型厚度一般不超过3mm，超过3mm石棉橡胶板允许贴合。

石棉橡胶板通过涂胶辊均匀地粘上一层粘合胶胶浆，经过干燥后，待胶浆中汽油基本挥发后，进行贴合。贴合之后，为了提高贴合质量，必须经过轧压。轧压需陆续加压，不得一次压足，防止轧坏成品。

石棉橡胶板在整理时，应根据标准的外观质量指标逐张进行检查，若发现制品存在缺陷时应裁掉。符合标准的石棉橡胶板在印花机上印上商标、产品名称、规格、厂名、合格印签和出厂日期等。厚度为1.5及1.5mm以下的XB450、XB350、XB200石棉橡胶板皆采用卷装，厚度为1.5mm以上的皆采用平摊包装。无论卷装和平装，外层都有包装物包裹，不得裸露。

3．主要技术条件和试验方法

（1）表面颜色　XB450为紫色；XB350为红色；XB200为黑色。

（2）厚度及贴合原则　石棉橡胶的厚度、厚度允许偏差、两点间厚度允许偏差及贴合原则应符合表11-5规定。

表 11-5　石棉橡胶板的厚度、厚度公差及贴合原则

规格，mm	品种			规格，mm	品种		
	XB450	XB350	XB200		XB450	XB350	XB200
0.3	+①	−	−	5.0	−	+	+
0.4	+	−	−	5.5	−	+	+
0.5	+	+	+	6.0	−	+	+
0.6	+	+	+	厚度允许偏差	0.5～1.0为±0.10；1.5～2.0为±0.15；2.5～3.0为±0.20；3.0以上为0.25		
0.8	+	+	+				
1.0	+	+	+				
1.2	+	+	+				
1.5	+	+	+	两点间厚度差	0.5～1.0为±0.10；1.5～2.0为0.15；2.5～3.0为0.20；3.0以上为0.22		
2.0	+	+	+				
2.5	+	+	+				
3.0	+	+	+	贴合原则	2.5～4mm的可用贴合法制作	3.0～6.0mm的可用贴合法制作	3.5～6.0mm的可用贴合法制作
3.5	+	+	+				
4.0	+	+	+				
4.5	−	+	+				

① −无此规格；+有此规格。

（3）宽度和长度　各种石棉橡胶板的尺寸根据成型机设备条件来确定。国内产品的最大宽度为2000mm；一般为1300×4000mm。宽度和长度的允许偏差为±5%。

（4）机械性能　石棉橡胶板的机械性能应符合表11-6。

（二）耐油石棉橡胶板

耐油石棉橡胶板是以石棉、耐油橡胶和配合剂为主要原料经辊压而成的管法兰、高压容器法兰及各种接触面所用的密封材料。

耐油石棉橡胶板按标准可分为NY300耐油石棉橡胶板（简称300耐油板）和NY400耐油石棉橡胶板（简称400耐油板）两个牌号。

300 耐油板（符合 GB539—83标准）适用于燃油、石油基润滑油及冷气系统等作密封垫片。 中小型航空发动机常用300耐油板作密封垫片。

400耐油板（符合JC203—76标准）适用于400℃、压力4.0MPa的油品、溶剂、碱类介质作密封垫片；大型航空发动机和火箭常用 400 耐油板作密封垫片。

1．原材料

（1）石棉　300耐油板采用 XB350 石棉橡胶板用石棉绒配方，400耐油板采 用 XB450 石棉橡胶板用石棉绒配方，但耐油板用石棉绒应处理得更松散，外来杂质要全部除净。

（2）橡胶　耐油板采用丁腈橡胶或天然橡胶与丁腈橡胶并用胶。

表 11-6　石棉橡胶板机械性能

指标名称 \ 牌号	XB450	XB350	XB200
横向拉伸强度 MPa ≥	20.0	12.5	7.0
压缩率，%	15±5	12±5	12±5
回弹率，% ≥	45	40	35
老化系数 ≥	0.9	0.9	0.9
烧失量，% ≤	28	30	30
密度，g/cm³	1.6～2.0	1.6～2.0	1.6～2.0
柔软性	无裂纹	无裂纹	无裂纹
蒸汽密封性	温度为440～450℃；压力为11.0～12.0 MPa 保持 30 min	温度为340～350℃；压力为 7.0～8.0 MPa 保持 30 min	温度为195～200℃；压力为 2.5～3.0 MPa 保持 30 min

注：密封性能由生产厂保证，不做批量试验。

（3）溶剂　溶剂汽油、纯苯是耐油板常用的溶剂，但纯苯的毒性大，现在往往采用乙酸乙酯来代替。纯苯的初馏点不低于 79.5℃，终点不高于 80.6℃；相对密度（d_4^{20}）0.875～0.880；室温（18～25℃）下目测无可见的不溶解的水。

2．工艺简述

300耐油板工艺流程见图11-4，在图中取消“溶剂汽油”和“天然橡胶”即为400耐油板工艺流程。

薄型耐油板不分皮料和大料，直接用薄型料生产。它的工艺流程与相对应的耐油板相同。

300耐油板和400耐油板的生产工艺，除了与石棉橡胶板相同的部分外，不同部分分述如下：

300耐油板和400耐油板亦采用清胶打浆法，300耐油板所用橡胶一般是由50%丁腈橡胶和50%天然橡胶并用。

400 耐油板主要使用在炼油工业中，在温度、压力较高的油品中作密封垫片。密封要求严格时，一般采用纯丁腈橡胶作粘合剂，不掺入天然橡胶。虽然打浆、拌料和成型较困难，但是采用合理的配方和工艺操作能解决工艺上的困难。有些工厂为了能改善工艺性能，稍掺入一些天然橡胶，但是制成品浸渍航空润滑油、航空汽油和航空煤油之后，拉伸强度下降幅度较大，若以纯丁腈橡胶制造，成品浸渍上述溶剂后的拉伸强度非但不会下降，而且往往会超过常温时的拉伸强度。

300耐油板和400耐油板的配方举例见表11-7。

在操作工艺上应注意以下各点。

① 耐油板胶料打浆时，以纯苯（或乙酸乙脂）作溶剂。以“少加(溶剂) 勤添 (多次)”为原则，使胶料全部打成胶浆。

② 用于薄型料和皮料时，一般都采用新苯（回收苯中含有少量水分，会影响外观质量），用于大料时，除开始打浆阶段必须使用新苯外，可以使用回收苯，为了减少苯对人体的危害，可以用适量的溶剂汽油代替纯苯。

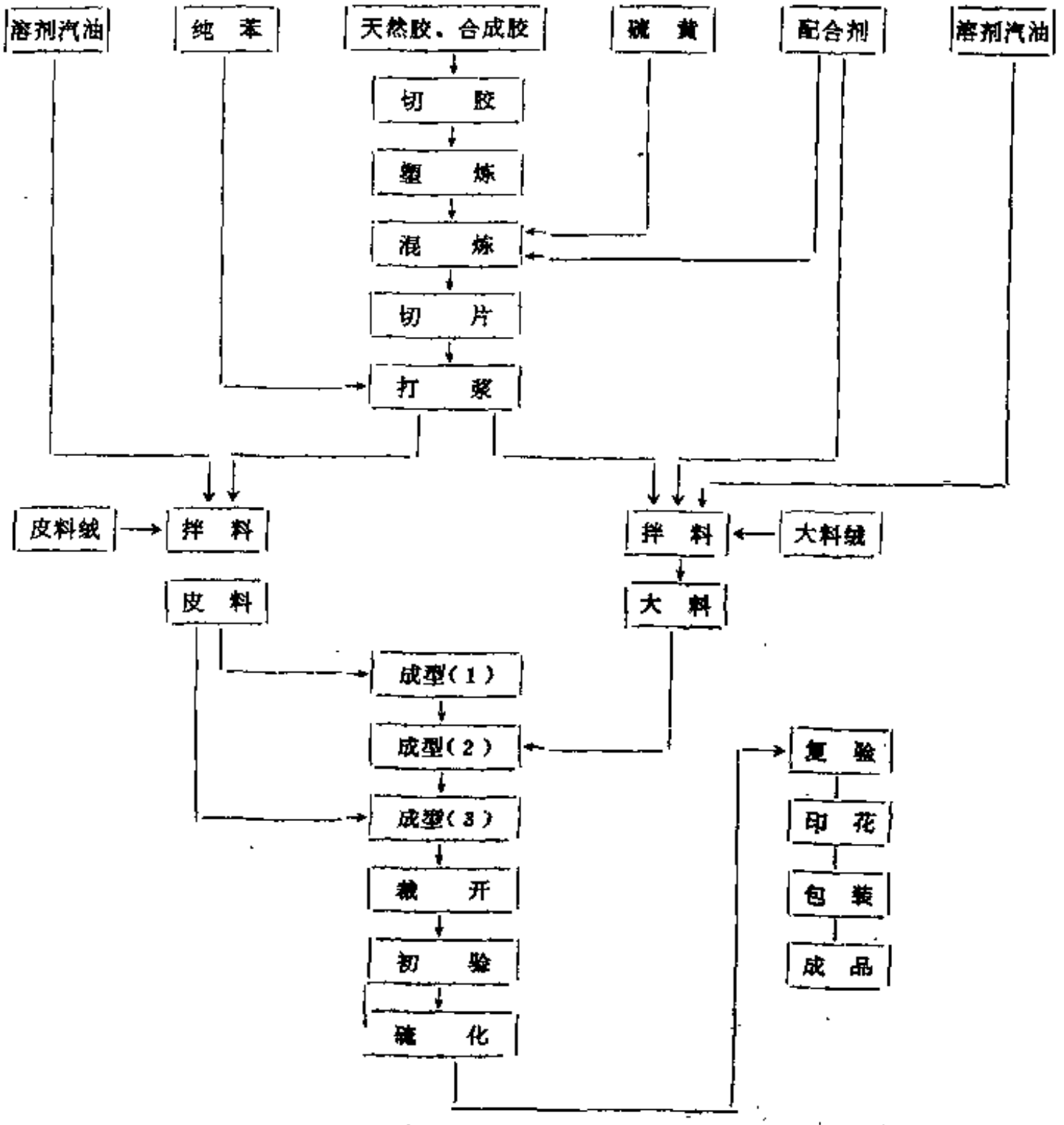


图 11-4 耐油石棉橡胶板工艺流程

表 11-7 耐油板实用配方举例

单位：重量份

原料名称	皮料		大料	
	300耐油板	400耐油板	300耐油板	400耐油板
丁腈橡胶	19	36	19	36
烟片橡胶	19	—	19	—
硫黄	0.6	0.5	0.5	0.5
氧化锌	4.0	5.4	4.0	5.4
硬脂酸	0.4	0.35	0.4	0.35
促进剂	0.6	0.6	0.6	0.6
防老剂	1.0	1.2	1.0	1.2
二丁酯	1.2	1.8	1.2	1.8
填料	5.0	25	30	40
着色剂	1.0	1.0	—	—
石棉绒	175	160	195	180
溶剂	180	190	200	210

③ 400耐油板的胶较难打成胶浆，要注意配方和打浆工艺。

④ 耐油板的拌料工艺与石棉橡胶板相同，但干炒、湿炒、湿拌阶段时间要适当延长。

⑤ 耐油板的单张成型厚度一般不超过3mm，不允许有贴合制品。

耐油板成型后，需在平板硫化机上进行硫化，以获得优良的物理、化学性能（石棉橡胶板一般都不进行硫化）。硫化温度在130～135℃，硫化压力控制在1.5～3.0MPa，根据制品的厚度确定硫化时间，见表11-8。

表 11-8 不同厚度耐油板的硫化时间

厚 度，mm	时 间，min	厚 度，mm	时 间，min
0.4～0.8	25	2～2.5	40
1	30	3.0	45
1.5	35		

应注意，两面均匀抹过滑石粉的耐油石棉橡胶板必须放在两张光洁度和平整度较高的铝合金或不锈钢板中间进行硫化，以获得优良平整度和光洁度。

耐油石棉橡胶板一律采用平摊防水包装，然后再装入木框内，特殊包装视具体情况而定。

3．主要技术条件和试验方法

（1）表面颜色　国家标准和专业标准中对表面颜色无规定，由各生产单位自己选择，一般来说，300耐油板为绿色或蓝色，400耐油板为黑色。

（2）厚度　按标准规定，300耐油板的厚度为0.4、0.5、0.6、0.8、1.0、1.2、1.5、2.0、2.5和3.0mm等10种；400耐油板仅1、2、3mm 等 3 种规格，其它厚度的耐油板可由供需双方协商确定。

（3）厚度允许偏差　耐油石棉橡胶板厚度允许偏差以及同一张上，相距500mm的任意两点厚度允许偏差见表11-9。

（4）宽度和长度　耐油板的尺寸根据平板硫化机的规格来确定。耐油板的最大尺寸一般1300×1300mm，宽度和长度的允许公差均为5%。

（5）密度　300耐油板的密度为1.0～2.0g/cm³，400耐油板的密度为1.5～2.0g/cm³。

（6）柔软性　不同厚度的耐油板围绕在规定直径（见表 11-10）的圆柱上作弯曲 180° 试验时，耐油板应保持良好的弹性，无折断或裂纹现象。

表 11-9 耐油石棉橡胶板厚度允许偏差及两点间厚度允许偏差

牌 号	厚度，mm	厚度允许偏差，mm	同一张相距500mm任意两点厚度允许偏差，mm
300耐油板	0.4～1.2	±0.10	0.10
	1.5、2.0	±0.15	0.15
	2.5、3.0	±0.20	0.20
400耐油板	1～3	厚度的±10%	厚度的10%

表 11-10 耐油石棉橡胶板弯曲试验用圆柱规定直径

试样厚度，mm	圆柱直径，mm
1.0以下	12
1.5以下	24
1.5～2.5	42

注：厚度为2.5mm以上者不做此项试验。

（7）拉伸强度　耐油石棉橡胶板的拉伸强度见表11-11。

表 11-11　耐油石棉橡胶板的拉伸强度指标

试　样　条　件	横向拉伸强度，MPa	
	300耐油板	400耐油板
室温（15～30℃）	≥13.0	—
温度150±2℃、在20号航空润滑油中保持24h后取出，在室温下放置30min	≥11.0①	≥28.0
室温（15～30℃）在喷气燃料（1号或2号）或75号航空汽油中保持24h	≥8.0	≥15.0

① 该试样不允许起泡。

（8）吸油率及吸油增厚率　耐油石棉橡胶板试样在规定介质中浸渍24 h 后，其重量的增加和厚度的增加应在表11-12所规定的范围内。

表 11-12　耐油石棉橡胶板吸油率和增厚率

试　样　条　件	300 耐　油　板		400耐油板
	吸油率，%	增厚率，%	吸油率，%
温度（150±2℃）在20号航空润滑油中保持24h 后，在室温下放置30min	≤23	≤15	≤9
室温（15～30℃）在喷气燃料（1号或2号）或75号航空汽油中保持24h	8～22	≤25	≤15

（9）压缩率和回弹率　300耐油板试样（50×50mm）在规定的压缩回弹试验机上进行试验，当初荷载压力为0.34kN，全载压力为17.52kN时，所测出的压缩率应为12±5%，回弹率应大于或等于50%。

（10）腐蚀性　耐油石棉橡胶板在一定的试验条件下，对硬铝板、低碳钢无腐蚀性。

（三）增强石棉橡胶板

随着石油工业、化学工业、航空工业和国防的飞跃发展，高温高压和超高温高压设备、管道及高速、小体积、大马力发动机的出现，对平面垫衬材料提出了更高的要求，一般石棉橡胶板已不能满足。例如，当垫片在大功率发动机气缸盖和石油裂化塔管道法兰上作密封件使用时，应具有耐高温、耐高压、耐油类、不燃、弹性好（能适应温度、压力的较大波动）等特征，并应具有较长的使用寿命和优良的密封性能。因此，只有增强石棉橡胶板和下述的石棉钢片，缠绕式垫片等才能满足这些要求。

增强石棉橡胶板是由石棉橡胶板和一层或多层镀锌钢丝网（或不锈钢丝网）组成的。一般分耐油增强板和高压增强板两种。

1．主要技术条件

（1）镀锌钢丝网应满足如下技术条件：

规格……145目/10cm
经密……145根/10cm
纬密……136～150根/10cm
钢丝直径……0.193mm（36号）
钢丝拉伸强度……3.2～3.7MPa

（2）钢丝网的层数与制品的厚度有关，一般地说凡制品厚度每增加1mm就应增加一层

钢丝网，以增加拉伸强度，使之能耐高温和高压，在温度和压力高的场合宜采用薄垫片。薄垫片能起到金属垫片的作用，也可以说能起到“平面与平面”直接密封的作用，这时密封面的光洁度和平整度应该很高。增强石棉橡胶板厚度一般不超过3mm。

（3）物料与钢丝网应当紧密结合，不应有分层现象。

（4）制造厂在工艺上应保证，增强石棉橡胶板所用的耐油石棉橡胶板应符合GB539—83或JC203—76规定；石棉橡胶板应符合GB3985—83中XB450的规定。

2．工艺要点

（1）生产增强石棉橡胶板时，首先得用该批料子生产相对应的耐油板或高压板，当制品符合标准时，增强板方可投入生产。

（2）钢丝网应夹在石棉橡胶相应的二等分、三等分处。

（3）为了增加钢丝网与物料的粘合能力，钢丝网表面应处理和均匀地涂上一层多异氰酸酯。

（4）当石棉橡胶板成型至一定厚度时（控制投料量和辊距），打开投料窗，使传送辊上的钢丝网均匀缓慢地加入。此时特别要防止起壳和不使钢丝歪斜，继续投料成型。

（5）成型后，从钢丝网接口处开口揭纸。

（6）增强板工艺除增加添入钢丝网工序外，与耐油板或高压板工艺完全相同。

（四）石棉钢片

石棉钢片是两面为耐油石棉橡胶板，中间夹入不锈钢片作骨架，经压制硫化、表面均匀涂上润滑剂的制品。

目前，石棉钢片已经成功地使用在一种体积小、重量轻、功率大的新型高速二冲程发动机上作密封垫片。在一个运动周期内垫片能起到极为优良的密封效果。

1．原材料

（1）冲眼钢皮　钢皮的材料为不锈钢，其厚度为0.2mm，孔眼排列为：每100mm36～40孔，孔径为0.9～1.0mm，保留毛口，毛口正反相间隔。

（2）耐油石棉橡胶板　采用未经硫化的一面光滑一面拉毛（其方法是当薄型料在成型机上即将轧尽的时候，高速退辊，板面就被拉毛）的厚度为0.5mm的耐油石棉橡胶板作为板坯。

（3）润滑剂　为F-3胶体石墨粉。

2．主要技术条件

（1）钢皮与耐油板应牢面地联成一层，联结两面耐油板的孔眼毛口不应突出表面面被触及到，只允许有孔眼的可见痕迹。石棉钢片两表面均匀涂有石墨层，表面应光滑平整，无凹陷和凸出，不允许有疙瘩、裂缝、皱纹和任何外来杂质等。

（2）石棉钢片的厚度为1.1±0.1mm，同一张上的厚度差不应超过0.2mm，最大长度为1300±7mm；最大宽度为900±6mm。

（3）石棉钢片的密度约为2.3g/cm^3。

（4）石棉钢片吸水率不大于5％，吸机油率不大于15％，吸汽油率不大于17％。在试样进行吸水、吸油试验后，试样不应有分层现象。

测定方法：在石棉钢片上裁取40×40mm的试样，在105～110℃温度下干燥至恒重；用感量为0.001g的天平进行称量后，分别放入温度为15～20℃的水，10号车用机油（SYB1151—62）和60号车用汽油再称量。石棉钢片对它们的吸收率按下式计算：

$$吸收率\% = \frac{G_1 - G}{G} \times 100$$

式中 G_1——试样浸水（或机油、汽油）后的质量，g；

G——试样浸水（或机油，汽油）前的质量，g。

以上3个试样的平均值作为试验结果。

（5）石棉钢片两面的耐油板，其烧失量不应大于40%。

（6）在规定圆柱上作弯曲试验时，石棉钢片不应有裂开或分层现象。

测定方法：在石棉钢片上距边50mm以上处，切下宽40mm的试样，围绕直径170mm的圆柱弯曲180°。

3．工艺要点

（1）一般是先将退火的钢皮用盐酸处理约20～30min，以除去氧化层，再用热水漂洗干净。

（2）将酸洗后的钢皮用丙酮或汽油洗去可能存在的油垢。

（3）将钢皮及耐油板板坯按需要规格裁取，注意耐油板坯要较钢皮略大。

（4）贴合前，在钢皮正反面涂上薄层异氰酸酯，待其干燥后再在钢皮的两面及耐油板坯拉毛的一面各涂上氯化胶与多异氰酸酯的混合液，凉至基本干燥时即行贴合，贴合后需放置1～2天，待贴合层中溶剂自行挥发后再硫化。

（5）石棉钢片涂上F-3胶体石墨粉后放入两块光洁度和平整度较高的不锈钢板之间，在平板硫化机上进行硫化，硫化温度约为140℃；硫化压力在3.0～4.0MPa；硫化时间大约为30min。

（6）石棉钢片最后经切边、整理、印花后包装入库。

（五）石棉橡胶板垫片

石棉橡胶板垫片是以耐油石棉橡胶板、石棉橡胶板，增强石棉橡胶板以及钢架石棉复合板经加工而成的各种成型的垫片。

石棉橡胶板垫片可用于光滑面、凹凸面及榫槽面管道法兰和压力容器法兰等处作密封材料。机械电子工业部、化学工业部和原石油工业部等都制定了专业标准。化学工业部规定的石棉橡胶板垫片尺寸分述如下。

（1）光滑面用　光滑面管道法兰用石棉橡胶板垫片适用于公称压力P_g=0.25、0.6、1.0、1.6及2.5MPa的系统。垫片尺寸应符合表11-13规定。

垫片外径、内径的允许偏差应符合表11-14的规定。

垫片内外边缘应整齐，不允许有裂纹、卷边及毛刺等缺陷。

垫片使用条件按GB3985—83、GB539—83、JC203—76等标准规定。

（2）凹凸面用　凹凸面管道法兰用石棉橡胶板垫片适用于公称压力P_g=1.6～6.4MPa的系统。垫片尺寸应符合表11-15规定。

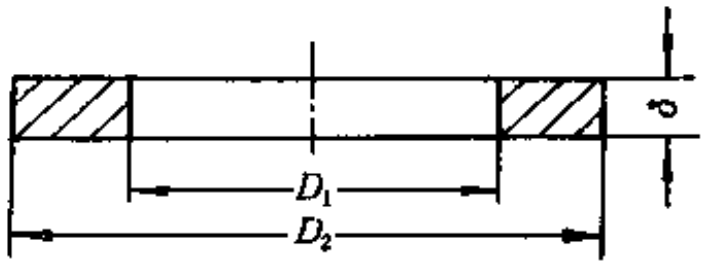
垫片内径、外径允许偏差应符合表11-16的规定。

垫片内外边缘应整齐，不允许有裂纹、卷边及毛刺等缺陷。垫片使用条件按GB3985—83、GB539—83、JC203—76等标准规定。

（3）榫槽面用　榫槽面管道法兰用石棉橡胶板垫片适用于1.6～6.4MPa的系统。垫片尺寸应符合表11-17规定。

垫片内径、外径允许偏差应符合表11-18的规定。

表 11-13　光滑面管道法兰用石棉橡胶板垫片尺寸



单位：mm

公称通径	垫片内径	公称压力，MPa					垫片厚度
		0.25	0.6	1.0	1.6	2.5	
D_N	D_1	垫片外径 D_2					δ
10	15	39	39	46	46	46	
15	19	44	44	51	51	51	
20	26	54	54	61	61	61	
25	33	64	64	71	71	71	
32	39	76	76	81	81	81	
40	46	86	86	92	92	92	
50	59	96	96	107	107	107	
65	78	116	116	127	127	127	
80	91	132	132	142	142	142	
100	110	152	152	162	162	168	
125	135	182	182	192	192	196	
150	161	207	207	218	218	225	
200	222	262	262	273	273	285	
250	276	317	317	328	330	340	3
300	328	373	373	378	385	400	
351	381	423	423	438	445	456	
400	430	473	473	490	495	516	
450	485	528	528	540	555	566	
500	535	578	578	595	616	623	
600	636	680	680	695	733	740	
700	724	785	785	810			
800	824	890	890	916			
900	924	990	990	1016			
1000	1024	1090	1090	1126			
1200	1224	1290	1306	1340			
1400	1424	1490	1526	1546			
1600	1624	1700	1726	1770			
1800	1824	1900	1930	1970			
2000	2024	2100	2136	2180			

垫片内外边缘应整齐，不允许有裂纹、卷边及毛刺等缺陷。

石棉橡胶板垫片是使用符合国家标准或专业标准的原辅材料，按照使用单位的要求，选择品种和厚度，利用模具在冲床上冲制或利用专用器具划切加工而成。

（六）复合垫片

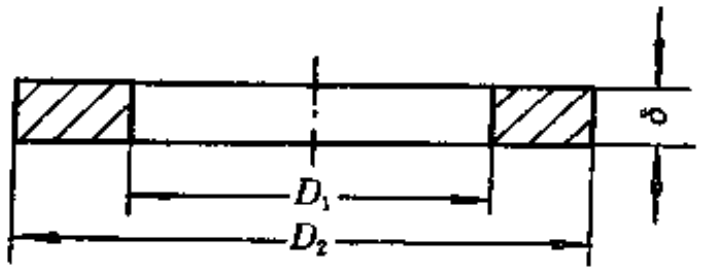
石棉橡胶板和增强石棉橡胶板等制作的垫片，具有耐高温、高压、好的弹性、高的强

表 11-14　光滑面管道法兰用石棉橡胶板垫片外径、内径的允许偏差

单位：mm

公称通径D_N	外径 D_2	内径 D_1	偏心距
10～50	$^{+0}_{-1.0}$	$^{+0}_{-1.0}$	1.0
65～200	$^{+0}_{-1.5}$	$^{+0}_{-1.5}$	1.0
225～1000	$^{+0}_{-2.0}$	$^{+0}_{-1.5}$	1.6

表 11-15 凹凸面管道法兰用石棉橡胶板垫片尺寸



单位：mm

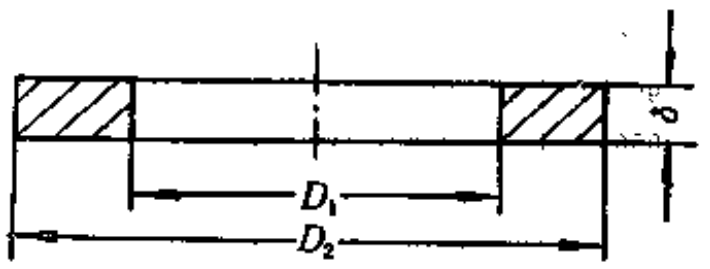
公称通径 D_N	公称压力，MPa 1.6～6.4 垫片内径 D_1	垫片外径 D_2	垫片厚度 δ	公称通径 D_N	公称压力，MPa 1.6～6.4 垫片内径 D_1	垫片外径 D_2	垫片厚度 δ
10	15	34	3	125	135	175	3
15	19	39		150	161	203	
20	26	50		200	222	259	
25	33	57		250	276	312	
32	39	65		300	328	363	
40	46	75		350	381	421	
50	59	87		400	430	473	
65	78	109		450	485	523	
80	91	120		500	535	575	
100	110	149					

表 11-16 凹凸面管道法兰用石棉橡胶板垫片内径、外径允许偏差

单位：mm

公称通径 D_N	外径 D_2	内径 D_1	偏心距
10～50	$^{+0}_{-1.0}$	$^{+0}_{-1.0}$	1.0
65～200	$^{+0}_{-1.5}$	$^{+0}_{-1.5}$	1.0
225～1000	$^{+0}_{-2.0}$	$^{+0}_{-2.0}$	1.6

表 11-17 榫槽面管道法兰用石棉橡胶板垫片尺寸



单位：mm

公称通径 D_N	公称压力，MPa 1.6～6.4 垫片内径 D_1	垫片外径 D_2	垫片厚度 δ	公称通径 D_N	公称压力，MPa 1.6～6.4 垫片内径 D_1	垫片外径 D_2	垫片厚度 δ
10	24	34	3	125	156	175	3
15	29	39		150	183	203	
20	36	50		200	239	259	
25	43	57		250	292	312	
32	51	65		300	348	363	
40	61	75		350	395	421	
50	73	87		400	447	473	
65	95	109		450	497	523	
80	106	120		500	549	575	
100	129	149					

度、较小的垫片系数（2.0～3.5）和较小的压力（11.0～45.0MPa）等特性。但是石棉和橡胶的耐化学腐蚀性能较差，因此用它们所制作的垫片在化学等工业上的应用受到很大的限制。聚四氟乙烯具有极为优良的耐化学腐蚀性能，但其耐热性较差，易产生“冷流”，且价格较贵。

复合垫片就是利用聚四氟乙烯和其它非金属垫片各自的优点，复合制成能在270℃以下使用的较理想的管道法兰和高压容器法兰等处用的垫片。

复合垫片的制作，主要是聚四氟乙烯套的加工。在所密封的介质温度较高、压力较大，或者容器中真空度较大时，不宜采用有三角形空间的V型结构垫片，而应采用U型结构垫片。

如果在非金属垫片的两表面各粘一片多孔型材料，则三角形空间中的气体，因受热膨胀产生压力时，此气体会透过多孔型材料逸至大气中，三角形空间的压力能自动地与管道（或容器）中压力相平衡，聚四氟乙烯薄膜不会爆裂。

1．结构形式

V型复合垫片的结构如图11-5所示。

表 11-18 榫槽面管道法兰用石棉橡胶板垫片内径、外径允许偏差

单位：mm

公称通径D_N	外径 D	内径 d	偏心距
10～50	$^{+0}_{-1.0}$	$^{+0}_{-1.0}$	1.0
65～200	$^{+0}_{-1.5}$	$^{+0}_{-1.5}$	1.0
225～1000	$^{+0}_{-2.0}$	$^{+0}_{-2.0}$	1.6

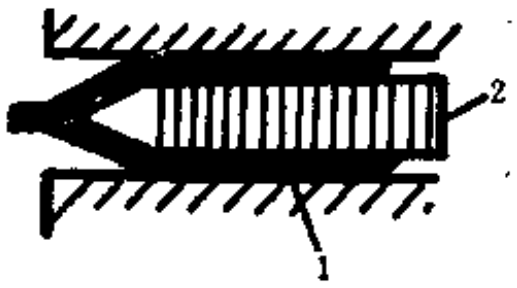


图 11-5 复合垫片的结构

1—聚四氟乙烯；2—石棉橡胶板、增强石棉橡胶板、炉门圈和橡胶等中任选一种

2．规格举例

V型复合垫片规格举例见表11-19。

（七）缠绕式垫片

缠绕式垫片是以槽型耐热合金钢带与非金属带条相互间隔连续缠绕而成，具有优良的密封性能，且能耐高温高压的多道密封垫片。广泛使用于各种管法兰和高压容器法兰。

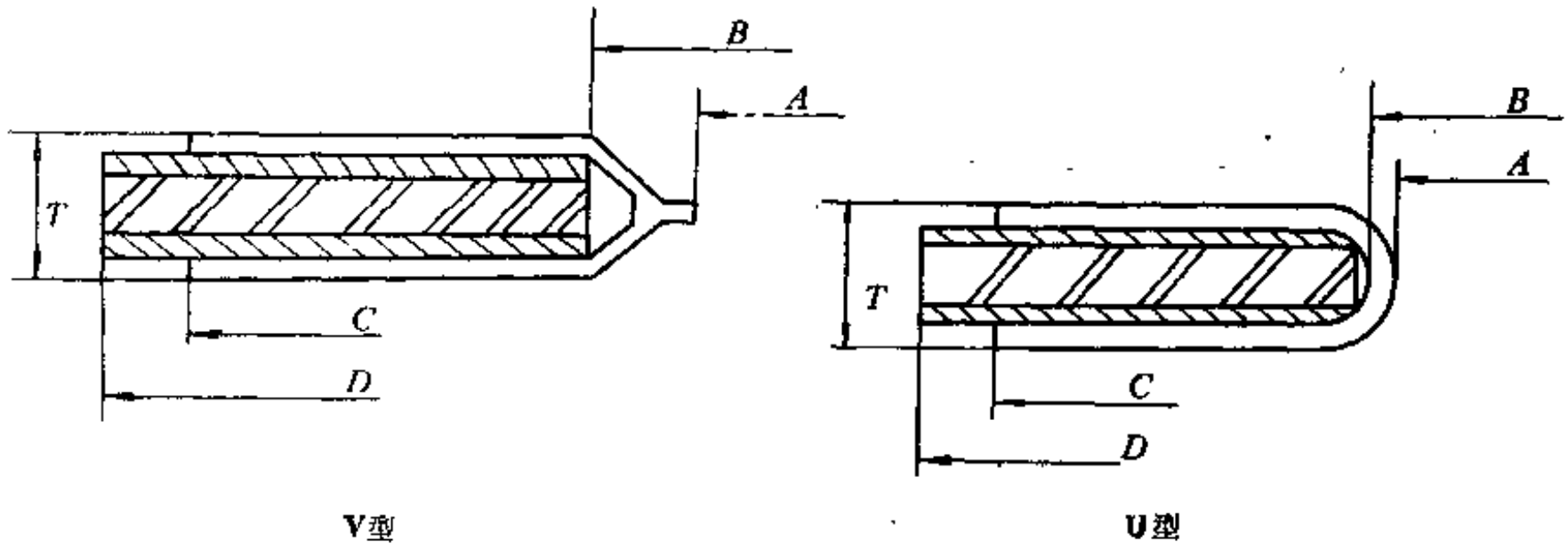
缠绕式垫片原名石棉金属垫圈，在我国热电厂应用已有50余年历史，当时仅仅使用在中低压锅炉的人孔和手孔之中作密封垫片。60年代之后，随着我国石油、石油炼制、石油化工工业的发展，缠绕式垫片的优异性能才为人们所认识，聚四氟乙烯、柔性石墨、石棉乳胶板的出现，性能更完美，使品种剧增，以致发展迅速，在高温高压的场合，似乎有取代所有金属和非金属垫片品种之势。

用于缠绕式垫片的耐热合金钢带有0Cr13、0Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni12Mo2Ti、00Cr18Ni10、蒙乃尔合金以及钢、铝等，一般常用铬钢或镍铬钢，亦可用镀锌软钢带（08F）来制作。

非金属带条作填充物，已由传统的绝热石棉纸、耐油石棉橡胶板而发展到使用聚四氟乙烯、膨胀聚四氟乙烯、柔性石墨、石棉乳胶纸等。

目前，已出现以某些软金属带条来代替非金属带条作缠绕式垫片的填充物，提高垫片的耐压和密封性能。

表 11-19 V型和U型复合垫片举例



单位：mm

公称通径 D_g	内径 A	芯内径 B	0.5MPa 外径 C	0.5MPa 芯外径 D	1.0MPa 外径 C	1.0MPa 芯外径 D	厚度 T	型式
10	20	28	42	44	48	50	2.3	V型
15	25	33	48	49	52	55		
20	30	38	52	54	53	60		
25	35	43	62	64	70	71		
32	45	53	72	75	80	81		
40	50	58	78	80	85	86		
50	60	70	88	90	100	101	3.2	
65	80	90	112	115	120	121		
80	95	105	125	126	130	131		
90	105	115	135	136	140	141		
100	115	125	145	146	155	156		
125	145	155	180	181	185	186		
150	180	190	210	211	215	218		
175	200	210	235	238	240	243		
200	225	235	255	258	265	268		
225	250	260	280	283	285	288		
250	290	300	320	323	325	330		
300	330	340	365	368	370	375		
350	370	380	405	410	415	420		
400	420	430	465	470	475	481		
450	470	480	525	530	535	539		
500	520	530	575	580	585	591		
550	570	580	630	636	640	647		
600	620	630	680	686	690	697		
650	670	674	735	741	745	751	3.2	U型
700	725	729	785	791	800	807		
750	775	779	840	847	855	865		
800	825	829	890	897	905	915		
850	875	879	940	947	955	965		
900	925	929	990	997	1005	1015		

续表

公称通径 D_g	内径 A	芯内径 B	0.5MPa		1.0MPa		厚度 T	型式
			外径 C	芯外径 D	外径 C	芯外径 D		
1000	1030	1034	1090	1097	1010	1121	5.0	U型
1100	1130	1134	1200	1207	1220	1231		
1200	1230	1234	1305	1315	1325	1339		
1350	1385	1389	1460	1470	1480	1491		
1500	1535	1539	1615	1625	1635	1652		

聚四氟乙烯、膨胀聚四氟乙烯，柔性石墨等价格较贵，同时为了改善垫片的密封性能，有时以石棉纸与上述材料合理地组合使用，就是在一个垫片之中，含有两种非金属带条作填充物。

为减小法兰对缠绕式垫片的拧紧力，提高密封效果，或法兰面较粗糙时，可以在缠绕式垫片的两个密封面上，各粘合一片柔性石墨垫片。

1．特点

缠绕式垫片的特点主要有以下几点。

（1）垫片用钢带与填充物间隔螺旋缠绕而成，具有多道金属边与密封面接触，有“迷宫”密封结构之特点。

（2）由于密封面主要是与垫片的钢带接触，接触面小，垫片系数m为2.50～3.00，垫片比压力Y为20.0～31.0MPa，比薄规格的石棉橡胶板要小，因此达到密封所需的螺栓拧紧力较小。

（3）对密封面要求较低，一般情况下所使用的缠绕式垫片，对密封面光洁度要求不高。曾经以内径80mm、外径100mm的碳钢和合金钢制的垫片安装在某电厂高温高压锅炉管线上的一组光滑法兰（V_4）上。在两个多月的时间内，曾连续对40余个缠绕式垫片进行了气密性试验，垫片的密封面未经任何处理，密封性能依然良好。

（4）因垫片具有“弹簧”般的结构——M或V型，因此当温度或压力有较大幅度波动时，垫片具有一定的极为可贵的回弹量，回弹量能够适度地补偿法兰的分离。例如，厚度4.5cm的垫片，在最高温度为450℃、最大压力为9.0MPa的过热蒸汽中作频繁的波动试验中，垫片拧紧后的厚度为3.40～3.90mm。根据此试验，测得碳钢制或合金钢制垫片的回弹量一般都在0.07～0.13mm范围内。在所有金属及石棉型垫片中，缠绕式垫片具有最好的弹性。

（5）能使用在高温高压的条件下，应力松弛小、密封面窄、紧固压力大，能保持很好的密封性能。

（6）钢带条与石棉填充物的利用率高达95%以上，一般垫片是无法与之相比的。

（7）制作简单、价格低廉，比同规格的耐油石棉橡胶板便宜。

2．结构及形状

其结构有M型及V型两种，按几何形状分有圆形、方形、椭圆形等，其中圆形可带有或不带有内外保护圈及定位环。

3．安装

缠绕式垫片的安装分别见图11-6和图11-7。

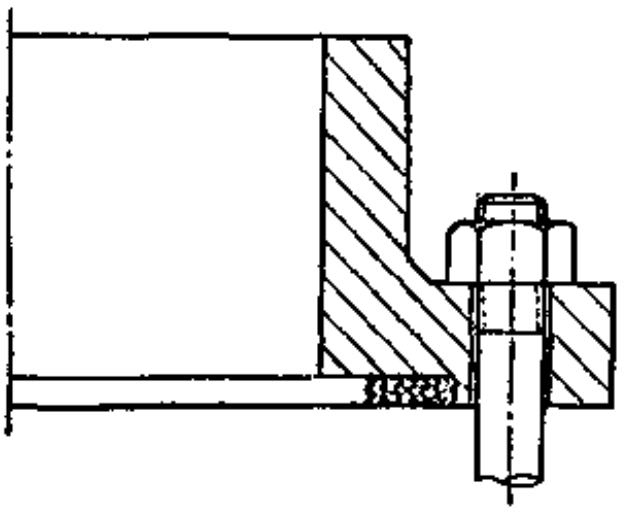


图 11-6　凹凸面管道法兰用缠绕式垫片安装示意图

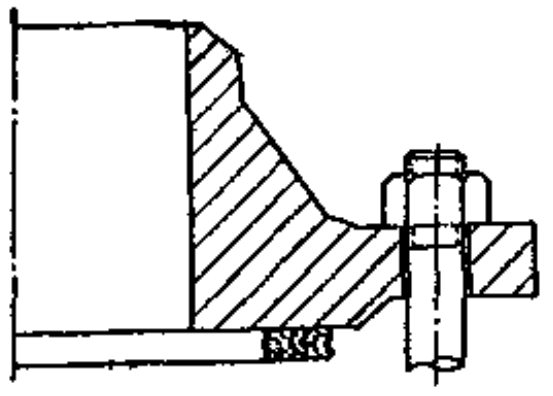


图 11-7　光滑面管道法兰用缠绕式垫片安装示意图

4．尺寸

缠绕式垫片的厚度一般为4.5mm，公称通径大于1000mm，采用厚度为 6.5mm的垫片比较妥当，特殊需要时可制作3.0～3.2mm的薄型缠绕式垫片。其最大外径可制成2000mm。

GB4622—84标准制订了带外加强环（即保护圈）、带内外加强环、带内加强环的缠绕式垫片尺寸系列。

方型和椭圆形及其它几何形状垫片的尺寸不作具体规定。

5．保护圈

装有内保护圈、外保护圈或内外保护圈的缠绕式垫片一般都使用在强腐蚀介质及高温高压之下的光滑面管道法兰上。保护圈的材料一般应根据管道中垫片所接触的介质而决定。内保护圈的内径一般就是公称通径。外保护圈的外径一般等于两个对称螺栓中心距减去一个螺栓的直径。

当垫片厚度为4.5mm时，保护圈的厚度一般是3.2mm；垫片厚度为 6.5mm 时，保护圈的厚度一般是5.0mm。

保护圈既能起到加固垫片的作用，又能起到定位、控制螺栓力、保证垫片受压均匀和防止介质侵蚀垫片等的作用。保护圈能重复使用多次。

6．定位环

定位环的主要作用是便于安装，防止垫片装偏而引起的严重泄漏。

7．原材料

（1）镀锌钢带或合金钢带　厚度为 0.15～0.20mm，宽度为 5.80±0.10mm，镀锌层厚度为0.003～0.005mm。

镀锌层厚度的测定方法是：先将试样用酒精清洗后，用洁净干布擦拭并吹干，以感量为千分之一的天平称量，然后用锌层剥离溶液剥去锌层，待锌层剥离后，将试样用清水冲洗，再以酒精擦拭吹干，重行称量，则锌层厚度可按下式计算之：

$$\delta = \frac{G - G_1}{7.1 \times S} \times 10000$$

式中　δ——镀锌层厚度，μm；

G——试样原重，g；

G_1——剥离锌层后试样重，g；

S——试样表面积，cm^2。

锌层剥离溶液的配制：用称量管称取三氯化锑（$SbCl_3$）32g，溶解于 1 L 盐酸（密度为

1.19g/cm³）中。剥离锌层时，取100ml密度为1.19g/cm³的盐酸1kg，然后再加入上述溶液5ml，即为锌层剥离溶液。这种溶液可以多次使用。

（2）填充物　石棉填充物（绝热石棉纸，石棉乳胶板，耐油石棉橡胶板），聚四氟乙烯（聚四氟乙烯生料带，膨胀聚四氟乙烯带）和柔性石墨带等都能用来制作缠绕式垫片。

按照使用缠绕式垫片部位的介质、温度、压力等条件，选择最合适的填充物。填充物的厚度一般为0.30～0.80mm。

（3）金属钢带　镀锌钢带硬度一般不超过HB160，合金钢带的硬度一般以不超过HB185为佳。若钢带硬度过高，在轧槽时会破裂，或给成型带来工艺上的困难。硬度过高的钢带需经适当的退火处理降低硬度。

8．主要技术条件

（1）镀锌钢带（08、15号）制垫片适用于350℃以下，合金钢带（铬钢或镍铬钢）制垫片适用于600℃以下。

（2）垫片中的钢带与石棉填充物相互间隔时，应紧密结合，层次均匀，垫片平面应平整，无齿状缺陷等。

（3）内外保护圈应无锈蚀现象，碳钢制保护圈应经镀锌处理，内外保护圈与垫片配合时允许松动，但不得脱落。

（4）垫片由4.5mm压缩至3.2mm或6.5mm压缩至5.0mm时应无脱焊及松散现象。

测定方法是将一个不带有内外保护圈的垫片试样，安装在有螺栓联接的两个光滑平面间，逐步拧紧螺栓，使垫片各部位均匀受力，直至试样压缩至规定厚度时，维持5min，然后松开螺栓，取出试样。垫片应无脱焊及松散现象。

9．工艺要点

（1）合格的镀锌钢带或合金钢带平整送入M型（或V型）的轧槽轮中轧槽，钢带槽纹应清楚整齐，无缺口，无裂纹及锌层擦伤等现象。

（2）石棉橡胶板或石棉纸，应根据要求裁切4.8±0.1mm的带条。

（3）先将钢带沿规定模芯围成圆圈或方圈，用点焊机焊牢。缠绕3～4圈时，将填充物均匀填入，继续缠绕。填充物接口处应保持密合，既不允许脱开，又不可以重选。垫片达到预定规格时，再用钢带缠绕3～4圈后用点焊机焊牢。

装有内保护圈时，钢带先沿模芯缠绕3～4圈后再行焊牢，留出的3～4圈钢带作为“弹簧”，以嵌入保护圈之用。

装有外保护圈时，当钢带缠绕在离垫片规定外经3～4圈钢带作为“弹簧”，以作嵌入保护圈之用。

（4）焊接时，焊接点数参照表11-20。

公称通径（D_g）大于800mm的垫片除按表11-20的要求外，还需在垫片内外圈上每隔250～300mm点焊一圈，以防松散。

（5）焊点处应涂上耐高温树脂或漆，以防锈蚀。

（6）椭圆形垫片的制作方法一般是首先将椭圆型垫片的规格换算成圆形垫片的尺寸，制成圆形垫片。然后将圆形垫片放入椭圆形规格的整形器中，整形后即成所需椭圆形垫片。

（八）石棉石墨钢丝布

石棉石墨铜丝布是以石棉铜丝线经纬交织的布，再涂上耐热橡胶和石墨而成。石棉石墨铜丝布可以复制成各种形状的密封垫片，也可以用在玻璃器生产线上作绝热保温材料，最高温度可达300℃。

1．原材料

（1）石棉铜丝布　石棉铜丝布的厚度为1.5±0.2mm；烧失量不大于19%；经向拉伸强度不小于600N；纬向拉伸强度不小于400N；经线密度：每10cm内不少于96根；纬线密度：每10cm内不少于60根。

（2）耐热胶浆　耐热胶浆参见盘根类胶浆。

2．工艺要点

（1）石棉石墨铜丝布工艺流程见图11-8。

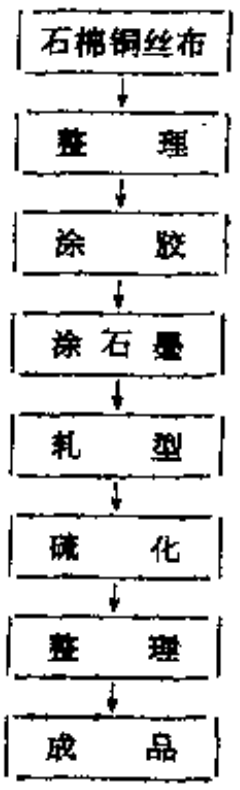


图 11-8　石棉石墨铜丝布工艺流程示意图

表 11-20　缠绕式垫片焊点数

公称通径(D_g) mm	内圈焊点数 不少于	外圈焊点数 不少于	定位环每边 焊点数不少于
10～80	4	5	2
100～300	5	6	3
350～800	7	8	4
800以上	8	9	5

（2）石棉坯布不允许有缺经（线），缺纬（线）和跳线等缺陷。

（3）石棉坯布经整理后，在立式上布机上涂胶，控制蒸汽压力（控制干燥温度）和干燥的流程距离，使石棉布上的胶浆，未全干燥而稍有粘合力。控制成品的含胶量在15%左右。

（4）50目鳞片状石墨加适量汽油，均匀涂刷在正反两表面上。

（5）在轧型机里轧光，使成品厚度符合标准。

（6）缓蚀型制品要经缓蚀液处理并涂刷缓蚀胶浆。

3．主要技术条件

（1）石棉坯布与橡胶、石墨牢固结合，表面应光滑，无显著透光，表面应清洁、平整，织纹清晰，不允许有缺经、缺纬、跳线和线头明显外露等制造上的缺陷。

（2）石棉石墨铜丝布的基本尺寸应符合表11-21规定。

（3）石棉石墨铜丝布试样（40×40mm）于室温下浸在蒸馏水和溶剂汽油中，保持24 h后，试样的重量增加率应不大于40%和60%。

（4）石棉石墨铜丝布试样（40×40mm）在750～800℃温度条件下灼烧30min，其烧失量不大于24%。

（5）缓蚀型石棉石墨铜丝布不应腐蚀35号钢。

（九）石棉橡胶铜丝布

石棉橡胶铜丝布是以铜丝为经线，石棉铜丝线为纬线织成坯布，两面均匀涂刷胶浆和石墨所制成，复制成各种形状的垫片用于航空发动机上的密封。工作介质可以是水、汽油、煤

油、油类和其它石油产油。最高温度250℃。

1．原材料

（1）石棉线　使用80支石棉线，烧失量不大于32%。

（2）铜丝　铜丝直径为0.20mm和0.28mm。

（3）石墨　F-3胶体石墨粉。

（4）胶浆　耐油胶浆的配方见表11-22。

表 11-21　石棉石墨铜丝布基本尺寸

宽　度，mm		厚　度，mm		长度，mm
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	大于
1000	±20	1.50	+0.30 −0.15	13000

表 11-22　耐油胶浆配方

原材料名称	配　比
丁腈橡胶	70
烟片橡胶	30
硫　黄	2
氧化锌	5
硬脂酸	1
促进剂	1.5
防老剂	2
邻苯二甲酸二丁酯	3
补强剂	30
填　料	83
胶片：溶剂＝1:3～3.5	

2．工艺要点

（1）石棉橡胶铜丝布工艺流程见图11-9。

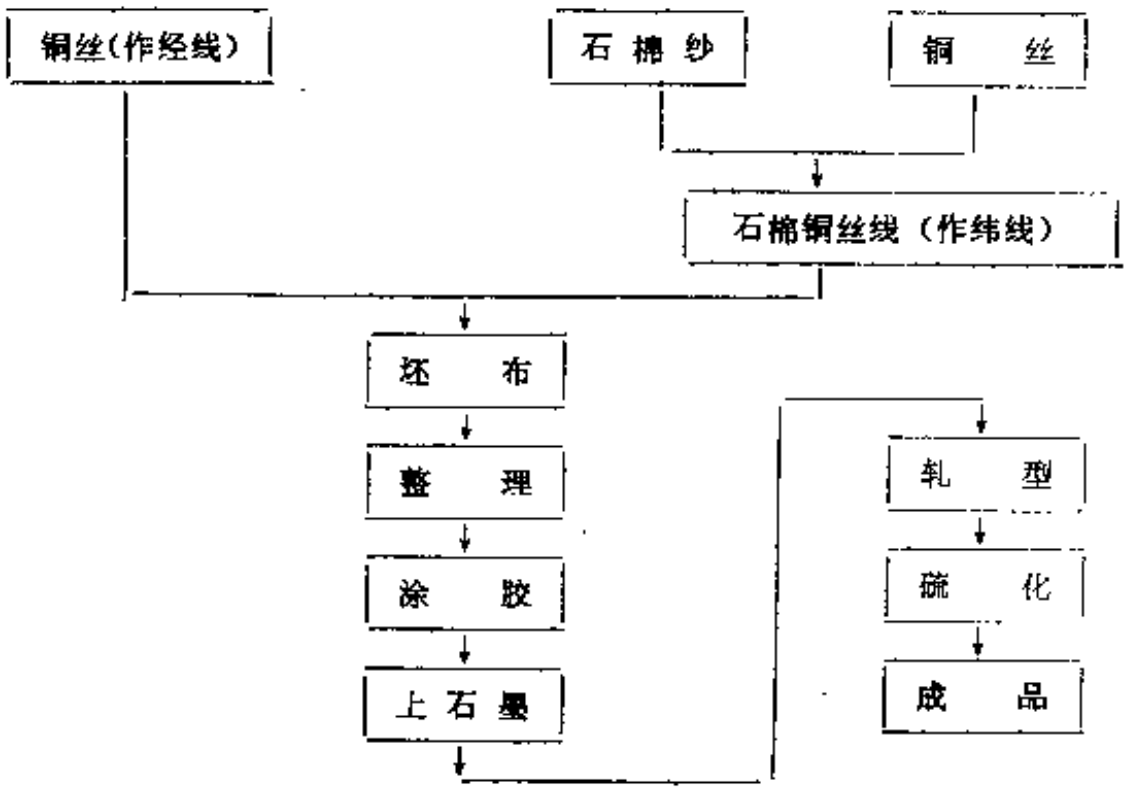


图 11-9　石棉橡胶铜丝布工艺流程

（2）经纬线及经纬密度

经线：每100mm的布内不少于60根。0.7mm石棉橡胶铜丝布用ϕ0.2mm铜丝。1.1mm石棉橡胶铜丝布用ϕ0.28mm铜丝。

纬线：每100mm的布内不少于140根。用80支石棉纱与ϕ0.20mm铜丝合并加捻而成。

（3）坯布厚度　0.7mm石棉橡胶铜丝布用的坯布厚度为0.65～0.70mm，每块坯布（500×1000mm）约重0.30kg。1.1mm石棉橡胶铜丝布用的坯布厚度为1.05～1.10mm，每块坯布（500×1000mm）约重0.47kg。

（4）石棉橡胶铜丝布所含胶浆约30～40%，待溶剂挥发后。将胶体石墨粉刷均，在轧型机里轧光，使厚度符合要求。

（5）缓蚀型制品，要经缓蚀液及缓蚀胶浆处理。

3．主要技术条件

（1）石棉橡胶板铜丝布基本尺寸见表11-23。

（2）坯布与橡胶、石墨牢固结合，表面应光滑，无显著透光，表面应清洁、平整、织纹清晰，不允许缺经、缺纬、跳线和线头明显外露等制造上的缺陷。

（3）石棉橡胶铜丝布在下列介质中保持24 h 后，试样重量增加率应符合表11-24的规定。

表 11-23　石棉橡胶铜丝布基本尺寸

厚度，mm		宽度，mm		长度
基本尺寸	允许偏差	基本尺寸	允许偏差	mm
0.70	±0.05	600	±20	大于1500
1.10	±0.07			

表 11-24　试样的重量增加率

介　质	试样条件	质量增加率，%≤
蒸馏水	室温下保持24h	29
120号溶剂汽油	室温下保持24h	22
20号航空汽油	室温下保持24h	32

（4）石棉橡胶铜丝布具有耐热性，在250℃下处理2h，橡胶层与坯布不能分离。

（5）缓蚀型石棉橡胶铜丝布不应腐蚀35号铜材。

（十）石棉胶乳板

石棉胶乳板是以石棉绒、胶乳、配合剂为主要原料，经打浆、抄取、硫化而成的密封材料。该材料具有较高的拉伸强度和优异的压缩、回弹性能，对水、气、油等介质有良好的密封效果。尤其在预紧力较低、密封面加工精度不高、被密封面刚性差、面压分布不匀等条件下，它的密封性能更为显著，是一种应用十分广泛的理想密封材料。

主要被用来加工内燃机气缸垫片和缠绕式垫片的填充物，也可以替代传统的纸垫和软木垫，用作发动机或其它机械装置的静密封垫片。

石棉胶乳板因乳胶品种不同，可分为石棉丁腈胶乳板、石棉丁苯胶乳板和石棉天然胶乳板三种。

1．原材料

茫崖机五石棉　石棉检验筛的第三层筛余量不少于60%，砂粒含量不大于12%。

（1）胶乳一般采用丁腈胶乳、丁苯胶乳或天然胶乳。胶乳是橡胶粒子在水质中的分散体。它是一种胶体体系。采用阴离子型胶乳，即pH>7；干胶含量不少于46%；胶粒直径小于0.18μm。

（2）配合剂　包括硫化剂、促进剂、防老剂、稳定剂、分散剂、填充剂等。

石棉丁腈胶乳板配方举例见表11-25。

表 11-25　石棉丁腈胶乳板配方举例

材料名称	重量，kg	材料名称	重量，kg	材料名称	重量，kg
石棉绒	70～85	促进剂	1	稳定剂	适　量
丁腈胶乳	17～19	防老剂	1	分散剂	适　量
硫　黄	1	氧化锌	3.5～4.5	填充剂	适　量

2。工艺简述

石棉胶乳板工艺流程见图11-10。

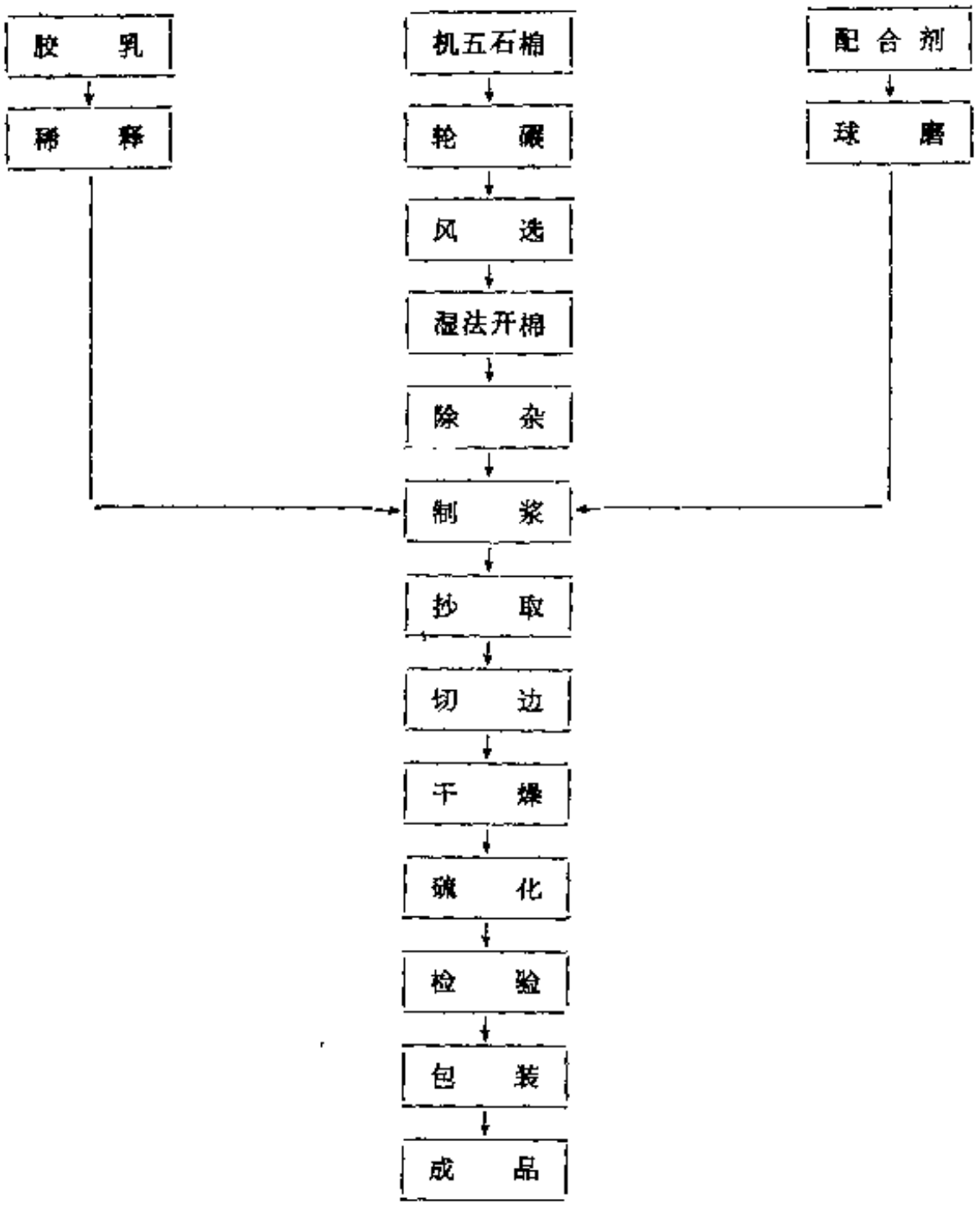


图 11-10　石棉胶乳板工艺流程示意图

（1）原棉处理　石棉胶乳板的生产一般采用湿法抄取工艺。按照抄取工艺的特点，必须充分开松石棉绒，除去石棉绒里的砂粒、尾矿、棉束、外来杂质和少量长纤维。

（2）球磨　配合剂必须在瓷缸里球磨24h以上，使物料的粒度小于10μm；pH值配制在6～8范围内。

（3）制浆　把石棉绒、胶乳、配合剂等投入水中在高速搅拌下混合，使胶乳粒子和配合剂粒子均匀地沉积到石棉纤维上，制成适合于抄取的浆料。

（4）抄取　采用圆网或长网造纸机把浆料抄造成湿纸坯。用双圆网两侧流上浆工艺抄造的石棉胶乳板，它的横向拉伸强度可以得到明显提高。

（5）硫化　若用户对石棉胶乳板有硫化要求时，应把干燥的石棉乳胶板放在140℃，8.0～10.0MPa平板硫化机上硫化8～12min。

3。主要技术条件和试验方法

（1）厚度基本尺寸及偏差　石棉胶乳板的厚度基本尺寸及偏差应符合表11-26所示规定。

（2）含水量　未硫化石棉胶乳板和硫化后石棉胶乳板的含水量应不大于3%。

（3）烧失量　未硫化石棉胶乳板和硫化后石棉胶乳板在750～800℃的高温炉中灼烧1h，取出放入干燥器中冷却至室温后，试样的重量减少不大于24%。

（4）密度　未硫化石棉胶乳板的密度为0.85～1.10g/cm³；硫化后石棉胶乳板的密度为1.30～1.50g/cm³。

（5）拉伸强度　未硫化石棉胶乳板和硫化后石棉胶乳板在室温（15～20℃）下的拉伸强度见表11-27。

表 11-26　石棉胶乳板的厚度基本尺寸及偏差

基本尺寸，mm	厚度公差 mm	同一张上离边20mm的任意两点厚度极限偏差，mm
0.50，0.60	±0.05	0.06
0.70，0.80，0.90 1.00，1.20，1.40 1.60	±0.08	0.08
1.80　2.00	±0.10	0.10

注：其它厚度可根据协议制造。

表 11-27　石棉胶乳板的拉伸强度

品　　种	拉伸强度，MPa≥	
	纵　向	横　向
未硫化的石棉胶乳板	3.5	2.5
硫化后的石棉胶乳板	10.0	7.0

压缩节和回弹率　硫化后的石棉胶乳板在350MPa的压力下，它的厚度压缩率应为12～24%。当压力去除1min的厚度回弹率应不少于45%（未硫化的石棉胶乳板不做此项和以下各次试验）。

（6）应力松弛　硫化后的石棉胶乳板在100±2℃，35MPa的条件下保持22h，它的应力松弛不能大于30%。

（7）吸油率和吸水率　硫化后的石棉胶板在不同温度和介质中进行试验。试样（40×40mm）在150℃的0号柴油中浸泡5h，其重量增加不超过35%；在常温的120号汽油中浸泡24h，其重量增加不超过35%；在100℃沸水中浸泡5h，其质量不超过30%。硫化后的石棉胶乳板经浸泡不允许有起泡、分层现象。

（十一）钢架石棉复合板

钢架石棉复合板是以石棉乳胶板与薄钢板（或冲齿薄钢板）、金属丝网用胶粘剂粘接而成的密封材料，其表面可涂有耐温防粘材料。具有较高的机械强度、优异的压缩、回弹性能和较长的使用寿命，适用于水、油、气等介质的密封。除主要制作内燃机气缸盖垫片外，也可以用于管法兰和设备法兰作密封垫片。

钢架石棉复合板按钢架结构不同可分为平板钢架石棉复合板，冲齿钢架石棉复合板和钢丝网石棉复合板。

1．原材料

（1）冷轧薄钢板或镀锡薄钢板　薄钢板厚度为0.18～0.28mm，一张薄钢板平均厚度的允许偏差为公称厚度的±8.5%，同张薄钢板的厚度差的允许偏差为同张薄钢板平均厚度的4%。

（2）钢丝网　规格：145目/10cm；经密145根/10cm；纬密136～150根/10cm；钢丝直径0.193mm（36号）；钢丝拉伸强度320～370MPa。

（3）石棉乳胶板（未硫化）见本节石棉乳胶板。

（4）胶粘剂　胶粘剂应能在150℃下长期使用，短时间内能耐温250℃，耐水、耐油、耐老化、耐辐射。

（5）表面防粘材料　表面防粘材料应对金属材料无腐蚀性、耐水、耐温、耐油、耐老化、成膜后，膜的韧性好，致密，不易从石棉乳胶板上脱落。

2．工艺简述

钢架石棉复合板的工艺流程见图11-11。

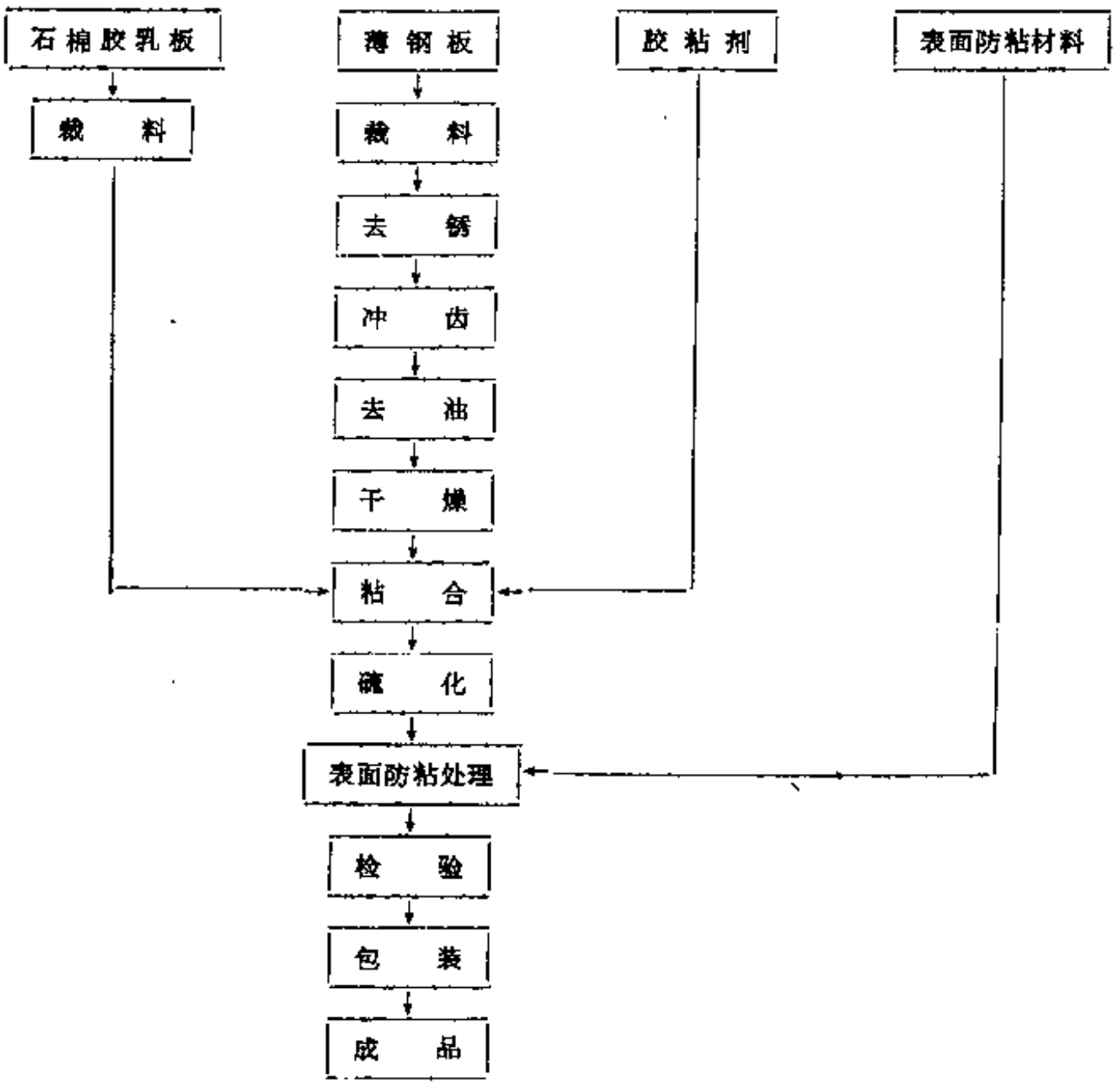


图 11-11　钢架石棉复合板工艺流程示意图

若将本图中的冷轧薄钢板（或镀锡薄钢板）改为钢丝网，并省去“冲齿”；就是用钢丝网生产钢架石棉复合板的工艺流程。

（1）冲齿　对于冲齿钢架石棉复合板，应在冷轧薄钢板或镀锡薄钢板上冲出正反相间的双面立构齿形。齿孔形状一般有方形和圆形两种，齿孔中心距为3mm左右，为了使齿形整齐、均匀、美观，冲齿应在自动冲齿模具上进行。

（2）粘合　粘合时应注意薄钢板与石棉胶乳板之间的整齐叠合，并加压。

（3）硫化　把充分干燥的钢架石棉复合板半成品放在140℃、8.0～10.0MPa的平板硫化机上硫化8～12min。

（4）表面防粘处理　表面防粘处理的目的是为了防止钢架石棉复合板在使用时与被密封表面发生粘着现象。面粘着的主要原因是由于被密封介质在高温或其它条件的作用下，钢架石棉复合板对密封面发生电化腐蚀和石棉胶乳板内的粘合剂与被密封面材料粘着所引起

的。因此，表面防粘材料必须有效防止电化腐蚀和石棉胶乳板直接与被密封面接触。最有效可行的方法是使用隔离软膜、缓蚀剂和牺牲金属，特别当三者结合使用时，防粘效果更加令人满意，譬如采用铝粉、硅氟类橡胶或无机复合材料，不仅可以得到良好的防粘效果，还有助于提高钢架石棉复合板的密封性能。

表 11-28 钢架石棉复合板厚度基本尺寸及偏差

基本尺寸，mm	厚度公差 mm	同一张上，离边20mm的任意两点的厚度极限偏差，mm
1.00，1.20，1.40 1.50，1.60	±0.08	0.08
1.80，2.00，2.20	±0.10	0.10

注：其它厚度可根据协议制造。

3．主要技术条件和试验方法

（1）厚度基本尺寸及偏差　钢架石棉复合板的厚度基本尺寸及其极限偏差见表11-28所示。

（2）压缩率和回弹率　钢架石棉复合板在35.0MPa的压力下它的厚度压缩率应为12～24%。当压力去除1min时，厚度回弹率应不小于55%。

（3）应力松弛　钢架石棉复合板在100±2℃，35.0MPa的条件下保持22h，它的应力松弛不能大于30%。

（4）吸油率和吸水率　钢架石棉复合板在不同温度和介质中进行试验。试样（40×40mm）在150℃的0号柴油中浸泡5h，其重量增加不超过30%；在常温的120号汽油中放24h，其重量增加不超过30%；在100℃水中浸泡5h，其重量增加不超过25%。钢架石棉复合板试样浸泡后不允许有起泡、分层现象。

（十二）气缸密封垫片

气缸密封垫片（简称气缸垫）是用于发动机气缸盖与气缸体联接密封的垫片。气缸垫质量优劣直接影响到发动机的功率输出、油耗、废气排放等性能指标及发动机的可靠性，因而气缸垫必须具有耐水、耐油、耐温、耐腐蚀、耐老化的特点，具有较高的拉伸强度和抗剪强度，具有很好补偿被密封面不平度的弹性和足够的回弹性，以保证气缸垫的密封性能。

每种发动机由于其结构特点、工作状况不同，不可能采用统一的气缸垫，不同的气缸垫无论在材料或结构形式上均有所不同，国内外均研制成功以柔性石墨和冲齿薄钢板制造复合型气缸垫，性能良好。本文只介绍与石棉关系比较密切的包覆型气缸垫和复合型气缸垫。其结构见图11-12和图11-13。

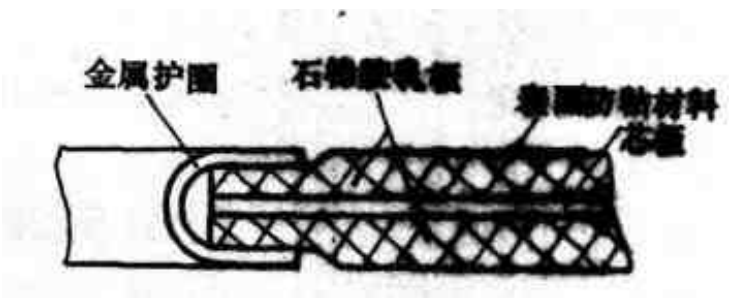


图 11-12　复合型气缸垫结构

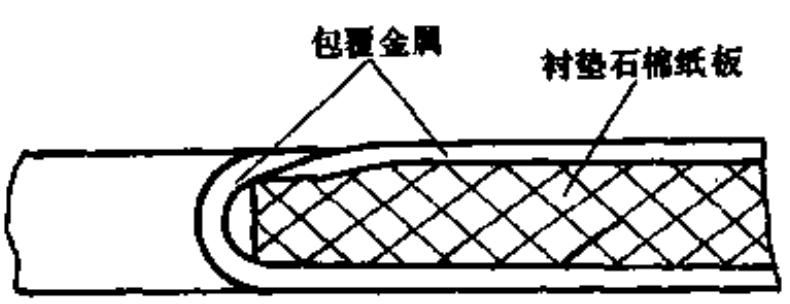


图 11-13　包覆型气缸垫结构

复合型气缸垫因芯板结构不同又可分为平板复合型气缸垫，冲齿复合型气缸垫和钢丝网复合型气缸垫3种。

1．原材料

包覆型气缸垫主要由包覆金属、衬垫石棉板（或石棉橡胶板）、金属护圈组成。复合型气缸垫主要由芯板、石棉乳胶板、金属护圈、胶粘剂、表面防粘材料和密封橡胶组成。

（1）包覆金属和金属护圈　气缸垫的包覆金属和金属护圈可采用紫铜板、冷轧薄板、不锈钢薄板和镀锡薄钢板等。

紫铜薄板的电解铜纯度不低于99.9%；厚度为0.15～0.25mm；表面应光滑平整，有较好的韧性和可塑性。

冷轧钢板、不锈钢薄板和镀锡钢板的厚度应为0.15～0.28mm，一张薄钢板平均厚度的允许偏差为公称厚度的±8.5%，同张薄钢板厚度差的允许偏差为同张薄钢板平均厚度的4%。弹性模量高、延展性好。

（2）芯板　芯板可采用冷轧薄钢板或镀锡薄钢板。

（3）衬垫石棉板　见JC69—82标准。

（4）石棉橡胶板　见本节石棉橡胶板。

（5）石棉乳胶板　见本节石棉乳胶板。

（6）胶粘剂　胶粘剂可采用橡胶类或环氧类胶粘剂，应能在150℃下长期使用，短时间内能耐温250℃，耐水、耐油、耐老化。

（7）表面防粘材料　表面防粘材料应对金属无腐蚀性、耐水、耐油、耐老化，能在150℃下长期使用，成膜后，膜的韧性好，致密，不易从石棉乳胶板上脱落。

（8）密封橡胶　密封橡胶可采用丁腈橡胶或硅氟类橡胶。密封橡胶应耐水、耐油，能在150℃下长期使用，弹性好，在150℃下无热塑现象，不老化。

（9）钢架石棉复合板　见本节钢架石棉复合板。

2．工艺简述

包覆型气缸垫的工艺流程见图11-14。

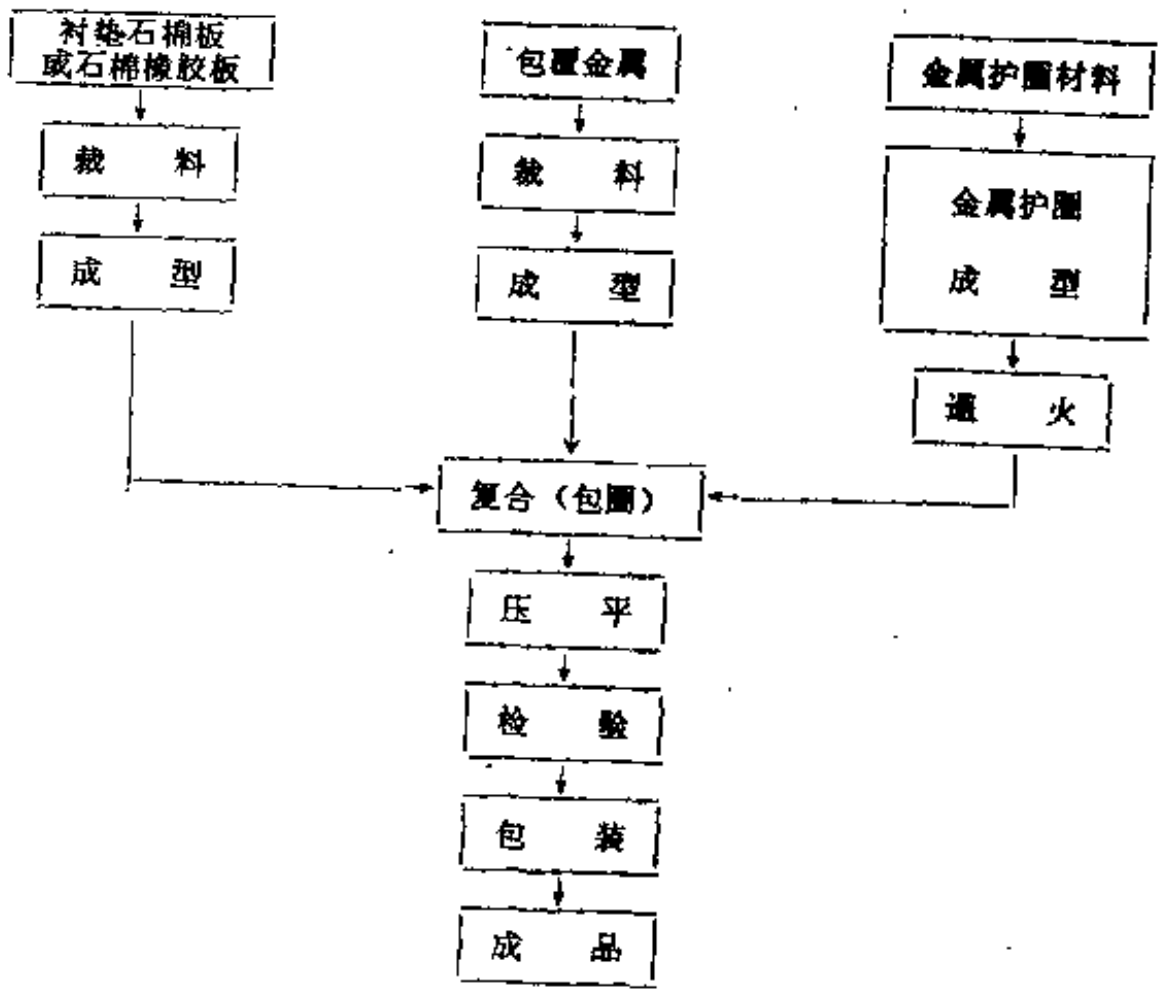


图 11-14　包覆型气缸垫工艺流程示意图

石棉乳胶板生产复合型气缸垫的工艺流程见图11-15。

钢架石棉复合板生产复合型气缸的工艺流程见图11-16。

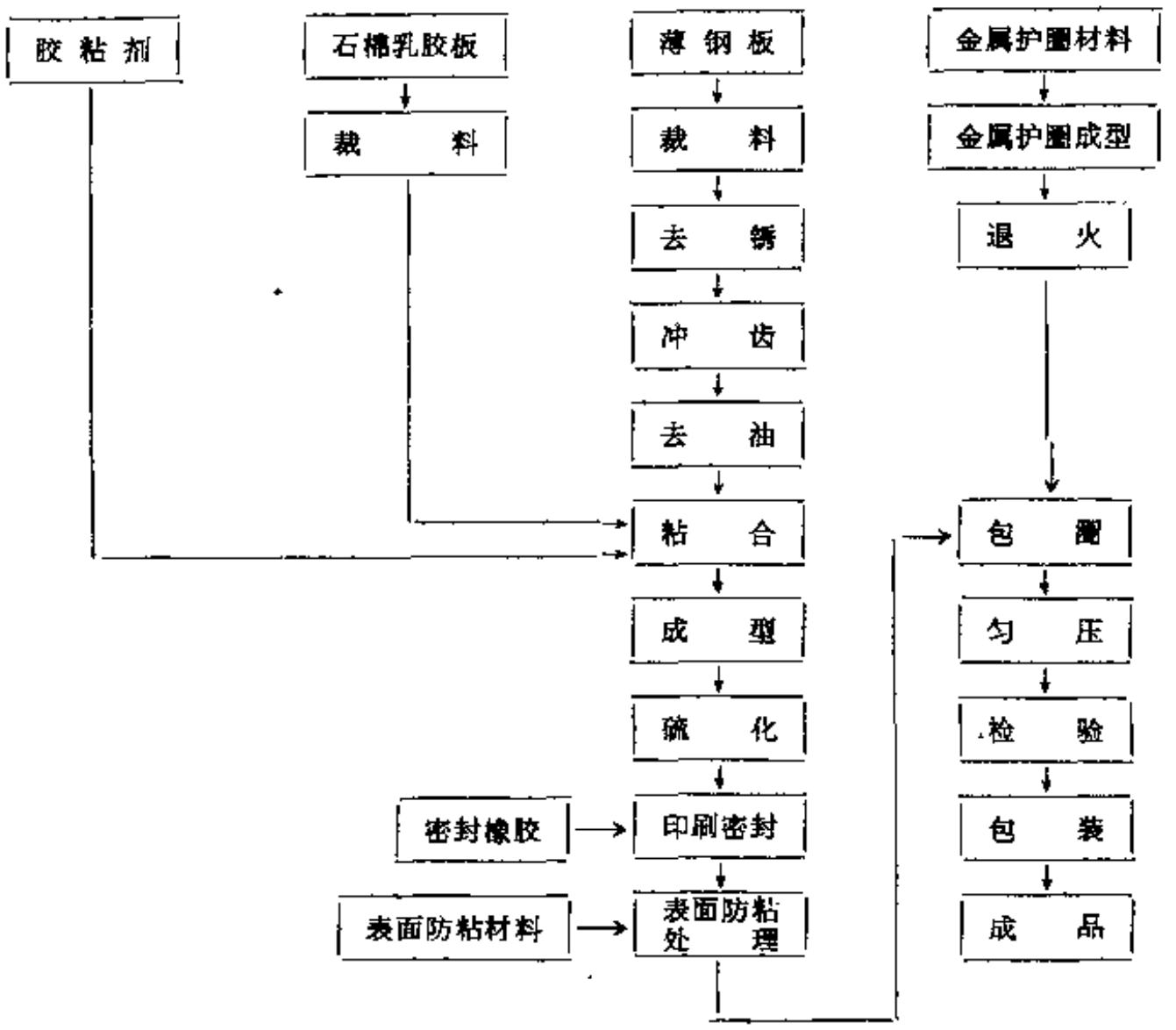


图 11-15 石棉乳胶板生产复合型气缸垫的工艺流程示意图

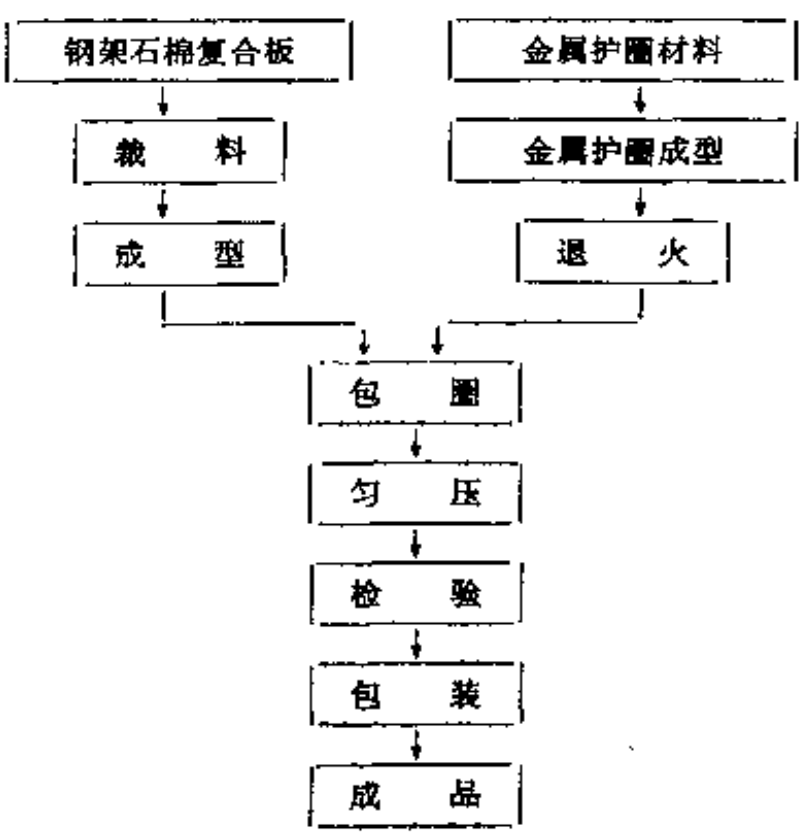


图 11-16 钢架石棉复合板生产复合型气缸垫的工艺流程示意图

（1）石棉乳胶板生产复合型气缸垫的主要生产工艺

a．冲齿 生产冲齿复合型气缸垫，应在芯板上冲上正反相间的双面立钩齿形。齿孔一般有方形和圆形两种，齿孔中心间距为3mm左右。为了使齿形整齐，冲齿应在自动冲齿模具上进行。

b．粘合 利用胶粘剂把石棉乳胶板和芯板在定位模具上加压粘合。

c．硫化 把干燥的气缸垫半成品放在140℃，8.0～10.0MPa的平板硫化机上硫化8～12min。

d．印刷密封 为了提高气缸垫的密封效果，把液态的密封橡胶通过一层滤网，印刷到气缸垫的局部地区。当液态的密封橡胶凝固后，就在气缸垫的局部地区形成了弹性密封条。亦可以在油孔或水孔里镶入橡胶密封圈来提高气缸垫的局部密封效果，但适应性和密封性没有印刷密封好。

e．表面防粘处理 详见本节钢架石棉复合板部分。

f．金属护圈的成型和退火 为了保证金属护圈的加工精度，应采用机模成形。小护圈

为了防止包圈翻边时裂纹，应该在成型后进行退火处理。缸口护圈一般不需退火处理，包覆型气缸垫的缸口护圈往往可以同包覆金属连在一起成型，不需单独成型，这样可以简化加工工艺。

g．包圈　为了提高缸口强度，对复合型气缸垫，可以在缸口包圈时，嵌入金属丝，金属板或包双层金属护圈等。

h．包装　每张气缸垫包装前应擦净，装入结实不透水的中性纸袋或塑料袋内。

（2）钢架石棉复合板生产复合型气缸垫工艺比采用石棉乳胶板生产气缸垫简单。生产效率也可以明显提高，生产工艺可参照用石棉乳胶板生产复合型气缸垫的工艺。

（3）包覆型气缸垫主要由包覆金属、衬垫材料和金属护圈组成，它的生产工艺与采用石棉乳胶板生产复合型气缸垫的工艺相类同。

3．主要技术条件

（1）尺寸公差和位置公差　气缸垫尺寸公差和位置公差见表11-29。

表 11-29　气缸垫尺寸公差和位置公差

部　位	尺寸公差或位置公差	部　位	尺寸公差或位置公差
自由状态厚度	$\delta \leqslant 1.2$基本尺寸的±10%；$\delta \geqslant 1.2$　±0.12	油道孔和水道孔直径	基本尺寸±0.5
自由状态厚度差	$\delta \leqslant 1.2$基本尺寸的15%；$\delta > 1.2$　0.18	翻边宽度	基本尺寸±0.5
压紧厚度	$\delta \leqslant 1.2$基本尺寸的8%；$\delta > 1.2$　0.10	护圈宽度	基本尺寸±0.5
压紧厚度差	$\delta \leqslant 1.2$基本尺寸的10%；$\delta > 1.2$　0.12	燃烧室孔位置度	对设计基准 ϕ0.5
燃烧室孔直径	$\pm\frac{1}{2}$ IT14①	定位孔位置度	对设计基准 ϕ0.4
定位孔直径	H 14①	螺栓孔、油道孔、水道孔位置度	对设计基准 ϕ0.6
螺栓孔直径	H 15		

① IT表示标准公差，14表示公差等级，IT14表示公差等级为14的标准公差。
H表示孔的基本偏差，8表示公差等级，H 8表示公差等级为8级的孔的基本偏差。详见GB1800～1804—79标准。

（2）适应性和可靠性　按机械工业部标准NJ36—85《气缸盖垫片技术条件》中6.3和6.4条规定分别进行适应性和可靠性试验时，不应有妨碍发动机运转的漏气、漏油、漏水等现象。

（十三）石棉炉门圈

石棉炉门圈是采用石棉布或铜丝石棉布涂刷耐热或耐油胶浆，经折叠制成的密封垫片。该橡胶石棉炉门圈适用于压力为4.5MPa、温度为350℃以下的锅炉人孔、手孔以及搪瓷反应釜作密封垫片。亦可以用石棉布、铜丝石棉布制作的石棉炉门圈浸渍聚四氟乙烯分散液，制成聚四氟乙烯石棉炉门圈，使用在4.5MPa，温度为280℃以下的腐蚀性强的介质中作密封垫片。清洁程度要求较高的管法兰和容器法兰中，可以使用该种石棉炉门圈。

1．原材料

（1）石棉布及铜丝石棉布　规格及技术要求见表11-30。

（2）聚四氟乙烯分散液　聚四氟乙烯（简称四氟）分散液是由带负电荷的，平均直径为0.1～0.4μm的聚四氟乙烯颗粒和非离子表面活性剂组成，浓度为60%的胶体状水分散液，外观为乳白色或稍带微黄色，pH值9～10。

（3）胶浆　见橡胶石棉一文中的表11-35。

表 11-30 石棉布和铜丝石棉布规格及技术要求

规格 mm	烧失量 % ≤	单位面积重量 kg/m² ≤	拉伸强度，N ≥	
			经向/纬向（常温时）	经向/纬向（200℃时）
2.0±0.2	32	1.50	470/220	140/70

注：1.铜丝石棉布单位面积质量不作规定。

2.可以使用烧失量不大于28%，24%、19%的石棉布或金属丝石棉布，提高制成品的耐热性。

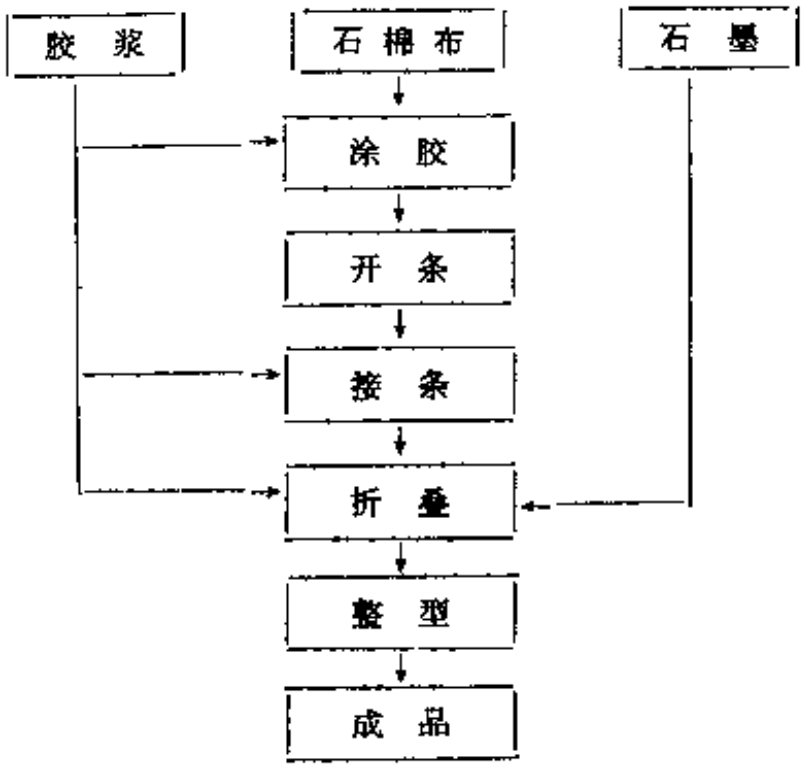


图 11-17 橡胶石棉炉门圈工艺流程

2．工艺简述

橡胶石棉炉门圈的工艺流程见图11-17。

涂胶、开条和接条 可参阅橡胶石棉盘根一文中的折叠型盘根工艺要点。

橡胶石棉炉门圈的表面可涂刷石墨粉或不涂刷石墨粉。

四氟石棉炉门圈按用户的要求和使用工况，可以进行热处理，使耐腐蚀性能更为优良。四氟石棉炉门圈亦可以制成浸渍高温油的四氟石棉炉门圈，以提高密封性能。

二、盘根类

盘根是大多数工业设备的重要配件，虽然在成台或成套设备中用量很少，但对设备的运转、生产效率、物料的消耗及劳动条件的优劣等有很大影响。

盘根常用于往复运动（往复泵杆）、旋转运动（反应釜轴）及螺旋运动（阀杆）等状态的密封。盘根密封效果常与下列因素有关：①盘很所承受的实际温度与压力；②轴、杆的运动形式和速度；③盘根对轴、杆的腐蚀程度和磨损；④介质的特性；⑤盘根的规格与安装；⑥盘根室的结构、冷却和润滑情况。

习惯上将绳状及绒状密封材料称作盘根，而将模压成型密封材料称作垫圈。除橡胶类石棉盘根外，还有油浸棉盘很、油浸麻盘根、油浸石棉盘根、铅（铝）箔扭合石棉盘根、聚四氟乙烯石棉盘根以及石棉绒状高压盘根等等。

根据试验和使用单位反映，盘根、垫圈和垫片都会对金属发生腐蚀现象，这种腐蚀现象一般都是以点腐蚀形式出现，不锈钢制轴，杆和法兰同样会发生腐蚀现象。盘根和垫片相比，盘很对轴、杆的腐蚀影响远较垫片对法兰面的腐蚀影响大，危害性严重。

国内外盘根的质量主要是以烧失量来控制的，但烧失量不能全面地反映盘根的质量，具有很大的片面性和局限性。盘根的密封性能和对金属的腐蚀程度才是决定盘根质量优劣的重要标志。现在已经成功地制成了温度可达540℃、压力可达32MPa的盘根密封性试验装置，对提高盘根的质量和发展新品种提供了很好的条件。

（一）橡胶石棉盘根

橡胶石棉盘根系用石棉布或石棉线，以橡胶为粘结剂，经折叠或编织而成的密封填料。它适用于温度为450℃以下，压力为6.0MPa以下的阀门中作密封材料。

1．原材料

（1）石棉布及石棉纱　折叠型橡胶石棉盘根一般用1.5mm铜丝石棉布、1.5mm普通石棉布、2.0mm铅丝石棉布或2.5mm铅丝石棉布制作，编织型橡胶石棉盘根采用24、28、34或45支石棉纱制作。

（2）橡胶　采用3号烟片胶、丁腈橡胶或二者并用。

（3）工业汽油　工业汽油的馏程如下：

初馏点……不低于45℃；
50%馏出温度……不高于140℃；
干点……不高于190℃；
10%馏出温度……不高于95℃；
90%馏出温度……不高于175℃；
残留量及损失……不大于4.5%。

（4）石墨　采用鳞状石墨，其固定碳含量在90%以上。

（5）黄铜丝　规格及性能指标见表11-31。

表 11-31　橡胶石棉盘根用黄铜丝规格及性能指标

号数	规格和公差 mm	拉伸强度 MPa ≥	延伸率，% ≥ ($l_0=100$)
36	$0.2^{+0.00}_{-0.02}$	3.5	28
38	$0.15^{+0.00}_{-0.02}$	3.8	25

按标准生产的牌号为H68的黄铜丝延伸率小，使用上存在困难，若以有氧退火处理，则能达到上述要求。

（6）含铅量不小于98%的20号（直径0.98mm）或22号（直径0.71mm）铅丝，其表面应光滑、清洁、不应有凹槽、裂缝、毛刺和氧化发黑等。

2．半制品

配方举例及技术条件分别见表11-32和表11-33、11-34。

橡胶石棉盘根所使用的橡芯及橡片必须保持粗细及厚薄均匀。橡芯直径约为制品规格的$\frac{1}{4}$。橡片厚度为：12～15mm盘根用2.5mm，16～18mm盘根用3.0mm，19～26mm盘根用3.5mm，27～38mm盘根用4.0mm。橡片宽度与芯子宽度相同。橡芯和橡片采用7号胶制作，粘合时用五号胶。

3．胶浆、橡芯和橡片

配方举例见表11-35。

4．工艺流程

工艺流程分别见图11-18和图11-19。

折叠型盘根工艺要点如下。

（1）涂胶　石棉布采用立式涂胶机涂胶，耐油盘根用6号胶浆，其它盘根用4号胶浆，胶布的含胶量和烧失量应控制在表11-36范围内。

（2）开条　利用裁剪机沿涂胶布45°裁剪，胶布条宽度应保持准确，公差不大于1.5mm。各种规格盘根的布条宽度计算方法为：外层包裹用布条，按制品规格乘5，芯子用布条按制品规格乘4；橡芯盘根用布条应减除橡芯截面积后再行计算；28mm以上的盘根用二次包皮，故需进行两步计算。

（3）接条　胶布条两头各均匀涂刷五号胶浆，其宽度约为10mm，将两布条斜口对齐（如不齐则应修剪）。接口处再覆上涂有五号胶浆的棉布条（宽度约为10～15mm，长度按接口处宽度），复好后滚压，使接口牢固粘合。

（4）折叠和并芯　接条后的胶布在刷浆机中涂刷五号胶浆，通过干燥室，使汽油挥

表 11-32　橡胶石棉盘根用石棉纱配方及技术条件

烧失量%		21			24			32		
项目		配　方	单纱拉力 N≥	捻度转数/10cm	配　方	单纱拉力 N≥	捻度转数/10cm	配　方	单纱拉力 N≥	捻度转数/10cm
支数	24	硬特(55)70 德钦30 棉花 7	4.9	44～48	康一50 康二50 棉花 8	4.9	44～48	康三15 康四20 康五20 机一苎20 四绒25 棉花 9	4.9	44～48
	28	硬特(55)70 机特苎30 棉花 5	5.9		硬特(55)25 康二30 机特苎30 四绒15 棉花 8	5.9		康二20 康四30 机一苎30 四绒20 棉花10	4.9	
	34	硬特(55)70 针苎30 棉花 5	4.9		特＝70 机特苎30 棉花 7	4.9		白康三25 白康四15 机特苎30 四绒30 棉花 9	4.9	
	45	特-70 针苎30 棉花 5	5.9		硬特(80)70 针苎30 棉花 7	4.9		硬特(55)40 康二20 机特苎40 棉花18	5.9	

表 11-33　橡胶石棉盘根用铅丝石棉布①配方及技术条件

规格	技术要求					
	配　方	烧失量，% ≤	支数/股数	捻度 根数/10cm	单纱拉力 N≥	经密/纬密 根数/10cm
2 mm	康二20 康四30 机一苎30 四绒20 棉花10	32	28/3	28～36	4.9	64/36
2.5mm						64/32

① 铅丝石棉布经向用石棉线，纬向用铅丝（2.0mm用22号，2.5mm用20号）。

表 11-34　橡胶石棉盘根用石棉布及用线情况

规格		技术要求				
		石棉布		石棉线		
		烧失量% ≤	经密/纬密 根数/10cm	支数/股数×铜丝数	捻度 转数/10cm	拉力 N≥
1.5mm	无铜丝	21，24，32	72/36	45/3×0	32～44	19.6
	有铜丝			24/2×1	34～42	14.7
2.0mm	无铜丝	21，24，32	64/32	28/3×0	28～36	19.6
	有铜丝			24/3×1	26～34	19.6

表 11-35 橡胶石棉盘根用胶浆、橡芯及橡片配方

组分	配方编号				组分	配方编号			
	4号	5号	6号	7号①		4号	5号	6号	7号①
3号烟片胶	100	100	30	100	炭黑	—	30	30	—
丁腈橡胶-26	—	—	70	—	陶土	20	20	75	—
氧化锌	5	5	5	15	碳酸钙	140	65	82.5	150
硬脂酸	1	1	1	1	重晶粉	70	20	—	30
二丁酯	—	—	3	—	硫黄	1.5	1.5	1.9	1
石蜡	—	—	—	1	氧化铁红	—	—	—	20
促进剂M	1.5	1.5	1.5	1.5	胶料：汽油	1:2	1:3	—	—
防老剂D	1.5	1.5	2	1.5	胶料：纯苯	—	—	1:3	—
石墨	20	—	—	—					

① 7号为橡芯和橡片配方。

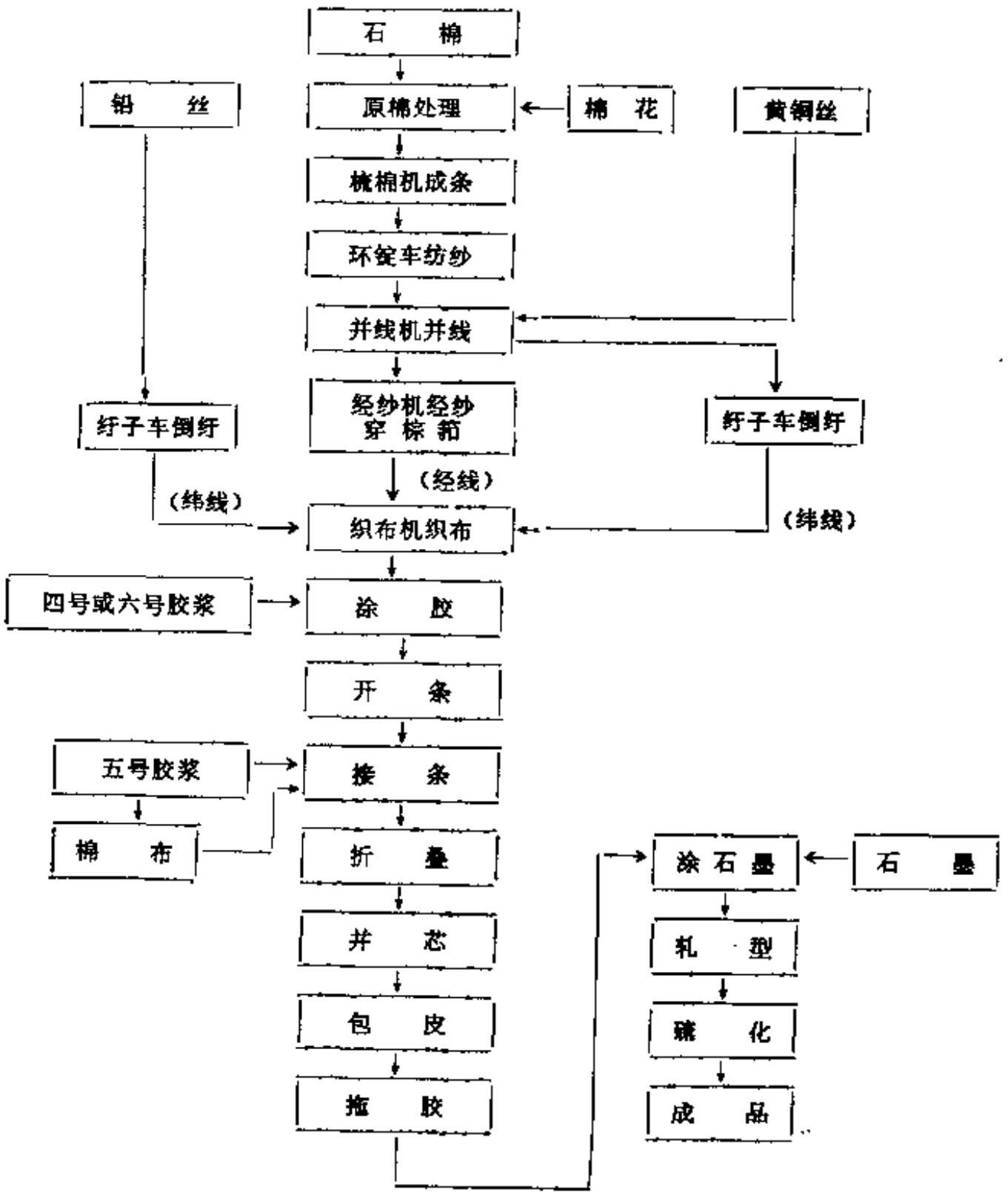


图 11-18 折叠型橡胶石棉盘根工艺流程示意图

若单用石棉线作经线和纬线则为普通橡胶石棉盘根；用石棉铜丝线作经、纬线则为铜丝橡胶石棉盘根，用石棉线作经线，铅丝作纬线则为铅丝橡胶石棉盘根

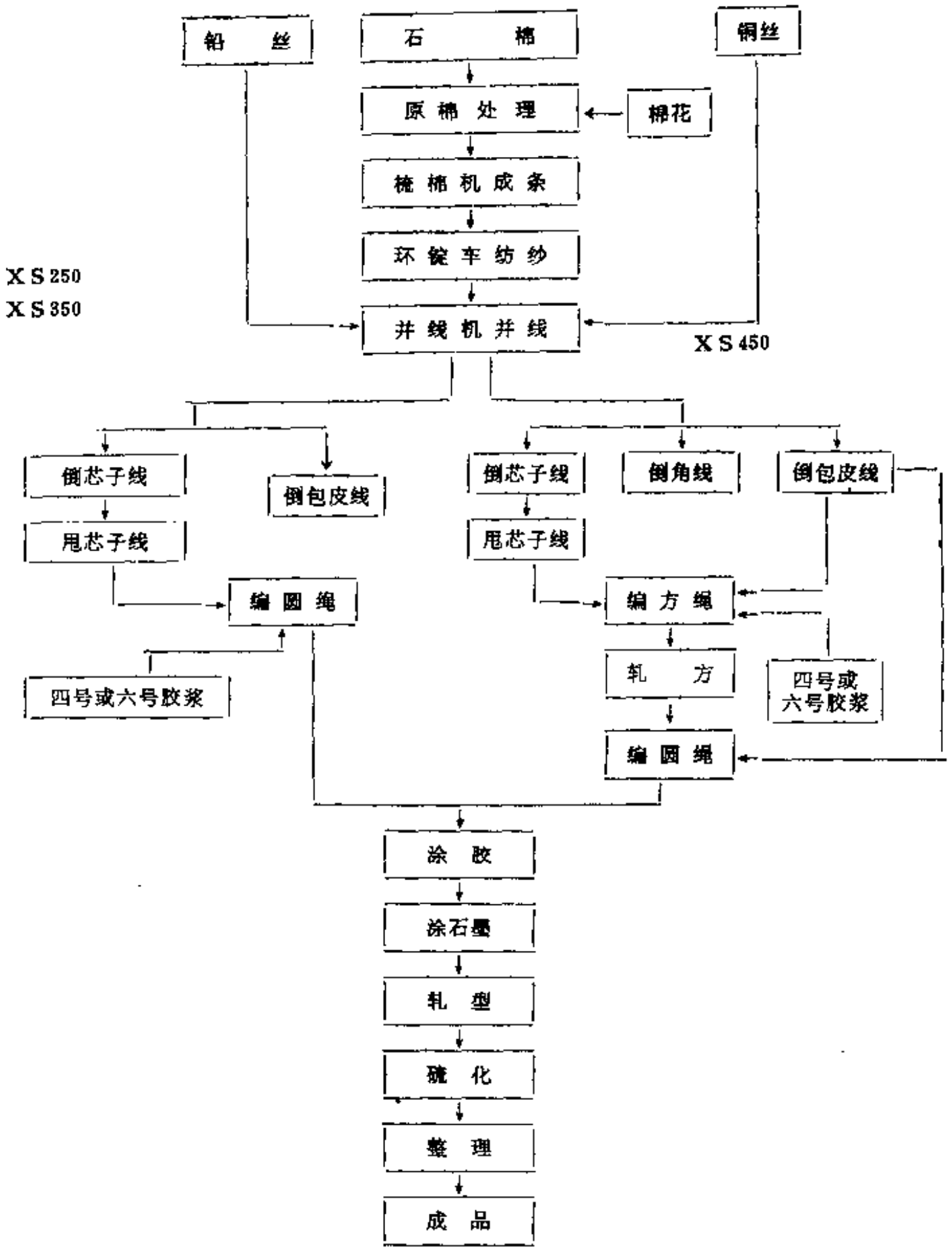


图 11-19　编织型橡胶石棉盘根工艺流程示意图

若用石棉线编织则为普通橡胶石棉盘根；用石棉铜丝线编织则为铜丝橡胶石棉盘根；用铅丝石棉线编织则为铅丝橡胶石棉盘根

发。利用折叠器，使胶布条沿中心线对折成四层；几条折叠带通过并芯器、轧型机即制成所需的芯子。

（5）包皮　12～28mm（12mm以下，常用编织型）制品的芯子，外面裹以“五边”包皮；28mm以上的制品，在芯子外面用两次“五边”包皮。外包裹层中有两层重叠的一面，应与芯子的折叠层平行。外包裹层缝口在螺旋型制品及盘卷时，应放在外侧。

（6）拖胶、涂石墨及轧型　裹以包皮的半制品，经过5号胶胶浆桶、石墨箱，再连续通过3台轧型机，使半制品逐渐达到需要的规格。轧型时，应保持边角整齐，无损伤、布层

纹理清晰。

（7）硫化　盘根硫化可分为散装和螺旋盘卷硫化两种。采用直接蒸汽硫化法，蒸汽压力控制在0.2～0.3MPa。16mm以下盘根硫化时间一般为2h；16～22mm者为2.5h；22mm以上者为3h。螺旋盘卷硫化时，所用芯子直径可参考表11-37。

表 11-36　橡胶石棉布含胶料量与烧失量控制范围

品　　种	含胶料量 %	烧失量 %	外　　观
XS250用胶布	25～28	<35	厚薄均匀，无缺胶或堆积等现象
XS350用胶布	25～28	<27	
XS450用胶布	18～22	<23	

表 11-37　橡胶石棉盘根硫化时盘卷用的芯子直径

盘根规格	芯子直径 mm	盘根规格	芯子直径 mm
12～15	60	22～26	114
16～18	75	27～38	140
19～21	90		

编织型盘根工艺要点如下。

（1）编织型盘根是用石棉线在石棉方绳编织机或石棉圆绳编织机上制作而成的。石棉方绳编织机为8锭编织机，分大、中、小型3种。大型的适宜编织大于25mm的方绳；中型的适宜编织8～25mm的方绳；小型的适宜编织细于8mm的方绳。石棉圆绳编织机分12锭、16锭、24锭和32锭等几种。12锭适宜于编织6～8mm的圆绳；16锭适宜于编织7～20mm的圆绳；24和32锭适宜于编织19～50mm的圆绳。

（2）石棉方绳是以石棉线或石棉扭绳为芯子线和四角柱线，表面编织一层石棉线成为方型坚实而紧密的绳；石棉圆绳以石棉线或石棉方绳为芯子线，用石棉线在表面编织一层或多层成为圆形坚实而紧密的绳，为了使圆绳坚实和紧密，在工艺上一般都按规定编织层数。

（3）编织方绳时，石棉线先浸涂胶浆；编织圆绳时，每编织一层之后，在编织层上浸涂胶浆。为了增加密着性和粘合能力，胶浆浸涂之后应立即编织或再编织下一层，直至达到预定层数及规格。

（4）XS250、XS350和XS450盘根的毛坯规格和层数分别见表11-38和表11-39。

表 11-38　XS250、XS350橡胶石棉盘根毛坯规格和编织层数举例

盘根规格 mm	编织层数 ≥	毛坯规格，mm 有铜丝	毛坯规格，mm 无铜丝	盘根规格 mm	编织层数 ≥	毛坯规格，mm 有铜丝	毛坯规格，mm 无铜丝
3	1	4	4	22	3	29	31
4	1	5.5	5.5	25	3	33	35
5	1	6.5	6.5	28	3	37	39
6	1	8	9	32	4	42	45
8	2	11	12	35	4	46	49
10	2	13.5	14.5	38	4	50	53
13	2	17	11	42	4	55	59
16	3	21	22.5	45	4	59	63
19	3	25	26.5	50	4	65	69

XS250和XS350含胶料量应控制在10～15%。XS250烧失量控制在35%以下，XS350烧失量应控制在27%以下。

XS450盘根毛坯分为编方绳、轧方绳、编圆绳和轧成品4步编织过程，要求如表11-39

表 11-39 XS450盘根编织过程及要求

单位：mm

制品规格	编织程序			
	编方绳	轧方绳	编圆绳	轧成品
5			7～7.5	5
6	7～7.5			6
8	7～7.5	6～6.5	10～10.5	8
10	9～9.5	7.5～8.5	12.5～13	10
11	10～10.5	8.5～9.5	13.5～14	11
13	13.5～14	11～12	15～16	13
16	17～18	14～15	19～20	16
19	20～21	17～18	22～23	19
22	23～24	20～21	25～26	22
25	27～28	23～24	28～29	25

所示。

XS450盘根坯子含胶料量应控制在5～10%，烧失量控制在23%以下。其拖胶、涂石墨、轧型和硫化等与折叠型盘根相同。

5．橡胶石棉盘根主要技术条件

（1）橡胶石棉盘根按其适用范围分为3个牌号，见表11-40。

（2）橡胶石棉盘根的规格及公差如表11-41所示。

（3）铜丝橡胶石棉盘根的容重不小于1.1g/cm³，无铜丝盘根不小于0.9g/cm³。

（4）橡胶石棉盘根所用的石棉布或线的烧失量应符合下列要求：

XS450 ≤21%；XS350 ≤24%；XS250 ≤32%。

表 11-40 橡胶石棉盘根的牌号和适用范围

牌号	适用范围	
	蒸汽温度，℃≤	蒸汽压力，MPa≤
XS450	450	6.0
XS350	350	4.5
XS250	250	4.5

表 11-41 橡胶石棉盘根的规格和公差

规格	公差	规格	公差
3,4,5	±0.3	19,22,25	±0.8
6,8,10	±0.4	28,32,35,38	±1.0
13，16	±0.6	42,50	±1.0

其成品的烧失量应符合下列要求：

XS450 ≤27%；XS350 ≤32%；XS250 ≤40%。

浸渍盘根的烧失量指标，允许提高20%。

（5）橡胶石棉盘根应有一定弹性，盘根围绕在4倍于它规格的圆柱上弯曲180°试验时，不应产生凸起、断线、裂缝或分层现象。

（6）橡胶石棉盘根的耐温失量应符合表11-42规定。

表 11-42 橡胶石棉盘根的耐温失量

牌号	有无金属丝	耐温失量，%≤	牌号	有无金属丝	耐温失量，%≤
XS450(A)	有	15	XS250(A)	有	20
XS350(A)	有	15	XS250(A)	无	20
XS350(A)	无	17	XS250(B)	有	22
XS350(B)	有	20	XS250(B)	无	22
XS350(B)	无	20			

注：A—编织型；B—折叠型。

（二）铅片盘根

铅是一种根好的润滑材料，常利用铅同石棉布制成铅片盘根，使用在高速旋转的高压反

应釜及往复泵作密封材料。铅片盘根的使用温度一般不超过300℃。还较多地用于造船工业。

1．工艺流程

工艺流程见图11-20。

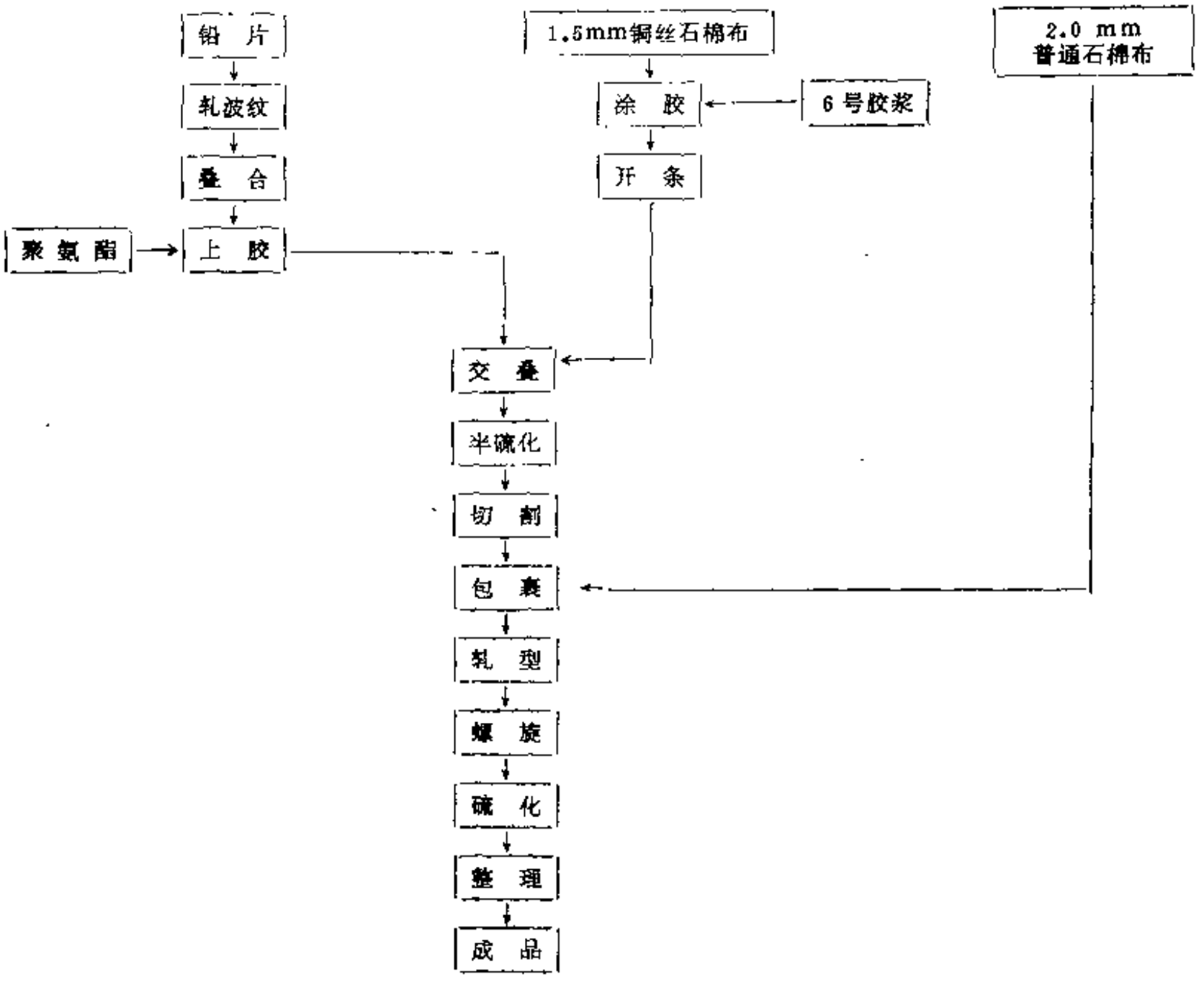


图 11-20 铅片盘根工艺流程示意图

2．工艺要点

铅片盘根成型工艺的关键在于芯子的组合。芯子的组合一般有两种方法：一种是以预先裁好的不同宽度的石棉铜丝布和铅片逐层间隔组合，一种是以整块石棉铜丝布与铅片相间组合，半硫化后分割。前者制作方便，后者需有一定的专用设备和工具。现将工艺要点分述如下。

（1）芯子用1.5mm铜丝石棉布；包皮用2.0mm普通石棉布。所用布均涂以6号胶浆，其含胶量应控制在25%以下。

（2）铅片（厚度为0.2～0.5mm，含铅量在98%以上）在专用工具中轧出波纹，然后将波纹压向一方，形成单向有规律折纹的铅纹片。

（3）铅纹片与布利用异氰酸酯和氯化胶进行粘合，布与铅纹片层层间隔，放入模具中加热加压半硫化。



图 11-21 切割示意图

（4）按图11-21所示截面线进行切割，直角边就是芯子的边长，A与B的斜边粘合即成芯子，再用布按“五边”法制作。

（5）其它工艺与折叠型橡胶石棉盘根相同。

3．主要技术条件

主要技术条件如下：

① 盘根容重在1.85～2.00g/cm³之间；

② 盘根规格从13×13mm～50×50mm；

③ 盘根含铅量约65～80%；

④ 盘根烧失量（除铅片）不大于32%；

⑤ 盘根在溶剂汽油中（室温）浸渍24 h后增重不大于25%。

4．使用情况

曾以16×16mm试样在两艘海轮上进行实用试验，密封性能良好（见表11-43）。

表 11-43 16×16mm铅片盘根密封性能试验情况

试用设备	压力，MPa	温度，℃	运转形式	时间，h
给水泵	1.5	300	往复	600
左主汽阀	1.5	300	旋转	609
舵机	0.7	200	左右回转	731
透平油泵	1.5	200	上下往复	731

三、垫圈类

（一）石棉橡胶垫圈

石棉橡胶垫圈是以石棉布或石棉铜丝布与耐热或耐油胶料粘合、模压、硫化而成。为活塞杆、转轴等处的密封材料，特别在低速运动的盘根箱中，石棉橡胶垫圈是理想的密封材料。

垫圈的形状多种多样，主要有圈形、矩形、U形、人字形、V形以及各种异形截面。结构和形状合理的石棉橡胶垫圈具有高强度、高弹性、使用寿命长以及安装和使用方便等优点，在400℃以下使用有良好的密封性能。目前垫圈的最大外径可达1100mm。

垫圈可以使用在石油、石油产品、惰性气体、空气、水、饱和蒸气、过热蒸气等介质中，也能使用在腐蚀性较小的介质中。

1．工艺流程

工艺流程见图11-22。

2．工艺要点

（1）所用石棉布和涂胶量与折叠型盘根相同。

（2）制坯 布条涂以5号或6号胶浆，凉至不粘手但有粘着力时，将布条折叠成一定形状，坯子内外表面擦上足够的鳞状石墨，放在通风处1～2天，使坯中的溶剂充分挥发干净。

（3）热压硫化 压制时，模具温度控制在130℃，垫圈所承受的单位面积压力不得小于10MPa，硫化时间一般为20min。

（4）冷压整型 热压硫化后的垫圈应仔细地修剪，再用鳞状石墨仔细擦匀后，在冷模

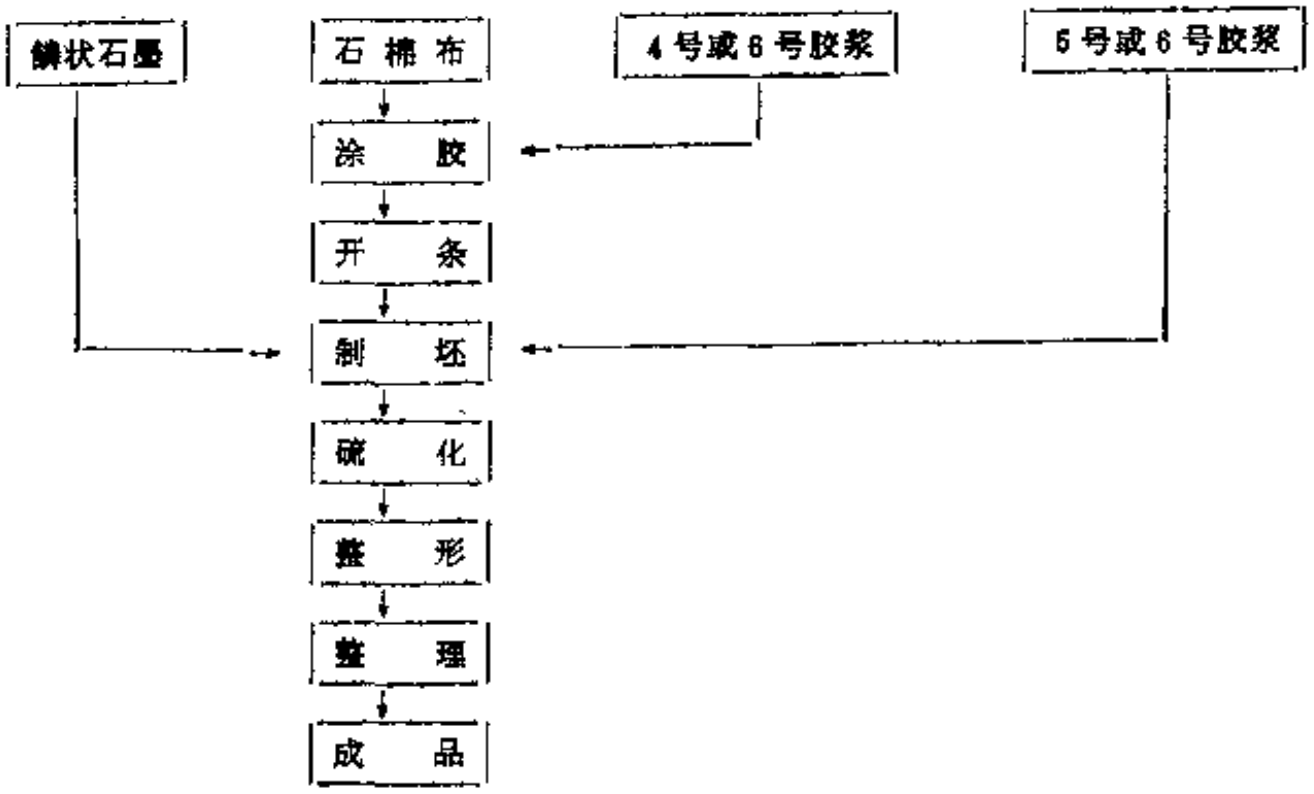


图 11-22　石棉橡胶垫圈工艺流程示意图

中整型。

3．主要技术条件

① 根据不同的使用要求，垫圈的烧失量不得超过 27%和 32%（所用石棉布烧失量不大于21%和24%，石棉布其它条件按建标45-61规定）。

② 耐油垫圈浸在溶剂汽油（室温）中，24 h 的吸油率不超过 30%，浸油后垫圈不得有分层、松散和发粘等现象。

③ 垫圈的吸水率应不大于35%。

④ 垫圈外型需完整无损、圆度正确、表面光洁和无铜丝外露等现象。

（二）旋塞衬套

旋塞衬套是将石棉橡胶板冲切成一定形状，涂上粘合剂相互贴合并经模压硫化而成的密封制品。

衬套是利用石棉橡胶板的高强度和致密性，密封性能优良。衬套一般分有眼衬套和无眼衬套两种。有眼衬套带有一对金属“眼”，主要使用在锅炉水位器旋塞中（见图11-23），具有耐热性能好、强度好、启闭灵活、塞杆不易磨损和拆装方便等优点，与过去使用的合金钢金属衬套相比，使用寿命提高3～4倍。现大量应用于中压锅炉水位器内，在其它旋塞装置中亦有应用。无眼衬套主要使用在渗透性强的联苯与联苯醚混合物的反应釜及管道中，系统压力为0.5MPa温度为260～280℃。 在一个检修周期（2～3月）内密封性能良好。

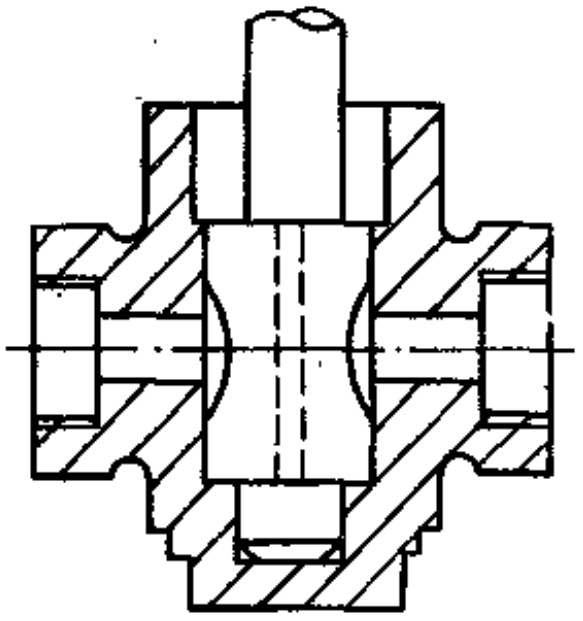


图 11-23　旋塞衬套安装示意图

1．工艺流程

工艺流程见图11-24。

2．工艺要点

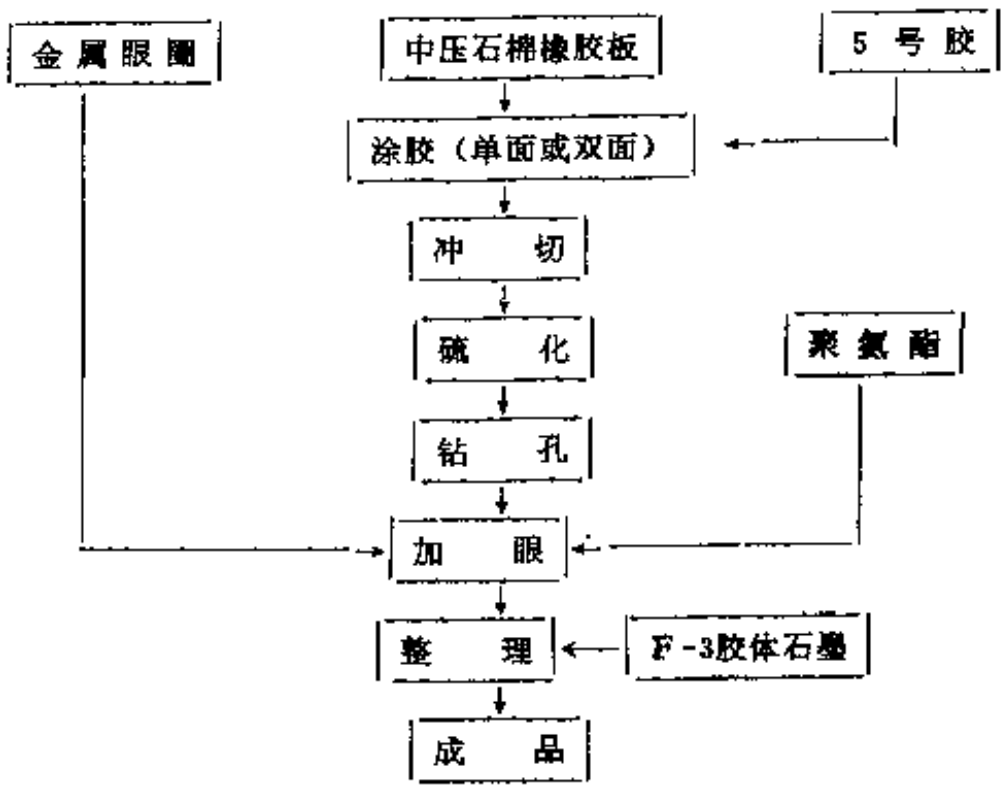


图 11-24　旋塞衬套工艺流程示意图

（1）涂胶　利用1mm中压石棉橡胶板，单面或双面均匀地涂上5号胶浆，自然通风凉干。

（2）冲切　用根据衬套尺寸设计的自动冲模机，将涂胶石棉橡胶板冲切成圈。

（3）模压　将冲切的石棉橡胶板圈（片数根据高度确定），放入模具中加压硫化（上下两片用单面胶，其余用双面胶）。模具温度控制在125℃左右，压力不小于10.0MPa，硫化时间一般为20min。

（4）钻孔　钻头在衬套上钻出同心两孔，孔中涂上氯化胶和异氰酸酯的混合液，金属眼圈涂上异氰酸酯，凉至适度时将金属眼圈嵌入同心孔中，自然凉干。

（5）整理　内外表面整理之后，均匀地涂擦F-3胶体石墨粉。

（6）无眼衬套除无金属眼圈外，均与有眼衬套工艺相同。

3．主要技术条件

以有眼衬套为例分述如下。

（1）规格　外径　$33.10^{+0.11}_{+0.05}$mm；内径　$22.00^{+0.11}_{+0.05}$mm；高度　$37.0^{+0.1}_{-0.3}$mm。外表面突筋应完整无损，高度为1.5mm。

（2）单只质量约在36～39 g。

（3）烧失量（去除金属眼）不大于28%。

（4）金属眼圈位置准确、表面平整，可允许略有凹陷。制品内外表面应平滑、无缝隙，但允许有不明显条痕。

4．试验情况

有眼衬套曾在某电厂作实用试验，结果如下。

（1）冷态试验　在6.4MPa压力下作水压试验，密封良好，反复开关10余次后，仍能保持密封性，无渗漏及冒汗等现象。

（2）热态试验　在投入运行1 h后，衬套沿轴向热胀伸长2mm时密封性能依然良好。为了考验开关的反复多次密封性，在运行4 h后，接着作开关试验。在开关一定次数后，有漏气现象，此时要拧紧螺母，直到恢复密封性，然后再继续作开关试验，直至再度漏汽，如

此反复开关500余次。

在500余次开关试验中，拧紧螺母共 5 次，衬套的压缩量尚不到1mm。

通过长期的实践证明，衬套能使用在中低压锅炉水位器旋塞中。

（三）波型垫圈

波型垫圈（又称波型填料）是用金属箔轧制成波纹带条，在波谷里涂刷粘合剂，嵌入石棉线缠绕成坯，再浸渍耐温胶浆，加入润滑材料，经模具压制而成的一种“金属-石棉”密封制品，根据用户的不同使用温度、压力、介质等因素，采用不同种类的金属箔。

波型垫圈是一种结构新颖的密封制品，能在600℃、14.0MPa的条件下，绝对安全可靠地应用在阀门中，能满足大型热电站（温度450～600℃，压力6.4～20.0MPa）和核电站阀门等的使用条件，每小时的泄漏量小于10mg，能使电站阀门达到微泄漏或“无泄漏阀门”。

波型垫圈的烧失量小，约为XS550橡胶石棉盘根烧失量的2/1，波型垫圈对阀杆的摩擦力比XS550橡胶石棉盘根小3/1，波型垫圈具有“弹簧”般的结构，使垫圈有高的弹性，足以弥补“应力松驰”。

波型垫圈使用和维修方便，垫圈的按装技术低，由于它具有上述的特点，是目前理想的密封制品。

1．原材料

（1）石棉线　优质长纤维石棉纺制成，烧失量不大于19%或湿纺线石棉线。

（2）不锈钢箔　使用1Cr18Ni9Ti材料，厚度为0.06mm。

（3）铜箔　使用紫铜材料，厚度为0.10mm。

（4）铅箔　使用纯铅材料，厚度为0.15～0.20mm。

（5）耐热胶浆　见本节“橡胶石棉盘根”的表11-1-35。

2．工艺要点

（1）波型垫圈工艺流程见图11-25。

（2）开条　金属箔的长度和宽度由波型垫圈的形状和密度，经计算米决定。

（3）轧波纹　将金属箔通过轧波机制成波纹带。

（4）嵌线　在波谷里涂上粘合剂，并嵌入石棉线。

（5）缠绕　在专用缠绕机上缠绕，经初压成型，不使垫圈松散。

（6）成型　按照最佳的成型压力使波型垫圈在模具中压制成型。

（7）缓蚀型波型垫圈需经缓蚀液、缓蚀胶浆等处理。

3．主要技术条件

（1）波型垫圈分缓蚀型和非缓蚀型两类，按照适用温度共分为 3 个品种，见表11-44。

（2）波型垫圈所用石棉线的烧失量见表11-45。

（3）波型垫圈尺寸和允许偏差见表11-46。

（4）缓蚀型波型垫圈不应对钢材产生腐蚀。腐蚀试验是在模拟阀门使用的条件下进行的，试验装置如图11-26所示。

圆柱材料为35号钢，R_a为0.8μm，每次试验分3组，每组将2件波型垫圈放入试验装置，利用机械加压（单位面积压力为20MPa）使垫圈与圆柱紧紧贴合。

试验条件：在50℃、相对湿度98%的恒温恒湿箱中放置120h，波型垫圈不应对圆柱产生腐蚀。

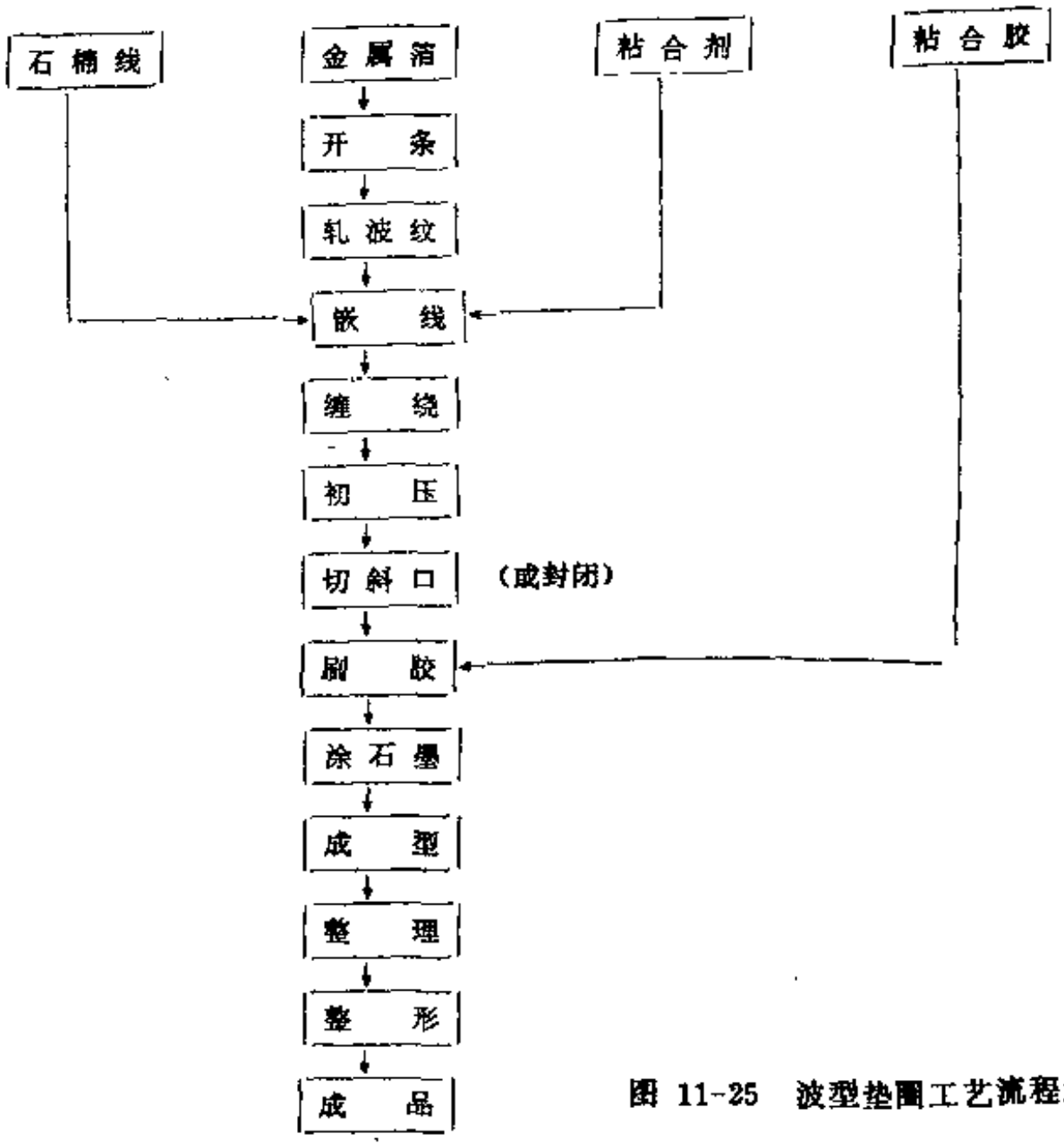


图 11-25 波型垫圈工艺流程示意图

表 11-44 波型垫圈型号分类

型号		适用范围
缓蚀型	非缓蚀型	
BSP-600(H)	BSP-600	使用在600℃以下
BST-400(H)	BST-400	使用在400℃以下
BSQ-250(H)	BSQ-250	使用在250℃以下

注：1.B—金属波纹片；S—石棉线；P—波纹片材料为不锈钢；T—波纹片材料为铜；Q—波纹片材料为铅。
2.每个型号的波型垫圈带有切口和封闭的两种。切口一般按45°制作。
3.BSQ-250波型垫圈一般不单独使用，为了提高密封性能往往与BSP-600和BST-400波型垫圈混合使用于阀门之中。

表 11-45 波型垫圈的用线要求

型号		用线要求
BSP-600(H)，	BSP-600	≤19%
BST-400(H)，	BST-400	≤24%
BSQ-250(H)，	BSQ-250	≤24%

表 11-46 波型垫圈尺寸和允许偏差

规格内径 mm	允许偏差，mm			规格内径 mm	允许偏差，mm		
	内径	外径	高		内径	外径	高
10～40	+0.0 -0.5	+0.5 -0.0	±1.0	101～260	+0.0 -1.5	+1.5 -0.0	±1.0
41～100	+0.0 -1.0	+1.0 -0.0	±1.0	261～440	+0.0 -2.0	+2.0 -0.0	±1.0

注：带切口的波型垫圈，内外径偏差不作检查项目。

试验前，先用洗涤剂将圆柱的油污去净，用蒸馏水反复冲洗，最后浸入三级纯丙酮内，用脱脂棉擦洗试样表面，在热风下干燥。

（四）自密封垫圈

阀门的阀体和阀盖联接，一般都采用法兰加入垫片达到密封，小口径阀门也可以采用螺纹来联接，但在高压阀门和高温高压阀门中，一般都采用自紧式密封装置，装入自紧式密封垫圈达到密封，常称自密封垫圈。

1．类型

自密封垫圈一般有3种类型。

（1）金属自密封垫圈　采用不锈钢（1Cr18Ni9Ti）制造，高温高压时密封性能良好，但低压试验时常泄漏，加工精度高，密封面维修困难，拆下后无法再利用，有淘汰的趋势。

（2）非金属自密封垫圈　利用铜丝石棉布或合金丝石棉线与橡胶粘合剂制造，但垫圈本身强度较差，耐温度较低，仅能使用在中温中压的场合下。

（3）半金属自密封垫圈　利用金属箔片和石棉线制造，能使用在600℃以下的高温高压场合，是理想的密封材料。

目前，自密封垫圈主要使用在热电厂的阀门和高压加热器中，金属自密封垫圈只能使用在阀门中，非金属自密封垫圈和半金属自密封垫圈除能使用在阀门中亦能使用在高压加热器中。阀门用自密封垫圈的最大外径约为500mm，高压加热器用自密封垫圈的最大外径约为1300mm。

非金属自密封垫圈有胶布自密封垫圈和胶线自密封垫圈两种。半金属自密封垫圈有波型自密封垫圈。自密封垫圈常见的截面形状见图11-27。

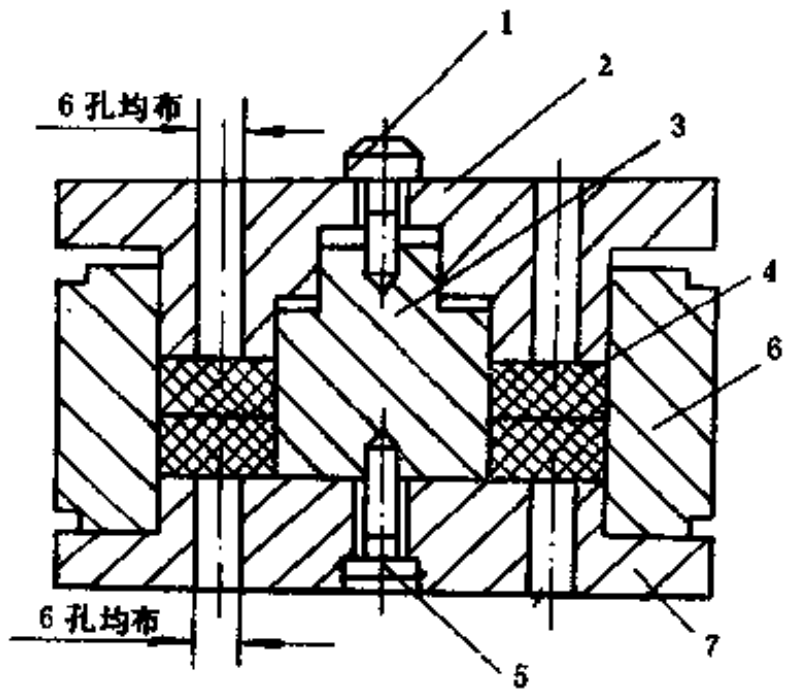


图 11-26　腐蚀性试验装置

1—六角螺钉；2—上模（钢45）；3—圆柱（钢35）；4—波型垫圈；6—六角螺钉；6—外模（钢45）；7—下模（钢45）

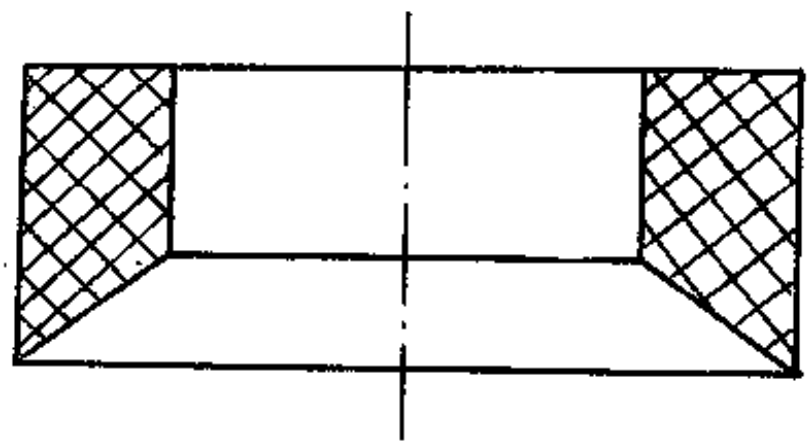


图 11-27　自密封垫圈截面形状示意图

2．工艺要点及型号

（1）胶布自密封垫圈的工艺流程见图11-28。

胶线自密封垫圈的工艺流程见图11-29。

波型自密封垫圈的工艺流程见图11-30。

（2）胶布自密封垫圈使用2mm钢丝石棉布，烧失量不大于24%，含胶量为20%；胶线

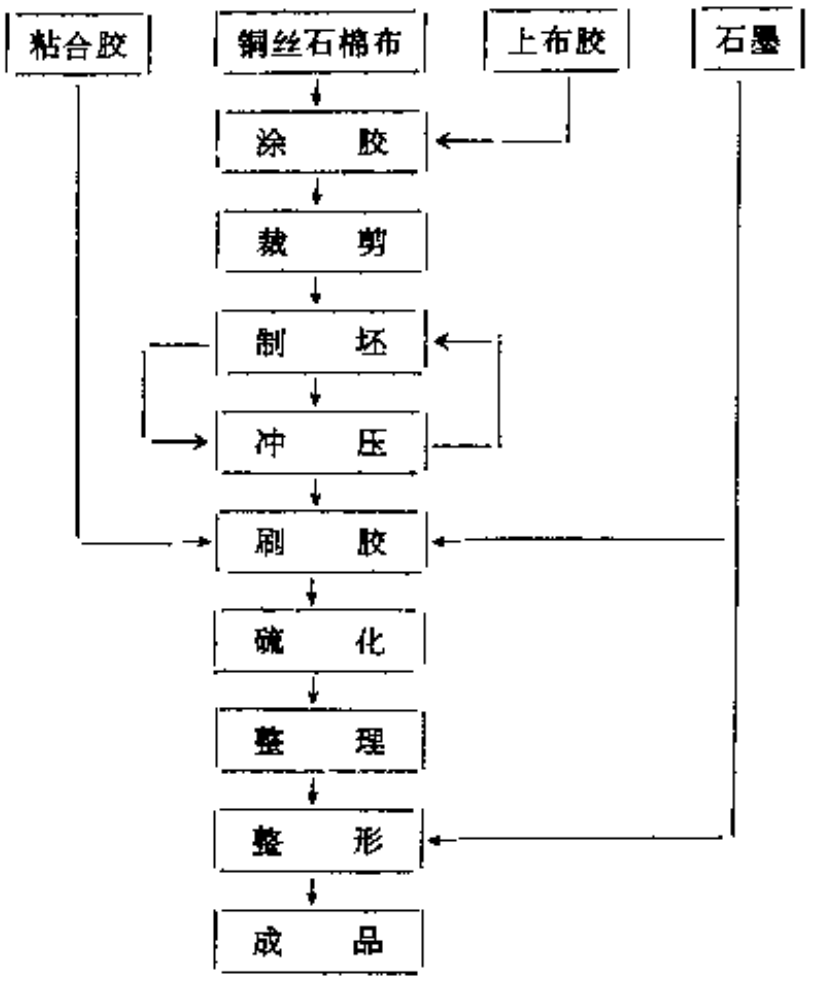


图 11-28　胶布自密封垫圈工艺流程示意图

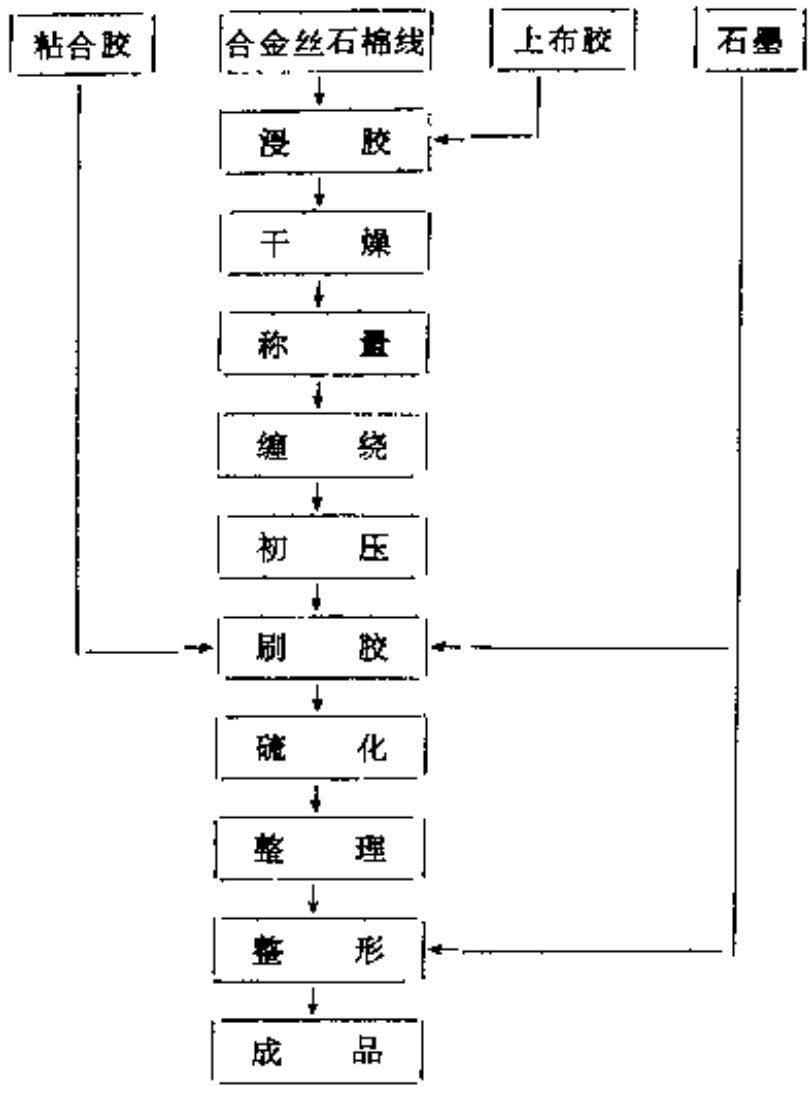


图 11-29　胶线自密封垫圈工艺流程示意图

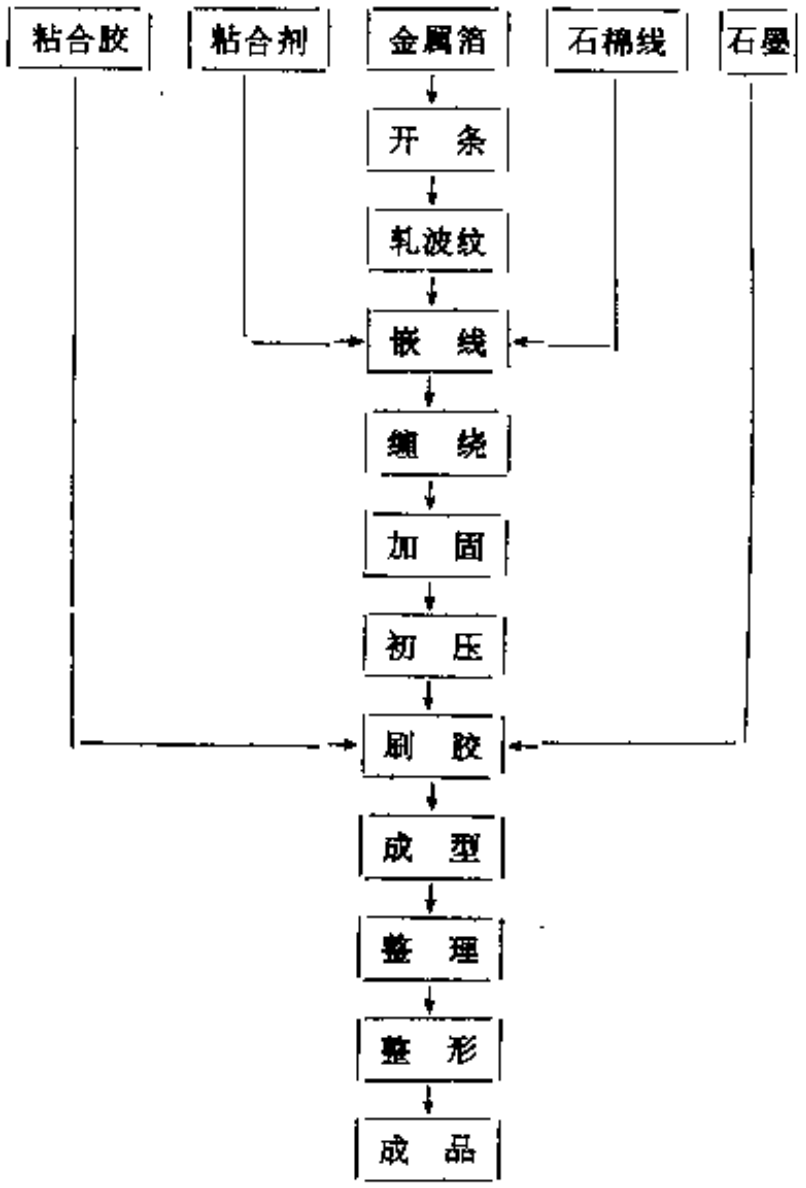


图 11-30　波型自密封垫圈工艺流程示意图

自密封垫圈使用烧失量不大于21%的石棉线，合金丝直径为0.20mm，含胶量约10%；波型自密封垫圈所用金属箔厚度为0.06mm，所用石棉线的烧失量不大于19%。

（3）胶布自密封垫圈、胶线自密封垫圈和波型自密封垫圈的生产工艺可参阅石棉橡胶垫圈和波型垫圈。

（4）BSB-350胶布自密封垫圈可以使用在350℃以下；BSS-450胶线自密封垫圈可以使用在450℃以下；BSZ-600波型自密封垫圈可以使用在600℃以下。

（五）缓蚀型石棉制品

缓蚀型石棉制品简称缓蚀型制品，是以石棉制品（或原材料、半成品）经过缓蚀液、缓蚀胶、缓蚀脂、牺牲金属处理之后，使石棉制品不对金属产生腐蚀。

以石棉为主要成分的密封材料——盘根、垫圈、垫片与金属接触时，会使金属产生腐蚀，这种腐蚀现象一般都是以点腐蚀形式出现。不锈钢制造的轴、杆和法兰等同样会发生腐蚀现象，盘根和垫圈对轴、杆的腐蚀影响远较垫片对法兰面的腐蚀影响大，危害性严重。例

如：阀门在水压试验后一至数天后，阀杆与石棉盘根接触的部位，金属会产生严重的局部腐蚀，而阀杆的其它部位金属仍保持原状，阀杆腐蚀现象仅仅出现在阀杆与石棉盘根相接触的部位，说明石棉盘根是造成金属腐蚀的原因，在研究阀杆腐蚀的原因时，主要是研究石棉盘根引起腐蚀的原因和机理，其次是研究阀杆的选材和工艺。

经过长期大量试验研究后，认为电化学腐蚀是石棉盘根（石棉垫圈）对金属腐蚀的主要途径。阀杆腐蚀是多因素作用的腐蚀过程，与腐蚀有关的因素主要有以下几点。

（1）电化学腐蚀　天然石棉纤维表面粘附着大量钾、钠、镁的氯化物，在石棉制品加工和使用过程中常常接触氯化物，使石棉纤维中的氯化物含量大大地增加，这些氯化物易溶于水形成导电率良好的电介质溶液，为电化学腐蚀准备了良好的条件。同时，溶液中的氯离子能强烈地破坏碳钢和不锈钢的表面钝化膜，使金属产生局部的点腐蚀。

腐蚀金属的强烈程度与石棉制品中氯离子的含量成正比。

（2）石墨的腐蚀　石棉盘根表面涂有天然石墨，石墨的电阻为 $1375\times10^{-6}\Omega\cdot cm$，已经在某些程度上具有金属的性质，金属的电位较石墨的电位小，当石墨与金属接触时，又处于电介质溶液中时，石墨成为阴极，阳极的金属就产生腐蚀。

天然石墨中的有害杂质，特别是硫化铁等的存在，使金属腐蚀加剧。

（3）化学腐蚀　油浸石棉盘根中油脂的酸值，橡胶石棉盘根中游离硫的存在，聚四氟乙烯石棉盘根中聚四氟乙烯悬浮液的碱性物质等都会引起金属的化学腐蚀。

（4）缝隙腐蚀　石棉盘根与阀杆之间有距离不等的缝隙，当电介质渗入此缝隙内，由于缝隙和石棉盘根的密封作用，使阀杆与石棉盘根接触部位与外界大气隔绝，近于缺氧状态，那里的阀杆表面——金属钝化膜遭到破坏，成为阳极，而阀杆的其余部位成为阴极，金属就被腐蚀。

（5）金属材料　石棉盘根（垫圈）对不同的金属材料以及同一材料不同的表面处理，腐蚀程度相差悬殊。

针对石棉制品对金属产生腐蚀的几个原因，石棉制品厂采用以下几种方法来处理石棉盘根和石棉垫圈等制品，减少它对金属的腐蚀。

① 用蒸馏水或去离于水反复煮洗石棉线去除氯离子。此法虽然能取得显著的效果，但只能在某些特殊用途、数量较少的情况下应用，而量大面广的石棉盘根、石棉垫圈等一般不采用此法。

② 加入缓蚀剂和牺牲金属。在石棉制品中加入阳极性的缓蚀剂（例如亚硝酸钠）制成缓蚀液和缓蚀胶浆，使金属保持钝化状态，并结合使用阳极防护作用的牺牲金属（例如锌粉），经过这种办法处理的石棉制品不对金属产生腐蚀，此法对石棉制品厂有效而且可行的。

现以橡胶石棉盘根和油浸石棉盘根为例，简单介绍缓蚀型石棉盘根的工艺流程，示意图

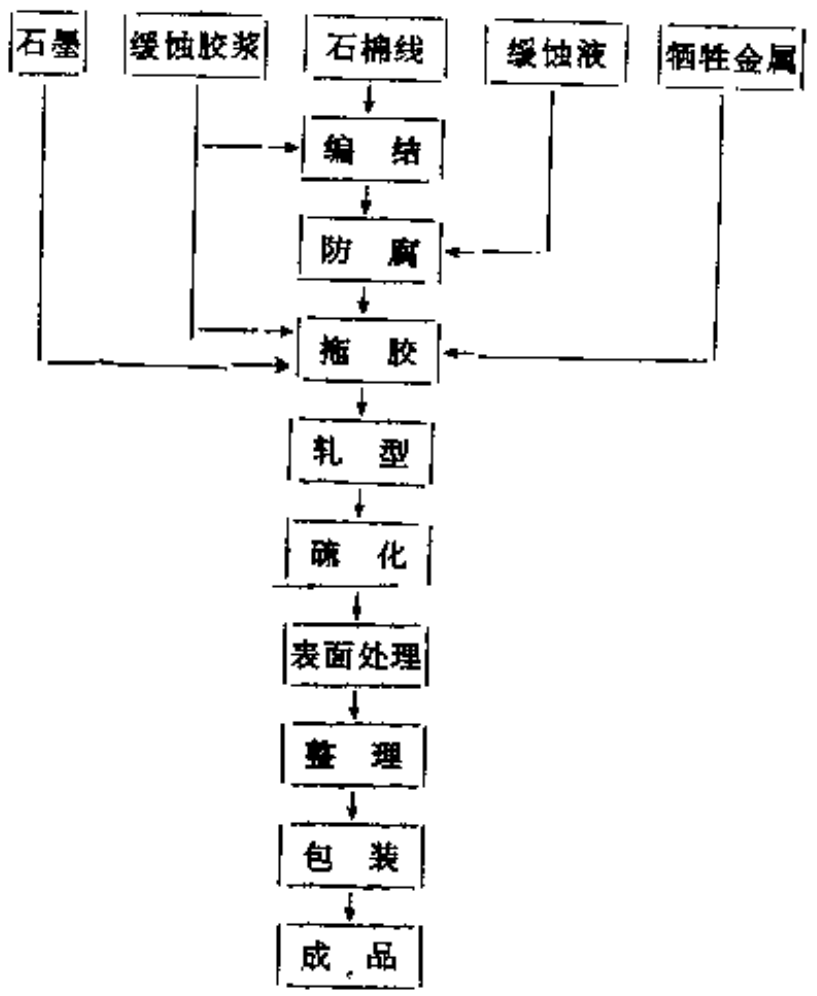


图 11-31　缓蚀型橡胶石棉盘根工艺流程示意图

见图11-31和图11-32。

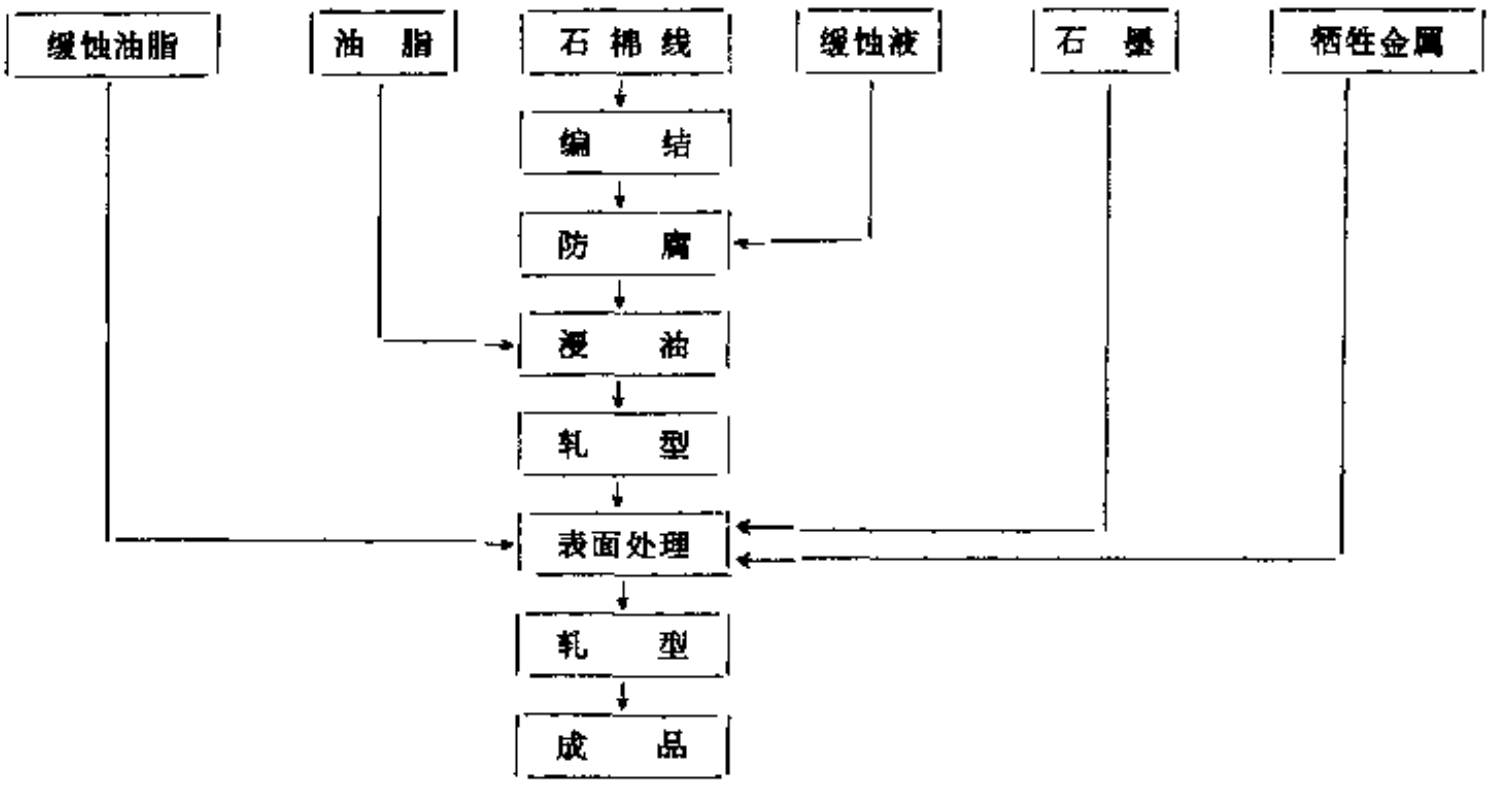


图 11-32　缓蚀型油浸石棉盘根工艺流程示意图

缓蚀型油脂类和橡胶类石棉垫圈的工艺流程可参照缓蚀型石棉盘根的工艺流程进行处理。

在生产盘根和垫圈的工艺过程中，选择合适的油脂，控制酸值，控制胶浆中硫的含量，注意操作工艺，减少游离硫的存在，选择优质石墨，或者将天然石墨酸洗处理，去除杂质，若以二硫化钼、云母粉等代替石墨，均能达到减弱阀杆腐蚀的目的。

对制造阀门的厂来说，有选择地挑选某些合金钢作阀杆材料及金属表面处理（如渗氮、渗硼等）都能减弱阀杆的腐蚀。

缓蚀型盘根（垫圈）不应对钢材（35号钢）产生腐蚀。腐蚀性试验装置及试验方法请参阅本节中的“波型垫圈”一段。

经大量的试验研究证明缓蚀型石棉盘根（垫圈）装在阀门之中，库存两年后阀杆不受腐蚀。缓蚀型石棉盘根（垫圈）长期保存后，仍能保持良好的密封性能和防腐蚀性能。

第二节　石棉橡胶制动制品

一、概　述

在交通运输工具（如各种机动车辆、船舰、飞机等）、工矿机械（如升降机、行车）及轻纺机械设备的制动器和离合器中大都使用着摩阻材料。目前使用的摩阻材料有以下几种：①石棉橡胶和树脂组成的材料；②铜基、铁基粉末冶金摩阻材料；③以金属材料为填料，高分子树脂及粘接剂构成的复合材料（由于金属材料占总量的一半，以上被称为半金属摩阻材料）；此外尚有以陶瓷、碳纤维及Kevler纤维等材料制成的摩阻材料。

由于石棉橡胶摩阻材料具有成本低、制造方便、有适当韧性、便于机械加工和安装、在使用中不易擦伤对偶以及噪音小和无火花等许多优点，因面长期以来得到普遍应用，至今仍为重要的石棉橡胶制品。

根据所使用的石棉材料形态，目前常见的石棉橡胶制动制品有 3 种：

① 石棉铜丝布浸渍或涂刮橡胶酚醛树脂混合胶浆制成的布质刹车带、布质刹车片及布质离合器面片；

② 以石棉铜丝线浸渍橡胶酚醛混合胶浆制成的线质刹车带、线质刹车片及线质离合器面片；

③ 为使用石棉绒、橡胶和酚醛树脂混合胶浆制成的绒质刹车带、绒质刹车片及绒质离合器面片。

二、摩阻材料的基本性能要求

橡胶石棉制动制品的使用面甚广，各种设备往往有些不同的要求。现以应用最多的汽车使用要求为例说明。

汽车行驶速度越快和重量越大，它所产生的能量也越大，这些量之间的关系可用下式表示：

$$E=\frac{9.81Gv^2}{2g} \tag{11-1}$$

式中 E——汽车的动能，J；

G——汽车的总重量，kg；

v——汽车的行驶速度，m/s；

g——重力加速度（9.81m/s²）。

由式（11-1）可见，汽车行驶速度的变化较重量变化对动能增大的影响要大得多。以一般客车为例，重量与速度变化对动能E的影响见表11-47。

表 11-47 汽车行驶速度和车重对动能的影响

汽车总重量	动能 E，J	
kg	$v=40$km/h	$v=80$km/h
2000	1.23×10^5	4.93×10^5
2400（载客）	1.47×10^5	5.91×10^5

汽车行驶时巨大的动能靠制动摩擦片压紧在制动鼓上而制动，发动机的能量靠离合器面片的接触将力传递到车轮。因此离合器面片和制动摩擦片都必须是摩阻性能很好的材料，它们除应具有适当的摩擦系数，一般应在0.30～0.60，还必须能承受摩擦时所产生的热量。因为离合器面片及制动摩擦片在车中的散热条件不好，温升现象严重，摩阻材料在高温条件下工作，会产生因摩擦面形成的热衰退现象，使摩擦系数降低。此外，由于使用频繁，应能耐磨损才能经久耐用。制动摩擦片及离合器面片目前大多数仍用铆合方法固定安装，因此要求能适应机械加工和装拆等工艺要求。所以它们自身必须具有良好的强度。

鼓式制动摩擦片的形状多为具有一定弧形的短带状物；离合器面片为环形圆片，它们的规格繁多，随车型而异，在使用时的互换性很小，因此在制造时要求工艺简便 。

三、主要原材料

石棉橡胶、制动制品主要原材料包括石棉铜丝线、石棉铜丝布、橡胶和酚醛树脂等。

（一）石棉铜丝线

石棉纺织制品一般多采用纤维蛇纹石石棉，石棉线中掺有少量的麻或棉纤维。掺用植物纤维的主要原因是因为石棉纤维表面光滑，摩擦力和抱合力不佳，并且石棉橡胶制动制品所用的石棉并不长，要将它单独纺成纱相当困难，当掺入植物纤维后，纺纱工艺就容易多了，同时又能对较短的石棉纤维加以利用。然而石棉制品的耐温程度随掺合植物纤维量的增加而

降低，石棉掺用棉纤维后对耐温程度的影响见表 11-48 。因而对耐热有较高要求的制品，在能满足纺织工艺要求的前提下，使用植物纤维的量不应太多。

表 11-48　石棉掺用棉纤维对耐温度的影响

级　别	棉花掺用量，%	耐温度，℃	烧失量，%	级　别	棉花掺用量，%	耐温度，℃	烧失量，%
商业级	21～25	200	<35	AA级	6～10	400	<23
保险级	16～20	250	<31	AAA级	2～5	500	<18
A　级	11～15	300	<27	AAAA级	0～1	550	<15

石棉线中使用的黄铜丝含铜65%，锌35%，制成的黄铜丝需经过退火处理，这种铜丝对钢铁摩擦不会产生刻痕现象，并且有较大的机械强度，其直径为 0.16～0.23mm。在制造摩阻制品的石棉线中加入黄铜丝，主要是为了利用铜丝的热传导作用，使经摩擦产生的热量由制动摩擦片中传递到制动鼓铁蹄上而散逸。另一方面也增强了制动摩擦片本身的强度，使它在加工安装使用过程中始终是完整的，不致破碎断裂。

制作线质制动制品所使用的石棉铜丝线由多根石棉纱与一根铜丝并合而成，常以 3 根石棉纱与 1 根钢丝并合，并合后线的直径约为2mm，其组成比约 为石 棉72%、铜丝15%、棉花13%。

（二）石棉铜丝布

石棉铜丝线在织布时由经轴退绕出来的经线受张力作用呈伸直状态，纬线亦以直线引入梭口，但是经线与纬线交织成布时，由于经纬线相互挤轧都会呈波浪形的屈曲状态，因此织布所用的经纬线的长度要比织成的布要长些。这个长度差就称为织布经纬线的收缩长度。收缩长度与经纬线长度的百分比即为经纬线缩率A，表示如式（11-2）：

$$A = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100\% \qquad (11\text{-}2)$$

式中　A——经纬线缩率，%；

L_1——织布耗用经纬线的长度；

L_2——织成布的长度。

经纬线缩率随织物结构而不同。石棉铜丝平纹组织的经线缩率约为11%，纬线收缩率为 3 %左右。

（三）酚醛树脂

在橡胶配方中使用酚醛树脂，其用途有 5 种：①橡胶用交联剂；②橡胶用补强剂；③合成橡胶用增粘剂；④橡胶胶粘剂用增粘剂；⑤橡胶工业制品骨架材料（合成纤维及无机纤维）表面处理用粘接剂。在石棉橡胶制动制品中，酚醛树脂的主要作用是补强和增粘。

1．酚醛树脂硫化橡胶

树脂硫化体系虽然早已发现，但直到近20多年才在橡胶工业上取得应用。A 阶型酚醛树脂借助于羟甲基而在橡胶分子之间形成交联。酚醛树脂硫化橡胶速度很慢，在工业生产上常在橡胶配方中加入金属氯化物如$SnCl \cdot 2H_2O$或$FeCl_3 \cdot 6H_2O$，有机氯化物如氯磺化聚乙烯等也可加速其反应。

几乎所有的不饱和生胶都能用烷基苯酚甲醛树脂硫化，可提高硫化胶的耐热性。丁苯橡

胶用树脂硫化与常规硫化胶料性能比较见表11-49。

表 11-49 丁苯橡胶树脂硫化与硫黄硫化性能

硫化体系	163℃硫化时间	定伸应力，MPa		拉伸强度	扯断伸长率	拉断永久变形
	min	100%	300%	MPa	%	%
硫黄（10份）	20	2.4	7.5	16	620	46
	45	4.7	—	20	292	20
	60	6.5	—	16.5	184	8
	90	6.5	—	16	152	6
101树脂（10份）	20	0.9	1.2	3.5	1056	172
	45	1.1	1.7	7.0	976	90
	60	2.0	6.0	20	660	20
	75	2.4	8.0	24	624	16
	90	2.5	8.5	23	585	13
硫黄（2份） 促进剂A_2(1.1份) ZnO（5份）	20	2.1	3.5	23.7	764	48
	45	2.7	8.7	25.5	640	32
	60	2.8	9.2	25.7	616	30
	90	2.9	9.3	26.3	600	31
101树脂（10份） $SnCl_2 \cdot 2H_2O$(1份)	20	2.2	5.3	16.8	660	20
	45	2.4	11.9	25.5	548	18
	60	3.5	12.0	25.5	540	18
	90	4.0	14.3	25.7	472	15

树脂硫化与硫黄丁腈橡胶硫化性能比较见表11-50。

表 11-50 树脂硫化与硫黄硫化性能比较

性能 \ 硫化体系	硫黄硫化	树脂硫化	性能 \ 硫化体系	硫黄硫化	树脂硫化
200%定伸应力，MPa	3.0	5.8	回弹性，%	34	26
拉伸强度，MPa	19.6	16.2	100℃耐热系数：		
扯断伸长率，%	725	400	按拉伸强度	0.76	0.82
扯断永久变形，%	20	8	按扯断伸长率	0.57	0.63
硬度（邵尔A）	61	68			

2．酚醛树脂对橡胶的补强作用

各种酚醛树脂对丁腈橡胶的补强作用各不相同，热固性A 阶酚醛树脂的补强效果比含六次甲基四胺的热塑性酚醛树脂小。与丁腈橡胶有良好相容性的烷基酚醛树脂不能补强丁腈橡胶，却是一种硫化剂和增粘剂。丁腈橡胶含40份不同品种酚醛树脂料胶的性能对比见表11-51。

含热塑性酚醛树脂100份的丁腈-40胶料中，固化剂六亚甲基四胺用量对硫化胶物理机械性能的影响如图11-33所示。每100份重量酚醛树脂使用六亚甲基四胺5～7.5重量份能得到较好的性能。

3．酚醛树脂改善合成橡胶的粘着性及粘度

成型粘着性是天然橡胶的表面特性，两片未硫化的天然橡胶胶片在适当加压接触后能很好地粘附，对橡胶制品的成型工艺极有好处，这是天然橡胶胶片之间特有的现象，而众多的

表 11-51 酚醛树脂补强丁腈橡胶的性能

性能 \ 树脂品种	热塑性酚醛树脂+六亚甲基四胺			热固性A阶树脂	
	苯酚甲醛树脂	甲基苯酚甲醛树脂	二甲苯酚甲醛树脂	苯酚甲醛树脂	甲基苯酚甲醛树脂
拉伸强度，MPa	18.7	15.8	19.2	12.1	8.8
拉断伸长率，%	390	410	378	512	329
拉断永久变形，%	25	24	30	8	18
撕裂强度，kN/m	72	52	66	23	54
磨耗，$cm^3/(kW\cdot h)$	131	133	183	183	252
脆性温度，℃	−26	−18	−20	−20	−23
硬度，（邵尔A）	90	88	94	60	82
耐油增重，(144h)，%					
汽　油	1.6	5.6	1.6	4.8	0.4
机　油	0.8	1.7	0.5	1.3	0.3

合成橡胶多不具备这种工艺性能，给加工造成困难，致使橡胶制品质量低劣。此外，有些合成橡胶在用开炼机炼胶时由于自粘性差而包辊不理想。除与天然橡胶并用外，改善其自粘性的重要措施是在胶料中使用天然树脂及其衍生物，如松香、萜烯类树脂以及合成松脂如石油树脂、古马隆-茚树脂、酚醛树脂等。

热塑性酚醛树脂是合成橡胶常用的增粘剂，其中烷基酚醛树脂作增粘剂使用时，烷基的碳原子数越多，并且呈异构形的树脂，对橡胶的相容性越大，增粘效果也越高。在丁苯橡胶、顺丁橡胶、三元乙丙橡胶、丁腈橡胶中加入5份热塑性酚醛树脂就会得到很好的成型粘着性，并且热塑性酚醛树脂还兼有增塑剂及软化剂的作用，对硫化胶的物理机械性能无不良影响。

对于含胶量低的胶料，例如石棉绒质刹车带，石棉及其它填充剂含量高，配方中软化剂用量很少，所以在炼胶及硫化时困难较大，而酚醛树脂在胶料中能起到增塑作用、便于胶料的混炼操作，在温度升高时胶料的门尼粘度下降。酚醛树脂含量不同的胶料在温度升高时门尼粘度下降的情况见 图 11-34。这样就可使胶料在充满模型所需的时间内保持粘流状态，不致产生缺料等弊病而能得到合格的制品。

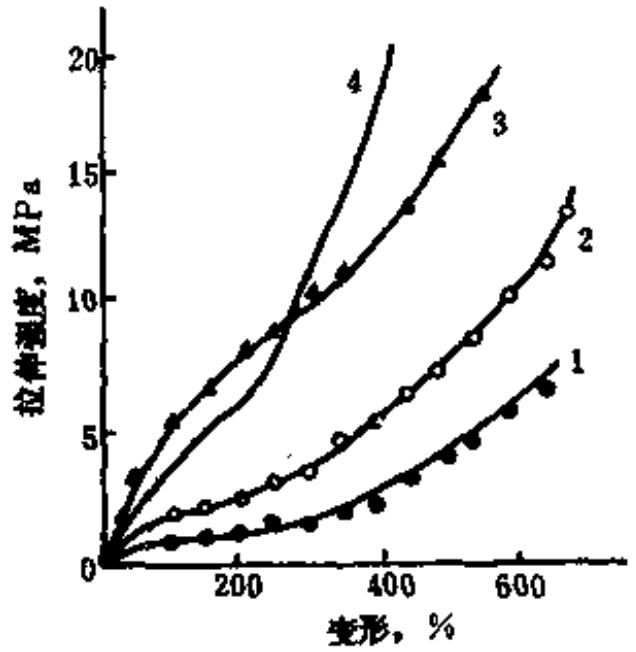


图 11-33 丁腈树脂硫化胶中六亚甲基四胺用量对性能影响

六亚甲基四胺用量（份）：1—0；2—2.5；3—7.5；4—10

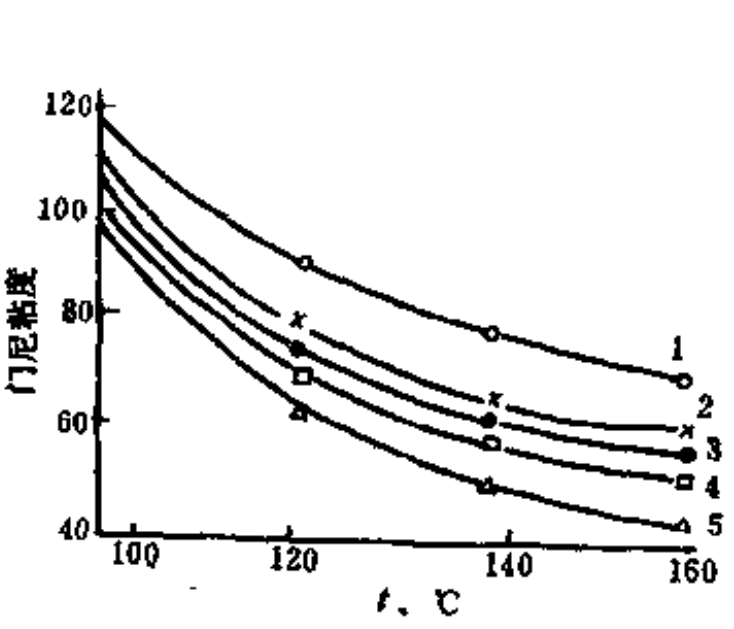


图 11-34 丁腈40胶料的门尼粘度与温度关系

酚醛树脂用量（份）：1—0；2—5；3—10；4—15；5—20

橡胶石棉制动制品要求高硬度、耐热及耐磨耗。提高橡胶硬度的方法有增加硫黄用量、大量填充活性填充补强剂及并用酚醛树脂等方法。使用高硫黄用量的硬质胶在高温下发软，大量的填充剂使胶料性能不佳，并用酚醛树脂是较理想的方法。

综前所述，酚醛树脂在橡胶配方中的作用对石棉橡胶制动制品都是有益的。这是由于橡胶与树脂的相互作用生成交联键，以及在弹性体母体中形成支链的树脂结构所致。许多研究工作证明，经硫化后在硫化胶中形成硫黄网络和树脂网络相互渗透，形成酚醛树脂对橡胶的补强。此外，在加工过程中对含胶量低的配方及含有合成橡胶的配方，酚醛树脂是良好的加工助剂；它对表面光滑的纤维又是良好的胶粘剂和粘接剂。橡胶、酚醛树脂和石棉经硫化之后就会形成高硬度、耐磨、耐热的复合材料。

四、配方与制造工艺

天然橡胶、丁苯橡胶及丁腈橡胶按橡胶工业常规操作工艺塑炼后，停放24 h 然后用开炼机进行混炼，混炼时，待塑炼胶包辊后，按配方加入各种配合剂，混炼时间在 30min左右，混炼完毕将胶料压成2.5～3mm的胶片，用切片机剪成小片。

胶料与溶剂汽油以1:1.25重量比，放入搅浆机中制备浓胶浆，搅拌4～5 h 后取出备用。在100份浓胶浆中加入溶剂汽油150份，搅拌均匀后制成稀胶浆。

制备橡胶树脂胶浆时，往往采用先将树脂溶解在溶剂中制成树脂溶液，然后再混入橡胶胶料胶浆中的方法。这是因为炼胶时若在胶料中同时加入树脂，容易产生粘辊，引起操作困难；另外在混炼时由于辊温及胶料温度升高，热固型酚醛树脂与胶料易产生焦烧，不能得到合格混炼胶。

使用线型热塑性酚醛树脂的胶料，在混炼时树脂根据其品种和用量可与胶料同时加入。对于填充剂较多的胶料有时树脂能起到软化作用，有助于混炼操作，固化剂-促进 剂 H 用量多时，混炼时需保持低温，并在混炼末期加入胶料，及早下片冷却。

（一）布质制动制品

布质制动制品，以布质刹车带为例，其配方举例如 表 11-52。布质制动制品工艺流程见图11-35。

表 11-52 布质刹车带配方举例

原材料名称	用量，重量份	原材料名称	用量，重量份	原材料名称	用量，重量份
石棉铜丝布	370	促进剂DM	1.3	硫酸钡	50
酚醛树脂	45	石油沥青	5.0	铁　黑	25
天然橡胶	50	氧化锌	9.8	酒　精	115
丁苯橡胶	50	硬脂酸	2.0	汽　油	460
防老剂D	1.9	硫黄粉	9.8		
促进剂D	0.4	陶　土	79		

1．胶布制备及成型

待浸过稀酚醛树脂液的石棉铜丝布干燥之后，在立式浸涂胶浆机中或者用刮胶机直接在石棉铜丝布上双面涂上橡胶-树脂胶浆，然后烘干或用压延机双面贴胶。将此胶布 按 所需规格尺寸折叠，通过轧型机轧合制成长条带胚。

2．预硫化定型

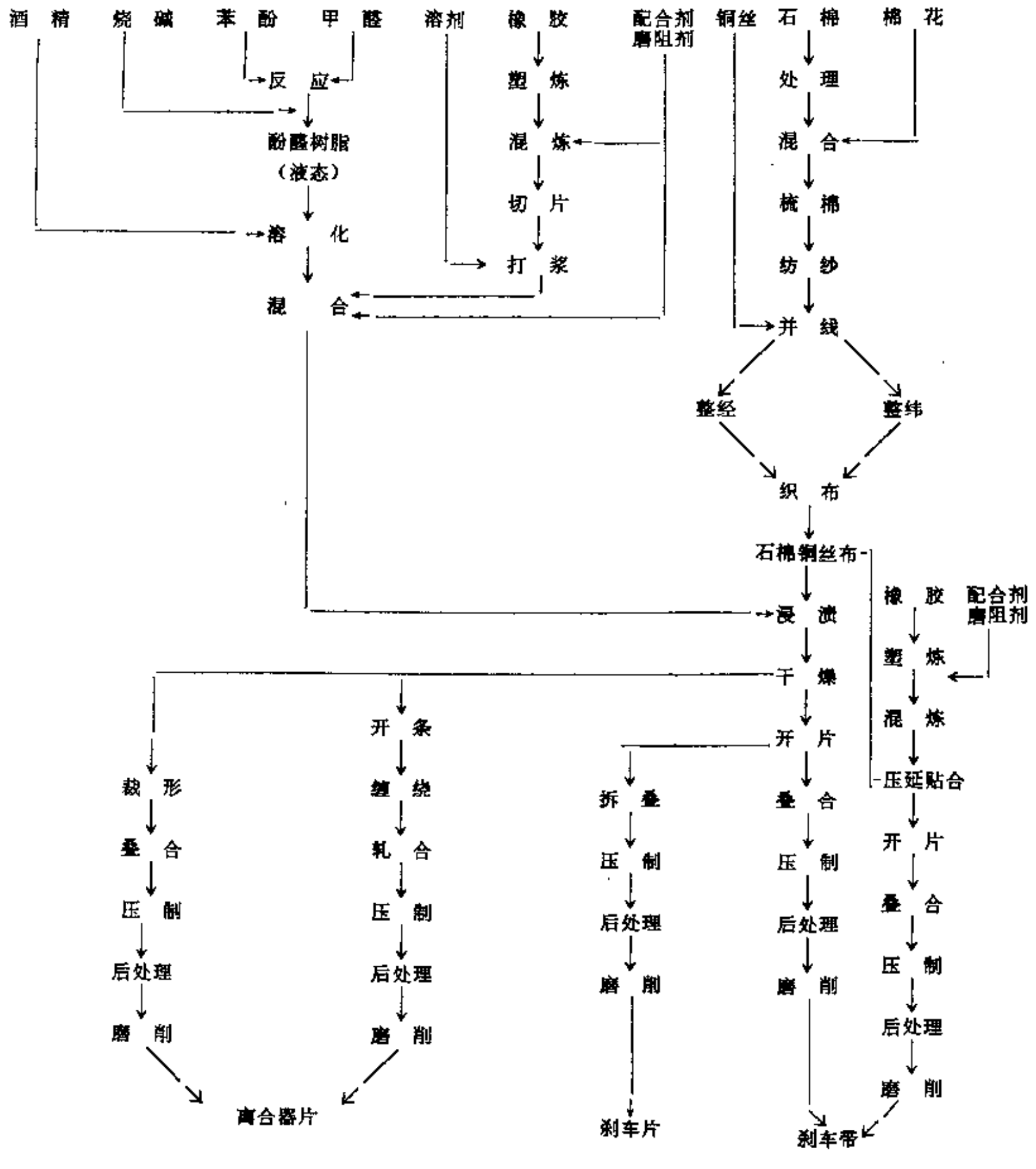


图 11-35　布质制动制品工艺流程图

半成品带胚放入钢制模具中用平板压力硫化机于160℃下预硫化定型 5min，要求每条制动摩擦带整体规格一致，一般比成品略厚，以留出机械磨削的余量。

3．硫化

预硫化定型后的带胚在硫化罐中用148～150℃直接蒸气硫化3.5h，使之硫化完全。

4．修整

为使制动摩擦片工作面平整，经硫化后的带胚用转速3000r/min 的专用磨床进行砂磨，先用粗碳化硅砂轮粗磨，然后用细砂轮磨至所需厚度，磨削时应注意不可将细铜丝磨断，最后用布盘抛光使平面呈露的铜丝出现花纹和光彩。磨削时产生的大量粉尘及臭味应用除尘装置排除。

（二）线质制动制品

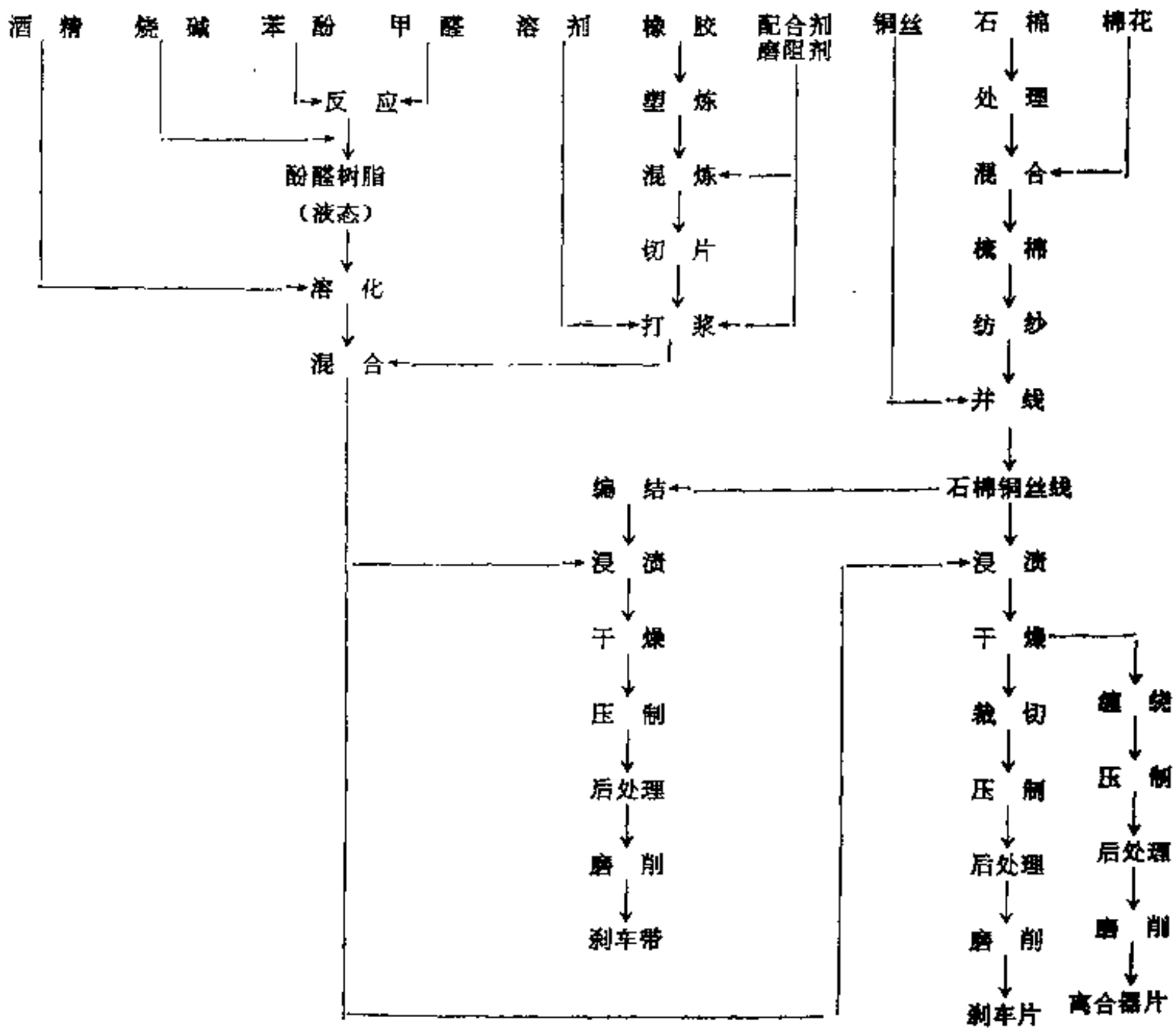


图 11-36　线质制动制品工艺流程图

线质制动制品所用的石棉铜丝线、橡胶-树脂胶浆配方和制作工艺等与布质制动制品基本相同。其生产流程见图11-36。

浸渍胶浆的石棉铜丝线，待干燥后切成 30mm 左右长短，或者待半干后在缠绕机上按一定轨迹绕制成胚；编结型刹车带则使用专用的石棉铜丝织带机编织成一定厚度和一定宽度的石棉铜丝带，再浸渍树脂-胶浆，待其充分干燥之后送入平板硫化机中，用模具压制硫化。为获得最佳使用性能，硫化后的制品尚需在高温鼓风热处理箱中进行后处理，最后用磨床两面磨平，使之达到规定尺寸。此时呈露出铜丝的光泽，需要有铆钉孔的部位在打孔机上钻出铆钉孔，最后一层层叠起来放在压力平板机中静置若干时间，使其稳定不再变形。

（三）绒质制动制品

绒质制动制品，俗称反白制动片。有的绒质制动制品可以不用铜丝而用石棉纤维、橡胶、酚醛树脂等材料制成，其制造工艺过程较石棉布质制动制品及线质制动制品简便些，绒质制动制品适用于小型汽车、摩托车及轻型的转动设备的制动、传动。

1．常规批量制造

常规不同用途的绒质制动制品有单用酚醛树脂与石棉及配合剂制造的，也有用天然橡胶、丁苯橡胶、丁腈橡胶等与酚醛树脂制造的。配方举例见表 11-53，制造工艺流程见图 11-37。

2．其它制造方法及工艺简述

绒质石棉制动制品，除上述常规批量生产的配方工艺方法外，还有一些其它制造方法，

表 11-53　绒质制动制品配方举例

单位：重量份

原材料名称	离合器片	刹 车 片	原材料名称	离合器片	刹 车 片
天然橡胶		12	酚醛树脂粉	65	22
丁苯橡胶		28	硫黄粉		3
橡胶粉	14		硫酸钡	21	45
促进剂M		0.8	长石粉		12
防老剂D		0.8	铜　丝	10	5
促进剂DM		0.6	涞沅五级石棉绒	62	
硬脂酸		0.5	五级石棉绒	62	100
硬脂酸锌	1.5		铁　红	5.5	
氧化铝		0.5	铁　黑	10	
氧化锌		5	铬铁矿粉	8	
促进剂H	7	2			

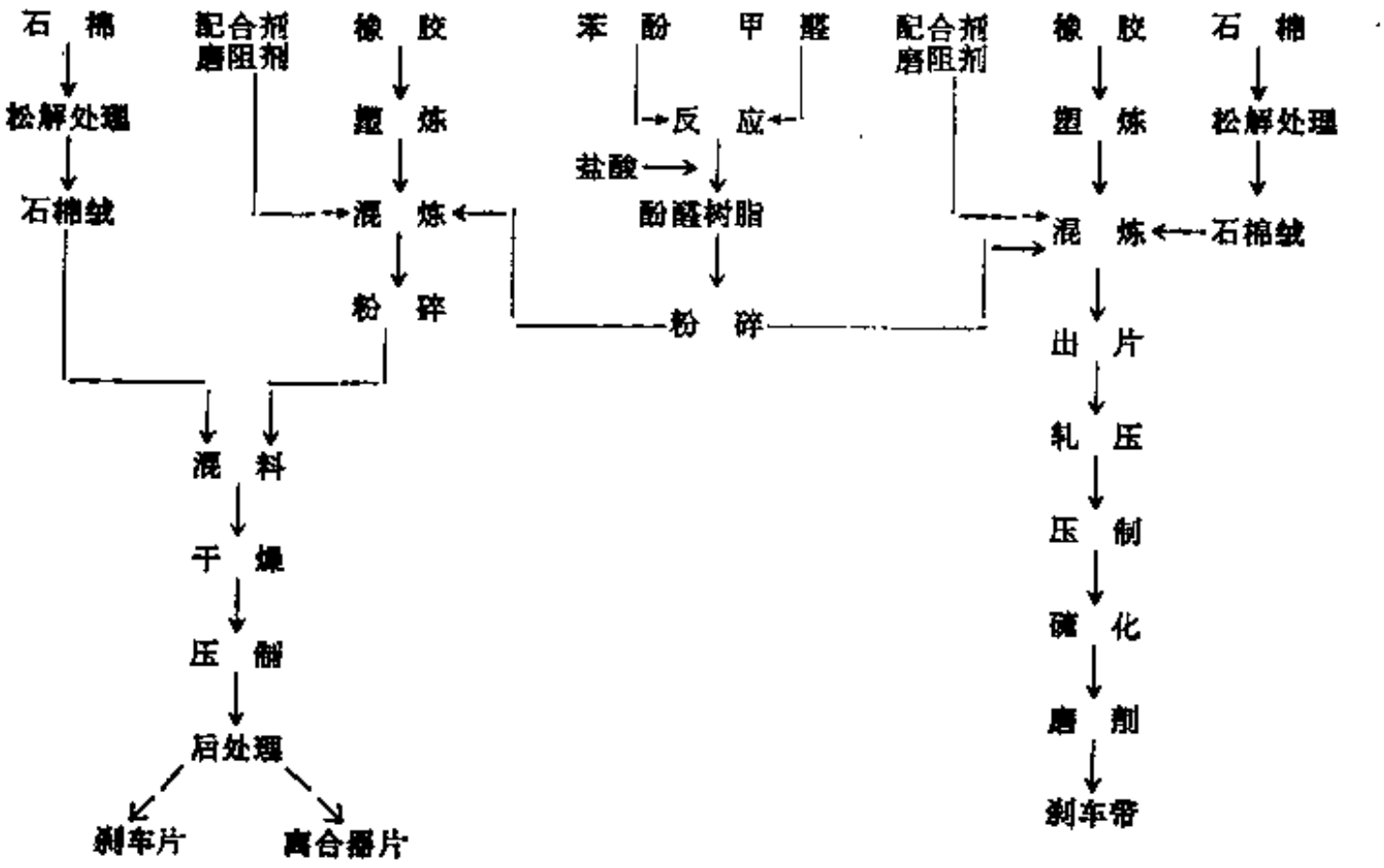


图 11-37　绒质制动制品工艺流程图

（橡胶可以用橡胶粉代）

根据所用材料可分为：用胶泥或干胶制造；用胶乳制造；用粉末橡胶制造。

（1）用胶泥制造　使用浓胶浆、酚醛树脂胶浆和适量的高岭土调和后，加入松散的蛇纹石棉纤维进行搅拌，使胶浆与石棉纤维成为一种面团状的混合物，这种混合物由压出机挤出成带状的胶胚，见图11-38。待干燥后，再将挤出物放入模型，用平板硫化机在模型中硫化。

（2）用胶乳制造　利用抄纸方法用胶乳制造石棉橡胶制动制品，并不需要很长的石棉纤维，为使石棉纤维能很好地分散在水中，需用Hollander搅浆机，其示意结构见图 11-39。将松散的石棉纤维悬浮于水中，放入搅浆机内，由于辊刀的转动使石棉纤维充分松解，然后按表 11-54 配方，加入各种经球磨或胶体磨磨细的填充料，以及酚醛树脂水分散体经辊刀的传动使混合物通过搅浆机的凸形部分，绕过隔板回流，再经辊刀，混合物在搅浆机中循环流动，使填充料均匀分散在石棉悬浮体中，并逐渐被吸附在石棉纤维上，再将配合胶乳稀释至2％左右，然后按15％左右的重量比加入到分散的石棉填料浆中。石棉有使胶乳凝固的倾向，其原因可能是由于石棉纤维带有正电荷或是由于石棉纤维中含有水溶性盐类之故。此时

悬浮体稠化出现清澈的水，表明橡胶树脂及填料都凝固在石棉纤维上，经彻底混合后将石棉混合物移出并稀释至总固体含量为3%左右。用抄纸机制成各种不同厚度的半成品，经抄纸机卷纸辊压去其中大部分水分，将此湿胶片送入80℃左右的干燥室，经6 h干燥，裁成比所需尺寸大3mm的半成品，放入平板硫化机用模型加压硫化，最后得到所需规格的产品。

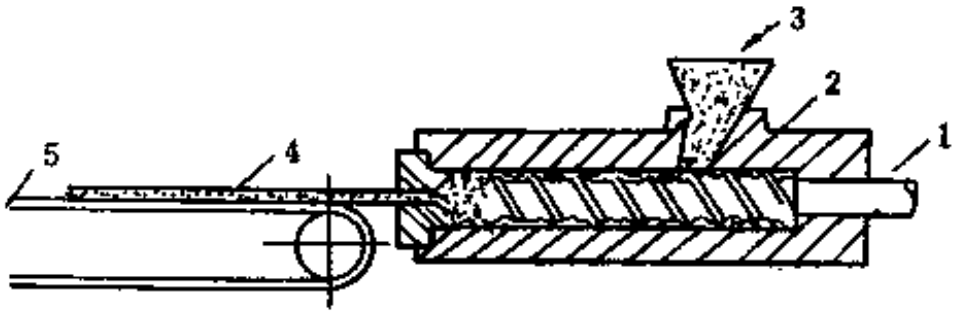


图 11-38　挤出装备示意图

1—传动轴；2—螺杆；3—加料口；4—挤出物；5—传送带

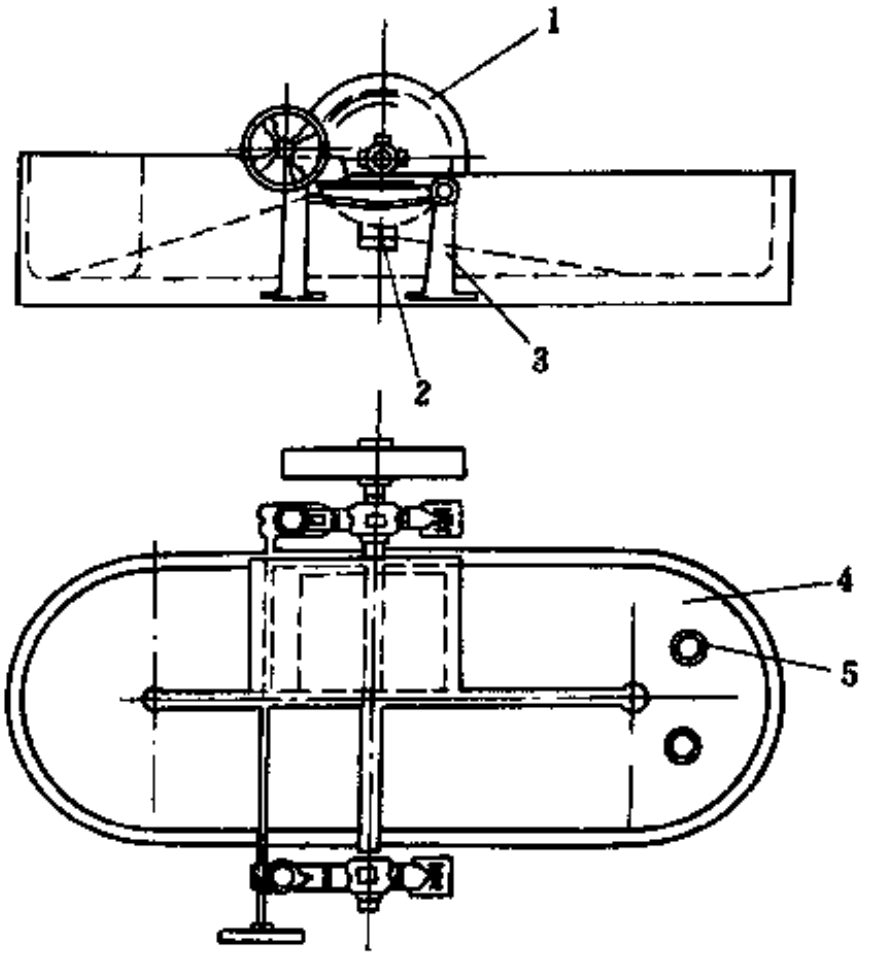


图 11-39　Hollander搅浆机

1—辊刀；2—底刀；3—升降架；4—浆槽；5—浆辊

表 11-54　石棉胶乳制动制品配方举例

组分 \ 类型	黑色	浅棕色	组分 \ 类型	黑色	浅棕色
石棉纤维	270	220	石墨	2	2.6
胶乳（固形物计）	40	40	氧化铅	—	6.5
硫黄	11	10	铅粉	—	2.5
炭黑	7	—	酚醛树脂	15	15
氧化锌	8	6.5			

注：硫化条件为：第一次硫化：温度177℃　时间5min　压力35MPa；
第二次硫化：温度177℃　时间5min　压力28MPa。

（3）用粉末橡胶制造　在密炼机中加入各种橡胶配方组分，用传统方法制备石棉橡胶混炼胶时往往石棉会在胶料中结团分散不够均匀，因此所制得的石棉橡胶摩擦片的性能时有波动。

采用粉末橡胶制造时，使用高转速低剪切力的混和机（如图11-40），它有一套位于圆筒形混和室底部的混和桨叶，转速可达4000r/min，混和室内的湍流情况及混和动作可以调节，其流动方向如图中箭头所示。在投料时，配合粉剂及石棉纤维先行加入搅拌，然后才加入粉末橡胶及粉末状酚醛树脂，这时配合填充剂通过混合机桨叶机械搅拌作用迅速地包覆粉末橡胶粒子。若先加粉末橡胶则它可能会附聚在桨叶表面，导致填充剂分散较差，一般增塑剂等液状配合剂常在最后加入，待全部配方组分加完后，尚须搅拌一段时间，并使搅拌转速逐渐提高到3000～3500r/min。

由混和机卸出的胶料用开炼机或密炼机短时间补充加工即可制成胚料，也可不经炼胶机补充加工而直接喂入强剪切力的压出机挤出胚料，供连续硫化或用平板硫化机模压硫化。使用

粉末橡胶制造的石棉橡胶，由于石棉与橡胶分散均匀，它的物理机械性能比用传统方法制成的要稳定，一些主要物理机械性能比较见图11-41。

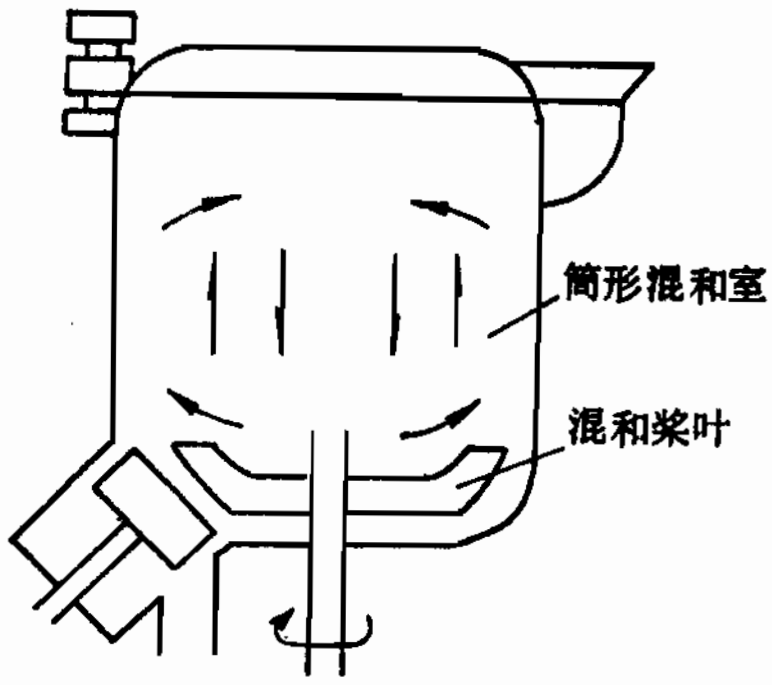


图 11-40 高速混和机示意图

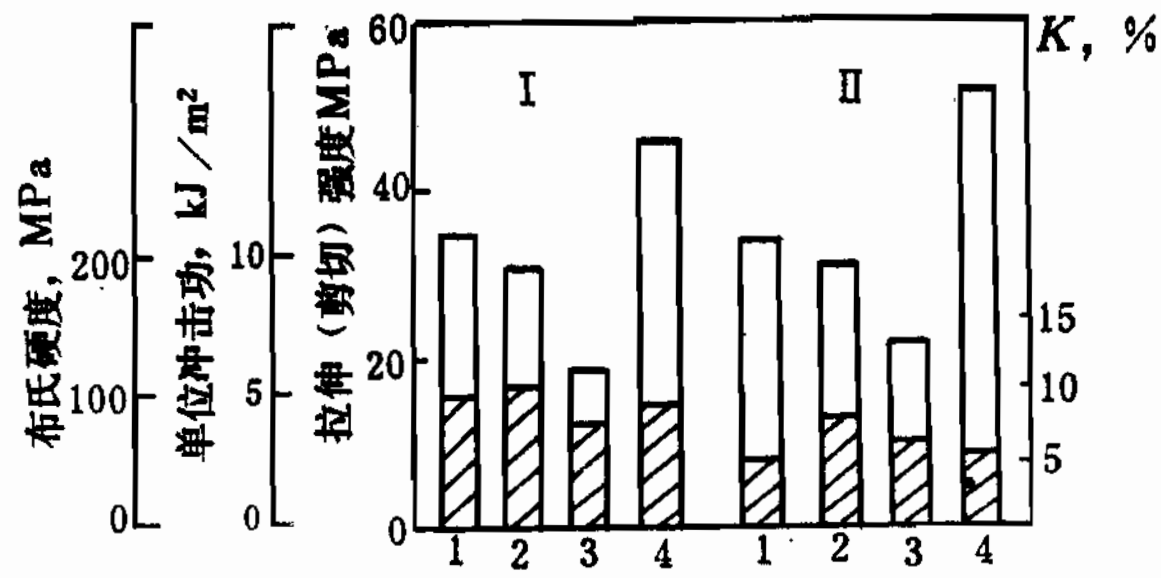


图 11-41 传统胶料Ⅰ与粉末胶料Ⅱ物理性能对比

K—变动率

1—布氏硬度；2—单位冲击功；3—拉伸强度；4—剪切强度

在实际行驶试验中，用粉末丁腈橡胶制成的石棉橡胶制动制品在常温和300℃下试验都有较佳的摩擦性能，比常规方法制成的要提高10%。

五、标　　准

石棉制动制品标准，目前国内有两个国家标准和一个专业标准：汽车用制动器衬片〔GB5763—86,GBn257—86（补充标准）〕;汽车用离合器面片〔GB5764—86,GBn258—86(补充标准）〕和刹车带（建标48—61）。

（一）汽车用制动器衬片

1．按特性分类

1类：软质（普通编织制品及其类似制品）。

2类：半软质（软质模压制品及其类似制品）。

3类：硬质（特殊加工编织制品、模压制品、半模压制品、半金属模压制品及其类似制品）。

2．按用途分类

1号A：特轻负荷用（主要用于中央制动器等）。

1号B：特轻负荷用（主要用于停车制动器，包括盘式制动器等）。

2号：轻负荷用（主要用于轿车等）。

3号：中负荷用（主要用于轻、中型载货汽车等）。

4号A：重负荷用（主要用于重、中型载货汽车等）。

4号B：重负荷用（主要用于盘式制动器等）。

3．主要技术要求

（1）摩擦系数（μ）　是指摩擦对偶表面之间发生相对运动时的摩擦力（f）与加在试片上的法向力（F）之比值。其值（μ）应符合表11-55的规定。

（2）指定摩擦系数的允许偏差（$\Delta\mu$）　是指制动器衬片经供需双方确认的摩擦系数指定值与其实际测定值的偏差。指定摩擦系数的允许偏差（$\Delta\mu$）应符合表11-56的规定。

（3）磨损率（V）是指体积磨损量与摩擦力（f）、摩擦距离（m）相乘积之比值。

表 11-55 摩擦系数（μ）规定值

分类		圆盘摩擦面温度，℃					
特性	用途	100	150	200	250	300	350
1类	1号A	0.30～0.60	0.25～0.60	—	—	—	—
	1号B	0.30～0.60	0.30～0.60	0.25～0.60	—	—	—
2类	2号	0.30～0.60	0.30～0.60	0.25～0.60	0.25～0.60	—	—
	3号	0.30～0.60	0.30～0.60	0.30～0.60	0.25～0.60	—	—
3类	4号A	0.30～0.60	0.30～0.60	0.30～0.60	0.25～0.60	0.25～0.60	
	4号B	0.30～0.60	0.25～0.60	0.30～0.60	0.30～0.60	0.25～0.60	0.25～0.60

表 11-56 指定摩擦系数允许偏差（$\Delta\mu$）

分类		圆盘摩擦面温度，℃					
特性	用途	100	150	200	250	300	350
1类	1号A	±0.10	—	—	—	—	—
	1号B	±0.10	±0.12	—	—	—	—
2类	2号	±0.08	±0.10	±0.12	—	—	—
	3号	±0.08	±0.10	±0.12	—	—	—
3类	4号A	±0.08	±0.10	±0.12	±0.12	—	—
	4号B	±0.08	±0.10	±0.12	±0.12	—	—

磨损率（V）应符合表11-57的规定。

表 11-57 磨损率（V）规定值①（$10^{-7}cm^3/N\cdot m$）

分类		圆盘摩擦面温度，℃					
特性	用途	100	150	200	250	300	350
1类	1号A	0.61	0.92				
	1号B	0.61	1.22	2.50			
2类	2号	0.31	0.46	0.71	1.42		
	3号	0.31	0.46	0.71	1.43		
3类	4号A	0.31	0.46	0.71	1.43	2.50	
	4号B	0.31	0.46	0.71	1.43	2.50	5.00

① 磨损率不允许为负值。

（4）冲击强度（P）在冲击负荷下材料破坏时所消耗的功与试样横截面积之比值。2类和3类的冲击强度应≥0.294J/cm²。

4．外观

不允许有起泡、裂缝、分层、凸起等缺陷。

（二）汽车用离合器面片

1．主要技术要求

（1）摩擦系数及指定摩擦系数的允许偏差应符合表11-58的规定。

（2）磨损率应符合表11-59的规定。

表 11-58 摩擦系数及指定摩擦系数的允许偏差值定值

试验温度，℃	100	150	200	250
摩擦系数 (μ)	0.30～0.60	0.30～0.60	0.25～0.60	0.25～0.60
指定摩擦系数的允许偏差(Δμ)	±0.08	±0.10		

表 11-59 磨损率规定值

试验温度，℃	100	150	200	250
磨损率，$10^{-7}cm^3/N\cdot m$	0.51	0.61	0.82	1.02

（3）弯曲强度 在弯曲试验过程中，试片在断裂时承受的最大正应力，以最大弯距与弯曲截面模量之比值来表示。弯曲强度σ规定值的允许范围应≥24.5N/mm²。

（4）最大应变 在弯曲试验过程中，试片断裂瞬间，试片跨度中心的最大外层纤维单位长度的长度变化，即最大应变值应≥6.0×10^{-3}mm/mm。

2．外观

离合器面片表面在加工后应平整，不允许有起泡、龟裂、油污、凹凸、翘曲和扭曲等影响使用的缺陷。

（三）石棉刹车带

石棉刹车带分石棉树脂刹车带、石棉橡胶刹车带和石棉浸油刹车带 3 个品种。

1．主要技术要求

（1）摩擦系数 应符合表11-60的规定。

（2）摩擦损耗 应符合表11-61的规定。

表 11-60 摩擦系数规定值

品　　种	摩擦系数
石棉树脂刹车带	≥0.42
石棉浸油刹车带	≥0.42
石棉橡胶刹车带	≥0.50

表 11-61 摩擦损耗规定值

品　　种	摩擦损耗，mm/h
石棉树脂刹车带	≤0.10
石棉浸油刹车带	≤0.15
石棉橡胶刹车带	≤0.15

（3）吸水率和吸油率 石棉刹车带浸置在室温下的水中或10号润滑油中，重量增加应符合表11-62的规定。

表 11-62 吸水率和吸油率规定值

浸水或浸油	厚度 mm	石棉树脂刹车带	石棉橡胶刹车带	石棉浸油刹车带
浸水 18h后	<6	17	10	5
	≥6	20	15	7
浸油 18h后	<6	15	20	5
	≥6	18	25	7

2．外观

磨面刹车带不允许有未磨到的地方。刹车带表面应平坦无鼓起、裂断及分层处。

第三节　软木橡胶制品

一、概　　述

软木橡胶制品，国际上在50年代就进行了研究、试制，到60年代即进入产品化。世界许多国家都有软木橡胶（cork—rubber）专利及各种应用产品的标准。按软木橡胶，应用范围大致分为抗振和耐油密封，分别用于建筑、航空、汽车等工业部门。

我国的软木制品，一小部分以地中海沿岸的葡萄牙、西班牙、摩洛哥、阿尔及利亚等地的进口栓皮为原料，大部分以国产栓皮为原料，经过粉碎，净化，然后重新胶合制成，用于保温和气体密封等方面。

我国软木制品已有较长的生产历史，但一般都用动物胶——骨胶、酪素、皮胶、血胶或栓皮本身所含的木素，树脂作为胶粘剂。在粘接强度、产品的柔韧性、耐用性和耐屈挠性等方面往往满足不了实际使用的要求，限制了使用范围。1965年，开始用天然橡胶、合成橡胶等代替原来的蛋白胶，改进了软木制品的性能，扩大了用途。为我国软木橡胶制品的研究和生产创造了良好的开端。

我国软木橡胶制品经过20多年的发展，现在已经有用于混凝土轨枕及轨枕板、整体道床、整体道岔、无碴枕桥梁等铁路线上的软木橡胶缓冲绝缘垫；书报铅印用的LS-201轮转机的弹性软木橡胶衬垫；汽车发动机油缸、正时齿轮、油底壳及内燃机油封的耐油密封软木橡胶衬垫；有用于摩擦传动、制动的工业缝纫机及曲轴磨床用的软木橡胶摩擦片；有用于气动仪表的软木橡胶气密切换开关片；有用于建筑物内部的缓冲隔音垫层等几大类产品。目前逐渐在代替以蛋白胶为胶粘剂的软木制品。

二、栓皮的性能及加工处理

1．栓皮

软木主要来源于槲斗科栓皮栎的树皮。由木质细胞木栓化后形成，但只有“木栓层厚，质地优良”的才有实用价值。树干部、枝条上生长栓皮的树种很多，主要有栓皮栎、栓皮榆、黄蘗，栓皮冷杉等。在我国大面积分布的有栓皮栎和黄波萝。

2．栓皮的理化性能

栓皮的密度特别小，一般为0.2～0.25g/cm³。栓皮细胞中充满空气，是热的不良导体，其导热系数在0.44～0.76×10^{-3}W/(m²·℃) 左右。国产栓皮的抗压指数为3.2～3.3MPa。在测定抗压指数时，解除后压力，栓皮有恢复原形的能力，短时恢复率为80%以上，除去压力后15min可以恢复到原来厚度的90%，24h之后可以恢复到原厚度的95%。栓皮还有良好的吸音、隔音性能。

栓皮的化学成分大致包括水分、灰分、单宁及多种有机物质。栓皮一般含水率在7～8%。灰分含量在0.5～1.5%，单宁含量在1～35%范围之中。栓皮中的有机物质分为硫酯提取物（其量为7.2%左右，呈蜡状）和木栓质。木栓质是有机酸的混合物，分为溶于水和不溶于水两类。国产栓皮木栓质含量为38～40%，其中不溶于水的木栓质含量为35%左右，溶于水的为3.5～4%。除上述成分之外，很难溶于普通溶剂的还有木纤维素，含量约为34%左右。

解剖栓皮可知它由细胞堆砌而成，空隙多，细胞尺寸大约在23×32×1.1μmp。细胞是

表 11-63 栓皮等级与夹砂空隙

栓皮等级	上等	一 等	二 等	三 等
夹砂空隙，%	3.0～5.0	6.0～7.9	8.0～10.9	11.0～13.9

棱柱状的多面体。细胞腔体积越大，细胞壁越薄，则栓皮的密度越小，抗压指数也越小，其商品性质也愈好。

栓皮质量的重要标志之一是栓皮中所含夹砂的多少。夹砂是指栓皮层中经常具有的深黄色夹杂物——皮乳，它呈沟状排列与年轮垂直。国产栓皮的夹砂含量不超过5～10%的范围。栓皮等级与夹砂空隙百分比的关系见表11-63。

3．栓皮的加工处理

国产栓皆系自然生长，栓皮较薄，内含一定量的杂质和夹砂，必需预先加工成颗粒，去掉杂质，然后才能有效地利用。

（1）栓皮加工的工艺流程　栓皮加工的工艺流程示意见图11-42。

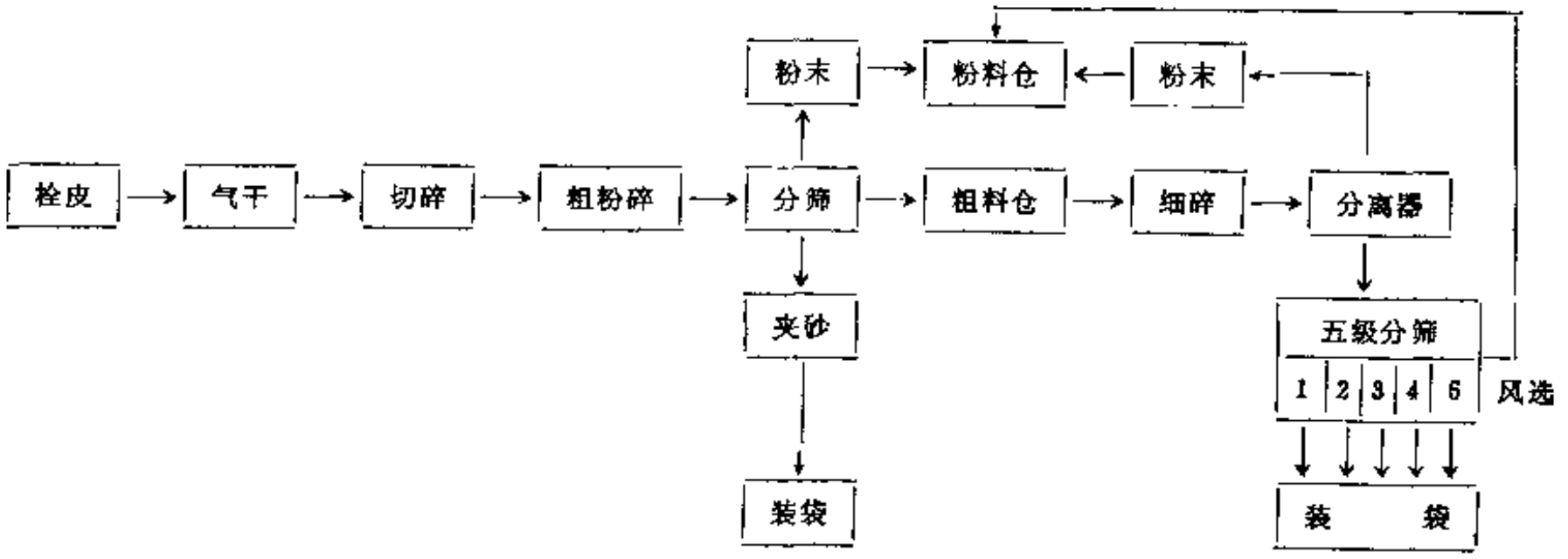


图 11-42　栓皮加工流程图

（2）国产栓皮粒子的分级　国产栓皮粒子的分级如表11-64所示。

表 11-64　国产栓皮粒子分级

工厂俗称	级号	粒度，过目/in
普通	1号	8～14
	2号	14～20
圆细（中细）	3号	20～30
	4号	30～40
圆细	5号	40～50
超细	超细	50～100
特细	特细	100

三、软木橡胶制品制造过程的特点

软木橡胶制品的工艺和配方等，与一般橡胶制品不同，现分述如下。

（一）软木橡胶制品的配合特性

在天然橡胶或合成橡胶中掺入粒状软木以后，胶料正硫化点推迟，达到正硫化时间延长。因此，在橡胶中掺入一定量软木以后，要达到同样的硫化结果则要求增加配合剂用量。在软木与橡胶的配合中，如果软木与橡胶的重量比在100/100以下时，软木橡胶制品主要体现橡胶制品的性能，还可以用衡量橡胶制品的一些指标来衡量。当软木与橡胶的重量比超过100/100，达到150/100时，制品主要体现软木性能，其机械强度较低（抗压除外），用橡胶制品的一些性能指标来衡量软木橡胶制品就不恰当，用抗张积难以衡量正硫化点。

（二）软木橡胶制品的工艺特性

软木橡胶胶料的混炼工艺与橡胶制品胶料混炼基本相同。由于软木呈多孔状，密度小，单位重量的容积近乎橡胶的 4 ～ 5 倍，因此其混炼、硫化以及模压工艺过程都有一些特点。

1．混炼过程中的加料顺序

软木密度小，体积大，同橡胶混炼的过程中应先加细料，后加粗料，混合均匀再加软木，混合均匀。若发生粘辊可加入少量软木。较难操作的氯丁橡胶在制作软木橡胶制品时反显得是比较合适的胶种。

2．混炼和压片过程中的辊温控制

软木与橡胶的配比小于100/100时，混炼和压片过程比较顺利，可以按普通橡胶制品的操作方法来控制辊温。当软木与橡胶的比大于100/100时，在混炼和压片过程中易产生脱辊和“脱皮”，给操作带来困难。必须控制适当辊温。

一般要求前后两辊都开足冷水，在加细料时，使胶包在后辊上，后辊的冷却水大于前辊。后辊被胶层包复轧炼产生的热不易散发使辊温升高，待细料加完后辊温超过前辊，胶层包向前辊，加入软木，混炼均匀。即细料在后辊上加，软木在前辊上加入，后辊冷却水大于前辊，尽量使辊温降低。

压片时，使混炼胶包在后辊上并开足冷水。前辊在开车前略通蒸汽以加热，使前辊辊温超过后辊 8 ～10℃。这时加料，放大辊距到所要求的厚度，混炼胶的表面有一层溢胶（因受热而使胶溢出），表面光滑。如果发生溢胶层与软木橡胶发生分离时—“脱皮”表明前辊辊温太低，要略通蒸汽加热。

3．软木橡胶模压制品的成型工艺

橡胶与软木混炼之后，改变了橡胶的流动性和不可压缩性。当软木与橡胶的比大于150/100时，混炼胶受热时流动性大幅度减少，可压缩性大幅度增加。软木用量越多则流动性越差，可压缩性越大。因此，软木橡胶制品成型时就一定要考虑投料量和压缩比。

在配方和原材料确定以后，可以测出该配方未加软木的硫化胶的密度。同时，根据制品的外形尺寸可以算出其体积V。一般粒状软木的密度为0.25，我们设n为压缩后软木体积（亦即成型后软木体积）与软木在成型前的体积之比，一般n根据制品可压缩的要求取0.4～0.7。这样，就可计算某一配方，某一制品，在一定压缩比n确定之后的理论投料量G。

$$G = V\frac{(1+t)\cdot S\cdot S_1}{S_1 + t\cdot S\cdot n}$$

式中　t ——软木与橡胶的重量比，1；

V ——制品的外形体积，cm^3；

S ——加软木前的橡胶硫化后的密度，g/cm^3；

S_1——粒状软木的密度，一般取0.25g/cm³；

n——一般根据需要取0.4～0.7。

四、软木橡胶制品的特性

软木具有许多特性，诸如：对溶剂、液体的稳定性，结构的多孔性带来的可压缩性等。加入橡胶后，制品本身也就具备这些特性。

1．软木橡胶的可压缩性

软木的微观组织由充满空气的细胞构成，掺入橡胶，经过硫化之后就象在橡胶中掺进了许多天然微泡，使得制品受压力时就会产生体积变化，当压力解除后，体积就恢复，这样，就起到缓冲作用。

取两块厚度为7mm的软木橡胶垫和纯橡胶垫，施加同样的压力，在受压方向变形相近的情况下，它们的侧向变形量如表11-65所示。

表 11-65 软木橡胶垫和纯橡胶垫的侧向变形量(mm)

试样 \ 荷载，t	1.0	4.0	8.0	12.0	16.0	20.0
表面有7条沟槽橡胶垫	1.08	1.26	3.64	4.83	7.02	10.21
软木橡胶垫表面无沟槽	0	0.13	0.107	1.46	1.83	2.07

其中7mm厚的纯橡胶垫表面有7条3mm×2mm的沟槽，以增加压缩变形，减少侧向变形。软木橡胶垫表面无沟槽。

2．软木橡胶的耐油性

软木与油类基本不发生反应，因此软木掺入橡胶之后，改善了橡胶的耐油性。软木橡胶制品浸油之后有一定的增重、增厚，但制品的尺寸稳定性好。用这种材料所制的耐油密封垫可反复使用。

软木橡胶制品耐油性数据举例（体积膨胀%及重量增加%）如表11-66所示。

表11-66中胶料基本配方(重量份)：丁腈橡胶-41 100，防老剂D 1，防老剂A 1，促进剂TMTD 1.2，促进剂DM 1，硫黄 2.5，白炭黑 20，氧化锌 5，石蜡 1.5，软木(100目/in) 150。

表 11-66 软木橡胶耐油性能

介质类型		80℃浸24h	80℃浸72h	备注
变压器油	体积膨胀，%	5.210	5.16	3个试样平均值
	增重，%	4.975	4.8	3个试样平均值
20号机油	体积膨胀，%	1.427	2.06	3个试样平均值
	增重，%	1.390	1.189	3个试样平均值

工艺：丁腈橡胶采用两段塑炼，每段20min，停放8h后混炼。

硫化条件：153℃×20MPa×30min。

3．软木橡胶的声学性能

软木橡胶是使用多年的一种声去耦材料，至今在常压或低压条件下仍在使用。

软木橡胶中软木粉颗粒大小对声学性能的影响如表11-67所示。

在同一配方中，由于软木橡胶的可压缩性，同样模腔填胶量不同时制品的密度不同，声学性能也有所不同，见表11-68所示。

表 11-37 软木粉颗粒对声学性能的影响

项目 \ 粒度，目	60	30	20
声速C，m/s	288	256	232
衰减常数α，dB/cm	2.1	1.6	1.1

表 11-38 不同密度软木橡胶的声学性能

项目 \ 密度	0.76	0.86	0.97
声速C，m/s	192	224	352
衰减常数α，dB/cm	3.3	2.46	2.18

4．软木橡胶的基本物理机械性能

（1）软木橡胶的拉伸强度　在粒状软木颗粒度相同和软木用量为10～80份条件下橡胶硫化胶强度随着软木用量的增加而下降；当软木用量为80～200份时，拉伸强度随软 木用 量增加而变化不大。当软木用量超过200份时，强度略呈下降，这时制品主要体现软木性能。

如果橡胶中的软木用量相同，粒度不同，则粒子越粗，拉伸强度下降越大。

（2）软木橡胶的硬度　掺入橡胶中的软木份数越多，所制成的制品硬度越大，若用量相同，则掺入的粒子越细，所制成的制品的硬度越高。

（3）软木橡胶的扯断伸长率及永久变形　橡胶中软木用量越多，所制成试片的扯断伸长率越小；若掺用量相同，则软木的粒子越粗，所制成试片的扯断伸长率越小；软木用量小于50份时，试片的永久变形在 4 到 8 之间；当用量大于50份，小子150份时，永久 变 形在 2 左右；当软木用量大于150份时，试片的永久变形仅为 1 。

五、软木橡胶制品的主要品种和性能

目前，国内软木橡胶制品大概有 5 ～ 6 类制品，主要用于防震、耐油密封、力矩传递等方面。

（一）缓冲绝缘垫

1．缓冲绝缘垫的结构

铁路线上，软木橡胶垫的应用场合有混凝土轨枕垫及软枕板；混凝土整体道床，道叉；无碴枕预应力钢混凝土桥梁的上部线路及桥梁支座等。其外形尺寸或形式虽然品种多样，但其所用材料、基本结构和性能要求都是相同的。下面以使用最普通的轨枕垫的产品结构作为代表加以说明。

轨枕垫的要求是既要有缓冲作用又要经得起外力作用下的天候老化。在线路上的使用期要 5 ～ 8 年。软木橡胶轨枕垫采取三层结构。两表面是高强度、耐老化的保护层，每层厚约1mm。中间是8mm厚的软木橡胶层。三层一次硫化成型，中间不用胶粘剂， 其结构如图11-43所示。



图 11-43　轨枕垫结构示意图

2．缓冲绝缘垫的性能

（1）软木橡胶缓冲绝缘垫的静载沉陷量及减震性能　线路上在动载情况下，垫板受力状况是十分复杂的。要模拟实际的受力状况也比较困难。测定静载沉陷量方法比较简单，所测得的值也能说

明问题。分析垫板在线路上，动载下受力为15 t 左右，线路无机车通过时垫板受扣件扣压力为1 t 。因此，静载沉陷量测定时荷载值确定为 0 ～16 t 。加载间隔为 4 t ，8 t ， 12 t ，加压周期为 4 ～5min，卸载周期为5～8min，用百分表读出垫板受力方向的变形，结果见表11-69。

表 11-69 软木橡胶垫板加载及卸载性能（以变形量表示，mm）

试样 \ 荷载			0t	4t	8t	12t	16t	平均变形量 mm
氯丁橡胶	CR	加	0	0.486	0.980	1.560	2.121	1.929
		卸	0	0.340	0.792	1.309	1.737	
胶　　板	CR	加	0	0.476	0.557	0.616	0.678	0.571
		卸	0	0.296	0.368	0.416	0.465	
氯　醚 丁腈橡胶		加	0	0.211	0.446	0.735	1.091	1.031
		卸	0	0.220	0.458	0.724	0.970	
氯　醚 丁腈橡胶		加	0	0.477	0.813	1.260	1.724	1.517
		卸	0	0.241	0.619	1.020	1.310	
丁苯橡胶	SBR	加	0	0.562	0.731	0.875	1.142	0.917
		卸	0	0.331	0.477	0.615	1.065	

（2）软木橡胶轨枕垫保护层和弹性层的技术性能指标　软木橡胶轨枕垫的保护层和弹性层的技术性能指标与垫板实际寿命之间的关系十分密切。按照橡胶工业标准测试方法，根据几年来在线路上实际使用的效果，软木橡胶轨枕垫保护层和弹性层的机械性能规定见表11-70。

表 11-70 软木橡胶垫板物理性能

项　　目		单　　位	橡胶面层	软木橡胶内层
硬　　度		邵尔A	75～85	≥80
拉伸强度		MPa	≥14.7	>4.9
伸长率		%	≥200	>30
永久变形		%	≤20	<10
绝缘电阻	干　　态	(测试电压500V)Ω	≥10^8（整块垫板）	
	浸水24h后	(测试电压500V)Ω	≥10^8（整块垫板）	
老化后（100℃×72h）				
拉伸强度		MPa	≥14.7	>4.9
伸长率		%	>100	>20

（3）软木橡胶轨枕垫的电绝缘指标　由于铁路线实际信号自动化，钢轨都带有低压电，因此要求轨枕垫有一定的电阻指标。

工厂中测量轨枕垫电阻的方法是：在试验台上先垫 2 ～ 3 层厚2.5mm的高绝缘聚氯乙烯垫层（电阻值大于$10^{10}\Omega$）。在聚氯乙烯垫层上放一块经打磨的紫铜板作下导体。将轨枕垫放在下导体上，然后盖上一块铜板并加上一层聚氯乙烯绝缘垫，再压上15～20kg的重物以保证各层之间良好的接触。测量两铜板之间的电阻。

软木橡胶轨枕垫出厂电阻值规定为$>10^6\Omega$。

（二）软木橡胶印刷衬垫

软木橡胶印刷衬垫由弹性软木橡胶层和起张紧拉伸作用的布基层构成，各部分的厚薄和布层的多少随实际使用需要而变化。通常结构如图11-44所示。

（三）软木橡胶摩擦片

软木橡胶材料的摩擦系数大，用它可以制成功率及正压力较小场合使用的传动、制动摩擦零件。随着使用场合不同，制品有各种形状和结构。目前使用较普遍的有如下几种。

1．工业缝纫机用摩擦片结构

工业缝纫机早期所用的软木橡胶摩擦片是单片结构，由纯粹的软木橡胶构成。这种摩擦片使用时，用胶粘剂粘着于机器的摩擦轮上面，其结构示意图如图11-45。



图 11-44　软木橡胶印刷衬垫结构示意

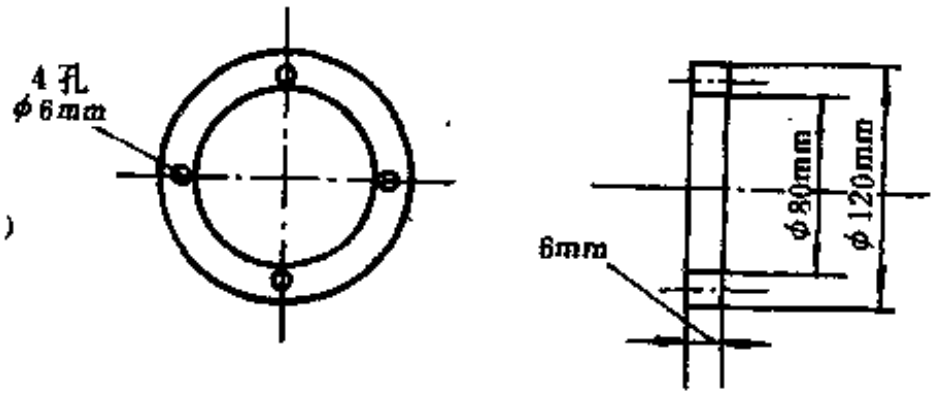


图 11-45　软木橡胶摩擦片外形尺寸示意图

由于这种摩擦片使用时要粘接，更换不方便。因此，就改进为带有芯片的、嵌装式的摩擦片，其示意图如图11-46。

用摩托车以及其它机械的摩擦片是带有金属片作为骨架材料的。常用的如图11-47。

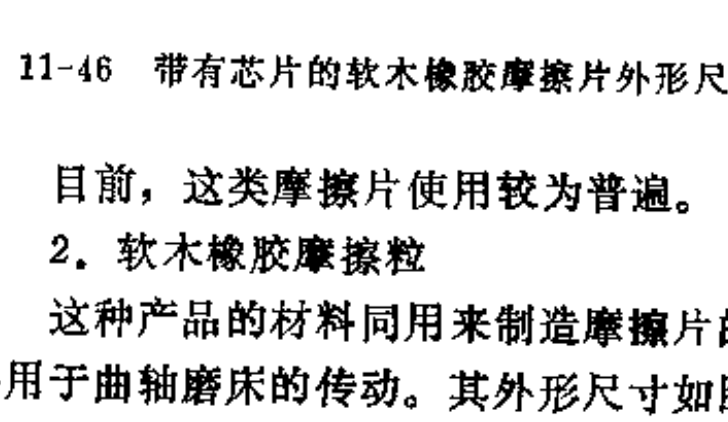


图 11-46　带有芯片的软木橡胶摩擦片外形尺寸示意图

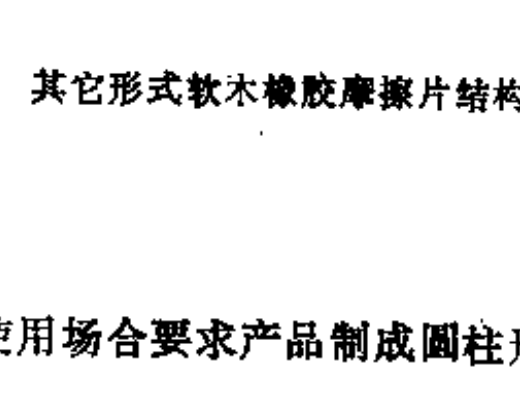


图 11-47　其它形式软木橡胶摩擦片结构示意图

目前，这类摩擦片使用较为普遍。

2．软木橡胶摩擦粒

这种产品的材料同用来制造摩擦片的基本相同。只是使用场合要求产品制成圆柱形，主要用于曲轴磨床的传动。其外形尺寸如图11-48。

3．软木橡胶摩擦片的性能

软木橡胶摩擦片的静摩擦系数和物理性能指标暂定技术要求见表11-71。

（四）软木橡胶气体密封垫

这种气密垫主要用在仪表构件中。

一类是垫片，生产厂出厂尺寸是40×40×0.10cm；使用厂按实际需要进行裁剪；另一

种是专门在某种气动仪表中用于切换气路的阀片，其结构见图11-49所示。

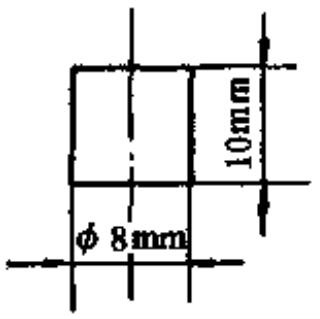


图 11-48　软木橡胶摩擦粒

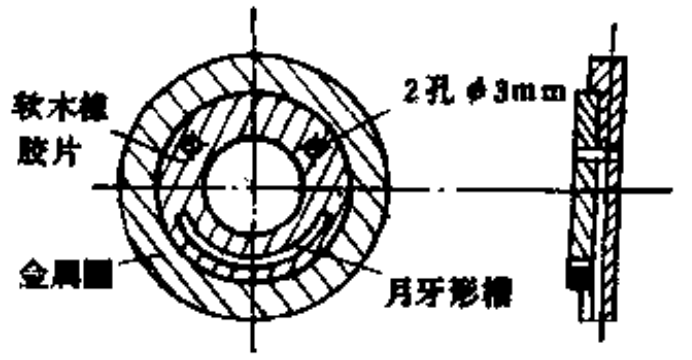


图 11-49　软木橡胶气路切换阀结构示意图

表 11-71　软木橡胶摩擦片物摩性能

静摩擦力，N	静摩擦系数	硫 化 点	153℃×30min	静摩擦力，N	静摩擦系数	硫 化 点	153℃×30min
14.7	0.30	拉伸强度,MPa	>6.8	34.3	0.50	永久变形，%	>2.5
9.8	0.40	硬度(邵尔A)	>90	39.2	0.50		
19.6	0.40	扯断伸长率，%	>75	49.0	0.55		

这种切换阀有多种尺寸。

（五）软木橡胶地板

软木橡胶也可以作为高级宾馆中卧室和走廊的地板材料，其结构决定于用户要求。

六、软木橡胶制品配方举例及生产工艺

各种软木橡胶制品应按不同使用要求，采用不同配方和工艺来制造。现以最普通的有代表性的软木橡胶轨枕垫和印刷衬垫等为例介绍如下。

（一）配方举例

1．软木橡胶轨枕垫配方

（1）氯醋-丁腈橡胶并用胶保护层配方（重量份）

丁腈橡胶-26　50；氯乙烯乙酸乙烯（含乙酸乙烯5%）树脂　50；硬脂酸　1.5；氧化锌　15.0；硫黄　2.0；促进剂M　1.0；促进剂DM　1.0；高耐磨炉黑　25；固体古马隆　6.5；邻苯二甲酸二丁酯　2.0；防老剂D　0.5；防老剂4010　2.0；月桂酸二丁基锡　2.0。

（2）氯丁橡胶软木弹性层配方（重量份）

氯丁橡胶（通用型）　100；硬脂酸　1.5；氧化锌　5.0；氧化镁　4.0；促进剂NA-22　1.9；耐高磨炉里　10.0；固体古马隆树脂　6.0；防老剂D　1.0；防老剂4010　1.5；软木粒（过20～40目/in）200。

软木橡胶轨枕垫也可以用氯丁橡胶作为保护层，用丁苯橡胶-软木做弹性层。

2．软木橡胶印刷衬垫配方（重量份）

丁腈橡胶-26　100；氧化锌　10.0；硬脂酸　1.5；硫黄　2.5；TMTD　1.2 促进剂CZ　1.0；邻苯二甲酸二丁酯　10；白炭黑　30；防老剂A　1.0；石蜡　1.0；橡胶大红　2.0；软木粒（过目20～30目/in）（经二次净化）　200。

（二）软木橡胶制品生产工艺

1．软木橡胶轨枕垫生产工艺

（1）制造工艺　流程见图11-50。

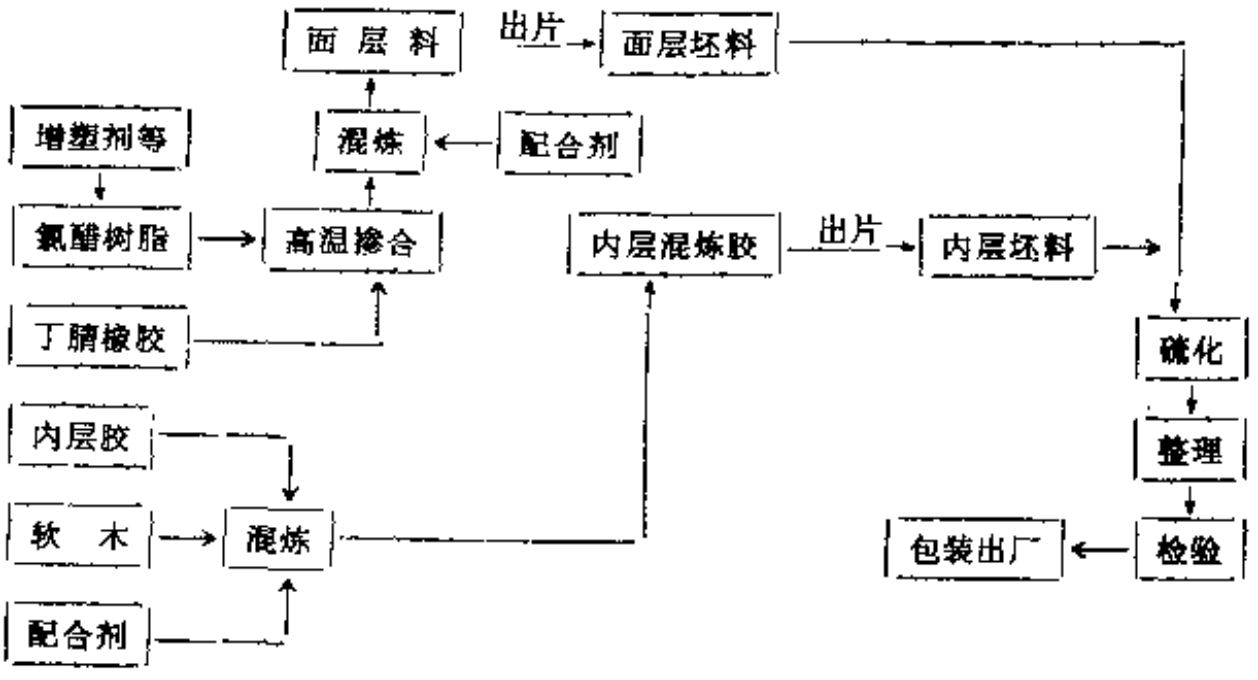


图 11-50 软木橡胶轨枕垫生产工艺流程图

（2）保护层胶料的制备 先将苯二甲酸二丁脂加月桂酸二丁基锡、氯乙烯乙酸乙烯树脂拌均匀，捏和，停放润胀3 h 以上。

将丁腈橡胶分三段塑炼，每段塑炼15min，冷辊，辊距为1.5mm，每段停放8h以上。

将塑炼丁腈橡胶与氯醋树脂置于开放式炼胶机上混合均匀。然后 于180℃高温炼胶机上用2.0mm辊距薄通 8 次，打三角包三次成为高温掺合物，然后 2mm薄通拉出快速冷却。

在开放式炼胶机上加入软木和配合剂（两辊开足冷水）混炼，加料顺序为先 小 料 后 大料，将促进剂与硫化剂分开加入，打三角包三次待用。

（3）弹性层的混炼工艺要点 氯丁橡胶在开放式炼胶机上冷辊塑炼至包辊无网眼，然后加配合剂，原则是先小料后大料，先加氧化镁，后加氧化锌，三角包三次，加软木粒子，辊距2mm，混炼，三角包三次。

（4）成型与硫化 将保护层混炼料压延成 1～1.5mm 薄片两张，尺寸按产品要求；弹性层压 延 成 7.5～8mm 厚（尺寸按产品要求）；在弹性层两面各覆一层保护层，装模硫化。硫化条件是压力2.0MPa，153℃×25min。

2．软木橡胶印刷衬垫制造工艺

（1）制造工艺流程 见图11-51。

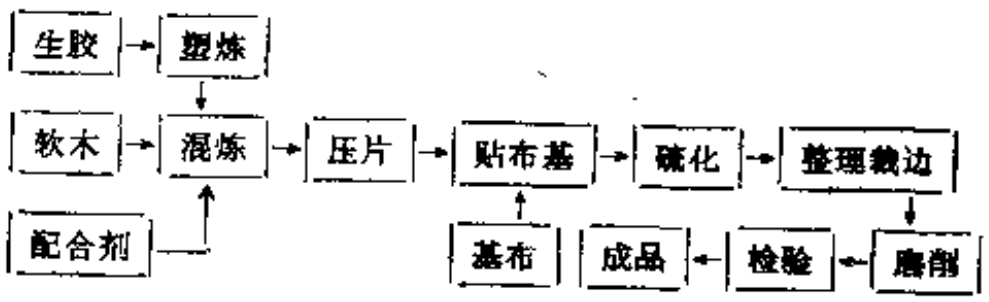


图 11-51 软木橡胶印刷衬垫制造工艺流程

（2）工艺要点 印刷衬垫胶料按一般常规工艺进行混炼。混炼时软木粒最后加入。硫化时布基先要贴妥，磨削在外圆磨床上进行，磨至所需厚度即可。

主要参考文献

〔1〕日本パルカー工业株式会社，パルカレビエ。
〔2〕Шанин, Н.П.и Бородулин, М.М., "Колдовский", Химия, 1983.
〔3〕И.М.鲍罗霍夫 A.C.甘申著，汪子云译，《软质密封填料》，中国工业出版社，1965年。
〔4〕刘后桂编著，《密封技术》，湖南科学技术出版社，1981年。
〔5〕赤田纯，シール技术，近代编集社，1972年。
〔6〕徐时昌编著，《石棉纺织工艺》，中国建筑工业出版社，1985年。

第十二章　橡胶型胶粘剂

第一节　绪　　论

一、胶粘剂的应用范围

胶粘剂在国民经济建设发展中占有重要的地位。全世界胶粘剂的总产量在70年代中期已接近 500 万 t，近年来大约以每年增加30万 t 的速度继续增长。在全部胶粘剂产品中，高分子胶粘剂约占80%。在技术先进国家中，胶粘剂每人每年的消耗量超过5kg。

胶粘剂在国民经济各部门中的应用情况分别叙述如下。

1．胶粘剂在木材加工工业中的应用

木材加工工业中的胶合板、木屑板、装饰板、家具及办公用品等广泛使用各种合成胶粘剂。木材加工工业是合成胶粘剂消耗量最大的部门。例如美国约有60%合成胶粘剂用于木材加工工业；日本大约有75%；前苏联约有70～80%。我国也有半数以上用于木材加工工业中。在合成胶粘剂出现以前，木材加工部门大量使用各种动物胶和植物胶，但这些天然胶一般不能承受较苛刻的环境条件。使用合成脲醛树脂胶粘剂可以克服上述缺点。据统计，在木材加工部门中，每吨脲醛树脂胶粘剂可代替 2.5 t 动物胶；使用脲醛树脂胶粘剂可以提高生产效率达50%左右。酚醛树脂胶粘剂用于要求承受高热和高湿作用的木制品，但其用量不大。

2．胶粘剂在航空、航天工业中的应用

1944年，英国首先在大黄蜂型歼击机上使用了合成胶粘剂。第二次世界大战后，以航空工业为首的机械制造部门的需要，已成为推动现代胶粘剂发展的主要动力。现代的航空工业大都使用高性能的结构胶粘剂，例如在60年代中期，不同国家的 100 多种飞机已大量采用酚醛-缩醛类结构胶粘剂。单机使用胶粘剂的数量，常常代表一个国家飞机制造工业的工艺水平。目前，制造每架飞机大约需要 400～2200kg 的胶粘剂，主要用于飞机蒙皮与框架或桁架的胶接，组装蜂窝及直升飞机的螺旋桨叶片等等。

在人造卫星、宇宙飞船中，胶粘剂使用于蜂窝结构的制造，太阳能电池、隔热材料的胶接，安装仪器及建造座舱等。航空、航天工业中使用的胶粘剂，大多数属于改性环氧、改性酚醛及聚氨酯等品种的胶粘剂。近20年来宇航工业、飞机制造工业、电子工业及其它工业的发展对胶粘剂的高温性能提出了更高的要求，例如航空运载工具重返大气层时要经受2300～2600℃高温气流冲刷的考验。其中就需要耐热胶粘剂用于陶瓷防热瓦的胶接。高速歼击机在高空中作超音速飞行时机翼前缘温度可达260～316℃，就需要采用可在此温度范围内安全使用的结构胶粘剂。又加，飞机整体油箱密封要求在－54～149℃下耐喷气燃料，在149～371℃耐燃料蒸气几千小时，采用氟橡胶和氟硅橡胶制品，要解决这些材料与金属铝合金的胶接问题，必然会促进橡胶型胶粘剂的迅速发展。例如美国“哥伦比亚号”航天飞机，返回地面时防热用的陶瓷瓦能耐1200℃以上的高温。整个机身的防热面约有 3 万块防热瓦覆盖着，这种防热瓦是用室温固化硅橡胶胶粘剂胶接到应变隔离垫上，这种联接方式使机身的变形大部分

被应变隔离垫吸收，脆弱的防热瓦则只受很小的变形。

3．胶粘剂在汽车及车辆制造中的应用

汽车本身的结构、内衬材料、隔音材料、座椅及刹车片等的胶接，需要使用多种具有不同性能的胶粘剂。其中大部分为橡胶型胶粘剂。60年代后美国制造每辆乘用车需要8.2kg氯丁橡胶胶粘剂，如把各种胶粘剂的用量加在一起，则每辆乘用车胶粘剂的用量约为23kg。

在铁道车辆工业中，各种机车（包括新干线高速电车）的制造和维修、客车及货车的制造、轨道铺设、通讯电气设备维修等都需用胶粘剂。特别是客车车厢，大量采用三合板、装饰材料作为内壁、隔墙、地板和门，因此，胶粘剂使用得相当普遍。例如各种机动车辆的离合器摩擦片、制动带的粘接则需要可在250～350℃内使用的结构胶粘剂，这些胶粘剂大部分是丁腈橡胶-酚醛类的结构胶粘剂或改性环氧结构胶粘剂。车辆的密封胶粘剂作用是解决三漏（漏气、漏水、漏油），这类胶粘剂具有粘接和密封的双重作用，在车辆工业中最常用的有聚硫橡胶、聚氨酯橡胶、丁基橡胶和氯丁橡胶等为主体材料组成的密封胶胶粘剂，所以橡胶型胶粘剂在汽车和车辆制造工业中是应用得很普遍的。

4．胶粘剂在机床工业中的应用

高分子胶粘剂可用于可拆卸装配件和不可拆卸装配件的安装。例如机床中托板与耐磨材料、导向装置与机床铸铁基座、陶瓷切削刀具与金属刀杆等的粘接，抗磨涂层铸件缺陷的修补及堵漏密封等。在机械制造业中，机体、变速箱体、后桥体、缸盖等壳体类零件常见的损坏形式有裂纹、穿孔、崩缺和腐蚀等，这些缺陷都可以用各种胶粘剂进行粘接修复。一般是采用无机胶粘剂，也可以采用聚硫橡胶密封胶与金属加工工艺相结合的手段或方法进行修复，这类修复的方法目前在机械加工业中已广泛采用。

5．胶粘剂在电子工业中的应用

电气、电子工业部门应用胶粘剂大约始于20年代，当时差不多是完全使用天然高分子材料来实现粘接、绝缘密封和固定的。自从第二次世界大战以后，电子产品对胶粘剂的电气绝缘性、耐温性、耐腐蚀性、耐湿热老化性等方面提出了越来越高的要求。40年代末，以环氧树脂和聚氨酯树脂为基料的热固性胶粘剂和灌封料相继出现，并成功地解决了一系列的粘接材料。60年代中期彩色电视机的晶体管化，由历来的真空管向硒整流元件转移，也广泛采用环氧树脂和硅橡胶等进行整流电路的包封，其后由于二极管的出现，高压整流管日趋小型化，为防止水蒸汽的浸透，提高粘接强度，环氧树脂使用量逐年增加。

电子工业用胶粘剂的主要品种有环氧树脂、有机硅树脂、改性酚醛树脂、聚酯树脂、聚氨酯树脂以及氯丁橡胶和聚硫橡胶等。最近十几年来，针对电子工业的特殊性能要求和工艺特点，除发展高性能、耐热及导电胶粘剂外，又相继开发应用了热熔胶粘剂、水溶性胶粘剂、厌氧胶粘剂、压敏胶粘剂、光固化胶粘剂以及阻燃灌封料等，它们均在不同程度上取得了良好的应用效果。实践证明，胶粘剂在电气、电子工业中的应用前景是非常广阔的。

电子工业应用胶粘剂及粘接工艺具有一系列的优点：能粘接性质各异、厚薄不均的两种材料；粘接表面光滑、平整、美观；粘接接头应力分布均匀，变形小，整体强度高；胶层绝缘、耐腐蚀、密封性能好；能提高产品性能，减轻重量，简化工艺及提高生产率等。

由于胶粘剂在电子工业应用上有一系列的优点，国外生产的胶粘剂约有10～20%是被电子工业所采用。目前，国外不少电气公司都附设有生产厂或车间。

胶粘剂在电气、电子工业各种产品上的应用是较普遍的。在电气安装工作中也获得了广泛的应用，例如：把橡胶垫固定在金属和陶瓷上；把导线固定在由玻璃板或玻璃型材制成的

隔墙上；把导线固定在瓷砖上；胶接塑料；胶接陶瓷等。

6．胶粘剂在土木建筑工程中的应用

人类在土木建筑工程中应用胶粘剂已有悠久的历史，最早是利用粘土砌筑简陋住所。随着人类社会的发展，较为高级的胶接材料——波特兰水泥（无机胶粘剂）问世了，从而开创了土木建筑史的新时代。至今，以水泥为代表的各种无机建筑胶粘剂在土木建筑工程中仍占有突出的地位。第二次世界大战后，有机胶粘剂工业有了很大的发展。有机建筑胶粘剂（包括聚合物混凝土、防腐胶、密封胶）已经成为不可缺少的新颖材料，而且其用量很大。例如，美国、日本、德国等几个国家，建筑胶粘剂的产量都占胶粘剂总产量的20%以上。

我国自70年代开始，在建筑工程方而使用了酚醛、呋喃等防腐材料以及环氧胶、聚氯乙烯胶泥和107*装饰胶等10多个品种的胶粘剂产品。近几年来，国内建筑胶粘剂的推广应用工作发展很快，品种亦在不断增加。随着居住条件的改善，在美化人们生活方面，建筑胶粘剂将发挥重要作用。土建工程用胶粘剂按照其特性和大致应用范围，可以分为结构用胶粘剂、粘贴和防腐用胶粘剂、密封用胶粘剂3类。其中密封胶（又称为密封剂）是由聚硫橡胶制备的，具有适应室外气候及温度变化的性能，在建筑密封上应用得比较多，也可用于高速公路道路接缝处的嵌填或路面的修补。拼花地板的铺砌采用高填充的氯丁橡胶胶粘剂，氯丁橡胶胶泥用于屋顶防水材料的接缝处嵌填或修补。聚氨酯橡胶与环氧树脂、酮亚胺等组成的亚氨酯密封防水胶用于地下工程防水填缝的密封。

7．胶粘剂在医疗中的应用

（1）在外科中的应用　胶粘剂在外科中的应用比较广泛，其胶接对象主要是由细胞及结缔组织所构成的软组织，它的主要成分是胶原纤维等蛋白质，含有许多体液，并且不断地进行新陈代谢活动。对于这种极为特别的被胶接表面，采用的几乎都是α-氰基丙烯酸酯胶粘剂。也曾试用过异氰酸酯及环氧树脂等反应性胶粘剂，但未获满意的结果。在外科领域试用过胶粘剂的病例很多，根据使用目的大致分为以下几类。

① 代替缝合　只用于皮肤之间的接合。

② 止血或封闭　α-氰基丙烯酸正丁酯用于肿瘤剥离面和切除后的渗血止血；开颅后硬膜外肌层的渗血止血等。医用胶粘剂用于瘘管的封闭获得比较满意的效果。

③ 代替吻合　采用烷基链长的氰基丙烯酸酯用于血管的吻合、消化道的吻合。

（2）在计划生育方面的应用　胶粘剂（硅橡胶）以注射方式进行绝育手术，避免了动手术的皮肉之苦及出现伤口等的麻烦。

（3）在眼科中的应用　眼科适用的胶粘剂必须是刺激性最小，固化后聚合体又柔软的胶粘剂，此类胶粘剂有α-氰基丙烯酸高级烷基酯及氟代烷基酯。

① 眼睑手术　把上眼睑与下眼睑胶接以达到眼睑闭合的目的。

③ 角膜手术　对于不整齐的伤口在缝合后再用胶粘剂进行封闭，以防止房水漏出。

③ 白内障手术　在白内障手术中对角膜的缘切口可以用胶粘剂胶接，还可用胶粘剂摘除脱位的晶体。

④ 巩膜手术　在巩膜手术中胶粘剂用于缝合后的补强及巩膜意外穿孔的封闭。

（4）在兽医方而的应用　如同把医用胶粘剂用于人体皮肤伤口的粘接一样，α-氰基丙烯酸酯也可用于兽医外科临床中小伤口的粘接；对于大伤口，应与缝合法结合使用胶粘剂。

（5）在整形外科中的应用　整形外科所采用的胶粘剂是以甲基丙烯酸甲酯为主体的常温聚合的骨胶粘剂，可用于补强及修复骨组织的缺损并用于人工关节置换的粘接。1973年出

现了改良的和骨组织有粘接性的甲基丙烯酸甲酯与正丁基硼。它具有聚合反应温升较低，对组织的危害性小，未反应的残留单体数量少等优点。

（6）在牙科中的应用

① 龋蚀治疗　龋蚀治疗所用的胶粘剂是用合金、陶瓷、高分子材料来修复牙质的缺损部分以治疗龋齿，其方法是以磷酸腐蚀牙釉质表面、水洗干燥后用常温固化的甲基丙烯酸甲酯糊状物能发挥机械镶嵌作用而牢固地进行粘接，然后以常温聚合引发剂三正丁基硼(TBB)加到甲基丙烯酸单体中与牙质胶原发生接枝共聚合。

② 临时固定用胶粘剂　在治疗龋蚀时，为把药剂暂时封灌在牙孔洞内或牙根管内，采用临时固定用的胶粘剂。它是一种以乙酸乙烯酯共聚物为基材，再加入无水硫酸锌配制成的糊状物，在填入牙洞之后能吸收唾液而固化。

③ 填充用医用胶粘剂　此类胶粘剂有两种：一是由充填龋齿窝洞的甲基丙烯酸系的复合树脂与玻璃粉组成；二是双酚A和甲基丙烯酸缩水甘油酯的缩合物于其中加入70～80%重量份的石英粉末或特殊玻璃粉调成高粘度的糊状物，用过氧化苯甲酰或叔胺氧化还原体系常温聚合引发剂使之固化。

④ 矫正治疗用胶粘剂　在齿牙排列不齐，进行矫正治疗使之恢复到正常位置的过程中，现以胶粘剂在牙的表面直接粘接上透明塑料制的托架进行矫正治疗而代替过去在牙的周围装上环形金属带进行矫正治疗。所采用的胶粘剂有甲基丙烯酸甲酯-三正丁基硼系胶粘剂和双甲基丙烯酸乙二醇酯系胶粘剂。

⑤ 粘接修复治疗　在口腔缺损牙齿时，用胶粘剂把人造假牙与两个相邻真牙进行粘接固定，代替了传统的治疗方法，简化医疗操作，并且有迅速、美观等优点。

8．胶粘剂在制鞋与服装中的应用

（1）胶粘剂在制鞋业中的应用　鞋靴是人民生活的必需品，通常有四种，即皮鞋、胶鞋、布鞋和塑料鞋。随着制鞋技术的提高，制鞋生产已向粘接、注塑的机械化和自动化方向发展，开始大量应用胶粘剂，逐步取代传统的手缝鞋靴的操作工艺，促使鞋类产品的更新换代。目前粘接法已成为鞋靴类成型的主要工艺之一，某些国家采用冷粘法贴合外底生产的鞋类占70%以上，国内胶粘皮鞋占各种皮鞋生产的$\frac{2}{3}$～$\frac{4}{5}$左右。皮鞋用胶粘剂品种甚多，用量较大的有氯丁橡胶胶粘剂与聚氨酯胶粘剂、SBS热塑性橡胶胶粘剂等，其中氯丁橡胶胶粘剂占用量的50%以上，其次为聚氨酯胶粘剂。

（2）胶粘剂在服装中的应用　传统的服装加工工艺是用手工方法将衣料缝制在一起的，由于粘接技术的发展给服装工业带来了新变化。以粘接代替缝制的部件一般有衣片的并连，衬布的粘接，锁边，粘接花边、装饰品与拉链粘接等。用胶粘剂锁边比缝纫锁边提高产量2～10倍；用于服装粘接标签，比缝制标签每年可节约大量费用。无论贴花的形状或大小怎样复杂，都能用胶粘剂在2～4 s内粘接到服装上。目前服装工业用胶粘剂基本上为热熔胶。品种有：聚乙烯、EVA、聚酰胺、聚酯、聚氨酯、丙烯酸类等热熔胶粘剂。

9．胶粘剂在船舶工业中的应用

胶粘剂广泛地用于船舶许多部位的粘接与密封，对于简化工艺、减轻劳动强度、缩短造船修船周期、提高船舶的可靠性和安全性都起着重要的作用，已成为船舶工业中一种必不可少的重要材料。胶粘剂大量地用于船舱、地板、各种隔热隔音材料、饰面的粘接，一般采用不燃性溶剂配制的氯丁橡胶胶粘剂、水基胶粘剂、压敏型双面胶粘带。

橡胶密封胶能起着粘接与密封的作用，密封胶大量用于船舶中的甲板缝、舷窗、舱孔以及各种水、油管路、舱室电缆的贯通密封，最常用者为聚硫橡胶、聚氨酯橡胶、硅橡胶、丁基橡胶等高分子材料为主的密封胶。此类密封胶对钢、铝等金属以及木材、塑料、水泥、玻璃等非金属材料都有较好的粘接力，并且具有良好的耐水、耐油、耐高低温、耐振动冲击、耐老化等性能，绝缘性能亦佳。在设计使用时，应综合考虑密封材料的使用条件（例如，伸缩性密封、调节性密封还是连接性密封，工作环境、介质温度和应力分布情况）和接缝的形状、尺寸及所在的部位等因素，选用适当的密封胶，从而获得良好的密封与粘接的效果。

10．胶粘剂在纺织工业中的应用

在纺织业中最早使用的合成树脂是热固性的，如酚醛和脲醛树脂，有关专利发表于1929年，主要用于上浆及织物整理。纺织工业中较普遍地使用胶粘剂是本世纪40年代以后的事情，所用的树脂多数为热塑性的，以乙烯基树脂为主。此后应用不断扩大，树脂品种也逐步增多，但大多是水乳液型的合成高分子材料，即合成树脂乳液和橡胶胶乳。纺织品使用胶粘剂后，可提高外观质量及使用性能，如耐摩擦性、牢度、防缩、防皱、手感等。此外，还可达到消光、防静电、防水、耐水等目的。

纺织物粘接主要用于服装制造中，如衬衫、外衣的衣领、袖口，西裤、裙子的腰、脚口及下摆均采用胶粘剂热熔衬或粘接，服装里芯与面料的粘接等，还有拉链等也采用胶粘剂粘接代替缝制。织物用胶粘剂还可用于工业材料的粘接与修补，此胶粘剂有合成橡胶胶乳及合成树脂乳液。我国具体使用的品种有：XY-103胶（天然橡胶汽油溶液），具有初粘性好，可用于各种织物的粘接；703胶（聚乙酸乙烯与天然橡胶胶乳配合组成）用于篷盖布、水龙带帆布修补粘接；G-2胶（氯丁橡胶溶液）具有韧性好，用于帆布的粘接；长城牌202胶（混炼氯丁橡胶胶料与溶剂、三苯基甲烷三异氰酸酯等组成）；ch404胶、ch406胶（氯丁橡胶、酚醛树脂）用于帆布粘接；长城牌730胶（丁腈橡胶、酚醛树脂）用于帆布、尼龙、玻璃纤维织物的粘接等近10多个品种的胶粘剂。

11．胶粘剂在其它方面的应用

胶粘剂在各行业已有了极其广泛的应用，如工艺美术品的贝雕就是用环氧、氯丁橡胶胶粘剂进行粘接而成的产品；手饰箱、漆雕都是使用氯丁橡胶胶粘剂或其它胶粘剂一起使用进行粘接成为精美的工艺美术品。文体用品中的乒乓球拍基本上是用天然橡胶胶粘剂和氯丁橡胶胶粘剂粘接成的产品。同时，胶粘剂还用于出土文物的修复工作中，使得破损的文物获得新生，这对研究我国的历史文化起到了推动作用。所以胶粘剂基本上在各个领域中都得到了广泛的应用。

二、胶粘剂的粘接机理

随着胶粘剂工业的发展，粘接理论的研究也逐渐得到人们的重视。近30多年来，在粘接界面化学、粘接破坏机理等方面的研究取得了很大进展。

粘接过程是一个复杂的物理、化学过程。粘接力的产生，不仅取决于胶粘剂和被粘物表面的结构与状态，而且和粘接过程的工艺条件密切相关。研究粘接机理的目的在于揭示粘接现状的本质，探索粘接过程的规律，进而指导胶粘剂及粘接技术方面实用科学的开发和深入。

（一）粘接力的产生

胶粘剂与被粘物表面之间通过界面相互吸引和连接的作用力被称为粘接力，粘接力的来

源是多方面的。

1．化学键力

化学键力又称主价键力，存在于原子（或离于）之间。化学键包括离子键、共价键及金属键3种不同形式。离子键力有时候可能存在于某些无机胶粘剂与无机材料表面之间的界面区内。绝大多数有机化合物的分子都是通过共价键组成。某些情况下，带有化学活性基团的胶粘剂分子与带有活性基团的被粘物分子之间也可能出现共价键连接。金属键作用与粘接过程关系不大。主价键键能较高，胶粘剂与被粘物之间，如能引入主价键连接，其粘接强度有显著的提高。

2．分子间的作用力

分子间的作用力又称次价键力。分子间的作用力包括取向力、诱导力、色散力（以上诸力合称范德华力）和氢键力。

分子作用力是粘接力的最主要的来源，广泛地存在于所有的粘接体系中。

3．界面静电引力

当金属与非金属材料（例如高分子胶粘剂）密切接触时，由于金属对电子的亲和力低，容易失去电子；而非金属对电子亲和力高，容易得到电子，故电子可从金属移向非金属，使界面两侧产生接触电势，并形成双电层产生静电引力。除了金属-非金属相互接触能够形成双电层外，一切具有电子供给体和电子接受体性质的两种物质接触时。都可能产生界面静电引力。

4．机械作用力

从物理化学的观点看，机械作用并不是产生粘接力的因素，而是增加粘接效果的一种方法。胶粘剂充满被粘物表面的缝隙或凹凸之处，固化后在界面区产生了啮合力，这些情况类似于木箱边角的嵌接、钉子与木材的接合或树根植入泥土的作用。机械粘接力的本质是摩擦力，在粘接多孔材料、布、织物及纸等时，机械作用力是很重要的。

在各种产生粘接力的因素中，只有分子间作用力普遍存在于所有粘接体系，其它作用仅在特殊情况下成为粘接力的来源。

（二）形成粘接的基本条件

胶粘剂与被粘物表面之间，无论在任何情况下都不可能实现完全的分子接触（即两相分子的距离达到0.5nm左右）。粘接力的产生往往只是在少数分子接触点的基础上形成的。在粘接过程中必须在界面区中尽量增加分子接触点的密度。

1．粘接过程

在粘接过程中，胶粘剂必须首先是容易流动的液态物质，液态可以通过流动为分子接触提供机会。从物理化学的观点看，胶粘剂的粘度越低越有利于界面区分子接触程度的提高。但实际工艺上又往往要求胶粘剂有一定的粘度和初始粘接力，所以许多胶粘剂都是具有一定粘度范围的液态物料。可把压敏胶看作一种高粘度的流体或一种在压力下容易产生流动、变形的半固体物质；密封胶也是如此的胶粘剂，但它具有另外一些特性，粘接力不需要很大。

2．粘接状态

胶粘剂和被粘物表面之间必须处于湿润状态。即胶粘剂必须能够自动地在被粘物的表面充分展开。这样，胶粘剂分子与被粘物表面才有可能充分靠近。湿润的程度越高，分子接触的机会越多。在湿润状态的前提下，被粘物表面进行适当的糙化或人为缝隙，增加胶粘剂与被粘物实际面积，并形成机械粘接力。被粘物表面的缝隙可视作毛细管，对毛细管表面呈湿

润状态的液体能在毛细管内自动上升。反之，呈非湿润状态的液体能在毛细管内自动下降。因此，非湿润状态的被粘物表面越光滑越好。

3．粘接接头应力情况

粘接力是建立粘接接头的一个因素，胶层或被粘物本身的内聚强度是建立粘接接头的另一个因素。液态胶粘剂的内聚强度接近于零。因此，液态胶粘剂必须通过蒸发（溶剂或分散介质）、冷却、聚合、缩合或其它各种交联（硫化）进行固化以提高内聚强度。粘接接头固化过程中，由于胶粘剂本身的体积收缩和胶层、被粘物两者的膨胀系数不同，粘接接头内不可避免地会产生收缩应力和热应力。上述内应力产生后，一部分会随着胶粘剂或被粘物分子运动（即松弛过程）而消失，但总是有残留的内应力。残留内应力对粘接力起破坏作用，为此，应设法降低残留内应力。

粘接界面区中，如果存在弱界面层或胶粘剂内有气孔及其它缺陷时，粘接接头在使用及破坏过程中会产生内应力或负荷应力的集中现象。湿润性不好及不合理的接头设计也能导致应力集中问题。

（三）粘接过程的界面化学

胶粘剂与被粘物之间形成湿润状态，是粘接接头具有良好粘接性能的先决条件。为便于研究，通常把胶粘剂当作一种液体，把被粘物当作一种固体。即用液体-固体体系当作胶粘剂-被粘物体系的研究模型。处于表面区的液体分子，有一个方向（表面以外）没有受到同种分子的吸引作用，其受力情况与非平面区的处于各向分子力作用平衡状态的分子不同。表面区分子由于受力不平衡，产生了一种向里收缩的力，这就是表面张力。液体的表面张力通常在液体/蒸气的环境中测定，测得的数值实际上是液体/气体界面的界面张力，界面张力值非常接近于表面张力值。

从热力学角度提出的单位面积的自由能数值与表面张力相等。缩小表面积能导致自由能的下降，故缩小表面是一个自动进行的过程。

对固体表面也可作类似的分析。但固体是具有一定形状的物质，其表面不能收缩。因此，它没有表面张力而只有表面自由能。

液体与固体表面接触时，处于界面区的两种分子在朝向各相内部方向受到同种分子的吸引作用。在朝向界面方向受到来自界面分子力的吸引作用。此两种吸引力的合力称为界面张力。如果固体是低表面能固体。其吸引力低于液体相分子的吸引力，则界面区的液体分子有一种向液体内部收缩的张力，这就是非湿润态。如果固体是高表面能固体，则界面区液体分子有一种被吸附子固体的压力，这就是湿润状态。

为研究粘接体系的湿润性必须测定液体及固体的表面张力（表面自由能）。液体的表面张力可用一般的物理化学方法直接测定。但固体的表面自由能不能直接测定，需要采用间接方法测算。任何物质的表面张力都是由其分子的色散作用产生的分子和偶极作用（包括氢键作用）产生的分力的总和。在充分湿润的情况下，聚合物及被粘物的色散力作用已能产生足够高的粘接力。胶粘剂的极性太高，有时候会严重妨碍湿润过程的进行面降低粘接力。分子间作用力即吸附力是提供粘接力的普遍存在的因素，但不是唯一因素。在某些特殊情况下，其它因素也能起主导作用。

（四）粘接理论

1．吸附作用与吸附理论

胶粘剂分子与被粘物表面分子的相互作用过程有两个阶段。第一阶段是液体胶粘剂分子

借助于热布朗运动向被粘物表面扩散。使两者所有的极性基团或链节相互靠近。在此过程中，升温、施加接触压力、降低胶粘剂粘度等因素都有利于热布朗运动的加强。第二阶段是吸附力的产生。当胶粘剂与被粘物两种分子间的距离达到50～100nm，两种分子便产生相互吸引作用，并使分于间的距离进一步缩短到能够处于最大稳定状态的距离。吸附理论正确地把粘接现象与分子力的作用联系起来。

2．静电作用与静电理论

当胶粘剂与被粘物体系是一种电子的接受体与供给体的组合形式时，由于电子从供给体相（如金属）转移到接受体相（如聚合物），在界面区两侧形成了双电层。双电层电荷的性质相反，从而产生了静电引力。静电力虽然确实存在于某些特殊的粘接体系，但决不是起主导作用的因素。

3．扩散作用与扩散理论

两种聚合物在具有相容性的前提下，当它们相互紧密接触时，由于分于的布朗运动或链段的摆动产生相互扩散现象，这种扩散作用是穿越胶粘剂与被粘物的界面交织地进行的。扩散的结果导致界面的消失和过渡区的产生。粘接体系借助扩散键形成牢固的接头。

（五）影响粘接接头的因素

1．粘接接头设计的基本原则

各种连接结构的形式均是由相应的连接方法本身的特点所决定的。粘接接头的拉伸、压缩、剪切的强度是比较高的，耐剥离、弯曲的能力就弱得多。所以从力学性能角度来考虑，接头设计应遵循以下4条原则：

① 受力方向应在粘接强度最大的方向上；

② 具有最大的粘接面积，提高接头的承载能力；

③ 尽可能避免应力集中，减少产生剥离、劈开和弯曲的可能性；

④ 胶层应薄而连续，尽可能均匀，避免欠胶。

总的目的就是使粘接接头的强度和被粘物的强度在同一数量级。此外，粘接接头的设计只是工业产品总体设计的一部分，所以实际上不能仅从接头力学性能来考虑问题，还要综合考虑其它很多因素，如接头的机械加工、粘接工艺、质量控制、进行其它装配的需要，将来维修的需要，成本核算等。

2．粘接接头的常用类型

粘接接头必须尽量避免设计不均匀扯离和剥离接头。在实际工作中多数采用搭接接头，一般为4种基本形式，但不管用哪种形式的接头，要尽量做到接头所承受的负荷大部分为压缩、拉伸、剪切力，而尽量避免剥离力、弯曲力和不均匀扯离力；同时，尽量增大粘接面积。一般有如下4种粘接接头形式。

① 对粘接接头，又分斜面对接和台阶式两种粘接接头。面以在对接接头上下加补上平面粘接来扩大粘接面积为最佳的形式。

② 角粘接接头，一般在角接头的上或下加补上平面粘接以扩大粘接面积来增加承受载荷的能力。

③ T型粘接接头，一般在T型左右侧直角上加补上平面粘接以扩大粘接面积增加负荷的承受能力。

④ 平面粘接接头，此接头最符合接头的设计原则。

3．影响粘接强度的因素

（1）胶粘剂的配制　粘接质量的好坏与胶粘剂配制质量的优劣有很大关系，因此，胶粘剂的配制要细心谨慎。对于双组分或多组分胶粘剂，配制时各组分原则上应进行检验，不易变质的材料可不检验，要根据具体情况而定。要使胶粘剂具有最佳性能，当然粘料起着决定性的作用。

（2）胶粘剂的涂布与胶粘剂粘度　胶粘剂的种类很多，原始状态也各不相同。为了使粘接获得最佳性能，究竟采用哪种方法涂布胶粘剂，要根据胶粘剂的物理性能、被粘物的形状和几何尺寸以及现有的生产设备等因素来决定。这是保证胶粘剂完全湿润被粘物的工序，所以胶粘剂的表面张力越小就越易于被粘物的湿润，这就取决于胶粘剂粘度的大小，粘度越小，流动性越好，就越有利于被粘物的湿润，亦易涂布。总的目的是要涂布得均匀以形成厚度均匀的胶层。

（3）胶层的固化　绝大多数胶粘剂需要经过固化后才能得到牢固的粘接接头。为了保证粘接表面的各个部分充分地湿润和被粘物的装配，需要一个适当的胶粘剂使用期。同时，不少液态胶粘剂含有溶剂，这也需要在一定条件下排除胶层内产生气孔或其它缺陷，使粘接强度降低。所以涂布以后液态胶粘剂要有一定的敞开时间，敞开时间应随胶粘剂的不同而有差异。敞开的目的之一是某些胶粘剂在一定温度下预固化，以避免粘接件装配后在更高温度和压力下固化时因初期流胶严重而造成缺胶；其二是排除溶剂；其三是某些胶粘剂在空气中敞开一定时间后可以加快固化速度。一般说增加压力有利于胶粘剂的完全湿润，形成均匀和紧密的胶层，也易于使气泡从胶层中逸出，从而提高粘接强度。

（4）胶层厚度的影响　胶层厚度不同，使粘接强度发生差异。在刚性粘接系统中，胶层厚度越薄粘接强度就越大。一般情况下胶层厚度在0.05～0.15mm较为合适，涂布胶粘剂的范围应小于被粘物处理过的面积。不同胶粘剂对被粘物涂胶温度不同，一般按胶粘剂的性质决定所取的温度条件。

（5）被粘物粘接的表面状况　被粘物粘接表面光滑、清洁、干燥、无油污和尘土，排净空气与水分，这就有利于胶粘剂的完全湿润而增加粘接强度。粘接表面为暴露基体的粗糙面，有利于增强机械联结作用，尤其是经过表面化学处理的被粘物，表面形成一极性较强、结构坚实而又致密的氧化层，有较高的表面张力，更有利于胶粘剂的完全湿润和化学键的形成，从而提高粘接强度。

三、胶粘剂的品种与分类

胶粘剂是以粘料为主剂，配合各种固化剂、增塑剂、稀释剂、填料以及其它助剂等配制而成。最早使用的胶粘剂大都来源于天然的胶粘物质，如淀粉、糊精、骨胶、鱼胶等，用水作溶剂，通过加热配制而成。由于组分较为单一，不能适应各种用途的要求。当今的胶粘剂大都是采用合成高分子化合物为主剂，制成的胶粘剂有良好的粘接性能，可供各种粘接场合使用。

由于胶粘剂品种繁多，组分各异，至今尚无统一的分类方法，在国际上只有英国有分类标准BSI5407：1976，我国惯用的分类方法主要按胶粘剂的化学成分、形态、应用方法和用途等分类。

（一）树脂型胶粘剂

树脂型胶粘剂中又可分为热塑性和热固性两类胶粘剂，从名称上就可看出这类胶粘剂是以聚合、缩聚、共聚等方法制成的树脂为主体粘料的胶粘剂。热塑性品种有聚乙酸乙烯、聚乙烯醇、聚乙烯醇缩醛类、聚丙烯酸类、聚酰胺类等几十种；热固性品种有脲醛树脂、酚醛

树脂类等几十种。树脂型胶粘剂在国民经济中得到广泛的应用，约占胶粘剂总数的一半左右。

（二）橡胶型胶粘剂

橡胶型胶粘剂是一类以氯丁橡胶、丁腈橡胶、丁基橡胶、聚硫橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、硅橡胶、羧基丁腈橡胶等各种合成橡胶或天然橡胶为主体材料配制成的胶粘剂，具有优良的弹性，适于对柔软或膨胀系数相悬殊的材料进行粘接，例如橡胶与橡胶、橡胶与金属、塑料、织物、皮革、木材等材料之间的粘接，在橡胶制品加工中有着广泛的应用，更增加了橡胶的使用量。

橡胶型胶粘剂主要分两大类：即结构型胶粘剂和非结构型胶粘剂。结构型胶粘剂又分溶剂胶粘剂和胶膜、胶带型，它们多为复合体系（除聚氨酯胶粘剂外），如橡胶-酚醛胶粘剂、橡胶-环氧胶粘剂等，在这类胶粘剂中配合树脂的比例都比较大（一般在50～80%）。非结构型胶粘剂又分溶剂型（硫化和不硫化）、压敏、胶膜、胶带型、水乳胶液型（硫化与不硫化）。非结构型胶粘剂多为单用橡胶体系，若是复合体系也是配合剂树脂的用量比较小。各种橡胶胶粘剂的制备和性能以及施工工艺在本章的各节中都有详细叙述；对于橡胶型胶粘剂、密封胶性能的检测，在本章的十二节中会进行详细叙述。

第二节　天然橡胶胶粘剂

一、天然橡胶胶粘剂

1．修补用天然橡胶胶粘剂

用于天然硫化胶之间的粘接，如力车内胎、雨鞋的修补。

（1）基本配方（重量份）　1*烟片胶　3.4；纯苯　100。

（2）耐寒配方（重量份）　1*烟片胶　3.4；纯苯　70；甲苯　30。

（3）胶粘剂制备要点　每件生胶切成约10kg小块，切割时要以横丝方向切割。切割后应除去包皮及表面污染杂质，然后进行破胶，再按配方将破丝过的烟片胶投入盛好溶剂的搅拌机中，搅拌到全部溶解即可。溶解后即装瓶（罐）或牙膏管包装。

（4）产品质量　外观呈透明无块，无结晶沉淀；粘接强度＞0.245MPa；自然干燥系数（以3个月计）3%（一般在1%）左右。

要求冷天不结冰，热天不脱胶，防冻、耐寒。冰点可达－18℃，耐光及耐热老化。

2．乒乓球拍用胶粘剂

用于海绵与胶粒的粘接。

（1）基本配方　天然橡胶　100；松香树脂　15。

（2）胶浆的制作工艺　将天然橡胶在开炼机上进行塑炼，薄通4次后放厚辊距，加入松香，此时须控制辊温在30～45℃，混炼均匀后下片。可塑度一般控制在0.6～0.7。

（3）胶浆配比　胶料与苯的比例为1∶1.12。

（4）粘接性能　剥离强度为0.835kN/m。

3．胶布粘接用室温硫化天然橡胶胶粘剂

近年来，胶布制品不论在品种或质量上，都有了很大的发展，因此对胶布制品的成型胶粘剂提出了更高的要求。

（1）混炼胶配合　混炼胶配合见表12-2-1。

（2）胶粘剂配制

表 12-2-1 混炼胶配方

原材料名称＼组分	甲	乙	原材料名称＼组分	甲	乙
1#烟片胶	100	100	防老剂D	1	1
硫　　黄	2	—	促进剂MC	—	4
氧 化 锌	8	—	促进剂M	—	2.2
硬 脂 酸	0.2	0.2	共　　计	111.2	107.4

组分甲胶粘剂的配比：组分甲混炼胶　20；汽油　140。

组分乙胶粘剂的配比：组分乙混炼胶　20；汽油　140。

使用时两种组分按1:1混合配制。

（3）胶粘剂性能　胶粘剂性能分别如表12-2-2～表12-2-6所示。

表 12-2-2 胶粘剂在不同硫化条件下对不同材质的粘接性

剥离强度，kN/m ＼ 硫化条件	室温		50℃		123℃		133℃		室温15d后在60℃下测定
	5d	15d	48h	192h	5min	10min	5min	10min	
对白细布	1.36～1.48	1.45～1.86	1.77～2.00	1.69～2.04	1.98～2.20	2.06～2.44	1.60～2.42	1.47～2.10	1.33
对红绸布	0.59～0.76	0.8～0.94①	0.65～0.83	0.65～0.76					0.92②
对锦纶布	1.62～1.77	1.57～1.76	1.63～2.43	1.49～1.63③					1.29
对棉织物	1.18～1.49	1.23～1.72	1.5～1.98	4.22～5.57					

① 室温硫化28d 的剥离强度。

② 室温硫化15d后在60℃下测定值。

③ 50℃硫化102h的剥离强度。

表 12-2-3 在不同硫化条件下胶粘剂粘接的各种织物剪切强度

单位：MPa

硫化条件 ＼ 织物	尼龙	棉织物	绸布	备注
50℃×24h	4.7～5.88	6.18～6.23	2.75～2.84	搭接长30mm，宽5cm
50℃×144h	10.39～10.59	5.78～6.57	3.14～3.43	搭接长30mm，宽5cm
50℃×60h	9.3～9.9	5.74～5.88	—	搭接长10mm，宽5cm
50℃×60h	7.3～8.53	4.66～6.47	3.04～3.43	搭接长20mm，宽5cm

表 12-2-4 在不同硫化条件下胶粘剂粘接的各种织物在70℃下剪切强度

单位：MPa

硫化条件 ＼ 织物	尼龙 6	棉织物	绸布	备注
室温 24h	1.27～1.47	3.63～4.6	2.35～2.84	搭接长度30mm，宽5cm
50℃×100h	5.29～5.49	4.31～5.1	2.65～2.84	搭接长度30mm，宽5cm
50℃×196h	2.94～3.43	4.5～4.9	2.79～6.89	搭接长度30mm，宽5cm

表 12-2-5 胶粘剂在不同硫化条件下对胶接锦纶织物老化性能的影响

老化条件	剥离强度（二次硫化）kN/m	老化条件	剥离强度（二次硫化）kN/m	老化条件	剥离强度（二次硫化）kN/m
70℃×48h	2.7	70℃×144h	1.96	100℃×96h	2.12
70℃×96h	2.6	100℃×48h	2.59	100℃×144h	1.69

4．氨水胶袋等制品修补用胶粘剂

氨水胶袋及类似橡胶胶布制品在划伤、破损后均需及时修补，在修补时可用含超促进剂和对叔丁酚甲醛树脂的天然胶液进行修补粘接。胶液组分如表12-2-7所示。

胶液以3组分形式保存，使用时以1∶0.75∶1比例混合。搅拌10～15min，可用汽油稀释，停放2h供用，活性期为48h。

表 12-2-6 胶粘剂在不同硫化条件下对胶接各种织物耐水性能的影响

硫化条件＼织物	剥离强度，kN/m 棉织物	锦纶	绸布
室温15d后浸水6d	1.01～1.08	0.39～0.43	0.37～0.43
50℃×48h后浸水3d	0.97～1.1	0.73	—
50℃×48h后浸水4d	1.31～1.37	0.78～1.37	—
50℃×48h后浸水5d	—	0.94～1.1	—
二次硫化后浸水6d	—	2.55～3.1	—

修补氨水袋时，先将修补处打磨，用汽油洗净，然后涂刷胶液2～3次，每次停放20～30min，再贴上二层或三层挂胶帆布或尼龙袋布（破损面积大于250cm²者用5～6层尼龙布或三层挂胶帆布），逐层压实，最后用电熨斗加热10～15min，或在室温下停放4h至1～2天都可以。

表 12-2-7 氨水袋修补胶液配方①

胶料组分	甲	乙	丙	胶料组分	甲	乙	丙
天然橡胶	100	100	100	立德粉	7.7	—	6.1
硫黄	—	6.1	—	对叔丁酚甲醛树脂	—	1.3	—
促进剂 PX	—	—	7	古马隆树脂	3	—	—
促进剂D	4.3	1.36	—	防老剂D	—	0.61	—
三乙醇胺	2.26	—	—	防老剂A	1.7	—	—
氧化锌	12.6	0.41	0.28	金光红	—	—	0.81
硬脂酸	0.16	0.61	0.36	高耐磨炉黑	—	8.5	—

① 胶料∶汽油＝1∶4。

5．解聚橡胶胶粘剂

解聚橡胶是天然橡胶经过解聚，在室温呈流动态的一种氧化橡胶。和天然橡胶一样，可以用硫化剂硫化，经配制后可作为胶粘剂或密封材料使用，亦可单独加入其它胶粘剂中作为增韧增粘材料应用。解聚橡胶呈液状流动态。

其制造方法是，将天然橡胶在炼胶机上进行充分地塑炼，在250～300℃处理1～2 h 制得，此时它在室温下的粘度为2.5Pa·s左右。亦可经塑炼后在140℃下加热6h，可制成解聚橡胶。在处理过程中，橡胶被空气中的氧所氧化而引入极性基团，因而提高了粘接性能。

6．天然橡胶溶剂胶粘剂的制备要点

（1）胶料的制备　将天然橡胶先行塑炼（生胶经塑炼后易于膨胀和溶解），然后进行混炼，按配方加入配合剂，混炼力求分散均匀，更应小心控制胶浆的受热历史，以免胶料发生早期硫化及结块。为便于溶解，将混炼胶出成5～7mm厚的胶片，冷却后用切片机切成小胶片。

（2）胶浆的制备　溶解过程在搅拌机中进行。一般溶解使用立式搅拌机，对于稠厚胶浆的制作，则在卧式搅拌机中进行。搅拌机由溶解槽及搅拌桨构成。

装料前应先检查搅拌机各部分装置是否正常。在搅拌机开动之前，应先加入一部分溶剂，然后开动搅拌机，把切好的胶片投入。待胶料搅拌均匀后，始可将其余溶剂分批加入。一般5～6h可完成溶解过程。胶浆在搅拌中生热，为防止自硫，搅拌机应备有水冷夹套。以减少升温，降低溶剂的挥发。

在胶料的贮备期较长、硫化速度较快（如采用超促进剂）或天气炎热的情况下，胶浆可采取双组分的形式。胶浆应贮放在密闭容器中，以防汽油挥发。

二、天然胶乳胶粘剂

天然胶乳用作胶粘剂，除配入一般天然干胶用的配合剂如硫黄、氧化锌、促进剂、防老剂等外，还配有胶乳专用配合剂，如渗透剂、稳定剂、扩散剂、增粘剂等。

1．天然胶乳胶粘剂的制备

胶乳在与配合剂混合前应进行过滤，去掉凝胶块和其它杂质。具体加料顺序如下。

天然胶乳称好后，先加稳定剂平平加，而后加入促进剂DM、防老剂D、氧化锌、硫黄、促进剂M、促进剂PX、202橡胶浆。促进剂PX加入前，先用JFC冲释后加入，以免凝胶。加料均需在搅拌过程中进行。

2．天然胶乳胶粘剂的应用实例

天然胶乳胶粘剂用于模压皮鞋的粘接，粘接力可达12.2kN/m，成品开胶率由1%下降到0.05%，成本低，涂胶一次即可，国内诸多鞋厂已采用。

天然胶乳不仅用来作模压皮鞋的帮底胶粘剂，而且还可配入一定量的聚乙烯醇缩甲醛粘接皮鞋底跟，亦可用于地毯的粘接。

胶乳配方工艺中所有配合剂均需经球磨分散，然后再加入胶乳中搅拌均匀。

天然胶乳胶粘剂配方如下：

原料名称	重量份	原料名称	重量份	原料名称	重量份
生胶（60%）	100	氧化锌（50%）	1	JFC（10%）	1.8
平平加（20%）	0.6	硫黄（50%）	1	202橡胶浆(36%)	9
促进剂DM(35%)	1	促进剂M（20%）	0.6	蒸馏水	1.5
防老剂D（50%）	1.2	促进剂PX（50%）	0.3		

3．天然胶乳水泥胶粘剂

天然胶乳水泥胶粘剂由胶乳、水泥以及其它一些组分配制而成。可以用于旧混凝土、钢板、玻璃、木材等粘接。它具有良好的耐腐蚀性和防水性。胶乳水泥应用于飞机跑道、码头、船舶的甲板、地下工程的修补和防水。

胶乳水泥分硬性和弹性两大类。前者质硬，用乙酸乙烯胶乳作原料，后者富有弹性和屈挠性，用天然橡胶胶乳作原料。水泥一般应用波特兰或高铝水泥（碱性）。

作防水层的胶乳水泥配方：

天然胶乳（干胶60%）	100	水玻璃	6～8
高铝水泥	134	氢氧化钾（10%）	少量
乳化沥青（50%左右）	100	水	5～8
防老剂分散体（50%）	2.4		

配制时先用水和水玻璃湿润高铝水泥并拌匀。将乳化沥青、氢氧化钾、防老剂分散体加入胶乳中，然后将搅拌好的水泥加入，随加随拌。配完后应在1h之内用完。气温不同，胶凝

时间也不同。为了达到良好的防水性能，含胶率不宜过低。

乳化沥青的调制配方：

60号石油沥青（3/4） 10号石油沥青（1/4）	50	氢氧化钠	0.45
		水玻璃	0.8
乳化剂	1	水	50
聚乙烯醇	2		

调制时先将沥青熔化并加热到140℃，聚乙烯醇于80～90℃的热水中溶化成水溶液，并加入乳化剂、水玻璃、氢氧化钠，将水溶液加热到85～90℃，用齿轮泵或胶体磨进行乳化。然后再将熔化沥青和乳液混合搅拌。

胶乳水泥作为防水层时的厚度为10～15mm时，抗水压性能为0.98MPa下保持144h不透水，延伸率在200%以上。粘接力为0.098MPa，吸水率为3%左右。在25%盐酸内3天不腐蚀。

为了调节胶乳水泥的胶凝时间，可以加入硅氟化钠。

用来粘接钢板的胶乳水泥配方：

白水泥	134	填　料	适　量
天然胶乳（干胶60%）	100	着色剂	适　量
氨酪素　（20%）	4～10	水	10～20

白水泥系酸性水泥，因此在与天然胶乳配制时，必须加入稳定剂酪素溶液，否则会立即发生胶凝。酪素用量应根据每批水泥的特点和气温来适当调节，填料、着色剂应根据设计要求来取舍。

三、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）接枝天然橡胶胶粘剂

PMMA接枝天然橡胶是由天然橡胶经与PMMA接枝制成。它的分子链上既有极性的PMMA，又有非极性橡胶烃。因此适用于粘接不同表面性质的物体。

PMMA接枝天然橡胶胶粘剂有溶剂型和胶乳型两类，面以胶乳型为最成熟，PMMA接枝天然橡胶胶乳中含30～45%MMA。

PMMA接枝天然橡胶胶粘剂用于天然橡胶或合成橡胶与皮革、聚氯乙烯、织物和金属的粘接，也可用于聚丙烯的粘接，最主要是用于制鞋和轮胎工业。与常用的间苯二酚甲醛-天然橡胶（或丁吡橡胶）胶乳相比，不仅成本低，而且在141℃硫化温度下其粘接力比用丁吡胶乳高30%，耐热性亦好，还能提高帘线的动态性能。

1．PMMA接枝天然橡胶胶粘剂的制备

（1）供轮胎帘线浸渍用的PMMA接枝天然橡胶胶粘剂的配方

浓缩天然胶乳（高含氨量）	100	油酸	3	二叔丁基过氧化氢	1.8
MMA	610	2%氨水	738	10%四亚乙基五胺溶液	7

（2）制备　备有3个容器A、B、C和不锈钢反应器，后者须备有强力搅拌器及水冷却盖，其中B和C须备有搅拌器及指示装置。操作步骤为：

① 在容器A中盛放氨水；

② 将油酸及叔丁基过氧化氢溶于MMA单体中，制备于容器B；

③ 将四亚乙基五胺溶液制备于容器C中；

④ 将胶乳加入反应器，并加入容器A中的氨水，边加边搅拌均匀；

⑤ 将容器B中溶液的1/3缓慢地加入反应器，再继续搅拌15min；

⑥ 将容器C中溶液的1/3缓慢地加入反应器，再继续搅拌5min，然后停止搅拌，至少

让反应进行1h，直至反应温度降到30℃以下，在此期间，应保持冷却，使温度保持在50℃以下；

⑦ 开动搅拌器，重复⑤和⑥；

⑧ 再一次开动搅拌器，重复⑤和⑥。

最后让反应器停放8h。由于MMA极易燃，搅拌器应配备防爆式电动机。

（3）MG-40PMMA接枝天然橡胶配方　见表12-2-8。

表 12-2-8　MG-40PMMA 接枝天然橡胶配方

组　　分	配　方 1	配　方 2	组　　分	配　方 1	配　方 2
天然胶乳（总不挥发分60%，氨含量0.7%）	7000		MMA	—	2940
			叔丁基过氧化物	—	15
20%分散剂Diskevsolln溶液	210		油酸	—	21
2%氨溶液	3995		四亚乙基戊胺(TEPA)(10%溶液)	—	136.5

粘接工艺：在未硫化胶与聚氯乙烯表面各涂PMMA接枝天然橡胶MG-40，使之充分晾干，然后放入模型加压硫化，最适宜硫化温度为120～130℃，硫化时间对粘接力影响不大。

2．PMMA接枝天然橡胶的粘接特性及应用

（1）粘接特性　在PMMA-NR接枝共聚物的溶剂型胶浆（加入增粘树脂）中，随着PMMA数量的增长，对极性的被粘物（三夹板、装饰板）表面的粘接剪切强度有明显的提高，而对非极性的被粘物（聚丙烯）表面的粘接剪切强度则没有明显的影响。对胶布的粘接性能，PMMA-NR接枝物比之NR胶乳稍有提高，但与PMMA的数量无关。表12-2-9为PMMA-NR接枝橡胶的粘接性能。

表 12-2-9　PMMA-NR接枝橡胶（溶剂型胶浆）的粘接性能

测　试　项　目	接枝共聚物中 PMMA 含量，%				
	0	10	20	30	40
粘接剪切强度，MPa					
三夹板-三夹板	0.51	1.058	1.215	1.254	1.715
装饰板-装饰板	0.343	0.803	0.853	0.892	0.892
聚丙烯-聚丙烯	0.343	0.343	0.284	0.313	0.294
粘接剥离强度，kN/m					
胶布-胶布	0.98	1.097	1.097	1.058	1.058

注：工艺：涂胶2次，每次间隔15min。固化条件为25～32℃（室温）×72h。

（2）填充特性　PMMA-NR接枝胶乳直接加入大量填充剂（碳酸钙或碳酸钙/白炭黑，加入量为干胶的100份以上）而无絮凝现象，配料胶乳的稳定性亦好（贮存半年以上未见异常）。而天然胶乳只直接加入少量填充剂（为干胶的30份以上）便即絮凝、结团，配料胶乳的稳定性亦较差。

（3）应用　PMMA接枝天然橡胶胶粘剂用于编织地毯的粘接，剥离强度1.33kN/m，粘接效果优于天然胶乳。用于雨衣胶布夹胶层与细棉织布的粘接，从面代替天然汽油胶浆，剥离强度（143℃×15min硫化）可达2.27kN/m。

四、环化橡胶胶粘剂

天然橡胶用酸处理后能得到具有环化结构的产物称为环化橡胶。在环化过程中，可以认为橡胶分子结构发生部分异构化（由顺式变为反式），同时橡胶不饱和程度降低。根据环化剂的性质、加热处理的温度与时间，可以制得不同性质的环化橡胶。这种环化橡胶主要供作胶粘剂使用。

常用的环化剂有硫酸、硝酸、磷酸、对酚磺酸、对甲苯磺酸、氯磺酸等。环化温度100～150℃，时间由数小时到数十小时不等，反应完毕后，将环化剂用水或二甲酮洗去，所得环化橡胶供配制胶粘剂使用。

当金属与橡胶进行粘接时，也可以在橡胶被粘接的表面直接用酸处理。在表面上局部进行环化作用。用浓硫酸或硝酸处理硫化胶表面，如用80%硫酸浸硫化胶4～5min（天然橡胶）或8～12min（合成橡胶），使表面环化，用水洗净、干燥，再与金属叠合后硫化。注意不要环化过度，出现表面龟裂或硬化发脆。用此种方法可以进行橡胶与金属的粘接，以及橡胶与木材、玻璃、塑料之间的粘接。

1．环化橡胶胶粘剂的制备方法及其性能

将天然橡胶100份与对位酚磺酸7.5份在炼胶机上混合后，轧成15～20mm的胶片，然后在140℃加热6h，经过洗涤、干燥后得到热异橡胶。

将热异橡胶切成小块，在2～3倍重量的溶剂汽油中使之溶胀24h，不断搅拌，加入汽油配成浓度9～11%的胶液。再用细金属网过滤，即得到环化橡胶胶粘剂，胶液中游离硫酸的含量（以$-SO_4$计算）不得超过0.05%。此种胶粘剂适宜对未硫化的天然橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶与各种金属（钢、铝合金）间的粘接。粘接时的温度不低于18℃，保持8h后再进行硫化。硫化后丁钠橡胶与钢的拉伸强度不小于0.49MPa，此种胶粘剂耐油性及耐燃料性能不佳。

2．用聚苯乙烯改性的环化橡胶

将热异橡胶25份溶于74.5份的苯乙烯单体中，经过金属筛网过滤，得到改性的环化橡胶胶液。为了防止苯乙烯单体在存放期间聚合，可加入少量对苯二酚作阻聚剂。

胶粘剂在使用前，加入0.5份过氧化二苯甲酰（溶于苯乙烯单体中）作引发剂。涂胶后可在室温硬化，也可在50℃加热硬化。

改性的环化橡胶胶粘剂粘接橡胶与金属的拉伸强度随粘接时的温度与时间而改变（见表12-2-10）。改性的环化橡胶胶粘剂适宜粘接聚异丁烯橡胶以及聚异丁烯与金属、水泥、木材间的粘接，其粘接强度见表12-2-11。

表 12-2-10 改性环化橡胶胶粘剂对金属-橡胶的粘接

硫化时间 h	拉伸强度，MPa		硫化时间 h	拉伸强度，MPa	
	20℃硬化	50℃硬化		20℃硬化	50℃硬化
1	0.29	0.78	16	1.176	2.35
2	0.392	1.27	25	—	2.35
3	0.49	1.47	80	2.64	2.84
8	0.588	2.35			

表 12-2-11 改性环化橡胶对聚异丁烯及各种材料的粘接

粘 接 材 料	拉伸强度，MPa
聚异丁烯＋金属	2.45
聚异丁烯＋混凝土	1.6
聚异丁烯＋木材	1.42

注：在室温下经10～20d 可达最大强度，在50℃经1～2 d即可。

改性的环化橡胶胶粘剂如不加引发剂时，其贮存期可达 2 个月以上；如入引发剂后，使用寿命为10～50 h 。

改性的环化橡胶胶粘剂的缺点是：有毒性，易挥发，易燃烧，在使用时应加以注意。

五、氢氯化橡胶胶粘剂

氢氯化橡胶胶粘剂是天然橡胶和氯化氢反应而得的产物。含氯量为28～30%，相对密度为1.16，在80～110℃具有可塑性，130℃下则明显软化，180～185℃分解。其化学稳定性好，不燃烧，能与氯化橡胶或酚醛树脂混合，不易与天然橡胶混合。可溶于三氯甲烷、二氯乙烷、芳香烃、脂肪烃，不溶于乙醇、乙醚和丙酮。

氢氯化橡胶胶粘剂典型配方：

氢氯化橡胶	100	氧化镁	0～20
硫黄	20～80	氧化铝	0～20
胺类促进剂	2～10	溶 剂	适量
邻苯二甲酸二丁酯	25～100		

氢氯化橡胶胶粘剂具有热塑性，是橡胶与钢、铜、黄铜及铝等材料的良好胶粘剂。其优点是：用法简便，粘接力强，特别是耐盐酸性好，可用于防腐制品。若在氢氯化橡胶胶粘剂中配用氯丁橡胶，能进一步提高橡胶与金属的粘接强度。

六、氯化橡胶胶粘剂

1．氯化橡胶的制造及用途

用各种方法将天然橡胶进行化学改性，可改善天然橡胶胶粘剂的粘接性能。氯化橡胶胶粘剂是改性天然橡胶胶粘剂中最有意义的品种。

在天然橡胶的四氯化碳溶液中通入氯气，使其发生双键的加成作用以及部分碳氢链的取代作用，可制得白色粉末状的氯化橡胶。反应如下：

$$\{CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}=CH-CH_2\}_n + nCl_2 \longrightarrow \{CH_2-\underset{\displaystyle CH^{\bullet}}{\overset{\displaystyle Cl\ \ Cl}{\overset{|\quad|}{C}}}-CH-CH_2\}_n$$

进一步与氯气作用后，得到有以下结构的产物：

$$\cdots\cdots\{CH-\underset{\displaystyle CH_2}{\overset{\displaystyle Cl\quad Cl}{\overset{|\quad|}{C}}}-CH-\underset{\displaystyle Cl}{\overset{|}{CH}}\}_n\cdots\cdots$$

氯化橡胶相对密度为1.5～1.7，软化点为65～75℃，超过130℃时分解。氯化橡胶因含氯量高达63～64%，故不延燃。它溶于环烷烃和氯代烃中，在脂、高级酮、硝基苯、硝化石蜡、吡啶及干性油中亦能溶解，不溶于水、酸、碱、一元醇、多元醇及松节油中。常用的溶

剂为甲苯和氯乙烷。

氯化橡胶胶粘剂是氯化橡胶溶于适当溶剂中制得的均匀溶液。它经过硫化后质地脆弱，可加入氯丁橡胶或软化剂以增加韧性。

氯化橡胶具有优良的耐化学腐蚀性、良好的粘附性和贮存稳定性。含氯量约为60%的氯化橡胶溶于芳烃和氯烃等有机溶剂后即可用作极性橡胶和金属材料粘接的胶粘剂，经改进后，也能粘接天然橡胶与铜。胶膜耐酸、碱和海水，但不耐芳烃和油类。

用氯化橡胶胶粘剂粘接氯丁橡胶效果良好。胶浆中加入硫黄或铅丹可提高氯丁橡胶与黄铜的附着力。氯化橡胶与氯丁橡胶有良好的亲和力，当氯化橡胶胶粘剂用于粘接丁腈橡胶时，应先在丁腈橡胶表面刷氯化橡胶胶浆，接着刷氯丁橡胶胶液，可获得良好的粘接效果。天然橡胶、丁苯橡胶与氯化橡胶的结合力不及丁腈橡胶和氯丁橡胶，可用氯丁橡胶作中间层以提高粘接效果。当硫化温度在150℃左右时，氯化橡胶胶粘剂的粘接力最高，这是因为此条件能在粘接面生成金属氯化物，提高了结合强度的缘故。

氯化橡胶胶粘剂主要用于橡胶（特别是氯丁和丁腈等极性橡胶）与金属（钢、铝、铁、锌和镁）的粘接。因其耐水及海水，亦可用作保护性表面涂料。若在氯化橡胶中加入树脂、改性剂和增塑剂，可提高粘接性能和扩大使用范围。用酚醛树脂、醇酸树脂、氯化聚烯烃、芳香族亚硝基化合物及邻苯二甲酸二丁酯等改性，可显著提高氯化胶粘剂的粘接性，并能用于非极性橡胶与金属的粘接。

配方举例：

氯化橡胶	100	2，5-二亚硝基对甲基异丙苯	10
聚2,3-二氯-1,3-丁二烯（40℃乳液聚合物）	30	甲苯	300

此配方用于天然橡胶与钢的粘接，经硫化后90°剥离强度可达3.58kN/m，不含亚硝基的同组分胶液仅1.52kN/m。

氯化橡胶除单独用作胶粘剂外，还大量用来改性氯丁和丁腈橡胶胶粘剂，可提高粘接强度、高温蠕变以及其它性能。例如，随着氯化橡胶用量增加，氯丁橡胶胶粘剂的胶膜内聚力显著提高，粘接性亦增大。对硬聚氯乙烯的粘接力，比未改性氯丁橡胶胶粘剂增加近10倍。

氯化橡胶胶粘剂中配用多异氰酸酯，也能进一步提高橡胶与金属的粘接强度。

2．胶料与多种材料的粘接

氯化橡胶胶粘剂的配比：氯化橡胶25份，二氯乙烷75份。用来粘接氯丁橡胶胶料和20号钢，剥离强度可达4.9kN/m（沿橡胶扯开），拉伸强度可达2.647MPa。如果氯化橡胶与JQ-1胶液（三苯甲烷三异氰酸酯）并用可制得氯化橡胶/JQ-1胶浆：25%氯化橡胶胶粘剂2份；20%JQ-1胶液1份。

氯丁胶料与20号钢用此种胶粘剂粘接时，剥离强度可达7.84～17kN/m（沿橡胶扯开）。天然橡胶/氯丁橡胶（天然橡胶:氯丁橡胶=1:1）与20号钢也有良好的剥离强度（5.88～20.38kN/m，沿橡胶扯开）。它们的缺点是初粘性不佳，不易成型。

用氯化橡胶/JQ-1胶粘剂作金属底层胶，在底层胶上再涂一层氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂作过渡层，则可提高初粘性，利于包胶成型，可改善工艺性能。

配制氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂时，应先配制20%氯丁橡胶胶粘剂，配方如下：

通用型氯丁橡胶	100	防老剂D	2
氧化镁（煅烧）	4	二氯乙烷	444
氧化锌	5		

将20%氯丁胶粘剂10份与1份20%JQ-1胶混合均匀后即为氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂。由于

这种胶粘剂在室温下易自硫，25℃下活性期仅5h，因此须随配随用。其涂胶工艺如下。

① 金属（20号钢）表面用2*铁砂布打磨或喷砂除锈，并用溶剂清洗干净。

② 第一次涂氯化橡胶/JQ-1胶粘剂作底胶，此时不宜用力来回涂刷，以免刷去胶膜。室温干燥40min以上。第二次涂氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂作过渡层，之后在室温下干燥20～30min，贴上胶层。

③ 贴合后在模具内硫化，硫化条件为0.098MPa×30min。氯化橡胶/JQ-1和氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂用于各种橡胶与20号钢粘接的性能如表12-2-12所示。

表 12-2-12 氯化橡胶/JQ-1和氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂用于20号钢与几种橡胶的粘接性能

胶种	剥离强度 kN/m	备注	胶种	剥离强度 kN/m	备注
天然橡胶	3.6	试片断	301 丁基橡胶	3.72	
天然橡胶/氯丁橡胶(1:1)	11.76～23.52		301丁基橡胶老化100℃×30h	4.31	
氯丁橡胶	11.76以上	橡胶扯开	丁腈橡胶-40	9.4以上	试片断

氯化橡胶/JQ-1、氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂用于氯丁橡胶与几种材料粘接时的粘接强度如表12-2-13所示。

表 12-2-13 氯化橡胶/JQ-1、氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂用于氯丁橡胶与几种材料粘接时的粘接强度

粘接材料	剥离强度，kN/m	备注	粘接材料	剥离强度，kN/m	备注
不锈钢	10.19	胶料破坏	20号钢	11.76以上	胶料破坏
铸铝	5.4	胶料破坏	镀锌钢板	8.38	胶料破坏
玻璃钢	7.72	胶料破坏	软质PVC	3.25	部分PVC粘在橡胶上

氯化橡胶/JQ-1、氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂的粘接强度与硫化温度存在一定的关系，其中以120℃为最宜，见表12-2-14所示 。

氯化橡胶/JQ-1、氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂具有良好的耐水、耐硅油性能，以粘接氯丁橡胶与不锈钢为例，剥离强度可达到10.19kN/m，如表12-2-15所示。

表 12-2-14 氯化橡胶/JQ-1、氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂粘接氯丁橡胶与20号钢时的粘接性能与硫化氯度的关系

硫化条件	氯丁橡胶与20号钢剥离强度，kN/m	备注
153℃×30min	4.86	沿橡胶扯开
143℃×30min	5.21	沿橡胶扯开
134℃×30min	4.93	沿橡胶扯开
120℃×30min	6.95	沿橡胶扯开
80℃×60min	4.97	在两层胶浆之间剥开

表 12-2-15 氯化橡胶/JQ-1、氯丁橡胶/JQ-1胶粘剂的耐水、耐硅油性能

介质	剥离强度 kN/m		备注
有机硅油	浸渍前	10.27	橡胶破坏
	浸渍280d	10.27	橡胶破坏
自来水和海水	浸渍前	10.27	橡胶破坏
	浸渍自来水240d后又浸渍海水40d	10.27	橡胶破坏

3．橡胶与木材辊芯的粘接

油印胶辊的粘接胶粘剂采用氯化天然橡胶，与甲苯以1:6比例制得。胶粘剂的硫化条件为0.29MPa（蒸汽压）×50min。

4．丁腈橡胶与金属的粘接

当氯化橡胶胶粘剂用于丁腈橡胶与金属粘接时，需在氯化橡胶与丁腈橡胶之间刷一层丁腈密着胶浆，其配方如下：

丁腈橡胶	100	硫黄	6	酚醛树脂2123	50	合计	190
氧化锌	5	锌钡白	15	促进剂DM	1.5	含胶率，%	52.7
硬脂酸	0.5	邻苯二甲酸二丁酯	10	促进剂H	2		

胶料与溶剂之配比为：胶料:甲苯:丙酮=1:2:0.5。

七、环氯化天然橡胶胶粘剂

在一系列化学改性的天然橡胶中，环氧化天然橡胶（ENR）是最新的一种。国际上，ENR的问世并投入实际应用展示着橡胶改性方面取得的引人注目的新成果。

天然胶乳（国产）在阳离子表面活性剂以及环氧化试剂（过氧化及有机酸体系）存在下进行环氧化反应，制得环氧化天然橡胶，产物的环氧化度和结构依赖于反应条件。

采用不同环氧化程度的ENR胶乳与天然胶乳按不同比例混合，将共混胶乳涂布于平细布基材上，干燥到一定程度后贴合，室温下干燥20h，然后加热到100℃，保温1h。从表12-2-16中可以看出，在天然胶乳中加入少量ENR便可提高其粘接力，且在一定范围内，环氧化度越高则加入后的效果越明显，这可能是由于环氧化基团增大了天然橡胶的极性所致。

表 12-2-16 ENR的粘接性

干胶固含量 %	环氧化物 ENR	配比 NR/ENR	剥离强度 kN/m	干胶固含量 %	环氧化物 ENR	配比 NR/ENR	剥离强度 kN/m
16	—	10:0	0.30	16	ENR20	8:2	0.691
16	ENR10	8:2	0.47	16	ENR25	8:2	0.758

ENR的极性因环氧化面逐渐增大，面且根据环氧化可改变与其它聚合物之间的相容性，因之，与PVC、氯丁橡胶、丁腈橡胶的粘接性优良（见表12-2-17）。

表 12-2-17 ENR与PVC及其它聚合物的粘接性

试样（被粘接体/胶粘剂）	粘接强度，N/mm	试样（被粘接体/胶粘剂）	粘接强度，N/mm
PVC/NR	0.4（界面破坏）	NBR/ENR-50	10.0（橡胶破坏）
PVC/ENR-25	2.4（界面破坏）	CR/ENR-50	12（橡胶破坏）
PVC/ENR-50	9.8（橡胶破坏）	NR/ENR-25	6.6（界面破坏）
PVC/NR:ENR-25:ENR-50混合物(50:25:25)	10.6（橡胶破坏）	CR/ENR-25	12.0（橡胶破坏）
NR/ENR-50	0.8（界面破坏）	NBR/ENR-25	10.0（橡胶破坏）

配方如下：

聚合物	100	氧化锌	5	氧化防老剂	2	促进剂MBS	1.5
炭黑N220	30	硬脂酸	2	硫黄	1.5	防焦剂CTP	0.2
油	5						

第三节　氯丁橡胶胶粘剂

一、概　　述

氯丁橡胶胶粘剂是橡胶型胶粘剂中产量最大的一个品种，其主体材料氯丁橡胶组成为$\{CH_2—CCl=CH—CH_2\}_n$，多数为反式-1,4-结构，结晶性大，分子结构中带有强极性基团氯，因此粘接性能良好，且耐日光、臭氧老化。由于氯丁橡胶在化学组分和结构形态上的特点，所以它能耐酸碱、阻燃，可以制成快结晶品种而获得高内聚强度，所制备的胶粘剂显示出优异的性能。

1931年氯丁橡胶已有商品出现，但用于胶粘剂还是从第二次世界大战开始的，特别是1950～1951年出现快结晶氯丁橡胶（AC、AD型），氯丁橡胶胶粘剂才获得较大改进。

美国从1932年最早开始生产氯丁橡胶，供胶粘剂用氯丁橡胶不下10种。日本1962年开始生产氯丁橡胶，品种约有39种，胶粘剂用氯丁橡胶就有21种，并分为污染型和非污染型出售。

德国Eayer公司于1958年开始生产氯丁橡胶，近年的品种达10多种。

我国自1966年以来已批量生产胶粘剂用氯丁橡胶，近年来尤以粘接型LDJ-240产量上升较快，其品种（粘接型）和质量都获得很大的发展和提高。

氯丁橡胶分子结构中含有59%的碳氢键、40%的氯、燃烧热低，使得氯丁橡胶胶粘剂具有耐老化、耐热、耐候、耐燃、耐臭氧、耐油、耐化学试剂等性能，而且它对金属、非金属诸多材料均有满意的粘接效果，还广泛应用于各行各业及日常生活中的修补。表12-3-1为氯丁橡胶胶粘剂与其它橡胶类胶粘剂性能比较。

表 12-3-1　氯丁橡胶胶粘剂与其它橡胶类胶粘剂性能的比较

特性 \ 胶粘剂	氯丁橡胶	天然橡胶	再生橡胶	丁苯橡胶	丁基橡胶	聚硫橡胶
粘接强度	好	较好	较好	可以	好	可以
胶粘性	较好	好	较好	可以	较好	可以
耐水性	好	好	好	好	好	好
耐油性	较好	不好	不好	可以	较好	可以
耐汽油性	较好	不好	不好	不好	较好	可以
耐热性	较好	不好	不好	不好	较好	可以
耐寒性	较好	好	较好	较好	较好	好
耐老化性	好	可以	可以	不好	较好	好

二、氯丁橡胶的类型和品种

目前，氯丁橡胶胶粘剂基本分为溶剂型和乳胶型。其中以溶剂型胶粘剂用量最大，占主导地位。

氯丁橡胶胶粘剂的性能主要取决于主体材料。国内外氯丁橡胶的商品牌号、特性及用途参见第一分册第六章的有关部分。

三、氯丁橡胶胶粘剂的配合及其特性

（一）氯丁橡胶的结构

氯丁二烯单体结构有4种：反式-1,4-结构、顺式-1,4-结构、1,2-结构、3,4-结构。橡

胶制品用氯丁橡胶最好是顺式-1,4-结构。因为顺式结构弹性较好，反式则稍差。对于粘接用氯丁橡胶来说以反式-1,4-结构最为重要，它的特点是弹性较低，粘接力较强。我国生产的胶粘剂用氯丁橡胶反式-1,4-结构占80%以上，顺式-1,4-结构占百分之十几，1,2-和3,4-结构只占百分之几。

（二）粘接型氯丁橡胶的结晶特性

粘接型氯丁橡胶反式-1,4-结构居多，分子排列紧密，分子链上有极性较大的氯原子。天然橡胶在－25℃时产生结晶，而氯丁橡胶在0℃甚至室温时即生成结晶，结晶温度范围在－35～＋32℃之间，0℃时最快。氯丁橡胶胶粘剂在溶剂挥发以后经过较短时间，密着力即达一定强度，主要是粘接型氯丁橡胶结晶很快。

粘接型氯丁橡胶与通用型氯丁橡胶的粘接强度对比，如表12-3-2所示。

LDJ-240比LDJ-231、LDJ-121的结晶速度快得多。以室温下硬度增加来衡量结晶速度时，3种氯丁橡胶的结晶速度对比如图12-3-1所示。

表 12-3-2 粘接型与通用型氯丁橡胶胶粘剂对帆布粘接性对比

室温放置天数 \ 胶种	粘接型氯丁橡胶 剥离强度,kN/m	通用型氯丁橡胶 剥离强度,kN/m
1	6.6	2.5
2	6.5	3.8
3	7.1	3.4

注：1.基本配方：生胶 100，氧化锌 5，氧化镁 4，防老剂D 2。
2.胶料与溶剂（甲苯）之比为1∶4。

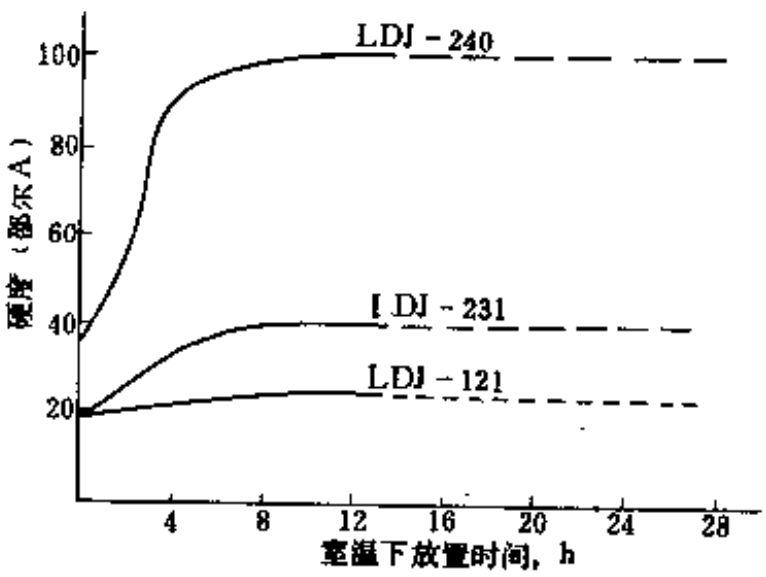


图 12-3-1 三种氯丁橡胶结晶速度对比

（三）硫化体系

氯丁橡胶胶粘剂有加热硫化型和室温硫化两种。室温下硫化氯丁橡胶胶粘剂通常用氧化镁和氧化锌等金属氧化物作为硫化剂。单用氧化镁和氧化锌系统室温硫化速度缓慢，室温下10天后其胶膜仍能完全溶解在原来的有机溶剂中，因此胶膜的良好强度主要是靠结晶产生的。仅加氧化锌的胶膜发粘且强度低，加入氧化镁能有效加速胶膜硫化并能大大提高初始粘接强度。因为轻质锻烧氧化镁能有效吸附胶膜中残存的溶剂从而使胶膜很快结晶。在氯丁橡胶胶粘剂中单用氧化镁，同样能达到所要求的粘接强度，且具有两大优点：①可以避免胶料早期硫化，防止胶粘剂在加工或长期存放过程中产生凝胶；②氧化镁质轻，易在胶液中分散，不像氧化锌易在容器底部结成坚硬的沉淀物。

加热硫化型氯丁橡胶胶粘剂须配合硫化促进剂，常用品种为促进剂N_A-22。典型的硫化体系为5份氧化锌与4份氧化镁并用，促进剂N_A-22 0.5～2份，在140℃左右的高温下硫化，有满意的硫化效果。

为了提高性能和加速室温硫化过程，氯丁橡胶胶粘剂必须加入室温硫化促进剂，常用的硫化促进剂是异氰酸酯以及一些胺类，这种类型胶粘剂必须作为双液型。因为异氰酸酯活性较大，只能在使用前进行调制。异氰酸酯不仅能加速系统的硫化速度，而且能提高耐热和粘接强度。异氰酸酯一般常用JQ-1（三苯基甲烷三异氰酸酯）、PAPI（多苯基多亚甲基多异氰

酸酯，或多亚甲基苯基异氰酸酯）。由于PAPI与JQ-1 同样具有能与活性氢反应的—NCO，且气味较JQ-1小，可代替JQ-1使用。一般JQ-1用量为氯丁胶浆的5～10%，PAPI用量与JQ-1用量大致相同。此类胶粘剂多用于制鞋工业。胺类、氧化铅系统亦能室温硫化氯丁橡胶胶粘剂。

（四）增粘剂

为了提高胶粘剂的耐热性，并获得较长期的粘性、较大的内聚力和对特种表面的粘接性，在氯丁橡胶胶粘剂中常常配合适量树脂。树脂大体上有两类：低软化点热塑性树脂和高软化点热反应树脂。

低软化点热塑性树脂包括某些萜烯酚醛树脂、古马隆树脂及氢化松香等。古马隆树脂能赋予粘接性和柔软性，但会减弱凝聚力，所以性能不好。萜烯酚醛树脂能防止胶液产生触变，但不能改善胶液的耐热性能。

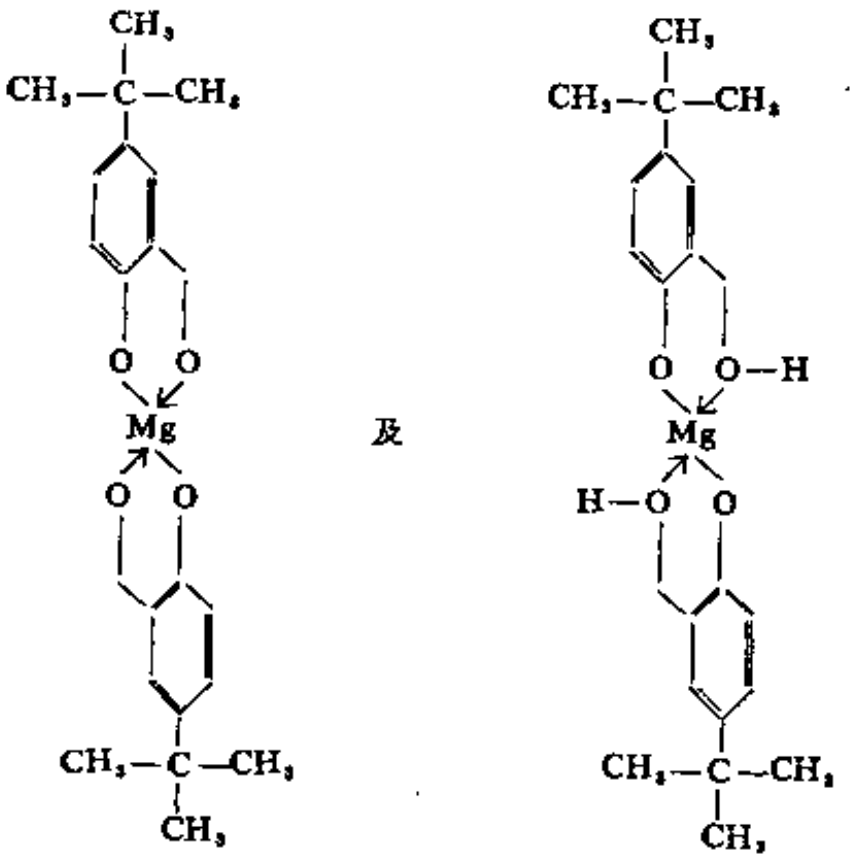
粘接型氯丁橡胶（LDJ-240，AC，A-90等）因常温下结晶快，能获得较好的凝聚力，但升温到50℃以上结晶溶解，凝聚力急剧下降，而失去实用价值。使用高软化点热反应树脂可显著改善胶粘剂的耐热性能。

高软化点热反应树脂是某些低软化点热塑性树脂（如对叔丁基酚醛树脂）与某些金属氧化物（如MgO）反应后的改性产物。反应后的树脂熔点可大为提高，因而可提高胶粘剂的高温粘接性能，还可改善胶粘剂的抗相分离能力，增加胶液的贮存稳定性。

树脂的用量根据要求而定，通常在45～100份范围内。

预反应树脂配方与工艺：将叔丁酚甲醛树脂配成一定浓度的甲苯溶液，加入10%氧化镁，再添加树脂量0.5～2%的水作催化剂，在室温（25～30℃）下反应16～24 h，滤去沉淀即成树脂的预反应液。

预反应树脂的结构可能为：



叔丁基酚醛树脂中—OH基、$—CH_2OH$基都能与MgO反应，生成新的化合物。

单靠氯丁橡胶结晶化作用（热可逆性）很难获得满意的耐热效果，必须使氯丁橡胶发生交联，或以热反应树脂改性，使之发生“热不可逆”性变化。表12-3-3为氯丁胶粘剂耐热性试验数据。

预反应树脂对粘接性能的影响如表12-3-4所示。

（五）填充剂

在胶粘剂中加入填料的目的是为了降低成本、进行补强，提高粘接力。粘接型氯丁橡胶很少有配入填充剂的。常用的填充剂有半补强炉黑、硅酸盐、白炭黑。为降低成本可加入的填充剂有陶土、碳酸钙、滑石粉等；加入水合硅酸钙，可增加胶液的稳定性和胶膜的强度，使胶粘剂具有触变性，便于涂刷，工艺性能好。

表 12-3-3 氯丁胶粘剂耐热性试验

性能指标	铝-铝 剪切强度 MPa	铝-铝 经130℃×48h老化 剪切强度，MPa	耐热性①
氯丁胶粘剂	1.7	6.28	170℃ 不剥落

① 耐热性按ASTM 816—55测试，被粘体为帆布与铝片，帆布挂500g重锤，置于烘箱中升温30℃以后每5min升温2℃，重锤与帆布落下的温度称软化点，以摄氏温度表示之。胶粘剂系采用预反应树脂。

表 12-3-4 预反应树脂用量对粘接性影响

配方与性能	1	2	3	4	5	6
国产通用型氯丁橡胶	100	—	—	—	—	—
氯丁橡胶A-90	—	100	—	—	—	—
氯丁橡胶LDJ-240	—	—	100	100	100	100
氧化镁	4	4	4	8.5	11	14
防老剂J	2	2	2	2	2	2
氧化锌	5	5	5	5	5	5
预反应树脂	—	—	—	45	70	100
甲苯	444	444	444	480	570	645
棉帆布/棉帆布剥离强度,kN/m	2.6～3.4	3.7～8	6.7～7	9.4	7.6	5.7
碳钢/碳钢拉伸强度,MPa	—	—	—	1	1.4	2.3

（六）防老剂

防老剂的加入不仅能进一步提高胶膜的耐热老化性能，而且还可以改善胶液的贮存稳定性。不考虑变色问题时，一般可使用防老剂D，若考虑污染和变色问题，应使用非污染防老剂264、2246等。

（七）溶剂

一般认为溶剂与氯丁橡胶的溶解性、胶粘剂的初期粘度、粘度稳定性、层分离性、涂布性、粘合保持性、被胶合体的浸渗性、初期粘接力、粘接强度都有密切关系。此外，如毒性、起火性等也应加以考虑。作技术经济分析时还应考虑成本。这样，选择溶剂要作全而分析，首要考虑溶解性，其次则考虑涂刷性和毒性。

氯丁橡胶易溶于芳香烃、氯代烃及某种酮类。苯、甲苯、二甲苯、乙苯、氯甲烷、四氯化碳等是氯丁橡胶的良溶剂。粘接型氯丁橡胶在甲乙酮、乙酸丁酯和乙酸戊酯中仅能轻微溶解，不溶于脂肪烃、醇和丙酮。乙酸乙酯和汽油在适宜的比例范围内（乙酸乙酯:汽油为8:2～4:6），均可溶解通用型氯丁橡胶，但对粘接型氯丁橡胶不溶解。

1．溶解度参数、氢键指数

溶解度参数（SP）和氢键指数（γ）可以用来衡量溶剂的溶解能力。当溶剂的溶解度参数和氢键指数都和氯丁橡胶的溶解度参数、氢键指数相接近时，该溶剂就能溶解氯丁橡胶。W型氯丁橡胶的溶解度参数为9.5，氢键指数为3.5。目前国内经常采用的混合溶剂的SP值、

γ值列于表12-3-5。适用于W型和A型氯丁橡胶，也基本适用于LDJ-231、LDJ-240。

表 12-3-5 某些混合溶剂的SP值和γ值

混合溶剂	SP值	γ值	混合溶剂	SP值	γ值
甲苯:乙酸乙酯:正己烷（1:4.5:4.5）	8.27	3.62	乙酸乙酯:环己烷:汽油（5:2:3）	8.41	4.03
乙酸乙酯:汽油（2:1）	8.53	4.2	乙酸乙酯:丙酮:汽油（35:20:45）	8.42	3.99
甲苯:汽油:乙酸乙酯（3:4.5:2.5）	8.28	3.28			

2．不同溶剂对胶粘剂粘度的影响

若混合溶剂按甲苯:汽油:乙酸乙酯＝3:4.5:2.5的比例配制可将粘接型氯丁橡胶快速溶解，胶粘剂浓度可达40%以上。混合溶剂还可降低胶粘剂的粘度。不同溶剂组分的20%浓度的氯丁胶粘剂粘度如表12-3-6所示。

表 12-3-6 不同溶剂对粘度的影响

胶种 \ 溶剂	甲苯	甲苯:乙酸乙酯 1:1	甲苯:汽油 1:1	甲苯:汽油:乙酸乙酯 3:4.5:2.5
粘接型氯丁橡胶	9.8min	8.2min	5.13min	4.52min
通用型氯丁橡胶	3.95min	3.18min	2.7min	2.1min

若以乙酸丁酯或乙酸戊酯代替乙酸乙酯，则可进一步提高溶解速度和溶解能力。

3．低毒性溶剂的选择

由于芳香烃类化合物的毒性较大，当前的趋势是用不含苯类化合物的低毒溶剂。推荐乙酸乙酯:环己烷:汽油为50:20:30和乙酸乙酯:丙酮:汽油为35:20:45的混合溶剂作为氯丁胶粘剂的溶剂，其溶解性、挥发性、涂刷性、粘接性近似于传统的含苯类化合物的溶剂，毒性大大降低。

表 12-3-7 与进口胶性能比较

编号	挥发速度，min		初始剥离强度 N/cm	最终剥离强度 N/cm
	第一遍胶	第二遍胶		
进口胶粘剂	19	61	24	52
国产胶粘剂（混合溶剂）	26	31	39	67

用汽油-丙酮-乙酸乙酯以及α-蒎烯-丙酮-乙酸乙酯混合溶剂体系作为无苯低毒体系也是可行的。以混合溶剂制成的鞋用胶液粘接牛皮和橡塑底的剥离强度达到81N/cm（部颁标准为40N/cm）初始剥离强度达到31N/cm，与进口氯丁胶粘剂性能比较如表12-3-7所示。

混合溶剂所制的胶液半年不分层，溶解力较强，涂刷性亦可，又改善了操作环境，降低了胶粘剂的毒性。

四、氯丁橡胶胶粘剂的制备

氯丁橡胶胶粘剂的性能在一定程度上与其制备工艺有直接关系。制备过程大致包括塑炼、混炼以及混炼胶的溶解。

1．解结晶

粘接型氯丁橡胶常温下就能快速结晶，低温结晶更快。如遇天冷，制备前应解结晶，

70℃下烘20min 即可解除结晶。解结晶工作应在使用前半小时进行，一般应在解结晶后立即投入炼胶机配炼。

2．塑炼和混炼

（1）塑炼　塑炼能显著改变生胶的分子量，提高可塑度。当用开炼机塑炼时，操作采用低温（30～40℃）、小辊距（≤0.5～1.0mm）、低容量（为天然橡胶容量的40～60%），塑炼时间约15min左右。

（2）混炼　氯丁橡胶混炼时，产生热量大、升温速度快、易粘辊、易焦烧、配合剂分散较慢，因此，混炼时间宜短，辊温要低（40～50℃），容量宜小（为天然橡胶容量 的 70% 左右），辊筒速比也不宜大（小于1:1.12），加料顺序为氧化镁、防老剂、氧化锌。氧化镁一定要先加，以防焦烧。

3．溶解

混炼胶的溶解一般在带有搅拌的密封式容器中进行，先将混炼胶剪成小块，在容器（如反应釜）中倒入部分溶剂，将混炼胶小块倒入容器中，溶解均匀后再加入剩余的溶剂调配成规定浓度的胶液。

一般搅拌10h左右（气温低时要长些）可溶解均匀。

注意混炼胶不宜久放，应尽可能地在8h以内溶解，放置超过8h溶解性变差。

五、影响粘接性的工艺因素

氯丁橡胶胶粘剂的粘接效果，除了选择合理的配方外，接头设计和粘接工艺也是关键因素。因此，进行粘接时须通盘考虑才能取得较为满意的粘接效果。

1．涂胶环境

涂胶环境温度在15～35℃，相对湿度在80%以下为好。温度低溶剂挥发慢，湿度大粘接试件表面有水分，会导致毛细现象上升，影响胶粘剂的湿润。

2．涂胶工艺

一般来说，溶剂的挥发是粘接力发生作用的前提条件，所以敞晾干燥自然应当作到恰到好处，即溶剂已经挥发，但涂层仍保持一定瞬时粘力的状态（即触指不粘）时进行贴合。

涂胶厚度、涂胶次数依据胶种及工艺面定。

3．压力

加压的作用是使整个粘合体在固化过程中始终保持定位和一体化，保证被粘体表面与胶粘剂之间有紧密接触，从而加快胶粘剂的浸润，界面扩散，亦可消除气泡。但压力不能太大，以免应力集中，导致压力过大而流胶。压力一般在0.05MPa左右。在某种情况下，加压比不加压粘接强度提高很多，但不能一概面论，有些仅需接触压力即可。

4．固化温度

按照温度条件，固化可分为两种。

① 室温固化，加异氰酸酯类的氯丁橡胶胶粘剂均可室温固化。

② 加热固化，一般加热固化能得到最宜性能。加热可促进交联，改进接头的抗蠕变性，有利于界面扩散。氯丁橡胶胶粘剂经加热后粘接强度有所提高。

5．表面处理

粘接效果的优劣，除关系到胶粘剂选用正确与否外，界面条件也很重要。表面处理的目的是保证胶粘剂应用时能真正湿润被粘体表面。常规方法是溶剂脱脂。另外还需要被粘体表

面有一定的粗糙度，用砂皮、打毛机或喷砂使表面粗化。据称，喷砂可以使经过抛光的金属表面积增大20倍。例如氯丁橡胶胶粘剂用牌号为1154的天然橡胶胶片与铝粘接，若胶片经过打毛，剥离强度大于3.92kN/m，若不打毛仅0.78kN/m左右，差异较大。

6．其它因素

（1）增塑剂　增塑剂迁移亦影响粘接效果，如对软质PVC等材料粘接，宜采用接枝氯丁橡胶胶粘剂。

（2）凝胶　氯丁橡胶胶粘剂由于凝胶，失去涂布性。如粘度增大，可用溶剂稀释，可继续使用。但凝胶意味着胶粘剂失去了浸润、扩散性能，难以涂布，则不能再用。凝胶是由于超过贮存期，有些是因为保管不当，有些是在制造过程中产生的，都应设法防止。

六、氯丁橡胶胶粘剂典型应用配方

（一）双组分室温硫化氯丁橡胶胶粘剂

表 12-3-8　氯丁-JQ-1胶液的常温粘接性能

品　种	溶　剂	被粘材料剥离强度，kN/m		
		丁基橡胶	天然橡胶	皮　革
通用型	乙酸乙酯:汽油(2:1)	2.5	4.4	2.4
LDJ-240	甲　苯	6.5	6.6	4

氯丁-JQ-1胶液为双组分的代表，其配方为：氯丁橡胶 100、氧化镁 4、防老剂D 2，氧化锌 5，制成20%浓度的胶液，使用时加入10份JQ-1，使用期小于3h。胶接性能如表12-3-8所示。

（二）胶布粘合用氯丁橡胶胶粘剂

甲液：通用型氯丁橡胶 100，白炭黑 25，防老剂丁 1.5，乙酸乙酯 200，汽油200，共计520.5。

乙液：丁腈橡胶 265，氧化锌 5，氧化镁 4，乙烯硫脲 2，乙酸乙酯 74，计90。

使用时按甲：乙＝6～10:1混合，使用期约24 h，用于雨衣的粘接，效果良好。

（三）鞋用氯丁橡胶胶粘剂

（1）配方　氯丁橡胶G40或A-90 50，氯丁橡胶Y-30或M-130L 50，防老剂 2，氧化镁 10，氧化锌 2，沉淀白炭黑 10，叔丁基酚醛树脂 40，萜烯酚醛树脂 10，溶剂甲苯 121，正己烷 121，乙酸乙酯 121共计537。性能见表12-3-9。

表 12-3-9　鞋用胶的粘接性能（剥离强度，kN/m）

溶液粘度 Pa·s	含固量 %	初粘性	室　温	60℃下	80℃下	皮革/天然橡胶				
						温度 粘合时间	25℃ 10min	25℃ 放3h	25℃ 放1d	25℃ 放7d
4.43	32.1	2.3	7.5	4.1	1.5		3.9	4.1	4.3	5.4

（2）固化剂　国产的JQ-1、7900固化剂在色泽上不能适应要求，新近国内制成无色固化剂，分子量在250～725之间，含有 2～3 个异氰酸基团的异氰酸酯。分子式为$C_{30}H_{20}N_4O_4$。将JQ-1、7900及此种无色固化剂等三种固化剂分别加入氯丁橡胶胶粘剂，加入量均为氯丁橡胶的10%，搅拌均匀后涂布在25×10cm的人纹帆布上，于60℃烘干15min，粘接后分别固化24h、72h，测定其剥离强度。3种固化剂比较见表12-3-10。

国外及国内异氰酸酯固化剂分别见表12-3-11及12-3-12。

表 12-3-10 无色固化剂与JQ-1,7900比较

固化剂名称	剥离强度，kN/m	
	24h	72h
JQ-1	13.3	13.8
7900	13.1	14.1
无色固化剂	12.1	14.1

表 12-3-11 国外异氰酸酯固化剂

牌　号（公司）	—NCO，%
Desmodur R (Bayer) Mondur TM (Mobey) Cyanofix (socland)	7.0±0.2
Desmodur RF (Bayer) ①	5.4±0.2
Desmodur RU (Bayer) Desmodur L75 (Bayer)②	7 1.3±0.5

① Desmodur RF：不易退色，适宜于浅色或光照易变色材料用胶粘剂。

② Desmodur L75：常配成75%乙酸乙酯溶液。

表 12-3-12 国产的异氰酸酯胶粘剂

项目 \ 品种	JQ-1	7900		JQ-4
		粉末型	液体型	
外观色泽	紫红色液体	浅黄绿色粉末	棕色液体	淡黄褐色液体
固含量，%	20±1	≥90	20±1	20±1
—NCO，%	6.8	34.6	7.7	5.4

（四）透明氯丁橡胶胶粘剂

透明氯丁橡胶胶粘剂配方：氯丁橡胶G-40或A-90 100，酚类防老剂 2，碳酸镁 2，碳酸锌 2，溶剂适量。

（五）氯丁橡胶AC接触型胶粘剂

氯丁橡胶AC胶粘剂配方见表12-3-13。

表 12-3-13 氯丁橡胶AC胶粘剂配方

配方 \ 应用	装饰板	一般工业用途胶粘剂	配方 \ 应用	装饰板	一般工业用途胶粘剂
氯丁橡胶 AC	100	100	己　烷	275	277
氧化镁	5	5	丙　酮	215	138
氧化锌	2	2	甲基乙基酮	—	138
抗氧剂	1	1	甲　苯	122	138
热反应树脂	45	45	固含量，%	20	20
萜烯酚醛树脂	—	20			

七、氯丁胶乳胶粘剂

氯丁胶乳胶粘剂用于制鞋行业胶粘半托底、包托底、鞋帮、贴包假皮艮等工序是有效的。

配方：

氯丁胶乳LDR 403（含固量48～50%）	100	古马隆树脂（50%水分散体）	30～50
平平加O（20%稀释液）	1	渗透剂（JFC）（10%稀释液）	适量
氧化锌（50%水分散体）	10～15	剥离强度（人纹机帆带粘接）	2.4～3.1kN/m

八、改性氯丁橡胶胶粘剂

（一）丁腈橡胶、氯化橡胶改性氯丁橡胶胶粘剂

为了增加氯丁橡胶胶粘剂的耐油性，可加入一定量的丁腈橡胶。若再与适量的氯化橡胶并用，则对提高胶粘剂耐水、防霉、延燃及耐候等性能亦有一定的作用，特别适用于粘合聚氯乙烯。配方举例如下：

	配方1	配方2		配方1	配方2
通用型氯丁橡胶	50	80	硫黄	0.5	0.5
丁腈橡胶-26	20	20	氧化镁	4	4
氯化橡胶	30	—	氧化铅	10	10
氧化锌	10	10	焦性没食子酸	1.5	1.5
乙酸钠	0.5	0.5	叔丁基酚醛树脂	40	40
防老剂4010	1	1	氧化钙	2	2
促进剂CZ	0.5	0.5			

胶粘剂的配制比例：母胶：氯化橡胶：酚醛树脂：纯苯：甲苯：丙酮＝10：3：4：20：10：10。

配方1专用于聚氯乙烯之间、聚氯乙烯与丁基橡胶、天然橡胶的粘接，其粘接效果见表12-3-14。

表 12-3-14　丁腈橡胶、氯化橡胶改性氯丁橡胶胶粘剂效果

粘接材料	粘接条件	剪切强度 MPa	剥离强度 kN/m	破坏情况
聚氯乙烯	粘接后在45℃恒温保持3d	6.9～8.2	—	胶粘剂破坏或PVC断裂
PVC/丁基橡胶	粘接后在45℃恒温保持3d	—	2.0～2.3	胶粘剂与丁基橡胶脱离而与PVC粘接牢固

配方2用于橡胶与铝、橡胶与橡胶之间的粘接，也可用于聚氯乙烯与铝或橡胶的粘接，其粘接效果如表12-3-15所示。

表 12-3-15　丁腈橡胶、氯化橡胶改性氯丁橡胶胶粘剂效果

粘合材料	粘合条件	剪切强度 MPa	剥离强度 kN/m	破坏情况
聚氯乙烯/铝	PVC涂配方1，铝涂配方2，常压45℃3d	3.9～4.8	—	胶粘剂与铝脱离
PVC/天然橡胶	涂配方2，常压45℃恒温3d	—	4	胶粘剂与PVC脱离
铝/丁基橡胶		—	5	胶粘剂与铝脱离

胶粘剂制备工艺流程如图12-3-2所示。

（二）接枝氯丁橡胶胶粘剂

1．A-90/MMA接枝型胶粘剂

近年来，制鞋生产中使用合成原料代替部分天然原料，相应地对胶粘剂的要求也发生了变化，特别是对PVC、EVA等材料，一般双液型氯丁橡胶胶粘剂粘接力不足，为了适应制鞋行业的发展，CR/MMA接枝型氯丁橡胶胶粘剂应运而生。

（1）配方　A-90 100；MMA 100；过氧化苯甲酰 0.5；甲苯 600～700。

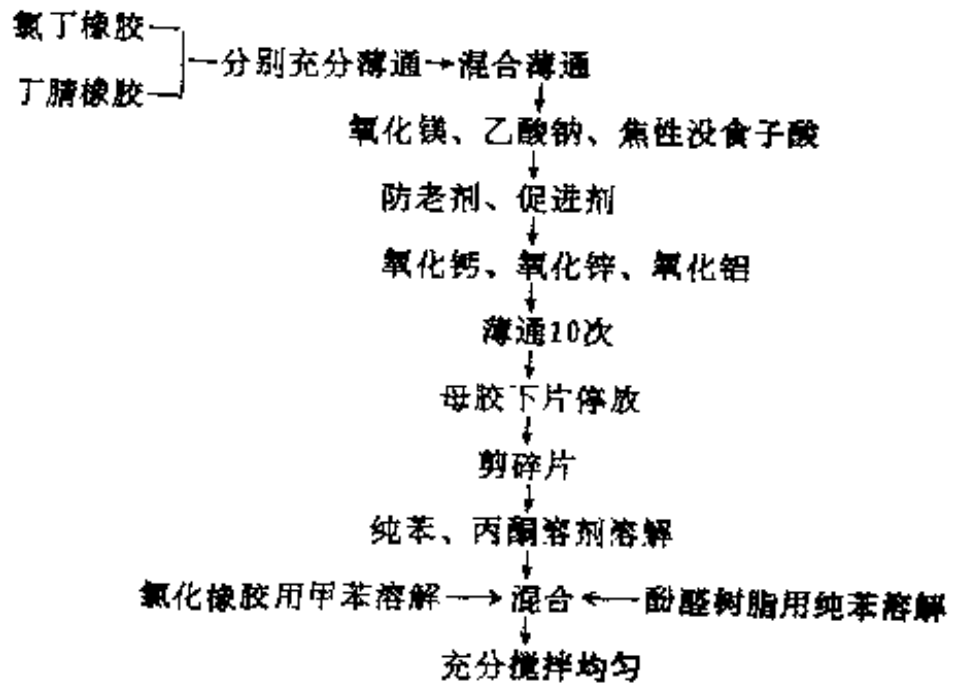


图 12-3-2 丁腈橡胶、氯化橡胶改性氯丁橡胶胶粘剂的制备流程

（2）聚合条件 聚合温度 80～100℃；聚合时间 3～8 h 。

（3）聚合终止剂 氢醌 1.0～1.5；接枝率 40%；粘度 约2～3pa·s。

（4）添加剂 萜烯酚醛树脂 0～20。

使用时，在100份接枝橡胶中加入5～10% JQ-1橡胶。

接枝氯丁橡胶胶粘剂性能如表 12-3-16 及表12-3-17所示。

表 12-3-16 接枝与未接枝性能比较

（剥离强度，kN/m）

胶粘材料及固化时间	未接枝 CR 胶粘剂	CR/MMA接枝胶粘剂
人造革/透明胶 室温×3d	0.82	2.23
尼龙/透明胶 室温×6d	0.78	1.99

表 12-3-17 接枝氯丁橡胶胶粘剂性能（剥离强度，kN/m）

粘接材料 \ 老化条件	常温	25℃×24h 浸水	45℃×48h 热空气	45℃×3h 浸水	−20℃×24h	弯曲疲劳次数 万
PVC人造革	0.95	0.98	0.48	0.66	1.12	>6
PVC人造革/成型胶片	1.73	1.51	0.71	1.25	2.31	>6
PVC人造革/仿皮胶片	1.04	0.96	0.72	0.98	1.38	>6
PU人造革	1.31	1.13	1.22	1.14	1.33	>6

2．CR-SBS/MMA-AA接枝胶粘剂

为了进一步提高氯丁橡胶胶粘剂的适用性和粘接强度，将CR与苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物（SBS）作为主体，用MMA单体对其进行接枝改性，或将CR、SBS分别与 MMA 接枝共聚，而后共混组成胶粘剂体系；由于在CR、SBS主链上引入极性的PMMA支链，增加了胶液的内聚强度，更重要的是PMMA能吸收PVC等材料内迁移出的酯类增塑剂，且由于少数CR-PMMA、SBS-PMMA的存在提高了CR与SBS的相容性，使得相容性较差的CR和 SBS 能够在一定的配比下成为一均相体系，所以它是新型制鞋材料PVC人造革、聚氨酯合成革、SBS底、BR透明底的较理想的冷粘鞋用胶粘剂。

鉴于接枝单体 MMA 不含有能与异氰酸酯类固化剂直接作用的基因，通过适量地加入带有活性基因的第二单体丙烯酸（AA）来改善胶粘剂的性能，从而达到缩短粘接过程中晾干和

固化时间，进一步提高粘接强度的目的。

（1）胶液的合成　将氯丁橡胶（LDJ-244）、SBS和混合溶剂（甲苯+乙酸乙酯+120号汽油）投入带有搅拌器的反应釜中，于70～80℃下进行溶胶，溶解完全后加入溶有BPO的MMA和AA，在一定温度下进行接枝共聚，一段时间后加入终止剂对苯二酚（HQ）和防老剂264终止反应，最后加入增粘剂，即可得一浅黄色半透明粘稠胶液。

（2）接枝胶粘剂配方

LDJ-244（工业品）	80	MMA（工业品）	50～55	HQ（化学纯）	少量
SBS（工业品）	20	AA（工业品）	10～40	防老剂264（化学纯）	少量
混合溶剂（工业品）	500～600	BPO（化学纯）	0.9	增粘剂	15～22

表 12-3-18　接枝胶粘剂粘接性能

材　料	PVC/PVC	PU/PU	PVC/PU	SBS/PVC	SBS/PU	SBS/EVA	SBS/皮革	BR/PVC
T型剥离强度 N/2.5cm	98	100	92	84	96	76	120	76

表 12-3-19　CR-SBS/MMA和CR-SBS/MMA-AA的性能比较

接枝单体＼性能	接枝率 %	晾干时间 min	固化时间 h	T型剥离强度① N/2.5cm
MMA	12.3	25～30	48	25～60
MMA-AA	10.6	10～15	36	60～98

① 系对PVC人造革的粘接效果。

（3）粘接性能　以单体MMA、AA对CR和SBS的接枝共聚，解决了一些难粘材料（如PVC人造革、PV合成革、SBS底、BR透明底和EVA发泡体）的粘接问题，对皮革、帆布、木材等材料亦有较好的粘接性能。

使用时，配合以10～15%的7900异氰酸酯胶粘剂调匀，涂胶两次。接枝胶粘剂性能如表12-3-18和表12-3-19所示。

九、应用与发展趋势

1．应用

目前，氯丁橡胶胶粘剂在国内外橡胶型胶粘剂中的耗用量仍居于首位，因为它具有人们所知道的许多优异性能，因而在各个领域中都有着极为广泛的应用。

（1）电子工业　用于粘贴铭牌、录音机机芯、面板、彩色电视机行输出变压器中PBT与磁性材料的粘接，彩色电视机生产线中电容元件固定，仪表中波导元件粘接，聚丙烯、ABS塑料的粘接等。

（2）轻纺工业　用于冷粘皮鞋、塑料鞋等，系冷粘制鞋的主要胶种，用量十分可观。用于输送带的冷粘、纺织机械配件的胶接、工艺美术品的胶接等。

（3）交通运输行业　用于造船工业中PVC地板粘接，系采用阻燃氯丁橡胶胶粘剂，火车粘贴客车厢顶海绵，冷藏车橡胶地板等。

（4）汽车工业　粘贴车窗橡胶条、车身内饰用胶、粘接海绵、PVC人造革、装饰条、装饰板等、使用量较大，为汽车制造中不可缺少的冷粘材料。

（5）机械工业　用来粘接橡胶与金属等材料，飞机制造中粘接起落架蓄压器等。

2．发展趋势

（1）低公害溶剂的选择　溶剂型氯丁橡胶胶粘剂的发展有近50年历史，但一些溶剂对

人体有害，亦污染环境。因此，有必要降低胶粘剂毒性，改革溶剂体系，少用或不用含苯或甲苯的溶剂体系。另一方面，开发新型胶乳胶粘剂，可望产生粘接性能接近或者与溶剂型胶粘剂相匹敌的胶乳型氯丁橡胶胶粘剂。

（2）开发不含溶剂的液态氯丁橡胶胶粘剂　美国60年代开发成功、日本电化公司70年代中期开发的品种分别带有－COOH，－OH基等，均可作为胶粘剂的主体材料。

（3）发展接枝型聚合物　发展CR/MMA、CR/MMA/SBS等二元、三元接枝氯丁橡胶胶粘剂，使之日趋成熟。

（4）热融性胶粘剂　带羧基官能团的液态氯丁橡胶可制成热融性胶粘剂，它和金属氧化物在常温到70℃之间形成螯合物，全部固化，但温度上升到80℃以上时，螯合切断，热融熔，又变成液态聚合物，因此可制成热融性胶粘剂。

第四节　丁腈橡胶胶粘剂

一、概　　述

丁腈橡胶胶粘剂由丁腈橡胶及其配合剂加工而成。胶粘剂用丁腈橡胶大都选用丙烯腈含量较高、门尼粘度适中的橡胶品种。配合剂组分中主要包括各种树脂（如酚醛树脂、间苯二酚甲醛树脂、环氧树脂、过氧乙烯树脂、醇酸树脂、古马隆树脂、氯化橡胶、氢化松香、煤焦油树脂等）、硫化剂、促进剂、补强剂、增塑剂、防老剂、稳定剂和溶剂。其中树脂具有增粘、补强和交联橡胶等作用。

丁腈橡胶胶粘剂的形态有胶乳型、溶剂型、胶膜和胶带型。它们具有突出的贮存稳定性，粘接力强、弹性好、耐热、耐大气老化、耐介质、耐疲劳，对环境和被粘接材料也有良好的适应性能。

由于配方的差异，丁腈橡胶可以制得不同固化温度的高强度结构胶粘剂和非结构胶粘剂，用于粘接各种金属、非金属结构件和多种非结构材料，如硫化和未硫化丁腈橡胶的粘接，以及这些橡胶与聚乙烯、聚氯乙烯、氯丁橡胶等弹性体之间的粘接；丁腈橡胶胶布制品的粘接；聚乙烯、聚氯乙烯、各种弹性体与织物的粘接。

例如丁腈橡胶与酚醛树脂掺合制得的胶粘剂就可用于：铝合金自粘；铝合金与不锈钢；钢、钢的粘接；不锈钢自粘；钢与钢、钢与不锈钢的粘接；玻璃钢自粘或与其它材料的粘接；工程塑料自粘或与其它材料的粘接；研磨料与金属的粘接；制动片与制动蹄铁的粘接；幕墙结构板的粘接；金属与丁腈橡胶座、聚氯乙烯薄膜、皮革、木材鞋底的粘接；软木、硬纸板、皮革板、纤维板、纸、砖石、硝基纤维素、尼龙和其它高分子材料薄膜自粘或彼此间的粘接。

然而，如果天然橡胶、丁基橡胶和聚氨酯橡胶的表面不经化学反应处理（如环化等），那么，丁腈酚醛胶粘剂对这些橡胶都缺乏粘接力。

二、丁 腈 橡 胶

丁腈橡胶由丁二烯和丙烯腈共聚而成，由于共聚时丙烯腈和丁二烯的比例不同，共聚后分子量大小不一，若再加入其它单体，则丁腈橡胶的性能差别更大品种更多。国产丁腈橡胶常用的牌号及液体丁腈橡胶请参阅第一分册第七章表7-7。制备胶粘剂时，可根据需要选用不同牌号的丁腈橡胶。

表 12-4-1 丁腈橡胶与锌伏拉克型酚醛树脂并用胶接的剪切强度(MPa)

测试温度，℃ \ 丙烯腈含量，%	26	40
-60	44.7	16.7
室温	20.8	29.4
60	19.0	24.5
150	10.3	14.7

通常，随丙烯腈含量的增加，丁腈橡胶的粘接力，耐热、耐油、耐介质、耐老化性能提高，但耐低温性能逐渐变差，这也反映在胶粘剂的性能上，如表12-4-1所示。因此，丁腈橡胶胶粘剂一般宜选用丙烯腈含量在40%左右的品种。丙烯腈含量过高时，不宜制造胶粘剂，如丙烯腈含量在60%以上者则失去弹性，趋于塑料性质。

高分子量的丁腈橡胶为固态，具有较好的物理机械性能；低分子量的丁腈橡胶为液态，具有良好的流动性，便于和其它树脂以无溶剂的状态混合。用作胶粘剂的丁腈橡胶分子量不宜过低，虽然低分子量的丁腈橡胶胶粘剂有利于扩散运动，提高粘附力，但因分子量低时内聚强度很差，在应力作用下易引起内聚破坏。若分子量过大，则粘附力较差，溶解难，粘度大，施工不便。因此，制作胶粘剂通常是选用门尼粘度70～80的丁腈橡胶。

在丁腈橡胶的分子链中增加第三单体，如丙烯酸，则可制得有规或无规的羧基丁腈橡胶新品种，为环氧树脂等提供可反应的基因以形成化学交联结构。

丁腈橡胶同其它不饱和橡胶一样，在链节中存在不饱和的双键以及特有的氰基，因此可用一般橡胶硫化剂或酚醛树脂进行硫化，形成网状结构。这就有利于提高丁腈橡胶胶粘剂的各项物理机械性能及耐热、耐介质、耐老化、耐疲劳等性能。

丁腈橡胶的这些特性为制造高性能的胶粘剂奠定了良好的基础。

三、丁腈橡胶胶粘剂的配合

单一的丁腈橡胶远不能作为胶粘剂使用，因此还得加入合适的各种配合剂才能获得理想的胶粘剂。

1．溶剂

丁腈橡胶胶粘剂若以胶液状态使用，必须往固体的胶粘剂组分中加入适当的有机溶剂，搅拌溶解形成均匀的溶液——胶液。溶剂的选择应考虑如下几方面因素。

（1）毒性问题　溶剂的毒性问题应引起足够的重视，因为毒性大的溶剂不仅危害操作者的身体健康，而且污染周围环境，为此必须受环境保护法律方面有关条文的约束。所以要选用无毒或低毒溶剂，并加强劳动保护措施。

（2）溶解能力问题　根据溶剂对高分子材料的溶解性能，可分为良溶剂和不良溶剂。作为胶粘剂的溶剂应选择良溶剂，以制得分散均匀、稳定的胶液，以防止因浓度过大胶粘剂基料沉淀析出。

（3）挥发性问题　溶剂的挥发速度与溶剂的沸点有关，低沸点的溶剂挥发较快，着火点低，室温下的蒸气压大，贮存时不够安全。作为胶粘剂的溶剂，挥发速度不宜太快，否则涂刷后易结皮起泡，特别是夏季更为严重，影响胶接温度。反之，如果溶剂挥发太慢，敞晾时间就必须延长。有时为了赶走溶剂，涂好胶粘剂的胶接件还需进行烘干，否则就会导致胶接强度大幅度下降。

（4）粘度的影响问题　在固体含量相同的情况下，由于所采用的溶剂种类不同，胶液的粘度有明显的差别。

鉴于上述诸因素，丁腈橡胶胶粘剂常用的溶剂有丙酮、丁酮、甲基异丁酮、乙酸乙酯.

乙酸丁酯等或混合溶剂。这些溶剂都具有毒性小、溶解能力强的特点，其中丙酮、丁酮、乙酸乙酯挥发较快，而甲基异丁酮、乙酸丁酯挥发较慢。胶液的粘度除与溶剂的品种有关外，还可通过浓度来调节，最适宜的浓度范围为15～30%，浓度愈大，粘度愈高。

2．酚醛树脂

在丁腈-酚醛型胶粘剂中，酚醛树脂是一个很主要的组分，它和丁腈橡胶一样，对胶粘剂的性能有极大的影响。酚醛树脂可为胶粘剂提供很好的耐热性、粘接力、刚硬性、交联结构；而丁腈橡胶却为胶粘剂提供良好的弹性、耐油性、耐介质性、耐老化性、耐疲劳性。因此，丁腈-酚醛胶粘剂是综合性能优良的品种之一。

胶粘剂用的酚醛树脂是由酚类（通常为苯酚）和醛类（通常为甲醛）在酸、碱或金属氧化物存在下，缩聚成液态粘性或固态的树脂。由于所采用酚、醛、介质的pH值以及酚与醛的摩尔分子比不一样，所得的树脂性能差别极大，如碱性催化剂作用下得到的是热固性的酚醛树脂（当加热树脂时能转变为不熔不溶状态的产物）；酸性催化剂作用下，酚的摩尔分子数大于醛的摩尔分子数时得到的是热塑性酚醛树脂，该树脂需加入适量的六次甲基四胺或聚甲醛并加热后才会转化为不熔不溶的产物。这两类树脂在丁腈胶粘剂中普遍采用。常用的热固性酚醛树脂主要有氨催化和氧化锌催化两种。

氨催化的酚醛树脂，由于邻、对位含有能反应的羟甲基，且活性较大，所以当树脂加热时就会迅速聚合，由A阶→B阶→C阶并放出水，生成不熔不溶的体型结构。

氨催化的酚醛树脂室温下贮存稳定性较差，易凝胶固化。如加入溶剂配成浓度较低的溶液，置于阴凉的地方，贮存时间可达4个月以上。树脂稳定性的好坏与反应时甲醛的用量、反应时间、脱水温度和脱水时间均有一定的关系。

在氨催化过程中，因氨与甲醛会发生醛氨缩合反应，形成六次甲基四胺，它是酚醛树脂加热固化时甲醛的给予体，并放出氨。正由于氨的存在，阻碍了酚醛树脂醚式中间体的形成，因此，它对橡胶的硫化能力较低。

氧化锌催化的酚醛树脂，其反应性羟甲基基本上是在苯酚的邻位上，所以称之为“高邻位”酚醛树脂。由于高邻位酚醛树脂酚环的对位上基本不存在羟甲基，所以生成体型结构的速度大大降低。其贮存稳定性优于氨催化酚醛树脂，室温下1年以上仍不固化并不影响使用，但粘度明显增大。

高邻位酚醛树脂对丁腈橡胶的硫化能力很强，如在100份橡胶中加入8～10份树脂，就能使丁腈橡胶硫化。

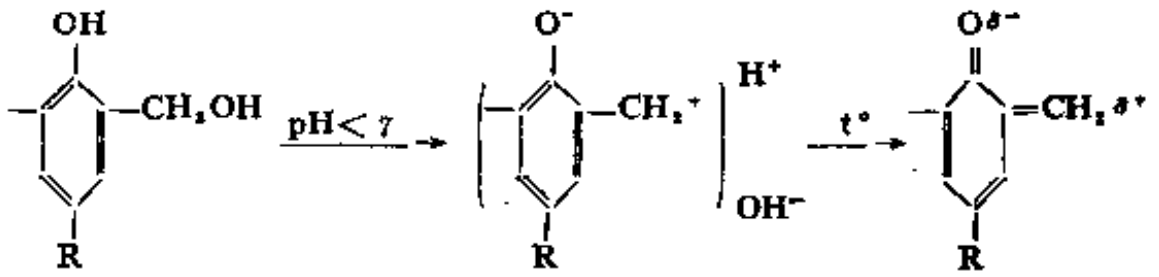
热固性酚醛树脂硫化丁腈橡胶通常需加入催化剂，否则硫化速度慢，易倾向于酚醛树脂本身的交联固化。可作催化剂的有：氯化亚锡（$SnCl_2 \cdot 2H_2O$），三氯化铁（$FeCl_3 \cdot 6H_2O$），氯化锌（$ZnCl_2 \cdot 15H_2O$），氯化锶（$SrCl_2 \cdot 6H_2O$），五氧化二磷（P_2O_6），氯磺化聚乙烯，氯丁橡胶，对氯苯甲酸等。其中氯化亚锡的活性最大，但腐蚀性较强，氯丁橡胶，氯磺化聚乙烯、对氯苯甲酸等含氯有机物的性能较好。

热固性酚醛树脂对丁腈橡胶的硫化反应，目前尚存在两种理论，一种叫次甲基醌理论，一种叫氧杂萘满理论。次甲基醌理论认为：热固性甲阶酚醛树脂之所以能硫化橡胶，是由于它在加热的条件下能生成一种叫次甲基醌的中间体，这种中间体很容易和橡胶分子中的α-位置的活泼氢反应，在橡胶分子间形成桥键，从而使橡胶硫化。

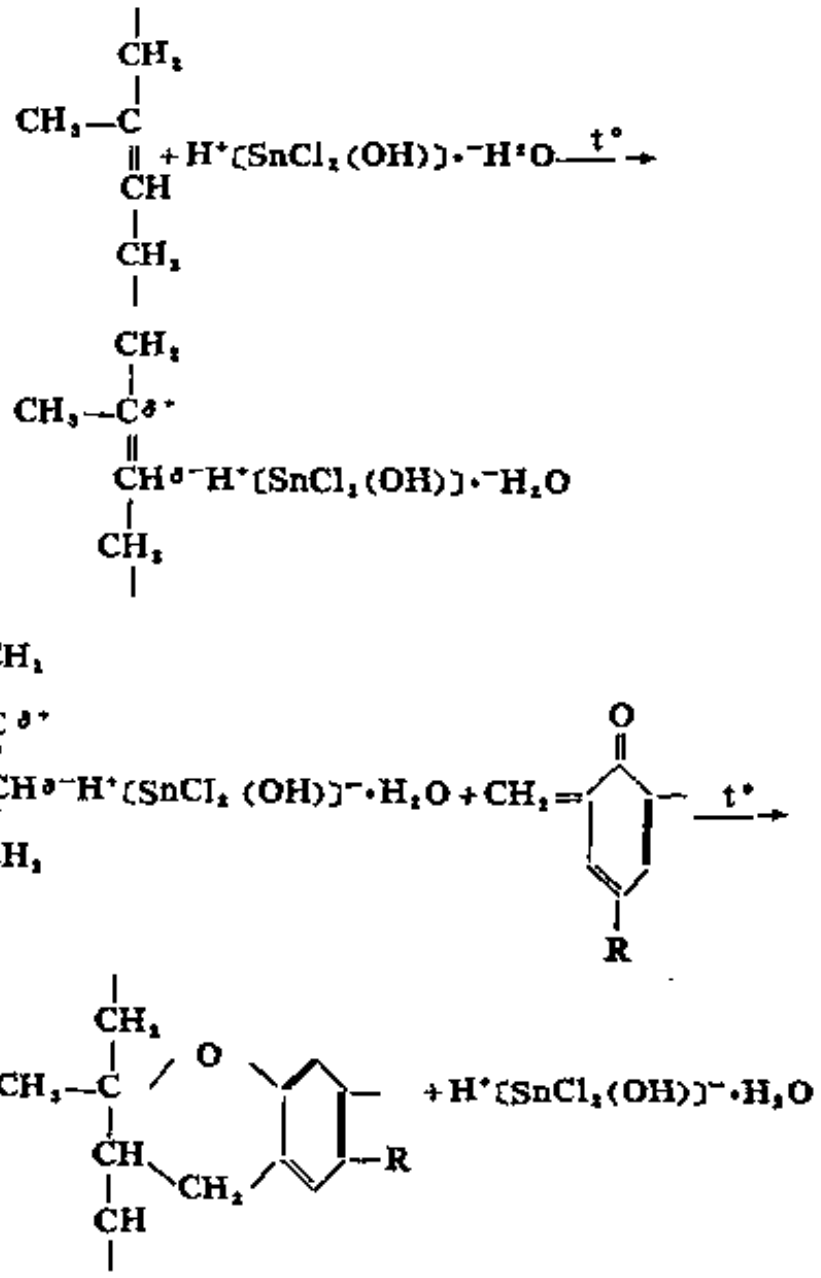
然而，按照以上反应，橡胶分子中的双键毫无变化，这是不符合事实的，也是次甲基醌理论所无法解释的。因此，又出现了氧杂萘满结构的硫化理论。Hultzch认为热固性酚醛树

脂与不饱和化合物反应时，是通过所生成的醌式衍生物和不饱和化合物的双键发生作用（而不是与α-活泼氢起反应），最后生成一种氧杂萘满结构的物质。

根据这个理论，酚醛树脂在酸性催化剂（金属氯化物等）下，由于氢键的破坏，邻位的羟甲基稳定性即会降低，这就大大提高了树脂缩合和生成次甲基醌的能力。其反应式如下：

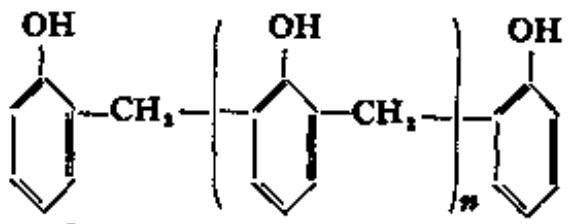


同时，催化剂对橡胶分子中双键亦起相似的活化作用，使橡胶的双键极化（见下式）。

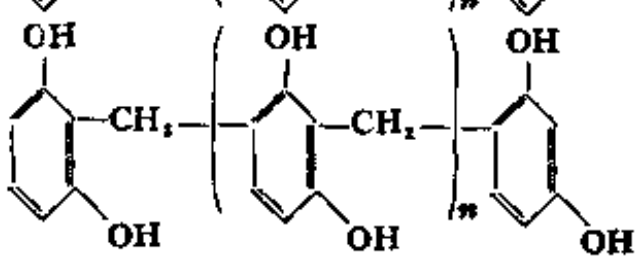


从硫化胶的光谱分析研究所获得的数据，证明色满结构的硫化理论是存在的。目前虽然对这二种理论仍有争论，但氧杂萘满理论确使人信服得多。

常用的热塑性酚醛树脂主要是“诺伏拉克型”的，室温呈固体状态，软化点在100℃左右。它们的结构式可表示成：



（1）



（2）

树脂（1）本身不能硫化橡胶，但是当它与丁腈橡胶、硫黄、六亚甲基四胺、促进剂混合在一起时，加热就能发生硫化作用，生成庞大的络合结构。

树脂（2）加入多聚甲醛后，室温下就能固化，适宜制造非结构型丁腈-酚醛胶粘剂，用于粘接丁腈橡胶本身，以及丁腈橡胶与金属、各种织物、木材、纸张等。

各种酚醛树脂和丁腈橡胶都有较好的互溶性能，可以任意比例混合，因此可根据胶粘剂性能要求来确定酚醛树脂的用量。若丁腈橡胶用量增加时，胶粘剂的耐热性差，刚度较低，但柔韧性、抗冲击、剥离强度较高。酚醛树脂用量增加时，胶粘剂的流动性、耐热性提高，但脆性增加。

热固性和热塑性酚醛树脂的用量对粘接性能的影响如表12-4-2和表12-4-3所示。

表 12-4-2 热固性酚醛树脂用量对粘接性能的影响

热固性酚醛树脂用量（以丁腈橡胶为100计）	剪切强度，MPa		不均匀剥离强度 kN/m
	室 温	200℃	室 温
60	19.2	5.8	—
110	—	—	34
120	20.1	8.8	—
130	—	—	27
170	17.2	8.8	—
340	12.1	9.4	—

3．环氧树脂

表 12-4-3 热塑性酚醛树脂用量对粘接性能的影响

热塑性酚醛树脂用量（以丁腈橡胶为100计）	剪切强度，MPa			不均匀扯离强度，kN/m
	-60℃	室 温	150℃	室 温
60	32.4	28.7	8.6	93
70	17.0	31.3	8.3	85
80	17.8	31.9	12.7	90
90	11.8	33.7	13.6	96
100	11.8	34.5	12.7	91
110	11.2	33.4	15.4	86
120	7.6	33.1	15.3	68

丁腈-环氧型胶粘剂是胶粘剂中崭新的一大类品种。在胶粘剂中，环氧树脂的作用与酚醛树脂相同，但由于环氧树脂的耐热性较差，故该胶粘剂的耐热性远不如丁腈-酚醛胶粘剂。然而，随着耐高温环氧树脂及新型耐热固化剂的不断出现，丁腈-环氧胶粘剂的耐热等级将会有很大的提高。

适用的环氧树脂有液态的和固态的，其中以双酚A型环氧树脂最重要，如6828、618、619、6101、634、637、638、601、603、604、607、609；其次为酚醛环氧，如644、648；烯烃类环氧，如6201、6207、6300、6400、6269、62000等。

环氧树脂本身不能通过加热固化，而需要加入固化剂后才能固化。常用的固化剂有胺类、酸酐类、高分子树脂类等。

普通的丁腈橡胶与环氧树脂很难发生化学反应，彼此只是机械地混和。若使丁腈橡胶能与环氧树脂起化学反应，势必要在丁腈橡胶的分子链中引入可反应的基团，如羧基、羟基、硫醇基等，并且基团引入的位置对增韧的效果也有一定的影响。

丁腈橡胶与各种环氧树脂也都有良好的互溶性，环氧树脂的用量取决于所希望的胶粘剂性能。若用量较高时，它是高抗剪、柔韧的结构胶粘剂；用量较低时，它是弹性极佳的非结构胶粘剂。若采用合适的固化剂体系可使它高温、中温或室温固化。

4．硫化剂及其它助剂

丁腈橡胶胶粘剂硫化体系，除酚醛树脂外，主要是硫黄硫化体系，在特殊场合也可用无硫硫化体系，如过氧化物、醌类等。

为了加快硫化速度，通常要加促进剂，DM就是一种常用的促进剂，与硫黄并用（硫黄1.5份，DM1.5～2.0份）后胶粘剂拉伸强度比较高，但焦烧性能远不如促进剂DZ。因为DZ是稳定的后效性促进剂，在130℃以下是相当稳定的，但到140℃以上时，却迅速促进橡胶硫化。这对于胶粘剂的加工及贮存都带来了极大好处。

单组分的丁腈橡胶胶粘剂主要适宜于加热硫化，但均需采用后效性促进剂；低温或室温硫化的丁腈橡胶胶粘剂，需采用超速促进剂，制成双组分或多组分，分别包装存放，使用时将按一定比例称量，然后混合均匀，在规定的时间内施工完毕。MC就是超促进剂之一。

无硫或低硫配合主要是使用TMTD，用量一般在3.0份左右，再加上DM 1 份，该体系有较佳的耐热性。若硫黄0.2～0.5份和TMTD2.5～3.0份并用时，则耐热性特别好。由于硫黄在丁腈橡胶胶粘剂中的溶解度很小，基本上处于悬浮状态，胶液经长时间的贮存后，导致硫黄沉淀析出，影响胶粘剂的性能。因此，可选用高分子多硫化合物代替硫黄作硫化剂，也有极好的效果。

在丁腈橡胶耐热配合方面，目前还可以采用镉镁硫化系统，使丁腈橡胶胶粘剂耐热性得到提高。

丁腈橡胶胶粘剂补强填充体系中，炭黑是最常用的补强剂。白色补强剂中气相白炭黑最佳，氧化镁次之，硅酸钙、石棉和陶土稍差。陶土有延迟硫化作用。加入氧化镁后，有很好的耐老化性能，其用量可达100份，它和气相白炭黑一样，加工时发热量大，给操作带来困难，为了防止焦烧，硫化剂及促进剂宜后加且不宜多翻辊。在丁腈-酚醛胶粘剂中氧化镁用量一般在30份左右，由于氧化镁易与酚醛树脂发生成盐反应，故氧化镁可提高丁腈-酚醛胶粘剂的耐热性。石棉粉也能增加胶粘剂的耐热性及烧蚀性能，如丁腈-酚醛-石棉就是一种极好的耐烧蚀的胶粘剂。

在丁腈橡胶胶粘剂中，填充剂的作用除了补强和改进耐热性之外，还能增加粘性和调节膨胀系数、降低成本等。

增塑剂能提高丁腈橡胶胶粘剂的弹性和耐寒性。常用的增塑剂可分为 4 类：第一类是酯类，如DBP、DOP、磷酸三甲苯酯等，可提供耐低温性能和高弹性，碳酸氯化二丁酯能增加胶粘剂的粘接性能；第二类是煤焦油衍生物，如古马隆树脂可提供高抗剪、抗撕性能，还能改进粘接性；第三类是石油衍生物，能提高拉伸和抗撕性；第四类是液态丁腈橡胶，其特点是不抽出，为其它 3 类所不及。

增稠剂可增加胶粘剂的假粘度和稠度，以增加每次刮胶的附着量，减少涂抹次数。常用的增稠剂有聚羧基乙烯及含水硅酸盐等。前者往往用于以丁酮为溶剂的丁腈橡胶胶粘剂中，0.5～2%的用量已足够使中、高丙烯腈含量的丁腈橡胶胶粘剂的粘度增加约 3 倍。

四、丁腈橡胶胶粘剂的典型配方

（一）高强度结构胶粘剂

1．丁腈-酚醛带状薄膜胶粘剂配方

丁腈橡胶	100	诺伏拉克型酚醛树脂	70～200	氧化锌	5
硫　黄	1～3	促进剂	0.5～1	防老剂	0～5

硬脂酸	0～1	炭　黑	0～20	填　料	0～100
增塑剂	0～10				

于150～200℃固化20～120min，压力0.3～1MPa。胶接铝合金和不锈钢的剪切强度见表12-4-4。

表 12-4-4　丁腈橡胶胶粘剂胶接铝合金和不锈钢的剪切强度　　单位：MPa

测试温度 ℃	铝　合　金	不　锈　钢	测试温度 ℃	铝　合　金	不　锈　钢
-55	1.4～28	28.0～42.0	125	7.0～21.0	14.0～21.0
25	21.0～42.0	210～420	150	3.5～17.5	7.0～14.0

2．环氧端羧基丁腈胶粘剂配方

双酚A环氧树脂	100	双氰胺	适　量
液态端羧基丁腈橡胶	15～25	填　料	0～50

于170℃固化1～2h，压力0.1～0.2MPa。粘接铝合金的剪切强度见表12-4-5。

EPon	1002	80	双氰双胺	3.5
EcN	1280	11	对氯苯基二甲脲	2.25
HyCar	1072(羧基丁腈橡胶)	36		

于121℃固化2～3h，压力0.1～0.2MPa。胶接铝合金的剪切和T型剥离强度见表12-4-6。

表 12-4-5　环氧端羧基丁腈橡胶胶粘剂胶接铝合金的剪切强度

测试温度，℃	剪切强度，MPa
-60	40.0
室温	40.0
100	20.0～25.0

表 12-4-6　羧基丁腈橡胶胶粘剂胶接铝合金的剪切强度和T型剥离强度

测试温度 ℃	剪切强度 MPa	T型剥离强度 kN/m
-55	32.6	1.8
23	39.2	4.3
82	15.0	4.5
121	5.3	0.81

（二）非结构胶粘剂

室温硫化丁腈橡胶胶粘剂配方：甲组分为100，乙组分（间苯二酚甲醛树脂）为10。

甲组分配方：

丁腈橡胶CKH-40M	100	气相槽黑	20	软 化 剂	20
氯化钠依里特橡胶	50	氧 化 锌	5	乙酸乙酯	860

胶粘剂在使用前配制，有效活性期为16～18h。粘接丁腈橡胶的剥离强度见表12-4-7。

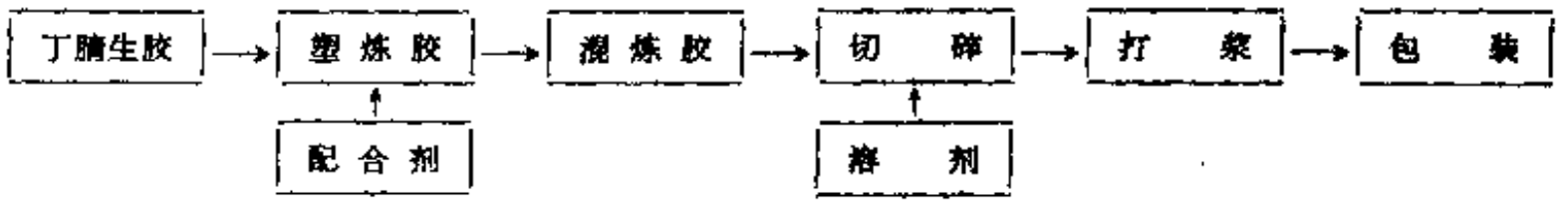
表 12-4-7　丁腈橡胶胶粘剂胶接丁腈橡胶的剥离强度

室温停放时间 d	剥离强度 kN/m	室温停放时间 d	剥离强度 kN/m
1	5.3	7	8.6
3	6.0		
5	7.1	10	橡胶破坏

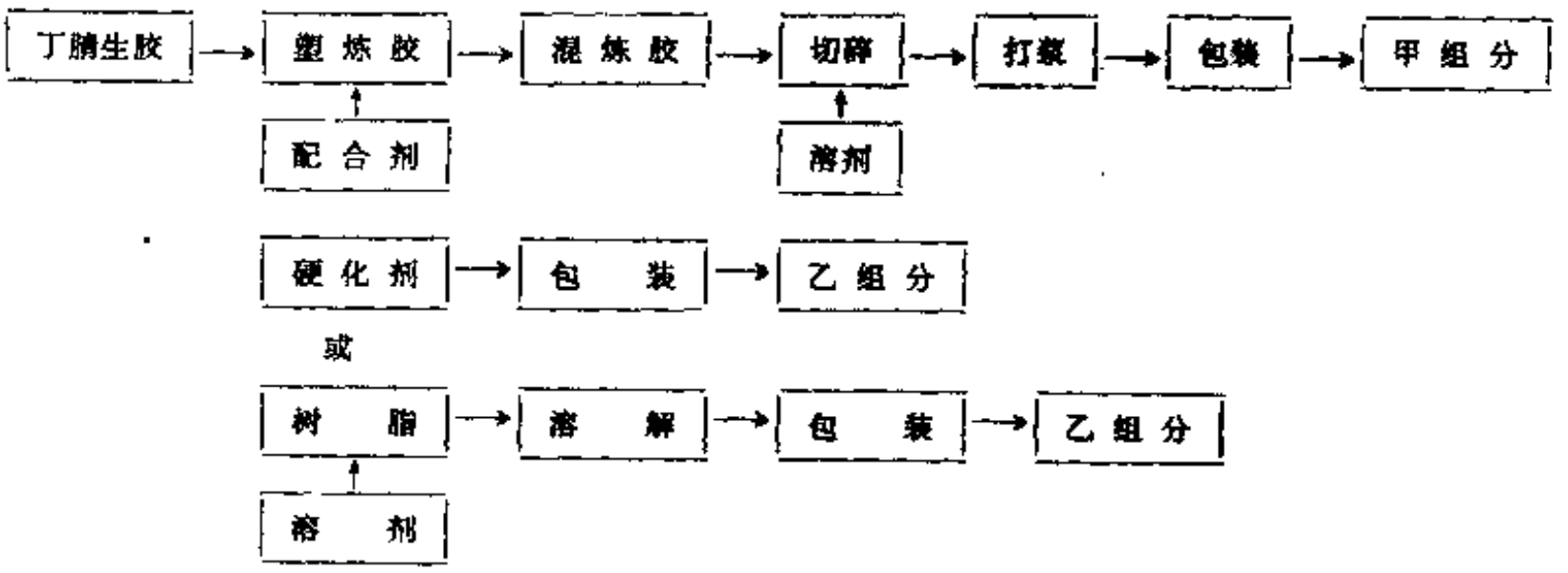
五、丁腈橡胶胶粘剂的制备

1．胶液的制造

单组分胶液的制造主要包括下列几个步骤：



双组分胶液的制造主要包括下列几个步骤：



2．胶膜的制造

制造薄膜状胶粘剂的方法有多种，具体应根据胶粘剂的物理状态来决定。有的胶粘剂适用干法，有的适用湿法，甚至有的根本不能制造胶膜。

所谓干法，就是无溶剂成膜法。成膜时，在胶粘剂中不需要加入溶剂，而是把胶粘剂基料直接通过压延机连续压延成膜或刮涂在载体上，也可通过吹塑机吹成胶膜等等。无溶剂成膜法是当今胶膜制造法中最理想的一种，因为它不仅可以节省大量溶剂，而且还大大减少工作量，提高生产效率几十倍，保证了胶粘剂质量，降低了成本并有利于环境保护。

所谓湿法，就是溶剂成膜法，这是早期制造胶膜的方法。成膜时，首先把胶粘剂基料制成胶液，然后把胶液倒在磨光并用二甲基二氯硅烷处理过的有边框的水平玻璃板上，晾干，最后进入烘房彻底干燥（除去残存的溶剂），室温揭膜，包装。此法生产效率很低，浪费大量溶剂，胶膜质量不稳定，对环境污染严重。溶剂成膜法也可采用机械化连续生产，虽然效率比玻璃板法高得多，但其它缺点仍然存在，因此，溶剂法是不可取的。

第五节　丁基橡胶胶粘剂

一、概　述

与天然橡胶和其它合成橡胶相比，以异丁烯为主的聚合物如聚异丁烯和丁基橡胶更适合于制造胶粘剂，它们既可作为胶粘剂的主体材料，又可作为增粘剂、增塑剂以及改性剂使用。

丁基橡胶大分子的碳氢主链较长较直，含有47 000到60 000个链节，甲基基团沿着分子

主链有规则地排列着，具有不多的双键或反应位置。聚异丁烯分子结构与丁基橡胶类似，不含有双键。这样的化学结构，使得异丁烯类聚合物具有耐老化、耐热、耐化学药品、耐植物油、吸水性低，并能溶解于常用的碳氢溶剂。因聚合物分子链上有许多甲基侧基团而产生了高阻尼效应；基团的体积不大、间隔有序、排列紧密，使橡胶分子处于无定形自然堆砌状态，因此异丁烯类聚合物具有很低的透空气、透湿气和其它气体性能。

异丁烯类聚合物的结晶倾向很小。聚异丁烯在－33℃下放置1年，只有少量的结晶；含有少量异戊二烯（0.5%）的丁基橡胶在同样的温度下也不会引起结晶。它们的强度取决于分子的缠结或交联，而不取决于结晶，其强度可以达到结晶型氯丁橡胶的水平。

丁基橡胶无定形分子结构产生了较大的变动性，赋予聚合物以柔软性、永久粘性、阻尼特性以及低玻璃化温度（－60℃）。

丁基橡胶为非极性橡胶，对许多表面的化学吸附性很弱。因此为增加极性，常掺用树脂或其它聚合物。同时，其非极性赋予橡胶以良好的电绝缘性。

异丁烯类聚合物的上述化学结构特性使之很适合制备非硫化性胶粘剂。

二、橡胶的基本性能

（一）聚异丁烯

聚异丁烯是一种类似石蜡碳氢化合物组分的惰性聚合物，不能用常用橡胶硫化方法进行硫化。通过控制聚合条件，可获得不同分子量级别的聚异丁烯。聚异丁烯分子量在15000以下者为粘稠状液体，分子量在50000者为粘性的半固体状，而分子量在100000以上者为橡胶状弹性体。

1．低分子量聚异丁烯

低分子量聚异丁烯，加德国BASF公司的Oppanol B1和B3，其分子量（数均）分别为1000和3000，是一种可流动的白色到浅黄色粘性液体。Oppanol B10以及美国Exxon公司的Vistanex LM-MS和LM-MH分子量（数均）在10000左右，是一种浅白色到浅黄色的半液体状的物质，当温度升高时，呈现一定程度的流动性，在150～180℃下可用泵抽和手工操作。

低分子量的聚异丁烯都具有永久粘性，可在各种胶液、压敏胶和热熔胶中用作永久性增粘剂。这种聚合物使胶粘剂具有一定的粘接性、柔软性和屈挠性，并能改善对各种难粘表面，尤其是聚烯烃表面的湿润，以改进粘接性能。

2．中等分子量聚异丁烯

中等分子量的聚异丁烯如德国BASF公司Oppanol B12、B15和B50，粘均分子量分别为6万、8.5万和40万，随着分子量的增大，该聚合物由半流动态到不流动态，可在各种压敏胶和热熔胶中使用。

3．高分子量聚异丁烯

高分子量聚异丁烯如美国Exxon公司的Vistaner MML-80～MML-200以及德国BASF公司的Oppanol B80～B200，为白色到浅黄色橡胶状固体，数均分子量由80万到200万，通常含有0.1%的防老剂BHT。它们通常能提高溶剂型胶粘剂和标签压敏胶的强度和抗冷流性，并使压敏胶具有曲挠性和低温下冲击性。

聚异丁烯可在不硫化的胶粘剂或胶浆中代替丁基橡胶作为立体材料、增粘剂或增塑剂，可用于与食品和药物接触的胶粘剂。

（二）丁基橡胶

1．通用丁基橡胶

通用丁基橡胶为浅琥珀色粘性固体，由异丁烯与少于3%的异戊二烯共聚制得。引入异戊二烯双键，使聚合物获得交联特性。不同级别通用丁基橡胶的差别仅在于不饱和度的摩尔含量。此外，由于加入稳定剂的类型不同，丁基橡胶又分污染型和非污染型。稳定剂含量一般在0.05～0.15%。为防止聚合过程中聚合物粒子的聚集而加入少量的金属脂肪酸盐。

丁基橡胶的不饱和度一般在0.5～2.5mol%之间，粘均分子量在7.5～32.5万之间，比高分子量的聚异丁烯分子量低得多。含有BHT稳定剂级别的丁基橡胶可满足食品和药物规定的要求。

2．低分子量丁基橡胶

低分子量丁基橡胶，如美国Exxon Butyl LM 430，是一种半液体状粘性聚合物，分子量约为通用丁基橡胶的1/10。不饱和度较高可达4.5%。可以用于配制室温硫化型胶粘剂，还可作为高分子量通用丁基橡胶的增粘剂或增塑剂；见表12-5-1。

（三）卤化丁基橡胶

卤化丁基橡胶主要有氯化丁基橡胶和溴化丁基橡胶两种。氯化丁基橡胶由丁基橡胶氯化而成，分子链不饱和度基本不改变。氯原子在橡胶分子链的烯丙基位置上，氯含量大约为1.1～1.3%。代表性品种如美国Esso Butyl HT-1066和HT-1068。

氯原子提高了丁基橡胶双键的反应活性，并为交联提供了额外的反应位置，使得多种类型的硫化体系都能硫化这个弹性体。活性的氯原子还有助于对许多极性基材的粘着。

使用氯化丁基橡胶与普通丁基橡胶或天然橡胶等并用制备胶粘剂时，能增加硫化活性，以提高胶粘剂基材的内聚强度。

溴化丁基橡胶的性能和用途基本上与氯化丁基橡胶相同。卤化丁基橡胶的品种见表12-5-1。

表 12-5-1 国外改性丁基橡胶性能

项目	Erso Butyl HT-1066	Esso Butyl HT-1068	Polysar Butyl X2	Esso Butyl LM-430	Polysar XL-20	Esso AJD 10
门尼粘度						
ML (1+8), 100℃	51～60	—	—	—	—	—
(1+3), 121℃	—	50～60	—	—	60	45～60
粘度 (65.5℃), Pa.s	—	—	—	10×10^3	—	—
氯含量，%	1.1～1.3	1.1～1.3	—	—	—	—
溴含量，%	—	—	1.8～2.2	—	—	—
不饱和度，%	1.1～1.7	1.1～1.7	—	4.2	—	—
相对密度	0.92	0.92	0.93	0.92	0.92	0.92
分子量（数均）	$3.5\sim4.0\times10^4$	$4.3\sim4.5\times10^4$	—	10×10^4	—	—

（四）丁基胶乳

丁基橡胶可经过乳化制得固体含量大约为60%、pH值为5.5、粘度（Brookfield）为7.5 Pa·s的胶乳。通常使用阴离子乳化剂，得到的丁基乳胶平均粒径为0.3μm。用BHT为防老剂，有时加入少量的甲醛作防腐剂。美国Exxon公司的Vistanex类聚异丁烯也可制备胶乳。

丁基乳胶具有良好的抗机械、化学稳定性和凝固-溶化等稳定性，这些性能有利于配制

胶粘剂。乳胶干燥后具有良好的耐老化、屈挠性、粘性和耐气体透过性。丁基胶乳性能见表12-5-2。

表 12-5-2 丁基胶乳性能

项　　目	Esso Butyl Tater·X100 指　　标
颜　色	白　　色
固体物含量，%	61～65
相对密度	0.95
pH　值	4.5～6.5
粒子直径，μm	0.3
表面张力，N/m	0.038
粘　度，Pa·s	7.5

丁基胶乳主要用于包装胶粘剂，在易碎的高强度聚合物胶粘剂中可作增粘剂和增韧剂。在聚烯烃膜和纤维粘着，尤其是聚乙烯、聚丙烯的粘接和涂层用胶粘剂以及层压和密封胶粘剂中，常加入丁基乳胶。

（五）部分交联丁基橡胶

1．合成交联丁基橡胶

部分交联丁基橡胶已有多家公司和厂家生产，如 Polysar 公司的PBXL-20、PBXL-250等。这类交联丁基橡胶是在丁基橡胶中引入第三单体即二-乙烯基苯，使得聚合物具有一定的交联度。它们的凝胶结构不易溶解，一般不用于溶剂型胶粘剂。

2．动态交联丁基橡胶

这类橡胶利用动态交联方法制得。

（1）控制硫化剂用量法　在通用丁基橡胶中加入控制量的硫化剂，在加热的炼胶机上混炼，使硫化剂全部硫化，制得部分交联丁基橡胶。

（2）并用聚异丁烯法　聚异丁烯与通用丁基橡胶或氯化丁基橡胶并用，使并用胶中的丁基橡胶或氯化丁基橡胶组分获得硫化，制得部分交联聚合物。

（3）并用氯化丁基橡胶法　氯化丁基橡胶与丁基橡胶、丁苯橡胶或天然橡胶并用，使得并用胶中的氯化丁基橡胶组分获得硫化制得部分交联聚合物基材，它在压敏胶粘剂中广为应用。

（六）其它改性丁基橡胶

1．解聚丁基橡胶

控制解聚条件，可以获得不同分子量的解聚丁基橡胶。在胶粘剂中配入解聚丁基橡胶，可以降低胶液粘度，增加胶粘剂粘性。

2．其它改性丁基橡胶

对于那些不具有加工橡胶的动力设备的工厂，在制造胶粘剂时广泛地采用丁基橡胶溶液或稀释胶液、丁基橡胶与增粘剂并用和高增塑的部分硫化丁基橡胶。

三、丁基橡胶胶粘剂的配合

（一）聚合物

异丁烯类聚合物的品种很多，应根据胶粘剂的不同用途和要求来选择。例如，以低分子量的聚异丁烯为基材时，胶粘剂的粘接力较低。为提高粘接性要加入增粘剂，就应使用高分子量的聚异丁烯以提高胶粘剂内聚力。对于同一分子量等级的聚异丁烯和丁基橡胶而言，前者的粘着性比后者高。

在配合硫化型胶粘剂时，应以丁基橡胶为基材，而不应采用聚异丁烯。为提高胶粘剂的硫化程度，还可以并用天然橡胶、丁苯橡胶。当然，采用丁基橡胶同聚异丁烯并用也可达到同样效果。

选择丁基橡胶的一般原则如下。

① 胶粘剂的耐臭氧、耐强酸及无机氧化剂的性能与聚合物中的双键有直接关系。因此，无论是未硫化型还是硫化型胶粘剂都宜选择不饱和度小的丁基橡胶品种。

② 增加聚合物双键含量，以提高胶粘剂的硫化速度及硫化程度，从而提高胶粘剂的耐溶剂性和耐油性。

③ 采用硫黄或醌类硫化体系时，双键含量的增加可提高胶粘剂的耐热性能。

④ 粘接硫化橡胶或纤维织物用的胶粘剂，宜选用乳化丁基橡胶。

⑤ 提高胶粘剂的耐冷流变性，应选用部分交联丁基橡胶。

⑥ 增塑剂用量少的室温硫化胶粘剂可选用低分子量丁基橡胶。这一点也适用于热硫化型胶粘剂。

⑦ 多层层压制品和无纺布使用的胶粘剂，多采用丁基乳胶。

（二）硫化体系

胶粘剂经过交联可提高内聚力、耐热性和耐溶剂性。异丁烯类聚合物根据其不同的分子结构和化学成分，采用不同的硫化体系。

1．丁基橡胶硫化体系

丁基橡胶分子中含有不饱和的双键，因此可使用橡胶常用硫化剂进行硫化，其硫化体系如下。

（1）硫黄或硫黄给予体硫化体系　150℃以上高温硫化胶粘剂采用硫黄或硫黄给予体，常用硫化剂包括硫黄、秋兰姆、氨基荒酸盐类以及噻唑类促进剂。

（2）树脂类硫化体系　树脂类硫化剂也常在150℃高温硫化胶粘剂中使用，常用树脂为溴化的烷基酚醛树脂，如美国的Schenectadys SP-1055。

（3）醌类硫化体系　醌类硫化借助于芳香化合物的二亚硝基进行交联。在氧化剂如二氧化铅、二氧化锰、四氧化三铅或促进剂DM存在下，该硫化体系可以在室温下进行硫化。一般的丁基橡胶室温硫化胶粘剂通常采用对醌二肟与二氧化铅或二氧化锰配对进行硫化。为加快硫化速度，可使过氧化物粉末在橡胶中充分分散，以获得良好效果。也可以使用过苯酸叔丁酯与环烷酸钴并用作交联体系，但粘接性不如芳香化合物。

通常对苯醌二肟用量为3.5～6份，二氧化铅用量为7.5～12份。在低分子量丁基橡胶胶粘剂中，它们的用量要低一些。室温硫化胶粘剂常将对醌二肟与二氧化铅分成两个组分配制，使用之前将两组分混合。

2．氯化丁基橡胶硫化体系

氯化丁基橡胶分子链中含有不饱和双键和氯原子，因此除可用上述丁基橡胶的硫化体系外还可以使用氧化锌、二胺和胍类等进行硫化。因此，氯化丁基橡胶可与氯丁橡胶共硫化制备胶粘剂。

在室温硫化胶粘剂中，可采用氧化锌、二氯化锌、二溴化锌等金属氧化物、金属卤化物等与黄原酸盐化合物、胍类促进剂并用作交联剂。还可以同α-氨基三乙氧基硅烷并用，进行湿气、水蒸气交联。

3．交联丁基橡胶硫化体系

商品化的合成交联丁基橡胶中含有二乙烯基苯第三单体，可采用过氧化物进行硫化。

4．聚异丁烯硫化体系

聚异丁烯因分子链中不含有不饱和双键，也不含有象氯化丁基橡胶分子中的氯原子，因此不能使用丁基橡胶和氯化丁基橡胶的硫化体系硫化，必须采用特殊的方法进行交联：

① 硫黄与八氯戊烷并用硫化体系；

② 硫黄与叔丁基过氧化物并用硫化体系；

③ 二乙烯基苯、苯二烯同有机过氧化物并用。

（三）填充剂

在胶粘剂配合中，采用填充剂的主要目的是调整胶粘剂的性能，并平衡胶粘剂性能与成本之间的关系。填充剂对胶粘剂的性能影响如下。

① 使用少量氧化锌，可提高胶粘剂的内聚力。在硫化型胶粘剂中，氧化锌是硫化剂的活性剂。

② 补强性填充剂可增加胶粘剂的内聚力和挺性，降低冷流性，但也降低丁粘性。陶土、含水硅酸、炉法炭黑、槽法炭黑等都居于这类填充剂。

③ 粗粒子填充剂可增加粘接性。例如氢氧化铝、立德粉、碳酸钙和粗粒子炭黑等填充剂，随着内聚力适度增加能增加胶粘剂的粘性。

④ 配制耐酸、耐化学药品和低透气性胶粘剂时，可选择片状填料，如云母、石墨、片状滑石粉等填充剂。

⑤ 在自融合型胶粘带中，加入非补强性填充剂，如碳酸钙、陶土，可增大压缩回复性；使用补强性填充剂，如细粒子二氧化硅和炭黑，可改善压缩回复性及弹性。

⑥ 电气方面用的胶粘剂，要考虑到填料的吸水性及浸水前后的电性能变化。采用滑石粉和陶土比较好。

（四）增粘剂和增塑剂

在众多的异丁烯类聚合物系列品种中选择适当等级的聚合物可以使胶粘剂的性能（尤其是流变性能）在较宽的范围内变化。而增粘剂和增塑剂则主要影响胶粘剂的粘度、粘接性及其内聚力。

为提高异丁烯类聚合物粘接力及粘性，除加入低分子量的聚异丁烯外，还可以大量使用聚丁烯、萜烯树脂、萜酚树脂、松香类树脂、碳氢树脂及非反应性烷基酚醛树脂等增粘剂或增塑剂。其主要影响因素是增粘剂和增塑剂的种类和软化点等。为获得良好的粘着力和粘性，通常以几种树脂并用为好。

松香系树脂与异丁烯类聚合物的相容性不好，而聚丁烯，矿物油与异丁烯类聚合物有良好的相容性，并能提高粘接力。对于卤化丁基橡胶胶粘剂，这些树脂有防止填充剂沉淀的功能。

聚丁烯、植物油可以增加胶粘剂的可塑性、流动性及初粘力。

（五）其它配合剂

其它配合剂的选择要注意以下几方面。

① 在溶剂型胶粘剂中，为降低抽丝性，可加入沥青、硬脂酸或脂肪酸酰胺等。为防止拉丝可以加入烷基酚醛树脂有机酸的金属盐和蒙脱土等。

② 在异丁烯类聚合物压敏胶粘剂中，为降低成本、改进操作性能，使胶粘剂具有热塑性等特性，常加入无规聚丙烯及各种石蜡。

③ 为提高胶粘剂对各种被粘基材如玻璃的粘接性能，可以加入有机硅氧烷类，如环氧硅烷、胺硅氧烷等。在用丁基橡胶胶粘剂粘接某些织物时，异氰酸酯可用作底胶或增粘剂。

④ 为提高胶粘剂在使用中的耐老化性能，应加入防老剂。

（六）溶剂

1．溶剂类型

溶剂对胶粘剂的粘度、粘度稳定性、毒性、涂布性、干燥速度，对被粘体的渗透性和胶膜的体积收缩等都有影响，因此要慎重选择。

异丁烯类聚合物在非极性碳氢溶剂和氯化溶剂中溶解，而在极性溶剂中，如在醇、酯、酮以及其它低分子量的氧化性溶剂中不溶解。常用的溶剂有甲苯、二甲苯、正已烷、庚烷、石脑油、橡胶油等挥发性烷烃溶剂。环已烷和氯化溶剂，例如全氯乙烯在相等百分比的橡胶材料中，溶液粘度要比普通烷烃和芳香烃溶剂的溶液粘度高得多。造成这种差异的部分原因是氯化溶剂的相对密度大。

2．溶解速度

聚合物在溶剂中的溶解速度随聚合物的分子量增大而变得缓慢。因此，通常须经炼胶机上轧炼后出片并剪成小块，浸入溶剂，以增加与溶剂的接触面积，加速溶解。

由于异丁烯类聚合物具有甲基基团与分子主链紧密结合的结构，因此胶粘剂的溶剂挥发速度很慢，溶剂不易挥发，在制备各类胶粘剂时容易裹进气泡而不易逃逸。在前者情况下，宜使用混合溶剂；而在后者情况下则可把胶粘剂稍稍加热，使其粘度降低除去气泡。

在选择溶剂时，减少环境的污染和降低毒性是普遍要求的条件。

3．胶液的固体含量

为适应不同施工要求，胶粘剂最适宜的固体含量取决于溶剂和填料含量对粘度变化的影响，一般固体含量范围如下：

喷涂施工型胶粘剂，固体含量为5～10%；

浸渍用胶粘剂，固体含量为10～30%；

涂胶用胶粘剂，固体含量为25～55%；

刷或刀刮用胶粘剂，固体含量为50～70%。

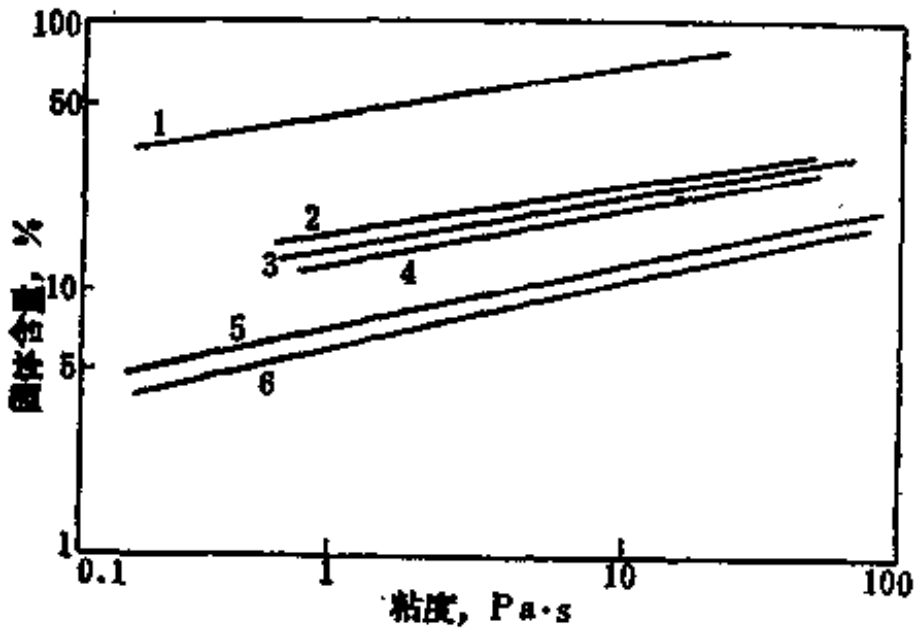


图 12-5-1 异丁烯聚合物的甲苯溶液的粘度与固体含量的关系

1—聚异丁烯Vistanex LM-MS；2—丁基橡胶Exxon Butyl 165；3—氯化丁基橡胶1066；4—丁基橡胶Exxon Bntyl 268；5—聚异丁烯Vistanex MML-80；6—聚异丁烯Vistanex MML-120

胶粘剂的固体含量与粘度之间的关系是对数关系，如图12-5-1所示。固体含量的微小变化会引起溶液粘度的较大变化，尤其是在固体含量高的情况下。聚合物分子量的微小变化也可引起胶液粘度的较大变化。

异丁烯类聚合物透气性较差，因此纯胶胶浆应当以薄层使用为宜，这样有助于溶剂的挥发，避免气泡的生成。为增加胶膜厚度而需要多层使用时，在每个薄层之间应充分干燥。含有大量填充剂的胶浆在这方面的敏感性小。

四、胶液的制备

丁基橡胶胶粘剂通常采用普通工艺方法来制备，即将橡胶同填充剂及其它配合组分在开炼机上或密炼机中混炼后，再在开炼机上出薄胶片，剪成小块溶解到溶剂中。

低分子量的聚异丁烯和低分子量的丁基橡胶，通常是半液体状态，比高分子量的聚合物更易溶解。这类聚合物可直接加入到溶剂中进行搅拌。填料和其它配合剂也随之先后加入。必要时，可在涂料三辊机上或球磨机中进行加工，以达到较高的分散程度。

制备胶粘剂胶液所选用加工设备应根据胶液的粘度而定。一般按下列原则选择设备。

① 粘度极低的胶液（低于50Pa·s），一般采用高速、高剪切旋转锯齿叶片类型的搅拌打浆机，可将少量的聚合物溶解到大量的溶剂中去。一般聚合物以十分小的粒状加到打浆机中。

② 低粘度（大约低于200Pa·s）的胶浆，可使用高速、高剪切、有加热夹套的打浆机。

③ 中等粘度（粘度在0.2～1kPa·s）的胶浆或胶粘剂采用捏和机和双臂星式混合机。

④ 更高粘度（大于1kPa·s）的混合物，要用捏炼机、开放式炼胶机或密炼机。

丁基乳胶胶粘剂的生产设备十分简单，通常为螺旋式混合机或一个敞开的罐。如果添加大量填充剂时，对部分配合剂要进行球磨。

五、丁基橡胶胶粘剂的类型及用途

与丁腈橡胶和氯丁橡胶等极性橡胶胶粘剂不同，异丁烯类聚合物是一种非极性或基本上不含极性基团的聚合物，而丁基橡胶胶粘剂多用于非极性材料间的粘接。异丁烯类聚合物又是一种非结晶型聚合物，对许多被粘基材的“浸润性”好。它可与其它聚合物混在一起作辅助材料使用。

异丁烯类聚合物可用作硫化型、压敏型、溶剂型、乳液型以及热熔型等各类胶粘剂的基材。

（一）触敏型胶粘剂

丁基橡胶系触敏胶粘剂，用于纤维与纤维、硫化丁基橡胶之间，以及硫化丁基橡胶与未硫化丁基橡胶之间的粘接。该类胶粘剂有硫化型与非硫化型之分，非硫化型触敏胶为一液型胶粘剂，而硫化型胶粘剂通常是二液型室温硫化胶粘剂。

1．非硫化胶粘剂

为提高该类胶粘剂的耐热性和耐蠕变性，可采用下列方法：

① 加入交联丁基橡胶或在丁基橡胶中加入软化剂树脂进行动态交联；

② 添加高分子量聚异丁烯；

③ 添加无机填充剂；

④ 加入少量脂肪族伯胺及TDI异氰酸酯。

该类胶粘剂的配方举例如表12-5-3所示。

表12-5-3中，例1为邻苯二甲酸十二烷基酯与二甲苯硫脲糊状物加到氯化丁基橡胶中，在密炼机中于115～145℃塑炼5min进行部分交联。温度高于150℃时会使硫化过度。该胶粘剂中加入松香酸锌和二苯胍，可制得室温硫化。例2采用交联丁基橡胶，塑炼40min。

表 12-5-3 非硫化触变胶配方举例

组分名称	用量 重量份	组分名称	用量 重量份
例1 部分硫化丁基橡胶①	100	例2 polysar XL-20丁基橡胶②	24
松香酸锌	适量	丁苯橡胶	47
甲苯/异丙醇 (90/10)	400	防老剂 2246	2
		木松香	94

① 氯化丁基橡胶 100；邻苯二甲酸十二烷基酯 5；二苯硫脲 5。

② 胶粘剂可作喷涂型胶粘剂。

2．室温硫化胶粘剂

室温硫化型胶粘剂通常采用丁基橡胶、卤化丁基橡胶或低分子量丁基橡胶作主体材料。硫化剂一般较多选用室温下能硫化的对醌二肟及金属过氧化物体系。胶粘剂通常配成双组

分：即硫化剂和硫化促进剂分别配在两个组分中，使用前将两组分混合也可把硫化剂和硫化促进剂加到不硫化的聚丁烯或聚异丁烯组分中而可硫化的丁基橡胶或改性丁基橡胶配成另一组分，使用之前两组分混合。表12-5-4为硫化型胶粘剂配合举例。

表 12-5-4 丁基橡胶系室温硫化胶粘剂配方举例

组分名称	用量，重量份	组分名称	用量，重量份
A 组分		B 组分	
例1 丁基橡胶268	100	丁基橡胶268	100
氧化锌	5	氧化锌	5
硬脂酸	3	硬脂酸	3
氢化松香甘油酯	40	半补强炉黑	60
硫 黄	1.50	硫 黄	1.50
对醌二肟	4	PbO_2	8
4.55Lmol胶料	400	4.55Lmol胶料	400
庚 烷	1.95	庚 烷	1.95
浓度为92%异丙醇	24ml	浓度为92%异丙醇	24ml
例2 固体含量100%的室温硫化胶粘剂			
矿物油精	15.00	PbO_2	1.70
丁基橡胶	15.00	聚丁烯（分子量830）	40.00
聚丁烯（分子量300）	15.00	滑石粉	30.00
立德粉（含60%ZnS）	18.00	对醌二肟	4.16
快压出炉黑	0.09	三乙醇胺	2.50
硅藻土	37.00		
A组分：B组分 = 10：1			
例3 Esso Butyl HT-1066	100	聚异丁烯	10
软质陶土	100	聚乙烯	1
TiO_2	10	$ZnCl_2$	1
非热反应酚醛树脂	20	ZnO	5
甲 苯	600	甲 苯	43
例4 双组分室温硫化胶粘剂			
丁基橡胶	100	或环氧醇	15～57
矿物油	100～200	丁基橡胶	100
白 垩	100～200	矿物油	100～200
气相白炭黑	3～ 20	白 垩	100～200
对醌二肟	1～ 3	气相白炭黑	3～ 20
二甲基甲酰胺	3～ 27	MnO_2	1～ 3
例5 丁基橡胶	100	快压出炉黑	60
氧化锌	5	石油系操作油	60
硬脂酸	2	碳酸钙	40
聚丁烯	10	枯基过氧化氢	10
增粘剂	5	对苯醌二肟	4

在表12-5-4中，例 1 和例 4 是典型的室温硫化型胶粘剂。它们分别使用对醌二肟与二氧化铅和对酯二肟与二氧化锰硫化体系。例 1 胶粘剂用于以玻璃纤维为芯的丁基橡胶管。例 2

中是以三乙醇胺作促进剂，它可提高硫化速度。矿物油和聚丁烯作增塑剂，可制得固体含量100%的不含溶剂的胶粘剂。若用过苯酸缩丁酯-对醌二肟硫化体系，则在对醌二肟的丁基橡胶溶液中加入浓度为6%的环烷酸钴溶液0.5～1.5%（重量分），可明显提高硫化速度。过苯酸缩丁酯的用量为4～7份。

例3是氯化丁基橡胶的室温硫化型胶粘剂。两个组分混合后活性期可长达数日，溶剂挥发后5～10日内可硫化，在120℃下经30min可完成硫化。

例5的胶粘剂能用于金属、硫化胶、木材、塑料、玻璃等的粘接。该例采用特定硫化剂和促进剂，大大提高了异丁烯类聚合物低温硫化时的粘接强度，在高温情况下也能维持较高的粘接强度。该胶粘剂采用有机过氧化物为硫化剂，由对醌二肟或有机胺类等具有氧化还原能力的化合物作硫化促进剂。硫化剂的用量为0.1～20份，最好为1～15份。硫化促进剂的用量为0.1～10份，最好为1～10份。

（二）压敏胶粘剂

异丁烯类聚合物品种较多，它包括从液态低分子量聚合物到橡胶弹性高分子量的聚合物，单单它们之间的并用就可制成压敏胶粘剂，但以此配合的胶粘剂对温度的敏感性大，而且在粘性与内聚力之间难以进行平衡，实用价值较小。

在压敏胶粘剂中，两个最重要的参数是胶粘剂的“粘性”与内聚力。内聚力是在恒载下抗蠕变的能力。异丁烯类聚合物是一类具有固有粘性的聚合物，并可利用不同的树脂和其它增粘剂进一步提高其粘性。与其它聚合物压敏胶粘剂（例如与天然橡胶压敏胶粘剂）比较，丁基橡胶类压敏胶粘剂的内聚力要低得多。因此，丁基压敏胶往往达不到多种用途对胶粘剂的要求。提高胶粘剂的内聚力可从以下几个方面考虑：

① 丁基橡胶同高分子量的聚异丁烯或天然橡胶并用；

② 选择部分交联丁基橡胶；

③ 丁基橡胶或聚异丁烯同少量氯化丁基橡胶并用，再用氧化锌硫化氯化丁基橡胶，制成具有部分交联的胶粘剂基材；

④ 选用其它配合剂，尤其是树脂和填料。

异丁烯类聚合物主要用子标签压敏胶粘剂以及不要求高内聚力的某些压敏胶带上。以异丁烯类聚合物为基材的压敏胶粘剂具有下列特性。

① 耐老化、耐臭氧、耐龟裂性能优良，可长时间使用。天然橡胶压敏胶粘剂老化后先发软，后发硬，贴合后变得不能剥离；而丁基橡胶老化后没有硬化的倾向，因此可用于要求使用寿命与稳定性好的场合，例如可剥性压敏胶标签。耐老化性不良的可剥性标签胶粘剂会因失去内聚力而不能按要求清洁地剥离下来。

② 异丁烯类聚合物的低温屈挠性和粘性使得胶粘剂可在低于摄氏零度的温度使用。低分子量聚异丁烯是一种特佳的低温增粘剂。它使压敏胶可在冷冻用标签中使用。

③ 异丁烯类聚合物的非极性性能，对于表面张力低的聚烯烃塑料具有良好粘接力。

④ 丁基橡胶压敏胶粘剂可使用低分子丁基橡胶为增塑剂，可以进行共硫化，制得耐热性优良的胶粘带。

⑤ 异丁烯类聚合物对于用邻苯二甲酸酯类作增塑剂的聚氯乙烯的稳定性比其它橡胶优良得多（见表12-5-5）。

⑥ 该类压敏胶标签冲切性好，冲切性是胶粘带的重要指标。

⑦ 它们不会象天然橡胶那样受铜离子的浸蚀。

表 12-5-5 各种未硫化胶耐增塑剂性能

（未硫化胶在增塑剂中重量增加率，%①）

橡胶 \ 增塑剂	邻苯二甲酸二己酯	邻苯二甲酸二辛酯	邻苯二甲酸二异癸酯	己二酸二辛酯	石油类增塑剂
丁基橡胶268	3.3	6.5	9.5	82.9	2.0
氯化丁基橡胶HT1068	4.8	9.8	13.2	130.2	2.3
聚异丁烯*Vistane XL-120*	6.1	10.8	14.6	103.5	3.8
三元乙丙橡胶	14.4	22.5	24.2	69.1	8.5
乙丙橡胶	134.7	35.8	17.5	14.5	17.0
AC型氯丁橡胶	295.8	90.0	78.5	148.4	23.0
丁苯橡胶1011	溶			解	34.4
天然橡胶	溶			解	32.5

① 用2型哑铃状试片冲切机制备50～90μm的胶片，将它在增塑剂中浸渍5 d后测定。

⑧ 聚异丁烯具有低的毒性，符合食品和药物规定，适用于各种医用压敏胶粘剂、手术绷带、口部绷带等。

异丁烯类聚合物压敏胶粘剂可用于聚乙烯等各种难粘材料的粘接，还适于聚氯乙烯和聚酯薄膜等材料的粘接。

丁基橡胶类压敏胶粘剂的配合举例如表12-5-6所示。

表 12-5-6 丁基橡胶压敏胶粘剂配合举例

组分	用量 重量份
例1 半透明胶粘带用简单压敏胶粘剂	
丁基橡胶 268 或聚异丁烯 Vistanex MML-100	100
低分子量聚异丁烯 Vistanex LM-MS	75
例2 一般胶粘带用胶粘剂	
氯化丁基橡胶	50
丁苯橡胶 1011	50
低分子量聚异丁烯 Vistanex LM-MS	30
氢化松香脂	30
芳香改性脂肪树脂（软化点93℃）*Escorez 2101*	30
防老剂 Irganox 1010或Ethanox 702（食品用）	0.5
例3 可剥标签用压敏胶粘剂	
高分子量聚异丁烯 Vistanex MML-100	100
低分子量聚异丁烯 Vistanex LM-MS	40
氧化锌	20
碳酸钙	20
加氢环状石油树脂（软化点105℃）*Escorez 5300*	30
聚丁烯（分子量1200）	45
萜烯树脂（S·P·115℃）	30
石蜡操作油	15
防老剂	0.5
例4 乙烯基地板砖用压敏胶粘剂	
丁基橡胶 268	100
低分子量聚异丁烯 Vistanex LM-MS	20
萜酚树脂	70
例5 外科胶带用压敏胶粘剂	
高分子量聚异丁烯 Vistanex MML-100	100
低分子量聚异丁烯 Vistanex LM-MS	30
氧化锌	50
氢氧化铝	50
白油	40
酚醛树脂	50
例6 双面胶粘带用压敏胶粘剂	
高分子量聚异丁烯	100
低分子量聚异丁烯	70
萜烯树脂	45
防老剂	1.1
树胶脂	30

（三）胶粘带

1. 管件包扎胶粘带

为防止金属管件腐蚀和化学药品的浸蚀，管件搭接可采用丁基胶粘带。胶粘带所用胶粘剂为丁基橡胶或丁基橡胶与乙丙橡胶并用，所用背衬一般为聚乙烯或聚氯乙烯薄膜。包覆在输送管线上的胶带应具有强韧性和较高硬度，但在凸缘和阀门的周围的胶粘带应具有良好的屈挠性和柔软性，而又不能发生冷流。

填充剂要选用价格低、吸湿性和吸油性小，而不会损失粘性和柔软性的滑石粉。为了补强和耐紫外光可添加炭黑。为了达到粘性与内聚力平衡可选用树脂。高树脂含量同聚丁烯并用可获得具有良好粘性的压敏型的包扎胶粘带。

这种压敏胶粘剂一般用压延法涂布在背基材料上，也可用压出法或胶液涂胶法涂到基材上。管件包扎胶粘带用压敏胶粘剂配方举例如表12-5-7所示。

表 12-5-7　管件包扎胶粘带用胶粘剂配方举例

组　分　名　称		用　量	组　分　名　称		用　量
例 1	丁基橡胶 268	100		滑石粉	450
	FEF炭黑	100		聚丁烯　HV 300	250
	滑石粉	200			
	聚丁烯 indopol　H-100（分子量920）	100	例 3	乙丙橡胶　EPR 404	100
	石蜡操作油	50		丁基橡胶 265	50
	高级脂肪树脂（软化点100℃）Escorez 1304	75		碳酸钙	280
	无规定型聚丙烯 A-Fax　600 HL-5	50		快压出炉黑	10
				聚丁烯H-300	150
例 2	乙丙橡胶 EPR　404	100		萜烯树脂	20
	交联丁基橡胶 Esso AJD10	50		石蜡油	20
	快压出炉黑	150			

2．电气用自粘胶带

以异丁烯类聚合物为基材的各种电气自粘胶带是一种电气性能良好、耐热、耐臭氧的腻子（Mastic）胶粘材料。它具有自粘性或自融性，当胶带包扎时，彼此间融合而形成一个永久性接头。产品用防粘隔离纸包装成卷状。电气用自粘胶带有以下3种类型。

（1）绝缘胶粘带　绝缘胶粘带分为低压型（在2000 V以下）和高压型（在2000 V以上）两种。低压胶带可采用ASTM　D-19技术标准。特定用途胶带按各工厂的企业标准生产。通用低压绝缘胶带包覆在护套用胶带的外部。以布基为背衬的耐磨胶带和以聚氯乙烯为背衬的胶带都属于低压电绝缘胶带范围，在ASTM　D-69和D-230中都分别有技术指标。

高压用电绝缘胶粘带由植物油和石膏制成，要求具有良好的电学性能、耐臭氧性和低吸湿性，几乎不用丁基橡胶制造。但随着交联聚乙烯用作绝缘包覆材料，以异丁烯类聚合物为基材的胶粘剂也开始在这个领域中得到应用。

（2）半导电性胶粘带　半导电性胶粘带配有大量的导电乙炔炭黑。这种胶带必须耐龟裂、耐电晕、耐热、低吸水性。

（3）护套用胶粘带　护套用胶粘带可取代传统的电线包覆材料，它要求耐候、耐磨、耐油及耐火焰。

在电气胶带中，异丁烯类聚合物是主体材料，为胶带提供内聚力。还可以配合聚乙烯、三元乙丙橡胶以及丁苯橡胶来改善胶带的内聚力和耐冷流变性。填充剂一般选用陶土、滑石粉、白炭黑和炭黑。为改进耐放电性能，可采用金属硫酸盐或水合氧化铝。电气用胶粘带配

方举例如表12-5-8所示。

表 12-5-8 电气胶粘带配方举例

组分名称	用量 重量份	组分名称	用量 重量份
例1 丁基绝缘接头胶粘带		氧化锌	5
丁基橡胶 268	100	乙炔炭黑	70
高分子量聚异丁烯 MML-100	10	硬脂酸	1
防老剂	1	聚异丁烯 Vistanex LM-MS	5
氧化锌	5	古马隆树脂（软化点 100℃）	10
陶土	60	对醌二肟	6
滑石粉	60	二氧化铅	10
中粒子热裂法炭黑	10		
低密度聚乙烯	5	例3 电气护套用胶粘带	
Escorez 1315 高级脂肪树脂（软化点115℃）	5	乙丙橡胶 スタロニ 3708	80
烷基酚醛树脂 Schenectady SP-1077	5	丁基橡胶 035	20
偶联剂① Poly DNB	0.5	ノクラツク 224	1
偶联剂① QDO	0.2	氧化锌	5
性能		水合氧化铝	20
拉伸强度，kPa	650	陶土	80
扯断伸长率，%	750	半补强炉黑	10
绝缘强度，$V/m \times 10^6$	29.33	スラベライト树脂	10
体积电阻，$\Omega \cdot cm \times 10^{14}$	140	エスユレツツ1103石油树脂	10
		石蜡油	20
例2 半导电自融性胶粘带		硫化剂：促进剂 DM	1.43
丁基橡胶 035	100	促进剂 SF	0.67
聚异丁烯 MML-100	15		
ノクラツク 226	1		

① 这两个偶联剂使橡胶与填料良好结合。

硫化剂宜在混炼最后阶段，于100℃以下加入。

（四）胶乳胶粘剂

丁基胶乳可配置成不同用途的胶粘剂，通常用于粘接聚烯烃。例如，它可以配制成压敏胶粘剂，用于金属箔与纸的薄片层压制品、胶合板与聚烯烃的层合制品以及标签的粘贴。丁基胶乳胶粘剂的典型配方举例如表12-5-9所示。

表12-5-9例 3 为主要用于聚烯烃类纤维制造无纺布时的胶粘剂。它能提供良好的粘接强度，而且手感好，耐变色性优异。在要求耐洗涤剂性能时，可采用在丁基胶乳中加入硫化剂，进行干燥后硫化的方法或者并用丁腈胶乳的方法。用于粘胶纤维时，可并用丁苯胶乳或粘胶丝溶液的方法。

（五）热熔型胶粘剂

1．热熔胶

异丁烯类聚合物是一类热敏性聚合物，它会使热熔胶变成更难熔融的材料。随着聚合物分子量的增大，熔融粘度明显提高，因此热熔胶一般不使用高分子量级的聚异丁烯。

聚异丁烯和聚乙烯并用的热熔胶的粘接性非常好，但用于醇酸树脂涂饰的板材上会发生粘斑之类的缺点。改变聚乙烯用量比例，或使用高分子量聚异丁烯或改变高软化点与低软化

表 12-5-9 丁基胶乳胶粘剂配方举例

组分名称		用量 重量份	组分名称		用量 重量份	
例 1	基本配合	以干胶计		Piccopale A-20 树脂	50	100
	丁基胶乳	100		白炭黑 Hi-Sil 233	25	25
	Piccova A-12树脂（专用芳香树脂）	65	例 3	无纺布用的丁基胶乳粘接料	配方1	配方2
	碳酸钙	90		丁基胶乳（60%）	160	80
	低粘度聚丁烯	40		丁腈胶乳（50%）	—	100
	PiccopaleA-55 树脂乳液（专用脂族树脂乳液）	45		氨酪素（20%）	75	—
	分散剂	1.0		三聚氰胺树脂 Aerotex MW	5	25
	增稠剂	0.9		三聚氰胺树脂催化剂 Aerotex MX	1.6	8
				氧化锌（50%）	8.3	—
例 2	一般用途	干 湿		硫黄（68%）	4.4	—
	丁基胶乳	100 160		草酸丁酯（50%）	8	—
	酪蛋白（氨）	25 176		促进剂二硫化氨基甲酸酯(Merac)	4	—

点树脂的比例等办法都无法改善。因为聚异丁烯的内聚力低，不适宜作热熔胶主体材料。

异丁烯类聚合物除了内聚力低之外，与热熔胶材料SIS（苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯嵌段共聚物具有最适宜内聚力）比较，其熔融粘度过高，而且不容易造成粒状和小片状。在使用中还有熔融速度慢等缺点。

异丁烯类聚合物作为热熔胶的特殊添加剂，可使热熔胶具有溶剂型胶粘剂的一系列优良性能，尤其是改进了热熔胶低温屈挠性、耐老化性和耐化学药品性，并提高了热熔胶的坚韧性、强力以及耐热性和粘接力。丁基橡胶可使预成型热熔胶胶棒的强度和柔韧性提高，在使用中控制流动性，并改善粘接力。

该类热熔胶如表12-5-10例 1 和例2所示。表中例 1 的聚乙烯作为热熔胶主体材料，加入丁基橡胶和聚异丁烯的目的是防止聚乙烯分散在热微晶蜡中结晶和增加热熔胶的内聚强度。丁基橡胶分子量较小，分散性大，主要起增塑和防结晶作用；而聚异丁烯分子量高，分散性小，主要起增加内聚力强度的作用。

2．热熔压敏胶粘剂

异丁烯类聚合物虽不适用于热熔胶，但在热熔压敏胶中非它莫属。丁基热熔压敏胶粘剂，说得确切一点，是一种热施工压敏胶粘剂，即在施工或成型时需加热使用或成型。

根据用途和施工工艺设备，选择不同分子量级别的异丁烯类聚合物作热熔压敏胶的基材。为了把热熔压敏胶的粘度降低到所要求的水平，通常是丁基橡胶同大量的热熔材料，例如增粘树脂、凡士林和无规聚丙烯并用。低挥发性的碳氢油、聚丁烯、石蜡及微晶石蜡也可降低熔融粘度。低分子量的聚异丁烯是有效的增塑剂，并能提高粘性。

凡士林和石蜡是最有效的粘度控制剂。树脂、石蜡、低密度聚乙烯、EVA 以及有规和无规聚丙烯等热塑性组分可增加热熔压敏胶的硬度和内聚力。低密度聚乙烯和结晶聚丙烯能提高热熔胶软化点，甚至只有10%的浓度时也具有这一特性，因此扩大了热熔压敏胶的工作温度范围。石蜡和热塑性树脂用量必须适量，用量过多会降低胶粘剂粘性。碳氢油和凡士林对粘性也有不利的影响。

低分子量聚异丁烯是热熔压敏胶中用途最广的聚合物基材，因为它们的分子量低，很容易熔融混合形成低粘度的胶粘剂。在177℃时的Brookfield粘度在30～60Pa·s范围内。这一粘

度数值取决于聚异丁烯分子量的级别。通过热塑性树脂，可有效地调节热熔压敏胶的熔融粘度。

丁基热熔型压敏胶可粘接聚乙烯和聚丙烯类聚烯烃难粘材料。在包装材料的粘接中很有

表 12-5-10 丁基热熔胶粘剂配合举例

组分名称	用量 重量份
例 1 聚乙烯（中等分子量）	
丁基橡胶	10
聚异丁烯	8
微晶蜡	19
例 2 热熔胶	
聚异丁烯（分子量9000～12000）	15～20
EVA	10～20
氢化松香甲酯	20～30
氢化松香	15～25
防老剂	0.2～0.6
例 3 地毯专用胶粘剂	
丁基橡胶 065	100
高级脂肪树脂（软化点100℃） Escorez 1304	100
石蜡（Potrolatum 57CMP）	50
微晶石蜡	150
防老剂 Ethanox 702 或 Irganox 1010 酚类防老剂	1
性能	
粘度（在121℃ Brookfield 粘度），Pa·s	80
表面	发粘
粘接 胶粘剂涂在泡沫塑料上后用手压在贴合板上	
乙烯基泡沫对贴合板	良～优
橡胶海绵对贴合板	良～优
例 4 标签用胶粘剂	
丁基橡胶	19
氯化联苯	39
松香三甘醇酯	36
微晶石蜡	6

例 5 一般用途	配方 1	配方 2	配方 3
低分子量聚异丁烯（Vistanex LM-MS）	25	35	45
高级脂肪树脂（软化点93℃ Escorez 1310）	50	50	15
石蜡（Petrolatum 57·C·M·P）	15	—	40
低密度聚乙烯	10	—	—
石蜡烃操作油	—	15	—
性能			
粘度（Brookfield，177℃），Pa·s	1.9	1.2	0.85
表面状况	粘，成膜	很粘，软	很粘，软
软化点，℃	101	49	56

组分名称	用量 重量份
例 6 低温标签	
SIS Kroton 1107	50
Solprene 1205 塑料（辐射嵌段共聚物）	50
54.4℃石蜡	100
例 7 铁与聚烯烃粘接	
聚异丁烯 B15	32.5
聚乙烯（熔融指数20）	20
聚乙烯（熔融指数200）	7.5
萜烯树脂与微晶石蜡	30
例 8 纸与聚丙烯粘接	
EVA	100
氢化松香	80
聚异丁烯	20
硬脂酸钙	15
氨（28%溶液，调到 pH 值为 8.5）	
Piccopale A-55 树脂乳液（专用脂族树脂乳液）	40 80
乳化剂	60 —
沉淀碳酸钙（33%分散体）	60 180
间苯二酚	10 10
预混合	
甲醛	— 18
氧化锌（50%分散体）	1 2
合成水溶性聚合物（Amberlec 165 聚合物）	30 140
合 计	241 59
水 按需要调整固体含量	
例 9 制罐用热熔胶	
聚乙烯（分子量12000）	20
聚乙烯（分子量20000）	19
β-吡啉树脂（软化点 125℃）	20
EVA（VA25%）	20
丁基橡胶	20
防老剂	1

前途。在制罐工业中，热熔胶可作为密封材料，它具有不透气、水密封和耐压缩性优良性能。丁基热熔压敏胶的配方举例如表12-5-10所示。

3．改性石蜡热熔胶

在以石蜡为基材的蜡封材料中，异丁烯类聚合物是一种良好的改性添加剂，它不仅能提高蜡封材料的粘度，增加韧性和强力，还能改进耐油性、耐湿性以及粘性和热封强度。提高粘度可防止蜡对纸等的过份渗透。在石蜡中掺入EVA可改进热封材料强度，如果用聚异丁烯代替一部分EVA，那么可显著地改善热封强度。

在石蜡涂料中，含有1～5%的丁基橡胶或高分子量聚异丁烯，在保持涂料胶的原有性能外，可提高石蜡涂料的粘度。

丁基改性的石蜡热封材料多用于层压材料，例如铝箔与桑皮纸的层压、聚丙烯与纸的层压等，其配合举例见表12-5-11。

（六）涂料

选用异丁烯类聚合物两个特殊品种可以配合多种用途的丁基橡胶涂料。主要选用品种为低分子量丁基橡胶和一般的丁基胶乳。低分子量丁基橡胶涂料须配成两组分，使用前混合，为室温硫化型涂层胶。固体含量约50%的涂层胶，用简单的喷涂设备施工，在喷涂时不会形成蛛网状。

配制涂料时，全部组分加到球磨或砂磨机中分散。硫化膏剂可在涂料三辊机上制备，最重要的是氧化剂分散要均匀。

低分子量的丁基胶乳涂料最大用途是喷在聚氨酯泡沫上作为保护涂层，可耐化学腐蚀和耐老化。

丁基胶乳配制的涂料用在不可使用溶剂的地方，可用在聚丙烯编织物等聚烯烃基材上。丁基胶乳涂料的配方举例如表12-5-11所示。

表 12-5-11 丁基胶乳涂料配方举例

组分名称	用量 重量份	组分名称	用量 重量份
例1 黑色丁基涂层胶		例2 聚丙烯帆布制品涂层	干 湿
A组分：基本组分		丁基胶乳	100 100
低分子丁基橡胶 Exxon Butyl LM 430	100	聚异丁烯 Vistanex LMMS	90
炭黑 MT	150	芳香改性脂肪软化点93℃ Escorez 2101	130
对苯醌二肟	3.5	环烷烃油	5.8
溶剂	246.5	防老剂 Irganox 1010 酚类防老剂	2
合计	500	粘接力	
B组分：硫化膏剂		180° 剥离力，N/cm	
二氧化锰（活性极）类型D	7.5	不锈钢	8.6
有机酸（例如硬脂酸）	0.5	处理低密度聚乙烯	5.6
链烷烃溶剂 例如 Varsolir)	12	在－17.8℃，180°剥离力，N/cm	
		不锈钢	12.3
		处理低密度聚乙烯	0.88
		在0℃，环形粘着力，N/cm	
		不锈钢	9.3
		瓦楞纸板	2.8
		涂蜡纸板	4.0

普通的丁基橡胶和聚异丁烯都可用于特殊的涂料中，例如高分子量聚异丁烯耐老化和耐水蒸汽透过性优良，可作特殊涂料使用。防污涂料可用于船舶工业。

第六节　氯磺化聚乙烯胶粘剂

一、氯磺化聚乙烯的结构与特性

1．结构

美国Du Pont公司1952年生产氯磺化聚乙烯的商品名为海帕隆（Hypalon)。它由高分子的聚乙烯树脂与氯及亚硫酸气体反应，使之氯化并引入氯磺酰基而成。由于在主链上没有不饱和结构，故其耐候性、耐臭氧性和耐热性卓越。由于引入了氯磺酰基使之易于硫化，亦使其具有优越的拉伸强度、耐弯曲疲劳性和抗裂口增长性，吸水性低，在日光曝晒下也不会变色，着色性优良，耐磨性好。由于其所具有的特性，在制备胶粘剂乃至应用领域中，氯磺化聚乙烯橡胶发挥着独特的作用。

2．品种和性能

由于聚乙烯分子结构的差别和氯、二氧化硫含量的不同，可以合成不同品种的氯磺化聚乙烯。每种产品各具特点，它们外观无甚差异，主要差别在于门尼粘度。

氯磺化聚乙烯20和40最适合于制造胶粘剂。

氯磺化聚乙烯20是目前市售商品中历史最久的，一般使用的胶料大多以它为基础。最适宜的用途是：①与其它弹性体并用，②作为溶液涂料，适用于柔软物表面的涂饰。生胶门尼粘度低，加工性优良，低温性能亦佳。

氯磺化聚乙烯30主要为刚性底材上的溶液涂饰之用。比其它型号溶液粘度低，能得到牢固鲜艳的干性表面。硫化物性不太好，但是耐油性能良好。

二、氯磺化聚乙烯胶粘剂的基本配合

由于氯磺化聚乙烯橡胶具有完全的饱和结构，分子中没有能形成交联结合的双键结构，其硫化机理不同于其它弹性体，除了在极高温度下使用外，一般无需加防老剂。

（一）硫化剂

1．有机酸

有机酸在硫化温度下能与金属氧化物反应，析出水而产生硫化作用。最佳的有机酸是氢化松香、松香等。有机酸的用量一般在5份左右。

2．金属氧化物

金属氧化物在胶粘剂中起着交联作用，它除了在硫化温度下与有机酸反应，析出水引发硫化并又与磺酸基反应形成交联结合外，又能在氯磺酰基水解析出氯化氢的时候，起酸接受体的作用。

常用的金属氧化物是一氧化铅、氧化镁或两者的并用。在使用氧化镁时，以采用轻质锻烧氧化镁为宜。氧化镁单独使用时一般为10份，一氧化铅为20份，两者并用时为氧化镁5份、一氧化铅10份。

能使氯磺化聚乙烯交联的其它金属氧化物是四氧化三铅和三碱式马来酸铅。其硫化速率均较迟缓，在一般配合中不宜采用。然而由于三碱式马来酸铅系白色粉末，密度较一氧化铅小，因此在要求浅色或要避免沉降的胶粘剂溶液配合中以及要求耐水性的场合是比较适

宜的。

3．有机硫化剂

使用金属氧化物的缺点是用一氧化铅时密度较大，并且不适合食品工业的用途。使用氧化镁时会吸收氯化氢而生成氯化镁，不宜于耐水用途。为此，近年来发展了氯磺化聚乙烯的有机硫化剂，其中最有实用价值的是环氧树脂。

用环氧树脂代替金属氧化物，克服了金属氧化物的缺点。环氧树脂加工安全性大，并赋予硫化胶极好的物理机械性能，特别是硫化胶具有优良的耐水、耐热性、耐酸性，永久变形低，密度小和无毒性等。含环氧树脂的胶料，焦烧倾向较小，粘接、加工性能良好。与金属氧化物体系相比，使用环氧树脂时在较低温度下混炼时间较短，粘度降低，填充胶料粘辊的倾向下降，因而能够用较小的能量完成混炼。

环氧树脂在配方中还可以作为酸接受体使用，这时需同时并用硫黄和促进剂，可以制得物理性能和耐水性均佳的白色或浅色硫化胶。不过，含环氧树脂的胶料尺寸稳定性较差，但这一缺点可以加入10～15体积份填料克服。对于直射阳光，应采取适当的紫外线遮蔽剂。

用环氧树脂交联是由于各种聚合物链的磺酰氯基和树脂分子的环氧基之间的反应造成的。

需要指出，在大多数弹性体中所必需的氧化锌，在氯磺化聚乙烯中一般不能使用，因为它对氯磺化聚乙烯在高温下氯化氢的析出有促进作用。

（二）硫化促进剂

为使氯磺化聚乙烯胶粘剂能经济地在合理的时间内完成硫化，往往必须采用一种或多种有机促进剂，有几种典型的橡胶促进剂对氯磺化聚乙烯胶粘剂的硫化是合适的，最常用的有2-巯基苯并噻唑、二硫化二苯并噻唑、二硫化四甲基秋兰姆、四硫化双戊亚甲基秋兰姆（Tetrone A）、二苯胍、二邻甲苯胍（DOTG）和亚乙基硫脲（NA-22）等。2-巯基苯并噻唑用于胶料时，其硫化速度常常比二硫化二苯并噻唑快得多，因而导致焦烧。另一方面，二硫化二苯并噻唑对某些用途的胶料硫化不够快，因而常与其它促进剂，特别是与秋兰姆和胍类促进剂并用。在秋兰姆类促进剂中，Tetrone A 有时比 TMTD 好，因为前者硫化速度稍快。胍类促进剂中的二邻甲苯胍（DOTG）活性较大，因而经常使用。二硫化二苯并噻唑与秋兰姆和胍类促进剂并用，或以后者代替秋兰姆，可使硫化速度很快而无多大的焦烧危险。乙烯基硫脲则特别合适，因为它的硫化时间比较短，可减少胶料的受热时间，并能改善胶料的贮存稳定性。

对于含氧化镁的胶料，Tetrone A 几乎是唯一有效的秋兰姆类促进剂。在以有机物硫化的配合中，Tetrone A起主促进剂的作用，Tetrone A还有一个最显著的特点是非污染性。以促进剂M与二苯胍并用，可以使胶料在100℃下经过10～15min或在室温下经过7d完成硫化。以NA-22与DOTG并用亦可保证胶料薄膜在室温下硫化。

氯磺化聚乙烯胶料促进剂系统如表12-6-1所示。

（三）其它配合剂

1．填充剂

细粒子沉淀碳酸钙能提供优良的非黑色制品，天然碳酸钙、陶土、二氧化钛、沉淀硫酸钡和软质炭黑等其它类型填充剂能提供较软并富有屈挠性的硫化胶。水合二氧化硅与硅酸钙能提高抗撕强度和硬度，但是在这些填充剂中存在的结晶水会提高硫化速度，降低加工安全性。

表 12-6-1 氯磺化聚乙烯胶料促进剂系统

硫化剂	促进剂	特点
一氧化铅	Tetrone A 1份 DM 1.0～2.0份	加工性安全，贮藏稳定性好
	DM 0.5份 Tetrone A 0.75份	加工安全性中等，硫化速度较快
	M0.7～1.0份	硫化速度快
氧化镁	Tetrone A 1份	
环氧树脂 10～15份	DM 0.5份 Tetrone A 1.0～1.5份 DOTG 0.25～0.5份	
氧化镁加一氧化铅	DM 0.5份 Tetrone A 0.75份	
三盐基马来酸铅或四氧化三铅	M 1份	可有中等程度加工安全性的硫化速度

2．着色剂

氯磺化聚乙烯在硫化时或多或少有变色倾向，因此着色剂的选择应予充分注意。此外，氯磺化聚乙烯的耐候性能虽然很佳，但在紫外线的照射下会发生若干解聚现象，采用适当的着色剂（例如白色）还可以同时起紫外线遮蔽剂的效果。

表12-6-2示出了在日光下不易褪色的各种基础色泽颜料及其用量。如果产品不要求最大的耐日光性，则用量可适当减少。在以较低用量的着色剂制取浅色或彩色色调时，必须配用二氧化钛作为有效的防护剂。颜料和二氧化钛的比例如图12-6-1所示。

表 12-6-2 着色剂类别及用量

颜色	使用的颜料	最低用量，份	颜色	使用的颜料	最低用量，份
白	金红石型钛白粉	35		氧化铁	10
黄	铬黄	6	绿	酞青绿	3
	甲基苯胺黄	6	蓝	酞青蓝	3
橙	钼橙	6	黑	炭黑	3
红	甲基苯胺红	6			

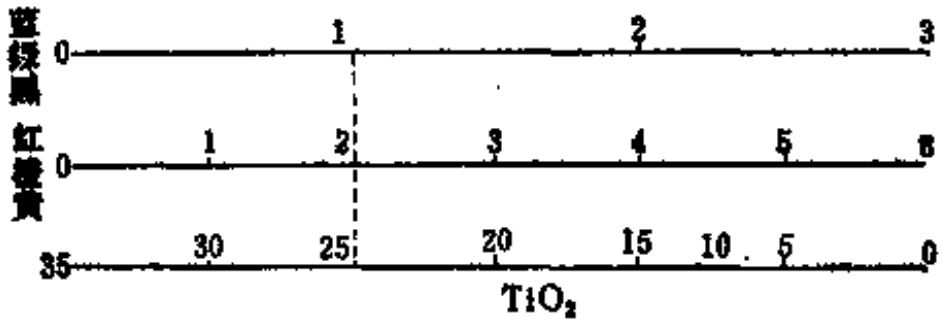


图 12-6-1 着色剂与二氧化钛的适当配比

三、氯磺化聚乙烯胶粘剂的溶剂选择

如前所述，氯磺化聚乙烯20和30最宜制备胶粘剂与涂料。一般芳香烃溶剂如甲苯、二甲

苯、氯化烃和含高芳香烃的矿油精等都能溶解氯磺化聚乙烯20和30的胶料。亦可选用芳香烃和脂肪烃的混合物或芳香烃（至少75%）和酮的混合物作溶剂。在满足技术要求的前提下，应选择对人体毒害性较少的溶剂，以保证工业化生产的顺利进行。表12-6-3列举了氯磺化聚乙烯在混合溶剂中的溶解情况。

表 12-6-3 氯磺化聚乙烯在不同溶剂中溶解状况

（胶浆浓度：纳胶：溶剂 = 1：3）

溶　剂	溶剂配比	溶解状况	溶　剂	溶剂配比	溶解状况
苯：丙酮	70：30	溶解	汽油：丙酮	70：30	溶解
甲苯：丙酮	70：30	溶解	汽油：甲乙酮	70：30	溶解
二甲苯：丙酮	70：30	溶解	乙酸乙酯：汽油	70：30	溶解
丙　酮	100	不溶解	甲苯：丁醇	90：10	溶解

氯磺化聚乙烯纯胶在各种溶剂中浸放24 h 后，除了丙酮单独溶剂外，在其它混合溶剂中都能溶解。以苯系溶剂/丙酮、甲苯/丁醇、汽油/甲乙酮这些溶剂的胶浆挥发速度较为适宜、胶浆没有表面起膜现象，而汽油/丙酮、乙酸乙酯/汽油混合溶剂所调制的胶浆挥发速度较快，胶浆易起膜。

具体操作时，必须根据所用的工艺来选择溶剂。

胶浆在使用时，可根据实际情况适当稀释，常用的稀释剂有甲苯、二甲苯及高芳香含量的其它溶剂等。有时还可以加入石油系稀释剂或低分子量无水醇，以提高贮存稳定性。常用的低分子量无水醇包括甲醇、异丙醇、丁醇和2-乙氧基乙醇等。加入8～10%2-乙氧基乙醇可以显著地增加胶浆的贮藏稳定性。同时，必须指出异丙醇及乙醇虽系稳定剂，但常易含水，反而影响胶粘剂的稳定性。

四、氯磺化聚乙烯胶粘剂典型配方

1．氯磺化聚乙烯胶粘剂

氯磺化聚乙烯胶浆的典型配合组分如表12-6-4所示。

在必要时还可以掺加有机增量剂，如沥青、聚异丁烯、油膏、松香油及高沸点酯类等0～20份。

一般以采用氧化铅和松香及并用一种或几种促进剂。效果最佳。最宜硫化条件为100～160℃×10～60min。

若用以粘接各种橡胶和金属时，可在胶液中掺加氯化橡胶和多异氰酸酯等，经硫化后剪切强度可达1.7～2.7MPa。用于金属与乙丙橡胶粘接时，剥离强度达3.92～5.1kN/m，其配方如表12-6-5所示。

2．氯磺化聚乙烯织物粘合

氯磺化聚乙烯硫化胶之间的粘合，可采用氯磺化聚乙烯胶粘剂，有许多橡胶制品是以橡胶与织物相粘合的结构为基础的，如胶布、胶带、胶管等。

氯磺化聚乙烯对棉织物的粘合性能良好，不经特殊处理即可获得良好结果。但是合成纤维织物则不易与橡胶粘合，需加粘合剂增加二者之间的粘合力。合成纤维与橡胶的粘接在工业上应用的主要有间苯二酚甲醛胶乳（简称RFL法）和异氰酸酯法两种。前者多用于轮胎帘

表 12-6-4 氯磺化聚乙烯胶浆配方举例

单位：重量份

氯磺化聚乙烯20	100
多价金属氧化物	10～20
松　香	2～10
防老剂	0.5～2
促进剂	1～5
填充剂	0～30
溶剂（甲苯、二甲苯）	适　量

表 12-6-5 橡胶与金属粘合配方

混炼胶（含氯磺化聚乙烯100份，硫黄8份，炉法炭黑20份）	100
氯化橡胶	100
甲苯多异氰酸酯	88
二甲苯	780

线的浸渍，后者则多用于工业制品胶布的制造。

以MDI（二苯甲烷-二异氰酸酯）浸渍处理锦纶织物，需于110℃中先干燥10min以除去织物表面吸附的水分，防止-NCO基与水起反应而影响粘合力。处理剂为MDI：甲苯＝4：96溶液，浸渍一次，处理后110℃×5min干燥，胶浆配合为氯磺化聚乙烯 100，促进剂TMTD 2，促进剂D 0.6，618环氧树脂 15，二氧化钛 30，三氧化二锑 9。胶浆浓度为胶：二甲苯＝1：2，采用直接蒸气硫化，胶布剥离强度4.3kN/m。

在氯磺化聚乙烯与化纤织物粘合时，还可以采用一种新型的异氰酸酯胶粘剂PAPI——多亚甲基多苯基异氰酸酯。粘合配方如表12-6-6所示。

表 12-6-6 尼龙-氯磺化聚乙烯粘合胶浆的配合

氯丁胶底层胶浆		氯磺化聚乙烯底层胶浆		氯磺化聚乙烯上层胶浆		氯丁胶底层胶浆		氯磺化聚乙烯底层胶浆		氯磺化聚乙烯上层胶浆	
氯丁橡胶WRT	100	海帕隆20	100	海帕隆20	100	半补强炉黑	20	PAPI	10	Tetronc A	0.75
氧化镁	4	一氧化铅	25	一氧化铅	25	PAPI	10	促进剂DM	0.5	促进剂DM	0.5
硬脂酸	1	半补强炉黑	35	半补强炉黑	35	溶剂	适量	溶剂	适量	溶剂	适量
氧化锌	2	stabilite树脂	5	stabilite树脂	5						

五、氯磺化聚乙烯胶粘剂的制备

氯磺化聚乙烯胶粘剂的制备有3种工艺方法：球磨法、炼胶机法、三辊碾磨机法。

1．球磨法

采用球磨机时的操作步骤是：首先把干的配合剂装入罐内与2种或3种溶液一起球磨后，分批加入生胶，继续球磨至获得均匀的胶液为止。适于球磨机的配合如表12-6-7所示。B和C均以球磨机混合，至B＋C球磨均匀后将其倾入A部分，剧烈搅和。

表 12-6-7 适用于球磨机的配合

生胶溶液（A）		球磨部分（B）		生胶溶液（C）		生胶溶液（A）		球磨部分（B）		生胶溶液(C)	
海帕隆20	95	甲　苯	40	甲　苯	25			沉淀碳酸钙	10		
氢化松香	3	矿油精	25	海帕隆	5			二氧化钛	50		
甲苯	300	丁　醇	25	整个球磨				颜料	适量		
丁醇	75/473	三盐基马来酸铅	40	部分(B＋C)	223.5			秋兰姆E	1.5/193.5		
		邻苯二甲酸	2								

2．三辊碾磨机法

氯磺化聚乙烯胶液也可以在三辊碾磨机上混合。这时可先将生胶溶解在甲苯中，配成25%溶液，以3份固态配合剂与1份上述生胶溶液在三辊碾磨机中混和，最后把混好的胶料倾入剩余的生胶溶液中，充分搅拌即可。

以三辊碾磨机轧炼代替搅拌作业，制备氯磺化聚乙烯胶液的工艺尚有将混炼胶料加入溶剂（如甲苯），置于室温中溶胀，溶胀3天后，在三辊碾磨上薄通二次即全部溶解均匀无结块。

3．混炼法

制备氯磺化聚乙烯胶粘剂的工艺方法大多为混炼与捏和搅拌的方法，一般胶粘剂为双组分，制作时须分别进行。

（1）混炼　由于氯磺化聚乙烯具有饱和的化学结构，分子不易被破坏，所以其塑炼效果不显著。但是，它具有热塑性，因热量增高，在炼胶机上会迅速软化而包辊。为了避免过度热软化而导致配合剂分散不良，在混炼时应用冷水充分冷却，辊温维持在40～60℃左右，70℃以上时，易产生粘辊现象。

① 将氯磺化聚乙烯橡胶放入开放式炼胶机上进行混炼，在辊筒中开冷却水充分冷却。

② 待橡胶包辊后即添加除硫化剂、促进剂以外的所有配合剂，以尽快的速度加入。

③ 调节炼胶机的辊距或根据需要分批用划刀划开，使辊筒上经常有少量堆积胶。

④ 混炼到全部配合剂充分分散为止，之后薄通5次出片。

⑤ 将混炼胶片视需要配成甲苯溶液，搅拌溶解过程在反应釜中进行，若固体含量较大，粘度较高时，应放入卧式捏和机中搅拌溶解。

（2）硫化体系配制　为便于胶粘剂贮存和使用，硫化体系常单独配制，将硫化剂、促进剂等按比例称取，配成溶液，经反应釜搅拌溶解即可。

六、氯磺化聚乙烯胶粘剂的应用

由于氯磺化聚乙烯胶粘剂突出的耐臭氧性、耐候性和着色性，使它在建筑部门获得了广泛的应用。采用氯磺化聚乙烯/氯丁橡胶体系用于屋顶涂装，重量轻，有优良的耐紫外线、臭氧性，且弹性好，耐水、耐磨、难燃。这种涂装对胶合板、混凝土、石棉板、金属等多种材料均可施行，操作和修补容易，刷涂、辊涂和喷涂均可采用。修补时，只要补其损坏部分就可以了。一般用氯丁橡胶作底涂，用氯磺化聚乙烯作面涂。不仅在屋顶方面有应用，也被用作水池和浴室等防水，还可用于化学实验室的建筑之中，用来代替瓷砖。

气候老化是在臭氧、氧及日光等因素综合作用下发生的。耐候性是氯磺化聚乙烯胶粘剂的主要特点，性能见表12-6-8。

表 12-6-8　氯磺化聚乙烯胶粘剂耐气候性①

项目 \ 老化时间	老化前	70℃×120h	70℃×240h	70℃×360h	项目 \ 老化时间	老化前	70℃×120h	70℃×240h	70℃×360h
拉伸强度，MPa	10.6	10.6	11.8	11.6	扯断永久变形，%	18	13	—	7
扯断伸长率，%	420	340	307	277	硬度(邵尔A)	58	65	65	68

① 试片系100℃×8h硫化，试验在天候老化箱中进行，条件为70℃×30min，即喷水6min。

氯磺化聚乙烯胶粘剂耐臭氧性优异，乃系橡胶的饱和结构，无论静态或动态耐臭氧试

验，胶粘剂表面无龟裂，无异状变化。在60℃，试样伸长50%，O_3浓度 50pphm，拉伸频率 1 次/ s，拉伸 1 万次后抗张力无变化。

除作建筑涂装外，用于户外建筑密封。因其在寒暑作用下能随着基础材料一起伸缩，不会发生龟裂，有着良好的密封效果，使用至少在10年以上。

氯磺化聚乙烯橡胶经适当配合制成的胶粘剂亦具有较好的粘附性。其性能如表 12-6-9 所示。

表 12-6-9 对各种材料粘接性

粘接强度 \ 被粘材料	钢	铝/帆布	玻璃钢	钢/帆布	铝	帆布	石墨
拉伸强度，MPa	1.96	2.94	1.47	2.94	1.96	—	—
剥离强度，kN/m	—	—	—	—	—	3.92	—
剪切强度，MPa	—	—	—	—	—	—	1.47

氯磺化聚乙烯胶粘剂耐腐蚀性优异，见表12-6-10。

表 12-6-10 耐 腐 蚀 性①

项目 \ 介质	浸渍前	50% NaOH 70℃×144h	50% H_2SO_4 70℃×72h	50% H_2SO_4 70℃×144h	50% KOH 室温 30d	31% HCl 室温 30d	65% HNO_3 室温 30d	40% H_2SO_4 室温 30d	50% NaOH 70℃×46h
拉伸强度，MPa	11.8	11.3	11.8	11.8	11.2	11.8	8.1	10	—
扯断伸长率，%	420	352	402	367	390	400	420	443	—
拉断永久变形，%	17	13	18	18	14	13	—	23	—
硬度（邵尔A）	59	60	63	64	68	58	50	67	—
钢/钢拉伸强度，MPa	4.3	—	—	—	—	—	—	—	3.9
钢/帆布拉伸强度，MPa	4.9	—	—	—	—	—	—	—	5.5

① 试片经150℃×10min硫化，粘合试片经70℃×24h硫化。

由于氯磺化聚乙烯胶具有优良的抗腐蚀性能，近年来它作为一种新型材料用于防腐工程。

（1）作防腐地坪。工厂中墙壁、楼板、地坪多为水泥材料，防腐性能不甚理想。可在水泥面上涂敷氯磺化聚乙烯胶粘剂，对水泥粘接效果较好，并耐冲击，胶层耐磨且有防滑效果。施工期短，成本比之环氧玻璃钢为低。使用效果亦好。

（2）作防腐涂料。在三废贮槽、阳极化槽、磷化槽、酸碱液贮罐、电解槽，乃至通风管道等处施以氯磺化聚乙烯涂料保护。亦可用作 HF 酸洗涤塔保护涂层和涂料衬里。用氯磺化聚乙烯涂料制作的保护性被覆，不仅能抗油、化学药品等多种不利因素，而且可以使被覆装置具有引人注目的色彩。同时，因为其具有屈挠性，在金属膨胀收缩时，不会发生龟裂。

在金属体上的液体涂料，主要是采用氯磺化聚乙烯30，它的耐油性能优于20和40。促进剂是涂料配合的关键之一，它在很大程度上掌握着涂料的工艺性能。表 12-6-11 列示了一系列涂料用硫化系统，表中的双组分体系，系指促进剂单独另外配合，在临用时再进行掺加。

（3）用作沿海地区设备、仪器、装置等抗盐雾保护涂层，以防金属锈蚀，延长设备使用寿命。

表 12-6-11 氯磺化聚乙烯涂料用硫化系统

硫化剂（用量）①	建议体系，重量份	组 分	作为单组分涂料时的适用期限	硫化剂（用量）①	建议体系，重量份	组 分	作为单组分涂料时的适用期限
三盐基马来酸铅（25～40份）	氢化松香 3.0 促进剂DM 1.0 秋兰姆E 0.5	单组分	18个月	氧化镁（10～20份）	氢化松香 3.0 促进剂DM 1.0 秋兰姆E 0.5	单组分	16个月
	氢化松香 5.0 NA-22 1.0 邻二甲苯胍 2.0	双组分	4d	一氧化铅（20～40份）	氢化松香 5.0 NA-22 1.0 邻二甲苯胍 2.0	双组分	2d
氧化镁（10～20份）	氢化松香 5.0 Tetrore A 1.0	双组分	10d	环氧树脂	环氧树脂 15 秋兰姆E 2.0 邻二甲苯胍 0.6	单组分	12个月

① 用量以氯磺化聚乙烯30为100重量份计。

（4）氯磺化聚乙烯本身含有氯原子，故不会延燃。在配方中加入阻燃剂三氧化二锑等可使胶粘剂具有阻燃性能。例如，在消防水龙带涂上以阻燃配合制成的涂层，既可有阻燃效果，又可提高水带的耐磨性。

（5）氯磺化聚乙烯由于其优良的耐磨、耐候、耐化学药品和色泽稳定性而被广泛地应用于胶布制品。例如，在尼龙上涂装氯磺化聚乙烯后制成的卡车篷布，既强韧又轻便，重量仅为帆布的1/3，而且耐久性亦好。

着色成各种颜色的胶布，除了被广泛用来制作帐篷、救生艇气球、雨衣布外，还可以用来制作雷达罩，以保护雷达天线不受风雨侵袭。

对于涂胶作业，氯磺化聚乙烯40由于粘度太高而不适用，应该使用氯磺化聚乙烯20胶浆。

第七节 聚氨酯胶粘剂

一、概 述

主链上含有许多重复的 $\{\overset{H}{\overset{|}{N}}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O\}$ 基团的高分子化合物，通称为聚氨基甲酸酯，简称聚氨酯。以多异氰酸酯或它与含有易与多异氰酸酯反应的羟基、氨基、羧基等基团的物质混合而组成的胶粘剂通称为聚氨酯胶粘剂。

多异氰酸酯与多元醇或其它含活泼氢的化合物进行加成聚合可生成聚氨酯。由于众多的多元醇或其它含活泼氢的化合物与众多的多异氰酸酯可按不同的比例进行反应而生成各种不同性能的聚氨酯，因此也就决定了具有一系列不同类型的聚氨酯胶粘剂。

聚氨酯化学的基础理论是在20世纪30年代中期由德国的 Otto Bayer 确立的。聚氨酯作为胶粘剂，最初在欧洲是应用在橡胶与金属、橡胶与合成纤维的粘接上。特别在第二次世界大战中，德国用 Dsmodur-R 粘接丁苯橡胶与金属、丁钠橡胶与金属获得了成功。战后，聚氨酯胶粘剂已从单纯的多异氰酸酯胶粘剂发展到聚氨酯胶粘剂，有单组分、双组分、溶剂型、无溶剂型、热熔胶和封闭型等，同时也发展了聚氨酯密封胶。现在不仅用它胶接多孔性材料，如泡沫塑料、陶瓷、木材、织物等，而且也用它胶粘表面光滑的材料，如钢、铝、不锈钢、玻璃以及橡胶等；同时，也适用于多孔性材料与表面光滑材料之间的胶接。

聚氨酯胶粘剂种类很多，大体上可以分为四大类：多异氰酸酯胶粘剂、反应性聚氨酯胶粘剂、溶剂型羟基聚氨酯胶粘剂和水基聚氨酯胶粘剂。

聚氨酯胶粘剂具有以下几个特点。

① 由于聚氨酯胶粘剂中含有强极性的异氰酸酯基（—N═C═O）和氨基甲酸酯基（—NHCOO—），它对金属、橡胶、纤维、塑料、木材、陶瓷、玻璃、纸张和皮革等多种材料均有良好的粘接力。

② 由于聚氨酯胶粘剂中含有柔性的分子链（聚酯或聚醚），所以它具有极好的抗弯曲、抗冲击等机械性能，有较好的剥离力，并且有耐酸碱、耐溶剂、耐臭氧和防霉等特性。

表 12-7-1 几种胶粘剂在－253℃时的粘接强度

胶粘剂名称	聚氨酯	环氧尼龙	酚醛环氧	酚醛丁腈
剪切强度、MPa	54.88	41.16	21.17	15.77

③ 在低温下，特别是在超低温环境下，具有很好的粘接强度。其低温性能是任何胶粘剂所不能相比的，所以它是一类很有发展前途的胶粘剂，见表12-7-1。

④ 胶接工艺性能好，聚氨酯胶粘剂可以制成胶液，也可以制成胶膜。通过调节组分的种类和配比，能得到柔性或硬性的胶层。它既能高温固化，也能室温固化。

由于聚氨酯胶粘剂具有上述特点，所以它在机械工业、电子电器工业、制鞋工业、医疗卫生事业、国防和很多尖端科学技术上都得到了广泛的应用。

聚氨酯胶粘剂的主要原材料是多异氰酸酯和含羟基的聚酯、聚醚等多元醇。本节主要介绍四大类聚氨酯胶粘剂和密封剂的制备、性能和应用的基本内容。

二、异氰酸酯化学和聚氨酯的合成机理

（一）异氰酸酯化学

氰酸的结构为：H—O—C≡N

异氰酸的结构为：H—N═C═O

异氰酸酯的结构为：R—N═C═O

二异氰酸酯的结构为：O═C═N—R—N═C═O

当R为脂肪族烃基时，这种异氰酸酯就为脂肪族异氰酸酯；当R为芳香族烃基时，这种异氰酸酯就为芳香族异氰酸酯。

异氰酸酯分于中，因—N═C═O系杂原子形成的累积双键，非常活泼，能进行一系列化学反应，但最重要的是它与含活泼氢化合物的反应，其中主要有以下几种。

1．异氰酸酯与含羟基化合物的反应

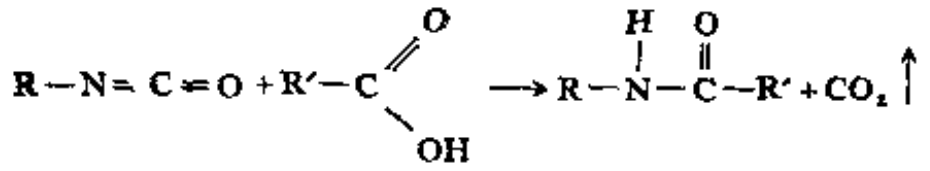
异氰酸酯与含羟基的聚酯、聚醚、聚酯酰胺、环氧树脂、蓖麻油等羟基化合物反应，生成氨基甲酸酯：

$$R-N=C=O + R'-OH \longrightarrow R-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle |}{N}}-\overset{\displaystyle O}{\overset{\displaystyle \|}{C}}-O-R'$$

因此，当上述多异氰酸酯与多羟基化合物反应时就会生成聚氨酯。如果反应物带双官能团，则反应生成物为线型聚氨酯；如果是带较高官能度的，则反应生成物为支链型或交联型聚氨酯。在没有催化剂的条件下，异氰酸酯与含羟基化合物的反应，可以从室温到较高温度范围内进行。这种反应对于聚氨酯胶粘剂的合成来说是极为重要的。

2．异氰酸酯与羧基的反应

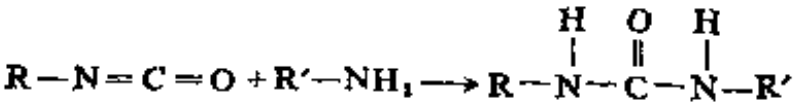
异氰酸酯与有机羧酸、末端为羧基的聚酯等含羧基的化合物反应，在生成酰胺的同时放出二氧化碳气体：



在聚氨酯胶粘剂的施工应用中，应尽量避免上述反应的发生。因为生成的二氧化碳会在胶层中形成气泡导致强度降低。因此，在制备原料时应该将含羧基的化合物减少至最低量。

3．异氰酸酯与氨基的反应

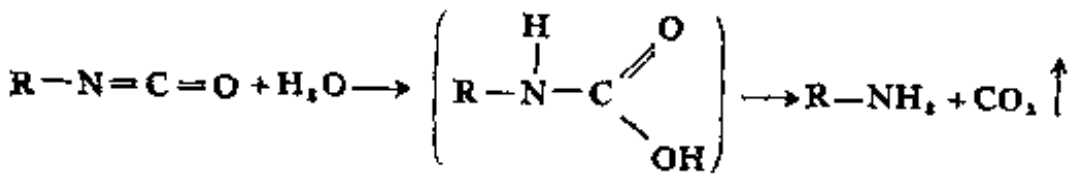
异氰酸酯与胺类反应生成脲：



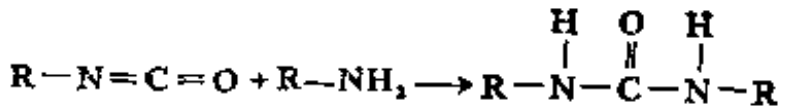
即使无催化剂存在，异氰酸酯与胺类的反应也能以较快的速度进行。所以胺类化合物常作为端异氰酸酯预聚体胶粘剂的固化剂。

4．异氰酸酯与水的反应

异氰酸酯与水反应，生成胺并放出二氧化碳：



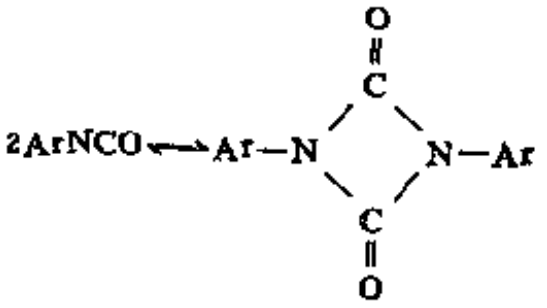
生成的胺进一步与异氰酸酯反应生成脲：



当异氰酸酯与水混合时会产生大量的二氧化碳和取代脲。聚氨酯作为胶粘剂，在通常情况下应该避免与水或潮气接触。在氮气保护下，或在干燥气体保护下进行胶接，可以制得无气泡的胶接层，其强度比在空气中胶接的接头强度可提高10～20%。

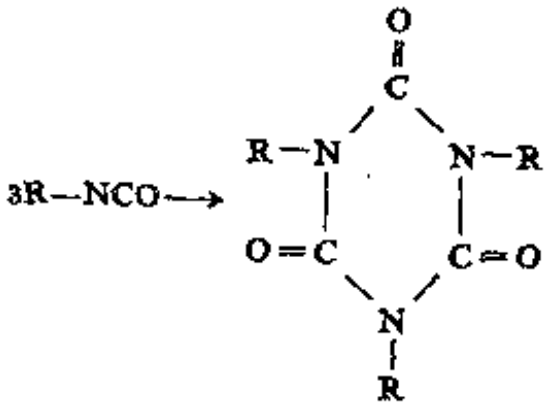
5．异氰酸酯的自聚反应

芳香族二异氰酸酯有生成二聚体的倾向：



芳香族二异氰酸酯的二聚反应是可逆的，如4,4′-二苯基甲烷二异氰酸，在室温或较高温度下，就能产生二聚反应，但这种二聚体在高温下就很快解聚。

脂肪族和芳香族的异氰酸酯在光、强热及多种物质的催化作用下，能形成稳定的三聚体：

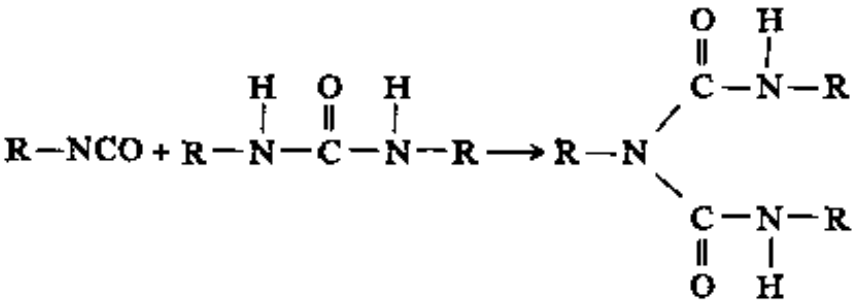


异氰酸酯的三聚过程是不可逆的，它们的三聚体的热稳定性较好。含有三聚体结构的聚氨酯胶粘剂的耐热性可得到提高。

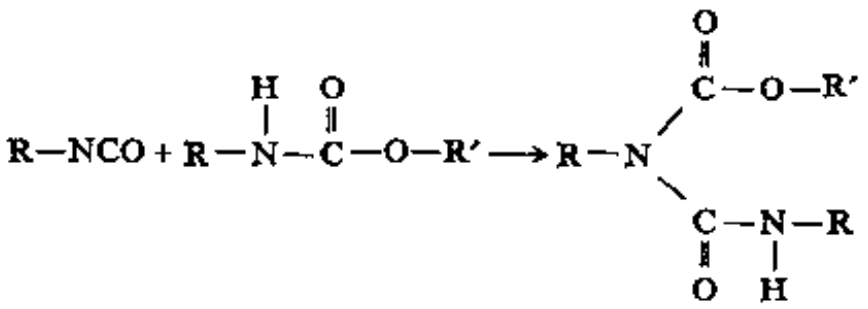
6．其它反应

除以上反应外，在制备胶粘剂时，异氰酸酯也能与反应生成的脲及氨基甲酸酯反应：

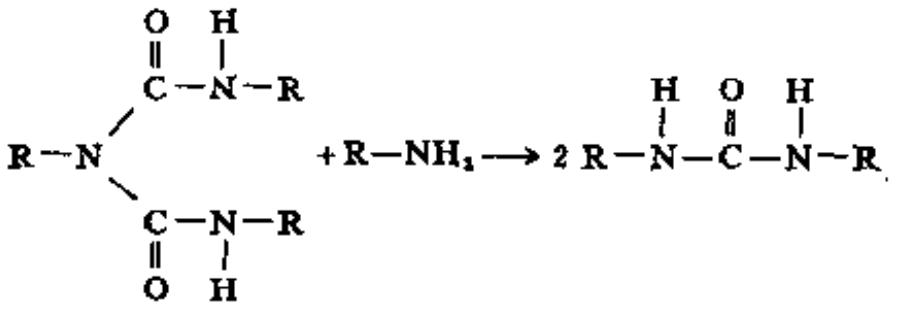
异氰酸酯与脲反应，生成缩二脲：

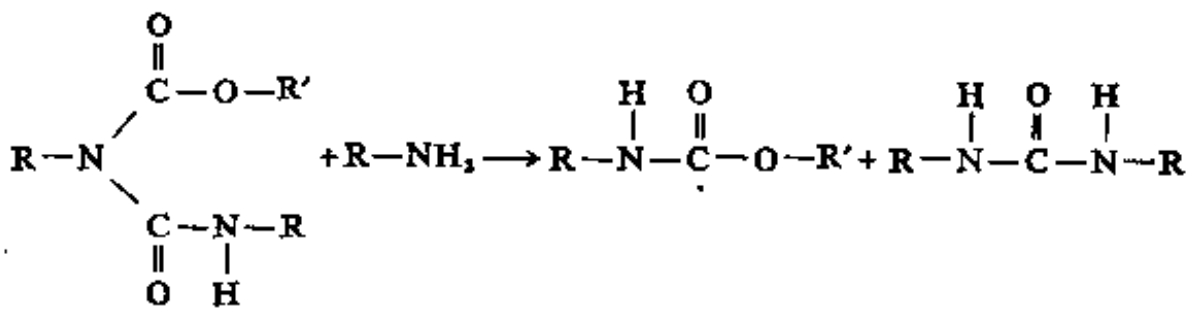


异氰酸酯与氨基甲酸酯反应，生成脲基甲酸酯：



以上两个反应在加热到110～130℃时，会缓慢地朝相反方向进行，其速度随温度的升高而加快。缩二脲和脲基甲酸酯的稳定性比较差，它们在高温下容易和胺起反应：

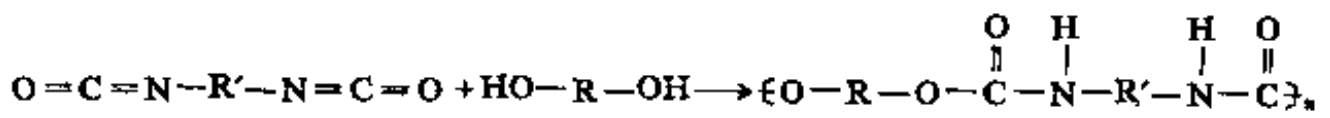




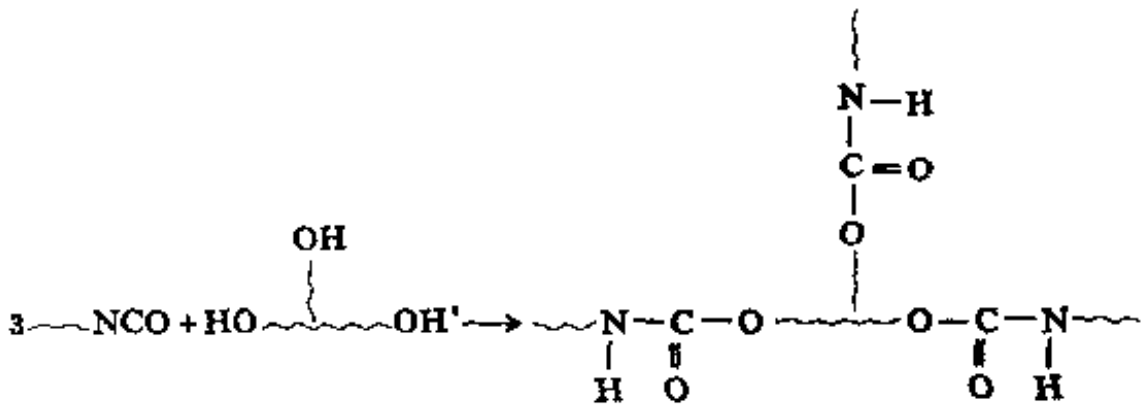
（二）聚氨酯的合成机理

制备聚氨酯胶粘剂有许多途径，但采用最多的方法是用末端为羟基的聚醚或聚酯一类含有两个或两个以上羟基的化合物与多异氰酸酯进行加成聚合来制取。

当羟基组分与异氰酸酯组分都系双官能团物质时，将发生羟基上的活泼氢原子向异氰酸酯基上的氮原子转移的聚合反应，最终生成线型的聚氨酯高聚物，反应依下式进行：



若羟基组分或异氰酸酯组分的官能团数高于 2，则生成有支链的或交联结构，例如：



在这些聚合物中，整个大分子体系是可以按照需要进行设计，以便使引入分子中的键和链段能够提供所要求的柔性和刚性，并使制得的聚合物具有特定性能的链序、支化度和交联度。

三、聚氨酯胶粘剂

（一）多异氰酸酯胶粘剂

多异氰酸酯胶粘剂是指用小分子的多异氰酸酯本身作为胶粘剂使用。

多异氰酸酯是合成聚氨酯的原料，但它们本身可作为胶粘剂使用，是聚氨酯胶粘剂中最原始的一种。最早使用是在第二次世界大战期间。当时发现天然橡胶和丁苯橡胶可以用二异氰酸酯硫化，而硫化后胶料与金属的胶接性能特别好，于是开始用甲苯二异氰酸酯、六次甲基二异氰酸酯及三苯基甲烷三异氰酸酯作为胶粘剂。

1．制备

在工业上，制备异氰酸酯的唯一重要方法是伯胺的光气化反应：

$$R-(NH_2)_2+COCl_2\longrightarrow Cl\cdot\overset{\overset{O}{\|}}{C}-\overset{\overset{H}{|}}{N}-R-NH_2\cdot HCl$$

$$Cl\cdot\overset{\overset{O}{\|}}{C}-\overset{\overset{H}{|}}{N}-R-NH_2\cdot HCl+COCl_2\xrightarrow{120\sim150℃}R-(NCO)_2+4HCl$$

1884年，Hentschel 首先使用这种方法，由相应的胺类化合物合成出各种各样的脂肪族和芳香族异氰酸酯。

由于异氰酸酯可以参与许多不同的反应，所以难以获得高收率和高纯度产物。在制备工艺中，主要包括两步，第一步是在低温或中温条件下相应胺的溶液与光气混合，生成的浆状物再在120～150℃时加过量的光气得到粗制品；第二步是将粗制品蒸馏纯化即得产品。

常用的异氰酸酯胶粘剂见表12-7-2。

2．特点

多异氰酸酯胶粘剂具有以下 4 个特点。

① 在含活泼氢的官能团中，除—OH、—COOH、—NH_2外，还有—SH、—NH—、—NHR、—$CONH_2$、CONHR、—SO_2NH_2、—SO_2NHR、—$CSNH_2$、—SO_2OH等均能和异氰酸酯基反应。

纤维素分子中虽含有羟基，但未经改性的纤维素并不和异氰酸酯反应。因为不论经过怎样的干燥处理，纤维素总还含有约 5％的结晶水。由于异氰酸酯更易与水起化学反应，所以它首先和这些结晶水反应生成脲，而更多的异氰酸酯就和所生成的碱性的脲化合物起反应，

直到全部被消耗完为止。

表 12-7-2 常用异氰酸酯胶粘剂

异氰酸酯名称	熔点，℃	德国相应产品 Desmodur	异氰酸酯名称	熔点，℃	德国相应产品 Desmodur
2，4-甲苯二异氰酸酯	20	—	六亚甲基二异氰酸酯	—	H
2，4-甲苯二异氰酸酯，65% 2，6-甲苯二异氰酸酯，35%	3～5	T	三苯基甲烷三异氰酸酯	89	R
2，4-甲苯二异氰酸酯，80% 2，6-甲苯二异氰酸酯，20%	10～13	80	六亚甲基二异氰酸酯(3 mol)与己三醇(1mol)的加成物	—	HH
4，4-二苯基甲烷二异氰酸酯	40～41	M	2，4-甲苯二异氰酸酯(3 mol)与己三醇(1mol)的加成物	—	TH

② 异氰酸酯很容易溶在有机溶剂中，而且由于它们的分子体积小，很容易渗透到一些多孔被粘材料中，从而进一步提高胶接性能。

③ 用异氰酸酯胶接的橡胶和金属件，不但胶接牢固，而且很耐疲劳。

④ 异氰酸酯能与吸附在被粘接物表面上的水分及含水氧化物等发生化学反应；或者在碱性的被粘接物（如玻璃）表面上自行聚合，这些反应导致在界面上产生化学键，因而大大地提高了胶接性能。

多异氰酸酯胶粘剂的缺点是不适用于金属结构部件的胶接；毒性较大，需注意操作安全。

3．应用

多异氰酸酯胶粘剂单独使用比较少，主要作为橡胶型胶粘剂的交联剂。

（1）未改性的多异氰酸酯胶粘剂（单独使用） 在胶接前将多异氰酸酯溶液分别涂在被粘物的表面。

a．橡胶和橡胶的胶接 以硫黄硫化的丁钠橡胶件，在硫化之前涂上三苯基甲烷三异氰酸酯的20%二氯乙烷溶液（即JQ-1胶，又称列克那，重庆长风化工厂出品），硫化后部件间的胶接力可达7.84MPa。

b．橡胶和金属之间的胶接 金属表面经喷砂、溶剂处理后，涂一层50%二苯基甲烷二异氰酸酯的二氯代苯溶液（MDI-50），使之干燥，然后贴上刚出片的胶料，最后进行硫化。胶接部位的粘接力大，耐疲劳、耐冲击、耐热、耐油、耐溶剂。

另外，还可用于纤维、皮革、塑料等的粘接。

几种主要异氰酸酯胶粘剂的组成和性能如表12-7-3所示。

表 12-7-3 常用异氰酸酯胶粘剂的组成和性能

牌号	组分与配比	固化条件			性能	用途
		压力 MPa	温度 ℃	时间 h		
JQ-1 胶粘剂	三苯基甲烷三异氰酸酯 20 氯苯 80	29.4	140	0.5	剪切强度，MPa 钢-橡胶＞3.92 剥离强度，N/cm 钢-橡胶＞29.4	橡胶与钢、铝、皮革、织物等的粘接
JQ-4 胶粘剂	对三异氰酸三苯基硫代磷酸酯20 氯苯 80	29.4	140	0.5	剪切强度，MPa 钢-橡胶＞3.92	橡胶与金属之间的粘接

（2）用作橡胶改性的多异氰酸酯胶粘剂（作交联剂） 将多异氰酸酯和通常的橡胶型胶粘剂溶液混合，由于交联作用，能得到更强的粘接力。

在天然橡胶、丁苯橡胶和氯丁橡胶等合成橡胶中加入少量的三苯基甲烷三异氰酸酯或二苯基甲烷二异氰酸酯，使异氰酸酯与橡胶中的活泼氢反应而达到胶接的目的，可用于金属-金属、金属-橡胶、橡胶-橡胶、橡胶-织物等的粘接，以氯丁胶粘剂为例，性能如表12-7-4。

表 12-7-4 双组分氯丁胶粘剂① 的粘接强度

被粘材料	180°剥离强度 N/m	剪切强度，MPa
碳钢-碳钢	—	5.59
碳钢-橡皮	>60	—
1154橡胶-1154橡胶	>70	—
1154橡胶-帆布	>70	—

① 胶粘剂配方：
LDJ-240 100；氧化锌 5；氧化镁 4；防老剂2642；甲苯 260；JQ-1 20（使用时加入）。

（二）反应性聚氨酯胶粘剂

这一类胶粘剂是聚氨酯胶粘剂中最重要的一部分，品种最多，使用也最广泛。它包括双组分的多元醇-多异氰酸酯型、双组分的端羟基聚氨酯预聚体-多异氰酸酯及端异氰酸酯基聚氨酯预聚体-多元醇或多元胺型、单组分端异氰酸酯基聚氨酯预聚体湿气固化型等。

聚氨酯胶粘剂在使用时，通常不是采用已聚合的聚氨酯高分子化合物，而是以多异氰酸酯和多元醇或含有端羟基的聚酯或聚醚为主要成分配制而成的。然后在胶接过程中使它们聚合成聚氨酯，或先部分聚合成预聚体，在胶接过程中再进一步聚合交联固化。聚氨酯胶粘剂一般由两个组分组成，一个组分为羟基部分，另一个组分为异氰酸酯。常用异氰酸酯见表12-7-2。羟基部分主要是聚酯或聚醚多元醇。

1．聚酯或聚醚多元醇的制备

双组分反应性聚氨酯胶粘剂最广泛使用的多元醇是分子量为500～3000之间的聚酯或聚醚。聚酯型多元醇由二官能度或三官能度的醇类与二元羧酸反应来制备。聚醚型多元醇是通过氧化乙烯和氧化丙烯用水、醇或胺作为起始剂聚合得到的。

端基为羟基的聚酯一般由二元酸和二元醇缩聚而成，选用不同种类的醇和酸，采用不同的摩尔比可以得到不同性能、不同分子量的聚酯。

聚酯的分子量可以采用如下公式控制：

$$\text{聚酯理论分子量} = \frac{M_{酸} + (1-x) \times M_{醇} - 2 \times 18}{x}$$

式中 $M_{酸}$——二元酸的分子量；

$M_{醇}$——二元醇的分子量；

1——二元酸的摩尔数；

x——二元醇过量的摩尔数。

除了这种端羟基聚酯外，用多元醇代替二元醇（常用的是三羟甲基丙烷），可以合成出多羟基聚酯，它较用聚酯二醇配制的胶粘剂有较好的耐热性和较高的硬度，主要用于金属材料之间的粘接。线型聚酯二醇可提供较好的柔软性，主要用于非金属材料之间的粘接，并能够通过两种大分子多元醇的并用来调节任何中间的硬度。

用聚醚树脂配制的聚氨酯胶粘剂具有较好的耐水性、冲击韧性和耐低温性，价格也较便宜。

聚氨酯胶粘剂常用的聚醚树脂见表12-7-5。

2．配合

表 12-7-5 聚氨酯胶粘剂常用的聚醚树脂

牌　　号	名　　称	分　子　量	羟值，mg koH/g
N-210	二羟基聚氧化丙烯醚（聚丙二醇醚）	1000±100	100±10
N-230	二羟基聚氧化丙烯醚（聚丙二醇醚）	3000～4000	37～28
N-330	三羟基聚氧化丙烯醚（聚丙三醇醚）	3000±200	56±4
N-403	四羟基含氮聚醚	294	770
Ng-220	二羟基四氢呋喃氧化丙烯共聚聚醚	2000±100	56±4
Ng-335	三羟基四氢呋喃氧化丙烯共聚聚醚	3000±400	56～40

将多元醇组分与多异氰酸脂以一定的比例进行配合，再根据需要加入适当的溶剂（有时尚需加入催化剂），就可以配成双组分的多元醇-多异氰酸酯反应型胶粘剂。多元醇的用量一般按异氰酸酯基当量计算，有时可比当量稍高一些。

制备聚氨酯预聚体胶粘剂时，由于该方法是预先聚合，形成胶粘剂层迅速，仅预聚体就具有粘接力，所以初始粘接力大。它可分为端羟基预聚体和端异氰酸酯基预聚体两种，前者被广泛地采用。在预聚合时，只要羟基组分的摩尔数比异氰酸酯组分过量，就形成端羟基聚氨酯预聚体；反之，则形成端异氰酸酯基聚氨酯预聚体。如以两者的分子量作比较，端羟基聚氨酯预聚体的分子量为1～10万，一般为2～5万；端异氰酸酯基聚氨酯预聚体分子量较低，一般在5千以下，如果端异氰酸酯基聚氨酯预聚体的分子量大，则预聚体在贮存过程中容易凝胶化，所以必须是低分子量的。如以两者的初始粘接强度作比较，显然以端羟基聚氨酯预聚体为优。

聚氨酯预聚体胶粘剂一般配制成双组分。一个组分是预聚体，另一个组分则是固化剂。对端羟基聚氨酯预聚体胶粘剂来说，固化剂一般为多异氰酸酯，最常用的是三羟基丙烷与TDI的反应物。对于端异氰酸酯基聚氨酯预聚体胶粘剂来说，固化剂一般是用含羟基化合物或胺类化合物，如最常用的3,3′-二氯-4,4′-二氨基二苯甲烷（俗称MOCA），就是一种胺类化合物。固化剂的活性是不同的，一般胺类比醇类大。采用不同固化剂，可以调节固化时间，并可获得不同性能的聚氨酯胶粘剂。当预聚体异氰酸酯基含量高时，可以用低分子二元醇或含端羟基的聚酯、聚醚、聚丁二烯与固化剂并用，以改善预聚体胶粘剂的弹性。当预聚体异氰酸酯基含量低时，可以用多官能度的胺类或醇类，以获得高度交联的聚氨酯。固化剂用量一般按异氰酸酯基当量计算，有时可比其当量稍高一些。

为了促进固化反应，可以加入催化剂以促进羟基与异氰酸酯基的反应。催化剂可以分为有机金属催化剂和胺类催化剂。催化剂对胺类与异氰酸酯基的反应无影响，因为胺类本身反应活性就很大。

加温固化，可以使固化作用完全。在有条件情况下，可以采用加温固化。

将聚酯或聚醚多元醇（通常是醚型）与（按化学计算）过量的多异氰酸酯反应，就形成端异氰酸酯基聚氨酯预聚体胶粘剂。制备预聚体主要控制指标是异氰酸酯基含量。当异氰酸酯基含量高时，可代替异氰酸酯单体使用。其含量高时挥发性、刺激性较异氰酸酯单体小，配制的聚氨酯胶粘剂韧性也较好。

如合成异氰酸酯基含量为X的预聚体，对于100g羟基化合物所需的TDI的用量可按下述公式计算：

$$\text{TDI用量} = \frac{174X}{1122} + \frac{X\left(100 + \dfrac{174X}{1122}\right)}{0.483 - X}$$

式中，X为预定制备的预聚体异氰酸酯基的含量，一般在0.01～0.3之间。

或用下式计算：

$$\text{TDI用量} = \frac{\text{NCO\%} \cdot W_{聚} + \frac{84W_{聚}}{M_{聚}} + \frac{H_2O\% \cdot 84W_{聚}}{18}}{0.483 - \text{NCO\%}}$$

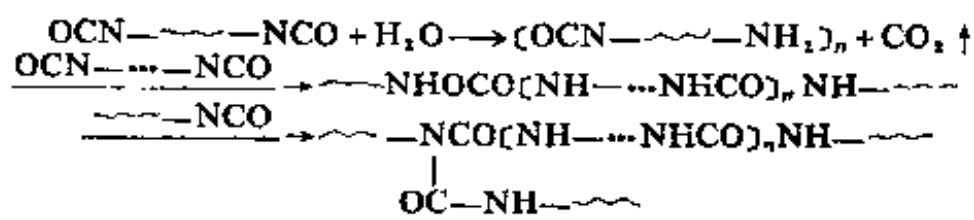
式中 NCO%——预聚体中异氰酸酯基的百分含量；

$W_{聚}$——聚酯重量；

$M_{聚}$——聚酯分子量；

$H_2O\%$——聚酯中的水分含量。

当端异氰酸酯基聚氨酯预聚体胶粘剂不用固化剂时，就成为单组分湿气固化型聚氨酯胶粘剂。胶粘剂层一方面吸收空气中的水分，另一方面又吸收被粘接材料表面的水分而进行聚合：



由于是湿固型，因此胶层中有气泡产生，异氰酸酯基含量越高，气泡越多。因此预聚体的异氰酸酯基含量不能过高。此外，胶接强度受湿度影响很大，当相对湿度大于90%时，凝胶时间约为数小时；胶层中气泡较多，影响性能。当相对湿度低于40%时，约需一天以上才能凝胶，但固化不完全，也影响使用。

3．性能和应用

（1）多元醇-多异氰酸酯型

配方1：

A组分	己二酸、苯二甲酸酐与三羟甲基丙烷缩合聚酯（75%的乙酸乙酯溶液）	200
B组分	2,4-甲苯二异氰酸酯（TDI）	100

该胶粘剂室温下有6h的适用期，可室温下24h或170℃加热1h固化。该胶可用于胶接各种金属、陶瓷、塑料等。

配方2：

A组分	己二酸与三羟甲基丙烷缩合聚酯（75%的乙酸乙酯溶液）	40
B组分	2,4-甲苯二异氰酸酯（TDI）	100

该胶粘剂室温下适用期为1～5h。用尿素作催化剂时，室温固化时间为10h。用于木材与木材、木材与金属之间的胶接。

（2）双组分预聚体型聚氨酯胶粘剂　双组分预聚体型聚氨酯胶粘剂的特点是起始粘接强度大、弹性好、粘接力强、适用范围广，尤其是耐低温性能超过任何其它品种，见表12-7-6和表12-7-7。

由于参加反应的异氰酸酯和多羟基化合物品种繁多，因此可以合成出多种聚氨酯。国产双组分聚氨酯预聚体胶粘剂品种很多，如铁锚牌101等。

铁锚101聚氨酯胶粘剂（俗称乌利当胶）是由甲乙两组分调合而成的室温固化胶粘剂，

属于端羟基聚氨酯预聚体型胶粘剂。

表 12-7-6 室温固化粉状胶粘剂抗剪强度 单位：MPa

胶粘剂名称	测试温度，℃					
	-253	-196	-100	室温	82	121
聚酰胺环氧	16.36	18.33	21.76	26.25	3.51	11.86
柔性环氧	16.66	18.82	20.19	15.68	3.98	3.38
聚氨酯	64.68	49.20	39.59	10 39	2.65	2.94

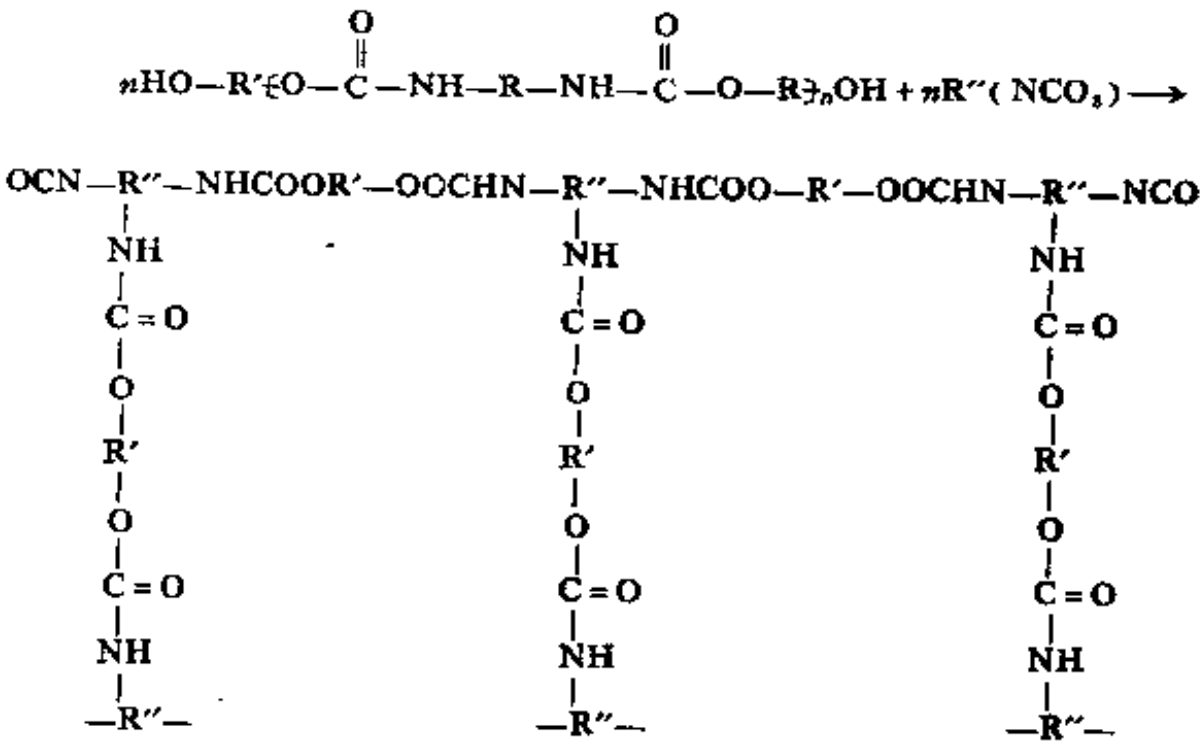
表 12-7-7 室温固化粉状胶粘剂T型剥离强度 单位：kN/m

胶粘剂名称	测试温度，℃					
	-253	-196	-73	室温	82	121
聚酰胺环氧	0.64	0.53	0.55	0.66	0.42	0.51
柔性环氧	1.11	1.37	0.46	0.84	0.83	0.53
聚氨酯	14.21	11.07	5.68	14.01	5.83	2.94

甲组分　　线型聚酯与异氰酸酯共聚物

乙组分　　改性异氰酸酯

粘接机理如下：



该胶粘剂有良好的粘附性、柔软性、绝缘性、耐水性和耐磨性、耐油性、耐寒性优异，而且能耐弱酸，具有冷固化的特点，能在-100～+80℃下使用，广泛用来粘接金属，如铝、铁、钢等；非金属，如玻璃、陶瓷、木材、皮革、塑料及金属与非金属之间的粘接。

铁锚101胶粘剂甲乙组分的不同配比，适合于不同粘合材料的要求，如表12-7-8。

一般来说，乙组分配比增加，则胶接强度增加、固化速度加快，但乙组分太多，会使胶层发脆。

表 12-7-8 铁锚101胶粘剂粘接不同材料的配比

用途	配比（甲:乙）
金属间的胶接	100:20～50
一般性材料胶接	100:10～20
纸张、皮革、木材的胶接	100:10～20

铁锚101胶可以用来胶接各种材料，其胶接性能如表12-7-9和表12-7-10所示。

表 12-7-9 铁锚101胶锚各种材料的剪切强度(甲:乙=100:10)

材料名称	剪切强度，MPa			材料名称	剪切强度，MPa		
铝合金-铝合金	6.54	7.21	7.67	层压板-层压板	7.15	8.38	8.54
软钢-软钢	4.74	5.39	6.07	玻璃钢-玻璃钢	6.02	6.65	7.42
木材-木材	6.31	8.59	10.88	皮革-皮革		>3.92	
硬PVC-硬PVC	5.33	6.11	6.86				

表 12-7-10 各种材料的剥离强度

材料名称	配比(甲:乙)	剥离强度，kN/m	材料名称	配比(甲:乙)	剥离强度，kN/m
牛皮-牛皮	100:5	>2.94~3.92①	玻璃基人造革-人造革	100:50	2.94
PVC软泡②-铝片	100:10	>2.16	帆布-帆布	100:50	8.13

① 有>符号者系指材料本身破坏。

② PVC软泡，先用过氯乙烯的20%丙酮溶液涂覆PVC表面，干燥后再进行粘合。

表 12-7-11 胶产异氰酸酯预聚体胶粘剂

牌号	组分	工艺条件	胶接对象及性能
JQ-3胶粘剂	一步法双组分胶 ①端羟基线型聚合物 ②多异氰酸酯	压力：49.0kPa 温度：100℃ 时间：2h或室温5~6d	纸张、木材、织物、皮革、橡胶、塑料、金属
AZ-1胶粘剂	一步法双组分胶 ①聚酯 100 ②改性TDI 500	压力：49.0kPa 温度：60℃ 时间：5h	使用温度：-80~±100℃ 剪切强度，MPa 硬铝：16.13 紫铜：13.82 黄铜：11.76 不锈钢：17.25 玻璃钢：13.92
AZ-2胶粘剂	一步法双组分胶 ①聚酯 100 ②改性MDI 500	同AZ-1胶	剪切强度，MPa 硬铝：24.5 紫铜：12.05 不锈钢：32.34
长城牌404	双组分 ①蓖麻油聚酯树脂 ②聚酯型聚氨酯	室温24h	多种材料
长城牌405	双组分 ①聚酯树脂 ②改性多异氰酸酯	室温48h	多种材料
1号耐低温胶	甲组分： 三羟基聚氧化丙烯醚聚氨酯 100 乙组分： 3,3'-二氯-4,4'-二氨基二苯甲烷 20	压力：19.6kPa 温度：100℃ 时间：4h	剪切强度，MPa 铝-铝 常温：11.76 -196℃：24.5

使用铁锚101胶时，可用画笔将配制好的胶粘剂涂在处理过的被粘物表面，第一次涂胶后放置5～10min，第二次涂胶后放置10～20min，然后将被粘物粘合，加压29.4～49.0kPa，加压时间为数分钟至10h，室温放置一昼夜即能达到较大强度，要达到最高强度需3～5天，若100℃×2h或130℃×1h也可基本固化。

除铁锚101胶外，还有几种国产的主要预聚体型聚氨酯胶粘剂，现将其性能简要比较如表12-7-11所示。

（3）单组分湿固型端异氰酸酯基聚氨酯预聚体胶粘剂　该胶粘剂使用方便，而且有一定的强度和韧性，可用于不同膨胀系数材料之间的胶接，也可用于织物、橡胶、帆布等柔性易弯曲材料的胶接，对于各种塑料薄膜例如聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺、聚酯和柔软的包装玻璃纸等也具有较高的粘接强度。由于分子中有较高含量的脲基，因此耐各种化学试剂浸蚀。表12-7-12中列有各种预聚体胶在湿气固化后的性能。

表 12-7-12　聚氨酯预聚体胶粘剂在湿气固化后的性能

被粘材料	预聚体组成	粘接强度 MPa	被粘材料	预聚体组成	粘接强度 MPa
钢-玻璃	TDI-聚乙二醇400	6.17	铝-有机玻璃	MDI-聚丙二醇750	2.35
钢-醋酸纤维	MDI-脂肪酸单甘油酯	4.12	铝-纤维素	TDI-丙二醇	3.04

（三）溶剂型羟基聚氨酯胶粘剂

这种胶粘剂实质上就是将热塑性的高分子聚氨酯弹性体溶解于酯类、酮类或它们的混合溶剂中所得的溶液，以单组分使用，也可以加入多异氰酸酯而做成双组分使用，以增加其耐热性和粘接强度。

1．制备

羟基聚氨酯胶粘剂的制备方法一般有以下二步。

第一步　合成线型羟基聚酯　一般为二元酸和二元醇（二元醇稍微过量）进行分子间的缩合，聚酯的分子量一般在2000～3000为宜。

第二步　二异氰酸酯（TDI和MDI）同羟基聚酯（一般来说OH:NCO=1.01:1），通过氢转移聚合成为羟基聚氨酯弹性体，其分子量大小是用NCO/OH的比率来控制的，见图12-7-1。

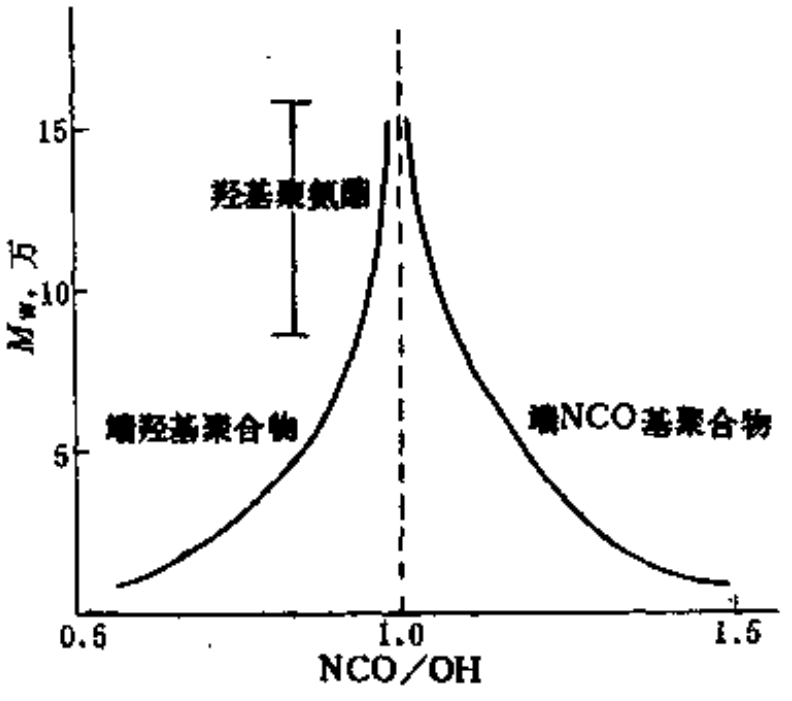


图 12-7-1　聚氨酯的分子量随着NCO/OH比率的变化

从图12-7-1可以看出，制造这种聚合物是困难的，因为NCO/OH的比值仅仅有一个小的偏差，则对分子量影响很大。制得的线型聚氨酯弹性体的分子量要求在10万以上，其羟基含量约为0.1%，配以各种助剂后的胶粘剂在溶剂中的固含量一般为10～30%。

2．性能

羟基聚氨酯弹性体的分子量一般在10万以上，而且大分子易于结晶，其溶液待其溶剂蒸发后能够形成凝聚力很强的粘接层。它的良好的粘接强度可归因于聚酯链段的结晶性和氨酯

基团分子间的氢键。结晶速度愈快，则初始粘接强度愈大。

线型羟基聚氨酯胶粘剂的胶膜可挠性很好，适用于塑料、皮革和织物等软质材料的粘接，特别是对于某些难粘物质如增塑的PVC皮革，具有很好的粘接性能。

由于羟基聚氨酯的高结晶性在室温条件下妨碍粘结，所以胶接通常是在热活化（温度60～80℃）后由接触粘合来形成。

羟基聚氨酯胶粘剂可代替鞋用氯丁胶粘剂，用于鞋用面革与皮鞋橡胶底的常温粘合。在相同的测试条件下，用鞋用氯丁胶粘剂和溶剂型羟基聚氨酯胶粘剂对皮革-皮革、皮革-橡胶进行常温粘合，测得的剥离强度值见表12-7-13。

表 12-7-13 氯丁胶粘剂与聚氨酯胶粘剂的粘接强度

被粘合材料	剥离强度，kN/m		
	通用型氯丁胶粘剂	粘接型氯丁胶粘剂	聚氨酯胶粘剂
皮革-皮革	7.96	7.99	7.99
皮革-橡胶	5.98	7.99	7.98

不同牌号（或不同性能）的聚氨酯具有不同结晶速度、粘接强度和耐热性，以德国拜耳公司生产的聚氨酯（Desmocoll）为例，见表12-7-14。

表 12-7-14 各种型号Desmocoll性能对照表

品种		溶液粘度（23℃）Pa·s	结晶趋向性	热塑性能	用途
羟基聚氨酯胶粘剂	Desmocoll 110	0.2±0.1	慢	高	用于粘接皮革、橡胶、热塑性塑料（例如PVC、纤维素、聚碳酸酯、聚酰胺、聚酯、ABS、经预处理的聚烯烃、卤化有机塑料等）
	Desmocoll 130	0.2±0.1	适中	高	
	Desmocoll 176	0.6±0.2	适中	高	
	Desmocoll 400	0.6±0.2	快	高	
	Desmocoll 406	0.6±0.2	慢	高	
	Desmocoll 420	1.2±0.2	快	低	
	Desmocoll 500	0.6±0.2	很快	高	
	Desmocoll 510	1.2±0.2	很快	适中	
	Desmocoll 530	1.2±0.2	很快	低	

3．应用

溶剂型羟基聚氨酯胶粘剂主要用于制鞋工业。从60年代初开始聚氨酯胶粘剂就同氯丁胶粘剂一起用于制鞋工业。西欧采用的胶种主要为Desmocoll 400和420，前苏联采用的主要为Витур-рк系列，其结构类型相似于Desmocoll 400，但性能优于后者。美国主要采用Goodrich公司的Estane系列产品。

我国从80年代起也开始生产这种鞋用聚氨酯胶粘剂，主要生产单位有南京橡胶工业制品研究所、上海橡胶制品研究所、北京橡塑制品厂等。

羟基聚氨酯胶粘剂对于新型鞋底材料，如丁苯橡胶大底、PVC底、聚氨酯底、热塑性SBS大底等和人造革、合成革等鞋面材料的粘接强度、耐磨性、透气性、耐老化性等性能都超过了鞋用氯丁胶粘剂，因面应用比例在不断地增加。

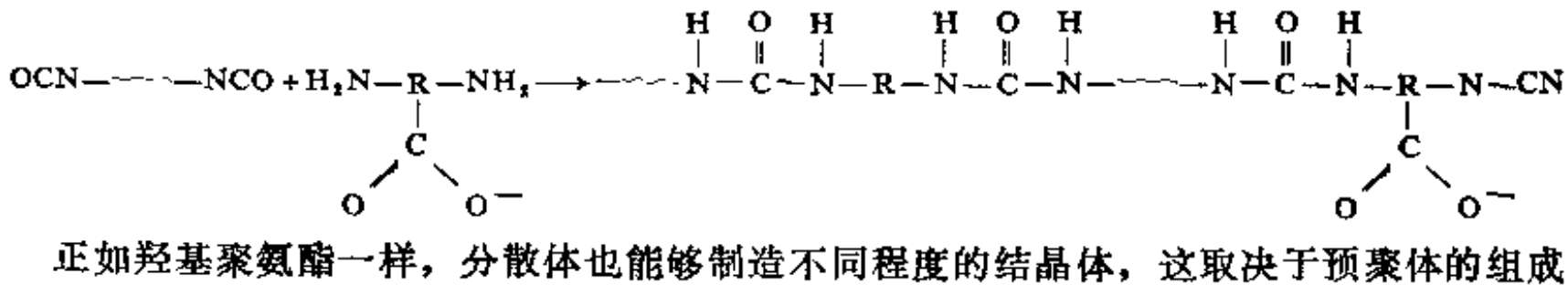
（四）水基聚氨酯胶粘剂

由于水基胶粘剂无毒，不污染环境，所以水基聚氨酯胶粘剂变得越来越重要，但由于它的高成本，使应用推广受到一定限制。

1．制备

水基聚氨酯胶粘剂能够通过许多方法来制备，但是比较成功的是一种阴离子聚氨酯水分

散液胶粘剂的制备方法。它是将端异氰酸酯基聚氨酯预聚体溶于一种能与水混溶的溶剂，如丙酮，然后加入二胺的羧酸盐或磺酸盐，反应生成阴离子体聚氨酯高聚物溶液，再加入水混合即可自动形成水分散体，最后用蒸馏法除去溶剂，就能使用。其反应式表示如下：



正如羟基聚氨酯一样，分散体也能够制造不同程度的结晶体，这取决于预聚体的组成。

2．性能

水基聚氨酯胶粘剂在干燥过程中只蒸发除水，因此不污染环境，它无毒、不燃，因此近年来在国外发展很快。但仍存在水分挥发慢及价格贵等问题。

离子体水分散聚氨酯胶粘剂的性能比较好，其典型性能如表12-7-15。

表 12-7-15　典型的阴离子体水分散聚氨酯胶粘剂的性能

项　　目	指　标	
	低结晶度	高结晶度
固含量，%	50	40
粘度(23℃)，Pa·s	1.0	0.2
表面张力，10^{-5}N/cm	50	45
pH值	7.5	7.5
颗粒大小，μm	约0.1	约0.2
聚合物的结晶性	低	高
成膜性能		

项　　目		指　标	
		低结晶度	高结晶度
300%定伸应力			
拉伸强度			
扯断伸长率，%		850	610
硬度（邵尔A）		46	93
对PVC的粘接强度			
剥离强度	初期值，kN/m	1.25	3.54
	几小时以后，kN/m	3.54	5.31

3．应用

水基聚氨酯胶粘剂主要用在木材加工工业方面，用于胶合板、纤维板、刨花板的制造，层压复合装饰板（如塑料薄膜与木板的粘接等）的制造以及短材、窄板的拼接等，比脲-甲醛胶粘接强度大，可在室温或较低温度下固化，用胶量少。另外，也可用于植绒、制鞋和加到其它水基体系中以改进它们的粘接性能。

第八节　有机硅胶粘剂

一、概　　述

有机硅胶粘剂包括以硅树脂为基础的胶粘剂、硅橡胶（主要是室温硫化硅橡胶）胶粘剂和硅烷偶联剂三大类。

硅橡胶和硅树脂都是以硅氧键为主链的高聚物，其中硅树脂是具有部分三维结构的热固性材料，在高温下进一步缩合而成为具有密集网络结构的刚性材料，比硅橡胶具有更佳的耐热性，可作为耐高温胶粘剂的基材。硅橡胶为线型结构的高聚物，经交联后为立体网状结构的弹性体。作为低分子有机硅化合物的硅烷偶联剂，在一定条件下经水解缩合而成为树脂状材料。

有机硅胶粘剂在胶粘剂中具有独特而重要的地位。因为这种胶粘剂的耐高低温性、耐介质、耐臭氧、耐辐射以及介电性能等均十分优越。有机硅胶粘剂对许多固体材料，尤其是

对硅橡胶、玻璃和陶瓷等材料具有良好的粘接性能，是其它胶粘剂所不及的。

硅橡胶等有机材料和硅酸盐等无机材料属于难粘接材料，用有机硅胶粘剂粘接时，可获得满意的效果。这是由于这两种同类材料极易在界面处发生互溶，从而使界而消失之故。

有机硅聚合物的主链为Si—O—Si键，仅侧基为碳氢基团。正是由于这种具有较高键能的Si—O键的存在，赋予这种材料卓越的耐高温、耐辐射和耐臭氧等性能。三种化学键键能的比较如下：

Si—O	372.6×10^3J/mol	C—O	314.0×10^3J/mol
C—C	245.3×10^3J/mol		

由于对环境的抗老化性能优越，有机硅胶粘剂特别适用于户外使用。

室温硫化硅橡胶（RTV'S）与高温硫化硅橡胶（HTV'S）具有相仿的热稳定性。室温硫化硅橡胶的热稳定性见表12-8-1。由表可见，有机硅密封胶在316℃下经受数十个小时的热老化，其物理机械性能尚无明显变化。

表 12-8-1 单组分RTV硅橡胶密封剂的热稳定性①

温度，℃ / 时间，h	原始性能	249 / 24	249 / 168	316 / 24	316 / 168	316 / 336
硬度（邵尔A）	33	28	28	30	45	65
拉伸强度，MPa	2.5	2.6	2.8	2.3	3.0	3.4
扯断伸长率，%	400	550	540	500	300	180
撕裂强度，kN/m	8.9	8.4	7.6	7.6	7.1	7.1

① 通用电器公司的RTV-106密封剂。

硅橡胶是一种饱和性（有时有少量的不饱和侧基）和非极性（或低极性）橡胶，因此，就其本质说来，它是一种难粘材料。但由于羟端基硅橡胶的出现，继面通过羟基的可反应性而引入可水解的活性基团或以具有官能基的有机硅氧烷化合物作为交联剂，使得有机硅胶粘剂可有效地粘接各种金属、玻璃、陶瓷和硅橡胶等材料。

硅橡胶具有优越的电性能。RTV硅橡胶的电性能与HTV硅橡胶相仿，都具有很高的介电强度和很小的介质损耗因数。抗高电压下的电离倾向和抗电晕性能与云母相近。室温硫化硅橡胶的典型电性能见表12-8-2。

表 12-8-2 室温硫化硅橡胶的典型电性能

项目名称	数值	项目名称	数值
体积电阻，Ω·cm	3×10^{15}	介电常数（60Hz）	2.8
介电强度(厚度1.88mm),MV/m	20	损耗因数（60Hz）	0.0026

1940年Rochew发明了直接法合成氯硅烷单体后才使有机硅化合物的合成进入一个工业化生产的新阶段，图12-8-1便是直接法合成有机硅烷单体继而制备作为有机硅胶粘剂的3种主要基材——硅树脂、硅橡胶和硅烷偶联剂的工艺过程。

作为有机硅胶粘剂的基材，除了硅树脂、硅橡胶和硅烷偶联剂外，尚有所谓的加成型高温硫化硅橡胶和室温硫化硅橡胶。按照有机硅胶粘剂的基材、形态和特性的不同，可将有机硅胶粘剂分为若干种类，如图12-8-2所示。

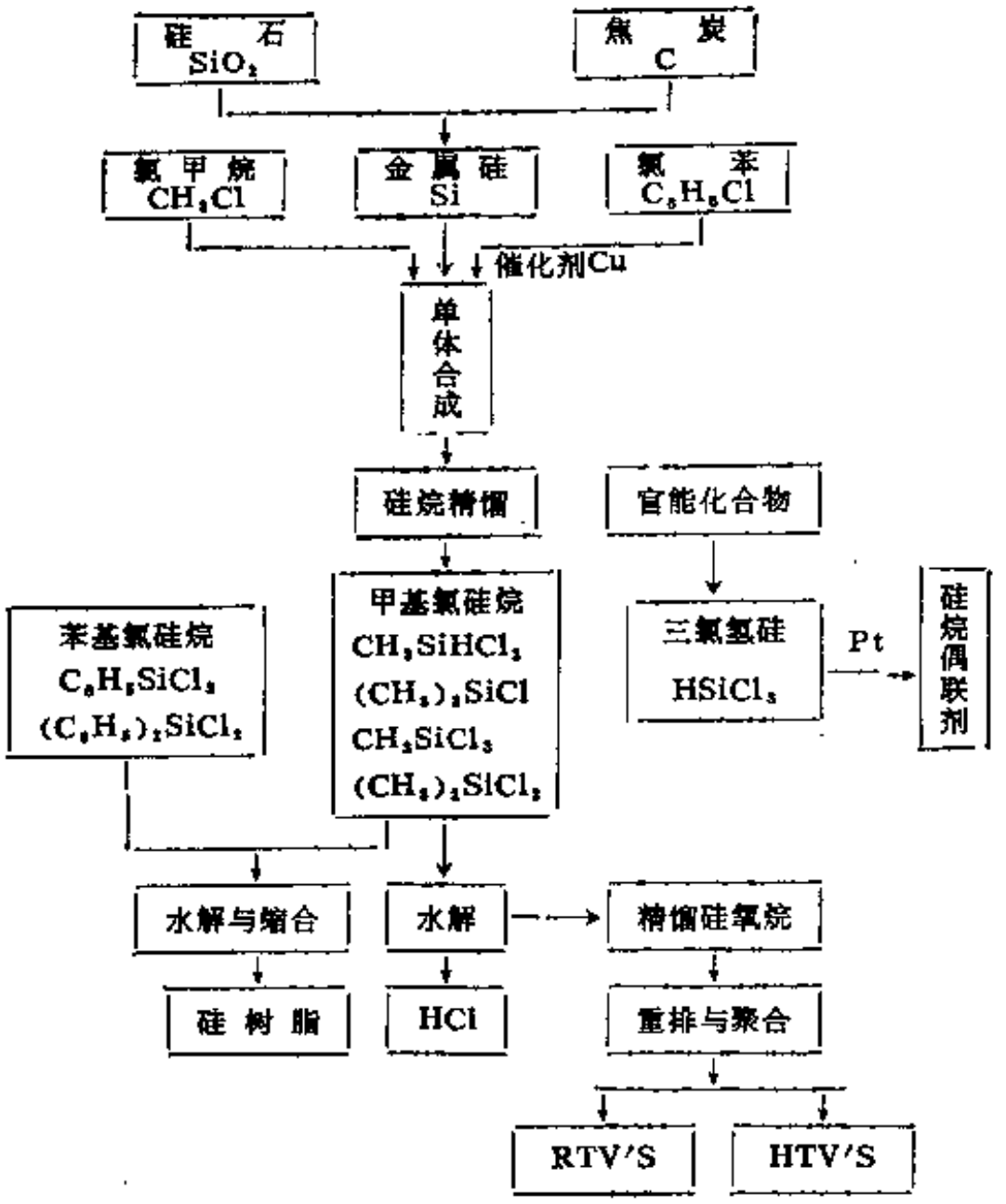


图 12-8-1 有机硅化合物的制备

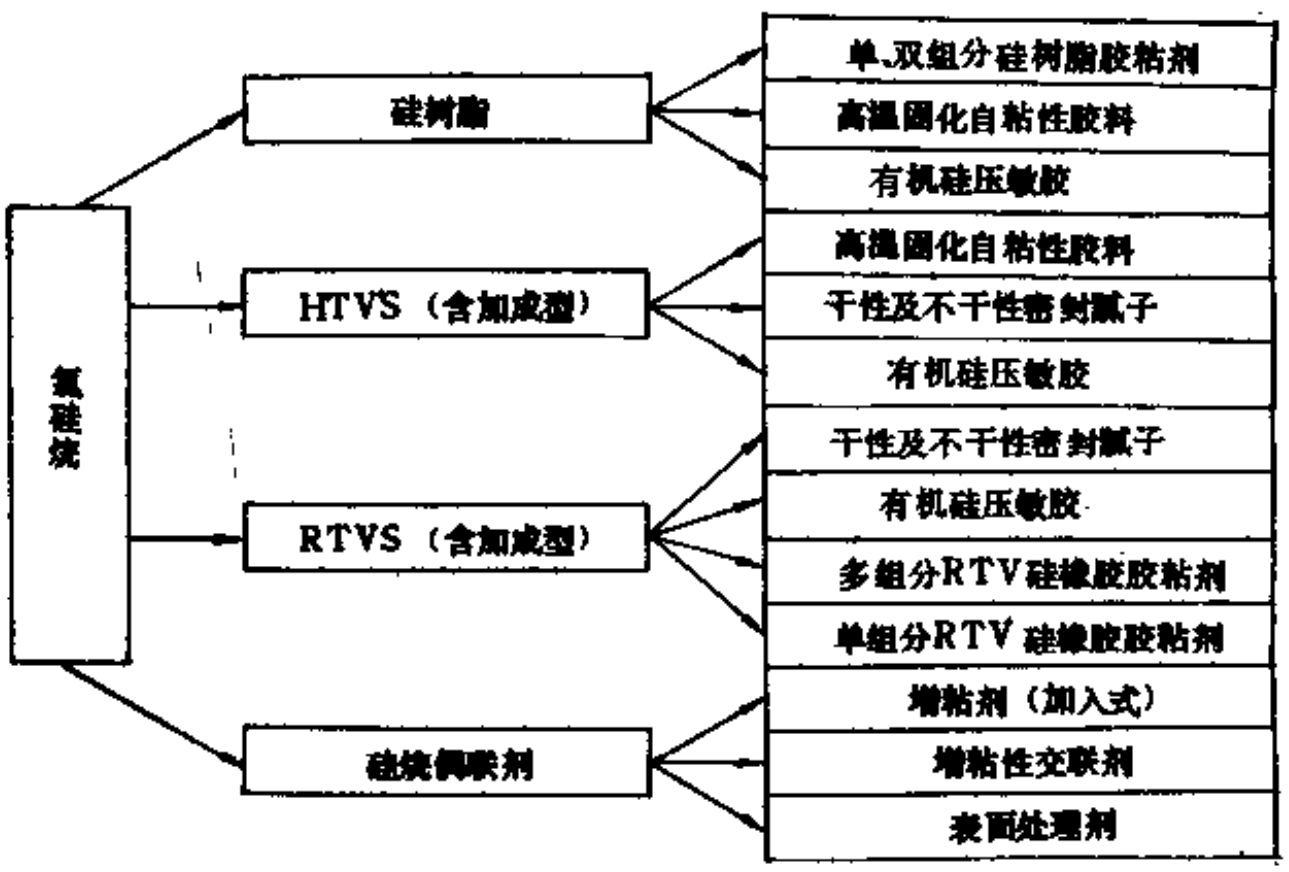


图 12-8-2 有机硅胶粘剂的基材和形态

值得一提的是，无论是作为胶粘剂还是作为密封剂，均需对其所接触的材料具有一定的粘接强度。作为密封剂，其固体含量必须在95%以上，以使其可挥发分在挥发后不产生过大的收缩。在本节中除了硅树脂胶粘剂、硅烷偶联剂和硅橡胶热粘接所用的胶粘剂外，其余所有的硅橡胶胶粘剂均兼具有胶粘剂和密封剂的双重性能。因此，硅橡胶胶粘剂又常称为有机硅

胶粘剂-密封剂或硅橡胶密封剂。

二、硅树脂胶粘剂

1．硅树脂胶粘剂的化学与组成

（1）硅树脂胶粘剂的化学　当二官能度氯硅烷(R_2SiCl_2)和三官能度氯硅烷($RSiCl_3$)共水解时，即当R/Si＜2时，则生成具有网状结构的硅树脂。R/Si值愈小，则树脂愈刚硬。通常硅树脂的R/Si值在1.3～1.5之间。这种产物具有大量的羟基，加热时可以进一步缩聚，放出水，形成不溶不熔的坚硬产物，即完成了硅树脂的固化过程。R基团通常为甲基。若引进部分苯基则可提高固化树脂的热稳定性。

（2）硅树脂胶粘剂的组成　硅树脂胶粘剂由硅树脂、无机填料和溶剂等组成。为改善固化条件和改善固化产物的性能，有时也加入少量烷氧基硅烷（如四乙氧基硅烷等）和固化催化剂（如锡皂等）。

硅树脂按其组成分主要有甲基硅树脂和甲基苯基硅树脂。为获得具有良好耐冲击性能的柔软性产物，则应采用R/Si值较大的甲基硅树脂。若为获得较好耐温性能的产物，则R/Si值应尽可能小，而且R应是部分以至大部分为苯基。

无机填料选择的原则通常是能改善固化树脂的耐热性能，改善或至少不损害固化产物的柔软性，以及改善固化产物的耐介质性能等。通常采用的填料有石棉粉、三氧化二铝、钛白粉、氧化锌和云母粉等。

硅树脂胶粘剂（包括环氧或酚醛树脂等有机树脂改性的有机硅树脂胶粘剂）所采用的溶剂通常是芳香烃（例如甲苯和二甲苯）、高级酮类和醇类等。

2．产品举例

（1）JG-2胶粘剂

① 组成　由A组分和B组分组成。A组分为K-47有机硅清漆，为黄棕色透明液体，固体含量为60～70%。B组分为固化剂，黄棕色透明液体。

② 性能　对硅橡胶与硬铝的粘接强度为2.1MPa，经200℃×50h老化后其粘接强度为2.3MPa。

③ 用途　用于硅橡胶硫化胶（如14P-2，14P-6等）与金属（如硬铝、钛合金和钢等）的粘接。

（2）JG-1胶粘剂　以环氧树脂改性的甲基苯基硅树脂为基材，作为金属之间的耐高温胶粘剂，耐温等级为250℃。

（3）KH-505胶粘剂

① 组成　由甲基苯基硅树脂、云母粉、石棉、钛白粉和氧化锌等组成。

② 用途　用作金属和玻璃钢之间的胶粘剂，耐温达400℃。

（4）J-08胶粘剂　由甲阶酚醛树脂、聚乙烯醇缩丁糠醛和硅树脂组成。作为金属之间胶接的非结构型耐高温（350℃）胶粘剂。

（5）MR-30云母胶粘剂　由有机硅树脂的乙醇溶液等组成，作为制造云母制品的耐高温胶粘剂（500℃）。

（6）F-182型400℃应变片胶粘剂　由硅树脂等组成，作为耐400℃应变片胶粘剂。

三、硅橡胶胶粘剂

（一）硅橡胶的特性

硅橡胶除了上述的有机硅聚合物的特性外，还具有在较大的温度范围内保持高弹性的特点，这是由于Si—O键具有较高的键能而醚式结构的Si—O—Si键易于自由旋转的缘故。线型的聚二甲基硅氧烷的结晶温度可达－65℃，而玻璃化温度可达－120℃。如果线状聚二甲基硅氧烷中的部分甲基被苯基所取代，则可进一步改善聚合物的低温性能。如当甲基苯基硅烷链节的含量为7.5%时，则聚合物的脆性温度达到最低值，为－115℃。硅橡胶的这种独特性能，使其可在－65～250℃这样宽广的温度范围内使用，而不丧失橡胶所特有的高弹性。这是十分可贵的。作为硅橡胶胶粘剂基材的室温硫化硅橡胶也同样具有这一特性。

此外，硅橡胶还具有良好的透气性、生理惰性和非污染性。因此，以硅橡胶为基材的硅橡胶胶粘剂不仅在工业领域而且在尖端科学技术领域中也是一种可贵的材料。在医疗卫生、生物工程和食品保鲜等部门中也是十分重要的材料。

（二）硅橡胶胶粘剂基料的配制

这里所说的基料是指在硅橡胶胶粘剂中不包括交联剂及增粘剂等在内的混炼胶。

1．硅橡胶

硅橡胶是基材的主体。通常，室温硫化硅橡胶是基材的主体，原则上也包括高温硫化硅橡胶和加成型硅橡胶。

室温硫化硅橡胶的结构为：

$$HO-\left(-\underset{\underset{R}{|}}{\overset{\overset{R}{|}}{Si}}-O-\right)_n-H \quad n=150\sim2000$$

作为室温硫化硅橡胶胶粘剂用的室温硫化硅橡胶的分子量分布不要求集中，反而要求分子量的分散性较大，这有利于粘接性能的提高和产品使用性能的改善。但总的情形是分子量越大，则硫化胶的机械性能和伸长率越大。

高温硫化硅橡胶的结构为：

$$CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{Si}}-O-\left(-\underset{\underset{R}{|}}{\overset{\overset{R}{|}}{Si}}-O-\right)_n-\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{Si}}-CH_3 \quad n=5000\sim10000$$

不论在室温硫化硅橡胶还是在高温硫化硅橡胶分子中，R基团均以甲基为主。当部分甲基被其它基团所取代时，则得到相关的但性能有所不同的硅橡胶。如引入乙烯基则得到乙烯基硅橡胶，可改善硫化活性，提高硫化胶的物理机械性能。引入苯基则得到苯基硅橡胶，可改善硫化胶的耐高低温性能和耐辐照性能。引入三氟丙基或氰基，则得到氟硅橡胶和腈硅橡胶，可改善硫化胶的耐油性能。

在硅橡胶主链中引入亚苯基硅烷或亚苯醚硅烷链节时，则得到亚苯基或亚苯醚基硅橡胶，可改善耐辐照性能和提高机械强度。

国产主要的室温硫化硅橡胶及混炼胶如表12-8-3所示。

2．补强剂

硅橡胶在常温下不结晶，而且又是非极性分子，分子间作用力弱。未经补强的硅橡胶机械强度极低，实用价值不大。但经补强后，硅橡胶的机械性能大幅度提高，具有满意的实用价值。

表 12-8-3 国产室温硫化硅橡胶及混炼胶

牌　号	外　观	粘度(25℃)Pa·s	组　成	生产单位
107	无色透明液体	3～9	甲基硅橡胶，无填料	上海树脂厂等
106	白色粘稠体	可倾注	甲基硅橡胶，含填料	上海树脂厂等
108	无色透明液体	3～9	甲基苯基硅橡胶，无填料	上海树脂厂等
SD 33	乳液状	2.5～3.5	甲基硅橡胶，含少量白炭黑	吉林化工院　晨光化工院
SDL-1-35	白色粘稠体	5～10	甲基硅橡胶，含填料	吉林化工院　晨光化工院
SDL-1-43	白色粘稠体	20～40	甲基硅橡胶，含填料	吉林化工院　晨光化工院
SDB-41	红色粘稠体	10～15	甲基硅橡胶，含填料	吉林化工院　晨光化工院

硅橡胶的有效补强剂是二氧化硅、硅树脂、硅酸盐和某些金属氧化物。在二氧化硅中以气相法白炭黑（亦称燃烧法白炭黑）的补强效果最佳，其次是沉淀法白炭黑。天然二氧化硅的分散体，如硅灰粉、石英粉和硅藻土等也有很好的补强效果。

沉淀法白炭黑是一种水合化的二氧化硅。它与气相法白炭黑相比，不但补强效果较低，而且有使硅橡胶在高温密闭状态下解聚的倾向。这是因为沉淀法白炭黑中的大量结晶水，在高温缺氧条件下会使硅氧键水解，从而使强度急剧下降。但在非封闭条件下，由于侧基被氧化而形成大分子间的交联，从而使沉淀法白炭黑在表观上赋予硅橡胶热空气老化的稳定性。此外，由于沉淀法白炭黑的比表面积较小，当加进液态的室温硫化硅橡胶时，其增稠效应（增稠对于浇注料说来是十分不利的）和使胶料发生结构化倾向并不显著。这些均是采用沉淀法白炭黑的有利方面。

对某种特定的二氧化硅而言，其比表面积、表面状态和聚集状态都是一定的。以气相白炭黑为例，其聚集状态是以球型存在的，表面有大量的羟基——相互缔合了的相邻羟基和没有缔合的隔离羟基。隔离羟基成为聚集状二氧化硅的极性部分。当这种白炭黑加到硅橡胶中时，则此极性部分便成为非极性硅橡胶的不良湿润部分。同时由于不同聚集体间的隔离羟基的相互作用，影响了它在硅橡胶中的分散性，结果导致了对补强作用的不良影响。为消除这一不良影响，可对白炭黑进行硅烷处理，将隔离羟基转化为非极性的硅烷基团。实验表明，以六甲基二硅氮烷处理气相白炭黑，可在很大程度上提高室温硫化硅橡胶胶料的物理机械性能、胶接性能、耐高温老化稳定性和透明度，原因在于经处理后，白炭黑中隔离羟基确实发生了硅烷基化而变为非极性基团。红外光谱分析证实了这一点。

橡胶的补强效应的实质在于高应力下的橡胶分子链在填料表面滑移而产生橡胶键之间应力的均匀分布；面产生这种效应的前提，在于填料通过其活性表面或微晶作用与橡胶分子链建立某种键。因此，单位体积的某种补强填料的补强效果与该填料的分散度（总的有效补强面积）有关，也与填料对橡胶分子链的湿润能力有关。这就是气相白炭黑（通常比表面积为200～400m^2/g）较沉淀法白炭黑（通常比表面积在200m^2/g以下）具有更佳的补强效能的缘故，而经有效的硅烷化处理的白炭黑又较未处理者具有更佳的补强效果。

硅树脂，尤其是含有SiO_2结构单元，以$(CH_3)_3SiO$—封端的所谓苯溶性硅树脂是硅橡胶的有效补强剂。面且由于硅树脂与白炭黑相比，对胶料的流变性能影响较小，透明度也好，因此对室温硫化（缩合型）硅橡胶浇注料和室温（或低温）硫化（加成型）透明硅橡胶是特别有用的补强剂。

3．填充剂与着色剂

非补强性填料，通常称为填充剂或增容剂。可用于硅橡胶的填充剂有：氧化锌、二氧化

钛、氧化铁、碳酸钙、三氧化二铝、硅酸锆、硅酸钡、硅酸钙和炭黑等。这些填充剂实质上又是具有各种不同颜色的着色剂。除此以外，铬黄、铬绿以及许多热稳定性良好的有机颜料如酞青等均可作为硅橡胶的着色剂。在单组分室温硫化硅橡胶中，由于硫化系统的不同，有的产品呈现酸性，而有的产品则呈现碱性，此时则应注意着色剂对酸碱介质的稳定性。

4．耐热添加剂

常用的耐热添加剂有三氧化二铁、二茂铁和硅酸锆等。

5．结构控制剂

与高温硫化硅橡胶中的结构控制剂一样，室温硫化硅橡胶的混炼胶中也常采用结构控制剂，但仅在双（多）组分产品的非交联剂组分中使用。在单组分的有机硅胶粘剂中，通常不用结构控制剂，室温硫化硅橡胶中通常也不需使用结构控制剂。因为所加入的交联剂（封端剂）起着结构控制剂的作用。

结构控制剂是指改善混炼胶在存放过程中硬变（结构化-假交联）的一种添加剂。其作用是和胶料中的白炭黑的羟基产生氢键或缔合，从而消除白炭黑羟基的结构化作用。结构控制剂通常是具有双羟基的化合物，如二苯基硅二醇、乙二醇和低聚合度的羟端基硅油等。

6．特种添加剂

如增粘剂、增塑剂和防霉剂等，视产品用途而定。

（三）室温硫化硅橡胶胶粘剂

本节所述均为缩合硫化型产品，加成固化型者除外。

1．多组分室温硫化硅橡胶胶粘剂

（1）多组分室温硫化硅橡胶胶粘剂的组成

a．基料　多组分室温硫化硅橡胶胶粘剂的组成如上面所述。各成分的用量取决于对最终产品性能的要求（包括对产品工艺性能的要求）。通常，基料各成分的用量范围如下（以室温硫化硅橡胶为100份计）：

补强剂	5～40重量份	结构控制剂	0.5～6重量份
填充剂与着色剂	3～150重量份	特种添加剂	按不同种类与不同要求而定
耐热添加剂	0.5～5重量份		

b．交联剂与催化剂　烷氧基硅烷，尤其是四或三乙氧基或甲氧基硅烷是常用的也是理想的交联剂。因为它们是活性的，如原硅酸乙酯、聚原硅酸乙酯和甲基三乙（甲）氧基硅烷等。在硅原子上含有氢原子的烷氧基硅烷，如甲基二乙氧基硅烷或三乙氧基硅烷等特别有效。

适用的催化剂是胺类和某些金属（如Pb、Zn、Zr、Sb、Fe、Cd、Sn、Ba、Ca和Mn）的羧酸盐，尤其是环烷酸盐、辛酸盐、己酸盐、月桂酸盐和乙酸盐等，其中以辛酸亚锡和二月桂酸二丁基锡特别有效。在这些锡盐中加进氯化乙酸则可显著地加速硫化。

有机胺可作为催化剂或助催化剂。如氨基硅烷偶联剂、二乙胺、三乙胺、三乙醇胺、丁胺和己胺等。但胺类催化剂的加入会使胶料粘度骤然提高而失去浇注性，使用操作寿命（活性期）太短，使用时宜慎重。而在使用一般催化剂的情况下，如果环境温度过低(5℃以下)以致交联反应过于缓慢或甚至不能发生时，采用胺类催化剂才是理想的。

通常交联剂的用量范围为（以室温硫化硅橡胶为100重量份计），1.5～10份。用量主要取决于室温硫化硅橡胶的分子量，分子量越大，则用量宜越小。

催化剂的用量随其种类即随其活性大小而异，对同种催化剂来说，其用量取决于所要求

的使用操作寿命（活性期）、环境温度与湿度等因素。当然也与交联剂的活性有关。当交联剂与催化剂固定时，则固化速度随温度、湿度的升高而加快，如图12-8-3所示。通常二丁基二月桂酸锡的用量范围（以室温硫化硅橡胶为100重量份计）为 0.5～2.0 份，辛酸亚锡的用量减半。

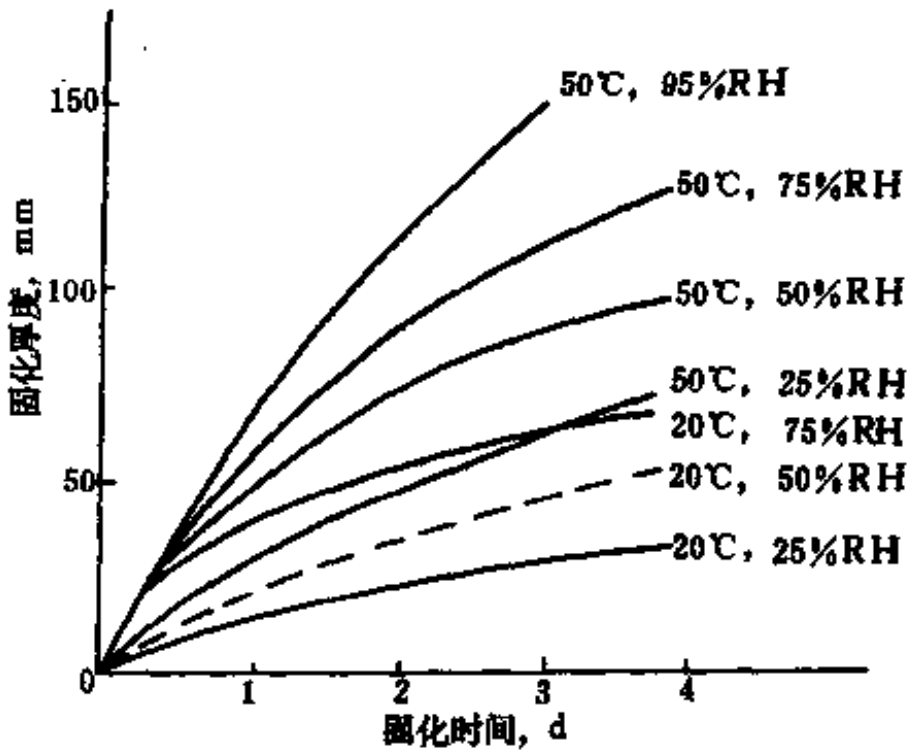
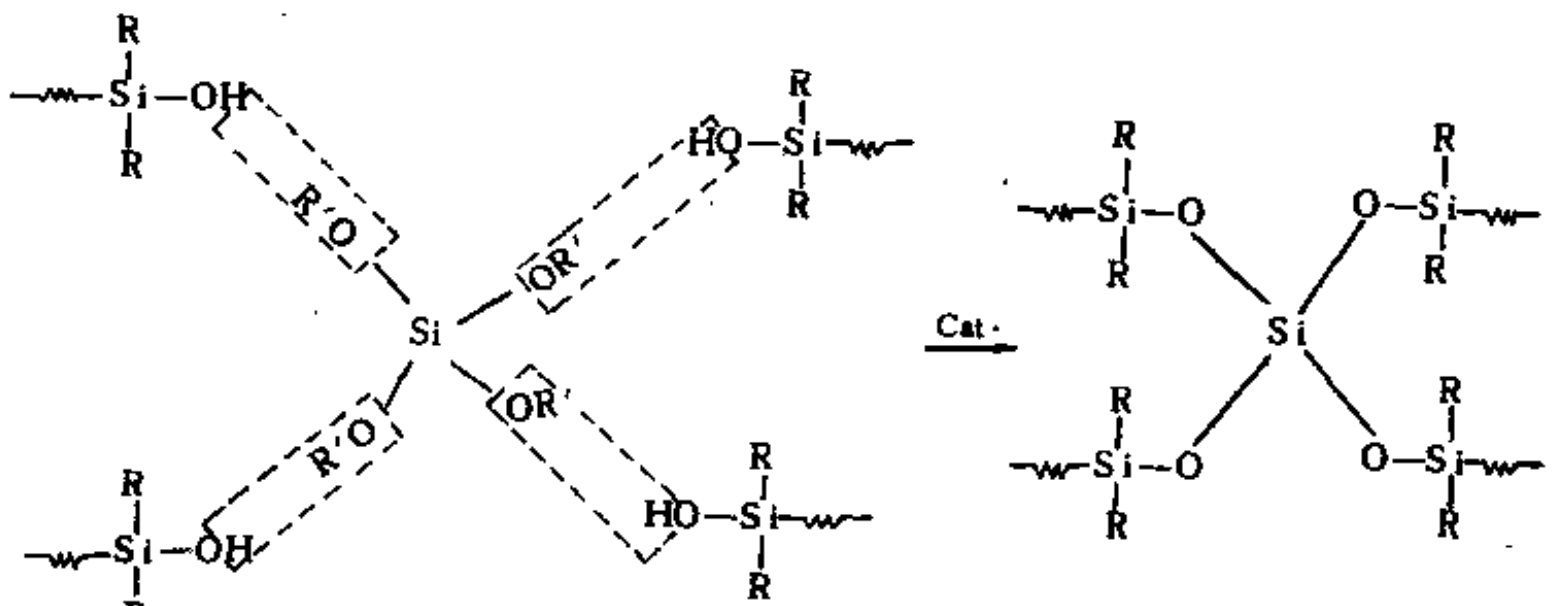


图 12-8-3　固化速度与温度和湿度的关系

（2）多组分室温硫化硅橡胶胶粘剂的交联图式　现以原硅酸乙酯为交联剂的理想交联图式如图12-8-4所示。

许多研究结果表明，室温硫化硅橡胶硫化时必须有水参与反应才有足够的反应速度。先是在催化剂的参与下活性基团水解形成硅醇基（B），活性的有机硅氧烷基团与硅醇基缩聚，使聚合物交联（C），但进行得十分缓慢。必须在水分存在下才能很好地完成交联反应。此时或进行如（B）和（D）的反应，或者交联剂先经水解缩合生成缩硅酸酯，再与硅橡胶的羟端基缩合而完成交联。



$$-\overset{|}{\underset{|}{Si}}X + H_2O \xrightarrow[(B)]{Cat.} -\overset{|}{\underset{|}{Si}}-OH + HX$$

$$-\overset{|}{\underset{|}{Si}}X + \sim\!\sim \overset{|}{\underset{|}{Si}}-OH \xrightarrow[(C)]{Cat.} -\overset{|}{\underset{|}{Si}}-O-\overset{|}{\underset{|}{Si}}\sim\!\sim + HX$$

$$-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-OH + \sim\!\sim\overset{|}{\underset{|}{Si}}-OH \xrightarrow[(D)]{Cat.} -\overset{|}{\underset{|}{Si}}-O-\overset{|}{\underset{|}{Si}}\sim\!\sim + H_2O$$

图 12-8-4　多组分室温硫化硅橡胶胶粘剂交联图式

（3）多组分室温硫化硅橡胶胶粘剂的制备工艺

a．包装形式　多组分室温硫化硅橡胶胶粘剂的包装形式主要有3种。第一种是将基料和交联剂混合成一种组分，另一组分为催化剂。第二种是基料作为一种单独组分，而交联剂和催化剂混合成为另一种组分。第三种是基料、交联剂和催化剂各为一种单独组分。目前国内多采用第二种包装形式。

b．基料的制备工艺　可在开炼机和密炼机中炼胶。加料顺序通常是先使补强剂与硅橡胶混合好，再加入其它配合剂。最后需经小辊距薄通数次。当基料中含有二苯基硅二醇时，混炼胶需经160℃处理1 h以上，再薄通返炼数次。

c．交联剂-催化剂混合物的制备　将交联剂和催化剂按一定重量比均匀混合即成。硅烷交联剂与催化剂的金属羧酸盐（按正确比例）在50～200℃下加热处理4～8 h后，则反应活性更大，交联效果和贮存稳定性更好，而且产物的酸度往往较热处理前更低而更接近中性，从而使含交联剂/催化剂的室温硅橡胶胶粘剂的腐蚀性更小。

（4）多组分硅橡胶胶粘剂的使用工艺

a．被粘接的固体材料表面的机械或化学处理　对铝合金表面经阳极化处理比较理想。对钢材等其它金属材料先经喷砂等机械方法处理，然后以四（或三）氯乙烯或酮类溶剂清洗脱脂。经喷砂或打磨的金属表面必须在尽可能短的时间内（最好在2 h内）进行下一步的化学处理。对碳钢或不锈钢等金属材料进行化学处理（如酸处理或碱处理等）也是十分可取的，化学处理的金属面，经漂洗至中性后，应尽快进入下一步工艺操作。

b．表面处理剂的应用　双组分室温硫化硅橡胶胶粘剂在不含增粘剂的情况下，一般需采用表面处理剂对经机械或化学处理的被粘面进行处理才有良好的粘接效果。可用硅烷偶联剂的1～5%的乙醇或丙酮溶液作为表面处理剂。硅烷或邻苯二甲酸酯偶联剂对材料有很强的选择性，因此，所采用的偶联剂应根据被处理材料的种类而异。一般说来，氨基硅烷偶联剂具有较大活性，适用面较广。KH-550和南大-42、南大-73等氨基硅烷偶联剂既适用于作为多种金属表面处理剂，也适用于作为许多有机高分子材料的表面处理剂，但存在光照变色和耐温性能欠佳等缺点。以邻苯二甲酸酯偶联剂为主体材料的金属表面处理剂M-15，对包括金和银等在内的许多金属的粘接均有极佳的增粘效果，而且可在200℃下长时间工作，使用时的停放时间也无严格限制。

表 12-8-4　SF-6有机硅灌封料的主要性能

外观，硫化前	甲组分为白色粘稠流体。乙组分和丙组分为无色或微黄色溶液
拉伸强度，MPa	
老化前	2.5
经200℃×200h老化后	2.3
扯断伸长率，%	
老化前	170～200
经200℃×200h老化后	150～155
硬度（邵尔A）	
老化前	40～42
经200℃×200h老化后	43
体积电阻，Ω·cm	9×10^{14}
击穿电压，MV/m	18.0
介电常数 ε	2.9～3.1
介电损耗角正切值	1×10^{-3}

c．基料与交联剂-催化剂的混合　使用前混合，使用操作寿命一般为0.5～2 h。通常宜在两辊炼胶机或三辊研磨机中进行混合。数量少时，也可手工调配。可在不影响产品性能的一定范围内调节基料与交联剂-催化剂的配比，以达到所要求的使用操作寿命。

（5）多组分室温硫化硅橡胶胶粘剂产品举例　为说明不同产品的形态、性能与用途，列举下面3种产品加以说明。

a．SF-6有机硅灌封料　主要用于电器、电缆插头及其它电子电器元件的浇注灌封密封，也可用作胶粘剂。分甲、乙、丙三组分，丙组分为表面处理剂。

形态与性能如表12-8-4所示。

b．SF-5 室温硫化硅橡胶胶粘剂　本产品为高强度型，可粘接包括金和银等低表面能金属在内的各种金属材料、硅橡胶、玻璃、塑料和涂料面等。SF-5胶可作为胶粘剂、密封剂和涂覆材料，尤其是可作为飞机高温区内的硅橡胶与金属间的胶粘剂及门窗密封剂。SF-5胶分甲、乙两组分，并与金属表面处理剂M-15及硅橡胶表面处理剂R-15配合使用。表 12-8-5及表12-8-6是SF-5胶粘剂的物理机械性能与粘接性能。

c．GPS-2有机硅胶粘剂　本产品包括甲乙两组分和表面处理剂。主要用于硅橡胶与金属以及某些非金属材料与金属材料的胶接。GPS-2胶的主要性能如表12-8-7。

表 12-8-5　SF-5胶粘剂的理化性质与物理机械性能

硫化前	外　　观		浅奶黄色膏剂
	活性期（标准室温），h		2
	施工性能		可在 5 ～40℃下正常施工
	腐 蚀 性		对铝合金和不锈钢均不腐蚀
硫化后	拉伸强度，MPa	老化前	5.6
		200℃×200h后	4.4
	扯断伸长率，%	老化前	500
		200℃×200h后	400
	扯断永久变形，%	老化前	6
		200℃×200h后	6
	硬度（邵尔A）	老化前	43
		200℃×200h后	37
	撕裂强度，kN/m	老化前	15.7
		200℃×200h后	14.7
	脆性温度		-70℃不断

表 12-8-6　SF-5胶粘剂胶接6146硅橡皮与不锈钢的剥离强度

测试条件 ＼ 结果		老　化　前	经200℃×200h老化后
常温测试	剥离强度，kN/m	5.88	3.53
	硅橡皮内聚破坏率，%	100	100
-60℃下测试	剥离强度，kN/m	7.06	5.88
	硅橡皮内聚破坏率，%	100	100
200℃下测试	剥离强度，kN/m	0.78	0.71
	硅橡皮内聚破坏率，%	100	100

2．单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂

50年代中期，继多组分室温硫化硅橡胶胶粘剂出现，便出现了单组分产品——脱乙酸型

表 12-8-7 GPS-2胶粘剂的主要性能

外观（硫化前）	砖红色膏状物
拉伸强度，MPa	2.25
扯断伸长率，%	180
对铝合金的粘接扯离强度，MPa	1.47
工作温度，℃	−60～200

的单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂。

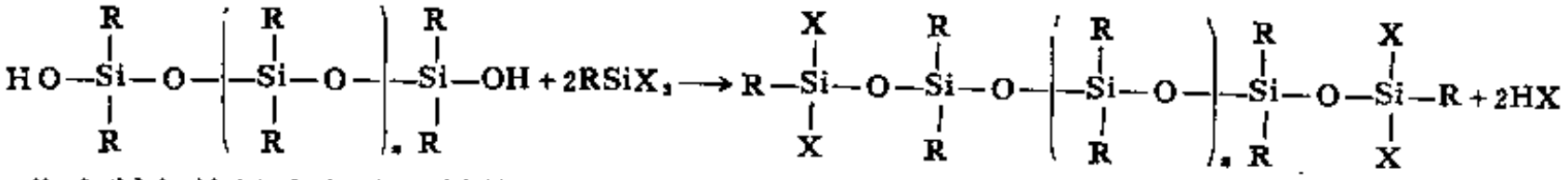
单组分室温硫化胶粘剂有许多优点，最突出的是它克服了多组分产品的两大缺点。其一是具有优越的胶接性能，不需配合使用表面处理剂便对许多材料具有良好的胶接效果。其二是使用方便，使用前不需配胶，也不受配胶后使用寿命（活性期）的限制。由于单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂具有许多优点，所以发展迅速。目前全世界使用的室温硫化硅橡胶胶粘剂中，80%以上为单组分产品。

单组分与多组分室温硫化硅橡胶胶粘剂（缩合硫化型）的性能对比如表12-8-8所示。

表 12-8-8 单组分与多组分RTV'S胶粘剂的性能对比

性能 \ 系列	多组分（缩合型）系列	单组分（缩合型）系列
使用方便性	较 方 便	很 方 便
允许的施工操作时间	2 h以内	不受限制
硫化速度	与催化剂用量有关，也与温湿度有关	提高温湿度可加速硫化
硫化时放出的低分子产物	醇、氢气等	醇、酸、胺、酮肟等
深度固化性	可深度固化	深度固化困难
胶接性能	不良，采用偶联剂可改善	良 好
腐 蚀 性	通常无腐蚀	随硫化时放出的低分子产物而异
硫化胶的机械性能	一般低于HTV型，与单组分相当	一般低于HTV型，与单组分相当

（1）制备 单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂是α、ω双羟端硅橡胶的双羟基分别被一个具有两个或两个以上可水解基团的硅烷基团封闭后所得的产品。通常以带有3个可水解基团的烷基硅烷—RX_3—与α、ω双羟端硅橡胶反应而使羟基消失：



作为制备单组分产品基料的各组分与双组分者相同，但要求基料不含水分。

X基团可以是乙酰氧基、甲氧基、酮肟基、胺基和酰胺基等。在这些交联剂中，最有代表性的是：$CH_3Si(OOCCH_3)_3$、$CH_3Si(OCH_3)_3$、$CH_3Si\left(ONC\begin{matrix}CH_3\\CH_3\end{matrix}\right)_3$和$CH_3Si[NH-CH(CH_3)_2]_3$等。以这些封端剂所制得的单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂分属脱酸型、脱醇型、脱酮肟型和脱胺型等。在脱酸型产品中为提高硫化速度往往加入锡盐。在脱醇型产品中必不可少的交联-催化剂是钛酸酯或其络合物。在脱酮肟型产品中，为提高硫化速度和改善其胶接性能常加入氮基硅烷和锡盐。

单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂的制备工艺过程如图12-8-5所示。

（2）硫化 亦称交联或固化。所制得的具有可水解基团的端基封闭产物是与空气中的水分接触发生水解并缩合交联，反应过程如下。

第一步是硅羟基与交联剂的可水解基团进行缩合反应，在配制单组分胶的混合过程中就

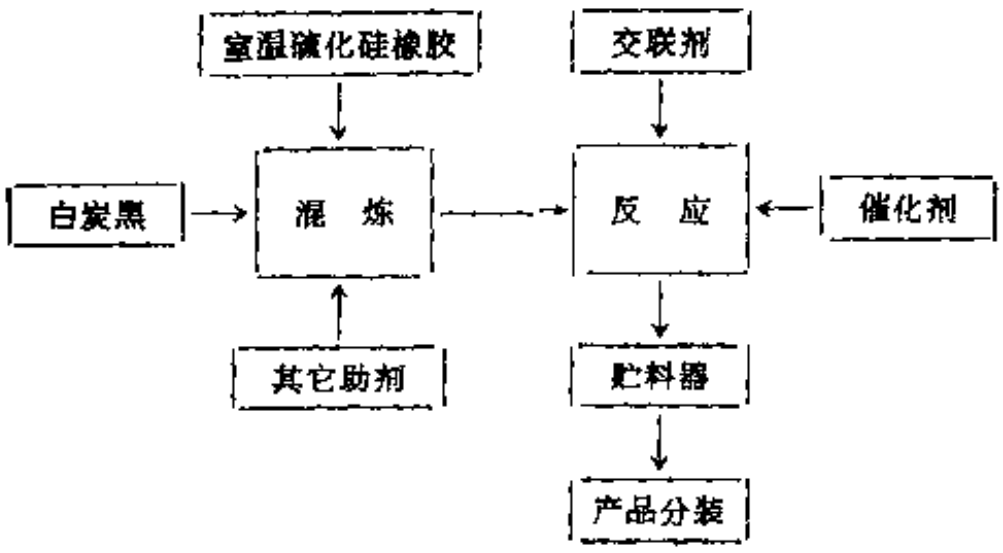
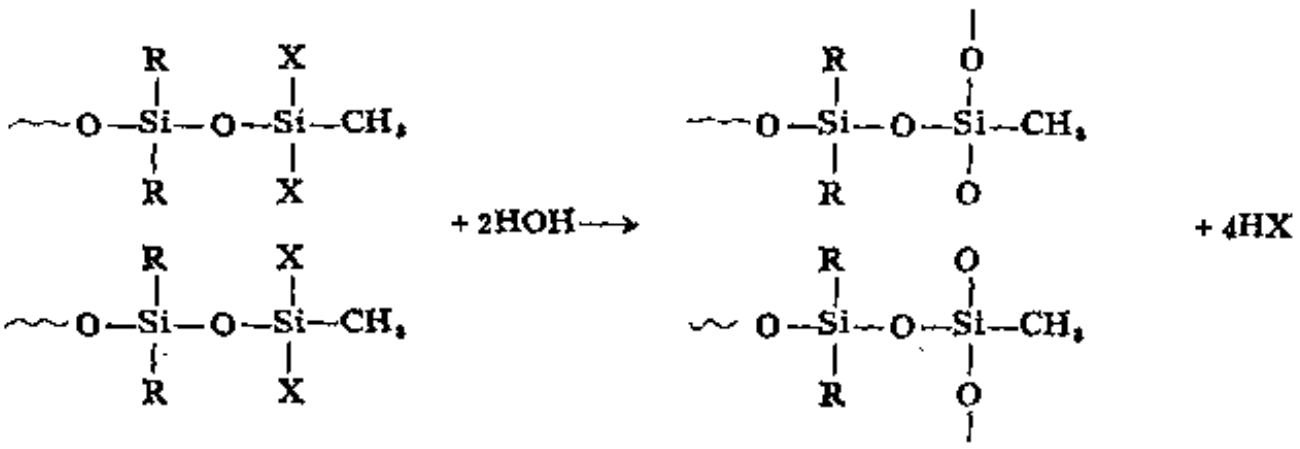


图 12-8-5 单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂制备工艺

已完成。即：



第二步是剩余的可水解基团吸收空气中的水分进行水解缩合反应而完成了固化过程。即：



固化时放出的低分子物为HX。当X为乙酰氧基时则为乙酸；X为烷氧基时则为醇。

如上所述，催化剂的存在可加速水解，也可加速缩合过程。所以加入作为催化剂的各种金属皂可提高产品在一定温湿度条件下的硫化速度。

由于固化（硫化）是从表面接触潮气部分开始的，表层固化皮膜显然会对潮气的深入起阻挡作用，同时对皮膜以内由于潮解而释放出的低分子产物的挥发有屏蔽作用。因此，单组分产品难以实现深层固化，这是这类产品的一大缺点。在许多类型的单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂中加入氧化镁均可实现深层固化，但胶粘剂贮存不稳定，因此只能在使用时加入。

（3）单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂的类型和性能　单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂有以下几种类型。

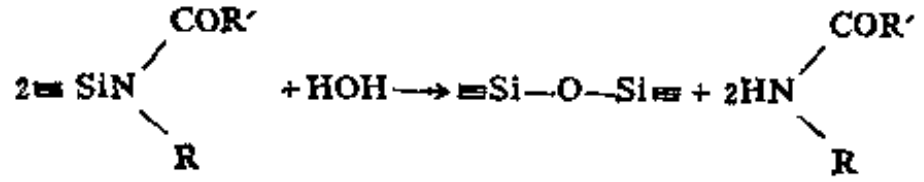
脱酸型　$2\equiv SiOOCR + HOH \longrightarrow \equiv Si-O-Si\equiv + 2RCOOH$

脱醇型　$2\equiv SiOR + HOH \longrightarrow \equiv Si-O-Si\equiv + 2ROH$

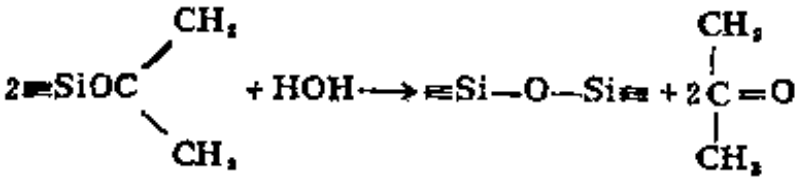
脱酮肟型　$2\equiv SiONCR_2 + HOH \longrightarrow \equiv Si-O-Si\equiv + 2R_2C{=}NOH$

脱胺型　$2\equiv SiNHR + HOH \longrightarrow \equiv Si-O-Si\equiv + 2RNH_2$

脱酰胺型



脱丙酮型



不同硫化体系的单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂的性能如表12-8-9所示。

表 12-3-9 不同类型的单组分室温硫化硅橡胶性能比较

性能 / 类型	胶接性能	硫化速度	腐蚀性	毒性	贮存寿命	价格	臭味	应用范围
乙酸型	◉	◉	×	○	○	○	△	开发最早，应用最广的通用型产品
醇型	△	△	◉	○	△	○	◉	在电子电器工业中使用
酮肟型	◉	○	△	○	○	○	△	通用型产品，用途广泛
酰胺型	△						○	作建筑密封胶
胺型	◉	◉	△	×	○	△	×	作建筑密封胶
丙酮型	○	◉	◉	◉	◉	×	◉	耐高温、无腐蚀和高胶接强度的用途

注：◉ 优；○ 良；△ 可；× 劣。

表 12-8-10 国产单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂的品种、特性与用途

类型与牌号 \ 特性与用途		外观	特性与用途	研制或生产单位
醇型	GD-406	白色流体	粘度小，无腐蚀。适于作电子元件保护材料	晨光化工研究院
	GD-407	白色膏体	粘度高，无腐蚀。适于作电子元件及电器的密封材料	晨光化工研究院
	GD-414	红色膏体	强度高，无腐蚀。为通用型的胶粘剂与密封剂	晨光化工研究院
	D03	红色膏体	粘度高，无腐蚀，耐火焰烧蚀性能好。可作为耐烧蚀材料及通用型密封剂	上海橡胶制品研究所
	D04	半透明流体	粘度低，无腐蚀。适于作电子元件及电器的密封材料和其它浇注材料	上海橡胶制品研究所
	D05	白色膏体	强度高，无腐蚀。可作通用型的胶粘剂-密封剂	上海橡胶制品研究所
	704	白色稠液	固化快，胶接性好。适用于作通用性的胶粘剂和涂料	南京大学化学系
	705	半透明粘稠液	性能与704相接近，但适于产品要求透明的场合	南京大学化学系
	87胶	白色膏状	粘度大，硫化胶硬度高。为通用型密封剂	南京大学化学系
酸型	D06	半透明膏状	高强度，固化快，粘接强度高。为通用型胶粘剂和密封剂，尤其适于胶接硅橡皮与玻璃	上海橡胶制品研究所
	D09	不同颜色膏体	固化快，高强度，不流淌。主要用作建筑密封胶	上海橡胶制品研究所
	DG-404	流体	流动性好，固化快。主要用作表面保护材料	晨光化工研究院
	GD-405	膏状	胶接性能好。作通用型胶粘剂和密封剂	晨光化工研究院
酮肟型	GD-401	流体	无腐蚀，胶接性能好。主要用作可控硅电子元件的表面保护材料	晨光化工研究院
	GD-402	膏状	无腐蚀，胶接性能好。为通用型胶粘剂-密封剂	晨光化工研究院
	D08	膏状	无腐蚀，胶接面广，不流淌，有自熄性。主要作为电子工业用的胶粘剂和密封剂	上海橡胶制品研究所
	D-11	白色膏状	固化快，密封性好，可剥离。作为机械行业及配电所的液体密封垫圈	上海橡胶制品研究所

（4）国产单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂的主要品种、性能及用途见表12-8-10和表12-8-11。

（5）单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂使用工艺要点

a．深层硫化　单组分室温硫化硅橡胶的硫化是通过大气中的水分使产品封闭端基的可水解基团水解缩合而完成的。水解时放出酸和醇等低分子产物，缩合时又重新放出水。可见，硫化只能发生在水分可进入的深处，而且放出的低分子物也必须能散逸出来。由于先硫化的表层对低分子物质的进入或逸出均有一定的阻碍作用。因此单组分产品离开空气界面的纵深硫化深度有限。硫化深度通常与产品品种有关，一般深度为25mm。在深度超过25mm时，必须分段施工或在单组分产品中加入第二组分（如上所述），才能实现深层硫化。

b．腐蚀　酸型产品在硫化过程中放出的酸有腐蚀作用，在铜、银、镁和锌等金属表面上不能使用。在没有中性产品可代替的情况下可加入氧化镁以中和放出的酸。酮肟型产品具有弱碱性，也有一定腐蚀性，必须注意。

c．胶接效果与表面处理剂的使用　在一般情况下，不用表面处理剂便有满意的胶接效果。但对难粘材料胶接时或在对胶接强度要求特别高的情况下，可采用合适的偶联剂组成的表面处理剂对被粘面进行处理，以提高胶接强度。但必须注意偶联剂的酸碱性。

d．硫化温度的选定　温度与湿度的提高均有助于加快硫化速度。但硫化温度不宜超过65℃。

（四）室温硫化硅橡胶胶粘剂的新发展

1．高强度单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂

单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂使用方便，用途广泛。但由于内聚强度较低，使其应用也受到一定限制。目前一般通用型单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂拉伸强度仅为2.5～3.0MPa，扯断伸长率在400%以下。目前发展的高强度室温硫化硅橡胶胶粘剂的拉伸强度和扯断伸长率分别达到6.0MPa和800%以上，对金属材料的胶接强度也成倍提高。从而使得这种材料的应用范围得以扩大，特别是对安全要求特别高的宇航工业具有特别重要的意义。

GD-414、D05和D06均为国内所发展的高强度产品。

2．低模量单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂

目前还发展了作为建筑接缝用的低模量单组分产品，适用于高伸缩量的建筑接缝用密封剂。已报道的多组分产品其扯断伸长率达1200%，而拉伸强度仅为0.7～0.8MPa。与此性能相仿的单组分产品也已大量出现，大多数均属脱胺或脱酰胺型产品，对混凝土的胶接效果甚优，特别适于接点运动很大的混凝土接缝的密封。二官能度链增长剂的采用，配合非补强性填料和增塑剂，是制备单组分低模量室温硫化硅橡胶胶粘剂的三大要素。

3．阻燃硅橡胶胶粘剂

电子电器工业、造船工业以及与安全密封相关工业的发展，促进了阻燃性硅橡胶胶粘剂和密封剂的新发展。

这类产品主要用于电子电器设备密封（如显象管的管基胶接密封、高压元器件的浇注密封和电缆接头密封等）以及船舶填隙密封等。这类阻燃材料的UL-94燃烧试验要求达到V-0级。国内近年发展的此类产品有单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂D08等，其UL-94燃烧试验达到了V-0级，而其物理机械性能、胶接性能和流变性能等均达到电子工业使用要求。

阻燃性硅橡胶胶粘剂的阻燃剂是采用氯铂酸加上铝或铈的氢氧化物为主体，而不采用含卤素的碳氢化合物。因后者影响产品的物理机械性能和电性能，并且燃烧时放出腐蚀性和毒

表 12-6-11 国产单组分室温硫化

性能 \ 胶种		GD-406	GD-407	GD-414	D03	D04	D05	704
硫化前	外观	白色流体	白色膏状	红色膏状	红色膏状	透明流体	白色膏状	白色稠液
	表面失粘时间，min	200	240	10～70	45	45	40～60	5～30
	硫化时放出的低分子产物	醇	醇	醇	醇	醇	醇	醇
硫化后	拉伸强度，MPa		1.96	3.92	2.00	1.80	3.50	0.88
	扯断伸长率，%		200	300	150	200	300	140
	硬度（邵尔A）				40	26	35	35
	撕裂强度，kN/m			11.8			11.8	
	体积电阻系数，Ω·cm	1×10^{14}	1×10^{14}			4×10^{14}	0.5×10^{16}	2.5×10^{13}
	击穿电压，MV/m	15	15	15		18	15	15
	介电系数（ε值，1MHz）	3.0～3.5	3.5				2.7～3.3	3.7
	介电损耗角正切值(1MHz) $tg\delta$	5×10^{-3}	5×10^{-3}				3×10^{-3}	6×10^{-3}
	对铝合金的剪切强度，MPa	0.78	1.47	1.47	1.5	1.0	2.5	0.78

害性气体。

4．新型硫化体系的单组分室温硫化硅橡胶胶粘剂

近年来最引人注目的新型硫化体系单组分产品是脱丙酮型单组分室温硫化硅橡胶。交联剂甲基三丙酮基硅烷的制备是借助于丙酮中存在互变异构现象——即酮式和烯式共存——来完成的。由表12-8-9可见，这种产品除了价昂外，其它性能均优于别的品种。特别值得指出的是，这类产品对金属铜等的腐蚀性较脱醇型单组分产品更小，称得上无腐蚀性产品，因此是电子工业中未来的优越材料。

5．有机硅压敏胶胶粘剂

有机硅压敏胶是新近发展起来的一种独特的产品，它与传统的压敏胶(天然-丁苯-松香)相比，具有较广的温度适应性和被粘贴材料适应性。

有机硅压敏胶包括无背材压敏胶和有背材压敏胶粘带。将有机硅压敏胶涂覆在背材上即得到有机硅压敏胶粘带。

有机硅压敏胶由高分子量的羟端基硅橡胶或三甲硅端基硅橡胶（粘度在$1\sim2\times10^{5}$Pa·s)和特种硅树脂组成的。其中硅橡胶可以是甲基硅橡胶，也可以是甲基苯基硅橡胶，但最好是在甲基硅橡胶中加入部分甲基苯基硅橡胶。特种硅树脂的特点是含有SiO_2链节单元（故对硅橡胶具有很好的补强效果），而端基的结构为$CH_3—Si(CH_3)_2—O—$。

有机硅压敏胶的性能在很大程度上取决于硅橡胶与硅树脂的用量比。通常，两者的最佳重量比在1:1左右。为了提高压敏胶的内聚强度，常常加入交联剂。最适用的交联剂是在无压力下硫化并不引起发泡的过氧化物——双-2,4-二氯过氧化苯甲酰,用量宜在一般模压制品的一半以下。

有机硅压敏胶常以压敏胶带的形式使用，也可以无背材形式使用。由于有机硅材料的温粘系数小，故产品能满足极为宽广的使用温度范围的要求，这是其它类型压敏胶所无法比拟的。其工作温度（非交联型）可达150℃以上，交联型者则高达200℃以上。因此作为胶粘带

硅橡胶胶粘剂的性能

705	87胶	D06	D09	GD-404	GD-405	D08	D-11	GD-401	GD-402
透明稠液	白色稠液	半透明膏状	膏　状	流　体	膏　状	膏　状	膏　状	流　体	膏　状
5～25	3～25	15	15	15～60	15～60	30	60	30～180	30～180
醇	醇	酸	酸	酸	酸	酮肟	酮肟	酮肟	酮肟
0.39	1.27	3.00	2.50	0.70	1.90	2.50	1.50	0.60	1.00
80	350	300	250	200	250	150	200	200	200
20	40	30	30	25	30	45	25	25	30
		16.0	14.0						
2.5×10^{13}	4×10^{14}	0.5×10^{15}	0.5×10^{15}	1×10^{13}	1×10^{13}		1×10^{14}	1×10^{13}	1×10^{13}
15	26	15	15	15	15	18	18	12	10
3.4	3.5	2.7～3.5	2.7～3.5	3.2	3.5	3.7		3.2	3.5
2×10^{-3}	1.8×10^{-2}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	2×10^{-2}		5×10^{-3}	5×10^{-2}
0.29	0.91	0.8	1.2			1.0	1.0		

的背材也必须达到同等的耐温等级，诸如玻璃布、聚酯薄膜、聚四氟乙烯薄膜和聚酰亚胺薄膜等，是目前有机硅压敏胶带的主要背材。

有机硅压敏胶价格较高，但由于具有一系列宝贵性能，如使用温度范围宽广，对诸如聚四氟乙烯等低表面能的极难粘材料亦具有良好的胶接效果，电性能优越和耐水性能优越等优点，因此是一种重要的压敏材料。

四、硅烷偶联剂

1．硅烷偶联剂的制备

一般是先使硅氯仿醇解，然后将所制得的烷氧基硅烷在铂催化下与带有活性基团的不饱和烯烃加成而制得。

$$HSiCl_3 + 3ROH \longrightarrow HSi(OR)_3 + 3HCl$$

$$HSi(OR)_3 + R'CH{=}CH_2 \xrightarrow{H_2PtCl_6} R'CH_2CH_2Si(OR)_3$$

式中　R通常为CH_3—和C_2H_5—。

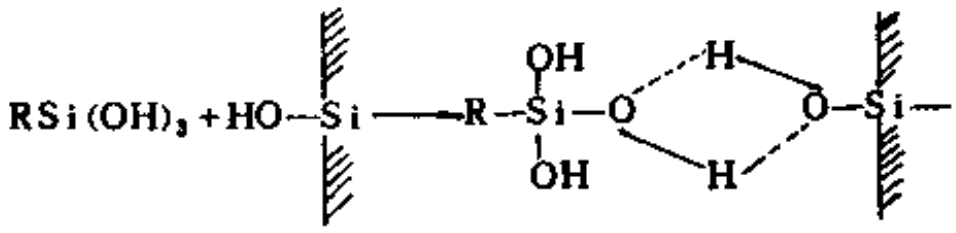
2．硅烷偶联剂的结构和作用机理

硅烷偶联剂的结构通式为$RSiX_3$，其中，R为有机基团，如—$CH{=}CH_2$，—$(CH_2)_2NH_2$，—$(CH_2)_3SH$等；X为易水解基团，如—OCH_3，—OC_2H_5等。由于这类化合物含有两 部 分性质不同的基团，因而具有偶联作用。有机基团R中的不饱和基、环氧基、氨基、巯基等官能基可与不饱和聚酯、环氧树脂、酚醛树脂和以硫黄硫化的橡胶有很大的反应活性，从面形成化学键或配位键。另一方面，偶联剂中的X基团经水解后形成羟基，进而与被胶接的固体表面形成氢键，或与固体表面羟基进行缩合（环境中的酸、碱或其它杂质常常成为这一缩合反应的催化剂）形成化学键，从而完成了偶联作用。反应过程如下。

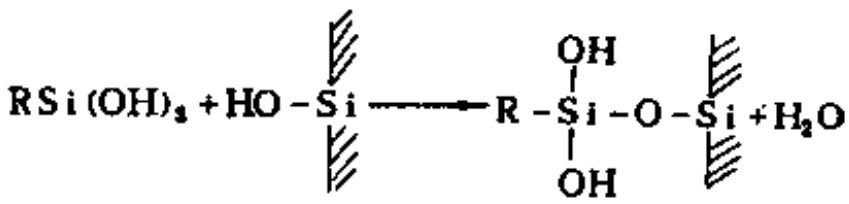
（1）水解作用

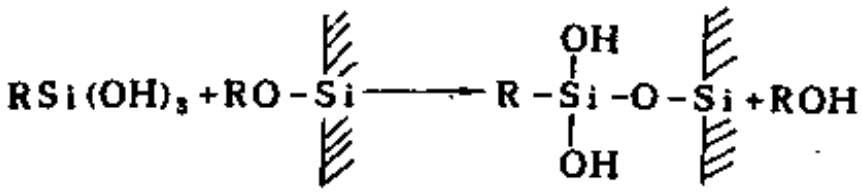
$$RSiX_3 \xrightarrow[H_2O]{H^+或OH^-} RSi(OH)_3 + 3Hx$$

（2）以氢键形式和固体表面键合



（3）缩合作用





3．硅烷偶联剂的使用方法

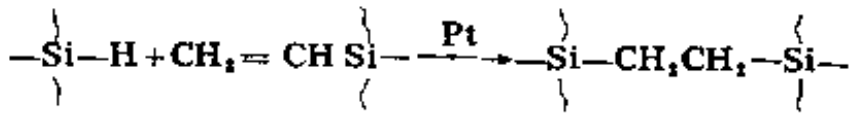
（1）掺入法　在制造玻璃钢的树脂浆料和胶粘剂中，掺入固体量1～4%的硅烷偶联剂，则由于分子扩散作用而迁移到（大部分迁移到）界面处，从而发生偶联作用，以提高强度或补强性能。由于掺入法偶联剂的耗用量较大，故一般尽量避免采用。

（2）表面处理法　通常将硅烷偶联剂配成1～15%的乙醇或丙酮溶液，将需处理的玻璃纤维浸渍或在使用胶粘剂前将此溶液涂于清洁的固体被粘物表面上，经晾干后则可涂胶。

国内常用硅烷偶联剂参见第二分册第七章第四节。

五、加成型有机硅胶粘剂

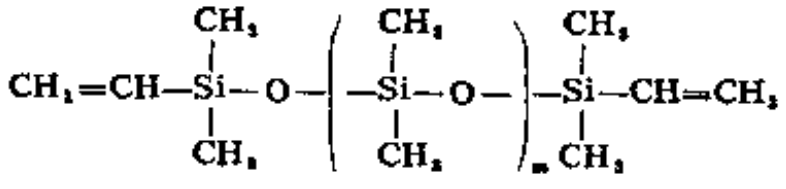
加成型硅橡胶是一种非游离基引发硫化、非催化缩合硫化的新型材料，可室温硫化（RTV）、中温硫化（LTV）和高温硫化（HTV）。它由组分中含氢硅油的氢原子与组分中乙烯基硅油或硅橡胶的乙烯基在铂络合物催化下相互加成而完成交联。由于其胶接性能欠佳，通常需与硅烷偶联剂配合使用，主要用于浇注灌封材料。

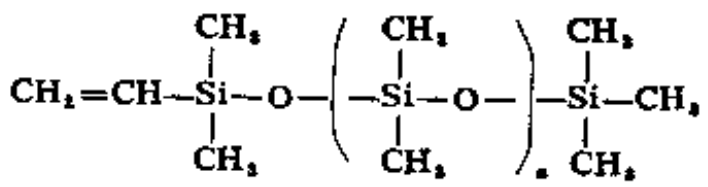


1．组成

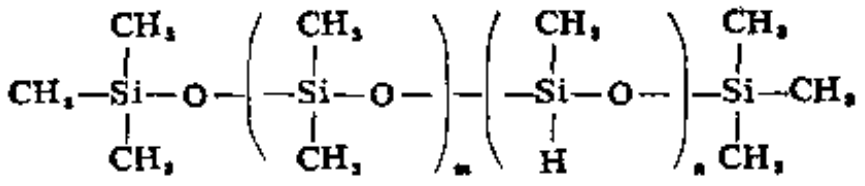
加成型硅橡胶除了乙烯基硅油或硅橡胶、含氢硅油和铂催化剂外，尚有硅树脂补强剂（常与白炭黑并用）。加成型硅橡胶各组分的化学组成如下：

乙烯基硅油或硅橡胶





含氢硅油



氯铂酸及其硅烷络合物

$H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$ 氯铂酸；$H(PtCl_3C_2H_4)$ 或$Pt_2[(Me_2ViSi)_2O]_3$

乙烯基硅氧烷铂络合物

硅树脂 $aMe_3SiO_{0.5} \cdot bMe_2ViO_{0.5} \cdot cSiO_2$

在上述各个组分中，乙烯基硅油或硅橡胶和含氢硅油是加成型硅橡胶的主体，铂化合物为催化剂。铂的硅烷络合物具有较高的催化活性，可使加成反应在常温或中温（80℃左右）下完成。而氯铂酸的催化活性较低，必须在100℃以上才能完成加成反应。作为补强剂的硅树脂，分子中含有SiO_2链节单元，端基有羟基和三有机基硅烷基团。当硅树脂中含有乙烯基时，则在铂催化下与含氢硅油中的氢原子相加成，此时补强效果最佳。以硅树脂作为补强剂有两大优点，一是产品透明度高；二是产品的粘度低，适于在浇注材料中使用。其缺点是硫化胶的扯断伸长率较小，成本较高。因此，在加成型的HTV或LTV非浇注型产品中，常以硅烷处理的气相白炭黑作补强剂。

2．加成型有机硅胶粘剂的特点与用途

（1）特点

① 硫化时不放出低分子产物，收缩性极小，制备模具十分有利；

② 以硅树脂作补强剂时，产品的透明度高，粘度低；

③ 胶接性能不及硅橡胶缩合硫化型胶粘剂，必须配合有效的硅烷偶联剂作表面处理剂或增粘剂才能获得一定的胶接强度。

④ 铂催化剂易受含氮、磷、硫的化合物和有机酸金属盐等作用而中毒失去催化活化。

（2）用途

a．作浇注灌封料　电子元件集合体和固体电路等可用加成型硅凝胶浇注封装，以达到防震、防潮和防腐蚀的目的。硅凝胶的强度低而透明度高，便于对各被封装元件的检测和调换，而用高强度加成型硅橡胶封装时，则电子元件组合体不需使用壳体，从而可大大减轻重量。

b．作涂覆材料　涂覆于太阳能电池表面及大规模集成电路表面，达到防潮、防腐之目的。

c．作复合材料用胶粘剂　以加成型硅橡胶为胶粘剂制备无机玻璃或有机玻璃复合材料是很成功的。

3．国内部分加成型硅橡胶胶粘剂的品种与性能

有机硅凝胶作灌封用的密封料，透明度高，使用工艺简单，修复方便。部分国产硅凝胶产品与性能列于表12-8-12。国产非凝胶加成型硅橡胶性能与用途列于表12-8-13。

表 12-8-12　部分国产硅凝胶产品与性能

指标 \ 型号		GN-501	GN-502	GN-511	GN-512	GN-581
硫化前	外　观	无色或淡黄色透明	无色或淡黄色透明	淡黄色透明	微黄色透明	—
	运动粘度(25℃) mm^2/s	1500～2500	1500～2500	5000～6000	5000～6000	2500～7500

续表

指标 \ 型号		GN-501	GN-502	GN-511	GN-512	GN-581
硫化后	硬度（邵尔A）	—	—	≥40	≥40	—
	拉伸强度，MPa	—	—	≥4.5	≥4.5	≥2.0
	扯断伸长率，%	—	—	≥70	≥70	≥180
	体积电阻率，Ω·cm	$\geqslant 1\times10^{14}$	$\geqslant 1\times10^{14}$	$\geqslant 1\times10^{13}$	$\geqslant 1\times10^{13}$	—
	介电常数，ε	≤3.2	≤3.2	≤3.2	≤3.3	—
	介质损失角正切值	$\leqslant 1\times10^{-4}$	$\leqslant 1\times10^{-4}$	$\leqslant 3\times10^{-3}$	$\leqslant 3\times10^{-3}$	—
	击穿电压强度E，MV/m	≥18	≥18	≥15	≥15	—
	透光度，%	—	—	—	—	≥88

表 12-8-13　加成型硅橡胶性能与用途

品　名	牌　号	主要技术指标与规格	主要性能与用途
加成型室温硫化甲基硅橡胶	JHG-300T	粘度：1.5±0.2Pa·s；固化时间：<24h；拉伸强度：≥0.25MPa；扯断伸长率：≥150%	主要用作太阳能电池灌封料，也可用作光导纤维底涂料
	JHG-302 JHG-305X	透明、易流动；固化时间：<24h；拉伸强度：≥2.0MPa；扯断伸长率：≥200% 流动型；相对密度：1.2；邵氏硬度：≥50；拉伸强度：≥2.9MPa	低收缩率、仿真性强、对基材无腐蚀，用做灌封料、模具料、真空密封料、医用橡胶、水果保鲜等。高频制鞋工艺中做鞋底模具料
精密测绘模具胶料	JHG-350M	粘度：20±2Pa·s；挥发分：≤1%；拉伸强度：≥3.9MPa；扯断伸长率：≥250%	力学性能好，用于测绘、制造模具、文物和美工复制，用作电子元件灌封料，也用于水果保鲜等
医用牙印模胶料	JHG-370 JHG-371	白色、浅绿膏子；室温固化的时间：10～20min；硬度：50～70；拉伸强度：≥1.0MPa	仿真性极好，在体温下经3～5min即可固化。用作牙科印模材料，也可做其它模具
阻燃胶	JHG-385	白色；粘度：2～5Pa·s；固化时间：<24h；离火5S自熄	流动性好，无毒无腐蚀，用于电子元件阻燃部位的灌封和封装，防火幕帐涂层等
膏子型室温硫化模具胶	JHG-386	为白、蓝色；双组分；交联时间：≥25min；贮存稳定性优良	适用于合成材料浇注复制
热固化单组分密封剂	JHG-387	相对密度：1.4；粘度：30Pa·s；贮存稳定性好　25℃：20～30d；5℃：2～3个月	有机成型材料的通性，有缩合硫化产品的贮存稳定性

六、硅橡胶的热粘接

硅橡胶的热粘接是指硅橡胶混炼胶在硫化过程中与金属或其它固体材料的粘接；而硅橡胶的冷粘接是指通过室温硫化硅橡胶胶粘剂或其它室温固化胶粘剂在室温条件下使硅橡皮与金属或其它固体材料相胶接。

硅橡胶的热粘接有许多方法。由于硅烷偶联剂对硅橡胶的热粘接或冷粘接均具有显著的

功效，因此在绝大多数情况下，硅橡胶的热粘接都离不开应用硅烷偶联剂。硅橡胶的热粘接具有代表性的方法分述如下。

1．以乙烯基三叔丁基过氧化硅烷（VPTS）和甲基三叔丁基过氧化硅烷（MTPS）作胶粘剂的热粘接

VPTS和MTPS均是热分解型硅烷偶联剂，如热至100℃时即强烈分解产生游离基。因此说这两种化合物既是硅烷偶联剂也是硅橡胶硫化剂。

采用VTPS和MTPS做胶粘剂时，不但可使硅橡胶与金属及许多其它材料达到很好的粘接效果，而且可使硅橡胶与某些极难粘接的有机聚合物（包括聚乙烯、聚丙烯等）达到良好的粘接效果。

（1）粘接方法

a．涂布法　将VTPS或MTPS以甲苯稀释成5～20%溶液，均匀地涂刷在清洁的被粘物表面上。晾干后（通常需0.5h以上），在已涂胶的固体表面覆上硅橡胶胶料，然后在加热加压下硫化粘接。

b．直接混入法　将VTPS或MTPS 2重量份（固体量）直接混入含生胶100重量份的混炼胶中。将此胶料在加热加压下与清洁的被粘材料表面相胶接。

（2）VTPS和MPTS的理化性质　VTPS和MTPS的理化性质如表12-8-14所示。

表 12-8-14　VTPS和MTPS的理化性质

	VTPS	MTPS
分子式	$CH_2=CHSi(OOC(CH_3)_3)_3$	$CH_3Si(OOC(CH_3)_3)_3$
沸点（133.2Pa），℃	78	50
折射率（n_D^{20}）	1.4237	1.4097（n_D^{21}）
相对密度（d_4^{20}）	0.9576	0.9075
分解温度，℃	147.5（爆炸）	—

2．以有机硅氧烷的部分水解产物作胶粘剂的热粘接

一种由美国Lord公司生产的称为Chemlok 607的胶粘剂属于这类产品。其中所含有机(聚)硅氧烷为低聚物——烷氧基硅烷在酸性条件下的水解产物。

我国类似的胶粘剂配方（重量份）为：

γ-氨丙基三乙氧基硅烷	6	甲醇	75
乙烯基三乙氧基硅烷	4	水	9
盐酸少量（调节pH值达3～4）			

这种胶粘剂可用于硅橡胶胶料与金属、玻璃、塑料和某些织物的粘接。Chemlok 607的理化指标如表12-8-15所示。

3．以苯基聚硅氧烷为主体材料的胶粘剂的热粘接

Lord公司的Chemlok 608属于这类胶粘剂。Chemlok 608可作为硅橡胶及氟硅橡胶胶料与各种固体材料热粘接用的胶粘剂。Chemlok 608的典型性能如表12-8-16所示。

4．以硅烷水解产物为主体材料并以非硅树脂进行改性的胶粘剂的热粘接

国产R-7胶属于这类胶粘剂。R-7胶粘剂特别适于以2,5-二甲基、2,5-二叔丁基过氧化己烷作交联剂的硅橡胶胶料的热粘接。它是以有机树脂改性的硅烷水解产物的有机溶液。适于在硅橡胶辊筒制备以及以金属为骨架材料的各种工业用硅橡胶复合制品的制备中使用。

表 12-8-15 Chemlok 607的理化指标

外　　观	无色溶液	外　　观	无色溶液
粘度（25℃），mm^2/s	0.505	密度，kg/m^3	832
固含量，%	6.5	闪点，℃	9.44
活性物质含量	12.0	稀释剂	甲醇或乙醇

表 12-8-16 Chemlok 608的理化指标

组　　成	有机聚硅氧烷及其它添加剂的甲醇/石脑油溶液	组　　成	有机聚硅氧烷及其它添加剂的甲醇/石脑油溶液
干燥剩余物，%	≥18	闪点，℃	3.3
外　观	清澈透明至模糊不清	相对密度（d_4^{25}）	0.86
颜　色	无色至淡黄	稀释剂	甲　醇

第九节　氟橡胶胶粘剂

以氟碳氢聚合物制成的氟橡胶胶粘剂及密封胶是一种耐高温、耐油、耐化学介质腐蚀、耐气候性能优异的特种橡胶粘接和密封材料，可以满足一些特殊的技术要求，在各种工业部门中广泛应用。

由氟橡胶生胶与各种配合剂混合制成的胶粘剂及密封胶，根据各种使用要求，可制成触变性腻子及粘流状胶浆；也可与骨架材料直接粘接成复合件（如密封圈、胶辊、油封、皮碗等）。可用涂刷、刮铲、浇注或模压的方法，将其覆于被粘材料和密封面上，起到粘接及密封的效果。

氟橡胶胶粘剂可分为溶剂型胶浆、水剂型乳液和直接粘接用混炼胶三种，主要用于粘接金属、橡胶和其它材料。

一、溶剂型氟橡胶胶浆

氟橡胶胶浆由氟橡胶混炼胶和有机溶剂组成，它能在各种底衬上形成弹性保护层或底衬材料的胶粘剂。底衬材料可以是金属、织物、橡胶和塑料等。

氟橡胶胶浆常用溶剂有甲乙酮、丙酮、甲基异丁基酮、低分子乙酸酯及二甲基甲酰胺等，通常是采用它们的不同配比的混合溶剂。

根据使用要求选用不同的生胶分子量和总固体含量，从而确定胶浆的浓度。用于制造胶布制品、夹布胶管用的胶浆，一般选用高分子量氟橡胶，其固体含量约20～25%。作为底衬材料胶粘剂的胶浆，宜采用低分子氟橡胶，其固体含量可达50%左右。

胶浆的稳定性取决于硫化剂的活性。含过氧化二苯甲酰的胶浆稳定性较好、可存放数月；使用胺类硫化剂的胶浆稳定性较差，仅能存放几天甚至几小时。例如使用三乙烯四胺硫化剂时，使用期仅为8～10 h。胺类衍生物硫化剂中以 2* 硫化剂（乙二胺氨基甲酸盐）稳定性较好，1*硫化剂（己二胺氨基甲酸盐）稳定性较差，3*硫化剂（*N*,*N*′-双肉桂叉-1,6-己二胺）居中（见表 12-9-1）。为提高胶液贮存稳定性，可将硫化剂先溶于溶剂，在使用前加入胶浆中。以低分子氟橡胶制成的胶浆，宜采用活性大的低分子多元胺类硫化剂，如三乙

烯四胺、四乙烯五胺、己二胺等，硫化剂于使用前加入胶浆。

表 12-9-1 硫化剂对胶浆稳定性的影响①

室温贮存粘度变化 Pa·s(布氏粘度计)	Ⅰ② Viton B氟橡胶100份，氧化镁15份，MT炭黑20份			Ⅱ Viton B氟橡胶100份，氧化镁15份，FEF炭黑20份		
	1号硫化剂 1.0份	2号硫化剂 0.8份	3号硫化剂 2份	1号硫化剂 1.0份	2号硫化剂 0.8份	3号硫化剂 2份
胶浆停放1h后	—	—	—	0.6	0.32	0.44
胶浆停放1d后	0.36	0.32	0.34	—	—	—
胶浆停放3d后	0.68	0.33	0.36	—	—	—
胶浆停放6d后	—	0.36	0.44	—	—	—
胶浆停放7d后	凝胶	—	—	凝胶	0.36	0.8
胶浆停放14d后	—	0.38	凝胶	—	0.40	凝胶

① 均为25%的甲乙酮胶浆。
② Ⅰ可用作纯胶薄膜，Ⅱ可用作玻璃布的涂层。

氟橡胶胶浆的粘接强度较差，通常采用增粘剂和被粘材料预处理的方法来改善。不同基材的粘接介绍如下。

（一）金属用涂层及胶粘剂

以氟橡胶胶浆涂覆或粘接金属时，金属表面需预处理，即：除锈、去油污、打毛及清洗，然后再涂底胶胶粘剂，如列克纳或有机硅偶联剂，放置半小时后再涂上氟橡胶胶浆。胶浆厚度根据需要而不同，一般涂两层，每层放置30min左右，最后硫化。其硫化速度与胶浆的配方及交联剂活性有关，但溶剂的挥发速度也在一定程度上影响硫化速度，在密封大型容器时，应吹空气以排除溶剂，吹热空气加速硫化。

胶浆的粘接强度与所采用底胶胶粘剂有关（表12-9-2），如采用增粘胶浆或中间胶层其粘接性则更好（表12-9-3）。

表 12-9-2 不同有机硅偶联剂底涂的粘接强度②

底涂层名称	无底涂	KH550	A151	丙烯基三乙氧基硅烷	Chemlok 607①
常温剪切强度，MPa	0.6	4.5～6.0	5.0～7.0	4.0～6.0	5.6

① Chemlok 607为美国商品，其它均为20%的无水乙醇溶液。
② 胶浆配方：F-26氟橡胶（低分子）100份（重量份），MgO15份，白炭黑10～20份，ARS胶粘剂4～10份，多亚乙基多胺2～5份，溶剂适量。
硫化条件：130℃×4h。
被粘材料：不锈钢。

采用通式为 $(RO)_x-\underset{\underset{R'_{(3-x)}}{|}}{Si}-R_y-\underset{\underset{R'''}{|}}{N}-A$ 的氨烷基硅烷作氟橡胶的特殊硫化剂可提供优良的粘接强度。式中R为C_1～C_4的一价烃基；R′为C_1～C_8的一价烃基、卤化烃基、芳香族烃基或不饱和烃基；R_y为C_2～C_8的亚烷基、亚苯基或亚甲苯基；R‴为氢或甲基、乙基；A为氢或—R″—NH_2原子团，其中R″为C_1～C_7的二价羟基；x为3以下的整数。

表 12-9-3 增粘胶浆配方及性能

胶浆配方：					F-26氟橡胶			100	
F-26氟橡胶（低分子）	100	100	100	100	氧化镁			50	
氧化镁	15	15	15	15	乙酸丁酯			300	
白炭黑	15	15			底涂层配方：				
二氧化钛			20		KH-550			3	
石棉粉				15	A-151			2	
胶粘剂ARS①		4～10			丙 酮			10	
E-20环氧树脂				20	粘接性剥离强度，kN/m				
多乙烯多胺	2～5	2～5	2～5	2～5	LY_{12}铝之间	脱开	2.7～3.2	3.9～6	2.6
乙酸乙酯/丙酮1:1	适量	适量	适量	适量	LY_{12}铝-HT-7胶布				
中间层胶浆配方：									

① 胶粘剂A为不完全醚化的羟甲基化合物；胶粘剂RS为间苯二酚和硬脂酸2:1的共溶物；KH-550为γ-氨丙基三乙氧基硅烷；A-151为乙烯基三乙氧基硅烷。

上述粘合件硫化温度为70℃×48h。

列如*N*-(三甲氧基甲硅烷基）亚乙基二胺，*N*-(二甲氧基甲基甲硅烷基异丁基）亚乙基二胺，γ-氨基丙基三乙氧基硅烷等均属此类硫化剂。

在制造胶液时先按一般方法将氟橡胶、氧化镁、氧化铅等酸接受剂、填充剂、溶剂等制成分散体，再加上上述硫化剂混合均匀即可。硫化剂用量视涂料组成及使用目的而定，用量范围为胶液的0.1～30%。

例如：氟橡胶100份（重量份），氧化镁15份，白炭黑 30 份，铁红 2 份，在开炼机上混炼均匀后，将混炼胶溶解在500份甲乙酮/甲基异丁酮（50:50）混合溶剂中，制成分散液。在100份此分散液中加入20份γ-氨基丙基三乙氧基硅烷充分混合得氟橡胶胶液。

用刷子将此胶液涂布在用四氯化碳净化处理过的铁板表面，共涂 3 次，室温放置 3 天后，用十字切割法试验，粘接强度用百分率表示●。

用该种类型硫化剂的胶液对某些非金属材料的粘接性能优良。例如：氟橡胶 100 份、氧化镁15份混炼后溶解在甲乙酮/甲基异丁基酮（70:30）混合溶剂中（400 份），制成胶液。在此胶液100份中，加入 20份 γ-氨基丙基三乙氧基硅烷，充分混合后，用刷子涂在酚醛树脂层压板上，共涂 3 次，在室温下放置 3 天后，用十字切割法鉴定粘合力。

采用活性较大的硫化剂能加速硫化速度。例如：氟橡胶100份、氧化镁15份、炭黑 20 份混炼后溶解于 500 份甲乙酮/甲基异丁基酮（60:40）混合溶剂中制成胶液。在 100 份此胶液中，加入20份*N*-(三甲氧基甲硅烷基丙基）亚乙基二胺的20%乙醇溶液所制的胶粘剂对铁的粘接强度好，而硫化时间仅24 h。

（二）织物用胶浆

氟橡胶胶浆对纤维具有较好的粘附能力。除个别织物（如聚四氟乙烯布）粘接较困难，需对织物进行表面处理外，对于一般的棉布、玻璃布、聚亚酰胺纤维等的粘接并不困难，可按普通方法进行。例如 F-23氟橡胶100份，氧化锌10份，二碱式亚磷酸铅10份，1 号硫化剂1.75份，溶剂适量组成的胶浆浸渍或涂括不同织物，经150℃×2 h 硫化后粘接剥离力为：玻璃布1341N/m，锦纶布1078N/m，白棉细布1538N/m。

采用氟-26类氟橡胶100份、氧化镁15份、多亚乙基多胺1.5～6份、丙酮适量，配制胶浆

● 十字切割法　用锋利的刀划割试片涂膜直抵底材，使形成 100个规格为 1 mm的网眼，在此网眼上粘贴压敏胶带，再剥开压敏带，检查网眼脱落数，如果网眼脱落10个，则粘接强度为90%。

浓度约25%，粘度4.5Pa·s，可用于各种织物的浸渍，粘接性良好，由溶液制成薄膜经135℃×5h硫化后，当伸长为400～500%时强力达10MPa以上。

如果需要氟胶布在室温下进行硫化，可采用含二硫醇硫化剂的胶料来制造胶浆和胶布。胶料的制法如下：首先将生胶、填充剂、吸酸剂和胺类硫化剂、如二丙烯胺或烷基胺（乙基、丙基、二乙基胺等）在炼胶机上混匀，然后在约150℃的温度和3.5MPa的压力下加热2h，所得的胶料经水洗干燥，即得含有双键的不饱和氟胶；第二步是将处理的胶料溶于丁酮，并加入六亚甲基-1,6-二硫醇或乙二醇二硫醇乙酸盐（也可在炼胶机上加入），即得所需要的胶浆。该胶浆所制成的胶片经室温7天硫化后，硫化胶性能如下，拉伸强度10.3MPa，伸长率730%，硬度（邵尔A）57，对260℃的热空气及204℃燃料油老化具有良好的稳定性。

（三）氟塑料用胶粘剂

由偏氟乙烯、四氟乙烯、六氟丙烯按45:15:40mol比聚合制得的氟三元共聚体（氟橡胶）加入增粘树脂可制成氟塑料胶粘剂。

将上述氟共聚物100份，补强白炭黑25～30份，增粘的聚硅氧烷树脂15～20份等混炼并溶于乙酸丁酯215～300份、丙酮150份、苯100份的混合溶剂中，所得到胶粘剂可粘接氟塑料。

粘接时，氟塑料表面先用丙酮揩擦除污后涂胶，涂胶4次，每次放置5～10min，最后一次待溶剂刚挥发完，立即进行叠合并装入夹具中，在室温放置12h后再按指定条件进行干燥处理。处理条件为60℃×4h+120℃×2h+160℃×6h。胶液对聚四氟乙烯塑料的粘接剪切强度为0.6～1.2MPa。

上述胶粘剂为压敏性的，对于需要在200℃以上使用的粘合件，可在胶液中添加适量的交联剂。例如：氟2,4,6-三元共聚物（同上例）100份、氧化镁15份、聚硅氧烷树脂15份、乙酸乙酯250份、丙酮250份，过氧化二特丁基醚10%甲苯溶液30份；用此胶液涂胶后粘合件经室温放置几小时后再经60℃×4h+160℃×7h固化对聚四氟乙烯的粘接剪切强度为0.6～0.8MPa，若用γ-氨丙基三乙氧基硅烷（KH-550）代替过氧化二特丁基醚则胶液可在室温硫化，且粘接强度相仿。

用氟-26类或氟-23类氟橡胶为主体、间苯二酚甲醛树脂作增粘剂的胶液能粘接非极性材料。例如将10～30g三氟乙烯（或六氟丙烯）与偏氟乙烯的共聚物在混炼机上塑炼3～5min，加入20g间苯二酚甲醛树脂（1mol间苯二酚与0.5mol甲醛缩聚而成），继续混炼20～40min，然后加入50～70g聚乙烯醇缩丁糠醛，在120～140℃温度下混炼10～30min，最后用苯乙烯：丙酮（1:1）混合溶剂配成10%浓度的胶液，可用于聚四氟乙烯等非极性材料本身及与金属的粘接。胶液的固化条件为：20℃×12h或120℃×2h，压力0.1～0.2MPa，性能如下：

	剪切强度，MPa	拉伸强度，MPa
聚四氟乙烯（未经表面处理）	2.0	3.0
聚乙烯	2.5～2.7	
聚四氟乙烯-硬铝		3.5

改变氟塑料表面特性，提高表面极性和张力，容易被一般极性胶粘剂粘接。通常用萘钠溶液处理，再用极性胶粘剂粘接，剪切强度可达5～10MPa，缺点是处理工艺复杂，经处理的表面不耐紫外线及某些化学介质的作用，电性能下降。配方实例：胶液配方（重量份）：氟2,4,6-三元共聚物100份，丁腈橡胶-40　100份，过氧化异丙苯6份，防老剂4010　4份，氧化镁20份，氧化锌10份，乙酸丁酯适量。萘钠溶液的配制：四氢呋喃100ml，金属钠2.3g（应

于煤油中贮存，以避免爆炸），精萘13.8 g 在6～8℃下往四氢呋喃-萘溶液中加入金属钠，搅拌1～2h，待生成墨绿色溶液后，即可用来处理氟塑料。

氟塑料表面处理：氟塑料表面用丙酮擦洗后，浸入萘钠溶液，并充入氮气密封，待氟塑料表面变黑后取出，用丙酮清洗和清水冲洗，晾干待用。

涂胶：当被粘件为氟塑料与金属时，金属表面需经喷砂（或打毛），清洗后再涂胶，涂胶后待溶剂基本挥发后贴合。

硫化：加热硫化，60℃×2h＋150℃×6h。

性能：聚四氟乙烯与钢或碳钢剪切强度　>15MPa

聚四氟乙烯与铝扯离强度　6.0～8.0MPa

聚四氟乙烯之间剥离力　薄膜拉坏

二、水剂型氟橡胶乳胶

氟橡胶乳胶是氟橡胶在水中的分散体。它与溶剂型胶粘剂相比，省去溶剂，消除公害；而与使用干胶相比，易于配料、加工。只要把不溶于水的固体、粉剂制成水分散体和把不溶于水的液体制成乳浊液，即可与乳胶配合，氟橡胶乳胶可作涂料、薄膜、胶粘剂等。

（一）Viton LD-242胶乳

胶乳Viton LD-242是Viton A氟橡胶的水乳分散体（生胶含量约65%，pH＝3，胶粒子为0.4μm，粘度0.015Pa·s，专用于作薄膜制品和纤维（石棉、聚四氟乙烯及玻璃纤维等）浸渍制品。这种胶乳具有干燥快、附着力强的特点。其应用配方例于表12-9-4。

表 12-9-4　Viton　LD-242胶乳薄膜及石棉纤维制品的配方和性能

配　　方	胶乳硫化膜①	浸渍石棉	纤维板	配　　方	胶乳硫化膜①	浸渍石棉	纤维板
Viton LD-242胶乳（干胶计）	100	20	20	伸长率，%	—	6	5
氧化锌	10	—	—	（232℃×7d）			
硫酸钡	10	—	—	拉伸强度，MPa	—	3.96	3.64
石棉纤维	—	100	100	伸长率，%	—	4	4
非离子界面活性剂	3	1.2	1.2	耐介质性能（胶膜在204℃			
3号硫化剂	2	—	—	硫化24h后），溶胀%			
铜抑制剂65号	—	—	0.2	在异辛烷:甲苯（7:3）混合	—	18	15
物理机械性能				液中			
拉伸强度，MPa	7.0	3.04	2.97	在磷酸盐酸液体中149℃×7		80	39
伸长率，%	850	12	12	h后			
硬度（邵尔A）	55	—	—	在硅酸酯液体中 204℃×10		21	20
老化性能				h后			
（204℃×1d）							
拉伸强度，MPa	—	4.38	4.35				

① 硫化条件，204℃×24h。

（二）ダイエルラテツクスGL系列氟橡胶胶乳

本系列胶乳于1980年出现，它具有与溶液型胶乳几乎相同的涂膜性能，可作为耐药品的涂料、密封剂及胶粘剂等。其品种及性能例于表12-9-5和表12-9-6。

表 12-9-5　ダイエルラテツクスGL的品种

项目 \ 品级	GL-152	GL-251	GL-252	GLS-213
外观 A液	黑色分散液	黑色分散液	黑色分散液	褐色分散液
外观 B液	黑色分散液	淡黄色溶液	淡黄色溶液	淡黄色溶液
固体含量，%	50	56	50	50
相对密度	1.32	1.38	1.33	—
粘度 B型①，Ps·s	0.01～0.05	0.05～0.1	0.05～0.1	0.05～0.1
粘度 Fc②	10～15	10～15	15～20	15～20
固化温度，℃	100～200	室温～150	100～200	100～350
贮存寿命③，d				
25℃时	3	3	3	3
10℃时	5	5	5	5
主要用途	浸渍粘接	喷　涂	浸渍，涂覆	喷涂，浸渍

① 旋转式粘度计测定。
② 4号福特粘度杯测定。
③ A、B两液混合后的寿命，A、B各自寿命为3个月。

表 12-9-6　ダイエルラテツクスGL的性能

项目 \ 品级	GL-152	GL-251	GL-252	GLS-213	
硫化条件	150℃×30min	150℃×30min	150℃×30min	150℃×30min	300℃×15min
拉伸强度，MPa	10.3	9.5	10.0	7.2	14.5
100%定伸应力，MPa	4.8	4.6	4.7		
伸长率，%	250	200	220	100	380
硬　度①(IRHD)	73		73		
撕裂强度，MPa	1.8				
老化性能					
剩余拉伸强度率，%					
200℃×70h	142				
250℃×70h	110				
300℃×70h	75				
100%剩余定伸应力率，%					
200℃×70h	145				
250℃×70h	107				
300℃×70h	93				
剩余伸长率，%					
200℃×70h	87				
250℃×70h	75				
300℃×70h	62				
失重，%					
200℃×70h	−6				
250℃×70h	−12				
300℃×70h	−21				
耐药品性能					
98%硫酸：剩余拉伸率，%	93				
质量变化率，%	30				
37%盐酸：剩余拉伸率，%	81				
质量变化率，%	34				
30%NaOH：剩余拉伸率，%	97				
质量变化率，%	0.5				
苯：剩余拉伸率，%	82				
质量变化率，%	8				

① 为国际橡胶硬度数。

三、氟橡胶胶料与其它材料粘接

氟橡胶与其它材料的粘接一般需用胶粘剂。

（一）氟橡胶与金属的粘接

1．热硫化粘接

该类胶接属未硫化氟橡胶与金属的粘接，用作制造皮碗、带金属骨架的胶辊、胶板、衬里等。其粘接工艺简单，首先是把被粘金属件表面除锈、打毛、清洗，然后再涂底胶胶粘剂，如用有机硅偶联剂、间甲白或HRH系统胶浆、异氰酸酯（主要是JQ-1）胶粘剂或其它增粘胶浆。涂胶粘剂后的金属件经适当停放即可与氟橡胶混炼胶片在一定温度及压力下进行粘接。它的粘接过程是与硫化过程同时进行的，随产品硫化方法的不同，可以在平板机的高压下进行，也可以在硫化罐中低压下进行。二段硫化时尽可能缓慢升温、避免橡胶产生气泡、与金属脱离。同时还应根据胶粘剂的耐热性确定合理的二段硫化条件。用异氰酸酯粘接的氟橡胶金属件，只能在低于200℃的温度下硫化和使用，否则失去粘接力；用硅烷类胶粘剂时，其耐热性较好，可在250℃下硫化及使用。

为了使氟橡胶与金属更牢固地粘接，最好在金属涂胶粘剂后，再涂一层被粘接的胶料混炼胶的20%甲乙酮溶液，作为胶粘剂与橡胶间的结合过渡涂层。若在这种结合涂层中加入2～3%的胶粘剂，可进一步提高粘接强度。几种胶粘剂品种及性能示于表12-9-7。

有机硅烷类胶粘剂对不同硫化体系的胶料增粘效果不同，一般来说，含对苯二酚或胺类硫化剂的胶料较易粘接，但铜抑制剂65会降低粘接力；含过氧化物及双酚AF硫化剂的胶料对有机硅胶粘剂的品种选择性较强（见表12-9-8）。此外，含氧化锌和二碱式亚磷酸铅的原料也不宜粘着，含高量硫化剂、增塑剂的胶料粘着不良，应避免使用。

有机硅烷胶粘剂对氟橡胶与各种金属均有较好的增粘性（表12-9-9），粘合件耐热性好，可在230～260℃高温下工作，对高温油和介质作用也很稳定。

2．氟橡胶生胶的粘接

这类粘接是用于耐化学药品的贮槽和其它容器的保护衬里。制法如下。

将经适当配合的胶料用压延机压成0.25～0.4mm厚的胶片，在胶片上涂四乙基乙二醇二甲基醚，使其膨胀。经1～2min后胶片变软，并带有粘性，容易贴在经过喷砂的钢铁容器上。然后，在已贴好的胶片上，用同样方法再贴另一层胶片，将贴好的衬里容器在70℃的温度下硫化三昼夜。

用上述方法制成的衬里，虽粘着程度均匀，但粘接力较低。在金属上涂以氯丁橡胶胶粘剂，能使粘着性能显著上升，醚类会降低含有促进剂的viton氟橡胶料的贮存稳定性，使用醚类增加粘着性的胶料，需要尽快使用。

氟橡胶衬里虽不经高温硫化，但亦能使用。

（二）氟橡胶与其它橡胶的粘接

1．未硫化氟橡胶与未硫化丙烯酸酯橡胶的粘接

不必使用胶粘剂，只需将两者贴合在一起共硫化，即可得高强力的粘着。

2．氟橡胶与氯丁橡胶的并用粘接

氟橡胶与氯丁橡胶的并用粘接有两种方法。第一种方法是在两层间涂一层胶粘剂，然后在低压下随同制品硫化而结合。该法粘接的剥离强度达1.2MPa。所用胶粘剂可为环氧系胶

表 12-9-7 氟橡胶与金属粘接用胶粘剂

胶粘剂		被粘材料		粘接强度		胶接工艺
名称	主要成分	氟橡胶胶层主要成分	金属名称	扯离强度 MPa	其它	
JQ-1	(三苯基甲烷三对异氰酸酯)的20%氯乙烷溶液	氟-26类氟橡胶为主体与胺类衍生物硫化剂	45°钢	2.5～3.0		金属上涂一层薄而均匀的胶粘剂，室温停放30min，然后于143～150℃×30min，冷却后涂第二层胶液，室温停放30～40min，再于143℃×10min烧后取出贴氟橡胶胶片，按胶料硫化条件硫化，二段硫化温度不超过200℃
	底涂胶JQ-1 胶浆胶粘剂按混炼胶:乙酸乙酯=1:6制成胶浆，再加入2～3%JQ-1	VitonA 100；Mgo 15；喷雾炭黑20；1°硫化剂 1.3	碳钢	7.6	剪切强度 MPa 常温：9.6 150℃：4.1 200℃：1.8	金属涂底涂胶JQ-1一遍，经150℃停放30min，然后涂混炼胶胶浆，室温干燥30min，再贴胶硫化。 一段硫化：150℃×30min，压力5MPa 二段硫化：室温×1h→120℃×1h→150℃×1h→200℃×19h
Chemlok 607	γ-氨丙基三乙氧基硅烷8；乙烯基三乙氧基硅烷 4；甲醇 78；水 9；盐酸(调节pH) ≈1	氟-26 类氟橡胶为主体，胺类衍生物硫化剂	45°钢	4.4		金属表面涂上薄薄一层胶粘剂，室温停放20min后，贴上未硫化氟橡胶，按胶料硫化条件进行硫化
KH-550	γ-氨丙基三乙氧基硅烷的5%水溶液	氟-26类氟橡胶为主体，胺类衍生物硫化剂	钢	4.0～6.0		金属表面涂胶粘剂一遍，室温停放8～10h，或90℃干燥30min，再贴胶，按胶料硫化条件进行硫化
APM 处理剂	含不饱和烷基及氨基的有机硅胶粘剂	氟-26 类生胶为主体，胺类硫化剂胶料	45°钢	4.6～5.7		金属涂处理剂一遍，室温停放30min～8h内均可贴胶，按胶料硫化条件进行硫化
烯丙基三乙氧基硅烷	烯丙基三乙氧基硅烷	VitonA 100，Mgo 15；高耐磨炉黑 20；3°硫化剂 3	45°钢 铝 铜	4.9 4.2 2.8		涂胶粘剂一遍，室温停放30min，贴胶后硫化。一段硫化：151±2℃×30min，压力 12MPa，二段硫化：室温×2h→100℃×2h →150 ℃×5h 10℃/h→200℃×3h
KH-560	γ-缩水甘油氧化丙基三甲氧基硅烷	氟-26类氟橡胶为主体对苯二酚类硫化剂	45°钢	5.6		金属涂处理剂二遍，第一遍涂后于140℃烘20min，第二遍于180℃停放20min，然后贴胶，按胶料硫化条件进行硫化
含氟环氧有机硅化合物	4,4′(六氟异亚丙基)二苯基二无水甘油醚 6.7 A-1120 4.8甲醇 24；丙酮 16.5乙醇 48	氟-26类氟橡胶 100；双酚AF 2；炭黑 20；Mgo 3；$CaOH_2$ 6；8-苯基-1,8二吖二环-7 氢化十一碳烯锡 0.4	不锈钢		剥离力 kN/cm 4.7	金属表面涂胶二遍，室温停放，待溶剂挥发干燥后贴胶，热压硫化170℃×15min，压力3.5MPa
间甲白增粘胶浆	以被粘氟橡胶层混炼胶与乙酸乙酯1:6配成胶浆	氟-26 生胶 100；Mgo 15；喷雾炭黑 20；糠胺 2.5；白炭	45°钢	4.5～7.0		金属表面涂胶浆一层，室温停放10min，即可贴胶，按胶料硫化条件硫化，二段硫化为200℃×12h

续表

胶粘剂		被粘材料		粘接强度		胶接工艺
名称	主要成分	氟橡胶胶层主要成分	金属名称	扯离强度 MPa	其它	
间甲白增粘胶浆		黑 15；间苯二酚 2.5；六次甲基四胺 1.6				
增粘胶浆	以被粘氟橡胶混炼胶溶于乙酸丁酯：二甲苯=1:1 的混合溶剂中胶料:溶剂=1:6～1:8	氟-26氟橡胶 100；MgO 10；气相SiO_2 10；过氧化二苯甲酰 3；聚酯改性有机硅树脂 5	钢	2.74		金属表面涂胶2～3遍，每次停放1h左右，然后贴胶粘接。硫化条件：定型硫化 150℃×30min， 烘箱硫化：150℃×8h（包括升温）
增粘胶浆	氟-26氟橡胶100；Mgo 15；喷雾炭黑 25；2* 硫化剂 1.5；焦性没食子酸 5；乙酸丁酯：甲苯(1:1) 混合溶剂 880～1170	氟-26氟橡胶 100；MgO 15；喷雾炭黑 25；1*硫化剂 1.0；焦性没食子酸 5	钢	室温下：3.6 150℃×10min 0.7		金属表面涂胶2～3遍，每次停放1h左右，然后贴胶粘接。 硫化条件：定型硫化：150℃×30 min 烘箱硫化：150℃×8h（包括升温）

表 12-9-8 各种硅烷胶粘剂对不同硫化体系氟橡胶与45号钢的粘接强度

氟橡胶胶层		胶粘剂名称及扯离强度，MPa				
代号	主要成分	Chemlok607	KH-550	烯丙基三乙氧基硅烷	KH-560	APM
氟-272	氟-26类生胶及胺类硫化体系	4.4～5.8	1.5	1.2	4.1	4.6～5.7
氟-275	氟-26类生胶及双酚AF硫化体系	脱落	脱落	脱落	3.1	4.3
氟-276	氟-26类生胶及对苯二酚硫化体系	5.1	2.6	4.1	5.6	4.3
氟-370	氟-3,4,6类生胶及双酚AF硫化体系	脱落	脱落	脱落	4.9	4.0～4.5
四丙橡胶	四丙橡胶，过氧化物硫化体系	脱落	脱落	3.0	3.3	3.0～4.5
	VitonA100，MgO15，高耐磨炉黑10，3*硫化剂 3			4.9～5.8		
	VitonA100，MgO15，喷雾炭黑5，氟化钙30，3*硫化剂 3			4.9		
	VitonB100，Mgo15，喷雾炭黑20，3*硫化剂 3			4.0		
	氟-23-I胶100，ZnO10，铅盐10，硅氟化钡 15，过氧化苯甲酰 3			0.9		

表 12-9-9 Chemlok 607胶粘剂对氟橡胶与各种金属的粘接强度

金属材料	钢	不锈钢	镀铬钢	铜	黄铜	铝	镁
剥离强度，kN/m	9.8	10.2	11.77	8.24	10.2	10.6	8.24

注：胶料配方：VitonA 100份，MT炭黑 25份，MgO 2.0份，HMDA氨基甲酸盐 1.3份。
硫化条件：一段，149℃×30min；二段204℃×24h。

粘剂（如EC1838A、B●）或Chmlok 607与Chemlok 220（含有二亚硝基化合物的卤化橡胶胶粘剂）的混合物；第二种方法是将胶粘剂成分加入胶料中，然后两层粘接共硫化。如将Chemlok 607硅烷或环氧树脂胶粘剂EC1833 A、B加入氟橡胶中，将Scotchweld EC1838B加入氯

● 含1份表氯醇（2-环氧氯丙烷）的双酚A环氧树脂胶粘剂。

丁橡胶中，然后直接贴合硫化，即可获得较好的粘接。该法的粘接剥离强度可达3.1～3.5MPa。下面是一个用于制造这类复合制品时氯丁橡胶的配方(共硫化条件:162℃×30min)。

氯丁橡胶（W型）100，活性氧化镁4，防老剂A2，氧化锌5，秋兰姆类促进剂0.5，硬脂酸钙4，Scolchweld EC1838B 5，沉淀白炭黑40，氧化钙10,促进剂NA-22 0.75。

3．氟橡胶与天然硬质胶的并用粘接

氟橡胶与天然硬质胶并用粘接采用涂胶粘剂方法。

硬质胶浆配方：天然橡胶100，氧化铁20，氧化铅5，碳酸钙100，硫黄39，溶剂：汽油。

硬质胶层配方：天然橡胶100，氧化锌5，硬质胶粉60，滑石粉10，喷雾炭黑5，促进剂D1，硫黄43。

氟橡胶胶层配方：氟-23氟橡胶100，氧化镁10，硅氟化钡40，过氧化苯甲酰3。

粘接强度如表12-9-10所示。

4．氟橡胶与丁腈橡胶-40并用粘接

采用列克纳作为胶层之间的胶粘剂，其配方及性能如下所述。

丁腈橡胶层：丁腈橡胶-40 100，氧化锌5，炭黑50，促进剂TMTD3，促进剂M0.75，防老剂MB2，防老剂4010 2，硬脂酸1.5。

氟橡胶层配方：氟橡胶-26 100，氧化镁15，喷雾炭黑35，1#硫化剂1.0，铜抑制剂65# 0.75，其粘接强度例于表12-9-11。

表 12-9-10 氟橡胶与天然橡胶粘接强度

胶粘剂	天然橡胶硬质胶层:氟橡胶胶层	扯离强度 MPa
硬质胶浆	100:0	17.7
硬质胶浆	75:25	11.3
硬质胶浆	50:50	4.28
硬质胶浆	25:75	1.3
硬质胶浆	0:100	1.07

表 12-9-11 丁腈橡胶与氟橡胶的粘接强度

胶粘剂	胶层配比 氟胶层:丁腈胶层	扯离强度 MPa
列克纳	0:100	8.05
	25:75	6.4
	50:50	4.6
	75:25	1.1

5．氟橡胶与硫化天然胶及合成橡胶的粘接

这类粘接需将硫化的橡胶暴露于氟化剂（如SF_4）中，然后在其表面涂以氟化橡胶的胶粘剂，将涂以胶粘剂的硫化胶部分与未硫化的氟橡胶贴合后硫化。例如：用氢氧化钾溶液和浓盐酸冲洗丁腈橡胶硫化胶，干燥后在130℃用SF_4氟化17h，再用氢氧化钠和水冲洗，涂上Chemlok 607胶粘剂，在空气中干燥16h，然后与半硫化的氟橡胶胶料贴合，并在153℃2MP_a气压下平板硫化30min，其粘接强度为3.4kN/m。反之，对于未经SF_4处理的丁腈橡胶，其对比性能为0.53kN/m。

6．聚三氟氯乙烯橡胶与硅橡胶的粘接

采用含173.7gkel-氟橡胶的二甲苯分散体（20%固体分）与48 g硅橡胶胶粘剂所组成的一种糊状物涂刷于聚三氟氯乙烯片上，于232℃加热15min。硅橡胶亦涂刷同样的硅橡胶胶粘剂，然后与涂刷过的聚三氟氯乙烯粘接，于149℃及2.75MPa压力下加热10min，亦可采用压延方法使之粘接，然后硫化。前法的剥离强度为0.62N，后法为1.59N。

7．氟弹性体涂覆的硅橡胶

为提高硅橡胶制品的耐气体渗透性和耐磨性，可在硅橡胶制品上涂覆一层氟橡胶涂层。

据报道：用氟橡胶246　100(重量份)、双2.5(Ⅰ)0.5～3、2,4,6-三烯丙基异氰尿酸酯（Ⅱ）5～6、二环戊二烯二过氧化物（Ⅲ）0.5～6份和3-缩水甘油氧基丙基三甲氧基硅烷（Ⅳ）0.5～1份在170℃硫化、硫化的橡胶涂层的硬度（邵尔A）为38～55，300%定伸应力1.12～5.12MPa，拉伸强度3.72～7.3MPa，扯断伸长率287～573%。如相同橡胶但不含Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ则上述性能分别为47，0.83，0.76和365。

（三）氟橡胶与聚四氟乙烯的粘接

为提高氟橡胶制品的耐磨、耐介质性能，或降低表面摩擦力，可在制品的表面贴上一层聚四氟乙烯薄膜。其贴合方法是：首先用钠铵溶液或萘-钠四氢呋喃溶液处理薄膜的被粘表面（对于形状复杂的被粘件如油封，薄膜得先经高温定型后再处理），然后涂JQ-1胶液，干燥后与氟橡胶贴合，并进行硫化。

氟橡胶制品也可采用聚四氟乙烯分散液涂层来降低其表面摩擦系数，其方法是：氟橡胶制品表面先用丙酮洗净，干燥后，再用喷枪把分散液喷涂于表面，然后高温烘结，即可形成一层具有较好结接力的薄膜。

四、氟橡胶硫化胶的粘接

为便于加工和维修，氟橡胶往往是制成硫化胶后再粘接成产品。例如大型带骨架橡胶制品的压制，往往要受到设备及工艺条件的限制，无法在硫化过程中完成粘接，只能采用胶粘剂把氟橡胶硫化胶粘接到骨架材料上，以克服加工设备的困难。

（一）氟橡胶硫化胶之间的粘接

可采用环氧树脂胶粘剂如美国EC1838A、B型〔含1份表氯醇（2-环氧氯丙烷）的双酚A环氧树脂胶粘剂〕、EC2216型胶粘剂（双组分环氧胶粘剂）或酚醛树脂增粘的胶粘剂如BKP-17（原苏联）。

粘接前硫化胶表面用金刚砂的水分散体涂擦或用锉、砂轮打毛，再用溶剂擦净。然后涂胶。粘接时用0.05MPa的压力，室温下硫化24h或于80℃下硫化1h。如在氟橡胶表面涂刷一层γ-氨丙基三乙氧基硅烷的甲苯溶液（浓度5%），则可大大提高粘接强度。

（二）氟橡胶硫化胶与金属用胶粘剂

通常用作粘接硫化氟橡胶的胶粘剂也可用来粘接金属，粘接时，金属表面需预处理（即除锈、打毛、清洗）然后涂胶及粘接。在树脂型胶粘剂中掺入氟橡胶有利于提高耐热性及柔软性。

几种胶粘剂配方及性能如表12-9-12所示。

表 12-9-12　氟橡胶硫化胶用胶粘剂配方及性能

胶粘剂主要成分	被粘材料名称		扯离强度，MPa
	氟橡胶硫化胶主要成分	金　属	
酚醛树脂 160，丁腈橡胶 100 加氟橡胶-23　20时 40时 60时	氟-23类氟橡胶及过氧化物硫化体系	钢	4.7 4.5 6.0 5.4
环氧树脂　100，酚醛树脂　100，胺类硫化剂　10	氟-26类氟橡胶及胺类衍生物硫化体系	铝	室温下：1.0～2.0 150℃×14h，5.0 250℃×10min，0.8～1.0

第十节　压敏胶粘剂

一、概　　述

压敏胶粘剂是一类在常温下具有良好粘着性，使用时只需借助于轻度指压即能与多种材料表面接触粘接的胶粘剂。用它可制得压敏胶粘剂制品，如压敏胶粘带、双面胶粘带、胶粘片和压敏性标签等，具有使用方便、适应性广的优点，是现代工业和日常生活中广泛应用的新型胶粘材料。

压敏胶粘剂已有100多年的历史，人们熟知的医用橡皮膏是19世纪70年代以天然橡胶为基料的压敏胶粘制品。本世纪20年代，伴随着汽车工业的发展，出现了用天然橡胶压敏胶制得的喷漆保护用的掩蔽胶粘带，开拓了适应于包装、办公用的玻璃纸胶粘带、电绝缘用的黑色绝缘胶布，以及粘接固定用的双面胶粘带等压敏胶粘制品。由于在工业生产上压敏胶粘制品对简化操作工艺、提高工效和产品质量具有一定的作用，加上现代合成高分子材料工业的发展为压敏胶粘剂提供了丰富的原料，因此从50年代以后，压敏胶粘剂及其制品的发展十分迅速。在1974年以前的近20年中，美国每年以10～30%的速度增长，日本则以15～30%的速度增长，加拿大和欧亚各国发展也很快。目前压敏胶粘剂已发展成为胶粘剂工业中的一个重要分支，在工农业和家庭等方面得到了广泛的应用。

二、压敏胶粘剂的组成

压敏胶粘剂在轻度指压下，即能充分润湿被粘物表面。根据显微观察，为了使接触面积增大，压敏胶必须有适当的粘流性和抗剥离应力的弹性。因此，压敏胶粘剂通常是以长链聚合物为主体材料，加入增粘树脂和软化剂等制得。在选择主体材料时，应根据胶粘剂的使用要求而定，同时也必须考虑胶粘剂本身的特性，如内聚性、胶粘性和润湿性三者之间的平衡关系。

1．橡胶系压敏胶粘剂

橡胶系压敏胶粘剂一般由弹性体、增粘树脂、软化剂、填充剂、防老剂等构成，表12-10-1列举了压敏胶粘剂中各组分所使用的原材料。表12-10-2为典型橡胶系压敏胶配方举例。

表 12-10-1　橡胶系压敏胶粘剂成分分类表

弹 性 体	天然橡胶、聚异戊二烯橡胶、丁苯橡胶、丁基橡胶、聚异丁烯、氯丁橡胶、丁腈橡胶、苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物(SBS)、苯乙烯-异戊二烯嵌段共聚物(SIS)、再生橡胶等
增粘树脂	松香及其衍生物、聚萜烯树脂、萜烯酚醛树脂、油溶性酚醛树脂、古马隆树脂、二甲苯树脂、石油烃树脂
软 化 剂	矿物油、羊毛脂、液体聚丁烯、液体聚异丁烯、DOP、PBP等
填 充 剂	氧化锌、钛白粉、二氧化硅、氢氧化铝、碳酸钙、碳酸镁、陶土、滑石粉、着色剂
防 老 剂	橡胶常用防老剂、二硫代氨基甲酸盐、金属螯合剂

自从有压敏胶粘剂以来，天然橡胶就是这类胶粘剂的重要原材料，迄今大多数商品化的压敏胶粘带，如包装胶粘带、医用橡皮膏等，大多数仍使用天然橡胶为主体材料。以天然橡胶为主体材料的压敏胶粘剂具有良好的粘着性和内聚强度，是很多合成橡胶难以比拟的。但是由于天然橡胶分子链上含有大量的不饱和键，易受热或空气中的氧的作用面老化。因此，进

表 12-10-2 橡胶系压敏胶粘剂配方举例

例1：白皱片胶	100
聚β-蒎烯树脂	75
石油润滑油	5
聚三甲基氢化苯酯	2
例2：烟片橡胶	100
氧化锌	50
松　香	75
N,*N*-二（β-萘基）对苯二胺	2
羊毛脂	10
例3：丁苯橡胶	50
烟片橡胶	50
氢化松香脂	50
三甲基对苯二酚	2
石油润滑油	20
例4：高分子量聚异丁烯	100
液体聚异丁烯	30
聚萜烯树脂	70
防老剂264	2

一步提高天然橡胶的性能，特别是耐光、热、氧的老化等性能是非常重要的，目前用来提高以天然橡胶为主体材料的压敏胶性能主要有以下几种方法。

（1）加入交联剂　交联是提高胶粘剂内聚力、耐老化性、防止高温软化和赋予耐溶剂性的有效方法。可加入硫黄、含硫促进剂、酚醛树脂或多异氰酸酯苯作交联剂，也有加入光敏剂通过紫外光照射进行交联的。

（2）并用合成橡胶和热塑性橡胶　这是简便、有效且用得较为普遍的方法之一，作为并用的合成橡胶要求结构和溶解度参数与天然橡胶相近，常用的合成橡胶有丁苯橡胶等；常用的热塑性弹性体有SBS、SIS等。

（3）接枝　用天然橡胶与甲基丙烯酸甲酯、乙酸乙烯酯、马来酸酐等单体进行接枝聚合的产物为主体材料可以制成粘接力强、耐热性和耐老化性能良好的压敏胶粘剂。

（4）加入填充剂　加入适当的填充剂对提高压敏胶粘剂的性能，特别是内聚强度有良好的效果。

表12-10-3是用天然橡胶和松香衍生物与不同填充剂按1:1:0.5制得的压敏胶粘带的性能对比。

表 12-10-3 各种填充剂对胶粘带性能影响

填充剂		氧化锌	活性氧化锌	沉淀碳酸钙	碳酸钙	氢氧化硅	硅藻土	滑石粉	硫酸钡
剥离强度 N/m	酚醛塑料板	594	530	600	454	678	698	646	402
	聚乙烯	360	302	376	270	420	296	274	254
	玻　璃	444	442	590	362	608	432	326	346
粘着力 N/m	酚醛塑料板	478	443	586	418	560	606	434	378
	聚乙烯	330	256	334	236	360	222	174	242
	玻　璃	430	416	580	360	532	410	304	312
内聚力，g/cm		524	739	769	943	1375	970	930	831

2．丙烯酸酯系压敏胶粘剂

丙烯酸酯系压敏胶粘剂是目前仅次于橡胶应用得最多、发展最快的压敏胶粘剂。它是一类无色或浅色透明的胶粘剂，几乎可以不必添加增粘树脂、增塑剂等组分，通常以单组分或添加少量的交联剂构成具有橡胶系压敏胶粘剂所难以比拟的耐侵性、耐光性、耐氧化性、耐油性和耐溶剂性等优异性能。由于通过共聚合可以引入各种极性基团，故比较容易制得适合不同使用要求的压敏胶粘剂。

在一般情况下，丙烯酸酯压敏胶是由表12-10-4中的3类单体按一定配比光聚合而成。

表 12-10-4 丙烯酸酯压敏胶常用单体

	单体	T_g, ℃	特征		单体	T_g, ℃	特征
主单体	丙烯酸乙酯	-22	剧臭	官能性单体	甲基丙烯酸	225	粘着性、交联点
	丙烯酸丁酯	-55	粘性大		甲基丙烯酸羟二酯	55.86	交联点
	丙烯酸-2-乙基己酯	-70	粘性大		甲基丙烯酸羟丙酯	76	交联点与-NCO反应慢
共聚单体	乙酸乙烯	30	便宜、内聚力大		甲基丙烯酸乙二甲胺	130	交联点，不用乳化剂乳化
	丙烯腈	97	内聚力、有毒		丙烯酸	106	粘着性、交联点
	丙烯酰胺	165	内聚力		丙烯酰胺	165	内聚力、交联点
	苯乙烯	80	内聚力		*N*-丙烯酰羟甲胺		本身可交联
	甲基丙烯酸甲酯	105	内聚力、控制粘性		甲基丙烯酸缩水甘油醚		交联点
	丙烯酸甲酯	8	内聚力、亲水性		马来酸酐		粘着性、交联点

丙烯酸酯系压敏胶大致可分为交联型和非交联型两类。非交联型压敏胶经涂布、干燥后具有热塑性，其内聚力和耐热性一般比较低，为了提高内聚力，可通过改变共聚合单体的种类、数量和提高共聚物分子量及并用其它高聚物（如酚醛树脂等）的方法来实现。交联型丙烯酸酯压敏胶克服了非交联型存在的问题，许多应用实例表明，交联型丙烯酸酯压敏胶易使内聚力、粘着性和粘性三者保持平衡，此外，由于交联的结果，不仅提高了压敏胶的内聚强度、赋予弹性、而且扩大了使用温度范围，提高了耐热性、耐油性、耐水性等性能。典型的交联型压敏胶的交联配合有羧酸-多异氰酸酯、羧酸-三聚氰胺、羧酸-金属化合物或*N*-羟甲基丙烯酰胺自身交联等。表12-10-5为丙烯酸酯系压敏胶共聚合配方典型举例。

表 12-10-5 丙烯酸酯压敏胶共聚合配方举例 单位：重量份

例1 (U.S.P.2 371 071)			
丙烯酸辛酯	70	乙酸乙烯	20
丙烯酸乙酯	10	马来酸酐	7.5
例2 (日特公昭39-2393)			
丙烯酸-2-乙基己酯	102	*N*-丁氧基甲基丙烯酰胺	3
乙酸乙烯	45	乙酸乙酯	150
例3 (日特公昭48-1420)			
丙烯酸丁酯	60	甲基丙烯酸甲酯	10
丙烯酸-2-乙基己酯	26	丙烯酸	4
例4 (日特公昭49-4541)			
丙烯酸-2-乙基己酯	90	甲基丙烯酸	2
丙烯腈	7	邻苯二甲酸二丙烯酯	1
例5 (日特公昭55-52363)			
丙烯酸-2-乙基己酯	74.5	*N*-羟甲基丙烯酰胺	2.5
丙烯酸乙酯	20	丙烯酸	3
例6 (日特公昭56-26274)			
丙烯酸-2-乙基己酯	116.5	甲基丙烯酸缩水甘油醚	1.25
丙烯酸丁酯	112.5	丙烯酸	7.5
乙酸乙烯	12.5		

三、无溶剂型压敏胶粘剂

迄今用于生产胶粘带的压敏胶粘剂，多数以溶剂型为主。为了防止公害、确保安全和节

省资源，必须逐步发展不含溶剂的热熔性、液状固化型压敏胶及水乳型压敏胶粘剂。

1．乳液型压敏胶粘剂

乳液型压敏胶粘剂是近几年来发展较快的品种，主要用于制造压敏性标签和包装胶粘带等，它的主要优点是：①成本低、安全、无公害；②聚合物合成时操作容易、聚合时间短；③聚合物分子量通常比较高；④容易制成高浓度、低粘度的压敏胶粘剂。缺点是耐水性、电性能较差、干燥时间长、能量消耗较大，以及粘度较低、表面张力较高，涂布工艺比较困难。

常用的聚合物乳液有天然胶乳、聚异戊二烯胶乳和丙烯酸酯乳液等，其中以丙烯酸酯乳液用量最多，它可以不需要外加增粘剂、软化剂和防老剂便能使用，制造方法比较简单。为了改进丙烯酸酯乳液压敏胶的耐热性和耐水性，在乳液聚合时可引进乳化性单体或自身可交联性单体，见表12-10-6。

表 12-10-6　水乳型压敏胶配方举例

例1 (U.S.P.3 189 581)			
丙烯酸-2-乙基已酯	170	硼酸钠	1.7
乙酸乙烯	75	过硫酸钙	1.0
N-丁氧基丙烯酰胺	5	乳化剂(Tergit、I NPX100%)	5
水	250	乳化剂(Aerosol OT100%)	1.25
羟乙基纤维素8%水溶液	31.2		
例2 (U.S.P.3258443)			
丙烯酸-2-乙基已酯	352	乙酸钠	1
乙酸乙烯	83.6	水	455
丙烯酸	4.4	焦亚硫酸钠	0.9
环氧乙烷与壬基酚缩合物	22.4	过硫酸铵	0.45

2．热熔型压敏胶粘剂

热熔型压敏胶粘剂是一种不含溶剂的固体状压敏胶粘剂，它通过加热熔融涂布于背材上经冷却后即能制成胶粘带，由于具有不含溶剂、无公害、能耗小、生产设备紧凑、生产速度快等优点，是近年来发展比较快的压敏胶品种之一。目前热熔型压敏胶粘剂主要用于制取压敏标签、地毯和一些压敏胶粘带产品，如布基胶粘带、牛皮纸胶粘带和OPP胶粘带等。

热熔型压敏胶粘剂一般由以下几种组分调制配合而成。

成　分	配　比	成　分	配　比
主体聚合物	100	防老剂	1～3
增粘树脂	60～120	填充剂	适量
软化剂	10～30		

主体聚合物可使用嵌段共聚物如：苯乙烯-丁二烯-苯乙烯（SBS）、苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯（SIS）、苯乙烯-乙烯-丁二烯-苯乙烯(SEBS)等，和乙烯-乙酸乙烯共聚物(EVA)、聚丙烯酸酯、聚酰胺、聚异丁烯等，目前用得最多的是SIS和SES。

增粘树脂必须选择热稳定性好，与主体聚合物相溶，并能赋予良好粘接性的物质，通常

使用松香系树脂、萜烯系树脂、石油树脂、古马隆树脂、苯乙烯系树脂和酚醛树脂等。

加入软化剂的目的是为了降低熔融粘度、调节低温特性及快粘性，可使用环烷系或石蜡系增塑剂、液状聚丁烯、液状聚异戊二烯以及聚氯乙烯常用的增塑剂等。

此外，为了提高热熔型压敏胶的热稳定性，必须加入适当的防老剂，表 12-10-7 为热熔型压敏胶的配方举例。

表 12-10-7 热熔型压敏胶配方举例

例 1 （日特开昭49-48736）			
EVA（VA含量为35%）	50	丁苯橡胶（苯乙烯含量为30%）	20
EVA（VA含量为87%）	20	氢化松香酯	10
例 2 （日特开昭50-67336）			
SIS	100	粉末氢氧化铝	6
聚萜烯树脂(软化点115℃)	60	防老剂	3
例 3 （日特开昭54-127930）			
SBS	100	操作油	40
聚α-萜烯树脂	60	2,5-二叔丁苯对苯醌	3
石油树脂	60		
例 4（日特开昭54-131 636）			
SIS	100	操作油	60
丁基橡胶	20	液体异戊二烯橡胶	30
氢化松香	100	防老剂	2

3．液状固化型压敏胶粘剂

这是一类以不含溶剂的液状低分子聚合物加入适当交联剂、链增长剂等配合助剂组成的压敏剂。当涂布于背材上，通过热、光或电子束照射后，使低聚体交联，即可制成压敏胶粘带，这类压敏胶由子不含溶剂，使胶粘带的无公害生产成为可能。

作为液状固化型压敏胶粘剂的主体材料有液体丁二烯类橡胶、液体聚异丁烯和两端含有羧基等官能团的遥爪型液状丁二烯类聚合物以及液状丙烯酸酯共聚物、遥爪型丙烯酸酯共聚物，表12-10-8为液状固化型压敏胶粘剂的配方举例。

表 12-10-8 液状固化型压敏胶配方举例

例1 （日特开昭51-61 537）			
液体羧基丁苯橡胶	100	紫外线吸收剂	0.5
α-萜烯树脂	100	抗氧剂2246	0.5
操作油	100	多异氰酸酯	8.4
交联促进剂	0.5		
例2 （日特开昭61-68639）			
丙烯酸正丁酯	100	偶氮二异丁腈	0.5
丙烯酸	3	环氧828	10
α-巯基乙酸	3.5	三亚乙基二胺	1

关于交联方法，可使用加入交联剂加热交联，也可使用紫外线或电子束照射交联。

由于紫外线的能量较低，使用紫外线照射交联必须在压敏胶中配加光敏剂，而电子束的能量很大，只要通过照射便能直接使压敏胶交联。

四、硬化型压敏胶粘剂

这是一类在粘接施工时具有通用压敏胶粘剂的粘着性，硬化后抗蠕变性好、胶粘力高，有的可达到通用胶粘剂的胶粘强度，有的甚至接近结构胶粘剂的强度。

1．热硬化型压敏胶粘剂

利用含官能团聚合物的热化学反应来提高压敏胶粘剂的特性有着广泛的可能性，表12-10-9为压敏胶粘剂主体聚合物的官能团和交联剂。

表 12-10-9 聚合物的官能团及其交联剂

官能团	交联剂	官能团	交联剂
—COOH —CC＜ —CC＜O	环氧树脂 多异氰酸酯 酚醛树脂 多价金属盐	—C(=O)—O—N(CH₂OH)(H)	环氧树脂 三聚氰胺树脂
—OH	环氧树脂 多异氰酸酯	—CH₂—CH=CH—CH₂— (Y)	硫　黄 酚醛树脂
CH₂=CH X	过氧化物	—CH—CH₂ O	多价胺 多价羧酸

早期的热硬化型压敏胶粘剂主要是用天然橡胶、丁苯橡胶、羧基丁腈橡胶等合成橡胶为主体材料，加入常用的增粘树脂、软化剂，再加入适当的热硬化性交联剂配制而成。橡胶系热硬化型压敏胶在室温下可以保存较长时间不变质，热硬化后粘接强度有明显提高，见表12-10-10所示。但是存在热硬化温度较高、硬化时间较长的问题。

表 12-10-10 橡胶系热硬化型压敏胶配方举例

例1（日特昭38-22717）					
天然橡胶	80	氢化松香	8	防老剂264	1
丁苯橡胶（含40%苯乙烯）	20	DOP	40	常态粘接强度　8.43N/19mm	
油溶性热反应性酚醛树脂	40	流动石蜡	15	120℃×2h硬化后粘接强度　10.89N/mm	
活性氧化锌	10	聚萜烯树脂	70		
水杨酸	4	钛白粉	15		
例2（日特昭44-12278）					
丁腈橡胶	10	烷基苯酚树脂	10	乙酸乙酯	40
蓖麻油改性醇酸树脂	20	MgO	0.5	常态粘接强度　53～55N/25mm	
环氧树脂	40	ZnO	0.5	100℃×5min或200℃×30s/硬化后剪切强度　6.2～7.4MPa	
三氟化硼乙胺	3	丁酮	76		

为了克服橡胶系热硬化型压敏胶存在的问题和进一步提高压敏胶的性能，从60年代中期起开展了丙烯酸酯系热硬化型压敏胶的研制，其配方举例如表12-10-11所示。

2．吸湿硬化型压敏胶粘剂

这是一种通过吸收空气中水分就能硬化的压敏胶粘剂，由带有羧基的高分子化合物和周期表第Ⅱa族金属氧化物或多异氰酸酯，以及增粘树脂等组成的吸湿硬化型压敏胶粘剂。在非常干燥的情况下，不会进行交联反应，胶粘剂使用寿命可长达5年以上，但是在湿热条件

表 12-10-11 丙烯酸酯热硬化型压敏胶的配方举例及其特性

示例（日特公昭 50-28970）

	丙烯酸丁酯-丙烯酸-丙烯腈共聚物（40%甲苯溶液）		100
	环氧树脂		14
	聚萜烯树脂		4
	二乙醇胺		0.48
特性（热硬化条件30℃×30min）	剥离强度，N/20mm	常　态	10.59
		热硬化后	14.32
	蠕变性（胶粘面积2cm²，40℃负荷9.8N），min	常　态	60
		热硬化后	>300
	扯离强度，N/cm²	常　态	4.12
		热硬化后	0
	剪切强度，MPa	常　态	0.94
		热硬化后	0.61

下，活性期大大缩短，例如在30℃、相对湿度为70%的条件下，活性期为2h，在5℃、相对湿度为50%下活性期为10h。表12-10-12为吸湿硬化型压敏胶配方举例。

表 12-10-12 吸湿硬化型压敏胶配方举例

例1（日特昭47-24659）			
丙烯酸-丙烯酸丁酯共聚物	100	甲　苯	50
二甲苯树脂	30	乙酸乙酯	50
三羟甲基丙烷和甲苯二异氰酸酯预反应物	100		
例2（日特昭47-38 532）			
丙烯酸辛酯-甲基丙烯酸共聚物	100	甲苯二异氰酸酯	2
CaO粉（400筛孔）	30	甲　苯	400

表12-10-13为吸湿硬化型胶粘片与常用胶粘剂比较，可见吸湿硬化型压敏胶粘剂的性能良好，是一种有发展前途的高胶粘强度的压敏胶粘剂。

表 12-10-13 吸湿硬化型胶粘片与其它胶粘剂性能比较

试验项目		吸湿硬化型胶粘片	溶液型氯丁胶粘剂	氯丁胶系热胶粘片	EVA热熔型胶粘片
剥离强度 N/25mm	0℃	34.32	40.21	31.38	28.44
	20℃	30.40	37.27	29.42	22.56
	40℃	27.46	29.42	24.52	17.65
	80℃	21.57	24.52	17.65	0
	耐水性（40℃温水30d）	28.44	7.85	10.79	脱　开
	耐热性（80℃，30d）	35.30	34.32	24.52	31.38
	冷热循环（80～－20℃　12循环）	32.36	39.23	部分脱开	脱　开
	干温循环（40℃，30～90%RH　12循环）	34.32	27.46	部分脱开	24.52
剪切强度，MPa	0℃	4.4	6.2	3.2	7.1
	20℃	3.8	4.8	2.3	5.5
	40℃	3.0	3.2	1.8	3.0
	80℃	2.5	2.0	0.4	0.1
高温垂直保持力（1.96×10⁴Pa，120℃）		保持10h以上	1h后脱落	0.1h后脱落	加负荷后立即脱落

3．厌氧压敏胶粘剂

厌氧压敏胶粘剂是在隔绝空气下能起交联反应的压敏胶粘剂。由它制得的胶粘片，用来粘接铝合金，在隔绝空气下放置24 h 后，剪切强度可达7.0MPa以上。

厌氧压敏胶粘剂不适用于透气性被粘物，因此其用途受到了一定的限制，但是由于它具有压敏胶粘剂使用方便的特点，而且粘接强度高，有的可以达到或接近环氧树脂胶粘剂的粘接强度，因此今后可望成为室温硬化型压敏胶粘剂的一种。

五、压敏胶粘带

1．压敏胶粘带的种类

压敏胶粘剂的主要用途是涂布在可挠性的基材上制取带状的胶粘材料，主要形式有以下几种。

① 涂布于基材的一面，卷成筒状的压敏胶粘带。

② 涂布于基材的一面，覆有单面防粘纸的压敏胶粘片和压敏性标签。

③ 涂布于基材的两而，覆以双面防粘纸卷成筒状的双面胶粘带。

④ 在防粘纸上涂以压敏胶粘剂的转移性胶粘带。

压敏胶粘带所用的基材种类如表12-10-14所示。

表 12-10-14　压敏胶粘带的基材种类

纸　　质	牛皮纸、皱纹纸、长纤维纸、无纺织布等
塑料薄膜	玻璃纸、乙酸纤维素、聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚酯、聚酰亚胺、聚四氟乙烯等
橡 胶 片	天然橡胶、丁基橡胶、氯丁橡胶、聚氨酯橡胶等
金 属 箔	铝箔、铜箔、铅箔等
发 泡 体	橡胶海绵、聚氨酯、聚氯乙烯、聚乙烯泡沫塑料等
复合材料	人造丝、玻璃纤维、聚酯和其它合成纤维细丝补强的纸或塑料薄膜、各种塑料薄膜与布贴合等

2．压敏胶粘带的用途

压敏胶粘带的应用范围很广，若按使用功能来分，其用途主要有以下几方面。

（1）医疗　主要用于外科粘贴、包扎、固定、止血、起皮等。

（2）绝缘　变压器线圈、电器设备接线、电线电缆的组合绝缘等。

（3）包装和修补　食品袋的封袋、纸箱的捆封、容器的封缄、棒状物的捆束、薄钢带成卷末端的固定、书籍、薄膜袋或织物的修补等。

（4）保护和掩蔽　金属、塑料和木材表面的保护，仪器仪表表面以及标牌板、铝板、不锈钢板、有机玻璃装饰板等表面的保护、导管的防腐蚀等。

在掩蔽方而，最早是用于汽车涂层掩蔽，目前已扩展到各种材料的涂层——包括涂片、火焰或等离子喷涂等，电镀和化铣等的掩蔽保护等。

（5）标志和装饰　管线的识别、商品的标志、零件和贮藏物的区别、道路的区分和标志等。

用作装饰的压敏胶粘材料多数是用背面印刷的美术和塑料薄膜制得的胶粘片，以及镀有金属的乙酸纤维素胶粘带、聚酯胶粘带等。

（6）粘贴与固定　用于材料之间的粘接和固定，如录音带的粘接、图纸的固定；零件的安装、铭牌的粘贴、金属印刷板与轮转机的粘接；塑料、金属、木材、皮革等的贴合；磨

床、非磁性加工件的固定；地毯、家庭日常用品的固定等。

（7）其它　如防湿密封、热屏蔽、射线屏蔽和防振隔音等。

六、发展趋向

为适应社会的需要、环保的限制，今后压敏胶粘剂的发展将着重以下几方面。

（1）减少溶剂型压敏胶粘剂的毒害性，除选用低毒、高闪点、低光化作用的溶剂体系和安装溶剂回收装置或燃烧装置外，应重点开发水乳型压敏胶粘剂以及其它无溶剂型压敏胶粘剂——如热熔型或液状固化型压敏胶粘剂等。

（2）开发高胶粘强度的反应型压敏胶粘剂，提高压敏胶粘剂的粘接强度、耐热蠕变性、耐燃性、耐溶剂性、耐老化性，使之接近甚至超过一般胶粘剂的使用性能。

（3）开发新的压敏胶粘制品以满足体育、医疗、电子、汽车、建筑、节能、捕虫以及其它方面的需要。

第十一节　胶粘剂及密封胶的试验方法

从人们开始利用橡胶胶乳液制造防水胶布、胶鞋和胶布打水桶等制品以来，就产生了橡胶与其它材料粘接的问题。为了获得优质橡胶制品，必须保证橡胶与其复合材料有良好的粘接。现代橡胶制品如轮胎、力车胎、胶带、胶管、胶鞋、密封件、减振件、胶布和胶布制品等，所用的复合骨架材料主要有：金属（如钢、铝合金、铜、钢丝等）、纤维材料（如棉布、棉帆布、尼龙布、尼龙帘线、涤纶布、涤纶帘线等）和其它材料（如皮革和塑料等）。因此，橡胶与其它材料的粘接，实际上可归纳为4种情况：橡胶与金属的粘接；橡胶与纤维织物的粘接；橡胶与橡胶的粘接和橡胶与塑料等材料的粘接。

表 12-11-1　胶粘剂和密封胶的性能试验方法

性能名称	国内标准号	相应国外标准号	性能名称	国内标准号	相应国外标准号
胶粘剂			H抽出法	HG4—1469—82	ISO 4647
性状、外观	产品标准中都采用目视法	国外也多数以目视法为准	剥离强度	GB32—82	
密　度		ASTM D 1875	密封胶		
固体含量（不挥发物含量）	GB2793—81		外　观	目视法	
粘　度	GB2794—81，HG4—1470—82	ASTM D 1084	柔软度	HG6—1260—79	
pH 值		ASTM D 1583、ISO/TC61 D4166	耐热性	HG6—1261—79	
			耐寒性	HG6—1262—79	
适用期	GB7123—86	ASTM 1338	剪切强度	HG6—1263—79	
贮存期	GB7751—87	ASTM 1337	耐介质	HG6—1264—79	
静态的物理机械强度			不硫化密封胶		
橡胶与金属间胶接强度：			密　度	GJB785.2—89	
一板法(90°剥离)		ISO 813	针入度	GJB785.3—89	
二板法（拉伸）		ISO 814	不挥发物含量	GJB785.4—89	
四板法(拉伸剪切)		ISO 1747	耐油性	GJB785.5—89	
圆锥法（拉伸）	GB7761—87	ISO 5600	粘附性	GJB785.6—89	
剥离强度	HG4—854—81		腐蚀性	GJB785.7—89	
剪切强度	HG4—853—81		低温柔曲性	GJB785.8—89	
橡胶与纤维织物			流动性	GJB785.9—89	

一般通过对粘接件在使用时受力情况的分析以及对其进行模拟性或破坏性的试验，评价各种类型胶粘剂的粘接性能。以供人们的选择使用。

各种橡胶密封胶粘剂（简称为密封胶或腻子）目前已广泛地用作飞机、汽车、火车、建筑业和地下铁道中的密封填料和填隙材料，如建筑中使用的地板、墙壁、屋面、多层玻璃保温等各类型的密封胶粘剂。各类密封胶的性能也需进行测试，以利选择使用。

为了保证胶粘剂和密封胶粘剂的质量，并能得到性能相同的胶粘剂商品，对胶粘剂和密封胶进行性能测定是极其重要的，目前经常应用的试验方法见表12-11-1。

一、胶粘剂的试验方法

（一）胶粘剂的测定方法

1．相对密度的测定

一种物质的绝对密度，为该物质单位容积所含的单位质量数。固体、液体及气体之容积随温度面变化，其密度亦随温度而变，故表示一物质的密度时，必须表明温度。具体测定的方法较多，一般以比重瓶法使用得较多。

2．pH值测定

用于测定各种胶粘剂的水提取液或水溶液的pH值。一般，胶粘剂的pH值大小会影响胶粘剂的贮存稳定性，并影响胶接组合件的耐久性。关于胶膜层（简称为胶层）pH的测定，规定了根据给出的条件制作固化厚度在0.5mm以下的胶粘剂固化薄膜，粉碎该薄膜至40目以下，把这个粉末如入5倍量纯水于室温下浸渍72h，用玻璃电极法测定浸出液的pH值。

对于不溶于水而溶于有机溶剂的胶粘剂，例如合成橡胶系的胶粘剂，不直接测定胶粘剂的pH值，而要测定与腐蚀性有关的胶粘剂胶层pH值，把一定量的胶粘剂作为薄层涂布于玻璃板表面，加热使溶剂挥发后，用一定量蒸馏水抽提薄层，测定抽取液的pH值就可以了。

有些胶粘剂在生产过程中可用市售pH试纸作判定方法，对于pH试纸方法，同一试样因指示剂种类不同测得的pH值也不同，所以要记录指示剂种类和制造厂名。同一试样用试剂测得pH值和用玻璃电极法测得pH值不同时，一般应把玻璃电极法测得的pH值作为正确结果采用。

胶粘剂的试样如粘度很高时，可以把试样用等量蒸馏水稀释。一般来说胶粘剂溶液具有缓冲作用，这样的稀释pH值变化不大，用玻璃电极法测定胶粘剂的pH值。

测定水溶液的pH值最常用的方法有比色法和玻璃电极法。

（二）胶粘剂工艺性能的测试方法

1．粘度的测试方法

粘度对于胶粘剂来说是能否涂布和产生强度的一项重要技术指标，同时也是胶粘剂在生产过程中必须控制的一项质量指标。

粘度的试验方法很多，有毛细管法、落球法、涂料杯法及旋转粘度计法等。目前在美国、日本、法国等国家都采用旋转粘度计法测定胶粘剂的粘度，所用仪器和测试条件基本一致，见表12-11-2。

粘度是流体的内摩擦，是一层液体与另一层液体作相对运动时的阻力。粘度的单位是为Pa·s。

由于胶粘剂多属于非牛顿流体，具有触变性，在一定温度下，其粘度不是固定不变的。对于这样的流体，如果连续多次测定，其粘度会逐渐降低，为了避免在粘度测定过程中由于

表 12-11-2 各国标准中粘度测定方法简介

标准号	名称	测试情况
ASTM D 1084—63	胶粘剂粘度测试方法	有4种方法： ①除方法（A）外，都限于是或接近牛顿流体特性的胶粘剂； ②方法（B）为旋转粘度计法，其余为特制仪器（测试温度23±0.5℃）
ASTM D 2556—69	由剪切速度决定其流动性的胶粘剂的表观粘度测试方法	旋转粘度计法，除一般测试条件外，还要严格控制测定时间间隔（测试温度23±0.5℃）
JIS K 6833	胶粘剂的粘度测试方法	旋转粘度计法（转子旋转1min时读数，测试温度25±0.5℃）
NF T 76—102	液体胶粘剂的Brook field粘度测定	旋转粘度计法（没有恒温标准的情况下，测试温度23±2℃）

转子旋转而引起误差，须规定转子旋转的时间。

（1）仪器设备　旋转粘度计的测量误差小于±0.5%（可用Brook field型旋转粘度计、国产NJD-2型旋转粘度计）。超级恒温槽的温度波动范围小于±0.5℃。所用温度计为0～100℃，分度0.1℃。用直径6～7cm，高度不低于11cm的容器或附在旋转粘度计上的容器。

（2）试样要求　试样应均匀无气泡并有足够数量，贮于盖紧的容器中。

（3）试验步骤　视试样粘度大小，选用适宜的转子及转速，使读数在刻度盘的20～80%范围内。将转子垂直浸入试样中，使液面至液面的液位标线（有保护者应装上）。将测试容器中的试样和转子恒温至25±0.5℃，并保持试样温度均匀。读出转子旋转1min（±2s）时的指示数值。测高粘度试样时，旋转2min（±2s）时读数。

（4）试验结果　按仪器要求计算，试验结果取两次平行试验数值的平均值。

如产品标准对试验温度另有规定，则按产品标准的规定执行。

测试方法详见GB2794—81《胶粘剂粘度测定方法（旋转粘度计法）》，对胶浆粘度的测试方法详见HG4—1470—82。

2．固体含量测试方法

固体含量（又称不挥发分）与粘度是很有相关的一项指标，也是与胶粘剂涂布工艺参数有关的一项重要的指标，所以在胶粘剂生产过程中是一个重要的指标。固体含量是胶粘剂在一定温度下加热后剩余物重量与试样的比值，以百分数表示。测定方法国内、外均采用烘箱法，但干燥温度与干燥时间不同。由于国内胶粘剂品种繁多，故测定时干燥温度是以胶粘剂中溶剂的沸点来划分的。

（1）仪器设备　鼓风恒温烘箱，温度计0～150℃（分度2℃）；称量容器（直径10mm，边高25mm的称量瓶或铝箔皿）；天平（感量为0.001g）；玻璃干燥器（用变色硅胶或无水氯化钙作干燥剂）；红外线灯（250W）。

（2）试验温度　以丙酮、乙酸乙酯、乙醇等作溶剂者为80±2℃；以甲苯、汽油等作溶剂者为110±2℃。

（3）试验步骤　称取1～1.5g胶粘剂试样，置于干燥洁净的称量容器中。将容器置于通风橱中，用红外灯加热（控制灯下温度不超过试验温度），干燥至试样不流动后，放入已

按试验温度调好的鼓风恒温烘箱内加热1.5h取出。放入干燥器中，冷却至室温，称重。然后再次将试样放入鼓风恒温烘箱内加热半小时，取出，放入干燥器中冷却至室温。称重。试验至两次称重的重量差不大于0.01g为止（全部称量准确至0.001g）。

（4）试验结果　固体含量（%）x按下式计算：

$$x=\frac{G_1}{G}\times 100 \qquad (12\text{-}11\text{-}1)$$

式中　G_1——干燥后试样的重量，g；

G——干燥前试样的重量，g。

试验结果取两次平行试验数值的平均值。两次平行试验数值之差应不大于1%。

试验方法详见GB2793—81，本试验方法适合于含沸点为56～120℃有机溶剂的胶粘剂中的固体含量的测定（不包括以水为溶剂的胶粘剂）。

有特殊要求的胶粘剂，例如在木材工业中大量使用的合成树脂胶粘剂、酚醛、脲醛、三聚氰胺甲醛树脂和聚乙酸乙烯酯树脂等液体胶粘剂，由于生产过程与橡胶型胶粘剂的生产过程不一样，所以工艺参数控制点就不一样，其各主要参数控制的试验方法就会不一致，各自都有一定的试验方法，对胶粘剂的质量进行控制。对于这些品种的胶粘剂都有相应的部颁（行业）标准的试验方法，在本节中不作详细介绍。

（三）胶粘剂贮存期和适用期的试验方法

胶粘剂的贮存期和适用期的试验方法，适用于贮存期较短的胶粘剂和具有较短工作寿命的胶粘剂。

1．胶粘剂贮存期的试验方法

胶粘剂的贮存期是指胶粘剂在规定条件下贮存后，仍能保持其操作性能和规定强度的存放时间。可通过测定胶粘剂贮存前、贮存后的胶粘剂粘度变化情况，或测定胶粘剂贮存前、贮存后的任何一种胶接强度的变化情况来获得胶粘剂的贮存期。通常以测定粘度的方法较为方便。具体的试验方法可见GB7751—87。

2．胶粘剂适用期的试验方法

胶粘剂的适用期（又称工作寿命）是配制后的胶粘剂能维持其可用性的时间。适用于双组分和多组分类型的胶粘剂。测定方法是通过胶粘剂的粘度，任何一种粘接强度的测定来确定胶粘剂在规定条件下的适用期。具体的测定方法见GB7123—86。

二、胶粘剂粘接强度试验方法

胶粘剂粘接性能试验可分为标准试验、模拟试验、使用试验三种。标准试验是目前最常用的方法，并且能较快地对胶粘剂作出选择和评价。在标准试验中，影响粘接强度的因素，除了胶粘剂本身的组成、粘度外，还有试样的制备、制备试样时的粘接工艺过程（一般包括涂胶、晾置、叠合、固化等工序）的影响，尤其对粘接强度影响较大的是胶层的厚度，所以标准试样的制备是很重要的环节。另一个重要因素是被粘物材料的性质影响，因为同一种胶粘剂对不同材料的粘接强度是各不相同的。对于粘接强度的指标（粘接接头主要受力情况）而言：当胶粘剂用于粘接橡胶或橡胶与纤维、其它非金属材料时，主要考虑剥离强度；当胶粘剂用于橡胶与金属粘接时，不仅要考虑剥离强度，还要考虑到拉伸强度；当胶粘剂用于金属之间的粘接时，除要考虑剥离强度的角度情况（或各种形式的剥离强度）外，还要考虑拉伸剪切强度和拉伸强度；木材之间的粘接，主要考虑压缩剪切强度，3层胶合板是以拉伸强度为主，并

按粘接件使用场合的环境情况而定，还可分为干强度和湿强度两种来表示粘接件的性能。下面就胶接头受力的情况，介绍评价胶粘剂性能常用的几项标准试验方法。

（一）硫化橡胶与织物粘接强度的试验方法

1．硫化橡胶与织物粘接强度的试验方法

本测定方法是规定了用剥离方法测定分离以橡胶粘接的两层织物或一层织物一层橡胶的界面所需的力，此力即为剥离力。在单位剥离面宽度上承受的平均力即为剥离强度，单位为kN/m。本测定方法适用于粘接层近似平面或内径大于19mm（包括19mm）的圆柱形样品，不适用于粘着、粘接而急剧弯曲、表面极不规则或内径小于19mm的圆柱形样品，也不适用于其它特殊试验要求的样品。

（1）试样制备　试样为长方形，有效宽度为10.0±0.2mm、25.0±0.5mm及50.0±0.5mm 3种，有效剥离长度一般不小于70mm，并在试样的一端先剥开约30mm长的裂口。粘接部件中厚度最小的一层应能保证试验时不被扯断，并能正常传递剥离时所需的力，若试样过厚、过硬应适当减薄，以保证试验时试样的剥离线尽可能地接近夹持试样条的轴线平面（剥离角度接近180°）。试样应严格按照一定的切取方向切取，如试样由帘布层组成，为防止剥离时乱线，允许在试样标准宽度以外增加了±0.5mm的附加宽度，并在试验前将附加宽度分离。

（2）试验步骤　调整拉力机，使下夹持器运动速度为100±10mm/min。安装剥离夹持器，使两夹持器的夹持面处于剥离力轴线的同一平面上，以保证剥离时试样不发生扭曲现象。把试样被剥开的一端分别夹持在夹持器中，使剥离面向着操作者。开动机器进行剥离试验，剥离时胶应倒向一侧，如有显著撕胶或乱线时，可用刀具辅助纠正，但不能因用刀具纠正而严重影响试验结果下降。剥离时应连续记录剥离力，记录曲线图的总长度不得小于100mm，若受产品限制允许略低于这个数字。

（3）试验结果　试样粘接强度有下面几种计算方法。

a．是在剥离曲线中部50%区域内按照从小到大的顺序列出全部峰值，则前一半较小峰值的平均值即为试样粘接强度。若剥离曲线近似直线无峰可取时，则取删节线与“曲线”的两交点和此两交点间中点共3个点值的算术平均值。

b．用精确到0.1cm²的平面求积仪，求出剥离曲线中部50%区域内的面积。测量图形底线长度的测量尺应精确到0.5mm。然后按式（12-11-2）计算粘接强度Q：

$$Q = C \times \frac{S}{L \cdot b} \qquad (12\text{-}11\text{-}2)$$

式中　$\dot{S}$——图形面积，cm²；

b——试验前的试样宽度，cm；

L——图形底线长度，cm；

C——图形上单位高度所代表的负荷量，kN。

不同宽度试样的试验结果不能对比。

本剥离试验方法在橡胶行业中应用得很广泛，如胶管（层间）、胶带，只要是橡胶与织物粘接都可用本标准试验方法进行对橡胶产品的质量控制。具体测定方法见GB532—82。

2．橡胶与织物帘线粘接强度的试验方法

本标准试验方法是将帘线两端按规定长度埋在胶条中，测定单根帘线沿轴向从胶条中抽出时所需的力，所测的性能是作用于帘线与橡胶界面上的剪切力，单位为kN。两端的胶

条与中间连接的帘线构成试样形似字母“H”。所以本标准试验方法简称为“H”抽出法。

（1）试样制备　试样制备时，帘线要直，放在胶条上并和胶条垂直。每根帘线间的距离为20mm，在帘线上再放一层胶条，合成模型，放入平板硫化机对试样进行硫化。试样硫化时，每根帘线应施加张力50±1g，硫化和试验之间的停放时间至少为16h，最多不超过4个星期。试样形状和尺寸见图12-11-1，试样尺寸由模型尺寸公差来控制。

（2）试验步骤　调整拉力试验机活动夹持器的移动速度为300mm/min，夹持器见图12-11-2。将试样装上夹持器，使两个夹持器的抽出缝隙在一条直线上，进行试验。并记录帘线从橡胶中抽出时的最大负荷。

（3）试验结果　代表同一样品性能的试样为30个取算术平均值，精确到一位小数。

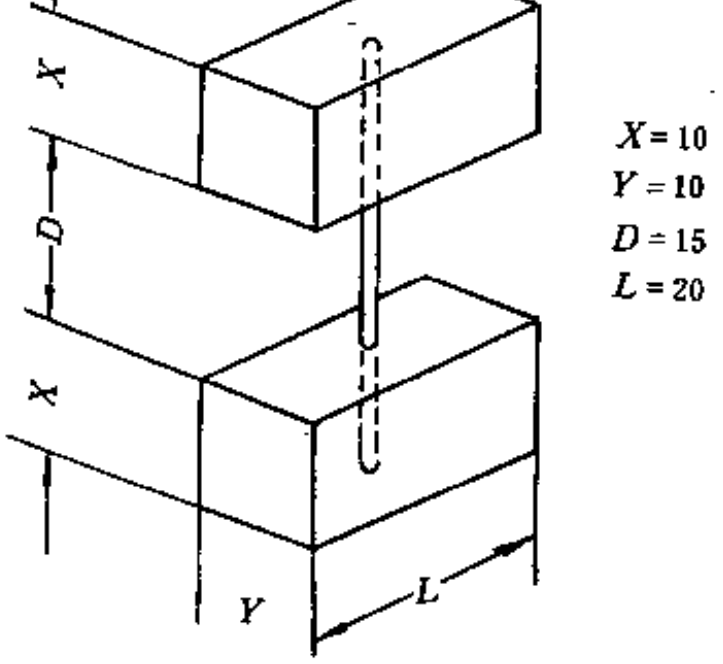


图 12-11-1　“H”抽出法试样形状和尺寸

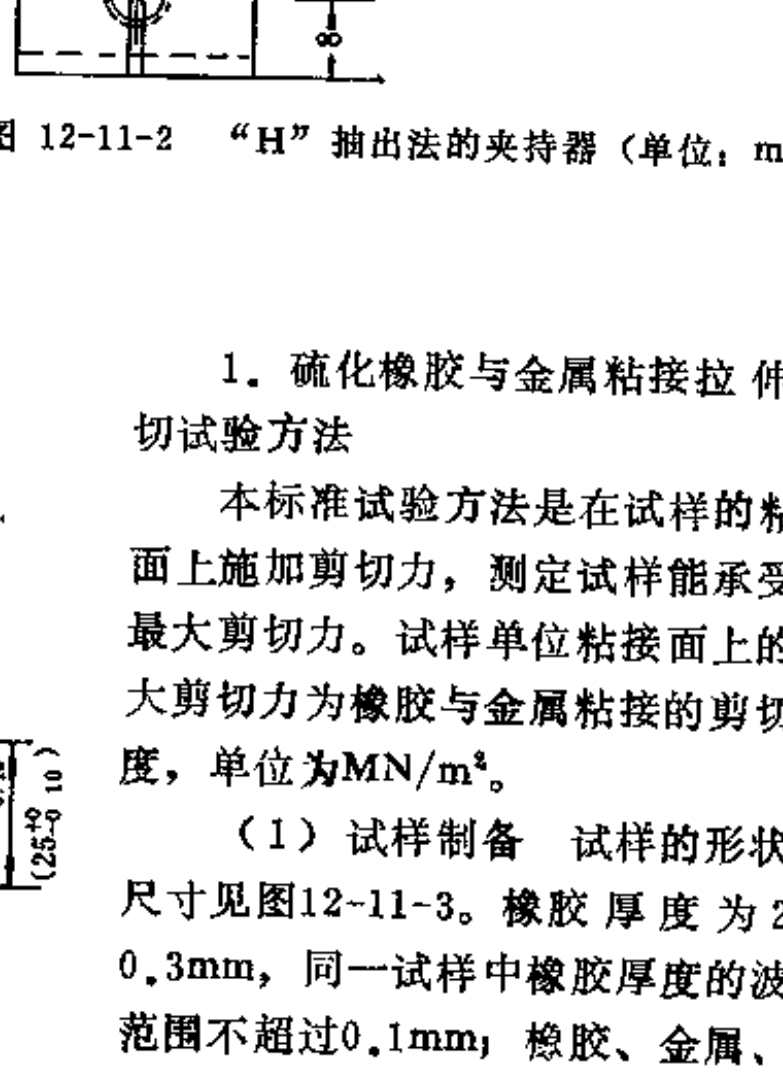


图 12-11-2　“H”抽出法的夹持器（单位：mm）

具体的测定方法详见GB2942—82。

（二）硫化橡胶与金属粘接强度的试验方法

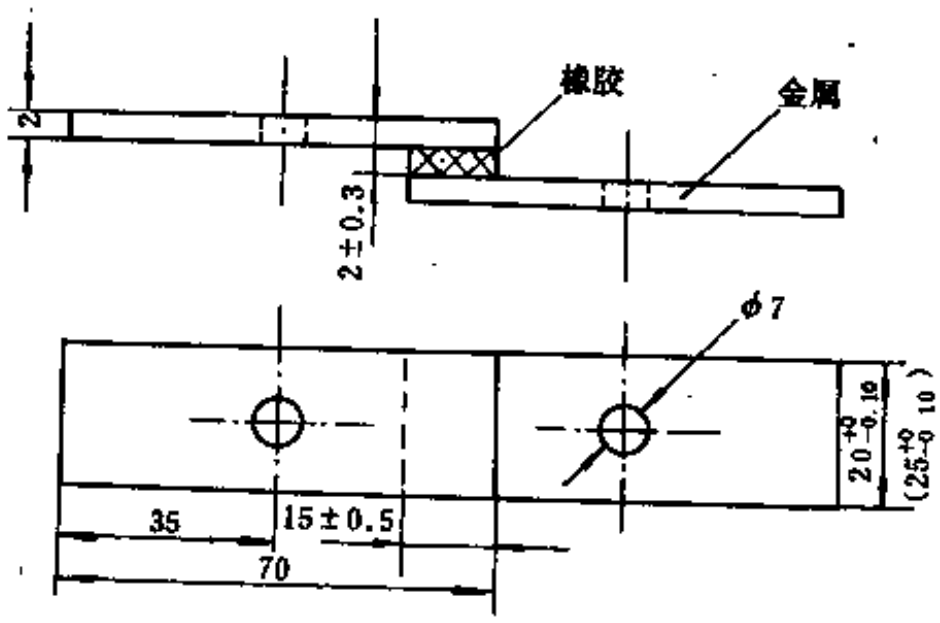


图 12-11-3　硫化橡胶与金属粘接剪切强度的试样形状和尺寸

1．硫化橡胶与金属粘接拉伸剪切试验方法

本标准试验方法是在试样的粘接面上施加剪切力，测定试样能承受的最大剪切力。试样单位粘接面上的最大剪切力为橡胶与金属粘接的剪切强度，单位为MN/m^2。

（1）试样制备　试样的形状和尺寸见图12-11-3。橡胶厚度为2±0.3mm，同一试样中橡胶厚度的波动范围不超过0.1mm，橡胶、金属、胶粘剂的种类和型号，粘接面的表面处

理，粘接条件如压力、温度、时间等均按粘接工艺规程进行；试样表面应平整；不允许有弯曲、翘曲、歪斜等变形，粘接面的错位不应大于0.2mm。试样粘接面外的余胶应清除。试样可用橡胶与金属模型硫化后直接粘接，也可以采用胶粘剂粘接。从试样制备到试验的最短时时为16 h，最长时间为一个月。

（2）试验步骤　用量具测量试样粘接面的长度和宽度，把试样装在上、下夹持器上，开动试验机，使下夹持器以50±5mm/min的速度下降，直至橡胶与金属完全剪切破坏，记下最高负荷。

（3）试验结果　橡胶与金属胶接的剪切强度τ按式（12-11-3）计算：

$$\tau = \frac{P}{B \cdot L} \tag{12-11-3}$$

式中　τ——橡胶与金属粘接的剪切强度，MN/m^2；

P——试样剪切破坏时的最高负荷，MN；

B——试样粘接面的宽度，m；

L——试样粘接面的长度，m。

代表同一性能的试样数量不应少于5个，取剪切强度的算术平均值为试验结果。但不同宽度的试样，其试验结果不能对比；不同试验温度下进行的试验，其试验结果也不能对比。

具体的试验方法详见HG4—853—81。

2．硫化橡胶与金属粘接剥离强度的试验方法

本标准试验方法是以180°的分离角剥离试样，测定橡胶与金属剥离时所需的力。试样单位宽度上所能承受的平均剥离力为橡胶与金属粘接的剥离强度，单位为kN/m。

（1）试样的制备　试样在规定条件下制备，试样中，橡胶与金属可以是硫化后直接粘接，也可以采用胶粘剂进行粘接。橡胶、金属、胶粘剂的种类和型号，粘接面的表面处理，粘接条件如温度、压力、时间等均按粘接工艺规程进行试样的制备。

试样应平整，粘接面的错位不应大于0.2mm，试样粘接面外的余胶应清除。为了防止在试验时橡胶部分伸长变形，在硫化橡胶时，在橡胶外面贴一层细布。试样的形状和尺寸见图12-11-4。从试样制备到试验的最短时间为16 h，最长时间为一个月。

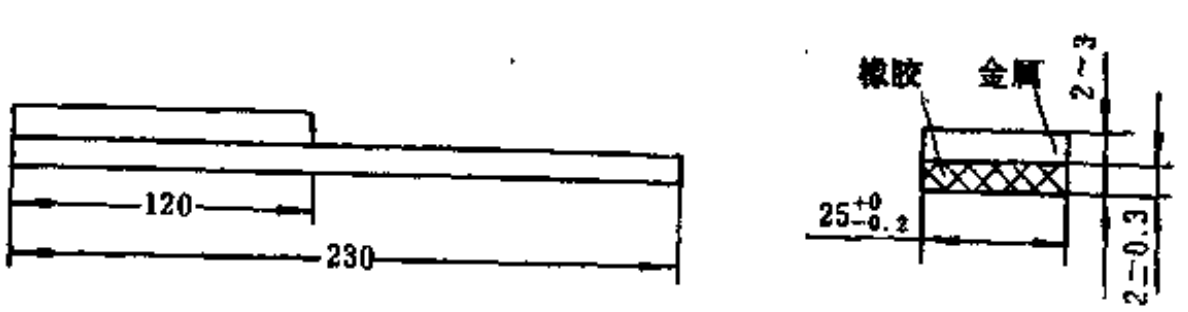


图 12-11-4　硫化橡胶与金属粘接剥离强度的试样形状和尺寸（单位：mm）

（2）试验步骤　在试样的橡胶长端先用刀剥开约2cm，将金属板垂直夹在上夹持器中，把橡胶翻下垂直夹在下夹持器中，并使剥离面向着操作者；开动试验机，使下夹持器以100±5mm/min的速度下降，180°的分离角剥离试样，有效剥离长度应在70mm以上，同时，在试验记录装置上绘出剥离时负荷曲线。在试验过程中，金属板不应产生变化，如发现部分扯胶，在橡胶与金属的粘接面处可用刀分割后继续试验，如多次出现扯胶，则说明粘接强度大于橡胶强度，可停止试验。

（3）试验结果　橡胶与金属粘接的剥离强度σ_b按式（12-11-4）计算：

$$\sigma_b = C\frac{S}{B \cdot L} \qquad (12\text{-}11\text{-}4)$$

式中 σ_b——橡胶与金属胶接的剥离强度，kN/m；

S——有效剥离长度内所记录的图形面积，m^2；

B——试样宽度，m；

C——剥离曲线上负荷坐标单位长度所代表的负荷，kN/m；

L——有效剥离长度，m。

用精度为0.1cm^2的平面求积仪计算有效剥离面积S，用精度为0.5mm的尺测量有效剥离长度L，以等高线法计算平均剥离强度时，等高线的精度不应低于1mm。

代表同一性能的试样数量不应少于5个。取平均剥离强度的算术平均值为试验结果，取值偏差为±15%，取舍后的试样数不应少于原试样的60%。贴布与不贴布的试样其试验结果不能对比；不同温度下进行的试验，其试验结果也不能对比。

具体的试验方法可详见HG4—854—81。

3．硫化橡胶与金属粘接强度的试验方法

本标准试验方法是在试样的粘接面上施加均匀垂直的拉力，测定试样破坏的最大力。试样单位面积上最大力为橡胶与金属粘接强度。其单位为MPa。本测定方法适用于在规定条件下制备的橡胶与两个平行金属面粘接的试样。

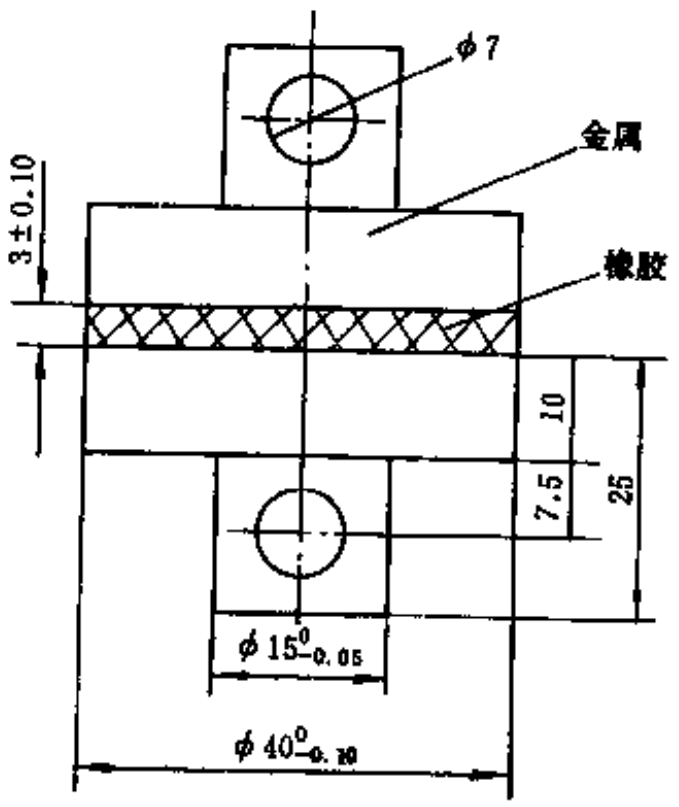


图 12-11-5 硫化橡胶与金属粘接强度的试样形状和尺寸（单位：mm）

（1）试样的制备 试样可以经过橡胶与金属在模型中直接硫化粘接成；也可以用胶粘剂将金属和橡胶粘接而成，橡胶、金属、胶粘剂的种类和牌号，粘接面的表面处理，粘接条件如温度、压力、时间等均按粘接工艺规程进行。当试样是经过直接硫化成的，硫化橡胶边缘超出金属边缘0.04mm，当试样是用已硫化橡胶与金属用胶粘剂粘接而成时，硫化橡胶边缘可超出金属边缘约0.1mm。试样数量不少于5个。试样的形状和尺寸见图12-11-5。试样中橡胶厚度为3±0.10mm。

（2）试验步骤 将试样装在上、下夹持器上，开动试验机使下夹持器以50±5mm/min的速度下降，直至试样完全破坏为止，记录试样破坏的最大力和破坏类型。

（3）试验结果 橡胶与金属粘接强度按式（12-11-5）计算：

$$\sigma = \frac{P}{S} \qquad (12\text{-}11\text{-}5)$$

式中 σ——橡胶与金属粘接强度，MPa；

P——试样破坏的最大力，MN；

S——试样粘接面积，m^2。

试验结果以粘接强度的算术平均值、最高值、最低值表示，取3位有效数字。

具体试验方法详见GB11211—89。本标准试验方法是等效采用ISO 814—86。

4．硫化橡胶与金属粘接强度的试验方法（单板法）

本标准试验方法是通过测定使粘接（粘着）金属表面的橡胶产生剥离所需的力，剥离角度为90°，橡胶的宽度和厚度确定在规定的范围内，单位为kN/m。本方法是测定橡胶粘接在一块金属板上的橡胶与金属粘接件的粘接强度方法。适用于在试验室里按标准条件制备的试样，其测定结果可为胶料研究、检验和制造方法提供有用的数据。

（1）试样的制备　标准的试样应是由与一条状金属板面有25mm见方粘接面积的橡胶条组成。橡胶条在试验区间的厚度为6.0±0.1mm，宽度为25.0±0.1mm，长度为125mm；金属板的尺寸应是1.5±0.1mm厚，25.0±0.1mm宽，60±1mm长。使橡胶25mm长和25.0±0.5mm宽的粘接面积近似地处于金属板条中心位置，试样的形状和尺寸见图12-11-6。硫化试样可使用多试样模型和单试样模型，如果试样是由同一种胶料和同一类型的胶粘剂，可采用多试样模型。一般试样应采用5个试样试验。

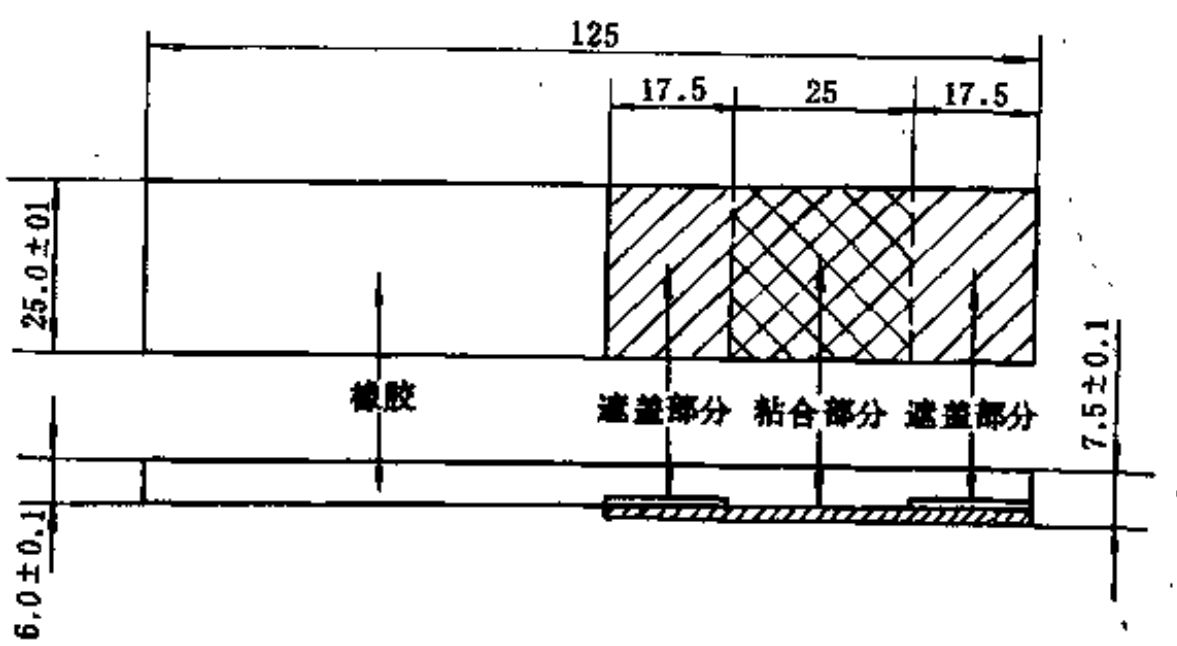


图 12-11-6　单板法的试样形状和尺寸（单位：mm）

（2）试验步骤　将试样对准中心安放在如图12-11-7所示的夹持器上，使剥离的一面向着操作者。在施加负荷前，用锋利的刀将金属板上的橡胶割开约1.5mm的一段距离。把橡胶试样安放在夹持器中，然后使下夹持器以50±5mm/min的速度运行，直至完全剥离。记录剥离25mm这段距离所需的最大力。在试验过程中，当橡胶倾于撕裂时，操作者应随时割开金属上的橡胶。

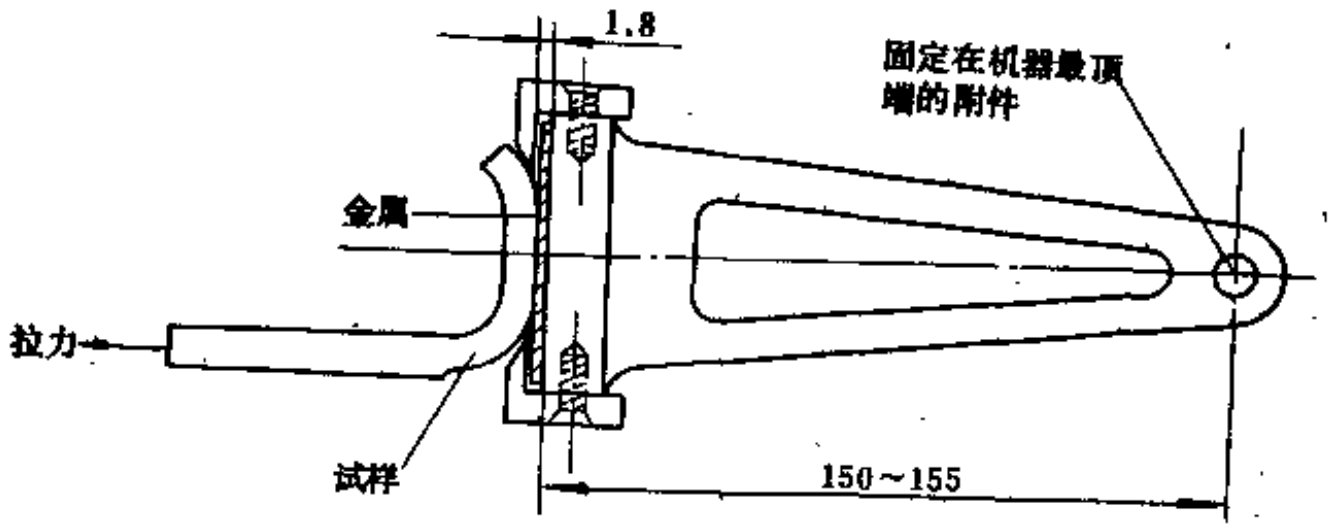


图 12-11-7　单板法的上夹持器和试样安放的位置

（3）试验的结果　橡胶与金属胶接的90°剥离强度σ按式（12-11-6)计算：

$$\sigma = \frac{F}{b} \tag{12-11-6}$$

式中　σ——橡胶与金属粘接的90°剥离强度，kN/m；

F——剥离曲线上最大剥离力，N；

b——试样宽度，mm。

试样个数不应少于5个，取其平均值、最大值、最小值。同时，还应表示出试样破坏形式：R表示橡胶部分的破坏；RC表示橡胶和胶粘剂之间破坏；CP表示胶粘剂内聚破坏；M表示金属和胶粘剂之间的破坏。

具体测定方法可详见GB7760—87。本国家标准等效采用ISO 813—1974。

5．硫化橡胶与金属粘接强度的试验方法（圆锥形件法）

本试验方法适用于在标准条件下实验室中制备试样，为粘接系统及其组件如胶浆、胶粘剂或特殊的粘料配合以及制作方法等发展和控制生产提供数据。但不适用模量高、横截面尺寸小和刚度低的刚性材料。

（1）试样的制备　试样由一个圆柱形橡胶与两块圆锥形端面的刚性材料粘接组成。由于试样采用了特殊的几何形状，因面应力集中在圆锥的顶端，所以大多数破坏是发生在橡胶与锥形件之间的界面处。

橡胶圆柱和刚性体圆柱部分的直径为25±0.5mm，两圆锥顶端之间的距离为12.0±1mm，锥顶的半角为45±1°。顶尖倒圆半径不得大于0.8mm，每个刚性体圆柱部分的长度不应小于5mm，面且末端应加工成便于和试验机的夹持器相装配。锥形端面要经喷砂处理。在制备试样期间，要防止在橡胶和刚性部件的胶接面上沾染灰尘、水分和外来杂质。组装时不要用手触及处理过的锥形表面，仅在锥形面上涂布胶粘剂。在规定的时间、温度、压力等条件下均按相应的工艺规程要求进行。试样的形状和尺寸见图12-11-8。试样数量不应少于5个。

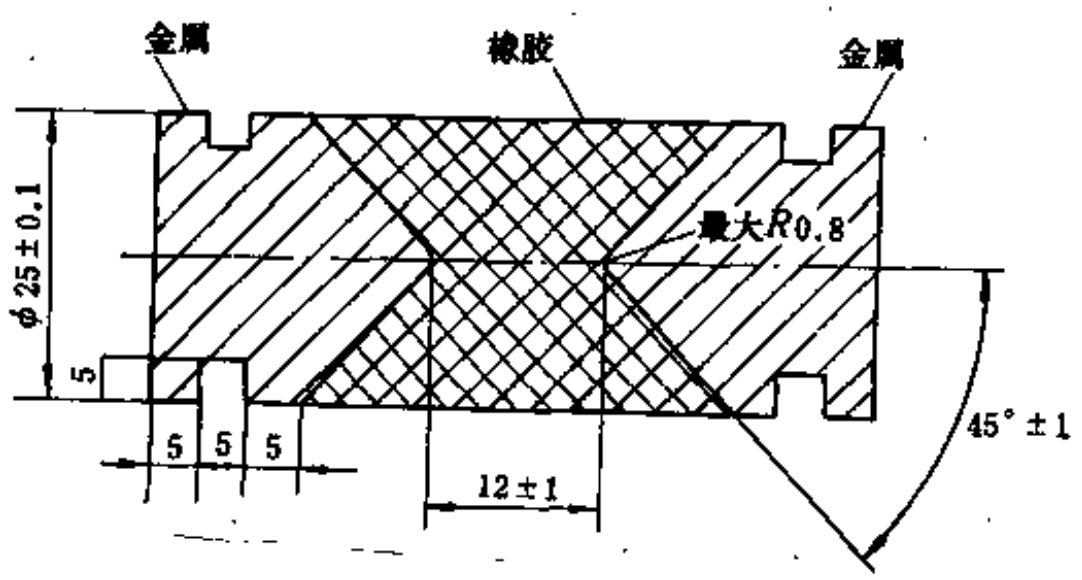


图 12-11-8　圆锥形件法试样的形状和尺寸（单位：mm）

（2）试验步骤　将试样装到试验机的夹持器上，使夹持器以50±5mm/min的速度运行，直至试样破坏为止，记录最大拉力值。同时检查试样胶接面破坏情况。

（3）试验结果　试样破坏时所需要的最大拉力值即为粘接强度，其单位为N。

试样破坏类型可用符号表示，表示方法与单板法相同。

刚性件可重复使用，但锥尖倒圆半径不得大于0.8mm，以免影响试验结果的重现性。

具体的试验方法可详见GB7761—87。本国家标准等效采用国际 标 准ISO 5600—1979。

6．硫化橡胶与金属粘接的试验方法（四板剪切法）

本标准试验方法是测量标准尺寸粘接（粘着）体产生破坏所需的力。该粘接体由对称放置并粘接到4块平行刚性板上的4片平行的橡胶片组成。本试验方法主要适用于试验室中在标准条件下制备的试样，它可为橡胶胶料的研究和控制、粘 接 剪 切 元 件 的 制 造 方 法提供数据。

（1）试样的制备　标准试样包括四片同样的橡胶片，其厚度为4±0.1mm，宽度为20±0.1mm，长度为25±0.1mm，它们的两个最大相对面各与同样宽 度 和 适当长度四块刚性板偶合面相粘接，得到一个对称的双夹层排列结构。在每块中板的悬出端钻有通孔，从而使它能够装配到相应的夹持器中。刚性板的厚度为5$^{0}_{-0.1}$mm。在试样制备过程中，要避免外露的橡胶和金属表面沾污尘土、水分及外来杂质。装配时不要用手接触处理过的表面。按规定的工艺条件在一定的模型中进行硫化成标准试样。试样的形状和尺寸见 图 12-11-9。一般同一性能的试样取5个。

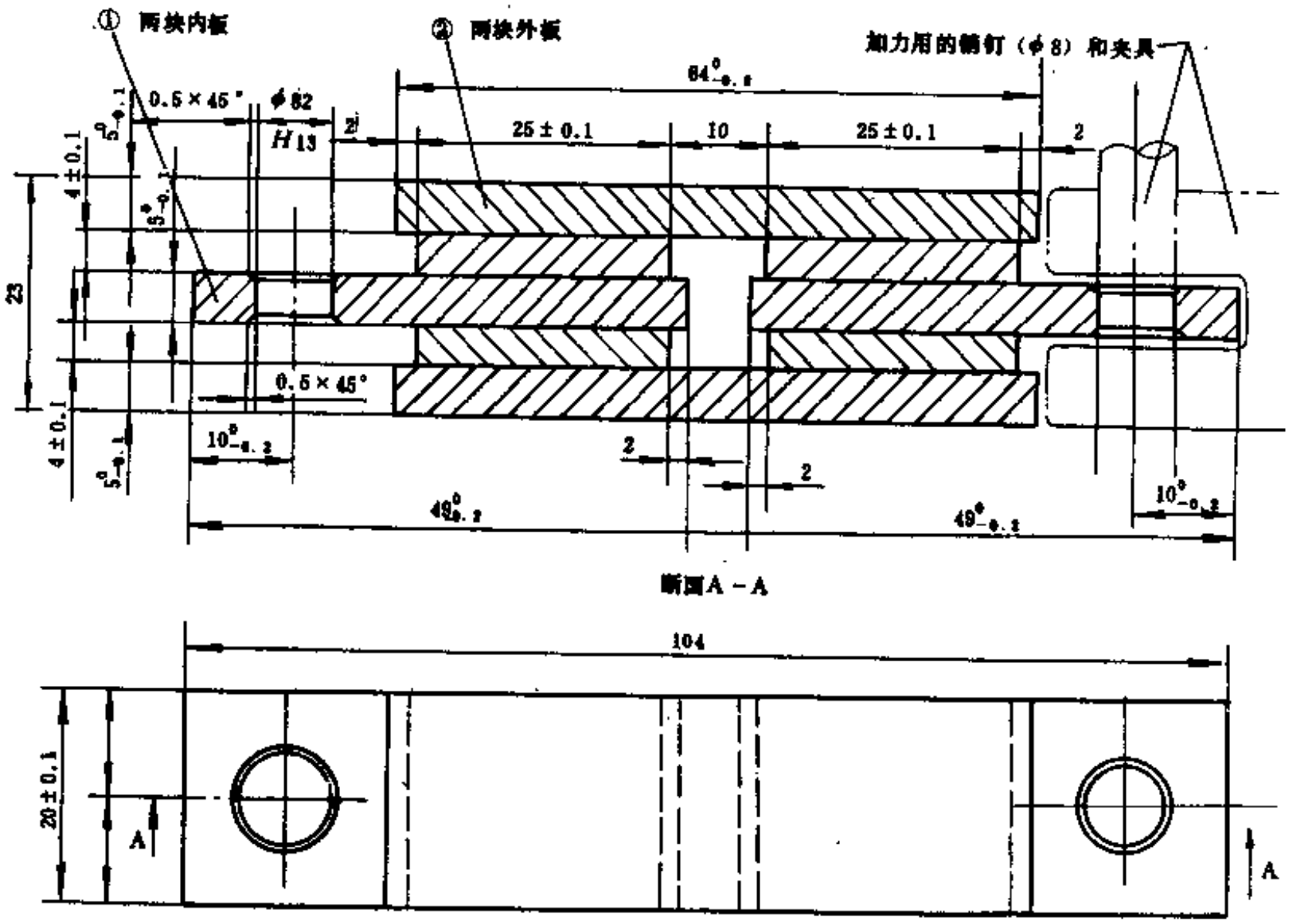


图 12-11-9　四板剪切法的试样形状和尺寸（单位，mm）

（2）试验步骤　将停放后的试样装到试验机上，夹持 器 以50±5mm/min的速度平稳地增加拉力，直至试样破坏，记录最大拉力。

（3）试验结果　橡胶与金属的粘接强度可以式（12-11-7）计算

$$\sigma = \frac{F}{S} \qquad (12\text{-}11\text{-}7)$$

式中 σ——橡胶与金属的粘接强度，N/m^2；

F——试样破坏时的最大拉力，kN；

S——刚性板上一个夹层的总粘接面积，m^2。

具体的试验方法可详见国际标准ISO 1747—1976。

三、密封胶粘剂（密封胶、密封剂、腻子）的试验方法

广义地讲，凡是防止内部气体或液体的泄漏，防止外部灰尘、水分等的侵入，以及防止机械振动、冲击损伤或达到隔音隔热作用等，均属于密封。密封所用的材料，除有垫片、密封环等具有固定形状的密封材料外，还有无固定形状的液体密封材料如膏状的密封胶粘剂（又称为密封胶或腻子）是一种高性能的液体聚合物密封材料。主要有：①橡胶型的天然橡胶、聚硫橡胶、硅橡胶、聚氨酯橡胶、氯丁橡胶、丁基橡胶等；②树脂型的环氧树脂、不饱和聚酯树脂、酚醛树脂、聚丙烯酸酯等两大类。橡胶型密封胶又分硫化与不硫化两种类型。

对密封胶性能的评价除考核其外观、密度、不挥发分、粘接力（又称粘附力）、流动性（流淌性）等指标外；还有根据使用的环境而定的耐介质试验和耐热性能等测试，一般都采用试验室的标准测试方法。

（一）橡胶密封胶的试验方法

1．橡胶密封胶的柔软度试验方法

本试验方法是将密封胶试样放在塑度计上测量压缩到原高的50%所需的时间，单位为s。

密封胶的试样形状和尺寸，试样为边长20±1mm的正立方体。

具体的试验测定方法可详见HG 6—1260—79。

2．橡胶密封胶耐热试验方法

本标准试验方法是将橡胶密封胶的试样放入规定温度的有自动控制温度的干燥箱中，经过一定时间后，观察密封胶试样的变化情况。一是观察试样流散情况；二是用钢尺测量每个试样的最高点和最低点，取其算术平均值，然后再取3个试样的算术平均值表示试验的结果。

密封胶试样的形状和尺寸，试样为边长20±1mm的正立方体。

具体的试验测定方法见HG 6—1261—79。

3．橡胶密封胶耐寒试验方法

本标准试验方法是将橡胶密封胶试样放入规定的低温中，经过一定时间后，弯曲180°，观察试样有无断裂现象。以试样是否断裂来表示试验结果。代表每一试验密封胶性能的试样数量不应少于2个，其中一个有断裂现象时，即为断裂。

密封胶试样形状为长70～80mm，直径6±1mm的圆柱体。制备试样时密封胶中间卷入一根线，以供悬挂。密封胶应在室温（23±5℃）下停放24 h后，才能制备试样。

具体的试验测定方法见HG 6—1262—79。

4．橡胶密封胶与金属粘接强度的试验方法

本标准试验方法是将橡胶密封胶粘接在金属片上，在试验机上进行拉伸剪切试验，并计算其剪切强度。

（1）试样的制备　从硬铝或合金铝经清理和除油后的金属薄板上制取长为100mm、宽为25mm、厚度为2～2.5mm的金属片6块以上备用。

将在23±5℃下停放24h以后的密封胶涂在备用的金属片上，密封胶的粘接面长75mm、宽25mm、厚度稍大于1.0mm，具体的尺寸和形状见图12-11-10。然后再将两块金属片压合起来，除掉金属片边缘多余的密封胶，即为试验用的试样。

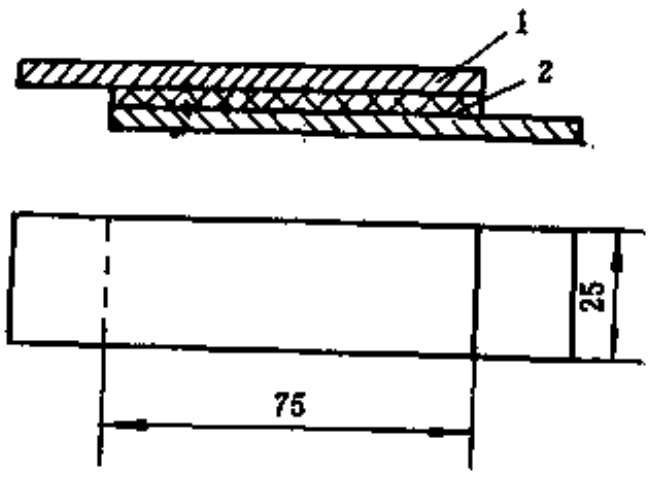


图 12-11-10 密封胶与金属剪切强度的试样形状和尺寸（单位：mm）
1—金属片；2—密封胶（腻子）

（2）试验步骤 试样经23±5℃温度下停放15min后，于2h内在拉力试验机上进行剪切试验，试验时下夹持器的下降速度为200±10mm/min，直至试样破坏为止，并记录其最大负荷值。

（3）试验结果 密封胶与金属剪切强度σ（N/cm²）按式（12-11-8）计算：

$$\sigma = \frac{P}{b \cdot L} \tag{12-11-8}$$

式中 σ——密封胶与金属的剪切强度，N/cm²；

P——密封胶与金属剪切时的最大负荷，N；

L——试样粘接面的长度，cm；

b——试样粘接面的宽度，cm。

代表每一试验性能的密封胶试样不得少于3个，取其算术平均值，允许偏差±15%。

具体标准试验方法见HG6—1263—79。

5．橡胶密封胶耐介质试验方法

本试验方法是将试样浸泡在所需介质中，在规定温度下，经过一定时间，测量试样重要的变化。

（1）试样的制备 橡胶密封胶（腻子）的试样长、宽各为20mm，厚度为1.0～1.5mm。

（2）试验仪器 精度为0.001g的天平。

（3）试验步骤 橡胶密封胶在23±5℃下停放24h后，将密封胶压成扁平状，放在玻璃纸上摊开，使其厚度为1.0～1.5mm。并用专用裁刀裁取标准试样。称量耐介质前的重量，并做好标记。然后平放于珐琅盘或其它容器中，使有玻璃纸的一面接触珐琅盘底面，倒入介质时应防止把试样冲乱，盖好珐琅盖。到达规定时间，取出试样，用适宜的介质进行洗涤，然后把试样放在滤纸吸干，停放30min进行称量。在易挥发介质中进行介质试验时，试样不需要洗涤，用滤纸吸干放在培养皿中经3min停放后立即称量。

（4）试验结果 橡胶密封胶的重量变化率Δg可按式（12-11-9）计算：

$$\Delta g = \frac{g_2 - g_1}{g_2} \times 100 \tag{12-11-9}$$

式中 Δg——橡胶密封胶的重量变化率，%；

g_1——试样耐介质前重量，g；

g_2——试样耐介质后重量，g。

表示每种试验性能的试样不得少于3个，取其算术平均值，试验结果在正、负8%以内者，其允许绝对偏差为±0.8；在正、负8%以外者，其允许相对偏差为±10%。

具体标准试验方法可见HG 6—1264—79。

（二）不硫化橡胶密封胶性能试验方法

不硫化橡胶密封胶是一种以聚合物为基料的不含溶剂和硫化剂的材料，它有长期塑性并具有一定的粘附性，通称密封胶。

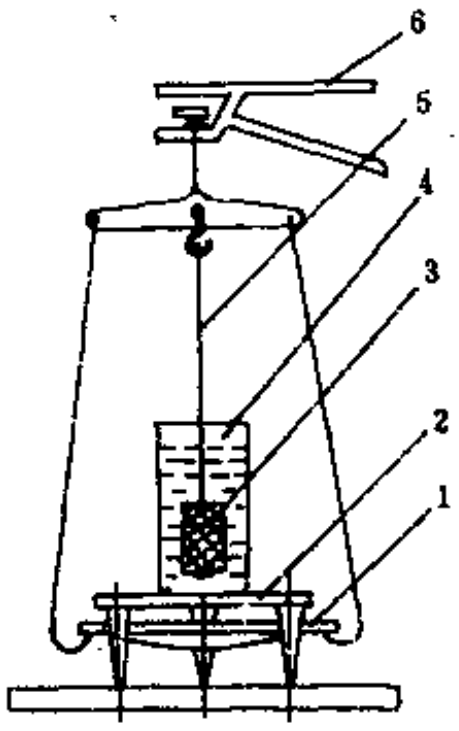


图 12-11-11 烧杯支架与天平盘的位置图

1—天平盘；2—支架；3—试样；4—烧杯；5—吊环；6—天平梁臂

1．密度试验方法

根据阿基米德原理来对不硫化密封胶的密度进行试验。

（1）仪器 见图12-11-11。

（2）试样制备

a．铝合金试片 铝试片尺寸为长57mm、宽25mm、厚 0.8mm。并用清洁的汽油清洗两遍后，立即用清洁的脱脂棉或纱布擦干；然后用丙酮或乙酸乙酯清洗并立即用清洁的脱脂棉或纱布擦干备用。

b．在铝试片的表面上刮涂密封胶，使密封胶长为50mm、宽 为25mm、厚 为 1.5mm，即为试样。

（3）试验步骤 称铝试片在空气中的质量m_1，精确至0.001g；把支架放置在天平盘和吊篮的空档中，彼此不能有任何部位的接触。再把盛有蒸馏水的烧杯放置在支架上，用毛发制的吊环挂在天平吊钩上，称铝试片在蒸馏水中的质量m_1，精确至0.001g。称量完的铝金属试片应进行干燥。

按制备试样的要求，在铝试片上涂刮好密封胶，并称试样在空气中 的 质 量m_3，精确至0.001g；把支架放置在天平盘和吊篮的空档中，彼此不能有任何部位的接触。再把盛有蒸馏水的烧杯放置在支架上，用毛发制的吊环挂在天平吊钩上，称试样在蒸馏 水 中 的质量m_4，精确至0.001g。

铝试片和试样在蒸馏水中称量时，其表面不应附有气泡，蒸馏水的温度应同铝试片、试样的温度相一致。

（4）试验结果 不硫化橡胶密封胶的密度应按式（12-11-10）计算：

$$\rho=\frac{m_3-m_1}{(m_3-m_1)-(m_4-m_2)} \qquad (12\text{-}11\text{-}10)$$

式中 ρ——橡胶密封胶的密度，g/cm³；

m_1——金属铝试片在空气中的质量，g；

m_2——金属铝试片在蒸馏水中的质量，g；

m_3——试样在空气中的质量，g；

m_4——试样在蒸馏水中的质量，g。

每次试验应不少于 3 个试样，试验结果取其算术平均值。

具体的标准试验方法可见GJB785.2—89。

2．针入度、锥入度试验方法

本标准试验方法是以针入度测定器测定橡胶密封剂的一项性能。以穿入试样的深度来表

示针入度值。本试验方法适用于测定针入度小于350、锥入度小于400的不硫化橡胶密封胶的针入度、锥入度。

（1）设备和器材

a．针入度测定器　应能调节并保持装置的水平状态，连杆能在无明显摩擦下垂直运动，其质量为47.5±0.05g。表示穿入深度的指示器分度值不大于0.1mm。

b．计时器　针入度测定器上用于释放与制动连杆运动的计时器控制精度不低于±0.1s。

c．标准针　钢质、经淬火并磨光，形状与尺寸如图12-11-12所示，标准针的质量为2.5±0.05 g。

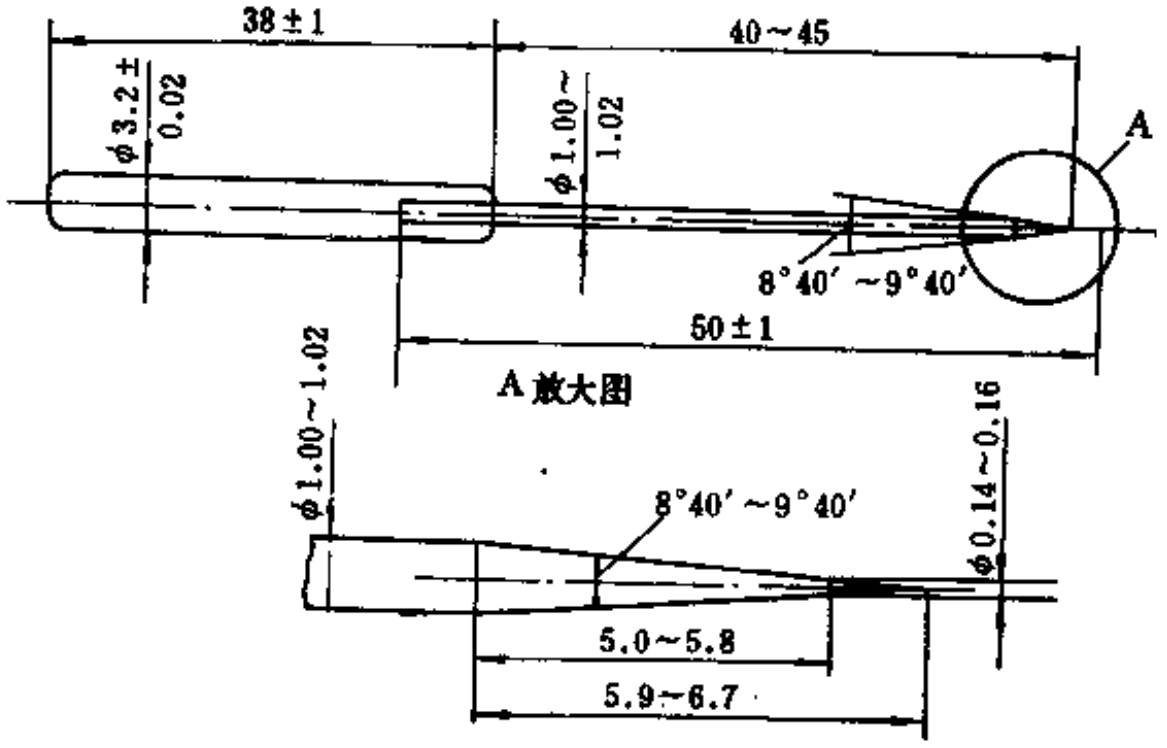


图 12-11-12　针入度标准针的形状和尺寸（单位：mm）

d．标准锥　由表面抛光的黄铜或耐腐蚀钢制的锥体及可拆卸的淬火钢尖组成，形状和尺寸见图12-11-13所示，锥质量为102.5±0.05 g。

e．砝码　可安装在连杆上，质量为50±0.05 g。

f．试样容器　平底金属圆筒。A型内径70mm，深45mm；B型内径76mm，深64mm。

（2）试验步骤　当采用标准针试验时，应选用A型容器；采用标准锥试验时，选用B型容器。将橡胶密封胶试料放入试样容器内捣实，消除内部气泡、刮平表面，然后把装有试样的容器放进25±1℃的恒温水浴（或恒温箱内）内，试料在标准温度下停放不少于 24h，恒温水浴中的液面应低于容器上口边缘 1～2mm。将清

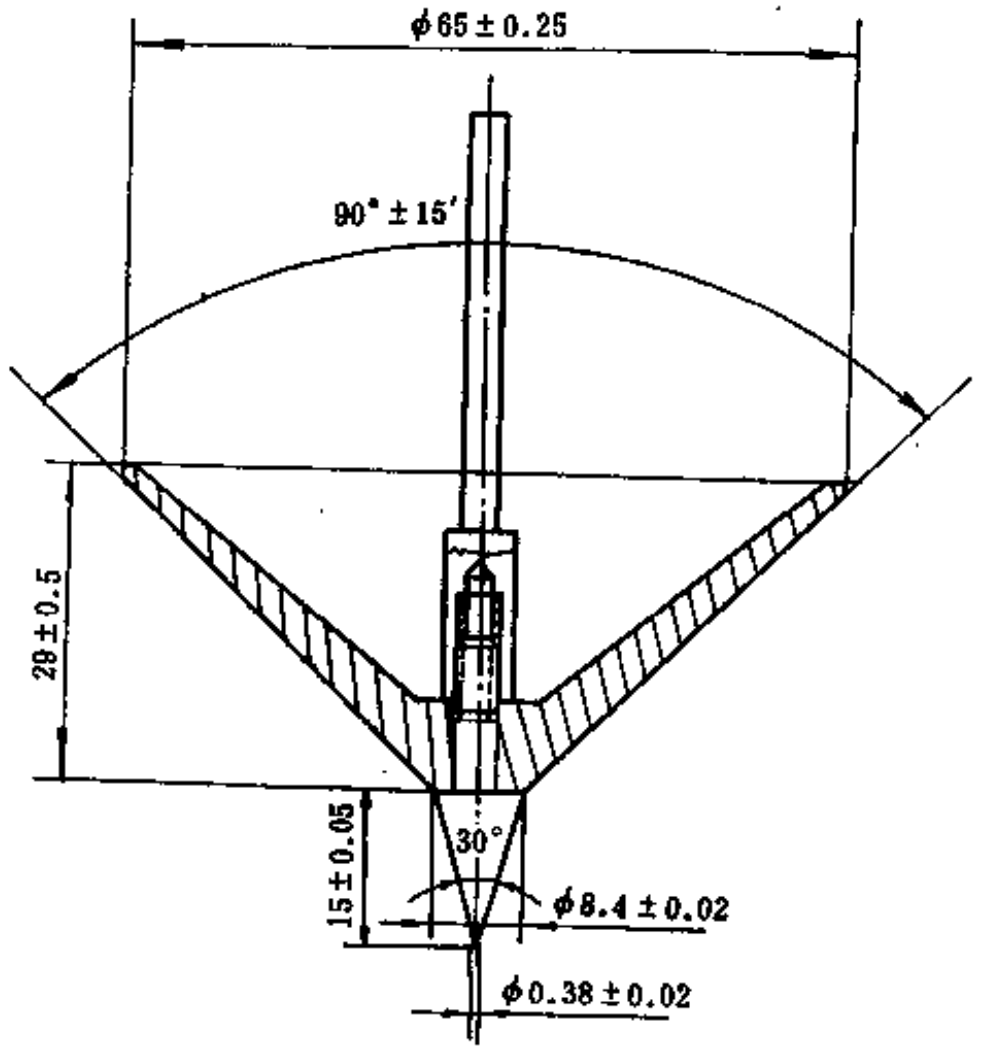


图 12-11-13　锥入度标准锥的形状和尺寸（单位：mm）

洁干燥的标准针(或标准锥)装入针入度测定器的连杆内(如采用标准针还应加装50g砝码)，仔细调节针尖（或锥尖）的高度，使其恰与试样表面刚好接触，然后把读数指示器调到零位。启动控制连杆运动的计时器使连杆下落5.0±0.1s，然后由计时器制动装置自动夹紧连杆停止其运动。从读数指示器上读出其单位为1/10mm的针入度（或锥入度）值。采用标准针时，测量点的相互距离以及与容器边缘距离都不得小于10mm；采用标准锥时，当锥入度大于200时，测量时锥尖应位于容器的中心，该制备试样只能做一次试验。如果锥入度为200或小于200时，则在同一容器中可进行3次试验，3次试验的测量点位置应在相隔120°的3条半径的中点处。每次测量前必须清洁标准针（或标准锥），测定值不少于3个。

（3）试验结果　橡胶密封胶的针入度值（锥入度值）以标准针（标准锥）穿入试样的深度表示，其单位为1/10mm。由算术平均值取至整数表示。测定值中最大值和最小值间的差数不应超过算术平均值的10%。

具体的标准试验方法可见GJB 785.3—89。

3．橡胶密封胶不挥发含量试验方法

本标准试验方法是将橡胶密封胶的试样放入规定条件下的恒温干燥箱中，并称取试样干燥前后的质量，按计算式计算出橡胶密封胶的不挥发物含量。

（1）设备与仪器

控温精度±1℃的电热鼓风干燥箱，感量为0.0001g的分析天平，分度值为1℃的温度计和直径为75mm、高为19mm的铝合金盒。

（2）试验步骤　橡胶密封胶在规定条件下停放24 h后，称取约5～10g的试样于已称取恒重的称量容器的底部，并称取试样质量m_1，精确到0.001g；将试样置于给定温度（由橡胶密封胶规范要求的）的恒温箱中，干燥24 h。然后取出试样，立即放入干燥器内，在标准实验室内放置1h，重新称量m_2。

（3）试验结果　橡胶密封胶的不挥发含量百分数可按式（12-11-11）计算：

$$\text{不挥发物含量}\% = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \times 100 \qquad (12\text{-}11\text{-}11)$$

式中　m——恒重容器的质量，g；

m_1——试验前试样的质量，g；

m_2——试验后试样的质量，g。

每次试验取3个试样，试验结果取算术平均值，计算到4位有效数字，相对误差不大于0.4%。

具体的标准试验方法见GJB 785.4—89。

4．橡胶密封胶的耐燃油试验方法

本标准试验方法是将橡胶密封胶的试样浸泡在所需的介质中，在规定温度下，经过一定时间，测量试样的体积变化度和重量损失率。

（1）设备和材料　燃油试验应在密闭容器中进行，要用控温精度±1℃的电热鼓风干燥箱、感量为0.0001g的分析天平和干燥器。

试片用阳极化处理的LY12铝合金，尺寸为长57mm、宽25mm、厚0.8mm，在试片一端中央离边缘3mm处钻一个ϕ1.5的小孔。

试验介质有RP-1、RP-2、RP-3喷气燃油和3号标准油。

（2）试验步骤　在天平上称出铝试片在空气中质量m_1和水中的质量m_2，都精确到

0.001g，称完后，铝试片进行干燥。在干燥好的铝试片上刮涂密封胶尺寸是长为 50mm、宽为25mm、厚为1.5mm，然后称出试样在空气中质量m_3和水中的质量m_4，都精确到0.001g。

将称量好的试样浸泡入试验容器的介质中、试样之间和试样与容器壁之间均不得相互接触，用于试验的燃油量每个试样不少于30ml。试验容器置于电热鼓风干燥箱中，在 49±1℃下保持25天，然后在71±1℃下保持60h，再在82±1℃下保持6h。将试样转移到室温的试验介质中冷却。

将试样从介质中取出，用滤纸吸干表面，在1h内称出试样在空气中质量m_5和水中的质量m_6都精确到0.001g。试样从介质中移出后，在室温下停放最多不超过24h。将试样置于38±1℃烘箱内保持16h，取出冷却至室温，称出试样在空气中的质量m_7精确至0.001g。

另取同样数量试样进行上述条件下的耐燃试验（不称量），目视检查密封胶与金属试片的粘附性。

（3）试验结果

a．橡胶密封胶的体积变化度　按式（12-11-12）计算：

$$\Delta V = -\frac{(m_4 + m_5) - (m_3 + m_6)}{(m_2 + m_3) - (m_1 + m_4)} \times 100 \qquad (12\text{-}11\text{-}12)$$

式中　ΔV——橡胶密封胶的体积变化度，%；

m_1——铝试片在空气中的重量，g；

m_2——铝试片在水中的重量，g；

m_3——试样浸泡前在空气中的重量，g；

m_4——试样浸泡前在水中的重量，g；

m_5——试样浸泡后在空气中的重量，g；

m_6——试样浸泡后在水中的重量，g。

b．橡胶密封胶的重量损失率　按式（12-11-13）计算：

$$\Delta g = \frac{m_3 - m_7}{m_3 - m_1} \qquad (12\text{-}11\text{-}13)$$

式中　Δg——橡胶密封胶的重量损失率，%；

m_1——试片在空气中的重量，g；

m_3——试样浸泡前在空气中的重量，g；

m_7——试样浸泡后并干燥后在空气中的重量，g。

平行测定的试样不少于 3 个，取算术平均值，其值取至小数点后一位，允许相对误差±10%。

具体的标准试验方法见GJB 785.5—89。

5．橡胶密封胶的粘附试验方法

本标准试验方法是将密封胶的标准试样以均匀速度进行拉伸破坏，计算试样内聚破坏的面积，以内聚破坏面积的百分数来表示试验的结果。

（1）设备　采用材料拉力试验机和试样夹持器（见图12-11-14）。

（2）试样的制备　将铝金属试片经清洗后，把密封胶球置于试片上，按图12-11-15的形状进行叠合，然后将叠合好的试样置于模型中心加压至密封胶层厚度为1.5±0.1mm，即成标准试样，其形状和尺寸如图12-11-15所示，同时除去多余的密封胶。

（3）试验结果　橡胶密封胶的内聚破坏面积的百分数按式（12-11-14）计算：

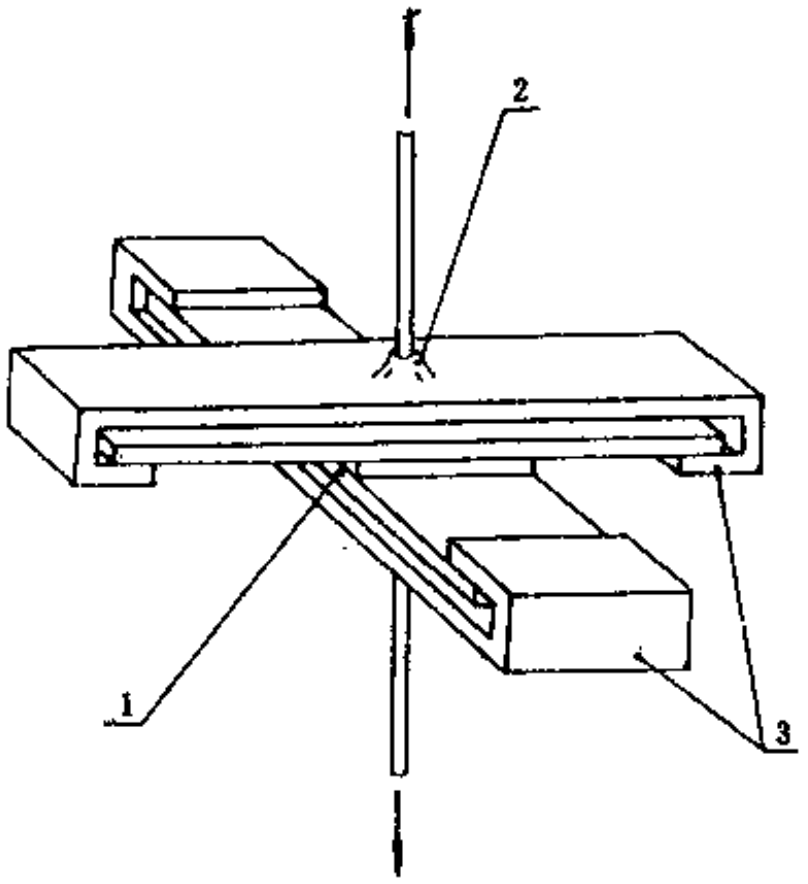


图 12-11-14 橡胶密封胶粘附性试验的夹持器

1—试样；2—万向节头（2处）；3—试样夹持器

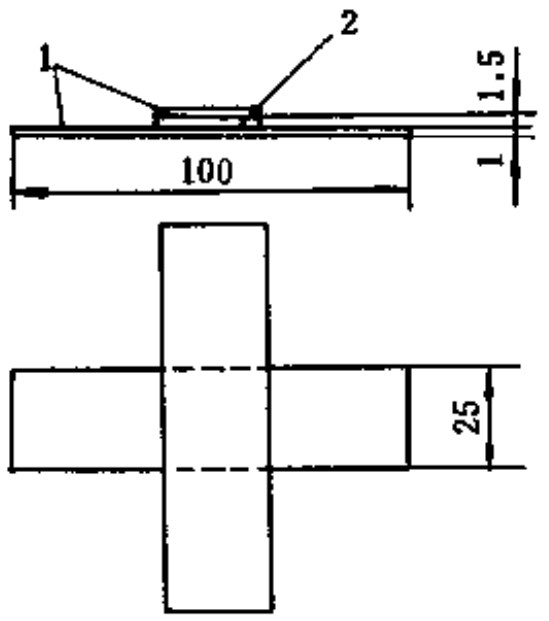


图 12-11-15 橡胶密封胶粘附性试验的试样形状和尺寸（单位：mm）

1—金属铝试片；2—橡胶密封胶

$$\varepsilon = \frac{S}{A} \times 100 \qquad (12\text{-}11\text{-}14)$$

式中 ε——橡胶密封胶内聚破坏面积百分数，%；

S——内聚破坏的面积，mm^2；

A——搭接面积，mm^2。

每组试样不应少于5个，取算术平均值。

具体的标准试验方法见GJB785.6—89。

6．橡胶密封剂腐蚀性试验方法

本标准试验方法是将一金属试片嵌入橡胶密封胶中，在规定条件下进行周期试验。试验结束后，再取出金属试片，检查有无腐蚀现象而得出试验结果的。

（1）设备和器材 用控温精度±1℃的电热干燥箱，玻璃干燥器，直径约为50mm，高约为12mm的玻璃容器，22%甘油水溶液（按重量）等。

（2）金属试片 腐蚀性试验用金属试片尺寸长为25mm、宽为12mm、厚为1mm。试片可采用铝合金LY12CZ（去包铝）、钢GC11（表面镀锌钝化），也可采用镁合金MB8、MB15、ZM5表面氧化，或者其它材料。

（3）试验步骤 金属试片表面用无水酒精清洗；在玻璃容器中装填橡胶密封胶；把清洗后的金属试片嵌入橡胶密封胶中，使金属试片的下表面与容器底部距离约为1.5mm，上表面与橡胶密封胶齐平。将装有试样的容器搁置于内装有22%甘油水溶液的干燥器中（在温度为71℃时，可使干燥器内的相对湿度为95%）。再将装有试样的干燥器置于71±1℃的恒温烘箱中30d±4h（镁合金试验温度按有关密封胶标准确定）。试验周期结束后，将金属试片从橡胶密封胶中取出，用合适的溶剂清洗试片，并且检查有无腐蚀现象，允许有变色现象。

具体的标准试验方法见GJB 785.7—89。

7．橡胶密封胶低温柔曲性试验方法

本标准试验方法是将橡胶密封胶试样插入低温柔曲性试验装置的槽口中，在规定条件下进行试验，待试验结束，目视检查橡胶密封胶是否出现裂纹或粘附丧失来表示试验结果。

（1）设备　低温恒温箱的温度范围－70～0℃，控温精度为±3℃，低温恒温箱应足以放置低温柔曲性试验装置。低温柔曲性试验装置见图12-11-16所示。

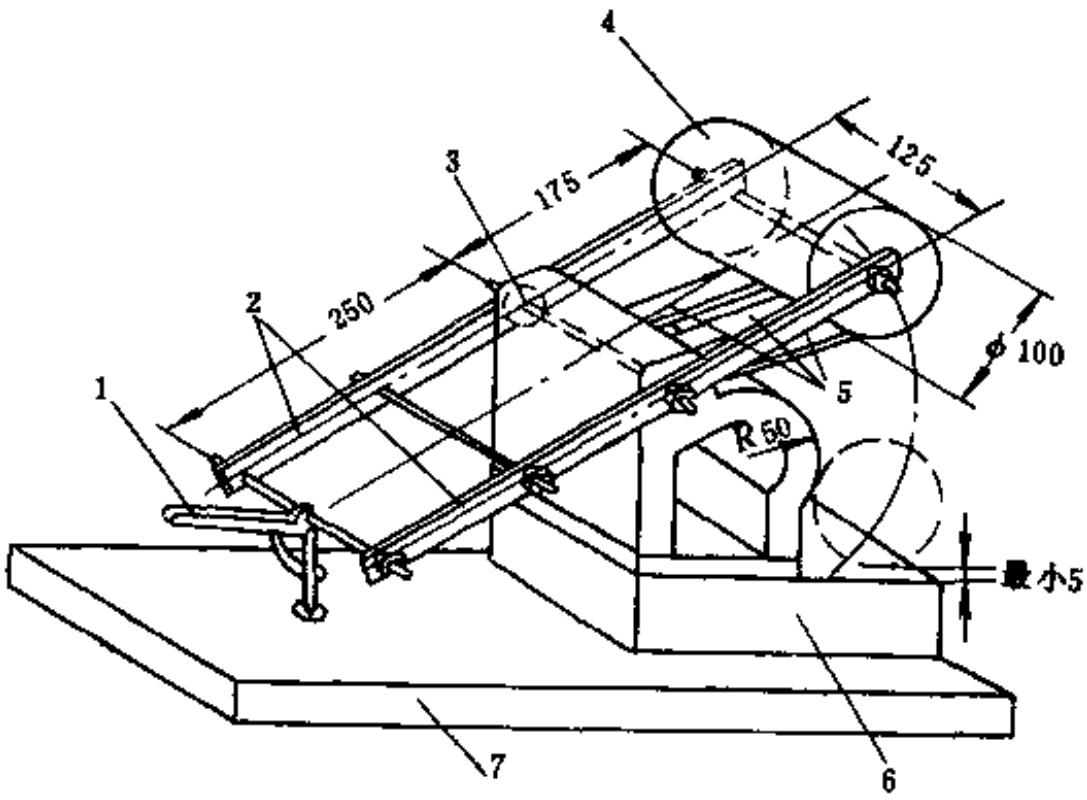


图 12-11-16　橡胶密封胶低温柔曲性试验装置（单位：mm）

1—锁紧机构；2—杠杆机构；3—滚动轴承；4—重锤；5—试样；6—曲面部件；7—平台

（2）试样制备　制取长为150mm、宽为25mm、厚为0.8mm的LY12CZ铝合金试片，并清洗表面，在试片上涂上橡胶密封胶，密封胶厚度为1.5mm，试样的形状和尺寸见图12-11-17所示。将足够量的橡胶密封胶涂覆于每一试片上，然后敷上防粘膜，置于压机上加压，形成100×25×1.5mm的橡胶密封胶层（见图12-11-17），取出试样，除去边缘多余的密封剂和防粘膜。每次制取试样应不少于3个。

（3）试验步骤　将试样插入低温柔曲性试验装置的槽口中（如图12-11-16所示），使试样无密封胶的一面同装置的曲面轮廓接触。将置于低温箱中的柔曲性装置和试样的温度降低至给定温度，保温2h。保温结束后，松开装置固定钩，使试样绕柔曲性试验装置的曲面弯曲，然后取下试样，目视检查橡胶密封胶是否出现裂纹或粘附丧失。如密封剂层和试片脱开时，应重复试验一次。

具体标准试验方法见GJB 785.8—89。

8．橡胶密封胶流动性试验方法

本标准试验方法是将橡胶密封胶制成标准试样，置于规定温度的燥箱中，经过规定时间后，取出试样，观察试样的变化情况，并用卡尺测量试样的高度。按高度变化百分数来表示试验的结果。

（1）设备和器材

控温精度为±1℃的电热干燥箱，精度为0.05mm的卡尺，玻璃板或平板和由两个直角形光滑模块组成的成型模具如图12-11-18所示。

（2）试样制备　橡胶密封胶在规定的条件下停放后粗制成样坯，置于玻璃板上，并用

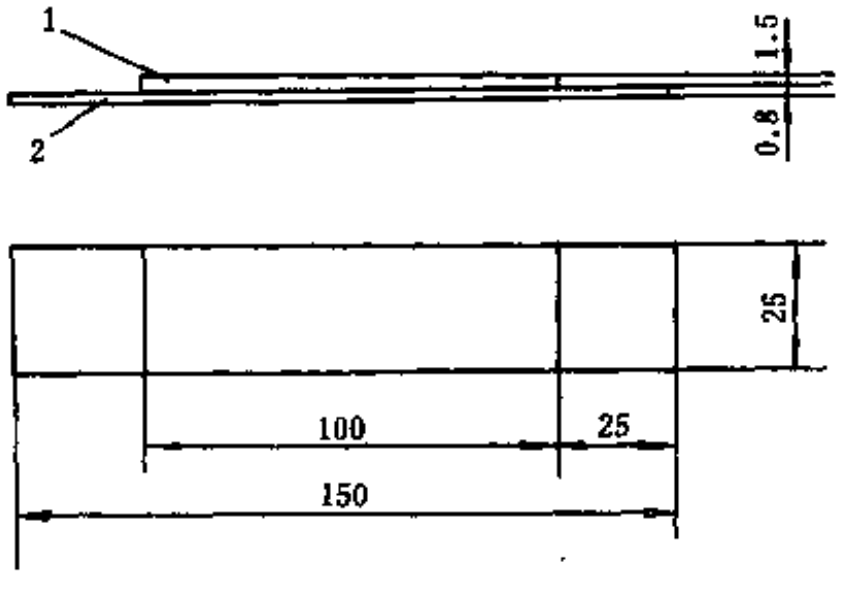


图 12-11-17 橡胶密封胶柔曲性试验的试样形状和尺寸（单位：mm）

1—橡胶密封胶层；2—试片

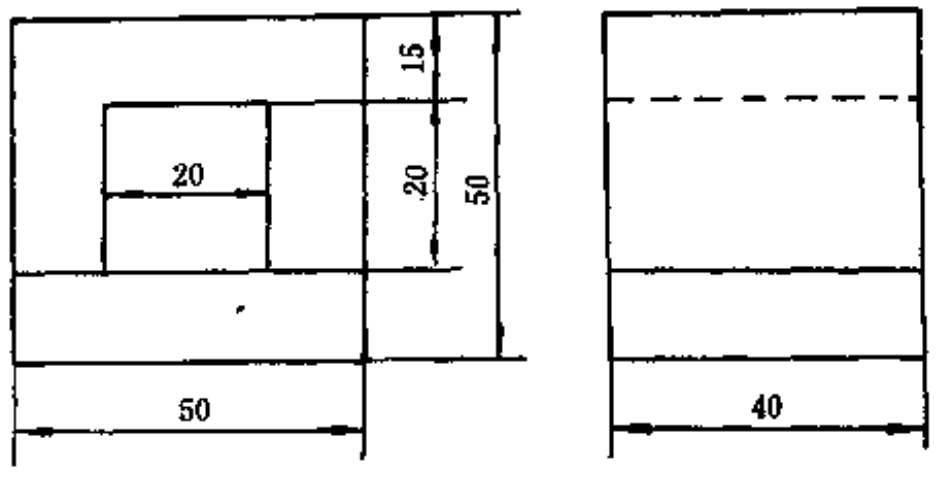


图 12-11-18 橡胶密封剂的成形模具（单位：mm）

成形模具精制成试样规格$l \times b \times h$，为 20×20×40mm，各边长度允许公差为 ±1mm。模具成形时手指压力适当，应尽量避免空气的裹入，若试样粘模，可采用少许的滑石粉。用卡尺测量精制试样的尺寸读数精确到0.1mm，并记录。每次制取的试样应不少于 3 个。

（3）试验步骤 将竖直于平板上的长方体试样放入规定温度的干燥箱中，经过规定时间后，取出试样，观察试样的变化情况，并用卡尺测量试样的高度，读数精确到0.1mm，记录每个试样的最高点和最低点，取其算术平均值，平行试验应不少于 3 个。当试样发生明显倾斜时，应重复试验。如仍明显倾斜，应在试验报告中说明。

（4）试验结果 橡胶密封胶的高度变化百分数按式（12-11-15）计算：

$$A = \frac{h_0 - h}{h_0} \times 100 \qquad (12\text{-}11\text{-}15)$$

式中 A——橡胶密封胶的高度变化百分数，%；

h_0——试样初始高度，mm；

h——试验后试样高度平均值，mm。

具体的标准试验方法见GJB 785.9—89。

（三）橡胶密封胶的发展与试验方法

随着尖端科学技术的发展，必须研制新型的、高性能的液体聚合物，相应地也会出现一些专用的高分子密封材料，为了检验这些新密封材料的各项性能，就必须建立相适合的性能试验方法。目前，在国际上，橡胶型密封胶在建筑行业上应用的面和量都是比较广和大的。

主要参考文献

〔1〕王孟钟 黄应昌主编，《胶粘剂应用手册》，化学工业出版社，1987年。
〔2〕王润珩等汇编，“胶粘技术实例汇编”，1985年。
〔3〕天津胶粘剂研究会，“天津市胶粘剂研究会首届年会论文汇编”，1页，1982年。
〔4〕胶乳工业，（1），24（1986）。
〔5〕上海橡胶制品研究所，橡胶型胶粘剂专辑，（1），52（1990）。
〔6〕西北橡胶工业制品研究所，橡胶参考资料，（4），3（1990）。
〔7〕杨玉昆编，《合成胶粘剂》，672页，科学出版社，1980年。
〔8〕襄樊市科技情报所，粘接，（5），28（1989）。
〔9〕襄樊市科技情报所，粘接，（1），1（1991）。

〔10〕接着，18（5），200（1974）。
〔11〕接着，18（8），401（1974）。
〔12〕接着，19（2），62（1974）。
〔13〕橡胶译丛，（6），34～35（1987）。
〔14〕郭延福编，《实用化学化工配方手册》（日用、医药、化工），287页，吉林科学技术出版社，1986年。
〔15〕W.霍夫曼著，王梦蛟　曾泽新　汪岳新合译，《橡胶硫化与硫化配合剂》，331页，石油化学工业出版社，1975年。
〔16〕谢世杰，氯磺化聚乙烯加工和应用，22～77，上海橡胶制品研究所，1967年。
〔17〕R.C.T.，54（2）197～210（1981）。
〔18〕US3849386
〔19〕JP71 7466
〔20〕Гармонов, И.В., "Синтетический Каучук", стр.552～573, Химия, Л., 1976.
〔21〕Каучук и резина,（1），26～29（1977）。
〔22〕〔英〕海普本著，阎家宾译，《聚氨酯弹性体》，2～4页，辽宁科学技术出版社，1986年。
〔23〕汪锡安等编，《粘合剂及其应用》，上海科技文献出版社，1981年。
〔24〕廖明等，橡胶工业，（9），26（1980）。
〔25〕JP 8105851.
〔26〕Irving, I.Skeist, "Handbook of Adhesives", Second Edition, p.255, p.631, p.633, Van Nostrand Reinhold Co., N.Y., 1977.
〔27〕W.诺尔著，中科院兰州化学物理研究所三室译，《硅珙化学与工艺学》（下），科学出版社，1978年。
〔28〕Adhesives Age,（11），23（1971）。
〔29〕粘着，高分子接着别册，（8），116（1971）。
〔30〕日本接着協会誌，16（1），16（1980）。
〔31〕BP 1144163（1969）。
〔32〕日特公　昭47—18346.
〔33〕US 3507844（1940）。
〔34〕Каучук и резина,（3），12～14（1971）。
〔35〕日本公开特许　78—55344.
〔36〕US 4394205（1982）。
〔37〕US 4395462（1983）。
〔38〕上海有机氟材料研究所情报室编，《含氟材料》（涂料译文集（一）），1984年6月。（内部发行）
〔39〕李士学等主编，《胶粘剂制备及应用》，80～82页，天津科学技术出版社，1984年。
〔40〕Donatas, Satas ed., "Handbook of Pressure-sensitive Adhesive Technology", pp.276～297, Van Nostrand Reinhold Co., N.Y., 1982.

第十三章　橡胶型密封胶

第一节　概　　述

广义地讲，凡是在建筑、土木、汽车、飞机、船舶、电器等工业部门中能防止内部气体或液体泄漏，防止外部灰尘、水气等侵入，以及吸收冲击以防止机械振动、冲击损伤或达到隔音隔热作用等材料，统属于密封材料。密封材料的典型应用范围为建筑物的玻璃安装，幕墙嵌缝，公路、机场跑道伸缩接缝，建筑物的伸缩接缝，以及排污水管道的接缝填充，机械设备的静密封和动密封，线圈的绝缘防潮和半导体元件的封装等。

密封材料具有两个最基本的功能：填充构形复杂且不利施工的间隙；填充后起密封作用。

密封材料主要有3种类型：①无固定形状的膏状或油灰状的液体密封胶；②非硫化型的密封胶带；③硫化型的橡胶垫片或密封环等。

油灰状密封胶主要以膏状或油灰状胶粘剂的形式供应和使用。它们是由聚合物材料、增粘剂、填料以及溶剂和其它填充剂组分经一定混合工序而制得的。所使用的聚合物可用室温下呈液体状的液态聚合物，也可使用固体或粘度很高的聚合物，通过用增塑溶液，少量溶剂溶解、高温熔融、或制备水乳浊液或胶乳，获得容易挤出的膏状物。

非硫化预定型胶带、胶条和胶绳，也是市场供应和常用的一类密封材料。由聚合物材料配合填料、增塑剂和增粘剂等各种必要组分制得，这类密封胶具有一定的内聚力，足以在供货和使用时保持一定的形状而不需要支撑物，使用方便。

硫化型密封材料主要以环、管、条等各种形式的硫化橡胶制品供应和使用。

本章叙述的密封材料主要是油灰膏状密封胶和非硫化预定型密封胶带。

一、密封胶分类

通常胶粘剂与密封胶是相互交错的，因为胶粘剂与密封胶有许多相同特性，尤其是在配方和制造工艺等方面。它们的区别仅在于用途方而的不同，密封胶主要用于隔离，而胶粘剂主要用于粘接，因此在配方和产品性能的侧重点上也就有所不同。

密封胶的品种类型很多。为了满足同一使用要求，可以使用几种不同基材的密封胶；而同一种基材又能制造出不同性能和不同用途的密封胶。从密封胶的制造者和使用者两方而考虑，密封胶有多种分类方法。一般可按下述四种方式进行分类。

（一）按密封胶基材分类

（1）橡胶型　此类密封胶以橡胶为基材。常用橡胶有聚硫橡胶、硅橡胶、聚氨酯橡胶、氯丁橡胶和丁基橡胶等。

（2）树脂型　此类密封胶以树脂为基材。常用树脂有环氧树脂、不饱和聚酯树脂、酚醛树脂、聚丙烯酸树脂、聚氯乙烯树脂等。

（3）油基型　此类密封胶以油料为基材。常用的油类有各类植物油如亚麻油、蓖麻油和桐油，以及动物油（如鱼油）等。

（二）按密封胶硫化方法分类

（1）湿空气硫化型密封胶　此类密封胶系利用空气中的水分进行硫化。它主要包括单组分的聚氨酯、硅橡胶和聚硫橡胶等。其聚合物基材中含有活性基团，能同空气中的水发生反应，形成交联键，使密封胶硫化成网状结构。聚硫橡胶或硫醚橡胶密封胶中可用氧化剂，如二氧化铅或有机过氧化物进行硫化，使巯基被氧化转变成二硫交联键，形成网状结构。大气中的湿气作为硫化反应中的催化剂，使重金属离子化。

（2）化学硫化型密封胶　双组分的聚氨酯、硅橡胶、聚硫橡胶、氯丁橡胶和环氧树脂密封胶都属于这一类，一般在室温条件下完成硫化。某些单组分的氯磺化聚乙烯和氯丁橡胶密封胶以及聚氯乙烯溶胶糊状密封胶（如汽车用点焊胶），则须在加热条件下经化学反应完成硫化。

（3）热转变型密封胶　用增塑剂分散的聚氯乙烯树脂和含有沥青的橡胶并用的密封胶是两个不同类型的热转变体系。乙烯基树脂增塑体在室温下是液态悬浮体，通过加热转化为固体而硬化；而橡胶-沥青并用密封胶则为热熔性的。

（4）氧化硬化型密封胶　表面干燥的嵌缝或安装玻璃用密封胶主要以干性或半干性植物油或动物油为基材。这类油料可以是精制聚合的、吹制的或化学改性的。用环烷酸钴作催干剂加速表面干燥面内部不硬化；环烷酸铅可使表面和内部都硬化；而环烷酸锰使内部硬化更有效。

（5）溶剂挥发凝固型密封胶　这是以溶剂挥发后无粘性高聚物为基材的密封胶。这一类密封胶主要有丁基橡胶、高分子量聚异丁烯、一定聚合程度的丙烯酸酯、氯磺化聚乙烯以及氯丁橡胶等密封胶。

（6）不干性永久塑性密封胶　此类密封胶通常包括以聚丁烯、中等分子量的聚异丁烯、高粘度的非氧化性粘接料如苯乙烯基油、不干性植物油、吹制半干性油或丁基橡胶为基材的密封胶以及非硫化的预定型胶粘带。

（三）按密封胶形态分类

1．膏状密封胶（低接缝移动）

此类密封胶基本上用于静态接缝中，使用期一般为 2 年或 2 年以上。这类低级别密封胶通常采用 3 种主体材料：油和树脂；聚丁烯；沥青。

所有这些基材的密封胶都可用少量橡胶改性，主要优点是使用方便，价格低；而主要缺点有 3 个：①接缝活动能力有限；②直接暴露在太阳光下使用寿命短（约 5 年），但聚丁烯类仍具有永久粘性；③低结膜类型的密封胶容易污染。

膏状密封胶常用于密封小窗户固定玻璃等。该类密封胶的接缝移动变形量最大为±5%，见表13-1-1。

2．溶剂挥发型密封胶（中等接缝移动）

此类密封胶的接缝移动变形量范围为±5%至±12%，使用寿命至少10年(见表13-1-2)。分成膜或不成膜，有聚丙烯酸类（水基或溶剂基）、氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯和乙烯基胶乳。

水基丙烯酸和乙烯基胶乳不推荐室外使用，而氯磺化聚乙烯橡胶密封胶可在室外长期使用。

溶剂挥发型密封胶的筒包装供应手工操作使用，而大容积罐包装供应大型机械化施工时使用。

表 13-1-1 刀刮级膏状密封胶

主体原材料	油和树脂	聚丁烯	沥青类
主要原材料	油、树脂、填料、干性油、溶剂	聚丁烯、填料、油橡胶	沥青、增塑剂、填料、橡胶
使用方法	刮刀/挤压枪	刮刀/挤压枪	刮刀/挤压枪
硫化或干燥方法	干性油氧化	干性油氧化或永久粘性	不硫化
收缩量	最大25%	最大25%	最大25%

主体原材料	油和树脂	聚丁烯	沥青类
接缝移动变形量	最大±5%	最大±5%	最大±5%
一般使用寿命	最多5a	最多5a	最多5a
耐污染性	好	好	好
油漆能力	好	好	好
价格	低	低	低

表 13-1-2 溶剂挥发型密封胶

组分与性能 \ 密封胶类型	1	2	3
主体原材料	丁基橡胶（结膜和不结膜）聚乙烯、聚异丁烯	丙烯酸（胶乳和溶剂基）、乙烯基胶乳	氯磺化聚乙烯和聚磺化聚乙烯/氯丁橡胶
主要原材料	聚合物、填料、增塑剂、干性油（如果需要）	聚合物、填料、增塑剂、溶剂（如果需要）	聚合物、填料、溶剂、增塑剂、硫化剂
使用方法	挤压枪	挤压枪	挤压枪
硫化或干燥机理	溶剂挥发	溶剂挥发或胶乳干燥	溶剂挥发
硫化速度	适当	适当	适当
收缩	最大20%	大	大

组分与性能 \ 密封胶类型	1	2	3
接缝最大移动变形量	±12%	±12%	±12%
最低使用寿命	10a	10a	10a
耐吸尘及污染	差	好	好
老化后硬度（邵尔A）			
30d	5～15	5～20	10～20
5a	10～20	30～55	30～40
耐候性	好	好	好
低温柔软性	好	好	好
气味	可接受	有时不良	可接受
价格	低～适中	低～适中	低～适中

溶剂挥发型密封胶有两个基本类型：不下垂型和浇注（自流平）型。不下垂型密封胶具有适当稠度，在室温下采用手工或挤压枪施工，在垂直或顶部接缝中使用时不坍塌，仍保持足够的挺性。浇注型密封胶使用挤压枪或泵，直接用于水平的接缝中。

溶剂挥发型密封胶具有价格适中、接缝移动变形量可调节、对不清洁的被粘基材具有良好的粘接性和易操作等优点。由于含有溶剂，密封胶收缩率相对较大（技术条件限制在最大收缩为20%范围内）。施工后仍具有粘性，易被污染。结膜性密封胶，例如氯磺化聚乙烯类型密封胶，在3个月以上就可结膜而硫化。

此类密封胶主要用于包括局部移动接缝（搭接和窄的对接）密封，以及住宅和中等高度建筑物的嵌缝。停车场、人行道、门口可用浇注型密封胶。

3．定型密封胶带（中等接缝密封）

此类密封胶通常制成一定形状的带状，称为预定型胶带。通常采用丁基橡胶为基材。适用于特殊结构，其断面形状有正方形、长方形、圆形和楔形等，某些胶带有时用一根定位绳子嵌入其中心或使用背基垫片，以增加胶带的尺寸稳定性。由于它们软而粘，可在压缩状态下安装和使用，并能制成非弹性、半弹性和弹性等几种类型（见表13-1-3）。

与其它类型密封胶相比，该类密封胶具有许多优点：不需要底胶，容易安装施工；能快速形成密封（不需硫化）；不收缩；具有良好的低温密封结构；良好的耐天候老化性及低温柔软性；较低～适中的价格。它们的不足之处是：要求连续压出和精确的尺寸公差；在某些

表 13-1-3 预定型密封胶带

性能 \ 类型	非弹性	半弹性	弹性
主要原材料	聚丁烯、惰性填料	丁基橡胶同聚丁烯、聚异丁烯并用、惰性填料	交联丁基橡胶同聚丁烯、聚异丁烯并用、惰性填料
贮存期	长	长	长
使用方法	手工操作	手工操作	手工操作
底胶要求	无	无	无
功能性密封结构	直接	直接	直接
收缩	不	不	不
初性 室温	好	好	好
初性 低温	好	好	好

性能 \ 类型	非弹性	半弹性	弹性
接缝最大移动变形量	±5%	±10%	±15%
一般使用寿命	15a	15a	15a
耐尘土污染	尚好	尚好	尚好
硬度（邵尔A）(24℃)			
老化0.5a后	5～10	5～20	10～30
老化5a	5～10	5～20	10～30
抗伸长及压缩	很低	低～中	中～高
耐天候老化	好	好	好
弹性	无	低～中	中
低温柔软性	好	好	好
价格	低～中	低～中	低～中

场合会被污染；为保持挤出和防止蠕变，有时要求垫片。

4．液态弹性体密封胶（高速连续移动）

此类密封胶包括经硫化可形成真正弹性状态的液体聚合物，它们具有承受重复的接缝变形能力。某些聚合物材料的密封胶承受接缝变形量最大可达±25%。

弹性体密封胶所使用的聚合物弹性体包括液体聚硫橡胶、巯端基聚丙烯醚、液体聚氨酯、室温硫化硅橡胶和低分子丁基橡胶等。该类密封胶通常配合成两个组分，使用时将两个组分混合。目前大量市售的单组分湿气硫化的密封胶与双组分密封胶相比，其物理机械性能要低得多。

液态弹性体密封胶使用寿命一般为15～20年。接缝移动范围和使用特性取决于所选基材类型。双组分密封胶比单组分能适应更高的接缝移动变形范围（见表13-1-4）。该类密封胶具有高的粘接力和剪切强度，室温下具有良好柔软性，某些聚合物还具有良好的耐紫外光性能。

液态弹性体密封胶的缺点是价格高，通常情况下需要底胶，双组分密封胶现场混合不方便，硫化时对温度和湿度敏感等。

5．热熔密封胶（热施工密封胶、高接缝移动）

热熔密封胶又叫热施工型密封胶。指以弹性体同热塑性树脂掺合物为基材的密封胶。这类密封胶通常在加热（150～200℃）情况下经一定口型模型直接挤出到接缝中。热施工可改进密封胶对被粘基材的湿润能力，因此对大多数被粘基材具有良好的粘接力。一经放入适当位置，就冷却成型或成膜，成为收缩性很小的坚固的弹性体。

与溶剂挥发型密封胶和定型胶带比较，热施工密封胶具有较高的剪切强度。因为该类密封胶含有热塑性树脂和不硫化弹性体，它们可以填充更多的补强性填充剂和高分子量增塑剂。与之相比，定型胶带要安装，并依次要压缩，并在使用温度下要求胶带具有低模数以便与被粘基材形成紧密粘合。溶剂挥发型密封胶则必须足够软以便能使用中等的压力手动挤压枪施工操作。

热施工密封胶可配制成性能接近于液态弹性体密封胶，比液体弹性体密封胶更为优越的

表 13-1-4 液态弹性体密封胶

密封胶特性	单 组 分	多 组 分	密封胶特性	单 组 分	多 组 分
主体基材	液体聚硫橡胶、硫端基聚丙烯醚、室温硫化硅橡胶、液体聚氨酯	液体聚硫橡胶、液体聚氨酯、室温硫化硅橡胶、低分子丁基橡胶、液醚橡胶、其它专用化合物	老化5a	30～55	20～55
			耐低温伸长	低～高	聚氨酯低～高，其它低～中
其它主要材料	惰性填料、非反应性增塑剂、完整的硫化体系	预聚物、催化剂增塑剂、惰性填料、硫化剂及硫化活性剂	耐高温压缩	聚硫橡胶、硅橡胶为中等，聚氨酯高	聚硫橡胶和聚氨酯由低到高，硅橡胶中，硫醚橡胶低到高
硫化机理	温度和湿度或由湿气或氧化剂引起潜伏硫化剂反应	硫化剂同聚合物的化学反应	弹性	高	高
			耐天候	好	好
			低温柔软性	好	好
收缩	很小	很小	气味	硅橡胶有时不良，其它可接受	可接受
承受接缝最大变形量	±20%	±25%			
			硫化速度	硅橡胶快，其它很慢	快
一般使用寿命	15～25a	10～20a			
耐尘土污染	差	好	使用方法	弹子筒装	计量分装
硬度（邵尔A）（24℃）			价格	高	高
老化1～6个月	20～45	10～45			

是不需要加入硫化剂。热施工密封胶的主体材料主要是异丁烯类聚合物、三元乙丙橡胶和热塑性的苯乙烯嵌段共聚物。它们通常同热塑性树脂如EVA、EEA、聚乙烯、聚酰胺、聚酯等掺合。

热施工密封胶的用途包括中空玻璃密封，电绝缘与密封，汽车的挡风玻璃及后窗安装与密封，可移动汽车房屋和卡车的密封，建筑、预制窗户的密封以及机械设备等的密封。

6．液体密封胶（液体垫圈）

该类密封胶主要用于机械接合面的密封，用以代替固体密封材料即固体垫圈（纸片、石棉、软木和硫化橡胶），以防止机械内部流体从接合面泄漏。该类密封胶通常以高分子材料例如橡胶、树脂等为主体材料，再配以填料及其它组分制成。液体密封胶通常分不干性粘着型、半干性粘弹型、干性附着型和干性可剥型等4类。根据具体使用部位及要求选择。

（四）按密封胶施工后性能分类

1．固化型密封胶

固化型密封胶可分成两种类型：刚性密封胶和柔性密封胶。刚性密封胶硫化或凝固后形成坚硬的固体，很少具有弹性；柔性密封胶在硫化后密封胶具有弹性及柔软性。

（1）刚性密封胶　刚性密封胶或硬化型密封胶的特点是不可弯曲，而且通常接缝不可移动；如若弯曲，密封胶就会断裂。此类密封胶有的品种既起密封作用又起胶接作用，其代表性密封胶是以环氧树脂、聚酯树脂、聚丙烯酸酯、聚酰胺和聚乙酸乙烯酯等树脂为基材的密封胶。

（2）柔性密封胶　该类密封胶经硫化后保持柔软性。它们一般以橡胶弹性体为基材，柔性变化幅度大，硬度（邵尔A）在10～80范围内。这类密封胶中有些品种是纯橡胶，大多

数具有良好胶粘剂的性能。

2．非固化型密封胶

这类密封胶是软质凝固性的密封胶，施工之后仍保持不干性（增粘剂不断地迁移到表面）状态。通常为膏状，可用刮刀或刷子施用到接缝中，可以配合出许多不同粘度和不同性能的密封胶。

软质凝固性的天然树脂和油基密封胶可以配合成干性和不干性等类型。干性类密封胶其内部仍保持软性，但形成一个保护膜；而非干性密封胶仍保持原来的粘性。

有些不干性密封胶可以制成“胶带”形状，它可以不需要涂底胶就能很容易地揿压到使用位置。

非硬化型密封胶在使用时不涉及到凝固和硫化交联，因此通常不限制其适用期，但由于产品在使用时需要调整其粘度而加入溶剂和稀释剂，如果保存不当，稀释剂挥发会引起密封胶粘度变化。一般说来，非硬化型密封胶无毒，但某些原材料具有不良气味，个别人接触后会引起过敏性反应，限制了其使用范围。

大多数非硬化型密封胶粘度高，必须使用挤出枪或刮刀施工，某些密封胶可稀释到用刷子刷或喷涂。

表13-1-5和表13-1-6分别引出了硬化型和非硬化型密封胶性能。总之，密封胶的分类方法很多，一般可归纳如表13-1-7所示。

表 13-1-5 硬化型密封胶

密封胶基材	密封胶形式	硫化特性	硫化时间与温度范围	活性期 h	使用方法①	备注
		刚性密封胶				
环氧树脂	双组分液态	可室温固化，环氧树脂固化时不释放出烟雾	24℃×1～8h 某些配合要求4～6d，66℃×0.5～3h	1/4～3	GM、K、GP、B	粘度低，触变性、正常情况很脆
改性环氧树脂	聚硫改性双组分液态	室温固化、固化时无烟雾放出	24℃×0.5～8h	1/5～2	GM、GP、K、S	
聚丙烯酸酯	单组分乳液单组分溶剂挥发型，双组分体系		变化范围大，取决于配合及硫化体系		GM、S、B	多作胶粘剂使用，作密封胶使用有限
油基树脂	单组分膏状（腻子及糊料）	热塑性类材料，以溶剂挥发固化	达到标准硬度需24℃×14d	很长	GM、GP、K	容易挤出，达到可测定物理性能需很长时间，收缩率大
沥青	单组分膏状（腻子及糊料）	热塑性材料，通过溶剂挥发固化	24℃×84d	很长	GM、GP、K	容易手工和挤压操作，只有黑色能引起污染，冷流
	双组分流动膏（糊料）	含有催化剂热塑性类	24℃×1～8h	4～8	GM、GP、K、B、S	

续表

密封胶基材	密封胶形式	硫化特性	硫化时间与温度范围	活性期 h	使用方法①	备注
		双组分，化学反应型非刚性（柔性）密封胶				
聚硫橡胶	双组分膏状、多组分膏状	室温硫化、加温硫化可缩短时间	24℃×16～24h	1～6	GM、GP、K、B、S	经济，容易手工操作，关键地方基材要求底胶，性能范围宽，通用密封胶
聚氨酯	双组分液状	弹性体室温硫化	24℃×16～24h	3～6	GM、GP、K、B、S	经济，手工操作，高温度，粘接性好，要求底胶
硅橡胶	双组分膏状	室温硫化弹性体需高温二次硫化	24℃×24h	3～6	GM、GP、K、B	高温使用，隔热性好，价格高，要求底胶
改性环氧树脂	双组分	室温或高温硫化热固性树脂	24℃×2h	50min	GM、GP、K、B、S	用增塑剂或其它如聚硫、聚酰胺、改性提高柔软性，经济，易操作
氯丁橡胶		热固性室温硫化	24℃×24h	3～4	GM、GP、K、S、B	
聚硫橡胶	单组分膏状	热固性室温或加热或湿气硫化	24℃×14～21d	（27℃）1a	GM、GP、K	易操作，粘接迅速，可无底胶使用，含触变剂
聚氨酯	单组分膏状	热固化弹性体，室温或加热或湿气硫化	24℃×14～21d	3～9个月	GM、GP、K	过量湿气引起泡或海绵状，要求底胶
硅橡胶	单组分膏状	弹性体，室温、加热或湿气硫化	24℃×7～14d	0.5a	GM、GP、K	易挤出，可做成透明、要求底胶
丙烯酸	单组分	室温硫化热塑性树脂	24℃×21d	3～9个月	GM、GP、K	要求预热操作，膏状或非硫化型的，内聚力低
		溶剂挥发型非刚性（柔性）密封胶				
氯丁橡胶	单组分膏状	热塑性弹性体、室温下凝固	24℃×7～14d	0.5～1a	GM、GP、K、S、B	易使用，可制成带色，耐候性好，收缩大，包装稳定性差
氯磺化聚乙烯	单组分膏状	热塑性弹性体、室温凝固	24℃×7～14d	0.5～1a	GM、GP、K、S、B	类似氯丁橡胶，耐候性极优
丁基橡胶	单组分膏状	热塑性树脂、室温凝固	24℃×7～14d	0.5～1a	GM、GP、K	易使用，韧性高，价格低，达到要求强度要求很长时间

① 使用方法：GM—挤出密封胶手动枪；GP—压力操作枪；B—刷；K—刮刀；S—喷涂。

表 13-1-6 非硬化型密封胶

密封胶基材	密封胶形式	适用期	使用毒性	使用方法①	备注
丁基橡胶	单组分膏状腻子	无限期	无	GM、GP、K	高韧性，低价格，低毒性，强度性能测定困难，使密封胶结皮有许多方法
聚丙烯酸酯	单组分膏状腻子	无限期	无毒性，有强烈气味	GM、GP、K	内聚力低，在预热下材料易挤出
聚丁烯	单组分膏状腻子	无限期	无	GM、GP、K	类似丁基橡胶
沥青	单组分腻子	无限期	无毒性，有气味	GM、GP、K	正常情况为黑色，易操作，冷流

① 使用方法：GM—密封胶挤出手动枪；K—刮刀；GP—密封胶挤出压力枪。

表 13-1-7　密封材料分类

- 密封材料
  - 不定型密封材料
    - 非弹性密封材料
      - 单组分
        - 油性树脂
          - 油
          - 油性嵌缝材料
            - 灰
              - 硬化型
              - 非硬化型
            - 皮膜性
            - 无皮膜性
        - 聚硫橡胶嵌缝材料
      - 双组分无溶剂硬化型
        - 液体环氧树脂
        - 液体不饱和聚酯
        - 丙烯酸酯树脂
        - 液态酚醛树脂
    - 弹性密封材料
      - 单组分型（自硫化型）
        - 无溶剂型
          - 聚硫橡胶
          - 硅橡胶
          - 硫醚橡胶
          - 聚氨酯
        - 溶剂型
          - 丙烯酸
          - 丁基橡胶
          - 氯磺化聚乙烯
          - 氯丁橡胶
          - 氯化聚乙烯
          - 丁苯橡胶
        - 乳液型
          - 丙烯酸
          - 丁基橡胶
      - 双组分型（硫化型）
        - 无溶剂型
          - 聚硫橡胶
          - 硫醚橡胶
          - 聚氨酯
          - 硅橡胶
        - 乳液型——环氧树脂
      - 加热型
        - 合成树脂型——PVC溶胶
        - 橡胶型
    - 液态密封材料（液态密封垫圈）
      - 不干性粘着型
      - 半干性粘弹型
      - 干性附着型
      - 干性可剥型
        - 粘着型
          - 丁腈橡胶
          - 氯化聚乙烯
          - 聚硫橡胶
          - 硅橡胶
          - 氯橡胶
          - 氯磺化聚乙烯
        - 粘弹型
          - 环氧树脂
          - 聚酯
          - 苯酚
          - PVC
          - 聚酰胺
          - 氟树脂
  - 定型密封材料（型材）
    - 非弹性密封材料——条状
      - 聚丁烯
      - 丁基橡胶
      - 橡胶沥青
    - 弹性型密封材料
      - 条状
        - 丁基橡胶
        - 沥青PVC聚氨酯
      - 压缩条
        - 金属
        - PVC
      - 密封垫
        - PVC
        - 丁腈橡胶
        - 氯化聚乙烯
        - 天然橡胶
        - 丁基橡胶
        - 氯磺化聚乙烯
        - 丁苯橡胶
        - 硅橡胶
        - 乙丙橡胶
        - 氟橡胶

二、密封胶性能

密封胶品种繁多，用途广泛，供制备密封胶用的原材料品种、性能也千差万别。因此，在密封胶配合中，其成分的轻微变动会影响到性能的很大变化，为此，在配合和使用选择密封胶时应考虑下列一些因素：流变性、温度和压力、相容性和渗透性、耐天候性、机械性能、动态环境、颜色稳定性、易燃性、维修、施工工艺以及表面处理等诸因素。表13-1-8列出了通用建筑密封胶的一些典型性能。

表 13-1-8 建筑密封胶典型性能

密封胶类型 / 性能 / 试验方法	拉伸强度 MPa ASTM D412	伸长率 % ASTM D412	扯离强度 MPa USASI 116.1 1967	硬度（邵尔A） ASTM 676	耐磨性	操作温度 ℃	收缩率 %
聚硫密封胶	0.35～0.86	150～500	0.35～0.69	15～60	中～良	－51～121	0·3·0
聚氨酯密封胶	0.38～0.69	250～450	0.12～0.21	10～20	优	－53.8～93.3	无
硅橡胶密封胶	2.76～4.14	50～150	0.14～0.28	40～55	中～良	－51～371.1	0·10·0
氯丁橡胶密封胶	6.90～10.35	250～350	0.35～0.52	30～80	优	－42.8～148.9	0·10·0
氯磺化聚乙烯密封胶	3.45～4.14	75～125	0.45～0.69	30～80	优	－42.8～148.9	10·20
环氧树脂改性密封胶	8.28～24.14	10～20	—	40～60（邵尔D）	良～优	－45.6～148.9	0·3·0
丙烯酸酯密封胶	0.35～2.76	100～270	—	40～100	中～良	－23.3～148.9	5.0～15.0
沥青改性聚氨酯密封胶	0.31～0.52	250～400	0.17～0.28	10～45	良	－34.4～93.3	0·3·0
丁基膏状型密封胶	—	5～150	—	5～70	差	－17.8～93.3	15～40
聚丁烯密封胶	—	5～20	—	20～40	差	－28.9～121.1	0·3·0
油-树脂型密封胶	—	5～50	—	5～70	差	－17.8～93.3	15～45

（一）密封胶的物理性能

1．密封胶流变性

常用密封胶通常有二个类别，即非触变性的自流平和触变性的不坍塌。前者在施用后能流平，而后者有时类似膏状，不能流平，可用于垂直表面等部位。

真正的液态密封胶其粘度不超过500Pa·s，超过这个粘度值，胶液类似油灰状或浆糊状。

2．使用温度和压力范围

密封胶应具有较宽的使用温度和压力范围。抗压性主要取决于密封胶的强度和接缝设计。

耐温度性能应考虑二个因素：可能得到的温度极限和温度升降的范围和周期频率。温度以不同的方式对不同密封胶发生影响。某些密封胶会失去强度但仍保持柔软性，另一些会发脆，还有的密封胶会在高温下完全分解。还应考虑的一些其它因素是热收缩、伸长、模数的变化及弯曲疲劳。

硅橡胶可制成最好的耐高温密封胶，它可长时间在205℃下使用，短时间使用温度可达260℃，氟硅橡胶可在260℃下连续使用。用重铬酸盐或二氧化锰硫化的聚硫密封胶可经受107℃高温；三元共聚丙烯酸可耐175℃，丙烯酸胶乳类只耐73℃。

耐热试验可参照ASTM D573进行。

3．相容性和渗透性

可以配合出能耐任何化学试剂腐蚀的密封胶。由于其它条件对密封胶的影响，因而一个密封胶的配合应兼顾到各个方面。化学药品能引起密封胶分解、收缩、膨胀、变脆，或使其变成渗透的。例如，某些密封胶可吸收少量湿气，从而引起密封胶耐老化性能及耐化学腐蚀性能发生变化；然而另一些单组分密封胶要求吸收湿气才能交联硫化。如果一个密封胶透气性差，在接缝中会残留所隔绝的气体。一个密封胶的湿气透过率数值大小取决于配方中聚合物、填充剂、增塑剂的选择。密封胶的耐油、耐水和耐化学药品试验方法可按 ASTM D471 进行。测定湿-蒸气透过性可按ASTM E-96进行。

4．耐候性

在室外工作条件下，密封胶根据其使用场所不同，应具有不同程度的耐水、热、冷、紫外线和阳光照射等性能。在工业领域，密封材料必须耐酸雾；在海洋方面，又必须耐盐雾。紫外光对某些密封胶具有极大的破坏作用，通过加速寿命试验可测出紫外光的作用。聚硫密封胶对热敏感，而聚氨酯对水敏感，硅橡胶既耐水又耐热。

5．机械性能

密封胶的重要机械性能包括强度、伸长率、压缩性、弹性模数、撕裂和耐疲劳性等。

根据使用情况不同，有的密封胶也许不要求强度，而有的密封胶则要求像某些结构胶粘剂那样大的剪切拉伸和剥离强度。用于接缝的密封胶，其它性能表现得不明显，而接缝的体积膨胀与压缩变形对密封胶影响大。当接缝体积变小时，密封胶受挤压，当接缝体积增大时，密封胶被拉伸，见图13-1-1。密封胶的机械性能受接缝的宽度、深度、缩胀程度以及环境温度的影响。在密封胶的诸多机械性能中，定伸应力是一个极为重要的物理机械性能指标。在密封胶使用中，尤其是在接缝密封及需要阻尼防震的部位密封中，一般要求较低的定伸应力。例如中空玻璃构件的粘接及密封所使用的内层丁基密封胶和外层硫化型密封胶（如聚硫密封胶、硅密封胶、聚氨酯密封胶等）都具有较低的定伸应力，以便吸收由于各种原因在中空玻璃上所产生的应力，避免因应力集中使玻璃破碎。

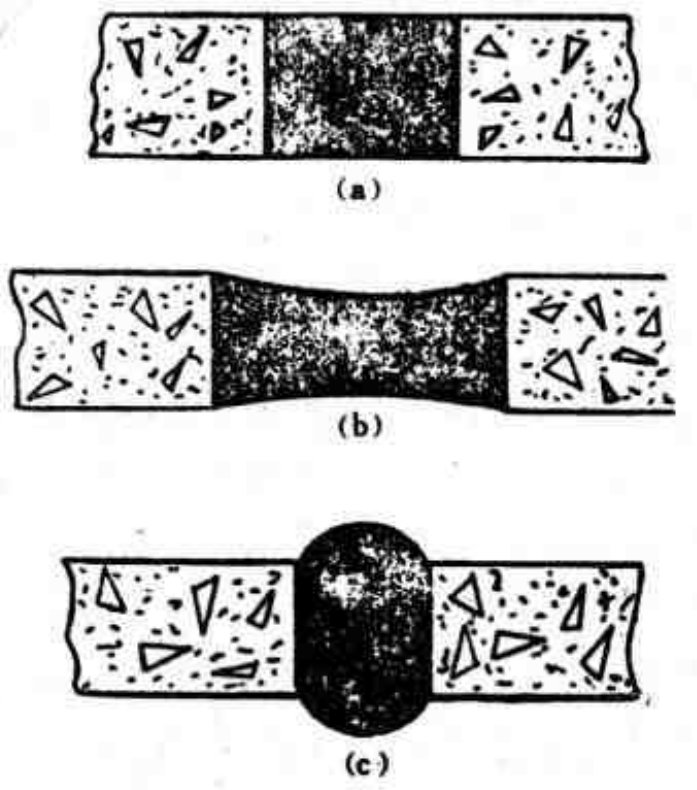


图 13-1-1 对接接缝伸缩体积变化对密封胶的影响
(a) 原形；(b) 接缝体积增大，密封胶被拉伸；(c) 接缝体积缩小，密封胶被压缩

表13-1-9列出了密封胶定伸应力。

磨损和机械磨耗对密封胶有明显影响，柔性密封胶，尤其是聚氨酯，氯丁橡胶都具有良好的耐磨性。

6．粘接性

在密封胶特性中，粘接性是一个十分重要的性能。影响粘接性的主要因素包括密封胶与被粘表面之间的相互作用、被粘表面形状、平滑度以及所使用的底胶。粘接性还受接缝设计、材料以及与密封胶相关的环境因素影响。

通常，密封胶经受不起外部的强应力作用，密封胶的定伸应力随湿度而变化。湿气的变化所形成的应力正像外部应力那样大。当密封胶用于一个动密封接缝时，在接缝的底部应加上防粘结保护层，以防止粘结并避免应力过大。

表 13-1-9 拉伸试验所测得密封胶定伸应力

密封胶类型	密封胶定伸应力，MPa		密封胶类型	密封胶定伸应力，MPa	
	50%伸长，开始后 30s	50%伸长，开始后 5min		50%伸长，开始后 30s	50%伸长，开始后 5min
硅橡胶	1.26～5.01	0.63～1.26	非坍塌双组分聚氨酯	1.0	0.63
双组分聚硫橡胶	0.79	0.13～0.20	丙烯酸	0.13	0.013
单组分聚硫橡胶	0.63	0.13	氯磺化聚乙烯	0.025	0.0032

7．动态环境

快速应力变化会引起经常受振动的密封胶产生疲劳破坏。在实验室很难重复精确测定密封胶的动态操作条件。在动态负荷情况下，一般应首先选择柔软性的密封胶。

8．颜色稳定性，耐火焰和毒性

如果对密封胶颜色有一定要求，应选择硫化后呈理想颜色或能调色的材料。加速老化可测定使用期间颜色的保持性。如果要在密封胶表面上涂刷油漆，那么密封胶的颜色应与涂层颜色相适应。

在防火场合要求使用耐燃密封胶。与食品接触的密封胶应符合食品卫生及药品卫生的规定。

（二）施工性能

密封胶的施工性能相当重要，主要包含5种特性：硫化特性、操作特性、使用方法、表面处理和对施工人员健康安全性。

1．密封胶的硫化特性

密封胶硫化特性包括硫化的时间、温度和湿度控制。对于非硬化型密封胶，这些因素不是关键。大多数硫化型弹性密封胶的硫化时间较长，但大多数密封胶在几分钟到24h内就能失粘而凝固。密封胶硫化时间长，生产效率降低；但硫化时间过短会缩短密封胶贮存期，同时给生产过程带来问题。

非硫化型密封胶在使用前后保持相同粘度而不发生化学变化。为便于使用，有时也用些溶剂，其硬化周期取决于溶剂挥发速度；其间，粘度发生变化但密封胶不变硬。

热塑性树脂密封胶可溶解于溶剂中，也可制成水剂乳液，还可用增塑剂改性，有时还要加入填料及补强剂。它们全都是热软化型，在硬化期间不发生化学变化。

硬化型密封胶有单、双组分两种。单组分密封胶有些以水（湿）气作催化剂（如聚硫、聚氨酯），在湿气存在下通过化学变化而交联。有些密封胶需加热，以加速硫化。一般密封胶在仅有20%相对湿度的空气中就可硫化。在一定的范围内，增加湿度可缩短硫化时间。双组分密封胶一经与硫化剂及促进剂混合，在室温下就发生硫化。某些双组分配合还须加热。

溶剂挥发型密封胶（如丁基密封胶、丙烯酸密封胶）含有大量溶剂，在固化时首先使溶剂挥发，但不发生化学反应。在设计接缝时应考虑到溶剂挥发及因溶剂挥发引起的密封胶收缩等问题。

水乳型密封胶（乳液丙烯酸）无论是室温还是高温，只有当水分挥发后才开始凝固。

2．密封胶操作特性

密封胶的操作性能包括密封胶的形式、粘度和必要的预加工。

双组分密封胶要求混合简便，并可用手工或自动化设备施工。密封胶一般都有一个使用期限，通过配方调整，可以使密封胶的活性期符合操作要求。某些双组分密封胶经与硫化剂混合后，应贮存在低温冷冻条件下，以延长其贮存期。

密封胶的粘度对使用工艺有明显影响，粘度高的密封胶难以施工，因而影响施工进度。可通过调整配方（如加入溶剂或稀释剂）调整其粘度，但在施工现场不能如此处理。

稀释的密封胶可提高其使用性，但会引起另外一些问题（如流淌）。在垂直表面上施工的密封胶不能坍塌，则要求粘度稍高，且有触变性。真正的液态密封胶粘度不能超过500Pa·s，超过这个粘度值，密封胶就是油灰或糊膏。触变性密封胶可用于垂直表面。通常油灰或糊状密封胶也可能具有液态的稠度，但不坍塌。

非触变性密封胶是自流淌平的，施工后可以流动到一定的水平。

3．施工方法

除了胶膜密封和胶带密封外，密封胶大多呈液态，以糊膏或油灰状供应，施工方法有：涂刷或滚涂，用油灰刀、刮板等刮涂，以及用嵌缝的挤压枪。

刷、刮、挤的方法都要求操作者具有一定的操作技术。特别是在关键部位使用时，嵌缝技术可影响密封接缝的质量。

4．被密封基材表面处理

许多密封胶都要求对其密封基材的表面进行处理。一般基材表面只需除尘、去油污和湿气即可。关键部位，尤其是既要密封又要粘接的地方，对基材表面处理要求较高。某些密封胶还要求使用底涂胶。

5．维修性能

在密封胶正常使用期间，要求有一种修补密封胶的材料。有些密封胶，尤其是非硬化型密封胶容易拆除并可重复使用。但有的密封胶，尤其是某些塑料或弹性体基材，一经破坏就很难修复。大多数弹性密封胶其自身可相互粘接面不失去应有强力。

三、密封胶的使用

内密封的作用是防止内部气体或液体泄漏，外密封的作用是隔绝污染物，防止外部灰尘、水气侵入。

（一）密封胶的功能

除了密封功能外，密封胶还有其它的功能，如连接、绝缘与隔热、降低噪音、减震、伸缩控制、校平填充和连接、保护涂层防碰伤等，几种密封胶的主要用途如表13-1-10和表13-1-11所示。

1．连接作用

某些密封胶可用于结构件的粘接，起连接功能，而许多结构胶粘剂也能用作密封。因此在许多使用中，密封胶与胶粘剂之间几乎无差别。在起密封和胶粘双重作用的场合，刚性的硬化型密封胶比其它类型密封胶使用得更多。而许多非刚性密封胶可在低应力使用中作胶粘剂。在以吸振要求为主而对承受负荷要求不高的条件下，使用非刚性柔性密封胶更好。

一些厌氧胶粘剂用于密封和锁紧螺栓、螺丝、磁心和浇注插入件，并浇注裂缝，而其它类型的刚性硬化密封胶也用作壳体、衬套、管衬连接和管道连接的胶粘剂。

功能密封胶的另一个例子是聚硫密封胶，可将挡风玻璃粘接到汽车车体上。它具有3个功能：①将挡风玻璃粘接到车体上；②对挡风玻璃起吸振作用；③防止水、灰尘等进入密封

表 13-1-10 典型密封胶的用途

密封胶类型	用途
非硬化型密封胶	
油-树脂基	混凝土接缝，砖墙和瓦片密封，玻璃安装，瓷釉密封，电缆接线盒，电线和玻璃对金属仪表盒的密封
沥青基	密封金属接缝，地下室粮仓和空调器密封，伸缩接缝的嵌缝
丁基橡胶	伸缩接缝嵌缝，金属-玻璃、金属-金属以及不同的隔音材料密封，电线管道密封
丙烯酸酯	管道接缝，玻璃安装，砖石和金属嵌缝，特殊配合用作液体垫圈管子涂封，通用建筑密封胶
聚丁烯	一般建筑类型嵌缝和玻璃安装，不同金属间密封
氯丁橡胶	通用建筑类嵌缝胶，不同金属之间的玻璃安装
刚性类硬化型密封胶	
环氧树脂	嵌缝和管道密封以及混凝土耐磨涂料，垫片或管线密封胶，接线盒封装，密封小型元件，涂覆电路板，胶接电缆
聚酯树脂	封装、模塑和灌封，垫片及管道密封胶
油-树脂 沥青	与一般非硬化密封胶用途相同，硬化类型材料用于超过非硬化胶范围的压力方面
柔性类化学反应的硬化型密封胶	
双组分聚硫橡胶	飞机整体油箱及压力油箱密封，接头表面密封及管道封装，模塑件及不破碎玻璃密封，一般建筑密封，金属、木材、砖的接缝和玻璃嵌缝
单组分聚硫橡胶	一般建筑类密封、嵌缝和玻璃安装，不同金属之间密封、甲板嵌缝和反射镜密封
双组分聚氨酯	接线盒封装，水中听音器、换能器、电线板封装、与环氧树脂完全一样的嵌缝
单组分聚氨酯	一般建筑类密封胶，嵌缝胶，玻璃安装
单组分硅橡胶	一般建筑类密封胶，嵌缝胶，玻璃安装封装及模制
双组分硅橡胶	接线封装与模制，防火墙接头封装，控制板涂料，隔热板密封
沥青改性双组分聚硫橡胶	跑道及滑行跑道伸缩缝密封，这里要求耐燃油及耐火焰
改性双组分环氧树脂	封装、模制、密封、变压器封装，高压接头，电容器封装，一般建筑嵌缝
单组分丙烯酸酯	一般建筑类密封，嵌缝，玻璃安装
双组分氟橡胶	要求耐燃油和一般油，高温使用，油箱密封，管道及接头表面
溶剂挥发型密封胶	
氯丁橡胶	不同金属之间密封，嵌缝，一般密封
氯磺化聚乙烯	类似氯丁橡胶
丁基橡胶	玻璃安装，金属、玻璃和砖木类接缝嵌缝

的汽车内。

2．绝缘及隔热

许多密封胶具有优良的绝缘性。许多封装胶基本上是密封胶，在这里密封胶的主要功能是阻止湿气和污物进入接线盒和电子仪器设备里面，起密封剂的作用。同时，密封胶还用作隔离不同金属，从面防止电化学腐蚀。通过用密封胶分离啮合表面，也能阻止静电流动。

作为隔热材料，在啮合表面之间使用条状或垫片状密封胶。密封胶的粘度和热导率决定了它的使用效果。填充剂可影响密封胶热导率。

3．降低噪声

当密封胶用作填塞接缝中的洞隙时，密封胶也就阻断了声音的传递。在连接面之间使用密封胶可阻止接缝的拍击，因面可降低系统噪声。

4．吸振阻尼性

柔性的硫化型和非硫化型密封胶都可用作控制振动。在这里使用弹性密封胶和蜂窝状密

表 13-1-11 各类密封胶适用范围①

密封胶类型	飞机燃料箱（电气电子零件同电气电子工业）	建筑（室内外建筑有关部门）	运输（汽车、卡车、其它各种车辆、火车有关部门）	电气电子工业（各种元件及涂层的密封）	玻璃密封	土木（道路、桥梁、港口及其它）	船舶
油性树脂		○					○
沥青、沥青改性物		○	○		○		○
丁基橡胶		○	○	○	○		
丙烯酸类		○		○			
聚硫橡胶	○	○	○	○	○	○	○
聚氨酯	○	○	○	○		○	○
硅橡胶		○	○				○
聚氯乙烯		○	○				
氯丁橡胶		○					
聚丁烯		○	○	○			
氯磺化聚乙烯		○					
氟聚合物	○						

① ○表示适用。

封胶最好。密封胶的吸振特性取决于其柔软性、伸长率和硬度等因素。

5．伸缩控制

在伸缩接缝中使用的密封胶应当柔软并能弹性回复，对移动的表面有较强的粘接力。

6．校平、填充和连接

在有棱角的接缝中，密封胶可用作校正平面或连接平面。密封胶还常用于填塞洞隙，在这里要求密封胶不收缩，并具有良好的粘接力。

7．保护性涂料

如果不要求密封功能，密封胶可作为正常的耐磨、耐腐蚀涂料使用。在要求密封和接缝两种功能的场合，密封胶具有双重作用。

8．紧固及防碰伤保护作用

在螺栓连接中，密封胶可防止螺栓松动，起紧固作用，还可避免螺纹碰伤。涂刷适当的密封胶既可美化螺纹的外观，又可在需要时将密封胶除去。

（二）密封胶的应用范围

密封胶的应用范围十分广泛，主要包括以下几个方面：

① 建筑结构中的幕墙安装、建筑物的窗户玻璃安装、门窗密封以及嵌缝；

② 混凝土和砖墙墙体伸缩缝以及桥梁、道路、人行道、飞机跑道伸缩接缝嵌缝；

③ 污水管道末端对接密封；

④ 船体和甲板密封；

⑤ 汽车工业中车体钢板之间焊接密封、车体密封、玻璃与金属窗户框之间密封；

⑥ 电器设备制造安装中的绝缘与密封；

⑦ 航空航天技术中的各类密封；

⑧ 机械设备连接面之间密封；

⑨ 其它各种裂口裂缝密封。

四、连接密封的方法

（一）连接密封类型

1．对接密封

对接密封是常见的密封方法之一。在对接接缝中，如果被密封的板相当厚，密封胶按图13-1-2中所示的对接密封（a）的形式；如果板相当薄，使用密封胶条垫片以圆凸勾缝式形式，也可使用图13-1-2（b）所示的胶带；如果接缝移动是由动态负荷或热膨胀和收缩引起的，就必须选择具有良好粘接性的柔性密封胶，如图13-1-2（c）所示。为适应接缝活动，应选择柔软胶带。在对接组合中，可作许多改进，如图13-1-3所示。

在对接组合中、可作许多改进，如图13-1-3所示。

由图13-1-3可见，对一些缝道较深的接缝，在嵌入密封胶之前，应先填入一种可压缩性的材料，通常称作支撑材料，该类材料甚至在接缝处在最大体积时，它也是处在受压缩状态，如图13-1-13中（a）所示。在如图13-1-3中（b）所示的接缝密封时，在嵌入密封胶之前，应在与密封胶接触的底表面上，先涂上一层隔离层，隔离层可以是化学物品，也可以是薄膜一类的隔离材料。无隔离层的密封接缝，如果密封胶与底层相粘接，在接缝伸长或受压缩时会引起密封胶的破坏，如果13-1-3中（c）所示。而涂有隔离层的密封缝，就阻止了密封胶与底层的相粘接，从面保证了接缝正常的拉伸与压缩移动，并不会使密封胶受到破坏，如图13-1-3中（d）所示。

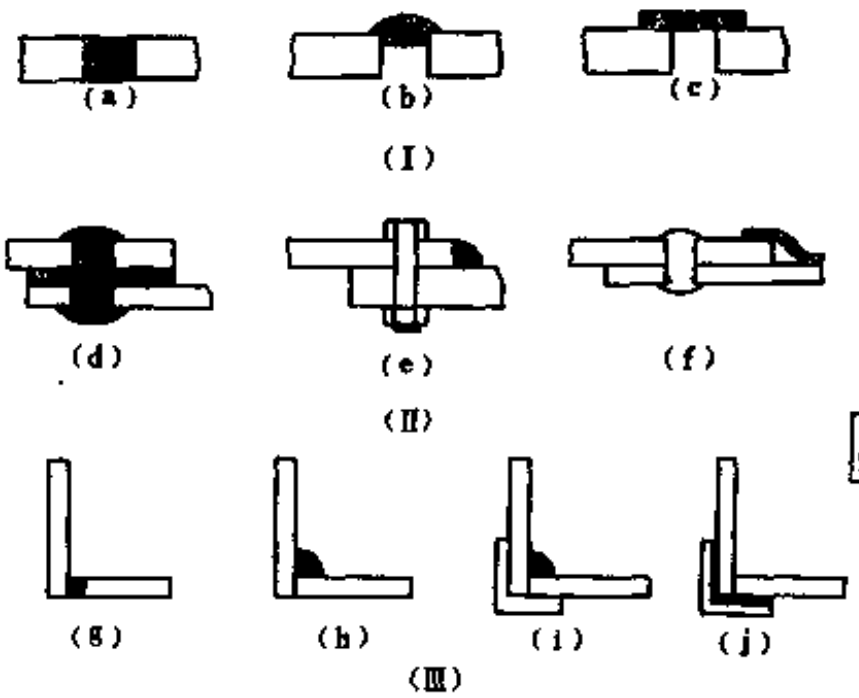


图 13-1-2 接缝密封的一般方法

（Ⅰ）对接密封；（a）对接；（b）搭接；（c）角形连接；（Ⅱ）搭接密封；（d）多层密封胶密封法；（e）多层厚板的密封；（f）胶带密封；（Ⅲ）角形连接密封；（g）简单的对接角形连接（材料厚度t应足够大）；（h）密封胶焊道式密封；（i）具有托架的焊道式角形连接密封；（j）夹层密封

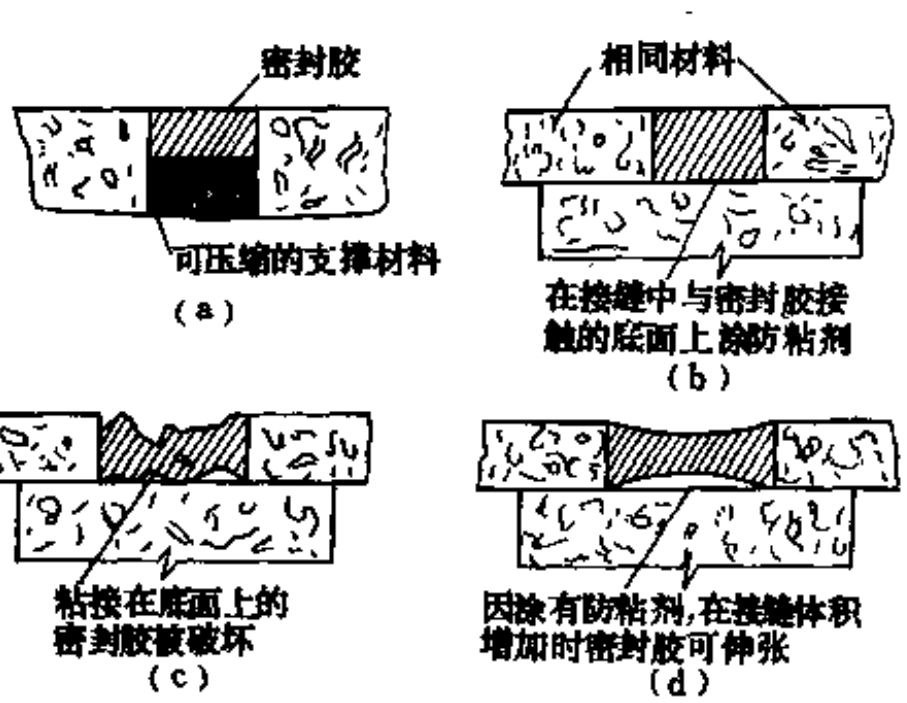


图 13-1-3 普通对接密封

(a) 填有支撑材料的密封接缝；(b) 涂有隔离剂的密封接缝；(c) 没有涂隔离剂的密封接缝，密封胶的破坏情况；(d) 涂有隔离剂的密封接缝体积增大时密封胶变形情况

2．搭接密封

搭接形式如图13-1-2所示。在啮合表面和铆钉螺栓或点焊缝接合处，为保证连接，使用多层密封胶密封（d）；多层厚板搭接可采用密封胶焊道式密封（e）；当搭接结构具有一个能粘贴密封胶带的表面，并能保持有足够的重叠时，也可采用密封胶带密封。

如果连接板的厚度足够支撑（安放）密封胶的胶条和夹层密封的话，使用胶带或嵌条密

封最容易。对于结构胶粘剂而言，使用夹层密封是最一般的密封方法。在使用有机密封胶的地方，密封胶可以刷、挤、涂抹或揿压上去，做成搭接并用铆钉或螺栓进行机械固定。所谓透焊密封胶就是为点焊而配制的。如果搭接不能采用夹层式密封，那么连接应当设计成带有嵌入式的接受面以便承接密封胶，如图13-1-4中的(a)和(b)所示。

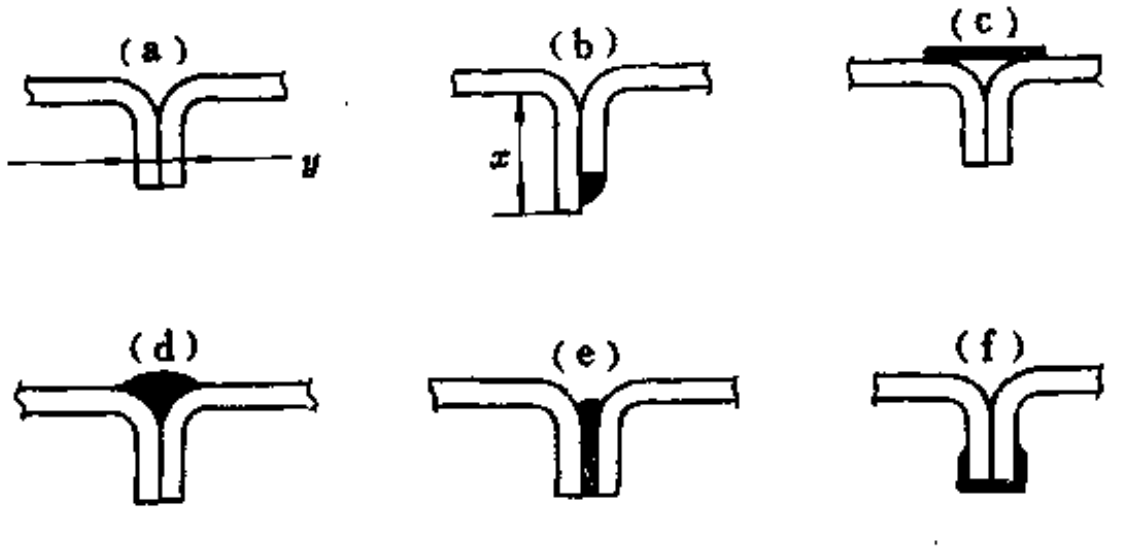


图 13-1-4 不同的连接密封

(a) 非夹层搭接密封中，连接板的总厚度t太小时，安放密封胶的量太少，不足以起密封功能，密封效果差；(b) 非夹层搭接的接缝上具有安放密封胶的凸部，而且距离X又允许使用挤压枪及腻子刀施工，密封效果好；(c) 使用密封胶带的内层连接密封；(d) 使用油灰作内层密封；(e) 使用油灰或厌氧胶的夹层式密封；(f) 使用密封胶带在缝口的外密封

在两个连接板的总厚度t太小时，在上面所能安放的密封胶的量也很少，以致不能形成具有密封功能的凸状的密封胶胶棱，因此密封效果不良，如图13-1-4中(a)所示。而在连接板中，具有一个能安放密封胶的凸部，在一定的距离X情况下，足够允许使用挤压枪或腻子刀施工密封胶，其密封效果良好，如图13-1-4中（b）所示。

如果连接的是由两块冲切钢板制成的贮存容器，接缝可以很方便地在其内层使用胶带密封〔见图13-1-4(c)〕。当然，胶带必须能耐流体的腐蚀，这种类型的内密封随流体的压力增加而加强，还可以把液态密封胶用挤压枪挤到接缝处。油灰稠度的密封胶可用刀或指揿压〔见图13-1-4(d)〕，也可以用胶带在外层密封〔见图 13-1-4(f)〕。但它必须耐液体的压力和外界环境的腐蚀及机械损耗。

3．角形连接

角形连接如图13-1-2所示。如果材料的厚度足够大，可选择简单的角形对接连接密封(g)，但其密封效果差；若选择密封胶的焊道式密封(h)，该类型密封与材料的厚度无关系，密封效果良好；而具有托架式的焊道密封(i)，密封效果优；采用夹层式密封(j)效果最佳。

（二）接缝方法与密封胶的关系

密封胶的连接设计在一定程度上取决于所选择的密封胶类型，选择条件是密封胶应当同部件结构相协调。例如，在垂直表面必须使用非坍塌密封胶。

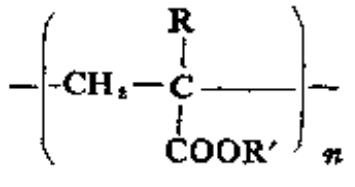
密封胶的稠度、剥离强度、内聚力及柔软性对连接方法的设计都有影响。

两个表面之间所使用的密封胶厚度相当关键，在密封胶的厚度不是关键的条件下，可适当地增加密封胶的施用厚度来延长密封胶的硫化时间。

第二节　丙烯酸酯密封胶

一、概　　述

丙烯酸酯聚合物是以丙烯酸或甲基丙烯酸以及它们的衍生物，尤其是它们的烷基酯为主要单体的均聚物或含有少量其它单体的共聚物，其结构通式为：



以丙烯酸酯制得的聚合物，其特点是能形成柔软而富有弹性的胶膜。聚合物分子主链由饱和烃组成，并带有羧基，使其具有很强的耐热、耐油、耐光化学和耐氧化降解的特性。丙烯酸酯橡胶的最高使用温度可达 180℃，间断或短时间使用温度可达 200℃，在150℃热空气中老化数年无明显的变化。

丙烯酸酯聚合物还具有良好的耐臭氧性、耐紫外线降解性和色稳定性，可着色范围广，不污染。此外，耐天候老化、耐气透性及耐屈挠性好。由于聚合物含有羧基，因此具有良好的粘接性，很适合用作密封胶的主体材料。用作密封胶时不需要底胶，并可制成单包装胶粘剂及密封胶，目前已逐步开发用于建筑中作嵌缝中密封胶。

目前市场上常见的丙烯酸型密封胶有二种类型，一种是丙烯酸胶乳密封胶，另一种是溶剂型丙烯酸密封胶。含水或水基型密封胶，通常称之乳剂丙烯酸嵌缝密封胶。它以水作为溶剂或分散剂，水蒸发后即凝固，因此施工安全、无毒、无公害，很有发展前途。这种水剂型丙烯酸密封胶既可作外部嵌缝用，还可作内部嵌缝用。例如，用在建筑物伸缩性较小的接缝、幕墙接缝、门框和窗框的嵌缝等。该类密封胶最适合用于实际伸缩大约在10～15%的混凝土预应力建筑件间的接缝。它类似于外墙使用的丙烯酸胶乳类，因此耐久性好。它具有高伸长和质地柔软等特性。

溶剂型丙烯酸密封胶在建筑上和工业上已有使用。就密封胶的特性而言，在许多地方不能使用丁基密封胶，因为丁基密封胶的某些性能不佳，例如收缩性大，伸长和回弹性不良等。在不要求弹性类型性能的地方使用价格昂贵的弹性密封胶又是不经济的。丙烯酸密封胶正具备了介于丁基橡胶和弹性类密封胶之间性能中的许多中间性能。因此，在丁基橡胶不能胜任而又不必使用弹性密封胶的地方，多使用丙烯酸密封胶。当然，现在的丙烯酸密封胶性能大有提高，并在许多使用领域取代丁基橡胶和其它弹性体密封胶。

二、密封胶组分

（一）丙烯酸酯聚合物

用不同的丙烯酸和甲基丙烯酸以及它们的烷基酯为单体的均聚物或与其它单体合成的共聚物可以获得分子链有序排列的结晶型塑料，也可得到无定型的热塑性聚合物，还可获得具有弹性的可以交联的橡胶型聚合物。选择不同单体和聚合条件，可以分别制得适用于制作胶粘剂、密封胶和橡胶等不同用途的多种丙烯酸酯的聚合物。

密封胶用丙烯酸酯聚合物是一类以丙烯酸或甲基丙烯酸的烷基酯为主要单体的、含有两个或两个以上的反应单体，通过自由基的加成反应，形成长而无定形的线性分子链的热塑性弹性体聚合物。聚合物的平均分子量一般小于 80000。聚合物密封胶具有较高的坚韧性、柔

软性、粘接性、保色性、耐紫外光降解性，价格也较低。

密封胶用的丙烯酸聚合物，由于其单体的多样性，以商品牌号供应市场的聚合物很多。密封胶的制造者可以从单体开始合成具有所需性能的聚合物，也可以从市场上选用适当的聚合物配合密封胶。

供制备密封胶的聚合物所使用的丙烯酸单体通常是丙烯酸甲酯、丙烯酸乙酯、丙烯酸丁酯以及丙烯酸2-乙基己酯，室温下这些单体是无色透明的液体。

制备丙烯酸酯密封胶的聚合物大多数是由两个或两个以上的丙烯酸酯或甲基丙烯酸酯单体组成的共聚物。这些聚合物是无规的，产生的无序结构阻止了聚合物链的有序排列，从而形成了一个坚韧、柔软的无定形的热塑性聚合物。

能赋予聚合物粘着性的单体有丙烯酸、甲基丙烯酸、亚甲基丁二酸及不饱和羧酸，它们能提高聚合物极性，从而增大对许多基材的粘接性。苯乙烯可降低吸湿性，提高耐水性，改善耐电、耐寒性；乙酸乙烯、苯乙烯、甲基丙烯酸甲酯和丙烯腈可赋予聚合物硫化胶较高的硬度，而丙烯腈还能提高扭转模量和耐油性；乙烯基三烷基硅氧烷或乙烯基三乙氧基硅烷可提高耐热老化性能。

除此之外，还有乙烯基甲苯、氯乙烯、丙酸乙烯、偏二氯乙烯等单体。各类单体组成的聚合物的皮膜性能如表13-2-1所示。

表 13-2-1 各种聚合物皮膜物理性能

组成聚合物的单体	成膜性	粘性	硬度	拉伸强度	伸长率	吸水性
丙烯酸甲酯	有	无	稍软	稍高	稍高	中
丙烯酸乙酯	有	有	软	低	很高	低
丙烯酸丁酯	有	有	很软	很低	很高	低
丙烯酸α-乙基己酯	有	有	很软	很低	很高	很低
乙酸乙烯	有	有	稍硬	高	低	稍高
苯乙烯	无	无	硬	高	低	低
甲基丙烯酸甲酯	无	无	硬	高	低	稍高
氯乙烯	无	无	硬	高	低	低
丙酸乙烯	有	有	软	很低	很高	中
丙烯腈	无	无	硬	高	低	中

近年来开发了一些反应活性高的交联单体，主要有 4 种类型。

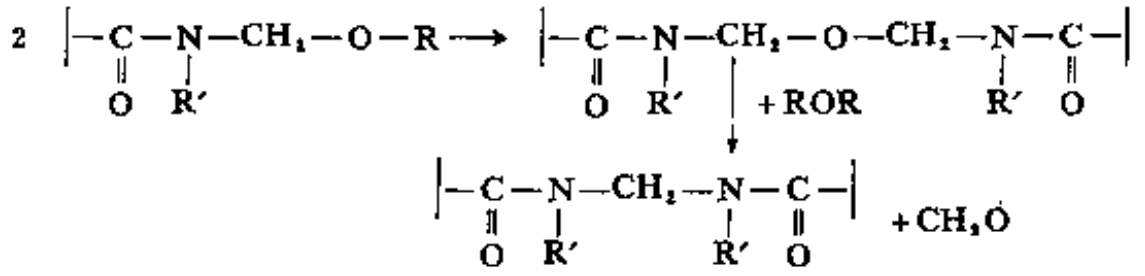
（1）烯烃环氧化物　如烯丙基缩水甘油醚、缩水甘油丙烯酸酯、缩水甘油甲基丙烯酸酯。在丙烯酸酯聚合物侧链上引入环氧基作交联点，可在羧酸铵盐等物质作用下，打开环氧基使分子间发生交联。

（2）含活性氯原子的化合物　如氯乙酸乙烯酯、氯乙酸丙烯酯、3-氯-2羟丙基丙烯酸酯、丙烯酸乙三氯乙酯。聚合物链中引入这种活性很高的氯化物，可用金属皂/硫黄等多种硫化体系进行硫化。

（3）含非共轭双烯单体　如二环戊二烯、甲基环戊二烯及其二聚体、亚乙基降冰片烯等。带有双键的这类丙烯酸酯聚合物，利用其双键，可象普通三元乙丙橡胶一样，用硫黄-促进剂硫化体系硫化。

（4）酰胺类化合物　主要有*N*-烷氧基丙烯酰、*N*-羟甲基丙烯酰胺、甲基丙烯酰胺、丙烯酰胺等。这类共聚物是一种自交联型丙烯酸酯聚合物，在一定的温度或高能辐射下，聚

合物本身可以交联。在中性介质中，它们彼此间相互反应；在酸性介质中，高温可使反应更快：



交联也可在羟甲基、烷氧甲基团和其它的基团（如—NH_2、—OH和—COOH）之间发生。

可作为交联基团的单体还有丙烯酸丁二醇一酯、丙烯酸羟丙酯、丙烯酸羟二酯、丙烯酸*N*-2乙基氨乙酯以及2,*β*-不饱和酸等。

制备丙烯酸酯密封胶通常采用以丙烯酸酯弹性体为基础的聚合物，大多数是由含有二个或二个以上的反应单体聚合而成的无定型热塑性聚合物，应具有弹性坚韧性、柔软性、粘接性良好，以及价格低等特点。

制备密封胶的聚合物原材料应为浅色，固体含量高，粘度适当，密封胶施工时既要操作方便，又不能坍塌。对聚合物要求的举例如下：

外观	无色透明	粘度（25℃）	360Pa·s（Brookfield）
颜色	1～2（Gardenr）	溶剂	芳香烃
固体含量	85%		

溶液聚合物的固体含量一般为80～90%，以二甲苯为溶剂。乳液聚合物在早期时固体含量为50～55%，现在已达到60%以上。

根据密封胶不同的使用要求，可以采用不同聚合方法来制取聚合物。

（二）硫化剂

大部分丙烯酸酯密封胶使用的聚丙烯酸酯是不能硫化的热塑性聚合物，由此制备的密封胶也是不硫化的，一般通过溶剂挥发而凝固硬化。

使用含有可交联单体的聚丙烯酸酯制备密封胶，可以根据交联基团的性质，加入不同的硫化剂。采用冷硫化，紫外光照射，氧化或碱性物质作用（例如氢氧化钠、水泥或氧化钙）形成交联。

使用异氰酸酯、环氧化合物、脲醛、三聚氰胺和酚醛等低分子量的树脂可以与丙烯酸酯聚合物中的相应基团如羟基、氨基、羧基反应交联。

以巯基为端基的丙烯酸酯聚合物可使用氧化剂或环氧树脂交联。

交联的密封胶具有良好弹性、坚韧性，其硬度及熔点也随交联密度升高而增大，耐溶剂性也随之升高。

（三）填充剂

丙烯酸酯聚合物常用的白色补强剂有白炭黑，也可使用碳酸钙、滑石粉、硅藻土、石英粉、石棉和二氧化钛等填充剂。要求填充剂为惰性。

填料和颜料的选择在很大程度上决定于丙烯酸聚合物的pH值和密封胶的使用场合。

（四）其它组分

丙烯酸酯聚合物耐老化性能良好，一般情况下可不加入防老剂，但根据需要，有时也可加入防老剂。为了操作和性能的需要，还应加入增塑剂。丙烯酸酯聚合物有一种难闻的气味，在某些场合使用的密封胶中须加入吸臭剂。根据工艺要求还可加入溶剂等。

三、密封胶的配合举例

密封胶使用条件有很大不同，因此，对其性能要求也有所不同。一个最终的密封胶配方应是平衡了各方面性能要求且具有优良性能的配方。

市场上出售的丙烯酸密封胶品种很多，除了厌氧胶以外，主要是乳液型密封胶和溶液型密封胶，而前者数量最大。

（一）乳液型丙烯酸密封胶

以乳液聚合的丙烯酸胶乳为基材配合而成的密封胶，通常称作乳液型丙烯酸密封胶。在密封中通过水分的蒸发使密封胶凝固。此类密封胶也是一种非硫化型密封胶。

这种水剂型密封胶使用方便，对大多数的建筑接缝表面粘着好，不会渗出，不污染，干燥快，因此在施工后不久即可油漆。此类密封胶有一定的柔软性和回弹性，收缩小，具有极优的耐紫外光照射性和耐退色性能。

丙烯酸乳液密封胶可用作室内浴缸嵌缝、踏脚处及修理皱纹，用作室外可安装玻璃、砖石建筑接缝及屋顶及船舶嵌缝。该类密封胶可配制成软硬不等的类型，较硬的密封胶主要用于卫生设备如浴缸和面盆的涂层。

丙烯酸乳液型密封胶的配方举例如表13-2-2～表13-2-7所示。

表 13-2-2 挤出枪型丙烯酸乳液型密封胶配方举例

组　　分	用量 重量份	组　　分	用量 重量份	组　　分	用量 重量份
丙烯酸胶乳(固体含量55%)	430.2	矿物油精	26.9	合　　计	1312.6
非离子表面活性剂	9.5	聚丙烯酸酯型含水分散剂	1.3	固体含量，%	83
聚偏磷酸钠	10.7	细粒子碳酸钙	692.1		
高分子型增塑剂	124.2	二氧化钛	17.7		

表 13-2-3 用于水泥墙与窗框间接缝的密封胶配方举例

组　　分	用量 重量份	组　　分	用量 重量份	组　　分	用量 重量份
聚丙烯酸酯胶乳Acronal 81D (固体含量60%，pH值2.8)	329	填料体积浓度，%	42.5	28d室温	0.078
填料 Disper Ser N	0.5	密度，g/cm³	1.3	扯断伸长率，%	
消泡剂 Nopco NXZ	0.5	体积收缩，%	20	14d室温	400
聚异丁烯(分子量800)	82	蠕变试验稳定性(DIN52454) (室温/－50℃) 断面A	好/好	28d室温	150
乳化剂 Emulphor CG	1.0	外型B断面	2mm/5mm	粘接力-伸长试验 (DIN52455)	
疏水白垩(粒径2～20μm)	440	耐下雨后	50min	试验Ⅰ，50%定伸应力，MPa	0.049
极细粉状滑石粉	89	硬度(邵尔A，20℃) (DIN53505)	约30	100%定伸应力，MPa	0.059
二氧化钛	58	拉伸强度，MPa		150%定伸应力，MPa	0.059
性能					
固体含量，%	约86	14d室温	0.049	试验Ⅰ（接缝破坏）	4259

在表13-2-2的配方中，密封胶的丙烯酸聚合物固体含量大约为18%，高分子型增塑剂为9～10%。配方中的聚偏磷酸钠与聚丙烯酸的水溶液是颜料的分散体。非离子型表面活性剂在此作润湿剂和乳化剂。通常加入少量的甘油（2%）作防冻结添加剂。加入约2%的矿物油精是为了防止结膜。

表 13-2-4 嵌缝密封胶配方举例之一

组分	用量，重量份		组分	用量，重量份	
	配方 1	配方 2		配方 1	配方 2
非交联丙烯酸乳液 Rhoplex LC-45	100	100	乙二醇	—	3.5
烷芳基聚醚醇离子表面活性剂 Triton X-405	1.6	1.6	羧酸钠电介质 Tamol 850	0.4	0.4
水	5.2	5.2	碳酸钙 Camel-Tex	190.1	190.1
磷酸盐络合物 Composition J (Calgon J)	1.8	1.8	二氧化钛 Ti-pure R-901	4.9	4.9
增塑剂	32.5	32.5	颜料/粘结料	3/1	3/1
石油溶剂 Varsol 1 号	7.2	7.2	固体含量，重量%	86.0	86.0

表 13-2-5 嵌缝密封胶配方举例之二

组分	用量，重量份	组分	用量，重量份
油酸	21	缩水甘油氧丙基三甲氧基硅烷 Silane Z-5040（偶联剂）	0.6
三乙醇胺	12.0	二氧化钛(颜料)	25.0
羟乙基纤维素 Natrosol 250HR(3%)	31.0	细粒子碳酸钙 Atomite	750.0
可交联丙烯酸乳液	227.0	可交联丙烯酸乳液 Rhoplex Lc-40(55)（稀释液）	200.0
烷芳基聚醚醇 Triton 405	9.0		
烷氧基化苯酚聚合物 Paraplex wp-1（增塑剂）	75.0		

表 13-2-6 建筑用密封胶配方举例

组分	用量，重量份	组分	用量，重量份
丙烯酸乳液 Primal LC-40	430.17	200号石油溶剂油	26.91
非离子型表面活性剂 Triton X-405	9.46	分散剂 Primal 850	1.27
阴离子型表面活性剂 Calgon T	10.65	碳酸钙	692.06
增塑剂 Pareplex wp-1	124.21	金红石二氧化钛 Ti-Pure R-901	17.02

表 13-2-7 供修理或装修使用的水泥砂浆配方举例

组分	用量，重量份	组分	用量，重量份	组分	用量，重量份
砂	250	柠檬酸钠	1.7	石棉	100
1型硅酸盐水泥	100	碳酸钠	0.5	三羟甲基丙烷	100
再分散性聚合物①	10	消泡剂	0.25		

① 丙烯酸乙酯 46%，甲基丙烯酸甲酯 19%，甲基丙烯酸5%的共聚物钙盐（T_g为32℃）。

填料Disperser N改进挤出枪级密封胶的稳定性及适用性。消泡剂 Nopco XNZ 可降低泡沫及胶中的空气含量。聚异丁烯Oppanol B_3是增塑树脂，中等分子量。它可增加密封胶的固体物含量，从而降低密封胶的收缩性。由于 Oppanol B_3 的增塑作用，它提高了密封胶的伸长性。除Oppanol B_3之外还可用低分子量丙烯酸树脂或聚丙烯乙二醇的衍生物等增塑剂。随增塑剂的类型变化，这个配方也应调整。Emulphor OG 对增塑树脂起乳化剂的作用，白垩和滑石粉等填料不仅仅是为了降低成本，还增加密封胶的内聚力。它们对密封胶的枪挤出稠度

和密封胶硬度起调节作用。

二氧化钛不仅增加密封胶内聚强度，还对浅色起调色作用。

水剂丙烯酸密封胶中填料的体积浓度与应力-应变关系如图13-2-1所示。

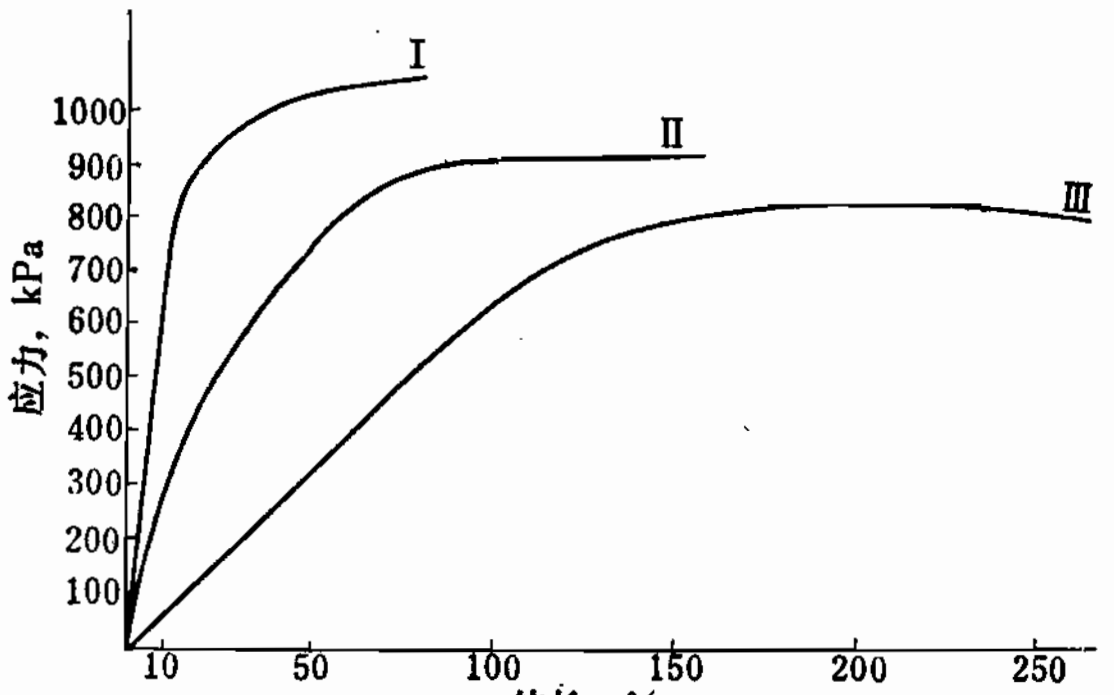


图 13-2-1 填充剂含量不同的水剂丙烯酸酯密封胶应力-应变曲线

填料含量（体积%）：Ⅰ=50；Ⅱ≒42.5；Ⅲ=35

表13-2-4和表13-2-5的配方为嵌缝胶，使用非交联乳液聚丙烯酸，后者使用可交联的聚合物。表13-2-5的密封胶制备方法为：在混合器中预混三乙醇胺和油酸，直到相互间完全反应。按配方顺序(即从3到9)往混合物中加入各组分。每添加下一个组分之前要充分搅拌（注意Triton X-405是胶乳稳定剂和乳化剂，所有Triton X-405必须在第4步开始加进Rhoplex LC-40中，充分混合后再加Raraplex NP-1增塑剂）。缓慢地将碳酸钙和二氧化钛颜料加入混合器中，搅拌直至颜料完全分散。上述过程约需30min，根据需要还可延长时间。慢慢地加入作为稀释剂的剩余的Rhoplex LC-40丙烯酸乳胶（第10步）。继续搅拌直到均匀。立即包装，以防止水分过多损失。

经验表明，乳液丙烯酸密封胶的优良性能是这种材料兼有一定程度的弹性和塑性两种特性的结果，与完全弹性的材料相比，乳液丙烯酸聚合物具有部分塑性，能降低密封胶在接缝中由于不可逆运动所引起的应力。

新施工的该类密封胶应能耐大雨的侵袭。一般在施工后1 h就能结皮的密封胶对大雨有抗耐性。乳液型丙烯酸密封胶一个最大优点是可用到潮湿的接缝上使用，这是其它类型的密封胶所不能的。乳液型密封胶与亲水的、吸水的基材（如塑料、混凝土、木材、砖石）具有极优良的粘接力。为保证最佳结果，用水浸间隙或用密封胶：水=1:3或1:4的稀释密封胶涂间隙。对于塑料和金属一类的材料，必须使用特殊的底胶，例如硅烷溶液。在每一种场合都必须测定底胶的效果。

表13-2-7的配方为修理或装修使用的水泥砂浆。水溶性丙烯酸盐在氧化还原型引发剂作用下，可生成坚韧而有耐水性的橡胶状聚丙烯酸金属盐。把它添加到水泥浆、砂浆或砂混凝土中，不仅可以缩短凝结时间，还可改善水泥固化体的强韧性、防水性、耐化学药品性、耐油性及弹性等诸性能。

通常在普通的硅酸盐水泥100份中，添加含丙烯酸钙3份的25%的丙烯酸钙水溶液。在其中按丙烯酸钙的量分别添加5%的过硫酸铵和3%的硫代硫酸钠，二者分别以30%和50%的水溶液形态投入。然后加18份水，搅动掺混，进行水泥浆的凝结实验，凝结开始时间为3min，6min完成。

该类水泥可用于修理和表面再装修工程——边道、台阶、公路、地下室、车库等地面的修理，高速公路、桥板、飞行滑行道等的修理和再装修工程。在地面基础工程，即在施工PVC地板、沥青地面以及水磨石地面等铺地材料时，需要先将地面处理平滑。聚合物水泥砂浆由于粘接力优良，抗溶剂性强，因此适宜用在铺装过程之前，对地面作平整处理。

这类聚合物水泥固化不会因收缩而发生龟裂，具有令人满意的抗压强度，拉伸强度、弯曲强度，而且对旧混凝土粘接力有所改善。

（二）溶剂型丙烯酸酯密封胶

溶剂型密封胶是以溶液聚合法聚合的固体含量高的聚丙烯酸酯为基材配制而成的。通常用的溶液型丙烯酸聚合物是在二甲苯中的80～90%的聚合物溶液。

溶剂型丙烯酸酯密封胶对普通的建筑物表面具有极好的粘接力而不需要底胶，并且是非污染的，具有良好的耐久性和永久的色稳定性。在安装玻璃和小的接头工业密封中使用的丙烯酸密封胶的使用年限已超过15年。因聚合物不是弹性体，因此伸长性好而回复性不良。固含量在90%的纯聚丙烯酸胶液，在常温下很难挤出，挤出之前，注射筒须加热到49℃。一般情况下，密封胶应配制成较低的固体含量，以便在10～15.6℃温度下能挤出。但是，固体含量过分的低，会使收缩过大并影响耐久性。溶剂型丙烯酸密封胶的配方举例如表13-2-8～表13-2-10所示。

表 13-2-8 室温使用注射型天然色密封胶配方举例

组　　分	用量 重量份	组　　分	用量 重量份	组　　分	用量 重量份
丙烯酸溶液聚合物（固体含量83%）	545	乙二醇	9	气相白炭黑	28
		细粒子碳酸钙	422.5	合计	1198
混合二甲苯	75	石棉	17	固体含量，%	84.5
松焦油	6	滑石粉	96		

表 13-2-9 汽车用密封胶配方举例

组　　分	用量，重量份		组　　分	用量，重量份	
	配方 1	配方 2		配方 1	配方 2
将下面三个组分装入高剪切低速混合机（双 σ 叶片或行星式）内并混合几分钟			甲基丙烯酸甲酯-苯乙烯-丁二烯聚合物（83% 固含量）Acryloid CS-1	170.86	170.86
碳酸钙 Camel-KoTe	543.14	—	加入以下预混料，然后搅拌15min		
湿法研磨方解石 Duramite	—	543.14			
蓖麻油无机改性衍生物 Thixatrol-ST（触变剂）	47.73	47.73	环烷酸钴（6%）	0.60	0.60
			环烷酸锌（8%）	2.98	2.98
二氧化钛（颜料）	23.59	23.59	γ-异丁烯酰基丙基三甲基硅烷 Silane A-174	1.30	1.30
将下列两组分装入并混合45min					
丙烯酸树脂溶液（83%固含量）Acryloid RAS-75	397.65	397.65	二甲苯	20.52	20.52
			工业级甲乙酮肟防结皮剂 Exkin 2	0.52	0.52

在表13-2-8中密封胶含有大约30～40%的丙烯酸聚合物固体。碳酸钙、石棉、滑石粉为填料，而气相白炭黑作为稠度和流变控制剂。松焦油为在用作油和油脂的接头表面时的颜料分散剂和渗透剂，乙二醇为气相白炭黑的活化剂，混合二甲苯可调整粘度及挤出难易程度。

溶剂含量高时（10～15%）能引起收缩过大，适当地减慢密封胶体系的溶剂挥发速度，可克服接头变形。

表13-2-9的配方为汽车用密封胶，通常可做成胶带型。二个配方中，除了填料一个用碳酸钙，而另一个为方解石，其它组分都相同。

溶剂型丙烯酸密封胶可制成筒装和块状，大多数是用在工业上密封和安装玻璃使用，包括幕墙接缝、混凝土墙体接缝、石板和金属-石头接缝等（例如天窗等）使用。

与乳液型密封胶比较，溶剂型丙烯酸密封胶具有杰出的耐老化性和对许多基材的良好粘接性。同时，该类密封胶对湿的、油的和不清洁表面仍具有良好粘接能力，因而可省去表面处理工序。

表 13-2-10 建筑用密封胶配方举例

组　　分	用量，重量份
丙烯酸酯聚合物—含芳香溶剂（固体含量85.1%）	500
碳酸钙	887
石棉粉	12
硅酸镁	8
胶态二氧化硅	25

溶剂型密封胶尚未大量用于建筑业。因为施工要求密封胶具有足够低的粘度，密封胶须加热到50～60℃，另外，能在室温下使用的密封胶又具有坍塌倾向。

该类密封胶的缺点是，含有易燃溶剂，聚合物分子量比乳液型的低，因而弹性低，最后的密封胶残留有一定的粘性及强烈的气味。

四、密封胶性能

代表性丙烯酸酯密封胶的性能如表13-2-11所示。

表 13-2-11 代表性丙烯酸酯密封胶的性能

性　能	指　标	试验方法	性　能	指　标	试验方法
伸长率（7℃）	250%	TRC-ST/168C①	硫化条件	25～50℃×14d	TT-S-00230
污染性	无	TT-S-00230/3·5·7	剥离粘接力 kN/m	9.81～13.73	TT-S-00230/3·5·9
紫外光透过玻璃	耐紫外光好，粘接不破坏	19-GP-5/6·2·7②	耐盐雾（4.5℃在5%盐溶液中200h后）	粘接力和粘接法不下降	ASTM-B-117-57T
加速老化	粘接力不下降或1000h后不渗油	ASTM E-42方法E	热老化后重量损失	5.29%	TT-S-00230/3·5·5
硬度（邵尔A）	35	TT-S-00230/3·5·4	耐久性(在水中，热冷条件下浸渍4d后的粘接力和粘接法)	在原来密度的最少160%伸长3h，在砂浆玻璃和铝上符合要求	TT-S-00230/3·5·8
重新填缝	75%以上的可靠接触	19-GP-5/6·2·10			
坍塌	不	TT-500230/3·58	颜色稳定性	良～优	

① TRC——ST/168C为Tremco Research Center——Standard Test。
② 加拿大国家规范局（CGSB）嵌缝及玻璃窗密封用单组分密封胶标准。

乳液型聚丙烯酸酯密封胶的特性如下：

① 通过水分的蒸发或吸收而固化；

② 该类密封胶很少有令人不快的丙烯酸酯所特有的臭味，不坍塌，消粘时间短，固化时间也短；

③ 含水量少，体积收缩小；

④ 柔软性、伸长能力、复原性、耐水性、粘附性、耐候性优良；

⑤ 贮存稳定性良好。

溶剂型丙烯酸酯密封胶的特性如下：

① 施工后通过溶剂蒸发，在常温下固化，因此，固化时间相当长（4～6周），基材的深度可自行限制，同时，体积收缩颇大；

② 对各种基材有良好的粘接力；

③ 与一般双组分弹性密封胶相比，固化后的伸展和复原性稍差，内聚强度表现较迟；

④ 有20年的使用年限历史，常温下贮存稳定性达6个月；

⑤ 该类密封胶的缺点是施工时需要加热到50℃左右。

第三节　丁基橡胶和聚异丁烯密封胶

一、概　　述

聚异丁烯是异丁烯单体的均聚物，丁基橡胶是异丁烯与少量（<3%）异戊二烯的共聚物，而卤化丁基橡胶是丁基橡胶经卤化制得的改性丁基橡胶品种，它们统称为异丁烯类聚合物。该类聚合物具有十分优良的耐老化性、耐介质性、粘性和低气透性，因此广泛用作密封胶的主体材料，它们具有以下特性。

1．高饱和度与耐环境腐蚀性

异丁烯类聚合物分子结构的饱和度高，聚异丁烯几乎是完全饱和的，而丁基橡胶类聚合物的双键含量也仅在0.5～2.0%mol的范围。这种高饱和度的分子结构赋予异丁烯类聚合物十分优良的耐天候、耐热氧和耐臭氧老化性，以及良好的耐植物油和化学药品性。尤其是聚异丁烯，在通常温度下能长期耐化学药品的作用，除丁聚四氟乙烯外，还没有其它聚合物材料可与它媲美。只有长时间地与硝酸接触，才有被破坏的倾向。浓硫酸和浓硝酸在80℃以上可与之作用。

2．长卷曲分子链与低气透性、高吸振性及低温柔软性

异丁烯类聚合物的主链既长又直，呈线性结构，一般的丁基橡胶分子主链中含有47000～60000个链节。在分子主链上又连接着许多甲基基团的侧基，这些甲基基团的体积不大，并呈有规则侧向空间排列，因此它们并不干扰橡胶分子的定向，这样就产生了一个能紧密卷曲且易转动的分子链结构。

异丁烯类聚合物的这种分子结构赋予聚合物作为密封胶所具有的独特性能。

（1）吸振性　与分子主链相连接的甲基基团体积小、排列规则，空间位阻小，因此易旋转，可产生高阻尼效应，使聚合物具有良好的吸振性。

（2）低气透性　长线性紧密卷曲的易转动的分子链结构，有效地降低了湿气、空气以及其它气体的渗透性，因此异丁烯类聚合物具有无以类比的气密性。

（3）高的生胶内聚力和弹性　异丁烯类聚合物带有侧基团的长而卷曲的分子结构几乎没有结晶倾向。聚异丁烯在－33℃放置1年，也只有少量的结晶，含有0.5%异戊二烯的丁基橡胶在同样的温度下也不会引起结晶。在拉伸条件下聚异丁烯会出现结晶，而丁基橡胶几乎不结晶，这是两者的区别所在。

异丁烯类聚合物的内聚强度只取决于分子的缠结或交联而不是取决于结晶。从分子角度和交联角度看，该类聚合物的内聚强度可以达到与结晶的氯丁橡胶内聚强度相类似的水平。

完全无定形特性赋予这类聚合物具有高弹性、永久粘性和抗振动所必需的动态性能。

（4）良好低温柔软性　异丁烯类聚合物的玻璃化温度约－60℃，在相当低的环境温度

下仍能保持柔软。

3．非极性、低吸水性及高电绝缘性

异丁烯类化合物是非极性聚合物材料，吸水性很低，虽然粘着性（Tack）很高，但对许多基材表面的化学吸引力很弱，常常需要借助于树脂等增粘剂来提高聚合物极性。

非极性和低不饱和性使异丁烯类聚合物具有良好的电绝缘性，而低的吸水性和低的水渗透性使其电绝缘性更佳，体积电阻可达$10^{16}\Omega\cdot cm$以上，比一般橡胶高10～100倍；介电常数（1kHz）为2～3；功率因数（100Hz）为0.0026。

低分子量的异丁烯类聚合物具有优良的永久粘性，对许多基材有良好粘附性。

二、密封胶组分材料选择

（一）聚合物材料选择

异丁烯类聚合物品种系列很多，密封胶配方设计者可根据所需密封胶的最终性能及制备工艺选用适当的聚合物材料。通常最重要的参数是聚合物分子量。聚合物分子量越低，其内聚力越小，粘性越高；聚合物分子量越高，内聚力越大，粘性越低。丁基橡胶在非硫化型密封胶中使用最多，很少用于硫化型密封胶。不饱和度并不影响未硫化和部分硫化胶料的大多数性能，但在非硫化型密封胶中应尽量选择不饱和性低的丁基橡胶级别。

1．提高密封胶内聚力的方法

在保持其它性能（例如粘性）不变的情况下，提高密封胶内聚力的方法如下。

（1）选用高分子聚合物　为提高密封胶强度，选择同加工设备相适宜的最高分子量的聚异丁烯，例如Vistanex MM级或者丁基橡胶。

（2）丁基橡胶与聚异丁烯并用　丁基橡胶同聚异丁烯并用，并使丁基橡胶组分硫化交联，制得部分交联丁基橡胶，以获得内聚力适当的主体材料。

（3）丁基橡胶部分交联　加入用量经精确计算的硫化剂，制得交联丁基橡胶。也可选用商品交联丁基橡胶。

（4）氯化丁基橡胶同其它聚合物并用　利用氯元素的功能，使氯化丁基橡胶硫化，制得部分交联聚合物。

2．提高密封胶粘性的方法

为获得良好的粘性，可选用低分子量级聚异丁烯，也可选用解聚丁基橡胶并配入相容性好的增粘剂。

在配合时，为了使密封胶获得较好的综合性能，常将几种异丁烯类聚合物并用，同时还常与热塑性密封胶、热塑性树脂等并用。交联丁基橡胶同其它聚合物的并用效果如表13-3-1所示。

表 13-3-1　交联丁基橡胶与聚合物并用效果

并用聚合物类型	并　用　效　果
溴化丁基橡胶	可改善密封胶混合性、粘接性及屈服强度
三元乙丙橡胶	接受增塑剂，改进挤出性能
SBS	提高密封胶高温塑性，改进密封胶高温挤出性能及低温性能
EVA	提高密封胶高温塑性，改进挤出性，但低温性受损失

（二）硫化体系选择

丁基密封胶绝大多数是未硫化型的，不需要硫化。双组分硫化型密封胶通常需要室温硫化。在制备密封胶时，既使是不硫化型密封胶，为提高密封胶的内聚力，常需要对异丁烯类聚合物进行动态部分交联处理。常用的硫化体系有下列4种。

1．醌肟硫化体系

醌肟硫化是通过芳香亚硝基化合物的亚硝基团进行交联的。常用的硫化体系是对醌二肟（GMF或QDO）和二苯甲酰对醌二肟（DBGMF或DBQDO）同二氧化锰、二氧化铅和四氧化三铅并用体系。DBQDO反应活性小，在选择好温度时很容易控制。因为二肟和氧化剂硫化体系在室温或更低的温度下就能硫化，因此配制密封胶时应将二肟化合物与氧化剂分成两个组分配制，使用之前将它们混合。

2．硫黄硫化体系

该体系包括硫黄、秋兰姆或氨基甲酸盐类促进剂和噻唑类或噻唑二硫化物活性剂。为获得满意的硫化，需加入氧化锌或其它金属氧化物。硫化速度和可交联数量随聚合物的不饱和度增加而增加，因此硫化体系与天然橡胶和丁苯橡胶等高不饱和度聚合物是有差别的。

3．树脂硫化体系

丁基橡胶常用的树脂硫化体系中的树脂是活性溴化烷基酚醛树脂，例如美国的 Schene-ctady 'ssp-1055。丁基橡胶的树脂硫化可在室温到高温的温度范围内进行，这主要取决于具体使用的树脂和硫化活性剂的浓度与类型。

常用活性剂有卤化物与氧化锌。常用的卤化物有氯化聚乙烯、氯丁橡胶、氯磺化聚乙烯、溴化或氯化丁基橡胶，用量为10～5份。这种卤化物在树脂硫化丁基橡胶中放出氯化氢，而氯化氢与氧化锌反应生成氯化锌而加速硫化。常用的金属氯化物有氯化铁($FeCl_3 \cdot 2H_2O$)、氯化锌（$ZnCl_2 \cdot 6H_2O$）、氯化亚锡（$SnCl_2 \cdot 2H_2O$），其中以氯化亚锡活性最大。

4．氧化锌硫化体系

在氯化或溴化丁基橡胶中使用氧化锌作硫化剂，这在密封胶中是相当有意义的。因为当氯化丁基橡胶与其它弹性体并用时，在不使其它弹性体产生交联的条件下，氯化丁基橡胶可被氧化锌所硫化。尤其在食品及药品中使用的制品，用氧化锌硫化更令人满意。在简单的配方中，含有一种聚合物和氧化锌就可硫化。

（三）填充剂选择

适于其它橡胶的炭黑和非炭黑类的补强剂和非补强剂等填充剂也适合丁基密封胶中使用。细粒子补强剂如陶土、水合二氧化硅、硅酸钙、硅-氧化铝、气相白炭黑、氧化镁、硅酸盐以及细粒子炉法炭黑都可以提高密封胶的内聚力和挺性，降低冷流性，但同时也降低密封胶的粘性。为配合耐酸和耐化学药品腐蚀以及低气体渗透性密封胶，宜选择云母、石墨、滑石粉等片状填充剂。

粗粒子填料可增加密封胶粘性，如填加氧化锌可增加密封胶粘性和内聚力。加入氢氧化铝、立德粉、碳酸钙以及热裂法粗粒子炭黑的密封胶，随着内聚力适度增加，粘性也增加。

总的来说，填充剂对密封胶影响较大，是一个关键组分，应当根据密封胶最终性能慎重选择，选择的原则主要是价格因素和性能因素。

1．价格因素

大多数丁基密封胶用于建筑物嵌缝，用量大，性能要求不高，此时价格为密封胶的主要因素。选用碳酸钙、滑石粉等填充剂常常可获得适当的物理性能，而且价格低廉。

2．性能因素

（1）硫化型密封胶配合　在以低分子量丁基橡胶为基材的硫化型密封胶中对填料是有一定要求的，所使用的填充剂不能与硅烷偶联剂（增加密封胶同被粘基材粘接力）起化学反应。

（2）电绝缘用密封胶　在电气绝缘胶粘带和油灰配合中，应当注意填料的电性能以及

配合前后吸水性的变化情况，为此选择滑石粉和陶土较好。

（3）耐火焰密封胶　对于要求耐燃烧或自熄性的密封胶，必须选择有阻燃性的填充剂。氧化锑和抑燃剂Dechlorone两者的混合物较有效，用量在10/30到15/45范围内。

（4）密封胶的物理性能　丁基密封胶大体上可分成非弹性、半弹性和弹性3类，在原材料选择上，除聚合物为关键组分外，填料选择相当重要。例如汽车安装玻璃使用的胶带，其填料必须有助于提高密封胶的内聚强度，宜选用补强性填料。而非弹性密封胶，因其内聚力低，多选用非补强填充剂。

（四）增塑剂和增粘剂的选择

密封胶的一系列性能，尤其是流变学性能，可以通过精心选择聚合物类型而获得解决。而使用一系列的增粘剂和增塑剂也可控制粘度和内聚力的水平。

1．增塑剂

增塑剂也叫软化剂，用以调整密封胶的粘度（即密封胶软硬程度）和内聚力，并增加粘性。

最常用的增塑剂是聚丁烯，它是由不规则分布的丁烯异构体组成的饱和聚合物。均聚物链单元全都是1-丁烯、2-丁烯和异丁烯。

由于聚合度的不同，聚丁烯可以按分子量从100到3000分成不同的级别。聚丁烯的粘性随其分子量增加而增加。低分子量的聚丁烯是液体状；高分子量聚丁烯是粘稠液体。聚丁烯与异丁烯类聚合物的相容性特别好，在诸多的增塑剂中，聚丁烯为最好的一种，因此异丁烯类聚合物为主体材料的密封胶常选用不同分子量的聚丁烯作增塑剂，使密封胶保持柔软和永久粘性。从Amoco公司的IndopolH-300到H-1900的高粘度品种聚丁烯是通用丁基橡胶和交联丁基橡胶最好的增容剂，并可使密封胶具有良好的强力和弹性保持性，抗抽丝性和抗渗出性也好。Indopol L-14的含量不能超过10%，否则会被抽出。

聚丙烯也是良好的增塑剂，它也具有几种不同分子量级别，根据其粘度和挥发性选用。

低分子量的丁基橡胶和低分子量聚异丁烯是最常用的相容性好的增塑剂。

其它常用的增塑剂有石蜡油、凡士林、机油以及长脂肪链的邻苯二甲酸盐等。

2．增粘剂

为了提高密封胶对被粘基材的粘接力，常常加入增粘剂。

上述的聚丁烯、聚丙烯以及低分子量的异丁烯类聚合物既可作为增塑剂又可作为增粘剂使用。除此之外，还经常使用萜烯树脂、萜酚树脂、石油树脂、非反应性烷基酚醛树脂，以及松香系树脂，但松香系树脂与异丁烯类聚合物相容性不好。

增塑剂和增粘剂的类型和软化点是影响密封胶性能的主要因素。

（五）溶剂选择

异丁烯类聚合物可在碳氢溶剂和氯化溶剂中溶解，而在一般的醇、酯、酮及其它低分子量的含氧饱和溶剂中不溶解。密封胶常用的溶剂有正己烷、正庚烷和石脑油（粗汽油）等挥发性链烷烃。

选择溶剂的普遍原则是对空气不能有污染。出于这个原因，宜选择Laklane（快挥发）、VM和P Naphtharc(中等挥发)和Rule66矿物油精（慢挥发）的溶剂。

按施工要求，密封胶的固体含量主要取决于所使用的溶剂类型和填充剂含量赋予胶液的粘度。用于喷涂的胶液固体含量控制在5～10%，浸渍胶液为10～30%，涂胶用胶液为25～55%，用于指抹或刮涂时为50～70%。而溶剂挥发型的挤压枪用密封胶其固体含量在75～

90%。固体含量过低会引起密封胶过大的收缩。

（六）其它添加剂

1．降低成本的添加剂

为降低成本、改善加工工艺并满足某些性能要求，还要加入一些添加剂，其中最有效果的有如下几种。

① 油膏　油膏价格低廉，可改善操作性，并可减少冲击性。

② 无定型聚丙烯　可降低成本，改善操作性，例如使密封胶具有塑性。

③ 石蜡　石蜡与无定形聚丙烯作用相似，如低分子的聚乙烯和聚丙烯，可改善热施工密封胶的挤出性能，并增加粘性。

④ 沥青　沥青可大大降低密封胶成本。

2．防老剂

在异丁烯类密封胶中加入防老剂和紫外光防护剂，可防止热、阳光老化。

3．触变剂

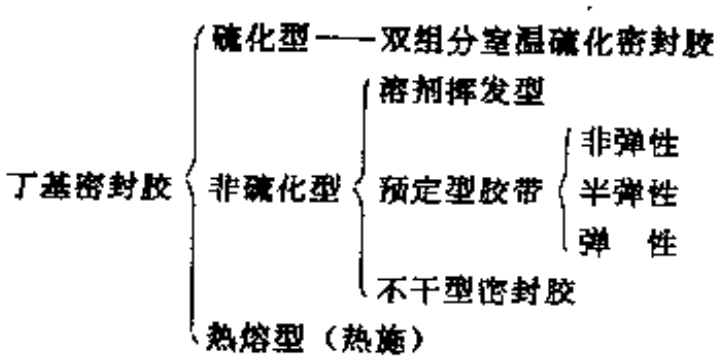
在溶剂挥发型密封胶中，为防止密封胶的坍塌，可加入触变剂。常用的触变剂有胶体二氧化硅、氢化蓖麻油、乙醇活化的陶土。

4，干性油及催干剂

在溶剂挥发型密封胶中为使表面干燥而形成一层薄膜，需加入干性油（加亚麻籽油等）以及金属催干剂（如钴盐等）。

三、丁基密封胶的类型、制备与性能

如前所述，异丁烯类聚合物赋予密封胶一系列的最佳固有性能，因此，以异丁烯类聚合物为基材的密封胶在建筑、交通运输、机电设备和电气方面广泛使用。丁基密封胶的分类如下：



（一）溶剂挥发型密封胶

无固定形状的单组分丁基密封胶通常配制成适合于嵌缝挤出枪施工使用的、含有溶剂的（即通常所说的溶剂挥发型）密封胶。

溶剂挥发型密封胶具有良好的施工性，其特点是溶剂挥发后硬化而不发生化学交联，对许多建筑材料（如钢、铝、玻璃、瓷、砖石、大理石和混凝土等材料）表面都有良好粘接力。被粘表面只须进行简单的工业清洗（除尘、除泥土和油污等），一般不需使用底胶。对于深的接缝，在使用密封胶之前应当填塞衬垫物至密封表面以下12～8mm的高度。该类密封胶属于能承受中等接缝位移的密封胶，可以在±5～±12%的接缝伸缩范围内安全使用。由于溶剂的挥发会引起收缩和缺胶，通常体积收缩可达20%。

1．配合

（1）橡胶基材的选择　该类密封胶因溶液粘度高，因此大多选取门尼粘度最低的，即

分子量小的丁基橡胶。常用品种有Polysar Butyl 100、Esso公司的Butyl 035丁基橡胶。选用低分子量级的聚合物可以减少溶剂和增塑剂的用量，而获得低粘度密封胶。

卤化丁基橡胶比普通丁基橡胶多两个优点：一是对各种基材有良好粘接力；二是可加入多种硫化剂使之交联（包括氧化锌，因此常被优先选择）。与低分子量丁基橡胶相比，卤化丁基橡胶的分子量高，因此要加入多量的增塑剂及溶剂。调整增塑剂类型及用量可获得具有良好垂直不坍塌性的密封胶。

商品化交联丁基橡胶和动态交联的部分交联聚合物因具有高内聚力和低流动性，也很适合密封胶使用。用交联丁基橡胶配制的密封胶具有内聚力和伸长大，回复弹性好和耐坍塌的特点。

（2）填料选择　密封胶填充剂的选择与油基类密封胶填充剂选择原则相同。使用最多的是碳酸钙、滑石粉、硅灰粉、二氧化硅等，最好是几种填充剂并用，这样能发挥每一类型填充剂的优点。同时还必须考虑填充剂的粒子大小。

a．碳酸钙　碳酸钙价格低廉，粒子直径尺寸范围宽，最适合密封胶使用。用脂肪酸处理过的碳酸钙，形成一种不溶性的脂肪酸钙（钙皂），可改进密封胶对基材的湿润性、操作性，防止坍塌。

碳酸钙的颗粒大小是个重要因素。大颗粒碳酸钙可防止密封胶坍塌，但会使密封胶挤出表面粗糙，并引起挤出困难，密封胶发硬。细粒子碳酸钙可获得挤出表面光滑、挤出性好的密封胶，但防坍塌性不良，因此通常是粗细粒子碳酸钙并用。

b．滑石粉　滑石粉的粒子形状对密封胶的性能影响较大：纤维状滑石粉会使密封胶稠度增高；而粒状滑石粉又使稠度降低；片状结构的滑石粉介于两者之间。片状滑石粉具有更高的吸收能力，其吸收能力取决于其表面积。在总表面积相等情况下，粒子大小分布窄的滑石粉可改善对增塑剂的吸收，滑石粉有助于补强和控制密封胶的下垂。

c．二氧化硅　此类填料中，硅藻土可赋予密封胶特殊的加工性和挤出性能，无副作用，可改善密封胶硬度和挺性，减小挤出膨胀。沉淀二氧化硅可作补强剂和低膜数耐水密封胶。

d．陶土　陶土主要用作增容剂，控制耐坍塌性，还具有补强性。硬质陶土可增加硬度和耐磨性，与之相比，软质陶土补强性能要低得多，主要作增容。

（3）增塑剂　由于高分子量丁基橡胶（或交联丁基橡胶）本身初始粘度高，为制得具有可挤出稠度的高质量密封胶，必须加入大量低粘度稀释剂以降低其粘度。但所用溶剂量越大，密封胶收缩也越大，引起密封胶质量下降。采用增塑剂不仅有助于降低密封胶收缩，还可改善其粘接性和粘性。

在诸多的增塑剂中，聚丁烯最为理想，它是一种不挥发的、与丁基橡胶相容性良好的稀释剂，其分子量相对于低分子增塑剂较大，可以阻止密封胶渗透到多孔材料中去。聚丁烯还可降低密封胶收缩性，并使密封胶表面具有一种发粘的倾向，但并不影响密封胶使用性能。在选择聚丁烯作增塑剂时，要考虑所用填料的类型和颗粒大小。粗粒子填料宜选用高分子量聚丁烯，或高分子量与低分子量聚丁烯并用。在混炼时，粗粒子填料与高分子量聚丁烯应先加入。聚丁烯的用量也根据其分子量而确定，分子量越小用量越小，分子量越大用量也越多，因为分子量越高其软化效果越低。聚丁烯可保证胶料的永久柔软性。

高稳定性的低粘度矿物油、沥青、液体树脂、液体松香和常用的酯类增塑剂都可作为增塑剂使用。此外，凡士林、石蜡等也是良好的增塑剂，这些增塑剂最好和聚丁烯并用。

（4）增粘剂　在溶剂挥发型密封胶中，上述聚丁烯及液体树脂等具有增塑剂和增粘剂

双重功能。除此之外，常用的增粘剂有萜稀树脂、萜酚树脂、酚醛树脂、松香及其衍生物。

（5）触变剂　为增加密封胶触变性，提高其耐下垂性，配方中应含有触变剂。常用的触变剂有气相白炭黑、硅藻土、氢化蓖麻油以及蓖麻油处理的陶土。

（6）湿润剂　湿润剂是注射型密封胶的推进剂，用量小但作用大。常用的湿润剂有脂肪酸类，例如大豆油、妥尔油、油酸和硬脂酸等。湿润剂有助于湿润填充剂的颗粒表面，以改进其分散性和流动性。脂肪酸用量要适当，用量过多会严重喷出并引起污染。

（7）催干剂　为使密封胶表面干燥并形成一胶膜层，需加入催干剂。通常使用氧化性催干剂，一般是钴的脂肪酸盐（如环烷酸钴等）。调节催干剂用量可控制成膜速度。催干剂用量一般控制在催干剂金属含量占密封胶总重量的0.012～0.018%。

加入催干剂的同时，还必须加入干性油，才能有效促进成膜，常用干性油为亚麻仁油、氧化大豆油等。适当选择油的类型和用量可控制成膜速度、成膜性能、颜色稳定及老化性能。

（8）溶剂　溶剂在该类密封胶中的唯一功能是控制密封胶的操作特性。少量的溶剂是以可用挤出枪挤出为限。适用的溶剂有矿物油精、石脑油等，也可选用其它溶剂。上述溶剂可单独使用，为控制挥发速度也可掺入一部分易挥发溶剂。溶剂用量不能过多，否则会使密封胶收缩过大、破裂、降低粘接力，并留下不良外观。

（9）防老剂　为防止热老化、日光老化等，常需加入0.5～1份的防老剂。

2．制备工艺

（1）加工设备　制备丁基密封胶时，加工设备和操作技巧对其质量影响颇大。加工设备的选择取决于丁基橡胶的分子量。橡胶分子量越大，使用的设备功率也应越大（剪切力大）。例如，未改性的交联丁基橡胶具有高粘度特性，应使用中～大功率的加工设备最常用的是E型叶片捏合机。一般混合机的功率与容量之比至少要达到22kW/450L，才能有较好混炼效果。

用低剪切设备制备密封胶时，须将丁基橡胶等聚合物预先溶解在溶剂中制成50%橡胶溶液。常用的方法是先将异丁烯类聚合物塑解（控制性破坏），得到低粘度胶液。使用塑解过的聚合物不仅可改进密封胶的挤出性能，而且并不影响密封胶的操作性能。

交联丁基橡胶的加工与普通丁基橡胶相比有二个特点：一是因其粘度高，因此要求中～大功率的设备；二是当加入溶剂时，橡胶部分溶剂化（在环己烷中Polysar公司的XL-20和XL-50的溶剂化程度分别达到20%和50%），会导致凝胶膨胀。基于这二点，通常先将交联丁基橡胶同少量增塑剂和填料制成母胶，这有助于它的分散混合，该方法特别适用于浅色密封胶的制备。

（2）混合方法　溶剂挥发型密封胶的制备方法基本上有直接混合法、逆混合法、由丁基橡胶胶液制备法和混炼胶溶解法4种。其中逆混合法效果最好，可在短时间内获得更好的分散，尤其适合于交联丁基橡胶。

a．直接混合法　除触变剂之外，将所有配合剂逐步加入橡胶中，混合时间为5～10min，最后加入触变剂，再加入热活化剂，至少在70℃下混合10min，当胶料冷却后，加入溶剂。其典型的混合周期如下（设备是具有通冷水和蒸气护套的E叶片捏合机）：

0min　　橡胶或母胶、防老剂；

$\frac{1}{4}$min　　$\frac{1}{3}$增塑剂；

2min　　树脂、$\frac{1}{3}$树脂；

4min　　剩余增塑剂、填料，温度68～71℃（最低）；

15min　　触变剂（包括活化剂），温度68～71℃（最低）；

25～30min　　冷却到33～38℃，慢慢加入溶剂；

45～60min　　出料装管。

b．逆混合法　此法推荐用于交联丁基橡胶。首先加入增塑剂（通常是聚丁烯）、触变剂（包括活化剂）、树脂、填料和防老剂，并进行混合，加热使树脂分散。加入橡胶前停止加热，橡胶分散均匀后立即加入溶剂。使用设备与直接混合法相同，其混合周期如下：

0min　　触变剂（包括活化剂）、聚丁烯、填料、树脂加热到120℃；

5min　　停止加热，加入橡胶或母胶；

30min　　通水冷却；

35min　　干性油（如果有的话）、溶剂立即加入；

50～60min　　出胶包装。

c．胶液直接混合法　使用丁基橡胶溶液与增塑剂掺合，大约需15min，慢慢加入填料，待分散后得到一个光滑糊状物（大约30min），然后慢慢加入溶剂。使用设备与 直接混合法相同。其混合周期如下：

0min　　丁基橡胶液、防老剂、部分增塑剂完全掺合；

15min　　触变剂（包括活化剂）混合均匀；

30min　　$\frac{1}{2}$填料慢慢加入、用增塑剂控制粘度均匀；

45min　　$\frac{1}{2}$填料、剩余增塑剂；

60min　　溶剂、均匀；

75min　　出料包装。

d．混炼胶溶解混合法　在开炼机或密炼机上将聚合物与填料等各种配合 剂 预先制成混炼胶，在搅拌机中将混炼胶溶解制得。

（3）包装　密封胶混合后通常转移到包装机上，再用手工或自动装入弹药管中。

3．配方举例

表13-3-2所列的是典型的溶剂挥发型密封胶。配方1是将丁基橡胶先溶解在溶剂中，制成橡胶含量为50%（重量）的胶液，可采用小功率（低剪切力）设备加工制造密封胶。而配方2则是以交联丁基橡胶为主体材料制备密封胶。

4．密封胶性能

密封胶的配方设计是按照最后使用性能来进行的。还应注意，同类型密封胶的质量也有差别。一种溶剂挥发型密封胶也许比化学硫化型密封胶更好，同理，一个高质量油基型密封胶也许比一个劣质弹性基质密封胶更好，特殊的产品必定有其独特优点。

为了保证高质量以及易于用手动嵌缝挤压枪挤出，对溶剂密封胶的主要性能有如下要求。

（1）挤出性和贮存稳定性　溶剂挥发型密封胶是用手动或气压推动的嵌缝挤压枪以实用速度挤出施工的。按TISA--5758规定，该类型密封胶填满200ml聚乙烯弹药筒内（筒径为

表 13-3-2 溶剂挥发型密封胶配方举例 单位：重量份

组 分	配方1	配方2	组 分	配方1	配方2
埃克森丁基橡胶065(含有50%矿物油精)	200		无定型含水硅石 Silene D（含82%的水合SiO_2）		40
Polysar交联丁基橡胶XL-50		100	增粘剂SP-553树脂	35	
抗氧剂Irganox 1010		1	萜烯树脂		20
低分子量聚异丁烯(LM-MS)	20		蓖麻油热活化改性陶土触变剂		30
聚丁烯(H-300)	100		吹制大豆油Z_8	15	
聚丁烯(H-1900)		190	环烷酸钴催干剂	0.5	
异硬脂酸	5		气相白炭黑	20	
纤维状滑石粉	300		矿物补强	55	
碳酸钙	200	620	脂肪烃溶剂Varsol 3139		159
二氧化钛	25		合 计	975.5	1160

46.5mm，长度为155mm，喷嘴直径3.8mm），在0.1MPa压力下，于20±3℃（夏天用密封胶）或5±2℃（冬天或全年通用密封胶）下将密封胶全部挤出所需时间应分别不大于20s和30 s。密封胶在管内贮存之后其挤出容易程度不能有明显下降，在一般条件下，贮存有效期为2年。

（2）耐坍塌性 耐坍塌性与挤出性互为矛盾。耐坍塌性好的挤出性差，反之亦然。非坍塌密封胶应具有垂直方向或头顶接缝不流动的优良性能。

原材料分散不良会引起密封胶挤出不良和坍塌，丁基橡胶具有较高的溶液粘度，其挤出性和坍塌性二者关系相当敏感，为此必须精心选择橡胶配合剂和特殊增塑剂。

（3）硬度稳定性 密封胶的硬度通常随定伸应力的增加而增加，因此，在实际使用中，当硬度增加导致定伸应力增大并超过粘接力时，粘接将被破坏。

与油基型密封胶相比，丁基密封胶的硬度相当稳定。图13-3-1表示丁油基型密封胶和丁基密封胶的硬度以及在室外自然条件下3年后的硬度变化。由图中看出，刚使用一年的两种密封胶，油基型密封胶形成的韧性表面，表面不是软的，而丁基型密封胶表皮下硬度与油基型差不多。3年后油基型密封胶硬度变化很大，十分易碎，已处于不能使用的情况。而丁基型硬度只相当于油基型暴露1年后的程度，仍十分柔软，具有弹性。丁基型密封胶的硬度增大也许是其内部易挥发物的挥发和树脂及其它材料氧化硬化引起的。暴露3年后的油基型密封胶表面硬度几乎比丁基型密封胶的硬度大3倍。

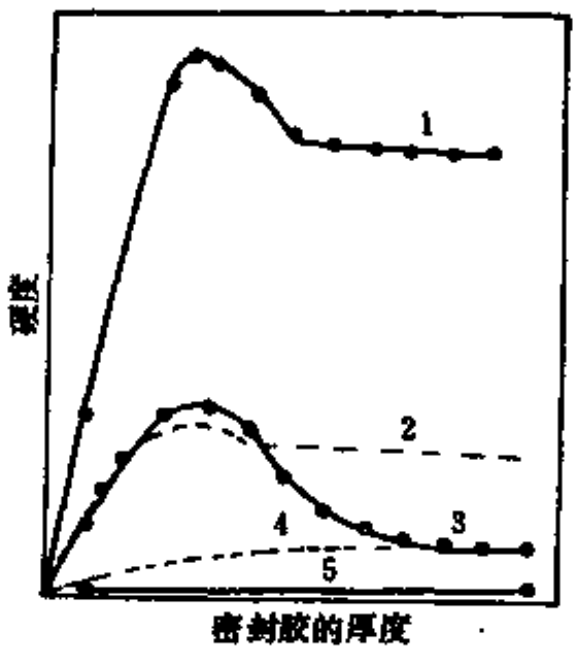


图 13-3-1 丁基型密封胶与油基型密封胶老化后硬度变化的对比

1—油基3年；2—丁基3年；3—油基1年； 4—丁基1年；5—新施工的密封胶

（4）收缩、裂缝和起泡 这些性能与坍塌性、挤出性一样，都与溶剂含量有关。过多的溶剂会导致高度收缩、裂缝和起泡。一个理想的密封胶其体积收缩率最大不超过20%，密封胶应呈现出一个光滑凹型表面而不含有气泡或脱开接缝墙体。溶剂挥发后会使密封胶内聚力增加。

（5）密封性和耐久性　密封胶的密封性取决于它对墙体的粘接力，而这种粘接力又与接缝活动时产生的应力有关，并且在任何苛刻的环境条件下必须保持很大的粘接力。除特殊基材之外，该类型密封胶不用底胶而对木材、金属、砖石、玻璃和混凝土等建筑材料应有良好的粘接力。

（6）回弹性　丁基密封胶具有橡胶的拉伸、弹性和压缩回复性，但与化学交联型密封胶相比要低得多。通常要求丁基密封胶应具有25～50%的伸长率和大约10～20%的压缩回复率，以适应接缝活动的变化。丁基密封胶的弹性使得它们在不出现裂缝和失粘的情况下具有合理的拉伸和收缩程度，在－20℃低温下仍具有弹性。表13-3-3列出了溶剂挥发型密封胶的典型性能。

表 13-3-3　溶剂挥发型丁基密封胶性能

项　　目	性　　能　　指　　标
固体含量	75～95%
颜　　色	白色和铅灰色使用最多，也可使用其它颜色
贮 存 期	1～2a
底　　胶	一般不需要
支撑材料	所胶接的接缝深度超过12.5mm时接缝中需填入支撑材料，这种材料一般是无油污、没有浸过沥青的可压缩材料，即丁基胶带、橡胶和塑料泡沫海绵
硫化类型	溶剂挥发后凝固
硫化特性	通过溶剂挥发，从表层开始干燥，密封胶含有少量“干燥剂”
消粘时间	0.5～6h，取决于溶剂类型及溶剂从表面挥发速度
施工温度	+5～+50℃
使用温度	－30～90℃
风化影响	良好耐臭氧、耐氧化、耐潮湿气体，稍有变硬，但仍具有柔软性
使用年限	10～20a
粘 接 性	对木材、金属、砖石、玻璃等建筑材料粘接良好
工艺伸长和压缩回复率	伸长20～50%，压缩回复率10～20%
允许接缝活动范围	+5～±12%
优　　点	价格相对低廉，容易施工，清洗要求不高，但具有永久柔软性和良好耐候性的弹性胶
缺　　点	非硫化型密封胶，在强度和弹性方面不如硫化型密封胶高，含固量低的密封胶收缩大

5．溶剂挥发型密封胶的应用

溶剂挥发型丁基密封胶主要用于固定接头和某些局部移动接头。这种接缝和接头可以是对接和平接接缝。还可用于隐蔽式的金属与金属接缝。

溶剂挥发型丁基密封胶在建筑业用量最大，安装和镶嵌玻璃以及各种类型的建筑镶嵌结构、幕墙结构都使用该类密封胶。

在工业领域中，例如活动房屋安装密封、汽车车体密封、工厂组装建筑构件等，以及空调和加热管道密封等都大量使用密封胶。

（二）无溶剂不干型密封胶

异丁烯类聚合物有许多系列品种，每个系列品种又有不同分子量级别的聚合物。高分子量级别的生胶型异丁烯类聚合物具有相当于结晶类聚合物（例如氯丁橡胶）的强度而低分子量级别的异丁烯类聚合物则具有永久的粘性。通过对异丁烯类聚合物的精心选择，可以获得由内聚力大的弹性密封胶到柔软的非弹性永久塑性密封胶，也可获得性能范围较宽的非硫化型无溶剂永久粘性压敏胶。

表 13-3-4 无溶剂不干性密封胶类型及性能

密封胶类型	内聚力	压缩回复性 %	受承接缝移动能力
非弹性密封胶	低	0～20	±5%
半弹性密封胶	中	20～40	±10%
弹性密封胶	高	40～100	±15%

弹性密封胶在密封中可起到硫化橡胶类密封垫片的作用；非弹性密封胶类似于刀刮级腻子和溶剂挥发型密封胶的功能。

根据密封胶的内聚力和回弹性，无溶剂不干型密封胶一般分为3种类型，见表13-3-4。该类密封胶通常为块状、带状、条状以及绳状，因此也叫预定型密封胶或预定型胶带。此外还常以膏状、块状等腻子形状供应，因此也叫丁基密封腻子。不管其形状如何，它们的共同特点是非硫化的，具有长期不干性及压敏性。其优点是使用时易操作，柔软、不收缩，主要用于建筑、土木、汽车、仪器仪表、电子器件等工业部门的密封、防震、防水、绝缘、嵌缝等方面。

1．密封胶组分

无溶剂不干型密封胶性能范围宽，各有各的性能特点，共同的特性为不硫化、不含溶剂，具有永久粘性和压敏性。因此其配合组分基本相同，只要精心控制粘度，会制出具有不同性能的密封胶。

（1）聚合物基材　根据密封胶使用性能要求，在异丁烯类聚合物中选取适当分子量的聚合物基材。弹性密封胶大多选用交联丁基橡胶或动态交联的聚合物，这样可以获得高内聚力及高回弹性密封胶。半弹性及非弹性密封胶大多选用丁基橡胶、卤化丁基橡胶以及低分子量的聚异丁烯。

（2）填充剂　炭黑作为补强剂，可使强度和柔软性获得平衡。使用快压出炉黑的密封胶挤出性能和耐热流动性好，但压缩变形大。高耐磨炉黑的补强性大，但挤出性差、外观不良。密封胶带含有少量补强性填料有助于保持胶带的压缩与弹性之间的平衡。补强性填料可同碳酸钙、软质陶土并用以降低成本并控制其柔软性。

浅色填料中，滑石粉是最普通的半补强性填料，可改善密封胶挤出性能及强度。

为获得良好的挤出性能，100份聚合物中至少应填加25份炭黑或30份矿物填料。

（3）增塑剂及增粘剂　常使用聚丁烯和低分子量聚异丁烯作为增塑剂及增粘剂使用。氯化聚亚苯基可有效地促进密封胶粘合。

适当选择聚丁烯及填料的用量可平衡密封胶的流动性。调整聚丁烯用量使密封胶获得足够的粘性，以代替增粘树脂。可以用非污染性油代替聚丁烯，其最大用量应小于喷出（迁移）临界量。

增粘树脂可增加密封胶粘接力和高温时的耐压性、回复性。常用的树脂有萜烯树脂、萜酚树脂、合成碳氢树脂等。为降低成本，还可用石蜡、环烷油或沥青作增容剂。不挥发性油可改进密封胶的低温性能。

（4）防老剂　尽管异丁烯聚合物耐天候老化性相当好，但加入防老剂可进一步提高它们的耐室外曝晒性能。异丁烯类聚合物本身部分交联也是提高密封胶性能稳定性方法之一。

2．密封胶的制备

（1）密封胶各组分混合　该类密封胶混炼方法与溶剂密封胶的制备相同。

为防止聚合物形成无数小粒，橡胶应当同一些低分子量的聚合物一起加入混合机中，然后尽快加入填料，即使高分子量和低分子量聚合物还未完全分散均匀，固体填料本身可起到分散剂作用。

保持胶料的低温对混合是有利的，油和低分子量的聚丁烯应当最后加入，因为它们会大大地软化胶料。树脂应当以粉状形式加入，并且必须在熔融的胶料中加入。

某些填料（尤其是炭黑）应先在密炼机或开炼机中制备成母胶，进行足够的加热以获得有效而理想的热处理或部分交联，从而使预分散的硫化体系在低剪切混合机中很容易地实现部分交联。

（2）预定型密封胶制备　具有各种形状和尺寸规格的预定型密封胶带、绳、条等可在挤出机上制得。在挤出密封胶时，为保证进料，挤出螺杆和机身的温度应当较低。挤出口型必须略微加热，以降低挤出胶离开口型时的膨胀。良好的挤出操作取决于口型温度、密封胶软硬及填充剂含量，填充剂含量越高越容易挤出。口型温度与密封胶软硬关系密切，密封胶越软，口型温度越低。

密封胶挤出后采用双面涂隔离剂的纸卷取，为避免安装时胶带拉伸，有时在胶带中嵌入一条细绳或挤出后直接粘贴一条细绳。

3．配合举例及用途

（1）非弹性和半弹性密封胶　非弹性和半弹性密封胶较软，受压易变形。非弹性胶无压缩回弹性，基本上是永久塑性的，而半弹性胶压缩后有较小的弹性回复性。

a．非弹性密封胶　从配合角度讲，该类型密封胶以聚丁烯及低分子量聚异丁烯为主体材料，为改善其内聚力和耐冷流变性，可以少量的丁基橡胶、交联丁基橡胶和卤化丁基橡胶改性，还可以用丁基橡胶、交联丁基橡胶以及卤化丁基橡胶为基材再配合大量增塑剂和非补强填充剂，最好还配合大量低分子聚合物。非弹性密封胶的内聚强度和伸长率等性能范围变化较大，适用面也较广，其价格差别也大。

b．半弹性密封胶　该类型密封胶多以丁基橡胶为主体材料，以炭黑类补强剂作为填充剂平衡其可压缩性与回弹性，以高分子量聚丁烯和烃类树脂作增塑剂及增粘剂。非弹性及半弹性密封胶配方举例如表13-3-5所示。表中配方1和配方2都是中空玻璃用的内层密封胶，前者是非弹性，后者是半弹性。

表 13-3-5　非弹性及半弹性密封胶配方举例

配方号	组　　分	用量，重量份	配方号	组　　分	用量，重量份
1	中空玻璃用非弹性密封胶		3	半弹性建筑用密封胶	
	低分子量聚异丁烯（Vistanex LM-MH）	100		丁基橡胶268	100
	磷片状滑石粉	48		白 炭 黑	50
	炭　黑　FT	2		二氧化钛	50
2	半弹性中空玻璃用密封胶			碳 酸 钙	300
	低分子聚异丁烯（Vistanex LM-MS）	61.2		磷片状滑石粉	150
	丁基橡胶	30.6		聚 丁 烯	200
	炭　黑	4.6		防老剂F	2
	氧 化 锌	3.1			

中空玻璃密封胶要求具有卓越的耐久性、耐候性、低的水蒸汽透过性，不含使中空玻璃形成雾状的易挥发成分。该类密封胶多采用低分子量聚异丁烯与丁基橡胶并用，聚合物含量比其它用途密封胶含量高，补强剂含量少，同时使用水蒸汽透过率极低的鳞片状滑石粉。因

聚异丁烯具有良好粘性，因此几乎不使用其它的增塑剂及树脂。有时为提高粘接性，常把树脂用量控制在极低的程度。为提高内聚力，有时将丁基橡胶部分交联。

c．用途　非弹性和半弹性密封胶的用途基本相同，它们主要用于以下几个方面。

① 用于建筑物幕墙结构施工中混凝土与窗户框之间的接缝。

② 与溶剂挥发型密封胶等挤压枪挤出的液体密封胶配合作为第二密封胶使用，以及在装配玻璃和基础填充胶和中空玻璃制造中作第二密封胶。

③ 其它方面。例如在汽车制造业中可作点焊密封胶，使用于焊接前钢板合缝处，它在涂料烘烤温度下体积膨胀到原来的1.5～2倍，把间隙完全密封，这种密封胶称之点焊密封胶。门窗与玻璃之间接缝也常用非弹性等密封胶，此外在机械设备、汽车车体、活动房屋中也大量使用。

一般讲，半弹性密封胶性能优于非弹性密封胶，可使用于直接暴露在空气中的场所。

（2）弹性密封胶

a．密封胶用途　丁基弹性密封胶伸缩回复性好，对于一些大的活动式装置也有良好密封性能。在建筑上主要用于超高层建筑的幕墙及聚丙烯板（如采光全天候球场）密封。在现代建筑上，中空玻璃安装以及空调机安装几乎要求达到完全密封的程度，玻璃窗要承受因强制性通风引起的压差而产生的强大压力。为了弥补窗框和玻璃之间的热膨胀系数之差，密封胶须具有伸缩性，并能防止因紫外光引起的密封胶粘接性下降。

在汽车工业中，玻璃窗户已不再使用以往的橡胶嵌条固定，而是用密封胶把玻璃直接粘在车身上。后窗玻璃、聚丙烯板的粘接密封也都使用丁基弹性密封胶。

b．配合　在上述场合使用的丁基弹性密封胶应具有高伸长、高强度、高弹性、高压缩回复性，要求对各种基材具有高剪切的粘接力，耐各种环境老化，并有良好抗振性。该类密封胶大多采用交联丁基橡胶或动态丁基橡胶作基材，其配方举例见表13-3-6。

4．定型密封胶粘带

非硫化型的无溶剂不溶性丁基密封胶大量地用于建筑、汽车和仪器设备的嵌缝及密封，为了施工方便，通常把密封胶制成一定形状和规格尺寸的定型产品供给用户使用，称为定型密封胶带。

与溶剂型的嵌缝密封胶相比，定型密封胶带具有许多优点：

① 预定型胶带因具有一定形状、尺寸规格，因此可以快速、准确和清洁地安装；

② 胶粘带安装之前不需要再混合加工，并具有无限的贮存期；

③ 一经安装就位，胶粘带立即起密封功能，不需要硫化或溶剂挥发，更不必担心坍塌；

④ 胶粘带安装时不要求特殊设备和技术；

⑤ 胶粘带可长期在苛刻环境条件下使用，可代替其它密封胶，在－55～95℃的温度范围内，密封胶带可正常工作；

⑥ 密封胶带因具有柔软性和压缩性，故能保持连续地无空隙（无间断）密封。

定型密封胶带根据实际的使用要求可以挤出带状、条状以及绳状等。其断面也有各种规格，一般的胶粘带用双面隔离纸包装。

为防止胶带在安装使用过程中被拉伸、拉断及下垂，或使密封胶带能充分地顺应日照、热、风、地震及其它振动因素造成的接缝伸缩移动等，通常在胶带拉出时（尤其是非弹性和半弹性胶粘带）嵌入一个中心定位绳，这种中心定位绳一般是用硫化橡胶条、橡胶绳和胶管以及泡沫材料等为芯材，埋置在密封胶带、胶条的中心。

表 13-3-6 丁基弹性密封胶配方举例

配方号	组分	用量 重量份	配方号	组分	用量 重量份
1	建筑用密封胶		3	汽车用密封胶①	
	交联丁基橡胶（ESSO AID 10）	100		丁基橡胶 065	60
	碳酸钙	200		氯化丁基橡胶（HT-1066）	40
	白炭黑（ハイシル 422）	50		碳酸钙	50
	酚类防老剂	2		炭黑（HAF-LS）	100
	聚丁烯（H-300）	110		聚丁烯（H-100）	115
	快压出炉黑	0.1		氧化锌	2
2	一般用途密封胶			氧化镁	0.4
	丁基橡胶 035	100		硬脂酸	0.4
	聚丁烯（H-1900）	30	4	汽车用密封胶	
	白炭黑（ハイシル 233）	35		交联丁基橡胶（AID 10）	100
	碳酸钙	70		白炭黑（ハイシル 422）	50
	氧化锌	15		炭黑（HAF-LS）	140
	快压出炉黑	30		聚丁烯（H-100）	140
	酚醛树脂（アンペ ロール ST-137X）	10		ハーエソソン树脂	30
	酚醛树脂（スゲネクタ SP-553）	15			
	酚醛树脂（Durez 12686）	25			

① 混炼程序：在密炼机内（班伯里）将丁基橡胶氯化丁基橡胶、碳酸钙、氧化锌、氧化镁、硬脂酸在165℃下混炼5 min制成母胶后，在捏合机中混合。

在安装玻璃时，为保证玻璃或玻璃组件的金属框架面平坦，胶带的中心带有一个中心薄片，这种中心薄片大小因金属框架周长的平均压力大小而异。中心薄片可消除组合件内易引起玻璃破碎的不平衡应力。图13-3-2为具有中心定位绳和中心薄片的密封胶带示意图。

有的密封胶带以塑料膜作为背衬材料制成板状，即叫作背基胶带，便于运输和安装。

定型胶带类型简述如下。

（1）建筑密封胶带　从胶带的质量特性来讲，建筑密封胶带一般分成非弹性胶带、半弹性胶带及弹性胶带三类。

a。背基胶带　这种胶带由非弹性密封胶挤出而成，可具有不同的软硬度，属非硫化型，在压力下易变形，无压缩回弹性。该种胶带主要用于：①在铝框上安装玻璃和建筑物的幕墙门窗密封；②作为其它密封胶的第二密封材料；③仪器仪表、机械设备的密封。

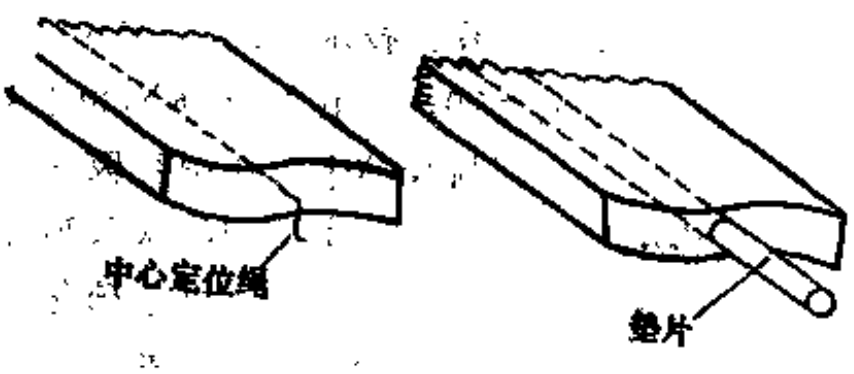


图 13-3-2　带有中心定位绳及中心薄垫片的密封胶带

对定型背基胶带的技术要求举例如下。

美国金属制造者协会NAAMM（National Association of American Metal Manufactures）的技术标准SS-1C-68仅限制4种性能指标：硬度、油迁移性、低温柔软性和粘接性，而后者的试验值很低。

对于易拉伸（可塑性大）的背基胶带，美国的建筑铝制造者协会AAMA（Architectural Aluminum Manufactures Association）的技术标准804.1的规定为：①不迁移、不开裂、不

起泡或无胶液迁移；②硬度（邵尔A）最大55；③剥离粘接力：在试验中，在3.92kN/m下90%内聚力破坏；④下垂性：最大3.2mm；⑤低温柔软性，在－23±2℃温度下柔软；⑥不水解；⑦针入度在2℃下最大50；⑧对背基衬垫不过分粘着。

b．建筑玻璃安装胶带　建筑行业中，玻璃安装通常为丁基密封胶带与硫化型液体聚合物密封胶（例如聚硫密封胶）配合使用。图13-3-3表示出了当前安装玻璃采用的二种类型。

在这种场合下使用的胶带承受连续压缩作用，因此要求胶带柔软，具有良好的压缩回复性及伸长率，以保证当玻璃与框架在经受因环境条件变化引起的不同压力时能良好密封，并能补偿金属与玻璃之间不同的热膨胀。

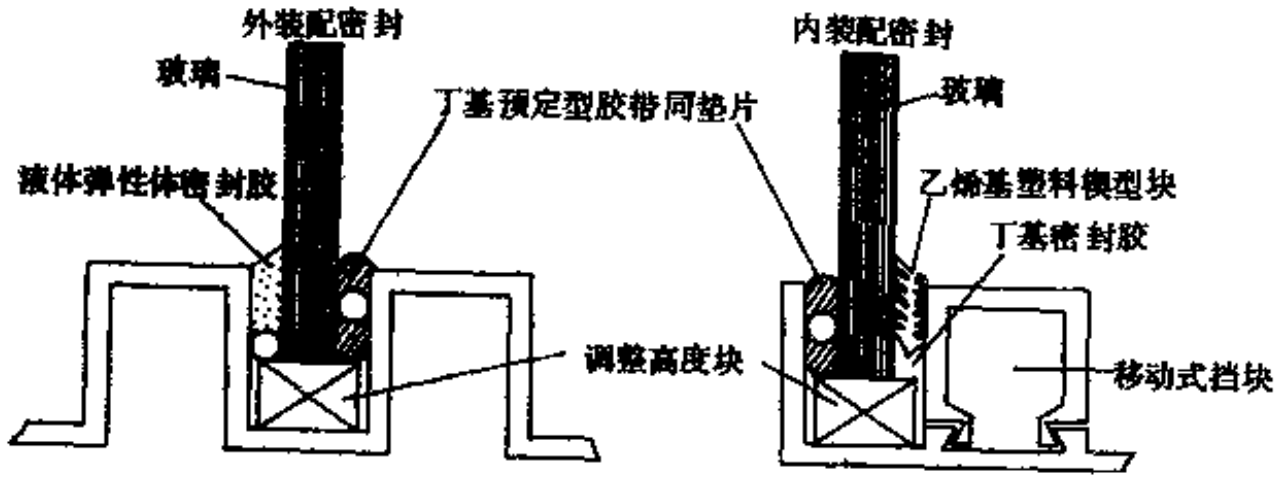


图 13-3-3　玻璃安装密封

在现代化玻璃窗的安装上，由于不同材料的热传递特性和外部压力的作用，使被密封的玻璃之间产生应力，这就要求胶带必须从这些应力源上吸收能量，不使玻璃破碎以能保证良好密封。为此，建筑玻璃安装胶带必须既具有回弹性又易压缩和弯曲，还要具有高粘接性、低流动性及良好的抗老化性。一般选用交联丁基橡胶单用或与卤化丁基橡胶、通用丁基橡胶以及高分子量聚异丁烯并用作为主体材料，配用浅色填料、增粘剂和非补强填料以改善粘性并降低成本。

早期的玻璃安装胶带技术条件AAMA806.1类似于背基胶带AAMA804.1的性能指标：①硬度（邵尔）最大70；②在24·53kN/m下剥离；90%内聚力破坏。

c．中空玻璃密封胶粘带　在中空玻璃组合件中使用的丁基密封胶带分为两种类型：一是在大规格中空玻璃组合件中使用的永久塑性密封胶带是非弹性和半弹性密封胶，它们作为中空玻璃的第二（内层）密封胶，并以硫化型密封胶作为第一（外层）密封胶；二是在小尺寸规格中空玻璃生产中，使用高质量的弹性丁基密封胶带作为永久性的一次性密封胶，也就是把玻璃与框架粘接在一起。图13-3-4表示的是中空玻璃密封示意图。

目前尚无专门用于中空玻璃用密封胶检验的技术标准，但大多数生产中空玻璃的国家都已制定了中空玻璃组合件成品的技术检验标准。

d．活动金属房屋组装密封胶带　在活动房屋安装中，定型胶带广泛地用于预构件天花板的墙体和金属板之间接缝，还作为金属板之间的垫片和密封。这些金属板接缝常常发生相当大的接缝移动，图13-3-5为典型金属活动房屋密封示意图。

该类胶带的质量技术规范主要要求为：

① 内聚力　当密封钢板或铝板时，胶带须具有高的内聚力，其数值应在100～140kPa范围内；

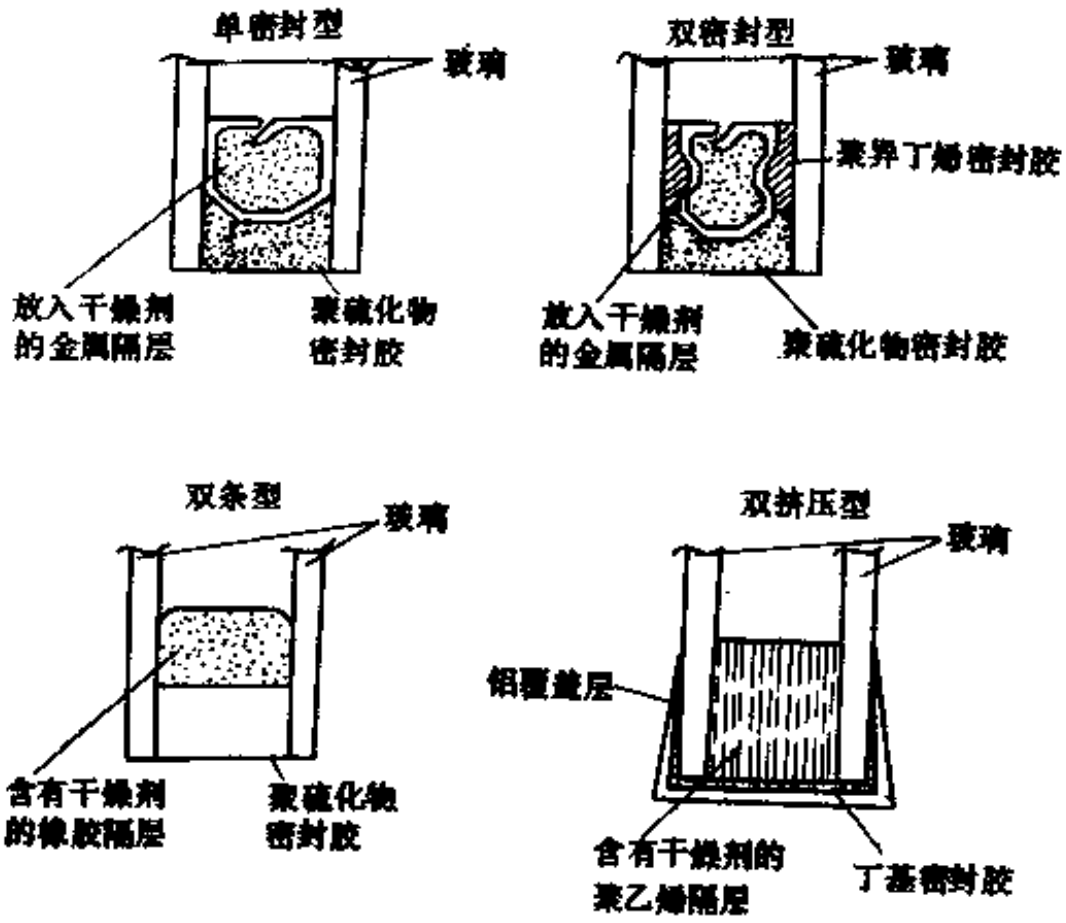


图 13-3-4 中空玻璃密封方式

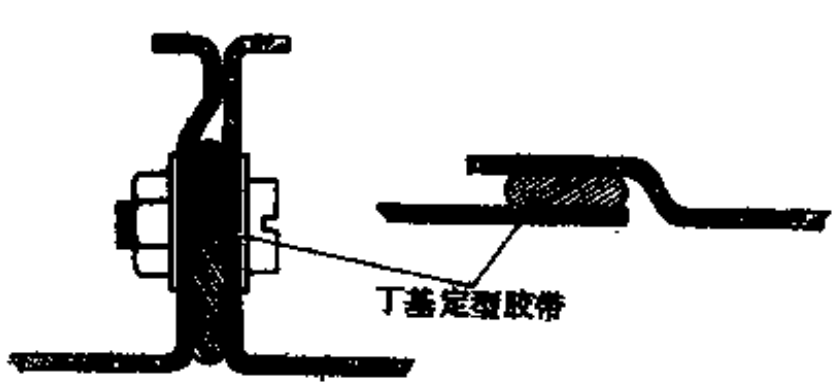


图 13-3-5 金属活动房屋密封示意图

② 柔软性及韧性 为保证胶带在低温下不致过硬和在高温下不软化流动，大多数公司要求在－18℃、＋24℃和49℃（即－18℃到＋49℃)时胶带的锥形针入度值应为4～13.5mm；

③ Webbing 和伸长胶带在使用期间被拉伸时不能有泄漏。ASTM Committee E 24的Webbing/伸长试验可用于防水密封试验，胶带在－18℃和21℃分别拉伸300%和600%时，胶带不应漏水；

④ 贮存稳定性 胶带在贮存时不应流动、迁移、污染腐蚀金属和变形。

e．汽车密封胶带 建筑用密封胶带的规格品种较多，汽车定型密封胶带挤出尺寸与建筑密封胶带大致类似，但其品种规格只有3～4种。胶带挤出横截面积大约分为2.6cm²、2.42cm²及3.25cm²等。每个汽车制造公司都有各自的特殊形状要求。汽车胶带大多用于挡风玻璃和后窗的安装，使这些部位在汽车使用期间耐水密封。从颜色讲，汽车用胶带以黑色为主，而建筑用胶带至少70%为白色或浅色。

汽车胶带应具有耐流动性、高剪切强度与低压缩力的综合性能。这是因为汽车窗户的外装饰物不起固定玻璃的作用，胶带在压缩后其回复性或回弹性要很小，否则影响玻璃定位。另外，汽车在行驶中要受到复杂的振动（包括路面行驶振动和发动机工作振动等），这些振动会引起玻璃与车体之间产生剪切应力，引起胶带动态疲劳，最终影响到玻璃与车体之间的粘接力，因此密封胶带应当具有良好的动态粘性和粘接力。

该类胶带通常以交联丁基橡胶或动态部分交联丁基橡胶为主体材料，再配合低分子量的聚丁烯以及补强剂和非补强剂，以获得耐动态疲劳性能。并以高分子量聚丁烯和低分子量聚

异丁烯以及树脂改进其粘性。

汽车胶带的主要性能为：

① 柔软性（在使用中压缩回复） 为了易于安装，胶带必须是软的，并在挡风玻璃及后窗安装定位后易被压缩；

② 回弹性 胶带在压缩后必须具有控制性的回复，回复过大会引起玻璃破裂或使装饰的金属件移位；

③ 屈服强度 胶带是把玻璃粘接到车体上的一个元件，它应具有足够的内聚力，在正常的使用和碰撞中，保持挡风玻璃的位置不变，并能提供耐水密封性；

④ 耐流动性 没有其它的阻挡物来阻止胶带进入汽车内部，因此，胶带在很大的温度范围内必须具有抗流动性（下垂、蠕变）；

⑤ 耐天候老化及低温屈挠性 这些性能应是丁基密封胶的固有特性。

目前，世界上大的汽车制造商对安装挡风玻璃和后窗所用的汽车胶带都有各自严格的技术规范，例如福特汽车公司技术标准——Ford Specification ESB—M3GP5耐流动弹性粘接带；克瑞斯勒汽车公司技术标准——Chry Sler Specification MS—CD 610弹性粘接带—不流动以及美国摩托汽车公司技术标准——American Motors SF—2065无阻挡挡风玻璃及后窗胶带等技术规范。其主要试验项目是：硬度，屈服强度（在不同条件下老化与未老化）、耐疲劳性、冷粘接力、耐流动性、压缩性与回弹性。

5．密封胶的性能及测试方法

无溶剂不干性密封胶用途广泛，不同用途对密封胶性能的要求有所差别。表13-3-7列出了不同用途对该类密封胶的性能要求。

表 13-3-7 定型密封胶带性能

性能项目	建筑胶带	汽车胶带	仪器设备胶带
压缩、弯曲力（压缩到1/2高度，速度为50mm/min），MPa	0.16	0.26	0.083
硬度（邵尔A）	12	20	10
针入度（2N总负荷5s），mm	9.1	8.9	13.5
剪切模数（剪切速度50mm/min），MPa	0.028	0.069	0.014
压缩回复性（压缩24h后与原高度之比），%	85	12	5

对该类密封胶的性能及测试方法如下。

（1）密封胶柔软性或坚韧性能 密封胶柔软性关系到胶粘带安装时的压缩难易程度，以及与不规则被密封表面的相配合性。下面3种测试方法可表征密封胶的柔软性。

a．硬度测定法 用邵尔A硬度表示。这是最常用的测定密封胶软硬度的方法。硬度计的读数仅是密封胶硬度一般指标，在测定密封胶软硬的“临界性”差别时表现出硬度计的精确度和灵敏度较低。通常密封胶硬度值（邵尔A）为0～40。

b．压缩变形测定法 本测定法采用一个最接近实际安装时密封胶所受压缩的模型。密封胶样品放在玻璃板和金属板之间，先测定密封胶样品厚度，再将试件放在压缩试验机上，将试样压缩到原厚度的一个固定百分比值。压缩速度要与安装时压缩速度大致接近，通常为50mm/min，记录压缩时所需要的力。使试样保持压缩1min后立即从压缩机上取出试件，测定同玻璃接触的密封胶面积，计算单位面积上（每cm^2）压缩变形所需要的力（以MPa表示）。为了接近实际使用条件，压缩变形试验要求在精密设备上进行。

c．针入度测定法　该方法是一种更灵敏、更精确的测定密封胶软硬程度的方法。一般使用针状针入度计，也可用锥形针入度计。根据密封胶的稠度，使用锥形针入度计或二者结合的针入度计更能获得令人满意的结果。

表13-3-8列出了使用三种试验方法对 5 个样品进行测定的结果。

表 13-3-8　不同的密封胶软硬度测定法对5个样品测定结果

测试方法 \ 样品编号	1	2	3	4	5
压缩变形法（以50mm/min速度，样品压缩1/2可用力），MPa	2.75	3.53	4.51	5.59	7.16
硬度计法（邵尔A）	10	14	20	20	24
针型针入度计法，针入深度，mm（总负荷1.96N，时间5s）	13.9	12.0	9.6	8.8	7.5

（2）密封胶强度（剪切强度和屈服强度）　一般情况下，对密封胶的强度要求不高，因为大多数密封胶是起密封作用的。但在某些用途中，密封胶也成为支撑部件之一。例如，在汽车挡风玻璃安装时，密封胶必须起到密封和固定挡风玻璃的作用，因为玻璃外表面不起压制作用，因此，该处所用密封胶必须具有足够大的剪切强度和屈服强度以平衡各种原因引起的应力。

一般使用剪切试验方法来测定密封胶硬度。

（3）密封胶弹性（压缩后回复性）　压缩与回弹性是密封胶的重要工艺性能。例如，高层建筑的玻璃窗受风压时，尤其是建筑顶层的玻璃受到较大应力时，玻璃会弯曲变形，使密封胶受压缩或伸张，因此要求密封胶具有弹性，从而吸收玻璃四周的应力，并仍能保持密封。测定该性能特性方法如下。

a．伸长回复性　密封胶放在两个平板之间并受压缩，在垂直于两个板的方向上拉伸，达到一定伸长后，使密封胶回复。高拉伸速度会使密封胶表现出更高的弹性值和更大的压缩值。从拉伸试验中可以观察到，伸长的密封胶形成一个连续的胶膜或拉伸成一束条状。拉伸时形成连续胶膜的密封胶其耐渗透性是令人满意的。伸长回复以一定时间间隔内的伸长百分比表示。

b．压缩回复性　所用试验与测定压缩变形使用的玻璃-密封胶-金属板的试样一样。密封胶压缩到一定厚度后，测定不同时间间隔的密封胶回弹或回复厚度。压缩回复值用密封胶受压缩后在一定时间内回复到原厚度的百分比表示。

在由刚性固定或窗框固定而不使密封胶受压缩的使用场合，如汽车挡风玻璃安装，其压缩回复最小。

c．应力松弛率　这一特性也称之谓应力消失。可用密封胶的弹性表示。使用测定压缩-回复用的试样，固定压缩厚度，并在压缩停止后的一定时间内（如1min）记录所剩余的力。这个力表明了密封胶的塑性或应力松弛性能。低弹性密封胶的剩余力与原来所施加的压力相差很大。

图13-3-6为测定密封胶软硬度、强度、伸长回复的玻璃-密封胶-金属板通用试样。

（4）密封胶粘接力　密封胶对不同的被粘基材表现出不同程度的压敏粘接力，主要取决于配方设计，通常对玻璃、铝及其它被粘基材具有足够的压敏粘接力，剥离测试时会产生内聚力破坏。测试粘接力，需制备一个类似于测定伸长或伸长回复用的试件，剥开试件直到

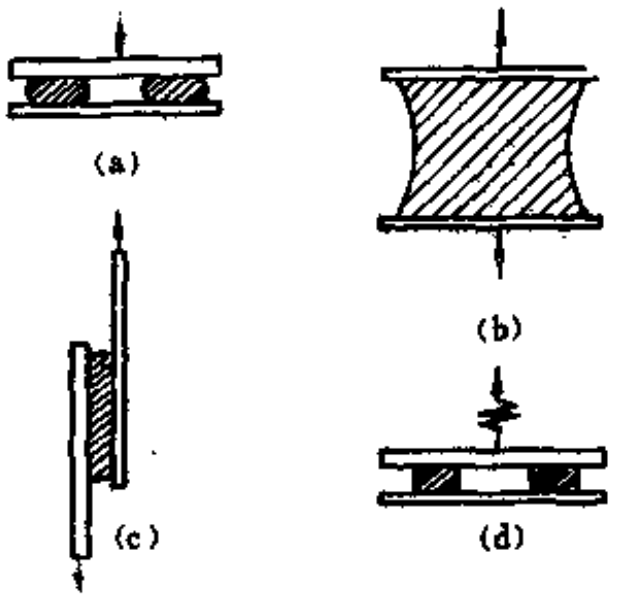


图 13-3-3 玻璃-密封胶-金属板试样结构图
(a) 测压缩性能试样；(b) 测伸长性能的试样；(c) 测粘接力抗剪切试样；(d) 测回复性能试样

密封胶内聚力或剥离力破坏发生为止。

（5）密封胶耐天候老化 该性能试验方法如下。

a．水管或喷雾试验法 对安装了密封胶的窗户玻璃可作实际喷水防渗透试验。在实验室内可用天候老化箱作喷淋试验。

b．紫外光照射法 密封胶经紫外光照射，配方中的低分子量材料会首先分解，迁移到密封胶表面。

c．温度试验 温度对密封胶的软硬度和粘接力的影响必须考虑。密封胶在不同的环境温度下使用都必须是柔软的。通过冷冻和烘箱中针入度的试验可以测出密封胶在高温、低温下的软硬度变化。

（6）密封胶的耐流动性 当没有约束的障碍物或其它约束方法时，在动态和静态压力下，密封胶在整个使用温度范围内必须具有良好的耐流动性。

（7）耐污染、迁移及腐蚀性 密封胶不能对基材污染、腐蚀和迁移。

（8）贮存性 密封胶在贮存期间性能不能发生变化，贮存期要长。

（三）双组分硫化型丁基密封胶

1．配方组分

（1）聚合物 使用一般的丁基橡胶或卤化丁基橡胶，可以配制成双组分室温硫化型密封胶，主要用于丁基橡胶贮罐衬里和防水粘接剂。为了施工方便并保持硫化后的粘接力，必须添加大量溶剂和增塑剂（聚丁烯和低分子量聚异丁烯）。但这些增塑剂会迁移到硫化胶表面，使其表面发粘，污染性大。

为了改进上述高分子量丁基橡胶的缺点，研究开发了低分子量的液体丁基橡胶，用这种橡胶配制的密封胶耐气透性和耐水性极好，目前大量用作室温硫化型密封胶主体材料。

（2）硫化体系 丁基橡胶密封胶的硫化体系多采用对醌二肟-金属过氧化物类或有机过氧化物及树脂。金属过氧化物的体系中过氧化铅及二氧化锰特别有效，而过氧化钙及过氧化锌对硫化无效；有机过氧化物有p—ターシヤルブチソベニゾエイト，树脂可采用液态溴化对烷基酚醛树脂。

采用对醌二肟-二氧化铅硫化体系，其配合量为100份生胶中，前者2～5重量份，后者5～10重量份。对醌二肟与二氧化铅应分别配成二个组分。随着过氧化铅用量增加，密封胶模数提高。过氧化铅的分散性及其颗粒大小影响硫化速度，用捏合机分散时，它不起硫化促进剂的作用，面以涂料用三辊机薄通2～3次即可分散均匀。对醌二肟分散时，为降低密封胶配合时浓度可用甲苯溶剂，对硫化速度无影响。

对于该硫化体系，水、乙酸、环烷酸钴、二甲醛及新癸酸等都是有效活化剂。

（3）增粘剂 为提高密封胶与基材的粘接力，常加入环氧硅烷，其用量为0.1份即可，一般是在现场使用时加入，加果预先在配合时加入，则用量为4份。环氧硅烷与其它增粘剂并用效果更好，其它增粘剂有环氧树脂等。

（4）填充剂 为平衡密封胶的动态性能及耐滑动性、拉伸强度、软硬程度等诸性能，

并降低密封胶成本，可加入填料、颜料和稠度调节剂。但须注意的是，在密封胶贮存期间容易吸附硅烷偶联剂。填充剂不应同偶联剂配在一个组分中。常用的填料有碳酸钙、二氧化钛、炭黑等。

（5）增塑剂及溶剂　低分子量丁基橡胶在常温下粘度为0.7～1Pa·s。为混合方便，适合挤压枪施工，须加入增塑剂和溶剂。用甲苯作溶剂时不会使中空玻璃“模糊不清”。添加5～10份高分子量聚丁烯可提高密封胶粘接耐久性，聚丁烯用量大于20份时粘接力反而下降。氯化联苯环氧树脂等都可作增塑剂使用，但应选择与丁基橡胶相容性好、不迁移、无挥发性的增塑剂。

（6）其它组分　为使密封胶施工时不流淌，耐坍塌性好，需加入触变剂。常用的触变剂有气相白炭黑、无机改性蓖麻油等。

为防止氧化老化、光老化等还需加入防老剂。

2．配方举例

硫化型密封胶在配合时，须将硫化剂和促进剂分别配成两个组分，使用之前再将两组分充分配合。配方举例如表13-3-9～表13-3-11所示。

表 13-3-9　室温硫化型建筑用丁基密封胶（符合TT-S-00277E）配方举例

单位：重量份

配方组分	甲组分	乙组分	配方组分	甲组分	乙组分
低分子量丁基橡胶（LM430）	50	50	聚丁烯（H-100）	60	
碳酸钙	50		硅烷偶联剂（A-187）	4	
白炭黑（ハイシル215）		20	对醌二肟	3	
二氧化钛		10	二氧化铅（0.5μm）		7
硬脂酸		1	甲　苯	5	25
氧化锌		5			

表 13-3-10　室温硫化型中空玻璃用密封胶配方举例　　单位：重量份

配方组分	甲组分	乙组分	配方组分	甲组分	乙组分
低分子量丁基橡胶(Enjay Butyl LM430)	60	40	对醌二肟	3.5	
Silane A-187 γ-环氧丙羟二甲氧基硅烷	4		防流淌剂(Thixseal 436)	6	
碳酸钙	75		二氧化铅		7.5
聚丁烯（H-1900）	10		白炭黑		10
防老剂F	1.5		甲　苯	46	30.5

表 13-3-11　室温硫化型水族馆用密封胶配方举例

配方组分	甲组分	乙组分	配方组分	甲组分	乙组分
丁基橡胶LM430	50	50	硅烷偶联剂（A-187）	4	
碳酸钙	60		对醌二肟	3	
白炭黑（ハイシル 215）		20	过氧化铅（0.33μm）		8
聚丁烯（H-100）		30	甲　苯	12	19

3．应用

以低分子量丁基橡胶为主体材料的硫化型密封胶可用于中空玻璃的密封，也可以在建筑、电气、船舶和高速公路等方面使用。与聚硫密封胶相比，丁基橡胶中空玻璃密封胶的水蒸汽透过性、耐紫外光等性能更佳，如表13-3-12所示。

表 13-3-12　中空玻璃用密封胶性能比较

密封胶类型	水蒸汽透过性①	粘接界面破坏		拉伸强度③ MPa	伸长率③ %
		紫外光照射②	在水上紫外光照射		
聚硫密封胶A	11～25	<10	<5	1.17	280
聚硫密封胶B	35～77	<90	<30	1.44	370
聚硫密封胶C	35～77	<20	<10	1.92	650
聚硫密封胶D	—	<30	<30	—	—
聚硫密封胶D-1	53～117	—	—	—	—
聚硫密封胶D-2	20～45	—	—	—	—
低分子丁基密封胶	1	<90	<90	2.06	350

① 水蒸汽透过性以低分子丁基密封胶为1计。
② 太阳灯连续照射2500シ人/m²。
③ 厚度1.87mm，室温硫化30d。

低分子量丁基橡胶表面有粘性，并粘附尘埃，操作上有不便之处。因此一般施工后的密封胶表面须涂涂料及滑石粉。

（四）丁基热熔密封胶

前面介绍过的含有100%固体的非硫化型无溶剂丁基密封胶是一类高度增容和（或）增塑的密封胶，即使以交联丁基橡胶为主体材料，也都具有很高的滞后现象（低回复性）和低的内聚强度。因此，它们不能与高质量可硫化的以液态聚合物（例如聚硫和聚氨酯）为基材的密封胶相比。用丁基橡胶也可制得丁基热熔密封胶。

1．丁基热熔密封胶的特性

通常的热熔胶胶粘剂配方含有3个基本组分：①EVA、聚酯或聚酰胺等热塑性聚合物的主体材料；②增粘树脂；③石蜡。它们在低剪切混合机中加热混合，但必须有预防措施以保证在93.3～149℃加热3～4h的连续时间内聚合物不降解。最后的熔融液体混合物冷却并制成各种形状。在冷的状态下，热熔胶无弹性。

而热熔性密封胶由于使用领域与热熔胶粘剂不同，其配方、混合以及使用技术也不完全相同。在使用中，要求热熔密封胶在－29～65.5℃和88℃的温度范围内具有高弹性、高粘接力及高强度性能，接缝移动的承受力为±25%，达到硫化型液态聚合物密封胶的级别。在各种环境中，为使用方便，当温度升高时，它们仍具有足够的流动性。

热熔胶粘剂的主体材料聚合物EVA、聚烯烃等是一种加热后完全熔融的热塑性聚合物，而热熔密封胶的主体材料聚合物则是丁基橡胶。丁基橡胶是一种热敏性物质，加热后，丁基橡胶变软而不熔融。所以丁基热熔密封胶不是一种热熔性的物质，因此一般把丁基热熔密封胶称之谓“热施密封胶”。即在加热情况下施工的密封胶。在众多的橡胶弹性体材料中，也只有丁基橡胶具有热敏性这一特性。因此，制备热熔密封胶也只有丁基橡胶类聚合物能胜任。热熔胶粘剂与热熔密封胶的特性比较见表13-3-13。

热熔密封胶的特点是：①可作为高粘度密封胶使用，因此可以制得常温下具有高强度密

封胶；②含有100%固体，体积几乎不变；③与丁基密封胶系列的型材一样，用隔离纸防止密封胶之间相互粘连。

表13-3-14和表13-3-15列出了丁基热熔密封胶与其它类型密封胶的性能比较。根据热熔密封胶的特性及其用途，该类密封胶应具有下列性能。

（1）低的熔融粘度　一个理想的热熔密封胶在施工温度（149～177℃）范围内，应当是高热塑性的光滑胶料；在冷却阶段，即在93～149℃温度段的间断时间内有充分的粘性，对被粘表面表现出良好粘接；在93℃以下具有超高粘度；而在－20℃具有充分的可屈挠性和弹性。

表 13-3-13　热熔胶粘剂与热熔密封胶特性比较

对比项目	热熔胶粘剂	热熔密封胶
形　　状	条、球、片	条、卷、盘
混合设备	低剪切打浆机	高剪切σ叶片捏合机
混合温度与时间	149℃×4～5h	149℃×30min
使用设备	加热枪	加热泵
强　　度	低到高、非弹性	高、弹性

表 13-3-14　各种密封胶性能

性能项目	单组分聚硫	双组分聚硫	单组分、双组分聚氨酯	丁基嵌缝胶	丁基胶带	丁基热熔密封胶
贮存稳定性	限　制	良	限　制	良	优	优
硫化速度	30d（平均）	1～8h	单组分15d 双组分2～12h	5d		冷却后
弹　　性	良	良	良	可	可	良
水蒸汽透过性	可	可	不　可	优	优	优
收缩性	小	小	小	大		
低温屈挠性	优	优	优	可	良	优

封胶在施工温度（149～177℃）范围内，应当是高热塑性的光滑胶料；在冷却阶段，即在93～149℃温度段的间断时间内有充分的粘性，对被粘表面表现出良好粘接；在93℃以下具有超高粘度；而在－20℃具有充分的可屈挠性和弹性。

图13-3-7表示理想热熔密封胶在施工温度、间断时间及实际使用温度下，250g钢球法粘度及以交联丁基橡胶为基材的丁基热熔密封胶性能。

表 13-3-15　丁基热熔密封胶与丁基定型胶带及聚硫密封胶性能比较

性　　能	丁基定型胶带	丁基热熔密封胶①	硫化型聚硫密封胶
硬度（邵尔A）	15	33	40
拉伸强度，MPa	0.0834	5.63	1.373
压缩强度，MPa	0.66	0.55	—
剥离强度，kN/m	—	2.55	3.11
下垂性（82℃×17h后）	不下垂	不下垂	不下垂

① 配方　丁基橡胶402 15，SRF65，增粘剂20，增塑剂30。

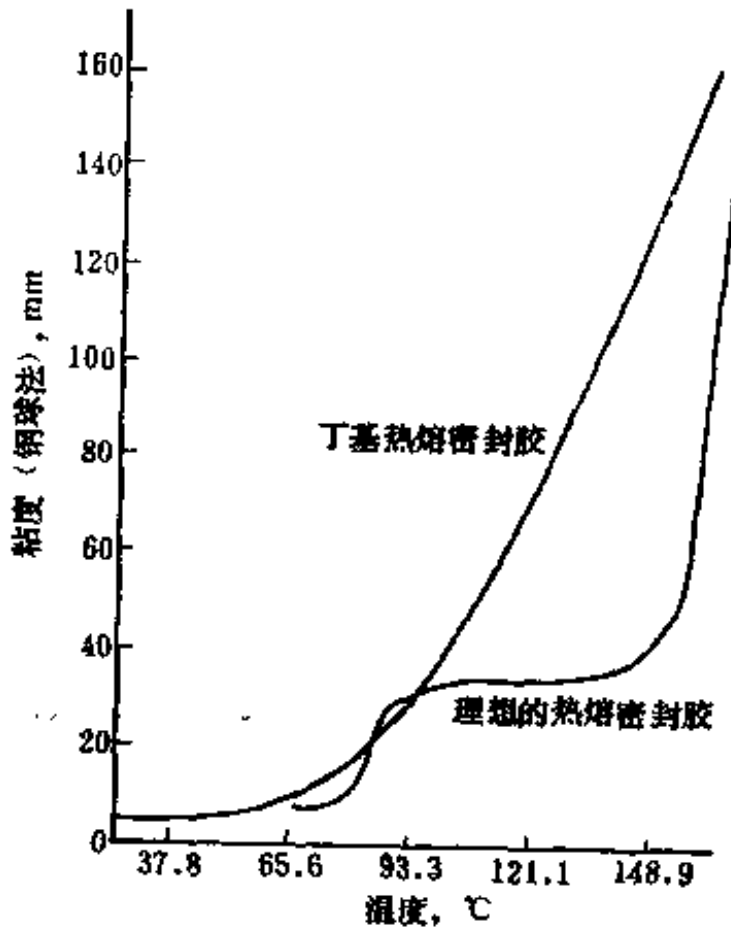


图 13-3-7　热熔密封胶粘度（钢球法）比较

（2）高的内聚强度　热熔密封胶的内聚强度应为0.9～4.4kN，硬度（邵尔A）为40～80。

（3）粘接力　热熔密封胶的最重要性能是它与各种基材的粘接力，要求达到内聚破坏。在24℃时剥离强度要求达到39.24kN/m；在65℃时应达到19.62kN/m。还须强调的是不使用底胶，密封胶的施工温度为190℃，而基材温度为室温（24℃）。基材之间的粘合应在

密封胶冷却后（1min之内）立即进行。

（4）耐冷流性　在常温及高温下密封胶耐流动。

2．配合组分

表 13-3-16　不同分子量丁基橡胶热熔密封胶性能比较①

性　　能	交　联 丁基橡胶	高分子量 丁基橡胶	低分子量 丁基橡胶
粘度(孟山都毛细管流化仪，176.7℃，1h)	100	180	120
拉伸强度，MPa	10.79	11.77	5.89
伸长率，%	400	450	100
硬度（邵尔A）	20	28	23
与玻璃粘接力剥离力,kN/m			
24℃	22.56	33.34	23.544
65.5℃	0.4905	0.6867	0.6867

① 配方　丁基橡胶100；操作油25；EVA60；烃类树脂25；滑石粉50；酚醛树脂50；无定形聚丙烯100。

（1）聚合物主体材料　异丁烯类聚合物中的高分子量聚合物都可以作为主体材料配制不同性能的热熔密封胶。随着聚合物的门尼粘度增高，所配制的密封胶粘度也随之增高。交联丁基橡胶热熔密封胶在诸多性能方面优于通用丁基橡胶，前者可赋予密封胶更高的弹性。不同分子量的丁基橡胶热熔密封胶性能如表13-3-16所示。

（2）增粘剂　为提高密封胶热塑性，需加入大量热塑性树脂、热塑性弹性体及增粘树脂，常用的这类树脂有无规聚丙烯、EVA、SBR、乙丙橡胶以及离子键化合物。使用无规聚丙烯可降低熔融粘度，但也使低温屈挠性变差。EVA可提高密封胶硬度、强度及粘接强度，但表面状态恶化；离子键聚合物可改善耐热性和粘接强度。

以丁基橡胶、热塑性树脂以及增粘树脂为基材，可配制出由软而具有弹性到硬而易碎的热熔密封胶。

（3）其它组分　密封胶中为降低成本，调节平衡性能，需加入填充剂，一般讲，热熔密封胶的填充剂含量很低。丁基密封胶中使用的各类填料在此也都可使用。

为防止老化，还加入抗氧化剂。根据需要还可加入增塑剂、触变剂、着色剂等。

3．配方举例

在热熔密封胶中，根据实际使用要求，丁基橡胶用量可由低到高，用于玻璃密封用的热密封胶配方举例（重量份）如下：

丁基橡胶	1～15	离子键聚合物	10～15	填料及其它添加剂	15～24
EVA	10～30	松香酯	30～50		

4．密封胶制备

热熔密封胶须在高剪切力设备中进行混合，一般使用捏合机。表13-3-17列出了混合步骤。

表 13-3-17　热熔密封胶的混合工序①

混合时间,min	配　方　组　分	混合时间,min	配　方　组　分
0	丁基橡胶、部分聚丁烯或油(如果有)全部EVA	30～35	聚异丁烯（如果有）
10～15	增粘树脂	40～45	聚酰胺
20～25	剩余油或聚丁烯	50～60	排料、压入容器或挤出成条

① 设备为AMK捏合机、容量22.7L，机身温度149℃。

5．热熔密封胶应用

丁基热熔密封胶可用子中空玻璃密封，窗户的背底坐，汽车挡风玻璃及后窗，汽车车体密封，各种设备密封，混凝土接缝密封以及机械设备容器法兰接头连接密封等。

第四节　氯丁橡胶密封胶

一、概　　述

氯丁橡胶的分子结构特性决定丁氯丁橡胶的结晶程度（反式-1,4加成结构）和硫化活性（1，2 加 成结构）。众多的氯丁橡胶品种可以配制出许多种胶粘剂和密封胶，它们具有以下特点：①氯丁橡胶胶粘剂和密封胶大都是单组分并能室温固化，使用简便；②具有弹性和柔软性；③分子链上的氯原子使其具有优良的耐燃、耐臭氧和耐大气老化的特性，以及良好的耐油、耐溶剂和化学试剂的性能；④粘接强度高，适用范围广，尤其在建筑、汽车制造、轻工和制鞋等工业方面广为使用。

二、密封胶的配合和制备

氯丁橡胶密封胶一般分为三大类：①粘接型密封胶；②非粘接 型 密 封 胶；③胶乳型密封胶。

（一）粘接型密封胶

粘接型密封胶应具有良好的密封性和粘接强度。其配合特性如下。

1．粘接型密封胶组分

（1）氯丁橡胶的选择　氯丁橡胶的品种较多，虽然都可以配制成密封胶，但性能却有很大差别。因此，必须根据具体使用要求来正确地选择氯丁橡胶的品种和类型。密封胶基材用得最多的为国产的LDJ 240、LDJ 241及LDJ 211型氯丁橡胶，分别相当国外的AC、AD和WHV 氯 丁 橡胶。为了制得适用的密封胶并降低成本，有时可将几种不同型号的氯丁橡胶并用，但所得到的密封胶性能与氯丁橡胶的并用比例不呈线性关系，因此要选择合适的比例。

a．氯丁橡胶分子量大小对密封胶制造工艺及胶液性能的影响　氯丁橡胶的 分 子量大小对胶料工艺性能、溶液的粘度以及密封胶的耐热性都有一定影响。

一般来说，门尼粘度高、弹性大的氯丁橡胶不易包辊；门尼粘度低、弹性低的氯丁橡胶则有粘辊倾向。橡胶门尼粘度高，胶液粘度也高。门尼粘度与溶液粘度的对数大致成线性关系。密封胶的粘度对涂布质量和操作效率有影响，必须按用途调整。通过改变浓度来改变粘度以控制涂布量的办法不可取。

氯丁橡胶室温下易结晶化，内聚力大，但在50℃以上处于解晶状态，内聚力变小，稍加应力即发生流动。采用高分子量的氯丁橡胶，也可改善耐热性。

b．结晶速度对密封胶性能影响　氯丁橡胶结晶的快慢影响密封胶胶膜的柔软性、初粘性和粘性保持性。橡胶随着结晶而硬度增加，胶膜的柔软性下降。要求高柔软性密封胶时，不宜用结晶程度高的氯丁橡胶，最好采用结晶速度慢的氯丁橡胶。要求初粘力高的密封胶，宜选用结晶速度快的AD型氯丁橡胶。因其结晶快，初期内聚力大，很快可达到高的粘接力。

从粘接工艺上讲，要求有适当的粘性保持时间。对粘接面积大的物件，从涂布到压合相隔时间较长，若粘接性保持的时间短，则粘接不好，在这种场合应选用结晶 速 度 慢 的氯丁橡胶。

（2）金属氧化物　在氯丁橡胶密封胶中金属氧化物是不可缺少的组分。表13-4-1列出丁金属氧化物在密封胶中的作用。

a．金属氧化物与酚醛树脂反应　一些热固性的酚醛树脂，尤其是叔丁基酚 醛 树脂同金

表 13-4-1 金属氧化物的作用

金属氧化的功能	金属氧化类型
与酚醛树脂反应	MgO、PbO、CaO
酸吸收剂	MgO、ZnO
焦烧阻止剂	MgO
硫化剂	ZnO、MgO

属氧化物反应，生成一种不熔的树脂酸盐溶于氯丁橡胶中，从而大大提高了氯丁密封胶的耐热性。与树脂反应，最好选用细粒子的活性氧化镁，也可以用氧化钙、氧化铅和氧化锂，其缺点是金属氧化物导致胶液稳定性变差。

b．酸接受剂 在氯丁橡胶加工、硫化和老化过程中生成的少量盐酸，容易被胶膜所吸收影响其性能，这一点对于对酸性敏感的材料（如尼龙、棉等纤维）上的涂层更为重要。金属氧化物可用HCl作用生成金属氯化物，起到酸接受剂作用。在这方面氧化镁和氧化锌具有叠加效应，在个别体系也可以只用氧化镁，而不用氧化锌。

为了制造透明度高的密封胶，应采用环氧树脂作为酸接受体，但效果不如金属氧化物，而且密封胶耐阻尼性也受到损失。为了获得最大的阻尼性，应当是酸接受体与防老剂同时采用。

c．稳定剂 在氯丁橡胶混炼时，加入氧化锌之前先加入氧化镁，可抑制加工过程中胶料的焦烧。

d．硫化剂 在140℃高温下用5份氧化锌和4份氧化镁并用有满意的硫化效果。事实上，含有氧化锌和氧化镁的氯丁密封胶在室温下10天后即可达到稳定而良好的粘接强度，但其胶膜仍能完全溶解于原来的有机溶剂中，说明这些氧化物在室温下没有起到硫化作用（作用很慢），胶膜的强度主要是靠较好的结晶性产生的。进一步考虑这些氧化物的作用还可发现，加或不加氧化锌至少与初始14天的室温和高温粘接强度无关。仅加氧化锌的胶膜室温下长期不干、发粘而且强度低，与无氧化物的情况一样；但氧化镁的加入都能有效地加快胶膜变干，并能显著提高初始粘接强度。这可能是由于轻质煅烧氧化镁有效地吸附胶膜中残存的溶剂，从而能使胶膜很快结晶的缘故。有人认为氧化锌在常温下有部分使橡胶分子交联的作用，而氧化镁在高温下才有交联作用。

氧化锌的使用又是引起胶液相分离的重要原因，因此有人认为不加氧化锌而单独使用氧化镁要好些，但为了密封胶能够长期使用，缓慢硫化还是必要的。

氧化镁的用量以4～8份最好，用量增加，密封胶耐热性也增加。但氧化镁用量过多时，混炼困难，易引起凝胶，使胶料不溶于溶剂，并导致粘接力下降。

若在有水情况下使用，配方中不应加入氧化镁，因为氧化镁与橡胶中的氯原子生成的氯化镁易溶于水。这时应使用氧化铅或四氧化三铅，但铅化物相对密度大，容易发生沉淀。

用氧化镉代替氧化镁，可改善密封胶的耐热性，但镉的毒性大，因此很少使用。

（3）防老剂 防老剂用量一般为2份，常用的防老剂有防老剂D和防老剂A，但这两种防老剂容易变色，为避免变色可用防老剂2246和264等，但其耐老化性稍逊于前者。

（4）填料 为了改善操作性能、降低成本和减少体积收缩，可以加入填料，但填料会引起粘接力下降。补强性大的填料（如炭黑、白炭黑）若用量大时，混炼时会产生不溶于溶剂的炭黑凝胶。经试验四川槽黑对提高高温粘接强度特别有效。常用的填料还有半补强炉黑、碳酸钙、硅酸钙、陶土。选择填充剂的要求是：相对密度小；工艺性好；密封胶性能下降率小；可大量填充；价格便宜。

（5）溶剂

a．溶剂对密封胶性能影响 溶剂应按橡胶类型进行选择。溶剂的选择相当重要，它影

响氯丁橡胶的溶解性、密封胶的初始粘度、粘度稳定性、粘性保持性、对被粘物的渗透性、初始粘接力、粘接强度、燃烧性和毒性，以及密封胶成本。因此选择溶剂要综合考虑多方面因素。

不同类型的氯丁橡胶应选择不同的溶剂，粘接专用型氯丁橡胶(如国产LDJ 240、LDJ 241)对溶剂的选择较通用型氯丁橡胶严格。它仅能溶于芳香烃和氯化烃类溶剂中，而在汽油、丙酮、甲二酮、乙酸乙酯等溶剂中仅微溶解。乙酸乙酯和汽油的混合液（比例在8:2～4:6范围内）是通用型氯丁橡胶的良好溶剂，但不能溶解专用型氯丁橡胶。毒性是选择溶剂时考虑的重要因素，芳香烃和氯化烃的毒性较大，一般通过在橡胶的苯或甲苯溶液中加入汽油、乙酸乙酯等毒性较低的不良溶剂的办法来解决。苯和四氯化碳能溶解氯丁橡胶，但毒性大，已很少使用。

试验表明，在许多聚合物-溶剂体系中，当体积浓度达到30%时，在给定的溶液浓度下，溶液粘度随溶剂粘度而增大。不同溶剂的粘度和该溶剂的10%AD型氯丁橡胶体积浓度与粘度的关系如图13-4-1所示。从图13-4-1和溶剂的粘度可以估计出溶剂或混合溶剂的相对稀释作用。

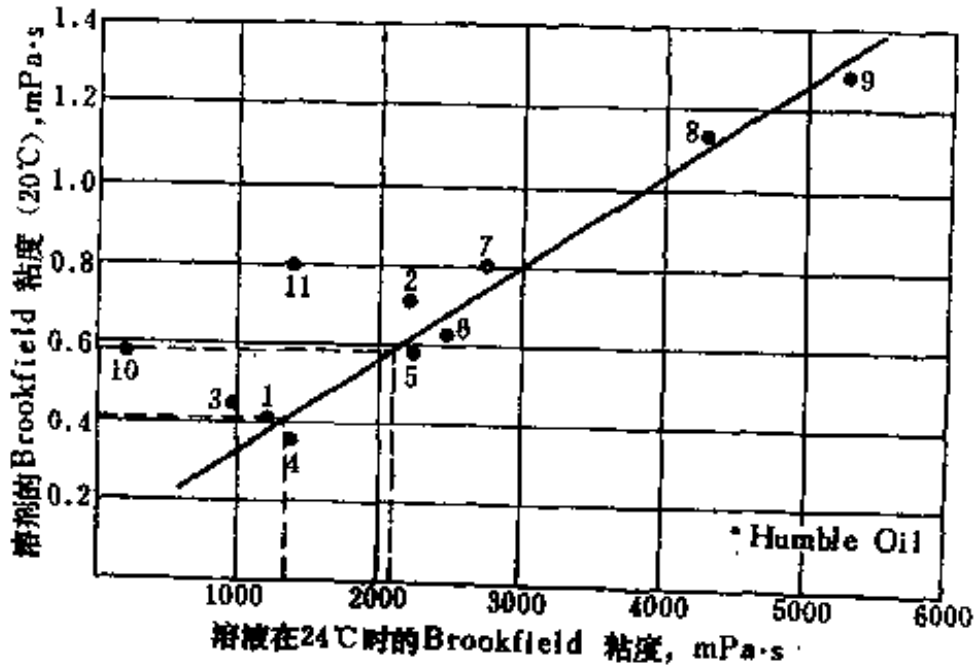


图 13-4-1 溶液粘度与溶剂粘度的关系

溶液：10%（体积）AD型氯丁橡胶溶液（门尼粘度79），
溶剂：1—正己烷/甲苯=2:3重量份；2—ODCB(邻二氯苯)/MEK(丁酮)=3:1重量份；3—甲乙酮；4—二氯化碳；5—甲苯；6—二甲苯；7—溶剂汽油 Solvesso 100 号；8—溶剂汽油 Solvesso 150号；9—邻二氯苯；10—甲基异丁酮；11—甲基正戊基酮

为降低成本，在不影响产品质量的前提下，溶剂应尽量少用，胶液浓度在30%左右为宜。

b. 混合溶剂 不良溶剂和非溶剂单独使用时不能溶解氯丁橡胶，通过适当比例混合后，都具有良好的溶解性、粘接性和低毒性。为了降低密封胶的毒性，调整胶液粘度和溶剂挥发速度，制备氯丁密封胶很少使用单一溶剂，而是采用混合溶剂。

为了估计混合溶剂的效果，可以使用氢结合指数与溶解度的参考关系图（见图13-4-2和图13-4-3）和表13-4-2。

对于两种溶剂，在图上两点之间连一直线作为两种溶剂的比例线，处于腰状图形内的比例即为对氯丁橡胶可溶；处于腰状图形外边的为不溶；边在“腰子”阴影上，为可溶和不可溶之间，这取决于在混合溶剂中良溶剂的比例。

对于3种溶剂，则取二点先连成一线，按所需比例在线上取一点与第3点相连，其它与两溶剂体系相同。

在氯丁橡胶品种和胶液浓度给定时，为了降低胶液粘度，可适当增加不良溶剂的比例。

溶剂的组成对干燥速度有一定影响。

溶剂的挥发速度要适当，挥发速度的快慢直接影响粘接强度。挥发太快，胶液表面结膜，阻止内部溶剂继续挥发，也会因表面降温而凝聚水汽；挥发过慢，被粘物涂胶和压合后，如果胶膜中残留有过多的溶剂，则被粘体膨胀，尤其是对非孔被粘基材，不易获得较多粘接力。晾置时间太长也影响效率，在溶剂中用挥发性大的溶剂可缩短晾干时间。粘合海绵

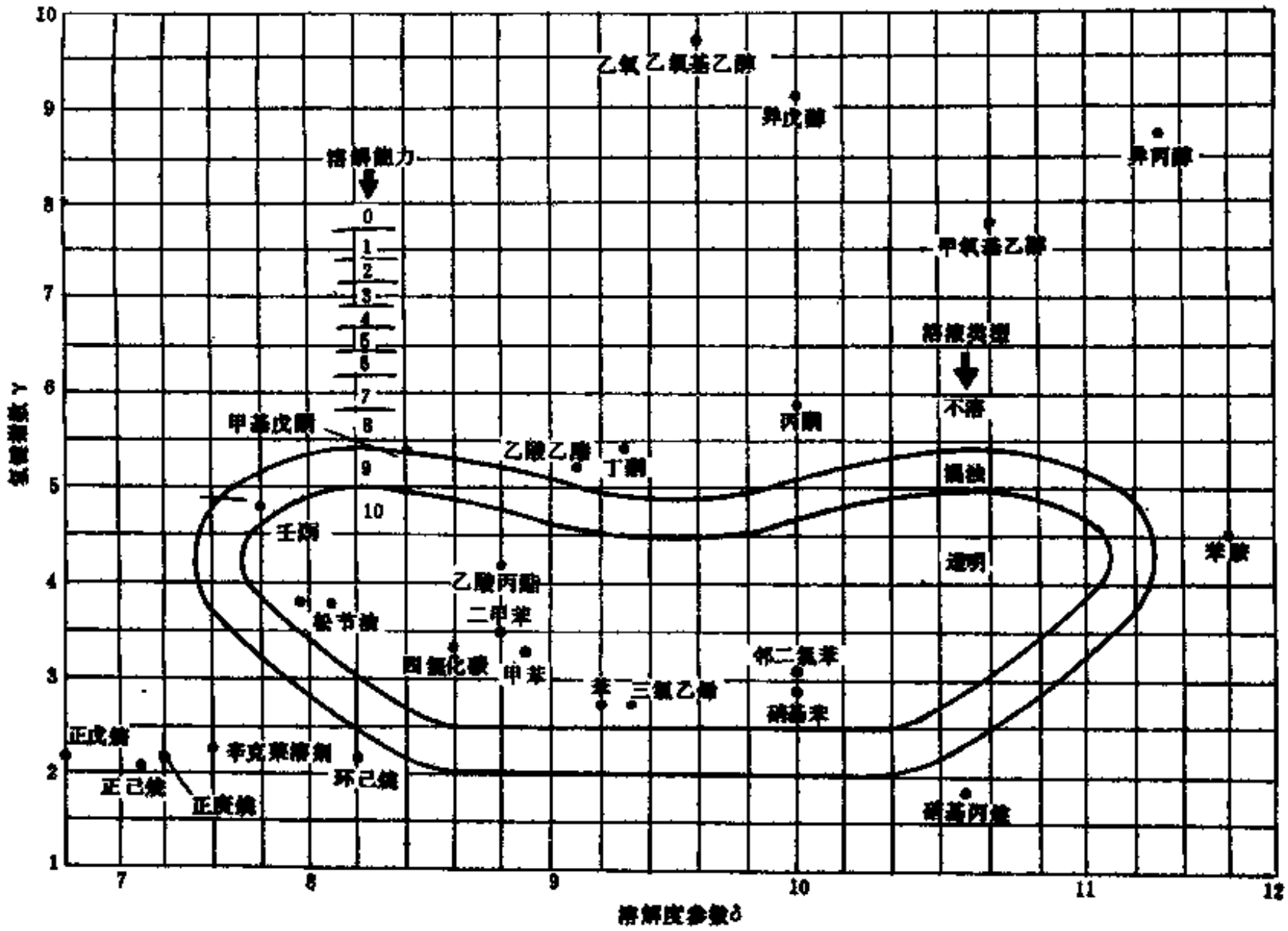


图 13-4-2 各种溶剂对氯丁橡胶的溶解能力〔适用于未塑炼的W、WHV、WX、WRT、WD、AC、AD等型号氯丁橡胶，溶液浓度3%（体积），室温〕

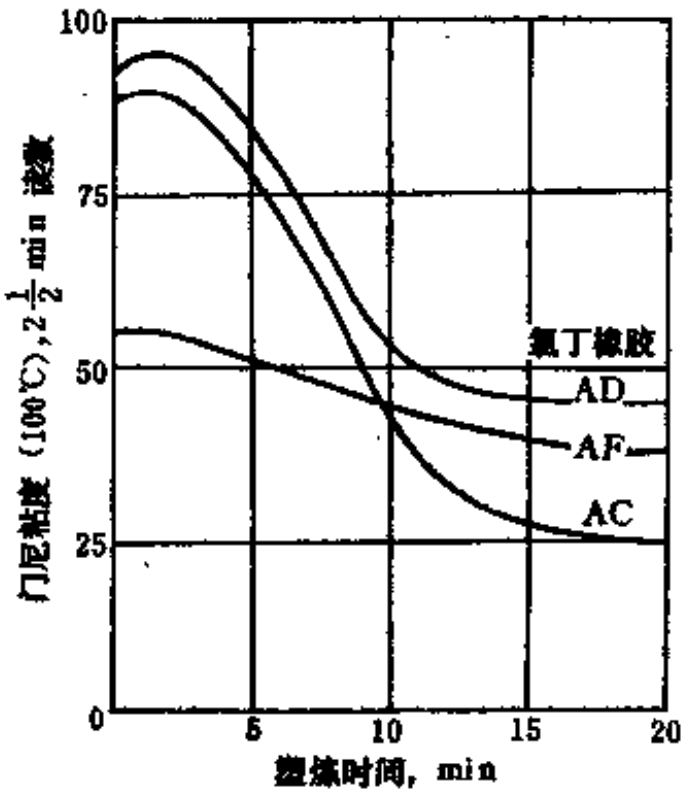


图 13-4-3 塑炼时间对氯丁橡胶门尼粘度的影响

时如嫌涂布后粘性过大，可混入挥发速度不同的不良溶剂来调整。以正己烷-丙酮-乙酸乙酯（比例为5:3:2）的混合液最易挥发(加有50份预反应树脂的胶膜10min即结晶，而单用甲苯需100min才结晶)。

对于一般用途，比较适宜的比例是甲苯:正己烷:乙酸乙酯为5:3:2。

c．溶剂对胶液使用工艺性能影响　良性溶剂会得到一个浓溶液，在喷涂时有生成蛛网的倾向。不良溶剂可提供最好的胶液使用性能。在喷涂使用中，例如快速挥发的混合溶剂，在图13-4-2的左下角1/4的区域选择。

2．粘接密封胶制造方法

（1）塑炼对密封胶性能影响　在配制粘接型密封胶时，根据所选用的氯丁橡胶品种、密封胶使用性能以及配制密封胶时的工艺要求等，需对氯丁橡胶进行不同程度的塑炼。氯丁橡胶经过塑炼，除了可以获得均匀的不拉丝的胶液外，还可以控制胶液粘度和粘性、内聚力形成的速度、早期的耐热粘接强度以及提高溶解速度和对多孔基材的渗透性。

表 13-4-2 氯丁橡胶使用的溶剂性能

溶剂	分子量(重均)	溶解度参数	氢结合指数(HB)	相对挥发速度①	闪点②℃	最大允许浓度 ppm	粘度(20℃) mPa·s	相对密度(20℃)
丙酮	58.08	10.0	5.9	1160	-9.4	1000	0.35	0.789
环己烷	84.16	8.2	2.2	720	4.4	300	1.06	0.778
邻二氯苯	147.01	10.0	3.1	15	79	50	1.27	
二异丁酮	142.23	7.8	4.8	18	60	25	1.00	
乙酸(20%)	88.10	9.1	5.2	615	7.2	400	0.44	0.902
正庚烷	100.20	7.4	2.2	386	-3.9	500	0.42	0.684
正己烷	86.17	7.3	2.1	1000	31.7	500	0.29	0.659
异丙醇	60.09	11.5	8.7	300	21.1	400	2.41	
甲二醇	72.10	9.3	5.4	572	1.7 46.1	200	0.42	
戊烷	72.15	7.0	2.2	2860	<-45.6	500	0.24	
甲苯	92.13	8.9	3.3	240	6.7	100	0.59	0.866
二甲苯	106.16	8.8	3.5	63	26.7	100	0.69	0.880
120号汽油								0.730
石脑油		7.6	2.5	275	8.9	500		
苯								0.886

① 醋酸丁酯为100。
② Cleveland开杯方法。

结晶的氯丁橡胶AC和AD经过塑炼使得结晶更加迅速，内聚力提高更快，也就是混炼法制造的密封胶的粘接力比直接溶解法制造的密封胶的粘接力提高较多。然而在老化方面，由于氯丁橡胶的部分硫化，两者具有相同的耐热粘接力。例如AC型氯丁橡胶塑炼 5min（胶料温度小于50℃），在100℃时的初始剥离力从6.87kN/m降低到不足0.98kN/m；而 1 个月后，在100℃时塑炼胶和未塑炼胶的剥离力都是11.77kN/m。

（2）制备胶液的方法　氯丁粘接型密封胶有 3 种制造方法，即混炼法、母炼法和直接溶解法。

a．混炼法　氯丁橡胶经过塑炼之后，在塑炼胶中依次加入防老剂、氧化镁、填料、氧化锌等配合剂进行混炼。为防止混炼过程中发生焦烧（早期硫化）和粘辊现象，氧化锌和硫化促进剂应该在其它配合剂与橡胶混炼一段时间之后再加入，混炼时温度不宜超过40℃。在混炼均匀前提下尽可能缩短混炼时间。然后，将混炼胶溶解。一般是在带有搅拌装置的密封式打浆机中进行，先将混炼胶剪成细条小块，放入打浆机中，加入部分溶剂，待胶料溶胀后搅拌使之溶解，再加入剩余溶液调制成所需浓度胶液。

b．母胶法　大量配合剂先与少量氯丁橡胶混炼成母炼胶，之后与未经混炼的氯丁橡胶一起溶解。此法减少了混炼量，但由于母炼胶中配合剂用量过大，易产生不溶解的凝胶。

c．直接溶解法　配合剂加溶剂球磨分散，再加入氯丁橡胶溶解。此方法工艺简单但易引起分散不均匀。

与混炼法相比，直接法不经塑炼，氯丁橡胶分子量大，溶液粘度高，解晶状态时内聚力仍较大。母胶法密封胶的性能介于两者之间，并随未炼胶的比例变化而变化。

3．粘接型密封胶的配合举例

氯丁橡胶根据使用要求通常可以配成结构型、非结构型、硫化型及接枝型等粘接型密封胶。其中，结构型酚醛氯丁型胶液主要作胶粘剂使用。

（1）酚醛-氯丁橡胶结构型胶粘剂　这是一类高温固化的结构型胶粘剂，后来由于出现了性能更好的酚醛-丁腈结构胶粘剂，其重要性就降低了。苯酚-甲醛树脂和氯丁橡胶是不互溶的，因此在制备酚醛-氯丁这一类胶粘剂时常用能与氯丁橡胶混溶的油溶性酚醛树脂代替苯酚-甲醛树脂（甲阶酚醛树脂和线性酚醛树脂），如叔丁酚醛树脂和萜烯酚醛树脂。

热固性酚醛-氯丁胶粘剂常制成胶膜使用，仅在临用前用溶剂对粘接面进行必要的湿润。但也可与溶剂配成胶液使用，通常的固化条件是：温度170℃左右；压力1.37～2.06MPa；时间30～60min。对金属的粘接强度在室温下可达27.47MPa。

这种酚醛-氯丁胶粘剂对金属结构材料的粘接有良好的抗震动、抗疲劳和耐低温性能，虽然室温粘接强度比其结构型胶粘剂低，但温度降低时，粘接强度迅速增加（在－20℃时约为34.34MPa），剥离强度及屈挠强度高，耐疲劳及耐冲击性良好，耐油性低于酚醛-丁腈胶粘剂，而耐盐雾、耐水和耐溶剂性甚至超过酚醛-丁腈和酚醛-缩醛胶粘剂。

高温固化的酚醛-氯丁密封胶一般配合如表13-4-3所示。根据需要，配方中还可以加入50份炭黑作填料。

表 13-4-3　酚醛-氯丁高温固化结构粘接型密封胶配方举例

组　　分	配方1	配　方　2		组　　分	配方1	配　方　2	
		A组分	B组分			A组分	B组分
AC型氯丁橡胶	—	100	—	氧化镁	4	4	4
氯丁橡胶	100	—	—	苯基-β-萘胺	2		—
酚醛树脂	83	—	—	古马隆树脂	0		—
酚醛树脂(SP-143)	—	—	45	甲苯		333	155
氧化锌	5	5	—	水			2

（2）非硫化粘接型密封胶　非硫化粘接型密封胶是一类非结构型密封胶。这种密封胶涂布到两个被粘的基材表面，晾干后贴合，在足够低的压力下得到良好的接触，是一种直接的比较强的粘接。

根据密封胶的配方组成及性能，可分以下三类。

a．纯氯丁橡胶型密封胶　纯氯丁橡胶型密封胶只含有氯丁橡胶密封胶的最基本组分，组成（重量份）如下：

氯丁橡胶	100	防老剂 D	2
氧化锌	5	汽油:乙酸乙酯＝1:2 配成20%胶液	
氧化镁	4		

这种纯胶密封胶对皮革、棉帆布、木材、硬质橡胶及硬聚氯乙烯等材料有较好的常温粘接效果。

b．填料型氯丁密封胶　为了降低成本并进一步提高粘接性能，可在密封胶的配合基础上添加大量无机填料，组成填充型密封胶。沉淀白炭黑和水合硅酸钙对氯丁密封胶有很大的补强作用。四川炉黑对提高高温粘接强度特别有效，如表13-4-4所示。

填料型氯丁密封胶成本较低，一般适用于对性能要求不太高，但用量和面积较大的粘接。该类型密封胶配方举例如表13-4-5所示。

c．树脂改性氯丁密封胶　不含树脂的氯丁密封胶耐热性低，对金属、玻璃、软质硫化橡胶、尼龙和聚酯纤维的粘接力差。改进氯丁密封胶的耐热性有二个途径：一是加硫化剂，通过硫化改进耐热性；二是加入树脂。

表 13-4-4 填充剂对氯丁橡胶密封胶高温粘接强度的影响

单位：重量份

组分及性能 \ 配方号	1	2	3	4	5	6	7
通用型氯丁橡胶	100	—	—	—	—	—	—
专用型氯丁橡胶	—	100	100	100	100	100	100
氧化锌	5	5	5	5	5	5	5
氧化镁	4	4	4	4	4	4	4
促进剂NA-22	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
四川槽黑	—	—	30	—	—	—	—
陶　土	—	—	—	30	—	—	—
碳酸钙	—	—	—	—	30	—	—
硅酸钠	—	—	—	—	—	30	—
白炭黑	—	—	—	—	—	—	30
甲　苯	配制成25%固体含量胶液						
棉帆布-棉帆布(80℃)剪切强度,MPa	0.101	0.248	0.635	0.236	0.176	0.304	0.272

表 13-4-5 填料型氯丁密封胶配方举例

单位，重量份

组　分 \ 配方号	1	2	组　分 \ 配方号	1	2
通用型氯丁橡胶		100	时间，h		48
粘接型氯丁橡胶	100		剪切强度，MPa≥		
氧化锌	5	10	橡胶-钢板	1.47	0.98
氧化镁	4	8	PVC地板-水泥		0.42
四川槽黑	30		PVC地板-钢板		0.24
碳酸钙		100	PVC地板-铅		0.22
防老剂D		2	剥离强度，kN/m≥		
促进剂NA-22	0.35		橡胶-钢板	10.98	5.49
甲　苯	560		PVC地板-水泥		8.41
汽　油		136	PVC地板-钢板		3.22
乙酸乙酯		272	用　途	皮革、橡胶、PVC 等粘接	皮革、橡胶聚乙烯、PVC、织物、纸张等粘接
固化条件					
压力，MPa		0.098～0.294			
温度，℃		20			

在纯氯丁橡胶密封胶的配合基础上加入树脂还可提供特殊的粘接性，消粘后经贴合，在低压下用于氯丁胶布粘接（接触胶粘剂）。所适用的树脂有热塑性树脂，如古马隆树脂、松香及松香脂、萜烯树脂、萜烯酚醛树脂以及热固性的烷基酚醛树脂。古马隆树脂和松香类树脂能延长密封胶的粘接保持时间，萜烯酚醛树脂能消除因使用白炭黑引起的密封胶触变性。这些树脂都是热塑性非反应性树脂，能同大多数氯丁橡胶相溶，但由于其热塑性使得它们不能有效地改善胶膜的高温性能，对常温粘接性能也无明显影响。

唯有热固性烷基酚醛树脂，尤其是叔丁基酚醛树脂，能与氧化镁组成高熔点改进物，大大提高氯丁密封胶的耐热性。由于这种树脂分子极性大，加入后还能明显地增加对金属等被粘基材的粘接力。

（a）树脂在密封胶中的用量　树脂的用量取决于所使用的氯丁橡胶的性能以及具体使

用要求。用于橡胶与金属粘接时树脂用量宜多，用于橡胶与橡胶粘接时，宜少用树脂。通常树脂用量都在45～100份范围内，树脂用量过多会影响胶膜的弹性并缩短密封胶的粘性保持期，而用量太少则改进效果又不明显。树脂用量对粘接性能影响举例见表13-4-6。

表 13-4-6 对叔丁基酚醛树脂用量对氯丁-树脂胶液粘接性能的影响

单位：重量份

配方及粘接性能	配方号					
	1	2	3	4	5	6
国产通用型氯丁橡胶	100	—	—	—	—	—
日本A-90	—	100	—	—	—	—
国产LDJ240	—	—	100	100	100	100
软质煅烧氧化镁	4	4	4	8.5	11	14
防老剂J	2	2	2	2	2	2
氧化锌	5	5	5	5	5	5
对叔丁基酚醛树脂①	—	—	—	45	70	100
甲　苯	444	444	444	480	570	645
棉帆布-棉帆布常温剥离强度，kN/m	2.6～3.5	3.8～8.2	6.8～7.2	9.6	7.8	5.8
碳钢-碳钢常温扯离强度，MPa	—	—	—	1.01	1.46	2.34

① 树脂在甲苯溶液中与氧化镁（树脂用量的1/10）及适量水在室温下预反应16h，再与混炼胶浆配合成树脂改性型氯丁橡胶密封胶。

（b）酚醛树脂（2402）与氧化镁的预反应　树脂品种、氧化镁用量、溶剂类型、反应温度、反应时间和水含量对反应速度、反应物熔点密封胶性能都有很大影响。树脂分子量太大，则胶膜弹性小；分子量太小，则胶膜内聚强度下降。2402树脂中低分子量（分子量小于500时）级分还会引起胶液分层。一般分子量控制在700～1100，熔点在80～90℃为宜。

在配胶时，最好先将对叔丁基酚醛树脂与氧化镁进行预反应，然后再与混炼胶的溶液混合。预反应的树脂生成氧化镁的树脂酸盐，其溶点高达250℃。树脂酸盐降低了密封胶体系的热塑性，因而进一步提高了密封胶的高温粘接性能。树脂酸盐也促进溶剂的挥发，有助于粘接力的形成。预反应改善了密封胶的抗相分离能力，提高了胶液的贮存稳定性。

酚醛树脂与氧化镁的预反应一般按下列组成配制：

对叔丁基酚醛树脂	100	水（催化剂）	1～2
氧化镁	10	溶剂（介质）	适量

氧化镁的最适宜用量应当是树脂量的10%。为保证反应正常进行，需要水作为催化剂，通常树脂和溶剂里含有的水已足够作为催化剂用水，但为确保反应顺利进行，还要加入树脂用量的0.5～2%的水。

在预反应中，溶液的颜色变化大，说明反应在进行，溶剂的类型对反应有较大影响。在丙酮、甲乙酮、乙酸乙酯等极性溶剂介质中，预反应不进行。因此这些溶剂只有在调制胶浆时加入。非极性的甲苯、正已烷溶剂作为反应介质，效果良好。溶剂种类对预反应的影响如表13-4-7所示。

温度为25℃左右时反应速度最快，因此反应在室温下（25～30℃）进行，反应时间一般需要16～24h。实际上反应6h即可达到平衡，但反应时间长，密封胶的耐热性高。

（c）胶液的相分离问题　配有酚醛树脂的氯丁密封胶，有时会出现相分离现象，即上层为树脂清液，下层为填充剂。相分离的胶液搅拌后对使用性能影响不大，但降低了商品价

表 13-4-7　溶剂种类对预反应物性能影响

溶　剂	氧化镁反应速率 %	反应物熔点 ℃	溶　剂	氧化镁反应速率 %	反应物熔点 ℃
甲　苯	6.61	>250	正己烷:乙酸乙酯:丁酮=1:1:1(体积比)	3.12	182
二甲苯	6.46	>250	正己烷:丙酮=1:1（体积比）	2.86	163
三氯乙烯	6.39	248	乙酸乙酯	1.18	100
正己烷	6.34	>250	丁　酮	0.2	92
环己烷	6.28	>250	丙　酮	0.1	92
二氯甲烷	6.06	250			

格，所以要避免。影响相分离的因素一般认为有下列几个方面。

① 树脂的种类　所使用的酚醛树脂品种不同，相分离的情况也不尽相同，树脂中低分子量级分（分子量小于500）过多时容易引起相分离。

② 溶剂组成影响　氯丁橡胶和酚醛树脂固定不变，溶剂组成不同也引起相分离。一般良性溶剂不易引起相分离。

③ 氧化镁的用量　氧化镁用量为45～95份，最适合用量为50份。适当增加氧化镁用量可以改善相分离的稳定性。

归纳起来，防止相分离的办法为：使用甲醇容纳量小的即分子量高的树脂；尽量少用不良溶剂；增加氧化镁配合量；提高混炼温度，提高混炼胶的停放温度；不用非补强性填充剂如碳酸钙、陶土；混炼胶停放数日后再溶解，一般停放7～8周为最好；添加硅烷类化合物；最好采用不产生相分离的氯丁橡胶，这种橡胶在聚合时减少了松香用量。

（d）配方举例　主要用于橡胶与金属、橡胶与橡胶之间粘接的氯丁-树脂密封胶，国产有XY401、FN-303等。这类胶液的几个配方举例见表13-4-8～表13-4-11。

表13-4-8的配方为一般树脂改性的粘接性氯丁密封胶，除用于橡胶与金属、橡胶与橡胶外，还可用于织物、皮革、塑料、木材、玻璃等的胶接，具有一定的通用性。

表13-4-9的配方为氧化镁-酚醛树脂预反应氯丁密封胶，这类的密封胶粘接力高于通用氯丁橡胶型的密封胶，可广泛地用于皮革、织物、木材、橡胶、陶瓷、硬质纤维板和其它材料，特别是塑料层压板和胶合板、金属、石棉等不同材料的粘合，并且显示出其它胶粘剂难以达到的良好效果。

表13-4-10的配方中AF型氯丁橡胶是含羧基的，用作密封胶的配比与其它类型氯丁橡胶基本相同，但操作组分和加工方法稍有不同。由于含有羧基，橡胶塑料温度必须控制在25℃以下，以防止和氧化镁之间发生反应，因此在配合上必须添加少量水分。该类密封胶在室温和高温下都具有优良的初粘力，并适合喷涂施工，其用途与AC及AD型氯丁密封胶大致相同。可大量用于汽车顶盖、房屋的顶棚（PVC）以及桌面装饰板的粘合，该密封胶中的实用配方举例是软质PVC用的粘接剂。

表13-4-11配方中的AG型氯丁橡胶在溶剂中显示高度触变性。由于渗透性低，有利于多孔材料的覆盖，改善了板用胶粘剂的性能。由于溶液不易产生拉丝现象，适用于制造喷涂用密封胶。

为制得AG聚合物的均匀分散溶液，必须将凝胶集块充分破坏。为此干胶应先塑炼，溶解时应使用高剪切力的混合搅拌器，该配方为喷涂型密封胶。

（3）室温硫化型密封胶　在纯氯丁橡胶型密封胶中加入硫化剂可以提高氯丁密封胶的

表 13-4-8 非氧化镁-酚醛树脂预反应型氯丁密封胶配方举例

组分与性能	配方编号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
通用型氯丁橡胶			100			100	100	80	
LDJ-230氯丁橡胶	100								
粘接型氯丁橡胶		100		100	50				100
W型氯丁橡胶									
WHV型氯丁橡胶					50				
丁腈橡胶-26								20	
氧化锌	5	5	5-10	2	2	5		10	2
氧化镁	8	8	8-10	5	2	4		4	5
促进剂DM	1		1						
促进剂TMDT	1								
促进剂CZ								0.5	
硫黄	0.5							0.5	
白炭黑					5				
防老剂	1	2		1	1			1	1
环已胺									
萜烯酚醛树脂									20
对叔丁基酚醛树脂	100	30	100	45	60			40	45
古马隆树脂						20			
氢化松香酯					19				
松香						2.5			
乙酸钠								0.5	
氧化钙								2	
没食子酸								1.5	
甲苯				138	144				138
120号汽油	150	160	150						
乙酸乙酯	300	320	300						
正已烷				277	288				277
丙酮					288				188
甲乙酮									138
苯						500～600		适量	
剥离强度，kN/m									
硫化天然橡胶	13.73								
扯离强度，MPa(钢-橡胶-钢)	1.28								

表 13-4-9 粘接型氧化镁树脂反应型氯丁密封胶配方举例

组分及性能	配方编号					
	1	2	3	4	5	6
AC或AD型氯丁橡胶	70		50	100	100	100
W型氯丁橡胶		50				
WHV型氯丁橡胶		50	50			
丁腈橡胶-26	30					
氧化锌	10	5	2	2	5	
氧化镁	6	4	4	4	4	4
四乙烯五胺	4.2					
防老剂		2	2	2	2	

续表

组分及性能	配方编号					
	1	2	3	4	5	6
防老剂A	1					
防老剂4010	1.5					
促进剂M	1					
白炭黑			5	15		
轻质碳酸钙		15				
热反应溴烷基酚醛树脂		40	30	50	109	
氧化镁		4	3	5	4	
水		0.4	0.3	0.5	0.5～1	
2402酚醛树脂预反应物	90					
氢化松香酯		5				
甲　苯	400	67	307	320	650	
正己烷		134	131	134		
乙酸乙酯	400	53		53		
丙　酮		80				
甲乙酮				27		
操作油		5				
剪切强度，MPa						
橡　胶					2.45	
皮　革					2.45	
钢-橡胶					2.94	
剥离强度，kN/m						
橡胶-钢　≥					54.94	
铝-天然橡胶	21.97					
铝-丁腈橡胶	24.17					
使用温度℃	-60～100					

表 13-4-10　AF型氯丁密封胶配方举例

组分		基本配方	实用配方
混炼胶配方	AF型氯丁橡胶（经塑炼）	100	100
	氧化锌	5	4
	氧化镁	2	6
	抗氧剂	2	
	防老剂2246		2
	二氧化硅		18
溶解（胶粘剂配方）	混炼胶	109	130
	氧化镁反应的叔丁基酚树脂	44	
	Pdvlon s-20		35
	氯化橡胶（SP-103）		17
	水	1	4
	溶　剂	610	
	甲　苯		200
	甲乙酮		150
	异丙醇		20
	四氢呋喃		140

续表

组　　分		基 本 配 方		实 用 配 方
粘　度，Pa·s		制成时		2.2
		24℃，6周后		2.6
对氯乙烯织物与合成鞋底在82℃加热粘合后的剥离强度，kN/m		24℃	2min后	3.955C①
			5min后	14.06C
			1天后	25.93C
			7天后	23.95N
在100℃、负重600g、粘接1h后蠕变，mm			负重15min后	10.02
			30min后	11.7
			60min后	14.0
			120min后	17.5

① C——内聚力破坏。

表 13-4-11　AG型氯丁密封胶配方举例

组　　分		配 方 1	配 方 2	组　　分		配 方 1	配 方 2
混炼胶配方	AG型氯丁橡胶	100	100	溶解配方	水	2	2
	抗氧剂	2	2		乙酸乙酯		300
	氧化镁	8	8		乙酸丁酯	115	340
	氧化锌	5	5		二异丁酮	620	
溶解配方	混炼胶	115	115	配　制	用氯里昂12稀释剂	50%	50%
	叔丁基酚醛树脂	40	40				

内聚强度和耐热性。所用的硫化剂有硫黄与一氧化铅的混合物、二苯基硫脲、NA-22，三乙基三甲基三胺、促进剂808和促进剂833以及多异氰酸酯。加入硫化剂可使胶膜在室温下快速硫化，显著地改善了对皮革、织物、橡胶等非金属材料的粘接性能并提高胶膜的耐温性。但这种胶液活性大，室温下数小时可全部凝胶。因此一般配成双组分贮存。用异氰酸酯硫化的氯丁-酚酞树脂胶液体系广泛地用于胶鞋工业。

异氰酸酯是一种常温交联剂，加入到氯丁橡胶系密封胶中，可提高密封胶耐热粘接力、耐水粘接力和初粘力。这是因为异氰酸酯容易和其它官能团反应，并且自身聚合；当加入到密封胶中时，它既容易和被粘物表面反应，又使氯丁橡胶交联。

a．与金属的粘接　Bayer认为，在金属类无机表面粘接中，首先是金属表面的吸附水与异氰酸酯反应生成脲化合物，脲化合物又与金属氧化物形成螯合键，这种螯合键的极性和氢键键能大，故能形成牢固的粘接。

还有人认为，异氰酸酯与金属表面的吸附水形成如下共价键：

$$\text{金属}-\underset{\underset{\text{O}}{\|}}{\text{O}}-\text{H}+\text{OCN}-\text{R}-\text{金属}\longrightarrow\text{金属}\cdots\cdots\underset{\underset{\text{H}}{|}}{\text{O}}-\underset{\underset{\text{O}}{\|}}{\text{C}}-\text{NH}-\text{R},$$

总之，在与金属粘接中，氢键起着重要作用。

b．橡胶的粘接　在被粘物体中具有活性氢时能与异氰酸酯产生一次结合获得牢固粘接。另外使用含有异氰酸酯的氯丁胶粘剂时，异氰酸酯能渗透到被粘硫化橡胶的分子内，与橡胶

反应，形成粘接，异氰酸酯不是与橡胶的双键反应，而是与橡胶在混炼时或氧化过程中产生的官能团反应。

若使橡胶分子中双键交联，必须在其分子中引入活泼氢，使其与异氰酸酯交联。另外，随硫化橡胶的硫化程度提高，粘接强度提高。

c. 纤维的粘接　纤维的分子链上通常带有极性键，它与异氰酸酯交联形成交联体。另外纤维素具有羟基，但由于其吸湿性强，在常态下，吸附的水首先与异氰酸酯反应，使后者发生水解，使分子间粘接力降低。为使异氰酸酯与纤维素的羟基反应时不受所吸附水的影响，可用如下的氮丙烷化合物与异氰酸酯产生反应。

$$R\text{—}NCO + HN\begin{cases}CH_2\\|\\CH_2\end{cases} \longrightarrow R\text{—}NHCON\begin{cases}CH_2\\|\\CH_2\end{cases} \xrightarrow{\text{羟基纤维素}} R\text{—}NHCONHCH_2CH_2O\text{—纤维素}$$

d. 塑料粘接　异氰酸酯几乎在所有的塑料粘接中都能提高粘接力。为提高聚烯烃表面的粘接力，须对聚烯烃表面进行处理，该法叫USM法。此处理法包括在聚烯烃表面涂活性溶液；照射紫外线，使表面交联，继续利用氧形成异氰酸酯交联点；用多异氰酸酯处理表面；用与异氰酸酯反应的胶粘剂贴合。该技术可用于除聚四氟乙烯外的多种塑料和弹性体的粘接加工技术中。

硫化型氯丁密封胶配方举例如表13-4-12和表13-4-13所示。

表 13-4-12　硫化型列可纳-氯丁橡胶密封胶配方举例

单位：重量份

组分		配方1	配方2	配方3	配方4	组分	配方1	配方2	配方3	配方4
甲组分	通用氯丁橡胶	100	—	—	—	酚醛树脂	—	—	10～45	—
	LDJ-240氯丁橡胶	—	100	—	100	防老剂丁	2	—	2	2
	AC型氯丁橡胶	—	—	100	—	甲苯	—	适量	500	200
	氧化镁	4	8	4	4	乙酸乙酯	—	—	—	100
	氧化锌	5	4	5	5	乙酸乙酯：汽油＝2:1	20%浓度			
	氧化硅	—	—	15	—					
	促进剂NA-22	—	—	1	—	乙组分—列可纳	10%	2	—	甲:乙=5:1

该类密封胶使用前将列可纳（20%三苯基甲烷三异氰酸酯的二氯乙烷溶液）加入到氯丁胶液中搅拌均匀。使用期3h，其粘接性能视可用氯丁橡胶品种而异。氯丁-列可纳胶液常温粘接性能如表13-4-14所示。

（4）接枝氯丁密封胶　这类胶液在制鞋工业中主要作为胶粘剂使用。近年来PVC人造革，聚氨酯合成革以及EVA改性聚乙烯等鞋用材料代替皮革和棉织物大量使用，而原来使用的溶剂型的氯丁胶粘剂对上述材料粘接力很差。

用甲基丙烯酸甲酯（MMA）与氯丁橡胶接枝配成的胶粘剂，粘接不经处理的PVC人造革，可获得良好粘接性能。因为MMA对PVC有较好的粘接力，对迁移出的增塑剂有一定的吸收和隔离作用，但MMA具有脆性、初粘力差，不可单用。而MMA与CR的接枝聚合物，既具有MMA对PVC的粘性，又具有CR的弹性及初粘性。

接枝氯丁密封胶的制备举例如表13-4-15所示。

表 13-4-13 室温硫化粘接型氯丁胶密封胶配方举例 单位：重量份

组分	配方号 1 甲组分	1 乙组分	2 甲组分	2 乙组分	3 甲组分	3 乙组分
国产通用型氯丁橡胶	100					
LDJ-240氯丁橡胶			70		100	
丁腈橡胶26		5		30		10
氧化锌		5		10		5
氧化镁		4		6		4
2402预反应酚醛树脂			90			
促进剂M			1.0			
四乙烯五胺				4.2		
乙烯基硫脲		2				1.7
防老剂A			1			
防老剂 J	1.5				1	
防老剂4010			1.5			
白炭黑	25					
混气炭黑					35	
乙酸乙酯	200	74			264	74.3
120 号汽油	200				176	
合 计	526.5	90				
甲组分:乙组分	6～10:1				6:1	
硫化时间，h			24			
使用期，h	24					
剪切强度，MPa					1.86	

表 13-4-14 氯丁-列可纳的常温粘接性能剥离强度 单位：kN/m

氯丁橡胶品种	溶剂	被粘材料：丁基橡胶与丁基橡胶	被粘材料：天然橡胶与天然橡胶	被粘材料：皮革与皮革
国产通用型	乙酸乙酯:汽油 = 2:1	2.52	4.52	2.48
国产66-1	甲苯	6.68	6.76	4.08

表 13-4-15 接枝氯丁密封胶配方（重量份）及制备方法举例

组分 \ 配方号	1	2	3	4	5	6
电化牌氯丁橡胶A-90	100	100	100	100	100	100
G-40 S-1氯丁橡胶（甲基丙）						
烯酸甲酯MMA	100	100	50	50	50	
过氧化苯甲酰	0.5	0.5	0.38	按需要	按需要	
甲苯	600	400	350	419	582	
甲乙酮		160	250	156	65	
甲苯/甲乙酮		72/28	58/42	75/25	90/10	
聚合终止剂氢醌（PHR）	1					
2,6-二特丁基-对甲酚（B.H.T）		2	2	2	2	
反应温度，℃	80	80	90	90	90	
反应时间，h	1～5					
置换气体		N_2	N_2			
搅拌速度		50	50	50	50	

影响氯丁橡胶接枝反应的因素有CR与MMA配比、引发剂的类型及用量、反应温度与反应时间等。

（5）接触粘接型（压敏型）密封胶物理性能

a．晾置时间　晾置时间也就是粘接时间间隔，是指粘接之前为了干燥，两个被粘表面由消粘到贴合所需要的最大时间。所需晾置时间取决于特殊的使用要求，短时不到1min,长则24 h 以上。

比较不同配方密封胶的晾置时间的方法是在未上浆的帆布上放上湿的胶膜，待胶面干燥到消粘后，在规定的不同时间间隔内用一定的辊压力将两个胶面贴合,经24 h 后测试试件。由于氯丁橡胶结晶速率不同，掩盖了粘贴的间隔时间的差别，因此直接测试会得出错误的结论，晾置时间是在规定的剥离强度或熔化百分比以上粘接保持的时间。

影响氯丁橡胶接触密封胶粘接时间间隔的因素有氯丁橡胶类型和所使用的树脂类型及用量等。快速结晶类的氯丁橡胶粘性保持期短，因此往往把W型、WHV和WRT型氯丁橡胶加入到AC和AD型中以增加胶液粘性，碳氢树脂的用量不到10%就可起到增粘剂作用。

有时通过塑炼，以及选择溶剂和填料可以精确控制粘性的保持期。

b．密封胶的粘度控制　粘度控制简述如下。

① 使用混合溶剂，这在溶剂一节中已介绍过。

② 改变塑炼时间和胶料温度　粘度随塑炼时间和温度而降低对结晶性氯丁橡胶最明显。

③ 同类型氯丁橡胶的门尼粘度大小选择　氯丁橡胶胶液的粘度与门尼粘度成正比。

④ 氯丁橡胶类型选择　在门尼粘度相同时，结晶氯丁橡胶具有更高的胶液粘度。

⑤ 氯丁橡胶浓度　随着氯丁橡胶浓度增加胶液粘度迅速增加。

⑥ 溶液温度　粘度随溶液温度而变化。

c．内聚力　结晶性氯丁橡胶的内聚力远远大于低结晶或非结晶的氯丁橡胶。在一定的级别内，门尼粘度越高，内聚力也越大。测定内聚力的最好方法是测定帆布与帆布粘接的剥离强度。

d．耐热性　剥离强度和剪切强度是温度的函数，因此测定不同温度下的剥离强度和剪切强度即可检验耐热性好坏。

（二）非粘接型密封胶

氯丁橡胶具有许多优良性能,因此用氯丁橡胶可以制得具有良好性能的密封胶,氯丁橡胶通过软化剂可以制成流动体。流动状态的氯丁橡胶是制造密封胶、胶粘剂、涂料等的最佳材料。

1．密封胶组分

（1）密封胶的主体材料

a．高分子量氯丁橡胶　用于配制氯丁胶粘剂的通用型和粘接型的氯丁橡胶常常用于配制密封胶，它既有密封作用，又有粘接作用。

b．低分子量氯丁橡胶　低粘度的KNR、FB和FC型以及遥爪型液体氯丁橡胶最适合制作密封胶，这些聚合物同填料、增塑剂以及其它添加剂混合可制成不坍塌的、自流平的、非收缩的密封胶。通过塑炼和胶溶可以使KNR氯丁橡胶干胶成为流体，它一般同金属氧化物、促进剂、填料、胶溶剂和增塑剂配合。

FB和FC型氯丁橡胶比KNR软，但由于它们具有结晶的倾向，在室温下长期存放可变成固体不流动型，高于55℃则被解晶。FC型具有脆性，其稠度类似硬化油，因此比FB型更容易操作。FB型是低粘度膏状，更适合制造无溶剂型密封胶。配合适量的填料和增塑剂就可

制得不收缩、耐坍塌或自流性密封胶，通常填料含量为100～150份，增塑剂为30～50份。室温硫化密封胶配合促进剂，例如酚胺（Accelerator 833）或四亚乙基五胺，其用量范围为5～10份。

FB型制作的密封胶比FC型密封胶硫化更快，物理性能更高，但在不降低密封胶硬度和加工中不引起焦烧的情况下，FC型具有可降低其它氯丁橡胶粘度的功能。

c. 丁腈橡胶改进　除了聚硫、聚氨酯和氟弹性体外，丁腈橡胶具有最好的耐矿物油和燃料油的性能，因此常用丁腈橡胶改性氯丁橡胶密封胶。丁腈橡胶的丙烯腈含量为18～50%，随丙烯腈含量增加，密封胶的耐矿物油、燃油性提高，但密封胶的回弹性、低温柔软性和耐生热性下降。丁腈橡胶改进了氯丁密封胶的冷流性，但耐紫外光、耐天候老化性以及电绝缘性差，拉伸强度低。

（2）金属氧化物　氯丁橡胶密封胶中常用的金属氧化物有氧化锌、四氧化三铅(红铅)或一氧化铅（黄铅）及氧化镁。金属氧化物可调整树脂的硫化速度以及接受在加工、硫化和老化过程中释放出的氯化氢。

适量的氧化锌和氧化镁可获得适宜的硫化速度、良好的加工稳定性和硫化胶性能。氧化锌用量保持在5份时，随着氧化镁用量的增加，定伸应力增加速度变慢。氧化镁的用量不能太高，否则对耐水性不利。

用红铅和黄铅可以代替氧化镁和氧化锌的配合体系，尤其是要求密封胶耐水时，其用量为100份氯丁橡胶配合10～20份氧化铅。在接缝胶或嵌缝密封胶中最好用10份氧化锌和20份一氧化铅或四氧化三铅。在不允许使用铅的场合，可用环氧树脂代替氧化镁。

（3）促进剂　通用型氯丁橡胶的硫化可在149℃下进行，使用金属氧化物作硫化剂，不需有机促进剂。若使用NA-22或2-巯基咪唑啉作促进剂，用量为0.5～1份，要比单用10份金属氧化物硫化速度更快。使用3份1，3-二乙基硫脲，在120℃下20min消粘。

室温硫化密封胶所用的促进剂有多烷多胺或乙醛胺（促进剂833）、过氧化铅和某些三级胺。多胺促进剂如四亚乙基五胺是最活泼的促进剂，最佳用量范围比醛胺要小。KNR型氯丁橡胶通常用4份或更少量的促进剂833，并用20份一氧化铅。这些密封胶在高于26.7℃的温度下两周内就能完全硫化，在两天内就能达到最高强力的50～75%。密封胶的活性使用期仅有几小时；因此金属氧化物和促进剂应当在使用之前混合。不同促进剂的并用通常能改变密封胶的操作寿命。

（4）填充剂　大多数的矿物填料可用于氯丁密封胶中。非补强性填料不能提高硫化胶的定伸应力，如重质碳酸钙、氧化锌、二氧化钛和硫酸钡。煅烧陶土和软质陶土是一种半补强填料，可适当地提高定伸应力。

矿物填料中具有补强性的是细滑石粉、硬质陶土、硅酸钙、沉淀白炭黑等，它们可提高氯丁硫化胶的定伸应力、抗撕裂性和压缩变形及永久变形。矿物填料比炭黑更能提高抗撕性，但矿物填料的抗压缩变形和永久变形性比炭黑低。

氯丁橡胶中使用热裂法炭黑、炉黑和槽法炭黑，炉黑和槽黑补强性比热裂法炭黑更大。

氢氧化铝和三氧化锑是有效的耐燃剂，硼酸锌与氢氧化铝的作用是生成一个融熔外壳，是一种最好的耐燃剂。硬质陶土和硅酸钙也是良好的耐燃填料。

（5）增塑剂　氯丁橡胶使用的增塑剂主要是石油基油、酯类树脂和某些聚合物。增塑剂的类型和用量不同可明显地影响密封胶的性能。

环烷油类增塑剂最多用量可达75份，石蜡油有喷出的现象。芳香类增塑剂与氯丁橡胶相

容性好，但易污染并有褪色性。芳香石油基油含量增加会降低密封胶定伸应力、拉伸强度和硬度，对回弹性的影响不大。

密封胶应具有良好的低温柔软性。氯丁橡胶因结晶，低温冷冻时以及老化后会发硬，可通过使用硫黄硫化、树脂类增塑剂或配合多量填充剂和石油基增塑剂等方法阻止氯丁橡胶结晶。酯类增塑剂在某种情况下会提高结晶性，因此在要求非结晶产品时，应避免使用酯类增塑剂。

酯类增塑剂属于低温增塑剂，可使氯丁橡胶的脆性温度降低到玻璃化温度以下，这类增塑剂有油酸酯丁基、癸二酸二辛酯、三甘醇辛酸癸酸酯、磷酸二辛酯、聚醚。低温增塑剂的性能如表13-4-16所示。

表 13-4-16 低温增塑剂的性能

酯类增塑剂	低温性能改进	持久性	耐臭氧	耐燃	耐霉菌	对硫化速度影响
癸二酸二辛酯	好	极好	有害	有害	有害	无
油酸酯丁基	极好	中	改进	有害	有害	延缓
聚醚	好	差	有害	有害	改进	无
三甘醇辛酸癸酸酯	好	极好	有害	有害	有害	无
磷酸二辛酯	中等	好	有害	改进	无	无

大多数增塑剂对耐臭氧、耐燃和耐霉菌性能都有不良影响，而脂肪酸甘油酯或其它酯则具有良好耐臭氧性。

高苯乙烯-丁二烯共聚树脂可提高硫化胶硬度及耐磨性。

（6）其它组分　在氯丁密封胶中还常用一些其它组分以改善密封胶的某些特性。为了防止密封胶老化，常加入防老剂。常用的防老剂有防老剂A和防老剂D，属污染性，不污染性的防老剂可用防老剂2246和264。

在氯丁密封胶中，通常很少使用溶剂。但通用型和粘接型等高分子量氯丁橡胶则要使用较多量溶剂，但与同类橡胶的胶粘剂相比，胶液稠度较大，因此使用的溶剂相对少一些。

2．密封胶的制备方法

将密封胶、聚合物、溶剂、防老剂、填料以及促进剂等在捏合机中混合。用炼胶机把氯丁橡胶塑炼3～4min，再加入防老剂、炭黑、油膏(油膏可提高各种辅料在橡胶中分散性)。混炼后的胶片剪成碎块，在带有搅拌器的捏合机中用溶剂（通常为二甲苯、甲苯与芳香混合溶剂，脂芳族与芳香混合溶剂）配成85～90溶液。

3．密封胶配合组分

（1）单组分密封胶　单组分密封胶在稍高的温度下即可硫化，通常比双组分密封胶固化速度慢，在低的温度下贮存可以延长它的贮存期，单组分密封胶配方举例如表13-4-17～表13-4-26所示。

表13-4-22所示密封胶可塑度达到0.65以上，可用于甲板、船体、水密舱等木板连接处的嵌缝，效果好于油灰麻丝，用它嵌缝的驳船使用5年以上。

上述胶液涂在玻璃纤维上，涂胶量为50g/m²，干燥后成为防火密封材料。在200℃×30min膨胀系数为1:13，用来作为防火门的填充材料时，燃烧试验30min后这些填充材料完全填满了空间。

表 13-4-17 挤出型单组分密封胶配方举例

组分与性能	用量，份	组分与性能	用量，份	组分与性能	用量，份
弹性体	34	干燥到接触时间	约4 h	使用温度范围	5～50℃
填料与金属氧化物	32	硫化时间	4 d	耐油类性能（如汽油）	良好
溶剂	34	硫化胶性能		工作温度范围	0～120℃
固体含量（体积）	55	耐燃性	良好	在水中浸泡（23℃×7d）后重量变化，%	2.6
未硫化胶性能		拉伸强度（ASTM D-1410），MPa	12.4	耐天候性	稍变化
包装稳定性	1 a	伸长率，%25℃	500%		
		0 ℃	300%		

表 13-4-18 烟雾剂容器垫用弹性密封胶配方举例

配方组分	用量，份	配方组分	用量，份	配方组分	用量，份
氯丁橡胶	100	防老剂MBI	2	胶体二氧化硅	0.1
石蜡	2	二硫化四甲基秋兰姆	2.5	树脂酸锌	0.3
乙酸钠	1.5	氧化锌	5	亚戊基氨荒酸哌啶	2
氧化镁	4	酞酸二辛酯	7.4	甲苯	2001
陶土	50				

表 13-4-19 耐燃氯丁密封胶配方举例

配方组分	用量，份	配方组分	用量，份	配方组分	用量，份
氯丁橡胶（分子量3500，粘度50～100Pa·s）	100	MoO_3	10	烟指数	55
$Al(OH)_3$	300	Sb_2O_3	10	硬度	70

表 13-4-20 耐水防腐弹性氯丁密封胶配方举例

配方组分	用量，份	配方组分	用量，份	配方组分	用量，份
氯丁橡胶	20～5	松香	1～3	矿物填料	55～75%
顺丁橡胶	0.1～15	硫黄	0.2～0.5	增塑剂	10～25%

表 13-4-21 单组分密封胶配方举例

配方组分	用量，份	配方组分	用量，份	配方组分	用量，份
软氯丁橡胶 KNR	100	秋兰姆E	2.5	油膏	10
防老剂	2	热裂法炭黑	100	合计	214.5

表 13-4-22 嵌缝用密封胶配方举例

配方组分	用量，份	配方组分	用量，份	配方组分	用量，份
通用型氯丁橡胶（可塑度0.6左右）	100	钛白粉	30	古马隆树脂	5
氧化铅	15	立德粉	30	E-44环氧树脂	5
氧化锌	5	防老剂D	3	邻苯二甲酸二丁酯	30
促进剂 NA-22	0.5	黑油膏	40	50号车油	30
陶土	100	白蜡(熔点56℃左右)	2	合　计	400.5
		松香	5	含胶量，%	24.99

表 13-4-23 用于防止电线和电缆燃烧蔓延的自熔性胶粘带配方举例

组分与性能 \ 配方号	1	2	组分与性能 \ 配方号	1	2
氯丁橡胶	50	100	亚乙基硫脲	0.5	—
乙烯-乙酸乙烯共聚物	50	—	氧化铅	20	—
碳酸钙	—	30	氧化锌	5	—
氢氧化铝	100	—	三氧化二锑	5	—
硼酸锌	—	10	性能		
65%氯化石蜡	20	15	氧化指数	42	30(200℃)
硬脂酸锌	—	2	拉伸强度，MPa	0.049	0.015
			伸长率，%	730	420

表 13-4-24 用于接头、空间和密封墙或门的热胀性防火材料配方举例

单位，重量份

组　　分	基本配方	配方举例	组　　分	基本配方	配方举例
氯丁橡胶	10～30	24	三氧化二铝	≤80	48
可胀性石墨	100	100	石棉纤维（填料）	≤30	10
特丁基苯酚-甲醛树脂	1～40	20	稳定性（在等比的甲苯、汽油、丙酮中）	1～3	2

（2）双组分密封胶　双组分氯丁密封胶在室温或稍高温度下硫化，使用前两组分捏合。双组分密封胶配方举例如表13-4-26所示。这是一个无溶剂、不收缩、耐坍塌性密封胶，凝固快，但硫化慢。

氯丁密封胶大都制成黑色，完全硫化的氯丁密封胶具有中等的接缝移动的伸张和收缩性，不易裂开，不易失去粘接力。其应用包括沥青路裂缝的修补、水槽和给水管的裂缝修补和铜的密封、金属板搭接密封以及容器的密封。

表 13-4-25 耐火的油灰配方举例

单位：重量份

组分与性能	基本配方	配方举例
聚丁橡胶（分子量2500～4000，粘度1～1.2Pa·s）	100	100
氢氧化铝	300～400	300
三氧化钼（MoO_3）	20～40 (1:03～1.4)	10
三氧化二锑		10
性能　发烟指数（JISA-1321—75）		55
硬度（JISA·752—75）		70

（3）液态密封胶　氯丁橡胶可配制成液体密封胶，也称液体垫圈。氯丁橡胶所配制的液体密封胶一般属于干性剥离型或半干粘弹性型氯丁橡胶，其液体密封胶配方举例如表13-4-27和表13-4-28所示。

表 13-4-26 双组分密封胶配方举例

组分	用量，份		组分	用量，份	
	A组分	B组分		A组分	B组分
W型氯丁橡胶	100		氧化锌	5	
氧化镁	4		丁基醛甲醛树脂（热反应性）		45
防老剂	2		氧化锌		7
碳酸钙	150		混合二甲苯		115
石油操作油	30		合计	294	167
胺改性皂土（Benton陶土）	3		固体含量（A和B混合后），%	80	

表 13-4-27 干性剥离型氯丁橡胶液态密封胶配方举例 单位：重量份

组分	配方号				组分	配方号			
	1	2	3	4		1	2	3	4
氯丁橡胶	100	100	100	100	石蜡		10		
酚醛树脂	20	10			硬脂酸锌		2		
磷酸三苯酯	1				防老剂D			9	1.6
氧化镁			4.5	4.4	蓖麻油				9.0
氧化锌			5	5.0	硅藻土		60		
硬脂酸			1.5	1.5	乙酸乙酯	100			
4，4′-二羟基联苯	1				汽油	100			
邻苯二甲酸二辛酯			1.5		三氯乙烯		44	400	440.0
石墨				45.5	甲乙酮		适量	150	160

表 13-4-28 半干性粘弹型密封胶配方举例

配方组分	用量，份
不干性油状醇酸树脂	15
氯丁橡胶	8.8
滑石粉	4.8
钼 粉	2.6
石 蜡	0.5
氧化镁	0.4
氧化锌	0.4
防老剂	0.2
三氯乙烯	43.5
正己烷	8.8

表13-4-27中配方 1 中添加 酚 醛树脂提高耐热性，可在120℃、0.98～1.37MPa条件下长期使用，具有良好弹性，可折性和可剥离性。配方 2 具有更好弹性和柔软性，硅藻土能提高机械性能，甲乙酮加入量应根据不同粘度要求而定。配方 3 具有良好物理机械性能，较高内聚力，耐压性可超过 1.96MPa，粘接力可达 0.2～0.39MPa，胶膜弹性和可剥离性好。配方4耐水、耐压性好、耐油性差。

表13-4-28配方中加入氯丁橡胶、氧化镁和氧化锌改善了树脂粘弹性，此配方虽具有不干性粘着性特点，但仍属半干性粘弹性。它具有优良耐压性（最高达2.94～3.43MPa）、耐振动及抗冲击性，但可折性差。

（三）氯丁胶乳型密封胶

乳胶型密封胶是由乳液聚合所得的橡胶胶乳直接配合各种配合剂制成。与溶液型橡胶密封胶相比，它具有无毒、操作安全等优点，其不足之处是水分挥发慢，粘接强度低。

氯丁胶乳密封胶是由氯丁胶乳直接加入稳定剂、防老剂、硫化剂、增粘剂、填料、增稠剂等配制而成。稳定剂采用阴离子型或非离子型表面活性剂。能与氯丁胶乳相容的增粘剂有丙烯酸树脂、古马隆树脂、沥青、聚乙烯醇、淀粉等。增稠剂常用甲基纤维素。填料可用滑

石粉、碳酸钙、胶体二氧化硅。硫化剂除氧化锌（用量为5～25份）外，也可配用1份硫黄和2份促进剂NA-22，以提高胶膜的物理机械性能。胶乳密封胶浓度一般在50%左右。

为了提高氯丁橡胶乳胶密封胶的耐水、耐热、粘接力和初粘力，可以配入水溶性异氰酸酯。水溶性异氰酸酯容易分散，且可在胶乳中长期稳定，可用于单组分型胶乳密封胶。Synthapprat 4694（固体含量约50%）是用亚硫酸氢钠与六甲基二异氰酸酯反应而得，它在胶乳型密封胶中对粘接性能的影响如表13-4-29所示。

表 13-4-29 含有Synthapprat4694的氯丁胶乳型密封胶粘接性能

Synthapprat 4694 含量，份	剪切强度，MPa				Synthapprat 4694 含量，份	剪切强度，MPa			
	粘接2 h后	7d后	水中30℃下老化24h后	70℃下		粘接2 h后	7 d后	水中30℃下老化24h后	70℃下
0	7.06	18.44	1.86	1.96	3	10.59	21.29	8.53	4.61
0.5	8.14	18.64	1.57	2.35	5	10.30	20.40	12.46	6.97
					10	10.99	—	10.59	6.87
1	8.44	19.62	3.24	2.35	20	9.91	—	4.12	7.46

氯丁胶乳胶粘剂的配方举例如表13-4-30所示。

表 13-4-30 氯丁胶乳胶粘剂配方举例

单位：重量份（干胶比）

组分与性能＼配方号	1	2	3	4	5	6
氯丁胶乳	100	100	100	100	100	—
750 氯丁胶乳	—	—	—	—	—	100
稳定剂	5～6	1	1	0.5	—	—
OP乳化剂等稳定剂	—	—	—	—	1	—
氧化锌	5	5	5	15	5	15
硫　黄	—	—	—	1	—	—
防老剂D	2	2	2	2	2	2
促进剂	—	—	—	2	—	—
蛋白质	—	—	—	—	—	15～25
硅酸钠	—	—	—	—	—	0.25
填　料	120	—	—	20	—	—
消泡剂	—	—	—	—	—	适量
皂　土	6	—	—	—	—	—
增粘剂	适量	25～100	—	—	—	—
古马隆树脂	—	—	—	—	25～100	
增稠剂	适量	适量	适量		适量	
硫化条件压力，MPa					0.01～0.02	0.01～0.02
压力，MPa					1.96	1.96
温度，℃						24
时间，h					48	
用　途	用于皮鞋底、帆布及其它纤维等的粘接		用于织物与织物、织物与纸、皮革等粘接	用于动植物纤维、植物纤维（叶棕）、合成纤维粘接	鞋用胶粘剂，用于皮革鞋底、帆布等织物粘接，剪切强度（牛皮）>0.47MPa	用于包装铝箔与牛皮纸的粘接剥离力（铝箔-牛皮纸）>5.49 kN/m

第五节　氯磺化聚乙烯密封胶

一、概　　述

氯磺化聚乙烯是由聚乙烯溶解在四氯化碳、四氯乙烯或六氯乙烯等溶剂中，以偶氮二异丁腈为催化剂或在紫外光照射下，通入氯和二氧化硫的混合气体或用亚磺酰氯（SO_2Cl）进行反应制得。

反应结果氯原子取代聚乙烯链上的一些氢原子并引入亚磺酰氯基团，从而减弱了结晶性，使之变得柔软而富有弹性。含氯量在27～45%之间的聚合物硬度最小，强度低。含氯量继续提高，会使聚合物硬度和强度增大。最适宜的含氯量约37%。随着含氯量增高，聚合物的耐溶剂、耐油和耐老化性提高，在较高温度下拉伸强度也较高，但压缩永久变形及脆性温度上升。

聚乙烯分子中引入亚磺酰氯基可以使聚合物进行交联。亚磺酰氯基的含量过高，则胶料易焦烧。在含硫量为1～5%（每100个碳原子有1～5个亚磺酰氯基）时，胶料有足够的可塑性，而且具有良好的加工性。

氯磺化聚乙烯弹性体是一种强度低、有粘性的聚合物。易溶于芳香烃及氯代烃，在酮、酯、环醚中的溶解度较低；不溶于酸、脂肪烃、一元醇及二元醇。

氯磺化聚乙烯因其主链的饱和性使它具有耐热、耐老化（耐日光老化特优）、耐臭氧等优异性能。同时引入的氯原子使之具有难燃和耐油性，耐溶剂、耐无机酸碱、耐磨性也都很好。以氯磺化聚乙烯配成的密封胶可借助于引入的亚磺酰氯基团与硫化剂交联，使之象通用橡胶那样易硫化，有利于弹性及其它机械性能充分发挥出来。因此很适合用于制作弹性密封胶。用氯磺化聚乙烯制备的密封胶可在预制件、嵌件、外墙玻璃和屋顶接头中大量使用。

二、密封胶组分

（一）橡胶主体材料

在生产氯磺化聚乙烯时采用的聚乙烯分子量一般在2～10万之间。氯磺化聚乙烯-20和氯磺化聚乙烯-30采用分子量为2～4万的高压聚乙烯制得；氯磺化聚乙烯-40和氯磺化聚乙烯-45则采用分子量为8～10万的低压聚乙烯制得。

国产氯磺化聚乙烯的商品牌号为CSM。其品种有CSM2910，CSM4010，CSM3303、3304、3305、3308和CSM2300等。

日本电气化学工业公司及美国Du Pont公司都生产氯磺化聚乙烯。

（二）硫化体系

氯磺化聚乙烯的硫化取决于其分子中的氯和亚磺酰氯基团的性能。表13-5-1中列出了氯磺化聚乙烯中氯和亚磺酰氯的类型和结构。氯原子以一级、二级和三级的形式存在，而亚磺酰氯以一级和二级形式存在的。表13-5-2中用括号标出的二个基团（与二级亚磺酰氯基团相邻的氯基团和二级亚磺酰氯基团）是交联和硫化的反应位置，即在不稳定的叔碳原子和亚磺酰氯基α-位置上的高活性氯原子。

氯磺化聚乙烯交联键的形成由下列因素引起：

① 亚磺酰氯基的存在能与金属氧化物、胺类等物质起反应；

② 活化氯原子与胺、硫醇等反应放出氯化氢，形成化学键；

表 13-5-1 氯磺化聚乙烯中氯和亚磺酰氯的结构类型

类　　型	结　　构	氯总含量，%（重量）
一　级	$R-CH_2-Cl$	2.7
二　级	$R-\underset{\underset{Cl}{\vert}}{CH}-(CH_2)_n-\underset{\underset{Cl}{\vert}}{CH}-R$　　$n>2$	71.0
	$R-\underset{\underset{Cl}{\vert}}{CH}-\underset{\underset{Cl}{\vert}}{CH}-R$	18.0
	$R-\underset{\underset{Cl}{\vert}}{CH}-CH_2-\underset{\underset{Cl}{\vert}}{CH}-R$	
	$R-\underset{\underset{Cl}{\vert}}{CH}-\underset{\underset{SO_2Cl}{\vert}}{CH}-R$	〔0.6〕①
三　级	$R-\underset{\underset{Cl}{\vert}}{\overset{\overset{R'}{\vert}}{C}}-R''$	2.3～3.5
一级—SO_2Cl	$-R-CH_2-SO_2Cl$	0.08
二级—SO_2Cl	$\begin{matrix}R\\ \diagdown\\ \quad CH-SO_2Cl\\ \diagup\\ R'\end{matrix}$	〔4.2〕①

① 交联点含氯量。

③ 因放出氯化氢或同时放出二氧化硫及氯化氢而成为不饱和体；

④ 当氯原子及亚磺酰氯基以一定位置分布时，分子中有活泼氢原子存在。因此，此时硫化剂可以是各种极不相同的有机及无机化合物。

氯磺化聚乙烯的交联体系可归纳如下：

① 金属氧化物体系；②多元醇；③有机氮化物；④环氧树脂。

各类硫化体系性能如表13-5-2所示。

1．金属氧化物硫化体系

金属氧化物硫化体系，至少含有 3 个组分：金属氧化物、有机酸和硫化促进剂。必要时，可用环氧树脂代替金属氧化物和酸。

（1）金属氧化物　氧化镁、一氧化铅及三碱式马来酸铅是氯磺化聚乙烯交联的最适当的金属氧化物。氧化锌在高温下容易在硫化胶中催化生成盐酸，应避免使用。氧化镁交联可获得良好物理机械性能，特别是低永久变形性，并适用于浅色密封胶，但耐水性差。而一氧化铅却能使密封胶获得极好耐水性，但一氧化铅的变色性强，只适用于深色制品。提高一氧化铅用量（可高达40重量份）可提高交联密度。三碱式马来酸铅也可提高交联密度，但变色性不大，可用于耐水溶胀的浅色密封胶。三碱式马来酸铅的硫化胶性能与一氧化铅相似。

（2）有机酸　最常用的有机酸是树脂酸（氢化松香、岐化松香酸）。纯松香酸并不比复杂的松香酸好，但氢化树脂酸比较好，不易氧化，不易变色。其它有机酸有脂肪酸，如硬脂酸和月桂酸，其活性比树脂酸高，容易引起焦烧。芳香酸与氯磺化聚乙烯不相溶，硫化效果也不好，一般不用。

（3）硫化促进剂　常用促进剂有2-巯基苯并噻唑（促进剂M）、二硫化二苯并噻唑（促进剂DM）、促进剂TMTD、四硫化双五次甲基秋兰姆，促进剂D、促进剂DOTG和亚乙基硫脲。

表 13-5-2 氯磺化聚乙烯密封胶硫化体系

硫化剂	硫化剂用量(每100份Hypalon用量)，重量份	促进剂及用量(每100份Hypalon30用量)，重量份		密封胶类型	硫化时间 25～35℃	硫化时间 138℃	单组分密封胶使用活性
Tri—Mal 三碱马来酸铅	25～40	Staybelite 树脂	3.0	单组分	2～56d	40min	1.5a
		促进剂MBTS	1.0				
		四乙基秋兰姆二硫化	0.5				
		"Staybelete" 树脂	5	双组分	5～10d	20min	4d
		NA-22	1.0				
		DOTG	2.0				
氧化镁	10～20	"Staybelite" 树脂	5.4	双组分	2～3月	30min	14 d
		促进剂DPTT	1.0				
氧化铅	20～40	"Stayhelite" 树脂	3.0	单组分	4～7月	40min	0.5a
		MBTS	1.0				
		四乙基秋兰姆二硫化物	1.5				
		"Staybelite" 树脂	5.0	双组分	3～7d	20min	2 d
		NA-22	1.0				
		DOTG	2.0				
聚胺胺		Versamid 100	20～50	双组分	5 d	45min	4 d
环氧树脂		Epon 828	15	单组分	6～8月	45min	1 a
		四乙基秋兰姆二硫化物	2.0				
		DOTG	0.6				

促进剂正常用量为1～2份，增加促进剂的用量可降低金属氧化物用量，并能获得更令人满意的结果。在某种场合，如果不用有机酸，可大大减少加工中的困难。此外这个方法能大大降低一氧化铅和三碱式马来酸盐的交联密度及毒性，还能大大改善氧化镁硫化胶耐水性。

密封胶的凝胶时间取决于促进剂类型及用量。可以配成贮存一年或更长时间的稳定的密封胶但硫化很慢，也可配成在室温下2～4天就能交联的密封胶。

2．多元醇交联体系

用于交联氯磺化聚乙烯的多元醇主要有三类：季戊四醇、二季戊四醇和三季戊四醇；聚乙烯醇和山梨糖醇；1-辛醇和1-癸醇等。第一类醇交联活性高，第二类醇能提供良好硫化胶，第三类多元醇硫化胶性能差。常用季戊四醇。

季戊四醇交联体系包含有季戊四醇、含硫促进剂和金属氧化物（通常为氧化镁），在这里氧化镁是酸接受体。季戊四醇用量1.5～4份。

3．有机氮化物交联体系

这里主要是聚酰胺树脂及二元胺。在碱性物质（如尿素、硫脲、脲、异氰酸酯、硫氰酸酯）的存在下，多羟基化合物及硫、秋兰姆等都具有硫化能力。用有机氮化合物交联时，需要有能与反应中释放出来的氯化氢反应生成不溶性氯化物的酸接受体。

4．环氧树脂硫化体系

环氧树脂交联可克服用金属氧化物的缺点，胶料加工的安全性好。硫化胶具有良好耐水及耐热性。

用环氧树脂硫化也必须加入硫化促进剂，其中以促进剂DM、促进剂TMTD、促进剂DOTG以及四硫化双五次甲基秋兰姆最合适。

环氧当量在175～210之间的环氧树脂可做氯磺化聚乙烯的交联剂。环氧618是其中一种，其用量以15～20份为宜。

（三）增塑剂

常用作增塑剂的氯化石蜡具有耐燃性、耐霉菌性和较好的相容性。磷酸三丁基酯以及酯类增塑剂可调整粘度。植物油和长链脂肪增塑剂是霉菌营养物，应避免使用。

增加增塑剂用量可大大延长贮存期，用量多又会相应地软化密封胶并降低密封胶回弹性。

大量的酸接受剂可中和氯磺化聚合物或氯化石蜡所释放出的少量酸，因此有助于提高密封胶稳定性。

（四）填充剂及着色剂

不同填料如各种炭黑、白炭黑、碳酸钙、陶土和滑石粉等都可使用。

着色剂不仅能赋予密封胶所需色泽，而且能同时起到紫外线遮蔽剂作用。如果产品不要求最大的耐日光性，着色剂用量可适当减少。在以较低量的着色剂制取浅色或彩色密封胶时，必须配用二氧化钛作为有效的防护剂。

三、密封胶的制备

氯磺化聚乙烯密封胶的制备根据设备分两种情况。

在开炼机上将氯磺化聚乙烯同20份的氯化石蜡混炼，约20min后，将混炼胶转移到膏状混合机中，加入其它的组分混合即可。

用捏合机制备时，将氯磺化聚乙烯同氯化石蜡在90℃捏合60～70min，得到均匀的光滑膏状物，冷却捏合机。加入填料以及部分溶剂和增塑剂，待捏合均匀这些混合物被溶剂和增塑剂所浸润后，再加入促进剂及剩余的增塑剂及溶剂，总的混炼时间不少于10min。

四、密封胶配合举例

氯磺化聚乙烯具有极优的色稳定性和室外耐久性，很容易配制白色或浅色的密封胶。其单组分密封胶包装稳定性相对较差，硫化速度慢，延长硫化时间可达到最大的弹性性能。它还具有相对高的溶剂挥发后的体积收缩性。使用硫化剂并用的硫化体系会引起过度的迅速硬化。

1．密封胶配合举例

氯磺化聚乙烯可配制成单组分溶剂挥发的挤出型或刀刮型密封胶，还可配成双组分硫化型密封胶。表13-5-3、表13-5-4和表13-5-5分别列出了密封胶的配方举例和性能。任何特殊条件使用的密封胶都可在此配方基础上发展。

密封胶施工温度至少为20℃，否则挤出太困难。使用前几个小时最好将密封胶放在温暖的地方。

在室温下硫化的氯磺化聚乙烯密封胶具有良好耐天候性和对基材的粘着保持性，其贮存期可达一年以上。

2．氯磺化聚乙烯单组分密封胶的性能

（1）包装稳定性　在24℃时氯磺化聚乙烯单组分密封胶的包装稳定性或贮存稳定性大

表 13-5-3 单组分枪挤出型氯磺化聚乙烯密封胶

组分与性能①	用量，重量%	组分与性能①	用量，重量%
氯磺化聚乙烯	62	体积收缩率，%	14
保护性颜料	24	应用温度，℃	10～50
溶　剂	14	工作温度，℃	－40～105
贮存稳定性	0.5a	耐氧、紫外光、阳光和天候老化性能	极优
标准色	白色或铅灰色	24h后油漆性	好
物理性能		耐　油	好
消粘时间，h	24～48	拉伸强度，MPa	0.69
完全硫化时间，d	30～120	硬度（邵尔A）	25
		伸长率，%	150

① 组分中固体含量为86%（重量）和78%（体积）。

表 13-5-4 典型氯磺化聚乙烯单组分密封胶的物理性能

性　　能	指　　标	性　　能	指　　标
消粘时间(23℃，相对湿度50%)，h	4～8	连续工作温度范围，℃	－32.5～＋110
硫化时间(6.35mm×6.35mm槽)，d	30～45	耐稀酸性	良
拉伸强度，MPa	0.55～0.69	耐稀碱性	中
扯断伸长率，%	100～150	耐溶剂性	中
100%定伸应力，MPa	0.14～0.28	耐燃性	极　好
初始硬度（邵尔A）	20～30	耐老化性	非常好
100%伸长后回复，%	22～30		

表 13-5-5 单组分枪挤出型白色氯磺化聚乙烯密封胶配方举例

组　　分	用量，重量份	组　　分	用量，重量份
Hypalon 40	10	氢化松香	1.5
Hypalon 30	90	促进剂MBTS	1
氯化石蜡（低粘性）	100	促进剂TMTD	0.5
石棉粉	15	混合二甲苯	60
触变剂	15	二丁基癸二酸盐（或磷酸三丁酯）	53
沉淀白炭黑	30	石油树脂增粘剂	17
二氧化钛	80	异丙醇	10
滑石粉	50	合　计	573
三铅马来酸盐	40	固体含量，%	88

约为6个月。氯磺化聚乙烯嵌缝胶是一种温度敏感性很强的密封胶，贮存时应当避免靠近热源，而在较冷的地方贮存可延长其贮存期。通过下列的测试，表现出了温度对贮存期的影响：

贮存条件	密封胶使用特性
4.4℃×12个月	很好，无变化
24℃×6个月	变稠，但仍可使用
37.8℃×1个月	在使用中，太稠

（2）消粘时间　由指压测定，在24℃时消粘时间为4 h。

（3）使用温度　温度降低到10.0℃，用挤压枪施工其效果令人满意。在更低的温度下，使用之前应当先加热嵌缝胶。

（4）下垂性或坍塌性

a．在一个铝凹槽（9.53×19.05×203.2mm）中沿着长度的一半填满密封胶，并以垂直状态放3 h，得到下列结果：

b．新配制的密封胶，制成直径38.1mm、高9.525mm的圆柱体胶块，放在一个垂直的铝表面上，在24℃×2 h条件下，其流动下垂小于2.54mm。

（5）收缩性　理论收缩性为17%，由于在圆柱体胶块中通常有一个小的空隙，所以实际收缩性小于17%。通常收缩并没有什么不利之处，因为密封胶表面略带有凹形，不足以使边缘裂开。

（6）硫化速度　该类型嵌缝胶是一种硫化速度慢的密封胶，在其暴露的表面形成一个弹性体，大约三个月可达到大部分硫化。暴露三个月的嵌缝胶与暴露一年的嵌缝胶之间差别甚小。一个简单的加速硫化试验方法是在硫化50℃×7d后，再经100℃×7d的硫化。

（7）应力-应变性能　两个T型截面用6.35×6.35×50.8mm的密封胶圆柱体连接，在硫化50℃×7d后，再硫化100℃×7d，进行测试，其结果如下：

	在23.9℃	-40℃
拉伸应力，MPa	0.69	—
伸长率，%	60	60

（8）粘接力　规定材料试样由一个3.175mm厚的密封胶圆片连接后，试样经50℃×7d，再经100℃×7d的硫化，结果如下：

材　质	扯离强力，MPa	剪切强度，MPa	材　质	扯离强力，MPa	剪切强度，MPa
铝-铝	0.69	0.28	玻璃-玻璃		0.35
钢-钢（喷砂）	0.41	—	木材-木材		1.03

（9）耐天候老化

a．样品暴露于日光灯下间歇喷水雾二周，除表面轻微发黄外没有其它变化。

b．嵌在铝制和木制槽内的密封胶，向南40°暴露6个月，没有裂纹或龟裂发生，只是表面发生轻微的变化（灰白色）。

c．密封胶不污染，即对于密封胶表面的油漆无作用。

d．耐霉菌性中等，在某些有害条件下会使霉菌生成。

（10）渗漏寿命　该性能十分重要，须通过试验进行测定。

第六节　液态聚硫橡胶密封胶

一、概　述

液态聚硫橡胶是制造密封胶的理想原料。以液态聚硫橡胶为主体材料的密封胶具有良好的综合性能，能承受比较苛刻的使用条件：耐燃油、耐液压流体、耐水和耐各种化学药品的水溶液等；耐热和大气老化；耐紫外光；特别是在宽广的温度范围内能保持高弹性并具有较长使用寿命。

飞机整体油箱的密封，高速舰艇、水上飞机、各类船舶的防漏水，甲板的嵌缝、船上窗

户玻璃密封等都大量使用聚硫密封胶。

在建筑业中的现代幕墙接缝、建筑物护墙板和窗框的密封，中空玻璃制造中的组合件密封，以及中空玻璃安装和汽车挡风玻璃安装密封等是聚硫密封胶最常使用的地方。

无填料的特殊配合的聚硫密封胶可用于电子元件的封装，可防水、防尘和抗振动。

聚硫密封胶还可配制成浇注型密封胶，用于制造柔软的模型模具。

以液态聚硫橡胶和石英砂为基材的混合物可以粘接钢筋混凝土构件，与混凝土有很高的粘接强度，且涂覆方便。液态聚硫橡胶为主体的熔体材料挤出物可用作门窗玻璃的密封条。

二、密封胶的配合组分

（一）液态聚硫橡胶

高分子量的聚硫橡胶主要用于橡胶制品，而制备聚硫密封胶主要采用低分子量的液态聚硫橡胶。它是低分子量的琥珀色液体，密度为1270～1310 kg/m^3。密封胶用的液态聚硫橡胶分子量应在1000～7500之间，粘度为 1 ～60Pa·s。

1．结构

液态聚硫橡胶的分子末端可带有巯基、羟基、卤素和胺等封端基团，而适用于制造密封胶的液态聚硫橡胶是以巯基封端、以含有二硫链段的双（亚乙基氧）甲烷为重复单元，并带有一定比例侧基链的非线型低分子量聚合物。美国市场上有 8 种LP液态聚硫橡 胶，其 中 4 种 常供密封材料使用，即LP-12、LP-31、LP-2 及 LP-32。通常液态聚硫橡胶的支化侧基交联度为0.5～1%，交联度越低，密封胶的模量越低。

2．性能

液态聚硫橡胶能溶解于苯、甲苯酚、间苯二酚、氯苯、二氯乙烯、环己烷、邻苯二甲酸二乙酯、醋酸二丁酯、二噁烷等溶剂，部分溶于甲乙酮、四氯化碳，硝基烷 等，不 溶 于 醇和醚。

液态聚硫橡胶的粘度随温度升高而减小。

液态聚硫橡胶为主体材料的密封胶使用非常广泛，以液态聚硫橡胶和低分子丁基橡胶、丁基胶乳、聚丁烯并用胶制备的密封胶也广为使用。

国内外生产的各类液态聚硫橡胶品种、牌号和性能参见本手册第一分册十三章。

（二）硫化体系

1．硫化反应类型

液态聚硫橡胶的硫化反应是通过巯基与硫化剂之间的反应实现交联的。根据硫化剂的类型和特性，巯基同硫化剂的反应可分为二种类型。当用氧化型硫化剂时，硫化反应属于氧化还原类型；当用非氧化型硫化剂时，硫化属于非氧化类型。在氧化还原硫化反应类型中，液态聚硫橡胶中的巯基经氧化生成双硫或单硫键；各种能与巯基之氢原子进行反应的化合物，在此作为氧化剂，氢原子被氧化与氧生成水。

无论是氧化反应还是非氧化反应类型，硫化时，即在端巯基上使聚合物分子 链 线 型 增长，而并不产生横键。但液态聚硫橡胶在合成过程中已使其分子主链上有一定数量的带有巯基的侧基。因此，在硫化时不仅仅使主链线型增长，也在侧基的巯基上发生横向交联。硫化过程是放热反应过程，在高温和较潮湿的环境以及碱性介质中硫化过程获得加速。

2．硫化剂

应该说，凡能与巯基反应的化合物都能作为聚硫橡胶的硫化剂，但并不是所有的硫化剂对

液态聚硫橡胶都有实用价值。液态聚硫橡胶密封胶一般要求室温硫化，适用的硫化剂有无机氧化物、无机过氧化物、无机氧化剂、有机过氧化物、有机氧化剂以及异氰酸酯类、环氧树脂、酚醛树脂、有机钛酸盐类等化合物。

（1）无机化合物　金属氧化物、过氧化物及氧化剂作液态聚硫橡胶密封胶硫化剂，均使巯基中的氢原子氧化，与氧结合生成水，而橡胶形成双硫键或单硫键达到交联。

但交联反应中会有少量未反应硫醇盐的残渣留在硫化胶中，当密封胶长期暴露于大气中使用时，受紫外光照射后残留的硫醇盐发生如下反应：

$$R—S—Pb—S—R \xrightarrow{加热、光} R—S—R + PbS$$

反应之后，硫醇键变成单硫键，使密封胶失去粘接性，并伴随失重和硫化胶模数的变化，同时导致硫化胶耐油性和耐热性下降。

降低硫醇盐残留量的方法之一是在配方中加入少量硫黄。此时，硫醇盐按下列反应被氧化成二硫化物：

$$R—S—Pb—S—R + S \longrightarrow R—S—S—R + PbS$$

巯基的氧化反应是放热反应，在室温下很容易进行。因此，用该体系化合物作硫化剂可配成室温硫化密封胶。

a．二氧化铅　在液态聚硫橡胶密封胶中，二氧化铅是使用最多、最为通用的硫化剂。二氧化铅具有活性高、易获得及价格适中的优点。工业级二氧化铅比化学纯的二氧化铅更适合作硫化剂使用，因为前者中的某些机械杂质（例如一氧化铅和氯化锌）也起催化作用，可加速硫化。

通常把硫化剂同部分增塑剂配制成含有50%硫化剂的膏状物。例如将二氧化铅50份、硬脂酸5份、邻苯二甲酸二丁酯（DBP）45份配成膏剂。硫化膏剂配制后停放10～14天，待其熟化后才可使用。贮存期为6～12个月。二氧化铅的常用硫化膏剂配方举例如表13-6-1所示。

表 13-6-1　二氧化铅硫化膏配方举例

单位：重量份

组分 \ 配方号	C-2	C-5	C-10	C-11	C-12	C-12	C-15	C-16
二氧化铅	55	50	50	59.3	50	50	50	50
硬脂酸铅	—	—	—	11.1	—	8		—
硬脂酸铅	—	—	—	—	10	—		—
硬脂酸	7	5	—	—	—	—	5	—
DBP	—	45	—	29.6	—	—		50
甲　苯	38	—	—	—	—	—		—
增塑剂（Monsanto HB-40）	—	—	50	—	—	—	45	—
氯化联苯环氧树脂（Aroclor 1254）								
建议用量/100份聚合物	14	15	15	13	9	9	15	

二氧化铅在密封胶中的配合量，一般是100份液态聚硫橡胶加入5～7.5份（硫化膏为10～15份）左右。

C-2硫化膏剂配制的密封胶可用于不允许有抽出物的场合。C-15硫化膏剂不含挥发物，分散快，其使用性比较安全，可用于大多数密封胶配方中，高温及高湿均能加速其硫化速度。C-16硫化膏剂因不含有硫化延缓剂硬脂酸，用于要求迅速硫化的密封胶。

促进剂为硫黄和乙酸镁。硫黄的最大用量为0.15份，而乙酸镁的最大用量为0.5ml(20%

溶液）。延缓剂使用硬脂酸及其盐类，硬脂酸用量为1～2份，其盐类用量为1.5～5份。

增粘剂常用酚醛树脂系树脂，最大用量为5份。常用的树脂牌号为 Durez10694、Catalin 633、Baklite2683和Resinox468。

二氧化铅对酚醛树脂不敏感。酚醛系树脂的硬化效果好。

高相对湿度和高湿气含量均能提高二氧化铅的硫化速度。当不控制环境温度时，密封胶的水分含量应控制在0.1～0.2%以下。在制备密封胶时，应调整延缓剂用量和影响硫化速度的其它因素，使密封胶的各项性能符合技术标准。

二氧化铅作硫化剂的密封胶配方举例如表13-6-2所示。

表 13-6-2 二氧化铅为硫化剂的密封胶配方举例

单位：重量份

组分与性能 \ 橡胶	LP-2		LP-32		LP-31	
聚硫橡胶	100		100		100	
半补强炉黑	30		30		30	
硬脂酸	1		1		1	
硫　黄	—		0.1		0.15	
二氧化铅硫化膏	15		15		10	
使用有效期，h	2～4		2～4		2～4	
凝固时间，h	3～6		3～6		3～6	
硫化时间，h	8～16		8～16		8～16	
老化前后性能（100℃×7d）	老化前	老化后	老化前	老化后	老化前	老化后
拉伸应力，MPa	3.11	3.80	2.76	3.45	4.90	5.52
伸长率，%	550	400	750	600	800	650
硬度（邵尔A）	40	55	40	50	50	55

b，锰系氧化物　锰系氧化物作为硫化剂是液体聚硫橡胶新的硫化方法，可获得具有耐热性和耐油性密封胶。该体系的化合物包括二氧化锰、高锰酸钾以及一氧化锰。

与二氧化铅比较，锰系硫化体系具有下列优点。

① 硫化能力的比较　图13-6-1为高锰酸钾、二氧化铅、二氧化锰加高锰酸钾分别作硫化剂时聚硫橡胶（分子量1000）的粘度变化。图中显示出高锰酸钾具有卓越的硫化性能。

② 硫化胶的尺寸精度及稳定性比较　用1份二氧化铅和3份二氧化锰混合作硫化剂时，硫化胶尺寸精度及在空气中尺寸变化分别如图13-6-2和图13-6-3所示。

图13-6-2中显示出使用混合硫化剂时的其尺寸精度接近于99.999%。而单独使用二氧化铅时，精度为99.9%以下。从而可见锰系硫化方法的精确性可靠。

图13-6-3中，斜率值为重复测定模型上标点间距离时的标准偏差路线，24h的测定结果几乎无偏差，说明在空气中硫化胶的尺寸是稳定的。

③ 硫化生成的分子量大小　使用二氧化铅、二氧化锰加二氧化铅以及高锰酸钾加二氧化锰分别作硫化剂的硫化胶弹性模量与温度的变化关系如图13-6-4所示。

从图13-6-4中可看出，二氧化铅硫化胶的应力几乎随温度升高呈直线降低，而采用混合硫化剂的二个硫化胶均在40～60℃之间出现平坦区。也就是说，二氧化铅硫化胶的分子量

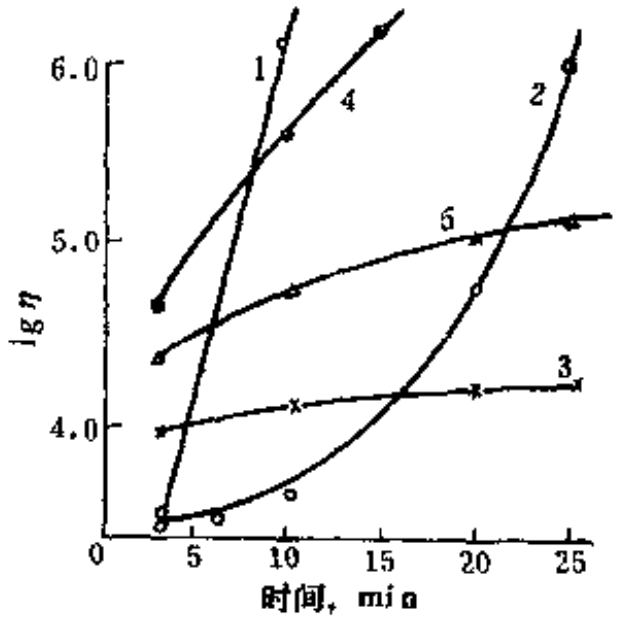


图 13-6-1 lgη-时间曲线

1—$KMnO_4$（15%）；2—$KMnO_4$（10%）；3—PbO_2（15%）；4—PbO_2:MnO_2=1:4（35%）；5—PbO_2:MnO_2=1:3（30%）

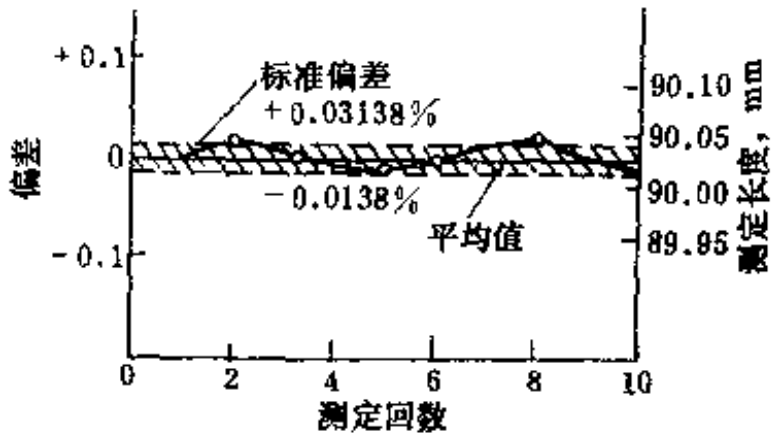


图 13-6-2 使用混合硫化剂的硫化胶的尺寸精度

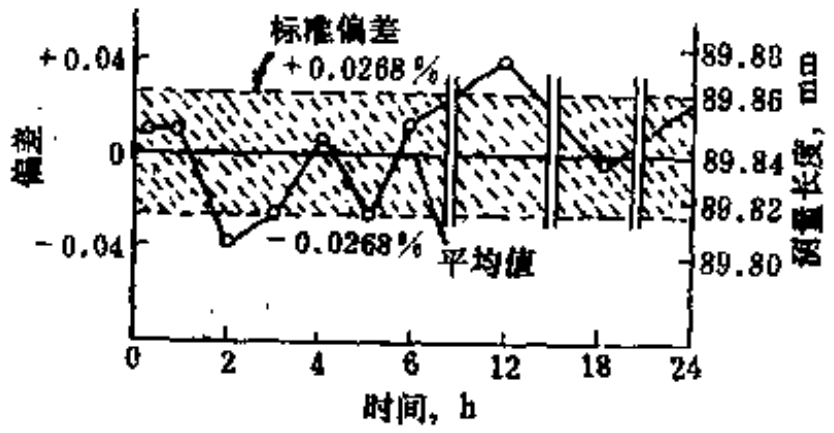


图 13-6-3 混合硫化剂硫化胶在空气中的尺寸变化

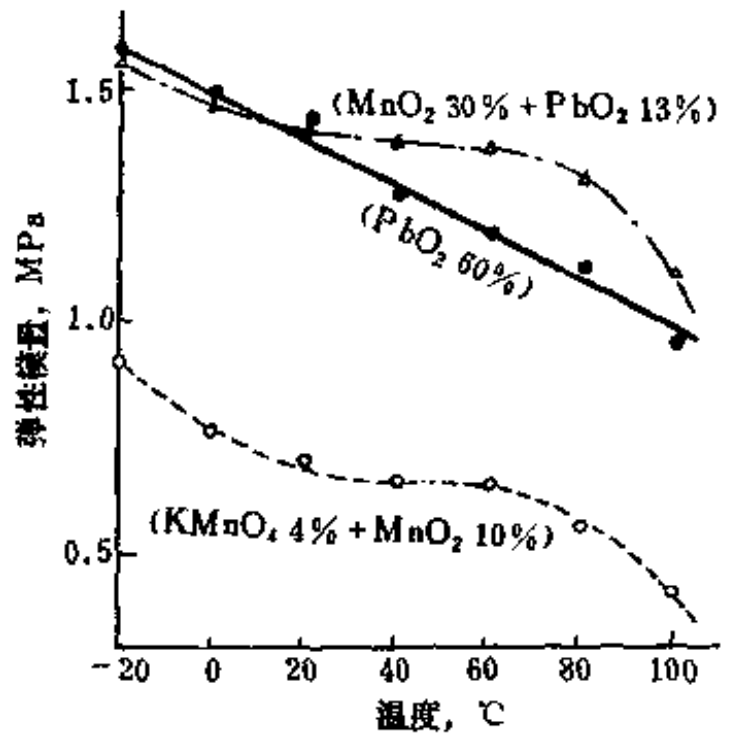


图 13-6-4 密封胶的弹性模量-温度曲线

1—二氧化铅60%；2—二氧化铅13% + MnO_2 30%；3—高锰酸钾4% + 二氧化锰10%

低，而锰系硫化胶的缩合反应进行得很剧烈，因而形成非常长的链状分子。锰系硫化比二氧化铅硫化更能获得高分子量的高硫化程度的硫化胶。因而可配合多量的增塑剂及填充剂以降低成本。

在中空玻璃制造中所用的聚硫密封胶多采用二氧化锰作硫化剂。二氧化锰必须经特殊的活化后方可作硫化剂，因此其使用范围受到限制。通常，工业级二氧化锰的活性不及实验室制备的二氧化锰活性大。氧化镁作稳定剂是有效的，但也不是最好的稳定剂。

二氧化锰硫化膏的组成为二氧化锰50份，邻苯二甲酸二丁酯（DBP）50份，其贮存稳定性好。对于高分子量的液态聚硫橡胶，例如LP-2及LP-32，二氧化锰用量为1.5～3 份；对于低分子量液态聚硫橡胶，例如LP-3及LP-33，二氧化锰为 2 ～ 6 份。

该硫化体系使用的活化剂是间二硝基苯（DNB），在LP-2及LP-32中其用量为 0.1份，在LP-3及LP-33中用量为1.5～ 4 份。pH值小的填充剂可延长有效使用期及硫化时间。

聚乙酸乙烯酯是有效的增粘剂，但浸水后粘接不良。

二氧化锰作硫化剂的配方举例如表13-6-3所示。

表 13-6-3 二氧化锰硫化密封胶配方举例

单位：重量份

组分与性能 \ 橡胶	LP-32		LP-33	
聚硫橡胶	100		100	
半补强炉黑	25		25	
DNB	1		1	
二氧化锰硫化膏	3		6	
使用有效期，h	1～2		1～3	
凝固时间，h	3～5		4～6	
硫化时间，h	12		12	
老化前后性能(121℃×7d)	老化前	老化后	老化前	老化后
拉伸强度，MPa	2.62	3.11	2.90	2.76
伸长率，%	450	350	850	400
硬度（邵尔A）	45	55	45	55

c．二氧化碲　用二氧化碲硫化体系硫化的密封胶耐热性、耐油性、耐介质性良好，有取代二氧化铅的趋势，尤其适用于低分子量的液态聚硫橡胶。

二氧化碲硫化膏的组成为二氧化碲2份，DBP 1份。贮存期1年以上。对于高分子量的液态聚硫橡胶，如LP-2及LP-32、二氧化碲配合量为2～3份；对于低分子量的聚硫橡胶，例如LP-3及LP-33，二氧化碲用量为4～6份。加入间二硝基苯，可减少二氧化碲用量。间二硝基苯的用量对于LP-2及LP-32为0～3份，对于LP-3及LP-33为4～6份。

硫黄对硫化无促进效果，脂肪酸化合物对硫化有敏感性而不能使用。耐热密封胶可用硬脂酸作延缓剂，用量为5份。硬脂酸的钠盐、钙盐、镁盐及锂盐都可使用。

环氧树脂（环氧值175~210、粘度5.0～15.0Pa·s。与聚乙酸乙烯酯并用可作增塑剂，其并用比为3:2，在100份液态聚硫橡胶中用5份，对铝、钢、玻璃具有高的粘接力。酚醛树脂为酸性，不能用作增粘剂。

二氧化碲适用于白色、灰色等浅色密封胶配合，二氧化碲有毒，使用时应慎重。二氧化碲硫化体系的密封胶配方举例如表13-6-4所示。

表 13-6-4 二氧化碲硫化密封胶配方举例

单位：重量份

组分与性能 \ 橡胶	LP-32	LP-33
橡　胶	100	100
半补强炉黑	30	30
硬脂酸钠	5	5
DNB	—	6
二氧化碲硫化膏	4.5	7.5
使用有效期，h	2～3	2～3
凝固时间，h	2～3	2～3
硫化时间，h	12	12

续表

组分与性能 \ 橡胶	LP-32		LP-33	
老化前后性能（121℃×7d）	老化前	老化后	老化前	老化后
拉伸强度，MPa	4.83	5.18	2.42	2.07
伸长率，%	500	500	500	875
硬度（邵尔A）	55	50	50	45

d. 三氧化二锑　三氧化二锑是用于着色性密封胶的硫化体系。该硫化剂的硫化膏组成为三氧化二锑2份，邻苯二甲酸二丁酯1份。其贮存稳定性好。配合LP-2及LP-32时，三氧化二锑用量为12～20份。三氧化二锑的原料来源及粒子直径决定硫化活性的大小。用三氧化二锑硫化的密封胶配方举例如表13-6-5所示。其中硬脂酸钠为延缓剂，对耐热性很重要。

表 13-6-5　三氧化二锑硫化密封胶配方举例

单位：重量份

组分与性能 \ 橡胶	LP-2		LP-32	
聚硫橡胶	100		100	
气相白炭黑	10		10	
二氧化钛(Titanox RA-50)	35		35	
硬脂酸钠	5		5	
三氧化二锑硫化膏	22.5		22.5	
使用有效期，h	3～4		3～4	
凝固时间，h	4～6		4～6	
硫化时间，h	16～24		16～24	
老化前后性能(100℃×7d)	老化前	老化后	老化前	老化后
拉伸强度，MPa	2.76	1.52	2.55	5.58
伸长率，%	400	500	550	930
硬度（邵尔A）	45	60	43	59

c. 碳酸盐系　过氧化氢碳酸钠（$2Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$）硫化体系用于白色及浅色密封胶。该硫化体系可配成A、B两类硫化膏，A类硫化膏中$2Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$为7份，邻苯二甲酸二丁酯为6份；B类硫化膏中$2Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$为2～3份，环氧树脂（双酚A型，环氧值175～210,25℃时粘度为5.0～15.0Pa·s)1份。过氧化氢碳酸钠在LP-2及LP-32中的配合量为5～7份，硫化剂含量高时，会使密封胶流动并产生海绵化。酚醛树脂作增粘剂使用时能加速硫化速度，并具有使密封胶变色的作用。为控制硫化活性、防止表面硬化，须加入赋形剂。

$2Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$的密封胶配方举例如表13-6-6所示。

在该硫化体系中，碳酸锌（$ZnCO_3 \cdot 2Zn \cdot 3H_2O$）与含有双硫键的有机含硫促进剂混合使用可作聚硫橡胶的快速硫化剂，苯并噻唑二硫化物的用量为碳酸锌用量的15～90%（通常为25～50%）。

表 13-6-6 $2Za_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$硫化密封胶配方举例

单位：重量份

组份与性能 \ 硫化剂	硫化膏 A		硫化膏 B	
聚硫橡胶（LP-2或LP-32）	100		100	
二氧化钛（Titanox RA-40	50		50	
酚醛树脂(Durez1069)	5		5	
$2Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$硫化膏A	9.5		—	
$2Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$硫化膏B	—		7.5	
活性使用有效期，h	6		8	
凝固时间，h	16		48	
硫化时间，h	1		5	
表面凝固时间，h	2		4	
老化前后性能(121℃×7d)	老化前	老化后	老化前	老化后
拉伸强度，MPa	2.07	软	2.07	3.24
伸长率，%	490		320	425
硬度（邵尔A）	38	化	46	53

f．铬酸盐体系　采用铬酸盐，尤其是重铬酸盐硫化，可获得优良的耐油、耐溶剂性、耐热性及较高的拉伸强度，其它性能与二氧化铅作硫化剂相近，或优于后者，对玻璃的粘接力受紫外光照射影响甚微。

重铬酸的铵盐、钠盐、钾盐可溶于丙酮、甲乙酮或二甲基甲酰胺中，铵盐较钾盐及钠盐活性大。溶剂中微量水具有硫化活性，有机溶剂可用于耐热配合。铬酸盐在LP-2、LP-32中配合量为5～10份，同5～10份溶剂并用。

硬脂酸及其盐作为延缓剂不太有效。几种酚醛树脂并用可提高粘接性，常用的树脂牌号为Durez 10694、Catalin 633、Bakelite 2683和Resinox 468。

用重铬酸铵作硫化剂的配方举例如表13-6-7所示。

g．吸湿性的碱金属、碱土金属的氧化物或过氧化物　如氧化钠、氧化钙、过氧化钙、氧化钡、过氧化钡、过氧化锌和过氧化锶等，具有吸湿性。多用作单组分聚硫密封胶的硫化剂，或既作硫化剂又作促进剂。

过氧化钙和过氧化锌的硫化反应式分别如下：

$$2\sim\sim RSH + CaO_2 \longrightarrow \sim\sim RSSR + Ca(OH)_2$$

$$2\sim\sim RSH + ZnO_2 \longrightarrow \sim\sim RSSR + ZnO + H_2O$$

在该类反应中水和湿气是催化剂，能加速液态聚硫橡胶硫化。

单组分密封胶常用的硫化剂是过氧化钙，如果把密封胶体系内的水分控制在最低限度以下，二氧化钙就没有硫化作用。在许多密封胶体系中，将某些吸湿性的物质同非活性的硫化剂相混合，当暴露于空气中时，密封胶吸收空气中的水分，硫化反应就从密封胶表面开始缓慢地进行，并使整个密封胶硫化。在使用过氧化镁、二氧化碲时，要用碱性物质作活化剂，水作催化剂。

综上所述，在无机类化合物的硫化体系中以二氧化锰、重铬酸铵等的特殊配合，可改进耐热性。为获得理想的耐热老化硫化胶，除合理地选择补强剂等组分外，选择硫化剂是一个

表 13-6-7 用重铬酸铵硫化密封胶配方举例

单位：重量份

组分与性能 \ 橡胶	LP-2		LP-32	
聚硫橡胶	100		100	
二氧化钛(Titanox RA-50)	50		—	
半补强炉黑	—		50	
硫　黄	0.1		0.1	
硬脂酸	—		0.5	
$(NH_4)_2Cr_2O_7$/DMF(2:1)	1.5		—	
$(NH_4)_2Cr_2O_7$/DMF(3:7)	—		15	
使用有效活性期，h	1～2		1～2	
凝固时间，h	2～4		2～4	
硫化时间，h	12		12	
老化前后性能(121℃×168h)	老化前	老化后	老化前	老化后
拉伸强度，MPa	3.45	1.73	7.07	4.66
伸长率，%	900	600	560	300
硬度（邵尔A）	55	45	58	61

关键。硫化反应生成硫醇盐的氧化型化合物作硫化剂是很不理想的。当使用氧化锌、过氧化锌、二氧化铅（在某些配方中）和过氧化钡作硫化剂时，可能生成硫醇盐。因而，应慎重选择液态聚硫橡胶的硫化剂。

一些无机化合物类硫化剂的硫化膏组成如表13-6-8所示。

表 13-6-8 硫化膏剂的组成　　单位：重量份

组分	锑系	锰系	碲系	铬酸盐系
三氧化二锑	75			
二氧化碲			75	
二氧化锰		60		
三铬酸铵				30
二甲基甲酰胺				70
邻苯二甲酸二丁酯	25		25	
二苯胍		40		
建议用量（100份LP-2橡胶）	13	4	4	20
建议用量（100份LP-3橡胶）	—	10	13	—

（2）有机化合物类

a．二丁基锡酸盐类　有机锡酸盐类硫化剂可用于白色及浅色密封胶的硫化。因该硫化剂价格高，其应用受到一定限制。

硫化膏的组成为 $(C_4H_9)^2SnO$　2份，邻苯二甲酸二丁酯　1份。贮存期6个月以上。在LP-2及LP-32聚硫橡胶中配合时常与酚醛树脂并用，此时有机锡酸盐用量为7份，酚醛树脂为15份。

该硫化体系的活性剂是硬脂酸，而碱性填充剂有延缓剂的作用，这和其它硫化体系相

反。使用增粘性的酚醛树脂有变色倾向。加入多量硫化剂是引起紫外光照射变色和老化变色的原因之一。

有机锡酸盐硫化密封胶配方举例如表13-6-9所示。

表 13-6-9 有机锡酸盐硫化密封胶配方举例

单位：重量份

组分与性能 \ 硫化体系	无酚醛树脂		与酚醛树脂并用	
聚硫橡胶LP-32	100		100	
二氧化钛(Titanox RA-50)	50		50	
有机锡酸盐硫化膏	15		22.5	
酚醛树脂(Durez 10694)	—		5	
使用有效活性期，min	30～90		30～90	
凝固时间，h	2～4		1～3	
硫化时间，h	4～8		4～8	
老化前后性能(121℃×7d)	老化前	老化后	老化前	老化后
拉伸强度，MPa	1.38	1.73	0.69	1.31
伸长率，%	400	200	600	200
硬度（邵尔A）	35	40	35	40

b．对醌二肟类　对醌二肟类也是氧化型硫化剂，与液态聚硫橡胶的硫化反应在室温下进行很慢，提高温度后可得到性能良好的硫化胶。促进剂可用二苯胍和硫黄。

对醌二肟在硫化时产生的副产物是对苯二胺，它对硫化胶的耐热性有不利影响，并有退色及污染的缺点。

c．硝基化合物类　该类硫化剂并非室温硫化体系，常用于LP-33的深色密封胶中，使用最多的是二硝基苯和三硝基苯。

在含有三硝基苯和二硝基苯的配方中加入硫黄，其配方举例如表13-6-10所示。

表 13-6-10 硝基化合物硫化密封胶配方举例

单位：重量份

组号 \ 配方号	1①	2	3	组号 \ 配方号	1①	2	3
聚硫橡胶LP-3	100	—	—	二苯胍	2.5	3	3
LP-33	—	100	100	硫　黄	1	2	2
2,4,6-三硝基苯	—	6	—	气相白炭黑(Acrosil 18)	1	—	—
三硝基甲苯(TNT)	10	—	—	重质氧化镁	0.5	—	—
邻二硝基苯	—	—	9	氧化剂（过氯酸铵）	少许	—	—

① 在76℃硫化16h可得到橡胶状弹性密封胶，可用苦味酸铵取代TNT。

d．有机过氧化物类　用有机过氧化物硫化的硫化胶比采用金属氧化物硫化的物理性能和耐热性差。

使用异丙苯氢过氧化物硫化时，在碱性条件能促进硫化，反应时生成的有机酸能促进聚合物分解。为了使反应呈中性化，在反应体系加入含胺的化合物，这些胺化合物包括二苯胍、DMP-30、三乙胺、DEPA、哌嗪以及TBA等。表13-6-11列出了各类胺的效果。

表 13-6-11 胺对异丙苯氢过氧化物硫化的影响①

胺类化合物 / 性能	DPG	DMP-30	DEPA	哌嗪	TBA
操作有效期，min	20	119	9	2	176
硬度（邵尔A）（24h后）	32	28	29	30	25

① 配方LP-2 100；20%CHP 8.6；ZnS 35；胺 0.2。

胺类还具有反应终止剂的作用。如果不是在即将加入异丙苯氢过氧化物之前加入胺化合物话，则会引起密封胶的硫化胶软化。

加入氧化镁或氧化锌之类的金属氧化物代替胺类化合物对异丙苯氢过氧化物的硫化会产生抑制作用，因此可通过加入氧化锌与胺的平衡实现硫化。

在异丙苯氢过氧化物硫化系统中，还可加入三氯化锑或三硫化锑来调整硫化。

可把异丙苯氢过氧化物（CHP）配成70%的乙醇或酮溶液，其贮存稳定性非常好。对于LP-2及LP-32可用6～8份CHP。使用DMP-30作活性剂时，在LP-2及LP-32中用量为1～2份，并使用3份无水马来酸，马来酸通常配成25%的环已酮溶液使用。

该硫化体系对湿气有很大敏感性，用它制备透明胶也有一定难度。为提高粘接力，使用酚醛树脂最有效，但浸水后粘接效果不好，异丙苯氢过氧化物有毒，使用时应注意。

使用异丙苯氢过氧化物的配方举例如表13-6-12所示。

表 13-6-12 异丙苯氢过氧化物硫化密封胶配合举例

单位：重量份

密封胶类型 / 组分与性能	普通配合		透明配合	
聚硫橡胶LP-32	100		100	
二氧化钛(Titanox RA-50)	50		—	
DMP-30	1		1.2	
异丙苯氢过氧化物(70%)溶液	8		6.5	
气相白炭黑	—		20	
氧化镁	—		4	
25%无水马来酸环已酮溶液	—		2	
使用有效期，h	1～2		1～2	
凝固时间，h	2～3		2～3	
硫化时间，h	4～8		4～8	
老化前后性能(121℃×7d)	老化前	老化后	老化前	老化后
拉伸强度，MPa	1.38	1.03	4.14	2.93
伸长率，%	400	200	920	220
硬度（邵尔A）	40	60	52	54

使用二异丙苯过氧化物（DCP）可改进耐热性。

各种有机过氧化物硫化剂会产生副产物弱酸或三级醇。这两种副产物在温度升高时会引起聚合物分子链断裂。

e．胺类化合物　许多胺类化合物，例如吡啶，可作液态聚硫橡胶的硫化剂。

氧化锌与胺混合或过氧化钾与乙二胺混合都可作硫化剂使用，但硫化时间较长（50℃×

3h）。其硫化胶压缩变形大，耐溶剂性差。

（3）树脂类　环氧树脂和酚醛树脂都可作为液态聚硫橡胶的硫化剂。树脂类硫化剂属于非氧化型硫化剂。

a．环氧树脂　环氧树脂与液态聚硫橡胶的硫化反应属于加成型反应，用环氧树脂作硫化剂时，在无催化剂存在下硫化反应很慢，可用胺类化合物作硬化剂，硫化反应进行的最初阶段是环氧树脂与橡胶的加成反应，之后发生胺的硬化作用。用作硬化剂的胺，其活性按下列次序递减：

2，4，6-三（*N*，*N*-二甲氨基甲基）苯酚（即K-54，DMP-30）＞三亚乙基四胺＞二乙烯三胺＞三甲胺、丙胺＞二乙胺＞间苯二胺。

上述有机胺同时也是环氧树脂的固化剂，用量按通常用量即可。其中2，4，6-三（*N*，*N*-二甲氨基甲基）苯酚最为常用，其催化作用明显，反应完全。它与聚硫橡胶相容性很好，可配成一个组分。二乙烯三胺等脂肪族多胺催化剂活性低，同时在聚硫橡胶中溶解性较差，长期停放后会分层，并产生凝胶。有机胺在聚硫橡胶中的溶解特性如表13-6-13所示。

当使用环氧树脂作硫化剂时，应根据胺在聚硫橡胶中的溶解性能确定密封胶的配方组分，即凡是能与聚硫橡胶相容的胺，可与聚硫橡胶配成一个组分，而环氧树脂为另一组分，如果胺与聚硫橡胶的溶解性差或不溶，则聚硫橡胶、环氧树脂和胺须各配成一组分。

环氧树脂硫化体系可用于配制白色或浅色密封胶。

环氧树脂硫化膏剂的组分为环氧树脂1份，二氧化钛（Titanox RA-50）1份。环氧树脂的环氧值为175～210，粘度5～15Pa·s（25℃）。在LP-2及LP-32中环氧树脂配合10份。

表 13-6-13　有机胺在聚硫橡胶中的溶解特性

易溶解胺类	难溶解胺类
六氢吡啶	二乙烯三胺
间苯二胺	三乙烯四胺
苄基二甲（乙）胺	三乙胺
二氨基二苯甲烷	三乙醇胺
2,4,6-三(*N*,*N*-二甲氨基甲基）苯酚	二乙(甲)氨基丙胺

表 13-6-14　环氧树脂硫化密封胶配方举例

组分与性能	用量（重量份）与指标	
聚硫橡胶LP-2	100	
DMP-30	1	
碳酸钙	30	
二氧化钛	10	
环氧树脂硫化膏	20	
使用有效活化期，h	2.75	
硫化时间，h	12	
老化前后性能(100℃×7d)	老化前	老化后
拉伸强度，MPa	1.78	2.87
伸长率，%	590	450
硬度(邵尔A)	43	41
粘接剥离力，kN/m	室温×168h	浸水168h
铝	3.33	3.50
玻璃	3.50	3.50
钢	3.68	3.68

活化剂使用DMP-30。不需要其它添加剂，对各种表面都有良好粘接性。该硫化体系不能配合弹性密封胶。胺是活化剂，但也可使用pH值高的填料代替胺，达到活化的目的。例如使用碳酸钙（Multifex MM）加氧化钙得到白色硫化物。

环氧树脂硫化密封胶的配方举例如表13-6-14所示。

b．酚醛树脂　低分子量级别酚醛树脂可作聚硫橡胶硫化剂。此时，在酚醛树脂的羟甲基位置上形成聚合物的交联反应：通过巯基与羟甲基的缩聚反应，生成一硫化物，反应副产物为水，酚醛树脂硫化的密封胶具有优良的屈挠性和抗冲击性能。

聚酯类树脂也可作为聚硫橡胶硫化剂，所制得的密封胶具有硫化后收缩小的优点。

（4）异氰酸酯　用含有异氰酸酯的化合物，例如异氰酸酯或含有二个或二个以上异氰酸酯基的预聚体、二异氰酸酯（二苯基甲烷-4,4-二异氰酸酯）可硫化液态聚硫橡胶。该硫化体系硫化的密封胶毒性大，很少使用。然而，由于使用异氰酸酯硫化速度快，所以它对密封金属、玻璃、陶瓷和钢筋混凝土表面缝隙使用的密封胶具有极重要的意义。用异氰酸酯类作硫化剂，用量为6～10份。

（5）其它硫化剂　有机铊化合物，如乙醇铊、丙醇铊也可作为聚硫橡胶的硫化剂，它能提高硫化胶的耐热性能。

在甲酸催化下以呋喃醛作交联剂，可获得伸长率低的硫化胶，当使用金属氧化物（如氧化锌、氧化铅等）作硫化剂时，聚硫橡胶与金属氧化物的反应如下：

$$2\sim\!\sim RSH + ZnO \longrightarrow \sim\!\sim RSZnSR \sim\!\sim + H_2O$$

$$\sim\!\sim RSZnSR \sim\!\sim \longrightarrow \sim\!\sim RSR \sim\!\sim + ZnS$$

与硫黄配合后：

$$\sim\!\sim RSZnSR \sim\!\sim + S \longrightarrow \sim\!\sim RSSR \sim\!\sim + ZnS$$

液态聚硫橡胶各类硫化剂的性能比较如表13-6-15所示。

表 13-6-15　各类硫化剂的硫化胶性能

硫化剂名称	配合量 重量份	拉伸强度	抗压缩变形	回弹性	耐热性	耐湿性	耐溶剂性	胶料色泽稳定性
二氧化铅	5～7.5	良	良	良	良	优	良	劣
二氧化锑	2～6	优	良	优	极优	良	优	劣
铬酸盐	5～10	极优	良	良	良	良→可	优	可
三氧化二锑	12～20	可	可→劣	可	可	可→劣	劣	优
二氧化锰	1.5～6	良	良	良	极优	良→可	优	劣
异丙苯氢过氧化物	6～8	可	可	良	可	良→可	良	可
碳酸钠过氧化氢	5～7	可	良	可	良	劣	劣	良
二丁基氧化锡	7～15	可	劣	可	良	可→劣	可	良
环氧树脂	10	可→劣	—	—	可→劣	—	—	—

3．促进剂

硫化促进剂的类型、活性及用量对聚硫橡胶的硫化速度都有不同的影响。

（1）硫黄　硫黄可作为聚硫密封胶硫化促进剂，它可缩短硫化时间，提高硫化胶的硬度、抗压缩变形和弹性模量。硫黄用量超过0.2份时会降低聚硫密封胶与各种金属的粘接力；硫黄用量超过 0.5 份时，硫化胶发软，特别是在受热情况下更甚。硫黄对液态聚硫橡胶硫化速度的影响如表13-6-16所示。

表 13-6-16　硫黄对LP-32硫化速度影响

组分与性能 \ 配方编号	1	2	3	4	组分与性能 \ 配方编号	1	2	3	4
半补强炉黑	30	30	30	30	机械性能①				
硬脂酸	1	1	1	1	拉伸强度，MPa	2.42	2.76	3.45	3.45
硫　黄	0	0.05	0.25	0.5	伸长率，%	750	720	700	650
C-5硫化膏	15	15	15	15	300%定伸应力，MPa	1.04	1.17	1.24	1.38
有效操作期，min	75	60	40	32	硬度（邵尔A）	32	36	37	38

① 硫化26.7℃×24h或154.4℃×10min。

从表中看出，密封胶的有效使用期随硫黄用量增加而缩短，硫化速度增加。300%定伸应力和硬度的增加说明硫化更完全。

在二氧化锰硫化体系中，硫黄反而明显地延迟硫化。用二氧化铅1份与二氧化锰3份组成的混合硫化剂，在密封胶中用量为20%时，促进剂硫黄用量对密封胶粘度的影响如图13-6-5所示。

在密封胶中使用10%的高锰酸钾作硫化剂时，加入3.2%的硫黄对密封胶粘度的影响如图13-6-6所示。从图中很清楚地看出，硫黄在这里明显地表现了延迟硫化的作用。

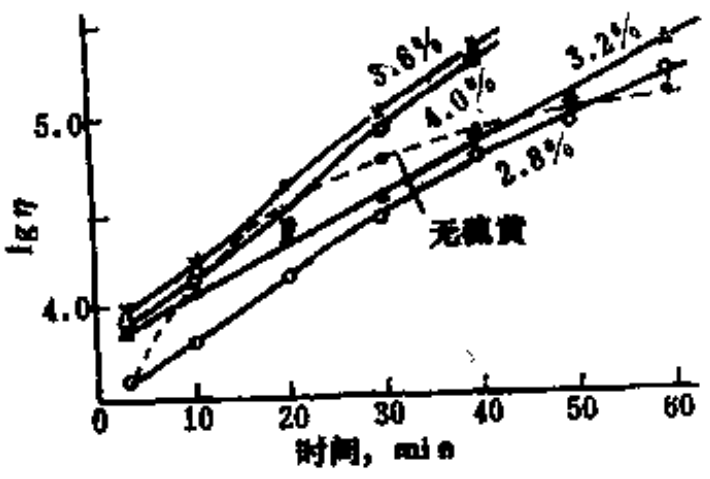


图 13-6-5 硫黄对密封胶硫化速度影响的 logη-t曲线

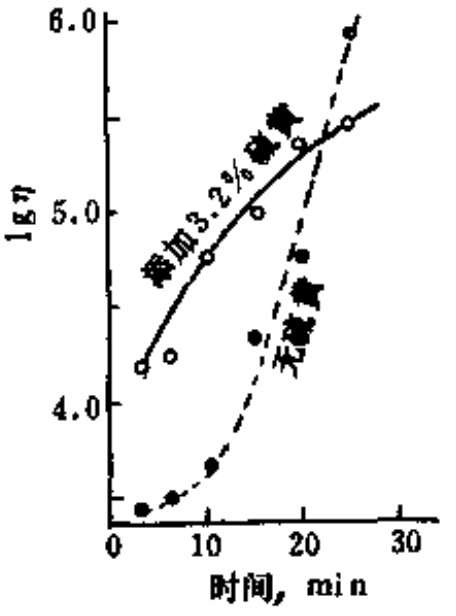


图 13-6-6 硫黄对高锰酸钾硫化速度影响的 logη-t曲线

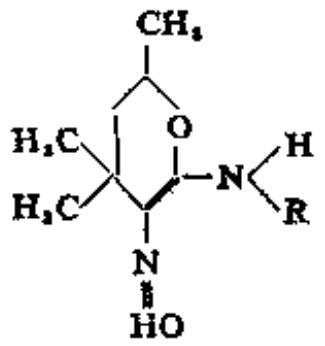
高锰酸钾曾被误认为是聚硫橡胶的低活性硫化剂，因为高锰酸钾作硫化剂的时间比较短，每当使用高锰酸钾时，常配入硫黄作促进剂。结果使这种强力硫化剂的硫化能力反而降低。

（2）水　在聚硫橡胶同许多硫化剂的反应中大都需要水和湿气作活化剂或促进剂。金属氧化物、过氧化物及氧化剂化合物，尤其是单组分的吸湿性硫化剂及促进剂，都离不开水及湿气。

（3）其它促进剂　其它促进剂主要类型如下。

①胍类化合物，例如二苯胍和邻甲苯胍；

②采用如下结构的化合物作促进剂，可提高聚硫橡胶的耐热老化性；



式中R为芳基、烷基。

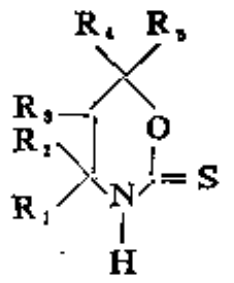
③当以过氧化物或氧化物作硫化剂时，可用含硫的四烷基秋兰姆多硫化物作为促进剂。

④American Cyanamid公司的Cymax即是以硫代二乙醇为基团的新型耐油聚硫橡胶，其硫化体系推荐使用氧化锌、硫黄和氨或者二硫化四甲基秋兰姆的混合物，以及巯基苯并噻唑锌盐和硫黄的混合物。

⑤过氧化锌可与乙二胺混合用作硫化体系，但硫化时间较长（50℃×3 h）。

⑥碳酸锌（$ZnCO_3 \cdot 2Zn \cdot 3H_2O$）与含有双硫键的有机含硫促进剂混合使用，可作聚硫橡胶的快速促进剂，碳酸锌的用量是聚硫橡胶用量的15～75%，最好是25～70%，含双硫键的促进剂（如苯并噻唑二硫化物）的用量为碳酸锌用量的15～90%，最好为25～50%。

⑦用二氧化锰作聚硫橡胶的硫化剂时，建议用如下结构式的化合物（例如四氢-1,3-噁嗪衍生物）作其硫化促进剂：



式中，R_1、R_2、R_3、R_5为H、烷基；R_4为烷基或芳基。使用该硫化体系可提高硫化胶的拉伸强度，其用量为0.5～5份。

4．硫化延缓剂

在室温下聚硫密封胶的硫化时间可由几分钟到几个小时不等。聚硫橡胶的巯基的氧化反应对反应介质的pH值很敏感，在碱性环境中氧化反应会加速，在酸性环境中则延迟。

有许多酸性延迟剂适用于二氧化铅硫化体系，其中最有效的是硬脂酸、硬脂酸铅或二硬脂酸铅。硬脂酸的延迟效果如表13-6-17所示。

表 13-6-17 硬脂酸用量对密封胶有效工作时间的影响 单位：重量份

组分与性能 \ 配方编号	1	2	3	4	5
聚硫橡胶LP-2	100	100	100	100	100
半补强炉黑	30	30	30	30	30
硬脂酸	0	0.5	1	1.5	3
C-10硫化膏	15	15	15	15	15
密封胶有效工作时间，h	<0.25	1	2	3	3.5

硬脂酸铅和二硬脂酸铅对相对湿度的敏感性小。

用二丁基氧化锡作硫化剂时，可用硬脂酸作为活性剂，而碱性的填充剂可作为硫化抑制剂使用，这一点与其它硫化系统正相反。

另外，油酸和硬脂酸锌等也是聚硫密封胶最普遍应用的硫化延迟剂。须注意的是，切忌用强有机酸作延迟剂，因为它能使聚硫橡胶解聚。硫化剂最常用的促进剂及延缓剂如表13-6-18所示。

5．影响硫化速度的其它因素

（1）水分和湿度的影响　水分和湿度对聚硫密封胶硫化速度的影响机理目前尚不清楚。聚合物及各种配合剂中所含水分和空气中的湿度对以二氧化铅作硫化剂的硫化反应都具有催化剂的作用。二氧化铅对水分的敏感性程度超过其它硫化剂对水分的敏感性。就二氧化铅的硫化反应而言，水是反应的副产物，因此水分对硫化反应初期的影响较显著。据经验，随水分含量或空气中相对湿度的提高，硫化速度也随即增加。在二氧化铅硫化体系中，水分和湿度对LP-2硫化速度的影响如图13-6-7和图13-6-8所示。

（2）温度的影响　当温度比标准状态升高5.6℃时诸性能减少1/2。而当温度降低5.6℃时，性能（时间）延长1倍。在相对湿度为50%、温度从26.7℃降低到4.4℃时，密封胶的

表 13-6-18 一些硫化剂最常用的促进剂与延缓剂

硫化剂	促进剂	延缓剂
二氧化铅	硫黄	硬脂酸、硬脂酸铅及其它的硬脂酸盐
过氧化氢异丙苯	2,4,6-三（*N*,*N*-二甲氨基）苯酚	硬脂酸、硬脂酸铅及其它硬脂酸盐
过氧化钙	水	硬脂酸、硬脂酸铅及其它硬脂酸盐
过氧化锌	胺	硫黄
过氧化锰	氨基碱	硫黄

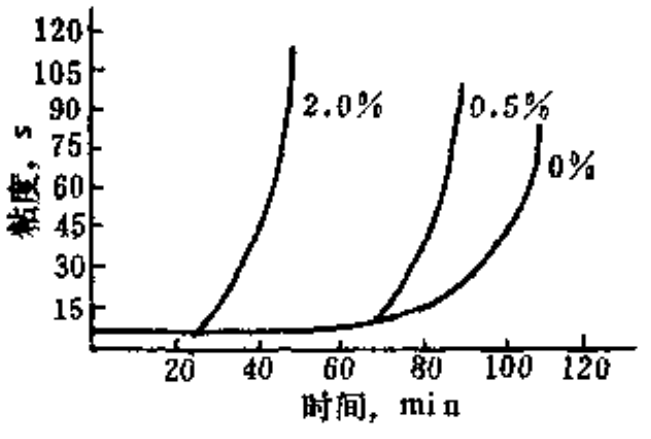


图 13-6-7 PbO_2硫化体系中水分对 LP-2聚硫密封胶硫化速度的影响

变定时间从5 h 延长到20 h 。表13-6-19所列数据同样地也表示了这个相关性。

表 13-6-19 密封胶温度与贮存安全期关系

温度，℃	贮存安全期	温度，℃	贮存安全期
37.8	1h	-6.7	5d
26.7	4h	-17.8	20d
15.6	6h	-40.0	>6个月
4.5	24h		

注：密封胶配方为LP-20 100；硬脂酸 1；Titanox 10；Calcene TM 25；Durez 10694 5；C-5硫化膏 15。

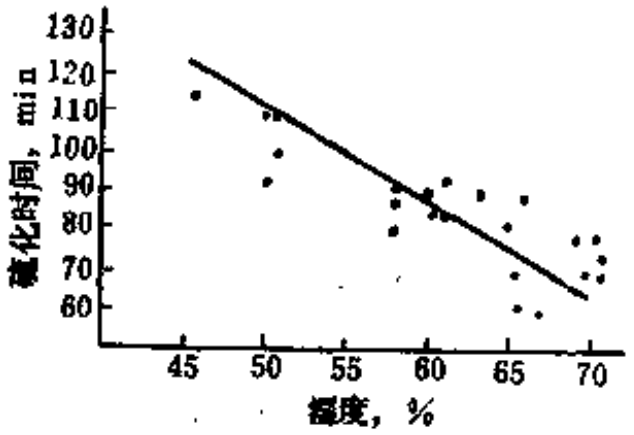


图 13-6-8 PbO_2硫化体系中空气湿度对LP-2聚硫密封胶硫化速度的影响

利用这一关系，可以将混合好的密封胶放置在－60～－90℃的低温下作短时间冷却，然后置于－40℃左右的低温下贮存，使用时再回升到室温。飞机上使用的密封胶往往利用此关系。

（三）填充体系

填充剂在聚硫密封胶中有 4 个作用：补强作用；着色作用；降低成本作用；可赋予密封胶触变性。

1．填充剂

填充剂的 pH 值，粒径大小以及用量对密封胶的性能有较大的影响，碱性填料 能促进硫化，酸性填料（某些粘土）可使聚合物解聚，填充剂粒径大小不仅影响硫化胶性能，还影响未硫化密封胶的粘度、触变性等。

聚硫橡胶的电绝缘性能并不好，但加入填料可以明显地影响电性能特性，尤其是对介电常数影响更大。白色填料可改进聚硫密封胶性能。

（1）炭黑　炭黑在密封胶中起补强作用，必须选择 pH值≥7、含氧量及含水量低的炭黑。最常用的炭黑是炉法和热裂法炭黑，而槽法炭黑由于 pH 值低，表面积大，加入量受限制。细粒子的炭黑补强性好，但操作性最好的炭黑应选择半补强炉黑。在封口和浇注密封胶中，用热裂法炭黑具有收缩小的优点。灯烟炭黑也可作一般填料使用。炭黑用量过多，并不能获得低稠度、抗流动性好的密封胶。

（2）碳酸钙　碳酸钙因其制造方法和所用原料不同，有许多品种。碳酸钙配合量以及对密封胶性能的影响取决于粒子大小，细粒子的碳酸钙可使密封胶具有良好触变性，而粗粒子碳酸钙补强性小，尤其在配合量高时会使密封胶耐老化性下降。因此，要与细粒子补强填

料混合使用，使用最多的是表面经过处理的碳酸钙。在通常配合中，常把碳酸钙同煅烧陶土、二氧化钛并用。

（3）陶土　陶土是硅酸铝的水合物，属于非补强剂，有酸性效应，它对硫化有延缓作用，应尽量避免使用，而脱酸的煅烧陶土可以使用。填充陶土的密封胶物理性能比填充碳酸钙者差，硬度较高，与其它填料并用后可得到改善。

为了使密封胶具有良好的综合性能，最好采用几种填充剂并用。这既能降低成本，又能防止因单一填充剂使用过多而引起性能变化。

填充剂类型对密封胶机械性能的影响如表13-6-20所示。

表 13-6-20　填充剂对密封胶性能的影响①

填充剂	用量（重量份）	变定时间 min	硫化时间 h	24h后硬度（邵尔A）	平板硫化机（141℃×10min）硫化					
					老化前		110℃×7d老化后			
					拉伸强度 MPa	伸长率 %	硬度（邵尔A）	拉伸强度 MPa	伸长率 %	硬度（邵尔A）
炭黑										
SRF 3号	30	119	6.75	50	4.12	800	52	5.44	600	65
	50	106	6.5	57	4.80	700	62	7.41	400	78
	70	66	5.75	60	5.35	480	70	7.41	200	88
Sterling MT	40	93	5.5	47	3.59	800	49	3.80	550	56
	60	80	5.25	50	3.80	830	55	4.30	400	63
	80	86	4.75	53	3.62	620	60	4.48	300	70
Thermax	40	115	4.75	45	3.62	770	48	3.94	550	55
	60	104	4.5	48	3.80	740	53	4.30	450	61
	80	80	4.33	50	3.80	740	58	3.28	200	73
Philblack	20	104	6.0	45	4.48	770	50	5.68	450	65
	40	82	5.5	55	5.35	600	60	8.10	250	83
碳酸钙										
Calcene TM	20	120	4	40	1.55	650	45	1.81	590	50
	40	70	3.5	43	3.17	800	49	3.10	610	50
Multifex MM	20	100	3.7	40	1.45	550	42	1.73	500	49
	40	70	3	42	3.10	840	45	2.76	590	50
Witcarb RC	20	120	5	39	1.38	600	42	2.58	500	50
	40	360	8	40	3.61	800	44	3.10	575	54
York White	40	122	4.5	36	1.04	570	38	0.52	100	55
	60	100	3.5	38	1.11	530	43	0.55	100	55
	80	85	3	40	0.55	450	45	0.86	80	60
Cal White	40	243	16～24	40	1.45	530	45	1.45	530	44
	60	205	16～24	45	1.45	620	47	1.55	440	50
	80	180	16～24	48	1.31	450	50	0.82	500	45
Camel-wite	40	180	16～24	40	1.59	540	45	1.04	600	40
	60	218	16～24	45	1.73	860	49	1.45	600	50
	80	172	16～24	45	2.07	940	50	1.93	300	55
Laminar	40	378	16～24	45	1.93	640	47	2.34	480	55
	60	360	16～24	47	2.14	740	52	1.86	500	53
	80	295	16～24	40	2.21	560	57	1.93	350	60
OMYA BSH	40	128	16～24	40	2.21	520	45	1.25	670	45
	60	158	16～24	43	2.48	790	49	1.35	200	56
	80	168	16～24	45	1.59	740	55	1.38	300	61

续表

填充剂	用量 (重量份)	变定时间 min	硫化时间 h	24h 后硬度 (邵尔A)	平板硫化机（141℃×10min）硫化					
					老化前		110℃×7d老化后			
					拉伸强度 MPa	伸长率 %	硬度 (邵尔A)	拉伸强度 MPa	伸长率 %	硬度 (邵尔A)
二氧化硅										
Cab-o-sil	15	240	16～24	43	3.27	820	46	3.95	550	60
	20	360	16～24	45	4.14	900	50	变		脆
Hisil 233	15	180	16～24	45	2.48	850	45	3.87	680	48
	20	220	16～24	46	3.45	1030	45	4.83	560	54
硅藻土										
Ser-X	20		34	15	1.00	260	36	1.25	200	45
	40	24h	36	20	1.25	240	43	1.25	180	48
Microcel E	10	210	8.5	40	1.13	400	42	2.62	400	42
	20	150	7.5	45	2.07	480	50	3.31	380	50
Silene EF	20	180	4	43	2.57	700	45	3.45	620	55
	40	60	2	53	4.14	720	58	4.48	540	60
Emtal Talc 549	40	300	16～24	50	1.93	280	43	2.58	210	60
	60	16～24h	16～24	60	2.07	220	58	1.31	100	60
Zeolex 23	15	377	16～24	30	1.64	820	40	2.96	460	48
	20	243	16～24	30	2.62	960	43	3.95	520	50
陶土										
ASP-1200	40	369	16～24	45	2.48	550	45	3.59	500	55
	60	16～24h	16～24	55	3.03	520	52	0.89	320	62
IcecapK	40	292	16～24	47	1.93	450	48	1.93	430	50
	60	310	16～24	52	2.28	620	52	2.60	260	65
其它填料										
Lithopone	40	220	16～24	35	1.89	760	40	2.07	350	51
(ZnS-$BaSO_4$)	60	250	16～24	39	2.41	820	45	2.07	500	54
	80	265	16～24	39	1.55	710	45	2.58	600	58
Blanc Fixe	40	230	16～24	38	1.52	620	40	1.93	500	45
($BaSO_4$)	60	265	16～24	40	2.07	820	42	2.41	650	50
	80	275	16～24	42	2.34	870	44	2.62	800	55
Titanox AMO	40	100	16～24	38	2.41	860	40	2.76	700	50
(TiO_2)	60	72	16～24	40	3.69	900	45	2.76	800	55
	80	63	16～24	46	3.45	950	50	3.45	550	62
ZS-8000	40	101	16～24	35	2.92	830	38	1.89	350	50
(ZnS)	60	90	16～24	38	2.92	910	40	2.92	500	52
	80	82	16～24	40	3.80	850	45	2.92	600	57

① 配方 LP-32 100；硫黄 0.1；硫化膏C-5 15；填充剂 适量。

2．触变剂

理想的触变剂是气相白炭黑及胺改性的皂土、陶土，或二者并用。当 pH 值高时易造成密封胶贮存不稳定。而粗粒子二氧化硅会使密封胶物理性能下降而无触变性。

3．着色剂

为制备不同颜色的密封胶可加入不同颜色的颜料和染料，如红色清漆、黄染料、绿色、

Cr_2O_3盐、铅丹、赫石、群青、墨水蓝、硫化橙色、Fe_2O_3（土红）等。白色填料有锌钡白和二氧化钛等，它们既可作颜料，也可作填充剂，其中二氧化钛的遮盖性很强。

在使用酸性着色剂时必须适当中和。根据所制备密封胶的颜色从光亮到暗的次序，颜料用量为1～10重量份。这样的用量水平对密封胶性能基本上没有影响。用量超过15重量份时，在个别场合会降低密封胶的相对伸长30～50%。

铝灰色密封胶可用铝粉。铝粉不起补强剂作用，因此不能单独使用，否则密封胶硬度不够。使用铝粉时应配入少量的吸附剂，以吸收胶料中的水分，防止氢气的生成。吸附剂的用量约为4～5份。

各种颜料对密封胶性能的影响如表13-6-21和表13-6-22所示。

表 13-6-21 用二氧化钛作填充剂时颜料品种对密封胶性能的影响①

颜料类型	用量，重量份	拉伸强度，MPa	伸长率，%	永久变形，%	密封胶颜色
铅丹原颜料	5.0	1.84	380	8	土玫瑰色
	15.0	1.24	340	12	红棕色
黄色原颜料	15.0	1.47	280	8	浅奶油色
红色原颜料	15.0	2.47	480	12	玫瑰色
水粉黄	30.0	1.60	220	8	黄　色
有机蓝靛粉	30.0	0.81	300	12	天蓝色
水粉绿	15.0	2.20	280	4	浅绿色
亚甲基蓝靛粉	15.0	2.16	30	8	浅天蓝色
无颜料	—	1.74	130	0	白　色

① 配方　聚硫橡胶T-1 100；二氧化钛 80；异丙苯氢过氧化物 8；氧化锌 10；五硫化锑 0.04；涂料颜料 变量。

表 13-6-22 用陶土作填充剂时颜料品种对密封胶性能的影响①

颜　料　类　型	用量，重量份	拉伸强度，MPa	伸长率，%	永久变形，%	密封胶颜色
铅丹原颜料	2.0	1.35	160	8	棕　色
红色原颜料	0.5	1.11	110	4	浅玫瑰色
	2.0	1.25	100	4	玫瑰色
水粉黄	2.0	1.21	120	8	浅　黄
亚甲基蓝靛粉	0.5	1.25	100	8	浅天蓝色
	2.0	1.24	120	8	天蓝色
墙用胶粘剂绿	10.0	1.47	180	8	绿
	15.0	1.21	100	4	深绿色
墙用胶粘剂咖啡色	15.0	1.30	120	8	棕　色
无颜料	—	1.14	120	10	暗带黄色

① 配方　聚硫橡胶T-1 100；干燥精制陶土 45；异丙苯氢过氧化物 8；氧化锌 10；五硫化锑 0.04；涂料颜色 变量。

聚硫橡胶密封胶的品种虽然繁多，但密封胶是根据其颜色、粘度、活性及使用指标来识别的。聚硫橡胶密封胶一般有4种颜色：黑色、白色、灰色和棕色；密度为1300～1700kg/m³。

4．其它填充剂

为了某些特殊需要，有时还可加入一些特种添加剂，如提高耐燃性的松香酸铜、氯化锌、氯化锡；提高耐紫外光辐射的醌氢醌醚、有机锡酸；降低胶液下垂性的三氧化二铅、乙酸铟等。

（四）增塑剂

增塑剂可改进硫化密封胶的伸长性和定伸应力，对密封胶的粘度也有较大的影响。增塑剂有助于提高填充剂的填充量，从而降低密封胶成本，也有助于混炼时填料的分散以及气泡的逃逸。但增塑剂会降低填料的补强效果。随着增塑剂的加入，密封胶的物理机械性能下降，使用10份增塑剂，拉伸强度降低50%。氯化联苯和邻苯二甲酸二丁酯对密封胶性能的影响如表13-6-23所示。

表 13-6-23 Anoclor 1254（氯化联苯）和邻苯二甲酸二丁酯对密封胶性能的影响

组分与性能	氯化联苯增塑剂						邻苯二甲酸二丁酯			
LP-2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
硫化锌	—	—	—	—	—	—	50	50	50	50
碳酸钙	50	50	50	50	50	50	—	—	—	—
硬脂酸	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1
C-5硫化膏	15	15	15	15	15	15	—	—	—	—
二氧化铅	—	—	—	—	—	—	7.5	7.5	7.5	7.5
增塑剂用量	0	10	20	30	40	50	0	10	20	40
拉伸强度，MPa	3.95	3.27	2.76	2.21	1.73	1.04	3.10	1.73	1.04	0.83
300%定伸应力，MPa	1.38	1.21	1.04	0.82	0.76	0.69	—	—	—	—
伸长率，%	750	200	650	600	570	560	400	400	350	300
硬度（邵尔A）	49	40	36	32	28	25	45	40	30	20

常用的增塑剂是氯化联苯，但已由无污染性的氯化石蜡所代替。

芳香性及极性增塑剂相容性好。某些酯类与聚硫橡胶有良好的相容性及不迁移性。常用的有邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯、丙二醇二苯甲酸酯，以及硝基化合物类（如邻硝基联苯）。对增塑剂的要求是与聚硫橡胶的相容性好，挥发性低，无副作用。不相容的增塑剂会造成硫化或包装贮存时离析而影响粘接力。常用的增塑剂及其用量如表13-6-24所示。

表 13-6-24 常用增塑剂及其用量

增塑剂	用量，重量份	增塑剂	用量，重量份
DBP	10～40	二聚物油	10
氯化联苯	20～100	Enjay Aidmatic Distiseat C	10～20
邻二硝基苯	20～100	邻苯二甲酸乙二醇乙酯	10～50
氯化联三苯	10～40	邻苯二甲酸乙二醇甲酯	10～50
古马隆树脂	10～20		

（五）增粘剂

聚硫橡胶对固体表面的粘接性差，不利于密封。为了提高密封胶的粘接性，必须加入增粘剂。聚硫密封胶的增粘剂大多采用树脂，例如环氧树脂、酚醛树脂、聚酯树脂，以及氨基硅烷。

1．环氧树脂

环氧树脂在聚硫橡胶中起3个作用：交联剂、增粘剂和改性剂。

聚硫橡胶与环氧树脂通过化学反应或共硫化反应生成共聚物，它兼顾了聚硫橡胶的弹性和环氧树脂对各种基材的高度粘接力。其性能的变化范围取决于所用各组分的比例。液态聚硫橡胶与环氧树脂同时按两个反应过程进行反应，一个是巯基同环氧基进行的反应，使链线性增长（形成嵌段共聚物），另一个是通过环氧基进行的横向交联。加入环氧树脂改性后的密封胶粘接力取决于物料的反应速率、温度、相对湿度以及各组分中的无机杂质。这种用环氧改性的密封胶广泛用于电气、电工仪表及其它工业部门。

环氧树脂作为聚硫密封胶的硫化剂时其用量为10份左右。环氧树脂在聚硫橡胶中既是改性剂又是增粘剂，可根据需要选择环氧树脂的类型、品种以及配合量。

环氧值在170～210的环氧树脂同硅烷并用，在二氧化铅硫化体系中可表现出良好效果，并改进密封胶耐水性，但不能改进粘接性。

2．聚乙酸乙烯酯

聚硫密封胶中加入聚乙酸乙烯酯可提高粘接性。与酚醛树脂并用时效果更好，尤其是浸水以后。聚乙酸乙烯酯的增粘效果如表13-6-25所示。

表 13-6-25　聚乙酸乙烯酯对聚硫橡胶性能影响

单位：重量份

组分与性能 \ 配方编号	1	2	3	4	5
聚硫橡胶LP-32	100	100	100	100	100
3号半补强炉黑	30	30	30	30	30
硫　黄	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
C-5硫化膏	15	15	15	15	15
酚醛树脂（Durez 10694）	5	4	4	4	0
聚乙酸乙烯酯	0	1	2	3	5
凝固时间，min	140	140	115	80	140
硫化时间，h	12	12	12	12	12
老化（25℃×168h）后剥离强度，kN/m					
铝	2.77C①	6.16A/C	4.55C	6.35C	0
钢	2.22C	4.43A/C	4.18C	5.69C	0
玻璃	2.75C	6.83C	4.50C	4.90C	0
老化（25℃×168h）后浸蒸馏水96h剥离强度，kN/m					
铝	3.78C	4.46C	3.76C	4.90C	0
钢	4.15C	4.03A/C	2.45A	5.04C	0
玻璃	0	5.83C	4.69C	3.97C	0

① A—粘接破坏；C—内聚力破坏。

实际使用中，聚乙酸乙烯酯溶入酚醛树脂中。聚乙酸乙烯酯粉末在酚醛树脂中形成“溶解”状或“湿润”状，可获得最大粘接性。

酚醛树脂与聚乙酸乙烯酯并用改善了对玻璃的粘接性。一般来说与含有羟基、羧基、羰基、甲酰氧基的极性基团的化合物并用更有效，如环氧树脂、聚乙烯醇缩丁醛、聚乙烯醇、聚乙酸乙烯酯、聚丙烯酸树脂、酚醛树脂等都是有效的，以酚醛树脂与聚乙酸乙烯酯最有效。

配方中需加入链终止剂、紫外光吸收剂。一个有效的配方举例如下：

LP-32	100	聚乙酸乙烯酯	1
3号半补强炉黑	30	促进剂硫化膏	15
酚醛树脂 (Durez 10694)	4		

3．酚醛树脂

酚醛树脂广泛地用于聚硫橡胶的改性。聚硫橡胶的巯基与酚醛树脂的羟基反应生成硫醚。将聚硫橡胶与酚醛树脂制成母胶可大大提高密封胶粘接力。母胶的制备方法是：在略高于树脂熔点的温度下，强烈搅拌3h，使两种物质进行化学反应，最佳混合温度是90℃。

在二氧化锰硫化系统，发现酚醛树脂具有延缓硫化的作用。

在一定条件下，含有某种酚醛树脂的密封胶会引起对大理石污染。这时最好采用底胶方法。

不同类型酚醛树脂对密封胶的粘接性能影响如表13-6-26所示。

表 13-6-26 酚醛树脂的类型对粘接影响

性能指标 \ 树脂类型	Durez 10694	Catalin 633	BRL-2683	Resinox 468
100份聚硫橡胶LP-2加入的树脂量	5	5	5	5
变定时间，h	2.9	12	12	12
硫化时间，h	12	48	48	48
48h后硬度（邵尔A）	25	20	15	20
物理机械性能				
200%定伸应力，MPa	0.54	0.97	0.76	1.21
300%定伸应力，MPa	0.86	1.24	0.90	1.73
500%定伸应力，MPa	1.24	—	1.38	2.76
拉伸强度，MPa	1.45	1.90	1.66	2.76
伸长率，%	560	490	620	500
硬度（邵尔A）	40	45	42	50
老化（100℃×70h）后性能				
200%定伸应力，MPa	3.28	—	3.45	3.28
拉伸强度，MPa	3.28	3.45	3.62	3.62
伸长率，%	200	170	220	250
硬度（邵尔A）	61	66	65	65
老化（25℃×168h）后剥离力，kN/m				
铝	4.20C①	5.02C	4.03C	5.29C
钢	4.18C	4.85C	4.41C	4.59C
玻璃	4.15C	2.40A	7.37C	5.97C
浸蒸馏水(25℃×168h)后剥离力，kN/m				
铝	4.43C	3.59C	3.08C	1.59C
钢	2.85C	0.51A	3.13C	0.37A
玻璃	0	0	0	0

① A—粘接破坏；C—内聚力破坏。

4．其它增粘剂

聚酯树脂、乙烯树脂也可作为液态聚硫橡胶的改进剂。另外广泛使用的改进剂还有石油树脂、焦油、沥青、蒽树脂等。

近年来使用得最多的改性剂是各种加成物，它们是液态聚硫橡胶或含有巯基的其它齐聚

物与环氧树脂或松脂酸的反应产物，以及环氧树脂与硅烷的反应物。

液态聚硫橡胶（100份）、马来酸酐（0.5～3份）、氨（0.5～2份）和溶剂甲乙酮（5～15份）于60～80℃反应10～24h生成的加成物也适用于改性剂。加成物用量为3份（按100份聚硫橡胶计）时，不仅提高粘接力，而且也能加快硫化速率。在80℃时5min即可完成硫化反应。

聚硫橡胶密封胶中加入10份单甲基丙烯酸乙二醇酯可改善密封胶流动性，提高粘接力，而且其拉伸强度不受影响。

单独使用硅烷，也可获得良好效果。

三、密封胶配合

聚硫密封胶在工业及建筑领域的应用十分广泛，主要应用于飞机燃油箱和座舱中、电器连接件、钢槽加固螺栓的密封；在汽车工业上，挡风玻璃、后窗及车灯的安装；平板拖车上的减震；公路、机场跑道、游泳池以及管道的密封；在建筑中伸缩接缝、幕墙密封，预制混凝土建筑接头、安装玻璃，绝热玻璃密封；航空母舰的飞行甲板密封，木制或玻璃钢运动艇甲板密封。

聚硫密封胶还可作为热膨胀或振动零件及制品的防护板；太阳能聚光镜和平板聚光器用的耐天候密封胶；反射镜边缘嵌缝胶以及修补金属件、阀门、泵、汽缸套的液态密封胶等。

聚硫密封胶的用途广泛，必须按不同性能要求进行配制。

（一）密封胶的特性配合

1．耐油、耐介质配合

聚硫橡胶分子主键饱和，因此硫化后的密封胶具有良好的耐石油系烃、矿物油、植物油、耐海水的性能。但耐芳香烃溶剂性差。具有一定的耐酸及弱碱性。

从聚合物角度而言LP-2的耐溶剂性优于LP-31和LP-32。以炭黑填充的LP-2胶，用二氧化铅硫化较好。以LP-2及LP-32所配制的密封胶的耐介质性能如表13-6-27所示。

表 13-6-27　以LP-2和LP-32为基材的密封胶的耐介质性

介　质	LP-2胶 ΔV，%①	LP-32胶 ΔV，%	介　质	LP-2胶 ΔV，%①	LP-32胶 ΔV，%
甲　苯	95	138	甲基异丁酮	24	36
四氯化碳	55	78	10%硫酸	1	1
ASTM燃油 A	−7	−1	10%盐酸	0	1
ASTM燃油 B	1	12	50%氯化钠	−1	0
TP-5	−5	2	31%氯化钠	0	1
乙酸乙酯	40	64	水	7	2
乙　醇	−5	2			

① Δ%为体积膨胀率。

一般说，聚硫橡胶的耐酸碱性不及天然橡胶，在浓酸中尤其是在浓硫酸中更差，而在稀酸中较稳定。

2．水蒸汽透过性

密封胶的交联程度对硫化胶的水蒸汽透过性影响较小，影响这些性能的主要因素是添加剂。添加剂对密封胶水蒸汽透过性及吸水性影响如表13-6-28所示。

表 13-6-28 液态聚硫橡胶的水蒸汽透过性及吸水性

聚硫橡胶 / 组分及性能	LP-2		LP-32		LP-31	
	1	2	3	4	5	6
半补强炉黑	30	30	—	—	30	30
硬脂酸	1	1	1	1	1	1
酚醛树脂 (Durez 10694)	—	5	5	5	5	5
二氧化钛	—	—	10	20	—	—
铝　粉	—	—	—	15	—	—
硫　黄	—	—	0.1	0.15	0.15	—
碳酸钙	—	—	15	—	—	—
C-5硫化膏	15	15	15	15	15	8
水蒸汽透过性，$\times10^{7}$，$cm^3\cdot cm/(s\cdot cm^2)$	0.021	0.028	0.014	0.02	0.038	0.027
吸水率（浸水25℃×72h），%	1.0	6.0	4.0	1.0	2.0	6.0

从表13-6-28中可见加入酚醛树脂对橡胶的吸水性影响较大，对水蒸汽透过性影响较小。吸水性填料会增加硫化胶的吸水性，硫化程度高的硫化胶吸水性低。

3．力学性能

聚硫密封胶、硅橡胶密封胶以及聚氨酯密封胶在结构元件粘接时彼此具有最大允许位移（±25%）和最长使用寿命（15～20年），属于弹性密封胶。不同的工业部门对密封胶的要求亦不同，取决于被密封制品的结构、几何形状、厚度、接缝的连续性、局部应力产生的条件及应力集中情况、制品安装方法、有无变形和变形的大小等。例如混凝土路面接缝使用的密封胶拉伸强度仅0.04～0.1MPa，相对伸长为100%才能可靠工作。

据文献报道，聚硫密封胶应具备下述性能：撤除外力后，密封胶的尺寸复原能力不低于80%；聚硫橡胶含量不低于35%；厚度不低于3mm（局部狭窄处为2.5mm）。

就力学性能而言，对密封胶和胶粘剂二者之间的要求有所不同，对密封胶，首先要求伸长率大，一般在100～700%，而对其拉伸强度的要求则处于第二位，一般表现为低拉伸强度（0.69～4.91MPa），而硬度（邵尔A）在20～70之间。

与其它橡胶相比较，聚硫橡胶的硫化胶性能显得非常特殊。其它橡胶的室温硫化胶（或用超速硫化剂的低温热硫化胶）老化后物理机械性能降低比最宜条件下的加压加热硫化胶降低显著。而聚硫橡胶则不然，加热硫化与室温硫化的差异仅表现在硫化速度的快慢。在一定温度下，硫化速度可通过硫化剂、促进剂、延缓剂及抗焦剂的用量变化进行大幅度地调节，但此种变化对硫化胶的性能几乎无多大影响。飞机用聚硫密封胶的硫化速度与硫化胶性能的关系如表13-6-29所示。

表 13-6-29 聚硫密封胶硫化速度与硫化胶性能的影响

硫化胶性能	密封胶可操作时间		硫化胶性能	密封胶可操作时间	
	15min	2 h		15min	2 h
失粘时间（达到最大强度时间，30℃），h	8	24	硬度　7 d后	32～35	33～36
			完全硫化	38～41	36～39
硫化时间（邵尔硬度达到30的时间），h	24	48	拉伸强度，MPa	1.77	1.72
			伸长率，%	720	662
剥离强度，kN/m	7.06	6.67	对密封面的粘接力，kN/m	8.63	8.63

4．耐臭氧及耐天候老化性能

聚硫橡胶具有良好的耐臭氧性、耐氧化及日光老化性能。用铬酸盐和用二氧化铅作硫化剂的密封胶耐老化性能如表13-6-30和表13-6-31所示。

表 13-6-30 老化对用$K_2Cr_2O_7$作硫化剂的飞机用密封胶性能影响

老化条件	喷涂型密封胶		干性密封胶	
	拉伸强度，MPa	伸长率，%	拉伸强度，MPa	伸长率，%
25±1℃×336h×50±5%相对湿度	1.57	256	1.86	318
135℃×168h	2.65	166	2.45	126
TgPe Ⅰ浸渍72h后，135℃×168h	2.45	152	2.45	217

表 13-6-31 老化对密封胶性能影响①

指标	老化前	老化后	指标	老化前	老化后
硬度（邵尔A）	54	57	撕裂强度，kN/m	20.13	25.03
300%定伸应力，MPa	3.26	4.30	重量损失，%	—	1.5
拉伸强度，MPa	4.14	4.83	体积收缩，%	—	1.2
伸长率，%	460	345			

① 配方 LP-2 100；SRF 30；硬脂酸铅 1.4；二氧化铅 7.5。

5．耐热及耐寒性

聚硫密封胶在空气和石油系燃料油中的工作温度可为－60～130℃和150℃，短时间为175℃。通常聚硫密封胶在室温（－20～40℃）可长时间使用。在70～80℃下经过相当长的时间，各种性能降低亦极少。在110～140℃和150℃下可短期使用。个别条件下可在－30℃、－50℃甚至－60℃的低温下使用。

从聚合物角度而言，不同结构的液体聚硫橡胶其耐低温性也不同。聚合物的结构与玻璃化温度的关系如表13-6-32所示。

表 13-6-32 液体聚硫橡胶结构与玻璃化温度的关系

聚合物	结构式	玻璃化温度，℃
聚（二硫化亚乙基）	$\{SCH_2CH_2S\}_n$	－27
聚（四硫化亚乙基）	$\{S_2CH_2CH_2S_2\}_n$	－24
聚（二硫化乙基醚）	$\{S-CH_2CH_2OCH_2CH_2-S\}_n$	－53
聚（四硫化乙基醚）	$\{S_2-CH_2CH_2O-CH_2CH_2S_2\}_n$	－40
聚（二硫化乙基二氧）	$\{S-CH_2-CH_2-O-CH_2-O-CH_2CH_2-S\}_n$	－59
聚（二硫化五亚甲基）	$\{S-CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2-S\}_n$	－72
聚（二硫化六亚甲基）	$\{SCH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2-S\}_n$	－74
聚（二硫化丁基二氧）	$\{S-CH_2CH_2CH_2CH_2O-CH_2O-CH_2CH_2CH_2CH_2-S\}_n$	－76
聚（二硫化丁基醚）	$\{S-CH_2CH_2CH_2CH_2O-CH_2CH_2CH_2CH_2-S\}_n$	－76

为提高密封胶的耐热性，最重要的是选择硫化剂。能与聚硫橡胶反应生成硫醇盐的氧化物（如氧化锌、过氧化锌、一氧化铅等）都不宜使用；使用二氧化锰、二氧化碲、重铬酸

盐、异丙苯氢过氧化物作硫化剂则可有效地提高密封胶耐热性。改进耐热性的密封胶配方举例如表13-6-33所示。

表 13-6-33 改进耐热性的密封胶配合举例

单位：重量份

组分 \ 配方编号	1	2	3	4	组分 \ 配方编号	1	2	3	4
LP-32	100	100	100	100	二氧化硒	—	3	—	—
二氧化钛	—	50	50	—	二氧化锰	—	—	2	—
硫　黄	0.1	—	—	—	二硝基苯	—	—	0.5	—
重铬酸铵	6	—	—	—	气相白炭黑	—	—	—	20
对醌二肟	14	—	—	—	DMP-30	—	—	—	1.2
半补强炉黑	40	—	—	—	二氧化镁	—	—	—	4
硬脂酸	1	—	—	—	异丙苯氢过氧化物	—	—	—	6.5
酚醛树脂	5	—	—	—	马来酸酐	—	—	—	0.5
硬脂酸钠	—	10	—	—					

以重铬酸盐作硫化剂，聚硫密封胶的耐热性可提高到135～163℃，并能改善其对含硫醇燃料的稳定性。使用二氧化锰和二氧化硒作硫化剂的密封胶可在100℃高温下使用。

凡用过氧化物作硫化剂的密封胶，热稳定性差，密封胶受热老化后通常发硬，伸长率下降。但是用异丙苯氢过氧化物作硫化剂时，可加入氧化锌和氧化镁作中和剂，也能提高密封胶耐热性。

用有机硅与聚硫橡胶所制备的密封胶既耐热耐油又能与铝有牢固的粘接。该密封胶的组成为：液体聚硫橡胶；一个含硫的有机硅化合物；一种能改善粘接力的配合组分以及二氧化锰。这里所提的有机硅带有一个或多个烷氧基、芳氧基、酰氧基、氨基或二烯基团。硅氧烷在聚硫密封胶中的应用配方举例如表13-6-34所示。

表 13-6-34 硅烷在聚硫密封胶中的应用配方举例

组　分 \ 配方编号	1	2	3	4	5	6	7
A组分							
LP-32	100	100	100	100	100	100	100
硫 酸 钡	110	—	—	—	—	—	—
活性碳酸钙	—	25	25	45	40	40	40
二氧化钛	10	10	10	10	10	10	10
铝　粉	5	—	—	—	—	—	—
白 炭 黑	40	—	—	—	—	—	—
硬 脂 酸	1	1	1	1	1	1	1
酚醛树脂（EPOKJ 498）	10	—	—	—	—	—	—
二羟甲基对甲酚①	—	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
甲 乙 酮	—	—	—	—	—	5	5
A-172（乙烯基烷基硅氧烷）	4	—	—	—	—	—	—
A-1100（γ-氨基丙基三乙氧基硅烷）	—	2	—	—	—	—	—
甲基乙烯基二乙氧基硅烷	—	—	2	—	—	—	—
ESP2711（乙烯基甲基硅烷）	—	—	—	2	—	—	—
苯基三乙氧基硅烷	—	—	—	—	2	—	—
ESP2712（带氨基官能团硅烷）	—	—	—	—	—	4	1～4

续表

组分 \ 配方编号	1	2	3	4	5	6	7
B组分							
二氧化铅	10	10	10	10	10	2.5	—
二氧化锰	—	—	—	—	—	—	4
邻苯二甲酸二丁酯	9	9	9	9	9	6.75	—
硬脂酸	1	1	1	1	1	0.75	—
液体石蜡	—	—	—	—	—	—	8

① 二羟甲基对甲酚是结晶状。

6. 电性能

聚硫橡胶的电性能与天然橡胶差不多。LP-2及LP-32的电性能如表13-6-35所示。

表 13-6-35 聚硫橡胶的电性能

电性能 \ 聚硫橡胶	LP-2	LP-32	电性能 \ 聚硫橡胶	LP-2	LP-32
体积电阻，Ω·cm	$1\times10^{11}\sim1\times10^{13}$	$5\times10^{11}\sim7\times10^{12}$	介电常数	7～8	5.5～8
表面电阻，Ω	$1\times10^{13}\sim1\times10^{14}$	$1\times10^{13}\sim2\times10^{14}$	逸散因数	0.001～0.010	0.004～0.008

填料可明显地影响密封胶的电性能，特别是对介电常数更明显，因此可通过各种填充剂的调节以改善电性能。不同填充剂对聚硫橡胶密封胶的电性能影响如表13-6-36所示。

一般认为白色填料可获得满意的电性能。在21.1～100℃温度下，表面电阻可达到$10^{10}\sim10^{14}\Omega$，体积电阻达到$10^{10}\sim10^{12}\Omega\cdot cm$，介电常数为6～9。

以50份立德粉及15份Kenblex A树脂在LP-2中并用，用C-5硫化膏作硫化剂，可获得最佳电绝缘性。含有二氧化硒、锌钡白的密封胶（如前苏联的YT-31、YT-32、YT-34、YT-35）其表面电阻为$10^{11}\sim10^{14}\Omega$，损失正切角0.03～0.07，介电击穿为8～10。

典型电器的封装用密封胶电性能如表13-6-37所示。

7. 粘接性能

在使用密封胶过程中，密封胶与被密封的材料间的粘接性是该密封胶的一个重要物理性能指标。一般要求其剥离力为6.87～29.43kN/m，剪切应力为0.69～1.47MPa。

无论是填充还是未填充的聚硫密封胶，对各种基材（例如金属、玻璃、木材、塑料、硫化橡胶等）的粘接力都很有限，其剥离强度一般为0～0.5N/m。提高聚硫密封胶与各种基材粘接力的方法有3种：一是在密封胶中加入增粘剂；二是底胶法，即借助于胶粘剂、增粘膜、上浆料、底涂料和擦胶膏等；三是采用物理的、机械的或热作用等现代化施工和硫化方法。

（1）底胶法　在使用增粘剂仍不能达到满意效果的粘接场合，可采用在密封胶基材上涂刷底胶的方法来改善粘接力。可以单独使用底胶法，也可以既添加增粘剂，又使用底胶法。聚硫密封胶所用底胶类型如表13-6-38所示。

在金属表面涂一层2～20%的聚丁基邻苯二甲酸酯有机溶剂以及3～10%（5%）氨基硅烷溶液，粘接力可提高到2.5～3.5N/m，而且稳定性好。

表 13-6-36 不同填充剂对聚硫密封胶电性能影响①

填充剂	填充量 重量份	体积电阻 Ω·cm×10⁻⁹	表面电阻 Ω×10⁻¹¹	介电常数 (1kHz)	耗散因素 (1kHz)
	21.1℃				
二氧化钛	60	410	47	8.4	0.007
硫化锌	75	690	40	7.5	0.004
白垩	40	440	44	7.5	0.005
气相白炭黑	10	6800	71	7.2	0.005
立德粉	40	620	1600	7.0	0.004
热裂法炭黑	50	570	19	30	0.004
半补强炉黑	30	3.3	36	28	0.067
KenflexA 树脂②	15	1200	160	6.9	0.0011
	41.1℃				
二氧化钛	60	5.6	8.3	9.7	0.057
硫化锌	75	6.9	29	6.8	0.042
白垩	40	10	4.9	6.8	0.043
气相白炭黑	10	340	11	6.3	0.011
立德粉	40	25	26	6.3	0.039
热裂法炭黑	50	1.8	7.9	2.1	0.594
半补强炉黑	30	15	9.7	19	0.659
	100℃				
二氧化钛	60	0.78	1.7	9.4	0.24
硫化锌	75	1.6	28	6.5	0.15
白垩	40	1.2	4.9	6.4	0.15
气相白炭黑	10	3200	1.4	6.0	0.031
立德粉	40	5.9	11	5.9	0.099
热烈法炭黑	50	3.6	0.12	18	0.13
半补强炉黑	30	3.3	3.6	17	0.14

① 配方：LP-32 100；硬脂酸 1；C-5 硫化膏 15；填料如表。
② 同50份立德粉并用。

表 13-8-37 封装用典型密封胶电性能

电性能 \ 密封胶类型	黑色配合密封胶	白色配合密封胶
绝缘强度，MV/m	5.01	7.34
介电常数（14Hz，25℃）	95	95
功率因数（14Hz，25℃）	0.01	0.005
体积电阻（25℃），Ω·cm	1×10^{11}	1.9×10^{11}
表面电阻（25℃），Ω	—	1.2×10^{13}

使用最广的底涂胶有溶于芳烃溶剂的各种胶料，如10～25%氯丁橡胶溶液（按干胶计）、高沸点芳香烃或甲醛树脂溶液（浓度为0.2～2%）、浓度为2～5%的由不饱和环烃构成的树脂状聚合物的溶液，以及10～90%（通常为60～80%）氯化橡胶与90～10%（通常为40～70%）的低烷基甲基丙烯酸酯（烷基为C_4以上）的混合物。

以合成橡胶（例如氯化橡胶及多异氰酸酯）为基材的底涂胶是人所共知的，用于与水相接触的密封场合。在聚偏二氯乙烯上面敷聚硫橡胶密封胶时可用丙烯酸树脂作底胶，这是一种烷基（C_{1-4}）甲基丙烯酸酯的共聚物。

利用有机硅聚合物底涂胶，不仅能提高密封胶与金属的粘接强度，而且也能提高对玻璃的粘接强度。

表 13-6-38 聚硫密封胶所用底胶类型

商品名称	类 型	商品名称	类 型	商品名称	类 型
Chemlock 220	氯化橡胶	PR-1422	铬酸盐硫化的液态聚硫橡胶	Y-110	硅 烷 类
N-15	氯丁橡胶	Thixon NM-2	—	TPT	有机钛化物
Polyclad 923	乙烯树脂	Thixon P-2	—		
PR-1099	呋喃树脂	TY-Plys	氯化橡胶		

γ-巯基乙胺丙基三乙氧基硅烷的12%乙醇溶液也可作为底涂胶。

用碱金属化合物的强碱溶液（例如2%碳酸钠溶液）作底涂胶，聚硫橡胶密封胶与铝质基材及钢材粘合效果良好，在70℃水中放置1个月后，粘接层稳定。

各种底涂胶对聚硫密封胶与基材粘接效果的影响如表13-6-39所示。使用底胶对含有增粘剂密封胶对基材粘接力的影响如表13-6-40所示。

表 13-6-39 底胶对聚硫密封胶的粘接影响

单位：kN/m

底胶 \ 被粘基材	铝	钢	玻 璃	混凝土
Polyclad 933	1.58	2.63	2.28	1.75
PR-1099	2.63	2.10	2.80	2.10
PR-1422	2.63	2.63	3.15	差劣
TY-Plys 氯化橡胶	1.75	1.58	2.10	1.75
Chemlock 220	2.45	1.58	3.85	劣
N-15	2.45	2.80	3.33	劣
	7d老化及7d浸水后			
Polyelad 923	差	差	差	1.75
PR-1099	差	差	差	1.93
PR-1422	1.75	2.23	2.80	差
TY-plys	差	1.93	差	2.1
Chemlock 220	2.10	2.80	3.68	差

注：1.配方：LP-2 100；SRF 30；硬脂酸 1；C-5硫化膏 15。
2.按ASTM 903-49T，密封胶在室温下168h后测剥离力。

表 13-6-40 底胶对含有增粘剂密封胶的粘接力影响①

单位：kN/m

底胶 \ 被粘基材	老化前				老化后			
	铝	钢	玻 璃	混凝土	铝	钢	玻 璃	混凝土
乙烯基树脂 Polyclad 932	1.75	1.75	1.58	2.10	差劣	2.63	差	2.63
呋喃树脂 PR-1099	4.90	5.25	5.60	1.93	1.75	3.50	1.75	劣
聚硫橡胶PR-1422	3.50	2.10	2.80	差劣	3.33	4.90	2.98	劣
有机钛化合物TRT	5.08	5.25	5.43	差劣	3.68	4.38	1.75	劣
氯化橡胶Chemlok 2	6.48	5.78	7.00	1.93	4.75	5.25	2.63	1.75
氯丁橡胶N-15	5.95	6.30	7.00	5.08	3.85	3.85	3.50	劣

① 配方 LP-2 100；炭黑SRF 30；硬脂酸1；酚醛树脂Dukey 10694 5；C-5硫化膏 15。

表中Polyclad 932、PR-1099、TY-Plys对于砖石和大理石是良好的底胶。PR-1422及N-15则是铝、钢和玻璃的良好底胶。

前苏联曾在空气介质中，采用88-H氯丁胶粘剂作底胶，而对于在燃料油、矿物油、汽油等介质中工作的基材使用环氧聚硫胶粘剂作底胶。

使用底涂胶方法最多的是建筑用密封胶，特别是对于多孔材料（如混凝土、石棉水泥）。对光滑表面（玻璃、金属、陶瓷、塑料、木材）施用底涂胶也能提高其粘接力。涂覆密封胶的最佳工作温度是5～35℃，个别情况下也可在0℃施工。

（2）其它表面处理法　采用现代化施工法及硫化法（如高频电流、物理机械法或热硫化作用）可提高密封胶与被粘基材的粘接力，但这些方法须使用专用设备，因此多受到实际施工条件限制，难以推广。

较多采用的是对被粘基材的表面尤其是对金属表面作化学处理的方法，例如氧化法、磷化法、阳极化法等，还可以使用机械打磨法，这尤其适用于硫化胶。在对硫化胶进行粘接之前，要先用汽油去脂。

经过对填充炭黑和硫化体系的研究，认为聚硫密封胶与硫化胶的粘接性能并不取决于硫化胶的硫化体系。

聚硫密封胶与硫化胶粘接的应用实例为使用聚硫密封胶修补橡胶制品及电缆接头。

8．密封胶其它性能

为了提高密封胶的隔音性能，在密封胶中须加入直径为300μm的表面粗糙的金属粒子，这些金属有铅、锌、锡、铁、镍等。但此时密封胶的密度会超过2000kg/m³。

聚硫密封胶易受霉菌破坏，而灰尘、其它脏物以及含碳的化合物都可能是霉菌的起源，须加入防霉菌剂。

在施工中，为清除被密封件表面以及仪器设备上原来的密封胶，可采用环氧丙烷、三乙胺和96%的乙醇反应生成物的10～20%丙酮溶液。

聚硫密封胶在使用过程中可能会出现某些缺陷和损坏，其原因有二：一是密封胶生产工艺上的原因，这与密封胶的制备和施工方法有关；二是设计上的因素，与密封胶、底涂胶、基材及单个零件的结构有关。一般来说，聚硫密封胶的最佳使用条件是温度为30～40℃，时间为25 h。

（二）密封胶的工艺性能

1．密封胶粘度

通常按密封胶的施工方法确定并调整密封胶的操作性能。按施工类型可分为两种密封胶：一是涂刷施工用的，称之A级密封胶；面供刀刮用的称之B级密封胶。通常A级密封胶粘度控制在0.17～0.19Pa·s之间，面B级密封胶粘度为3.4～16.9Pa·s。

密封胶粘度是通过调整密封胶非挥发物的含量来控制的。例如对于A级密封胶，可通过加入一类与之相溶的溶剂来降低粘度，使之能进行涂刷施工，亦即达到A级粘度要求。

非挥发物含量的测定方法是取5～10g密封胶，称重精确度为0.1mg，然后将盖罩揭开放入70℃烘箱中，保持24 h，再进行称量。计算公式如下：

$$NV = \frac{W_g}{W_1} \times 100$$

式中　NV——非挥发物含量，%；

W_g——密封胶最后重量，g；

W_1——密封胶最初重量，g。

2．流动性

密封胶流动性定义为密封胶在规定时间30min内移动的距离。

这一指标对B级密封胶尤为重要，因为该类密封胶通常用于垂直或水平表面的地方，要求密封胶的塌陷性小。

3．有效活性期

密封胶的有效活性期是指在标准条件（对该类密封胶指的是25±1℃和相对湿度为50±5％）下，密封胶A、B两组分混合后，混合物立即发生反应，导致分子缩聚，粘度增高，直至达到（不能用粘度计或流变仪测定粘度的）凝胶状态。这一段时间称之谓密封胶的有效活性期。A级密封胶通过测定其粘度的增加（用Brook field粘度计测定），到2.5Pa·s时就标志其可用期结束。B级密封胶是通过测定密封胶流经3.175mm的喷嘴，压力为0.62±0.03MPa下的流量所需时间，当流量达到15g/min时，便失去使用性能。

这有效活性期也叫密封胶的可使用时间，在有效活性期过后，密封胶便不能再使用了。有效活性期随使用条件而变化。

4．消粘时间

消粘时间，也可称为失粘时间，系指超过有效活性期后密封胶的粘度随着时间的延长而继续升高，一直到表面粘性完全丧失为止，这段时间就叫消粘时间。在此时间内，密封胶已接近初期的硫化状态。

5．硫化时间

密封胶的硫化时间指的是在消粘时间之后，硫化反应继续进行，粘度继续增加，直到交联达到一定硬度为止的这段时间。

（三）密封胶的类型

1．按操作性能分类

① 干型密封胶　该类密封胶触变性大，粘度高，固体含量通常达97～100％。

② 流动型密封胶　该类密封胶比干型密封胶的触变性低，它能注入较小的空间，固体含量在93～95％。也称作自流平密封胶。

③ 喷（刷）涂型密封胶　该类密封胶可用于刷涂施工，在某种场合具有可喷涂的粘度供喷涂施工，固体含量在90％左右。

2．按密封胶包装的组分分类

聚硫密封胶通常是把密封胶的基材、硫化剂以及促进剂分别包装成多组分，在使用之前再将它们混合，这就是通常讲的多组分密封胶。随着密封胶配合技术的发展和现代施工要求，出现了单组分和单包装密封胶。单组分密封胶是将密封胶基材与特殊的硫化剂、促进剂等预先混合后装入密封的容器内，使用时把密封胶直接放到使用部位，而不需要现场混合，空气中的水分使硫化剂受到催化从而使密封胶交联，使用单组分密封胶的材料损失可降低到最低程度，操作时间和贮存期都令人满意。

单包装密封胶与多组分密封胶相同，只是把硫化体系组分经特殊处理后与密封胶的基料装在一个容器内，但各组分之间是相互分开的，使用之前在容器内经充分搅拌使各组分混合均匀后施工使用。

制备聚硫密封胶时通常是把原料称量后拌合，再在油漆用三辊机上充分混合，之后在Z型叶片或框式混合机内混合均匀即可。

（四）密封胶配合举例

1．多组分密封胶

一种聚硫密封胶可能会以四组分、三组分及双组分等形式出现。多组分密封胶实用配方举例如表13-6-41～表13-6-46所示。

表 13-6-41　四组分密封胶配方举例

单位：重量份

甲组分	聚硫橡胶TL-1201	77	乙组分	环氧树脂E-44	4	丁组分	二苯胍	60
	炭黑	23	丙组分	DBP	76		多乙烯多胺	15
	热塑性酚醛树脂	4		二氧化锰	100		六亚甲基四胺	25

甲∶乙∶丙∶丁＝104∶4∶8～12∶0.4～2.5

硫化条件　室温×168～336h或70℃×24h

性　　能　剪切强度（铝合金）≥1.96MPa，剥离强度4.91kN/m，耐油性极好，使用温度－50～130℃

用　　途　用于螺接，全部接和其它结构的缝内或表面密封

表 13-6-42　三组分密封胶配方举例

单位：重量份

甲组分	液体聚硫橡胶	100	氧化锌		5	邻苯二甲酸二丁酯		4
	二氧化钛	30	硫　黄		0.5	环氧树脂E-44		8
	二氧化硅	20	乙组分	活性二氧化锰	6	丙组分	二苯胍	0.3

甲∶乙∶丙＝100∶11.6∶0.3

工艺性能　在20～25℃环境温度下，有效活性期为2～6个月，具有施工方便、硫化时间短的特点

机械性能　相对密度1.41，硬度（邵尔A）65，拉伸强度5.48MPa，使用温度－45～100℃，可长期使用，在130℃下短期使用

用　　途　可用于承受压力较高的密封

表 13-6-43　双组分挤压枪施工黑色密封胶

单位：重量份

甲组分	液体聚硫橡胶LP-32	100	碳酸钙	25	二氧化钛	10	二氧化硅	2		硬脂酸	1	邻苯二甲酸二丁酯	6.75
	邻苯二甲酸二丁酯	35	无水硅酸铝	30	酚醛树脂	5	硫　黄	0.1	乙组分	二氧化铅	7.5	硬脂酸	0.75

甲∶乙＝100∶7.5

表 13-6-44　双组分建筑用密封胶

单位：重量份

		低模量密封胶	高模量密封胶			低模量密封胶	高模量密封胶
甲组分	聚硫橡胶	35～45	45～60		抗氧剂	0.5～2	
	增塑剂	5～20	10～20	乙组分	二氧化铅	2～5	2～5
	填　料	15～40	20～50		增塑剂	2～5	2～5
	着色剂	3～10	3～10		填　料	1～2	1～2
	增粘剂	1～5	1～5		硫化调节剂	0.1～0.3	

表 13-8-45 双组分汽车挡风玻璃安装密封胶

单位：重量份

甲组分	液体聚硫橡胶	100	邻苯二甲酸二辛酯	7	乙组分	二氧化铅	35	碳酸钙 20
	炭黑	30	甲苯	3		苯基丁基邻苯二甲酸盐	45	

甲:乙 = 100:10

性能 20℃×48h后玻璃与钢粘接力（抗剪切力）为14.7MPa

表 13-6-46 双组分耐火焰延迟性密封胶

单位：重量份

甲组分	聚硫橡胶LP-32	100		碳酸钙	36	苄基邻苯酸酯	17	三氧化二铁	8
	氢氧化铝	30		苄基邻苯酸酯	18	炭黑	6		
	四硼酸钠水合物	70	乙组分	二氧化铅	7.5	硬脂酸	0.75		

性能 室温硫化，高温下具有良好粘接力，具有良好的耐火焰性能的弹性密封胶

多组分密封胶中，使用最多的是双组分密封胶，而三组分和四组分很少使用。

双组分密封胶在16～24 h 内硫化到其最大强力、粘接力和弹性的80～90%。

2．单组分密封胶

（1）聚硫橡胶 单组分密封胶使用的聚硫橡胶与双组分密封胶完全相同，都是液态聚硫橡胶密封胶，聚合物的含量通常在50～55%。

（2）硫化剂 与多组分密封胶不同，单组分密封胶采用潜伏性硫化剂，在湿气的催化作用下，引发聚硫橡胶链扩展和交联反应。金属或碱土金属的氧化物或过氧化物（例如氧化钙、过氧化钙、过氧化钡、过氧化锌、过氧化锶和过氧化钠等），用量为 3～30份。除此之外，还可使用无水重铬酸钠，使用量为40份（聚硫橡胶为100份）。通常将硫化剂制作成填充白垩（70份）的二甲基甲酰胺（60份）膏体。这种膏体在50℃时，10天内是稳定的，在40℃和70%相对湿度条件下，涂覆的密封胶经 1 h 表面消粘，3 天后硫化深度达到 9 mm。在23℃和50%的相对湿度下，3 天成膜，在10天内硫化胶达到与上述相同的硫化深度。如果接头很宽、很深的话，硫化时间较长。能与水混合的化合物（如乙醇、甲醇、乙二醇等）均可以代替二甲基甲酰胺使用。也可使用碱土金属的原铅酸盐，如 Ca_2PbO_4，用量为 15～20份。

多组分密封胶中常用的硫化剂如二氧化锰、高锰酸钾等，也可作为单组分密封胶硫化剂，可用氯化石蜡和分子筛组配包装。

（3）促进剂 单组分密封胶使用的吸湿性促进剂有氧化物、过氧化物或者碱土金属和碱金属过氧化物、弱酸盐，这些促进剂均可单独使用。硫化剂和促进剂可能是相同的化合物（如碱金属或碱土金属的氧化物），也可能是不相同的化合物。

含有促进剂和硫化剂的密封胶在20℃、空气相对湿度50～70%的条件下密封贮存时具有较长时间（3～6个月或更长时间）的稳定性。密封胶涂覆后，3～4天内消粘，在2～4周内充分硫化。

当水与氢氧化钠结合使用时，对聚硫密封胶的硫化有很大的促进效果。当介质的 pH 值达到10时，LP-31聚硫橡胶的密封胶在 2 小时内即可硫化。这种配合的密封胶贮存活性

期长。

硫黄等多组分密封胶使用的促进剂在单组分密封胶中都可使用。

（4）稳定剂　为了提高密封胶的包装贮存稳定性（装在铝管内密封贮存 6 个月），必须除去密封胶各组分所含的游离水，并保持干燥，在制备和包装过程中必须完全排除湿气。为保持密封胶贮存期间的干燥，常加入分子筛之类的潮湿气体清除剂。

密封胶中加入含氨沸石（用量为 0.5～50%）后，使用过氧化锌及其混合物作硫化剂，硫黄作促进剂，密封胶在密闭的容器中70℃下可贮存82天。

氢醌、对苯醌、甲氧基苯酮可作为单组分密封胶的稳定剂，用量为 0.5 份。在氧化钙和过氧化钙作硫化剂、上述化合物作稳定剂的密封胶中，加入 3 滴水搅拌混合 3～5 min，在20℃下硫化 24h。聚硫橡胶 LP-32、10份过氧化钙和 1 份氧化钙（或一氧化锰）及含有上述稳定剂的密封胶可在49℃下贮存90天；与湿空气接触后，在24℃下经 4 天即可完全硫化。

（5）填充剂　单组分密封胶可采用多组分密封胶所使用的填料，常用的有碳酸钙、二氧化钛、陶土以及其它颜料。使用时须精心选择，在配制密封胶时必须充分干燥，除去游离水。

（6）其它组分　为改善挤出性，通常须加入4～6%的芳香溶剂，例如甲苯。

单组分密封胶的各种组分在混炼之前须干燥，除去水分。各组分在搅拌机（或辊）或研磨机中，在惰性气体保护下，于20～60℃下搅拌混合。

随着新型高效硫化剂和促进剂的应用，以及制备技术的进步，已有不同性能及用途的单组分聚硫密封胶供应市场。单组分密封胶的配方举例如表13-6-47所示。

表 13-6-47　单组分密封胶配方举例　　单位：重量份

组　分		组　分		组　分	
例1 建筑用密封胶					
液体聚硫橡胶	30～40	着色剂	3～10	过氧化钙	5～10
增塑剂	15～25	增粘剂	0.5～2	氧化铅	2～5
填　料	15～25	抗氧剂	2～3		
例2 挤出型白色密封胶					
LP-32聚硫橡胶	50	二氧化钛	22	三氯化联苯	2
环氧大豆油	4	氢氧化钙	2	γ-氨基丙基三乙氧基甲基硅烷	1
气相白炭黑	2	合成沸石	2	甲苯	4～6
表面处理碳酸钙	5	过氧化钙	4		
例3					
LP-32聚硫橡胶	30	过氧化钙	2.0	一氧化铅	1.0
对苯二甲酸苯基丁基酯	15	膨润土	1.5		
一氧化钡	0.5	碳酸钙(粒子直径10～20μm)	50		
例4					
LP-32液体聚硫橡胶	100	碳酸钙	6	甲基三乙酰氧基硅烷	2.5
过氧化镉	10	二氧化钛	5		
炭黑	15	五氯联苯	25		

性能　密封胶在20℃，相对湿度60%环境中存放 6 个月后取出，暴露空气中40min消粘，5h后硫化成弹性体，硬度（邵尔A）52，100%定伸应力0.83MPa，200%定伸应力1.82MPa，拉伸强度2.78MPa，伸长率510%

3．单包装微型胶囊化密封胶

在聚硫密封胶生产中，采用微型胶囊化技术，增大了以单组分密封胶供应市场需要的可能性。这种密封胶使用简便，操作时工作量小，节省劳动力。

（1）制造原理　胶囊化工艺系将单个的固体和液体组分的颗粒外包上一层很薄的壳体。其原理是将具有化学活性的物质隔离开来，使其暂时变成没有活性的物质，延长微型胶囊化硫化剂和促进剂的活性期。

微型胶囊化工艺的主要步骤是按1∶1的比例将金属氧化物（P_bO_2、MnO_2）与软化剂混合成膏体，然后用胶壳把膏体包覆起来，膏体对胶壳之比例为12∶1，微型胶囊尺寸为800nm，它在机械混合作用下破碎。硫化促进剂如水、有机胺和其它活性碱也可以利用微型胶囊化技术。这些促进剂采用熔点85℃的石蜡作囊壳，囊壳直径为2000～3000 μm，使用时只要对囊壳施加0.411～22N的力即可使其破碎，并随之发生硫化反应。

（2）生产方法　把金属过氧化物制成尺寸为1mm的颗粒，然后，将金属过氧化物颗粒浸入胶体水溶液中，当改变溶液的pH值或者添加盐后，胶体粒子便沉淀在金属过氧化物颗粒的表面，得到一层含有液体聚硫橡胶的水溶性高分子膜。也可将密封胶分散于电介质水溶液中，加入成膜剂（胶凝剂）——明胶体、乙基纤维等，将密封胶包覆起来，得到直径2～2000 μm的微型胶囊。经过滤得到松散的微型胶囊或者由粘结膜构成的具有一定形状的块状物。使用这种微型胶囊时人体同生理活性物质的接触时间很短，各组分无需计量和混合，因为胶囊型密封胶是一种似均产品。

（3）多组分密封胶胶囊　二种聚合物的多组分密封胶也可采用胶囊的形式。其中，一个胶囊中含有主体聚合物和用子辅助聚合物的硫化剂，另一个胶囊中含有辅助聚合物和用于主体聚合物的硫化剂。两种胶囊混合时，只要稍微加点力，胶囊就会破碎。

这种方法不仅适用于聚硫密封胶，还适合于硅橡胶密封胶。

微型胶囊化聚硫密封胶（粒子平均直径50nm）可用于飞机铆接密封。

（4）载体硫化剂　聚硫密封胶也可以使用载体硫化剂，即将硫化剂（PbO_2、MnO_2、CaO等）载于细分散的惰性二氧化钛、三氧化二铁、氢氧化锰和氢氧化铝、硅酸铝、高岭土上。这种形式的硫化剂可以提高硫化剂的活性。

（5）包覆硫化剂　包覆硫化剂是用无水的脂肪酸、石蜡、高结晶石蜡烃将硫化剂包覆起来。包覆硫化剂在室温下为固态，加热到囊壳物质的熔点时，囊壳即可熔化。Pb、Zn、PbO_2的酰胺化合物都可作包覆硫化剂。

4．液体密封胶

使用液体聚硫橡胶可以配制成不干性粘着型液体密封胶，用于各类机械法兰接头的无间隙密封。其配方举例如表13-6-48所示。

表 13-6-48　不干性粘着型液态密封垫料

组分 \ 配方编号	1	2	组分 \ 配方编号	1	2
国产液体聚硫橡胶	600	—	石棉粉	240	10
液体聚硫橡胶LP-3	—	50	炭黑	64	5.4
酚醛树脂2127	—	10.2	滑石粉	324	26.6
醇溶性酚醛树脂	121	—	香料	—	适量

表中1号配方密封胶耐汽油、柴油、矿物油，稳定性好，并能耐丙烷、丁烷、液化石油气、煤气及水的作用。可用于涡轮泵体连接处、机床齿轮、油箱密封。2号配方耐老化、耐

油、耐水。

第七节　硫醚橡胶密封胶

一、概　　述

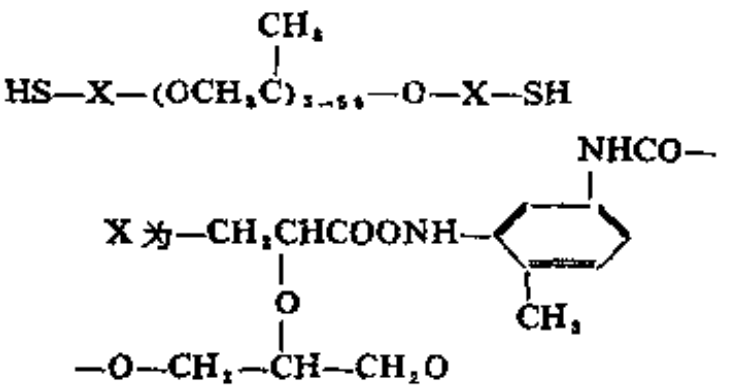
在弹性密封胶和胶粘剂中，还可使用以巯基封端的主链不含硫的聚合物（齐聚物）。所谓的聚氧化硅撑聚酯多元醇、聚硫醇化合物、硫代聚醚、多烯硫代化合物等均系这类化合物，它们和液态聚硫橡胶一样，也可采用“室温硫化”形成弹性体，使用这类化合物可以配制成单组分、双组分等弹性密封胶，在建筑、电器等部门广泛使用。

（一）聚合物类型

由于所采用的原料、合成技术路线等不同，这类聚合物具有不同的化学组成和化学结构，但其共同特点是都以巯基封端，可以室温硫化。

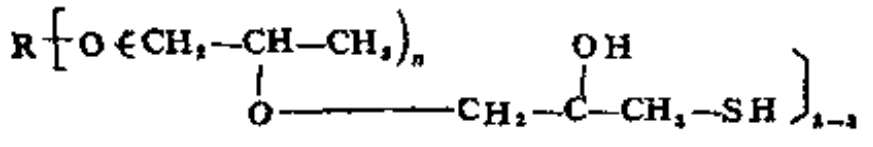
含硫量高的ZL-560聚合物的基本结构类似于标准的LP系列液态聚硫橡胶的结构。含有巯端基和硫含量低的聚醚ZL-616氨基甲酸酯聚合物结构为：

式中

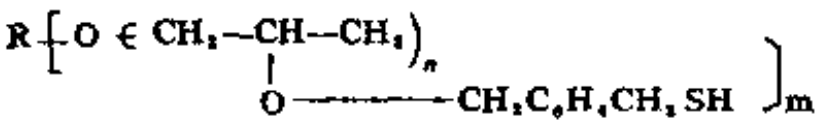


各种类型的多硫醇化合物还包括：$(HSR'CO\ OH_2)_4C$；$(HSR'CO\ OH_2)_3C\ CH_2O\ CH_2C(CH_2O\ CO\ R'SH)_3$；$HSR'CO\ O\ CH\ (CH_2O\ CO\ R'SH)_2$；$(HSR'CO\ O\ CH_2)_3\ C\ CH_2O\ CH_2\ C(CH_2OCO—R'SH)_2$；$CH_2OCH_2C(CH_2OCOCR'SH)_3$；$R'C(CH_2OCORSH)_3$；$ClCH_2OOCR'—SH$；$HSRCOOCH(CH_2OOCRSH)_2$等。式中R为$C_{1-2}$的烷基；R′为$C_{1-2}$的链烯烃或亚苯基。

获得实际应用的典型多硫醇聚合物是比利时菲利浦石油公司生产的聚烯多硫醇或牌号为PM的硫醚橡胶、美国Diamond Alkali公司开发的牌号为DPM的硫醚橡胶及Producty Research & Chemical 公司开发的牌号为 polymer P的硫醚橡胶。DMP与Polymer P 的分子结构十分相似，其分子结构为：



DMP的分子结构



Polymer P 的分子结构

式中　$m=2\sim3$；　$n=15\sim35$；　R为烷基。

（二）硫醚橡胶结构与性能

硫醚橡胶系指巯端基聚丙醚弹性体，最早由美国 Diamond Alkali 公司研制开发，它的性能介于聚硫橡胶和聚氨酯之间，既具有前者巯基团的硫化交联能力，又具有后者的流变性。与普通的聚硫橡胶不同，硫醚橡胶分子主链的重复链节中不含有硫或二硫键。其分子主链结构类似于聚氨酯，由一般类型多元醇衍生出来的聚氧烯烃的链段构成，分子末端是一个含有

仲羟基的三碳原子醚键基团。在这个基团上，与羟基紧紧相邻的碳原子上连接着一个巯末端基团。

α-羟基团活化了巯基团，提高了分子的交联反应能力，从而克服了硫化缓慢性，并且不会引起焦烧或结皮。

在硫醚橡胶中，聚氧烯烃分子主链仅含有碳-碳和碳-氧键。而从统计学角度看，硫化后生成的硫-硫键只处于局部彼此不相关的位置上。

硫醚橡胶在弹性密封胶中广泛应用，分子链中的氧有助于提高密封胶低温柔软性及弹性，硫可提高耐天候性。这种材料具有良好的耐碱性及耐弱酸性，但强酸可破坏其醚键。该聚合物可配制成单组分和双组分密封胶，用于汽车挡风玻璃安装，中空玻璃密封等。在0～149℃的温度范围内，密封胶的硬度几乎没有什么变化，从而避免了在天候条件下的后硫化。另外，这种密封胶还具有较低的压缩变形。

二、密封胶的组分

（一）硫醚橡胶

硫醚橡胶有许多类型，常用者为通用型和高官能度型，前者为高分子量弹性体，后者为低分子量的高官能度聚合物。前者通过氧化方法硫化成密封胶和嵌缝胶，后者可同环氧树脂反应制备胶粘剂和电子器件封装胶。

1．高官能度聚合物

高官能度聚合物的分子量为1000，官能度为3～6，主要用于胶粘剂以及要求高官能度或交联性能的其它场合。

高官能度硫醚橡胶既可以使用环氧树脂硫化，也可以使用环氧树脂同催化剂进行硫化，两种硫化体系所得的交联聚合物性能有明显的不同。常用催化剂有胺及聚酰胺等。在硫醚聚合物中有胺或聚酰胺存在时，凝胶时间急剧缩短。含有适量胺硫化剂的DPM5-1300，其室温或低温的薄膜硫化时间明显降低。

高官能度硫醚聚合物也可作为环氧树脂的增韧剂，用量很高时，有明显效果，用胺催化剂DMP-30可以硫化环氧树脂（Epon815），硬度为99（邵尔A）。为了降低硬度，须加入硫醚橡胶（DPM5-1300）100份以上，DPM5-1300用量达到1500份时，其产品硬度为68。然而当硫醚聚合物用量为40～60份时，对环氧树脂的韧性明显增加。

最有用的DPM5-1300胺硫化胶中硫醚与环氧树脂（Araldite 6004）的比例约为40～60：100。这种配合的胶料凝胶最快，硬度不变，伸长增加，对拉伸强度、水浸渍性和热变形温度无明显影响。

当环氧树脂同聚酰胺（例如Pentamide 825）配合时也可以添加高官能度的硫醚橡胶。其主要作用是缩短凝胶时间，但其它性能与单独用聚酰胺硫化的环氧树脂的性能基本相同。

在DPM5-1300和环氧树脂（Araldile 6004）的配方中还可使用酸酐作硫化体系，表13-7-1为其试验结果。从表中可以看出，硫醚聚合物的含量越高，定伸应力和伸长率增加越明显，耐水性也越好，只有热变形温度稍微降低。

2．通用硫醚橡胶

通用硫醚橡胶分子量在5000～6000范围之内，官能度大约为2.2～2.3，主要用于制造密封胶和嵌缝胶。适合密封胶使用的唯一牌号为DPM-1002，其物理性能如表13-7-2所示。该聚合物最显著的物理性能是：粘度较低（室温下大约为5Pa·s），易加工，而且在含有大量

表 13-7-1 酸酐硫化胶料的性能①

性能 \ 配方编号	1	2	3
DPM5-1300用量，重量份	0	10	40
热变形温度，℃	97	—	71
吸水重量，% 4h	29	1.7	1.3
24h	3.7	1.7	2.5
拉伸强度，MPa	44.37	46.61	75.62
伸长率，%	2.3	2.8	5.7

① 配方 环氧树脂 Araldite 6004 100；RD-1 1；HHPA 80；DMP 1。

氧等的反应，并通过氧化而交联成二硫化物。见表13-7-4。

填充剂时仍可加工；含水量低，可避免密封胶的使用期缩短；浅色、透明、相对密度小，有利于降低价格。

3．PM聚合物

PM聚合物是巯端基液体聚合物，可用作高性能弹性密封胶的主体材料。它是一种亮黄色的浆状液体。该聚合物的典型性能如表13-7-3所示。

PM聚合物也称作聚硫树脂，可进行通常的巯基官能团交联反应，包括同异氰酸酯、环在建筑物中使用的以PM为基材的密封胶性能

表 13-7-2 DPM-1002的物理性能

性能	指标	性能	指标	性能	指标
聚合物 粘度（Brookfield 6号测杆，25℃），Pa·s	4.89	化体系）		撕裂强度，kN/m	13.65
pH值（MeOH的水溶液）	8.40	颜色	浅黄	伸长率，%	427
SH当量，meq/g	0.384	透明度	透明	硬度（邵尔A）	41
硬度（邵尔A）（Cr硫	17	含水量，%	0.05	总挥发物（121℃，24h），%	1.0
		相对密度	1.03		
		密封胶①性能拉伸强度，MPa	2.50		

① 配方 橡胶200；硬脂酸涂覆碳酸钙200；二氧化铅硫化剂15。

表 13-7-3 PM聚合物的典型性质

性能	指标
物理状态	液体
粘度（25℃），Pa·s	0.07
巯基的硫含量，重量%	0.85
相对密度（25℃）	1.02
pH值（水抽出物）	7.0

表 13-7-4 以PM为基材的密封胶性能

性能	密封胶中PM的含量，%		
	30	50	53
拉伸强度，MPa	0.7～1.05	1.22～1.57	1.19～1.4
扯断伸长率，%	400～500	600～700	600～700
硬度（邵尔A）	24～25	45～55	20～30
50%定伸应力，MPa	0.28～0.38	0.52～0.6	0.24～0.31

（二）硫化体系

1．硫化剂

（1）常用硫化剂 硫醚橡胶可以使用液体聚硫橡胶所用的硫化剂，例如金属过氧化物、阴离子型氧化剂、有机氧化还原体系、有机过氧化物、氧离子氧化剂等。硫醚橡胶能室温硫化，所用硫化剂大多是过氧化铅。

单组分密封胶的硫化体系通常由大气中的水或氧引发硫化剂活化。例如，在胶料中加入碱性酸酐（例如氧化钠），空气中的湿气可使它生成氢氧化钠，氢氧化钠自由基或单纯的阴离子机理引发生成硫醇离子并引起硫化。

（2）其它硫化剂 除了上述常用硫化剂外，下面的一些化合物也适合这些巯端基聚合物硫化：$C_{6\sim22}$的一元羧酸盐（Co、Fe、Ni）及其混合物；Co、Ca、K、Na、Fe、Mn的一元

羧酸盐或它们与CaO的混合物；Co、Fe、Mn 一元羧酸盐或它们与若干摩尔 Pb 或Mn的混合物。对于单组分密封胶，酸的用量为0.1～5%，贮存期为 6 个月以上。2-乙基乙酸钴是这种硫化剂的代表。

a．羰基盐类　羰基铁〔$Fe(CO)_5$、$Fe(CO)_9$、$Fe_3(CO)_{12}$〕用量为 0.1～6份（按100重量份的巯基有机化合物计）与均质子酸（用量0.1～6份）共同使用。这种硫化体系硫化迅速。在空气中25s后密封胶开始凝胶，60s后有0.1mm厚的表面层消粘。0.5mm 厚的该密封胶在25℃经24 h 即可达到充分硫化。

羰基Fe、Ni、Mn〔$Fe(Co)_5$、$Fe(Co)_9$、$Fe_3(Co)_{12}$、$Ni(Co)_4$、$Mn(Co)_{10}$〕等也是单组分密封胶硫化剂。

b．碲、硒有机物　碲和硒的有机化合物可提高密封胶热稳定性，其通式为：

$$〔R(R')NC(S)S〕_4Me$$

式中　Me为Se、Te；R、R′为H、$C_{1\sim12}$的烷基式环烷基。

c．2,2-亚甲基-双（4-甲基-6-叔丁基苯酚）类　以2,2-亚甲基-双（4-甲基-6-叔丁基苯酚）与Fe_2O_3、Pb_2O_6和水配制的混合物可作聚硫基丙醇的硫化剂，得到不粘性密封胶。

d．有机过氧化物类　对于含有三甲基硅氧基的巯基有机聚硅氧烷和含有二甲基、三甲基、氧化二甲基和甲基-γ-巯基丙基硅氧烷环以及含有少量—SH 基的巯基有机聚硅氧烷，可采用50%的2,4-二氯苯酰过氧化物、叔丁基过氧化物、叔丁基过苯甲酸酯或叔丁基过辛酸酯作硫化剂，用量为0.5～6份。同时，还要加入0.05～1份的含氮化合物（*N*,*N*-四甲基胍、吡啶、环乙胺或三乙胺）协同作用。Fe、Mn、Co、Cu 的无机盐可作硫化促进剂，用量为0.1～10份。

2．硫化促进剂

以过氧化铅作为主硫化剂的硫化体系中，硫黄可促进硫化。硫黄的功能也许是通过生成硫化氢而分解—S—Pb—S—键。在没有铅催化剂的情况下，使用硫黄也能使硫醚橡胶交联，同时生成硫化氢。

PM聚合物使用的硫化体系如表13-7-5所示。

表 13-7-5　PM聚合物的硫化体系

硫化剂 \ 促进剂	无促进剂	硫	水	氨 DMP-30	硫化剂 \ 促进剂	无促进剂	硫	水	氨 DMP-30
金属氧化物					有机过氧化物（过氧化异丙苯）				○
PbO_2	○	○	○	○	碱金属过氧化物（NaOH）	○	○		
MnO_2		○			碱金属重铬酸盐（$Na_2Cr_2O_7$）			○	
CaO_2		○			二异氰酸酯				○

从表13-7-5中可见，PM聚合物所用的硫化剂和促进剂与液体聚硫橡胶相同，因此该聚合物可用于聚硫密封胶配方中。

3．硫化延缓剂

使用二氧化铅硫化体系时，硬脂酸可起硫化延缓剂作用。随着硬脂酸用量增加，密封胶的使用活性寿命和硫化时间明显增加。当硬脂酸用量超过2%时，这种趋势特别显著。弱酸延缓硫化而强酸阻止或干扰硫化，酸性填充剂起延缓剂的作用。

（三）其它组分

1．填充剂

表 13-7-6 图13-7-1和图13-7-2中胶料配方

组　　分	用量，重量份
硫醚橡胶 (DPM-1002)	100
碳酸钙 (Multitex MM)	110
硫化剂①	15

① 硫化剂配方 PbO，50，DOP 45，硬脂酸 5。

为配合高强度、高弹性的密封胶和嵌缝胶，必须配入惰性无机填料。大多数填充剂也适合于硫醚橡胶。因为酸性介质对硫化速度起延缓作用，碱性填料可改进远期特性，因此中性和碱性填充剂优于酸性填充剂。填充剂的类型和颗粒大小对密封胶的最终性能有明显的影响。通常，细粒子的填充剂可使密封胶具有更高的拉伸强度、撕裂强度和伸长率，并使其具有稍软的硫化弹性体性能。表面经涂覆处理的某些填充剂会影响密封胶的使用寿命、粘度、老化性能和贮存稳定性。通过对填充剂精心选择，也能调整密封胶的流动性及流变性。

填充剂对密封胶的性能影响如图13-7-1和图13-7-2所示。图中，密封胶的配方都是在100份DPM-1002中加入7.5份过氧化铅，如表13-7-6所示。

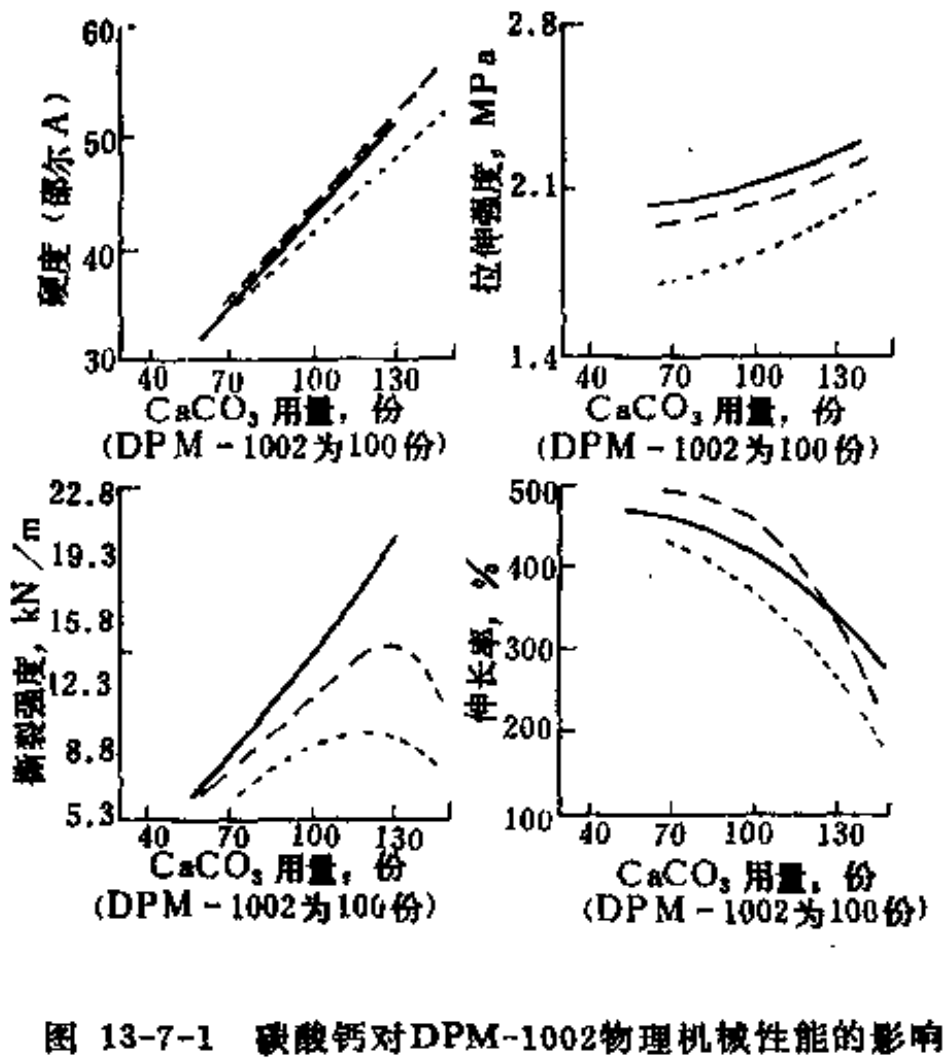


图 13-7-1 碳酸钙对DPM-1002物理机械性能的影响

碳酸钙牌号：——Super-Multif ex，----Multif ex-MM，……DACOTE

（1）碳酸钙 不同牌号碳酸钙（其填充量在40～145份的范围内）的作用如图13-7-1所示。在这三种碳酸钙中，随着填充量的增加，胶料的硬度、拉伸强度和撕裂强度增加，伸长率降低。

三种碳酸钙之间的差别是由其颗粒大小的不同所引起 Super-Multifex的颗粒最小，Multifex MM次之。因此，必须合理选择所使用的碳酸钙牌号。

（2）二氧化钛 二氧化钛主要作为控制颜色的颜料使用，用量一般很少。两种牌号的二氧化钛的用量对使用碳酸钙Multifex MM增容的DPM-1002 的物理性能影响如图13-7-3所

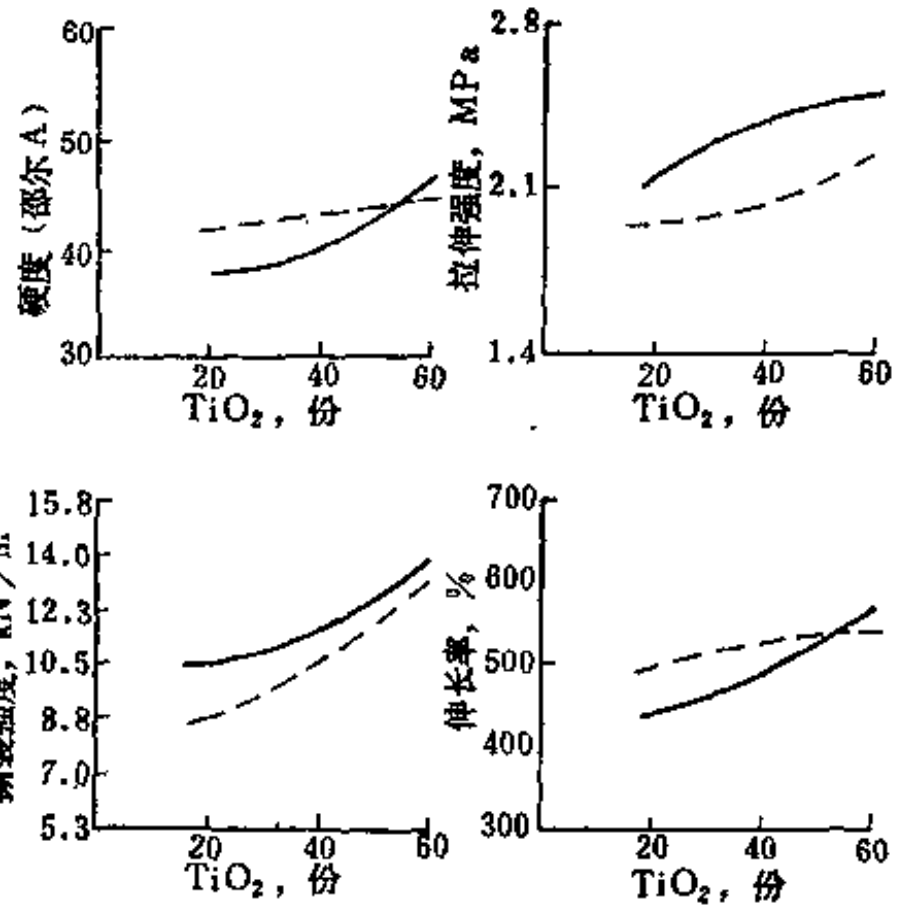


图 13-7-2 二氧化钛对含有碳酸钙DPM-1002胶料物理性能的影响

（胶料中碳酸钙Multifex-MM用量为70份）

二氧化钛类型：——RA-50；----RA-NC

示。二氧化钛的用量对硬度和拉伸强度的影响很小，而对撕裂强度有明显改进，伸长率的增加适中，使用期稍有延长。

（3）炭黑 炭黑对硫醚弹性体的补强作用优于其它填充剂。影响胶料物理性能的因素主要有炭黑的pH值、表面积、聚集结构或聚集程度等。

填充炭黑的密封胶硫化硬度与填充碳酸钙者相近，但填充炭黑的密封胶拉伸强度、撕裂强度和伸长率较高。两种不同炭黑的高填充量的典型结果列于表13-7-7中。从表中可以看出，橡胶物理性能对炭黑填充量的微小变化很敏感。

表 13-7-7 炭黑填充硫醚胶的性能 （100份DPM-1002）

炭黑品种及用量 / 性能	Vanderbilt FT			Cabot FT	
	100份	110份	120份	120份	130份
适用期，min	50	80	80	20	20
室温下硬度（邵尔A）	47	48	50	45	46
拉伸强度，MPa	3.02	3.08	3.73	3.55	3.65
撕裂强度，kN/m	14.70	20.13	22.23	30.63	30.28
伸长率，%	448	422	359	542	491
目测流动性	自 流	自 流	轻微流动	不流动	不流动

炭黑的缺点是：①无法在浅色胶料中使用；②某些炭黑会延长胶料的使用期，须加入补偿性的促进剂，例如加入秋兰姆促进剂，其浓度可在0.2%；③某些炭黑会引起未硫化的DPM-1002胶料结皮，必须加入稳定剂。当要求快速硫化时，这个稳定添加剂能延长胶料的贮存期。

炭黑可以同碳酸钙及其它填料并用，这种配合仍能很好地保持原来的硬度值。下面的一

个配合举例能在7h内达到最大的硬度值：

组　　分	用量，份	组　　分	用量，份
硫醚橡胶（DPM-1002）	100	硫化剂 PbO_2	适量
碳酸钙（Multifex MM）	115	促进剂秋兰姆（Methyl Tuads）	适量
炭　黑	4		

上述配合中铅用量为7份。在室温下14天后再经70℃×3d，其硬度不变。

2．流动性能控制剂

细粒子二氧化硅，例如气相白炭黑(Cab-O-Sil) 或沉淀白炭黑（Hi-Sil）都可作为硫醚橡胶密封胶的流动性控制剂。此外，为了达到特殊的流变性能，还可用有机膨润土（例如Bentone）这种类型的触变剂而不是通常的填料。

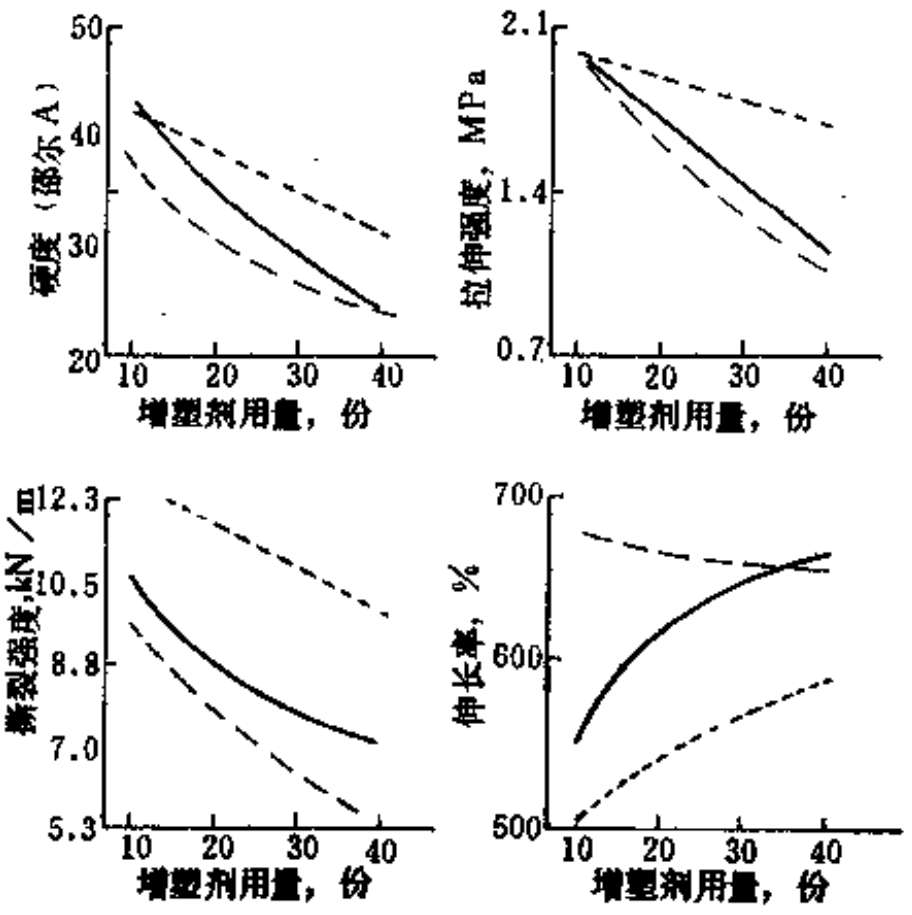


图 13-7-3　增塑剂对含有碳酸钙DPM-1002胶料物理机械性能的影响

（胶料中碳酸钙Multifex-MM填充量为110份）
增塑剂类型：——DOP；---DBP；……Aroclor-1254

3．增塑剂

以DPM-1002为代表的硫醚类聚合物同酯类、氯化Polyphenyl、氯化石蜡以及聚合物类型的增塑剂相溶性极好，同时它们还同高填充量的煤焦油及相关化合物相溶。硫醚橡胶可溶解在除水以外的大多数溶剂中，图13-7-3表示在DPM-1002的胶料中，3种不同的增塑剂的含量对密封胶性能的影响。该胶料中含有110份碳酸钙Multifex MM。增塑剂的影响是：硬度、拉伸强度和撕裂强度下降而伸长率提高。Arcoclor增塑剂（Monsanto公司牌号）与邻苯二甲酸二辛酯或邻苯二甲酸二丁酯对物理性能均有影响，无论在什么情况下，前者比后面两个要小得多。

硫醚橡胶与煤焦油及其同类物相溶性十分好，很适合在大型建筑中使用。在伸缩缝用的密封胶中，煤焦油用量低于120份时，密封胶太硬；煤焦油用量可达150～200份，最高为250份。对于这个体系，填充剂的含量不大可能超过30～50份。

掺合有煤焦油的硫醚橡胶最好的室温硫化体系是二氧化铅与硫黄，它优于重铬酸铵与水的体系，这是因为：①当使用煤焦油作为氧化剂的分散介质时，重铬酸铵/煤焦油膏的粘度增加要比二氧化铅/煤焦油膏的粘度大得多；②在配方相同时，重铬酸铵会获得一个硫化程度很高而伸长率低的、非常紧密的硫化胶，这也许是不理想的。

掺合有煤焦油的两个典型的硫醚聚合物配方举例如表13-7-8所示。二个配方中各含有150份煤焦油。在第二配方中，炭黑的含量比第一个配方低33%，而碳酸钙的填充量则比其高10倍。而实际上硫化弹性体的性能不同之处仅在于第二个配方稍稍软一些、拉伸强度更高一些。因此，在不致使硫化弹性体的性能发生显著变化时，填充剂的填充量可在一定范围内变化。

表 13-7-8 掺有煤焦油的胶料性能

煤焦油		炭黑	碳酸钙	物理性能				
CP-524	CP-422	SAF	Multifex MM	硬度 邵尔A	圆柱状针入度 mm	回弹性 %	拉伸强度 MPa	伸长率 %
150	—	15	3	13	4.1	84	0.36	280
125	25	10	30	10	3.7	85	0.54	295

配方 DPM-1002 100；PbO_2二氧化铅 15；硫黄 0.45。

三、密封胶配合举例

以巯基为端基的聚合物开发较晚，有的还没有工业化，而且品种多，性能各异。以硫醚橡胶DMP聚合物为基材的密封胶配方如表13-7-9所示。

表 13-7-9 以DPM硫醚橡胶为基材的密封胶配方举例

组分	用量,份	组分	用量，份
例1 双组分密封胶		例2 单组分密封胶	
甲组分		硫醚橡胶 (Dion DPM-1002)	42
硫醚橡胶 (Dion DPM-1002)	100.00	氧化石蜡	4.3
邻苯二甲酸二辛酯	35.00	邻苯二甲酸二辛酯	6.3
硬脂酸 (Emer Sol 132)	1.80	巯基丙基三甲氧基硅烷(Silane Y 4523)	0.3
三羟基硬脂酸精触变剂 (Thixcin E)	15.00	三羟基硬脂酸精触变剂 (Thixcin R)	3.6
碳酸钙 (Super Multif ex)	110.00	二氧化钛 (DR-60)	6.3
二氧化钛 (金红石型 Titanox RA-NC)	10.00	碳酸钙	32
炭黑 (Thermax MT)	1.00	分子筛 (4A型)	4.2
乙组分 (硫化剂)		过氧化钙	4.2
过氧化铅 (中级处理)	7.50	氧化钡	0.6
邻苯二甲酸二辛酯	6.75		
硬脂酸 (Emer Sol 132)	0.75		

一步配制法（恒定低湿度条件）是将DPM-1002 增塑剂和触变剂混合，用一高速剪切混合机混合，使温度达到54～60℃。将硅烷加入并用低速混合机混合。加入剩余组分并用一低速混合器调和整个混合物。在一个密封的三辊研磨机上研磨至 Hcgman 值达到 6 或低于 6 。装入不透气的容器即可。

以PM聚合物为基材的单组分密封胶配合举例如表13-7-10所示。

表13-7-10配方按美国联邦技术条件TT-S-00230C A级试验结果如表13-7-11 所示。

表13-7-10中的单组分密封胶使用具有氧化活性的硫化体系。这种硫化体 系 是由两种成分的化合物组成。第一个成分是一个取代的二硫代氨基甲酸盐，例如2-*n*-丁基二硫代氨基甲酸锌，第二个组分是元素周期表中的第ⅦB族或第Ⅷ族中的羧酸金属盐或一个*β*-二丙酮。

含有上述硫化剂的PM单组分密封胶的硫化反应是在氧气中发生的，且进行得相当迅速。在水中，硫化是不发生的，因此密封胶各组分所含水分对密封胶并无不利影响，不必对填充剂预先干燥。

上述硫化剂配制的单组分密封胶在塑料筒中密封，在大气条件下可贮存一年。

在制备密封胶时，应预防在一定制备阶段出现早期硫化，通常把硫化剂的二个组分分开

表 13-7-10 以PM聚合物为基材的单组分密封胶配合举例

组分性能 \ 配方编号	配方 1	配方 2	配方 3	组分性能 \ 配方编号	配方 1	配方 2	配方 3
PM聚合物	34.71	25	26	液体增塑剂(6% mang anese Hex-Gem)	0.79	0.8	0.4
碳酸钙 (Hi-pflex 100)	38.98	47.3	42.8				
碳酸钙 (Winnofil S)	—	15	15	Santicizer 261	—	—	10
二氧化钛 (Titanox 2060)	18.64	0.7	6	抗氧剂 Irganox 1076	—	—	0.1
Clorafin 50	3.77	—	—	A-187硅烷	—	—	0.4
聚酯增塑剂 (Para plex G-53)	—	10	—	Ken-React TT opI-4113	—	—	0.4
气相白炭黑 (Cab-O-Sil M-5)	2.48	—	—	性 能			
Cyanox 2246	0.28	0.3	—	50%定伸应力，MPa	0.45	0.30	0.49
镍络物型 Cyasorb UV 1084(稳定剂)	—	0.5	0.1	拉伸强度，MPa	1.30	0.72	0.90
二硫代氨基甲酸锌	0.35	0.4	0.4	伸长率，%	618	792	293

表 13-7-11 PM聚合物密封胶性能

性 能 \ 配方编号	1	2	性 能 \ 配方编号	1	2
压出速度(170g，在0.35MPa 压力下)，s	9～10	4	铝	通过①	通过②
剥离力，kN/m			混凝土	失败①/通过②	通过③
帆布与玻璃 (200h×紫外光；7d×浸水)	粘接失效①	28.45③	硬度(邵尔A)		
帆布与玻璃 (不暴露)	24.53①	13.73③	重量损失，(70℃)%	33	32
帆布与混凝土	8.83①	14.72②	对聚乙烯薄膜的消粘时间，h	1～2	<1
帆布与铝	34.34①		下垂性(4.4℃/50℃)，mm	1.56/1.56	无/无
耐久性循环玻璃	通过①	通过②	褪 色	通 过	失 败

① 底胶 86.8%Pecora P-47底胶与13.2%A-187混合物。
② 底胶 Pecora P-53。
③ 底胶 j-1。

加，无论是羧酸锰还是二硫化氨基甲酸盐都能单独硫化密封胶。除了羧酸锰外所有组分预混合都可在开炼机上进行，而不必排除空气。在混入羧酸锰之前，在真空和氮气保护下预混物脱气。

以Polymer P所配制的双组分和单组分密封胶的典型性能分别如表13-7-12和表 13-7-13所示。

表 13-7-12 以Polymer P为基材双组分密封胶性能

性 能 项 目	指标	性 能 项 目	指标	性 能 项 目	指标
相对密度		不挥发物含量，%	94	颜 色	黑
基料组分	1.3	坍塌性(6.25mm×9.38mm)，mm	8.3	硬度 (邵尔A)	45
促进剂组分	3.0	使用有效期(24℃)，min	30～50	拉伸强度，MPa	2.76
密封胶	1.49	硫化速度(24℃)		伸长率，%	600
粘度 (基料组分，Brook field 7号)		6h后硬度 (邵尔A)	15	剪切强度(粘接力)，MPa	1.73
在10r/min下，Pa·s	1～1.1	24h后硬度 (邵尔A)	40	剥离强度(黄铜25mm宽)，kN/m	63.77
在1r/min下，Pa·s	5～6	特 性		低温柔软性，℃	-51.1

表 13-7-13 以Polymer P为基材单组分密封胶性能①

性　　能	要　　求	结　　果
流动性能	垂直放置，不坍塌或流动不大于4.69mm在挤出速度试验时，不变形	在4.4℃，坍塌小于1.56mm， 在50℃，坍塌或流动不明显， 在挤出速度试验时，目测法，无任何明显变形
挤出速度，s	不大于45	7
室温下硬度（邵尔A）	15～50	15
7d后在标准条件(70℃±2℃)21 d后，重量损失，%	≤10	2.9
裂纹和粉化	胶不应有任何裂缝和粉化	没有明显裂纹和粉化
消粘时间，h	≤72	≤72
耐久性	每组三个样品的粘接面积和内聚力（或变形）的总损失应低于6.5 cm^2	在铝板上，3个样品粘接面总损失<625 mm^2。在3个样品的3个面上没有变形；在玻璃上，3个样品的3个面上没有明显的粘接、内聚力损失和变形；在混凝土上，同上
粘接力、剥离力	在每个特殊试验中，最小剥离力为4.91kN/m，每个特点试验粘接损失不大于25%	对于铝（底胶）最小剥离力24.03 kN/m 对玻璃为26kN/m 对混凝土（底胶）为32.86kN/m 对于铝（无底胶）为20.61kN/m 它们的粘接损失全部为0%
污染及颜色变化（A型老化仪）	对白色混凝土表面不应引起明显污染，该胶对用户不应有任何程度的不愉快的颜色变化	对任何暴露样品没有任何污染及颜色老化

① 试验标准联邦暂定技术条件TT-S-00230 B，2类，A级。

硫醚密封胶类似于液体聚硫橡胶、聚氨酯等液态弹性体密封胶，其使用性能和使用领域也与它们相似，可用作中空玻璃制造时的硫化型外密封胶。在建筑行业中可用于玻璃安装、幕墙，以及伸缩缝密封等。

第八节　聚氨酯密封胶

一、概　　述

密封胶用聚氨酯类聚合物是由二异氰酸酯与带羟端基的聚醚聚酯二元醇，在异氰酸酯过量条件下，经过反应制得异氰酸酯封端的预聚体，通常又称为液体聚氨酯橡胶。以这种预聚体为基材，配合含有活泼氢的低分子化合物（如二元胺、多元醇，作为扩链剂最后得到具有低定伸应力的弹性密封胶。

用聚氨酯弹性体制得的密封胶具有突出的耐油性、耐磨性、耐寒性和绝缘性，强度高、弹性好，并且对氧和臭氧有一定稳定性，具有抗离子化辐射作用，在2.58×10^5C/kg剂量下，仍保持满意的使用性能。

聚氨酯橡胶对其密封胶性能具有决定性影响，其结构和性能具有若干特点，对预聚体的合成和密封胶的配制极为重要。

1．结构

聚氨酯橡胶的分子可分成3个组成部分，即聚醚（或聚酯）链段，异氰酸酯链段和作为

扩链剂的低分子链段（如二醇或二胺类链段）。

（1）刚性链段对橡胶性能的影响　在聚氨酯橡胶中异氰酸酯链段含有高浓度的极性基团，如氨基甲酸酯基团，内聚能较高，在分子链中形成刚性链段；而聚醚（或聚酯）链段相对较长，多由亚甲基、醚键或酯键所组成，内聚能相对要小得多，形成柔性链段。在分子中，刚性链段所含的极性基团通过氢键和偶极作用，形成“假”交联网结构，使其在室温下就具有共价键交联网络，具有大分子材料的物理特性及力学行为。这些刚性链段主要影响硫化胶的模量、硬度和撕裂强度，并使密封胶在较高温度下保持使用性能。

刚性链段的结构及性能主要与制备聚氨酯橡胶所采用的异氰酸酯的类型有关。异氰酸酯主要对聚氨酯橡胶的模量，拉伸强度等影响大，对弹性影响小。

（2）柔性链段对橡胶性能影响　分子中的柔性链段主要影响产品的弹性及低温性能，对于硬度，撕裂强度和模量也有不同程度的贡献。

柔性链段对橡胶性能的影响主要取决于其分子量和组成。分子量越高拉伸强度也越高，但硬度变低，定伸应力变小。表13-8-1为柔性链段对密封胶剪切强度的影响。

表 13-8-1　柔性链段对密封胶粘接性（剪切强度）的影响

预聚体结构			剪切强度，MPa	
软性链段二醇结构	分子量	-NCO，%	-196℃	82℃
聚四氢呋喃	2010	3.48	33.75	3.92
聚四氢呋喃	1040	5.71	39.24	12.75
聚四氢呋喃	620	8.06	金属试片断	16.58
端羟基液体丁腈橡胶	2860	2.55	31.49	1.86
聚酯		5.76	8.04	4.22
聚异内酯	1100	3.18	26.88	1.76
甘油基聚环氧丙烷三醇	3000	4.67	23.74	0.98
甘油基聚环氧丙烷三醇	1000	6.85	9.71	7.06
聚四氢呋喃（含22.5%四元醇）	1040	5.55	24.33	6.67

柔性链段的组成及其分子量大小则取决于制备聚氨酯橡胶时所使用的末端为羟基的多元醇化合物。例如聚酯或聚醚的组成、结构及分子量大小。

（3）扩链剂对橡胶性能影响　常用扩链剂有二醇或二胺类等，它们各有不同的使用范围。当预聚体用的是不对称二异氰酸酯时，多采用二胺作扩链剂；若用对称二异氰酸酯如二苯基二甲烷二异氰酸酯等则采用二醇作扩链剂。一般使用二胺类扩链剂的橡胶的物理机械性能比使用二醇类者更好。因为二胺类扩链剂在橡胶分子中引进的是脲基，比二醇类扩链剂引入的甲酸酯基有更强的氢键。

2．物理机械特性

（1）低模数　聚氨酯密封胶的模数低，非常适合在交替的伸长和压缩的条件下使用。

（2）高耐磨性　聚氨酯耐磨性优于聚硫、丙烯酸和硅橡胶，也比丁腈橡胶、氯丁橡胶和氯磺化聚乙烯为优。

（3）耐油　耐油性可与聚硫橡胶相比。

（4）耐低温　聚氨酯密封胶的低温柔软性极好，在-54℃以下，仍表现出良好的弹性。使用带有选择性交联部位和极性聚氨酯基团的特殊聚合物，低温柔软性能得到改进，并同时保留其它所要求的性能。

（5）耐生物侵蚀　聚醚型聚氨酯橡胶既不能维持生物生长，又不被生物所破坏。这种优良的耐生物侵蚀性能很适合在道路接缝、粘土和混凝土管道中作为密封胶和在污水管和排水管上作为填料使用。

（6）高弹性和高回复性　供聚氨酯密封胶选用材料很多，足可以制成高弹性、低模数同时又保持良好撕裂和拉伸强度的产品，它们的高弹性在活动接缝中能快速和完全回复。经老化后，也并不失去弹性，在伸长50%条件下室外暴露1年后，仍可完全回复。

聚氨酯橡胶的缺点是不耐热水、水蒸汽、强酸和碱的作用，浸于水中，其粘接性下降，受紫外光照射后有发黄的倾向。紫外光和湿气会降低聚氨酯原有的优良初粘性，尤其是对玻璃基材。但这些缺点可通过合成特殊的预聚体聚合物或使用底胶加以改进。

聚氨酯橡胶耐热性不高，在80～85℃下可长期使用，最高使用温度不超过120℃。

二、密封胶配合组分

密封胶对各组分的原材料有一定要求。所使用的异氰酸酯以及各种含活泼氢的材料，在室温时应当是液体，它们所带的官能团在室温下应有足够的硫化反应性。为了获得较低的模数并使硬度（邵尔A）达到20～45，含活泼氢材料和异氰酸酯预聚体都必须控制在一定的当量范围内。

（一）液态聚氨酯橡胶（聚氨酯预聚体）

异氰酸酯封端的预聚体即液态聚氨酯橡胶。该预聚体组分是由聚醚或聚酯二元醇、蓖麻油等羟基化合物同二异氰酸酯反应而得到。

1．异氰酸酯

（1）异氰酸酯的化学反应性　异氰酸酯极为活泼，最重要的化学反应是与含活泼氢的化合物反应，在聚氨酯密封胶的制备和硫化中所发生的化学反应都属于这类反应。

（2）异氰酸酯的反应活性　异氰酸酯的反应活性主要取决于邻位基团的性质及该基团的取代基的性能。它们对在异氰酸酯上的电荷分布有明显的影响。

相邻基团影响异氰酸酯反应活性增加的次序如下：

叔丁基＜环己基＜正烷基＜苄基＜苯基＜对硝基苯基＜氯磺化苯基异氰酸酯。

具有形成共振混合结构能力的强亲核基团的对硝基苯具有非常强的吸电子性。因此使异氰酸酯基团的反应性增加。而叔丁基、环己基或正烷基具有给予体的性能，它们具有降低异氰酸酯基团反应活性的倾向。

那些可增强碳原子正电性或亲核剂碱性的因素能加快反应速度。

（3）常用的异氰酸酯化合物　为制备由异氰酸酯封端或羟基封端的预聚体，常用异氰酸酯的物理性能列于表13-8-2。

2．含活泼氢材料

含活泼氢的材料是聚氨酯合成中的另一个主要原材料，一般说来，在适当的分子量范围内，带羟基的有机链段均可用来合成聚氨酯材料，主要是聚醚或聚酯二元醇(分子量为800～2000），得到聚醚型和聚酯型聚氨酯。除此之外，还可使用聚硫醚、聚缩醛、蓖麻油等含羟基的高分子化合物。

（1）活泼氢化合物的反应活性　活泼氢化合物的亲核性越大，同异氰酸根基团的亲核位置的反应越容易。活泼氢化合物上的取代基对活泼氢化合物反应活性的影响与异氰酸酯上的取代基对异氰酸酯反应活性的影响正好相反。电负性、吸电子基团降低了活泼氢化合物的反

表 13-8-2 常用异氰酸酯物理性能

名　　称	简　称	分　子　式	分子量	熔　点 ℃	沸　点 ℃/Pa	密　度 g/cm³
2,4-甲苯二异氰酸酯	TDI	$C_9H_6O_2N_2$	174.2	21.8	121/1333.22	1.2178/20℃
2,6-甲苯二异氰酸酯	TDI	$C_9H_6O_2N_2$	174.2	8.5 18.2	120/1333.22	1.2271/20℃
80/20 2,4-/2,6-混合二甲苯二异氰酸酯	TDI_{80}	$C_9H_6O_2N_2$	174.2	5.0	121/1333.22	1.222/20℃
65/35 2,4-/2,6-混合二甲苯二异氰酸酯	TDI_{65}	$C_9H_6O_2N_2$	174.2	13.6	121/1333.22	1.221/20℃
1,5-萘二异氰酸酯	NDI	$C_{12}H_6O_2N_2$	210.2	127	183/1333.22	1.450/20℃
4,4′-二苯基甲烷二异氰酸酯	MDI	$C_{15}H_{10}O_2N_2$	250.3	39.5	208/1333.22	1.183/50℃
1,6-六亚甲基二异氰酸酯	HDI	$C_8H_{12}O_2N_2$	168.2	−67	127/1333.22	1.047/20℃
dimeryl二异氰酸酯	DDI					
亚苯基二甲基二异氰酸酯	XDI	$C_{10}H_8O_2N_2$				
多苯基多亚甲基多异氰酸酯	PAPI					1.24
联甲苯二异氰酸酯	TODI			69～71		
甲基环己基二异氰酸酯	HTDI					
4,4′-二环己甲烷二异氰酸酯	$H_{12}MPI$					
对苯基二异氰酸酯						
2,4′-二苯基甲烷二异氰酸酯	MDI	$C_{15}H_{10}O_2N_2$	250.3	34.5	154/173.2	1.192/40℃
2,2′-二苯基甲烷二异氰酸酯	MDI	$C_{15}H_{10}O_2N_2$	250.3	46.5	145/123.2	1.188/50℃
1-异氰基-3-异氰基络甲基-3,5,5-三甲基环己烷	IPDI	$C_{12}H_{18}O_2N_2$	222.3	−60	158/1333.22	1.0615/20℃
1,4-苯基二异氰酸酯	PDI	$C_8H_4O_2N_2$	160.1	96	110～112/1598	1.4407/20℃
三苯基甲基-4,4′, 4″-三异氰酸酯		$C_{22}H_{13}O_3N_3$	367.4	91	—	—
三（4-异氰酸苯基）硫代磷酸酯		$C_{21}H_{12}O_6N_3SP$	465.4	84～86	—	—

应活性，而电子给予基团增加了它们的反应活性。

（2）常用的含活泼氢材料

a．聚酯类　用聚酯类制取的聚氨酯密封胶粘接强度高，耐热性和耐油性好，但耐水性差。制备密封胶使用主要是羟端基的聚酯二醇。羟端基聚酯二醇是由二元酸和二元醇缩合而成，选用不同种类的醇和酸，采用不同的摩尔比可以得到不同性能不同分子量的聚酯树脂。

b．聚醚类　在聚氨酯橡胶中使用最多，制造液体聚氨酯橡胶密封胶最常用的有聚乙二醇、聚丙二醇和聚四亚甲基二醇。

此外，由环氧丙烷或环氧乙烷和四氢呋喃开环共聚的聚醚二醇、环氧丙烷和环氧乙烷的共聚体及其它相应的共聚体，都可作为聚醚型聚氨酯预聚体中的柔性链段。这些聚醚二醇，一般由环氧烷类在适当的催化剂下聚合而制得。但对制备聚氨酯预聚体有用的聚醚，唯一实用的制备方法是环氧烷类在结构上有活泼氢的引发剂存在下的均聚物。这类反应还要在酸或碱催化剂的存在下才能进行，如聚丙二醇及聚（四亚甲基）二醇的制备均如此。

聚氨酯所用聚醚是不挥发的粘稠液体。颜色从无色透明至棕色。聚醚在水中溶解度随分子量增加而降低，低分子量的聚醚溶于水。聚醚中有氧乙烷结构时，有增加聚醚在水中溶解的倾向。

很多聚醚都能溶于一般的有机溶剂，如醇类、酮类、酯类、碳氢化合物及卤化溶剂。

在脂肪族聚合物骨架中，醚键的氧原子降低了它的氧化稳定性和热稳定性。聚醚被氧化的过程是经过一个过氧化氢的中间物，这个过氧化物再分解为醛、有机酸和酯类。烷基化的酚类、酚基噻嗪或芳香胺可作为稳定剂，防止聚醚被氧化降解。

对于密封胶性能有影响的重要化学性质是聚醚的羟基含量、不饱和度、水含量、酸度、

羰基含量以及分子量。

国产聚醚牌号及性能如表13-8-3所示。

表 13-8-3 国内生产聚醚牌号及性能

牌号	单体	分子量	羟值 mgKOH/g	酸值 mgKOH/g	双键值 mgN/g	水分 %	生产厂
GBO-204	丙三醇、环氧丙烷	400±15	280±10	0.10	0.07	0.10	上海高桥石
GE-210		1000~1200	112±10	0.15	0.07	0.10	油化工公司化
GG-220		2000±200	56±4	0.15	0.07	0.10	工三厂
GR-303	甘油、环氧丙烷	350±15	480±20	0.15		0.15	
GF-330	甘油、环氧乙烷	3000±175	56±3	0.10	0.07	0.10	
N-204	聚丙二醇醚	400±20	280±20	>0.15			
N-210	(二羟基聚氧化丙	1000±100	100±10	>0.15			
N-215	烯醚)	1500±100	70±10	>0.15			
N-225		2000±100	56±4	>0.15			
N-230		3000~4000	37~28	>0.15			
N-303	聚丙三醇醚	350±50	480±50	<0.10			
N-330	(三羟基聚氧化丙烯醚)	3000±200	56±4	<0.10			
N-403	四羟基含氮聚醚	294		10~11(pH)			
N-405		524	-770	10~11(pH)			
N-408		258		10~11(pH)			
NG 210	二羟基四氟呋喃	1000±100	102~124	<0.2	<0.04	<0.2	扬州合成化
215	氧化丙烯共聚聚醚	1500±100	70~80	<0.2	<0.04	<0.2	工厂
220		2000±100	53~59	<0.2	<0.04	<0.2	
335		3000~4000	37~28	<0.2	<0.04	<0.2	
		1000~1200	102±10	<0.2±0.05	0.005~0.17	<0.1	山西化工研
		1400~1600	75±5	<0.2±0.05	0.005~0.17	<0.1	究所
		1800~2100	57±4.5	<0.2±0.05	0.005~0.17	<0.1	
NG 310	三羟基四氢呋喃	1000±100	153~187	<0.2	<0.04	<0.2	扬州合成化
320	氧化丙烯共聚聚醚	1500±100	105~120	<0.2	<0.04	<0.2	工厂
330		2000±100	80~88	<0.2	<0.04	<0.2	
335		3000±100	84~58	<0.2	<0.04	<0.2	
		3000~4000	56~42	<0.2	<0.04		

c．蓖麻油　蓖麻油是脂肪酸的三甘油酯（12-羟基油酸甘油酯），脂肪酸中90%是蓖麻油酸，另外还有10%是不含羟基的油酸和亚油酸。

因此，蓖麻油可作为含羟基的化合物与异氰酸酯反应，形成预聚体，并可用低分子二元醇或二元胺作扩链剂配合成双组分聚氨酯密封胶。其耐水解稳定性好，价格便宜，流动性好，易浇注罐封，适用于低频电器的封装密封。

d．聚烯烃二元醇　该类二元醇为新开发品种，可单用，也可与其它二元醇并用。能制得综合性能优良的聚氨酯密封胶。

含有羟端基的液态橡胶（例如羟端基聚丁二烯、羟端基丁苯橡胶、羟端基丁腈橡胶等）及低分子的液态聚合物，都能同过量的异氰酸酯反应，生成具有聚氨酯键的带有异氰酸酯端基的预聚体，再与低分子二元醇或二元胺扩链剂反应，形成具有特殊性能的弹性密封胶。

羟端基聚丁二烯聚氨酯的典型配合及性能如表13-8-4所示。

表 13-8-4 聚丁二烯类聚氨酯典型配方举例

组分及性能 \ 配方编号	1	2	3	组分及性能 \ 配方编号	1	2	3
Poly-bd R-45羟端基聚丁二烯	100	100	100	拉伸强度，MPa	1.47	1.77	6.08
N,*N*-双（2-羟丙基）苯胺	—	2.1	8.4	扯断伸长率，%	150	250	330
液态MDI	12.5	14.4	23.0	100%定伸应力，MPa	1.18	1.09	2.35
二月桂酸二丁基锡	0.01	0.01	0.01	撕裂强度，kN/m	5	6	17
软段/硬段（摩尔比）	∞	4/1	1/1	硬度（邵尔A）	50	49	60
性　　能							

e．含其它元素的聚醚　含磷、氯等元素的聚醚多用来合成阻燃性聚氨酯、泡沫材料。含氟聚醚，例如用全氟聚丙二醇醚和四氟间苯二异氰酸酯可合成含氟聚氨酯橡胶，在低温仍具有较高强度。

3．催化剂

在合成聚氨酯的反应中，为提高反应速度常使用催化剂，催化剂会给反应工艺带来不利影响，例如，反应产物流动性变坏、结皮、速度加快，因此正确选择催化剂十分重要。常用催化剂是胺类以及锡、铅或汞的有机酸盐。预聚体的合成是异氰酸酯-羟基反应，而在预聚体扩链硫化中还伴随有异氰酸酯-水和脲基甲酸酯或缩二脲的反应。

异氰酸酯与含活泼氢化合物反应的相对速度如表13-8-5所示。三级胺、碱类及有机锡盐可以催化该类反应。

表 13-8-5 异氰酸酯与含活泼氢化合物反应的相对速度

含活泼氢化合物	无催化剂时相对速度	催化剂的影响		
		三级胺	碱①	有机锡②
胺基甲酸酯	1	无	强	无
脲	100	无	强	弱
水	400	强	强	弱
醇	400	强	强	很强

① 氢氧化钠及烷氧基钠。

② 辛酸亚锡、异辛酸亚锡及二辛酸二丁基锡。

对于异氰酸酯-羟基反应，根据金属盐和胺类催化剂对脂肪族和芳香族二异氰酸酯的活化作用，可将催化剂分成以下三类。

（1）三级胺　常用的三级胺催化剂有：甲基二乙醇胺、三甲基乙醇胺、二甲基环已胺等。

（2）有机酸金属盐类　以锡的脂肪酸盐为主的有机酸金属盐类（如辛酸亚锡、二月桂酸二丁基锡）以及铋、锌、钴、铁、锑等有机酸金属盐类、四（2-乙基已基）钛酸盐和油酸钾还有乙酸苯汞和丙酸苯汞，后两者都可与辛酸铅配合使用。当组分中水分含量低于0.2%时，采用羧酸苯汞-辛酸铅催化剂，不用干燥剂，就可制得实心材料。

在预聚体合成中金属有机酸盐催化剂在树脂固体中用量为0.005～0.05%，在双组分密封胶中硫化用量为0.1～0.5%，胺催化剂的用量要高几倍。

（3）其它类型催化剂　为乙酰丙酮以及有机磷如三丁基磷、二乙基磷等。

各种催化剂对异氰酸酯基与羟基的反应活性比较如表13-8-6所示。由此可见，辛酸亚锡和三级胺有协同作用。

表 13 8 6　常用催化剂及其相对活性

催　化　剂	使用浓度 %	相对活性	催　化　剂	使用浓度 %	相对活性
无	0	1	DBTDL	0.5	670
TMBDA①	0.1	56	DBTDL + TMBDA	0.1 + 0.2	700
DABCO②	0.1	130	Snoct + TMBDA	0.1 + 0.2	1000
TMBDA	0.5	160	DBTDL + DABCO	0.1 + 0.2	1000
BDTDL③	0.1	210	Snoct + TMBDA	0.1 + 0.5	1010
DABCO	0.2	260	Snoct + DABCO	0.1 + 0.5	1510
DABCO	0.3	330	Snoct	0.3	3500
Snoct④	0.1	540	Snoct + DABCO	0.3 + 0.3	4250

① *N*,*N*,*N*,*N*-四甲基丁二胺。
② 1,4-二氮双环[2,2,2]辛烷，即三乙烯四胺。
③ 二丁基二月桂酸锡。
④ 辛酸锡。

4．预聚体的制备

（1）制备反应类型　异氰酸酯和带有不同羟基数目的醇类按不同比例反应时，会获得具有不同性能的预聚体。

当异氰酸酯与大分子醇类（聚酯或聚醚二醇）以NCO/OH比为2:1（即异氰酸酯过量时）反应时，得到的预聚体就是通常所称的液态聚氨酯橡胶。

这种预聚体分子量相应比较小，室温下呈液态，工艺性能好，尤其当分子中多异氰酸酯基性能有差别时，可以得到比较均一的端异氰酸酯基预聚体。

当二异氰酸酯和多元醇的NCO/OH比小于 2 时，以不同结合方式与二元醇、三元醇、四元醇或这些醇的混合物一起反应，制成的预聚体所含自由异氰酸酯基相当低，分子量较大，粘度也大。一般异氰酸酯基含量高时，交联密度大，异氰酸酯基含量低时，交联密度就小，对交联后聚合物的性能也有很大影响。

制备预聚体时，聚酯或聚醚等要事先真空脱水，以避免异氰酸酯与水发生副反应。反应温度一般不超过130～140℃，以免反应生成的聚氨酯基与未反应的异氰酸酯基进一步发生作用。反应终了最好真空除去游离的异氰酸酯，以免残留有害物的刺激性气味。

（2）制备工艺步骤

a．工艺步骤　将一定量的聚醚或聚酯二醇在100～120℃、1.3kPa压力下搅拌，脱水 1 h，除去少量的水和易挥发物，将计量好的二异氰酸酯滴加到二醇中，在 85℃左右搅拌 2 h后停止加热，将反应物在室温下放置24 h，测定其异氰酸根的含量，即得到异氰酸根封端的粘稠状液体预聚体。

b．温度和时间的影响　反应温度和时间是两个重要条件，温度过高可能产生支链，异氰酸根含量降低；温度过低，反应不完全，反应时间过长，会导致异氰酸基团与新生成的氨基甲酸酯上的氢反应生成交联键。

c．异氰酸酯加入量　二异氰酸酯加入量取决于聚酯或聚醚分子中的羟基数量（即羟

值）。如果每一个分子聚醚或聚酯与不到两个分子的二异氰酸酯反应，就只会使链增长。

用过量二甲苯二异氰酸酯与聚酯或聚醚反应所得到的预聚物中含有过量的游离异氰酸基，不易存放，时间一长会影响产品性能，一般都采用端基封锁或冷冻的方法以延长预聚体贮存时间。大多现配现用，也可采用密封方法，使预聚体与空气隔绝，防止接触空气中的水分发生反应而缩短贮存时间。

预聚体中的异氰酸酯基含量应予控制，含量过低，橡胶拉伸强度及硬度下降；异氰酸酯基含量过高，橡胶弹性降低。见表13-8-7所示。

表 13-8-7 预聚体中异氰酸根含量对橡胶性能影响

商品牌号	L315	L200	L167	L100	L420
平均异氰酸根含量，%	9.45±0.20	7.5±0.20	6.35±0.20	4.1±0.20	2.80
相对密度(24℃)	1.11	1.09	1.07	1.06	1.03
粘度，Pa·s 30℃	15±2	8±2	6±2	18±2	17
100℃	0.3～0.4	—	0.25～0.35	0.5～0.6	0.675
闪点，℃	204	204	249	249	—
拉伸强度，MPa	55	55	34	28	21
硬度(RHD)	97	—	95	90	80
硬度（邵尔D）	79	58	50	43	—

在合成预聚体时，所制成的预聚体中异氰酸酯基预期的含量和反应中应加入异氰酸酯数量（以TDI为例）可按下式计算：

设 A——预聚体中异氰酸酯基的预计含量；

B——聚醚中羟基所消耗异氰酸根克数；

用MOCA硫化：

$$B = \frac{\text{聚醚二醇克数}}{\text{聚醚二醇分子量}} \times 174$$

174——TDI分子量；

C——聚醚中H_2O所消耗的异氰酸根克数；

$$C = \frac{\text{聚醚二醇克数} \times \text{二醇中} H_2O \text{的百分含量}}{18} \times 174$$

X——需要加入的TDI克数；

$$A = \frac{(X - B - C) \times \frac{2 \times 42}{174}}{X + \text{聚醚克数}}$$

式中 42——异氰酸根的分子量；

所以

$$X = \frac{A \times \text{聚醚克数} + 48.2\ (B + C)}{48.2 - A}$$

若加入的异氰酸酯不是TDI，应将174换算成所用异氰酸酯的分子量。

d．异氰酸酯选择 在密封胶中常用的异氰酸酯为TDI，其它还有MDI、PAPI等芳香异氰酸酯，但这些异氰酸酯制备的聚氨酯在阳光下会变黄。

使用脂肪族或环脂肪族异氰酸酯或在带有异氰酸酯基的苯环上至少有一个亚甲基团的芳

香异氰酸酯（包括环己烷二异氰酸酯、亚苯基二甲基二异氰酸酯等），可以制得不发黄的聚氨酯。但上述原料比TDI价格高，使用受到限制。

（二）扩链剂

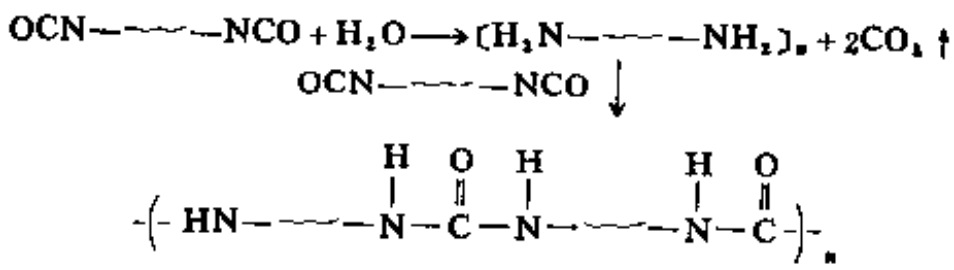
低分子量的液态聚氨酯橡胶（预聚体）可通过扩链剂使其分子链增长、分子量增加，形成具有交联网状结构的弹性聚氨酯密封胶，因此扩链剂通常也称硫化剂。

预聚体在常温下可以交联硫化，形成弹性硫化胶。预聚体的扩链及交联分二种情况，一种是常温下由预聚体吸收空气中的潮湿水气发生链增长及交联，另一种是预聚体与低分子二元醇或二元胺类化合物反应，使分子链增长及交联。

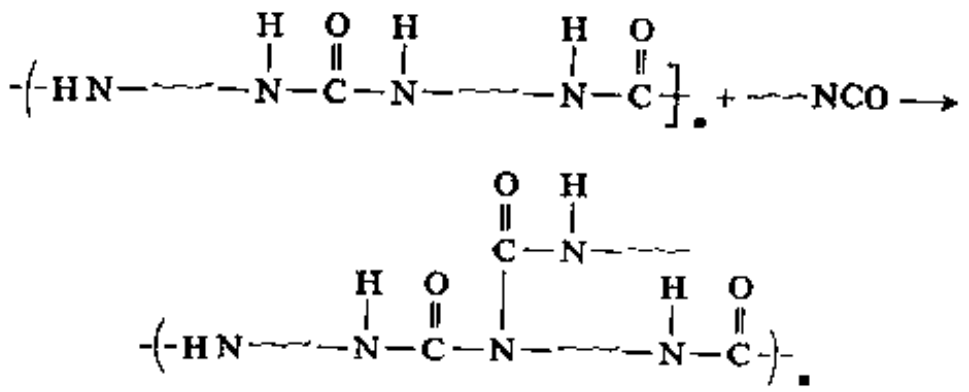
1．单组分聚氨酯密封胶的交联

单组分异氰酸酯基团封端的聚氨酯预聚体密封胶在室温下，其异氰酸酯基团与空气中或被粘物体表面上的水发生反应，使预聚体扩链，分子链线性增长。反应中伴随有聚氨酯键或脲键和异氰酸酯基的反应形成脲基甲酸酯键或缩二脲键面使预聚体交联。

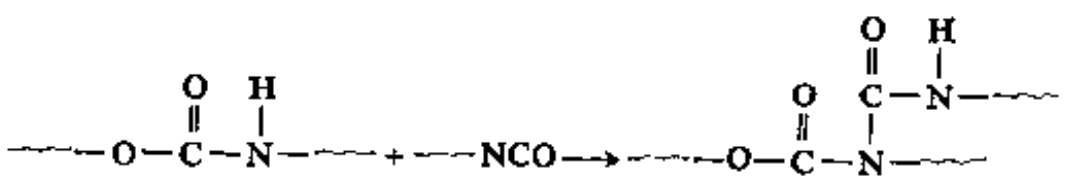
异氰酸酯基团与水反应时生成胺及二氧化碳。所生成的胺比水更具有反应性，紧接着与异氰酸酯基团反应生成脲：



反应中生成的脲键与异氰酸酯基团反应生成缩二脲交联键：



游离的异氰酸酯基团与聚合物分子主链上的聚氨酯（氨基甲酸酯）键反应生成脲基甲酸酯交联键：



单组分硫化型聚氨酯密封胶就是基子上述原理配制的。

单组分密封胶的实际交联度往往大于理论值，这大概是异氰酸酯基团与水的反应不完全，一部分异氰酸酯基团与主链上的脲基、氨基甲酸酯基反应，形成交联。

由于湿气硫化型密封胶反应中产生二氧化碳气体，因此单组分密封胶的胶层中有气泡存在，异氰酸酯基含量越高，气泡越多。因此，预聚体的异氰酸酯基含量不能过高。

此外，密封胶的硫化与空气中的湿气和环境温度有很大关系。密封胶与基材的粘接强度受湿气影响很大，当相对湿度高于90%时，凝胶时间为数小时，胶层中气泡多，影响性能。当相对湿度低于40%时，约需 1 天以上才能凝胶，但交联不完全。

预聚体胶在湿气下交联后的性能如表13-8-8所示。

表 13-8-8 各种预聚体胶湿气硫化后的粘接性能

被粘材料	预聚体组成	粘接强度，MPa	被粘材料	预聚体组成	粘接强度，MPa
钢-玻璃	TDI-聚乙二醇 400	6.18	铝-聚甲基丙烯酸甲酯	MDI-聚丙二醇 750	2.35
钢-乙酸纤维	MDI-脂肪酸单甘油酯	4.12	铝-纤维素	TDI-丙二醇	3.04

2．双组分聚氨酯密封胶的交联

双组分密封胶一般是把密封胶配合成两个组分，一个组分是异氰酸酯封端的预聚体，在这个组分中，还可加入一些其它组分，如填料等。另一组分是扩链剂（硫化剂）与其它一些组分混合而成的。使用之前将这二个组分混合后使用。

双组分预聚体的扩链剂一般是含有两个或两个以上活泼氢的化合物，常用低分子量的二元醇及二元胺类化合物。

一般胺类扩链剂的活性比醇类大。采用不同的扩链剂，可以调节硫化时间，并获得不同性能的聚氨酯密封胶。当预聚体中异氰酸酯基含量高时，可用低分子二元醇或含端羟基的聚酯、聚醚、聚丁二烯与扩链剂并用，以改善密封胶的弹性。当预聚体异氰酸酯基含量低时，可以用多官能的胺类或醇类扩链剂，以获得高度交联的密封胶。

二元醇类与二元胺类化合物的特点明显不同。两种扩链剂对聚氨酯硫化橡胶性能的影响参见第一分册第十一章。

扩链剂的用量一般按异氰酸酯基摩尔数计算，有时可稍高一些。常用扩链剂如表13-8-9所示。

表 13-8-9 聚氨酯橡胶常用扩链剂

类别	名　　称	类别	名　　称
二醇	1,3-丙二醇 1,4-丁二醇 1,5-戊二醇 1,6-己二醇 双（α-羟基乙基）对苯醚 三甲醇基丙烷	二胺	3,3′-二氯-4,4′-二氨基二苯基甲烷（MOCA） 4,4″-二氨基二苯基甲烷(DDM) 3,3′-二甲基-4,4′-二氨基联苯 3,3-二甲氨基-4,4′-二氨基联苯 4,4′-二氨基联苯 3,3′-二氯-4,4′-二氨基联苯 对苯二胺

多元醇作扩链剂时，硫化胶硬度小，耐水性好。

二元胺的反应活性高于多元醇，而脂肪胺又高于芳香胺，扩链剂的硫化速度递增顺序为：低聚物多元醇＜低分子多元醇＜多元胺。为降低胺的反应活性，可在芳香胺的氨基邻位上引入氯原子，例如MOCA，它是聚氨酯橡胶最常用的硫化剂，其硫化强度高、耐热好。室温下MOCA为白色粉末，使用时应溶于液体物质（如增塑剂）中。它的缺点是熔点较高（101～104℃），硫化温度也较高（120～150℃），硫化时间1～6h，给施工带来困难。为此，可加入辛酸亚锡、油酸或苄基二甲胺等促进剂，使硫化能在室温下进行。

二元胺作扩链剂的硫化胶的拉伸强度、抗撕强度高，耐磨性好。

（三）促进剂

在预聚体与扩链剂反应时，为了降低反应温度，缩短硫化时间，有时还需加入硫化促进

剂（催化剂），主要是有机酸、金属有机酸盐以及胺类化合物，例如辛酸亚锡、二丁基二月桂酸锡、油酸、苄基二甲胺等。

为提高单组分密封胶的硫化速度，常加入1,2,4-三甲基哌嗪作为催化剂。

（四）填充剂

由于聚氨酯橡胶分子链中存在氢键，内聚力很高，有自补作用，因此，一般情况下不必再加补强剂。但为降低成本，在不影响性能的前提下，往往也加入一定量的填充剂。

1．对填充剂的性能要求

（1）填充剂与异氰酸酯的反应性　在聚氨酯密封胶中，所使用的增容填充剂、白色遮盖颜料、有机和无机颜料以及炭黑等，应与异氰酸酯不反应，并应有利于提高密封胶耐酸碱性和耐热性。

（2）填充剂的吸水性　填充剂所吸收的大量湿气水分会与异氰酸酯封端基反应，因此，在含有异氰酸酯基团的配方中所使用的填充剂使用之前应当干燥，去除水分。

（3）填充剂的pH值　填充剂的pH值大于7（碱性）时，会缩短贮存期和消粘时间；当pH等于7时（中性），对贮存期和消粘时间几乎没有影响；当pH小于7（酸性）时，可抑制硫化，延长贮存期和消粘时间。当增加碱性或中性填料的比例时，会提高密封胶的硬度和弹性模量，降低伸长率、提高酸性填料的比例时，则会降低硫化胶的硬度和弹性模量。

2．填充剂对密封胶性能影响

有些增容填料价格低廉并具有若干优异性能，是用于密封胶的最重要的一类填充剂。填充剂最显著的作用是改进密封胶的坍塌性能、提高内聚力、降低热膨胀率，使之具有良好的导电性并调整密封胶的浓度。各种颜料、炭黑和白色遮盖填料能起调色作用，并能改进密封胶的耐紫外光性和坍塌性，但价格昂贵，在密封胶中的用量很少。有些填充剂还能改进密封胶的粘接性。

3．常用填充剂

使用最多的填充剂是云母、石棉、滑石粉、玻璃粉和片、板岩粉、陶土、氧化铝、磨碎硅粉、疏水硅酸铝和含水氧化铝。

碳酸钙和铝粉可降低密封胶的收缩性。硅酸锆可降低大约30%的热收缩。填充剂有增加密封胶拉伸强度倾向，而又基本上不改变密封胶的硬度，可提高密封胶的电绝缘性（最大达10倍）。

聚氨酯密封胶所用白色遮盖填料是不喷出的二氧化钛、立德粉、氧化锑和氧化锌等。

由40重量份二氧化钛、10重量份氧化锌和50重量份滑石粉组成的填充剂，用量为10%时可使芳基聚醚型聚氨酯在阳光下不出现黄色。

在某些特殊的密封胶中可用最稳定的有机颜料酞青绿和酞青蓝。密封胶所用颜料为Fe_3O_4、Sb_2S_3以及炭黑。市售密封胶大多为灰色和棕黄色。

（五）阻燃剂

改进密封胶的阻燃性能有两种方法：一是在配方中加入阻燃剂，如填充剂、阻燃增塑剂或膨胀剂；二是在聚合物中引入阻燃性元素。

最有效的阻燃剂是氧化锑。此外含磷和含氯增塑剂也有阻燃作用，在老化后会渗出表面。在加热时熔融或形成泡沫的膨胀性材料也可作阻燃剂。

含磷或卤素的异氰酸酯封端的中间体为带阻燃元素的聚合物，也起阻燃作用，使用最多的是三异氰酸酯基亚磷和三异氰酸酯磷酰。此外还有有机取代基的亚磷异氰酸酯或磷酰异氰

酸酯等，例如苯氧基磷酰异氰酸酯或乙氧基磷酰异氰酸酯、二乙氧基磷酰-异氰酸酯、乙基磷酰二异氰酸酯等。

有许多羟基封端的多元醇酯和多卤（聚卤）醚也具有阻燃性能，并具有极优的耐湿老化性能。

（六）增稠剂

建筑和工业接缝（尤其是垂直接缝）所使用的密封胶要求不坍塌，因此对密封胶必须增稠。常用的方法是使用增稠剂。

1．结构性填充剂

结构性填充剂通常为有机或无机纤维状填料，例如纤维状的滑石粉、细粒子二氧化硅、无水硅酸铝、灯烟炭黑。这些填料具有纤维状性质或链状絮凝结构，是良好的增稠剂。

含填充剂的一些密封胶手感较硬。用酸性硅凝胶增稠会延迟硫化并延长密封胶贮存期，单用气相白炭黑时很有效。用其它的填充剂时还需要加入一些特殊的增稠剂。最有效的耐坍塌剂是有机或无机纤维，如石棉、玻璃纤维和合成纤维等。

2．二胺增稠剂

芳香伯二胺是相当好的增稠剂，常用的有亚甲基二苯胺（MDA），在加热和搅拌下它可溶解于多元醇中，再掺入密封胶。通常每100mol多元醇加入0.25mol的MDA掺入密封胶后在几分钟内就可获得良好的耐坍塌性。如果需较长的流动时间，可降低二胺用量并同增稠填料（如陶土）并用。使用二胺作增稠剂应注意处理许多技术性问题。

3．树脂增稠剂

在室温下呈固体状的熔融树脂可作为增稠剂。例如，羟基封端的固体聚酯树脂。

4．有机膨润皂土增稠剂

有机膨润皂土可加到羟基封端的胶料中作增稠剂，能促进填充剂颗粒悬浮，改进胶的耐坍塌性。

（七）其它配合剂

其它配合剂有以下几种。

（1）防老剂及紫外光吸收剂　为提高密封胶耐室外大气老化和氧化作用，需加入防老剂及紫外光吸收剂。常用防老剂有酚类、芳香胺、胺基苯酚、硫化缩合产物。

（2）增塑剂　增塑剂主要有脂类，如DOP、DEP等，还有二甲苯树脂、焦油等。

（3）防腐剂　防腐剂有铬酸镁（防止金属腐蚀）、硼酸钠、亚硝酸钠等。

（4）干燥剂　干燥剂有脱水石膏、正桂酸酯、沸石（预先在400～500℃下煅烧）及某些分子筛等。

（5）消泡剂　消泡剂（或称二氧化碳吸收剂）主要为氧化钙。

（6）其它　还可与高分子材料PVC、PE、PVA、酚醛、硅、环氧、古马隆等树脂共混，以降低密封胶收缩性，改善与水泥、木材、铝等材料的粘接性，提高物理性能。

三、密封胶的配合

（一）密封胶的分类

供合成液态聚氨酯橡胶（即聚氨酯预聚体）的异氰酸酯和含活泼氢材料等原料的品种类型十分繁多，因此以性能各异的预聚体可以配合出具有不同性能和用途的聚氨酯密封胶。按使用时施工要求，密封胶主要有非坍塌型和自动调车型两大类；前者用于垂直部位施工，后

者用于水平施工。按照包装形式，密封胶可分成单组分、双组分。

单组分密封胶实质是将预聚体同配方中的其它组分（例如干燥剂、填充剂、增塑剂等）混合后装入容器密封，供应市场。当密封胶曝露于空气中时，会吸收潮湿气而硫化。单组分密封胶使用方便，对阳光、大气比较稳定，在－30～150℃温度范围内仍保持弹性，聚合物分子中含有较高脲基，因此能耐各种化学试剂的浸蚀，也可用于不同膨胀系数材料的粘接。该类密封胶硫化过程中有二氧化碳气体产生，因此胶层容易出现气泡。

双组分密封胶通常分为A、B（或甲、乙）两组分。A组分通常是异氰酸酯封端的预聚体，B组分是活泼氢类扩链剂，例如低分子多元醇、低聚醚催化剂等，将之与各种配合剂（如填料、颜料、干燥剂等）在三辊机上混合，在80℃1.3kPa压力下，脱水2h，制成B组分。

在现场使用时，将两个组分按比例(异氰酸根与羟基加氨水的比例为：NCO/(OH+NH_2)=1.05～1.40）混合。有时要求混合物在1.3kPa压力下，于室温脱气后使用。在室温下24h固化，2周后达到最终性能。

一般要求双组分密封胶浇注时适用期长，而硫化时间短。但实际中不易平衡，应力争以硫化为主。不含溶剂的密封胶易处理。对基材湿气含量要求<4%；表面清洁，可适当用砂轮研磨机打光，视表面情况，决定涂与不涂底胶。为获得与被密封基材的良好粘合，聚氨酯密封胶需要底胶。

在某些对性能要求不高的场合，为了方便，可以不必将端羟基低聚物（聚酯或聚醚二元醇）与异氰酸酯制成异氰酸酯封端的预聚体，而是采用一步法。所谓一步法，就是把端基聚醚或聚酯、异氰酸酯化合物、胺类等扩链剂、填料及催化剂直接混合使用。一步法有许多缺点，一是异氰酸酯毒性大，密封胶物理机械性能不如双组分好。

（二）密封胶配合的工艺要点

无论单组分还是双组分聚氨酯密封胶，都可能含有一定量的填充剂，这些填充剂必须与预聚体充分混合，其工艺如下。

1．填充剂在含活泼氢组分中的分散

通过三辊机或捏合机将填充剂与含活泼氢材料组分混合。剪切作用产生的热有助于对填料的浸润和分散。分散后的填料母胶在1.3kPa压力下，90℃抽真空干燥，以除去母胶中的水，然后加入催化剂，包装密封。这主要用于双组分。

2．填充剂异氰酸酯封端预聚体的制备

该工艺主要用于单组分密封胶的制备。其制备工序分三个步骤。

第一步将二氧化钛、氧化锌、滑石粉等配方中的粉剂填料在三辊机上与聚醚二醇或聚酯二醇混合，制得母胶。

第二步将二醇母胶转移到反应釜中，在1.3kPa压力下，120℃抽真空干燥1h，使水含量降至0.1%以下，或用甲苯通过共沸蒸馏除去水分。将无水的填料母胶冷却到50～60℃，滴加二异氰酸酯。在氮气保护下，在70℃下进行反应，搅拌2～3h，温度升至100℃，得到异氰酸酯封端的聚二醇加成物。

第三步，在上述加成物中加入低分子三元醇，便形成了三官能团的异氰酸酯封端的预聚物。这个反应在80～90℃下搅拌2 h，剩余未交联二元醇的加成物对三官能团端基聚合物起到一个悬浮剂和粘度降低剂的作用。

最后根据配方加入防老剂、触变剂和硫化剂后包装，并把容器密封，完全隔绝大气。

（三）密封胶的配方举例

1．双组分密封胶

双组分密封胶使用最多的是电气的灌封包装。大多使用蓖麻油作为多羟基材料。常温硫化聚氨酯弹性灌封材料配合举例如下。

（1）使用聚醚二醇为原料制备灌封材料

① 原料　该密封胶所需原料及性能如表13-8-10所示。

表 13-8-10　制备密封胶所需原料及性能

组分 / 项目	聚醚（丙二醇聚醚）	2,4-TDI	扩链剂 MOCA	催化剂 苄基二胺	组分 / 项目	聚醚（丙二醇聚醚）	2,4-TDI	扩链剂 MOCA	催化剂 苄基二胺
分子量	2000±100	—	—	—	含水量，%	0.3	—	—	—
外　观	—	浅黄色透明液体	白色至淡黄松针状结晶	—	沸　点，℃	—	115～125/1.3kPa	—	178～181
					熔　点，℃	—	—	101～104	—
羟值 mgKOH/g	56±4	—	—	—	凝固点，℃	—	21.8	—	—
酸值 mgKOH/g	0.15	—	—	—	含氮量，%	—	—	26±0.1	—
强度，%	—	98	—	99					

② 预聚体制备　聚醚与2,4-甲苯二异氰酸酯摩尔配比为1:2.5。把聚醚加热至60℃，开始搅拌，继续升温到100～110℃，减压到0.67kPa，脱水至无泡为止。然后，降温至70～80℃，加入TDI，温度保持在85±2℃，反应1 h后再减压到0.67kPa，脱去反应生成的CO_2，至无泡为止。

要使预聚体贮存时间长，在制备时要除净气泡，分装时不要带入气泡，包装容器要烘干，预聚物装满整个容器不留空间，在25℃以下阴凉处可贮存1年以上。

③ 灌封材料配方（重量份）　预聚物100；MOCA14.35；苄基二甲胺0.6。

④ 配制工艺　将预聚物加热至70±5℃，加入已熔融的MOCA，慢慢搅拌，速度不超过150～200r/min，1～1.5min混合均匀，注入催化剂后，继续搅拌1～1.5min。停止搅拌后把混合料注入模具里。在相对湿度为50%以上、室温48 h可完全硫化。硫化胶性能如表13-8-11所示。

（2）使用蓖麻油为原料制备封装材料，如表13-8-12所示。

表 13-8-11　硫化胶性能

性　能	指标	性　能	指　标
拉伸强度，MPa	>5.89	击穿电压，MV/m	8
伸长率，%	>90	体积电阻系数，Ω·cm	$>10^{10}$
硬度（邵尔A）	75～85	使用温度，℃	−55～120
永久变形，%	24.5		

表 13-8-12　以蓖麻油为原料配制灌封密封胶配方举例

组　分	配方1（摩尔比）	配方2（重量份）
蓖麻油	2	38
TDI	3	11.75
偏二丁脲（催化剂）	0.2%（重量）	—
过氧化苯甲酰	—	0.5
苯乙烯	—	49.75

表中配方1密封胶可室温硫化也可加热硫化，硫化后的密封胶电性能好，可用于低频电气制品的包装。

该类型灌封密封胶可用来浸渍多孔的电绝缘材料和灌封高压变压器、硅整流器及其它电

气制品。

前苏联K-31密封胶属于这类密封胶。可在20～80℃硫化，对很多材料都有良好粘接性，在－60℃不脆化。其典型性能如表13-8-13所示。

表 13-8-13 蓖麻油类潮封密封胶K-31典型性能

性　能	数　值	性　能	数　值	性　能	数　值
硫化后颜色	黄色不透明	吸水率，%	0.38	介电常数(50Hz)	4.4
密度，g/cm³	0.97	体积电阻，Ω·cm		介电损失角正切	
拉伸强度，MPa	27.47	20℃	7.7×10^{14}	20℃(50Hz)	0.021
硬度(邵尔A)	60～70①	热带温度下48h	1.10×10^{14}	热带温度下48h	0.09
脆性温度，℃	－80	击穿介电强度，MV/m	29	收缩率，%	5

①TM-2法，数值为14.2。

除上述使用外，双组分密封胶更多地用于建筑中接缝嵌缝及其它方面。配方举例见表13-8-14～表13-8-15。

表 13-8-14 船甲板和混凝土建筑物嵌缝用聚醚型聚氨酯密封胶配方举例

组　分	用量重量份	组　分	用量重量份
甲组分		二氧化钛	10
聚醚型预聚体	100	二丁基二月桂酸锡	0.02
乙组分		邻苯二甲酸二丁酯	3
甘　油	2	氧化钙粉	10
蓖麻油	10	颜　料	适量

表 13-8-15 双组分密封胶配方举例

组　分	用量重量份	组　分	用量重量份
甲组分		蓖麻油	8.5
聚酯预聚体	100	邻苯二甲酸二丁酯	2.5
乙组分		煤焦油	84
丙三醇（甘油）	5	有机锡	0.03

该配方具有良好触变性和涂布性，如需提高粘度和硬度，可加入小于40%的滑石粉，其性能如下：

拉伸强度，MPa	0.42～0.49	永久变形，%	28～31
剪切强度，MPa	0.2～0.29	脆性温度，℃	＜－30
伸长率，%	850～1000		

2．单组分密封

在单组分密封胶中所使用的预聚体其异氰酸酯基摩尔含量一般为1000～2000。典型的挤压枪型密封胶含有50～60%预聚体。通常用二氧化钛、碳酸钙、滑石粉、二氧化硅作填充剂。为了使挤出容易，可加入经干燥过的甲苯，最多用量不可超过5%。配方中还应含有分子筛，以吸收未除尽的水，提高密封胶的贮存稳定性。

制备密封胶时，同单组分聚硫密封胶一样，需在真空和加热条件下干燥所使用的配合剂，以消除痕量的水分。

单组分密封胶的配方举例如表13-8-16～表13-8-19所示。

表 13-8-16 挤出型白色单组分聚氨酯密封胶配合举例及制备

组　　分	用量，重量份	组　　分	用量，重量份
1．聚丙二醇聚醚(分子量为2000)	43.6	7．辛酸亚锡	0.013
2．二氧化钛	59	8．防老剂	0.066
3．氧化锌	1.4	9．矿物油精	5.0
4．滑石粉	21.6	10．1，2，4-三甲基吡嗪	0.33
5．甲苯二异氰酸酯	7.6	11．甲苯（脱水）	4.0
6．三羟甲基丙烷聚醚	14.5		

固体含量　94%

制备方法：将组分1～4混合进行脱水，水随甲苯脱除，装上冷凝管后在无水条件下加入异氰酸酯，反应得到游离异氰酸基含量0.5%以下预聚物；

将组分 6 ～10配合后混合，均匀再与预聚物于70～90℃反应后装管密封

表 13-8-17 单组分聚氨酯密封胶配方举例

组　　分	用量，重量份	组　　分	用量，重量份
端异氰酸酯预聚物（反应条件70～80℃×2～3h，氮气保护）	100	抗氧剂	0.45
		增塑剂	9.5
聚丙二醇（MW2000） 聚丙二醇（MW5400）	1.5mol	二氧化钛	20
		滑石粉	40
TD1-80	3 mol	皂　土	8
胺类催化剂	0.05		

表 13-8-18 枪挤出型单组分密封胶配方举例

单位：重量份

组　分 ＼ 配方编号	A	B	C	D
异氰酸基团封端预聚体（-NCO含量2.8～3.3%）（慢硫化型）	400	—	450	—
异氰酸基团封端预聚体（-NCO含量2.8～3.3%）（快硫化型）	—	400	—	450
炭　黑	300	300	—	—
二氧化钛	—	—	20	20
碳酸钙	—	—	280	280
SiO_2	20	30	40	50
甲　苯	10	10	10	10
有效贮存期（实验室批量）	1a	>1a	>4个月	>4个月
颜　色	黑	黑	白	白
硫化时间，d	3	1	3～4	1

表 13-8-19 单组分聚氨酯密封胶配方举例

组　　分	用量，重量份	组　　分	用量，重量份
聚氨酯预聚体（—NCO含量1.2%）	100	二丁基亚氨酸镍	0.5
二氧化钛	5	滑石粉	40
炭　黑	0.05	邻苯二甲酸二丁酯	10
二月桂酸二丁基锡	0.06		

用有机硅烷同以异氰酸酯基封端的聚氨酯预聚体反应，可以获得能湿气交联的以带有易水解基的硅烷封端的聚合物，这种材料与异氰酸酯基封端的材料相比，前者在制造期间减少了湿气的影响，且包装稳定性好，对于干、湿基材都有良好粘接力，不需要底胶，而且硫化胶收缩性低。下面为一个配合实例。

聚丙二醇在二月桂酸二丁基锡催化剂存在下，与过量的2,4-甲苯二异氰酸酯反应，得到一个异氰酸酯基封端的聚氨酯预聚体。使这个预聚体再同γ-胺丙基三甲氧基硅烷反应，获得一个硅烷端基聚合物。这个聚合物在3～12 h 内（取决于空气中相对湿度和环境温度）生成一个弹性的硫化胶。使用聚丙酯二醇及聚丙（氧烷撑）二醇和二醇的混合物代替聚丙二醇，同样可以获得类似的聚合物。

表13-8-20和表13-8-21分别为典型的单组分自流平级密封胶和触变性密封胶的性能。

表 13-8-20 典型的自流平单组分密封胶性能

密封胶类型 / 性能	挤出型密封胶	浇注型密封胶	密封胶类型 / 性能	挤出型密封胶	浇注型密封胶
消粘时间（50%RH，21℃），h	10～24	12～24	连续工作温度范围，℃	－51～＋135	－43～＋135
			耐水性	好	好
硫化时间（6.25×6.25 mm板），d	5～10	4～8	耐稀酸	好	好
			耐稀碱	很好	很好
拉伸强度，MPa	2.07～2.76	1.73～3.45	耐溶剂	优	优
伸长率，%	500～600	100～200	耐燃性	优	优
100%定伸应力，MPa	0.28～0.41	0.41～0.55	电绝缘	好	很好
硬度（邵尔A）	20～30	35～45	老化性能	优	优
100%伸长后回弹性，%	90	85			

表 13-8-21 典型触变型单组分聚氨酯密封胶性能举例

项目	指标	项目	指标
坍塌度（圆筒填充7 d后），mm		污染性	无
5±3℃	0	硬度（邵尔A）	
20±3℃	0	20℃×14d	35
50±3℃	0.5	20℃×14d＋70℃×96h	38
无皱褶时间，h	＜48		

拉伸粘接强度	被粘材料	150%定伸应力 MPa	拉伸强度 MPa	伸长率 %	破坏状态
初期强度（20℃×50%RH×14d）	玻璃	6.5	8.5	480	内聚力
	铝	5.5	6.5	450	内聚力
	砂浆	8.3	10	400	内聚力
水中浸渍20℃×96h	玻璃	7.1	8.6	470	内聚力
	铝	6.8	8.4	400	内聚力
	砂浆	7.3	9.5	490	内聚力
热老化70℃×96h	玻璃	8.7	10	300	凝集
	铝	7.6	8.1	310	凝集
	砂浆	8.7	10	310	凝集

续表

项　　目		指　　标
在150%伸长状态下放置24h无变化		
剥离强度，kN/m	玻　璃	12.5
	铝	10.3
拉伸复原性，%		100
收缩率，%		
20℃×14d		0
70℃×96h		0.8

第九节　硅橡胶密封胶

一、概　　述

硅橡胶是由硅-氧原子交替排列成主链、侧链带烃基的线型硅氧烷构成的高聚物，其通式为（RR′-Si-O-）$_n$。R和R′是相同或不相同的烃基，主要有甲基和苯基（甲基苯基、二苯基）等。如R和R′为甲基者就为二甲基硅橡胶。n为重复单元数目，室温硫化硅橡胶（RTV）的n为100到2000，热硫化硅橡胶为5000到10000。

硅橡胶具有类似子硅酸盐结构，兼有无机物和有机物两者的特征。二甲基聚硅氧烷分子结构如图13-9-1所示。

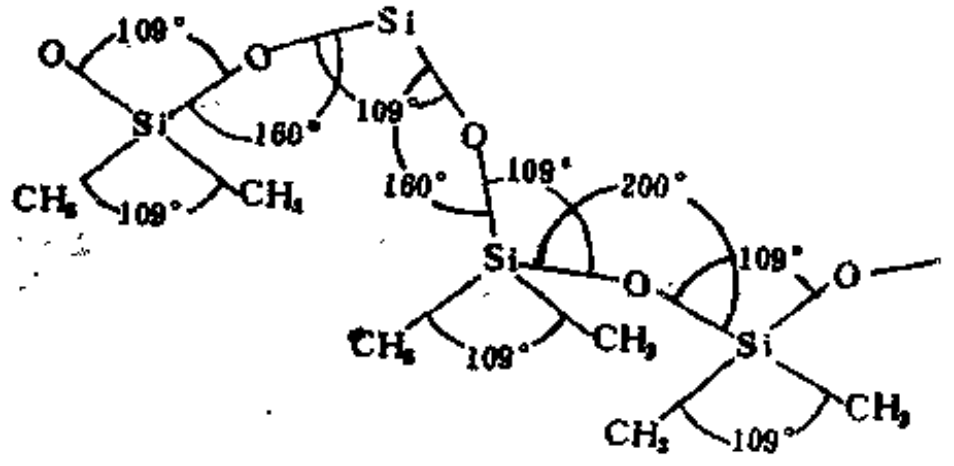


图 13-9-1　二甲基聚硅氧烷的结构

硅橡胶结构的主要特征有：①主链为硅-氧键结构；②大分子主链呈线型螺旋卷曲状有序形态；③侧链烃基具有多样性，由此产生了硅橡胶的许多特性。

硅橡胶主链为硅-氧键结构，其键能（373kJ/mol）比碳-碳键能（243kJ/mol）要高得多，因此硅橡胶耐高温性能极佳。在有空气存在时加热，一方面可减缓硅氧键的水解，另一方面有机侧基团的氧化又使聚合物进一步交联。这两个相反作用的结果使硅橡胶在一定温度和时间范围内仍保持良好的力学性能。但是，硅橡胶在密闭体系中加热时，会由于硅氧键受到水解，分子量急剧下降而变软、变粘，从而失去使用价值。

硅橡胶大分子呈线型螺旋卷曲状有序形态，因此具有耐低温、高绝缘和非极性等性能。

由图13-9-1可见，分子结构中的键角有利于形成大环结构。这种分子链具有柔软性，很容易卷曲和自由旋转，形成6～8个硅氧键为重复单元的螺旋形结构。这种螺旋状的有序结构对温度很敏感，当温度升高时，螺旋结构的分子就舒展开，末端距增大，粘度增加。这正好

补偿由于温度升高而引起的粘度降低。相反，温度下降时，螺旋结构的分子构象变化引起粘度降低，正好补偿由于温度下降而引起的粘度增大。所以，硅橡胶具有较小的粘度-温度系数，这也使得硅橡胶具有良好的耐低温性能。

在聚硅氧烷线型螺旋状卷曲的有序分子结构中，硅氧键的极性相互抵消，连接在硅原子上的非极性烃基（如甲基团）排列在螺旋状的硅氧烷主链外侧，对硅氧键的极性起一定的屏蔽作用，所以整个聚硅氧烷分子呈非极性。硅橡胶内聚能密度低，自身强度和对各种基材的粘接强度都比较低。

硅橡胶分子是非极性的，不易随外电场的变化而取向，因此它的电性能（包括体积电阻、功率损耗、击穿电压和耐电弧性）优良，并且不易受温度和频率变化的影响。硅橡胶广泛地应用于电器、电子工业。

有机侧链基团对硅橡胶性能有重要影响。甲基侧链围绕着硅-氧键轴具有很大的旋转自由度，甚至在25℃仍保持这种运动。这是因为分子间作用力弱，所以低温下有机侧链基团还能运动。这些有机基团的运动增加了分子间的距离，使分子间的相互作用力减弱，因此线型聚硅氧烷具有较低的结晶温度（－55～－65℃）、玻璃化转变温度（－100～－120℃），并具有较低的内聚能和表面张力以及其它特殊的表面性质。二甲基硅氧烷硅橡胶的低温性能极佳。

含有部分二烯基侧链（0.1～0.5mol%）时，可改善硅橡胶的交联。含有三氟丙烯基或腈基侧链时，可提高硅橡胶的耐油性能。用苯基取代部分甲基侧基，可改善硅橡胶的低温性能和耐氧化性能。例如含有5.3mol%二苯基的硅橡胶的脆性温度从－65℃降到－109℃。

因此，硅橡胶既具有低的结晶温度和玻璃化转变温度，又具有耐高温性能，因此从－65℃（若含有7 mol%苯基甲基硅氧单元时甚至低至－110℃）到250℃这样宽的温度范围内仍保持着橡胶弹性。它是使用温度范围最宽的一种弹性体。

硅橡胶分子具有硅氧原子组成的饱和主链，具有耐臭氧、紫外线的作用。

上述结构特征使硅橡胶具有一系列的优点，很适合作耐热、耐寒、绝缘、防潮和防震密封和胶接材料，如电子及光学仪器的灌注密封和胶接、可控硅元件的表面保护等等。

在建筑方面，硅密封胶可作为预制构件的嵌缝密封材料、防水堵漏材料、金属窗框中镶嵌玻璃的密封材料以及中空玻璃构件的密封材料。

RTV密封胶在汽车工业上可用作填圈、阀盖油盘、恒温器、后轴盖、自动变速箱和尾灯装置的密封。在其它方面可用作洗衣机、洗碗机、吸尘器、电表盖罩、冰箱接缝等密封。

用室温硫化的腈硅橡胶、含氟硅橡胶、苯撑橡胶等配制的密封胶具有突出的性能，它们在常温和高温下耐脂肪族、芳香族、氯烃、喷气燃料、酯类润滑油、硅酸酯液压油等，可用于飞机整体油箱密封。

用室温硫化硅橡胶配制的泡沫硅橡胶比其它泡沫弹性体使用温度范围广，并有高的热稳定性，良好的绝热、绝缘和防潮性，优良的抗震性，尤其是在高频下的抗震性更好，它是一种较为理想的轻质封装材料，可作为各种电子元件、仪器仪表、飞行器仪器舱的防震、防潮和绝缘、隔热的填充材料等。

二、密封胶的组分

硅橡胶密封胶主要由硅橡胶、硫化剂、填充剂、结构控制剂和增粘剂等组分组成。

（一）硅橡胶

从硫化温度而言，市场上的硅橡胶主要有热硫化型硅橡胶和室温硫化型硅橡胶两种类型。

室温硫化硅橡胶的分子末端带有反应性的活泼基团，在催化剂的作用下，这些活泼端基能在室温下反应，交联成弹性体的聚合物。而热硫化硅橡胶的分子末端是惰性的，其硫化交联须使用有机过氧化物，带有不饱和侧基或反应活性侧基的硅橡胶还可使用相应的硫化剂，在加热下形成交联。

硅橡胶密封胶通常以室温硫化硅橡胶为主体材料。按照硫化反应机理，又可分成缩合型和加成型两种。

1．缩合型硅橡胶

这类橡胶的分子末端由活性的反应性基团封端，它通过缩合反应交联，在硫化过程中有低分子物产生，会引起密封胶的收缩。市售室温硫化硅橡胶（即RTV硅橡胶）是分子链端带有羟基的低分子量聚有机硅氧烷，其化学结构式为：

$$HO-\left(\begin{array}{c}R\\|\\-Si-O-\\|\\R\end{array}\right)_{n\approx 300\sim 1600}-$$

R为不同烃基团时，其性能也相应变化。

室温硫化硅橡胶如同热硫化硅橡胶一样，按其主链及侧链的化学结构不同如甲基、苯基（甲基苯基、二苯基）、腈基、氟硅、苯撑、苯醚撑、氟硅苯撑等可分成不同特性的硅橡胶。一般说来，不同化学结构的热硫化硅橡胶，都可能有与其相对应的室温硫化硅橡胶，并具有相似的特性。

室温硫化腈硅橡胶是聚β-腈二基甲基硅氧烷，该聚合物常温下是一种乳白色粘稠液体，腈基含量为20～25mol%。它具有硅橡胶的特性，如耐光、耐臭氧、耐潮气，耐高低温和优良的电性能。此外它比硅橡胶耐非极性溶剂性好，可耐脂肪族、芳香族溶剂。腈硅橡胶的耐油性能与普通耐油丁腈橡胶相接近。其硫化胶性能如表13-9-1所示。

表 13-9-1　腈硅橡胶硫化胶性能

性　　能	指　　标	性　　能	指　　标
拉伸应力，MPa	≥1.96	耐RP-1煤油（常温×24h）	
伸长率，%	80～120	重量增加，%	≤10.0
硬度（邵尔A）	40～50	体积增加，%	≤20.0
体积电阻，Ω·cm	$\geqslant 1.0\times10^{16}$	耐YH-10红油（常温×24h）	
介电系数（1 MHz）	≤7.0	重量增加，%	≤10.0
介电损耗角正切值（1 MHz）	$\leqslant 8.0\times10^{-4}$	体积增加，%	≤15.0
击穿电压,MV/m	≥12.0		

室温硫化含氟硅橡胶（如氟硅橡胶、氟硅苯撑橡胶）的突出性能是，在常温和高温下耐脂肪族、芳香族、氯烃、喷气燃料、酯类润滑油、硅酸酯液压油等，该类橡胶的性能见表13-9-2。

用室温硫化氟硅橡胶配制的密封胶，有良好的耐高低温、耐燃料油性能，对一般金属和钛合金不腐蚀，可用子飞机整体油箱密封。

表 13-9-2 室温硫化含氟硅橡胶硫化胶性能

性能	氟硅橡胶			氟硅亚苯基橡胶		
	常温	200℃×12h 老化	200℃×12h 10号煤油	常温	230℃×24h 老化	230℃×12h 10号煤油
拉伸强度，MPa	265	0.98	变粘失去弹性	2.94	2.44	0.88～1.37
伸长率，%	250	50		300	250	300
永久变形，%	0	3		4	0	0
硬度（邵尔A）	45	28		40	44	22

密封胶中使用量最大的室温硫化硅橡胶是羟基封端的聚二甲基硅氧烷。

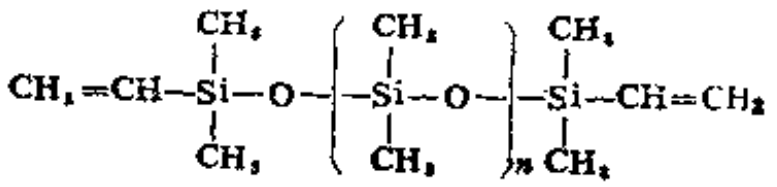
国内生产的该类橡胶牌号有107、SD33、SDL-135、G-3等。

近年来，还开发了以烷氧基或其它基团封端的低分子量室温硫化硅橡胶。国内已生产的室温硫化硅橡胶的品种与牌号参见第一分册第九章。

通常认为，二甲基羟基聚硅氧烷在催化剂作用下与有机硅氧烷类交联剂发生缩合反应形成弹性体，如果不除掉缩合反应产生的水、醇等副产物，会使硅橡胶硫化不完全，影响其机械、电气性能，在高温下甚至会使硫化胶变软发粘。

2．加成型硅橡胶

加成型硅橡胶是分子链末端带有乙烯基或丙烯基等不饱和的聚有机硅氧烷，通常是甲基乙烯基聚硅氧烷，其化学结构式为：



它通过加成反应而硫化，反应中无低分子物质形成，因此此类硅橡胶的密封胶收缩小。由催化剂的活性或有无抑制剂而决定加成反应在室温或略微加热（60～80℃）条件下完成硫化。用加成型硅橡胶制备的密封胶，在常温下贮存稳定，通过加热触发加成反应，可在短时间内完成硫化过程，故适用于连续生产。加成型硅橡胶体系还可以使硅橡胶的灌注和包封等用低粘度的液体进行。加成型硅橡胶的牌号与性能如表13-9-3所示。用加成型硅橡胶还可做成弹性硅凝胶，它是加成型硅橡胶的一种凝胶化状态的产品。

表 13-9-3 加成型硅橡胶性能

指标 \ 牌号		GN-501	GN-502	GN-511	GN-512
生胶性能	外观	无色透明	无色透明	微黄透明	微黄透明
	粘度（25℃），Pa·s	1500～2500	1500～2500	5000～6000	5000～6000
硫化胶性能	拉伸强度，MPa ≥	—	—	4.41	4.41
	伸长率，% ≥	—	—	＞0	＞0
	硬度（邵尔A） ≥	—	—	40	40
	体积电阻系数，Ω·cm ≥	1×10^{14}	1×10^{14}	1×10^{15}	1×10^{15}
	介电常数 ≤	3.2	3.2	3.3	3.3
	介电损耗角正切值 ≤	1×10^{-3}	1×10^{-3}	3×10^{-3}	3×10^{-3}
	击穿电压，kV/mm ≥	18	18	15	15
硫化条件	硫化温度，℃	70～80	高于室温	70～80	高于室温
	硫化时间，h	4	24	4	24
	室温下可用时间，h	8	10～30mm	8	10～30mm

3．硅橡胶的选择

为了获得理想性能的密封胶，须对橡胶进行选择。硅橡胶的分子量是选择生胶的主要指标。分子量越大，橡胶的粘度越高，给加工和最终的密封胶施工带来困难，但硫化胶的物理机械性能好。分子量大，单位体积硅橡胶的反应基团少，反应活性低；分子量低，粘度小，又会带来坍塌性问题等，因此，一般使用的密封胶选用分子量3～6万即可。在对伸长率、拉伸强度和撕裂强度要求高的场合，可选用分子量8～10万的生胶，甚至还可再高一些，但分子量超过15万的硅橡胶反应活性已相当低，很难保证在室温下硫化。

理想的生胶，分子量应比较均匀，挥发物（150℃×3h）在1%以下。

（二）硫化体系

1．双组分密封胶

（1）交联剂　室温硫化硅橡胶使用的交联剂为带有≡Si—OR、≡Si—H和≡Si—OH的有机硅氧烷。在硅原子上连有酰氧基的有机硅氧烷有正硅酸乙酯、聚硅氧烷、甲氧基硅氧烷、乙氧基硅氧烷等。在硅原子上含有氢原子的烷基硅烷交联剂（如甲基二乙氧基硅烷或三氧基硅烷）最有效。≡Si—OH型硫化剂主要有三甲基硅氧烷和二氧化硅的水解产物。

最常使用的交联剂是正硅酸乙酯（丙酯）、甲基三乙氧基硅烷、苯基三乙氧基硅烷、苯基三甲氧基硅烷以及它们的低聚物和它们的部分水解产物，用量为2～10%。

带有取代基烷基的三烷氧基硅烷可以作交联剂使用，其通式为$R'Si(OR)_3$。R′为取代基，例如氨丙基（$H_2NCH_2CH_2CH_2$）、巯基丙基（$HSCH_2CH_2CH_2$）、γ-缩水甘油氧化丙基〔$\underset{\diagdown O \diagup}{CH_2—CH}—CH_2O(CH_2)_3$〕；OR为烷氧基，例如甲氧基（$—OCH_3$）、乙氧基（$—OC_2H_5$）、丙氧基（$—C_3H_7$）。这些有机硅氧烷常用作偶联剂，是表面处理剂的主要组分。在密封胶中与常用的交联剂并用，可提高硫化速度、内聚强度和对特定基材的粘接力。

在实际配合中，交联剂有时是多种类型官能团并用，还要考虑不同官能度的烷氧基硅烷的相对比例，以满足不同的要求。

（2）催化剂　作为催化剂可用有机酸盐和有机胺。最有效并常用的是羧酸的锡盐，例如二丁基二月桂酸锡、二丁基二酯酸锡、辛酸锡、异辛酸亚锡、二辛基二乙酸锡、顺丁烯二酸单辛酯二辛基锡、顺丁烯二酸单丁酯二丁基锡、二丁基二异辛酸锡、2-乙基己酸亚锡等，其中辛酸亚锡毒性较低，适合快速室温硫化。硬脂酸铁和辛酸钴也常用。

催化剂的用量一般为硅氧烷的0.5～5%。最常用的催化剂是二丁基二月桂酸锡，一般用量1～5份。

有机胺硫化剂有二正丁胺、三乙醇胺等。碳酸铵、四甲基氢氧化铵也可作催化剂。

催化剂中残留的游离酸会使密封胶腐蚀被粘的金属材料，可通过精制或与交联剂回流反应降低游离酸值。其水分含量应控制在0.5%以下。

（3）影响硫化速度的因素　双组分硅橡胶密封胶的硫化速度受空气湿度和环境温度的影响，但是影响硫化速度的主要因素是催化剂的性质和用量。胺类可作为助催化剂而加速它的硫化，如表13-9-4所示。

硫化条件：25℃×相对湿度70±5%。

2．单组分密封胶

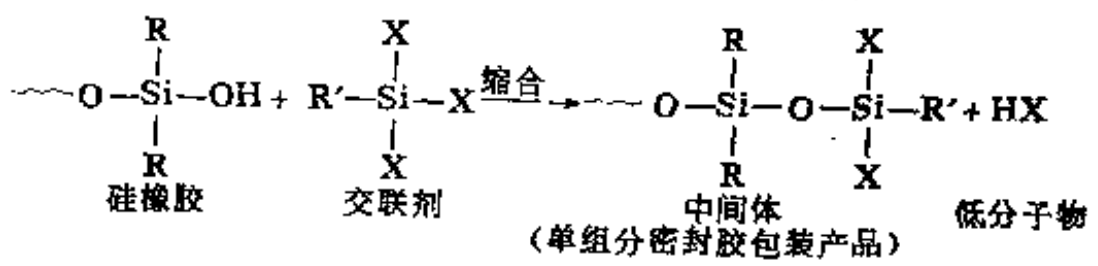
（1）硫化机理　单组分密封胶所使用的硅橡胶也是含有羟基的二甲基聚硅氧烷，使它

表 13-9-4 胺类对硫化速度的影响

胺　　类	表面不粘手时间 min	胺　　类	表面不粘手时间 min	胺　　类	表面不粘手时间 min
参　照	420	苯　胺	420	三丁胺	240
γ-氨丙基三乙氧基硅烷 (KH-550)	40	二乙胺	45	三乙胺	270
丁　胺	40	二乙醇胺	115	三乙醇胺	150
己　胺	40	二甲基环三硅氮烷	100	吡　啶	420

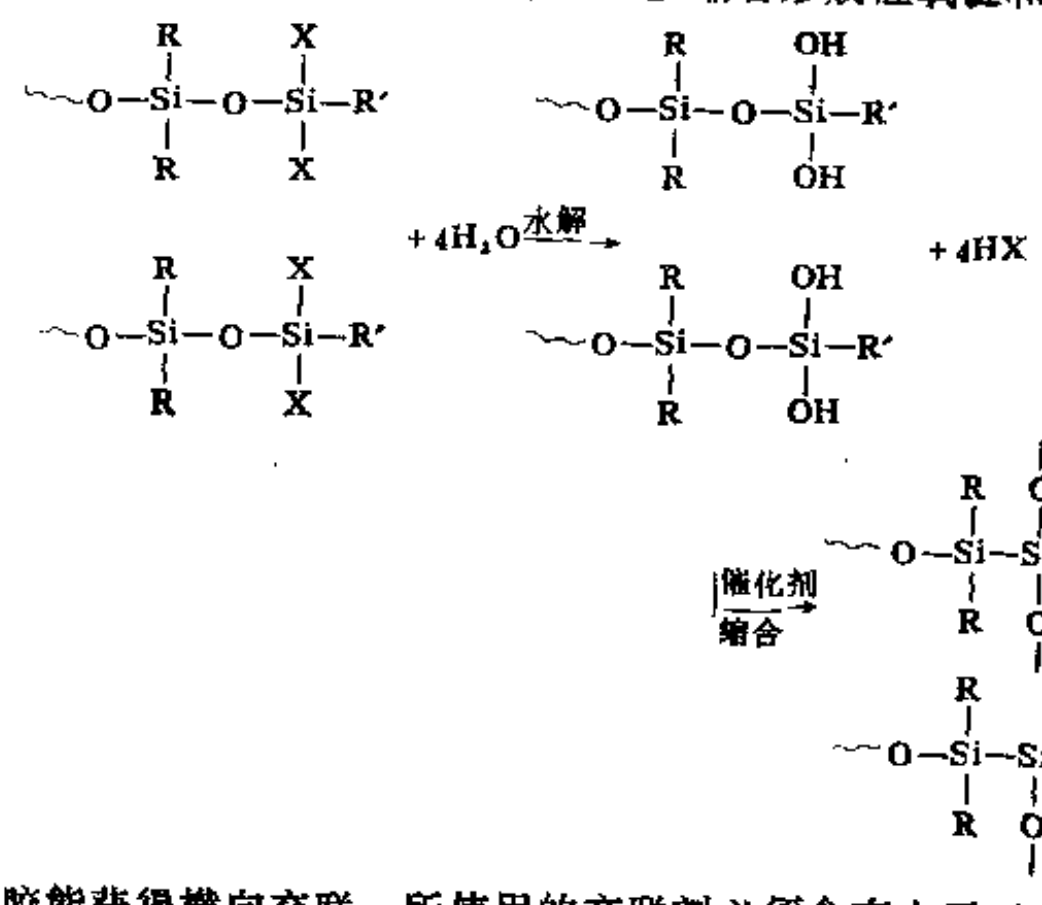
注：胶料配方（重量份）：二甲基室温硫化硅橡胶100，$(C_4H_9)_2Sn(OCOC_{11}H_{23})_2$ 0.4，$Si(OC_2H_5)_4$ 3，胺类 0.55。

和交联剂混合，经初步反应，硅橡胶的羟基与交联剂的部分可水解基团进行缩合反应，使原来带羟端基的硅橡胶变成带有剩余易水解基团硅烷封端的中间体，反应中并有相应的易水解基团与氢原子形成的低分子化合物为副产物。反应方程式如下：



式中X为易水解基团。

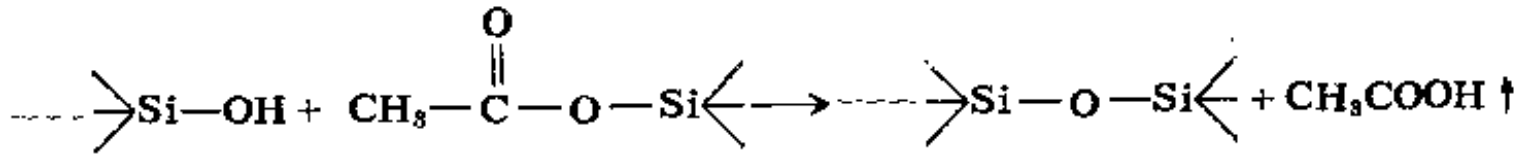
实际上单组分密封胶中的硅橡胶就呈此种中间体状态供给用户的。当密封胶接触空气中的水分时，中间体末端的剩余的可水解基团吸收空气中的水分进行水解，生成硅羟基和低分子物。硅羟基在缩聚反应催化剂的作用下进一步缩合形成硅氧键和水。反应式如下所示，



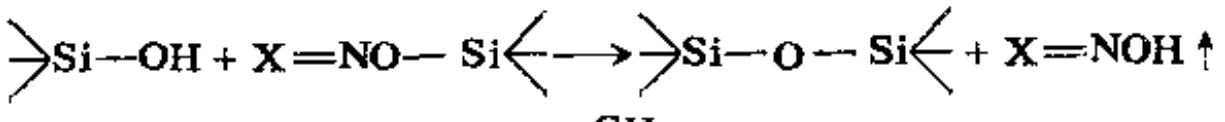
为了使橡胶能获得横向交联，所使用的交联剂必须含有大于二个水解基团的硅烷，亦即中间体密封胶硅橡胶的末端硅烷基团应保留二个成大于二个水解基团，否则，橡胶只能是分子主链的增长而不会产生横键。

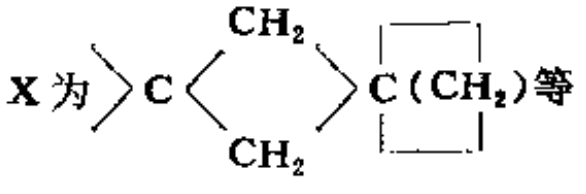
（2）交联剂　单组分密封胶所用的交联剂，通式为 $RSiX_3$，X 为易水解基团。交联剂硅烷所带的水解基团类型不同，在橡胶的交联反应中脱出的副产物的类型也不同，密封胶的性能也就不同。通常根据脱出的副产物类型，将单组分密封胶分成以下几种类型。

a. 脱乙酸型

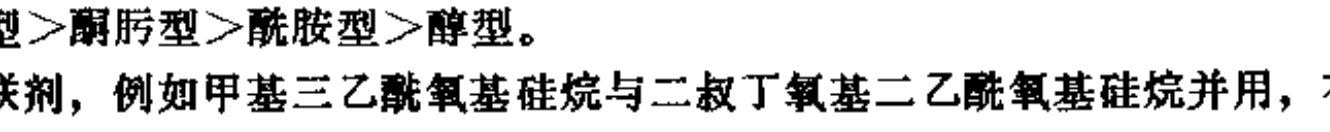


b. 脱酮肟型

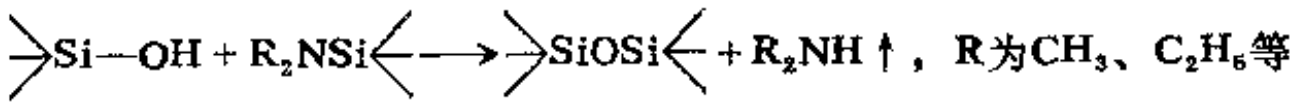




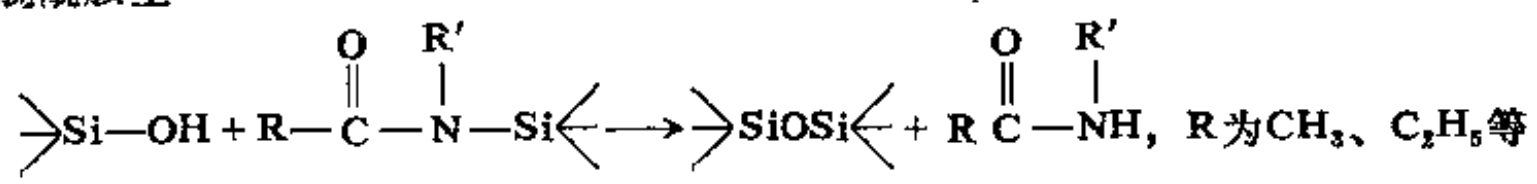
c. 脱醇型



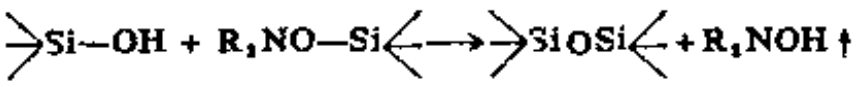
d. 脱胺型



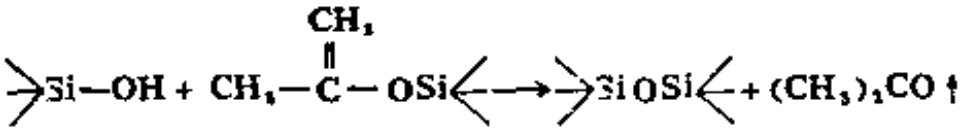
e. 脱酰胺型



f. 脱羟胺型



g. 脱丙酮型



各类型密封胶的优缺点为表13-9-5所示。交联剂类型对密封胶的粘接性能影响的大小顺序大致如下：

乙酸型＞胺型＞酮肟型＞酰胺型＞醇型。

采用混合交联剂，例如甲基三乙酰氧基硅烷与二叔丁氧基二乙酰氧基硅烷并用，有利于提高密封胶的粘接强度，它们的并用效果如表13-9-6所示。

常用的交联剂有：甲基三甲氧基硅烷、甲基三乙酰氧基硅烷、甲基三（环己基胺）硅烷、甲基三（丙酮肟）硅烷、甲基-三（*N*-甲基乙酰胺）硅烷和四乙氧基硅烷。

（3）影响硫化的因素　单组分密封胶的硫化速度除受交联剂性质的影响外，空气的湿度和环境温度是决定因素。单组分硅密封胶，可在 0～80℃ 范围内硫化，硫化时要依靠周围空气中的水分，因此硫化是从表面开始逐渐往深处进行。胶层越厚，硫化越慢。硫化时间与胶层厚度的关系见表13-9-7，硫化速度与温度、湿度的关系如图13-9-2所示。

密封胶的硫化首先在同空气接触的表面开始，并生成一层橡胶膜，然后，空气中的水气透过胶膜使内部逐步硫化，反应的副产物也不断地扩散出来，硫化逐渐向密封胶深层进行。随着硫化胶膜的增厚，水气越来越难透过，反应的副产物分子也越难扩散出来，硫化速度越来越慢。因此，超过一定厚度以后，甚至长期放置，胶层内部也不能硫化。通常胶层厚度不超过1cm。这一点与双组分体系不同，双组分体系（包括低温硫化的加成型）在表面和内部几乎同时硫化，不受胶层厚度的影响。据报道，在单组分密封胶中加入氧化镁可以加速硫化

表 13-9-5 单组分密封胶常用交联剂的优缺点

易水解基团	优　　点	缺　　点	适 用 范 围
乙酰氧基 $-OCCH_3$ ‖ O (乙酸型)	对许多材料有良好粘接性，透明	硫化时生成对金属有腐蚀性的醋酸	是开发最早的应用最广的通用型单组分硅密封胶
丙酮肟基 $-ONCR_2$ (酮肟型)	粘接性能较好	生成的酮肟对铜、铂等金属有腐蚀性	仅次于乙酸型，也属于通用型硅密封胶
烷 氧 基 $-OR$ (醇型)	无臭、无毒、无腐蚀	硫化性不好，要用邻苯二甲酸酯作催化剂	在电器、电子工业中作密封胶
胺　　基 $-NHR$ (脱胺型)	对建筑材料无腐蚀	有胺臭，对人体有影响	在建筑工业中作为密封胶
酰 胺 基 $-NOCR$ 　　‖ 　　R (酰胺型)		粘接性能较差	

表 13-9-6 交联剂并用对粘接性能影响

$(t\text{-}BuO)_2Si(OAc)_2$ 用量，重量份	$MeSi(OAc)_3$ 用量，重量份	铝/铝		不 锈 钢	
		扯离强度 MPa	内聚力破坏 %	剪切强度 MPa	内聚力破坏 %
0	4.0	1.08	45	0.89	10
0.8	3.2	1.65	100	1.75	100
0	6.2	0.99	35	—	—
1.2	5.0	1.65	100	—	—
3.1	3.1	1.91	100	1.38	100
4.4	3.0	1.42	100	1.51	100
3.7	3.7	1.73	100	1.34	100

表 13-9-7 胶层厚度与硫化时间关系

胶层厚度 mm ＼ 密封胶牌号	在 20～35℃ 室温条件下硫化所需时间， h			
	GD-401	GD-402	GD-404	GD-405
0.1～1	1～2	1～2	0.5～1	0.5～1
1～2	2～4	2～4	1～2	1～2
2～3	4～10	5～10	3～6	3～6
3～4	10～20	15～20	6～14	6～14
7～9	48	72	40～48	40～48

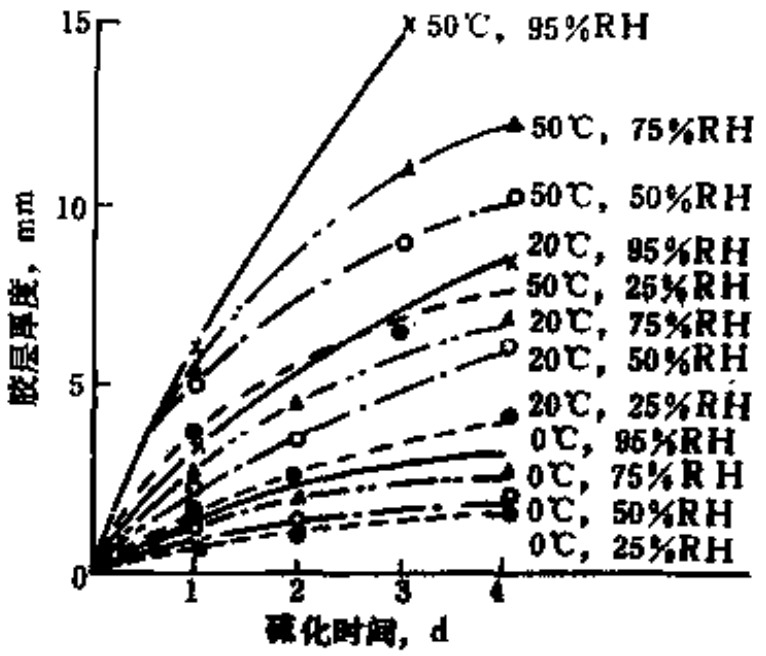


图 13-9-2 硫化速度与温度、湿度的关系

而使厚层制品得以硫化。氧化镁加入量应根据稠度要求确定，一般在5～20%。

另外在工艺上采取一定措施可得到良好效果，对于胶层厚度大于10mm 的灌封，采用分层灌封法，每次灌注或填充 5～10mm 厚胶料，待硫化后再依次填充。为防止硫化时放 出的低分子物（如乙酸、丙酮酸等）的腐蚀，可先在封装表面涂一层清漆进行保护。封装后应在100℃左右烘箱中烘一段时间，以除去这些低分子物。

3．加成型密封胶

加成型硅橡胶的硫化介于高温硫化型和室温硫化型硅橡胶之间，在硫化时需要加热(40～120℃）。所使用的硫化剂为含有$\rangle$Si—H 基的聚有机硅氧烷，如甲基含氢聚硅氧烷。选用适当的催化剂，可在室温下硫化。

加成反应催化剂可用钯或铂的化合物，铂的活性高，一般用铂黑、铂石棉，最常用的是乙烯基铂络合物。

为了延长可用时间，在密封胶中须加入微量阻聚剂，如丙烯腈或低粘度甲基乙烯基聚硅氧烷，但硫化温度要提高到80℃以上。

加成型硅橡胶通常配制成双组分型密封胶。

（三）填充剂

未补强的硅橡胶力学性能低，实用价值不大。选择适当的补强剂可以大幅度地提高其力学性能。

补强剂主要是天然的或合成的二氧化硅，包括硅藻土、气相白炭黑和沉淀法白炭黑以及其它无机填料。补强剂的颗粒大小、表面性质和聚集状态等因素对硅橡胶的补强效果有很大影响。补强效果最好的是气相法白炭黑，其平均颗粒直径为 10～40μm，比表 而 积 为 150～300m²/g，其次是沉淀法白炭黑，其平均粒径是30μm，比表面积为100～150m²/g。而经过有机硅表面处理的白炭黑的补强性与其表面活性（如羟基）及分散性好坏有关。比表而积大的白炭黑，其羟基含量高、分散性差，与生胶混合后容易结构化。故要解决结构化，才能获得良好贮存稳定性。

沉淀法白炭黑虽补强性差，但成本低、密封胶流动性好、易施工，不易结构化，但在电学性能要求高的场合不宜使用。

经过有机硅氧烷表面处理后的白炭黑具有高的补强效果。常用的处理剂有D_4（八甲基环四硅氧烷）和六甲基二硅氮烷。用六甲基二硅氮烷及硅氮烷处理高表面积的气相白炭黑，可提高密封胶抗撕强度、拉伸强度及伸长率，而且白炭黑不易结构化。

为适合涂覆、包封、浇注、嵌缝等工艺的要求，室温硫化密封胶的补强剂用量要比热硫化硅橡胶的少。

无溶剂的硅树脂（甲基硅树脂、乙烯基硅树脂）也可作为羟端基硅橡胶的补强剂。该补强剂具有透明度高、流动性好、强度高的特点，但抗撕性能差、伸长率低、成本高。

非补强填料一般作为增容剂以降低成本，常用的有硅藻土、石英砂、金属氧化物（如氧化锌、氧化铁、二氧化钛）、碳酸钙、陶土、硫酸钡和少量炭黑等。

还可加入玻璃纤维和石棉，以降低密封胶相对密度，也可加入玻璃及塑料的微珠。

（四）结构控制剂

为防止白炭黑和硅橡胶之间的结构化，促进填充剂在胶料中的分散性，改善混炼工艺和贮存稳定性，常加入结构控制剂。

从热稳定性考虑，硅烷二醇中的二苯基硅二醇是较好的结构控制剂。此外，硅原子数2～4的硅烷二醇（如四甲基二硅烷二醇）也有效。羧基甲基硅油也可作结构控制剂，但必须根据硅油的羟基含量考虑其用量，用量过多会影响硫化胶性能。

二烷基硅烷中有一些可作结构控制剂，甲基苯基二甲基氧效果较好，二苯基二甲氧基硅烷也可使用。一般来说，3～5个硅原子的烷氧基硅烷均有一定效果，使用这一类结构控制剂时，可省掉热处理工艺。

烷氧基含量较高的硅树脂作为结构控制剂使用时，密封胶具有较长的活性期和良好的贮存稳定性，配合得当可贮存二年以上。但其用量较一般的结构控制剂大，一般为生胶的10～25%。随着树脂用量的增加，伸长率下降，硬度增加，热老化性较好。在200℃老化后，性能略有上升。

（五）其它组分

根据所制备的密封胶的性能要求，还可加入其它一些组分。

1．增塑剂

为不影响密封胶热老化性，一般使用甲基硅油或苯基硅油作增塑剂。常用的硅油粘度为0.3～1Pa·s，用量过多或粘度过小会影响热老化性和物理机械性能及粘接力。使用温度范围，甲基硅油－50～＋200℃，低于苯基硅油。

2．增粘剂

加入增粘剂可提高粘接力，用量为0.5～3%。常用的增粘剂有各种带烷氧基的硅烷偶联剂、硼的化合物等，如表13-9-8所示。

表 13-9-8 KH-550 对室温硫化硅橡胶粘接强度的影响

粘接材料 \ 用量，%	0	0.5	1.0	3.0	粘接材料 \ 用量，%	0	0.5	1.0	3.0
钢	粘附破坏	粘附破坏	内聚破坏	内聚破坏	硬聚氯乙烯	粘附破坏	粘附破坏	内聚破坏	内聚破坏
黄铜	粘附破坏	粘附破坏	粘附破坏	内聚破坏	硅橡胶硫化胶	内聚破坏	内聚破坏	内聚破坏	内聚破坏
铝	粘附破坏	内聚破坏	内聚破坏	内聚破坏	天然橡胶硫化胶	粘附破坏	内聚破坏	内聚破坏	内聚破坏
玻璃	内聚破坏	内聚破坏	内聚破坏	内聚破坏	大理石	粘附破坏	粘附破坏	粘附破坏	内聚破坏
聚酯树脂	粘附破坏	粘附破坏	内聚破坏	内聚破坏					

3．热稳定剂

影响硅密封胶热稳定性的因素很多，如分子结构、交联剂用量、酸碱性和杂质等，因此须加入热稳定剂。常用的热稳定剂有氧化铁，其它还有锰、钴、镍、铜等金属氧化物以及聚苯硫醚、二茂铁的有机化合物等。

4．着色剂

室温硫化硅橡胶是无色透明的，其颜色和色调可用着色剂调节，既可制成半透明的又可制成建筑用的铝灰色密封胶。考虑到热稳定性，着色剂大多采用无机颜料。只有少数品种的有机染料可供使用。

常用的着色剂有氧化铁红、氧化铁黄、三氧化二铬、二氧化钛、氧化锌、硫化镉、炭黑、群青等。

5．稀释剂

有时考虑到喷涂、浸渍作业的方便，须向密封胶基料里加入稀释剂以使其粘度下降。稀

释剂通常是低粘度甲基硅油，加入量一般不超过20%，否则会使产品性能下降，见图13-9-3。还可加入其它类型的稀释剂如乙醚油、汽油、芳香烃等。

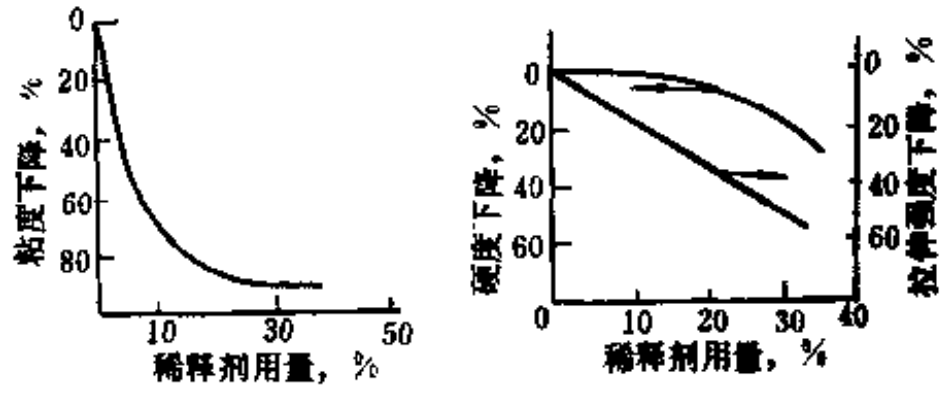


图 13-9-3 加入稀释剂后密封胶物理机械性能变化

6．阻燃剂和防辐射剂

根据对密封胶的特殊使用要求，在需要阻燃或防辐射方面使用的密封胶，应配入阻燃剂或防辐射剂。

三、密封胶制备方法

（一）双组分密封胶

双组分硅橡胶密封胶各种配合剂应分成两个组分，通常是将硫化体系配成一个组分，硅橡胶及其它配合剂为另一个组分。

密封胶的制备工艺一般与普通硅橡胶胶料的制备方法相同，即在开炼机上将硅橡胶与除硫化体系组分以外的其它配合剂进行混炼。

在使用时将两个组分进行充分混合，一般情况下，将硫化体系组分加到混炼胶组分中，经不断搅拌均匀即可使用。也可将混合后密封胶在开炼机上、三辊机或捏合机中进行充分混合，有时还可在真空下脱气泡后使用。

（二）单组分密封胶

把室温硫化硅橡胶生胶与填充剂等其它添加剂在开炼机上混炼均匀后移入捏合机中，在减压和加温下除去混炼胶中所含的水分，并在保证无水的条件下加入交联剂和催化剂，混合均匀，此时硅橡胶的羟基与交联剂的可水解基团进行缩合反应并有低分子物脱出，最后生成的以剩余可水解基团的交联剂硅烷封端的密封胶中间体就是制造厂的单组分密封胶成品。在保证无水的条件下把密封胶装在不透水气的容器中供应市场。密封胶在这种隔绝水分的情况下可长期保存。包装容器通常有纸质和聚烯烃塑料制的弹药筒型包装管，其容积为 330ml。管的外径和长度各国都用统一规格。

制备工艺要点：一是在密封胶制备时，加入交联剂后应控制其反应程度，即应使硅橡胶中的羟基全都反应，并要使封端交联剂硅烷所剩余的可水解基团数目在二个或二个以上；二是在密封胶反应完毕、装筒之前应除去气泡，并保证装管密封胶无气泡，否则影响施工性能。

四、密封胶配合举例

（一）双组分室温硫化硅密封胶

室温硫化硅密封胶作为灌封材料用于电气设备、电子元件、仪器的绝缘、防潮、防震、

防振、防尘和防腐密封，还可作为模型材料，近年来在建筑上也大量使用。

1．配方举例

双组分硅密封胶的配方举例如表13-9-9～表13-9-11所示。

表 13-9-9 通用型双组分硅密封胶配方举例

组　　分	用量，重量份	组　　分	用量，重量份	组　　分	用量，重量份
甲组分		硼　酐	0.4	钛酸正丁酯	2
羟端基二甲基硅橡胶	100	乙组分		二丁基二月桂酸锡	1.8
D_4处理气相白炭黑	20	正硅酸乙酯	5	γ-缩水甘油氧化丙基三甲基硅氧烷(KH-560)	3
苯端基二甲基硅氧烷聚酯	20	硼酸正丁酯	3		

表 13-9-10 微调用双组分硅密封胶配方举例

组　　分	用量，重量份
甲组分	
羟端基二甲基硅橡胶(107号)(分子量6～10万)	100
2号气相白炭黑	25
氧化铁红	5
甲基苯基二乙氧基硅烷	3
乙组分	
烯硅酸乙酯	3
甲基三乙氧基硅烷	3
顺丁烯二酸辛酯二辛基锡	1.5

表 13-9-11 建筑用双组分硅密封胶配方举例

组　　分	用量，重量份
甲组分	
羟端基二甲基硅橡胶	100
无机微粒填料	50～80
颜　料	0～6
乙组分	
含有二烷羟氨基硅氧烷	2～10

表13-9-9的配方中使用RTV硅橡胶，常用分子量为5～6万左右。用D_4处理气相白炭黑可提高密封胶物理机械及强度。加入苯端基二甲基硅氧烷聚酯是为提高密封胶的初粘力和活性。硼酐是促溶剂，可改善硅氧烷与其它组分的相溶性。偶联剂γ-缩水甘油氧化丙基三甲基硅氧烷（KH-560）可提高密封胶与其它被粘材料间的粘接力。

双组分硅密封胶性能见表13-9-12。

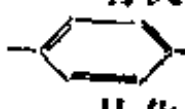
表 13-6-12 双组分硅密封胶性能

性能 \ 密封胶类型	普通型	高强度型
拉伸强度，MPa	1.96～4.91	3.92～6.87
伸长率，%	100～250	300～800
线型收缩，%	0.2～0.5	0.2～0.5
使用温度，℃	-60～250	-60～250
硬度（邵尔A）	30～70	30～80
体积电阻，Ω·cm	1×10^{13}～10^{14}	
击穿电压，kV/mn	18～25	
介电常数ε(1ml)	3～4	
介电损耗$tg\delta$(1mc)	$1\sim3\times10^{-3}$	

2．硅密封胶使用的底胶

一般双组分体系的硅密封胶对大多数材料都不容易粘接，因此常利用其不粘接性来制造模具，以模制某些塑料和低融点金属。

为了使密封胶与被密封基材具有良好的粘接性，除在密封胶中加入增粘剂外还可用有机硅偶联剂处理被密封的材料表面，这样密封胶就能与大多数材料有良好的粘接性，如表13-9-13所示。

有机硅偶联剂结构的一般通式为$RSiX_3$。其中R为有机基团，如$-C_6H_5$、$-C{=}CH_2$、  、$-CH_2CH_2CH_2NH_2$等。X为易水解基团，如甲氧基、乙氧基、氯等。

从化学结构看，硅烷偶联剂的分子一般都含有两部分性质不同的基团，一部分基团（X）经水解能与无机物的表面很好地亲和，而另一部分基团（R）能与有机树脂亲和，从而使两

表 13-6-13 底胶对双组分室温硫化硅密封胶粘接性的影响

被粘接材料	未处理	已处理	被粘接材料	未处理	已处理
铝	胶层粘附层破坏	胶层内聚层破坏	硬质聚氯乙烯	胶层粘附层破坏	胶层内聚层破坏
不锈钢	胶层粘附层破坏	胶层内聚层破坏	环氧树脂	胶层粘附层破坏	胶层内聚层破坏
铜	胶层粘附层破坏	胶层内聚层破坏	聚酯树脂	胶层粘附层破坏	胶层内聚层破坏
天然橡胶硫化胶	胶层粘附层破坏	胶层内聚层破坏	聚乙烯	胶层粘附层破坏	胶层内聚层破坏
硅橡胶硫化胶	胶层内聚层破坏	胶层内聚层破坏	玻　璃	胶层粘附层破坏	胶层内聚层破坏

种不同性质的材料“偶联”起来，故称之为偶联剂。常见偶联剂如表13-9-14所示。

表 13-9-14 国内常用偶联剂及性能

牌　　号	化　学　名　称	表面能 10^{-3}N/m	生产单位
A-151	乙烯基三乙氧基硅烷	25	天津试剂一厂
KH-550	γ-氨丙基三乙氧基硅烷	35	营口盖州化工厂
KH-560	γ-环氧丙基醚丙基三甲氧基硅烷	42.5	上海跃华玻璃厂
KH-570	γ-（甲基丙烯酯基）丙 基三甲氧基硅烷	28	天津试剂一厂
KH-580	γ-巯酚基丙基三甲氧基硅烷	41	中国科学院化学研究所
KH-590	乙烯基三叔丁基过氧化硅烷		中国科学院化学研究所
南大-42	苯氨甲基三乙氧基硅烷		南京大学抗大化工厂
南大-43	一氯甲基三乙氧基硅烷		南京大学抗大化工厂
南大-73	苯胺甲基三甲氧基硅烷		南京大学抗大化工厂
SBN-1	甲基三乙氧基硅烷		吉林化工院
A-172	乙烯基三（β-甲氧乙氧基）硅烷		天津试剂一厂
201	γ-（N-乙二胺基）丙基三甲氧基硅烷		五三研究所
	乙烯基三氯硅烷		天津试剂一厂
	乙烯基三甲氧基硅烷		天津试剂一厂

（二）单组分室温硫化硅密封胶

单组分室温硫化硅密封胶主要用作耐高低温、防潮、绝缘、防震密封和胶接材料，如电子、光学仪器的灌注密封和胶接，可控硅元件的表面保护等。近年来单组分密封胶在建筑方面的应用发展很快，它可用作预制件的嵌缝密封材料、防水堵漏材料以及金属窗框上镶嵌玻璃的密封料。

1．配方举例

单组分硅密封胶的配方举例如表13-9-15所示。

表中例 1 密封胶使用温度为－60～200℃，剪切强度为1.18MPa，高真空密封性可达 1.33×10^{-4}Pa，体积电阻为$5\times10^{13}\Omega\cdot$cm，击穿电压为25kV/mm。对金属表面无腐蚀性，可拆性好。

例 2 密封胶使用温度与例 1 相同。其特点为胶液粘度小，涂布性好。使用时还可根据要求加入填料增稠，以获得要求的粘度。硫化速度快，室温下只需1～2h可完成硫化。粘接的抗剪强度为0.98MPa，可拆性好，适用于经常拆卸的接合部位。

例 3 密封胶涂布性好，硫化速度快，指触干燥时间仅0.5h。抗剪强度为2.16MPa。具有优良的抗烧蚀性，烧蚀速率小于0.15mm/s。

例 4 为建筑用密封胶，其突出性能是能在低温（最低可达－20℃）下硫化。指触干燥时

表 13-6-15 单组分密封胶配方举例

组　　分	用量，重量份	组　　分	用量，重量份
例1　脱肟型密封胶		双（二酰丙酮基）二异丙氧基钛	0.4
羟端基二甲基硅橡胶(脱水)	100	氧化铜	5
苯胺甲基三乙氧基硅烷	10～15	二氧化钛（金红石型）	6
二丁基二月桂酸锡（不含游离酸）	0.15～0.5	例4　脱肟型建筑用密封胶	
例2　脱肟型密封胶		羟端基硅橡胶	100
羟端基二甲基硅橡胶	100	甲基三（二烷基肟）硅烷	5～10
甲基三丙肟基硅烷甲苯溶液	138	气相白炭黑	8～20
正硅酸乙酯	1.3	二月桂酸二丁基锡	0.1～0.3
二丁基氧化锡	0.1	颜　料	0～3
例3　脱醇型密封胶		例5　羟端基二甲基硅橡胶（运动粘度 2×10^{-5} m^2/s）	100
羟端基二甲基硅橡胶（脱水）	100	聚醚硅氧烷	2.0
甲基三甲氧基硅烷	5	二氧化硅	10
D_4处理的气相白炭黑	20	$CH_2{:}CHSi(OCH_3CO)_3$	6.5
Y型氧化铁	110		
异丙氧基钛	0.6		

间为30min，伸长率660%。80℃、336h的失重为3～5%，可用于多种非金属材料的接合部位。

例5中聚醚硅氧烷使密封胶具有优良的耐坍塌性，坍塌为0.1mm（JIS A5757）。该密封胶在密封管中贮存期大于6个月，在空气中24h即可硫化。

单组分密封胶的性能如表13-9-16所示。

表 13-6-16 单组分密封胶性能

性能 \ 密封胶		GD-401	GD-402	GD-404	GD-405
硫化前	外　　观	乳白色半透明液状	各种颜色膏状物	乳白色半透明液体	各种颜色膏状物
	表面硫化时间，min	30～180	30～180	15～60	15～60
主要成分	硅橡胶交联剂与填加剂	SDL-1-41 甲基三丙肟基硅烷、氧化二丁基锡、正硅酸酯	SD-33 甲基三丙肟基硅烷，氧化二丁基锡，正硅酸乙酯、处理白炭黑、二氧化钛	SDL-1-41 甲基三乙酰氧基硅烷	SD-33 甲基三乙酰氧基硅烷，处理白炭黑，二氧化乙铬
硫化后	硬度（邵尔A）≥	25	25	25	30
	拉伸强度，MPa ≥	0.59	0.98	0.69	1.86
	伸长率，%≥	200	200	200	250
	体积电阻系数Ω·cm ≥	1×10^{14}	1×10^{15}	1×10^{14}	1×10^{3}
	介电损耗角正切≤	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-1}
	介电常数≤	3.2	3.5	3.2	3.3
	击穿电压kV/mm≥	12	10	15	15

2．制备方法举例

本例所制备的密封胶是将甲基三乙酰氧基硅烷〔$CH_3Si(OAc)_3$〕与羟基封端二甲基硅氧烷

进行反应，形成的中间体为 $(AcO)_2Si-O-\left[Si(CH_3)_2-O\right]_n-Si(CH_3)_2-(OAc)_2$。甲基三乙酰氧基硅烷与RTV硅橡胶只要一接触就能反应。为获得这个中间体，在每1mol硅氧烷的羟基上应至少用1mol的甲基三乙酰氧基硅烷，多一些可保证反应充分。反应应在无水条件下进行，反应温度范围20～100℃。

为了改进密封胶性能可加入填充剂等，如气相白炭黑和沉淀白炭黑以及非补强填料如硅藻土、碳酸钙，还可加入树脂状硅氧烷等。

酰氧基硅烷与RTV硅橡胶反应实例简叙如下。

取16.74g羟基封端的二甲基硅氧烷、填料和10.15g三甲基甲硅烷硅基封端的二甲基硅油（粘度为0.002Pa·s）混合后减压脱水，再加入2.23g甲基三乙氧基硅烷。在100℃并在减压下保持1.5h。反应生成副产物醋酸，然后将反应混合物在100℃及减压条件（66.7Pa）下除去所生成的乙酸，多余的甲基三乙氧基硅烷及硅油。再将10ml的硅油加入并重新在100℃及减压（66.7Pa）下保持1.25h。所得流体状产物为17.52g，经分析得到每1g流体中含有5.16×10^{-4}g连接在硅原子上的酰氧基团。其结构式为：

$$(CH_3COO)_2Si(CH_3)_2-O-\left[Si(CH_3)_2-O\right]_n-Si(CH_3)_2(OOCCH_3)_2$$

每克流体中理论酰氧基重量为3.18×10^{-4}g。

上述流体在无水情况下稳定，在潮湿空气中停放1～1.5h可变成弹性的橡胶状。

该密封胶的性能为：

下垂性	无	伸长率，%	300	相对密度	1.1
失粘时间（20℃，R·H65%），h	<1	硬度（邵尔A）	30	使用温度范围，℃	−75～250
拉伸强度，MPa	25	脆性温度，℃	−75		

第十节　其它弹性体密封胶

一、液体橡胶密封胶

液体橡胶一般是指常温下为粘稠状的流动性液体，一般分子量较低，大约为2000～10000，属于齐聚物。粘度一般为5～50Pa·s，因此加工成型方便，很适合密封胶和胶粘剂使用。液体橡胶经过链扩展及交联可以获得类似于高分子量普通橡胶的物理机械性能。

1．液体橡胶

当前所有固体的高分子橡胶几乎都有相应的液体橡胶问世。从液体橡胶的分子结构角度可将其分成两大类，即低聚合度橡胶和带有活性官能团的液体橡胶。后者根据其官能团的位置不同又可分为遥爪型液体橡胶和官能团沿分子链无规分布的液体橡胶。

液体橡胶的分子量大小对其硫化胶性能有较大影响，以定伸应力为例，要使液体橡胶的硫化胶达到一般软质硫化胶的定伸应力（1～10MPa），对二烯类液体橡胶，其末端间的分子量以500～6000为宜，分子量越低，硫化胶的定伸应力越大。

液体橡胶所带的官能团所处位置对其硫化胶性能有较明显影响。对子不带官能团或只在分子内具官能团，末端没有官能团的二烯类液体橡胶，交联是通过硫黄和过氧化物等交联剂在

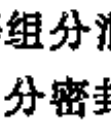
分子间发生交联，形成网状结构的硫化胶，每个液体橡胶分子残留两个自由链端。一般说来这种自由链端对橡胶的弹性没有贡献，反而还会使交联物发脆，影响动态性能。另一方面，该类橡胶分子量较小，硫化时也不能使分子链增长，因此其硫化胶的物理机械性能不及其固体橡胶的硫化胶，表现尤为明显的是弹性差。

带有末端基团的遥爪型液体橡胶，在硫化时，借助于交联剂，低分子的短链可扩展为高分子长链并交联，这就有助于提高橡胶的弹性。

遥爪型液体橡胶的末端官能团，根据其反应活性可分为三种：

低反应性：—OH、=C=O、—Cl、$—NR_2$；

中反应性：$—CH_2Cl_2$、—CHO、—COOH、—CH—CH_2、—Br；



高反应性：—OOH、、—SH、—NCO、—COCl、—Li、$—NH_2$。

反应性越高，在液体橡胶贮存以及在与填充剂等组分混合制备密封胶的过程中都会带来工艺上的麻烦，而且密封胶（尤其是湿气硫化的单组分密封胶）的贮存稳定性也越差。

末端官能团的极性和缔合性对液体橡胶有明显的增粘效果，由官能团导致的粘度大小顺序为：无官能团＜—OH＜—COOH＜—Br。

分子结构对液体橡胶粘度的影响顺序为：顺式-1，4＜反式-1，4＜1，2-结构。1，2结构含量增加，粘度明显提高。

低温特性也受分子结构的影响，玻璃化温度（T_g）与1，2-结构含量（1，2结构的重量分数：V）之间，一般有$T_g=91V-106$的关系，与顺式和反式之比无关。

液体橡胶的粘度还与橡胶类型、分子量、分子量分布、官能团种类及其共聚单体等有关。分子量越大、粘度越大，支化的液体橡胶比直链的粘度低，并且易于显现结构粘性。

制备液体橡胶密封胶时，应根据所要配制的密封胶性能及施工等要求，选择适当类型的液体橡胶及型号。

2．硫化剂

液体橡胶的硫化剂一般指的是链扩展剂和交联剂，为获得性能良好的密封胶，必须根据液体橡胶的末端官能团选择适宜的链扩展剂和交联剂。（参见第一分册第十八章）

液体橡胶中采用氢给予体（—OH、—SH、$—NH_2$、—COOH、—COSH、$—CONH_2$、$—SO_2NH_2$＞NOH）和氢接受体（—NCO、O、S、N等）的加成反应体系硫化体系，在硫化反应时无低分子物生成，而采用缩合反应硫化剂时，反应中生成的低分子物会导致产生气泡。

扩链剂选择的基本原则为，能在室温硫化，无毒或毒性小，粘度适中，价格便宜，机械性能好。

3．填充剂

为降低成本，改善工艺性能及调整密封胶性能，如耐热、耐磨、耐燃、硬度、弹性、导热及热膨胀，以及改进外观及颜色、色彩，需加入各种填料。常用的有炭黑、二氧化硅、碳酸钙、氧化铅、陶土、滑石粉、云母粉、石棉等。

4．其它添加剂

液体橡胶密封胶还要加入增粘剂、增塑剂、软化剂、抗氧剂和紫外线吸收剂、耐燃剂等。

5．液体橡胶密封胶配合举例

（1）低分子量顺丁橡胶密封胶配方举例(重量份)如下：

低分子量顺丁橡胶	100	三氧化二铝	6
石棉粉	135	防老剂D	4.5
磷酸三丁酯	5		

用途：夹层和铆接，螺栓孔及镶玻璃缝的填充密封。

（2）丁腈橡胶液体密封胶　用普通丁腈橡胶配制液态密封垫料类的干性可剥型液体密封胶配方举例如表13-10-1所示。

表 13-10-1　干性可剥性液体丁腈密封胶

单位：重量份

组分 \ 配方编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
丁腈橡胶-26	40	10	100	—	—	—	—	—	—
丁腈橡胶-40	—	—	—	40	100	100	100	40	40
硬脂酸	—	1	2①	—	0.15	10	2①	0.5②	0.5②
氧化锌	—	3	—	—	—	30	—	—	—
氧化镁	—	0.4	—	—	—	4	—	—	—
硫　黄	—	—	—	—	—	—	—	1	—
促进剂 DM	—	—	—	—	1.5	—	—	—	—
促进剂 TMTD	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5
防老剂 D	—	0.3	—	—	2	3	—	—	—
硅　油	—	—	—	—	—	—	—	—	2
石　蜡	—	—	10	—	—	—	10	—	—
醇溶酚醛树脂2127	—	—	—	50	25	—	10	—	—
酚醛树脂2123	50	—	10	—	—	—	—	—	—
氧茚树脂	5	—	—	5	—	—	—	—	—
环氧树脂E-51	—	—	—	—	15	—	—	—	—
白炭黑	21	—	—	21	15	—	—	—	—
硅藻土	—	—	60	—	—	—	60	—	—
石墨粉	—	—	—	—	—	—	—	20	—
铝　粉	—	—	—	—	—	—	—	—	20
红　丹	—	48	—	—	—	48	—	—	—
陶　土	—	5	—	—	15	50	—	—	—
石棉粉	25	—	—	25	—	60	—	—	—
溶　剂③	320	50	44	320	5.6④	500	40	200	200

① 硬脂酸锌。
② 硬脂酸铝。
③ 溶剂包括苯、甲苯、丙酮、丁酮、甲乙酮。
④ 溶剂为混炼胶的5.6倍。

表中配方 1 适用子管道、机械接缝密封；配方 2 和配方 3 用于油、水密封，最高使用温度可达300℃；配方 5 和配方 6 和配方 7 适用于汽车、水泵、阀门、机械平面等密封；配方 8 耐油性好；配方 9 可在－40～250℃下使用。

二、丁苯橡胶密封胶

丁苯橡胶是丁二烯和苯乙烯的共聚物，在橡胶工业中是一个通用型的橡胶。但在密封胶中的应用是有限的。丁苯橡胶用作胶粘剂时，其粘接性不足，尤其是在粘接与内聚强度方面较差。但用作密封胶，其粘接性是令人满意的，而且价格低廉很容易配合。但是由于聚合物

中存在着不饱和性，因此在长期的风化和老化中，丁苯橡胶有变硬的倾向。另一方面在密封胶中，与其它的聚合物相比，丁苯橡胶的溶液粘度大，因此需要大量的溶剂，所以在使用之后会使密封胶收缩。丁苯橡胶的这些缺点都使丁苯橡胶密封胶的使用受到限制，通常很少在关键性和暴露的环境中（例如安装玻璃的基础胶）使用。

下面是丁苯橡胶密封胶的基本配方（重量%）：

丁苯橡胶（苯乙烯含量25%）	12	芳香增塑剂	2	甲　苯	28
聚合松香	19	纤维状滑石粉	10	二甲苯	12
氢化松香甲酯	2	软质陶土	17		

充油丁苯橡胶嵌缝胶可做成一种坚韧而无支撑胶带，对油腻的金属表面具有良好粘接性。热硫化密封胶，可由充油丁苯橡胶，热反应性酚醛树脂和六亚甲基四胺和锌粉组成，可在汽车中使用，其配方（重量份）如下：

丁苯橡胶	70	锌粉	100	硫黄	2.0
粉状热反应酚醛树脂和六亚甲基四胺	75	四甲基秋兰姆一硫化物	1.2	Caloxal增粘剂	10.0
重石油馏分	50	促进剂DOTG	1.2		

胶料用开炼机混合，是一种具有轻微弹性的腻子类密封胶，可以挤成球或带状。

丁苯橡胶用于液态密封垫料类的干性可剥型液体密封胶配方举例如表13-10-2所示。

表 13-10-2　干性可剥型丁苯橡胶液体密封胶配方举例

组　　分	用量，重量份		组　　分	用量，重量份	
	配方 1	配方 2		配方 1	配方 2
丁苯橡胶	137.5	100	轻质碳酸钙	—	130
聚苯乙烯	—	40	氧化锌	3	—
航空润滑油（HH-20）	20	—	二氧化硅粉	—	20
石油树脂	—	60	邻苯二甲酸二丁酯	5	60
聚丁烯	20	—	防老剂 MB	2	—
松　香	18	—	甲　苯	—	44
氧化铁粉	60	—			

热塑性丁苯橡胶制备密封胶的配合举例（重量份）如下：

例 1　耐候性透明密封胶

SEBS线型热塑性橡胶 Kraton G-1652	67	抗氧剂	1.7
CPE双嵌段型塑塑性橡胶 Kraton GX-1701	33	紫外线稳定剂	1.4
氢化多萜树脂 Arkon P-85	167	甲苯/已烷	109
线性热塑性橡胶 Krista 1120	67	乙酸丙酯	37
γ-巯基丙基三甲氧基硅烷 A-189	2.3		

例 2　透明密封胶

SEBS线型性热塑性橡胶 Kraton GX-1657	67	光稳定剂770 Tinuvin 770	0.8
氢化多萜树脂 Arkon P-90	33	N-β-(氨基二乙基)-γ-氨基丙基三甲氧基硅烷 SilaneU-189	2.7
α-甲基苯乙烯共聚树脂 Kristalex 3085	167	气相法白炭黑	13
抗氧剂1010 Irganox 1010	1.7	甲苯	111
光稳定剂P Tinuvin P	0.8		

该密封胶性能为：

硬度（邵尔A）		10s	25
瞬时	35	180°剥离强度（对玻璃），kN/m	5.25

例 3　汽车焊缝用密封胶

苯乙烯-丁二烯嵌缝共聚物 Solprene 1250	100	氧化锌	5
环烷油 Circosol 380	250	硬脂酸	3
陶土 Paragon Clay	200	萜烯酚醛树脂 Schene ctacly SP-567	20
沉淀白炭黑	25	苯二烯化苯酚 Wingstay S	2

二甲苯二硫化氨基甲酸铋	2	三氧化二锑	10
苯并噻唑二硫醚	2	氯化石蜡 Chloro wax 50	30
硫　　黄	5	三乙醇胺	5
碳酸氢钠	4		

三、乙丙橡胶密封胶

乙丙橡胶有二元乙丙橡胶和三元乙丙橡胶，它们的主链是不含双键的完全饱和的直链性结构，因此具有杰出的耐候性。但是由于乙丙橡胶溶解困难，溶液粘度高，增塑也有一定困难。因此给密封胶制造带来困难。但由于其价格较低廉及优良耐候性、电绝缘性，也经常用于制造密封胶。下面为乙丙橡胶密封胶配方举例（重量份）：

三元乙丙橡胶	100	轻质操作油	300	脂肪碳氢树脂	30
含水硅酸	50	炭黑	80	聚丁烯	100
碳酸钙	100	石棉	250		

该配方为非硫化型密封材料，具有良好耐水性、粘接性、使用性，不硬化。

第十一节　液体密封胶

一、概　　述

在机械设备和管道系统装配中，为防止内部流体从接合面泄漏，常采用固态密封材料，如纸张、橡胶、石棉、软木等，通称固体垫圈或垫料。固态密封材料的密封原理属压缩复原型，对金属表面缺乏“浸润”，因此，有时会产生泄漏现象。为克服这一缺点，人们进行了多方面的尝试，研制出了一种液体状态的密封材料，即液体密封胶，又称液态密封胶、液体密封垫料、液体垫料、液体垫圈、液体盘更。

1．液体密封胶

液体密封材料一般指在常温下具有流动性的粘合物质，将此类物质涂敷在接合面上，经过一定时间的干燥或均匀化处理后，形成有剥离性能的弹性胶膜或具有良好粘接性、粘弹性的薄膜胶层。它不会发生粘接性交联，对所接触的物体具有耐压缩性，也不腐蚀金属表面，从而能对所填充的接合部位起到油密封、水密封和气密封作用，同时，还具有耐压的作用。

液体密封材料是由天然或合成橡胶、树脂、纤维等高分子材料为基材，配入填充剂、增塑剂及其它助剂混合而成的液态物质，它可以含有也可以不含有溶剂，但在使用时均具有流动性（特殊的液体密封胶例外）和一定的粘接性。按照使用后（在接合面上涂敷后）所形成胶膜的性质，分干性和非干性两种，它们都具有形成均匀涂层并起阻漏作用的能力。液体密封胶在涂敷后能否被剥离是其主要特性之一，这也是它与胶粘剂、涂料以及嵌缝填充型密封胶等的本质区别。

2．液体密封胶的分类

液体密封胶品种很多，可按化学组成、应用范围、使用场合和涂膜性状进行分类。

（1）按化学成分分类　按液体密封胶所使用的高分子主体材料的类型，液体密封胶可分成树脂型、橡胶型及天然高分子型。这种分类方法的好处是能根据高分子材料的性能，推测出液体密封胶性能，例如耐热性、机械强度和耐各种介质的稳定性等。

（2）按使用性能分类　按使用性能可将液体密封胶分成耐热型、耐寒型、耐压型、耐油型、耐水型、耐化学腐蚀型等。这种分类方法给使用者提供了方便。

（3）按涂膜性质和状态分类　按密封胶涂膜的性质和状态，液体密封胶可分为不干性

粘着型、半干性粘弹型、干性粘接型和干性可剥型。这种分类法最为常用，对于制造者和使用者都很方便。但是，这种分类法容易被人误解。所谓干性、不干性并不是指有无溶剂的挥发或是否含有溶剂，而是指涂布后成膜的形态（即膜是硬还是不硬）。

此外，根据液体密封胶是否含有溶剂，还可分为溶剂型、非溶剂型等。

二、液体密封胶的特征及密封作用

（一）液体密封胶的特征

1．液体密封胶的性能

液体密封胶的作用是防止机械零件接合面处的泄露，并应具有充分的耐压性，因此，必须具备以下性能。

① 致密填充性　液体密封胶应将金属加工面的粗糙表面填充得无缝隙。

② 贴合性　液体密封胶对金属表面及其它接合面应有良好的贴合性（浸润性），但不能与表面粘接。

③ 薄层的形成能力　液体密封胶即使是薄层，也不应有脱胶部位，也就是组分之间的相互引力要大。

④ 粘度与温度的关系　在高温时液体密封胶的粘度变化要小。

⑤ 耐久性　密封胶对物理、化学方面的影响因素应保持稳定。例如在振动、冲击等机械作用下以及连续或间断加热冷却时交变温度的作用下，液体密封胶应保持稳定；液体密封胶不应与所接触的金属及流体发生化学反应。

2．液体密封胶的优点

液体密封胶除具有良好的密封性外，还具有以下优点。

① 使用方便　液体密封胶可以自由成形或变形，因此可直接涂布在各种形状的接合面上，不需要象固态密封材料那样必须按照接合面大小，形状预先加工成型。

② 对金属接合表面的加工精度要求低　使用固态密封材料要求金属表面达到0.8μm的表面光洁度，而使用液体密封胶一般只要求金属表面达到6.3～3.2μm的表面光洁度即可，从面降低了金属加工的要求。

③ 成本和劳动强度低　使用液体密封胶可节省施工时间和成本，降低劳动强度和消耗。

3．液体密封胶的缺点

① 耐压性不够理想　大多数液体密封胶在使用时呈液体状，容易被压力较大的设备内部介质挤出接合面而造成泄漏。

② 对接合金属面的平整度要求较高　在同一接合面上要求有大致相同的各面间隙，允许最大间隙0.15～0.20mm，否则就应考虑与固态密封材料并用。

③ 一次性使用　接合部位拆卸检修后，再次装配时需重新涂布液体密封胶，不象固态密封材料那样可以重新使用。

④ 适用性差　每个液体密封胶品种都有一定的适用范围，使用之前必须根据具体工作条件进行合理选择。

（二）液体密封胶的密封作用

1．泄漏类型

接合面发生泄漏大致有三种情况，见图13-11-1。

（1）接触界面泄漏　在金属表面与密封材料边界面上发生的泄漏，大部分是接触界面

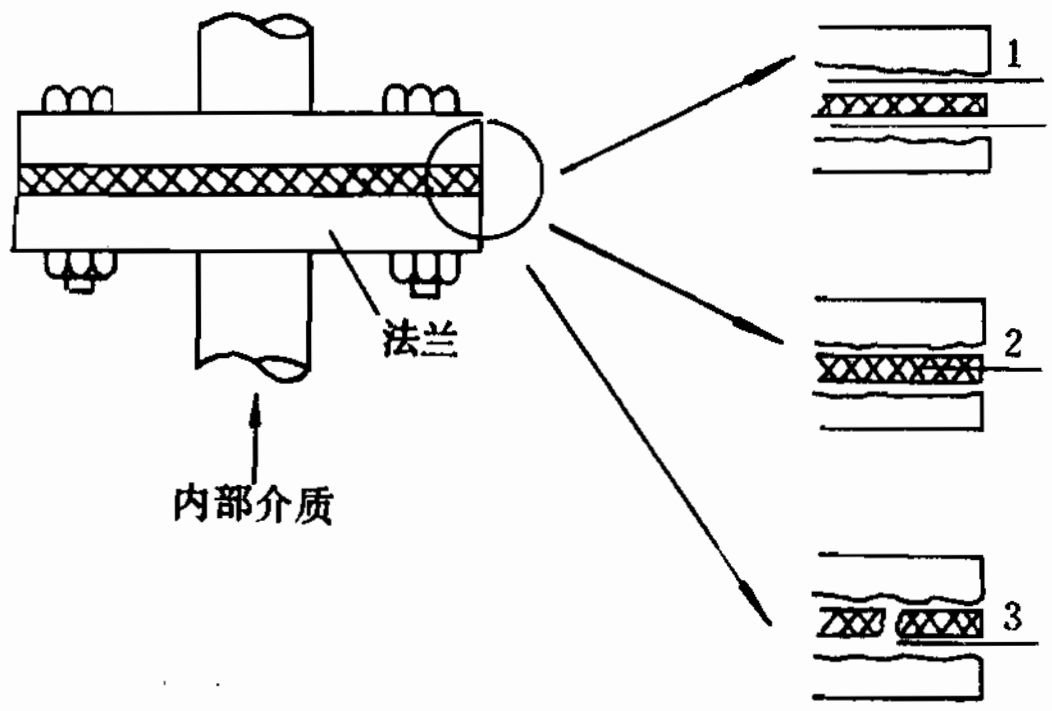


图 13-11-1 泄漏类型

1—接触界面泄露；2—浸渗泄漏；3—破损性泄漏

泄漏（占泄漏情况的80～90%）。其原因是密封材料对接合面（金属表面的加工精度、变形等引起的）凹凸的随动性或长时间使用造成密封材料的复原力降低等引起的。

（2）浸渗泄漏 浸渗泄漏多发生在除橡胶及金属之外的密封材料（多为未经处理的皮质和纸质等纤维状密封材料）上。其泄露原因可认为是一种毛细管的渗透现象。

（3）破损性泄漏 在超出所使用密封材料的化学和物理特性的情况下出现的破损性泄漏。例如密封材料放置位置不当，或压缩过度，或长期受内压力的影响产生弹性疲劳蠕变，或老化，或在介质条件下选用了不耐介质的密封材料等造成的泄漏。

2．固态密封材料的密封机理

在接合部位，密封材料的密封性能是指密封材料能否从压缩状态复原到非压缩状态，这取决于密封材料的复原力。若无此复原力，那末一经加内压，立即就会泄漏。

固态密封材料一般在压缩到其厚度的1/3时使用较为理想，但在实际使用中大多是压缩至$\frac{1}{2}$以上。固态密封材料密封性的好坏可用密封材料复原系数（泄漏开始时密封材料有效紧固压力与此时的内压之比值）来表示，该系数越小越好。即对一定的内压而言，有效紧固压力越小密封性越好。但对压缩复原型密封的固态密封材料，除了弹性体的厚度和压缩变量外，还必须考虑其蠕变疲劳断裂、屈服强度、永久变形和松弛时间等性能。

密封材料被压缩复原，因永久变形所致总会丧失部分复原力。

综上所述可以认为，在用固态密封材料阻漏的场合，过一段时间必然会产生泄漏。

3．液体密封胶的密封机理

在结合面之间液体密封胶的力学行为处于弹性力学和流体力学之间，即遵循流变学的变化规律。

液体密封胶与压缩复原阻漏型的固态密封材料不同，它是利用液态特性阻漏的。即根据粘性流动、粘弹性、单分子膜理论、表面浸润等产生的填充性、贴合力等与接合面的界面构成一个大的密封阻漏体系。

（1）表面效果 固态密封材料无论怎样压紧也不会完全填满接合面上的凹凸不平，在界面上总会存在有间隙；而液体密封胶却能将凹陷全部填平，所以呈现出良好的密封作用。

（2）粘附作用 液体密封胶具有一定的粘性，它对接合面有一定的粘附力，有利于密封。

（3）薄膜效应 液体密封胶属于流变变形。处于接合面间的液体密封胶被螺栓紧固加压后可以形成与间隙相同的薄膜，并且十分吻合。根据单分子膜理论，胶膜越薄，复原能力就越大，越有利于密封。

（4）流动与耐压 根据巴斯卡原理，当液体在一个方向受力时，力将沿着液体各个方

向传递。连接面间的液体密封胶受到内压作用时，除产生弹性变形外，还会产生不可逆的牛顿型粘性流动。当间隙很小时，液体密封胶仅发生弹性变形；当间隙大时，液体密封胶才发生流动，即开始泄漏。使用液体密封胶时，金属结合面的间隙一般应在0.1mm以下。因为液体密封胶粘度较高，难以发生流动，因而保证了液体密封胶的密封性。

（5）容易变化和流动　固态密封材料的防泄漏作用是基于压缩而产生的弹性变形，而液体密封胶在受压和拉伸时发生流动变形，而不存在固态密封材料的压缩变形，从而也就没有压缩疲劳、弹性破坏、应力松弛等现象，而且它总是与连接面粘附着的，所以能防止接合面的泄漏。

综上所述，固态密封材料的密封机理实质是压缩复原型密封，而液态密封材料密封机理的实质是无缝隙型密封。

三、液体密封胶的配合组分

1．主体材料

密封胶的主体材料在密封胶中起举足轻重的作用，液体密封胶的性能（尤其是密封胶的介质稳定性）主要取决于主体材料的性能。

液体密封胶所用的主体材料主要有三类。

（1）合成树脂类　适合液体密封胶使用的合成树脂有聚氯乙烯、硅树脂、氟树脂、聚酯树脂、聚氨酯、聚酰胺树脂、聚丙烯酸酯、酚醛树脂、环氧树脂、石油树脂等。

（2）合成橡胶类　制备液体密封胶常用的橡胶有丁腈橡胶、聚硫橡胶、氯丁橡胶，聚氨酯橡胶、丙烯酸酯橡胶、硅橡胶、氟橡胶、丁基橡胶等。

（3）天然高分子材料　适用于液体密封胶使用的天然高分子材料有天然橡胶、阿拉伯树脂、虫胶、植物油（如蓖麻油）、矿物油。

对主体材料的要求如下：

① 对接触的介质要有良好的化学稳定性；

② 胶膜成膜后具有一定的强度和弹性；

③ 适用温度范围广，粘度变化受温度影响小；

④ 有一定的粘接力；

⑤ 应具有良好耐老化性能；

⑥ 能溶解于某些溶剂。

表13-11-1为几种类型高分子材料的性能。

2．填充剂

填充剂在液体密封胶中主要起补强作用，它不仅能提高液体密封胶的粘度、粘接性、耐热性和耐压性能，减小密封胶与接合表面的热膨胀系数的差异，而且能降低成本。填充剂的种类、形状、颗粒大小及用量对液体密封胶的防泄漏作用均有影响。

填充剂的用量因主体材料的不同而不同。同一种主体材料采用不同的填充剂其补强效果也不相同（见图13-11-2）。

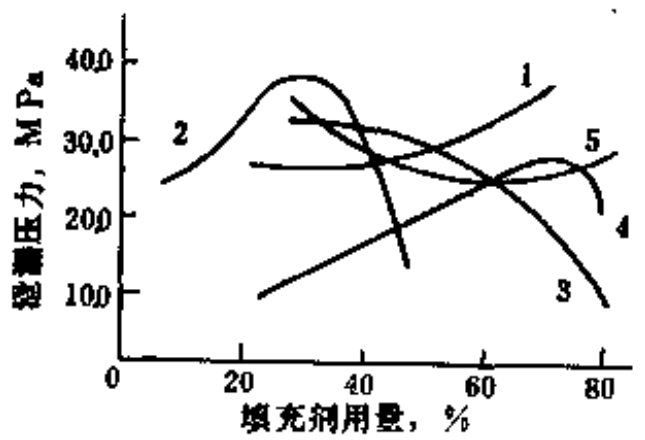


图 13-11-2　填充剂的类型对液体密封胶耐压力影响

1—古马隆树脂＋炭黑；2—古马隆树脂＋二氧化硅；3—古马隆树脂＋立德粉；4—古马隆树脂＋二氧化钛；5—聚酯树脂＋炭黑

表 13-11-1 高分子材料的性能

名　　称	粘附性	耐水性	耐油性	耐燃油	耐老化性
橡　胶					
天然橡胶	良	优	劣	劣	可
氯丁橡胶	优	优	优	良	良
丁腈橡胶	优	优	优	优	良
聚异丁烯	优	优	劣	劣	良
丁基橡胶	优	优	劣	劣	良
聚硫橡胶	优	优	优	优	良
聚氨酯橡胶	优	可	优	优	良
硅橡胶	劣	优	良	劣	优
氟橡胶	劣	优	优	优	优
树　脂					
环氧树脂	优	可	优	可	优
酚醛树脂	良	可	优	良	良
聚酯树脂	良	可	优	可	良
聚氨酯树脂	优	可	优	良	良
聚氯乙烯	良	优	优	良	劣
丙烯酸酯	良	优	优	可	可
聚三氟氯乙烯	劣	优	优	优	优
氯化聚醚	可	优	优	优	良

不同类型的液体密封胶对填充剂有特定要求，其共性要求为：①填料应是惰性的，有良好的化学稳定性；②不含有水分及油；③颗粒大小均匀；④相对密度小；⑤耐热性好；⑥分散性好；⑦与主体材料应有良好的相混性和浸润性。

液体密封胶常用填充剂有硅藻土、铅丹、氧化锌、钛白粉、立德粉、重晶石粉、沉淀硫酸钡、轻质碳酸钙、重质碳酸钙、滑石粉、瓷土、云母粉、石棉粉、白炭黑、碳酸镁（天然）、铁黑、石墨粉、铅粉。

3．增塑剂

增塑剂是一种高沸点的液体或低熔点的固体有机物质。液体密封胶中加入增塑剂的主要作用是提高主体材料的塑性、粘性、柔韧性和粘弹性，并改善密封胶耐寒性和耐振性。

对增塑剂的主要性能要求是，①与主体材料应有良好的亲和性和相互溶解性；②挥发性小，热稳定性好，迁移性小，耐介质性好，无毒。

增塑剂按化学组成可分为苯二甲酸酯类、磷酸酯类、脂肪酸酯类、聚酯类、环氧酯类和含氯化合物。液体密封胶常用的增塑剂有DMP、DEP、DBP、DPP、DOP、TEP、TBP、TPP、TCP、PEA、DES、DBS、DOS及亚磷酸三苯酯。

增塑剂的用量应有一定的限度，用量过多，既会影响液体密封胶的耐热性和耐压力，使抗蠕变性下降，还会导致增塑剂的挥发，从而影响主体材料与接合面的浸润能力。

4．软化剂

软化剂又称增韧剂。软化剂的作用与增塑剂相似，但它的挥发性更小，迁移性也更低，而粘度较大。加入软化剂不仅能增加液体密封胶的可塑性和柔韧性，还能降低内聚力及收缩率，改善密封胶对温度的敏感性。

液体密封胶所用的软化剂应当具有良好流动性，如低分子量的橡胶和树脂。要防止液体密封胶受热后急剧软化，不能使用粘度过高或对热敏感的软化剂。

常用的软化剂有：液体聚硫橡胶、液体丁腈橡胶、硫醇封端丁腈橡胶、低分子量聚酰胺、液体不饱和聚酯、聚丁烯、低分子量聚异丁烯等。

5．溶剂

在液体密封胶中加入溶剂的作用是溶解和软化主体材料，调节密封胶粘度，改善施工操作性能，提高浸润性，使液体密封胶能填满接合面金属表面的凹凸不平处，从而使连接面更严密。

不同的溶剂对不同高分子材料的溶解度不同，必须根据主体材料选用溶剂。溶剂的挥发性要适中，溶剂的沸点最好选择70～100℃。溶剂的加入量应有一定限度，过多会降低液体密封胶的含胶量，使胶液在溶剂挥发后产生过大的收缩性。液体密封胶的固体含量一般控制在60～80%。此外，对溶剂的毒性和燃烧性等也应有一定的限制。常用溶剂及性能如表13-11-2所示。

表 13-11-2 液体密封胶常用溶剂

溶剂类别	溶剂名称	溶剂类别	溶剂名称	溶剂类别	溶剂名称	溶剂类别	溶剂名称
醇类	乙醇 异丙醇 正丁醇 异丁醇 辛醇 乙二醇 丙二醇	酮类	丙酮 甲乙酮 丁酮 二异丁酮 环己酮	酯类	乙酸乙酯 乙酸丁酯 乳酸乙酯	氯化烃类	二氯甲烷 二氯乙烷 三氯乙烯
				芳烃类	苯 甲苯 二甲苯		

6．其它组分

（1）防老剂　用合成树脂或橡胶等高分子材料配制的液体密封胶，在使用过程中，会引起大分子降解，导致主体材料老化。为此在液体密封胶中须加入防老剂或稳定剂，例如聚氯乙烯树脂可用二月桂酸二丁基锡、硬脂酸铅等；橡胶材料可用橡胶防老剂。

（2）着色剂　为适应某些连接部位的特定需要，使液体密封胶易于识别，在液体密封胶中应加入着色剂。着色剂一般是无机颜料和有机染料。

无机颜料遮盖力大，耐热、耐溶剂性好，但着色力不及有机染料。

选择着色剂时必须考虑着色剂的耐热、耐水、耐油、耐化学腐蚀性能，否则会受热变色或污染所接触的介质。

（3）防沉淀剂　在贮存过程中，液体密封胶中相对密度大的填充剂和颜料会发生沉淀，造成液体密封胶的质地不均匀。为防止沉淀，须加入防沉淀剂。防沉淀剂能适当地吸附相对密度大的填充剂和颜料。常用的防沉淀剂有气相白炭黑、轻质碳酸钙等。

（4）防结皮剂　在连接面上涂布含有低沸点的液体密封胶时，为防止表面溶剂先于内部溶剂迅速挥发而造成的结皮现象，可加入防结皮剂。防结皮剂需专门配制，如Skinner-TM。

（5）催干剂　为使液体密封胶涂布后能尽快发挥其防泄漏作用，密封胶中的溶剂应尽快挥发。但液体密封胶的粘度一般较高，不利于溶剂的挥发，所以干燥时间比一般涂料长，因此须在密封胶中加入催干剂。催干剂大多采用铅、锰、钴等金属氧化物，此外还有硼酸盐、脂肪酸皂、环烷酸皂等，最常用的催干剂是环烷酸钴。

（6）香料　有的液体密封胶含有带刺激性气味的溶剂，可加入能溶于有机溶剂的香料改善气味。香料的用量随溶剂的种类和用量而定，大约为溶剂的0.2～2.0%。香料的沸点最好与溶剂的沸点相近。

四、液体密封胶的制备方法

液体密封胶的制备工艺并不复杂，主要是把各个组分混合均匀即可。

液体密封胶的制备工艺及设备大体上与制备胶粘剂的工艺和设备相似。

配制液体密封胶常用的设备是各种形式的混炼机和搅拌溶解设备。无溶剂液体密封胶可使用开放式搅拌机或涂料用研磨机；溶剂含量不多时，可使用密闭式捏合机或球磨机，以防止溶剂挥发；溶剂含量多时，为防止溶剂挥发，所用搅拌溶解设备需装有回流冷凝器，搅拌速度不宜太快，以防止气泡产生。

配制橡胶型液体密封胶时，应先在开炼机上对橡胶进行塑炼，然后按一定顺序加入配方中除溶剂之外的各种组分进行混炼、出片、剪切，最后在带搅拌器的捏合机中，加入溶剂等进行混合。

五、液体密封胶的配合

（一）不干性粘着型液体密封胶

不干性粘着型液体密封胶分含溶剂的（呈液体状态）和不含溶剂的（呈膏状）二类。这种密封胶成薄膜后长期不硬化，并保持永久粘性。受到机械振动和冲击时，胶层不发生龟裂和脱胶，而且易于从连接面上除掉，连接点也容易拆卸。这类液体密封胶适用于受振动、冲击及拆卸、修理频繁的部位。非溶剂型密封胶不需干燥，涂布后可立即连接，也可待数日、数周后再连接。它适用于流水线组装或紧急修理。

这种密封胶多以合成树脂为主体材料，主要有聚乙酸乙烯酯、有机硅树脂、聚酯树脂、聚丁乙烯、聚丁烯、聚异丁烯、丁基橡胶以及各种低分子量橡胶，也可用聚氨酯树脂、干性油、不干性油、沥青类等。

1．无溶剂型

无溶剂不干性粘着型液体密封胶一般呈膏状，它以低粘度液体树脂或干性油为基料，再加入填充剂、颜料以及增粘剂，配方举例如下（配方中各组分均为重量份）。

例1

氧化沥青	8	硬脂酸	0.1	滑石粉	20.0	短纤维石棉	8.2
聚丁烯	50	聚异丁烯	2.8	轻质碳酸钙	24.0	无机颜料	若干

此密封胶耐水、蒸汽和植物油，不耐汽油、轻油和重油等燃料油、耐热性不高。

例2

液体聚硫橡胶TLP-121	50.0	2127酚醛树脂	10.2	石棉粉	10.2	滑石粉	26.6	炭黑	5.4	香料	若干

例2的密封胶耐矿物油、燃油及丙烷、丁烷、液化石油气和煤气的作用。

例3

三甲基硅油	100	铝粉	220
气相白炭黑	20	邻苯二甲酸二丁酯	2

例3的密封胶属高温型，可在－70～300℃长期使用，粘附性差，但可拆卸性好，耐压范围为1.57～1.77MPa。

例4

聚丁二烯	50	沥青树脂	8	碳酸钙	24	石棉粉	8.2
聚异丁烯	2.8	硬脂酸	0.1	滑石粉	20		

例4的密封胶不含溶剂，用沥青树脂调节粘度，最高使用温度为100～110℃，其耐水性

突出。

例5

聚氨酯树脂	100	陶土	120
环氧树脂	40	邻苯二甲酸二丁酯	2

例5的密封胶低温性能优良，可在－40～100℃、0.98～1.18MPa条件下长期使用，可拆性好，不含溶剂，耐水、机油、汽油。

2．含溶剂型

这类密封胶的基材为固体树脂，加入了增塑剂和软化剂。由于溶剂用量大，故密封胶粘度低。如果加入相对密度大的填充剂、无机颜料，密封胶在贮存过程中会发生沉淀，因而配方中还要加入防沉淀剂。配方举例（重量份）如下。

例1

聚乙酸乙烯酯	165	磷酸三甲酚酯	82.5	甲苯	20
环氧树脂（R-122）	40	轻质碳酸钙	29.6	丁酮	10

其中环氧树脂和磷酸三甲酚酯为增韧剂和增塑剂。例1的密封胶耐热性差（使用温度不超过120℃），但耐光老化，耐酸碱，粘附性优良。

例2

2127酚醛树脂	60.0	滑石粉	40.2	硬脂酸钙	2.0	甲基异丁酮	10.0
液体聚酯树脂	102.8	轻质碳酸钙	20.5	乙酸乙酯	55.0		

例2的密封胶耐老化、耐油，耐水性好。

例3

固体环氧树脂（R-122）	27.2	液体不饱和聚酯	18.2	滑石粉	14.2	甲乙酮	20.0
2127酚醛树脂	14.2	轻质碳酸钙	3.8	石棉粉	4.3	甲苯	8.0

例3的密封胶长期受热会固化。

（二）半干性粘弹型液体密封胶

半干性粘弹型液体密封胶性能介于不干性和干性两种类型之间，兼有两者优点。这类密封胶初期是液态，涂布之后溶剂很快挥发，形成的涂膜长期不硬，并永久保持粘弹性，即涂膜既具有粘稠流体的粘性又具有结晶物质弹性。

该类型液体密封胶具有耐压和柔软的特点，可用于承受振动、冲击或连接但不十分吻合的部位，连接点也容易拆卸。

这种密封胶涂布后待干燥到不粘手后就可进行连接，完全干燥后再连接效果更好。

半干性粘弹性密封胶一般含有溶剂，胶液因溶剂的挥发会由稀的液状变为粘稠的糊状或胶状。

这类密封胶主体材料主要是聚氨酯树脂、石油树脂、聚四氟乙烯、聚丙烯酸酯及液体聚硫橡胶。

半干性粘弹型密封胶的应用几乎遍及各个工业部门。常用的接合部位有各种机械的分箱面、轴孔法兰，管道工程的接头、丝扣等。半干性粘弹型密封胶配方举例（重量份）如下。

例1

石油树脂（S-115）	92.0	防沉淀剂	16.5	滑石粉	3.6	甲苯	110.0
聚异丁烯	60.4	碳酸钙	26.5	着色剂	若干		

例1的密封胶耐水、耐化学腐蚀、耐蒸汽，不耐矿物油和燃料油。

例2

固体环氧树脂（1007）	27.2	液体不饱和树脂	18.4	滑石粉	14.2	甲乙酮	20.0	着色剂	适量
酚醛树脂（4010）	14.2	防沉淀剂	3.8	石棉	4.3	甲苯	8.0		

例 2 中环氧树脂与酚醛树脂反应，形成的涂膜耐化学腐蚀性、耐热性、粘附性好；配方中的聚酯为增韧剂，因此胶膜不很硬，能保持适当的粘弹性。

例3

聚酯型聚氨酯树脂	100	陶土	75
磷酸三苯酯	1	丙酮	80

例3起始粘度小，涂布性好，可拆性好、粘附力仅为0.055MPa，能在－40～150℃及0.981MPa条件下长期使用，耐水、机油、汽油。

例4

聚四氟乙烯悬浮液	45	聚丁烯	30	铝粉	40	石棉粉	2	硬脂酸	1	三氯乙烯	7

例 4 的密封胶为耐高温型，可在350℃下长期使用。从常温到300℃主要依靠聚丁烯的粘弹性和附着力来达到密封，超过300℃聚四氟乙烯开始熔融，与铝粉一起取代已被碳化的聚丁烯，粘附在接合表面上，具有良好的密封。

例5

聚丙烯酸橡胶	15	滑石粉	20.5	戊基氢醌	1.2
聚乙烯基甲基醚	85	气相白炭黑	12	丁酮	适量
酚醛树脂	10.5	铝粉	4.5		

例5中加入氢醌以提高化学稳定性，丁酮为溶剂。

例6

液体聚硫橡胶	44	石棉粉	15	三氯乙烯	2.7
酚醛树脂	8.8	滑石粉	21	乙酸乙酯	2.7
聚异丁烯	2.7	炭黑	4.4		

例 6 的配制工艺为在液体聚硫橡胶中加入酚醛树脂，在加温条件下先与液体橡胶交联成为粘稠状液体，然后再和其它组分配制而成。该密封胶可在200℃、1.96MPa下长期工作。耐油、耐水性好，但耐碱性不理想。

例7

不干性油状醇酸树脂	15	石蜡	0.5	正己烷	8.8
氯丁橡胶	8.8	氧化镁	0.4	防老剂	0.2
滑石粉	4.8	氧化锌	0.4		
铝粉	2.6	三氯乙烯	43.5		

例7加入氯丁橡胶、氧化锌和氧化镁，改善了油状醇酸树脂的粘弹性。三氯乙烯和正己烷起调整粘度的作用。这种密封胶的耐压性优良（最高可达2.94～3.43MPa），耐振动和冲击，可拆性差。

（三）干性粘着型液体密封胶

此类型密封胶几乎都含有溶剂，其初始状态一般为粘度较小的液体，涂布后溶剂挥发，密封胶便牢固粘附在连接表面上。与其它液体密封胶相比，它的性能更接近粘着型密封胶。此类型密封胶的硬度大，可拆卸性和弹性差，在振动和冲击等外力作用下容易产生断裂剥落而造成泄漏。但它具有优良耐热性和耐压性。

该类型密封胶涂胶后要干燥到不粘手时连接，不宜完全干后再连接。

该种类型密封胶通常以热固型树脂为主体材料，常用的有酚醛树脂、环氧树脂和不饱和聚酯等，也可用天然树脂（如阿拉伯树脂和达玛树脂）。

干性粘附型密封胶主要用于不经常承受外力的静接合部位，如煤气、石油液化气、蒸汽、化工管道的法兰面和丝扣的密封及仪表壳体、船体甲板的堵隙密封等。该密封胶配方举例（重量份）如下。

例1

甲阶酚醛树脂	14.2	防沉淀剂	5.2	异丁醇	适量
环氧树脂（618）	25.0	石墨	16.6		
液体酚醛树脂	12.8	甲乙酮	38.2		

例1的密封胶粘附力大，用于不经常拆卸部位。

例2

甲阶酚醛树脂	10	硅酸钙	4.2	甲乙酮	40
丁腈橡胶(1001)	10	古马隆树脂（熔点5～15℃）	1.0	异丙醇	7

例2中丁腈橡胶可改善密封胶的粘弹性和柔韧性，古马隆树脂可提高其粘附性。该密封胶为通用型品种。

例3

甲阶酚醛树脂	110	苯酚	25	甲醇	95
聚酰胺树脂	68.5	气相白炭黑	12		

例3中聚酰胺树脂的作用是降低密封胶的脆性、提高柔韧性。该密封胶主要用于管道密封。

例4

阿拉伯树脂	30	滑石粉	5	水	30
甘油	10	石棉粉	15		

例4的密封胶耐油和有机溶剂性好，不耐水，使用温度不超过150℃，耐振动性差。

例5

环氧树脂（6101）	27.2	磷酸三苯酯	6.2	甲乙酮	10
甲阶酚醛树脂	14.2	滑石粉	28.2		
不饱和聚酯(304)	18.2	石棉粉	8.6		

例5的密封胶耐热、耐压、耐介质性好。不饱和树脂具有良好增韧性，使胶层具有一定粘弹性。

（四）干性可剥型液体密封胶

干性可剥型液体密封胶通常以橡胶或纤维素树脂等内聚力较高的高分子化合物为主体材料，含有溶剂，呈液体状态。涂布后，密封胶中的溶剂很快挥发，在接合表面形成柔软而富有弹性的胶膜。这种胶膜粘附致密，连续性好，能经受振动和冲击等外力的作用，并有良好的可剥性。

这种密封胶性能上接近于固态密封材料，适用于长期承受外力的接合部位，可用涂布量来控制胶膜的厚度，因而也适用于间隙较大、有坡度、平整度较差的接合部位。因胶膜容易剥离，所以对在施工中能产生摩擦、滑动或位移的接合部位不宜使用。

该类型密封胶主要以氯丁橡胶和丁腈橡胶、纤维素树脂（如乙基纤维素）和聚酰胺树脂（如醇溶性共聚尼龙）为主体材料。其配方举例（重量份）如下。

例1

氯丁橡胶	100	磷酸三苯酯	1	乙酸乙酯	100
酚醛树脂	20	4，4′-二羟基联苯	1	汽油	100

例1中酚醛树脂可提高密封胶的耐热性，可在120℃及0.98～1.37MPa压力下长期使用，具有良好弹性。

例2

丁腈橡胶	100	气相白炭黑	36	四氯化碳	300
磷酸三苯酯	2	酚醛树脂	20		

例2中酚醛树脂可提高密封胶的耐热性。

例3

乙基纤维素	100	TiO_2	10	邻苯二甲酸二辛酯	8
硬脂酸钙	1	二苯胺	2	乙醇	30

例3的密封胶耐介质，尤其耐酸碱，可在110～120℃下长期使用，但耐水性差。

例4

醇溶性共聚尼龙	15	立德粉	30
酚醛树脂	15	乙醇:水:三氯乙烯 (80:20:50)	40

例4的胶膜坚韧而富有弹性，可在－50～250℃及0.78～0.98MPa压力下长期工作，耐油性好，但不耐酸碱及醇类。

六、液体密封胶的性能及测试方法

（一）密封胶性能

为确保液体密封胶的质量，一些国家及生产液体密封胶厂家都制订了各自的技术规范。例如日本工业技术标准JIS6820和美国MIL-S-45180（31.5，1974）。前者是不干性粘着型和半干粘弹型液体密封胶的技术标准（表13-11-3）；后者是硬、半硬和低粘度液态密封胶的技术标准。

表 13-11-3 液态密封胶质量指标

性能	不干性粘着型	半干粘弹型	性能	不干性粘着型	半干粘弹型
	主要成分为非干性保持粘合性	主要成分保持粘性和弹性	150±5℃	3.92	6.37
粘度，Pa·s>	5.0	1.6	耐冷热性，MPa>	4.91	4.91
相对密度，>	0.80	0.80	耐水性，$\Delta g\%$	0±5	0～±5
耐压性，MPa>			耐油性，$\Delta g\%$	0～±5	0～±5
室温	8.83	7.85	耐汽油性，$\Delta g\%$	0～±5	0±5
80±5℃	6.87	6.87	耐腐蚀性	无腐蚀	无腐蚀

日本三继公司提供的五种液体密封胶性能如表13-11-4所示。

表 13-11-4 日本三继公司五种液体密封胶性能

性能	改性醇酸树脂	合成橡胶	乙烯树脂	丙烯酸酯	硅树脂
基本性能					
颜色	黄	黄或灰	奶油色	奶油色	白色
粘度（25℃），Pa·s	6.9	3.5	9	50	7
相对密度（25℃）	1.33	0.92	1.22	1.07	1.01
不挥发物，%	79	26	49	无溶剂	无溶剂
使用后状态	不干型	干性可剥型	干型	坚硬	半干粘弹性
弹性行为	非弹性	弹性	非弹性	非弹性	弹性
耐压，MPa					
25℃	9.32	8.34	8.83	11.77	11.77
80℃	7.36	6.38	7.36	9.81	11.77
150℃	5.89	5.40	2.45	9.32	11.77

续表

性　　能	改性酚醛树脂	合成橡胶	乙烯树脂	丙烯酸酯	硅 树 脂
循环强度，MPa	7.5	6.5	5.0	10.0	12.0
耐化学介质					
水（95℃）	优	优	差	优	优
汽油（50℃）	优	好	优	优	中等
机油（100℃）	优	好	优	优	优
NaOH（10%）	优	优	差	优	优
H_2SO_4（10%）	优	优	优	优	优
其它					
涂布性能	中等	中等	中等	好	优
拆卸	中等	好	中等	好	中等
使用后粘性	粘	不粘	不粘	不粘	不粘
使用温度，℃	−45～50	−40～150	−40～120	−50～150	−60～250
稀释剂	甲苯，甲乙酮	乙酸乙酯，甲乙酮	水	—	—

（二）测试方法

1．耐介质性能

如图13-11-3所示，将液体密封胶缓慢注满硬质玻璃或铝制凹形板的凹处，注意不要产生泡沫，在室温下放置24 h后，在100±5℃下干燥3 h，自然冷却即制成试样。试验时分别在规定的温度（耐水性——90～95℃，耐油性——95～100℃，耐汽油性——40～50℃）下浸渍24 h，然后在各自规定的清洗液（耐水性——甲醇，耐油性——石油醚）中轻轻漂洗30 s，再在65±5℃干燥24 h，测出重量的变化。

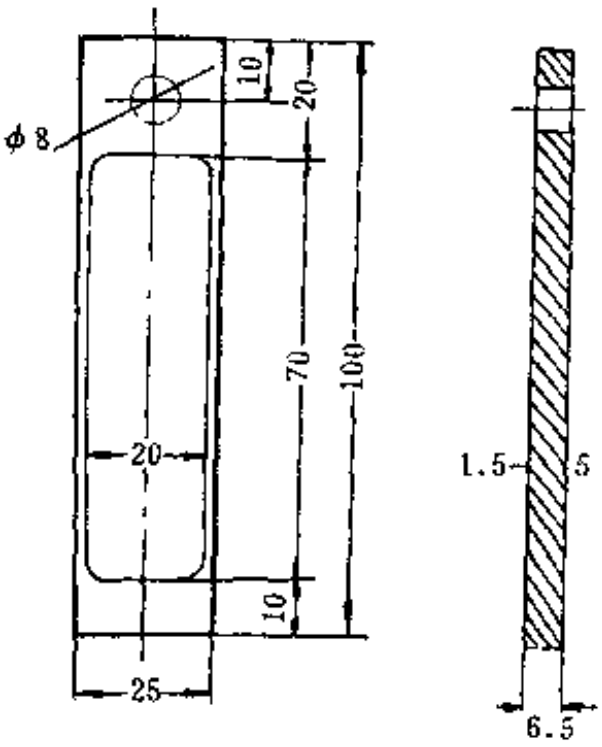


图 13-11-3　试样模具

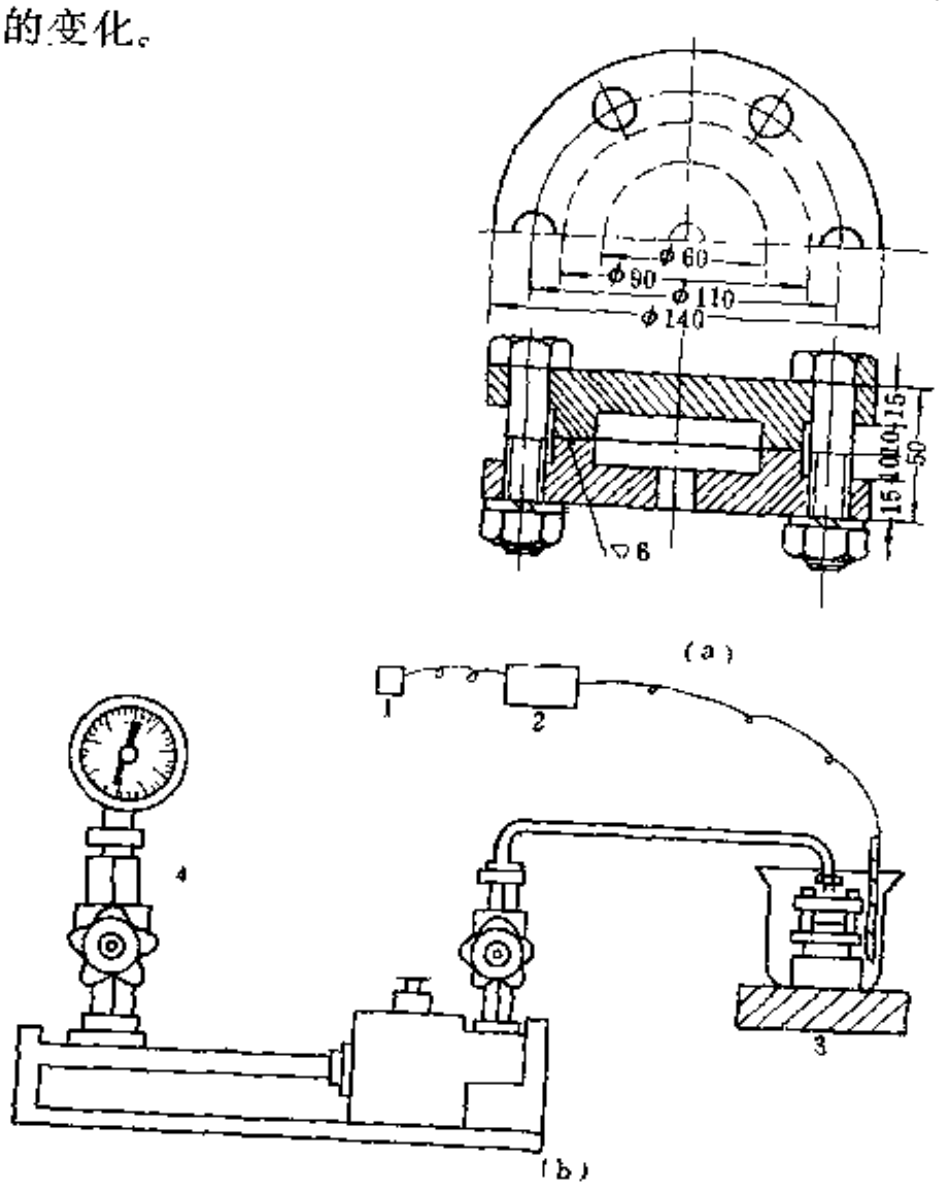


图 13-11-4　液体密封胶耐压力试验装置简图

(a)—带法兰的耐压试验压力容器；(b)—加压试验装置简图

1—电源；2—控温仪；3—加热装置；4—压力表校验仪

2．耐压性

在图13-11-4所示的带法兰的耐压试验压力器接合面上，均匀地涂敷液体密封胶，于室温下放置3～10min后，紧固法兰（每只螺栓的紧固扭矩为275N·m），分别在80～150℃（加热速度为5℃/min）范围内测定不同温度下的耐压力数值。

七、影响液体密封胶密封性能的因素

（一）施工条件对密封胶密封性能的影响

液体密封胶的施工工艺主要有接合表面的预处理、涂胶、干燥和紧固四个步骤。

1．接合表面的预处理

涂胶前应对接合表面进行适当的处理，以保证胶液与接合表面之间达到良浸润。应将接合表面的油污、灰尘或水试擦干净，用砂纸或钢丝刷除锈。

新加工出的金属表面有排斥胶液的作用，在空气中放置一段时间后会产生一层薄的氧化层，使金属表面具有极性，有利于胶液的浸润和粘附。

涂胶前，对接合表面的机械条件（如加工精度、平整度、波纹走向和间隙距离等）要进行一次检查，清除接合表面上的毛刺，调整过大的间隙等。

2．涂布

通常用刷子、竹板、刮刀、橡皮辊和海绵辊等工具涂布液体密封胶，采用涂料喷枪涂布可提高涂布速度，适于大面积接合。喷涂时要用溶剂稀释密封胶，以使其粘度不变。

如果液体密封胶与固态密封材料复合使用，则必须对固态密封材料的两个接合面涂布液体密封胶。

胶液的涂布厚度应视接合表面的加工精度、平整度和间隙距离的情况而定，一般两个接合表面上各涂0.06～0.1mm厚。按平均厚度为0.08mm计算，1kg密封胶可涂布6m^{2}左右的面积。橡胶基液体密封胶由于固体含量低，密封胶收缩率比树脂型大，其涂布厚度可提高到0.1～0.2mm。涂布太厚，不仅影响干燥时间，而且在紧固时会挤出多余的胶液，造成材料浪费、环境污染、内部管道堵塞等问题。为此，在管道安装时密封胶应涂在螺纹中部，平面连接时密封胶不要涂到边缘。

3．胶膜的干燥时间

对含有溶剂的密封胶，涂布后必须让溶剂充分挥发干燥才能紧固。一般达到不粘手后再进行连接紧固，最后放置12～18 h使其进一步干燥完全。

液体密封胶涂布干燥到不粘手大约需5～15min。干性可剥型液体密封胶，涂布后2～4 min就出现可剥离的膜并失去粘附性，因此，在成膜后再进行连接和紧固就有可能产生连接面的泄漏，所以连接和紧固要在成膜之前进行。

干性粘附型液体密封胶如果干燥时间过长，溶剂挥发后表面会固化而失去粘附性，因此一旦不粘手时必须马上连接紧固。

不干性粘着型和半干性粘弹型密封胶即使溶剂完全挥发，仍保持粘性，因而这二类密封胶干燥到不粘手后，任何时候都可连接。

液体密封胶完全干燥所需时间与溶剂类型、涂布厚度、连接前的干燥时间、周围的环境温度和湿度等都有关系。在常温敞开的情况下液体密封胶完全干燥需4～6 h，夹在连接面间的液体密封胶完全干燥需要更长时间，一般48 h后仍不能完全干燥。

4．紧固

胶液干燥后，便可连接和紧固。但仅在连接面上涂布密封胶而无紧固作用是不能起到密封作用的。用螺栓、铆钉、丝扣等对接合部位施以外力可形成自外向内的面压。紧固外力（即面压）越大，接合面之间的间隙就越小，胶层也薄，这样可产生单分子膜效应，增加胶液内聚力，减少移动性，从而达到密封的目的。

紧固时必须使面压均匀、接合面间隙相同，避免胶层局部过厚。

（二）影响密封胶耐压性的因素

影响液体密封胶耐压性的因素有干燥时间、紧固力、温度、法兰形状、加工精度等。

1．干燥时间

干燥时间（即液态密封胶涂布前一直到接合面上的时间）与耐压力关系见图13-11-5。

2．紧固力

紧固力可用紧固面压表示：

$$p = \frac{V_n \cdot V_a \cdot W}{S}$$

式中 p——紧固面压，MPa；

V_n——螺栓个数；

V_a——螺栓截面积，m^2；

W——螺栓拉伸强度，MPa；

S——接合面积，m^2。

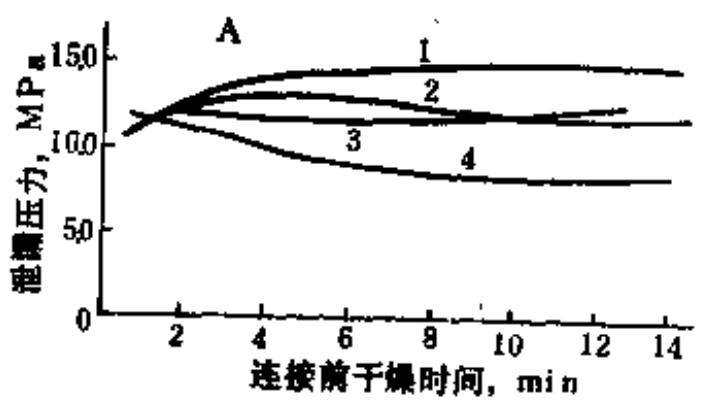
螺栓的拉伸强度与上紧扭矩成正比。从上式可知，紧固面压的大小与螺栓个数、截面积、上紧扭矩及接合面积有关。表13-11-5为液体密封胶用于不同接合部位的最低紧固面压力与上紧扭矩的关系。

紧固结合面时，紧固扭矩越大，结合面间隙就越小，液体密封胶流动就越困难，密封胶因受到压紧作用也增加了对金属结合面的附着力和填充性，从面提高了密封胶的耐压性和密封性。

在面压力相同时，管径越大，所需的上紧扭矩也越大；上紧扭矩相同时，管径越小，耐压性越高。

表 13-11-5 不同接合面部位的最低紧固面压与上紧扭矩关系

接合部位		最低紧固面压力与上紧扭矩
平面、螺栓	一般低压	4.91～5.89MPa
	大型低压	9.81～14.72MPa
	高温高压	19.62～29.43MPa
管道、丝扣	内径 6～25mm	5.88～6.87N·m
	内径25～50mm	11.75～12.75N·m
	内径50～100mm	22.56～24.53N·m
	内径85～130mm	29.43～35.32N·m



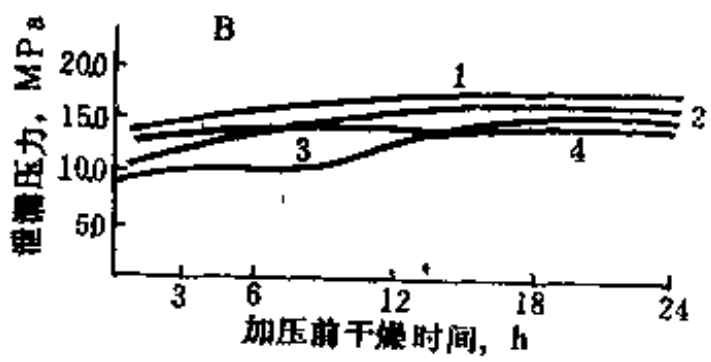


图 13-11-5 干燥时间与液体密封胶耐压力的关系

试验条件：法兰接合面厚度15mm，内径60mm，表面光洁度0.8μm，直径12.7mm的螺栓6个，紧固扭矩3922.66kN·m

A—连接前；B—连接后加压前

1—半干性粘弹型；2—干性粘着型；3—无溶剂不干性黏着型；4—干性可剥型

紧固面相同时，耐压性也与螺栓数目及分布有关。螺栓间距的不均匀性造成紧固面压分

布不均匀，易造成接合面间隙不同，故螺栓越多耐压性越高。

3．结合面的形状

结合面的形状、大小不同，液体密封胶防止泄漏的效果也不相同。以法兰连接为例，螺栓紧固扭矩及法兰内径相同时，增加法兰端面宽度，则结合面上单位面积所受压力相应减小，压紧密封胶的力也变小，使密封胶易于流动，造成耐压性下降；法兰结合面上单位面积受压一定时，增加结合面宽度，则密封胶的流动距离加长、粘附面积增大，耐压性也相应提高。

紧固力扭矩和法兰结合面上总荷重一定时，法兰结合面宽度的增加会使单位面积上的荷重减少，密封胶的耐压性一般应该下降。但是，法兰面的宽度增加又使密封胶流动距离加长、粘附面积增加，这些因素有助于提高密封胶的耐压性。综合的结果是：后面这些因素占优势，最终体现出密封胶耐压性提高，但提高幅度不大。

法兰结合面宽度和螺栓紧固扭矩一定时，密封胶耐压性随法兰接合面内径增大而下降。因为法兰接合面宽度一定时，密封胶的流动距离也一定，接合面面积随法兰内径增大面增大，使接合面单位面积上的荷重随内径增大面减小，密封胶较易流动，因而密封胶耐压性下降。

综上所述，可概括以下几点：

① 法兰接合面面积和单位面积受压一定时，法兰内径越小，密封胶耐压力越高；

② 法兰接合面内径（或内径面积）和单位面积承受压力一定时，法兰接合面宽度越宽，密封胶耐压力越高；

③ 法兰单位面积承受压力越大（即紧固扭矩越大），密封胶耐压越高；

④ 若法兰接合面的内径和外径同时变化，面把接合面单位面积上承受压力保持一定，当法兰接合面的外径面积变化大于内径面积变化时，密封胶耐压性提高；

⑤ 紧固扭矩一定时，法兰接合面单位面积承受的压力随法兰接合面大小变化。当接合面内径一定时，接合面外径越小，则密封胶耐压性越高；

⑥ 密封胶的粘合力越大，耐压性越高。

4．加工精度及间隙

（1）表面光洁度　一般接合表面的光洁度越高，液体密封胶耐压性越高。但是，光洁度过高，密封胶易变形和流动，承受压力时，密封胶易被挤出，反面于密封不利。接合面的光洁度以0.8～3.2μm为宜。

（2）间隙　液体密封胶膜厚度一般在0.08～0.1mm，特殊情况下限制值为0.5mm，所以接合面间隙过大对耐压性影响较大。尽可能地减小变形及弯曲造成的间隙，对设计和使用至关重要。

如果连接面凹凸不平，则连接紧固时密封胶厚度也不同，较厚处的密封胶流动摩擦阻力小、易变形，故在介质作用下此处易发生泄漏。

（3）表面加工方法　接合表面的加工方法和切削方向对密封效果也有影响。例如车床加工的法兰面其切削刀痕呈同心圆，涂胶后同心圆阻止了胶液的挤出；刨床加工的法兰面其切削刀痕呈直线，涂胶后胶液易沿着切削走刀方向被挤出。

5．温度

一般温度增高使密封胶的耐压性降低，这主要取决于密封胶的组成成分。

温度影响液体密封胶耐压性有二个原因：一是在温度升高时，被密封的内部介质分子运

动加快，胶液容易被内部介质浸渍、溶胀或溶解；另一方面密封胶的粘性系数或粘弹性系数随温度的升高而减小，当达到一定温度时，大多数主体材料的高分子化合物开始软化，温度过高还会引起分解碳化，故温度超过一定值时密封胶因粘度、弹性和强度的下降而使耐压性下降。不干性粘着型密封胶和半干性粘弹型密封胶的耐压性受温度影响最大，因它们多以合成树脂为主体基材，并含增塑剂、软化剂，胶液粘度随温度升高而变稀，故耐压性下降十分明显。干性剥离型密封胶多以合成橡胶为主体基材，具有较高内聚力，不易软化，因而耐压性随温度变化不明显。干性粘着型密封胶在使用时能与接合而牢固地贴合在一起，具有一定粘接力，粘度随温度变化较小，因此温度对它的耐压性影响最小。

6．保持压力的时间

液体密封胶因初期产生粘性流动，所以在不同加压时间（保持压力时间）耐压性不同。由图13-11-6可知耐压性随加压时间逐渐降低，2～3 h后趋于稳定。因此实际使用时要注意。短时间试验以及检查时的耐压变化。

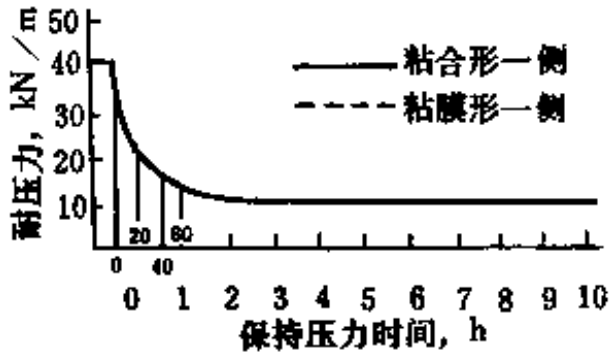


图 13-11-6　保持压力时间与耐压力

7．介质的影响

液体密封胶耐介质性不同，因此在实际使用时试图用一种液体密封胶来满足各种场合的密封要求是不现实的（见表13-11-6）。

表 13-11-6　在不同介质中固态密封材料与液体密封胶的紧固力与泄漏压力的关系

紧固扭力 kN/m	泄漏压力，MPa								
	固态密封材料			液体密封胶					
				环氧树脂＋滑石粉			不干性粘着型		
	接触介质								
	空气	水	蒸汽	空气	水	油	空气	水	油
49.05	0.29	—	—	0.98	1.47	1.47	1.77	1.96	1.96
88.29	—	—	—	2.55	2.75	2.94	3.73	3.92	3.92
98.1	0.59	2.94	—	—	—	—	—	—	—
147.15	0.69	5.40	4.02	—	5.89	5.89	—	6.38	6.47
196.2	0.78	6.87	6.28	—	—	—	—	—	—
241.25	—	9.81	9.40	—	—	—	—	—	—

8．与固态密封材料配合使用与耐压性

在粘接面不平度很大、单纯使用液体密封胶耐压性较低，难以达到防泄漏作用的情况下，可与纸、石棉等固态密封材料配合使用，以弥补过大的间隙。例如单独使用纸垫容易造成连接面泄漏和浸透泄漏，而在纸垫的两面涂上密封胶后即可防止浸透泄漏，提高了纸垫片的气密性。在金属表面涂上密封胶可填平金属表面的微小凹陷，防止连接面的泄漏。在纸垫片和金属连接表面都涂上液体密封胶，既可防止连接面的泄漏，又阻止了浸透泄漏，因此耐压性最高。在连接面表面不平度小时，单独使用液体密封胶耐压性最高；

与液体密封胶配用的固态垫片最好是纸、布一类薄型材料，若垫片较厚，长时间受压会降低垫片的压缩复原能力，使密封效果下降。

八、液体密封胶的应用

1．液体密封胶选择

应根据具体条件合理选用液体密封胶，以达到预期效果。

若液体密封胶选择和使用不当，可造成泄漏，其原因大致有 6 种情况，

① 使用方法不正确，如密封胶涂布不均匀、干燥时间过长或过短、表面处理不净（粘附油或水）、涂层夹有气泡等；

② 粘接面间隙过大，翘曲不平，一般大于0.2mm时，单独使用液体密封胶就不能保证密封；

③ 温度和压力超过了液体密封胶使用范围；

④ 紧固扭矩不足，螺丝松动，连接面结构不合理，尤其是冲制件不宜单独使用液体密封胶；

⑤ 液体密封胶型号选择不当，不适应接触介质；

⑥ 液体密封胶超过使用期，性能改变，或溶剂挥发。

2．液体密封胶的使用领域

液体密封胶使用领域很大，凡是能使用固体密封材料的部位都可使用液体密封胶。此外，液体密封胶还能用于管道的螺纹连接和承插连接，见图13-11-7和表13-11-7～表13-11-12。具体应用包括以下几个方面。

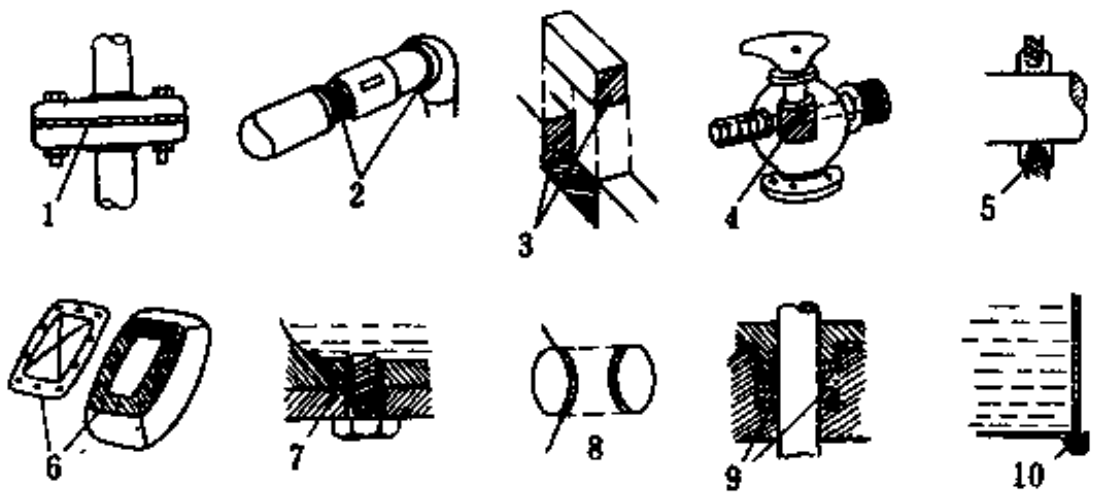


图 13-11-7　液体密封胶的应用部位

1—法兰连接；2—配管螺纹连接；3—镶嵌连接；4—旋塞密封；5—轴承固定与密封；6—平面压盖密封；7—螺栓连接密封；8—盲板密封；9—压盖填料密封；10—卷边密封

（1）机械工业　压缩机、机床、吊车、泵类和阀门等。

（2）交通运输　汽车、船舶、飞机、机车等连接部位密封。例如，油底壳、变速箱上下盖及侧盖、机油粗滤器压盖、滤清器压盖、加油管、汽门室罩盖等。

（3）电气工业　发电机、发动机、变压器等连接部位密封。

（4）仪表工业　各种仪表的结合面及螺栓等连接密封。

（5）管道工程　石油、煤气、液化石油气及其它流动输送管道的连接部位密封。

表 13-11-7 液体密封胶在汽车上的应用

液体密封胶类型	在汽车上的应用部位
干性剥离型	气阀摇臂盖、机油滤清器盖、排水管法兰、水泵盖、车身与凸缘接合面、燃料泵盖、变速箱盖、油泵盖、变速箱前轴承座端面
半干性粘弹型	曲轴后轴承盖和缸体接合面、油底壳、前倒板定时凸轮盖、粗滤清器盖、变速箱壳体接合面、变速箱前轴承座端面、后盖、凸轮轴支架端面、差速器凸轮外壳接合面、水阀接合面、气阀摇臂盖轴间隙、曲轴后金属挡块端面
不干性粘着型	油泵旁通阀罩、油泵盖、刹车鼓紧固夹板端面、汽缸体油孔塞、汽缸体后膨胀塞、汽缸体过盈塞、凸轮轴后膨胀塞、油孔锥形塞、汽缸盖水孔塞、汽缸盖推杆塞、曲轴皮带轮固定螺栓、差速器支架固定螺栓、油压开关接合面、发动机支架双头螺栓、油压夹管法兰

表 13-11-8 液体密封胶船舶上的应用

液体密封胶类型	在船舶上的应用部位		
	涡轮机	柴油机	其它
不干性粘着型	减速齿轮箱接合面、泵齿轮罩和本体接合面、轴承罩面、变速器接合面	阻尼器和齿轮箱接合面、推力轴承接合面、机头合盖和机架接合面、变速器接合面	
耐高温不干性粘着型	操纵阀接合面、推力轴承接合面	汽缸头和缸体接合面、汽缸套管的螺栓部位、吸气管接合面	汽化器罩面
无溶剂不干性粘着型	冷却水泵罩面		泵接合面
半干性粘弹型		压缩机法兰面	给水加热器罩面、油加热器罩面、鼓风机管道法兰面、冷冻机冷凝器盖、绞盘马达接合面、空气冷却器罩面、海水过滤器法兰面、吸水泵法兰面

表 13-11-9 液体密封胶在轮式拖拉机上的应用

应用部位			液体密封胶类型
柴油机	曲柄连杆系统	活塞连杆组盖	半干性粘弹型
		连杆螺栓	干性剥离型
		曲轴齿轮箱盖	半干性粘弹型
		放油螺塞	干性剥离型
		正时齿轮箱盖	不干性粘着型+固状垫片
		气缸盖	不干性粘着型+固状垫片
	供给系统	空气滤清器接合面	半干性粘弹型
		柴油箱盖	半干性粘弹型
		进、出油接头	干性剥离型+固状垫片
		喷油泵体接合面	不干性粘着型+固状垫片
	润滑系统	调速器前盖	不干性粘着型+固状垫片
		机油滤清器上盖	半干性粘弹型
	冷却系统	水箱上水室接合面	不干性粘着型+固状垫片
		水箱下水室接合面	不干性粘着型+固状垫片
		气缸盖水套接合面	干性剥离型

续表

应用部位			液体密封胶类型
传动系统	离合器	变速箱盖	半干性粘弹型
		放油塞	干性剥离型
		动输出轴罩盖	半干性粘弹型
		最终传动被动齿轮箱盖	不干性粘着型+固状垫片
		离合器壳接合面	半干性粘弹性
	变速器	轴承盖	半干性粘弹性
		减速齿轮箱盖	不干性粘着型+固状垫片
		传动机构箱盖	不干性粘着型+固状垫片
	后桥	差速器壳接合面	半干性粘弹性
		刹车壳接合面	半干性粘弹性
		齿轮箱盖	半干性粘弹性
	转向器	转向器盖	半干性粘弹性
		曲柄主销式转向器底座	不干性粘着型+固状垫片
液压系统		滑阀壳体接合面	半干性粘弹性
		分配器壳接合面	半干性粘弹性
		油箱盖	干性剥离型

表 13-11-10 液体密封胶在机床上的应用

液体密封胶类型	应用部位		
	普通车床	滚齿机床	铣床
干性剥离型	Ⅳ、Ⅴ轴法兰盘螺栓孔、刹车调整螺栓端面、进给箱手柄座和箱体接合面、进给箱回油管接头、润滑油泵各管接头	冷却油管活动接头	油腔放油螺栓
半干性粘弹型	主轴前法兰面、床头箱油窗端面、调整链轮偏心轴端面、进给箱上端面和防护盖接合面、溜板箱油标接合面、前床腿油箱油窗接合面	传动箱单齿分度Ⅱ分轴端面、传动箱体与上盖接合面、床头后端侧面挂轮箱盖	密封箱体接合面、溜板花键轴端面、床身丝杠轴防护罩、铣头伞齿轮键槽接合面
不干性粘着型+密封垫片	床头箱盖与箱体接合面、滤油器盖及滤油器与床头箱接合面、床头箱左右Ⅱ轴法兰面、进给箱后法兰面、溜板箱底面和底盖接合面	立柱润滑油箱接合面、齿轮箱侧盖、传动箱挂轮接油盘与盖接合面	溜板车头油池盖、床身丝杠轴端部压盖、油腔盖接合面、床身与变速箱接合面、进给箱挂轮前门盖

表 13-11-11 液体密封胶在电子装置上的应用

液体密封胶类型	应用部位
干性剥离型	电子计算机存储器接合面、电视机阳极罩、立体声耳机外壳、转速表外壳、变压器防电晕罩、投光器罩壳接合面、传感器壳体接合面、安全阀体接合面、防水手表外壳上盖、电度表外壳接合面、铅蓄电池接头螺栓、油计量器接合面、鱼群探测器外壳接合面、煤气表壳及阀体各接合面

续表

液体密封胶类型	应　　用　　部　　位
半干性粘弹型	液晶显示器外壳接合面、计算机信号器接口、遥感光电转换器接合面、高能探测器计数器暗盒接合面、电话声耦合器盖、电话自动交换机盖、氧气压力表螺栓、检像透镜安装面
不干性粘着型	导管封隔器接合面、仪表零点调整螺栓、仪表接线柱和本体接合面、感应电压调节器接合面、照相机透镜和套筒之间、电池壳内壁与封口板之间、煤气表壳及阀体各接合面

表 13-11-12　液体密封胶在化工炼油、管道系统的应用

部　位		工作温度℃	类　型	部　位		工作温度℃	类　型
油管	原油管	32	半干性粘弹性	气管	空气管	25～45	不干性粘着型
	重油管	50	半干性粘弹性		低压蒸汽管	165	不干性粘着型＋密封垫片
	燃油管	32	半干性粘弹性		中压蒸汽管	183	干性剥离型
	石脑油回油管	30	半干性粘弹性		高压蒸汽管	250	干性剥离型＋密封垫片
	液化气管	－45	不干性粘着型				
水管	工业用水管	25	半干性粘弹型	酸性排液管		35	干性剥离型
	冷却水管	30	半干性粘弹型	泡沫灭火液管		25	半干性粘弹型
	锅炉供给水管	120	不干性粘着型				
	高压锅炉水管	220	不干性粘着型＋密封垫片				
	排水管	40	半干性粘弹型				

第十二节　氟橡胶密封胶

氟橡胶密封胶用于耐高温、耐燃油、耐液压流体及耐腐蚀的场合，目前主要用于现代高速飞机整体油箱的密封。

氟橡胶密封胶根据状态可分为膏状腻子和低浓度胶液。前者主要用作加固零件及螺铆缝嵌填密封；后者可用浇注或刷子涂覆密封缝、接头处、螺铆或器外的外覆盖面。

一、嵌填型密封胶

以橡胶为基础掺和溶剂制成的密封胶，其固体含量不小于70%。因过多的溶剂会使硫化胶尺寸稳定性不好，硫化时腻子收缩而导致内气孔和翘曲，影响使用。由于氟橡胶分子链柔性差，呈僵硬状，室温下刚性较大。溶剂型密封胶粘度就大，高分子量的Viton型、Kelf型、氟-23型及氟-26型氟橡胶很少单独用作密封胶。为适应密封剂的要求，国内外发展了专用氟橡胶品种，如美国杜邦公司的Viton C-10（分子量25000）、Viton LM（分子量3600）、Viton LD-001（100℃时门尼粘度为0）和ECD-487等。我国研制的低分子26型氟橡胶，分子量为1万和6万，它们或与高分子氟橡胶并用可制造溶剂型密封胶或无溶剂密封胶。

（一）溶剂型氟橡胶密封胶

现代技术对氟橡胶密封胶的要求是：①可室温硫化或低温硫化（最高不超过149℃），以便现场施工；②采用单组分，以简化工序；③粘稠度适当，以便涂用；④粘接强度好；⑤对钛及其合金不发生腐蚀；⑥对于149～260℃氮加压下的烃类燃料油及其蒸汽作用稳定。目前使用的主要有两种，即单组分低温硫化密封胶及双组分室温硫化密封胶。

1．单组分低温硫化氟橡胶密封胶

这类密封胶是采用低分子氟碳聚合物（如Viton LM，Viton C）或与高分子（平均分子量80000以上，如Viton A，Viton B橡胶）氟碳弹性体并用，掺合少量溶剂制得的高固含量（可达87%）、流动性好（通过ϕ3.18mm的喷嘴、在室温及0.63MPa压力下压出速度为15g/min）的氟橡胶密封材料。其硫化系统为酮亚胺类化合物，利用酮与带两个胺基缩合而成的酮亚胺化合物，对氟橡胶贮藏稳定性有较大改善，而在水分存在下又能使酮亚胺水解放出游离胺，使氟橡胶密封胶在较低的温度下甚至室温下也能交联。氟碳聚合物基材对密封胶的性能有很大影响。美国空军材料研究所以 Viton A和B氟橡胶与低分子氟油Viton LM掺合，制得密封胶耐热性达300℃，其中以Viton B和Viton LM掺合所得的密封胶性能最好。低分子氟油Viton LM单独硫化后性能很低，故不能单独使用。在高分子氟橡胶中并用Viton LM后其物理机械性能、耐热老化性和耐介质性都随其含量的增加而降低（表13-12-1），因此根据使用要求，对并用的Viton LM用量应有适当的控制，一般在要求有较高物理机械性能的场合，可减少Viton LM用量，其混合料Viton B/Viton LM的用量比以45/55较为合适。Viton氟橡胶混合料的性能见表13-12-2。

表 13-12-1 并用Viton LM及增塑剂的氟橡胶密封胶性能①

Viton B/Viton LM		25/75	40/60	40/60	40/60	40/60
FS-1265氟硅油（1000mm²/s）		0	0	4	8	12
固体含量，%		84	84	84	85	85
固体体积，%		71	71	72	72	73
拉伸强度，MPa		1.69	4.9	4.9	4.55	4.24
伸长率，%		185	185	145	145	135
耐油性						
暴露于燃料油中 260℃×72h后	拉伸强度，MPa	1.34	2.65	2.86	2.79	2.55
	伸长率，%	30	75	45	55	85
	体积变化，%	+1.6	−0.6	−3.3	−3.4	−5.2
浸于油中 260℃×72h后	拉伸强度，MPa	2.79	3.2	3.55	3.17	3.0
	伸长率，%	15	15	20	20	25
	体积变化，%	−19.4	−23.2	−20	−18.8	−14.9

① 胶料基本配方 氟橡胶 100；炭黑 15；MgO 6；甲乙酮20；EPon H-2 3；水 1；酚 0.1。
硫化条件：室温逐步升至150℃然后恒温，共24h。

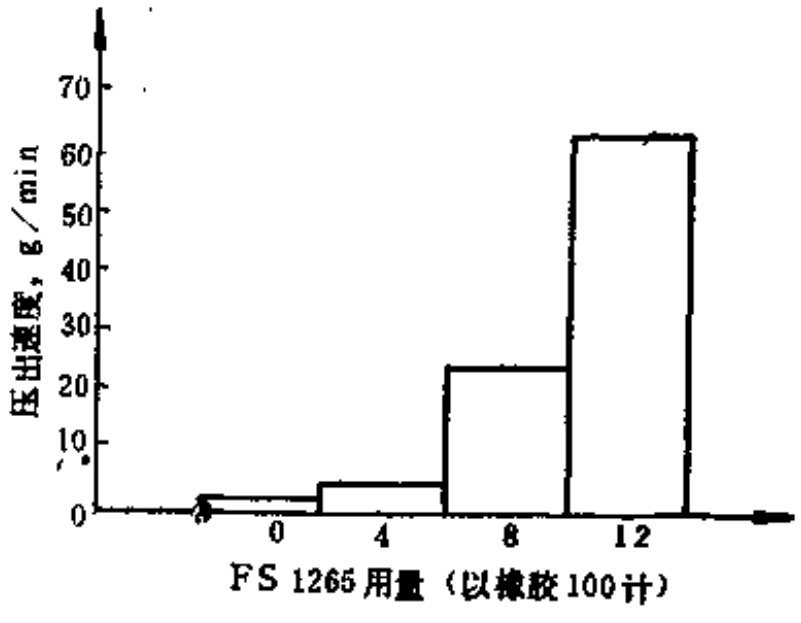


图 13-12-1 含有氟硅油FS-1265密封材料的压出速度
（口径为3.18mm聚乙烯套筒，压力0.62MPa）

为配制有适当的流动性、施工性的密封胶，还需加入适量的增塑剂（如低分子氟硅油）和溶剂，在各种溶剂中，增进流动性最显著的是低分子酮。增塑剂氟硅油用量为8份（以100份氟橡胶混合料计）时，压出性（图13-12-1）及机械性较好（表13-12-1），而且密封胶中加入氟硅油后对钛合金粘接强度增加，剥离试验表明，在老化前，剥离力为3.2 kN/m，经260℃×72h老化后下降至1.23kN/m，而在燃油中粘接性能稳定，在260℃、100h、68～137 kPa的负荷下密封良好。

氟橡胶密封胶在油中老化随时间的增加，拉伸强度略增，而伸长率下降，在下降到一定

表 13-12-2 Viton氟橡胶混合料性能①

VitonB		40	45	50
VitonA		60	55	50
原始性能				
压出速度，g/min（口径3.18mm，室温下压力0.62MPa）		15	15	9
硬度（邵尔A）		52	59	63
室温拉伸强度，MPa		3.14	3.55	3.45
扯断伸长率，%		375	520	435
耐热性				
260℃拉伸强度，MPa		0.76	0.44	0.38
260℃伸长率，%		75	120	105
撕裂强度，kN/m		0.9	1.1	1.2
耐油性				
260℃×72h燃油老化后体积变化，%	在油气中	−2.8	−2.1	−5.8
	在油中	−3.8	−3.6	+10.3
硬度（邵尔A）	在油气中	55	63	65
	在油中	62	65	56
拉伸强度，MPa	在油气中	3.07	4.31	4.27
	在油中	3.2	3.69	3.89
260℃下拉伸强度，MPa	在油气中	1.24	1.76	1.62
	在油中	1.1	1.76	1.69
260℃下伸长率，%	在油气中	—	71	66
	在油中	—	80	85

① 基本配方 橡胶 100；MT炭黑 15；MgO 15；氟硅油FS1265 8；甲乙酮 20；Epon H-2 1.5。

程度后损失减少，经260℃×720h连续老化后，还保持着相当的伸长率，估计使用寿命可能达1万次以上。表13-12-3说明氟橡胶胶的耐油老化性。

表 13-12-3 氟橡胶膈子耐油性氟①

性能 \ 浸油时间，h	0	72	480	720
拉伸强度，MPa	5.46	5.24	6.0	6.17
伸长率，%	430	270	180	165
体积变化，%	0	+4	+4	+10

① 配方 VitonB 45；VitonLM 55；MT炭黑 15；氧化镁 15；氟硅油(FS-1265) 8；甲乙酮 20；MP(A)-3 2

以酮亚胺类硫化的氟橡胶密封胶，耐高温燃料油及其蒸汽性能良好，但此类密封胶不宜用于以钛制造的高速飞机油箱，因为有严重的应力腐蚀（仅72 h便使钛合金龟裂）。

密封胶对钛合金的腐蚀主要是生胶和硫化剂造成的，其它配合剂（如炭黑、氟硅油、氧化镁等）不引起龟裂。使用腐蚀性极小的ECD-487氟橡胶作密封胶对钛合金腐蚀试验的结果表明。使用酮亚胺为硫化剂时引起龟裂，将硫化系统改为PT（吡嗪）和二硫醇则不引起龟裂。

采用Viton C-10（分子量约为25000，100℃时门尼粘度为10）为基础的密封胶（采用氧化镁为吸酸剂），腐蚀性很低，经260℃×31h燃料油作用后，钛合金未发生龟裂。且与钛合金粘接性能好，粘接强度超过密封胶的内聚力。剥离强度为6.2kN/M以上。其机械性能列于表13-12-4。

表 13-12-4 VitonC-10物理机械性能

性能 \ MgO用量 重量份	15	30	45	性能 \ MgO用量 重量份	15	30	45
原始性能				拉伸强度，kPa	7443	12450	13102
固体含量重量，%	80	84	85	伸长率，%	425	400	250
压出速度，g/min（口径3.18mm，压力0.5MPa）	33	15	6	体积变化，%	-4.9	-3.8	-1.7
硬度（邵尔A）	55	60	65	应力腐蚀			
拉伸强度，kPa	9466	10358	12555	于TiAl合金上龟裂时间，h	>120<288	>120<288	>120<288
伸长率，%	830	605	390	固体含量			
抗撕力，kPa	52	68	84.4	重量，%	80	84	86
				体积，%	62.5	70	70
300℃×240h燃油蒸汽中老化后							

用低分子氟油Viton LM 与Viton C-10并用能制作高固体含量的密封材料，它具有与其它高分子Viton橡胶同样好的性能，及良好的耐溶剂、耐化学试剂性能。其配方及硫化胶性能如表13-12-5。

2．双组分室温硫化密封胶

这种密封胶分为甲乙两组分。甲组分由除硫化剂以外的混炼胶和溶剂组成；乙组分由硫化剂和剩余组分组成。使用时，甲、乙两组分按一定比例混合搅拌均匀。这类密封胶一般粘度高，施工工艺复杂（要涂底层胶粘剂，有的还要涂中间层），使用不方便，而且对除阳极化铝以外的许多金属有腐蚀作用，限制了推广应用，但它是一种基础型密封剂，对铝合金机翼整体油箱还是有使用价值的。如前苏联的5ф-13密封胶就属此类密封剂，其性能见表13-12-6。

表 13-12-5 Viton LM与VitonC-10并用胶性能

配方（重量份）	VitonC-10 50；Viton LM 50；低活性MgO 5；热裂法炭黑 15；氟硅油FS-1265（10 000s） 20；丁酮 40；EponH-2 2
硫化条件	分段硫化，每次升10℃，至205℃共24h
物理机械性能	
拉伸强度，MPa	4.5
伸长率，%	100
100%定伸应力，MPa	3.4

表 13-12-6 前苏联5ф-13密封胶性能

甲组分：以低分子CKΦ-26氟橡胶与配合剂、溶剂制成的白色膏状物	
乙组分：多亚乙基多胺类硫化剂	
密封胶硫化后性能	
密度，g/cm³	0.1
脆性温度，℃	-43
拉伸强度，MPa	6.0～11.0
伸长率，%	500～800
永久变形，%	≤60
对阳极化硬铝剥离力，kN/m	1.5～2.5

使用多亚乙基多胺硫化剂的胶液活性期约8～10h，在室温下能使胶液有相当程度的硫化。需要较好性能时，最好进行一定程度的热硫化。因为加热硫化可加快硫化速度。例如Viton A 100（重量份）、二价磷酸铅 8、活性剂Protox160 8、铬酸锌 40、快压出炉黑 10、增塑剂Flexol TOF 6、丙酮42组成的密封胶用六亚甲基二胺作交联剂其硫化速度如下所示：

硫化温度：	室温	49℃	185℃
硫化时间：	3d	1d	2h

对氟橡胶进行化学改性，在其分子中引入不饱和碳键，能增加氟橡胶活性及加快室温硫化速度。方法是将氟橡胶脱氟化氢，使之具有不饱和键。例如将氟橡胶溶解于兼起溶剂和试

剂的取代酰胺溶剂中（例如二甲基甲酰胺或二甲基乙酰胺），然后加热回流，脱氟化氢。若在其中加入碱金属（包括铵）的氰化物及硫代氰化物（如氰化钠、氰化铵、硫氰化钠、硫氰化铵）以及碱土金属的硝酸盐（硝酸铵）等能使此反应在室温下进行。

例 1　将30g Viton A溶于450ml二甲基甲酰胺中回流1h，倒入大体积冷水中，沉淀出琥珀色胶料，干燥后溶解于甲乙酮中，使得到30%（重量）的溶液，然后加入 2%（重量）的己二胺（作为交联剂），在室温经24h后已充分交联，此时的溶胀指数为0.17 单位，与之对比，不经处理的Viton A则仅为0.08，100h后也仅0.15，200h后仍达不到0.17的水平。

例 2　将25g Viton B溶解于450ml二甲基甲酰胺中，并与由0.2g氰化钠和100ml 二甲基二酰胺组成之溶液混在一起，将混合物剧烈搅拌 1 min，然后倒入水中，使之沉淀，所得的脱氟化氢生胶性能与例 1 相仿。唯一不同的是受化学降解更剧烈，易轧炼、易溶解于溶剂。

（二）无溶剂室温硫化氟橡胶密封胶

掺和溶剂的橡胶型密封胶在使用中容易带来尺寸的变化——收缩，使密封胶层翘曲或内包空气，影响密封效果。为此，研制了低粘度氟橡胶，如美国杜邦公司的 Viton LD-001 密封胶，它是二元共聚的2,6类氟橡胶，生胶相对密度1.82，门尼粘度在100℃（ML-10）时为 0 。配入适量增塑剂就能制得固含量为100%的密封腻子。Viton LD-001密封胶在室温下能以适当的速度进行硫化，若在 93～149℃ 下则能加快硫化。其物理性能特别是定伸应力和拉伸强度较低，但耐热和耐油性能良好，且其应力腐蚀和机械性能都能适合钛合金整体油箱密封胶的要求。配方（重量份）及性能见 表 13-12-7。

表 13-12-7

配方：VitonLD-001 100；氟硅油8；聚合物增塑剂① 22；低活性MgO 15；填充剂 20；酮亚胺硫化剂 5		
密封胶的特性		
压出速度，g/min	室温（24℃）	3.6
	70℃	348
针入度仪读数	原始值	13
	24℃×1d后	30
	24℃×7d后	35
物理机械性能		
拉伸强度，MPa		1.82
伸长率，%		310
100%定伸应力，MPa		0.77
硬度（邵尔A）		45

①配方中采用的增塑剂在高温下不挥发，其作用是调节密封胶的稠度。

二、注模型密封胶

低浓度胶液可作为注模型密封胶，通常将密封胶注入油箱并转动油箱使之淌布均匀后，再将剩余物倒出（也可用喷涂或涂刷的方法施工），利用密封胶在油箱内壁所形成的薄膜来隔离金属和燃料油。

这种密封胶通常是高分子氟橡胶的溶液，有需要硫化的和不需要硫化的两种。前者又分为单组分型和双组分型，由于单组分型稳定性较差，通常都采用双组分型。美国空军使用的G-59密封剂就属这一类型注模型密封剂。其配方（重量份）如下：

甲组分Viton A 100；填充剂（Silstone 120）25；氧化镁 15；甲基异丁基酮 400。

乙组分六亚甲基二胺的2%异丙醇溶液。

底涂胶（牌号P-53）：Viton A 100；BRL（2741）2；热固性酚醛树脂（Durcy 11078）2；丙酮 94。

施工方法：①在密封胶施工前，需先在被密封面上涂一层P-53 底胶，以利密封胶与金属的粘接；②底胶干燥后，注入 G-59 甲组分，转动油箱淌匀后，将剩余部分倒出；③室温干燥2h后，再注入乙组分，在55℃下停留2h后排出；④室温下硫化16h后再在121℃下烘1h，整个施工结束。

这种密封胶具有良好的物理机械性能，粘接强度及耐高温老化性能，见表13-12-8。

表 13-12-8 注模型密封剂G-59的性能

老化条件 \ 性能	拉伸强度 MPa	伸长率 %	与钛的剥离强度kN/m	老化条件 \ 性能	拉伸强度 MPa	伸长率 %	与钛的剥离强度kN/m
老化前	10.91	720	—	315℃×10h	5.0	620	4.2
60℃×7d	—	—	6.42	344℃×1h	—	—	4.1
229℃×7d	—	—	3.92	344℃×10h	2.74	470	2.85
229℃×14d	—	—	3.4	350℃×10h	2.6	390	1.25
229℃×21d	9.6	100	—	382℃×10h	0.6	530	0.9
260℃×210h	8.4	100	—				

三、不干性氟橡胶密封胶

这类密封胶是一种极粘稠的半固体状物，通过高压枪注入沟槽进行密封，其特点是方便拆卸和漏油时的修补。要求密封胶耐热老化、耐油，并要求与金属粘接。

不干性密封胶一般采用不硫化系统配合，例如用SKF-26氟橡胶 100(重量份)氧化钙 45、铝粉 5和氧化锌 10混合，然后溶于环己酮溶液，即得耐热耐油的密封胶。

在密封胶中加入降解了的氟硅橡胶，即可作增塑剂，又可提高与金属的粘合性。通常以降解过的Silastic LS-53氟硅胶（将LS-53置于密封容器中，在230℃下加热16～18h即得）作增塑剂时，氟密封胶与金属的粘接性能良好。但Silastic LS-53与Kel-F型或 Viton 型氟橡胶的相溶性不好，而跟聚氟丙烯酸酯橡胶则有良好的相溶性，如美国的 C-37 就是以两者为基础加上一定数量炭黑配制成的不硫化槽型密封胶。其配方（重量份）见表13-12-9。

表 13-12-9 C-37不干性密封胶性能

配方：聚氟丙烯酸酯橡胶 44；氟硅橡胶LS-53(降解) 100；中粒子热裂炭黑 53

性能：229℃×48h使用后不漏油

主要参考文献

[1] Irving, I.Skeist, "Handbook of Adhesives", Second Edition, Van Nostrand Reinhold Co., N.Y., 1977.

[2] Donates, Satas ed., "Handbook of Pressure-Sensitive Adhesive Technology", Van Nostrand Reinhold Co., N.Y., 1982.

[3] 杨玉崑等编著，《合成胶粘剂》（第一版），科学出版社，1980年。

[4] 赵世荣编，《液体聚合物密封材料》，化学工业出版社，1980年。

[5] 龚云表 石安富编著，《高分子密封材料》，上海科学技术出版社，1983年。

[6] [日] 大森英三著，朱传璧译，《丙烯酸及其聚合物》，化学工业出版社，1985年。

[7] 王孟钟 黄应昌主编，《胶粘剂应用手册》，化学工业出版社，1987年。

[8] [日] 接着，6 (3)，31～39 (1962)。

[9] [日] 接着，12 (2)，85 (1968)。

[10] [日] 接着，18 (5)，6～11 (1974)。

[11] [日] 接着，18 (8)，21～26 (1974)。

[12] [日] 接着，19 (2)，16～21 (1975)。

[13] [日] 接着，19 (4)，8～16 (1975)。

[14] [日] 工业材料，27 (9)，48～51 (1979)。

[15] [日] 高分子加工，15 (4)，37～42 (1966)。

[16] [日] 高分子加工，15 (6)，37～44 (1966)。

[17] [日] 高分子加工，15 (7)，22～28 (1966)。

[18] *Rubber Chemistry and Technology*, 41 (1)，114～160 (1968)。

[19] *Rubber Chemistry and Technology*, 54 (2)，197～210 (1981)。

[20] Adhesiue Age, 3 (8)，36～39 (1960)。

[21] Adhesiue Age, 12 (2)，18～24 (1969)。

[22] Adhesiue Age, 12 (8)，25～28 (1969)。

[23] Adhesiue Age, 14 (11)，23～27 (1971)。

[24] Adhesiue Age, 21 (11)，33～35 (1978)。

[25] Adhesiue Age, 22 (11)，45～46 (1979)。

[26] Adhesiue Age, 23 (11)，53～55 (1980)。

[27] US 3035016

[28] US 3849386

[29] US 3041316

[30] DE 2856081

[31] TP 77—125562

[32] TP 80—27329

[33] TP 80—119318

[34] TP 80—15229

[35] Eurpat Appl.9109

[General Information]
书名=未命名图书
作者=
页数=1000
SS号=0
出版日期=

封面
书名
版权
前言
目录
正文