# 橡胶工业手册

HANDBOOK OF RUBBER INDUSTRY

修订版

第四分册

## 轮　　胎

化学工业出版社

# 橡胶工业手册

修订版

第四分册

## 轮　　胎

梁守智　钟延壎　张丹秋　主编

化学工业出版社

(京)新登字039号

## 内 容 提 要

本分册主要叙述汽车轮胎、农机轮胎、工程轮胎、越野轮胎、航空轮胎、摩托车胎、力车胎、实心轮胎和翻修轮胎的分类、标志、结构、性能以及轮胎设计和胶料配方，并对轮胎测试方法、质量标准和使用保养等作了介绍。

本书主要供轮胎行业的技术人员、熟练工人和管理干部使用，也可供车辆制造和使用部门的有关人员和高等院校师生参阅。书后附有大量文献和索引，可供广大工程技术人员查阅。

# 橡胶工业手册

修订版

第四分册

## 轮 胎

梁守智 钟延壎 张丹秋 主编

责任编辑：宋向雁

封面设计：季玉芳

封面题字：张玉岱

[illegible] 出版发行

北京市朝阳区惠新里3号

北京市东华印刷厂印刷

北京市平谷后罗庄装订厂装订

新华书店北京发行所经销

开本787×1092 1/16 印张62 1/4 字数1,570千字

1989年12月第1版 1993年6月北京第2次印刷

印 数 5,501—12500

ISBN 7-5025-0607-1/TQ.359

定 价47.60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**：周国樫

**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　张玉崑　张启耀　单既宝
林孔勇　林宝善　周木英　周国樫　周鸣峦　周俊伟　金震娟
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 | 金震娟　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**：张玉崑　周伟斌　宋向雁

# 本分册编写人员

**第一篇**

**第一章** 梁守智
**第二章** 徐丽君　陈良恩
**第三章** 张德玲　徐丽君
**第四章** 张德玲
**第五章** 梁守智
**第六章** 梁守智
**第七章** 葛传发　柯玉珏
**第八章** 曾昭贵　肖荣生
**第九章** 徐丽君
**第十章** 陶立新
**第十一章** 梁守智　任利亚
**第十二章** 曹利贞
**第十三章** 陈志宏
**第十四章** 陈良恩
**第十五章** 刘天臣
**第十六章** 夏松茂　钟延壎
**第十七章** 钟延壎

**第二篇** 张丹秋　夏启元　赵志宏　陈涌良　陈为民
**第三篇** 邹钟熙　张人龙
**第四篇** 白崇德　林祖恒　郑式贤　吴锦衡　白以平　李炳书
**秘书：** 任利亚

# 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

## 第一篇　充　气　轮　胎

### 第一章　充气轮胎概述


第一节　轮胎和轮辋的组成、分类、标志和基本参数…… 1
一、轮胎…… 1
二、车轮和轮辋…… 8
（一）轿车车轮与轮辋…… 8
（二）载重汽车轮辋……11
（三）越野车车轮……13
（四）农业机械轮辋……14
（五）工程机械轮辋……16
（六）摩托车轮辋……18
第二节　轮胎使用性能 ……18
一、载荷能力……18
二、耐压性能……21
三、缓冲性能……23
四、附着性能……24
五、行驶安全性……27
六、滚动阻力……29
七、轮胎经济性……31
第三节　轮胎的应力和变形……32
一、轮胎内压载荷情况……33
二、轮胎滚动时径向力载荷……34
（一）帘线变形……34
（二）橡胶变形……35
三、轮胎的侧向力……36
四、子午线轮胎的应力和变形……36
第四节　轮胎应力分析和测量方法……38
一、轮胎应力分析方法……38
（一）网状分析法……38
（二）薄膜分析法……39
（三）薄壳分析法……39
（四）有限元分析法……40
二、轮胎应力测量方法……44
（一）轮胎表面变形测量法……44
（二）轮胎内部变形测量法……45
（三）轮胎帘线受力测量法……45
（四）其它应力测试方法……46
主要参考文献……47


### 第二章　轮胎设计基本程序


第一节　轮胎结构设计程序……48
一、技术设计……49
（一）轮胎设计前的准备工作……49
（二）技术要求的确定……49
（三）外胎外轮廓设计……54
（四）外胎胎面花纹设计……60
（五）外胎内轮廓设计……70
（六）优选方案……77
（七）外胎总图等图纸的绘制……77
二、施工设计……79
（一）成型机头直径及肩部曲线的确定…79
（二）成型机头宽度的计算……83
（三）绘制材料分布图……88
（四）外胎施工标准表的制定……88
（五）外胎制造附属工具的技术要求……91
第二节　轮胎配方设计的程序 ……91
一、配方设计的目的要求……91
（一）配方设计的目的意义……91
（二）配方设计的要求……91
二、轮胎胶料配方的组成和配合剂的选择…92
（一）轮胎胶料配方的组成……92
（二）配方的表示方法及理论相对密度的计算……92
（三）配合剂的选择……94
（四）未硫化胶的性能…… 101
（五）硫化胶的性能…… 104
三、各部件胶料的要求…… 104
（一）胎面部分…… 105
（二）胎身部分…… 107
（三）胎圈部分…… 108
（四）内胎…… 108
（五）垫带…… 109

四、外胎整体配方的设计…… 109
（一）定伸应力的配置…… 109
（二）硫化速度的匹配…… 110
五、各部件胶料半成品物理机械性能的控制…… 110
六、配方试验设计方法的应用…… 114
（一）进行配方试验设计的必要性…… 114
（二）主要方法的应用…… 114
七、配方工作的程序…… 129
（一）准备工作…… 130
（二）配方试验…… 130
（三）试制及试产…… 131
（四）总结、鉴定、投产…… 132
主要参考文献…… 133

## 第三章 汽车轮胎

第一节 汽车轮胎的基本性能 …… 134
一、承载性能…… 134
二、高速性能…… 136
三、胎面耐磨性能…… 137
四、胎体耐屈挠性能…… 138
五、轮胎的滚动阻力…… 138
（一）影响轮胎滚动阻力的因素…… 139
（二）减小轮胎滚动阻力的措施…… 140
六、乘坐舒适性…… 142
七、操纵稳定性…… 142
八、通过性能和牵引性能…… 143
九、行驶安全可靠性能…… 143
第二节 汽车轮胎的分类 …… 144
一、按用途分类…… 144
二、按有无内胎分类…… 144
三、按结构分类…… 144
第三节 载重汽车轮胎 …… 146
一、载重汽车轮胎的分类和标志…… 146
（一）ISO 国际标准轮胎规格标志…… 146
（二）现有英制规格标志…… 146
二、载重汽车轮胎的轮辋…… 148
三、载重汽车轮胎和轮辋的标准及其系列…… 149
四、载重汽车轮胎的结构设计特点…… 149
（一）设计前需要收集的资料…… 149
（二）载重汽车轮胎的负荷计算及举例…… 149
（三）载重汽车轮胎的外轮廓设计…… 151
（四）载重汽车轮胎胎体及缓冲层结构…… 156
五、载重汽车轮胎的花纹…… 162
（一）胎面花纹的作用及要求…… 162
（二）胎面花纹的分类…… 162
（三）花纹深度…… 163
（四）花纹宽度…… 165
（五）花纹沟底部形状…… 165
（六）磨耗标志…… 166
第四节 轿车轮胎 …… 169
一、结构…… 169
（一）轮胎的负荷能力…… 169
（二）轮胎的标志…… 171
（三）外胎外轮廓设计…… 173
（四）胎面花纹的设计…… 180
（五）胎体强度的确定…… 184
（六）密封层的确定…… 184
二、性能…… 184
（一）高速行驶性能…… 184
（二）操纵性和稳定性…… 189
（三）噪声…… 190
主要参考文献…… 193

## 第四章 农业和林业机械用轮胎

第一节 农业拖拉机驱动轮胎…… 194
一、农业拖拉机驱动轮胎的性能…… 194
二、农业拖拉机驱动轮胎的结构设计…… 194
（一）拖拉机驱动轮胎的规格…… 194
（二）拖拉机驱动轮胎的轮辋…… 195
（三）拖拉机轮胎的负荷计算…… 196
（四）农业拖拉机轮胎的结构设计特点…… 197
（五）水田拖拉机轮胎的设计…… 201
（六）手扶拖拉机轮胎…… 204
第二节 农业拖拉机导向轮胎…… 204
一、ISO标准中列出的拖拉机导向轮胎规格…… 204
二、拖拉机导向轮胎的轮辋…… 204
三、拖拉机导向轮胎的负荷计算…… 205
四、拖拉机导向轮胎的设计特点…… 205
（一）轮胎断面高宽比…… 205
（二）拖拉机导向轮胎的轮辋宽度…… 205
（三）行驶面宽度和弧度高…… 206
（四）导向轮胎的花纹…… 206
第三节 农机具轮胎 …… 208
一、农机具轮胎的规格…… 208

二、农机具轮胎的轮辋 …… 208
三、农机具轮胎的结构设计特点 …… 208
（一）轮胎负荷计算 …… 208
（二）轮胎断面高宽比 …… 208
（三）轮辋宽度与轮胎断面宽的比 …… 209
（四）农机具轮胎的花纹 …… 209
第四节 林业机械轮胎 …… 212
一、林业轮胎的主要规格及参数 …… 213
二、林业轮胎的轮辋 …… 213
三、林业轮胎的设计特点 …… 213
四、国外林业机械轮胎 …… 216
主要参考文献 …… 218

## 第五章 工程机械轮胎

第一节 工程机械轮胎的分类和用途 …… 219
第二节 工程机械轮胎结构设计特点 …… 230
第三节 工程轮胎无内胎结构设计 …… 234
第四节 工程轮胎TKPH值的计算 …… 235
第五节 关于轮胎充水使用问题 …… 237
主要参考文献 …… 239

## 第六章 越野轮胎

第一节 越野轮胎的通过性 …… 240
第二节 越野轮胎的基本参数 …… 243
一、高浮力轮胎 …… 243
二、可调压轮胎 …… 245
三、子午线轮胎 …… 247
第三节 特种越野轮胎 …… 249
一、椭圆形轮胎 …… 249
二、拱形轮胎 …… 249
三、沙地轮胎 …… 251
主要参考文献 …… 252

## 第七章 航空轮胎

第一节 航空轮胎和轮辋的分类、型号 …… 253
一、航空轮胎的分类 …… 253
二、航空轮胎的型别和规格 …… 254
三、航空轮胎用轮辋 …… 287
第二节 航空轮胎结构设计 …… 292
一、对航空轮胎的技术要求 …… 292
二、航空轮胎的负荷性能 …… 292
三、航空轮胎负荷能力计算 …… 292
四、轮胎类型和结构参数的选取 …… 297
五、胎面花纹设计和胎面结构的选取 …… 297
（一）胎面花纹设计 …… 297
（二）胎面结构的选取 …… 298
六、胎圈设计 …… 299
（一）胎圈外轮廓设计 …… 299
（二）胎圈结构设计 …… 299
七、轮胎帘布层帘线角度的选取 …… 299
八、航空轮胎强力安全倍数的选取 …… 300
九、轮辋断面曲线设计 …… 300
第三节 航空轮胎测试 …… 301
一、静态测试 …… 301
二、动态测试 …… 303
（一）低速轮胎 …… 303
（二）高速轮胎 …… 303
主要参考文献 …… 305

## 第八章 摩托车轮胎

第一节 摩托车轮胎的分类和结构设计特征 …… 306
一、摩托车轮胎的使用特点和分类 …… 306
二、摩托车轮胎的规格标志 …… 307
三、摩托车轮胎结构设计特点 …… 310
四、摩托车轮胎新品种简介 …… 320
第二节 摩托车轮胎的配方设计 …… 324
一、配方的整体设计 …… 324
二、胎面胶料 …… 325
三、胎体胶料 …… 325
四、内胎、垫带和水胎(及隔膜)的胶料配方 …… 327
第三节 摩托车轮胎生产工艺 …… 329
一、准备工艺 …… 329
二、外胎的成型和硫化 …… 329
（一）成型工艺 …… 329
（二）硫化方法 …… 332
三、内胎生产工艺 …… 332
四、摩托车垫带的制造 …… 333
五、水胎、硫化气囊和硫化隔膜的制造 … 333

## 第九章 内胎、垫带、水胎和胶囊设计

第一节 内胎设计 …… 336
第二节 垫带设计 …… 338
第三节 水胎设计 …… 339

第四节　胶囊设计 …… 340
一、胶囊的类型…… 340
二、胶囊的主要设计参数…… 341
三、胶囊有关尺寸的确定…… 342
(一) A型胶囊有关尺寸的确定…… 342
(二) B型胶囊有关尺寸的确定…… 343
第五节　内胎、垫带、水胎和胶囊施工标准表的制定 …… 346
一、内胎施工标准表的制定…… 346
二、垫带施工标准表的制定…… 346
三、水胎施工标准表的制定…… 348
四、胶囊施工标准表的制定…… 349
第六节　内胎、垫带、水胎和胶囊制造附属工具的技术要求 …… 350

## 第十章　轮胎气门嘴

第一节　轮胎气门嘴概况 …… 351
第二节　轮胎气门嘴术语 …… 351
第三节　轮胎气门嘴芯腔结构分类 … 353
第四节　轮胎气门嘴的结构分类和技术特性 …… 356
第五节　轮辋气门嘴的结构分类 …… 361
一、葫芦包胶型轮辋气门嘴…… 361
二、轻型卡车、载重汽车和公共汽车用轮辋气门嘴…… 362
三、大型工程轮胎轮辋气门嘴…… 364
第六节　各类轮胎气门嘴的技术要求…… 367
第七节　轮胎气门芯结构、分类和技术规范 …… 368
第八节　轮胎气门嘴主要工艺流程 … 371
第九节　轮胎气门嘴胶垫硫化工艺 … 372
第十节　轮胎气门嘴配件、垫片、橡胶密封圈、六角螺母、密封帽和气门嘴螺纹的规定 …… 374

## 第十一章　子午线轮胎设计的特点

第一节　子午线轮胎的基本参数 …… 379
第二节　带束层结构特点…… 386
第三节　胎肩部设计特点…… 391
第四节　胎圈部设计特点…… 393
第五节　高速轿车轮胎设计…… 397
第六节　轮胎强度的计算…… 402
一、轮胎充气尺寸的计算…… 402
二、轮胎各部件强度的计算…… 402
三、9.00R20轮胎计算举例 …… 404
主要参考文献…… 409

## 第十二章　计算机在轮胎结构设计中的应用

第一节　斜交轮胎形状力学的研究 … 410
一、引言…… 410
二、薄膜原理和网络理论计算轮胎形状的数学模式和计算方法…… 410
(一) 符号命名…… 410
(二) 薄膜原理和网络理论计算充气轮胎形状的主要方程式…… 412
(三) 计算方法…… 414
三、斜交充气轮胎形状力学研究…… 414
(一) 计算机辅助设计轮胎模型…… 415
(二) 计算机辅助设计预测轮胎充气形状…… 419
(三) 斜交轮胎充气力学分析…… 434
四、斜交轮胎自由旋转时形状力学的研究…… 436
(一) 研究斜交轮胎自由旋转时形状力学的目的…… 436
(二) 轮胎旋转时的基本方程式…… 437
(三) 计算与分析…… 439
(四) 分析结果…… 442
第二节　子午线轮胎形状力学研究 … 442
一、采用薄膜网络理论…… 442
(一) 计算机计算…… 442
(二) 直接作图法…… 442
二、有限元法…… 446
(一) 有限元法分析步骤…… 446
(二) 材料性质…… 447
(三) 充气子午线轮胎应力-应变的分析…… 448
第三节　计算机辅助设计轮胎 …… 452
一、辅助设计轮胎施工…… 452
(一) 帘线及钢丝圈强度的计算…… 452
(二) 成型机头宽度的计算…… 453
(三) 实心胎面胶体积计算…… 454
(四) 辅助设计轮胎材料布置图…… 455
二、辅助设计轮胎花纹总图…… 456
三、辅助设计水胎、垫带和内胎…… 458
四、辅助设计轮胎模具…… 458
五、建立轮胎图形信息库…… 461

主要参考文献…… 461

## 第十三章　斜交轮胎配方设计

第一节　汽车轮胎配方 …… 462
一、胶料配方与轮胎性能的关系…… 462
（一）耐磨性能…… 462
（二）滚动阻力…… 466
（三）防滑性能…… 468
（四）生热性能…… 472
（五）耐热性能和防老化性能…… 475
二、汽车轮胎的整体配方设计…… 478
（一）各部件胶料的应力-应变匹配 … 473
（二）各部件胶料的硫化速度匹配…… 481
三、汽车轮胎配方列举…… 483
（一）国外汽车轮胎配方列举…… 483
（二）国内汽车轮胎配方列举…… 487
第二节　农业轮胎配方 …… 493
一、胶型的选择…… 493
二、农业轮胎配方列举…… 494
第三节　工程轮胎配方 …… 496
一、工程轮胎配方设计的特点…… 496
二、工程轮胎配方列举…… 496

## 第十四章　子午线轮胎胶料的配方

第一节　子午线轮胎特点与胶料的关系 …… 499
一、结构特点与胶料的关系…… 499
二、各部件胶料性能的匹配…… 500
（一）胶料刚性的配合…… 500
（二）硫化速率的匹配…… 501
（三）界面层的关系…… 503
三、国内外子午线轮胎胶料性能简介…… 503
（一）国外轮胎配方的主要特点…… 504
（二）国内、外轮胎胶料的特性…… 505
第二节　各部件胶料配方的要求 …… 508
一、概况…… 508
（一）天然橡胶的使用比例…… 508
（二）硫化体系…… 508
（三）填充补强剂…… 508
（四）防护体系…… 509
（五）其它助剂类…… 509
二、胎面胶和胎侧胶…… 509
（一）载重轮胎…… 509
（二）乘用轮胎…… 511
三、带束层及有关部件…… 512
（一）带束层钢丝帘布胶…… 512
（二）肩部垫胶…… 514
（三）带束层间垫胶…… 515
（四）带束层帘布胶及有关部件的配方示例…… 515
四、胎体胶料的配方…… 516
（一）胎体帘布胶…… 516
（二）气密层或油皮胶…… 517
（三）过渡层胶…… 517
（四）配方示例…… 517
五、胎圈各部件的胶料…… 518
（一）填充三角胶…… 518
（二）子口护胶…… 518
（三）钢丝圈钢丝压出胶…… 519
（四）配方示例…… 519
主要参考文献 …… 519

## 第十五章　电子计算机在胶料配方设计中的应用

第一节　正交试验设计及统计分析 … 520
一、正交试验设计…… 522
（一）正交表…… 522
（二）交互作用…… 523
（三）用正交表进行配方试验设计…… 523
（四）部分实施…… 526
二、方差分析…… 527
（一）离差平方和…… 527
（二）试验数据的方差分析…… 528
第二节　回归分析和回归设计 …… 530
一、回归分析…… 530
（一）回归分析的意义…… 530
（二）回归方程的建立…… 531
（三）多元线性回归…… 534
（四）线性关系的显著性检验…… 536
（五）根据回归方程预报和控制y值 … 539
（六）有关数学模型的检验…… 540
（七）化非线性回归为线性回归…… 540
二、回归设计…… 540
（一）二次回归的正交设计…… 541
（二）回归的旋转设计…… 544
三、应用举例…… 546
（一）试验设计…… 547

（二）试验数据的回归分析…… 547
（三）最优配方的选取…… 551
（四）等值曲线图的绘制…… 551
第三节　胶料配方试验设计的自动实现 …… 554
一、胶料配方试验设计的自动实现…… 554
二、实例…… 555
第四节　配方数据库 …… 565
一、几个基本概念…… 565
二、关系数据库dBASE Ⅱ …… 567
三、配方数据库…… 567
附录1　正交表…… 568
附录2　相关系数检验表…… 573
主要参考文献…… 576

## 第十六章　轮胎成品检测

第一节　外缘尺寸测定 …… 577
一、测试原理…… 577
二、测试步骤…… 577
三、测试结果举例…… 578
四、影响因素…… 578
第二节　静负荷性能测定 …… 579
一、测试原理…… 579
二、测试设备和步骤…… 580
三、测量结果举例…… 583
四、影响因素…… 583
第三节　强度试验 …… 584
一、汽车轮胎的强度试验…… 584
（一）试验原理…… 584
（二）试验设备和方法…… 584
（三）国家标准规定值与试验结果举例…… 584
二、轮胎水压爆破试验…… 586
（一）试验原理…… 586
（二）试验设备与方法…… 586
（三）试验轮胎损坏分析举例…… 586
（四）影响因素…… 586
第四节　耐久性试验 …… 586
一、里程试验…… 586
（一）原理…… 586
（二）基本要求…… 587
（三）试验结果举例…… 588
二、转鼓试验…… 589
（一）原理…… 589
（二）转鼓试验机和试验步骤…… 590
（三）试验结果举例…… 593
（四）影响因素…… 594
三、磨耗拖车试验…… 594
（一）原理…… 594
（二）磨耗试验车…… 595
（三）试验结果举例…… 597
（四）影响因素…… 598
第五节　高速性能试验 …… 599
一、试验原理…… 599
二、试验设备和步骤…… 599
（一）试验设备…… 599
（二）试验步骤…… 600
三、试验结果举例…… 602
四、影响因素…… 602
第六节　平衡试验和均匀性试验 …… 603
一、平衡试验…… 603
（一）原理…… 603
（二）平衡试验机和试验步骤…… 604
二、均匀性试验…… 607
（一）原理…… 607
（二）均匀性试验设备和试验步骤…… 609
三、试验结果举例…… 613
四、影响因素…… 614
第七节　非破坏性试验 …… 615
一、X射线检验…… 615
（一）原理…… 615
（二）X射线检验设备与方法…… 615
（三）X射线的照相检查…… 616
（四）轮胎常见缺陷的类型及图像的辨认…… 617
二、全息照相检验…… 617
（一）原理…… 617
（二）全息照相检验设备与方法…… 618
（三）全息照相系统技术要求…… 619
三、红外线检验…… 620
（一）原理…… 620
（二）检验方法…… 620
（三）试验装置及结果…… 620
四、超声波检验…… 621
（一）原理…… 621
（二）试验仪器…… 621
（三）用超声波检测轮胎…… 621

第八节　噪声与振动试验 …… 622
一、噪声试验 …… 622
（一）轮胎发生噪声的基理 …… 622
（二）轮胎噪声测量方法 …… 622
（三）汽车轮胎噪声举例 …… 625
（四）汽车轮胎噪声测量影响因素 …… 626
二、振动试验 …… 627
（一）振动的基本概念 …… 627
（二）试验仪器及应用 …… 627
（三）试验举例 …… 628
（四）试验误差 …… 629
第九节　功率损失试验 …… 629
一、静态滞后损失试验 …… 629
二、滚动阻力试验 …… 630
三、轮胎耗油量试验 …… 632
第十节　测温试验 …… 633
一、热电偶测温试验 …… 633
（一）原理 …… 633
（二）热电偶的材料和构造 …… 634
（三）试验举例 …… 634
（四）影响因素 …… 635
二、热敏电阻测温试验 …… 635
（一）原理 …… 635
（二）方法 …… 635
（三）试验举例 …… 636
（四）影响因素 …… 636
三、红外测温 …… 637
（一）原理 …… 637
（二）红外测温仪的结构 …… 637
（三）试验结果举例 …… 638
（四）影响因素 …… 639
第十一节　轮胎力和力矩试验及整车操纵稳定性试验 …… 639
一、轮胎力和力矩试验 …… 639
（一）轮胎的力和力矩特性 …… 639
（二）试验设备 …… 643
（三）试验步骤 …… 647
（四）试验结果举例 …… 650
（五）影响因素 …… 656
二、整车操纵稳定性试验 …… 656
（一）试验项目及其方法 …… 656
（二）试验仪器和设备 …… 659
（三）试验结果举例 …… 660
（四）影响因素 …… 660
第十二节　轮胎应力-应变测量 …… 661
一、原理 …… 661
（一）电测变换器（转换元件） …… 661
（二）测量电桥 …… 662
二、轮胎内外表面变形的电测试验 …… 662
（一）电测转换元件 …… 663
（二）试验仪器及电路 …… 663
（三）轮胎内外表面静、动态变形电测试验举例 …… 663
三、轮胎胎里帘线应力的电测试验 …… 666
（一）电测用传感器 …… 666
（二）轮胎胎里帘线电测结果举例 …… 666
四、影响因素 …… 667
（一）应变片温度补偿 …… 667
（二）试验速度 …… 668
（三）轮胎内表面试验的轮辋问题 …… 668
第十三节　附着性能试验 …… 668
一、汽车轮胎道路试验 …… 668
（一）驱动试验 …… 669
（二）制动试验 …… 671
（三）制动拖车试验 …… 673
（四）无扭矩车轮转弯试验 …… 673
（五）有扭矩车轮转弯试验 …… 675
（六）力学特征拖车试验 …… 677
二、农用拖拉机轮胎田间试验 …… 679
（一）试验条件及试验准备 …… 679
（二）试验方法 …… 679
三、转鼓试验 …… 681
四、土壤槽试验 …… 682
五、试验结果举例 …… 682
第十四节　脱圈阻力试验 …… 684
一、试验原理 …… 684
二、试验设备和步骤 …… 684
三、试验结果举例 …… 686
四、影响因素 …… 686
第十五节　滚动半径测定 …… 686
一、测试原理 …… 686
二、测试方法 …… 688
（一）道路试验 …… 688
（二）转鼓试验 …… 689
三、测试结果举例 …… 690
四、影响因素 …… 690

第十六节　轮胎试验场 …… 690
一、轮胎试验场的类型…… 691
二、轮胎试验场的主要跑道…… 693
三、试验场的测试项目与设施…… 695

## 第十七章　轮胎的使用与保养

第一节　轮胎的使用 …… 696
一、轮胎的正确选用…… 696
二、轮胎的气压…… 699
三、轮胎的负荷…… 700
四、轮胎的使用车速…… 702
五、轮胎使用的其它注意事项…… 703
第二节　轮胎的保养 …… 705
一、轮胎保养主要作业项目…… 705
二、轮胎保养主要作业要点…… 706
第三节　车辆技术状况与轮辋要求 … 707
一、车辆技术状况对轮胎的影响…… 707
二、轮辋的类别与技术要求…… 708
本篇附录　轮胎部分物理机械性能
指标 …… 710

# 第二篇　力　车　轮　胎

## 第一章　力车轮胎的分类、规格及技术标准

第一节　力车轮胎分类…… 711
第二节　力车轮胎规格及国内主要力车轮胎生产厂商标…… 712
一、力车轮胎规格…… 712
二、力车轮胎基本参数…… 713
三、国内主要力车轮胎生产厂商标及产品规格…… 715
第三节　力车轮胎产品技术标准 …… 715
一、国家标准…… 715
二、国际标准及国外标准…… 716
（一）国际标准化组织(ISO)标准 …… 716
（二）欧洲轮胎与轮辋技术组织（ETRTO）标准（85年版）… 717
（三）美国轮胎与轮辋协会（TRA）年鉴（86年版）…… 718
（四）日本工业标准（JIS）…… 718

## 第二章　力车轮胎的轮辋型式及尺寸

第一节　自行车轮胎用轮辋…… 720
第二节　手推车轮胎用轮辋…… 722

## 第三章　产　品　设　计

第一节　概述
一、产品设计程序图…… 723
二、产品设计程序说明…… 723
第二节　技术设计
一、力车外胎结构设计
（一）轮胎类型和标准轮辋的确定…… 724
（二）充气轮胎外缘尺寸的确定…… 727
（三）设计断面宽度$S$和断面高度$H$的确定…… 727
（四）轮胎负荷能力的计算…… 730
（五）轮胎断面水平轴位置的确定…… 732
（六）轮胎胎圈间距离$C$值的确定…… 732
（七）轮胎胎圈直径的确定…… 733
（八）轮胎胎肩结构形式…… 735
（九）胎侧部曲线的确定…… 738
（十）轮胎胎面花纹设计…… 739
（十一）轮胎胎圈部设计…… 741
（十二）轮胎断面外轮廓曲线的绘制… 743
（十三）轮胎内轮廓的设计…… 743
（十四）轮胎内轮廓曲线的绘制…… 748
二、内胎设计…… 750
三、垫带设计…… 751
四、气囊设计…… 752
第三节　力车轮胎施工设计…… 754
一、力车轮胎的成型方法…… 754
（一）成型方法的选取…… 754
（二）成型鼓设计…… 754
二、未硫化外胎材料分布图的绘制…… 760
三、施工尺寸的确定…… 760
附录
1．我国主要力车轮胎生产厂家40-635(28×$1^1/_2$)硬边自行车轮胎主要参数表… 764
2．我国主要力车轮胎生产厂家28×$1^1/_2$软边加重自行车轮胎主要参数表 …… 764
3．外胎施工标准表Ⅰ …… 765
4．外胎施工标准表Ⅱ …… 766
5．内胎施工标准表 …… 767

6. 气囊施工标准表Ⅰ …… 768
7. 气囊施工标准表Ⅱ …… 769

## 第四章　力车轮胎胶料配方设计

第一节　配方设计的目的 …… 770
第二节　配方设计的特点、要求和程序 …… 770
一、配方设计的特点和要求…… 770
二、配方设计的程序…… 773
第三节　配方的整体设计 …… 773
一、力车轮胎部件性能…… 773
二、各部件硬度与定伸应力的配合…… 774
三、各部件硫化特性的同步…… 774
四、胎面胶的配方设计…… 775
（一）提高胎面胶的耐磨性能…… 775
（二）提高胎面胶的耐老化性和耐屈挠龟裂性能…… 775
五、胎身胶的配方设计…… 776
六、彩色胶的配方设计…… 776
七、丁基橡胶内胎的配方设计…… 778
八、典型配方的简要分析…… 779
第四节　胶料配方对工艺性能的影响…… 780
第五节　生产配方举例 …… 781
一、手推车外胎胎面胶和胎身胶配方…… 781
二、自行车轮胎外胎胎面胶及胎身胶配方…… 782
三、力车内胎胶料、气囊胶料配方…… 783

## 第五章　力车轮胎工艺

第一节　力车外胎工艺 …… 785
一、混炼工艺…… 786
二、压延工艺…… 786
三、胎面压型工艺…… 786
（一）胎面压型前的准备…… 787
（二）胎面压型方式…… 787
（三）胎面压型辊筒温度…… 789
（四）胎面压出速度…… 789
（五）胎面冷却与停放…… 789
（六）胎面打洞…… 790
（七）胎面压型质量要求…… 790
四、外胎成型工艺…… 791
（一）外胎成型前的准备…… 791
（二）外胎成型工艺…… 794
五、外胎硫化工艺…… 797
（一）硫化前的准备及硫化设备…… 797
（二）硫化气囊和胶囊…… 800
（三）硫化工艺…… 800
（四）模型的清理…… 802
（五）硫化质量要求…… 802
六、尼龙帘线轮胎与棉帘线轮胎制造工艺比较…… 805
七、气囊及胶囊制造工艺…… 805
（一）气囊制造工艺…… 806
（二）胶囊制造工艺…… 808
（三）气囊及胶囊硫化质量要求…… 809
第二节　力车内胎工艺 …… 809
一、力车内胎生产工艺流程…… 809
二、工艺简述…… 810
（一）天然橡胶内胎制造工艺…… 810
（二）丁基橡胶内胎制造工艺…… 818

## 第六章　力车轮胎测试

第一节　概述…… 821
一、测试近况和方向…… 821
二、测试目的…… 821
第二节　力车轮胎解剖及物理机械性能的检测 …… 822
一、力车轮胎解剖…… 822
二、力车外胎物理机械性能检测…… 822
三、试验方法…… 823
第三节　力车轮胎成品试验…… 825
一、力车轮胎结构参数检测…… 825
二、力车轮胎充气静负荷性能试验…… 826
（一）一般要求…… 826
（二）试验设备…… 826
（三）试验步骤…… 826
三、力车轮胎安全性能测定…… 829
（一）力车轮胎安全性能测试…… 829
（二）力车轮胎的强度（压穿）性能测试…… 829
四、力车轮胎耐久性能里程试验测试…… 830
（一）概述…… 830
（二）耐久性能里程试验…… 831
第四节　力车轮胎实际使用试验 …… 832
一、试验点的选择与使用条件…… 833
二、试验工作…… 833

附录……836
1．力车外胎物理机械性能标准 …… 836
2．力车轮胎外胎外观质量标准 …… 836
3．力车内胎物理机械性能标准 …… 838
4．力车轮胎内胎外观质量标准 …… 838
5．力车轮胎系列规格尺寸标准 …… 839
6．锦纶力车轮胎工艺技术若干规定及检查方法…… 841

## 第三篇 实 心 轮 胎

### 第一章 实心轮胎的种类

第一节 粘结式实心轮胎…… 845
第二节 非粘结式实心轮胎…… 846
第三节 实心轮胎的结构要求 …… 847

### 第二章 实心轮胎的胶料配方

### 第三章 实心轮胎生产工艺

第一节 粘结式实心轮胎生产工艺 … 851
一、轮辋的处理及表面沟槽…… 851
二、涂刷胶粘剂和贴合硬质橡胶层…… 852
三、胎体胶贴合成型…… 852
四、硫化…… 853
第二节 非粘结式实心轮胎生产工艺…… 853
第三节 实心轮胎主要质量问题及解决方法 …… 854
一、橡胶与轮辋脱层…… 854
二、胶层之间脱层…… 854

### 第四章 实心轮胎标准

附录1 美国轮胎与轮辋协会标准 …… 857
一、安装于充气轮胎轮辋上的实心轮胎… 857
二、标准负荷压配式实心轮胎（间歇性使用于工业平衡重叉车上）…… 858
三、标准负荷压配式实心轮胎（用于工业载重车和拖车上）…… 860
四、标准负荷粘结式实心轮胎（用于非动力型工业载重车和拖车上）… 861
五、轮辋上有突棱的轮胎…… 862
六、有突棱的轮辋尺寸…… 862
附录2 欧洲轮胎和轮辋协会标准 …… 863
一、工业用汽车和叉车的实心轮胎（推荐的英制尺寸）…… 863
二、工业用汽车和叉车的实心轮胎（非推荐的英制尺寸）…… 864
三、工业用汽车和叉车的实心轮胎（公制尺寸标准）…… 865
四、安装于充气轮胎轮辋上的实心轮胎（用于工业叉车上）…… 867

## 第四篇 翻 修 轮 胎

### 概 述

### 第一章 翻 新 轮 胎

第一节 翻新斜交轮胎 …… 873
一、翻新斜交轮胎基本工艺流程…… 873
二、翻新斜交轮胎工艺简述…… 874
（一）清洁…… 874
（二）选胎…… 874
（三）磨胎…… 877
（四）翻新修整…… 879
（五）除尘…… 880
（六）过程检验…… 880
（七）干燥…… 881
（八）喷涂胶浆…… 881
（九）贴胶…… 882
（十）翻新硫化…… 885
（十一）成品整修…… 886
（十二）成品检验…… 887
（十三）翻新轮胎技术要求…… 887
第二节 子午线轮胎的翻新…… 889
一、子午线轮胎结构及对翻修技术的要求…… 889
（一）子午线轮胎结构特点…… 889
（二）子午线轮胎的选胎标准…… 889
（三）翻修子午线轮胎的工艺…… 890
二、子午线轮胎翻新装备特点…… 891

三、子午线轮换更胎保护层…… 892
四、子午线轮胎的技术服务…… 893
第三节　无内胎轮胎的翻新…… 893
第四节　预硫化胎面翻新工艺 …… 893
一、预硫化胎面翻新工艺的特点…… 893
二、预硫化胎面翻新工艺…… 894
（一）胎面胶条预制…… 894
（二）预硫化胎面翻新基本工艺流程… 896
（三）基本工艺简述…… 896
第五节　特种用途轮胎的翻新 …… 899
一、航空轮胎的翻新…… 899
二、工程机械轮胎的翻新…… 903
三、农业机械轮胎的翻新…… 906
第六节　翻新轮胎常见的外观质量缺陷 …… 907

## 第二章　轮胎修补

第一节　轮胎修补 …… 909
一、轮胎损伤的种类和修理方法…… 909
二、斜交轮胎修补工艺…… 909
（一）工艺流程…… 909
（二）工艺简述…… 910
第二节　修补轮胎常见的外观质量缺陷 …… 919
第三节　子午线轮胎的修补工艺 …… 919
一、钢丝子午线轮胎的修补…… 919
二、纤维子午线轮胎的修补…… 923
第四节　农业轮胎及工程机械轮胎的修补 …… 923
一、农业轮胎的修补…… 923
二、工程轮胎的修补工艺…… 923
第五节　无内胎轮胎的修补…… 924
第六节　轮胎的快速修补…… 924
一、圆形塞…… 924
二、胶塞…… 926
第七节　衬垫的制备 …… 927
一、用旧胎体制备衬垫…… 927
（一）选择废旧胎体的标准…… 927
（二）制备工艺…… 927
二、用新纤维帘布制备衬垫…… 928
（一）帘布及其加工…… 928
（二）制备工艺…… 928
三、钢丝帘布衬垫…… 929

## 第三章　胶料配方

第一节　胶料种类及性能要求 …… 931
一、胶料种类…… 931
二、胶料的性能要求…… 931
（一）各种胶料的性能要求…… 931
（二）胶料性能的整体配合…… 932
三、胶料配方举例…… 932
（一）胎面胶…… 932
（二）缓冲胶…… 934
（三）胶浆胶和尼龙粘结胶…… 934
（四）补胎胶…… 935
（五）洞口胶…… 935
（六）胎侧胶…… 936
（七）钢丝粘结胶…… 936
（八）衬垫胶…… 938
四、翻修轮胎各种胶料的半成品物理性能标准…… 938
第二节　胶料加工 …… 939

## 第四章　硫化专用工具的设计与制造

第一节　硫化内胎 …… 941
一、种类…… 941
二、硫化内胎的设计…… 941
（一）硫化内胎几个重要设计参数的确定…… 914
（二）硫化内胎设计举例…… 942
三、胶料配方…… 943
（一）丁基橡胶的胶料配方…… 943
（二）天然橡胶的胶料配方…… 945
四、硫化内胎制造工艺…… 946
（一）胶料加工工艺…… 946
（二）硫化内胎的成型…… 947
（三）硫化工艺…… 947
五、质量标准…… 948
六、胶囊…… 948
第二节　节段气囊 …… 949
一、节段气囊的种类和构造…… 949
二、节段气囊的设计…… 950
三、节段气囊的胶料配方…… 952
四、节段气囊的制造工艺…… 952

(一) 工艺流程…… 952
(二) 成型工艺…… 954
五、节段气囊的质量标准…… 957
六、电热垫…… 957

## 第五章 硫化内模设计

第一节 翻胎硫化内模的设计 …… 959
一、翻新硫化内模类别…… 959
二、模型设计…… 961
(一) 主要设计参数…… 961
(二) 翻新轮胎硫化内模设计举例…… 969
第二节 修补轮胎硫化内模的设计 … 972
(一) 硫化内膜主要参数的选择…… 972
(二) 硫化内膜尺寸和构成…… 972
第三节 硫化内模的制造 …… 974
一、制造硫化内模的材料…… 974
二、硫化内模的加工…… 975

# 第一篇　充　气　轮　胎

## 第一章　充气轮胎概述

### 第一节　轮胎和轮辋的组成、分类、标志和基本参数

#### 一、轮　　胎

轮胎和轮辋的主要组成部分如图1-1-1和图1-1-2所示，轮胎由外胎、内胎和垫带构成。

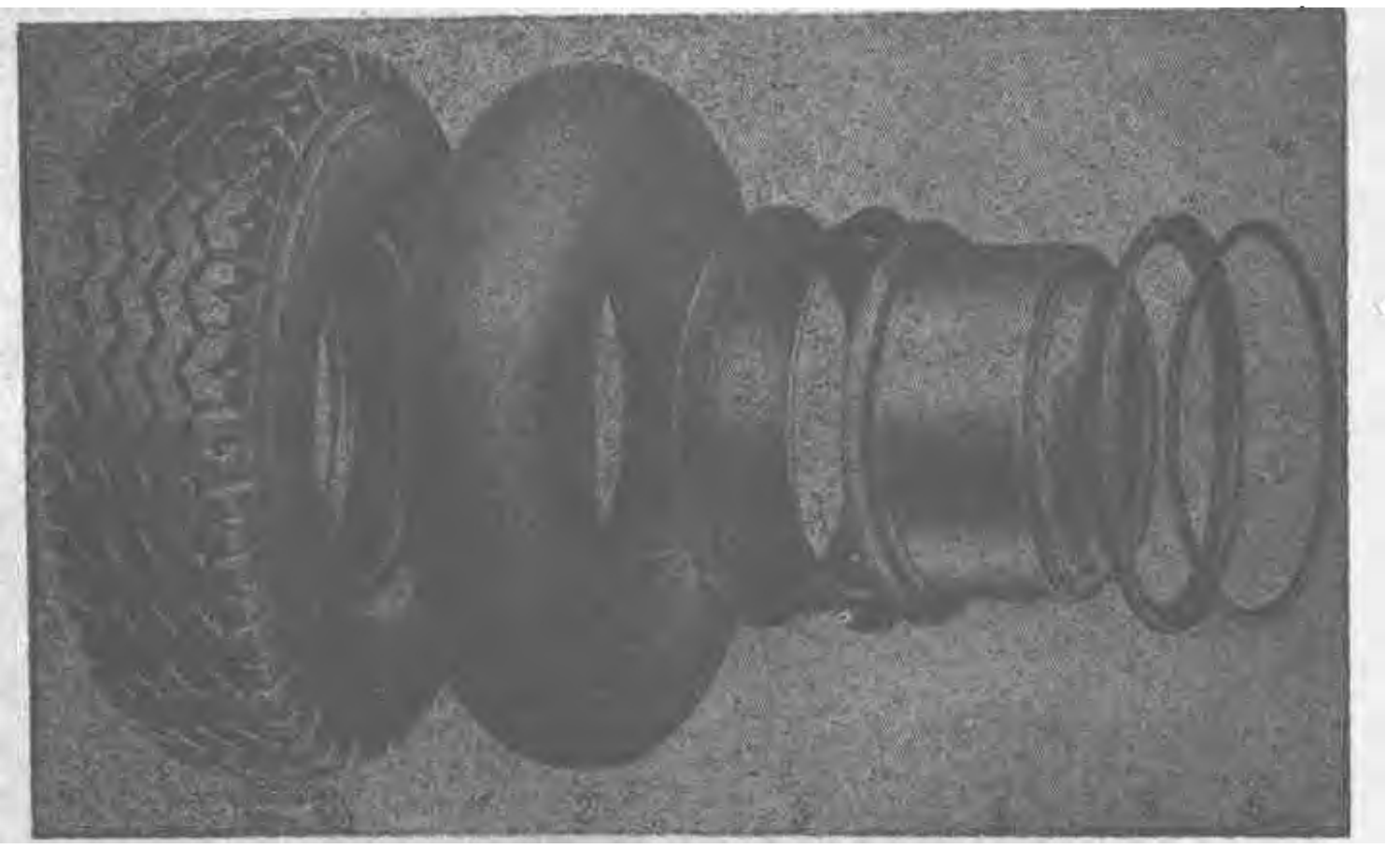


图 1-1-1　轮胎和轮辋组成

1—外胎；2—内胎；3—垫带；4—轮辋；5—轮缘；6—锁环

外胎由胎体、胎面和胎圈3个主要部分组成。胎体包括帘布层和缓冲层二部分，而胎面又包括胎面胶和胎侧胶两部分。

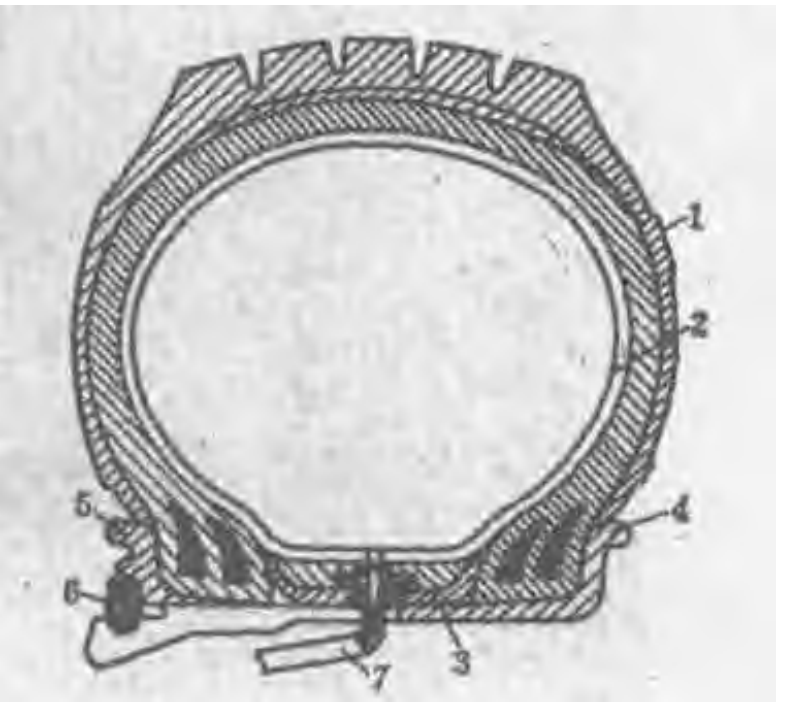



图 1-1-2　轮胎和轮辋装配

1—外胎；2—内胎；3—垫带；4—轮辋；5—轮缘；6—锁环；7—气门嘴

（1）胎体　由多层挂胶帘布按一定角度贴合而成，使外胎具有所需的强度和弹性，以承受轮胎使用上的复杂应力和多次变形，并缓和外来的路面振动和冲击。帘布层是胎体的基本骨架，支撑着外胎各部分。缓冲层位于胎体帘布层和胎面胶之间，有帘布和胶片二种形式。目前，应用合成纤维（尼龙和聚酯等）、人造纤维、玻璃纤维和金属帘布来制造胎体。

（2）胎面　外胎同地面接触部分称为胎面，胎面胶分上层冠部胶和下层基部胶二层。冠部胶（包括花纹块和花纹沟）直接接触地面，应具有耐磨损和耐切割性能，并能传导车轮

的牵引力和制动力。在花纹沟底部的基部胶，用于缓冲地面传导的振动和冲击，常以不同于冠部胶的耐热、耐剪切橡胶制成。

胎侧胶能保护胎体不受机械损伤，并标志着轮胎规格和商标，以耐屈挠和耐老化的橡胶制成。

（3）胎圈　胎圈的用途是使轮胎紧密地固定在轮辋上，并承受外胎与轮辋的各种相互作用力。胎圈主要由钢丝圈和填充胶构成。钢丝圈是胎圈部的基础，是外胎强度的重要组成部分，其结构分为方形、六角形，半圆形和圆形 4 种断面形式。填充胶为刚性钢丝圈向弹性胎侧部过渡的半硬质胶件，有时采用两种配方制成复合填充胶。

（4）内胎　内胎是一个富有弹性的圆环胶筒，充气伸张紧贴在外胎的内腔上，做密封空气用。制造内胎的橡胶应具有高弹性、耐撕裂、耐疲劳和气密性优异等性能，通常丁基橡胶可满足这些要求。内胎外缘尺寸稍小于外胎内腔，其断面各部位厚度因充气等使用条件的不同，胎冠部或着合部往往厚于其它部位。

内胎气门嘴按其结构可以分为橡胶金属气门嘴（主要用于轿车内胎上）、胶垫气门嘴（主要用于载重内胎上）和水气两用嘴（专用车辆内胎上）三大类。无内胎轮胎的气门嘴直接固定在轮辋上。

（5）垫带　垫带放在内胎与轮辋相接触部位，以保护内胎不受轮辋组合件的磨损。垫

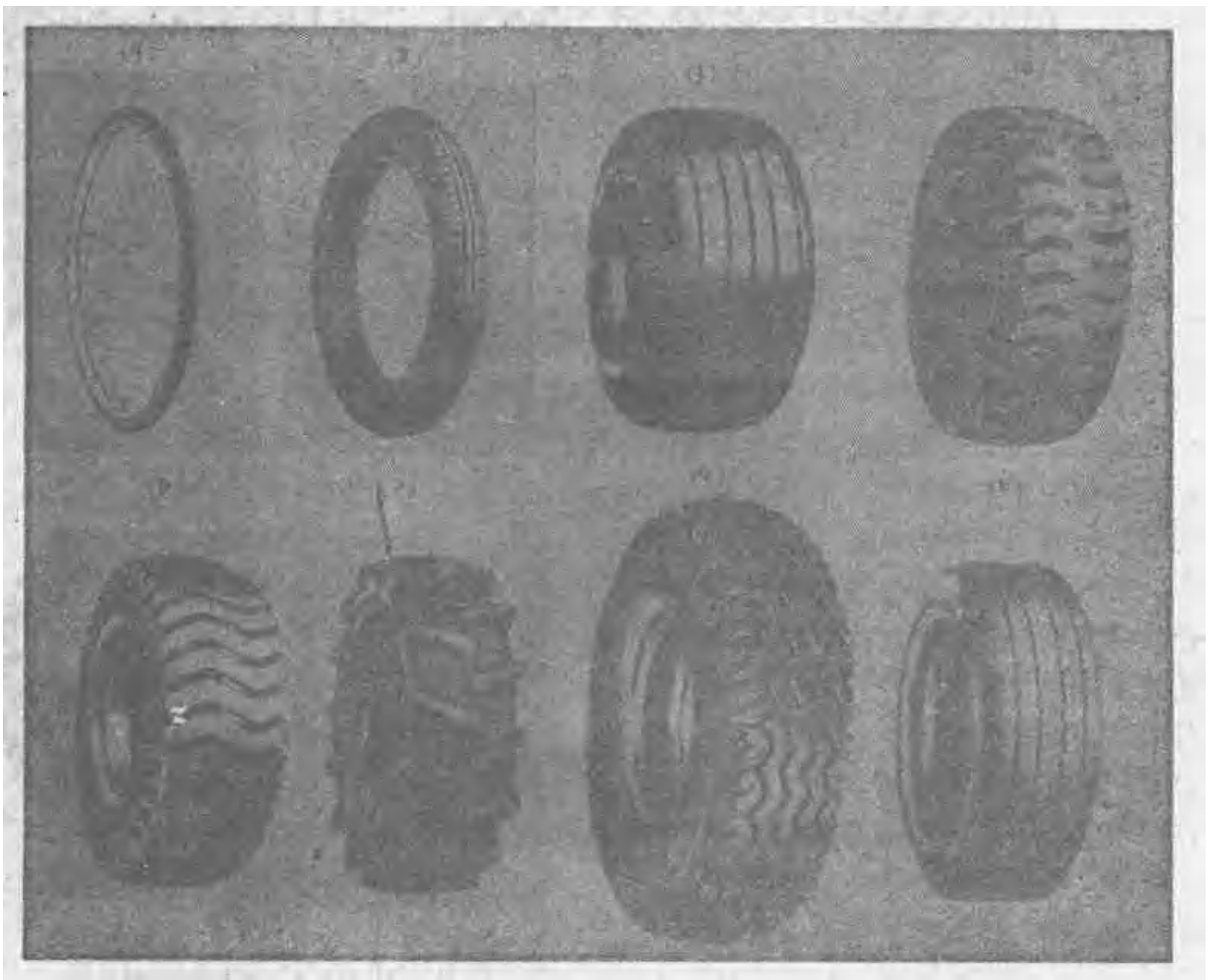


图 1-1-3　轮胎分类

（a）轿车轮胎；（b）载重轮胎；（c）农业轮胎；（d）工程轮胎；（e）农业轮胎；（f）航空轮胎；（g）摩托车胎；（h）自行车胎

带按其结构分为有型式、无型式和平带式3种。垫带的边缘较薄，表面光滑，具有耐热性。

根据国际标准，充气轮胎按照用途的分类见图1-1-3。

轮胎规格标记方法有传统沿用和国际标准二种。传统沿用的方法系以用减号连接的两组数字来标记轮胎，第一组数字表明轮胎断面宽度，第二组表示轮辋直径。如果是子午线结构轮胎、连接两组数字的减号通常以R字母（子午线结构Radial字头）代替之。由于这种原始标记方法起源于美国，故两组数字均采用英制单位，例如9.00-20，11R22.5、13.6-38、23.5-25等均为英寸（in）。此外，有些国家或公司还采用公制或公制-英制混合标记的，如260-508两组数字均为毫米(mm)，185R15前组数字为毫米（mm），后者为英寸（in）等。

由于轮胎断面轮廓不断演变和发展，原来的传统标记法已经不能适应新的要求，所以国际标准做出明确规定，采用新的轮胎规格标记法。除保留规格仍用原标记外，新的国际标准以轮胎断面宽度（mm）、轮胎扁平率（%）、轮胎结构代号（如R代表子午线结构）和轮辋直径代号（in）4项表示。

轮胎负荷能力一直沿用层数（后来用层级）表示，在新型帘线不断应用的情况下这类表示方法被"负荷指数"所取代。国际标准将轮胎全部预计到的负荷量从小到大依次划分为280个等级负荷指数，每个指数数字代表一级"轮胎载荷能力"（tyre load-carrying capacity），其指数差级约3%左右（见表1-1-1）。表中最低负荷指数为0，相应负荷为0.44kN(45kgf)，最高一级指数为279，负荷量相当于1334kN(136tf)。每种规格轮胎可分为3个指数级别，即同一规格轮胎的负荷标准高低之差为10%左右。

国际标准化组织（ISO）在原有西欧"S"，"H"，"V"级速度标志（最高行驶速度）的基础上，通过了更详尽的轮胎速度标志(见表1-1-2)。表中从P到S级速度目前对轿车轮胎来说无实际意义，因为除赛车轮胎等特殊用途轮胎之外，一般的轿车轮胎没有这么高的速度。对载重汽车轮胎来说，从F到M级速度也没有实用价值，因为当前各国载重轮胎都规定有"基准速度"，这种基准速度随着负荷及其内压的增减可减少或提高，没有"最高"速度概念。我国载重轮胎的基准速度及其负荷增减系数载于表1-1-8中。我国载重轮胎基准速度定为80～100km/h。

表 1-1-1 轮胎负荷指数及其负荷能力对应表

| 负荷指数 LI | 负荷能力,TLCC kN | (kgf) | 负荷指数 LI | 负荷能力,TLCC kN | (kgf) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.44 | (45) | 15 | 0.68 | (69) |
| 1 | 0.453 | (46.2) | 16 | 0.70 | (71) |
| 2 | 0.465 | (47.5) | 17 | 0.72 | (73) |
| 3 | 0.478 | (48.7) | 18 | 0.74 | (75) |
| 4 | 0.49 | (50) | 19 | 0.76 | (77.5) |
| 5 | 0.505 | (51.5) | 20 | 0.78 | (80) |
| 6 | 0.52 | (53) | 21 | 0.809 | (82.5) |
| 7 | 0.534 | (54.5) | 22 | 0.834 | (85) |
| 8 | 0.55 | (56) | 23 | 0.858 | (87.5) |
| 9 | 0.57 | (58) | 24 | 0.88 | (90) |
| 10 | 0.59 | (60) | 25 | 0.907 | (92.5) |
| 11 | 0.60 | (61.5) | 26 | 0.93 | (95) |
| 12 | 0.62 | (63) | 27 | 0.956 | (97.5) |
| 13 | 0.64 | (65) | 28 | 0.980 | (100) |
| 14 | 0.66 | (67) | 29 | 1.01 | (103) |

续表

| 负荷指数 LI | 负荷能力，TLCC kN | (kgf) | 负荷指数 LI | 负荷能力，TLCC kN | (kgf) |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 1.04 | (106) | 90 | 5.88 | (600) |
| 31 | 1.07 | (109) | 91 | 6.03 | (615) |
| 32 | 1.10 | (112) | 92 | 6.18 | (630) |
| 33 | 1.13 | (115) | 93 | 6.67 | (650) |
| 34 | 1.16 | (118) | 94 | 6.57 | (670) |
| 35 | 1.19 | (121) | 95 | 6.77 | (690) |
| 36 | 1.23 | (125) | 96 | 6.96 | (710) |
| 37 | 1.26 | (128) | 97 | 7.16 | (730) |
| 38 | 1.30 | (132) | 98 | 7.35 | (750) |
| 39 | 1.33 | (136) | 99 | 7.60 | (775) |
| 40 | 1.37 | (140) | 100 | 7.85 | (800) |
| 41 | 1.42 | (145) | 101 | 8.09 | (825) |
| 42 | 1.47 | (150) | 102 | 8.34 | (850) |
| 43 | 1.52 | (155) | 103 | 8.58 | (875) |
| 44 | 1.57 | (160) | 104 | 8.83 | (900) |
| 45 | 1.62 | (165) | 105 | 9.07 | (925) |
| 46 | 1.67 | (170) | 106 | 9.32 | (950) |
| 47 | 1.72 | (175) | 107 | 9.56 | (975) |
| 48 | 1.77 | (180) | 108 | 9.807 | (1000) |
| 49 | 1.82 | (185) | 109 | 10.10 | (1030) |
| 50 | 1.87 | (190) | 110 | 10.40 | (1060) |
| 51 | 1.91 | (195) | 111 | 10.69 | (1090) |
| 52 | 1.96 | (200) | 112 | 10.98 | (1120) |
| 53 | 2.02 | (206) | 113 | 11.28 | (1150) |
| 54 | 2.08 | (212) | 114 | 11.57 | (1180) |
| 55 | 2.14 | (218) | 115 | 11.92 | (1215) |
| 56 | 2.20 | (224) | 116 | 12.26 | (1250) |
| 57 | 2.26 | (230) | 117 | 12.60 | (1285) |
| 58 | 2.32 | (236) | 118 | 12.94 | (1320) |
| 59 | 2.38 | (243) | 119 | 13.34 | (1360) |
| 60 | 2.45 | (250) | 120 | 13.73 | (1400) |
| 61 | 2.52 | (257) | 121 | 14.22 | (1450) |
| 62 | 2.60 | (265) | 122 | 14.71 | (1500) |
| 63 | 2.67 | (272) | 123 | 15.20 | (1550) |
| 64 | 2.75 | (280) | 124 | 15.69 | (1600) |
| 65 | 2.84 | (290) | 125 | 16.18 | (1650) |
| 66 | 2.94 | (300) | 126 | 16.67 | (1700) |
| 67 | 3.01 | (307) | 127 | 17.16 | (1750) |
| 68 | 3.09 | (315) | 128 | 17.65 | (1800) |
| 69 | 3.19 | (325) | 129 | 18.14 | (1850) |
| 70 | 3.29 | (335) | 130 | 18.63 | (1900) |
| 71 | 3.38 | (345) | 131 | 19.12 | (1950) |
| 72 | 3.48 | (355) | 132 | 19.61 | (2000) |
| 73 | 3.58 | (365) | 133 | 19.87 | (2060) |
| 74 | 3.68 | (375) | 134 | 20.79 | (2120) |
| 75 | 3.80 | (387) | 135 | 21.38 | (2180) |
| 76 | 3.92 | (400) | 136 | 21.97 | (2240) |
| 77 | 4.04 | (412) | 137 | 22.56 | (2300) |
| 78 | 4.17 | (425) | 138 | 23.14 | (2360) |
| 79 | 4.29 | (437) | 139 | 23.83 | (2430) |
| 80 | 4.41 | (450) | 140 | 24.51 | (2500) |
| 81 | 4.53 | (462) | 141 | 25.25 | (2575) |
| 82 | 4.66 | (475) | 142 | 25.99 | (2650) |
| 83 | 4.78 | (487) | 143 | 26.72 | (2725) |
| 84 | 4.90 | (500) | 144 | 27.46 | (2800) |
| 85 | 5.05 | (515) | 145 | 28.44 | (2900) |
| 86 | 5.20 | (530) | 146 | 29.42 | (3000) |
| 87 | 5.34 | (545) | 147 | 30.16 | (3075) |
| 88 | 5.49 | (560) | 148 | 30.89 | (3150) |
| 89 | 5.69 | (580) | 149 | 31.87 | (3250) |

续表

| 负荷指数 | 负荷能力,TLCC | | 负荷指数 | 负荷能力,TLCC | |
|---|---|---|---|---|---|
| LI | kN | (kgf) | LI | kN | (kgf) |
| 150 | 32.85 | (3350) | 210 | 186.33 | (19000) |
| 151 | 33.83 | (3450) | 211 | 191.23 | (19500) |
| 152 | 34.81 | (3550) | 212 | 196.13 | (20000) |
| 153 | 35.79 | (3650) | 213 | 202.02 | (20600) |
| 154 | 36.77 | (3750) | 214 | 207.90 | (21200) |
| 155 | 38.98 | (3975) | 215 | 213.78 | (21800) |
| 156 | 39.23 | (4000) | 216 | 219.67 | (22400) |
| 157 | 40.45 | (4125) | 217 | 225.55 | (23000) |
| 158 | 41.68 | (4250) | 218 | 231.44 | (23600) |
| 159 | 42.90 | (4375) | 219 | 238.30 | (24300) |
| 160 | 44.13 | (4500) | 220 | 245.17 | (25000) |
| 161 | 45.36 | (4625) | 221 | 252.52 | (25750) |
| 162 | 46.58 | (4750) | 222 | 259.88 | (26500) |
| 163 | 47.81 | (4875) | 223 | 267.23 | (27250) |
| 164 | 49.03 | (5000) | 224 | 274.59 | (28000) |
| 165 | 50.50 | (5150) | 225 | 284.39 | (29000) |
| 166 | 51.98 | (5300) | 226 | 294.20 | (30000) |
| 167 | 53.45 | (5450) | 227 | 301.55 | (30750) |
| 168 | 54.92 | (5600) | 228 | 308.91 | (31500) |
| 169 | 56.88 | (5800) | 229 | 318.72 | (32500) |
| 170 | 58.84 | (6000) | 230 | 328.52 | (33500) |
| 171 | 60.31 | (6150) | 231 | 338.33 | (34500) |
| 172 | 61.78 | (6300) | 232 | 348.14 | (35500) |
| 173 | 63.74 | (6500) | 233 | 357.94 | (36500) |
| 174 | 65.70 | (6700) | 234 | 367.75 | (37500) |
| 175 | 67.67 | (6900) | 235 | 380.01 | (38750) |
| 176 | 69.63 | (7100) | 236 | 392.23 | (40000) |
| 177 | 71.59 | (7300) | 237 | 404.52 | (41250) |
| 178 | 73.55 | (7500) | 238 | 416.78 | (42500) |
| 179 | 76.00 | (7750) | 239 | 429.04 | (43750) |
| 180 | 78.45 | (8000) | 240 | 441.30 | (45000) |
| 181 | 80.90 | (8250) | 241 | 453.56 | (46250) |
| 182 | 83.36 | (8500) | 242 | 465.82 | (47500) |
| 183 | 85.81 | (8750) | 243 | 478.07 | (48750) |
| 184 | 88.26 | (9000) | 244 | 490.33 | (50000) |
| 185 | 90.71 | (9250) | 245 | 505.04 | (51500) |
| 186 | 93.16 | (9500) | 246 | 519.75 | (53000) |
| 187 | 95.61 | (9750) | 247 | 534.46 | (54500) |
| 188 | 98.067 | (10000) | 248 | 549.17 | (56000) |
| 189 | 101.08 | (10300) | 249 | 568.78 | (58000) |
| 190 | 103.95 | (10600) | 250 | 588.40 | (60000) |
| 191 | 106.89 | (10900) | 251 | 603.11 | (61500) |
| 192 | 109.83 | (11200) | 252 | 617.82 | (63000) |
| 193 | 112.78 | (11500) | 253 | 637.43 | (65000) |
| 194 | 115.72 | (11800) | 254 | 657.05 | (67000) |
| 195 | 119.15 | (12150) | 255 | 676.66 | (69000) |
| 196 | 122.58 | (12500) | 256 | 696.27 | (71000) |
| 197 | 126.02 | (12850) | 257 | 715.89 | (73000) |
| 198 | 129.45 | (13200) | 258 | 735.50 | (75000) |
| 199 | 133.70 | (13600) | 259 | 760.02 | (77500) |
| 200 | 137.29 | (14000) | 260 | 784.53 | (80000) |
| 201 | 142.20 | (14500) | 261 | 809.05 | (82500) |
| 202 | 147.10 | (15000) | 262 | 833.57 | (85000) |
| 203 | 152.00 | (15500) | 263 | 858.08 | (87500) |
| 204 | 156.91 | (16000) | 264 | 882.60 | (90000) |
| 205 | 161.81 | (16500) | 265 | 907.12 | (92500) |
| 206 | 166.71 | (17000) | 266 | 931.63 | (95000) |
| 207 | 171.62 | (17500) | 267 | 956.15 | (97500) |
| 208 | 176.52 | (18000) | 268 | 980.67 | (100000) |
| 209 | 181.42 | (18500) | 269 | 1010.08 | (103000) |

续表

| 负荷指数 | 负荷能力,TLCC | | 负荷指数 | 负荷能力,TLCC | |
|---|---|---|---|---|---|
| LI | kN | (kgf) | LI | kN | (kgf) |
| 270 | 1039.50 | (106000) | 275 | 1186.60 | (121000) |
| 271 | 1068.92 | (109000) | 276 | 1225.83 | (125000) |
| 272 | 1098.34 | (112000) | 277 | 1260.15 | (128500) |
| 273 | 1127.76 | (115000) | 278 | 1294.48 | (132000) |
| 274 | 1157.18 | (118000) | 279 | 1333.70 | (136000) |

**表 1-1-2 轮胎速度标志符号**

| 速度标志 | 实际速度，km/h | 速度标志 | 实际速度，km/h |
|---|---|---|---|
| $A_1$ | 5 | G | 90 |
| $A_2$ | 10 | J | 100 |
| $A_3$ | 15 | K | 110 |
| $A_4$ | 20 | L | 120 |
| $A_5$ | 25 | M | 130 |
| $A_6$ | 30 | N | 140 |
| $A_7$ | 35 | P | 150 |
| $A_8$ | 40 | Q | 160 |
| B | 50 | R | 170 |
| C | 60 | S | 180 |
| D | 65 | T | 190 |
| E | 70 | U | 200 |
| F | 80 | H | 210 |

美国《TRA轮胎轮辋年鉴》(Year Book of the Tire and Rim Association Inc.) 规定，轻型载重轮胎的基准速度为90～105km/h，中型载重轮胎为 80～100km/h，重型载重轮胎为65～80km/h。欧洲《ETRTO轮胎轮辋年鉴》(Data Book of the European Tyre and Rim Technical Organization) 规定，轻型载重轮胎的基准速度为120～140km/h，中型载重轮胎为100～110km/h，大型载重轮胎为80～90km/h。目前，尚无国际统一的载重汽车轮胎速度基准。

由上可知，轮胎标记应包括规格、结构、负荷和速度等，例如：

275/70R22.5 140/137M
TWBELESS

该轮胎标记表明的是：
名义断面宽度275mm；
名义扁平率70%；
R为子午线结构；
名义轮辋直径22.5in；
单胎使用负荷24.10kN(2500kgf)；
双胎使用负荷22.60kN(2300kgf)；
使用速度130km/h；
无内胎轮胎。

关于各类轮胎的基本参数分述于各章节中，现将各种用途轮胎的构造特征和发展现状简述如下。

由于乘用轿车的行驶速度不断提高，对轿车轮胎行驶安全性的要求日益苛刻，同时还要求轮胎确保舒适性和低能耗。所以，目前先进国家的轿车轮胎几乎全部是无内胎结构的。为了进一步提高行驶安全性，出现了各种结构的安全轿车轮胎，其中较典型的有各种无气时呈折叠形的轮胎以及三角形无帘线轮胎等。

对于普通轿车轮胎来讲，其胎面花纹有一般公路、高速行驶、冰雪地区、越野花纹等不同类型。轮胎的断面形状向着减小着合直径和增大断面扁平率方向发展，国际标准中扁平率已降低到50%。随着$H/B$值的减小，轮辋与轮胎的宽度之比相应地增大、轿车轮胎的$C/B$值已增大到0.75以上。

当今欧美普遍生产两层结构的斜交轮胎，以改善轿车轮胎性能。为了适应高速行驶要求，胎体帘线角度应加大到一定程度，例如一般速度150km/h以下轮胎帘线角度取52～54°，快速175km/h以下轮胎帘线角取63～64°，高速200km/h以下轮胎帘线角可达67～68°。

轿车轮胎采用子午线结构可进一步提高行驶安全性、降低滚动阻力和延长寿命。通常，轿车子午线轮胎胎体由1～2层纤维帘线和2层钢丝帘线带束层所构成。胎体帘线一般用高强力尼龙丝和人造丝制造，但聚酯帘线很有发展潜力，因其强力高、耐疲劳、耐热、耐水、且伸长率小，用在胎体上可降低轮胎滚动损失，减小尺寸膨胀，延长轮胎寿命。按照不同用途，存在多种不同结构的带束层，但其共同点都应有较大的帘线角度，一般为70～75°，高速轮胎可增大到80°左右。

载重汽车轮胎根据使用条件不同，有普通花纹、加深花纹，超深花纹，高速花纹，矿山花纹，冰雪花纹和越野花纹等不同形式的花纹。近年来，由于应用高强力尼龙帘线以减少轮胎实际层数、采用新型橡胶和炭黑等原材料以及通过加深胎面花纹设计等，显著延长了轮胎使用寿命。重型载重轮胎由于采用高层级结构和增高内压标准提高了载重能力，只是这种轮胎应严格控制行驶速度（一般在60～65km/h以下），以防止生热过高损坏。

由于载重无内胎轮胎具有重量轻、生热低、行驶安全等一系列优点，在很多国家得到越来越广泛的应用，特别适用于在维护保养条件好的高级公路上行驶的汽车。采用于午线轮胎可进一步减轻轮胎重量、降低轮胎生热、延长轮胎寿命和改善轮胎各种行驶性能。目前载重子午线轮胎已成为轮胎发展的主要品种，将逐渐取代斜交轮胎，最有前途的将是无内胎载重子午线结构轮胎，目前世界竞相研究和生产的多倾向于该种轮胎。

载重子午线轮胎一般分为全钢丝和半钢丝两种结构。全钢丝子午线轮胎的胎体采用1层钢丝帘线，带束层则由2～4层钢丝帘布构成。全钢丝子午线轮胎主要使用在高速汽车和在好路面上行驶的载重汽车上。半钢丝子午线轮胎通常由纤维帘布层胎体和钢丝带束层胎冠组成，帘布层一般用4～8层高强力、伸张小的帘线（人造丝帘线或尼龙丝帘线）制成，带束层则由3～5层钢丝帘线构成。半钢丝子午线轮胎应用在载重汽车上，就其性能和发展来看，属于过渡性品种，终将被全钢丝结构所取代。

农业轮胎主要在软土或土路上慢速作业或短途行驶。根据使用特点可以分为主动轮胎、导向轮胎和承重轮胎三种。主动轮胎主要是传导牵引力，它有较大的外直径和较低的内压，胎面花纹为高深的越野花纹，轮胎扁平率达87～97%，轮辋宽度与轮胎宽度之比$C/B$值达到0.82～0.88。目前，已逐步应用子午线结构的主动轮胎，其结构特点是全纤维的，带束层由多层人造丝等纤维材料制成。

导向轮胎主要是在作业时起导向作用，承受法向和侧向载荷，其胎面花纹多半为周向的，轮胎充气压力要比主动轮胎稍大些。

承重轮胎应用于拖拉机的拖挂车和农业机械上，要求有较高的载荷能力，其充气压力比主动轮胎和导向轮胎都高，一般在0.15～0.25MPa(1.5～2.5kgf/cm²）左右。承载轮胎和导向轮胎按其尺寸和结构参数都接近于汽车轮胎。

国际轮胎标准化组织（ISO TC-31）自从60年代成立以来显示出很强的生命力。由于美国和西欧之间技术差别较大，现有轮胎尚未实现标准化，但该组织已经统一了农业轮胎。因此“ISO4251—1980”农业轮胎国际标准应做为农业轮胎设计使用上的重要参考资料。

工程机械轮胎的使用特点是载重量大、牵引性能高，具有耐磨耗和耐切割等性能，所以设计上的特点是胎体帘布层数多、胎面花纹宽大、胎侧胶较厚、胎圈部强壮等。由于轮胎在使用中行驶速度对其动态负荷影响很大，工程轮胎使用速度降低时可提高轮胎的载重量。因此，工程轮胎的允许最大负荷视使用速度的不同面有不同的标准。工程轮胎不同作业速度下的最大负荷标准是按照多年实践经验确定的，目前尚不能以理论计算的方法求得。

当前，工程机械轮胎正在普及无内胎结构和宽基系列两种轮胎，研究试制子午线结构和65系列二种轮胎。充氮气结构轮胎的出现，解决了使用中生热过高和刺破漏气的毛病，提高了轮胎的安全性。工程轮胎的另一发展趋势是大型化，以适应大型工程车辆的配套需要。至于在矿山和林场使用的搬运车辆轮胎，已从工程机械轮胎划归到重型载重汽车轮胎范围内，作为一种较低速度间断作业的轮胎类型。

## 二、车轮和轮辋

通常对车轮的要求是：使用牢固；重量轻；惯性力矩低；平衡差度小；振动轻；导热快；装卸方便等。

车轮使用牢固能保证汽车行驶安全和提高汽车使用效率。降低车轮重量能减轻非弹簧部件的重量，提高行驶的平顺性，这一点对轿车尤为重要。此外，降低车轮重量可减轻汽车总重，以改善汽车的使用性能。

降低车轮惯性力矩在一定程度上能改善汽车的动力和制动性能。如果车轮不平衡，有偏差量，就会影响汽车行驶平顺性，且加速轮胎的磨耗，甚至降低车轮本身的强度。

车轮导热快能将轮胎滚动所产生的热量很快地散布于外界，从而改善轮胎使用条件。车轮装卸方便给汽车维护保养带来很多好处。

轮辋是车轮与轮胎相连结的重要部件，轮辋与轮胎二者的结构和尺寸相互制约，彼此影响，有关轮辋参数分述如下。

### （一）轿车车轮与轮辋

大多数轿车使用的都是非拆开的深式轮辋及其电焊在一起的冲压轮盘所构成的车轮（见图1-1-4），这种车轮结构完全可以满足上述要求。在满足可靠性的条件下减轻车轮重量，使惯性力矩降低，这对高速轿车来说是很重要的。

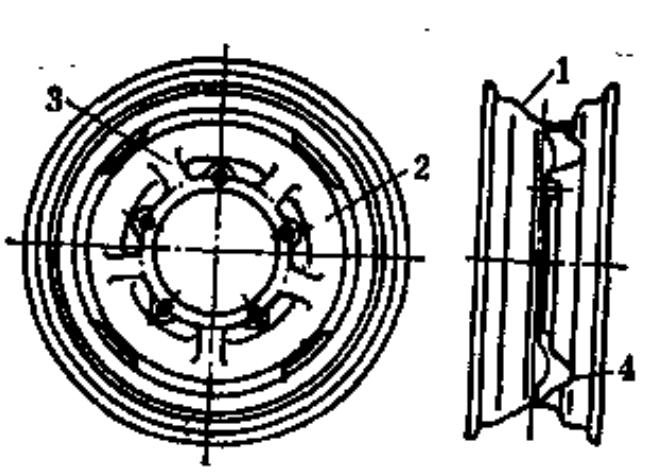
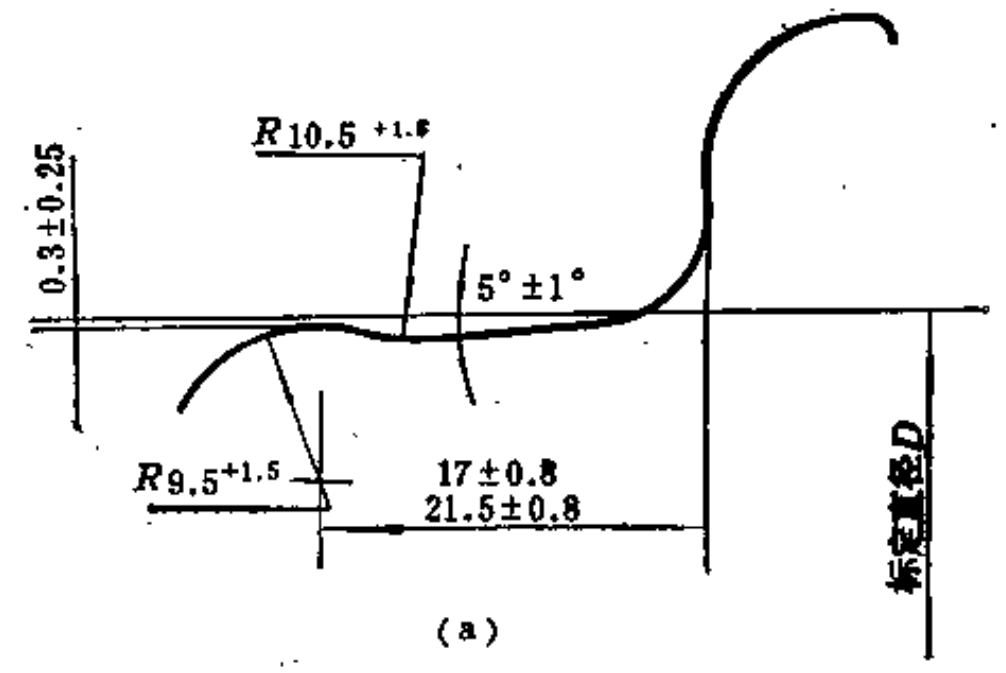
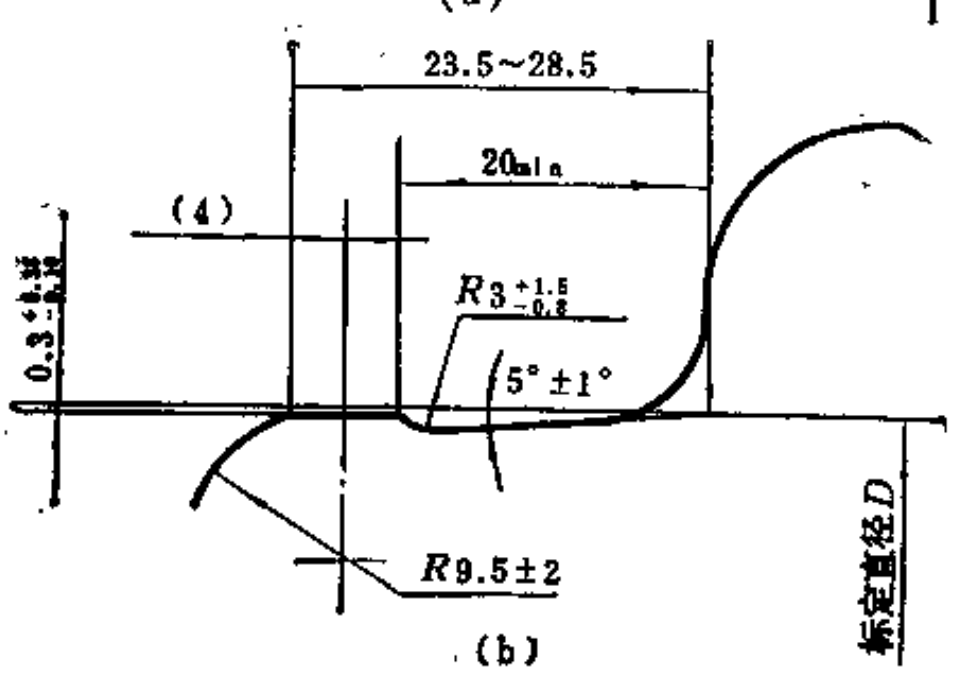



图 1-1-4　轿车胎用深式轮辋车轮

1—轮辋；2—轮盘；3—加强筋；4—装饰盖固定梭

轿车轮胎是向着缩小直径和增加宽度的方向发展的。目前广泛使用的轮辋直径为



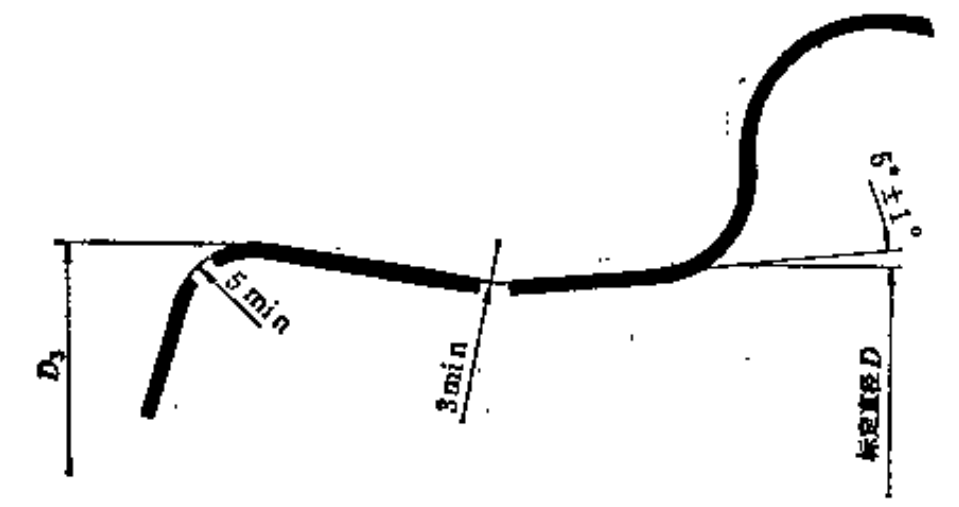







图 1-1-5 胎圈座形式

(a) 圆峰型(H)；(b)平峰型(FH)；(c)反峰型(CP)；(d)台峰型 (SL)

380mm、350mm和330mm(15in、14in和13in) 3 种。有些轿车已使用宽度为165～178mm (6.5～7.0in ) 轮辋。由于轮胎断面轮廓逐渐扁平化，不仅要求加宽轮辋宽度，还要求降低轮缘高度，目前国际上已大量使用轮缘低的J型（缘高17mm）和JJ型（缘高18mm）轮辋，以增大轮胎径向弹性。

轿车轮辋胎圈座通常采用5°倾斜角，以保证轮胎胎圈能紧密地着合在轮辋上。为了防止胎圈与轮辋在侧向力作用下产生的滑转现象，以及防止胎圈与轮辋在急转弯和侧向冲击时无内胎轮胎漏气现象，广泛使用圆峰式和平峰式胎圈座轮辋（见图1-1-5）。圆峰胎圈座制造加工较容易，但拆装轮胎困难；而平峰胎圈座加工较困难，但拆装轮胎却较方便。有些轮辋采用组合峰结构，如美国轿车常用的JJ 轮辋上，圆峰用于卡紧边，而平峰则用于装卸边。近年来、欧洲又出现CP型和SL 型胎圈座结构，既能卡紧胎圈又使装卸轮胎较容易，其参数见表1-1-3。

表 1-1-3　轮辋CP型和SL型胎圈座参数

单位：mm

| 轮辋宽度 标　准 | CP | | | | | | SL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 直径标准 | $D_1$ | $\pi D_1$ (±1.2) | $J$ | $E$(±1.0) 单边式 | $E$(±1.0) 双边式 | $K$ (±1.0) |
| 4 | 13<br>14<br>15 | 329.8<br>355.2<br>380.6 | 1036.0<br>1115.8<br>1195.7 | 12.5±0.5 | 27 | — | 30 |
| $4\frac{1}{2}$ | 13<br>14<br>15 | 329.8<br>355.2<br>380.6 | 1036.0<br>1115.8<br>1195.7 | 12.5±0.5 | 30 | — | 30 |
| 5 | 13<br>14<br>15 | 329.8<br>355.2<br>380.6 | 1036.0<br>1115.8<br>1195.7 | 16±1.0 | 30 | — | 38 |
| $5\frac{1}{2}$ | 13<br>14<br>15 | 329.8<br>355.2<br>380.6 | 1036.0<br>1115.8<br>1195.7 | 16±1.0 | 32.5 | 24.5 | 38 |
| 6 | 13<br>14<br>15 | 329.8<br>355.2<br>380.6 | 1036.0<br>1115.8<br>1195.7 | 16±1.0 | 32.5 | — | 38 |

深槽轮辋的中部深槽是用于装卸轮胎和提高轮辋径向刚性的，其槽底宽度应大于胎圈宽度。选择轮辋槽深尺寸应以轮胎装卸方便为前提，轮辋槽越深，拆装轮胎越容易。但槽深受到制动鼓直径和轮辋制造条件的限制，不能无限加深。轮辋槽依其在轮辋中心面的位置分为对称式和非对称式两种，对称式轮辋槽容易制造，但非对称式轮辋槽也在大量应用，因为非对称结构有利于车轮和制动鼓的合理配置。

近年来国际上已使用预先定好中心的轮盘式车轮，这种车轮的轮盘着合外径仅比轮辐外径大几十分之一毫米，在轮盘套到轮辐上时，用斜头螺幅固紧来达到定中心的目的。这种车轮能减小径向偏差。采用高强力材料和改善车轮制造工艺能进一步改进车轮结构，减轻重量，缩小偏差，达到车轮均匀平衡等。例如，采用合金钢可制出重量轻的车轮，最有前途的

是使用镁钛合金制造车轮。

有关轿车轮辋的曲线形状尺寸可查阅GB—3482—83“汽车轮辋规格系列”和ISO4000/2轿车轮胎用轮辋标准的规定，其常用的同轮胎有直接关系的参数见图1-1-6和表1-1-4。

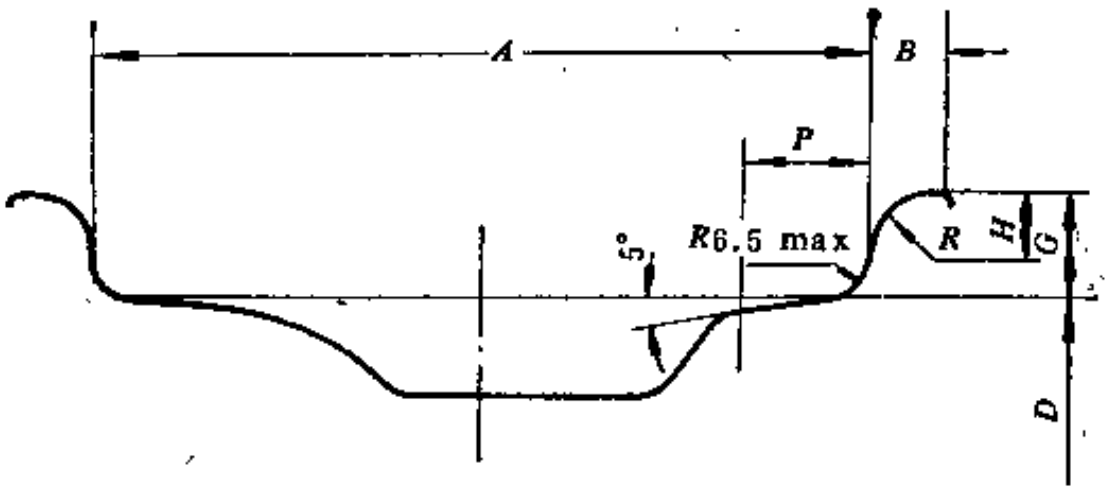



图 1-1-6　轿车轮辋曲线图

表 1-1-4　轿车轮辋基本参数

| 轮辋代号 | $A_{\pm 1.5}$ | $B_{min}$ | $P_{min}$ | $R$ | $H$ | $G$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4J | 102 | 10 | 20 | 9.5 | 9.5 | $17^{+1.2}_{-0.4}$ |
| 4½J | 114 | | | | | |
| 5J | 127 | | | | | |
| 5½J | 140 | | | | | |
| 6J | 152 | | | | | |
| 6½J | 165 | | | | | |
| 5JJ | 127 | 11 | 20 | 9 | 9 | $18^{\pm 0.7}$ |
| 6½JJ | 140 | | | | | |
| 6JJ | 152 | | | | | |
| 6½JJ | 165 | | | | | |
| 7JJ | 178 | | | | | |
| 5K | 127 | 12.5 | 20 | 10.5 | 10.6 | $19.5^{+1.2}_{-0.4}$ |
| 6L | 152 | 13 | 24 | 12 | 11 | $21.5^{+1.2}_{-0.4}$ |

### （二）载重汽车轮辋

载重汽车轮胎不同于轿车轮胎，在使用过程中所承受的负荷远大于轿车车轮，因为载重汽车载重大，动负荷高，特别是在坏路条件下使用时动负荷更高。为了适应动态载荷的特点，载重汽车车轮的强度安全倍数应比轿车为高，因此载重汽车车轮各部厚度要大，而且要以热轧出形状（冷轧是很困难的）。

在载重汽车上广泛应用的是可拆开式多件轮辋，目前大多数使用5°胎圈座轮辋，其构造形式见图1-1-7。

二件式轮辋有两种结构。第一种（见图1-1-7(a)）由轮辋本体和断开式挡圈组成，这种轮辋的挡圈既是轮缘又是胎圈座，能使胎圈紧密着合，甚至在轮胎破损漏气时也不至于脱

圈。第二种（见图1-1-7(b)）由半深轮辋和圆环式挡圈构成，这种轮辋要求有很高的制造工艺，以达到轮辋与挡圈的正确联结。

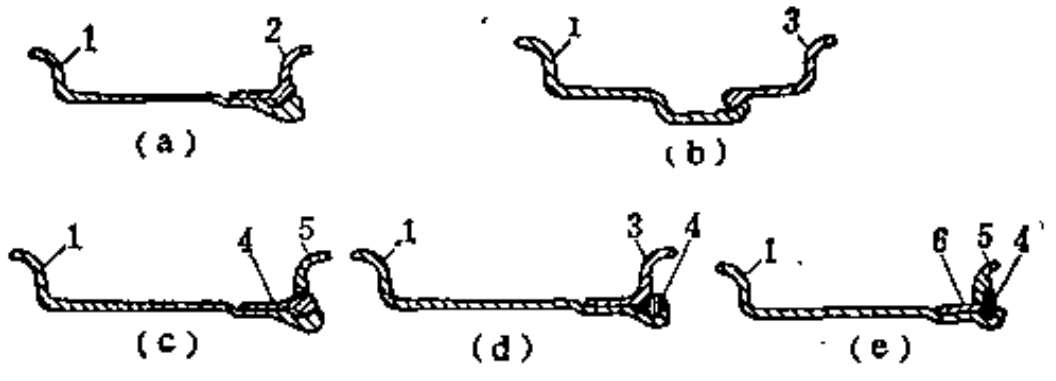



图 1-1-7 有内胎载重轮胎用轮辋

(a)，(b) 二件式；(c)，(d)三件式；(e)四件式
1—轮辋；2—断开式挡圈；3—圆环式挡圈；4—断开式锁圈；5—可拆轮缘；6—可拆式座圈

三件式轮辋也有两种结构。第一种（见图1-1-7(c)）是由轮辋本体、断开式挡圈和轮缘组成。第二种(见图1-1-7(d))由轮辋本体、圆环式挡圈和断开式锁圈构成。在某些先进的轮辋上断开式锁圈采用齿形断面，以提高刚性和减轻重量，但这种锁圈的制造比较复杂，需要采取专门工艺。



图 1-1-8 装配式轮辋

四件式轮辋是由轮辋本体、可拆开的座圈、可拆轮缘及断开式锁圈所构成（见图1-1-7(e)），这种轮辋结构使用范围是有限的，用的不多。此外，在载重汽车上还有的采用装配式轮辋（图1-1-8），有重量轻、易装卸、使用安全等优点。制造这种装配式轮辋比较困难，需要有较高的工艺精度。

载重无内胎轮胎使用的轮辋形式如图1-1-9所示。中小型载重无内胎轮胎采用整体式深槽轮辋（图1-1-9(a)），其结构原则上和轿车深槽轮辋相同，但胎圈座倾斜角大，为15°，同时轮缘高度低，只有12～13mm。大倾斜角能增加胎圈与轮辋密封程度。这种结构的轮辋内压应力不在轮缘部，而是在着合的座圈上，因此不需要很高的轮缘，以便于装卸轮胎。整体深槽轮辋除能保证良好密封外，还能使无内胎轮胎的装卸机械化。

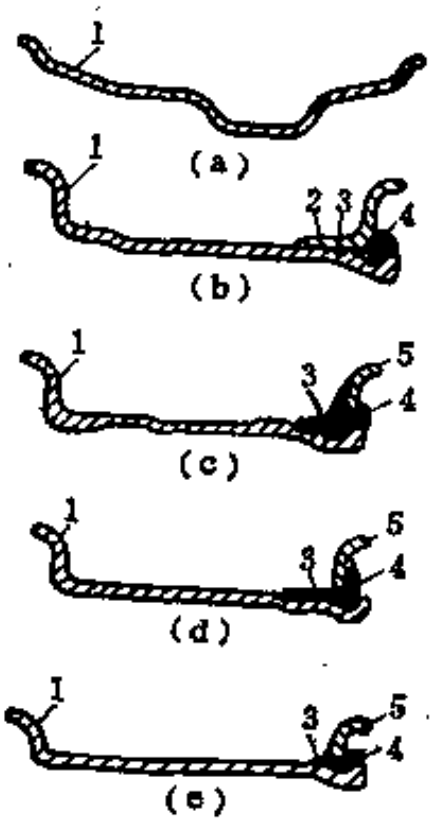



图 1-1-9 载重无内胎轮胎用轮辋结构

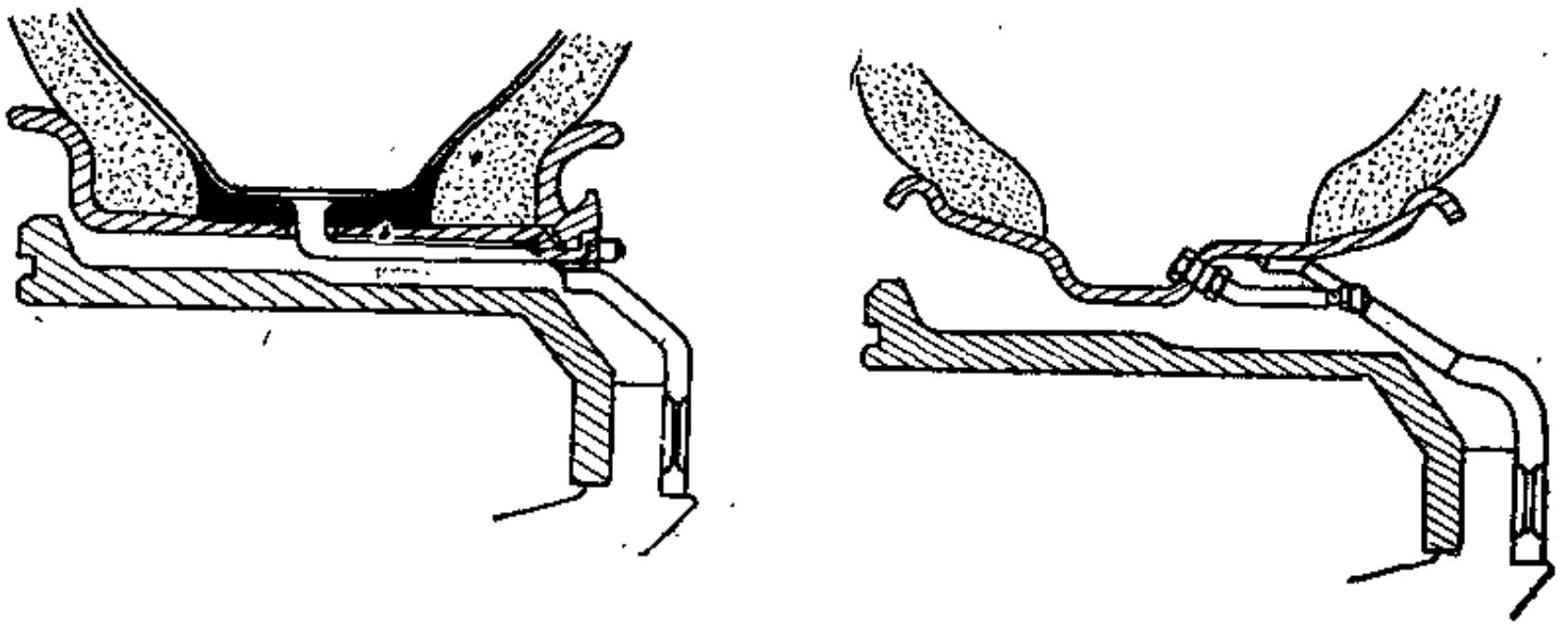
(a) 深槽轮辋；(b)、(c)、(d)、(e) 平底轮辋；
1—轮辋本体；2—圆环挡圈；3—橡胶密封；4—断开式锁圈；5—可拆式轮缘

载重无内胎轮胎的深槽轮辋断面形状是非对称的，以便于合理布置车轮部分。深槽轮辋的底槽最小直径受到制动鼓外形和胎圈座角度的限制，因此要增大载重无内胎轮辋的着合直径，通常比有内胎轮辋大63.5mm(2.5in)。因轮辋不同载重轮胎分有内胎和无内胎二种结构轮胎不能互换使用。此外，这种深槽式轮辋不适用大型无内胎轮胎。

大型载重无内胎轮胎采用多件式有密封结

构的组合轮辋。国外现有四种不同密封结构的形式。最古老的结构就是三件式有圆环挡圈和断开式锁圈的轮辋（图1-1-9(b)），其密封性是靠圆环挡圈和轮辋座圈以密封胶圈压紧而获得的。第二种轮辋（图1-1-9(e)）是由轮辋本体、可拆轮缘、断开式锁圈和密封圈所构成，其密封圈的断面形状为三角形，放在胎圈下面的轮辋、轮缘和锁圈的接触部位起密封作用。第三种和第四种结构轮辋（见图1-1-9(c)和(d)），这二种结构稍加改变还可使用在载重有内胎轮胎上。所有这四种平底结构都使用5°角胎圈座，可互换使用无内胎和有内胎轮胎。

载重汽车轮胎和轮辋同车轮轮盘联结方法如图1-1-10所示。车轮轮盘是一个碗形冲压部



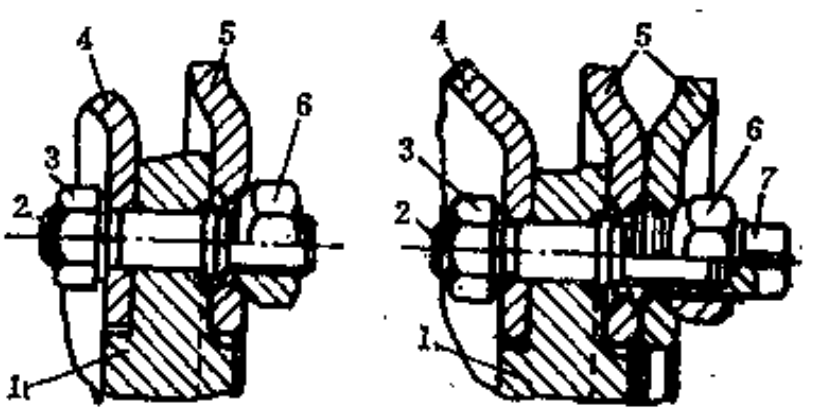
(a)　　(b)

图 1-1-10　载重汽车轮胎和轮辋同车轮联结方法

(a) 有内胎轮胎；(b) 无内胎轮胎

件，焊在车轮上，内外有二道焊缝。双轮使用的轮盘有一个空隙，便于向内挡轮胎充气。载重汽车轮盘固定方法载于图1-1-11中。

除了有轮盘车轮外，在载重汽车，特别是重型汽车上还使用无轮盘车轮。无轮盘车轮与有轮盘车轮相比，具有重量轻、固定牢、拆装快、偏差小和散热好等一系列优点，欠缺的地方是着合面制造精度高，轮辋往轮毂上安装时要求使用专门工具来控制偏差。




(a)　　(b)

图 1-1-11　载重汽车轮盘固定方法

(a) 单胎用；(b) 双胎用；
1—轮毂；2—螺柱；3—螺帽；4—制动鼓；
5—轮盘；6—外螺帽；7—内螺帽

### (三) 越野车车轮

高速越野车辆使用特殊构造的车轮，如调压轮胎使用对开式车轮（图1-11-13），它由内轮辋及其焊接在一起的轮盘用螺柱同外轮辋联结，并在两胎圈之间配置有金属垫带。轮辋座圈的倾斜角为5°。金属垫带用于固定胎圈，以防止低压时胎圈与座圈相对转动。金属垫带是由厚为2～3mm的钢板卷成，其内缘卷成一定高度的边缘，以保护胎圈完整。为使金属垫带能够装进轮胎内口，采取折页式结构，当金属垫带处于正常使用状态时折页伸张支撑着金属垫带的断开部分。对调压无内胎轮胎来讲，也采用同样构造的车轮，但其气门嘴直接固定在轮辋上，对开两半轮辋之间夹有密封胶圈。

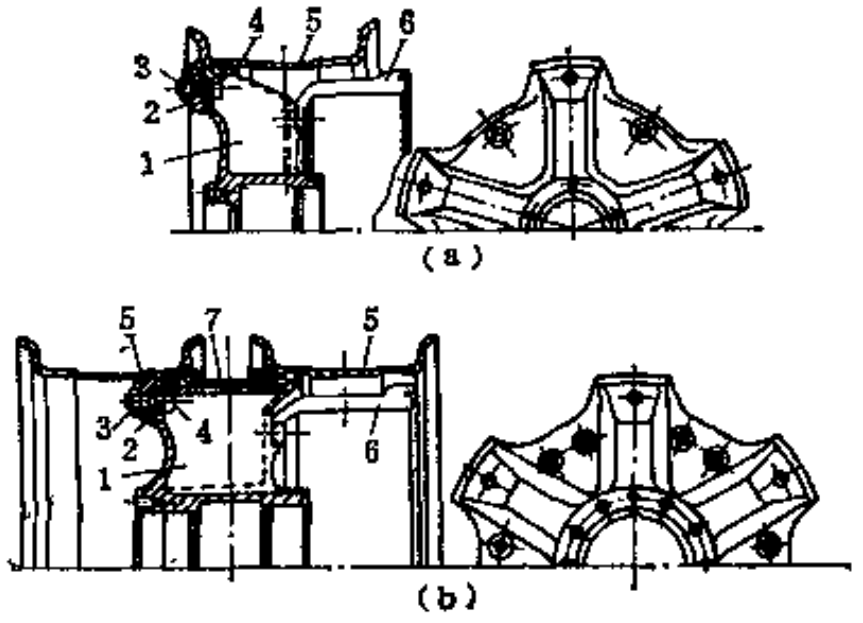



图 1-1-12　无轮盘车轮的构造

（a）单胎用；（b）双胎用；
1—轮毂；2—支板；3—螺帽；4—螺柱；5—轮辋；
6—制动鼓；7—联结圈

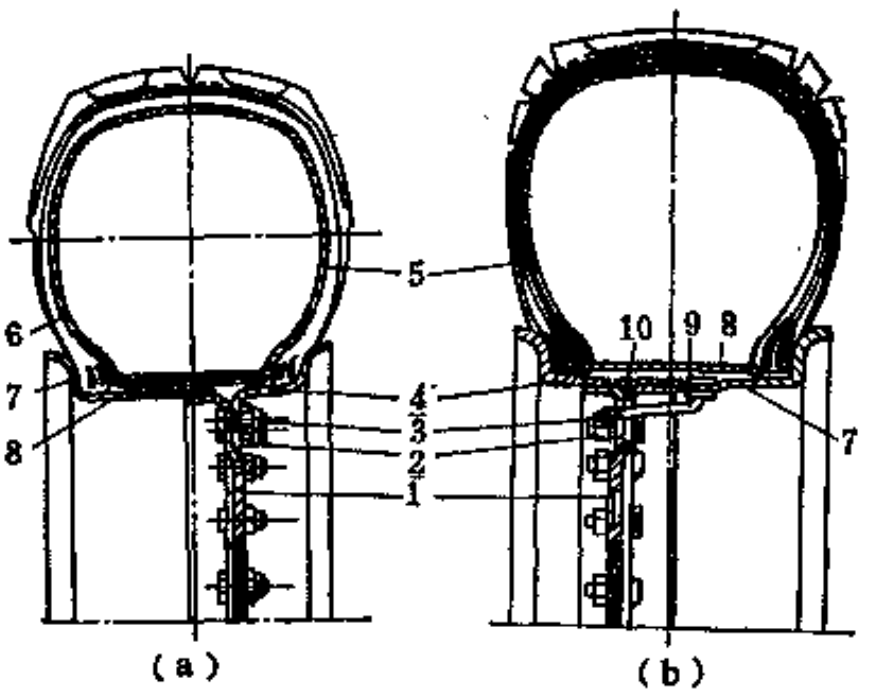



图 1-1-13　调压轮胎和车轮构造

（a）有内胎式；（b）无内胎式；
1—轮盘；2—螺帽；3—螺柱；4—外轮辋；5—外胎；6—内胎；7—内轮辋；8—金属垫带；9—气门嘴；10—密封圈

采用金属垫带导致轮辋结构复杂化，而且增大了车轮重量，同时对轮胎胎圈部尺寸公差要求十分严格。因此，又出现不用金属垫带的轮辋，其胎圈部和胎圈座形状设计得非同一般，以保证紧密着合。例如，胎圈部采用过盈配合和胎圈座应用滚花设计都是有效的措施。

调压对开式轮辋参数见表 1-1-5 和图1-1-14。由于对开式轮辋使用螺柱联结，需要用机械方法将各螺柱均匀紧固，否则在使用中各螺柱受力不均而断坏，甚至会造成安全事故。我国只规定 3 种规格轮辋。

表 1-1-5　对开式轮辋参数

| 轮辋轮廓规格 | 轮辋宽度 $A$ | 轮缘 | | | 胎圈座宽度 $P$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 高度 $G$ | 宽度 $B_{min}$ | 半径 $R_3$ | |
| 9.00T | 225±2.0 | 38±1.2 | 26 | 22.5 | 36 |
| 9.0 | $228^{+1.0}_{-2.5}$ | 46±1.2 | 21 | 23 | 36 |
| 11.00V | 280±1.6 | 44.5±1.2 | 32 | 27 | 36.45 |

重型越野车采用全斜底轮辋（见图1-1-15），一般结构为五件式，即轮辋、外挡圈、内挡圈、胎圈座和锁圈。用于无内胎轮胎的轮辋还需要增加密封圈。全斜底轮辋宽度较大，难以用型钢轧制，往往将轮辋分段焊接而成。为了制造方便，通常将内、外挡圈做成相同的结构，保证互换性。

全斜底轮辋轮廓形状及其尺寸见图1-1-16和表1-1-6。

除上述全斜底轮辋和对开式轮辋以外，一般的中小型越野轮胎采用普通汽车的轮辋。

（四）农业机械轮辋

由于拖拉机和农业机械行驶速度不高，使用内压较低，轮辋受力比汽车轮辋低得多，可采用较轻的深槽轮辋。拖拉机和农业机械的轮辋结构，在原则上和轿车轮辋相同，其区别就是尺寸上的不同。按照轮辋底槽形式，可分为单层槽和双层槽二种（如图 1-1-17 所示），双

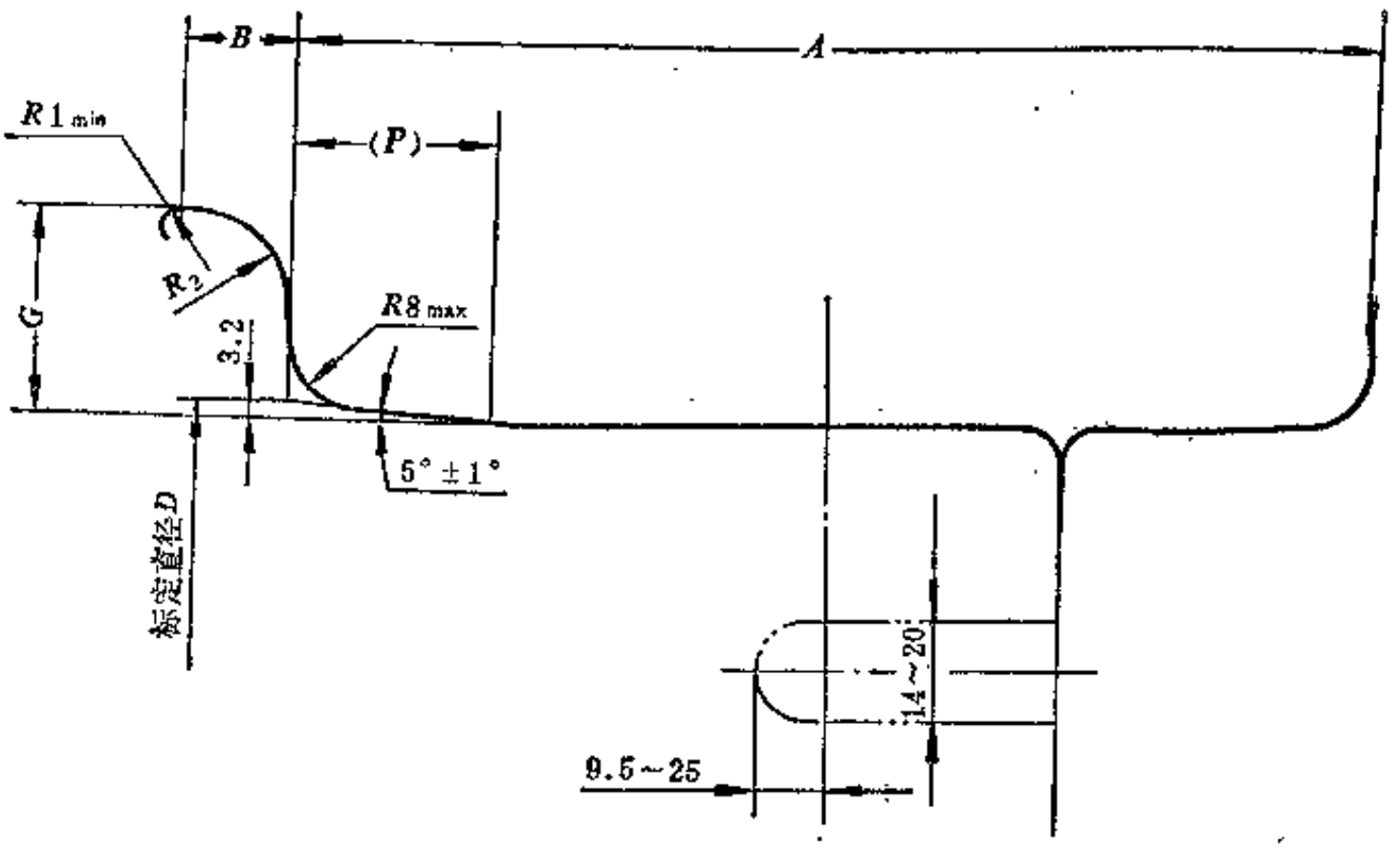



图 1-1-14 对开式轮辋

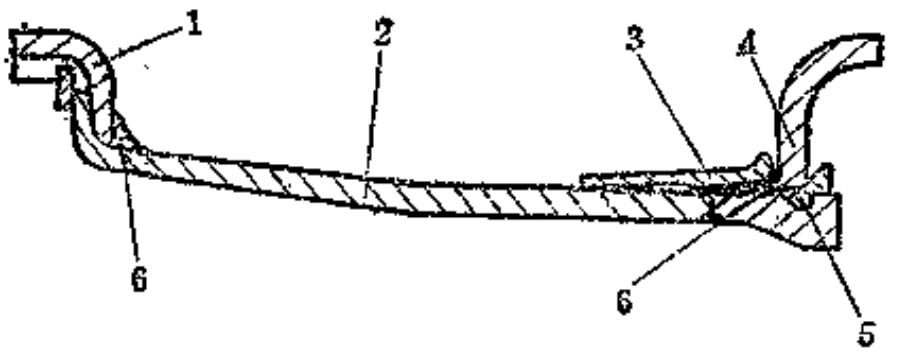



图 1-1-15 全斜底轮辋构造

1—内挡圈；2—轮辋；3—胎圈座；4—外挡圈；5—锁圈；6—密封圈

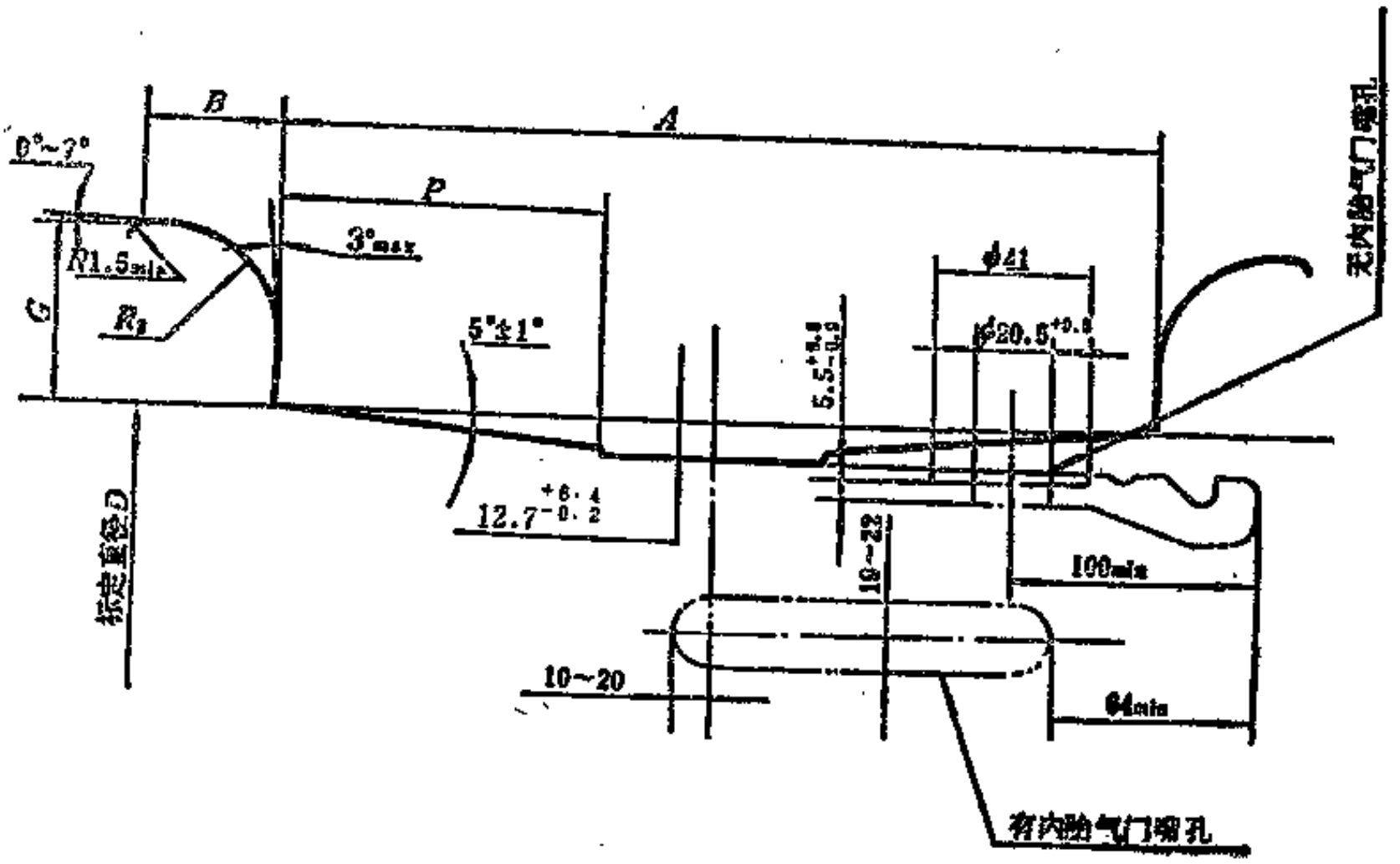



图 1-1-16 全斜底轮辋轮廓图

表 1-1-6　全斜底轮辋尺寸　　单位：mm

| 轮辋轮廓<br>规　格 | 轮辋宽度<br>$A$ | 轮缘 | | | 轮圈底宽度<br>$P_{min}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 高度<br>$G$ | 宽度<br>$B_{min}$ | 半径<br>$R_2$ | |
| 11.25/2.0 | 286±12 | 51±1.5 | 32 | 32±1.5 | 101.5 |
| 13.00/2.5 | 330±12 | 63.5±1.5 | 44.5 | 38±1.5 | 101.5 |
| 15.00/3.0 | 381±12 | 76±1.5 | 54 | 44.5±1.5 | 117.5 |
| 17.00/3.5 | 432±12 | 89±1.5 | 57 | 51±1.8 | 140 |
| 19.50/40 | 495±12 | 101.5±1.5 | 65 | 57±1.8 | 140 |
| 22.00/4.5 | 559±12 | 114±1.5 | 73 | 63.5±1.8 | 190.5 |
| 26.00/5.0 | 660±12 | 127±1.6 | 86 | 70±1.8 | 190.5 |

层槽轮辋能减轻轮胎装卸劳动强度，并能提高轮辋的径向刚度，以提高使用性能。

轮盘是用铁板冲压成一定的圆锥形状，并焊接到轮辋槽底部。轮盘冲压出形状是为保证轮辋刚性，圆锥形是为了有突出部分能使轮盘固定在轮辋的槽底中部。有的农机结构可以改变轮盘的突出尺寸，以便于按照不同作业的要求来改变车辙宽度。

小规格农业轮辋采用焊接的两半式冲压轮辋。还有的拖拉机采用无轮盘机轮，这种结构常用在轮毂和轮辋直径相差不大的农机上。

林业机械轮辋的构造相同于农业机械轮辋，但大型的林机轮辋和林业车辆所用的轮辋由于受力较大，应采用重型汽车和工程机械的轮辋。

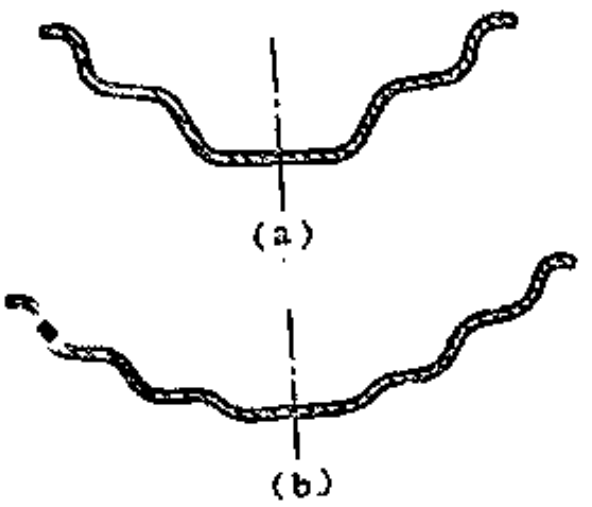



图 1-1-17　农业轮胎轮辋
(a) 单层槽轮辋；(b) 双层槽轮辋

### (五) 工程机械轮辋

中小型工程机械所使用的车轮和轮辋构造基本上与载重汽车相同，只有大型的工程机械轮胎（断面宽在 430 mm 以上）采用专门结构的轮辋。由于工程轮胎与轮辋尺寸较大，通常使用多件式轮辋，以便于拆装操作。多件式轮辋见图1-1-18，全斜底工程机械轮辋见图1-1-19，大型无内胎轮胎轮辋见1-1-20。

多件式工程机械轮辋既有50倾斜的全斜底形状，又有多件式的构造，是很理想的。它用在有内胎轮胎上有二种形式，即有胶圈和无胶圈，而用于无内胎轮胎上采用较少部件的构造，以保持气密性。

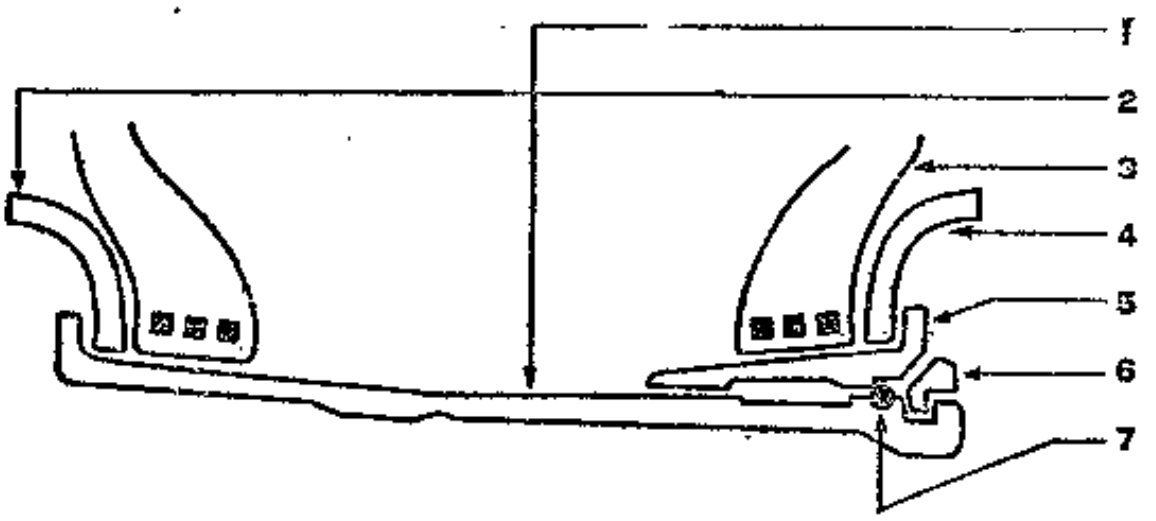



图 1-1-18　多件式工程机械轮辋
1—轮辋本体；2—后挡圈；3—胎圈部；4—前挡圈；5—座圈；6—锁圈；7—密封胶圈

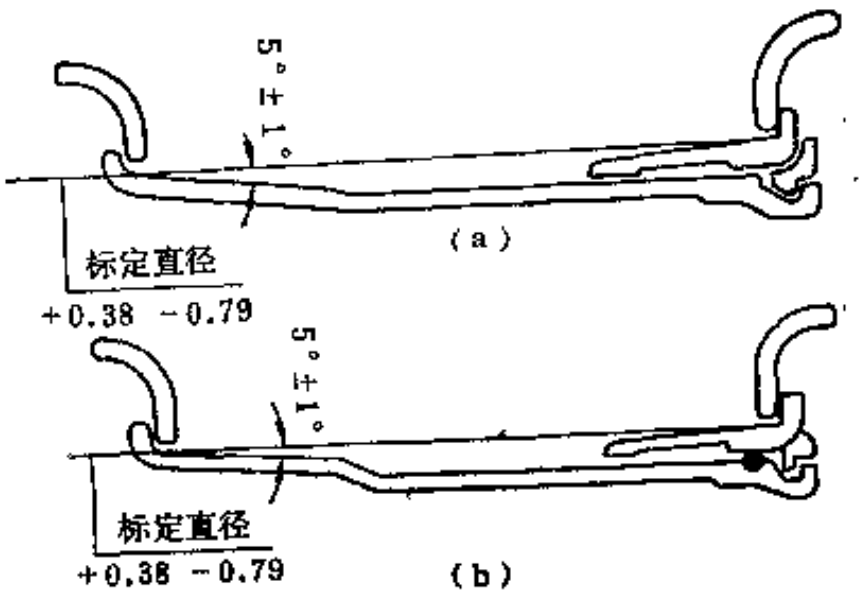



图 1-1-19 全斜底工程机械轮辋

(a) 有胶圈式; (b) 无胶圈式

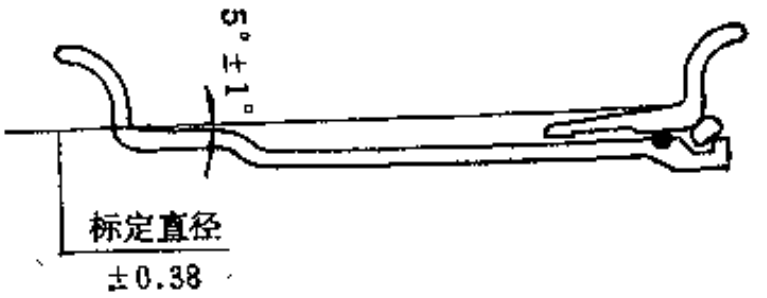



图 1-1-20 大型无内胎轮胎轮辋

全斜底工程机械轮辋的轮廓形状及其尺寸见图1-1-21和表1-1-7。

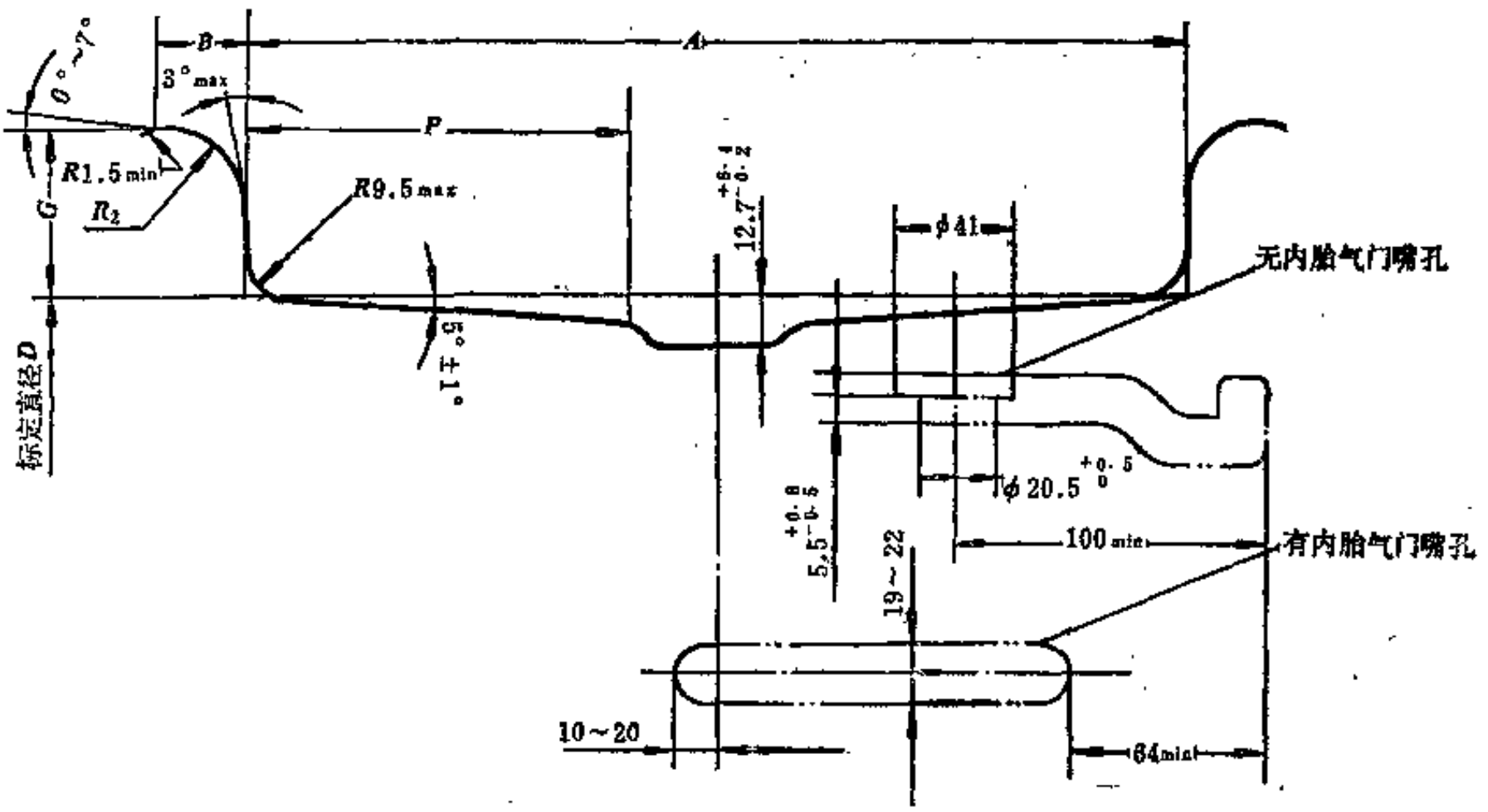



图 1-1-21 全斜底工程机械轮辋形状

表 1-1-7 全斜底工程机械轮辋尺寸 单位：mm

| 轮辋规格 | 标定直径D | | 轮辋宽度 A | 轮缘 | | | 胎圈座宽度 $P_{min}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 尺寸 | 极限偏差 | | 高度 G | 半径 $R_2$ | 宽度 $B_{min}$ | |
| 17.00/2-25 | 635.0 | +0.4 −0.8 | 432.0±12.0 | 51.0±1.6 | 32.0±1.5 | 32.0 | 101.5 |
| 19.50/2.5-25 | 635.0 | +0.4 −0.8 | 495.0±12.0 | 63.5±1.6 | 38.0±1.5 | 44.5 | 101.5 |

续表

| 轮辋规格 | 标定直径$D$ | | 轮辋宽度 $A$ | 轮缘 | | | 胎圈座宽度 $F_{min}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 尺寸 | 极限偏差 | | 高度 $G$ | 半径 $R_1$ | 宽度 $B_{min}$ | |
| 22.00/3-25 | 635.0 | ±0.4<br>−0.8 | 559.0±12.0 | 76.0±1.6 | 44.5±1.6 | 54.0 | 139.8 |
| 22.00/3-29 | 736.6 | | | | | | |
| 25.00/3.5-25 | 635.0 | | 635.0±12.0 | 89.0±1.6 | 51.0±1.8 | 57.0 | |
| 25.00/3.5-29 | 736.6 | | | | | | |
| 25.00/3.5-35 | 889.0 | | 686.0±12.0 | | | | |
| 27.00/3.5-35 | | | | | | | |
| 28.00/4-39 | 990.6 | | 711.0±12.0 | 101.5±1.6 | 57.0±1.8 | 65.0 | |
| 31.00/4-35 | 880.0 | | 787.0±12.0 | | | | |
| 32.00/4.5-39 | 990.6 | | 813.0±12.0 | 114.0±1.6 | 63.5±1.8 | 73.0 | |
| 32.00/4.5-51 | 1295.4 | ±0.8 | | | | | |

### （六）摩托车轮辋

为了使摩托车轮能具有大直径和重量轻的特点，采用深槽式轮辋。一般的摩托车轮由二个冲压部分构成，其一是用薄铁板冲压出的一半轮辋和盆状圆盘，另一是另一半轮辋和平式轮缘，两部分以螺柱联结一起，圆盘着合部分同轮鼓固定联接。受力大的高速摩托车采用整体式深槽轮辋，胎圈座倾斜角为5°。为了防止胎圈与轮辋相互错动，新型摩托车轮辋使用突峰胎圈座结构，摩托车轮辋曲线形状参见本篇第八章。

## 第二节　轮胎使用性能

### 一、载荷能力

轮胎载荷能力是由结构参数决定的，主要有外形尺寸、充气内压、帘布性能以及断面轮廓等。与这些参数密切相关的决定载荷能力的重要设计依据就是轮胎径向变形。在最佳径向变形条件下，轮胎能获得最佳的使用性能和使用寿命。

提高内压能缩小径向变形，可适当增加载荷能力，但提高内压应同时增加轮胎层数，否则会使轮胎生热高、散热慢，并降低轮胎缓冲性能。因此提高载荷能力经常通过加大轮胎尺寸和选用优质材料的途径来达到。

当使用条件改变时，轮胎载荷能力也应改变。如在坏路上行驶，轮胎承受很大的动态负荷，就应当降低载荷标准。又如降低行驶速度，改善轮胎使用条件，就可以提高载荷标准（见表1-1-8和表1-3-1）。

轮胎的变形功是由压缩空气和胎体材料所承担。在正常径向变形下，60%的功消耗于压缩空气，40%的功用于帘布层和胎面胶变形。当径向变形过大或过小时，消耗于压缩空气的功一般都要降低。

在静态轮胎标准负荷和气压下径向变形时车轴与路面的距离叫做静半径$R_s$。静半径与非变形轮胎的自由半径$R_f$之差叫做径向变形（俗称下沉量），以$f$值表示。在车轮滚动时车轴

表 1-1-8 (a) 国产载重汽车轮胎使用速度与负荷增减对应表

| 最高速度 km/h | 负荷增减，% | | |
|---|---|---|---|
| | 重型载重 | 中型载重 | 轻型载重 |
| 40 | +5 | +10 | +12.5 |
| 50 | +2.5 | +7.5 | +10 |
| 60 | +0 | +5 | +7.5 |
| 70 | +0 | +2.5 | +5 |
| 80 | | +0 | +2.5 |
| 90 | | +0 | +0 |
| 100 | | | +0 |

注：最高速度 重型载重汽车轮胎为70km/h，中型载重汽车轮胎为90km/h，轻型载重汽车轮胎为100km/h。

与路面的距离叫做动半径 $R_m$。当轮胎旋转时由于离心力作用和胎体刚度的增大，一般动半径大于静半径。主动轮和制动轮的半径大小决定于施加力矩高低。旋转力矩愈高，$R_m$ 值亦愈大；制动力矩愈高，$R_m$值则愈小。因此，具体说来动半径可能等于、大于或小于静半径。

为了鉴别轮胎性能和计算汽车参数，通常使用滚动半径$R_r$参数。滚动半径除受静半径和动半径影响以外，还决定于轮胎结构、路面条件和车轮滚动情况等一系列因素。滚动半径不能直接测量，通常以轮胎单位转数下所滚动的距离进行换算，如式（1-1-1）所示。

$$R_r = \frac{S}{2\pi n} \tag{1-1-1}$$

式中 $S$——轮胎所滚动的路程；

$R_r$——滚动半径；

$n$——滚动转数。

滚动半径还可用轮胎滚动线速度$V$和转动角速度$\omega$之比表示：

$$R_r = \frac{V}{\omega} \tag{1-1-2}$$

轮胎滚动时在接地面及其附近部分产生周向变形。在转入接地区后，转动力矩使胎面胶压缩，而制动力矩使胎面胶伸张；在离开接地区时情况则完全相反。所以在计算或测定滚动半径时，必须考虑转动力矩和制动力矩的影响。同时，滚动速度越大，影响也越大。

主动车轮滚动半径小于动半径，二者之差随着转动力矩和滚动速度的增加而增大。至于制动车轮滚动半径由于轮胎与路面滑动面大于动半径。综上可知：

$$R_r = R_t - f; \quad R_m \geqslant R_t;$$

主动轮胎$R_r < R_m$；制动轮胎$R_r > R_m$。

静半径和动半径可在轮胎径向变形的较小范围内变化。滚动半径变化范围很大，从零（轮胎原地空转）到无限大（轮胎打滑不转）。

轮胎载荷能力的计算，目前仍采用传统的经验公式，但其负荷系数等参数随着轮胎的种类、规格、构造和速度等使用条件的发展面有不同的变化。轮胎载荷能力计算的通用公式（英制）[1]：

表 1-1-8 (b) ETRTO汽车轮胎使用速度与负荷增减对应表

| 速度 km/h | 所有负荷指数 | | | | 负荷指数≥122 | | 负荷指数≤121 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 速度标志 | | | | 速度标志 | | 速度标志 | | |
| | F | G | J | K | L | M | L | M | N |
| 静止 | 同 | 同 | +150 | 同 | 同 | 同 | +110 | 同 | 同 |
| 5 | | | +110 | | | | +90 | | |
| 10 | | | +80 | | | | +75 | | |
| 15 | | | +65 | | | | +60 | | |
| 20 | | | +50 | | | | +50 | | |
| 25 | | | +35 | | | | +42 | | |
| 30 | | | +25 | | | | +35 | | |
| 35 | | | +19 | | | | +29 | | |
| 40 | J | | +15 | | | | +25 | | |
| 45 | | | +13 | J | | | +22 | | |
| 50 | | J | +12 | | | 同 | +20 | 同 | |
| 55 | | | +11 | | | | +17.5 | | |
| 60 | | | +10 | | J | | +15.0 | | |
| 65 | +7.5 | | +8.5 | | | J | +13.5 | | |
| 70 | +5.0 | | +7.0 | | | | +12.5 | L | |
| 75 | +2.5 | | +5.5 | | | | +11.0 | | |
| 80 | 0 | | +4.0 | | | | +10.0 | | L |
| 85 | −3 | +2.0 | +3.0 | | | | +8.5 | | |
| 90 | −6 | 0 | +2.0 | | | | +7.5 | | |
| 95 | −10 | −2.5 | +1.0 | | | | +6.5 | | |
| 100 | −15 | −5 | 0 | | | | +5.0 | | |
| 105 | | −8 | −2 | 0 | 0 | 0 | +3.75 | | |
| 110 | | −13 | −4 | 0 | 0 | 0 | +2.5 | | |
| 115 | | | −7 | −3 | 0 | 0 | +1.25 | | |
| 120 | | | −12 | −7 | 0 | 0 | 0 | | |
| 125 | | | | | | 0 | −2.5 | 0 | 0 |
| 130 | | | | | | 0 | −5 | 0 | 0 |
| 135 | | | | | | | −7.5 | −2.5 | 0 |
| 140 | | | | | | | −10 | −5 | 0 |
| 145 | | | | | | | | −7.5 | −2.5 |
| 150 | | | | | | | | −10 | −5 |
| 155 | | | | | | | | | −7.5 |
| 160 | | | | | | | | | −10 |

$$W=K\times 0.425\times P^{0.595}\times S^{1.39}(D_R+S) \tag{1-1-3}$$

式中 $W$——轮胎负荷；

$K$——负荷系数；

$P$——轮胎气压；

$D_R$——轮辋直径；

$S$——在标准轮辋上轮胎断面宽。

$$S=S_0\frac{180^\circ-\sin^{-1}W_0/S_0}{180^\circ-\sin^{-1}W_1/S} \tag{1-1-4}$$

式中 $S_0$——设计断面宽度；

$W_0$——设计轮辋宽度；

$W_1$——标准轮辋宽度。

换算为我国法定计量单位为：

$$W=K\times 6.075\times 10^{-5}\times P^{0.7}\times S^{1.1}(D_R+S) \tag{1-1-5}$$

式中轮胎载荷（kgf）为$W$，轮胎内压（kPa）为$P$，速度100km/h时的$K$系数为1.00，轮胎断面宽$S$为：

$$S=H[2-0.78A-0.05/A-0.7(A-0.55)^2]$$

式中轮胎扁平率$A=H/S_{0.7}$（对15°角轮辋上无内胎轮胎$A=H/S_{0.75}$）。轮辋公称直径$D_R$(mm)当轮缘高度超过20mm时取值：

$D_R$=轮辋公称直径+2×轮缘高度-25mm

## 二、耐 磨 性 能

现代轮胎的制造和使用不断改善，有80～90%是因花纹磨光而报废，所以轮胎耐磨性能在一定程度上表明轮胎的使用寿命，因此，轮胎使用寿命可按照式（1-1-6）计算：

$$L=1000\cdot\frac{h_1-h_0}{\Delta h} \tag{1-1-6}$$

式中 $L$——轮胎行驶里程，km；

$h_1$——轮胎花纹深度，mm；

$h_0$——最低花纹允许深度，mm；

$\Delta h$——胎面单耗，mm/1000km。

通常，轮胎耐磨性以轮胎每行驶1000公里所磨去的花纹深度来表示，有时以每毫米深花纹所行驶的里程式以单位里程所磨掉的胶量表示。我国习惯以每毫米花纹深度所行驶的里程表示（俗称单耗）。

轮胎耐磨性能取决于轮胎结构（决定印迹面压强和滑移率等因素），胎面胶性能（耐磨指标）和使用条件（路面、气压和负荷、气温和车速等）的不同。

子午线轮胎的耐磨性较斜交轮胎高30%以上，有时高至50%以上。轮胎胎体所用骨架材料的弹性模量对磨耗影响很大，以尼龙帘布代替人造丝帘布能提高耐磨性[3]如表1-1-9所示。加宽轮辋宽度，增大$C/B$值，能改善耐磨性能，如图1-1-22所示。适当减小胎面拱度，即增大胎面曲率半径，也能够有效改善耐磨指标，如图1-1-23所示。

表 1-1-9　胎体帘线弹性模量对轮胎耐磨性的影响

| 轮胎特征 | 磨耗深度，mm/1000km | 轮胎特征 | 磨耗深度，mm/1000km |
|---|---|---|---|
| 260-20轮胎 | | 260-508P 子午线轮胎 | |
| 人造丝 | 0.28 | 人造丝 | 0.14 |
| 尼龙线 | 0.25 | 尼龙线 | 0.13 |
| 260-508斜交轮胎 | | 280-508P 子午线轮胎 | |
| 人造丝 | 0.33 | 人造丝 | 0.11 |
| 尼龙线 | 0.28 | 尼龙线 | 0.29 |

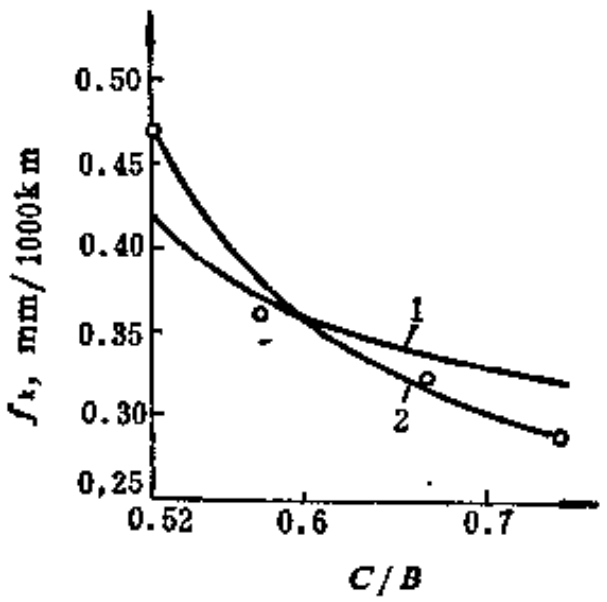



图 1-1-22　轮胎$C/B$值对胎面磨耗的影响
1—计算曲线；2—实测曲线

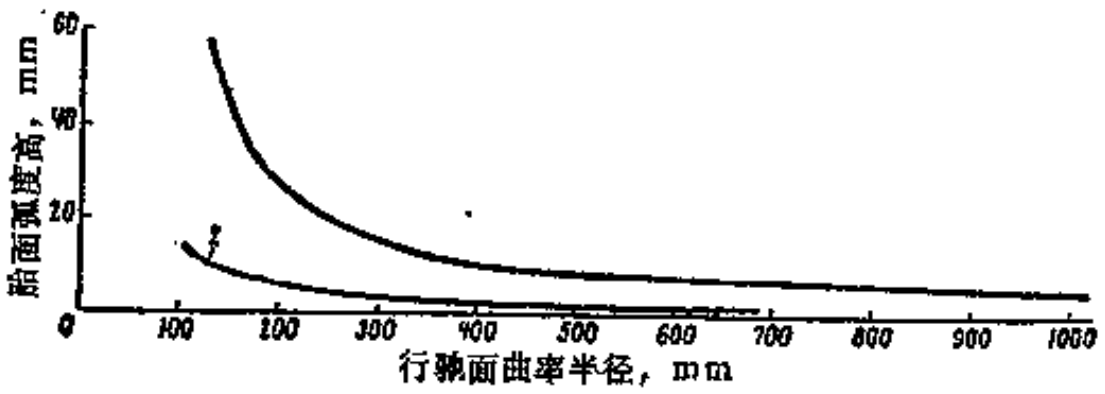



图 1-1-23　胎面弧度高（h）与其曲率半径（R）的关系
1—载重轮胎；2—轿车轮胎

因为胎面花纹直接接触路面，合理设计胎面花纹能使轮胎具有较高的耐磨性。提高胎面花纹面积率（花纹块占整体轮廓面积百分率），增加花纹横向性（横向花纹比顺向花纹耐磨）以及减少花纹移动性（增大花纹块刚性）等，都能够提高胎面耐磨性。

从胎面胶配方角度提高胎面耐磨性，在通用橡胶品种中采用适当比例的顺丁橡胶能显著提高好路面上的耐磨性。即使在苛刻的易于刺扎的坏路上使用，适量并用顺丁橡胶的胎面胶料并增加中超耐磨炉黑用量和降低硫化程度时，也会获得较好的耐磨性。提高胎面耐磨性是开拓原材料的新来源的一个很重要的领域。随着橡胶与塑料并用技术以及橡胶与金属粘合水平的发展，为胎面增强耐磨性能提供了新途径。如目前胎面胶中并用少量的塑料的技术已经在轮胎工业中开始应用，胎面胶中掺入一定数量细钢丝已被应用于提高大型轮胎耐刺扎耐磨耗有效措施中。

同样的轮胎，因路面质量、负荷与气压、气候与速度以及特殊使用条件等因素的不同，可能有很大的耐磨差异。大量实践证明，路面等级对轮胎磨耗的影响很大[3]（见表1-1-10），尤其在矿山和建筑工地上行驶时轮胎磨耗要增加数倍。

轮胎内压降低和负荷增高以及行驶速度加快，不言而喻将会增大胎面磨耗，但影响的幅度由于车辆—轮胎—路面复杂条件变化尚不能定量分析，只能指出一般变化规律。

气候对胎面花纹滑移磨耗有很大的影响[3]，主要是气候影响胎面的作用温度和路面状况，而造成不同的磨耗条件（见表1-1-11）。

表 1-1-10　不同路面对微型轮胎磨耗的影响

| 路面等级 | 磨耗，mm/1000km | |
|---|---|---|
| | 斜交轮胎 | 子午线轮胎 |
| 甲级路 | 0.17～0.23 | 0.12～0.17 |
| 乙级路 | 0.24～0.28 | 0.19～0.23 |
| 丙级路 | 0.40～0.80 | 0.28～0.50 |

表 1-1-11　气候对轮胎的影响

| 试验条件 | 磨耗，mm/1000km | 试验条件 | 磨耗，mm/1000km |
|---|---|---|---|
| 夏季，平均温度23℃，干燥甲、乙级路 | 0.40 | 夏季，平均温度29℃甲级路 | 0.19 |
| 秋季，平均温度14℃，有雨甲、乙级路 | 0.23 | 冬季，平均温度－24℃，有雪甲级路 | 0.12 |

轮胎使用条件是复杂的，除上述主要因素外，当车辆拖挂和爬坡时转矩增大，车轮前束和外倾以及平衡差度较大时，都能够加速胎面磨耗（见图 1-1-24 和图1-1-25）。轮胎磨耗在很大程度上还决定于驾驶汽车的熟练程度。试验证明，当由于汽车操纵不良而使车轮空转、刹车或转弯时，有的轮胎胎面一天的磨损量相当于正确操纵汽车时半年时间的磨损量。

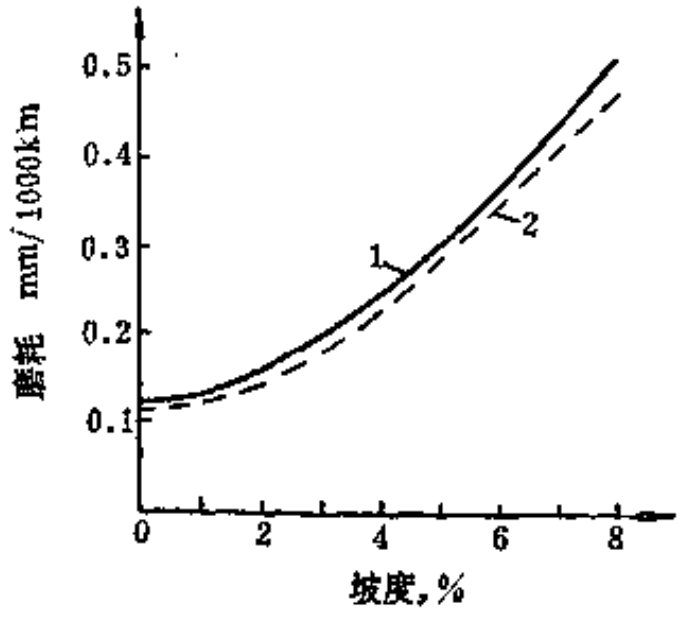



图 1-1-24　不同路面坡度对胎面磨耗的影响
1—内挡轮胎；2—外挡轮胎

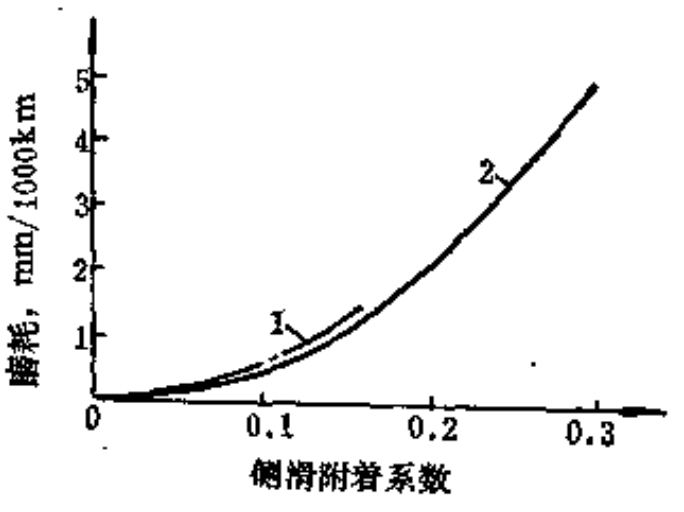



图 1-1-25　不同侧向附着系数对胎面磨耗的影响
1—载重轮胎；2—轿车轮胎

按照上述不同情况，胎面磨耗可分为疲劳磨耗、磨损磨耗和卷曲磨耗 3 种类型。疲劳磨耗是由于胎面胶表面反复受力变化而产生的；磨损磨耗是因为路面粗糙对橡胶剪切所生成的；面卷曲磨耗则是在高压和高温时胎面胶在路面卷磨造成的。三种类型磨耗产生原因不同，可使用不同的技术手段提高耐磨性，但在实际中磨耗往往是上述 3 种磨耗的综合形式，但因具体条件不一，在一定的胎面胶轮胎上，特定的使用环境有一种或两种占主要成分的磨耗形式，故不能一概而论。目前，在提高胎面胶耐磨性能方面的理论研究很多[3,4]。

## 三、缓　冲　性　能

轮胎缓冲性能决定着车辆悬挂系统性能，因此确定轮胎的缓冲性能应与车辆整体悬挂性能相匹配，但实际上往往是单独鉴定轮胎的缓冲性能。

轮胎缓冲性能以单位径向变形所需的负荷量表示，通常以N/cm为单位。轮胎径向载荷与径向变形的关系称为载荷性能，因此轮胎缓冲性能是其载荷性能中的一种特定性能。

有时轮胎缓冲性能可以用影响汽车悬挂系统性能的指标表示。例如，可以用在一定使用条件下车辆的振动频率和振动幅度表示，这样能直接了解轮胎缓冲性能对车辆性能的影响。由此可知，轮胎缓冲性能可以多种途径来测量。

在车辆行驶时缓冲性能也要变化。随着速度增高，轮胎刚性加大（离心力作用），特别是高速行驶时胎体生热、内压增高，刚性增大，从而降低了缓冲性能。当车辆转向时，由于车辆侧滑和轮胎侧向变形，也会改变其缓冲性能。

所有轮胎结构参数都在一定程度上影响缓冲性能，但起主导作用的是轮胎断面形状，帘布层构造和使用气压等。

当轮胎扁平率增大时，对于子午线轮胎来说缓冲性能也增大，如断面宽同为190mm的轮胎，在载荷9.80kN和气压490kPa下断面高为190mm时，径向变形为22mm；而当断面高为160mm时，径向变形为190mm。对斜交轮胎讲，情况趋势也相同，因为断面高度大的胎侧部较高，缓冲性能自然也大。

当轮胎断面宽度增加时，由于接地宽度增大和胎侧部帘线角增大，缓冲性能降低。同一轮胎装在不同宽度轮辋上时，断面轮廓也不同，使用宽轮辋时轮胎刚性增大，缓冲性能降低。

帘布层结构中影响缓冲性能的，主要有帘线角度和帘布层数。帘线角度大和帘布层数多的轮胎，缓冲性能差。例如，6.00-13轮胎试验表明，帘线角从28°增大到62°时，缓冲性能降低15～90%，帘布层从4层减少到2层时，缓冲性能增加11%。又如，155R15子午线轮胎的缓冲性能要比相应规格的5.60-15斜交轮胎高16%。

动态轮胎的缓冲性能不仅决定于上述条件，还取决于轮胎各个方向变形的综合因素。在此简述轮胎动态缓冲性能的各向变形关系。

子午线轮胎的带束层刚性不影响径向变形和侧向刚性，但增大带束层刚性能增大周向刚性和耐侧滑性能。将轮辋宽度与轮胎宽度之比从0.61增加到0.86时，径向刚性实际未变化，但侧向刚性增加了80%。胎面花纹越浅，侧向和周向刚性越大，耐侧滑性能越好。例如，将胎面花纹深度从20mm减小到10mm时，侧滑能缩小50%。

加宽行驶面是提高轮胎侧向刚性的手段之一。例如，9.00-20轮胎的 $b/B$ 值从0.64增大到0.78时，侧向刚性从2.18kN/cm增大到2.58 kN/cm。

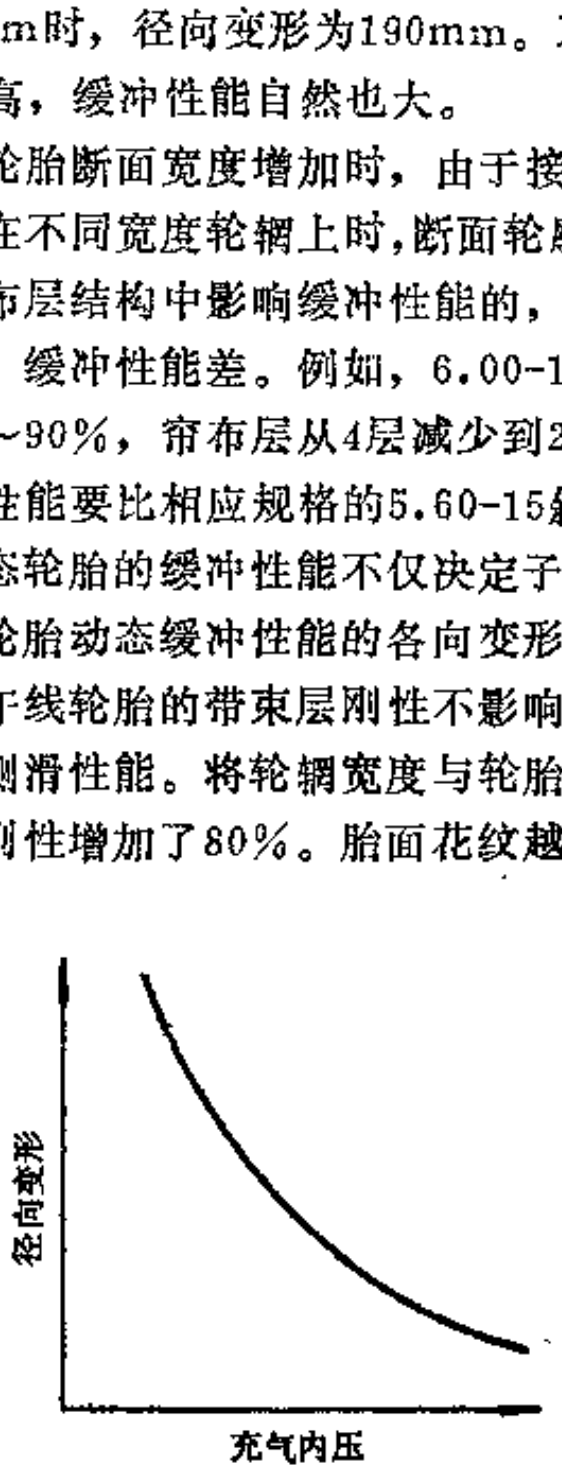



图 1-1-26　充气内压与径向变形关系

除载荷外，对轮胎缓冲性能影响较大的使用因素就是充气内压。轮胎气压与径向变形的关系曲线如图1-1-26所示。当内压降低时，特别是在低气压时，缓冲性能增大。降低内压也会减小车辆的振动振幅和频率，但有时因悬挂系统匹配或路面、车速不同也会有相反的情况，降低振动性能。

## 四、附　着　性　能

轮胎与路面附着性能是轮胎重要性能之一，以纵向和侧向附着系数来表示。纵向附着系

数等于在车轮完全均匀空转时牵引力与法向载荷之比，或等于在制动车轮完全均匀滑移时制动力与法向载荷之比。侧向附着系数等于侧向力与法向载荷之比。

在鉴别轮胎和计算汽车行驶指标时，往往需要主动轮局部空转或制动轮局部滑移时的纵向附着系数，以考虑实际上最经常发生的行驶状况。这是因为在硬路面行驶时，最高附着系数经常在局部滑移（约20～30%）时得到，而不是在完全滑移情况下产生的(见图1-1-27)。

轮胎与道路的附着性能是汽车安全行驶的决定因素。统计证明，有5～10%的公路运输事故是因附着力不够造成的，在湿滑路面上事故率更高，可达安全事故的25～40%。因此，国际公路协会规定了在不同道路条件下的最低附着系数，一般地最低附着系数在0.4～0.6范围内。

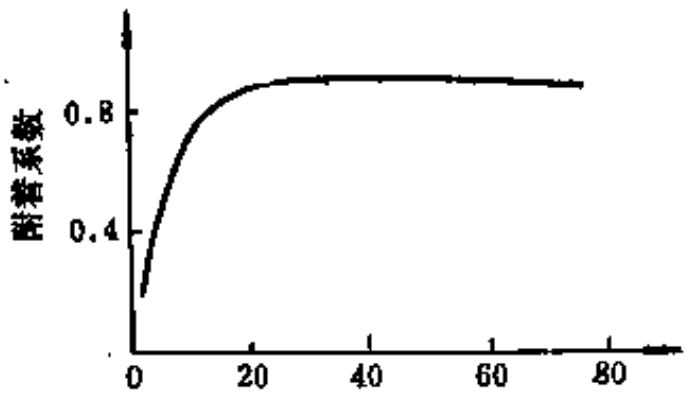



图 1-1-27　轮胎滑移率与附着系数的关系

附着系数高低取决于轮胎结构参数、使用负荷和内压，以及使用速度和影响最大的路面条件。不同路面上的附着系数如表1-1-12所列。

轮胎结构参数对附着系数的影响，主要由路面条件而定。在平坦的干硬路面上，不同结构参数轮胎的附着系数基本相同，此时附着系数主要决定于路面粗糙程度和硬度，以及胎面胶的硬度和滞后损失，而胎而花纹和轮胎尺寸则影响不大。在不平的硬路面上，轮胎外缘尺寸和充气压力对附着系数的影响很大，大尺寸轮胎充以低气压时能缓冲不平道路的冲击，增加接地面和提高稳定性，并能改善附着性能。

表 1-1-12　不同路面条件的轮胎附着系数

| 路面状况 | 干柏油路 | 湿柏油路 | 干土路 | 湿土路 | 冰雪路 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 0～－5℃ | －5℃以下 |
| 附着系数 | 0.6～1.0 | 0.3～0.5 | 0.5～0.7 | 0.1～0.3 | 0.05～0.10 | 0.1～0.2 |

在当前公路网十分发达的条件下，在湿滑路上交通事故会不断发生，因而改善轮胎的湿滑性能非常重要。湿滑性能主要是指快速行驶面言，低速时轮胎湿滑性能甚至比在干路时还要好，因为干路而有时覆盖有灰层，起着降低附着力的作用。

当轮胎在湿路上提高行驶速度时，由于轮胎旋转过快，胎而花纹来不及排出水分，在胎面与路面之间造成一层水膜，破坏了胎面与路面之间良好的附着性，附着系数下降到0.02以下，降低了汽车操纵性。实践证明，要想破坏水膜层，就要使胎面与路面二者相接触部分的表而“粗糙化”,采用细缝花纹能有效地提高附着系数。细缝花纹在湿路上摩擦力作用下的扩展形状见图1-1-28，起到破坏水层、抓着路面的作用，以提高附着力。




图 1-1-28　细缝花纹作用示意图
(a)无切线力时；(b)有切线力时

目前，对轮胎湿滑性能已作了很多研究，构成湿滑影响因素的大致比率见表1-1-13。

表 1-1-13　湿滑影响因素的比例关系

| 因　素 | 百分率，% | 因　素 | 百分率，% |
|---|---|---|---|
| 轮胎 | | 路面性质 | 15 |
| 胎面花纹 | 10 | 水层厚度 | 10 |
| 胎面材质 | 5 | 汽车 | |
| 花纹深度 | 20 | 速度影响 | 30 |
| 路面 | | 制动系统 | 10 |

轮胎湿滑产生速度可依式（1-1-7）估算[2]

$$V=0.032\frac{(1-\varepsilon)qL}{\eta_m} \tag{1-1-7}$$

式中　$V$——轮胎打滑速度，km/h；

$\varepsilon$——印迹椭圆度系数；

$F_n$——印迹范围直角面积；

$F_h$——印迹实际面积；

$q$——印迹宽度上的平均压强；

$L$——印迹长度；

$m$——花纹平均压地系数；

$\eta$——接触系数；

$\mu$——水的动粘系数；

$h_H$——水膜作用厚度，等于路面不平高度；

$h_0$——水膜原始厚度。

其中：$\varepsilon=(F_n-F_h)F_n$；$\eta=\mu\left(\frac{1}{h_H^2}-\frac{1}{h_0^2}\right)$

轮胎软土附着性能和硬路附着性能不同，此时附着概念应理解为土壤抓着力，轮胎抓着力决定于土壤表面摩擦力、土壤剪切阻力以及土壤下陷程度等。轮胎在土壤中下陷深度是由很多条件决定的，但是主要的是轮胎载荷和印迹面上的压强。抓着力还受胎面花纹自洁性的影响，设计合理的越野花纹不易塞满泥土，甩泥性良好。轮胎结构参数虽对抓着力有很大影响，但同道路土壤性质相比，往往所起作用不大。

胎面与土壤的表面摩擦主要决定于土壤类型和湿度，其次才是胎面胶性能。在沙地和雪原上行驶时，降低内压是提高表面摩擦力和降低印迹压强的有效措施。土壤性质和胎面花纹两者都是提高土壤剪切性能的重要条件。

对于提高轮胎的土壤抓着力，合理选用和专门设计胎面花纹是一项有效的措施。在有硬底层的软土上行驶的轮胎，越野花纹作用更大。在这种情况下稀疏的花纹能够剪过软土而抓住硬底取得足够的抓着力；相反过密的花纹抓不到硬底层，不能发挥花纹作用。如果在沙地通过时，特别是在干沙地带，稀疏高深的胎面花纹无助于提高抓着力，有时因花纹与沙粒摩擦还要增加滚动阻力。

在软粘土壤中行驶的轮胎花纹自洁性十分重要，它决定于土壤性能和花纹设计。如果保持花纹沟不堵塞泥土，花纹设计必须满足如下条件：

$$h < \frac{gh}{\gamma V^2}[r + 2(n+m)(r + P\varepsilon \mathrm{tg}\phi)] \qquad (1\text{-}1\text{-}8)$$

式中$h$为花纹深度；$g$为重力加速度；$R$为轮胎半径，$\gamma$为土壤单位重量；$V$为最低滚动速度；$r$为土壤与橡胶附着力；$n$为花纹后部长度；$m$为花纹后部宽度；$P$为轮胎对土壤的压力；$\varepsilon$为胎面花纹侧向甩泥系数；$\phi$为土壤内摩擦角度。

近年来，广泛采用镶钉轮胎来提高冰雪路面的附着性能。但当冰雪融化后或在清扫过的路段行驶时镶钉轮胎就显得不够理想，因此又出现冰雪胎面花纹轮胎，可在寒带国家和冬季使用，通用性能较好。最近，有人研究采用专用溶液涂在胎面花纹上，以提高冰雪上的附着力。

## 五、行驶安全性

随着汽车数量的不断增加和行驶速度的显著提高，交通事故时有发生，人们愈来愈注意创造安全行驶条件。

很多公路交通事故的发生是由于汽车不能及时停车和侧向滑行所引起的，在这方面轮胎的作用比较大。有时因轮胎气压突然降低，或者由于轮胎结构强度不够、制造质量不佳，也会造成安全事故。

为了保证轮胎安全质量，目前国外轮胎，尤其是美国轮胎胎侧上都标明“DOT”安全质量合格标志。“DOT”为美国交通部的简称，其下属的公路交通安全机构（FMVSS）对机动车辆安全规定有安全标准，其中FMVSS—109标准是针对轿车轮胎的；而FMVSS—119标准是为载重轮胎规定的。如果轮胎安全性能符合这些要求时，方可在胎侧上合法标出“DOT”标志。这种安全标准原是美国为本国规定的，后来为许多国家所采用，我国已决定采用这种方法鉴别轮胎安全性能。

轮胎安全标准的主要内容除了轮胎尺寸、负荷和气压以及轮辋参数以外，包括室内安全试验方法及其应达指标。试验项目有轮胎耐久性试验、强度试验、高速试验和脱圈试验4个方面。

耐久性试验和高速性试验都是在标准的直径$\phi$1.707m转鼓试验机上进行的，同时二种试验只要通过规定程序即为试验合格，不一定要跑坏轮胎为止。耐久性试验对轿车胎的时间为34小时；对载重胎为47小时。高速性试验对载重胎为80km/h；对轿车胎最高转鼓速度为135km/h。

轮胎强度是在标准的冲压试验机上进行，用标准的冲头以规定的速度向轮胎冲压，记录冲压压力和冲程，计算轮胎破坏能是否达到要求。如果轮胎已达到最低破坏能的规定，则不必压穿破坏轮胎，即为强度试验合格。

对于无内胎轿车轮胎，还需要做脱圈试验，以保证胎圈与轮辋紧密吻合。脱圈试验在标准试验机上进行，试验时将轮胎装在夹具上，用规定的脱圈金属块向胎侧部施加负荷，直至脱圈或达到规定为止。

应当指出，“DOT”安全标准对轮胎质量要求是最低应达到的指标，达到“DOT”是对轮胎起码的质量要求，先进厂牌的轮胎质量远远高于这项规定指标。

轮胎侧滑对汽车安全行驶影响很大，产生侧滑的原因主要是侧向力的作用。径向载荷的静态轮胎在地面上的印迹形状如图1-1-29（a）所示，而当其受侧向力时印迹形状变成图1-1-29（b）情况。滚动的轮胎当受径向载荷和侧向力作用时，印迹形状变为图1-1-29（c）

状况，产生侧滑角 $\delta$。

侧向力与侧滑角的关系曲线见图1-1-30，当印迹面无滑动现象时为线性关系，而在侧向力加大时胎面开始滑动，侧滑角显著增大。在同样条件下，轮胎与路面的附着系数影响很大，附着系数愈大，侧滑角愈小。

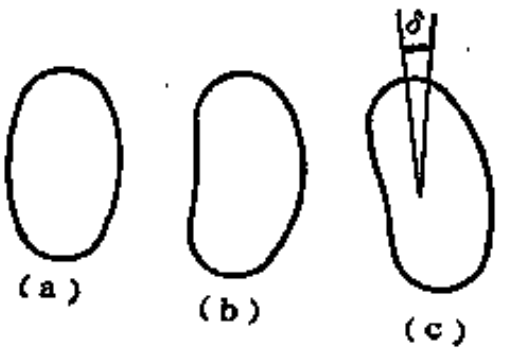



图 1-1-29　轮胎侧向力对印迹形状影响

要想克服轮胎侧滑保持直线行驶，就应设法增大稳定力矩。稳定力矩与侧滑角之间关系如图1-1-31所示，侧滑角越大，则稳定力矩也越大，但在大侧滑角时，稳定力矩随着侧向力作用和胎面滑动区反作用的距离缩短而减小。

轮胎耐侧滑的主要因素是轮胎胎面侧向刚性，胎体帘布层影响不大，但侧滑时轮胎非对称变形的大小要受胎侧刚性一定的影响。子午线轮胎等新结构胎而能提高耐侧滑能力。

随着汽车动力不断提高和路面条件逐步完善，为防止高速或湿路行驶打滑现象，现代汽

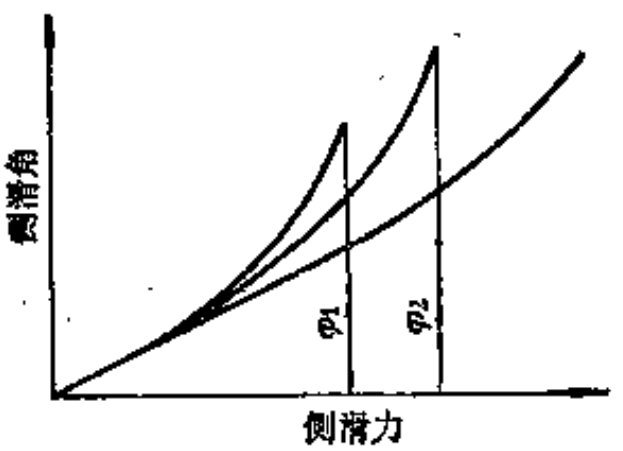



图 1-1-30　侧向力与侧滑角关系

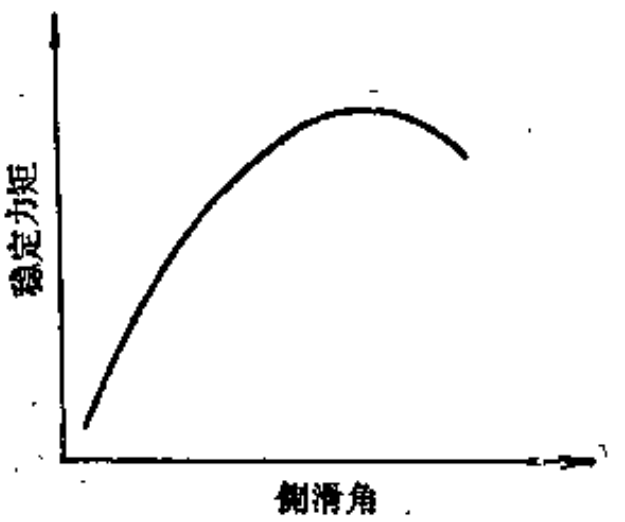
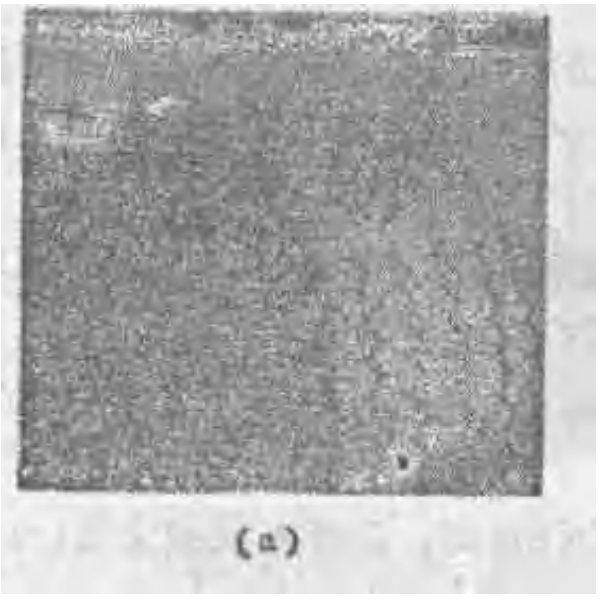
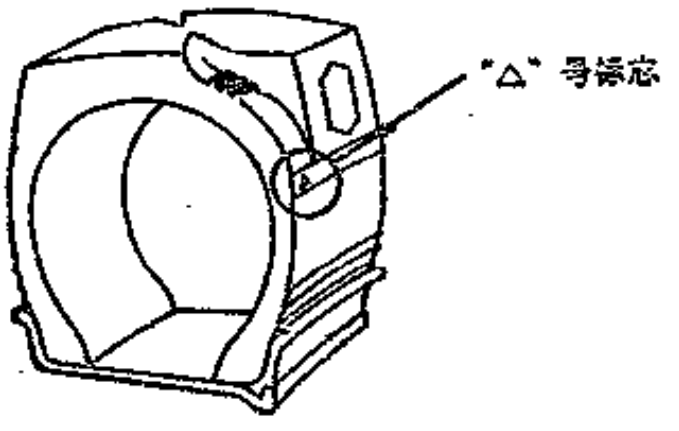



图 1-1-31　稳定力矩与侧滑角关系

车轮胎都设计有安全花纹深度标志（见图1-1-32）。当胎面花纹磨耗到露出标志时就应更换新轮胎，如用再刻轮胎时就应重刻花纹，以保证安全行车。

安全标志通常采用花纹沟圆周等分断开方法，也有使用彩色标志的，标志数量习惯以整个胎面或肩部花纹的四等分或六等分二种形式标出。轮胎花纹磨耗深度标志不同于胎面花纹沟补强棱，前者是局部的，而花纹沟补强则是全部的，每个节距花纹都有补强筋。


(a)



(b)

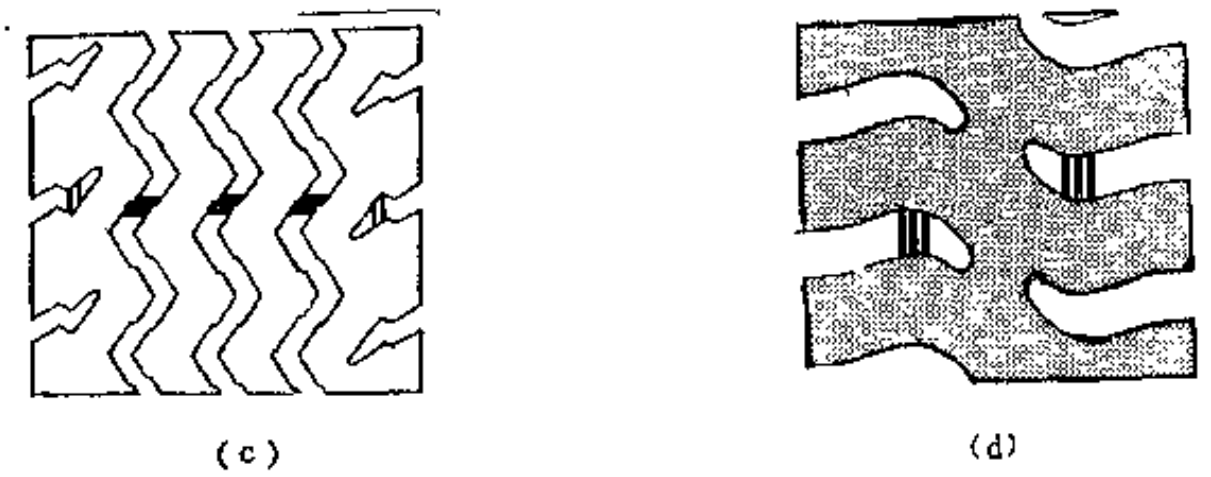



图 1-1-32　轮胎花纹安全标志

轮胎花纹安全深度的大小规定是根据汽车速度和路面状况的不同而有所不同。例如，日本高速行驶轮胎的湿滑安全花纹深度规定为：轿车轮胎——1.6mm；轻卡轮胎——2.4mm；载重轮胎——3.2mm。

## 六、滚　动　阻　力

滚动阻力是轮胎的重要性能之一，它影响车辆的动能消耗、燃料耗损以至于轮胎本身寿命。减小滚动阻力能改善车辆动性能和燃料经济性，同时由于变形能和生热量的减少，还能够延长行驶寿命。

滚动阻力鉴定方法可以用滚动阻力系数或者用车轮每转动1周所需要克服滚动阻力的功来鉴别。滚动阻力系数等于滚动阻力除以法向载荷。在完善路面上，轮胎的滚动阻力系数 $f$ 为：

$$f = \frac{N}{Q \cdot V} \tag{1-1-9}$$

式中　$N$——轮胎滚动所耗用的能量，Nm/s；

$Q$——轮胎法向载荷，N；

$V$——滚动速度，m/s。

在软土路面上，式（1-1-9）中$N$值除包括轮胎滚动所耗用的能量以外，还包括克服土壤阻力所消耗的能量。

当行驶速度在100km/h以下时，汽车能量主要消耗在克服滚动阻力方面。例如载重汽车在完善的公路上以50～60km/h速度行驶时，有90%以上的能量消耗于克服滚动阻力。

滚动阻力消耗于轮胎变形、路面变形、以及轮胎与道路附着方面。因此滚动阻力取决于道路类型、状况以及轮胎结构和性能。

轮胎滚动阻力系数的大小决定于路面状况，在柏油路上为0.014～0.015，在软土道路为0.3～0.4。在平坦好路上，克服路面变形和胎面与路面摩擦所耗用的能量仅占整个耗用能量的10～15%，在软土道路上能量主要消耗在土壤变形上。不同路面条件下的滚动阻力系数载于表1-1-14。

当轮胎载荷和车轮扭矩增大时，轮胎径向变形和周向变形加大，滚动阻力也会增加，特别是周向变形影响更大，如子午线结构轮胎虽然径向变形较大，但周向刚性大，要比斜交结构滚动损失小。

在低速范围内轮胎滚动速度的增加对滚动阻力影响较小，但在高速时（如100km/h以上），滚动阻力的增加非常明显，当滚动速度高于轮胎径向变形在其周围上的分布速度时，

表 1-1-14 路面条件对滚动阻力的影响[3]

| 路面状况 | 滚动阻力系数 | 路面状况 | 滚动阻力系数 |
|---|---|---|---|
| 柏油路 | | 沙质路 | |
| 最佳路面 | 0.015～0.018 | 干沙 | 0.100～0.450 |
| 一般路面 | 0.018～0.020 | 湿沙 | 0.060～0.150 |
| 良好碎石路 | 0.020～0.025 | 荒土地 | |
| 碎石路 | | 干荒地 | 0.040～0.060 |
| 良好路面 | 0.025～0.030 | 黏性地 | 0.100～0.200 |
| 一般路面 | 0.035～0.050 | 流动地 | 0.200～0.300 |
| 软土路 | | 冰地 | 0.015～0.030 |
| 干燥路面 | 0.025～0.035 | 雪地 | 0.030～0.050 |
| 雨后路面 | 0.050～0.150 | | |

在胎面转入接地面部分产生驻波，经受冲击负荷，胎体升温过高，轮胎材料应力过大，致使轮胎损坏（大部分是因胎面脱空而报废的）。轮胎滚动速度提高到产生驻波时，称为临界速度，轮胎临界速度$V$依下式计算：

$$V=\sqrt{\frac{P(R_c^2-R_0^2)}{2R_cq}}\,\mathrm{tg}\beta \qquad (1\text{-}1\text{-}10)$$

式中 $P$——轮胎气压；

$\beta$——帘线角度；

$R_c$——胎里半径；

$R_0$——零点半径；

$q$——胎面单位面积上的橡胶质量。

由式（1-1-10）可知，胎面质量愈低，内压愈高，帘线角愈大，轮胎的临界速度也愈高。

在高速下（100～150km/h）轮胎滚动阻力系数$f$可以用经验公式(1-1-11）近似计算。

$$f=f_0\left(1+\frac{v^2}{20000}\right) \qquad (1\text{-}1\text{-}11)$$

式中 $f_0$——低速时滚动阻力系数；

$v$——高速速度，km/h。

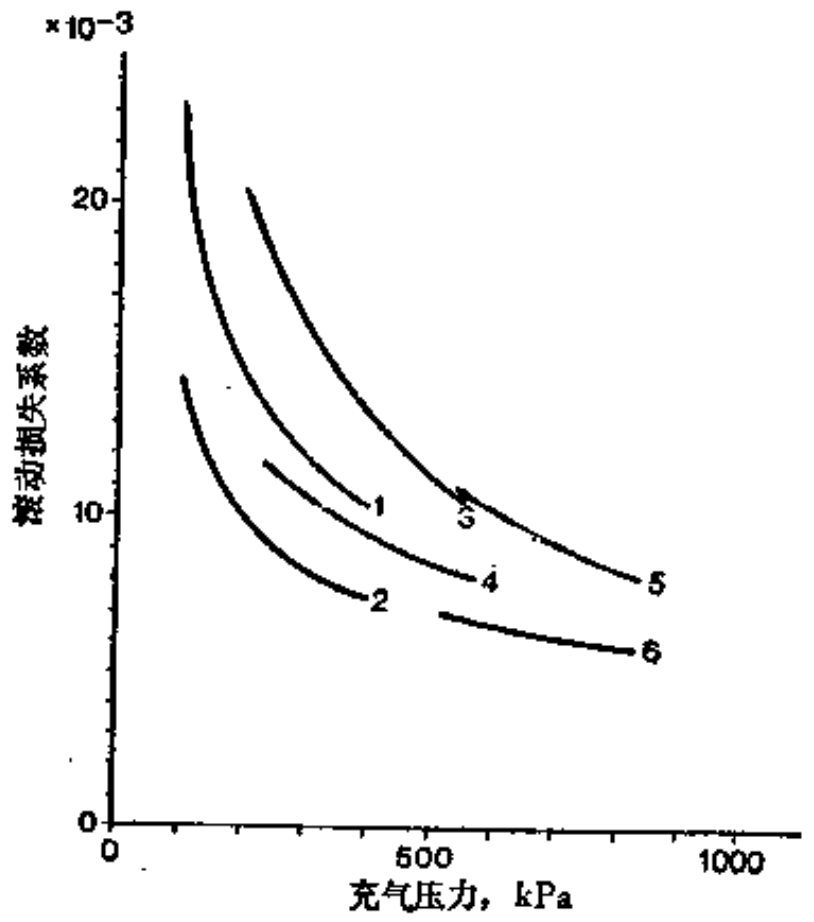



图 1-1-33 子午胎和斜交胎滚动损失对比

1—5kN负荷时G-78-15轮胎；2—6kN负荷时215R15轮胎；3—8.7kN负荷时7.50-16轮胎；4—8.7kN负荷时7.50R16轮胎；5—20kN负荷时10.00-20轮胎；6—20kN负荷时11R22.5轮胎

从轮胎结构参数来说，影响滚动损失的主要有轮胎类型，胎面结构和扁平率等。轮胎类型对其滚动损失的影响比较大，如图1-1-33所示，子午线轮胎的滚动损失显著低于斜交轮胎[5]。在软土道路上通过时，采用 断面的调压轮胎等措施，可降低滚动损失。

轮胎胎面结构参数对滚动损失起很大的作用。减小胎面厚度，尤其是两肩部厚度，减小胎面拱度、花纹构深度和减少花纹块分散程度都能够改善滚动损失指标。试验表明，胎面胶厚度每减小1mm，轿车胎滚动损失减少1%，载重胎减少3%。胎肩部厚度从14mm减小到10mm时，轮胎滚动损失可减少7%。

轮胎帘线角度愈大，则径向刚性愈大，滚动阻力愈小。当帘线角从30°增大到55°时，滚

动阻力要降低5～10%。

采用不同材质制造的轮胎对比试验表明：轮胎全部采用合成橡胶时其滚动阻力要比全部采用天然橡胶轮胎的滚动阻力大，增大量甚至达50%。提高帘布胶的刚性，加大胎面胶硬度能减小滚动阻力，通常能减少5～10%。

轮胎气压对其滚动阻力系数的影响见图1-1-34[6]。提高内压在软土道路上会加大滚动阻力，相反在硬路面上能减小滚动阻力。由图中不难看出，在软土中轮胎气压降低到一定程度以下时，不仅土壤变形，而且轮胎也要变形，滚动阻力反而增大。

不同速度等级的轮胎适于不同速度条件下使用。否则，高速轮胎在低速时使用，滚动损失反而高于低速轮胎。当然，低速轮胎在高速下行驶，滚动损失显著增大。图1-1-35表明了欧洲正常速度（S级）、高速（H级）和超高速（V级）3种类型轮胎的滚动损失规律。通常，轮胎滚动损失发生急剧变化是在行驶速度为90～130km/h之间，低于这种速度时行驶速度变化对滚动损失影响很小，高于这个范围时每增速1km/h，对S级轮胎来说滚动损失增加0.33N，对H级轮胎增加0.20N，而对V级轮胎仅增加0.09N。这些变化规律是由于轮胎结构类型和设计特点（如高宽比，胎面重量和胎体刚度等）的不同而造成的。

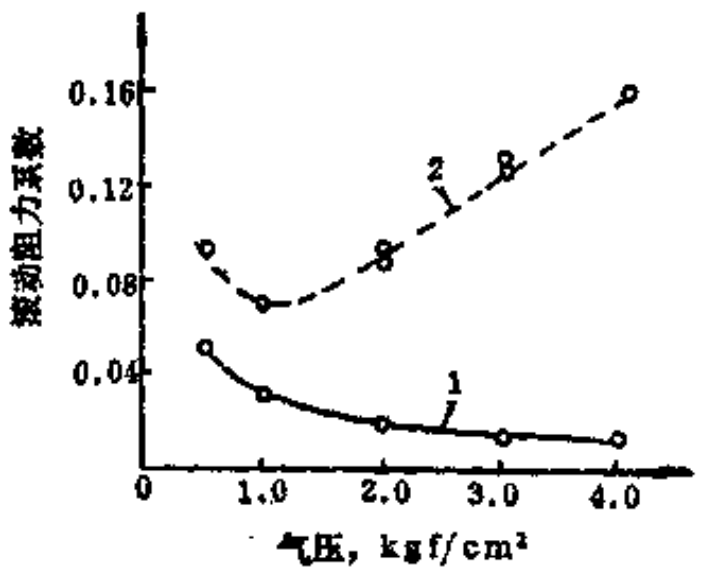



图 1-1-34 轮胎气压对其滚动阻力系数的影响

1—柏油路；2—软土路

(1kgf/cm²=9.80665×10⁴Pa)

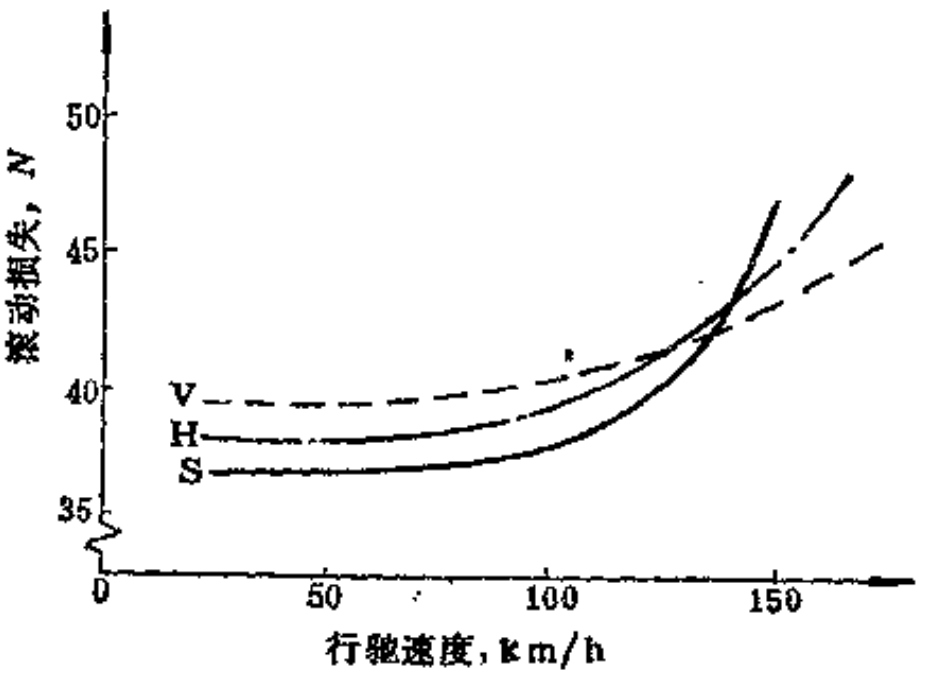



图 1-1-35 轿车轮胎滚动损失变化规律

轮胎载荷为3.3kN；充气压力为200kPa；V——P205/50VR15；H——P180/65HR390；S——P165/75SR13

## 七、轮胎经济性

轮胎使用性能的主要指标之一就是经济性。轮胎经济性应当以运输每吨·公里货物所需的轮胎消耗（$A$）为评价基础。

$$A=\frac{Z}{QS}+\frac{W}{Q} \tag{1-1-12}$$

式中 $Z$——轮胎价格（包括翻新费用）；

$Q$——轮胎载重；

$S$——轮胎行驶里程（包括翻新里程）；

$W$——轮胎行驶1km所消耗的油价。

轮胎经济性决定于制造和使用二方面的消耗指标。降低轮胎制造上的原材料消耗是提高轮胎经济性的重要途径。降低材料消耗不仅可减小轮胎成本，还能够减轻轮胎重量，以改善

汽车性能。

降低成本和减轻重量主要靠改善结构参数和缩小轮胎尺寸来达到，在这方面经常以使用高强力帘线和减少帘布层的方法解决。例如轮胎从使用人造丝过渡到尼龙线后，可少用10～15%橡胶和30%帘布。此外，由于尼龙帘线具有耐冲击和使用寿命长等优点，也能够改善轮胎经济性。当前，各国轮胎工业正在研究采用高强力较粗的尼龙帘线制造轮胎，这将对改善经济性有很大的作用。

按照汽车生产现状，我国9.00-20轮胎使用载荷基本相同，但几种轮胎的 原材料 消耗却不同。由表1-1-15可知，当轮胎行驶量程和载重量相同时，第四种 6 层尼龙轮胎的经济性是最佳的。如能在短期内将6.00 T 轮辋全部更换为7.0标准轮辋时，轮胎经济指 标会有 很大改善。按照轮胎设计规范、8层尼龙轮胎属于14层级、6层尼龙轮胎属于12层级，以14层级轮胎做12层级使用浪费很大。

表 1-1-15　不同9.00-20国产轮胎原材料消耗对比

| 轮胎特征 | 负荷标准 kgf | 生胶消耗 kg | 炭黑消耗 kg | 帘布消耗 kg |
|---|---|---|---|---|
| 6.00T轮辋上 6层尼龙 | 2050 12PR | 19.428 | 8.806 | 3.236 |
| 7.0轮辋上 8层尼龙 | 2250 14PR | 20.134 | 8.808 | 3.645 |
| 6.00T轮辋上 8层尼龙 | 2250 14PR | 21.552 | 9.834 | 4.036 |
| 7.0轮辋上 6层尼龙 | 2050 12PR | ～19.000 | ～8.000 | ～2.500 |

进一步改善现有轮胎的结构参数和研制新型轮胎，如采用宽断面轮胎、子午线轮胎和无内胎轮胎等都将显著提高轮胎经济性。

合理选用轮胎品种也是提高轮胎经济性的重要途径。我国由于地域辽阔，路面气候自然条件不一，对轮胎的要求也不同。一般规定不同条件使用不同种类轮胎，如同一规格载重轮胎生产 3 个层级（载荷标志），胎面花纹有普通、加深和越野 3 种区别，以适 应不同 使用条件下不同车辆的需要。如在胎面磨耗快的山区，应使用耐磨的加深或超深花纹的轮胎；在路面好、速度快的条件下应装配普通花纹的生热低、高节能的尼龙轮胎和子午线轮胎；但在城市公共汽车和轻型卡车上应选用细缝型的曲折花纹轮胎，以满足起动快、制动灵活和乘坐舒适的要求。由此可知，合理选用轮胎品种能充分发挥轮胎性能，从而创造出新的经济效果。所以开发轮胎新品种、新花纹的任务迫在眉睫。

## 第三节　轮胎的应力和变形

自从1888年英国的Dunlop发明空心轮胎以来，人们对于轮胎 已经习以为常，似乎轮胎理论早已解决，其实不然，由于轮胎力学理论十分复杂，几十年来轮胎设计一直未能采用严格的科学基础和精确的理论计算。

直到本世纪 50 到 60 年代，才相继发表了大量的文献，研 究和探讨轮胎力学问题。 第

一篇较为系统的论述是美国R. Hadekel 于1952年发表的，随后有英国的E. C. Woods,美国的W. E. Borton, 苏联的B. Л. Бидерман, 捷克的 A. Mares, 日本的 赤 板　隆，美 国的 J. F. Purdy, 德国F. Böhm, 美国S. K. Clark , 德 国 F. Frank 和 W. Hofferberth，苏联 Б. Л. Бухин，美国R. A. Ridha以及德国W. F. Kern 等人的文章。到七十年代，轮胎力学文章集中发表在《轮胎科学与工艺》(TSTCA) 不定期杂志上，近年来有很多轮 胎力学方面的研究成果在每年一度的国际橡胶会议上发表。

## 一、轮胎内压载荷情况

轮胎内压载荷情况主要决定于胎体帘布层的帘线结构和配置角度等。由于胎体帘线和橡胶的刚性相差很大，则胎体具有很大的各向异性性能。因此，当各层帘线角度变化时帘线不易变形，而橡胶则容易变形。

在内压作用下初期轮胎形状和尺寸变化较大，当内压稍大以后（一般在50kPa左右）轮胎尺寸变化显著减小，再继续提高内压时轮胎尺寸几乎不变。轮胎形状在充气初期变化较大的原因，是由于帘线角度改变和橡胶变形造成的。当继续充气轮胎尺寸不变时，内压载荷几乎全部由帘线承担，橡胶承担载荷则很小。轮胎内压载荷全部由帘线承担时的形状称为平衡形状，通常平衡状态下的轮胎内腔容积最大。

轮胎各部件橡胶的初始变形决定于充气轮胎与模型轮廓的差别大小，主要取决于帘线角度的变化。如果帘线是不伸张的、帘线角度变化不大时，橡胶—帘线层的子午向和周围向的变形$\varepsilon_m$和$\varepsilon_t$依式(1-1-13)求得。

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_m &= -\theta \mathrm{tg}\beta \\ \varepsilon_t &= \theta \mathrm{ctg}\beta\end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}1\text{-}13)$$

式中　$\theta$——变形时帘线旋转角；

$\beta$ ——变形前帘线初始角。

一般轮胎在充气时断面形状曲率变化不大，胎体各部分主要承受薄膜变形应力，因此轮胎表面胶和层间胶的子午向和圆周向的变形几乎相同，其平均线型变形按式(1-1-13)计算。由式可知，如轮胎在内压作用下外直径增大，则轮胎各部分橡胶在子午线方向压缩，而在圆周方向伸张，反之则相反。

如变形$\varepsilon_m$和$\varepsilon_t$不同，将产生剪切变形$\gamma$，表面胶和层间胶的内压剪切变形是线型的，依式(1-1-14)求出。

$$\gamma = (\varepsilon_m - \varepsilon_t)\sin 2\beta \qquad (1\text{-}1\text{-}14)$$

由式(1-1-13)和式(1-1-14)可知，表面胶和层间胶的剪切变形等于变形时帘线旋转角的两倍。

布层上帘线间橡胶的变形量显著高于布层平均变形。试验表明，布层上橡胶变形等于式（1-1-13）和式（1-1-14）布层平均变形与$t/(t-d)$之乘积（$t$为帘线间距，$d$为帘线直径)。

轮胎内表面的油皮胶和无内胎密封层在轮胎充气时承受压缩变形。轮胎内压平衡状态时帘线所受的应力是轮胎实际设计中计算胎体强度的主要依据，轮胎充气平衡形状及其应力计算公式都是从下面两个基本方程推导而出。

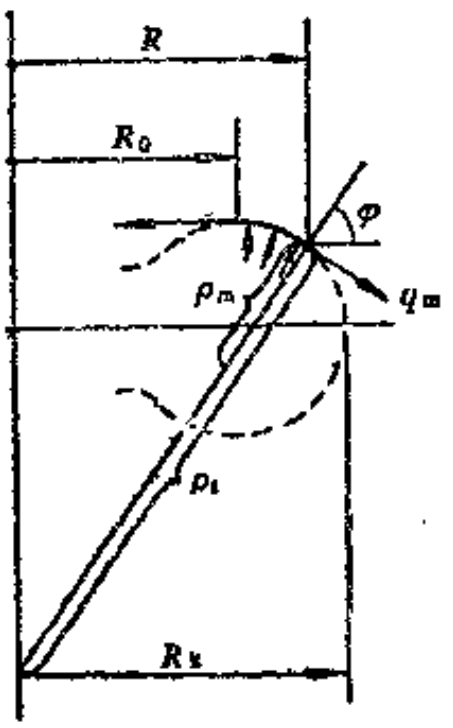



图 1-1-36 轮胎内压应力平衡方程

$$\frac{q_m}{\rho_m}+\frac{q_t}{\rho_t}=P \qquad (1\text{-}1\text{-}15)$$

$$q_m=P\frac{R_k^2-R_0^2}{2R_k\cos\phi} \qquad (1\text{-}1\text{-}16)$$

式中 $q_m$——轮胎子午方向应力；

$q_t$——轮胎圆周方向应力；

$\rho_m$——轮胎子午方向曲率半径；

$\rho_t$——轮胎圆周方向曲率半径，$\rho_t=\frac{R}{\cos\phi}$；

$\phi$——轮胎表面垂线与断面对称轴夹角；

$P$——轮胎充气压力；

$R_k$——轮胎胎里半径；

$R_0$——轮胎零点半径。

图1-1-36为轮胎内压应力平衡方程示意图。

轮胎帘线内压应力通常以胎冠部为最大，(有缓冲布层的轮胎，则以缓冲层边缘为最大)，然后从胎冠部经过胎侧部向胎圈部逐渐缩小。一般地，小规格轮胎每根帘线应力为7.8N(0.8kgf)左右，最高为9.8N(1kgf)，大规格轮胎帘线内压应力可达到19.6N(2kgf)以上。

轮胎帘线角度对其内压应力影响很大。帘线角愈大，胎体帘线内压应力愈大，但胎圈应力则相反，帘线角愈大时胎圈内压应力愈小。通常，胎体帘线内压应力值同帘线角平方的余弦成反比。

## 二、轮胎滚动时径向力载荷

### (一) 帘线变形

轮胎在径向负荷下滚动时，帘线承受附加的（内压载荷以外）循环变形。附加变形规律如图1-1-37[2]所示，由于轮胎在径向负荷下屈挠，使其内外层帘线变形性质不同，特别是在印迹区影响最大，而在旋转轮胎的上部几乎无屈挠，内外层帘线变形性质则相同。

在胎冠中部的接地印迹面中心帘线的附加变形是伸张的，但在印迹面出入边缘帘线的附加变形是很小的压缩，约为0.5%压缩变形。行驶面内层帘线的附加伸张为0.3～1.5%。胎侧部内层帘线的附加伸张不大，但有内压初始应力造成的附加压缩，载重轮胎胎侧部内层帘线的附加压缩变形为1.5～2.0%，而轿车轮胎可达4～5%。因此，根据变形数值就可算出各部帘线受力状况。

轮胎负荷、气压和滚动速度的不同对帘线变形的大小影响也不同。当轮胎负荷增大时帘线压缩变形增大，可能使轮胎破损。提高内压能使帘线伸张变形增大，可能使胎冠爆破，相反地降低内压使帘线压缩变形增大，可能使胎体脱空。在高速滚动时，特别在临界速度下帘线变形性质和变形幅度显著变化，破坏了上述变形规律。

帘线变形大小同样还受轮胎结构参数和所使用材料性能的影响。当帘线硬性增大时，轮胎受集中负荷作用的帘线伸长率减小，但其应力增大。随着帘线胶硬性的增大，帘线的变形也增大。在集中负荷作用下，增加帘布层含胶率能减小内层帘线的伸张。帘线最大压缩变形产生在胎冠帘线角为15～20°轮胎上。人造丝帘线的受力疲劳性能低于尼龙和聚脂帘线。当

受力不大时尼龙帘线的疲劳性能高于聚脂帘线，而当受力较大时聚脂帘线的疲劳性能高于尼龙帘线。

### （二）橡胶变形

轮胎帘线胶的子午方向和圆周方向变形以及剪切变形规律如图1-1-38[2]所示。子午方向伸张与圆周方向压缩相对应，在胎侧部两者变形在一个旋转过程中对应变化二次。

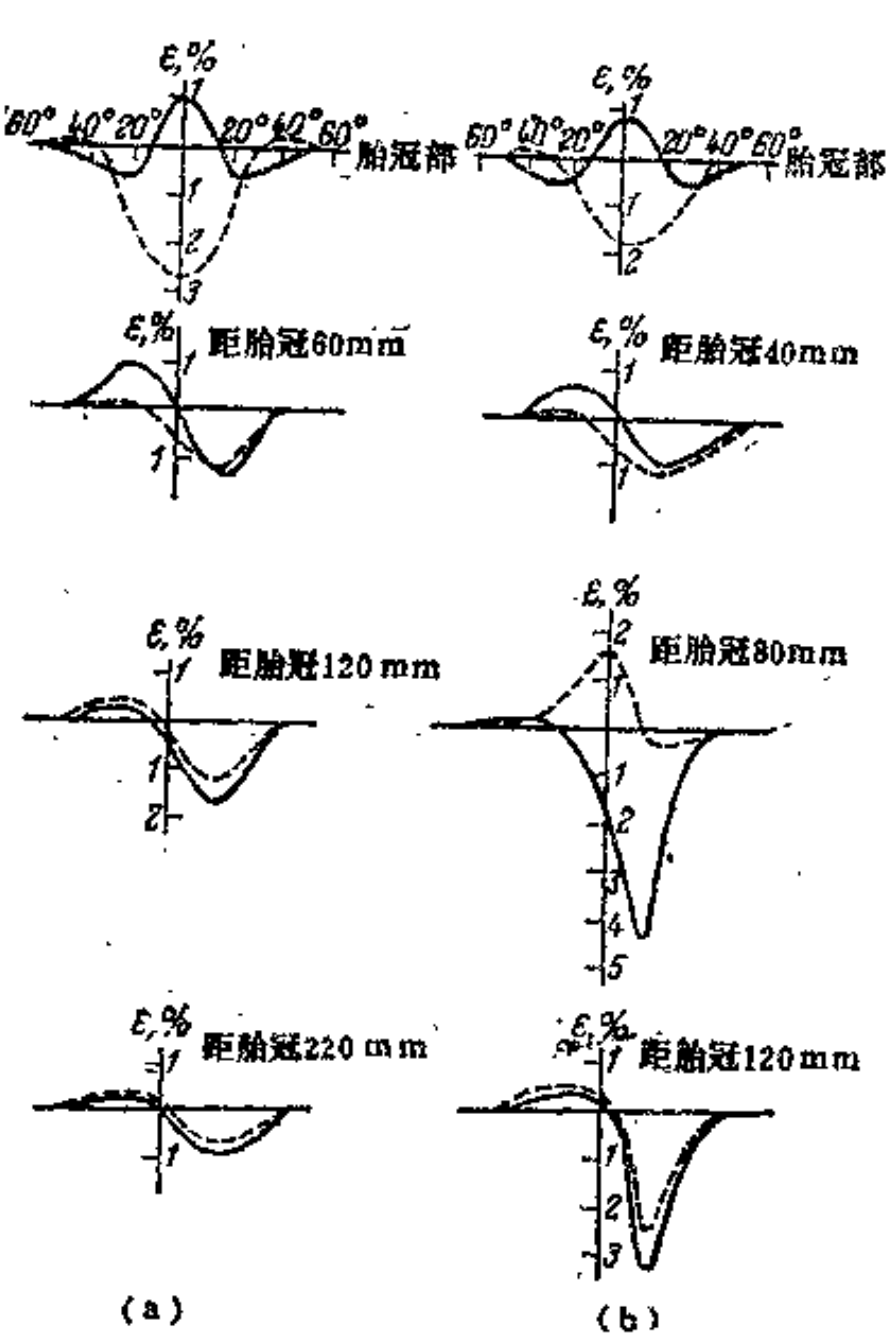



图 1-1-37 轮胎不同点帘线变形规律
（a）载重轮胎；（b）轿车轮胎
（虚线为外层帘线；实线为内层帘线）

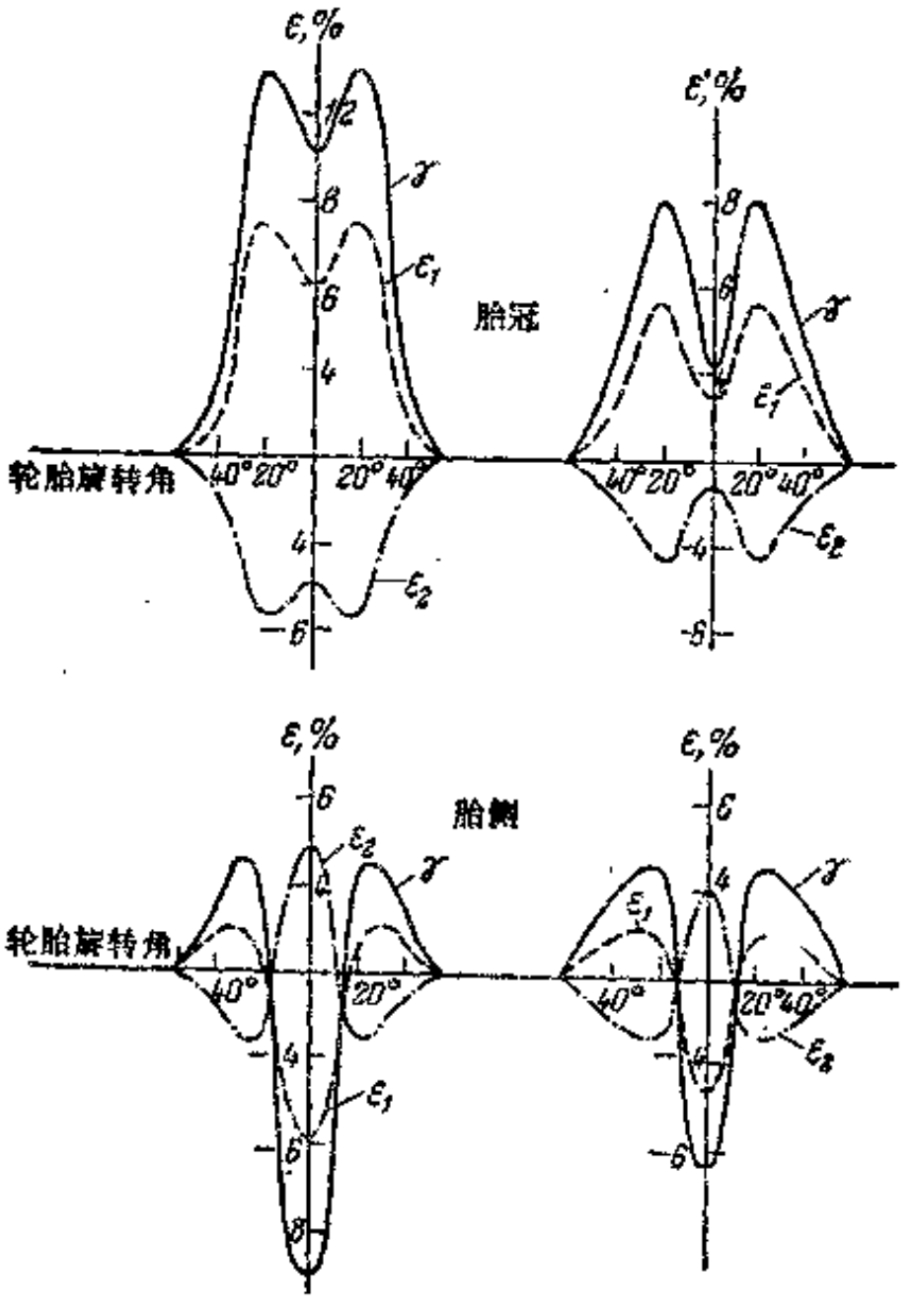



图 1-1-38 帘布胶变形规律
（a）轿车轮胎；（b）载重轮胎；
$\varepsilon_1$——子午方向变形；$\varepsilon_2$——圆周方向变形；
$\gamma$——剪切变形

帘布层之间隔离胶主要承受剪切变形，最大剪切变形位于缓冲层部位，其数值可达20～25%，如图1-1-39所示。随着充气压力的增加，隔离胶的剪切力也增大。当胎面压缩时剪切力显著增大，通常在缓冲层部位达到最高值，使胎面脱空损坏。

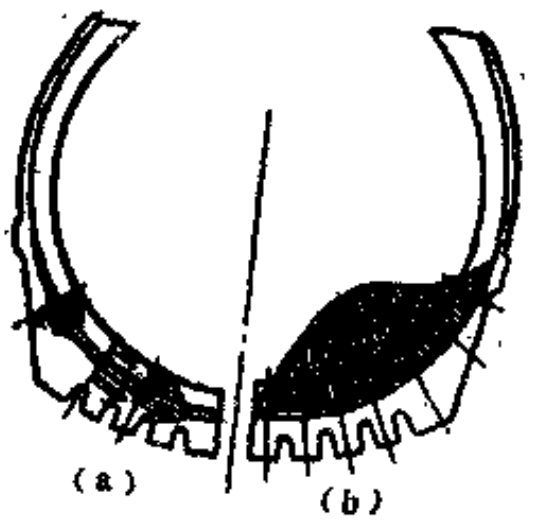



图 1-1-39 隔离胶和缓冲胶的剪切变形
（a）胎体厚度各点变形分布；（b）胎体断面各点变形分布

胎面花纹的变形与基部橡胶的变形相反：胎面花纹主要承受接触压力的压缩变形，剪切变形不大；而基部橡胶既承受胎面花纹的法向应力又同时随着帘布层变形。在载重轮胎上基

部胶承受较大的接触压力，而在轿车轮胎上所承受的接触压力很小，但随帘布层变形很大。

胎侧胶的最大变形区在胎侧最大屈挠部位，在子午方向伸张，在圆周方向压缩。增厚胎侧胶不影响圆周方向变形，但对子午方向变形影响很大。胎侧胶本身硬度愈大，其应力也愈大。

## 三、轮胎的侧向力

轮胎在侧向力作用下产生横向变形，接地印迹形状由正常椭圆形变成偏圆形。如果轮胎对地面附着力不够时，侧向力会造成轮胎侧滑，偏离行驶中心线，破坏车辆行驶稳定性。轮胎在径向力和侧向力作用下产生复杂的形变，使轮胎断面非对称受力，快速破损或偏磨损伤，同时胎圈部也附加了很大应力。

轮胎侧向变形值决定于轮胎结构、负荷大小、气压高低、轮胎与路面附着系数等。轮胎宽度与轮辋宽度之比愈大、帘布层愈薄、帘线角度愈小、胎面花纹分散程度愈细、胎面拱度愈小、充气压力愈低、附着系数愈高以及侧向力愈大时，则轮胎的侧向变形愈大。在侧向力作用下，侧向变形所引起的侧向位移值的大小，主要决定于胎面曲率半径、轮胎扁平程度、法向负荷及其相应内压等。

总之，从轮胎本身来讲，影响侧向力作用的主要因素是胎体和胎面的刚性。非滚动轮胎在外界侧向力的作用下，由于胎面与路面有附着力，造成轮胎下部（印迹部位）侧向变形，而轮胎上部（印迹部位以外）几乎不变(图1-1-40(a))。受侧向力滚动轮胎的变形如图1-1-40(b)所示，印迹部位的胎体侧向变形为$A'A$，侧向偏移为$E$，如果胎体刚性愈大，则偏移$E$愈小。由于胎面胶有弹性，增加的侧向变形$EB$，如果胎面刚性增大，则其侧向变形减小。因此轮胎在侧向力作用下，变形中心线移偏为$ABD$(图1-1-40(c))，产生侧滑角$\alpha$，改变原有前进行驶方向。

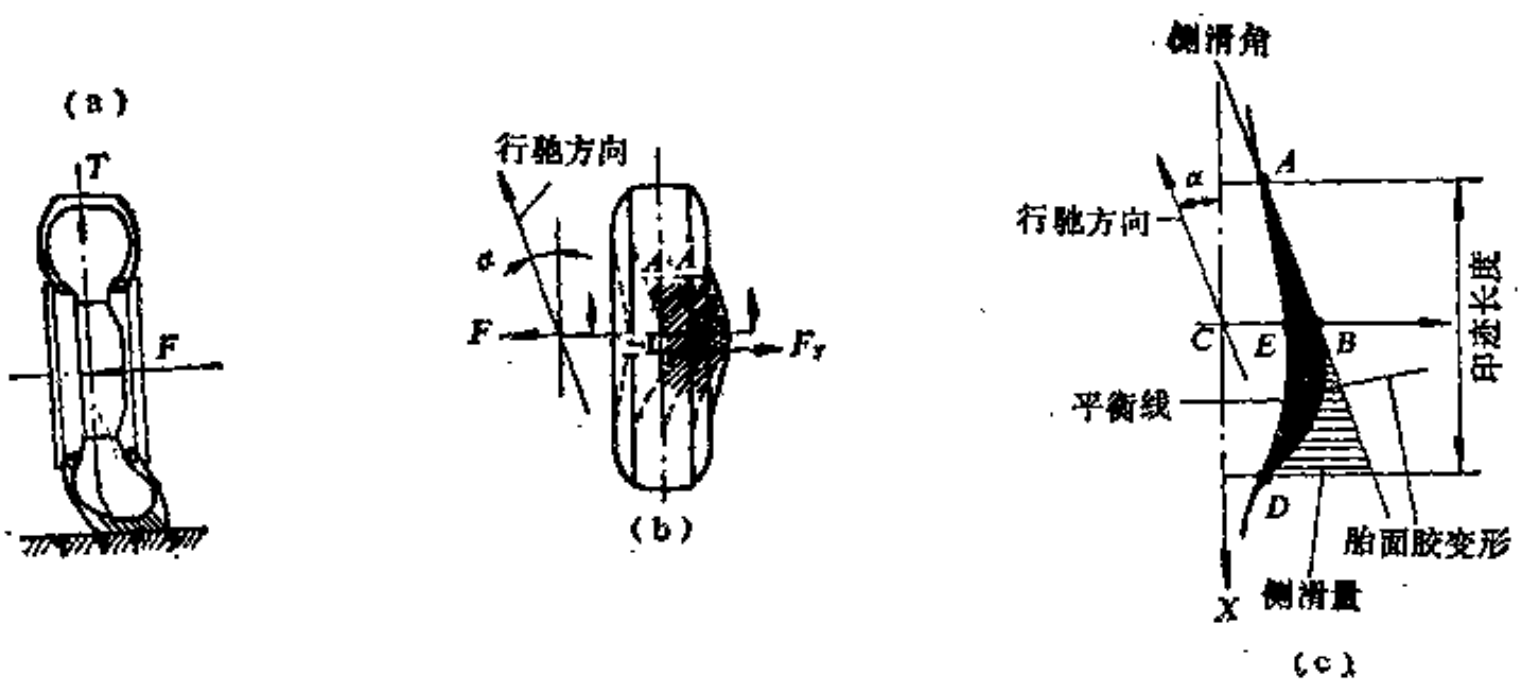



图 1-1-40　外界侧向力造成的轮胎侧向变形

## 四、子午线轮胎的应力和变形

子午线轮胎的胎体帘布层帘线排列角度为0°，在内压作用下直径趋于增大，但由于有帘线角接近于周向的带束层箍制着胎体，使轮胎外径几乎保持不变，所以带束层决定着子午线轮胎的整体形状和应力分布。例如，在载重轮胎上子午线结构的带束层承受60～75%内压

应力，而斜交结构的帘布层承担80～90%内压应力，可见子午线轮胎的带束层作用是很大的。

斜交轮胎帘布层帘线的内压初始应力在胎冠部达到最大值，然后从胎冠部逐渐降低到胎圈部为最小值。但是子午线轮胎胎体帘线内压应力在其断面各点上都相等，所以其胎圈部内压应力高于斜交轮胎，通常要高出30～40%，而在径向负荷下滚动时附加的胎圈部应力则小于斜交轮胎。

由于子午线轮胎带束层承担大部分内压应力，而且帘布层内压应力在断面各点上分布又很均匀，则胎体帘布层内压应力要比斜交轮胎低得多，所需要的帘布层数要比斜交轮胎少。例如，9.00R20纤维子午线轮胎只需要4～6层人造丝帘布就能够满足要求，若使用钢丝帘布时则只需要一层帘布。

大型子午线轮胎的带束层一般采用几层钢丝帘布制造，小型轮胎只采用两层钢丝帘布或多层人造丝带束层。同时，因为带束层帘线角度大，在圆周方向上几乎不伸张，所以子午线轮胎的胎冠部比斜交轮胎强硬而坚实，带束层承受着较大的内压应力以及路面冲击所造成的集中应力。为了提高带束层质量，除采用足够强度的钢丝绳以外，还必须使带束层断面形状比较平坦，因此在帘布层与带束层两边缘之间增加三角形胎肩垫胶，并在钢丝端点间增添防变形的隔离胶。

子午线轮胎由于胎圈部应力大，帘线角度小，帘布层数少，径向变形大，容易造成胎圈部损坏。为了加强胎圈部结构常使用胎圈布条和复合胶芯，以减小胎圈部应力变形。胎圈部钢丝圈结构以圆断面的强度为最高，六角形结构次之，方断面钢丝圈强度最低。

由于子午线轮胎帘线角度小，径向变形大，胎侧部经受复杂变形，所以胎侧胶受到径向和周向的二向伸张力，而在胎肩和胎圈又受到两向压缩力。子午线轮胎的胎侧部橡胶最大应力要比斜交轮胎高出一倍以上，常常会引起胎侧胶裂口，严重者顺着帘线裂透帘布层。

子午线轮胎与斜交轮胎相比较，由于应力变形不同，轮胎形状变化两者也有很大差别（如图1-1-41所示）。通常，轮胎标准规定两种结构轮胎充气外缘尺寸相同。斜交轮胎在充气时要求外直径收缩一些，以提高胎面耐磨性，因此斜交轮胎的原始模型尺寸比充气尺寸大，而断面宽度要比充气尺寸小。但是，子午线轮胎由于有周向不伸张的带束层紧箍着胎体，则其原始模型尺寸与充气尺寸相接近，几乎相等。

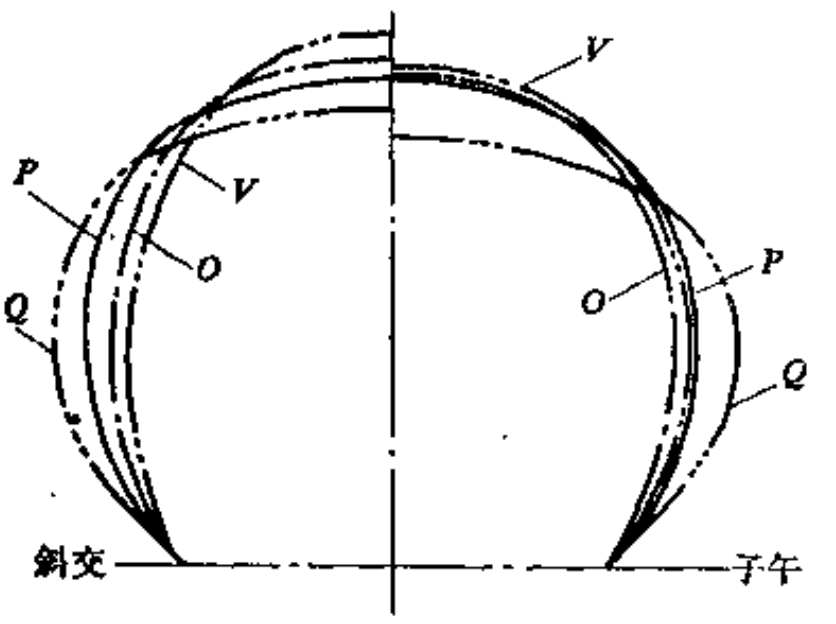



图 1-1-41　子午线轮胎和斜交轮胎的变形对比
（a）斜交轮胎变形；（b）子午线轮胎变形
*P*——充气形状；*O*——模型形状；
*Q*——负荷下的变形；*V*——高速状态

子午线轮胎负荷变形大于斜交轮胎。载重汽车轮胎斜交结构在标准负荷及其相应气压下的压缩系数为10～12%，而子午线结构则为14～15%，即比斜交结构变形约大30%。因为子午线轮胎下沉量大，则负荷断面宽大于斜交轮胎，静半径要小于斜交轮胎。但是，子午线轮胎因有不伸张的带束层而圆周变形小，虽然径向变形大，然而轮胎滚动半径却比斜交轮胎大。

在高速行驶时由于离心力作用，斜交轮胎的外直径显著增大，相应地断面宽缩小，甚至

外直径比模型尺寸大得多，而断面宽比模型尺寸小得多，这样的轮胎在高速时很快会损坏。但是子午线轮胎有坚固的钢丝带束层箍紧着胎体，在高速旋转时外直径增加很少，断面宽稍许减小，轮胎的形状与尺寸变化不大，能适应高速使用。

## 第四节　轮胎应力分析和测量方法

当前，在轮胎理论上采用各种力学分析方法和实际测量手段来研究轮胎各部应力与变形规律。但在实际轮胎设计上所使用的计算方法仍然是早期的网状、薄膜、薄壳理论公式。为了深入研究轮胎性能，许多理论工作者正致力于用有限元分析方法研究轮胎力学，同时以各种可行的轮胎测量方法来验证理论分析的正确程度。本节概述轮胎各种应力的分析和测量方法[7]。

### 一、轮胎应力分析方法

#### （一）网状分析法

假如充气轮胎的内压仅由骨架材料帘线来承担，则轮胎的应力分析是可以简化的，此时受力网变成一个平衡状态，其平衡形状取决于帘线排列方向和弹性性能以及内压大小。如果帘线是不伸张的，充气形状与内压大小无关。这种网状分析法包括计算轮胎径向力和周向力，并确立以内轮廓顶点为原点的径向和轴向座标描述的轮胎形状。

网状结构的轮胎在内压作用下，其单元部分的应力应变根据应力＝曲率半径×内压的原理，有式（1-1-15）和式（1-1-16）两个方程式。网状帘线在轮胎不同点上的排列角度基本上符合如下正弦原理：

$$\frac{r}{r_k}=\frac{\sin\beta}{\sin\beta_k} \tag{1-1-17}$$

式中　$r$——轮胎计算点半径；

$r_k$——轮胎胎冠点半径；

$\beta$——轮胎计算点帘线角度；

$\beta_k$——轮胎胎冠点帘线角度。

利用式（1-1-15）、式（1-1-16）和式（1-1-17）三个方程推导出轮胎形状的两个主曲率半径公式：

$$\rho=\frac{r_k(r_k^2-r_0^2)(r_k^2-r^2\sin^2\beta_k)^{1/2}\cos\beta_k}{2r(r_k^2-r^2\sin\beta_k)-r(r^2-r_0^2)\sin\beta_k} \tag{1-1-18}$$

$$\rho_1=\frac{rr_k(r_k^2-r_0^2)\cos\beta_k}{(r^2-r_0^2)(r_k^2-r^2\sin^2\beta_k)^{1/2}} \tag{1-1-19}$$

网状分析同样可用于计算帘线的充气张力：

$$T=\frac{\rho\pi r_k^2(r_k^2-r_0^2)\cos\beta_k}{N(r_k^2-r^2\sin^2\beta_k)} \tag{1-1-20}$$

式中$T$为帘线内压张力，$N$为轮胎中的帘线根数。对于子午线轮胎来讲，$\beta_k=0$，则上式为：

$$T=\frac{\rho\pi}{N}(r_k^2-r_0^2) \tag{1-1-21}$$

网状分析中的一些限制假定是比较容易取消的，如帘线伸长就可以包括在正弦原理方程

中。因此式(1-1-18)、(1-1-19)、(1-1-20) 3 个方程式综述了充气压力和帘线性能对其形状和应力的影响。但是，网状分析法没有包括帘线外附橡胶的非弹性因素，忽略了胎圈部和多层轮胎对屈挠变形的影响。网状分析法较成功地应用于薄壳轮胎的实践中，能近似地计算轮胎形状和应力。如若更详尽地分析研究轮胎性能，如计算子午线轮胎带束层或分析非椭圆形轮胎时，则需要更完善的分析方法。

**（二）薄膜分析法**

薄膜分析包括橡胶矩阵作用，因此要比网状分析更接近轮胎实际情况。然而这种分析法仍然忽略了薄壳变形的弯曲影响，并且假设载荷是由帘线—橡胶的薄膜层伸张来支承的。

线性薄膜分析的几何与平衡关系式都和网状分析的各分析式相同。假如断面是椭圆形的，则薄膜的曲率半径和帘线张力仍然由式 (1-1-18)～式 (1-1-20) 确定。所以，线性薄膜分析并未超出网状分析的优越性，这是由于这两种分析方法的计算函数都和材料弹性无关，而材料的弹性性能在分析结构中能反映出所包括的橡胶矩阵的作用。

但是，非线性薄膜分析可用于研究有关问题的非局部趋势。经典的非线性薄膜理论一直是用于计算薄膜充气形状（当已知未充气形状时）。非线性薄膜理论还是研究内胎已知未充气形状来计算充气变形的有限元分析基础。非线性薄膜理论在更全面地解决轮胎力学方面，不仅提供了有用的趋势，而且对综合薄壳弯曲刚度及其性能是必须的，特别是用印迹载荷来分析轮胎变形时更为需要。

但是，薄膜分析法在轮胎上的应用范围是有限的：

① 不能分析几何形状、材料性能和载荷的陡峭变化；

② 不能计算印迹范围内横向剪切变形的影响；

③ 不能予测重要的曲率变化部位和厚度突变部位的局部力。

**（三）薄壳分析法**

薄壳模型考虑了薄膜理论所忽视的弯曲影响，因此能反映出印迹面、胎圈部和曲率突然变化点的局部影响。薄壳理论的经典方法包括各种不同解法的完整表达式，可表达出与壳体尺寸和材料性能成函数关系的外荷作用下薄壳的应力和变形，但是大多数经典薄壳理论由于轮胎形状复杂、各部厚度不同、复合性能不均且其变形较大，不能直接应用于轮胎分析中。尽管在深入研究轮胎应力和变形的道路上还存在许多困难，然而薄壳理论仍然是能比薄膜理论更全面地解决轮胎问题的方法。

薄壳理论中，假设壳体厚度相对于壳体表面曲率半径来说是很微小的，变形位移相对于壳体尺寸来说也是很小的，壳体法向应力忽略不计。壳体厚度方向的截面在壳体变形的前后始终保持一个平面。

和网状分析一样，不同壳体单元所用的平衡式可根据沿单元轴向施加力和力矩推导求得。这些方程式可导出包括轴对称壳体的基本变量 $u$、$w$、$\omega_\phi$、$Q_\phi$、$N_\phi$、$M_\phi$ 的 6 个一阶方程：

$$\frac{1}{r_\phi}\frac{du}{d\phi}=\frac{N_\phi}{A_{11}}-\left(\frac{A_{12}\cos\phi}{A_{11}r}\right)u-\left(\frac{A_{12}}{A_{11}}\frac{\sin\phi}{r}+\frac{1}{r_\phi}\right)w \tag{1-1-22}$$

$$\frac{1}{r_\phi}\frac{d\omega_\phi}{d\phi}=\frac{1}{D_{11}}M_\phi-\left(\frac{D_{12}}{D_{11}}\frac{\cos\phi}{r}\right)\omega_\phi \tag{1-1-23}$$

$$\frac{1}{r_\phi}\frac{dQ_\phi}{d\phi}=\left(\frac{A_{12}}{A_{11}}\frac{\sin\phi}{r}+\frac{1}{r_\phi}\right)N_\phi-\frac{\cos\phi}{r}Q_\phi+\frac{\sin\phi\cos\phi}{r^2}\left(\frac{A_{11}A_{22}-A_{12}^2}{A_{11}}\right)u$$

$$+\left(\frac{\sin\phi}{r}\right)^2\left(\frac{A_{11}A_{22}-A_{12}^2}{A_{11}}\right)-q_n \tag{1-1-24}$$

$$\frac{1}{r_\phi}\frac{dM_\phi}{d\phi}=\frac{\cos\phi}{r}\left(\frac{D_{12}-D_{11}}{D_{11}}\right)M_\phi+Q_\phi+\left(\frac{\cos\phi}{r}\right)^2\left(\frac{D_{11}D_{22}-D_{12}^2}{D_{11}}\right)\omega_\phi \tag{1-1-25}$$

$$\frac{1}{r_\phi}\frac{dw}{d\phi}=\frac{1}{r_\phi}u-\omega_\phi \tag{1-1-26}$$

$$\frac{1}{r_\phi}\frac{dN_\phi}{d_\phi}=\frac{\cos\phi}{r}\left(\frac{A_{12}-A_{11}}{A_{11}}\right)N_\phi-\frac{1}{r_\phi}Q_\phi+\left(\frac{\cos\phi}{r}\right)^2\left(\frac{A_{11}A_{22}-A_{12}^2}{A_{11}}\right)u$$
$$+\left(\frac{\sin\phi\cos\phi}{r^2}\right)\left(\frac{A_{11}A_{22}-A_{12}^2}{A_{11}}\right)w-q_\phi \tag{1-1-27}$$

式中$q_n$和$q_\phi$为薄壳外部荷载，$u$为切向位移，$w$为法向位移，$\omega_\phi$为转角，$Q_\phi$为横向剪切力，$N_\phi$为薄膜力，$M_\phi$为弯曲力矩。$A_{ij}$和$D_{ij}$为轮胎胎体各叠层的刚度。

$$A_{ij}=\sum_{k=1}^{n_p}(Q_{ij})_k(h_{k+1}-h_k) \tag{1-1-28}$$

$$D_{ij}=\frac{1}{3}\sum_{k=1}^{n_p}(Q_{ij})_k(h_{k+1}^3-h_k^3) \tag{1-1-29}$$

$(Q_{ij})_k$为距离中间层为$h_k$的第$k$层的应力应变矩阵$Q$的单元。叠合层的力和力矩与其曲率和中间层应变的通用关系为：

$$\begin{Bmatrix}N_\phi\\N_\theta\\N_{\phi\theta}\\M_\phi\\M_\theta\\M_{\phi\theta}\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}A_{11}&A_{12}&A_{16}&B_{11}&B_{12}&B_{16}\\A_{21}&A_{22}&A_{26}&B_{21}&B_{22}&B_{26}\\A_{61}&A_{62}&A_{66}&B_{61}&B_{62}&B_{66}\\B_{11}&B_{21}&B_{15}&D_{11}&D_{12}&D_{18}\\B_{21}&B_{22}&B_{26}&D_{21}&D_{22}&D_{28}\\B_{61}&B_{62}&B_{66}&D_{61}&D_{62}&D_{68}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\varepsilon_\phi^0\\\varepsilon_\theta^0\\\gamma_{\phi\theta}^0\\K_\phi\\K_\theta\\K_{\phi\theta}\end{Bmatrix} \tag{1-1-30}$$

式中$\varepsilon_\phi^0$，$\varepsilon_\theta^0$，$\gamma_{\phi\theta}^0$为壳体中间面应变，$K_\phi$，$K_\theta$，$K_{\phi\theta}$为弯曲和扭转的变化。伸张的基本关系可由$A$矩阵提供，弯曲的基本关系可由$D$矩阵提供，而弯曲和伸张并存的基本关系可由$B$矩阵提供。

薄壳分析法仍存在许多缺欠。壳体变形前后截面保持不变的假设严格地分析是不正确的，因为不同层次变位是不同的。薄壳分析法来考虑轮胎变形时胎圈与轮辋接触而的应力影响，特别遗憾的是这种分析法只局限于分析充气状态和自由旋转的轮胎，不能分析其它载荷下的轮胎变形。

**（四）有限元分析法**

以有限元方法分析某种结构时，将所要分析的结构分解成许多以节点相联的单元模型。其设想是：每个单元模型的反应（荷载引起的应力或变形）都是已知的，整体结构反应以各单元反应结果累加而求得。在限定范围内，当每个单元的限值趋于零时，则单元模型和原有结构就成为相同的一体了。

目前，有限元分析已派生出很多方法，用在分析轮胎复杂结构上应力和变形的方法有恒定应变三角元和等参元二种较好的分析法。以薄膜和薄壳理论发展起来的膜元法和壳元法，

逐渐被三角元和等参元所取代。

1．恒定应变三角元

恒定应变三角元的基本特征就是它的形状简单，而且所描述的复杂几何形状不致于对精确的形状造成较大偏差，另外它的线性位移函数能简化单元性质的推导。图1-1-42所示的是圆环壳体单元的一部分，壳体的三角形剖面由 $i$、$j$、$k$ 3个结点所确定。

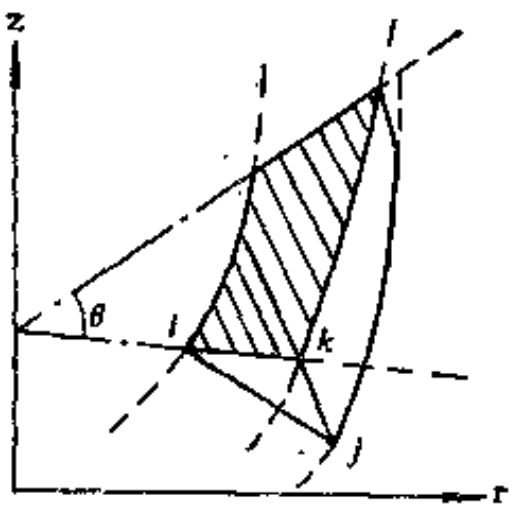



图 1-1-42　三角横断面的圆环有限元图

假如载荷是轴向对称的，且其材料是各向同性或是正交各向异性的，则$r-Z$平面上任一点的位移为：

$$u_r = b_1 + b_2 r + b_3 Z$$
$$u_Z = b_4 + b_5 r + b_6 Z \qquad (1\text{-}1\text{-}31)$$

式中，$u_r$为径向位移，$u_Z$为轴向位移，$b_1 \sim b_6$为待定系数，$r$ 为该点的径向座标，$Z$ 为轴向座标。当某单元与恒定单元变形相符时，线性位移的变分就是位移的一阶导数。由式（1-1-31）可知各节点的位移为：

$$\boldsymbol{u}_e = \begin{Vmatrix} u_r^i \\ u_r^j \\ u_r^k \\ u_z^i \\ u_z^j \\ u_z^k \end{Vmatrix} = \left\| \begin{matrix} 1 & r_i & z_i & 0 & 0 & 0 \\ 1 & r_j & z_j & 0 & 0 & 0 \\ 1 & r_k & z_k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & r_i & z_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 & r_j & z_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 & r_k & z_k \end{matrix} \right\| \begin{Vmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{Vmatrix} . \qquad (1\text{-}1\text{-}32)$$

式中黑体字母代表矩阵符号，位移分量的上角标代表计算点。转换式（1-1-32）右侧的方阵得：

$$b = h u_e$$

该式为待定系数$b$与节点位移$u_e$的关系。假如应变很小，可从式（1-1-33）求得：

$$\varepsilon_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r}$$
$$\varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z}$$
$$\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{u_r}{r} \qquad (1\text{-}1\text{-}33)$$
$$\varepsilon_{rz} = \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r}$$

将式（1-1-31）的各项位移进行微分得出应变$\varepsilon = g \cdot b$，式中$\varepsilon$为：

$$\varepsilon = \begin{Vmatrix} \varepsilon_{rr} \\ \varepsilon_{zz} \\ \varepsilon_{\theta\theta} \\ \varepsilon_{rz} \end{Vmatrix} \text{和} \quad g = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1/r & 1 & z/r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \qquad (1\text{-}1\text{-}34)$$

将$B$和$e$两式合并，则$\varepsilon=g\cdot h\cdot u_e$或为$B=g\cdot h$。$B$为应变--位移矩阵。变形能原理用单元刚度矩阵表示：

$$K=\int_v B^t\cdot C\cdot B\mathrm{d}v \tag{1-1-35}$$

式中$K$为单元刚度矩阵，$C$为应力应变矩阵，$v$为单元体积，矩阵符号上标$t$为该矩阵的转置。$K=h'\cdot S\cdot h$, $S=\int_v g'\cdot C\cdot g\mathrm{d}_v$。

对正回归线材料（如子午线方向层或成对斜交层），应力-应变矩阵$C$可写成：

$$\boldsymbol{C}=\begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} \end{vmatrix} \tag{1-1-36}$$

$g'\cdot C\cdot g$矩阵乘积为：

$$=\begin{vmatrix} \frac{1}{r^2}C_{33} & \frac{1}{r}(C_{13}+C_{55}) & \frac{z}{r^2}C_{38} & 0 & 0 & \frac{1}{r}C_{23} \\ & (C_{11}+2C_{13}+C_{33}) & \frac{z}{r}(C_{13}+C_{33}) & 0 & 0 & (C_{12}+C_{22}) \\ & & \frac{z^2}{r^2}(C_{33}+C_{44}) & 0 & C_{44} & \frac{z}{r}C_{23} \\ & & & 0 & 0 & 0 \\ & \text{对称的} & & & C_{44} & 0 \\ & & & & & C_{22} \end{vmatrix} \tag{1-1-37}$$

因此可对上述矩阵按单元体积量逐项积分来计算出矩阵$S$。根据矩阵$C$的函数$S$中的每一项和各节点座标，能很容易地求得闭合表达式。然而由于计算包括了大数字之间的很小差别（例如三角元的小尺寸相对于它的节点座标来讲），则计算机舍入误差对其结果就十分敏感。为避免这个问题，已推导出数值积分式，将三角元区域内和该区基准轴的不同力矩的计算转换成整体积分。

在数值积分中，函数$f(x)$的定积分是在积分相对于横座标$a_i$的范围内各特殊$f(a_i)$值的准确加权和的平均值。横座标可以是预先确定的，也可是非先确定的。高斯积分法是有界的，其离散点$a_i$都不是预先确定的，但离散点都是在积分区间的不同实数。加权值都是正数。

恒定应变三角元仍有一定的局限性：需要划分大量的密布网格；三角元的形状和方位会影响结果；忽略了非线性变化，未考虑弯曲-伸张因素。

2．等参元分析法

早期用于分析三维空间结构的有限元模型是在二维模型基础上扩展而成的四面体和矩形棱柱体。后来引入了等参六方元，使实际应用取得很大进展。六方元是通过假设的单元立方体变换取得的（图1-1-43），而任意曲体的六方体如图1-1-44所示。该位移函数以实际的坐标系$\xi$、$\eta$、$\zeta$来确定，每个坐标轴都和一对坐标值为$\pm1$的对应力相联结，这些坐标表明在母体六方元上的笛卡儿坐标。

在等参元中一般六面体的几何形状是由单元内决定位移的某些函数确定的。对以低次函数即可确定几何形状的轮胎结构来说，低参元有更多优点。轮胎任一部分的几何形状用二次

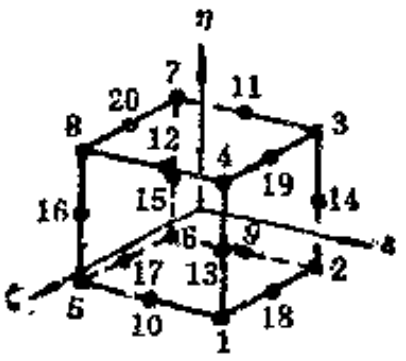



图 1-1-43　母体六方元




图 1-1-44　变形六面体

多项式就可充分表达。

等参元的曲线形式是二次曲线，其位移函数为五阶多项式。可用 3 点来确定象限线，故一个侧边中点必须靠边。8 个节点和12个侧边中点见图1-1-43。当该立方体变成曲线形式时，如图1-1-44所示，各节点仍保持在原来位置的母体立方体的坐标上，其笛卡儿坐标$XYZ$决定等参元的几何形状。

引入侧边中点目的只是为了确定几何形状。各未知位移量都有相应的节点。有12个未知侧边中点和在$X$、$Y$、$Z$方向上的 3 项位移$U$、$V$、$W$以及每项位移的 3 个斜率。

在无质量力时，位移$U$必须满足如下的母体立方体的平衡方程。位移$V$和$W$也有同位移$U$一样的方程：

$$\nabla^4 U = 0 \tag{1-1-38}$$

式中

$$\nabla^4 = \frac{\partial^4}{\partial\xi^4} + \frac{\partial^4}{\partial\eta^4} + \frac{\partial^4}{\partial\zeta^4} + 2\frac{\partial^4}{\partial\xi^2\partial\eta^2} + 2\frac{\partial^4}{\partial\xi^2\partial\zeta^2} + 2\frac{\partial^4}{\partial\eta^2\partial\zeta^2} \tag{1-1-39}$$

对于上述双谐波消失的弹性体，$u$的表达式不应包括高于三次幂的任何变量（如$\xi^4$、$\xi^5$）或高于一次幂的任何成对变量（如$\xi^2\eta^2$，$\xi^3\eta^2$）。从完全的五阶多项式消除这样的项目后，得出如下位移函数：

$$\begin{aligned}[f] = [&1,\ \xi,\ \eta,\ \zeta,\ \xi^2,\ \xi\eta,\ \xi\zeta,\ \eta^2,\ \eta\zeta,\\ &\zeta^2,\ \xi^3,\ \xi^2\eta,\ \xi^2\zeta,\ \xi\eta^2,\ \xi\eta\zeta,\ \xi\zeta^2,\\ &\eta^3,\ \eta^2\zeta,\ \eta\zeta^2,\ \zeta^3,\ \xi^3\eta,\ \xi^3\zeta,\ \xi^2\eta\zeta,\\ &\xi\eta^3,\ \xi\eta^2\zeta,\ \xi\zeta^3,\ \xi\eta\zeta^3,\ \eta^3\zeta,\ \eta\zeta^3,\\ &\xi^3\eta\zeta,\ \xi\eta^3\zeta,\ \xi\eta\zeta^3]\end{aligned} \tag{1-1-40}$$

$[f]$中有32项，对应32个$U$位移变量：每个单元 8 个节点的位移$U$及其三个分量。该$U$位移写成：

$$U = [f]\delta_U \tag{1-1-41}$$

$\delta_U$为位移常数矩阵。类似的$\delta_V$和$\delta_W$矩阵可确定$V$和$W$位移，总系数矩阵为：

$$\delta = \begin{vmatrix} \delta_U \\ \delta_V \\ \delta_W \end{vmatrix} \tag{1-1-42}$$

等参元同样提供了一种对二维和非轴对称结构来说较实用而有效的分析方法。由于高价

位移函数，并存在曲边，所需要的网格精度大大减小，计算数字的准确性显著提高。

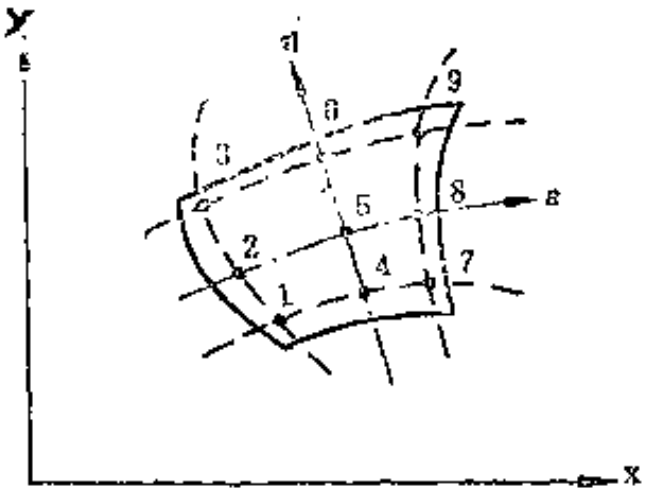



图 1-1-45　三点高斯求积点

使用上述等参元公式的优点还在于不同材料性能不致于影响复杂的分析结果。所谓不同材料性能包括轮胎中的不同层次和不同橡胶或不同应力下的定伸应力的变化等。对于一个二维元，三点高斯积分载于图1-1-45中，在该三维方案中有27个对应积分点。不同材料性能可使用已知轮胎层次或橡胶材料位置对应的每个标明点。

在等参族中的轴对称元有很多优越性，但仍然是二维的，奇数带束层轮胎不可能用正交各向异性来模型化，因此三维立方体更能表示轮胎性能与应力状态。另外，轮胎上的帘布和橡胶两者定伸相差很大，造成帘布间剪切力对橡胶作用的初始函数，以模拟帘布-橡胶复合层和分离帘布间橡胶的方法是表现帘布层之间差别的最佳方法。

## 二、轮胎应力测量方法

因为目前理论分析进展程度尚不能有效地提供出整体结构及其部件的受力规律和变形特征，所以实际测量部件应力和变形是十分重要的。同时，实际测量部件受力往往又很准确，而且从大量实测结果的统计分析又可以找出普遍规律，以指导轮胎工作者研制所需性能的轮胎。既便从发展轮胎理论分析方法上的需要，实测参数还能够验证理论分析的正确程度。几乎所有的理论力学论述皆以实测数据证明其正确性，因此轮胎应力和变形的测试方法一直发展很快，其中有些测量方法已被轮胎理论研究者广泛应用。

轮胎应变测量方法可分为两种类型，即为“点测法”和“面测法”。点测法是以测量元件测量一定长度结构部分的变形尺寸并将大量实测数据描绘某一部位变形规律。面测法能同时得到多点的数据，这对大变形或受力集中的部位来讲是一个理想方法，但在轮胎应力实测分析上，面测法尚不能代替多点实测的通用方法。

轮胎的帘线和橡胶同其它结构产品比较，弹性模量低，变形尺寸大，要求研制专用的测量元件，因此测量轮胎应变可采用通用的测量仪器。但需要特殊的测量元件。

根据轮胎结构形式和测试技术现状，大变形测量又可分为表面测量和内部测量两种情况。此外，轮胎胎圈部主要是由弹性模量高的钢丝制成，也需要特殊测量措施。还有，轮胎骨架材料是帘线，其应力主要决定于帘线，所以有帘线应力的测量方法。

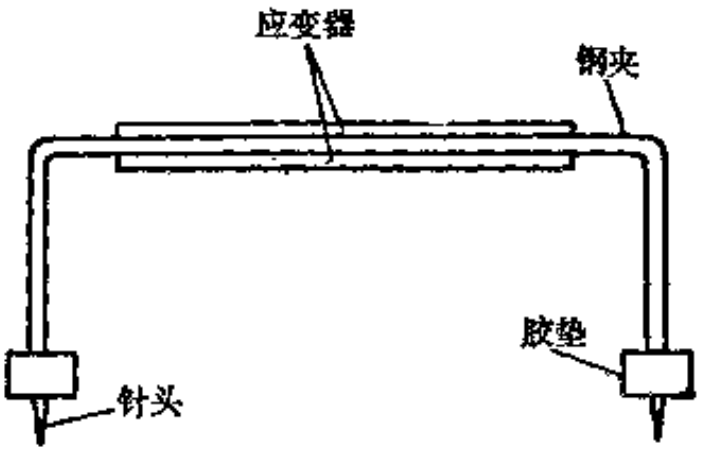



图 1-1-46　大变形测量器

### （一）轮胎表面变形测量法

目前已有许多测量轮胎表面变形的方法，但起着重要作用的要算电栅极测量法，这种方法是将传感片贴在轮胎内表面上，测量并计算轮胎定型和硫化前后帘线伸张变化，可用于研究成型机头、硫化模型和硫化温度等参数对轮胎变形的影响。

在50年代末和60年代初，研制出许多专用的轮胎表面测量传感器，其典型的代表就是苏联Бидерман和Пугин以及美国Perry和Lissner的大变形测量器。如图1-1-46所示，电阻变形传感器是一个U型金属弹簧片，有很好的热补偿性能，能测量20～30%以上的大变形量。后来这种方法被联邦德国Kern和苏联Пугин成功地应用在轮胎表面测量上。

液态金属测量法也被应用于测量橡胶的大变形上，其传感件是一个小胶管，中间灌满水银或铟镓共晶物，其作用原理同上述电阻变形传感器相同。

光弹法，即采用双折射材料探测光通过的方法是当前轮胎表面变形测量的有效方法之一，采用这种光弹法测量子午线轮胎带束层边缘剪切变形，效果是很好的。以波前重现为基础的全息照像法是当前最好的测试方法，世界各国十分重视实际应用在轮胎测试工作上。

**（二）轮胎内部变形测量法**

内部变形的测量技术要比表面变形测量难得多，一般的表面测量法无法测量内部变形。使用液体金属法可以测量轮胎内部变形，将液态金属测量元件成型到整体轮胎的任何部位，反映出变形尺寸。但这种方法在常压下是很有效的，面轮胎要在一定的压力下硫化，使用液态金属是很困难的。

在50年代Бидерман 和 Пугин首先报道橡胶变形测量用的传感器（图1-1-47）。这种大变形测量传感元件是由$\phi$1.5mm硫化胶线外缠镍铜丝成螺旋形。螺旋丝直径的粗细变化反映传感器受力的大小，即受力高低能通过镍铜丝电阻的变化反映出来。要想获得良好的测量结果，这种胶线的硬度要低，滞后损失要小。这样的传感元件的校正和温度补偿比较麻烦，因此需要精心制做传感元件。

Turner和Ford研制出一种简单而实用的测量布层间剪切变形的方法。这种是当前测量子午线轮胎带束层边缘剪切变形的重要方法，如图1-1-48所示，将测量钉插入二层按一定角度对称贴合的布层间，当轮胎受力变形时测量钉位置角度变化。由于测量钉转动变化较大，直接用肉眼观察或者以照像等方法测量。

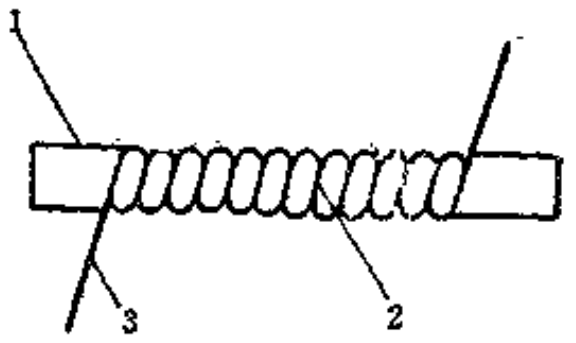



图 1-1-47　橡胶镍铜丝传感器
1—胶线；2—镍铜丝；3—导线

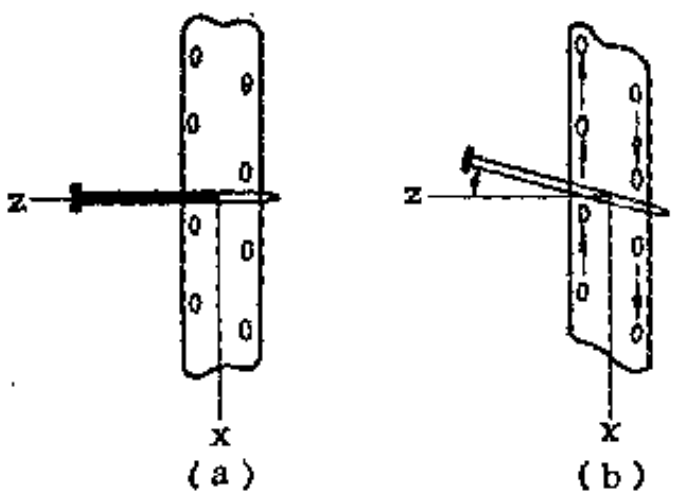



图 1-1-48　剪切变形测量法
(a)非伸张状态；(b)伸张状态时

**（三）轮胎帘线受力测量法**

测量帘线受力状态是轮胎应力分析上很重要的一项，其测试方法有很多种。早期方法大多是采用帘线伸长标记计算法，用以测量轮胎充气状态和负荷作用时的各部帘线伸长尺寸。到六十年代有人使用金属盐捻成帘线绳并使用影像帘线以X光照片分析帘线伸长情况。所有这些方法都是用在非滚动的静态轮胎上，而且还需要仔细分析结果。

于60年代末，帘线伸长测试方法有了新进展，使用电阻片做成的微型应力传感器直接

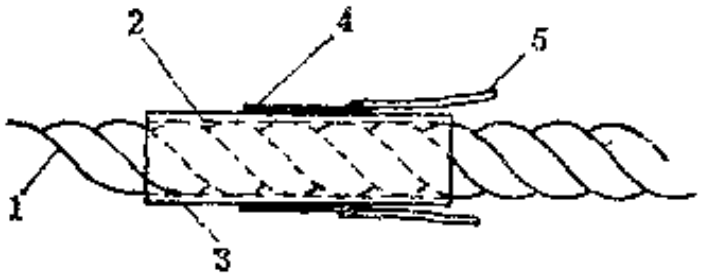



图 1-1-49 Clark传感器

1—帘线；2—环氧树脂粘接；3—金属管；4—应变器；5—导线

测量使用条件下轮胎中帘线受力状况。在轮胎成型时将电阻片直接与帘线一起埋入胎体中，在轮胎使用中通过电信号准确测量出轮胎帘线应力。

图1-1-49所示的Clark传感器是一个铍铜薄壁细管，将帘线用环氧树脂粘结在细管中，整个测量元件长为12.7mm，直径随帘线粗度不同而异，典型的帘线粗度为0.51mm。图1-1-50所示的Walter长方形铝合金元件，能测出动态的相邻二层帘线的平均应力。Patterson使用如图1-1-51所示的传感元件，可测量轮胎成型后定型、硫化和后充气时的帘线应力。

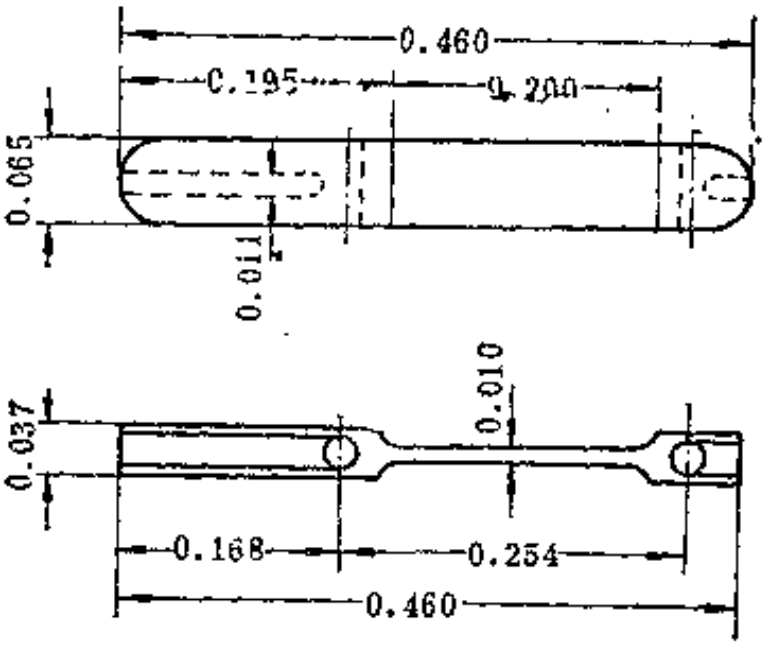



图 1-1-50 Walter传感器（单位：in）

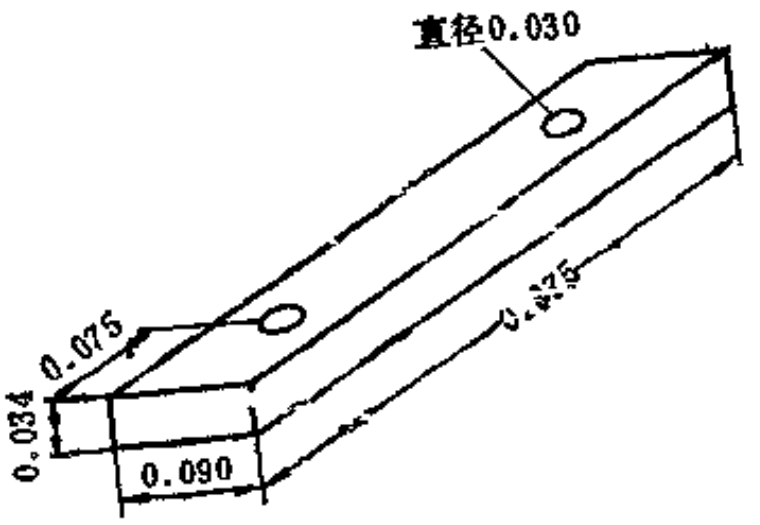



图 1-1-51 Patterson传感器（单位：in）

### （四）其它应力测试方法

随着轮胎理论深入发展，测试手段不断完善，对轮胎各部应力测试要求日益增多，如胎圈部应力和胎面胶性能的测试方法已有很多报道。胎圈部钢丝应力可使用双线缠绕测量法，Stiebel将其应用在轮胎硫化过程中钢丝应力分析上（图1-1-52）。为了研究胎面与路面以及胎圈与轮辋之间的应力状况，目前有很多接触压力传感器，其典型的如图1-1-53所示的法向和切向压力测量二种方法。



图 1-1-52 钢丝圈钢丝应力测量法

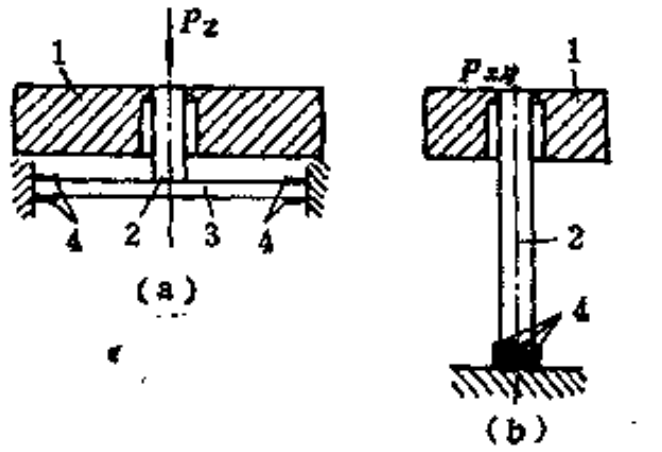



图 1-1-53 接触压力传感器

(a) 法向力；(b) 切向力；

1—接触面；2—撞杆件；3—弹簧片；4—传感片

充气轮胎是一个复杂的结构产品，从理论分析和测量方法上不易确切表明轮胎的应力和变形，但所述的测量方法应对轮胎理论分析有所帮助，并能解决一些轮胎的实际问题。当然，

在现有的应力分析传感器基础上还需要研究更精密的测试方法，以适应新型轮胎的开发和理论水平的提高需要。

## 主要参考文献


〔1〕 "Engineering Design Information the Tire and Rim Association Inc", Akron, Ohio, 1983～1985.

〔2〕 Пукерберг, С. М. и др. "Пневматические ШИНЫ", Изд. "Химия", 1973.

〔3〕 Бродский, Г. И. и др. "Истирание Резин", Изд. "Химия", 1975.

〔4〕 Moore, D. F., "The Friction of Pneumatic Tyres", Elasav, Sciet. Publ. Company, Amstardam-Oxford-New York, 1975.

〔5〕 Schuring, D. J., "The Rolling Loss of Pneumatic Tires", 《Rubber Chemistry and Technology》, Vol. 53, №3, 1980.

〔6〕 Бидерман, В.Л. и др. "Автомобильные шины", Изд. "госХимиздат", 1963.

〔7〕 Clark, S. K. et al., "Mechanics of Pneumatic Tires", National Highway Traffic Safety Administry DOT, Washinton.

# 第二章　轮胎设计基本程序

## 第一节　轮胎结构设计程序

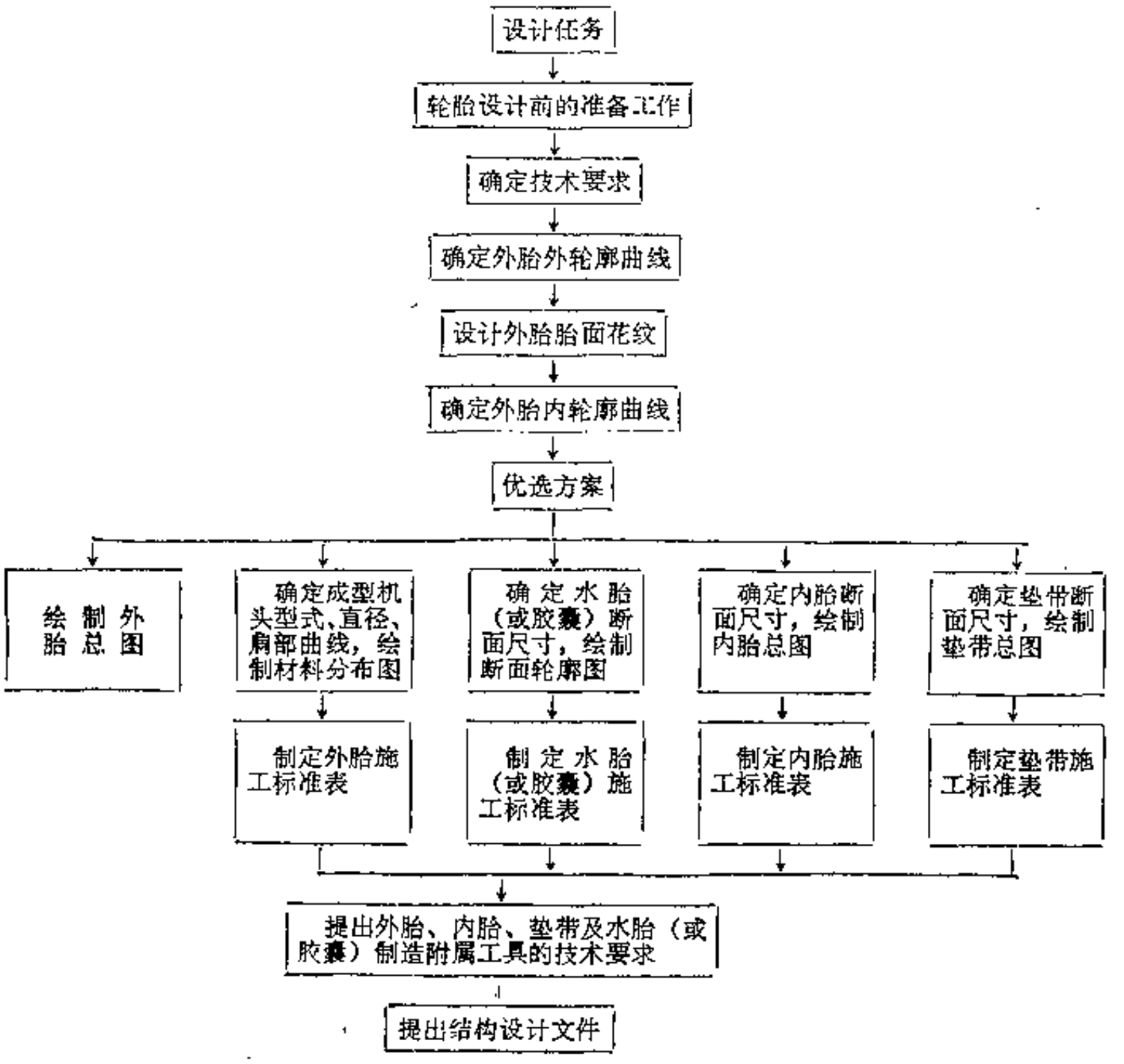
轮胎结构设计分二个阶段进行。

第一阶段技术设计。任务是收集为设计提供依据的技术资料；确定轮胎的技术性能要求；设计外胎外轮廓曲线、内轮廓曲线和胎面花纹；设计内胎、垫带和水胎（或胶囊）断面曲线；绘制外胎、内胎和垫带设计总图。

第二阶段施工设计。任务是根据技术设计确定成型机头型式、直径及肩部轮廓；绘制材料分布图；制定外胎、内胎、垫带及水胎（或胶囊）施工标准表；提出外胎、内胎及水胎（或胶囊）制造附属工具的技术要求。

在完成上述二个阶段的设计任务后，提出技术设计和施工设计说明书。轮胎结构设计步骤见表1-2-1。

**表 1-2-1　轮胎结构设计程序图**



## 一、技 术 设 计

设计任何一种充气轮胎，都以车辆类型和使用条件以及轮胎的强度和经济性为依据，力求做到既性能优良又经济耐用。但是，对轮胎的要求，往往相互矛盾，不能同时兼顾，很难设计出适合于任意使用条件的万能轮胎。这就要求设计者在选取设计参数时，根据具体情况做全面分析研究后酌情取舍。

### （一）轮胎设计前的准备工作

轮胎是车辆行走机构的主要部件，能将车辆发动机功率传递到路面。因此，充气轮胎的结构尺寸、胎面花纹性能和使用的材料，都取决于车辆的类型和用途、发动机的功率、轮胎负荷和行驶速度。为了适应车辆的需要，设计前应当做好车辆技术资料的收集工作，然后选用先进的轮胎技术进行设计。

设计轮胎需收集的各项原始资料如下。

1．车辆的技术性能

（1）车辆类别．厂牌、型号、用途和外形尺寸；

（2）车辆自重、载重、整车重量在各轴上的分布和车辆所需承担的牵引负荷；

（3）车辆驱动形式、轴数、轴距、轮数和轮距；

（4）轮辋类型、代号和双轮间距离；

（5）车辆的平均速度和最高速度；

（6）最小离地间隙、最小转弯半径和最大爬坡度；

（7）轮胎最大外缘尺寸；

（8）对轮胎的特殊要求；

（9）今后这种车辆的发展前景；

(10) 其它。

2．路况

主要了解路面的性质，是硬基路面（水泥、柏油和碎石）、混合路面（城乡之间的水泥或石土路），还是软基特殊路面（雪、砂或土路）。另外，还需了解使用地区的年平均气温和降雨量。

3．国内外同规格或类似规格轮胎的结构和使用情况

主要了解以下内容：

（1）设计参数，如层级、内压、负荷及花纹形式等；

（2）充气前后及使用过程中外缘尺寸的变化情况；

（3）室内试验数据；

（4）实际使用中的性能及主要优缺点；

（5）使用部门的建议和要求。

### （二）技术要求的确定

1．轮辋

（1）轮辋的分类　轮辋是轮胎固着的基础，轮胎的结构随着轮辋的发展面得到改进。轮辋的种类很多，按断面轮廓形状不同可归纳为以下数种：深槽轮辋（DC）、深槽宽轮辋（WDC）、半深槽轮辋（SDC）、平底轮辋（FB）、5°斜底轮辋（WFB）、全斜底轮辋(TB)和对开式轮辋（DT）。具体规格尺寸参见国家标准。

轿车一般采用深槽轮辋和深槽宽轮辋，载重车辆一般采用半深槽轮辋、平底轮辋和5°斜底轮辋，重型矿用自卸车和重型越野车一般采用全斜底轮辋，装有专用调压轮胎的中型自卸车型越野车有的还采用对开式轮辋。

（2）轮辋规格代号　轮辋的规格代号一般用轮辋宽度和轮辋名义直径表示。但各类轮辋的规格代号不完全相同。如5°斜底轮辋7.0×20中，7.0表示轮辋宽度为7.0in，20表示轮辋名义直径为20in。全斜底轮辋用轮辋宽度、轮缘高度和轮辋名义直径表示，如13.00/2.5-25。5°斜底轮辋和全斜底轮辋，每种宽度级别就有对应的一种形状的轮缘。有些轮辋用轮辋宽度、轮辋名义直径和轮缘形状代号E、F、G、H、S、T、V、K、L等表示。如平底轮辋6.00T-20中，6.00表示轮辋宽度为6in，轮辋名义直径为20in，轮缘形状为T形。拖拉机轮辋规格中的W和DW只表示轮辋为宽轮辋，不表示轮辋轮缘的形状。

表 1-2-2　轮辋轮缘高度

| 轮辋轮缘代号 | E | F | G | H | S | T | V | K | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 轮缘高度，in | 0.780 | 0.875 | 1.100 | 1.328 | 1.312 | 1.500 | 1.750 | 0.770 | 0.850 |

在美国“TRA”年鉴中，载重轮胎用5°斜底轮辋有Ⅰ型、Ⅱ型和Ⅲ型三种型别。在欧洲“ETRTO”年鉴中又有A型和B型之分。最合理的轮辋为Ⅰ型（或A型）轮辋。我国标准也以Ⅰ型轮辋作为标准的发展轮辋，将逐步淘汰平底轮辋。

载重轮胎所用的Ⅰ型轮辋，从5.0～10.0每隔0.5in就有一种规格。而且每种规格都有自己的轮缘曲线形状。因有5°倾斜角，在公称轮辋直径的基础上加两倍倾斜5°角所增加的数值（2×3.2=6.4mm），所以公称直径为20in的Ⅰ型5°斜底轮辋的着合直径为5[illegible].4mm。

（3）轮辋宽度的选取　使用宽轮辋能改善车辆的操纵性和稳定性，减少胎侧变形（见表1-2-3）。

表 1-2-3　不同轮辋宽度对轮胎变形的影响

| 轮胎规格 | 花纹类型 | 轮　辋 | $D'-D$ | $\frac{E}{B}$ | $\frac{B'-B}{B}$ | $\frac{E_1-B'}{B}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8.25-20 | 越　野 | 6.5 | +0.95 | 1.056 | 0.029 | 0.030 |
| | 越　野 | 5.00S | −2.6 | 1.142 | 0.043 | 0.047 |
| 8.25-20 | 普　通 | 6.5 | +1.6 | 1.007 | 0.041 | 0.030 |
| | 普　通 | 5.00S | −0.64 | 1.101 | 0.043 | 0.057 |
| 8.25-20 | 普　通 | 6.5 | +2.6 | 1.016 | 0.053 | 0.038 |
| | 普　通 | 5.00S | −0.64 | 1.117 | 0.077 | 0.050 |
| 8.25-20 | 普　通 | 6.5 | +10.5 | 0.938 | 0.012 | 0.025 |
| | 普　通 | 5.00S | +6.68 | 1.042 | 0.017 | 0.051 |

但是，每种轮胎都有一定的能保证最大行驶里程的轮辋宽度。图1-2-1列举了不同轮辋宽度对9.00-20轮胎机床寿命的影响。从图看出，以安装在7.33V轮辋上时的机床寿命最高，轮辋宽度过大或过小，里程都有所降低。轮辋宽度的变化，对轮胎的使用性能也有明显的影响。表1-2-4为8.25-20载重轮胎在不同宽度轮辋上的静负荷对比试验结果，以装配6.00T轮

辆时的综合性能为最佳（一般，接地系数：轿车轮胎为1.3～1.6，载重轮胎为1.4～1.6，拖拉机轮胎为1.5～2.0，摩托车轮胎为2.5～4.0；硬度系数：轿车轮胎为0.8～1.35，载重轮胎为0.8～1.1，拖拉机轮胎为2.5～4.5，摩托车轮胎为1.25～1.75）。

因此，只有轮辋宽度与轮胎断面宽之比$\left(\frac{W}{B}\right)$在一定范围内，才能获得最佳使用性能。如$\frac{W}{B}$之值由0.65增至0.[illegible]可提高使用寿命[illegible]～20%，由[illegible]提高胎面[illegible]性能22%。但过分的增加轮辋宽度，将使胎面磨耗不均。一般认为$\frac{W}{B}$之值在0.7～0.75之间，其综合性能最佳。

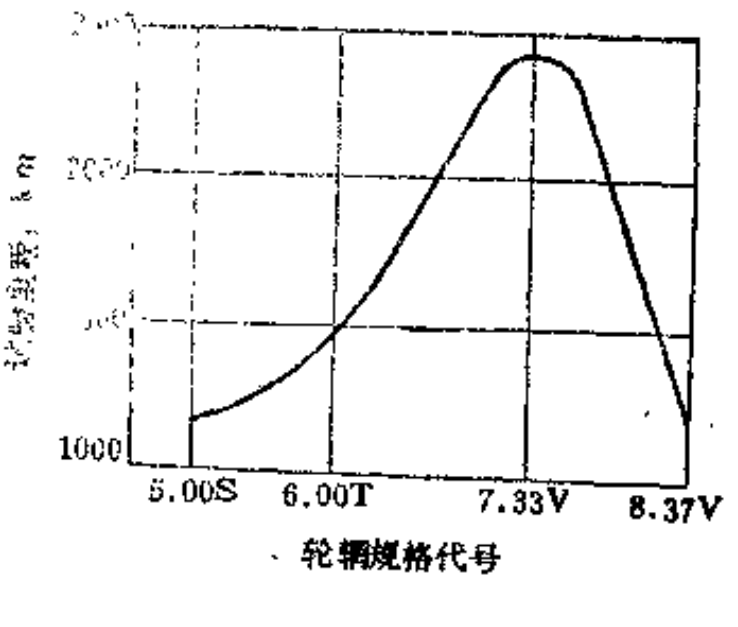



图 1-2-1 轮辋宽度对轮胎机床寿命的影响

在进行外胎外轮廓设计时，应根据轮胎的类型和规格，按国家标准（或部颁标准）及车辆的技术状况和发展趋势合理的选定轮辋。

表 1-2-4 8.25-20轮胎装配在不同宽度轮辋上的静态性能

| 轮辋规格 | 试验参数 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 充气断面宽 mm | 印痕长轴 mm | 印痕短轴 mm | 接地系数 | 下沉率 % | 硬度系数 | 试验条件 |
| 5.00S | 222 | 252 | 164 | 1.536 | 11.310 | 1.480 | 气压440kPa (4.5kgf/cm²) |
| 6.00T | 233.9 | 238 | 168 | 1.416 | 10.515 | 1.542 | 负荷12.75kN |
| 6.5 | 240.5 | 234 | 170 | 1.376 | 11.491 | 1.532 | (1300kgf) |

2．外胎充气外缘尺寸的确定

已列入国家标准（或部颁标准）的轮胎规格，其充气外缘尺寸（包括充气外直径$D'$和充气断面宽$B'$）必须严格按标准所规定的尺寸执行。暂未列入国家标准（或部颁标准）的轮胎，则可按设计任务书中所规定的充气轮胎外缘尺寸或参考国外轮胎轮辋标准所规定的尺寸进行设计。

3．负荷能力计算

轮胎的负荷能力，是轮胎质量的重要指标。其最大负荷能力与行驶速度、内压、充气断面宽、轮辋直径和宽度有关。常用负荷计算公式为海尔近似式，是一个在轮辋宽度为充气轮胎断面宽度之比等于62.5%的标准条件下得出的实验式。

由于扁平轮胎的出现，其理想充气断面宽必须校正，理想充气断面宽有不同的配套式。因而，各类轮胎负荷能力的计算方法稍有差异，举例说明如下。

（1）载重轮胎负荷计算基本公式及负荷系数$K$值的选取

a．负荷计算基本公式（英制）

$$W=K\times0.425\times P^{0.585}\times S^{1.39}(D_R+S) \qquad (1\text{-}2\text{-}1)$$

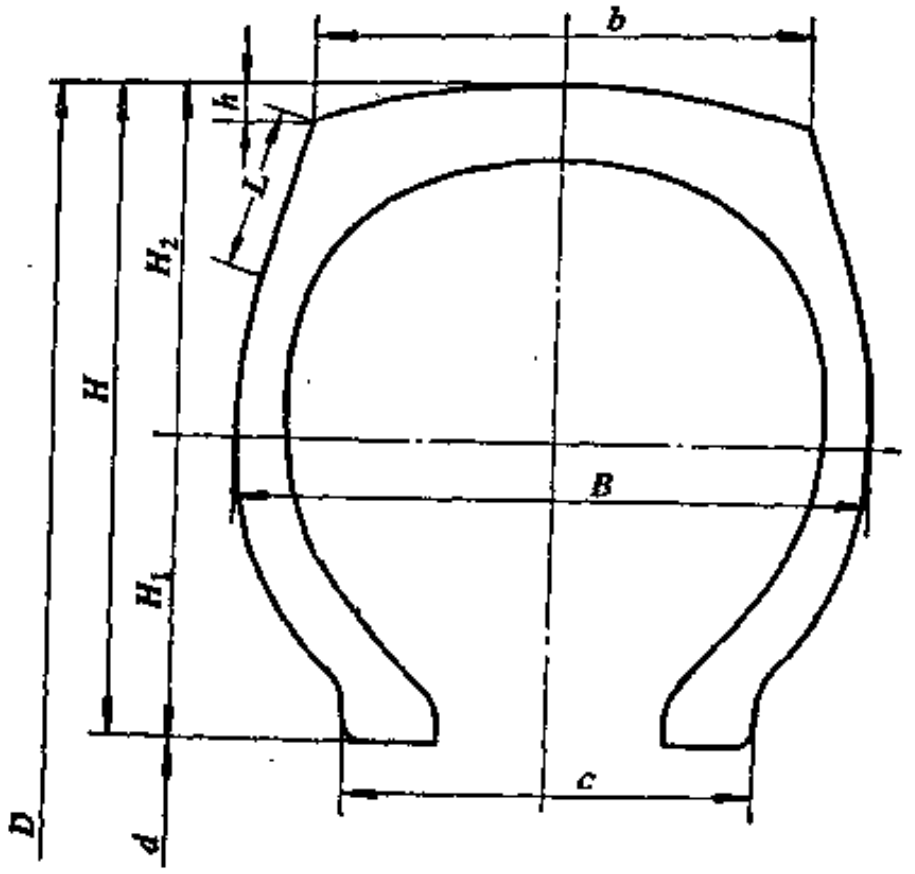



图 1-2-2 汽车外胎断面

$D$—外直径；$B$—断面宽；$d$—胎圈着合直径；$b$—行驶面宽度；$h$—行驶面弧度高；$C$—两胎踵间的着合宽度；$H$—断面高；$H_1$—胎圈基部至断面中心线高度；$H_2$—断面中心线至胎冠的高度；$L$—胎肩切线长度

$$S = S_1 \times \frac{180^\circ - \sin^{-1}\frac{W_1}{S_1}}{141.3^\circ} \qquad (1\text{-}2\text{-}2)$$

式中 $W$——负荷，lbf；

$P$——内压，lbf/in²；

$S_1$——新胎断面宽，in；

$W_1$——轮辋宽度，in；

$K$——负荷系数；

$D_R$——公称轮辋直径，in；

$S$——$\frac{W_1}{B}$为62.5%的理想轮辋上的轮胎断面宽，in。

b．负荷系数$K$值

普通断面斜交轮胎：双胎$K=1.10$；单胎$K=1.14\times$双胎负荷$+10$ lbf/in²。

普通断面子午线轮胎：双胎$K=1.10+5$ lbf/in²；单胎$K=1.14\times$双胎负荷$+10$ lbf/in²。

（2）轻型载重轮胎负荷计算基本公式及负荷系数$K$值的选取

a．负荷计算基本公式

$$W = K \times 0.425 \times P^{0.585} \times S_d^{1.39}(D_R + S_d) \qquad (1\text{-}2\text{-}3)$$

$$S = S_1 \times \frac{180^\circ - \sin^{-1}\frac{W_1}{S_1}}{141.3^\circ}$$

$$\left[S_{0.70} = S_1 \times \frac{180^\circ - \sin^{-1}\frac{W_1}{S_1}}{135.6^\circ}\right. \qquad (1\text{-}2\text{-}4)$$

$$S_d = S - 0.637d \qquad (1\text{-}2\text{-}5)$$

$$d = 0.96S_{0.70} - H \qquad (1\text{-}2\text{-}6)$$

式中 $H$——新胎断面高，in；

$d$——圆形轮胎（$0.96\times S_{0.70}$）设计断面高与扁平胎设计断面高之差，in。

b．负荷系数$K$值

普通断面斜交轮胎：单胎$K=1.197$，双胎$K=0.88\times$单胎负荷。

普通断面子午线轮胎：单胎$K=1.197+5$ lbf/in²，双胎$K=0.88\times$单胎负荷。

（3）轿车轮胎负荷计算基本公式及负荷系数$K$值的选取

a．负荷计算基本公式

$$W = K \times 0.425 \times P^{0.558} \times S_d(D_R + S_d) \qquad (1\text{-}2\text{-}7)$$

$$S_{0.70}=S_1\times\frac{180^\circ-\sin^{-1}\frac{W_1}{S_1}}{135.6^\circ}$$

$$S_d=0.96\times S_{0.70}-0.637d \qquad (1\text{-}2\text{-}8)$$

$$d=0.96\times S_{0.70}-H$$

式中 $d$——圆形轮胎设计断面高与扁平轮胎最大断面高之差，in；

普遍断面轮胎最大断面高＝1.01×设计断面高；

扁平轮胎最大断面高＝1.02×设计断面高。

b．负荷系数$K$值 “50”系列、“60”系列和“70”系列的斜交轮胎和子午线轮胎，负荷系数$K$为1.655；“78”系列斜交胎$K$为1.70，子午线轮胎为1.743（“82”系列套用）。

应用以上负荷计算基本公式，可求得不同内压下的轮胎负荷能力。增大内压可提高轮胎负荷能力，但实际上提高内压不能补偿超负荷的损失。增大内压使帘线所受应力和各层帘布间的剪切应力增加，将降低轮胎的使用寿命。

子午线轮胎用以上负荷公式计算负荷后，应加上公式中规定增加的气压。如果用公制计算负荷时，需乘以0.231。

4．速度与负荷能力的对应关系

车辆的使用速度对轮胎的负荷能力影响很大。如载重轮胎持续行驶最高速度高于或低于基准速度时，其负荷与相应内压标准按一定比率增减。美国“TRA”年鉴中规定轻型载重轮胎的基准速度为90～105km/h；中型载重轮胎为80～100km/h；重型载重轮胎为60～80km/h。“ETRTO”年鉴规定轻卡轮胎的基准速度为120～140km/h；中型载重轮胎为100～110km/h；重型载重轮胎为80～90km/h。我国系列标准规定轻型载重轮胎最高速度为100km/h；中型载重轮胎为90km/h；重型载重轮胎为80km/h。

国家轮胎标准规定的使用速度与负荷能力的对应关系见表1-2-5。

**表 1-2-5 载重轮胎使用速度与负荷的对应关系**

| 速度，km/h | 负荷变更，% | | |
|---|---|---|---|
| | 重型载重轮胎 | 中型载重轮胎 | 轻型载重轮胎 |
| 40 | +5 | +10 | +12.5 |
| 50 | +2.5 | +7.5 | +10 |
| 60 | ±0 | +5 | +7.5 |
| 70 | ±0 | +2.5 | +5 |
| 80 | — | ±0 | +2.5 |
| 90 | — | ±0 | ±0 |
| 100 | — | — | ±0 |

5．层级

轮胎的层级表示轮胎在规定载重量下的强度。欧美轮胎标准中规定同规格轮胎有2～3个层级。第二层级轮胎称为高载轮胎，第三层级轮胎称为超高载轮胎。

第一层级轮胎适于各级路面行驶的载重汽车及长途快速公共汽车或其它高速车辆使用。第二层级和第三层级轮胎所用的内压标准，适于一级路面。如市内交通、公共汽车和无轨电车。高载轮胎接地面积小，不适于装在带拖车的车辆上。

对于一定类型的轮胎，在负荷下有一定的相对下沉率，只有在下沉率不超过某一允许的范围时，才能获得优良的使用性能。在额定条件下，子午线轮胎的下沉率较斜交轮胎大30%左右。下沉率超过一定范围，轮胎内部温度上升，并转变为热量，将降低轮胎的使用寿命。为了使第二层级轮胎的相对下沉率与第一层级轮胎相同，必须提高第二层级轮胎的内压，第二层级轮胎的内压较第一层级轮胎高20%，第三层级轮胎的相对下沉率比第一层级高5～10%，同时内压也比第一层级高30%左右。

表 1-2-6　各类轮胎的相对下沉率

| 轮胎类型 | 相对下沉率$\frac{h_c}{H}$，% | 轮胎类型 | 相对下沉率$\frac{h_c}{H}$，% |
|---|---|---|---|
| 轿车轮胎 | 12～16 | 农业拖拉机轮胎 | 20～22 |
| 轻型载重轮胎 | 14～18 | 工程胎 | 17～20 |
| 载重轮胎（用于公路） | 10～12 | 飞机轮胎 | 30～35 |
| 载重轮胎（用于坏路面） | 13～15 | | |

### （三）外胎外轮廓设计

1．模型断面宽与断面高的确定

在轮辋类型、宽度、轮胎充气断面宽$B'$及充气外直径$D'$确定之后，就应着手估算硫化模型中外胎的断面形状。因为轮胎在充气状态下工作，充气时断面轮廓增大，即轮胎的充气外缘尺寸大于硫化模型中轮胎的外缘尺寸，增大的程度用膨胀率表示，$\frac{D'}{D}$为直径膨胀（或收缩）率，$\frac{B'}{B}$为断面膨胀率。膨胀率的大小随高宽比$\left(\frac{H}{B}\right)$、轮辋宽度、胎冠角度及骨架材料的变化而有所不同。因此，要尽可能多做同类型轮胎的调查测试工作，积累数据，保证膨胀率取值的正确性。

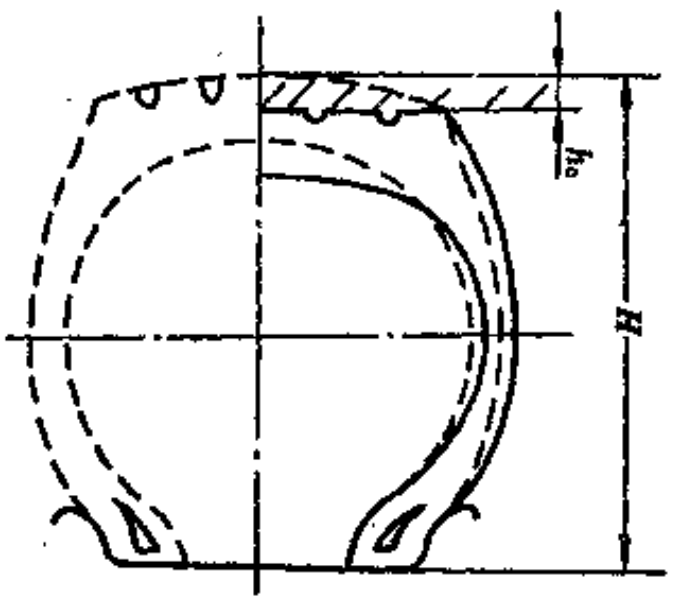



图 1-2-3　轮胎压缩变形图

在选值时，还应估计到外胎从硫化模型中取出后断面轮廓的变化。一般从硫化模型中取出后，轮胎的断面轮廓有一定的收缩。据统计，外直径收缩率为0.5～1.0%，行驶面宽度收缩率为1～3%。

（1）模型断面宽$B$　根据轮胎充气断面宽$B'$和断面膨胀率确定。

$$B=\frac{B'}{B'/B} \tag{1-2-9}$$

一般断面高宽比$\frac{H}{B}>1$的斜交轮胎，断面宽膨胀率$\frac{B'}{B}$在1.09～1.17之间。断面高宽比$\frac{H}{B}<1$的斜交轮胎，断面宽膨胀率在1.00～1.07之间。应当注意的是，用硫化机或硫化

表 1-2-7　不同高宽比轮胎膨胀率举例

| 轮胎规格 | 骨架材料 | 轮辋宽度 $W$, mm | 充气外直径 $D'$ mm | 模型外直径 $D$ mm | $\frac{D'}{D}$ | 充气断面宽 $B'$ mm | 模型断面宽 $B$ mm | $\frac{B'}{B}$ | 高宽比 $\frac{H}{B}$ | $\frac{W_1}{B}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12.00-24 | R | 254 | 1365.6 | 1370 | 0.997 | 383 | 350 | 1.094 | 1.083 | 0.726 |
| 14.00-24 | R | 216 | 1352.5 | 1370 | 0.987 | 375 | 343 | 1.093 | 1.102 | 0.741 |
| 9.00-20 | R | 152 | 1020 | 1022 | 0.998 | 250 | 226 | 1.106 | 1.135 | 0.673 |
| 7.50-20 | R | 127 | 944 | 950 | 0.994 | 204 | 186 | 1.097 | 1.185 | 0.683 |
| 11.00-20 | N | 203 | 1091 | 1090 | 1.001 | 292 | 258 | 1.132 | 1.126 | 0.736 |
| 9.00-20 | N | 178 | 1016.4 | 1012 | 1.004 | 260 | 224 | 1.161 | 1.123 | 0.795 |
| 9.00-20 | N | 152 | 1015.7 | 1012 | 1.004 | 250.8 | 217 | 1.156 | 1.159 | 0.700 |
| 7.50-20 | R | 140 | 898 | 891 | 1.008 | 204 | 192 | 1.063 | 0.995 | 0.729 |
| 7.35-14 | R | 152 | 659.8 | 650 | 1.015 | 191.1 | 186 | 1.027 | 0.793 | 0.817 |
| 18.4-30 | R | 406 | 1530 | 1531 | 0.999 | 470 | 460 | 1.022 | 0.830 | 0.883 |
| 13.6-38 | R | 305 | 1554 | 1540 | 1.009 | 340 | 340 | 1.000 | 0.840 | 0.840 |
| 11-24 | N | 254 | 1124.5 | 1096 | 1.026 | 320 | 300 | 1.067 | 0.803 | 0.847 |
| 23.5-25 | N | 495 | 1610 | 1615 | 0.997 | 605 | 590 | 1.025 | 0.832 | 0.839 |
| 20.5-25 | N | 432 | 1506 | 1500 | 1.004 | 551 | 520 | 1.060 | 0.832 | 0.827 |
| 29.5-29 | N | 635 | 2010 | 2008 | 1.001 | 765 | 760 | 1.007 | 0.840 | 0.836 |
| 175R14 | R | 140 | 635 | 634 | 1.002 | 180.5 | 177 | 1.020 | 0.788 | 0.791 |
| 205R15 | R | 152 | 693 | 692 | 1.001 | 208 | 204 | 1.02 | 0.767 | 0.745 |
| 215R15 | R | 165 | 717.5 | 716 | 1.002 | 222 | 218 | 1.018 | 0.773 | 0.757 |
| 6.50R16 | R | 140 | 755 | 753 | 1.0026 | 190 | 178 | 1.067 | 0.980 | 0.737 |
| 9.00R20 | R | 178 | 1022 | 1020 | 1.002 | 252 | 240 | 1.050 | 1.058 | 0.742 |
| 9.00R20 | S | 178 | 1022 | 1020 | 1.002 | 260 | 254 | 1.024 | 1.000 | 0.701 |

注：N——尼龙帘线；R——人造丝帘线；S——钢丝帘线。

罐硫化的尼龙胎体轮胎，断面膨胀率 $\frac{B'}{B}$ 应分别取值。用硫化机硫化的尼龙轮胎，$\frac{B'}{B}$ 应取大值。即模型断面宽应较用硫化罐硫化的模型小，一般取1.15～1.16。

断面高宽比 $\frac{H}{B}>1$ 的纤维子午线轮胎，$\frac{B'}{B}$ 在1.03～1.04之间。$\frac{H}{B}<1$ 的纤维子午线轮胎，$\frac{B'}{B}$ 在1.02左右。$\frac{H}{B}\geqslant 1$ 的钢丝子午线轮胎，$\frac{B'}{B}$ 在1.02～1.03之间。

（2）模型外直径 $D$ 和断面高 $H$　模型外直径的确定与模型断面宽的确定相同。根据轮胎充气外直径 $D'$ 和外直径膨胀（或收缩）$\frac{D'}{D}$ 确定。

$$D=\frac{D'}{D'/D} \tag{1-2-10}$$

一般断面高宽比 $\frac{H}{B}>1$ 的人造丝胎体斜交轮胎 $\frac{D'}{D}<1$，在0.990～0.999之间，即充气后外直径呈收缩状态。而尼龙胎体的斜交轮胎，无论高宽比大于 1 还是小于 1，充气后外直径都增大，一般增大0.1～2.5%。据统计，$\frac{H}{B}>1$ 用硫化机硫化的尼龙轮胎，外直径膨胀0.3～0.5%。

模型断面高$H$，根据模型外直径$D$和着合直径$d$应用公式（1-2-11）计算。

$$H=\frac{1}{2}(D-d) \tag{1-2-11}$$

2．行驶面宽度和弧度高的确定

行驶面宽度$b$和弧度高$h$是决定轮胎胎冠形状的主要参数。它们分别与断面宽$B$断面高$H$成一定的比例关系。行驶面的形状，对胎面的耐磨性、牵引性、转向性以及生热等多项使用性能有直接的影响。增加行驶面宽度，降低行驶面弧度高，能显著地提高轮胎胎面的耐磨性能。不同行驶面弧度高轮胎的里程对比见表1-2-8。

**表 1-2-8　不同行驶面弧度高轮胎的里程对比**

| 轮胎规格 | 9.00-20 | 9.00-20 | 7.50-20 | 7.50-20 |
|---|---|---|---|---|
| 行驶面弧度高$\frac{h}{H}$，% | 7.5 | 4.6 | 7.46 | 5.9 |
| 快速里程，% | 100 | 127.6 | — | — |
| 实际里程，% | 100 | 120 | 100 | 124 |

一般行驶面宽度$b$不超过下胎侧弧度曲线与轮辋轮缘曲线交点之间的距离。在负荷作用下应有95%以上的宽度与地面接触。不同类型轮胎$\frac{b}{B}$与$\frac{h}{H}$的取值范围见表1-2-9。

**表 1-2-9　不同类型轮胎$\frac{b}{B}$与$\frac{h}{H}$的取值范围**

| 轮胎类型 | $\frac{b}{B}$ | $\frac{h}{H}$ | 轮胎类型 | $\frac{b}{B}$ | $\frac{h}{H}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 轿车轮胎 | 0.75～0.95 | 0.030～0.050 | 越野花纹 | 0.85～0.95 | 0.060～0.085 |
| 载重轮胎 | | | 工程轮胎 | 0.85～0.95 | 0.040～0.060 |
| 普通花纹 | 0.75～0.80 | 0.035～0.055 | 拖拉机轮胎 | 0.9～0.98 | 0.080～0.100 |
| 混合花纹 | 0.80～0.85 | 0.055～0.065 | | | |

3．断面水平轴位置的确定

断面水平轴位于断面最宽点，是轮胎充气和法向负荷下变形最大的位置。如图1-2-5。$\frac{H_1}{H_2}$的取值范围一般为0.8～0.95，即水平轴稍接近于胎圈，具体位置随材料分布图的内轮廓曲线面定。

4．各部弧度的确定

（1）胎冠断面形状的确定　胎冠断面形状可设计成正弧形、反弧形或双胎面形状。

a．正弧形胎冠弧度半径的确定　胎冠弧度半径根据行驶面宽度$b$、弧度高$h$及花纹形式设计。整个胎冠可由一个弧度、两个弧度或三个弧度组成（见图1-2-5）。

（a）普通花纹轮胎行驶面宽度 $b$ 较窄，弧度高较小，适于采用一个弧度半径 $R_n$ 或两个弧度半径 $R_n$ 和 $R''_n$。弧度半径 $R_n$ 用下式计算。

$$R_n=\frac{b^2}{8h}+\frac{h}{2} \qquad (1\text{-}2\text{-}12)$$

$$\text{弧长} S=0.01745R_n\alpha \qquad (1\text{-}2\text{-}13)$$

式中 $\alpha$ ——行驶面弧度半径 $R_n$ 间所夹的角度。

（b）混合花纹和越野花纹轮胎行驶面 $b$ 较宽，弧度高 $h$ 较大，适于采用两个弧度半径 $R_n$ 和 $R'_n$。第一弧度半径的计算方法与用一个弧度半径 $R_n$ 的计算方法相同，只需将 $h$ 改为 $h'$。

$$R_n=\frac{b^2}{8h'}+\frac{h'}{2}$$

$$\text{弧长} S=S_1+S_2$$

$$S_1=0.01745R_n\alpha$$

$$S_2=0.01745R'_n\alpha'$$

$h'$ 的大小根据花纹类型和路面拱度酌情选定。$R'_n$ 一般为 $R_n$ 的25～40%。即

$$R'_n=(25\sim40\%)R_n$$

有时胎冠由三个弧度半径 $R_n$、$R'_n$ 和 $R''_n$ 组成，但这种用法较少。

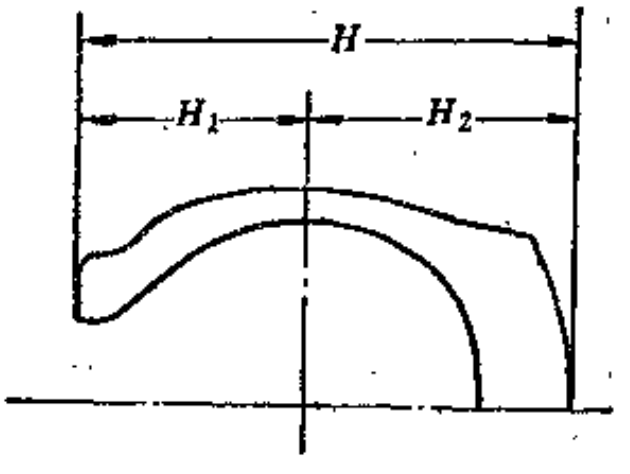



图 1-2-4 外胎断面水平轴位置示意
$H_1$—胎圈基部至水平轴的距离；
$H_2$—水平轴至胎冠中心点的距离

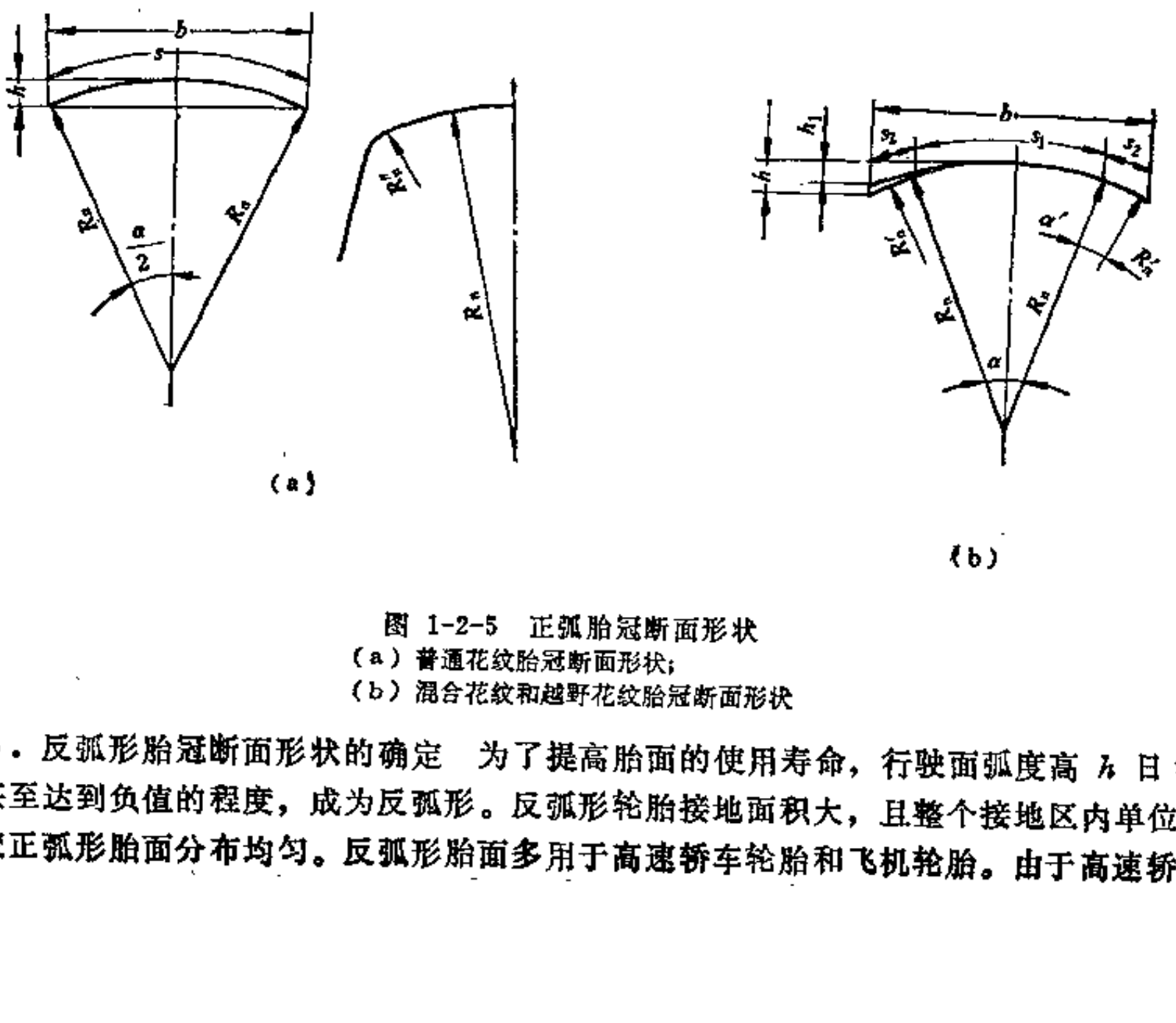



图 1-2-5 正弧胎冠断面形状
（a）普通花纹胎冠断面形状；
（b）混合花纹和越野花纹胎冠断面形状

b．反弧形胎冠断面形状的确定 为了提高胎面的使用寿命，行驶面弧度高 $h$ 日渐减小，甚至达到负值的程度，成为反弧形。反弧形轮胎接地面积大，且整个接地区内单位压力分布较正弧形胎面分布均匀。反弧形胎面多用于高速轿车轮胎和飞机轮胎。由于高速轿车轮

胎和飞机轮胎行驶速度很高，在内压和离心力的作用下，外直径增大，这时反弧形胎面能转变成正弧形胎面。反弧形胎面中部凹入量，轿车轮胎为 0.13～2.5mm，载重轮胎为3mm左右（见图1-2-6）。

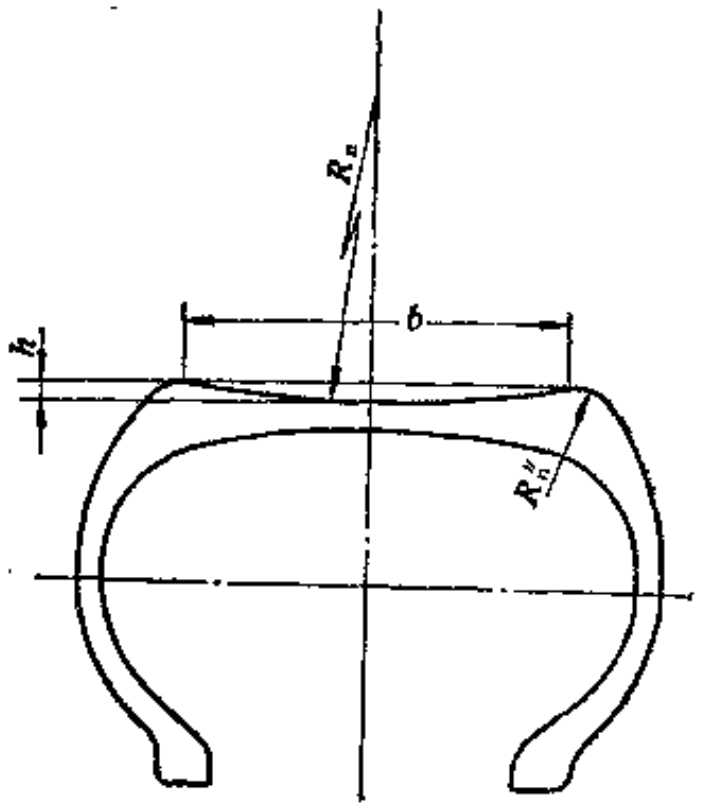



图 1-2-6　反弧形轮胎断面示意图

c．双行驶面　宽断面轮胎有时采用这种设计方法。双行驶面轮胎的径向和侧向刚性较大，周向刚性较小。侧向刚性增大能改善车辆的操纵性和稳定性。周向刚性小则能改善车辆传动系统的负荷条件。

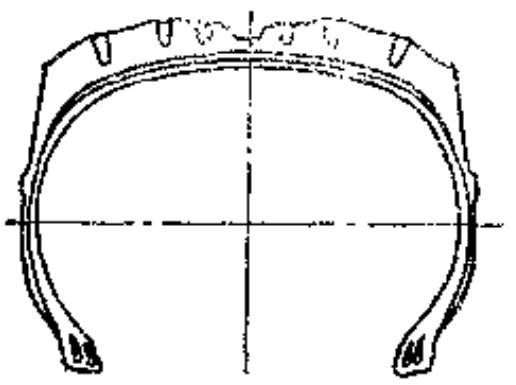


图 1-2-7　双行驶面宽断面轮胎

（2）胎侧弧度半径的确定

a．上胎侧弧度半径的确定　上胎侧弧度半径可用绘图法在图纸上直接测得，也可参考图 1-2-8求得。半径$R_1$的圆心点在断面水平轴上。胎肩部位切线的长度$L$，反弧形胎肩按弧的弦长计算，如果胎肩设计有弧度半径$R_n''$时，$L$按无半径$R_n''$的情况计算。

$$R_1=\frac{(H_2-h)^2+\frac{1}{4}(B-b)^2-L^2}{B-b} \tag{1-2-11}$$

如果　$L=\frac{1}{2}H_2$，则

$$R_1=\frac{\left(\frac{3}{2}H_2-h\right)\left(\frac{1}{2}H_2-h\right)+\frac{(B-b)^2}{4}}{B-b} \tag{1-2-12}$$

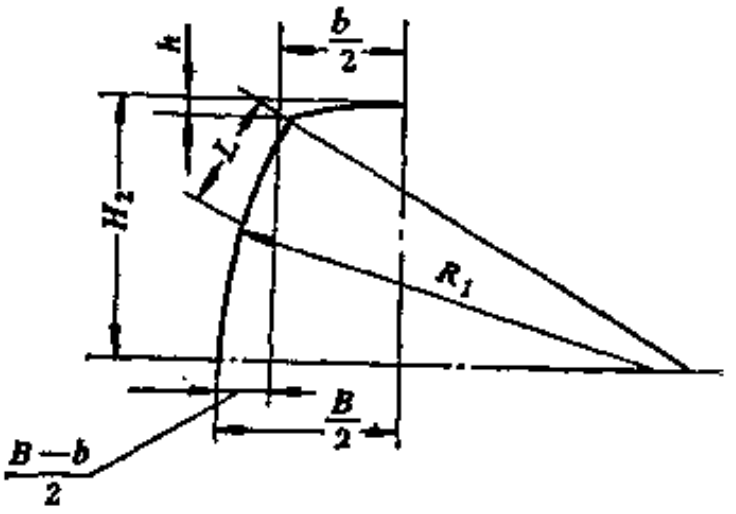



图 1-2-8　上胎侧半径$R_1$计算参考图

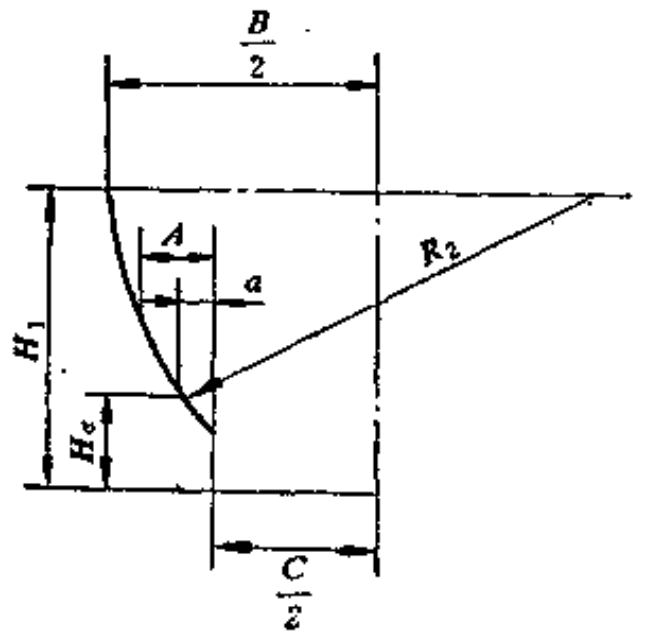



图 1-2-9　下胎侧弧度半径$R_2$计算参考图

b．下胎侧弧度半径的确定　与确定上胎侧弧度半径的方法相同。可用绘图法直接在图纸上测得，也可参看图1-2-9求得，下胎侧弧度半径$R_2$的圆心点在断面水平轴上。

$$R_2=\frac{\frac{1}{4}(B-C-2a)^2+(H_1-H_c)^2}{B-C-2a} \tag{1-2-13}$$

在应用上式计算$R_2$之前，应首先确定下胎侧弧度曲线与轮缘曲线交点至轮缘曲线起点间的距离$a$。一般$a$等于轮辋轮缘宽度的$\frac{2}{3}\sim\frac{3}{4}$。

c．胎肩轮廓的确定　胎肩轮廓根据轮胎的类型结构的不同，可设计成切线、阶梯形、反弧形和圆形。

（a）切线胎肩　胎肩为一条与上胎侧弧度半径$R_2$相切的切线，是广泛应用的一种胎肩设计方法。切线在断面中心轴上的投影约等于$H_2$的50%。切线胎肩断面轮廓见图1-2-10。

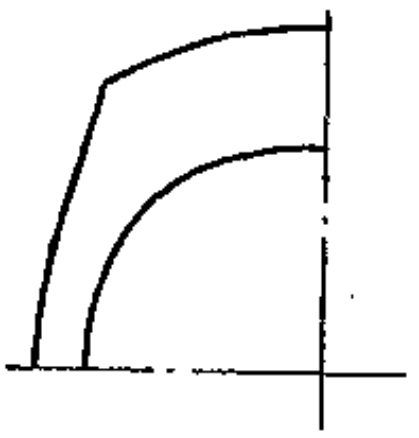


图 1-2-10　切线胎肩断面轮廓图

（b）阶梯形胎肩　这种形状的胎肩坚固，能显著地提高胎肩的支撑性能，减少变形，是中型载重斜交轮胎常用的一种胎肩设计方法。如9.00—20尼龙斜交轮胎就采用了这种胎肩设计方法。阶梯形胎肩的绘制方法，为先绘制切线，然后将切线分成阶梯形，其断面轮廓见图1-2-11。



图 1-2-11　阶梯形胎肩断面轮廓图

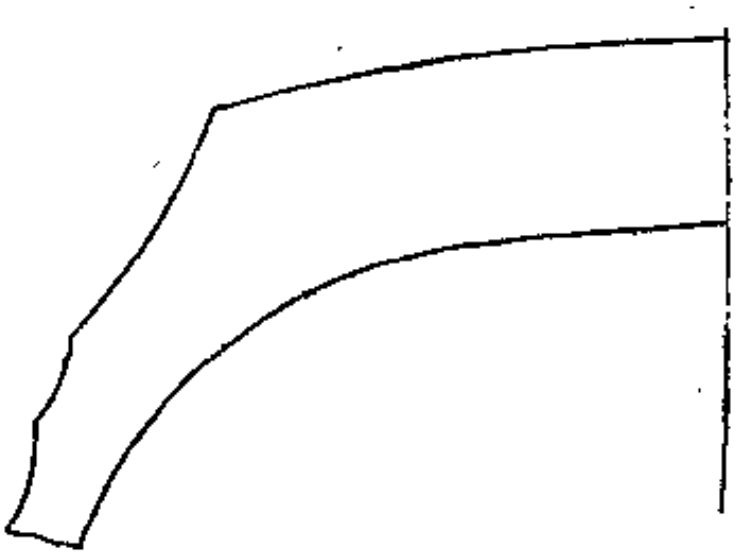


图 1-2-12　反弧形胎肩断面轮廓图

（c）反弧形胎肩　载重子午线轮胎多采用这种形状的胎肩设计方法。反弧的长度，一般在断面中心轴上的投影长度等于$H_2$的30%。反弧形胎肩断面轮廓见图1-2-12。

（d）圆形胎肩　在胎肩切线与胎冠弧度交接处，用一较小的弧度半径连成弧形（见图1-2-13）。高速轿车轮胎多采用这种形状的胎肩，连接弧的半径一般为15～45mm，载重轮胎连接弧的半径一般为5～8mm。

d．连接弧$R_3$的确定　在$R_2$与$R_1$之间需用弧度半径$R_3$连接，使下胎侧至胎圈形成均匀光滑的曲线（见图I-2-14）。一般$R_3$为$R_2$的$\frac{1}{3}\sim\frac{1}{4}$。但有时$R_3$取值较小，以增加下胎

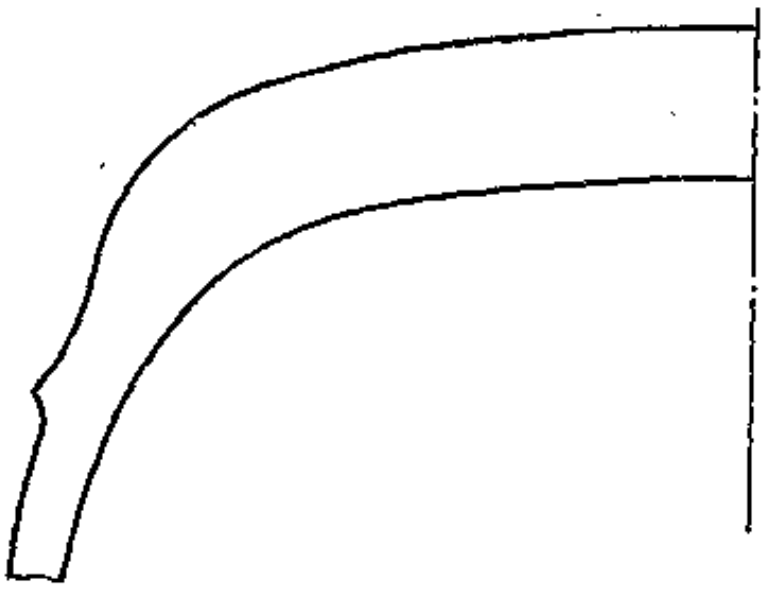


图 1-2-13　圆形胎肩断面轮廓图

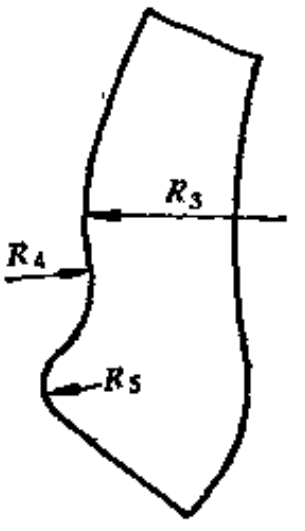



图 1-2-14　下胎侧至胎圈过渡区断面轮廓示意

侧向胎圈过渡处的厚度，达到加强胎圈的目的。

5．胎圈轮廓的确定

胎圈轮廓根据轮辋轮缘和圈座尺寸进行设计，胎圈与轮辋必须紧密配合，图1-2-15为轮胎胎圈示意图。

（1）两胎圈间的距离　根据设计轮辋宽度$W_1$确定。一般两胎圈间的距离等于设计轮辋宽度。但并非一定要取与设计轮辋宽度相同的数值不可，两胎圈间距离$C$可小于设计轮辋宽度。这种取值方法可改善轮胎的耐磨性和增大侧向刚性，但减少的数值不宜超过15～25mm。

（2）胎圈着合直径　胎圈着合直径$d$取值的大小，随轮胎和轮辋的类型而定，有的大于轮辋直径，有的小于轮辋直径。

①　装于平底轮辋的载重轮胎，胎圈着合直径应大于轮辋直径0.5～1.0mm。

②　装于5°斜底轮辋的载重轮胎，因轮辋圈座有5°倾斜角度，胎踵部分着合直径较轮辋相应部位直径小1～2mm，而胎趾部位的着合直径较轮辋相应部位的直径大1mm左右。

③　装于深槽轮辋的轿车有内胎轮胎，其着合直径较轮辋相应部位直径小0～0.5mm，较无内胎轿车轮胎小1.5～2.0mm。

④　装于深槽轮辋的载重无内胎轮胎，着合直径较轮辋相应部位直径小2mm左右。

⑤　装于全斜底轮辋工程车辆用的无内胎轮胎，一般着合直径较轮辋相应部位直径小3～6mm。

此外，从胎踵至胎趾与轮辋胎圈座配合的着合面，通常都常有一定的角度。当轮胎安装于平底轮辋时，角度为0～1°；当轮胎安装于5°斜底轮辋时，角度为5°；当轮胎安装于15°斜底深槽轮辋时，角度为16°～17°；轿车无内胎轮胎，胎圈与轮辋胎圈座着合面有两个角度，第一角度一般为10°，在距胎趾4～5mm处设第二角度，第二角度一般采用25°。

（3）胎圈轮廓曲线　根据轮缘曲线确定。一般胎踵半径$R_5$较轮辋相应部位半径大0.5～1.0mm，半径$R_4$较轮缘半径小0.5～1.0mm（图1-2-16），同时其圆心点较轮辋轮缘半径低1～1.5mm（$L_1$—$L_2$）。

**（四）外胎胎面花纹设计**

外胎胎面花纹设计的优劣，直接关系到轮胎的使用性能及其寿命。因此，改进胎面花纹设计，是提高轮胎质量的重要途径之一。

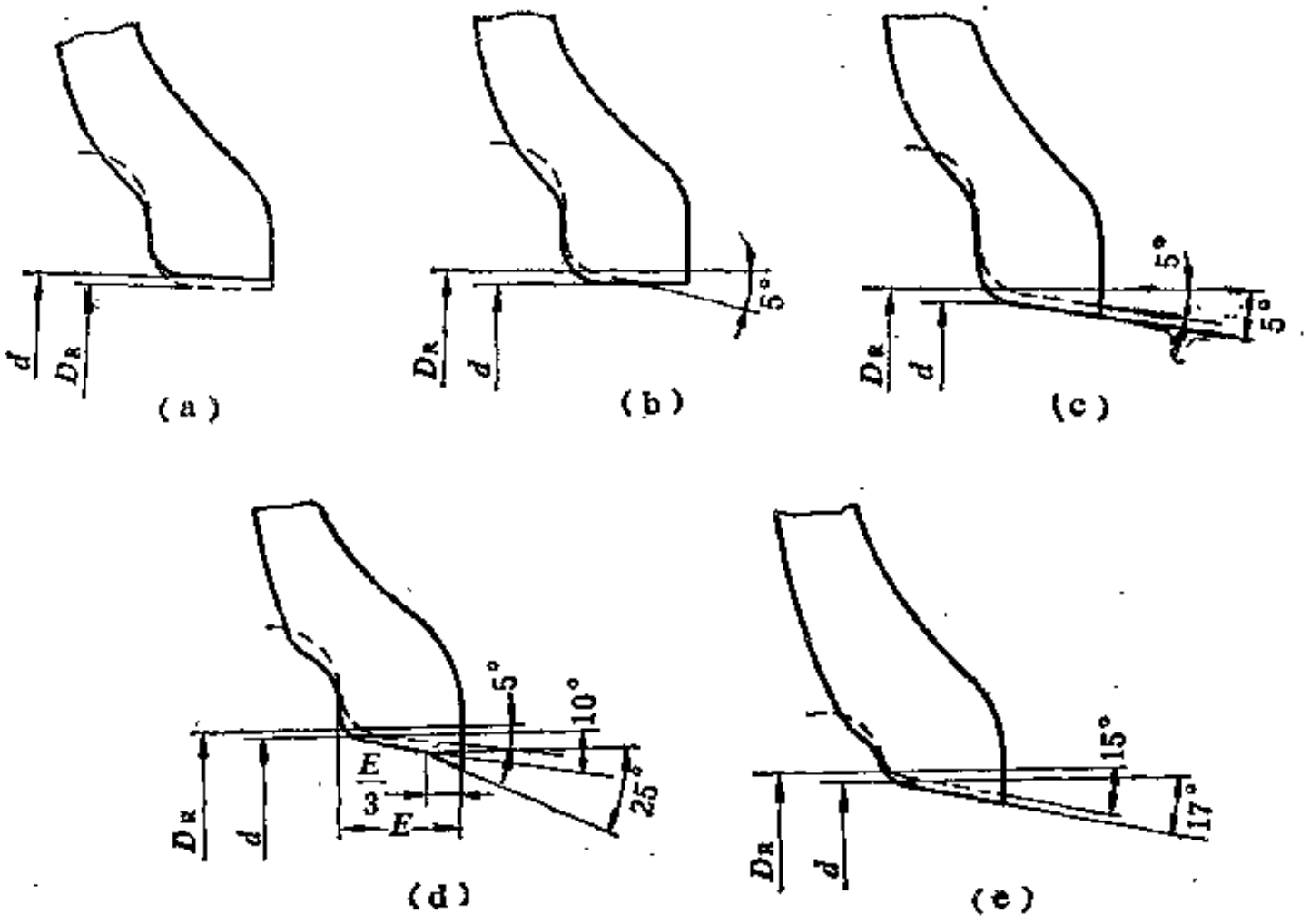



图 1-2-15 轮胎胎圈示意图

（a）平底轮辋载重轮胎；（b）5°斜底轮辋载重轮胎；（c）深槽轮辋轿车轮胎；（d）深槽轮辋轿车无内胎轮胎；（e）深槽轮辋载重无内胎轮胎

1．设计胎面花纹的基本要求

在设计胎面花纹时，有以下几点基本要求。

① 胎面花纹的作用是传递车辆的牵引力和制动力。为此，胎面花纹必须与路面纵向和侧向有良好的接着性能。

② 胎面花纹要尽可能耐磨，且滚动损失小。

③ 在使用中胎面花纹应生热小、散热快、自洁性能好。

④ 胎面花纹应有助于降低缓冲层和帘布层的应力，同时花纹各部位要十分坚实，使用中耐刺扎、不裂口、不掉块。

⑤ 在保证以上各项性能的基础上，还应做到低噪声和美观（这对轿车轮胎来说尤为重要）。

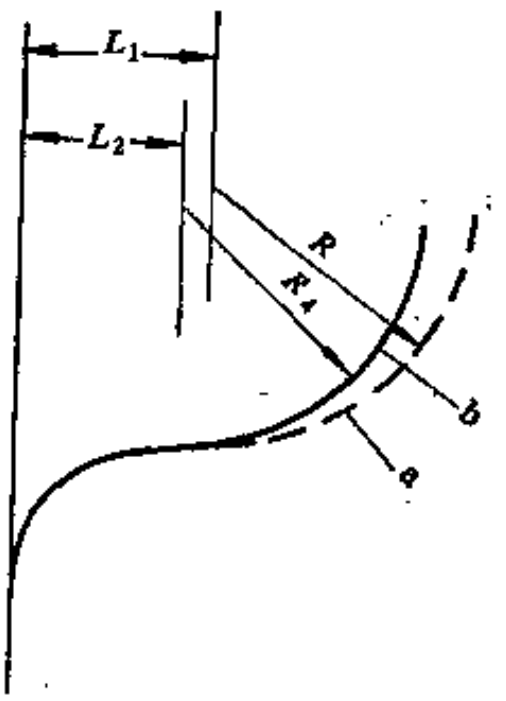



图 1-2-16 轮缘与胎圈轮廓配合图

a—轮缘曲线；b—胎圈曲线

上述这些要求往往相互矛盾，不能同时兼顾。例如越野花纹，花纹沟所占百分比较大，磨耗性能明显下降。因此在设计时，应根据轮胎的结构、用途和使用条件酌情取舍。

2．花纹的类型

轮胎胎面花纹的式样很多，归纳起来可分为三类。即普通花纹、混合花纹和越野花纹。如图1-2-17所示。

（1）普通花纹 普通花纹也称公路花纹。这种花纹适于在较好的水泥路面、柏油路面

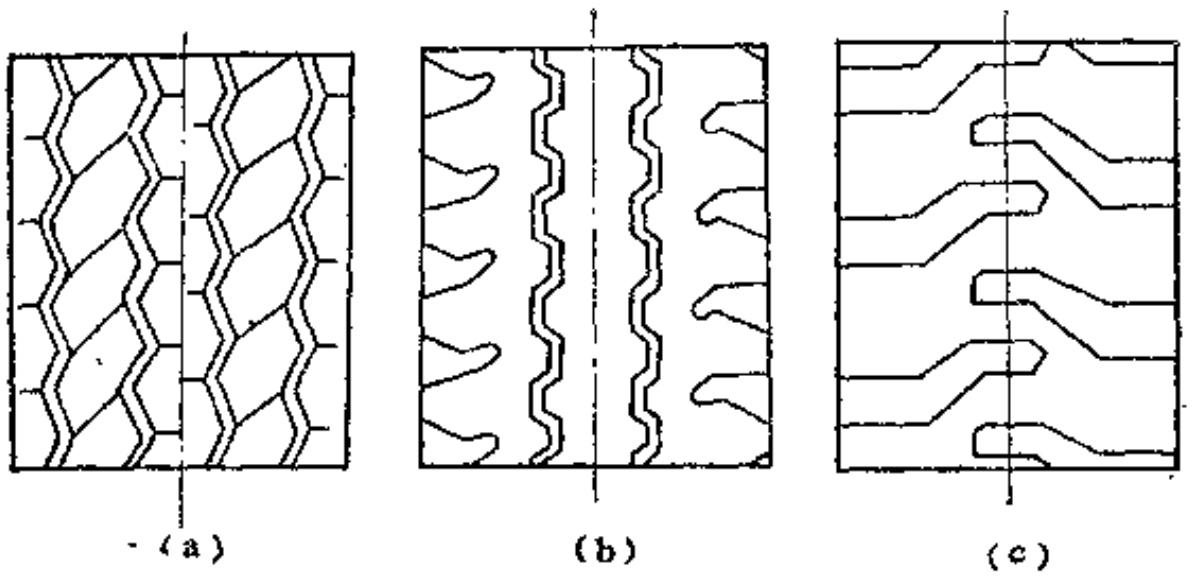



图 1-2-17 轮胎胎面花纹

（a）普通花纹；（b）混合花纹；（c）越野花纹

和泥土路面行驶，与路面有良好的纵向和侧向抓着力，行驶噪声小，胎面耐磨。从花纹沟的分布来看，普通花纹有纵向花纹（如曲折、波形和弓型花纹）、横向花纹（如烟斗、羊角花纹）或纵横结合的花纹（如联烟斗花纹）等几种形式（见图1-2-18及图1-2-19）。

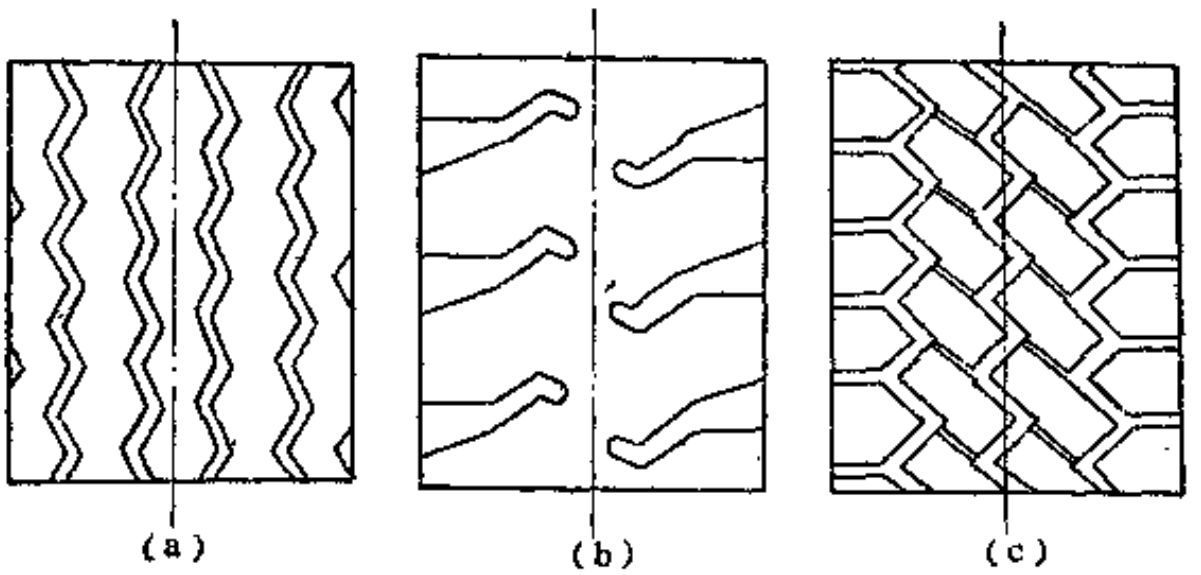



图 1-2-18 载重轮胎普通花纹

（a）纵向花纹；（b）横向花纹；（c）纵横结合花纹

普通花纹的特点有以下几方面。

① 花纹凸出块总面积为行驶面总面积的70～80%。经验证明以78%左右耐磨性能为最佳。

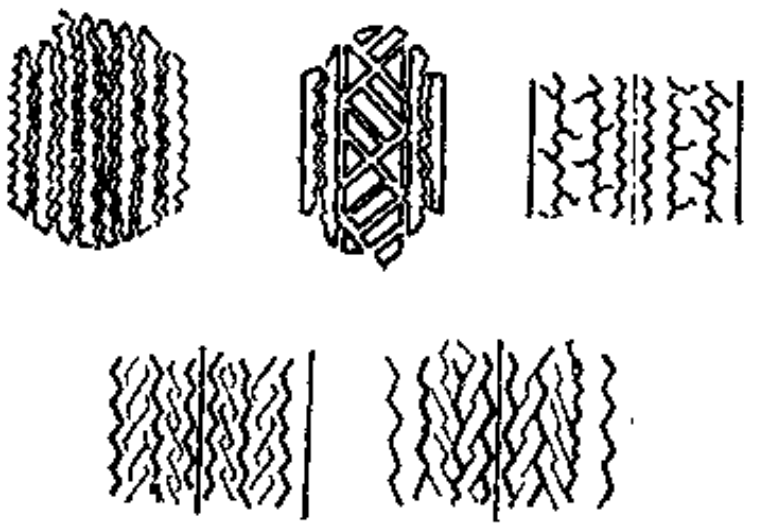


图 1-2-19 轿车轮胎普通花纹

② 在路面条件较差时，载重轮胎多选用横向花纹。如烟斗花纹能明显地减少花纹沟夹石子和基部裂口，提高胎面的耐磨性能。但横向花纹的花纹块较大，散热性能差。特别是加深花纹，设计不当易产生肩空肩裂等缺陷。为避免上述缺点，一般采取适当增加花纹等分数，改进胎肩花纹设计。如加强胎肩增大支撑性能等。此外，横向花纹的防侧滑性能也不及纵向

花纹优越。纵向花纹适于在好路面上行驶，滚动阻力小，散热性能好。但花纹沟断面形状设计不当易产生夹石子和基部裂口等缺陷，从而降低轮胎的使用寿命。

③ 轿车轮胎多选用纵向花纹。为了降低轿车轮胎行驶中的噪声，采用变节距的设计方法（载重轮胎一般采用单节距）。由于轿车行驶速度不断提高，对轮胎防侧滑性和对路面抓着力的要求也相应提高。因此，在纵向花纹的基础上，往往横向分割花纹条并设刀槽花纹，这些刀槽花纹与地面接触时产生切线方向的作用力，增大花纹与路面的摩擦系数，提高轮胎与路面的附着力，同时也利于散热与排水。

④ 胎肩花纹要求支撑性能好散热快，载重轮胎一般为间断的花纹块，而轿车轮胎则以连续性的花纹条较为常见。

（2）越野花纹 越野花纹亦称高行驶性能花纹。适用于崎岖不平的山路，矿山、建筑工地以及松土路、雪泥路、砂地…等。军用越野车和工程车辆用的轮胎，均采用这种类型的花纹。典型的越野花纹见图1-2-20。

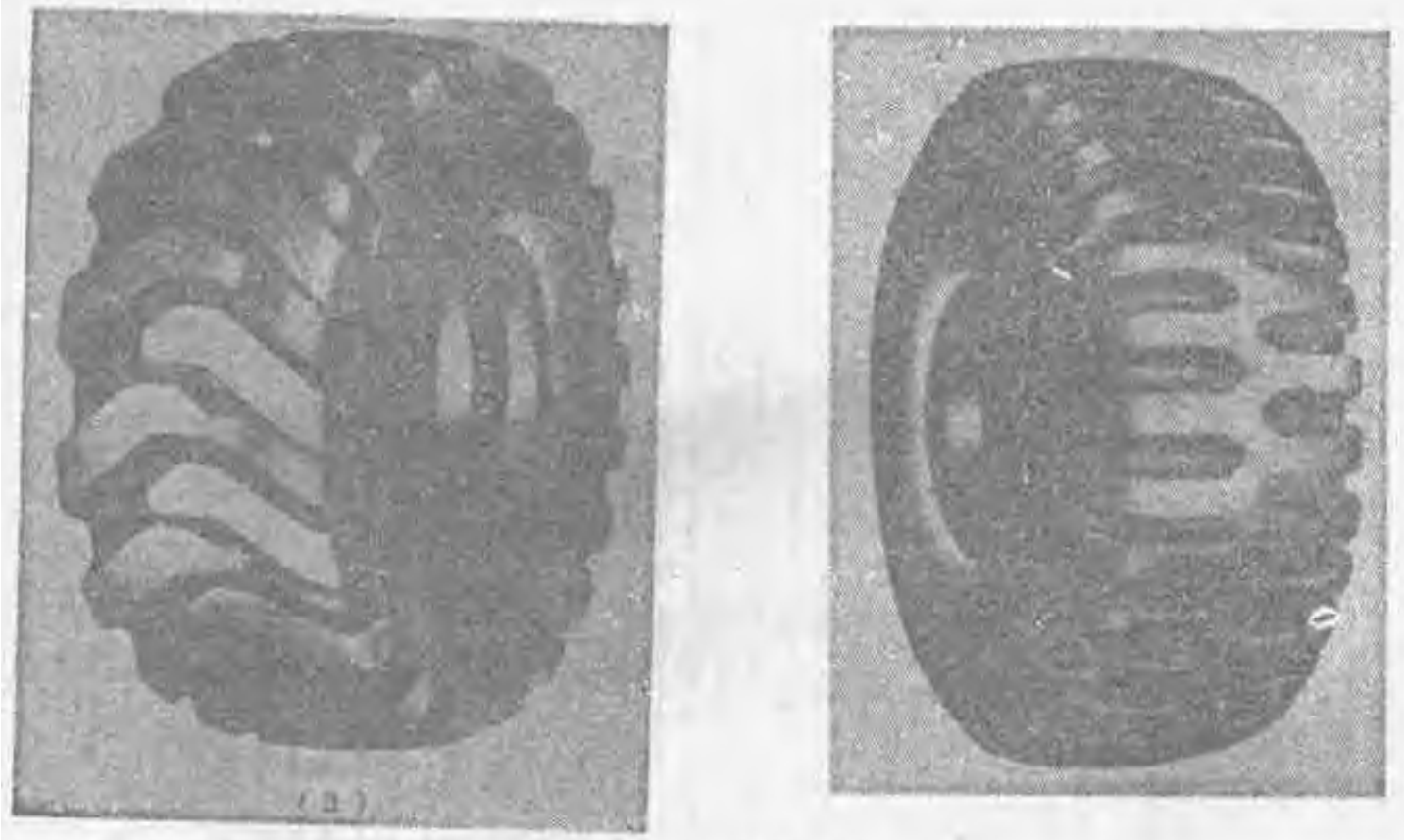


图 1-2-20 越野花纹

从花纹沟的分布来看，越野花纹可分为有向越野花纹和无向越野花纹二种（如图1-2-21所示）。它们共同的特点是与路面的抓着性能好，可充分发挥车辆在泥泞路面的牵引性和通过性（参见表1-2-10）。

表 1-2-10 不同花纹8.25-20轮胎在泥泞路面行驶对比试验结果

| 花纹类型 | 最大牵引力 kN(kgf) | 滚动阻力 kN(kgf) | 滚动阻力系数 $f$ | 可爬坡度 |
|---|---|---|---|---|
| 越野花纹（人字形） | 28.15(2870) | 6.67(680) | 0.084 | 15°38′ |
| 普通花纹（瓶形） | 19.32(1970) | 6.37(650) | 0.079 | 9°24′ |
| 普通花纹（条形） | 20.30(2070) | 6.37(650) | 0.079 | 10°5′ |

有向越野花纹和无向越野花纹两者相比，无向花纹防侧滑性能差，在泥泞道路上自洁性能也较差。与之相反，有向花纹排泥性能较好。但有向花纹使用时有方向性，给保养换位带来不便。



（a）　　（b）

图 1-2-21　越野花纹
（a）有向越野花纹；　　（b）无向越野花纹

越野花纹设计特点如下。

①　花纹凸出部分总面积为行驶面总面积的40～50%。

②　矿山、石砾地使用的越野花纹，花纹沟较窄，花纹块底部较上部略宽，且花纹块一般都延伸至胎肩区，花纹凸出部分所占的面积较大，与普通花纹相近似(如图1-2-22所示）。

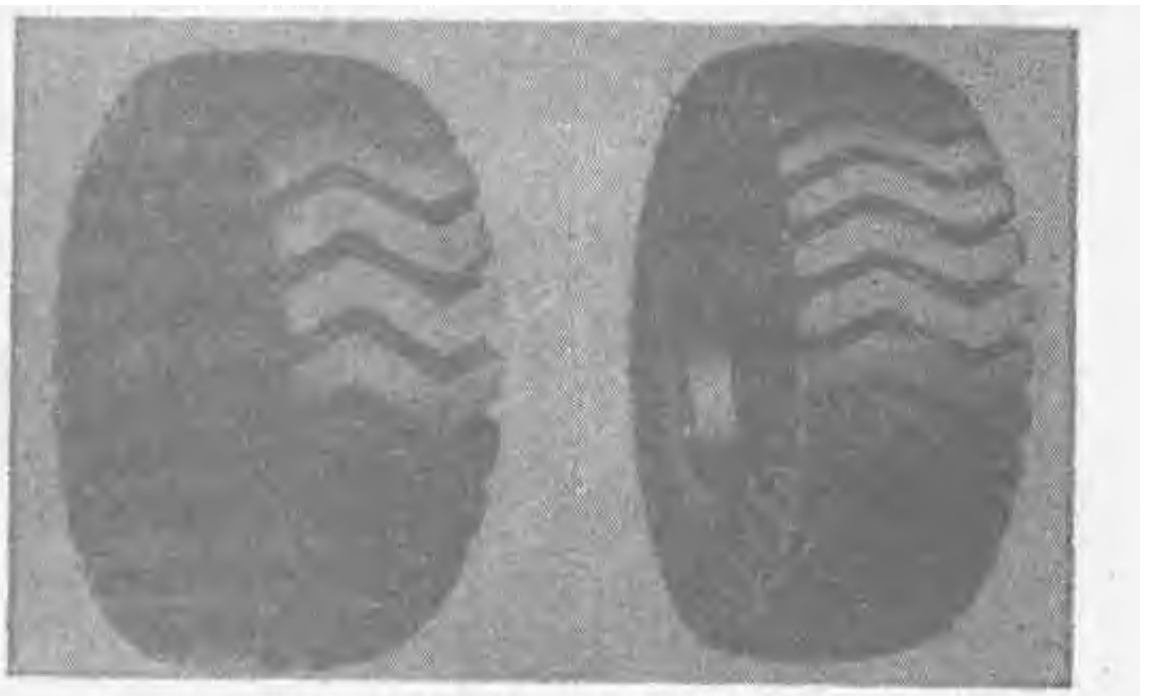


图 1-2-22　矿山用越野花纹示例

③　冰雪地用的越野花纹，花纹块较分散，花纹沟较浅。为了提高轮胎在冰雪条件下的行驶性能，可适当安装防滑钉，以增加轮胎与路面的抓着力（如图 1-2-23 所示）。安装防滑钉的数目，载重轮胎可用$\phi$1.5mm的防滑钉，每条胎用250～600个；轻型载重轮胎用$\phi$12mm的防滑钉，每条胎用150～250个；轿车轮胎则可用 $\phi$8～9mm 的防滑钉，每条胎用100～180个。由于防滑钉对路面有较大的损伤，必须酌情使用。

（3）混合花纹　混合花纹属于普通花纹和越野花纹之间的一种过渡型花纹（见图1-2-24)。适于城市与乡村之间的碎石、软土路面。轻型载重轮胎多采用这种花纹，其设计特点有如下几方面。

①　花纹凸出部分总面积为行驶面总面积的60～70%。

②　花纹沟的分布，一般是中部为纵向分布的窄沟槽，面两肩为横向宽沟槽。

③　混合花纹对路面的抓着力优于普通花纹，但不及越野花纹。其主要缺点是耐磨性能差，胎肩花纹块易产生磨耗不匀。



图 1-2-23　装有防滑钉的越野花纹



图 1-2-24　混合花纹

3．花纹沟深度的确定

花纹沟深度根据轮胎规格、花纹类型、胎体强度、车辆的行驶速度(高速、中速或低速)以及要求达到的行驶里程综合考虑选值。各类轮胎花纹沟的深度有一定的取值范围，参见表1-2-11～表1-2-15。

表 1-2-11　载重轮胎胎面花纹深度　　单位：mm

| 花纹类型 | 断面规格代号 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5.00～6.00 | 6.00～7.00 | 7.50～8.25 | 9.00～10.00 | 11.00～12.00 | 13.00～14.00 | 16.00～18.00 |
| 普通花纹 | | | | | | | |
| 标准深度 | 8～10 | 10～11 | 11～12 | 11.5～13 | 13.5～14 | 14.5～15.5 | — |
| 加深 | — | 12～16 | 14～18 | 15～20 | 16～22 | — | — |
| 混合花纹 | | | | | | | |
| 标准深度 | 9～11 | 10～13 | 11～14 | 12～15 | 14～17 | — | — |
| 加深 | — | 12～16 | 14～18 | 16～20 | 18～24 | — | — |
| 越野花纹 | 13～15 | 14～17 | 16～19 | 17～20 | 21～22 | 24～26 | 28～30 |

表 1-2-12　轿车轮胎胎面花纹深度　　单位：mm

| 花纹类型 | 断面规格代号 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 4.00～5.00 | 5.00～6.00 | 6.00～7.00 | 7.00～8.00 | 8.00～9.00 |
| 普通花纹 | 5.5～7 | 7～8 | 8～8.5 | 8.5～9 | 9～9.5 |
| 越野花纹 | 9～13 | 11～14 | 11～14.5 | 12～15.5 | 12～15.5 |

表 1-2-13　工程胎胎面花纹深度　　单位：mm

| 花纹类型 | 断面规格代号 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 7.00～7.50 | 8.25～9.00 | 10.00～11.00 | 12.00～13.00 | 14.00～16.00 | 18.00～21.00 | 24.00～27.00 | 30.00～33.00 | 36.00及以上 |
| 普通花纹 | 17～18 | 19～20 | 20.5～21 | 22～24 | 25～28.5 | 31.5～35 | 38～42.5 | 46.5～50 | 54.5～55 |
| 牵引型花纹 | 10～11 | 11～12 | 12～13 | 13～14 | 14.5～16 | 17.5～20 | 21～23.5 | 25.5～28 | — |
| 加深花纹 | — | 28～30 | 31～32 | 33.5～43 | 45.5～51 | 53.5～54 | 57～63.6 | 69.5～76 | 75.5～82 |
| 超深花纹 | — | — | — | 59～60 | 63.5～71 | 78.5～87 | 96～106 | 116～116.5 | — |

表 1-2-14 美国“TRA”年鉴建议花纹深度 单位：mm

| 斜交轮胎 | | | | 子午线轮胎 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 轮胎规格标志 | 花纹设计深度 | | | 轮胎规格标志 | 花纹设计深度 | | | |
| | 普通花纹 | 加深花纹 | 牵引花纹 | | 普通花纹 | 加深花纹 | 牵引花纹 | 超深牵引花纹 |
| 6.00 | 10.0 | — | 16.0 | 6.00R | 10.0 | — | 14.5 | — |
| 6.50 | 10.5 | — | 16.5 | 6.50R | 10.5 | — | 15.0 | — |
| 7.00 | 11.0 | — | 17.0 | 7.00R | 11.0 | — | 15.5 | 17.0 |
| 7.50 | 11.5 | — | 18.0 | 7.50R | 11.5 | — | 16.0 | 18.0 |
| 8.25 | 12.0 | 15.0 | 19.0 | 8.25R | 12.0 | 14.0 | 16.5 | 19.0 |
| 9.00 | 12.5 | 17.0 | 20.0 | 9.00R | 12.5 | 14.5 | 17.0 | 20.0 |
| 10.00 | 13.0 | 18.5 | 20.5 | 10.00R | 13.0 | 15.0 | 17.5 | 20.5 |
| 11.00 | 13.5 | 19.5 | 21.0 | 11.00R | 13.5 | 15.5 | 18.0 | 21.0 |
| 12.00 | 14.0 | — | 22.0 | 12.00R | 14.0 | — | 18.5 | 22.0 |
| 13.00 | 14.5 | — | 24.0 | 13.00R | 14.5 | — | 19.0 | 24.0 |
| 14.00 | 15.5 | — | 25.5 | 14.00R | 15.5 | — | 20.0 | 25.0 |
| | | | | 16.00R | 16.0 | — | 20.5 | 28.5 |

表 1-2-15 日本“JIS”轮胎标准花纹深度 单位：mm

| 轮胎类型 | 轮胎规格标志 | 公路 (HW) | 公路 (HW-J) | 加深 (HT) | 超深 (EHT) |
|---|---|---|---|---|---|
| 斜交轮胎 | 7.00 | 10.9 | — | 12.7 | 17 |
| | 7.50 | 11.2 | — | 13.2 | 17.8 |
| | 8.25 | 11.9 | — | 15.0 | 18.8 |
| | 9.00 | 12.5 | 15.0 | 17.3 | 20.1 |
| | 10.00 | 13.0 | 16.0 | 18.4 | 20.6 |
| | 11.00 | 13.5 | 17.0 | 19.4 | 21.3 |
| | 12.00 | 14.0 | — | 20.8 | 22.4 |
| | 13.00 | 14.7 | — | — | 23.9 |
| | 14.00 | 15.5 | — | — | 25.4 |
| 子午线轮胎 | 7.50 | 12.0 | 12.5 | 15.0 | 17.8 |
| | 8.25 | 12.5 | 13.0 | 15.5 | 18.8 |
| | 9.00 | 13.0 | 13.5 | 16.0 | 20.1 |
| | 10.00 | 13.5 | 14.0 | 16.5 | 20.6 |
| | 11.00 | 14.0 | 14.5 | 17.0 | 21.3 |
| | 12.00 | 14.5 | 15.5 | 17.5 | 22.4 |

一般认为增加花纹深度，能显著提高行驶里程。但随着花纹的加深，不仅增加了橡胶的消耗，花纹块的移动性和滚动阻力也随之增大，胎面的耐磨性受到一定的影响，使用寿命达不到预期的效果。同时车辆的燃料消耗也将增加。因此，必须按综合经济效益最佳方案来确定花纹深度。

另外，在确定花纹深度时，还应考虑与其它花纹设计参数的比例关系，如与花纹沟的宽度，花纹凸出块的面积，花纹节距数等的关系。

4. 花纹沟断面形状的确定

（1）花纹沟宽度 花纹沟宽度是花纹设计的基本参数，由胎面的耐磨性和抓着力二个

因素决定。增加花纹沟宽度能使胎面柔软、增大与路面的抓着力，也能减轻沟底裂口和夹石子，但易造成胎面不耐磨、掉块等缺陷。因此，花纹沟不宜过宽。花纹沟的分布要均匀，不能使花纹块大小差异过大。一般应控制在20～50%以内。同时花纹块的宽度不得小于花纹深度的2倍。

越野花纹在软土路面上行驶时，花纹沟较宽，一般为花纹深度的100～400%。普通花纹在硬路面上行驶时，花纹沟较窄，一般与花纹深度相似。在不影响胎面磨耗性能的前提下，花纹沟要尽可能增宽。

（2）花纹沟排列角度　花纹沟排列角度一般为25～60°，也可成0°或90°，但至少要与胎冠帘线角度相差3°，不能使花纹块有突出的锐角部分。接近胎肩的横向沟槽，应向外开放，便于排泥避免淤塞。

（3）花纹沟的断面形状　花纹沟的断面形状有如下几种。见图1-2-25。

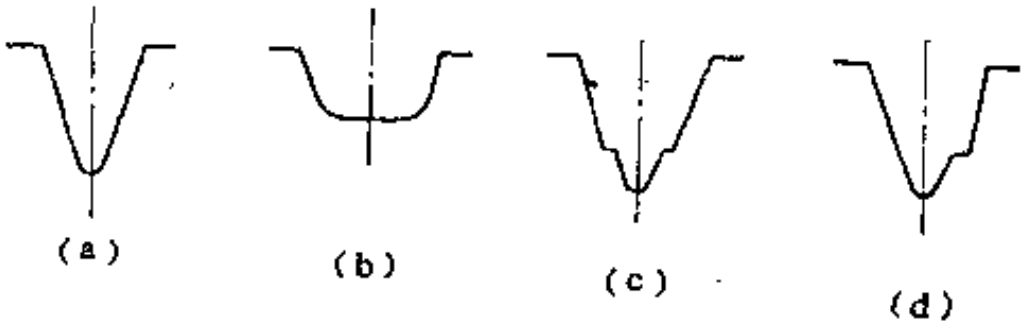



图 1-2-25　花纹沟的断面形状

（a）普通窄花纹沟；（b）宽花纹沟；（c）双层花纹沟；（d）单边双层花纹沟

普通花纹多采用a，c，d断面形状，越野花纹多采用b断面形状。花纹沟的断面呈向外开放型。在设计纵向花纹的花纹沟断面时，应尽可能使$\frac{沟宽}{沟深}\geqslant 1$。在不可达到上述要求时，可采用“单边双层”或“双边双层”断面形状来达到。

花纹沟底半径$R$，对普通纵向花纹约为1～2mm，也可用式（1-2-14）计算（参见图-2-26）。

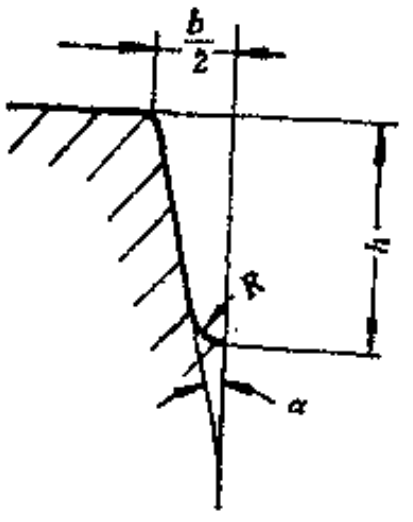



图 1-2-26　花纹沟底半径设计示意图

$$R=\frac{\frac{b}{2}-t\mathrm{tg}\alpha}{\frac{1}{\cos\alpha}-\mathrm{tg}\alpha}=\frac{\frac{b}{2}\cos\alpha-t\sin\alpha}{1-\sin\alpha} \tag{1-2-14}$$

花纹沟两壁一般都设计一定的倾斜角度$\alpha$，向外开放呈“V”形，角度的大小随花纹类型而异。

纵向花纹花纹沟较窄，以8～10°为宜；横向花纹花纹沟较宽，应选取较大的角度，如烟斗花纹沟壁倾斜角度一般采用20°左右。

越野花纹中的窄沟，沟壁的倾斜角度为20°左右，而宽沟可增大到30°左右。而且两侧倾斜角度不同，先着地的一侧，沟壁倾斜角度为前角，以15°左右为宜。后着地的一侧，沟壁倾斜角度为后角，以25°左右为宜。前角小使花纹块能更有力的压实土壤，提高土壤的剪切

强度，增大车辆的牵引力。后角大可提高花纹离地时的自洁性，甩掉泥沙和土壤。

花纹沟设计参数示例见表1-2-16，国外轮胎胎面花纹参数见表1-2-17。

表 1-2-16 花纹沟设计参数示例

| 轮胎规格 | 花纹类型 | 花纹沟深 mm | 花纹沟宽 mm | 花纹沟壁 角度 | 沟底弧度 半径 | 花纹节数 | 花纹沟占胎面总面积，% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9.00-20 | 条形 | 15 | 12 | 14°,22° | 2 | 60 | 29 |
| 9.00-20 | 烟斗 | 17 | 12,14,17 | 16°,20° | 3 | 48 | 21 |
| 11.00-20 | 条形 | 16 | 15 | 22° | 2.5 | 60 | 26 |
| 11.00-20 | 烟斗 | 17 | 14,18,23 | 18°,20° | 3 | 50 | 21.5 |
| 175R14 | 条形 | 8 | 3.5,4 | 11° | 1 | — | 20 |
| 216R15 | 条形 | 7,9 | 3,3.5,4 | 9°,10° | 1,1.5 | — | 19 |

表 1-2-17 国外轮胎胎面花纹参数

| 项目 | 载重轮胎 | | | 轻型载重轮胎 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 普通花纹 | 混合花纹 | 越野花纹 | 普通花纹 | 越野花纹 |
| 花纹块面积，% | 60～80 | 50～70 | 40～60 | 60～80 | 45～60 |
| 花块距/花块宽 | 0.2～0.5 | 0.4～1.1 | 0.4～4.5 | 0.1～0.5 | 0.1～1.1 |
| 花块宽/花纹沟深 | 1.2～3 | 1.5～3 | 1.5～3 | 0.8～2.5 | 1.5～3 |
| 花块宽/花纹沟宽 | 2～5 | 2～5 | 0.5～4 | 2～4 | 0.8～3 |
| 花纹沟宽/花纹沟深 | 0.5～0.8 | 0.3～3 | 0.5～4 | 0.2～0.6 | 0.5～3 |
| 花纹沟壁倾角 | 0.5～6° | 0.5～20° | 5～30° | 0.5～6° | 3～20° |

5．其它

（1）上胎侧防擦线　一般载重轮胎和轿车轮胎在胎肩切线下设防擦线。中型载重轮胎防擦线宽度约为15～30mm，厚度为1mm左右。轿车轮胎防擦线宽度为10～20mm，厚度为0.5mm左右。也可在一侧水平轴附近设厚度8～15mm的防擦线，保护胎侧不受机械损伤。

（2）下胎侧防水线　在靠近轮辋边缘的胎圈部位设防水线，一方面可借以观察外胎安装于轮辋的位置是否准确，又可防止泥沙进入外胎和轮辋之间。根据轮胎规格的大小，设防水线1～3条，宽度2～5mm，厚度0.5～1.5mm。

（3）排气孔和排气线　为避免外胎硫化后花纹块、胎侧和胎圈缺胶，在以上部位设排气孔或排气线。排气孔的直径一般为0.6～1.8mm，其数量和位置随花纹形状和外胎外轮廓曲线而定。一般排气孔设于胎肩、胎侧、下胎侧防水线和花纹块的拐角处（见图1-2-27～1-2-30）。用二半模硫化的纵向花纹，可在模型花纹沟上开联沟。

（4）磨耗标记

a．轿车轮胎胎面磨耗标记　一般在圆周上使用6个或8个间隔均匀的磨耗标记。标记在所有主花纹沟里周向环绕轮胎，并跨越胎面整个宽度。磨耗标记一般高1.6mm，长5～12mm，其示意见图1-2-31。

b．载重轮胎胎面磨耗标记　所有条形花纹的轮胎，圆周至少有6个间隔近似均匀的磨耗标记，标记在主花纹沟里周向环绕轮胎，并跨越胎面的整个宽度。磨耗标记的高度，一般载重轮胎为2.4mm，重型载重轮胎为3.2mm，长度为40mm左右，其示意见图1-2-32和图1-2-33。

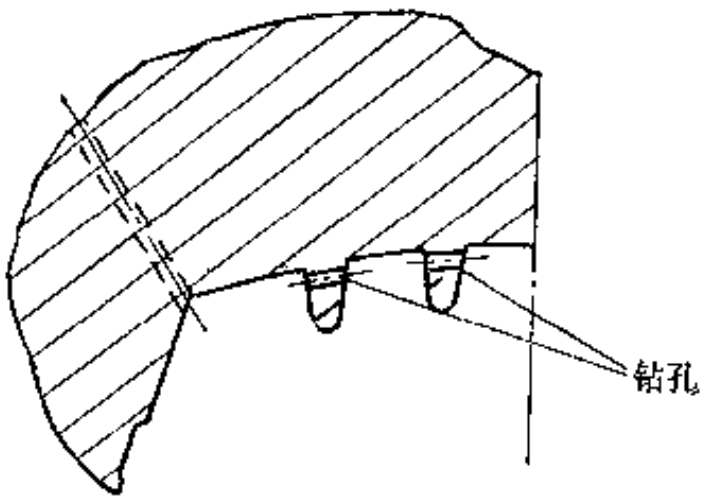



图 1-2-27　模型上曲折花纹排气孔示意

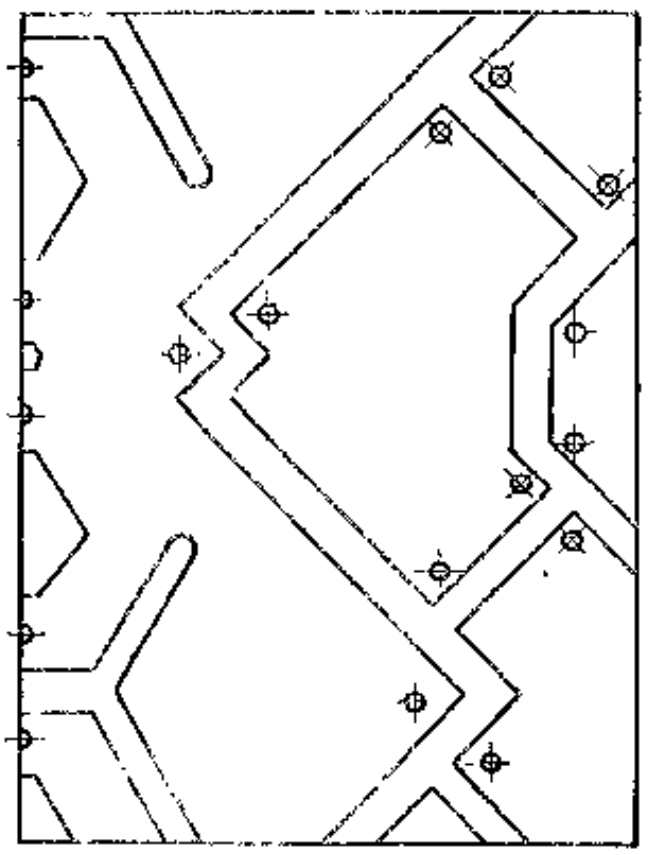


图 1-2-28　花纹块上排气孔位置示意

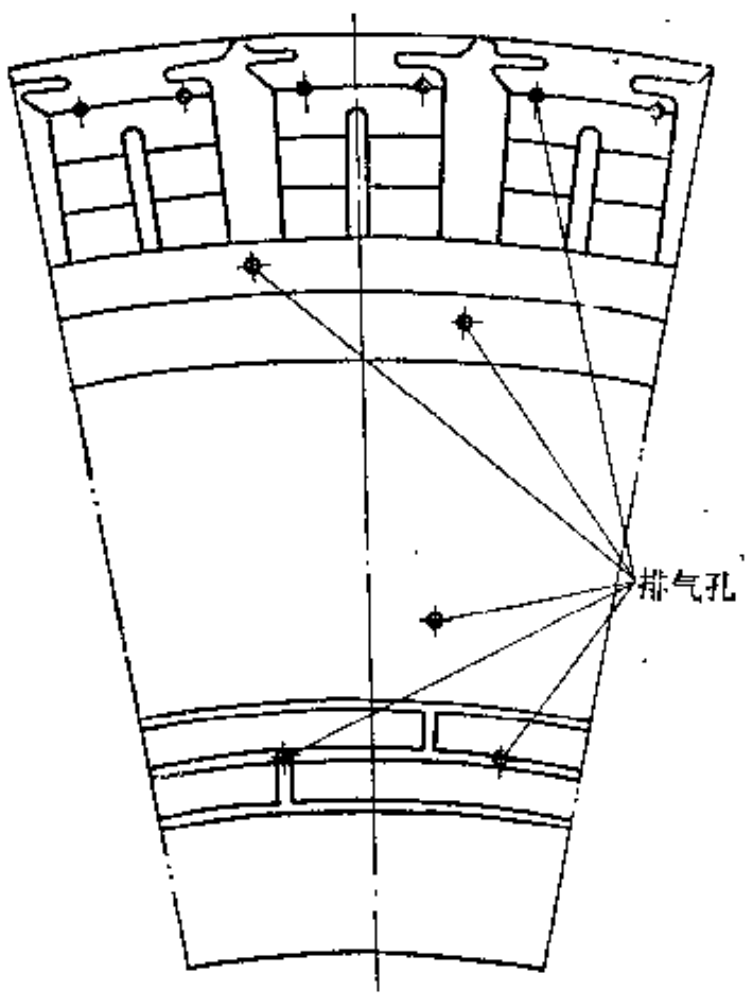



图 1-2-29　胎侧排气孔示意图

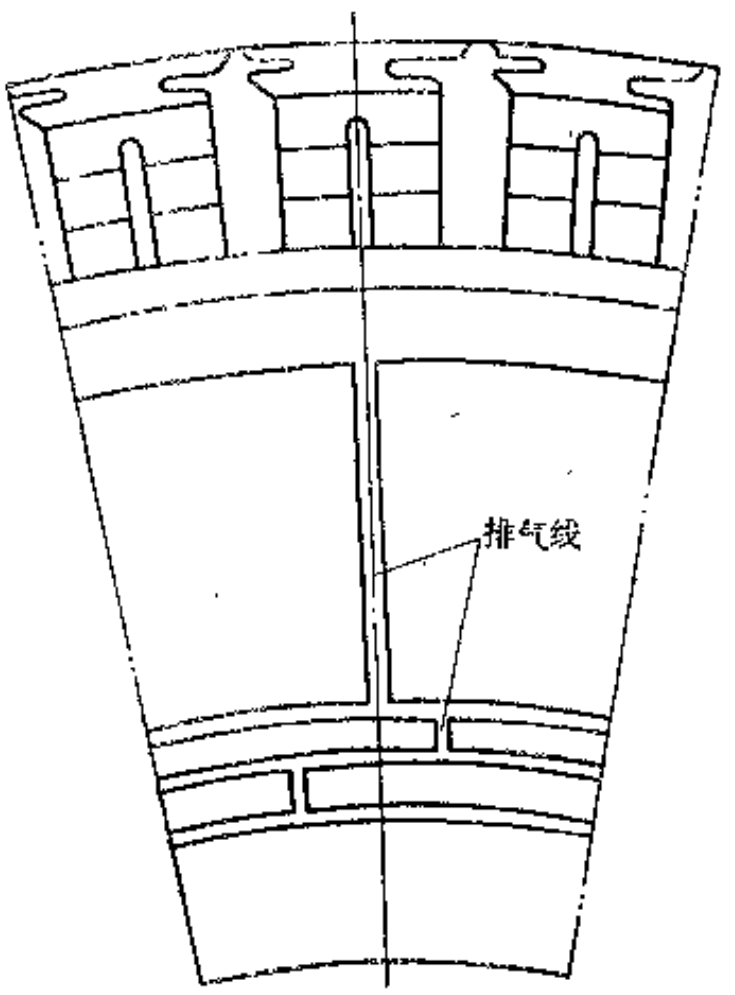



图 1-2-30　胎侧排气线示意图

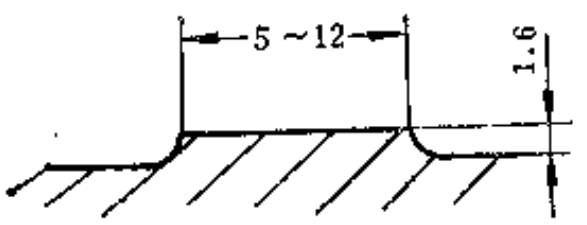



图 1-2-31　胎面磨耗标记示意

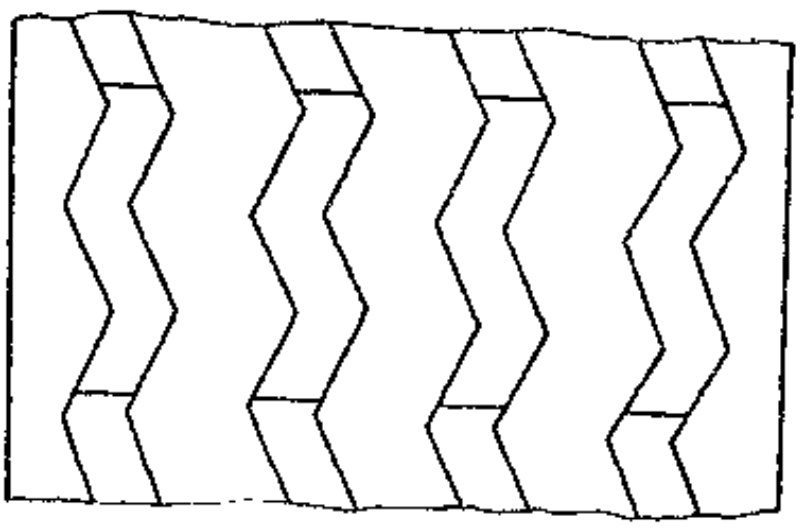


图 1-2-32　曲折花纹磨耗标记示意

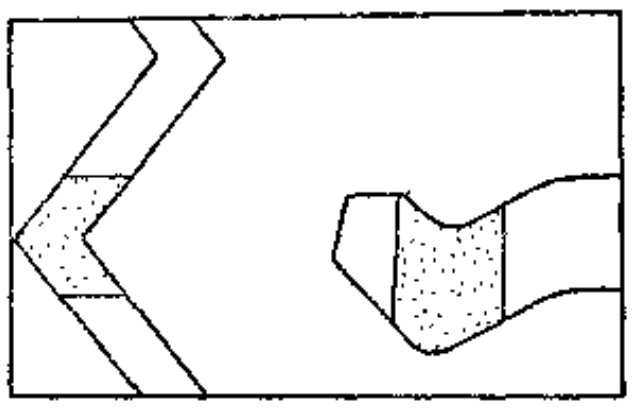


图 1-2-33　烟斗花纹磨耗标记示意

### （五）外胎内轮廓设计

外胎外轮廓曲线确定之后，可准确地进行胎体强力、钢丝圈强力和带束层强力计算。以上的强力计算均以静态为准，以内压作用下所受应力为依据。然后根据轮胎的使用条件，加上必要的安全系数。轮胎的各组成部分因作用不同，各有其本身所要求的安全系数范围。另外，设计时，还应考虑因用户的要求而需增加的强力。

1．胎体帘布层数及其安全系数的计算

外胎由多层挂胶帘布组成，在内压作用下，胎体帘线承受伸张应力，斜交轮胎胎体承受内压引起的初始应力的80～90%，子午线轮胎中，带束层决定轮胎的形状和构件中由内压引起的初始应力。载重子午线轮胎带束层承受此应力的60～75%。

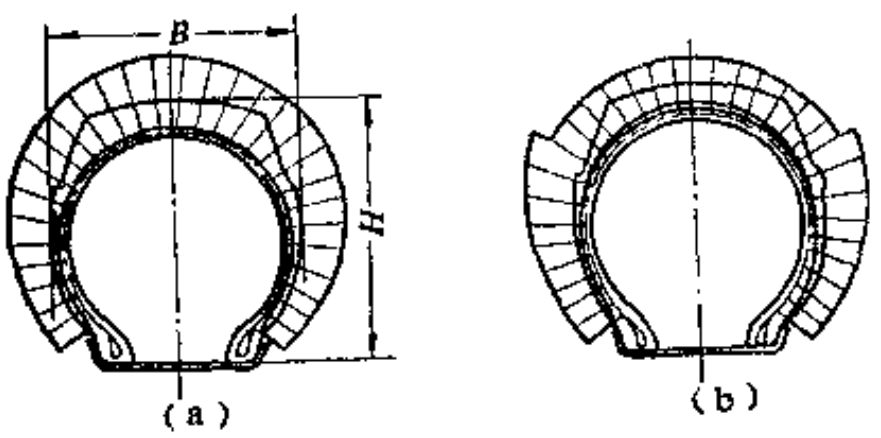



图 1-2-34　外胎断面上的应力分布
（a）无缓冲层帘布时帘线应力变化图；
（b）有缓冲层帘布时帘线应力变化图

斜交轮胎胎体帘布层数为偶数，相邻两层帘布中帘线相互交叉排列。而子午线轮胎的胎体帘布层为偶数（也可为奇数）。

在内压作用下，胎体中帘线所受的张力在胎冠部位达到最大值，逐渐向胎圈部位减小。外胎断面各点帘线所受张力的变化情况见图1-2-34。因此在计算单根帘线所受应力时，都以胎冠点为准。

胎体中帘布的层数或外胎的层级取决于轮胎的规格、类型（斜交轮胎或子午线轮胎）、内压、帘线强力和所取的安全系数。帘布层数的选定要使安全系数 $K$ 达到表1-2-18所列的范围。

（1）单根帘线所受张力的计算（参见图1-2-35）

表 1-2-18　载重轮胎和轿车轮胎安全系数取值范围

| 轮胎类型 | 安全系数$K$ | 轮胎类型 | 安全系数$K$ |
|---|---|---|---|
| 载重轮胎 | | 轿车轮胎 | |
| 良好路面 | 10～12 | 良好路面 | 10～12 |
| 不良路面 | 14～18 | 不良路面 | 12～14 |
| 长途汽车 | 16～18 | 高级轿车轮胎 | 12～14 |
| 矿山挖掘和森林采伐等 | 18～20 | | |

$$N=\frac{P(R_k^2-R_0^2)}{2R_k\cdot\sum i_k}\cdot\frac{1}{\cos^2\beta_k} \tag{1-2-15}$$

计算子午线轮胎胎体中单根帘线所受应力时，上式可简化为：

$$N=\frac{P(R_k^2-R_0^2)}{2R_k\cdot\sum i_k} \tag{1-2-16}$$

式中 $N$——单根帘线所受张力，N(kgf/根)；

$P$——内压，kPa(kgf/cm²)；

$R_k$——胎里半径（轮胎胎里至旋转轴间的距离），cm；

$R_0$——零点半径（轮胎断面最宽点至旋转轴间的距离）cm；

$\sum i_k$——胎冠各层帘布帘线密度之和（斜交轮胎包括缓冲层帘线），根/cm

（2）帘线密度的计算

$$i_k=i_0\frac{r_0}{R_k}\cdot\frac{\cos\alpha_0}{\cos\beta_k} \tag{1-2-17}$$

式中 $i_0$——各层帘布帘线原始密度，根/cm；

$i_k$——胎冠点帘线密度，根/cm；

$r_0$——第一帘布筒半径，cm；

$\alpha_0$——帘布裁断角度，度；

$\beta_k$——胎冠帘线角度，度

（3）帘线安全系数的计算

$$K=\frac{S}{N} \tag{1-2-18}$$

式中 $K$——帘线强度安全系数；

$S$——单根帘线强力，N/根 (kgf/根)；

2. 挂胶帘布厚度的选取

胎体中隔离胶或布层间的薄层橡胶，承受来自帘线张力的剪切应力和应变。轮胎滚动时剪切的每一循环中，还存在对帘线的扭力，帘布层间的隔离胶加厚，能大大降低这种扭力（扭力的大小与帘线的疲劳强度直接相关）。隔离胶的厚度不仅对防止脱层十分重要，而且对帘线绕自身轴扭转也是关键。因此，隔离胶层和帘布层间薄胶层的厚度必须适当（见图1-2-36）。

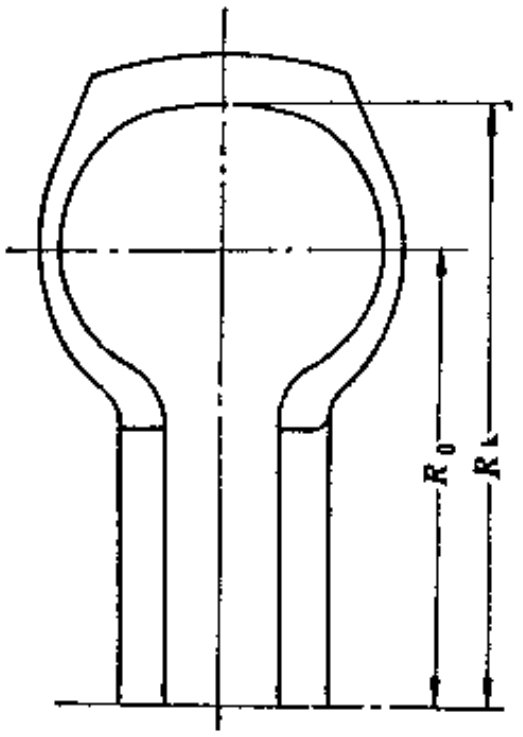



图 1-2-35 单根帘线所受张力计算图

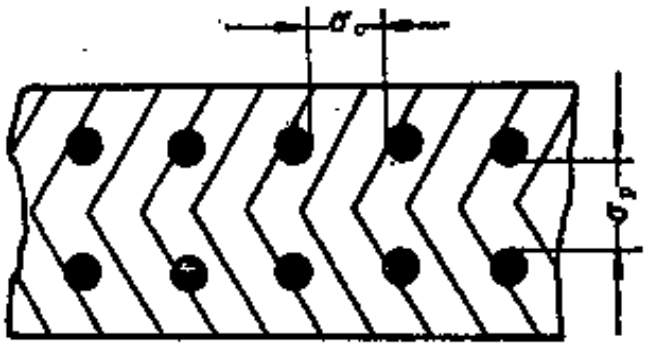



图 1-2-36 布层间胶料分布图

剪切应力的大小及其分布是布层间胶层厚度的决定因素。剪切力沿着帘线方向的大小不一，以胎冠部位为最大。帘布层间的胶层不能过薄也不能过厚，最好掌握帘线间橡胶厚度与布层间橡胶厚度之比在0.7～1.0之间。因此，多层布层的轮胎需在冠部加隔离胶层。

一般纤维帘布表面挂胶厚度为0.2～0.3mm，钢丝帘布表面挂胶厚度 为0.6～0.8mm。常用挂胶帘布厚度见表1-2-19。

**表 1-2-19 胎体及缓冲层（带束层）挂胶帘布厚度**

单位：mm

| 帘线类别 | 帘线直径 | 胎体挂胶帘布厚度 | 缓冲层（带束层）、挂胶帘布厚度 |
|---|---|---|---|
| 棉帘线 | 0.83 | 1.25～1.35 | 1.55～1.70 |
| 人造丝帘线 | 0.73 | 1.10～1.25 | 1.50～1.65 |
| 尼龙帘线 | 0.65 | 1.05～1.15 | 1.45～1.60 |
| 钢丝帘线 | 1.20 | 2.7～3.0 | 2.5～2.6 |
| 钢丝帘线 | 0.90 | 2.2～2.5 | 2.0～2.2 |

3．胎圈结构及强度计算

胎圈的结构，必须保证成型操作简便，胎圈坚固，并保证能均匀地过渡到胎侧。表1-2-20为各类轮胎胎圈结构示例，图1-2-37为胎圈结构。

（1）包圈方法　根据胎体实际层数而定，一般 6 层以下的胎体用单钢丝圈，6 层以上的胎体用双钢丝圈或三个钢丝圈。

**表 1-2-20 各类轮胎胎圈结构示例**

| 层　数 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 结构 | 2-0<br>1-1 | 2-2 | 4-2 | 3-3-2 | 4-4-2 | 4-4-4 | 6-4-4<br>5-5-4 | 6-4-6 | 6-4-4-4 | 6-4-4-4-2 |

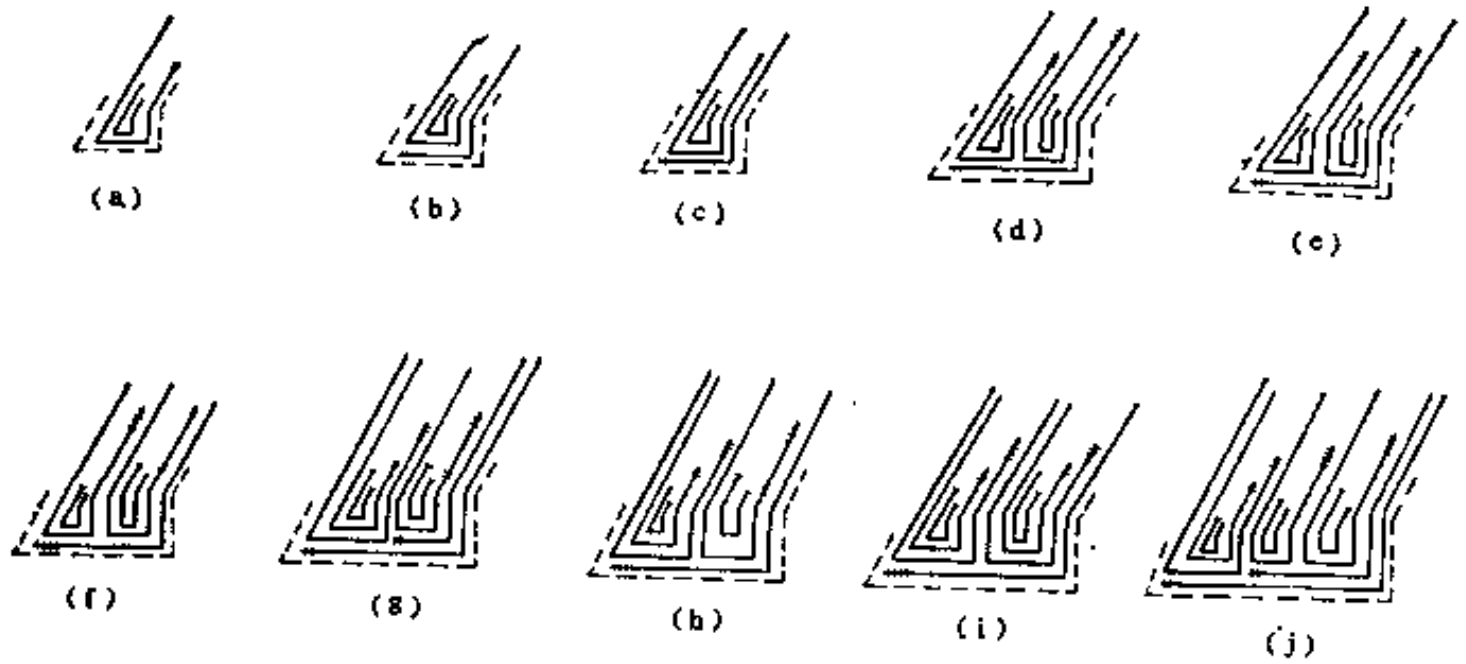



图 1-2-37　胎圈结构示意

（a）2—0结构；（b）2—2结构；（c）4—2结构；（d）3—3—2结构；（e）4—4—2结构；（f）4—4—4结构；（g）6—4—4结构；（h）5—5—4结构；（i）6—6—4结构；（j）6—4—4—4结构

（2）钢丝圈直径$D_t$ 钢丝圈直径根据帘布层的包圈方法、钢丝底部材料的总厚度和压缩率确定。

$$D_t = d + 2TK_0 \tag{1-2-19}$$

式中 $d$——胎圈着合直径，mm；

$T$——压缩前钢丝圈底部材料的总厚度，mm；

$K_0$——压缩系数（一般采用0.9～0.95，胎体帘布层数多或着合直径小的轮胎采用0.98～1.00，甚至采用1.00以上的数值）。

（3）钢丝圈的强度 胎圈中所需钢丝的根数，通过内压作用下钢丝圈所受的应力求得（参见图1-2-38）。

$$T = \frac{P(R_k^2 - R_0^2)}{2\cos\alpha_n} \cdot \cos\beta_n \tag{1-2-20}$$

$$\sin\alpha_n = \frac{r_n}{R_k} \cdot \sin\beta_n \tag{1-2-21}$$

式中 $T$——钢丝圈所受的应力，kN(kgf)；

$P$——内压，kPa(kgf/cm²)；

$\alpha_n$——轮辋点帘线角度，(°)；

$r_n$——轮辋点半径，cm。

计算子午线轮胎钢丝圈强度时，式（1-2-20）可简化为：

$$T = \frac{P(R_k^2 - R_0^2)}{2} \tag{1-2-22}$$

$$\text{安全系数 } K = \frac{nS_1}{T} \tag{1-2-23}$$

式中 $n$——钢丝根数；

$S_1$——单根钢丝强力，N/根(kgf/根)。

用式（1-2-22）计算钢丝圈强度时，安全系数不应小于5～6倍。

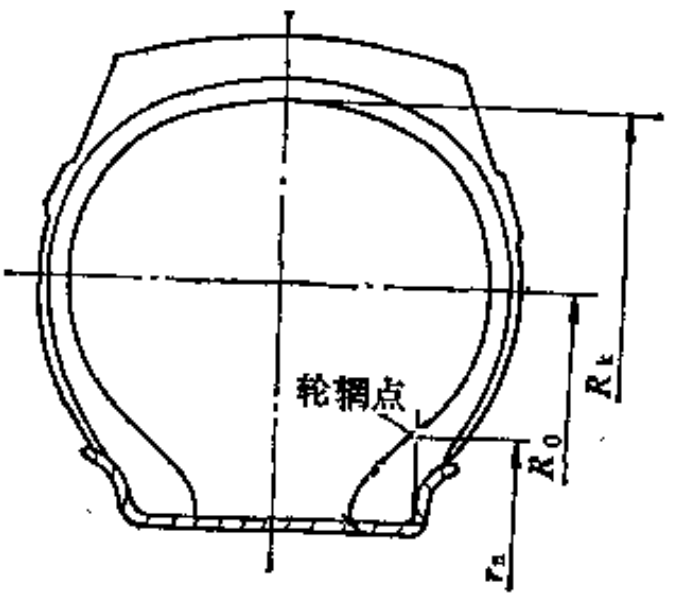



图 1-2-38 钢丝圈应力计算图

如果所设计的轮胎用于斜底轮辋或平底轮辋与斜底轮辋两用，则需计算轮胎对轮辋的箍紧力（过盈力），以便增加胎圈中钢丝的根数，保证胎圈必要的强度。斜交轮胎和子午线轮胎钢丝圈所受的总应力（一个胎圈）等于钢丝圈在内压作用下所产生的应力$T$与对轮辋箍紧力$T_t$之和。

$$T_a = T + T_t \tag{1-2-24}$$

对于普通断面的斜交轮胎和子午线轮胎$T_t$为：

$$T_t = \frac{Ebr}{2t} \cdot \delta_r \tag{1-2-25}$$

式中 $E$——钢丝圈底部材料的平均弹性模量（一般为300～500kgf/cm²）；

$b$——钢丝圈宽度，cm；

$t$——钢丝圈底部材料的厚度，cm；

$r$——钢丝圈平均直径，cm；

$\delta_T$——胎圈对轮辋的箍紧力，N(kgf)。

胎圈对斜底轮辋的箍紧力按式（1-2-26）计算。

$$\delta_T = d_r - d + 2a(\mathrm{tg}\alpha_t - \mathrm{tg}\alpha_r) \qquad (1\text{-}2\text{-}26)$$

式中 $d_r$——轮辋着合直径，cm；

$d$——轮胎着合直径，cm；

$a$——轮缘至胎圈中心距离，cm；

$\alpha_t$——胎圈底部倾斜角度，度；

$\alpha_r$——轮辋胎圈座倾斜角度，度。

如果轮胎需在高速下行驶，还应考虑离心力引起的胎圈应力。

（4）钢丝规格　钢丝圈一般用19号钢丝制造，其直径为1±0.02mm，扯断强力为140kgf/根。用19号钢丝制造钢丝圈，钢丝根数多不易排列整齐，不能有效地利用全部钢丝的强力，且生产效率低操作不便。最好采用直径1mm以上的钢丝。如直径为1.30mm的钢丝，其扯断强力为245kgf/根，能大大减少钢丝的根数。表1-2-21列出了几种胎圈的钢丝参数。

（5）钢丝圈的断面形状　钢丝圈的几种断面形状如图1-2-39所示。

表 1-2-21　几种胎圈钢丝参数

| 钢丝直径 mm | 标准强度 最小扯断强力 N(kgf) | 高强度 最小扯断强力 N(kgf) | 钢丝直径 mm | 标准强度 最小扯断强力 N(kgf) | 高强度 最小扯断强力 N(kgf) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.89 | 1200 (122.4) | 1350 (138.0) | 1.42 | 2800 (286.0) | 3200 (327.0) |
| 0.96 | 1300 (133.0) | 1630 (156.0) | 1.62 | 3400 (347.0) | 3850 (393.0) |
| 1.00 | 1400 (143.0) | 1650 (168.0) | 1.82 | 4000 (408.0) | 4600 (469.0) |
| 1.30 | 2400 (245.0) | 2800 (286.0) | 2.00 | 4200 (429.0) | 4900 (500.0) |

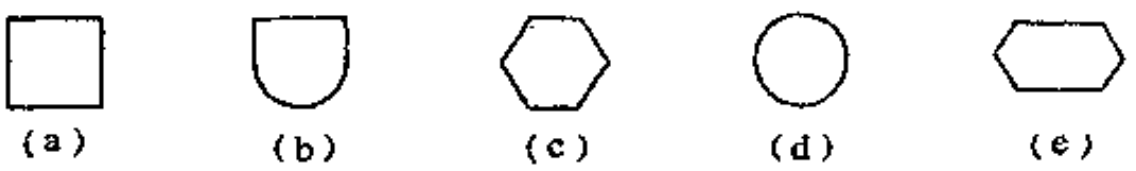



图 1-2-39　钢丝圈断面形状

（a）方形；（b）U形；（c）六角形；（d）圆形；（e）斜六角形

表 1-2-22　9.00R20钢丝圈结构对比结果

| 钢丝圈结构 | 钢丝直径 mm | 钢丝根数 | 实际爆破强力 MPa(kgf/cm²) | 安全系数 | 损坏情况 |
|---|---|---|---|---|---|
| 方形 | 1.0 | 108 | 2.1 (21) | 3.0 | 钢丝圈折断 |
| U形 | 1.0 | 108 | 2.3 (23) | 3.28 | 钢丝圈折断 |
| 六角形 | 1.2 | 80 | 3.09(31.5) | 4.5 | 钢丝圈折断 |
| 六角形 | 1.3 | 70 | 3.48(35.5) | 5.1 | 钢丝圈折断 |
| 圆形 | 1.8 (芯子3.5) | 43 | 3.38(34.5) | 4.93 | 钢丝圈折断 |

试验证明，当胎圈钢丝根数相等时，以圆形断面强力最高，六角形次之，长方形断面强力最低（见表1-2-22）。此外，在钢丝圈选材时要注意，钢丝圈中钢丝的层数不要少于3层，最好不超过10层。

（6）帘布包边高度

① 帘布层差级分布要均匀，不能重叠；

② 帘布最高差级端点不能位于断面最宽点。一般低于断面最宽点；

③ 斜交轮胎三角胶芯高度，一般不超过轮缘。于午线轮胎三角胶芯高度可超过轮缘，但一般不超过断面最宽点。

4．*缓冲层结构*

（1）缓冲层结构视轮胎类型和使用条件而定　中小型斜交载重轮胎多用两层帘布加两层胶片的复合结构。重型载重轮胎多用4层帘布加2～3层胶片的复合结构。轿车轮胎一般只用一层胶片，有时也用1～2层帘布。

（2）缓冲层端点位置　缓冲层端点位置应避开应力集中区，且各层帘布端点间应有5～25mm的差级。子午线轮胎钢丝带束层的端点，应不超过行驶面，最宽层的宽度约为行驶面宽度的95%。纤维缓冲层（或带束层）的宽度可大于行驶面宽度。其厚度一般为1.45～1.60mm，上下层胶片的厚度，一般为0.8～1.2mm。如果不用帘布，只用一层胶片，其厚度为2mm左右。

（3）缓冲层（或带束层）强力计算　斜交轮胎缓冲层帘线强力，已在计算胎体强力时加以考虑，不需另行计算。子午线轮胎带束层帘线所受的应力按式（1-2-27）计算。

$$N=\frac{T_b}{b'\cdot n_b\cdot i_b\cdot\beta_b} \qquad (1\text{-}2\text{-}27)$$

式中 $T_b$——带束层全部周向应力，N(kgf)；

$b'$——带束层平均宽度，cm；

$n_b$——带束层帘布层数；

$i_b$——带束层帘线密度，根/cm；

$\beta_b$——带束层帘线角度，(°)。

带束层全部周向应力为：

$$T_b=P\left[\frac{1}{2}F-(R'^2-R_0^2)\right] \qquad (1\text{-}2\text{-}28)$$

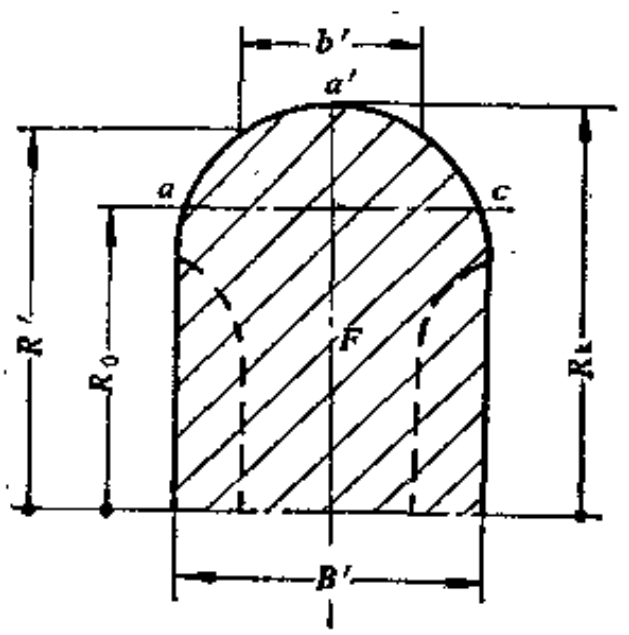



图 1-2-40　内轮廓横断面

式中 $F$——充气状态下外胎内轮廓横断面积；

$R'$——胎侧平衡断面半径。

充气状态下外胎内轮廓横断面如图1-2-40所示。横断面积$F$可用求积仪测出或用下式计算：

$$F=2(R_0B'+F_{aa'c}) \qquad (1\text{-}2\text{-}29)$$

5．*胎面胶厚度和宽度的确定*

（1）胎面胶厚度为花纹沟深度与基部胶厚度之和。不同类型的花纹，对基部胶厚度的要求也不相同（见表1-2-23）。

（2）胎肩胶的厚度较胎冠胶厚，一般为胎冠胶的1.3～1.4倍，最大不宜超过1.5倍。

表 1-2-23 胎面基部胶厚度占花纹深度的百分比

| 花纹类型 | 普通花纹 | | 混合花纹 | | 越野花纹 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 曲折 | 烟斗 | 块状 | 条状 | 宽沟 | 窄沟 |
| 基本胶厚度占花纹沟深度的比例，% | 30 | 20～25 | 25～30 | 30～35 | 40 | 30～35 |

（3）胎侧胶的厚度随轮胎规格大小和用途而定。轿车轮胎一般为1.5～2.5mm，小型载重轮胎为2～2.5mm，中型载重轮胎为 2.5～3.5mm，重型载重轮胎在苛刻的条件下工作时，可增至6mm左右。

子午线轮胎胎侧胶厚度较斜交轮胎厚，如 9.00R20 中型载重轮胎胎侧胶厚 度 为 5mm 左右。

6．外胎断面各部位厚度的确定

外胎断面各部位的厚度，通过断而各部位帘布层厚度的压缩率确定。压缩率的范围随生产工艺条件的不同而有差异。各部位压缩率的取值范围见图1-2-41，胎圈部位厚度比例见图1-2-42。

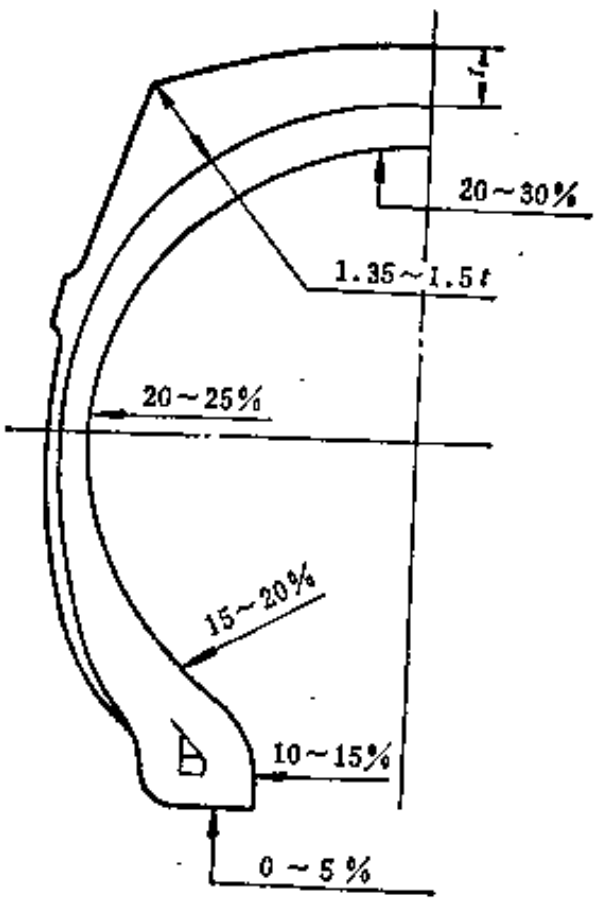



图 1-2-41 轮胎各部位帘布层的压缩率

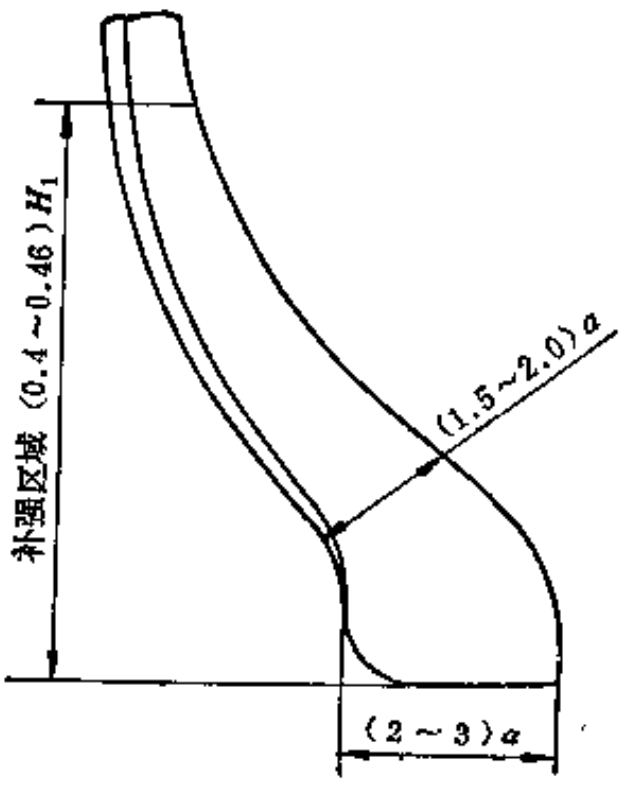



图 1-2-42 胎圈部位厚度比例

a—胎侧部厚度

根据上述各项确定的参数，可初步绘制外胎模型断面内轮廓曲线。在绘制内轮廓曲线时，应注意以下几点。

① 从较厚的胎肩和胎圈必须向胎侧均匀过渡，曲线圆滑要避免出现突然的薄弱环节。

② 安装于深式轮辋的轮胎，其胎圈宽度应不大于轮辋相应部位的宽度，以免漏气（无内胎轮胎）或夹破内胎。

③ 根据不同类型轮胎对断面各部厚度分布的要求进行设计。

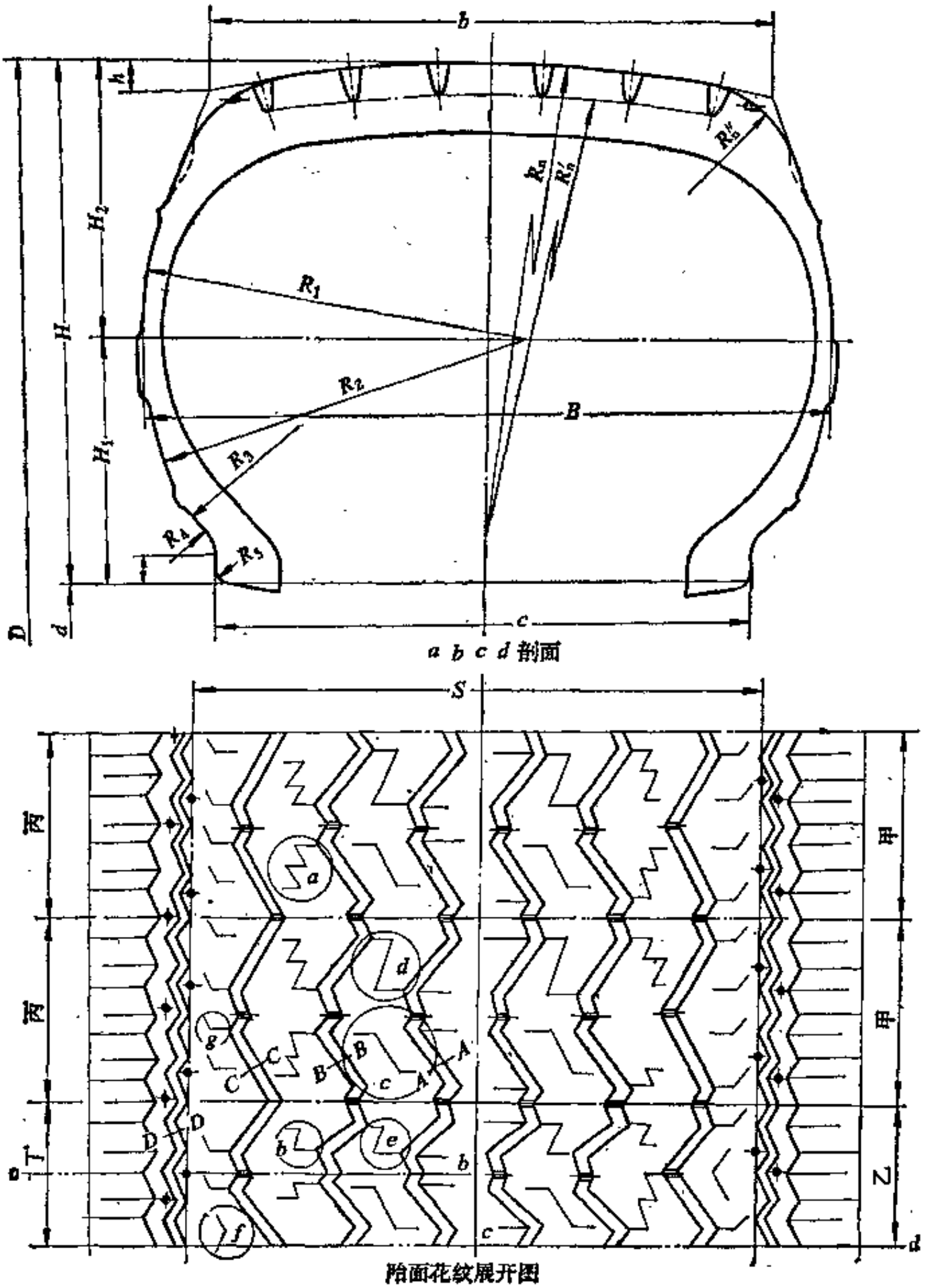
**（六）优选方案**

在设计外胎断面形状和花纹时，根据轮胎的性能要求，选取不同的设计参数（如采用不同的水平轴位置、行驶面宽及弧高、胎圈轮廓和花纹等），设计多种外轮廓曲线对照比 较 其优缺点，从中优选出综合性能最优的方案作为最终的设计方案。

**（七）外胎总图等图纸的绘制**

在外胎总图中应包括外胎断面尺寸图、胎面花纹展开图、外胎侧视图、花纹沟剖面图以及主要设计参数表等内容，见图1-2-43。

另外，在外胎侧部需标出产品的规格名称、商标和国家标准规定的其它内容，参见图1-2-44的字体排列图。




胎面花纹展开图

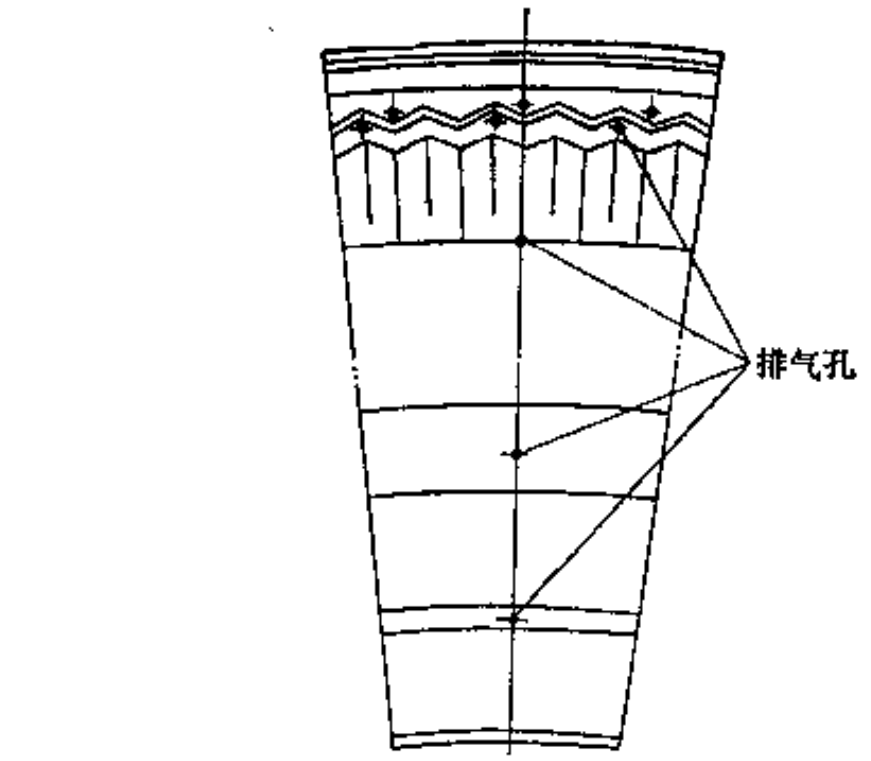



图 1-2-43　外胎花纹总图

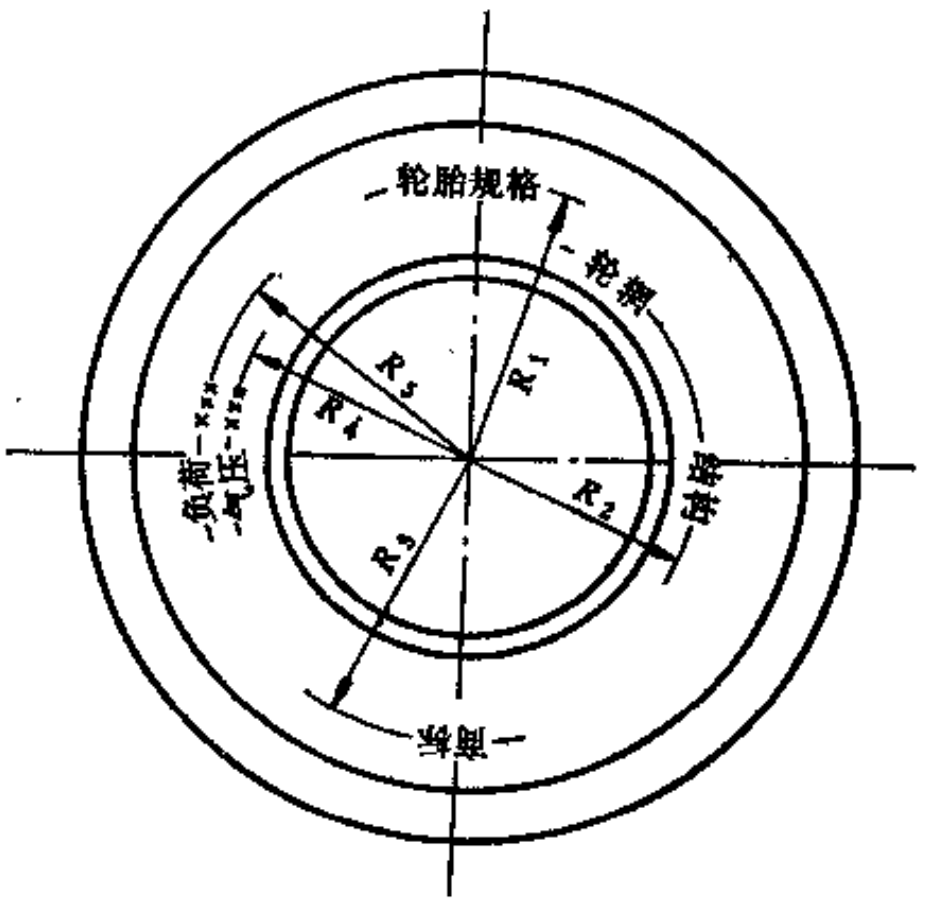



图 1-2-44　字体排列图

# 二、施 工 设 计

## （一）成型机头直径及肩部曲线的确定

1．成型机头型式的选定

在选择成型机头型式和设计肩部曲线时，应考虑以下几点：

① 保证轮胎质量，劳动生产率高；

② 操作方便，减轻体力劳动；

③ 维修方便，使用寿命长；

④ 与本单位工艺生产水平相适应；

⑤ 通用性好，能适应同规格（或近似规格）不同层级不同骨架材料的外胎成型。

成型机头的型式很多，有鼓式、半鼓式、半芯轮式和芯轮式等。其中最常用的为半鼓式成型机头和半芯轮式成型机头。图1-2-45所示为半鼓式成型机头。图1-2-46为半芯轮式成型机头。

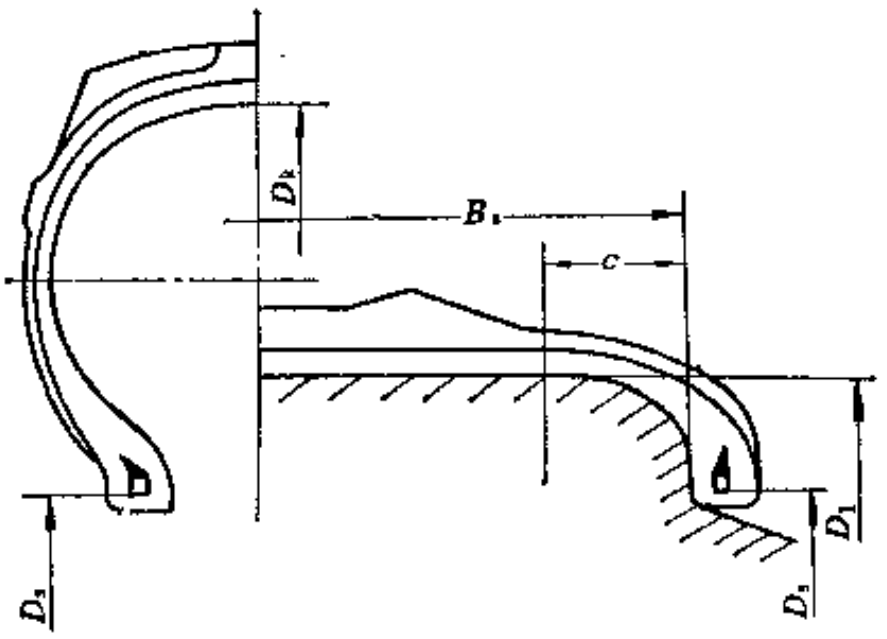



图 1-2-45 半鼓式成型机头

$D_k$—胎里直径；$D_1$—机头直径；$D_4$—钢丝圈直径；$c$—成型机头肩部宽度；$B_1$—成型机头宽度

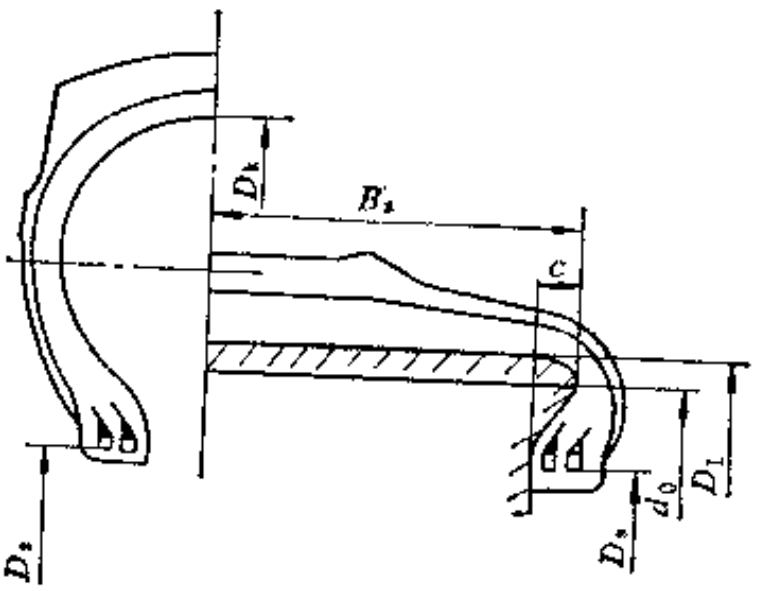



图 1-2-46 半芯轮式成型机头

$D_k$—胎里直径；$D_1$—成型机头直径；$d_0$—第一帘布筒直径；$D_4$—钢丝圈直径；$c$—成型机头肩部宽度；$B_2$—成型机头宽度

这两种成型机头的主要区别在于肩部曲线的不同。单钢丝圈胎体帘布层数少的外胎，多用半鼓式成型机头成型。用此法成型时，胎圈部位的帘布层在生胎预定型过程中围绕钢丝圈转动，使基本平放在半鼓式成型机头上的胎圈具有所需要的形状。

使用半鼓式成型机头的条件，是胎冠第一层帘布直径与成型机头上第一帘布筒直径之比小于2。由于半鼓式成型法生产效率高，在骨架材料强度不断改进的基础上，已出现把载重轮胎双钢丝圈改为单钢丝圈的趋势。

双钢丝圈外胎多采用半芯轮式成型机头成型。这种成型机头肩部具有特殊形状，外胎胎圈中的部件，在硫化过程中不改变成型时的位置，即胎圈中的部件在成型机头上的位置和在成品中的位置相同。

2．成型机头直径的确定

成型机头直径根据硫化时指定的伸张值和钢丝圈的直径选取。成型机头直径越小，外胎成型质量越能得到保证，劳动生产率也越高。但是，随着伸张值的增大，外胎胎体强度降低。半鼓式成型机头鼓肩高度一般为9～25mm，为使成型机头能自动折叠，机头直径与钢

丝圈直径之比应控制在1.05～1.25之间。

半芯轮式成型机头有自动折叠、缩折和卸鼓肩后折叠几种。当机头直径与钢丝圈直径之比小于1.3时，成型机头才能折叠。因此，在不影响外胎胎体强度的前提下，机头直径应尽可能取小值，以提高成型效率，降低原材料消耗。

表1-2-24为胎里直径与机头直径的关系，表1-2-23为各种规格成型机头直径举例。

表 1-2-24 胎里直径$D_k$与机头直径$D_t$的关系

| 成型机头类型 | $\frac{D_k}{D_t}$ | $\frac{D_t}{d_0}$ |
|---|---|---|
| 半鼓式成型机头 | 1.3～1.65 | — |
| 半芯轮式成型机头 | 1.3～1.55 | 1.05～1.15 |

表 1-2-25 各种规格成型机头直径举例

| 轮胎规格 | 机头直径，mm | 轮胎规格 | 机头直径，mm |
|---|---|---|---|
| 13.6-38 | 1093 | 11.00-20,10.00-20 | 690 |
| 11-38,12-38 | 1090 | 9.00-20 | 660 |
| 9.00-36 | 1090 | 8.25-20 | 660 |
| 17.00-32 | | 7.50-20,6.50-20 | 635 |
| 13.6-32,11-32 | 985 | 12.00-18 | 700 |
| 14-28 | 900 | 9.75-18 | 600 |
| 13.00-28 | 875 | 9.00-16 | 540 |
| 11-28 | 950 | 7.50-16,7.00-16 | 525 |
| 10-28 | 825 | 6.50-16 | 500 |
| 20.5-25,23.5-25 | 922 | 6.00-16 | 465,445 |
| 14.00-24 | 830 | 10.00-15 | 550 |
| 12.00-24,11.25-24 | 790 | 8.25-15 | 540 |
| 9.5-24,12.00-24 | 735 | 7.50-15 | 525 |
| 13.00-20,14.00-20 | 740 | 8.25-12,7.00-12 | 415 |
| 12.00-20 | 690,740 | 6.00-12 | 380 |

3．成型机头肩部曲线的确定

机头肩部形状主要取决于成型机头的类型和所成型的外胎结构。选择肩部形状和尺寸时，应使其符合规定的外胎胎圈结构，且操作方便，钢丝圈的位置准确。为此，机头肩部曲线应按以下原则设计：

① 机头肩部曲线与成品外胎胎圈内轮廓曲线近似；

② 尽可能减小肩部的深度；

③ 肩部曲线展开长度$P_B$与胎坯最外层帘布的展开长度$P_H$的差值要小，一般不大于20 mm(见图1-2-47)。

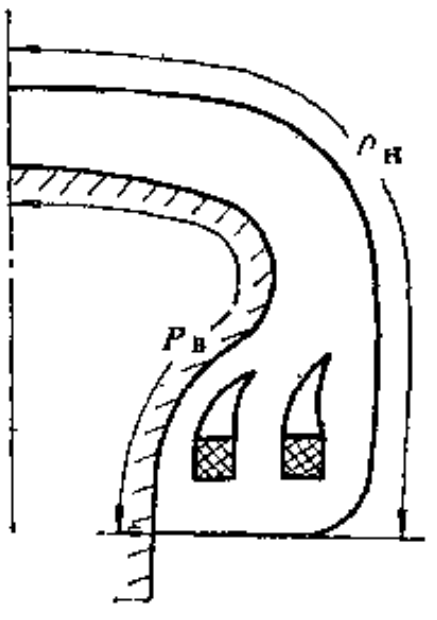



图 1-2-47 半芯轮式机头上的胎圈

4．成型机头肩部曲线的绘制

（1）半芯轮式成型机头肩部曲线的绘制

首先按机头基部平面划直线Ⅰ-Ⅰ，然后顺

胎圈底部划平行于直线Ⅰ-Ⅰ的直线Ⅱ-Ⅱ，再经钢丝圈B中心作直线Ⅲ-Ⅲ垂直于以上平行线，然后根据成型机头肩部突出的距离 $b$ 作平行于Ⅱ-Ⅱ的直线Ⅳ-Ⅳ，肩部曲线一般由两个半径相切绘出。胎圈部分由切线Ⅴ-Ⅴ与$R_3$构成。选择$R_3$时，需考虑胎圈部分帘布层能均匀过渡。参见图1-2-48。

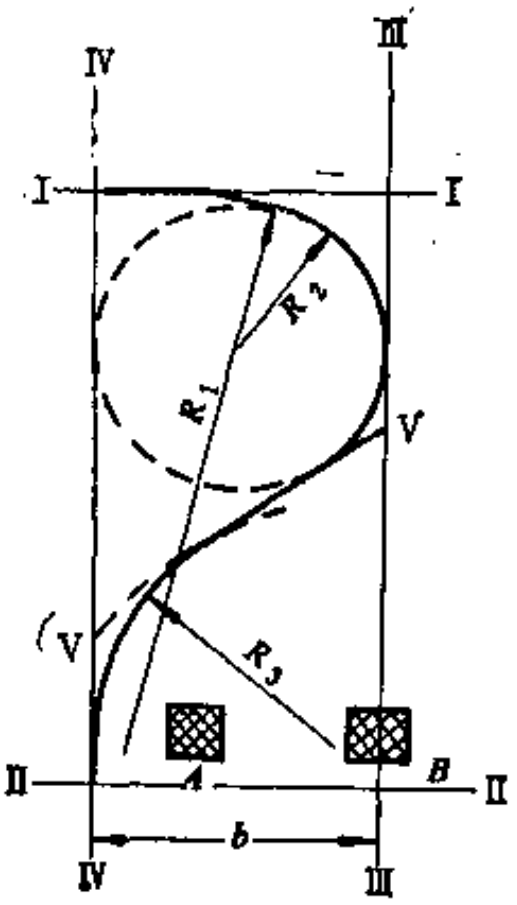



图 1-2-48 半芯轮式成型机头肩部曲线绘制

成型机头肩部曲线设计完成后，按图1-2-47所示，将半成品按其厚度差级高度位置绘制在肩部曲线上，然后测量$P_B$和$P_H$之值，从多方案设计中优选最佳方案。图1-2-49为半芯轮式成型机头肩部曲线。

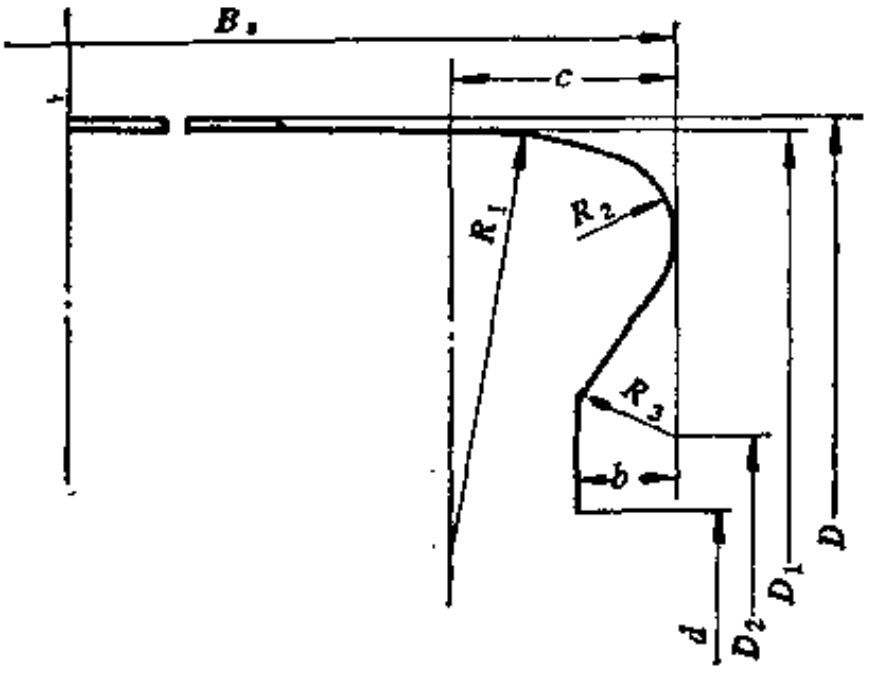



图 1-2-49 半芯轮式成型机头肩部曲线

（2）半鼓式成型机头肩部曲线的绘制　首先按机头基部平面与外胎胎圈底部间的距离划平行线Ⅰ-Ⅰ和Ⅱ-Ⅱ，在Ⅱ-Ⅱ上以$r_3$作圆（约6mm），于相交点处作切线，然后与切线相交5°角作另一切线，并在肩部选择适当的 $r_1$ 和$r_2$ 作相切的弧（一般$r_1$=25～35mm，$r_2$=10mm左右）。在曲线的下部作与Ⅱ-Ⅱ成26°角的切线，切线的投影长度 a 约为 30mm（机械包边成型机用半鼓式机头不作此角度）。参见图1-2-50及图1-2-51。

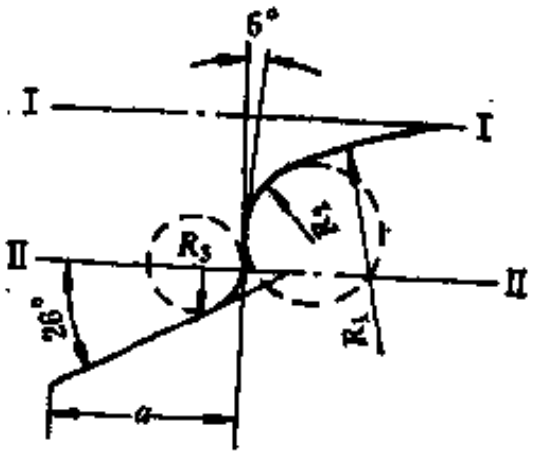



图 1-2-50 半鼓式成型机头肩部曲线绘制

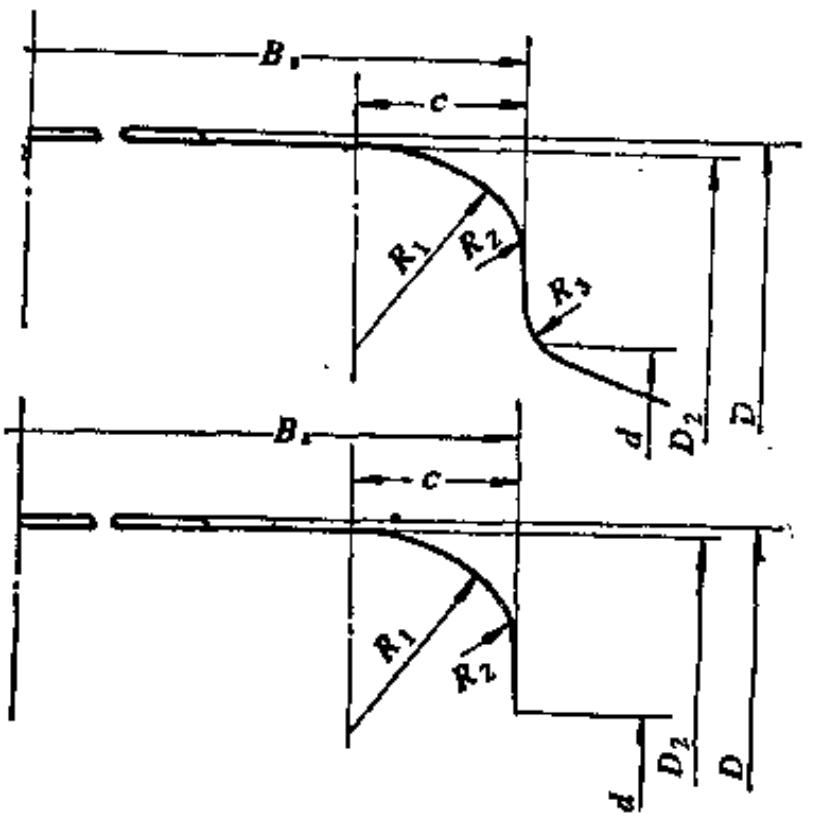



图 1-2-51 半鼓式成型机头肩部曲线

表1-2-26为各种规格轮胎成型机头肩部曲线参数示例。表1-2-27为各种规格轮胎成型机头曲线统一设计参数。

**表 1-2-26　各种规格轮胎成型机头肩部曲线参数示例**

单位：mm

| 轮胎规格 | $D_1$ | $D_2$ | $d$ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $c$ | $b$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11-38,12-38 | 1090 | 990 | 950 | 105 | 18 | 15 | 35 | 14 |
| 9.00-32 | 1070 | 951 | 900 | 65 | 15 | 20 | 40 | 25 |
| 13.6-32,11-32 | 985 | 833 | 800 | 65 | 30 | 25 | 40 | 22 |
| 11-28 | 950 | 756 | 700 | 85 | 35 | 30 | 50 | 20 |
| 14-28 | 900 | 749 | 700 | 90 | 29 | 20 | 50 | 20 |
| 13.00-28 | 875 | 738 | 700 | 85 | 22 | 25 | 40 | 18 |
| 10-28 | 820 | 738 | 700 | 105 | 11 | 17 | 35 | 12 |
| 14.00-24 | 824 | 666 | 600 | 145 | 23 | 22 | 56 | 37 |
| 12.00-24 | 790 | 636 | 610 | 140 | 22 | 25 | 45 | 20 |
| 9.5-24 | 730 | 582 | 550 | 115 | 15 | 15 | 40 | 18 |
| 13-20,12.5-20 | 740 | 540 | 500 | 135 | 35 | 27 | 55 | 36 |
| 12.00-20 | 684 | 538 | 500 | 130 | 21 | 22 | 50 | 32 |
| 11.00-20,10.00-20 | 684 | 538 | 510 | 130 | 21 | 22 | 50 | 32 |
| 9.00-20 | 654 | 530 | 500 | 115 | 18 | 20 | 45 | 29 |
| 8.25-20 | 654 | 530 | 500 | 150 | 18 | 20 | 45 | 26 |
| 7.50-20,6.50-20 | 635 | 529 | 500 | 95 | 13 | 18 | 30 | 23 |
| 12.00-18 | 694 | 484 | 460 | 200 | 40 | 20 | 80 | 33 |
| 9.75-18 | 691 | 477 | 460 | 110 | 17 | 22 | 40 | 25 |
| 9.00-16 | 540 | 432 | 405 | 120 | 15 | 15 | 40 | 20 |
| 7.50-16,7.00-16 | 520 | 427 | 405 | 200 | 15 | 12 | 34 | 20 |
| 6.00-16,6.50-16 | 465 | 410 | 400 | 38 | 15 | — | 32 | — |
| 6.00-16 | 445 | 408 | 400 | 40 | 8 | — | 20 | — |
| 10.00-15 | 545 | 415 | 380 | 130 | 19 | 23 | 45 | 28 |
| 8.25-15 | 520 | 404 | 380 | 60 | 15 | 19 | 28 | 25 |
| 7.50-15 | 520 | 410 | 380 | 60 | 15 | 20 | 28 | 24 |
| 6.70-15 | 435 | 385 | 375 | 38 | 12 | — | 25 | — |
| 6.40-15 | 435 | 385 | 375 | 40 | 12 | — | 25 | — |
| 8.25-12 | 415 | 326 | 300 | 115 | 12 | 14 | 31 | 16 |
| 6.00-12 | 380 | 305 | 300 | — | 20 | — | 20 | — |

**表 1-2-27　各种规格轮胎成型机头曲线统一设计参数**

单位：mm

| 设计参数 \ 轮胎规格 | 32×6 | 7.50-20 | 8.25-20 | 9.00-20 | 10.00-20 | 11.00-20 | 11.00-20 | 12.00-20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $D$ | 635 | 635 | 650 | 692 | 692 | 692 | 715 | 745 |
| $D_1$ | 629 | 629 | 644 | 686 | 686 | 686 | 709 | 739 |
| $D_2$ | 528 | 528 | 530 | 531 | 533 | 535 | 537 | 544 |
| $d$ | 495 | 495 | 495 | 495 | 495 | 495 | 495 | 495 |
| $c$ | 30 | 30 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 55 |
| $b$ | 25 | 25 | 26 | 29 | 31 | 33 | 34 | 36 |
| $R_1$ | 95 | 95 | 100 | 120 | 120 | 130 | 135 | 135 |
| $R_2$ | 13 | 13 | 15 | 24 | 22 | 22 | 27 | 35 |
| $R_3$ | 16 | 16 | 19 | 25 | 25 | 23 | 27 | 27 |
| $B_n$ | 270～340 | 340～420 | 385～470 | 415～505 | 465～560 | 540～600 | 470～570 | 510～600 |
| 盖板宽度 | 200 | 250 | 280 | 300 | 320 | 350 | 350 | 390 |

## （二）成型机头宽度的计算

1．主要参数的确定

（1）第一帘布筒直径$d_0$　用套筒法成型时，第一帘布筒直径较成型机头直径小，一般第一帘布筒至成型机头的伸张为5～15%。

（2）胎冠角度$\beta_k$　斜交轮胎成品胎冠角度取值范围为 48～55°，一般载重轮胎胎冠 角度为50～54°。胎冠角度可用式（1-2-30）计算。

$$\sin\beta_k = \frac{\delta}{\delta_1}\sin\alpha_0 \tag{1-2-30}$$

式中　$\alpha_0$——半成品帘布裁断角度，(°)；

$\delta_1$——帘线假定伸张；

$\delta$——第一帘布筒至胎里的伸张$\left(\frac{D_k}{d_0}\right)$

当对轮胎有特殊要求时，可加大胎冠角度。如赛车轮胎胎冠角度为60～65°，增大胎冠角度能减小轮胎圆周方向的弹性，提高临界速度。

图1-2-52为帘布裁断示意，图1-2-53为二层帘布的帘布筒，图1-2-54为外胎中帘线位置示意。

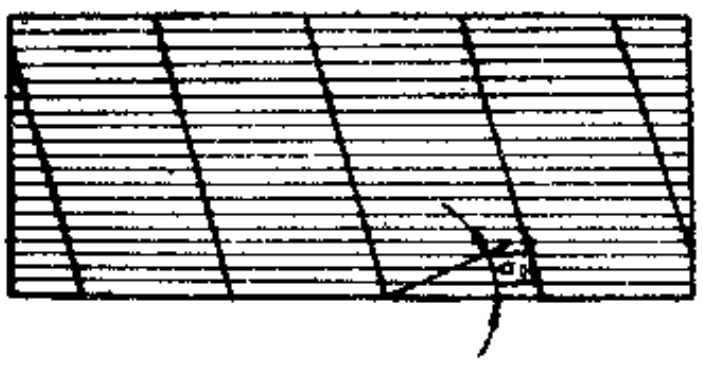


图 1-2-52　帘布的裁断

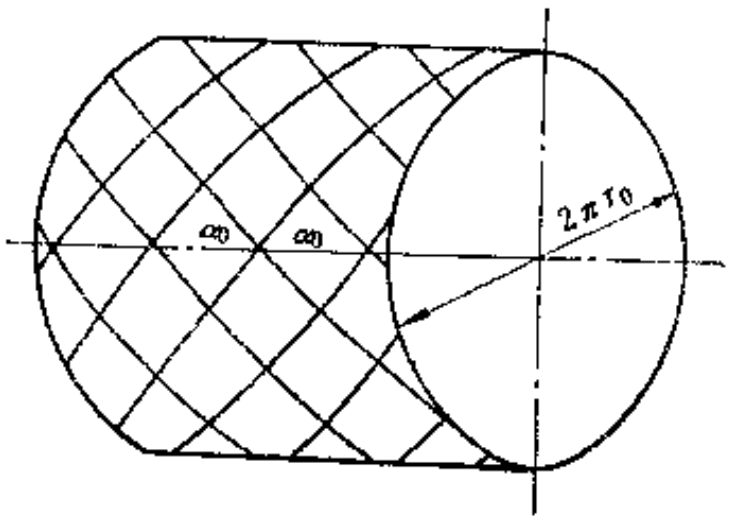



图 1-2-53　二层帘布的帘布筒

（3）帘线的假定伸张$\delta_1$　帘线的假定伸张值与帘线品种压延工艺有关。在计算成型机头宽度时，若$\delta_1$取值过小，生胎中帘线过长，在硫化过程中帘线伸张不足，引起成品中帘线打弯。反之，若取值过大，生胎中帘线长度不足，在硫化过程中帘线伸张过大，引起成品中帘线上抽，胎圈变形，而影响轮胎的使用寿命。

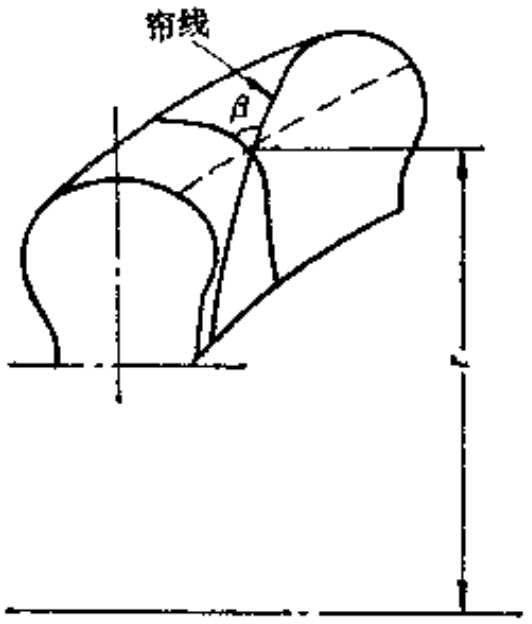



图 1-2-54　外胎中帘线的位置

表 1-2-28　各种骨架材料帘线假定伸张值$\delta_1$的取值范围

| 帘线品种 | 帘线假定伸张值$\delta_1$ |
|---|---|
| 棉帘线 | 1.08～1.11 |
| 人造丝帘线 | 1.03～1.04 |
| 聚酯帘线 | 1.02～1.04 |
| 尼龙帘线 | 1.01～1.03 |
| 钢丝帘线 | ～1.01 |

帘线假定伸张值与工艺有关，同一规格的轮胎，在不同工艺条件的工厂制造，其最佳质量将在不同的假定伸张值条件下获得。实践证明，各种骨架材料都有最佳假定伸张值的取值范围（见表1-2-28）。

（4）成型机头上的帘线角度$\alpha_s$ 成型机头上的帘线角可用式（1-2-31）计算。

$$\sin\alpha_s=\frac{D_1}{d_0}\sin\alpha_0 \tag{1-2-31}$$

2．成型机头宽度计算方法之一

应用下列公式。

$$b_0=\frac{b\mathrm{ctg}\alpha_0}{\left[\frac{\delta_1^2}{\sin^2\alpha_0}-\delta_1^2\right]^{1/2}} \tag{1-2-32}$$

$$b_0'=\frac{b'\cos\alpha_0}{[1-\delta_1'^2\sin^2\alpha_0]^{1/2}} \tag{1-2-33}$$

$$B_s=2(\Sigma b_0-\Sigma b_0')\frac{\cos\alpha_s}{\cos\alpha_0}+2C \tag{1-2-34}$$

式中 $b_0$——胎里轮廓等分段所需帘布宽度，mm；

$b$——外胎胎里断面轮廓各等分段的宽度，mm；

$\delta_i$——$\frac{D_i}{d_0}$（帘布筒对各等分段直径的伸张值）；

$D_i$——外胎胎里断面轮廓各等分段的平均直径，mm；

$b_0'$——机头曲线等分段所需帘布的宽度，mm；

$b'$——机头曲线部分等分段的宽度，mm；

$D_i'$——机头曲线部分各等分段的平均直径，mm；

$\delta_i'$——帘布筒直径对机头各等分段的伸张；

$C$——机头曲线的宽度，mm；

$B_s$——机头宽度，mm。

（1）从一钢丝圈底部至另一钢丝圈底部所需帘布宽度的计算（参见表1-2-29）

表 1-2-29 外胎两钢丝圈间所需帘布的宽度

| 段　　号 | $D_i$ | $\delta_i$ | $\delta^2_i$ | $\left(\frac{\delta^2_i}{\sin^2\alpha_0}-\delta^2_i\right)^{\frac{1}{2}}$ | $b\mathrm{ctg}\alpha_0$ | $b^0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | $b_1$ |
| 2 | | | | | | $b_2$ |
| ⋮ | | | | | | ⋮ |
| ⋮ | | | | | | ⋮ |
| $n$ | | | | | | $b_n$ |
| 合计 | | | | | | $\sum_1^n b_0$ |

$$b_0=\frac{b\mathrm{ctg}\alpha_0}{\left(\frac{\delta_i^2}{\sin^2\alpha_0}-\delta_i^2\right)^{1/2}}$$

（2）机头曲线部分所需帘布宽度的计算（参见表1-2-30）

表 1-2-30 机头曲线部分所需帘布宽度

| 段　　号 | $D_i'$ | $\delta_i'$ | $\delta_i'^2$ | $(1-\delta_i'^2\sin^2\alpha_0)^{\frac{1}{2}}$ | $b'\cos\alpha_0$ | $b_0'$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | $b_1'$ |
| 2 | | | | | | $b_2'$ |
| ⋮ | | | | | | ⋮ |
| ⋮ | | | | | | ⋮ |
| n | | | | | | $b_n'$ |
| 合计 | | | | | | $\sum_1^n b_0'$ |

$$b_0'=\frac{b\cos\alpha_c}{(1-\delta_i'^2\sin^2\alpha_0)^{1/2}}$$

（3）用上述两表计算结果计算机头宽度

$$B_s=2(\Sigma b_0-\Sigma b_0')\frac{\cos\alpha_\delta}{\cos\alpha_0}+2C$$

3.成型机头宽度计算方法之二

应用下列公式：

$$\sin\beta_i=\frac{D_i}{D_n}\sin\beta_n \tag{1-2-35}$$

$$K_i=\frac{1}{\cos\beta_i} \tag{1-2-36}$$

$$L=\Delta S\sum_{i=1}^{n-1}K_i+\Delta S_0K_n \tag{1-2-37}$$

$$\sin\beta_i'=\frac{D_i'}{d_0}\sin\alpha_0 \tag{1-2-38}$$

$$K_i'=\frac{1}{\cos\beta_i'} \tag{1-2-39}$$

$$L=\Delta S\sum_{i=1}^{n-1}K_i'+\Delta S_0'K_n' \tag{1-2-40}$$

$$B_s=\frac{2L}{\delta_i}\cos\alpha_\delta-2(L'\cos\alpha_0-C) \tag{1-2-41}$$

式中 $D_i$——成型机头直径，mm；

$\beta_n$——胎冠帘线角度，度；

$\beta_i$——胎里每等分段帘线角度，度；

$D_n$——外胎胎里直径，mm；

$D_i$——胎里等分段平均直径，mm；

$d_0$——第一帘布筒直径，mm；

$\alpha_c$——帘布裁断角度，度；

$K_i$——胎里每等分段帘线长度，mm；

$K_i'$——机头曲线部分每等分段帘线长度，mm；

$\Delta S$——胎里每等分段的长度，mm；

$\Delta S'$——机头曲线部分每等分段的长度，mm；

$\delta_i$——帘线假定伸张；

$C$——机头肩部宽度，mm；

$L$——胎冠中心至钢丝圈底部帘线长度，mm；

$L'$——机头曲线部分帘线长度，mm；

$D_i'$——机头曲线部分每等分段平均直径，mm；

$\alpha_b$——成型机头上帘线角度，度。

（1）从一钢丝圈底部至另一钢丝圈底部所需帘线长度的计算（参见表1-2-31）

表 1-2-31　外胎成品两钢丝圈间所需帘线长度

| 段　　号 | $D_i$ | $\lg D_i$ | $\lg \sin\beta_i$ | $K_i$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | $K_1$ |
| 2 | | | | $K_2$ |
| ⋮ | | | | ⋮ |
| ⋮ | | | | ⋮ |
| n | | | | $K_n$ |
| 合计 | | | | $\sum_{i=1}^{n} K_i$ |

$$\sin\beta_i = \frac{D_1}{D_b}\sin\beta_b$$

$$K_i = \frac{1}{\cos\beta_i}$$

$$L = \Delta S\sum_{i=1}^{n-1} K_i + \Delta S_n K_n$$

（2）机头曲线部分所需帘线长度的计算（参见表1-2-32）

表 1-2-32　机头曲线部分所需帘线长度

| 段　　号 | $D_i'$ | $\lg D_i'$ | $\lg \sin\beta_i'$ | $K_i'$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | $K_1'$ |
| 2 | | | | $K_2'$ |
| ⋮ | | | | ⋮ |
| ⋮ | | | | ⋮ |
| n | | | | $K_n'$ |
| 合计 | | | | $\sum_{i=1}^{n} K_i$ |

$$\sin\beta_i' = \frac{D_i'}{d_0}\sin\alpha_0$$

$$K_i' = \frac{1}{\cos\beta_i'}$$

$$L' = \Delta S' \sum_{i=1}^{n-1} K_i + \Delta S_n' K_n$$

（3）成型机头宽度的计算（参见图1-2-55和图1-2-56）

$$B_s = \frac{2L}{\beta_1}\cos\alpha_s - 2(L'\cos\alpha_s - C)$$

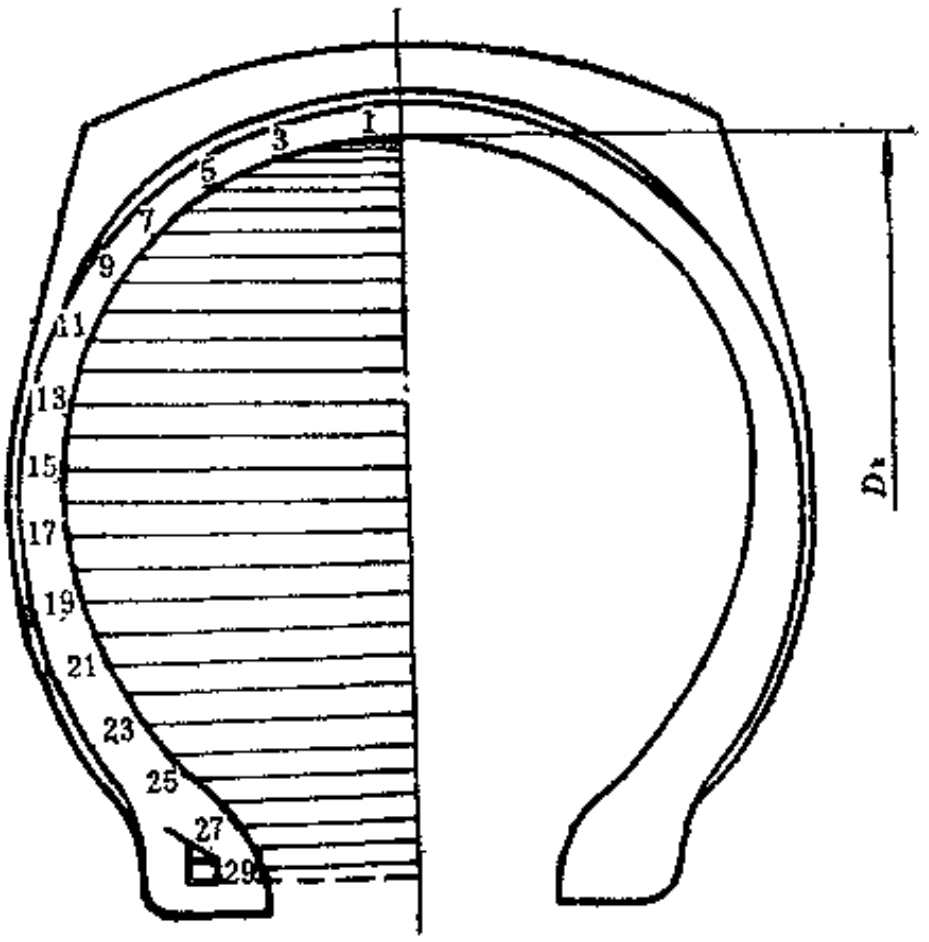



图 1-2-55　外胎断面轮廓计算图

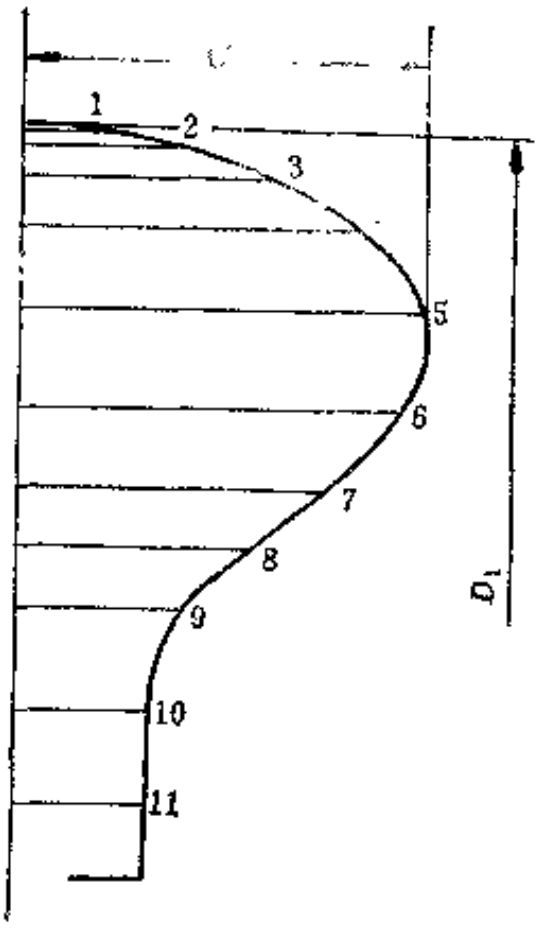



图 1-2-56　机头曲线部分计算图

（4）子午线轮胎成型机头宽度的计算

$$B_s = \frac{2L}{\delta_1} - 2(L' - c) \qquad (1\text{-}2\text{-}42)$$

在生胎胎圈与硫化胎胎圈布层几何形状差别很大时，胎圈部位的布层在定型硫化过程中有位移，增加了生胎的实际帘线长度，增加的这部分长度必须从计算所得的机头宽度中减去。

生胎胎圈的几何形状越接近硫化胎的形状，差值就越小。尤其是多钢丝圈的轮胎，必须采用能使生胎和硫化胎胎圈形状一致的成型机头，确保硫化时帘线张力适宜。

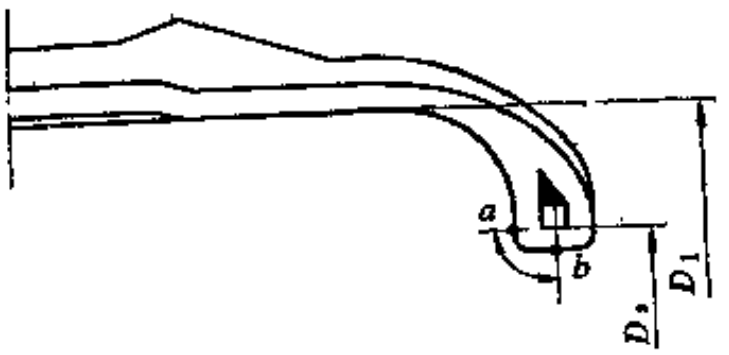



图 1-2-57　半鼓式成型机头计算图

因此，当采用半鼓式成型机头成型时，需从计算所得机头宽度中减去图 1-2-57 中所示 $2ab$ 之值。

### （三）绘制材料分布图

材料分布图是制定外胎施工表，确定外胎各部件尺寸、材料和技术文件的基础。材料分布图由 3 个部分组成，即硫化外胎中材料分布情况、成型机头上生胎材料分布情况及半成品胎面胶断面形状（见图1-2-58）。

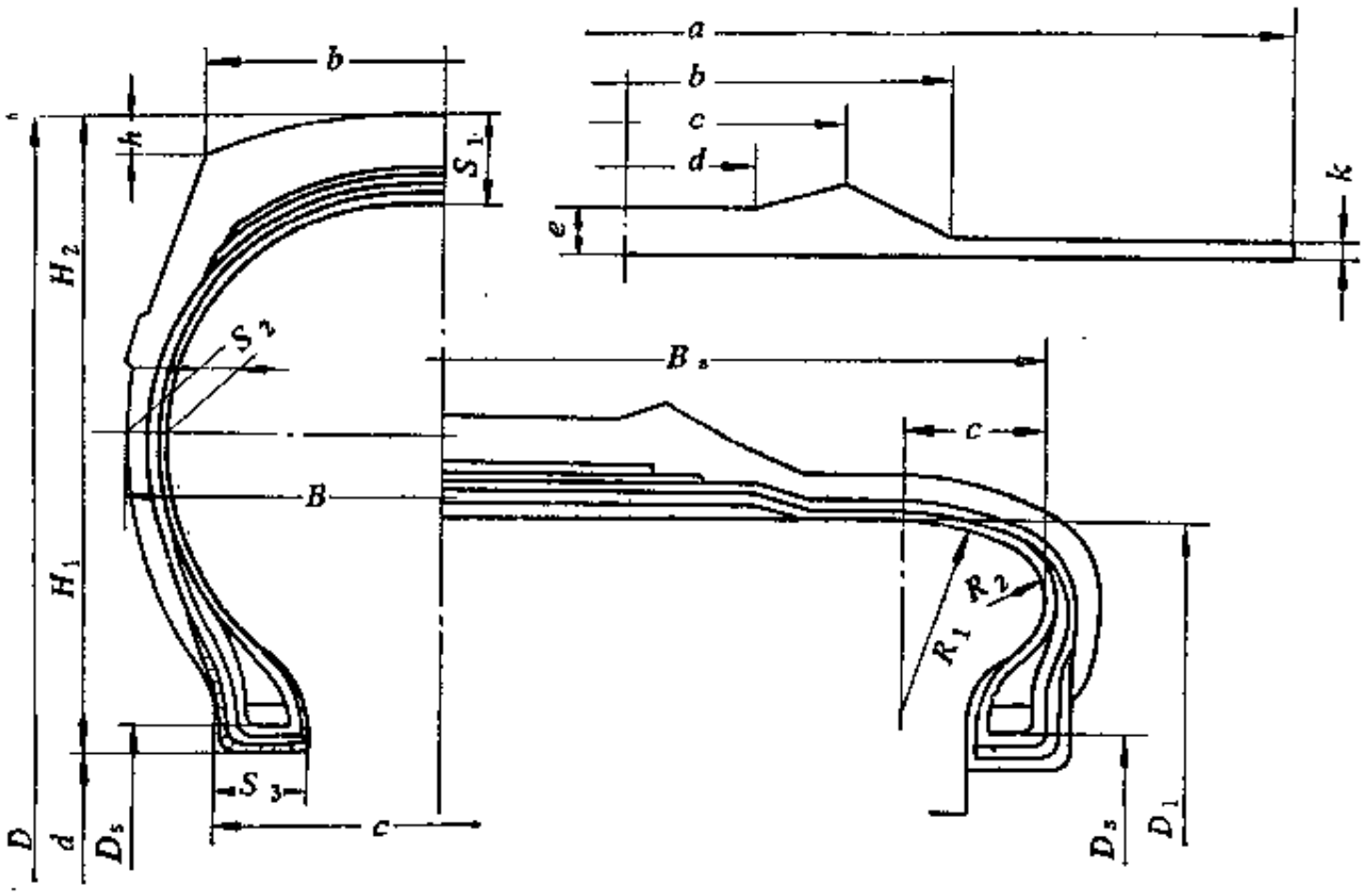



图 1-2-58　外胎材料分布图

在硫化外胎材料分布图上，应绘出外胎断面外轮廓（按硫化模型尺寸）、内轮廓和胎体中各部件。在绘制胎体帘布层和缓冲层时，应考虑它们的压缩率。同时，在材料分布图上，还要绘出各层帘布包边差级的位置（根据胎圈结构），填充胶条、钢丝圈包布、胎圈包布及其它部件的差级位置。在硫化外胎材料分布图完成之后，在其基础上绘制成型机头上生胎的材料分布图。

在绘制生胎材料分布图时，首先绘制成型机头肩部曲线，其宽度根据计算确定。然后将硫化外胎材料分布图上第一层轮廓按10mm（大规格按20mm）等分小段，考虑各分段从生胎到成品的尺寸变化绘制到成型鼓上，然后大致的绘出胎面胶和胎侧胶的断面形状（按生胎胎面胶与硫化胎胎面胶体积相等的原则）。

### （四）外胎施工标准表的制定

外胎施工标准表的制定，以半成品材料分布图为依据，简要叙述如下。

1．胎体帘布层长度和宽度的确定

（1）长度　外胎胎体成型有两种方法，即套筒法和层贴法。套筒法是把预先两层或两层以上帘布贴合成的帘布筒套在成型机头上成型。用套筒法成型的帘布需定长，一般帘布筒对成型机头取5～15%的伸。因此，帘布层的长度可用固定帘布筒至胎里的伸张来求得（即从第一帘布筒至最后一层帘布的帘布筒至胎里相应各层取相同的伸张值）。或以第一帘布筒的长度为准，以后各层的长度按一定数量递增，一般无隔离胶层的帘布层递增3～5mm，有隔离胶层的帘布层递增5～8mm。而层贴法则是用供料装置将帘布一层层供给成型机头成型。

这种成型方法的帘布对成型机头的伸张较小，一般为2%左右。帘布不需定长。

（2）宽度　胎体各层帘布的宽度等于成型机头宽度减去二倍肩部宽度，再加两倍从机头肩部起点至帘布差级端点的宽度。由于帘布在贴合成型时有伸张使宽度缩窄和定型硫化时帘布绕钢丝圈转位（如用半鼓式成型机头成型）。在确定宽度时，必须增加这一部分帘布宽度的变化量。根据轮胎规格的大小和成型方法，增加5～25mm。帘布宽度的末位数最好取0或5，使裁断方便。

2. 缓冲层帘布长度和宽度的确定

（1）长度　缓冲层帘布长度与胎体帘布长度的确定方法相同。可用固定帘布筒至胎里的伸张，即缓冲层帘布筒取与胎体第一帘布筒相同的伸张值。也可用递增法，以胎体最后一层帘布的长度为基准，增加10～15mm，第二层缓冲层帘布的长度，在第一层缓冲层帘布长度的基础上再增加10～15mm。如果有第三层和第四层缓冲层帘布，其长度亦按此方法递增。

（2）宽度　缓冲层帘布从半成品布筒直径伸张至成品胎体中的位置，帘线角度由裁断角度$\alpha_0$转变为胎冠角度$\beta_0$，角度变大，帘布层的宽度缩小。因此，缓冲层帘布半成品的宽度可用下式计算：

$$\text{半成品缓冲层帘布宽度} = \text{成品缓冲层帘布宽度} \times \frac{\cos\alpha_0}{\cos\beta_0}$$

也可以利用成型机头宽度计算图，用与胎里等分段相同的长度等分缓冲层，然后按所分的段数，从表1-2-28中求出与缓冲层段数相同的$b_0$值之和，且将计算值乘以2，即得缓冲层帘布的宽度。缓冲层帘布层之间的差级为5～15mm。

缓冲层帘布上下胶片长度与缓冲层帘布相同，但宽度较大。一般下缓冲胶片较第一层缓冲层帘布宽30～50mm，上缓冲胶片的宽度一般较第一层缓冲层帘布宽15～30mm。

缓冲层结构中如无缓冲层帘布，其胶片的长度和宽度与下缓冲胶片相同。

3. 隔离胶长度和宽度的确定

（1）长度　隔离胶的长度与所在帘布层的长度相等。

（2）宽度　胎体中有多层隔离胶时，最窄层隔离胶的宽度应不小于下缓冲胶片的宽度，最宽层的宽度一般不超过水平轴，各层隔离胶应由外向内逐渐增宽。隔离胶的厚度一般为0.4～0.6mm。

4. 油皮胶（或密封层）长度和宽度的确定

（1）长度　油皮胶（或密封层）的长度与胎体第一层帘布的长度相同，位于第一层帘布下。油皮胶的厚度一般为0.5～1.0mm。无内胎轮胎的密封层厚度，一般为1.5～2.0mm。

（2）宽度　按生胎材料分布图实测。一般油皮胶（或密封层）与胎圈包布（或密封胶）搭接10～15mm。

5. 胎圈包布（或密封胶）长度和宽度的确定

（1）胎圈包布裁断角度一般为45～60°。

（2）胎圈包布（或密封胶）的长度，按差级高度的平均直径计算。

（3）宽度从材料分布图上实测，因成型时帘布缩窄，一般需增加3～5mm。

6. 胎面胶形状的确定

（1）实心胎面胶体积计算　一般胎面胶实心体积用几何法计算。即将胎面胶分成各种几何图形，如平行四边形、三角形和梯形（按材料分布图）。先求出各种几何图形的面积$A$和重心周长，然后求出其相应的体积$V$。

胎面胶实心体积 $= 2\Sigma V$

（2）花纹沟体积的计算　花纹沟体积的计算也利用几何法计算　即将花纹沟的断面分成半圆形、梯形、三角形或长方形。求出花纹沟断面面积$A'$和花纹沟的长度，然后求出相应的体积$V'$（见图1-2-59）。在花纹沟分布对称时：

花纹沟体积 $= 2\Sigma V'$

成品胎面胶的体积 $= 2\Sigma V - 2\Sigma V'$

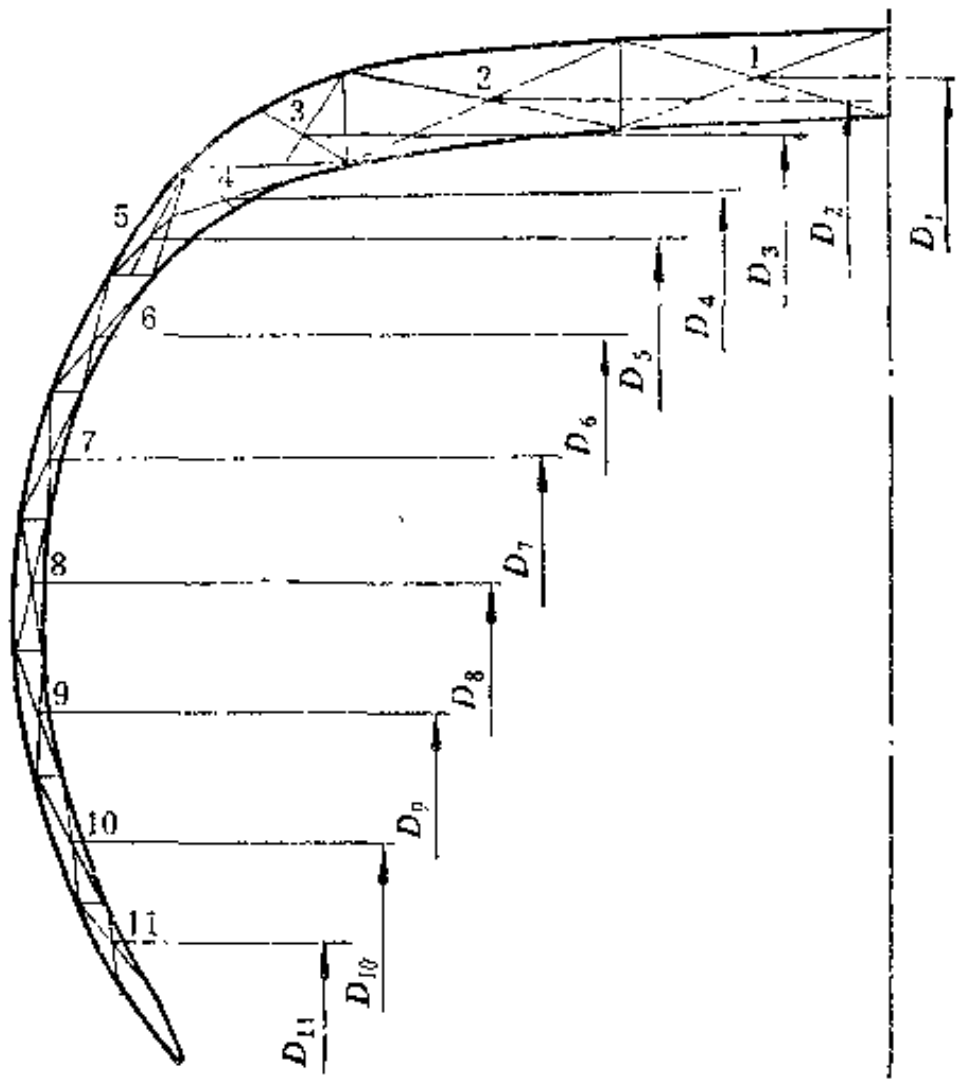



图 1-2-59　胎面胶体积计算图

（3）半成品胎面胶厚度和宽度的确定　半成品胎面胶的形状要尽可能与成品胎面胶相适应，减少硫化时胶料的流动，更不允许胶料倒流（由胎肩向胎冠流动）。

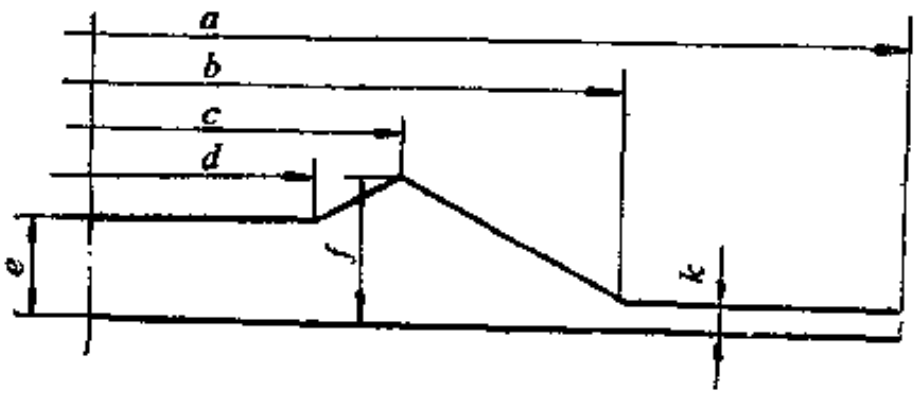



图 1-2-60　半成品胎面胶断面各部位尺寸

一般半成品胎面胶冠部宽度 $c$ 小于成品行驶面的宽度 $b$，以保证硫化时胶料由胎冠向胎肩流动。胎冠宽度 $c$ 取值的大小与花纹类型和外胎断面形状有关。普通花纹轮胎，半成品胎面胶冠部宽度 $c$ 约为行驶面宽度 $b$ 的88～90%。断面高宽比小于 1 的轮胎，半成品胎面胶冠部宽度 $c$ 与行驶面宽度 $b$ 相似。

半成品胎面胶中部厚度，普通花纹轮胎稍大于成品胎面胶的厚度，越野花纹轮胎一般稍小于成品胎面胶冠部厚度。

半成品胎面胶肩部厚度，普通花纹轮胎肩部厚度稍大于中部，越野花纹肩部厚度与中部

相似。

半成品胎面胶的总宽度为成型机头宽度减去2倍成型机头肩部宽度，再加工$P_{m}$。半成品胎面胶的边部不能太厚，一般为0.5～1.5mm。

（4）半成品胎面胶胶成型长度的确定　半成品胎面胶的长度根据胎面胶的成型方法或胎面对成型机头上缓冲层外周长的伸张大小而定（如图1-2-50）。如果胎面用套筒法成型，其伸张值一般为1.08～1.15。

（5）半成品胎面胶体积计算　应用几何图形法计算，先求出半成品各几何图形面积的，再乘以成型长度。计算所得半成品体积与成品胎面胶体积相比较，这两个数值必须接近，且半成品胎面胶的体积应大于成品胎面胶的体积。因为成型时半成品胎面胶还需割边。

**（五）外胎制造附属工具的技术要求**

外胎制造需提出以下附属工具的有关尺寸：

① 胎面压出样板的外形尺寸及断面曲线尺寸；

② 三角胶芯压出样板的外形尺寸及断面曲线尺寸；

③ 各种填充胶条压出样板的外形尺寸及断面曲线尺寸；

④ 钢丝圈卷成盘的直径，边缘高度及圆周长度的调整范围；

⑤ 钢丝圈的钢丝直径、根数及断面形状；

⑥ 成型扣圈盘的直径及边缘高度；

⑦ 成型机头宽度及调整范围。

## 第二节　轮胎配方设计的程序

### 一、配方设计的目的要求

**（一）配方设计的目的意义**

配方设计就是运用科学的方法，寻求配合剂之间的合理关系，使配方在满足产品使用性能、适宜的加工条件以及成本方面获得综合的平衡。

轮胎各部件胶料由于使用的特性不同，它们在物理机械性能方面亦有不同的要求。但橡胶本身的性能不可能满足产品使用上所要求的物理机械特性，因此需要通过橡胶配方的试验研究，改进胶料的性能。

配方是以橡胶为基本组分的多元体系。目前，由于高分子合成化工工业的飞速发展，弹性高聚物以及多种多样的有机配合剂，为配方试验提供了十分丰富的内容。配方设计的目的是确定配合剂之间合理的比例关系，并使它在配炼、压出、压延、成型和硫化等工艺过程中有良好的加工性能。配方设计的意义有以下二方面。

① 满足产品性能的要求　由于各种胶料是在特定的条件下使用的，任何一种橡胶都不能达到理想的性能，只有通过合理的配方使胶料基本上满足产品性能的要求。

② 指导配炼工艺　通过产品的配方设计，规定了胶料所用原材料，而且确定了配炼的条件，以保证胶料的质量。

**（二）配方设计的要求**

轮胎产品的配方设计，实质上是要求通过合理地使用原材料，使胶料在物理机械性能、加工性以及经济合理性方面取得综合平衡。轮胎是一种复合材料的产品，在进行配方设计时，除了考虑各部件胶料本身的性能外，还要研究橡胶与橡胶、橡胶与帘线相结合的性能。进行

配方设计时，一般应考虑到以下几点。

（1）配方设计是生产中的一个重要环节，它关系到产品的质量、生产效率和经济效益。因此，从事配方设计的工程技术人员，应该具备较高的技术水平，能够在解决产品性能、工艺加工以及生产成本三者的关系中，有独创的见解和适应性。

（2）配方设计工程技术人员进行产品的配方设计时，应首先了解产品的性能要求、使用条件等情况。然后进行有针对性的试验，做到有的放矢，既不盲目追求高指标而增加不必要的成本，也不降低要求以致影响产品的质量。对所选用的原材料情况做到心中有数与合理使用。

（3）配方设计中对轮胎各部件胶料的作用要分析清楚，随后针对主要的性能指标考虑配方。例如，作为胎面胶主要具有耐磨耗、耐老化、生热低等特性。这样，根据胶料所要求的特性进行配方设计，避免一般化。

（4）进行轮胎胶料配方设计时，要有整体观点。从轮胎本身所具有的特点分析，它是一个几何形状复杂，又由多种材料复合构成的制品。因此，轮胎在使用过程中，各组成部件产生复杂的应变。配方不但要从部件本身的使用要求考虑，还要注意各部件之间的配合。例如各部件胶料应力应变的分布；界面层的性能；各胶料的硫化速度匹配等，使轮胎成为一个协调一致的整体。此外，在原材料的使用上，不能忽视了它们之间互相作用的关系，如协同效应、加和作用或相抑制效果、配合剂迁移等现象。这些因素都会影响胶料的性能，在配方设计时必须考虑到它们带来的效果或影响。

（5）在进行配方设计时，必须了解产品生产的工艺过程及设备条件，如配炼、压延、压出、成型、硫化等工序的特点，胶料需具有较好的工艺加工性能，以适合于生产设备的条件。

（6）配方要尽可能精简，只要能保证产品质量，应尽量减少配合剂的组分。这样既可减少配料的工作量及错配的可能性，又便于管理。

（7）对有公害或有毒的原材料，不应采用。要尽可能减少对环境的污染，保护职工的身体健康。

## 二、轮胎胶料配方的组成和配合剂的选择

### （一）轮胎胶料配方的组成

轮胎胶料配方一般由几类配合剂组成，其名称及主要作用如表1-2-33所列。

### （二）配方的表示方法及理论相对密度的计算

配方一般有以下4种表示方法。

（1）以生胶或生胶代用品的重量为100份，其它每种配合剂都以相对的重量份数表示，通常称之为基本配方。

（2）配方中生胶及其它各种配合剂的量都以重量百分数表示。即配方中所有配合剂的总重量为100，各配合剂组分的量表示为各自所占的重量比例。这种表示方法从配方便可知道每种组分在该配方中所占有的重量百分数。

（3）配方中生胶及其它配合剂都以体积百分数表示，称为体积百分数配方。由于一般橡胶制品都是以件数计价的产品，因此这种体积百分数配方能够直接反映出配方与产品价格的关系，它是生产上很有实用价值的一种表示方法。

（4）根据炼胶机规格和容量的实际情况，计算出符合生产要求的重量配方，即实际生

表 1-2-33 轮胎胶料主要配合剂的类别及作用

| 配合体系 | 主 要 作 用 | 选 用 要 点 |
|---|---|---|
| 基本高聚物体系 | 根据胶料主要性能要求确定主体材料，采用生胶单用或并用，它是配方中最基本的组分 | 视产品主要技术指标选定胶种，亦可采用生胶并用以发挥各种橡胶的特性，获得较好的综合效果 |
| 硫化体系 | 加速硫化速度，减少硫化时间，提高生产效率，并改善硫化胶的物理机械性能，如拉伸强度、定伸应力、抗屈挠性、耐老化、耐磨耗性能等 | 1．根据生胶的化学结构特性及胶料的主要物理机械性能要求，确定硫化体系；<br>2．由于轮胎各部件胶料受热历程不同，为了使产品达到比较一致的硫化程度，各胶料的硫化体系及硫化速度应有差别；<br>3．生胶并用体系要考虑共硫化问题 |
| 防护体系 | 提高胶料耐老化性能（包括热、氧、臭氧、光照、屈挠疲劳等老化），延长产品使用寿命 | 根据胶料使用条件选定效能较好的防老剂及表面防护剂，并注意有些防老剂对硫化速度有影响，如对苯二胺类防老剂等 |
| 填充补强体系 | 改善胶料物理机械性能，使产品具有更高的质量和使用价值，并可降低成本 | 外胎各部件胶料均要求有很好的物理机械性能，主要采用炭黑补强。不同部件胶料可选用不同类别的炭黑品种，以获得胶料的最佳性能，同时注意要有良好的工艺加工性能。垫带胶配方则可配入适量无机填充剂，以降低成本 |
| 增塑及软化体系 | 减少塑炼、混炼操作时间，降低人力、动力的消耗；提高胶料的柔软性和自粘性，改善胶料压延、压出、成型等工艺加工性能，同时也可提高胶料的某些物理机械性能 | 根据生胶极性程度选用软化剂类型，使之相容性较好，软化效力强；<br>增塑剂可根据工艺条件考虑是否采用 |
| 其它特殊添加剂 | 改善胶料某些特殊性能要求，如提高钢丝帘线与橡胶粘合力的增粘剂；延长硫化诱导期的防焦剂等 | 按产品的特殊要求选用 |

产配方，它将作为配料的依据。

生产配方应包括胶料名称及代号、各种配合剂的基本用量、实际配用量、配方含胶率，以及快检指标如相对密度、可塑性等指标的控制范围，还有胶料的物理机械性能指标，混炼操作规程等有关技术要求。

以上所述四种配方表示形式如表1-2-34所列。

表 1-2-34 胶料配方的表示形式

| 配合剂名称 | 基本配方，重量份 | 重量百分数配方，% | 体积百分数配方，% | 实用配方，kg |
|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 100 | 63.49 | 77.26 | 20.00 |
| 硬脂酸 | 3 | 1.91 | 2.21 | 0.60 |
| 氧化锌 | 5 | 3.17 | 0.65 | 1.00 |
| 防老剂 | 1 | 0.63 | 0.61 | 0.20 |
| 促进剂 | 0.75 | 0.48 | 0.38 | 0.15 |
| 炭黑 | 46 | 28.58 | 17.90 | 9.00 |
| 硫黄 | 2.75 | 1.74 | 0.99 | 0.55 |
| 合 计 | 157.5 | 100.00 | 100.00 | 31.5 |

胶料的相对密度是混炼胶快速检验的主要项目。因此求出配方的理论相对密度是制定快检指标的依据。胶料理论相对密度的求法是：首先查出各配合剂的相对密度，然后按基本配方所占的重量份求得体积数，最后用总重量份除以总体积就得出相对密度理论值。具体计算方法如表1-2-35所列。

表 1-2-35　胶料配方理论相对密度的计算

| 配合剂名称 | 基本配方 | 配合剂相对密度 | 配合剂的体积 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 100.00 | 0.92 | 108.70 |
| 硬脂酸 | 4.00 | 0.92 | 4.35 |
| 氧化锌 | 10.00 | 5.57 | 1.80 |
| 促进剂M | 1.00 | 1.42 | 0.70 |
| 硫黄 | 3.00 | 2.05 | 1.46 |
| 炭黑 | 50.00 | 1.86 | 27.78 |
| 合计 | 168.00 | | 144.79 |
| | 胶料的相对密度 $\gamma=\frac{168.00}{144.79}=1.16$ | | |

表1-2-35所计算的理论相对密度是对未硫化胶料而言。但混炼胶的实际相对密度受配合剂质量和纯度的影响，因而两者可能有些差别。在控制胶料快速检验指标时，应以实测相对密度为准。此外，硫化胶的相对密度一般稍大于未硫化胶料。特别在硫黄用量较高的情况下，硫化后硫黄的体积能缩小到原来的$\frac{1}{4}$，故硫化胶的相对密度更大一些。

### （三）配合剂的选择

轮胎胶料配方的组成，通常包括基本材料生胶以及硫化体系、防老化体系、补强填充体系、软化增塑体系和其它专用配合剂等，有关各配合剂的主要特点分述于下[8]。

1．基本材料——橡胶

表1-2-36中列举了轮胎通用型橡胶的主要性能，但胶料的物理机械性能受其它配合剂的影响很大。如果配合不当，橡胶的优点就得不到充分的发挥。同时还要注意不仅使胶料既具有优异的物理机械性能，又兼具良好的加工性，使两者得到充分的协调一致。

2．硫化体系

普通硫化体系包括硫化剂、促进剂和活性剂。硫化剂直接参与橡胶的交联作用，使橡胶成为富于弹性的三维网状结构。至于促进剂和活性剂，也是硫化体系中不可缺少的组分，其作用是加快硫化速度、缩短硫化时间、改善硫化胶的物理机械性能并减少硫化剂的用量。

轮胎胶料的硫化特性有以下几方面的要求：

① 有足够长的焦烧时间，即胶料在半成品加工过程中不致引起预硫化现象；

② 在达到临界温度后，硫化速度快；

③ 具有较长的硫化平坦性，以使轮胎各部位的胶料保持较好的性能，不发生硫化返原现象；

④ 各部件胶料的硫化速度，应根据产品的厚度、硫化热介质的特性以及胶料不同的热性能，使其硫化速度尽可能相匹配。

轮胎胶料配方中，为了得到加工的安全性和较快的硫化速度，通常可采用促进剂并用的方法，即第一和第二促进剂的并用。例如在帘布层胶料中，以噻唑类促进剂（促进剂M、DM等）或次磺酰胺类促进剂作第一促进剂，秋兰姆类超促进剂为第二促进剂。这种互相抑制型的并用，其效果既能保证加工安全性，又能在硫化过程中快速硫化，并保证帘布层间获得牢固的粘合力。

3．填充补强体系

表 1-2-36 轮胎工业通用型橡胶的特性与用途

| 橡胶种类 | | 天然橡胶 | 异戊橡胶 | 丁苯橡胶 | 顺丁橡胶 | 丁基橡胶 | 氯化(溴化)丁基橡胶 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 主要特点 | | 具有最佳的屈挠橡胶抗弹性，拉伸强度、抗磨耗等物理机械性能优良 | 具有与天然橡胶几乎相同的性质，但质量比较稳定均一 | 耐磨耗，耐热老化性较天然橡胶好，价格也较低 | 弹性比天然橡胶好，耐磨性优，生热低，低温性能好 | 耐热、氧、臭氧老化性优异，耐气透性极佳 | 耐老化及屈挠疲劳性佳，耐气透性优，并可与NR，BR、SBR、IIR橡胶互混及共硫化 |
| 纯胶性能 | 相对密度 | 0.92 | 0.92～0.93 | 0.93～0.94 | 0.91～0.94 | 0.91～0.93 | 0.91～0.93 |
| | 门尼粘度(ML-4,100℃) | 90～150 | 55～90 | 30～60 | 35～55 | 45～76 | 40～80 |
| | 生胶自粘性 | 优 | 良～优 | 可～良 | 可 | 可 | 良 |
| | 互混性 | 良 | 良 | 良 | 可 | 差 | 可 |
| | 硫化速度 | 快 | 快 | 快 | 快 | 慢 | 快 |
| | 充油性 | 良 | 良 | 可～良 | 可～良 | 差 | 差 |
| | 炭黑混合性 | 优 | 良 | 良 | 良 | 差 | 可 |
| 炭黑混炼胶的物理机械性能 | 拉伸强度,MPa | 25～35 | 21～31 | 17～24 | 15～20 | 10～20 | 10～20 |
| | 扯断伸长率，% | 400～650 | 400～650 | 400～600 | 400～600 | 300～600 | 300～600 |
| | 回弹性 | 优 | 优 | 良 | 优 | 次 | 次 |
| | 抗撕性 | 优 | 良～优 | 良 | 良 | 良～优 | 良～优 |
| | 耐磨性 | 优 | 优 | 优 | 优 | 良 | 良 |
| | 抗屈挠裂口性 | 优 | 优 | 良 | 良 | 优 | 优 |
| | 耐燃性（最高使用温度，℃） | 120 | 120 | 120 | 120 | 150 | 160 |
| | 耐天候老化性 | 良 | 良 | 良 | 良 | 优 | 优 |
| | 耐蒸汽老化性 | 良 | 良 | 良 | 良 | 优 | 优 |
| | 耐气透性 | 良 | 良 | 良 | 差 | 优 | 优 |
| 用途 | | 适用于轮胎各部件胶料，也可与IR、SBR、BR并用，与卤化丁基橡胶并用作无内胎气密层等 | 基本上与天然橡胶具有相同的用途 | 用于胎面胶、胎侧胶及垫带胶，帘布层胶亦可少量掺用 | 与NR、IR或SBR并用作胎面胶、胎侧胶等 | 适用于内胎及硫化胶囊等胶料 | 主要用于无内胎气密层胶或胎侧胶 |

轮胎胶料的填充补强体系，主要的补强剂为炭黑，其它如白炭黑、碳酸钙、陶土等也用于某些胶料中。其作用大致是：

① 起补强作用，提高硫化胶的拉伸强度、抗撕裂强度、耐磨耗等物理机械性能；

② 降低胶料的成本；

③ 改善未硫化胶的工艺加工性能。

炭黑补强的原因在理论解释上是一个非常复杂的问题。但从炭黑粒子本身特性对补强作用的影响分析，有以下几方面的因素。

（1）粒径的大小 炭黑补强的效果在很大程度上取决于粒子的大小，粒子愈细，其比表面积愈大，活性和补强作用也大。表1-2-37为轮胎胶料用炭黑的粒径与胶料加工性及硫化胶性能的关系。

（2）结构性 炭黑结构的形成，是在制造过程中相邻的颗粒互相熔结在一起，并连接起来形成链状结构，称为炭黑的一次结构。这种结构牢度高，在机械加工过程中难于破坏，这种结构对胶料性能影响较为显著。此外，在炭黑加工后处理时，由于物理吸附而形成的松

表 1-2-37 炭黑粒径大小对胶料性能的影响

| 加工性能 | 粒径大 | 粒径小 | 硫化胶性能 | 粒径大 | 粒径小 |
|---|---|---|---|---|---|
| 填充量 | 较多 | 较少 | 拉伸强度 | 较低 | 较高 |
| 充油量 | 较少 | 较多 | 硬度 | 较低 | 较高 |
| 混合时间 | 较短 | 较长 | 耐磨耗性能 | 较差 | 较好 |
| 分散性 | 较好 | 较差 | 抗撕裂性 | 较低 | 较高 |
| 胶料粘度 | 较低 | 较高 | 耐屈挠性 | 较差 | 较好 |
| 焦烧时间 | 较长 | 较短 | 弹性 | 较高 | 较低 |
| 操作温度 | 较低 | 较高 | 生热性 | 较低 | 较高 |

散结构称作二次结构。

所谓炭黑的结构性，是指上述两种结构的总特性，并以吸油值为表征。结构性愈高，炭黑愈易于在橡胶中分散，胶料的压出性能好，硫化胶的硬度、定伸应力也比较高。低结构炭黑则相反，但其硫化胶的拉伸强度和撕裂强度则较高。炭黑的结构性对橡胶加工性及硫化胶特性的影响见表1-2-38。

表 1-2-38 炭黑结构性对胶料性能的影响

| 胶料加工性能 | 结构性高 | 结构性低 | 硫化胶性能 | 结构性高 | 结构性低 |
|---|---|---|---|---|---|
| 填充量 | 较少 | 较多 | 拉伸强度 | 较低 | 较高 |
| 充油量 | 较高 | 较低 | 定伸应力 | 较高 | 较低 |
| 混炼时间 | 较长 | 较短 | 硬度 | 较高 | 较低 |
| 分散性 | 较好 | 较差 | 耐磨耗性 | 较好 | 较差 |
| 粘度 | 较高 | 较低 | 扯断伸长率 | 较低 | 较高 |
| 生热量 | 较高 | 较低 | 撕裂强度 | 较低 | 较高 |
| 焦烧时间 | 较短 | 较长 | 耐屈挠性 | 较差 | 较好 |
| 压出膨胀 | 较小 | 较大 | 弹性 | 较低 | 较高 |
| 压出光滑性 | 较好 | 较差 | | | |
| 压出速度 | 影响不大 | 影响不大 | | | |

（3）炭黑的表面化学性质　槽法炭黑在制造过程中由于直接与空气接触，生成的炭黑表面有羧基、酚基、醌基和内酯基等含氧基团，因而具有弱酸性，胶料一般迟延硫化。而炉法炭黑在冷却淋洗过程中，炭黑表面易生成带弱碱性的羟基基团，对硫化有促进作用，胶料具有易焦烧的倾向。槽黑的pH一般值为4～5，呈酸性；炉法炭黑的pH值在7～10之间，呈碱性。炭黑的含氧量高，挥发分多，则pH值就低。槽黑因能迟延硫化，应适当增加促进剂和硫黄的配合量。表1-2-39及表1-2-40为轮胎胶料常用炭黑品种及主要特性[9]。

（4）白炭黑　白炭黑的补强作用仅次于炭黑。它的补强作用主要决定于粒子的大小，当粒子小于50nm时，其补强性能较好，一般粒子的尺寸在8～110nm之间。此外，白炭黑的表面性质、结构等对橡胶的补强也有很大的关系。由于白炭黑的表面性质很复杂，吸附性能强，因此胶料有吸附促进剂的作用，产生迟延硫化。白炭黑胶料在密炼机混炼时，能很容易和生胶混合均匀。硫化胶强度较高、伸长率大、弹性和耐热性好，撕裂强度较高等特点。

在天然橡胶或天然橡胶与顺丁橡胶、丁苯橡胶并用的胎面胶料中，加入5～10份白炭黑代替部分炭黑能改善胶料的撕裂强度，可减少胎面胶崩花、掉块现象。在乘用车胎面胶中掺用白炭黑，可提高抗湿滑性能。对于橡胶与合成纤维帘线或钢丝帘线的粘合体系中，采用间

甲白增粘体系，能显著改善帘线与橡胶的粘合强度。

除此之外，轮胎次要部件的胶料还可以采用碳酸钙、陶土等填充补强剂。

4．防护体系

防护体系主要包括化学防老剂和物理防护剂两类。防老剂在轮胎胶料中的作用，是在贮

表 1-2-39 轮胎胶料常用炭黑品种及特性

| 名　称 | 代　号 | 平均粒径 nm | 比表面积 $m^2/g$ | 吸碘量 mg/g | 吸油值 ml/g | pH值 | 挥发分 % | 特　性 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 易混槽黑 | EPC | 23～30 | 100～125 | | 0.95～1.25 | 3.5～5 | 4～5 | 强撕性好，迟延硫化，补强效果好，适用于大型轮胎 |
| 超耐磨炉黑 | SAF | 14～26 | 90～150 | 150 | 1.1～1.5 | 7～9 | 1.0 | 耐磨性优，补强性高，混炼难于分散，用于胎面胶 |
| 中超耐磨炉黑 | ISAF | 19～30 | 110～130 | 100～140 | 1.05～1.25 | 7～9 | 0.7～2.5 | 耐磨及抗撕性能好，适用于胎面胶 |
| 高结构中超耐磨炉黑 | ISAF-HS | 19～30 | 110～130 | 100～140 | 1.3～1.5 | 7～9 | 0.7～2.5 | 耐磨、定伸应力高，混炼生热高，适用于合成橡胶胎面胶料 |
| 低结构中超耐磨炉黑 | ISAF-LS | 19～30 | 110～130 | 100～140 | 0.65～0.85 | 7～9 | 0.7～2.5 | 耐磨，并可提高强撕性能，用于胎面胶 |
| 高耐磨炉黑 | HAF | 26～45 | 70～100 | 75～100 | 1.0～1.2 | 7～9.5 | 0.7～2.0 | 补强性能好，加工性亦佳，主要用于胎面胶等 |
| 高结构高耐磨炉黑 | HAF-HS | 26～45 | 70～105 | 77～110 | 1.3～1.6 | 6～9 | 0.7～2.0 | 耐磨、混炼分散性好，压出收缩率低，最适于SBR，BR胎面胶 |
| 低结构高耐磨炉黑 | HAF-LS | 26～40 | 70～105 | 70～110 | 0.6～0.8 | 6.5～9.5 | 0.7～2.0 | 耐磨并兼具槽黑特性，可用于胎面胶等部件 |
| 活性低结构高耐磨炉黑 | HAF-LS-SC | 26～40 | 100～120 | 100～110 | 0.75～0.85 | 6 | | 性能接近槽黑，用于工程胎、越野胎和拖拉机胎面胶 |
| 快压出炉黑 | FEF | 33～79 | 42～80 | 40～50 | 1.05～1.45 | 7～9 | 0.8～1.6 | 压出性好，改善合成胶料的加工性，用于胎侧等部件 |
| 通用炉黑 | GPF | 50～78 | 25～39 | 25～35 | 0.7～1.1 | 7～10 | 0.5～1.5 | 加工性好，弹性高生热低，用于胎侧及帘布胶等部件 |
| 高定伸炭黑 | HMF | 52～95 | 30～50 | 31～45 | 0.8～0.9 | 8～10 | 0.3～1.3 | 弹性及定伸应力高，生热低，用于缓冲层及胎体部件 |
| 半补强炉黑 | SRF | 59～160 | 14～35 | 11～28 | 0.45～0.7 | 7～10 | 0.3～2.0 | 弹性高，生热低，用于胎体部件及内胎胶 |

表 1-2-40 炭黑粒径大小对胶料性能的影响①

| 炭黑类型 | ASTM分级代号 | 平均粒径nm | 拉伸强度MPa | 试验室相对磨耗 | 道路试验相对磨耗 |
|---|---|---|---|---|---|
| SAF | N—110 | 20～25 | 25 | 1.35 | 1.20 |
| ISAF | N—220 | 24～33 | 23 | 1.25 | 1.15 |
| HAF | N—330 | 28～36 | 22.5 | 1.00 | 1.00 |
| FEC | S—300 | 30～35 | 22 | 0.80 | 0.90 |
| FEF | N—550 | 39～55 | 18.5 | 0.64 | 0.72 |
| HMF | N—683 | 49～73 | 16 | 0.50 | 0.56 |
| SRF | N—770 | 70～96 | 15 | 0.45 | 0.50 |

① 试验配方为丁苯橡胶、60份炭黑的配方

存和使用过程中延缓胶料因受热、氧、臭氧、机械疲劳、光线或有害物质导致橡胶变质，降低使用性能的过程。

胶料抗老化性能的优劣，与橡胶类型、硫化程度和交联类型，以及硫化体系和其它配合剂的特性有关。因此，防老剂的选用要根据各种胶料的使用环境和对性能的要求而不同。物理防老剂一般为饱和的烷烃蜡类，这类物质在胶料中的用量超过在橡胶中的溶解度时，很容易迁移至橡胶的表面，且形成一层连续的薄膜，使橡胶与外界接触的物质隔离，形成自锁式防护作用。另一类化学防老剂，它们参与橡胶本身的自催化氧化作用，中止游离基断链反应，其自动催化氧化反应过程产生的游离基团，由防老剂和这些游离基反应后，以自身的离子化换取这些游离基非离子化，这些反应的最终生成物对橡胶无害，从而抑制了橡胶的自催化游离基反应。

防老剂使用的技术要求有以下几点：

① 易在橡胶中均匀分散；

② 容易从胶料中迁移至表面，但又不达到喷霜的程度，故并用效果较好；

③ 对硫化速度无不良影响；

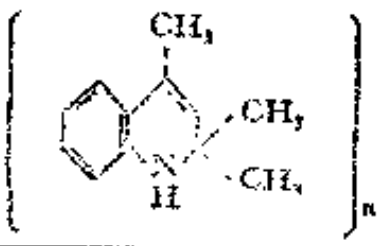
④ 无毒、无味、效能高；

⑤ 对浅色胶料如白胎侧等，要求不污染。

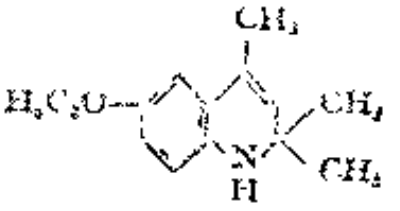
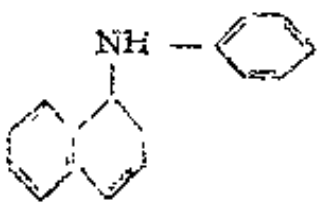
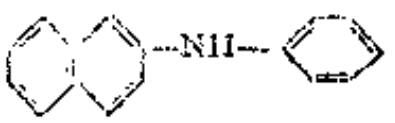
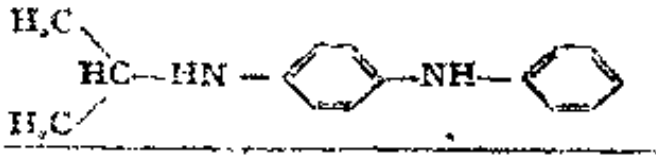
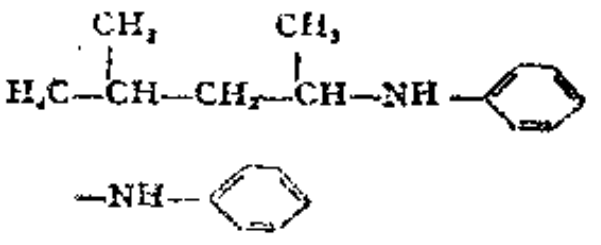
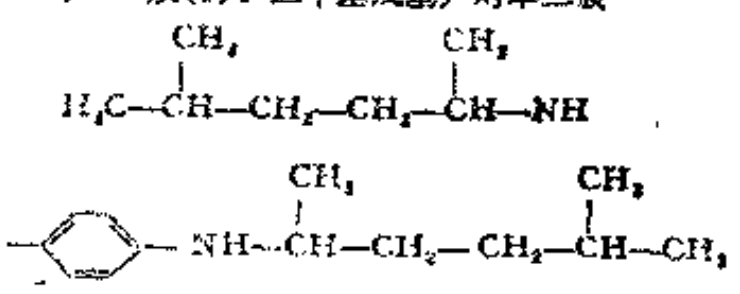
因此，轮胎不同部位的胶料其防老体系的侧重点是不相同的。如胎面胶、胎侧胶要求具有优异的抗屈挠疲劳性及耐热、光、氧、臭氧老化特性，防老剂用量也较多。胎体帘布层胶料则以抗热、氧及耐屈挠疲劳为主。为了发挥防老剂不同的功效，常采取并用的途径。只要并用得当，可获得协同效应，达到用量减少而效能增加的目的。使用防老剂要注意其在橡胶中的溶解度，防止过量引起喷霜，而降低表面附着力。

轮胎胶料配方常用防老剂的品种及特性如表1-2-41所列。

表 1-2-41 常用防老剂名称及特性

| 商品名称 | 化学名称及分子结构式 | 特　　性 |
|---|---|---|
| 防老剂RD | 2,2,4-三甲基-1,2-二氢化喹啉聚合体  | 对天然橡胶和通用合成橡胶具有良好的抗氧、耐热老化及天候老化性，用于帘布层胶及胎面、胎侧胶等 |

续表

| 商品名称 | 化学名称及分子结构式 | 特　　性 |
|---|---|---|
| 防老剂AW | 6-乙氧基-2,2,4-三甲基-1,2-二氢化喹啉<br>  | 对天然橡胶和合成橡胶有良好的抗臭氧及抗氧老化性，同时对天候老化、抗热及屈挠龟裂有防护作用，可用于绝缘胶等部件 |
| 防老剂BLE | 丙酮与二苯胺高温反应产物 | 天然橡胶、丁苯和顺丁橡胶等有抗热、氧、屈挠疲劳的防护作用，对臭氧及天候老化的防护作用亦佳，用于钢丝帘布胶等 |
| 防老剂A | *N*-苯基-α萘胺<br>  | 对天然橡胶、合成橡胶的热、氧、屈挠疲劳、天候老化均有良好的防护作用，可用于轮胎各部件的胶料配方 |
| 防老剂D | *N*-苯基-β萘胺<br>  | 对天然橡胶、合成橡胶热、氧、屈挠龟裂等具有良好的防护作用，可用于轮胎各部件胶料配方 |
| 防老剂4010 | *N*-环己基-*N'*-苯基对苯二胺<br>  | 天然橡胶、合成橡胶抗臭氧、热、氧、光等老化的防护性优良，对屈挠龟裂也有抑制作用，用于胎面、胎侧等各部件配方 |
| 防老剂4010NA | *N*-异丙基-*N'*-苯基对苯二胺<br>  | 天然橡胶、合成橡胶抗臭氧及屈挠龟裂防护效果特佳，对热、氧、光等老化也有良好的防护作用，用于胎面、胎侧等各部件胶料 |
| 防老剂4020 | *N*-(1,3-二甲基丁基)-*N'*-苯基对苯二胺<br>  | 对天然橡胶及合成橡胶抗臭氧、抗氧及屈挠龟裂防护均佳，其效果介于4010与4010NA之间。其特点是在水中抽提性低，用于胎面胶效果保持性好 |
| 防老剂4030 | *N*,*N'*-双(1,4-二甲基戊基)-对苯二胺<br>  | 为天然橡胶以及合成橡胶的优良抗臭氧剂，对防护臭氧作用下动、静态龟裂，抗氧及屈挠疲劳的防护均有效，适用于轮胎各部件的胶料 |
| 石　蜡 | 由轻质滑润油及石蜡馏分中分离制得，主要为直链分子烷烃，也含少量芳香烃 | 为天然橡胶及合成橡胶物理防老剂，对静态下防臭氧及氧、光老化有防护作用，作胎面胶、胎侧胶的防护剂 |
| 微晶蜡 | 从含高分子量的石油残留物中用溶剂分离制得，大部分为支链的烷烃，还含有比石蜡多得多的环状化合物，熔点比石蜡高 | 由于熔点较高，而且在橡胶中的迁移速度较慢，因此在较高温度下对臭氧或天候静态抗臭氧的防护效果比石蜡更佳 |

5. 增塑剂与软化剂

橡胶是富于弹性，且具有柔韧性和相当强度的高聚物，这是由高分子材料本身所具有的[illegible]性所决定的。橡胶是一长链分子结构，分子间[illegible]缠结而具有强度；长链分子又非

常柔软，能迅速移动而富有弹性。要使橡胶具有良好的加工性能，须使分子间各链段彼此很容易滑动。为了达到这个目的，可采用以下二种方法。

（1）塑解剂　通过塑解剂作为氧的促集剂和载体的作用，加速橡胶分子链的氧化断链作用。这样使橡胶分子平均链长度减少，橡胶变软，可塑性增大。天然橡胶采用塑解剂进行塑炼，可显著提高塑炼效果，缩短塑炼时间，降低动力消耗。在合成橡胶合成过程中，一般将生胶的门尼粘度值控制在45～55之间，适宜于直接进行混炼，故不必再塑炼。

（2）软化剂　软化剂是能起到物理增塑效果的配合剂。胶料加入少量软化剂后，减弱了大分子链间的互相吸引力，使分子链间彼此容易滑动，起着分子间润滑剂的作用。因此，软化剂是胶料配方中基本配合剂之一，产生工艺加工助剂的效能，其作用主要如下。

①　降低分子链间的作用力，增加配合剂在橡胶分子间通过和分散的自由，改善配合剂在橡胶中的分散性，缩短炼胶加工的时间，节省人力和能耗。

②　增加胶料的柔软性、塑性和自粘性，便于压出、压延、成型等工艺加工的进行。

③　增加橡胶分子间润滑性，降低炼胶过程中的分子摩擦及由此而形成的生热现象。

④　改善胶料的物理机械性能，例如改进弹性、降低硬度及定伸应力等。

根据软化剂在胶料中的作用，选用软化剂可从以下几方而考虑：

①　不易挥发，一般软化剂的分子量越大，挥发性就越小；

②　沸点高；

③　对硫化胶性能的影响，应尽可能地小；

④　无毒无味；

⑤　不喷霜，因为喷霜会降低界面层粘合力。

（3）常用的化学增塑剂　普通胶料的增塑剂包括：某些促进剂如M、DM等，对天然橡胶有温和的增塑效果；芳香硫酚类，如2-萘硫酚、二甲苯基硫酚；苯酰胺基二苯基二硫化物；五氯硫酚及其锌盐；石油磺酸盐类；苯肼盐类。

（4）物理软化剂　轮胎胶料通用的物理软化剂有以下5类：（a）石油系软化剂，如萘油、芳香族油、树脂、蜡、沥青、矿质橡胶等；（b）松树提炼出的松焦油、木沥青、松脂等；（c）煤焦类，如煤焦油、沥青、树脂等；（d）天然脂肪及油类，如植物油、吹制油、脂肪酸；（e）合成有机化合物，如酯类、液体高分子化合物及杂类合成物。

表1-2-42和表1-2-43为化学增塑剂的增塑效果及轮胎胶料采用的软化剂品种。

表 1-2-42　五氯硫酚和促进剂M的增塑作用①

| 塑解剂 / 用量，重量份(生胶为100重量份) | 五氯硫酚 | 促进剂M |
|---|---|---|
| 0.1 | 0.497 | 0.413 |
| 0.15 | 0.510 | 0.468 |
| 0.2 | 0.538 | 0.510 |
| 0.3 | 0.543 | 0.538 |
| 0.5 | 0.533 | 0.525 |
| 0.7 | 0.543 | 0.514 |

①　工艺条件：开炼机辊温55～60℃，时间8min，薄通15次。表中数字为Williams可塑度。

表 1-2-43 各种橡胶常用软化剂

| 生胶类型 | 软化剂品种 | 一般用量，重量份 | 作用特点 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 硬脂酸 | 2 | 软化效果强，对炭黑有很好的分散作用 |
| | 松焦油 | 2～6 | 能提高胶料粘着性，对炭黑有很好的分散作用，是天然橡胶综合性能最好的软化剂 |
| | 古马隆树脂 | 4～5 | 软化效果强，可提高胶料粘性及物理机械性能 |
| | 油膏 | 约10 | 提高胶料塑性，利于压出，可改善胶料弹性及柔软性 |
| | 沥青、矿质橡胶 | 约5 | 提高胶料的塑性及硫化胶弹性与物理机械性能 |
| 丁苯橡胶 | 石油系软化剂 | 2～20 | 软化效果强，有助于改善炭黑的分散性及提高胶料物理机械性能，是最常用的软化剂 |
| | 古马隆树脂 | 5～20 | 有较好的软化效果，使填充剂及硫黄分散好，改善压延、压出工艺 |
| | 松焦油 | 5～10 | 利于配合剂分散及起胶料软化作用，增加胶料粘性 |
| | 沥青 | 5～10 | 减少胶料收缩性，利于工艺操作，同时改善硫化胶耐热及抗撕性 |
| 顺丁橡胶 | 石油系软化剂 | 8～15 | 高芳烃含量高的石油系软化剂可改善炭黑的分散性以及胶料压出表面光滑性。环烷油、石蜡油的效果较差 |
| 丁基橡胶 | 石油系软化剂 | 5～20 | 以石蜡烃油与丁基橡胶的相容性最好，可改善炭黑分散性及胶料加工性能，环烷烃油，芳香烃油效果次之 |
| | 蓖麻油 | 5～10 | 有较好的软化效果及加工性，胶料物理机械性能也较佳 |

6．其它专用配合剂

轮胎胶料配合中为了获得某种特殊的性能，还需要加入一些专用的配合剂。例如提高钢丝帘线或合成纤维与橡胶的粘合强度，需加入增粘剂。此外，根据配方的使用要求还可加进防焦剂、表面粘着剂、改性剂等。轮胎胶料常用的主要品种见表1-2-44所列。

表 1-2-44 轮胎胶料配方常用的一些特殊配合剂

| 类别 | 品名 | 特性 |
|---|---|---|
| 增粘剂 | 增粘剂A | 用于钢丝帘线与橡胶粘合配方中的增粘剂，是次甲基给予体 |
| | 增粘剂RE树脂 | 用于钢丝帘线与橡胶配方中的增粘剂，是次甲基接受体 |
| | 增粘剂RS | 硬脂酸与间苯二酚混合物，是钢丝帘线粘合配方中次甲基接受体 |
| | 环烷酸钴 | 钢丝帘线胶料配方中增粘剂，改善橡胶与钢丝帘线的粘合力含硼的钴盐络合物，改善橡胶与钢丝粘合力的增粘剂 |
| 表面粘着剂 | 松香 | 改善纤维帘线压延中与胶料的粘着性能 |
| | 石油系树脂 | 改善胶料表面粘着性，有利于提高半成品部件的加工性能 |
| 防焦剂 | 防焦剂PVI | 改善天然橡胶、顺丁橡胶、丁苯橡胶的焦烧性能，提高胶料加工安全性 |
| 改性剂 | 苯甲酸 | 提高胶料的硬度，满足高硬度的要求，亦可改善胶料焦烧性能 |
| | 齐聚酯 | 提高硫化胶的硬度，同时改进胶料工艺加工性能 |

### （四）未硫化胶的性能

胶料的物理机械性能在一定程度上表征了它的加工特性以及产品的使用性能。其中未硫化胶的性能主要反映了胶料的加工工艺特性。因此，控制混炼胶的质量，是保证后加工的顺利进行和产品质量均一的前提。为及时和有效地控制混炼胶的质量，需进行以下的一些试验

项目。

1. 橡胶和混炼胶的粘度

橡胶的粘度反映了它的流变特性，它与生胶的分子量大小及分子量分布有关。合成橡胶由于在制造聚合过程中控制其聚合程度，从而获得一定范围的门尼粘度值，故不必进行生胶的塑炼。但天然橡胶由于分子量较大，门尼粘度值一般在90～100，因此必须进行塑炼使其部分断链后才能进行混炼。

混炼胶的粘度反映了胶料的流变特性，它与压延、压出等工艺过程有密切的关系。粘度过大，不但增加了胶料的生热性，而且影响到收缩性及表面光滑性能。粘度过低则降低了硫化胶的物理机械性能。因此，混炼胶的粘度应控制在一定的范围内，以保证后加工工艺的稳定性。粘度的测定可采用门尼粘度计或加工性能试验机，后者还可以测定不同温度下胶料的压出速度、膨胀率和表面性能，为选择较优压出条件提供依据。

2. 可塑性

胶料的可塑性是橡胶粘弹特性的一种物理现象，即外力施加于胶料后发生的形变，而去掉外力作用胶料保持其形变的性质。目前我国测量胶料可塑性的主要仪器有Williams可塑计、Defo可塑计和Wallace快速可塑计3种，表1-2-45为轮胎各部件胶料可塑性控制的指标。

表 1-2-45　轮胎各部件胶料塑炼以及混炼胶可塑性要求

| 胶料名称 | 天然橡胶塑炼胶威氏可塑性 | 混炼胶威氏可塑性 |
|---|---|---|
| 胎面胶上层胶 | 0.4～0.45 | 0.22～0.27 |
| 胎面胶下层胶 | 0.4～0.45 | 0.25～0.3 |
| 胎侧胶 | 0.4～0.45 | 0.25～0.3 |
| 缓冲层帘布胶 | 0.45～0.5 | 0.4～0.45 |
| 外层帘布胶 | 0.5～0.55 | 0.4～0.45 |
| 内层帘布胶 | 0.5～0.55 | 0.45～0.5 |
| 油皮胶 | 0.4～0.45 | 0.35～0.45 |
| 内胎胶 | 0.45～0.55 | 约0.5 |
| 垫带胶 | 0.5～0.55 | 0.35～0.45 |

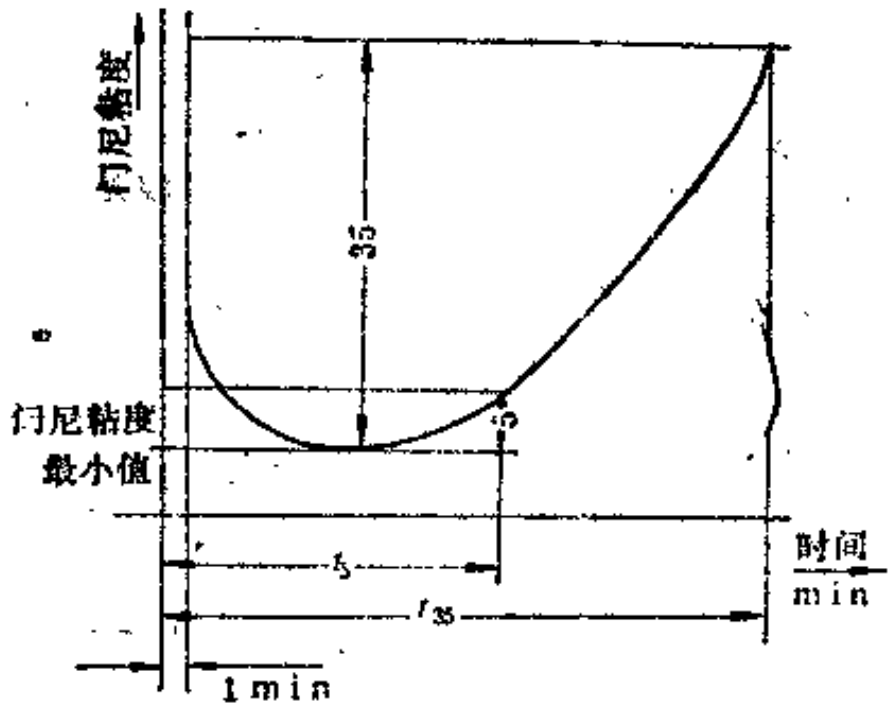



图 1-2-61　门尼焦烧特性曲线

$t_5$—从最低粘度开始上升5单位粘度值所需的时间，即门尼焦烧时间；

$t_{35}$—从最低粘度开始至上升35单位粘度值所需的时间

3. 焦烧性能及硫化速率

胶料的焦烧性能通常用门尼粘度计进行测定，并以$t_5$值作为焦烧性能的表征，称为门尼焦烧时间。所谓焦烧性能，是指胶料在各种工艺加工过程中，由于热的积累而使诱导期缩短，最终可能导致胶料产生早期硫化——即称之为焦烧现象，使胶料不能使用。胶料具有抑制产生焦烧现象的能力就是焦烧性能，它反映了胶料加工的安全性，是工艺性的重要参数。

轮胎厂应根据本厂的加工设备条件及工艺特点，在配方设计中保证胶料有足够的焦烧时间。图1-2-61为典型的门尼粘度计测定的焦烧时间及硫化特性曲线。

4. 硫化仪

硫化仪是目前国内外广泛用于测量胶料硫化特性以及混炼中质量控制的仪器。因为硫化仪曲线描述了胶料交联过程中剪切模量与交联密度的关系。因此，通过硫化仪曲线可确定胶料的粘度、焦烧时间、硫化诱导期和硫化程度。而高温硫化仪则可在极短的时间内测定胶料的硫化特性，从而能准确地判断胶料是否符合技术要求，它用于混炼胶质量控制非常迅速而有效。

国内、外有关硫化仪生产厂家如表1-2-46所列。硫化仪特性曲线见图1-2-62。

表 1-2-46 国内、外主要类型硫化仪一览表

| 仪器名称 | 制造年代 | 国别 | 研制单位 | 技术特征 |
|---|---|---|---|---|
| 阿克发硫化仪 (Agfa-Vulkameter) | 1957 | 联邦德国 | Bayer公司 | 垂直线性剪切振动型，加应变测应力 |
| 华莱士硫化仪* (Wallace-Curameter) | 1959 | 英国 | Wallace公司 | 水平线性剪切振动型，加应力测应变 |
| 振动圆盘式流变仪 (Oscillating disk Rheometer) | 1962 | 美国 | Monsanto公司 | 转子水平摆动剪切型，加应变测应力 |
| 粘度硫化仪 (Viscurometer) | 1963 | 美国 | Goodrich公司 | 转子水平摆动剪切型，加应变测应力 |
| 硫化弹性仪 (Curelastometer) | 1963 | 日本 | 日本合成ゴム公司 | 无转子圆盘水平摆动剪切型，加应变测应力 |
| 锥形流变仪 (Cone Rheometer) | 1971 | 美国 | Monsanto公司 | 锥形转子水平摆动剪切形，加应变测应力 |
| LH—Ⅱ型硫化仪 | 1973 | 中国 | 化工部北京橡胶工业研究设计院 | 转子水平摆动剪切形，加应变测应力 |
| GK—100硫化仪 | 1983 | 中国 | 化工部北京橡胶工业研究设计院 | 转子水平摆动剪切形，加应变测应力（高温） |

5. Wallace可塑计

对于连续和高速的混炼工艺过程，无论采用Defo可塑计、Williams可塑计检验胶料的可塑度，都需要数分钟以上的时间，无法适应高速的要求。采用Wallace可塑计，则可达到快速的目的。

该仪器属压缩型可塑计。试验是在100℃下进行，先将试片从3mm厚加压至1mm厚度，预热15秒钟，然后加98N(10kgf)的负荷，并保持15秒钟，测定此时试片的厚度即为Wallace可塑性。整个测定过程仅需40秒，特别适用于质量控制的快速检验。

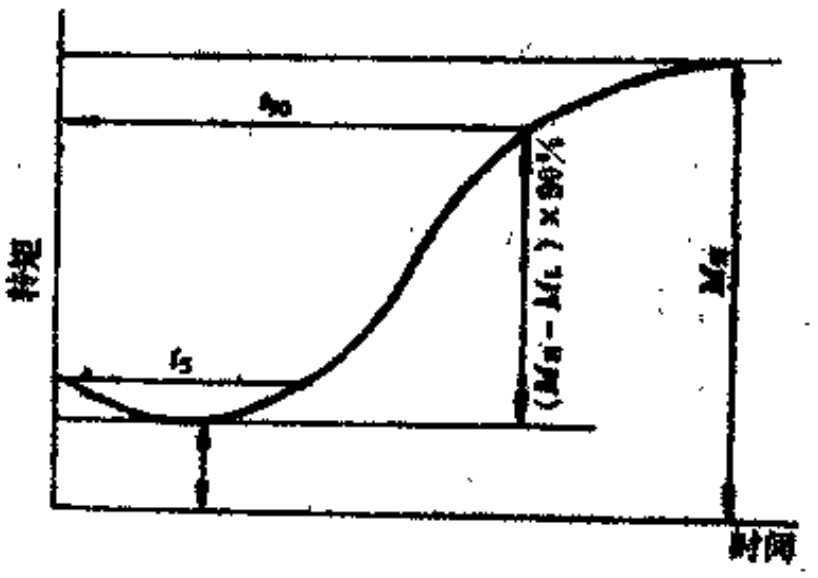



图 1-2-62 典型的硫化仪曲线

6. 相对密度

混炼好的胶料投入下一工序使用之前，必须知道该批胶料是否符合配方的要求。这就需要核对在配料和混炼中是否出现错配、漏配，或者投料错误的问题。因此对每个混炼胶都要

进行检查，防止误用胶料，给生产造成损失。检查胶料相对密度是一种简便而快速的方法。

由于配方中各种配合剂的相对密度都是已知的，因而可以求出混炼胶的相对密度。将理论值与实测值相比较，可大致判定配炼是否准确。此法特别适合于快速混炼中对母炼胶的快速检验控制指标。目前国内一般将其作为混炼胶快速检验质量控制指标之一。

相对密度的测定一般采用浸液法，即制备不同浓度的氯化锌溶液作为相对密度标准液，使橡胶浸入该溶液中达到不浮不沉的平衡状态，此时胶料的相对密度即等于该溶液的相对密度。此外，应用自动相对密度计则能更精确和快速获得胶料的相对密度值。

7．胶料的粘着性

轮胎是一多层的复合制品，在成型中进行各部件的组合，胶料的表面粘着性能对工艺过程十分重要。特别在子午线轮胎成型操作中，要求胶料表面新鲜、粘着性好，成型过程中各部件不用涂刷汽油进行粘合，以保证质量。因此胶料半成品的粘着性能是十分重要的指标。

粘着性是指一材料的表面与另一材料表面接触时，在一定压力下，可以立刻测出的结合力。粘着也是瞬间的粘合，它不同于最后的强度。粘着随温度、压力、施加与除去压力的速率，接触的时间有关。测定挂胶帘布或胶料表面的粘着力可采用Wallace Tackmeter或Tel-Tackmeter等专用仪器[10]。

8．收缩性

胶料具有粘弹特性，在受外加应力作用时容易产生变形，当应力除去后又部分恢复原状。这种性能在工艺上表现为收缩性，它对压延、压出等半成品尺寸的影响很大。胶料的收缩性一方面与橡胶的化学结构特性有关，另一方面与胶料残存的应力特性有关。胶料收缩的结果是胶片长度减少而厚度增加。因此胶料的收缩性对胎面压出、帘布压延挂胶及压片的尺寸均一性产生显著的影响。胶料应控制可塑性在规定范围内，以保证有相同的收缩性。

利用专门的Gravey压出口型可测定胶料的收缩性。此外，“布拉本达”塑性记录仪(Brabender Plastograph) 可测定胶料的混炼及压出特性，为确定最佳的混炼条件和压出温度、速度提供技术依据及压出各项工艺参数[11]

9．未硫化胶的强度

未硫化胶的拉伸强度与轮胎成型工艺有关。尤其是子午线轮胎成型，胎体帘线之间的橡胶承受很大的变形，如果胶料的强度过低，成型时很容易引起帘线间劈缝，使胎坯损坏。因此对子午线轮胎胎体帘布胶和油皮胶的未硫化胶料，其拉伸强度和定伸应力有一定的要求。

**（五）硫化胶的性能**

硫化胶的各项物理机械性能，反映了轮胎的使用质量，如耐磨性、生热性、抗花纹间裂口性、抗湿润性及滚动阻力等性能。轮胎是在十分复杂的应变及使用条件下工作的，它需要具有多方面的综合性能。因此，不能以某一项物理机械性能作为胶料的唯一指标，而只能综合考虑有关主要性能的指标，因此需要测定的项目较多。表1-2-47所列为各部件胶料一般所需测试的项目。

硫化胶各项物理机械性能试验的原理及标准，表1-2-48中列出了试验所用的仪器及标准号，具体内容可参阅国家标准局发布的国家标准。

## 三、各部件胶料的要求

轮胎在行驶中承受了法向、周向和侧向三种外力的作用，同时经受周期性的压缩、伸张和剪切变形，导致胶料产生滚动损失，使轮胎发热而经常处于高温状态。因此，轮胎各部件

表 1-2-47 轮胎各部件胶料常用的试验项目①

| 试验项目 | 胎面胶 | 胎侧胶 | 缓冲层（带束层） | 帘布层胶 | 钢丝帘布胶 | 气密层（内衬层）胶 | 钢丝圈压出胶 | 斜交胎三角胶 | 斜交胎包口布胶 | 子午胎三角胶 | 子午胎子口护胶 | 内胎胶 | 垫带胶 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 拉伸强度 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 扯断伸长率 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 定伸应力 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 硬度 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 永久变形 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 磨耗 | ○ | × | × | × | × | × | × | × | × | × | ○ | × | × |
| 老化 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 耐高温性能 | ○ | × | ○ | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | ○ | ○ |
| 生热性能 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 弹性 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 撕裂强度 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | × | × | × | ○ | ○ | ○ |
| 屈挠裂口 | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 帘线H抽出 | × | × | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 钢丝粘合力抽出 | × | × | (○) | × | ○ | × | ○ | × | × | × | × | × | × |
| 气透性 | × | × | × | × | × | (○) | × | × | × | × | × | ○ | × |
| 焦烧时间 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 硫化仪 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 可塑性 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

① 表中“○”代表应进行试验项目；“×”可不进行试验项目，除此之外，还可作其它试验。

表 1-2-48 硫化胶常规各项物理机械性能测试采用仪器及计量单位

| 试验项目名称 | 采用仪器名称 | 法定计量单位 | 试验方法标准号 |
|---|---|---|---|
| 拉伸强度 | 拉力试验机 | MPa | GB528—82 |
| 扯断伸长率 | 拉力试验机 | % | GB528—82 |
| 定伸应力 | 拉力试验机 | MPa | GB528—82 |
| 撕裂强度 | 拉力试验机 | kN/m | GB529—81<br>GB530—81 |
| 硬度（邵尔A） | 邵尔A型硬度计 | 邵尔A型，度 | |
| 回弹性 | 橡胶回弹性试验机 | % | GB531—83 |
| 热空气老化 | 热空气老化试验箱 | | GB1681—82 |
| 抗屈挠龟裂 | DeMattia屈挠龟裂试验机 | 分级1～6级 | HG4—836—82 |
| Akron磨耗 | Akron磨耗试验机 | $cm^3/1.61km$ | GB1689—82 |
| 抗裂口增长测定 | DeMattia屈挠龟裂试验机 | 测定裂口增长屈挠次数 | HG4—837—82 |
| 扯断永久变形 | 拉力试验机 | % | GB528—82 |
| 橡胶与织物粘着强度 | 拉力试验机 | kN/m | GB532—82 |
| 橡胶与织物帘线粘着强度(H抽出法) | 拉力试验机 | N/每根帘线 | GB2942—82 |
| 橡胶与钢丝帘线粘合强度（抽出法） | 拉力试验机 | N/每根帘线 | HG4—1469—82 |

所处的位置和作用不同，对胶料性能的要求也各异。下面分述各部件胶料主要的性能要求及配方要点。

### （一）胎面部分

胎面是轮胎与地面接触的部分，通过接地传递车轮的牵引力同时获得抓着力。因面要求胎面有良好的耐磨、抗刺扎及抗崩花裂口、耐热、耐老化和耐屈挠等性能。但一种配方要同时满足这些要求是比较困难的。因此，最好根据使用部位的不同特点，设计相应的各种胶

料，分层压出。这样既有利于提高质量，又可降低成本。

分层压出的形式有三种：

① 胎冠上层用一种胶料，胎冠下层和胎侧共用另一种胶料；

② 胎冠上层与胎冠下层用同一种胶料，胎侧用另一种胶料；

③ 胎冠、胎肩和胎侧分别用三种胶料。

这三种分层形式，以第三种为最好。如受条件限制，尚不能分层时，则主要考虑胎冠上层胶的性能。如分层压出，各胶料要求如下。

1．胎冠上层胶

胎冠上层胶直接与路面相接，承受苛刻的外部应力作用而易于磨耗损伤，而且轮胎通过胎面传递牵引力。因而胶料除了耐磨性外，还需要有高度的强撕性和弹性，以降低轮胎的生热和改善抗刺扎性能，并且在高温和长时间老化后仍有良好的性能保持率，提高其使用寿命。

胶料配方在大型轮胎中以天然橡胶单用为宜，中型以下的规格可掺用丁苯橡胶或顺丁橡胶。炭黑应采用耐磨性炉黑，如中超耐磨炉黑或高耐磨炉黑，用量根据胶种不同而异，一般为45～55份。硫化体系采用次磺酰胺类促进剂，也可与噻唑类并用。全天然橡胶硫黄用量在2.5～2.8份之间，但掺用合成橡胶以后，应减少用量，防止胶料迅速老化引起变硬发脆，影响后期的使用性能。软化剂的品种应考虑与生胶有良好的互溶性，天然橡胶一般可采用松焦油，合成橡胶则宜用芳香烃含量高的石油系软化剂，随着炭黑用量的增加，软化剂量亦增加，一般为4～8份。防老剂采用综合性能较好的对苯二胺类，如4010、4010NA、4020等，或与BLE、AW并用，还可加入少量微晶石蜡提高防老化效能。

轿车轮胎在高速下行驶，不仅要耐磨，更为重要的是在湿路面条件下有良好的抓着性，以保证行驶安全。因此，胎面胶应采用抗湿滑性较佳的高聚物，如充油丁苯橡胶等为好。配方亦要考虑改善其抗湿滑性能。

工程机械轮胎主要用于矿山和建筑工地，路面条件差，易受切割和刺扎，使用条件极为苛刻。因之要求胶质强韧，提高抗刺扎和耐磨性能。拖拉机轮胎除用于耕作外，还兼用于运输，行驶路面比较复杂，胎面承受很大的牵引力。特别对于人字形花纹基部，受应力更大，所以胶料必须具有良好的耐磨、耐刺扎和抗疲劳裂口性能。因此，大型以及在较高速度下作业的工程机械轮胎，宜采用全天然橡胶配方；低速作业的装载用轮胎，可采用天然橡胶与合成橡胶并用。至于拖拉机轮胎，采用天然橡胶与丁苯橡胶、顺丁橡胶两并或三并的配合均可满足使用的要求。

2．胎冠下层胶（胎肩胶）

胎冠下层胶与缓冲层直接接触，特别是胎肩部位，是轮胎应力最大区域，生热高，散热又较困难。因而要求胎肩胶生热低、耐热性好、强撕性高、弹性大，硬度低于胎冠胶，并与胎冠胶及缓冲层胶粘合力强等特点。但如胎冠下层胶与胎侧胶用相同胶料一次出型，应兼顾二者对性能的要求。下层胶料配方可适量配以半补强型炉黑，使胶料具有较好的综合性能。

3．胎侧胶

胎侧是轮胎侧向变形最大的部位，经受频繁的屈挠变形，故胶料应具良好的耐屈挠性。此外，胎侧还直接与大气接触，要求有良好的耐大气老化性。子午线轮胎胎侧的变形比斜交轮胎更大，对其耐屈挠性及抗老化、撕裂强度要求更高。

胶侧胶料一般可采用天然橡胶与顺丁橡胶并用，斜交轮胎也可与丁苯橡胶并用，炭黑以补强型炉黑为主，掺用部分半补强型炉黑，防老剂总用量较高，可达3份，以获得优良的耐

老化性能。

（二）胎身部分

胎身形同轮胎的骨架，起着承受轮胎负荷的作用，其胶料包括缓冲层或子午线轮胎的带束层胶，外帘布层胶、内帘布层胶和油皮胶（气密层）。

1．缓冲层胶或带束层胶

缓冲层是胎面胶与帘布层间的过渡层，它是轮胎行驶中承受剪切应力最大的部位，并起到缓冲和分散应力的作用，以避免应力局部过大而导致帘布层早期损坏。因此要求胶料定伸应力较高并同时保持良好的弹性，生热低，抗剪切性能好。同时，缓冲层又是轮胎的热集中区，具有优良的耐高温性也是胶料的重要使用性能。

为了达到上述的性能，胶料一般需用天然橡胶，掺用10%左右的丁苯橡胶，对改善合成纤维帘线与橡胶的粘合水平有明显效果。炭黑采取补强型与半补强型炉黑并用，中等硫黄用量以及与抗热老化性良好的防老剂并用，可获得较佳的性能。

子午线轮胎的胎体帘布层之上，在胎冠部位有几乎呈周向排列的带束层。除了微型轿车轮胎采用纤维帘线做带束层外，大多数带束层是由挂胶的钢丝帘布构成。钢丝帘布胶与斜交轮胎缓冲胶基本相同，但要求胶料与钢丝帘线有良好的粘合性能，这也是子午线轮胎的关键技术问题之一。为了获得高度的胶线粘合强度，胶料配方大多采用全部天然橡胶和高硫黄配合，炭黑则采用对粘合有利的槽黑或代槽炉黑。此外，为了增进粘合性，普遍采用增粘剂，如钴盐增粘体系或间甲白增粘体系等，促进剂以次磺酰胺类（如DZ或NOBS）效果较佳。

2．帘布层胶

帘布层根据帘线密度不同，分为外帘布层和内帘布层。其胶料应与帘线有良好的粘合性，以形成一牢固的整体。还要有生热低，耐热和耐疲劳性好，尤其在高温下仍应保持较好的动态性能。另外，由于外层帘布层的剪切应力较内层大，升温也较高，因此胶料的耐热性和抗剪切性能也应优于内层胶料。

目前国内已大多使用尼龙等合成纤维帘线，胶料配方中的生胶品种，通常以天然橡胶为主，也可掺用10～30%合成橡胶，如丁苯或顺丁橡胶。掺用比例可根据轮胎的品种、规格而定，大型轮胎合成橡胶的掺用量应少些；外层帘布胶也比内层帘布胶少用。

其它配合剂的应用要点、补强剂则可采取耐磨炉黑与半补强炉黑并用，或者外层胶以快压出炉黑为主、内层胶以通用炉黑为主的配合。硫化体系方面，为了使胶料有较长的硫化诱导期，利用改善橡胶与帘线间的粘合强度，宜用次磺酰胺类和秋兰姆类并用，或者噻唑类与秋兰姆类并用等。硫磺用量中等水平，且随合成橡胶比例的增加而减少。此外，硬脂酸作为促进剂的活性剂，在使其足以发挥活性作用的前提下，应尽量少用，以保持胶料的自粘性和动态下胶线之间的粘合性能。用量一般约2份。

聚酯帘线用于乘用轮胎渐为普遍。为了得到良好的线胶粘合性，帘线需经特殊的浸渍处理。在胶料的配方上，应采用不含酸解的配合组分，因为含胺化合物易引起聚酯帘线酸解从而大大降低使用性能。

子午线轮胎的胎体钢丝帘布胶，除了在硬度或定伸应力方面可稍低于带束层胶外，基本相同。

3．油皮胶

油皮胶位于外胎的内表面，起着保护内胎不受帘布磨损，同时使帘布层避免与空气、水和杂质接触而受损坏。胶料具有一定的强伸性能和较好的耐老化性能，故可掺用较多的合成

橡胶，含胶率也较低。但应具有较快的硫化起点和不宜过大的可塑性，防止在硫化过程中向帘布层迁移而影响帘布层的性能。

子午线轮胎由于在成型过程中进行膨胀，油皮胶承受较大的拉伸应力，为了避免由此引起帘线间的内裂，除应适当增加厚度外，胶料也应比斜交轮胎有较高的强伸性能，特别是未硫化胶的拉伸强度和伸长率应提高，定伸应力则较低，以减少胶料的内应力。因此胶料配方所采用的生胶品种及炭黑种类比斜交轮胎要求严格，才能保证胶料的性能。

无内胎轮胎则以气密层代替油皮胶，主要起气密作用，除满足以上油皮胶的性能要求外，气密性是关键的指标。因此宜采用卤化丁基橡胶或与天然橡胶并用。

**（三）胎圈部分**

胎圈是由帘布层、钢丝圈、三角胶芯、钢丝圈包布和子口包布组成，它的作用是将外胎稳固在轮辋上。轮胎行驶中胎圈还承受伸张、压缩、离心和扭转等应力，为确保使用安全，胎圈必须是一刚性的实体。

1．钢丝圈钢丝压出胶

该胶料是通过压出使它粘附在钢丝上，把各根钢丝固着为一整体，防止使用中钢丝松散。因而要求胶料硬度高、与表面镀铜的钢丝粘合力好。胶料可用次级生胶，含胶率低，约为30%即可，并配入大量填料和炭黑，采用高硫黄配合提高钢丝与橡胶的粘合性能。

2．三角胶芯胶

三角胶芯位于钢丝圈的上端，起填充作用，使胎圈轮廓过渡均匀。其胶料性能要求不高，但硬度要高，故可大量使用无机填料，含胶率约为15%。

子午线轮胎因为胎体帘布层数少，为增强胎圈刚性，一般增大三角胶芯高度，并进入屈挠区。故三角胶芯应具有较好的屈挠性和粘合性能，含胶率不宜过低。中型以上载重轮胎，为了使胶芯具有较大的刚性而又保持较好的耐屈挠性，可采用上、下胶芯两种胶料复合而成，下胶芯硬度高，上胶芯硬度适中而耐屈挠性较好。

3．钢丝圈包布胶和子口包布胶

钢丝圈包布使钢丝圈与三角胶芯组成一个整体。子口包布是保护胎圈部位帘布不受磨损。这两种部件总的来说要求较低，主要具有较好的粘着性，压延时容易擦入帆布。胶料配方可采用低级天然橡胶，填入大量无机填料，含胶率在40%左右。

子午线轮胎的胎圈区设有加强层，一般由钢丝帘线构成，轿车轮胎也可用合成纤维帘线作加强层。此外，还用子口护胶代替斜交轮胎的子口包布，进一步提高胎圈的刚性及子口部位的抗磨损性能。其胶料应具有高硬度及耐磨性，较好的抗屈挠疲劳性，粘着力强，且硫化起步快，以保持它的规整尺寸。胶料采用高炭黑填量、低油料配合，或加入增硬效果明显的配合剂。

**（四）内胎**

内胎作为一个空气的容器，内中充入压缩空气，在高温和伸张状态下使用。胶料要适应这种工作状态，气密性是最重要的性能，还要有较低的定伸应力以及高温长时间老化下能保持较好的耐撕裂强度，以防在使用中受拉伸而爆破。此外，还应保持高弹性及永久变形小等性能。

丁基橡胶具有气密性极佳的特点，是最适合用于制造内胎的材料。丁基橡胶内胎的配方，由于其不饱和程度低，硫化速度慢，故应以秋兰姆类为主，适当并用噻唑类促进剂的硫黄硫化体系；炭黑采用耐磨炉黑或与快压出、通用炉黑并用，用量50～70份；软化剂应选择

极性小的饱和烃类，如凡士林、锭子油、蓖麻油等。

丁基内胎的气门嘴垫胶，也应采用丁基橡胶配方，以利于和胎身的粘合。如用卤化丁基橡胶，更有利于提高胶垫与气门嘴的粘合性能。

目前我国仍有部分内胎用天然橡胶或与丁苯橡胶并用制造。为了提高其耐老化性及抗撕裂强度，硫黄量宜低。例如全天然橡胶配方中硫黄用量可在1.5～2份；掺用30%丁苯橡胶时硫黄用量1.8份即可。全天然橡胶配方以半补强型炉黑和碳酸钙并用，减少其永久变形。掺用丁苯橡胶时，则应并用高耐磨炉黑，提高撕裂强度。

**（五）垫带**

垫带的作用是保护内胎不受外胎胎圈和轮辋的磨损，所以胶料需有较好的耐屈挠、耐老化性以及一定的强伸性和较小的永久变形，因此配方可大量使用合成橡胶和再生胶，模压硫化的垫带胶含胶率为30～40%。

## 四、外胎整体配方的设计

轮胎在使用时，产生复杂的变形和生热，使胶料界面层及胶料与帘线结合界面产生破坏，导致轮胎损坏。因此，应使各部位变形趋于一致，界面层分子链间为化学键结合，当形成均一空间结构时，才能使轮胎有最长的使用寿命。考虑外胎配方要特别注意各部件胶料间的整体配合，一般有以下二个方面。

**（一）定伸应力的配置**

定伸应力表征胶料应力与应变的关系。在相同外力作用下，随着胶料定伸应力的增加而变形减少。轮胎行驶中经受外力的作用，其中部分应力被胶料的弹性吸收和分散，使各部件胶料所受的应力由外向内依次减小。另外，层与层间由于胶料变形不同而产生剪切应力，则在胎体层中最大。因此，合理配置各部件胶料的定伸应力，才不会因局部应力过大导致轮胎早期损坏。

斜交轮胎各层的定伸应力，一般从内层至胎冠的胶料依次增加，形成所谓“阶梯形”的配置方式。但胎冠胶中掺用较多顺丁橡胶时，也可以按照缓冲层胶的定伸应力大于胎面胶的“山峰式”分布。至于定伸应力的水准，应视骨架材料的品种和层数面不同。例如尼龙帘线的耐热和耐疲劳性优于人造丝帘线，其定伸应力可高些。但各部件胶料定伸应力的差度不应悬殊，避免应力集中在薄弱部位。

子午线轮胎胎体帘布层数少，帘线排列方向相同，层间剪切变形主要发生在胎肩处的带束层端点位置或带束层与胎体帘线层间。因此应使胎肩各部件胶料有一个整体的配合。

此外，胶料的硬度与定伸应力一般呈正比关系，定伸应力的变化标志着硬度相应地改变。表1-2-49～表1-2-52为各种材料及轮胎结构的定伸应力配置示例[12]。

表 1-2-49　不同胶种胎面胶的定伸应力

| 胶种 / 配方特点与定伸应力 | 全天然橡胶 | 天然橡胶/丁苯橡胶70/30 | 天然橡胶/顺丁橡胶50/50 |
|---|---|---|---|
| 炭黑重量份（以生胶为100重量份） | 40～50 | 45～50 | 50～55 |
| 300%定伸应力，MPa($kgf/cm^2$) | 8.8～11.7(90～120) | 8.8～9.81(90～100) | 7.8～9.81(80～100) |

表 1-2-50　尼龙帘布胎体胶料的定伸应力

| 项　　目 | 缓冲层胶 | 外层帘布胶 | 内层帘布胶 |
|---|---|---|---|
| 炭黑重量份（以生胶为100重量份） | 40～45 | 35～40 | 30～35 |
| 300%定伸应力，MPa(kgf/cm²) | 7.8～9.81(80～100) | 6.8～7.8(70～80) | 5.8～6.8(60～70) |

表 1-2-51　人造丝帘布胎体胶料的定伸应力

| 项　　目 | 缓冲层胶 | 外层帘布胶 | 内层帘布胶 |
|---|---|---|---|
| 炭黑重量份（以生胶为100重量份） | 40～45 | 35～40 | 30～35 |
| 300%定伸应力，MPa(kgf/cm²) | 7.8～9.81(80～100) | 6.8～7.8(70～80) | 4.9～6.8(50～70) |

表 1-2-52　载重子午线轮胎肩部位各胶料定伸应力

| 项　　目 | 胎面胶 | 钢丝帘取胶胶 | 带束层间垫胶 | 胎肩垫胶 | 胎体钢丝帘布胶 |
|---|---|---|---|---|---|
| 炭黑重量份（以生胶为100重量份） | 45～55 | 40～55 | 50～65 | 35～45 | 35～50 |
| 300%定伸应力 | 8.8～13.7 | 10.5～15.7 | 17.6～19.6 | 5.9～7.8 | 9.8～13.7 |
| MPa(kgf/cm²) | (90～140) | (110～160) | (180～200) | (60～80) | (100～140) |

### （二）硫化速度的匹配

外胎是厚度不一的多层厚制品，轮胎在硫化过程中各部件胶料的热历程不同，而所用的材料一般都是热的不良导体。配方设计应根据产品特点、硫化设备、热介质和热传递方法等因素，正确选定胶料半成品的硫化速度和成品的硫化条件。从而使各部件硫化速度协调，轮胎硫化过程中都达到正硫化，并尽可能使硫化程度都在平坦范围的前段，避免局部硫化不足或硫化程度过深，以获得良好的物理机械性能。表1-2-53列举各类型斜交轮胎主要胶料的硫化速度匹配例子。

表 1-2-53　斜交载重汽车轮胎各部件胶料半成品硫化速度匹配

| 胶料名称 / 规格类型 | 胎面胶 | 缓冲层胶 | 外层帘布胶 | 内层帘布胶 | 油皮胶 |
|---|---|---|---|---|---|
| 大型载重轮胎 | 143℃×25～30min | 137℃×25～30min | 137℃×30min | 137℃×30min | 137℃×25～30min |
| 中型载重轮胎 | 143℃×25～30min | 137℃×25～30min | 137℃×30min | 137℃×30min | 137℃×25～30min |
| 小型载重轮胎 | 143℃×25～30min | 137℃×25～30min | 137℃×30～35min | 137℃×30～35min | 137℃×25～30min |
| 农用轮胎 | 143℃×25～30min | 137℃×25～30min | 137℃×30～40min | 137℃×30～40min | 137℃×25～30min |

## 五、各部件胶料半成品物理机械性能的控制

表1-2-54～表1-2-61列举了胶料半成品物理机械性能，可作为从事轮胎配方设计时参考，但不是质量控制的指标。各类产品应根据使用具体情况确定胶料的主要性能指标。

表 1-2-54　胎冠上层胶、胎侧胶半成品物理机械性能

| 项　　目 | 胎冠上层胶 | | | | | | | | 胎侧胶 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 载重轮胎 | | | | 轿车轮胎 | | 拖拉机轮胎 | 工程机械轮胎 | | | |
| | 全部天然橡胶 | 掺用30%丁苯橡胶 | 掺用50%顺丁橡胶 | 一般子午线轮胎 | 30%天然橡胶、70%丁苯橡胶 | 子午线轮胎 | 掺用合成橡胶在50%以下 | 全天然橡胶或掺用30%合成橡胶 | 全部天然橡胶 | 掺用40%的合成橡胶 | 子午线轮胎（掺用合成橡胶） |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 27.4(280) | 24.5(250) | 21.5(220) | 24.5(250) | 17.6(180) | 15.2(155) | 19.6(200) | 25.5(260) | 24.5(250) | 19.6(200) | 19.1(195) |
| 扯断伸长率，%≥ | 580 | 550 | 550 | 550 | 500 | 500 | 500 | 550 | 550 | 500 | 500 |
| 扯断永久变形，%≤ | 40 | 30 | 25 | 40 | 15 | 30 | 35 | 40 | 35 | 25 | 25 |
| 硬度（邵尔A） | 61±4 | 61±4 | 61±4 | 62～68 | 60±4 | 64～68 | 58～64 | 60～70 | 58±5 | 58±5 | 55～60 |
| 磨耗减量，cm³/1.61km≤ | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | | | |
| 撕裂强度，kN/m(kgf/cm)≥ | 118(120) | 108(110) | 88(90) | 88(90) | 78(80) | 69(70) | 49(50) | 108(110) | 88(90) | 78(80) | 69(70) |
| 300%定伸应力，MPa(kgf/cm²) | 8.8～10.8 (90～110) | 8.8～10.8 (90～110) | 7.8～10.8 (80～110) | 8.8～13.7 (90～140) | 7.8～10.8 (80～110) | 7.8～11.7 (80～120) | 6.8～9.8 (70～100) | 7.8～11.7 (80～120) | 6.8～9.81 (70～100) | 6.8～9.8 (70～100) | 5.9～9.8 (60～90) |
| 弹性，%≥ | 40 | 40 | 43 | 40 | 35 | 35 | 35 | 35 | 50 | 50 | 50 |
| Goodrich生热，℃≤ | 25 | 30 | 25 | 25 | | | | | 25 | 25 | |
| 耐热强度系数(100℃)≥ | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | | | | | | | |
| 老化系数(100℃×24h)≥ | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.45 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |

表 1-2-55　帘布层胶半成品胶料主要物理机械性能

| 项　　目 | 载重轮胎 | | | 轿车轮胎 | | | 拖拉机轮胎 | | 工程机械轮胎 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 外层帘布胶 | 内层帘布胶 | 钢丝帘布胶 | 外层帘布胶 | 内层帘布胶 | 子午线轮胎帘布胶 | 外层帘布胶 | 内层帘布胶 | 外层帘布胶 | 内层帘布胶 |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 24.5(250) | 23.5(240) | 25(255) | 21.5(220) | 20.5(210) | 22(225) | 23.5(240) | 21.5(220) | 24.5(250) | 23.5(240) |
| 扯断伸长率，%≥ | 600 | 600 | 450 | 550 | 550 | 500 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| 扯断永久变形，%≥ | 35 | 35 | 35 | 30 | 30 | 30 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 硬度（邵尔A） | 58±4 | 56±4 | 65～72 | 56±4 | 54±4 | 54±4 | 54±4 | 52±4 | 58±4 | 56±6 |
| 300%定伸应力，MPa(kgf/cm) | 6.8～8.8 (70～90) | 5.8～7.8 (60～80) | 9.8～15.7 (100～160) | 5.8～7.8 (60～80) | 5.4～7.3 (55～75) | 5.8～7.8 (60～80) | 4.9～7.8 (50～80) | 3.9～5.8 (40～60) | 6.8～8.8 (70～90) | 5.8～7.8 (60～80) |
| 撕裂强度，kN/m(kgf/cm)≥ | 88(90) | 78(80) | 78(80) | | | | 69(70) | 49(50) | 88(90) | 78(80) |
| 弹性，%≥ | 55 | 55 | 40 | 45 | 45 | 45 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Goodrich生热，℃≤ | 30 | 30 | | | | | | | | |
| 高温强度系数(100℃)≥ | 0.35 | 0.3 | | | | | 0.35 | 0.3 | | |
| 老化系数(100℃×24 h)≥ | 0.55 | 0.5 | 0.4 | 0.55 | 0.55 | 0.4 | 0.55 | 0.55 | 0.5 | 0.5 |
| 帘线H抽出力，kN/根(kgf/根)≥ | 0.12(12) | 0.12(12) | 0.59(60) | 0.12(12) | 0.12(12) | 0.12(12) | 0.098(10) | 0.098(10) | 0.12(12) | 0.12(12) |

表 1-2-56　缓冲层半成品胶料主要物理机械性能

| 项　　目 | 载重轮胎 | 轿车轮胎 | 子午线轮胎带束层 | 拖拉机轮胎 | 工程机械轮胎 |
|---|---|---|---|---|---|
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 25.5(260) | 22.5(230) | 25.0(255) | 24.5(250) | 25.5(260) |
| 扯断伸长率，%≥ | 600 | 500 | 400 | 600 | 550 |
| 扯断永久变形，%≤ | 35 | 30 | 40 | 35 | 35 |
| 硬度(邵尔A) | 60±4 | 58±4 | 65±4 | 58±4 | 60±4 |
| 300%定伸应力，MPa(kgf/cm²) | 7.8～9.81<br>(80～100) | 6.8～8.8<br>(70～90) | 9.81～15.7<br>(100～160) | 6.8～8.8<br>(70～90) | 7.8～9.81<br>(80～100) |
| 撕裂强度，kN/m(kgf/cm)≥ | 9.81(100) | | | 78.4(80) | 98.1(100) |
| 弹性，%≥ | 50 | 40 | 40 | 50 | 50 |
| Goodricd生热，℃≤ | 25 | | | | |
| 高温强度系数(100℃)≥ | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 老化系数(100℃×24 h)≥ | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.6 |
| 帘线H抽出力，kN/根(kgf/根)≥ | 0.12(12) | 0.12(12) | 0.59(60) | 0.098(10) | 0.12(12) |

表 1-2-57　油皮胶或气密层胶料半成品主要物理机械性能

| 项　　目 | 斜交轮胎油皮胶 | 子午线轮胎油皮胶 | 无内胎轮胎气密层胶① |
|---|---|---|---|
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 6.8(70) | 24(245) | 11.8(120) |
| 扯断伸长率，%≥ | 450 | 500 | 500 |
| 硬度(邵尔A) | 55～62 | 58～64 | 58～65 |
| 老化系数(100℃×24 h)≥ | 0.5 | 0.5 | 0.7 |

① 指天然橡胶与氯化丁基橡胶并用比例为50/50。

表 1-2-58　三角胶芯胶半成品胶料主要物理机械性能

| 项　　目 | 斜交轮胎 | 子午线轮胎 | |
|---|---|---|---|
| | | 上胶芯胶 | 下胶芯胶 |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 2.9(30) | 19.6(200) | 17.6(180) |
| 扯断伸长率，%≥ | 250 | 400 | 300 |
| 硬度(邵尔A) | 70 | 6.0 | 78 |
| 老化系数(100℃×24 h)≥ | | 0.5 | 0.4 |

表 1-2-59　外胎其它胶料半成品主要物理机械性能

| 项　　目 | 钢丝圈钢丝压出胶 | 子口包布胶 | 子午线轮胎子口护胶 |
|---|---|---|---|
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 4.9(50) | 17.6(180) | 17.6(180) |
| 扯断伸长率，%≥ | 200 | 500 | 300 |
| 硬度（邵尔A）≥ | 70 | | 75 |
| 钢丝抽出力，kN/根(kgf/根) | 0.098～0.15(10～15) | — | — |

表 1-2-60　内胎胶半成品胶料主要物理机械性能

| 项　　目 | 丁基橡胶 | 天然橡胶 | 天然橡胶/丁苯橡胶70/30 |
|---|---|---|---|
| 拉伸强度,MPa(kgf/cm²)≥ | 10.7<br>(110) | 24.5<br>(250) | 21.5<br>(220) |
| 扯断伸长率，%≥ | 700 | 650 | 650 |
| 扯断永久变形，%≤ | 40 | 30 | 30 |
| 撕裂强度，kN/m(kgf/cm)≥ | 34<br>(35) | 78<br>(80) | 68<br>(70) |
| 硬度（邵尔A） | 50±5 | 50±5 | 50±5 |
| 300%定伸应力，MPa(kgf/cm²)≤ | 1.9<br>(20) | 4.9<br>(50) | 4.9<br>(50) |
| 老化系数(100℃×24 h)≥ | 0.9 | 0.6 | 0.6 |

表 1-2-61　模压硫化垫带胶半成品胶料主要物理机械性能

| 项　　目 | 一　般　胶　料 |
|---|---|
| 拉伸强度,MPa(kgf/cm²)≥ | 8.3(85) |
| 扯断伸长率,%≥ | 600 |
| 扯断永久变形,%≤ | 35 |

## 六、配方试验设计方法的应用

### （一）进行配方试验设计的必要性

胶料配方一般由十多种原材料组成，它们除了各自发挥本身的特性外，还可能互相产生影响。因此需通过配方试验，掌握各种原材料与胶料性能之间的关系，为合理使用原材料，保证产品质量提供科学的依据。鉴于配方的复杂性，因此如何以最少的配方试验次数，得到尽可能多的数据，就要求配方试验有系统和科学的方法，即进行配方试验的设计。

### （二）主要方法的应用

目前，配方试验可采用一元变量法、0.618法、图解法、正交试验设计及回归分析法。下面介绍各种方法的应用。

1．一元变量试验法

橡胶配方是多元组合系统。一元变量试验就是把配方中其它组分的用量根据经验固定不变，通过一种组分的变量试验测定其对胶料性能的影响，从而求得该组分的最宜用量。这样分别对各变量因素分批完成试验，最后求得配方中各因素的最佳组合。

例如配方试验只有一种组分 $A$，需作 3 个不同的变量。则因子 $A$ 出现三个水准，即 $A_1$、$A_2$和$A_3$，需作 3 次试验便可完成。根据结果画出性能变化曲线，判断它对胶料性能影响的关系。但如果试验为两因子三水准的变量，则要做 9 个试验；配合剂 4 个变量因子，每个变量取三个水准，完成全部试验需做$3^4=81$次试验。由此可见，一元变量法有明显的缺点，进行多因素变量时，试验工作量大，效率低。此外，也不能反映出配合剂之间所存在的交互作用对胶料性能的影响。因此这种方法往往不能得到最佳的组合配方。

一元变量法比较简单，特别是在鉴定某种原材料的性能或生产上原材料变动时，只需做很少的对比试验就能得出结果，对于处理生产问题见效快。另外，试验数据也容易处理，通

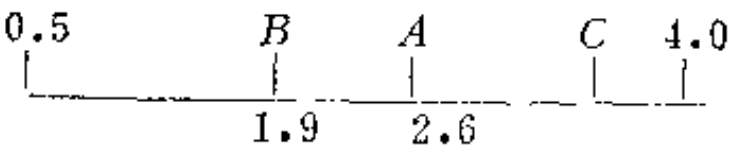
过图表可进行直观比较，易于得出结论。

2．0.618点试验法

0.618点试验法是利用数学上最迅速求出某一函数在特定区间的最大值和最小值，从而迅速优选出最佳的条件。0.618是从$W=\frac{\sqrt{5}-1}{2}=0.618033989\cdots\cdots$，数学上称之为黄金分割法。

0.618法可分为单因子、双因子、多因子及分数法几种。这方法的要点，是先取试验范围的0.618点作第一次试验，再在其对称点做第二次试验。比较两点的试验结果，去掉性能差点以外的部分，然后在留下点部分继续取已试点的对称点进行试验，这样逐渐缩小试验范围。因每次可去掉试验范围的0.382，所以可用较少的试验批量，迅速找到性能最佳的配合剂用量。

例如，某一采用间甲白增粘体系改进钢丝帘线与橡胶粘合性的配方，初步固定白炭黑用量为10份，增粘剂A和RE树脂变量范围分别为0.5～4.0份以及0.8～3.2份。并首先优选增粘剂A的用量。




$$A\text{点}=\text{头}+(\text{尾}-\text{头})\ 0.618$$
$$=0.5+(4-0.5)0.618\simeq 2.6$$
$$B\text{点}=\text{头}+(\text{尾}-\text{前}-\text{点})$$
$$=0.5+(4-2.6)=1.9$$

试验结果帘线II抽出力$A$点比$B$点高，其它性能接近，故舍去$B$点左段后继续优选。

$$C\text{点}=\text{头}+(\text{尾}-\text{前}-\text{点})$$
$$=1.9+(4-2.6)=3.3$$

$A$与$C$点的胶料性能比较，$C$点的帘线H抽出力稍高，但综合性能不如$A$点好，故舍去$C$点的右段再往下继续试验。

$$D\text{点}=1.9+(3.3-2.6)=2.6$$

最后D点的试验结果比较理想，故决定增粘剂A的用量为2.6份。采用上述相同的办法对RE树脂用量进行优选，确定以1.7份最佳。

因此初步选定增粘体系各组分的用量分别为：白炭黑10，增粘剂A 2.6，RE树脂1.7(均为重量份数)。

对于双因子试验，原则上可按上述方法处理。如优选硫化体系中硫黄与促进剂的最宜比例，硫黄用量范围0.8～2.8，促进剂用量范围0.4～1.6份。此时先按经验固定硫黄量为1.8份，然后依照单因子优选法优选促进剂的最佳用量，再进行硫黄量0.8～2.8范围的优选。得到两者的最佳配合比例后，与附近点进行比较，其性能确实较优者，就可确定其用量。

0.618点试验法用于单因子变量试验，可减少试验次数而得出最佳配合量。但处理双因子以上的变量试验就变得复杂，要反复进行多次试验才能达到予期的目的，比较繁杂。

3．图形表示法

这种方法是使试验规划图形化，在平面图纸上有效地绘出两个或两个以上变量因子与性能之间的关系。配方人员可以通过这些图形来掌握各配合组分的最宜用量范围。

图形一般有等高线图、三角座标和列线图三种，其共同基础是绘制等高线制图法。为了便于进行等高线的绘制，首先要求试验点的选取具有代表性，同时分布合理。这样使试验结果大致包括了所试的范围，等高线反映出配合剂与性能之间的关系。对两因子的变量试验，可根据经验和一般常识决定试验变量的范围，如表1-2-62及图1-2-63所示。如果所试的变量因子系硫化体系，要避免出现硫化速度过快或过慢的试验点，可考虑5～6个试验点。表1-2-63及图1-2-64是促进剂与活性剂的配合比例布置情况，这样避免了出现不符合要求的试验点。至于三元并用体系，如优选二种促进剂并用及硫黄用量的适宜配比，或确定三种橡胶的最宜配合比例，应采用三角形座标，进行10～11个试验点的试验。三角形座标应把 3 种配合剂的总用量固定为100%，再分别计算出各配合剂的百分比作为座标点。表1-2-64 和图 1-2-65是三因子变量硫化体系试验点的布置和具体配比量的例示。

**表 1-2-62　炭黑与软化剂两因子变量试验点的设计配比量**

| 用量，重量份 \ 试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 炭　　黑 | 30 | 30 | 60 | 60 | 40 | 50 |
| 软　化　剂 | 4 | 10 | 10 | 4 | 7 | 7 |

**表 1-2-63　促进剂与活性剂两因子变量试验点的设计配比量**

| 用量，重量份 \ 试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 促　进　剂 | 1.4 | 1.3 | 2.5 | 3.5 | 2.8 | 2.3 |
| 活　性　剂 | 1.4 | 0.55 | 0.25 | 0.87 | 1.6 | 0.95 |

**表 1-2-64　硫化体系三因子变量试验点的设计及配用量**

| 配合量 \ 试验号 | 硫　　黄 | | 促　进　剂　M | | 促　进　剂　CZ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 实用量（重量份） | 百分比，% | 实用量（重量份） | 百分比，% | 实用量（重量份） | 百分比，% |
| 1 | 2.4 | 80 | 0.3 | 10 | 0.3 | 10 |
| 2 | 1.8 | 60 | 0.3 | 10 | 0.9 | 30 |
| 3 | 1.2 | 40 | 0.3 | 10 | 1.5 | 50 |
| 4 | 0.6 | 20 | 0.3 | 10 | 2.1 | 70 |
| 5 | 0.6 | 20 | 0.9 | 30 | 1.5 | 50 |
| 6 | 0.6 | 20 | 1.5 | 50 | 0.9 | 30 |
| 7 | 0.6 | 20 | 2.1 | 70 | 0.3 | 10 |
| 8 | 1.2 | 40 | 1.5 | 50 | 0.3 | 10 |
| 9 | 1.8 | 60 | 0.9 | 30 | 0.3 | 10 |
| 10 | 1.2 | 40 | 0.9 | 30 | 0.9 | 30 |

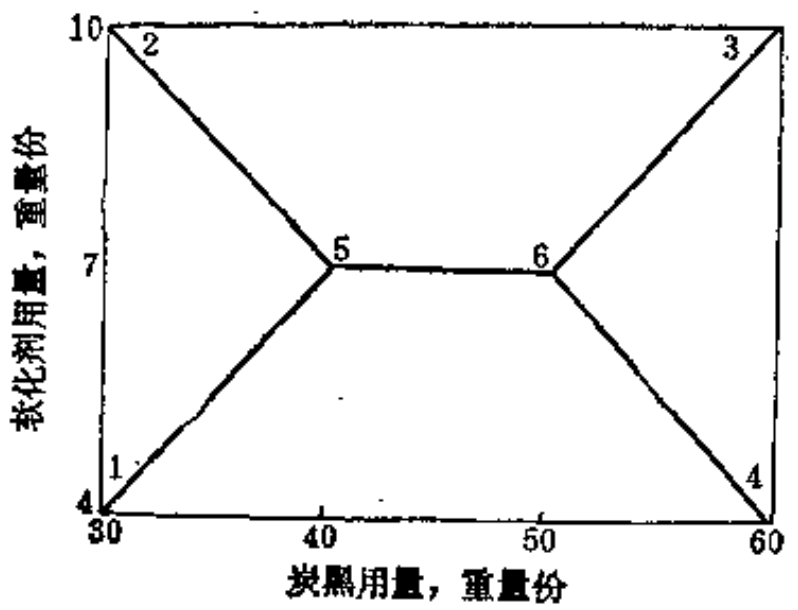



图 1-2-63　炭黑与软化剂两因子变量试验点分布

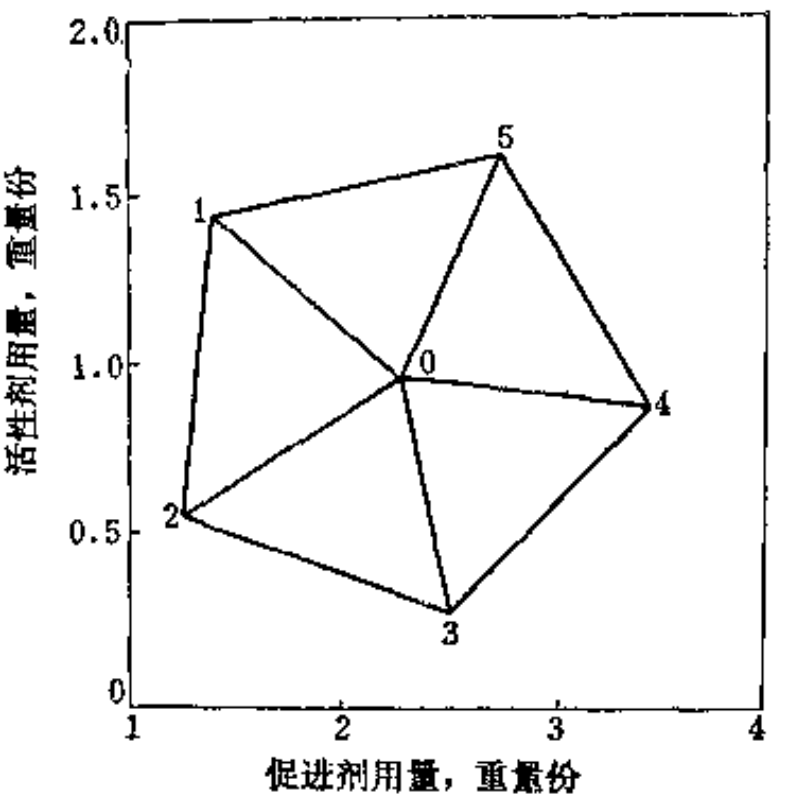



图 1-2-64　促进剂与活性剂两因子变量试验点分布

等高线一般采用连线作图法，如图 1-2-66 是促进剂与活性剂变量试验扯断伸长率的等高线图。作图时，首先在相应试验点标出扯断伸长率测试值，再将相邻两点连成直线，并以两点间差值等分，便得到相应的各扯断伸长率的点，最后将数值相同的点用平滑的曲线连接起来，便是所求的等高线图。按同样的方法，还可求出其它性能的等高线。

从图1-2-66等高线趋向可知，随着促进剂和活性剂用量的增加，交联度增大而扯断伸长率下降。另外等高线大体上平行于活性剂轴向，说明促进剂用量增加比活性剂用量增加对扯断伸长率的影响显著。在所试变量范围内，特别是促进剂用量较少时，增加活性剂用量同样可提高胶料的交联密度，而使扯断伸长率减少。等高线上任意点表明促进剂与活性剂的配比量都可以得到相同的扯断伸长率。

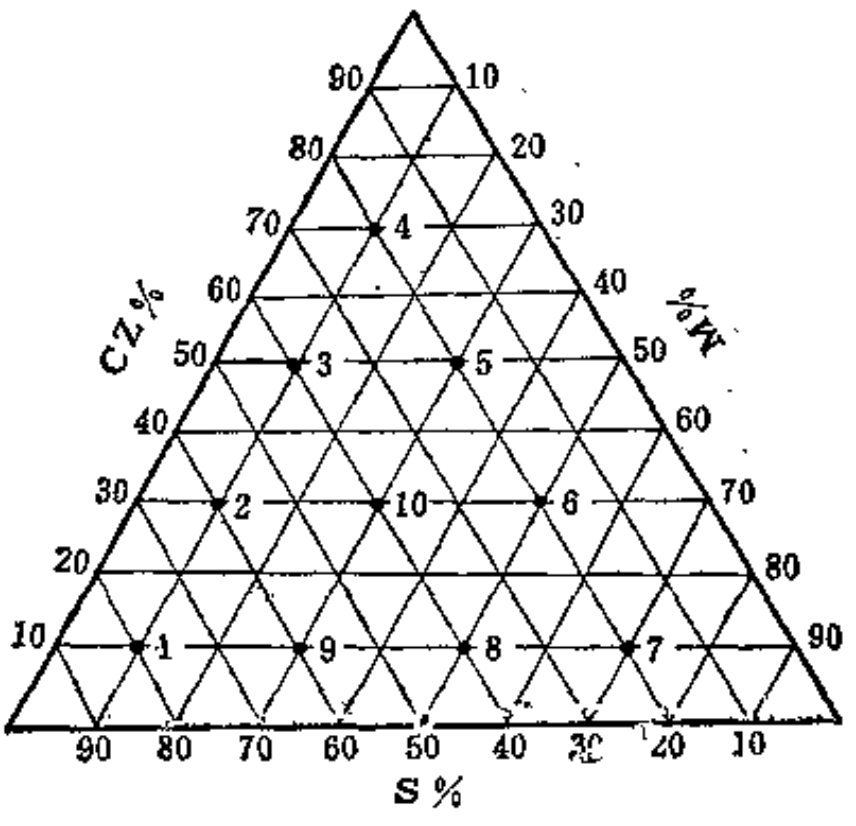



图 1-2-65　促进剂与硫黄三元并用体系试验点分布

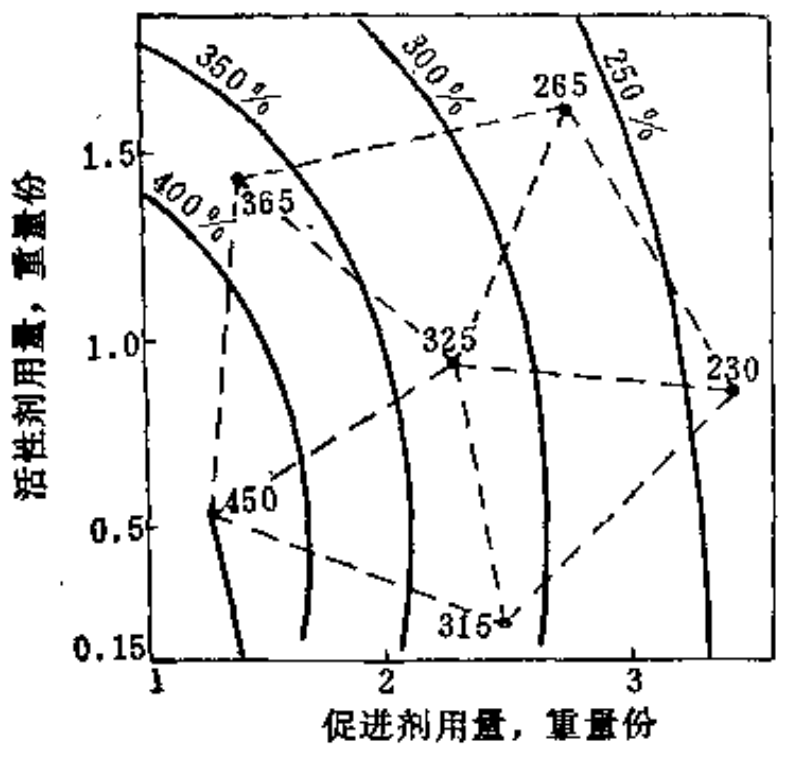



图 1-2-66　扯断伸长率等高线图的绘制

如果把胶料各项有关性能测试值所绘制的等高线都集中在一个图上，再根据产品所要求的性能指标把不符合要求的部分逐一舍去，便得到综合平衡性能达到指标要求的最佳配比

出现。

虽然图形表示法可以节省试验次数，又能把胶料性能变化的规律大体上反映出来。但这等分作图是基于因子变化对性能的影响呈直线关系，这与实际情况有差别。该法也不能反映出因子之间的交互作用，不能正确估计试验误差的影响，对三因子以上的试验无法实施，这些都是这种方法明显的缺点。

4．正交试验设计法

正交试验设计[13]主要包括3部分：试验方案设计、试验方案的实施和结果的分析。正交试验设计的优点在于各因子互相搭配均匀，在分析数据时可以把每个因素的作用分得清清楚楚，不会混杂。对于多因子多水平的配方试验，它可以合理安排试验，减少不必要的试验次数，而同样全面地反映了试验的结果。该方法提供的信息丰富，同时给出试验误差的估计。

（1）选表　正交试验设计法就是利用正交表安排配方试验。正交表是具有“正交性”的排列表式，任何两列间具有搭配均匀的性质，它是正交拉丁方的自然推广。所谓正交性，一是表中每一列不管数字排列如何，各数字出现的次数相同；二是任何两列间出现相同数字的次数相等。

正交试验设计，首先根据配方试验目的确定配合剂变量数（因子）、变量范围（水平）以及它们之间有无交互作用，然后依下式计算试验次数：

$$n \geqslant 1 + \Sigma_{因} f_{因}$$

式中　$n$——试验次数；

$\Sigma_{因}$——试验因子数；

$f_{因}$——因子自由度，为因子水平数－1。

试验的因子数、水平数及有无交互作用项确定后，就可进行选表。选表时，首先看试验的水平数。如所试因子全部是两水平，就取两水平的$L$表，如$L_8(2^7)$、$L_{16}(2^{15})$、$L_{12}(2^{11})$、$L_{32}(2^{31})$、$L_{31}(2^{31})$等；全是三水平的因子可选$L_9(3^4)$、$L_{27}(3^{13})$等；全是四水平的因子则选用$L_{16}(4^5)$、全是五水平的因子选用$L_{25}(5^6)$等；因子水平数不等的试验可选$L_8(4^1\times2^4)$、$L_{16}(4^3\times2^6)$等表。

上述表号中以$L_8(2^7)$说明之。$L$代表正交表，$L$下的数字8表示可安排的试验次数，括弧内的数字2代表试验因子的水平数为2，而指数7表示最多可安排7个试验因子。

（2）表头设计的作用　选定正交表后，下一步是根据所试配方变量进行表头设计。表头设计就是合理安排因子的位置。特别对有交互作用的因子，其它因子不宜占用交互列，否则交互效应与主效应混合在一起，分不清主次。具体的用法参阅专业书籍列出的表头设计，再结合配方的特点灵活运用。

（3）配方列表　选表并做好表头设计后，就可以按表中规定的因子及水平列出配方试验表，完成配方试验并测出各有关项的性能。对数据的处理，可通过直观分析或方差分析进行比较。列举实例说明如下。

某一胎面胶配方采用天然橡胶、丁苯橡胶和顺丁橡胶并用，其因子及水平的变化确定如表1-2-65所列。

表1-2-64中的配方试验从经验可知，生胶品种与炭黑之间存在较明显的交互作用，而其它因子间的交互作用不予考察。因此交互作用项有$A\times D$和$B\times D$。由公式$n>1+\Sigma_{因}f_{因}=1+(1+1+1+1)$，即$n>5$，试验次数应多于5次才能全面反映问题。

本试验为四因子两水平，故宜选用$L_8(2^7)$正交试验表。该表的试验安排及表头设计见表

表 1-2-65 配方的因子及水平变量

| 因子 / 水平 | A(天然橡胶) | B(丁苯橡胶) | C(促进剂) | D(炭黑) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 35 | 20 | NOBS 1.3 | ISAF 50 |
| 2 | 50 | 35 | CZ 1.1 | EPC/ISAF 15/35 |

表 1-2-66 正交表$L_8(2^7)$

| 试验号 / 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |

1-2-66及表1-2-67所列。

配方试验按表1-2-66的安排，其具体内容如表1-2-68所列。

表 1-2-67 $L_8(2^7)$的表头设计

| 列 号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 因子数 | A | B | e(误差项) | C | B×D | A×D | D |

表 1-2-68 配方试验内容①

| 配合量，重量份 / 试验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 35 | 25 | 35 | 35 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 丁苯橡胶 | 20 | 20 | 35 | 35 | 20 | 20 | 35 | 35 |
| 顺丁橡胶② | 45 | 45 | 30 | 30 | 30 | 30 | 15 | 15 |
| 促进剂NOBS | 1.3 | — | 1.3 | — | 1.3 | — | 1.3 | — |
| 促进剂CZ | — | 1.1 | — | 1.1 | — | 1.1 | — | 1.1 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 50 | 35 | 35 | 50 | 35 | 50 | 50 | 35 |
| 易混槽黑(EPC) | — | 15 | 15 | — | 15 | — | — | 15 |

① 其它配合剂用量（重量份）：ZnO 4 硬脂酸 3 防老剂4010 1 防老剂BLE 1 软化剂 6 石蜡 1 硫黄 1.2。

② 生胶总量为100，天然橡胶、丁苯橡胶用量确定后，顺丁橡胶用量可算出。

（4）结果分析 按照配方试验内容进行试验，得出的数据可进行以下几种处理。

a．直观分析 以胶料的正硫化拉伸强度及定伸应力为例，表1-2-69中列出了该两项性能的$K_1$、$K_2$和$\overline{K_1}$、$\overline{K_2}$的值。每列的$K_1$值系所有一水平测试值之和，如A列的$K_1$（拉伸强

度）=19.2+23.3+20.2+24.7=87.4。其它项按此类推也可求得。$\bar{k}_1$及$\bar{k}_2$是各列相应水平的平均值，本例中$\bar{k}_1=K_1/4$，$\bar{k}_2=K_2/4$等。

**表 1-2-69 配方试验结果直观分析计算表**

| 试验号 \ 列号 | | A | B | | C | B×D | A×D | D | 拉伸强度 MPa | 300%定伸应力MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 19.2 | 9.7 |
| 2 | | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 23.3 | 5.5 |
| 3 | | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 20.2 | 6.2 |
| 4 | | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 24.7 | 9.1 |
| 5 | | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 25.3 | 7.7 |
| 6 | | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 25.0 | 9.1 |
| 7 | | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 25.8 | 8.4 |
| 8 | | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 26.1 | 7.6 |
| 拉伸强度 MPa | $K_1$ | 87.4 | 92.8 | 93.9 | 90.0 | 90.5 | 95.3 | 94.0 | | |
| | $K_2$ | 101.7 | 96.3 | 95.2 | 99.1 | 98.6 | 93.8 | 94.9 | | |
| | $K_1-K_2$ | −14.3 | −3.5 | −1.3 | −9.1 | −8.1 | −1.5 | −0.9 | | |
| | $\bar{k}_1$ | 21.8 | 23.2 | 23.5 | 22.5 | 22.6 | 23.8 | 23.5 | | |
| | $\bar{k}_2$ | 25.4 | 24.1 | 23.8 | 24.8 | 24.7 | 23.5 | 23.7 | | |
| 300%定伸应力 MPa | $K_1$ | 30.5 | 32.0 | 31.2 | 32.0 | 32.6 | 34.1 | 36.2 | | |
| | $K_2$ | 32.8 | 31.3 | 32.1 | 31.3 | 30.7 | 29.2 | 27.0 | | |
| | $K_1-K_2$ | −2.3 | 0.7 | −0.9 | 0.7 | 1.9 | 4.9 | 9.3 | | |
| | $\bar{k}_1$ | 7.6 | 8.0 | 7.5 | 7.6 | 7.6 | 8.5 | 9.1 | | |
| | $\bar{k}_2$ | 8.2 | 7.5 | 7.6 | 7.5 | 7.5 | 7.3 | 6.8 | | |

从表1-2-69中$K_1$-$K_2$的绝对值大小可以看出，绝对值越大，影响越显著；反之，则作用愈小。因此，天然橡胶对拉伸强度影响最显著，丁苯橡胶及炭黑品种影响不显著。定伸应力则以炭黑的影响最明显，用ISAF50份的定伸应力最大，天然橡胶和丁苯橡胶的作用不太明显，但天然橡胶用量多有利于提高定伸应力，而促进剂变化对定伸应力影响很小。

如把性能试验值作纵座标，各因子水平值为横座标，可绘出因子与性能之间的关系图。从图形也可以直接判断各因子对性能影响的显著性。

b. 方差分析　方差分析是检验各因子以及因子交互作用的影响，抓住主要问题，从而选出较优的配方。

方差分析的计算，按以下公式进行。

$$S_i=\sum\frac{(\sum y_i)^2}{N_i}-\frac{(\sum Y)^2}{N} \tag{1-2-43}$$

$$\overline{S_A}=\frac{S_A}{A\text{因子的自由度}} \tag{1-2-44}$$

$$\overline{S_{误}}=\frac{S_{误}}{\text{误差项的自由度}} \tag{1-2-45}$$

$$F=\frac{\overline{S_A}}{\overline{S_{误}}} \tag{1-2-46}$$

式中 $S_i$——各列偏差平方和；

$\overline{S_A}$——平均平方和；

$\overline{S_e}$——各误差项的平均平方和；

$\Sigma y$——总和平方；

$N_i$——每个水平下做的试验次数；

$N$——总试验次数。

$A$因子自由度＝水平数－1

交互作用列自由度＝相应各因子自由度乘积

误差项自由度＝各误差项自由度之和

由式（1-2-46）算出的$F$值（同误比）与查$F$表给出的精度进行比较，作为显著性检验。计算的$F$值比表中的值愈大，说明该因子的作用愈显著；如少于表中的$F$值，则因子的作用不明显。方差分析的具体方法仍以例中的300%定伸应力试验结果说明，数据的整理见表1-2-70所列。

表 1-2-70 配方300%定伸应力方差分析表

| 列号 / 试验号 | $A$ 1 | $B$ 2 | $e$ 3 | $C$ 4 | $B\times D$ 5 | $A\times D$ 6 | $D$ 7 | 300%定伸应力① MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | $y_1=1.2$ |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | $y_2=-3.0$ |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | $y_3=-2.3$ |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | $y_4=0.6$ |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | $y_5=-0.8$ |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | $y_6=0.6$ |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | $y_7=-0.1$ |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | $y_8=-0.9$ |
| $K_1$ | −3.5 | −2.0 | −2.8 | −2.0 | −1.4 | 0.1 | 2.3 | $\Sigma Y=-4.2$ |
| $K_2$ | −1.2 | −2.7 | −1.9 | −2.7 | −3.3 | −4.8 | −7.0 | $(\Sigma Y)^2=17.6$ |
| $K^2_1$ | 122.5 | 40 | 78.4 | 40 | 19.6 | 0.1 | 52.9 | |
| $K^2_2$ | 14.4 | 72.9 | 36.1 | 72.9 | 108.9 | 230.4 | 490 | |
| $K^2_1+K^2_2/4$ | 34.2 | 28.2 | 28.6 | 28.2 | 31.4 | 57.5 | 135.7 | |

① 为计算方便，定伸应力值均减去8.5MPa，这样对分析结果没有影响。

首先依式（1-2-43）计算各列的偏差平方和。第一列为A因子，结果如下：

$$S_1=\frac{K_{A1}^2+K_{A2}^2}{N_i}-\frac{(\Sigma y)^2}{N}$$

$$=\frac{122.5-14.4}{4}-\frac{(-4.2)^2}{8}$$

$$=12.2$$

同理可算出其它各列的偏差平方和为：$S_2=S_B=6.1$；$S_3=S_e=6.6$，$S_4=S_C=6.2$；

$S_5=S_{B\times D}=9.4$；$S_6=S_{A\times D}=35.3$；$S_7=S_D=113.7$。

（2）误差估计　表1-2-69中第三列误差项$S_e$，但第二、四列的偏差平方和接近$S_e$，故亦可列入误差项，即：

$$S_{误差}=S_3+S_2+S_4$$
$$=6.6+6.2+6.2=19$$

（3）自由度的计算　因子$A$、$B$、$C$、$D$均为两水平，自由度＝水平数－1＝2－1＝1；各交互列自由度为相应各因子自由度的乘积，故为$1\times1=1$；误差项自由度为各误差项自由度之和，即$1+1+1=3$。

（4）计算$F$值　根据式（1－2－44）～式（1-2-46）可计算出各项的$F$比，结果如下：

$$F_A=\frac{\overline{S_A}}{\overline{S_{误}}}=\frac{S_A/A因子自由度}{S_{误}/误差项自由度}$$

$$=\frac{12.2/1}{19/3}=1.93$$

同理可求得：

$$F_D=\frac{\overline{S_D}}{\overline{S_{误}}}=18$$

$$F_{B\times D}=\frac{\overline{S_{B\times D}}}{\overline{S_{误}}}=1.5$$

$$F_{A\times D}=\frac{\overline{S_{A\times D}}}{S_{误}}=5.6$$

从相关关系表可查得相应自由度的$F'$值，如$F'_{0.05(1,3)}=10.1$；$F'_{0.01(1,3)}=34.1$。其数字表示置信度为5%的$F$值应大于10.1；而置信度达1%的$F$值应大于34.1。列成方差分析表如表1-2-71所示。可见$D$因子（炭黑品种）对定伸应力的影响显著，其它因子的影响不显著。

**表 1-2-71　方差分析表**

| 方差来源 | 偏差平方和 | 自由度 | $F_{0.05}$ | $F_{0.01}$ | $F_{比}$ | 显著性 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$ | 12.2 | 1 | 10.1 | 34.1 | 1.93 | |
| $D$ | 113.7 | 1 | 10.1 | 34.1 | 18 | ✓ |
| $B\times D$ | 9.4 | 1 | 10.1 | 34.1 | 1.5 | |
| $A\times D$ | 35.3 | 1 | 10.1 | 34.1 | 5.6 | |
| 误差（包括$B$、$C$） | 19.0 | 3 | | | | |
| 总和 | 189.6 | 7 | | | | |

（5）显著性分析　由配方试验结果进行各项性能的方差分析，最后可得出有关试验因子对性能显著性关系的总表，如表1-2-72所列。由此可知，采用50份 ISAF 其拉伸强度、定伸应力及生热性能较佳，但焦烧性稍差。促进剂 CZ 对胶料拉伸强度、老化前抗撕裂强度及老化后耐磨耗比NOBS 优，而定伸应力不如用 NOBS 高。生胶的比例以天然橡胶、丁苯橡胶和顺丁橡胶的比例50:20:30的拉伸强度高于35:20:45，但耐磨耗以后者较优。

综上分析，配方以$A_2B_1C_2D_1$或$A_1B_1C_2D_1$方案有好的综合物理机械性能。经复试后也证实了上述的规律。

表 1-2-72　配方的方差分析总表①

| 方差来源 \ 性能 | 拉伸强度 | 定伸应力 | 门尼焦烧性 | Goodrich生热 | 撕裂强度 | Akron磨耗 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $A$ | √√ | | | √√ | √√ | √ |
| $B$ | | | | √ | √√ | √ |
| $C$ | √√ | | | | √√ | |
| $A\times D$ | | | | | √√√ | √√ |
| $B\times D$ | √√ | | | | √√ | |
| $D$ | | √ | √ | √ | √√√ | |

① "√" 表示显著程度。

（5）方法评价　正交试验设计能比较全面地反映了配方变化因素对胶料性能变化的关系。特别对于复杂的系统试验，可以减少许多试验次数而同样得到必要的试验结果，因此比较适合于配方的研究工作或系统的试验。但该方法是间断性的试验，只能在几个固定的水平上优选较好的配方，有一定的局限性。此外，方差分析也需要进行较大的计算工作量。

5．回归分析法的应用

回归分析方法是数理统计学上一种重要的分析方法。所谓回归分析，它不同于数学上变量$x$与性能$y$之间存在确定的对应关系，即函数关系，其数学表达式为：$y=f(x)$。而是$x$与$y$之间仅存在着因素自变量$x$变化时，性能$y$按某一方向亦在变化，二者之间有着一定的相关关系。具有相关关系的变量，用数理统计的方法进行计量，称之为回归分析。由变量各试验点实测的分布情况，配以一条适当的曲线，叫回归线，它的数学式称之为回归关系式[14]。

（1）基本步骤　回归分析在橡胶配方试验设计上的应用，以采用中心复合试验设计或多角形试验设计较为普遍。这样可通过有限的试验，就能够定量地掌握大量有效的试验数据。再由电子计算机对数据进行处理（变量因子少的试验设计亦可运用笔算），求出回归系数，从而建立配方变量因子与物理性能的关系式，即回归方程[12]。亦可进一步把回归系数方程式绘成等高线图形。这样就能从图中全面看出变量因子对胶料性能影响的范围和程度，优选出性能最优的配方来。

a．确定试验因子及水平　首先根据要求确定所试的变量因子及变量范围，定出试验设计方案。常用复合试验设计以一次及交互影响的正交设计为试验基础，然后辅以求二次系数的星点设计作为追加试验而成。或可利用多角形试验设计，即在同一圆周上取等间隔的几个点，求出其座标值作为试验设计。

配方中的变量因素应慎重考虑，如试验因子及水平一次取得过多，试验数量则要增加很

多；如取得太少，又不易看出问题。因此需根据实际可能设法控制在定量以内。

b．试验因子与试验数量的关系　中心复合试验设计应用较为广泛。常用的变量因子与试验数量的关系如表1-2-73所列。由此可知，变量因子以 2 和 5 的试验数量最为经济。取中心点试验数为 1 时，2 因子变量的试验总数为 9；5 因子采用1/2实施的试验数则为 27 个。

**表 1-2-73　常用中心复合试验设计变量因子与试验数量的关系**

| 变量因子$K$ | 2 | 3 | 4 | 5 | 5（$\frac{1}{2}$实施） | 6 | 6（$\frac{1}{2}$实施） | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 析因设计$n_c$ | 4 | 8 | 16 | 32 | 16 | 64 | 32 | 128 |
| 星点设计$n_a$ | 4 | 6 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 | 14 |
| 中心点$n_0$ | 5 | 6 | 7 | 10 | 6 | 15 | 9 | 21 |
| 试验总数$N$ | 13 | 20 | 31 | 52 | 32 | 91 | 53 | 163 |
| 有利于计算的$\alpha$值 | 1.414 | 1.683 | 2.000 | 2.378 | 2.000 | 2.828 | 2.378 | 3.364 |

多角形试验设计对于两个变量的试验，在同一圆周上取等间隔的几个点，构成$n$多角形试验设计。其每点的座标可通过三角函数求得，再作若干中心点重复试验，便成一组试验。有时亦可采用对角形设计，以避免其它试验设计可能出现一些没有意义的中心点，如配方中低硫低促进剂的配合等情况。

图1-2-67和表1-2-74是 2 因子 5 水平变量采用五角形试验设计安排的试验。由于试验点座标值的特殊位置，在计算回归系数时可大大简化，用计算器便可完成。

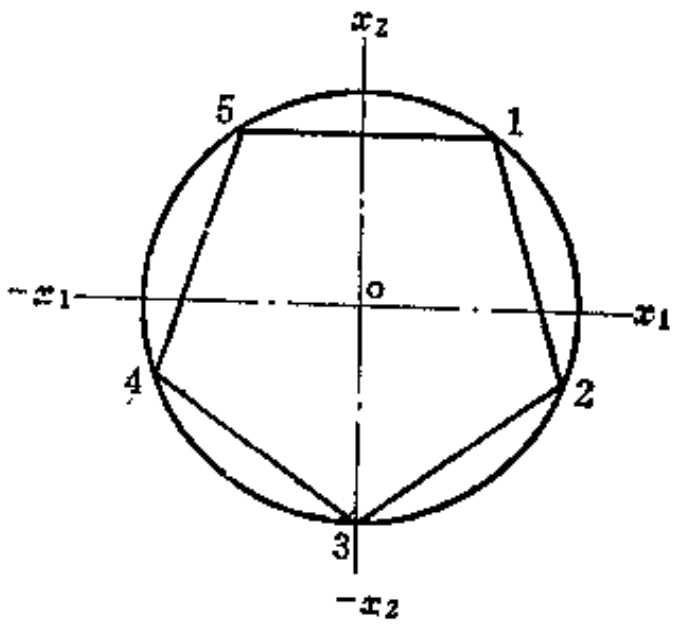



图 1-2-67　两因子 5 水平变量试验五角形试验设计

**表 1-2-74　2因子5水平五角形试验设计**

| 因子水平 / 试验号 | $x_1$ | $x_2$ |
|---|---|---|
| 1 | 0.5878 | 0.8090 |
| 2 | 0.9511 | −0.3090 |
| 3 | 0.0000 | −1.0000 |
| 4 | −0.9511 | −0.3090 |
| 5 | −0.5878 | 0.8090 |
| 6 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 |

c．变量范围的确定　所试因子变量范围的确定，对试验结果的影响很大。变量范围取得过宽，则会使标志胶料物理机械性能的二次函数可靠性下降；变量范围过窄时，则变量因子对胶料性能影响的效果又表现得不大明显，不易找出最好的用量份数。所以要确定试验因子在必要范围内的变量水平。

试验变量被称为“水准”。如假定最佳的用量为中心水准（即零水准）；实际试验量的最大值为$\alpha$水准；最小值为$-\alpha$水准；中间试验量是$\pm1$水准。这样在一个变量因子中就有5个变量点，即 5 个变量水准。水准值可用式（1-2-47）表示：

$$\text{正(或负)水准值}=\frac{\text{最大试验量(或最小量)}-\text{中心试验量}}{\text{实验单位}} \qquad (1\text{-}2\text{-}47)$$

$\alpha$值可任意假定，但橡胶配方试验一般取1.5～2，见表1-2-73所列。如果$\alpha$值选用得

当，会使回归系数计算式的某些项为零，这样便比较容易地从最小二乘法算出回归系数。

水准值与因子变量的换算关系见表1-2-75。

表1-2-76和表1-2-77列出了2因子5水准和3因子5水准的变量试验设计，可作参考。

**表 1-2-75　水准值与变量因子换算关系**

| 变量因子 | | 实验单位 | 水准 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 因子代号 | 配合剂名称 | | −2 | −1 | 0 | +1 | +2 |
| $x_1$ | 顺丁橡胶 | 10 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| $x_2$ | 炭　黑 | 10 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| $x_3$ | 硫　黄 | 0.25 | 1.0 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.0 |
| $x_4$ | 促进剂 | 0.125 | 0.7 | 0.825 | 0.95 | 1.075 | 1.2 |

**表 1-2-76　2因子5水准的变量试验设计**

| | $x_1$ | $x_2$ | |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 基础试验部分（正交设计） |
| 2 | 1 | −1 | |
| 3 | −1 | 1 | |
| 4 | −1 | −1 | |
| 5 | $\alpha$ | 0 | 追加试验部分（星点设计） |
| 6 | $-\alpha$ | 0 | |
| 7 | 0 | $\alpha$ | |
| 8 | 0 | $-\alpha$ | |
| 9 | 0 | 0 | |

**表 1-2-77　3因子5水准的变量试验设计**

| | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 基础试验部分（正交设计） |
| 2 | 1 | 1 | −1 | |
| 3 | 1 | −1 | 1 | |
| 4 | 1 | −1 | −1 | |
| 5 | −1 | 1 | 1 | |
| 6 | −1 | 1 | −1 | |
| 7 | −1 | −1 | 1 | |
| 8 | −1 | −1 | −1 | |
| 9 | $\alpha$ | 0 | 0 | 追加试验部分（星点设计） |
| 10 | $-\alpha$ | 0 | 0 | |
| 11 | 0 | $\alpha$ | 0 | |
| 12 | 0 | $-\alpha$ | 0 | |
| 13 | 0 | 0 | $\alpha$ | |
| 14 | 0 | 0 | $-\alpha$ | |
| 15 | 0 | 0 | 0 | |

d．建立变量因子与物性之间的回归关系式　橡胶配方试验中变量与物理性能之间一般为二元或多元二次回归关系，其通式为：

$$Y=b_0+\sum_{i=1}^{K}b_i\ x_i+\sum_{i=1}^{K}b_{ii}\ x_i^2+\sum_{\substack{i=1\\i<j}}^{K}b_{ij}x_ix_j$$

式中　$K$——变量因子数；

$x$——变量因子水准值

若为二因子变量试验，回归关系式是：

$$Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_{11}x_1^2+b_{22}x_2^2+b_{12}x_1x_2$$

如为三因子变量试验，回归关系式为：

$$Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_{11}x_1^2+b_{22}x_2^2+b_{33}x_3^2+b_{12}x_1x_2+b_{13}x_1x_3+b_{23}x_2x_3$$

由于配方变量因子及试验的各项物理机械性能均为已知数，按照求解二次回归方程式的数学模型，便可求出各物性与变量因子之间的回归系数$b_0$、$b_i$……$b_{ij}$，这样便可建立回归方程式。

回归分析对试验数据的处理很麻烦，除在特殊情况下取$\alpha$值可通过简化进行计算外，一般需编制计算程序，由电子计算机进行运算得出结果，并以绘图程序画出各项物性与变量因子之间的等高线图。

e．回归方程的检验　建立回归方程式，可通过变量$x$值的变化来预测或估计因变量$Y$的取值范围。但$Y$值除决定于$x$值的变化外，还受到其它随机因素的影响。因此需对回归方程式的拟合程度及精确性进行检验，通常可应用方差分析的方法，具体作法参阅专业著作及报告[14,15]。

（2）回归方程建立的示例　下例利用2因子的多角形试验设计说明回归方程建立的程序。

①　试验配方的确定　某一胶料配方的基本组分为：NR 70　SBR 30 软化剂 6　沥青 4　硬脂酸2　氧化锌5　石蜡1　防老剂2　碳酸钙10 促进剂D 1　硫黄1.8。

通过试验，欲求得当高耐磨炉黑用量在25～40份及促进剂DZ用量在0.5～2.0份之间时，它们如何配合才能得到最合适的物理机械性能。本试验如采用五角形试验设计可以比较简单地解决问题（见图1-2-67）。

变量因子水准值为1、0、－1时，根据式：水准值$=\dfrac{\text{最大实验量(或最小量)}-\text{中心量}}{\text{实验单位}}$，可求得高耐磨炉黑的实验单位为7.5重量份；促进剂DZ的实验单位为0.75重量份。于是即可求得各试验点的配合剂用量，如表1-2-78所示。

②　试验及结果的整理　表1-2-78中安排的7个试验，要在同一批量的试验中完成混炼及硫化后，根据试验要求测定有关的胶料性能，得到表1-2-79的试验数据。

③　回归系数的计算　上已述及，采用正五角形的试验设计，因为$x_1$、$x_2$座标的特殊值，如用该值分别代入回归方程关系式得到一组六元二次联立方程式，求解该方程可得到各项系数与性能的关系如下：

$$b_0=y_6$$

$$b_1=0.8506(y_1-y_3)-0.8090b_{12}$$

表 1-2-78 各试验点座标值的配合剂用量

单位：重量份

| 配方实验号① | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 炭黑变量$x_1$的座标值 | 0.5878 | 0.5811 | 0.0000 | −0.9511 | −0.5878 | 0.0000 | 0.0000 |
| 炭黑的实际用量$=32.5+7.5x_1$ | 36.9 | 39.6 | 32.5 | 25.4 | 28.1 | 32.5 | 32.5 |
| 促进剂DZ变量$x_2$的座标值 | 0.8090 | −0.3090 | −1.0000 | −0.3090 | 0.8090 | 0.0000 | 0.0000 |
| 促进剂DZ的实际用量$=1.25+0.75x_2$ | 1.86 | 1.02 | 0.5 | 1.02 | 1.86 | 1.25 | 1.25 |

① 为提高试验精度，重复试验二次。

表 1-2-79 配方胶料的性能

| 性能项目 \ 配方实验号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 焦烧时间($WL_{t+4}$,100℃),min | 33.3 | 30.3 | 33.4 | 35.2 | 35.5 | 31.5 | 33.2 |
| 硫化仪(143℃,$T_{90}$),min | 15 | 15 | 20 | 15 | 10 | 10 | 10 |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 24.5 (249) | 23.6 (240) | 23.3 (237) | 23.2 (236) | 24.3 (248) | 24.2 (246) | 24.4 (249) |
| 300%定伸应力，MPa(kgf/cm²) | 7.5 (73) | 7.9 (77) | 5.8 (59) | 4.3 (44) | 5.5 (56) | 5.9 (60) | 6.0 (61) |
| 扯断伸长率，% | 611 | 616 | 678 | 692 | 687 | 680 | 700 |
| 撕裂强度，kN/m(kgf/cm) | 90 (92) | 92 (93) | 69 (37) | 79 (81) | 86 (87) | 89 (91) | 87 (89) |
| 永久变形，% | 29 | 29 | 28 | 25 | 32 | 32 | 32 |
| 硬度（邵尔A） | 61 | 61 | 57 | 54 | 56 | 57 | 57 |
| 弹性，% | 54 | 50 | 53 | 57 | 58 | 61 | 55 |

$$b_2=b_0+b_{22}-y_3$$

$$b_{11}=1.4471(y_1+y_5)-2.3415b_2-1.8943b_{12}-2.8943b_1$$

$$b_{22}=0.3236(y_1+y_5)-0.1236(y_2+y_4)+0.6y_7-y_6$$

$$b_{12}=0.7608(y_1-y_5)-0.4702(y_2-y_4)$$

以撕裂强度为例，因各次试验结果分别为：$y_1=90.2$、$y_2=91.5$、$y_3=85.7$、$y_4=79.3$、$y_5=85.7$、$y_6=88$（实验号6、7两次平均值），将各$y$值代入上列各系数的关系式可得：

$$b_0=y_6=88$$

$$b_{12}=0.7608(90.2-85.7)-0.4702(91.5-79.3)=-2.31$$

$$b_1=0.8506(90.2-85.7)-0.8090(-2.31)=5.69$$

$$b_{22}=0.3236(90.2+85.7)-0.1236(91.5+79.3)+0.6(85.7)-88$$
$$=-0.77$$

$$b_2=88+(-0.77)-85.7=1.53$$

$$b_{11}=1.447(90.2+85.7)-2.3451(1.53)-1.8943(-0.77)-2.8943(88)$$
$$=-2.27$$

然后以各系数值代入回归方程，得到撕裂强度与$x_1$、$x_2$的回归关系式：

$$y_{\text{撕裂}}=88+5.69x_1+1.53x_2-2.27x_1^2-0.77x_2^2-2.31x_1x_2$$

其它物理机械性能的回归系数依同法亦可算出，如表1-2-80所列。

表 1-2-80　各物理机械性能的回归系数

| 性能项目 | $b_0$ | $b_1$ | $b_2$ | $b_{11}$ | $b_{22}$ | $b_{12}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 拉伸强度 | 24.3 | 1.99 | 6.87 | −7.29 | −3.12 | −0.36 |
| 300%定伸应力 | 5.9 | 17.86 | 2.97 | 3.88 | 2.67 | −0.21 |
| 永久变形 | 32 | 0.82 | 1.86 | −4.67 | −2.13 | −4.16 |
| 弹性 | 54.5 | −3.78 | 1.83 | −0.45 | −0.27 | 0.36 |
| 撕裂强度 | 88 | 5.69 | 1.53 | −2.27 | −0.77 | −2.31 |

④等高线图形的绘制　由于物性方程式的6个系数为已知，则每一项性能 $y$ 值与变量 $x_1$、$x_2$的关系可以计算出来。如给定一 $x_1$ 值，则 $x_2$ 值就可确定。以撕裂强度为例，求强度为80kN/m的$x_1$、$x_2$座标值时，先给定$x_2$的座标值，然后求出相应的 $x_1$ 值。按这方法分别得出撕裂强度为84、86……的对应座标值，如表1-2-81所列。各撕裂强度的 $x_1$、$x_2$ 座标确定后，同一撕裂强度的点连成一线，即为该性能值的等高线，如图1-2-68所示。

当然，由物性方程编制出计算及绘图程序后，便可求得变量因子$x_1$、$x_2$ 在所试范围内任一配合情况的物性值，反之亦然。并绘出性能等高线图形❶。

同样可绘制出其它性能的等高线图。再根据已确定的各项物理性能指标，将符合取值范围的等高线移至同一图上，把指标以外的部分删除，最后留下各项指标值都在确定范围内的

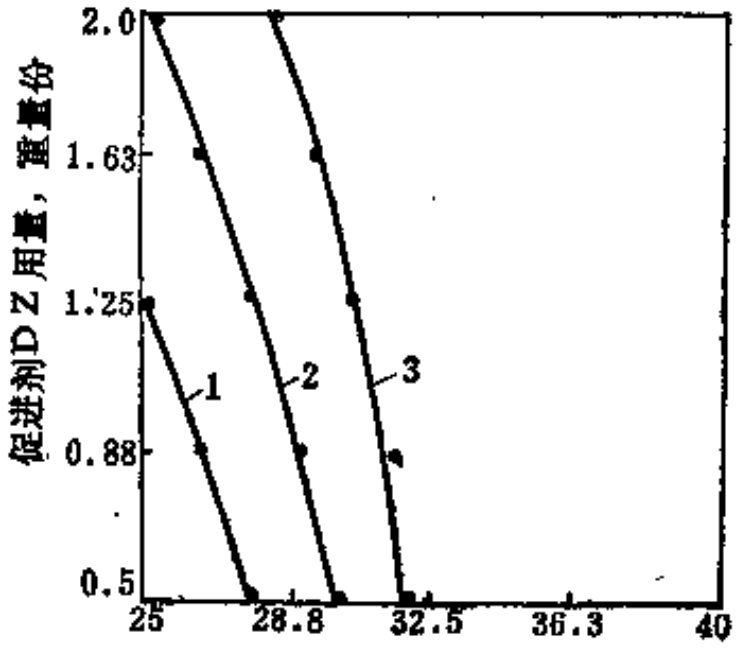



图 1-2-68　撕裂强度等高线图的绘制

1—80kN/m；2—84kN/m；3—86kN/m

表 1-2-81　撕裂强度等高线的座标值与配合量计算结果①

| 变量因子$x_1$、$x_2$座标及用量 ＼ 撕裂强度$y$取值数 | 80kN/m | | | 84kN/m | | | 86kN/m | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $x_2$（促进剂DZ）座标值与配合量 | 相应的$x_1$（炭黑）座标值与配合量 | | | | | | | | |
| 座标值 | 配合量，重量份 | 座标值 | 配合量重量份 | 座标值 | 座标值 | 配合量重量份 | 座标值 | 座标值 | 配合量重量份 | 座标值 |
| 0 | 1.25 | −0.96 | 25.3 | 3.03 | −0.66 | 27.6 | 2.73 | −0.28 | 30.3 | 2.36 |
| 1 | 2.0 | −1.26 | ／ | 2.57 | −0.94 | 25.4 | 2.25 | −0.54 | 28.4 | 1.85 |
| −1 | 0.5 | −0.59 | 28 | 3.42 | −0.29 | 30.3 | 3.12 | −0.08 | 31.9 | 2.76 |
| 0.5 | 1.625 | −1.12 | ／ | 2.81 | −0.81 | 26.4 | 2.50 | −0.43 | 29.3 | 2.12 |
| −0.5 | 0.875 | −0.78 | 26.6 | 3.24 | −0.41 | 29.4 | 29.4 | −0.11 | 31.6 | 2.67 |

① 因解二次回归方程可得两根，表中正根均大于1，即 $x_1>|1|$ 时已在实验范围之外，无意义。故不作这部分的等高线。

❶ 详细方法参阅本篇第十二章内容。

区域。在此区域内任取一变量因子$x_1$、$x_2$的座标值配合剂用量，均为优选配方的配合剂用量范围。

6．配方试验设计各方法比较

上述配方试验设计各种方法的特点列于表1-2-82中，配方设计者可根据实际情况选用，以达到既准确又合理地优选配方的目的。

表 1-2-82　配方试验设计各方法比较

| 方法名称 | 适用范围 | 优　　点 | 缺　　点 |
|---|---|---|---|
| 一元变量、分批完成法 | 鉴定新型原材料特性或对生产中原材料的变动情况，能比较迅速确定是否可投入生产 | 1.简单方便；<br>2.各因子变量可同时分批进行，一次看结果；<br>3.分析数据简单直观 | 1．每批试验只能作1个变量因子；<br>2.不能反映因子间的交互作用，数据有局限性，往往不易优选出最好的组合配方；<br>3.多因子多水平试验时，试验次数多；<br>4.估计不出试验的误差 |
| 0.618法 | 适用于单因子或双因子配方试验，可优选出配合剂的最宜用量，比一元变量法节省试验次数 | 1.简单易行，对一些有固定指标要求的胶料，通过少批量试验即得出最宜用量；<br>2．对贵重原材料因减少试验量而明显地节约 | 1．不能适应橡胶配方变化因子多的情况，试验周期长，因而不能很快作出结论；<br>2．不能反映出因子之间的交互作用及对试验误差的估计 |
| 图形表示法 | 对二因子或三因子多水平的试验，做一次试验即可绘出物性等高线图，从而选择最宜用量 | 1．胶料各物性的等高线可综合在一张图形上，分析简单明确；<br>2．从等高线图可预测变量对胶料物性的影响；或从性能指标而优选最佳的配合剂用量 | 1．一般适用于两因子变量试验，最多只能解决三因子的变量试验；<br>2．不能反映因子间的交互作用及试验误差的估计；<br>3．连线等分作图只是假定性能指标与因子变化成直线关系，这与实际情况有差别 |
| 正交试验设计法 | 能够处理多因子多水平的系统试验，特别适用于新配方的系统试验研究工作 | 1．较之一元变量法大大地减少试验次数，而反映的结果又比较全面；<br>2．可以分析各因子及因子间对胶料物性影响的程度；<br>3．预报最优配方的组合<br>4．能分析试验误差的影响 | 1．计算工作量较多；<br>2.只能预报最优配方的组合，但不能描述配方变化因子对物性的关系；<br>3.各因子的交互作用要凭经验确定 |
| 回归分析法 | 适于多因子多水平系统的配方试验研究 | 1．试验数量不多，但能系统和全面反映出变化因子与胶料物性之间的关系；<br>2．可建立物性与变化因子之间的回归方程式，从而可全面预报所试范围内物性与变量因子的关系；<br>3．能正确估计试验误差的影响 | 1．要从理论上分析及确定相应的数学模型，理论基础较强；<br>2．三因子以上的变量试验数据处理工作量大，需建立计算程序及运用电算机求出回归系数、绘制等高线图 |

## 七、配方工作的程序

橡胶配方工作是一门理论与生产实践紧密联系的实用性学科，涉及面很广。因此从事轮胎配方工作的工程技术人员，除了应具有比较丰富的知识和实践经验外，在提出指导生产的

配方技术文件之前，应遵循配方试验的基本程序，这样才能全面掌握有关的原始资料，使试验有的放矢，减少不必要的试验从而能迅速达到预定的目的。配方工作程序包括以下几个主要方面。

**（一）准备工作**

1.进行调查研究、搜集有关原始技术资料

在接受有关轮胎产品配方任务后，应首先进行调查工作，搜集有关材料，进行分析研究，为配方设计提供可靠的依据。由于轮胎的使用条件十分复杂，如车辆结构、路面条件、使用要求等因素都会对胶料提出不同的性能要求。因而在确定胶料性能指标之前，应尽可能详细了解有关的技术资料。

（1）了解车辆的主要技术特征　包括车型、用途、车轴负荷分布、发动机功率及设计速度、底盘与悬挂系统的技术特征，对轮胎有无特殊要求等。

（2）了解轮胎的使用条件　要掌握所设计的轮胎主要在什么条件下使用。因为车速、路面情况、环境气候的不同，对轮胎性能有不同的要求。例如在高速公路行驶的轮胎，要求胶料升温低、防湿滑性好；林区或矿山、工地用轮胎则要求胎面胶耐刺扎、抗崩花掉块性能良好；寒冷地区使用的轮胎，其胶料二级转化温度应低，具有良好的耐寒性等。只有充分掌握轮胎的使用条件，才能有针对性进行配方试验的工作。

（3）掌握原材料的情况　胶料进行配方试验，就是要达到正确和合理使用原材料，改善加工性能，提高产品质量、降低生产成本。因此必须熟悉和掌握各有关原材料的主要性能及优缺点，并注意新型原材料的发展与应用情况，以便为生产提供充足而可靠的原材料，保证产品的质量。

（4）搜集国内外同规格、同类型产品的配方及使用情况，了解用户的要求　在进行配方试验之前，充分了解国内外有关该产品配方的特点，胶料控制的主要性能指标，使用中暴露的问题以及控制产品质量的测试方法等资料和数据，并征求用户的意见。取人之长，补己之短，避免重复别人已做过的工作。经综合分析研究后，提出配方的试验方案。这样可少走弯路，提高工作效率。

2.确定轮胎各部件胶料配方的主要技术性能指标

在进行调查研究，掌握充分的资料后，经分析比较，根据产品的具体情况，确定胶料的主要物理机械性能指标。虽然轮胎在实际使用中由于条件复杂，往往要求胶料具有综合性，才能得到较好的使用效果。但胶料的性能有些是相一致的，而有些则又互相矛盾。因此在确定指标时，既不能片面追求某一指标的最优水平而忽略综合性能，又不能面面俱到，取中间值。应该考虑各物性之间互相制约的因素，即在照顾综合性能的基础上，根据胶料所起的作用，确定控制主要的物理机械性能项目及指标，如表1-2-83中所列出的项目，可作为参考。至于其它项目的指标，亦应达到国家规定的标准[16]。

**（二）配方试验**

1．进行配方的试验设计

本章已述及配方试验设计常用的几种方法应用情况。通过试验设计，能比较科学和有效地了解原材料品种、变量对胶料物性之间的关系，以决定比较合适的原材料品种和合理的用量，满足产品的使用要求，达到合理和经济的目的。具体运用哪种方法，可根据配方试验的内容而定。

2．进行小配合试验，测定胶料的物理机械性能

表 7-2-33 轮胎各部件胶料主要控制的性能①

| 性能项目 | 胎面胶 | | | | 胎面基部胶 | 胎肩胶 | 胎侧胶 | 密分层胶 | | | 气密层 | 内胎 | 垫带 | 硫化胶囊 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 家用轮胎 | 载重轮胎 | 工程轮胎 | 农业轮胎 | | | | 缓冲层 | 外层帘布 | 内层帘布 | | | | |
| 拉伸强度 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 扯断伸长率 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 定伸应力 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 撕裂强度 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 耐热老化性 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 耐高温性能 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 抗裂口增长性 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 耐磨耗性 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 低生热性 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 抗湿滑性 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 抗刺扎掉块性 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 与帘线粘合性 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 气密性 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 低永久变形 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 耐屈挠 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 |

① 0—可不控制指标；1—一般控制指标；2—主要控制指标。

小配合试验通常在试验室用 6in 开炼机或微型密炼机混炼。为了使试验结果有较高的精度，减少随机因素引起的试验误差，应保证试验用原材料质量稳定，严格掌握混炼工艺的操作规程，如辊温、辊距、加药顺序、操作时间等条件都应一致。防止因操作条件或原材料变动影响胶料的性能，使配方试验结果失去可比性。

混炼胶停放后出片，在规定的硫化温度下硫化试片，并按国家有关标准测定各项物理机械性能。

胶料物理机械性能测试的结果经分析综合，如果达不到产品的要求，需继续做第二次以至多次的配方试验，直至取得比较满意的结果。并经复试数据有重复性，即可根据轮胎各部件胶料的主要技术指标，作分析比较，进行取舍，优选出最佳的配方方案，为产品试制提供技术依据。

**（三）试制及试产**

1. 确定配方方案及有关工艺技术条件，并通过初步试制测定有关性能

由配方试验结果确定配方方案，是配方试验工作的重要环节，也是理论联系实际的具体过程。因为在优选配方的同时，还须结合工厂的工艺设备条件，提出该配方胶料加工时可能给各工序操作上带来的影响及需采取的必要技术措施，以保证工艺加工性能适合于生产的条件。

为了充分了解所试配方胶料的工艺性能和物理机械性能是否达到预定的指标，试制过程中配方人员应到现场了解情况，测定有关的数据。轮胎成品应进行与改变胶料配方影响其性能的各项试验，如耐久性试验、升温试验、滚动阻力试验以及成品各部件胶料物理机械性能的测试。最后还需进行轮胎的实际使用性能和里程寿命试验。对于新产品试制，初步选取方案时可选定几个方案作对比，把结果进行全面比较才确定投产方案。

2. 调整配方或工艺条件，扩大试制、试产

通过初步试制工作，对所试的配方有了比较全面的认识。根据试制中出现的问题，结合

工厂中具体的设备条件和工艺水平，对配方中不合理的部分可作适当修改，经试验得到改进后调整配方内容；或者完善、改进工艺设备条件，以适合于配方的要求，保证生产过程顺利进行。在这基础上，可扩大试制量，积累数据，同时制订胶料的各项检验指标，为正式投产做好准备。

扩大试制在工艺加工、产品质量保持稳定的基础上，经主管部门批准可转入试产阶段。

**（四）总结、鉴定、投产**

1．技术总结、鉴定、正式投产

轮胎新产品、新配方的投产，涉及整个生产工艺过程，需要有一适应的阶段。特别是新原材料的应用，需在实践中逐渐熟悉它的特点，掌握使用特性。至于老产品的质量改进工作，也应在实际使用中进行对比鉴别。因此，对于新设计重要的胶料部件配方，应通过试制、扩大试制和试产阶段，经过实际使用的考验，确实具有一定的经济效益，就及时进行技术总结，报请有关部门审核，转入正式生产。

2．开发轮胎胶料配方工作的程序

图1-2-69是从事轮胎胶料配方工作一般的工作程序。特别对于新开发的产品或者某些主要新型原材料的应用，开始难以掌握的情况下，更应按照科学的方法开展试验研究工作，得出充分可靠的数据后，才正式投入生产，保证达到预期的效果。

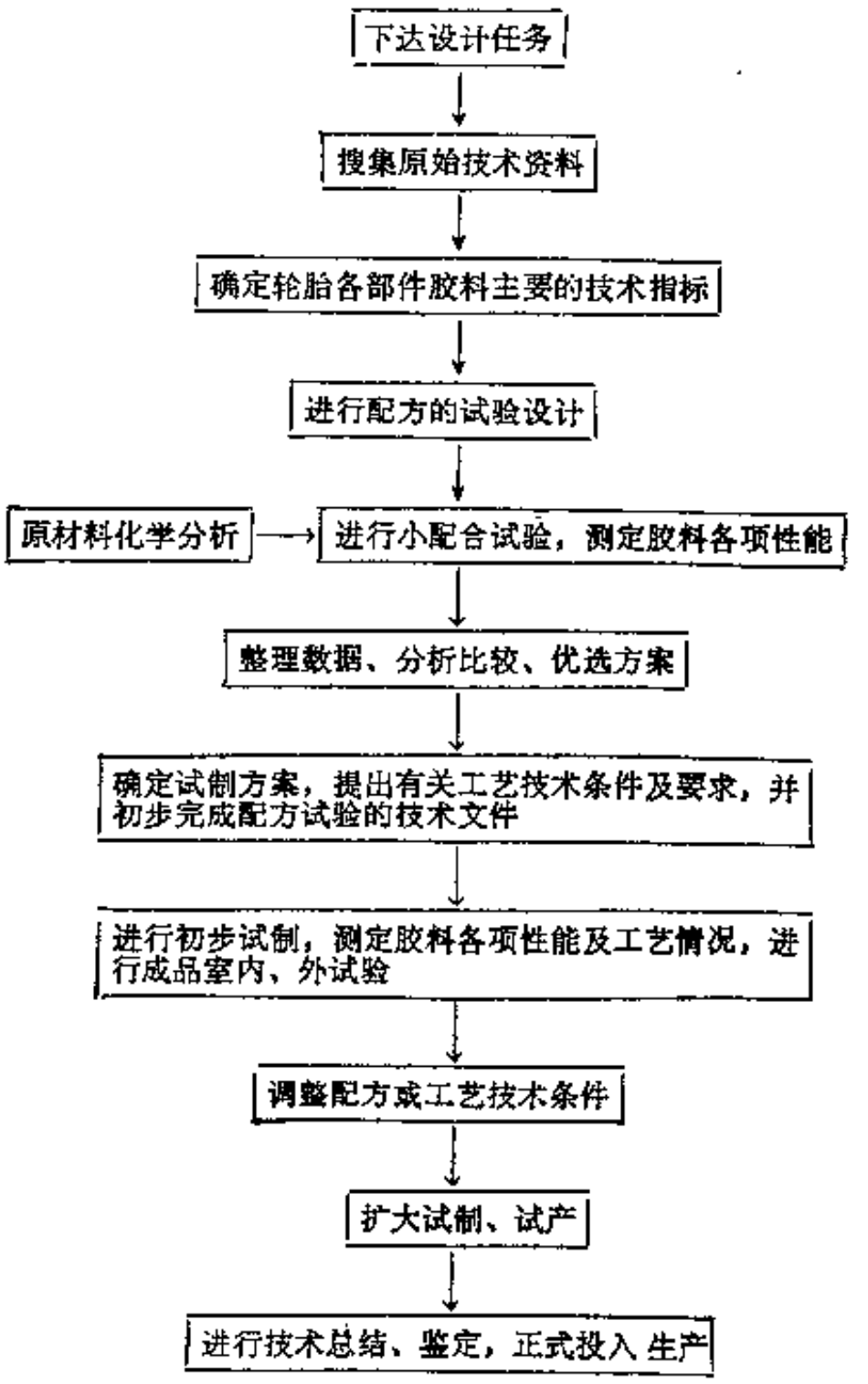



图 1-2-69　轮胎配方工作程序

# 主要参考文献


〔1〕 中华人民共和国国家标准，"载重轮胎系列"，GB2977—82，中国标准出版社出版，1982年。

〔2〕 中华人民共和国国家标准，"轿车轮胎系列"，GB2978—82，中国标准出版社出版，1982年

〔3〕 A. B. 萨尔特阔夫著，北京橡胶工业研究设计院、桂林橡胶设计研究院译，《汽车轮胎现代工艺学基础》，石油化学工业出版社，1978年。

〔4〕 中华人民共和国国家标准，"汽车轮辋规格系列"GB3487—83，中国标准出版社出版，1983年。

〔5〕 Engineering Design Information——The Tire and Rim Association Inc. (1984).

〔6〕 The Tire and Rim Association Inc. Year Book(1981).

〔7〕 Билерман, В. Л. "Автомобильные Шины", Госхимиздат, Москва, 1963.

〔8〕 北京橡胶工业研究所情报室，橡胶工业，2,57～69 (1975)。

〔9〕 Blow. C. M., "Rubber Technology and Manufacture, Butterworths, London, 1971.

〔10〕 All Indina Rubber Industres Association, "Testing in Rubber Industry", Palmerton Publishing Co. Inc. N. Y. 1974.

〔11〕 陈耀庭主编，《橡胶加工工艺》，化学工业出版社，1982年。

〔12〕 轮胎配方设计学习班，橡胶工业，2，1～10 (1975)。

〔13〕 中国科学院数学所统计组著，《常用数理统计方法》，科学出版社，1973年。

〔14〕 茆诗松等著，《回归分析及其试验设计》，华东师范大学出版社，1981年。

〔15〕 刘天臣，橡胶工业，6，1～8(1980)。

〔16〕 中华人民共和国国家标准"轮胎"，GB1191—82、GB516—82、GB1192—82、GB1190—82，技术标准出版社，1983年。

# 第三章　汽车轮胎

## 第一节　汽车轮胎的基本性能

### 一、承载性能

轮胎承受汽车的总载荷并将其传递到路面。轮胎所承受的这一载荷有静负荷和动负荷之分。所谓静负荷就是指汽车的自重及其载重所施加给轮胎的负荷，通常可用称量法来测定。所谓动负荷就是指汽车于不平坦道路上行驶时所产生的冲击负荷。它主要是由汽车的非弹簧部件的惯性力所造成的，动负荷的大小，取决于路面条件、行驶速度、非弹簧部件的质量、汽车车架和轮胎本身的弹性等，因而它是变化的和难以测定的。通常轮胎标准中所标明的负荷量系指静负荷而言。按照轮胎在使用中所受的动态应力，各种类型轮胎的部件强度在设计时，应考虑适当的安全倍数，以适应动负荷的要求。

1．轮胎的负荷能力

轮胎的负荷能力可先由公式进行初步计算，然后根据使用条件（如工况、速度等）进行修正。计算轮胎负荷的基本公式为：

$$W = K \times 0.425 P^{0.585} \cdot S^{1.39} (D_R + S) \qquad (1\text{-}3\text{-}1)$$

式中　$W$——轮胎负荷，lbf；

$K$——负荷系数；

$P$——轮胎充气压力，psi；

$S$——理想轮辋上的轮胎断面宽，in；

$D_R$——轮辋名义直径，in；

由式(1-3-1)可以看出，影响轮胎负荷能力的因素有以下几方面。

（1）轮胎类型　轮胎的负荷系数$K$就是根据不同类型的轮胎而得出的经验系数。

（2）轮胎断面宽、外直径和轮辋直径　轮胎的断面宽、外直径和轮辋直径标志着轮胎尺寸的大小。

轮胎的负荷量取决于轮胎内腔充气容积的大小，而轮胎的断面宽、外直径和轮辋直径都对轮胎的内腔容积有直接影响。

（3）轮胎的气压　当轮胎的外形设计参数一定时，轮胎的负荷量与充气内压有关。提高轮胎的气压就可增大轮胎的负荷。但负荷与内压并非简单的线性关系。内压的提高必须考虑到胎体强度是否能承受。同时提高气压会使帘线所受到的初始应力和剪切应力增大。这会导致轮胎在不平坦道路上行驶时的动负荷增大，使帘线过度疲劳而损坏，影响轮胎的行驶里程。因此轮胎的负荷能力与帘线性能有关。

除上述因素以外，使用速度对轮胎的负荷能力影响很大。如载重汽车轮胎连续行驶速度高于或低于基准速度时，其负荷与相应内压标准按一定比率增减。TRA年鉴规定轻型载重汽车轮胎的基准速度为90～105km/h，中型载重轮胎为80～100km/h，重型载重轮胎为65～80km/h。ETRTO年鉴规定轻型载重汽车轮胎的基准速度为120～140 km/h，中型载重轮

胎为100～110km/h，大型载重轮胎为80～90km/h。

各国的轮胎标准都列出了高于或低于基准行驶速度时轮胎负荷的变化率。表1-3-1为我国轮胎标准[1]中所规定的轮胎使用速度与负荷的对应关系。

表 1-3-1 轮胎使用速度与负荷对应关系

| 速度，km/h | 负荷变化率，% | | |
|---|---|---|---|
| | 重型载重轮胎 | 载重轮胎 | 轻型载重轮胎 |
| 40 | +5 | +10 | +12.5 |
| 50 | +2.5 | +7.5 | +10 |
| 60 | ±0 | +5 | +7.5 |
| 70 | ±0 | +2.5 | +5 |
| 80 | — | ±0 | +2.5 |
| 90 | — | ±0 | ±0 |
| 100 | — | — | ±0 |

注1，最高速度：重型载重轮胎为70km/h，载重轮胎为80km/h轻型载重轮胎为100km/h时最大负荷为100%。最高速度可理解为持续行驶速度，但不是平均速度。

2，当车速在最高速度以下20km/h时，每减少10km/h，负荷可增加2.5%，但40km/h以下时不再增加。

2，轮胎的负荷和层级

通常一个规格的轮胎有数个层级。如9.00-20轮胎就有三个不同的层级。每一层级各有其最大负荷和相应气压，见表1-3-2。

表 1-3-2 9.00-20轮胎的层级和负荷

| 轮胎规格 | 层级 | 最大负荷，kN(kgf) | | 相应气压，MPa(kgf/cm²) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | D | S | D | S |
| 9.00-20 | 10 | 18.00(1835) | 20.54(2095) | 0.48(4.9) | 0.55(5.6) |
| 9.00-20 | 12 | 20.10(2050) | 22.95(2340) | 0.59(6.0) | 0.66(6.7) |
| 9.00-20 | 14 | 22.11(2255) | 25.25(2575) | 0.69(7.0) | 0.76(7.7) |

注：D为双胎负荷，S为单胎负荷。

使用部门可根据需要选择小规格高层级的轮胎或大规格低层级的轮胎。

美国TRA用大写英文字母来表示轮胎的层级，各层级的代号见表1-3-3[2]。

表 1-3-3 TRA规定的轮胎层级代号

| 层级 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 代号 | A | B | C | D | E | F | G | H | J | L | M | N |

3，轮胎负荷下的径向变形

轮胎负荷下的变形是轮胎的主要特性之一。轮胎在负荷下断面宽增加，断面高减小，这就缩短了轮胎与路面之间的距离。在静负荷下轮胎旋转中心轴与路面之间的距离，通常称作“静半径”。轮胎自由半径和静半径之差为“下沉量”。而下沉量与断面高的百分比叫作“压缩系数”。轮胎的径向变形是轮胎的重要性能之一。

径向变形的大小取决于轮胎的规格和结构，制造轮胎所用的原材料，轮胎内压和负荷作用于车轮上的周向力和侧向力的大小，以及路面的硬度。轮胎负荷下的下沉量随内压的提高而减小，随负荷的增加面增大。轮胎在松软路面上的下沉量，由于土壤的变形，比之硬路面上的要小的多。轮胎的下沉量应控制在一定范围内。表 1-3-4[3]列出了在标准内压和负荷下不同类型轮胎的变形范围。

**表 1-3-4　不同类型轮胎的变形范围**

| 轮胎类别 | 轿车轮胎 | | 载重汽车轮胎 | | | 拱型轮胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 轮辋直径16in | 轮辋直径14in和15in | 小规格 | 硬路面用 | 软路面用 | |
| 压缩系数，% | 12～14 | 14～18 | 14～16 | 10～12 | 15～18 | 25～30 |

4．负荷指数

ISO国标轮胎标准已采用“负荷指数”代替层级来标明轮胎的负荷能力。“负荷指数”就是轮胎在标准规定的使用条件下，并按速度符号标明的速度行驶时，所能承受的最大负荷的代号。“负荷指数”是从0到279的一系列从小到大的280个等级，它被刻在模型上作为轮胎标志之一。

应当指出的是轮胎的额定负荷是对应于一定速度的。当轮胎高于或低于规定时，此负荷应相应地增加或减小（见表1-3-1）。

## 二、高　速　性　能

轮胎必须适应所配汽车的最高行驶速度的要求，保证汽车在标准使用条件下正常行驶。

汽车的最高车速，是指连续行驶时所能获得的最高平均车速，而不是瞬时达到的最高速度值。高速汽车选用轮胎必须考虑轮胎的高速性能。

汽车在高速下行驶会显著降低轮胎的使用寿命，这是因为轮胎材料不是完全弹性的。每次变形都要消耗部分能量，此能量转化为热量。行驶速度越高，单位时间内轮胎的变形次数就越多，轮胎各部件所产生的热量就越大，轮胎的温度随之升高，从而使帘布和胶料疲劳，导致轮胎早期损坏。

另外，随着行驶速度的提高，轮胎所承受的动力负荷也随之增大。当行驶速度接近于“临界速度”（即轮胎变形波浪分布在其圆周上的速度）时，变形的性质就会发生变化，在轮胎表面上呈现出不变的波浪即“驻波”。轮胎一旦产生驻波，轮胎的滚动损失显著增大，温度急剧升高，轮胎就会很快损坏。对于载重汽车轮胎来说，由于其临界速度显著高于正常使用速度，因而不会发生危险。但对轿车轮胎来说，因其行驶速度不断提高，产生驻波的危险性是很大的。因此必须改进轮胎的结构、配方和工艺以适应提高临界速度的要求，使汽车在使用速度范围内不致产生驻波。

提高轮胎临界速度的基本措施是减小胎面胶的体积或减薄胎面胶的厚度，减少胎体帘布层数，选择细而轻、强度高和耐疲劳的骨架材料，加大胎体和缓冲层帘线角度等。但由于轮胎要承受各种复杂的应力，要求具备多种性能，而有些性能有时是相互矛盾的，不得不根据具体使用情况寻求折衷方案。

采用子午线结构是提高轮胎高速性能的最有效的措施。

汽车的行驶速度对轮胎的使用寿命有很大影响。从同种轮胎在不同的行驶速度条件下的

试验结果表明，轮胎在50km/h速度下的平均寿命为90000km，而在100km/h 速度下的平均寿命为30000km。如图1-3-1所示。

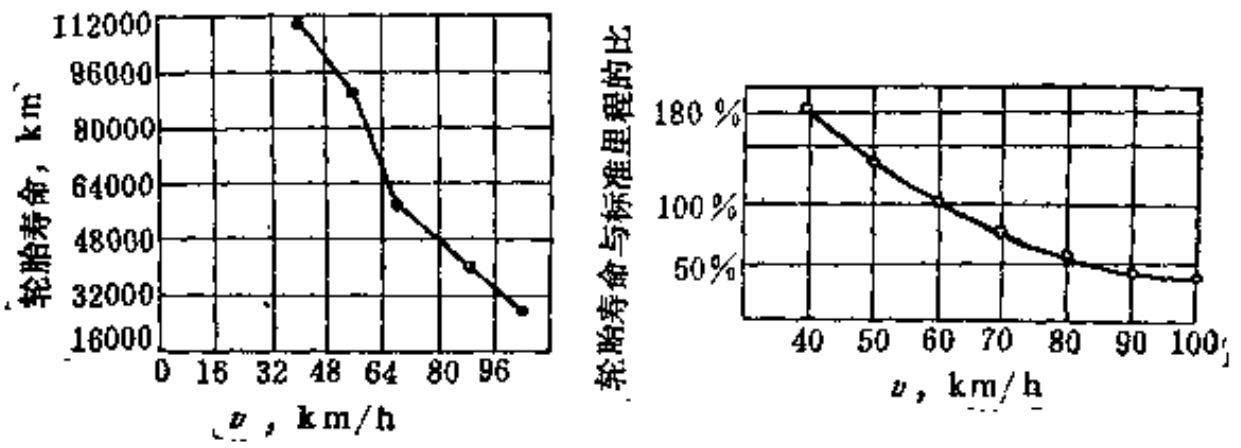



图 1-3-1　轮胎寿命与汽车行驶速度的关系

近代轮胎标准都规定了轮胎的速度等级标志，作为轮胎的规格标志之一。这就为汽车正确选用轮胎和轮胎的设计及制造提供了依据和方便。速度等级标志是以特定的英文大写字母表示的。

## 三、胎面耐磨性能

胎面磨耗是轮胎为克服其滚动时所产生的摩擦力不断做功的结果。在摩擦的同时产生热量。摩擦表面温度的高低与摩擦系数和摩擦速度成正比，而与接触材料的导热性能成反比。

胎面磨耗性能是轮胎最重要的性能之一。近年来，制造轮胎胎体的骨架材料已由耐屈挠、耐疲劳、相对密度小和强度高的尼龙帘线取代了棉帘线和粘胶丝，使胎体强度大大加强。同时，随着汽车技术的发展，道路条件的不断改善，轮胎早期损坏日益减少，因而胎面耐磨性能成为决定轮胎使用寿命的关键。所以提高轮胎胎面的耐磨性能能给社会带来很高的经济效益。

现代汽车工业的发展趋向于提高汽车的适应性能，改善刹车性能，增大负荷量、提高行驶速度和减小轮胎直径。所有这一切都使胎面的应力增大，加速了胎面磨耗。因此也有必要提高胎面的耐磨性能。

影响轮胎胎面磨耗的因素很多，除汽车结构而外，还有轮辋宽度、车轮的前束和外倾、使用条件（如路面、轮胎的负荷和气压）等；此外，轮胎本身如胎体结构、胎面花纹、行驶面弧度和帘线角度等对胎面磨耗也都有所影响。

分析上述因素，归纳出如下几点提高胎面耐磨性能的措施。

① 采用子午线结构是提高胎面耐磨性能的有效措施。子午线轮胎以优异的耐磨性能而著称。其刚性带束层使轮胎在路面滚动时，胎面的周向变形及滑移都比斜交轮胎为小。另外轮胎与路面的接地面积较斜交胎为大，并且接地面上的压力分布均匀。这种特性使子午线轮胎比斜交轮胎的胎面耐磨性能提高30～50%以上。

② 改善胎面胶料配方，提高胎面胶本身的耐磨性能，减小单位摩擦功下的材料磨耗。

③ 选择合适的胎面曲率和行驶面宽度，使轮胎在负荷下行驶面能达到95%以上与地面

接触，并且接触面上的压力应分布均匀。

④ 根据使用路面状况选择适当的花纹类型、深度和花纹块接地面积的百分率，以便提高轮胎对路面的附着性能和减小滑动磨耗，达到提高胎面耐磨性能的目的。

⑤ 良好的使用与保养，无论是超负荷或气压不足都会增大胎面磨损。因此应严格按照标准规定的负荷及气压使用轮胎。此外，还要经常检查和定期换位，以防磨耗不均。

⑥ 正确安装车轮的前束和外倾。车轮的前束和外倾如不适当，则会使胎面发生异常磨耗。胎面磨耗与车轮前束角和外倾角的关系如图1-3-2[1]所示。

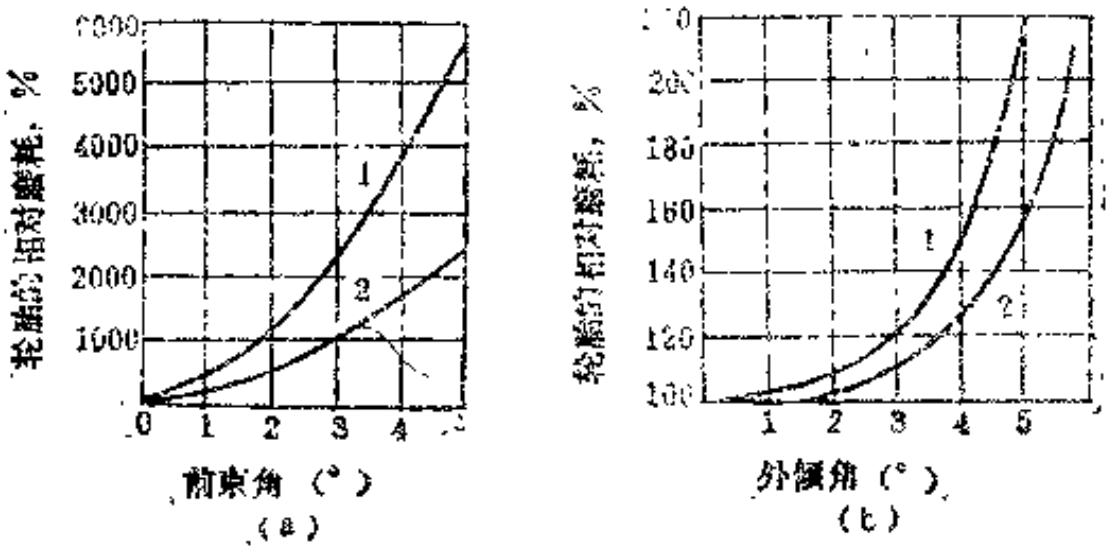



图 1-3-2 胎面磨耗与车轮前束角（a）和外倾角（b）的关系

1—6.00-16轮胎；2—7.00-16轮胎

由图1-3-2可以看出，胎面磨耗随着前束的增大而加大，尤其是当此角超过2°以后胎面磨耗急剧增大。当轮胎外倾滚动时，胎面磨耗低于前束滚动时的磨耗，但它也随着外倾角的增大而显著增高。

## 四、胎体耐屈挠性能

轮胎滚动时，在负荷的作用下，胎体的下半周承受着复杂的变形，变形是周期性的和多次重复进行的。变形的结果是轮胎与路面接触部位的断面宽增大，车轮中心轴与路面之间的距离减小。在这种情况下胎侧外层受到伸张，内层受到压缩，而轮胎接地区域则与此相反。外胎的行驶面不仅受到伸张应力和压缩应力，而且还受到剪切应力。此剪切应力在汽车起动和制动时特别大。剪切变形的最大值是在轮胎与路面接触部位的周边缓冲层部位。而屈挠变形的最大值是靠近胎侧中心线附近。屈挠变形主要由胎体所承受。变形的大小与静负荷、动负荷、充气压力和轮胎的刚性有关。变形的次数则与行驶速度有关。

轮胎的胎体必须具有一定的耐屈挠性能，才能适应轮胎变形的需要，才能保证轮胎具有一定的使用寿命而不致早期损坏。

胎体的耐屈挠性能决定于轮胎的结构和所用原材料的性能。子午线轮胎的耐屈挠性能优于斜交轮胎。由于尼龙帘线的耐疲劳性能优于粘胶丝帘线的 5 倍，所以尼龙帘线胎体轮胎的屈挠性能比粘胶丝胎体优越得多。

## 五、轮胎的滚动阻力

轮胎滚动阻力是车轮沿水平路面滚动时所引起各项阻力的总称。主要有：轮胎变形所引

起的阻力，路面变形所引起的阻力，路面不平所引起的冲击阻力和轮毂轴承的摩擦阻力等。为便于分析起见，假定这些阻力都与负荷成比例而不受速度的影响，则轮胎的滚动阻力可用式（1-3-2）表示。

$$F_r = \mu W \tag{1-3-2}$$

式中 $F_r$——轮胎滚动阻力，N；

$\mu$——轮胎滚动阻力系数；

$W$——汽车总重，N。

轮胎滚动阻力是汽车总行驶阻力的一部分。由轮胎滚动阻力造成的汽车燃料消耗约占20%，所以轮胎的滚动阻力对于汽车的燃料消耗有重大影响。通过多次试验得出，滚动阻力降低率与燃料消耗节约率约为4～5:1。即滚动阻力减小20%，则燃料节约率约为4～5%。图1-3-3表示了它们之间的关系。所以减小轮胎的滚动阻力对汽车节油有重大作用。

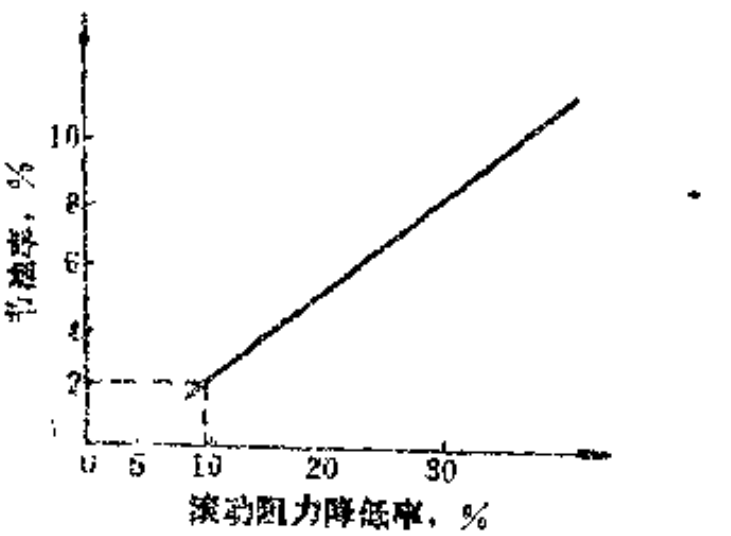



图 1-3-3 6.50R16轮胎
滚动阻力降低率和节油率的关系

### （一）影响轮胎滚动阻力的因素

轮胎滚动阻力受路面状况、汽车行驶速度、轮胎结构、气压和负荷等许多因素的影响。

1. 路面状况对滚动阻力的影响

轮胎局部滑移引起轮胎滚动时所产生的阻力随路面状况而变化，如表1-3-5[5]所示。

表 1-3-5 不同路面状况对轮胎滚动阻力的影响

| 路面状况 | 滚动阻力系数 | 路面状况 | 滚动阻力系数 |
|---|---|---|---|
| 良好平滑沥青铺装路 | ～0.010 | 整齐良好平坦未铺装路 | ～0.04 |
| 良好平坦混凝土铺装路 | ～0.011 | 修整不良多石子道路 | ～0.08 |
| 良好粗石混凝土铺装路 | ～0.014 | 新铺设碎石道路 | ～0.12 |
| 良好木块铺装路 | ～0.018 | 沙质或石质道路 | ～0.16 |
| 良好碎石铺装路 | ～0.020 | 松散沙地粘土道路 | ～0.2～0.3 |

2. 速度对轮胎滚动阻力的影响

轮胎的滚动阻力随车速而变化，其原因是由于轮胎变形而引起的内摩擦、轮胎胎面的局部滑移以及驻波的激能能量损失而造成的。此外高速时由于空气阻力而引起的滚动阻力也随之增加。图1-3-4表明了轮胎滚动阻力和速度的关系。

3. 轮胎结构类型对滚动阻力的影响

在同一使用条件下，轮胎滚动阻力随轮胎内部结构、断面形状和胶料性能而不同。图1-3-5表明普通斜交轿车轮胎、低断面斜交轿车轮胎和子午线轮胎等3种轮胎的滚动阻力对比。子午线轮胎在所有车速条件下，其滚动阻力都较斜交胎为低。

4. 轮胎使用气压和负荷对滚动阻力的影响

轮胎的滚动阻力随轮胎使用气压和负荷的不同而变化。图1-3-6表示出轮胎滚动阻力随气压变化的情况。图1-3-7表示出轮胎滚动阻力随负荷而变化的情况。

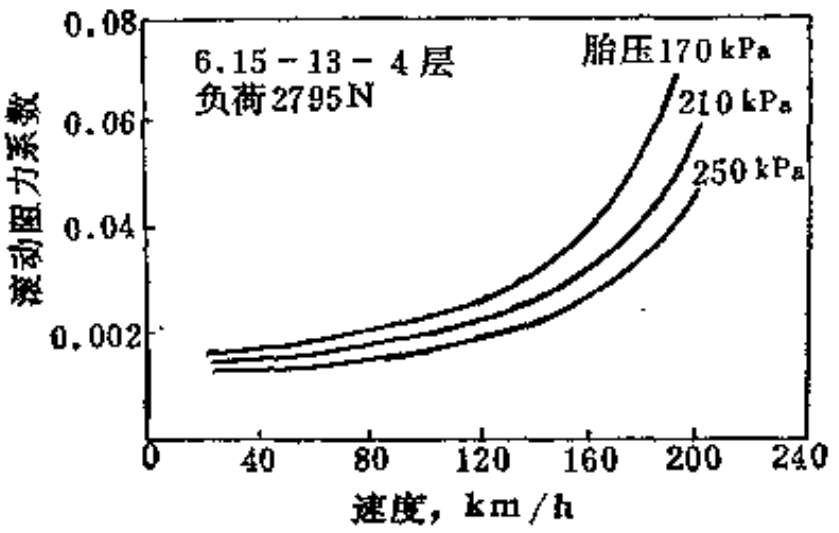



图 1-3-4　轮胎滚动阻力和速度的关系

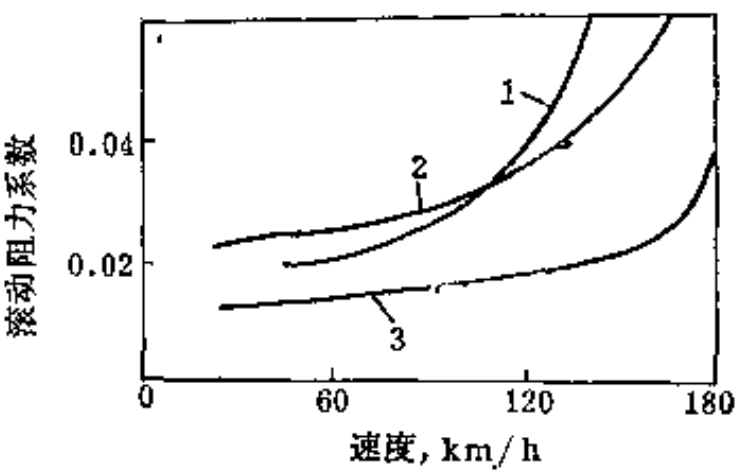



图 1-3-5　轮胎类型和结构对其滚动阻力的影响

1—5.60-13斜交轮胎；2—6.45-14宽断面斜交轮胎；3—175R14子午线轮胎

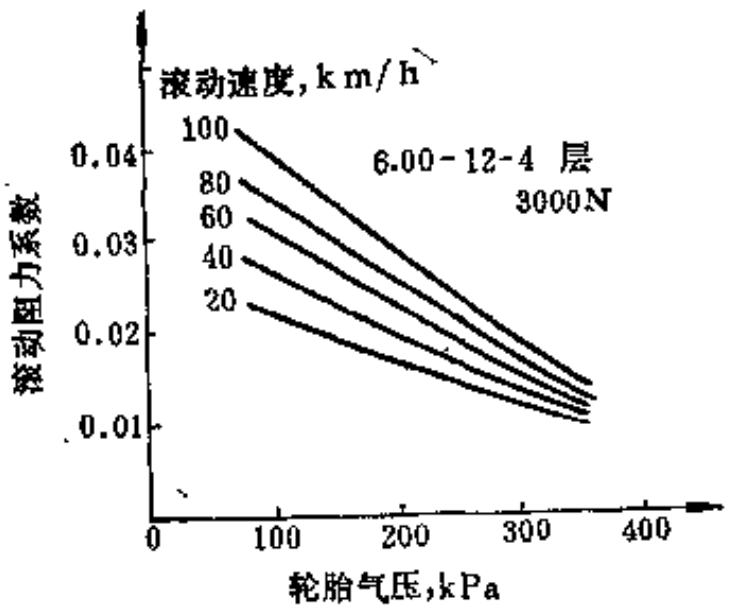



图 1-3-6　轮胎气压对其滚动阻力的影响

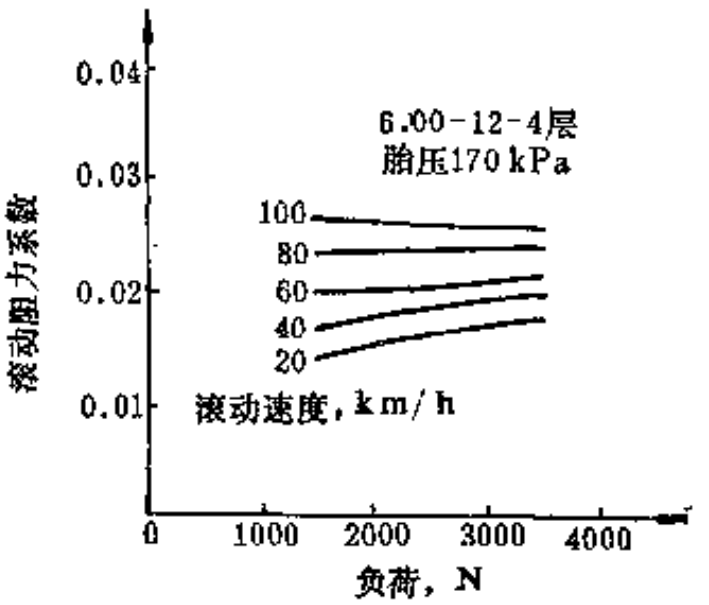



图 1-3-7　轮胎负荷对其滚动阻力的影响

5．车轮外倾角对轮胎滚动阻力的影响

轮胎的滚动阻力也受车轮外倾角的影响。当车轮外倾角增大时，轮胎滚动阻力随之增大。图1-3-8[4]表明6.00-16轮胎于不同气压时车轮外倾角对其滚动阻力的影响。

6．车轮前束对轮胎滚动阻力的影响

增大车轮前束时，滚动阻力所消耗的功率百分率急剧增加。当车轮前束角为4～5°时，车轮滚动所消耗的功率比直线行驶时大两倍。图1-3-9表明了轮胎滚动阻力和前束角的关系。

**（二）减小轮胎滚动阻力的措施**

减小轮胎滚动阻力是节约汽车燃料消耗的重要途径。可采取如下几种措施来减小轮胎的滚动阻力，以达到降低汽车燃料消耗的目的。

1．采用子午线结构的轮胎

子午线轮胎通常比斜交轮胎的滚动阻力低20～35%，故采用子午线轮胎可节油5～10%。一些新型轮胎的滚动阻力甚至比斜交轮胎的低50%。其节油率高达10%以上。表1-3-6和表1-3-7分别列出了6.50R16和9.00R20子午线轮胎和同规格斜交轮胎的对比试验数据。

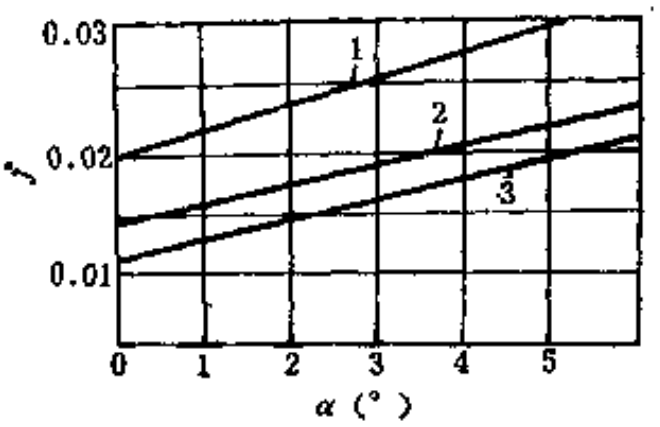



图 1-3-8 6.00-16轮胎的滚动阻力 $f$ 和车轮外倾角的关系

1—$P$=150kPa(1.5kgf/cm²); 2—$P$=200kPa (2.0kgf/cm²); 3—$P$=250kPa(2.5kgf/cm²)

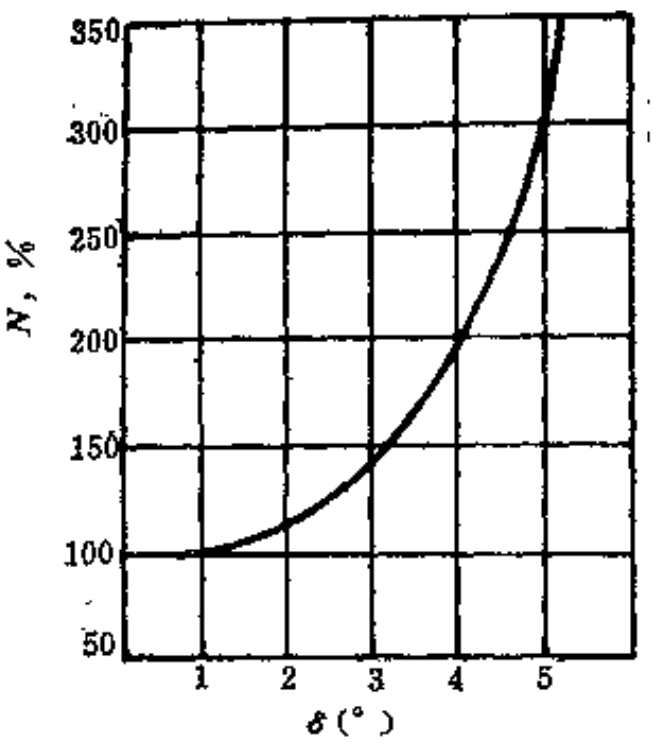



图 1-3-9 7.50-16轮胎滚动阻力和车轮前束角的关系

**表 1-3-6 6.50R16子午线轮胎和斜交轮胎的滚动阻力对比**

| 轮胎结构 | 气压 MPa(kgf/cm²) | 滚动阻力 kN(kgf) | 滚动阻力降低率，% | 百公里耗油量 L/100km | 节油率 % |
|---|---|---|---|---|---|
| 斜交轮胎 | 0.41(4.2) | 0.583(59.5) | 0 | 13.21 | 0 |
| 子午线轮胎 | 0.45(4.6) | 0.482(49.2) | 27.4 | 12.31 | 6.8 |

**表 1-3-7 9.00R20子午线轮胎和斜交轮胎的油耗对比试验数据**

| 项目 \ 轮胎类型 | 尼龙斜交轮胎 | 全钢丝子午线轮胎 代号(A) | 半钢丝子午线轮胎 | 全钢丝子午线轮胎 代号(B) |
|---|---|---|---|---|
| 规格 | 9.00-20 | 9.00R20 | 9.00R20 | 9.00R20 |
| 花纹 | 烟斗 | 烟斗 | 曲折 | 条形 |
| 胎体帘布层数 | 6层尼龙 | 1层钢丝 | 5层粘胶丝 | 一层钢丝 |
| 新胎重量，kg | 40.5 | 45 | 45.5 | 40.5 |
| 外直径，mm | 1021 | 1004 | 1021 | 1017 |
| 断面宽，mm | 249 | 236 | 240 | 246 |
| 耗油量：L/100km | 17.029 | 16.327 | 16.258 | 15.736 |
| 节油率，% | 0 | 4.2 | 4.6 | 7.6 |

2. 轮胎轻量化

轮胎的重量对其滚动阻力有直接影响。一方面轮胎的滚动阻力随着重量的减轻而减小。另一方面汽车行驶时需要加速，无论是线加速度或者角加速度都和轮胎的重量有关。根据试验得出轮胎重量减轻3～5%，可以节油1%左右。

3. 提高轮胎气压

适当地提高轮胎气压可以减小斜交轮胎的屈挠和层间剪切变形。因而斜交轮胎的滚动阻

力随气压的提高而有所减小。如图1-3-6所示。然而对于子午线轮胎来说，其滚动阻力随气压的变化却不甚显著。如：650R16子午线轮胎于不同气压时的燃料消耗试验表明，当轮胎气压从360kPa提高到420kPa时，燃料消耗有所下降，而从450kPa提高至560kPa时，其燃料消耗基本无甚变化（如图1-3-10所示）。

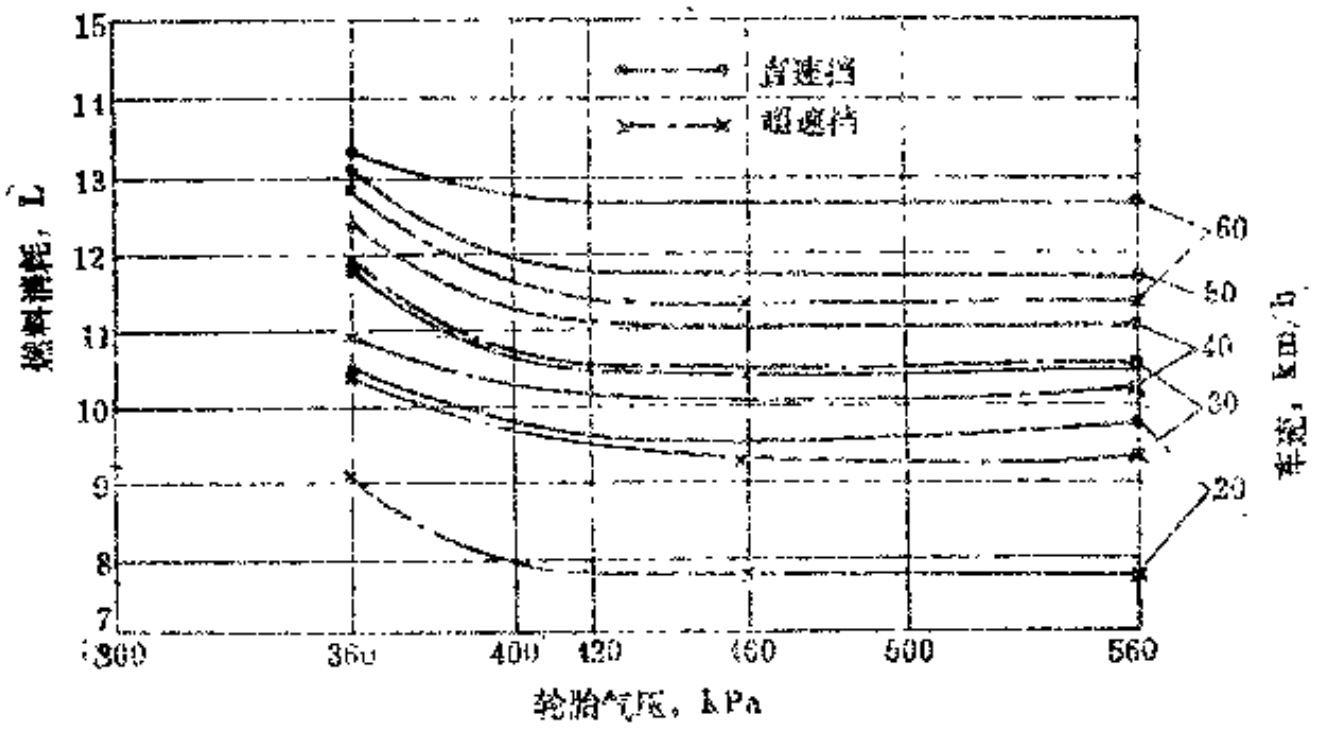



图 1-3-10　6.50R16子午线轮胎气压变化与燃料消耗的关系

此外，采用纵向曲折、条形花纹，减窄行驶面的宽度和减小花纹深度等都可以减小轮胎的滚动阻力。但采取这些措施时，必须考虑是否会影响轮胎的其它性能。

## 六、乘坐舒适性

乘坐舒适性是轮胎的一项重要性能，对于轿车和公共汽车等乘用汽车轮胎尤其如此。轮胎的乘坐舒适性能取决于轮胎的缓冲性能。缓冲性能就是轮胎充气和负荷条件下的变形性能。

现代充气轮胎其内腔充以压缩空气，它之所以优于实心轮胎就在于它有较大的弹性变形（径向、周向和侧向变形）。

径向变形可以吸收汽车在不平坦道路上的冲击，这对行驶时的乘坐舒适性最为有益。但过大的径向变形会导致骨架材料所受应力过大而疲劳，使胎体早期损坏。因此轮胎的径向变形必须根据使用条件控制在一定范围内。

子午线轮胎与斜交轮胎相比具有较好的缓冲性能。可使轮胎在超越障碍物时，能够更好地吸收冲击和振动，减小汽车的跳动，从而保证汽车行驶平稳和乘坐舒适。

降低轮胎的气压可以改善轮胎的缓冲性能。当汽车于坏路面上行驶时，轮胎的气压可以降低一些，有利于吸收冲击负荷和振动。增大轮胎的断面宽或增大充气容积也可以改善轮胎的缓冲性能和提高乘坐舒适性。

## 七、操纵稳定性

操纵稳定性是指汽车能否按照司机的意志迅速而可靠地动作。构成操纵稳定性的因素涉及到许多方面。除汽车本身的因素以外，涉及到轮胎方面的因素是轮胎的气压、转弯特性、自动回正力矩和侧偏刚度。

## 八、通过性能和牵引性能

轮胎的通过和牵引性能是保证汽车行驶的重要性能之一，是汽车在松软的土路、沙地、泥泞路和冰雪路行驶的必不可少的条件。轮胎的结构、类型、尺寸大小、气压和花纹都对其有一定的影响。

1．轮胎的结构

与斜交轮胎相比，子午线轮胎由于其接地面积大、滑移小，对路面有较好的附着力，但在泥泞路上行驶时由于轮胎的周向变形小，自洁性能不好，其效果不甚显著。

2．轮胎的尺寸

轮胎的通过性能和牵引性能与轮胎的尺寸有很大的关系。大直径或宽断面轮胎由于其接地面积较大，因而有较好的通过和牵引性能。

3．轮胎的气压

轮胎于硬路面上行驶，滚动阻力来自轮胎的变形。而轮胎于软路面如沙地或泥泞地上行驶，滚动阻力主要来自土壤的变形。在硬路面上行驶时，降低轮胎气压，虽然因轮胎与路面接触面积的增加而提高了轮胎与路面的附着力，但同时滚动阻力也随之增大。因面轮胎的牵引性能不一定会有所改善。当轮胎在软路面上行驶时，降低轮胎的气压，轮胎与路面的附着力增大，而滚动阻力减小，因而可有效地提高通过和牵引性能。

## 九、行驶安全可靠性能

随着汽车工业的发展，车速不断提高。为了减少交通事故，世界上许多国家都相继制订了安全标准。对汽车各部门规定了必需而且是最低限度的要求。例如：美国安全标准（FM-VSS）的名称是“联邦机动车辆安全标准”。其中“109”和“119”二个项目对轿车轮胎和载重汽车轮胎都做了具体的规定。标准中规定轮胎必须通过强力、耐久和高速试验（无内胎轮胎还需加上脱圈试验）合格后，在轮胎上标以“DOT”标记后，轮胎才能出厂。

为保证汽车行驶安全可靠，应对轮胎有如下要求。

① 严格执行轮胎质量标准，应按标准中规定的各项参数和质量要求，进行产品的设计和制造。轮胎在静负荷性能、物理机械性能和外观质量等项指标合格以后，还必须进行强度、耐久、高速和脱圈等试验的检验，达到指标以后，才说明轮胎质量达到了最低限度的安全可靠性指标。

② 各类轮胎尤其是越野轮胎必须具有一定的对路面附着性能。它对轮胎的制动性能、转向性能、通过性能和牵引性能都有很大的影响。

③ 高速汽车轮胎必须具有一定的防湿滑性能。汽车在湿路面上高速行驶时会发生水膜滑行现象，主要是在速度加快的同时，伴随着摩擦系数的急剧减小，致使转向盘和制动器无法操纵所致。高速汽车轮胎的胎而花纹和胶料配方，需要采取必要的防滑措施。

④ 磨耗标志　轮胎胎面过多的磨损会引起轮胎性能的降低。为保证安全起见，胎面花纹沟底部设有磨耗标志。当轮胎磨至表面出现磨耗标志时，就说明轮胎应该更换。

⑤ 使用与保养　轮胎使用时应注意经常检查轮胎的气压和磨损程度。更换新胎时千万注意不要把子午线轮胎和斜交轮胎混装在一起，尤其不能前轮装子午线轮胎，后轮装斜交轮胎。此外还要经常检查车轮的外倾和前束，以防轮胎异常磨损。轮胎不得缺气或超负荷使用，以防早期损坏或爆破。

## 第二节　汽车轮胎的分类

### 一、按用途分类

汽车轮胎按用途分为以下5类。

1．轿车轮胎

装于轿车上的轮胎，通常指乘员（包括司机）10人以下的汽车轮胎。这类轮胎主要在良好路面上高速行驶用，H级轮胎最高行驶速度可达210km/h[6]。

2．轻型载重汽车轮胎

通常指轮辋直径16in及其以下，断面宽9in及其以下的载重汽车轮胎。这类轮胎主要行驶于公路，行驶速度一般可达80～100km/h[1,7]。

3．载重和公共汽车轮胎

通常指轮辋直径18～24in，断面宽7in及其以上的载重汽车、自卸货车、各种专用车和拖车等轮胎。其行驶路面较为复杂，有良好的柏油路，也有较差的碎石路、泥土路、泥泞路、冰雪路，甚至无路面条件等。其行驶速度通常不超过80km/h[1,7]。

4．越野汽车轮胎

越野汽车为前后轮驱动。主要行驶于坏路面如沙漠或其它无路面道路。越野汽车轮胎的气压较低。有的为可调压轮胎，根据路面条件调整轮胎气压的大小。要求轮胎具有较高的通过性能。

5．矿山或伐木用载重汽车轮胎

这类轮胎主要用于矿区或林区的短途运输、行驶速度不高，但路面条件苛刻。要求轮胎具有较好的抗刺扎和耐切割性能。

### 二、按有无内胎分类

汽车轮胎按有无内胎可分为有内胎轮胎和无内胎轮胎两类。

1．有内胎轮胎

通常汽车轮胎由外胎、内胎和垫带3部分组成。内胎为装有汽门嘴的环形胶筒，装在外胎与轮辋之间，用以充内压空气。充气轮胎就是靠此压缩空气来承受载荷和获得弹性的。内胎规格与其所装配的外胎相同。气门嘴型号及长度规定于各类轮胎的标准中。

2．无内胎轮胎

这种轮胎不配备内胎，空气直接充入轮胎的内腔。无内胎的气密性能是靠外胎内腔的气密层以及外胎胎圈紧密地着合于专门结构的轮辋上面获得的。气密层通常由两层以上薄胶片贴合而成。此胶片贴合于外胎的内表面，其作用是防止空气通过胎壁扩散。无内胎轮胎的气密层要求有良好的气密性，耐热老化，高弹性和抗撕裂等性能。通常用丁基橡胶、氯化丁基橡胶或溴化丁基橡胶制造。气密层胶片厚度约为1.0～3.0mm。

无内胎轮胎的优越性在于其不仅可以提高行驶安全性，并且因其比较柔软，还可改善轮胎的缓冲性能。

### 三、按结构分类

汽车轮胎按其结构可分为以下几类。

1．斜交轮胎

胎体帘布层一般与径向呈48～55°的角度，相邻两层帘布互相交叉排列呈菱形。胎体帘布层是承受内压、负荷、径向力、牵引力和制动力等的主要部件。缓冲层位于胎面和胎体帘布层之间，其帘线角度通常等于或略大于胎体帘线的角度。缓冲层的作用是缓冲来自胎面的冲击负荷，分散胎体所承受的应力。斜交结构轮胎目前在载重汽车轮胎中仍占较大比例，品种规格最多，斜交轮胎的结构见图1-3-11(a)

2．子午线轮胎

子午线轮胎与斜交轮胎的根本区别是胎体帘线的角度与径向呈零度，相邻层的帘线不是相交而是互相平行的。其断面结构如图1-3-11(b)所示。这种结构的帘线不能承受轮胎的周向应力，所以于轮胎冠部，胎面和胎体之间配置了起箍紧作用的带束层。带束层承受内压伸张应力的60～75%(斜交结构轮胎胎体承受80～90%)。所以带束层必须具有相当的强度。带束层通常由数层钢丝帘布组成。其帘线排列角度与径向成70～80°交角。子午线轮胎由于具有节油、耐磨、行驶里程高、操纵稳定性能好和附着性能优良等一系列优点，其在轮胎中所占的比例日增，为轮胎的发展方向。

3．活胎面轮胎

活胎面轮胎系子午线轮胎的一个分支，它由二个独立的构件组成。即帘线呈子午向排列的胎体和帘线接近周向排列的可更换胎面。胎面也称胎条，有整胎条和多胎条之分。整胎条由于具有强力高，不易断条和掉块等优点，所以一般多采用整胎条结构。活胎面轮胎的断面结构如图1-3-12所示。

活胎面轮胎属于子午线结构，所以它具有子午线轮胎的一些优点。此外，其胎条是活

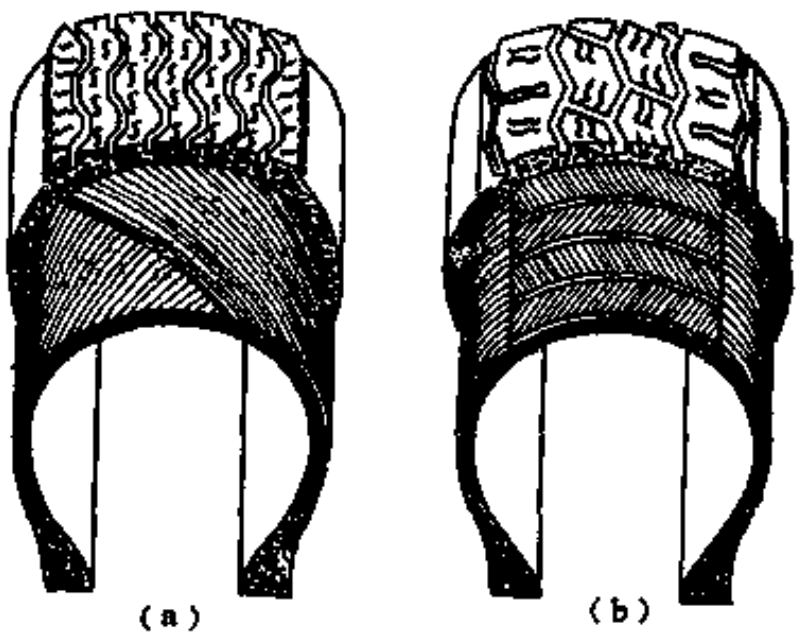



图 1-3-11 斜交和子午线轮胎断面结构
（a）斜交轮胎；（b）子午线轮胎

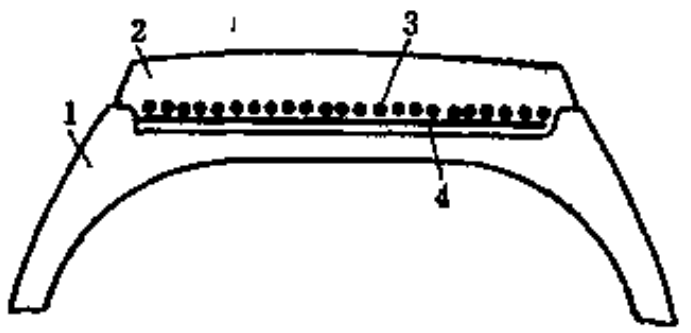



图 1-3-12 活胎面轮胎断面结构
1—胎体；2—胎条；3—钢丝增强层；4—附加层（帘线排列与胎体相似）

的，更换方便。可以根据不同路面条件换用适宜的胎面花纹。但是活胎面轮胎存在胎条早期钢丝折断、胎条和胎体之间相互磨损等问题，有待今后改进。与子午线轮胎相比，活胎面轮胎的技术经济效果，技术成熟程度、原材料消耗和价格等综合性能都比不上子午线轮胎，因此其发展缓慢。

4．拱形轮胎

为提高轮胎在坏路面上的通过性能，苏联研制了一种拱形轮胎。这种轮胎的特点是断面宽较大，为其外径的50～60%[3]。内压较低为50～200kPa (0.5～2.0kgf/cm²)。轮胎的接地面积较宽，如同二个接合在一起的轮胎。这种轮胎在硬路面上的径向变形为断面高的25～30%，而普通轮胎仅为12～18%。当轮胎承受负荷时，与路面接触的中间部分向内弯曲，使

软土密集在接触面中心，从而增加土壤的抗剪力，而使汽车能在装用普通轮胎所不能行驶的松软路面如沼泽地、沙漠及雪地等特殊条件下使用。拱形轮胎的形状见图1-3-13。装在轮辋上的轮胎断面形状见图1-3-14。



图 1-3-13　拱形轮胎

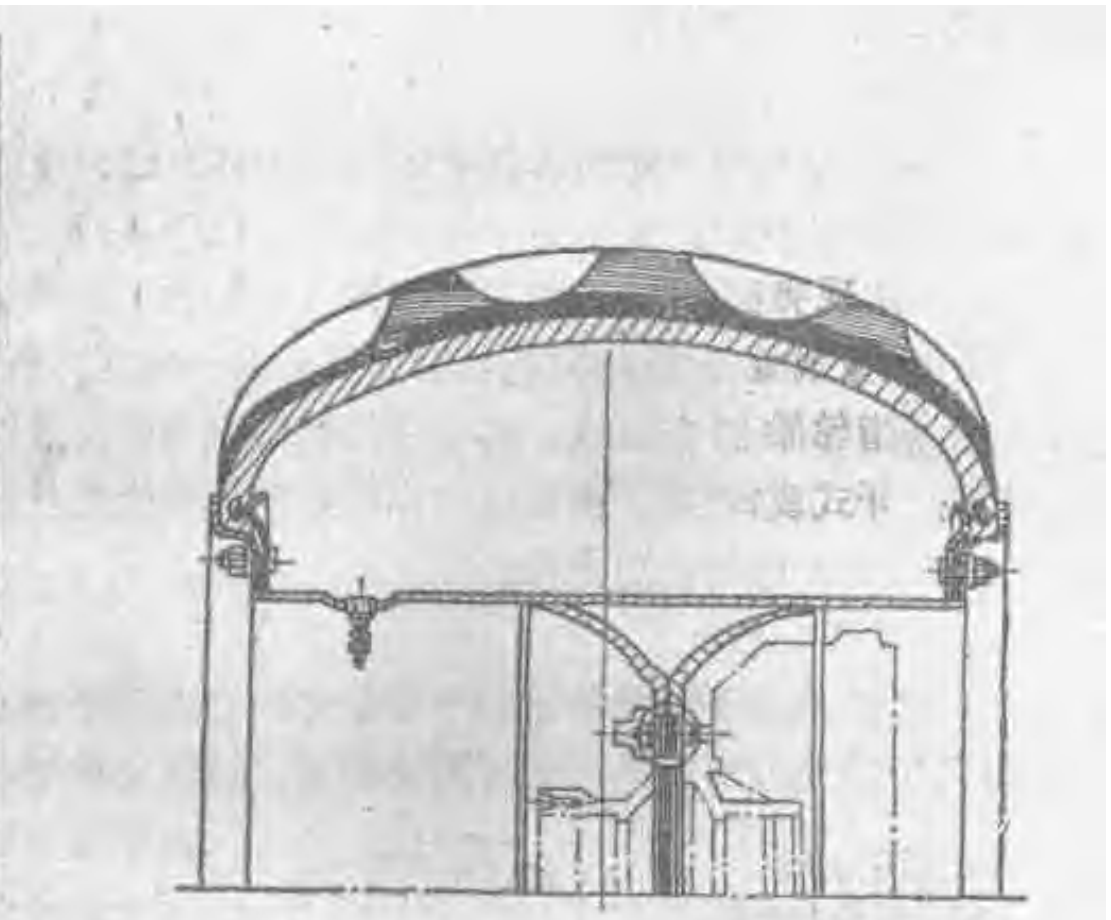


图 1-3-14　拱形轮胎断面形状

5．椭圆形轮胎

椭圆形轮胎的外径与内径都不大。轮胎的外径和内径的比约为4比1。其断面宽大于外直径，可达外直径的1.5倍。椭圆形轮胎能使汽车可靠地在承载能力很低的土壤上行驶。但这种轮胎不适于在硬路面使用，其形状如图1-3-15所示。

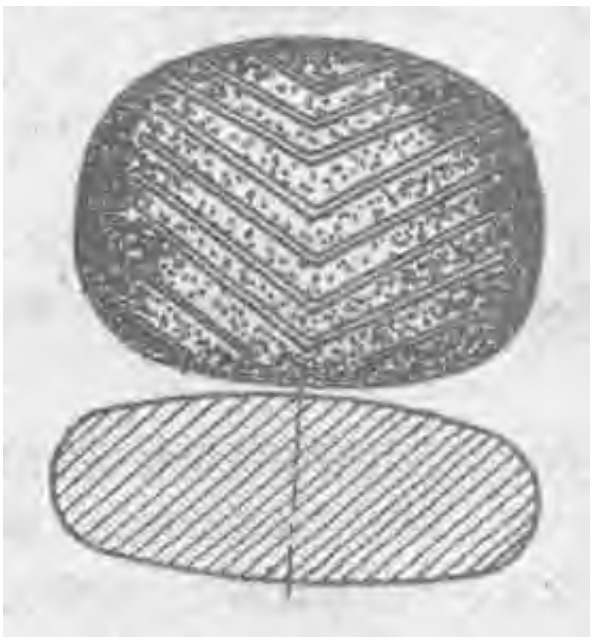


图 1-3-15　椭圆形轮胎

## 第三节　载重汽车轮胎

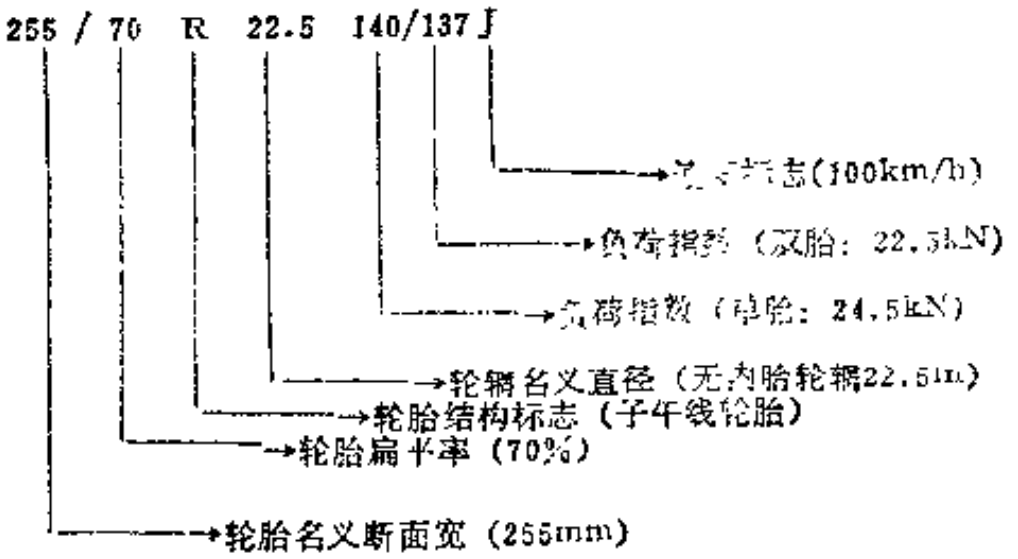
载重汽车轮胎包括载重汽车、公共汽车和公路用的拖车轮胎。由于其品种繁多，用途广泛，为汽车轮胎中的一个重要品种，在我国尤其如此，其产量占各类轮胎的首位。

### 一、载重汽车轮胎的分类和标志

载重和公共汽车轮胎依据其大小分为微、轻、中、重型轮胎，依据其结构分为斜交轮胎和子午线轮胎等。不同类型的轮胎其规格标志各异，现分述如下。

#### （一）ISO国际标准轮胎规格标志

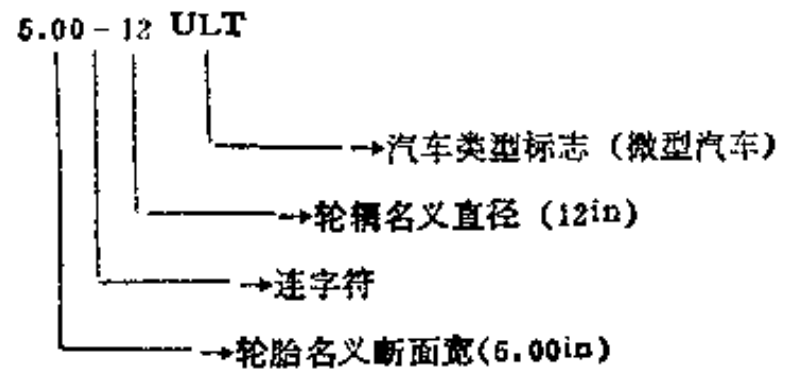
按ISO国际标准所规定的轮胎规格标志，举例及说明如下。




## （二） 现有英制规格标志

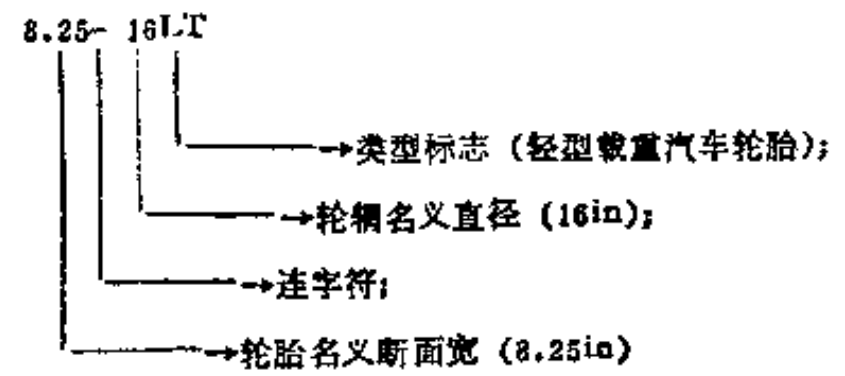
1．微型载重汽车轮胎

通常指轮胎名义断面宽4.50～5.00in，轮辋名义直径10～12in的小型载重汽车轮胎。通常装在对开式或深槽轮辋上，其规格标志举例如下。




2．轻型载重汽车，拖车和多用客车轮胎

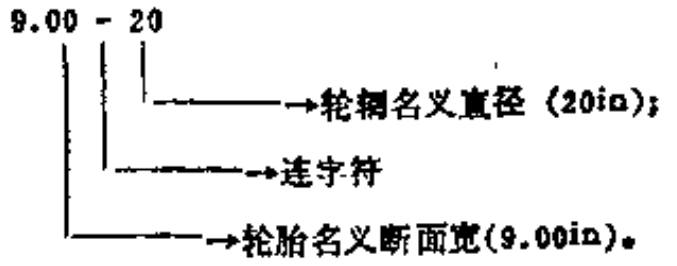
这类轮胎通常装于5 深槽或半深槽轮辋上，多在公路上行驶。其轮辋直径一般在16in以下，名义轮胎断面宽在9.00in以下的轮胎。其规格标志举例如下：



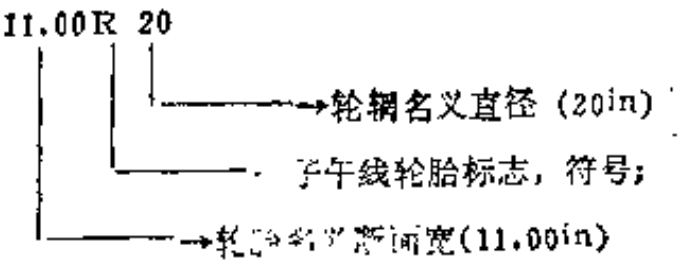

3．载重和公共汽车轮胎

通常指轮辋名义直径为18～24in，断面宽为7.5～14in的中型和重型载重和公共汽车轮胎。该轮胎装于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型轮辋上，主要用于公路行驶。如9.00-20斜交轮胎，11.00R20子午线轮胎等。

（1）斜交轮胎




（2）子午线轮胎




4．无内胎轮胎

（1）轻型载重汽车无内胎轮胎　装于15°深槽式轮辋，其轮辋名义直径比同级有内胎轮胎所装配轮辋大1.5in，其断面宽除6.50in以外比同级有内胎轮胎大1in。并且断面宽尺寸后的小数位不补零。其规格标志及其相应同级有内胎轮胎的规格列于表1-3-8。

表 1-3-8　轻型载重汽车无内胎轮胎规格

| 无内胎轮胎规格 | 相应有内胎轮胎规格 |
|---|---|
| 7-17.5 | 6.50-16 |
| 8-17.5 | 7.00-16 |
| 8.5-17.5 | 7.50-16 |
| 10-17.5 | 9.00-16 |

（2）载重汽车无内胎轮胎　载重汽车无内胎轮胎的轮辋直径比同级有内胎轮胎大2.5in，轮胎断面宽除7.50和8.25两个规格以外比同级有内胎轮胎大1in。其断面宽以整数表示，并且小数点后不再补零。其规格标志列于表1-3-9。

表 1-3-9　载重和公共汽车无内胎轮胎规格

| 无内胎轮胎规格 | 相应有内胎轮胎规格 |
|---|---|
| 8-22.5 | 7.50-20 |
| 9-22.5 | 8.25-20 |
| 10-22.5 | 9.00-20 |
| 11-22.5 | 10.00-20 |
| 12-22.5 | 11.00-20 |
| 13-22.5 | 12.00-20 |

5．其它载重汽车轮胎标志

ML为矿山和林业用载重汽车轮胎；

HT为重型载重汽车轮胎；

MH为家庭旅游汽车轮胎；

ST为公路行驶拖车轮胎。

## 二、载重汽车轮胎的轮辋

载重汽车轮胎常配轮辋[8]的类型如下。

（1）半深槽式轮辋(SDC)　半深槽轮辋适用于轻型载重汽车和轻型越野汽车的轮胎。

（2）平底轮辋（FB）　平底轮辋包括Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型，适用于中、重型载重汽车、越野汽车、自卸汽车、公共汽车及其它专用车的轮胎。

（3）15°深槽轮辋　底部倾斜度为15°的深槽轮辋为载重汽车无内胎的专用轮辋。

上述三类轮辋的轮廓及尺寸见汽车轮辋规格系列标准（GB3487—83）。

## 三、载重汽车轮胎和轮辋的标准及其系列

1．国家标准的名称和代号

① 载重汽车轮胎标准，代号为GB516—82；

② 载重汽车轮胎系列，代号为GB2977—82；

③ 轮胎外观质量标准，代号为GB520—82；

④ 汽车轮辋规格系列，代号为GB3487—83；

2．国外轮胎标准的名称和代号

① 国际标准中的载重汽车轮胎和轮辋标准，代号为ISO4209/1和ISO4209/2。

② 美国轮胎和轮辋标准，代号为TRA手册。

③ 欧洲轮胎和轮辋标准，代号为ETRTO手册。

④ 日本轮胎和轮辋标准，代号为JATMA手册。

## 四、载重汽车轮胎的结构设计特点

### （一）设计前需要收集的资料

在进行载重汽车轮胎结构设计之前，要收集以下几方面的资料：

① 所配汽车的简要技术性能及其对轮胎的要求；

② 轮胎的发展趋势；

③ 轮辋型号及其轮廓尺寸；

④ 汽车后轮双轮中心距离；

⑤ 国内外轮胎标准；

⑥ 同类轮胎的充气及负荷下的变形特性；

⑦ 所选用原材料，尤其是骨架材料的性能；

⑧ 轮胎的使用条件。

根据上述资料拟定新设计轮胎的技术经济指标以及为达到该指标所采取的技术路线。

### （二）载重汽车轮胎的负荷计算及举例

1．装于平式轮辋Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型上的载重汽车轮胎的计算公式[9]及计算示例

应用公式如下。

$$W=K\times 0.425\times P^{0.585}\times S^{1.39}\times (D_R+S) \tag{1-3-3}$$

$$S=S_i[180^\circ-\sin^{-1}(W_i/S_i)]/141.3^\circ \tag{1-3-4}$$

式中　$W$——负荷，lbf；

$K$——负荷系数，$K=1.1$（双胎）；

$P$——内压，psi；

$D_R$——轮辋名义直径，in；

$S$——装于62.5%轮辋上的轮胎断面宽，in；

$W_i$——设计轮辋宽度，in；

$S_i$——装在设计轮辋上的新胎断面宽，in。

单胎负荷为双胎负荷的1.14倍并相应增加气压10psi。

无内胎轮胎的负荷与其相应的有内胎轮胎相同。

以11.00-20轮胎为例计算其负荷如下。

已知：$S_1=11.55$in，$W_1=8.00$in，$P=105$psi，$D_R=20$in。

将$K$，$S_1$，$W_1$，$P$和$D_R$的值分别代入式（1-3-3）和式（1-3-4），得：

$$S=S_1[180^\circ-\sin^{-1}(W_1/S_1)]/141.3^\circ=11.55[180^\circ-\sin^{-1}(8.0/11.55)]/141.3^\circ$$
$$=11.13\text{in}。$$

$$W(D)\text{(双胎负荷)}=K\times0.425\times P^{0.585}\times S^{1.39}(D_R+S)$$
$$=1.1\times0.425\times105^{0.585}\times11.13^{1.39}\times(20+11.13)=6310\text{lbf}$$

当用公制计算时需乘以公制换算系数0.231，此时

$$W=0.231K\times0.425\times P^{0.585}\times S^{1.39}(D_R+S)\qquad(1-3-5)$$

式中 $W$——负荷，kgf；

$K$——负荷系数，$K=1.1$（双胎）；

$P$——内压，kgf/cm²；

$D_R$——轮辋名义直径，cm；

$S$——装于62.5%轮辋上的轮胎断面宽，cm；

$W_1$——设计轮辋宽度，cm；

$S_1$——装在设计轮辋上的新胎断面宽，cm。

2．装于5°深槽或半深槽轮辋上的轻型载重汽车轮胎和ST轮胎的负荷计算应用公式如下。

$$W=K\times0.425\times P^{0.585}\times S_d^{1.39}(D_R+S_d)\qquad(1-3-6)$$

式中 $S_d=S-0.637d$，in；（1-3-7）

$d=0.96S_{.70}-H$，in；（1-3-8）

$S_{.70}=S_1[180^\circ-\sin^{-1}(W_1/S_1)]/135.6^\circ$，in；（1-3-9）

$H$——轮胎设计断面高，in；

$K$——负荷系数，$K=1.197$（单胎）；

$W(D)=0.88W(S)$。

以6.50-16轮胎为例计算如下。

已知：$S_1=7.15$in，$W_1=4.5$in，$H=6.87$in，$P=75$psi，$D_R=16$in。

将$S_1$、$W_1$、$H$、$P$、$D_R$和$K$的值分别代入式（1-3-6）～式（1-3-9），得：

$$S=S_1[180^\circ-\sin^{-1}(W_1/S_1)]/141.3=7.15[180^\circ-\sin^{-1}(4.5/7.15)]/141.3^\circ$$
$$=7.13\text{(in)}$$

$$S_{.70}=S_1[180^\circ-\sin^{-1}(W_1/S_1)]/135.6^\circ=7.15[180^\circ-\sin^{-1}(4.5/7.15)]/135.6^\circ$$
$$=7.43\text{(in)}$$

$$d=0.96S_{.70}-H=0.96\times7.43-6.87=0.267\text{(in)}$$

$$S_d=S-0.637d=7.13-0.637\times0.267=6.96\text{(in)}$$

$$W(S)=1.197\times0.425\times P^{0.585}\times S_d^{1.39}(D_R+S_d)=1.197\times0.425\times75^{0.585}\times6.96^{1.39}$$
$$(16+6.96)\ =2165\text{(lbf)}$$

$$W(D)=0.88W(S)=1905\text{(lbf)}$$

即$W(S)=9.630$kN，

$W(D)=8.474$kN。

3. 宽基轮胎和装于15°深式轮辋14.5in和17.5in以上的轮胎负荷计算

负荷计算的应用公式如下：

$$W = K \times 0.425 \times P^{0.585} \times S_d^{1.39}(D_R - 0.50 + S_d) \qquad (1\text{-}3\text{-}10)$$

式中 $K$——负荷系数；

$K$=1.285(8、9－14.5LT单胎)

$K$=1.30(8－17.5LT单胎)

$K$=1.25（宽基轮胎）

$$d = 0.96S_{.70} - H + 0.25 \qquad (1\text{-}3\text{-}11)$$

$$W(D) = 0.88W(S)$$

4. 装于5°深式或半深式轮辋上的78系列轻型载重汽车轮胎和装于5°深式轮辋上的宽基轮胎的负荷计算

应用公式如下：

$$W = K \times 0.425 \times P^{0.585} \times S_d^{1.39}(D_R + S_d)$$

$$S_d = S - 0.637\,d$$

$$d = 0.96S_{.70} - H \text{（78系列）}$$

$$d = 0.96S_{.70} - 1.01H \text{（宽基）} \qquad (1\text{-}3\text{-}12)$$

**（三）载重汽车轮胎的外轮廓设计**

1. 轮胎模型及充气尺寸的代号

（1）模型各部尺寸代号　模型各部尺寸代号见图1-3-16，为便于说明，各部位尺寸以字母表示。

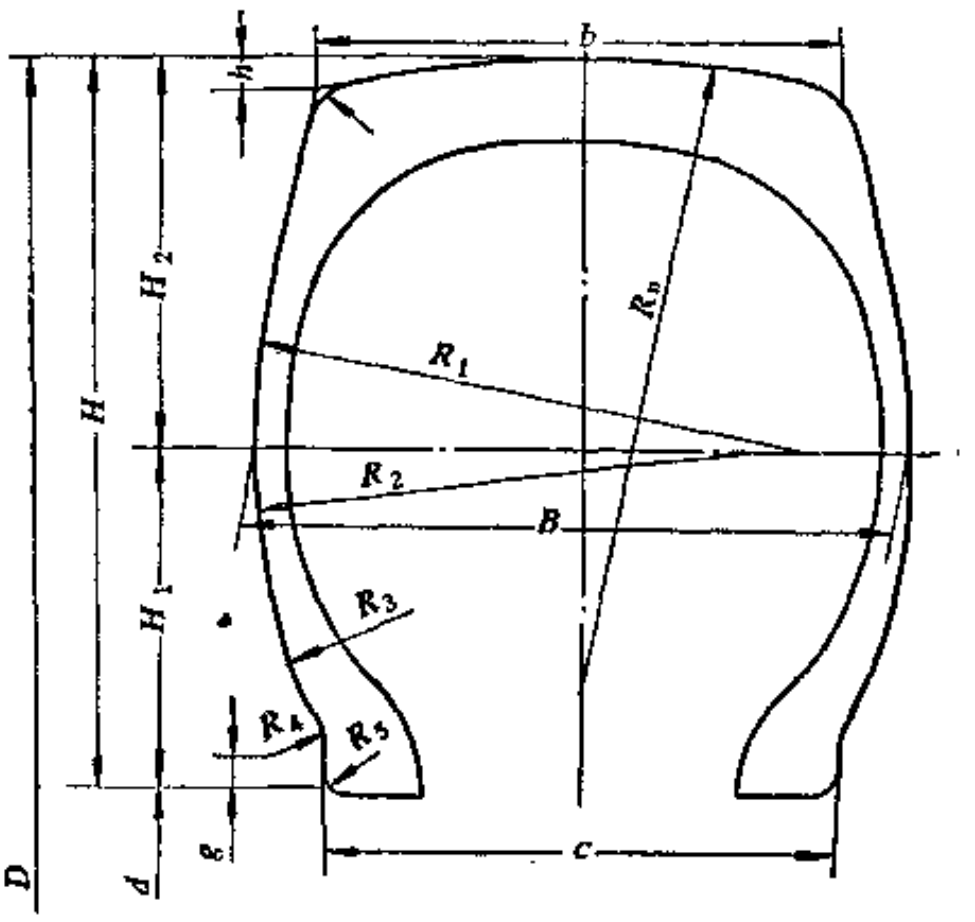



图 1-3-16　轮胎模型各部尺寸代号

$D$—外直径，mm；$B$—断面宽，mm；$H$—断面高，mm；$c$—两胎圈间距离，mm；$b$—行驶面弧度宽，mm；h—行驶面弧度高，mm；$H_1$—断面中心线以下断面高，mm，$H_2$—断面中心线以上断面高，mm

（2）轮胎充气尺寸代号

$D_0$——气压为零时轮胎的直径，mm；

$B_0$——气压为零时轮胎的断面宽，mm；

$D'$——充气轮胎外直径，mm；

$B'$——充气轮胎断面宽，mm；

$B_1$——负荷下轮胎断面宽，mm；

$H'$——充气轮胎断面高，mm；

$b_1$——负荷下轮胎胎面接地宽度，mm；

$f$——下沉量，mm，$f=(H'-H_1)$。

2．轮胎断面高宽比

轮胎断面高宽比系指装于70%轮辋的新胎设计断面高与断面宽之比，常以百分率表示，它是轮胎轮廓的标志之一。随着子午线轮胎的发展，轮胎断面轮廓趋向于扁平化即向低断面方向发展。载重汽车轮胎也不例外。轻型载重汽车轮胎已有70、75、78和85系列的低断面轮胎。中型以上的轮胎也发展到80、70系列轮胎。表1-3-10和表1-3-11列举了部分公路行驶的轻型和中、重型载重汽车轮胎的断面高宽比的比值。

表 1-3-10 轻型载重汽车轮胎断面高宽比

| 轮胎规格 | 装于70%轮辋上的新胎设计断面宽，mm | 新胎设计断面高，mm | 断面高宽比 |
|---|---|---|---|
| 6.00-16LT | 178 | 163 | 0.92 |
| 6.50-16LT | 189 | 175 | 0.92 |
| 6.70-15LT | 194 | 170 | 0.88 |
| 7.00-15LT | 203 | 186 | 0.92 |
| 7.10-15LT | 206 | 179 | 0.87 |
| 7.50-15LT | 220 | 201 | 0.91 |
| 7.50-16LT | 220 | 201 | 0.91 |
| 9.00-16LT | 265 | 242 | 0.92 |

表 1-3-11 中重型载重汽车轮胎断面高宽比

| 轮胎规格 | 装于70%轮辋上的新胎设计断面宽，mm | 新胎设计断面高，mm | 断面高宽比 |
|---|---|---|---|
| 7.00-20 | 199 | 198 | 0.99 |
| 7.50-20 | 213 | 214 | 1.00 |
| 8.25-20 | 238 | 235 | 0.99 |
| 9.00-20 | 261 | 255 | 0.98 |
| 10.00-20 | 281 | 273 | 0.97 |
| 11.00-20 | 295 | 288 | 0.97 |
| 12.00-20 | 318 | 308 | 0.97 |
| 13.00-20 | 346 | 334 | 0.97 |
| 14.00-20 | 379 | 366 | 0.89 |

轮胎断面高宽比是轮胎的一个重要参数，它对轮胎性能有如下影响：

① 低断面轮胎具有较好的行驶稳定性和乘坐舒适性；

② 低断面轮胎具有较小的滚动阻力；

③ 低断面轮胎其轮辋宽度和行驶面都较宽，因而具有较好的耐磨性能和对地面的附着性能。

3．轮胎模型尺寸的设计

轮胎充气后的外缘尺寸必须符合国家或国际标准所限定的尺寸及范围。国家标准中轮胎的充气外缘尺寸公差外直径为±1%，断而宽为±3%。为了能准确地设计出模型尺寸使硫化后的轮胎达到予定的外缘尺寸指标，首先必须收集有关轮胎充气前后外缘尺寸变化的资料，分析其规律。然后通过计算和经验确定有关模型尺寸，绘制轮胎材料分布图及内外轮廓曲线。

随着电子计算机的发展，已能应用计算机进行辅助设计。根据帘线的性能，可以绘制不同帘线角度和其它施工参数的充气轮廓曲线，面后加以优选。因为轮胎充气后的轮廓除了受模形尺寸的影响以外，还要受帘线性能、施工设计和工艺条件等多种因素的影响。所以，既使使用电算机进行计算和绘图，但其边界条件仍凭经验或经验系数来选定。因而收集和分析有关这方面的资料是很重要的。

表1-3-12列举了一些厂家生产的9.00-20及11.00-20轮胎的充气前后外缘尺寸变化情况。

表 1-3-12 载重汽车轮胎充气前后尺寸的变化

| 规格 | 轮辋型号 | $C/B$ | $B$ | $D$ | $H$ | $H/B$ | $B'$ | $D'$ | $D'/D$ | $B'/B$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9.00-20(A) | 7.0 | 0.782 | 232 | 1022 | 256.5 | 1.105 | 253 | 1016 | 0.994 | 1.089 |
| 9.00-20(B) | 7.0 | 0.774 | 230 | 1015 | 253.0 | 1.100 | 256 | 1019 | 1.003 | 1.113 |
| 9.00-20(C) | 7.0 | 0.763 | 233 | 1019 | 255.0 | 1.094 | 253 | 1014 | 0.995 | 1.085 |
| 9.00-20(D) | 7.0 | 0.748 | 238 | 1018 | 254.5 | 1.069 | 258 | 1015 | 0.997 | 1.084 |
| 9.00-20(E) | 7.0 | 0.781 | 226 | 1020 | 257.0 | 1.127 | 256 | 1021 | 1.001 | 1.132 |
| 9.00-20(F) | 7.0 | 0.759 | 224 | 1024 | 256.0 | 1.143 | 252 | 1013 | 0.989 | 1.124 |
| 11.00-20(A) | 8.0 | 0.748 | 254 | 1094 | 292.5 | 1.152 | 286 | 1084 | 0.990 | 1.126 |
| 11.00-20(B) | 8.0 | 0.781 | 260 | 1078 | 284.5 | 1.094 | 284 | 1075 | 0.997 | 1.092 |
| 11.00-20(C) | 8.0 | 0.772 | 264 | 1084 | 287.5 | 1.089 | 285 | 1090 | 1.005 | 1.080 |
| 11.00-20(D) | 8.0 | 0.736 | 258 | 1090 | 290.5 | 1.126 | 284 | 1088 | 0.998 | 1.100 |
| 11.00-20(E) | 8.0 | 0.774 | 262 | 1090 | 290.0 | 1.106 | 287 | 1079 | 0.990 | 1.095 |

（1）模型断面宽的选取　首先根据轮胎标准或使用者的要求，确定轮胎充气断面宽。在符合标准要求的前提下，轮胎充气断面宽应选取在规定范围内的中值或稍偏下公差。这是为了考虑帘线性能或工艺条件的波动，轮胎使用后的膨胀以及双胎间距等问题。

轮胎充气后的断面宽受模型尺寸、$H/B$、$C/B$、帘线角度和帘线性能的影响，一般说来有如下规律：

① 模型设计参数$H/B$值越大，则$B'/B$值即充气后的膨胀越大；

② 模型设计参数$C/B$值越大，则$B'/B$值越小；

③ 胎冠角度越大，则$B'/B$值越大；

④ 帘线伸长越大，则$B'/B$值也越大；

⑤ 当轮胎装于非设计轮辋宽度时，轮辋宽度每增加或减小1in，则充气断面宽增加或减小10mm。

根据试验和上述规律选取适当的$B'/B$值，则模型断面宽$B=B'/(B'/B)$。

以11.00-20轮胎为例，根据轮胎标准充气断面宽为293±9mm。如选定充气断面宽为288mm，$B'/B$为1.09。则模型断面宽$B=288/1.09=264$(mm)。

（2）模型外直径的选取　首先根据轮胎标准中规定的充气外直径尺寸及其公差范围，选定轮胎的充气外直径。如11.00-20轮胎其充气外直径为1085mm，公差为±9mm，即充气外直径可在1074～1096mm之间。若选取中值1085mm，并根据表1-3-12选取参数$D'/D$为0.997，则模型外直径$D=D'/0.997=1085/0.997=1088$(mm)。

参数$D'/D$值对轮胎充气外直径的影响为：

当$D'/D>1$时，轮胎充气后外直径收缩；

当$D'/D<1$时，轮胎充气后外直径膨胀。

子午线轮胎，因有刚性带束层的箍紧，其充气后外直径[illegible]$D'/D$。

（3）轮胎模型断面高宽比　载重汽车轮胎的$H/B$值一般取稍大于1，这是为了使轮胎充气后外直径略有收缩，以便获得较好的耐磨性能和抗侧轧性能。

许多试验资料表明，充气轮胎断面宽与模型断面宽的比即$B'/B$值与模型断面高宽比的值相近似。斜交载重轮胎的$H/B$值一般为1.05～1.10，子午线轮胎的$H/B$值为0.95～1.05。

（4）模型两胎圈间距离的设计　载重汽车轮胎和轿车轮胎两者在[illegible]断面和宽轮辋方向发展。宽轮辋轮胎具有较好的耐磨性能、行驶稳定性和乘坐舒适性。

轮胎硫化模型两胎圈间距离一般设计为等于或小于轮辋宽度0.5in。轮胎模型两胎圈间距离$C$和模型断面宽$B$的比即$C/B$值，过去普通载重轮胎为0.69～0.70，子午线轮胎为0.70～0.73。随着宽轮辋的发展$C/B$值已突破上述范围达到了0.75～0.78，如表1-3-12所示。

美国TRA中轮辋宽与轮胎断面宽的比见表1-3-13。

**表 1-3-13　轮辋宽与轮胎断面宽的比例**

| 轻型载重汽车轮胎 | | 载重和公共汽车轮胎 | |
|---|---|---|---|
| 类　别 | 比例范围，% | 类　别 | 比例范围，% |
| 普通结构 | 65～80 | 普通结构 | 65～75 |
| "78"系列 | 65～80 | 15°深式轮辋 | 70～80 |
| LT公制 | 65～80 | 宽基(5°和15°) | 70～80 |
| 宽基(5°和15°) | 70～85 | HT公制 | 70～80 |
| 高通过性 | 70～85 | | |

（5）轮胎行驶面宽度$b$和弧度高$h$的选取　轮胎的胎面弧度对轮胎的耐磨性能，与地面的附着性能、行驶稳定性以及滚动阻力等有着极其重要的影响。

胎面弧度设计的主要原则是使轮胎在充气和负荷下滚动时，胎面行驶面部位应尽可能地在全宽范围内接地，并且接地面上各点的单位压力分布均匀。以便获得较好的耐磨和附着性能。

表1-3-14列出了一些轻型和中重型载重汽车轮胎的接地面宽和断面宽的关系。

从表1-3-14可以看出轻型载重汽车轮胎的$b_1/B'$值显然小于中重型载重汽车轮胎。这是由于轻型载重汽车的行驶速度较高，要求有较小的滚动阻力，而中重型载重汽车轮胎则要求有较高的耐磨性能和使用寿命。

尽可能增加行驶面的宽度和减小其曲率有利于增大轮胎的接地面积和提高胎面的耐磨性

表 1-3-14 载重汽车轮胎的接地面宽度

| 规　格 | $C$, mm | $B'$, mm | $b_1$, min | $b_1/B'$ |
|---|---|---|---|---|
| 6.50-16 (轻型) | 114 | 175 | 121 | 0.691 |
| 7.00-16 (轻型) | 140 | 194 | 130 | 0.670 |
| 7.50-16 (轻型) | 152 | 211 | 142 | 0.672 |
| 8.25-16 (轻型) | 163 | 234 | 161 | 0.688 |
| 9.00-20 (中型) | 178 | 257 | 190 | 0.739 |
| 10.00-20 (中型) | 190 | 275 | 200 | 0.727 |
| 11.00-20 (重型) | 203 | 291 | 210 | 0.721 |
| 12.00-20 (重型) | 216 | 312 | 230 | 0.737 |

能，但过宽或曲率过小会使胎肩过厚从而导致轮胎生热过大和散热不良致使轮胎胎肩脱空而早期损坏，影响轮胎的翻新率和综合里程。

载重汽车轮胎的行驶面宽和轮胎模型断面宽的比即 $b/B$ 值一般为0.74～0.78，行驶面弧度高和断面高之比即 $h/H$ 值一般为0.03～0.05。80系列轮胎的 $b/B$ 值为0.80～0.85，70系列轮胎的 $b/B$ 值较大达到0.90，越野轮胎的行驶面要比公路型轮胎的行驶面宽，以便提高轮胎对地面的附着力。表1-3-15列举了部分国产9.00-20及11.00-20载重轮胎的行驶面设计参数，以供参考。

表 1-3-15 9.00-20及11.00-20轮胎行驶面设计参数

| 规　格 | 厂牌 | $b/B$ | $h/H$ | $b$, mm | $b_1$, mm | $B'$, mm | $b_1/B'$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9.00-20 | A | 0.776 | 0.047 | 180 | 180 | 253 | 0.713 |
| 9.00-20 | B | 0.791 | 0.047 | 182 | 173 | 256 | 0.676 |
| 9.00-20 | C | 0.773 | 0.050 | 180 | 175 | 253 | 0.691 |
| 9.00-20 | D | 0.777 | 0.043 | 185 | 180 | 258 | 0.693 |
| 11.00-20 | A | 0.807 | 0.062 | 205 | 206 | 285 | 0.723 |
| 11.00-20 | B | 0.800 | 0.070 | 208 | 205 | 280 | 0.731 |
| 11.00-20 | C | 0.776 | 0.056 | 205 | 204 | 285 | 0.716 |
| 11.00-20 | D | 0.767 | 0.055 | 198 | 199 | 284 | 0.701 |

（6）轮胎断面中心线的位置　模型断面中心线的位置即轮胎断面最宽点和胎侧厚度最薄处的位置，也就是轮胎充气和负荷下最大变形部位。通常以断面中心线下的断面高 $H_1$ 对断面中心线上的断面高 $H_2$ 的比即 $H_1/H_2$ 的值来表示。斜交载重汽车轮胎的 $H_1/H_2$ 值一般为0.8～0.9。根据轮胎的使用条件或其它参数来选取 $H_1/H_2$ 值。通常有如下规律：

① $H/B$ 值较大的轮胎，胎侧径向变形较大，$H_1/H_2$ 值应选较大值；

② 深花纹轮胎，由于花纹深度使 $H_2$ 值加大，因此应相应减小 $H_1/H_2$ 值；

③ 窄轮辋轮胎下胎侧变形大，因此断面中心线应适当上移，以便减小胎圈部所受的应力；

④ 子午线轮胎的胎圈受应力较大，$H_1/H_2$ 值应比斜交轮胎取稍大值；

表1-3-16列出了部分国产9.00-20和11.00-20轮胎的 $H_1/H_2$ 值，以供参考。

从表1-3-16也可以看出窄轮辋9.00-20轮胎的 $H_1/H_2$ 值较宽轮辋9.00-20轮胎的 $H_1/H_2$ 值为大。

（7）胎圈轮廓设计　轮胎的胎圈轮廓因轮辋型式，有无内胎以及其它使用条件而有所

表 1-3-16　9.00-20和11.00-20轮胎的$H_1/H_2$值

| 轮胎规格 | 厂牌 | 轮辋 | $H/B$ | $C/B$ | $H_1/H_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 9.00-20 | A | 6.00T | 1.165 | 0.691 | 0.898 |
| 9.00-20 | A | 7.0 | 1.105 | 0.762 | 0.879 |
| 9.00-20 | B | 6.00T | 1.174 | 0.697 | 0.903 |
| 9.00-20 | B | 7.0 | 1.100 | 0.774 | 0.874 |
| 9.00-20 | C | 6.00T | 1.156 | 0.690 | 0.899 |
| 9.00-20 | C | 7.0 | 1.094 | 0.763 | 0.875 |
| 11.00-20 | D | 8.0 | 1.152 | 0.748 | 0.822 |
| 11.00-20 | E | 8.0 | 1.094 | 0.781 | 0.818 |

差异，有关载重汽车轮胎胎圈设计说明如下。

①　装于5°深槽或半深槽式轮辋上的轻型载重汽车轮胎的胎圈设计见图1-3-17，为使轮胎与轮辋紧密配合，胎踵半径$R_5$比相应轮辋弧要大 0.5～1.5mm。$R_4$比相应轮辋轮缘弧小0.5～1mm，并且其半径圆心点要比轮缘弧半径的圆心点低1～1.5mm。轮胎着合直径$d$比轮辋直径$d_0$小0～1.0mm。胎圈底部倾斜度为5°与轮辋相同。

②　装于平式轮辋上的载重汽车轮胎的胎圈设计见图1-3-18，为便于轮胎装卸，胎圈着合径$d$大于轮辋平底处直径$d_0$0.5～1.5mm。

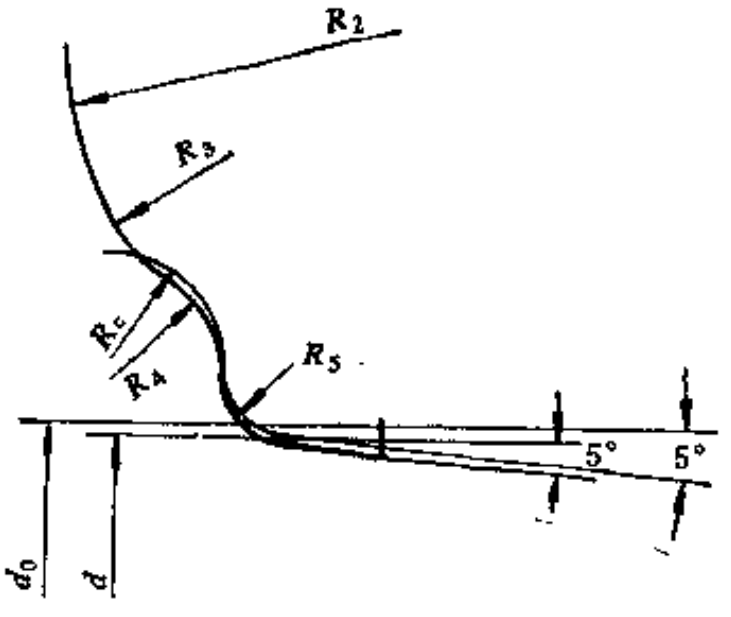



图 1-3-17　装于深槽或半深槽轮辋的胎圈轮廓

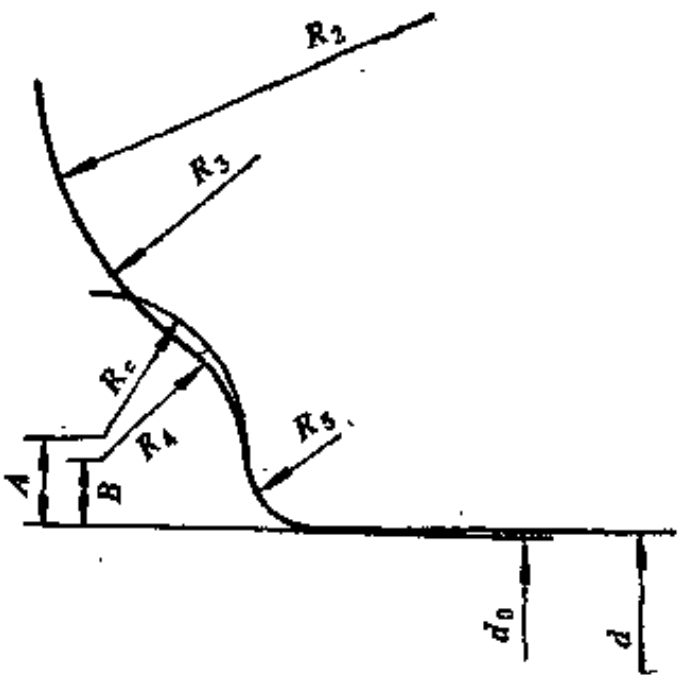



图 1-3-18　装于平式轮辋上的胎圈轮廓

③　装于平底宽轮辋上的胎圈轮廓见图1-3-19。轮胎胎踵着合径$d_1$小于轮辋相应处的直径$d_{01}$为1～2mm。而胎趾着合径$d_2$大于轮辋平底处的直径$d_{02}$为1mm。如 9.00-20 装于7.0轮辋上的轮胎，胎踵着合径取512mm，小于轮辋直径2mm，胎趾着合径取509mm，大于轮辋平底处的直径1mm。这种设计是为了通用于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、型轮辋。

④　载重汽车无内胎轮胎装于底部倾斜度为15°的特制深槽轮辋，轮胎着合径通常小于轮辋直径2～4mm，底部倾斜度比轮辋相应处的倾斜度大2°为17°。其轮廓如图1-3-20所示。

**（四）载重汽车轮胎胎体及缓冲层结构**

1．骨架材料的类别和选取

轮胎的骨架材料占整个轮胎重量的15～30%。帘线的性能和质量对轮胎的行驶里程及翻新率有着极其重要的影响。制造载重汽车轮胎所用的帘线材料有粘胶丝、尼龙、聚酯和钢丝

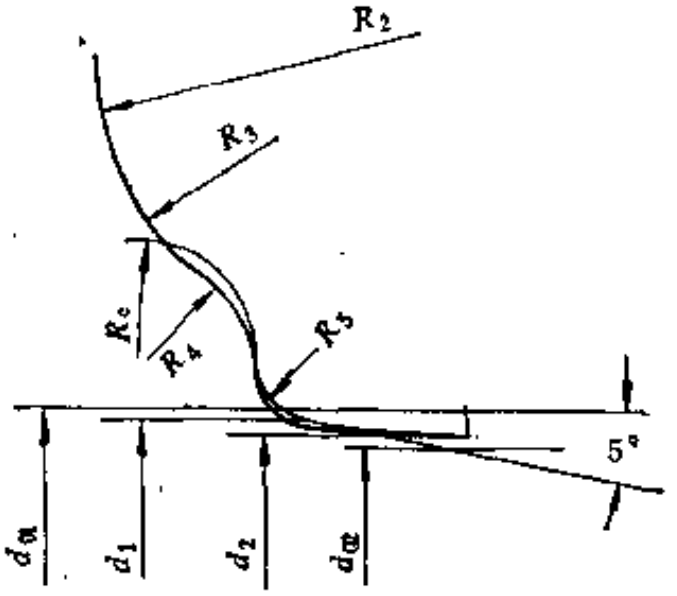



图 1-3-19 装于平底宽辋上的胎圈轮廓

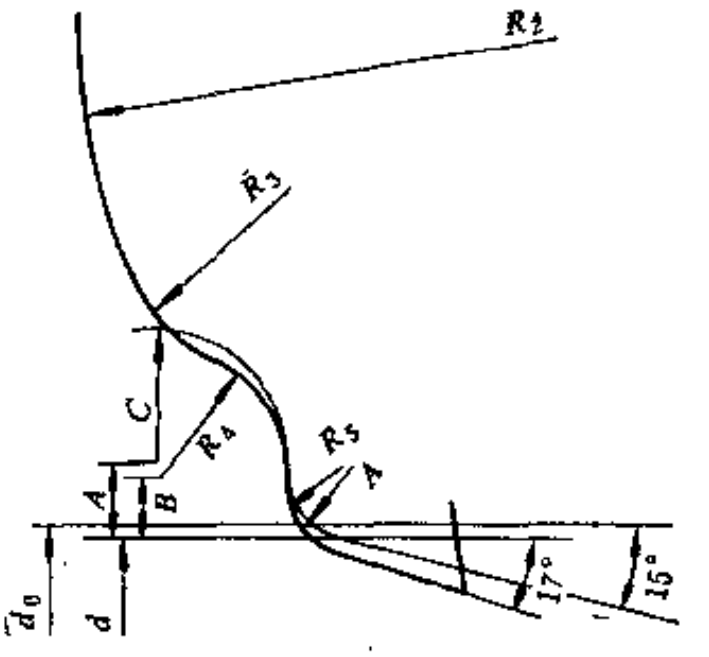



图 1-3-20 载重无内胎轮胎胎圈轮廓

等。随着化学工业的不断发展，粘胶丝帘线已逐渐淘汰，而由尼龙帘线取而代之。

尼龙帘线具有强度高、相对密度小、耐湿性能好、弹性高、生热低、耐腐蚀及耐疲劳性能好许多优点。其强度为粘胶丝的1.5～1.8倍。其耐疲劳性能为粘胶丝的 5 倍。

尼龙有尼龙 6 和尼龙66之分，尼龙66的高温强力、尺寸稳定性、耐疲劳和热收缩性能等都比尼龙 6 优越，但尼龙6价格便宜。所以，无论是尼龙6还是尼龙66都获得了广泛的应用。

载重汽车轮胎的特点是具有较高的承载能力，要求轮胎有较高的行驶里程和翻新率。尼龙帘线目前是制造胎体的最优的材料，在斜交结构载重轮胎中得到广泛的应用。

表 1-3-17 尼龙帘线的简要性能

| 项目 \ 帘线类别 | 尼龙6 | | 尼龙66 | |
|---|---|---|---|---|
| | 840den/2 | 1260den/2 | 1260den/2 | 1680den/2 |
| 扯断强力，kN(kgf)≥ | 0.142 (14.5) | 0.22 (22) | 0.22 (22) | 0.27 (28) |
| 定伸应力，kN(kgf) | 0.044 (4.5) | 0.067 (6.8) | 0.067 (6.8) | 0.088 (9.0) |
| 定伸长率，% | 8±1.0 | 8±0.5 | 8±0.5 | 8.5±0.5 |
| 扯断伸长率，% | 22±1 | 22±1 | 21±1 | 21±1 |
| 强力不匀率，%≤ | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 伸长不匀率，%≤ | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| 捻度，捻/m | | | | |
| 初捻 | 470±10 | 390±10 | 390±10 | 330±10 |
| 复捻 | 470±10 | 370±10 | 370±10 | 330±10 |
| 干热收缩率，%≤ | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| 蠕变率，%≤ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| H抽出，kN/根(kgf/根)≥ | 0.118 (12) | 0.16 (16) | 0.14 (14) | 0.16 (16) |
| 附胶量% | 4.0～5.0 | 4.0～5.0 | 5.0±0.9 | 5.0±0.9 |
| 含水率，%≤ | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.6 |
| 直径，mm | 0.55±0.03 | 0.65±0.03 | 0.65±0.03 | 0.75±0.03 |
| 帘布密度，根/10cm | | | | |
| $V_1$ | 125 | 100 | 100 | 88 |
| $V_2$ | 94 | 74 | 74 | 68 |
| $V_3$ | 60 | 52 | 52 | — |

聚酯帘线主要用于制造纤维子午胎的胎体，美国及日本用的较多。钢丝帘线主要用于全钢丝子午线轮胎和半钢丝子午线轮胎的带束层。

载重汽车轮胎常用尼龙帘线的结构和性能见表1-3-17。

2．胎体帘线角度

胎体帘线角度系指帘线与径向所成的角度，如图1-3-21中的$\beta$。轮胎的帘线角度与轮胎的变形和使用性能有关。一般胎冠中心处选取48～55°。载重汽车轮胎通常选取50～52°。低断面轮胎为防止充气外直径增长过大，可选取大于55°的角度。

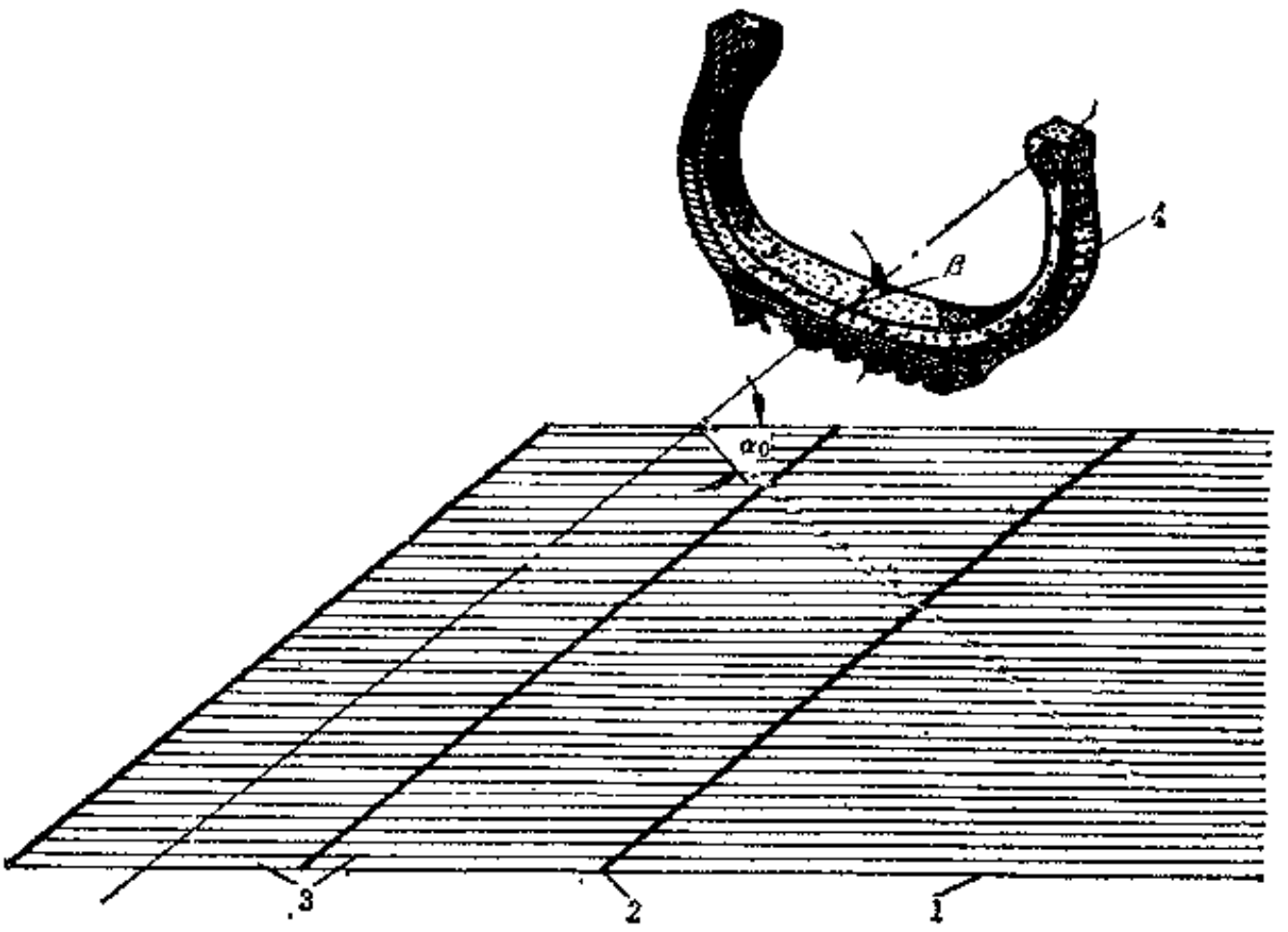



图 1-3-21　外胎中的帘线分布

1—整块帘布，2—帘布裁断角，3—帘布裁片，4—外胎径向断面，$\alpha_0$—帘布裁断角，$\beta$—硫化外胎帘线倾角

增大帘线角度可以提高轮胎的耐磨、抗刺扎、抗侧滑、侧向稳定等性能和减小轮胎的滚动阻力，但却降低轮胎的缓冲性能和强度。因此在选择帘线角度时，应根据使用条件来选取。高速或断面高宽比较小的轮胎应选取较大的角度，反之则选取较小的角度。

上述推荐的胎冠帘线角度，对通用轮胎是较适宜的。因为它既保证了轮胎的必要的缓冲性能、强度和耐久性，同时，又兼顾了耐磨和侧向稳定性等其它性能。

3．胎体帘线层数的计算

斜交结构轮胎无论胎体或缓冲层都与径向成一定的角度。相邻帘布层的帘线交叉排列，因而帘布层必须是偶数。帘布层分为内层、外层和缓冲层。内层帘线排列较密，外层帘线排列较稀，缓冲层帘线排列最稀。这是为了获得较好的缓冲性能和提高胎面、胎侧和帘布层间的附着力。外层和缓冲层一般情况下均为二层。

各类帘布的结构和密度都按标准织成，但轮胎成品帘线的密度及其所受的应力，却因生产厂的工艺条件和施工设计的不同而各异。

根据单根帘线所受应力以及轮胎所应选取的安全倍数，通过计算来确定轮胎的帘布层数。载重汽车轮胎的帘线安全倍数[3]根据使用条件而不同，通常为：

良好路面　10～12倍

不良路面　10～18倍

用于长途公共汽车　16～18倍

用于矿石、森林采伐等　18～20倍。

在遵守使用规则和使用标准的条件下，上述安全倍数可以保证轮胎安全使用面不发生爆破。在安全倍数范围内应使斜交轮胎的帘布层数为偶数，并至少两层外层稀帘布层。

以9.00-20轮胎为例计算轮胎的安全倍数如下。

应用公式如下

$$N_k=\frac{P(R_k^2-R_0^2)}{2R_k\sum ni_k}\cdot\frac{1}{\cos^2\beta_k} \tag{1-3-13}$$

$$i_k=i_0\cdot\frac{r_0}{R_k}\cdot\frac{\cos\alpha_0}{\cos\beta_k} \tag{1-3-14}$$

$$K=\frac{S}{N} \tag{1-3-15}$$

式中　$N_k$——充气后轮胎冠部单根胎体帘线所受应力，kgf/根；

$R_k$——充气后轮胎冠部第一层半径，cm；

$R_0$——轮胎断面中心线半径，cm；

$n$——帘布层数，层；

$i_k$——胎冠帘线密度，根/cm；

$\beta_k$——胎冠帘线角度，(°)；

$r_0$——帘布筒半径，cm；

$\alpha_0$——帘布裁断角度，(°)；

$i_0$——帘布筒帘线密度，根/cm；

$S$——单根帘线强度，kgf/根；

$K$——轮胎安全倍数。

已知：$P=6.0\text{kgf/cm}^2$，$R_k=47.9\text{cm}$，$R_0=37.25\text{cm}$，$\alpha_0=30°$，$\beta_k=50.92°$；$r_0=30.0$，$i_{01}=10$根/cm(1260den/2)，$i_{02}=7.4$根/cm(1260den/2)，$i_{03}=6$根/cm(840den/2)，$S=22\text{kgf/根}$。

将$P$，$R_k$，$R_0$，$\alpha_0$，$\beta_k$，$r_0$，$i_0$诸值分别代入式(1-3-13)～式(1-3-15)，得：

$$i_{k1}=i_0\frac{r_0}{R_k}\cdot\frac{\cos\alpha_0}{\cos\beta_k}=10\times\frac{30}{47.9}\times\frac{\cos30°}{\cos50.92°}=8.6\text{(根/cm)}$$

$$i_{k2}=7.4\times\frac{30}{47.9}\times\frac{\cos30°}{\cos50.92°}=6.36\text{(根/cm)}$$

$$i_{k3}=6.0\times\frac{30}{47.9}\times\frac{\cos30°}{\cos50.92°}=5.116\text{(根/cm)}$$

5.16根/cm(840den/2) 相当于$5.16\times14.5/22=3.4$根/cm(1260den/2)

$$\sum ni_k=6\times8.6+2\times6.36+2\times3.4=71.12\text{(根/cm)}$$

$$N_k=\frac{P(R_k^2-R_0^2)}{2R_k\cdot\sum ni_k}\cdot\frac{1}{\cos^2\beta_k}=\frac{6.0(47.9^2-37.25^2)}{2\times47.9\times71.12}\cdot\frac{1}{\cos^250.92°}=1.992\text{(kgf/根)}$$

$$K = \frac{S}{N_k} = 22/1.992 = 11.04$$

4. 挂胶帘布厚度

帘布挂胶层厚度应根据帘线种类和粗度、轮胎规格以及胶料种类来确定。要求帘线之间塞满橡胶并且帘布两面都要有0.2～0.3mm厚的覆盖胶层。载重汽车轮胎常用各类帘布的挂胶厚度见表1-3-18。

表 1-3-18 常用各类帘布的挂胶厚度

| 帘布种类 | 帘线规格 | 帘线粗度，mm | 胎体挂胶帘布厚度，mm | 缓冲层挂胶帘布厚度 mm |
|---|---|---|---|---|
| 粘胶丝 | 1650den/2 | 0.70±0.03 | 1.10～1.20 | 1.50～1.70 |
| 粘胶丝 | 1650den/2 | 0.87±0.05 | 1.20～1.30 | 1.50～1.70 |
| 尼龙 | 840den/2 | 0.55±0.03 | 0.95～1.05 | 1.35～1.50 |
| 尼龙 | 1260den/2 | 0.65±0.03 | 1.05～1.13 | 1.45～1.60 |
| 尼龙 | 1680den/2 | 0.75±0.03 | 1.10～1.20 | 1.50～1.70 |

5. 油皮胶

油皮胶贴于第一层帘布之下，其作用是在轮胎制造过程中保护胎体帘布层。例如：在定型过程中帘线不错位，在成型过程中当胎胚从成型鼓取下时帘线不被鼓块刮伤。此外，还保护成品外胎的胎体帘线不受潮气浸蚀和内胎不受帘布层粗糙面的磨损。油皮胶的宽度应与胎圈包布搭接10～15mm，以防止胎里露帘线。油皮胶的厚度通常为 0.6～1.0mm。无内胎轮胎则以气密层代替油皮胶。气密层的厚度由轮胎内压和胶料的气密性所决定。一般为 0.5～2.0mm。为了提高气密性，气密层往往由数层（至少 2 层）薄胶片贴合而成。气密层不能有气泡和杂质。气密层和胎体的附着力有重要意义。气密层和胎体之间如有脱层和气泡便会引起胎体鼓泡和损坏。

6. 隔离胶

轮胎胎体帘线所受的剪切应力以胎冠中心部位为最大。轮胎内各点帘布厚度都要受到从成型鼓到成品轮胎胎里各点的伸张，此伸张以冠部为最大。在定型和硫化过程中，帘布筒于冠部伸张，挂胶帘布的厚度随之减小。为此需要在冠部增贴隔离胶层来补偿帘布层的厚度和帘布层间的胶量，以提高帘布层间的抗剪应力和附着性能，防止脱层损坏。

隔离胶片一般贴于受剪切应力最大的胎冠外部帘布层，其厚度及层数视轮胎的层数、规格和使用条件而定，大规格和在坏路面使用的轮胎层数要多些；高速和好路面使用的轮胎应尽量少贴，以防生热过大；4 层以下的轮胎可以不贴。隔离胶片的厚度一般为0.4～0.6mm，其宽度应大于缓冲层，隔离胶片的端点间应有10～20mm的差级。

7. 缓冲层结构

缓冲层介于胎面胶和胎体帘布层之间。其作用是缓冲来自胎面的冲击，提高胎面和胎体之间的附着力和轮胎的缓冲性能。

除子午线轮胎以外，载重汽车轮胎用的缓冲层材料大都与胎体相同，但密度较低。其帘线结构与胎体帘线相同，也可以不同。例如胎体采用1260den/2尼龙帘线，而缓冲层则选用840den/2，也可以选用1260den/2帘线。缓冲层采用较细的帘线，是为保证必要的胎面与胎体间距离。

缓冲层的帘线角度一般与胎体相同，有时为了限制轮胎外直径的伸张，使胎面具有较好的耐磨性能和抗刺扎性能，缓冲层可以采取稍大于胎体的帘线角度。

缓冲层端点是导致轮胎胎肩脱层或断裂的薄弱环节，所以应使其端点尽量避开应力集中区。斜交载重轮胎的胎肩应力集中区通常位于距胎肩端点的$\frac{1}{2}$～$\frac{1}{3}$处。通常第1层缓冲层不超过行驶面，第2层缓冲层稍宽于行驶面，也有二层都窄于行驶面的。二层缓冲层端点差级一般为10～20mm。在上缓冲层帘布的上面和下缓冲层帘布的下面各有一层缓冲胶片，其厚度为0.5～1.5mm，其宽度应覆盖缓冲层的端点。

8. 胎圈结构

胎圈结构的设计需使胎圈能与轮辋紧密着合，保证轮胎能稳固于轮辋的胎圈座上。胎圈主要由钢丝圈、正包帘布层、反包帘布层、三角胶芯和子口包布等组成。如图1-4-22所示。

胎圈至胎侧应平顺过渡，防止胎圈部位变形过大，导致磨子口或子口空而使轮胎早期损坏。此外，胎圈还应具有一定的强度，防止在内压与负荷作用下钢丝圈折断，钢丝圈的强度可通过计算确定。载重汽车轮胎的安全倍数一般为单根钢丝所受应力的5～7倍。现以9.00—20轮胎为例计算如下。

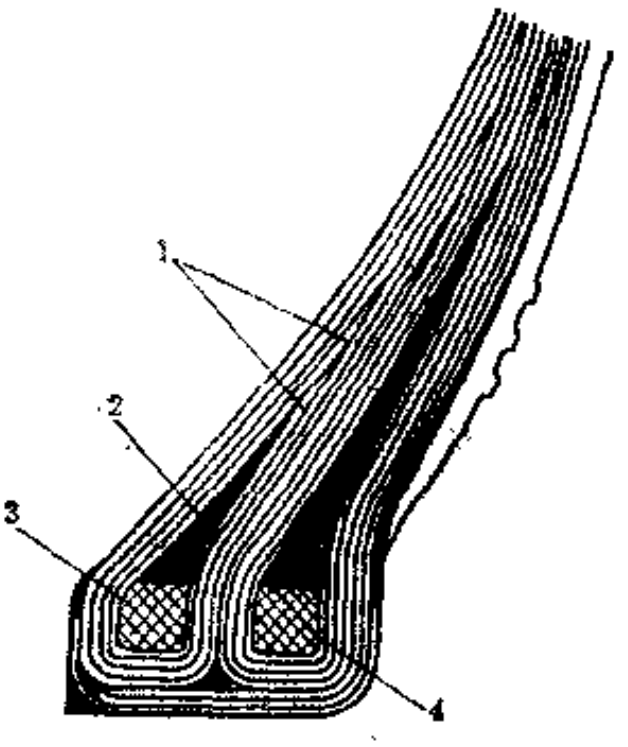



图 1-3-22 轮胎胎圈结构

1—钢丝圈包布；2—三角胶芯；3—钢丝圈；4—钢丝圈

应用公式[3]如下：

$$T=P\cdot\frac{R_k^2-R_0^2}{2\cos\beta_c}\cdot\cos\beta_k \qquad (1\text{-}3\text{-}16)$$

$$\sin\beta_c=(r_c/R_k)\sin\beta_k \qquad (1\text{-}3\text{-}17)$$

$$K=Sn/T \qquad (1\text{-}3\text{-}18)$$

式中 $r_c$——钢丝圈平均半径，cm；

$\beta_c$——钢丝圈平均$r_c$圆周上的帘线角度，(°)；

$n$——钢丝圈总根数，根；

$S$——单根钢丝强度，kgf/根；

$T$——钢丝圈总应力，kgf。

已知：$P=6.7\text{kgf/cm}^2$，$R_k=47.9\text{cm}$，$R_0=37.25\text{cm}$，$\beta_k=50.92°$，$r_c=26.67\text{cm}$，$n=98$根，$S=140\text{kgf/根}$

将上述$P$、$R_k$、$R_0$、$\beta_k$、$r_c$、$n$和$S$的值分别代入式（1-3-16）～式（1-3-18），得：

$$\sin\beta_c=(r_c/R_k)\sin\beta_k=(26.67/47.9)\sin50.92°=0.4322$$

$$\beta_c=25.61°$$

$$T=P\cdot\frac{R_k^2-R_0^2}{2\cos\beta_c}\cos\beta_k=6.7\times\frac{47.9^2-37.25^2}{2\cos25.61°}\times\cos50.92°=2123.9\,(\text{kgf})$$

$$K=\frac{S\cdot n}{T}=\frac{140\times98}{2123.9}=6.45(\text{倍})$$

如所设计的轮胎着合径小于轮辋直径，则需加上轮胎对轮辋的箍紧力（过盈力）。

胎圈反包结构如图1-3-23所示。4层胎体帘布层采用2-2结构，6层胎体帘布层采用2-2结构，8层胎体帘布层采用3-3-2结构，10层胎体帘布层采用4-4-2结构，12层胎体帘布层采用6-4-2结构。

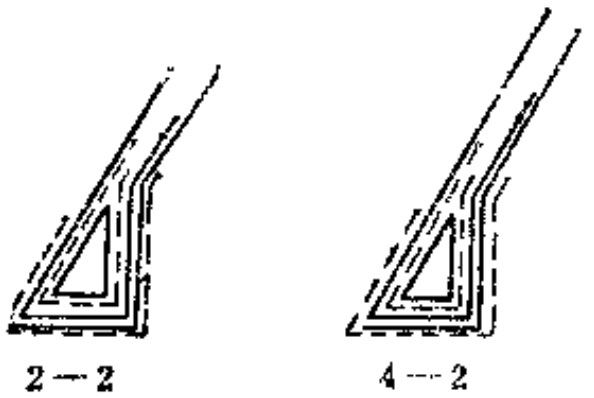



图 1-3-23 轮胎胎圈包圈结构示意

三角胶芯为贴在钢丝圈上面的填充胶条，其作用是使宽而硬的胎圈逐步过渡到薄而软的胎侧。三角胶芯通常由高硬度的胶料制成。

载重汽车轮胎通常采用一层或两层挂胶帆布包住胎圈，其作用是保护胎圈免受机械损伤及潮气浸蚀。目前载重汽车轮胎的胎圈包布多采用耐磨性能较好的尼龙帆布。

## 五、载重汽车轮胎的花纹

### （一）胎面花纹的作用及要求

胎面花纹的基本作用是传递牵引力和制动力，使轮胎具有一定的对路面的附着性能。防止车轮空转或打滑，对载重汽车轮胎的主要要求如下：

① 具有较优的耐磨性能并且磨耗均匀；

② 具有一定的防滑性能和附着性能；

③ 胎面胶要耐刺扎、耐崩花掉块，花纹沟底部要耐屈挠龟裂；

④ 滚动阻力小，节油；

⑤ 生热小，散热快；

⑥ 操纵稳定性好；

⑦ 花纹美观。

上述各项要求，有些是互相矛盾的而不能同时满足，应根据实际使用条件而有所侧重，如公路用轮胎则侧重于耐磨性能和散热性能，坏路面使用轮胎则要侧重于附着性能和抗刺扎性能。

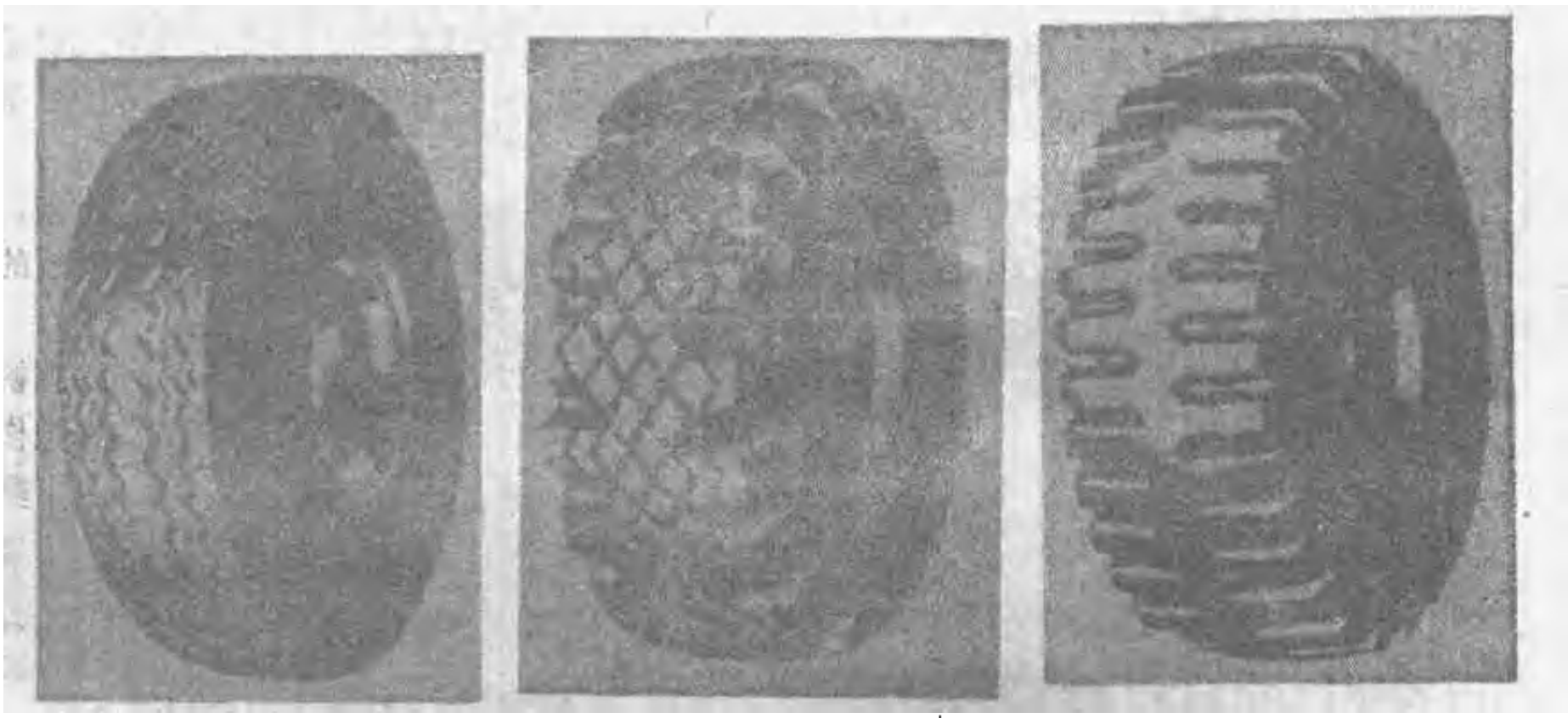
### （二）胎面花纹的分类

胎面花纹可分为3种基本类型，即普通花纹、混合花纹和越野花纹。如图1-3-24所示。

1．普通花纹

普通花纹主要用于公路行驶，这类花纹的花纹块占整个行驶面的70～80%。普通花纹的特点是具有良好的防侧滑性能、高耐磨和滚动阻力小，它是载重汽车轮胎中的一种最主要的花纹。普通花纹中按其花纹沟的排列又分为纵向花纹和横向花纹。

纵向花纹的实质为以纵沟或纵垅为主的纵向曲折花纹。因为单纯的纵沟和纵垅虽然防侧滑性能较好，但它不能防纵滑，因而不能保证轮胎对路面的必要的抓着力。除了某些特殊用途如导向轮胎、飞机轮胎等，一般轮胎的花纹沟都为与周向成30～45°的曲折花纹沟。纵向花纹沟的优点是滚动阻力小，防侧滑性能好适于高速和好路面行驶，其缺点是花纹转角处易于夹石子，沟底部胶料易裂口。



（a）　　（b）　　（c）

图 1-3-24　轮胎花纹类型

（a）普通花纹，（b）混合花纹，（c）越野花纹

横向花纹为以横沟和横垅为主的横向曲折花纹，横向花纹沟通常与径向呈10～45°的角度，其花纹沟比较宽、花纹块比较大。其优点是胎面耐磨，花纹沟不夹石子，随着轮胎的滚动变形，石子很易甩出；其缺点是防侧滑性能差。由于我国公路除柏油路和水泥路面外还有相当大量的砂石路和山区公路，行驶速度不高于 60km/h，因此横向花纹如烟斗、八角花纹普遍受到使用者欢迎，但随着高速公路的修建。纵向花纹也将进一步得到发展。

2．越野花纹

越野花纹具有良好的抓着力，花纹沟较宽便于脱掉夹在花纹沟中的雪泥和沙石，有较好的自洁性能，适宜在坏路面或无路面行驶，如雪地、沙地和泥泞路等，其花纹块面积占整个行驶面的40～60%。

越野花纹轮胎不适用于良好路面和快速行驶，这是因为花纹块的接地面积较小，行驶不耐磨、平顺性差和滚动阻力大，有时甚至因负荷集中于较窄的花纹块上而使橡胶和帘布的工作条件恶化，导致沟底部裂口或帘线损伤。有些越野花纹为提高其自洁性能，花纹块的排列是有向的。这类花纹的胎侧上有方向标记（箭头），应按箭头所指方向装胎。

3．混合花纹

对于一些既在好路面又在坏路面上行驶的轮胎，为了兼顾多种使用条件，选取普通和越野相结合的花纹即混合花纹。这类花纹中部为普通花纹，两侧为越野花纹，其花纹块面积占整个行驶面的60～70%。

应根据轮胎的使用条件选择轮胎的花纹。载重汽车轮胎以公路行驶为主。常用载重汽车轮胎的花纹形式如图1-3-25～图1-3-28。

**（三）花纹深度**

花纹深度的选取取决于轮胎的规格、用途和使用条件。

①大规格轮胎选取较深的花纹。

②路面粗糙和山区路面等胎面磨损较快的条件下，采取较深的花纹。

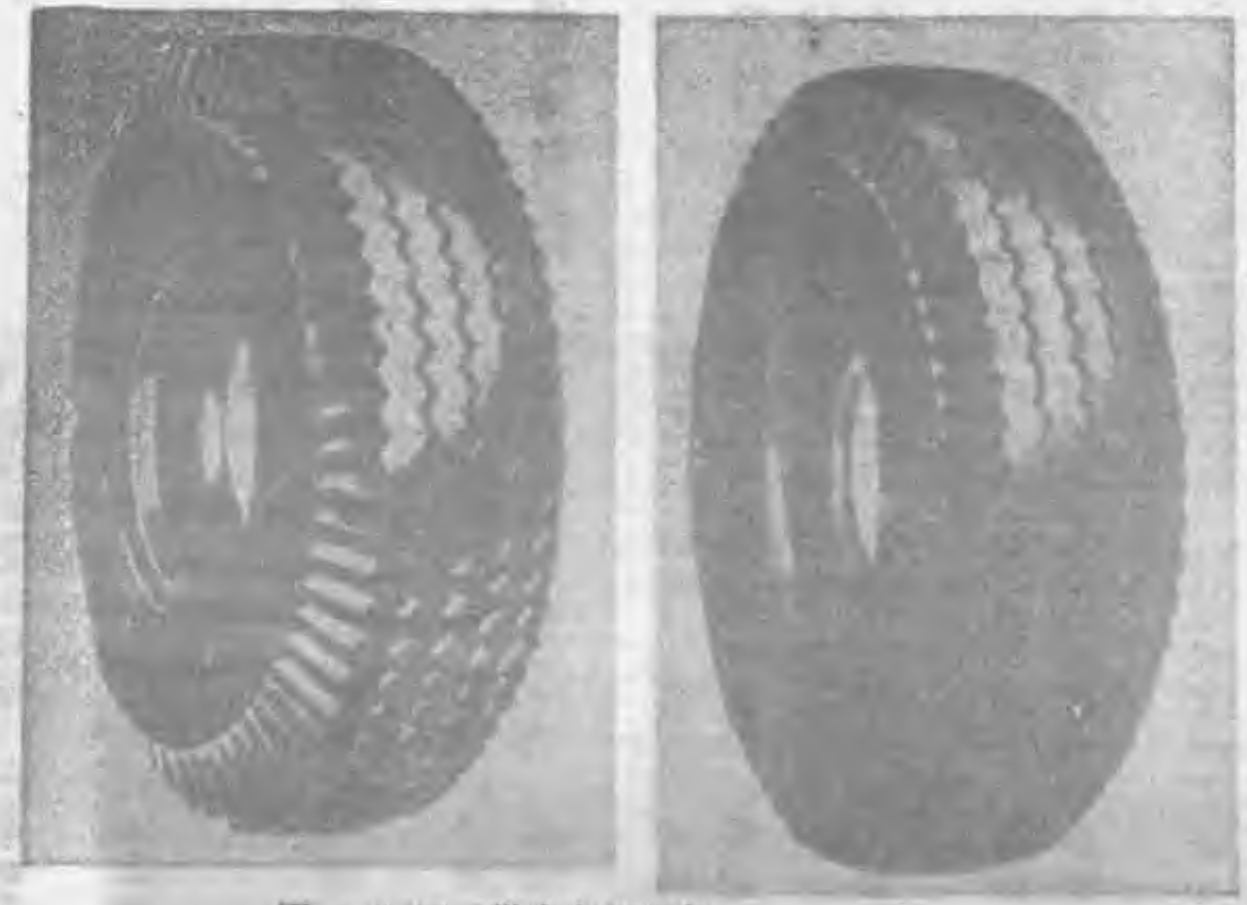


图 1-3-25 纵向曲折花纹

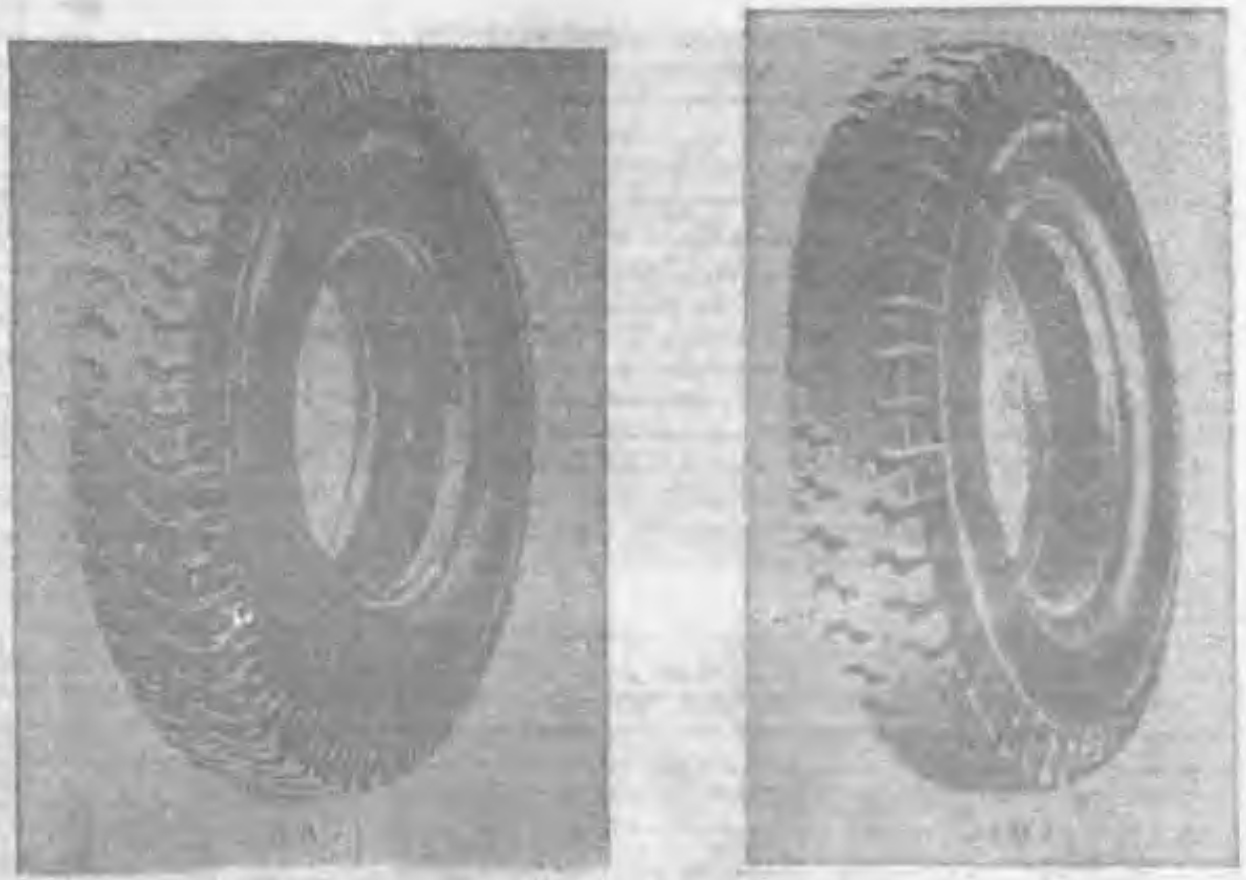


图 1-3-26 横向烟斗和八角花纹
(a) 烟斗花纹; (b) 八角花纹

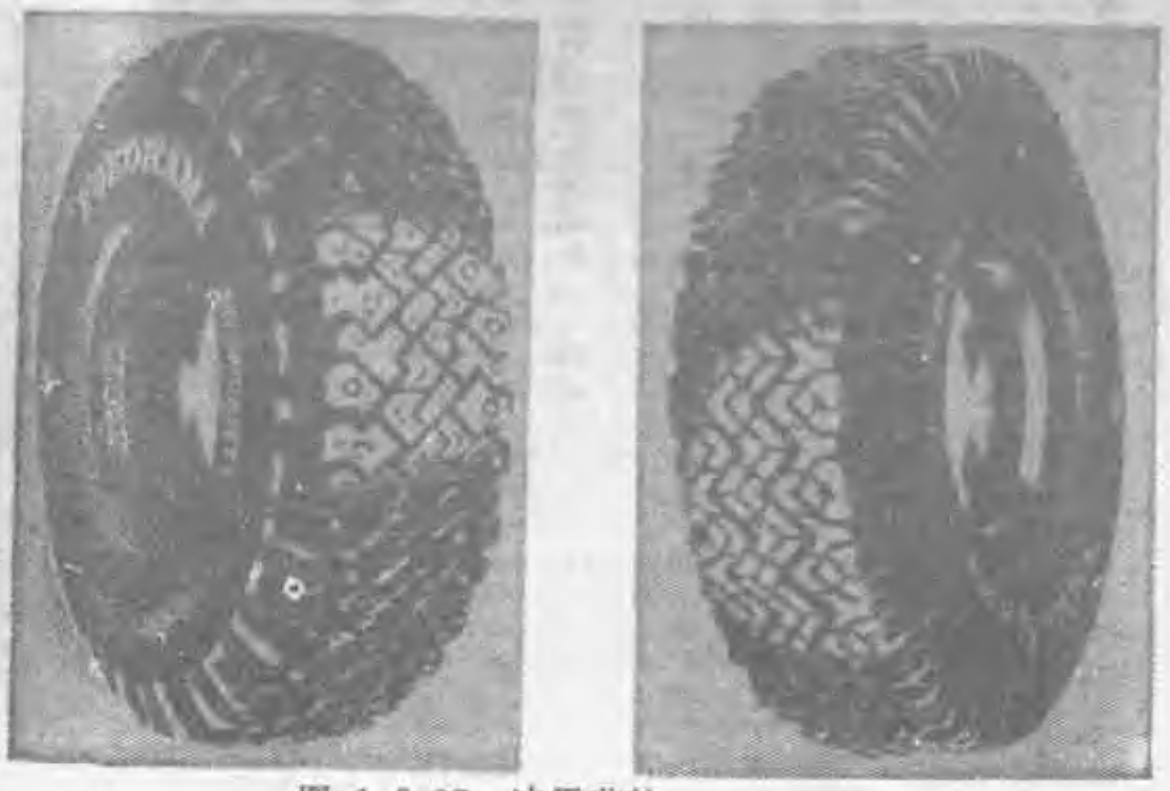


图 1-3-27 冰雪花纹



图 1-3-28 越野花纹

③在路面条件好、行驶速度较快的条件下，不能选取太深的花纹，以降低轮胎生热、提高散热速度以及减小滚动阻力。

④胎体强度高，在保证胎面花纹磨光后胎体完好能够翻新的条件下，可采取较深的花纹。

⑤混合和越野花纹轮胎要采取较深的花纹，以保证轮胎在坏路面上的通过性能。

⑥要求牵引性能较高的轮胎，其花纹宜采取特别加深的花纹。

胎面花纹的深度可以根据轮胎使用时的单耗数据来估算，即根据轮胎胎面每行驶1000km的磨耗量来计算。普通花纹轮胎每行驶1000km，斜交轮胎的磨耗量约为0.15～0.40mm，子午线轮胎磨耗量约为0.10～0.20mm。基部胶厚度为花纹深度的25～60%。表1-3-19和表1-3-20分别列出部分轻型载重、载重和公共汽车轮胎的参考花纹深度。

表 1-3-19 轻型载重汽车轮胎的花纹深度

| 轮胎规格 | 公路型花纹深度 mm | 牵引型花纹深度 mm | 轮胎规格 | 公路型花纹深度 mm | 牵引型花纹深度 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| 6.00-16LT | 10.0 | 14.5 | 7.00-16LT | 11.0 | 15.0 |
| 6.50-16LT | 10.5 | 15.0 | 7.50-15LT | 11.0 | 15.5 |
| 7.00-13LT | 10.0 | 14.5 | 7.50-16LT | 11.0 | 15.5 |
| 7.00-14LT | 10.0 | 14.5 | 8.25-16LT | 12.0 | 16.0 |
| 7.00-15LT | 11.0 | 15.0 | 9.00-16LT | 12.5 | 17.0 |

表 1-3-20 载重和公共汽车轮胎的花纹深度

| 轮胎断面规格 | 花纹深度（模型），mm | | | 轮胎断面规格 | 花纹深度（模型），mm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 公路型 | 加深型 | 牵引性 | | 公路型 | 加深型 | 牵引性 |
| 6.50 | 10.5 | — | 16.5 | 10.00 | 13.0 | 18.5 | 20.5 |
| 7.00 | 11.0 | — | 17.0 | 11.00 | 13.5 | 19.5 | 21.5 |
| 7.50 | 11.0 | — | 18.0 | 12.00 | 14.0 | — | 22.5 |
| 8.25 | 12.0 | 15.0 | 19.0 | 13.00 | 14.5 | — | 24.0 |
| 9.00 | 12.5 | 17.0 | 20.0 | 14.00 | 15.5 | — | 25.5 |

**（四）花纹宽度**

根据轮胎的使用条件确定花纹沟的宽度。公路行驶轮胎要求具有较高的耐磨和平顺性能，花纹沟不宜过宽否则就会减小花纹块的接地面积，不利于轮胎的磨耗。花纹沟过窄则易于塞泥沙和石子。在不良路面行驶的轮胎，则需要较宽的花纹沟，以利于提高对地面的抓着性能和自洁性能。

**（五）花纹沟底部形状**

花纹沟底部形状一般为楔形。其优点是便于脱模和挤出石子，防止花纹沟底部或花纹块根部裂口，增强花纹块的刚度以便提高胎面耐磨性能。常见的花纹沟底部形状如图1-3-29所示。

为防止花纹沟底部或花纹块根部裂口以及分散或减小沟底部帘线所受应力，有时在花纹沟内设置加强胶块。一般位于纵向花纹转角处的加强块在沟内呈波浪形。而位于横向花纹中部的加强胶块为条形的，如图1-3-30和图1-3-31所示。

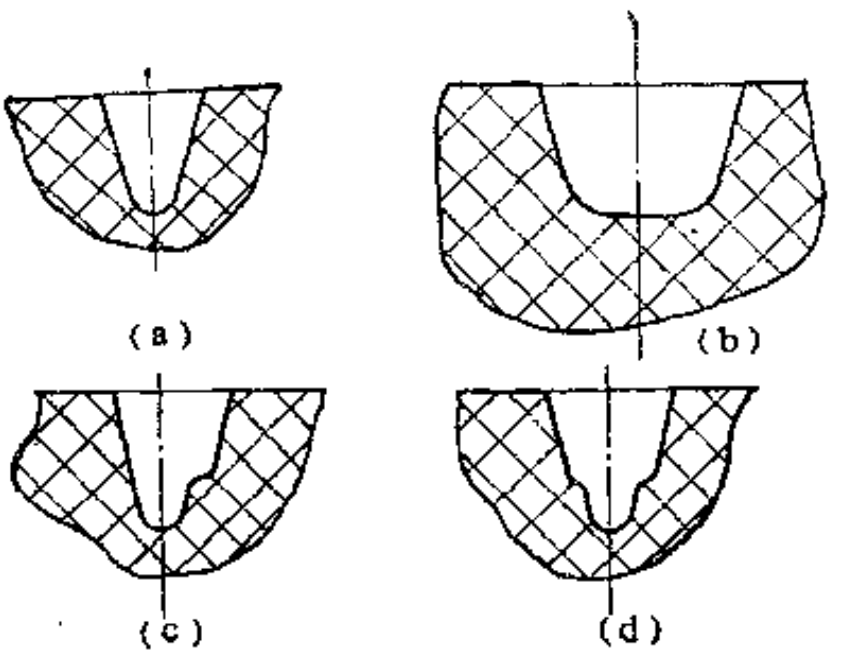



图 1-3-29　花纹沟底部形状

（a）纵向花纹沟；（b）横向花纹沟；（c）单边双层花纹沟；（d）双边双层花纹沟

**（六）磨耗标志**

为了保证行驶安全以及保护胎体行驶完好以提高轮胎的翻新率，在花纹沟底部设置磨耗标志。当轮胎胎面花纹磨损到露出磨耗标志时轮胎就应该进行翻新。

在轮胎每条纵向或横向花纹沟里至少有 6 个间隔均匀的胎面磨耗标志周向环绕轮胎。并且每一个磨耗标志对应的胎肩部位需标以磨耗标志符号，此符号或为图形或为英文字母代号。磨耗标志的形状见图1-3-32和图1-3-33[2]。

表1-3-21及表1-3-22为国内 9.00—20 及11.00—20载重汽车轮胎设计参数表；表1-3-23及表1-3-24为国内9.00-20及11.00-20 载重汽车轮胎静负荷试验数据表。

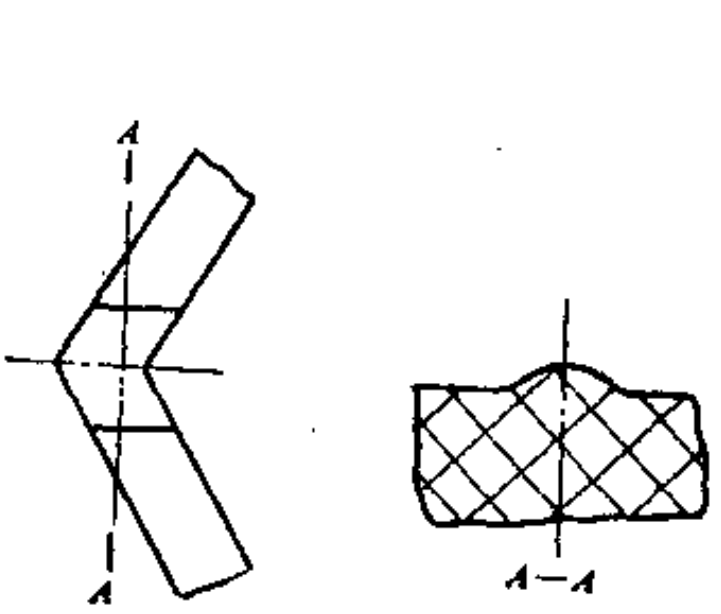



图 1-3-30　纵向花纹沟底部加强胶的形状

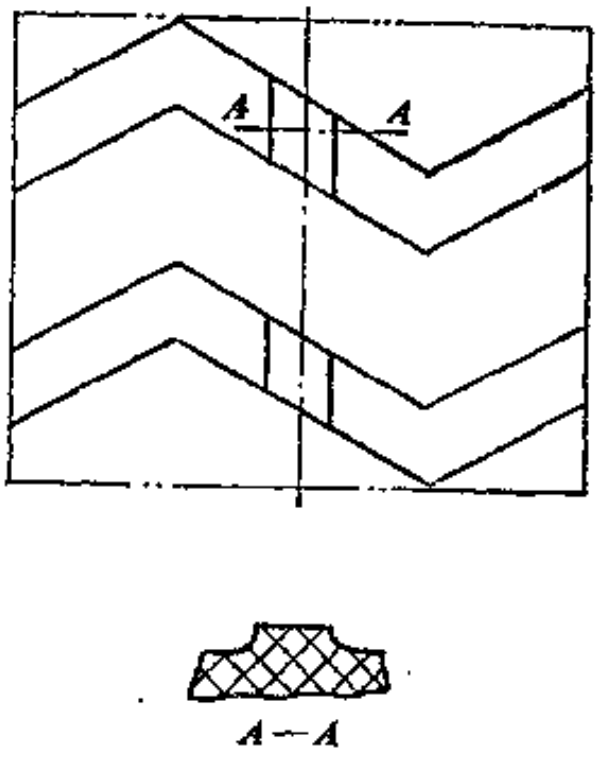



图 1-3-31　横向花纹沟底部加强胶的形状

表 I-3-21 9.00-20载重汽车轮胎模型设计参数

| 厂 牌 | 轮 辋 | 花纹深 mm | $D$ mm | $B$ mm | $H$ mm | $H_1$ mm | 胎冠宽 mm | 冠弧高 mm | $H/B$ | $C/B$ | $b/B$ | $h/H$ | $H_1/H_2$ | 花纹沟占胎面总面积,% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 6.00T | 17 | 1022 | 220 | 256.0 | 121.2 | 174 | 12 | 1.165 | 0.691 | 0.791 | 0.047 | 0.898 | — |
| A | 7.0 | 17 | 1022 | 232 | 256.5 | 120.0 | 180 | 12 | 1.105 | 0.762 | 0.776 | 0.047 | 0.879 | — |
| B | 6.00T | 17 | 1021 | 218 | 256.0 | 121.5 | 172 | 14 | 1.174 | 0.697 | 0.789 | 0.055 | 0.903 | 21.12 |
| B | 7.0 | 15 | 1015 | 230 | 253.0 | 118.0 | 182 | 12 | 1.100 | 0.774 | 0.791 | 0.047 | 0.874 | 20.53 |
| C | 6.00T | 17 | 1022 | 220 | 256.5 | 122.0 | 178 | 13 | 1.166 | 0.691 | 0.809 | 0.051 | 0.907 | 20.2 |
| C | 7.0 | 16 | 1020 | 230 | 255.6 | 120.0 | 180 | 12 | 1.110 | 0.774 | 0.783 | 0.047 | 0.886 | — |
| D | 6.00T | 17 | 1018 | 224 | 254.5 | 122.0 | 174 | 12 | 1.136 | 0.697 | 0.777 | 0.047 | 0.921 | 21.50 |
| D | 7.0 | 16 | 1018 | 230 | 254.5 | 119.5 | 180 | 13 | 1.107 | 0.774 | 0.783 | 0.051 | 0.885 | 21.26 |
| E | 6.00T | 17 | 1018 | 220 | 254.5 | 120.5 | 174 | 12 | 1.156 | 0.691 | 0.791 | 0.047 | 0.899 | — |
| E | 7.0 | 16 | 1019 | 233 | 255.0 | 119.0 | 180 | 13 | 1.094 | 0.763 | 0.773 | 0.051 | 0.875 | — |
| F | 6.00T | 17 | 1018 | 220 | 254.5 | 120.5 | 172 | 12 | 1.157 | 0.691 | 0.782 | 0.047 | 0.899 | — |
| F | 7.0 | 16 | 1018 | 238 | 254.5 | 119.0 | 185 | 11 | 1.069 | 0.748 | 0.777 | 0.043 | 0.878 | — |
| G | 6.00T | 15 | 1020 | 220 | 255.5 | 121.5 | 172 | 13 | 1.161 | 0.691 | 0.782 | 0.051 | 0.907 | — |
| G | 7.0 | 15 | 1020 | 226 | 255.5 | 120.0 | 178 | 12 | 1.130 | 0.788 | 0.788 | 0.047 | 0.886 | — |
| H | 6.00T | 16 | 1020 | 220 | 255 | 121 | 175 | 8 | 1.159 | 0.691 | 0.795 | 0.031 | 0.903 | 22.6 |
| H | 7.0 | 15 | 1020 | 226 | 257 | 119 | 180 | 12 | 1.127 | 0.781 | 0.789 | 0.047 | 0.862 | 22.6 |

表 I-3-22 11.00-20载重汽车轮胎模型设计参数

| 厂 牌 | 轮 辋 | 花纹深 mm | $D$ mm | $B$ mm | $H$ mm | $H_1$ mm | 胎冠宽 mm | 冠弧高 mm | $H/B$ | $C/B$ | $b/B$ | $h/H$ | $H_1/H_2$ | 花纹沟占胎面总面积,% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 8.0 | 17 | 1094 | 254 | 292.5 | 132 | 205 | 18 | 1.152 | 0.799 | 0.807 | 0.062 | 0.822 | / |
| B | 8.0 | 17 | 1078 | 260 | 284.5 | 128 | 208 | 20 | 1.094 | 0.781 | 0.800 | 0.070 | 0.818 | 21.56 |
| C | 8.0 | 17 | 1082 | 260 | 286.5 | 129 | 206 | 16 | 1.102 | 0.781 | 0.788 | 0.056 | 0.819 | 23.56 |
| D | 8.0 | 17 | 1081 | 260 | 286 | 128 | 208 | 17 | 1.100 | 0.781 | 0.781 | 0.059 | 0.800 | 21.24 |
| E | 8.0 | 17 | 1084 | 264 | 287.5 | 132 | 205 | 16 | 1.089 | 0.772 | 0.776 | 0.056 | 0.849 | / |
| F | 8.0 | 17 | 1090 | 258 | 290.5 | 135.5 | 198 | 16 | 1.126 | 0.787 | 0.767 | 0.055 | 0.874 | / |
| G | 8.0 | 17 | 1090 | 260 | 290.5 | 135.0 | 206 | 16 | 1.173 | 0.781 | 0.792 | 0.055 | 0.868 | / |
| H | 8.0 | 17 | 1090 | 262 | 290 | 133 | 210 | 15 | 1.106 | 0.774 | 0.801 | 0.052 | 0.847 | 23.73 |

表 1-3-23　9.00-20轮胎标准负荷及气压下的静负荷试验数据

| 厂　牌 | 层　级 | 外直径 mm | 断面宽 mm | 断面高 mm | 负荷下静半径 mm | 负荷下断面宽 mm | 下沉量 mm | 下沉率 % | 印痕长轴 mm | 印痕短轴 mm | 接地系数 | 印痕面积 $cm^2$ | 硬度系数 | 平均单位压力 MPa(kgf/$cm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 12 | 1016 | 253 | 251 | 470 | 270 | 38.0 | 15.15 | 282 | 180 | 1.57 | 470 | 0.74 | 0.486 (4.96) |
| B | 12 | 1019 | 256 | 253 | 472 | 272 | 37.6 | 14.89 | 273 | 173 | 1.59 | 442 | 0.73 | 0.479 (4.88) |
| C | 12 | 1021 | 252 | 254 | 473 | 267 | 37.2 | 14.67 | 279 | 180 | 1.55 | 472 | 0.72 | 0.472 (4.81) |
| D | 12 | 1014 | 253 | 250 | 469 | 270 | 38.2 | 15.27 | 278 | 177 | 1.57 | 462 | 0.66 | 0.504 (5.14) |
| E | 14 | 1014 | 253 | 250 | 468 | 267 | 38.9 | 15.56 | 278 | 175 | 1.59 | 450 | 0.72 | 0.474 (4.83) |
| F | 12 | 1015 | 258 | 251 | 467 | 274 | 40.7 | 16.23 | 280 | 180 | 1.56 | 472 | 0.74 | 0.486 (4.96) |
| G | 12 | 1013 | 250 | 250 | 466 | 266 | 40.9 | 16.40 | 280 | 179 | 1.56 | 486 | 0.72 | 0.472 (4.81) |
| H | 12 | 1021 | 256 | 254 | 468 | 273 | 41.9 | 16.53 | 286 | 181 | 1.58 | 484 | 0.72 | 0.474 (4.83) |

表 1-3-24　11.00-20轮胎标准负荷及气压下的静负荷试验数据

| 厂　牌 | 层　级 | 外直径 mm | 断面宽 mm | 断面高 mm | 负荷下静半径mm | 负荷下断面宽mm | 下沉量 mm | 下沉率 % | 印痕长轴 mm | 印痕短轴 mm | 接地系数 | 印痕面积 $cm^2$ | 硬度系数 | 平均单位压力 MPa(kgf/$cm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 16 | 1084 | 286 | 285 | 501 | 302 | 41.6 | 14.59 | 305 | 206 | 1.48 | 595 | 0.68 | 0.539 (5.50) |
| B | 16 | 1075 | 284 | 281 | 495 | 302 | 42.5 | 15.14 | 300 | 205 | 1.46 | 564 | 0.72 | 0.569 (5.80) |
| C | 16 | 1074 | 283 | 280 | 493 | 298 | 44.2 | 15.76 | 313 | 202 | 1.55 | 555 | 0.73 | 0.578 (5.89) |
| D | 16 | 1083 | 282 | 285 | 498 | 297 | 43.8 | 15.37 | 320 | 209 | 1.53 | 587 | 0.69 | 0.540 (5.51) |
| E | 16 | 1089 | 285 | 288 | 502 | 302 | 42.5 | 14.74 | 308 | 204 | 1.51 | 583 | 0.69 | 0.550 (5.61) |
| F | 16 | 1088 | 284 | 287 | 501 | 302 | 43.2 | 15.03 | 320 | 199 | 1.61 | 580 | 0.70 | 0.553 (5.64) |
| G | 16 | 1088 | 290 | 287 | 499 | 307 | 44.8 | 15.62 | 303 | 209 | 1.45 | 591 | 0.68 | 0.542 (5.53) |
| H | 16 | 1079 | 287 | 282 | 498 | 305 | 41.4 | 14.65 | 297 | 211 | 1.41 | 607 | 0.67 | 0.529 (5.39) |

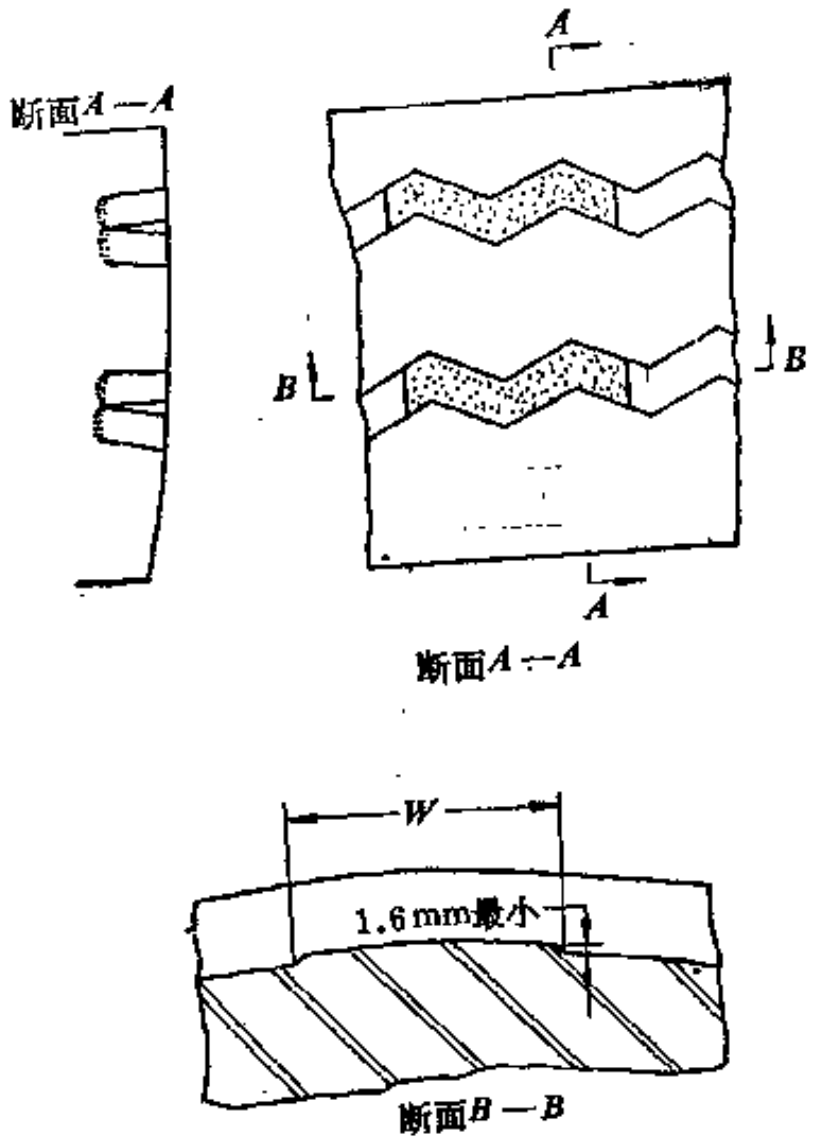



图 1-3-32 条形花纹轮胎胎面磨耗标志
(W不超过断面宽的15%)

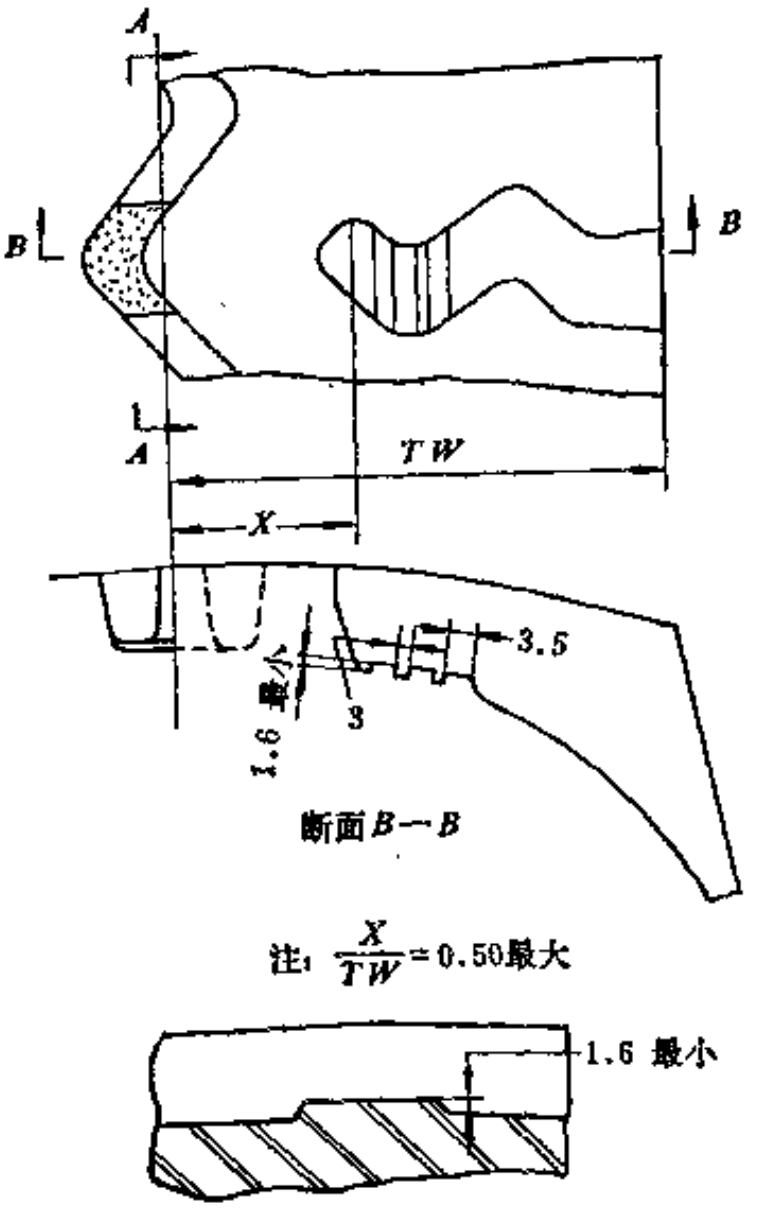



图 1-3-33 块状和条形/块状花纹轮胎胎面磨耗标志
$\left(\frac{X}{TW}=0.50\text{最大}\right)$

## 第四节 轿车轮胎

### 一、结 构

轿车轮胎的规格品种繁多，就结构而言，可分为斜交轮胎和子午线轮胎。它们又各有有内胎轮胎和无内胎轮胎之分。随着轿车行驶速度的提高，对轿车轮胎的安全性、舒适性和经济性提出了更高的要求。为满足用户需要，轿车轮胎应具备以下性能：

① 适于高速行驶；

② 在高速行驶时，特别在潮湿路面上高速行驶时与路面有良好的附着性能；

③ 具有良好的操纵性和稳定性，乘座舒适；

④ 胎面耐磨，能保证一定的行驶里程；

⑤ 噪声小，行驶安全，符合有关的安全标准。

#### （一）轮胎的负荷能力

1．负荷能力的计算

轮胎设计中常用的负荷计算公式，是一个在轮辋宽度与轮胎充气断面宽之比等于0.625（62.5%）的标准条件下，经过试验得出的经验公式，并有理想轮辋上轮胎充气断面宽计算公式与之配套。由于扁平胎的出现，其理想充气断面宽必须经过校正，因面出现了不同的计算理想充气断面宽的配套公式。

（1）负荷计算公式

$$W = K \times 0.425 \times P^{0.558} \times S_d^{1.39}(D_R + S_d) \quad (1\text{-}3\text{-}19)$$

$$S_d = S_{.70} - 0.637d \quad (1\text{-}3\text{-}20)$$

$$S_{.70} = S_t \times \frac{180^\circ - \sin^{-1}\frac{W}{S_t}}{135.6^\circ} \quad (1\text{-}3\text{-}21)$$

$$d = 0.96S_{.70} - H \quad (1\text{-}3\text{-}23)$$

式中 $W$——负荷，lbf；

$K$——负荷系数；

$P$——内压，lbf/in²；

$D_R$——公称轮辋直径，in；

$W_t$——标准轮辋宽度，in；

$S_t$——新胎断面宽，in；

$H$——最大断面高，in；普通断面轮胎：1.01×设计断面高；扁平轮胎：1.02×设计断面高。

（2）负荷计算示例

以185/70R13为例进行计算，其设计参数列如下：$D_R$=13in；$S_t$=7.24in；$P$=29lbf/in²；$W_t$=5in；$H$=1.02×5.12(in)；$K$=1.655。

$$S_{.70} = S_t \times \frac{180^\circ - \sin^{-1}\frac{W_t}{S_t}}{135.6^\circ} = 7.24 \times \frac{180^\circ - \sin^{-1}\frac{5}{7.24}}{135.6^\circ} = 7.28(\text{in})$$

$$H = 1.02 \times 5.12 = 5.22(\text{in})$$

$$d = 0.96S_{.70} - H = 0.96 \times 7.28 - 5.22 = 1.77(\text{in})$$

$$S_d = S_{.70} - 0.637d = 7.28 - 0.637 \times 1.77 = 6.15(\text{in})$$

$$W = K \times 0.425 \times P^{0.558} \times S_d^{1.39}(D_R + S_d)$$

$$= 1.655 \times 0.425 \times 29^{0.558} \times 6.15^{1.39}(13 + 6.15)$$

$$= 1102(\text{lbf})$$

即$W$=4.9kN

2．负荷系数

在计算轿车轮胎负荷能力时，所采用的负荷系数$K$与轮胎的结构和高宽比有关（见表1-3-25）。

表 1-3-25 轿车轮胎的负荷系数

| 尺寸范围 | 负荷系数$K$ |
|---|---|
| "50"系列<br>"60"系列<br>"70"系列 } 斜交轮胎和子午线轮胎 | 1.655 |
| "78"系列斜交轮胎 | 1.700 |
| "78"系列子午线轮胎 | 1.743 |

3．负荷指数

负荷指数是指轮胎最大负荷能力的数字标记。轮胎的最大负荷为在规定的使用条件下，

在速度标志所标明的速度下，单胎使用时轮胎所能承受的最大负荷。根据国际标准，轿车轮胎负荷指数为从50～120，轮胎负荷能力为从100～1400kgf。

**（二）轮胎的标志**

轮胎的标志包括尺寸和结构特征、负荷和速度特征以及其它使用特征等。

1。轮胎尺寸及结构标志

轮胎的规格名称一般标明以下几项：

① 公称断面宽/公称扁平率；

② 轮胎结构代号　轮胎结构代号用以下字母表示。*D*代表斜交结构，*R*代表子午线结构。

③ 公称轮辋直径代号　装配在现有轮辋上的轮胎、其轮辋代号见表1-3-26。

**表 1-3-26　轮辋代号及其公称直径**

| 轮辋代号 | 公称轮辋直径，mm | 轮辋代号 | 公称轮辋直径，mm | 轮辋代号 | 公称轮辋直径，mm |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 254 | 13 | 330 | 15 | 381 |
| 12 | 305 | 14 | 356 | 16 | 406 |

2。使用条件特征

使用条件特征包括负荷指数及速度标志。

（1）速度标志　速度标志代表轮胎在规定的使用条件下，能承受负荷指数所对应负荷时的速度等级。按国际标准轿车轮胎速度标志与速度等级间的对应关系见表1-3-27。

**表 1-3-27　速度标志与其代表的速度等级**

| 速度标志 | 速度等级，km/h | 速度标志 | 速度等级，km/h | 速度标志 | 速度等级，km/h |
|---|---|---|---|---|---|
| L | 120 | Q | 160 | T | 190 |
| M | 130 | R | 170 | U | 200 |
| N | 140 | S | 180 | H | 210 |
| P | 150 | | | | |

（2）西欧轮胎和轮辋组织曾用过的轮胎速度分级法见表1-3-28。

（3）其它使用特征　在轮胎胎侧标明的使用特征有负荷和气压，轮胎为无内胎时，常标出“无内胎”字样，有时还设其它专门标记，如花纹类型和旋转方向等。

（4）轮胎规格标记示例　轮胎的规格表示方法随轮胎的发展而变化。其中以轿车轮胎的规格表示法变化较大。

a．普通断面斜交轿车轮胎，高宽比约为0.96，断面接近圆形。这种轮胎的断面宽标志有：5.20、5.60、5.90、6.40、6.70、7.10、7.60、8.20。如6.70-13，7.60-15等。

b．低断面斜交轿车轮胎，高宽比约为0.88。这种轮胎断面宽标志的尾部为.00或.50两种。如5.00、5.50、6.00、6.50、7.00、7.50、8.00。如6.00-15，7.50-14等。

c．超低断面斜交轿车轮胎，高宽比约为0.82。这种轮胎的断面宽标志有：5.95、6.15 6.45、6.95、7.35、7.75、8.25、8.55。如6.95-14，7.35-15等。

**表 1-3-28 西欧轮胎速度分级方法**

| 轮胎类型 | 速度级别标志 | 不同轮辋直径轮胎的最高安全行驶速度，km/h | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 10in | 12in | 13in及以上 |
| 斜交轮胎 | 无 | 120 | 135 | 150 |
| | S（快速） | 150 | 160 | 175 |
| | H（高速） | 175 | 185 | 200 |
| | V（超高速） | 175以上 | 185以上 | 200以上 |
| 子午线轮胎 | SR | 180 | 180 | 180 |
| | 增强SR | — | 170 | 170 |
| | HR | 210 | 210 | 210 |
| | VR | 210以上 | 210以上 | 210以上 |
| 冬季用轮胎 | M＋S | — | — | — |
| 斜交轮胎 | 无 | 120 | 135 | 150 |
| 子午线轮胎 | SR | 160 | 160 | 160 |
| | 增强SR | — | 150 | 150 |

d．公制轮胎，以公制表示断面宽，英制表示轮辋直径，用“R”表示子午线结构，并用一个字母表示速度等级。如155SR13、215HR15等。公制轿车轮胎断面宽从125开始，以10mm为一级，直至235为止。

在子午线轿车轮胎规格标志中，除用“R”标志外，有的厂牌在胎侧上增加其它标志。如Michelin轮胎公司加“×”，Pirelli轮胎公司加“Cinturato”，苏联用“P”标志子午线结构(如155-13P)。

e．“70”系列轿车轮胎为广泛应用的一种轮胎，其规格表示法与公制轮胎相同，只需在结构和速度标志之前，加入公称扁平率70，该种轮胎断面宽从145开始，以10mm为一级，至215为止。当断面宽相同时，轮胎的负荷能力随轮辋直径的增大而增大。

“60”系列和“50”系列的轿车轮胎与“70”系列轿车轮胎规格表示法相同，只需将70换成60或50即可。

f．美国的字母—数字体制的轿车轮胎，不管轮辋直径的大小，字母代号相同的轮胎具有相同的负荷能力。如ER70 SR14和ER70 SR15轿车轮胎在一定内压下的负荷能力相同。

**表 1-3-29 字母代号与最大负荷对应表**

| 字母代号 | 负荷，kgf | | 字母代号 | 负荷，kgf | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0.17MPa | 0.22MPa | | 0.17MPa | 0.22MPa |
| V | 295 | — | F,FR | 580 | 680 |
| W | 320 | — | G,GR | 620 | 740 |
| Y | 350 | — | H,HR | 685 | 805 |
| Z | 375 | — | J,JR | 715 | 845 |
| A,AR | 410 | 480 | K,KR | 735 | 865 |
| B,BR | 445 | 525 | L,LR | 760 | 895 |
| C,CR | 480 | 560 | M,MR | 810 | 950 |
| D,DR | 510 | 600 | N,NR | 850 | 1005 |
| E,ER | 540 | 640 | | | |

规格中第一个字母表示轮胎的负荷能力。在字母—数字体系中，字母表示内压为0.17MPa(24lbf/in²)及0.22MPa(32lbf/in²)时的最大负荷量（见表1-3-29）

### （三）外胎外轮廓设计

1．轮辋的确定

（1）轮辋宽度　由于轿车行驶速度很高，必须提高轿车的稳定性、舒适性和安全性。减小轮辋和轮胎的直径，使汽车的重心下降。增大轮胎的断面宽和轮辋宽度，降低内压。以减小轮胎的径向和侧向弹性，提高汽车的操纵性和稳定性，达到行驶安全舒适的目的。

轮辋的宽度$W_1$与断面宽$B$的比值是不断变化的，不同公称扁平率的轿车轮胎，对轮辋宽度的要求也不同，见表1-3-30。

表 1-3-30　不同公称扁平率$\left(\frac{H}{B}\right)$轿车轮胎的适用轮辋宽度

| 公称扁平率$\left(\frac{H}{B}\right)$ | 轮辋宽度与断面宽之比$\left(\frac{W}{B}\right)$① | |
|---|---|---|
| | 最　小 | 最　大② |
| $80<\frac{H}{B}<95$ | 0.65 | 0.85 |
| $50<\frac{H}{B}<75$ | 0.70 | 0.90 |

① 表中载明数值适于轮胎公称断面宽，选定轮辋宽度数值应接近于现有的轮辋宽度。
② 对速度等级高于200km/h的轮胎或在特殊情况下，轮辋宽度不限于上表推荐的最大值。

（2）轮辋直径　在无内胎轮胎出现以前，轮辋公称直径向减小的方向发展。其目的是要降低车轮的重心，提高车辆的稳定性。但公称轮辋直径不能小于13in，否则，不能保证车辆有效的制动性。因此，13in以下直径的轮辋未得到推广应用。另外，轮辋直径对行驶速度有一定的影响（见表1-3-31）。

表 1-3-31　轮辋直径与轮胎行驶速度的关系

| 轮胎结构 | 速度级别 | 不同轮辋直径轮胎的最高行驶速度，km/h | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 10in | 12in | 13in以上 |
| 斜交轮胎 | 一般 | 120 | 135 | 150 |
| 子午线轮胎 | SR | 150 | 165 | 180 |
| 子午线轮胎 | HR | — | 195 | 210 |

（3）轮辋类型　现代轿车子午线无内胎轮胎多用J型和JJ型轮辋（ISO统一为J型）。这两种型号轮辋的主要区别为轮缘高度略有差别。前者轮缘高度为0.69in，后者为0.71in。欧洲生产的轿车多用J型轮辋，而美国生产的轿车多用JJ型。J型和JJ型轮辋圈座前都有一驼峰，以利于轮胎胎圈固定于轮辋上，避免胎趾向轮辋中部的深槽滑动。J型和JJ型轮辋圈座宽度为18mm。因此，装用J型和JJ型轮辋的轮胎胎圈宽度不能大于18mm。

2．模型断面宽$B$和断面高$H$的确定

为保证汽车在高速行驶下的安全性和稳定性，必须增大轮胎的接地面积，使应力均匀分布于一个较大的范围内，这就要求降低轮胎的高宽比。因此，轿车轮胎的改进，都通过降低

断面高，增大断面宽，保持一定的轮辋直径来实现，从而出现了低断面轿车轮胎（$\frac{H}{B}=0.88$）、超低断面轿车轮胎（$\frac{H}{B}=0.82$）和“70”系、“60”系、“50”系的新型轿车轮胎（见图1-3-34和表1-3-32、表1-3-33）。

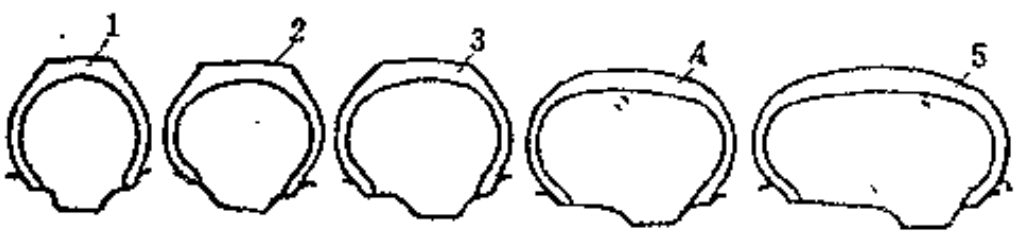



图 1-3-34 轿车轮胎断面形状的演变

1—低断面轿车轮胎(6.00-15)，$\frac{H}{B}=0.88$；

2—超低断面轿车轮胎(166-15)，$\frac{H}{B}=0.82$；

3—“70”系列轿车轮胎(185/70-15)；$\frac{H}{B}=0.70$；

4—“60”系列轿车轮胎(215/60-15)；$\frac{H}{B}=0.60$；

5—“50”系列轿车轮胎(265/50-15)，$\frac{H}{B}=0.50$。

表 1-3-32 在相同气压和负荷下不同高宽比轿车轮胎断面宽比较

| 轮胎规格 | 高宽比（$\frac{H}{B}$），% | 轮辋代号 | 断面宽，mm | 内压，MPa(lbf/in²) | 负荷，kN(kgf) |
|---|---|---|---|---|---|
| P205/70R15 | 70 | 15 | 203 | 0.20(29) | 6.08(620) |
| P195/75R15 | 75 | 15 | 196 | 0.20(29) | 5.98(610) |
| P235/50R13 | 50 | 13 | 235 | 0.20(29) | 5.15(525) |
| P215/60R13 | 60 | 13 | 216 | 0.20(29) | 5.20(530) |
| P215/60R14 | 60 | 14 | 216 | 0.20(29) | 5.44(555) |
| P195/70R14 | 70 | 14 | 196 | 0.20(29) | 5.34(545) |
| P265/50R15 | 50 | 15 | 267 | 0.20(29) | 6.96(710) |
| P245/60R15 | 60 | 15 | 248 | 0.20(29) | 7.16(730) |

轿车轮胎公称扁平率小于1，充气时，子午线轮胎外直径基本不变，断面宽增大。而斜交轮胎的外直径增大较多，断面宽变化较小，甚至不变，因此，在选取外直径和断面宽膨胀率时，以上两种结构的轮胎必须分别取值。一般子午线轮胎$\frac{B'}{B}=1.01\sim1.02$，$\frac{D'}{D}=1.001\sim1.002$；而斜交轮胎$\frac{B'}{B}=1.00\sim1.020$，$\frac{D'}{D}=1.01\sim1.025$。

根据轮胎充气外直径和断面宽的膨胀率，可确定模型的外直径$D$和断面宽$B$，从而根据下式可求得断面高$H$。

表 1-3-33 ISO用于5°角轮辋上的公制系列轿车轮胎设计参数

| 公称断面宽 mm | 轮辋代号 | 测量轮辋宽度 mm | 设计新胎尺寸，mm | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 断面宽 mm | 不同公称扁平率 $\left(\frac{H}{B}\right)$ 下的断面高($H$) | | | | | | | | |
| | | | | 95 | 90 | 85 | 80 | 75 | 70 | 65 | 60 | 55 | 50 |
| 125 | 3.5 | 89.0 | 126 | 119 | 113 | 106 | 100 | 94 | 88 | 81 | 75 | 69 | 63 |
| 135 | 3.5 | 89.0 | 133 | 128 | 122 | 115 | 108 | 101 | 95 | 88 | 81 | 74 | 68 |
| 145 | 4.0 | 101.5 | 145 | 138 | 131 | 123 | 116 | 109 | 102 | 94 | 87 | 80 | 73 |
| 155 | 4.5 | 114.5 | 157 | 147 | 140 | 132 | 124 | 116 | 109 | 101 | 93 | 85 | 78 |
| 165 | 4.5 | 114.5 | 165 | 157 | 149 | 140 | 132 | 124 | 116 | 107 | 99 | 91 | 83 |
| 175 | 5.0 | 127.0 | 177 | 168 | 158 | 149 | 140 | 131 | 123 | 114 | 105 | 96 | 88 |
| 185 | 5.0 | 127.0 | 184 | 176 | 167 | 157 | 148 | 139 | 130 | 120 | 111 | 102 | 93 |
| 195 | 5.5 | 140.0 | 196 | 185 | 176 | 166 | 156 | 146 | 137 | 127 | 117 | 107 | 98 |
| 205 | 5.5 | 140.0 | 203 | 195 | 185 | 174 | 164 | 154 | 144 | 133 | 123 | 113 | 103 |
| 215 | 6.0 | 152.5 | 216 | 204 | 194 | 183 | 172 | 161 | 151 | 140 | 129 | 118 | 108 |
| 225 | 6.0 | 152.5 | 223 | 214 | 203 | 191 | 180 | 169 | 158 | 146 | 135 | 124 | 115 |
| 235 | 6.5 | 165.0 | 235 | 223 | 212 | 200 | 188 | 176 | 165 | 153 | 141 | 129 | 118 |
| 245 | 7.0 | 178.0 | 248 | 233 | 221 | 208 | 196 | 184 | 172 | 159 | 147 | 135 | 123 |
| 255 | 7.0 | 178.0 | 255 | 242 | 230 | 217 | 204 | 191 | 179 | 166 | 153 | 140 | 128 |
| 265 | 7.5 | 190.5 | 267 | 252 | 239 | 225 | 212 | 199 | 186 | 172 | 159 | 146 | 133 |
| 275 | 7.5 | 190.5 | 274 | 261 | 248 | 231 | 220 | 206 | 193 | 179 | 165 | 151 | 138 |
| 285 | 8.0 | 203.0 | 286 | 271 | 257 | 242 | 228 | 214 | 200 | 185 | 171 | 157 | 143 |
| 295 | 8.0 | 203.0 | 294 | 280 | 266 | 251 | 236 | 221 | 207 | 192 | 177 | 162 | 148 |
| 305 | 8.5 | 216.0 | 306 | 290 | 275 | 259 | 244 | 229 | 214 | 198 | 183 | 168 | 153 |
| 315 | 8.5 | 216.0 | 313 | 299 | 284 | 268 | 252 | 236 | 221 | 205 | 189 | 173 | 158 |

$$H=\frac{1}{2}(D-d)$$

式中 $d$——轮胎轂合直径，mm。

3.行驶面宽度 $b$ 和弧度高 $h$ 的确定

低断面和超低断面轿车轮胎的外直径较普通断面轿车胎小，负荷下行驶面与路面的接触长度较短，应适当增加行驶面的宽度和降低弧度高，使行驶面尽可能平坦，增加接地面积，避免磨耗不均。表1-3-34列出了轿车轮胎行驶面结构参数。

表 1-3-34 轿车轮胎行驶面结构参数

| 轮胎结构 | $\frac{b}{B}$ | $\frac{h}{H}$ |
|---|---|---|
| 斜交轿车轮胎 | 0.7～0.85 | 0.04～0.06 |
| 子午线轿车轮胎 | 0.8～0.95 | 0.03～0.04 |
| "50"系列轿车轮胎 | ～0.95 | |
| "60"系列轿车轮胎 | ～0.90 | |
| "70"系列轿车轮胎 | ～0.85 | |

4. 断面水平轴位置的确定

断面水平轴位于轮胎断面最宽点，是厚度最薄变形较大的部位。水平轴可稍接近胎圈，也可稍接近胎冠，视轮辋宽度、行驶面宽度和轮胎结构而定。一般$\frac{H_1}{H_2}$在0.8～1.12之间。斜交轮胎$\frac{H_1}{H_2}$=0.8～0.9，子午线轮胎在0.9～1.12之间。

5. 各部弧度半径的确定

（1）胎冠弧度半径的确定 胎冠的轮廓有正弧形、平弧和反弧形三种，其中以正弧形应用较多。

a 正弧形 正弧形胎面轮廓，一般由$R_n$和$R''_n$两个半径组成。半径$R_n$的大小，根据所选取的行驶面宽度$b$和弧度高$h$应用式（1-3-12）计算确定。

胎面曲率半径$R_n$的大小与胎面磨耗性能直接相关，一般轿车轮胎行驶面曲率半径$R_n$与断面宽的比值$\left(\frac{R_n}{B}\right)$在1.7～2.0之间。在此范围内胎面磨耗均匀。胎肩半径$R''_n$较载重轮胎大，一般为25～45mm$\left(约为\frac{R_n}{10}\right)$。

b．反弧形 正弧形胎面轮胎在负荷下滚动时，胎面接地部分产生压缩变形，特别是胎肩有向内弯曲的反复变形，极易造成磨肩。如果把行驶面设计成反弧形，保证充气后外直径与模型外直径基本一致，能显著的提高胎面的耐磨性能。

反弧形胎面轮廓，中部凹进两侧凸起成弓形，轿车轮胎中部凹进深度一般为0.13～2mm，凹进部分的宽度较宽，从凹进部分向两边凸起部分平滑地过渡，面凸起部分的高点应在胎肩到胎面圆周中心线之间距离的55～75%的点上。

反弧形胎面多用于高速轿车轮胎和飞机轮胎，这两种轮胎在高速行驶时在离心力的作用

下，使反弧胎面成为正弧胎面。反弧形轮胎的外形见图1-3-35。

（2）胎侧弧度半径的确定　轿车轮胎的上胎侧、下胎侧和胎圈弧度半径的确定与载重轮胎相同。但是，在轿车轮胎特别是高速轿车轮胎的上胎侧应设一段减薄区或设一凹槽形成的减薄区，把胎侧的屈挠变形限制在这一区域内，以减轻肩部的屈挠和生热。一般凹槽的深度为邻近胎侧总厚度的15～35%，宽度按断面高宽比的大小酌情选定。

有时为了保护胎侧免受马路边沿损伤，在轮胎一侧水平轴附近设计厚度为10mm左右 的凸起棱（见图1-3-36）。

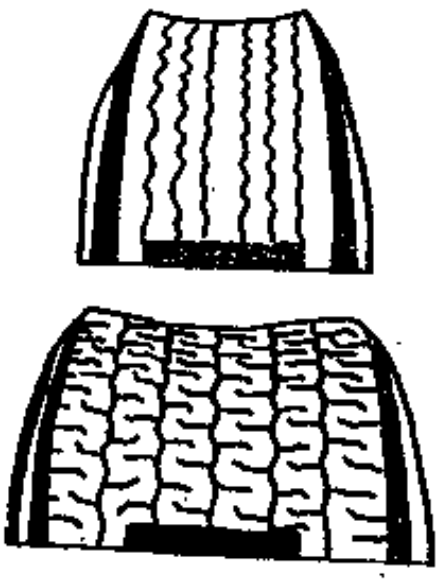


图 1-3-35　反弧形轮胎外形

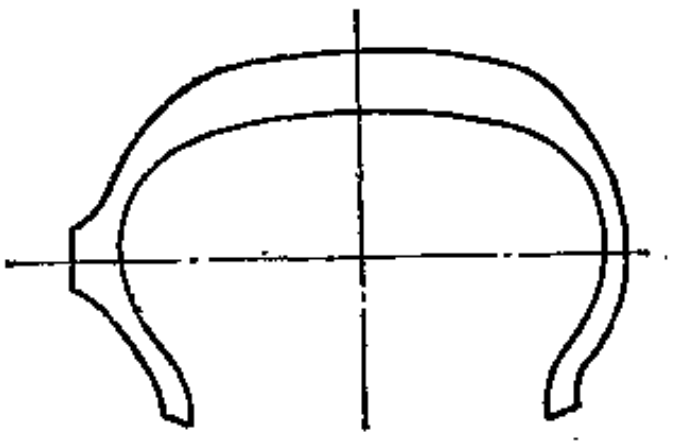


图 1-3-36　加强胎侧的轿车轮胎

6．胎圈结构的确定

（1）钢丝圈强力的计算　胎圈中钢丝圈的强方取决于胎圈所受的总应力。总应力的计算方法与载重轮胎相同。安全倍数一般为 5 倍以上，高速轿车无内胎轮胎的安全倍数应适当提高，因为随着行驶速度的提高，受离心力的作用胎圈应力增大。另外，钢丝圈钢丝的永久变形要小，否则将影响轮胎的密封性。速度对轮胎胎圈应力的影响见图1-3-37。

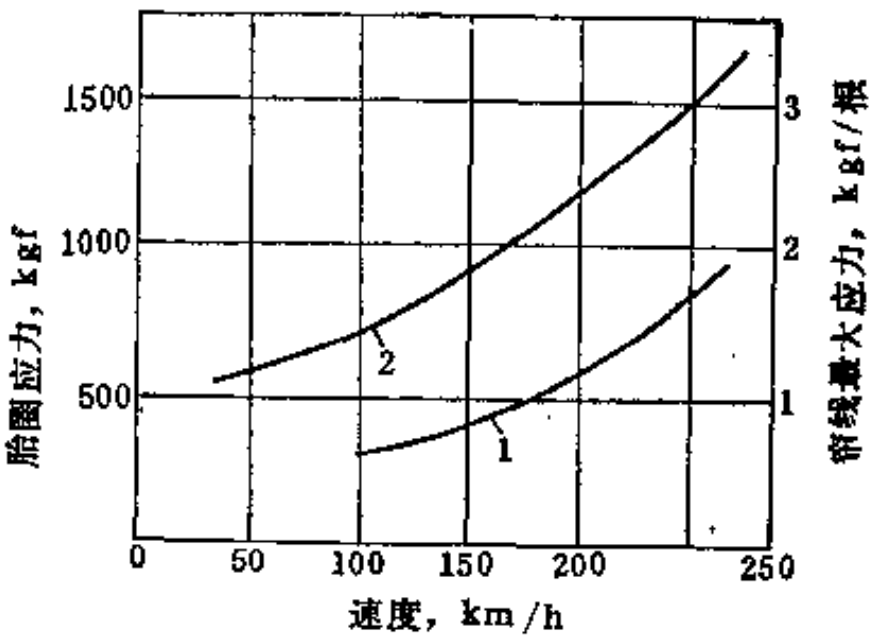



图 1-3-37　行驶速度对轮胎帘线最大应力和胎圈应力的影响
1—帘线最大应力；2—胎圈应力
(1kgf=9.80665N)

（2）胎圈结构　轿车轮胎胎体帘布层数少，基本都采用单钢丝圈，其结构见图1-3-38。

轿车轮胎胎体层数少，胎侧柔软，致使高速行驶时刚度不足，稳定性差，胎圈易产生磨损和脱层，必须提高胎圈的刚度，提高胎圈的刚度一般采用以下方法。

①加大三角胶芯，使胎侧屈挠区缩短。三角胶芯胶料的硬度提高到80～90。

②在胎圈外侧或内侧增加补强层，补强层可用纤维帘布或钢丝帘布。当补强层位于胎体帘布反包差级内侧，紧靠三角胶芯时，高度应低于断面水平轴，裁断角度为30° 左右。若位于胎体帘布反包差级的外侧，其高度一般较胎体反包差级端点低10～15mm（有时可比反包差级端点高）。裁断角度为45～60°。

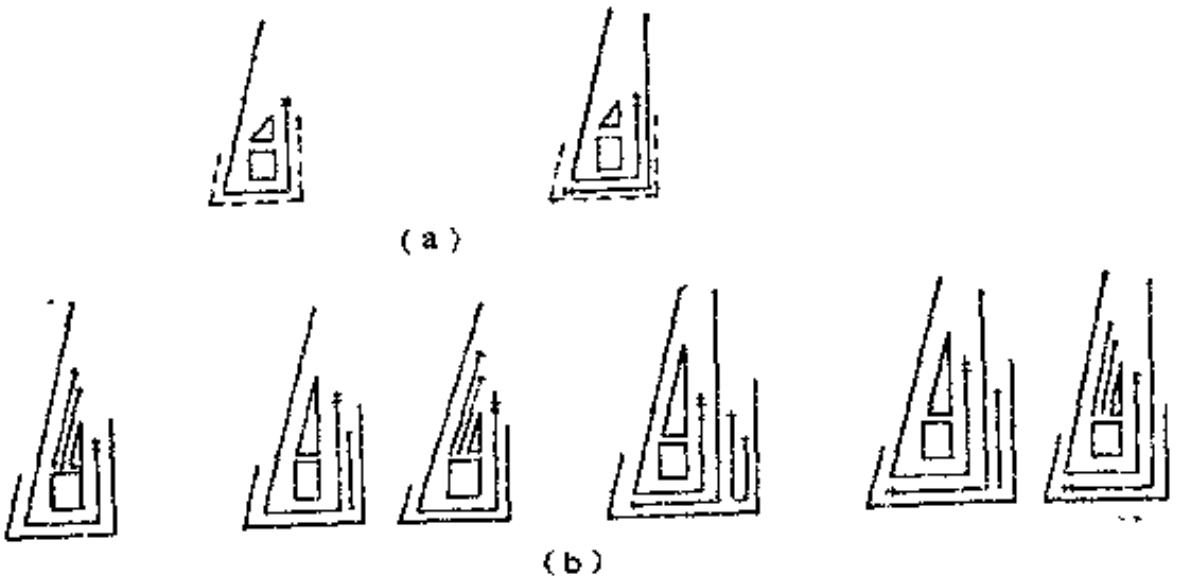



图 1-3-38 轿车轮胎胎圈结构
(a) 斜交轮胎；(b) 子午线轮胎

③ 在胎圈外增贴高硬度的支撑胶（子口胶），硬度为80～90。

④ 把胎体帘布（纤维帘布）反包差级延伸至接近水平轴或超过水平轴的位置。

⑤ 胎圈着合直径及断面形状的确定，参见本篇第二章第一节。

7．缓冲层（或带束层）结构的确定

（1）斜交轮胎缓冲层的结构 小规格的斜交轿车轮胎，行驶于好路面，一般只用一层厚度为2mm左右的胶片。而大规格的轿车轮胎，一般用二层交叉排列的帘布缓冲层。

（2）子午线轮胎带束层的结构 子午线轮胎的带束层是主要受力部件，需具备一定的强度和刚度。带束层的刚度取决于帘线的种类、密度和角度、帘布的层数、宽度和排列方法。带束层的结构和帘线的几何排列，对轿车子午线轮胎的高速性影响很大，甚至大于材料种类的影响。

根据对带束层的要求，钢丝帘线是理想的材料，因为它具有强度高、伸长率低、耐热、耐疲劳和拉伸模量高等优点。但是，它硬度大且不耐水，乘坐舒适性较差。因而，近年来用作带束层的材料除钢丝帘布外，开始采用混合结构。如钢丝和玻璃纤维、钢丝和合成纤维（尼龙、聚酰胺、粘胶丝、聚酯等）帘布并用。

钢丝带束子午线轮胎在使用过程中最常产生的缺点之一是带束层边缘脱层。为了提高带束层的使用性能和行驶舒适性，国外主要轮胎公司提出了许多改进钢丝带束结构和用不同材料组合的带束层混合结构。主要围绕加强端部、改进帘线排列和减少肩部应力集中。

a．钢丝帘布带束层结构 钢丝带束层一般采用二层65～80°交叉排列的钢丝帘布(不宜采用90°)。这种结构的帘线橡胶复合体剪切模量很小。其宽度应尽可能加宽，一般不小于行驶面宽度的95%，但应窄于轮胎装在轮辋上两胎圈间的距离。下面列举几种钢丝带束层的结构，见图1-3-39和图1-3-40。

折叠式和包边式结构中帘布角度一般为 65～75°，折叠边的宽度为行驶面宽度的 20～25%。高速行驶时边部不易脱层。但折叠边不能过窄，否则在负荷下折叠边产生变形，而导致轮胎的早期损坏。

b．不同材料的混合带束层结构 一般情况是内层为钢丝帘布，外层为合成纤维帘布。这种结构既能保证所要求的刚度，又具有足够的乘坐舒适性和柔软性。国外主要轮胎公司提出的几种混合带束层结构见图1-3-41。带束层的层数不宜过多，不能单纯以增加其层数来达到

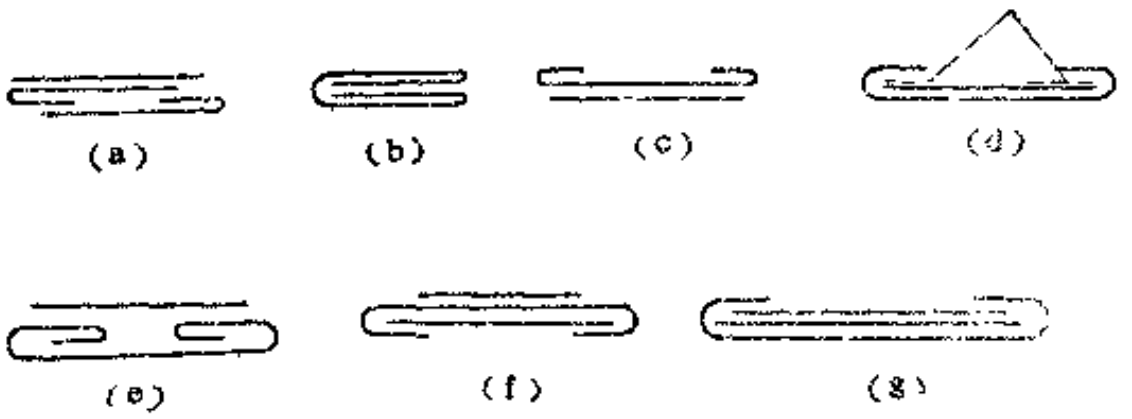



图 1-3-39　折叠式钢丝带束层结构示意图

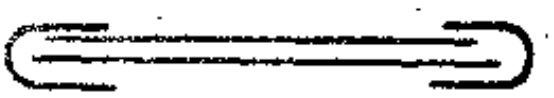


图 1-3-40　包边式钢丝带束层结构示意图

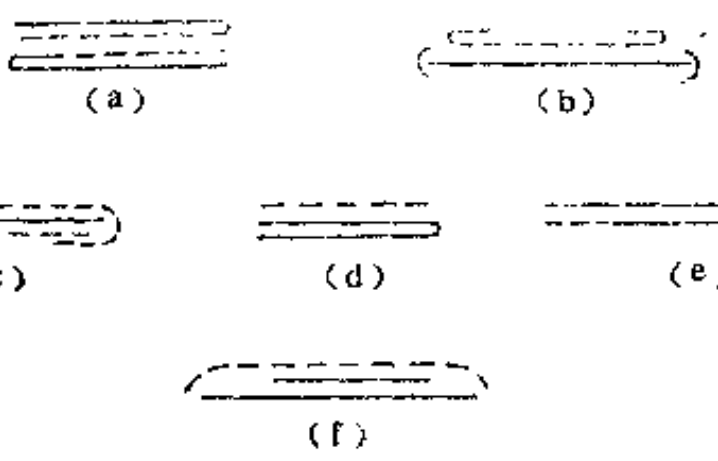



图 1-3-41　混合带束层结构示意图

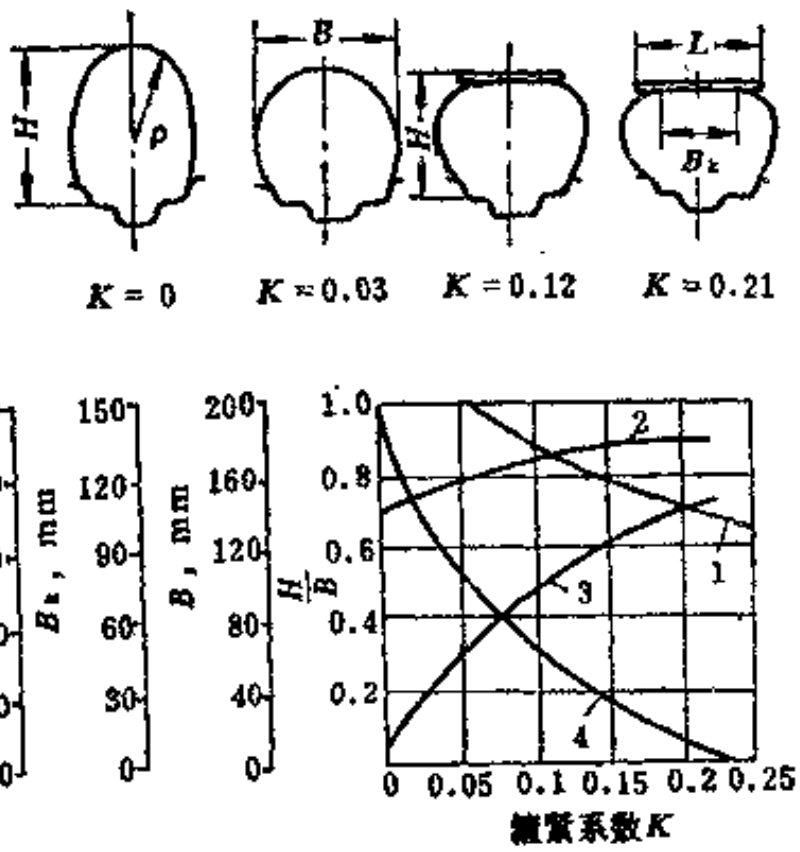



图 1-3-42　轮胎断面几何参数与簾紧系数的关系

$1-\frac{H}{B}$；2—$B$；3—$bk$；4—$\frac{1}{\rho}$

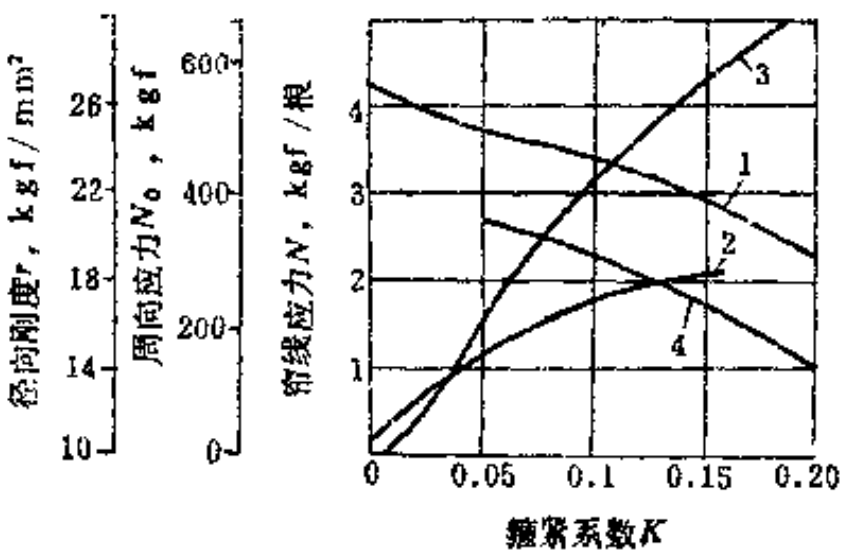



图 1-3-43　胎体带束层帘线应力、径向刚性与簾紧系数的关系（内压不变时）

1—胎体帘线应力$N$；2—带束层帘线应力$N_1$；3—带束层承受的周向应力$N_0$；4—子午线轮胎径向刚度r(1kgf=9.80665N)

提高刚度的目的。层数过多将使接地面积减小，而导致胎面磨耗性能下降。

（3）簾紧系数　带束层的簾紧系数按式（1-3-23）计算。

$$K=\frac{H'-H_0}{H'} \tag{1-3-23}$$

式中 $K$——箍紧系数；

$H_0$——无带束层充气轮胎断面高（按胎体第一层帘布计算），mm；

$H'$——有带束层充气轮胎断面高，mm。

带束层箍紧系数的大小，决定轮胎的断面形状。轿车轮胎内压低，要确保行车安全，带束层的箍紧系数宜取较大值，一般取0.11～0.16。试验证明，胎体和带束层中帘线应力随箍紧系数的变化而变化（如图1-3-42）。在其它条件相同时，增大箍紧系数，将导致胎体帘线应力的减小，带束层帘线应力和周向总应力的增大（如图1-3-43）。

表1-3-35列出了国际轮胎剖析试验公司对子午线轿车轮胎带束层用钢丝帘线结构性能剖析数据，表1-3-36列出了轿车子午线轮胎带束层用未来结构钢丝帘线性能。

**（四）胎面花纹的设计**

现代轮胎胎面花纹不仅要保证车辆在不同使用条件下的安全行驶，而且要保证轮胎有一定的使用寿命。由于轿车行驶速度高，对花纹的使用性能如耐磨性、排水性、牵引性以及噪声等方面都有较高的要求。

胎面花纹一般分为普通花纹（以纵向沟为主）、混合花纹（纵横沟相结合）和冰雪花纹（以横向沟为主）。在设计轿车轮胎花纹时，应重视它的适用性和通用性。适应各种道路和气候条件的全天候花纹，有纵沟也有横沟，有条状花纹块和块状花纹块，并配置一定数量不

**表 1-3-35 美国Smithers国际轮胎剖析试验公司对子午线轿车轮胎带束层用钢丝帘线结构性能剖析数据**

| 轮胎规格 | 厂牌 | 层数 | 钢丝帘线 | | | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 结构 | 不带外缠帘线直径 mm | 单根钢丝直径 mm | 扯断强度 kN(kgf) | |
| 155R13 | Brigestone | 2 | 1×5×0.25 | 0.61 | 0.25 | 0.69(70) | 1979年 |
| 155R13 | Pirelli | 2 | 1×4×0.25 | 0.58 | 0.25 | 0.52(53) | 1979年 |
| 155R13 | Michelin | 2 | 2+7×0.23+1×0.13 | 0.71 | 0.23 | 0.90(92) | 1979年 |
| 155R13 | Dunlop | 2 | 1×5×0.25 | 0.61 | 0.25 | 0.64(65) | 1979年 |
| 155R13 | Uniloyal | 2* | 1×4×0.25 | 0.56 | 0.25 | 0.51(52) | 1979年 |
| 155R13 | Goodyear | 2 | 1×4×0.25 | 0.56 | 0.25 | 0.51(52) | 1979年 |
| 155R13 | Firestone | 2 | 1×4×0.25 | 0.56 | 0.25 | 0.52(53) | 1979年 |
| 165/70R13 | Michelin | 2 | 2+7×0.23+1×0.10 | 0.76 | 0.23 | 0.87(89) | 1981年 |
| 165/70R13 | Brigestone | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.59(60) | 1981年 |
| 175/70HR13 | Continental | 2 | 1×4×0.25 | 0.56 | 0.25 | 0.50(51) | 1981年 |
| 175/70HR13 | Michelin | 2 | 2+7×0.23+1×0.10 | 0.74 | 0.23 | 0.90(92) | 1981年 |
| 175/70HR13 | Brigestone | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.64(66) | 1981年 |
| 185/70R14 | Pirelli | 2 | 1×4×0.25 | 0.58 | 0.25 | 0.51(52) | 1979年 |
| 185/70R14 | Dunlop | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.58(59) | 1979年 |
| 185/70R14 | Goodyear | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.47(48) | 1979年 |
| 185/70R14 | Brigestone | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.62(63) | 1979年 |
| 185/70R14 | Michelin | 2 | 2+7×0.23+1×0.15 | 0.79 | 0.23 | 0.92(94) | 1979年 |
| 185/70R14 | Yokohama | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.63(64) | 1979年 |
| 185/70R14 | Olympic | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.64(65) | 1979年 |
| 185/70R14 | Toyo | 2 | 1×5×0.25 | 0.66 | 0.25 | 0.60(61) | 1979年 |

续表

| 轮胎规格 | 厂　牌 | 层数 | 钢丝帘线 | | | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 结　构 | 不带外缠帘线直径 mm | 单根钢丝直　径 mm | 扯断强度 kN(kgf) | |
| 185/80R14 | Uniloyal | 2 | 1×4×0.28 | 0.64 | 0.28 | 0.61(62) | 1979年 |
| 185/80R13 | Goodyear | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.60(61) | 1979年 |
| 185/80R13 | General | 2 | 1×4×0.25 | 0.66 | 0.25 | 0.62(63) | 1979年 |
| 185/80R14 | Goodyear | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.45(46) | 1980年 |
| 185/80R13 | Firestone | 2 | 2+7×0.20+1×0.15 | 0.66 | 0.20 | 0.79(81) | 1980年 |
| 185/80R13 | uniloyal | 2 | 1×4×0.28 | 0.58 | 0.28 | 0.59(60) | 1980年 |
| 185/80R13 | Goodrich | 2 | 1×5×0.25 | 0.56 | 0.25 | 0.62(63) | 1980年 |
| 185/70R13 | Yokohama | 2 | 1×5×0.23 | 0.53 | 0.23 | 0.48(49) | 1980年及1981年 |
| 185/70HR13 | Michelin | 1 | 4×4×0.18H.E | 0.84 | 0.18 | 0.93(95) | 1981年 |
| | | 2 | 1×4×0.23+1×0.13 | 0.48 | 0.23 | 0.41(42) | 1981年 |
| 185/70HR14 | Goodyear | 1～2 | 1×4×0.23 | 0.53 | 0.23 | 0.50(51) | 1981年 |
| | | 3～4 | 尼龙 | | | | |
| 185/70R13 | Brigestone | 2 | 1×5×0.25 | 0.60 | 0.25 | 0.62(63) | 1981年 |
| 185/70R13 | Pirelli | 2 | 1×5×0.25 | 0.61 | 0.25 | 0.64(65) | 1981年 |
| 185/70R13 | Continental | 2 | 1×4×0.25 | 0.58 | 0.25 | 0.50(51) | 1981年 |
| 195/70HR14 | Goodrich | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.61(62) | 1980年 |
| 195/70HR14 | Goodyear | 2 | 3×4×0.15 | 0.66 | 0.15 | 0.42(43) | 1980年 |
| 195/70HR14 | Dunlop | 2 | 3×3×0.15 | 0.61 | 0.15 | 0.33(34) | 1980年 |
| 195/70HR14 | Yokohama | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.60(61) | 1980年 |
| 195/70HR14 | Firestone | 2 | 1×4×0.25 | 0.56 | 0.25 | 0.47(48) | 1980年 |
| 195/70HR14 | Continental | 2 | 7×3×0.15 | 0.89 | 0.15 | 0.79(81) | 1980年 |
| 205/75R14 | General | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.61(62) | 1979年 |
| 205/75R14 | Goodrich | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.62(63) | 1979年 |
| 215/75R15 | Firestone | 2 | 2×7×0.23 | 0.76 | 0.23 | 0.91(93) | 1979年 |
| 215/75R13 | Goodyear | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.48(49) | 1979年 |
| 205/75R15 | Goodyear | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.49(50) | 1980年 |
| 205/75R15 | Firestone | 2 | 2+7×0.23+1×0.15 | 0.69 | 0.23 | 0.85(87) | 1980年 |
| 205/75R14 | Goodrich | 2 | 1×5×0.25 | 0.58 | 0.25 | 0.67(68) | 1980年 |
| 205/75R15 | General | 2 | 1×4×0.25 | 0.51 | 0.25 | 0.53(54) | 1980年 |
| 205/75R15 | Uniloyal | 2 | 1×4×0.28 | 0.56 | 0.28 | 0.64(65) | 1980年 |
| 205/75R15 | Michelin | 2 | 2+7×0.23+1×0.13 | 0.69 | 0.23 | 0.93(95) | 1980年 |
| 215/75R15 | Uniloyal | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.61(62) | 1980年 |
| 215/75R15 | Goodrich | 2 | 1×5×0.23 | 0.64 | 0.23 | 0.64(65) | 1980年 |
| 215/75R15 | Goodyear | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.52(53) | 1980年 |
| 215/75R15 | Firestone | 2 | 2+7×0.20 | 0.76 | 0.20 | 0.92(94) | 1980年 |
| 215/75R15 | General | 2 | 1×5×0.25 | 0.58 | 0.25 | 0.49(50) | 1980年 |
| 235/75R15 | Firestone | 2 | 2+7×0.23+1×0.15 | 0.71 | 0.23 | 0.75(76) | 1980年 |
| 235/75R15 | Uniloyal | 2 | 1×4×0.28 | 0.61 | 0.28 | 0.62(63) | 1980年 |
| 235/75R15 | General | 2 | 1×5×0.25 | 0.58 | 0.25 | 0.63(64) | 1980年 |
| 235/75R15 | Goodyear | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.46(47) | 1980年 |
| 235/75R15 | Goodrich | 2 | 1×5×0.23 | 0.56 | 0.23 | 0.61(62) | 1980年 |

续表

| 轮胎规格 | 厂　牌 | 层数 | 钢丝帘线 | | | | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 结　构 | 不带外缠帘线直径 mm | 单根钢丝直　径 mm | 扯断强度 kN(kgf) | |
| 195/75R14 | General | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.50(51) | 1982年 |
| 195/75R14 | Dunlop | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.50(51) | 1982年 |
| 195/75R14 | Goodrich | 2 | 1×5×0.25 | 0.71 | 0.25 | 0.62(63) | 1982年 |
| 195/75R14 | Uniloyal | 2 | 1×4×0.28 | 0.58 | 0.28 | 0.61(62) | 1982年 |
| 195/75R14 | General | 2 | 1×4×0.25 | 0.51 | 0.25 | 0.52(53) | 1982年 |
| 195/75R14 | Goodrich | 2 | 1×4×0.28 | 0.58 | 0.28 | 0.60(61) | 1982年 |
| 195/75R14 | Michelin | 2 | (1×2)+7×0.23+1×0.10 | 0.97/0.76 | 0.23 | 0.88(90) | 1982年 |
| 195/75R14 | Goodyear | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.49(50) | 1982年 |
| 195/75R14 | Firestone | 2 | (1×2)+7×0.23+1×0.15 | 0.97/0.71 | 0.23 | 0.81(83) | 1982年 |
| 175/70HR13 | Toyo | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.62(63) | 1982年 |
| 175/70HR13 | Yokohama | 2 | 1×5×0.23 | 0.58 | 0.23 | 0.51(52) | 1982年 |
| 175/70HR13 | Firestone | 2 | 1×4×0.25 | — | 0.25 | 0.53(54) | 1982年 |
| 175/70HR13 | Michelin | 2 | 2+7×0.23+1×0.10 | 0.97/0.81 | 0.23 | 0.91(93) | 1982年 |
| 175/70HR13 | Goodyear | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.55(56) | 1982年 |
| 175/70HR13 | Continental | 2 | 1×4×0.25 | 0.53 | 0.25 | 0.52(53) | 1982年 |
| 175/70HR13 | Dunlop | 2 | 1×5×0.25 | 0.64 | 0.25 | 0.61(62) | 1982年 |

**表 1-3-36　轿车子午线轮胎带束层用未来结构钢丝帘线性能**

| 帘线结构 | 不带外缠帘线直径 mm | 单根钢丝直　径 mm | 扯断强度 kN(kgf) | 扯断伸长率 % | 重　量 g/m | 拉伸模量 GPa | 压缩模量 GPa | 与橡胶的最初粘合强度 kN(kgf) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1×4×0.22 | 0.5 | 0.22 | 0.395(40.3)<br>0.475(48.4) | 1.4～2.0 | 1.19 | — | — | — |
| 1×4×0.25（标准） | 0.57/0.61 | 0.25 | 0.517(52.7) | 1.8 | 1.56 | 197.2 | 78.5 | 0.44(45) |
| 1×4×0.25（开放） | — | 0.25 | 0.516(52.6) | 2.5 | 1.56 | — | — | 0.46(47) |
| 1×3×0.25（特种） | 0.54/0.76 | 0.25 | 0.47(48) | 2.1 | 1.55 | — | — | 0.42(43) |
| 1×4×0.28 | 0.66 | 0.28 | 0.600(61.2) | 1.4～2.0 | 1.96 | 198.2 | 78.0 | — |
| 1×5×0.25 | 0.67 | 0.25 | 0.594(60.6) | 1.4～2.0 | 1.95 | 196.2 | 47.1 | — |
| 2+7×0.22+0.15 | 0.80 | 0.22 | 0.870(88.7) | 1.8 | 2.94 | 203.6 | 99.1 | — |

同角度不同形状的刀槽花纹，是经常采用的一种花纹。

1．花纹类型

（1）以纵向为主适于高速行驶的花纹。见图1-3-44。

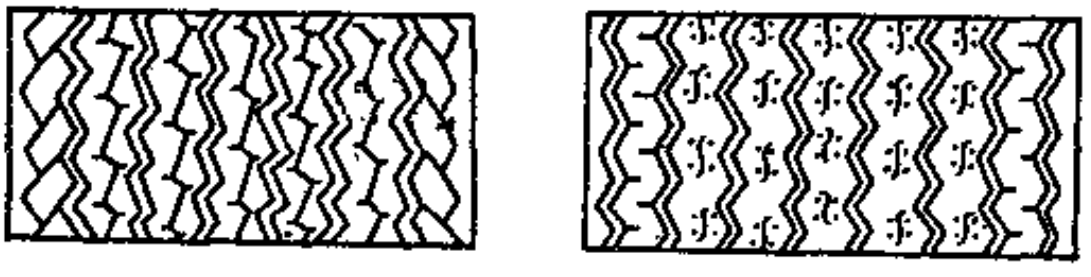


图 1-3-44　轿车轮胎花纹

（2）纵横结合的混合花纹，花纹块上刀槽花纹，边缘上有镶钉的钉孔，适于冰雪地使用，有良好的抓着力和自洁性（见图1-3-45）。

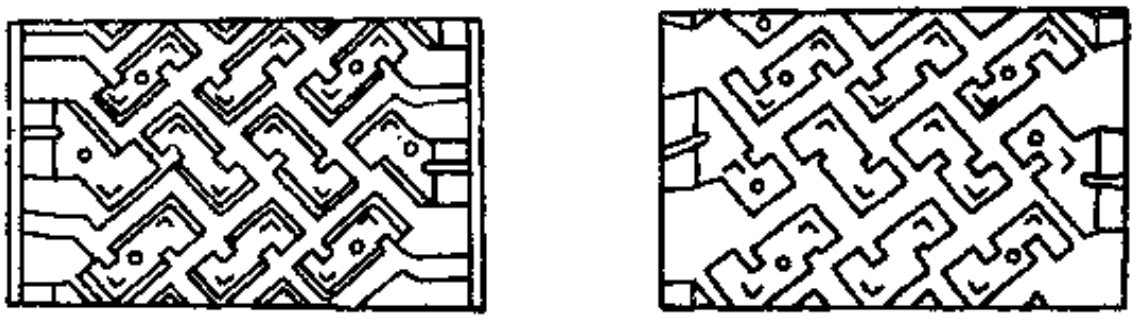


图 1-3-45　轿车轮胎花纹

（3）以横向为主适于在湿路面上行驶，具有良好的排水性能（见图1-3-46）。

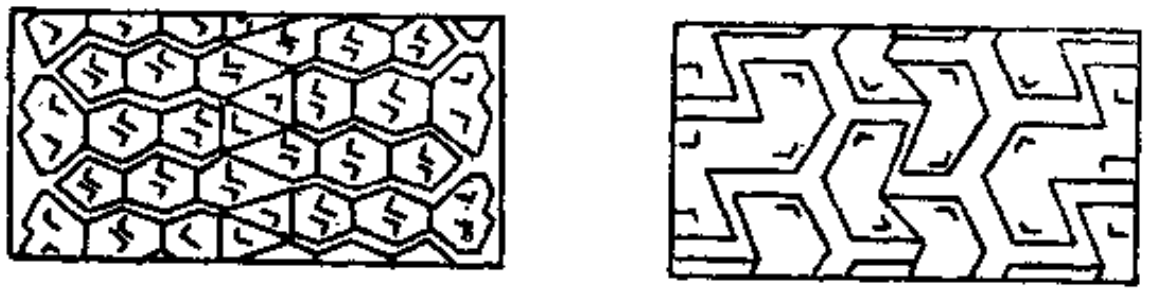


图 1-3-46　轿车轮胎花纹

（4）纵横结合适于各种路面及气候条件的全天候花纹（见图1-3-47）。

（5）不对称的胎面花纹，能改善在各种路面条件下的行驶性能（见图1-3-48）。

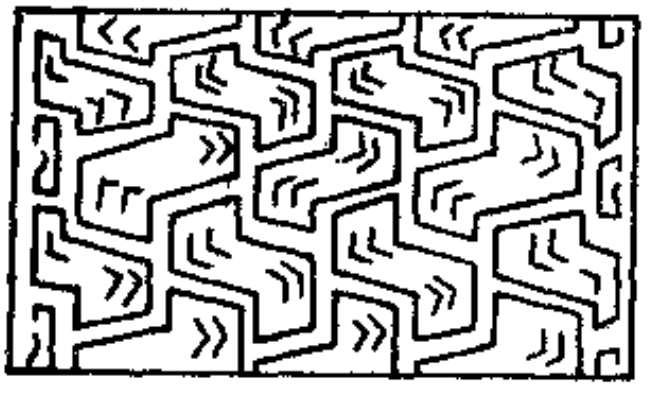


图 1-3-47　轿车轮胎花纹

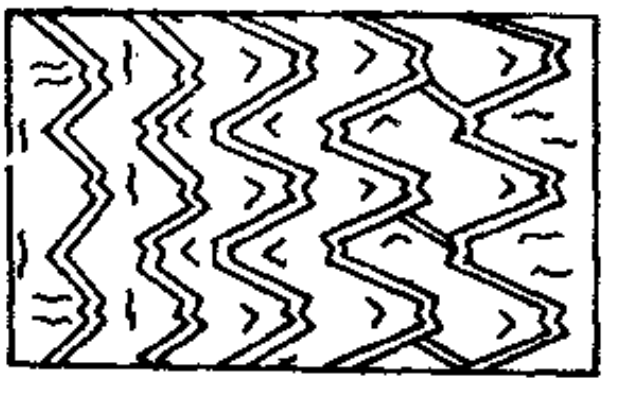


图 1-3-48　轿车轮胎花纹

2．花纹设计特点

胎面花纹的设计特点如下。

①　花纹块总面积为行驶面总面积的60～80%。

②　纵向花纹沟与横向花纹沟配置要适当。并在纵向花纹沟的基础上，横向分割花纹条，开宽0.4～1.2mm，深5mm左右的刀槽。为防止裂口，一般把刀槽花纹设计成波浪形或有一定倾斜角度的斜线。

③　采用不等节距，即在圆周上将花纹条分割成不等尺寸的花纹块来减少噪声。一般采用 3 ～ 4 个不等节距，在圆周上按一定顺序交替排列。轿车轮胎圆周上约有30～100个节距，最好为45～75个节距。最大和最小节距约差20～25%。

④　为了提高轮胎在冰雪路面上行驶时的抗滑性，可在胎面上镶钉。镶钉轮胎对地面的抓着力比不镶钉轮胎约高 5 倍，但对路面的损伤很大，必须酌情使用。

⑤ 胎肩花纹一般为连续性的，且花纹沟延伸至圆胎肩弧度的终止处（或胎肩切线的终止处）。

⑥ 花纹沟不宜过窄，且要保证在接地区内保持开口。

⑦ 花纹沟的深度，普通花纹为9～10mm；冰雪花纹斜交轮胎为14～15mm，子午线轮胎为11～12mm；高速轮胎花纹深度较浅为7～8mm。

表 1-3-37 轿车轮胎花纹结构参数

| 项　　目 | 普通花纹 | 冰雪花纹 |
|---|---|---|
| 花纹块宽/花纹沟深 | 0.8～2.5 | 1.5～9 |
| 花纹块宽/花纹沟宽 | 2～4 | 0.8～3 |
| 花纹沟宽/花纹沟深 | 0.2～0.6 | 0.5～3 |
| 花纹沟壁倾角,(°) | 0.5～6 | 3～20 |
| 基部胶厚度 | 花纹沟深度的40～60% | |

⑧ 在轿车轮胎花纹中常配置专门的磨损标志来表示轮胎已磨损到危险的程度。磨耗标志的形状为拱形，宽约10mm，在胎面花纹沟中圆周均匀分布6～8个，比胎面基部高出1～1.6mm。当胎面磨损至磨损标志时，轮胎与路面的抓着力将下降60%，必须更换。

**（五）胎体强度的确定**

轿车轮胎胎体骨架材料常用的有人造丝、聚酯和尼龙，日本和美国多用聚酯帘线，国产轿车轮胎多用人造丝帘线。人造丝胎体轿车轮胎适于良好路面使用，尼龙帘线具有较高的耐冲出负荷能力，强力高适于在坏路面上使用，对高速小轿车轮胎来说，尼龙帘线是一种较理想的胎体骨架材料。

轿车轮胎需在不同速度和路面条件下使用，使用条件不同，对胎体帘线强度的要求也不相同（胎体强度及安全倍数的计算方法与载重轮胎相同）。其安全倍数为：良好路面10～12倍；不良路面12～14倍；高速轿车轮胎12～14倍。

**（六）密封层的确定**

大多数轿车轮胎为无内胎轮胎，无内胎轮胎适于高速行驶；生热小工作温度低，使用寿命长（没有内胎和外胎间的磨擦）。为了保持外胎内部的气压，在胎里必须配置透气性小的密封层。其厚度一般为1.5～2.0mm。

密封层半成品的制造可用压延法或压出法。用压延法时，胶片易产生气泡，面破坏密封性能。为了防止气泡的产生，这种胶片最好用数层0.5～0.7mm厚度的胶片贴合而成。

## 二、性　　能

**（一）高速行驶性能**

由于近代汽车生产技术水平的提高和高速公路的普遍修建，汽车行驶速度越来越高，甚至达到200km/h以上。对轿车轮胎的安全使用速度也随之提高。因此，高速行驶性能是轿车轮胎必须具备的性能之一。

1．不同滚动速度下的应力分布

当轮胎滚动速度提高到一定限度时，其滚动性质就会发生变化。各部件的变形和接地区

段中应力的分布也随速度的增大而变化。接地区长度增加，靠近接地区段起点的应力增大，靠近接地区段终点的应力减小。在速度为180km/h时，接地区起点处有一个大峰值，靠近接地区终点应力曲线平缓（见图1-3-49）。

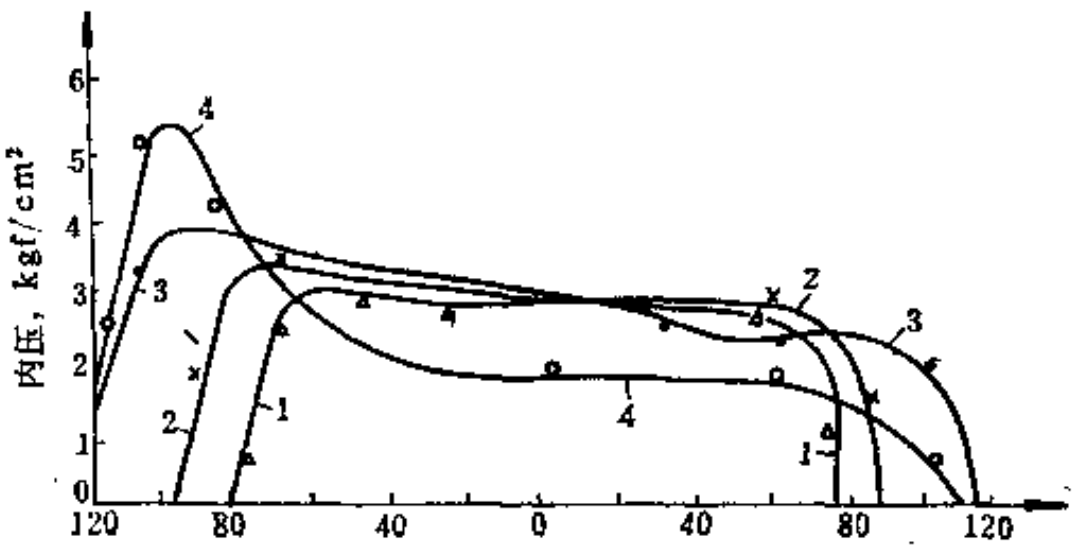



图 1-3-49　在不同速度下7.50-16轮胎接地区纵向对称轴上的应力分布

负荷785kgf；内压2.5kgf/cm²；

滚动速度：1—2.5km/h；2—100km/h；3—150km/h；4—180km/h(1kgf/cm²=9.80665×10⁴Pa)

2．驻波的产生

所有轮胎在地面上滚动时，都有一固定的频率，只是结构不同大小不同而已。当轮胎滚动速度超过设计速度基准时，由于轮胎断面变形和复原区域内滞后损失的增大，以及各种惯性力的影响，在接地区段的断面部件产生震动而破坏轮胎的平衡形状。在接地部位后方表面出现行波，起初只能用频闪观察器才能观察出来，待速度进一步提高，用肉眼也能辨认。这种波似乎静止不动称为驻波。轮胎高速下滚动产生行波（或驻波）的形状、发展及衰减，是橡胶复合体粘弹性的一种共振作用。驻波的波节和波幅以相同速度沿着轮胎周向行进，其速度与轮胎滚动速度相等，但方向相反。特大的行波有时可达半个圆周（参见图1-16-15）。

产生驻波的速度和破坏速度，随内压的增高和负荷的降低逐步提高。结构相同、高宽比不同的子午线轮胎高速性相差不大，但带束层的结构（如宽度、角度和排列方法）对轮胎的高速性有明显的影响。

3．滚动损失与功率消耗

轮胎高速行驶产生驻波时，胎体中各部件的变形幅度剧烈增大。滚动损失与功率消耗成倍地增长。驻波是功率的最大消耗者。此时，一部分功率被轮胎吸收，一部分功率转变为热。驻波是高速轿车轮胎损坏的重要原因之一。

轮胎的高宽比、行驶速度、内压以及轮胎的新旧程度对功率损失都有影响。但子午线轮胎中带束层的材料对功率损失影响不大（见图1-3-50～图1-3-55）。

4．临界速度

（1）轮胎出现驻被即将破坏时的速度称为临界速度。临界速度可用B.Я.БИДЕРМАН公式近似计算。

$$V_{kp}=\sqrt{\frac{\overline{P(R^2-r_0^2)}}{2Rq}\left(\mathrm{tg}^2\beta_k-2\sqrt{ac}\right)} \qquad (1\text{-}3\text{-}24)$$

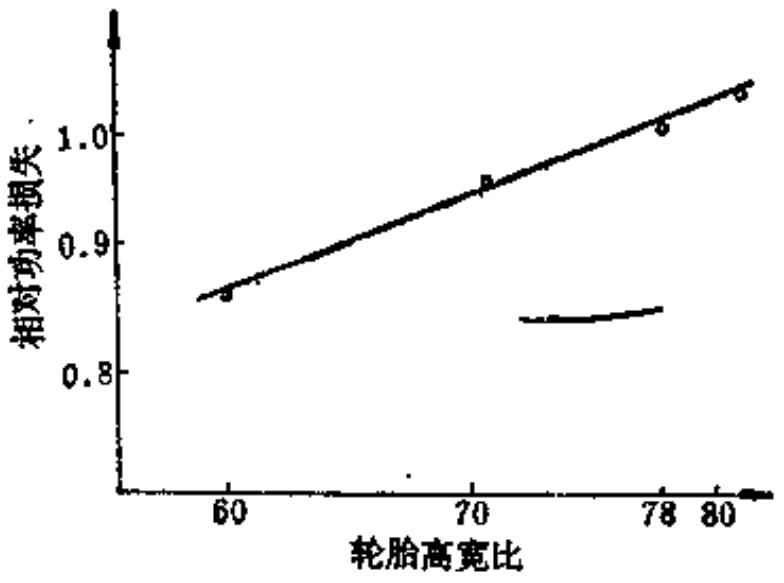



图 1-3-50 子午线轮胎功率损失与高宽比的关系
(相对功率损失78系列=1.0)

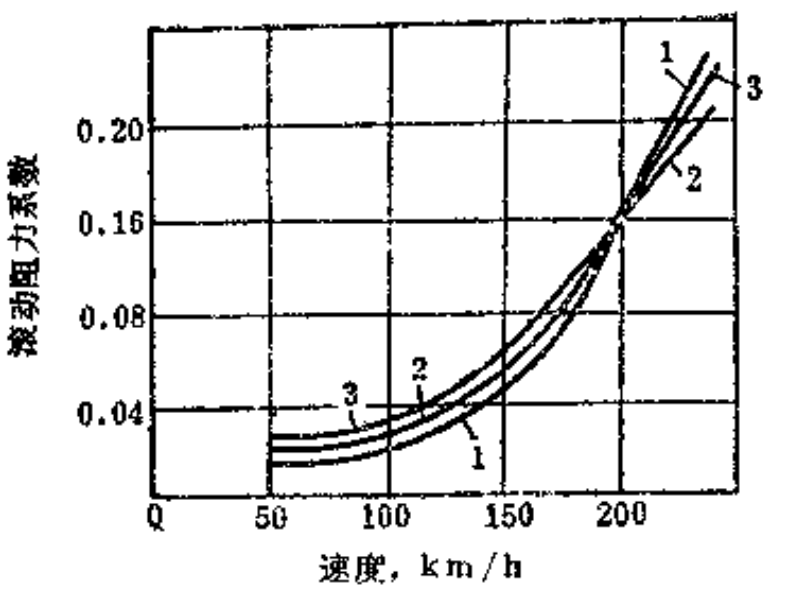



图 1-3-51 车轮滚动阻力系数与行驶速度的关系
(7.50-16轮胎；内压为2.5kgf/cm²)
负荷：1—600kgf；2—720kgf；3—900kgf

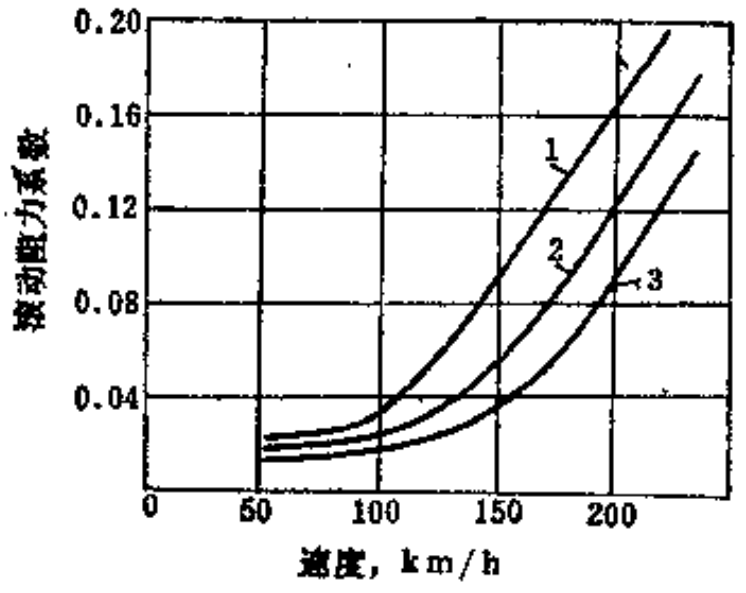



图 1-3-52 内压不同时车轮滚动阻力系数与行驶速度的关系 (7.50-16轮胎；负荷为720kgf)
内压：1—1.6kgf/cm²；2—2.5kgf/cm²；3—3.0kgf/cm²

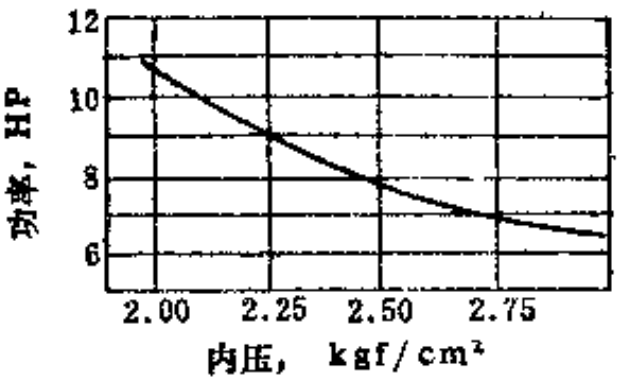



图 1-3-53 车胎滚动阻力功率与内压的关系
(6.70-13轮胎；速度，160km/h)
(1HP=745.700W)

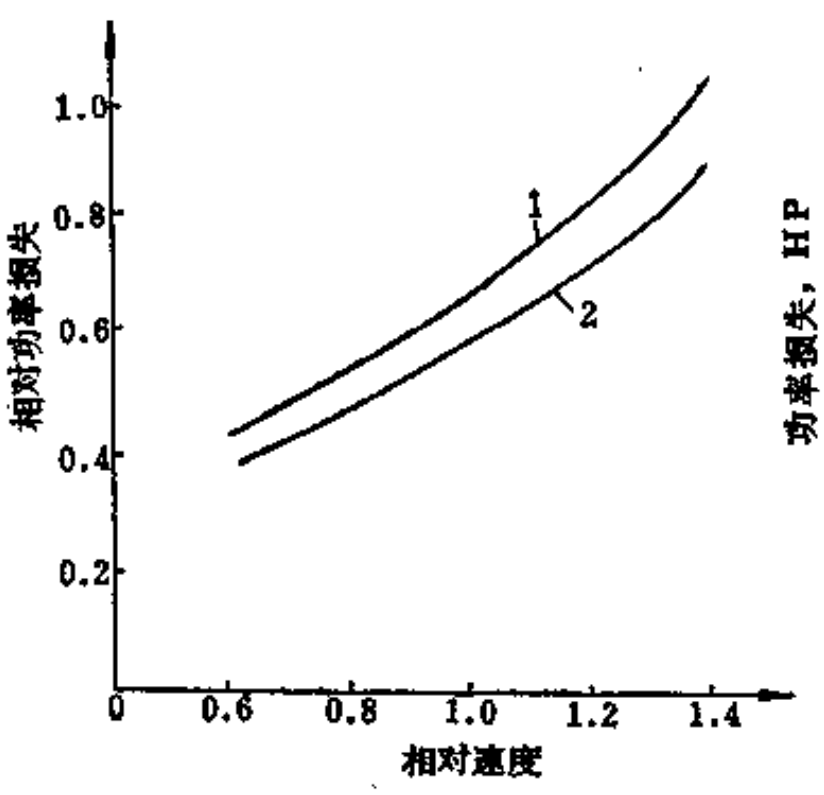



图 1-3-54 钢丝带束层子午线新旧轮胎功率损失对比 (每小时50mile时的相对速度为1.00)
1—新胎；2—旧胎

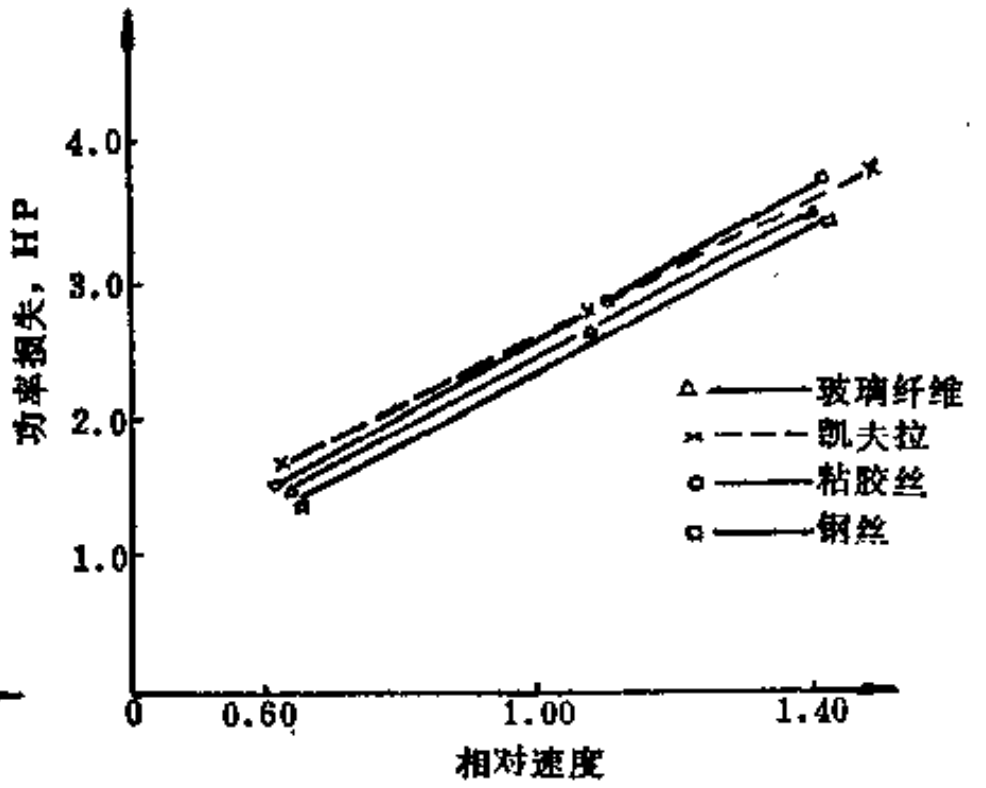



图 1-3-55 GR70-15轮胎中各种带束材料对功率损失的影响 (每小时50mile时的相对速度为1.00；起始内压24lbf/in行驶至平衡)
(1HP=745.700W)

表 1-3-38　67in负荷轮上测得的带束层材料的功率损失

单位：kW(HP)

| 带束层材料 \ 行驶速度 | 30mile/h | 50mile/h | 70mile/h |
|---|---|---|---|
| 玻璃纤维 | 1.10(1.48) | 1.82(2.44) | 2.65(3.56) |
| 凯夫拉 | 1.21(1.62) | 1.86(2.50) | 2.68(3.59) |
| 粘胶丝 | 1.13(1.52) | 1.88(2.52) | 2.74(3.68) |
| 钢丝 | 1.04(1.40) | 1.74(2.34) | 2.63(3.53) |

式中　$a=2\mathrm{tg}^2\beta_k+\frac{4Gh_0}{P\rho}(1+\mathrm{tg}^4\beta_k-\mathrm{tg}^2\beta_k)$　　(1-3-25)

$$c=\frac{A}{P\rho^3}\mathrm{ctg}^4\beta_k \qquad (1\text{-}3\text{-}26)$$

$$\rho=\frac{R^2-r_0^2}{2R} \qquad (1\text{-}3\text{-}27)$$

$P$——内压，kgf/cm²；

$\beta_k$——胎冠角度，(°)；

$\rho$——胎里冠部曲率半径，cm；

$R$——胎里半径，cm；

$r_0$——零点半径（断面最宽点至旋转轴的距离），cm；

$G$——橡胶动态剪切模量，kgf/根；

$h_0$——胎壁的折算厚度，等于胎冠中心处实际壁厚 $h$（不包括胎面花纹块部分）加上帘布层数 $n$，帘布粗度 $d$ 和校正系数（$K-1$）的乘积，$h_0=h+nd(K-1)$；

$A$——胎壁弯曲时的刚性。

如果胎壁具有 $n$ 层帘布，并假定在弯曲时中心轴通过各帘布层中间，则得：

$$A=E_x\Sigma iy^2\sin^4\beta+\frac{4}{3}G(h_1^4+h_2^4) \qquad (1\text{-}3\text{-}28)$$

式中　$i$——帘线密度，根/cm；

$E_x$——帘线动态弹性模量，kgf/根；

$\Sigma iy^2$——帘线密度与所有帘布层到中性层距离平方乘积的总和；

$h_1$和$h_2$——中性层至外表面层和内表面层的距离，cm；

$q$——轮胎行驶面单位面积中的质量（由行驶面平均厚度乘以胶料相对密度除以地心吸力而得），kg·s/cm²。

（2）Hattori公式　由于上述公式不能用于计算子午线轮胎的临界速度，Hattori在其基础上加以修改，得到的修正方程式如下：

$$V_{kp}=\sqrt{\frac{r_1PN_t}{\rho\cdot N_t}} \quad 或 \qquad (1\text{-}3\text{-}29)$$

$$V_{kp}=\frac{Pr_1R_m-(R_m^2-R_v^2)2r_t}{\rho(R_m^2-R_v^2)2R_m} \tag{1-3-30}$$

式中 $P$——内压；

$R_m$——胎里半径；

$r_t$——轮胎断面方向曲率半径；

$R_v$——零点半径；

$N_\phi$——径向应力；

$N_\theta$——周向应力；

有人认为子午线轮胎的临界速度的平方与带束层的周向应力$T_0$成正比，与带束层单位长度的质量$\rho_t$和轮胎最大半径$a$的平方成反比。

$$V_{kp}^2=\frac{T_0}{\rho_t a^2}$$

$$V_{kp}=\frac{1}{a}\sqrt{\frac{T_0}{\rho_t}} \tag{1-3-31}$$

通过式（1-3-31）可以计算子午线轮胎的临界速度。根据上述公式，可以看出，采取提高轮胎内压、减少单位行驶面积中的质量、增大帘线角度（子午线轮胎应提高带束层的周向应力）和增加胶料的弹性模量、增大轮辋直径等措施可以提高轮胎的临界速度。一般计算临界速度与实际破坏速度相差16～24km/h。

临界速度与内压、帘线角度、行驶面质量及橡胶弹性模量的关系见图1-3-56。

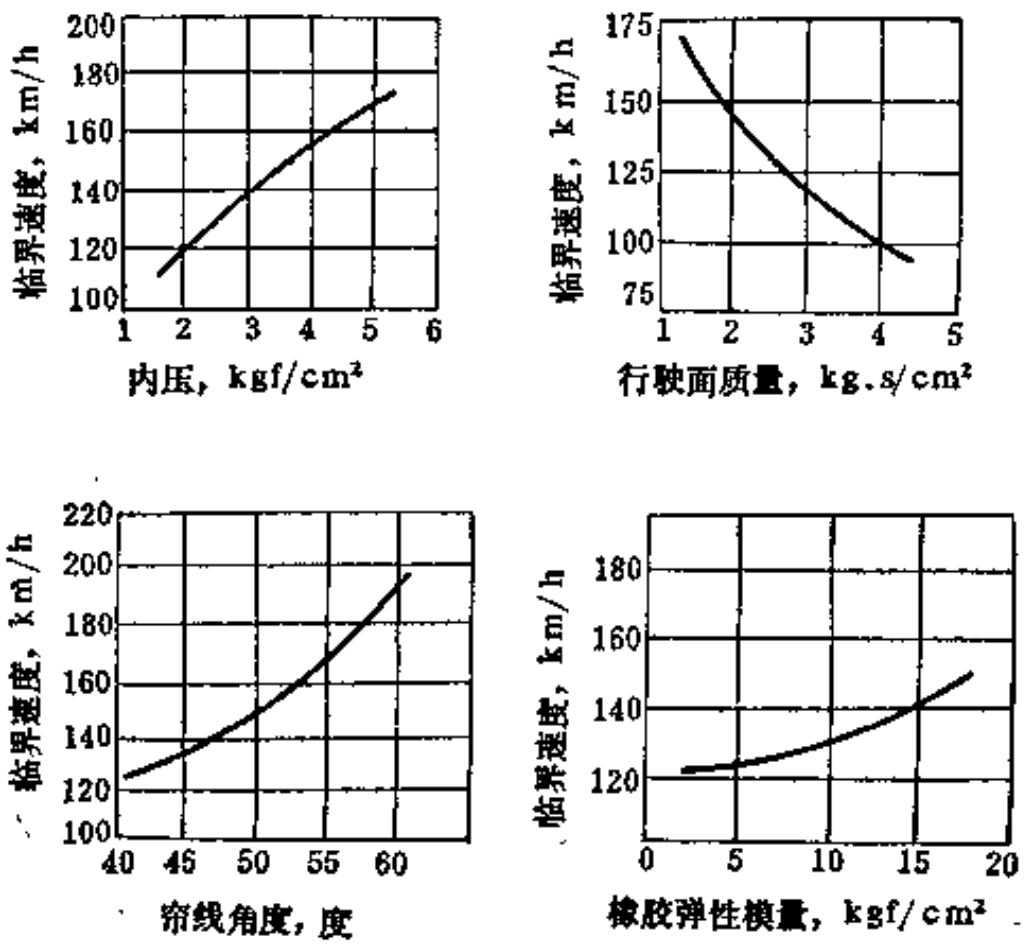



图 1-3-56 临界速度与内压、行驶面质量、帘线角度、橡胶弹性模量的关系

5．生热

轮胎承受负荷时，行驶速度越高，材料中的滞后损失就越大，温度急剧上升。因此，生热是高速轿车轮胎破坏的又一原因。高速轿车轮胎的内部温度可达100℃以上，甚至可达到

临界温度（苏联认为临界温度为120℃，美国认为是121℃，日本认为是125℃）。当达到临界温度时，胎面胶、缓冲层（或带束层）胶和帘布层胶等的拉伸强度只有室温时的55%左右，纤维材料强度为54～68%，橡胶与钢丝、橡胶与纤维帘线的粘合强度为53%左右。因此，高速轿车轮胎常见的损坏形式为胎面脱层、胎面掉块和各部件的界面脱层。轮胎能否适应高速行驶，取决于复合材料生热和耐热的状况。图1-3-57表明了轮胎在机床上滚动时间与轮胎温度的关系。图1-3-58表明了不同速度下轮胎寿命与外界温度的关系。

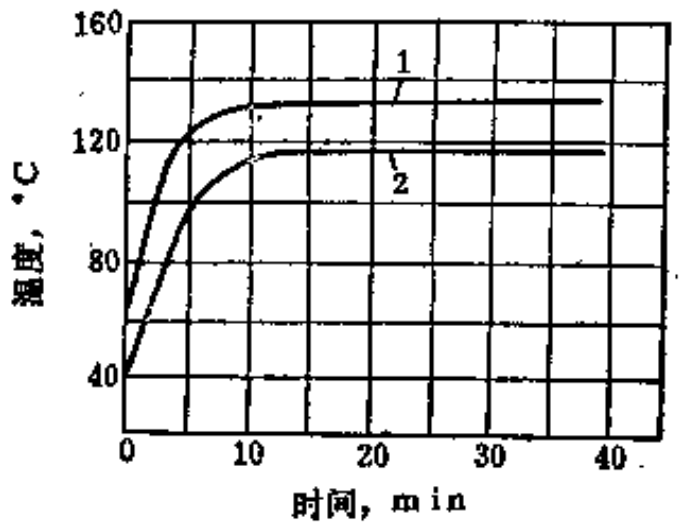



图 1-3-57　机床滚动时间与轮胎温度的关系

(8.00-15轮胎；速度160km/h；负荷600kgf；内压1.7kgf/cm²) 1—轮胎肩部胎面温度；2—内胎中空气温度

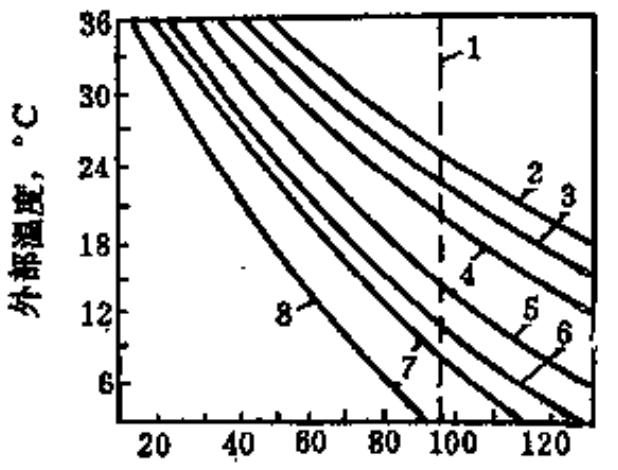



图 1-3-58　在不同速度下轮胎寿命与外界温度的关系

1—标准行驶里程；2—速度35km/h；3—速度45km/h；4—速度75km/h；5—速度90km/h；6—速度100km/h；7—速度110km/h；8—速度125km/h

## （二）操纵性和稳定性

### 1．制动和打滑

车辆高速行驶时的制动距离大约与车速的平方成正比。即车速提高一倍，制动距离为原来的四倍。因此，高速行驶的车辆进行急刹车非常危险，特别是胎面磨光轮胎就更危险。行驶时一定要保持足够的间距。另外，车辆在不同的路面上行驶摩擦系数不同，在干燥路上行驶，摩擦系数为0.8，潮湿路面为0.6，积雪路面为0.2。路面摩擦系数与制动距离的关系见图1-3-59。磨耗率与制动距离的关系见图1-3-60。

### 2．侧滑

车辆在高速行驶时，出现侧滑的危险性增大，侧滑也大约与车速的平方成正比，即加速后侧滑距离为原来的 4 倍。后轮扭动发飘，车辆行驶路线变为扭动的蛇行线，这是造成轮胎磨损的重要原因之一。

在湿路面上行驶，如果轮胎表面的刀槽花纹已经磨光，排水效果降低，将导致轮胎打滑，尤以横向花纹最为明显。因此，高速轿车轮胎多用纵向花纹。在湿路面上有花纹轮胎与花纹磨光轮胎的摩擦系数比较见图1-3-61。

### 3．水飘

车辆在有积水的路面上高速行驶，有时轮胎会由于水的阻力面浮起在水膜上滑行。出现这种现象时，车辆的操纵失灵，车辆的制动和驱动均失效。

产生水飘的临界速度与轮胎的内压、花纹深度以及车辆的行驶速度有关。水深及内压对水飘发生速度的影响见图1-3-62及图1-3-63。

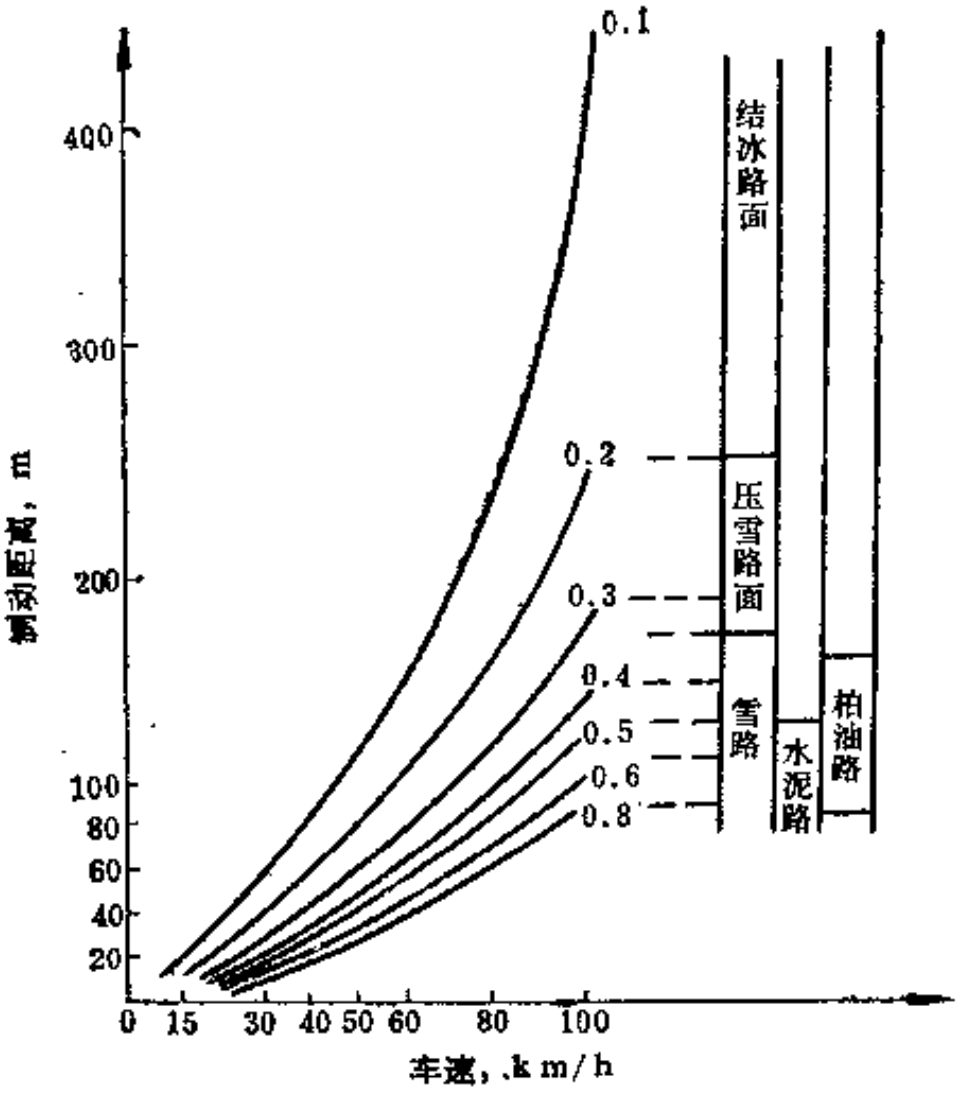



图 1-3-59　路面摩擦系数与制动距离的关系

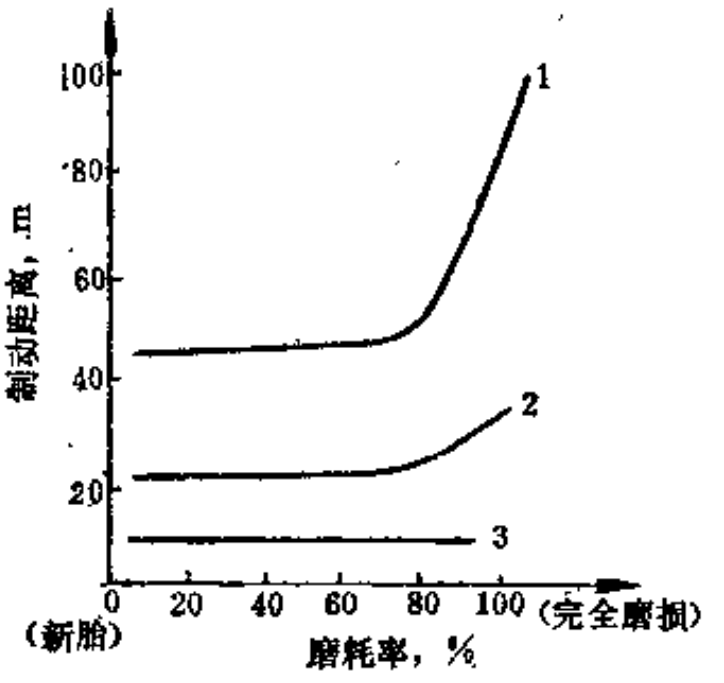



图 1-3-60　摩耗率与制动距离的关系

(6.95-14-4轮胎；花纹深度8mm；内压1.6kgf/cm²；沥青潮湿路面) 制动初始速度：1—80km/h；2—60km/h；3—40km/h

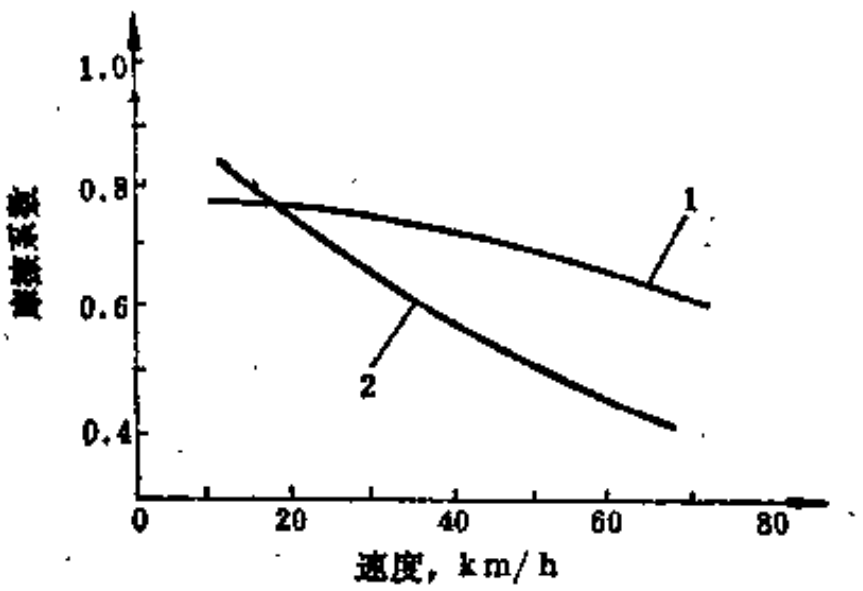



图 1-3-61　在湿路面上有花纹轮胎与花纹磨光轮胎的摩擦系数比较

1—有花纹轮胎；2—花纹磨光的轮胎

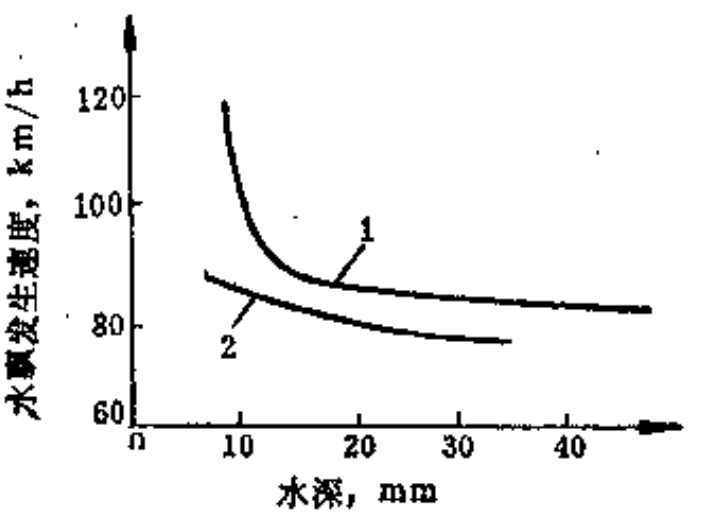



图 1-3-62　水深与水飘发生速度的关系

(5.60-13-4轮胎；负荷260kgf；内压1.5kgf/cm²)
1—花纹深8mm的纵向花纹；2—磨光的胎面

试验证明，只要水深足够，即使车辆行驶速度很低，也会发生水飘现象。

### （三）噪声

轮胎花纹中的空气，在行驶中不断被压缩和排出，从而产生噪声。这种噪声是由与花纹间距的通过频度一致的频率和谐波组成的。并随胎面花纹的种类不同有所差异。用各种轮胎

和车辆综合测定汽车滑行时的通过声压表明，横向花纹的声压水平较高，与纵向花纹比较，横向花纹的声压峰值也大（见图1-3-64）。

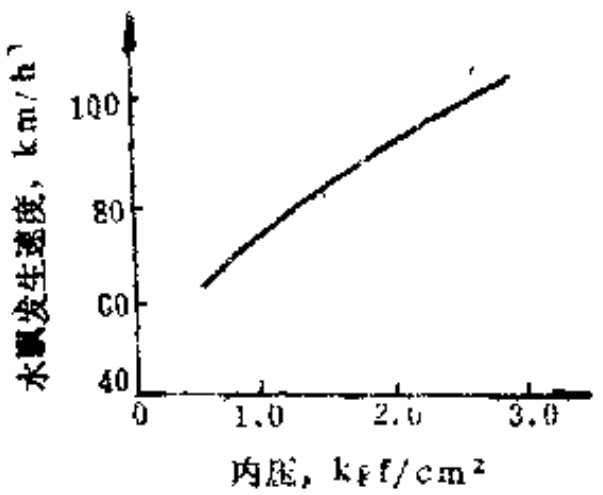



图 1-3-63 内压与水膜发生速度的关系
(5.60-13-4轮胎；纵向花纹；花纹深8mm；
负荷280kgf；水深10mm)

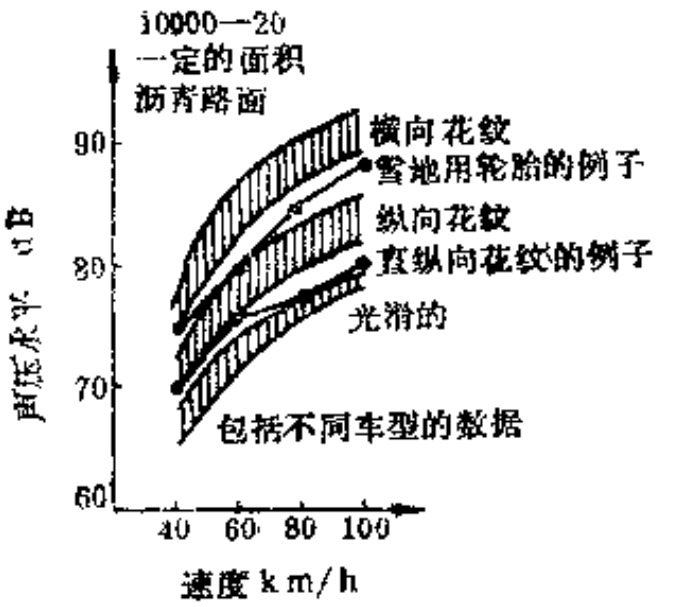



图 1-3-64 各种花纹的声压水平

轿车轮胎以纵向花纹为主，且都采用变节距，使花纹无规则化，以消除明显的声压峰值。

（4）轮胎的不均匀性 充气轮胎最重要的作用是保护汽车免受来自路面的干扰。轮胎具有弹性，能缓冲路面轻微不平的影响和吸收冲击，也就是起减震作用。但轮胎本身也是一个很重要的干扰源。因为轮胎与轮辋都不是理想的均匀体，轮胎的不均匀性在车轮的不均匀性中占主要部分。它取决于几何尺寸的不均匀性（跳动），质量的不均匀性（不平衡）和刚度的不均匀性。

轮胎的不均匀性不是本身固有的，它取决于轮胎的结构和制造工艺。因此，不均匀性是轮胎最重要的质量指标。

轮胎不均匀将带来车轮的不均匀和车辆的振动和高速摆动。因为车辆的回转部分如果不均匀，在行驶过程中，由于离心力的作用，使车辆产生振动。由于离心力与车速的平方成正比，高速行驶时，所产生的振动将比低速时大很多。假定车轮不均匀度为 1000g·cm，车速与振动力的关系见表1-3-39。

表 1-3-39 车速与振动力的关系

| 车速，km/h | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 振动力，kgf | 4.6 | 10.5 | 18.5 | 29 | 42 | 57 |

由于装置车轮的弹簧下部固有的振动频率为10～12Hz。当车速使车轮转数与之相一致时（轿车轮胎为70～90km/h），因车轮不均匀产生的振动将与弹簧下部的固有振动频率发生共振，从而导致车轮的大幅度跳动。车轮跳动传到车体时，引起车体激烈振动。同时由于悬挂装置与操纵装置的联系非常密切，当车轮上下摆动传给操纵系统时，则引起方向盘的左右摆动，即高速摆动。高速摆动不仅影响乘坐的舒适性，而且还会产生异常磨损，影响汽车

的行进路线，可能造成事故。轿车轮胎的摆动共振点发生在速度70～90km/h 之间，该速度又是常用速度，因此，必须保证车轮的均匀性。

1．几何尺寸的不均匀性

轮胎几何尺寸的不均匀性是轮胎外缘尺寸和断面形状在圆周上的变化。通常以滚动轮胎的径向和侧向跳动来评价。苏联规定轿车轮胎径向跳动不大于1mm，侧向跳动不大于1.5mm。美国DOT标准规定径向跳动不大于1.3mm(0.05in)。

2．质量分布的不均匀性

任何旋转体的质量分布不均匀性都用重量不平衡性来评定。轮胎的不平衡度，取决于外胎、内胎和垫带的相互位置和不平衡度。苏联轿车轮胎静不平衡度的标准按轮胎质量与其自由半径乘积的0.5%计算。美国DOT 标准规定的斜交轮胎和子午线轮胎的重量不平衡度见表 1-3-40。

**表 1-3-40　轿车轮胎的最大静不平衡度**

| 类　别 | 轮胎类型 | 层　级 | 最大静不平衡度，oz·in |
|---|---|---|---|
| 斜交轮胎 | A～F(普通花纹) | 4,6,8, | 25 |
| | A～F(越野花纹)① | 4,6,8, | 30 |
| | G～L(普通花纹) | 4,6,8, | 30 |
| | G～L(越野花纹)① | 4,6,8, | 35 |
| 子午线轮胎 | 13in | 4,6,8, | 25 |
| | 14in | 4,6,8, | 30 |
| | 15in | 4,6,8, | 35 |

① 不包括全天候花纹设计

3．刚度的不均匀性和力的不均匀性

轮胎刚度的不均匀性，只有在承受外力时才能测定。

在不旋转的轮胎上，可以测定几个径向断面上的静态刚度——径向、侧向和周向刚度。但在旋转时，可进行连续测量，既简便又精确。这时所测得的力和力矩的变化，不仅取决于刚度的不均匀性，还取决于几何尺寸的不均匀性。如果轮胎在高速下滚动，则还受质量不均匀性的影响。

引起轮胎不均匀的有工艺上的原因和结构上的原因。轮胎中每一个部件的制造都有一定的尺寸和质量公差。成型时各部件的位置有公差，如子午线轮胎的带束层有一定的歪斜；在成型后的生产工序中，胎坯的运输和存放以及硫化工序，都有可能造成部件的变形。另外，轮胎安装于轮辋上，存在着相对于旋转轴不平衡的部件，如内胎气门嘴。

外胎的静不平衡主要是胎面质量的不均匀造成的。胎面的长度和接头都很关键。在内胎的不平衡中，气门嘴是关键。

从力的不均匀来看，似乎是胎面长度的变化导致径向力的变化，而胎面的歪斜程度，则引起侧向力的变化（不排除胎侧胶和钢丝圈偏心的影响）。子午线轮胎由于工艺的原因，造成带束层的侧向位移产生锥度效应力（见图1-3-65）。

子午线轮胎的带束层为各向异性结构，在纵向变形的同时，带束层平面上产生剪切而导致整个带束层的扭转和胎冠中心线的扭转，要使轮胎直线行驶，必须给与一个恒定的力（与伪侧倾力方向相反的力）。力的大小与带束层的帘线角度、宽度和帘线的角度偏差有关（帘线排列的方向决定此力的方向）。在相同带束层结构条件下，随轮胎尺寸的增加而大致呈直

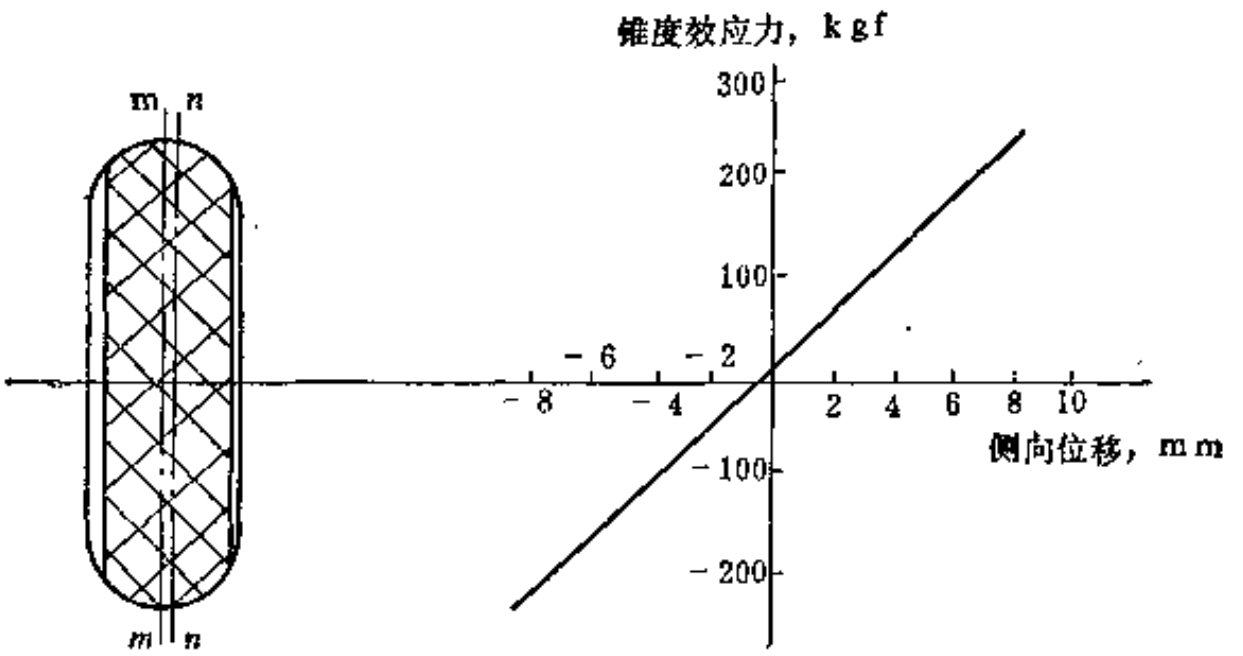



图 1-3-65　带束层的侧向位移与锥度效应力的关系

(LR78-15轮胎；*m-m*—外胎胎冠中心线；*n-n*—带束层中心线)

线增长。如165/80SR13轮胎的伪侧倾力为0.17～0.22kN，205/70SR13轮胎为 0.42～0.45kN。

为消除轮胎的径向跳动，通常对轮胎进行打磨。为减小静不平衡，采取在外胎内表面粘上专用胶的方法，或在轮辋边缘放校正质量消除车轮的不平衡（包括静不平衡和动不平衡），在装配轮胎时，应使外胎和内胎的不平衡度互相补偿（定向装配）。这些措施对消除车轮的不均匀性有显著效果，但不能改善轮胎的实际内在的不均匀性。

## 主要参考文献

〔1〕 中华人民共和国标准，"载重汽车轮胎"，GB516—82，中国标准出版社，1983年。
〔2〕 Engineering Design Information——The Tire and Rim Association Inc. Year Book(1984).
〔3〕 A. B. 萨尔特阔夫著，北京橡胶工业研究所，桂林橡胶设计研究院译，《汽车轮胎现代工艺学基础》，石油化学出版社，1978年。
〔4〕 B. И. 克诺罗斯著，史百泉译，《汽车轮胎的性能》，中国工业出版社，1965年。
〔5〕 小林明等编，汽车工程手册编译委员会译，《汽车工程手册》(第一分册) 机械工业出版社，1984年。
〔6〕 The European Tyre and Rim Technical Organisation, Date Book 1981.
〔7〕 The Japan Automobile Tire Manufacturers' Association, Inc. Year Book(1984).
〔8〕 中华人民共和国标准，"汽车轮辋规格系列"，GB3487—83，中国标准出版社，1983年。

# 第四章　农业和林业机械用轮胎

## 第一节　农业拖拉机驱动轮胎

### 一、农业拖拉机驱动轮胎的性能

农业拖拉机驱动轮胎的性能如下。

①　轮胎应能承受拖拉机分布于驱动轴上的载荷，因此轮胎必须具有一定的承载能力。

②　拖拉机的主要任务是牵引农具进行耕耙等作业，因此轮胎必须具有一定的牵引性能，以便使拖拉机的功率得以充分发挥。

③　农业拖拉机经常行驶于状况不良的田间小路，并经常作业于坚硬的留茬地上，轮胎易被划伤或割破，因此轮胎的胎面胶和胎侧胶要具有较好的耐切割和耐刺扎性能。此外，胎面胶还应有较好的耐磨性能。

④　农用拖拉机轮胎的使用期较长，通常为2～3年，甚至3～5年。由于长期的农田作业和日光曝晒，因此胎侧要具有较好的耐屈挠龟裂和耐老化性能。

⑤　胎体要具有一定的强度，使胎面花纹磨光后的轮胎能翻新。

### 二、农业拖拉机驱动轮胎的结构设计

#### （一）拖拉机驱动轮胎的规格

ISO标准通过的农业拖拉机驱动轮胎的规格见表1-4-1。

表 1-4-1　拖拉机驱动轮胎及其轮辋[1]

| 轮胎规格 | | 配置轮辋 | 通用轮辋 | 允许使用轮辋 |
|---|---|---|---|---|
| 斜交轮胎 | 子午线轮胎 | 宽度标志 | 型　号 | 型　号 |
| 7.2-36 | | 6 | W6 | |
| 7.2-40 | | 6 | W6 | |
| 8.3-24 | 8.3R24 | 7 | W7 | W6 |
| 8.3-36 | 8.3R36 | 7 | W7 | W6 |
| 8.3-42 | 8.3R42 | 7 | W7 | W6 |
| 8.3-44 | 8.3R44 | 7 | W7 | W6 |
| 9.5-24 | 9.5R24 | 8 | W8 | W7, W8H |
| 9.5-32 | 9.5R32 | 8 | W8 | W7 |
| 9.5-36 | 9.5R36 | 8 | W8 | W7 |
| 9.5-44 | 9.5R44 | 8 | W8 | W7 |
| 9.5-48 | 9.5R48 | 8 | W8 | W7 |
| 11.2-24 | 11.2R24 | 10 | W10 | W9, W10H |
| 11.2-38 | 11.2R38 | 10 | W10 | W9, W10H |

续表

| 轮胎规格 | | 配置轮辋 | 适用轮辋 | 允许使用轮辋 |
|---|---|---|---|---|
| 斜交轮胎 | 子午线轮胎 | 宽度标志 | 型号 | 型号 |
| 12.4-24 | 12.4R24 | 11 | W11 | W10, W10H |
| 12.4-28 | 12.4R28 | 11 | W11 | W10, W10H |
| 12.4-32 | 12.4R32 | 11 | W11 | W16 |
| 12.4-36 | 12.4R36 | 11 | W11 | W10, DW11 |
| 12.4-38 | 12.4R38 | 11 | W11 | W10, DW10, DW11 |
| 13.6-24 | 13.6R24 | 12 | W12 | W11, DW12 |
| 13.6-28 | 13.6R28 | 12 | W12 | W11 |
| 13.6-36 | 13.6R36 | 12 | W12 | W11 |
| 13.6-38 | 13.6R38 | 12 | W12 | W11, DW11, DW12 |
| 14.9-24 | 14.9R24 | 13 | W13 | W12, DW12 |
| 14.9-26 | 14.9R26 | 13 | W13 | W12, DW12 |
| 14.9-28 | 14.9R28 | 13 | W13 | W12 |
| 14.9-30 | 14.9R30 | 13 | W13 | W12, DW12 |
| 14.9-38 | | 13 | W13 | W12, DW12 |
| 15.5-38 | 15.5R38 | 14 | W14 | DW14 |
| 16.9-24 | 16.9R24 | 15 | W15L | |
| 16.9-26 | 16.9R26 | 15 | W15L | W14L, DW14 |
| 16.9-28 | 16.9R28 | 15 | W15L | W14L, DW14 |
| 16.9-30 | 16.9R30 | 15 | W15L | W14L, DW14 |
| 16.9-34 | 16.9R34 | 15 | W15L | W14L, DW14 |
| 16.9-38 | 16.9R38 | 15 | W15L | W14L, DW14 |
| 18.4-26 | 18.4R26 | 16 | DW16 | W15L |
| 18.4-30 | 18.4R30 | 16 | W16L | W15L, DW16 |
| 18.4-34 | 18.4R34 | 16 | W16L | W15L, DW16 |
| 18.4-38 | 18.4R38 | 16 | W16L | W15L |
| 20.8-34 | 20.8R34 | 18 | W18L | |
| 20.8-38 | 20.8R38 | 18 | W18L | W16L |
| 23.1-26 | | 20 | DW20 | DW18 |
| 23.1-30 | | 20 | DW20 | DW18 |
| 23.1-34 | | 20 | DW20 | |
| 24.5-32 | | 21 | DW21 | DW20 |
| 28L-26 | | 25 | DW25 | |
| 30.5L-32 | | 27 | DW27 | |

### （二）拖拉机驱动轮胎的轮辋

拖拉机驱动轮胎的轮辋类型比较简单，只有*W*和*DW*二种。而这两种类型也只是在槽深上有区别，与轮胎有关的轮辋直径、轮缘轮廓并无差别。ISO的拖拉机轮胎和轮辋标准已得到国际上公认。轮辋的轮廓形状见图1-4-1，轮辋轮廓尺寸见表1-4-2。

表 1-4-2 W和DW型轮辋和轮廓尺寸

| 轮辋规格 | A mm | A 允许公差 mm | B min mm | G +1.2 −0.4 mm | H min mm | M max mm | P min mm | L min mm | $R_2$ mm | $R_3$ max mm | d min (°) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| W6 | 152.4 | | | | | | | 61.0 | | | |
| W7 | 177.8 | | 7.9 | 22.2 | | 44.5 | 23.8 | 87.0 | 9.5 | | 6 |
| W8 | | | | | | | | 112.0 | | | |
| W8H | 203.2 | | | 25.4 | | 57.5 | 33.0 | 96.0 | | | |
| W8L | | | | 21.6 | | | | 99.0 | | 11.0 | 15 |
| W9 | 228.6 | | | | | 51.0 | 27.0 | 130.0 | | | 6 |
| W10 | | | | 25.4 | | | | 155.0 | | | |
| W10H | | | | | | | 33.0 | 147.0 | | | |
| W10L | 254.0 | +2.4 | | 21.6 | 20.6 | 57.5 | | 156.0 | | | |
| DW10 | | | | | | 54.0* | | | | 14.3 | |
| W11 | | | 9.5 | 25.4 | | 57.5 | 27.0 | 180.0 | | 11.0 | |
| DW11 | 279.4 | | | | | 54.0* | | | | 11.3 | |
| 16.1×W11C | | | | 21.6 | | | 30.0 | 108.0 | | | |
| W12 | | | | | | 57.5 | | | | 11.0 | |
| DW12 | 304.8 | | | | | | | 205.0 | | | |
| W13 | 330.2 | | | 25.4 | | 54.0* | | | | 14.3 | |
| W14L | | | | | | | 27.0 | 230.0 | 11.0 | | |
| DW14 | 355.6 | | | | | 57.5 | | | | 11.0 | |
| W15L | 381.0 | +4.7 | 11.1 | 28.6 | 27.0 | 63.5 | 36.5 | 255.0 | | | 15 |
| W16L | | | | | | | | | | 14.3 | |
| DW16 | 406.4 | | 9.5 | 25.4 | 20.5 | 57.5 | 33.0 | 270.0 | | | |
| DW18 | | | | | | | | 295.0 | | 11.0 | |
| W18L | 457.2 | +6.4 | 11.1 | 28.6 | 27.0 | 63.5 | 36.5 | | | 14.3 | |
| 26×DW20 | | +4.7 | 9.5 | 25.4 | 20.5 | 57.5 | 33.0 | 350.0 | | 11.0 | |
| 34,32,30×DW20 | 508.0 | | | | | | 36.5 | | | | |
| DW21 | 533.4 | +6.4 | 11.1 | 28.6 | 27.0 | 95.5 | | | | 14.3 | |
| DW25 | 635.0 | | | | | | 41.3 | | | | |
| DW27 | 685.8 | | | | | | | | | | |

### （三）拖拉机驱动轮胎的负荷计算

拖拉机驱动轮胎的负荷计算有三种类型[2]。

1．普通农业和林业拖拉机轮胎的负荷计算应用公式如下：

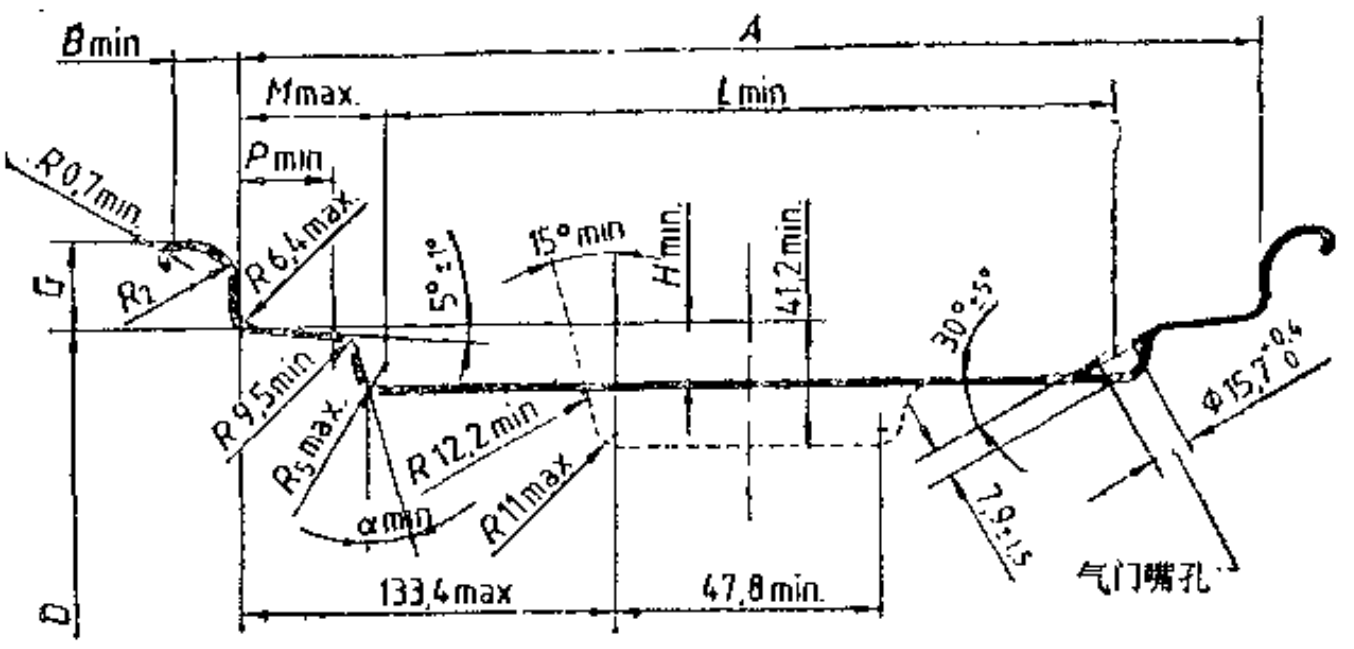



图 1-4-1 W和DW型轮辋轮廓

(单位：mm)

$$W = K \times 0.425 \times P^{0.585} \times S^{1.39}(D_R + S) \qquad (1\text{-}4\text{-}1)$$

$$S = S_1[180^\circ - \sin^{-1}(W_1/S_1)]/141.3 \qquad (1\text{-}4\text{-}2)$$

式中 $W$——轮胎负荷，lbf；

$P$——充气压力，psi；

$S_1$——装于设计轮辋上的轮胎断面宽，in；

$S$——装于62.5%轮辋上的轮胎断面宽，in；

$W_1$——设计轮辋宽度，in；

$K$——负荷系数，1.10(轮辋名义直径24in及其以下)；

当轮辋直径超过24in以上时再乘以系数“$C$”。“$C$”为变数，随轮辋直径的变化如表1-4-3。

**表 1-4-3 不同轮辋直径的“C”值**

| 轮辋直径,in | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 | 44 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| “C” | 1.033 | 1.067 | 1.101 | 1.135 | 1.169 | 1.203 | 1.237 | 1.271 | 1.305 | 1.339 |

2. 低断面农业和林业拖拉机轮胎的负荷计算

应用公式如下：

$$W = K \times 0.425 \times P^{0.585} \times S_d^{1.39}(D_R + S_d) \qquad (1\text{-}4\text{-}3)$$

$$S_{.70} = S_1[180^\circ - \sin^{-1}(W_1/S_1)]/135.6^\circ \qquad (1\text{-}4\text{-}4)$$

$$S_d = S - (F)d \qquad (1\text{-}4\text{-}5)$$

式中 $S_{.70}$——装于70%轮辋上的断面宽，in；

$d$——圆形轮胎断面高 ($0.96S_{.70}$) 减去低断面轮胎断面高，in；

$K$——负荷系数，1.20；

$F$——系数。

其中系数$F$的值随$d/S_{.70}$的值而变化，如表1-4-4所示。

**(四) 农业拖拉机轮胎的结构设计特点**

表 1-4-4 不同$d/S_{\cdot}$时的$F$值

| $d/S_{\cdot 70}$ | $F$ | $d/S_{\cdot 70}$ | $F$ | $d/S_{\cdot}$ | $F$ | $d/S_{\cdot 70}$ | $F$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0～5% | 0.637 | 10～15% | 0.620 | 20～25% | 0.597 | 30%以上 | 0.569 |
| 5～10% | 0.630 | 15～20% | 0.610 | 25～30% | 0.583 | | |

1．低气压、低层级

拖拉机作业于松软的农田。为了提高轮胎对土壤的附着力、减小单位面积的压力，以免把土壤压实。轮胎的气压一般都偏低，通常轮胎的气压不超过 0.22MPa(2.2kgf/cm²)，一般为0.098～0.16MPa(1.0～1.6kgf/cm²)。因此单根帘线所承受的应力较小，因而胎体层数相应减少。如14.9-38以下的轮胎最高为8层级。

2．较大的轮辋直径、轮胎外直径和断面宽

农用拖拉机主要用于农田作业，一般要求有较大的离地间隙和超越障碍物的能力，因此要求轮胎有较大的轮辋直径和轮胎外直径。

由于拖拉机驱动轮胎的低气压和低层级这一特点，所以承受载荷的气腔容积相应增大，因此轮胎的断面宽也较大，以便增大轮胎的内腔容积。

3．轮胎断面高宽比

六十年代以来，除少数保留产品以外，宽断面轮胎取代了普通断面宽的拖拉机轮胎，如11.2-28和13.6-38分别取代了10-28和12-38轮胎。后来，又发展了部分低断面轮胎，如28$L$-26，35L-32等("L"表示低断面)。现列出不同规格的断面高宽比，以供设计参考(见表1-4-5)。

表 1-4-5 拖拉机驱动轮胎断面高宽比[2]

| 断面规格 | | 装于87%轮辋上的轮胎断面宽标准花纹深度时的轮胎断面高 | | $H/S_{\cdot 87}$ |
|---|---|---|---|---|
| 斜交轮胎 | 子午线轮胎 | $S_{\cdot 87}$, mm | $H$, mm | |
| 8.3 | — | 216 | 192 | 0.888 |
| 9.5 | — | 247 | 219 | 0.886 |
| 11.2 | — | 278 | 247 | 0.889 |
| 12.4 | — | 310 | 275 | 0.887 |
| 13.6 | — | 341 | 300 | 0.879 |
| 13.9 | — | 365 | 282 | 0.794 |
| 14.9 | — | 378 | 328 | 0.868 |
| 15.5 | — | 380 | 302 | 0.794 |
| 16.9 | 16.9R | 422 | 362 | 0.858 |
| 18.4 | 18.4R | 468 | 395 | 0.845 |
| 18.4—16.1 | — | 467 | 365 | 0.781 |
| 20.8 | 20.8R | 531 | 435 | 0.819 |
| 23.1 | — | 589 | 472 | 0.802 |
| 24.5 | 24.5R | 630 | 495 | 0.786 |
| 低断面轮胎 | | | | |
| 17.5L | — | 450 | 328 | 0.728 |
| 19.5L | — | 495 | 365 | 0.737 |
| 21L | — | 540 | 396 | 0.734 |
| 28L | — | 700 | 477 | 0.683 |
| 30.5L | 30.5LR | 763 | 503 | 0.659 |

从表1-4-5可以看出，宽断面拖拉机轮胎的$H/S_{.87}$值一般在0.8～0.9之间。

根据轮胎标准中所规定的充气断面宽及外直径，并且按照轮胎模型和充气尺寸之间的变化规律确定轮胎的模型尺寸。

轮胎断面宽和外直径的选取，必须使其负荷能力达到轮胎标准的规定。

4. 轮辋宽度和轮胎两胎圈间的距离

表1-4-6中列出了轮辋宽度与轮胎断面宽的比值，可以看出：拖拉机驱动轮胎属于宽轮辋轮胎。

表 1-4-6 轮辋宽度与轮胎断面宽的比值

| 轮胎规格 | 轮胎断面宽 mm | 轮辋宽度 mm | 轮辋宽与轮胎断面宽之比 | 轮胎规格 | 轮胎断面宽 mm | 轮辋宽度 mm | 轮辋宽与轮胎断面宽之比 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8.3 | 211 | 179 | 0.84 | 15.5 | 393 | 356 | 0.90 |
| 9.5 | 241 | 203 | 0.84 | 16.9 | 429 | 381 | 0.89 |
| 11.2 | 284 | 254 | 0.89 | 18.4 | 467 | 406 | 0.87 |
| 11.4 | 315 | 279 | 0.89 | 20.8 | 528 | 457 | 0.87 |
| 12.4 | 345 | 305 | 0.88 | 23.1 | 587 | 508 | 0.87 |
| 13.6 | 353 | 305 | 0.86 | 24.5 | 622 | 533 | 0.86 |
| 14.9 | 378 | 332 | 0.87 | | | | |

轮胎模型两胎圈间距离通常等于或小于轮辋宽度（0.5in）。

5. 行驶面宽度和弧度高

为了增加轮胎与土壤的接触面积，减小土壤单位面积上所受的压力和土壤的变形，以减小轮胎的滚动阻力、提高轮胎的牵引性能，一般拖拉机驱动轮胎的行驶面都较宽。例如：越野汽车轮胎的 $b/B$ 值一般为0.85～0.90[32]，而拖拉机轮胎的 $b/B$ 值则为0.90～0.95，$h/H$ 值为0.08～0.09。特殊用途的水田或甘蔗田用的拖拉机轮胎，其 $b/B$ 值甚至超过1.0，也就是轮胎的行驶面宽度大于轮胎断面宽，轮胎的花纹块伸出于断面宽之外，这种轮胎可以获得较好的牵引性能。

6. 轮胎着合直径和胎圈轮廓设计特点

拖拉机轮胎在使用时，除承受额定的垂直载荷以外，还要牵引农具进行田间作业，切向牵引力可达额定垂直负荷的0.95倍。由于轮胎气压低，在切向牵引力的作用下易导致轮胎在轮辋上滑动，导致磨坏胎圈和扭坏内胎嘴子。为防止发生这类质量问题，轮胎的着合直径的设计要采取与轮辋直径过盈配合。通过试验证明，一般轮胎着合直径可取2～4mm的过盈量（小于轮辋直径）。当气压特别低或牵引力较大时，此过盈量还应取得大些。但应注意，拖拉机轮辋的实际直径与名义直径有较大的差别。表1-4-7提供了轮辋实际直径与名义直径尺寸的对照。轮胎胎圈底部倾斜角可与轮辋相同（即5°）。图1-4-2为轮辋底部倾斜形状。

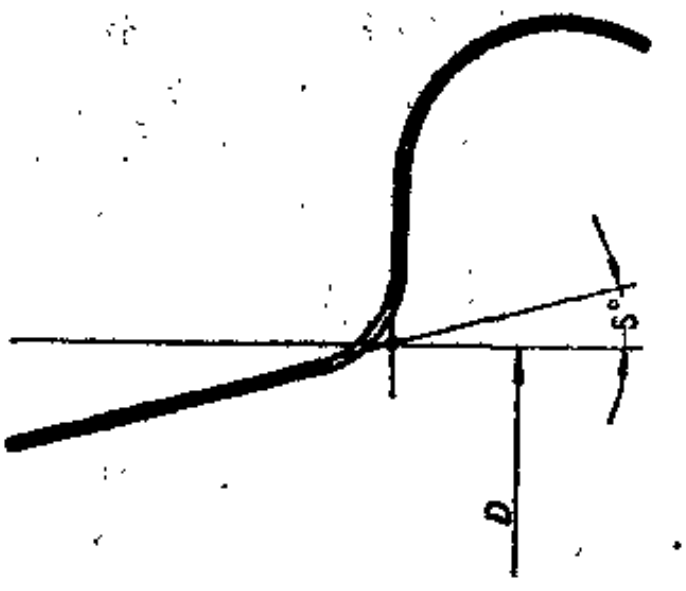



图 1-4-2 拖拉机轮辋底部形状

7. 农业拖拉机驱动轮胎的花纹

表 1-4-7 轮辋直径实际尺寸

| 名义直径 $D_R$,in | 实际直径 $D$,mm | 名义直径 $D_R$,in | 实际直径 $D$,mm | 名义直径 $D_R$,in | 实际直径 $D$,mm | 名义直径 $D_R$,in | 实际直径 $D$,mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 202.4 | 15 | 380.2 | 24 | 614.4 | 36 | 919.2 |
| 9 | 227.8 | 15.3 | 388.2 | 26 | 665.2 | 38 | 970.0 |
| 10 | 253.2 | 16 | 405.6 | 28 | 718.0 | 40 | 1020.8 |
| 12 | 304.0 | 16.1 | 407.5 | 30 | 766.8 | 42 | 1071.6 |
| 13 | 329.4 | 18 | 462.0 | 32 | 817.6 | 44 | 1122.4 |
| 14 | 354.8 | 20 | 512.8 | 34 | 868.4 | 48 | 1224.0 |

农业拖拉机驱动轮胎的花纹应根据其使用特点而进行设计。由于农业拖拉机主要用于田间作业，所以牵引性能是衡量轮胎使用性能优劣的主要标志之一，而轮胎花纹则是影响牵引性能的重要因素。轮胎花纹设计包括花纹块的宽度、深度、齿数、排列角度以及花纹块的总而积占整个行驶面的百分数。合理设计的胎面花纹能够保证必要的牵引性能和适当的耐磨性能。

（1）花纹块的排列角度　花纹块在行驶面上的角度排列对轮胎的牵引性能及耐磨性能有重要影响。一般拖拉机轮胎是左右成对错开排列的，左右花纹块排列成人字形，因此整个胎面花纹具有一定的方向。胎侧上标以箭头指示方向，装胎时应使箭头与行驶方向相同。

传统的拖拉机轮胎花纹大都与径向成40～45°的交角，花纹的形 状如图 1-4-3和1-4-4所示。其目的虽然是兼顾考虑轮胎的牵引性能、平顺性能和耐磨性能，但其效果却不甚理想°



图 1-4-3　45°排列的花纹块



图 1-4-4　45°排列的头部加宽花纹块

60年代以来，国际上的农用拖拉机轮胎花纹已打破了传统的40～45°的花纹块排列形式，而代之以由二个角度组成的花纹块，转折处以弧线连接，如图1-4-5所示。

从肩部开始第一个角度为主体花纹块，通常与径 向成 20～30°，第二个角度 与 径 向成 40～60°。第一角度偏横向可以提供较好的牵引性能和自洁性能。实践证明，这 种花 纹的综

合性能较好。

（2）花纹块的宽度和齿数　于松软土壤进行耕耘作业的拖拉机轮胎应采取较窄的花纹块和较少的齿数。花纹块的接地面积通常占整个行驶面的20～30%。耕作运输两用以及其它非农业作业的拖拉机轮胎可采取较宽的花纹块或较多的齿数。花纹块面积占整个行驶面的30～40%，这样可以提高轮胎的耐磨性能和使用寿命。

（3）花纹深度　拖拉机轮胎的花纹深度比之汽车轮胎要深的多。因其使用条件不同而分为常规用、甘蔗和稻田用、浅花纹以及工业用等四种不同的花纹深度。表1-4-8列出了各种规格的花纹深度，以供设计参考。

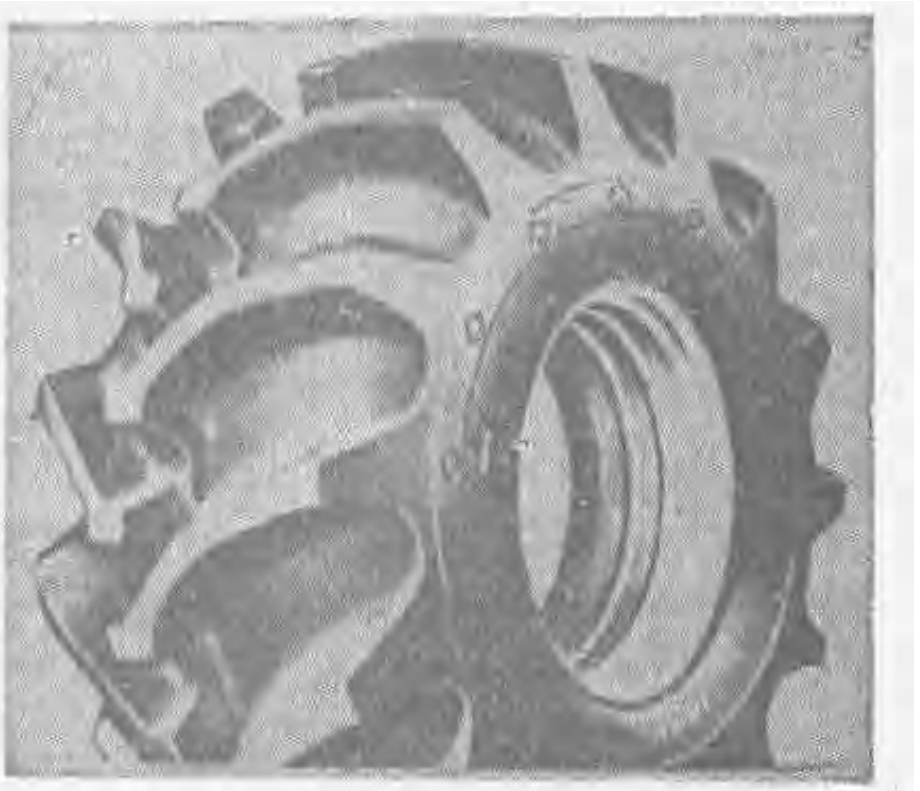


图 1-4-5　由二个角度组成的花纹块

**（五）水田拖拉机轮胎的设计**

水稻是我国的主要粮食作物之一，我国南方稻谷产量占全国产量的90%以上。南方水稻栽培技术以育苗移植为主，多为双季稻，夏收后以水耕为主，因而土壤稀松粘重，致使一般拖拉机下水田后无法作业。面履带式拖拉机在水田作业时也有下沉、转向不便和履带联结轴承损坏等缺点。

表 1-4-8　拖拉机驱动轮胎的花纹深度

| 规格 | | 花纹深度，mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 斜交轮胎 | 子午线轮胎 | 常规使用 | 甘蔗田和稻田用 | 浅花纹 | 工业用 |
| 8.3 | — | 31 | — | — | — |
| 9.5 | — | 40 | 60 | 15 | — |
| 11.2 | — | 42 | 64 | 17 | — |
| 12.4 | — | 44 | 67 | 18 | — |
| 13.6 | — | 46 | 70 | 19 | — |
| 13.9 | — | 44 | — | — | — |
| 14.9 | — | 47 | 73 | 21 | 26 |
| 15.5 | — | 46 | 70 | — | — |
| 16.9 | 16.9R | 48 | 76 | 22 | 27 |
| 18.4 | 18.4R | 50 | 81 | 24 | 29 |
| 18.4-16.1 | — | 50 | — | 24 | — |
| 20.8 | 20.8R | 51 | 85 | — | — |
| 23.1 | — | 52 | 89 | 28 | 30 |
| 24.5 | 24.5R | 53 | 91 | 29 | — |

提高轮胎在泥泞地或沼泽地的通过性能和牵引性能一般有三种途径，即往轮胎内充入液体或增加轮胎的配重、加宽轮胎的断面和加深胎而花纹。

往轮胎充入液体或增加配重只能提高拖拉机轮胎在旱地或一般土壤的牵引性能，而在水田中效果不大。

加宽轮胎断面则使机器很庞大，不便在田间转向倒车，尤其不适用于田块较小的水田作业。但小型水田收割机，因其机型小，轮胎也较小，就可以采用加宽轮胎断面的办法。

60年代初，我国曾采取加深花纹的方法研制成功了高花纹水田拖拉机轮胎。实践证明，这种轮胎能适应于大部分水田作业。

1．设计原理和依据

当轮胎在硬路面上行驶时，牵引力就等于轮胎与路面接触部分的摩擦力，而在松软路面上行驶时，轮胎花纹下面干土壤，除了摩擦力以外，轮胎花纹块从与运动方向相反的方向挤压土壤，土壤因而产生了与运动方向相同的反作用力。因此轮胎的切向牵引力由以下二部分组成：

$$P_\varphi = P_{\varphi 1} + P_{\varphi 2} \tag{1-4-6}$$

式中 $P_\varphi$——轮胎的切向牵引力；

$P_{\varphi 1}$——轮胎与土壤接触部位的全部摩擦力的合力；

$P_{\varphi 2}$——轮胎向拖拉机运动的相反方向挤压土壤时所产生的反应力。

其中$P_{\varphi 2}$的计算公式为

$$P_{\varphi 2} = \sigma F_h \tag{1-4-7}$$

式中 $\sigma$——土壤平均水平反应力；

$F_h$——轮胎与土壤接触部分的全部花纹垂直投影面积。

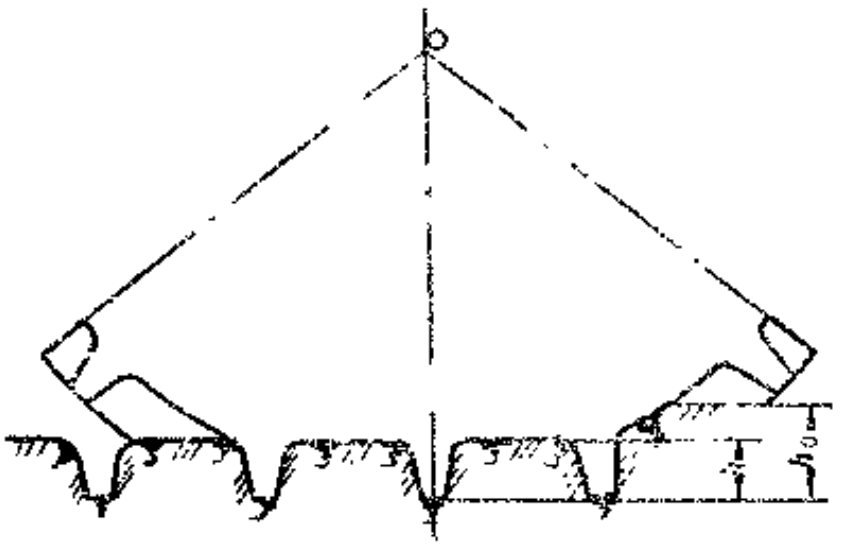


图 1-4-6 轮胎花纹在土壤中的情况

其中$F_h$的计算公式为

$$F_h = N \cdot f_n \tag{1-4-8}$$

式中 $N$——与土壤同时接触的花纹块数；

$f_n$——每块花纹的垂直投影面积。

由上看出，切向牵引力与土壤接触的花纹块的垂直投影面积的大小有关。

轮胎在水田滚动时，由于垂直载荷的作用下沉与土壤接触，在接触面上同时有几块花纹，夹在花纹块之间的土壤由原来的高度$h_0$压实至$h$（如图1-4-6所示）。

土壤压实以后，土壤中所含自由水被挤出，增大了土壤颗粒间的内摩擦力和粘接力，从而提高了土壤的抗剪强力，使土壤的水平反应力$\sigma$增大。

增加花纹块的高度，可以提高每个花纹块与土壤的作用面积，因而可有效地提高切向牵引力。但花纹块高度的增加必须在花纹块能充分沉入土壤并对土壤压实的前提下，如过高则起不到对土壤的压实作用。

花纹块齿数的疏密要适当，必须既保证沉入土壤的花纹块对土壤有压实作用。又能在轮胎滚动时，土壤虽产生变形但不被剪断，这样，上述土壤的反作用力$P_{\varphi 2}$才能起作用。齿数过密土壤易被剪断，而齿数过稀则花纹块与土壤作用的总面积减小。总之花纹齿数的疏密应根据土壤条件来确定。

2．高花纹水田轮胎示例

以11-28高花纹水田轮胎为例，其轮廓尺寸及花纹形状见图1-4-7。

3．高花纹水田拖拉机轮胎的结构设计特点

（1）花纹深度 根据我国水田土壤情况，水田拖拉机轮胎的花纹深度以80～100mm为宜。通常，土壤越松软，花纹越深；规格越大，花纹越深。

（2）花纹齿数 与普通拖拉机轮胎相比花纹齿数较少，但至少要有二对花纹同时接触

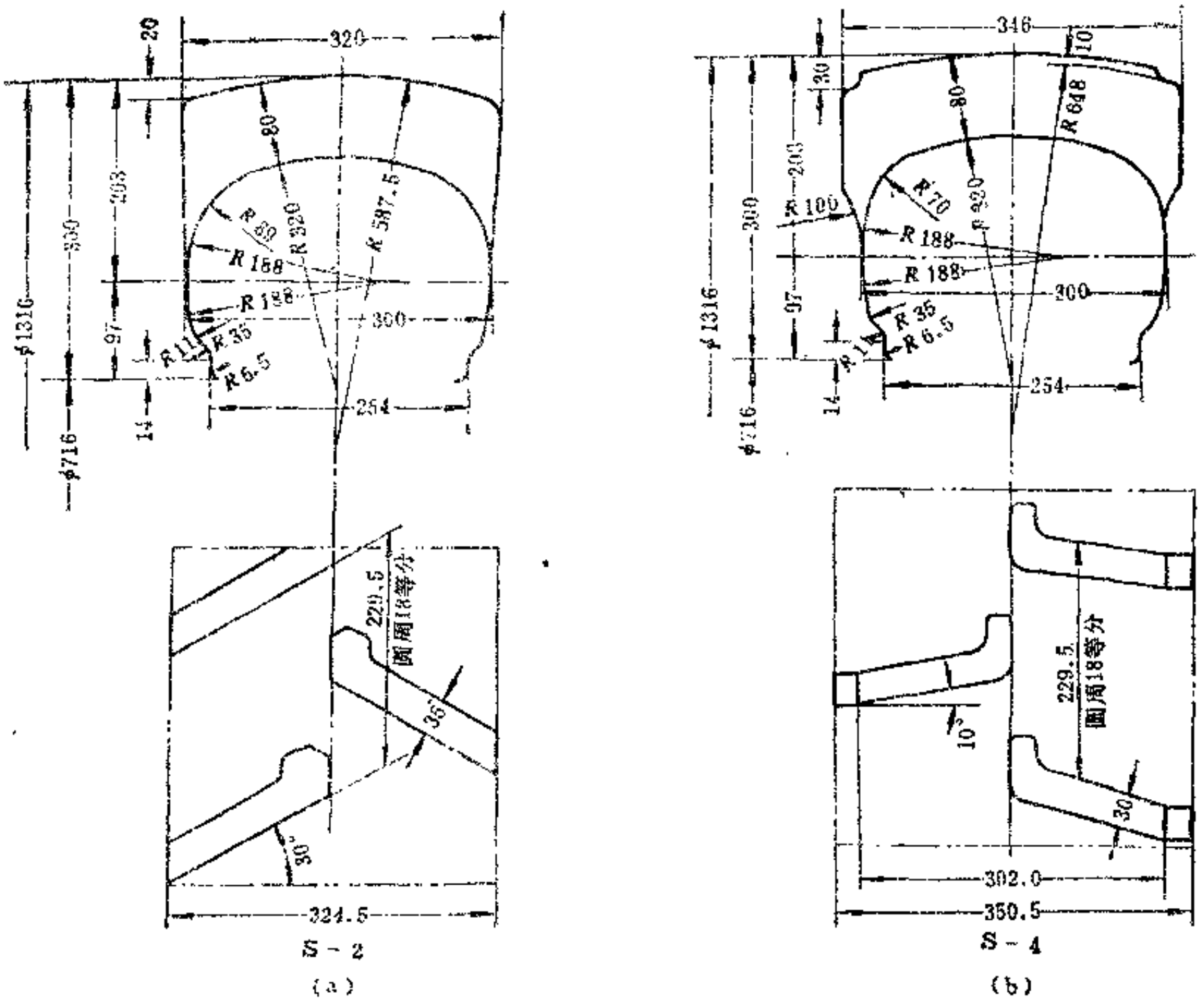



图 1-4-7　11-28高花纹水田拖拉机轮胎的轮廓和花纹（单位：mm）

（a）S-2型轮胎；（b）S-4型轮胎

地面，且左右二花纹块要衔接，否则平顺性不良。

（3）花纹块的排列角度　以横向为主，主体部分与径向成10～20°交角。非主体部分偏纵向，保证左右二花纹块接地时前后衔接。

（4）轮胎充气内压　轮胎的充气气压通常比普通拖拉机轮胎稍低，当气压为58.8～98.1kPa(0.6～1.0kgf/cm²) 时，牵引性能较好。

（5）大角度帘线缓冲层　缓冲层帘线角度要尽量采取较大的角度，通常可达到60°左右，以防止缓冲层帘线在硫化时随胎面胶料流动而弯曲。

（6）轮胎模型着合径　轮胎模型着合径与轮辋直径的配合，要采取较大的过盈量，以防止胎圈在使用中滑动，通常以过盈4～6mm为宜。

（7）轮胎成型鼓直径　成型鼓直径应尽量大一些，使轮胎帘线从成型鼓到胎里直径的伸张比普通拖拉机轮胎小，以尽量减少胎面半成品在定型和硫化过程中的流动，使胶料易于充满模型中的花纹部位。

（8）轮胎硫化　硫化工艺应采取慢升温和低温长时间硫化，冬季温度太低时硫化前应温胎，以利于胶料流动。

### （六）手扶拖拉机轮胎

手扶拖拉机轮胎系小型驱动轮胎，其结构设计特点与普通农业拖拉机驱动轮胎相同。手扶拖拉机在我国南方应用甚广，特别适用于小型田块作业，轮胎的主要规格为5.00-12和6.00-12。手扶拖拉机轮胎的基本参数见表1-4-9，其轮胎花纹形式见图1-4-8。

表 1-4-9 手扶拖拉机轮胎的主要参数[9]

| 轮胎规格 | 层级 | 花纹 | 标准轮辋 | 允许使用轮辋 | 主要尺寸,mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 外直径 | 断面宽 |
| 5.00-12 | 4 | 人字 | 4.00E | 3.50D | 145 | 590 |
| 6.00-12 | 4 | 人字 | 4.50E | 5.00F | 165 | 640 |



图 1-4-8 手扶拖拉机轮胎花纹

## 第二节 农业拖拉机导向轮胎

拖拉机的前轮胎是导向轮胎，主要要求其导向性能好、滚动阻力小并具有一定的耐磨性能、抗刺扎性能和耐老化性能。

### 一、ISO标准中列出的拖拉机导向轮胎规格

ISO标准中拖拉机导向轮胎的规格及其所配轮辋见表1-4-10[10]。

### 二、拖拉机导向轮胎的轮辋

拖拉机导向轮胎的轮辋型号很多，共有4类。

（1）W型深槽轮辋。

（2）C、D、E、F、J、L、K、KA、KB和LB等型号的深槽轮辋。

表 1-4-10 拖拉机导向轮胎

| 轮胎规格 | 轮辋宽度标志 | 适用轮辋 | 允许使用轮辋 |
|---|---|---|---|
| 4.00-12 | 3 | 3.00D | 2.50C |
| 4.00-15 | 3 | 3.00D | |
| 5.00-15 | 4 | 4J | 3.00D,4.00E |
| 5.50-16 | 4 | 4.00E | 4.25KA,4.50E |
| 6.00-16 | 4.5 | 4.50E | 4.00E,4.25KA,5.00F,5K |
| 6.50-16 | 4.5 | 4.50E | 4.00E,4.25KA,5.00F,5K,5.50F |
| 6.50-20 | 4.5 | 5.00F | 5.50F |
| 7.50-16 | 5.5 | 5.50F | 5.00F,5K,6.00F,6LB |
| 7.50-18 | 5.5 | 5.50F | |
| 7.50-20 | 5.5 | 5.50F | 5.00F |
| 9.00-16 | 6 | 6LB | 6.00F |
| 10.00-16 | 8 | W8L | 8LB,W8 |
| 11.00-16 | 10 | W10L | 8LB,W8,W8L,10LB |

续表

| 轮胎规格 | 轮辋宽度<br>标　志 | 适用轮辋 | 允许使用轮辋 |
|---|---|---|---|
| 7.5L-15<br>(8.25/85-15) | 6 | 6LB | 5K,5KB,5 1/2J,5 1/2K,6L |
| 9.5L-15<br>(9.5/85-15) | 8 | 8LB | |
| 11L-15<br>(11.5/75-15) | 8 | 8LB | W8L,10LB |
| 14L-16.1<br>(14.0/80-16.1) | 11 | W11C | |

（3）16.1-11半深槽轮轮辋。

（4）C、D、E、F和K等型号的对开式轮辋。

## 三、拖拉机导向轮胎的负荷计算

拖拉机导向轮胎负荷的计算公式[2]与驱动轮胎相同，唯负荷系数$K$不同。标准断面导向轮胎的$K$值为1.10，低断面导向轮胎的$K$值为1.20。

## 四、拖拉机导向轮胎的设计特点

### （一）轮胎断面高宽比

轮胎断面高度比见表1-4-11。

表 1-4-11　拖拉机导向轮胎断面高宽比

| 轮胎规格 | $S_{.70}$,mm | 轮胎设计断面高<br>mm | 轮胎设计断面高与$S_{.70}$之比 |
|---|---|---|---|
| 4.00(SL) | 113.0 | 117.6 | 1.039 |
| 5.00(SL) | 137.5 | 141.5 | 1.029 |
| 5.50(SL) | 151.5 | 153.0 | 1.009 |
| 6.00(SL) | 164.0 | 166.5 | 1.014 |
| 6.50(SL) | 176.0 | 177.0 | 1.005 |
| 7.50(SL) | 205.0 | 201.0 | 0.981 |
| 9.00(SL) | 240.0 | 225.0 | 0.938 |
| 10.00(SL) | 267.5 | 244.0 | 0.912 |
| 11.00(SL) | 293.0 | 280.5 | 0.956 |
| 低　断　面　轮　胎 | | | |
| 7.5L | 204 | 182 | 0.893 |
| 9.5L | 236 | 201 | 0.851 |
| 11L | 275 | 216 | 0.786 |
| 14L | 336 | 290 | 0.861 |

注：SL为限于农业使用。

### （二）拖拉机导向轮胎的轮辋宽度

拖拉机的前轮胎为导向轮胎，与驱动轮胎相比规格要小的多。除前后轮驱动轮胎及低断

面轮胎以外，其轮辋宽度与轮胎断面宽度之比即$C/B'$值比之驱动轮胎小，与载重轮胎接近。现将拖拉机导向轮的胎的$C/B'$值列于表1-4-12。

表 1-4-12 拖拉机导向轮胎的$C/B'$值

| 轮胎规格 | 设计轮辋宽度 $C$ mm | 轮胎设计断面 $B'$ mm | $C/B'$ |
|---|---|---|---|
| 4.00 | 76 | 112 | 0.680 |
| 5.00 | 102 | 130 | 0.784 |
| 5.50 | 102 | 150 | 0.680 |
| 6.00 | 114 | 164 | 0.695 |
| 6.50 | 114 | 173 | 0.660 |
| 7.50 | 140 | 203 | 0.688 |
| 9.00 | 152 | 204 | 0.652 |
| 10.00 | 203 | 274 | 0.740 |
| 11.00 | 254 | 315 | 0.806 |
| 低断面导向轮胎 | | | |
| 7.5L-15 | 152 | 208 | 0.731 |
| 9.5L-15 | 178 | 241 | 0.738 |
| 11L-15 | 203 | 273 | 0.743 |
| 14.5L-16.1 | 279 | 335 | 0.789 |

（三）行驶面宽度和弧度高

为提高导向轮胎的导向性能和减小轮胎的滚动阻力，可选取较窄的行驶面和较大的弧度高，所以驱动轮胎与导向轮胎相比，其$b/B'$值较小，而$h/H$值较大。通常$b/B$值取0.80～0.85，$h/H$值取0.6左右。当兼用于运输作业时，为提高其耐磨性能和使用寿命，行驶面应较平坦。表1-4-13列出部分导向轮胎的设计参数以供参考。

表 1-4-13 部分导向轮胎的模型设计参数

| 轮胎规格 | 花纹形式 | $H/B$ | $b/B$ | $h/H$ | $C/B$ | $H_1/H_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4.00-8 | 条形 | 1.093 | 0.738 | 0.657 | 0.681 | 0.893 |
| 4.00-9 | 条形 | 1.132 | 0.872 | 0.108 | 0.680 | 0.7[illegible] |
| 4.00-16 | 条形 | 1.165 | 0.8[illegible] | 0.698 | 0.719 | 0.775 |
| 4.00-19 | 条形 | 1.139 | 0.823 | 0.108 | 0.690 | 0.754 |
| 6.00-16 | 条形 | 1.072 | 0.855 | 0.111 | 0.671 | 0.789 |
| 6.50-16 | 条形 | 1.059 | 0.853 | 0.078 | 0.671 | 0.837 |
| 6.50-60 | 条形 | 1.076 | 0.856 | 0.068 | 0.824 | 0.794 |

（四）导向轮胎的花纹

1. 导向轮胎的花纹形式

导向轮胎的花纹形式比较单一，为纵沟和纵垅组成的花纹。花纹形状如图1-4-9～图1-4-11所示



图 1-4-9　断开式的纵拢花纹



图 1-4-10　单根凸拢花纹



图 1-4-11　多条垅沟花纹

2．导向轮胎的花纹深度

导向轮胎的花纹深度因土壤类型和用途而不同，常用导向轮胎的花纹深度列于表1-4-14。

表 1-4-14　导向轮胎花纹深度

| 轮胎规格 | 花纹深度，mm | | |
|---|---|---|---|
| | 单根凸垅花纹 | 常规胎面花纹 | 工业用多垅花纹 |
| 4.00 | 17.5 | 11.5 | 4.5 |
| 5.00 | 19.0 | 13.0 | 5.5 |
| 5.50 | 21.0 | 15.0 | 6.0 |
| 6.00 | 22.0 | 16.0 | 6.5 |
| 6.50 | — | 18.0 | 7.0 |
| 7.50 | 26.5 | 20.5 | 7.5 |
| 9.00 | — | 23.5 | 8.5 |
| 10.00 | 32.5 | 26.5 | — |
| 11.00 | 35.0 | 29.0 | 13.0 |
| 低断面轮胎 | | | |
| 7.5L | — | 20.5 | — |
| 9.5L | — | 24.0 | — |
| 11L | — | 28.0 | 13.0 |
| 14L—16.1 | — | 33.0 | 15.0 |

## 第三节　农机具轮胎

农机具轮胎为装于农业机械或农具上的行走轮，承重轮或支撑轮。这类轮胎的特点是行驶速度慢、间歇作业、里程短和使用期长，因此要求轮胎具有便于田间转移、耐老化和耐刺扎等特点。

### 一、农机具轮胎的规格

ISO标准中的农机具轮胎的规格见表1-4-15和表1-4-16。

### 二、农机具轮胎的轮辋

农机具轮胎的轮辋型号基本上与拖拉机导向轮胎相同。其轮辋型号参看本章第二节。

### 三、农机具轮胎的结构设计特点

农机具轮胎的结构设计除花纹有区别以外，其它参数大体与导向轮相同。

#### （一）轮胎负荷计算

轮胎负荷计算公式与农业拖拉机驱动轮胎相同，但负荷系数“$K$”值不同。

1．普通断面轮胎

轮辋直径小于16in时，$K=1.71$；轮辋直径为17～24in时，“$K$”值如表1-4-17所示。

2．低断面轮胎

低断面轮胎的轮辋直径通常都小于16in，其负荷系数“$K$”值等于1.84。

#### （二）轮胎断面高宽比

农机具轮胎断面高宽比见表1-4-18。

表 1-4-15 标准断面农机具轮胎规格

| 轮胎规格 | 轮辋宽度 | 适用轮辋 | 允许使用轮辋 |
|---|---|---|---|
| 4.00-8 | 3 | 3.00D | 2.50A,3.75I |
| 4.00-12 | 3 | 3.00D | 2.50C,3.00B |
| 4.00-15 | 3 | 3.00D | 4J |
| 5.00-15 | 3 | 3.00D | 4J,4.00E,4 1/2J |
| 5.50-16 | 4 | 4.00E | 3.50D,4.25KA,4.50E |
| 5.90-15 | 4 | 4J | 4 1/2K,41/2KB,5K,5KB |
| 6.00-16 | 4 | 4.00E | 4.50E,4.25KA,500F,5K |
| 6.40-15 | 4.5 | 41/2K | 400E,4J,4 1/2KB,5.50F,5K,5KB |
| 6.50-16 | 4.5 | 4.50E | 4.00E,4.25KA,500F,5K,5.50F |
| 7.00-12 | 5 | 5.00F | 5JA,5.50F |
| 7.50-16 | 5.5 | 5.50F | 5.00F,5K,600F,6LB |
| 7.50-18 | 5.5 | 5.50F | 5.00F |
| 7.50-20 | 5.5 | 5.50F | 5.00F |
| 7.50-24 | 5.5 | W7 | |
| 9.00-16 | 6 | 6LB | 5.50F,6.00F,8LB,W8L |
| 10.00-15 | 8 | 8LB | |
| 11.25-24 | 10 | W10 | W8,W8H,W10H |
| 11.25-28 | 10 | W10 | W10H |
| 13.50-16.1 | 11 | W11C | 11SDC11 |

表 1-4-16 低断面农机具轮胎规格

| 轮胎规格 | 轮辋宽度 | 适用轮辋 | 允许使用轮辋 |
|---|---|---|---|
| 10.0/75-15.3 | 9 | 9.00 | |
| 10.0/80-12 | 9 | 9.00 | 7.00 |
| 10.5/80-18 | 9 | 9 | |
| 11.5/80-15.3 | 9 | 9.00 | |
| 12.0/75-18 | 9 | 11 | 9[11] |
| 12.5/80/18 | 9 | 11 | 9[11] |
| 13.0/65-18 | 11 | 11 | 9[11] |
| 9.5L-15 | 7 | 8LB | |
| 11L-15 | 8 | 8LB | 10LB |
| 11L-16 | 8 | 8LB | 10LB,W8L,W10L |
| 14L-16.1 | 11 | W11C | 11SDC[11] |

表 1-4-17 轮辋直径17～24in的"K"值

| 轮辋直径,in | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K | 1.67 | 1.64 | 1.60 | 1.57 | 1.54 | 1.50 | 1.47 | 1.43 |

### （三）轮辋宽度与轮胎断面宽的比

农机具轮胎的轮辋宽度与轮胎断面宽度的比值如表1-4-19所示。

### （四）农机具轮胎的花纹

1．花纹类型

农机具轮胎的花纹类型因农机具用途的多种多样而不同。如作为支撑轮或承重轮的轮胎

表 1-4-18 农机具轮胎断面高宽比

| 轮胎规格 | $S_{70}$, mm | 轮胎设计断面高 mm | 轮胎设计断面高与$S_{70}$之比 |
|---|---|---|---|
| 4.00 | 113.0 | 107.0 | 0.949 |
| 5.00 | 137.5 | 109.0 | 0.938 |
| 5.50 | 151.5 | 140.0 | 0.924 |
| 6.00 | 164.0 | 153.0 | 0.932 |
| 6.50 | 177.5 | 164.0 | 0.930 |
| 7.50 | 205.0 | 189.5 | 0.926 |
| 7.50-24 | 206.0 | 194.0 | 0.941 |
| 9.00 | 240.0 | 220.0 | 0.921 |
| 9.00-24 | 264.0 | 242.0 | 0.918 |
| 11.25 | 308.5 | 280.5 | 0.910 |
| 13.50-16.1 | 332.0 | 307.0 | 0.925 |
| 10.00 15 | 267.5 | 236.0 | 0.883 |
| 5.90-16 | 151.5 | 142.0 | 0.940 |
| 6.40-15 | 162.0 | 151.5 | 0.933 |
| 低断面轮胎 | | | |
| 9.5L | 238.0 | 193.0 | 0.818 |
| 11L | 275.0 | 198.0 | 0.721 |
| 14L | 336.5 | 267.0 | 0.793 |

表 1-4-19 农机具轮胎的轮辋宽与轮胎断面宽的比值

| 轮胎规格 | 轮辋宽度 mm | 轮胎断面宽 mm | 轮辋宽与轮胎断面宽的比值 |
|---|---|---|---|
| 4.00 | 76 | 112 | 0.68 |
| 5.00-15 | 76 | 130 | 0.58 |
| 5.50-16 | 102 | 150 | 0.68 |
| 5.90-15 | 114 | 155 | 0.74 |
| 6.00-16 | 102 | 159 | 0.64 |
| 6.40-15 | 114 | 163 | 0.70 |
| 6.50-16 | 114 | 173 | 0.66 |
| 7.50 | 140 | 203 | 0.69 |
| 9.00 | 152 | 234 | 0.65 |
| 9.00-24 | 203 | 272 | 0.75 |
| 10.00-15 | 203 | 274 | 0.74 |
| 11.25 | 254 | 325 | 0.78 |
| 13.50-16.1 | 279 | 353 | 0.79 |
| 低断面轮胎 | | | |
| 9.5L | 178 | 241 | 0.74 |
| 11L | 203 | 279 | 0.73 |
| 14L-16.1 | 279 | 356 | 0.78 |

对其花纹的要求不很严格，可选用普通花纹；农业拖车的轮胎花纹则要求具有一定的防滑性能和耐磨性能；对于农业机械的驱动轮，要求花纹具有一定的牵引性能和通过性能。现分别举例如下。

图1-4-12为纵沟和纵垅组成的纵向曲折花纹，这类花纹的滚动阻力小，防侧滑性能好，适用于农用拖车以及在有垅沟田块中作业的农业机械轮胎。

图1-4-13为宽轮辋宽断面农机具轮胎的花纹。这类花纹的行驶面宽面平，轮胎气压低，胎面接地面积上的单位压力小，适于在松软路面行驶，称之为高浮力轮胎花纹。

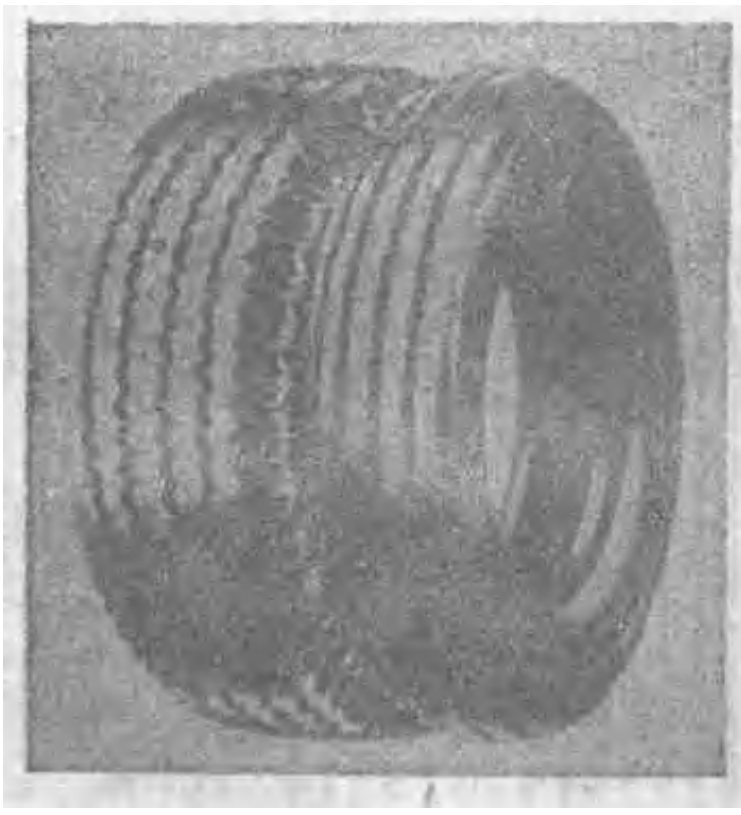


图 1-4-12　农用拖车轮胎花纹



图 1-4-13　高浮力农机具轮胎花纹

图1-4-14为农机具驱动轮胎的花纹，其通过性能和牵引性能较好。而且花纹齿密，耐磨性能也较好，适于坏路行驶。

图1-4-15为小型水田收割机轮胎花纹，其特点为宽断面、深花纹，适于水田作业。图1-4-16为稻谷和玉米收割机轮胎花纹。图1-4-17为播种和施肥作业用的农具轮胎花纹。



图 1-4-14　高抓着力的农机具轮胎花纹



图 1-4-15　小型水田收割机轮胎花纹

2．花纹深度

农机具轮胎的花纹深度因其用途及规格大小而不同。各种规格轮胎的花纹深度列于表1-4-20。

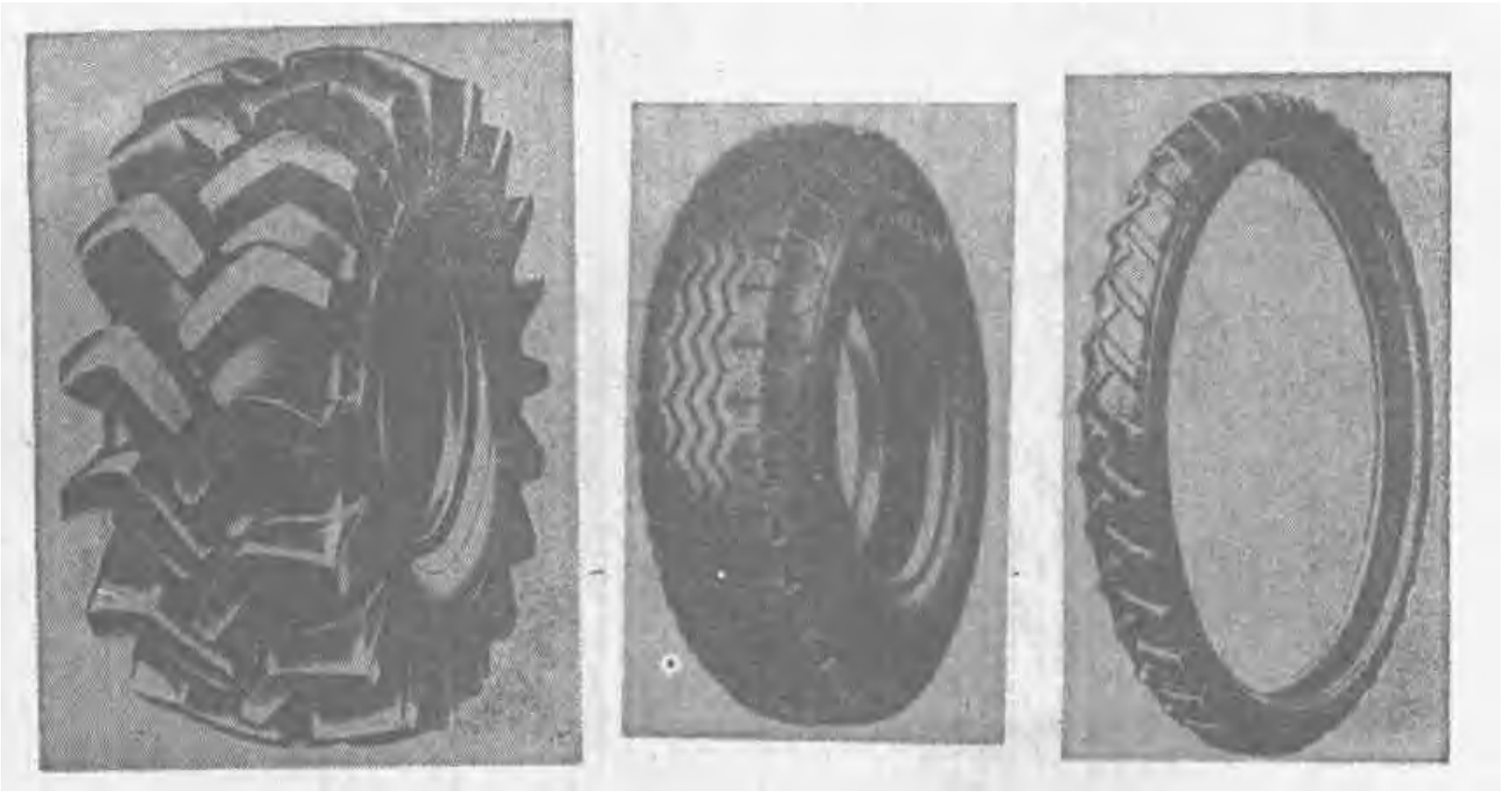


图 1-4-16　稻谷和玉米收割机轮胎花纹



图 1-4-17　播种和施肥作业农机具轮胎花纹

表 1-4-20　农机具轮胎的花纹深度

| 轮胎规格 | 花纹深度,mm | | |
|---|---|---|---|
| | 条形 | 适中型 | 牵引型 |
| 4.00 | 4.5 | — | 11.0 |
| 5.00 | 5.5 | — | 12.0 |
| 5.50 | 6.0 | — | 12.5 |
| 6.00 | 6.5 | — | 13.0 |
| 6.50 | 7.0 | — | — |
| 7.50 | 7.5 | — | 14.0 |
| 9.00 | 8.5 | — | — |
| 11.25 | 9.5 | — | — |
| 13.50～16.1 | 10.0 | 15.0 | 19.0 |
| 10.00-15 | 9.0 | — | — |
| 6.90-15 | 6.0 | — | 12.5 |
| 6.40-15 | 6.0 | — | — |
| 9.5L | 9.0 | — | 15.0 |
| 11L | 9.0 | — | 16.5 |
| 14L | 10.0 | — | — |

## 第四节　林业机械轮胎

林业轮胎装于林业拖拉机或林业机械上，进行林区的采伐、集材、铲运和挖掘等项作业，其使用条件苛刻。本节可能涉及某些划入工程胎类的林业轮胎，但不再重复论述，可参看本篇第五章。

## 一、林业轮胎的主要规格及参数

林业轮胎的主要规格及参数列于表1-4-21及1-4-22。

表 1-4-21 林业轮胎的规格及参数[4]

| 轮胎规格 | 设计轮辋宽度,in | 新胎设计尺寸,mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 断面宽 | 外直径 | | |
| | | | 普通花纹 | 适中花纹 | 深花纹 |
| 18.4-26 | 16.00 | 467 | 1450 | 1476 | 1498 |
| 18.4-34 | 16.00 | 467 | 1654 | 1679 | 1701 |
| 23.1-26 | 20.00 | 587 | 1605 | 1631 | 1662 |
| 24.5-32 | 21.00 | 622 | 1831 | 1831 | 1863 |
| 低断面轮胎 | | | | | |
| 28L-26 | 25.00 | 714 | 1615 | 1644 | 1673 |
| 30.5L-32 | 27.00 | 775 | 1819 | 1847 | 1879 |

表 1-4-22 林业轮胎在相应气压下的负荷

单位：kN(kgf)

| 轮胎规格 \ 轮胎相应气压 | 100kPa | 140kPa | 175kPa | 210kPa |
|---|---|---|---|---|
| 18.4-26 | 18.81(1918) | 22.28(2272) | 25.36(2586)〈10〉 | — |
| 18.4-34 | 21.30(2172) | 25.18(2568) | 28.71(2928)〈10〉 | — |
| 23.1-26 | 26.97(2750) | 31.91(3254)〈10〉 | — | — |
| 24.5-32 | 32.75(3340) | 38.78(3954) | 44.17(4504)〈12〉 | 49.17(5014)〈16〉 |
| 低断面轮胎 | | | | |
| 28L-26 | 31.24(3186)〈10〉 | 36.95(3768)〈12〉 | 42.13(4296)〈14〉 | — |
| 30.5L-32 | 39.13(3990) | 46.36(4727)〈12〉 | 52.78(5382)〈16〉 | — |

注 1.〈 〉内的数字为轮胎的层级。
2. 所规定负荷适用于60km/h以下。

## 二、林业轮胎的轮辋

林业轮胎所配轮辋型号与拖拉机驱动轮胎相同，参看本章第一节。

## 三、林业轮胎的设计特点

林业轮胎的规格及标志与拖拉机驱动轮胎相同。其规格为拖拉机轮胎系列中断面较宽而轮辋直径较小者。其结构设计特点基本上与农业拖拉机轮胎近似，属于宽断面宽轮辋轮胎。

林业轮胎的主要作用是承载转移以及短途运输。所以其层级通常比农业轮胎高。根据用

途的不同，轮胎花纹深度分为3挡，即普通、加深和适中3种。

1．林业轮胎的负荷计算

林业轮胎的负荷计算与农业拖拉机轮胎相同，参看本章第一节。

2．轮胎断面高宽比

林业轮胎为宽断面轮胎，断面形状较为扁平，断面高宽比较小。这种轮胎的通过性能和行驶稳定性都较好。表1-4-23列出了数种林业轮胎的断面高宽比。

表 1-4-23 林业轮胎的断面高宽比

| 轮胎规格 | 装于87%轮辋上的轮胎断面宽 $S_{87}$，mm | 轮胎设计断面高，mm | 轮胎设计断面高与$S_{87}$之比 |
|---|---|---|---|
| 18.4-26 | 468 | 355 | 0.845 |
| 18.4-34 | 463 | 395 | 0.845 |
| 23.1-26 | 587 | 472 | 0.802 |
| 24.5-32 | 630 | 495 | 0.786 |
| 低断面轮胎 | | | |
| 28L-26 | 700 | 476 | 0.683 |
| 30.5L-32 | 743 | 503 | 0.659 |

3．林业轮胎的轮辋宽度

林业轮胎的轮辋较宽，属于宽轮辋系列，其轮辋宽度与轮胎断面宽之比约为0.87。

4．行驶面弧度宽及弧度高

为了减小土壤变形，以便减小轮胎的滚动阻力从而提高轮胎的通过性，轮胎的行驶面通常都较宽。$b/B$值为0.90～0.95，$h/H$值为0.08～0.09。

5．缓冲层结构

某些林业轮胎的缓冲层由二层钢丝帘线组成，其作用是保护胎体免遭树杈、残枝、株干和石子的刺伤。缓冲层的宽度达胎肩花纹处，如图1-4-18所示。

6．胎圈结构

某些林业轮胎的胎圈在与轮缘接触部位予以加强，如图1-4-19所示，其目的是保护胎圈免受残干；残枝、参差不齐的树杈和尖利的石子的刺伤。

7．轮胎花纹

（1）花纹类型 林业轮胎花纹设计的原则是使轮胎具有较好的通过性能和耐刺扎性能。现以图为例举出几种林业轮胎中常见的花纹形式。

图1-4-20为高牵引性能花纹。适用于规格为16.9-30、18.4-34、23.1-26、24.5-32、28.1-26、30.5-32、38-35、67/50-32、68/34-25、28/31-26、68/36-25和68/36-26等轮胎。

图1-4-21为耐切割花。适用于规格为16.9-30、18.4-26、18.4-30、18.4-34、18.4-38、20.5-25、23.1-26、23.5-25、24.5-32和30.5-32等轮胎。

图1-4-22为法国Michelin的林业轮胎花纹，类似拖拉机轮胎花纹，适用于规格为14.9-24、12.4-28和16.9-30等轮胎。



图 1-4-18　林业轮胎的钢丝缓冲层

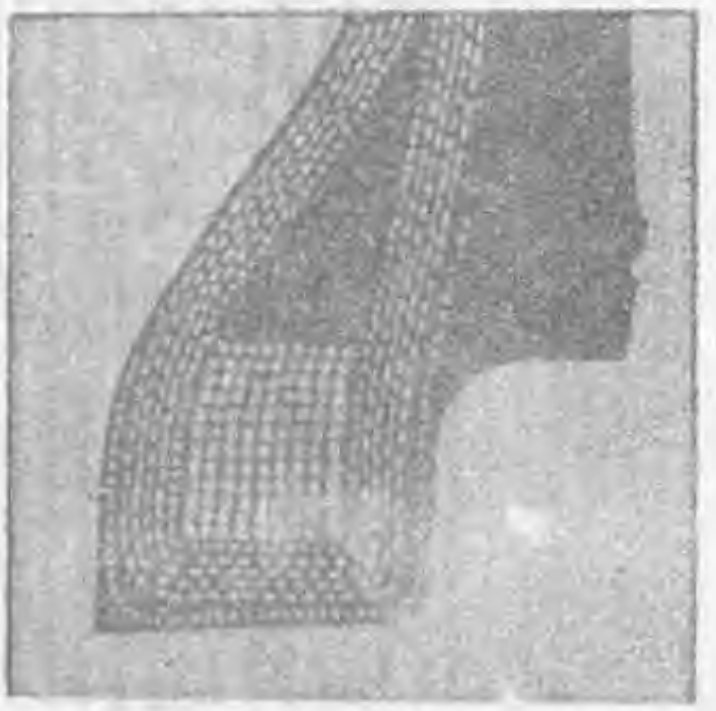


图 1-4-19　与轮缘接触部位的胎圈加强形状



图 1-4-20　高牵引性能花纹



图 1-4-21　耐切割花纹

表 1-4-24　林业轮胎花纹深度

| 轮胎规格 | 花纹深度，mm | | |
|---|---|---|---|
| | 普通花纹 | 适中花纹 | 加深花纹 |
| 18.4 | 41.0 | 51.0 | 81.0 |
| 23.1 | 43.0 | 53.0 | 89.0 |
| 24.5 | 43.5 | 54.0 | 91.5 |
| 28L | 46.5 | 57.5 | 89.0 |
| 30.5L | 44.5 | 55.5 | 93.0 |

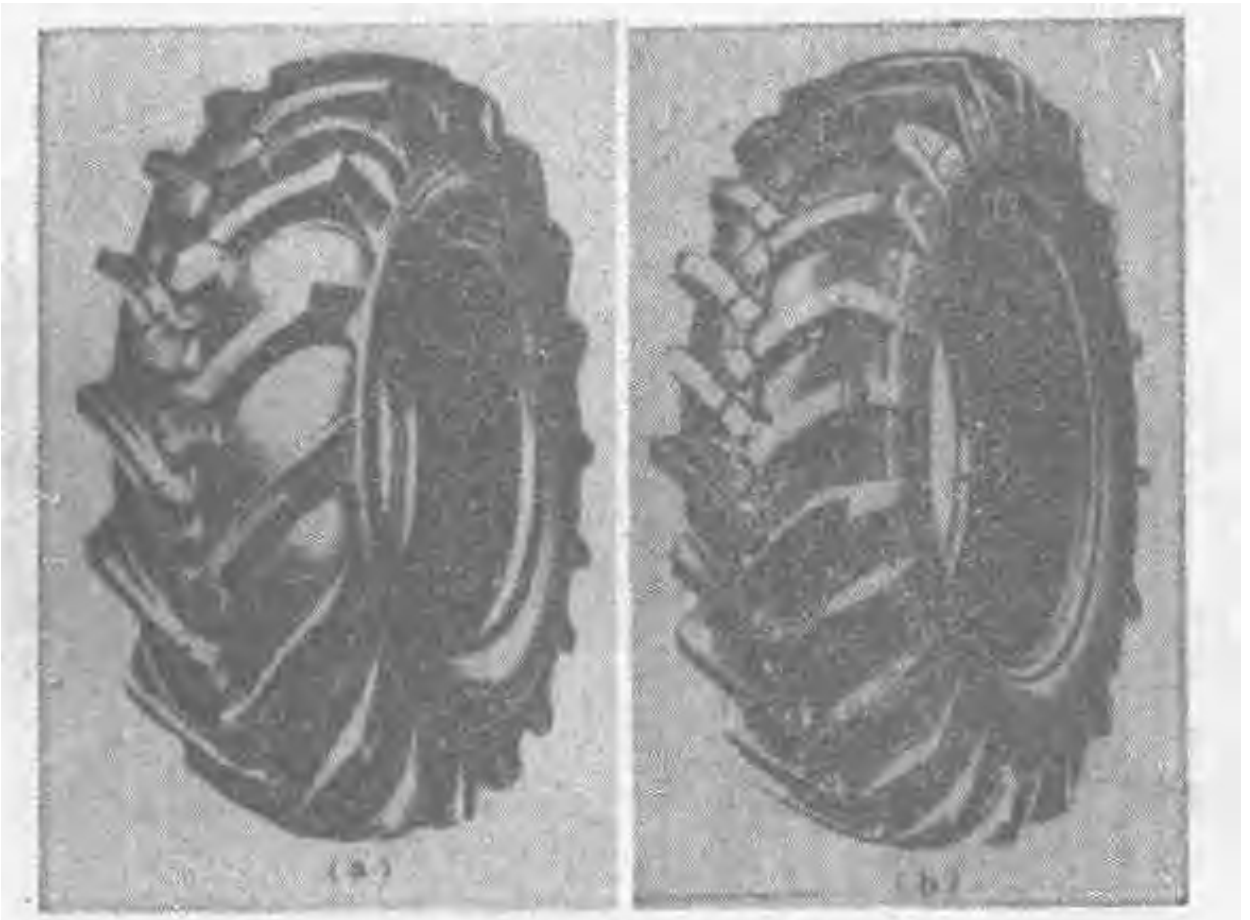


图 1-4-22 Michelin林业轮胎花纹

（2）花纹深度

林业轮胎按用途分为普通、适中和加深三种不同的花纹深度，现将部分规格的花纹深度列于表1-4-24。

## 四、国外林业机械轮胎

兹收集部分国外林业轮胎的参数分别列于表1-4-25～表1-4-27，以供参考。

表 1-4-25 芬兰Nokia公司的林业机械用轮胎参数

| 标　号 | 帘布层数 | 外径,mm | 断面宽度,mm | 载　荷,kN | 充气压力,kPa |
|---|---|---|---|---|---|
| 400/55-22.5 | 8 | 1012 | 405 | 28/33.6 | 270/320 |
| | 14 | 1012 | 405 | 39.2/47.1 | 480/570 |
| 500/60-22.5 | 12 | 1170 | 503 | 40.8/48.4 | 240/290 |
| 500/60-22.5 | 16 | 1170 | 503 | 48.4/58.1 | 320/390 |
| 13.00-24 | 14 | 1280 | 340 | 37.7/63.5 | 400/575 |
| 16.0-24 | 16 | 1494 | 430 | 51.7/84.5 | 325/450 |
| 17.5-25 | 16 | 1348 | 445 | 47.5/68.8 | 325/450 |
| 17.5-25 | 16 | 1348 | 445 | 47.5/69.8 | 325/450 |
| 20.5-25 | 16 | 1492 | 520 | 56.5/77 | 275/350 |
| 20.5-25 | 16 | 1492 | 520 | 56.5/77 | 275/370 |
| 22/65-25 | 16 | 1362 | 555 | 52.9/72.2 | 325/375 |
| 18.4/15-28 | 12 | 1450 | 467 | 29.8/38.8 | 230/250 |
| 23.1-26 | 14 | 1605 | 587 | 33.7/51.6 | 200/230 |
| 16.9/14-3 | 14 | 1485 | 429 | 28.5/37 | 260/290 |
| 18.4/15-30 | 14 | 1650 | 467 | 34/44.3 | 260/290 |
| 18.4/15-34 | 14 | 1650 | 467 | 37.3/48.5 | 260/290 |
| 23.1/34 | 14 | 1810 | 587 | 45.6/59.3 | 200/230 |
| 23.1-34 | 14 | 1810 | 587 | 45.6/59.3 | 200/230 |

注：载荷和充气压力栏内，分子表示在30km/h时速度下的值，分母表示在10km/h速度下的值。

表 1-4-26 加拿大Clark公司的轮式林业拖拉机简要技术特性

| 牌号 | 重量 kg | 使用功率 kW | 动力装备程度 kW/t | 轴距 mm | 轮距 mm | 离地间隙 mm | 最高速度 km/h | 轮胎规格 | 绞盘最大牵引力 kN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 665D | 7470 | 87 | 11.6 | 2749 | 2127 | 530/591 | 27.4 | 18.4-34/24.5-32 | 105 |
| 665DGS | 8890 | 87 | 9.8 | 2794 | 2127 | 495/591 | 27.4 | 23.1-26/24.5-32 | 105 |
| 666D | 8423 | 94 | 11.2 | 2642 | 2134 | 518/594 | 27.8 | 23.1-26/24.5-32 | 125 |
| 666DGS | 10280 | 94 | 9.8 | 3264 | 2123/2360 | 452/563 | 25.4 | 23.1-26/30.5-32 | 127 |
| 667D | 9980 | 107 | 10.7 | 2858 | 2182 | 485/561 | 28.8 | 23.1-26/30.5-32 | 154 |
| 667DGS | 11985 | 107 | 8.9 | 3264 | 2415 | 569/584 | 31.9 | 24.5-32/30.5-32 | 154 |
| 668D | 11980 | 152 | 12.5 | 3022 | 2134 | 533/548 | 29.6 | 25.5-32/30.5-32 | 190 |
| 668DGS | 15424 | 152 | 9.8 | 3480 | 2464 | 648 | 30.6 | 30.5-32/30.5-32 | 190 |

注：1. CS——变型拖拉机，带木捆抓取装置。
2. 分子为标准轮胎，分母为最大尺寸轮胎。

表 1-4-27 捷克ZTS Martin公司的林业拖拉机简要技术特性[5]

| 拖拉机牌号 | 车轮型式 | 拖拉机重量 kg | 使用功率 kW | 轴距 mm | 轮距 mm | 离地间隙 mm | 最高速度 km/h | 轮胎尺寸 | 绞盘最大牵引力,kN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LKT-81 | 4×4 | 6900 | 59.6 | 2400 | 1800 | 465 | 25 | 16.9/14-30 | 2×60 |
| LKT-120A | 4×4 | 10500 | 84 | 2950 | 2040 | 515 | 25 | 23.1-26 | 2×78.5 |
| LKT-120B | 4×4 | 11200 | 84 | 2850 | 2040 | 515 | 25 | 23.1-26 | 78.5 |
| LOS-160 | 6×6 | 19150 | 116 | 4500 | 2366* | 510 | 25 | 23.1-26/17.5-25 | — |

注：1. *——后轮轮距。
2. ——分子为前轮轮胎，分母为后轮轮胎。

芬兰Nokia公司的木材采伐机械用轮胎见表1-4-25。轮胎规格与尺寸的制定考虑了三轴式林业拖拉机结构的特点以及Scandinavia半岛木材采伐作业的条件。大直径的23.1-34（直径可达1810mm）轮胎用作前轮胎。该轮胎具有拖拉机轮胎的花纹，轮胎花纹块占接地面积的35%，花纹块的宽度与花纹沟的宽度之比为1:2。轮胎具有良好的附着性能及牵引性能。作为串接式台车的轮胎，轮胎花纹块占整个接地面积的50%，花纹块与花纹沟的宽度比为1:1。

该公司的林业轮胎有二层钢丝帘布缓冲层，以防轮胎被刺伤。此外还有加厚的胎侧壁等，保护胎圈不被扎伤。轮胎寿命为1500～8000小时，寿命长短取决于使用条件。与北美轮胎不同之处为一般都考虑了使用防滑装置，因此，这种轮胎的花纹块接地面积较大，轮胎气压也较高。

规格为18.4-26、18.4-34、28.1-26、24.5-32和30.5-32等专用林业轮胎得到了广泛的应用。

## 主要参考文献


〔1〕 ISO 4251/3—1985(E)。

〔2〕 *Engineering Design Information*——The Tire and Rim Association, Inc. Year Book (1984)。

〔3〕 GB 1192—82 "农业轮胎"，中国标准出版社，1982年。

〔4〕 The Tire and Rim Association, Inc. Year Book (1984)。

〔5〕 Л. И. ТОРОВ等著，谢斐拱译，国外拖拉机，1 (1986)。

# 第五章　工程机械轮胎

## 第一节　工程机械轮胎的分类和用途

工程机械轮胎主要有3种分类方法，一种是按作业用途分类；另一种是按轮胎断面形状分类；第三种则按花纹特征分类。第一种分类法见表1-5-1中。

表 1-5-1　工程轮胎按用途分类表

| 作业用途 | 最高速度，km/h | 一次作业最大距离，m | 花　纹　形　式 |
|---|---|---|---|
| 输送搬运轮胎 | 65(50)① | 4000 | 牵引型、耐磨型、加深型、浮力型 |
| 铲运平地轮胎 | 40 | 不限 | 牵引型，耐磨型，加深型 |
| 装载推土轮胎 | 8 | 75 | 牵引型、耐磨型、加深型，超深型，光胎面 |
| 起重吊装轮胎 | 0 | 0 | |

① 50km/h用于保留轮胎。

第二种分类分为正常断面的标准轮胎和加宽断面的宽基轮胎两种系列。宽基轮胎是在标准轮胎基础上发展起来的，能适应大型复杂结构机械对轮胎的高载荷等性能的要求。宽基轮胎与标准轮胎比较，外径相同，但断面较宽（见图1-5-1），有较大的接地面积和较高的载荷能力以及较低的接地压强，从而提高了工程轮胎使用性能。标准轮胎与宽基轮胎的对应关系如表1-5-2所列。

表 1-5-2　工程轮胎的标准轮胎与宽基轮胎对应表

| 标　准　轮　胎 | | 宽　基　轮　胎 | |
|---|---|---|---|
| 轮胎规格 | 断面宽度，mm(in) | 轮胎规格 | 断面宽度，mm(in) |
| 13.00 | 335.3(13.20) | 15.5 | 394(15.5) |
| 14.00 | 374.7(14.75) | 17.5 | 445(17.5) |
| 16.00 | 431.8(17.00) | 20.5 | 521(20.5) |
| 18.00 | 497.8(19.60) | 23.5 | 597(23.5) |
| 21.00 | 571.5(22.50) | 26.5 | 673(26.5) |
| 24.00 | 652.8(25.70) | 29.5 | 749(29.5) |
| 27.00 | 762(30.00) | 33.5 | 851(33.5) |
| 30.00 | 823.0(32.40) | 37.5 | 953(37.5) |

为了进一步提高工程轮胎性能和扩大应用范围，在宽基轮胎的基础上已研制出超宽基的65系列轮胎。使用这种超宽基轮胎能使工程机械取得更大的牵引力和更高的作业稳定性，以适应更加苛刻的使用条件。

工程轮胎按花纹特征分类见表1-5-3。大型工程轮胎花纹基本上分为两大类，即牵引型和耐磨型。牵引型花纹（图1-5-2(a)）的花纹块稀、沟部宽，具有方向性，牵引力较大，因

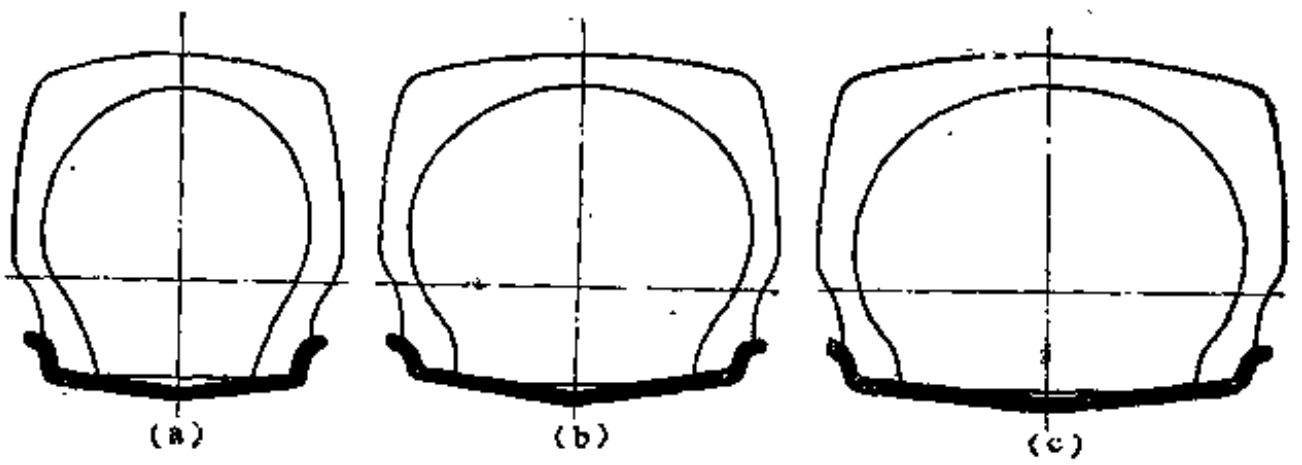



图 1-5-1　工程轮胎按断面形状分类

（a）标准轮胎；（b）宽基轮胎；（c）65系列

花纹沟宽敞不易塞泥，且散热性能好，适用于土方工程和推、装、挖作业。这种花纹是工程轮胎中的通用性花纹。耐磨型花纹（图1-5-2(b)）的花纹块宽大，花纹沟窄小，适用于石方工程，能提高轮胎耐切割和耐磨耗性能。




图 1-5-2　工程轮胎按花纹分类

（a）牵引型；（b）耐磨型

工程轮胎按其用途不同，设计有标准花纹、加深花纹和超深花纹 3 种深度的花纹结构。牵引型花纹生产有标准花纹和加深花纹两种，而耐磨型花纹生产有标准、加深和超深 3 种（如图1-5-3所示）。加深花纹深度为标准花纹深度的 150%，而超深花纹深度则为标准花纹深度的 250%。加深和超深花纹轮胎适用于行驶速度不高且要求耐切割、耐磨耗的矿山和工地上。加深花纹轮胎的胎体帘布层参数与标准花纹轮胎相同，只需要加厚胎面胶尺寸，因此其外直径要比标准花纹轮胎大，即为标准花纹轮胎外直径与花纹加深部分之和。超深花纹轮胎的外直径按规定应与加深花纹轮胎相同，因此设计超深花纹轮胎时只有缩小胎体帘布层尺寸。超深花纹轮胎胎里直径比标准花纹轮胎要小。图1-5-4列举了几种美国工程轮胎的花纹。

表 1-5-3 工程轮胎花纹标志

| 用　　途 | 标　志 | 花纹类型 | 最高速度，km/h |
|---|---|---|---|
| C型<br>压路修路平整土地用 | C-1 | 无花纹型 | 8 |
| | C-2 | 有花纹型 | 8 |
| E型<br>土、石方作业用 | E-1 | 导向型 | 65 |
| | E-2 | 牵引型 | 65 |
| | E-3 | 耐磨型 | 65 |
| | E-4 | 耐磨加深型 | 65 |
| | E-7 | 浮力型 | 65 |
| G型<br>平整土地用 | G-1 | 导向型 | 40 |
| | G-2 | 牵引型 | 40 |
| | G-3 | 耐磨型 | 40 |
| | G-4 | 耐磨加深型 | 40 |
| L型<br>装载机和推土机用 | L-2 | 牵引型 | 25 |
| | L-3 | 耐磨型 | 25 |
| | L-4 | 耐磨加深型 | 25 |
| | L-5 | 耐磨超深型 | 8 |
| | L-35 | 无花纹型 | 25 |
| | L-45 | 无花纹加厚型 | 25 |
| | L-55 | 无花纹超厚型 | 8 |

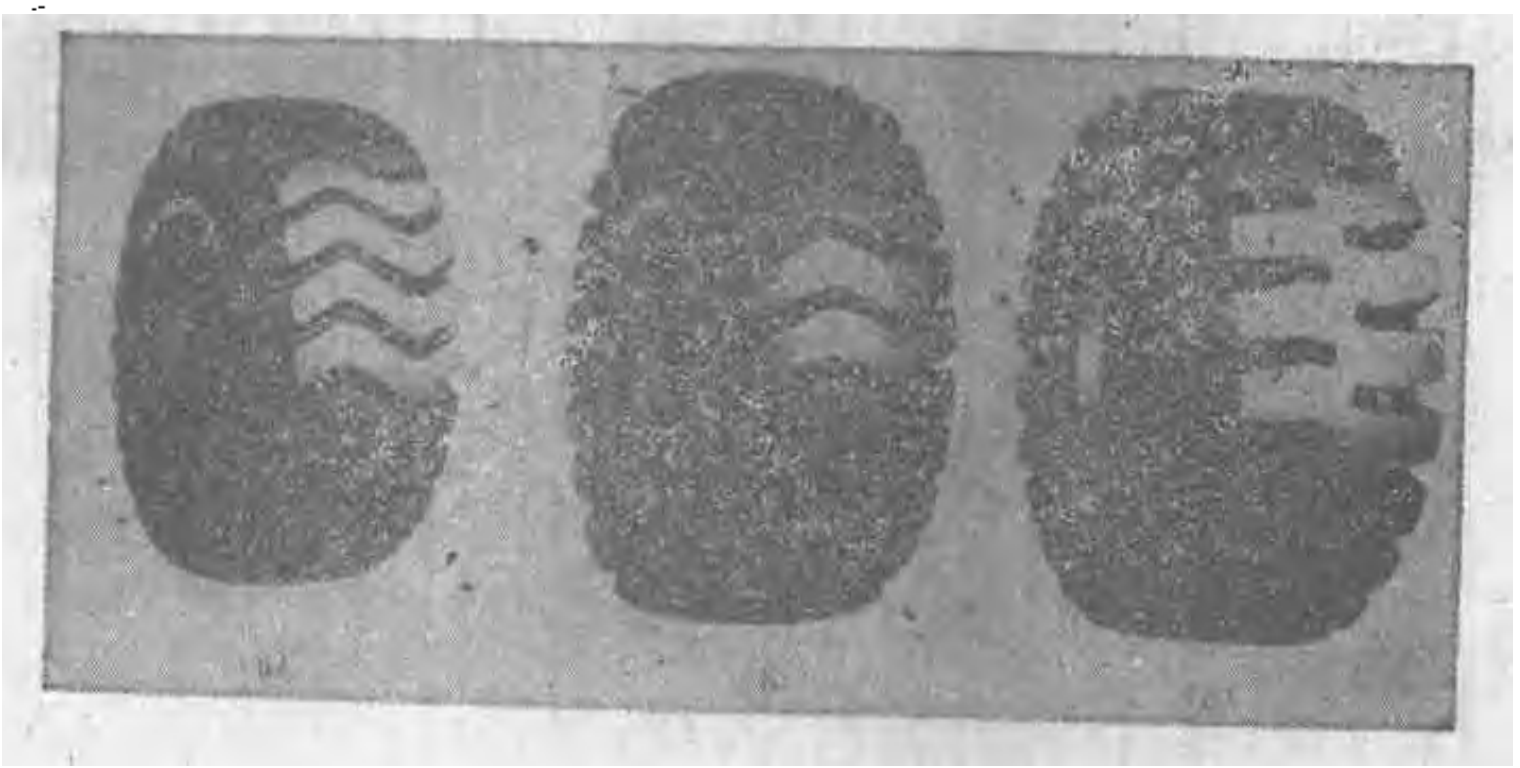
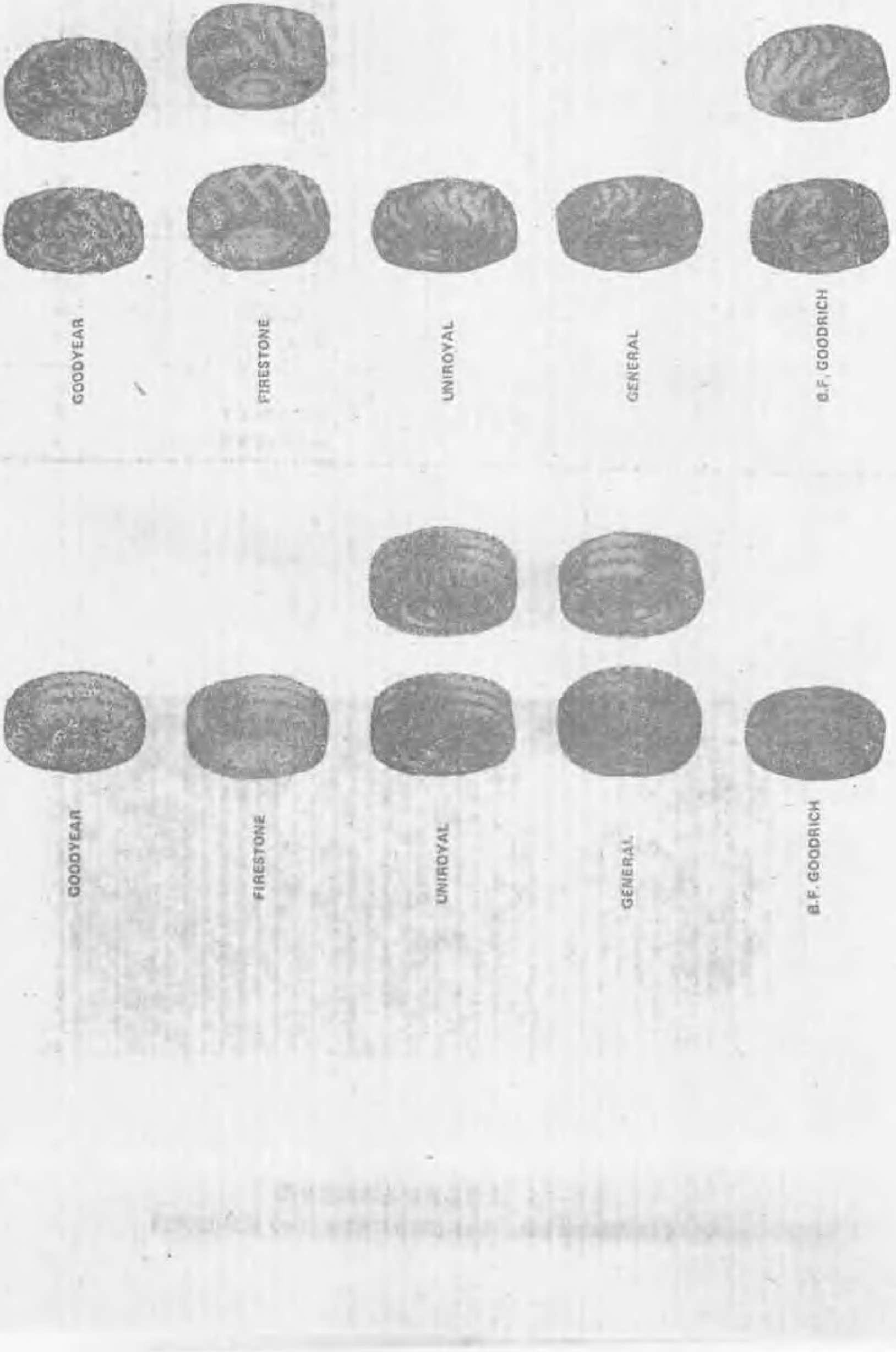
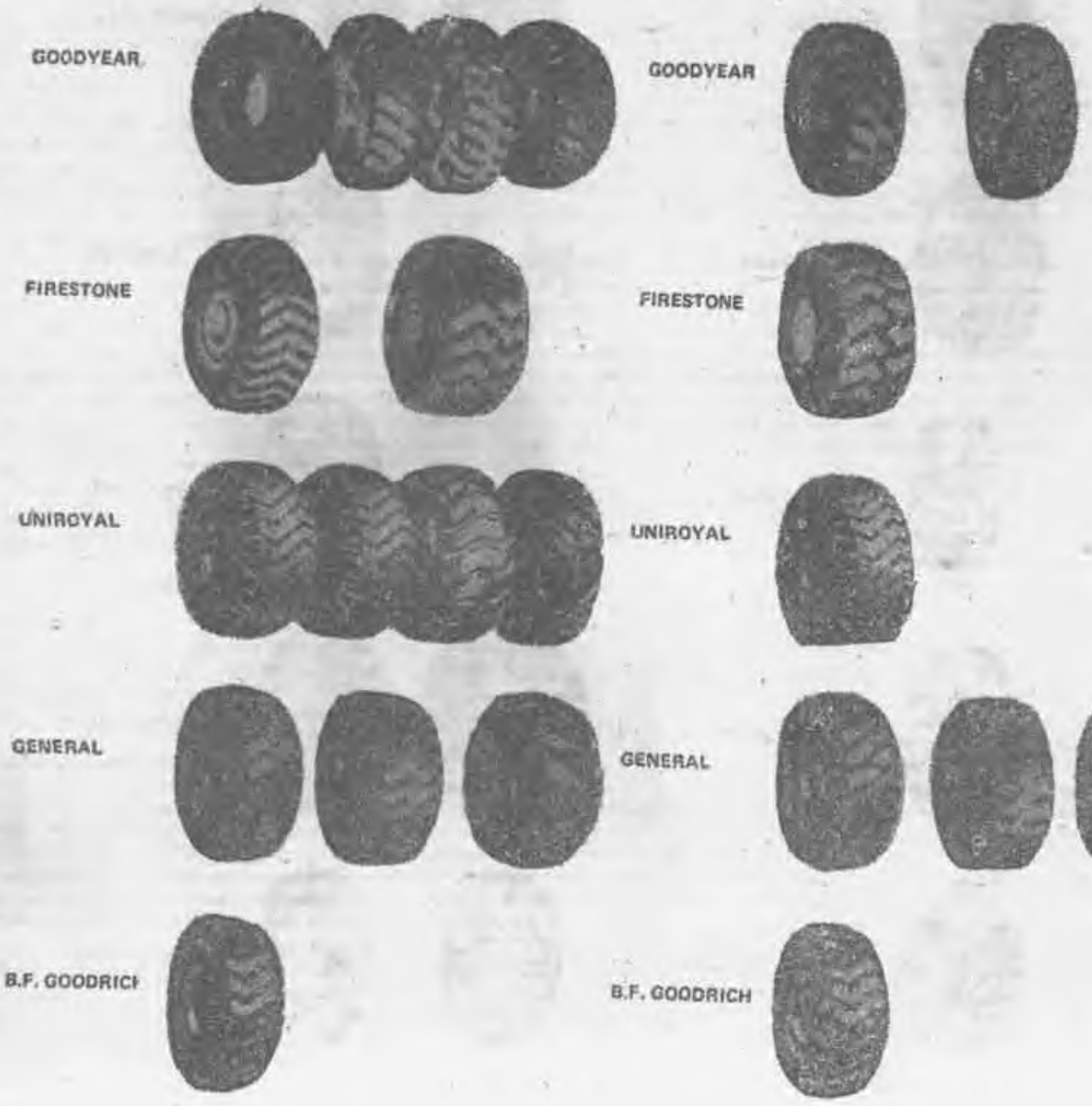
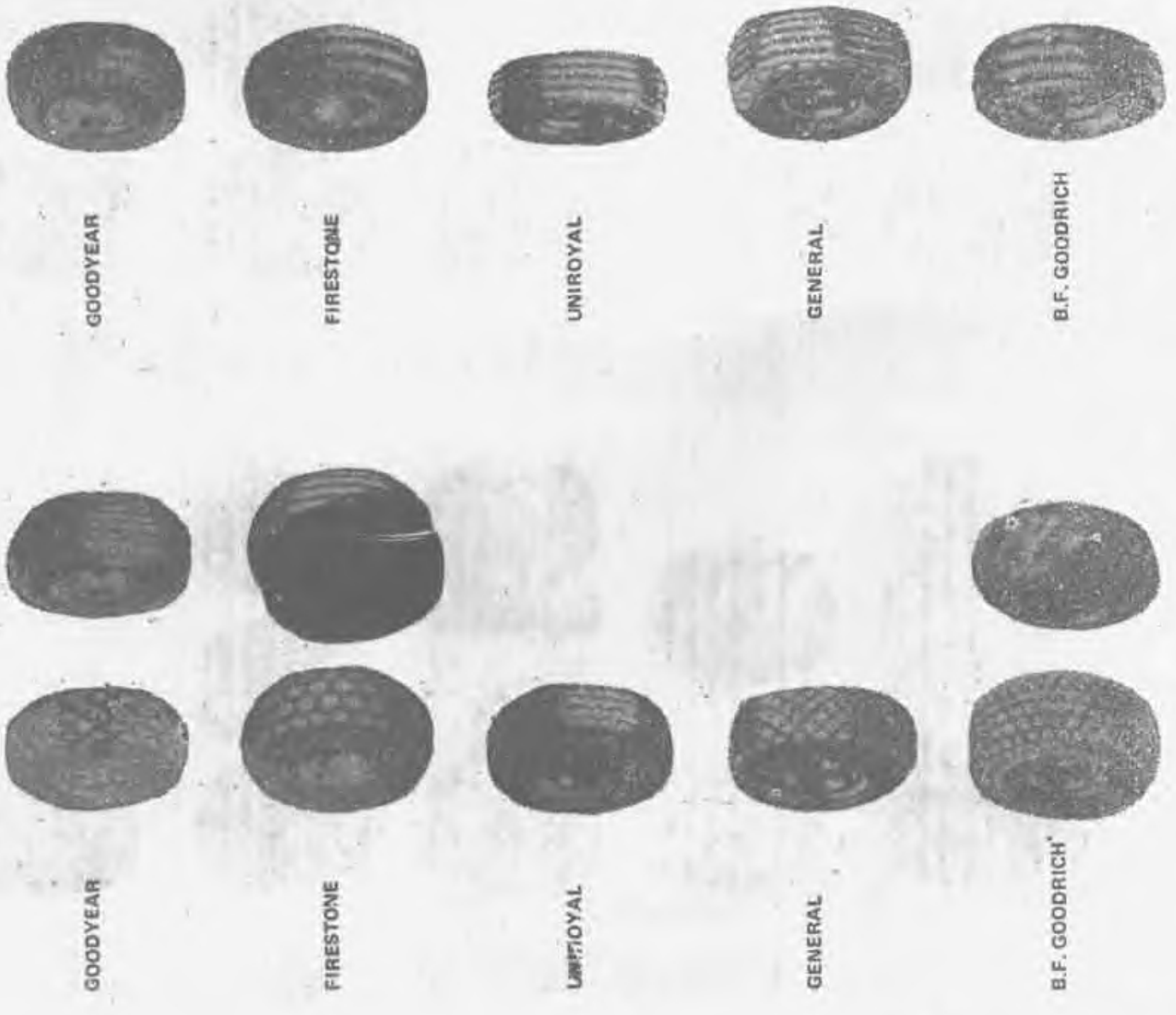


图 1-5-3 工程轮胎按花纹深度分类

（a）标准花纹轮胎；（b）加深花纹轮胎；（c）超深花纹轮胎


GOODYEAR
FIRESTONE
UNIROYAL
GENERAL
B.F. GOODRICH
GOODYEAR
FIRESTONE
UNIROYAL
GENERAL
B.F. GOODRICH


GOODYEAR
GOODYEAR
FIRESTONE
FIRESTONE
UNIROYAL
UNIROYAL
GENERAL
GENERAL
B.F. GOODRICH
B.F. GOODRICH


GOODYEAR
FIRESTONE
UNIROYAL
GENERAL
B.F. GOODRICH

GOODYEAR



FIRESTONE



UNIROYAL



GENERAL



B.F. GOODRICH



GOODYEAR



FIRESTONE



UNIROYAL

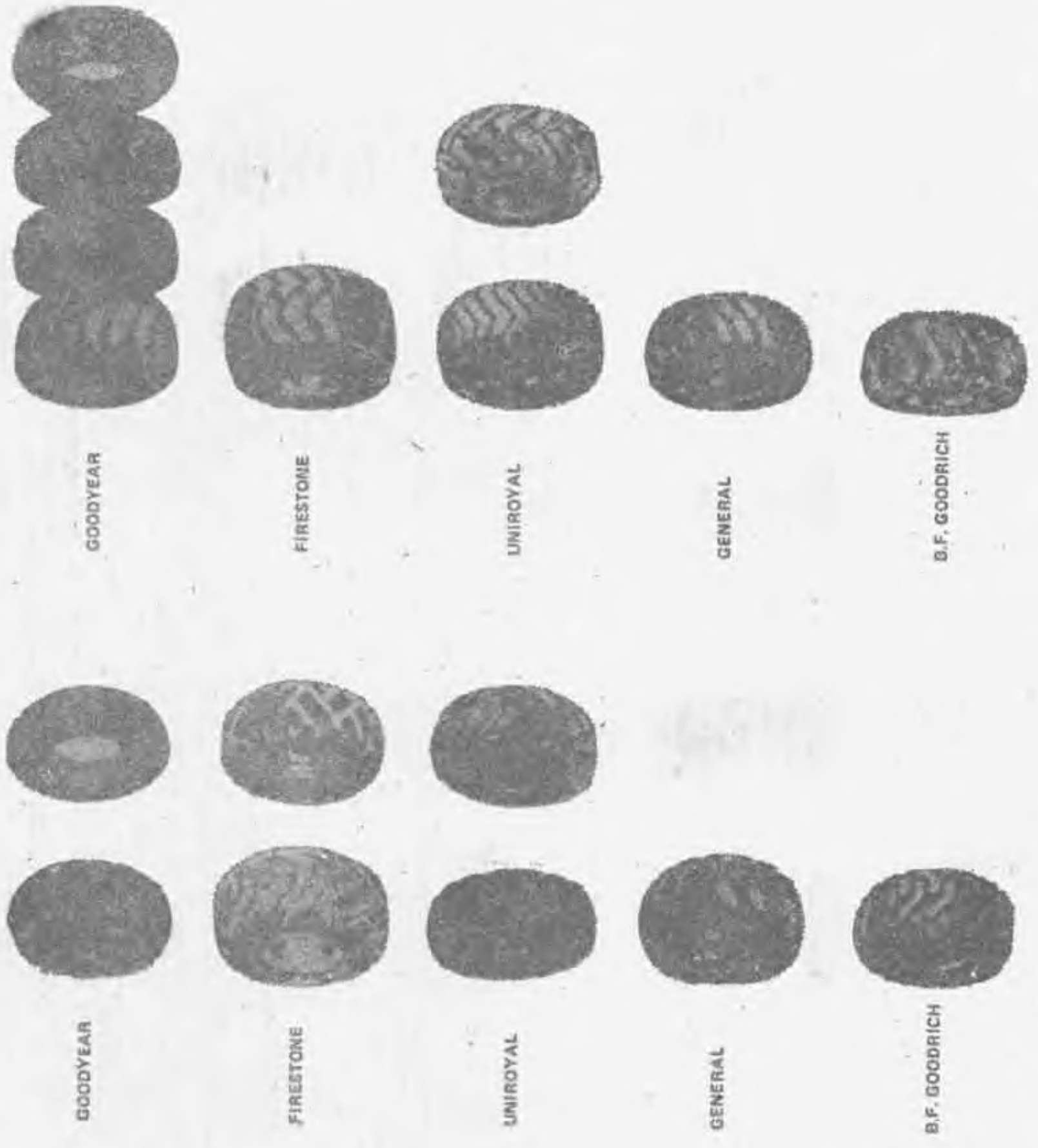


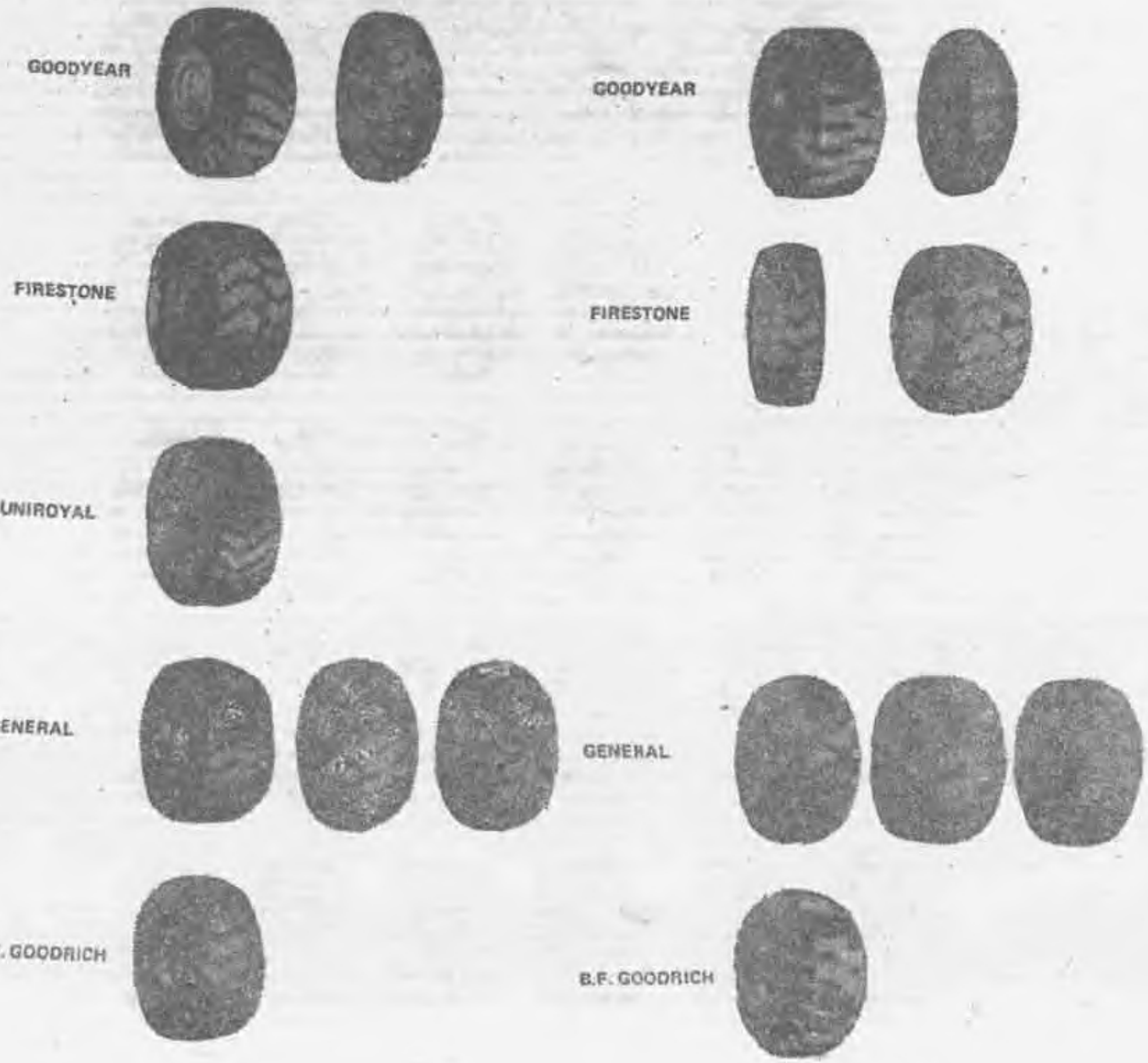
GENERAL

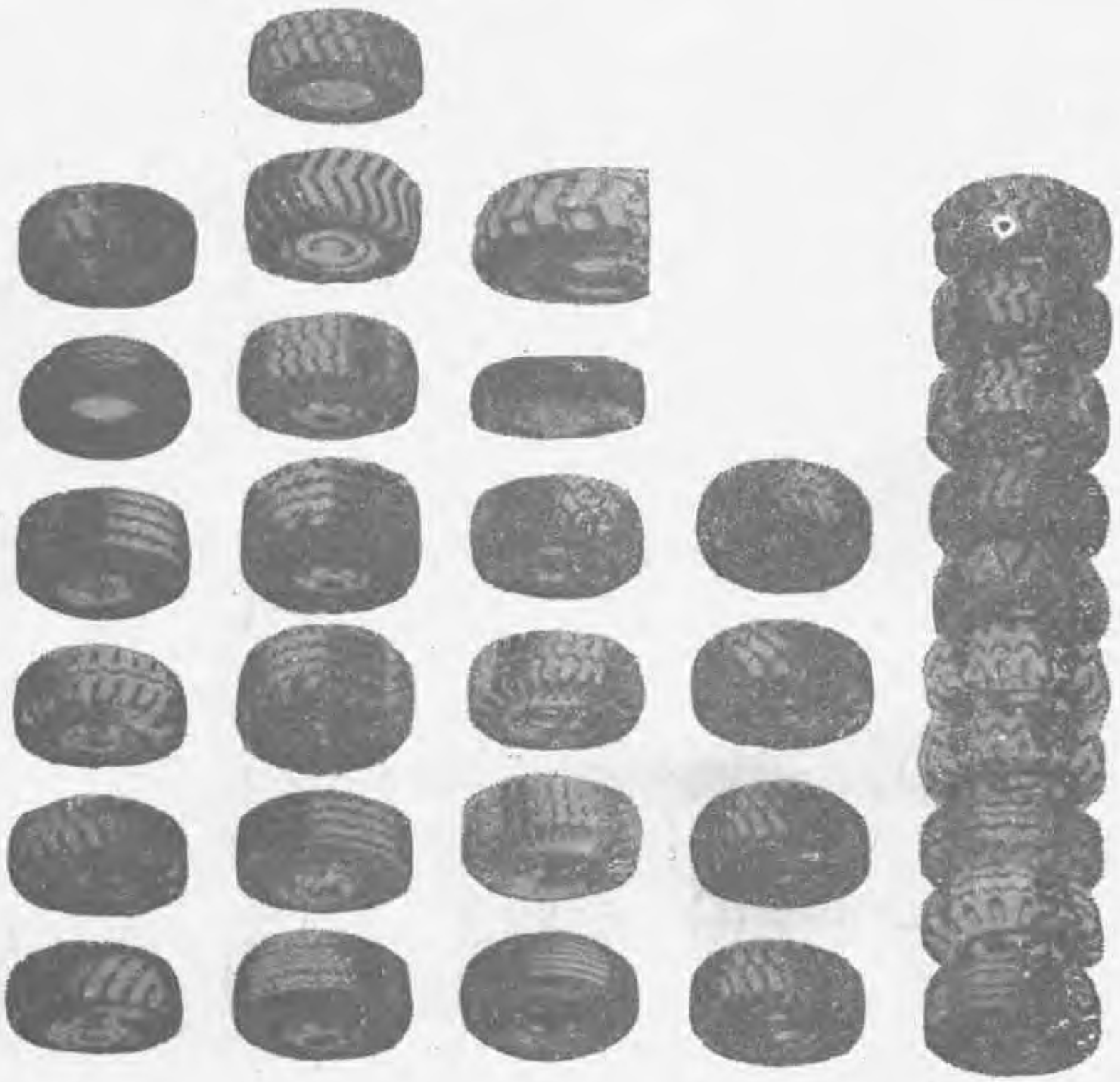


B.F. GOODRICH




GOODYEAR
FIRESTONE
UNIROYAL
GENERAL
B.F. GOODRICH
GOODYEAR
FIRESTONE
UNIROYAL
GENERAL
B.F. GOODRICH


GOODYEAR
FIRESTONE
UNIROYAL
GENERAL
B.F. GOODRICH
GOODYEAR
FIRESTONE
GENERAL
B.F. GOODRICH


GOODYEAR
FIRESTONE
UNIROYAL
GENERAL
B.F. GOODRICH

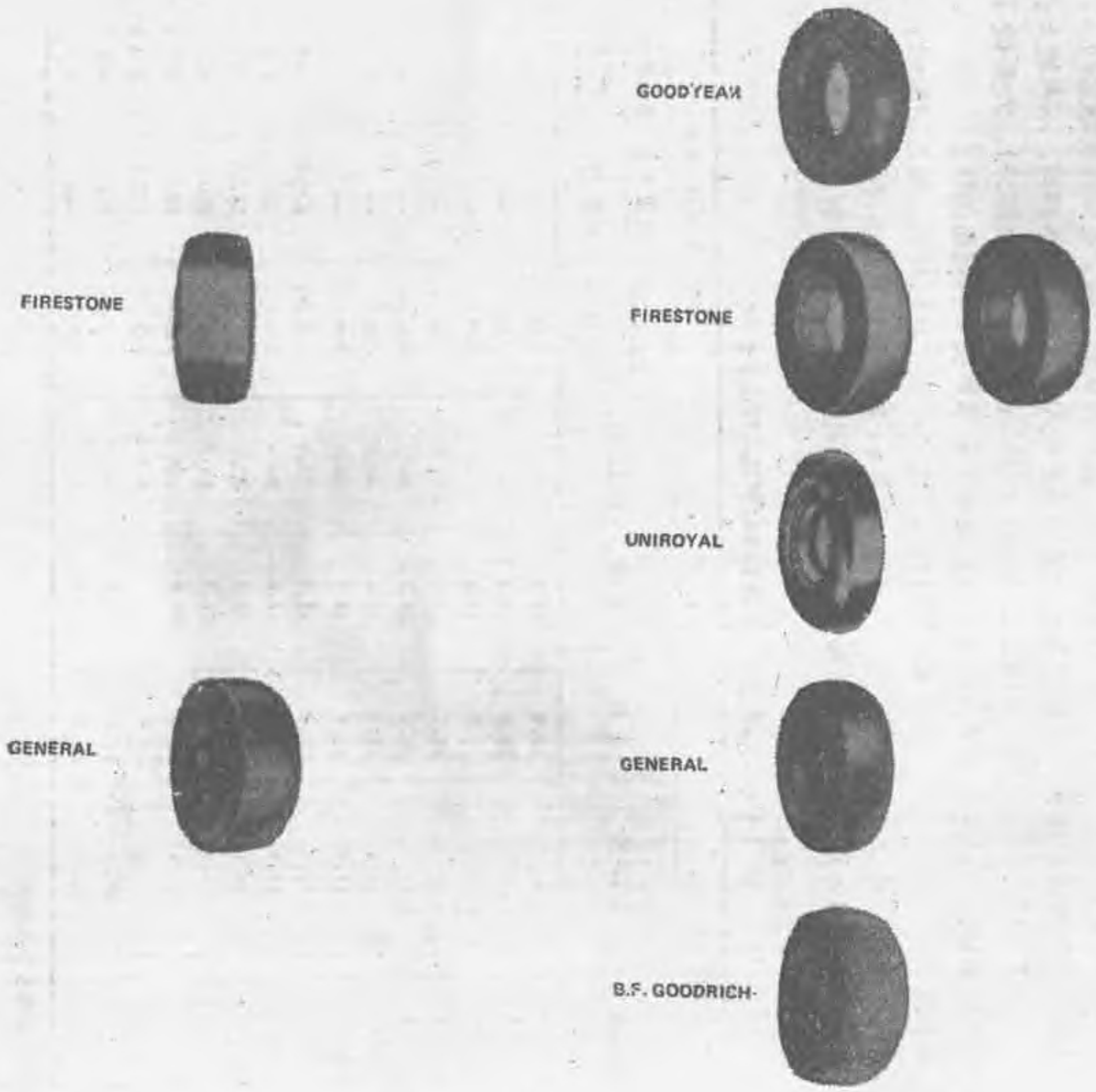



图 1-5-4　美国工程轮胎花纹举例

## 第二节　工程机械轮胎结构设计特点

工程轮胎同一般汽车轮胎相比较，有载重量高、牵引力大、通过性好、耐磨耗耐切割等特点，所以其结构外缘尺寸大、帘布层数多、胎面胶宽厚，花纹面积率为60～80%。

工程轮胎标准参见GB2980—82和GB1190—82国家标准的规定。工程轮胎标准系列和宽基系列以及65系列的设计参数列于表1-5-4和1-5-5中。子午线结构与斜交结构轮胎采用同一标准（外缘尺寸与使用参数），但子午线结构的载荷与气压标准除同斜交轮胎接近的普通型（以*表示）以外，还有加强型（以**表示）高载轮胎。加深花纹轮胎由于花纹深度增加50%，其外直径要比标准花纹轮胎大，但超深花纹轮胎的外直径与加深花纹轮胎相同，不再增大。工程轮胎的断面宽度不包括胎侧加强的突出部分尺寸（轮胎总宽包括加强部分）。大多数工程轮胎胎侧加强部分都延伸到水平轴以下，以提高耐刺扎和抵抗外界创伤的能力。

应该指出，现行国家工程轮胎标准对其外缘尺寸公差的规定比较严格，超过国际标准规定。我国标准规定中，工程轮胎的外直径公差为±1.5%，断面宽公差为±3%；而美国TRA规定中，工程轮胎的外直径公差为设计断面高 $^{+3}_{-2}$ %，断面宽公差为 $^{+6}_{-3}$ %。

表 1-5-4　工程轮胎的标准系列和宽基系列设计参数

| 轮胎规格 | | 花纹深度，mm | | | 断面高，mm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 标准轮胎 | 宽基轮胎 | 标准型 | 加深型 | 超深型 | 偶数轮辋（汽车轮辋） | 奇数轮辋（全斜底式） | |
| | | | | | | 标准花纹 | 加深和超深花纹 |
| 8.25NHS | — | 19.0 | 28.0 | — | 242 | — | — |
| 9.00NHS | — | 20.0 | 30.0 | — | 265 | — | — |
| 10.00NHS | — | 20.5 | 31.0 | — | 282.5 | — | — |
| 11.00NHS | — | 21.5 | 32.0 | — | 298 | — | — |
| 12.00NHS | — | 22.5 | 33.5 | — | 319 | — | — |
| 13.00NHS | 15.5 | 24.0 | 43.0 | 60.0 | 346 | — | — |
| 14.00NHS | 17.5 | 25.5 | 46.0 | 63.5 | 379 | — | — |
| 16.00 | 20.5 | 28.5 | 51.0 | 71.0 | 441.5 | 428.5 | 456.5 |
| 18.00 | 23.5 | 31.5 | 54.0 | 78.5 | 504 | 491 | 519 |
| 21.00 | 26.5 | 36.0 | 54.0 | 87.0 | 570 | 557.5 | 581.5 |
| 24.00 | 29.5 | 38.0 | 57.0 | 95.0 | 632 | 619 | 643 |
| 27.00 | 33.5 | 42.5 | 63.5 | 105.0 | 715 | 702 | 728.5 |
| 30.00 | 37.5 | 46.5 | 70.0 | 115.0 | 788 | 775.5 | 804.5 |
| 33.00 | 41.5 | 50.5 | 76.0 | — | 863.5 | 851 | 882.5 |
| 36.00 | 45.5 | 55.5 | 82.0 | — | 947.5 | 935 | 969.0 |

注：NHS为非公路用轮胎。

工程轮胎就其断面轮廓来讲，胎面胶设计得宽厚，胎面宽度达断面宽度的85～95%，有的超深花纹胎面甚至超过断面宽度。因此要求胎面胶设计必须严格掌握胎面胶各部分（特别是胎肩部）的厚度和尺寸，要求半成品的形状基本上与成品轮胎相同，以保证制造出合乎要求的宽厚轮胎。对于通用型牵引花纹轮胎要注意肩部花纹挖空散热措施，但也不能将肩部花纹块设计得过于孤立单薄，以防止早期掉块和移动生热而报废。

工程轮胎的载荷大、使用条件苛刻，应有坚实的胎体结构，所以应当以多层数帘布来满足要求。通常采用多层尼龙帘布制造，为了降低使用生热，一般都使用高强力的尼龙帘线来

表 1-5-5　65系列工程轮胎设计参数

| 轮胎规格标记 | 设计断面宽 mm | 设计外直径，mm | | 花纹深度，mm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L-3 | L-4，L-5 | L-3 | L-4 | L-5 |
| 65/20-25 | 510 | 1315 | 1350 | 29 | 43 | 71 |
| 65/20-29 | 510 | 1420 | 1455 | 29 | 43 | 71 |
| 65/25-25 | 635 | 1485 | 1525 | 32 | 47 | 79 |
| 65/25-29 | 635 | 1575 | 1630 | 32 | 47 | 79 |
| 65/30-25 | 760 | 1655 | 1700 | 35 | 53 | 87 |
| 65/30-29 | 760 | 1760 | 1800 | 35 | 53 | 87 |
| 65/30-33 | 760 | 1860 | 1900 | 35 | 53 | 87 |
| 65/35-29 | 890 | 1930 | 1975 | 38 | 57 | 96 |
| 65/35-33 | 890 | 2030 | 2080 | 38 | 67 | 96 |
| 65/40-39 | 1015 | 2350 | 2405 | 43 | 64 | 106 |
| 65/45-39 | 1145 | 2520 | 2580 | 47 | 70 | 116 |
| 65/45-45 | 1145 | 2675 | 2735 | 47 | 70 | 116 |
| 65/50-45 | 1270 | 2845 | 2910 | 51 | 76 | 126 |
| 65/50-51 | 1270 | 3000 | 3060 | 51 | 75 | 126 |
| 65/55-45 | 1400 | 3015 | 3085 | 55 | 82 | 137 |
| 65/55-51 | 1400 | 3170 | 3235 | 55 | 82 | 137 |
| 65/60-51 | 1525 | 3340 | 3405 | 55 | 82 | 137 |
| 65/65-51 | 1650 | 3510 | 3580 | 55 | 82 | 137 |

减少帘布层数，如胎体基本层采用1680den/2结构，缓冲层则采用1260den/2结构；大型工程轮胎胎体采用1890den/2，缓冲层则采用1680den/2结构帘线。缓冲层比帘布层所用的帘线粗度要小，挂胶厚度要大，其目的是为了提高胎面胶与帘布层之间附着力。

工程轮胎的胎冠帘线角度不同于一般载重汽车轮胎，应取较大值，以提高胎冠部刚性，缩小充气时径向变形。宽基工程轮胎的胎冠角应更大，以控制充气时外直径增大现象，通常胎冠角取57～58°左右。1260den/2帘线的设计假定伸张一般在1.040～1.045左右，而1680den/2帘线的伸张值应选小一些，在1.035～1.040左右。

工程机械轮胎载荷能力的估算见式（1-5-1)～式（1-5-3)[1]。

轮胎规格在16.00以下的标准轮胎：

$$W=K\times 2.735\times 10^{-5}\times P^{0.585}\times S^{1.39}\times (D_R+S) \tag{1-5-1}$$

轮胎规格为16.00及其更大的标准轮胎：

$$W=K\times 2.735\times 10^{-5}\times P^{0.585}\times S^{1.39}\times (2.152D_R^{0.68}+S) \tag{1-5-2}$$

宽基工程轮胎：

$$W=K\times 2.735\times 10^{-5}\times P^{0.585}\times S_d^{1.39}(3.402D_R^{0.81}+S_d) \tag{1-5-3}$$

式中　$W$——轮胎载荷，kgf；

$K$——载荷系数（见表1-5-7)；

$P$——充气压力，kPa；

$D_R$——额定轮辋直径，mm（奇数直径轮辋使用偶数直径数字)；

$S$——轮胎在62.5%轮辋上断面宽度；

$$S=S_t\times\frac{180^\circ-\sin^{-1}(W_t/S_t)}{141.3^\circ}$$

$S_t$——设计轮胎断面宽度，mm，

$W_t$——设计轮辋宽度，mm；

$S_d = S - (F)d$

$d$——标准轮胎断面高（$0.96S_{0.70}$）减去宽基轮胎断面高，mm；

$$S_{0.70} = S_1 \times \frac{180^\circ - \sin^{-1}(W_t/S_1)}{135.6^\circ}$$

$F$值如表1-5-6所示，负荷系数$K$值列于表1-5-7。

表 1-5-6 $F$值数据表

| $d/S_{0.70}$ | $F$值 |
|---|---|
| 0～5% | 0.637 |
| 5～10% | 0.630 |
| 10～15% | 0.620 |
| 15～20% | 0.610 |
| 20～25% | 0.597 |
| 25～30% | 0.583 |
| 30%以上 | 0.568 |

表 1-5-7 负荷系数$K$值

| 轮胎特点 | 负荷系数 |
|---|---|
| 最高时速65km标准轮胎 | 1.10 |
| 最高时速65km宽基轮胎 | 1.20 |
| 最高时速50km标准轮胎 | 1.30 |
| 最高时速50km宽基轮胎 | 1.45 |
| 最高时速40km轮胎 | 1.20 |
| 最高时速8km轮胎 | 1.19 |
| 65系列轮胎 | 1.75 |
| 静态作业轮胎 | 3.00 |

现以23.5-25宽基轮胎举例计算，应用式（1-5-3），如最高时速为50mm时，$K$值应取1.45，如果充气压力为275kPa，断面宽度为597mm，轮辋宽度为495mm，轮胎断面高度为491mm，则$S_{0.625}$为：

$$S_{0.625} = S_1 \frac{180^\circ - \sin^{-1}(W_1/S_1)}{141.3^\circ}$$

$$= 597 \frac{180^\circ - \sin^{-1}(495/597)}{141.3^\circ}$$

$$= 523.8(\text{mm})$$

$$S_{0.7} = S_1 \frac{180^\circ - \sin^{-1}(W_t/S_1)}{135.6^\circ}$$

$$= 597 \frac{180^\circ - \sin^{-1}(495/597)}{135.6^\circ}$$

$$= 545.8(\text{mm})$$

$$d = 0.96 \times 546 - 491$$

$$= 33(\text{mm})$$

因此$d/S_{0.7} = 33/546 = 0.06$，查表1-5-6得$F$为0.63后，则知，

$$S_d = S - (F)\text{d}$$

$$= 524 - 0.63 \times 33$$

$$= 503(\text{mm})$$

额定轮辋直径为25in时，$D_e$为610mm。所有参数代入式（1-5-3），求得轮胎载荷能力为：

$$W = K \times 2.735 \times 10^{-5} \times P^{0.585} \times S_d^{1.39} (3.402 D_R^{0.81} + S_d)$$
$$= 1.45 \times 2.735 \times 10^{-5} \times 275^{0.585} \times 503^{1.39} (3.402 \times 610^{0.81} + 503)$$
$$= 6735.866(\text{kgf})$$
即 $= 66.056(\text{kN})$

工程轮胎的尺寸大、胎坯自重大，易于压扁变形，应当以专门的卧式手推车贮存和运输。复合胎面胶半成品贴合后的形状应尽量达到成品所需的尺寸，否则在硫化时胶料流动不良易使胎肩产生缺陷。

如果工程轮胎在使用中操作超过规定作业时间，则其使用寿命将决定于充气压力的高低，因为这时轮胎气压是生热高低的重要条件之一。轮胎标准规定的气压数字皆指常温下（15～20℃）的气压标准，确切的说是指在外界环境温度为17℃下的充气标准。如果轮胎使用环境温度同该温度有较大出入时，轮胎充气标准就需要根据常温时的气压按理想气体规律进行校正。校正公式如下：

$$P_a = \frac{t_a + 273}{t_t + 273}(P_t + 1) - 1 \qquad (1\text{-}5\text{-}5)$$

式中 $P_a$、$P_t$——分别代表绝对和实际的充气压力；

$t_a$、$t_t$——分别代表绝对和实际的环境温度。

**表 1-5-8 工程轮胎的气压标准增大率**

| 使用环境温度，℃ | 气压标准增高，% |
|---|---|
| 15～25 | 0 |
| 25～29 | 4 |
| 30～34 | 6 |
| 35～39 | 8 |
| 40～45 | 10 |

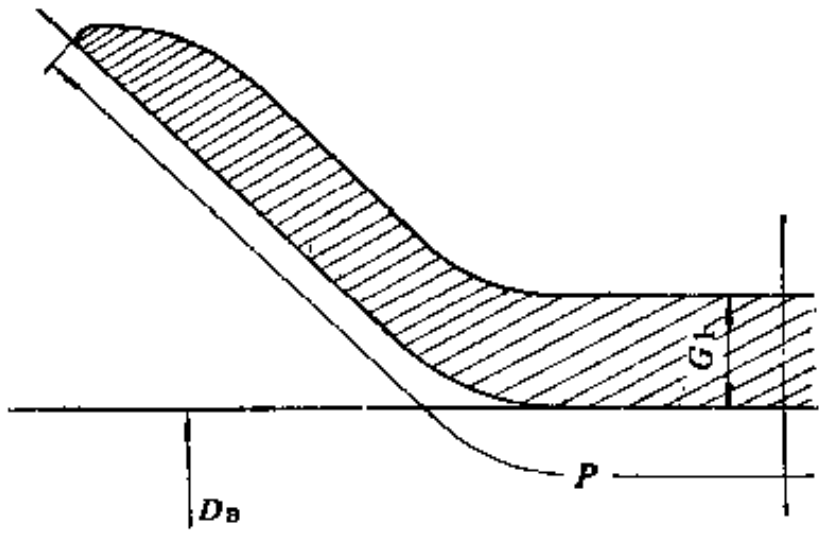



图 1-5-5 工程轮胎垫带示意

**表 1-5-9 常用工程轮胎垫带基本参数**

单位：mm

| 轮胎规格 | $\pi D_B$ | $G_1$ | $P$ |
|---|---|---|---|
| 14.00-24 | 1919 | 9 | 280 |
| 16.00-24,25 | 1916 | 9 | 293 |
| 15.5-25 | 1916 | 9 | 293 |
| 17.5-25 | 1916 | 12 | 353 |
| 20.5-25 | 1916 | 12 | 462 |
| 18.00-24,25 | 1916 | 9 | 293 |
| 21.00-24,25 | 1919 | 12 | 395 |
| 24.00-24,25 | 1916 | 12 | 462 |
| 23.5-25 | 1934 | 12 | 515 |
| 26.5-25 | 2010 | 12 | 570 |
| 29.5-25 | 1928 | 12 | 700 |
| 29.5-29 | 2244 | 12 | 700 |
| 37.5-33 | 2568 | 12 | 317 |

如环境温度过低，不便在外界直接校正气压，可将车辆开进库内调整。但此时必须使轮胎在库房内放置一段时间，使胎体温度与外界温度一致时方能校正气压。连续使用而生热的轮胎也不能马上调整胎内气压，因为这种生热轮胎的内压是随着胎温升高的，无法校正准确。在这种情况下即使轮胎缺气也不一定会发现气压不足。因此胎内气压的调整必须保持常温。表1-5-8为工程轮胎在不同温度下的气压标准增大率。

由于使用条件苛刻，工程轮胎垫带同汽车轮胎相比较要求厚实挺硬，中部厚度为10～12mm，边部厚度约为中部厚度的三分之二。常用工程轮胎垫带的断面轮廓及其尺寸见图1-5-5和表1-5-9。

## 第三节　工程轮胎无内胎结构设计

大型工程轮胎多为无内胎结构，在这种结构上关键的一个问题是胎圈部设计。为了使胎圈与轮辋密封着合，要求有较大的过盈量，如在φ25in轮辋上使用的轮胎着合直径要有4～8mm的过盈量。由于胎圈部较宽大，轮辋胎圈座又有5°倾斜面，胎圈中的第一钢丝圈和第二钢丝圈（甚至第三钢丝圈）应根据胎圈各部对轮辋受力均匀的要求，采用不同直径的钢丝结构（图1-5-6(a)），有时可采用不同层数的包圈方法（图1-5-6(b)），对于子午线结构的无内胎结构还应用斜断面钢丝圈（图1-5-6(c)）。

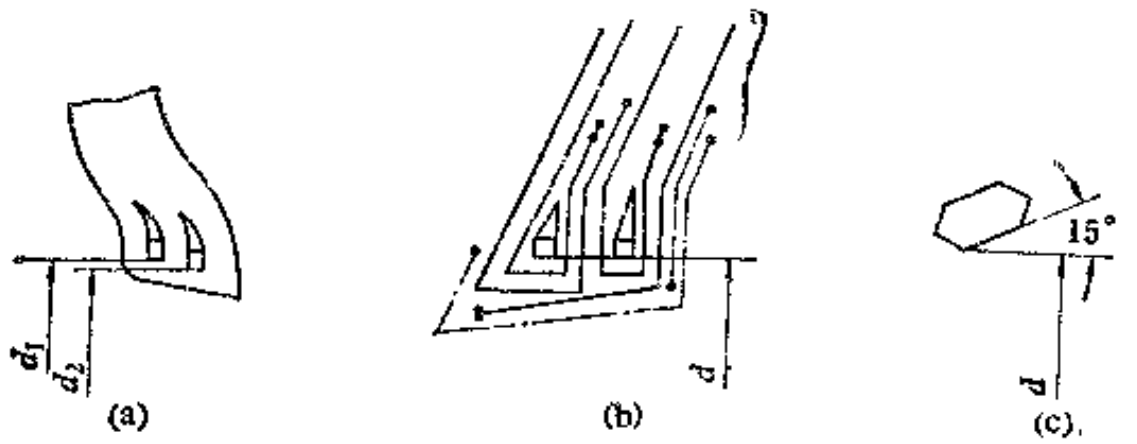



图 1-5-6　无内胎轮胎钢丝圈结构

（a）不同直径的钢丝圈；（b）不同包圈层数的钢丝圈；（c）斜断面钢丝圈

通常，工程轮胎的无内胎结构胎圈部应力要比有内胎结构高30%左右。因此在计算钢丝圈强度时，应考虑胎圈与轮辋过盈量的影响。现以某23.5-25无内胎结构举例计算如下。

胎圈与轮辋的过盈力（$t$）依式（1-5-6)求得[2]：

$$t=\frac{\varepsilon\cdot b\cdot r\cdot\delta}{2h} \tag{1-5-6}$$

式中　$\varepsilon$——钢丝圈下部材料压缩模量，一般为$29.4\times10^3$～$49.0\times10^3$kPa(300～500kgf/cm²)；

$b$——钢丝圈所占宽度，$2\times0.8=1.6$(cm)；

$r$——钢丝圈中心半径，33.3cm；

$\delta$——胎圈与轮辋的过盈量，

$$\delta=\frac{63.5(\text{轮辋直径})-62.7(\text{胎圈直径})}{2}=0.4(\text{cm})$$

$h$——钢丝圈下部材料厚度，1cm；

$$t=\frac{49.03\times10^3\times1.6\times33.3\times0.4}{2\times1}$$

$$=52.25(kN)$$

如果胎圈钢丝强力为1.37kN(140kgf)，则需增加钢丝圈的钢丝数量为：

$$52.25/1.37=38.14(根)$$

如采用18号钢丝时，每根钢丝强力为1.77kN(180kgf)，则所要增多的钢丝根数为：

$$52.25/1.77=29.5根$$

为了保证胎圈部的密气性，通常以子口胶条代替有内胎结构的子口包布，同时最好以半硫化状态成型，以防止在硫化时子口胶条流动变形，先进的还采用压出的有形子口胶条。

为了防止胎腔中空气渗透到胎体中，工程轮胎内表面有一层较厚的（3mm左右）密封层。这样厚的密封层用压延机一次压延制造会产生气泡，不能保证气密性，一般地首先用四辊压延机压成数层0.5～0.7mm较薄胶片后再贴合成密封层。大规格工程轮胎采用两张密封层在胎冠部搭接成一个所需宽度的密封层，搭接宽度应不小于10mm。目前又出现变厚度的有形密封层结构趋势，可采用压出机制造密封层。

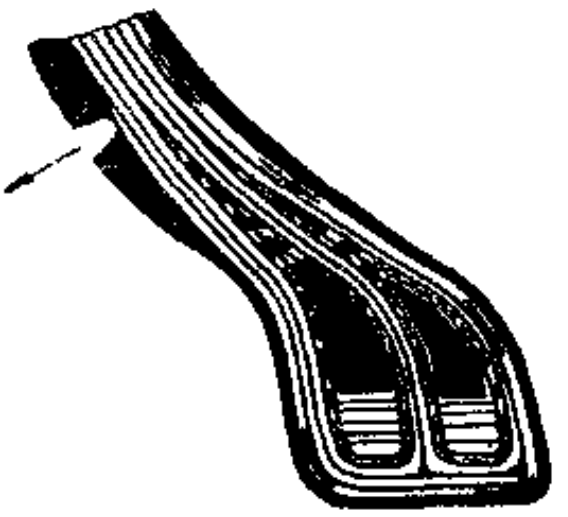


图 1-5-7　无内胎轮胎圈圈排气法

有的作业条件苛刻的无内胎轮胎胎侧下部设计有排气孔，以便将胎体中或从胎腔中渗透出的空气经过胎侧排气孔导出轮胎外部。为了防止胎腔空气经过密封层渗透到胎体帘布层，有时将第一层帘布设计成向外包扎法（如图1-5-7所示），以便于空气能顺着帘线绕过胎圈部排到胎体外部。

无内胎轮胎所用的轮辋采用密封胶圈（O型圈），其结构参数如表 1-5-10 所示。密封圈制造通常有两种方法，简单方法是用挤出机压成圆胶条后放入硫化罐硫化，先进方法则采用圆环模型硫化出圆环胶圈。

表 1-5-10　无内胎O型圈基本参数

| 轮辋直径标志 in | 断面直径，mm | 圆周长度，mm |
|---|---|---|
| 24 | 6.6 | 1776 |
| 25 | 9.8 | 1821 |
| 29 | 9.8 | 2125 |
| 33 | 9.8 | 2435 |
| 35 | 9.8 | 2572 |
| 39 | 9.8 | 2913 |
| 49 | 9.8 | 3630 |
| 51 | 12.7 | 3695 |

## 第四节　工程轮胎TKPH值的计算

近年来由于工程机械扩大使用范围，速度和载荷的增高，工程轮胎已经要求在高载荷和快速条件下长距离使用。加之工程轮胎的结构同汽车轮胎比较，是很庞大、复杂的，使用时易于生热，因而工程轮胎在使用中生热一旦超过限度就会早期损坏。

目前广泛采用TKPH(t·km/h) 方法来计算轮胎的最高使用极限，这种方法能考虑载荷、速度、作业距离等使用条件的影响。如果计算出的作业TKPH值在允许值以下，则轮胎使用生热是安全的，反之如果计算值高于允许值，则轮胎作业是危险的，其使用寿命就要缩短，这时就需要改变使用条件或设法改进轮胎质量，以提高轮胎的TKPH值。

TKPH值计算式：

TKPH＝平均轮胎载荷(t)×平均作业速度(km/h)

平均轮胎载荷：

$$\text{载荷}=\frac{\text{空车轮胎载荷}+\text{重车轮胎载荷}}{2}\quad(\text{tf})$$

平均作业速度：

$$\text{速度}=\frac{\text{往返作业距离}\times\text{每天作业次数}}{\text{每天作业时间}}\quad(\text{km/h})$$

轮胎额定TKPH值通常是在$\phi$5m转鼓试验机上于38℃环境温度下测定的。测定方法是先在胎面的规定点上钻孔到缓冲层部位，然后按标准气压、负荷和速度进行试验，每隔半小时以针状热电偶测量各钻孔点的温度，直到各点温度平衡一致时再升高一级负荷或加快一档速度重新测温，如此逐步反复增加条件到轮胎温度达到临界值为止，这样即可确定轮胎TKPH的额定值。工程机械轮胎的临界温度通常为：

斜交结构——107℃(225°F)

子午结构——93.3℃(200°F)

额定TKPH值代表工程轮胎的质量水平，它决定于轮胎结构和材质性能以及工艺技术等因素。两种相同规格轮胎，TKPH值高者性能优越于低值者，将有较长的使用寿命。日本石桥轮胎公司的TKPH额定值如表1-5-11和1-5-12所示。

**表 1-5-11 “BS”标准工程轮胎TKPH额定值**

| 轮胎规格 | 耐磨型花纹（正常胎面） | | | 耐磨型花纹（加宽胎面） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 标准型 | 加深型 | 超深型 | 标准型 | 加深型 | 超深型 |
| 14.00-25 | 120 | 136 | 152 | 104 | 120 | 136 |
| 16.00-25 | 152 | 168 | 184 | 128 | 144 | 160 |
| 18.00-25 | 192 | 216 | 240 | 168 | 184 | 200 |
| 21.00-35 | 288 | 312 | 352 | 240 | 264 | 296 |

**表 1-5-12 “BS”宽基工程轮胎TKPH额定值**

| 轮胎规格 | 耐磨型花纹（正常） | | 耐磨型花纹（加宽） | | 牵引型花纹 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 标准型 | 加深型 | 标准型 | 加深型 | 标准型 | 加深型 |
| 20.5-25 | 104 | 120 | 56 | 64 | 128 | 144 |
| 23.5-25 | 144 | 160 | 80 | 88 | 168 | 184 |
| 26.5-25 | 168 | 184 | 96 | 104 | 192 | 204 |
| 29.5-25 | 216 | 240 | 144 | 152 | 248 | 272 |
| 37.5-39 | 408 | 448 | 264 | 288 | 448 | 480 |

除在试验室机床上确定TKPH值以外，还可以在实际作业现场测定工程轮胎TKPH值。其方法是在各固定的条件(负荷和速度等)下，以平均载荷(tf)和平均速度(km/h)的乘积做为各固定条件的TKPH值，并测量各TKPH值相应的轮胎温度，然后绘制出相应的斜率关系线（图1-5-7)，并借助这条关系线以临界温度107℃（或为93.3℃）找出对应的TKPH值（O点)，即为该种轮胎的TKPH值。

计算举例如下。

今有某一工程机械27.00-49轮胎每天24小时连续作业，可作业52个循环，每次循环行驶6.45km。空载时轮胎负荷前轮为14762kgf，后轮为8665kgf；满载时轮胎负荷前轮为25817kgf，后轮为25817kgf。

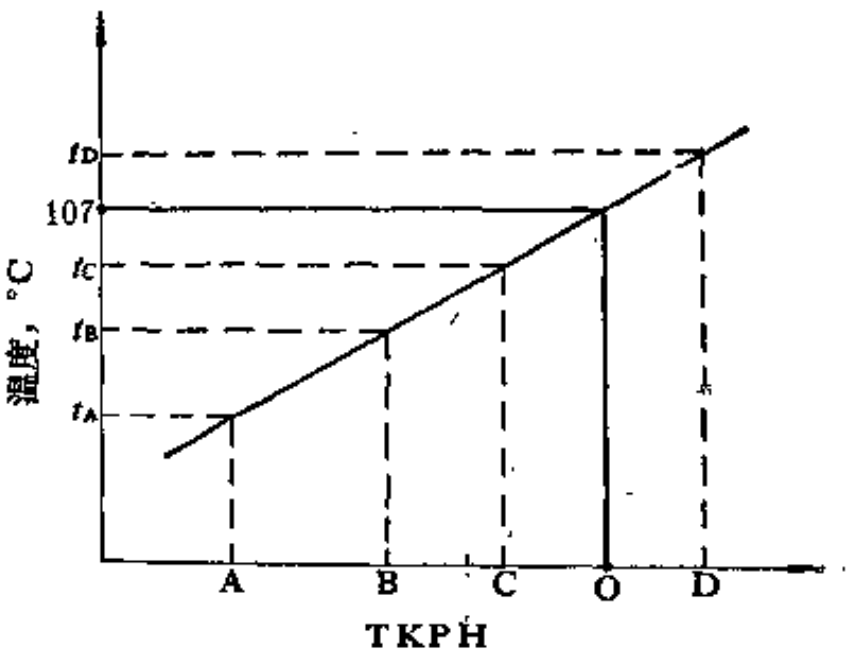



图 1-5-8 TKPH值测定法

现计算TKPH值：

$$\text{前轮平均载荷}=\frac{14.762+25.817}{2}=20.3\quad(\text{tf})$$

$$\text{后轮平均载荷}=\frac{8.665+25.817}{2}=17.2\quad(\text{tf})$$

$$\text{轮胎平均作业速度}=\frac{6.45\times 52}{24}=13.975\quad(\text{km/h})$$

由上可知：

$$\text{前轮TKPH值}=20.3\times 13.975=284$$

$$\text{后轮TKPH值}=17.2\times 13.975=240$$

如某厂生产的27.00-49轮胎额定TKPH值为355时，则该轮胎适应于上述作业条件，可安全使用。

## 第五节 关于轮胎充水使用问题

工程机械和农业机械用轮胎的主要特征之一，就是牵引力大。轮胎所传导的牵引力$T$依式（1-5-7）计算。

$$T=A\cdot C+W\,\mathrm{tg}\phi \qquad (1\text{-}5\text{-}7)$$

式中 $A$——接地面积；

$C$——土壤粘聚系数；

$W$——轮胎载荷；

$\phi$——土壤摩擦系数。

由式可知，轮胎接地面积和轮胎作用于土壤的重量对轮胎所能获得的牵引性能有很大影响。轮胎内腔充入一定量的水，能使轮胎增大接地面积和增加着地的总压力，从而能提高牵引性能。所以，先进的工程机械（以及农业机械）轮胎的结构特点之一，就是能够充水使用。轮胎充水主要是用于砂质土壤和坚硬土地以及有硬底层的泥泞地带才能发挥有效作用。但在湿粘土壤和沼泽地区，充水作用是很小的，甚至成为负担，在这种情况下充水越多，重

量越大，下沉越深，不利于工程轮胎作业和通过性行驶。

轮胎充水后，其缓冲性能发生变化，如表1-5-13所示。轮胎充水后外缘尺寸及其静负荷性能接近于全充气轮胎，充水外径稍小于全充气轮胎，充水断面宽度稍大于全充气轮胎；负荷静半径稍小于全充气轮胎，负荷断面宽度稍大于全充气轮胎。轮胎充水能显著增大接地面积和印迹压强，如向轮胎充入10.15%轮胎负荷量的水量时，能使印迹面积增加14%，印迹压强增大6.5%。

表 1-5-13 轮胎充水与充气的缓冲性能对比试验结果

| 试验类别 / 性能 | 全充气 | 充水 | |
|---|---|---|---|
| | | 一号试验 | 二号试验 |
| 轮胎充水量/轮胎负荷，% | — | 10.15 | 11.21 |
| 充气外直径 | 100 | 99.99 | 99.99 |
| 充气断面宽 | 100 | 100.03 | 100.03 |
| 负荷静半径 | 100 | 97.75 | 99.50 |
| 负荷断面宽 | 100 | 101.00 | 101.00 |
| 印迹长轴 | 100 | 100.95 | 104.10 |
| 印迹短轴 | 100 | 100.05 | 107.50 |
| 印迹面积 | 100 | 114.00 | 107.20 |
| 印迹压强 | 100 | 106.50 | 115.10 |

充水轮胎实际试验证明，轮胎充水能提高轮胎与地面的附着系数，从而提高轮胎的最大牵引力。表 1-5-14 和表 1-5-15 所列的试验结果表明，当轮胎充水量占整车重量的10%左右时，可以使整车牵引力约提高10%，附着系数增大10%以上。实际使用作业试验观察，工程机械轮胎充水时比全充气时打滑现象少，作业比较稳定，推土效率较高。如图 1-5-9 所示，当装载机装货时重心前移、后轮撬起不稳定或在推土机推土作业打滑的情况下，轮胎充水能明显改善作业效率。

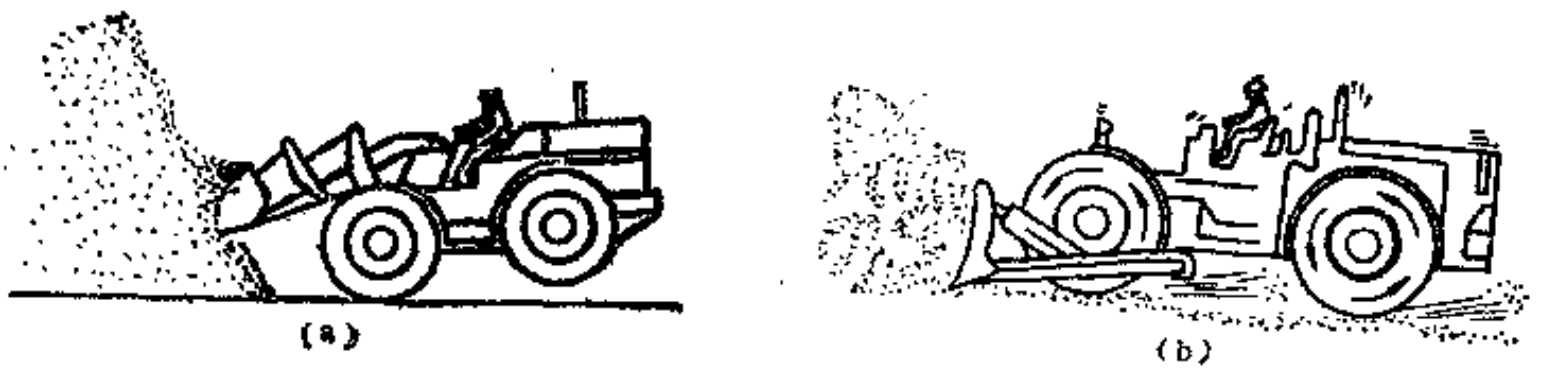
目前国际上已普遍使用氯化钙溶液代替轮胎充水。轮胎充入氯化钙不仅因相对密度增大而提高牵引力，同时在冬季还可以防冻。

表 1-5-14 轮胎同路面附着系数试验结果

| 试验 / 路面 | 全充气 | | 充水（水重/车重=10.65%） | |
|---|---|---|---|---|
| | 平均值 | 最高值 | 平均值 | 最高值 |
| 水泥 | 0.730 | 0.837 | 0.817 | 0.987 |
| 土路 | 0.664 | 0.710 | 0.724 | 0.860 |

表 1-5-15 轮胎最大牵引力试验结果

| 试验 / 路面 | 全充气 | 充水（水重/车重=10.65%） | |
|---|---|---|---|
| | | 平均值 | 最高值 |
| 水泥 | 100 | 112 | 118.2 |
| 土路 | 100 | 109 | 113.2 |



（a）　　（b）

图 1-5-9 轮胎需要充水情况

（a）为装载作业不稳；（b）为推土作业打滑

氯化钙溶液的浓度和相对密度对其冻结点温度的高低有很大影响。在一定范围内，溶液浓度越高，相对密度越大，则其冻结点越低。在一般情况下，使用的氯化钙溶液的浓度在20～30%范围内（如表1-5-16所列）。常用工程轮胎的氯化钙用量见表1-5-17。

工程轮胎充水使用已有多年历史，目前已经普遍灌注氯化钙溶液，近年又有新的发展，如填充硫酸钡、粘土粉、石灰石粉末、细沙和铁粒等物质。具体所要填充使用的物质需要根据相对密度大、冰点低、易充放、不破坏胎里等条件而定。关于工程轮胎充水充物使用的详细方法参见有关文献。

表 1-5-16 氯化钙溶液浓度对其冻结点的影响

| 相对密度 (15℃) | 浓度，% | 对水之比 (水量为100时) | 冻结点，℃ |
|---|---|---|---|
| 1.00 | 0.1 | 0.1 | −0.0 |
| 1.05 | 5.9 | 6.3 | −3.0 |
| 1.10 | 11.5 | 13.0 | −7.1 |
| 1.15 | 16.8 | 20.2 | −12.7 |
| 1.20 | 21.9 | 28.0 | −21.2 |
| 1.21 | 22.8 | 29.6 | −23.3 |
| 1.22 | 23.8 | 31.2 | −25.7 |
| 1.23 | 24.7 | 32.9 | −28.3 |
| 1.24 | 25.7 | 34.6 | −31.2 |
| 1.25 | 26.6 | 36.2 | −34.6 |
| 1.26 | 27.5 | 37.9 | −38.6 |
| 1.27 | 28.4 | 39.7 | −43.6 |
| 1.28 | 29.4 | 41.6 | −50.1 |
| 1.286 | 29.9 | 42.7 | −55.0 |
| 1.30 | 31.2 | 45.4 | −41.6 |
| 1.35 | 35.6 | 55.3 | −10.2 |
| 1.37 | 37.3 | 59.5 | −0.0 |

表 1-5-17 常用工程胎的氯化钙溶液使用量

| 轮胎规格 | 水量，L | 氯化钙量，kg | 溶液体积，L | 溶液重量，kg |
|---|---|---|---|---|
| 14.00-24 | 165 | 70 | 190 | 235 |
| 16.00-24 | 205 | 90 | 240 | 295 |
| 18.00-25 | 285 | 120 | 335 | 405 |
| 20.5-25 | 305 | 125 | 350 | 430 |
| 23.5-25 | 355 | 150 | 420 | 505 |
| 26.5-25 | 465 | 195 | 540 | 660 |
| 29.5-29 | 730 | 305 | 860 | 965 |
| 33.5-33 | 1040 | 435 | 1215 | 1475 |

## 主要参考文献


〔1〕 Engineering Design Information——the Trre and Rim Association Inc. (1983～1985).

〔2〕 Салтыков, А. В., "Основы Современной Технологии Автотобильных шин", чэя, «ХМИЯ», Москва, 1974.

# 第六章　越野轮胎

## 第一节　越野轮胎的通过性

越野轮胎与普通轮胎两者有着普通的同一性，但也有很大的矛盾特殊性，那就是越野轮胎的使用条件不仅限于一般的公路，还要在松软的土壤或沙质地带顺利通过，有时还要爬越陡峭的坡地，因此，设计越野轮胎首先就要研究通过性能。

概括地讲，越野轮胎的通过性主要决定于3个条件：①接地面积大小与形状；②接地压强高低与其分布均匀程度；③轮胎与土壤的附着状况。因为轮胎对地压强与接地面积的大小决定着轮胎下陷于土壤的深度及其滚动阻力的高低；而轮胎与土壤的附着力则决定着主动轮所能传导的牵引能力。所以，一般越野轮胎的设计具有接地面积大、土壤压强低、花纹抓着力高的结构特点。

为了满足这3项要求，增大轮胎外缘尺寸能提高通过性能，但因越野车要求重心低而外形小，通常设计轮胎都不增大轮胎外径。一般是加宽轮胎断面尺寸，加宽轮辋宽度，以及降低轮辋直径等，以便于增大接地面积和降低接地压强。轮胎胎面宽度直接影响着接地面积的大小，胎面平坦的较拱度大的反作用力小，因此设计胎面宽度大的曲率平坦的轮胎能提高通过性能。但是调压轮胎为了减少平坦硬路行驶阻力，采用曲率大的胎面设计，以便在硬路上行驶时增大充气胎面拱度，减少接地面积，降低滚动损失。

径向变形大、压缩系数大、刚性系数大的轮胎，如超低压和子午线轮胎，有较大的接地面积和较小的接地压强。在高低不平的坏路上使用的轮胎，如有很好的弹性就能够缓冲和吸收外来的震动和冲击，有利于越野行驶。轮胎胎体设计得愈柔软，则引起土壤变形也愈小，胎体层数少、厚度薄的轮胎接地压强就会低。因此，设计越野轮胎尽量采用较少的层数，特别是轮胎胎侧部应设计成弹性大的结构。

胎冠有一定刚性的轮胎同胎冠柔软的轮胎相比，接地面上各点压强均匀且其极限压强也低，适用于越野行驶。因此，胎侧柔软而胎冠坚硬的轮胎，如合理设计的子午线轮胎和超低压轮胎，能提高通过性能。胎冠硬、胎侧软的轮胎在越野行驶时应力势必集中在两肩部和胎圈部，必须使胎侧部支撑性逐步过渡到胎冠部，并尽量采用宽轮辋来减小胎圈部应力。

轮胎在软路上行驶时轮胎的附着力决定于同土壤的表面摩擦力、土壤的剪切阻力和构成车辙能力。形成车辙的因素很多，主要是轮胎载荷和轮胎与道路的压强。土壤剪切阻力决定于土壤性质和轮胎花纹设计的各种条件。土壤表面摩擦力主要取决于土壤形式和湿度，而胎面胶性能影响很小。

通常，轮胎中的充气压力愈低，则轮胎接地面积愈大；减小对地压强，能提高轮胎通过性（见表1-6-1和表1-6-2）。如在砂地和雪地上行驶时常用降低内压来提高表面摩擦力和降低土壤压强。因此，越野轮胎一般采用较低的标准内压，并在许多情况下采用调压结构，以便在难以通过的泥泞地带将其内压放低来提高通过性（见图1-6-1）。必须指出，由于轮胎结构和土壤条件变化较大，对于具体土壤使用条件的具体轮胎有一定的最佳气压范围，所以轮胎放气使用不能没有限度，而要考虑最佳放气效果。

表 1-6-1　11.00R18轮胎在2.5吨级越野车装载0.5吨时沙地性能

| 轮胎特征 | 充气压力 kPa (kgf/cm²) | 通过性能 | | 牵引性能，kN(kgf) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 时间 s/50m | 印迹深度 mm | 最大牵引力 | 滚动阻力 |
| 纤维子午线 | 343(3.50) | 30.0 | 93.25 | 14.22(1450) | 10.30(1050) |
| | 147(1.50) | 27.5 | 61.00 | 25.01(2550) | 8.34(850) |
| 钢丝子午线 | 343(3.50) | — | 94.00 | 15.69(1600) | 11.77(1200) |
| | 147(1.50) | — | 62.75 | 22.06(2250) | 7.85(800) |

表 1-6-2　12.00R20轮胎在5吨级越野车上满载时牵引试验数据

| 充气压力 kPa (kgf/cm²) | 在硬路上接地面积，cm² | | 沙质地 kN(kgf) | | 水稻田 kN(kgf) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 前轮 | 中、后轮 | 滚动阻力 | 最大牵引力 | 滚动阻力 | 最大牵引力 |
| 539(5.50) | 243 | 254 | 29.91(3050) | 15.69(1600) | 29.42(3000) | 98.07(1000) |
| 245(2.50) | 425 | 437 | 19.61(2000) | 25.50(2600) | 25.99(2650) | 18.63(1900) |
| 147(1.50) | 528 | 535 | 10.79(1100) | 27.65(2820) | 20.59(2100) | 26.48(2700) |

对于提高轮胎的土壤抓着力，合理设计胎面花纹是一项有效的措施。在有硬底层的软土地带上行驶时，轮胎花纹作用更大，在这种情况下面积率较小的花纹易于剪切软土层而抓住硬底层取得抓着力，相反地过密的花纹不能抓到硬底层，得不到足够的抓着力。

实践证明，采用高深而分散的柔软花纹能增大接地面积和抓着能力。扩大花纹沟的面积，特别是在胎面两缘部有宽展的花纹沟时能显著获得轮胎与土壤的有效抓着力。花纹设计的排列角度以接近横向的人字形为最好。花纹沟断面形状应合理设计，就花纹块讲，轮胎花纹先接地的一面角度 $\alpha_1$ 设计得较小，以利于抓着和压实土壤而获得抓着力；后接地的一面角度 $\alpha_2$ 设计得较大，以利于花纹离开土壤时甩掉土壤，同时能补强花纹块，提高寿命（图1-6-2）。

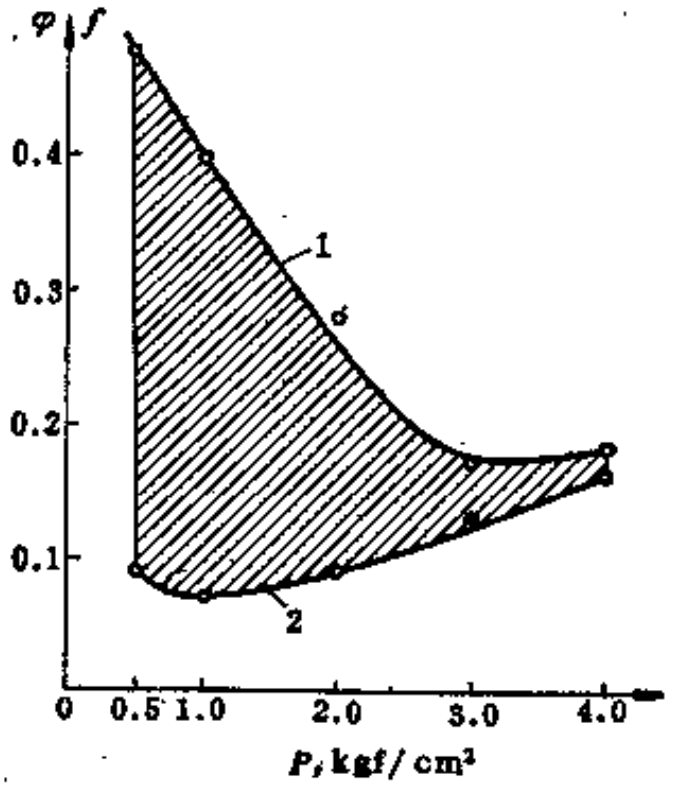



图 1-6-1　轮胎在软土中通过性

1—附着系数(φ)；2—滚动阻力系数(f)；P—轮胎内压；
(图中涂绘面积为通过性，1kgf/cm²=9.80665×10⁴Pa)

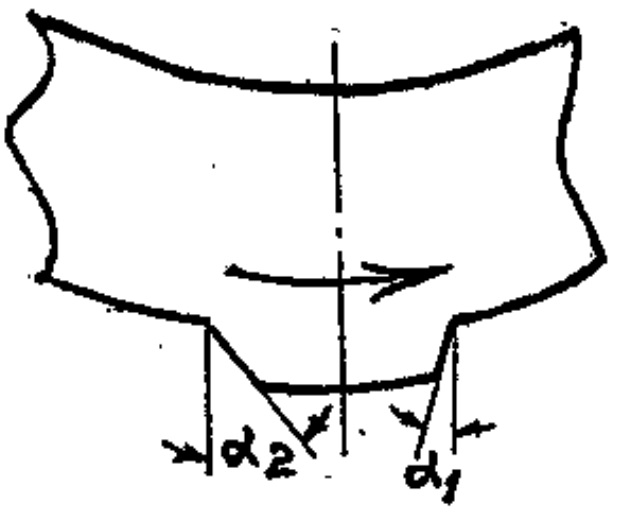



图 1-6-2　胎面花纹作用示意图

对于不同性质土壤条件下使用的轮胎应设计不同的花纹，如在粘聚性土壤上通过时花纹作用较大，而在摩擦性沙地行驶时花纹高大会使沙粒相互磨擦而消耗动力。花纹沟深而宽的轮胎适于在软质土壤中使用（图1-6-3）；花纹沟浅而窄的轮胎宜于在沙质地带通过（图1-6-4；花纹碎而散的轮胎则适应于在雪地上行驶（图1-6-5）。从综合通过性能讲，较深而舒展的人字形花纹适用于我国的复杂地形条件（图1-6-6）。

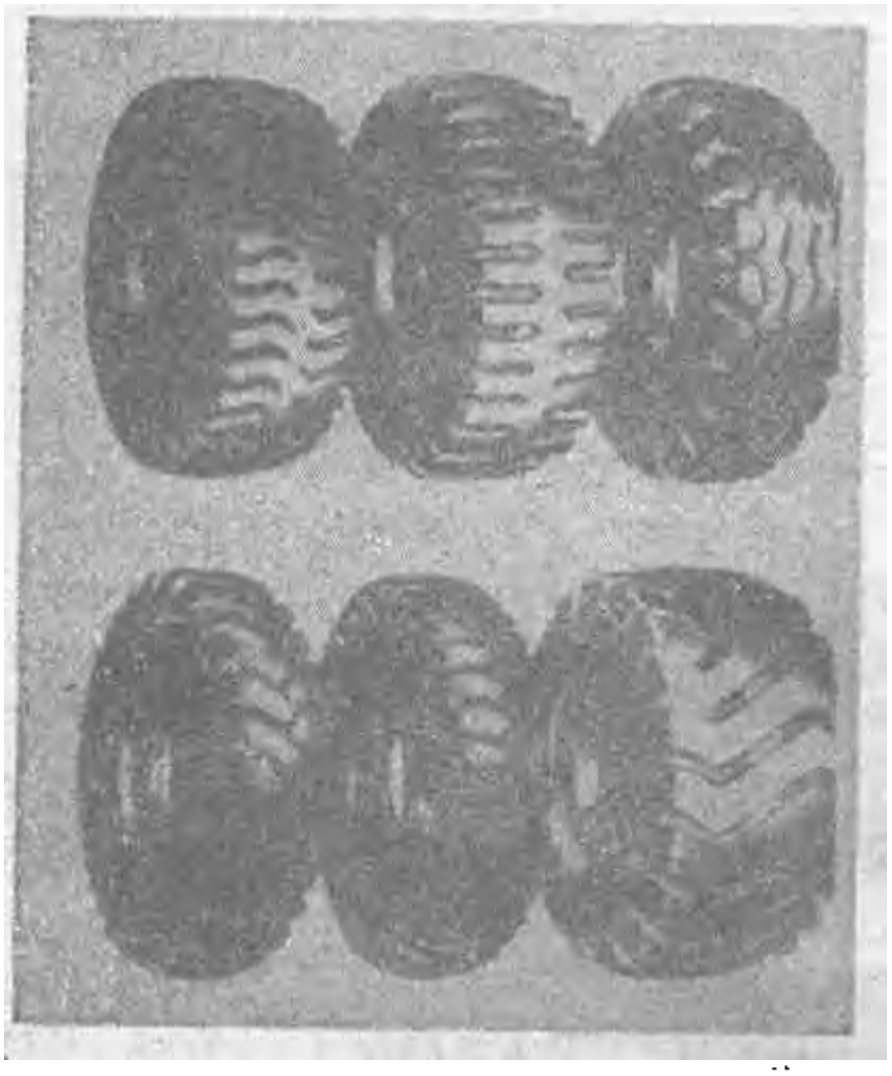


图 1-6-3　软土花纹轮胎



图 1-6-4　沙地花纹轮胎



图 1-6-5　雪地花纹轮胎



图 1-6-6　通用越野花纹轮胎

## 第二节　越野轮胎的基本参数

### 一、高浮力轮胎

美国采用高浮力轮胎来提高轮胎的越野性能[1]。高浮力轮胎系为非公路使用为主的汽车设计的，其特点是外形尺寸大。主要表现在断面较宽，扁平率控制在较低范围：轻卡轮胎在80%以内，载重轮胎不超过70%；其次是使用气压要低，越野时可低到105～275kPa，最高时不超过310～410kPa。如以同样几何尺寸比较，越野高浮力轮胎的载荷量要比一般汽车公路轮胎低一半左右。美国高浮力轮胎基本参数载于表1-6-3～表1-6-5中。

表 1-6-3　在15°斜底轮辋上使用的高浮力轻卡轮胎基本参数

| 轮胎规格代号 | 设计轮辋宽度 mm | 设计新胎尺寸 mm | | 在85%轮辋上新胎断面宽 mm | $H/S.85$ | 设计断面高 mm | 最低气压206 kPa(2.1kgf/cm²)下的最大负荷,kN(kgf) | 最高气压412 kPa(4.2kgf/cm²)下的最大负荷,kN(kgf) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 断面宽 | 外直径 | | | | | |
| 30×9.50-16.5 | 190 | 240 | 750 | 250 | 0.682 | 172 | 7.16(730) | 9.07(925) |
| 31×10.50-16.5 | 210 | 265 | 775 | 280 | 0.638 | 178 | 8.14(830) | 12.21(1245) |
| 31×11.50-16.5 | 230 | 290 | 775 | 305 | 0.584 | 178 | 8.43(860) | 12.65(1290) |
| 36×12.50-16.5 | 250 | 315 | 900 | 330 | 0.729 | 242 | 12.75(1300) | — |
| 36×14.50-16.5 | 285 | 365 | 900 | 385 | 0.628 | 242 | 13.53(1380) | 20.30(2070) |
| 37×14.50-16.5 | 285 | 365 | 900 | 385 | 0.661 | 255 | 14.42(1470) | 21.67(2210) |

表 1-6-4　5°斜底轮辋上高浮力轻卡轮胎基本参数

| 轮胎规格代号 | 轮辋宽度 mm | 设计新胎尺寸 mm | | 80%轮辋上设计断面宽 $S.80$,mm | $H/S.80$ | 设计断面高 $H$ mm | 最低气压140 kPa(1.4kgf/cm²)下的负荷,kN(kgf) | 最高气压310 kPa(3.2kgf/cm²)下的负荷,kN(kgf) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 断面宽 | 外直径 | | | | | |
| 27×9.50-15 | 180 | 220 | 675 | 215 | 0.680 | 145 | 3.92(400) | 6.37(650) |
| 27×9.50-15 | 190 | 240 | 675 | 240 | 0.606 | 145 | 4.12(420) | 6.67(680) |
| 30×9.50-15 | 190 | 240 | 750 | 240 | 0.763 | 185 | 5.49(560) | 8.83(900) |
| 31×9.50-15 | 190 | 240 | 775 | 240 | 0.816 | 200 | 5.98(610) | 9.61(980) |
| 31×10.50-15 | 215 | 270 | 775 | 265 | 0.740 | 200 | 6.23(635) | 10.00(1020) |
| 33×10.50-15 | 215 | 270 | 825 | 265 | 0.835 | 225 | 7.26(740) | 11.87(1210) |
| 31×11.50-15 | 230 | 290 | 775 | 290 | 0.674 | 200 | 6.47(660) | 10.40(1060) |
| 32×11.50-15 | 230 | 290 | 800 | 290 | 0.717 | 225 | 7.06(720) | 11.28(1150) |
| 37×12.50-15 | 255 | 320 | 925 | 320 | 0.861 | 260 | 10.10(1030) | 16.28(1660) |
| 31×13.50-15 | 280 | 345 | 775 | 340 | 0.576 | 200 | 6.86(700) | 11.08(1130) |
| 35×14.50-15 | 290 | 370 | 875 | 370 | 0.673 | 250 | 9.61(980) | 15.30(1560) |
| 36×14.50-15 | 290 | 370 | 900 | 370 | 0.707 | 260 | 10.20(1040) | 16.38(1670) |
| 37×14.50-15 | 290 | 370 | 925 | 370 | 0.742 | 275 | 10.79(1100) | 17.46(1780) |
| 31×15.50-15 | 305 | 390 | 825 | 395 | 0.501 | 250 | 7.26(740) | 11.67(1190) |
| 39×15.50-15 | 305 | 390 | 980 | 395 | 0.727 | 285 | 11.87(1210) | 19.02(1940) |

表 1-6-5　5°斜底轮辋上高浮力载重轮胎基本参数

| 轮胎规格<br>代　号 | 层<br>次 | 最高速度48km/h<br>最大负荷<br>kN(kgf) | 最高速度48km/h<br>相应气压<br>kPa(kgf/cm²) | 轮辋型号 | 新胎设计尺寸，mm<br>断面宽 | 新胎设计尺寸，mm<br>外直径 | 新胎设计尺寸，mm<br>花纹深 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38×20.00-16.1 | 4 | 9.61(980) | 103(1.05) | 18-LB | 510 | 980 | 13.0 |
| | 6 | 12.94(1320) | 172(1.75) | | | | |
| | 8 | 15.79(1610) | 240(2.45) | | | | |
| 42×25.00-20 | 8 | 15.00(1530) | 172(1.75) | 20.50VF | 630 | 1075 | 25.5 |
| | 10 | 18.24(1860) | 240(2.45) | | | | |
| | 12 | 19.71(2010) | 270(2.75) | | | | |
| 44×41.00-20 | 10 | 20.10(2050) | 172(1.75) | 38.00VF | 990 | 1175 | 25.5 |
| 48×20.00-20 | 8 | 25.69(2620) | 240(2.45) | 16.00VF | 510 | 1220 | 25.5 |
| 48×25.00-20 | 6 | 19.91(2030) | 137(1.40) | 20.50VF | 630 | 1245 | 25.5 |
| | 8 | 22.65(2310) | 172(1.75) | | | | |
| 48×31.00-20 | 4 | 14.61(1490) | 69(0.70) | 26VF | 775 | 1245 | 25.5 |
| | 6 | 18.63(1900) | 103(1.05) | | | | |
| | 8 | 25.11(2560) | 172(1.75) | | | | |
| | 10 | 29.52(3010) | 206(2.10) | | | | |
| | 12 | 30.50(3110) | 240(2.45) | | | | |
| 66×43.00-25 | 6 | 32.85(3350) | 103(1.05) | 38.0T | 1080 | 1690 | 51.0 |
| | 10 | 44.33(4520) | 172(1.75) | | | | |
| 67×34.00-25 | 8 | 36.68(3740) | 137(1.40) | 30.0T | 860 | 1730 | 51.0 |
| | 10 | 41.78(4260) | 172(1.75) | | | | |
| | 12 | 46.48(4740) | 206(2.10) | | | | |
| 67×34.00-30 | 8 | 32.46(3310) | 137(1.40) | DW30 | 860 | 1730 | 51.0 |
| | 10 | 37.07(3780) | 172(1.75) | | | | |

美国高浮力轮胎负荷计算公式（英制）：

5°斜底轮辋的轮胎：

$$W = K \times 0.425 \times P^{0.585} \times S_{.80}^{1.28} \times (D_R + S_d) \times (H/S_{.80}) \qquad (1\text{-}6\text{-}1)$$

$$S_d = S_{.80} - (F)d$$

$$d = 0.96S_{.70} - H$$

15°斜底轮辋的轮胎：

$$W = K \times 0.425 \times P^{0.585} \times S_{.85}^{1.28} \times (D_R - 0.5 + S_d) \times [(H + 0.25)/S_{.70}] \qquad (1\text{-}6\text{-}2)$$

$$S_d = S_{.85} - (F)d$$

$$d = 0.96S_{.70} - (H + 0.25)$$

式中　$W$——胎轮负荷；

$P$——轮胎气压；

$D_R$——轮辋直径；

$H$——轮胎设计断面高；

$K$——负荷系数（对高浮力轮胎为1.57）。

$$F = 0.7252 - 0.1297(d/S_{.80}) + 1.0469 \times (d/S_{.80})^2$$

$$S_{.80}=S_1\times\frac{180^\circ-\sin^{-1}(W_1/S_1)}{126.9}$$

$$S_{.85}=S_1\times\frac{180^\circ-\sin^{-1}(W_1/S_1)}{121.8}$$

$$S_{.70}=S_1\times\frac{180^\circ-\sin^{-1}(W_1/S_1)}{135.6}$$

## 二、可调压轮胎

苏联采用宽断面可调压轮胎来提高越野车辆性能[2]。当车辆在软质地带难以通过时，这种轮胎可将内压降低到100kPa左右，甚至可 降到70～50kPa，接地面积显著增大，以提高 通过性能（如图1-6-7）。为了保证轮胎在低气压短时间使用时不致损坏，轮胎尺寸就应当增大，在同样负荷条件下，调压轮胎的断面宽度要比一般轮胎大25～40%，同样调压轮胎的标准气压要比一般轮胎低25～50%左右(见表1-6-6)。

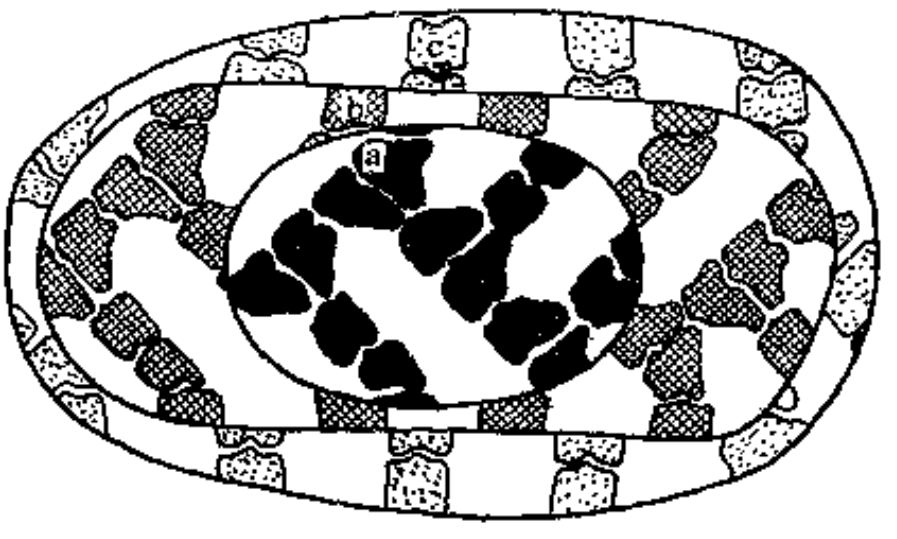



图 1-6-7 调压轮胎不同气压下的印迹

a—正常气压公路行驶；b—降低气压公路行驶
c—降低气压软路行驶

为了提高胎侧部的柔软性，胎体帘布层数少，并应用较多的软质胶料的隔离胶。胶体帘线通常用弹性高的加粗尼龙帘线制造，如大规格越野轮胎使用单根强力为 0.59kN(60kgf)的尼龙帘线来制造。

调压轮胎胎面花纹通常设计成深而疏的形式，花纹块柔软分散，胎肩部花纹伸展到胎侧部。苏联根据不同使用条件生产有内胎和无内胎两种结构轮胎。调压轮胎需要车辆有自动调压系统做保证。

苏联调压轮胎径向变形的计算（公制)：

$$f=\frac{n_2G}{2(P+\rho_0)}+\sqrt{\left[\frac{n_2G}{2(P+\rho_0)}\right]^2+n_1G} \qquad (1\text{-}6\text{-}3)$$

式中 $f$——轮胎径向变形；

$G$——轮胎载荷；

$P$——轮胎气压；

$n_1$——胎面变形系数（在软土路上等于 0 )；

$n_2$——胎体变形系数；

$\rho_0$——未充气轮胎帘布层刚度系数（一般为0.33kgf/cm²)。

变形系数$n_1$和$n_2$的值分别见表1-6-7及表1-6-8。

表 1-6-6 苏联宽断面调压轮胎的基本参数

| 轮胎规格<br>标记 | 轮辋宽度 mm | | 层级 | 轮胎最大负荷及其相应内压 | | 轮胎尺寸，mm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 标准 | 允许 | (P.R.) | 负荷<br>kN(kgf) | 气压<br>MPa(kgf/cm²) | 外直径 | 断面宽≤ | 静半径 |
| 980×375-457 | 330 | 310 | 10 | 17.65(1800) | 0.25(2.6) | 980±15 | 375 | 451±8 |
| 1020×400-457 | 330 | 310 | 10 | 20.59(2100) | 0.28(2.9) | 1020±15 | 400 | 468±8 |
| 1050×425-457 | 350 | 330 | 10 | 23.54(2400) | 0.30(3.1) | 1050±15 | 425 | 480±8 |
| 1090×450-457 | 350 | 400 | 10 | 25.99(2650) | 0.30(3.1) | 1090±16 | 450 | 497±8 |
| 1050×375-508 | 330 | 310 | 10 | 19.61(2000) | 0.27(2.8) | 1050±15 | 375 | 484±8 |
| 1070×400-508 | 330 | 310,350 | 10 | 21.57(2200) | 0.30(3.1) | 1070±16 | 400 | 493±8 |
| 1120×425-508 | 330 | 350 | 10 | 24.52(2500) | 0.31(3.2) | 1120±16 | 425 | 514±8 |
| 1140×450-508 | 400 | 350 | 10 | 27.46(2800) | 0.35(3.6) | 1140±17 | 450 | 523±9 |
| 1175×475-508 | 400 | 350 | 10 | 30.40(3100) | 0.39(4.0) | 1175±18 | 475 | 538±9 |
| 1200×500-508 | 400 | 440 | 10 | 32.36(3300) | 0.39(4.0) | 1200±18 | 500 | 548±9 |
| 1100×400-533 | 330 | 310,350 | 12 | 22.56(2300) | 0.31(3.2) | 1100±16 | 400 | 515±8 |
| 1220×400-533 | 310 | 330,350 | 10 | 25.01(2550) | 0.29(3.0) | 1220±16 | 400 | 560±8 |
| 1130×425-533 | 330 | 350 | 12 | 25.50(2600) | 0.34(3.5) | 1130±16 | 425 | 520±8 |
| 1160×450-533 | 400 | 350 | 12 | 28.39(2950) | 0.37(3.8) | 1160±18 | 450 | 533±9 |
| 1200×475-533 | 400 | 350 | 12 | 31.38(3200) | 0.39(4.0) | 1200±18 | 476 | 550±9 |
| 1230×500-533 | 400 | 440 | 12 | 34.32(3500) | 0.39(4.0) | 1230±18 | 500 | 563±9 |
| 1300×530-533 | 400 | 440 | 12 | 39.23(4000) | 0.39(4.0) | 1300±20 | 530 | 593±10 |
| 1340×560-533 | 440 | 500 | 12 | 44.62(4550) | 0.40(4.1) | 1340±20 | 560 | 610±10 |
| 1300×475-635 | 400 | 350 | 16 | 34.32(3500) | 0.39(4.0) | 1300±20 | 475 | 600±10 |
| 1335×500-635 | 400 | 440 | 16 | 38.25(3900) | 0.40(4.1) | 1335±20 | 500 | 615±10 |
| 1375×530-635 | 400 | 440 | 16 | 43.15(4400) | 0.39(0.4) | 1375±21 | 530 | 632±10 |
| 1420×560-635 | 500 | 440 | 16 | 47.56(4850) | 0.40(4.1) | 1420±21 | 560 | 651±10 |
| 1500×600-635 | 500 | 520 | 14 | 56.39(5750) | 0.37(3.8) | 1500±23 | 600 | 825±11 |
| 1520×630-635 | 500 | 520,540 | 16 | 60.80(6200) | 0.43(4.4) | 1520±23 | 6[illegible] | 694±11 |
| 1385×500-685 | 440 | 400 | 18 | 39.23(4000) | 0.40(4.1) | 1385±21 | 500 | 640±10 |
| 1425×530-685 | 440 | 400 | 18 | 44.62(4550) | 0.41(4.2) | 1425±21 | 530 | 657±10 |
| 1470×560-685 | 440 | 500 | 18 | 50.01(5100) | 0.41(4.2) | 1470±23 | 560 | 676±11 |
| 1600×600-685 | 500 | 520 | 18 | 67.47(6880) | 0.39(4.0) | 1600±24 | 600 | 730±12 |
| 1565×630-685 | 500 | 520,540 | 18 | 62.27(6350) | 0.44(4.5) | 1565±24 | 630 | 716±12 |
| 1625×670-685 | 500 | 520,540 | 18 | 71.59(7300) | 0.43(4.4) | 1625±24 | 670 | 742±12 |

表 1-6-7 $n_1$系数

| 路面条件 | 12.00-18 | 1500×600-635 |
|---|---|---|
| 硬路面上 | 0.0010 | 0.0030 |
| 转鼓机床 | 0.0025 | — |
| 试验平台 | 0.0030 | 0.0035 |

表 1-6-8 $n_2$系数

| 规格尺寸 | 未辗荒地 | 辗过荒地 | 硬路面上 | 转鼓机床 | 试验平台 |
|---|---|---|---|---|---|
| 12.00-18 | 0.00445 | 0.00545 | 0.00625 | 0.00815 | 0.00520 |
| 1500×600-635 | 0.00395 | 0.00415 | 0.00425 | — | 0.00295 |

## 三、子午线轮胎

子午线轮胎同普通斜交轮胎比较，径向变形大，周向刚性小，有较大的接地面积和较小的接地压强，而且有较高的冲击弹性，在坏路上行驶能缓冲和吸收震动与冲击。由于子午线轮胎的帘线角度小，胎体层数少，引起的土壤变形小而接地压强低，因此利于越野行驶。子午线轮胎胎冠部因有带束铠装而刚性大，接地压强分布均匀且其极限压强较低，能提高通过性。

为了更好地发挥子午线轮胎的越野能力，越野车辆采用子午线轮胎时，同在好路上使用比较，要采用减轻负荷标准和降低气压的方法来提高通过性能。法国“MICHELIN”轮胎手册规定：在有路的地区行驶时，不需要特别的抓着性和浮力时载荷及气压标准和一般汽车轮胎相同；但在坏路和无路地带牵引和通过时，则需要降低载荷标准，以发挥车辆和轮胎的最佳性能。至于越野通过时轮胎气压标准，按照使用路面和载荷情况分为坏路牵引和无路通过两种充气标准，并规定轮胎在坏路上行驶速度不超过50km/h，在无路通过速度不大于15km/h(见表1-6-9)。

表 1-6-9 MICHELIN子午线轮胎越野使用标准

| 轮胎规格<br>标志 | 载荷<br>kN(kgf) | 充气压力，MPa(kgf/cm²) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 道路行驶 | 坏路牵引 | 无路通过 |
| 6.00-16X | 8.34(850) | 0.466(4.75) | — | — |
| | 6.86(700) | 0.373(3.80) | 0.333(3.40) | 0.245(2.50) |
| | 5.39(550) | 0.279(2.85) | 0.255(2.60) | 0.186(1.90) |
| | 3.92(400) | 0.186(1.90) | 0.172(1.75) | 0.127(1.30) |
| 6.50-16X | 9.81(1000) | 0.490(5.00) | — | — |
| | 8.09(825) | 0.392(4.00) | 0.319(3.25) | 0.240(2.45) |
| | 5.88(600) | 0.265(2.70) | 0.221(2.25) | 0.162(1.65) |
| | 4.41(450) | 0.191(1.95) | 0.147(1.50) | 0.88 (0.90) |
| 7.00-16X | 11.28(1150) | 0.515(5.25) | — | — |
| | 9.32( 950) | 0.417(4.25) | 0.343(3.50) | 0.255(2.60) |
| | 7.85( 800) | 0.343(3.50) | 0.284(2.90) | 0.206(2.10) |
| | 5.88( 600) | 0.245(2.50) | 0.201(2.05) | 0.147(1.50) |
| 7.50-16X | 13.97(1425) | 0.613(6.25) | — | — |
| | 11.77(1200) | 0 490(5.00) | 0.378(3.85) | 0.275(2.80) |
| | 8.34( 850) | 0.319(3 25) | 0.250(2.55) | 0.181(1.85) |
| | 6.37( 650) | 0.221(2.25) | 0.181(1 85) | 0.118(1.20) |
| 8.25-16X | 17.65(1800) | 0.662(6.75) | — | — |
| | 13.73(1400) | 0.500(5.10) | 0.392(4.00) | 0.284(2.90) |
| | 11.77(1200) | 0.417(4.25) | 0.324(3.30) | 0.235(2.40) |
| | 10.79(1100) | 0.368(3.75) | 0.294(3.00) | 0.205(2.10) |
| 9.00-16X | 20.59(2100) | 0.687(7.00) | — | — |
| | 15.20(1550) | 0.549(5.60) | — | — |
| | 13.73(1400) | 0.515(5.25) | 0.314(3.20) | 0.235(2.40) |
| | 9.32( 950) | 0.407(4.15) | 0.235(2.40) | 0.177(1.80) |

续表

| 轮胎规格<br>标　志 | 载　荷<br>kN(kgf) | 充气压力，MPa(kgf/cm²) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 道路行驶 | 坏路牵引 | 无路通过 |
| 6.50-20X | 11.77(1200) | 0.539(5.50) | — | — |
| | 9.81(1000) | 0.440(4.50) | 0.378(3.85) | 0.279(2.85) |
| | 7.85( 800) | 0.343(3.50) | 0.297(3.00) | 0.206(2.10) |
| | 5.88( 600) | 0.245(2.50) | 0.201(2.05) | 0.137(1.40) |
| 7.00-20X | 13.73(1400) | 0.564(5.75) | — | — |
| | 11.77(1200) | 0.466(4.75) | 0.368(3.75) | 0.271(2.75) |
| | 9.81(1000) | 0.368(3.75) | 0.299(3.05) | 0.221(2.25) |
| | 6.86( 700) | 0.245(2.50) | 0.196(2.00) | 0.147(1.50) |
| 7.50-20X | 17.65(1800) | 0.637(6.50) | — | — |
| | 13.73(1400) | 0.481(4.90) | 0.373(3.80) | 0.279(2.85) |
| | 11.77(1200) | 0.402(4.10) | 0.304(3.10) | 0.230(2.35) |
| | 10.79(1100) | 0.363(3.70) | 0.275(2.80) | 0.201(2.05) |
| 8.25-20X | 20.10(2050) | 0.637(6.50) | — | — |
| | 14.46(1475) | 0.431(4.40) | 0.343(3.50) | 0.279(2.85) |
| | 11.28(1150) | 0.314(3.20) | 0.265(2.70) | 0.196(2.00) |
| | 8.09( 825) | 0.196(2.00) | 0.167(1.70) | 0.127(1.30) |
| 9.00-20X | 24.50(2500) | 0.686(7.00) | — | — |
| | 17.41(1775) | 0.441(4.50) | 0.373(3.80) | 0.275(2.80) |
| | 12.75(1300) | 0.294(3.00) | 0.255(2.60) | 0.185(1.90) |
| | 10.30(1050) | 0.226(2.30) | 0.186(1.90) | 0.147(1.50) |
| 10.00-20X | 29.42(3000) | 0.760(7.75) | — | — |
| | 19.61(2000) | 0.466(4.75) | 0.382(3.90) | 279(2.85) |
| | 11.28(1150) | 0.226(2.30) | 0.196(2.00) | 0.147(1.50) |
| 11.00-20X | 31.87(3250) | 0.785(8.00) | — | — |
| | 21.57(2200) | 0.490(5.00) | 0.373(3.80) | 275(2.80) |
| | 13.73(1400) | 0.265(2.70) | 0.206(2.10) | 0.147(1.50) |
| 12.00-20X | 34.32(3500) | 0.785(8.00) | — | — |
| | 29.42(3000) | 0.667(6.80) | 0.520(5.30) | 0.353(3.60) |
| | 19.60(2000) | 0.412(4.20) | 0.314(3.20) | 0.206(2.10) |
| 14.00-20X | 44.13(4500) | 0.686(7.00) | — | — |
| | 39.23(4000) | 0.588(6.00) | 0.490(5.00) | 0.333(3.40) |
| | 26.97(2750) | 0.363(3.70) | 0.294(3.00) | 0.206(2.10) |
| 16.00-20X | 53.94(5500) | 0.686(7.00) | — | — |
| | 49.03(5000) | 0.588(6.00) | 0.490(6.00) | 0.353(3.60) |
| | 36.77(3750) | 0.422(4.30) | 0.353(3.60) | 0.255(2.60) |
| 13/80R20 | 35.55(3625) | 0.785(8.00) | — | — |
| | 21.57(2200) | 0.441(4.50) | 0.373(3.80) | 0.275(2.80) |
| | 14.71(1500) | 0.275(2.80) | 0.235(2.40) | 0.157(1.60) |
| 14/80R20 | 40.21(4100) | 0.809(8.25) | — | — |
| | 24.52(2500) | 0.431(4.40) | 0.373(3.80) | 0.275(2.80) |
| | 19.61(2000) | 0.304(3.10) | 0.275(2.80) | 0.206(2.10) |

# 第三节　特种越野轮胎

## 一、椭圆形轮胎

为了提高轮式车辆在松沙、稀泥、沼泽、深雪条件下的通过性、采用椭圆形轮胎。椭圆形轮胎不同于一般轮胎，其形状呈椭圆形，有很宽的断面、较小的外径及特小的内径。普通轮胎的断面宽与外径之比为0.2～0.3，面椭圆形轮胎则为1.0～2.0；普通轮胎的外径与内径之比大致为2.0，而椭圆形轮胎则为3.0～4.0左右。椭圆形轮胎的扁平率小，胎体帘布层数少，使用气压低，故其弹性高，接地压强小，能很好地超越不平的路面障碍，并可防止石块和尖锐物体对轮胎的损伤。

世界先进国家都生产椭圆形轮胎，其中以美国椭圆型轮胎公司（Rolligou Corporation）为典型，该公司目前生产四种规格，胎面花纹分为牵引型和牵引与耐磨混合型两种，胎体结构分为标准型（6层尼龙）和V-2加强型（12层尼龙）以及V-4加强型（20层尼龙）三种。根据用户需要还可生产V-6加强型（40层尼龙）轮胎。该公司的椭圆形轮胎的基本参数见图1-6-8和表1-6-10，椭圆形轮胎的使用负荷见表1-6-11。

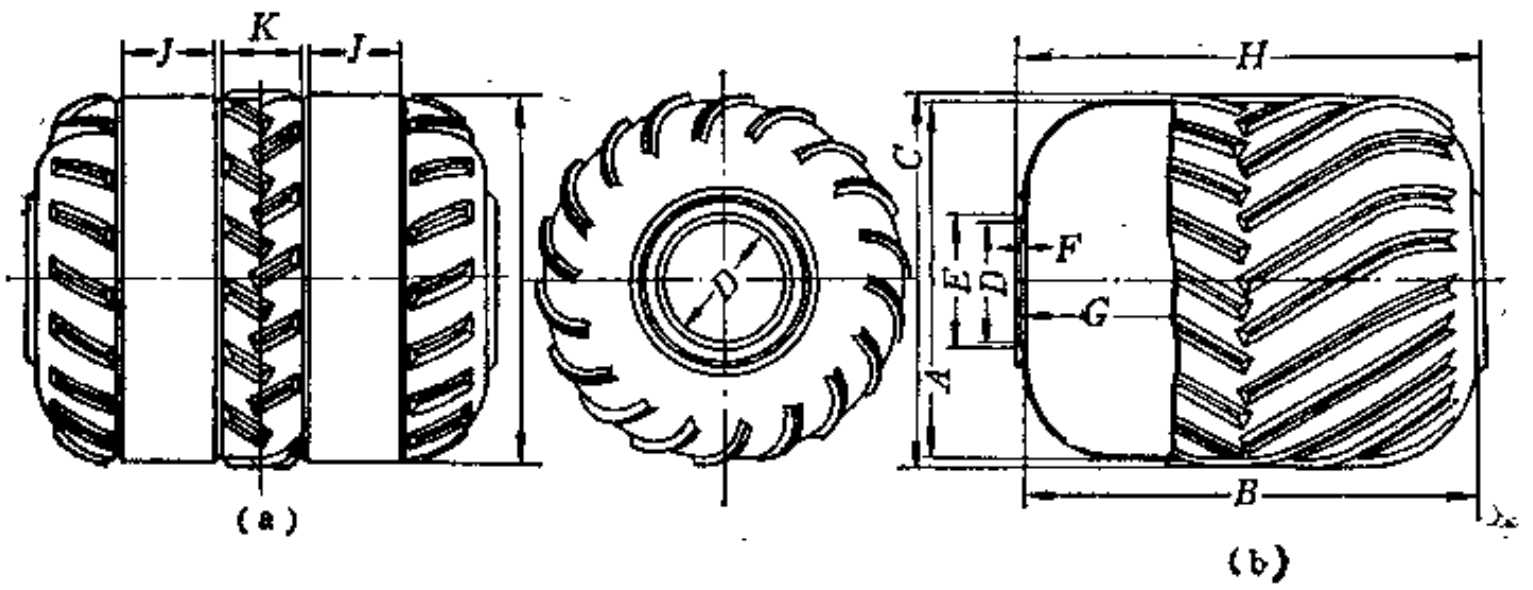



图 1-6-8　椭圆形轮胎

（a）牵引耐磨混合型；（b）牵引通过型；
A—胎体直径；B—胎体宽度；C—胎面外径；D—胎圈内径；E—胎圈外径；F—胎圈宽度；G—胎圈面间宽度；H—胎圈防护线间宽度；I—耐磨面直径；J—耐磨面宽度；K—耐磨面之间宽度

## 二、拱形轮胎

为了提高一般通用汽车在雨季或收获季节的通过性，可采用拱形轮胎[3]。拱形轮胎的特点是断面轮廓呈拱形，其内外直径都和普通轮胎相同，但断面宽度为普通轮胎的2.0～2.5倍（如图1-6-9）。拱形轮胎的印迹面积要比所代替的两个普通轮胎面积还大，其印迹形状接近于圆形。由于拱形轮胎的使用负荷及其相应内压比一般轮胎为低，则其印迹压强小，通常印迹压强为90～15kPa(0.9～1.5kgf/cm²)。

表 1-6-10 椭圆形轮胎基本尺寸 单位：mm

| 规 格 | 花纹形式 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40″×50″-12″ | 牵引型 | 1016 | 1270 | 1080 | 305 | 356 | 20 | 1300 | 1321 | — | — | — |
| 54″×68″-18″ | 牵引型 | 1372 | 1727 | 1435 | 457 | 508 | 20 | 1753 | 1791 | — | — | — |
| | 混合型 | 1372 | 1727 | 1435 | 457 | 508 | 20 | 1753 | 1791 | 1410 | 305 | 356 |
| 72″×96″-28″ | 混合型 | 1830 | 2440 | 1905 | 711 | 787 | 20 | 2464 | 2502 | 1880 | 406 | 597 |

表 1-6-11 椭圆形轮胎使用负荷 单位：kN(kgf)

| 规格 \ 气压，kPa (kgf/cm²) | 15 (0.15) | 29 (0.30) | 39 (0.40) | 54 (0.55) | 62 (0.63) | 69 (0.70) | 83 (0.85) | 93 (0.95) | 103 (1.05) | 108 (1.10) | 127 (1.30) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40″×50″-12″ 牵引型 | 4.46 (455) | 8.92 (910) | 13.34 (1360) | 17.80 (1815) | — — | 22.26 (2270) | | | | | |
| 54″×68″-18″ 牵引型 | 11.08 (1130) | 17.75 (1810) | 26.67 (2720) | 35.50 (3620) | — — | 44.47 (4535) | | | | | |
| 54″×68″-18″ 耐磨型 | — | — | 31.09 (3170) | 40.21 (4100) | — | 44.47 (4535) | 53.45 (5450) | 62.37 (6360) | — | 71.20 (7260) | — |
| 72″×96″-28″ 耐磨型 | — | — | 53.45 (5450) | — | 80.02 (8160) | — | 106.89 (10900) | — | 133.37 (13600) | — | 159.85 (16300) |

拱形轮胎胎面花纹以图1-6-10所示的形式为最好，这种分散而敞开的花纹结构在土壤中能保证较好的通过性，而在硬基道路上连续的中部花纹又能平稳地转动，减少汽车的振动。

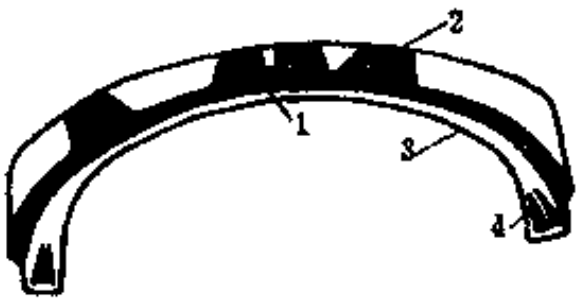



图 1-6-9 拱型轮胎
1—帘布层；2—胎面胶；3—密封层；4—胎圈部

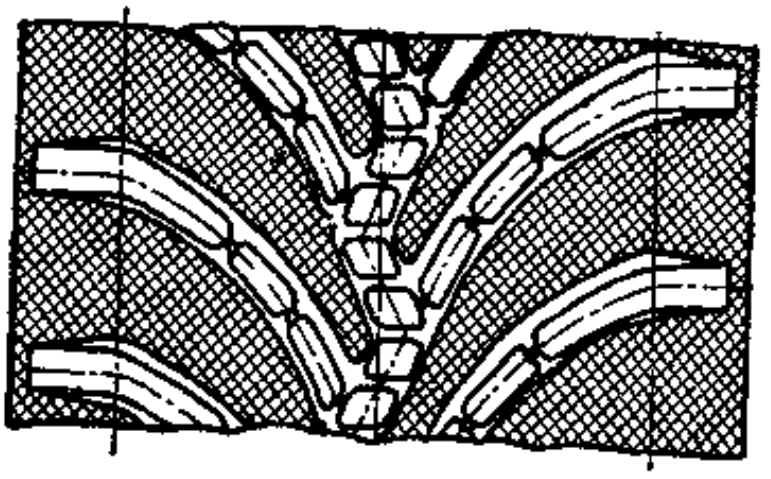


图 1-6-10 拱形轮胎花纹

通常拱形轮胎制成无内胎结构，以适应高速行驶中生热过大的特殊要求。由于拱形轮胎内压低变形大，往往采用耐疲劳性好的尼龙帘线制造胎体。为保证胎面与胎体的密着力，除采用稀疏的帘线缓冲层过渡外，还应用缓冲胶片，不使用帘布缓冲层，以避免缓冲布层在硫

化时流动到花纹块中。拱形轮胎胎圈部上面，象林业轮胎一样，应采用较厚的保护胶，以防止该部位早期机械损伤。

在苏联拱形轮胎的生产已工业化，其基本参数如表1-6-12所示。我国生产有1140×700和1000×650两种拱形轮胎，可装配到解放牌和跃进牌通用汽车上使用。

**表 1-6-12 苏联拱形轮胎的基本参数**

| 轮胎规格 | 帘布层数 | 轮胎充气尺寸,mm | | 最大载荷及其相应气压 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 外直径 | 断面宽 | 载荷,kN(kgf) | 气压,kPa(kgf/cm²) |
| 600×340 | 4 | 615 | 340 | 2.45(250) | 79(0.8) |
| 760×315 | 4 | 760 | 325 | 5.69(620) | 69(0.7) |
| 900×450 | 4 | 930 | 450 | 8.83(900) | 88(0.9) |
| 1000×600 | 6 | 1040 | 600 | 19.60(2000) | 137(1.4) |
| 1060×600 | 8 | 1075 | 600 | 23.54(2400) | 178(1.8) |
| 1000×650 | 6 | 1035 | 650 | 19.60(2000) | 137(1.4) |
| 1140×700 | 8 | 1162 | 720 | 29.42(3000) | 137(1.4) |
| 1300×750 | 8 | 1298 | 750 | 49.03(5000) | 196(2.0) |
| 1500×840 | 8 | 1578 | 840 | 15.69(1600) | 49(0.5) |

## 三、沙地轮胎

为了提高车辆在沙地的通过性，已有生产沙地专用轮胎[1]。沙地轮胎的特点是载荷小、气压低、花纹浅。沙地轮胎的基本性能于表1-6-13中，其负荷标准见表1-6-14。

**表 1-6-13 美国沙地轮胎基本尺寸**

单位：mm

| 轮胎规格 | 轮辋宽度 | 断面宽度 | 外直径 | 花纹深度 |
|---|---|---|---|---|
| 8.00-15DT | 140 | 230 | 845 | 6.0 |
| 9.00-16DT | 165 | 250 | 890 | 6.5 |
| 11.00-16DT | 165 | 270 | 935 | 7.0 |
| 14.00-20DT | 255 | 370 | 1220 | 8.5 |
| 16.00-16DT | 165 | 355 | 1100 | 7.5 |
| 16.00-20DT | 255 | 420 | 1370 | 14.0 |
| 16.00-24DT | 255 | 460 | 1420 | 11.5 |
| 18.00-24DT | 255 | 470 | 1550 | 13.0 |
| 18.00-25DT | 255 | 470 | 1550 | 13.0 |
| 21.00-25DT | 330 | 575 | 1690 | 14.0 |
| 36.00-51DT | 660 | 990 | 3075 | 29.5 |
| 24-21DT ① | 460 | 610 | 1370 | 13.0 |
| 27.25-21DT ① | 495 | 685 | 1510 | 16.0 |
| 29.5-25DT ① | 635 | 740 | 1830 | 21.5 |

① 宽基轮胎

表 7-6-14 美国沙地轮胎负荷标准 单位：kN(kgf)

| 轮胎规格 | 使用速度8km/h | | 使用速度65km/h | |
|---|---|---|---|---|
| | 最低气压 69kPa(0.7kgf/cm²) | 最高气压 343kPa(3.5kgf/cm²) | 最低气压 69kPa(0.7kgf/cm²) | 最高气压 343kPa(3.5kgf/cm²) |
| 9.00-15DT | 7.70(785) | 15.98(1630) | 4.46(455) | 9.27(945) |
| 9.00-16DT | 7.99(815) | 16.67(1700) | 4.61(470) | 9.66(985) |
| 11.00-16DT | 9.66(985) | 20.10(2050) | 5.59(570) | 11.67(1190) |
| 14.00-20DT | 19.22(1960) | 39.91(4070) | 11.18(1140) | 23.14(2360) |
| 16.00-16DT | 19.02(1940) | 39.52(4030) | 10.98(1120) | 22.85(2330) |
| 16.00-20DT | 25.50(2600) | 53.15(5420) | 14.81(1510) | 30.79(3140) |
| 16.00-24DT | 35.11(3580) | 73.16(7460) | 20.40(2080) | 42.36(4320) |
| 18.00-24DT | 35.99(3670) | 75.02(7650) | 20.89(2130) | 43.44(4430) |
| 21.00-25DT | 46.58(4750) | 96.99(9890) | 27.07(2760) | 56.19(5730) |
| 36.00-51DT | 181.52(18510) | 377.75(38520) | 105.13(10720) | 218.69(22300) |
| 24-21DT① | 32.75(3340) | 68.16(6950) | 20.69(2110) | 43.05(4390) |
| 27.25-21DT① | 42.66(4350) | 88.75(9050) | 26.97(2760) | 56.00(5710) |
| 29.5-25DT ① | 57.66(5880) | 119.94(12230) | 36.38(3710) | 75.81(7730) |

① 宽基轮胎

## 主要参考文献


[1] Engineering Design Information——The Tire and Rim Association Inc. (1985).

[2] "Wide Profile tyres with adjusted Pressure", ГОСТ 17394-79.

[3] В. Л. Бидерман, "Автомобильные Шины", Госхимиздат, Москва, 1963.

# 第七章　航 空 轮 胎

## 第一节　航空轮胎和轮辋的分类、型号

### 一、航空轮胎的分类

1．按航空轮胎的用途分类

按航空轮胎的用途可分为以下二种。

（1）制动轮轮胎　用于装有刹车装置的制动机轮上的轮胎。

（2）非制动轮轮胎　用于不带刹车装置的非制动机轮上的轮胎。

2．按航空轮胎的轮位分类

按航空轮胎的轮位分类可分为4种。（见图1-7-1）。

（1）主轮轮胎　装在飞机主起落架的机轮上的轮胎。在后三点起落架式飞机上，主机轮位于飞机重心的前方；在前三点起落架式飞机上，主机轮则位于飞机重心的后面。

（2）前轮（鼻轮）轮胎　用于前三点起落架式飞机，位于飞机机身的前方。

（3）尾轮轮胎　用于后三点起落架式飞机，位于飞机的尾部。

（4）翼轮轮胎　安装在自行车式起落架飞机的机翼下。

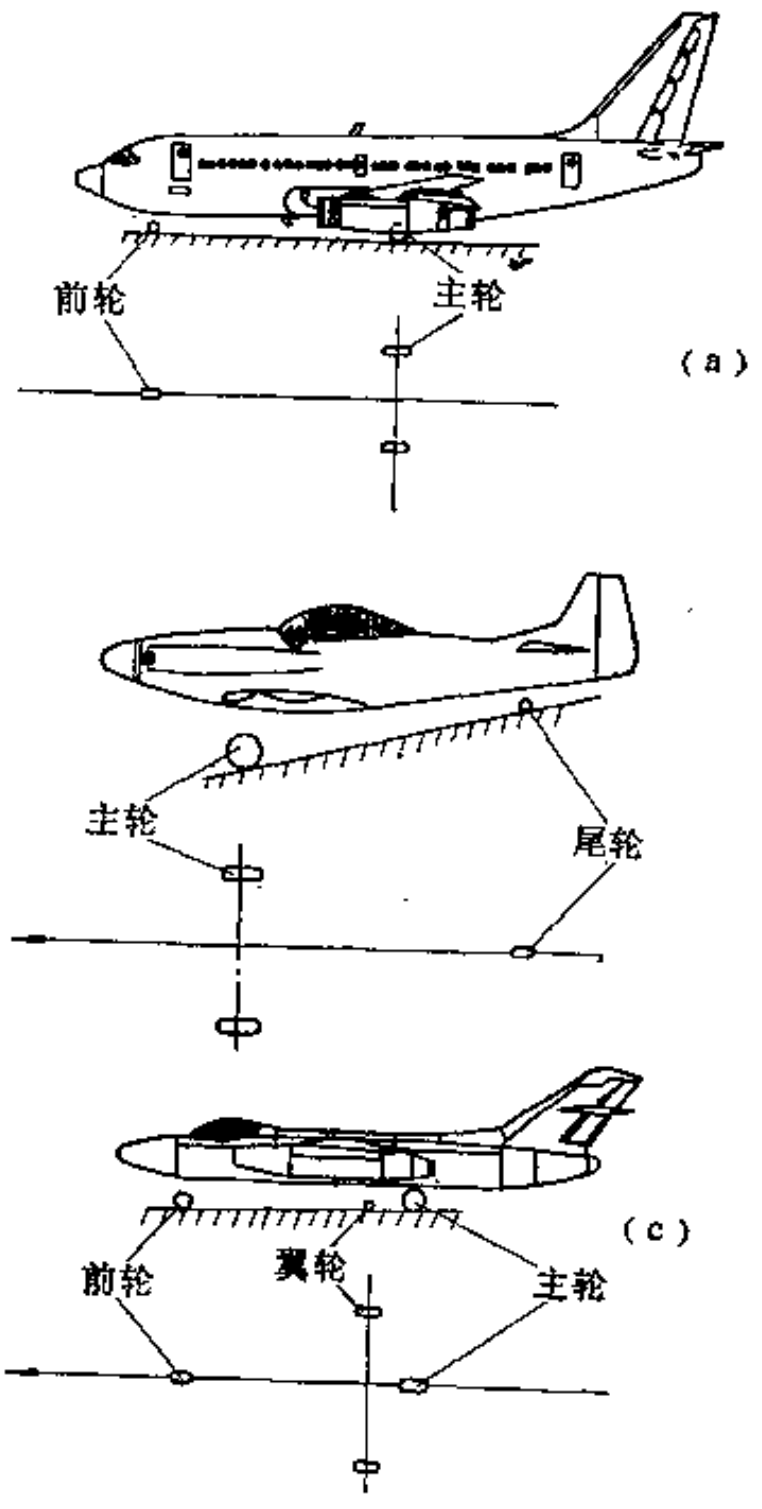



图 1-7-1　飞机起落架主要结构型式
(a) 前三点起落架；（b）后三点起落架；
（c）自行车式起落架

3．按轮胎的结构分类

按轮胎的结构可分为以下几种。

（1）有内胎轮胎。

（2）无内胎轮胎。

（3）织物补强胎面的轮胎　织物补强胎面的各种形式如图1-7-2所示。其中：（a）一或二层补强层位于上、下胎面之间；（b）二层补强层位于光胎面表面并延伸至两胎侧下部，胎面胶中夹有一层补强层；（c）二层补强层位于上、下胎面之间并延伸至两胎侧下部。

4．按轮胎充气内压分类

按轮胎充气内压的不同可分为以下几种[1]。

（1）超低压轮胎　轮胎充气内压≤340kPa(≤3.5kgf/cm²)。

（2）低压轮胎　轮胎充气内压为340～640kPa (3.5～6.5kgf/cm²)。

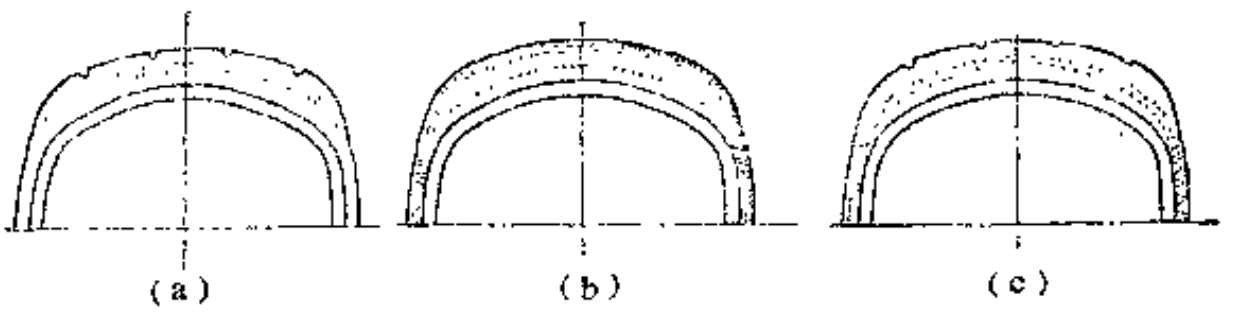



图 1-7-2 各种形式的织物补强胎面

（3）高压轮胎　轮胎充气内压为640～980kPa（6.5～10kgf/cm²）。

（4）超高压轮胎　轮胎充气内压>980kPa（>10kgf/cm²）。

5. 按轮胎在地面滑跑的速度分类

按轮胎在地面滑跑速度的不同可分为以下二种[2]。

（1）低速轮胎　轮胎在地面的滑跑速度≤193km/h。

（2）高速轮胎　轮胎在地面的滑跑速度>193km/h。

## 二、航空轮胎的型别和规格

1. 航空轮胎的型别

航空轮胎有7种型号[3,4]。

Ⅰ型：圆滑轮廓轮胎。　　Ⅱ型：高压轮胎。

Ⅲ型：低压轮胎。　　Ⅳ型：超低压轮胎。

Ⅵ型：低断面轮胎。　　Ⅶ型：超高压轮胎。

Ⅷ型：超高压低断面轮胎。

（其中：Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ型轮胎为保留生产轮胎）

2. 航空轮胎的规格表示

航空轮胎的规格有3种表示方法[3,5]。

（1）Ⅲ型轮胎：断面宽-轮辋直径

例：6.00-6

（2）Ⅶ型轮胎：外直径×断面宽　或外直径×断面宽-轮辋直径

例：39×13或39×13-16

（3）新设计轮胎：外直径×断面宽-轮辋直径；或在轮胎规格前加上C、B或H中的任一字母，其含意为：

| 轮胎规格前附加的字母 | C | B | H | 无字母 |
|---|---|---|---|---|
| 轮辋宽度/轮胎断面宽 | 0.5～0.6 | 0.6～0.7 | 0.6～0.7 | 0.7及以上 |
| 轮辋胎圈座斜度 | 15° | 15° | 5° | 5° |

例：H40×14.5-19

表示：①轮胎的外直径、断面宽和轮辋直径分别为1016mm（40in）、368mm(14.5in)和483mm（19in）；

②　轮辋宽度与轮胎断面宽的比为0.6～0.7；

③　轮辋的胎圈座斜度为5°。

各类航空轮胎的规格、负荷、充气内压和外缘尺寸如表1-7-1～表1-7-7所示[5]。

表 1-7-1 Ⅲ 型 航 空 轮 胎

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | 内胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 格规 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 规格 | 轮辋宽度 | 轮缘高度 | 胎圈座最小宽度 | 轮辋底最小深度 | 内胎气门嘴代号 |
| | | | 最大负荷 | 充气内压 | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | kN (kgf) | kPa (kgf/cm²) | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | | 宽度 $A$ mm | $H_1$ mm | $G$ mm | $J$ mm | (型号) |
| 5.00-4 | 6 | 0.92 | 5.30 (540) | 380 (3.88) | 121 | 128 | 109 | 323 | 337 | 295 | 132 | 5.00-4 | 88.9 | 19.05 | 20.32 | 1.85 | 67(A) |
| 5.00-4 | 12 | 0.92 | 9.79 (998) | 655 (6.68) | 121 | 128 | 109 | 323 | 337 | 295 | 132 | 5.00-4 | 88.9 | 19.05 | 20.32 | 1.85 | 67(A) |
| 5.00-5 | 4 | 0.93 | 3.53 (360) | 210 (2.14) | 118 | 126 | 107 | 347 | 361 | 319 | 145 | 5.00-5 | 88.9 | 19.05 | 20.32 | 1.98 | 67(A) |
| 5.00-5 | 6 | 0.93 | 5.69 (580) | 340 (3.47) | 118 | 126 | 107 | 347 | 361 | 319 | 145 | 5.00-5 | 88.9 | 19.05 | 20.32 | 1.98 | 67(A) |
| 5.00-5 (ETRTO) | 8 | 0.93 | 7.55 (770) | 460 (4.69) | 118 | 126 | 107 | 347 | 361 | 319 | 145 | 5.00-5 | 88.9 | 19.05 | 20.32 | 1.98 | 67(A) |
| 6.00-6 | 4 | 0.91 | 5.10 (520) | 200 (2.04) | 150 | 160 | 136 | 427 | 445 | 392 | 175 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 20.32 | 2.26 | 20 |
| 6.00-6 | 6 | 0.91 | 7.75 (790) | 290 (2.96) | 150 | 160 | 136 | 427 | 445 | 392 | 175 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 21.59 | 2.36 | 20 |
| 6.00-6 | 8 | 0.91 | 10.50 (1070) | 380 (3.88) | 150 | 160 | 136 | 427 | 445 | 392 | 175 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 22.86 | 2.49 | 20 |
| 7.00-6 | 4 | 0.91 | 5.59 (570) | 160 (1.63) | 168 | 178 | 151 | 457 | 476 | 418 | 185 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 20.32 | 2.26 | 20 |
| 7.00-6 | 6 | 0.91 | 8.44 (860) | 260 (2.65) | 168 | 178 | 151 | 457 | 476 | 418 | 185 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 21.59 | 2.36 | 20 |
| 7.00-6 | 8 | 0.91 | 11.38 (1160) | 370 (3.77) | 168 | 178 | 151 | 457 | 476 | 418 | 185 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 22.86 | 2.49 | 20 |
| 8.00-6 | 4 | 0.85 | 5.98 (610) | 160 (1.63) | 191 | 202 | 171 | 476 | 495 | 433 | 191 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 20.32 | 2.26 | 20 |
| 8.00-6 | 6 | 0.85 | 9.12 (930) | 240 (2.45) | 191 | 202 | 171 | 476 | 495 | 433 | 191 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 21.59 | 2.36 | 20 |
| 8.00-6 | 8 | 0.85 | 12.46 (1270) | 330 (3.37) | 191 | 202 | 171 | 476 | 495 | 433 | 191 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 22.86 | 2.49 | 20 |
| 8.50-6 | 6 | 0.91 | 10.10 (1030) | 210 (2.14) | 211 | 225 | 191 | 537 | 561 | 488 | 213 | 8.50-6 | 152.4 | 22.23 | 22.86 | 2.41 | 168(A) |

续表

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | 内胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 规格 | 轮辋宽度 | 轮缘高度 | 胎圈座最小宽度 | 轮辋底最小深度 | 内胎气门嘴代号 |
| | | | 最大负荷 | 充气内压 | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | kN (kgf) | kPa (kgf/cm²) | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | | $A$ mm | $H_L$ mm | $G$ mm | $I$ mm | (型号) |
| 8.90-12.50 | 6 | 0.84 | 19.13 (1950) | 345 (3.52) | 220 | 229 | 194 | 693 | 703 | 639 | 305 | 8.90-12.50 | 171.5 | 22.23 | 30.48 | 3.76 | 15 |
| 9.00-6 | 10 | 0.89 | 20.01 (2040) | 400 (4.08) | 221 | 235 | 199 | 544 | 569 | 494 | 216 | 9.00-6 | 171.5 | 22.23 | 36.83 | 3.63 | 69(A) |
| 6.50-8 | 4 | 0.85 | 6.67 (680) | 210 (2.14) | 165 | 175 | 149 | 486 | 504 | 450 | 203 | 6.50-8 | 133.4 | 20.62 | 20.32 | 2.34 | 15 |
| 6.50-8 | 6 | 0.85 | 10.20 (1040) | 350 (3.57) | 165 | 175 | 149 | 486 | 504 | 450 | 203 | 6.50-8 | 133.4 | 20.62 | 21.59 | 2.46 | 15 |
| 6.50-8 | 8 | 0.85 | 14.03 (1430) | 520 (5.30) | 165 | 175 | 149 | 486 | 504 | 450 | 203 | 6.50-8 | 133.4 | 20.62 | 24.13 | 2.67 | 15 |
| 7.00-8 | 4 | 0.88 | 7.16 (730) | 210 (2.14) | 174 | 185 | 157 | 511 | 530 | 471 | 213 | 7.00-8 | 139.7 | 20.62 | 20.32 | 2.34 | 15 |
| 7.00-8 | 6 | 0.88 | 10.69 (1090) | 320 (3.26) | 174 | 185 | 157 | 511 | 530 | 471 | 213 | 7.00-8 | 139.7 | 20.62 | 21.59 | 2.46 | 15 |
| 7.00-8 | 8 | 0.88 | 15.01 (1530) | 483 (4.93) | 174 | 185 | 157 | 511 | 530 | 471 | 213 | 7.00-8 | 139.7 | 20.62 | 24.13 | 2.67 | 15 |
| 7.00-8 (ETRTO) | 14 | 0.88 | 25.80 (2630) | 760 (7.75) | 174 | 185 | 157 | 511 | 530 | 471 | 213 | 7.00-8 | 139.7 | 20.62 | 21.59 | 2.46 | 15 |
| 6.50-10 | 4 | 0.91 | 7.75 (790) | 240 2.45) | 159 | 169 | 144 | 542 | 561 | 505 | 231 | 6.50-10 | 120.95 | 20.62 | 20.32 | 2.57 | 25 |
| 6.50-10 | 6 | 0.91 | 12.36 (1260) | 410 (4.18) | 159 | 169 | 144 | 542 | 561 | 505 | 231 | 6.50-10 | 120.65 | 20.62 | 21.59 | 2.67 | 25 |
| 6.50-10 | 8 | 0.91 | 16.67 (1700) | 550 (5.61) | 159 | 169 | 144 | 542 | 561 | 505 | 231 | 6.50-10 | 120.65 | 20.62 | 24.13 | 2.90 | 25 |
| 6.50-10 | 10 | 0.91 | 21.09 (2150) | 690 (7.04) | 159 | 169 | 144 | 542 | 561 | 505 | 231 | 6.50-10 | 120.65 | 20.62 | 27.94 | 3.23 | 25 |
| 6.50-10 | 12 | 0.91 | 25.58 (2608) | 827 (8.44) | 159 | 169 | 144 | 542 | 561 | 505 | 231 | 6.50-10 | 120.65 | 20.62 | 33.02 | 3.68 | 25 |
| 7.50-10 | 6 | 0.92 | 13.34 (1360) | 320 (3.26) | 183 | 194 | 165 | 592 | 613 | 549 | 246 | 7.50-10 | 139.70 | 20.62 | 22.86 | 2.79 | 11M |

续表

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | 内胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 mm | 规格 | 轮辋宽度 $A$ mm | 轮缘高度 $H_1$ mm | 胎圈座最小宽度 $G$ mm | 轮辋底最小深度 $I$ mm | 内胎气门嘴代号(型号) |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | | | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | | | | | | | |
| 7.50-10 (ETRTO) | 8 | 0.92 | 17.26 (1760) | 430 (4.39) | 183 | 194 | 165 | 592 | 613 | 549 | 246 | 7.50-10 | 139.70 | 20.62 | 22.86 | 2.79 | 14M |
| 8.50-10 | 6 | 0.90 | 14.42 (1470) | 283 (2.89) | 208 | 221 | 188 | 627 | 652 | 579 | 259 | 8.50-10 | 158.75 | 20.62 | 25.40 | 3.00 | 25 |
| 8.50-10 | 8 | 0.90 | 19.62 (2000) | 379 (3.87) | 208 | 221 | 188 | 627 | 652 | 579 | 259 | 8.50-10 | 158.75 | 20.62 | 29.21 | 3.33 | 25 |
| 8.50-10 | 10 | 0.90 | 24.52 (2500) | 483 (4.93) | 208 | 221 | 188 | 627 | 652 | 579 | 259 | 8.50-10 | 158.75 | 20.62 | 34.29 | 3.78 | 25 |
| 11.00-12 | 6 | 0.90 | 20.50 (2090) | 240 (2.45) | 267 | 284 | 241 | 787 | 818 | 725 | 323 | 11.00-12 | 209.55 | 25.40 | 25.40 | 3.20 | 13CW |
| 11.00-12 | 8 | 0.90 | 28.05 (2860) | 310 (3.16) | 267 | 284 | 241 | 787 | 818 | 725 | 323 | 11.00-12 | 209.55 | 25.40 | 27.94 | 3.40 | 13CW |
| 7.50-14 | 8 | 0.90 | 25.40 (2590) | 600 (6.12) | 183 | 194 | 165 | 686 | 705 | 643 | 295 | 7.50-14 | 139.7 | 20.62 | 27.94 | 3.73 | 176A(E) |
| 7.50-14 | 10 | 0.90 | 32.07 (3270) | 760 (7.75) | 183 | 194 | 165 | 686 | 705 | 643 | 295 | 7.50-14 | 139.7 | 20.62 | 31.75 | 4.06 | 176A(E) |
| 7.50-14 | 12 | 0.90 | 38.74 (3950) | 900 (9.18) | 183 | 194 | 165 | 686 | 705 | 643 | 295 | 7.50-14 | 139.7 | 20.62 | 41.91 | 4.95 | 176A(E) |
| 9.50-16 | 10 | 0.90 | 41.20 (4200) | 620 (6.32) | 231 | 246 | 210 | 826 | 847 | 768 | 353 | 9.50-16 | 177.8 | 25.40 | 38.10 | 4.80 | 176A(E) |
| 9.50-16 | 12 | 0.90 | 49.83 (5080) | 760 (7.75) | 231 | 246 | 210 | 826 | 847 | 768 | 353 | 9.50-16 | 177.8 | 25.40 | 44.45 | 5.36 | 176A(E) |
| 12.50-16 | 10 | 0.89 | 47.18 (4810) | 410 (4.18) | 305 | 324 | 276 | 953 | 977 | 874 | 396 | 12.50-16 | 254.0 | 31.75 | 45.72 | 5.33 | 101(C) |
| 12.50-16 | 12 | 0.89 | 56.89 (5800) | 520 (5.30) | 305 | 324 | 276 | 953 | 977 | 874 | 396 | 12.50-16 | 254.0 | 31.75 | 48.26 | 5.54 | 101(C) |
| 12.50-16 | 14 | 0.89 | 65.70 (6800) | 620 (6.32) | 305 | 324 | 276 | 953 | 977 | 874 | 396 | 12.50-16 | 254.0 | 31.75 | 50.80 | 5.79 | 101(C) |

续表

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | 内胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 规格 | 轮辋宽度 | 轮缘高度 | 胎圈座最小宽度 | 轮辋底最小深度 | 内胎气门嘴代号 |
| | | | 最大负荷 | 充气内压 | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | kN (kgf) | kPa (kgf/cm²) | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | | A mm | $H_L$ mm | G mm | I mm | (型号) |
| 12.50-16 | 16 | 0.89 | 78.51 (7800) | 720 (7.34) | 305 | 324 | 276 | 953 | 977 | 874 | 396 | 12.50-16 | 254.0 | 31.75 | 53.34 | 5.99 | 101(C) |
| 15.00-12 | 14 | 0.83 | 56.51 (5761) | 448 (4.57) | 354 | 373 | 317 | 898 | 922 | 811 | 358 | 15.00-12 | 279.4 | 25.40 | 63.50 | 6.53 | 176(A) |
| 15.00-16 | 10 | 0.87 | 54.24 (5530) | 370 (3.77) | 366 | 389 | 330 | 1052 | 1077 | 956 | 427 | 15.00-16 | 285.75 | 30.18 | 44.45 | 5.54 | 99(D) 94(A) |
| 15.00-16 | 14 | 0.87 | 76.11 (7760) | 480 (4.90) | 366 | 389 | 330 | 1052 | 1077 | 956 | 429 | 15.00-16 | 285.75 | 34.93 | 48.26 | 5.69 | 99(D) 94(A) |
| 17.00-16 | 10 | 0.84 | 60.13 (6130) | 330 (3.37) | 415 | 442 | 376 | 1110 | 1144 | 1011 | 450 | 17.00-16 | 336.55 | 34.93 | 45.72 | 5.46 | 91(G) |
| 17.00-16 | 12 | 0.84 | 71.21 (7260) | 410 (4.18) | 415 | 442 | 376 | 1110 | 1144 | 1011 | 450 | 17.00-16 | 336.55 | 34.93 | 50.80 | 5.92 | 91(G) |
| 16.50-20 | 12 | 0.80 | 80.04 (8160) | 520 (5.30) | 382 | 406 | 345 | 1125 | 1149 | 1034 | 472 | 17.00-20 | 336.55 | 41.28 | 53.34 | 6.50 | 92(C) |
| 16.50-20 | 14 | 0.80 | 92.59 (9440) | 620 (6.32) | 382 | 406 | 345 | 1125 | 1149 | 1034 | 472 | 17.00-20 | 336.55 | 41.28 | 55.88 | 6.73 | 92(C) |
| 16.50-20 | 16 | 0.80 | 106.82 (10890) | 720 (7.34) | 382 | 406 | 345 | 1125 | 1149 | 1034 | 472 | 17.00-20 | 336.55 | 41.28 | 60.96 | 7.19 | 92(C) |
| 16.50-20 | 20 | 0.80 | 133.00 (13560) | 930 (9.49) | 382 | 406 | 345 | 1125 | 1149 | 1034 | 472 | 17.00-20 | 336.55 | 41.28 | 72.39 | 8.18 | 92(C) |
| 17.00-20 | 16 | 0.84 | 113.39 (11560) | 660 (6.73) | 417 | 438 | 372 | 1212 | 1238 | 1107 | 500 | 17.00-20 | 336.55 | 41.28 | 63.5 | 7.39 | 92(C) |
| 17.00-20 | 20 | 0.84 | 140.17 (14290) | 830 (8.47) | 417 | 438 | 372 | 1212 | 1238 | 1107 | 500 | 17.00-20 | 336.55 | 41.28 | 67.31 | 7.72 | 92(C) |
| 17.00-20 | 22 | 0.84 | 153.51 (15650) | 900 (9.18) | 417 | 438 | 372 | 1212 | 1238 | 1107 | 503 | 17.00-20 | 336.55 | 44.45 | 71.13 | 8.08 | 92(C) |
| 17.00-20 (ETRTO) | 14 | 0.84 | 100.15 (10210) | 480 (4.90) | 417 | 438 | 372 | 1212 | 1238 | 1107 | 500 | 17.00-20 | 336.55 | 41.28 | 59.69 | 7.11 | 92(C) |

表 1-7-2 Ⅲ型航空轮胎(ETRTO)

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | 内胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 规格 | 轮辋宽度 | 轮缘高度 | 胎圈座最小宽度 | 轮辋底最小深度 | 内胎气门嘴代号 |
| | | | 最大负荷 | 充气内压 | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | kN (kgf) | kPa (kgf/cm²) | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | | A mm | $H_L$ mm | G mm | I mm | (型号) |
| 5.00-5 | 4 | 0.93 | 3.53 (360) | 220 (2.24) | 120 | 125 | 105 | 345 | 360 | 320 | 145 | 5.00-5 | 88.9 | 19.05 | 20.32 | 1.98 | 67(A) |
| 5.00-5 | 6 | 0.93 | 5.59 (570) | 340 (3.47) | 120 | 125 | 105 | 345 | 360 | 320 | 145 | 5.00-5 | 88.9 | 19.05 | 20.32 | 1.98 | 67(A) |
| 5.00-5 | 8 | 0.93 | 7.55 (770) | 460 (4.69) | 120 | 125 | 105 | 345 | 360 | 320 | 145 | 5.00-5 | 88.9 | 19.05 | 20.32 | — | ① |
| 6.00-6 | 4 | 0.91 | 5.10 (520) | 200 (2.04) | 150 | 160 | 135 | 425 | 445 | 390 | 175 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 20.32 | 2.26 | 20 |
| 6.00-6 | 6 | 0.91 | 7.75 (790) | 290 (2.96) | 150 | 160 | 135 | 425 | 445 | 390 | 175 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 21.59 | 2.36 | 20 |
| 6.00-6 | 8 | 0.91 | 10.50 (1070) | 380 (3.88) | 150 | 160 | 135 | 425 | 445 | 390 | 175 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 22.86 | 2.36 | 20 |
| 6.50-8 | 6 | 0.85 | 10.20 (1040) | 350 (3.57) | 165 | 175 | 150 | 485 | 505 | 450 | 205 | 6.50-8 | 133.35 | 20.62 | 21.59 | 2.46 | 15 |
| 6.50-8 | 8 | 0.85 | 14.03 (1430) | 520 (5.30) | 165 | 175 | 150 | 485 | 505 | 450 | 205 | 6.50-8 | 133.35 | 20.62 | 24.13 | 2.67 | 15 |
| 6.50-10 | 6 | 0.91 | 12.36 (1260) | 420 (4.28) | 160 | 170 | 145 | 540 | 560 | 505 | 230 | 6.50-10 | 120.65 | 20.62 | 21.59 | 2.67 | 25 |
| 6.50-10 | 8 | 0.91 | 16.67 (1700) | 560 (5.61) | 160 | 170 | 145 | 540 | 560 | 505 | 230 | 6.50-10 | 120.65 | 20.62 | 24.13 | 2.90 | 25 |
| 6.50-10 | 10 | 0.91 | 21.14 (2155) | 690 (7.04) | 160 | 170 | 145 | 540 | 560 | 505 | 230 | 6.50-10 | 120.65 | 20.62 | 27.94 | 3.23 | 25 |
| 6.50-10 | 12 | 0.91 | 25.55 (2605) | 830 (8.47) | 160 | 170 | 145 | 540 | 560 | 505 | 230 | 6.50-10 | 120.65 | 20.62 | 33.02 | 3.68 | 25 |
| 7.00-6 | 4 | 0.91 | 6.59 (570) | 160 (1.63) | 170 | 180 | 150 | 455 | 475 | 420 | 185 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 20.32 | 2.26 | 20 |
| 7.00-6 | 6 | 0.91 | 8.44 (860) | 260 (2.65) | 170 | 180 | 150 | 455 | 475 | 420 | 185 | 6.00-6 | 127.0 | 19.05 | 21.59 | 2.36 | 20 |
| 7.25-6 | 8 | 0.91 | 11.08 (1130) | 420 (4.28) | 165 | 175 | 150 | 420 | 435 | 385 | 175 | 6.00-6 | 146.05 | 20.32 | 26.67 | 2.49 | 20 |

续表

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | | 内胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 规格 | 轮辋宽度 | 轮缘高度 | 胎圈座最小宽度 | 轮辋底最小深度 | 内胎气门嘴代号 | |
| | | | 最大负荷 | 充气内压 | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | | |
| | | | kN (kgf) | kPa (kgf/cm²) | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | | $A$ mm | $H_L$ mm | $G$ mm | $I$ mm | (型号) | |
| 7.50-10 | 6 | 0.92 | 13.34 (1360) | 320 (3.26) | 183 | 194 | 165 | 592 | 613 | 549 | 245 | 7.50-10 | 139.7 | 20.62 | 22.86 | 2.79 | 14 | |
| 7.50-10 | 8 | 0.92 | 17.26 (1760) | 440 (4.49) | 183 | 194 | 165 | 592 | 613 | 549 | 245 | 7.50-10 | 139.7 | 20.62 | 22.86 | | ① | |
| 7.50-14 | 8 | 0.90 | 25.40 (2590) | 600 (6.12) | 185 | 195 | 165 | 685 | 705 | 645 | 295 | 7.50-14 | 139.7 | 20.62 | 27.94 | 3.73 | 176A(E) | |
| 7.50-14 | 12 | 0.90 | 38.74 (3950) | 900 (9.18) | 185 | 195 | 165 | 685 | 705 | 645 | 295 | 7.50-14 | 139.7 | 20.62 | 41.91 | 4.06 | 176A(E) | |
| 8.00-7 | 6 | 0.79 | 14.91 (1520) | 420 (4.28) | 200 | 210 | 175 | 490 | 510 | 440 | 205 | 8.00-7 | 165.1 | 21.59 | 34.93 | | ① | |
| 8.50-6 | 6 | 0.90 | 10.10 (1030) | 210 (2.14) | 210 | 225 | 190 | 635 | 560 | 490 | 215 | 8.50-6 | 152.4 | 22.23 | 22.86 | 2.41 | 20 | |
| 8.50-10 | 6 | 0.90 | 14.42 (1470) | 290 (2.96) | 210 | 220 | 190 | 625 | 650 | 580 | 260 | 8.50-10 | 158.75 | 20.62 | 25.40 | 3.00 | 25 | |
| 8.50-10 | 8 | 0.90 | 19.62 (2000) | 380 (3.88) | 210 | 220 | 190 | 625 | 650 | 580 | 260 | 8.50-10 | 158.75 | 20.62 | 29.21 | 3.33 | 25 | |
| 8.50-10 | 10 | 0.90 | 24.42 (2490) | 490 (5.00) | 210 | 220 | 190 | 625 | 650 | 580 | 260 | 8.50-10 | 158.75 | 20.62 | 34.29 | 3.78 | 25 | |
| 9.00-10 | 10 | 0.84 | 25.89 (2640) | 440 (4.49) | 225 | 240 | 205 | 620 | 640 | 565 | 260 | 9.00-10 | 196.85 | 22.23 | 41.91 | | ① | |
| 9.25-12 | 8 | 0.86 | 24.91 (2540) | 410 (4.18) | 229 | 241 | 206 | 696 | 716 | 643 | 290 | 9.25-12 | 177.8 | 22.35 | 28.45 | | ① | |
| 9.50-16 | 10 | 0.90 | 41.20 (4200) | 620 (6.32) | 230 | 245 | 210 | 825 | 845 | 770 | 355 | 9.50-16 | 177.8 | 25.4 | 38.1 | 4.8 | 176A(E) | |
| 9.50-16 | 12 | 0.90 | 49.83 (5080) | 760 (7.75) | 230 | 245 | 210 | 825 | 845 | 770 | 355 | 9.50-16 | 177.8 | 25.4 | 38.1 | 5.36 | 176A(E) | |
| 10.50-16 | 10 | 0.90 | 42.67 (4350) | 520 (5.30) | 254 | 267 | 227 | 859 | 884 | 798 | 363 | 10.50-16 | 209.55 | 28.7 | 40.64 | | ① | |
| 10.50-16 | 12 | 0.90 | 51.69 (5260) | 620 (6.32) | 254 | 267 | 227 | 859 | 884 | 798 | 363 | 10.50-16 | 209.55 | 28.7 | 40.64 | | ① | |

续表

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | 内胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 规格 | 轮辋宽度 | 轮缘高度 | 胎圈座最小宽度 | 轮辋底最小深度 | 内胎气门嘴代号 |
| | | | 最大负荷 | 充气内压 | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | kN (kgf) | kPa (kgf/cm²) | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | | A mm | $H_t$ mm | G mm | J mm | (型号) |
| 11.00-12 | 6 | 0.90 | 20.50 (2090) | 240 (2.45) | 265 | 285 | 240 | 785 | 820 | 725 | 323 | 11.00-12 | 209.55 | 25.4 | 25.4 | 3.2 | 13 |
| 11.00-12 | 8 | 0.90 | 28.05 (2860) | 310 (3.16) | 265 | 285 | 240 | 785 | 820 | 725 | 323 | 11.00-12 | 209.55 | 25.4 | 25.4 | 3.4 | 13 |
| 11.00-12 | 10 | 0.90 | 36.59 (3730) | 420 (4.28) | 265 | 285 | 240 | 785 | 820 | 725 | 323 | 11.00-12 | 209.55 | 25.4 | 25.4 | — | ① |
| 12.50-16 | 10 | 0.89 | 47.18 (4810) | 420 (4.28) | 305 | 325 | 275 | 955 | 975 | 875 | 395 | 12.50-16 | 254.0 | 31.75 | 45.72 | 5.33 | 101(C) |
| 12.50-16 | 12 | 0.89 | 56.89 (5800) | 520 (5.30) | 305 | 325 | 275 | 955 | 975 | 875 | 395 | 12.50-16 | 254.0 | 31.75 | 48.26 | 5.50 | 101(C) |
| 12.50-16 | 14 | 0.89 | 66.70 (6800) | 620 (6.32) | 305 | 325 | 275 | 955 | 975 | 875 | 395 | 12.50-16 | 254.00 | 31.75 | 60.96 | 5.80 | 101(C) |
| 15.00-16 | 10 | 0.87 | 54.24 (5530) | 370 (3.77) | 365 | 390 | 330 | 1050 | 1075 | 955 | 430 | 15.00-16 | 285.75 | 30.18 | 44.45 | 5.54 | ① |
| 15.00-16 | 14 | 0.87 | 76.11 (7760) | 490 (5.00) | 365 | 390 | 330 | 1050 | 1075 | 955 | 430 | 15.00-16 | 285.75 | 30.18 | 44.45 | 5.69 | ① |
| 15.00-16 | 16 | 0.87 | 87.69 (8940) | 560 (5.71) | 365 | 390 | 330 | 1050 | 1075 | 955 | 430 | 15.00-16 | 285.75 | 30.18 | 44.45 | — | ① |
| 15.50-20 | 14 | 0.80 | 92.59 (9440) | 620 (6.32) | 380 | 405 | 345 | 1175 | 1150 | 1035 | 470 | 17.00-20 | 336.55 | 41.28 | 55.88 | 6.73 | 92(C) |
| 15.50-20 | 16 | 0.80 | 106.82 (10890) | 730 (7.45) | 380 | 405 | 345 | 1175 | 1150 | 1035 | 470 | 17.00-20 | 336.55 | 41.28 | 60.96 | 7.19 | 92(C) |
| 15.50-20 | 20 | 0.80 | 133.01 (13560) | 930 (9.49) | 380 | 405 | 345 | 1175 | 1150 | 1035 | 470 | 17.00-20 | 336.55 | 41.28 | 72.39 | 8.18 | 92(C) |
| 20.00-20 | 22 | 0.90 | 171.26 (17460) | 660 (6.73) | 488 | 511 | 434 | 1379 | 1422 | 1257 | 559 | 20.00-20 | 393.7 | 50.80 | 88.90 | 9.40 | ① |
| 20.00-20 | 26 | 0.90 | 206.86 (21090) | 860 (8.77) | 488 | 511 | 434 | 1379 | 1422 | 1257 | 559 | 20.00-20 | 393.7 | 50.80 | 88.90 | 9.40 | ① |

① 无参考气门嘴数据。

表 1-7-3 Ⅶ型航空轮胎

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 轮辋 | | | | | 内胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | 轮辋宽度 | 着合直径 | 轮缘高度 | 胎圈座最小宽度 | 轮辋底最小深度 | 内胎气门嘴代号 |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | A mm | mm | $H_L$ mm | G mm | I mm | (型号) |
| 16×4.4 | 4 | 0.90 | 4.90 (500) | 380 (3.88) | 105 | 113 | 99 | 394 | 406 | 370 | 175 | 88.90 | 203.20 | 20.62 | 20.32 | 2.24 | ① |
| 16×4.4 | 6 | 0.90 | 7.06 (720) | 586 (5.98) | 105 | 113 | 99 | 394 | 406 | 370 | 175 | 88.90 | 203.20 | 20.62 | 22.86 | 2.54 | ① |
| 18×4.4 | 8 | 0.89 | 9.37 (955) | 690 (7.04) | 105 | 113 | 99 | 442 | 455 | 419 | 201 | 88.90 | 254.00 | 20.62 | 26.67 | 3.05 | ① |
| 18×4.4 | 8 | 0.89 | 12.68 (1293) | 1034 (10.55) | 105 | 113 | 99 | 442 | 455 | 419 | 201 | 88.90 | 254.00 | 20.62 | 27.94 | 3.23 | ① |
| 18×4.4 | 10 | 0.89 | 15.89 (1620) | 1280 (13.06) | 105 | 113 | 99 | 442 | 455 | 419 | 201 | 88.90 | 254.00 | 20.62 | 31.75 | 3.51 | ① |
| 18×4.4 | 12 | 0.89 | 19.32 (1970) | 1550 (15.81) | 105 | 113 | 99 | 442 | 455 | 419 | 201 | 88.90 | 254.00 | 20.62 | 31.75 | 3.51 | ① |
| 18×5.5 | 8 | 0.87 | 13.54 (1380) | 720 (7.34) | 136 | 146 | 127 | 439 | 455 | 411 | 191 | 107.95 | 203.20 | 22.23 | 31.75 | 3.30 | ① |
| 18×5.5 | 10 | 0.87 | 17.75 (1810) | 970 (9.89) | 136 | 146 | 127 | 439 | 455 | 411 | 191 | 107.95 | 203.20 | 22.23 | 35.56 | 3.63 | ① |
| 26×6.6 | 8 | 0.88 | 23.54 (2400) | 830 (8.47) | 159 | 169 | 149 | 636 | 654 | 598 | 284 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 33.02 | 3.89 | ① |
| 26×6.6 | 10 | 0.88 | 30.70 (3130) | 1070 (10.91) | 159 | 169 | 149 | 636 | 654 | 598 | 284 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 35.56 | 4.22 | ① |
| 26×6.6 | 12 | 0.88 | 38.25 (3900) | 1280 (13.06) | 159 | 169 | 149 | 636 | 654 | 598 | 284 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 38.10 | 4.55 | 176A(G) |
| 26×6.6 | 14 | 0.88 | 44.53 (4540) | 1550 (15.81) | 159 | 169 | 149 | 636 | 654 | 598 | 284 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 43.18 | 5.00 | 176A(G) |
| 24×7.7 | 10 | 0.92 | 24.13 (2460) | 620 (6.32) | 183 | 194 | 172 | 593 | 614 | 546 | 254 | 139.70 | 254.00 | 23.01 | 31.75 | 3.56 | 14M |
| 24×7.7 | 12 | 0.92 | 30.31 (3090) | 760 (7.75) | 183 | 194 | 172 | 593 | 614 | 546 | 254 | 139.70 | 254.00 | 23.01 | 38.10 | 4.04 | ① |
| 24×7.7 | 14 | 0.92 | 36.59 (3730) | 930 (9.49) | 183 | 194 | 172 | 593 | 614 | 546 | 254 | 139.70 | 254.00 | 23.01 | 40.64 | 4.11 | 14M |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 轮胎 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 A mm | 轮辋 着合直径 mm | 轮辋 轮缘高度 $H_L$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋 轮辋底最小深度 J mm | 内胎 内胎气门嘴代号 (型号) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24×7.7 | 16 | 0.92 | 43.35 (4420) | 1140 (11.63) | 183 | 194 | 172 | 593 | 614 | 546 | 254 | 139.70 | 254.00 | 23.01 | 43.18 | 4.57 | 14M |
| 24×7.7 | 18 | 0.92 | 49.88 (5085) | 1310 (13.36) | 183 | 194 | 172 | 593 | 614 | 646 | 254 | 139.70 | 254.00 | 23.01 | 45.72 | 4.78 | ① |
| 28×7.7 | 8 | 0.85 | 25.60 (2610) | 690 (7.04) | 188 | 199 | 177 | 676 | 696 | 633 | 298 | 152.40 | 355.60 | 25.40 | 31.75 | 4.01 | ① |
| 28×7.7 | 10 | 0.85 | 32.96 (3360) | 860 (8.77) | 188 | 199 | 177 | 676 | 695 | 633 | 298 | 152.40 | 355.60 | 25.40 | 31.75 | 4.01 | ① |
| 29×7.7 | 12 | 0.85 | 43.65 (4450) | 1100 (11.22) | 188 | 199 | 177 | 701 | 721 | 658 | 310 | 152.40 | 381.00 | 25.40 | 41.91 | 5.03 | ① |
| 29×7.7 | 16 | 0.85 | 61.40 (6260) | 1580 (16.12) | 188 | 199 | 177 | 701 | 721 | 658 | 310 | 152.40 | 381.00 | 25.40 | 50.80 | 5.79 | ① |
| 30×7.7 | 12 | 0.85 | 46.30 (4720) | 1140 (11.63) | 188 | 199 | 177 | 726 | 747 | 684 | 322 | 152.40 | 406.40 | 25.40 | 41.91 | 5.16 | 176A(D) |
| 30×8.8 | 18 | 0.87 | 73.56 (7500) | 1520 (15.50) | 212 | 226 | 201 | 749 | 772 | 696 | 328 | 177.80 | 381.00 | 28.58 | 53.34 | 5.94 | 102(E) |
| 32×8.8 | 8 | 0.84 | 30.31 (3090) | 660 (6.73) | 212 | 226 | 201 | 763 | 787 | 712 | 338 | 177.80 | 406.4 | 28.58 | 35.56 | 4.60 | 176A(D) |
| 32×8.8 | 10 | 0.84 | 38.65 (3940) | 790 (8.06) | 212 | 226 | 201 | 763 | 787 | 712 | 338 | 177.80 | 406.4 | 28.58 | 41.91 | 5.20 | ① |
| 32×8.8 | 12 | 0.84 | 48.95 (4990) | 970 (9.89) | 212 | 226 | 201 | 763 | 787 | 712 | 338 | 177.80 | 406.4 | 28.58 | 41.91 | 5.20 | 176A(D) |
| 32×8.8 | 14 | 0.84 | 57.87 (5900) | 1170 (11.93) | 212 | 226 | 201 | 763 | 787 | 712 | 338 | 177.80 | 406.4 | 28.58 | 44.45 | 5.40 | 176A(D) |
| 32×8.8 | 18 | 0.84 | 77.00 (7850) | 1550 (15.81) | 212 | 226 | 201 | 763 | 787 | 712 | 338 | 177.80 | 406.4 | 28.58 | 50.80 | 5.90 | 176A(D) |
| 34×9.9 | 10 | 0.86 | 40.90 (4170) | 660 (6.73) | 242 | 259 | 224 | 825 | 848 | 765 | 361 | 203.20 | 406.40 | 31.75 | 44.45 | 5.40 | 176A(D) |
| 34×9.9 | 12 | 0.86 | 49.83 (5080) | 790 (8.06) | 242 | 259 | 224 | 825 | 848 | 765 | 361 | 203.20 | 406.40 | 31.75 | 45.72 | 5.50 | 176A(D) |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 A mm | 轮辋 着合直径 mm | 轮辋 轮缘高度 $H_L$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋 轮辋底最小深度 I mm | 内胎 内胎气门嘴代号 (型号) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 34×9.9 (ETRTO) | 14 | 0.86 | 62.28 (6350) | 1030 (10.51) | 242 | 259 | 224 | 825 | 848 | 765 | 361 | 203.20 | 406.40 | 31.75 | 48.26 | 5.70 | 176A(D) |
| 34×11 | 18 | 0.87 | 71.60 (7300) | 1000 (10.2) | 269 | 287 | 253 | 828 | 848 | 760 | 354 | 228.60 | 355.60 | 38.10 | 62.23 | 6.50 | ① |
| 34×11 | 20 | 0.87 | 81.42 (8300) | 1140 (11.63) | 269 | 287 | 253 | 828 | 848 | 760 | 354 | 228.60 | 355.60 | 38.10 | 66.04 | 6.80 | ① |
| 34×11 | 22 | 0.87 | 91.22 (9300) | 1270 (12.95) | 269 | 287 | 253 | 828 | 848 | 760 | 354 | 228.60 | 355.60 | 38.10 | 68.58 | 7.00 | ① |
| 36×11 | 14 | 0.83 | 62.28 (6350) | 830 (8.47) | 275 | 292 | 257 | 864 | 892 | 804 | 374 | 228.60 | 406.40 | 34.93 | 50.80 | 5.80 | 93(D) |
| 36×11 | 20 | 0.83 | 93.48 (9530) | 1270 (12.95) | 275 | 292 | 257 | 864 | 892 | 804 | 374 | 228.60 | 406.40 | 34.93 | 66.04 | 7.10 | ① |
| 36×11 | 22 | 0.83 | 103.76 (10578) | 1379 (14.07) | 275 | 292 | 257 | 864 | 892 | 804 | 374 | 228.60 | 406.40 | 34.93 | 71.12 | 7.60 | ① |
| 38×11 | 14 | 0.83 | 68.56 (6990) | 900 (9.18) | 275 | 292 | 257 | 914 | 943 | 855 | 399 | 228.60 | 457.20 | 34.93 | 50.80 | 6.00 | 92(C) |
| 39×13 | 14 | 0.86 | 66.80 (6810) | 690 (7.04) | 311 | 330 | 291 | 947 | 972 | 870 | 401 | 254.00 | 406.40 | 31.75 | 55.88 | 6.20 | ① |
| 39×13 | 16 | 0.86 | 76.51 (7800) | 790 (8.06) | 311 | 330 | 291 | 947 | 972 | 870 | 401 | 254.00 | 406.40 | 34.93 | 58.42 | 6.50 | ① |
| 39×13 | 18 | 0.86 | 86.32 (8800) | 900 (9.18) | 311 | 330 | 291 | 947 | 972 | 870 | 401 | 254.00 | 406.40 | 34.93 | 63.50 | 6.90 | ① |
| 39×13 | 20 | 0.86 | 99.26 (10120) | 1030 (10.51) | 311 | 330 | 291 | 947 | 972 | 870 | 401 | 254.00 | 406.40 | 34.93 | 69.90 | 7.40 | ① |
| 39×13 | 22 | 0.86 | 109.56 (11170) | 1140 (11.63) | 311 | 330 | 291 | 947 | 972 | 870 | 401 | 254.00 | 406.40 | 34.93 | 71.10 | 7.60 | ① |
| 39×13 | 26 | 0.86 | 134.71 (13734) | 1413 (14.41) | 311 | 330 | 291 | 947 | 972 | 870 | 401 | 254.00 | 406.40 | 34.93 | 78.74 | 8.20 | ① |
| 40×12 | 16 | 0.88 | 82.29 (8390) | 900 (9.18) | 298 | 314 | 277 | 973 | 1000 | 902 | 422 | 254.00 | 457.20 | 38.10 | 60.96 | 6.90 | 91(C) |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 轮胎 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 $A$ mm | 轮辋 着合直径 mm | 轮辋 轮缘高度 $H_L$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 $G$ mm | 轮辋 轮辋底最小深度 $I$ mm | 内胎 内胎气门嘴代号 (型号) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40×12 | 18 | 0.88 | 93.46 (9530) | 1030 (10.51) | 298 | 314 | 277 | 975 | 1000 | 902 | 422 | 254.00 | 457.20 | 38.10 | 63.50 | 7.10 | 91(C) |
| 40×12 | 20 | 0.88 | 106.33 (10840) | 1170 (11.93) | 298 | 314 | 277 | 975 | 1000 | 902 | 422 | 254.00 | 457.20 | 38.10 | 66.04 | 7.30 | ① |
| 40×12 | 22 | 0.88 | 118.88 (12120) | 1310 (13.36) | 298 | 314 | 277 | 975 | 1000 | 902 | 422 | 254.00 | 457.20 | 38.10 | 69.85 | 7.60 | ① |
| 40×14 (ETRTO) | 14 | 0.86 | 66.31 (6760) | 620 (6.32) | 337 | 356 | 305 | 987 | 1011 | 892 | 419 | 279.40 | 406.40 | 41.40 | 58.40 | 6.40 | ① |
| 40×14 | 16 | 0.86 | 77.00 (7850) | 720 (7.34) | 337 | 356 | 305 | 987 | 1011 | 892 | 419 | 279.40 | 406.40 | 41.30 | 61.00 | 6.50 | ① |
| 40×14 | 18 | 0.86 | 88.08 (8980) | 830 (8.47) | 337 | 356 | 305 | 987 | 1011 | 892 | 419 | 279.40 | 406.40 | 41.30 | 63.50 | 6.80 | ① |
| 40×14 | 20 | 0.86 | 99.26 (10120) | 930 (9.49) | 337 | 356 | 305 | 987 | 1011 | 892 | 419 | 279.40 | 406.40 | 41.30 | 67.30 | 7.10 | ① |
| 40×14 | 22 | 0.86 | 111.23 (11340) | 1070 (10.91) | 337 | 356 | 305 | 987 | 1011 | 892 | 419 | 279.40 | 406.40 | 41.30 | 71.10 | 7.40 | ① |
| 40×14 | 24 | 0.86 | 123.29 (12570) | 1170 (11.93) | 337 | 356 | 305 | 987 | 1011 | 892 | 419 | 279.40 | 406.40 | 41.30 | 74.90 | 7.80 | ③ |
| 40×14 | 26 | 0.86 | 135.75 (13840) | 1280 (13.06) | 337 | 356 | 305 | 987 | 1011 | 892 | 419 | 279.40 | 406.40 | 41.30 | 78.70 | 8.10 | ① |
| 40×14 | 28 | 0.86 | 147.27 (15014) | 1379 (14.07) | 337 | 356 | 305 | 987 | 1011 | 892 | 419 | 279.40 | 406.40 | 41.30 | 81.30 | 8.30 | ① |
| 42×16 | 20 | 0.91 | 104.65 (10669) | 827 (8.44) | 366 | 389 | 342 | 1052 | 1077 | 956 | 439 | 292.10 | 406.40 | 38.10 | 69.90 | 7.40 | ① |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 | | | | | | | | | 静半径 mm | 轮辋 | | | | | 内胎 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | | | 轮辋宽度 A mm | 着合直径 mm | 轮缘高度 $H_L$ mm | 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋底最小深度 J mm | 内胎气门嘴代号 (型号) | |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | | | |
| | | | | | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | | | | | | | | | |
| 42×15 | 22 | 0.91 | 117.12 (11940) | 930 (9.49) | 366 | 389 | 342 | 1052 | 1077 | 956 | 439 | 292.10 | 406.40 | 38.10 | 73.70 | 7.70 | ① | | |
| 42×15 | 24 | 0.91 | 129.50 (13200) | 1030 (10.51) | 366 | 389 | 342 | 1052 | 1077 | 956 | 439 | 292.10 | 406.40 | 38.10 | 77.50 | 7.90 | ① | | |
| 42×16 | 32 | 0.80 | 207.75 (21180) | 1690 (17.24) | 382 | 406 | 358 | 1125 | 1149 | 1034 | 480 | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 90.20 | 9.50 | ① | | |
| 44×13 | 16 | 0.87 | 91.61 (9340) | 780 (7.75) | 325 | 343 | 300 | 1074 | 1106 | 1002 | 467 | 279.40 | 508.00 | 47.60 | 63.50 | 7.20 | 193 | | |
| 44×13 | 26 | 0.87 | 159.29 (16240) | 1450 (14.79) | 325 | 343 | 300 | 1074 | 1106 | 1002 | 467 | 279.40 | 508.00 | 47.60 | 76.20 | 8.30 | 193 | | |
| 44×16 | 24 | 0.80 | 143.30 (14610) | 1170 (11.93) | 382 | 406 | 348 | 1074 | 1099 | 970 | 455 | 336.60 | 457.20 | 41.30 | 73.70 | 8.00 | ① | | |
| 44×16 | 26 | 0.80 | 157.92 (16100) | 1280 (13.06) | 382 | 406 | 348 | 1074 | 1099 | 970 | 455 | 336.60 | 457.20 | 41.30 | 78.70 | 8.50 | ① | | |
| 44×16 | 28 | 0.80 | 170.87 (17420) | 1380 (14.08) | 382 | 406 | 348 | 1074 | 1099 | 970 | 455 | 336.60 | 457.20 | 41.30 | 82.60 | 8.80 | ① | | |
| 44×16 | 30 | 0.80 | 185.58 (18920) | 1450 (14.79) | 382 | 406 | 348 | 1074 | 1099 | 970 | 455 | 336.60 | 457.20 | 41.30 | 86.40 | 9.10 | ① | | |
| 44×16 | 32 | 0.80 | 200.19 (20410) | 1550 (15.81) | 382 | 406 | 348 | 1074 | 1099 | 970 | 455 | 336.60 | 457.20 | 41.30 | 90.20 | 9.50 | ① | | |
| 46×16 | 20 | 0.80 | 133.01 (13560) | 1000 (10.20) | 382 | 406 | 358 | 1125 | 1149 | 1034 | 480 | 336.60 | 508.00 | 41.30 | 72.40 | 8.20 | ① | | |
| 46×16 | 24 | 0.80 | 158.90 (16200) | 1170 (11.93) | 382 | 406 | 358 | 1125 | 1149 | 1034 | 480 | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 76.20 | 8.30 | ① | | |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 | | | | | | | | | 静半径 mm | 轮辋 | | | | | 内胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | | | 轮辋宽度 A mm | 着合直径 mm | 轮缘高度 $H_L$ mm | 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋底最小深度 I mm | 内胎气门嘴代号 (型号) |
| | | | | | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | | |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | | | | | | | | |
| 46×16 | 26 | 0.80 | 170.38 (17370) | 1280 (13.06) | 382 | 406 | 358 | 1125 | 1149 | 1034 | 480 | | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 78.70 | 8.60 | ① |
| 46×16 | 28 | 0.80 | 185.97 (18960) | 1450 (14.79) | 382 | 406 | 358 | 1125 | 1149 | 1034 | 480 | | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 82.60 | 8.90 | ① |
| 46×16 | 30 | 0.80 | 199.31 (20320) | 1550 (15.81) | 382 | 406 | 358 | 1125 | 1149 | 1034 | 480 | | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 86.40 | 9.10 | ① |
| 49×17 | 24 | 0.84 | 160.67 (16380) | 1030 (10.51) | 417 | 438 | 368 | 1212 | 1238 | 1092 | 513 | | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 80.00 | 8.70 | 193T92(C) |
| 49×17 | 26 | 0.84 | 176.16 (17960) | 1140 (11.63) | 417 | 438 | 368 | 1212 | 1238 | 1092 | 513 | | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 82.60 | 8.90 | 193T92(C) |
| 49×17 | 28 | 0.84 | 192.25 (19600) | 1240 (12.65) | 417 | 438 | 368 | 1212 | 1238 | 1092 | 513 | | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 85.10 | 9.10 | 193T92(C) |
| 49×17 | 30 | 0.84 | 208.24 (21230) | 1345 (13.72) | 417 | 438 | 368 | 1212 | 1238 | 1092 | 513 | | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 88.90 | 9.30 | 193T92(C) |
| 49×17 | 32 | 0.84 | 224.44 (22882) | 1448 (14.77) | 417 | 438 | 368 | 1212 | 1238 | 1092 | 513 | | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 92.70 | 9.70 | 193T92(C) |
| 49×17 | 34 | 0.84 | 240.31 (24500) | 1517 (15.47) | 417 | 438 | 368 | 1212 | 1238 | 1092 | 513 | | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 96.50 | 10.00 | 193T92(C) |
| 56×16 | 24 | 0.88 | 200.19 (20410) | 1230 (12.55) | 391 | 412 | 363 | 1396 | 1433 | 1306 | 612 | | 323.90 | 711.20 | 57.20 | 83.80 | 9.80 | 193 |

① 无参考气门嘴数据。

## 表 1-7-4 Ⅶ型航空轮胎(ETRTO)

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 轮辋 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 宽度 | | | 直径 | | | | 轮辋宽度 | 着合直径 | 轮缘高度 | 胎圈座最小宽度 | 轮辋底最小深度 |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | A mm | mm | $H_L$ mm | G mm | I mm |
| 14.5×5.5-6 | 14 | 0.78 | 15.11 (1540) | 1080 (11.02) | 131 | 140 | 123 | 356 | 368 | 330 | 155 | 108.00 | 152.40 | 22.10 | 41.90 | 3.80 |
| 16×4.4(-8) | 8 | 0.90 | 10.30 (1050) | 830 (8.47) | 105 | 115 | 100 | 395 | 405 | 370 | 175 | 88.90 | 203.20 | 20.60 | 28.60 | — |
| 17.5×5.75-8 | 12 | 0.83 | 22.27 (2270) | 1240 (12.65) | 135 | 145 | 130 | 430 | 445 | 400 | 190 | 108.00 | 203.20 | 22.20 | 35.60 | 3.60 |
| 17.5×6.25-6 | 8 | 0.92 | 11.57 (1180) | 490 (5.00) | 150 | 160 | 140 | 430 | 445 | 395 | 180 | 127.00 | 152.40 | 19.10 | 22.90 | 2.50 |
| 18×4.25-10 | 6 | 0.87 | 10.25 (1045) | 690 (7.04) | 113 | 119 | 105 | 451 | 464 | 425 | 203 | 92.10 | 254.00 | 15.20 | 28.70 | 5.10 |
| 18×4.4(-10) | 12 | 0.89 | 19.32 (1970) | 1550 (15.81) | 105 | 115 | 100 | 445 | 455 | 420 | 200 | 88.90 | 254.00 | 20.60 | 31.80 | — |
| 18×5.5(-8) | 6 | 0.87 | 10.00 (1020) | 520 (5.30) | 135 | 145 | 125 | 440 | 455 | 410 | 190 | 108.00 | 203.20 | 22.20 | 31.80 | — |
| 18×5.5(-8) | 8 | 0.87 | 13.54 (1380) | 730 (7.45) | 135 | 145 | 125 | 440 | 455 | 410 | 190 | 108.00 | 203.20 | 22.20 | 31.80 | 3.3 |
| 18×5.5(-8) | 10 | 0.87 | 17.75 (1810) | 970 (9.89) | 135 | 145 | 125 | 440 | 455 | 410 | 190 | 108.00 | 203.20 | 22.20 | 35.60 | 3.6 |
| 18×5.5(-8) | 12 | 0.87 | 22.46 (2290) | 1170 (11.93) | 135 | 145 | 125 | 440 | 455 | 410 | 190 | 108.00 | 203.20 | 22.20 | 35.60 | — |
| 18×5.5(-8) | 14 | 0.87 | 27.56 (2810) | 1480 (15.10) | 135 | 145 | 125 | 440 | 455 | 410 | 190 | 108.00 | 203.20 | 22.20 | 38.10 | — |
| 18×5.7(-8) | 14 | 0.87 | 27.56 (2810) | 1480 (15.10) | 135 | 140 | 125 | 435 | 450 | 410 | 190 | 108.00 | 203.20 | 22.20 | 41.40 | — |
| 20×4.4(-12) | 10 | 0.88 | 16.67 (1700) | 1170 (11.93) | 105 | 115 | 100 | 495 | 510 | 495 | 225 | 88.90 | 304.80 | 20.60 | 29.20 | — |
| 20×4.4(-12) | 12 | 0.88 | 22.95 (2340) | 1550 (15.81) | 105 | 115 | 100 | 495 | 510 | 495 | 225 | 88.90 | 304.80 | 20.60 | 33.00 | — |
| 20×5.25-11 | 10 | 0.89 | 21.78 (2220) | 1110 (11.32) | 140 | 145 | 115 | 525 | 540 | 500 | 235 | 114.30 | 279.40 | 16.70 | 33.30 | — |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 A mm | 轮辋 着合直径 mm | 轮辋 轮缘高度 $H_L$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋 轮辋底最小深度 I mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22×5.5(-12) | 10 | 0.89 | 26.40 (2590) | 1280 (13.06) | 135 | 145 | 125 | 545 | 565 | 540 | 245 | 108.00 | 304.80 | 22.20 | 33.00 | — |
| 22×5.5(-12) | 12 | 0.89 | 31.58 (3220) | 1620 (16.52) | 135 | 145 | 125 | 545 | 565 | 540 | 245 | 108.00 | 304.80 | 22.20 | 33.00 | — |
| 22×5.75-12 | 8 | 0.87 | 17.85 (1820) | 930 (9.49) | 135 | 145 | 130 | 545 | 560 | 515 | 245 | 108.00 | 304.80 | 22.20 | 31.80 | — |
| 22×5.75-12 | 10 | 0.87 | 19.42 (1980) | 1240 (12.65) | 136 | 145 | 130 | 545 | 560 | 515 | 245 | 108.00 | 304.80 | 22.20 | 34.30 | — |
| 22×8.5-11 | 16 | 0.72 | 44.53 (4540) | 1450 (14.79) | 205 | 215 | 190 | 575 | 590 | 500 | 240 | 184.20 | 279.40 | 22.20 | 47.80 | — |
| 23×7.00-12 | 10 | 0.78 | 29.72 (3030) | 860 (8.77) | 173 | 183 | 160 | 574 | 589 | 537 | 252 | 158.80 | 304.80 | 16.50 | 42.90 | 7.00 |
| 24×6.5-14 | 16 | 0.89 | 51.20 (5220) | 2450 (24.99) | 135 | 145 | 126 | 600 | 616 | 590 | 272 | 158.80 | 304.80 | 16.50 | 42.90 | 7.00 |
| 24×6.6-12 | 20 | 0.89 | 28.93 (2950) | 2030 (20.71) | 160 | 170 | 140 | 585 | 605 | 545 | 260 | 108.00 | 355.60 | 22.20 | 35.10 | — |
| 24×7.25-12 | 10 | 0.86 | 29.43 (3000) | 830 (8.47) | 184 | 191 | 165 | 608 | 622 | 566 | 264 | 158.80 | 304.80 | 17.80 | 35.10 | 4.40 |
| 24×7.7-10 | 8 | 0.92 | 18.44 (1880) | 520 (5.30) | 185 | 195 | 170 | 590 | 615 | 545 | 255 | 139.70 | 254.00 | 23.00 | 31.80 | — |
| 24×7.7-10 | 10 | 0.92 | 24.03 (2450) | 620 (6.32) | 185 | 195 | 170 | 590 | 615 | 545 | 255 | 139.70 | 254.00 | 23.00 | 31.80 | 3.60 |
| 24×7.7-10 | 14 | 0.92 | 36.49 (3720) | 930 (9.49) | 185 | 195 | 170 | 590 | 615 | 545 | 255 | 139.70 | 254.00 | 23.00 | 40.60 | 4.10 |
| 24×7.7-10 | 16 | 0.92 | 43.16 (4400) | 1140 (11.63) | 185 | 195 | 170 | 590 | 615 | 545 | 255 | 139.70 | 254.00 | 23.00 | 43.20 | 4.60 |
| 24×8.00-13 | 18 | 0.69 | 55.61 (5670) | 1970 (20.09) | 195 | 205 | 180 | 595 | 610 | 560 | 270 | 146.10 | 330.20 | 25.40 | 52.10 | — |
| 24.5×8.5 | 10 | 0.86 | 25.40 (2590) | 590 (6.02) | 203 | 216 | 190 | 603 | 622 | 556 | 257 | 158.80 | 254.00 | 20.60 | 34.30 | 3.30 |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 轮辋 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 宽度 | | | 直径 | | | | 轮辋宽度 | 着合直径 | 轮缘高度 | 胎圈座最小宽度 | 轮辋底最小深度 |
| | | | 最大负荷 | 充气内压 | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | |
| | | | kN (kgf) | kPa (kgf/cm²) | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | A mm | mm | $H_L$ mm | G mm | I mm |
| 24.5×8.5-10 | 12 | 0.86 | 30.70 (3130) | 620 (6.32) | 203 | 216 | 190 | 603 | 622 | 556 | 257 | 158.80 | 254.00 | 20.60 | 34.30 | — |
| 25×6.75-14 | 18 | 0.84 | 57.87 (5900) | 2070 (21.11) | 163 | 174 | 153 | 630 | 647 | 595 | 283 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 41.10 | — |
| 25.5×8.0-14 | 18 | 0.72 | 68.07 (6940) | 1900 (19.38) | 190 | 203 | 174 | 630 | 650 | 588 | 280 | 146.10 | 355.60 | 25.40 | 53.30 | — |
| 25.5×8.75-10 | 12 | 0.89 | 31.78 (3240) | 590 (6.02) | 210 | 220 | 195 | 627 | 650 | 580 | 265 | 139.70 | 254.00 | 23.00 | 38.10 | — |
| 26×6.6-14 | 8 | 0.88 | 23.64 (2410) | 830 (8.47) | 160 | 170 | 150 | 635 | 655 | 600 | 285 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 33.00 | 3.90 |
| 26×6.6-14 | 10 | 0.88 | 30.70 (3130) | 1070 (10.91) | 160 | 170 | 150 | 635 | 655 | 600 | 285 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 35.60 | 4.20 |
| 26×6.6-14 | 12 | 0.88 | 38.25 (3900) | 1280 (13.06) | 160 | 170 | 150 | 635 | 655 | 600 | 285 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 38.10 | 4.50 |
| 26×6.6-14 | 14 | 0.88 | 44.53 (4540) | 1550 (15.81) | 160 | 170 | 150 | 635 | 655 | 600 | 285 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 43.20 | 5.00 |
| 26×7.75-13 | 8 | 0.84 | 24.91 (2540) | 590 (6.02) | 189 | 201 | 177 | 648 | 668 | 607 | 282 | 168.40 | 330.20 | 17.80 | 38.10 | 4.40 |
| 26×7.75-13 | 10 | 0.84 | 32.27 (3290) | 760 (7.75) | 189 | 201 | 177 | 648 | 668 | 607 | 282 | 168.40 | 330.20 | 25.40 | 38.10 | 4.40 |
| 26×7.75-13 | 12 | 0.84 | 39.82 (4060) | 930 (9.49) | 189 | 201 | 177 | 648 | 668 | 607 | 282 | 168.40 | 330.20 | 25.40 | 39.40 | 4.40 |
| 26×7.75-13 | 14 | 0.84 | 47.87 (4880) | 1100 (11.22) | 189 | 201 | 177 | 648 | 668 | 607 | 282 | 168.40 | 330.20 | 25.40 | 45.70 | 5.10 |
| 26×8.0-14 | 16 | 0.75 | 56.50 (5760) | 1620 (16.52) | 190 | 205 | 150 | 645 | 660 | 605 | 285 | 162.10 | 355.60 | 28.60 | 53.30 | — |
| 26×8.0-14 | 18 | 0.75 | 64.44 (6570) | 1830 (18.67) | 190 | 205 | 150 | 645 | 660 | 605 | 285 | 162.10 | 355.60 | 28.60 | 53.30 | — |
| 26×8.75-11 | 12 | 0.87 | 44.83 (4570) | 730 (7.45) | 215 | 225 | 200 | 655 | 675 | 605 | 265 | 184.20 | 279.40 | 22.20 | 40.60 | — |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 A mm | 轮辋 着合直径 mm | 轮辋 轮缘高度 $H_1$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋 轮辋底最小深度 I mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26×8.75-11 | 16 | 0.87 | 49.24 (5020) | 870 (8.87) | 215 | 225 | 200 | 655 | 675 | 605 | 265 | 184.20 | 279.40 | 22.20 | 47.60 | — |
| 28×9.00-12 | 8 | 0.86 | 25.48 (2700) | 450 (4.59) | 226 | 239 | 203 | 696 | 719 | 644 | 290 | 168.40 | 304.80 | 19.10 | 35.10 | 4.50 |
| 23×9.00-12 | 10 | 0.86 | 31.88 (3250) | 550 (5.61) | 226 | 239 | 203 | 696 | 719 | 644 | 290 | 168.40 | 304.80 | 19.10 | 38.10 | 4.50 |
| 29×7.7-15 | 16 | 0.85 | 61.40 (6260) | 1590 (15.22) | 190 | 200 | 175 | 700 | 720 | 660 | 370 | 152.40 | 381.00 | 25.40 | 50.80 | 6.80 |
| 29×8.0-15 | 12 | 0.90 | 44.63 (4550) | 970 (9.89) | 199 | 206 | 182 | 739 | 754 | 687 | 321 | 174.8 | 381.00 | 24.10 | 44.50 | 6.40 |
| 30×7.7-16 | 12 | 0.85 | 41.88 (4270) | 1140 (11.63) | 190 | 200 | 175 | 725 | 745 | 685 | 320 | 152.40 | 406.40 | 25.40 | 41.90 | 5.20 |
| 30×7.7-16 | 14 | 0.85 | 53.36 (5440) | 1280 (13.06) | 190 | 200 | 175 | 725 | 745 | 685 | 320 | 152.40 | 406.40 | 25.40 | 41.90 | — |
| 30×7.7-16 | 18 | 0.85 | 73.47 (7490) | 1860 (18.97) | 190 | 200 | 175 | 725 | 745 | 685 | 320 | 152.40 | 406.40 | 25.40 | 54.00 | — |
| 30×8.8-15 | 22 | 0.87 | 93.38 (9520) | 2000 (20.40) | 210 | 226 | 200 | 750 | 770 | 695 | 330 | 177.80 | 381.00 | 22.60 | 63.20 | — |
| 30×9.00-15 | 12 | 0.78 | 52.24 (5330) | 900 (9.18) | 232 | 243 | 213 | 744 | 762 | 693 | 320 | 203.20 | 381.00 | 25.40 | 44.50 | — |
| 30×11.5-14.5 | 20 | 0.66 | 93.28 (9510) | 1520 (15.50) | 280 | 290 | 270 | 730 | 755 | 725 | 310 | 247.70 | 368.30 | 31.80 | 69.90 | — |
| 30×11.5-14.5 | 24 | 0.66 | 111.23 (11340) | 1690 (17.24) | 280 | 290 | 270 | 730 | 755 | 725 | 310 | 247.70 | 368.30 | 31.80 | 69.90 | — |
| 30×11.5-14.5 | 26 | 0.66 | 111.23 (11340) | 2290 (23.36) | 280 | 290 | 270 | 730 | 755 | 725 | 310 | 247.70 | 368.30 | 31.80 | 69.90 | — |
| 31×10.75-14 | 20 | 0.79 | 83.28 (8490) | 1280 (13.06) | 265 | 281 | 247 | 777 | 798 | 718 | 335 | 228.60 | 355.60 | 31.80 | 82.60 | 8.40 |
| 31×11.50-16 | 22 | 0.66 | 103.88 (10570) | 1900 (19.38) | 274 | 292 | 257 | 767 | 787 | 719 | 340 | 228.60 | 406.40 | 31.80 | 67.30 | 7.10 |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 A mm | 轮辋 着合直径 mm | 轮辋 轮缘高度 $H_L$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋 轮辋底最小深度 I mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H31×13.0-12 | 20 | 0.73 | 76.51 (7800) | 1070 (10.91) | 312 | 330 | 291 | 765 | 787 | 701 | 323 | 203.20 | 304.80 | 30.50 | 68.60 | 6.60 |
| 32×8.8-16 | 12 | 0.84 | 48.95 (4990) | 970 (9.89) | 210 | 225 | 200 | 765 | 785 | 710 | 340 | 177.80 | 406.40 | 31.80 | 41.90 | 5.20 |
| 32×8.8-16 | 14 | 0.84 | 57.87 (5900) | 1170 (11.93) | 210 | 225 | 200 | 765 | 785 | 710 | 340 | 177.80 | 406.40 | 31.80 | 44.50 | 5.40 |
| 32×10.75-14 | 12 | 0.84 | 45.41 (4630) | 590 (6.02) | 268 | 278 | 241 | 804 | 827 | 725 | 337 | 231.90 | 355.60 | 26.70 | 50.80 | 7.60 |
| 32×11.50-15 | 12 | 0.74 | 49.83 (5080) | 830 (8.47) | 275 | 290 | 265 | 790 | 815 | 735 | 345 | 228.60 | 381.00 | 31.80 | 48.30 | 5.40 |
| 33×10.75-15 | 12 | 0.86 | 49.39 (5035) | 620 (6.32) | 258 | 273 | 232 | 829 | 851 | 767 | 348 | 203.20 | 381.00 | 25.40 | 48.30 | — |
| 34×10.75-16 | 10 | 0.85 | 48.36 (4930) | 550 (5.61) | 263 | 278 | 236 | 855 | 878 | 792 | 361 | 235.00 | 406.40 | 26.70 | 47.00 | 5.70 |
| 34×11-14 | 18 | 0.87 | 71.60 (7300) | 1000 (10.2) | 270 | 285 | 255 | 830 | 850 | 760 | 355 | 228.60 | 355.60 | 38.10 | 62.20 | 6.50 |
| 34×11-14 | 20 | 0.87 | 81.41 (8300) | 1140 (11.63) | 270 | 285 | 255 | 830 | 850 | 760 | 355 | 228.60 | 355.60 | 38.10 | 66.00 | 6.80 |
| 34×11-14 | 22 | 0.87 | 91.22 (9300) | 1280 (13.06) | 270 | 285 | 255 | 830 | 850 | 760 | 355 | 228.60 | 355.60 | 38.10 | 68.60 | 7.00 |
| 35×11.75-14 | 12 | 0.84 | 53.46 (5450) | 550 (5.61) | 291 | 306 | 260 | 848 | 879 | 785 | 363 | 231.90 | 355.60 | 27.90 | 44.50 | 7.60 |
| 35×9.00-17 | 14 | 0.97 | 62.28 (6350) | 1030 (10.51) | 220 | 232 | 208 | 862 | 889 | 803 | 375 | 184.20 | 431.80 | 27.90 | 57.20 | 6.70 |
| 35×9.00-17 | 16 | 0.97 | 72 58 (7400) | 1170 (11.93) | 220 | 232 | 208 | 862 | 889 | 803 | 375 | 184.20 | 431.80 | 27.90 | 57.20 | 6.70 |
| 35×9.00-17 | 18 | 0.97 | 83.37 (8500) | 1310 (13.36) | 220 | 232 | 208 | 862 | 889 | 803 | 375 | 184.20 | 431.80 | 27.90 | 63.50 | 7.20 |
| 35×10.00-17 | 22 | 0.90 | 112.23 (11440) | 1660 (16.93) | 246 | 259 | 229 | 878 | 903 | 818 | 381 | 219.20 | 431.80 | 34.90 | 63.50 | — |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 静半径 mm | 轮辋 宽度 A mm | 着合 直径 mm | 轮缘 高度 $H_L$ mm | 胎圈座 最小宽度 G mm | 轮辋底 最小深度 I mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 36×10.00-18 | 16 | 0.91 | 80.14 (8170) | 1140 (11.63) | 248 | 262 | 230 | 908 | 930 | 845 | 394 | 219.20 | 457.20 | 27.90 | 60.50 | 7.00 |
| 36×10.00-18 | 18 | 0.91 | 97.40 (9930) | 1310 (13.36) | 248 | 262 | 230 | 908 | 930 | 845 | 394 | 219.20 | 457.20 | 28.70 | 63.50 | 7.00 |
| 36×10.00-18 | 20 | 0.91 | 105.25 (10730) | 1420 (14.48) | 248 | 262 | 230 | 908 | 930 | 845 | 394 | 219.20 | 457.20 | 28.70 | 68.60 | — |
| 36×11-16 | 22 | 0.83 | 103.68 (10570) | 1380 (14.08) | 275 | 290 | 255 | 865 | 890 | 805 | 380 | 228.60 | 406.40 | 34.90 | 71.10 | — |
| 36×13.00-12 | 6 | 0.94 | 28.25 (2880) | 200 (2.04) | 316 | 334 | 284 | 902 | 927 | 815 | 359 | 209.60 | 304.80 | 25.40 | 27.90 | — |
| 37×11.75-16 | 10 | 0.90 | 46.39 (4730) | 450 (4.59) | 283 | 298 | 263 | 917 | 940 | 843 | 381 | 235.00 | 406.40 | 25.40 | 41.40 | 5.70 |
| 37×13.0-16 | 20 | 0.81 | 98.77 (10070) | 1140 (11.63) | 310 | 330 | 290 | 920 | 940 | 845 | 390 | 228.60 | 406.40 | 34.90 | 66.00 | 7.10 |
| 37×13.0-16 | 26 | 0.81 | 130.36 (13290) | 1520 (15.50) | 310 | 330 | 290 | 920 | 940 | 845 | 390 | 228.60 | 406.40 | 34.90 | 81.30 | 8.40 |
| 37×14.0-14 | 24 | 0.83 | 111.23 (11340) | 1110 (11.32) | 340 | 355 | 305 | 915 | 940 | 835 | 385 | 279.40 | 355.60 | 38.10 | 76.20 | 7.70 |
| H37×14.0-16 | 22 | 0.79 | 107.21 (10930) | 1140 (11.63) | 340 | 355 | 312 | 917 | 940 | 839 | 386 | 228.60 | 381.00 | 33.00 | 71.10 | 7.20 |
| 39×13-16 | 14 | 0.86 | 66.80 (6810) | 690 (7.04) | 310 | 330 | 290 | 945 | 970 | 870 | 400 | 254.00 | 406.40 | 31.80 | 55.90 | 6.20 |
| 39×13-16 | 16 | 0.86 | 76.51 (7800) | 800 (8.16) | 310 | 330 | 290 | 945 | 970 | 870 | 400 | 254.00 | 406.40 | 31.80 | 58.40 | 6.50 |
| 39×13-16 | 18 | 0.86 | 86.32 (8800) | 900 (9.18) | 310 | 330 | 290 | 945 | 970 | 870 | 400 | 254.00 | 406.40 | 31.80 | 63.50 | 6.90 |
| 39×13-16 | 20 | 0.86 | 99.28 (10120) | 1040 (10.61) | 310 | 330 | 290 | 945 | 970 | 870 | 400 | 254.00 | 406.40 | 31.80 | 69.90 | 7.40 |
| 40×12-18 | 16 | 0.88 | 82.29 (8390) | 900 (9.18) | 300 | 315 | 275 | 975 | 1000 | 900 | 420 | 254.00 | 457.20 | 38.10 | 61.00 | 6.80 |

续表



| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 A mm | 轮辋 轮缘配合直径 mm | 轮辋 轮缘高度 $H_1$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋 轮辋底最小深度 I mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40×12-16 | 16 | 0.88 | 93.48 (9530) | 1040 (10.61) | 300 | 315 | 275 | 975 | 1000 | 900 | 420 | 254.00 | 457.20 | 38.10 | 63.50 | 7.10 |
| 40×12-16 | 20 | 0.88 | 106.33 (10840) | 1170 (11.93) | 300 | 315 | 275 | 975 | 1000 | 900 | 420 | 254.00 | 457.20 | 38.10 | 66.00 | 7.30 |
| 40×12-16 | 22 | 0.88 | 118.88 (12120) | 1310 (13.36) | 300 | 315 | 275 | 975 | 1000 | 900 | 420 | 254.00 | 457.20 | 38.10 | 69.90 | 7.60 |
| 40×14-16 | 14 | 0.86 | 66.31 (6760) | 620 (6.32) | 333 | 355 | 305 | 990 | 1010 | 890 | 420 | 279.40 | 406.40 | 41.30 | 58.40 | — |
| 40×14-16 | 16 | 0.86 | 77.00 (7850) | 730 (7.45) | 333 | 355 | 305 | 990 | 1010 | 890 | 420 | 279.40 | 406.40 | 41.30 | 61.00 | 6.50 |
| 40×14-16 | 20 | 0.86 | 100.15 (10210) | 930 (9.49) | 333 | 355 | 305 | 990 | 1010 | 890 | 420 | 279.20 | 406.40 | 41.30 | 67.30 | 7.10 |
| 40×14-16 | 22 | 0.86 | 111.23 (11340) | 1070 (10.91) | 333 | 355 | 305 | 990 | 1010 | 890 | 420 | 279.20 | 406.40 | 41.30 | 71.10 | 7.40 |
| 40×14-16 | 24 | 0.86 | 123.20 (12560) | 1170 (11.93) | 333 | 355 | 305 | 990 | 1010 | 890 | 420 | 279.20 | 406.40 | 41.30 | 74.90 | 7.80 |
| 40×14-16 | 28 | 0.86 | 147.23 (15010) | 1380 (14.08) | 333 | 355 | 305 | 990 | 1010 | 890 | 420 | 279.20 | 406.40 | 41.30 | 81.30 | 8.30 |
| H40×14.5-19 | 22 | 0.73 | 133.89 (13650) | 1240 (12.65) | 349 | 368 | 325 | 993 | 1016 | 921 | 424 | 241.30 | 482.60 | 35.60 | 73.70 | 7.80 |
| H40×14.5-19 | 24 | 0.73 | 147.72 (15060) | 1380 (14.08) | 349 | 368 | 325 | 993 | 1016 | 921 | 424 | 241.30 | 482.60 | 35.60 | 78.70 | 8.10 |
| 40×15.5-16① | 26 | 0.78 | 161.55 (16470) | 1240 (12.65) | 375 | 395 | 345 | 990 | 1020 | 905 | 410 | 254.00 | 406.40 | 31.80 | 81.30 | 21.10 |
| 40×15.5-16① | 28 | 0.78 | 175.67 (17910) | 1350 (13.77) | 375 | 395 | 345 | 990 | 1020 | 905 | 410 | 254.00 | 406.40 | 31.80 | 86.40 | 22.40 |
| 41×15.0-18① | 22 | 0.77 | 126.43 (12890) | 1170 (11.93) | 360 | 380 | 335 | 1015 | 1040 | 935 | 435 | 323.90 | 457.20 | 41.30 | 73.70 | 7.90 |
| 41×15.0-18① | 24 | 0.77 | 139.87 (14260) | 1310 (13.36) | 360 | 380 | 335 | 1015 | 1040 | 936 | 435 | 323.90 | 457.20 | 41.30 | 78.20 | 8.10 |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 $A$ mm | 轮辋 着合直径 mm | 轮辋 轮缘高度 $H_L$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 $G$ mm | 轮辋 轮辋底最小深度 $I$ mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 44×16-18 | 18 | 0.80 | 90.53 (9230) | 690 (7.04) | 380 | 405 | 350 | 1075 | 1100 | 970 | 455 | 336.60 | 457.20 | 34.90 | 76.20 | — |
| 44×16-18 | 28 | 0.80 | 170.87 (17420) | 1380 (14.08) | 380 | 405 | 350 | 1075 | 1100 | 970 | 455 | 336.60 | 457.20 | 41.30 | 82.60 | 8.90 |
| 44×16-18 | 30 | 0.80 | 185.48 (18910) | 1450 (14.79) | 380 | 405 | 350 | 1075 | 1100 | 970 | 455 | 336.60 | 457.20 | 41.30 | 86.40 | 9.10 |
| 44×16-18 | 32 | 0.80 | 200.29 (20420) | 1550 (15.81) | 380 | 405 | 350 | 1075 | 1100 | 970 | 455 | 336.60 | 457.20 | 41.30 | 90.20 | 9.40 |
| 44.5×16.5-18 | 30 | 0.81 | 189.11 (19280) | 1350 (13.77) | 400 | 420 | 370 | 1105 | 1130 | 1010 | 465 | 336.60 | 457.20 | 41.30 | 90.20 | 9.50 |
| H44.5×16.5-18 | 24 | 0.75 | 161.06 (16420) | 1140 (11.63) | 400 | 420 | 370 | 1105 | 1130 | 1020 | 465 | 266.70 | 508.00 | 38.10 | 82.60 | 8.20 |
| H44.5×16.5-18 | 26 | 0.75 | 176.16 (17960) | 1250 (12.75) | 400 | 420 | 370 | 1105 | 1130 | 1020 | 465 | 266.70 | 508.00 | 38.10 | 87.60 | 9.10 |
| H46×17.0-20 | 26 | 0.74 | 177.93 (18140) | 1340 (13.67) | 412 | 432 | 381 | 1118 | 1143 | 1029 | 478 | 279.40 | 508.00 | 40.60 | 82.60 | 8.70 |
| 46×16(-20) | 20 | 0.80 | 132.91 (13550) | 1000 (10.20) | 380 | 405 | 360 | 1125 | 1150 | 1030 | 485 | 336.60 | 508.00 | 41.30 | 72.40 | 8.20 |
| 46×16(-20) | 24 | 0.80 | 156.90 (16200) | 1170 (11.93) | 380 | 405 | 360 | 1125 | 1150 | 1030 | 485 | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 76.20 | 8.30 |
| 46×16(-20) | 26 | 0.80 | 170.38 (17370) | 1280 (13.06) | 380 | 405 | 360 | 1125 | 1150 | 1030 | 485 | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 78.70 | 8.60 |
| 46×16(-20) | 28 | 0.80 | 185.97 (18960) | 1450 (14.79) | 380 | 405 | 360 | 1125 | 1150 | 1030 | 485 | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 82.60 | 8.90 |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 $A$ mm | 轮辋 着合直径 mm | 轮辋 轮缘高度 $H_L$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 $G$ mm | 轮辋 轮辋底最小深度 $I$ mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 48×16(-20) | 30 | 0.80 | 200.10 (20400) | 1650 (15.81) | 380 | 405 | 360 | 1125 | 1150 | 1030 | 485 | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 86.40 | 9.10 |
| 46×16(-20) | 32 | 0.80 | 213.53 (21770) | 1690 (17.24) | 380 | 405 | 360 | 1125 | 1150 | 1030 | 485 | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 90.20 | 9.40 |
| H46×16.0-20 | 26 | 0.73 | 184.60 (18820) | 1310 (13.36) | 436 | 457 | 403 | 1143 | 1168 | 1049 | 488 | 279.40 | 508.00 | 40.60 | 85.10 | 8.90 |
| 47×15.75-22.1 | 32 | 0.80 | 238.45 (24310) | 1585 (16.17) | 385 | 405 | 355 | 1200 | 1220 | 1100 | 505 | 323.90 | 561.30 | 44.50 | 95.30 | — |
| 49×17(-20) | 26 | 0.84 | 176.16 (17960) | 1140 (11.63) | 415 | 440 | 370 | 1210 | 1240 | 1090 | 515 | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 82.60 | 8.90 |
| 49×17(-20) | 28 | 0.84 | 192.35 (19610) | 1240 (12.65) | 415 | 440 | 370 | 1210 | 1240 | 1090 | 515 | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 85.10 | 9.10 |
| 49×17(-20) | 30 | 0.84 | 206.96 (21100) | 1310 (13.36) | 415 | 440 | 370 | 1210 | 1240 | 1090 | 515 | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 88.90 | 9.30 |
| 49×17(-20) | 32 | 0.84 | 224.23 (22860) | 1450 (14.79) | 415 | 440 | 370 | 1210 | 1240 | 1090 | 515 | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 92.70 | 9.70 |
| 49×17(-20) | 34 | 0.84 | 239.82 (24450) | 1520 (15.50) | 415 | 440 | 370 | 1210 | 1240 | 1090 | 515 | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 96.50 | 10.00 |
| 49×19.0-20 | 32 | 0.77 | 230.99 (23550) | 1350 (13.77) | 465 | 485 | 425 | 1220 | 1245 | 1115 | 515 | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 95.30 | 9.90 |
| 49×19.0-20 | 34 | 0.77 | 247.86 (25270) | 1480 (15.10) | 465 | 485 | 425 | 1220 | 1245 | 1115 | 515 | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 100.30 | 10.30 |
| 50×18(-20) | 26 | 0.85 | 186.87 (18950) | 1070 (10.91) | 425 | 445 | 390 | 1230 | 1255 | 1120 | 520 | 362.00 | 508.00 | 44.60 | — | — |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 轮胎 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 A mm | 轮辋 着合直径 mm | 轮辋 轮缘高度 $H_L$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋 轮辋底最小深度 I mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 50×20.0-20 | 26 | 0.75 | 185.97 (18960) | 1040 (10.61) | 485 | 510 | 445 | 1245 | 1270 | 1135 | 525 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 88.90 | 9.30 |
| 50×20.0-20 | 30 | 0.75 | 220.69 (22500) | 1210 (12.34) | 485 | 510 | 445 | 1245 | 1270 | 1135 | 525 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 95.30 | 9.90 |
| 50×20.0-20 | 32 | 0.75 | 239.43 (24410) | 1310 (13.36) | 485 | 510 | 445 | 1245 | 1270 | 1135 | 525 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 100.30 | 10.30 |
| 50×20.0-20 | 34 | 0.75 | 253.65 (25860) | 1420 (14.48) | 485 | 510 | 445 | 1245 | 1270 | 1135 | 525 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 105.40 | 10.80 |
| 50×21.0-20 | 28 | 0.72 | 207.84 (21190) | 1040 (10.61) | 510 | 535 | 470 | 1245 | 1270 | 1135 | 513 | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 88.90 | 9.40 |
| 50×21.0-20 | 30 | 0.72 | 218.05 (22230) | 1110 (11.32) | 510 | 535 | 470 | 1245 | 1270 | 1135 | 513 | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 91.40 | 9.70 |
| 52×20.5-20 | 34 | 0.79 | 257.18 (26220) | 1280 (13.06) | 500 | 520 | 460 | 1295 | 1320 | 1175 | 540 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 100.30 | 10.30 |
| 52×20.5-20 | 36 | 0.79 | 278.07 (28350) | 1380 (14.08) | 500 | 520 | 460 | 1295 | 1320 | 1175 | 540 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 106.70 | 10.90 |
| 52×20.5-23① | 26 | 0.71 | 244.73 (24950) | 1140 (11.63) | 500 | 520 | 460 | 1295 | 1320 | 1190 | 540 | 330.20 | 584.20 | 38.10 | 82.60 | 21.60 |
| 52×20.5-23① | 28 | 0.71 | 264.74 (26990) | 1250 (12.75) | 500 | 520 | 460 | 1295 | 1320 | 1190 | 540 | 330.20 | 584.20 | 38.10 | 82.60 | 21.60 |
| 52×20.5-23① | 30 | 0.71 | 283.37 (28890) | 1350 (13.77) | 500 | 520 | 460 | 1295 | 1320 | 1190 | 540 | 330.20 | 584.20 | 38.10 | 82.60 | 21.60 |
| 56×20.0-20 | 24 | 0.91 | 171.36 (17470) | 760 (7.75) | 485 | 508 | 447 | 1392 | 1422 | 1257 | 577 | 393.70 | 508.00 | 50.80 | 86.40 | 9.00 |

① 轮辋胎圈座斜度为15°，其余规格为5°。

表 1-7-5 直升飞机轮胎

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | | 内胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | | 静半径 | 规格 | 轮辋宽度 $A$ | 着合直径 | 轮缘高度 $H_1$ | 胎圈座最小宽度 $G$ | 轮辋底最小深度 $I$ | 内胎气门嘴代号 |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | | | |
| | | | | | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | | mm | | mm | mm | mm | mm | mm | (型号) |
| 5.00-5 | 8 | 0.93 | 8.63 (880) | 520 (5.30) 620 (6.32) | 118 | 131 | 111 | 347 | 370 | 326 | | 142 | 5.00-5 | 88.90 | 127.00 | 19.10 | 20.30 | 2.00 | 67(A) |
| 6.00-6 | 6 | 0.91 | 11.67 (1190) | 430 (4.39) 520 (5.30) | 150 | 166 | 141 | 427 | 456 | 403 | | 173 | 6.00-6 | 127.00 | 152.40 | 19.10 | 21.60 | 2.40 | 20 |
| 6.00-6 | 8 | 0.91 | 15.69 (1600) | 570 (5.81) 680 (6.94) | 150 | 166 | 141 | 427 | 456 | 403 | | 173 | 6.00-6 | 127.00 | 152.40 | 19.10 | 22.90 | 2.50 | 20 |
| 6.50-10 | 6 | 0.91 | 18.54 (1890) | 620 (6.32) 740 (7.55) | 159 | 175 | 150 | 542 | 574 | 521 | | 229 | 6.50-10 | 120.70 | 254.00 | 20.60 | 21.60 | 2.70 | 25 |
| 7.50-10 | 6 | 0.92 | 20.11 (2050) | 480 (4.90) 670 (6.81) | 183 | 202 | 172 | 592 | 627 | 560 | | 244 | 7.50-10 | 139.70 | 254.00 | 20.60 | 22.90 | 2.80 | 143I |
| 8.50-10 | 10 | 0.90 | 36.78 (3750) | 720 (7.34) 870 (8.87) | 208 | 230 | 196 | 627 | 668 | 593 | | 257 | 8.50-10 | 158.80 | 254.00 | 20.60 | 34.30 | 3.80 | 25 |
| 11.00-12 | 6 | 0.90 | 30.70 (3130) | 370 (3.77) 430 (4.39) | 267 | 298 | 252 | 787 | 838 | 743 | | 322 | 11.00-12 | 279.60 | 304.80 | 25.40 | 25.40 | 3.20 | 13C W |
| 29×11.0-10① | 10 | 0.87 | 47.18 (4810) | 620 (6.32) 740 (7.55) | 264 | 291 | 248 | 714 | 756 | 666 | | 287 | 29×11.00-10 | 215.90 | 254.00 | 26.40 | 40.60 | 4.30 | 无内胎 |

① 新设计直升飞机轮胎。

表 1-7-8 航空轮胎——公制 (ETRTO)

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 A mm | 轮辋 着合直径 mm (in) | 轮辋 轮缘高度 $H_L$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋 轮辋廓最小深度 I mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 545×175-254 | 10 | 0.83 | 23.54 (2400) | 760 (7.55) | 171 | 179 | 156 | 537 | 563 | 480 | 228 | 159.00 | 254.00 | 19.00 | 35.00 | — |
| 545×175-254 | 12 | 0.83 | 28.00 (2855) | 910 (9.28) | 171 | 179 | 156 | 537 | 553 | 480 | 228 | 159.00 | 254.00 | 19.00 | 35.00 | — |
| 360×135-6 | 12 | 0.77 | 13.29 (1355) | 1070 (10.91) | 131 | 139 | 125 | 355 | 367 | 332 | 169 | 108.00 | 152.40 (6.00) | 22.20 | 38.00 | — |
| 360×135-6 | 14 | 0.77 | 15.60 (1590) | 1240 (12.65) | 131 | 139 | 125 | 355 | 367 | 332 | 169 | 108.00 | 152.40 (6.00) | 22.20 | 38.00 | — |
| 380×150-4 | 6 | 0.94 | 6.18 (630) | 260 (2.65) | 145 | 155 | 140 | 375 | 392 | 346 | 152 | 128.00 | 101.60 (4.00) | 18.00 | 25.00 | — |
| 380×150-4 | 8 | 0.94 | 8.40 (856) | 400 (4.08) | 145 | 155 | 140 | 375 | 392 | 346 | 152 | 128.00 | 101.60 (4.00) | 18.00 | 25.00 | — |
| 380×150-5 | 6 | 0.87 | 7.11 (725) | 310 (3.16) | 140 | 150 | 135 | 371 | 387 | 346 | 150 | 95.00 | 127.00 (5.00) | 13.50 | 18.00 | — |
| 420×150(-6½) | 6 | 0.93 | 5.00 (510) | 250 (2.55) | 134 | 150 | 135 | 420 | 437 | 394 | 178 | 95.20 | 165.10 (6.50) | 18.35 | 19.00 | — |
| 450×190-5 | 10 | 0.86 | 15.60 (1590) | 520 (5.30) | 185 | 195 | 175 | 445 | 465 | 405 | 180 | 160.00 | 127.00 (5.00) | 18.00 | 35.00 | — |
| 550×250-6 | 8 | 0.80 | 14.12 (1440) | 290 (2.96) | 245 | 255 | 205 | 540 | 560 | 500 | 220 | 210.00 | 152.40 (6.00) | 22.00 | 42.00 | — |
| 550×250-6 | 10 | 0.80 | 18.54 (1890) | 410 (4.18) | 245 | 255 | 205 | 540 | 560 | 500 | 220 | 210.00 | 152.40 (6.00) | 22.00 | 42.00 | — |

续表

| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 轮胎 额定值 最大负荷 kN (kgf) | 轮胎 额定值 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 断面 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 宽度 胎肩 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最小值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 中心线处 最大值 mm | 轮胎 充气尺寸 直径 胎肩部 最大值 mm | 静半径 mm | 轮辋 轮辋宽度 A mm | 轮辋 替合直径 mm (in) | 轮辋 轮缘高度 $H_L$ mm | 轮辋 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋 轮辋底最小深度 I mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 550×250-6 | 12 | 0.80 | 23.54 (2400) | 500 (6.10) | 245 | 255 | 205 | 540 | 560 | 500 | 220 | 210.00 | 152.40 (6.00) | 22.00 | 42.00 | — |
| 605×165-13 | 10 | 0.86 | 28.84 (2940) | 153 (1.56) | 153 | 164 | 148 | 594 | 613 | 566 | 260 | 133.00 | 330.20 (13.00) | 20.30 | 40.00 | — |
| 615×225-10 | 10 | 0.80 | 25.80 (2630) | 630 (6.43) | 220 | 230 | 195 | 605 | 625 | 540 | 260 | 200.00 | 254.00 (10.00) | 22.50 | 40.00 | — |
| 615×225-10 | 12 | 0.80 | 31.78 (3240) | 770 (7.85) | 220 | 230 | 195 | 605 | 625 | 540 | 260 | 200.00 | 254.00 (10.00) | 22.50 | 40.00 | — |
| 640×170-14 | 14 | 0.84 | 34.72 (3540) | 1250 (12.76) | 165 | 175 | 155 | 630 | 650 | 595 | 285 | 127.00 | 355.60 (14.00) | 25.40 | 42.00 | — |
| 670×210-12 | 8 | 0.87 | 18.93 (1930) | 570 (5.81) | 200 | 215 | 190 | 655 | 680 | 615 | 290 | 176.00 | 304.80 (12.00) | 20.10 | 52.00 | 3.50 |
| 670×210-12 | 10 | 0.87 | 29.82 (3040) | 740 (7.55) | 200 | 215 | 190 | 655 | 680 | 615 | 290 | 176.00 | 304.80 (12.00) | 20.10 | 52.00 | 3.50 |
| 750×230-15 | 12 | 0.82 | 48.45 (4940) | 990 (10.10) | 220 | 235 | 190 | 745 | 765 | 710 | 325 | 178.00 | 381.00 (15.00) | 24.00 | 55.00 | — |
| 750×230-15 | 14 | 0.82 | 58.51 (5965) | 1180 (12.04) | 220 | 235 | 190 | 745 | 765 | 710 | 325 | 178.00 | 381.00 (15.00) | 24.00 | 55.00 | — |
| 750×230-15 | 18 | 0.82 | 74.74 (7620) | 1550 (15.81) | 220 | 235 | 190 | 745 | 765 | 710 | 325 | 178.00 | 381.00 (15.00) | 24.00 | 55.00 | — |
| 960×354-18 | 26 | 0.89 | 120.06 (12240) | 1165 (11.88) | 330 | 350 | 315 | 948 | 978 | 870 | 418 | 275.00 | 457.20 (18.00) | 30.00 | 90.00 | — |

表 1-7-7 （新设计）航空轮胎

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 mm | 规格 | 轮辋宽度 A mm | 着合直径 mm | 轮缘高度 $H_L$ mm | 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋底最小深度 I mm |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | | | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | | | | | | | |
| 14.5×5.5-6 | 12 | 0.77 | 13.35 (1361) | 931 (9.50) | 131 | 140 | 123 | 356 | 368 | 330 | 156 | 14.5×5.5-6 | 108.00 | 152.40 | 22.20 | 38.10 | 2.80 |
| 14.5×5.5-6 | 14 | 0.77 | 15.81 (1612) | 1069 (10.91) | 131 | 140 | 123 | 356 | 368 | 330 | 155 | 14.5×5.5-6 | 108.00 | 152.40 | 22.20 | 38.10 | 2.80 |
| 15×6.0-6 | 4 | 0.73 | 5.59 (570) | 310 (3.16) | 150 | 160 | 141 | 370 | 386 | 344 | 158 | 6.00-6 | 127.00 | 152.40 | 19.10 | 20.30 | 2.30 |
| 15×6.0-6 | 6 | 0.73 | 8.63 (880) | 470 (4.79) | 150 | 160 | 141 | 370 | 386 | 344 | 158 | 6.00-6 | 127.00 | 152.40 | 19.10 | 21.60 | 2.40 |
| 17.5×5.75-8 | 12 | 0.83 | 22.27 (2270) | 1241 (12.66) | 137 | 146 | 130 | 431 | 445 | 401 | 188 | 18×5.5 | 108.00 | 203.20 | 22.20 | 35.60 | 3.60 |
| 17.5×6.25-6 | 6 | 0.92 | 9.13 (931) | 345 (3.52) | 150 | 159 | 140 | 428 | 445 | 392 | 175 | 6.00-6 | 127.00 | 152.40 | 19.10 | 21.60 | 2.40 |
| 17.5×6.25-6 | 8 | 0.92 | 12.92 (1317) | 483 (4.93) | 150 | 159 | 140 | 428 | 445 | 392 | 175 | 6.00-6 | 127.00 | 152.40 | 19.10 | 22.90 | 2.50 |
| 17.5×6.25-6 | 10 | 0.92 | 16.70 (1703) | 621 (6.33) | 150 | 159 | 140 | 428 | 445 | 392 | 175 | 6.00-6 | 127.00 | 152.40 | 19.10 | 24.10 | 2.60 |
| 18×4.25-10 | 6 | 0.87 | 10.24 (1044) | 690 (7.04) | 113 | 119 | 106 | 451 | 464 | 425 | 203 | 18×4.25-10 | 92.10 | 254.00 | 16.20 | 21.60 | 2.80 |
| 18×5.75-8 | 8 | 0.87 | 13.36 (1362) | 724 (7.38) | 137 | 140 | 130 | 442 | 457 | 411 | 193 | 18×5.75-8 | 108.00 | 203.20 | 22.20 | 31.80 | 3.30 |
| 19.5×6.75-8 | 10 | 0.85 | 19.02 (1939) | 758 (7.73) | 161 | 171 | 151 | 480 | 495 | 443 | 208 | 6.50-8 | 133.40 | 203.20 | 20.60 | 31.80 | 2.30 |
| 20×7.0-8 | 10 | 0.86 | 21.71 (2213) | 724 (7.38) | 152 | 178 | 156 | 491 | 508 | 446 | 208 | 6.50-8 | 133.40 | 203.20 | 20.60 | 34.30 | 3.80 |
| 21×7.25-10 | 8 | 0.78 | 17.85 (1820) | 660 (6.73) | 173 | 183 | 161 | 523 | 535 | 488 | 231 | 22×6.6 | 139.70 | 254.00 | 25.40 | 31.80 | 3.50 |
| 21×7.25-10 | 10 | 0.78 | 22.95 (2340) | 931 (9.50) | 173 | 183 | 161 | 523 | 535 | 488 | 231 | 22×6.6 | 139.70 | 254.00 | 25.40 | 35.60 | 3.80 |
| 22×5.75-12 | 8 | 0.87 | 19.42 (1980) | 930 (9.49) | 132 | 146 | 123 | 543 | 558 | 518 | 244 | 22×5.5 | 108.00 | 304.80 | 22.20 | 31.80 | 4.00 |

续表

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 mm | 规格 | 轮辋宽度 A mm | 着合直径 mm | 轮缘高度 $H_t$ mm | 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋底最小深度 f mm |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | | | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | | | | | | | |
| 22×5.75-12 | 10 | 0.87 | 25.40 (2590) | 1240 (12.65) | 132 | 146 | 123 | 543 | 558 | 518 | 244 | 22×5.5 | 108.00 | 304.80 | 22.20 | 34.30 | 4.00 |
| 22×5.75-12 | 12 | 0.87 | 31.68 (3230) | 1520 (15.50) | 132 | 146 | 123 | 543 | 558 | 518 | 244 | 22×5.5 | 108.00 | 304.80 | 22.20 | 34.90 | 4.10 |
| 22×6.75-10 | 8 | 0.89 | 19.81 (2020) | 655 (6.68) | 161 | 171 | 151 | 541 | 559 | 504 | 231 | 6.50-10 | 120.70 | 254.00 | 20.60 | 27.90 | 3.20 |
| 22×7.75-10 | 8 | 0.77 | 20.93 (2134) | 621 (6.33) | 185 | 197 | 173 | 541 | 569 | 504 | 231 | 6.50-10 | 120.70 | 254.00 | 20.60 | 24.10 | 2.90 |
| 22×7.75-10 | 10 | 0.77 | 24.52 (2500) | 758 (7.73) | 185 | 197 | 173 | 541 | 559 | 504 | 231 | 6.50-10 | 120.70 | 254.00 | 20.60 | 27.90 | 3.20 |
| 22×8.0-8 | 6 | 0.88 | 11.13 (1135) | 276 (2.82) | 192 | 203 | 179 | 541 | 559 | 495 | 221 | 22×8.0-8 | 152.40 | 203.20 | 22.20 | 27.90 | 24.90 |
| 22×8.0-10① | 10 | 0.75 | 28.95 (2951) | 758 (7.73) | 192 | 203 | 179 | 542 | 559 | 504 | 239 | 22×8.0-10 | 127.00 | 254.00 | 12.70 | 35.60 | 4.00 |
| 22×8.0① | 12 | 0.75 | 35.21 (3590) | 931 (9.50) | 192 | 203 | 179 | 542 | 559 | 504 | 229 | 22×8.0-10 | 127.00 | 254.00 | 16.90 | 45.70 | 12.20 |
| 23×7.0-12 | 10 | 0.78 | 28.95 (2951) | 931 (9.51) | 173 | 183 | 160 | 574 | 589 | 537 | 252 | 23×7.0-12 | 158.80 | 304.80 | 16.50 | 31.80 | 3.90 |
| 24×7.25-12 | 10 | 0.77 | 29.39 (2998) | 827 (8.44) | 178 | 191 | 165 | 606 | 622 | 578 | 264 | 24×7.25-12 | 158.80 | 304.80 | 17.80 | 35.60 | 4.20 |
| 24×7.75-10 | 8 | 0.90 | 28.35 (2890) | 520 (5.30) | 187 | 197 | 173 | 592 | 610 | 546 | 252 | 6.50-10(ALT)<br>7.50-10 | 120.70<br>139.70 | 254.00<br>254.00 | 20.60<br>20.60 | 27.90<br>27.90 | 3.20<br>3.20 |
| 24×7.75-10 | 10 | 0.90 | 27.37 (2790) | 690 (7.04) | 187 | 197 | 173 | 592 | 610 | 546 | 252 | 6.50-10(ALT)<br>7.50-10 | 120.70<br>139.70 | 254.00<br>254.00 | 20.60<br>20.60 | 33.00<br>33.00 | 3.20<br>3.20 |
| 24×7.75-10 | 16 | 0.90 | 43.35 (4420) | 1140 (11.63) | 187 | 197 | 173 | 592 | 610 | 546 | 252 | 24×7.7 | 139.70 | 254.00 | 20.60 | 43.20 | 4.30 |
| B24×9.5-10.5① | 18 | 0.71 | 54.33 (5540) | 1103 (11.25) | 227 | 241 | 213 | 592 | 610 | 549 | 249 | B24×9.5-10.5 | 152.40 | 266.70 | 22.20 | 48.30 | 12.70 |
| 26×6.75-14 | 14 | 0.89 | 45.87 (4675) | 1586 (16.18) | 161 | 171 | 151 | 643 | 660 | 606 | 287 | 26×6.6 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 43.20 | 5.00 |

续表

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 mm | 规格 | 轮辋宽度 A mm | 着合直径 mm | 轮缘高度 $H_1$ mm | 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋底最小深度 I mm |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | | | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | | | | | | | |
| 25×6.75-14 | 16 | 0.89 | 52.95 (5398) | 1862 (18.99) | 161 | 171 | 151 | 613 | 660 | 606 | 287 | 26×6.6 | 127.00 | 355.60 | 25.40 | 48.30 | 5.40 |
| 29×11.0-10 | 10 | 0.87 | 31.49 (3210) | 410 (4.18) | 264 | 279 | 238 | 714 | 737 | 650 | 290 | 29×11.0-10 | 215.90 | 254.00 | 25.40 | 40.60 | 4.30 |
| 30×11.0-14 | 4 | 0.73 | 15.59 (1589) | 241 (2.46) | 264 | 279 | 246 | 742 | 762 | 688 | 312 | 30×11.0-14 | 228.60 | 355.60 | 19.10 | 25.40 | 3.60 |
| H31×13.0-12 | 20 | 0.73 | 76.51 (7800) | 1069 (10.90) | 312 | 330 | 291 | 764 | 787 | 700 | 322 | H31×13.0-12 | 203.20 | 304.80 | 30.60 | 68.60 | 6.60 |
| 32×11.50-15 | 12 | 0.74 | 49.93 (5090) | 830 (8.47) | 272 | 292 | 267 | 780 | 813 | 737 | 343 | 32×11.50-15 | 228.60 | 381.00 | 31.80 | 48.30 | 5.40 |
| 34×9.25-16 | 16 | 0.98 | 69.02 (7037) | 1068 (10.90) | 222 | 235 | 207 | 842 | 864 | 781 | 363 | 32×8.8 | 177.80 | 406.40 | 28.60 | 53.30 | 6.10 |
| 34×9.25-16 | 18 | 0.98 | 79.35 (8090) | 1310 (13.36) | 222 | 235 | 207 | 842 | 864 | 781 | 363 | 32×8.8 | 177.80 | 406.40 | 28.60 | 58.40 | 6.60 |
| 34×12.0-12 | 14 | 0.92 | 50.32 (5130) | 586 (5.98) | 288 | 305 | 268 | 841 | 864 | 762 | 345 | 34×12.0-12 | 228.60 | 304.80 | 28.60 | 48.30 | 5.10 |
| 37×13.0-16 | 20 | 0.81 | 98.86 (10079) | 1138 (11.61) | 312 | 330 | 291 | 917 | 940 | 843 | 391 | 36×11 | 228.60 | 406.40 | 34.90 | 66.00 | 7.10 |
| 37×13.0-16 | 24 | 0.81 | 121.46 (12383) | 1379 (14.07) | 312 | 330 | 291 | 917 | 940 | 843 | 391 | 36×11 | 228.60 | 406.40 | 34.90 | 76.20 | 8.00 |
| 37×13.0-16 | 26 | 0.81 | 130.36 (13290) | 1517 (15.47) | 312 | 330 | 291 | 917 | 940 | 843 | 391 | 36×11 | 228.60 | 406.40 | 41.30 | 81.30 | 8.40 |
| 37×14.0-14 | 24 | 0.83 | 111.33 (11350) | 1104 (11.26) | 338 | 356 | 305 | 915 | 940 | 835 | 382 | 37×14.0-14 | 279.40 | 355.60 | 38.10 | 76.20 | 7.70 |

续表

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 规格 | 轮辋宽度 $A$ | 着合直径 | 轮缘高度 $H_L$ | 胎圈座最小宽度 $G$ | 轮辋底最小深度 $I$ |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | | | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | | mm | mm | mm | mm | mm |
| H37×14.0-15 | 22 | 0.79 | 107.40 (10950) | 1138 (11.61) | 338 | 356 | 312 | 917 | 940 | 839 | 386 | H37×14.0-15 | 228.60 | 381.00 | 33.00 | 71.10 | 7.20 |
| C40×14.0-21① | 22 | 0.68 | 113.11 (11532) | 1069 (10.90) | 337 | 356 | 269 | 988 | 1016 | 949 | 424 | C40×14.0-21 | 171.50 | 533.40 | 20.30 | 57.20 | 15.40 |
| C40×14.0-21① | 24 | 0.68 | 125.13 (12757) | 1172 (11.95) | 337 | 356 | 269 | 988 | 1016 | 949 | 424 | C40×14.0-21 | 171.50 | 533.40 | 20.30 | 57.20 | 15.40 |
| C40×14.0-21① | 26 | 0.68 | 137.61 (14029) | 1276 (13.02) | 337 | 356 | 269 | 988 | 1016 | 949 | 424 | C40×14.0-21 | 171.50 | 533.40 | 20.30 | 61.00 | 16.50 |
| H40×14.5-19 | 22 | 0.73 | 134.18 (13680) | 1240 (12.65) | 349 | 368 | 325 | 992 | 1016 | 920 | 424 | H40×14.5-19 | 241.30 | 482.60 | 35.60 | 73.70 | 7.80 |
| H40×14.5-19 | 24 | 0.73 | 148.01 (15090) | 1379 (14.07) | 349 | 368 | 325 | 992 | 1016 | 920 | 424 | H40×14.5-19 | 241.30 | 482.60 | 35.60 | 78.70 | 8.10 |
| 40×15.5-16① | 26 | 0.78 | 161.65 (16480) | 1241 (12.66) | 375 | 394 | 347 | 992 | 1016 | 907 | 409 | 40×15.5-16 | 254.00 | 406.40 | 31.80 | 81.30 | 21.10 |
| 40×15.5-16① | 28 | 0.78 | 176.11 (17955) | 1340 (13.67) | 375 | 394 | 347 | 992 | 1016 | 907 | 409 | 40×15.5-16 | 254.00 | 406.40 | 31.80 | 86.40 | 22.40 |
| 41×15.0-18 | 20 | 0.77 | 113.29 (11550) | 1070 (10.91) | 362 | 381 | 335 | 1028 | 1017 | 936 | 434 | 41×15.0-18 | 323.90 | 457.20 | 41.30 | 71.10 | 7.70 |
| 41×15.0-18 | 22 | 0.77 | 128.49 (13100) | 1170 (11.93) | 362 | 381 | 335 | 1028 | 1017 | 936 | 434 | 41×15.0-18 | 323.90 | 457.20 | 41.30 | 73.70 | 7.90 |
| 41×15.0-18 | 24 | 0.77 | 139.97 (14270) | 1310 (13.36) | 362 | 381 | 335 | 1028 | 1017 | 936 | 434 | 41×15.0-18 | 323.90 | 457.20 | 41.30 | 76.20 | 8.10 |
| 44.5×16.5-18 | 30 | 0.81 | 192.45 (19620) | 1340 (13.67) | 398 | 419 | 368 | 1105 | 1103 | 1015 | 462 | 44×16 | 336.60 | 457.20 | 41.30 | 90.20 | 9.50 |

续表

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 | 规格 | 轮辋宽度 $A$ | 着合直径 | 轮缘高度 $H_1$ | 胎圈座最小宽度 $G$ | 轮辋底最小深度 $I$ |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | | | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | mm | | mm | mm | mm | mm | mm |
| H44.5×16.5-20 | 24 | 0.75 | 161.35 (16450) | 1138 (11.61) | 398 | 419 | 369 | 1105 | 1103 | 1018 | 464 | H44.5×16.5-18 | 266.70 | 508.00 | 38.10 | 82.60 | 8.20 |
| H44.5×16.5-20 | 26 | 0.75 | 176.56 (18000) | 1241 (12.66) | 398 | 419 | 369 | 1105 | 1103 | 1018 | 464 | H44.5×16.5-18 | 266.70 | 508.00 | 38.10 | 87.60 | 9.20 |
| H45×17.0-20 | 26 | 0.74 | 178.32 (18180) | 1340 (13.67) | 411 | 431 | 381 | 1117 | 1142 | 1028 | 477 | H45×17.0-20 | 279.40 | 508.00 | 40.60 | 82.60 | 8.70 |
| H46×18.0-20 | 26 | 0.73 | 184.99 (18860) | 1310 (13.36) | 435 | 457 | 402 | 1142 | 1167 | 1048 | 487 | H46×18.0-20 | 279.40 | 508.00 | 40.60 | 85.10 | 8.70 |
| H46×18.0-20 | 28 | 0.73 | 197.06 (20090) | 1379 (14.07) | 435 | 457 | 402 | 1142 | 1167 | 1048 | 487 | H46×18.0-20 | 279.40 | 508.00 | 40.60 | 90.20 | 9.30 |
| 49×19.0-20 | 32 | 0.77 | 231.11 (23562) | 1345 (13.72) | 461 | 483 | 424 | 1219 | 1245 | 1113 | 516 | 49×17 | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 95.30 | 9.90 |
| 49×19.0-20 | 34 | 0.77 | 247.00 (25270) | 1480 (15.10) | 461 | 483 | 424 | 1219 | 1245 | 1113 | 516 | 49×17 | 336.60 | 508.00 | 47.60 | 100.30 | 10.30 |
| 50×20.0-20 | 24 | 0.75 | 173.81 (17720) | 930 (9.49) | 485 | 508 | 447 | 1245 | 1270 | 1133 | 523 | 50×20.0-20 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 86.40 | 9.10 |
| 50×20.0-20 | 26 | 0.75 | 186.36 (19000) | 1030 (10.51) | 485 | 508 | 447 | 1245 | 1270 | 1133 | 523 | 50×20.0-20 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 88.90 | 9.30 |
| 50×20.0-20 | 30 | 0.75 | 220.01 (22430) | 1210 (12.34) | 485 | 508 | 447 | 1245 | 1270 | 1133 | 523 | 50×20.0-20 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 95.30 | 9.90 |
| 50×20.0-20 | 32 | 0.75 | 240.02 (24470) | 1310 (13.36) | 485 | 508 | 447 | 1245 | 1270 | 1133 | 523 | 50×20.0-20 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 100.30 | 10.30 |
| 50×20.0-20 | 34 | 0.75 | 253.83 (25878) | 1413 (14.41) | 485 | 508 | 447 | 1245 | 1270 | 1133 | 523 | 50×20.0-20 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 105.40 | 10.80 |

续表

| 轮胎 | | | | | | | | | | | | | 轮辋 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 规格 | 层级 | 断面高宽比 | 额定值 | | 充气尺寸 | | | | | | 静半径 mm | 规格 | 轮辋宽度 A mm | 着合直径 mm | 轮缘高度 $H_L$ mm | 胎圈座最小宽度 G mm | 轮辋底最小深度 I mm |
| | | | 最大负荷 kN (kgf) | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 宽度 | | | 直径 | | | | | | | | | |
| | | | | | 断面 | | 胎肩 | 中心线处 | | 胎肩部 | | | | | | | |
| | | | | | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | 最小值 mm | 最大值 mm | 最大值 mm | | | | | | | |
| 50×21.0-20 | 28 | 0.72 | 207.96 (21202) | 1034 (10.55) | 509 | 538 | 470 | 1245 | 1270 | 1133 | 513 | 49×17 | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 88.90 | 9.40 |
| 50×21.0-20 | 30 | 0.72 | 218.20 (22246) | 1103 (11.25) | 509 | 533 | 470 | 1245 | 1270 | 1133 | 513 | 49×17 | 336.60 | 508.00 | 44.50 | 88.90 | 9.70 |
| 52×20.5-20 | 34 | 0.79 | 257.39 (26241) | 1276 (13.02) | 498 | 521 | 458 | 1295 | 1321 | 1175 | 541 | 50×20.0-20 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 100.30 | 10.30 |
| 52×20.5-20 | 36 | 0.79 | 278.66 (28410) | 1379 (14.07) | 498 | 521 | 458 | 1295 | 1321 | 1175 | 541 | 50×20.0-20 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 106.70 | 10.90 |
| 52×20.5-20 | 38 | 0.79 | 291.12 (29680) | 1450 (14.79) | 498 | 521 | 458 | 1295 | 1321 | 1175 | 541 | 50×20.0-20 | 412.80 | 508.00 | 47.60 | 115.60 | 11.60 |
| 52×20.5-23 | 26 | 0.71 | 244.92 (24970) | 1138 (11.61) | 498 | 521 | 458 | 1295 | 1321 | 1189 | 541 | 52×20.5-23 | 330.20 | 584.20 | 38.10 | 82.60 | 21.60 |
| 52×20.5-23 | 28 | 0.71 | 264.96 (27013) | 1241 (12.66) | 498 | 521 | 458 | 1295 | 1321 | 1189 | 541 | 52×20.5-23 | 330.20 | 584.20 | 38.10 | 82.60 | 21.60 |
| 52×20.5-23 | 30 | 0.71 | 283.41 (28894) | 1345 (13.72) | 498 | 521 | 458 | 1295 | 1321 | 1189 | 541 | 52×20.5-23 | 330.20 | 584.20 | 38.10 | 82.60 | 21.60 |
| 56×20.0-20 | 22 | 0.91 | 156.15 (15920) | 690 (7.04) | 484 | 508 | 447 | 1397 | 1422 | 1257 | 577 | 20.00-20 | 393.70 | 508.00 | 50.80 | 82.60 | 8.70 |
| 56×20.0-20 | 24 | 0.91 | 171.85 (17520) | 760 (7.75) | 484 | 508 | 447 | 1397 | 1422 | 1257 | 577 | 20.00-20 | 393.70 | 508.00 | 50.80 | 86.40 | 9.00 |

① 轮辋胎圈斜度为15°，其余规格为5°。

## 三、航空轮胎用轮辋

1．航空轮胎用轮辋的规格表示

航空轮胎用轮辋的规格用轮胎充气时的外直径、断面宽以及轮辋直径3个尺寸表示，即：外直径×断面宽-轮辋直径。

Ⅱ型航空轮胎用轮辋表示为：

断面宽-轮辋直径，例：6.00-6。

Ⅶ型航空轮胎用轮辋表示为：

外直径×断面宽；或，外直径×断面宽－轮辋直径，

例：39×13或39×13-16。

2．航空轮胎用轮辋的型面尺寸标注

航空轮胎用轮辋的型面尺寸标注如图1-7-3所示[6]。

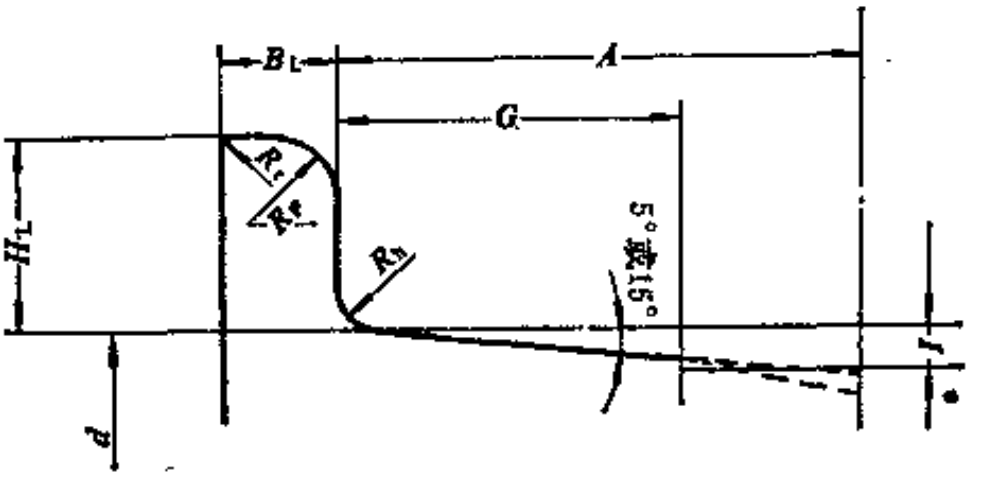



图 1-7-3　轮辋型面尺寸标注图

$A$—轮辋宽度；$B_L$—轮缘宽度；$d$—轮辋直径；$G$—胎圈座最小宽度；$H_L$—轮缘高度；$I$—轮辋底最小深度；$R_3$—轮缘弧度半径；$R_s$—轮辋与胎踵接合部弧度半径；$R_c$—轮缘外缘弧度半径（轮辋底最小深度：

胎圈座斜度为5°　$I=0.0875(G-R_s)+0.005d$

胎圈座斜度为15°　$I=0.2680(G-R_s)+0.005d$）

轮辋与胎踵接合部放大图如图1-7-4所示，图1-7-4（a）为胎踵接合部由一个半径构成的轮辋，图1-7-4（b）为胎踵接合部由二个半径复合面成的轮辋。

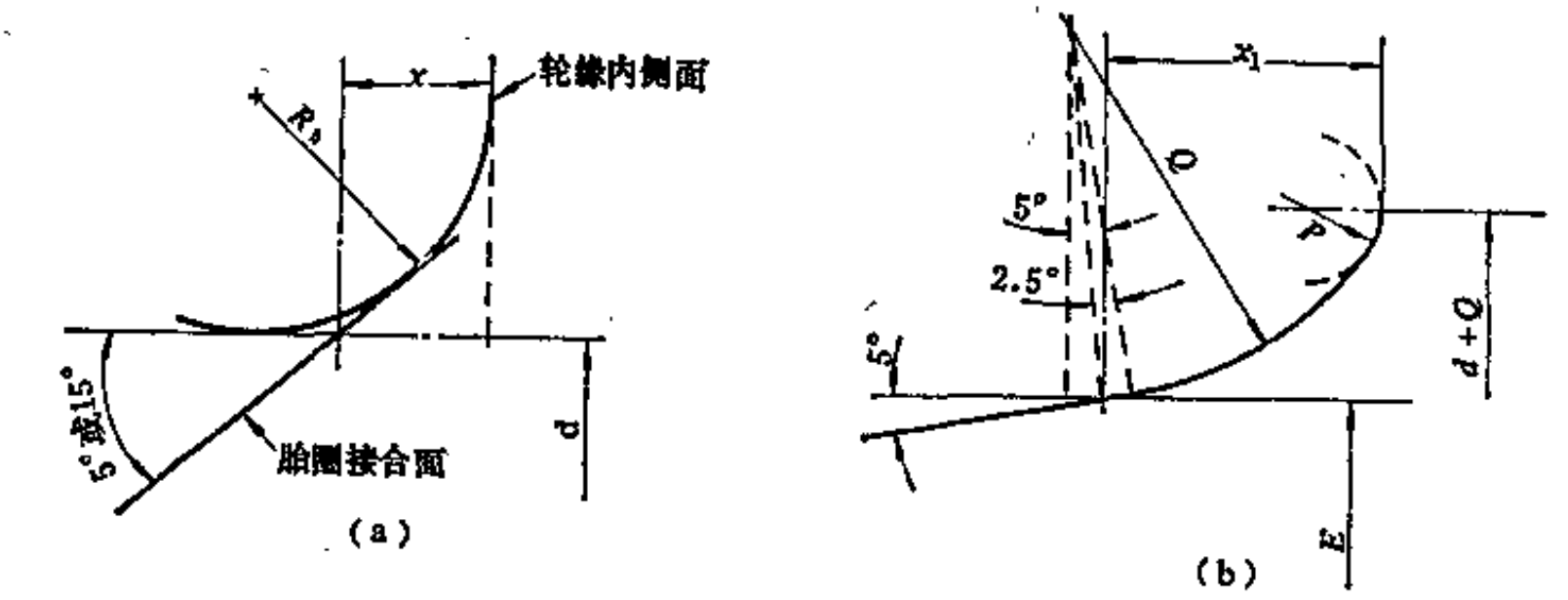



图 1-7-4　轮辋胎踵接合部示图

（a）胎踵接合部由一个半径构成
（胎圈座斜度为5°：$x=0.956R_s$；
胎圈座斜度为15°：$x=0.868R_s$）

（b）胎踵接合部由二个半径构成
（$x_1$值见表1-7-12）

现有各类型航空轮胎用轮辋的型面尺寸如表1-7-8～表1-7-12[6]所示；轮辋的胎圈座最小宽度及轮辋底最小深度可从表1-7-1～表1-7-7中查得。

表 1-7-8　胎圈座斜度为5°的轮胎用的轮辋型面（参见图1-7-5）尺寸

单位：mm

| 规　格 | 轮辋宽度 $A$ | 轮缘宽度 $B_1$ | 轮辋直径 $d$ | 轮缘弧度半径 $R_F$ | 轮缘高度 $H_L$ | 轮辋与胎缘接合部弧度半径 $R_b$ | 气门嘴孔眼中心与轮辋型面中心线的距离 $L$①±3.2 | 气门嘴孔眼直径 $M$±0.2 | 轮缘外缘弧度半径 $R_r$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14.5×5.5-6 | 108.00 | 14.30 | 152.40 | 11.10 | 22.20 | 5.60 | | | 1.60 |
| 18×4.25-10 | 92.10 | 12.70 | 254.00 | 5.60 | 15.20 | 4.00 | | | 1.60 |
| 18×5.75-8 | 108.00 | 14.30 | 203.20 | 11.10 | 22.20 | 6.40 | | | 1.60 |
| 22×8.0-8 | 152.40 | 14.30 | 203.20 | 11.10 | 22.20 | 5.60 | | | 1.60 |
| 23×7.0-12 | 158.80 | 14.30 | 304.80 | 5.60 | 16.50 | ② | | | 1.60 |
| 24×7.25-12 | 158.80 | — | 304.80 | 6.40 | 17.80 | 4.80 | | | 1.60 |
| 29×11.00-10 | 215.90 | 16.70 | 254.00 | 12.70 | 25.40 | 6.40 | | | 1.60 |
| H31×13.0-12 | 203.20 | 22.90 | 304.80 | 17.80 | 30.50 | 8.90 | | | 1.60 |
| 32×11.5-15 | 228.60 | 20.60 | 381.00 | 15.90 | 31.80 | 7.90 | | | 1.60 |
| 37×14.0-14 | 279.40 | 24.60 | 355.60 | 19.10 | 38.10 | 8.70 | | | 1.60 |
| H37×14.0-15 | 228.60 | 24.10 | 381.00 | 19.10 | 33.00 | 10.20 | | | 1.60 |
| H40×14.5-19 | 241.30 | 26.70 | 482.60 | 20.30 | 35.60 | ② | | | 1.60 |
| 41×15.0-18 | 323.90 | 27.00 | 457.20 | 20.70 | 41.30 | 9.40 | 69.90 | 19.80 | 1.60 |
| H44.5×16.5-20 | 266.70 | 29.20 | 508.00 | 22.90 | 38.10 | ② | | | 1.60 |
| H45×17.0-20 | 279.40 | 31.80 | 508.00 | 24.10 | 40.60 | 12.70 | | | 1.60 |
| H46×18.0-20 | 279.40 | 31.80 | 508.00 | 24.10 | 40.60 | 12.70 | | | 1.60 |
| 50×20.0-20 | 412.80 | 31.00 | 508.00 | 23.80 | 47.60 | 11.10 | | | 1.60 |

① $L$只用于有内胎轮胎用的轮辋。

② 胎圈接合部由二个半径构成（见表1-7-12）。

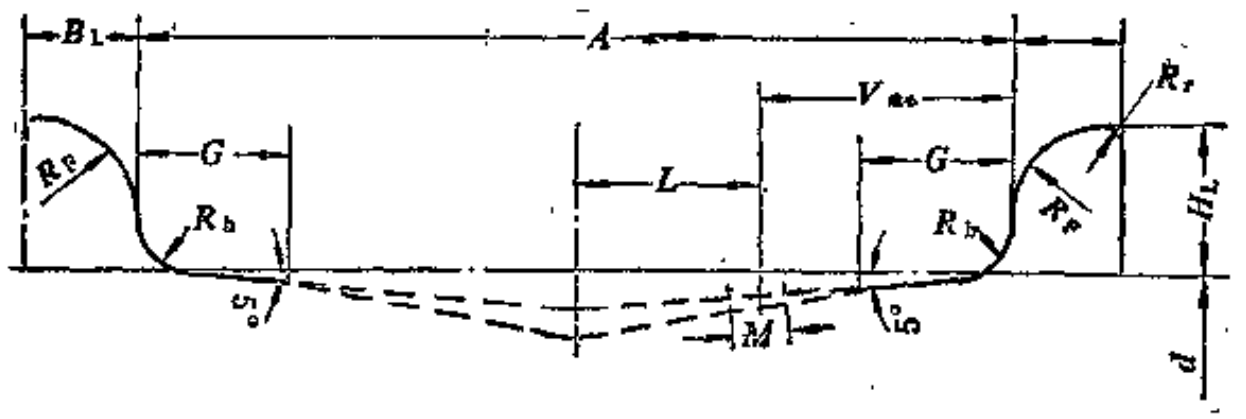



图 1-7-5　胎圈座斜度为5°的轮胎用的轮辋型面

## 表 1-7-9 胎圈座斜度为15°的轮胎用的轮辋型面（参见图1-7-6）尺寸

单位：mm

| 规格 | 轮辋宽度 $A$ | 轮缘宽度 $B_L$ | 轮辋直径 $d$ | 轮缘弧度半径 $R_F$ | 轮缘高度 $H_L$ | 轮辋与胎圈接合部弧度半径 $R_h$ | 轮缘外缘弧度半径 $R_r$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22×8.0-10① | 127.00 | 12.70 | 254.00 | 9.50 | 15.90 | 4.80 | 1.60 |
| 22×8.0-10② | 127.00 | 10.30 | 254.00 | 7.90 | 12.70 | 4.00 | 1.60 |
| B24×9.5-10.5 | 152.40 | 16.70 | 266.70 | 12.70 | 22.20 | 7.10 | 1.60 |
| C24.5×8.5-12 | 114.30 | 20.60 | 304.80 | 6.40 | 12.70 | 6.40 | 3.20 |
| C40×14.0-21 | 171.50 | 16.30 | 533.40 | 9.50 | 20.30 | 9.50 | 3.20 |
| 40×15.5-16 | 254.00 | 27.00 | 406.40 | 19.10 | 31.80 | 10.30 | 1.60 |
| C40×18.0-17 | 228.60 | 26.20 | 431.80 | 9.50 | 20.30 | 9.50 | 3.20 |
| 52×20.5-23 | 330.20 | 33.50 | 584.20 | 25.40 | 38.10 | 12.70 | 1.60 |

① 用于22×8.0-10/10层级、12层级的轮胎。
② 仅用作22×8.0-10/10层级轮胎的替换轮辋。

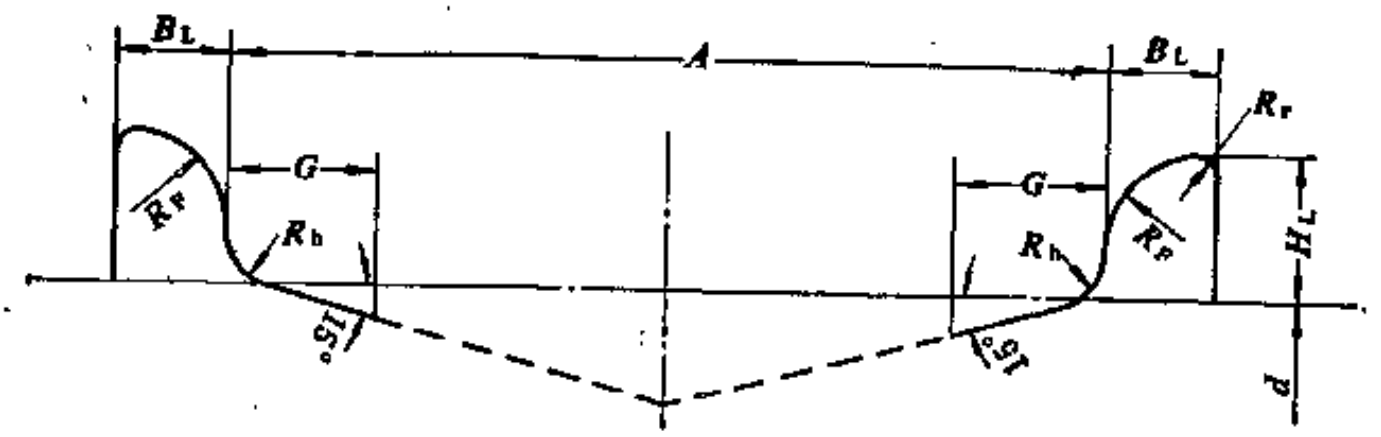



图 1-7-6 胎圈座斜度为15°的轮胎用的轮辋型面

## 表 1-7-10 Ⅶ型轮胎用的轮辋型面（参见图1-7-7）尺寸

单位：mm

| 规格 | 轮辋宽度 $A$ | 轮缘宽度 $B_L$ | 轮辋直径 $d$ | 轮缘弧度半径 $R_F$ | 轮缘高度 $H_L$ | 轮辋与胎圈接合部弧度半径 $R_h$ | 气门嘴孔中心与轮辋型面中心线的距离 $L$①±3.2 | 气门嘴孔眼直径 $M$±0.2 | 轮缘外缘弧度半径 $R_r$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16×4.4 | 88.90 | 12.70 | 203.20 | 9.50 | 20.60 | ④ | | | 1.60 |
| 18×4.4 | 88.90 | 12.70 | 254.00 | 10.30 | 20.60 | 6.40 | | 9.50 | 1.60 |
| 18×5.5 | 108.00 | 16.70 | 203.20 | 11.10 | 22.20 | ④ | | | 1.60 |
| 22×5.5 | 108.00 | 16.70 | 304.80 | 11.10 | 22.20 | 5.60 | | | 1.60 |
| 22×6.6 | 139.70 | 17.50 | 254.00 | 15.90 | 25.40 | 6.40 | | | 1.60 |
| 26×6.6② | 127.00 | 17.50 | 355.60 | 12.70 | 25.40 | ④ | ②9.50 | 15.90 | 3.20 |
| 24×7.7 | 139.70 | 19.10 | 254.00 | 12.70 | 23.00 | ④ | 27.80 | 15.90 | 1.60 |
| 29×7.7 | 152.40 | 19.10 | 381.00 | 12.70 | 25.40 | 6.40 | | 19.80 | 3.20 |
| 32×8.8 | 177.80 | 20.70 | 406.40 | 14.30 | 28.60 | 6.40 | 25.40 | 15.90 | 3.20 |
| 34×11 | 228.60 | 25.40 | 355.60 | 19.10 | 38.10 | 8.60 | 33.30 | 19.80 | 1.60 |
| 36×11 | 228.60 | 23.00 | 406.40 | 17.50 | 34.90 | 7.90 | 34.90 | 19.80 | 3.20 |
| 36×11⑩ | 228.60 | 27.00 | 406.40 | 20.70 | 41.30 | 9.50 | | | 3.20 |
| 40×12 | 254.00 | 23.80 | 457.20 | 19.10 | 38.10 | 8.70 | 38.10 | 19.80 | 3.20 |

续表

| 规　格 | 轮　辋<br>宽　度<br>$A$ | 轮　缘<br>宽　度<br>$B_1$ | 轮　辋<br>直　径<br>$d$ | 轮缘弧度<br>半　径<br>$R_F$ | 轮缘高度<br>$H_L$ | 轮辋与胎踵接合部弧度半径<br>$R_h$ | 气门嘴孔眼中心与轮辋型面中心线的距离①<br>$L\pm8.2$ | 气　门　嘴<br>孔眼直径<br>$M\pm0.2$ | 轮缘外缘<br>弧度半径<br>$R_t$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 39×13⑤ | 254.00 | 23.80 | 406.40 | 15.90 | 31.80 | 7.90 | | | 2.40 |
| 39×13⑥ | 254.00 | 23.80 | 406.40 | 17.50 | 34.90 | 7.90 | | | 2.40 |
| 42×15 | 292.10 | 24.60 | 406.40 | 19.10 | 38.10 | 8.70 | | | 1.60 |
| 42×15⑫ | 292.10 | 27.00 | 406.40 | 20.60 | 41.30 | 10.30 | | | 1.60 |
| 40×14 | 279.40 | 28.60 | 406.40 | 20.60 | 41.30 | ④ | | | 2.40 |
| 44×16 | 336.60 | 29.40 | 457.20 | 22.20 | 41.30 | 7.90 | | | 4.00 |
| 46×16⑦ | 336.60 | 29.40 | 508.00 | 22.20 | 41.30 | 7.90 | | | 2.40 |
| 46×16⑧ | 336.60 | 33.50 | 508.00 | 23.80 | 44.50 | 10.00 | | | 4.00 |
| 46×17⑨ | 336.60 | 30.20 | 508.00 | 23.80 | 44.50 | ④ | ③9.5 | 20.6 | 4.00 |
| 49×17⑩ | 336.60 | 31.00 | 508.00 | 23.80 | 47.60 | ④ | 9.5 | 20.6 | 1.60 |

①只用于有内胎轮胎的轮辋。②建议用于新设计轮辋，现有轮辋不一定要用此值。③可选用的气门嘴孔眼位置为57.2±6.4。④该部位由两个半径构成(见表1-7-12)。⑤用于39×13/14,16层级轮胎。⑥用于39×13/18,20,22层级轮胎。⑦用于46×16/20层级轮胎。⑧用于46×16/24，26，28层级轮胎。⑨用于49×17/24,26,28层级轮胎。⑩用于49×17/30，32，34层级轮胎。⑪用于37×13.0-16/26层级轮胎。⑫用于42×15/24层级轮胎。

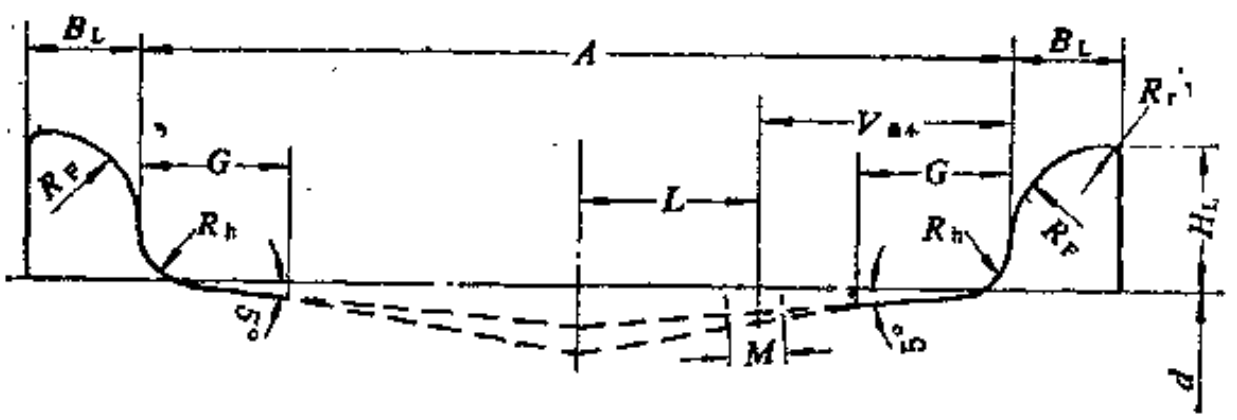



图 1-7-7　Ⅶ型轮胎用的轮辋型面

表 1-7-11　Ⅲ型轮胎用轮辋的型面（参见图1-7-8）尺寸

单位：mm

| 规　格 | 轮　辋<br>宽　度<br>$A$ | 轮　缘<br>宽　度<br>$B_L$ | 轮　辋<br>直　径<br>$d$ | 轮缘弧度<br>半　径<br>$R_F$ | 轮缘高度<br>$H_L$ | 轮辋与胎踵接合部弧度半径<br>$R_h$ | 气门嘴孔眼中心与轮辋型面中心线的距离①②<br>$L\pm3.2$ | 气　门　嘴<br>孔眼直径<br>$M\pm0.2$ | 轮缘外缘<br>弧度半径<br>$R_t$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.00-4 | 88.90 | 14.70 | 101.60 | 9.50 | 19.10 | 4.80 | | 15.90 | 1.60 |
| 5.00-5 | 88.90 | 14.70 | 127.00 | 9.50 | 19.10 | 4.80 | | 15.90 | 1.60 |
| 6.00-6 | 127.00 | 11.10 | 152.40 | 11.10 | 19.10 | 3.20 | 31.80 | 12.70 | 1.60 |
| 8.50-6 | 152.40 | 15.50 | 152.40 | 13.50 | 22.20 | 4.00 | | 15.90 | 1.60 |
| 9.00-6 | 171.50 | 16.30 | 152.40 | 13.50 | 22.20 | 4.00 | | 15.90 | 1.60 |
| 6.50-8 | 139.40 | 16.70 | 203.20 | 10.30 | 20.60 | 5.20 | 25.40 | 15.90 | 1.60 |
| 7.00-8 | 139.70 | 16.70 | 203.20 | 10.30 | 20.60 | 5.20 | 29.40 | 15.90 | 1.60 |
| 6.50-10 | 120.70 | 16.70 | 254.00 | 11.90 | 20.60 | 5.60 | 21.70 | 15.90 | 1.60 |
| 8.50-10 | 158.80 | 16.70 | 254.00 | 11.90 | 20.60 | 5.60 | 38.10 | 15.90 | 1.60 |

续表

| 规　格 | 轮　辋<br>宽　度<br>$A$ | 轮　缘<br>宽　度<br>$B_L$ | 轮　辋<br>直　径<br>$d$ | 轮缘弧度<br>半　径<br>$R_1$ | 轮缘高度<br>$H_L$ | 轮辋与胎<br>踵接合部<br>弧度半径<br>$R_2$ | 气门嘴孔眼<br>中心与轮辋<br>型面中心线<br>的距离①② | 气　门　嘴<br>孔眼直径<br>$M\pm0.2$ | 轮缘外缘<br>弧度半径<br>$R_r$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | $L\pm3.2$ | | |
| 8.90-12.60 | 171.50 | 14.40 | 317.50 | 11.10 | 22.20 | 4.00 | | | 1.60 |
| 11.00-12 | 210.00 | 17.50 | 304.80 | 12.70 | 25.40 | 6.40 | 54.00 | 12.70 | 1.60 |
| 7.50-14 | 139.70 | 16.70 | 355.60 | 11.90 | 20.60 | 5.60 | 19.10 | 15.90 | 1.60 |
| 9.50-15 | 177.80 | 15.10 | 406.40 | 12.70 | 25.40 | 6.40 | 34.90 | 15.90 | 1.60 |
| 12.50-18 | 254.00 | 23.80 | 406.40 | 15.90 | 31.80 | 7.90 | 12.70 | 20.60 | 2.40 |
| 15.00-12 | 279.40 | 16.50 | 304.80 | 12.70 | 25.40 | 6.40 | | | 1.60 |
| 15.00-16 | 285.80 | 22.20 | 406.40 | 17.50 | 30.20 | 6.40 | 50.80 | 19.80 | 2.40 |
| 16.00-16 | 285.80 | 20.70 | 406.40 | 17.50 | 34.90 | 7.80 | 60.80 | 19.80 | 2.40 |
| 17.00-16 | 336.60 | 26.20 | 406.40 | 19.10 | 34.90 | 6.40 | 92.10 | 19.80 | 2.40 |
| 17.00-20③ | 336.60 | 29.40 | 508.00 | 22.20 | 41.30 | 7.90 | 57.20 | 19.80 | 2.40 |
| 17.00-20④ | 336.60 | 33.80 | 508.00 | 23.80 | 44.50 | 10.00 | 58.70 | 19.80 | 4.00 |
| 20.00-20 | 393.70 | 33.30 | 508.00 | 25.40 | 50.80 | 11.90 | | | 1.60 |

① "$L$"尺寸仅用于有内胎轮胎用轮辋。②当轮胎规格等于或大于17.00-16时$L$的公差为±6.4。③气门嘴孔眼位置和尺寸推荐用于新设计轮辋，现有轮辋不一定要用此值。可选用的气门嘴孔长为38.1±6.4，宽为19.8，$L$距中心±79.5。④可选用于17.00-20-16,20层级轮胎。

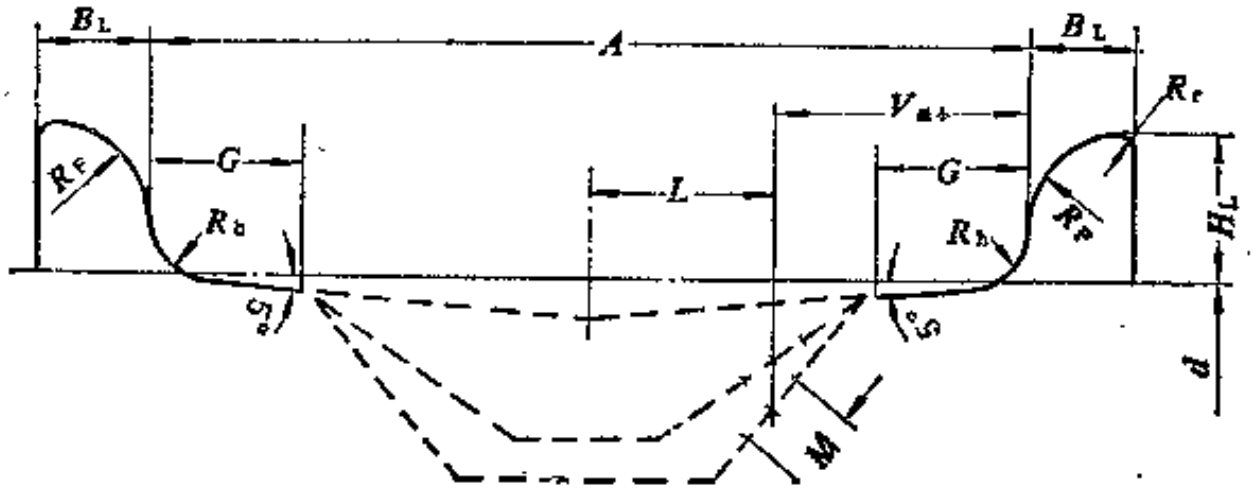



图 1-7-8　Ⅲ型轮胎用的轮辋型面

**表 1-7-12　由两个半径构成的胎踵着合部（参见图1-7-9）的最大尺寸**

单位：mm

| 规　格 | 轮缘高度<br>$H_L$ | $x_1$ | $P$ | $Q$ | $E$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 25×7.0-12 | 16.50 | 7.70 | 1.60 | 9.60 | 304.20 |
| H40×14.5-19 | 35.60 | 18.50 | 3.80 | 22.90 | 481.30 |
| H44.5×16.5-20 | 38.10 | 18.50 | 3.80 | 22.90 | 506.70 |
| 16×4.4 | 20.60 | 10.30 | 2.10 | 12.70 | 202.50 |
| 18×5.5 | 22.20 | 9.00 | 1.90 | 11.10 | 202.50 |
| 26×6.6 | 25.40 | 10.30 | 2.10 | 12.70 | 354.90 |
| 24×7.7 | 23.00 | 9.00 | 1.90 | 11.10 | 253.30 |
| 32×8.8 | 28.60 | 10.30 | 2.10 | 12.70 | 405.70 |
| 40×14 | 41.30 | 15.10 | 3.10 | 18.60 | 405.30 |
| 49×17① | 44.50 | 16.20 | 3.30 | 20.00 | 506.30 |
| 49×17② | 47.60 | 18.00 | 3.70 | 22.30 | 506.70 |

注：上述尺寸为最大尺寸，实际的胎踵着合部或复合胎踵着合部半径可显著小于该值，①用于49×17/24，26，28层级轮胎，②用于49×17/30，32，34层级轮胎。

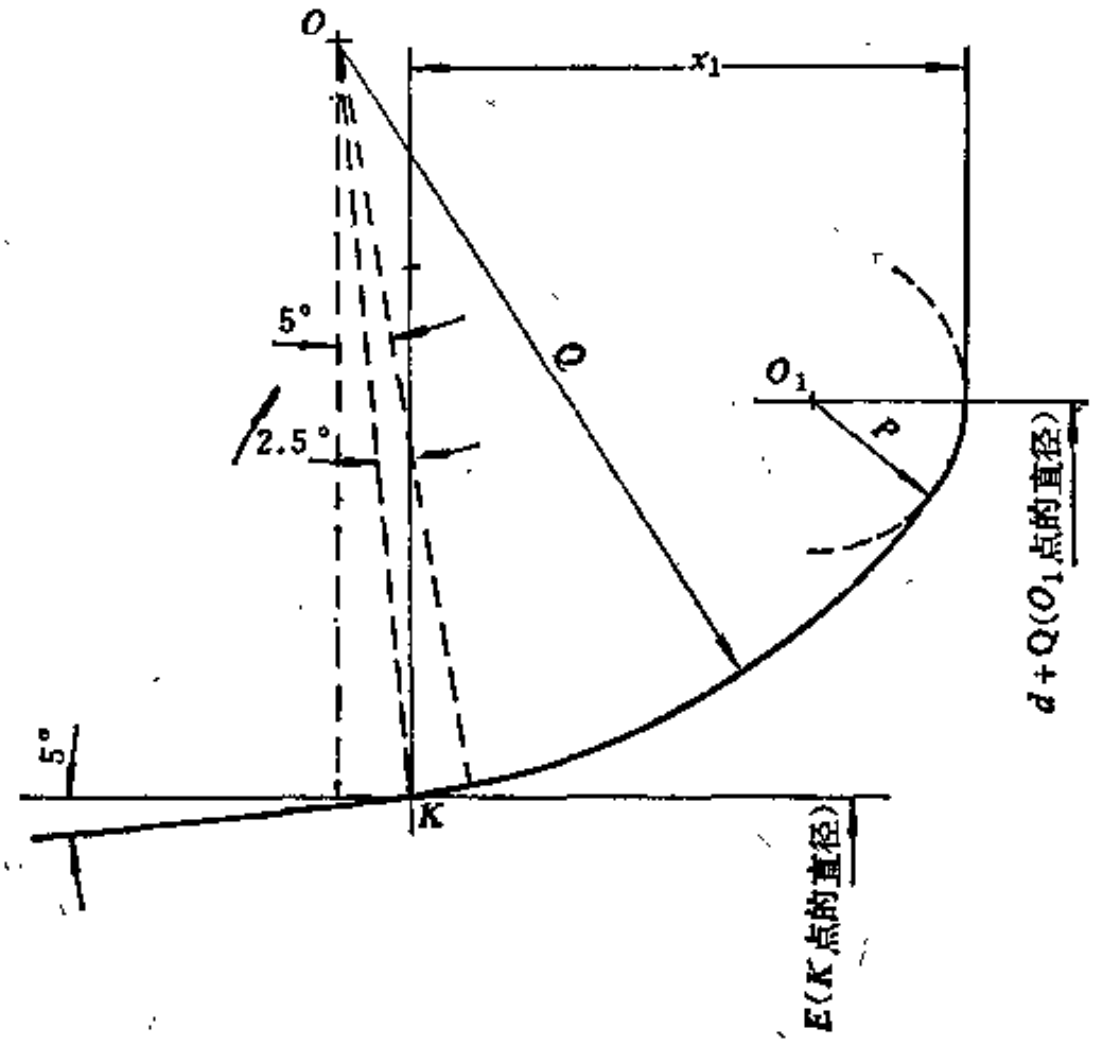



图 1-7-9 由两个半径构成的轮胎胎踵着合部示图

## 第二节 航空轮胎结构设计

### 一、对航空轮胎的技术要求

由飞机设计部门提出的对航空轮胎的技术要求是进行轮胎结构设计的主要依据。一般，该技术要术应包括下列内容：

（1）轮胎规格；（2）胀大轮胎的最大外直径（mm）和最大断面宽（mm）；（3）轮胎充气内压（kPa）；(4)飞机起飞时和着陆时轮胎的停机负荷（kN）；(5) 轮胎最大允许负荷（kN）；(6) 前轮轮胎的最大动负荷（kN）；(7) 飞机起飞时，轮胎的最大离地速度（km/h）；(8)飞机着陆时，轮胎的最大着陆速度（km/h）；(9) 飞机起飞和着陆时的最大滑跑距离（m）；(10)其它(如环境温度、跑道特征等)。

### 二、航空轮胎的负荷性能

负荷性能是轮胎的基本性能之一，它取决于轮胎的几何尺寸，充气内压和轮胎结构的刚度等。一般，以轮胎的径向负荷和轮胎的下沉量的关系曲线来表示轮胎的负荷性能。在不同的充气内压下轮胎负荷—下沉量曲线，如图1-7-10所示。

### 三、航空轮胎负荷能力计算

当轮胎的外直径、断面宽、着合直径和充气内压等基本结构参数初步选定后，即应进行轮胎负荷能力的计算。目前，航空轮胎的负荷能力计算公式有下列二种。

1．负荷能力计算公式 I

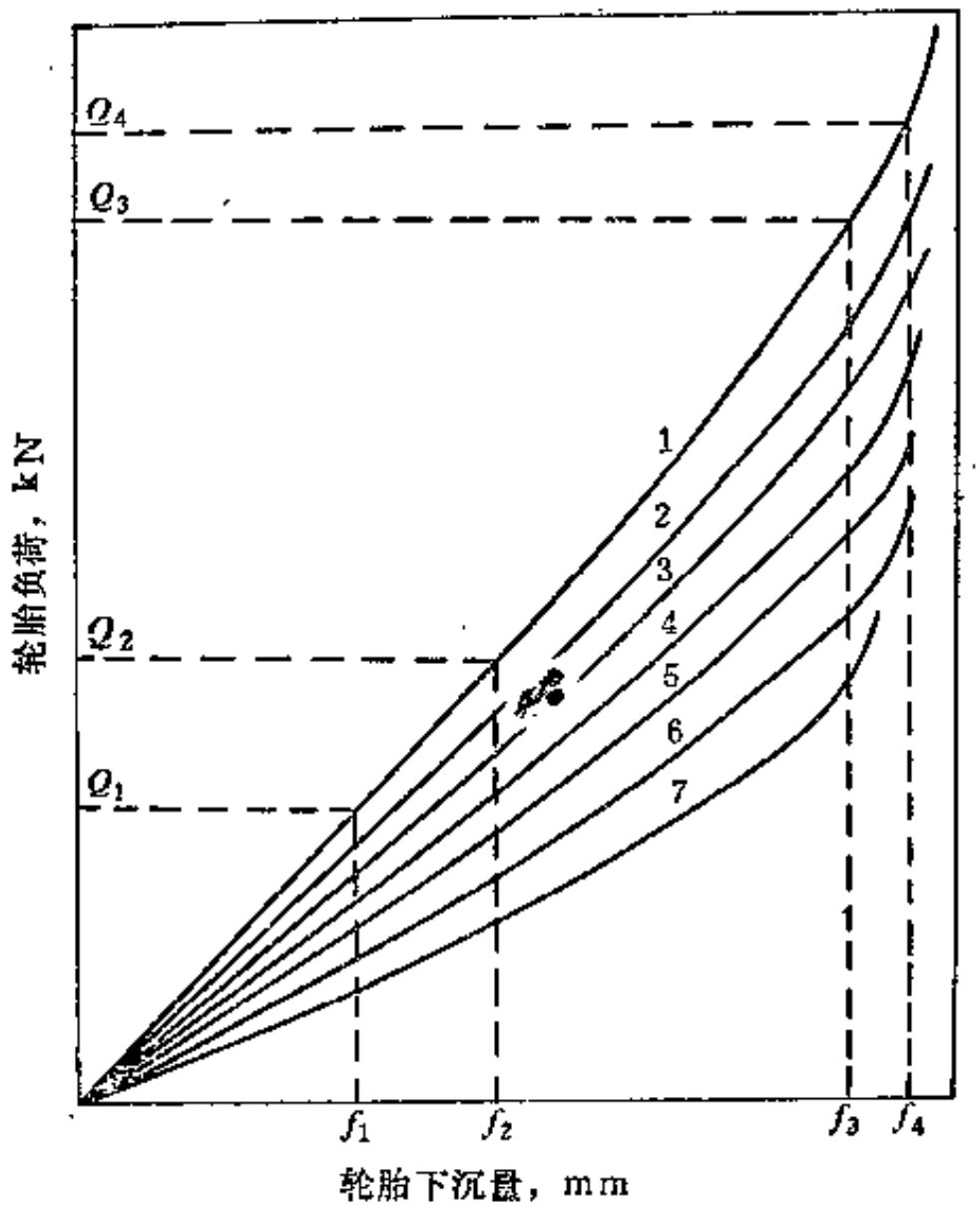



图 1-7-10 轮胎负荷—下沉量曲线

$P_0$—轮胎充气内压，kPa ($P_0$: 1>2>3>4>5>6>7)；$Q_1$—轮胎的额定负荷，kN；$Q_2$—轮胎的动负荷，kN；$Q_3$—轮胎的最大允许负荷，kN；$Q_4$—轮胎的全压缩负荷，kN

通常要求：$f_1$≈30～35%轮胎的自由断面高 ($H_1$)；$f_2$≈50% $f_4$；$f_3$≈95% $f_4$

$$Q = K_1 \cdot P_0 \cdot F \tag{1-7-1}$$

$$F = K_2 \cdot \pi \cdot a \cdot b$$

$$a = K_3 \sqrt{(D - H_1) \cdot f}$$

$$b = \left(K_4 + \frac{C}{2}\right)\sqrt{\frac{f}{H_1}}$$

式中 $Q$——轮胎负荷，kN；

$F$——轮胎接地印痕面积，$cm^2$；

$P_0$——轮胎充气内压，kPa；

$a$——轮胎接地印痕长轴之半，cm；

$b$——轮胎接地印痕短轴之半，cm；

$D$——轮胎外直径，cm；

$H_1$——轮胎自由断面高，cm；

$f$——轮胎下沉量，cm；

$C$——轮胎胎圈着合宽度，cm；

$K_1$——轮胎刚度修正系数；

$K_2$——轮胎接地印痕面积修正系数；

$K_3$——轮胎接地印痕长轴之半修正系数；

$K_4$——轮胎接地印痕短轴之半修正系数。

应用公式Ⅰ计算航空轮胎负荷能力，必须具有较大量的轮胎负荷—下沉量曲线和接地印痕的测量数据，供选取修正系数$K$值参考使用，才能使计算的结果达到要求的精度。一般，高压航空轮胎的修正系数$K$值的基本范围如表1-7-13所示。

表 1-7-13 轮胎负荷计算修正系数

| 轮胎类型 | $K_1$ | $K_2$ | $K_3$ | $K_4$ |
|---|---|---|---|---|
| 高压轮胎 | 1.05～1.10 | 1.05～1.10 | 0.89～0.95 | 4.6～6.5($D$<1000mm)<br>6.5～9.5($D$=1000～1200mm)<br>9.5～10.5($D$>1200mm) |
| 拱型轮胎 | 1.05～1.15 | 1.05～1.10 | 0.9～0.95 | 2.0～3.5($D$<550mm)<br>4.0～6.0($D$=550～1000mm)<br>8.0～9.5($D$>1000mm) |

式（1-7-1）应用实例如下。

**例 1** 已知轮胎承受的最大静负荷及轮胎的外缘尺寸，计算轮胎的充气内压。

已知：轮胎规格 1400×400，$Q$=196.2kN，$D$=136.4cm，$H_1$=29.8cm，$\Delta f$=35%，$C$=27.6cm。

求：轮胎的充气内压$P_0$。

计算：选取修正系数$K_1$=1.10，$K_2$=1.07，$K_3$=0.92，$K_4$=10.5，

$$f=H_1\cdot\Delta f=29.8\times35\%=10.4(\text{cm}),$$

$$a=K_3\sqrt{(D-H_1)\cdot f}=0.92\times\sqrt{(136.4-29.8)\times10.4}=30.63(\text{cm}),$$

$$b=\left(K_4+\frac{c}{2}\right)\sqrt{\frac{f}{H_1}}=\left(10.5+\frac{27.6}{2}\right)\sqrt{\frac{10.4}{29.8}}=14.36(\text{cm}),$$

$$F=K_2\pi ab=1.07\times\pi\times30.63\times14.36=1479(\text{cm}^2),$$

$$P_0=\frac{Q}{K_1\cdot F}=\frac{196.2}{1.10\times1479}=1206(\text{kPa})。$$

**例 2** 已知轮胎的外缘尺寸及充气内压，计算轮胎的负荷能力。

已知：轮胎规格1400×400，$D$=136.4cm，$H_1$=29.8cm，$\Delta f$=35%，$C$=27.6cm，$P_0$=1206kPa。

求：轮胎负荷能力$Q$

计算：选取修正系数$K_1$=1.10，$K_2$=1.07，$K_3$=0.92，$K_4$=10.5，

$$f=H_1\cdot\Delta f=29.8\times35\%=10.4(\text{cm}),$$

$$a=K_3\sqrt{(D-H_1)\cdot f}=0.92\times\sqrt{(136.4-29.8)\times10.4}=30.63(\text{cm}),$$

$$b=\left(K_4+\frac{C}{2}\right)\sqrt{\frac{f}{H_1}}=\left(10.5+\frac{27.6}{2}\right)\sqrt{\frac{10.4}{29.8}}=14.36(\text{cm}),$$

$$F=K_2\cdot\pi\cdot a\cdot b=1.07\times\pi\times30.63\times14.36=1479(\text{cm}),$$

$$Q=K_1\cdot P_0\cdot F=1.10\times1206\times1479=196.3(\text{kN})。$$

**例 3** 已知轮胎的外缘尺寸，充气内压及承受的负荷；充气轮胎在负荷作用下的接地面积及接地面的长、短轴，计算修正系数$K_1$、$K_2$、$K_3$和$K_4$。

已知：轮胎规格1100×330，$D=109.02\text{cm}$，$H_1=25.01\text{cm}$，$\Delta f=32\%$，$C=27.9\text{cm}$，

$P_0=931.4\text{kPa}$，$Q=86.3\text{kN}$，$F=900\text{cm}^2$，$2a=46\text{cm}$，$2b=23.6\text{cm}$。

求：$K_1$、$K_2$、$K_3$和$K_4$

计算：$f=H_1\cdot\Delta f=25.01\times32\%=8(\text{cm})$，

$$K_1=\frac{Q}{P_0\cdot F}=\frac{86.3}{931.4\times900}=1.03,$$

$$K_2=\frac{F}{\pi\cdot a\cdot b}=\frac{900}{\pi\times23\times11.8}=1.06,$$

$$K_3=\frac{a}{\sqrt{(D-H_1)\cdot f}}=\frac{23}{\sqrt{(109.2-25.01)\times8}}=0.89,$$

$$K_4=\frac{b}{\sqrt{\frac{f}{H_1}}}-\frac{C}{2}=\frac{11.8}{\sqrt{\frac{8}{25.01}}}-\frac{27.9}{2}=6.9。$$

2. 负荷能力计算公式Ⅱ[7]

（1）$Q=0.0101\cdot K\cdot A_d\cdot(P+P_c)$ (1-7-2)

$$K=\Delta f+0.45$$

$$A_d=\pi\cdot f\cdot\sqrt{(D-f)(B-f)}$$

$$P_c=\frac{100N}{14.5}(B\leqslant140\text{mm时})$$

$$P_c=\frac{46270N^2}{B^2}(B>140\text{mm时})$$

$$P=\frac{C\cdot R_c\cdot T_0\cdot N_c}{S\cdot F_0}\ ,\ \text{kPa}$$

$R_c$可根据$R_L=\frac{D}{d}$值确定：

$$R_L=1.50-2.20,\ R_c=1.475-0.331R_L;$$

$$R_L>2.20,\ R_c=1.325-0.361R_L+0.041R_L^2;$$

$$T_0=4.4;$$

$$S=\frac{D-d}{4}\left(2.5+\frac{d}{2D}\right);$$

$$C=7020;$$

$$N_c=N-0.4;$$

$$F_0=2.266-0.00392d+0.0000311d^2。$$

式中 $Q$——轮胎负荷，kN；

$\Delta f$——轮胎下沉率，%；

$f$——轮胎下沉量，mm；

$D$——轮胎平均外直径，mm；

$B$——轮胎平均断面宽，mm；

$P_c$——轮胎胎体的压力当量，kPa；

$N$——轮胎的层级；

$P$——压力指数，kPa；

$d$——轮辋直径，mm；

$F_0$——操作因素，它是与轮辋直径有关的因素。

（2）轮胎充气内压$P_0$的计算：

$$P_0 = P + xP_c \tag{1-7-3}$$

$$x = 0.56 \quad (P \geqslant 690\text{kPa时})$$

$$x = 0.00149P - 0.461 \quad (P < 690\text{kPa时})$$

式（1-7-2）及式（1-7-3）应用实例如下。

计算36×10.00-18，16层级轮胎的负荷能力及充气内压。

已知：$D=919$mm，$B=255$mm，$d=457.2$mm，$H_1=203$mm，$\Delta f=32\%$，$N=16$。

求：轮胎的负荷能力$Q$及充气内力$P_0$；

计算：$P_c = 46270\dfrac{N^2}{B^2} = 46270\dfrac{16^2}{255^2} = 182.2(\text{kPa})$；

$$P = \frac{C \cdot R_c \cdot T_0 \cdot N_c}{S \cdot F_0}$$

$$C = 7020, \quad T_0 = 4.4,$$

$$R_L = \frac{D}{d} = \frac{919}{457.2} = 2.01,$$

$$R_c = 1.475 - 0.331R_L = 1.475 - 0.331 \times 2.01 = 0.809,$$

$$N_c = N - 0.4 = 16 - 0.4 = 15.6,$$

$$S = \frac{D-d}{4}\left(2.5 + \frac{d}{2D}\right) = \frac{919-457.2}{4}\left(2.5 + \frac{457.2}{2\times 919}\right) = 317.5,$$

$$F_0 = 1.14,$$

$$P = \frac{C \cdot R_c \cdot T_0 \cdot N_c}{S \cdot F_0} = \frac{7020 \times 0.809 \times 4.4 \times 15.6}{317.5 \times 1.14} = 1077(\text{kPa}),$$

$$P_0 = P + xP_c = 1077 + 0.55 \times 182.2 = 1177(\text{kPa});$$

$$Q = 0.0101 \cdot K \cdot A_d \cdot (P + P_c)$$

$$K = \Delta f + 0.45 = 0.32 + 0.45 = 0.77$$

$$A_d = \pi \cdot f \cdot \sqrt{(D-f)(B-f)}$$

$$f = H_1 \cdot \Delta f = 203 \times 0.32 = 65$$

$$A_d = \pi \times 65 \times \sqrt{(919-65)(255-65)} = 82256.3$$

$$Q = 0.0101 \times 0.77 \times 82256.3 \times (1077 \div 182.2) = 80.6(\text{kN})。$$

## 四、轮胎类型和结构参数的选取

1．轮胎类型

轮胎类型主要是根据飞机的最大起飞速度和着陆速度而选取的。一般，对起飞速度较低的螺旋桨式飞机，选用低压轮胎；而对起飞速度较高的喷气式和涡轮喷气式飞机，则选用高压轮胎或超高压轮胎。表1-7-14为不同类型的航空轮胎的适用速度范围[1]。

表 1-7-14　不同类型轮胎的适用速度范围

| 轮　胎　类　型 | 充　气　内　压 | 飞机最大起飞速度，km/h |
|---|---|---|
| 超低压轮胎 | 200～340kPa<br>(2.0～3.5kgf/cm²) | ≤200 |
| 低压轮胎 | 340～640kPa<br>(3.5～6.5kgf/cm²) | ≤250 |
| 高压轮胎 | 640～980kPa<br>(6.5～10kgf/cm²) | ≤300 |
| 超高压轮胎 | 980kPa以上<br>(10kgf/cm²以上) | >300 |

2．轮胎断面高宽比（$H/B$）

轮胎断面高宽比（$H/B$）对轮胎的速度性能影响较大，在设计高速航空轮胎时，可参考表1-7-15轮胎的使用速度及其最大断面高宽比[6]，选取轮胎的断面高宽比。

表 1-7-15　轮胎使用速度及其最大高宽比

| 轮胎使用速度，km/h | 最大断面高宽比 |
|---|---|
| 256 | 1.00 |
| 304 | 0.87 |
| 336 | 0.82 |
| 360 | 0.77 |
| ≥378 | 0.72 |

3．轮胎胎圈着合宽度（$C$）

航空轮胎的胎圈着合宽度对断面宽的比值（$C/B$），一般，低压轮胎为0.74～0.76；高压轮胎为0.75～0.78；而拱型轮胎为0.93～0.95。当轮胎断面高宽比在0.65～0.90之间时，轮胎胎圈着合宽度可用式（1-7-4）计算[8]。

$$C = B \cdot \left(1.13 - \frac{\frac{H}{B}}{2.5}\right) \qquad (1\text{-}7\text{-}4)$$

式中　$H$——轮胎断面高，mm；

$B$——轮胎断面宽，mm。

## 五、胎面花纹设计和胎面结构的选取

### （一）胎面花纹设计

纵沟花纹胎面因具有使用磨耗均匀的特点而被广泛应用于航空轮胎。纵沟花纹胎面的设计参数特征，如图1-7-11所示。

1．胎面花纹沟深度（$h_2$）的选取

胎面花纹沟深度，决定于轮胎外直径和使用速度。一般，外直径较大的轮胎，其花纹沟深度取值大一些，使用速度高的轮胎，其花纹沟深度取值小一些。表1-7-16为不同外直径轮胎胎面花纹深度范围。

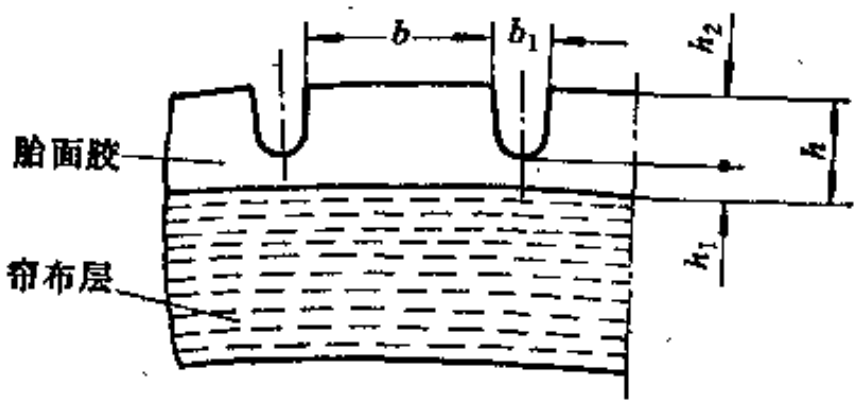



图 1-7-11 纵沟花纹胎面的设计参数特征

$h$—胎面总厚度，mm；$h_1$—胎面基部厚度，mm；$h_2$—胎面花纹沟深度，mm；$b$—胎面花纹条宽度，mm；$b_1$—胎面花纹沟宽度，mm

表 1-7-16 不同外直径轮胎的胎面花纹深度

| 轮胎外直径，mm | 胎面花纹沟深度，mm |
|---|---|
| 300～500 | 2～4 |
| 500～700 | 4～6 |
| 700～1000 | 6～8 |
| 1000～1500 | 8～10 |

2．花纹沟基部厚度（$h_1$）

花纹沟基部厚度应不小于30%花纹沟深度（$h_2$）和1.6mm。而准备翻修使用的轮胎，其花纹沟基部或带有补强层的胎面，其补强层与帘布层间，应有3mm厚的胶层，以供翻修打磨用。

3．花纹沟宽度（$b_1$）与花纹条宽度（$b$）之比（$b_1/b$）

一般，（$b_1/b$）取0.2～0.3。

4．花纹沟的数量

花纹沟数量过多时，则影响胎面的使用寿命，而过少时，则影响胎面的排水性能，当飞机跑道表面上有积水时，易造成轮胎产生滑水现象，而危及飞机的安全滑跑。因此，为兼顾轮胎胎面的使用寿命和排水性能起见，一般，胎面花纹沟取4～5条为宜。

5．胎面花纹沟的分布

花纹沟应由冠部中心线对称地分布，最外一条花纹沟以距胎肩（即轮胎在额定负荷下，其接地印痕短轴）约20mm左右为宜。如图1-7-12所示，最外一条花纹沟，如设在肩部时，将加剧轮胎在负荷下的肩部应力集中状况，而导致肩部温升过高。

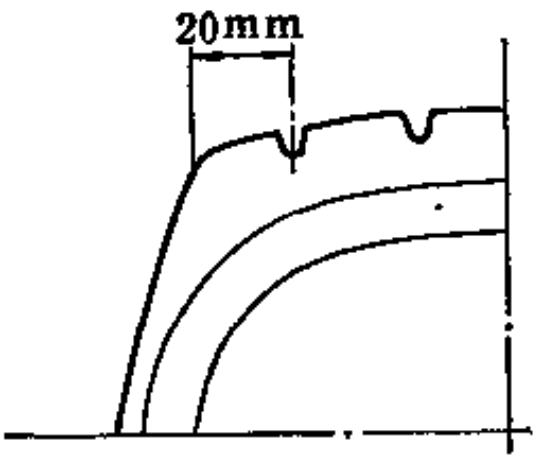



图 1-7-12 胎面花纹沟的分布

## （二）胎面结构的选取

航空轮胎胎面结构，有普通全橡胶胎面和织物补强胎面（如图1-7-2所示）。对最大使用速度不超过300km/h的轮胎，一般，采用普通全橡胶胎面，即可满足使用速度的要求。但对最大使用速度超过300km/h的轮胎，则应采用以帘布层为补强材料的补强胎面，才能满足使用速度的要求。随轮胎的最大使用速度的不同，而胎面补强的帘布层数也有所不同，最小为一层，多者为二层或更多。

## 六、胎 圈 设 计

### （一）胎圈外轮廓设计

胎圈外轮廓设计的要求，在于使轮胎胎圈和轮辋的尺寸配合适宜，既有足够的密合压力，保证在使用中两者之间不产生相对位移，又不给轮胎装卸操作带来困难。为此，对轮胎胎圈外轮廓设计（如图1-7-13所示），胎圈着合直径（$d$）取值稍小于轮辋直径($d_L$)：一般，大规格轮胎为1.5～2mm；中、小规格轮胎为1～1.5mm。胎圈底部的斜度取值大于轮辋胎圈座的斜度1～2°，其余的轮廓弧度尺寸均采取与轮辋相应部位的相同值。

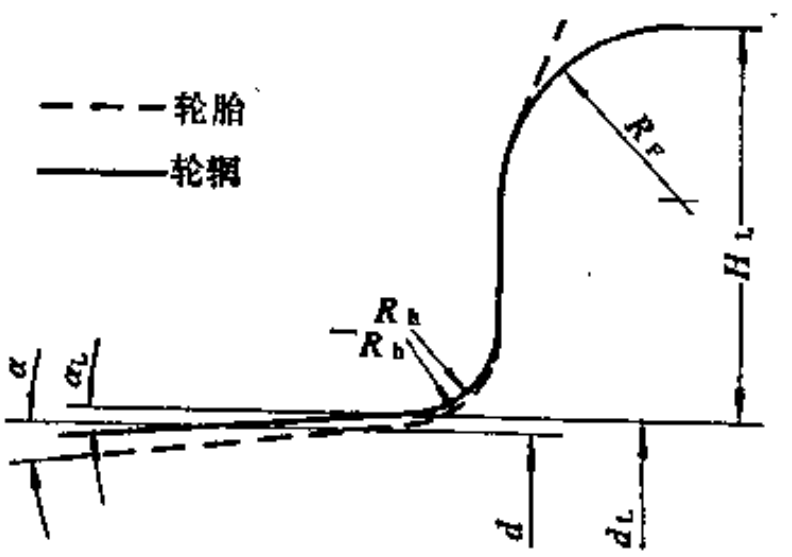



图 1-7-13 胎圈外轮廓设计示意图

$\alpha$—胎圈底部斜度；$\alpha_L$—轮辋胎圈座斜度；$R_b$—胎圈踵部和轮辋相应部位的弧度半径；$d$—胎圈着合直径；$d_L$—轮辋直径；$R_F$—轮缘弧度半径；$H_L$—轮缘高度

### （二）胎圈结构设计

航空轮胎在额定负荷下，其下沉率高达30～35%自由断面高($H_1$)，因而胎圈部位承受较大的应力。从胎圈结构设计上，注意提高胎圈部位的刚性，以改善其应力的分布状况是至关重要的。否则将产生胎圈部位磨损，内部材料脱层和胎圈爆破等质量毛病。一般，可通过对胎圈的钢丝圈数量的选取和胎圈—胎侧的补强区域设计二个方面的措施，来提高胎圈部位的刚性。

1．胎圈的钢丝圈数量的选取

根据轮胎帘布层数的多少，合理选取钢丝圈的数量。一般，帘布层为4～6层，选取一个钢丝圈；8～10层时，选取二个钢丝圈；而 12 层以上时，则应选取 3 个钢丝圈。

2．胎圈—胎侧的补强区域的设计

为提高胎圈的疲劳强度，胎圈—胎侧应有一段刚性较大的补强区域，在合理选择帘布包圈方法，并使帘布包边高度分布均匀的基础上，通过加大钢丝圈的三角填充胶的横截面积，以达到图1-7-14胎圈—胎侧的补强区域的厚度比例要求。为达到这一要求，有时也可以在加大三角填充胶的横截面积的同时，对补强区域的胎侧胶厚度加以调整。

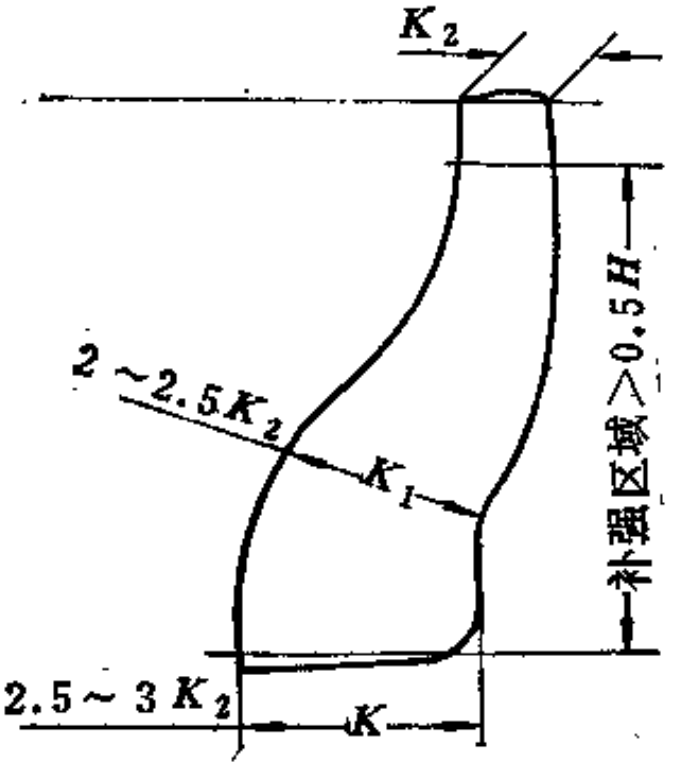



图 1-7-14 胎圈—胎侧的厚度比例

$K$—胎圈宽度，mm；$K_1$—靠近轮辋边缘处的胎圈上部厚度，mm；$K_2$—断面水平 部 处胎侧厚度，mm

## 七、轮胎帘布层帘线角度的选取

航空轮胎帘布层的帘线角度，一般，选取52°左右为宜，但对高速轮胎，为提高其临界速度，以满足其更高的使用速度要求，可采用较大的帘线角度。因加大帘线角度，对充气的条件下，轮胎横断面的变化有着较明显的影响，尤其，对断面高宽比值大的轮胎就更为严重，

从而使轮胎肩部产生较大的剪切应力。因此，在帘线角度的选取，必须和轮胎断面高宽比搭配适宜。图1-7-15为不同的断面高宽比的轮胎和适宜搭配的帘线角度[9]。

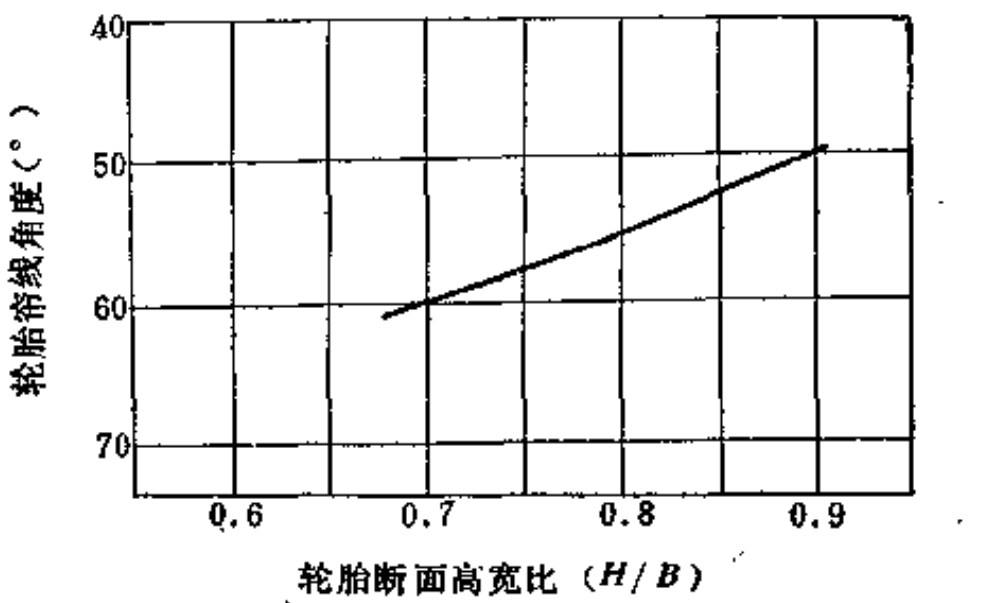



图 1-7-15 轮胎帘线角度与断面高宽比的关系

## 八、航空轮胎强力安全倍数的选取

航空轮胎的强力安全倍数，一般，要求不低于 4 倍。轮胎设计时，对帘布层和钢丝圈的强力安全倍数计算，选取如下值。

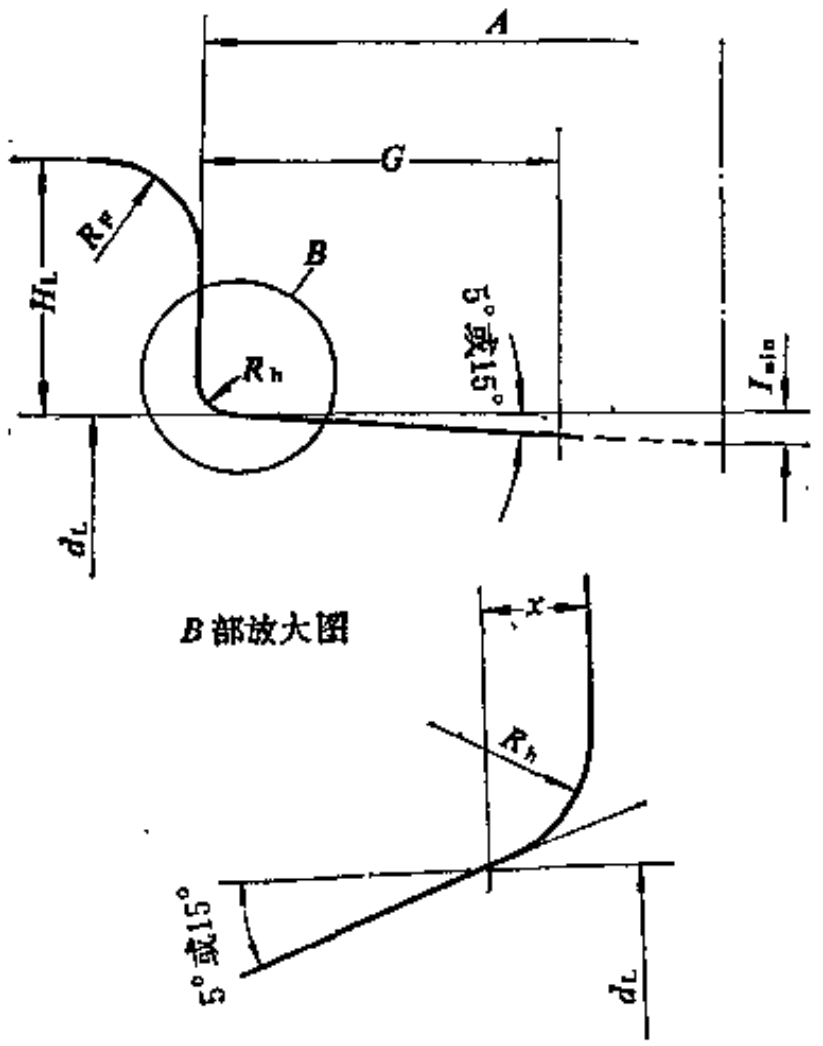



图 1-7-16 轮辋断面曲线图

(对6°，$x=0.956R_h$；对15°，$x=0.868R_h$)

$A$——轮辋宽度；$H_L$——轮缘高度；$R_r$——轮缘弧度半径；$R_h$——轮缘内侧根部的弧度半径；$G$——胎圈座宽度；$l$——底部深度

1．帘布层的强力安全倍数

轮胎在充气内压的作用下，轮胎帘布层所受应力，按“毕捷尔曼 (В. Л. БИДЕРМАН)公式”计算，其强力安全倍数取不低于 5.5 倍 (轮胎外直径≤1000mm)和不低于 6 倍(轮胎外直径>1000mm)。

2．钢丝圈的强力安全倍数

按下列公式计算钢丝圈所受的应力，其强力安全倍数取不低于 5 倍。

$$T_g=\frac{P_0}{4}(2\cdot F+d_L\cdot b) \qquad (1\text{-}7\text{-}5)$$

式中 $T_g$——充气内压作用下，轮胎钢丝圈所受应力，kN；

$P_0$——轮胎充气内压，kPa；

$F$——轮胎横断面的内轮廓面积，$cm^2$；

$d_L$——轮辋直径，cm；

$b$——两胎趾的间距，cm。

## 九、轮辋断面曲线设计

轮辋断面曲线，如图1-7-16所示。轮辋断面各部位尺寸的确定步骤如下[5]。

（1）轮辋宽度（$A$） 取与轮胎胎圈着合宽度（$C$）相同值，即$A=C$。

（2）轮缘高度（$H_L$）根据轮胎断面高和钢丝圈（单钢丝圈的胎圈）或最外一个钢丝圈（二个以上钢丝圈的胎圈）的外径，参照表1-7-17和表1-7-18确定。

表 1-7-17 轮胎断面高及相应的轮缘高度

| 轮胎断面高，mm | 轮缘高度,mm |
|---|---|
| 120～150 | 25～27 |
| 160～230 | 30～35 |
| 240～300 | 38～45 |
| >300 | 45～50 |

表 1-7-18 胎圈钢丝圈的外缘半径($R_1$)与轮缘半径之差($Y$)

| 轮胎外直径,mm | $Y$,mm |
|---|---|
| <800 | 8～10 |
| 800～1000 | 10～14 |
| >1000 | 15～18 |

（3）轮辋与胎踵接合部的弧度半径（$R_b$）

$R_b=0.25H_L$（当$H_L\leqslant 30$mm时）；

$R_b=0.225H_L$（当$H_L>30$mm时）。

（4）轮缘弧度半径（$R_F$） 一般，$R_F=\frac{1}{2}H_L$。

（5）轮辋的胎圈座宽（$G$）

$G_{(最小)}$＝轮胎胎圈最大宽度＋(3～5mm)。

（6）轮辋底部深度（$I$）

$I_{(最小)}=0.0875(G_{最小}-R_b)+0.005d_L$（胎圈座斜度为5°时）；

$I_{(最小)}=0.2680(G_{最小}-R_b)+0.005d_L$（胎圈座斜度为15°时）。

## 第三节 航空轮胎测试

航空轮胎需通过下列的静态测试和动态测试。

### 一、静 态 测 试

1．材料性能测试

通过解剖，并制取相应的标准试样，测试轮胎胎面胶的物理-机械性能，胎面胶—帘布层和帘布层间的粘着强度等。这些测试项目的结果必须达到有关标准或协议规定。

2．轮胎尺寸测量

在正常室温下，将轮胎装在标准轮辋上，充气至最大额定内压。经停放12小时后，调整内压，使其达到初始值。用符合要求的测量工具测量轮胎的外直径、断面宽、胎肩直径和胎肩宽。

3．胎圈密合压力测定

一般，采用复写纸法或电测法测定轮胎胎圈的密合压力[10]。复写纸法，即在胎圈和轮缘内侧之间，夹上复写纸条和白纸条，向轮胎内充气至胎圈与轮缘开始接触时的压力，即白纸条上出现复写纸的印痕时的压力，作为轮胎胎圈的密合压力。而电测法(如图1-7-17所示)将三个互成120°的钢或钢片（厚0.05mm），用不导电的薄胶粘纸固定在胎圈表面上。当向轮胎充气至指示灯发亮时，也就是胎圈上金属片与轮辋接触面使电流通过，这时的内压即为

胎圈的密合压力。

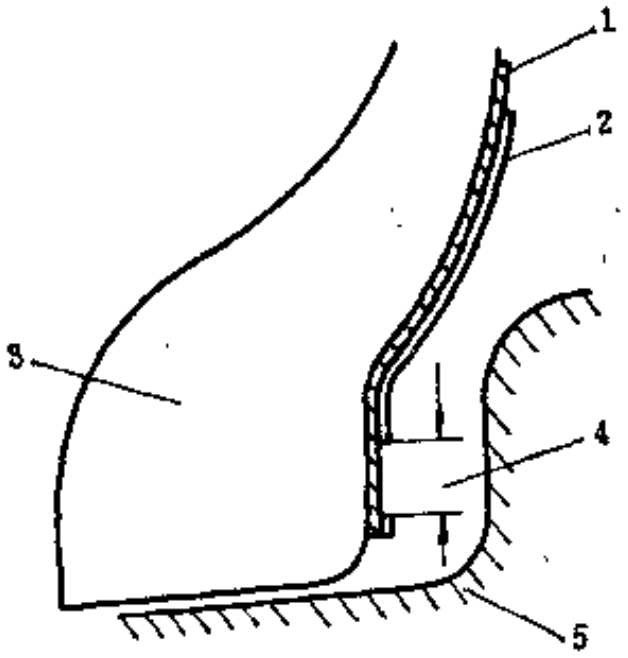



图 1-7-17 胎圈密合压力的电测法示意图

1—铜或钢片；2—不导电的胶粘纸带；3—胎圈；4—胶粘纸带缺口；5—轮辋

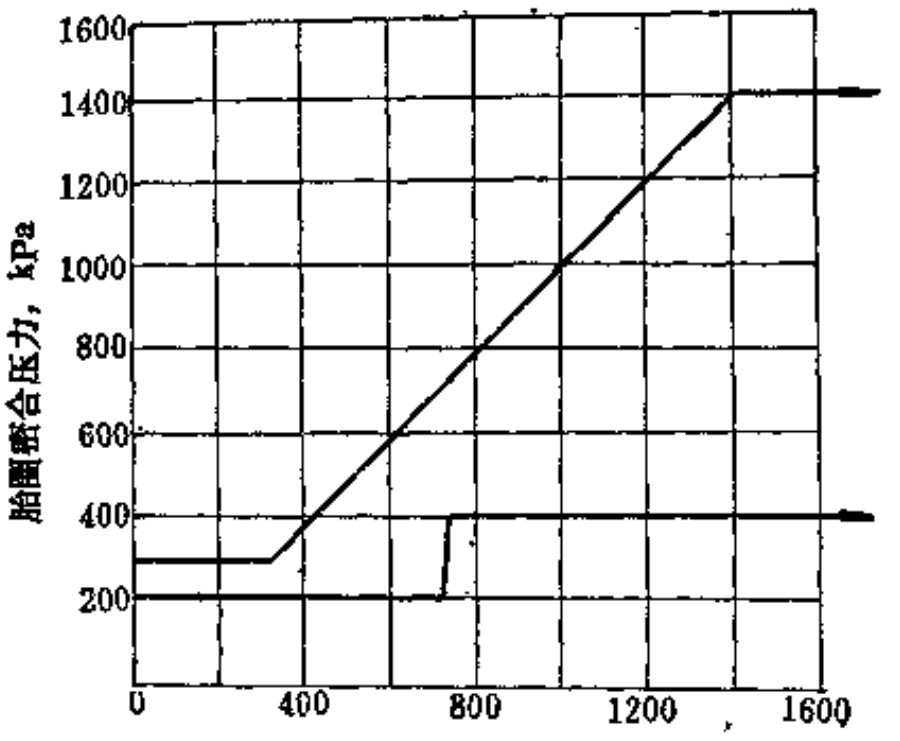



图 1-7-18 轮胎充气内压和胎圈密合压力

(轮胎充气内压大于1400kPa时，最小和最大胎圈密合压力为常数，分别为400kPa和1400kPa)。

轮胎胎圈密合压力，应在图1-7-18所示之范围内[11]。

测定胎圈密合压力，在于判断胎圈与轮辋的配合是否适宜。如果密合压力过低，则在使用中将产生胎圈与轮辋间的相对位移，而磨损胎圈，影响无内胎轮胎的气密性或损坏内胎气门嘴。过高时，则出现轮胎装卸的操作困难和加大钢丝圈所受应力的缺点。目前，美国的民用航空轮胎的技术条例，已改用在轮胎的动态试验中直接观察的方法，确定胎圈和轮辋的配合是否适宜[2]。

4．爆破压力试验

将轮胎装在加强的轮辋上，向轮胎内缓慢地打入水，待水压达到轮胎最大额定内压的 4 倍，并保持10秒以上的时间，这时轮胎不得损坏。然后继续充水，直到轮胎爆破，这时的水压，即为轮胎的爆破压力。

5．静负荷变形试验

轮胎充气、停放和内压调整，与轮胎尺寸测量的规定相同。在轮胎的 3 个不同部位上，进行变形不大于50%自由断面高（但不得达到全压缩）的予压缩 3 次。然后，用下列速度进行静负荷变形试验，直到全压缩。

| 轮胎外直径，mm | 试验速度，mm/min |
|---|---|
| ≤762 | 7.6 |
| >762 | 25.4 |

一般，选取5～7种不同充气内压，即额定内压和递增、减15%额定内压各2～3种的充气内压，进行静负荷变形试验。根据测出的静负荷变形曲线求出轮胎在选定的内压及相应的静负荷下的下沉量和全压缩量。

6. 不平衡度测定

轮胎的不平衡静力矩不得大于用下式求得的$M$值[23]。

$$M=0.274D^2 \quad \text{N·m}(0.025D^2 \quad \text{oz·in}) \tag{1-7-6}$$

式中 $D$——轮胎最大外直径，m。

7. 无内胎轮胎气密性测定

在正常室温下，轮胎充气至额定内压，经停放12小时后，调整内压至额定值，再经停放24小时，测量轮胎内压，并计算轮胎内压的下降率。内压下降率不得大于5%。

## 二、动 态 测 试

航空轮胎的动态测试[2,10]分低速轮胎和高速轮胎二种方法。

### （一）低速轮胎

最大使用速度不大于193km/h的轮胎，在惯性动态试验机上进行试验。

1. 动能

按下式计算轮胎吸收惯性飞轮的动能。

$$K_E=C\cdot Q\cdot V^2 \tag{1-7-7}$$

式中 $K_E$——动能，kN·m；

$Q$——轮胎的额定负荷，kN；

$V$——193km/h；

$C$——0.001328。

2. 低速着陆试验（100次）

轮胎和飞轮接触时的速度为145km/h，离开飞轮时的速度为零。应保证所计算的动能有56%为轮胎所吸收。

3. 高速着陆试验(100次)

轮胎和飞轮接触时的速度为193km/h，而离开飞轮时的速度为145km/h，应保证所计算的动能有44%为轮胎所吸收。

### （二）高速轮胎

最大使用速度大于193km/h的轮胎，在动态模拟试验机上进行试验。全部动态模拟试验

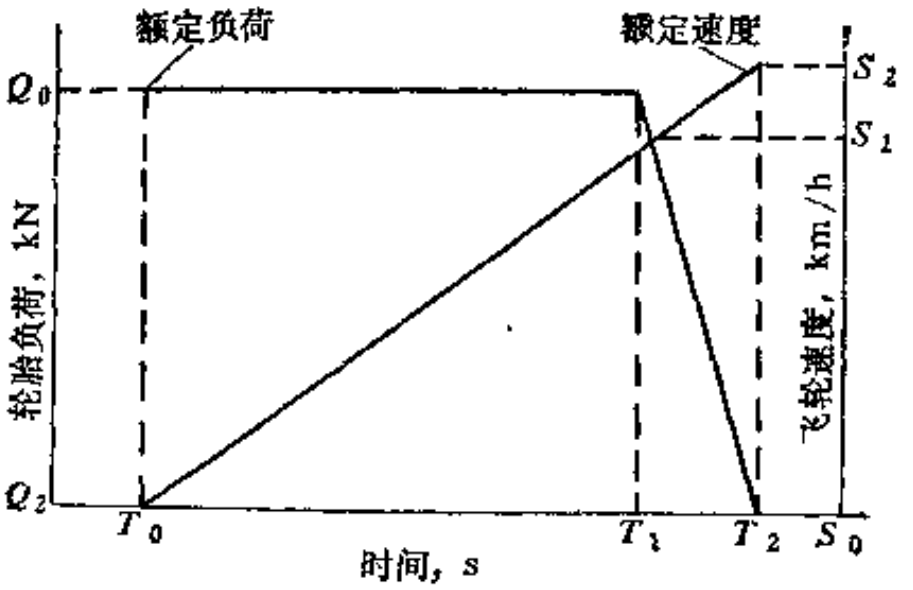



图 1-7-19 负荷-速度-时间试验曲线图

是由起飞试验，超负荷起飞试验和低速滑行试验而组成的。

1．起飞试验（50次）

根据飞机制造厂或飞机设计单位所给定的，飞机滑跑时轮胎的负荷、速度、时间、距离数据为基础，并按图1-7-19或图1-7-20制定轮胎动态模拟试验的负荷-速度-距离（时间）曲线。

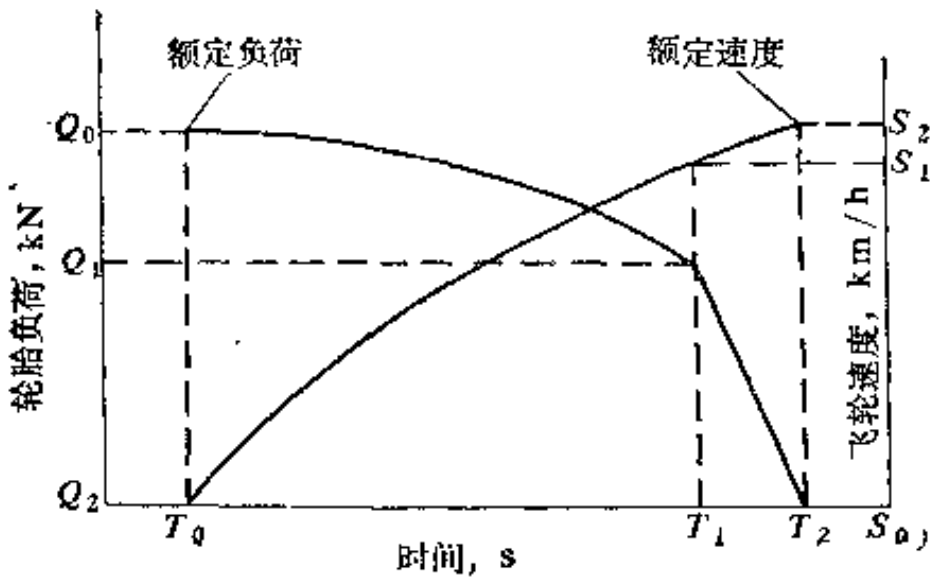



图 1-7-20　负荷-速度-时间试验曲线图

$Q_0$—轮胎额定负荷，kN；$Q_1$—拐点的轮胎负荷，kN；$Q_2$—轮胎负荷为零（离开飞轮）；$R_D$—轮胎滚动距离，m；$S_0$—轮胎速度为零；$S_1$—拐点的轮胎速度，km/h；$S_2$—轮胎离开飞轮时的速度，km/h；$T_0$—轮胎开始滚动的起点；$T_1$—轮胎滚动时间，s；$T_2$—轮胎离开飞轮的时间，s

2．超负荷起飞试验（1次）

用1.5倍额定负荷进行起飞试验后，轮胎内压在24小时内，其下降率不得大于初始值的10%。

3．低速滑行试验

按下列条件进行轮胎的低速滑行试验。

| 轮胎负荷 | 试验速度，km/h | 滑跑距离，m | 试验次数 |
|---|---|---|---|
| 额定负荷 | 64.4 | 10700 | 8 |
| 1.2倍额定负荷 | 64.4 | 10700 | 2 |

4．试验要求

（1）试验温度　起飞试验和着陆试验应有不少于80%试验次数在开始试验时，轮胎内气体温度或胎体温度为41±3℃。其余次数在开始试验时，轮胎内气体或胎体温度不得低于27℃。低速滑行试验的轮胎起始温度为50±3℃。

（2）轮胎充气内压　轮胎在飞轮上的下沉量应等于轮胎在额定负荷和额定内压条件下，在平面上的下沉量值。因此，应参照图1-7-21对轮胎充气内压进行修正。

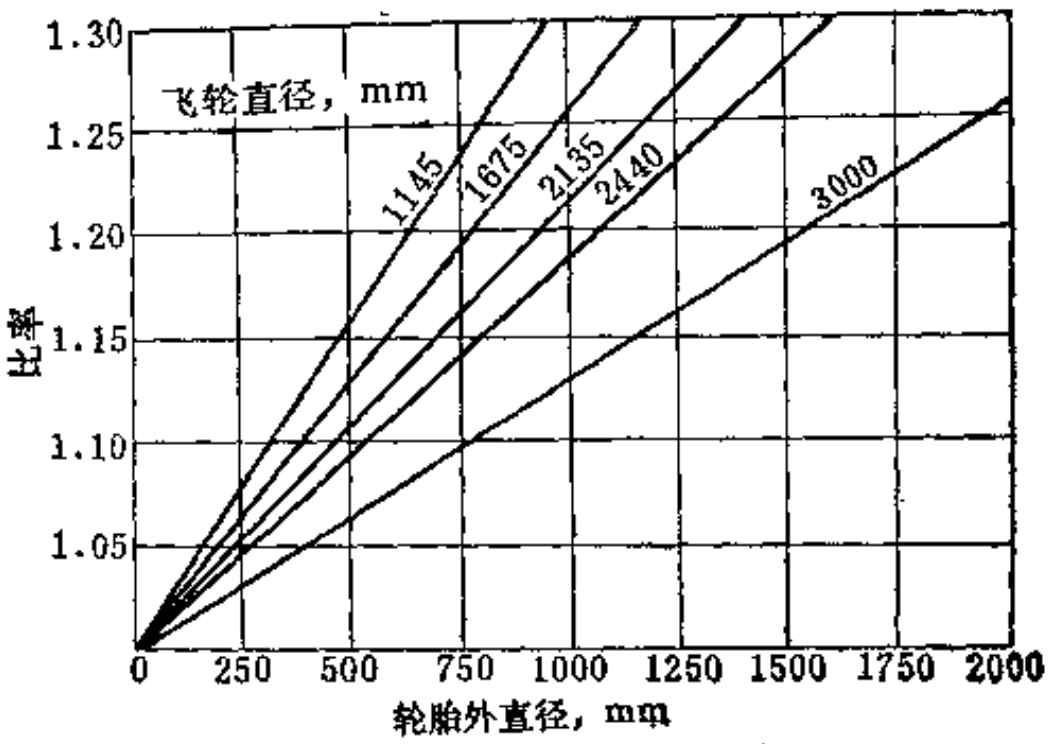



图 1-7-21　对不同直径飞轮和航空轮胎充气内压修正图

$$比率=\frac{动态试验充气内压}{额定充气内压}$$

## 主要参考文献


〔1〕 И. П. 智维列夫 С. С. 科柯宁　著，邓启明　陈金祥等译校，《航空机轮和刹车系统设计》，97～98页，100页，国防工业出版社，1980年。

〔2〕 "Technical Standing Order", TSO-C62C, Federal Aviation Administration, 1979.

〔3〕 "Military Specification Tires, Pneumatic, Aircarft", MIL-T-5041G, 1975.

〔4〕 "Aircraft Tire Manual", P5～7, Goodyear.

〔5〕 Aircraft Tyres and Rims, ISO 3324/1—1985(E).

〔6〕 The Tire and Rim Association Inc. Year Book(1985).

〔7〕 "Aircraft Tyres and Rims", ISO 3324/1—1976(E).

〔8〕 "Aircraft Engineering Design Information" Tire and Rim Association, 1984.

〔9〕 Harold Savies著，杨超译，曙光橡胶，2，41(1976).

〔10〕 Aircraft Tyres and Rims, ISO 3324/Ⅱ—1979(E).

〔11〕 "Design Guide——Aircraft Tyres and Rims", European Tyre and Rim Technical Organisation, 1976.

# 第八章　摩托车轮胎

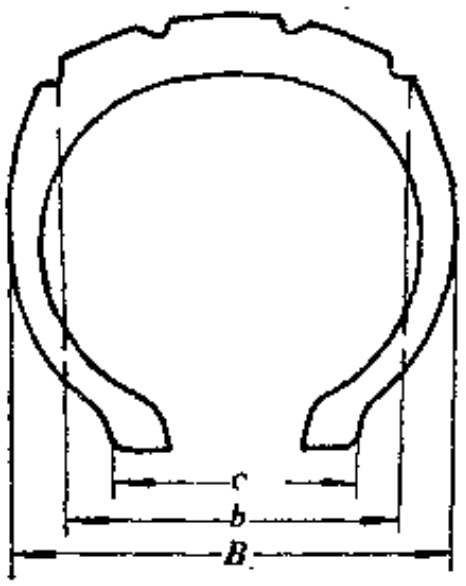
## 第一节　摩托车轮胎的分类和结构设计特征

### 一、摩托车轮胎的使用特点和分类

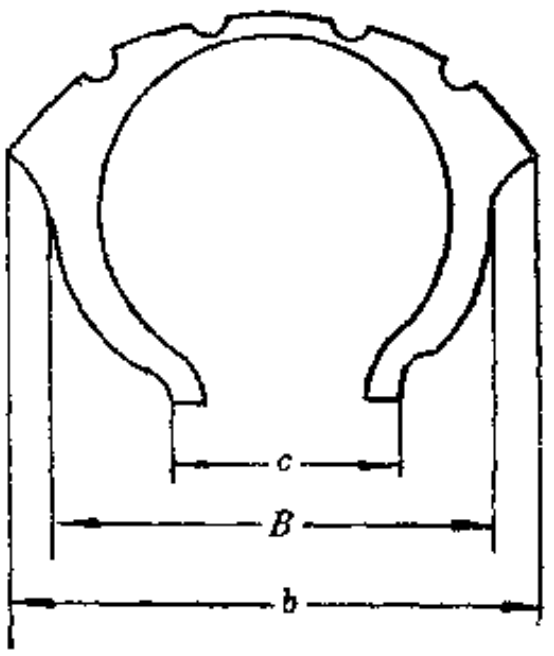
摩托车和机器脚踏车所装用的轮胎，称为摩托车轮胎。

摩托车机动灵活。轻便快捷，广泛用于交通、通讯、体育和军事等诸多方面。因此，摩托车轮胎为适应其复杂、多变而苛刻的使用条件，必须具备以下性能和特点。

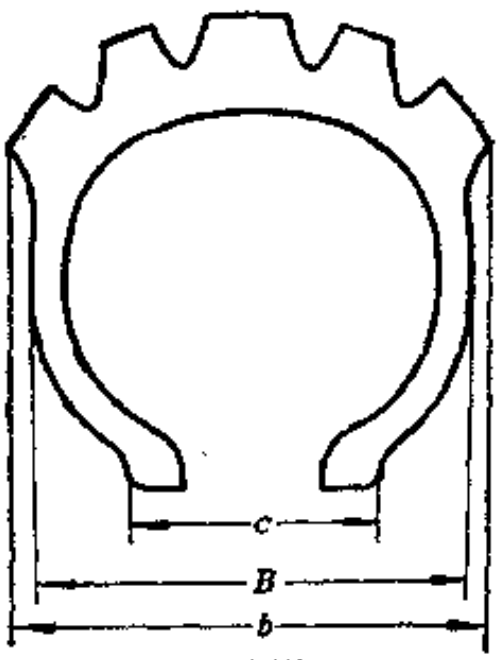
（1）要与地面有良好的抓着性能，并具良好的防侧滑性能和散热性能，以适应高速急转弯行驶和复杂的路面条件。



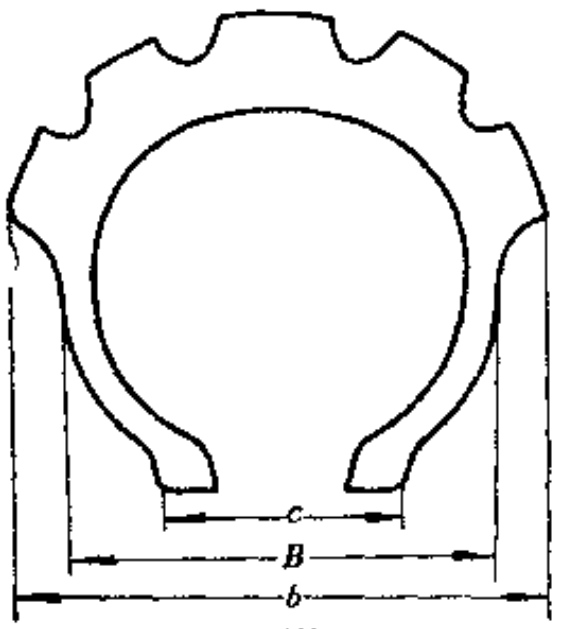
A型



B型



C型



D型

图 1-8-1　各型摩托车轮胎断面构型

A型（一般型）：通常用于一般公路的轮胎；

B型（高速型）：通常用于S级或更高速度等级路面的轮胎；

C型（混合型）：通常用于公路或无路的轮胎；

D型（越野型）：通常用于无路的轮胎。

（2）要有良好的耐冲击和缓冲性能，使车辆具有较高的通过性能，保证操纵平稳和乘骑舒适。

（3）要有较好的耐刺穿、耐磨耗以及耐屈挠性能，从而保证轮胎有较高的安全性和较长的使用寿命。

摩托车轮胎的分类，按照车辆类型、使用条件以及轮胎结构特征等不同，有多种方法。

摩托车有三轮和两轮之分，三轮摩托车无论是旁三轮或后三轮，其车辆重心均处于三轮之间；两轮摩托车的重心，则与两轮在同一直线上。显然三轮摩托车和二轮摩托车对轮胎的使用性能——例如防侧滑能力的要求是不相同的，因此，装用于这两种车辆上的轮胎结构上也就不同，以适应各自的使用条件。三轮摩托车主要用于较大载荷的场合，所配装的轮胎规格一般较大；而两轮摩托车的车辆类型、使用条件及车速变化都复杂得多，其发展也是相当快的。因此，两轮摩托车轮胎也就相应地成为生产发展和研究的主要对象。

两轮摩托车轮胎如按所装用的车辆类型分类，有小轮径胎、轻便胎、普通胎和加重胎等；若按适应路面条件和速度级别分类，则有一般型、高速型、混合型和越野型（见图1-8-1）；若按轮胎结构特征，则又可分为普通结构、低断面、斜交带束、子午线、无内胎、以及新近出现的以彩色帘布贴胶层作胎侧，冠以黑色胎冠的薄装胎等。

## 二、摩托车轮胎的规格标志

国际标准化组织（ISO）成员国，其轮胎规格标志均应采取国际标准规定的方法。有的成员国由于各自轮胎生产发展演变，在规格标志上与国际标准略有不同，但正逐步向国际标准取齐，现在国际上较有影响的如欧洲的ETRTO、美国的TRA和日本的JIS等系列标准中，都有类似情形。

在ISO标准中，轮胎规格标志主要由断面宽标记、结构标记和轮辋直径标记组成。普通结构的轮胎断面宽标记是带两位小数的数字，整数位是2～6，小数位以0.25为一挡，分别为“00”、“25”、“50”和“75”；斜交胎体的结构标记为“—”；轮辋直径标记是4～23的整数，每个数为一挡，其4～12为小轮径胎，14以上为一般的摩托车轮胎。各断面宽标记、轮辋直径标记和轮辋宽度标记与实际尺寸对照，以及断面宽与轮辋直径标记组合情况，分别见表1-8-1～表1-8-5。

表 1-8-1 断面宽标记与实际新胎充气尺寸

| 断面宽标记 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 | 4.00 | 4.25 | 4.50 | 5.00 | 6.00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 新胎充气尺寸，mm | 52 | 61 | 65 | 75<br>(71) | 80<br>(84) | 89<br>(88) | 93<br>(92) | 99 | 104<br>(105) | 108 | 110<br>(120) | 129 | <br>(154) |

注：选自ISO 4249/1—1981E；括号内为小轮径胎尺寸，选自ISO6054/1—1981E。

表 1-8-2 小轮径胎轮辋直径标记与实际尺寸

| 轮辋直径标记 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 实际尺寸，mm | 102 | 127 | 152 | 178 | 203 | 229 | 254 | 305 |

注：选自ISO6054/1—1981E

表 1-8-3 一般摩托车轮辋直径标记与实际尺寸

| 轮辋直径标记 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 实际尺寸，mm | 357.1 | 382.5 | 405.6 | 433.3 | 458.7 | 484.1 | 509.5 | 534.9 | 558.8 | 584.2 |

注：选自ISO4249/3—1981E

表 1-8-4 摩托车轮辋宽度标记与实际尺寸

| 轮辋宽度标记 | 1.10 | 1.20 | 1.35 | 1.40 | 1.50 | 1.60 | 1.85 | 2.15 | 2.50 | 2.75 | 3.00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 实际尺寸,mm | 28.0 | 30.5 | 34.0 | 36.0 | 38.0 | 40.5 | 47.0 | 55.0 | 63.5 | 70.0 | 76.0 |

注：选自ISO4249/3—1981E

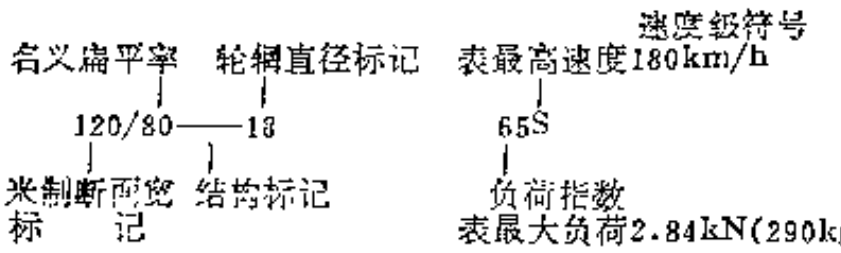
表 1-8-5 摩托车轮胎规格标记组合情况

| 断面宽标记 | | | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 | 4.00 | 4.25 | 4.50 | 5.00 | 6.00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 轮辋直径标记 | 小轮径轮胎 | 4 | | | | | | | 0 | | | | | | |
| | | 5 | | | | | 0 | | 0 | | 0 | | | | |
| | | 6 | | | | | | | 0 | | | | 0 | | 0 |
| | | 7 | | | | | 0 | | 0 | | 0 | | | | |
| | | 8 | | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | | | 0 |
| | | 9 | | | 0 | 0 | | | 0 | | | | | | |
| | | 10 | | | | | 0 | | 0 | | 0 | | | | |
| | | 12 | | | | | 0 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | |
| | 一般摩托车轮胎 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | |
| | | 15 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | |
| | | 16 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | |
| | | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0* | 0 | 0 | | |
| | | 18 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | | 20 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 21 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | |
| | | 22 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 23 | | | | | | | | | | | | | |

注：“*”为我国特有规格，其余均选自ISO4249/1—1981E及ISO6054/1—1981E

为了说明轮胎的负荷能力，在规格标志的后面还有层级标志。小轮径胎有二层级和四层级之分，一般摩托车轮胎有四层级和六层级之分。层级越高，负荷能力越大，其在规定速度下的轮胎充气压也越大。层级的符号为“PR”(“PLY-RATING”之缩写)，如“2.75-184PR”所表示的是为新胎充气胎面宽为75mm，轮辋直径为458.7mm，四层级斜交胎体结构的一般类型摩托车轮胎；“2.75-18 6PR”，则为加重胎体的摩托车轮胎，二者之充气外缘尺寸和轮辋直径都相同。至于轮胎负荷与气压、负荷与速度的对应关系，在各有关标准及制造厂的产品说明书中都有规定。至于低断面结构摩托车轮胎的规格标志，其断面宽标记用公制，以毫米数值标记，并在断面宽标记后面，以分号连接名义扁平率（=断面高宽比×100），再后是结构标记“-”和如普通结构摩托车轮胎的轮辋直径标记。为标明轮胎的负荷能力及所

能达到的最高速度，在规格标志的后面，往往还有负荷指数和速度级符号的标志，如“12 80-18 65 S”，其意为：




低断面摩托车轮胎的断面高宽比，为等于或小于1.0的数，如1.0、0.9、0.8等，故在规格标志中以名义扁平率100、90、80等表示之。低断面结构摩托车轮胎，如采用带两位小数的数字作断面宽标记时，其小数位数字常取10或60，且不标示名义扁平率，而将速度级符号置于结构标记的位置。如“5.10-18”；“4.60H16”其新胎充气断面宽尺寸，分别与断面宽标记为“5.00”和“4.50”者相同。

美国TRA标准中，常采用字母作摩托车轮胎断面宽标记的方法，其与通常的断面宽标记对照情况如表1-8-6示。

表 1-8-6 TRA标准断面宽标记对照

| TRA系列标记 | E | F | G | H | J | L | M | N | P | R | S | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 一般断面宽标记 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 | 4.00 | 4.25 | 4.50 | 4.75 | 5.10 |

注：选自1983—THE TIRE AND RIM ASSOCIATION, INC。

且在其规格标志组合中，均由标识摩托车轮胎的前置标记符号“M”始，其后依次为断面宽代

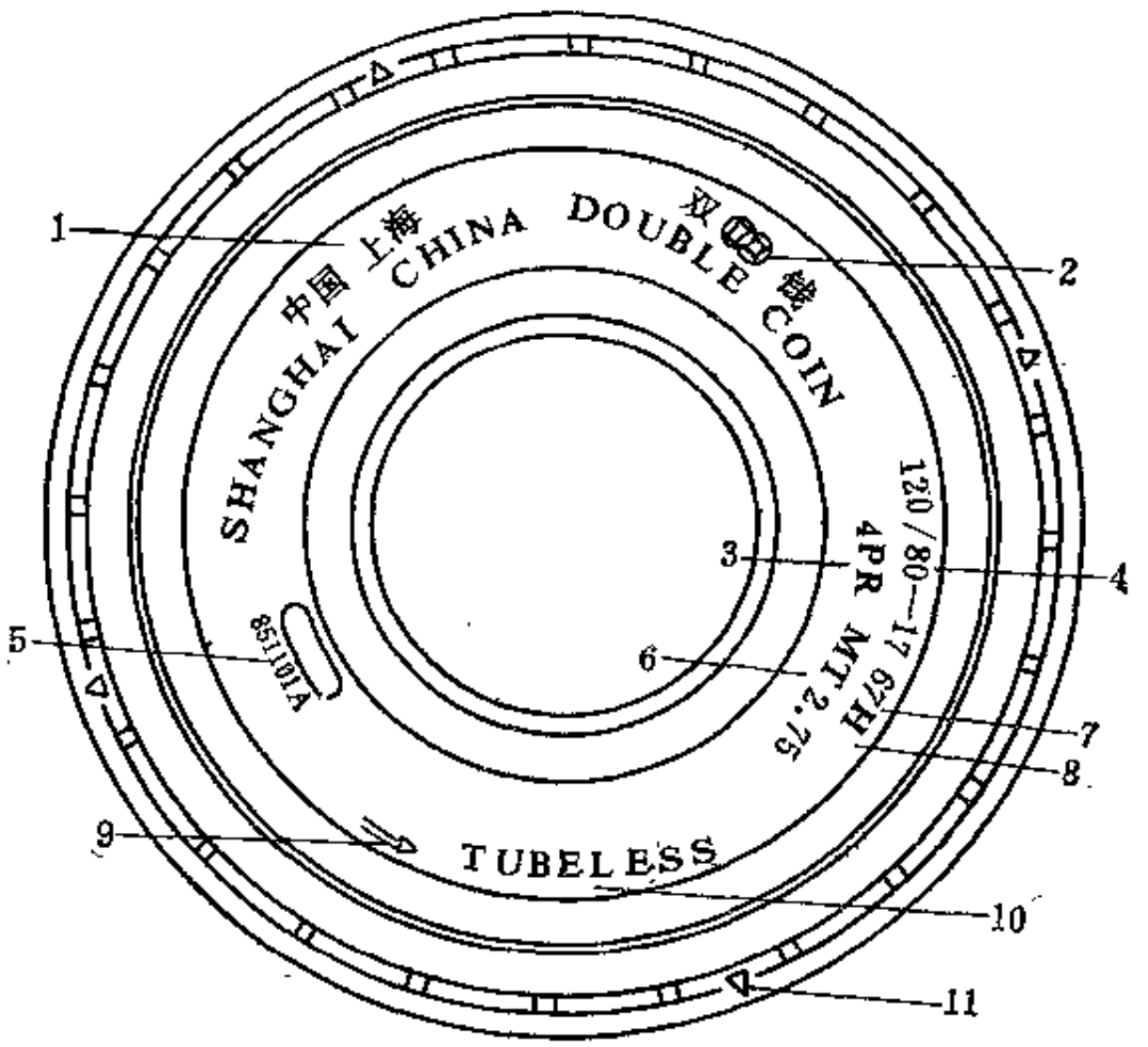



图 1-8-2 摩托车外胎上的标志

1—产地；2—商标；3—层级；4—规格标志；5—生产编号；6—轮辋标记；7—负荷指数；8—速度符号；9—方向标志；10—无内胎标记；11—磨耗标志

号、(扁平率)、结构标记和轮辋直径标记，有的还带有特殊轮辋标志的后缀。如“MF-17”、“MF90-17”和“MM90-19T”，前者表示普通结构的2.50-17摩托车轮胎，次者表示扁平率为90的2.50-17低断面摩托车轮胎，后者表示为扁平率90的3.75-19低断面摩托车轮胎，且该种轮胎限装于具5°外倾角、内凸芯座为深槽式的所谓2.50CM轮辋。而欧洲ETRTO标准系列中，有低断面斜交带束结构的摩托车轮胎，其结构标记为“VB”，如“4.18VB18”。日本JIS标准系列中，则有低断面超低气压的摩托车轮胎，其断面宽标记为带一位小数的数字，如“5.4--6”，“6.7—10”等，其使用气压在60～120kPa(0.6～1.2kgf/cm²)间。

在轮胎标志中，还有一些使用要求或结构特征的标志。如标准（推荐）轮辋标记、行驶方向标志（对胎冠花纹有方向要求的，一般用箭头表示）、磨耗标志（标识花纹磨蚀限度的符号）和无内胎结构（用“TUBELESS”），以及根据某些使用要求而作的特殊标志等。摩托车轮胎标志，如图1-8-2。

## 三、摩托车轮胎结构设计特点

摩托车轮胎在使用中应当满足和适应摩托车车型复杂、发展变化快、速度不断提高及使用条件苛刻等多方面要求。轮胎的结构因车辆类型和使用条件的不同而不同。如三轮摩托车轮胎，以较大载荷为其使用特点，故要求加强胎体，提高充气压力，车辆在转弯时，轮胎径向仍保持与地面垂直。为保持胎体挺性和提高胎冠耐磨性能，胎冠曲线较为平坦，胎肩较高且胎肩下部较陡直，行驶面宽度也相对较窄。但两轮摩托车轮胎在使用中，情况恰与之相反，要求胎体屈挠性能好，充气压力低，还要有足够的防侧滑能力，因此其胎冠较拱，行驶面较宽，有的花纹块甚至延展到上胎侧部位。

在欧、美和日本等国，为适应两轮摩托车高速行驶要求，使轮胎在高速下具有良好的操纵性、稳定性和安全性，提高极限速度，轮胎的断面高逐渐降低，其断面的高宽比（$H/B$）值，由原来的大于1.0逐渐降低到等于或小于1.0，进而取0.9、0.8，乃至0.7、0.6，即所谓低断面结构，并且已形成系列。其轮胎设计过程，采取由内向外的程序，并广泛应用计算机进行。

当前普通结构的摩托车轮胎设计中，一般是按系列标准所给出的数据直接估算外胎模型的各项参数，逐步得出模型尺寸。这些模型设计参数主要是：模型之断面高（$H$）和断面宽（$B$）之比($H/B$)；模型胎踵距离（$C$）和模型断面宽之比($C/B$)；模型胎冠行驶面宽度($b$)和模型断面宽之比($b/B$)；模型胎冠行驶面高度($h$)和模型断面高之比（$h/H$)；模型断面水平轴上高($H_1$)和下高（$H_2$）之比（$H_1/H_2$）以及轮胎充气断面宽($B'$)与模型断面宽之比($B'/B$)等。

1．普通结构摩托车轮胎的理论负荷

普通结构摩托车轮胎理论负荷按美国TRA公式计算。

$$W=A\cdot K\cdot 0.425P^{0.585}\cdot S_1^{1.39}(D_r+S_1) \qquad (1-8-1)$$

$$S_1=S\cdot\frac{180^\circ-\arcsin C/S}{141.3^\circ}$$

式中 $W$——负荷，kN；

$A$——单位换算系数，$1.55\times10^{-4}$；

$K$——负荷系数，断面宽标记3.00及以下取1.25，断面宽标记3.00以上取1.13；

$P$——气压，kPa；

$S_1$——当$C/S$为62.5%时的理想轮辋上的轮胎断面宽度，cm；

$S$——新胎断面宽度，cm；

$C$——轮辋宽度，cm；

$D_r$——轮辋直径，cm。

美国TRA还推荐用于计算80系列公制断面宽标记的摩托车轮胎理论负荷计算公式。

$$W = b \cdot (P + P_0) \cdot a \cdot 10^{-5}$$
$$a = \{\pi \cdot S_n \cdot H(H + D_r)\}^{2/3} \qquad (1\text{-}8\text{-}2)$$

式中：$W$——负荷，kgf；

$S_n$——设计轮胎断面宽，mm；

$H$——设计轮胎断面高，mm，且$H = S_n \cdot AR$；

$AR$——设计高宽比；

$D_r$——轮辋直径，mm；

$P$——基准气压，$P = 225$kPa；

$P_0 = 65$kPa

$b = 1.25$

轮胎在行驶中尚须承受冲击力和惯性力等动负荷。一般摩托车速度较快，且速度变化率也较大，因此摩托车轮胎应具有较好的动负荷性能，能够较有效地吸收超越障碍物时的冲击和震动，以使车辆行驶平稳，乘骑舒适。轮胎的动负荷性能，通常以其动态下的缓冲性能表示，但测量动态下的缓冲性能较为困难，因此常以静负荷下的缓冲性能作间接的估量，这是由于二者间有一定的相关性。部分规格、厂牌的摩托车轮胎静负荷性能测定数据见表1-8-7，由于测试单位、测试时间不同，因此测试条件如轮辋规格、气压和负荷的选取也不同，但对所测得之轮胎静负荷数据而言，仍有一定的参考价值。

2．外胎模型高宽比

外胎模型高宽比($H/B$)值的大小，主要取决于外胎设计材料分布和内轮廓的合理性，并与胎体结构形式、骨架材料的使用、花纹类型的选取以及所用轮辋宽度等有关。模型的$H/B$值大，或胎冠帘线角度大时，轮胎充气外直径收缩，充气断面宽增大，下沉率大，接地系数也大，径向弹性高，但侧向刚性下降，稳定性差。在确定模型的$H/B$之后，再选取充气断面宽($B'$)与模型断面宽之比($B'/B$)，由$H/B$和$B'/B$即可求出模型断面高$H$和断面宽$B$的尺寸。

此$B'/B$之值与$H/B$、$C/B$、$b/B$以及胎冠帘线角度、骨架材料种类和层数，乃至轮胎制造工艺条件等均有相关性。从现有摩托车轮胎测试结果可以看出，对同规格轮胎在相同尺寸的轮辋上充气测量，$H/B$值大的，则$B'/B$值也大，$H/B$值小时，$B'/B$值也小。若$H/B$相近而$C/B$值大时，$B'/B$也大，若轮胎规格较大，$H/B$基本相同，$B'/B$则也较大。表1-8-8为几种国产摩托车轮胎$H/B$、$C/B$不同时轮胎断面膨胀情况举例。

3．胎冠行驶面宽度$b$和行驶面高度$h$

胎冠行驶面宽度和行驶面宽度与$B$和$H$以及花纹类型等有关。主要考虑胎面应具有良好的耐磨性能且不影响轮胎转向灵活性，胎肩部位散热性良好。对摩托车轮胎而言，还要考虑到应具有足够的防侧滑能力，因此一般摩托车轮胎$b/B$和$h/H$比值的选取均较大。普通花纹和混合花纹的$b/B$值在0.825～1.100间，$h/H$值在0.104～0.210间；越野花纹则相应更大些，分别为1.024～1.194和0.255～0.417间。详见表1-8-9。

表 1-8-7　部分规格厂牌摩托车轮胎静负荷性能

| 规格 | | 3.00-12 | 2.75-17 | 2.50-17 | | | 2.25-17 | | | 2.25-14 | 2.00-14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 厂牌 | | 上海凤凰 | 日本三星 | 日本横滨 | 上海凤凰 | 青岛金鹿 | 上海凤凰 | 青岛金鹿 | 无锡双飞 | 上海凤凰 | 日本三星 |
| 花纹类型 | | 普通 | 混合 | 混合 | 普通 | 混合 | 条块 | 条块 | 方块 | 条块 | 混合 |
| 装用轮辋标记 | | 1.85×12 | 1.60×17 | 1.20×17 | 1.20×17 | 1.40×17 | 1.20×17 | 1.20×17 | 1.20×17 | 1.40×14 | 1.20×14 |
| 气压,kPa | | 245 | 221 | 245 | 221 | 279 | 245 | 245 | 245 | 221 | 221 |
| (kgf/cm²) | | (2.50) | (2.25) | (2.50) | (2.25) | (2.85) | (2.50) | (2.50) | (2.50) | (2.25) | (2.25) |
| 充气外直径,mm | | 468.6 | 591.0 | 563.7 | 568.7 | 568.0 | 561.8 | 561.5 | 552.3 | 481.6 | 469.8 |
| 充气断面宽,mm | | 78.7 | 73.3 | 64.3 | 63.0 | 62.8 | 59.2 | 58.9 | 59.6 | 56.9 | 53.4 |
| 负荷,kN | | 1.08 | 1.37 | 1.47 | 1.29 | 1.52 | 1.08 | 1.23 | 1.47 | 0.96 | 0.80 |
| (kgf) | | (110) | (140) | (150) | (132) | (155) | (110) | (125) | (150) | (98) | (82) |
| 负荷下尺寸 | 静半径，mm | 214.8 | 280.6 | 264.0 | 270.4 | 270.5 | 267.2 | 267.3 | 263.0 | 226.7 | 222.3 |
| | 下沉量，mm | 19.5 | 15.0 | 15.5 | 14.0 | 13.5 | 13.7 | 13.5 | 13.2 | 14.1 | 12.6 |
| | 断面高，mm | 62.3 | 63.8 | 49.8 | 53.0 | 54.0 | 49.8 | 50.6 | 46.3 | 48.1 | 43.1 |
| | 断面宽，mm | 86.0 | 80.6 | 73.1 | 70.4 | 71.6 | 66.7 | 69.6 | 67.3 | 65.3 | 61.1 |
| | 印痕长度，mm | 136.0 | 147.0 | 159.5 | 140.0 | 151.8 | 144.0 | 145.0 | 154.0 | 129.0 | 127.0 |
| | 印痕宽度，mm | 57.0 | 47.0 | 43.5 | 40.0 | 45.8 | 40.0 | 40.9 | 40.0 | 39.0 | 38.0 |
| | 接地面积,mm² | 66.0 | 58.4 | 51.1 | 52.3 | 55.6 | 46.2 | 48.3 | 53.9 | 42.8 | 40.5 |
| 下沉率,% | | 23.4 | 19.0 | 23.7 | 20.9 | 20.0 | 21.6 | 21.1 | 22.2 | 22.6 | 22.6 |
| 平均压强，kPa | | 260 | 235 | 288 | 247 | 274 | 233 | 255 | 273 | 225 | 198 |
| (kgf/cm²) | | (2.65) | (2.40) | (2.94) | (2.52) | (2.79) | (2.38) | (2.60) | (2.78) | (2.29) | (2.02) |
| 接地系数 | | 2.39 | 3.13 | 3.67 | 3.50 | 3.31 | 3.60 | 3.54 | 3.85 | 3.31 | 3.34 |
| 硬度系数 | | 1.06 | 1.07 | 1.18 | 1.12 | 0.98 | 0.95 | 1.13 | 1.11 | 1.02 | 0.90 |

表 1-8-8 几种国产摩托车轮胎$H/B$、$C/B$不同时断面畸形情况

| 规　格 | 厂牌代号 | $H/B$ | $C/B$ | 模型断面宽 $B$, mm | 新胎充气断面宽$B'$, mm | $B'/B$ | 轮辋宽度, mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.25-14 | S.H. | 1.0789 | 0.877 | 57 | 56.9 | 0.9982 | 30.5 |
| | Q.D. | 0.9750 | 0.7500 | 60 | | | |
| 2.25-17 | Q.D. | 1.1429 | 0.5536 | 56 | 58.9 | 1.0518 | 30.5 |
| | G.Z. | 1.1204 | 0.6019 | 54 | 55.4 | 1.0259 | 30.5 |
| | S.H. | 1.1207 | 0.5431 | 58 | 59.2 | 1.0207 | 30.5 |
| | W.X. | 1.0212 | 0.6780 | 59 | 56.9 | 0.9644 | 30.5 |
| 2.50-17 | Q.D. | 1.1864 | 0.8475 | 59 | 62.7 | 1.0630 | 36.0 |
| | Q.D. | 1.1532 | 0.5806 | 62 | 64.3 | 1.0380 | 36.0 |
| | G.Z. | 1.1148 | 0.6721 | 61 | 63.0 | 1.0333 | 36.0 |
| 2.50-18 | G.Z. | 1.0714 | 0.5714 | 63 | 64.9 | 1.0302 | 36.0 |
| 3.25-16 | Q.D. | 1.1677 | 0.5935 | 77.5 | 82.5 | 1.0646 | 46.0 |
| | H.Z. | 1.0952 | 0.6429 | 84 | 84.2 | 1.0023 | 46.0 |
| 3.75-19 | H.Z. | 1.1064 | 0.5851 | 93 | 99.5 | 1.0700 | 55.0 |
| | Q.D. | 1.1444 | 0.6111 | 90 | 95.0 | 1.0556 | 55.0 |
| 4.00-17 | D.Z. | 1.1100 | 0.6400 | 100 | 105 | 1.0500 | 63.5 |
| 5.00-18 | D.Z. | 0.9735 | 0.5619 | 113 | 108 | 0.9818 | 63.5 |

表 1-8-9 国产摩托车轮胎$b/B$、$h/H$举例

| 规　格 | 厂牌代号 | 花纹类型 | b/B | $h/H$ | $R_a/H$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 4.00-17 | D.Z. | 混合 | 1.100 | 0.[illegible] | |
| 3.75-19 | H.Z. | 混合 | 0.872 | 0.1298 | 0.665 |
| | Q.D. | 混合 | 0.867 | 0.1359 | 0.825 |
| 3.25-16 | Q.D. | 混合 | 0.877 | 0.1810 | 0.774 |
| | D.Z. | 混合 | 0.913 | 0.1938 | 0.555 |
| 3.00-16 | G.Z. | 普通 | 0.844 | 0.1198 | 0.890 |
| | C.Y. | 越野 | 1.096 | 0.4130 | 0.915 |
| 2.75-18 | G.Z. | 混合 | 1.000 | 0.2000 | 0.600 |
| 2.75-14 | Q.D. | 普通 | 0.887 | 0.1623 | 0.780 |
| 2.50-18 | G.Z. | 普通 | 0.825 | 0.1037 | 0.771 |
| | Q.D. | 混块 | 1.017 | 0.2357 | 0.457 |
| 2.50-17 | Q.D. | 混块 | 0.911 | 0.1620 | 0.790 |
| | G.Z. | | 0.918 | 0.1620 | 0.955 |
| | S.H. | | 0.936 | 0.1870 | 0.935 |
| 2.25-17 | Q.D. | 普通 | 0.893 | 0.1484 | 0.763 |
| | W.X. | | 0.898 | 0.2034 | 0.854 |
| 2.25-14 | Q.D. | 普通 | 1.050 | 0.2906 | 0.923 |

续表

| 规　格 | 厂标代号 | 花纹类型 | $b/B$ | $h/H$ | $R_n/H$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.00-21 | D.Z. | 越野 | 1.194 | 0.4167 | 0.612 |
| 3.25-19 | C.Y. | 越野 | 1.024 | 0.3140 | 1.000 |
| 3.50-19 | C.Y. | 越野 | 1.103 | 0.2720 | 1.000 |
| 5.10-18 | C.Y. | 越野 | 1.078 | 0.2550 | 1.020 |
| | D.Z. | 越野 | 1.142 | 0.2864 | 0.860 |

摩托车轮胎的花纹设计，按花纹结构特点和使用要求，分普通花纹、混合花纹和越野花纹三种类型。普通花纹适于一般公路等较好路面条件，花纹样式大致呈纵向直条形或条块变换的图形。纵向直条形花纹多用作轻型摩托车和普通摩托车的前轮，其特点是花纹沟较窄、较深，因而滚动阻力小，导向性能好，散热优良，但其防纵滑能力差，花纹沟易夹石子，基部易裂口。条块形花纹在胎冠行驶面分布较均匀，花纹块较柔软，散热性亦佳，由于花纹块受力较均匀，对防止花纹沟基部裂口能起到一定作用。鉴于摩托车速度不断提高，轮胎花纹设计也随之改变，如在纵向或较大的花纹块中，已普遍采用的在模型上镶嵌钢片的“细缝结构”。这种细缝结构花纹在与地面接着时，产生切向形变，从而增加花纹块与地面的摩擦，提高花纹块与路面的抓着力，同时也利于散热、排水和消音。细缝的宽度一般约为0.4～0.6mm，深度约为花纹深度的一半，为防止花纹磨蚀不均和裂口，多将细缝设计成周向波浪形如“V”“W”形、短斜线或短直线。还有一些具有特殊花纹图案、抗湿滑性能好且排水性优异的高速花纹，如图1-8-3所示，图中（a）为抛物线花纹，其从胎冠中部顺轮胎行驶方向向两胎

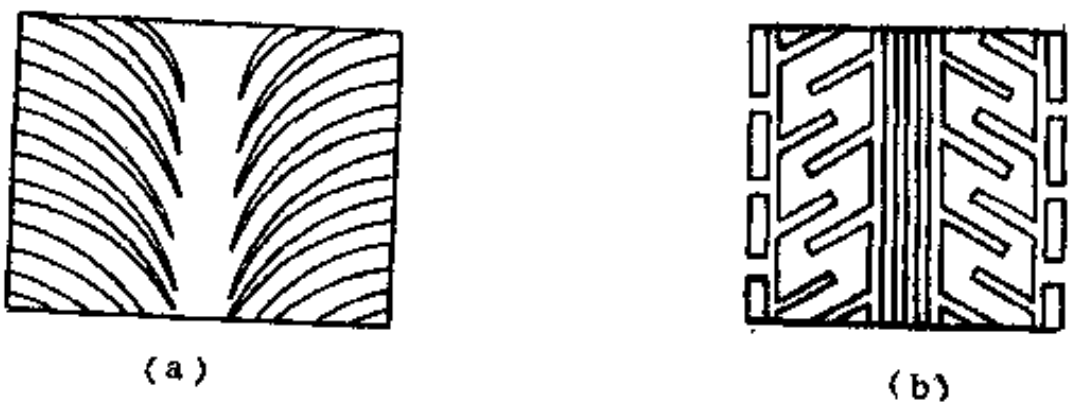



图 1-8-3　抗湿滑性、排水性好的高速轮胎花纹

（a）抛物线花纹；（b）抗湿滑花纹

肩伸展，其弧度与方向按抛物线方程$x=y^2$确定，$x$是轴向横座标，$y$是轴向纵座标。在湿滑路面上行驶时，水从胎冠中部向两侧同行驶方向顺畅排出，雨天行驶时能有效地防止胎面与路面间形成打滑的水膜，从而使之保持有效接触，大大增加了雨天驾驶的安全性。（b）为另一种抗湿滑性花纹，此种花纹行驶面宽度大于断面宽，即$b/B>1$。胎冠中心有一条纵向花纹沟，此沟的两侧各有一条互相对称的直线形或波形的纵向侧沟，这两条侧沟的外侧又有若干对称的斜沟，这些斜沟与胎冠边部纵向沟相通的斜沟平行交错，斜沟的中心线与胎冠周向成40～80°角，两条斜沟间距为1/60～1/40周长，由顶和侧所伸出的两斜沟交错宽度为胎宽的1/4～1/8。这种花纹排水性良好，在雨天不论是直线行驶或拐弯，都有良好的抗滑性，特别适于大型高速摩托车的驱动轮轮胎使用。

越野花纹适用于松土路、雪泥路及无路的情况。这种花纹具有较大的牵引能力、防滑性能和通过性能，多为孤立突起的大块，花纹块的间距也较大，一般相邻两横列的块数不同，块的大小形状各异，且花纹块一直排布到胎肩下，花纹块大多呈多边形，有时在花纹块上还有较浅的小沟，以提高其与地面的抓着能力。

混合花纹属于普通花纹和越野花纹之间的过渡形，适用于城乡间碎石、软土路面，或在无路条件下使用。一般花纹形式是胎冠行驶面中部具有纵向直条或纵向锯齿形、曲折形条块，在近胎肩部位，则有较大块状形的花纹，且花纹沟亦较中部为宽。在花纹块中常设置细缝，其与地面的抓着性优于普通花纹。混合花纹和越野花纹的共同缺点是：花纹块耐磨性差，且易发生磨蚀不匀的现象。

摩托车轮胎的各种花纹类型见图1-8-4～图1-8-9。

至于花纹沟的深度，则应根据行驶速度、路面条件、花纹类型以及轮胎规格来进行选取，以确保轮胎有较高的使用寿命。一般花纹深度大，使用寿命也高，但如普通花纹过深，不仅会增加轮胎生产成本，且轮胎在行驶时生热大，滚动阻力也大，易导致早期损坏。国内摩托车轮胎花纹沟的深度，见表1-8-10。

**表 1-8-10　国内摩托车轮胎花纹沟深度**

| 断面宽标记 | 普通花纹沟深，mm | 越野花纹沟深，mm |
|---|---|---|
| 2.25 | 3.0～4.0 | — |
| 2.50 | 4.5～5.5 | — |
| 2.75 | 5.0～6.0 | — |
| 3.00 | 5.5～6.0 | 9.0～11.5 |
| 3.25 | 5.5～6.5 | 11.0 |
| 3.50 | 6.5 | 12.0 |
| 3.75 | 6.5～7.0 | 14.0 |
| 4.00 | 8.0～9.0 | 15.0 |
| 5.00 | 7.5～8.0 | 15.0 |



**图 1-8-4　直线花纹**

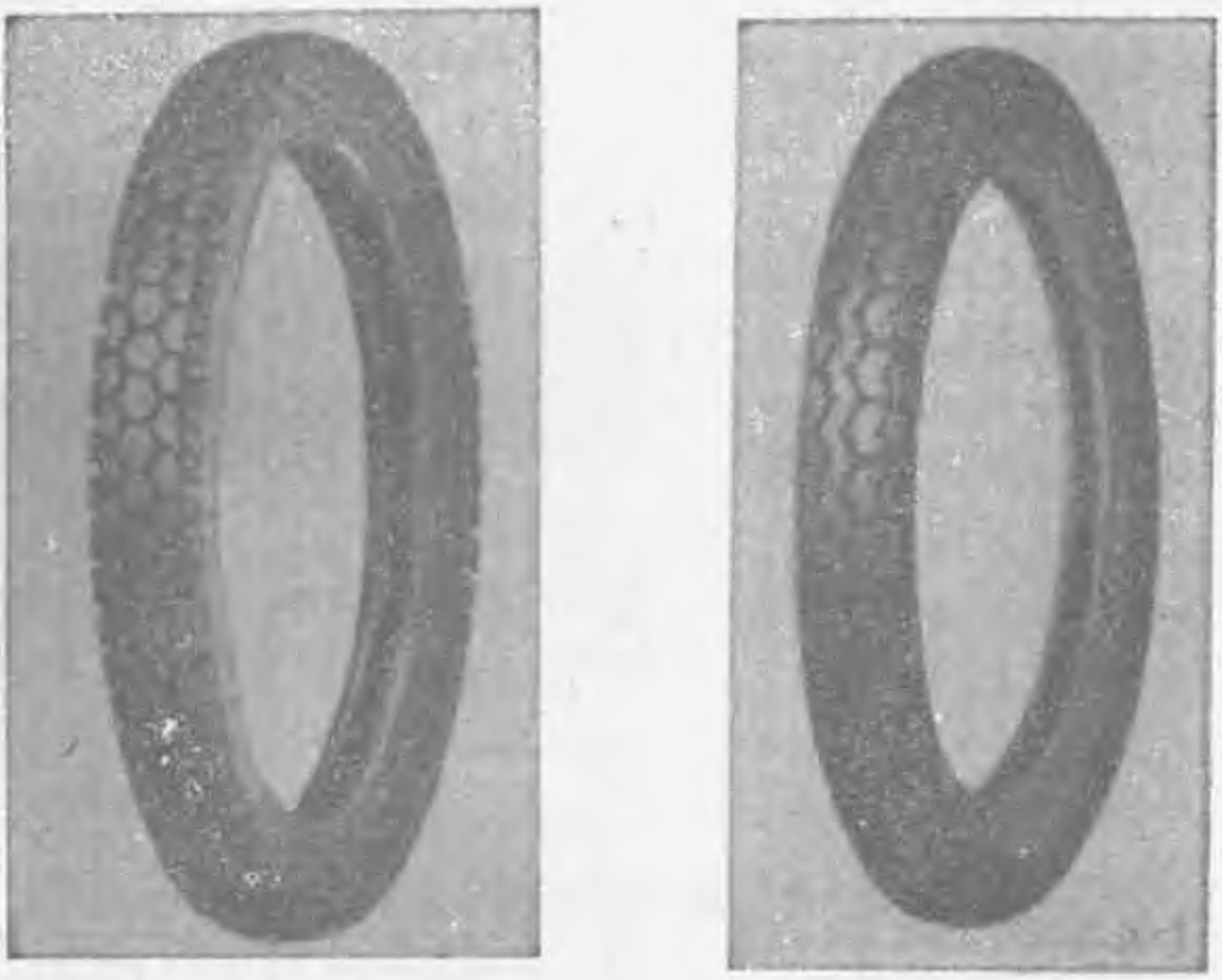


图 1-8-5　普通花纹



图 1-8-6　方块花纹



图 1-8-7　混合花纹



图 1-8-8　高速低断面高稳定性花纹

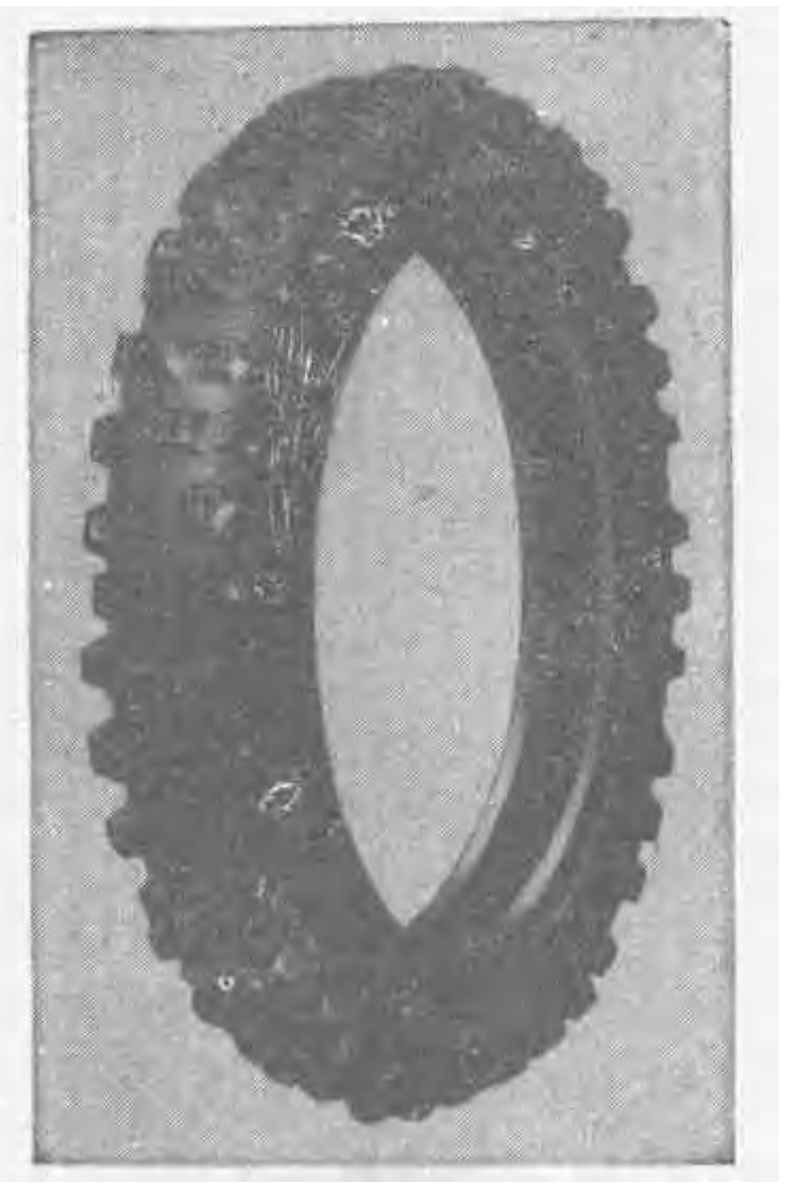


图 1-8-9　越野花纹

普通花纹的花纹沟宽度一般略小于花纹沟深度，而越野花纹沟宽度则往往大于花纹沟的深度。花纹沟的断面形状，一般设计成上宽下窄，沟底呈圆弧的形状，以防止花纹沟夹石子和裂口，且提高其自洁能力。为提高花纹块强度，普通花纹和混合花纹往往还在花纹块间适当设置补强筋，以减少轮胎在使用时出现崩花掉块毛病，这样做还有利于外胎硫化时模型花纹块间的排气作用，防止产生花纹缺胶和花纹轮廓不全的外观缺陷。但花纹补强筋不宜过多过厚，以免影响花纹块的柔性及与地面的抓着性能。

花纹沟基部厚度一般为花纹沟深度的30～50%。基部厚度过薄，胎冠易遭刺穿或掉块，过厚则轮胎散热不易，滞后损失增大，从而导致生热大，胎体脱空。

4．摩托车轮胎轮辋宽度

摩托车轮胎所配装的轮辋宽度允许有较大幅度变化（见表1-8-11）。这是由于摩托车轮胎层级小且层数少，多采用尼龙等化纤骨架材料，胎体较薄，且其使用气压又低，因而轮胎胎体有较优异的屈挠性能，在轮辋宽度变化幅度较大的情况下，仍具有良好的使用性能。因此，在设计外胎模型胎踵间距$C$时，要考虑多种工艺因素，模型之$C/B$值适当取大些，对改善外胎硫化时胎侧缺胶，以及防止尼龙帘线胎体硫化出模后因热收缩导致子口闭合等都有好处，尤其当采用硫化隔膜硫化时，取较大$C/B$值更为有利。但必须注意到，轮胎在不同宽度轮辋上的充气尺寸是不会相同的，也即是说在取较大的$C/B$值时，应考虑其它设计参数的适当配合。

我国当前摩托车轮胎的$C/B$取值范围为0.543～0.877，较大值是近期采用的设计参数。

5．轮胎断面水平轴

轮胎负荷下法向形变最大部位，即断面水平轴位置，关系到轮胎使用性能和使用寿命，

表 1-8-11 许用轮辋宽度

| 轮胎断面宽标记 | 允许轮辋宽度标记 | 轮胎断面宽标记 | 允许轮辋宽度标记 |
|---|---|---|---|
| 2.00 | 1.10-1.20-1.35 | 3.50 | 1.85-2.15-2.15 |
| 2.25 | 1.20-1.35-1.40-1.50-1.60 | 3.75 | 1.85-2.15-2.50-2.75①-3.00① |
| 2.50 | 1.35-1.40-1.50-1.60-1.85① | 4.00 | 2.15-2.50-2.75-3.00 |
| 2.75 | 1.40-1.50-1.60-1.85-2.15① | 4.25 | 2.15-2.50-2.75-3.00 |
| 3.00 | 1.60-1.85-2.15 | 4.50 | 2.15-2.50-2.75-3.00 |
| 3.25 | 1.85-2.15-2.50 | 5.00 | 2.50-2.75-3.00-3.50 |

① 为我国GB2983-82《摩托车轮胎标准系列》所特定。其余均选自ISO4249/3—1981E。

它取决于模型的$H_1/H_2$值，而此比值的选取又与模型之$H/B$和$C/B$有关。在轮胎断面逐渐降低，而$C/B$值逐渐增大的情况下，$H_1/H_2$值则趋于减小，由原来的0.8120～0.9670，减小到0.6867～0.7708，详见表1-8-12。

6．安全倍数

为保证轮胎承受冲击负荷的安全性，轮胎设计时，应使胎体和胎圈具有一定的安全倍数。对摩托车轮胎而言，胎体安全倍数一般在8倍以上，胎圈安全倍数一般在7倍以上。行驶速度高，受冲击大的越野摩托车轮胎，胎体安全倍数达12～18倍，胎圈安全倍数也相应提高。详见表1-8-13和表1-8-14。

表 1-8-12 模型胎踏间距及水平轴设计参数举例

| 轮胎规格 | 厂牌代号 | 花纹类型 | $H/B$ | $C/B$ | $H_1/H_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 2.25-14 | S.H. | 普通 | 1.0789 | 0.877 | 0.9219 |
| | S.J. | | 1.1132 | 0.8113 | 0.8438 |
| | Q.D. | | 0.9750 | 0.4500 | 0.7206 |
| 2.25-17 | X.A. | 普通 | 1.1482 | 0.7142 | 0.875 |
| | Q.D. | | 1.1429 | 0.5536 | 0.8824 |
| | G.Z. | | 1.1204 | 0.6019 | 0.9206 |
| | S.H. | | 1.1207 | 0.5431 | 0.967 |
| | W.Z. | | 1.0212 | 0.6778 | 0.812 |
| | C.Q. | | 1.1401 | 0.5446 | 0.8243 |
| 2.50-17 | Q.D. | 普通 | 1.186 | 0.8475 | 0.6867 |
| | Q.D. | | 1.1532 | 0.5806 | 0.9067 |
| | G.Z. | | 1.1148 | 0.6721 | 0.9115 |
| | W.Z. | | 0.9803 | 0.7576 | 0.7629 |
| 2.50-18 | G.Z. | 混块 | 1.0714 | 0.5714 | 0.9286 |
| | S.H. | | 1.1146 | 0.6885 | 0.8889 |
| | Q.D. | | 1.1864 | 0.8475 | 0.7073 |
| 2.75-14 | Q.D. | 普通 | 1.0845 | 0.5634 | 0.6875 |
| | X.A. | | 1.1538 | 0.6231 | 0.9737 |
| 2.75-18 | G.Z. | 混块 | 1.0714 | 0.6714 | 0.8987 |
| | Q.D. | | 1.0280 | 0.6667 | 0.8974 |
| 3.00-12 | S.H. | 普通 | 1.0526 | 0.6580 | 0.8605 |

续表

| 轮胎规格 | 厂牌代号 | 花纹类型 | $H/B$ | $C/B$ | $H_1/H_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.00-16 | C.Y. | 越野 | 1.0844 | 0.6104 | 0.9195 |
| 3.00-21 | D.Z. | 越野 | 1.1806 | 0.5625 | 0.7708 |
| 3.25-16 | H.Z. | 混块 | 1.0952 | 0.6429 | 0.8969 |
| | D.Z. | | 1.1500 | 0.5875 | 0.8699 |
| | Q.D. | | 1.1677 | 0.5935 | 0.8854 |
| | X.A. | | 1.1603 | 0.6028 | 0.8854 |
| 3.25-19 | C.Y. | 越野 | 1.1742 | 0.6133 | 0.8958 |
| 3.50-10 | X.A. | 普通 | 1.0116 | 0.7442 | 0.8710 |
| 3.50-19 | C.Y. | 越野 | 1.0938 | 0.5719 | 0.7797 |
| 3.75-19 | Q.D. | 混块 | 1.1444 | 0.6111 | 0.8727 |
| | M.A. | | 1.1505 | 0.5914 | 0.8772 |
| | H.Z. | 混块 | 1.1064 | 0.5851 | 0.8909 |
| 4.00-17 | D.Z. | 混块 | 1.1100 | 0.6400 | 0.8361 |
| 4.00-18 | Q.D. | 越野 | 0.8632 | 0.6838 | 0.6557 |
| 5.10-18 | D.Z | 越野 | 0.9735 | 0.5619 | 0.8644 |
| | C.Y | | 1.0129 | 0.6552 | 0.7407 |

**表 1-8-13　国内摩托车外胎尼龙胎体安全倍数举例**

| 轮胎规格 | 厂　牌 | 花纹类型 | 气压 kPa (kgf/cm²) | 负荷 kN (kgf) | 帘线规格及层数 | 安全倍数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.10-18 | D.Z | 越野 | 123(1.25) | 2.60(265) | 840den/2,4 | 19.1 |
| | C.Y | | 167(1.70) | 2.84(290) | 840den/2,4 | 12.6 |
| 4.00-17 | D.Z. | 混块 | 221(2.25) | 2.60(265) | 840den/2,4 | 11.2 |
| 3.75-19 | Q.D. | 混块 | 275(2.80) | 2.84(290) | 840den/2,4 | 8.0 |
| 3.25-16 | D.Z. | 混块 | 221(2.25) | 1.77(180) | 840den/2,4 | 16.3 |
| | Q.D. | | 275(2.80) | 2.08(210) | 1260den/1,4 | 10.8 |
| 3.00-21 | D.Z. | 越野 | 123(1.25) | 1.62(165) | 840den/2,4 | 18.9 |
| 3.00-16 | C.Z. | 普通 | 226(2.30) | 1.77(180) | 840den/2,2 | 10.8 |
| 2.75-14 | Q.D. | 普通 | 245(2.50) | 1.47(150) | 840den/2,4 | 9.5 |
| 2.50-18 | C.Z. | 混块 | 2.79(2.85) | 1.52(155) | 840den/2,2 | 11.2 |
| 2.50-17 | C.Z. | 混块 | 279(2.85) | 1.47(150) | 840den/2,2 | 10.3 |
| | S.H. | | 221(2.25) | 1.23(125) | 840den/2,2 | 11.2 |
| | Q.D. | | 245(2.50) | 1.37(140) | 1260den/1,4 | 13.3 |
| 2.25-17 | Q.D. | 普通 | 226(2.30) | 1.23(125) | 840den/2,2 | 10.2 |

表 1-8-14　国内摩托车轮胎胎圈安全倍数举例

| 轮胎规格 | 厂牌代号 | 气压 kPa(kgf/cm²) | 胎圈(19号)钢丝根数 | 胎圈安全倍数 |
|---|---|---|---|---|
| 5.10-18 | D.Z. | 123(1.26) | 12 | 16.4 |
| 4.00-17 | D.Z. | 221(2.25) | 25 | 12.0 |
| 3.75-19 | Q.D. | 275(2.80) | 16 | 10.1 |
| 3.25-16 | Q.D. | 275(2.80) | 9 | 7.5 |
| 3.00-21 | D.Z. | 123(1.25) | 9 | 21.7 |
| 3.00-12 | S.H. | 245(2.50) | 6 | 8.3 |
| 2.75-18 | G.Z. | 245(2.50) | 9 | 9.8 |
| 2.75-14 | Q.D. | 245(2.50) | 6 | 7.7 |
| 2.50-18 | Q.D. | 245(2.50) | 6 | 7.0 |
| 2.50-17 | Q.D. | 245(2.50) | 6 | 7.9 |
| 2.25-17 | Q.D. | 245(2.50) | 6 | 8.3 |

## 四、摩托车轮胎新品种简介

新近出现的摩托车轮胎新品种，主要是围绕如何提高轮胎的安全性、稳定性和高速性能等，以适应摩托车高速化的使用要求而开发的。这些轮胎新品种的特点是：选用高强度的骨架材料，如钢丝帘线、聚酯纤维等等；胎体结构采取子午线或加贴半硬质胶乃至硬质胶的增强层，以提高轮胎的安全性；在花纹设计方面，则采取着地性能好、防滑和排水优良的花纹，以提高轮胎的稳定性。另外，在摩托车轮胎的轻量化方面，则有以帘布层附胶直接作为胎侧胶的轻型轮胎等。现选择几种有代表性的新品种介绍如下：

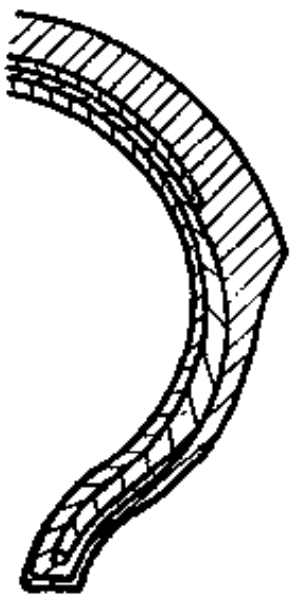


图 1-8-10　大型摩托车安全轮胎

1．大型摩托车安全轮胎

大型摩托车安全轮胎●（如图1-8-10）的骨架材料使用尼龙、人造丝或聚酯、钢丝等。胎体由两层以上的帘布层组成，帘线角度为32°，缓冲层由两层帘布组成，帘线角为28°。轮胎胎侧部位从胎圈到胎肩缓冲层帘线末端之间，有一硬度(JIS)为75的橡胶补强层，该补强层用帘线角为50°的帘布包裹，并夹于胎体帘线层及其翻包部位之间。

该轮胎的安全性能好。表现在当摩托车以200km/h速度行驶时，即使轮胎突然放炮，也不致使摩托车倾翻，而且仍可以100km/h以下的速度，继续行驶数百公里。

与此相似结构的安全轮胎，还有英国专利GB1598464。其胎体由四层帘布组成，帘线角20～40°，第1、2层帘布绕钢丝圈向上翻包，第2层帘布末端达胎侧中部，第一层帘布末端达胎肩部位；第3、4层帘布从外向里翻包，末端在胎圈底部。有一胎侧补强层，位于胎体帘布与翻包部位之间，是由橡胶或其它弹性材料制成，其100%定伸应力为3.9～11.8MPa

● 日本公开特许昭和54—27104。

(40～120kgf/cm²)，其厚度足以支承轮胎在失压后轮胎所应承受的负荷。胎冠缓冲层由两层帘布和两层厚度各为0.5mm的橡胶补强层组成，两层帘布位于胎体层上，帘线角为40°，橡胶补强层分处在第1、2层胎体帘布层和第三、四层帘布层之间。这种轮胎强度高，在无气情况下，也能支承起轮胎所应承受负荷并继续行驶一定距离。

另一种采用弹性补强层加固胎侧的安全轮胎，为美国专利U.S.3911978和英国专利GB 1449498，如图1-8-11所示。其弹性补强层是使用硬度为45以上，最好为60～90的胶料制成。弹性补强层的断面最大厚度比胎身断面最大厚度大3～15%，且中间较厚而上下端较薄，上端靠近胎冠中心线，下端达胎圈部位与胎圈包布迭合。弹性补强层采取压出出型，成型胎坯时可将之夹于胎体层间或置于胎里。这种轮胎在气压为0时，仍能以60km/h的速度，1.47kN(150kgf)的负荷，继续行驶8小时以上。

2．摩托车子午线安全轮胎

摩托车子午线安全轮胎（日本公开特许　昭和58—20503）如图1-8-12示。此种轮胎胎体至少由一层帘线角为90°的有机纤维帘布所构成，其胎冠宽度略大于胎侧宽度，有两层弹性模量不低于5.88kN/mm²(600kgf/mm²)，帘线角为15～30°的钢丝帘布带束层，钢丝帘线是用6～25根直径0.15mm以下的钢丝捻合而成的，帘线的空间率为35～65%。胎圈的三角胶条硬度在60以上，并在三角胶条的外侧有一层帘线角为15～30°的补强层。胎体帘布绕钢丝圈和三角胶条及其补强层翻包，末端至胎肩位置与带束层搭接。搭接宽度不少于10mm。

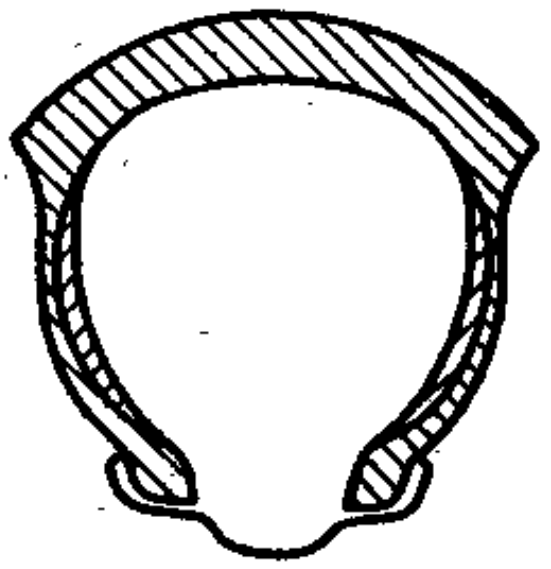


图 1-8-11　补强层在胎里的安全轮胎

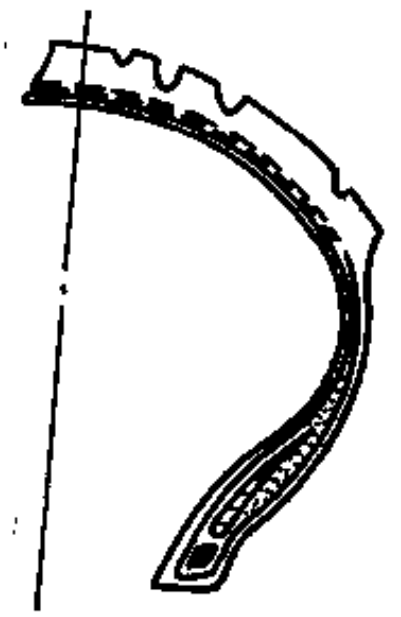


图 1-8-12　摩托车子午线安全轮胎

这种轮胎与以往轮胎相比，高速耐久性提高10%，耐磨性提高25%，耐滑性提高25%。

另一种子午线安全轮胎，为英国专利GB1222759，如图1-8-13所示。其与普通子午线轮胎相比，至少增加一层安全层帘布层。其帘线采用合成纤维、金属或玻璃纤维。安全层的帘线角为0～30°，与带束层相交，配置在带束层与胎体层之间，或置于胎体层之下，宽度是从一个胎圈经胎侧和胎冠部位，伸展到另一侧的胎侧到达胎圈部位。当采用二层或多层安全层时（相邻层斜交），也可不用带束层。这种轮胎吸收子午线轮胎和斜交轮胎的优点，较好地解决了小的滚动阻力和大的倾斜力的兼容性问题，横向刚性较高，无论是直线行驶或高速转弯，均具良好的稳定性和安全性。

3．高速稳定性好的摩托车轮胎

高速稳定性好的摩托车轮胎，胎体由三层帘布组成，帘线角为55～65°，三层帘布包胎

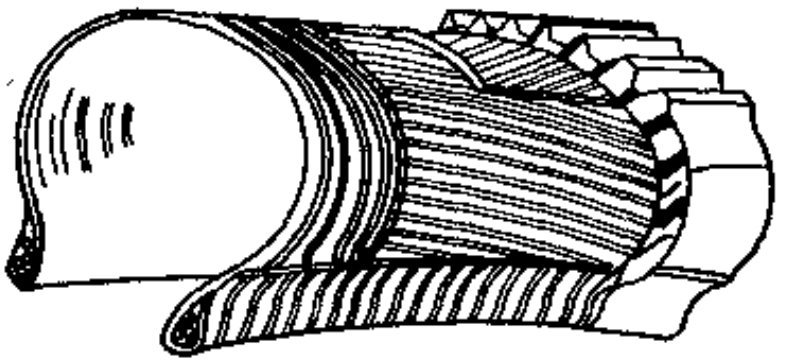


图 1-8-13　带安全层的子午线摩托车轮胎



图 1-8-14　高速稳定性好的摩托车轮胎

圈后翻边差级较高。第一层帘布翻包后末端达胎肩部位，第二层帘布翻包后末端达胎侧的2/3高处，第三层帘布翻包后末端达胎侧的1/3高处。此种轮胎的特点是胎侧由于有胎体帘布翻包补强，消除在高速行驶时轮胎产生的侧向位移，从而提高行驶稳定性。此种胎体结构，可以是条形花纹的高速轮胎，也可以配置越野花纹作赛车轮胎（如图1-8-14）。

4．轻量型彩色胎侧摩托车轮胎

轻量型彩色胎侧摩托车轮胎用较细而密度较大的尼龙帘布作胎体，如840den/1，630den/1或420den/1，密度为120根/10cm以上。压延时帘布两面挂胶厚度不同，如分别为1/2mm和1/5mm的浅色胶料，成型时将较厚的一面向外作为胎侧胶，面在胎冠部以不同颜色胶料作胎冠，如图1-8-15（英国专利GB105004)所示。成型帘布可采用缠绕方式或包贴方式。其特点是：制造简单，成本低，轮胎重量轻，适于一般轻型摩托车使用。

另一种轻量级摩托车轮胎由一层斜交胎体帘布和一层缓冲层，并贴一胎冠胶构成。其胎体和缓冲层帘线角为52～68°，缓冲层的宽度最小应为胎冠的85%，胎体帘布绕胎圈翻包后，其末端到达胎冠下与缓冲层搭接，约覆盖缓冲层的50～90%。由于这种轮胎帘布延伸到胎冠下部，胎侧没有帘布端头，因而柔软性均匀，适应轻量化胎体柔软性的要求（如图1-18-16

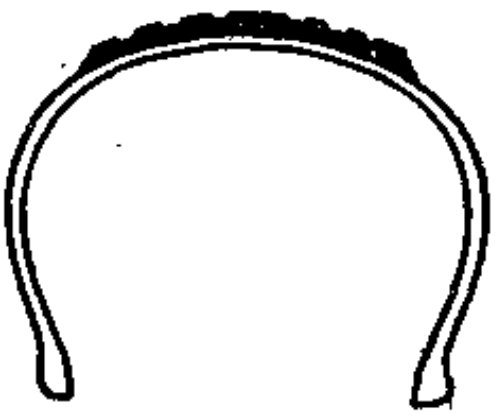


图 1-8-15　轻型双色摩托车轮胎

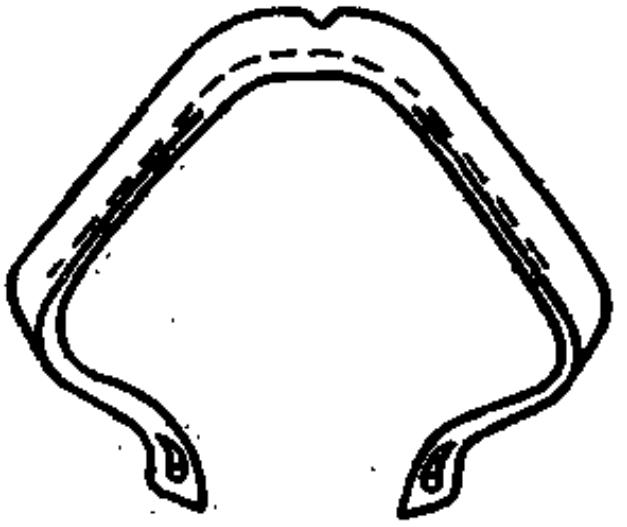


图 1-8-16　轻型摩托车轮胎

所示，美国专利U. S. 4042002)。

图1-8-17为摩托车外胎模型曲线，表1-8-15为国产摩托车外胎模型设计尺寸举例。

## 表 1-8-15　国内摩托车外胎轮廓设计尺寸举例

单位：mm

| 规　格 | 花　纹 | $D$ | $B$ | $H$ | $C$ | $b$ | $h$ | $d$ | $H_1$ | $H_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.25-14 | 普通 | 480 | 57 | 61.5 | 70 | 54 | 12 | 357 | 29.5 | 32 |
| | | 474 | 53 | 59 | 43 | 40 | 4.7 | 356 | 27 | 32 |
| 2.25-17 | 普通 | 561.2 | 56 | 64 | 31 | 50 | 9.5 | 433.2 | 30 | 34 |
| | | 554 | 59 | 60.25 | 40 | 53 | 12 | 433.6 | 27 | 33.25 |
| | | 554 | 54 | 60.5 | 32.5 | 46 | 8 | 433 | 29 | 31.5 |
| | | 563.6 | 58 | 65 | 31.5 | 38 | 6 | 433.5 | 32 | 33 |
| | | 569.5 | 58 | 63 | 31.5 | 52 | 24 | 433.5 | 30 | 33 |
| | | 561 | 56 | 63.85 | 30.5 | 56 | | 433.3 | 28.85 | 35 |
| | | 560 | 56 | 64.3 | 40 | 50 | | 433.4 | 30 | 34.3 |
| 2.50-17 | 混合 | 569 | 61 | 68 | 41 | 56 | 11 | 433 | 32.5 | 35.5 |
| | | 572 | 63 | 69.5 | 45 | 59 | 13 | 433 | 33 | 36.5 |
| | | 563.4 | 66 | 64.7 | 50 | 65 | 18 | 434 | 28 | 36.7 |
| | | 573.2 | 59 | 70 | 50 | 61.5 | 21 | 433.2 | 28.5 | 41.5 |
| | 普通 | 576.2 | 62 | 71.5 | 36 | 56.5 | 11.6 | 433.2 | 34 | 37.5 |
| | 混合 | 570.3 | 62 | 68.5 | 36 | 52 | | 433.3 | 32.5 | 36 |
| | | 563 | 66 | 64.5 | 50 | 63 | | 434 | 28 | 36.5 |
| 2.50-18 | 混合 | 599 | 59 | 70 | 50 | 60 | 21 | 459 | 29 | 41 |
| | | 595 | 61 | 68 | 42 | 56 | 12.6 | 459 | 32 | 38 |
| | | 593.5 | 63 | 67.5 | 36 | 52 | 7 | 458.5 | 32.5 | 35 |
| 2.75-14 | 普通 | 514 | 71 | 78.3 | 40 | 63 | 12.5 | 357.4 | 37 | 41.3 |
| | | 505 | 65 | 75 | 40.5 | 65 | | 355 | 37 | 38 |
| 2.75-18 | 混合 | 609 | 70 | 75 | 45 | 70 | 15 | 459 | 35.5 | 39.5 |
| 3.00-12 | 普通 | 464.5 | 76 | 80 | 50 | 71 | 13.5 | 304.5 | 37 | 43 |
| 3.00-16 | 混合 | 573 | 77 | 83.5 | 47 | 65 | 10 | 408 | 40 | 43.5 |
| 3.00-18 | 混合 | 624 | 76 | 82.5 | 47 | 75 | 20 | 459 | 39.5 | 43 |
| 3.00-21 | 越野 | 704 | 72 | 85 | 40.5 | 86 | 30 | 534 | 37 | 48 |
| 3.25-16 | 混合 | 587.6 | 77.5 | 90.5 | 46 | 68 | 14 | 406.5 | 42.6 | 48 |
| | | 590 | 80 | 92 | 47 | 73 | 15.5 | 406 | 42.8 | 49.2 |
| | | 590 | 84 | 92 | 54 | 70 | 12 | 406 | 43.5 | 48.5 |
| | | 590 | 80 | 92 | 47 | 76 | 20 | 406 | 43 | 49 |
| 3.25-19 | 越野 | 666.5 | 77.5 | 91 | 46 | 72 | 15 | 483.5 | 43 | 48 |
| 3.50-10 | 普通 | 428 | 86 | 87 | 64 | 80 | | 253.8 | 40.5 | 46.5 |
| 3.50-19 | 越野 | 694 | 96 | 105 | 54.9 | | | 484 | 46 | 59 |
| 3.75-19 | 混合 | 690 | 90 | 103 | 55 | 85 | 14 | 484 | 48 | 55 |
| | | 692 | 94 | 104 | 55 | 82 | 13.5 | 484 | 49 | 55 |
| | | 698 | 93 | 107 | 55 | 85 | 21 | 484 | 50 | 57 |
| 4.00-17 | 混合 | 655 | 100 | 111 | 64 | 110 | 18 | 433 | 51 | 60 |
| 5.10-18 | 越野 | 678 | 119 | 110 | 63.6 | 129 | 31.5 | 458 | 51 | 59 |
| | | 692 | 116 | 117.5 | 76 | 125 | 30 | 457 | 50 | 67.5 |

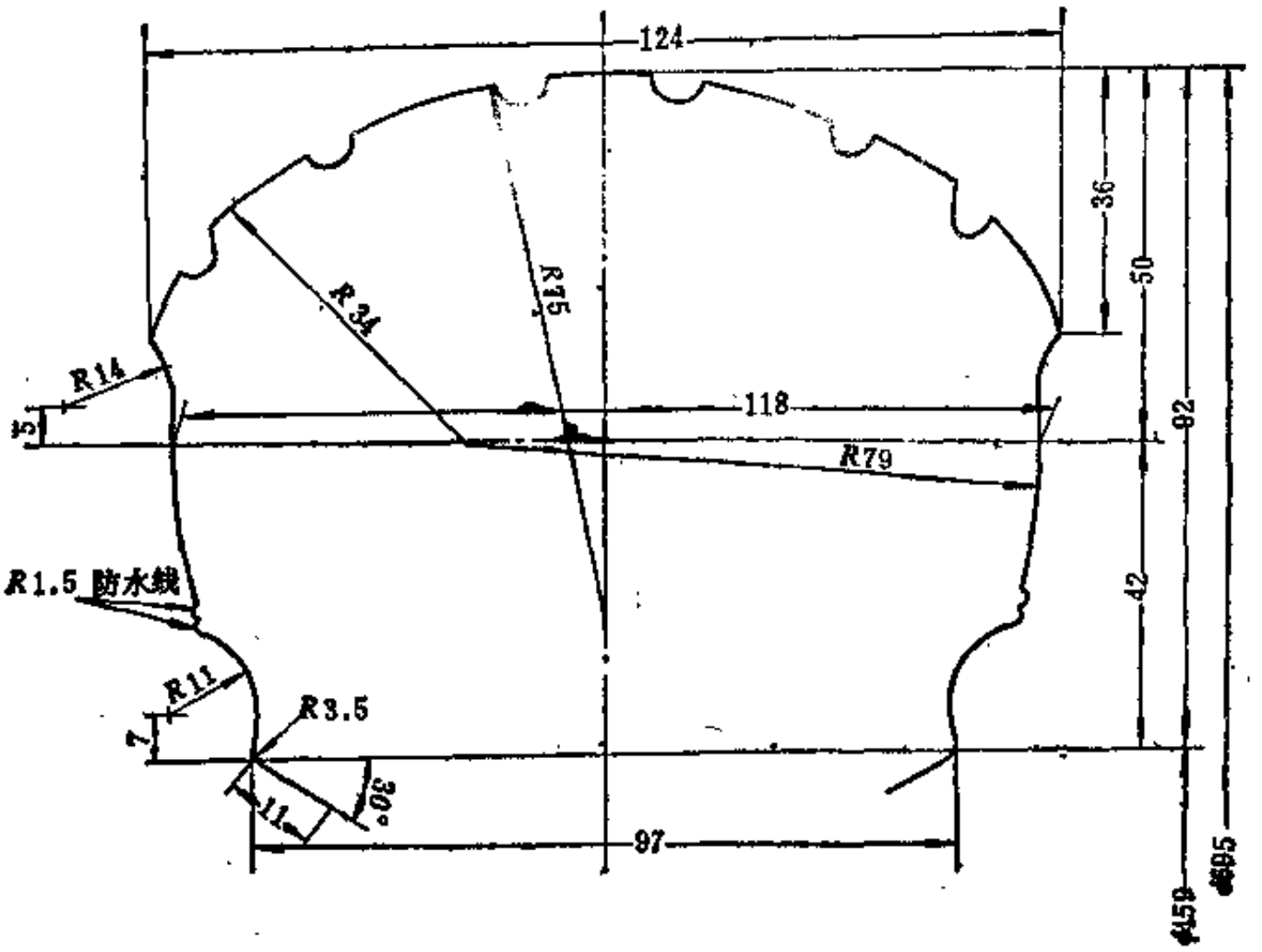



图 1-8-17　120/80—18轮胎模型尺寸图（单位：mm）
（$H/B=0.78$，$C/B=0.82$，$H_1/H_2=0.84$）

## 第二节　摩托车轮胎的配方设计

### 一、配方的整体设计

摩托车轮胎除无内胎结构外，都由外胎、内胎和垫带组成，其中以外胎结构最复杂。而无内胎轮胎，实际上是在外胎胎里贴附一层气密层构成的。故摩托车轮胎胶料配方设计，主要是探讨外胎胶料。

摩托车轮胎外胎和其它充气轮胎一样，是多部件、多胶料的结合体。在胶料配方的整体设计上，要从胶料的物理性能——主要是定伸应力配合和胶料硫化速度配合这两方面考虑。

（1）胶料的物性配合要从胎面——缓冲层——帘布层和帘线——浸渍层——帘布胶界面层间结合的稳定性来衡量。只有当轮胎在运转中，各部位形变趋于和谐一致时，界面层结合的稳定性才能保持，轮胎才能有较长的使用寿命。使形变趋于和谐一致的关键是各部件的300%定伸应力的配合适当。普通结构摩托车轮胎一般采取的是300%定伸应力由外及里逐渐下降的阶梯式分布，且每一阶梯约在0.98～2.0MPa(10～20kgf/cm²)之间。对尼龙帘布胶料，300%定伸应力最低在5.9～6.9MPa(60～70kgf/cm²)之间为宜。胶料的硬度变化是与定伸应力变化相一致的，因此胶料硬度亦有相应的阶梯配合。

（2）轮胎硫化是靠热传导方式进行的，面橡胶、纤维等是热的不良导体，轮胎截而又不是等厚的，因此硫化时各部位的温升不同，是不等温过程。为此，必须合理设计各部位胶料的硫化速度：使受热较慢、温度低的部位胶料硫化速度加快；受热较快、温度高的部位胶

料硫化速度减慢，以达到同步硫化的效果，在界面层形成化学键的均一空间结构；同时还要正确配置各部位胶料的硫化平坦范围，使各部位胶料硫化程度均在各自的平坦范围内。目前摩托车外胎硫化，有单面传热和双面传热二种方式。单面传热多用于硫化较小规格的外胎，其胎里层胶料的硫化速度，较之后者要快许多，如胎面胶料的硫化温度为143℃，正硫化时间为30～35分。当采取两面传热时，内层胶料的正硫化时间为20～25分；如是单面传热，内层胶料的正硫化时间为10～15分。

## 二、胎面胶料

胎面是承受外部应力最苛刻的部件，胎冠部位要承受摩擦、冲击、刺扎和撕扭，胎侧则要承受屈挠形变。较大型的摩托车外胎胎面胶料有的分为胎冠与胎侧两种胶料配方，这样可根据各自的使用要求进行配方设计，技术上较为合理；但通常多用一个配方，必须兼顾冠侧两部位不同的使用要求。

胎面胶配方中所用的生胶有天然橡胶、顺丁橡胶和丁苯橡胶，在国外还使用异戊橡胶和三元乙丙橡胶等。普通摩托车外胎胎面胶配方常以三种橡胶并用方式，以天然橡胶为主，顺丁橡胶用量约为20～30重量份，丁苯橡胶为10～20重量份。国外胎冠则以丁苯橡胶和顺丁橡胶为主，胎侧用天然橡胶和三元乙丙橡胶或氯化丁基橡胶等，以提高胎侧胶料耐屈挠和老化龟裂性能，尤其制作浅色或白色胎侧更为适宜。摩托赛车轮胎等越野轮胎，使用条件更为苛刻，外胎胎冠用全天然橡胶或全丁苯橡胶，其胎侧为天然橡胶与顺丁橡胶等合成橡胶并用。

胎面胶料配方中所用的补强剂，以高耐磨炉黑和中超炉黑为主，其总用量在45～56重量份间。越野轮胎要求胎冠耐磨性能好、挺性大、强韧性能高，炭黑用量可适量大些。赛车轮胎对胎冠要求更高，如用全天然橡胶，则需用槽法瓦斯炭黑，或再加白炭黑以提高胶料硬度（以达到70以上为宜）。胎侧胶则用快压出炉黑或半补强炉黑。

在胎面胶料硫化体系中，硫黄是最常用的硫化剂。全天然橡胶配方的硫黄用量在2.5重量份，随合成橡胶用量增加，硫黄用量减少到1.8重量份，甚至1.2～1.6份。促进剂则选用亚磺酰胺类，或亚磺酰胺类与噻唑类并用，如用NOBS和IOBS，或CZ与DM并用等，其总用量在0.85～1.8重量份间。当促进剂总用量达1.8份，硫黄用量为1.2份左右时，属于所谓低硫高促的配合类型，这在大量使用合成橡胶和炉法炭黑时是经常采用的。

其防护体系选用防臭氧和耐动态疲劳的高效多功能防老剂，以4010、防老剂H、BLE等为主，总用量为2～3重量份，另有物理防老剂石蜡0.8～1.4份。操作体系多采用石油加工产品如30号机油或重油，全天然橡胶配方则用松焦油。为调整胶料弹性和提高定伸性能等，则加入固体古马隆树脂或石油树脂等。

这样胎面胶的含胶率在52～60%，前者为轻型摩托车轮胎胎面胶含胶率。胎面胶胶料的300%定伸应力为8.8～10.8MPa(90～110kgf/cm²)，Akron磨耗为0.2cm³/1.61km。摩托车外胎胎面胶配方举例如表1-8-16。

## 三、胎体胶料

摩托车轮胎一般采用化纤骨架材料，在国内主要是用尼龙6帘线，且已作了浸渍胶乳的预处理。胎体胶料配方设计从胶料与浸渍层界面结合情况考虑，其生胶应掺用丁苯橡胶或充油丁苯橡胶。丁苯橡胶的用量为10～20重量份或更多一些。从全胎定伸搭配考虑，炭黑用量由外向内逐渐减少。缓冲层及外层胶料，以中超炉黑、高耐磨炉黑或混气槽黑为主，与半补

表 1-3-16 摩托车外胎胎面胶料配方举例

单位：重量份

| 原材料名称 | 赛车轮胎 | 一般轮胎 | | 轻型轮胎 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2号天然橡胶 | 100 | 50 | 50 | 60 | 60 |
| 顺丁橡胶 | — | 40 | 30 | 30 | 30 |
| 丁苯橡胶1500 | — | 10 | — | 10 | 10 |
| 充油丁苯橡胶 | — | — | 20 | — | — |
| 轮胎再生胶 | — | — | — | 10 | 20 |
| 硫黄 | 2.6 | 1.2 | 1.6 | 1.3 | 1.3 |
| 促进剂 DM | 0.5 | — | 0.4 | 1 | 0.8 |
| 促进剂 CZ | 0.2 | — | 0.6 | 0.8 | 1.1 |
| 促进剂 NOBS | — | 0.85 | — | — | — |
| 硬脂酸 | 3.5 | 3 | 3 | 3 | 2.5 |
| 氧化锌 | 5 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | — | 41.7 | 56 | 27 | 30 |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 30 | 10.4 | — | 20 | 15 |
| 瓦斯槽黑 | 20 | — | — | — | — |
| 白炭黑 | 12 | — | — | — | 5 |
| 石蜡 | 1 | 1 | 1 | 1.4 | 0.8 |
| 防老剂 A | 1 | 1 | 1 | — | — |
| 防老剂 D | 1 | — | — | — | — |
| 防老剂 RD | — | — | 1.5 | 1 | 0.7 |
| 防老剂 4010 | 1 | 0.5 | 1 | 1.2 | 1 |
| 防老剂 H | — | — | — | 0.3 | 0.3 |
| 防老剂 BLE | — | 1.5 | — | — | — |
| 固体古马隆树脂 | — | — | 3 | 3 | — |
| 松焦油 | 3.5 | — | — | — | — |
| 软化重油 | — | — | 3 | 6 | 8 |
| 30号机油 | — | 5 | — | — | — |
| 合　计 | 181.3 | 169.15 | 175.1 | 181 | 191.5 |

硫化胶性能

| 硫化条件 | 142℃×30min | 142℃×25min | 142℃×25min |
|---|---|---|---|
| 硬度(邵尔A) | 72 | 62 | 59 |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 22.46(229) | 19.99(204) | 19.70(201) |
| 扯断伸长率，% | 430 | 645 | 650 |
| 永久变形，% | 28 | 28 | 20 |
| 300%定伸MPa(kgf/cm²)应力， | 16.28(166) | 6.86(70) | 5.78(59) |
| 撕裂强度，N/mm(kgf/cm) | 120(123) | 104(106) | 109(111) |
| 磨耗量，cm³/1.61km | 0.138 | 0.103 | 0.160 |
| 老化系数 | — | 0.973 | 0.871 |

强炉黑或通用炉黑并用；内层胶料则相反，以半补强炉黑或通用炉黑为主。胎体胶料配方的含胶率在58～65%之间。轻型摩托车轮胎胎体为两层帘布，一般只用一个配方，含胶率在54～62%之间。摩托车外胎帘布胶料配方举例见表1-8-17。

表 1-8-17　摩托车外胎帘布胶料配方举例

单位：重量份

| 原材料名称 | 赛车胎 | 外　层 | 内　层 | 不分层 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 |
| 2号烟片生胶 | 70.0 | 90.0 | 70.0 | 65.0 | 80 |
| 丁苯橡胶1500 | 30.0 | 10.0 | 30.0 | 25.0 | 20 |
| 顺丁橡胶 | — | — | — | 15.0 | — |
| 硫黄 | 2.2 | 2.4 | 2.2 | 1.6 | 2.2 |
| 促进剂M | 0.9 | 0.6 | 0.9 | — | — |
| 促进剂DM | — | — | — | 0.6 | — |
| 促进剂CZ | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 1.0 | 0.9 |
| 促进剂TT | 0.05 | 0.05 | 0.04 | — | 0.05 |
| 硬脂酸 | 3.2 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 氧化锌 | 6.0 | 4.0 | 4.0 | 5.0 | 5.0 |
| 混气槽黑 | 15.0 | 10.0 | 10.0 | — | — |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 15.0 | — | — | 28 | 15.0 |
| 半补强炉黑(SRF) | — | — | — | — | 10.0 |
| 通用炉黑(GPF) | 20 | 35 | 39 | — | — |
| 白炭黑 | — | — | — | — | 15.0 |
| 碳酸钙 | — | — | — | 15.8 | 18.35 |
| 防老剂A | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 1.0 |
| 防老剂RD | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 1.0 | 1.0 |
| 防老剂4010 | — | — | — | — | — |
| 古马隆树脂 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | — |
| 松香 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | — | — |
| 松焦油 | — | — | — | 7.0 | 8.0 |
| 软化重油 | 6.5 | 6.0 | 6.0 | — | — |
| 30号机油 | — | — | — | 5.0 | — |
| 胶粘剂RS/A | — | — | — | — | 1/2 |
| 合　计 | 172.65 | 166.25 | 170.34 | 185 | 182 |

物理机械性能

| 配方名称 | 硫化条件 | 硬　度（邵尔A） | 拉伸强度 MPa(kgf/cm²) | 扯断伸长率，% | 永久变形 % | 300%定伸应力 MPa(kgf/cm²) | 撕裂强度 kN/m(kgf/cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 赛车帘布胶 | 132℃×25min | 64 | 21.4(218) | 600 | 32 | 8.9(91) | 101(103) |
| 外层帘布胶 | 132℃×30min | 60 | 26.0(265) | 594 | 36 | 8.8(90) | 124(127) |
| 内层帘布胶 | 132℃×20min | 58 | 21.0(214) | 619 | 29 | 7.0(71) | 85(87) |

## 四、内胎、垫带和水胎（及隔膜）的胶料配方

摩托车内胎胶料，有天然橡胶和丁基橡胶两类配方。丁基橡胶具优良的气密性和良好的耐热耐老化性能，且吸收震动性能优异，用丁基橡胶作轮胎内胎，能极大地改善轮胎使用性能，我国正在逐步扩大采用。

用作内胎配方的丁基橡胶，主要是不饱度为 1.5～2.1% 的 268 号或301号，用硫黄作硫化剂，促进剂以超超速级的ZDC和超速级的TT并用为主，且常与准超级的促进剂M 3 种并

表 1-8-18 摩托车内胎、水胎、胶囊配方举例

| 原材料名称 | 白内胎 | 黑内胎 | 丁基内胎 | 水胎或硫化气囊 | | 硫化胶囊 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1号天然橡胶 | 100.0 | 100.0 | — | — | — | — |
| 丁基橡胶268号（或301号） | — | — | 100.0 | 100 | 100 | 100 |
| W型氯丁橡胶 | — | — | — | — | — | 5 |
| 硫黄 | 2.4 | 2.1 | 1.5 | — | — | — |
| 叔丁酚甲醛树脂 | — | — | — | 8 | — | 9 |
| 溴化特辛基甲醛树脂 | — | — | — | — | 8 | — |
| 促进剂M | — | — | 0.5 | — | — | — |
| 促进剂DM | 0.5 | 0.8 | — | — | — | — |
| 促进剂D | 0.1 | — | — | — | — | — |
| 促进剂TT | — | — | 1.4 | — | — | — |
| 促进剂ZDC | — | — | 1.0 | — | — | — |
| 促进剂CZ | 0.3 | 0.5 | — | — | — | — |
| 氯化亚锡 | — | — | — | 1～2 | — | — |
| 氧化锌 | 5.0 | 4.0 | 4.0 | — | 5 | 5 |
| 硬脂酸 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 1 | 1 | — |
| 高耐磨炉黑(HAF) | — | — | 45 | 60 | 60 | — |
| 中超耐磨炉黑((ISAF) | — | — | — | — | — | 50 |
| 半补强炉黑(SRF) | — | 25.0 | — | — | — | — |
| 快压出炉黑(FEF) | — | — | 45 | — | — | — |
| 通用炉黑(GPF) | — | — | — | — | — | — |
| 硫酸钡 | 10.0 | — | — | — | — | — |
| 碳酸钙 | 57.5 | 30 | — | — | — | — |
| 松焦油 | — | 4.5 | — | — | — | — |
| 古马隆树脂 | — | — | — | — | — | — |
| 凡士林 | 2.0 | — | — | 7 | 7 | — |
| 石蜡 | 1.0 | 1.0 | — | — | — | — |
| 防老剂A | 1.0 | 1.0 | — | — | — | — |
| 防老剂D | 0.5 | 1.5 | — | — | — | — |
| 橡胶大红 | 0.5 | — | — | — | — | — |
| 操作油 | — | — | 24 | — | — | 蓖麻油5 |
| 合　计 | 182.8 | 172.4 | 223.4 | 178 | 181 | 174 |

物理机械性能

| 硫化条件 | 132℃×15min | 132℃×15min | 156℃×15min | 165℃×18min | 165℃×180min |
|---|---|---|---|---|---|
| 硬度（邵尔A） | 64 | 52 | 64 | 68 | 66 |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 26.7(271) | 24.2(247) | 14.4(147) | 14.1(144) | 11.6(118) |
| 扯断伸长率，% | 679 | 672 | 695 | 470 | 670 |
| 永久变形，% | 31 | 34 | 44 | 6 | 28 |
| 300%定伸应力，MPa(kgf/cm²) | 4.3(44) | 4.8(49) | 4.0(41) | 8.5(87) | 4.5(46) |
| 撕裂强度，kN/m(kgf/cm) | 70(71) | 82(84) | 51(52) | 43(44) | 56(57) |

用，以使之有较快的硫化速度。炭黑则采用快压出炉黑，或以快压出炉黑与半补强炉黑并用，为提高胶料的耐撕裂性能，有时还采用高耐磨炉黑与快压出炉黑或半补强炉黑并用的形式。炭黑总用量为50～60重量份，有时可高达70份。由于炭黑用量较大，操作油用量也较

大，在20份左右。由于丁基橡胶耐老化性能较好，一般不用防老剂。配方的含胶率在50～53%之间。

用天然橡胶制成的内胎，有黑色的，也有红色的，一般轻型摩托车内胎红色居多，大中型摩托车内胎则多为黑色。配方中所用生胶一般用1号或2号烟片胶或1号颗粒胶，有的还并用少量丁苯橡胶，用硫黄作硫化剂，促进剂常以噻唑类的M或DM与亚磺酰胺类的CZ并用，以提高胶料的拉伸性能。黑色内胎用半补强炉黑，有时并用少量中超炉黑或瓦斯槽黑等使色泽美观。红色内胎主要用碳酸钙作填料，为使胶料颜色较艳丽并提高致密性，常加10重量份左右的锌钡白或硫酸钡，颜色则用有机颜料。防护体系则用防老剂A与防老剂D或防老剂RD并用，另加物理防老剂石蜡，总用量在2.5～3.0重量份间。软化操作体系一般用凡士林或机油。配方的含胶率在55～58%之间。

垫带是作为保护内胎免受轮辋等坚硬物磨蚀的轮胎组合件，因此要求垫带胶料柔韧并具有一定弹性。垫带配方所用生胶以通用型橡胶为主，掺用大量再生胶，并填充较大量的碳酸钙等填料，因此其含胶率较低，一般在35%以下。

水胎、硫化气囊和硫化隔膜，作为外胎硫化用工具胎，起传递硫化压力和热量的作用，因此，需以耐热老化优良的丁基橡胶制造，常用的品种是268号或301号。其硫化剂为烷基苯酚树脂，用量8份左右，普遍使用的是对-叔丁基苯酚甲醛树脂，用氯化亚锡1.2～2.0份作活性剂。由于氯化亚锡不稳定，且腐蚀性强，故在许多场合以少量氯化丁基橡胶或氯丁橡胶与丁基橡胶并用，而以氧化锌作活性剂，树脂则可用叔丁酚树脂，或卤化烷基酚醛树脂。如用后者对改善胶料的工艺性能和加快硫化速度都会有益处。配方中所用的炭黑为高耐磨炉黑，用量60重量份左右，为提高胶料耐撕裂性能，也有用中超耐磨炉黑或中超炉黑与高耐磨炉黑并用的。操作体系用凡士林3～6重量份或同样份数的环烷基油或蓖麻油，配方含胶率在55～58%之间。

内胎胶料和水胎、硫化气囊、隔膜胶料配方举例如表1-8-18。

## 第三节　摩托车轮胎生产工艺

### 一、准　备　工　艺

摩托车轮胎各部件所用的胶料，大多采用XM-140/20密炼机制造。胎面胶料一般采取两段混炼的工艺方法，帘帆胶料配方中的天然橡胶需先行塑炼达到一定可塑度后，才能供混炼，快速密炼机已开始在摩托车轮胎生产中应用，但混炼的基本工艺过程不变。

帘布覆胶多用四辊压延机一次完成。为提高压延时对尼龙帘线所施加的张力，常采取余胶压力贴的工艺方法。具有较大张力联动装置的轴交叉式的四辊压延机，加工的胶帘布厚度均匀，质量好，能适应高速轮胎生产技术要求。三辊压延机主要用以作包布的帆布擦胶。

### 二、外胎的成型和硫化

#### （一）成型工艺

成型工艺包括胎面出型、钢丝圈制造和帘帆布的裁断等制作外胎各部件的工序，将这些部件按一定方式粘合起来，即为胎坯的成型，其技术要求和依据是外胎设计提出的施工表。

1．胎面出型

胎面出型有压延和压出二种方法。用XY-3I-230或XY-4L-230压型压延机，主要是出型

轻型摩托车外胎等小规格外胎的胎面，其胎冠和胎侧为同一胶料；用压出机出型摩托车外胎胎面，由于压出胶料致密性好，规格易掌握且调换方便，正逐步取代压延出型方式。用压出机出型摩托车外胎胎面，可用一台压出机采用同一种胶料整体压出，胎冠和胎侧为一整体；也可用二台压出机分别压出胎冠和胎侧，在运输带上复合的两胶三块；还有二台压出机用复合机头压出两胶三块，甚而以3台压出机复合机头压出三胶五块等方式，后者主要用来出型较大规格轮胎胎面，以及胎侧为双色的彩色胎面。用复合压出机出型彩色胎面，色界整齐，可使产品更为美观。胎面压延辊型和压出型板尺寸，要根据施工设计的胎面形状、胶料收缩率及出型工艺特征等来确定。出型的胎面经冷却后裁成一定的长度，贮放于胎面存放板上，或打卷贮放，直接供成型使用。

2. 钢丝圈的制造

一般用XJ-65钢丝包胶机进行包胶，并按施工表规定卷取成圈，再用胶布条缠紧，或加填充胶条后包上护圈布。后者多用于成型时用扣圈盘上钢丝圈的工艺。根据设计胎圈根数，成盘卷取应不少于3整圈，才可免于接头错开松动的要求，包胶钢丝可取2根、3根或4根并排的方式，单根或5根并排包胶的情形较为少见。

3. 胶帘帆布裁断规格

胶帘帆布的裁断规格是由施工设计制定的，胶帆布用作胎圈包布，由胎圈结构确定其裁断宽度和角度。胶帘布的裁断角度是根据设计成品胎冠角度$\alpha$和帘线假定伸张值$\delta_1$及成型机头直径到胎里直径的伸张值$\delta$确定的，国内普通结构的摩托车外胎胎冠角度为48～55°，尼龙帘线的假定伸张值一般取1.030～1.035。帘线裁断角度举例见表1-8-19。

**表 1-8-19 帘线裁断角度情况举例**

| 轮胎规格 | 帘布裁断角度$\alpha_0$ | 成品胎冠帘线角度 $\alpha$ | 尼龙帘线假定伸张值$\delta_1$ | 成型机头直径到胎里直径伸张值$\delta$ |
|---|---|---|---|---|
| 3.75-19 | 35° | 50° | 1.035 | 1.312 |
| 3.25-16 | 35° | 48° | 1.035 | 1.332 |
| 2.75-14 | 37° | 51.4° | 1.035 | 1.330 |
| 2.50-17 | 41° | 55° | 1.035 | 1.211 |
| 2.50-18 | 43° | 55° | 1.035 | 1.214 |
| 2.25-17 | 41° | 52° | 1.035 | 1.210 |

帘线裁断宽度根据成型机头宽度和胎圈结构确定，如采取包贴成型方法，则还应考虑搭接部分的宽度。

根据成型方法的不同，裁断后的胶帘布有的要经层布贴合制成帘布筒，再供成型。一般摩托车外胎的帘布筒为两层帘布交叉贴合而成。

4. 外胎成型

外胎成型即胎坯制作，大多是在半鼓式成型机头上进行的。成型鼓的形式不同，成型操作方法也不一样。折迭鼓式机头鼓肩下为平直线，用帘布筒且用扣圈盘上钢丝圈；折页鼓式机头鼓肩下直线末端有突缘，突缘的作用是使钢丝圈位置能正确固定。用折页鼓机头成型时，采取单层帘布层贴法成型，用手工上钢丝圈；平鼓式机头主要作包贴成型，在鼓壁上有两条沟槽，起固定钢丝圈作用，平鼓式机头多为双鼓形式，主要制作轻型摩托车外胎胎坯。各种鼓式机头鼓肩曲线如图1-8-18示。

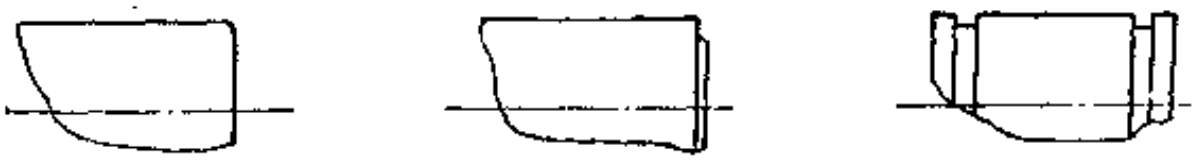



图 1-8-18 摩托车外胎各种成型机头鼓肩曲线示意
(a) 折迭式机头；(b)折页式机头；(c)包贴式机头

成型鼓直径按不同成型方法，由成型机头对胎里直径的伸张值 $\delta$ 确定。如折迭鼓机头，成型时用帘布筒，在上机头时有较大伸长，因此 $\delta$ 值略取小些；而折页式机头以手工层贴上帘布，其帘布在成型时伸张略小，因此 $\delta$ 值则取得略大些；外胎横断面宽度较大，成型机头相应也宽，$\delta$ 值也应大些。摩托车外胎半鼓式机头直径对胎里直径伸张关系举例见表1-8-20。

表 1-8-20 摩托车外胎成型机头对胎里直径举例

| 轮胎规格 | 外胎胎里直径 $D_B$,mm | 成型机头直径 $d$,mm | 伸长值 $\delta=D_B/d$ | 成型工艺方法 |
|---|---|---|---|---|
| 3.75-19 | 665 | 506 | 1.314 | 手工层贴包圈 |
| | 665 | 520 | 1.280 | 帘布筒扣圈 |
| 3.25-16 | 565.5 | 424 | 1.334 | 手工层贴包圈 |
| | 565.5 | 445 | 1.271 | 帘布筒扣圈 |
| 2.75-18 | 585 | 480.5 | 1.217 | 手工层贴包圈 |
| 2.75-14 | 494 | 371 | 1.330 | 手工层贴包圈 |
| 2.50-18 | 580.2 | 478 | 1.214 | 手工层贴包圈 |
| 2.50-17 | 551 | 455 | 1.211 | 手工层贴包圈 |
| 2.25-17 | 547.1 | 452 | 1.210 | 手工层贴包圈 |

成型所用设备和成型机头不同，成型胎坯的质量也有优劣之分，成型操作则有繁简快慢之别。高速轮胎要求成型精度高，用半自动层贴成型机较适宜。该机的机械化、自动化水平较高，胶帘布、胎面等部件由成型鼓前上方可调高度的供应装置自行展平供出，自动扣圈包边压头，包边差级高度一致，胎坯成型质量好，且劳动强度低，生产效率高。

用折迭鼓式机头成型是较为普遍的，上帘布筒时可以用成型棒，也可不用。不用成型棒上帘布筒多用于成型只有二层帘布的中小型摩托车外胎，方法是将帘布筒套到折迭起的机头上，套正后撑开机头即告完成。由于中小型摩托车外胎帘布宽度较窄，在机头上容易找正，故可省去用成型棒的麻烦；较大型摩托车外胎的帘布都较宽，且一般都是4层帘布，即用二个帘布筒，因此成型时需要有成型棒，但常用的多是手持式成型棒。由于层布贴合时帘布差级较易掌握，用扣圈盘扣圈也较正确，压滚装置一般也较有效，因此用折迭鼓机头成型的胎坯质量较好。在用折迭鼓机头成型时，帘布筒直径较机头直径小些，帘布筒口在机头上呈收缩状，这样在成型鼓缘可以不涂刷成型胶浆即可扣圈，胎边翻包也较容易。当然作如此处置应考虑到机头直径对胎里直径伸张值 $\delta$ 的影响。用折页式机头筒易成型机成型的摩托车外胎为数不少，所谓折页机头是将成型机头的约1/3周长部分分成二片颚，用活页与固定部分联接，两折页间用转柄把手即所谓“打关”支撑，则成为一圆鼓，可进行成型操作。当“打关”松开，折页折回，即可从机头上取下成型好的胎坯。此种成型机成型时人工单层贴帘布，手工包钢丝圈，因此帘布易上偏，帘布差级也不易找正，钢丝圈不易上正面导致胎壳窄窄不

匀，胎体压实情况也差，而且劳动强度大，生产效率低。但其设备结构简单，成型操作易掌握，对速度不高的轻型摩托车轮胎还是能适应的。轻型摩托车外胎采用包贴成型方法的只是少数。包贴成型是将一层帘布绕过二钢丝圈后，在胎冠部位将帘布边搭接，由于此法设备简单、操作容易，且帘布在胎冠部位搭接使冠部增强。但由于帘布翻包过宽，且都是手工操作，易使帘布在翻包时拉伸不匀，帘布搭接宽窄不齐、偏歪，影响轮胎使用性能。如胎圈钢丝根数较多。硫化时胎圈易变形，又由于胎根部位较薄，致使轮胎在使用中会导致屈挠点向胎圈部位移动，而造成胎圈早期磨损等毛病。

### （二）硫化方法

摩托车外胎的硫化方法，有隔膜定型硫化水胎硫化和硫化胶囊硫化3种，前二种为双面硫化热传导形式，后者为单面热传导形式。用隔膜定型硫化机硫化外胎时，内压用过热水或中压蒸汽，过热水压力为2.5～2.9MPa(25～30kgf/cm²)，温度为200℃左右，如用蒸汽内压，则蒸汽压在1.5～1.8MPa(15～18kgf/cm²)。硫化出模后有后充气冷却定型。隔膜定型硫化适于高速、大型摩托车外胎的制造。国内较多采用的硫化设备是水压或电动硫化机，外模为恒温，内压则以水胎或硫化胶囊提供。水胎硫化内压为2.0～2.5MPa(20～25kgf/cm²)，水温160℃以上；硫化气囊硫化内压为1.3MPa(13kgf/cm²)以上，温度在150～160℃，相当蒸汽压4.1～6.4MPa(42～65kgf/cm²)。硫化时间则根据外胎规格大小、胎体厚薄面定，一般在20～45分钟之间。有的厂家用水胎硫化，外胎出模后连同水胎一起作后充气冷却定型，然后再扒出水胎。但多数厂外胎硫化出模后，不作后充气处理，而是采取缓扒水胎或硫化气囊，任其自然冷却一段时间的方法，这在一定程度上起到冷却定型的作用，对只有二层尼龙帘线的轻型摩托车外胎，这样做就足够了。

## 三、内胎生产工艺

我国以天然橡胶为主制作摩托车轮胎的内胎。生胶经塑炼、混炼后，再经滤胶、加硫黄、压出胎筒、安装气门嘴、接头和硫化而制得内胎。生胶在塑炼和混炼中，都要控制其可塑度，内胎胶过滤多用40～60目钢丝网，滤胶后冷却停放再进行内胎筒压出，停放时间一般不少于24小时，以保证压出胎筒规格和接头质量的稳定性。要根据内胎断而直径的大小选用适当的压出机压出内胎筒；且须按内胎断面大小，采取不同压出工艺。内胎断面尺寸小的，压出内胎筒断面可以是等厚的，压出规格通过调整芯型掌握；内胎断面尺寸大时，压出内胎筒断面多是不等厚的，其规格调整以移动口型为主。内胎筒装气门嘴和接头，可在压出流水线上进行，也可在压出内胎筒经一段时间的冷却停放后完成（根据生产规模和内胎规格而定）。内胎气门嘴有胶垫嘴和全铜嘴两种，为提高内胎的气密性，胶垫气门嘴的使用越来越多。胶垫气门嘴的嘴垫须经半硫化，然后打磨其底部并涂胶浆，最后粘贴于内胎筒气门嘴开孔处。全铜嘴则在插入胎筒气门嘴开孔处后，在嘴杆套贴一个带有胶帆布的补强胶垫于胎筒上。胶垫嘴或全铜嘴的补强垫经硫化后即与内胎胎身结合为一整体。内胎筒的接头一般都用专门的接头机，将内胎筒两端置入夹持器后，电热刀切去端头，然后两夹持器相对移动使胎筒两端对接为一环状体。电热刀温度在160～180℃，由可变变压器控制，每分钟可接头2～10条不等，主要按接头机类型和所接内胎规格面定。断面尺寸较大的内胎筒，内胎气门嘴必须安装在筒壁较薄的一面，内胎硫化时薄面在内周，定型后可使断面基本上达到厚薄一致。而断而尺寸小的，即压出胎筒壁为等厚者，可不需定型就装模硫化。内胎硫化设备的选取，一般按内胎规格大小确定，有轮胎内胎硫化机、电动墙板式硫化机等。内胎硫化模断面为圆形，但下模

断面通常为2/3～3/5圆周，这是为了使工艺操作更方便。内胎模和汽室也常制作为一整体，这样有利于热传导作用。一般在汽室和内压进汽门之间设置一根导管使之相通，当内胎硫化时，硫化模汽室的蒸汽经导管进入内胎内腔作为内压，这样内外压是同温的，保证了内胎壁表里硫化深度一致，且避免了在硫化出模时胎内积水多而延长辅助操作时间。内胎硫化的蒸汽，一般为饱和干气，其气压为0.54～0.69MPa(5.5～7.0kgf/cm²)，硫化时间为 3～6分钟。

丁基内胎最突出的特点是气密性好，加之丁基橡胶耐热老化的优良性能，使丁基内胎适于高速高温的行驶条件，正逐步扩大使用。丁基胶料的混炼在密炼机中进行，由于丁基橡胶与炭黑混炼较困难，密炼机投料容量应适当大些，还需加入一定量的已混炼好的胶料作母胶，以缩短混炼时间。排胶温度控制在135℃以上，经下片冷却后在密炼机中进行二次混炼，加硫黄后用60目以上的滤网过滤，过滤胶供内胎压出用，即采取滤胶——压出联动化作业，以减少杂物沾染，回车胶料也须经滤胶才能掺用。丁基内胎的压出设备，要求有较大的螺杆长径比和压缩比，以使压出胎筒的致密性好，且提高压出效率。采用冷喂料压出机也可收到此效果，但对滤胶——压出联动化作业，则不可行。丁基内胎接头机电热刀温度在180～230℃，刀的角度也要比天然橡胶内胎接头机的大些。为使内胎接头部位结合稳固，较大规格的内胎接头后，接头部位需在－5℃以下冷冻5～10分钟，小规格内胎接头后要在室温下停放30分钟以上才能硫化。丁基内胎硫化的适宜温度在180℃左右，蒸汽压在0.8～0.9MPa(8～9kgf/cm²)之间，硫化时间为5～8分钟。丁基内胎多用胶垫气门嘴，予硫化后需经打磨，再粘贴于胎身嘴孔处，硫化后则与胎身成为一体。

## 四、摩托车垫带的制造

摩托车垫带断面多为板式构型，轻型摩托车的垫带有用塑料制作的，但塑料性能受温度影响较大。橡胶垫带的制作有模型硫化和套圈缠水布于硫化罐中硫化两种方法，以模型硫化质量较好。套圈硫化方法是将胶料按垫带规格要求出片并裁成条，在刻有相应沟槽的金属鼓上套接，缠上水布后置于硫化罐中硫化，出罐后取下并打开气门嘴孔即成，由于垫带上有接头痕迹及布纹，外观较差。垫带硫化模由外模和内模组成，一般外模为带汽室、内壁光滑的二个半圆筒，安装于硫化机的上、下托盘上，内模为刻有一定形状槽沟的中空圆柱体，其柱体长度与外模相同。在内模壁上钻有若干排气孔，以便合模后排出空气，内模中心还有支撑套轴，以利装、出模操作。硫化时将垫带胶片包于内模上并搭上头，推入外模间并启动硫化机外模闭合，即开始硫化，出模时将外模开启，拉出内模，取下硫化好的垫带，然后打孔即成。垫带硫化蒸汽压为0.6MPa(6kgf/cm²)，硫化时间为5～8分钟，按垫带宽窄不同，硫化内模上刻有数条槽沟，即一次可硫化数条垫带，槽沟数以方便操作为准。垫带硫化模示意如图1-8-19。

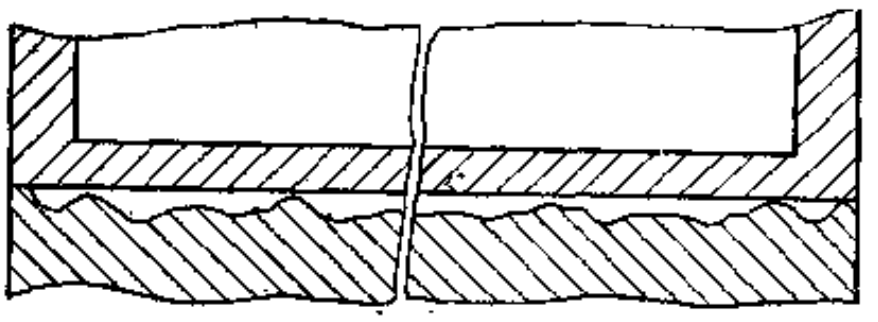


图 1-8-19　垫带模示意图

## 五、水胎、硫化气囊和硫化隔膜的制造

作为外胎硫化压力和内温传递工具的水胎、硫化气囊和硫化隔膜（胶囊），都用耐热耐老化性能良好的丁基橡胶制作，以树脂体系硫化，三者胶料配方基本可以通用。胶料的混炼

表 1-8-21　国内摩托车轮胎生产厂家的生产规格举例

| 生产厂家厂牌 | 5.10-18 | 4.00-18 | 4.00-17 | 3.75-19 | 3.50-19 | 3.50-10 | 3.25-19 | 3.25-16 | 3.00-21 | 3.00-18 | 3.00-16 | 3.00-12 | 3.00-8 | 2.75-18 | 2.50-14 | 2.50-18 | 2.50-17 | 2.25-17 | 2.25-14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 上海大中华橡胶厂双钱 | ○ | | ○ | | | | | ○ | ○ | | | | | | | | | | |
| 朝阳轮胎厂长征 | ○ | | | ○ | ○ | | ○ | ○ | | | | | | | | | | | |
| 青岛同泰橡胶厂金鹿 | | ○ | | ○ | | | | ○ | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 广州橡胶七厂星球 | | | | | | | | | | ○ | ○ | | | ○ | | ○ | ○ | ○ | |
| 上海中南橡胶厂凤凰 | | | | | | | | | | | | ○ | | | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 无锡橡胶三厂双飞 | | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | ○ | |
| 西安新华橡胶厂快乐 | | | | ○ | | ○ | | ○ | | | ○ | | | | ○ | | ○ | ○ | |
| 杭州橡胶厂朝阳 | | | | ○ | | | | ○ | | | | | | | | | | | |
| 重庆轮胎厂山城 | | | | ○ | | | | ○ | | | | | | | ○ | | ○ | ○ | |
| 长江橡胶厂 | | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | ○ | |
| 广州橡胶一厂钻石 | | | | | | | | | | ○ | | | | ○ | | ○ | ○ | ○ | |
| 许昌橡胶一厂 | | | | ○ | | | | ○ | | | | | | | | | | ○ | |
| 丹东轮胎厂 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 北京橡胶一厂 | | | | ○ | | | | ○ | | | ○ | | | | | ○ | ○ | | ○ |
| 宜昌市轮胎厂 | | | | ○ | | | | ○ | | ○ | | | | ○ | | ○ | | ○ | |

是分段进行的，为提高炭黑分散性，有的采取三段混炼的方法，在最后混炼阶段加入树脂。

水胎和硫化气囊在硫化时传递压力的作用是相同的，断面形状也相同，只是硫化时所用介质不同。由于丁基胶料自粘性等工艺性能差，水胎和硫化气囊均采用压出机压出胎筒囊坯，然后经安嘴接头再硫化而成。由于胎筒壁较厚，宜选用较大规格压出机压出胎筒囊坯，如中小型水胎和硫化气囊，适于用XJ-150压出机，其压出的胎筒较为致密。水胎嘴子所用胶料与胎身胶料相同，它的制作是将胶料压成棒状，再经切削打磨呈蘑菇状，中间穿孔后插入经打磨的胎筒嘴孔内，压实固定一段时间后即可。胎筒的接头是将胎筒两端打磨成凹凸状配合，对接后压实固定一段时间即可硫化。水胎一般需安装两个嘴子，而硫化气囊只安一个嘴子，这就是二者区别所在。硫化外压为不低于0.6MPa(6kgf/cm²)的蒸汽。内压为压缩空气或过热水，硫化时间不少于3小时。

压出的硫化隔膜半制品为柱状条或胶片，如为条形则需接头。硫化时将半制品置于总压力为4410kN以上(450tf)的硫化机隔膜模型中，合模时将胶料挤压成隔膜形状，其蒸汽硫化外压不低于0.6MPa(6kgf/cm²)，硫化时间不少于2小时。

表1-8-21为国内摩托车轮胎主要生产厂家的生产规格举例。

# 第九章　内胎、垫带、水胎和胶囊设计

## 第一节　内 胎 设 计

内胎是充气轮胎的重要部件，通常在70～120℃或更高的温度下工作，应具有足够的气密性和强度。充气时内胎各部位承受着不同的变形，外径部位承受伸张变形，着合部位承受压缩变形，断面方向也承受伸张变形。内胎装配于外胎内，若充气时得不到充分伸张就会打折，在胎壁较薄和所用胶料永久变形过大时，打折现象尤为突出。若伸张过大又会降低使用寿命。经验证明：内胎外径、内径和断面方向都有一定最佳伸张或压缩的取值范围。图1-9-1为内胎设计断面示意图。

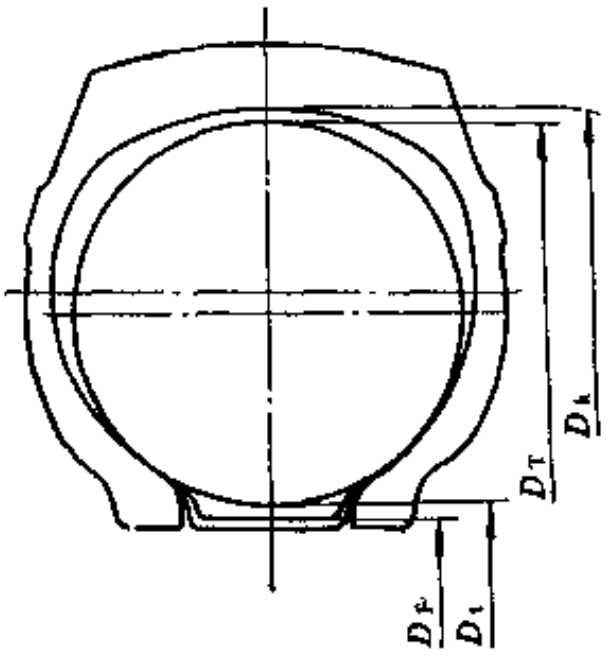



图 1-9-1　内胎设计断面示意

$D_K$—外胎胎里直径；$D_T$—内胎外直径；$D_t$—内胎内直径；$D_t$—外胎着合直径$d+2\times$垫带厚度

1．外直径伸张值的选取

内胎外直径伸张 $\frac{D_K}{D_T}=1.02\sim1.05$

2．内直径收缩值的选取

装配于平底轮辋：$\frac{D_t}{D_t}=1.02\sim1.05$；装配于深槽轮辋：$\frac{D_t}{D_t}=1.06\sim1.20$。

在确定内胎内直径时应当注意的是，内胎内直径至少比胎趾直径大 2mm，以免往轮辋上装配时，内胎夹入胎圈与轮辋之间。

3．断面周长伸张值的选取

$\frac{L_K}{L_T}=1.10\sim1.20$（$L_K$——外胎断面内轮廓周长；$L_T$——内胎断面外轮廓周长）

断面周长伸张值一般取1.15左右。不允许超过1.25。

4．胎壁厚度

内胎的强度与气密性取决于它的壁厚，胎壁越厚气密性越好，同时打折的可能性也减小。但胎壁厚度增加时工作温度上升，也不经济。实践证明，双层胎壁厚度的最佳取值范围为：

摩托车轮胎　3.0～5.0mm；

轿车轮胎　3.0～5.0mm；

中型载重轮胎　4.0～6.0mm；

重型载重轮胎　6.0～8.0mm。

不用垫带时，着合部位的厚度应增加0.5～1.0mm，以增加内胎轮辋区的强度，防止安装时被夹破，并增强承受强烈制动产生的高温的能力。

5．气门嘴贴合位置

气门嘴根据轮胎类型、轮胎规格和轮辋的结构进行选用。平底轮辋气门嘴孔位于轮辋中心，气门嘴位于内胎断面的纵轴上。深槽轮辋气门嘴孔一般位于轮辋胎圈座拐弯处，气门嘴也应位于内胎的相应位置上。

无内胎轮胎气门嘴直接安装在轮辋的相应气门嘴孔上，配合要十分紧密，以防漏气。

6．排气线

在内胎表面沿冠部圆周和断面方向设深0.2～0.5mm、宽1～3mm的沟纹。一方面可借以排出内胎与硫化模型间的空气，同时也能排出外胎与内胎之间的空气，增进内胎与外胎内表面的紧密程度。

7．绘制内胎总图

当内胎的外直径、内直径、断面轮廓、气门嘴型号位置和排气线尺寸位置确定之后，即可绘制内胎总图（见图1-9-2）。

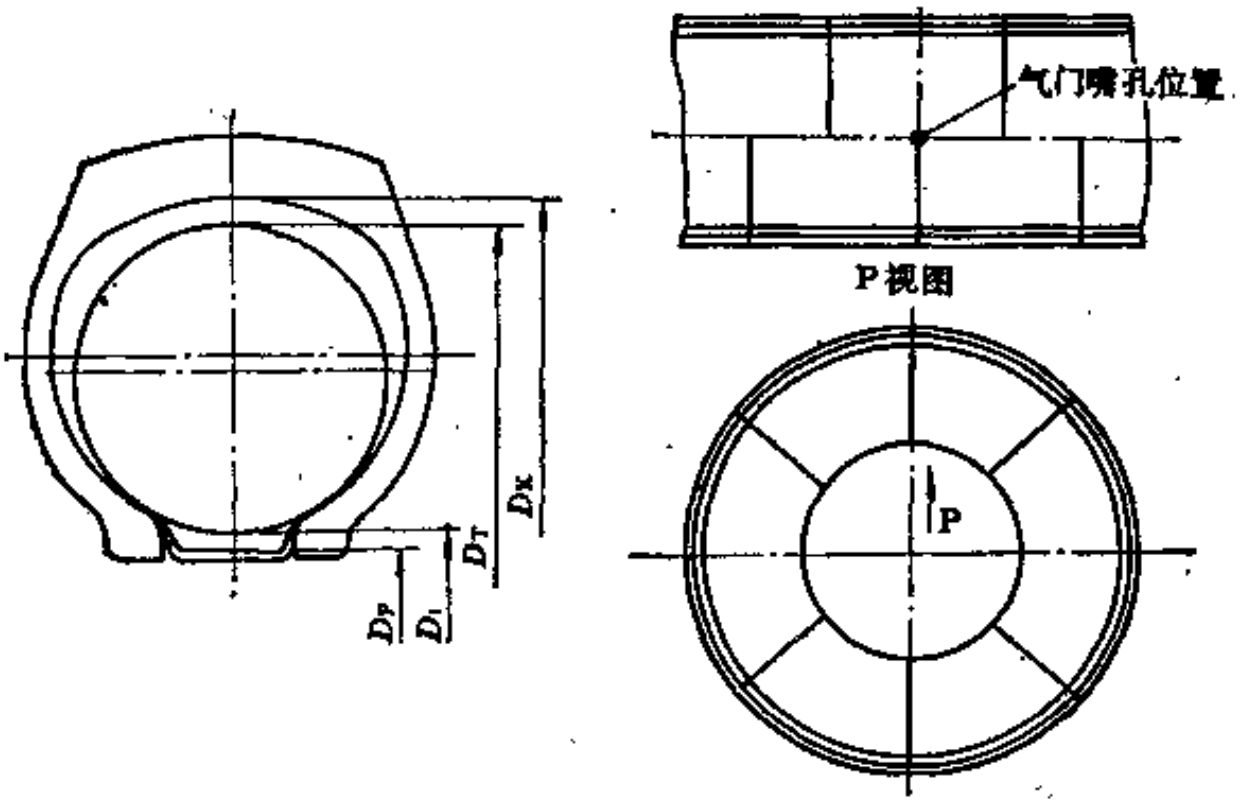



图 1-9-2　内胎总图

表1-9-1列举了各种规格轮胎的内胎断面轮廓尺寸。

表 1-9-1　内胎断面轮廓尺寸举例

| 轮胎规格 | 外直径 mm | 内直径 mm | 断面直径 mm | 外直径伸张 | 内直径收缩 | 断面周长伸张 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.50-16 | 684 | 404 | 146 | 1.031 | 1.040 | 1.206 |
| 7.50-20 | 848 | 537 | 155.6 | 1.037 | 1.029 | 1.149 |
| 8.25-20 | 868 | 540 | 164 | 1.049 | 1.027 | 1.131 |
| 9.00-20 | 920 | 544 | 188 | 1.047 | 1.034 | 1.157 |
| 10.00-15 | 818 | 408 | 205 | — | 1.023 | 1.123 |
| 11.00-20 | 965 | 649 | 209 | 1.050 | 1.040 | 1.118 |
| 11-18 | 906 | 486 | 210 | 1.050 | 1.040 | 1.118 |
| 12.00-20 | 1009 | 551 | 229 | 1.053 | 1.044 | 1.113 |
| 12.00-22 | 1065 | 605 | 231 | 1.050 | 1.045 | 1.125 |
| 12.00-24 | 1080 | 650 | 215 | 1.060 | 1.032 | 1.183 |

## 第二节 垫带设计

垫带用于在平底轮辋上使用的载重轮胎，其作用是防止内胎夹在胎趾和轮辋之间，防止内胎受轮辋的热作用。从断面形状来看，垫带可分为有型垫带和无型垫带二种(见图1-9-3)。

垫带的断面形状按以下原则确定：

① 垫带最小展开宽度应不小于最大允许轮辋宽度；

② 垫带的内径应较轮辋直径大1～2.5%；

③ 垫带中部厚度为4～10mm，视轮胎规格大小而定。边缘厚度应不大于1.5mm；

④ 两缘的高度不宜超过轮缘高度（图1-9-4中 $h$ 值）；

⑤ 在气门嘴孔相应的位置，应设计直径为10～15mm的孔，且圆孔周围的厚度应较其它部位厚2～3mm（如图1-9-5所示）。

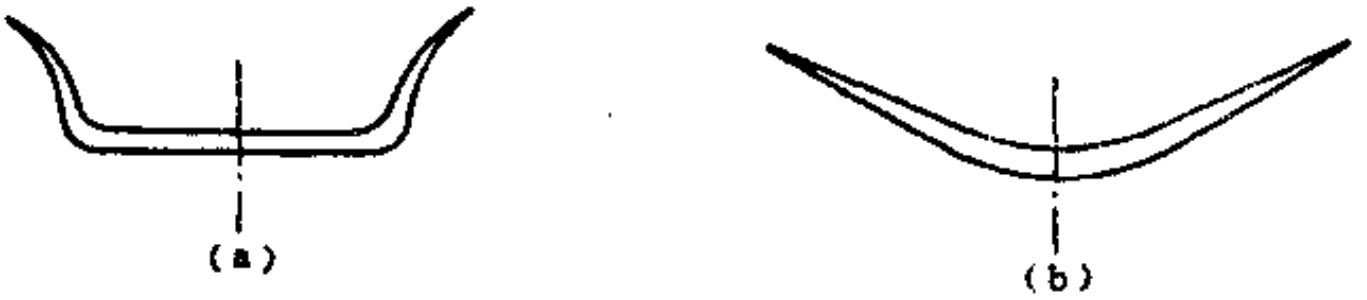



图 1-9-3 垫带断面形状
(a) 有型垫带；(b)无型垫带

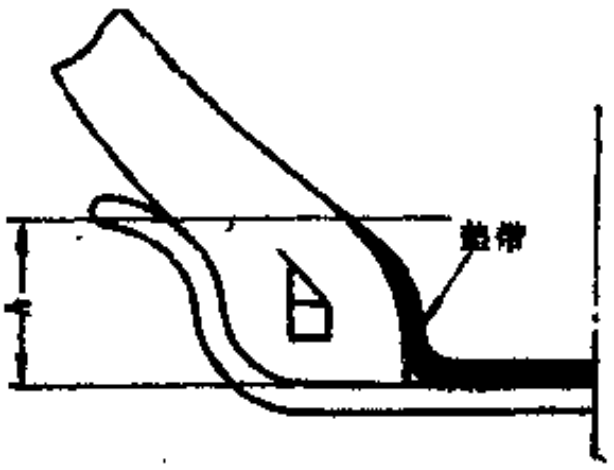



图 1-9-4 垫带装配示意图

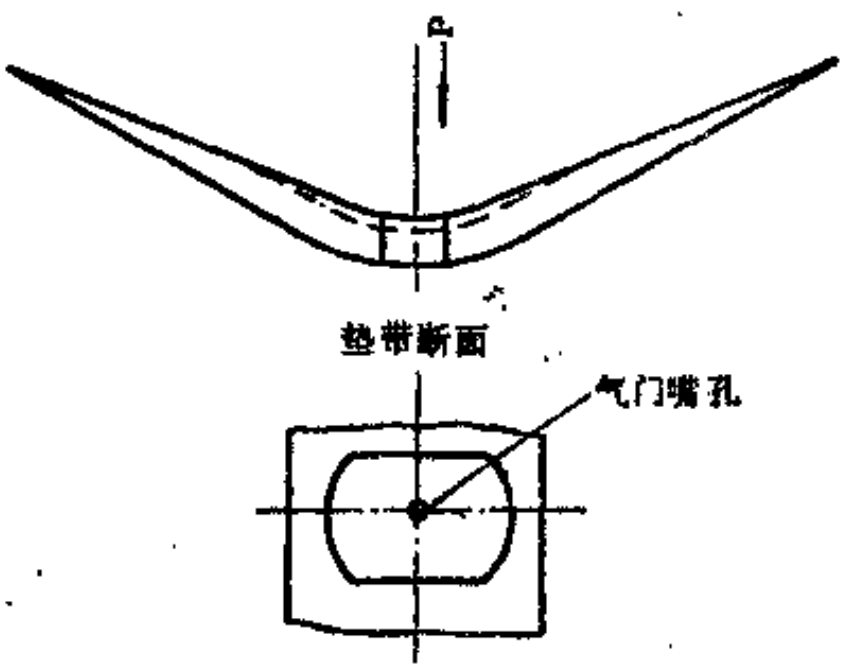



图 1-9-5 气门嘴出口加厚部分示意

表1-9-2为轮辋名义直径与垫带直径的配合示例。

表 1-9-2 轮辋名义直径与垫带直径配合示例

| 轮辋名义直径 | 15 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|
| 垫带直径,mm | 385～390 | 463～474 | 514～520 | 565～570 | 616～626 |

## 第三节　水胎设计

水胎轮廓越接近硫化外胎的内轮廓，硫化时水胎伸张越小，寿命越长。但是，如水胎轮廓过大，则定型时难于装入外胎，不能完全伸张而打折。因此，水胎断面周长应略小于外胎内轮廓周长。水胎的断面轮廓，在冠部和侧部与外胎内轮廓曲线之间有一定的间隙，且从胎冠至胎圈逐渐缩小，至胎圈部位两轮廓曲线重合（见图1-9-6）。

1．水胎断面尺寸的确定

（1）水胎外直径的确定

$$D_w = \frac{D_k}{D_k/D_w}$$

水胎外直径伸张值$\frac{D_k}{D_w}$=1.01～1.04。当轮胎花纹沟较深、内直径较小时，宜取上限值。

（2）水胎断面周长的确定

$$L_w = \frac{L_k}{L_k/L_w}$$

水胎断面周长根据外胎断面周长确定。一般$\frac{L_k}{L_w}$=1.03～1.08。

（3）水胎牙子尺寸的确定　水胎牙子的断面形状有面种（见图1-9-7）。水胎牙子B点距胎圈A点1～2mm（见图1-9-6），牙子B点的直径较胎圈A点的直径大1～1.5mm。

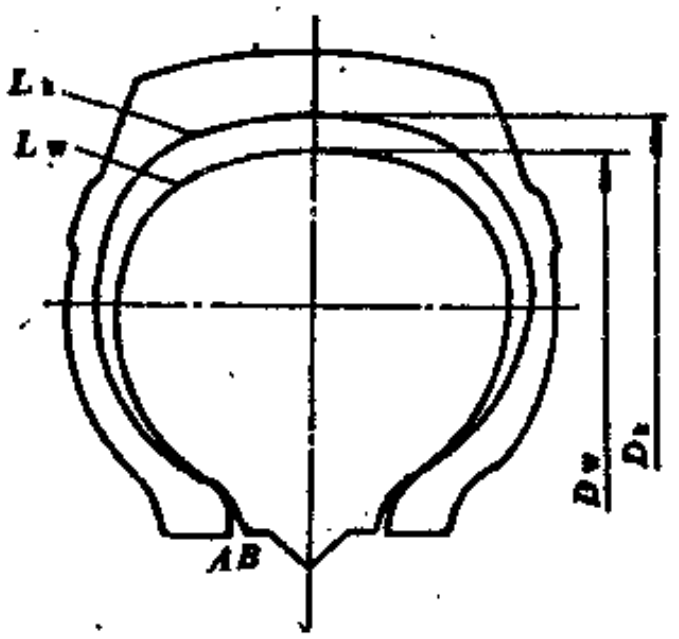



图 1-9-6　水胎设计断面示意

$D_w$—水胎外直径；$L_w$—水胎断面周长；$D_k$—外胎胎里直径；$L_k$—外胎断面内轮廓周长

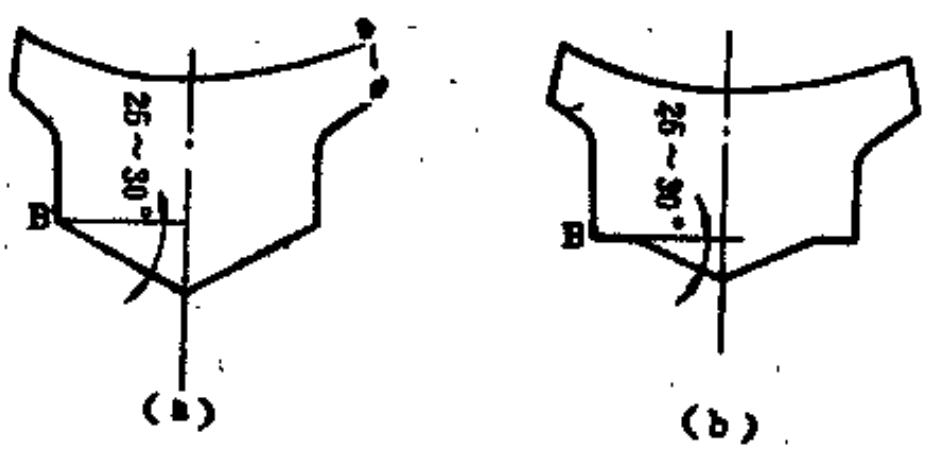



图 1-9-7　水胎牙子断面形状

2．水胎断面轮廓尺寸

图1-9-8为水胎断面示意图。表1-9-3为水胎断面轮廓尺寸示例。

3．水胎排气沟

硫化用水胎（特别是子午线轮胎）应设排气沟，以排除水胎壁与外胎胎里间滞留的空气。排气沟一般深0.5～1.0mm，宽3mm左右（见图1-9-9）。

表 1-9-3 水胎断面轮廓尺寸示例

| 轮胎规格 | 外直径 mm | 内直径 mm | 断面宽 mm | 牙子宽 mm | $\frac{D_K}{D_W}$ | $\frac{L_K}{L_W}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4.50-19 | 703 | 482.5 | 101 | 40 | 1.015 | 1.046 |
| 5.50-16 | 663 | 407 | 120 | 51.6 | 1.018 | 1.076 |
| 6.50-16 | 708 | 402.6 | 134 | 48 | 1.023 | 1.066 |
| 7.00-15 | 700 | 378 | 157 | 67 | 1.024 | 1.057 |
| 7.50-16 | 754 | 402.9 | 160 | 67 | 1.023 | 1.048 |
| 8.25-20 | 885 | 510.5 | 173 | 58 | 1.025 | 1.059 |
| 9.00-20 | 953 | 510.5 | 205 | 58 | 1.025 | 1.056 |
| 11.00-20 | 992.6 | 510.5 | — | — | 1.032 | 1.058 |
| 12.00-20 | 1050 | 510.5 | 270 | 248 | 1.026 | 1.051 |
| 14.00-24 | 1240 | 615 | 301 | — | 1.034 | 1.075 |
| 17.00-32 | 1954 | 816 | 389 | 350 | 1.030 | 1.060 |
| 18.00-24 | 1398 | 615 | — | 156 | 1.040 | 1.072 |
| 21.00-24 | 1560 | 615 | 449 | 191 | 1.042 | 1.071 |

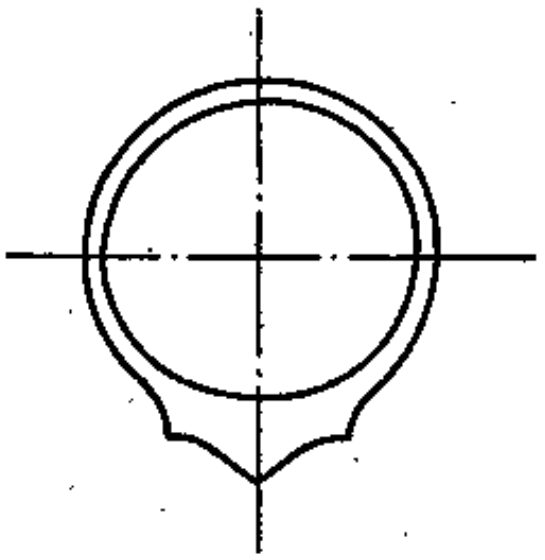
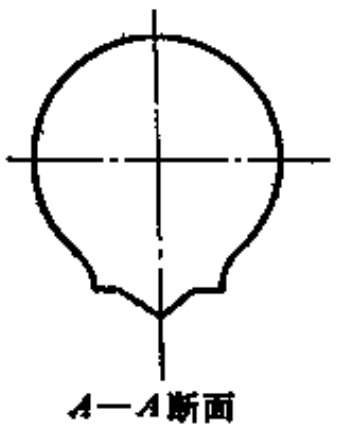


图 1-9-8 水胎断面图



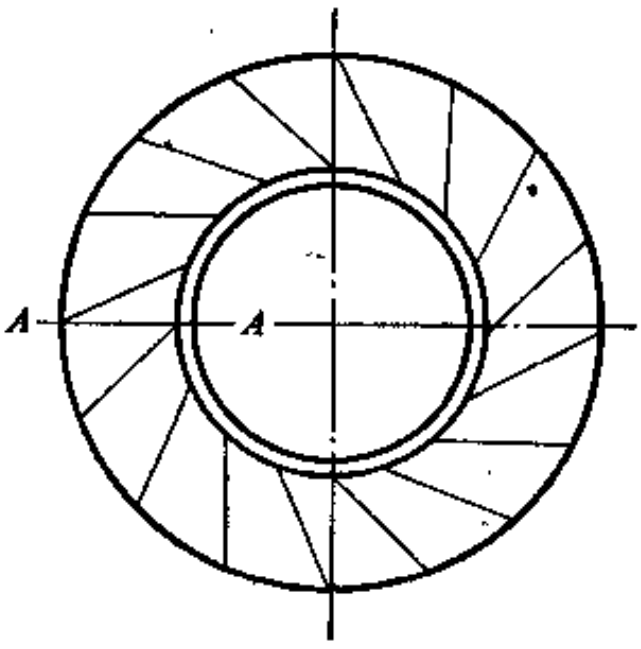




图 1-9-9 水胎排气沟示意图

4．水胎厚度的确定

水胎壁厚应稍大于外胎断面胎侧部位的厚度，通常为4～12mm。水胎牙子的厚度应较水胎胎壁厚75～150%。当水胎胎壁较厚时，使用寿命长，但装水胎较困难，也不利于硫化热传导。

## 第四节 胶囊设计

### 一、胶囊的类型

胶囊是外胎应用定型硫化机硫化的工具。由于硫化机结构的不同、胶囊可分为A型、B型和AB型。一般载重轮胎用B型胶囊硫化，轿车轮胎用A型胶囊硫化。

1．A型胶囊

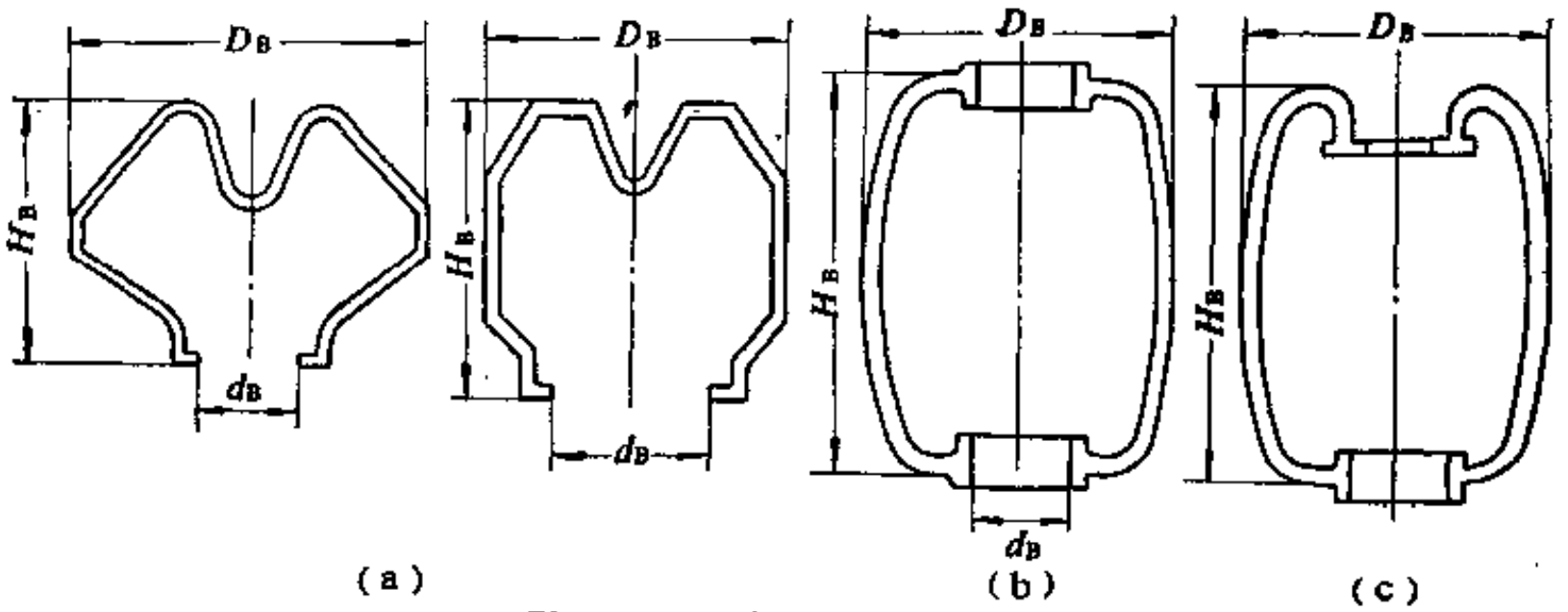
A型胶囊两端不对称，为一端开口另一端封闭的胶筒，开口端固定于模型内，封闭端合于硫化机止推杆的球鼻上，在使用过程中，A型胶囊要反复出入于囊筒和外胎内腔，在受热情况下，承受反复变形。见图1-9-10(A)。

2．B型胶囊

B型胶囊为两端开口的胶筒，安装于下模的上方。使用时，与A型胶囊一样，需承受在受热情况下的多次变形。见图1-9-10(B)。

3．AB型胶囊

AB型胶囊综合了A型和B型胶囊设计的特点。胶囊也可出入囊筒，但避免了A型胶囊在定型时中心不稳的缺点。见图1-9-10(C)。




(a)　(b)　(c)

图 1-9-10　胶囊的断面形状

(a) A型胶囊；(b)B型胶囊；(c)AB型胶囊

## 二、胶囊的主要设计参数

在设计胶囊时，应考虑胶囊的径向伸张、断面周长伸张、面积伸张和排气线等设计参数。

1．胶囊的径向伸张$R_d$

$$R_d=\frac{D_K}{D_B}$$

式中　$D_K$——外胎胎里直径，mm；

$D_B$——胶囊原始状态直径，mm。

B型胶囊的径向伸张取值范围为1.60～1.85。斜交轮胎用A型胶囊的径向伸张值与B型胶囊基本相似。但子午线轮胎取值较小，其适用值为1.10～1.15，容许值为1.05～1.20。

2．胶囊的断面周长伸张$L_d$

$$L_d=\frac{L_K}{L_B}$$

式中　$L_K$——外胎断面内轮廓周长，mm；

$L_B$——胶囊断面周长，mm。

使用证明，胶囊的断面周长伸张应尽可能减小。胶囊沿外胎内轮廓的伸张不应超过20%。一般轻型载重轮胎B型胶囊的断面周长伸张值为1.08～1.15；重型载重轮胎用B型胶囊断面周长伸张值为1.02～1.04。A型胶囊断面周长伸张值较大，斜交轮胎和子午线轮胎均为1.10～1.15。

3．胶囊的面积伸张$F_d$

$$F_d=\frac{F_K}{F_B}$$

式中　$F_K$——外胎内轮廓总面积，$cm^2$；

$F_B$——胶囊外表面面积，$cm^2$。

象断面周长伸张一样，胶囊的面积伸张也应尽可能地减小，一般轻型载重轮胎胶囊的面积伸张值为1.25～1.65，重型载重轮胎为1.36～1.70。

根据统计，在使用过程中面积伸张值小于1.65时，胶囊的使用寿命长，使用次数在300次左右。如果面积伸张值增大至1.75，使用次数明显下降。但伸张值不能过小，过小时操作困难，无法保证轮胎的硫化质量。

4．排气线

为了保证胶囊装入外胎时准确定型，排除胶囊和外胎胎里之间残存的空气，以免产生胎肩起泡、胎面脱层和帘布脱层等缺陷，各种胶囊的外表面均要设置一定数量的排气线。

排气线为与胶囊轴线成15°～30°的凹槽线。排气线贯穿于整个胶囊断面的表面。排气线的分布有连续型和分段型两种，不管是连续型还是分段型都需通过胶囊的肩部。为了增强胎圈部的排气效果，胶囊在对应胎圈部位要增设排气线。胶囊排气线凹槽尺寸为深0.5～1.0mm，宽1.0～3.0mm，排气线的密度一般是外圆部位较小，胎圈部位较大。具体要视胶囊的结构及定型时要求而定。

5．胶囊的厚度

胶囊的厚度根据轮胎规格的大小和使用胶料的质量而有所不同，一般为4～14mm。

## 三、胶囊有关尺寸的确定

### （一）A型胶囊有关尺寸的确定

A型胶囊曲线必须与外胎胎坯内轮廓相适应，并用一定规格的囊筒，否则在一定温度和压力下工作的胶囊容易损坏或使外胎胎里起皱。不同规格的A型胶囊定型硫化机和胎坯囊筒的关系见表1-9-4，A型胶囊的结构见图1-9-11。

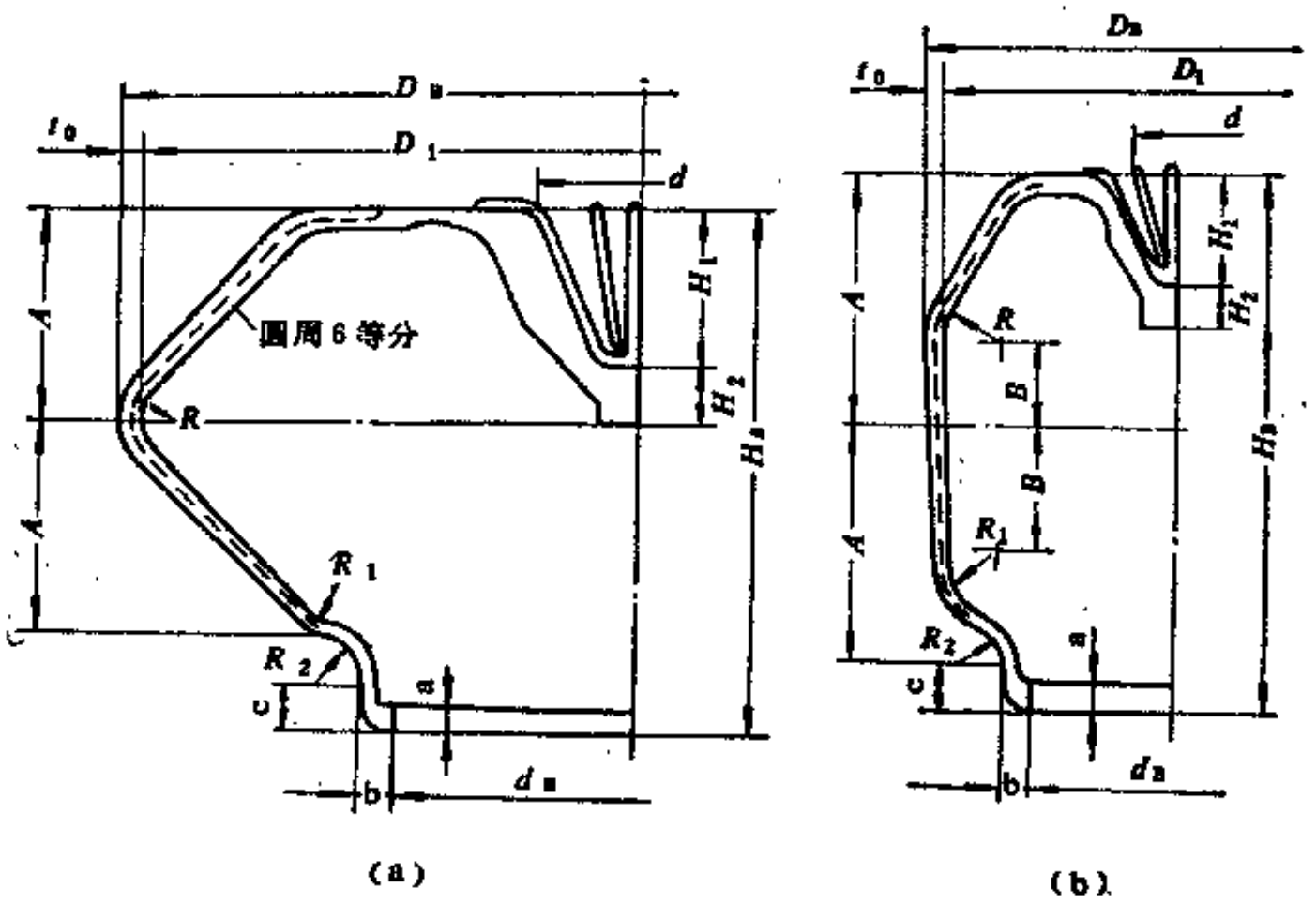



图 1-9-11　A型胶囊结构图

（a）子午线轮胎用A型胶囊；（b）斜交轮胎用A型胶囊

表 1-9-4　A型定型硫化机和胎坯囊筒的关系

| 硫化机规格 | | | 40.5/230 | 40.5/300 | 46/385 | 57/675 | 60/750 | 62/1000 | 72/1350 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 轮胎胎圈直径 | 最小 | in | 12(8) | 12(8) | 13(12) | 17(15) | 20(17) | 20(17) | 20 |
| | | mm | 305(203) | 305(203) | 332(305) | 432(381) | 508(432) | 508(432) | 508 |
| | 最大 | in | 16 | 16 | 20 | 20(24.5) | 28 | 28 | 36 |
| | | mm | 406 | 406 | 508 | 508(662) | 710 | 710 | 915 |
| 胎坯最大高度，mm | | | 760 | 760 | 760 | 775 | 1070 | 1070 | 1220 |
| 轮胎最大外径，mm<br>内压 21 kgf/cm²<br>内压 28 kgf/cm² | | | —<br>— | 905<br>786 | 1030<br>892 | 1270<br>1130 | 1410<br>1170 | —<br>1400 | —<br>1620 |
| 囊筒规格 | 胶囊胶容许压力，kgf/cm² | | 23 | 23 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| | 8型（胎圈直径≥8in） | | ○ | △ | — | — | — | — | — |
| | 10型（胎圈直径≥10in） | | ○ | △ | — | — | — | — | — |
| | 12/13型（胎圈直径≥12in） | | ✓ | ✓ | ○ | — | — | — | — |
| | 15型（胎圈直径≥15in） | | — | ○ | ○ | △ | — | — | — |
| | 17型（胎圈直径≥17in） | | — | — | ✓ | ✓ | ○ | ○ | — |
| | 19型（胎圈直径≥19in） | | — | — | — | ○ | ✓ | ✓ | — |
| | 20型（胎圈直径≥20in） | | — | — | — | ○ | ○ | ○ | ✓ |

注：1. 轮胎胎圈直径括号内数字系采用特种胶囊胶时用。
2. ✓为标准，○为半标准，△为可采用。
3. 囊筒规格8型……20型系指胎圈直径，也表示囊筒直径。
4. 一般采用较胎圈直径小的囊筒，例如17、19和20型囊筒均适于胎圈直径为20in的轮胎，但以采用19型较好。

A型胶囊的厚度根据轮胎规格及使用条件而定。为了增加顶部（封闭端）的强度，凹槽部位的厚度较其它部位厚4～5倍，形状应与硫化机推顶器球鼻相吻合，同时设置6～8个加强筋。胶囊其它部位的厚度基本均匀一致。轿车轮胎用A型胶囊的厚度一般为5～8mm，载重轮胎一般为8～12mm。表1-9-5为子午线轮胎用A型胶囊的结构参数，表1-9-6为A型胶囊主要结构参数示例。

表 1-9-5　子午线轮胎用A型胶囊结构参数示例

单位：mm

| 轮胎规格 | 胶囊高度$H_B$ | 胶囊断面周长$L_B$ | 胶囊外直径$D_B$ | 夹缘内直径$d_B$ |
|---|---|---|---|---|
| 185R15 | 356 | — | 558 | 271 |
| 205R15 | 355.6 | 500 | 550 | 275 |
| 6.50R16 | 330 | — | 592 | 269 |
| 8.25R20 | 419 | — | 787 | 346 |
| 9.00R20 | 419 | — | 787 | 346 |
| 10.00R20 | 508 | — | 787 | 346 |
| 11.00R20 | 508 | — | 787 | 346 |

夹缘内径$d_B$要与胶囊筒紧密配合，在28kgf/cm²压力下工作不泄漏。因此，设计时要考虑1.5～4.0mm的永久压缩量。也可同时在夹缘宽度$b$上设密封槽。

**（二）B型胶囊有关尺寸的确定**

B型胶囊除肩部内表面设加强筋6～8个外，其余部位的厚度基本均匀一致（见图1-9-12）。

表 1-9-6　A型胶囊主要结构参数示例

单位：mm

| 轮胎结构 | 囊筒内径 | 代号 | $d_B$ | $D_B$ | $D_1$ | $t_0$ | $A$ | $B$ | $H_B$ | $a$ | $b$ | $c$ | $h_1$ | $h_2$ | $d_1$ | $R$ | $R_1$ | $R_2$ | 径向周长 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 子午线轮胎胶囊 | 12in和13in | RA06 | 264 | 564 | 547 | 6.5 | 150.5 | — | 356 | 12.5 | 14 | 30 | 90 | 40 | 110 | 43.5 | 33.5 | 25 | 621 |
| | | RA07 | 264 | 560 | 547 | 6.5 | 118.5 | — | 92 | 12.5 | 14 | 30 | 90 | 40 | 110 | 43.5 | 33.5 | 25 | 573 |
| | | RA08 | 264 | 482 | 469 | 6.5 | 112.5 | — | 280 | 12.5 | 14 | 30 | 90 | 40 | 110 | 38.5 | 23.5 | 25 | 518 |
| | | RA09 | 264 | 482 | 469 | 6.5 | 80.5 | — | 211 | 12.5 | 14 | 30 | 90 | 40 | 110 | 38.5 | 23.5 | 25 | 465 |
| 斜交轮胎胶囊 | 12in和13in | A-01 | 264 | 420 | 407 | 6.5 | 220 | 75 | 470 | 12.5 | 14 | 30 | 90 | 40 | 110 | 129.5 | — | 60 | 640 |
| | | A-02 | 264 | 420 | 407 | 6.5 | 201 | 56 | 432 | 12.5 | 14 | 30 | 90 | 40 | 110 | 129.5 | — | 60 | 602 |
| | | A-03 | 264 | 420 | 407 | 6.5 | 182 | 37 | 392 | 12.5 | 14 | 30 | 90 | 40 | 110 | 129.5 | — | 60 | 564 |
| | | A-04 | 264 | 420 | 407 | 6.5 | 163 | 18 | 356 | 12.5 | 14 | 30 | 90 | 40 | 110 | 129.5 | — | 60 | 526 |
| | | A-05 | 264 | 420 | 407 | 6.5 | 145 | 0 | 320 | 12.5 | 14 | 30 | 90 | 40 | 110 | 129.5 | — | 60 | 490 |
| | 15in | B-01 | 311 | 540 | 521 | 9.5 | 250 | 76 | 356 | 12.5 | 18.5 | 46 | 90 | 40 | 110 | 168.5 | — | 40 | 775 |
| | | B-02 | 311 | 540 | 521 | 9.5 | 230 | 57 | 506 | 12.5 | 18.5 | 46 | 90 | 40 | 110 | 168.5 | — | 40 | 737 |
| | | B-03 | 311 | 540 | 521 | 9.5 | 212 | 38 | 470 | 12.5 | 18.5 | 46 | 90 | 40 | 110 | 168.5 | — | 40 | 699 |
| | | B-04 | 311 | 540 | 521 | 9.5 | 193 | 19 | 432 | 12.5 | 18.5 | 46 | 90 | 40 | 110 | 168.5 | — | 40 | 661 |
| | | B-05 | 311 | 540 | 521 | 9.5 | 174 | 0 | 394 | 12.5 | 18.5 | 46 | 90 | 40 | 110 | 168.5 | — | 40 | 623 |

胶囊夹缘内直径$d_B$必须小于外胎胎圈直径$d$，即$d_B=(0.70\sim0.82)d$，而胶囊外直径$D_B$与夹缘内直径$d_B$的比值：$\frac{D_B}{d_B}=1.45\sim1.49$，最大可达1.75。在选取比值时，主要考虑胶囊硫化时脱模方便，不损坏胶囊的夹缘孔。在设计胶囊时，一般将$\frac{d_B}{d}$的比值控制在0.7～0.75之间（见表1-9-8）。胶囊夹缘一般设计成矩形，肩部半径$R_1$应可能加大，以免应力集中。夹缘安装处与胶囊肩部的连线成15°角，圆弧过渡处一般取3inm左右。

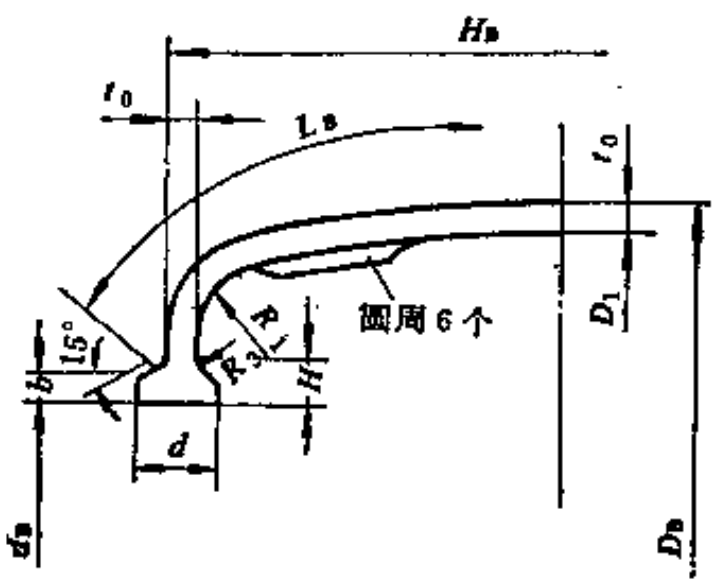



图 1-9-12　B型胶囊断面图

$H_B$—胶囊高度；$L_B$—胶囊断面周长；$D_B$—胶囊外直径；$d_B$—夹缘内直径；$a$—夹缘高度；$b$—夹缘宽度；$H$—肩部中心高；$R_1$—胎肩半径

胶囊高度$H_B$与外胎内轮廓周长$L_K$之比$\left(\frac{H_B}{L_K}\right)$一般为1.01～1.09，轿车轮胎为1.03～1.07；载重轮胎为1.00～1.06。胶囊高度是准确合模和定型的前提，通常胶囊高度略低于外胎胎坯的自然高度$H$（即压缩前的高度）。其关系为：轿车轮胎$\frac{H}{H_B}=1.05\sim1.02$；载重轮胎为1.05～1.13。但胶囊安装于硫化机中心机构上的高度则应大于胎坯的高度。

B型胶囊的厚度，通常轿车轮胎为6～8mm；载重轮胎为8～12mm，最大不超过20mm。胶囊夹缘处至肩部圆弧过渡处应增厚20～30%，并要逐步过渡，以减小应力集中。B型胶囊结构尺寸见表1-9-7和表1-9-8。

## 表 1-9-7 B型胶囊结构尺寸示例

单位：mm

| 轮胎规格 \ 胶囊尺寸名称 | 胶囊高度 $H_B$ | 胶囊断面周长 $L_B$ | 胶囊外直径 $D_B$ | 夹缘内直径 $d_B$ | 胶囊厚度 $t_0$ | 胶囊肩部厚度 $t_0'$ | 夹缘厚度 $a$ | 肩部圆弧半径 $R_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.60-13 | 337～352 | — | 346 | 235 | 9.5 | — | — | 22 |
| 5.90-14 | 341～362 | — | 368 | 251 | 8.5～9.5 | — | — | 22 |
| 5.90-15 | 368～380 | — | 402 | 276 | 9.0 | — | — | 22 |
| 6.00-16 | 403～418 | — | 432 | 302 | 9.5 | — | — | 22 |
| 5.60-15 | 371 | 395 | 386 | 283 | 11.0 | 11.0 | — | — |
| 6.70-15 | 420 | 446 | 400 | 283 | 13.0 | 11.0 | — | — |
| 7.00-15 | 402 | — | 450 | 284 | 7.0 | 8.0 | 16 | 42 |
| 7.50-20 | 498～502 | — | 572 | 384 | 13.0 | — | — | 27 |
| 8.25-20 | 579～606 | — | 572 | 384 | 13.0 | — | — | 27 |
| 9.00-20 | 596 | 652 | 533 | 360 | 9.5 | 13 | 28 | 15 |
| 9.00-20 | 560 | — | 580 | 380 | 10.0 | 12 | 28 | 20 |
| 9.00-20 | 619 | — | 572 | 384 | 13.0 | — | — | 27 |
| 11.00-18 | 600 | — | 570 | 340 | 10.0 | 14.0 | 28 | 20 |
| 12.00-18 | 636 | — | 630 | 340 | 10.0 | 14.0 | 28 | 44 |
| 11.00-20 | 683 | 754 | 573 | 356 | 9.0 | 15.0 | 28 | 22 |
| 12.00-20 | 680 | — | 630 | 360 | 12.0 | 14.0 | 28 | — |
| 12.00-20 | 783 | 840 | 537 | 384 | 19.0 | 13.0 | — | — |
| 12.00-20 | 670 | 740 | 630 | 360 | 10.0 | 15.0 | 28 | 24.5 |
| 9.00R20 | 580 | — | 580 | 360 | 13.0 | — | — | — |
| 9.00R20 | 580 | — | 580 | 400 | 13.0 | — | — | — |
| 9.00R20 | 600 | — | 580 | 360 | 13.0 | — | — | — |

## 表 1-9-8 B型胶囊夹缘内直径$d_B$与胎囊着合直径$d$的关系示例

| 轮胎规格 | 外胎着合直径$d$ mm (in) | 夹缘内直径$d_B$ mm | 夹缘基部宽度$b$ mm | 夹缘基部直径 $d_B+2b$, mm | $\frac{d_B}{d}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 5.20-12 | 305 (12) | 219 | 21 | 261 | 0.718 |
| 5.60-13 | 330 (13) | 235 | 21 | 277 | 0.712 |
| 5.90-14 | 356 (14) | 251 | 21 | 293 | 0.705 |
| 5.90-15 | 381 (15) | 276 | 21 | 318 | 0.724 |
| 6.00-16 | 406 (16) | 302 | 21 | 344 | 0.744 |
| 7.50-16 | 406 (16) | 310 | 13 | 336 | 0.820 |
| 7.50-20 | 509 (20) | 384 | 25 | 434 | 0.754 |
| 8.25-20 | 509 (20) | 384 | 25 | 434 | 0.754 |
| 9.00-20 | 509 (20) | 384 | 26 | 434 | 0.754 |
| 11.00-18 | 464 (18) | 344 | 20 | 384 | 0.741 |
| 12.00-18 | 464 (18) | 340 | 14 | 368 | 0.732 |
| 11.00-20 | 509 (20) | 380 | 25 | 430 | 0.748 |
| 12.00-20 | 509 (20) | 360 | 14 | 384 | 0.706 |
| 12.00-20 | 509 (20) | 358.6 | 12.7 | 384 | 0.701 |
| 12.00-20 | 509 (20) | 384 | — | — | 0.756 |
| 18.00-25 | 637 (25) | 460 | 20 | 500 | 0.785 |

## 第五节　内胎、垫带、水胎和胶囊施工标准表的制定

### 一、内胎施工标准表的制定

1．成型长度

$$\frac{\text{模型断面中心直径}\times\pi}{\text{成型长度}}=1.15\sim1.25$$

内胎长度伸张取值范围为1.15～1.25，断面小内径大的取小值，内径小的取大值。

2．断面平叠宽度

$$\frac{\text{模型断面中心直径}\times\pi}{\text{断面平叠宽度}\times2}=1.10\sim1.25$$

内胎断面伸张取值范围为1.10～1.25，内径小的取大值，内径大的取小值。

3．厚度

内胎厚度的压缩率，冠部较大约为30～50%。着合部位较小，约为8～20%。

$$\text{半成品冠部厚度}=\frac{\text{成品冠部厚度}}{1-\text{压缩率}}$$

内胎侧部的厚度为冠部厚度与着合部位厚度的平均值。

4．气门嘴贴合位置

气门嘴贴合位置根据硫化模型气门嘴孔的位置确定。半成品气门嘴中心与纵轴间的距离$S$按下式计算。

$$S=\frac{A}{\delta_1}$$

式中　$A$——模型嘴子孔中心与纵轴间的弧长；

$\delta_2$——半成品断面周长对模型断面周长伸张值（1.10～1.25）。

5．内胎定型圈断面尺寸的确定

内胎定型圈着合直径$d_z$，一般较内胎着合直径大5～10mm。半径$R$为模型断面直径的65～75%，弦宽$B_z$约为模型断面直径的60～70%。其断面形状见图1-9-13。

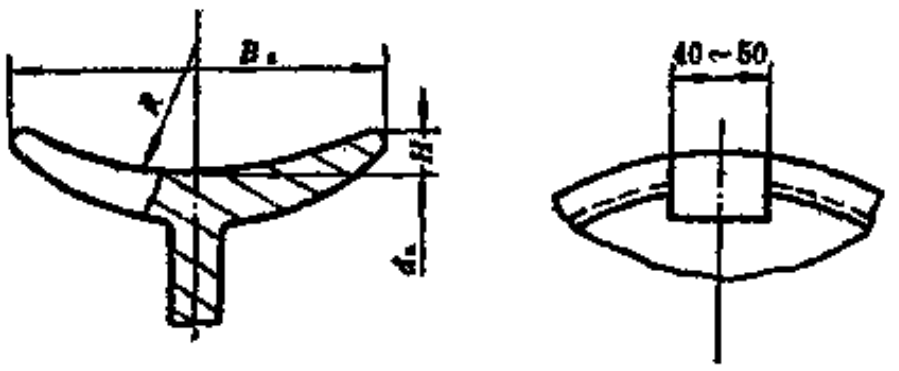



图 1-9-13　内胎定型圈断面形状

6．标准针高度的确定

为了控制内胎定型外直径在一定范围内，保证定型后半成品外直径与模型外直径基本相等，在内胎定型圈的上方设指示针。其高度一般为内胎断面直径的90～95%。

内胎施工设计参数见表1-9-9。

### 二、垫带施工标准表的制定

垫带普遍采用注压法硫化，半成品采用断面为长方形或方形的圆环，其尺寸根据硫化前后胶量相等的原则确定。但要考虑注压时胶料的流失量。因此，半成品的胶量要略大于成品的胶量。如果不同注压法硫化，其半成品的断面轮廓根据成品展平轮廓进行设计，周长应比模型着合部分周长短5%左右。

## 表 1-9-9 内胎施工设计参数示例

| 轮胎规格 | 模型尺寸，mm | | | | 双层平叠宽度 mm | 断面周长 / 双层平叠宽×2 | 断面中心直径 mm | 成型长度 mm | 断面中心直径×× / 成型长度 | 半成品厚度，mm | | | 重量 kg | 定型圈尺寸 | | | | 压出机头尺寸 | | 气门嘴至接头距离 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 外直径 | 内直径 | 断面直径 | 断面周长 | | | | | | 上厚 | 侧厚 | 下厚 | | 直径 mm | 弦宽 mm | 弦宽 / 断面直径 | 标准针至内径距离 mm | 压出芯型直径 mm | 压出口型直径 mm | |
| 4.00B | 367 | 197 | 85 | 287 | 105 | 1.271 | 282 | 760 | 1.166 | 2.0 | 2.5 | 3 | — | 201 | — | — | — | — | — | ≥150mm |
| 6.00-16 | 672 | 412 | 130 | 408 | 176 | 1.159 | 542 | 1400 | 1.216 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 1.656 | 415 | 95 | 0.73 | — | 95 | 97.5 | ≥150mm |
| 6.50-16 | 691 | 389 | 145 | 459 | 195 | 1.177 | 545 | 1400 | 1.223 | 2.5 | 2.9 | 3.3 | 1.753 | 402 | 105 | 0.72 | — | 11.5 | 117 | ≥150mm |
| 6.00-12 | 561 | 301 | 130 | 408 | 165 | 1.236 | 431 | 1100 | 1.231 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | — | 310 | — | — | — | 103.5 | 104 | ≥150mm |
| 32×6 | 800 | 540 | 130 | 408 | 176 | 1.159 | 670 | 1860 | 1.131 | 2.1～2.2 | 2.4～2.5 | 2.7～2.8 | 2.04 | 544 | 90 | 0.69 | 121±2 | 92.5 | 94 | ≥150mm |
| 7.50-20 | 847.8 | 536.6 | 155.6 | 489 | 214 | 1.143 | 692 | 1860 | 1.169 | 2.1～2.2 | 2.6～2.7 | 3.0～3.1 | 2.62 | 541 | 108 | 0.69 | 140±2 | 116 | 118 | ≥150mm |
| 7.50-20 | 844 | 640 | 152 | 478 | 217 | 1.101 | 692 | 1850 | 1.175 | 2.1～2.2 | 2.6～2.7 | 3.0～3.1 | 2.62 | 545 | 107 | 0.72 | 137±2 | 116 | 118 | ≥150mm |
| 8.25-20 | 868 | 640 | 164 | 515 | 223 | 1.155 | 704 | 1900 | 1.164 | 2.2～2.3 | 2.8～2.9 | 3.2～3.3 | 3.00 | 545 | 110 | 0.67 | 153±2 | 119 | 121 | ≥150mm |
| 9.00-20 | 920 | 544 | 188 | 591 | 256 | 1.154 | 732 | 1915 | 1.201 | 2.3～2.4 | 2.9～3.0 | 3.5～3.6 | 3.61 | 547 | 125 | 0.66 | 177±2 | 147 | 149.5 | ≥150mm |
| 9.00-20 | 922 | 542 | 190 | 597 | 257 | 1.161 | 732 | 1900 | 1.211 | 2.3～2.4 | 2.9～3.0 | 3.5～3.6 | 3.61 | 547 | 126 | 0.66 | 177±2 | 147 | 149.5 | ≥150mm |
| 9.75-18 | 860 | 480 | 190 | 597 | 259 | 1.153 | 670 | 1700 | 1.238 | 2.3～2.4 | 3.1～3.2 | 3.9～4.0 | 3.38 | 485 | 114 | 0.60 | 176±2 | 147 | 149.5 | ≥150mm |
| 10.00-15 | 818 | 408 | 205 | 644 | 270 | 1.193 | 613 | 1520 | 1.267 | 3.1～3.2 | 4.2～4.3 | 5.4～5.5 | 4.21 | 420 | 140 | 0.68 | 185±2 | 147 | 149.5 | ≥150mm |
| 11.00-20 | 965 | 549 | 208 | 653 | 287 | 1.138 | 757 | 1960 | 1.213 | 2.7～2.8 | 3.4～3.5 | 4.2～4.3 | 4.72 | 555 | 135 | 0.65 | 193±2 | 172 | 175 | ≥150mm |
| 12.00-20 | 1009 | 551 | 229 | 719 | 313 | 1.149 | 780 | 1980 | 1.257 | 2.8～2.9 | 3.6～3.7 | 4.4～4.5 | 5.40 | 557 | 148 | 0.65 | 209 | 172 | 175 | ≥150mm |
| 12.00-22 | 1065 | 665 | 230 | 723 | 310 | 1.166 | 835 | 2140 | 1.226 | 2.7～2.8 | 3.5～3.6 | 4.3～4.4 | 5.70 | 610 | 148 | 0.64 | 214 | 172 | 175 | ≥150mm |
| 12.00-24 | 1080 | 650 | 215 | 675 | 290 | 1.164 | 865 | 2310 | 1.176 | 3.2～3.3 | 4.0～4.1 | 4.8～4.9 | 5.30 | 658 | 140 | 0.65 | 200 | 172 | 175 | ≥150mm |
| 11-18 | 908 | 488 | 210 | 660 | 283 | 1.128 | 696 | 1950 | 1.121 | 2.8 | 3.7 | 4.5 | 3.85 | 490 | 140 | 0.67 | 190 | 169.7 | 171 | ≥150mm |

## 三、水胎施工标准表的制定

水胎的施工方法有压出法和卷贴法两种。压出法系利用压出机直接压出所需要的断面尺寸和形状。然后定长、接头、定型和硫化。卷贴法则利用一定厚度的胶片在芯轴上卷贴多层后，再将牙子贴上，抽出芯轴定长、接头、定型和硫化。如果水胎的内径很小，也可采用圆片法制造，但效率低、劳动强度大。现将施工标准表的制定方法分述如下。

1．成型长度

$$\frac{\text{成品断面水平轴直径}\times\pi}{\text{成型长度}}=1.05\sim1.15$$

水胎长度伸张值取值范围为1.05～1.15。断面大内径小的取大值。

2．断面周长

$$\frac{\text{成品断面周长}}{\text{半成品断面周长}}=1.10\sim1.20$$

3．半成品断面各部分的厚度

水胎厚度的压缩率，冠部较大约为25～45%，侧部一般较冠部厚1～3mm，牙子部分的厚度与成品基本相同，其宽度一般较模型小以利于装模。

表1-9-10为水胎压出尺寸示例，表1-9-11为水胎成品冠部厚度。

表 1-9-10　水胎压出尺寸示例

| 轮胎规格 | 冠　厚 mm | 侧　厚 mm | 筋　厚 mm | 筋　宽 mm | 断面周长 mm | 成型长度 mm | 接头坡长 mm | 重　量 kg | 导管外径 mm | 胶嘴内径 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7.50-20 | 16±1 | 18±1 | 40 | 43 | 460 | 2090 | 45 | 19 | 9 | 8 |
| 8.25-20 | 21±1 | 22±1 | 46 | 48 | 475 | 2090 | 45 | 25.5 | 9 | 8 |
| 9.00-20 | 22 | 23 | 45 | 60 | 570 | 2140 | 45 | 32 | 9 | 8 |
| 9.75-18 | 22 | 24 | 46 | 60 | 570 | 2010 | 45 | 39 | 9 | 8 |

表 1-9-11　水胎成品冠部厚度

| 轮胎规格 | 冠部厚度，mm | 轮胎规格 | 冠部厚度，mm |
|---|---|---|---|
| 7.50-20以下 | 10～12 | 10.00-20～12.00-20 | 14～16 |
| 7.50-20～9.00-20 | 12～14 | 13.00-20以上 | 16～18 |

表1-9-12和表1-9-13分别为水胎卷贴法和水胎圆片法施工尺寸示例。图1-9-14为圆片法水胎施工示意图。

表 1-9-12　水胎卷贴法施工尺寸示例

| 轮胎规格 | | 11.00-20 | 12.00-20 | 12.00-22 | 12.00-24 |
|---|---|---|---|---|---|
| 成型筒 | 冠厚，mm | 22 | 23 | 23 | 23 |
| | 侧厚，mm | 23 | 24 | 24 | 24 |
| | 筋厚，mm | 22 | 22 | 22 | 22 |
| | 断面周长，mm | 670 | 705 | 705 | 690 |
| | 内径长度，mm | 2100 | 2150 | 2320 | 2480 |
| | 外径长度，mm | 2200 | 2250 | 2440 | 2600 |
| | 接头坡长，mm | 450 | 450 | 450 | 450 |
| | 总重量，kg | 39 | 42 | 47 | 52 |
| 牙子成型用胶片 | 1 胶片尺寸，mm | 3×220 | 3×220 | 3×250 | 3×220 |
| | 2 胶片尺寸，mm | 3×180 | 3×180 | 3×180 | 3×180 |
| | 3 胶片尺寸，mm | 3×140 | 3×140 | 3×150 | 3×140 |
| | 4 胶片尺寸，mm | 3×110 | 3×110 | 3×120 | 3×110 |
| | 5 胶片尺寸，mm | 3×90 | 3×90 | 3×100 | 3×90 |
| | 6 胶片尺寸，mm | 3×70 | 3×70 | 3×80 | 3×70 |
| | 7 胶片尺寸，mm | 3×50 | 3×50 | 3×70 | 3×50 |
| | 8 胶片尺寸，mm | 3×40 | 3×40 | 3×60 | 3×40 |
| 导管 | 外直径，mm(in) | 2.54(10) | 2.54(10) | 2.54(10) | 2.54(10) |
| | 胶嘴内直径，mm(in) | 2.29(9) | 2.29(9) | 2.29(9) | 2.29(9) |

表 1-9-13　水胎圆片法施工尺寸示例

| 轮胎规格 | 圆片尺寸，mm | | | | 牙子尺寸，mm | | | | 补强条，mm | | | 重量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 外直径 $D$ | 内直径 $d$ | 厚度 | 接头坡长 | 宽度 $e_1$ | 宽度 $e_2$ | 厚度 $f$ | 长度 | $a$ | $b$ | $c$ | kg |
| 10.00-15 | 930 | 350 | 14 | 30 | 110 | 70 | 30 | 1340 | 3×170×1440 | 3×70×1440 | 3×70×1440 | 25 |
| 6.00-12 | 600 | 313 | 12 | 30 | 60 | 40 | 24 | 1160 | 2.5×80 | 2.5×50 | 2.5×50 | — |
| 4.00-8 | 410 | 215 | 10 | 30 | 40 | 30 | 13 | 780 | 2×50 | 2×40 | 2×40 | — |

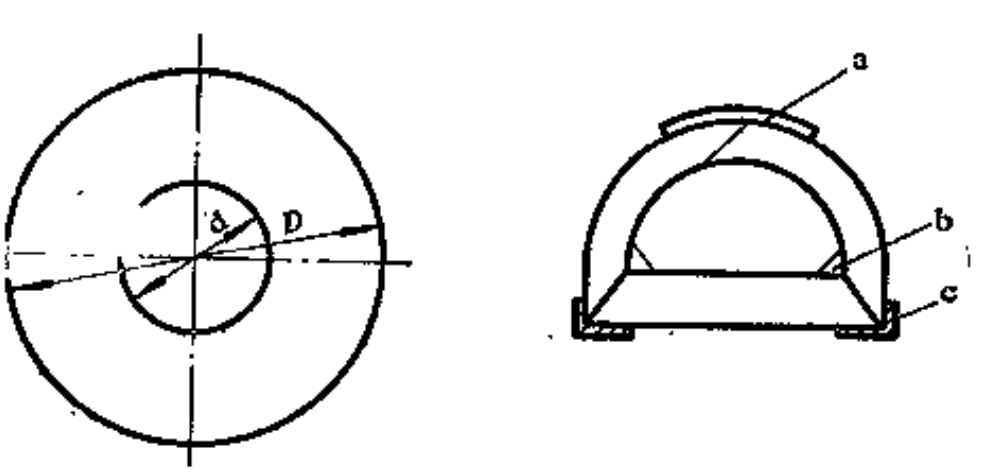



图 1-9-14　圆片法水胎施工示意图

## 四、胶囊施工标准表的制定

胶囊采用注压法硫化，半成品断面形状为长方形或正方形，其尺寸根据硫化前后半成品和成品用胶量相等的原则确定。

## 第六节　内胎、垫带、水胎和胶囊制造附属工具的技术要求

为了实现内胎、垫带、水胎和胶囊施工标准表提出的各项半成品技术要求，在施工时必须有一定的附属工具来保证。现将施工时需提出的附属工具技术要求分列如下。

1．内胎制造附属工具

内胎施工前需提出以下附属工具的尺寸：

① 定型圈的着合直径及弦宽；

② 定型时标准针至定型圈着合直径间的距离；

③ 压出芯型及口型的直径；

④ 定型圈的型式（立式或卧式）。

2．垫带制造附属工具

垫带施工前需提出胶条压出样板的外形尺寸及曲线尺寸。

3．水胎制造附属工具

水胎施工前需提以下附属工具的尺寸：

① 用压出法时，提出压出口型和芯型的直径；

② 用卷贴法时，提出轴芯的直径和长度；

③ 水胎胶嘴外形尺寸。

④ 胶囊制造附属工具　胶囊施工前需提出胶条压出样板的外形尺寸及曲线尺寸。

# 第十章　轮胎气门嘴

## 第一节　轮胎气门嘴概况

1888年英国医生J. B. Dunlop发明了充气轮胎，首先应用于自行车胎，以后Thomas又进一步发明了带充气开关的轮胎。1891年美国Scovill公司所属的Schrad工场开始生产自行车胎气门嘴，然后逐步生产轮胎气门嘴。我国是从1948年才开始生产自行车气门嘴，以后又逐步生产轮胎气门嘴。随着汽车工业的发展，轮胎的结构、技术性能也一直在不断改进提高，如出现钢丝子午线轮胎、无内胎轮胎、全天候轮胎以及各种类型的特种轮胎，因此轮胎气门嘴的结构和种类也随着不断发展。通常轮胎气门嘴分为二大类：一是内胎气门嘴，为内胎组成之一，由气门嘴主体带金属底座（包括胶垫以及垫片）、六角螺母、气门芯、防护帽等零件组成。第二类是轮辋气门嘴，是由金属底座、橡胶垫圈、六角螺母、金属主体接头、气门芯、防护帽等零件组成。另外还有一种包胶管式葫芦形无内胎轮辋气门嘴，它们直接安装在轮辋气门嘴孔位上，故而称轮辋气门嘴。轮胎气门嘴的功能是给轮胎充气、密气、放气，使轮胎在各种不同使用要求下，保持所需的充气压力。要充分发挥轮胎气门嘴的功能，除了气门嘴生产厂严格按工艺、标准生产检查之外，众多间接和直接的使用者（如轮胎厂、汽车、农机、工程机械、交通运输部门）还应根据不同规格的轮胎选配不同规格的气门嘴，并且必须了解和掌握气门嘴的特性、规格、技术标准和使用规范。

## 第二节　轮胎气门嘴术语

轮胎气门嘴术语均采用ISO3877/Ⅱ—82标准中的术语见图1-10-1～图1-10-8。

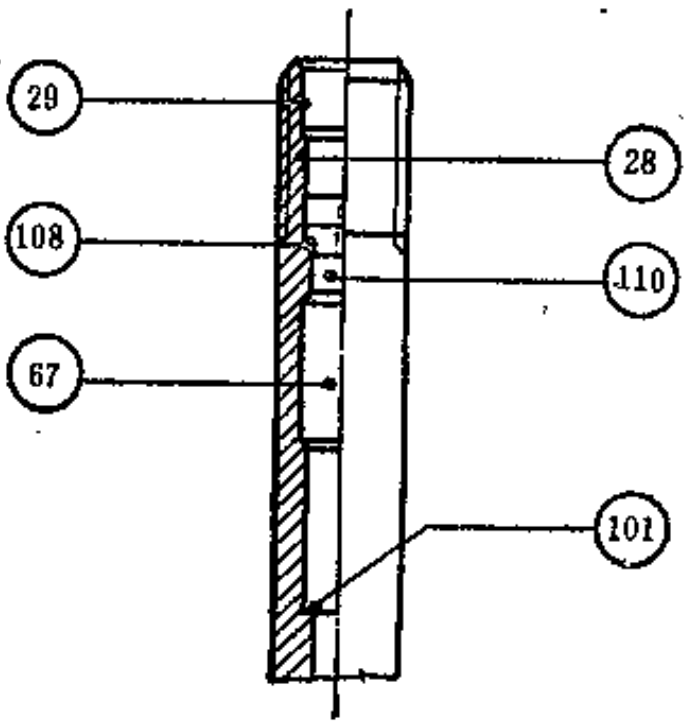



图 1-10-1　气门嘴芯腔部位结构术语

㉘—轮芯螺纹；㉙—嘴口扩孔；㉗—空刀槽；㉚—弹簧托座台；㉛—锥度密封面；㉜—颈部（图注编号为ISO3877/Ⅱ—78规定）

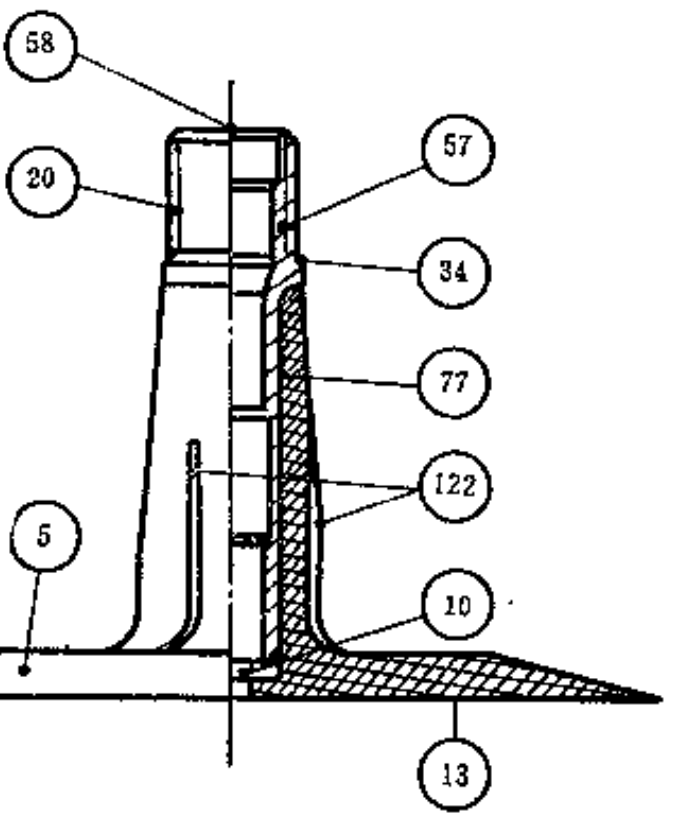



图 1-10-2　包胶直管式气门嘴部位名称术语

⑤—胶座；⑩—底孔；⑬—打毛面；⑳—嘴帽螺纹；㉞—防胶台；㊲—嘴体；㊳—嘴口；㊼—包胶；㊿—气槽

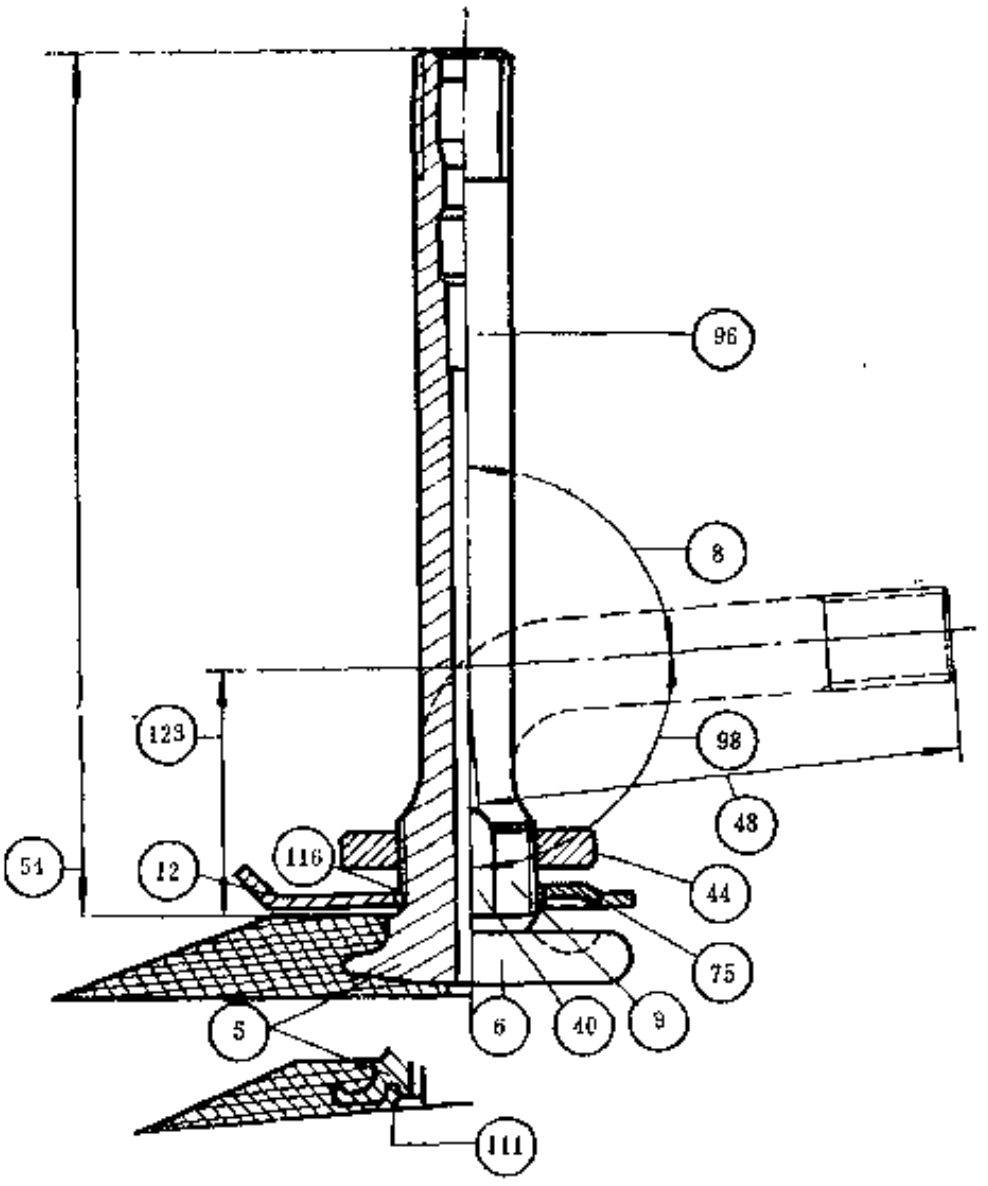



图 1-10-3 胶垫（金属底座）气门嘴部位名称术语

⑤—胶垫；⑥—金属底座；⑧—弯曲角度；⑨—嘴体螺纹；⑫—桥形垫片；㊵—横向扁面；㊹—六角螺母；㊽—弯曲长度；㊿—总长度；⑦—圆形垫片；⑨⑥—气门嘴；⑨⑧—弯曲补角；⑪—环状凹槽；⑫③—弯曲高度

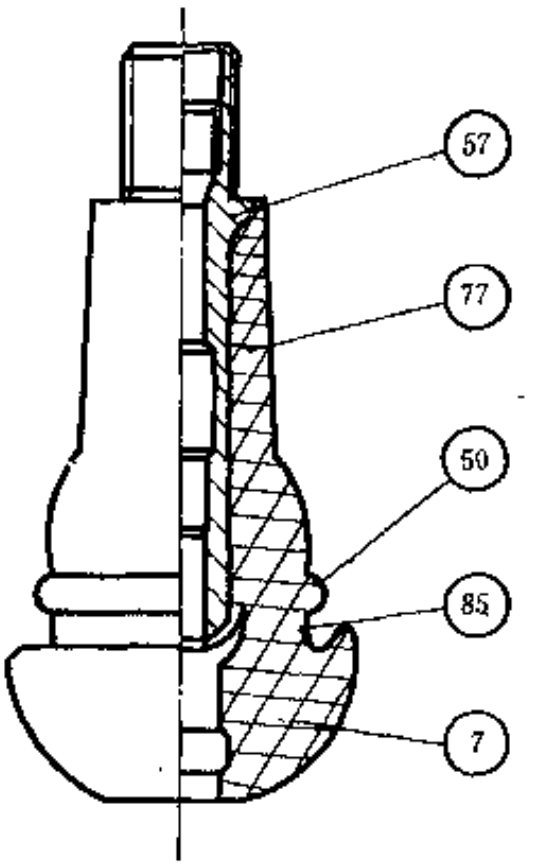



图 1-10-4 葫芦形乘用车轮辋气门嘴术语

⑦—圆形底座；㊿—定位环；⑤⑦—嘴体；⑦⑦—包胶；⑧⑤—密封面

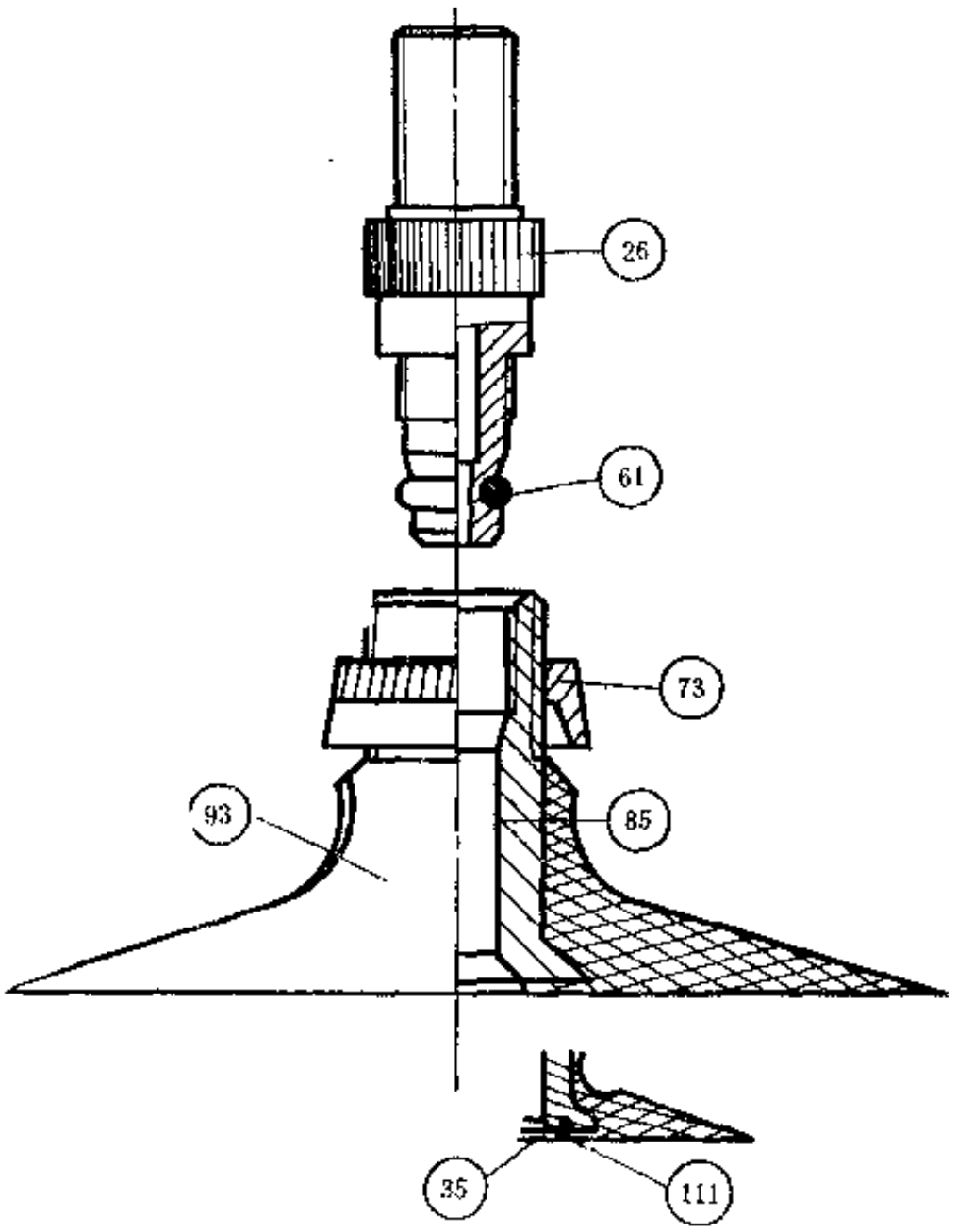



图 1-10-5 充水、气直管式气门嘴术语

㉖—取移直；㉑—O型圈；⑦③—螺母；⑧②—密封面；⑤③—底座；⑪—环状槽

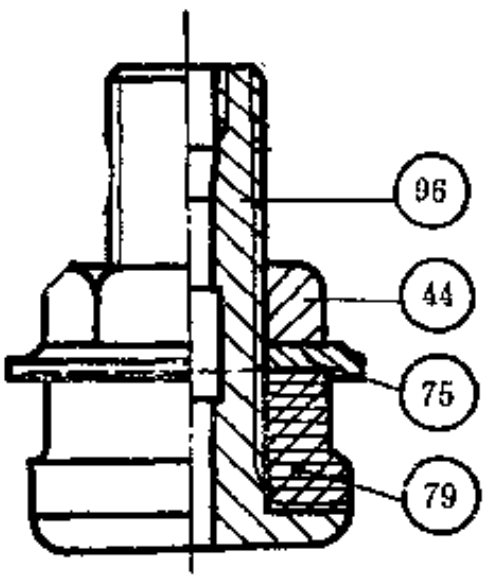



图 1-10-6 装配式轮辋气门嘴术语

㊹—螺母；⑦⑤—垫圈；⑦⑨—胶圈；⑨⑥—嘴体

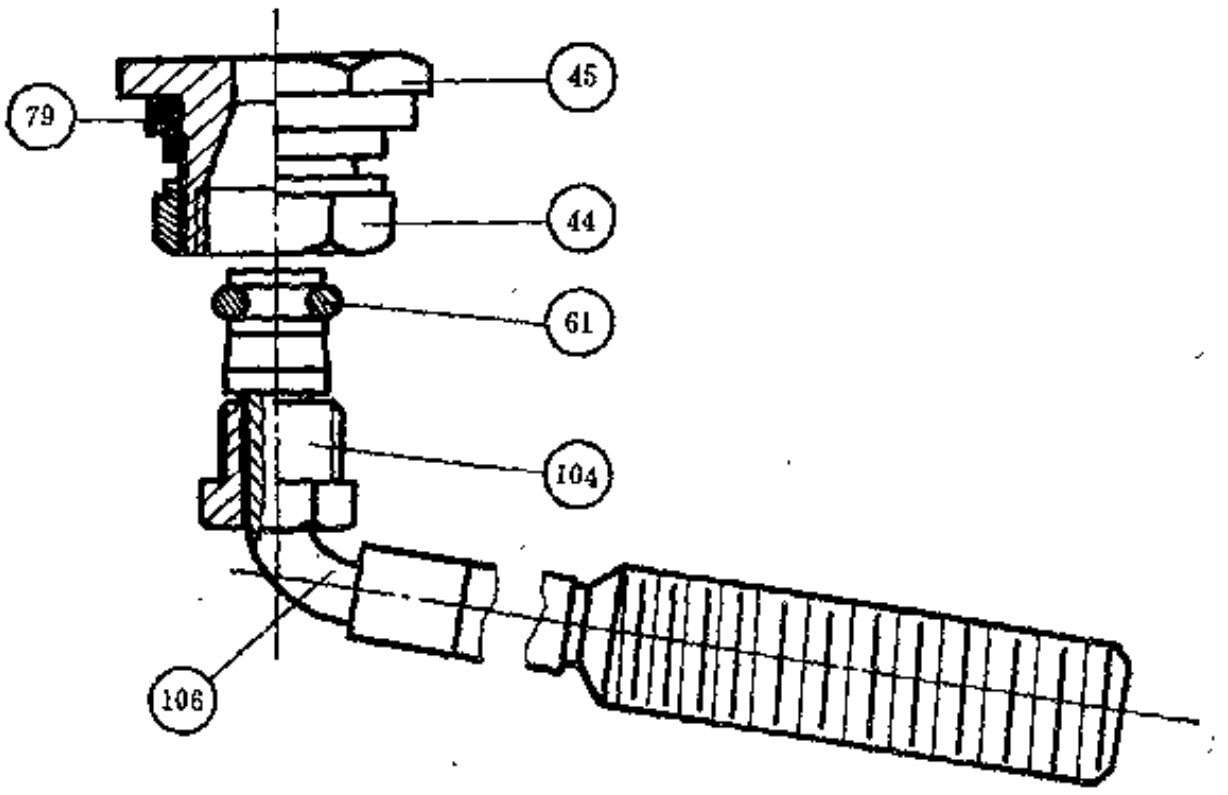



图 1-10-7　旋转式接头轮辋气门嘴术语

㊹—螺母；㊺—底座；㊻—O型圈；㊼—胶圈；㊽—接头螺母；㊾—嘴体

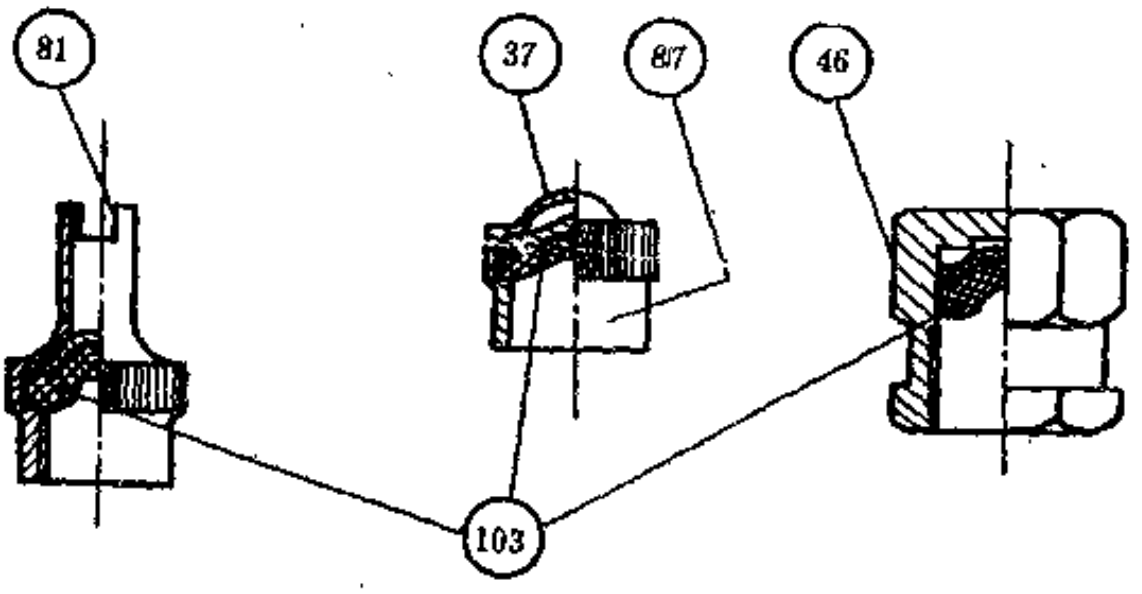



图 1-10-8　密封（防护）帽术语

㊲—帽顶；㊻—防护帽；㊽—扳手帽；㊼—帽体；㊾—密封圈

## 第三节　轮胎气门嘴芯腔结构分类

各类轮胎气门嘴的基本技术参数和质量的关键，是能否达到气门嘴芯腔结构技术标准的规定，这是气门嘴的基本功能，也是气门嘴的法定标准，必须严格遵守执行。除柱塞式（英式）力车胎气门嘴芯腔结构之外，其它各种不同规格气门嘴芯腔标准分 别采用 ISO7442—82（1号芯腔）和 ISO6762—81(2号芯腔）的国际标准。根据气门嘴种类，采用芯腔标 准结构。

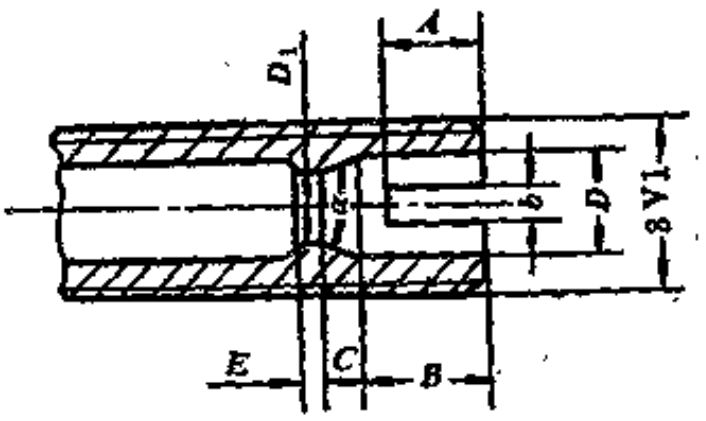



图 1-10-9　柱塞式气门嘴结构

（1）柱塞式（国际上统称为英式）气门嘴主要适用于通用自行车胎、人力车(二轮、三轮)、轻型低速机动(二轮、三轮)车轮胎等，气门嘴芯腔结构见图1-10-9和表1-10-1。

表 1-10-1 柱塞气门嘴芯腔尺寸

| 尺寸代号 | $A$ | $B$ | $C$ | $E$ | $b$ | $D$ | $D_1$ | $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 尺寸，mm | $6^{+0.200}$ | $6^{-0.200}$ | 1.8 | 1 | 1.6 | $\phi5.5^{+0.200}$ | $\phi4.2^{+0.140}$ | 40° |

（2）通用轮胎气门嘴芯腔结构，即ISO7442—82（1号芯腔），适用于TR1（美式自行车轮胎气门嘴）、TR4、6、11摩托车轮胎、TR13～15乘用车轮胎（包括TR412～425轮辋气门嘴）、农业机械以及TR75A～179A等卡车、公共汽车和普通工程机械轮胎（包括TR500～573C轮辋气门嘴）等。

（1）ISO7442—82（1号芯腔）见图1-10-10和表1-10-2。

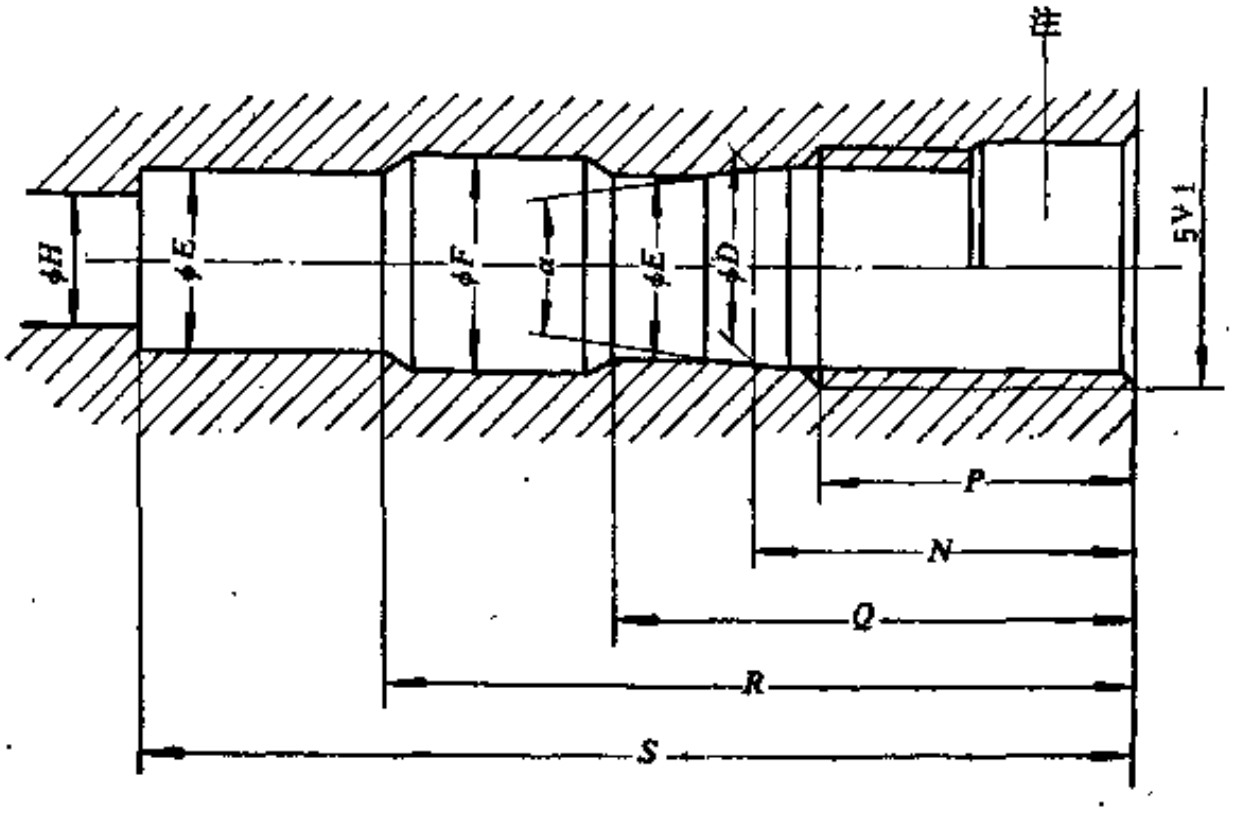



图 1-10-10 ISO7442—82（1号芯腔）

注：ISO7442—82（1号芯腔）气门嘴口部扩孔技术规范见图1-10-12。

表 1-10-2 （1号芯腔）技术公差规范

单位：mm

| 代 号 | 最小值 | 最大值 | 代 号 | 最小值 | 最大值 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\phi D$ | 4.30 | | $P$① | 7.80 | 8.60 |
| $\phi E$ | 3.82 | 3.94 | $Q$ | 13.50 | 14.50 |
| $\phi F$ | 4.27 | 4.70 | $R$ | 22.70 | 25.00 |
| $\phi H$ | — | 3.20 | $S$ | 30.50 | 31.00 |
| $N$ | 10.00 | 10.40 | $\alpha$ | 16° | 18° |

① 螺纹长度的测定，系采用通端螺纹塞规，见ISO1502的条款11.3和见图1-10-12的尺寸，以实测塞规末端包括倒角0.5×螺矩的值。

注：ISO7442—82（1号芯腔）中气门芯杆头部位置配合公差技术规范见图1-10-11。

图1-10-11还示出了气门芯杆与气门嘴口部螺纹配合技术规范。当气门芯旋入气门嘴口部之后，其承受扭矩规范分别为：

A：气门芯密封锥面系“弹性材料”时，其承受扭矩在0.17N·m到0.34N·m之间。

B：气门芯密封锥面系“金属材料”时，其承受扭矩在0.34N·m到0.54N·m之间。

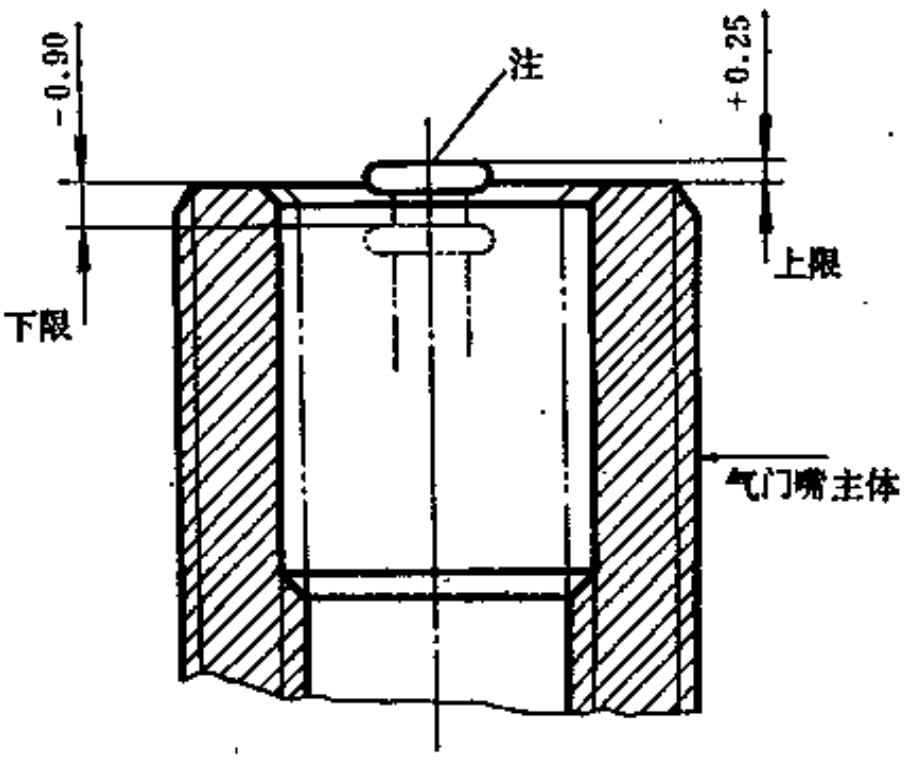



图 1-10-11 气门芯杆头部位置配合公差规范
（单位：mm）

注：ISO7442—82（1号芯腔）气门嘴口部扩孔尺寸技术规范见图1-10-12。

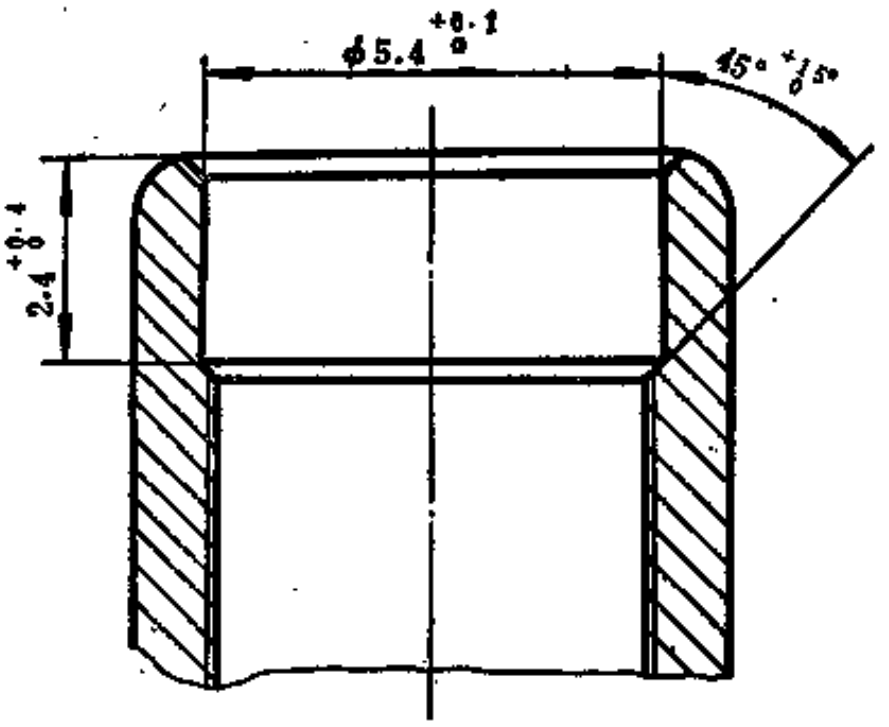



图 1-10-12 ISO7442-82（1号芯腔）
气门嘴口部扩孔尺寸技术规范（单位：mm）

（3）随着科学技术的进展，越野重型车辆以及特殊工程机械车辆发展很快，需要大型特殊规格的工程轮胎，一般是指14.00—20以上规格的轮胎。由于断面增大，其轮胎结构和压力均有不同的要求，如果仍采用普通轮胎气门嘴就不能适应使用要求，因此就需设计大孔径的轮胎气门嘴来与上述特殊规格的轮胎配套。图1-10-13和表1-10-3为ISO6762—81(2号芯腔）的技术规范。ISO6762—81气门芯杆头部位置配合公差见图1-10-14。

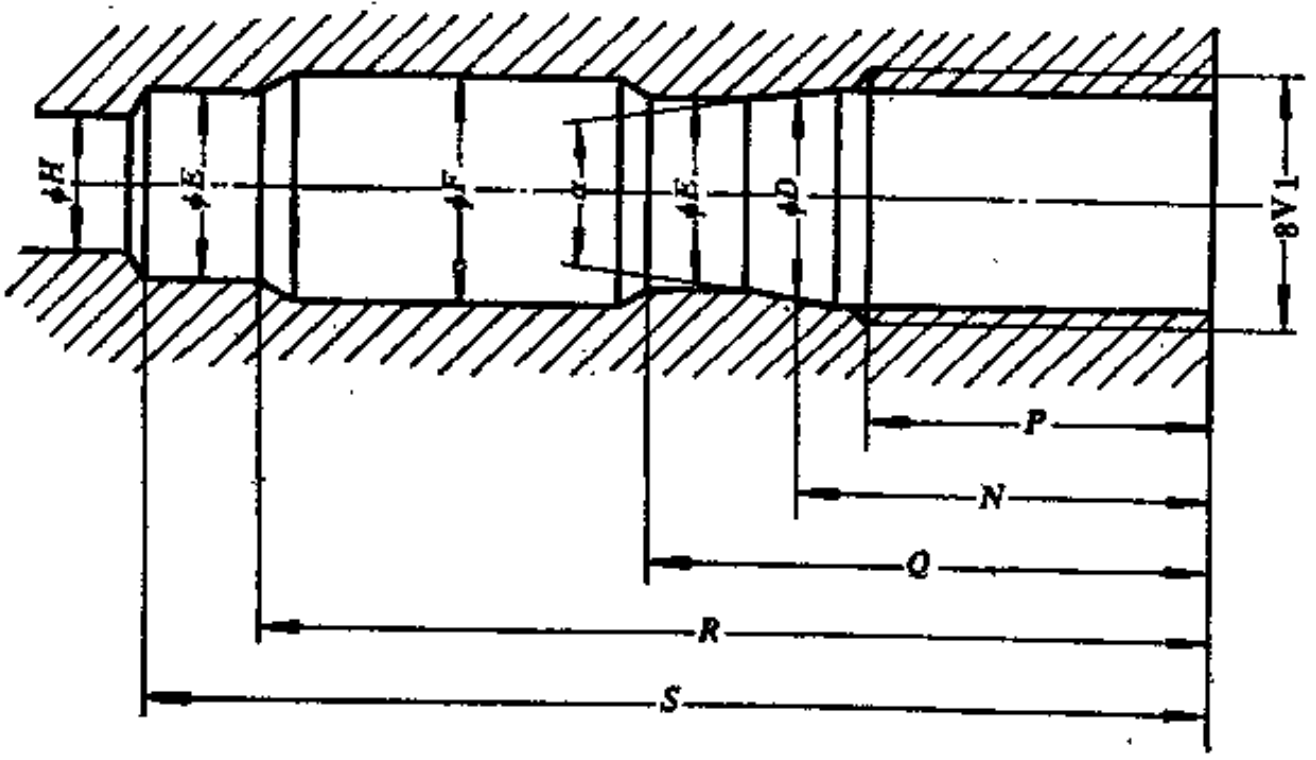



图 1-10-13 ISO6762—81（2号芯腔）

表 1-10-3 (2号芯腔)技术公差规范 单位：mm

| 代 号 | 最小值 | 最大值 | 代 号 | 最小值 | 最大值 |
|---|---|---|---|---|---|
| *D* | 6.70 | | *P*① | 11.50 | 12.30 |
| *E* | 6.30 | 6.40 | *Q* | 17.80 | 18.50 |
| *F* | 7.30 | 7.70 | *R* | 30.50 | 31.5 |
| *H* | 4.60 | 4.90 | *S* | 34.30 | 35.1 |
| *N* | 13.82 | 14.22 | *α* | 16° | 18° |

① 螺纹长度的测定，系采用通端螺纹塞规，见ISO1502的条款11.3和图12，尺寸以实测塞规末端，包括倒角0.5×螺矩的值。

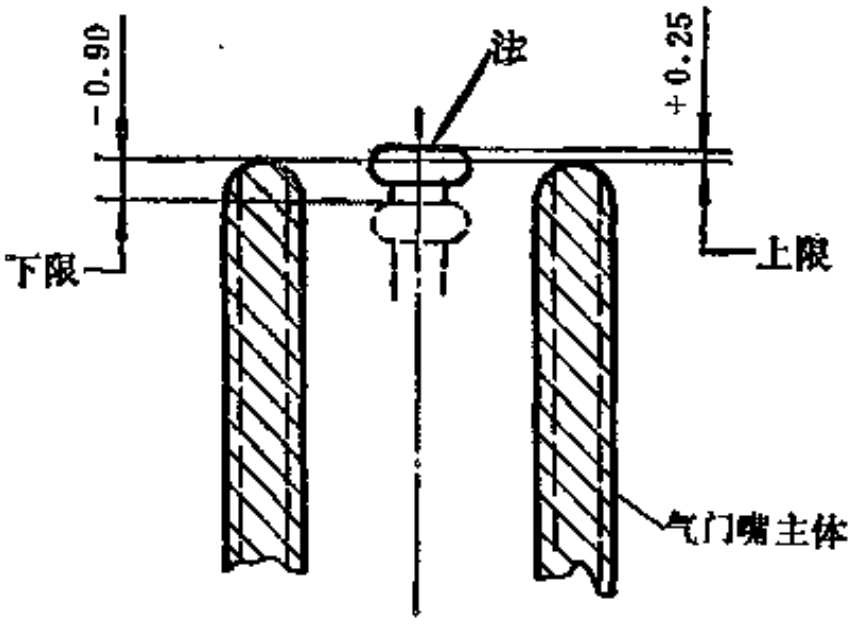



图 1-10-14 ISO6762—81 (2号芯腔) (单位：mm)

注：气门芯旋入气门嘴口部之后其允许承受扭矩技术规范分为：
A. 气门芯密封锥面为"弹性体材料"时，其允许承受扭矩为0.34～0.54N·m之间。
B. 气门芯密封锥面为"金属材料"时，其允许承受扭矩为0.6～0.8N·m之间。

## 第四节 轮胎气门嘴的结构分类和技术特性

(1) 力车胎气门嘴适用于普通自行车、单双轮手推车、三轮车、以及轻型低速机动车等车辆的轮胎内胎气门嘴，不包括赛车气门嘴。内胎气门嘴起充气、密气、放气作用。其气门

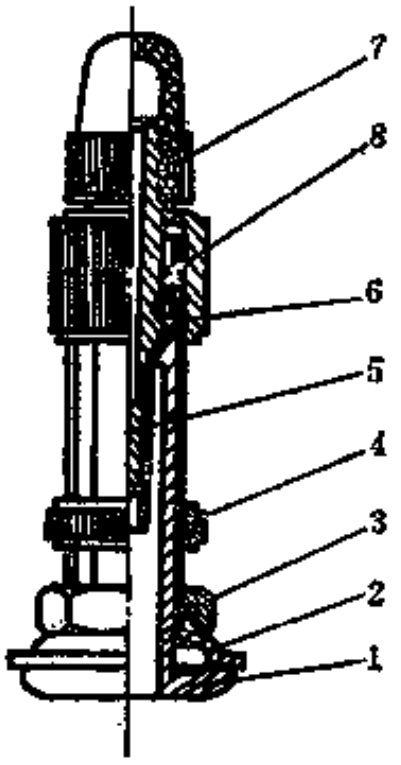



图 1-10-15 柱塞英式金属底座外形结构

1—主体；2—垫片；3—六角螺母；4—防松螺母；5—气门芯；6—压气螺母；7—防尘帽；8—橡皮管

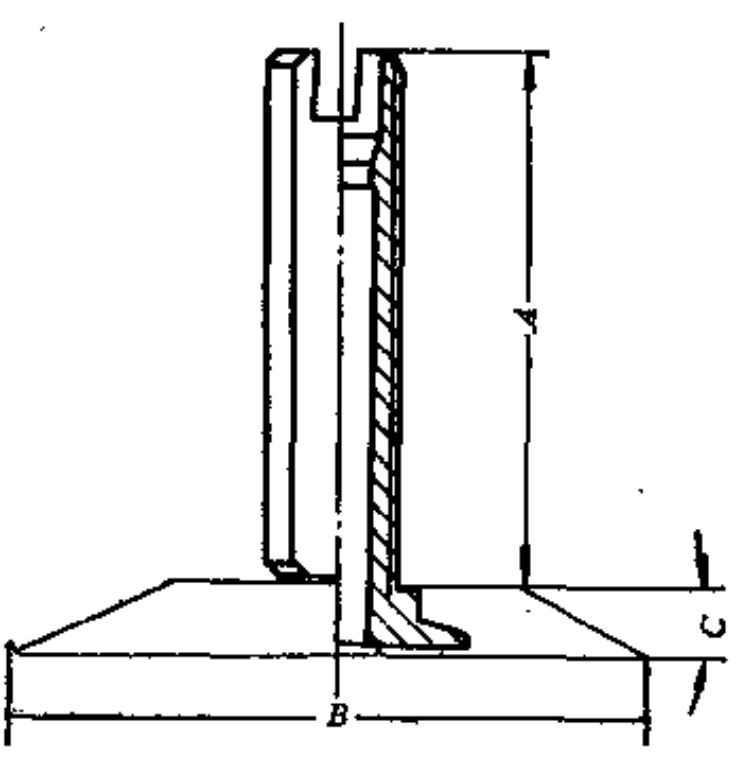



图 1-10-16 柱塞英式胶垫气门嘴外形结构

表 1-10-4 柱塞英式胶垫气门嘴尺寸

单位：mm

| 柱塞式 | A | B | C |
|---|---|---|---|
| VER1 | 29.5 | φ28～30 | 4.5 |
| VER2 | 29.5 | 28×40 | 4.5 |

嘴外形结构见图1-10-15～图1-10-17。图1-10-15和图1-10-16的芯腔结构应符合图1-10-9的技术规范；图1-10-17的芯腔结构应符合ISO7442—82（1号芯腔）结构。

包胶直管美式TR1胶垫气门嘴外形结构见图1-10-17，外形尺寸见表1-10-5。

（2）摩托车内胎胶垫气门嘴外形结构TR4见图1-10-18，TR6见图1-10-19，TR11见图1-10-20和表1-10-6外形尺寸。其芯腔结构均应符合 ISO7442—82(1号芯腔）的技术规范。

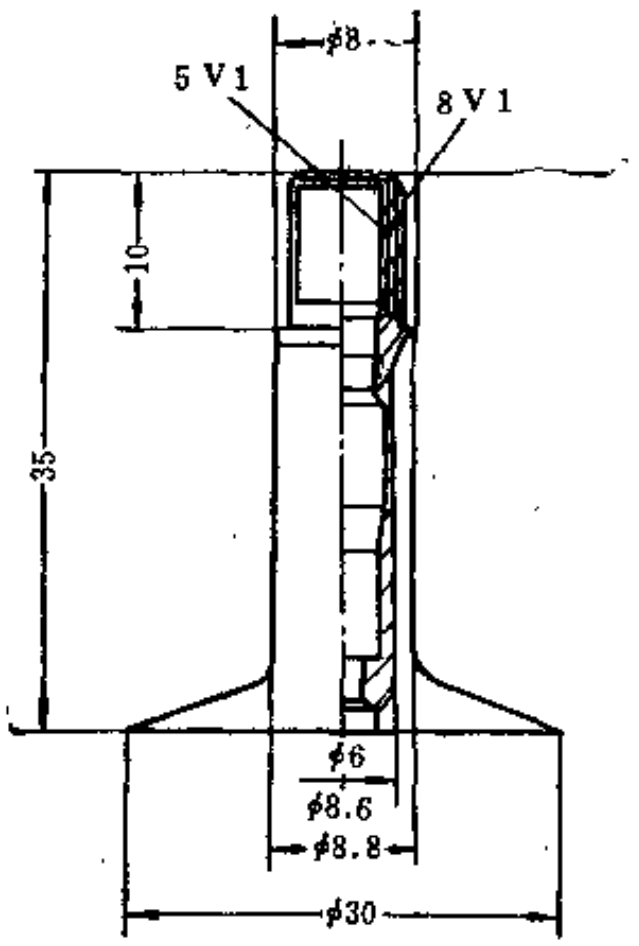



图 1-10-17 TR1美式胶垫气门嘴（单位：mm）

表 1-10-5 美式胶垫气门嘴外形尺寸

单位：mm

| 型 号 | A | B |
|---|---|---|
| TR1 | 35 | φ28 |
| TR1 | 35 | φ32 |

表 1-10-6 摩托车胶垫气门嘴外形尺寸

单位：mm

| 型 号 | A | B | C |
|---|---|---|---|
| TR4 | 29 | 44.5 | 6 |
| TR6 | 29.5 | 42×68 | 5.6 |
| TR11 | 38 | 56 | 4.5 |

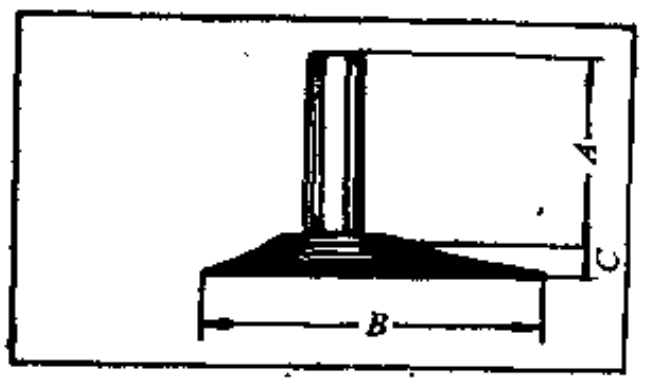



图 1-10-18 TR4摩托车轮胎气门嘴

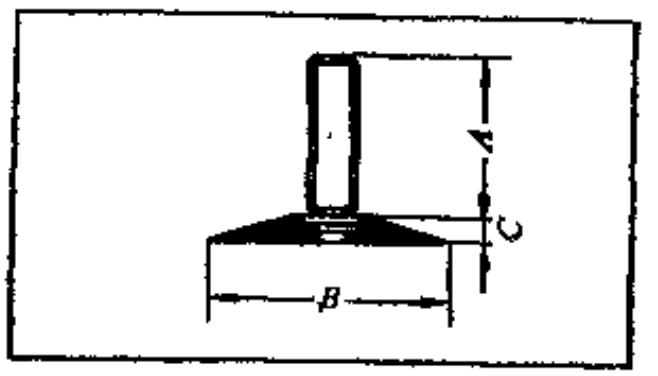



图 1-10-19 TR6摩托车轮胎气门嘴

（3）卡车、公共汽车、工业轮胎、工程机械轮胎的内胎通用胶垫气门嘴外形结构见图1-10-21，外形尺寸系列见表1-10-7。其型号有TR65、TR75、TR75A、TR76A、TR77A、TR78A、TR175A、TR177A、TR177B、TR179A，TR179C。上述型号的气门嘴芯腔结构均应符合ISO7442—82(1号芯腔)的技术规范。

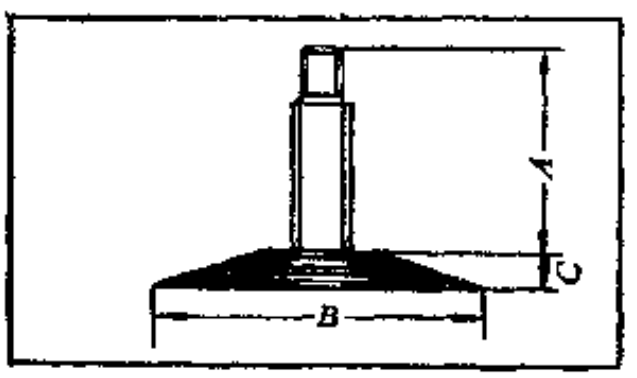



图 1-10-20　TR11摩托车轮胎气门嘴

（4）适用于轻型工业轮胎、农业机械轮胎的内胎胶垫气门嘴外形结构见图1-10-22(TR87)、图1-10-23(TR244和S2)和图1-10-24(TR89、TR185、TR244A) TR244和S2胶垫气门嘴外形尺寸见表1-10-8,TR89、TR185及TR244A铲车胶垫气门嘴外形尺寸见表1-10-9。工程机械轮胎使用的充水、气两用直管式胶垫气门嘴（TR218和TR220）见图1-10-25(a)和(b)它们的外形尺寸见表1-10-10。上述气门嘴的芯腔结构均应符合ISO7442—82(1号芯腔)的技术规范。

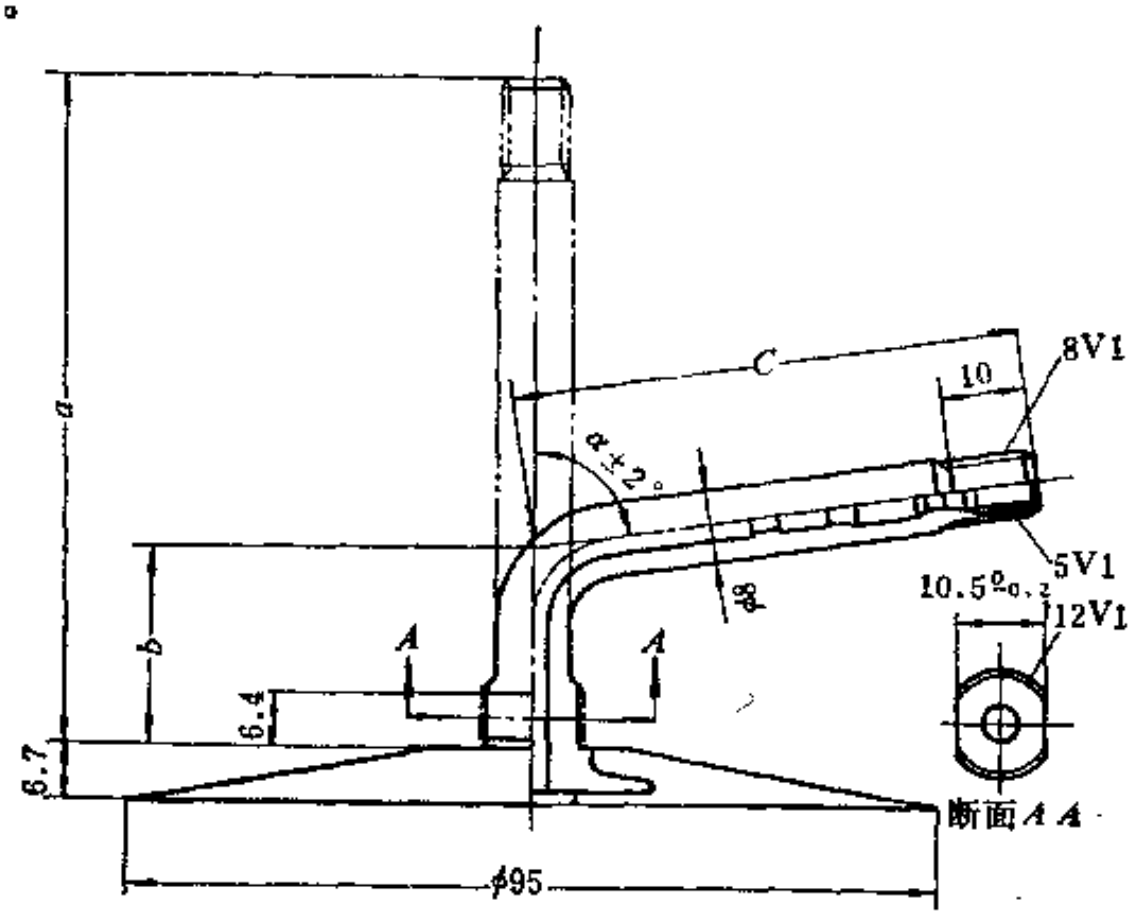



图 1-10-21　通用型胶垫气门嘴（单位：mm）

表 1-10-7　通用轮胎胶垫气门嘴外形尺寸系列

单位：mm

| 尺寸代号 \ 型号 | TR65 | TR75 | TR75A | TR76A | TR77A | TR78A | TR175A | TR177A | TR177B | TR179A | TR179B | TR179C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $a$① | 79.5 | 89.5 | 95 | 105 | 124 | 146 | 134 | 114 | 114 | 160 | 161 | 164 |
| $b$ | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 28 | 24 | 29 | 36 |
| $c$ | 60 | 70 | 76 | 86 | 105 | 127 | 115 | 96 | 91 | 141 | 137 | 133 |
| $d$ | 82° | 82° | 86° | 86° | 86° | 86° | 86° | 86° | 86° | 86° | 86° | 86° |

① $a$为参考尺寸。

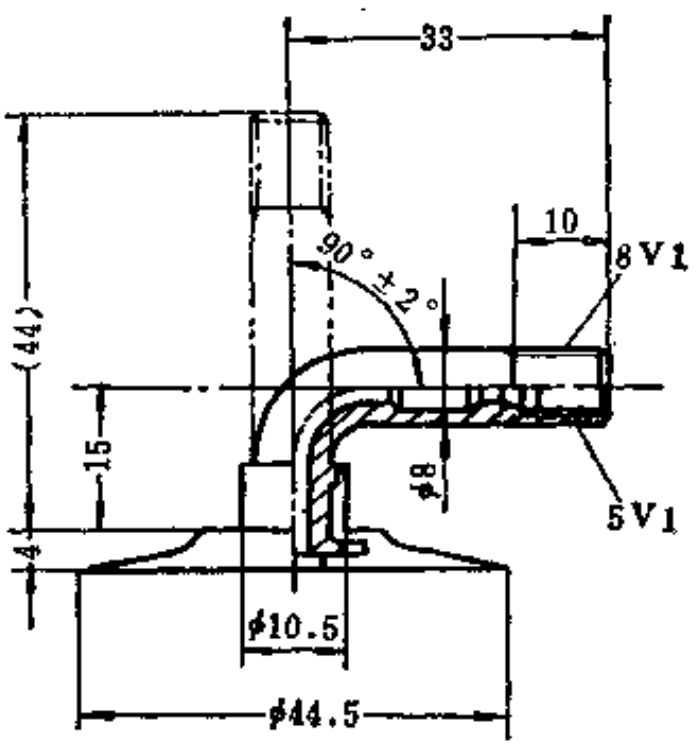



图 1-10-22 短芯型气门嘴（单位：mm）
(TR87铲车胎胶垫气门嘴应与C1短轮胎气门芯配套使用)

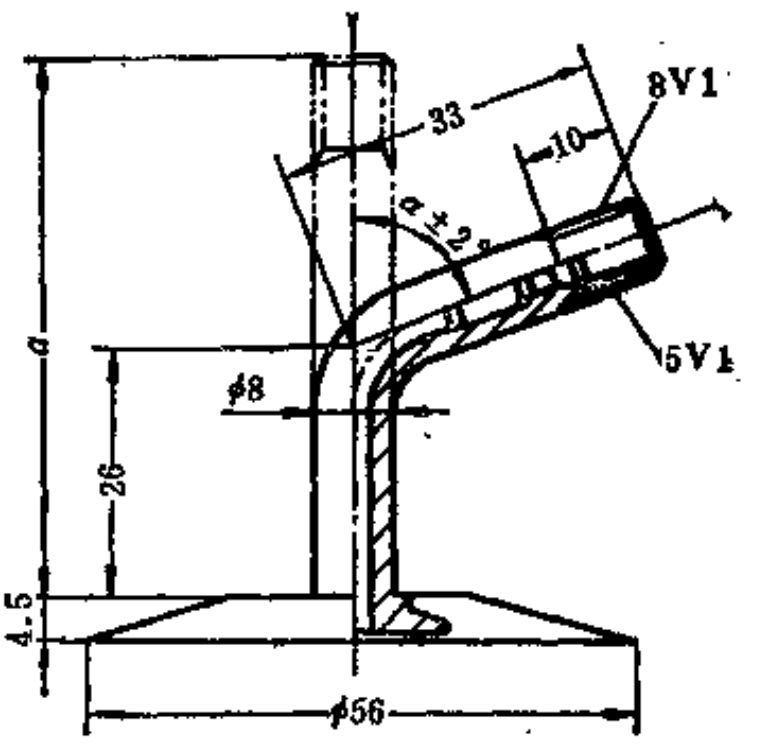



图 1-10-23 TR244型和S2型气门嘴（单位：mm）

表 1-10-8 TR244和S2胶垫气门嘴外形尺寸

单位：mm

| 尺寸代号 \ 型号 | TR244 | S2 |
|---|---|---|
| a | 54 | 66 |
| α | 9 | 70 |

注：TR244和S2均应选C1短轮胎气门芯配套，a为参考尺寸。

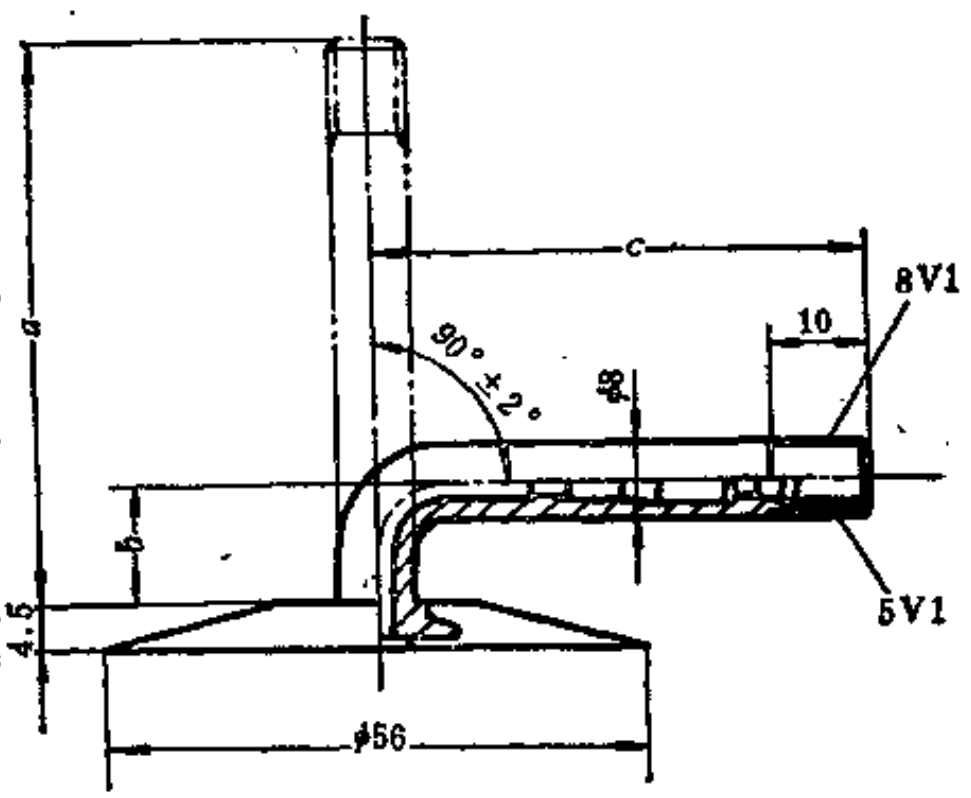
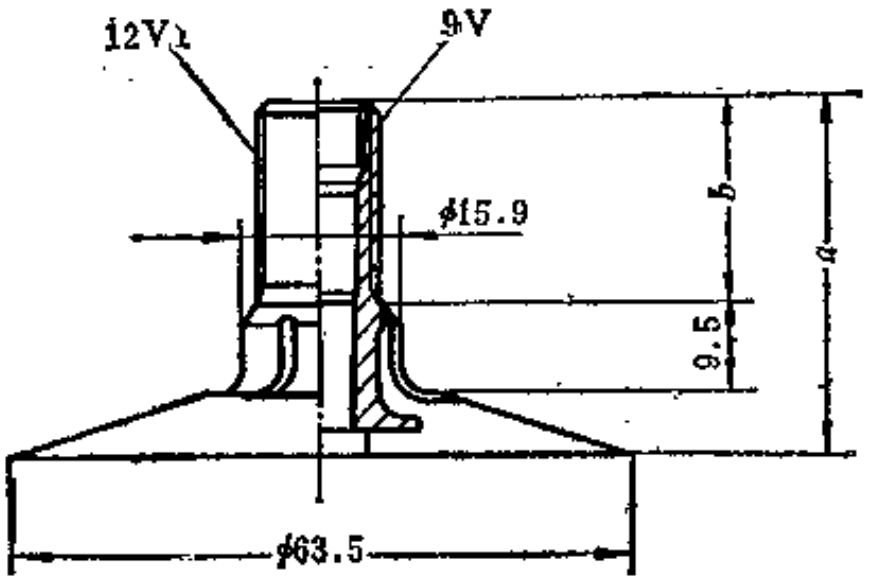


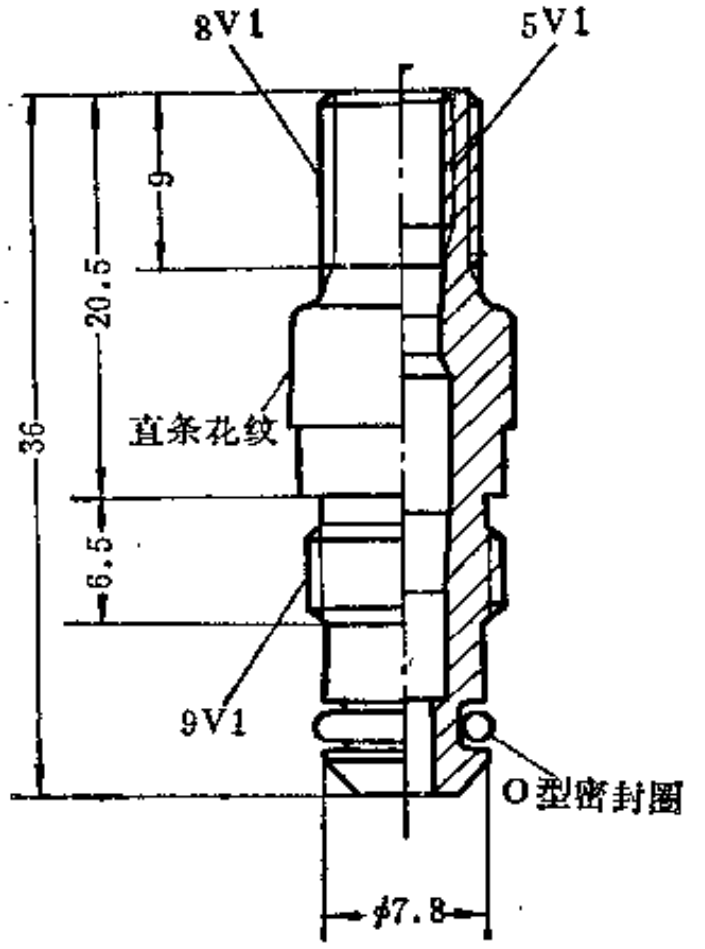

图 1-10-24 TR89、TR185及TR244A铲车胶垫气门嘴外形

表 1-10-9 TR89、TR185及TR244A铲车胶垫气门嘴外形尺寸 单位：mm

| 尺寸代号 \ 型号 | TR89 | TR185 | TR244A |
|---|---|---|---|
| a | 58.5 | 68 | 50 |
| b | 12.5 | 12.5 | 22 |
| c | 51 | 60.5 | 38 |

注：TR89、185、244A均应选C1短轮胎气门芯配套，a为参考尺寸。




(a) (b)

图 1-10-25 充气、水两用直管式胶垫气门嘴

(a) TR218、TR220直管式接头水气两用气门嘴；(b) CH3气门嘴接头外形结构与TR218、220配套

表 1-10-10 TR218、TR220直管式接头水、气两用气门嘴外形尺寸 单位：mm

| 尺寸代号 \ 型号 | TR 218 | TR 220 |
|---|---|---|
| *a* | 27.0 | 36.6 |
| *b* | 11.1 | 20.7 |

（5）乘用车轮胎、农业机械轮胎、轻卡轮胎的内胎包胶管式气门嘴

乘用车轮胎、农业机械轮胎、轻卡轮胎的内胎包胶管式气门嘴TR13见图1-10-26，TR15见图1-10-27，其尺寸见表1-10-11。

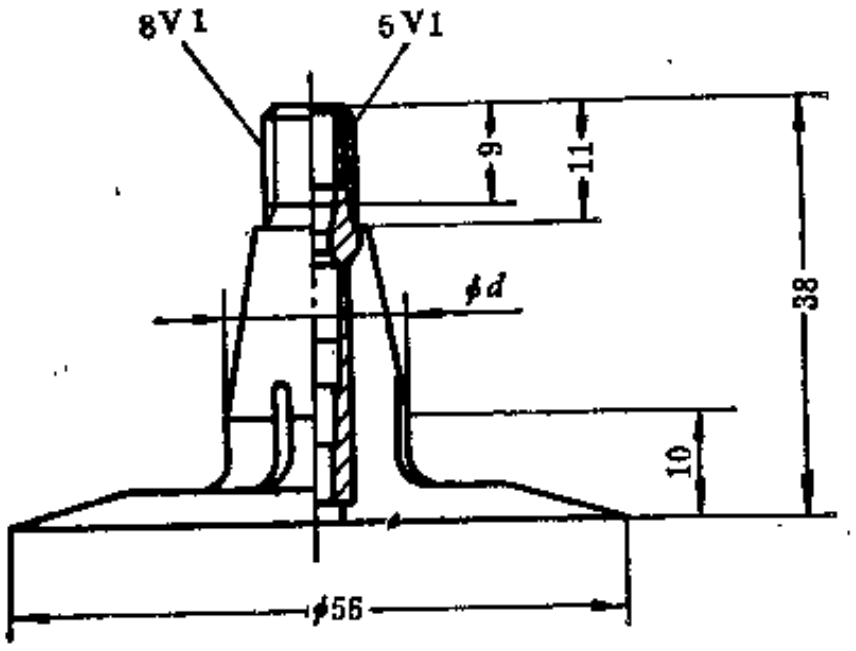



图 1-10-26 TR13、TR15胶垫气门嘴（单位：mm）

表 1-10-11 TR13与TR15(*d*)尺寸

单位：mm

| 尺寸代号 \ 型号 | TR 13 | TR 15 |
|---|---|---|
| *d* | 11.5 | 16.5 |

注：图1-10-27中的工程塑料衬套用于TR13，可代替TR15使用。

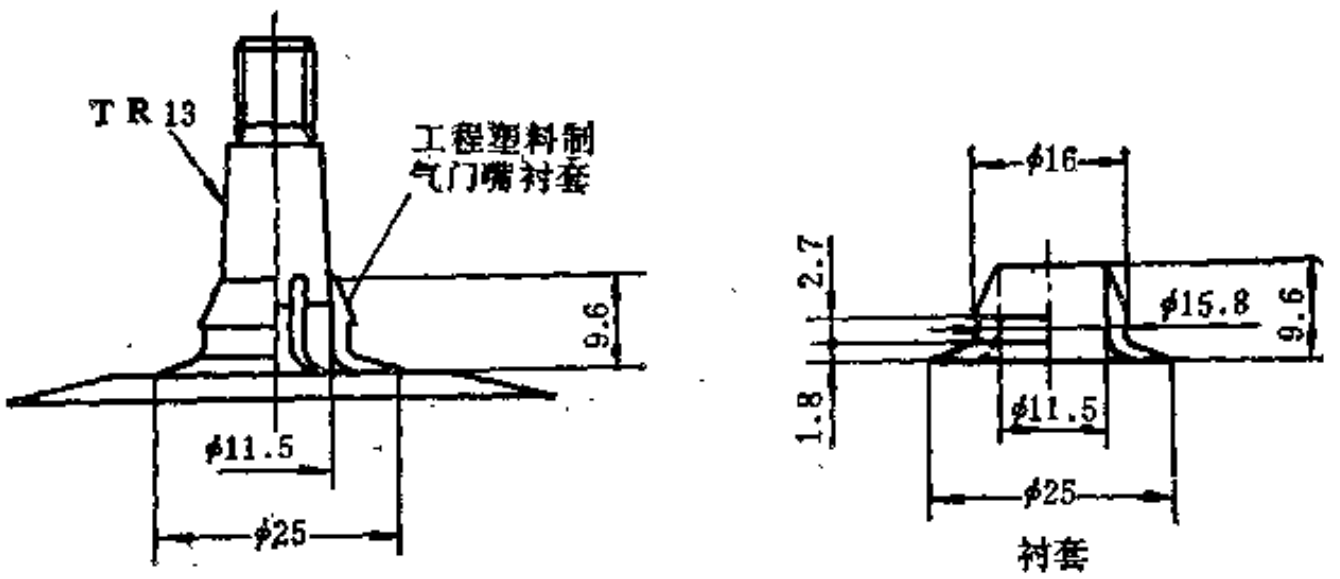



图 1-10-27　工程塑料衬套气门嘴（单位：mm）

图1-10-28为工业轮胎的内胎包胶气门嘴TR150、TR150CW的外形结构，气门嘴必须弯曲，$b=31.8$mm，$a=70°$为参考角度。其芯腔均应符合ISO—7442—82(1号芯腔)的技术规范。

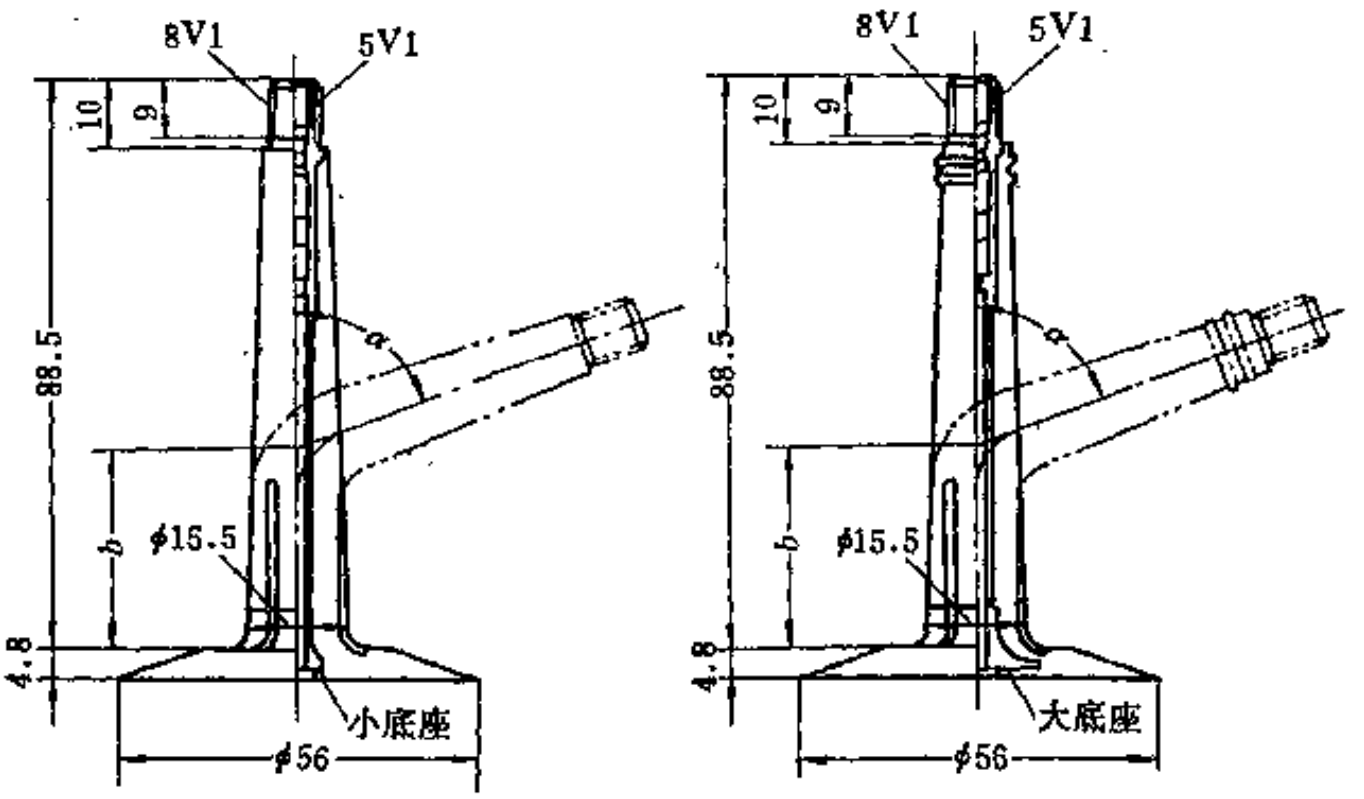



图 1-10-28　TR150和TR150CW气门嘴（单位：mm）

## 第五节　轮辋气门嘴的结构分类

轮辋气门嘴系指各种无内胎充气轮胎所使用的气门嘴，其直接安装在轮辋上，故而称为轮辋气门嘴。

### 一、葫芦包胶型轮辋气门嘴

葫芦包胶型轮辋气门嘴适用于各种轿车胎、轻卡、工具车、微型汽车以及农业机械轮

胎。其芯腔结构必须符合ISO7442—82(1号芯腔) 的技术规范，其外形 结 构见 图1-10-29，尺寸系列见表1-10-12。

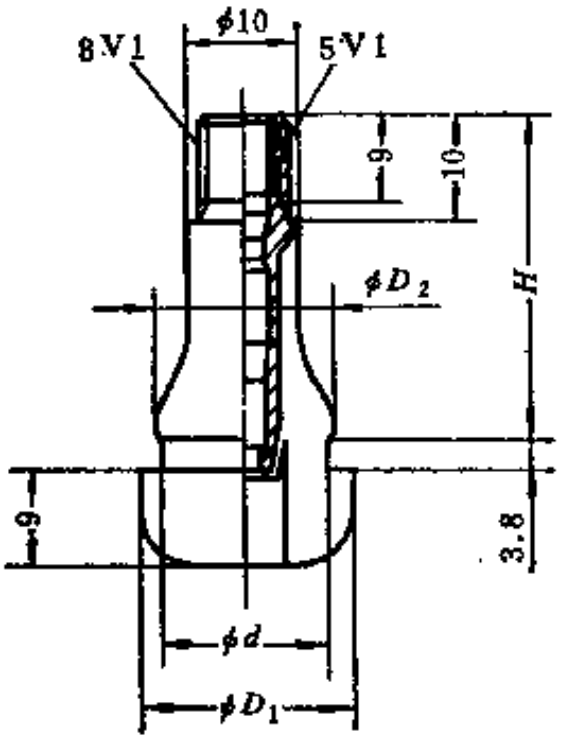



图 1-10-29　葫芦形轮辋气门嘴（单位：mm）

表 1-10-12　葫芦形轮辋气门嘴外形尺寸　　单位：mm

| 型号 / 尺寸代号 | TR413 | TR414 | TR415 | TR418 | TR420 | TR423 | TR425 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $d$ | 15 | 15 | 19.3 | 15. | 19.3 | 15 | 19.3 |
| $D_1$ | 19 | 19 | 24 | 19 | 24 | 19 | 24 |
| $D_2$ | 16 | 16 | 21 | 16 | 21 | 16 | 21 |
| $H$ | 32 | 38 | 32 | 51 | 45 | 64 | 51 |
| 轮辋气门嘴孔径 | 11.5±0.2 | 11.5±0.2 | 16±0.2 | 11.5±0.2 | 16±0.2 | 11.5±0.2 | 16±0.2 |

注：$H$所示尺寸为轮辋气门嘴装配后的尺寸，轮辋气门嘴孔径为参考尺寸。

## 二、轻型卡车、载重汽车和公共汽车用轮辋气门嘴

轻型卡车和载重汽车，公共汽车用轮辋气门嘴外形 结 构TR430见图1-10-30，TR500系列见图1-10-31和表1-10-13,TR508A见图1-10-32,金属底座轮辋气门嘴和TR508旋转接头轮辋气门嘴见图1-10-33，与TR508气门嘴配套的金属 底 座HS1见图1-10-34，TR618A金属底座见图1-10-35与CH3接头见图1-10-25（b）配套。上述轮辋气门嘴的芯腔结构必须符合ISO 7442—82(1号芯腔) 的技术规范。

TR508轮辋气门嘴旋转接头应与HS1金属底座配套，六角螺 母 材料为Hpb59—1黄铜或不锈钢，O型密封要求见图1-10-47中Ⅳ规定。

HS1轮辋气门嘴金属底座材料为Hpb59—1铅黄铜，HS1金属底 座与TR508轮 辋气 门嘴接头配套。

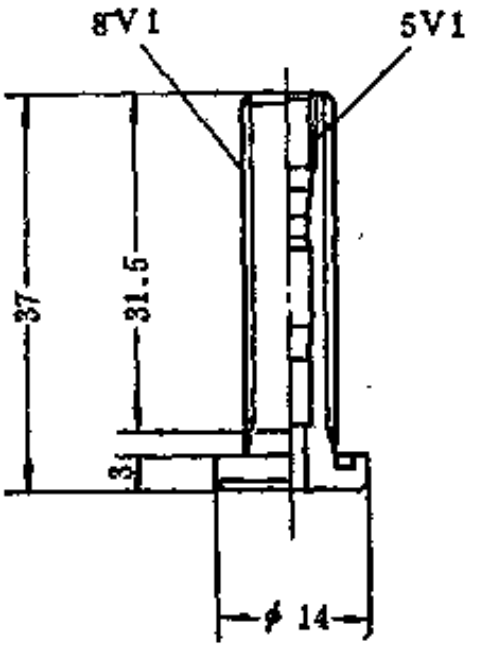



图 1-10-30　TR430轮辋气门嘴（单位：mm）

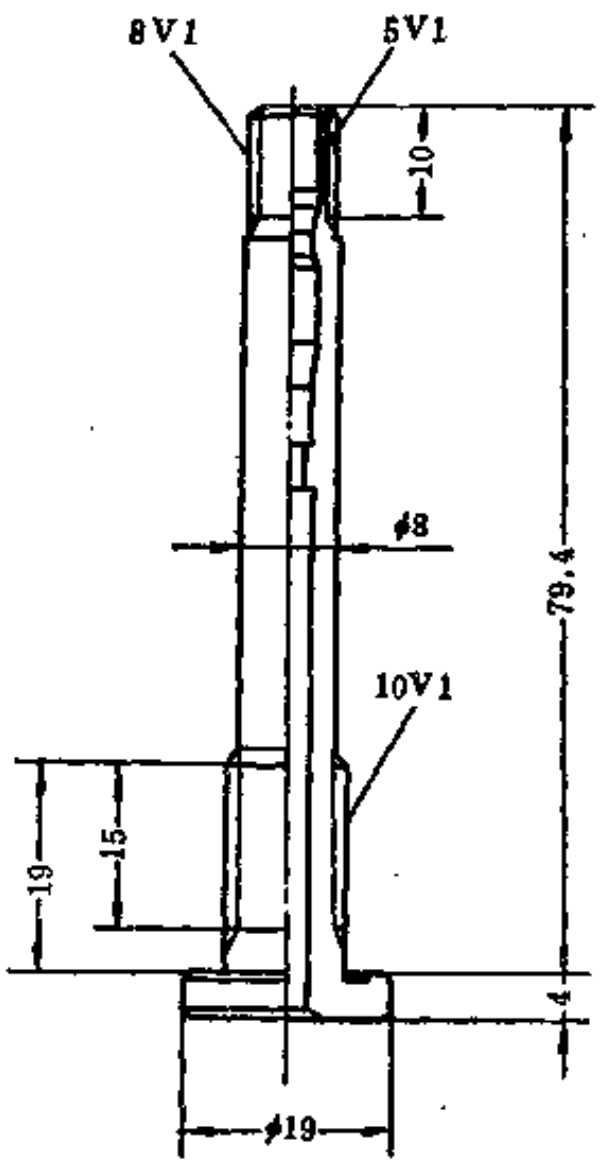



图 1-10-31　TR500系列轮辋气门嘴(单位：mm)

表 1-10-13　载重卡车、公共汽车轮辋气门嘴TR500系列　　单位mm

| 尺寸代号 \ 型号 | TR500 | TR500C | TR501 | TR570 | TR571 | TR571C | TR572 | TR572C | TR573 | TR573C | TR575 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 51 | | 38 | 79.5 | 86 | | 96 | | 111 | | 28.5 |
| D | | 51 | | | | 57.5 | | 67 | | 83 | |
| H | | 33 | | | | 33 | | 33 | | 33 | |

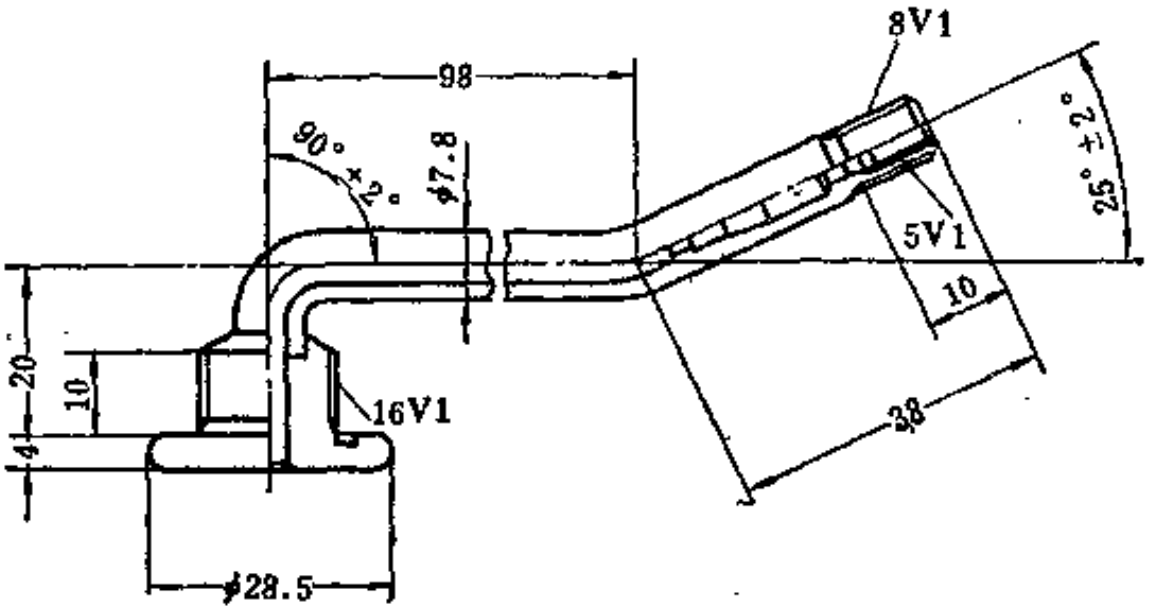



图 1-10-32　TR508A外型结构（单位：mm）

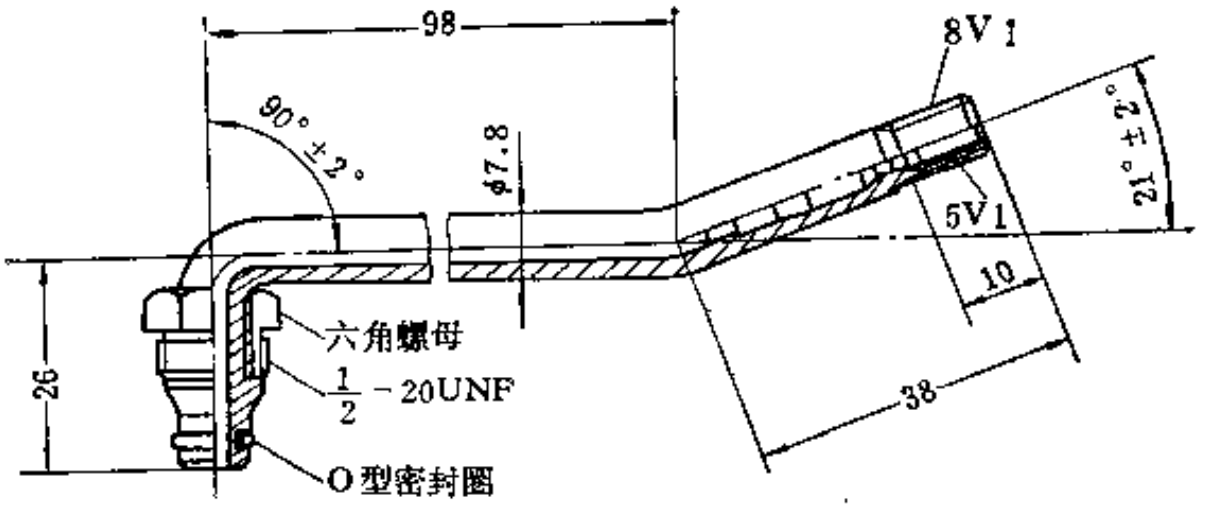



图 1-10-33　TR508外型结构（单位：mm）

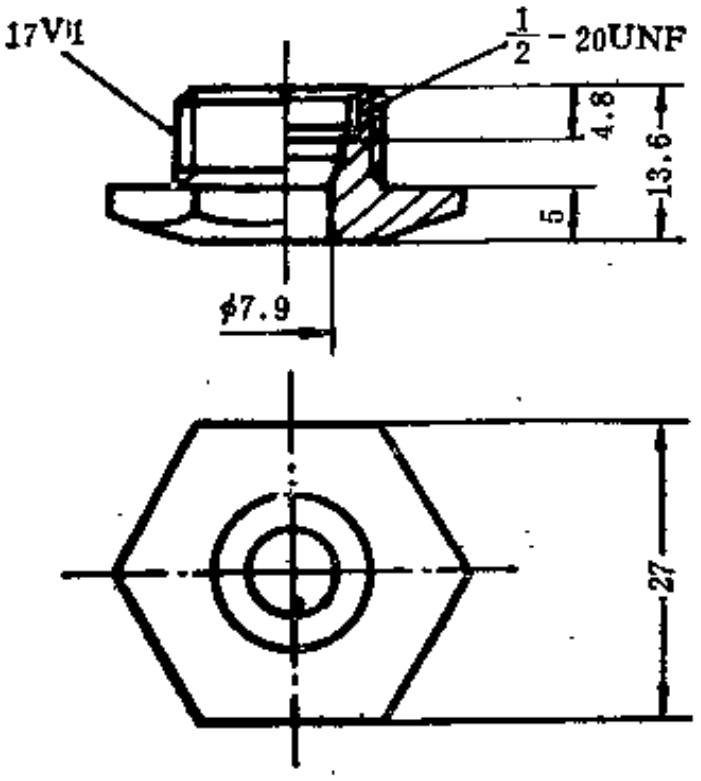



图 1-10-34　HS1轮辋气门嘴底座（单位：mm）

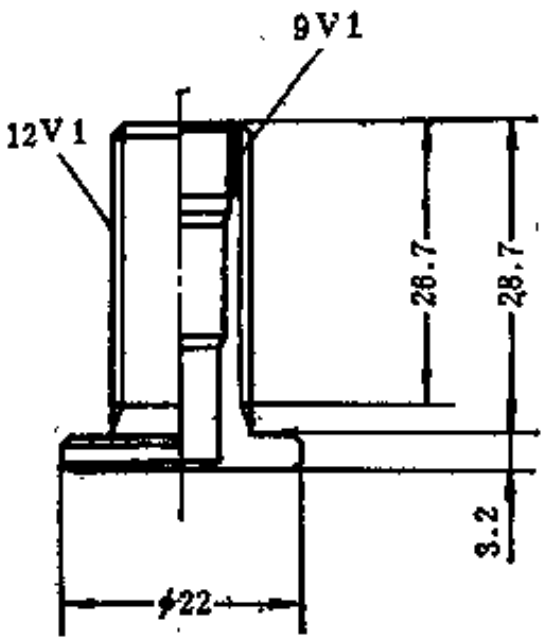



图 1-10-35　TR618A轮辋金属气门嘴底座（与CH3图1-10-25(b) 气门嘴接头配套，单位：mm）

## 三、大型工程轮胎轮辋气门嘴

大型工程轮胎轮辋气门嘴有胶垫和金属底座接头轮辋气门嘴，其芯腔结构均为大孔径，应符合ISO—6762—81(2号芯腔）的技术规范。旋转接头气门嘴TR650系列见 图1-10-36(其中O型密封圈应符合图1-10-47中的Ⅳ规定，六角螺母材料为Hpb59-1铅黄 铜 或 不 锈 钢)。TR670见图1-10-37(O型圈应符合图1-10-47中的Ⅳ规定）和表1-10-14，与其配 套的HS2金属底座见图1-10-38（金属底座材料为Hpb59-1黄铜)。TR690见图1-10-39，TR1014见图1-10-40（桥形垫片材料为普通钢材)。TR1175(C)系列见图1-10-41（桥形垫片材 料为普通钢丝）及表1-10-15，与其配套的胶垫底座SP1000见图1-10-42。

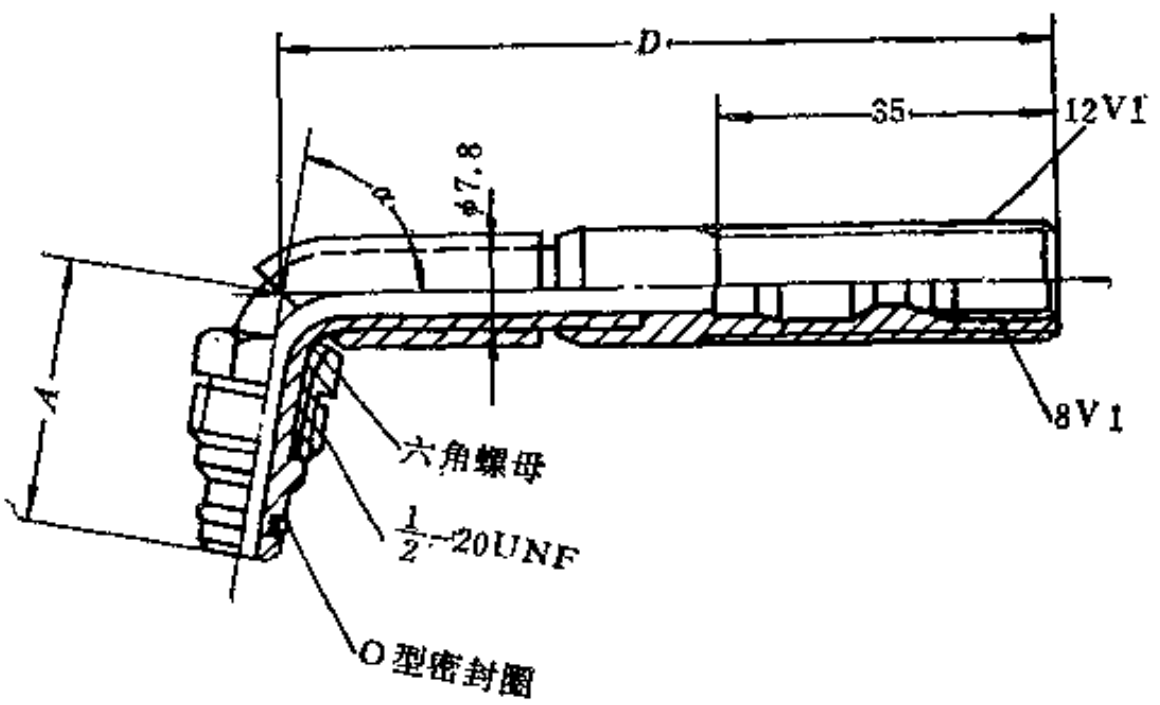



图 1-10-36 TR650型气门嘴（与HS2金属底座配套，单位：mm）

表 1-10-14 TR650轮辋气门嘴外形尺寸 单位：mm

| 型号 \ 尺寸代号 | A | D | α | 型号 \ 尺寸代号 | A | D | α |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TR650 | 27.5 | 79.5 | 80° | TR652 | 27.5 | 140 | 86° |
| TR651 | 32 | 119 | 90° | TR670 | 41.5 | — | — |

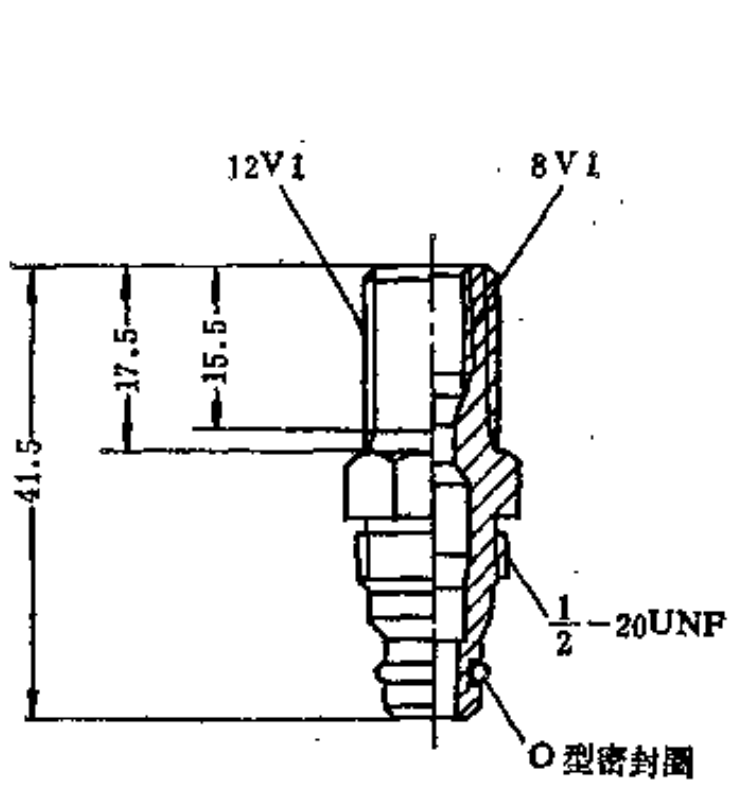



图 1-10-37 TR670轮辋气门嘴（接头与HS2金属底座配套，单位：mm）

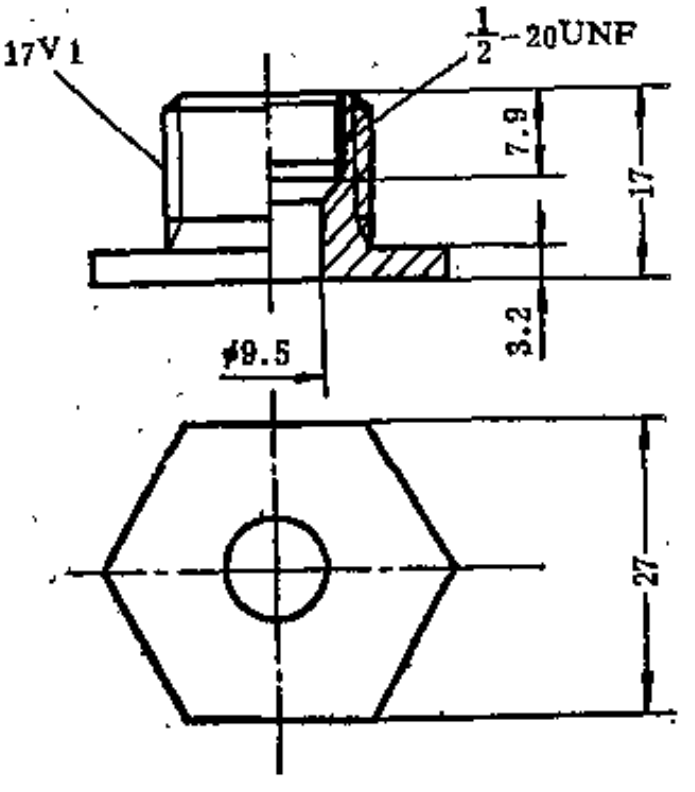



图 1-10-38 HS2轮辋气门嘴（单位：mm）

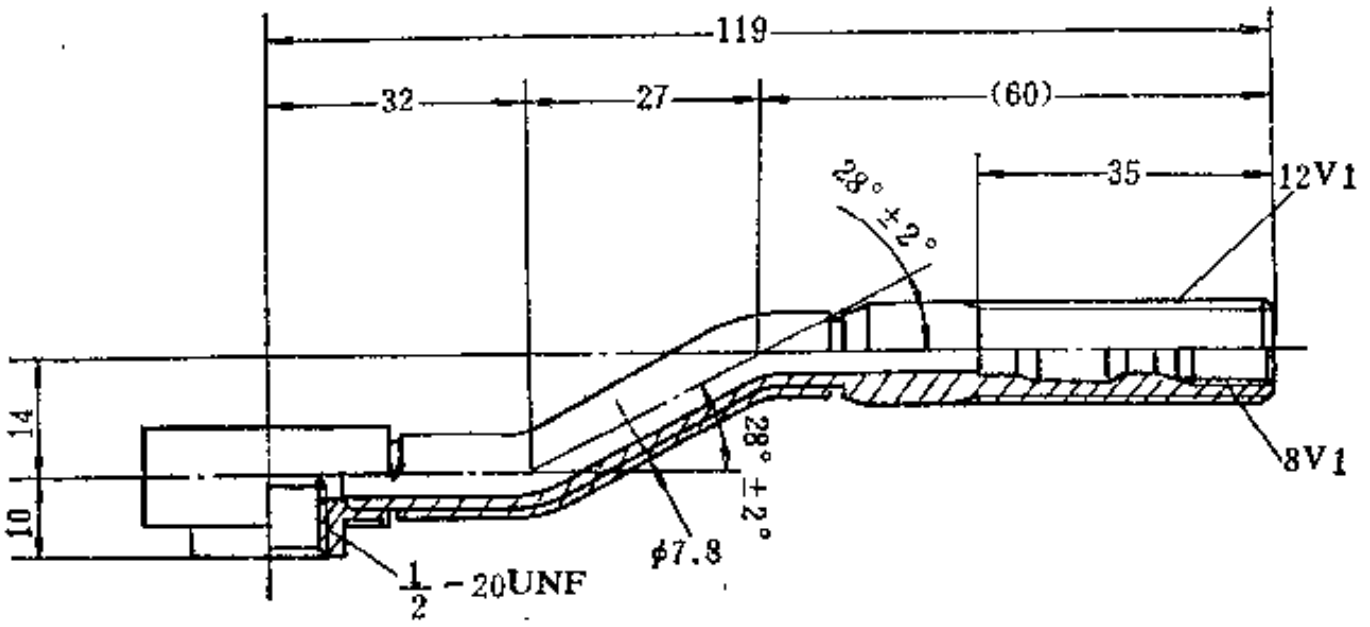



图 1-10-39 TR690轮辋气门嘴（图中括号内为参考尺寸，单位：mm）

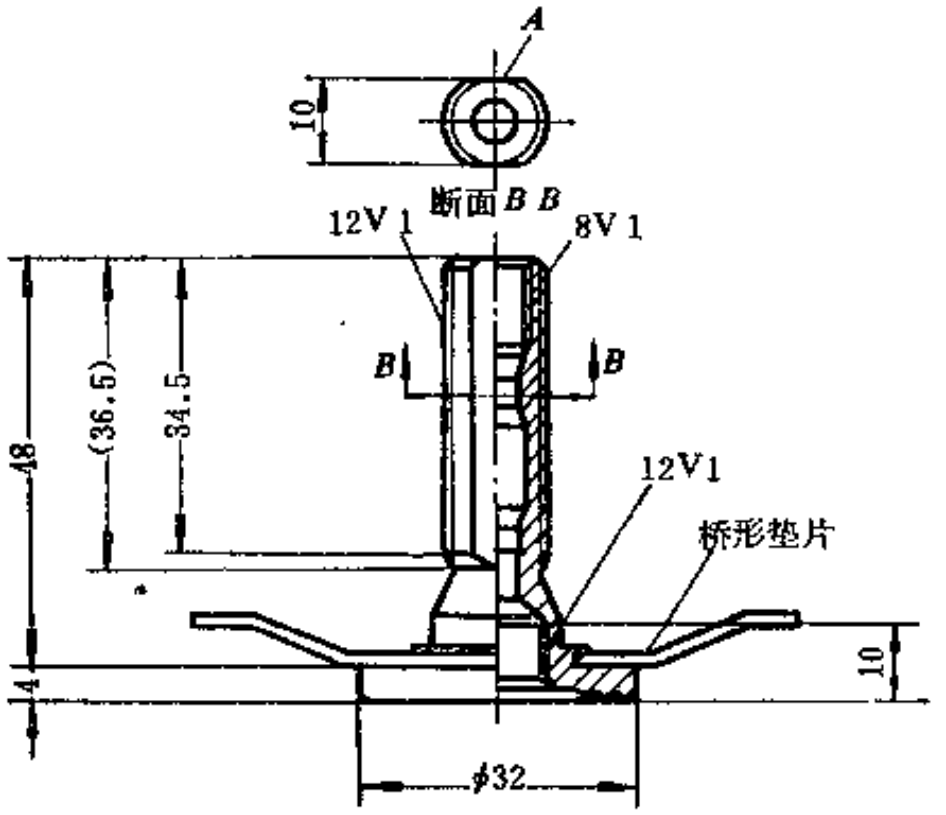



图 1-10-40 TR1014轮辋气门嘴（可与SP1000胶垫底座配合，括号内为参考尺寸，单位：mm）

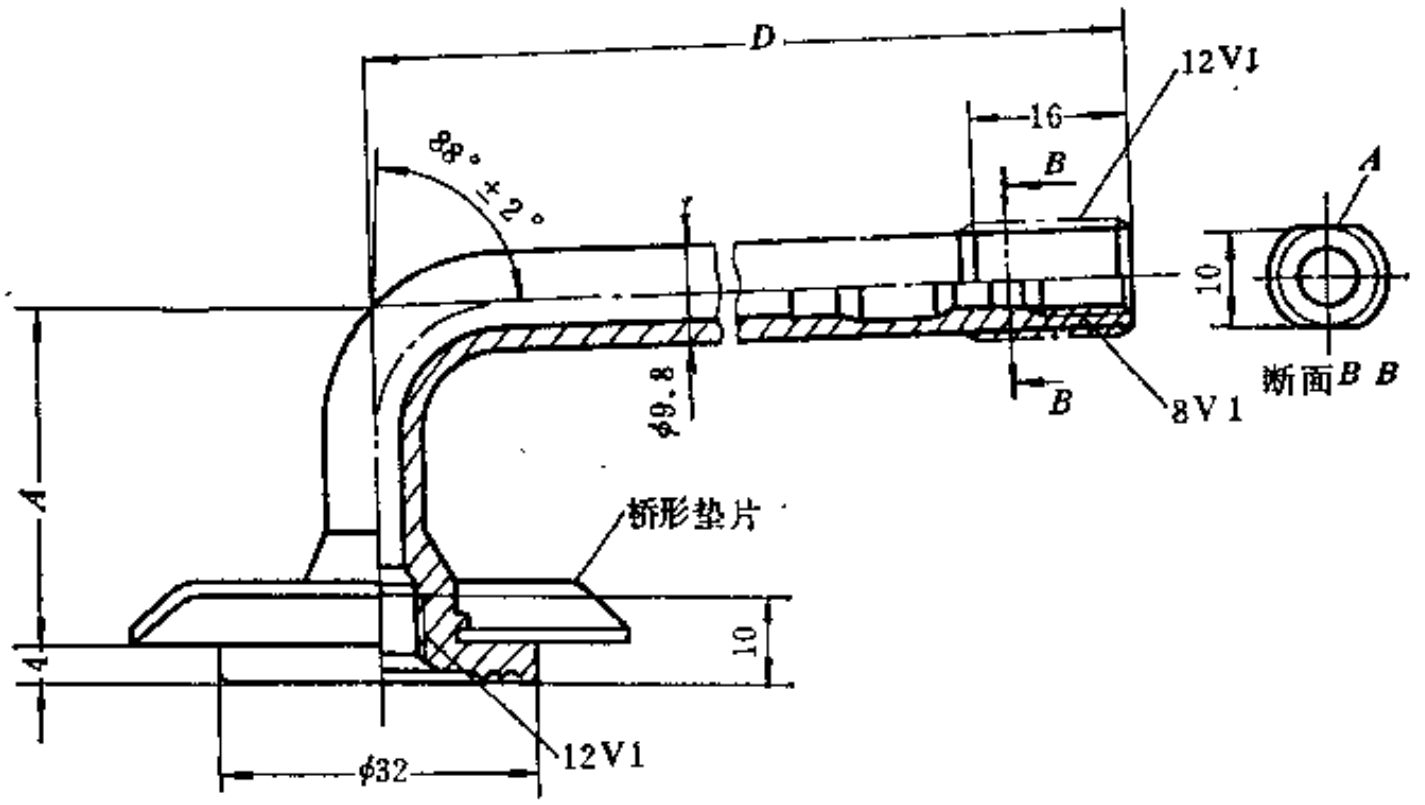



图 1-10-41 TR1175（C）轮辋气门嘴（可与SP1000胶垫底座配套，单位：mm）

表 1-10-15　TR1076轮辋气门嘴外形尺寸

单位：mm

| 尺寸代号 \ 型号 | TR1076 | TR1175 | TR1176(C) |
|---|---|---|---|
| *A* | 35 | 35 | 39 |
| *D* | 76 | 105 | 105 |

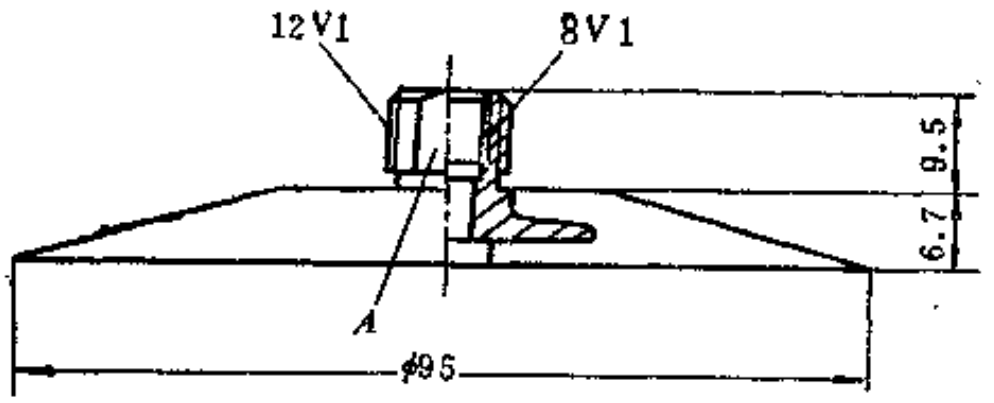



图 1-10-42　SP1000胶垫底座接头（单位，mm）

## 第六节　各类轮胎气门嘴的技术要求

各类轮胎气门嘴的技术要求如下。

（1）气门嘴主体材料　目前国内一直以H70黄铜为基础，轮胎气门嘴材料标准是H63—0.1黄铜，力车胎气门嘴主体材料标准是HPb59-1铅黄铜；但轮胎气门嘴主体材料的H63—0.1黄铜，金属加工性能（即切削效率）较低，刀刃、夹具极易磨损。对气门嘴用黄铜材料进行了大批量的科学试验，同时对国外先进样品进行了化学和物理分析包括查阅国外先进标准基本都是属于“铅黄铜”，根本不影响与天然橡胶、丁基橡胶的粘接性能。同时建议轮胎气门嘴主体材料采用HPb62—1和HPb59—1铅黄铜，使用铅黄铜不仅可提高气门嘴质量，而且具有一定的经济效益。

（2）气门嘴主体表面应光洁、无毛刺、裂纹、油污和锈蚀等缺陷。

（3）气门嘴的弯曲性　气门嘴主体采用手工和机械工具弯曲时，在必须弯曲的角度下，不应有破裂和断裂的情况。

（4）气门嘴的花腔结构内部除必须达到技术规范之外，其内部（包括锥面）不许有铜屑以及其它异物垃圾等。

（5）气门嘴的密封性能　各类气门嘴主体必须按批量，随机取样进行密封性能检测，采用标准气门芯旋入气门嘴口部芯腔的标准位置上，将气门嘴口部放水下20mm深处，通入830kPa〈8.5kgf/cm²〉的气压，嘴口向上，保持5分钟，不得有气泡逸出。

（6）气门嘴的标记　各类气门嘴在主体的外螺纹下部，应有滚压的型号标记、生产单位、时间或商标，胶垫底座上也应刻有上述标记，否则就不能做为商品面投放市场使用。

（7）气门嘴芯腔部位测定方法　气门嘴芯腔部位测定方法如表1-10-16所示。

表 1-10-16 气门嘴芯腔部位测定方法

| 测定部位 | 标准塞规测定方法 |
|---|---|
| 锥度的深度部位 | 用锥度塞规插入气门嘴口部孔内与气门嘴的锥度吻合后，通过检查塞规上刻线在气门嘴端面上下的范围来判定 |
| φ3.9mm孔径和深度 | 用φ3.9mm塞规插入气门嘴口部端面以塞规上刻线来判定 |
| 弹簧底座部位深度 | 用31mm深度塞规插入气门嘴口部孔内，检查气门嘴口部到深度，然后检查深度塞规范围来制定 |
| 5V1内螺纹旋转性（通端） | 将5V1螺纹通端塞规旋入气门嘴口部内螺纹标准规定和塞规（长度）检查螺纹旋转性配合性是否符合ISO4570/I标准 |
| 5V1内螺纹（止端） | 内5V1止端螺纹塞规，旋入气门嘴口部螺纹在2.5转内，检查是否符合 ISO4570/I 标准规范。 |
| 8V1内螺纹旋转性（通端） | 用8V1通端螺纹塞规旋入气门嘴口部内螺纹规定标准部位和塞规刻线(长度)同时检查螺纹的旋转性，是否符合ISO4570/I的标准规范。 |
| 8V1内螺纹（止端） | 用8V1止端螺纹塞规，旋入气门嘴口部螺纹在2.5转内，检查是否符合 ISO4570/I 标准规范。 |

## 第七节 轮胎气门芯结构、分类和技术规范

1．轮胎气门芯结构和术语

轮胎气门芯由芯杆、旋转接头、芯体、芯杆托座、弹簧托座、弹簧、芯体密封圈，托座密封圈 8 个部件组成。其结构见图1-10-43～图1-10-45，其使用材料见表1-10-17。

2．气门芯密封机能

轮胎气门芯系轮胎气门嘴主要组成件之一，除轮胎气门嘴芯腔结构必须达到技术规范之外，而轮胎气门芯的质量是十分重要的，因为轮胎气门嘴的功能主要是依靠气门芯来发挥的，如对轮胎进行充气、密气、放气都是通过气门芯实现的。将气门芯旋入气门嘴口部内标准位置后，气门芯密封圈与气门嘴芯腔锥面吻合时形成密封状态，这时气门芯的芯体下端与气门芯托座密封垫也是处于密封状态的，如将气门芯杆往下掀时，芯杆下端的托座就与芯体分离，这时将气泵的空气管气源接上气门嘴口部，即开始向内胎充气，如轮胎压力过高，只要将芯杆往下掀时，内胎的空气就往外逸出，即所谓放气，芯杆复位后，气门芯仍处于密封状态。

3．气门芯的分类

a．通用型C1外弹簧（见图1-10-43）长气门芯和C1内弹簧（见图1-10-44）短气门芯二大类，一般适用于工业、农业机械、乘用车轿车胎、工程机械等轮胎，它与ISO7442—81(1号芯腔）配套使用。

b．大孔径特胎C2长芯、短芯，主要适用大型、重型工程机械车辆轮胎，以及特殊规格的轮胎。大孔径的气门嘴配套的C2气门芯，必须与ISO6762—82(2号芯腔）配套。

c．其它工业需要配套的气门芯，象“制冷”使用的耐氟气门芯，高温、高压、低温、低压以及自动控制系统使用的气门芯，航空使用的气门芯等。

4．气门芯的技术规范

（1）气门芯的各个部件必须严格按工艺文件技术要求进行生产、控制、检测，以保证组装时的质量，如芯杆与托座的组装必须牢固，能承受200kPa压力。旋转接头与芯体组装

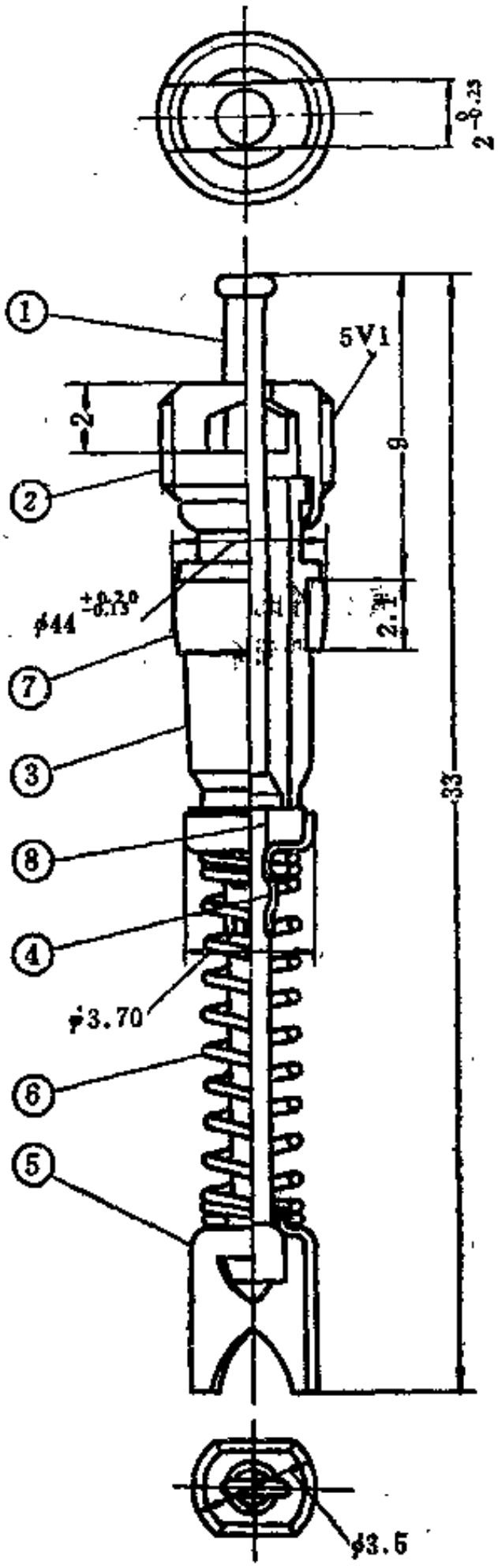



图 1-10-43 C1外弹簧长气门芯（与1号芯腔配套，单位：mm）

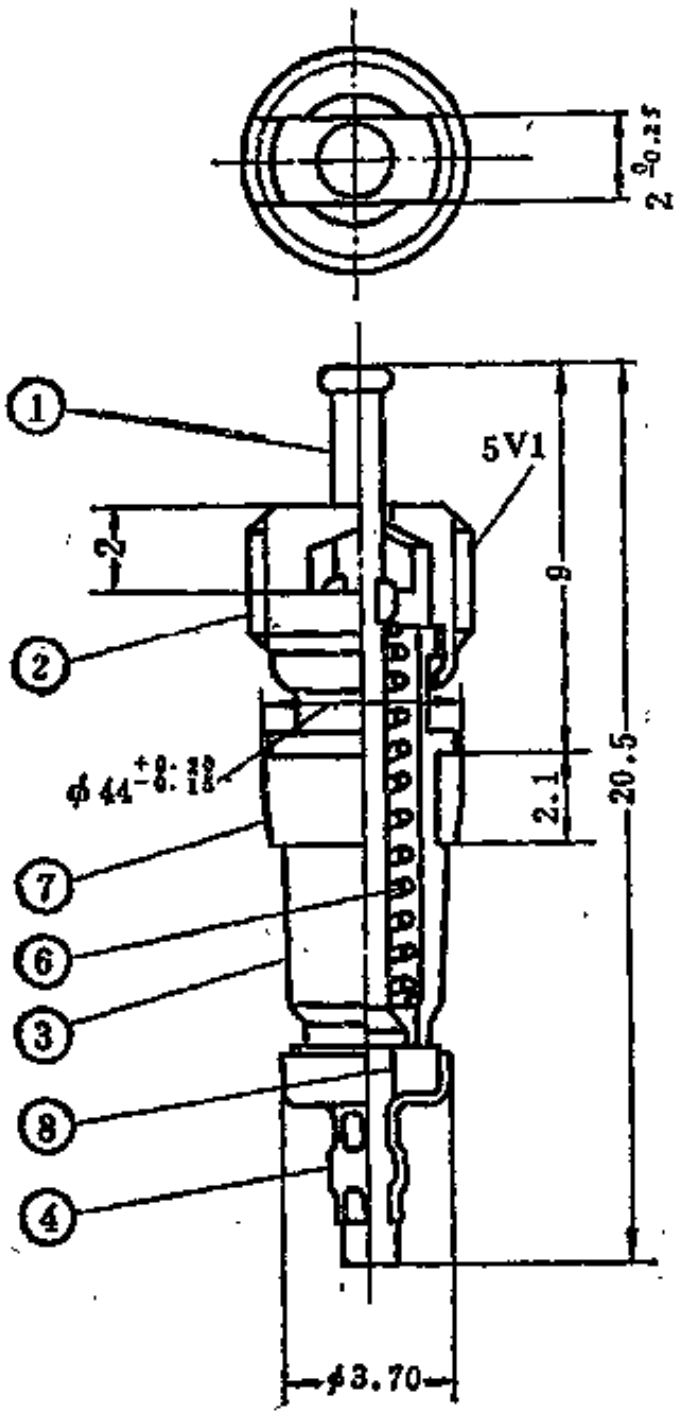



图 1-10-44 C1内弹簧短气门芯（与1号芯腔配套，单位：mm）

后，不仅要转动灵活，并要能承受200kPa压力，气门芯总装后，芯杆掀动时，不准有卡紧现象，弹簧指C1型所承受压力为25～60kPa(0.25～0.6kgf/cm²)。

（2）芯体密封圈的整个密封面必须完整，不准有任何目视外观缺陷和粘附有其它异物。金属零件芯体表面应光泽、无裂纹与毛刺，芯体圆柱体下端与托座密封垫接触密封线不准有任何缺陷和毛刺、刀印。密封垫完整清洁无其它异物，以免影响密封性能。

（3）气门芯与气门嘴的配合性和气密性均要按标准规范，随机取样检查。如检查气密性时，取标准气门嘴，将气门芯旋入气门嘴口部的标准位置上，将气门嘴口部浸入水中水平线下20mm深处，并通入49～1470 kPa（0.5～15 kgf/cm²）的气压，抓动芯杆2～3次，在2分钟内不得有气泡逸出。

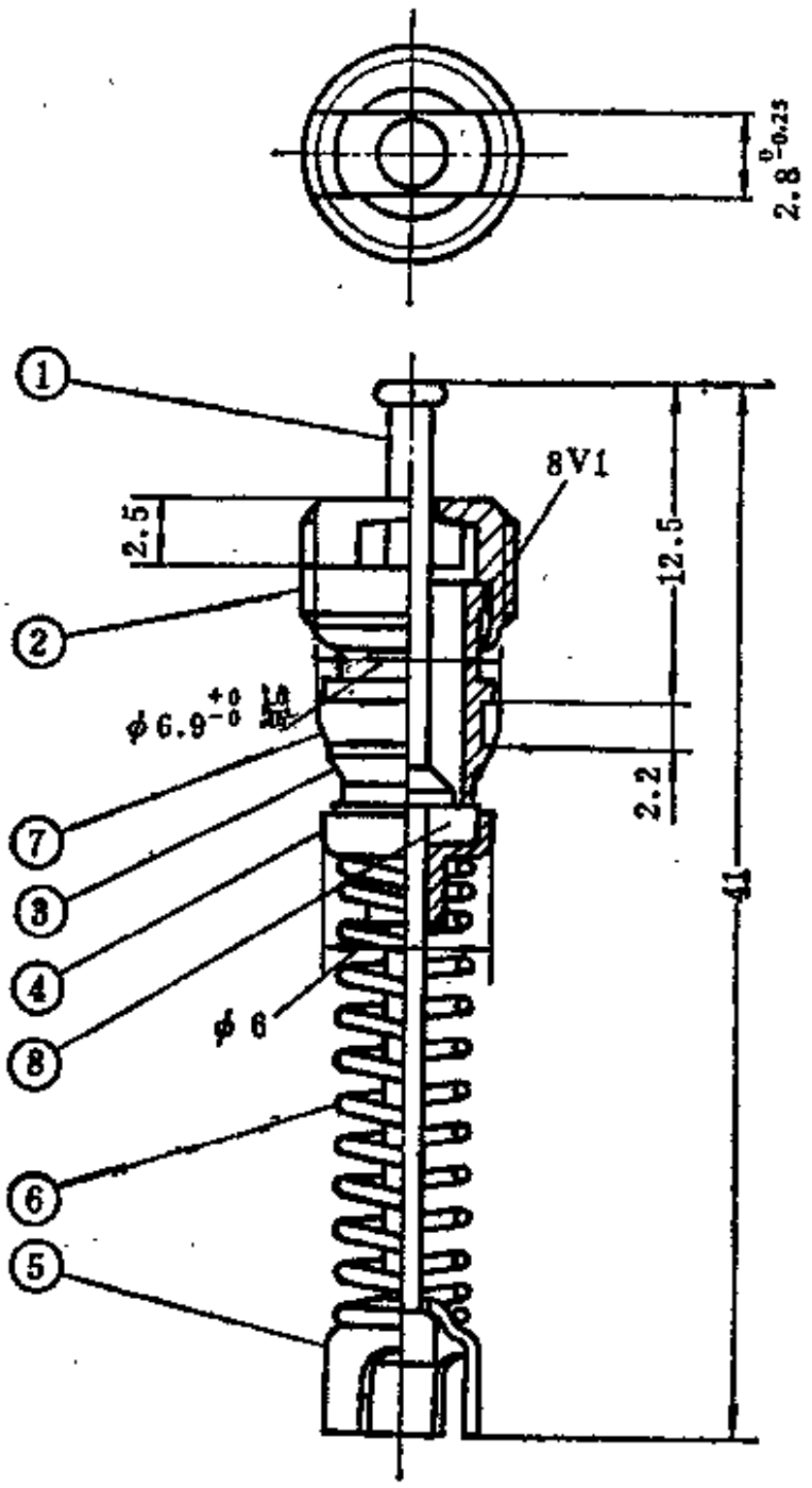



图 1-10-45 C2大孔径外弹簧长气门芯
（与2号芯型配套使用，单位：mm）

（4）高低温测定 将气门芯放入100±5℃烘箱内存放24小时，然后取出按第3条规定进行检测。再将气门芯存放在－40℃低温存放24小时，同样按第三条款方法执行。

（5）气门芯充气效率 通用气门芯C1每分钟的充气效率应至少达到0.1318m³，大孔径气门芯C2每分钟的充气效率应至少达到0.2267m³。

（6）气门芯承受扭矩力 由于气门芯各部件都比较细小和精密的，又是易损零件，在安装使用时，掌握装配方法非常重要。如安装气门芯时旋入气门嘴口部（因为螺纹配合公差关系）往往有滑爽通过的手感或者怕有慢漏气的心理状态，往往加力旋紧，或者使用工具不当，这样就使气门芯承受的扭矩过载产生损坏。气门芯承受扭矩规范为0.17 N·m～0.34 N·m之间。轮胎厂、汽车厂等批量安装气门芯时，应使用有气源的气螺刀进行装配，这样既可提高装配速度和质量，又可减少气门芯的损坏。因为气螺刀的扭矩是恒定的，过载后气螺刀会

表 1-10-17 轮胎气门芯零部件材料技术规范

| 部件名称 | 材料名称 | 部件名称 | 材料名称 |
|---|---|---|---|
| 芯杆 | Hpb59—1、H62黄铜线材 | 弹簧托座 | Hpb59—1黄铜线材 H68黄铜带 |
| 旋转接头 | H62黄铜线材 | 弹簧 | QSn6.5—0.1锡青铜线、不锈钢丝 |
| 芯体 | Hpb59—1黄铜线材 | 芯体密封圈 | NBR〈丁腈橡胶〉、PTFE〈聚四氟乙烯〉 |
| 芯杆托座 | Hpb59—1黄铜线材 | 托座密封圈 | NBR丁腈橡胶，EPDM〈三元乙丙橡胶〉、氟硅橡胶 |

自动打滑停止工作。而手工旋紧的工具扭矩往往用力过重，大于气门芯承受的扭矩力，气门芯容易损坏。

## 第八节　轮胎气门嘴主要工艺流程

力车胎和轮胎气门嘴金属底座主体的工艺流程见图1-10-46和图1-10-47。

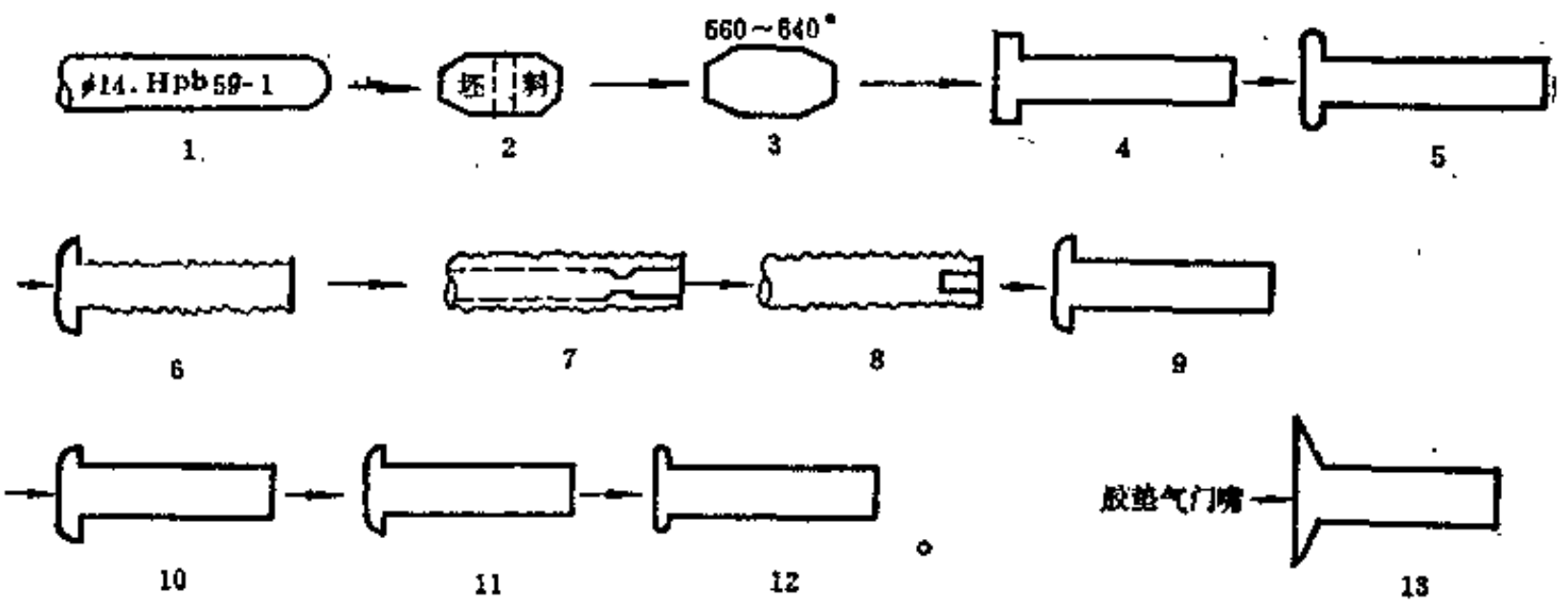



图 1-10-46　力车胎气门嘴金属底座主体的工艺流程

1—再生黄铜棒；2—自动车切断；3—电炉加热；4—温热挤压成型；5—加工底座；6—加工8V1螺纹；7—芯腔加工；8—侧面铣槽；9—清洗去油；10—电镀合金；11—外观检查；12—包装出厂；13—硫化胶垫

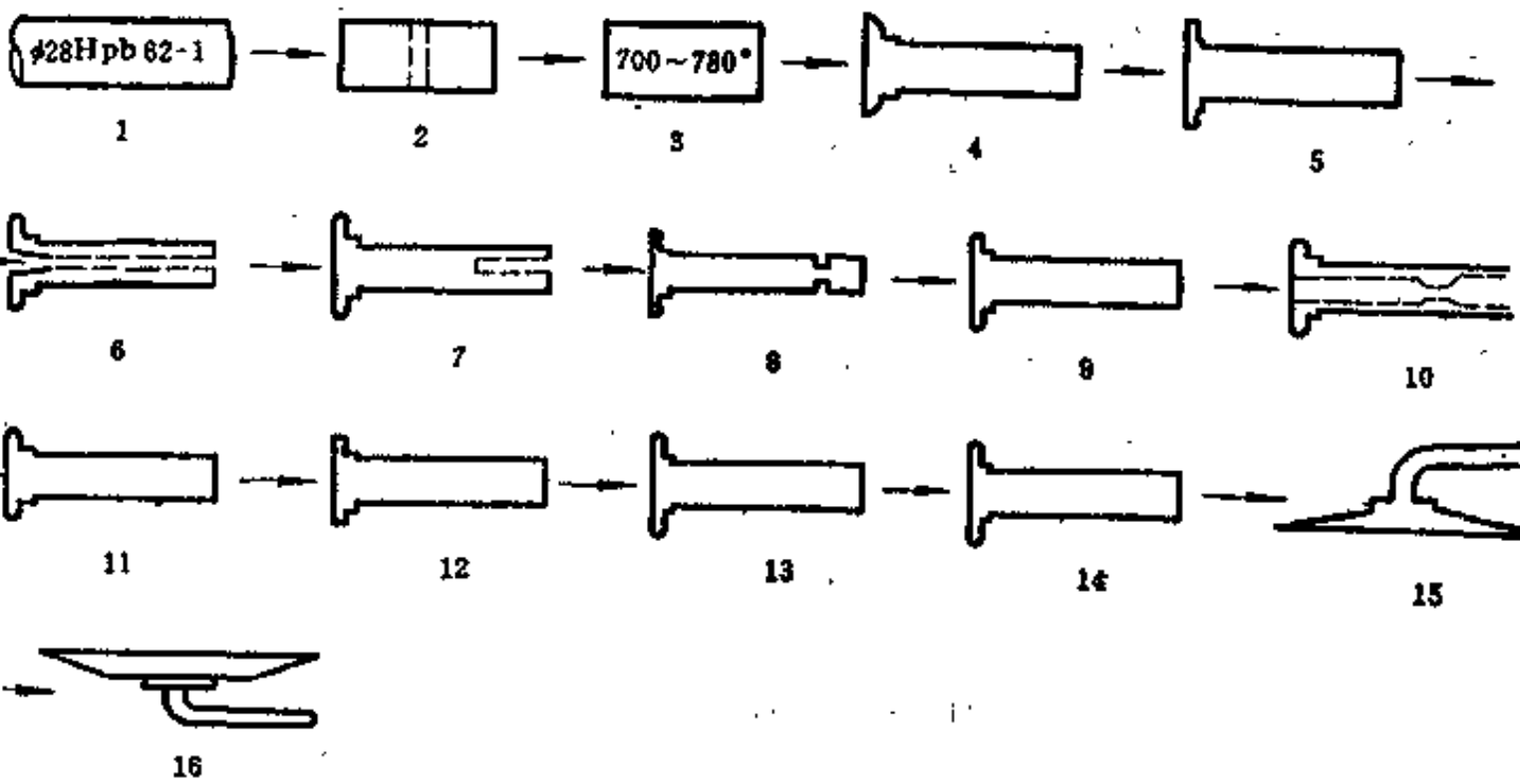



图 1-10-47　轮胎气门嘴金属底座主体的主要工艺流程

1—黄铜棒；2—切断钻孔；3—坯料加热；4—温热挤压成型；5—切削底盘；6—底座钻孔；7—嘴体扩孔；8—前部缩孔；9—12V1螺纹加工；10—芯腔加工；11—清洗去油；12—密气检漏；13—外观检查；14—酸洗；15—胶垫硫化；16—胶垫抛光后涂胶浆以及贴塑料薄膜

## 第九节　轮胎气门嘴胶垫硫化工艺

1．轮胎气门嘴的酸洗工艺

气门嘴在出厂前虽然经过清洗，但因存放运输等过程，气门嘴有可能不符合胶垫工艺要求，因此在胶垫硫化之前仍需要进行表面处理。目前国内一般采用高浓度硝硫混合酸处理气门嘴，也有个别使用碱洗工艺的。由于气门嘴和橡胶粘合的技术要求较高，必须严格执行酸洗工艺操作规程。

现将国内外有关黄铜气门嘴在胶垫硫化之前的酸洗工艺配方列于表1-10-18中。

表 1-10-18　气门嘴酸洗配方举例

| 材料 \ 编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| NaOH | | | | 18% | |
| $NaClO_2$ | | | | 8% | |
| $Na_3PO_4$ | 30g | | | 0.4% | |
| $FeCl_3$ 42% | | | | | 18～20% |
| $HNO_3$ | | 240ml | 400ml | | 30～35% |
| $H_2SO_4$ | | 120ml | 300ml | | |
| $H_2O$ | 1000ml | 400ml | 800ml | 74% | 200% |
| $Na_2CO_3$ | 30g | | | | |
| 温度，℃ | 95～100 | 室温 | 室温 | 90～100 | 20～45 |
| 时间 | 20min | 2～4s | 2～4s | 10～15min | 5～10min |
| 水洗，℃ | 60 | 30～40 | 30～40 | 水洗 | 30～40 |
| | 30～40 | | | | |
| 干燥 | 热风 | 70℃热风 | 80℃热风 | 热风 | 热风 |

2．气门嘴胶垫硫化之前表面处理程序

（1）碱液处理时将一定数量的气门嘴盛入不锈钢容器内，再将不锈钢容器浸入碱液槽（100℃）内煮20分钟左右，取出放冷水漂洗，再放入60℃水中漂洗后放入30～40℃温水中漂洗后置于离心机甩干后，放入70±℃烘箱中烘1小时，待胶垫硫化时备用，但必须每班用完。

（2）浓硝硫混合酸处理时，先将已配合好的混合浓酸置入不锈钢容器内，将少量气门嘴只处理与橡胶硫化的部分，其它管式气门嘴只好全部浸入酸液中处理3～4秒、立即将气门嘴放入50～60℃温水中漂洗，第二次再用30～40℃温水漂洗后放入离心机甩干，置于70±5℃烘箱中一小时即可使用。

（3）其它稀酸或用三氯化铁和次氯酸钠等处理方法可按表1-10-18中 的4号 和5号配方方法进行处理，其后期老化性能较好。

（4）胶垫硫化胶配方，目前国内的汽车内胎基本采用丁基橡胶尚有少量的天然橡胶内胎，推荐使用胶垫配方见表1-10-19。

3．气门嘴胶垫与内胎的粘贴工艺

内胎与气门嘴胶垫底座打毛刷浆和贴合系内胎生产中很重要的工艺之一，其工艺管理和质量控制都必须有严格的规范要求，据此推荐工艺规范如下。

（1）选择胶浆溶剂蒸馏温度应在100～140℃范围之内，蒸发潜热在 355.64J/kg以下的

表 1-10-19 胶垫胶配方举例

单位：mm

| 配 合 剂 | 天然橡胶 | 丁基橡胶 | 配 合 剂 | 天然橡胶 | 丁基橡胶 |
|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 100 | — | 粘合剂RH | | 3.2 |
| 丁基橡胶 | — | 100 | 松焦油 | 2.5 | |
| 硫黄 | 3.5 | 1.5 | 操作油 | | 5～10 |
| 氧化锌 | 40 | 15～20 | 促进剂TMTD | | 1 |
| 白炭黑 | | 15 | 促进剂ZDC | | 1 |
| 硬脂酸 | 2.5 | — | 促进剂M | 0.45 | |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 20 | 25 | 防老剂4010 | 1 | |
| 氧化铁 | 5 | | 合计 | 194.95 | 191.70～201.7 |
| 半补强炉黑(SRF) | 20 | 25 | | | |

溶剂。

（2）胶浆的涂刷量应控制在3～4mg/cm²，但丁基橡胶内胎涂刷量一般为6～8mg/cm²，涂刷量适当增加可提高粘着性，但太多反而有害。

（3）胶垫胶浆的增粘剂添加量一般为3%较好，但添加量增加到5%以上，其胶粘剂的粘着效率反而要降低。

（4）气门嘴胶垫与内胎贴合压力，天然橡胶胶垫应在245kPa(2.5kgf/cm²)以上，丁基橡胶胶垫与内胎贴合时其压力应在190～290kPa(2～3kgf/cm²)之间，压着面积应在胶垫边缘周围5～10mm为佳，但必须注意防止带进滑石粉。

4．隔离剂的使用

内胎压出成型时，一般都采用滑石粉来做隔离剂，内胎硫化后在装配气门芯时，特别是美式自行车气门嘴、气门芯的密封圈和托座的密封垫都会附有滑石粉。如美式自行车气门嘴在内胎抽真空包装时，就特别会产生慢漏气。汽车轮胎内胎由于胎腔容积较大，很难避免滑石粉，不能保证密封性能。为了消除上述情况，应采用325目的滑石粉，即粒径较细的滑石粉，并在内胎压出时，控制滑石粉用量。

5．气门嘴胶垫的存放

气门嘴胶垫在硫化之后，应根据生产先后分批妥善存放，要及时贴合在内胎上，国内目前的胶垫存放周期只为3～6个月，国外可达一年以上。

6．胶垫气门嘴底座接着力技术要求

（1）力车轮胎胶垫底座粘附扯离强度必须符合表1-10-20规定。

表 1-10-20 胶垫底座粘附扯离强度

| 型 号 | 附着力,MPa(kgf/cm²) | 表面剥离状态 |
|---|---|---|
| VER（英） | 1.2～1.5MPa(12～15kgf/cm²) | 气门嘴漏铜在40%以下 |
| VAR（美） | 0.8～1.0MPa(8～10kgf/cm²) | |

（2）测试方法　试样硫化条件为0.6±0.2MPa(6±2kgf/cm²)15分钟，试样取出后放入老化箱内180℃20分钟，取出后常温常湿停放1小时后，参照图1-10-48对胶垫进行切割，然后用标准夹具进行剥离试验，其剥离速度为1分钟500±25mm，取其最大负荷值求




图 1-10-48　胶垫测试切割线

得粘附扯离强度，表面剥离状态气门嘴主体漏铜在40%以下，以目视检查。

7．轮胎胶垫气门嘴胶垫底座粘附扯离强度

（1）管状包胶型胶垫气门嘴粘附扯离强度必须符合表1-10-21规定。

（2）金属底座胶垫气门嘴粘附扯离强度应符合表1-10-22的规定。

8．胶垫耐臭氧性能

胶垫气门嘴的胶垫伸长率应在20%以上，将胶垫气门嘴放在臭氧浓度为50pphm(40℃)的臭氧槽内停放90分钟后取出，以五倍放大镜检查胶垫龟裂程度。

表 1-10-21　胶垫底座粘附扯离强度

| 型　号 | 试验方法 | 粘附扯离强度MPa(kgf/cm²) | 表面剥离状态 |
|---|---|---|---|
| TR13.15 | 剥离 | 1.5MPa(15kgf/cm²) | 气门嘴主体漏铜在40%以下 |
| TR13.15 | 拔出 | 3.4MPa(35kgf/cm²) | |

表 1-10-22　金属底座气门嘴胶垫粘附扯离强度

| 型　号 | 试验方法 | 粘附扯离强度MPa(kgf/cm²) | 表面剥离状态 |
|---|---|---|---|
| TR4、6、11 | 剥离 | 1.5MPa(15kgf/cm²) | 气门嘴底座漏铜应在40%以下 |
| TR75、78 | 剥离 | 2.0MPa(20kgf/cm²) | |
| TR175～179 | 剥离 | 2.0MPa(20kgf/cm²) | |
| SP4000 | 剥离 | 3.4MPa(35kgf/cm²) | |

## 第十节　轮胎气门嘴配件、垫片、橡胶密封圈、六角螺母、密封帽和气门嘴螺纹的规定

1．内胎气门嘴垫片

内胎气门嘴的垫片分桥形和圆形二类，其技术要求见图1-10-49和表1-10-23的规定。

2．气门嘴橡胶密封圈

橡胶垫圈和密封圈的材料为用丁腈橡胶或合成树脂，其技术要求应符合图1-10-50和表1-10-24的规定。

3．气门嘴六角螺母

六角螺母的材料为HPb59-1黄铜棒，其规格系列必须符合图1-10-51和表1-10-25的规定。

4．气门嘴密封帽

图1-10-50为大孔径气门嘴密封帽，材料系HPb59—1黄铜棒，技术要求见图1-10-52，图中A型密封垫与图1-10-8中的103术语密封垫配套。

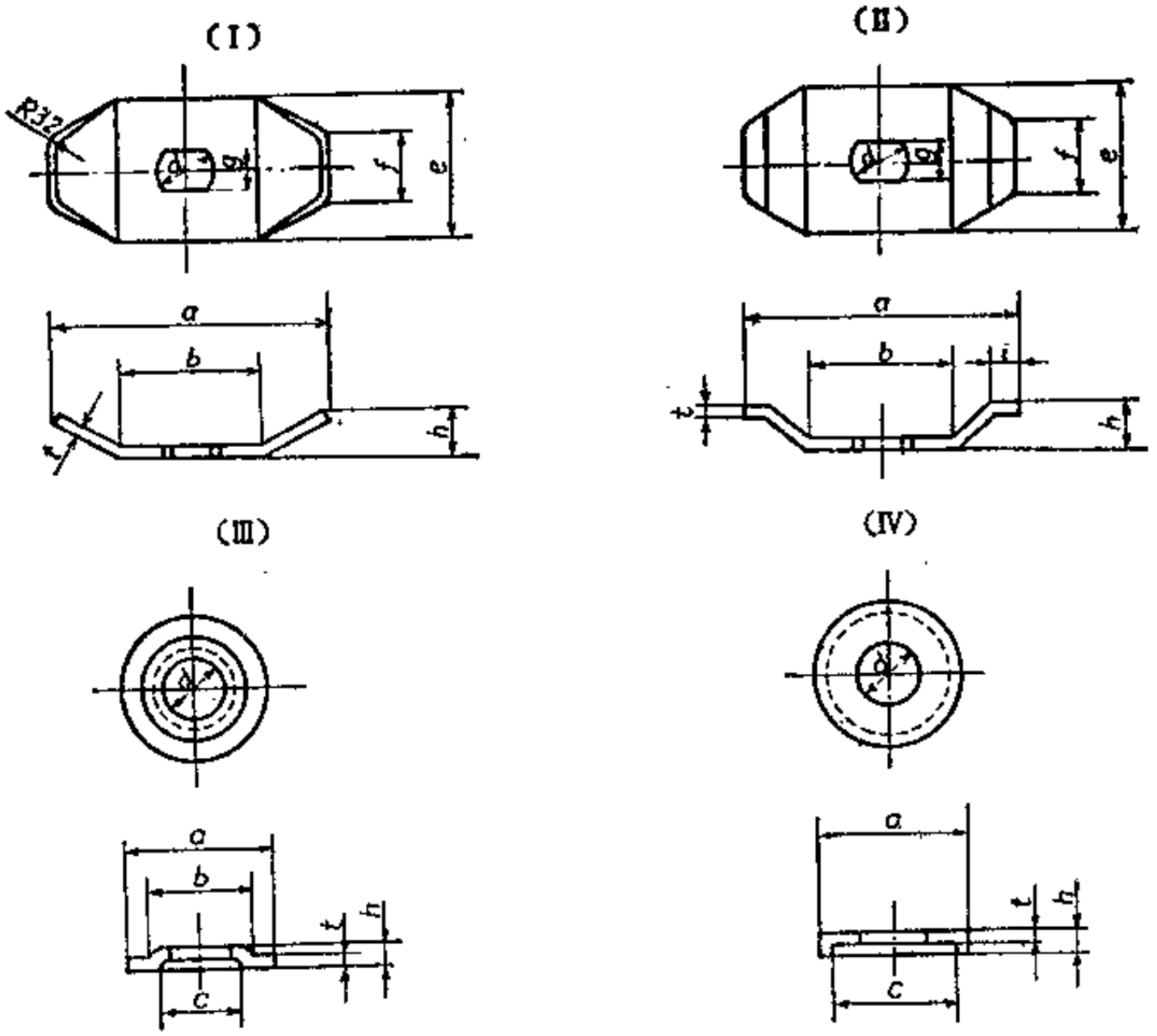



图 1-10-49 桥形和圆形垫片

表 1-10-23 垫片技术数据系列

单位，mm

| 形状 | 尺寸代号 | | | | | | | | | | 适用气门嘴 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *a* | *b* | *c* | *d* | *e* | *f* | *g*±*e* | *h* | *i* | *t* | |
| Ⅰ | 48 | 28 | — | 12.4 | 24 | 9.5 | 10.7 | 9.5 | — | 1.6 | TR75,TR75A,TR76A,SI |
| Ⅰ | 54 | 32 | — | 12.4 | 28.4 | 14.5 | 10.7 | 9.5 | — | 1.6 | TR77A,TR175A,TR177A,TR177B |
| Ⅰ | 57 | 35 | — | 12.4 | 33 | 25 | 10.7 | 9.5 | — | 1.6 | TR78 |
| Ⅱ | 70 | 38 | — | 12.4 | 51 | 32 | 10.7 | 6.5 | 6.5 | 1.6 | TR179A,TR1014,TR1175(C) |
| Ⅲ | 16 | 13 | 12 | 8.1 | | | | 2.9 | — | 1.6 | TR6,S430 |
| Ⅲ | 18 | 15 | 12 | 8.1 | | | | 2.9 | — | 1.6 | TR102 |
| Ⅲ | 21 | 17 | 14 | 10.4 | | | | 2.9 | — | 1.6 | TR244,S2,TR101,TR11 |
| Ⅳ | 20.4 | — | 17.8 | 12.4 | | | | 1.6 | — | 0.8 | TR690 |
| Ⅳ | 20 | — | 16 | 10.4 | | | | 3.2 | — | 1.6 | TR570 |
| Ⅲ | 23 | 17.5 | — | 12.4 | | | | 3.2 | — | 1.9 | TR618 |

注：垫片用料为普通钢材，表面需要镀锌处理。

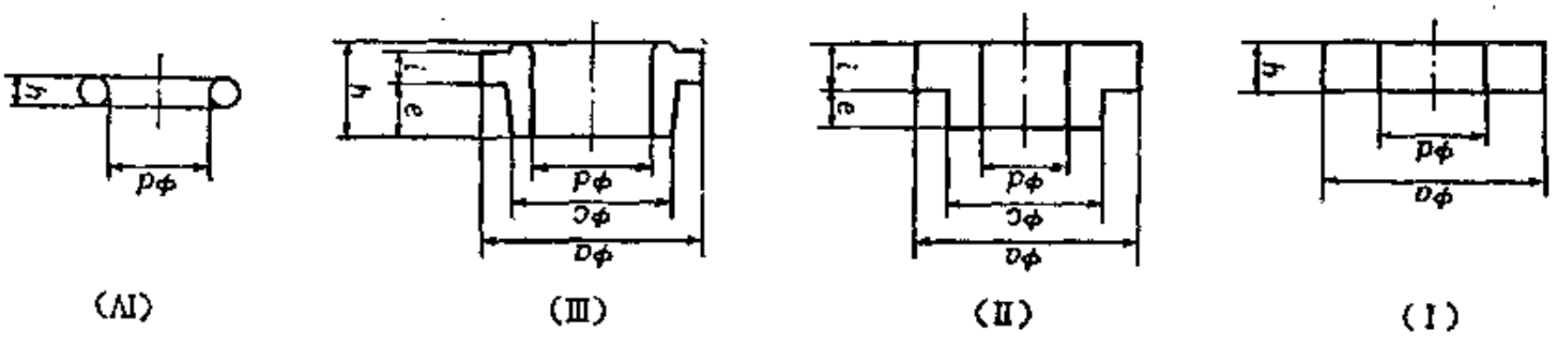
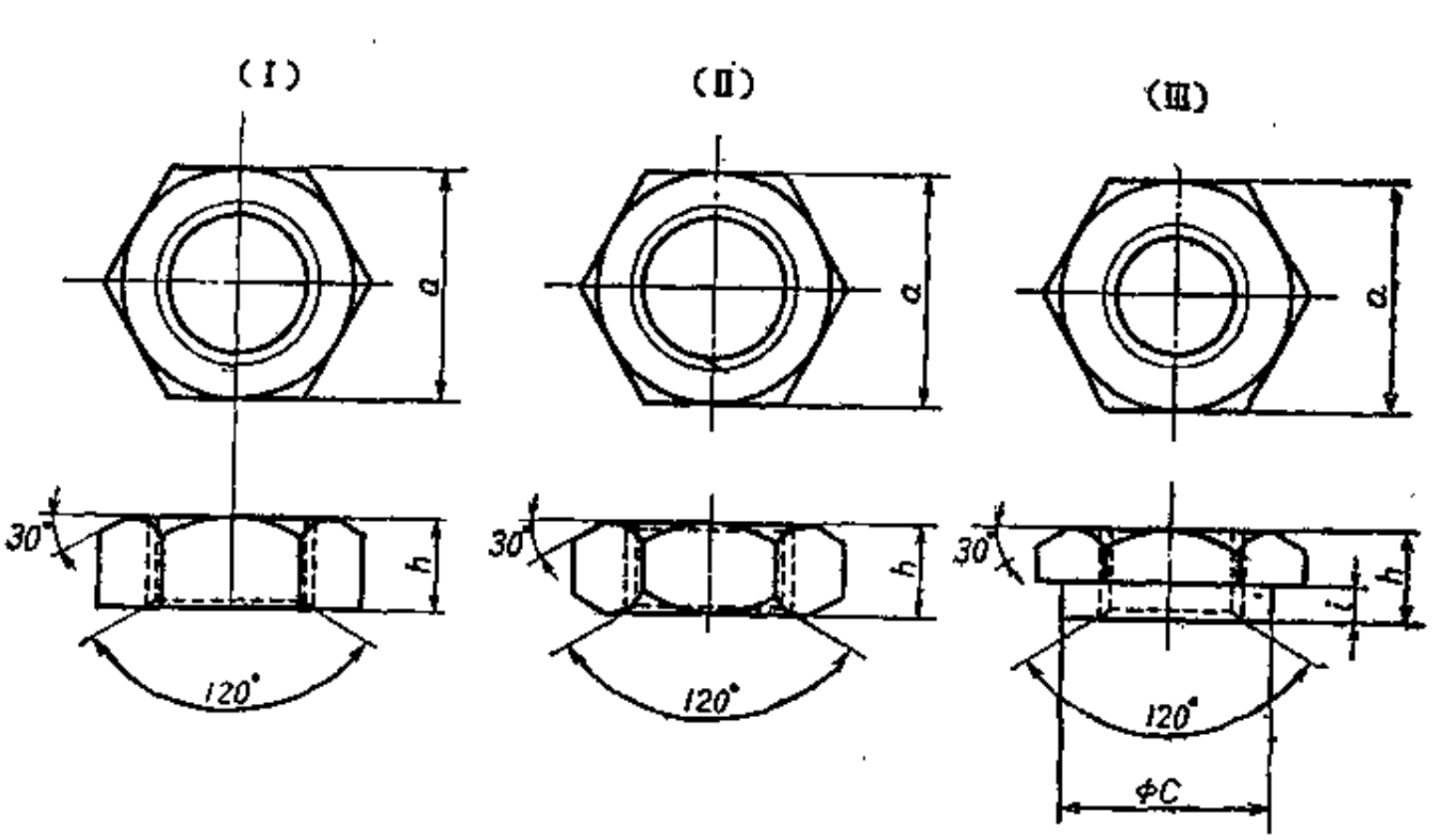



图 1-10-50 橡胶垫圈

表 1-10-24 橡胶垫圈和密封圈的尺寸

单位：mm

| 形 状 | 尺寸代号 | | | | | | 适用气门嘴 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *a* | *c* | *d* | *e* | *h* | *i* | |
| Ⅰ | 18.5 | — | 9 | — | 4.5 | | S101 |
| Ⅱ | 22 | 16 | 9 | 3 | — | 3 | S101 |
| Ⅰ | 16 | — | 7 | — | 3.5 | | S102 |
| Ⅱ | 16 | 11.5 | 7 | 3 | — | 2.5 | S102 |
| Ⅱ | 16 | 12.7 | 7 | 3 | — | 2.5 | S102 |
| Ⅱ | 22 | 16 | 12 | 5.5 | — | 3.2 | TR618A |
| Ⅲ | 19 | 15 | 10 | 9.6 | 13 | 2.4 | TR570 |
| Ⅱ | 25.4 | 20.6 | 17.1 | 2.4 | — | 2.4 | TR690,TR508 |
| Ⅱ | 25.4 | 20.6 | 17.1 | 4.1 | — | 2.4 | TR650,TR670 |
| Ⅲ | 28.5 | 20 | 15.3 | 2.7 | — | 2.5 | TR508A |
| Ⅰ | 14 | 10 | 7 | 1 | — | 4 | S430 |
| Ⅳ | | | 4.5 | | 1.8 | | CH3 TR508 |
| | | | 6.1 | | 1.8 | | TR650 TR670 |



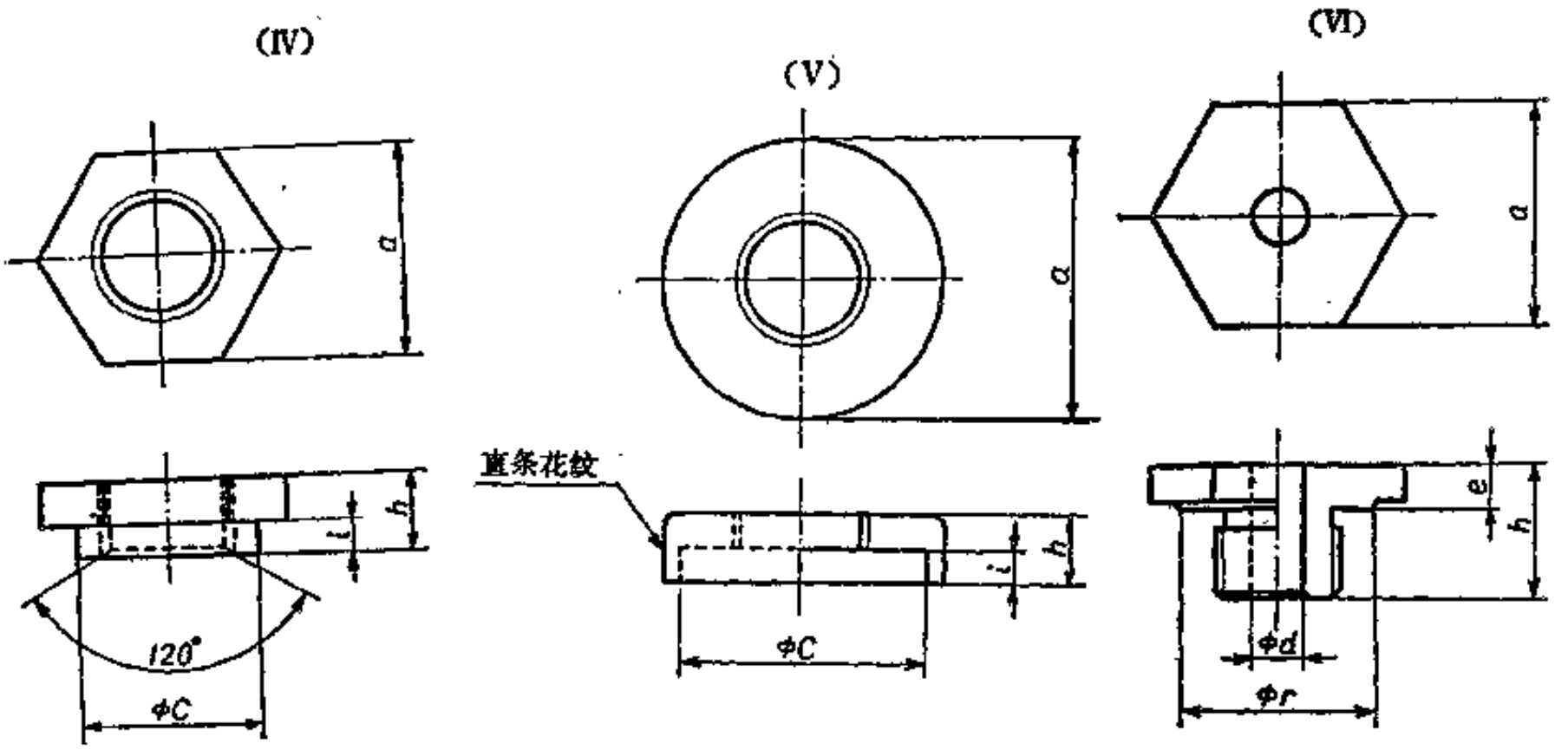



图 1-10-51　六角螺母

表 1-10-25　六角螺母尺寸

单位：mm

| 形状 | 螺纹 | 尺寸代号 | | | | | | | 适用气门嘴 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *a* | *c* | *d* | *e* | *h* | *i* | *r* | |
| Ⅱ | $8V_1$ | 12 | — | — | — | 4 | | | TR6,S102,S430 |
| Ⅱ | $10V_1$ | 14 | — | — | — | 4.8 | | | TR11,TR244,S2,S101 |
| Ⅱ | $12V_1$ | 16 | — | — | — | 4.8 | | | TR75,75A,76A,77A, 78A, 175A, 177A, 179A,177B,S179A,S1,TR618A |
| Ⅰ | $10V_1$ | 14 | — | — | — | 7.9 | | | TR570 |
| Ⅵ | $\frac{7}{16}$—20 VIVF | 24 | 20.2 | 5.5 | 4.6 | 14.2 | — | 20.4 | TR690 |
| Ⅳ | $17V_1$ | 24 | 20.2 | — | | 6.4 | 3.2 | — | TR508 |
| Ⅳ | $17V_1$ | 24 | 20.4 | — | | 6.6 | 1.7 | — | TR650 TR670 |
| Ⅲ | $16V_1$ | 25 | 20.4 | — | | 4.6 | 1.2 | — | TR508A |
| Ⅴ | $12V_1$ | 19 | 17 | — | | 6.2 | 2.8 | — | TR218,TR220A |

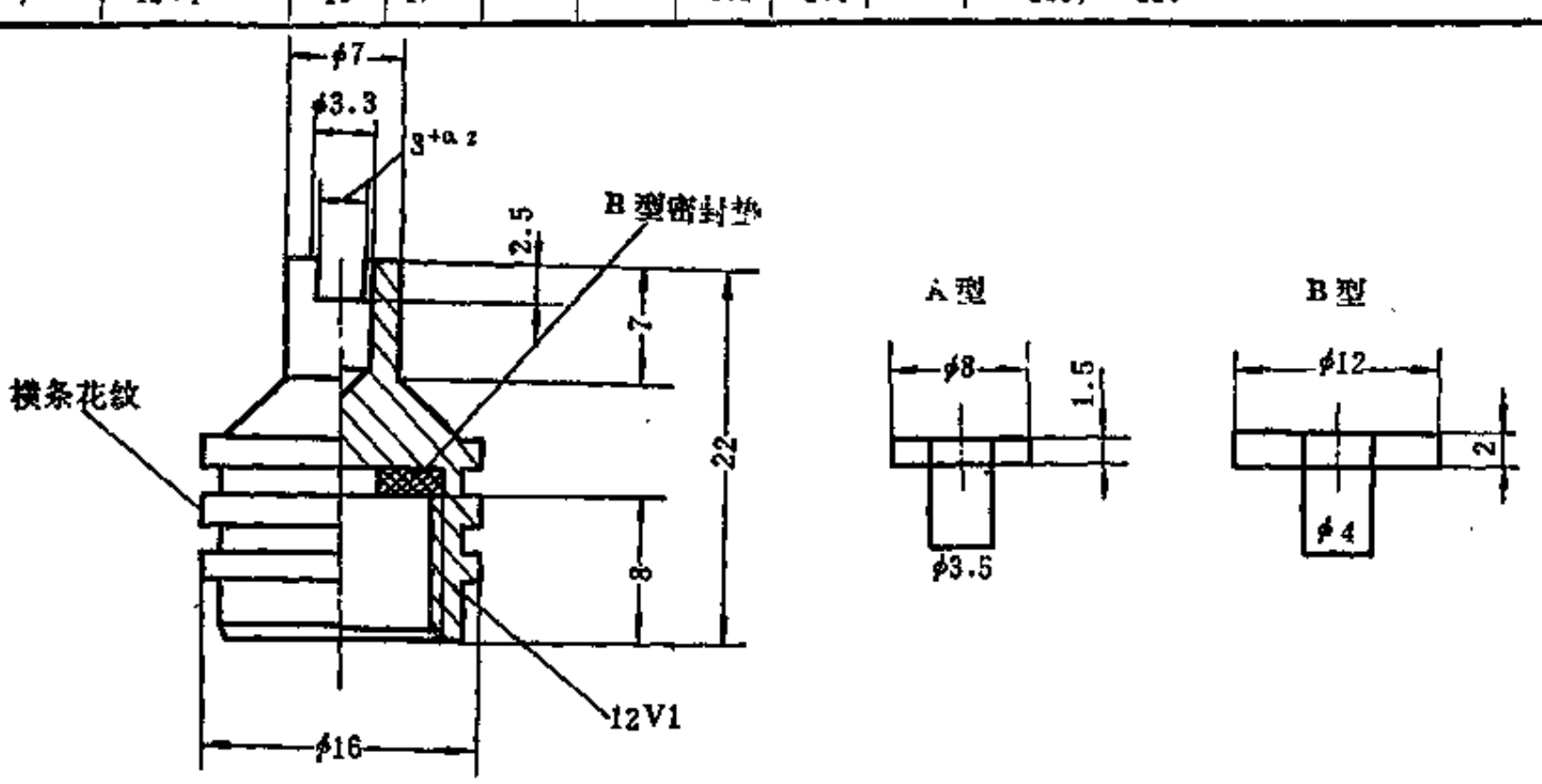



图 1-10-52　大孔径密封帽（单位：mm）

5. 气门嘴螺纹

轮胎气门嘴螺纹的技术规范应符合(GB3900—83) 和ISO4570/1-3的规定（见图1-10-53和表1-10-26)。

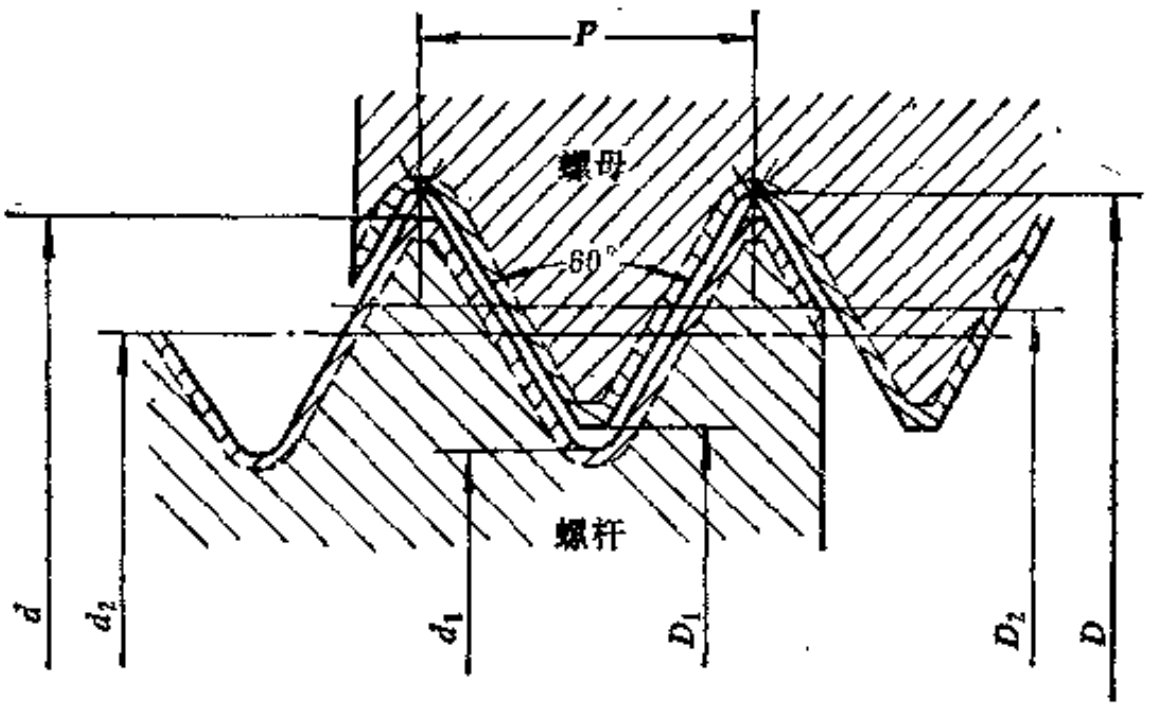



图 1-10-53 气门嘴螺纹示意

表 1-10-26 气门嘴螺纹尺寸

单位：mm

| 名称 | 公称尺寸 直径×距离 $d\times P$ | 外螺纹 | | | | | | | 内螺纹 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 最大直径 $d$ | | | 中径 $d_2$ | | | 最小直径$d_1$ | 最小直径$D$ | 中径 $D_2$ | | | 最大直径 $D_1$ | | |
| | | 最大 | 公差 $Td$ | 最小 | 最大 | 公差 $Td_2$ | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 公差 $TD_2$ | 最小 | 最大 | 公差 $TD_1$ | 最小 |
| $5V_1$ | 5.2×0.705 | 5.232 | 0.203 | 5.029 | 4.775 | 0.101 | 4.674 | 4.496 | 5.334 | 5.004 | 0.135 | 4.869 | 4.801 | 0.204 | 4.597 |
| $5V_2$ | 5.2×1.058 | 5.220 | 0.180 | 5.040 | 4.705 | 0.150 | 4.555 | 4.200 | 5.370 | 4.865 | 0.105 | 4.760 | 4.600 | 0.200 | 4.400 |
| $8V_1$ | 7.7×0.794 | 7.747 | 0.203 | 7.544 | 7.239 | 0.159 | 7.080 | 6.090 | 7.798 | 7.468 | 0.184 | 7.284 | 7.239 | 0.203 | 7.036 |
| $9V_1$ | 9.4×0.794 | 9.423 | 0.152 | 9.271 | 8.981 | 0.129 | 8.852 | 8.527 | 9.525 | 9.121 | 0.111 | 9.010 | 8.865 | 0.204 | 8.661 |
| $12V_1$ | 12.2×0.977 | 12.243 | 0.213 | 12.030 | 11.614 | 0.159 | 11.455 | 10.990 | 12.319 | 11.794 | 0.125 | 11.669 | 11.379 | 0.203 | 11.176 |
| $13V_1$ | 12.6×1.270 | 12.667 | 0.206 | 12.461 | 11.841 | 0.109 | 11.732 | 11.110 | 12.700 | 12.017 | 0.142 | 11.875 | 11.608 | 0.280 | 11.328 |
| $13V_2$ | 12.7×0.794 | 12.674 | 0.151 | 12.523 | 12.519 | 0.089 | 12.070 | 11.701 | 12.700 | 12.298 | 0.113 | 12.185 | 12.039 | 0.202 | 11.837 |
| $17V_2$ | 17.5×1.058 | 17.432 | 0.182 | 17.250 | 16.743 | 0.100 | 16.643 | 16.134 | 17.463 | 16.906 | 0.131 | 16.775 | 16.560 | 0.253 | 16.307 |
| $17V_4$ | 17.5×1.588 | 17.426 | 0.237 | 17.189 | 16.395 | 0.121 | 16.274 | 15.478 | 17.463 | 16.588 | 0.156 | 16.432 | 16.103 | 0.355 | 15.748 |

# 第十一章　子午线轮胎设计的特点

## 第一节　子午线轮胎的基本参数

从法国米西林公司（MICHELIN）轮胎手册和欧洲“ETRTO”以及美国“TRA”年鉴可看出，子午线轮胎的充气外缘尺寸及其载荷标准皆与斜交结构轮胎相同，唯有充气压力标准稍高，小型轮胎为29kPa(0.3kgf/cm²)，中等规格轮胎为49kPa(0.5kgf/cm²)，大型轮胎为69kPa(0.7kgf/cm²)。因为子午线轮胎胎面耐磨耗，花纹比较浅，则普通花纹的斜交轮胎和子午线轮胎的断面宽和外直径方面子午线轮胎要比斜交结构为小。子午线轮胎与斜交轮胎的基本参数差异对比见表1-11-1所列。

表 1-11-1　斜交与子午线轮胎参数差异举例

| 轮胎规格代号 | 轮辋型号 | 充气断面宽 mm | 充气外直径，mm | | | | | | 标准负荷 kN | | 相应气压 kPa | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 普通花纹 | | 加深花纹 | | 越野花纹 | | | | | |
| | | | 斜交 | 子午 | 斜交 | 子午 | 斜交 | 子午 | 斜交 | 子午 | 斜交 | 子午 |
| 8.20R20 12P.R. | 6.5 | 236 | 974 | 974 | 982 | 980 | 992 | 986 | 17.55 | 17.55 | 620 | 655 |
| 9.00R20 14P.R. | 7.0 | 269 | 1019 | 1019 | 1031 | 1024 | 1038 | 1030 | 22.00 | 22.00 | 685 | 725 |
| 10.00R20 16P.R. | 7.5 | 278 | 1054 | 1054 | 1067 | 1059 | 1073 | 1065 | 25.80 | 25.80 | 725 | 760 |

除国标外，我们列出有关国外子午线轮胎基本参数，表1-11-2～表1-11-5和图1-11-1、图1-11-2为初步的“ISO”轮胎标准，表1-11-6为MICHELIN载重子午线轮胎参数。表1-11-7为“ETRTO”轿车子午线轮胎标准。表1-11-8为“TRA”载重子午线轮胎设计数据。

表 1-11-2　装在5°斜底轮辋上的载重轮胎设计尺寸

| 名义断面宽 mm | 轮辋宽度代号 | 新胎断面宽 mm | 不同扁平率下新胎断面高度，mm | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 100% | 95% | 90% | 85% | 80% | 75% | 70% |
| 125 | 3.50 | 126 | 125 | 119 | 113 | 106 | 100 | 94 | 88 |
| 135 | 3.50 | 133 | 135 | 128 | 122 | 115 | 108 | 101 | 95 |
| 145 | 4.00 | 145 | 145 | 138 | 131 | 123 | 116 | 109 | 102 |
| 155 | 4.50 | 157 | 155 | 147 | 140 | 132 | 124 | 116 | 109 |
| 165 | 4.50 | 165 | 166 | 157 | 149 | 140 | 132 | 124 | 116 |
| 175 | 5.00 | 177 | 175 | 166 | 158 | 149 | 140 | 131 | 123 |
| 185 | 5.00 | 184 | 185 | 176 | 167 | 157 | 148 | 139 | 130 |
| 195 | 5.50 | 196 | 195 | 185 | 176 | 166 | 156 | 146 | 137 |
| 205 | 5.50 | 203 | 205 | 195 | 185 | 174 | 164 | 154 | 144 |
| 215 | 6.00 | 216 | 215 | 204 | 194 | 183 | 172 | 161 | 151 |
| 225 | 6.00 | 223 | 225 | 214 | 203 | 191 | 180 | 169 | 158 |
| 235 | 6.50 | 235 | 235 | 223 | 212 | 200 | 188 | 176 | 165 |
| 245 | 7.00 | 248 | 245 | 233 | 221 | 208 | 196 | 184 | 172 |

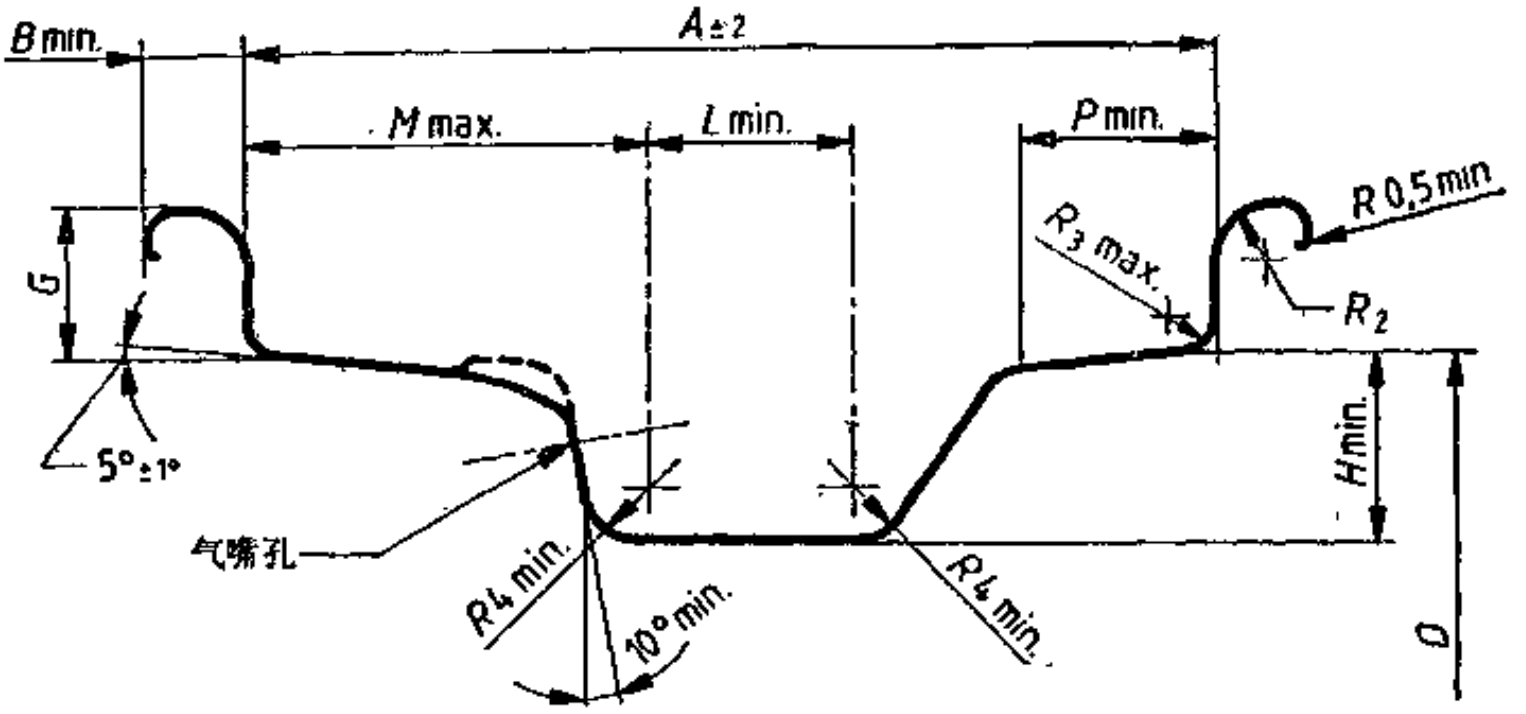



图 1-11-1 5°斜底轮辋轮廓尺寸图

表 1-11-3 5°斜底轮辋尺寸 单位：mm

| 轮辋规格标志 | A ±2.0 | B min | G | P min | H min | L min | M max | $R_2$ | $R_3$ max |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12×3.50B<br>13×3.50B | 89.0 | 10.0 | 14.4<br>±0.8 | 15.0 | 16.5 | 19 | 34.0 | 7.5 | 4.5 |
| 12×4.00B<br>13×4.00B | 101.5 | | | | | | | | |
| 12×4.50B<br>13×4.50B | 114.5 | | | | | | | | |
| 12×5.00B<br>13×5.00B | 127.0 | | | | | | | | |
| 12×5.50B<br>13×5.50B | 140.0 | | | 19.8 | | 22.0 | 45.0 | | |
| 12×6.00B<br>13×6.00B | 152.5 | | | | | | | | |
| 13×6.50B<br>13×7.00B<br>13×8.00B | 165.0<br>178.0<br>203.0 | | | | | | | | |
| 14×3 1/2 J<br>15×3 1/2 J | 89.0 | | | 15.7 | | 19.0 | 34.0 | | |
| 14×4 J<br>15×4 J<br>16×4 J | 101.5 | | | | | | | | |
| 14×4 1/2 J<br>15×4 1/2 J<br>16×4 1/2 J | 114.5 | | | | | | | | |
| 14×5 J<br>15×5 J<br>16×5 J | 127.0 | | | | | | | | |
| 14×5 1/2 J<br>15×5 1/2 J<br>16×5 1/2 J | 140.0 | | | | | | | | |

续表

| 轮辋规格标志 | *A* ±2.0 | *B* min | *G* | *P* min | *H* min | *L* min | *M* max | $R_2$ | $R_3$ max |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14×6 J<br>15×6 J<br>16×6 J | 152.5 | 10.9 | 17.8<br>±0.9 | | 17.3 | | | 9.0 | 6.5 |
| 14×6 1/2 J<br>15×6 1/2 J<br>16×6 1/2 J | 165.0 | | | 19.8 | | 22.0 | 45.0 | | |
| 14×7 J<br>15×7 J<br>16×7 J | 178.0 | 10.9 | 17.8<br>±0.9 | 19.8 | 17.3 | 22.0 | 45.0 | 9.0 | 6.5 |
| 14×8 J<br>15×8 J<br>16×8 J | 203.0 | | | | | | | | |
| 14×9 J<br>15×9 J<br>16×9 J | 228.5 | | | | | | | | |
| 14×10 J<br>15×10 J<br>16×10 J | 254.0 | | | | | | | | |

## 表 1-11-4 装在15°斜底轮辋上的载重无内胎轮胎

| 名义断面宽度 mm | 名义轮辋宽度代号 | 新胎设计尺寸，mm | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 断面宽度 | 不同扁平率下的断面高度 | | | | | |
| | | | 90% | 85% | 80% | 75% | 70% | 65% |
| 175 | 6.25 | 176 | 158 | 149 | 140 | 131 | 123 | 114 |
| 185 | 5.25 | 183 | 167 | 157 | 148 | 139 | 130 | 120 |
| 195 | 6.00 | 197 | 176 | 166 | 156 | 146 | 137 | 127 |
| 205 | 6.00 | 204 | 185 | 174 | 164 | 154 | 144 | 133 |
| 215 | 6.00 | 211 | 194 | 183 | 172 | 161 | 151 | 140 |
| 225 | 6.75 | 226 | 203 | 191 | 180 | 169 | 158 | 146 |
| 235 | 6.75 | 233 | 212 | 200 | 188 | 176 | 165 | 153 |
| 245 | 7.50 | 248 | 221 | 208 | 196 | 184 | 172 | 159 |
| 255 | 7.50 | 255 | 230 | 217 | 204 | 191 | 179 | 166 |
| 265 | 7.50 | 262 | 239 | 225 | 212 | 199 | 186 | 172 |
| 275 | 8.25 | 276 | 248 | 234 | 220 | 206 | 193 | 179 |
| 285 | 8.25 | 283 | 257 | 242 | 228 | 214 | 200 | 185 |
| 295 | 9.00 | 298 | 266 | 251 | 236 | 221 | 207 | 192 |
| 305 | 9.00 | 305 | 275 | 259 | 244 | 229 | 214 | 198 |
| 315 | 9.00 | 312 | 284 | 268 | 252 | 236 | 221 | 205 |
| 325 | 9.75 | 327 | 293 | 276 | 260 | 244 | 228 | 211 |
| 335 | 9.75 | 334 | 302 | 285 | 268 | 251 | 235 | 218 |
| 345 | 10.50 | 348 | 311 | 293 | 276 | 259 | 242 | 224 |
| 355 | 10.50 | 355 | 320 | 302 | 284 | 266 | 249 | 231 |
| 365 | 10.50 | 362 | 329 | 310 | 292 | 274 | 256 | 237 |
| 375 | 10.50 | 369 | 338 | 319 | 300 | 281 | 263 | 244 |
| 385 | 11.75 | 389 | 347 | 327 | 308 | 289 | 270 | 250 |
| 395 | 11.75 | 396 | 356 | 336 | 316 | 296 | 277 | 257 |
| 405 | 11.75 | 403 | 365 | 344 | 324 | 304 | 284 | 263 |
| 415 | 12.25 | 415 | 374 | 353 | 332 | 311 | 291 | 270 |
| 425 | 12.25 | 422 | 383 | 361 | 340 | 319 | 298 | 276 |
| 435 | 13.00 | 437 | 392 | 370 | 348 | 326 | 305 | 283 |
| 445 | 13.00 | 446 | 401 | 378 | 356 | 334 | 312 | 289 |
| 455 | 13.00 | 461 | 410 | 387 | 364 | 341 | 319 | 296 |

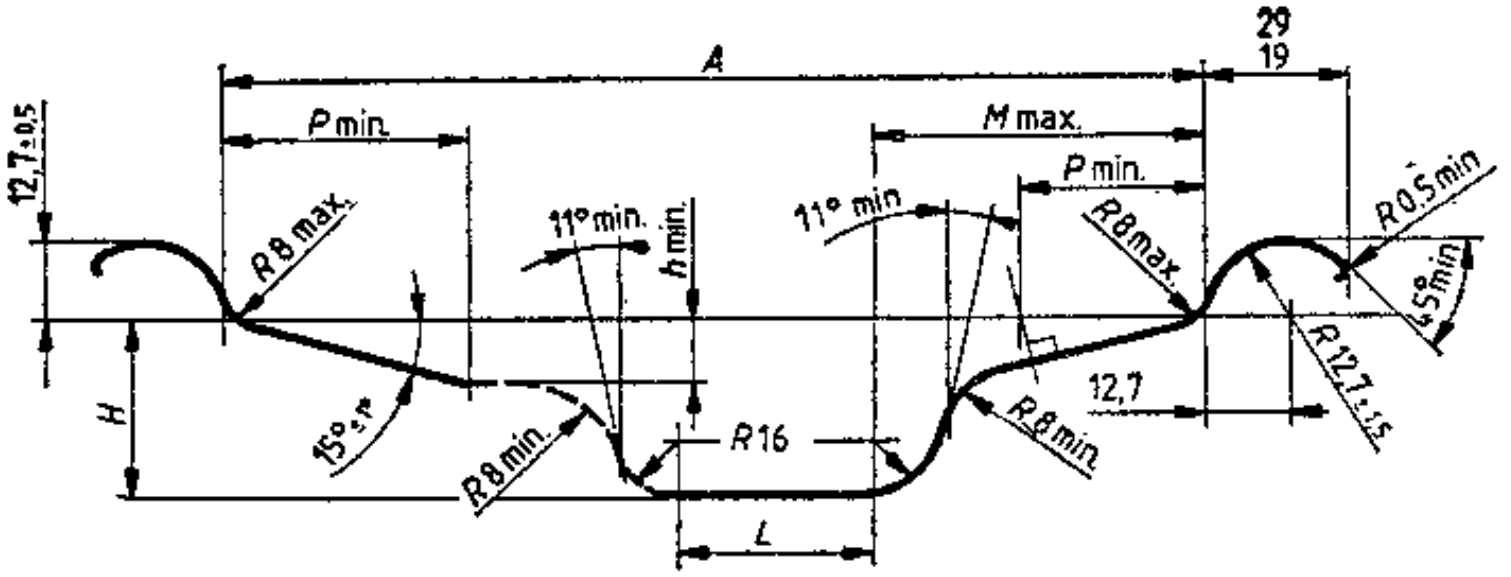



图 1-11-2　15°斜底轮辋轮廓尺寸

表 1-11-5　15°斜底轮辋尺寸

单位：mm

| 轮辋规格标志 | $A$ ±3.5 | H<br>$L$ min | h<br>$L$ min | L<br>$L$ min | M<br>$L$ max | $P$<br>$L$ min |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 17.5×5.25 | 133.5 | 24 | 7 | 4 | 55 | 25 |
| 19.5×5.25 | | 27 | | | 56 | |
| 22.5×5.25 | | 30 | | 8 | 57 | |
| 17.5×6.00 | 152.5 | 24 | 8.5 | 11 | 60 | 30 |
| 19.5×6.00 | | 27 | | | 62 | |
| 22.5×6.00 | | 30 | | | 64 | 30 |
| 17.5×6.75 | 171.5 | 24 | 9 | | 66 | 25 |
| 19.5×6.75 | | 27 | | 14 | 64 | 30 |
| 22.5×6.75 | | 30 | | | 66 | 32 |
| 17.5×7.50 | 190.5 | 24 | 9.5 | | 65 | 25 |
| 19.5×7.50 | | 27 | | | 67 | 30 |
| 22.5×7.50 | | 30 | 10 | 21 | 68 | 34 |
| 24.5×7.50 | | | | | 70 | |
| 17.5×8.25 | 209.5 | 24 | 9.5 | 14 | 55 | 26 |
| 19.5×8.25 | | 27 | | | 67 | 30 |
| 22.5×8.25 | | 30 | 10 | 28 | 70 | 36 |
| 24.5×8.25 | | | | | 72 | |
| 19.5×9.00 | 228.5 | 30 | 9.5 | | 68 | 30 |
| 22.5×9.00 | | | 10 | | 70 | 36 |
| 24.5×9.00 | | | | | 72 | |
| 22.5×9.75 | 247.5 | | 10.5 | | 70 | |
| 17.5×10.50 | 266.5±3.5 | 24 | 9.5 | 14 | 55 | 26 |
| 19.5×10.50 | 266.5±5 | 30 | 11 | 30 | 68 | 34 |
| 22.5×10.50 | | | | | 70 | |
| 19.5×11.75 | 298.5±5 | | | | 68 | |
| 22.5×11.75 | | | | | 70 | |
| 19.5×12.25 | 311.0±5 | | | | 68 | |
| 22.5×12.25 | | | | | 70 | |
| 19.5×13.00 | 330.0±5 | | | | 68 | |
| 22.5×13.00 | | | | | 70 | |
| 19.5×14.00 | 355.5±5 | | | | 68 | |
| 22.5×14.00 | | | | | 70 | |

续表

| 轮辋规格标志 | A ±3.5 | H<br>L min | h<br>L min | L<br>L min | M<br>L max | P<br>L min |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 19.5×15.00 | 381.0±5 | | | | 68 | |
| 22.5×15.00 | | | | | 70 | |
| 20.5×16.00 | 406.5±5 | | | | 70 | |
| 22.5×16.00 | | | | | 70 | |
| 20.5×18.00 | 457.0±5 | | | | 70 | |
| 22.5×18.00 | | | | | 70 | |

## 表 1-11-6 MICHELIN载重子午线轮胎基本参数

| 轮胎规格 | 轮辋规格 | 最大断面宽<br>mm | 自由半径<br>mm | 静力半径<br>mm | 层级<br>P.R. | 充气内压<br>kPa(kgf/cm²) | 最大负荷,kN(kgf) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 单胎使用 | 双胎使用 |
| 8.25R20 | 5.00S<br>6.5 | 215<br>230 | 485<br>485 | 450<br>450 | 12<br>14 | 600(6.12)<br>650(6.63) | 18.40(1875)<br>20.10(2050) | 17.40(1775)<br>18.90(1925) |
| 9.00R20 | 6.00T<br>7.0 | 248<br>258 | 1020<br>1020 | 472<br>472 | 12<br>14 | 625(6.38)<br>700(7.14) | 22.00(2240)<br>24.50(2500) | 20.20(2060)<br>22.60(2300) |
| 10.00R20 | 7.33V<br>7.5 | 273<br>275 | 525<br>525 | 486<br>486 | 16<br>16 | 775(7.91)<br>775(7.91) | 29.40(3000)<br>29.40(3000) | 26.50(2700)<br>26.50(2700) |
| 11.00R20 | 7.33V<br>8.0 | 279<br>286 | 542<br>542 | 502<br>502 | 14<br>16 | 725(7.40)<br>800(8.16) | 29.40(3000)<br>31.90(3250) | 26.50(2700)<br>28.20(2875) |
| 12.00R20 | 8.0<br>8.5 | 292<br>297 | 559<br>559 | 520<br>520 | 18<br>18 | 860(8.77)<br>860(8.77) | 36.00(3675)<br>36.00(3675) | 31.90(3250)<br>31.90(3250) |
| 13.00R20 | 9.0 | 336 | 588 | 541 | 18 | 750(7.65) | 41.70(4250) | 36.80(3750) |
| 14.00R20 | 10.0 | 370 | 628 | 577 | 18 | 700(7.14) | 44.10(4500) | 39.70(4050) |
| 8R22.5 | 6.00 | 208 | 468 | 436 | 12 | 600(6.12) | 17.70(1800) | 17.20(1750) |
| 9R22.5 | 6.75 | 230 | 485 | 450 | 14 | 650(6.63) | 20.20(2060) | 19.10(1950) |
| 10R22.5 | 7.50 | 254 | 510 | 472 | 14 | 700(7.14) | 24.50(2500) | 22.60(2300) |
| 11R22.5 | 8.25 | 279 | 525 | 486 | 16 | 775(7.91) | 29.40(3000) | 26.70(2725) |
| 12R22.5 | 9.00 | 300 | 542 | 502 | 16 | 800(8.16) | 31.90(3250) | 29.40(2900) |
| 13R22.5 | 9.75 | 320 | 562 | 522 | 18 | 850(8.67) | 36.80(3750) | 31.90(3250) |
| 15R22.5 | 11.75 | 387 | 637 | 497 | 18 | 850(8.67) | 40.50(4125) | — — |
| 16.5R22.5 | 13.00 | 425 | 561 | 514 | 20 | 850(8.67) | 50.50(5150) | — — |
| 18R22.5 | 14.00 | 457 | 579 | 532 | 20 | 850(8.67) | 54.90(5600) | — — |

## 表 1-11-7 ETRTO轿车子午线轮胎基本参数

| 轮胎规格 | 负荷指数 | 轮辋规格 | 轮胎外缘尺寸,mm | | 负荷能力 kN(kgf) | 充气压力 kPa(kgf/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 断面宽 | 外直径 | | |
| 165/60 R12 | 70 | 4.5 | 165 | 503 | 3.30 (335) | 240(2.4) |
| R13 | 72 | | | 528 | 3.50 (355) | |
| R14 | 74 | | | 554 | 3.70 (375) | |
| 175/60 R13 | 76 | 5.0 | 177 | 540 | 3.90 (400) | 250(2.5) |
| R14 | 78 | | | 566 | 4.20 (425) | |

续表

| 轮胎规格 | 负荷指数 | 轮辋规格 | 轮胎外缘尺寸,mm | | 负荷能力 | 充气压力 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 断面宽 | 外直径 | kN(kgf) | kPa(kgf/cm²) |
| 185/60 R13 | 80 | 5.0 | 184 | 552 | 4.40 (450) | 250(2.5) |
| R14 | 82 | | | 578 | 4.70 (455) | |
| R15 | 84 | | | 603 | 4.90 (500) | |
| 195/60 R13 | 83 | 5.5 | 196 | 564 | 4.80 (487) | 250(2.5) |
| R14 | 85 | | | 590 | 5.00 (515) | |
| R15 | 86 | | | 615 | 5.20 (530) | |
| 205/60 R13 | 85 | 5.5 | 203 | 576 | 5.00 (515) | 250(2.5) |
| R14 | 87 | | | 602 | 5.40 (545) | |
| R15 | 89 | | | 627 | 5.70 (580) | |
| R16 | 91 | | | 652 | 6.00 (615) | |
| 215/60 R13 | 88 | 6.0 | 216 | 588 | 5.50 (560) | 250(2.5) |
| R14 | 89 | | | 614 | 5.70 (580) | |
| R15 | 90 | | | 639 | 5.90 (600) | |
| R16 | 92 | | | 664 | 6.20 (630) | |
| 225/60 R13 | 89 | 6.0 | 223 | 600 | 5.70 (580) | 240(2.4) |
| R14 | 91 | | | 626 | 6.00 (615) | |
| R15 | 92 | | | 651 | 6.20 (630) | |
| R16 | 93 | | | 676 | 6.40 (650) | |
| 235/60 R13 | 92 | 6.5 | 235 | 612 | 6.20 (630) | 240(2.4) |
| R14 | 94 | | | 638 | 6.60 (670) | |
| R15 | 95 | | | 663 | 6.80 (690) | |
| R16 | 96 | | | 688 | 7.00 (710) | |
| 245/60 R14 | 96 | 7.0 | 247 | 650 | 7.00 (710) | 240(2.4) |
| 255/60 R15 | 100 | 7.0 | 255 | 687 | 7.85 (800) | 240(2.4) |
| 265/60 R14 | 101 | 7.5 | 267 | 674 | 8.10 (825) | 240(2.4) |
| 145/65 R12 | 67 | 4.0 | 145 | 493 | 3.00 (307) | 250(2.5) |
| 155/65 R13 | 73 | 4.5 | 157 | 532 | 3.60 (365) | 250(2.5) |
| R14 | 74 | | | 558 | 3.65 (375) | |
| 165/65 R13 | 76 | 4.5 | 165 | 544 | 3.90 (400) | 250(2.5) |
| R14 | 78 | | | 570 | 4.15 (425) | |
| 175/65 R12 | 78 | 5.0 | 177 | 533 | 4.15 (425) | 250(2.5) |
| R13 | 80 | | | 558 | 4.40 (450) | |
| R14 | 82 | | | 584 | 4.65 (475) | |
| R15 | 83 | | | 609 | 4.75 (487) | |
| 185/65 R13 | 84 | 6.0 | 184 | 570 | 4.90 (500) | 250(2.5) |
| R14 | 85 | | | 596 | 5.05 (515) | |
| R15 | 87 | | | 621 | 5.35 (545) | |
| 195/65 R13 | 87 | 5.5 | 196 | 584 | 5.35 (545) | 250(2.5) |
| R14 | 89 | | | 610 | 5.70 (580) | |
| R15 | 90 | | | 635 | 5.90 (600) | |

续表

| 轮胎规格 | 负荷指数 | 轮辋规格 | 轮胎外缘尺寸,mm | | 负荷能力 | 充气压力 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 断面宽 | 外直径 | kN(kgf) | kPa(kgf/cm²) |
| 205/65 R14 | 91 | 5.5 | 203 | 622 | 6.00 (615) | 250(2.5) |
| R15 | 93 | | | 647 | 6.35 (650) | |
| 215/65 R15 | 96 | 6.0 | 216 | 661 | 6.95 (710) | 250(2.5) |
| 225/65 R15 | 99 | 6.0 | 223 | 673 | 7.60 (775) | 250(2.5) |
| 145/70 R10 | 63 | 4.0 | 144 | 462 | 2.70 (272) | 250(2.5) |
| R12 | 69 | | | 512 | 3.20 (312) | |
| R13 | 71 | | | 538 | 3.40 (345) | |
| R14 | 73 | | | 564 | 3.60 (365) | |
| R15 | 75 | | | 590 | 3.80 (387) | |
| 155/70 R10 | 67 | 4.5 | 156 | 474 | 3.00 (307) | 250(2.5) |
| R12 | 73 | | | 524 | 3.60 (365) | |
| R13 | 75 | | | 550 | 3.80 (387) | |
| R14 | 77 | | | 576 | 4.00 (412) | |
| R15 | 78 | | | 602 | 4.20 (425) | |
| 165/70 R10 | 72 | 4.5 | 165 | 494 | 3.50 (355) | 250(2.5) |
| R12 | 77 | | | 544 | 4.00 (412) | |
| R13 | 79 | | | 568 | 4.30 (437) | |
| R14 | 80 | | | 592 | 4.40 (450) | |
| R15 | 82 | | | 618 | 4.60 (475) | |
| 175/70 R12 | 80 | 5.0 | 176 | 552 | 4.40 (450) | 250(2.5) |
| R13 | 82 | | | 580 | 4.60 (475) | |
| R14 | 84 | | | 606 | 4.90 (500) | |
| R15 | 86 | | | 632 | 5.20 (530) | |
| 185/70 R13 | 85 | 5.0 | 186 | 598 | 5.06 (515) | 250(2.5) |
| R14 | 87 | | | 624 | 5.35 (545) | |
| R15 | 89 | | | 648 | 5.70 (580) | |
| 195/70 R13 | 89 | 5.5 | 197 | 608 | 5.70 (580) | 250(2.5) |
| R14 | 90 | | | 636 | 6.90 (600) | |
| R15 | 92 | | | 656 | 6.20 (630) | |
| 205/70 R13 | 91 | 5.5 | 204 | 625 | 6.00 (615) | 250(2.5) |
| R14 | 93 | | 206 | 652 | 6.40 (650) | 240(2.4) |
| R15 | 95 | | 202 | 669 | 6.80 (690) | 250(2.5) |
| 215/70 R14 | 96 | 6.0 | 217 | 666 | 7.00 (710) | 250(2.5) |
| R15 | 97 | | 213 | 682 | 7.20 (730) | |
| 225/70 R14 | 99 | 6.0 | 225 | 677 | 7.60 (775) | 250(2.5) |
| R15 | 100 | | 220 | 696 | 7.85 (800) | |
| 235/70 R14 | 101 | 6.5 | 239 | 694 | 8.10 (825) | 240(2.4) |
| R15 | 103 | | 234 | 712 | 8.60 (875) | 250(2.5) |
| 245/70 R14 | 102 | 7.0 | 248 | 705 | 8.35 (850) | 240(2.4) |
| R15 | 102 | | 244 | 720 | 8.35 (850) | |

续表

| 轮胎规格 | 负荷指数 | 轮辋规格 | 轮胎外缘尺寸,mm | | 负荷能力 kN(kgf) | 充气压力 kPa(kgf/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 断面宽 | 外直径 | | |
| 165/80 R10 | 73 | 4.5 | 157 | 502 | 3.60 (365) | 220(2.2) |
| R10 | 77 | | | | 4.00 (415) | 270(2.7) |
| 215/80 R16 | 107 | 6.0 | 216 | 760 | 9.70 (975) | 300(3.0) |
| 125/85 R13 | 69 | 3.5 | 126 | 542 | 3.20 (325) | 310(3.1) |
| 135/85 R13 | 74 | 3.6 | 133 | 560 | 3.70 (375) | 310(3.1) |
| 145/85 R13 | 78 | 4.0 | 145 | 576 | 4.20 (425) | 310(3.1) |
| 155/85 R13 | 82 | 4.5 | 157 | 594 | 4.60 (475) | 310(3.1) |
| R14 | 84 | | | 620 | 4.90 (500) | |

表 1-11-8 美国TRA子午线轮胎设计参数

| 轮胎规格 | 断面宽度,mm | H/S,70 | 断面高度,mm | 轮胎规格 | 断面宽度,mm | H/S,70 | 断面高度,mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.00R16 | 175 | 0.921 | 163 | 14.00R20 | 379 | 0.967 | 367 |
| 6.50R16 | 189 | 0.923 | 175 | 16.00R20 | 450 | 0.889 | 400 |
| 7.00R15 | 203 | 0.915 | 186 | | | | |
| 7.50R16 | 220 | 0.910 | 200 | 8R19.5,22.5 | 197 | 0.924 | 182 |
| 9.00R16 | 265 | 0.915 | 242 | 9R22.5 | 221 | 0.909 | 201 |
| | | | | 10R22.5 | 246 | 0.908 | 224 |
| 7.50R20 | 213 | 1.001 | 214 | 11R22.5,24.5 | 271 | 0.890 | 241 |
| 8.25R20 | 236 | 0.987 | 233 | 12R22.5,24.5 | 288 | 0.891 | 257 |
| 9.00R20 | 260 | 0.978 | 255 | 14R17.5 | 335 | 0.689 | 231 |
| 10.00R20 | 280 | 0.972 | 273 | 15R19.5,22.5 | 372 | 0.685 | 255 |
| 11.00R20 | 295 | 0.978 | 288 | 16.5R19.5,22.5 | 405 | 0.687 | 278 |
| 12.00R20 | 318 | 0.971 | 308 | 18.R19.5,225 | 435 | 0.672 | 292 |
| 13.00R20 | 346 | 0.967 | 335 | 19.5R19.5 | 474 | 0.678 | 321 |

注： 本表系为普通花纹轮胎设计参数。加深花纹和越野花纹轮胎的断面高度应增加花纹加深数字。

## 第二节 带束层结构特点

带束层设计在子午线轮胎上是重要的环节，因为带束层是子午线轮胎的主要应力部件，其结构参数直接影响整体轮胎的应力和变形。带束层的帘线角度、曲率半径及其宽度等参数决定着轮胎胎面磨耗、高速性能、操纵性和舒适性，以及轮胎各部位应力的均匀分布情况。带束层设计时应设法增加圆周刚性、降低滚动生热，避免带束层边缘脱空，力争带束层宽度上的各点应力分布均匀。

带束层帘线角度一般在70～75°左右，因为帘线角过小起不到箍紧胎体的作用，反之帘线角过大会降低胎冠的弹性。对比9.00R20钢丝子午线轮胎的不同帘线角度试验发现帘线角度对轮胎圆周变形影响很大，如图1-11-3所示：带束层角度越大(如80°)机床上的周向变形越小；反之带束层角度小时（如73°），轮胎周向刚性低，轮胎行驶中形状变化较大。

带束层受到轴向伸张时厚度将起变化，带束层帘线角大于45°时（波桑系数为负值）两层之间橡胶厚度增大，当角度增大到70°左右时厚度达到最大值，在这种情况下会引起脱层现

象，因此选取带束层帘线角时应避开70°角，取稍大于或稍小于该数值的角度（图1-11-4）。此外，轴向伸张在带束层宽度各点上的分布也是不均匀的，在带束层中部伸张大，而两边缘伸张为最低，趋于零（如图1-11-5）。带束层形状愈拱，中部与边缘应力的差别愈小；带束层愈平坦，胎冠中心部应力愈大。能减少两边缘脱空[illegible]，

带束层的剪切力在其宽度各点上分布也是不均匀的。越接近胎冠中心部越小，而相反越接近边缘部剪切力越大。剪切力最高值接近于80°角的带束层结构，故应避开接近80°角的设计（如图1-11-6）。增加带束层橡胶厚度能减小剪切力，所以应在剪切力大的两缘部增加橡胶的厚度。

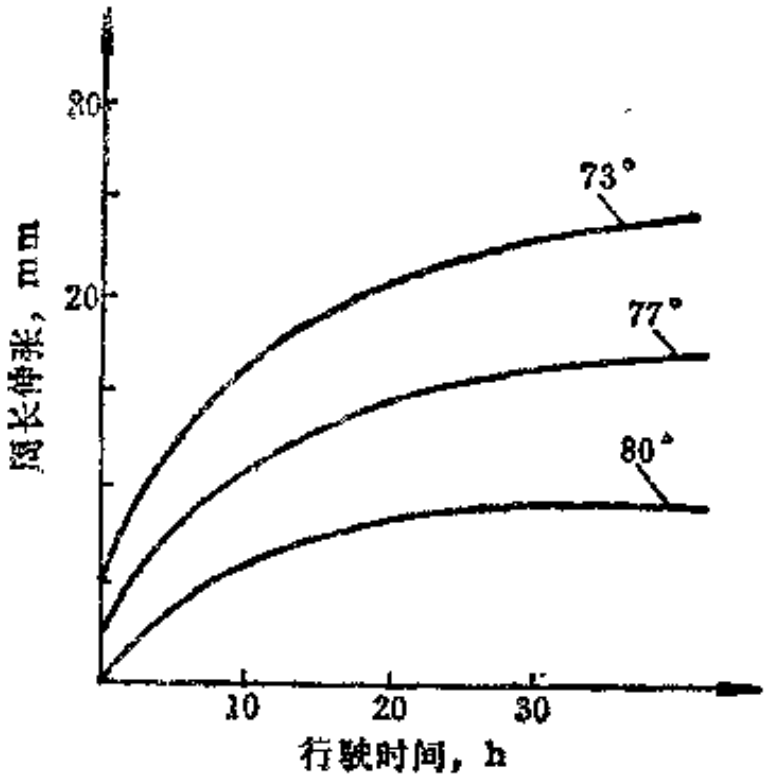



图 1-11-3 9.00R20轮胎带束层帘线角对轮胎变形的影响：
（机床试验条件：超负荷0～30%，时速60km，有障碍物）

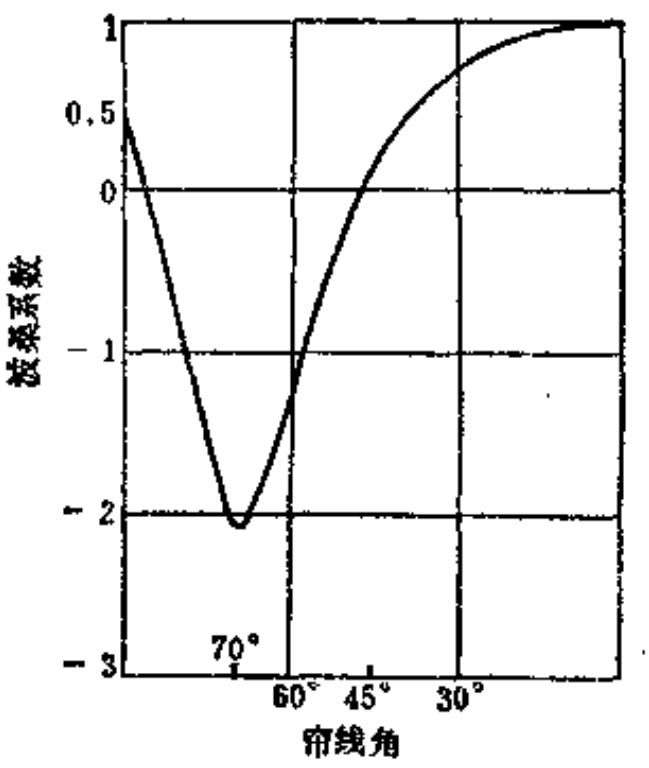



图 1-11-4 带束层角度的影响[1]

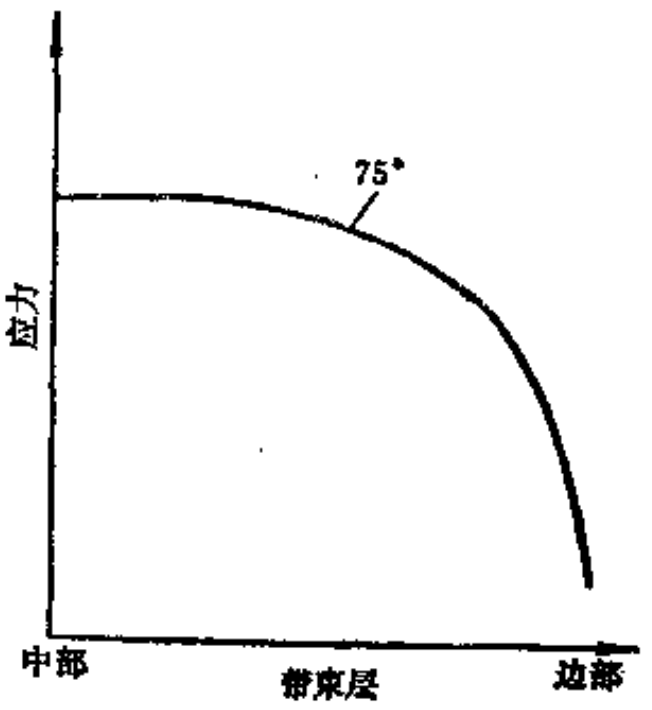



图 1-11-5 带束层不同部位伸张力[1]

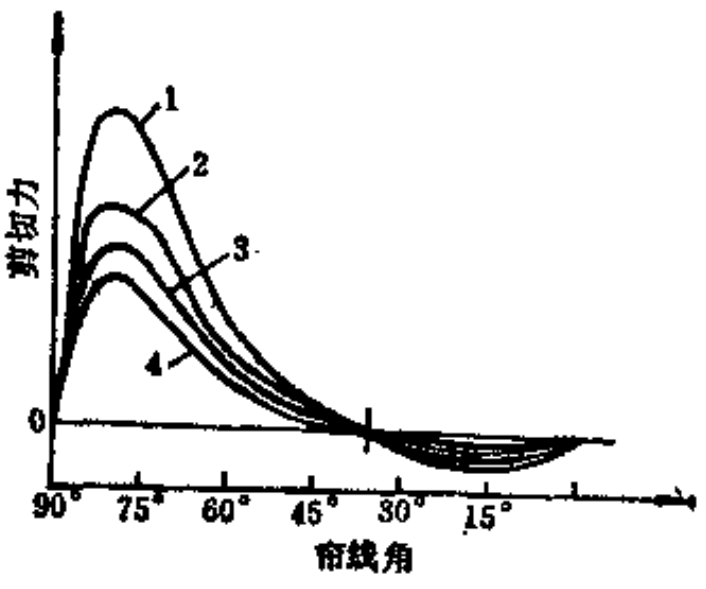



图 1-11-6 带束层角度与剪切应力关系[1]
1—层厚 1 mm；2—层厚 2 mm；3—层厚3mm；4—层厚4mm

带束层宽度应选择合理，过窄时或过宽时都会带来不利的后果，通常带束层宽度（最宽的一层带束层）采取接近于胎面着地的宽度。如带束层过宽，两边缘端头易刺出胎肩部或在两肩部弯曲损坏。为避免边缘脱空采取缩窄带束层的方法是不适当的，因为带束层宽度小，胎面肩部的刚度就要比中部低，甚至充气后胎面呈反拱形，接地形状由正常的正椭圆变成为反椭圆形状(图1-11-7)这样的带束层轮胎在滚动时两肩部变形大，应力高，在机床试验中生温高、易脱空，在实际使用中两肩部磨损快、行驶里程低。同时过窄的带束层在成型与硫化工艺中受力膨胀容易偏斜，不易制造出高质量轮胎。

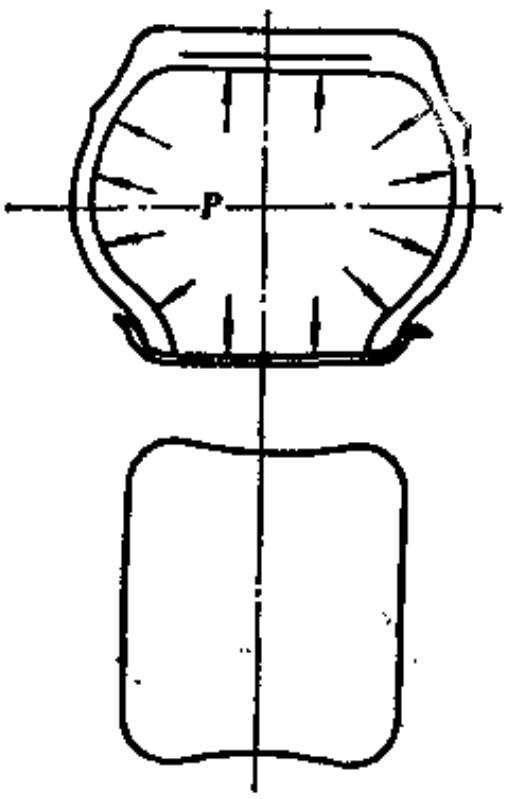



图 1-11-7 带束层过窄状况
(充气胎面呈反拱形；接地印迹呈反椭圆形)

带束层半成品施工长度的选择取决于成品参数和工艺上的可能性，通常半成品带束层长度按式（1-11-1）计算：

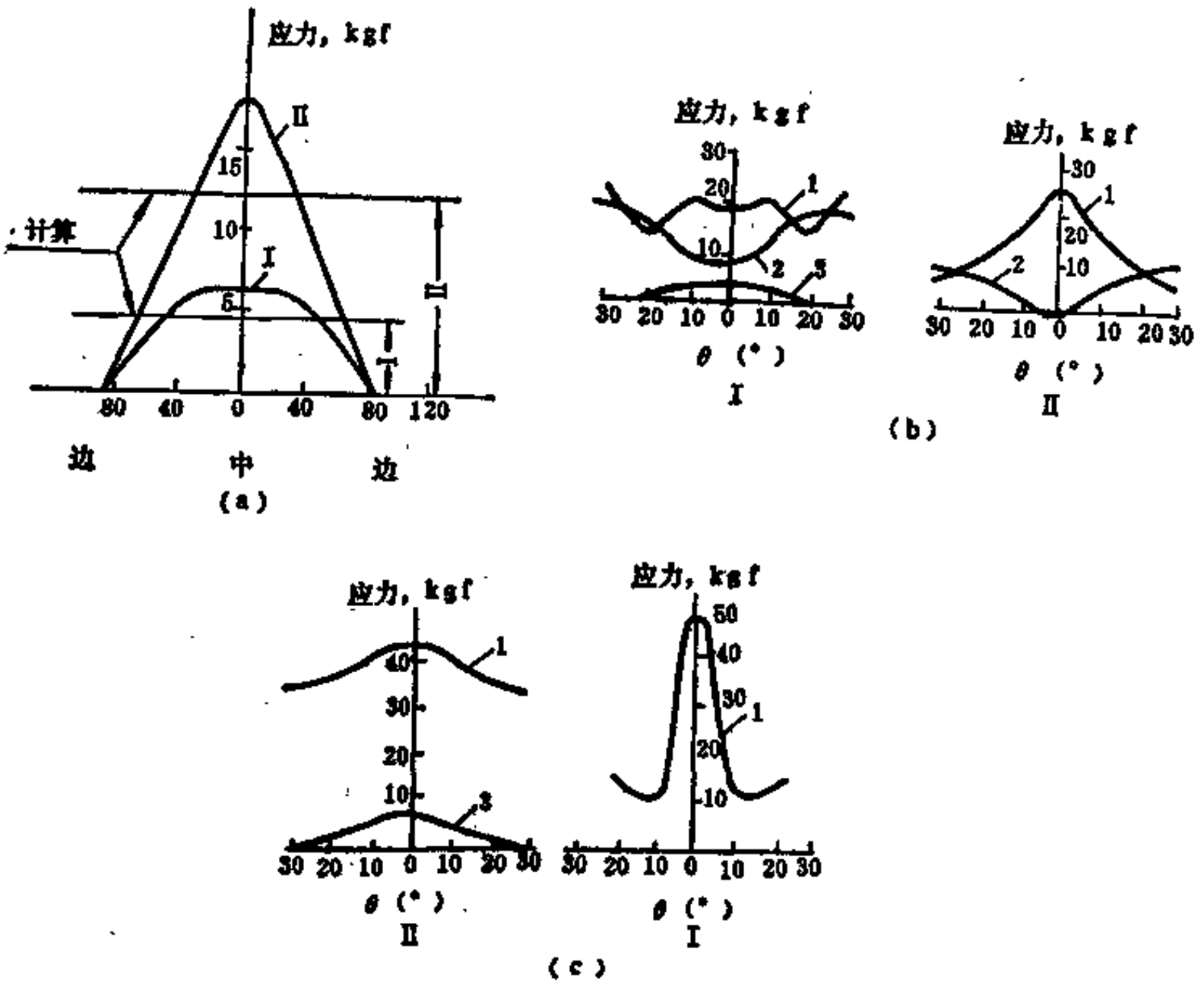



图 1-11-8 带束层结构应力比较(*)
(a) 为内压应力；（b）为平路应力；（c）为环路应力；
I—四层式；II—三角形；
1—外层；2—内层；3—补助层

$$L=K\pi[W-2(t_1+t_2)] \qquad (1\text{-}11\text{-}1)$$

式中 $W$——模型花纹底部直径；

$t_1$——半成品胎面厚度；

$t_2$——带束层半成品厚度；

$K$——选择系数：活络模型0.990～0.995；两扇模型0.975～0.980。

近年来，由于汽车动力不断提高以及行驶路面逐步完善，高速重载使用的轮胎应具有良好的操纵性和稳定性，为了适应新性能要求及减小轮胎本身的应力变形，带束层已由四层交叉式结构过渡到现在的三角形结构。三角形带束层比交叉式带束层有较大的弹性，在平坦的好路上内外层带束钢丝的应力比较均匀，在不平的坏路上钢丝应力变化范围更小些（图1-11-8）。三角形带束层充气时的初始应力要比四层式高得多，但在使用滚动中应力反而比四层式要低。

三角形带束层中的两层基本层（图1-11-9）承受主要应力，其钢丝排列角度为65～75°。在基本层下面的带束层为过渡层，钢丝角度为25～30°，以增加轮胎测向稳定性与改善胎肩部的应力状态。

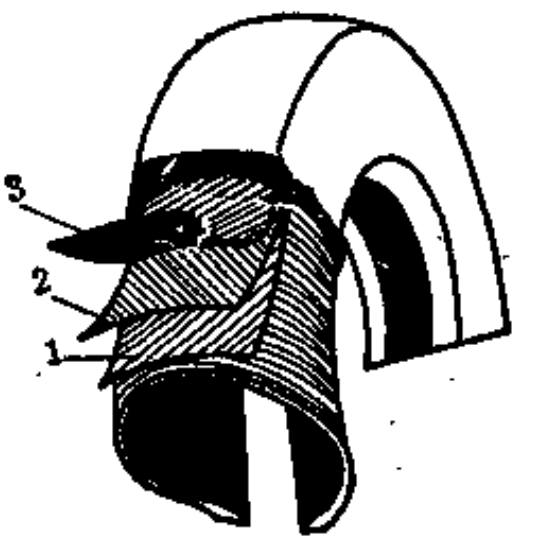



图 1-11-9 三角形带束层

1—过渡层（第一层）；2、3—基本层（第二、三层）

目前更为合理的典型结构带束层要算MICHELIN载重子午线轮胎的带束层。这种带束层由两条过渡层、两层交叉贴合的基本层，胎冠补强层以及基本层边缘端点之间的隔离胶五个组成部分所构成（见图1-11-10）。

带束层主要承载部件是第二、第三两层基本层，所使用的钢丝强度较大，远远高出胎体钢丝，以保证整体轮胎在使用中不致于膨胀变形。两层基本层帘线角度为65～75°。

两肩部第一层两条过渡层的作用是提高侧向稳定性和增强该部刚性。

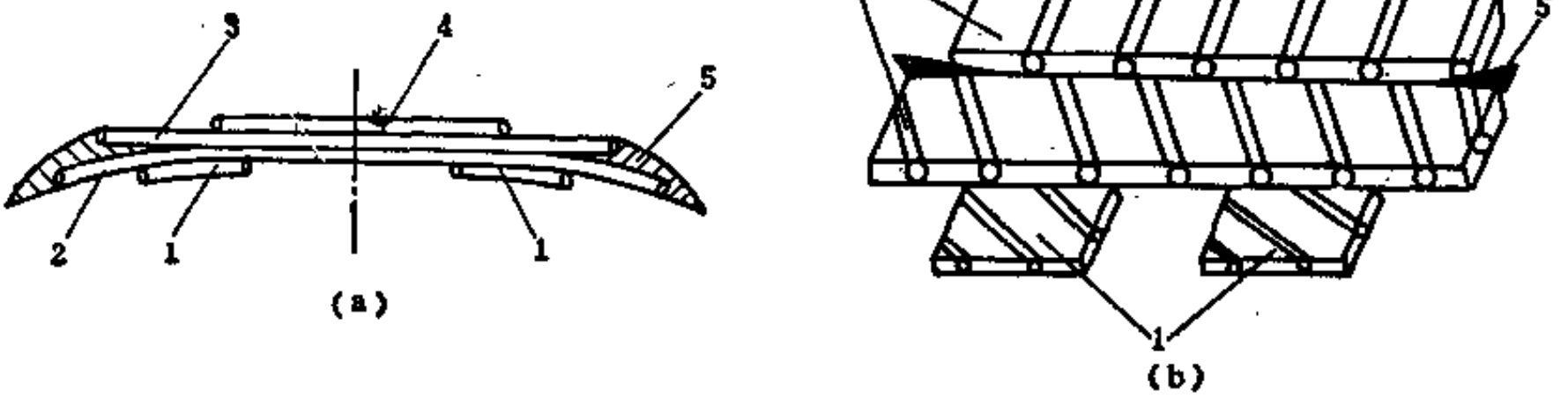



图 1-11-10 带束层结构示意图

(a) 为剖面示意；(b) 为分层示意；

1—过渡层；2,3—基本层；4—补强层；5—隔离胶

过渡层外边缘的位置在基本层两端的内侧，以避免边缘脱空损坏。过渡层帘线角度为25～30°，其宽度为基本层的三分之一左右。帘线排列方向与第二层一致，并非交叉排列。

带束层两肩部采用第一层过渡层补强以后，胎冠部刚度小于两肩部，同时带束层中部内压应力又高于两肩部，为了使带束层宽度各点上的刚性和应力相接近，在带束层中部增加一层补强层。补强层的帘线角度和排列方向通常和第三层基本层帘线相一致，补强层宽度一般为最宽带束层（第二层）的50%左右。补强层帘线应采用直径小、密度低、捻度大的“弹性”钢丝制造，其伸长率通常达5～10%，这是由于帘线捻度加大和捻向一致而获得的。因为补强层钢丝捻度大，表面粗糙，且其帘线密度小，有较高的胎面橡胶结合力；另因有较大的伸张能缓冲从胎面胶向带束层所传导的道路上的冲击和震动。

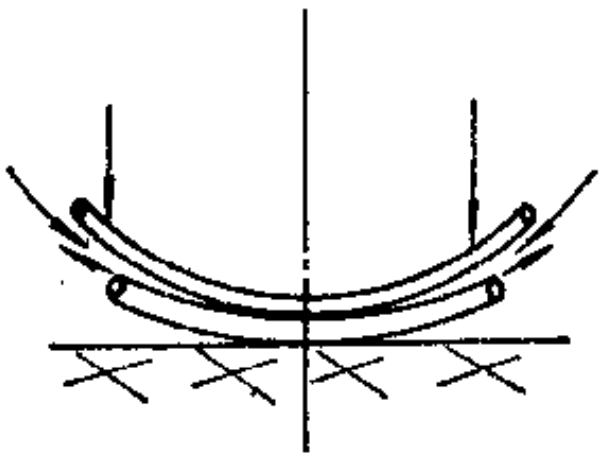


图 1-11-11 带束层边缘剪切力

轮胎在负荷作用下两肩部弯曲着地，胎冠部径向曲率半径增大，因内外层带束层屈挠弯形程度不同而造成两层端点之间剪切力（图1-11-11）。为了克服这种剪切力的不良作用，就需要在边缘端点之间采用隔离胶、（图1-11-10）。其几何尺寸要适应该部位材料分布上的要求；其材料性能要硬些，实践证明硬度（邵尔A）80左右的隔离胶为好。

采用这种带束层结构的轮胎有许多优点，从轮胎应力来讲，能够使胎冠和胎肩应力分布比较均匀，改善了胎肩部工作状态，提高了带束层整体强度，从轮胎性能来说能够提高耐磨性和耐冲击性能，改善了子午线轮胎的操纵性和稳定性。

中型载重子午线轮胎的带束层构造举例列于表1-11-9和表1-11-10中。

表 1-11-9 10.00R20轮胎带束层构造举例

| 项　目 | | 过渡层（第一层） | 基本层（第二层） | 基本层（第三层） | 补强层（第四层） |
|---|---|---|---|---|---|
| 钢丝结构 | | (1×3)+9×0.23+1×0.15 | (1×3)+9+15×0.23+1×0.15 | | 4×4×0.23 |
| 钢丝强力，kN | | 1.19 | 2.87 | | 1.44 |
| 钢丝粗度，mm | | | | | |
| | 有外股 | 1.117 | 1.625 | | |
| | 无外股 | 0.914 | 1.320 | | 1.24 |
| 捻距，mm | 芯股 | 6.858 S | 6.35 S | | |
| | 内股 | 11.938 S | 11.43 S | | 3.81 S |
| | 中股 | | 15.24 Z | | 6.09 S |
| | 外股 | 3.56 Z | 2.79 S | | |
| 单丝根数 | | 12+1 | 27+1 | | 16 |
| 帘线密度，根/cm | | 5.9 | 3.54 | | 3.54 |
| 帘线角度 | | 25.5° | 65.7° | 74.5° | 74.5° |
| 帘布宽度，mm | | 60+60 | 183 | 167 | 101 |

表 1-11-10 9.00R20轮胎带束层结构举例

| 项　　目 | | 过渡层（第一层） | 基本层（第二层） | 基本层（第三层） | 补强层（第四层） |
|---|---|---|---|---|---|
| 钢丝结构 | | (1×3)+9×0.23+1×0.15 | (1×3)+9×0.23+1×0.15 | | 4×4×0.23 |
| 钢丝强力,kN | | 1.20 | 1.20 | | 1.45 |
| 钢丝粗度，mm | | | | | |
| 有外股 | | 1.117 | 1.117 | | |
| 无外股 | | 0.914 | 0.914 | | 1.24 |
| 线距，mm | 芯股 | 6.858 S | 6.858 S | | |
| | 内股 | 11.938 S | 11.938 S | | 3.81 S |
| | 中股 | | | | 3.81 S |
| | 外股 | 3.66 Z | 3.56 Z | | 6.09 S |
| 单丝根数 | | 12+1 | 12+1 | | 16 |
| 帘线密度,根数/cm | | 5.9 | 7.0 | 6.5 | 3.6 |
| 帘线角度 | | 28° | 73° | 75° | 76° |
| 帘线宽度，mm | | 50+50 | 160 | 140 | 80 |

## 第三节　胎肩部设计特点

胎肩部损坏是子午线轮胎的主要质量毛病之一，而其损坏特点在大多数条件下表现为带束层钢丝端点脱空现象，因此在设计子午线轮胎时应设法减小胎肩部应力。为了避免带束层

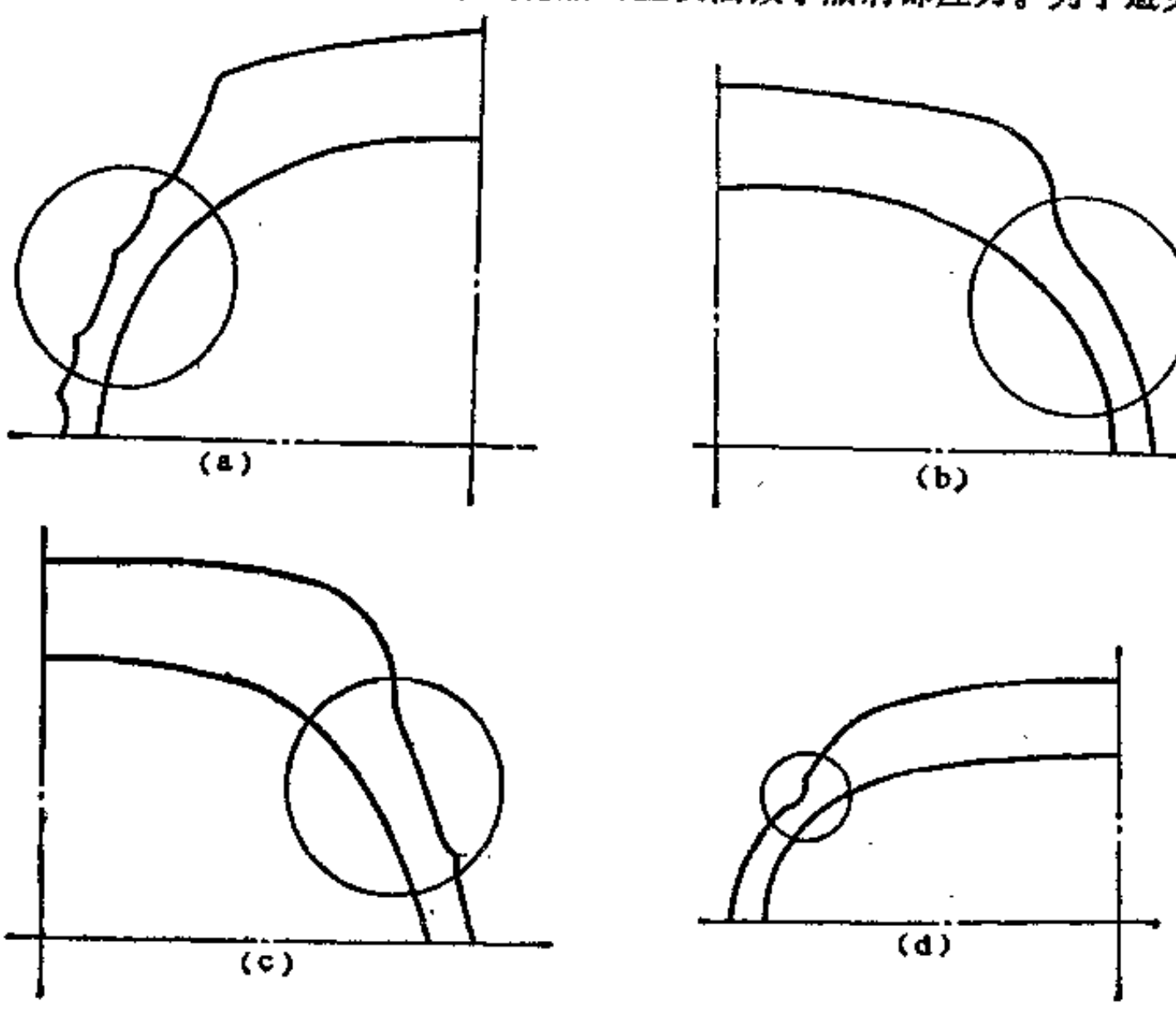



图 1-11-12　子午线轮胎胎肩部轮廓举例

边缘早期损坏，将轮胎变形区域移向下胎肩与上胎侧之间。但因子午线轮胎胎冠部坚硬而胎侧部十分柔软，如果按照斜交轮胎胎肩设计法，采用切线从胎冠逐渐向胎侧过渡，势必使带束层边缘部应力增大，因此胎肩部外轮廓不宜用切线，最好用适应轮胎变形的各种弧形设计，同时在施工设计上确定内轮廓时尽量减薄下胎肩厚度。在高速轿车轮胎设计上甚至采用胎冠向胎侧的突然过渡法（如图1-11-12(d)），将胎冠部和胎侧部的作用分开，使变形应力集中在突然过渡的部位。

但

带束层结构对其两边缘质量影响很大。如果带束层宽度过窄，轮胎两肩部刚性不足，在使用中变形生热高易于早期损坏。如果带束层轮廓过于平坦，两肩部应力减小，但胎冠部应力过大；反之拱度大的带束层两边缘应力增大，容易早期脱空损坏，所以通常采用较平坦的带束层设计，以改善两肩部应力状态。

子午线轮胎胎肩部花纹挖空形状不同于普通的斜交轮胎，应尽量避免挖空或少挖空胎肩部，以满足布置宽而平的带束层的需要，并能使胎肩部有足够的刚性。常见的胎肩花纹挖空方法如图1-11-13所示，图中两种设计法表明，宽而平的带束层布置在挖空少的胎肩部 要 比窄而拱的带束层布置在挖空深的胎肩部好的多，适应于子午线结构轮胎。

由上可知，如要取得理想的胎肩部设计，就要做到：①增大胎肩部对其临近的上胎侧轮廓尺寸的比值；②增强胎肩部结构材料的刚性和坚密程度，从而使带束层边缘的胎肩部变形屈挠中心向下移到材料少而厚度小的上胎侧部，以提高轮胎寿命。

有时为了改善整体轮胎的稳定性或提高轮胎磨耗里程时，可适当增大行驶面宽度，但必须保证胎肩部厚度不超过正常行驶面宽度的轮胎胎肩部尺寸，不致于胎肩部过厚、生热高或消耗过多的胶量。因此，在加大外轮廓尺寸的同时应相应地改变胎肩内轮廓，以减薄胎肩的厚度。同理，在设计加深花纹或越野花纹轮胎时都应当考虑这种情况，不能象斜交轮胎设计那样单纯地加厚胎肩部外轮廓，而且要根据具体情况修改胎肩部内轮廓形状（图1-11-14）。

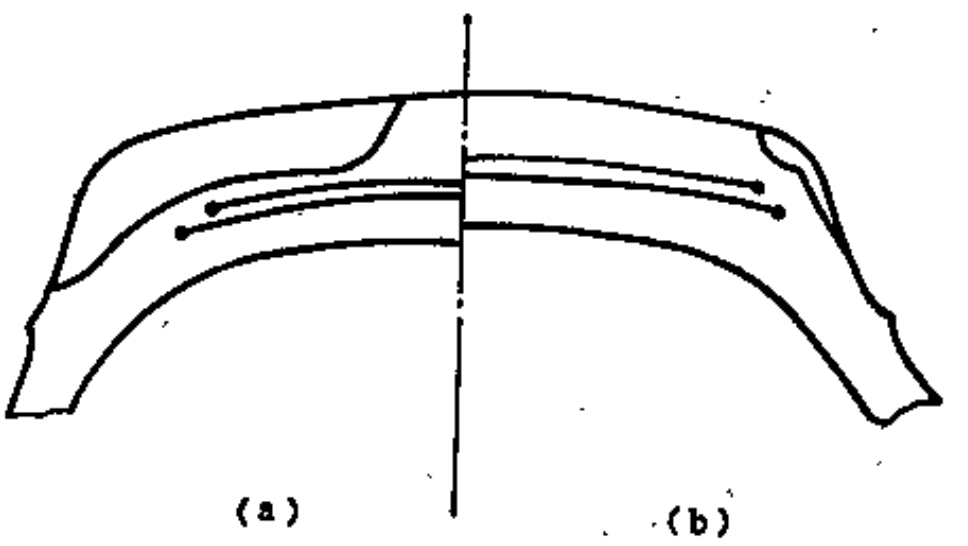



图 1-11-13 子午线轮胎胎肩设计
(a) 错误；(b)正确

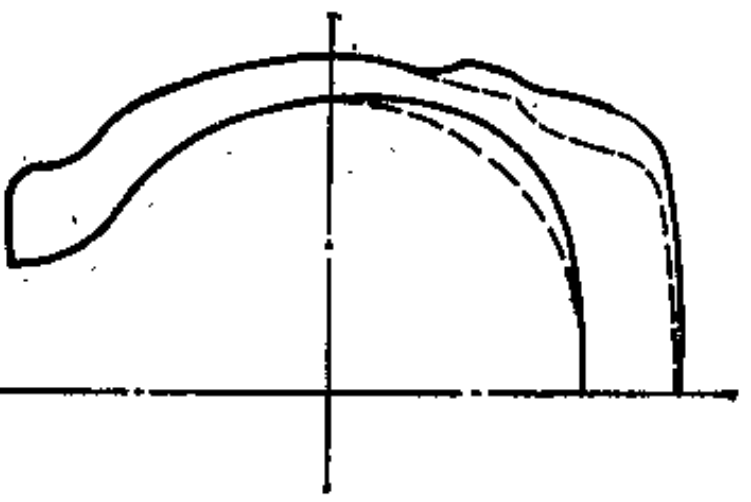


图 1-11-14 行驶面加宽设计法
——为加宽轮廓；……为原有轮廓

子午线轮胎的帘布层和带束层轮廓不是任意不变的，在内压作用下从带束点到轮辋点之间胎侧部呈平衡轮廓，在胎冠部帘布层膨胀紧贴在带束层上，因此从胎冠向胎侧过渡时帘布层与带束层之间就形成一个空隙，通常用有一定形状的胎肩垫胶填充。其最厚处在带束层边缘点上。当轮胎断面宽不变时，胎面和带束层的宽度及其曲率半径愈大，垫胶的厚度也愈大。

但是该厚度过大时胎肩部生热高；反之厚度过小时起不到填充作用，带束层不平坦，容易在胎肩部脱空损坏。因此，胎肩三角垫胶是一个很重要的胎肩部结构部件。实践证明：三角垫胶厚度对中型载重轮胎来说，为其断面宽的2.0～2.5%最好，一般为5～7mm（见图1-11-15）。垫胶的硬度应比带束层边缘隔离胶小些，通常在70（邵尔A）以下，以防止带束层边缘脱空损坏。

综上所述，胎肩部损坏是子午线轮胎的主要损坏特征之一，如要改善胎肩部质量应设法减小该部位的应力应变。通常，子午线轮胎应力集中区域设计在上胎侧部，避开带束层边缘部。

子午线轮胎胎肩部外轮廓设计不宜用切线，最好用适应轮胎变形的反拱形轮廓，同时在施工设计上应尽量减薄上胎侧部。加大胎口宽度和胎面拱度以及采取宽而平的三角形带束层能改善胎肩部应力状态（见图1-11-16）。

如要减小带束层端点剪切力，就应在边缘端点之间增加隔离胶，其胶料性质以高弹性模量为好。为了能使带束层布置平坦，就需要在其两边部下面增添三角垫胶，该胶料硬度不宜过高。

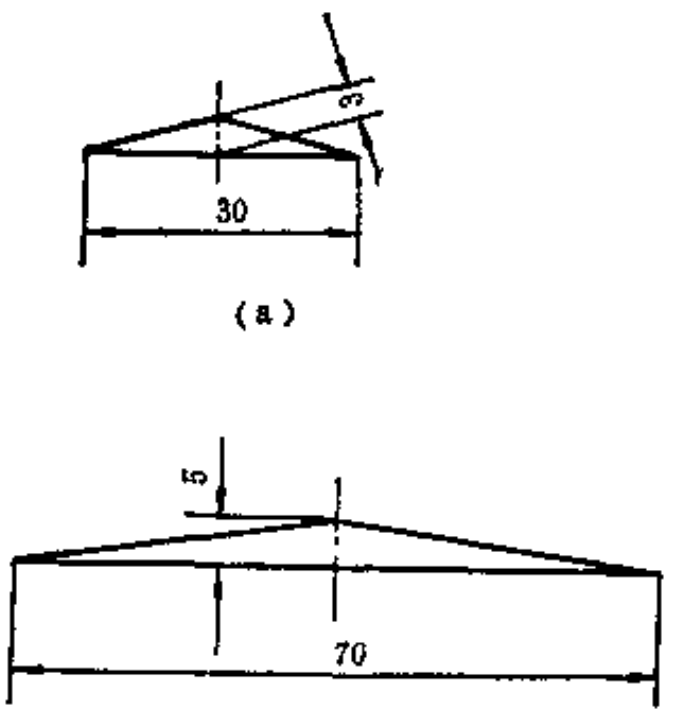



图 1-11-15 9.00R20全钢丝轮胎的隔边胶和胎肩垫胶的尺寸举例（单位，mm）
（a）边缘隔离胶；（b）三角胎肩部垫胶

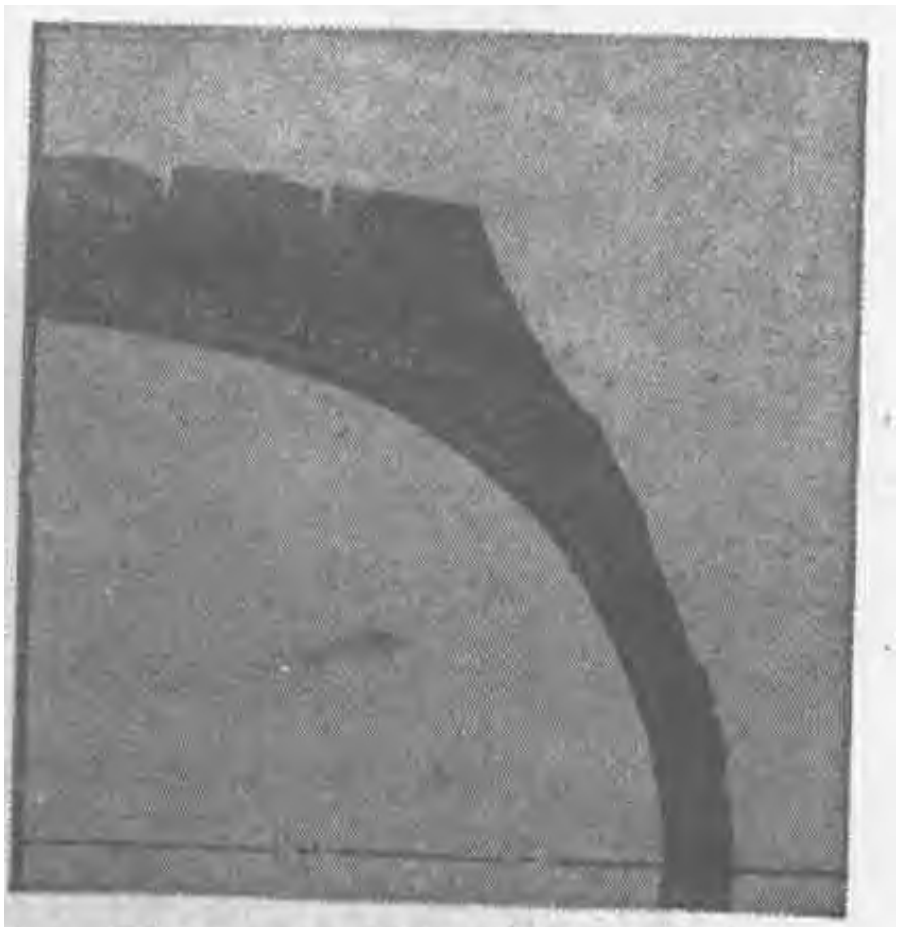


图 1-11-16 典型的载重钢丝子午线轮胎胎肩设计

## 第四节 胎圈部设计特点

轮胎胎圈部承受着充气压力、制动力矩、侧滑和离心力，以及胎圈与轮辋配合上所造成的复杂应力，特别是子午线结构的胎圈部应力又大于斜交轮胎，因此为了改善胎圈部质量，不仅在胎圈部轮廓设计上而且在其内部结构材质上都应当采用合理的结构设计。一般设计胎圈部应着重解决三个问题：第一，尽量提高胎圈部刚性，以减小胎圈部变形；第二，均匀地从较硬的胎圈逐步向较软的胎侧过渡，以避免应力集中现象；第三，采用高强力钢丝和钢丝圈结构，以提高胎圈部强度。

为了解决第一和第二两个问题，采用复合三角芯结构是一个有力的措施，这种轮廓大而

坚硬的三角芯填充在胎圈部（特别是只有一层的钢丝子午线轮胎），能提高胎圈部刚性。为了达到刚性的均匀过渡，采用软硬两种胶料复合结构，硬胶芯硬度一般在80（邵尔A）左右，软胶芯硬度为70（邵尔A）左右，两者采取逐渐交错复合形式，下部的硬胶芯为三角形，上部的软胶芯为长菱形。复合三角芯的尺寸、形状、硬度以及软硬配合过渡方式对整体胎圈质量影响很大，在设计时应根据具体情况而定。图1-11-7为子午线轮胎胎圈构造举例。

要解决第三个问题提高钢丝圈强度，首先来分析一下钢丝圈应力状态。如果采用方形断面钢丝圈，帘布层帘线应力在外力作用下传给钢丝圈，帘线围绕着钢丝圈屈挠，该屈挠力在钢丝圈内层两缘部最大，如果是钢丝胎体的钢丝绳时屈挠力更大（图1-11-18）。

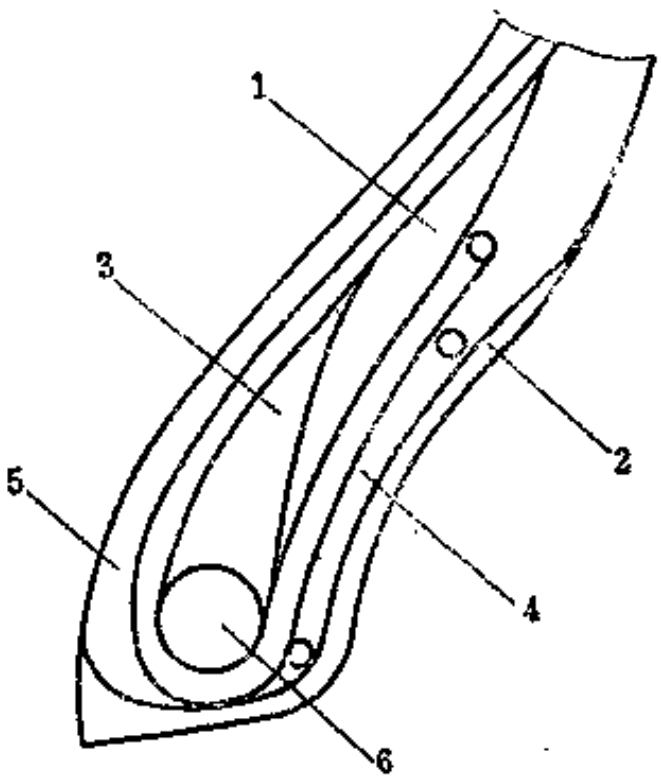



图 1-11-17　子午线轮胎胎圈构造举例

1—软胶芯；2—子口胶；3—硬胶芯；4—补强层；5—油皮胶；6—钢丝圈

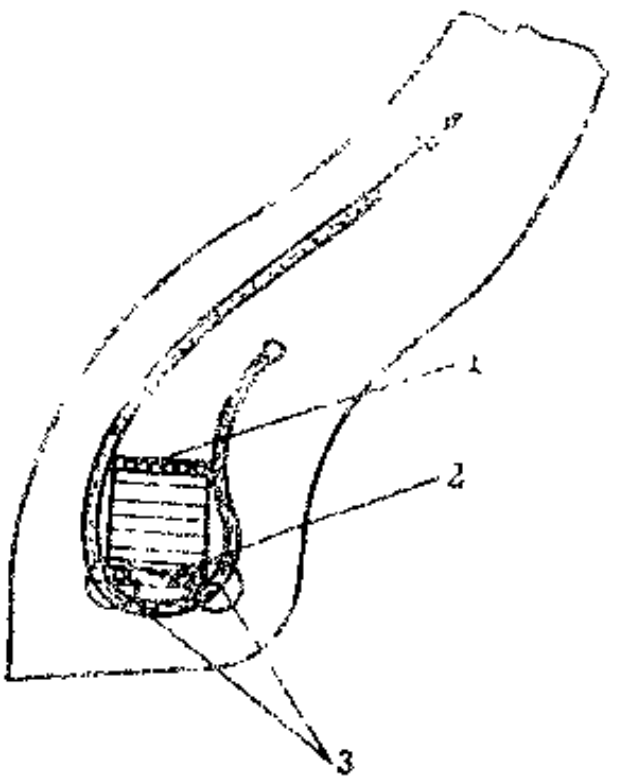



图 1-11-18　方断面钢丝圈应力分析图

1—外层；2—内层；3—应力最大点

为使钢丝绳能够屈挠就需要有同帘线垂直方向的作用力，该作用力与帘线屈挠力成正比。作用于钢丝圈的帘线伸张力从内层逐渐向外层减小，因为外层钢丝与帘线应力成切线方向，应力较小，相反地内层钢丝和两侧部钢丝直接地接触胎体帘线应力较大。此外，钢丝圈下部材料压缩所造成的轮辋过盈力，首先作用在内层钢丝圈上。所以，钢丝圈内层钢丝应力最大，两侧部钢丝应力次之，外层钢丝应力最小。由此可知，方形断面钢丝圈应力不均，其应力状态不及六角形断面和圆断面钢丝圈，尤其在子午线结构轮胎上不宜用多层数的方形断面钢丝圈。

以较粗的钢丝缠绕而成的圆断面钢丝圈最为合理，所占的断面轮廓尺寸虽小，但其强度在几种现有钢丝圈结构（方形、半圆形，六角形、整圆形）中最高。例如，有一中型载重轮胎的钢丝圈结构为：$1\times3.0+(8+14+20)\times1.5$，即钢丝圈由1根$\phi$3mm中心股，8根$\phi$1.5mm内缠股，14根$\phi$1.5mm中缠股和20根$\phi$1.5mm外缠股共43根钢丝所构成。中心股$\phi$3mm钢丝单根强力为480kgf，$\phi$1.5mm钢丝单根强力330kgf。

在载重无内胎轮胎上，普遍应用断面为宽斜六角形的钢丝圈，以保证胎圈与轮辋密合需要。

图1-11-19为钢丝圈的几种断面形状。

为防止帘布层反包撬开和加强胎圈部，通常采用钢丝补强层。补强层宽度应低于帘布层

包边差级，帘线裁断角稍大于帘布层帘线角，一般为10～20°。补强层帘布差级高度不应高于帘布层包边，而且其角度也不应太大，如当角度为45°时，在轮胎径向变形大的情况下，则可能导致帘布包边与补强差级部位应变方向不同而脱空损坏。

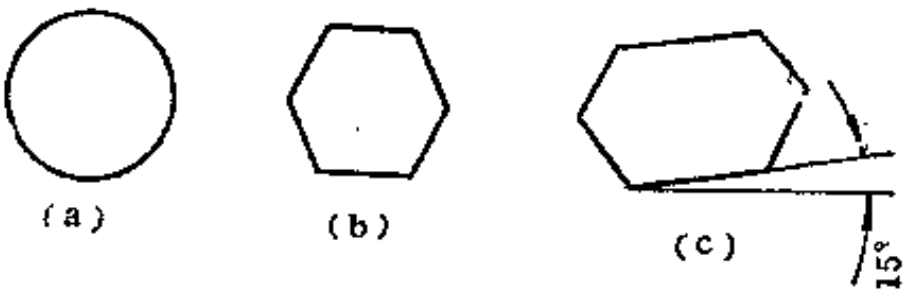
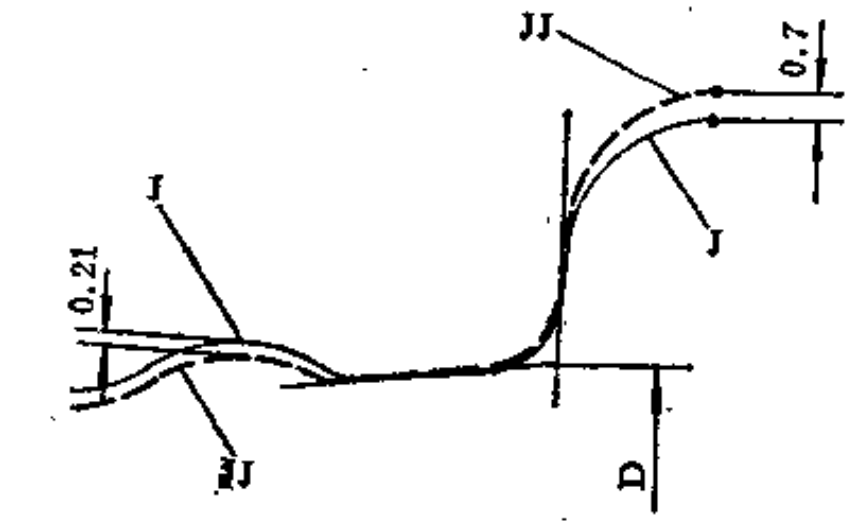



图 1-11-19 钢丝圈断面形状
（a）圆断面钢丝圈；（b）六角断面钢丝圈；
（c）大型无内胎轮胎钢丝圈

钢丝子午线轮胎以及无内胎结构轮胎的胎圈部常使用子口包胶，硬度（邵尔A）达80以上，如果是无内胎结构还需要采用气透性小的丁基橡胶制造。载重纤维子午线轮胎可使用单体尼龙制造的子口包布。

近年来，汽车和轮胎的不断发展，两者的联结构件——轮辋也日益改进，为了使轮胎与轮辋配合得当，就要从轮辋断面形状与胎圈部设计分析入手，研究出合理的胎圈部轮廓设计法。下面按照轿车和载重两类轮辋说明轮胎胎圈部外轮廓尺寸的选择方法。

由于轿车行驶速度不断提高和各种使用性能逐步完善，要求轮胎与轮辋间的相互配合愈来愈紧密，因此在讨论胎圈部设计时应分析一下轮辋的有关参数。近年来的欧洲ETRTO年鉴建议采用J型轮辋，美国TRA年鉴推广使用JJ型轮辋，这类轮辋的边缘高度比“K”和“L”等型轮辋边缘低得多（如图1-11-20），因面能增加车轮的径向弹性，特别适应于径向变形大的子午线结构轮胎。“J”和“JJ”型轮辋两者基本上相同，但也有一定的区别，从轮辋与轮胎相互配合以及改善轮胎性能角度来分析，“J”型比“JJ”型轮辋要好，因为“J”型轮缘高度低于“JJ”型轮辋，而“J”型胎圈座的平峰和凸峰高度比“JJ”型要大(图1-11-21)。



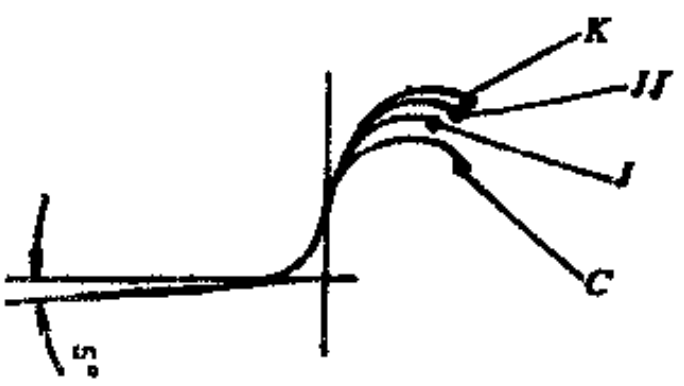




图 1-11-20 轿车轮辋边缘高度比较

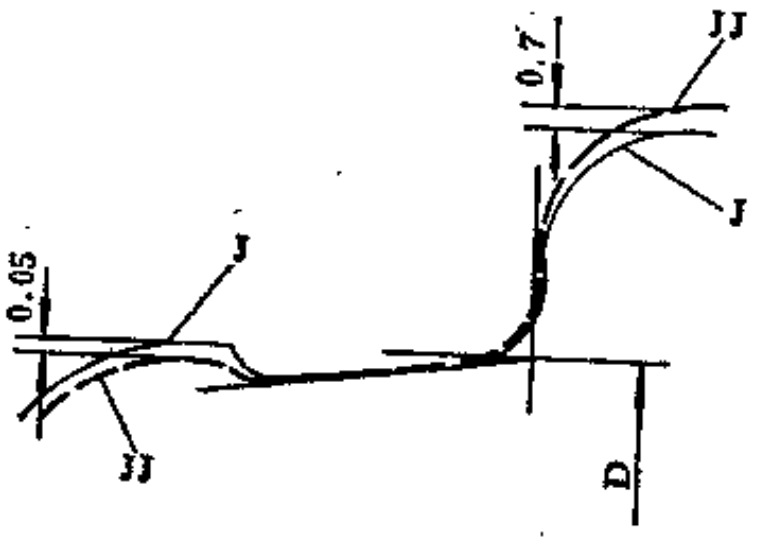



图 1-11-21 “J”与“JJ”型轮辋对比（单位：mm）

当轮辋曲线形状已知后，就着手设计胎圈部轮廓尺寸，首先从下胎侧轮廓开始，接触轮辋边缘的下胎侧弧度半径要比一般斜交轮胎为大，以保证有挺直的胎侧部（图1-11-22）。胎侧下面的胎圈部设计要求十分严格，因为目前国际上轿车轮胎几乎全部是无内胎结构的，对胎圈与轮辋配合上气密性要求很高，胎圈部着合直径比相应的轮辋部直径小1.0～1.5mm，有时胎踵部还设计成0.5～0.6mm的突出形式，并且胎踵部轮廓半径要比轮辋上的R6.4mm

小些。胎圈底部倾斜度应比轮辋相应的5°角大一些，通常在三分之二宽度上胎圈部取10°倾斜角，而在另外三分之一胎趾部宽度上因无钢丝圈卡紧条件还要增大倾斜度，一般在4～5mm宽度上取25°倾斜角，从10°倾斜角向25°倾斜角过渡处采用圆角过渡法（图1-11-22）。这样的过盈配合设计能保证胎圈部紧密座合在轮辋上，以防止胎腔空气从胎圈部泄漏。由于采用过盈配合法，必须相应加强钢丝圈强度，以克服过盈力所造成的钢丝圈附加应力。

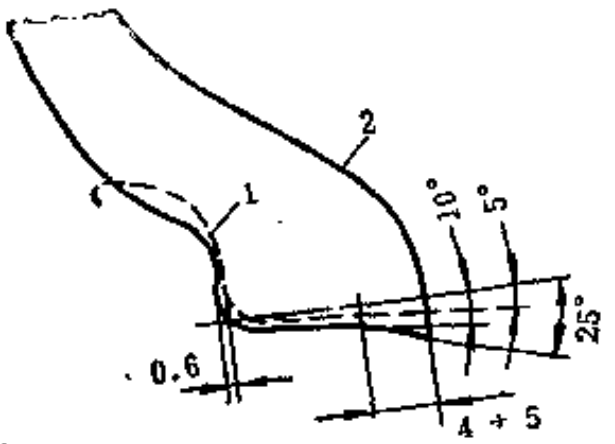



图 1-11-22 轿车无内胎轮胎胎圈轮廓(单位:mm)
1—轮辋轮廓；2—胎圈轮廓

载重子午线轮胎胎圈部着合部位的轮廓设计也决定于装用轮辋与胎圈本身的结构特点。从轮辋曲线发展上来讲，为了在较快速度下承担较大的负荷量，各国都广泛应用5°斜底式轮辋代替了过去的平底式轮辋。斜底式轮辋的轮辋宽度占轮胎宽度的70%以上，而平底式轮辋的轮辋宽度只占轮胎宽度的62.5%，而且斜底式轮辋因采用5°倾斜角使轮胎与轮辋配合紧密，装卸方便。同时斜底式轮辋由于轮辋边缘高度降低，能扩大胎侧部变形区域，这点对于径向变形大的子午线轮胎尤为重要。

在美国“TRA”年鉴中载重轮胎用的斜底式有内胎轮辋分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型，而在欧洲“ETRTO”年鉴中则有A型和B型之分，各种类型之间有一些差别，但相差不太大。目前国际上使用最多而且结构最为合理的就是Ⅰ型（或A型）轮辋，其它均属过渡形式，我国标准也采用Ⅰ型轮辋，因此我们着重讨论这种轮辋的特点。该种轮辋根据轮胎规格大小不同从5.0in到10.0in每间隔0.5in就有一种规格，而且每种规格都有自己的曲线形状。因为要有5°倾斜角，在公称直径的基础上加上两倍倾斜所增加的$2\times3.15=6.3$mm后，如轮辋是20in时，则轮辋着合直径为：$508+2\times3.15=514.3$mm，不应当理解为508mm(参见GB3487—83轮辋标准)。

子午线轮胎的下胎侧与胎圈部之间的过渡轮廓通常设计成挺直形状，以减少该部位的变形应力。在不可能的情况下如果要采取斜交轮胎设计形式时，就需要在该部位填充变形生热低的较硬胶料弥补之。胎圈部与轮辋边缘相对应的轮廓$R5$和$R6$以及5°角倾斜度，一般选取

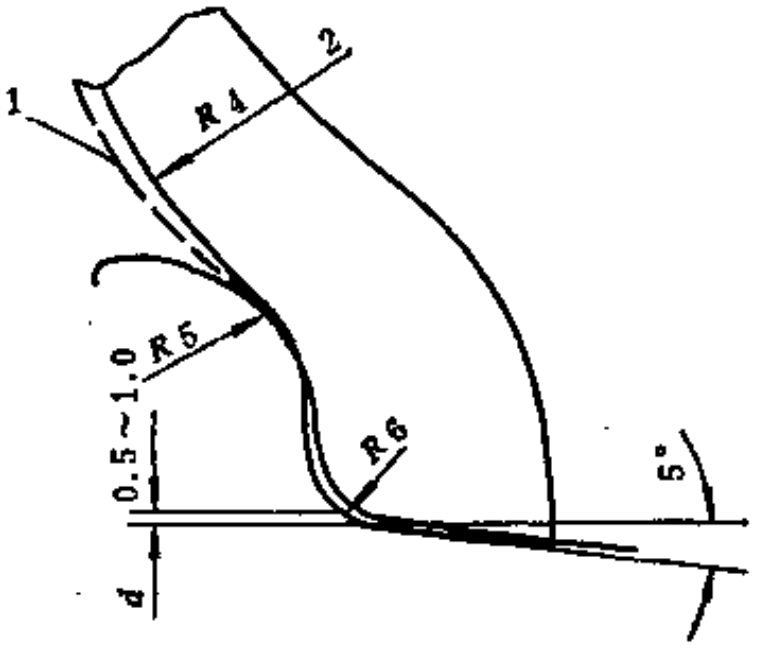



图 1-11-23 载重子午线轮胎胎圈设计法(单位：mm)
1—斜交轮胎；2—子午线轮胎

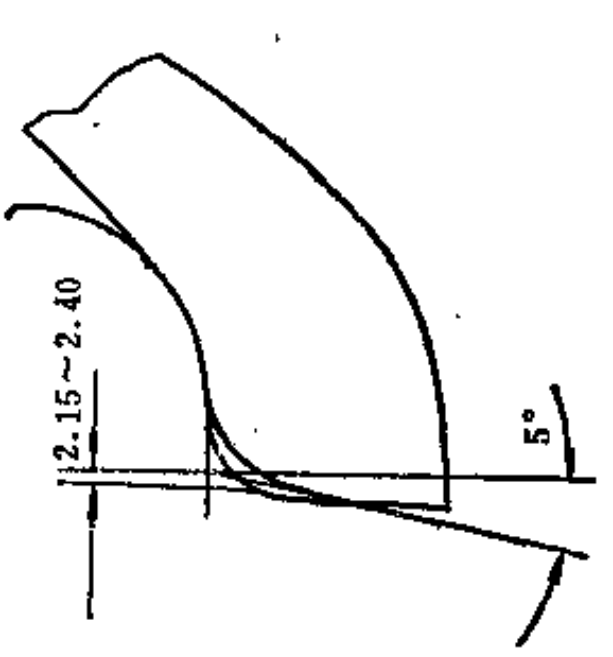



图 1-11-24 胎圈部在5°斜底式轮辋上着合状态（单位：mm）

与轮辋相同的数字，以保证紧密地配合使用。至于胎圈部着合直径 $d$ 的尺寸可选取等于或稍小于轮辋相应部位尺寸，以保持一定的过盈量（图1-11-23和图1-11-24）。

在平底与斜底轮辋过渡交替时期，考虑平底与斜底两用轮胎胎圈部设计时，胎圈部着合直径取值要比轮辋公称直径大1.5～2.0mm，胎圈部底线可采用水平或取2～3°倾斜角，胎圈与轮辋的配合轮廓$R5$和$R6$曲率半径采取轮辋相同的尺寸。这样的胎圈设计既能使用在平底式轮辋上，又可以装配在斜底式轮辋上，但是在斜底轮辋上有4.3～4.8mm过盈量，必须加强钢丝圈强度。

## 第五节　高速轿车轮胎设计

轮胎在高速滚动时承受很大的动力载荷和高频率变形，将产生高温、滚动损失增大。当滚动速度增高到一定程度时轮胎就会出现驻波现象，破坏轮胎的正常滚动条件，此时的速度称为“临界速度”。

于午线轮胎的驻波现象不同于斜交轮胎（如图1-11-25），因子午线轮胎有刚性大的带束层，胎面部产生驻波要比较软的胎侧部产生驻波延迟许多。子午线轮胎临界速度要比斜交轮胎为高，且其波幅长度也比斜交轮胎为大。

提高轮胎临界速度的主要措施是：采用低断面结构；缩小胎面拱度；提高变形中心；减轻轮胎重量，减薄胎冠厚度，合理设计带束层；应用高强力骨架材料和特殊花纹设计等。

此外，在使用上要适当提高内压标准，一般要提高30～50kPa(0.3～0.5kgf/cm²)，以减小轮胎变形和滚动损失以及提高操纵稳定性。研究表明，高速轮胎(花纹深度 8～9mm)在水膜路面上产生打滑时的速度与轮胎充气压力的关系为$V=63\sqrt{P}$，$V$ 为轮胎产生打滑时的速度，$P$为轮胎充气压力。由此可知，提高轮胎气压可以改善高速轮胎的抗湿滑性能。

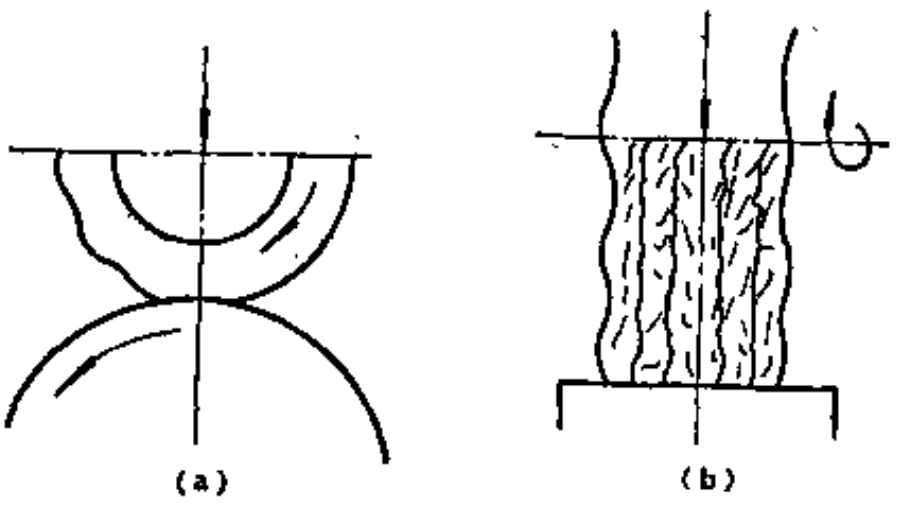



图 1-11-25　不同结构轮胎驻波状态
（a）斜交轮胎；（b）子午线轮胎

由于高速度滚动时斜交轮胎在离心力作用下外径显著增大，改变了原始接地印迹的形状和接地压强的分布，增大了胎[illegible]材料应力，所以在高速轮胎的设计上都采用较小拱度甚至是反拱度的胎面轮廓，以便于高速行驶时胎面拱度增大到一般常速轮胎的合理形状。但是，子午线轮胎高速行驶时不同于普通斜交轮胎，因大角度的带束层所铠装，外直径稍有增加，但不会象斜交轮胎那样显著增加。所以子午线轮胎的胎面拱度原始形状应当比斜交轮胎大些，不应采用过平的或反拱形胎面轮廓，否则，不仅在常速下而且在高速下接地印迹仍然是反椭圆形，将降低轮胎滚动性能。不同速度下的胎面拱度设计轮廓见图1-11-26。

因为高速轮胎要求胎体轻而强度高，常采用高强力耐疲劳的尼龙帘线制造帘布层，此时同样对轮胎印迹压强分布影响很大。同一模型轮胎帘布层使用不同的帘线制造时，其印迹形状是不同的，尼龙帘线胎体要比人造丝和钢丝绳胎体变形大，如图1-11-27所示。以人造丝制造的轮胎印迹是合理的，而以尼龙帘线制造时印迹形状呈反椭圆形，所以采用尼龙帘线制造的高速轮胎应采用更高的胎面拱度。

215HR15轮胎使用不同帘线材料制造时静负荷性能对比参数载于表1-11-11 中。由表可

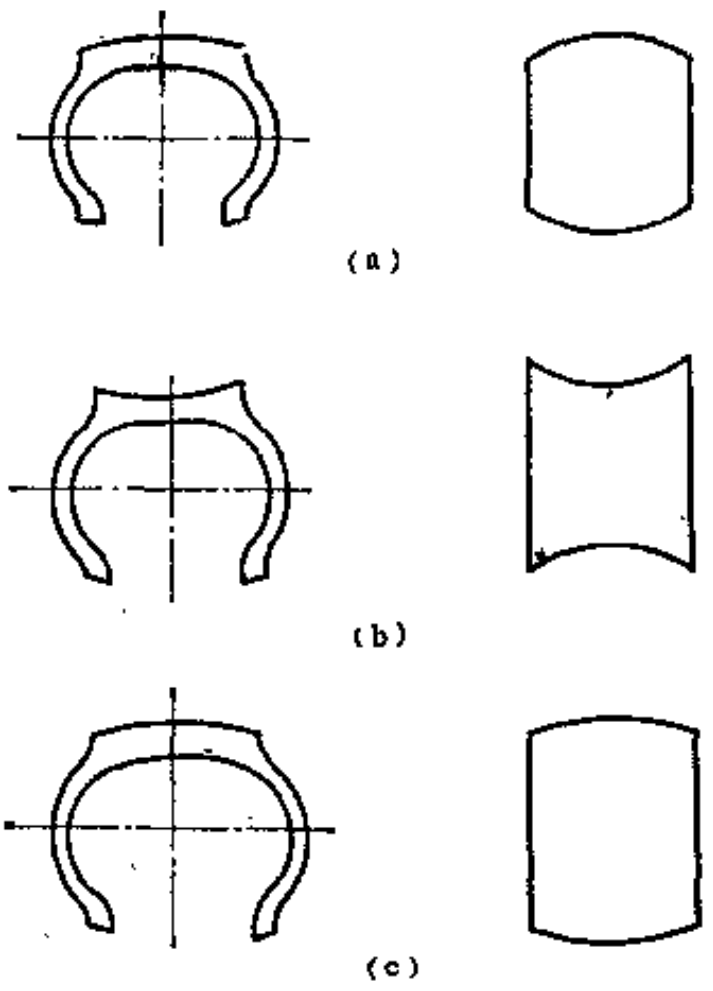



图 1-11-26　高速轮胎胎面拱度设计

（a）斜交常速轮胎；（b）斜交高速轮胎；（c）子午线高速轮胎

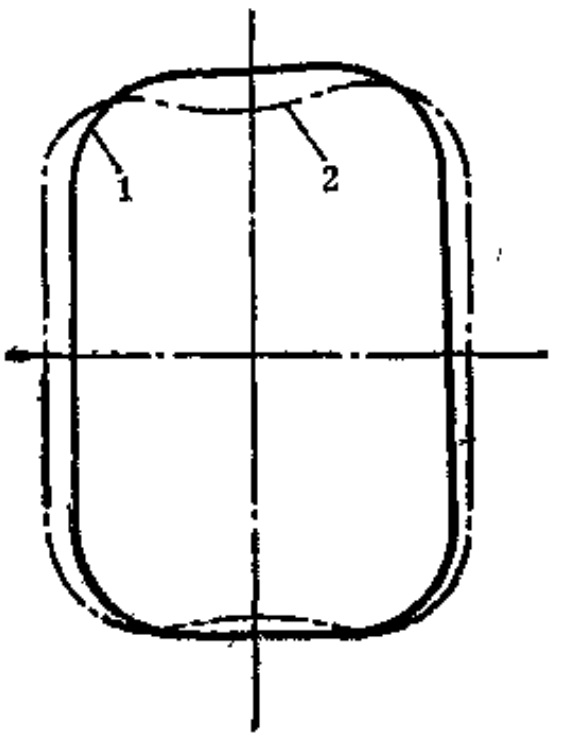



图 1-11-27　215HR15轮胎使用人造丝和尼龙丝帘线帘布层的印迹形状对比

1—人造丝帘线帘布层；2—尼龙丝帘线帘布层

表 1-11-11　215HR15不同帘线轮胎的静负荷性能

| 静载性能 | 一层尼龙轮胎 | 二层人造丝轮胎 | 静载性能 | 一层尼龙轮胎 | 二层人造丝轮胎 |
|---|---|---|---|---|---|
| 充气断面宽，mm | 234 | 225 | 压缩系数，% | 19.9 | 19.4 |
| 负荷断面宽，mm | 256 | 249 | 接地系数 | 1.19 | 1.27 |
| 静载半径，mm | 324 | 325 | 硬性系数 | 1.04 | 1.02 |

知，尼龙胎体轮胎变形大于人造丝胎体。

高速轮胎在滚动时大部分热量向外扩散是经过胎冠部，不通过胎侧部，因此应设法减薄胎冠部厚度，同时高速轮胎花纹深度较常速轮胎浅，一般为8mm左右。为了改善胎肩部应变状况和减小滚动损失，高速轮胎的行驶面宽度应比常速轮胎窄，通常取断面宽度的65～70%，有的轮胎行驶面宽只有断面宽的50%（参见图1-11-28）。

由于子午线轮胎胎冠部坚硬，胎侧部柔软，胎冠厚胎侧薄，带束层帘线角度大，胎体帘线角极小，加之胎面曲率比较平坦，所以胎冠与胎侧应力变形差异很大，且其作用方向不同。从胎冠向胎侧过渡的胎肩区域将承受很大的复杂变形，特别是高速胎水平轴较高而胎肩区域缩小范围后，胎肩部就成为一个十分重要的部位。通常，高速轮胎采用将胎冠部和胎肩部分开的设计方法，使断面变形过渡区放在上胎侧（见图1-11-29）。高速轮胎的胎肩部要薄，一般为胎冠部厚度的1.10～1.15。

为了提高子午线高速轮胎的侧向刚性，有的采用胎侧胶增加径向加强筋，也有的采用下胎侧挺直和加宽胎口宽度的方法来改善侧向稳定性（图1-11-30）。

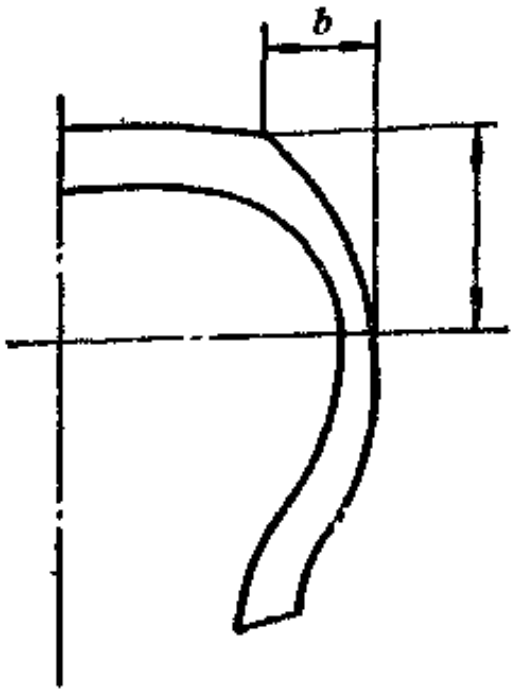



图 1-11-28　高速轮胎行驶面宽度设计

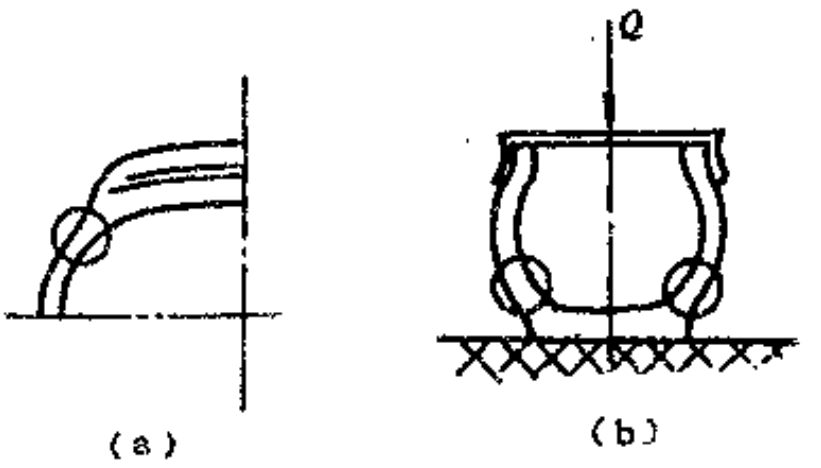



图 1-11-29　高速子午线轮胎胎肩部设计
（a）充气时变形中心；（b）负荷下变形中心

带束层结构对高速轮胎的临界速度影响极大，根据应力分析可知[3]，子午线轮胎的临界速度$V$的平方同带束层周向力$T$成正比，同其单位质量$\rho$成反比，同轮胎半径$R$的平方成反比，

$$V^2=\frac{T}{\rho R^2} \tag{1-11-2}$$

由此可知，如若增大带束层周向力，提高水平轴位置，以及加高内压标准等，势必要增高带束层的整个应力，因此就应增加带束层的钢丝强度，增加帘线密度，增加带束宽度，必要时还要增加带束层数。

带束层按其结构材料分为钢丝、纤维和混合结构三种，按其结构形式分为二层钢丝交叉式，多层折叠式和钢丝包边式等。通常高速轮胎的带束层是由两层70～75°交叉的钢丝帘布和一层90°尼龙帘布所构成（如图1-11-31所示）。小规格轿车轮胎带束层多使用折叠式纤维结构。MICHELIN高速轮胎采用钢丝包边式带束层，该种结构既能加固胎肩部又能减少脱层机会，可提高轮胎临界速度。

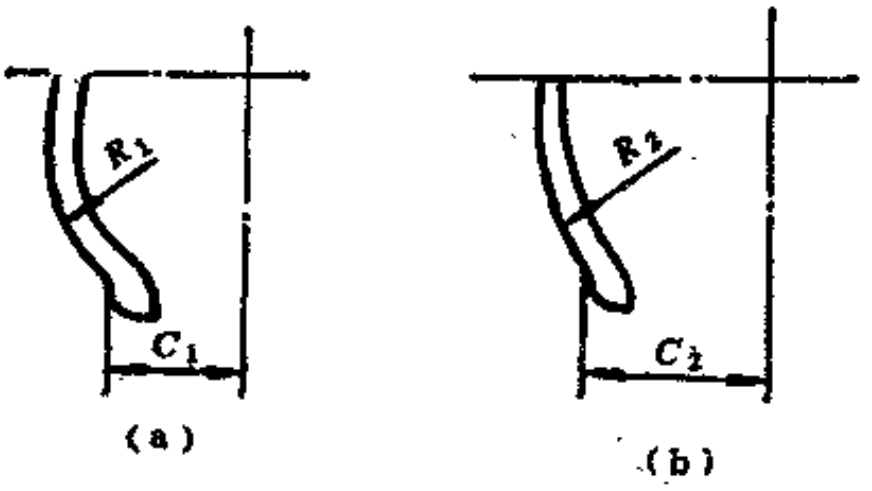



图 1-11-30　高速轮胎下胎侧轮廓设计
（a）常速轮胎；（b）高速轮胎
（$c_1<c_2$；$R_1<R_2$）

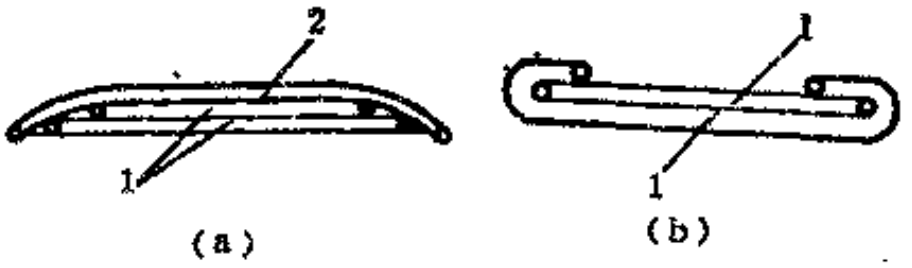



图 1-11-31　高速轮胎带束层结构
（a）混合带束层结构；（b）钢丝带束层结构；
1—钢丝布；2—尼龙布

带束层两层钢丝帘布的特点为：单丝直径0.22～0.25mm，结构为1×4或1×5，帘线粗度0.5～0.8mm，帘线强力300～600N，帘布密度为60～75根/cm。在两层钢丝之上有一层90°尼龙帘线层，用于克服高速离心力所造成的脱空现象和提高操纵稳定性。尼龙层宽度大于钢丝层，以保证尼龙层对钢丝层的各点箍紧程度均匀一致。尼龙层圆周搭头长度按照硫化膨胀值和错开程度的不同，根据经验确定。

由于高速轮胎的带束层周向力大，钢丝密度大，整体刚性高，因而要求带束层胶料的硬度和定伸应力也要高，而且随着速度级别的增高而提高指标。由于子午线轮胎冠部要求具较大刚性，因而可通过增大胎面胶硬度来达到，同时提高了胎面耐磨耗性能，许多高速轮胎的胎面胶硬度达到65以上。为了提高胎侧部刚度，通常使用硬三角芯来补强胎圈部，一般胶芯硬度在80以上。

高速轮胎在行驶安全性和降低噪音方面的要求比一般轿车轮胎高得多，因此为了提高附着性能（特别是湿滑性能）和降低噪音，高速轮胎的胎面花纹设计具有分散孤立，耐侧滑沟多，花纹面积率低三个特点。典型的高速轮胎花纹形式如图1-11-32所示。

高速轿车轮胎花纹断面形状不同于一般轿车轮胎花纹，应多从散热性和抓着性考虑，采用宽面浅、倾斜小，沟底敞的设计方法（图1-11-33所示）。

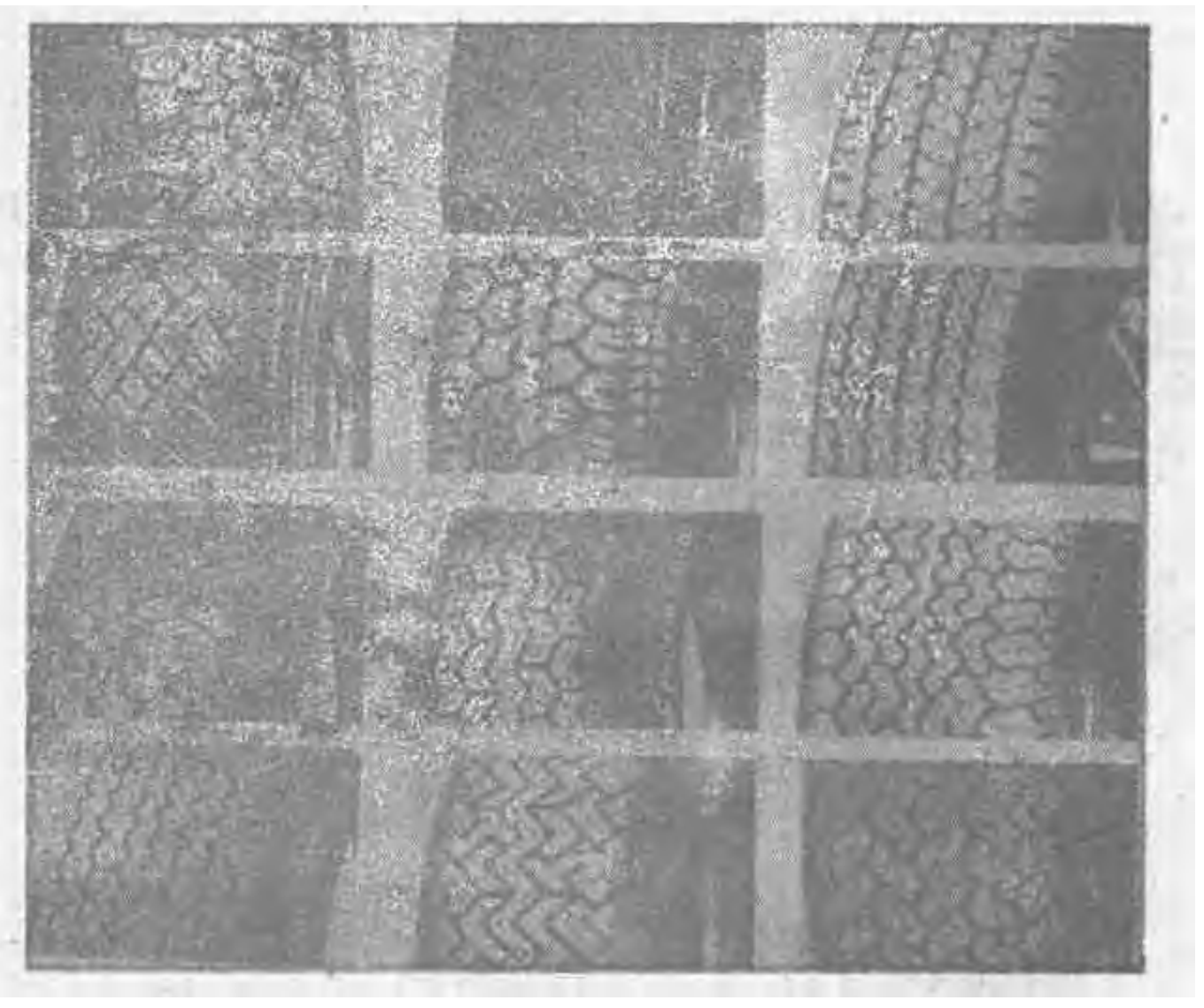


图 1-11-32　高速轮胎花纹12例

为了提高花纹的路面附着力和降低高速噪音，常采用局部花纹沟缩窄和沟部补强措施，一般有图1-11-34和1-11-35所示的几种设计方法。

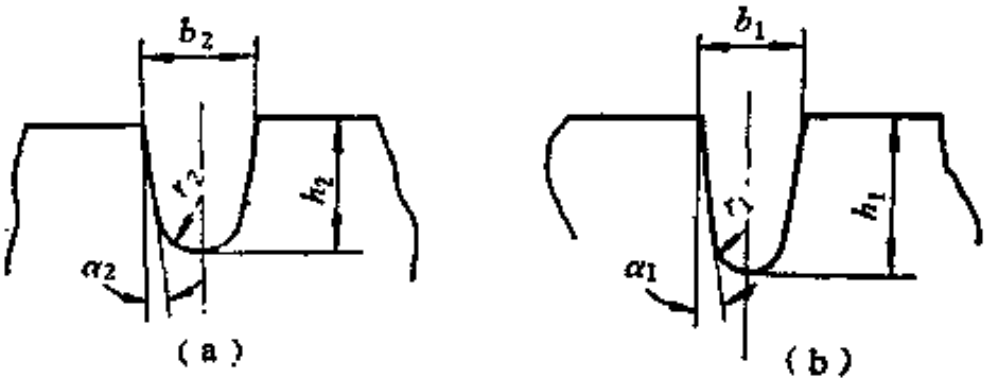



图 1-11-33　高速轮胎花纹形状

(a) 高速花纹形状；(b)常速花纹形状
($h_1>h_2$, $b_1<b_2$, $r_1<r_2$, $\alpha_1>\alpha_2$)

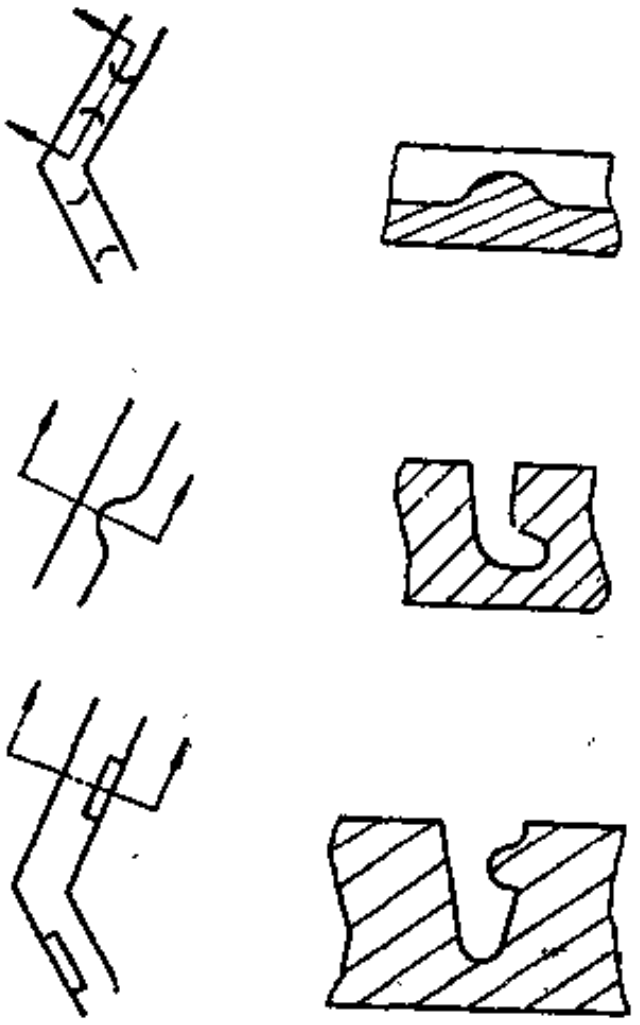


图 1-11-34　花纹沟补强方法

为了提高轮胎在高速时的路面附着力（特别是湿滑路）和增加花纹接地面积，通常采用各种细缝花纹，细缝花纹的形式和配置方向皆对花纹性能有着影响。横向细缝在接地时扩宽，而纵向细缝则缩窄，所以横向细缝同路面有较大的附着力，但是横向细缝会降低胎面的刚性，因此细缝花纹最好排列成一定的角度。细缝花纹的几种形式见图1-11-36。



图 1-11-35　花纹沟局部缩窄方法

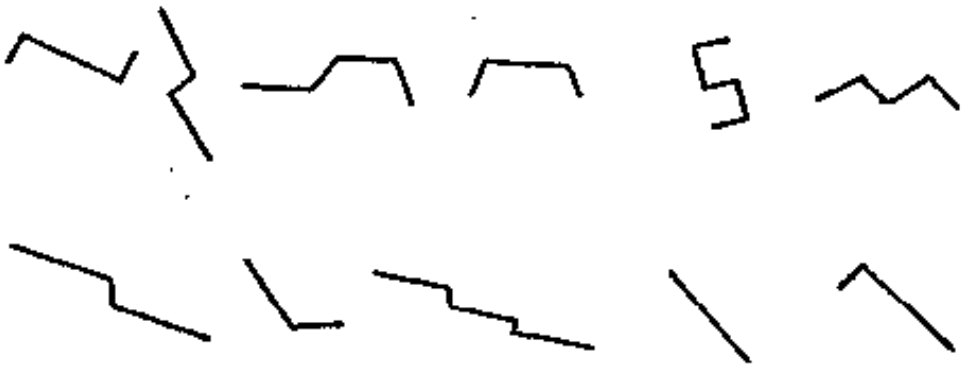


图 1-11-36　细缝花纹形式举例

# 第六节　轮胎强度的计算

## 一、轮胎充气尺寸的计算

目前国际上计算轮胎应力和变形仍然以充气轮胎轮廓及其参数为原始基础的，因此计算轮胎各部件强度首先要知道轮胎充气尺寸。子午线轮胎由于胎冠部有不伸张的带束层而保证胎冠部充气时基本不变，即轮胎外直径的充气尺寸与模型尺寸基本相同。轮胎充气变化的部位主要是从带束点到轮辋点的两个胎侧部。

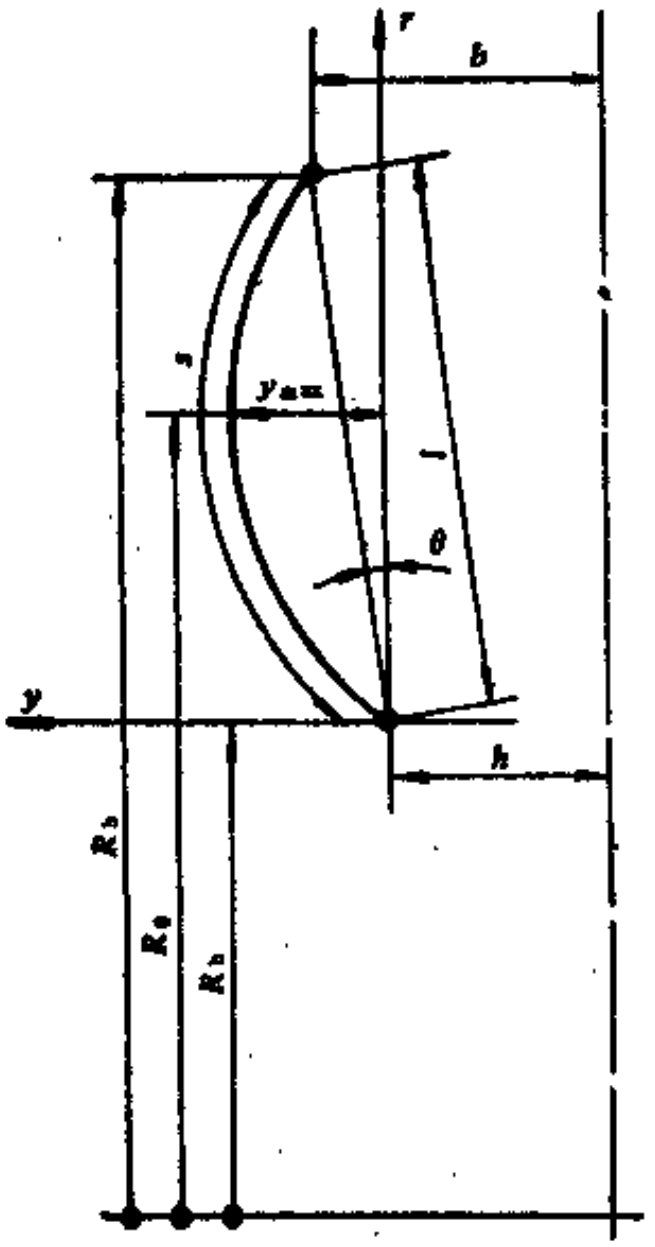



图 1-11-37　子午线轮胎充气形状计算图

现将胎侧变形区s曲线放在ry坐标 轴 上，胎侧部断面与r轴倾斜角为θ，带束层和轮辋点的相应宽度为2b和2h，水平轴零点半径为 $R_0$，由图1-11-37可知[4]：

$$R_0=R_h\sqrt{\frac{r^2+r+1}{3}+\frac{2\mathrm{tg}\theta}{A}} \qquad (1\text{-}11\text{-}3)$$

充气轮胎内轮廓断面宽$B_0$为：

$$B_0=2(h+y_{max}) \qquad (1\text{-}11\text{-}4)$$

$$y_{max}=(R_0-R_h)\mathrm{tg}\theta-\frac{A}{6R_h^2}\left[R_b^3-(r^2+\right.$$

$$\left.r+1)R_h^2R_0+r(r+1)R_h^3\right] \qquad (1\text{-}11\text{-}5)$$

轮胎充气尺寸的计算步骤如下。

（1）根据模型尺寸材料分布图找出带束点和轮辋点，并测得相应的半径$R_b$和$R_h$以及两点同断面对称轴的距离b和h，然后测量出两点间的曲线长度S和弦长L。

（2）计算出各常数：

$$r=\frac{R_b}{R_h} \qquad \mathrm{tg}\theta=\frac{b-h}{R_b-R_h} \qquad \cos\theta=\frac{R_b-R_h}{L}$$

$$A=\frac{6}{(r-1)\cos^2\theta}\sqrt{\frac{S-L}{L}\cdot\frac{10}{4r^2+7r+4}}$$

（3）将各常数值代入式（1-11-3）和式（1-11-4），计算出零点半径$R_0$和内轮廓断面宽$B_0$；计算强度所需的充气轮胎胎里半径与材料分布图上的模型尺寸相同，即为轮胎外径之半减去胎冠部厚度。

## 二、轮胎各部件强度的计算

子午线轮胎胎体帘布层帘线内压应力N依下式求得[4]：

$$N=\frac{P(R_k^2-R_0^2)}{2R_k ni} \tag{1-11-6}$$

式中 $P$——标准气压，kPa；

$R_k$——胎里半径，cm；

$R_0$——零点半径，cm；

$n$——帘线层数；

$i$——帘线密度，根/cm。

帘布层帘线内压应力的安全倍数根据实践经验，一般为：

在好路面上使用10～12倍；

在坏路面上使用14～18倍；

在长途客车使用16～18倍；

在矿山森林使用18～20倍。

子午线轮胎胎圈钢丝圈内压应力$T$为[4]：

$$T=\frac{P(R_k^2-R_0^2)}{2} \tag{1-11-7}$$

式中 $P$——标准气压，kPa；

$R_k$——为胎里半径，cm；

$R_0$——零点半径，cm。

子午线轮胎的钢丝圈安全倍数要求为：一般公路4～5倍，高速公路快速行驶在5倍以上。

如果胎圈与轮辋过盈配合时（无内胎轮胎等），还需要计算钢丝圈因过盈力所造成的附加应力。胎圈对轮辋的过盈量依式（1-11-8）求得：

$$\delta_T=d_c-d_t+2a(\mathrm{tg}\alpha_t-\mathrm{tg}\alpha_c) \tag{1-11-8}$$

式中 $d_t$——轮辋标定直径，cm；

$d_c$——轮胎着合直径，cm；

$a$——轮辋边缘到胎圈中心的距离，cm；

$\alpha_t$——胎圈底部倾斜角；

$\alpha_c$——轮辋底部倾斜角。

钢丝圈过盈力$T_t$依式（1-11-9）求出：

$$T_t=\frac{Ebr\delta_T}{2t} \tag{1-11-9}$$

式中 $E$——钢丝圈下部材料的平均弹性模量，一般在30～50MPa；

$b$——钢丝圈所占宽度，cm；

$r$——钢丝圈平均半径，cm；

$t$——钢丝圈下部材料厚度，cm。

子午线轮胎带束层内压总应力$T_b$为：

$$T_b=P\left[\frac{F}{2}-(R_k^2-R_0^2)\right] \tag{1-11-10}$$

式中 $F$——轮胎内轮廓断面积，$cm^2$；

$P$——轮胎标准内压，kPa；

$R_k$——胎里半径，cm；

$R_0$——零点半径，cm。

带束层每根帘线应力$N_b$为：

$$N_b=\frac{T_h}{b_b\cdot n_b\cdot i_b\sin^2\beta_b} \tag{1-11-11}$$

式中 $b_b$——带束层宽度，cm；

$n_b$——带束层层数；

$i_b$——带束层密度，根/cm；

$\beta_b$——带束层角度。

带束层帘线内压应力的安全倍数应比胎体帘布层帘线倍数高一些，一般地取15～20倍。

## 三、9.00R20轮胎计算举例

现以某一9.00R20轮胎举例计算轮胎各部件强度。首先从轮胎材料分布图上找出带束点和轮辋点（见图1-11-38），测量出相应的带束点半径 $R_0$ 为 46.3cm，与断面对称轴距离 $b$ 为7.8cm；同样测量出轮辋点半径为30.5cm，与断面对称轴距离 $h$ 为8.5cm。然后再测量出带束点与轮辋点之间距离$L=15.8$cm，两点间的曲线长度$S=18$cm。

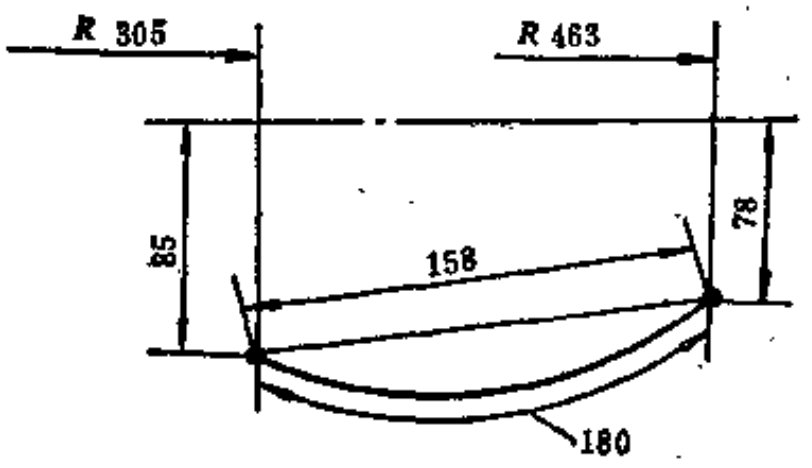



图 1-11-38 9.00R20全钢丝子午线轮胎计算图（单位：mm）

计算各常数：

$$r=\frac{R_b}{R_h}=\frac{46.3}{30.5}=1.518$$

$$\mathrm{tg}\theta=\frac{b-h}{R_b-R_h}=\frac{7.8-8.5}{46.3-30.5}=-0.044$$

$$\cos\theta=\frac{R_b-R_h}{L}=\frac{46.3-30.5}{15.8}=1$$

$$A=\frac{6}{(r-1)\cos^2\theta}\sqrt{\frac{S-L}{L}\cdot\frac{10}{4r^2+7r+4}}$$

$$=\frac{6}{(1.518-1)\times1}\sqrt{\frac{18-15.8}{15.8}\cdot\frac{10}{(4\times1.518^2+7\times1.518+4)}}$$

$$=2.799$$

按照式（1-11-3）求得充气轮胎零点半径为：

$$R_0=R_h\sqrt{\frac{r^2+r+1}{3}+\frac{2\mathrm{tg}\theta}{A}}$$

$$=30.5\sqrt{\frac{1.518^2+1.518+1}{3}+\frac{2(-0.044)}{2.799}}$$

$$=38.289(\mathrm{cm})$$

按照式（1-11-5）求出充气轮胎断面宽度：

$$y_{max}=(R_0-R_h)\mathrm{tg}\theta-\frac{A}{6R_h^2}[R_0^3-(r^2+r+1)R_h^2R_0+r(r+1)R_h^3]$$

$$=(38.3-30.5)(-0.044)-\frac{2.799}{6\times30.5^2}[38.3^3-(1.518^2+1.518+1)\times30.5^2\times38.3$$

$$+1.518(1.518+1)\times30.5^3]$$

$$=3.2546$$

充气轮胎内轮廓断面宽$B_0$等于

$$B_0=2(h+y_{max})$$

$$=2(8.5+3.2546)$$

$$=23.5(\mathrm{cm})$$

因为胎侧部厚度为1cm，所以充气轮胎断面宽为25.5cm。轮胎外径为102cm，胎冠部厚度为3cm，则胎里半径为48cm。

胎体帘布层每根钢丝的内压应力$N$依照式(1-11-6)计算，轮胎气压为686.5kPa(7.0kgf/cm²)，胎里半径为48cm，零点半径为38.3cm，帘线密度为3.8根/cm，则知：

$$N=P\frac{R_k^2-R_0^2}{2R_0ni}$$

$$=686.5\frac{48^2-38.3^2}{2\times48\times1\times3.8}$$

$$=157.53(\mathrm{N})$$

胎体所用(1×3)+9+15×0.18+1×0.13钢丝的强力为1765.2N(180kgf)，则胎体帘线安全倍数为1765.2/157.53=11.205倍。

钢丝圈的内压应力按照式（1-10-7）计算：

$$T=P\frac{R_k^2-R_0^2}{2}$$

$$=686.5\frac{48^2-38.3^2}{2}$$

$$=28733.8(\mathrm{N})$$

钢丝圈是由110根强力为1765.2N的钢丝制成，则钢丝圈的安全倍数为：

$$\frac{110\times1765.2}{28733.8}=6.757(\text{倍})$$

因为胎圈部设计系为平底式和5°斜底轮辋上共用，如胎圈直径取509.5mm，胎圈底部斜度取3°角，胎圈中心到轮辋边缘距离为15mm，则在直径为514.3mm的5°斜底轮辋上过盈量为：

$$\delta_T=d_r-d_t+2a(\mathrm{tg}\alpha_t-\mathrm{tg}\alpha_r)$$

$$=514.3-(509.5+2\times15(\mathrm{tg}3^\circ-\mathrm{tg}5^\circ)$$

$$=3.7476(\mathrm{mm})$$

胎圈对轮辋的过盈力按照式（1-11-9）为：

$$T_t=\frac{Ebr\delta_T}{2t}$$

式中$E$值取较小值为30MPa(3000N/cm²)，$b$为1cm，$r$为27cm，$t$为0.9cm，则得：

$$T_t=\frac{3000\times1\times27\times0.375}{2\times0.9}$$

$$=16875(\mathrm{N})$$

由此可知，轮胎钢丝圈的内压应力$T$与过盈力$T_t$之和为28733.8 +16875=45608.8(N)，则知钢丝圈安全倍数降低为：

$$\frac{110\times1765.2}{45608.8}=4.257(倍)$$

带束层内压总应力$T_b$依（1-11-10）式为：

$$T_b=P\left[\frac{F}{2}-(R_k^2-R_0^2)\right]$$

式中$F$内轮廓断面积实测为2212.95cm²，$P$轮胎内压为686.5kPa，$R_k$胎里半径为48cm，$R_0$零点半径38.3cm，则知：

$$T_b=68.65\left[\frac{2212.95}{2}-(48^2-38.3^2)\right]$$

$$=18491.9(\mathrm{N})$$

带束层每根钢丝应力依式（1-11-11）计算，式中$b_b$为14.8cm（两层基本层平均宽度），$n_b$为2层，$i_b$基本层密度每厘米有6.5根，$\beta_b$基本层帘线角为70°，则得：

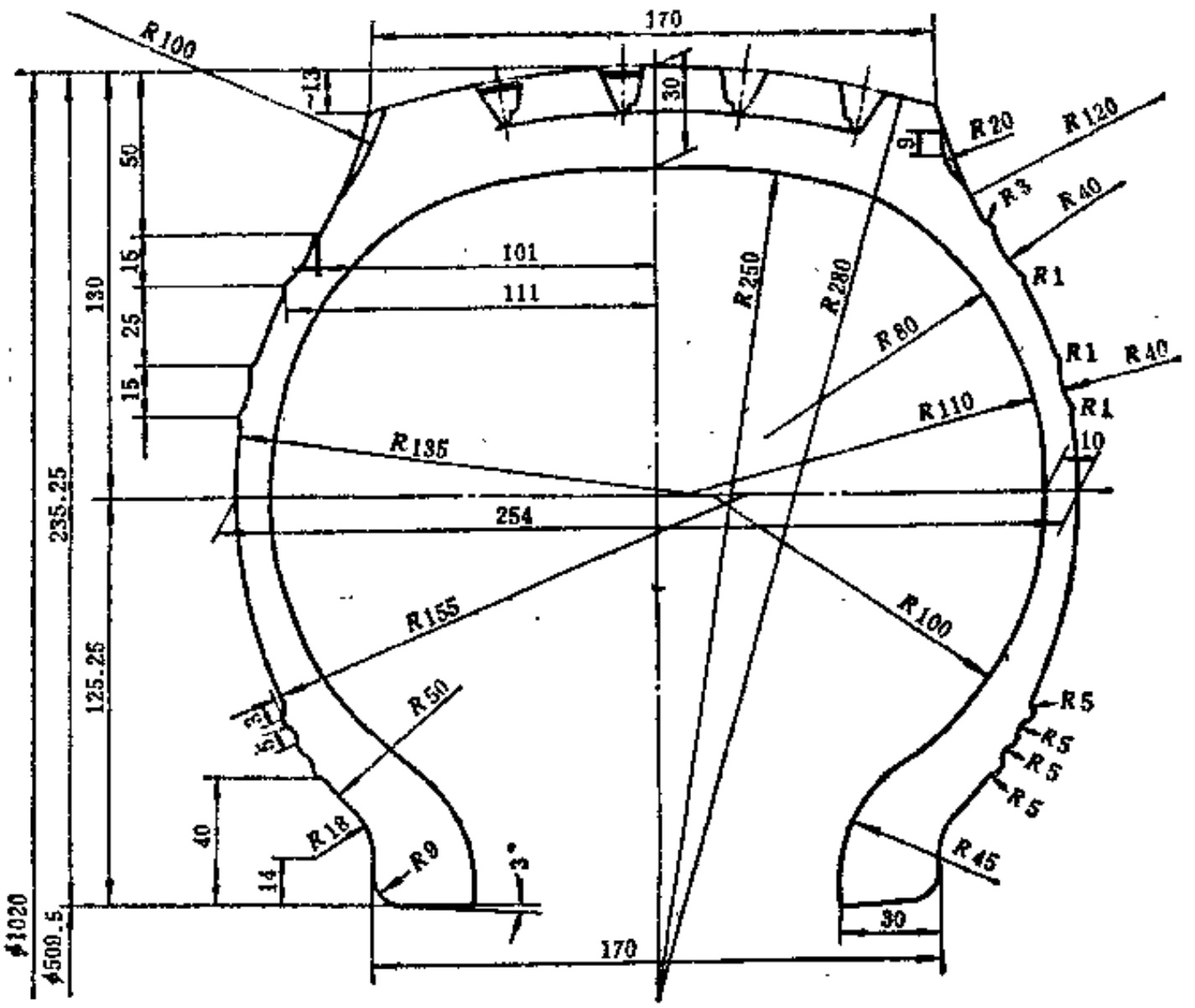



图 1-11-39　9.00R20轮胎总图举例

$$N_b = \frac{T_b}{b_b \cdot n_b \cdot i_b \sin^2\beta_b}$$

$$= \frac{18491.9}{14.8 \times 2 \times 6.5 \times \sin^2 70^\circ}$$

$$= 108.84(\mathrm{N})$$

所使用的钢丝强力为1765.2N，则安全倍数为1765.2/108.84＝16.218(倍)。

图 1-11-39 为 9.00R20 轮胎总图举例，图 1-11-40 为 9.00R20 轮胎形状变化举例，图 1-11-41为钢丝子午线轮胎材料分布举例，1-11-42为高速子午线轮胎设计举例。

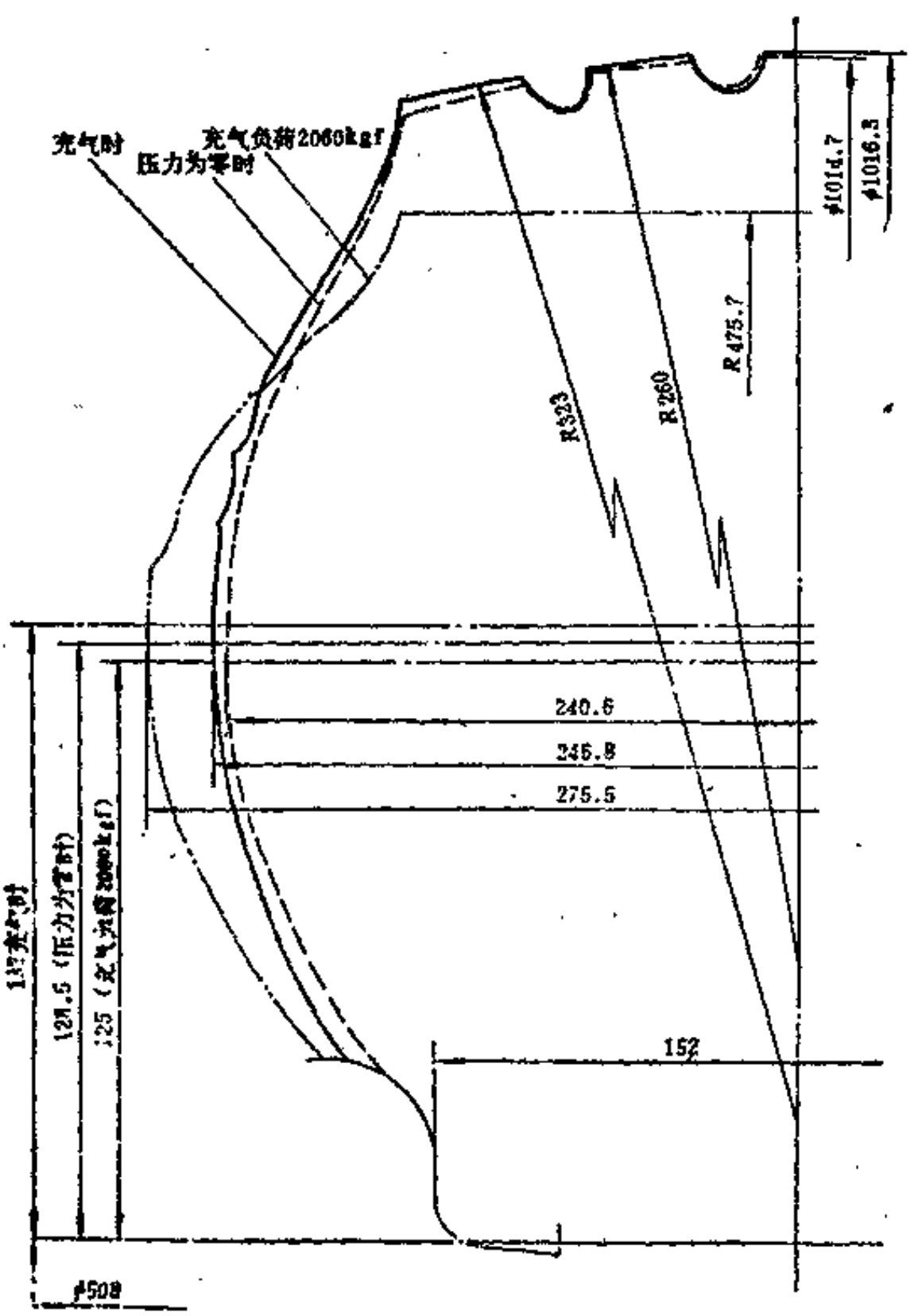



图 1-11-40　9.00R20轮胎形状变化举例

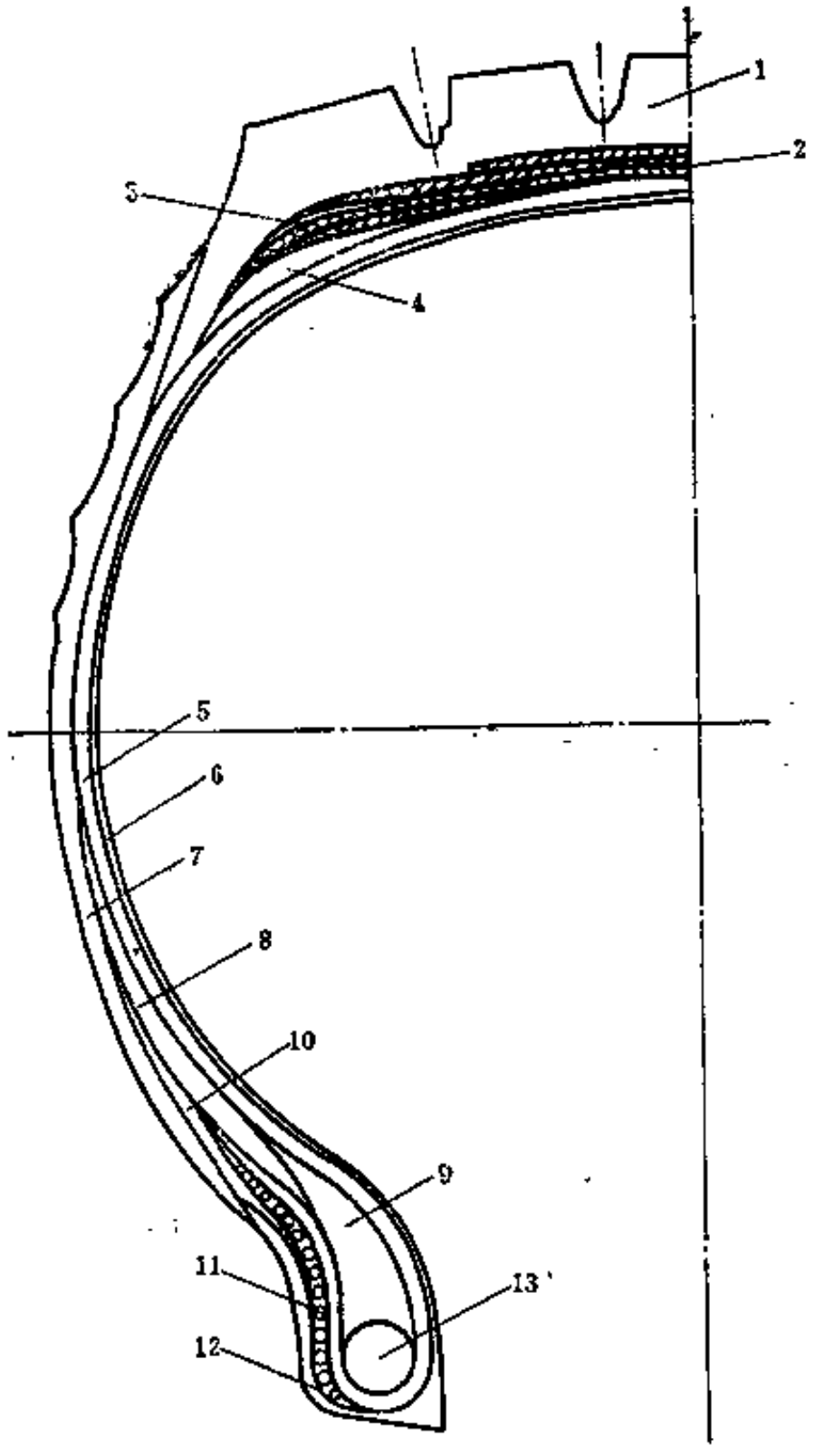



图 1-11-41　钢丝子午线轮胎材料分布举例

1—胎面胶；2—带束层；3—带束层差级胶；4—胎肩垫胶；5—胎体布层；6—油皮胶；7—胎侧胶；11—子口包布；12—子口胶；；13—钢丝圈

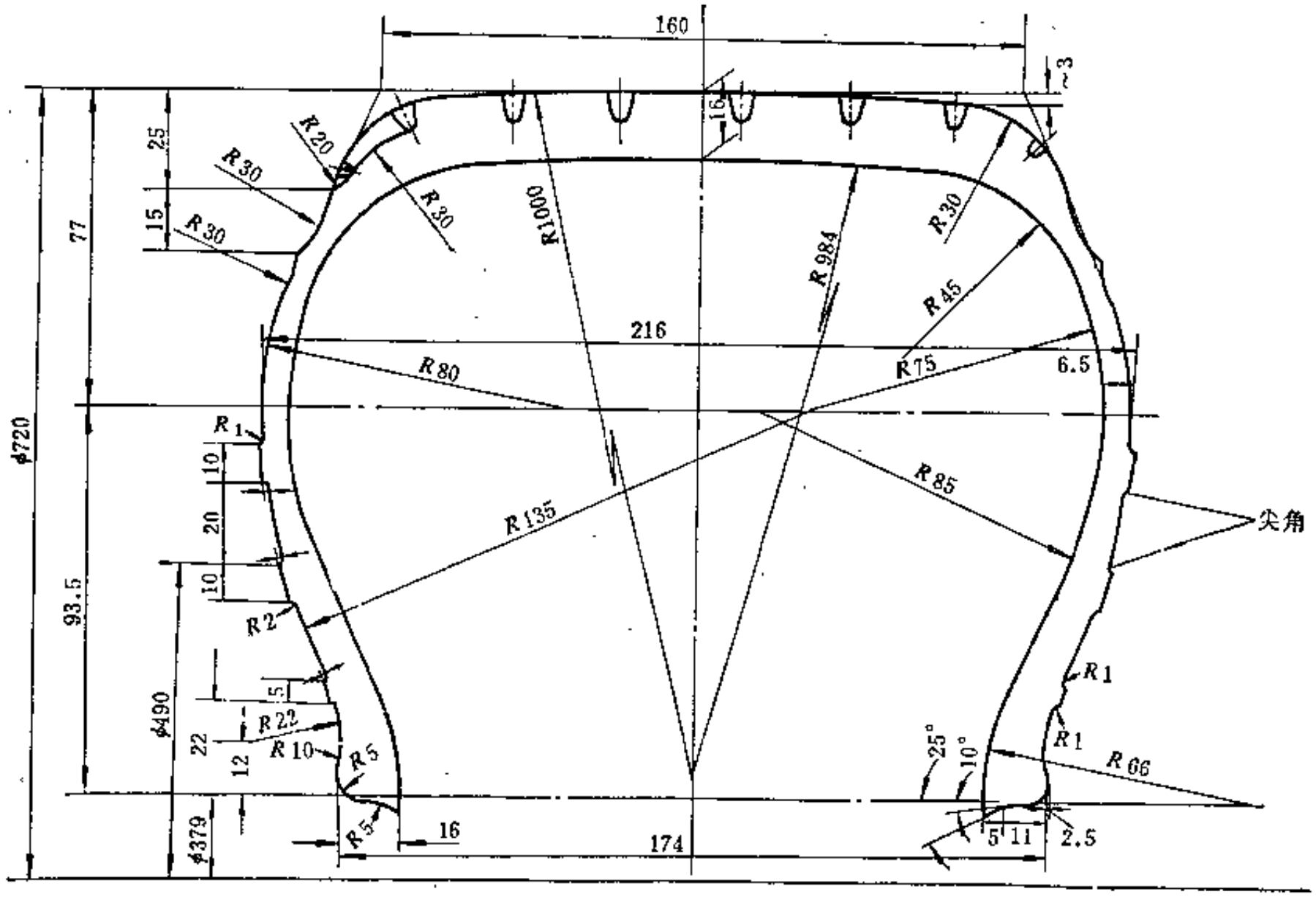



图 1-11-42　高速子午线轮胎设计举例

## 主要参考文献

〔1〕 赤坂　隆，日本ゴム协会志，3，152～168(1978)。
〔2〕 苏联"Каучук и резина"，12(1971)，9(1977)，1(1980)。
〔3〕 吴祥龙，橡胶工业，3(1977)。
〔4〕 Бидермач, В. Л. "Особенности расчёта шины типа Р" от"Автомобильные шины", госхимиздат, 1963.

# 第十二章　计算机在轮胎结构设计中的应用

## 第一节　斜交轮胎形状力学的研究

### 一、引　　言

早年的轮胎研究工作主要集中研究改进原材料、构件装配方法和成型技术以及硫化工艺等方面，近年来由于汽车工业的发展，车辆速度不断地提高，对轮胎提出了越来越多的性能要求。在轮胎研究中，只靠改进原材料和工艺技术还得不到预期效果，还需要不断改进轮胎的形状，分析轮胎内部力的精确体系，所以人们越来越注重理论分析，并采用计算机来指导和辅助设计轮胎结构。为了弄清楚轮胎结构与其性能的关系，基于现代科学的蓬勃发展，数学和力学等基础理论科学在工业中的推广应用，特别是最近电子计算机的广泛应用，使充气轮胎力学作为一门学科迅速的发展起来。在轮胎力学中，首先考虑的是轮胎内部充入高压空气时的稳定形状、帘线所受的张力、各部件的变形和应力等问题，研究轮胎充气形状，大致采用如下三种方法。

（1）薄膜原理（Membrance Theory）和网络理论（Netting Theory）　忽视胎体的刚度，不考虑充气时橡胶所起的作用。由于该原理计算简单，用于研究斜交轮胎的充气形状所得结果较为满意。

（2）薄壳理论（Shell Theory）把轮胎看成一个薄壳，考虑胎体的刚度，多用于飞机轮胎的充气受力分析。

（3）有限元法（Finite Element Method）　考虑帘线和不同橡胶材料的影响，多用于研究子午线轮胎充气形状及非对称负荷下轮胎结构力学的一些问题，但是计算复杂，需要大型的计算机。

由于轮胎是橡胶与帘布的典型复合材料体，构造复合，对其性能要求也是多种多样的，尽管多年来一直在进行有关轮胎各种形状和各种性能的理论研究，在生产实践中也积累了不少经验，但是目前还有许多问题未得到充分解释，有待进一步研究。

### 二、薄膜原理和网络理论计算轮胎形状的数学模式和计算方法

#### （一）符号命名

为叙述方便，本章采用了下列符号，其含义列举如下。

$AA$——轮胎胎冠厚度
$B'$——充气轮胎断面宽
$B$——轮胎断面宽
$BB$——轮胎胎侧厚度
$B_c$——$\cos\ a/R$
$BS$——成型机头宽度
$C$——成型机头鼓肩宽度
$CC$——轮胎胎肩厚度
$E$——轮胎充气后帘线伸张系数
$E_m$——帘线拉伸柔量
$F$——帘线应力
$F_c$——离心力
$F_{\phi\omega}$——轮胎旋转时，作用于薄膜上单位面积的径向力

$F_{\theta\omega}$——轮胎旋转时，作用于薄膜上单位面积的周向力

$F_{n\omega}$——轮胎旋转时，作用于薄膜上单位面积的法向力

$F_\phi$——作用于薄膜上单位面积的径向力

$F_\theta$——作用于薄膜上单位面积的周向力

$F_n$——作用于薄膜上单位面积的法向力

$H$——成型机头盖板厚度

$I$——帘线密度

$I'$——充气轮胎帘线密度

$I_b$——轮辋点上帘线密度

$I_h$——胎冠点帘线密度

$I_0$——挂胶帘线密度

$I_s$——胎侧帘线密度

$K$——帘线安全倍数

$h$——胎冠点下标

$K_B$——钢丝圈安全倍数

$K_c$——帘线从轮胎模型到后充气轮胎中的伸张系数

$L$——帘线长度

$l_1$——在成型机头上菱形边长

$l_2$——在成品中菱形边长

$L_M$——轮胎模型轮辋点至胎冠帘线长度

$L_m$——轮胎成品轮辋点至胎冠帘线长度

$L_n$——轮胎成品钢丝圈底部至胎冠帘线长度

$L_G$——轮胎在成型机头上钢丝圈底部至胎冠帘线的长度

$L_T$——充气轮胎轮辋点至胎冠帘线长度

$M$——帘线拉伸模量

$m$——轮胎单位表面积中橡胶与帘线的平均质量

$m_1$——在胎冠点至胎肩区域内橡胶与帘线的平均质量

$m_2$——在胎肩至轮辋点区域内橡胶与帘线的平均质量

$\mu_0$——充气轮胎帘布层间剪切力

$N$——菱形数目

$n$——帘线总根数

$n_1$——帘布层数

$N_\phi$——作用于薄膜上单位长度的径向力

$N_\theta$——作用于薄膜上单位长度的周向力

$N_{\phi h\omega}$——作用于旋转薄膜上胎冠点单位长度的径向力

$N_{\theta h\omega}$——作用于旋转薄膜上胎冠点单位长度的周向力

$P$——轮胎充气压力

$R$——轮胎半径方向座标

$R'_y$——充气轮胎外半径

$\Delta R$——轮胎旋转时胎里半径的增量

$R_h$——轮胎胎里半径

$R'_h$——充气轮胎胎里半径

$R_m$——轮胎断面宽最宽点半径

$R_b$——轮辋点半径

$R_B$——钢丝圈半径

$R_0$——帘布筒半径

$R_G$——成型机头半径

$R_\omega$——轮胎旋转时任意点半径

$R_{h\omega}$——轮胎旋转时胎里半径

$R_{m\omega}$——轮胎旋转时断面宽最宽点半径

$R_{s\omega}$——轮胎旋转时胎肩半径

$R_{b\omega}$——轮胎旋转时轮辋点半径

$R_\theta$——轮胎周向主曲率半径

$R_\phi$——轮胎径向主曲率半径

$R_{\theta\omega}$——轮胎旋转时周向主曲率半径

$R_{\phi\omega}$——轮胎旋转时径向主曲率半径

$s$——轮辋点至胎冠弧长

$ST$——单根帘线强度

$T$——充气轮胎每根帘线所受的张力

$T_\phi$——充气轮胎每根帘线所受的径向张力

$T_\theta$——充气轮胎每根帘线所受的周向张力

$T_\omega$——轮胎旋转时每根帘线所受的张力

$y$——轮胎宽度方向座标

$y_\omega$——轮胎旋转时断面宽方向座标

$y_{max}$——轮胎模型最大断面半宽

$y'_{max}$——充气轮胎最大断面半宽

$y_{max\omega}$——轮胎旋转时最大断面半宽

$\omega T$——单根钢丝的强度

$W_\phi$——轮胎径向作的功

$W_\theta$——轮胎周向作的功

$\alpha$——帘线与轮胎周向所成的夹角

$\alpha'$——充气轮胎帘线与轮胎周向所成的夹角

$\alpha_h$——胎冠点帘线与轮胎周向所成的夹角

$\alpha'_h$——充气轮胎胎冠点帘线与轮胎周向所成的夹角

$\alpha_b$——轮辋点帘线与轮胎周向所成的夹角

$\alpha_0$——裁断角度（帘线与轮胎周向所成的夹角）

$\alpha_G$——成型机头上的帘线角度（帘线与轮胎周向所成的夹角）

$\beta$——帘线与轮胎径向所成的夹角，与$\alpha$互为余角

$\beta_h$——胎冠点帘线与轮胎径向所成的夹角

$\beta'_h$——充气轮胎胎冠点帘线与轮胎径向所成的夹角

$\beta_{h\omega}$——轮胎旋转时胎冠点帘线与轮胎径向所成的夹角

$\beta_0$——裁断角度(帘线与轮胎径向所成的夹角)

$\beta_b$——轮辋点帘线与轮胎径向所成的夹角

$\phi$——轮胎断面上任意点的切线与横座标所成的夹角

$\delta$——轮胎断面上任意点的切线与横座标所成的夹角，其夹角与$\phi$角互成180°

$\lambda$——无量刚轮胎旋转时半径方向座标($R_\omega/R_{k\omega}$)

$\lambda_m$——无量刚轮胎旋转时断面宽最宽点半径($R_{m\omega}/R_{k\omega}$)

$\lambda_b$——无量刚轮胎旋转时轮辋点半径($R_{b\omega}/R_{k\omega}$)

$\lambda_s$——无量刚轮胎旋转时胎肩半径($R_{s\omega}/R_{k\omega}$)

$\lambda_y$——无量刚轮胎旋转时断面半宽($y_\omega/R_{k\omega}$)

$Q$——几何压力参数($R_{k\omega}\cdot\omega^2/P$)

$\omega$——角速度

$\delta_1$——半成品到成品帘线假定伸张

$\delta_2$——帘布筒至胎里的膨胀系数

$\delta_3$——帘布筒至成型机头的膨胀系数

## (二) 薄膜原理和网络理论计算充气轮胎形状的主要方程式

1. 轮胎的几何关系式

轮胎是由橡胶与帘线组成的典型复合材料体，在使用中承受各种外力作用引起多种变形，是一个复杂的结构体。为了便于研究，假设轮胎是一个无限柔软的薄膜环形体，剪切力和弯曲刚度可忽略不计，在充有内压的场合下，充气压力是唯一的作用力，并且在胎体上各点都均匀不变。将轮胎断面绕旋转轴一周，即可形成轮胎的几何形状，其旋转体曲面具有双曲率。通过$M$点作两个相互垂直的平面，与该曲面相交的交线上，有一个最小值曲率半径$R_\phi$，和一个最大值曲率半径$R_\theta$，它们被称为旋转体曲面的主曲率半径，如图1-12-1所示，$R_\phi=MO_1$，$R_\theta=MO$。

从断面上取出一小单元进行分析，见图1-12-2，d$s$，d$R$，d$y$和d$L$分别表示在$M$点上径向断面弧长、轮胎半径、断面半宽和帘线长度的增量，由此可以得出如下的基本方程式。

$$\frac{dy}{ds}=\cos\phi \tag{1-12-1}$$

$$\frac{dR}{ds}=\sin\phi \tag{1-12-2}$$

$$\frac{ds}{dL}=\sin\alpha \tag{1-12-3}$$

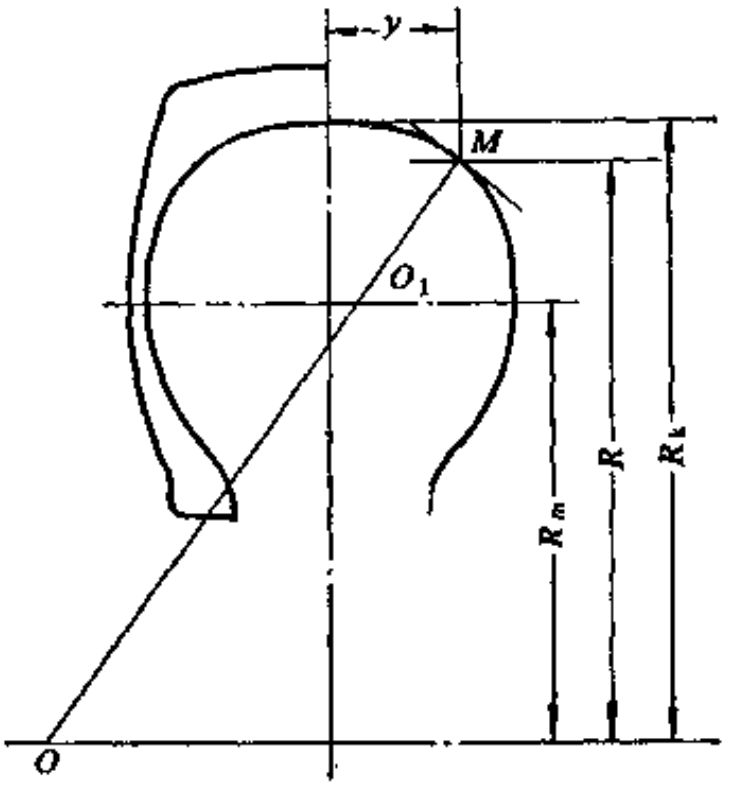



图 1-12-1 轮胎断面

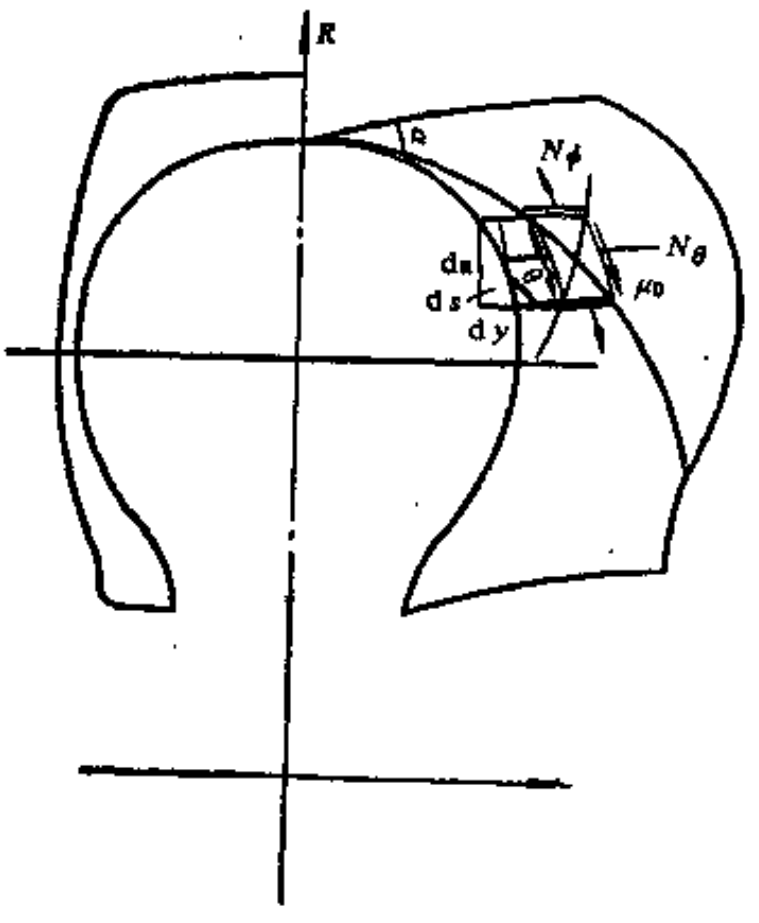



图 1-12-2 在轮胎上截取一小单元示意图

2．静力平衡方程式

假若轮胎仅受垂直于表面的内压作用，则单元面积上的外作用分量为：

$$\left.\begin{aligned} F_\theta &= 0 \\ F_\phi &= 0 \\ F_n &= P \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}12\text{-}4)$$

由于轮胎是一个对称旋转体，内压均匀，剪切力等于零，由此可以得到拉普拉式等有关方程式。

$$\frac{N_\phi}{R_\phi} + \frac{N_\theta}{R_\theta} = P \qquad (1\text{-}12\text{-}5)$$

$$\text{径向力} N_\phi = \frac{R^2 - R_m^2}{2 \cdot R \cdot \cos\phi} P \qquad (1\text{-}12\text{-}6)$$

$$\text{周向力} N_\theta = \frac{2 \cdot R \cdot R_\phi \cdot \cos\phi - (R^2 - R_m^2)}{2 R_\phi \cdot \cos^2\phi} P \qquad (1\text{-}12\text{-}7)$$

$$\frac{d\phi}{ds} = \frac{R \cdot F_n + N_\theta \cdot \cos\phi}{R \cdot N_\phi} \qquad (1\text{-}12\text{-}8)$$

利用虚功或能量平衡原理，轮胎径向所作的功与轮胎周向所作的功必须相等，求出膜力与轮胎形状的关系式，见图1-12-3。

轮胎径向所作的功$W_\phi = 2\pi d(RN_\phi) \cdot ds$

轮胎周向所作的功$W_\theta = N_\theta \cdot ds \cdot 2\pi dR$

因为 $W_\theta = W_\phi$

所以 $$\frac{d(RN_\phi)}{ds} = N_\theta \cdot \sin\phi \qquad (1\text{-}12\text{-}9)$$

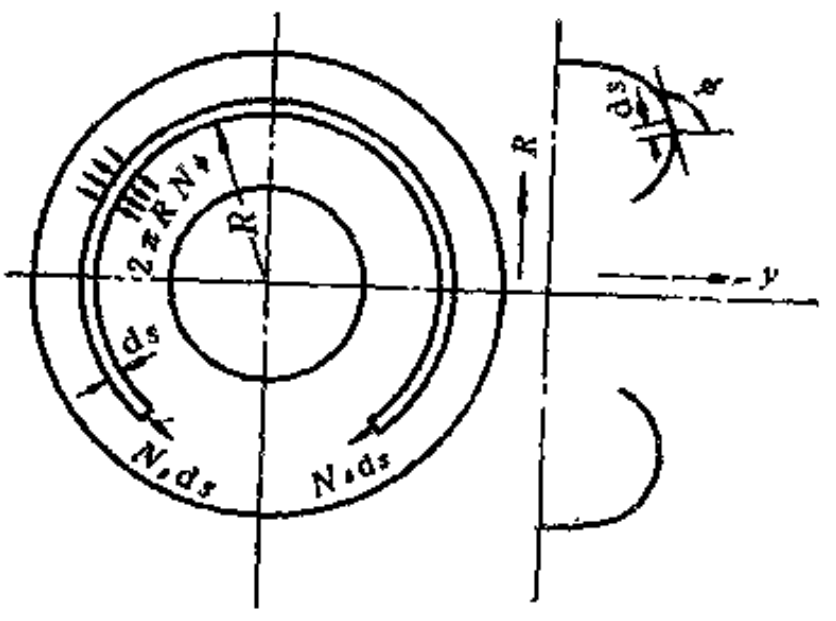



图 1-12-3 充气轮胎受力分析

3．帘线角度与膜力的关系式

帘线角度的排列是研究轮胎结构力学的基础，它与径向膜力 $N_\phi$、周向膜力 $N_\theta$ 以及帘线所受的张力的关系如下：

$$\frac{N_\theta}{N_\phi} = \text{ctg}^2 a \qquad (1\text{-}12\text{-}10)$$

$$T_\phi = T \cdot \sin a$$

$$T_\theta = T \cdot \cos a$$

4．帘线伸张变形与轮胎形状的方程式

$$T = \frac{R \cdot N_\phi}{R_0 \cdot I_0 \cdot \sin a_0 \cdot \sin a}$$

$$E = 1 + T \cdot E_m = 1 + \frac{R \cdot N_\phi \cdot E_m}{R_0 \cdot I_0 \cdot \sin a_0 \cdot \sin a}$$

两边对 $s$ 求导数则有

$$\frac{dE}{ds} = \frac{2 \cdot E_m \cdot B_c \cdot R \cdot N_\phi \cdot E \cdot \cos a \cdot \sin\phi}{R_0 \cdot I_0 \cdot \sin a_0 \cdot E^2 \cdot \sin^2 a + E_m \cdot B_c \cdot R^2 \cdot N_\phi \cdot \cos a} \qquad (1\text{-}12\text{-}11)$$

5．压力函数$F_n$

轮胎充气时，处于自然状态，法向所受的力只有均匀作用于胎壁的充气压力，即$F_n=P$。硫化时，轮胎在模型中受到约束，各部位的压力函数不等，各部位的压力函数可以用下列的级数表示：

$$F_n=P+P_1\sin\left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{L_d}{L_M}\right)+P_3\sin\left(\frac{3\pi}{2}\cdot\frac{L_d}{L_M}\right)+P_5\sin\left(\frac{5\pi}{2}\cdot\frac{L_d}{L_M}\right)+\cdots \tag{1-12-12}$$

式中　$L_d$——帘线长度；

$P_1$、$P_2$、$P_3$——满足轮胎模型边界条件可以调节的压力函数。

**（三）计算方法**

由前面得到一组微分方程式用矩阵[1]表示为：

$$x=\begin{Bmatrix} y \\ R \\ \phi \\ R\cdot N_\phi \\ E \end{Bmatrix}$$

$$\frac{dx}{ds}=\begin{Bmatrix} \cos\phi \\ \sin\phi \\ \dfrac{R\cdot F_n+N_\theta\cdot\cos_\phi}{R\cdot N_\phi} \\ N_\theta\cdot\sin\phi \\ \dfrac{2\cdot E_m\cdot B_c\cdot R\cdot N_\phi\cdot E\cdot\cos\alpha\cdot\sin\phi}{R_0\cdot I_0\cdot\sin\alpha_0\cdot E^2\cdot\sin^2\alpha+E_m\cdot B_c\cdot R^2\cdot N_\phi\cdot\cos\alpha} \end{Bmatrix} \tag{1-12-13}$$

$$\frac{dx}{ds}=\begin{Bmatrix} \cos\phi \\ \sin\phi \\ \dfrac{R\cdot F_n+N_\theta\cdot\cos\phi}{R\cdot N_\phi} \\ N_\theta\cdot\sin\phi \end{Bmatrix} \tag{1-12-14}$$

式（1-12-13）用于预计充气形式，式（1-12-14）不考虑帘线伸张，用于计算模型形状，这两组微分方程式没有解析解，故采用数值方法求解。把轮廓曲线分成两部分：第一部分从轮辋点到缓冲层端点分成若干相等的小弧段；第二部分从缓冲层端点到胎冠点分成若干相等的小弧段。子午线轮胎轮胎带束层是关键部位，从带束层端点到胎冠点分成的小弧段要比斜交轮胎相应的弧段小，然后用差分方法和牛顿迭代法求出各弧段的静力平衡轮廓和应力-应变。

## 三、斜交充气轮胎形状力学研究

斜交充气轮胎形状力学[1]是采用薄膜原理和网络理论的数学模式进行研究的，以9.00-20尼龙轮胎为计算实例。

### (一) 计算机辅助设计轮胎模型

1. 轮辋点的选取

轮辋点是计算平衡轮廓的起始点，在轮辋点以上的轮廓曲线是自由平衡状态，轮辋点以下有钢丝圈和轮辋固定，不是自由平衡状态，不予计算，轮辋点的选取，通常采用下列三种办法。

（1）从轮辋宽度边缘向上作垂线与内轮廓曲线的交点$D_1$为轮辋点，如图1-12-4（a）所示。

（2）将轮辋边缘与横座标成45°角的半径延长，与内轮廓曲线的交点$D_2$，如图1-12-4(b）所示。

（3）取下胎侧内轮廓圆弧与胎圈上的切线或圆弧相交的切点$D_3$，如图1-12-4(c）所示。

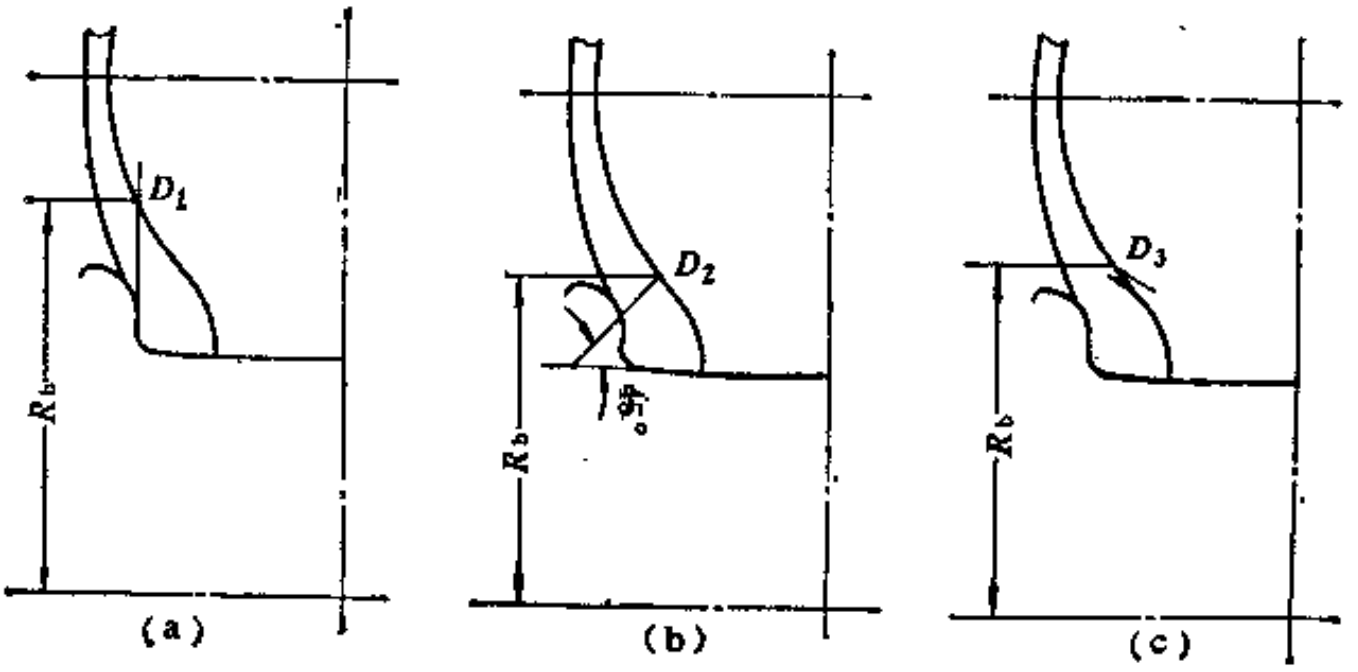



图 1-12-4 轮辋点的选取

由上述三种方法选取的轮辋点，只要在轮辋点附近，所计算的内轮廓形状基本一致，见图1-12-5。但是宽轮辋不宜采用1-12-4(a)的方法选取轮辋点，因其距轮辋边缘太远，所得结果与后两种方法相比有较大的出入。

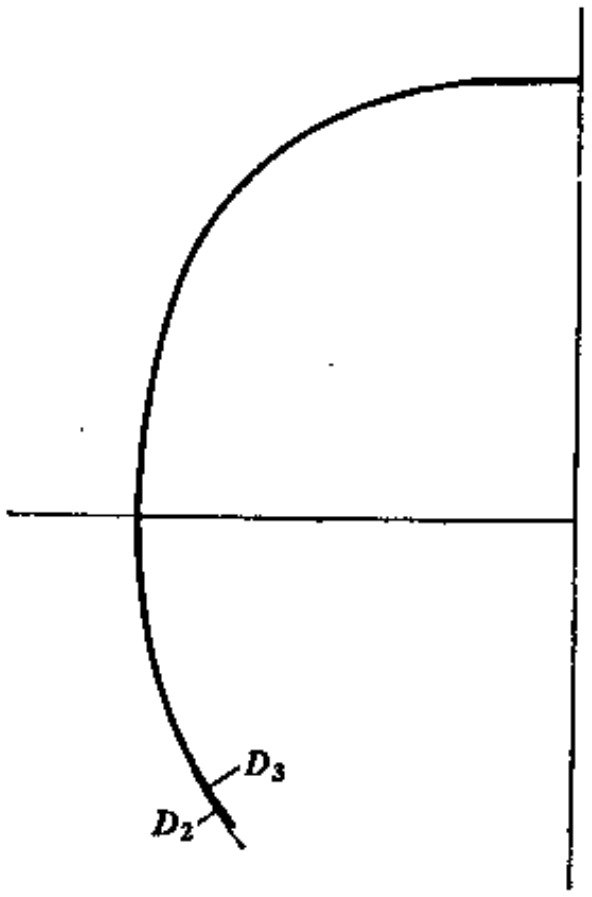



图 1-12-5 第二种和第三种轮辋点选取的方法对轮廓曲线的影响

2. 边界值的确定

边界值，也称边界条件，是根据外轮廓与内轮廓相结合、计算机辅助设计与经验相接合而提出的草图初步确定的。边界值的数目，根据设计情况任意选定，由计算机进行计算，根据计算结果，再对原方案作修改。边界值一般有：胎里半径$R_h$；最宽断面半宽$y_{max}$；轮辋点角度$\phi_b$；胎肩厚度$CC$；帘线长度$L$，根据需要还可以增加断面宽最宽点半径$R_m$等。

3. 计算中可调整的变量

轮胎在硫化过程中，其形状受到压力函数的影响，轮胎受到模型的约束，什么样的模型

形状，就有什么样的轮胎形状。因此模型的几何边界值一旦确定了，轮胎的形状也相应地确定了，唯一可以改变的只有压力函数 $P_1$、$P_3$、$P_5$、$P_7$… 以及断面弧长 $s$，这些称作 可调整的变量，可调整变量的数目与几何边界值的数目必须相等，如几何边界值的数目采用 3 个，则可调整变量的数目相应也采用 3 个：$s$，$P_1$ 和 $P_3$。如几何边界值的数目采用 5 个，则可调整的变量数目也采用 5 个：为 $s$，$P_1$，$P_3$，$P_5$，$P_7$。 $s$ 的初始值从草图中直接量出，压力函数$P_1$，$P_3$，$P_5$，$P_7$… 的初始值都为零，通过牛顿迭代法，对每个变量进行调整，逐渐迫近几何边界值，得到所需要的轮廓曲线。

4．轮胎模型设计实例

以9.00-20-14层级普通花纹为例。

（1）边界值的确定　根据以往轮胎结构设计的经验，初步确定轮胎模型草图外缘尺寸为：

外直径$D$=1020mm，断面宽$B$=226mm，行驶面宽$b$=184mm，行驶面高$h$=11mm。

按7.0轮辋设计，轮辋点用轮辋角度$\phi_b$表示。

因为是普通花纹14层级，则胎面胶，胎肩胶，胎侧胶以及胎体的厚度都相应地确定了，换句话说：$AA$，$CC$，$BB$ 的厚度均为已知，这就初步的确定了 4 个点 5 个边界值，见图 1-12-6。

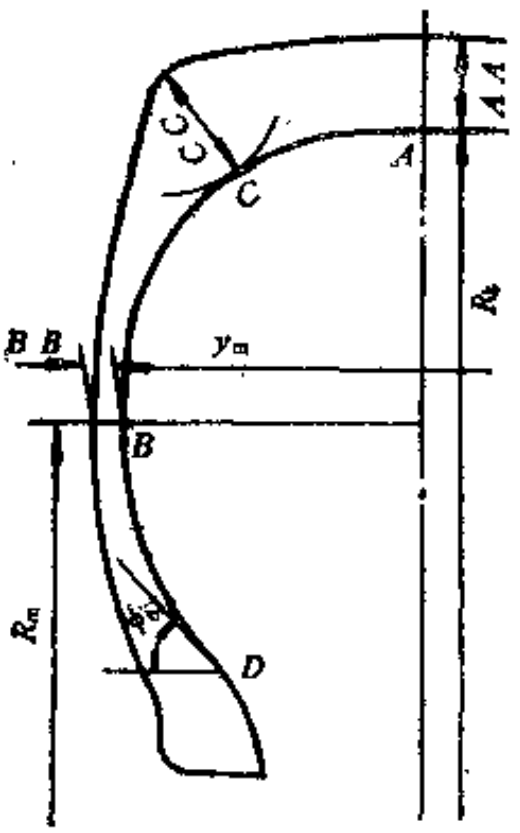



图 1-12-6　表示轮胎断面 4 个点 5 个边界值的示意图

5 个边界值分别为：

① $\phi_b=51.2°$

② $R_k=(1020/2-AA)$mm

③ $y_{max}=(226/2-BB)$mm

④ $CC=42$mm

⑤ $R_m=373$mm

4 个点分别为：$A$，$C$，$B$，$D$。

（2）计算中可调整的变量　边界值是 5 个，可调整的变量相应地也为 5 个，分别为 $s$ 由草图中直接量出为 250.3mm，压力函数 $P_1$，$P_3$，$P_5$和$P_7$都赋予零。确定了 $A$、$C$、$B$ 和 $D$ 4 个点，五个边界值及可调整的变量后，然后用计算机算出并绘制通过这 4 个点的内轮廓曲线，并提出各种信息：帘线长度；压力函数，帘线张力；膜力；层间剪切力等数据供设计人员参考和选择（见表1-12-1和 表 1-12-2），再用这条轮廓曲线预计轮胎充气形状，如果外缘尺寸达不到国家标准，或者其它的计算结果不理想，则需修改轮胎模型边界值，再进行计算，反复修改计算，直到达到要求为止。

5．计算结果分析

（1）计算机绘制的内轮廓曲线与传统设计的对比，见 图 1-12-7，其它部位都是一致的，唯胎肩处略有差别，计算机绘制的更接近实际。

（2）压力函数对胶料流动的影响　外胎在硫化时，内部受到高压过热水的压力 $P_w$ 作用，要向外膨胀，模具对轮胎施加约束力 $P_m$限制其过量膨胀（见图1-12-8），因此在模型中的轮胎内轮廓各点的压力函数 $F_c$ 与充气轮胎的不同，不是均匀的压力，通过 计算机绘出轮胎在模型中断面各点压力函数的分布趋势，为轮胎结构设计和制造提供如下的信息。

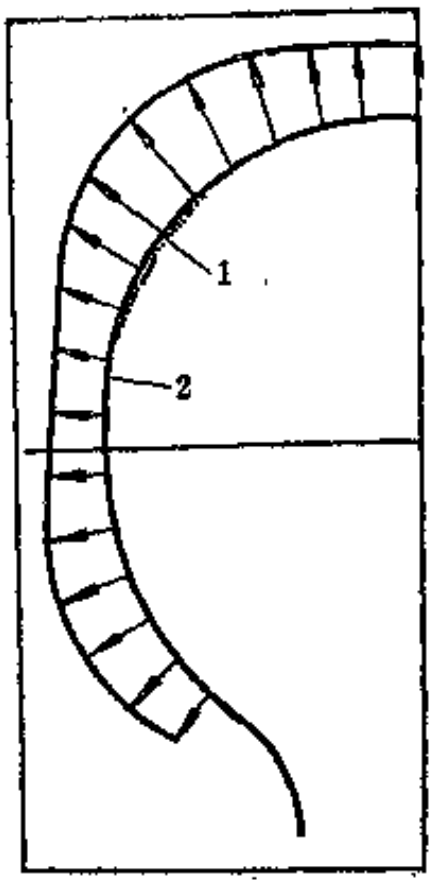



图 1-12-7　计算机绘制的曲线与传统设计的对比

1—传统设计；2—计算机设计

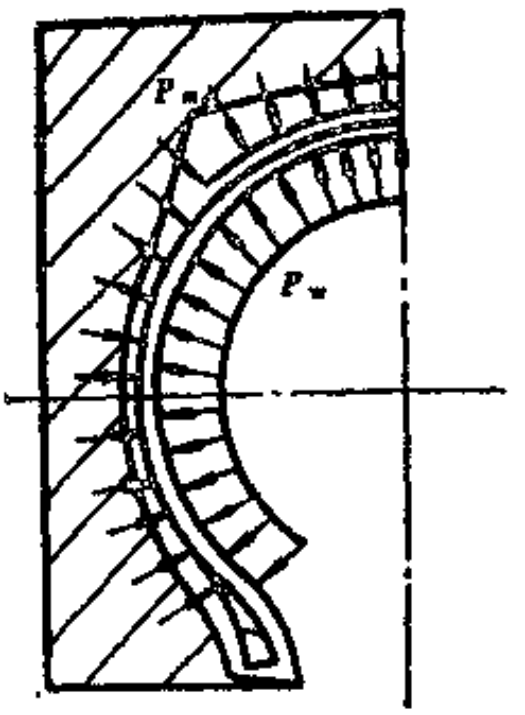



图 1-12-8　轮胎在模型中受力分析

表 1-12-1　9.00-20轮胎模型计算输出数据之一

| 序号 | 弧长 $s$ mm | 断面半宽 $y$ mm | 半径 $R$ mm | $\phi$角(°) | $\beta$角(°) | 帘线伸张 $E$ | 伸张后帘线长度 $L_T$, mm | 未伸张帘线长度 $L_M$, mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | .00 | 55.00 | 254.50 | | | | | |
| 1 | .00 | 65.45 | 263.00 | | | | | |
| 2 | 6.78 | 67.03 | 269.59 | | | | | |
| 3 | 13.56 | 69.70 | 275.81 | | | | | |
| 4 | 20.34 | 63.38 | 281.49 | | | | | |
| 1 | .00 | 75.00 | 296.50 | 51.20 | 28.44 | 1.0000 | .00 | .00 |
| 2 | 13.90 | 83.22 | 307.68 | 56.80 | 29.61 | 1.0000 | 15.90 | 15.90 |
| 3 | 27.81 | 90.13 | 319.74 | 63.71 | 30.90 | 1.0000 | 31.99 | 31.99 |
| 4 | 41.71 | 95.45 | 332.58 | 71.24 | 32.28 | 1.0000 | 48.32 | 48.32 |
| 5 | 55.61 | 99.03 | 346.00 | 78.59 | 33.76 | 1.0000 | 64.90 | 64.90 |
| 6 | 69.52 | 100.98 | 359.75 | 85.06 | 35.29 | 1.0000 | 81.77 | 81.77 |
| 7 | 83.42 | 101.51 | 373.63 | 90.39 | 36.87 | 1.0000 | 98.98 | 98.98 |
| 8 | 97.33 | 100.87 | 387.52 | 94.91 | 38.49 | 1.0000 | 116.55 | 116.55 |
| 9 | 111.23 | 99.16 | 401.31 | 99.46 | 40.13 | 1.0000 | 134.52 | 134.52 |
| 10 | 125.13 | 96.26 | 414.91 | 105.05 | 41.79 | 1.0000 | 152.93 | 152.93 |
| 11 | 139.04 | 91.83 | 428.10 | 112.50 | 43.43 | 1.0000 | 171.83 | 171.83 |
| 12 | 152.94 | 85.49 | 440.46 | 122.06 | 45.02 | 1.0000 | 191.24 | 191.24 |
| 13 | 166.84 | 76.97 | 451.49 | 133.25 | 46.48 | 1.0000 | 211.17 | 211.17 |
| 14 | 180.75 | 66.53 | 460.48 | 145.06 | 47.69 | 1.0000 | 231.60 | 231.60 |
| 15 | 180.75 | 66.53 | 460.48 | 145.06 | 47.69 | 1.0000 | 231.60 | 231.60 |
| 16 | 194.65 | 54.42 | 467.44 | 155.85 | 48.65 | 1.0000 | 252.46 | 252.46 |
| 17 | 208.56 | 41.32 | 472.02 | 165.15 | 49.29 | 1.0000 | 273.65 | 273.65 |
| 18 | 222.46 | 27.71 | 474.73 | 172.00 | 49.68 | 1.0000 | 295.06 | 295.06 |
| 19 | 236.36 | 13.88 | 476.50 | 176.72 | 49.87 | 1.0000 | 316.59 | 316.59 |
| 20 | 250.27 | .00 | 475.49 | 180.00 | 49.93 | 1.0000 | 338.18 | 338.18 |

表 1-12-2　9.00-20轮胎模型计算输出数据之二

| 序号 | 帘线密度$I$ 根/cm | 剪切力 $\mu_0$ | 压力 $P$ | 压力梯度 $DPDS$ | 径向应力 $N_\phi$ | 周向应力 $N_\theta$ | 帘线张力 $T$ | 曲率半径 $R_\phi$, mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 74.74 | 0.09 | 1.00 | 0.22 | 17.87 | 5.24 | 0.31 | 160.92 |
| 2 | 72.85 | 0.10 | 1.29 | 0.18 | 17.42 | 5.63 | 0.32 | 125.07 |
| 3 | 71.02 | 0.10 | 1.48 | 0.08 | 16.99 | 6.08 | 0.32 | 108.37 |
| 4 | 69.30 | 0.11 | 1.51 | −0.04 | 16.58 | 6.62 | 0.33 | 105.41 |
| 5 | 67.74 | 0.12 | 1.37 | −0.14 | 16.20 | 7.24 | 0.35 | 114.57 |
| 6 | 66.36 | 0.12 | 1.15 | −0.17 | 15.87 | 7.95 | 0.36 | 136.27 |
| 7 | 65.19 | 0.13 | 0.94 | −0.11 | 15.59 | 8.77 | 0.37 | 166.36 |
| 8 | 64.24 | 0.14 | 0.86 | 0.01 | 15.37 | 9.71 | 0.39 | 182.64 |
| 9 | 63.50 | 0.14 | 0.98 | 0.16 | 15.19 | 10.79 | 0.41 | 161.47 |
| 10 | 62.98 | 0.15 | 1.30 | 0.28 | 15.06 | 12.03 | 0.43 | 122.86 |
| 11 | 62.68 | 0.16 | 1.74 | 0.33 | 14.99 | 13.44 | 0.45 | 92.80 |
| 12 | 62.59 | 0.15 | 2.16 | 0.27 | 14.97 | 14.99 | 0.48 | 75.57 |
| 13 | 62.67 | 0.14 | 2.45 | 0.13 | 14.99 | 16.61 | 0.50 | 68.28 |
| 14 | 62.87 | 0.12 | 2.50 | −0.05 | 15.04 | 18.15 | 0.53 | 68.99 |
| 15 | 71.61 | 0.11 | 2.50 | −0.05 | 15.04 | 18.15 | 0.46 | 68.99 |
| 16 | 71.87 | 0.08 | 2.31 | −0.21 | 15.09 | 19.48 | 0.48 | 78.08 |
| 17 | 72.10 | 0.05 | 1.94 | −0.30 | 15.14 | 20.45 | 0.49 | 99.35 |
| 18 | 72.25 | 0.03 | 1.52 | −0.29 | 15.17 | 21.06 | 0.50 | 140.40 |
| 19 | 72.33 | 0.01 | 1.19 | −0.17 | 15.19 | 21.36 | 0.51 | 204.85 |
| 20 | 72.36 | 0.00 | 1.06 | 0.00 | 15.19 | 21.47 | 0.51 | 247.16 |

注：$P$, $N_\phi$, $N_\theta$, $T$和$\mu_0$不是绝对值只表示大小的趋势；
空气容量$V_0L$=85.6L；最大断面半宽$y_{max}$=101.5mm；断面最宽点半径$R_m$=373.0mm；
胎里半径$R_k$=476.5mm；胎肩厚$CC$=42.0mm；外直径$D$=1020.0mm；断面宽$B$=226.0mm

① 一般轮胎压力函数分布的趋势　一般轮胎在胎侧部位压力函数最小，表明模具对胎壁的约束作用力最大，胎肩及下胎侧部位压力函数较大，则模具对此两处的约束作用力较小，见图 1-12-9～图 1-12-11。在硫化过程中，胶料和残留空气由胎侧向胎肩和下胎侧的方向流动，在胎肩和下胎侧部位容易窝藏空气。

② 通过计算机可以绘出不同胎面设计的压力函数分布，根据压力函数的分布可以作出如下的判断。

a．拱度大，半径小的胎面，断面各点的压力函数分布比较均匀（见图 1-12-9），在工艺上容易制造，断面各部厚度也容易达到设计要求，但胎面磨耗差，使用性能不好。

b．平坦的胎面，胎肩和下胎侧压力函数较大（见图1-12-10），胶料和残留空气被挤到肩部和下胎侧，在这两处容易产生气泡和缺胶等质量毛病。

c．呈反弧形的胎面，胎肩部位压力函数更大（见图1-12-11），在硫化过程中，除胎肩部位容易产生起鼓和缺胶等质量问题外，在工艺上制造困难，硫化出来的断面形状不容易达到设计要求，往往胎冠厚度偏薄，胎肩部位厚度偏厚，需要设计特殊形状的胎面样板。

6．计算机辅助设计胎圈部位

胎圈部位与轮辋配合情况，是轮胎结构设计人员最关心的问题，尤其是轿车轮胎，速度高，胎圈部位设计更为重要。如果胎圈部位与轮辋配合不好，就会造成磨子口、胎圈松动或者装卸困难等质量毛病，为此建立了一个常用轮辋曲线图形库，随时可以调用、观察轮胎与轮辋配合情况。如设计9.00-20轮胎，调用6.00下与7.0轮辋曲线，观察其与胎圈配合的情况

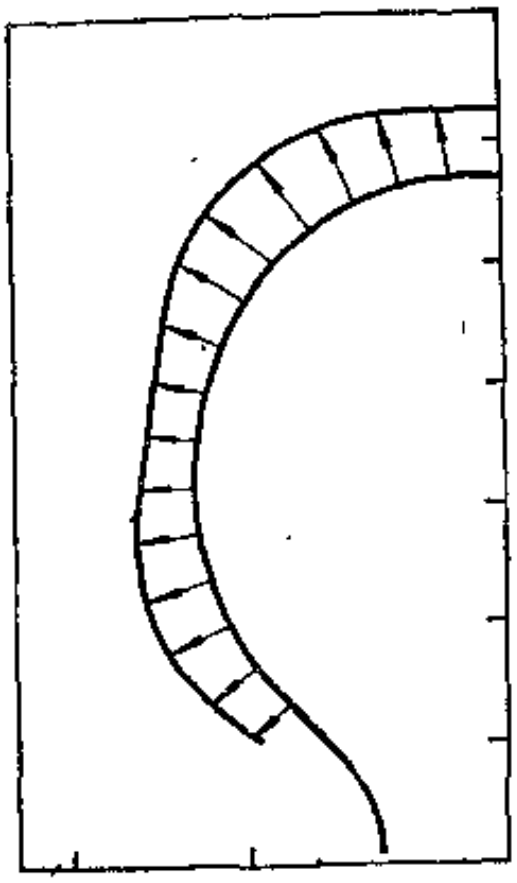


图 1-12-9　拱度大的胎面轮胎压力函数的分析

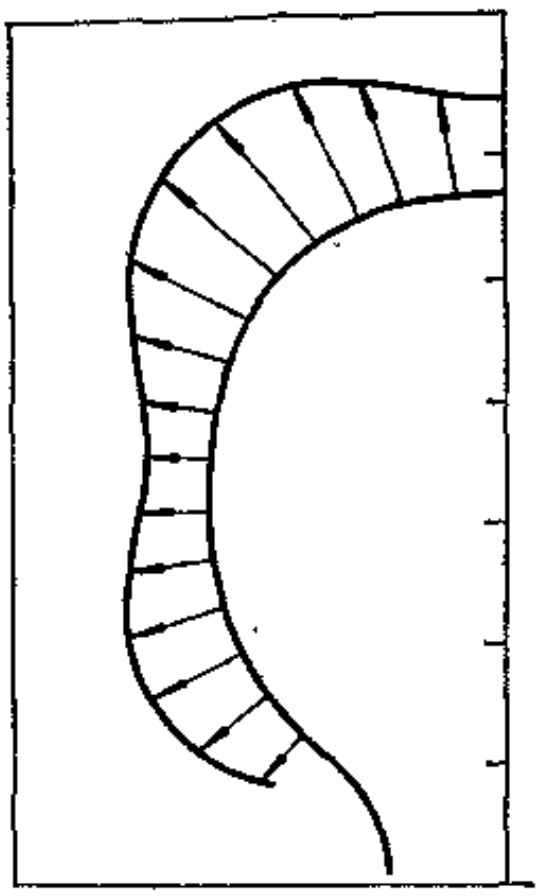


图 1-12-10　平坦胎面的轮胎压力函数的分布

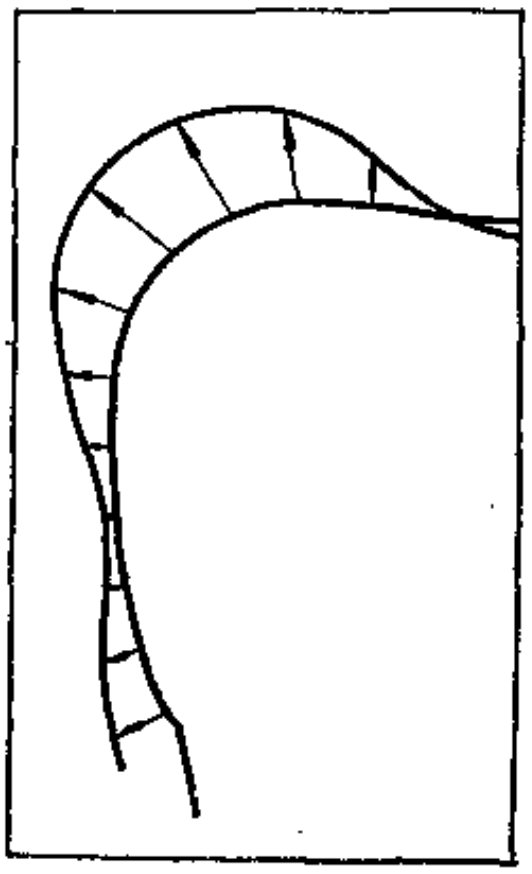


图 1-12-11　呈反弧形的胎面轮胎压力函数的分布

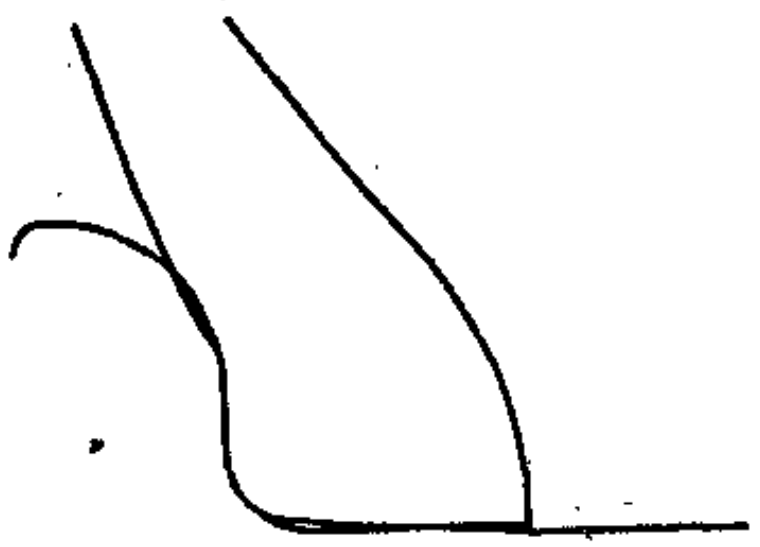


图 1-12-12　9.00-20轮胎胎圈部位与7.0轮辋配合情况

(见图1-12-12)，如不合适，及时由计算机修改，以便使胎圈部位设计更为合理。

**(二) 计算机辅助设计预测轮胎充气形状**

对斜交轮胎充气形状起决定作用有三个因素：胎里半径、轮胎断面宽最宽点半径、帘线角度，一旦轮胎模型尺寸确定以后，影响充气形状只有帘线角度，根据过去多次测量的结果，一般斜交轮胎胎冠角度 $\alpha_n$ 在37°～41°之间，无论是钢丝轮胎或是尼龙轮胎，计算的胎冠角度 $\alpha_n$ 大于实际测量的胎冠角度，用这种计算的胎冠角度来预测充气轮胎的外缘尺寸，往往断面宽偏小，外直径偏大与实际测量的尺寸有出入，为此，要研究是由于工艺的影响，还是由于

半成品到成品计算帘线角度的数学模式不合适，找出原因，进行改进，使之计算的胎冠角度与实际测量的较为接近，以便预计的轮胎充气形状与实际测量的相符合。

1．有关计算帘线角度数学模式讨论

（1）余弦定律　普通斜交轮胎胎体均由交叉帘布层制成，帘线是按圆周方向对称角排列，如果研究其中两对帘线和两层相邻的布层，即可看成一个菱形，其边与周向成一个 $\alpha$ 角（见图1-12-13）。从胎坯帘布筒到硫化胎的过程中，菱形形状发生了变化，主要是角度 $\alpha$ 发生了很大的变化，在成型机头上的帘布筒，因斜交是对称的，所以连接着的菱形节点都在一条周向长度上，菱形的总个数为：

$$2\pi R_G = 2N \cdot l_1 \cdot \cos\alpha_G$$

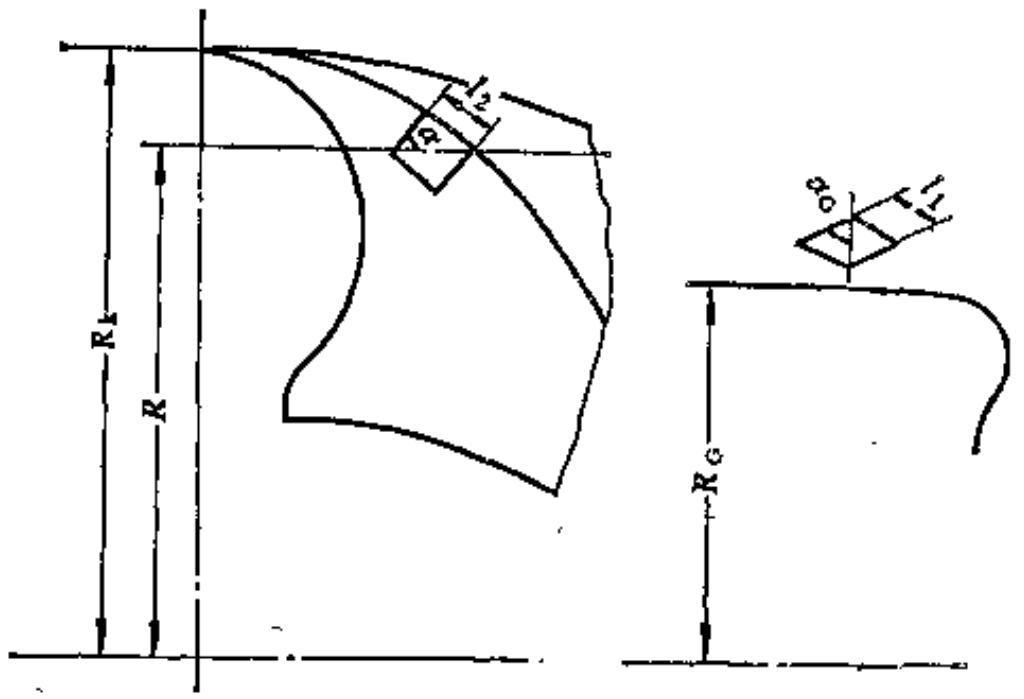



图 1-12-13　硫化轮胎菱形的变化

分析硫化轮胎上的菱形（见图1-12-13），这些菱形都在 $R$ 纵座标的周向线上，其菱形的总数目不变，能变化的是菱形的边长 $l$，同样可求得至旋转半径 $R$ 周向长度上的菱形总和为：

$$2\pi R = 2Nl_2 \cdot \cos\alpha$$

消除 $N$ 即得：

$$\cos\alpha = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{R}{R_G} \cdot \cos\alpha_G \qquad (1\text{-}12\text{-}15)$$

式（1-12-15）是研究轮胎结构的基本方程式，称为余弦定律[2]，式中 $l_1/l_2$ 比率的不同值可得到余弦定律的几种形式。

①　简单的余弦定律　最简单的余弦定律是一种非伸张帘线，假设一个节点上的两根帘线的两点，无论形状如何变化，都保持其相应位置，即假若帘布层之间的节点不存在滑动，任何构形的菱形边长都保持固定不变。

$$\cos\alpha = \frac{R}{R_G} \cdot \cos\alpha_G \qquad (1\text{-}12\text{-}16)$$

②　帘线伸张余弦定律　帘线伸张随着所受的应力增加而增加，帘线承受应力后其菱形边长为：

$$l_2 = l_1(1+E)$$

$$\lambda_1=\frac{l_1}{l_2}=\frac{1}{1+E}$$

$$\cos\alpha=\lambda_1\cdot\frac{R}{R_G}\cdot\cos\alpha_G=\lambda_1\cdot\frac{R}{R_0}\cdot\cos\alpha_0 \qquad (1\text{-}12\text{-}17)$$

③ 帘线最短程效应 (Geodesic Effect)　在制造轮胎的一般程序中，特别是在轮胎硫化时，帘布层之间总会发生某些移动，因为帘线节点上的各点不能保持在原来的位置，帘线向最短程方向移动，所谓最短程是指一个曲面上两点之间最小的长度，$l_0$ 为最短程效应后的菱形边长。

最短程效应系数　$\mu=l_0/l_2$

$$\cos\alpha=\mu\frac{R}{R_0}\cos\alpha_0 \qquad (1\text{-}12\text{-}18)$$

④ 广义的余弦定律　一般情况，轮胎在制造过程中，菱形边的长度随帘线伸张和最短程效应两种作用而变化，随不同的帘线模量和工艺条件而变化。

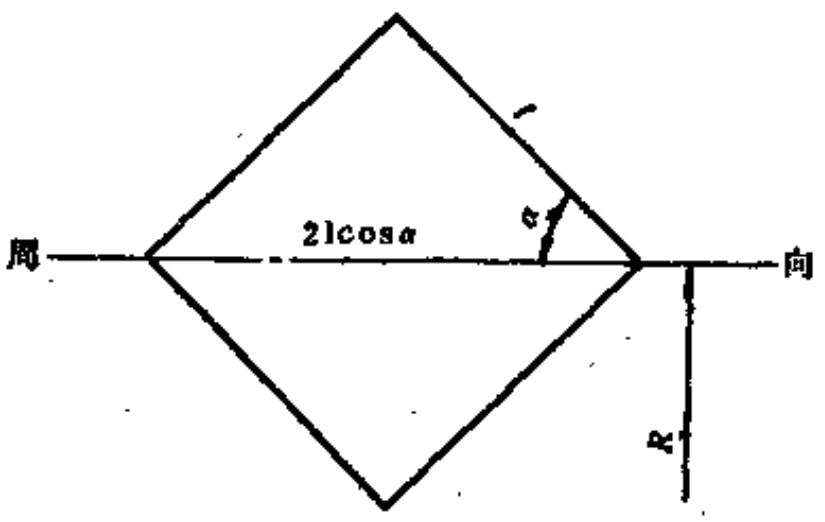
$$\cos\alpha=\frac{R\cdot\cos\alpha_0}{R_0\cdot\delta_l} \qquad (1\text{-}12\text{-}19)$$

这是我们目前用的广义余弦定律，帘线假定伸张$\delta_l$包括两种因素：帘线伸长率和轮胎制造的工艺因素。

（2）正弦-余弦复合定律　正弦与余弦定律[3]的几何特性见图1-12-14和图1-12-15。

$$2\pi R=2N\cdot l\cdot\cos\alpha \qquad (1\text{-}12\text{-}20)$$

$$R\cdot\sin\alpha=\frac{N}{2\pi\cdot I} \qquad (1\text{-}12\text{-}21)$$



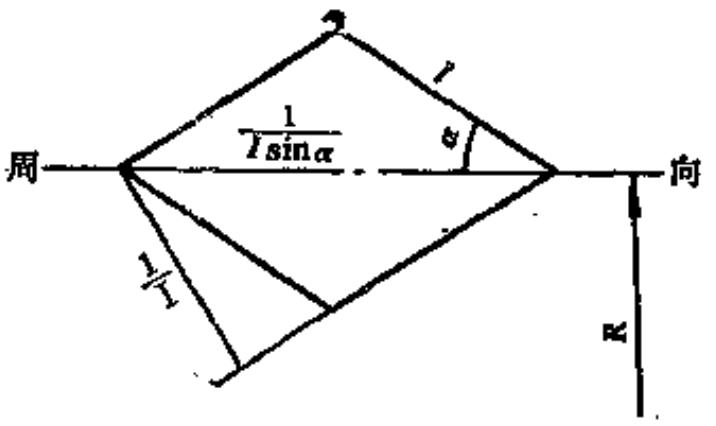




图 1-12-14　推导方程式（1-12-20）的菱形　　图 1-12-15　推导方程式（1-12-21）的菱形

当密度不变时　$I$ =常数，由式（1-12-21）得到正弦定律

$$R\cdot\sin\alpha=\text{常数} \qquad (1\text{-}12\text{-}22)$$

当菱形边长不变时，由式（1-12-20）得到余弦定律

$$\frac{\cos\alpha}{R}=\text{常数} \qquad (1\text{-}12\text{-}23)$$

由表1-12-3可以看出：①从胎冠到胎侧帘线密度基本上不变，即 $R\cdot\sin\alpha$ 是常数，但从成型机头到胎侧帘线密度降低12%；② 从成型机头到胎侧菱形边长基本上不变，即 $\cos\alpha/R$

是常数，但从胎侧到胎冠，菱形边长增加 9%。因此文献[3]认为精确描述 轮胎的膨胀比率关系，从成型机头上的胎坯到硫化轮胎的胎侧某点可用余弦定律，从胎侧某点到胎冠可用正弦定律来表达，这样只需要考虑选择一个转换的帘线角度$\alpha^*$。由于函数是连续光滑的，找转换点帘线角度$\alpha^*$，即求其一阶偏导数相等，解出$\alpha^*$。将式（1-12-20）和式（1-12-21）求偏导数，只有当$\alpha=45°$时该两式的偏导数才相等，因此$\alpha^*=45°$。

从成型机头到转换点用余弦定律表示

$$\cos\alpha_G/R_G=\cos\alpha^*/R^*$$

由转换点到胎冠点用正弦定律表示

$$\sin\alpha^* R^*=\sin\alpha_k\cdot R_k$$

消除转换点半径$R^*$

$$\sin\alpha_k=R_G\cdot\sin(2\alpha^*)/(2R_k\cdot\cos\alpha_G)$$

当$\alpha^*=45°$时

$$\sin\alpha_k=R_G/(2\cdot R_k\cos\alpha_G) \qquad (1\text{-}12\text{-}24)$$

式（1-12-24）也可写成

$$\sin\alpha=R_G/(2\cdot R\cdot\cos\alpha_G)$$

实际测量与正弦-余弦复合定律和用简单余弦定律计算值之间的对比情况见 表 1-12-3。应用正弦-余弦复合定律，转换角采 用 45°，按式（1-12-24）计算的结果与实际测量的角度比较一致，而用简单的余弦定律计算的值与实际测量的相差甚大，见表1-12-4。

（3）次方余弦定律

次方余弦定律[4]如下：

$\cos\alpha\cdot R^e=$常数（$e$ 在 $-1$至 $+1$之间）

当 $e=-1$时，$\frac{\cos\alpha}{R}=$常数（余弦定律）；

当 $e=1$，$\cos\alpha\cdot R=$常数（测地线）。

表 1-12-3 尼龙轮胎第二层测量结果[5]

| 胎 号 | 帘 线 密 度 比 | | 菱 形 边 长 比 | |
|---|---|---|---|---|
| | 胎侧/成型机关 | 胎冠/胎侧 | 胎侧/成型机头 | 胎冠/胎侧 |
| 1 | 0.96 | 1.00 | 0.98 | 1.10 |
| 2 | 0.92 | 1.00 | 0.97 | 1.10 |
| 3 | 0.86 | 1.04 | 0.95 | 1.12 |
| 4 | 0.88 | 1.10 | 1.01 | 1.06 |
| 5 | 0.88 | 0.95 | 1.02 | 1.10 |
| 6 | 0.83 | 1.00 | 1.02 | 1.12 |
| 7 | 0.86 | 0.96 | 0.98 | 1.08 |
| 8 | 0.90 | 1.00 | 0.99 | 1.07 |
| 9 | 0.92 | 1.00 | 0.99 | 1.08 |
| 10 | 0.92 | 0.92 | 0.98 | 1.12 |
| 11 | 0.88 | 0.98 | 1.02 | 1.02 |
| 12 | 0.86 | 1.08 | 1.02 | 1.04 |
| 13 | 0.86 | 0.96 | 1.00 | 1.08 |
| 14 | 0.88 | 0.96 | 0.98 | 1.11 |
| 平 均 | 0.88 | 1.00 | 0.99 | 1.09 |

表 1-12-4　第二层胎冠角度$\alpha_K$预计的与测量结果对比[3]

| 胎　号 | 测量结果 | 复合定律 | 简单余弦定律 |
|---|---|---|---|
| 1 | 32° | 33° | 24° |
| 2 | 33° | 34° | 27° |
| 3 | 33° | 34° | 26° |
| 4 | 32° | 34° | 26° |
| 5 | 36° | 33° | 24° |
| 6 | 37° | 34° | 26° |
| 7 | 38° | 37° | 34° |
| 8 | 38° | 37° | [illegible] |
| 9 | 32° | 33° | [illegible] |
| 10 | 34° | 34° | 25° |
| 11 | 36° | 37° | [illegible] |
| 12 | 32° | 34° | [illegible] |
| 13 | 38° | 36° | 32° |
| 14 | 38° | 36° | [illegible] |
| 平　均 | 35° | 35° | 28° |

轮胎在成型和定型过程中，一般帘线之间存在滑动，故 $e>-1$，因此，在轮 胎中胎冠角度的变化为：

$$\cos\alpha_k=\cos\alpha_G\left(\frac{R_G}{R_k}\right)^e\cdot\frac{1}{\delta_1} \tag{1-12-25}$$

$$\cos\alpha_k=\cos\alpha_0\left(\frac{R_G}{R_k}\right)^e\cdot\frac{\delta_3}{\delta_1} \tag{1-12-26}$$

轮胎胎冠角度$\alpha_k$与断面上各点帘线角度 $\alpha$ 的关系式如下

$$\cos\alpha=\left(\frac{R_k}{R}\right)^e\cdot\cos\alpha_k \tag{1-12-27}$$

$e$ 的取值与帘布筒到胎里的膨胀系数有关，根据文献[4]报道，轮胎胎冠角 度为 54°时，$e$ 与定型硫化过程中帘布筒至胎里膨胀系数$\delta_2$的变化关系见 表1-12-5。

表 1-12-5　$e$值与膨胀系数$\delta_2$的关系[4]

| 膨胀系数 $\delta_2$ | $e$ | 膨胀系数 $\delta_2$ | $e$ |
|---|---|---|---|
| 40～60 | −0.95 | 100～150 | −0.80 |
| 60～80 | −0.90 | 150～200 | −0.70 |
| 80～100 | −0.85 | | |

2. 按照三种定律计算的胎冠角度$\alpha_k$与测量结果对比

（1）按施工表的数据计算　以9.00-20尼龙轮胎为计算实例。

$R_k=477$mm；$\alpha_0=58°$；$R_0=318.3$mm；$\delta_1=1.025$；$R_G=346$mm；$\delta_3=1.087$。

a．广义余弦定律

$$\cos\alpha_k=\frac{R_k}{R_0}\cdot\frac{\cos\alpha_0}{\delta_1}$$

$$=\frac{477}{318.3}\cdot\frac{\cos58^\circ}{1.025}=0.7747$$

$$\alpha_k=39.22^\circ$$

b．正弦—余弦复合定律

$$\sin\alpha_k=\frac{R_0}{2\cdot R_k\cdot\cos\alpha_0}$$

$$=\frac{318.3}{2\times477\times\cos58^\circ}=0.6296$$

$$\alpha_k=39.02^\circ$$

c．次方余弦定律

$$\cos\alpha_k=\cos\alpha_0\left(\frac{R_G}{R_k}\right)^c\cdot\frac{\delta_3}{\delta_1}$$

$$=\cos58^\circ\left(\frac{346}{477}\right)^{-0.95}\cdot\frac{1.087}{1.025}=0.7624$$

$$\alpha_k=40.32^\circ$$

（2）按施工表计算的胎冠角度与测量结果对比　从表1-12-6可以看出，这三种数学模式，无论采用哪一种，计算的胎冠角都比测量结果大，但广义余弦定律和正弦-余弦复合定律计算的胎冠角度与测量结果相差较少，次方余弦定律则相差较大。

表 1-12-6　9.00-20尼龙轮胎按施工表计算的胎冠角度与测量结果对比

| 模型编号 | 数学模式 | 裁断角度 $\alpha_0$ | 计算的胎冠角度 $\alpha_k$ | 测量的胎冠角度 $\alpha_k$ |
|---|---|---|---|---|
| 1号模 | 广义余弦定律 | 58° | 39.22° | 38.75° |
| | 复合定律 | 58° | 39.02° | |
| | 次方定律 | 58° | 40.32° | |
| 3号模 | 广义余弦定律 | 59° | 39.48° | 38.75° |
| | 复合定律 | 59° | 38.97° | |
| | 次方定律 | 59° | 40.75° | |
| 4号模 | 广义余弦定律 | 59° | 39.96° | |
| | 复合定律 | 59° | 39.07° | |
| | 次方定律 | 59° | 41.20° | |
| 5号模 | 广义余弦定律 | 58° | 40.29° | 38.25° |
| | 复合定律 | 58° | 39.07° | |
| | 次方定律 | 58° | 41.35° | |

注：测量的胎冠角度系胎体层角度的平均值

（3）按实际施工数据计算的胎冠角度与测量结果对比

a．裁断角度　曾经对9.00-20尼龙轮胎进行了统计（详见斜交轮胎半成品到成品帘线角度变化的比例关系），实际施工的角度比施工标准表中的角度偏小0.5°，如施工标准表$\alpha_0$为58°，实际$\alpha_0$只有57.5°

b．帘布筒长度　曾对9.00-20尼龙轮胎第一层帘布筒裁断的长度进行统计（详见斜交轮胎半成品到成品帘线角度变化的比例关系），波动范围很大，但平均长度与施工标准甚为接

近，它对胎冠角度的影响不及裁断角度的影响显著。

c．9.00-20尼龙轮胎按实际施工数据计算的胎冠角度与测量结果对比见表1-12-7。

表 1-12-7　9.00-20轮胎按实际施工数据计算的胎冠角度与测量结果对比

| 模型方案 | 数学模式 | 裁断角度 $\alpha_0$ | 计算胎冠角度 $\alpha_k$ | 测量胎冠角度 $\alpha_k$ |
|---|---|---|---|---|
| 1号模 3,4方案 | 广义余弦定律 | 67.5° | 38.70° | 38.75° |
| | 复合定律 | | 38.46° | |
| | 次方定律 | | 39.80° | |
| 1号模 7,8方案 | 广义余弦定律 | 67.5° | 38.46° | 38.33° |
| | 复合定律 | | 38.40° | |
| | 次方定律 | | 39.60° | |
| 6号模 5方案 | 广义余弦定律 | 67.5° | 38.77° | 38.25° |
| | 复合定律 | | 37.94° | |
| | 次方定律 | | 39.90° | |
| 8号模 | 广义余弦定律 | 58.5° | 38.56° | 38.75° |
| | 复合定律 | | 37.94° | |
| | 次方定律 | | 39.88° | |

注：实际测量的胎冠角度系胎体胎冠角度的平均值

从表1-12-7可以看出，广义余弦定律和正弦-余弦复合定律计算的胎冠角度与测量结果较为一致，考虑到计算充气形状的数学模式便于简化，故还是采用广义余弦定律计算角度。

3．斜交轮胎充气形状计算

轮胎模型设计完毕以后，接着预测充气形状，以及轮胎断面各点所受的应力-应变，以判断新设计轮胎是否符合国家标准规定，预测斜交轮胎充气形状，采用过两种方法，一是列线图法，二是用计算机直接计算。

（1）列线图法

列线图法[5]是用计算机绘制一套轮辋点曲线图，轮辋点角度$\beta_b$间隔1°，从22°到40°，轮辋点角度表中包括胎冠角度$\beta_k'$，断面宽$y'$，断面宽最宽点半径与胎里半径比值$\lambda_0(R_m'/R_R')$（见图1-12-16），然后利用这套图表来进行计算。预计斜交钢丝轮胎充气形状见表1-12-8、图1-12-17和图1-12-18。从这些结果来看，无论是外缘尺寸或充气形状，计算结果与测量结果基本一致，但计算伸张性尼龙轮胎结果不甚理想。由于这种方法的假设条件为轮胎模型中的帘线长度与充气后轮胎帘线长度相等，或者变化很小，因此计算非伸张性帘线如钢丝、人造丝轮胎的结果较为满意。对尼龙轮胎必须计算其受内压作用后帘线的伸张率，经过处理后

表 1-12-8　9.00-20钢丝轮胎外缘尺寸计算与测量结果对比

| 厂牌 | 充气外直径，mm | | 充气断面宽，mm | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 计算 | 实测 | 计算 | 实测 | |
| A厂 | 1009.0 | 1009.8 | 232.5 | 230～232 | 试制 |
| A厂 | 1003.8 | 1007.8 | 236.0 | 234～237.4 | 小批试制 |
| B厂 | 1009.4 | 1008.1 | 240.5 | 239～244.5 | 试制 |
| B厂 | 1006.5 | 1005.5 | 244.9 | 242～247.0 | 小批试制 |

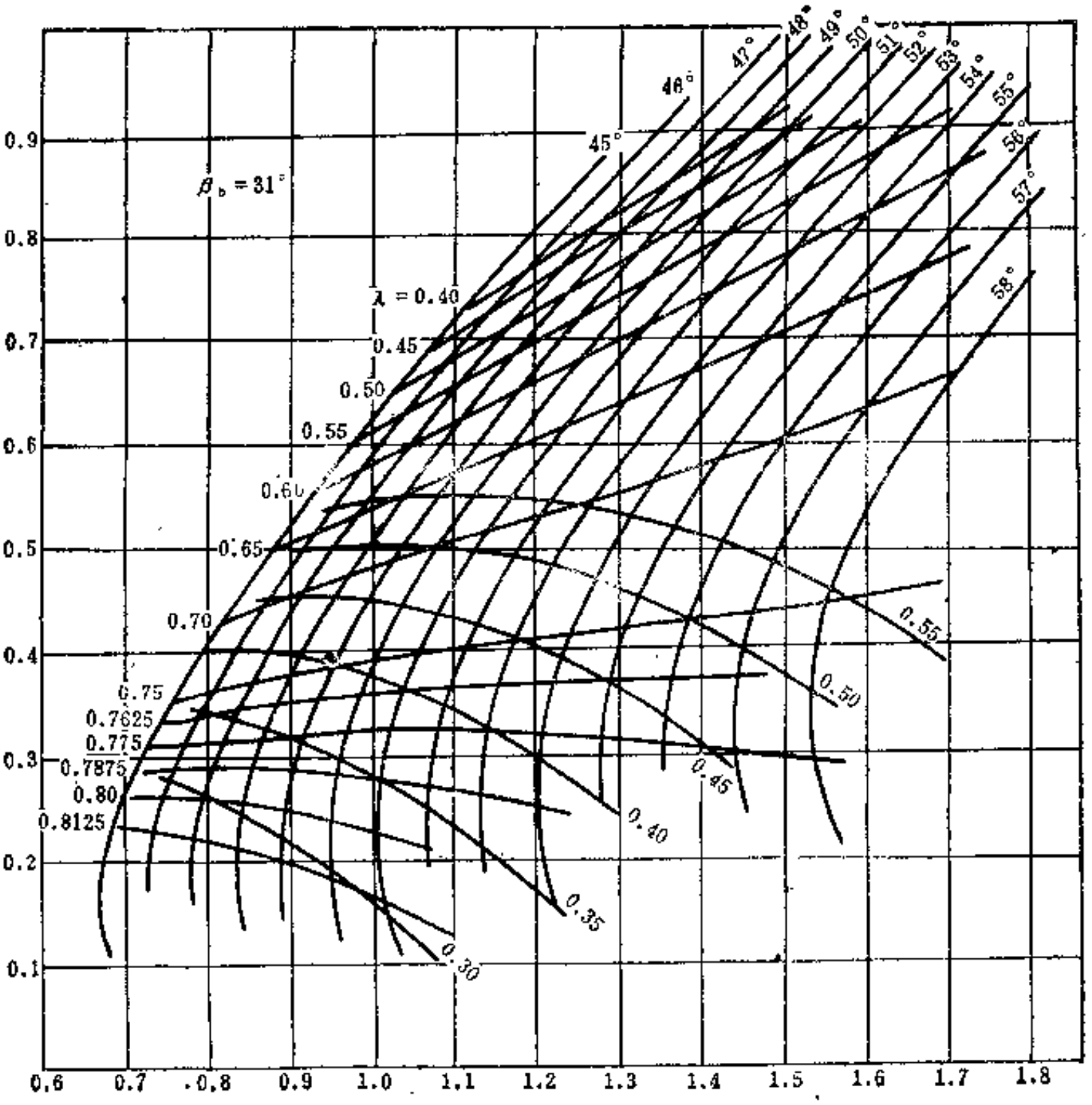



图 1-12-16 轮辋点曲线图

再用这套图表就显得不合适，这种计算方法既麻烦又费时，已不再采用，现在是应用计算机直接计算并绘出充气形状。

（2）直接用计算机绘制轮胎充气形状 考虑尼龙帘线受到气压作用后帘线伸张，采用微分方程组式（1-12-13），用计算机解出这组方程即得到了轮胎充气形状[1]，计算轮胎充气形状的程序与计算轮胎模型的相同，所不同的是输入的参数采用充气所用的数据。

a．轮辋点的选取 充气轮胎轮辋宽度与模型的轮辋宽度一致时，充气轮胎计算的轮辋点与模型的相同；若二者宽度不同，则充气轮胎的轮辋点按使用轮辋计算。如设计9.00-20钢丝子午线轮胎，为了提高胎面耐磨性能，模型可按7.5轮辋设计，实际使用轮辋是7.0，则充气轮辋点按7.0轮辋计算。9.00-20尼龙轮胎模型设计的轮辋与使用轮辋一致，则二者的轮辋点相同。

b．几何边界值（边界条件） 充气轮胎几何边界值只有一个，就是轮辋点至胎冠未伸张的帘线长度，把它作为预测轮胎充气形状的边界值，使充气形状与设计的轮胎硫化模型建立联系，什么样的模型形状和施工条件，就规定了什么样的轮胎充气形状。

c．计算中可调整的变量 几何边界值只有一个，因此可调整的变量也只有一个，轮胎充气后发生变化的是断面形状，因此把轮辋点至胎冠的弧长 $s$ 作为唯一可调整的变量。把轮胎模型断面弧长 $s$ 作为可调整变量的初始值，把表1-12-1中从轮辋点到胎模型的帘线长度

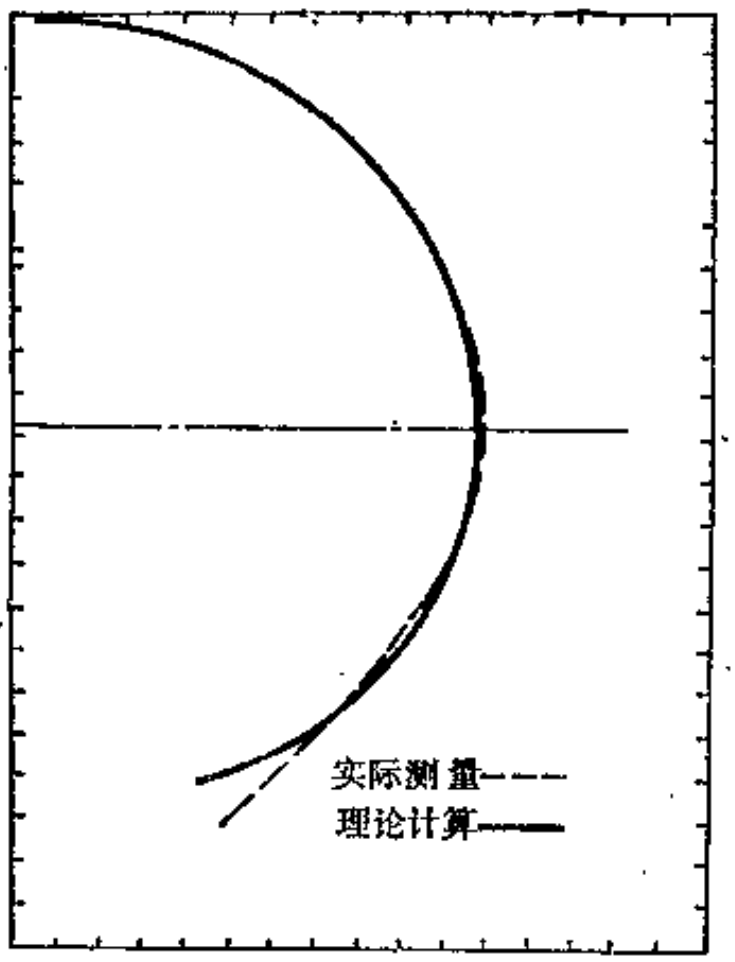



图 1-12-17 A厂9.00-20钢丝轮胎计算形状与测量结果对比
($\beta'_k=52°$; $R'_m=375.2$mm; $R'_k=472$mm)

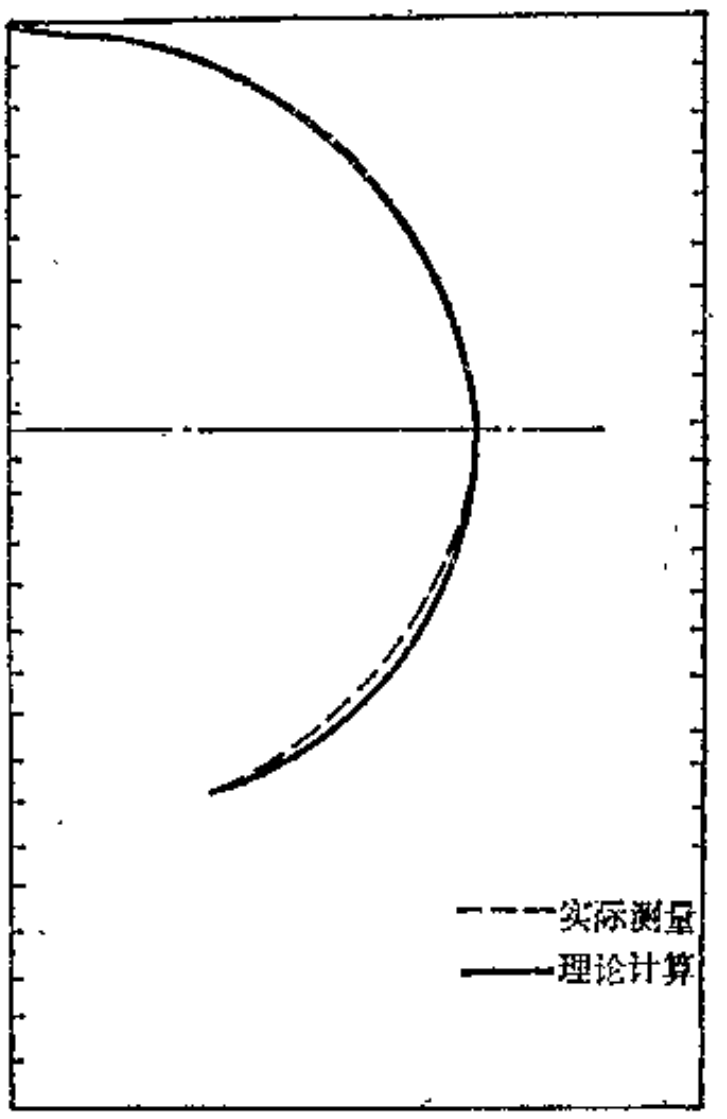



图 1-12-18 B厂9.00-20钢丝轮胎计算形状与测量结果对比
($\beta'_k=54°$; $R'_m=374.4$mm; $R'_k=469.7$mm)

$L_M$作为边界值，后充气轮胎的帘线长度则为$L_M$乘以后充气的帘线伸张系数。当轮胎充气后，帘线产生伸张，帘线角度发生变化，断面 $s$ 也随着增加，其伸张变形结果由计算机算出，当 $s$ 增加到适当的长度时，以此长度除以对应角度的正弦，结果恰好等于模型的（或模型乘以后充气帘线伸张系数的）帘线长度，此时的形状就是轮胎充气的形状。

d．影响轮胎充气形状的主要因素　轮胎是一个典型的复合材料体，经过成型硫化等复杂的工艺制造过程，才能得到成品轮胎。充气轮胎的形状和性能受其结构材料和工艺的影响，同样的结构，同样的材料，由于制造工艺不同，其形状就不同；同样的工艺条件，同样的轮胎模型形状，使用不同的骨架材料，其形状也不相同。尼龙轮胎的外缘尺寸比人造丝的大，同样是尼龙帘线，A厂尼龙与B厂尼龙又不一样，为了准确地预测轮胎充气形状，既要分析结构参数的影响，也要了解骨架材料及工艺条件对轮胎充气形状和性能所起的作用。

（a）骨架材料对轮胎充气形状的影响

①　帘线蠕变　将尼龙帘线放在高温下，在一定的负荷下放置一定的时间，测量帘线长度的变化，用蠕变率表示为：

$$\text{蠕变率}=\frac{\Delta L}{L_0}\times 100$$

式中　$L_0$——帘线初始长度；

$\Delta L$——帘线长度的增量。

尼龙轮胎后充气的外缘尺寸与帘线蠕变率成正比，同样的尼龙帘线结构，A厂尼龙帘线蠕变率比B厂尼龙帘线蠕变率要大；同样的轮胎模型，同样的工艺，A厂尼龙帘线轮胎比

用B厂尼龙帘线轮胎后充气外缘尺寸要大（后面详细讨论）。

② 帘线拉伸模量 除了钢丝帘线以外，其它帘线的拉伸模量均是在 Instron 试验机上测定的。为了使帘线稳定，在拉伸曲线图上便于取值，需在拉伸前对帘线施加适量的预张力，一般纤维帘线施加预张力1～3N，钢丝帘线施加预张力8～15N。纤维帘线夹持长度$L_0$为250mm，最大量程可测100N，钢丝帘线夹持长度为250～300mm，其拉伸模量随拉伸应力而改变，钢丝帘线模量与拉伸应力基本上成线性关系（见图1-12-19）。图1-12-20～图1-12-22为人造丝和尼龙帘线的拉伸曲线。1265/2人造丝的拉伸应力在30N以下，尼龙帘线的拉伸应力在20N以下时，可以把它们当作线性材料处理，拉伸模量为：

$$M=\frac{dT}{d\varepsilon}$$

式中 $M$——拉伸模量；

$dT$——拉伸应力增量；

$d\varepsilon$——应变增量$\left(\varepsilon=\frac{\Delta L}{L_0}\right)$。

由于纤维帘线属于高分子材料，又是多股捻合而成，故拉伸速度对弹性模量有一定影响（见图1-12-23），从图中可以看出纤维拉伸模量随着帘线拉伸速度增加而增加。

由于高分子材料具有滞后性，轮胎在充气过程中变形缓慢，要经过一段时间后才能使其形状稳定，达到平衡，国家标准规定尼龙轮胎充气后要停放24小时才能测量其外缘尺寸，故本文计算充气形状采用较低速度的帘线拉伸模量。

（b）后充气对充气形状的影响 硫化罐硫化的尼龙轮胎在压力为零时的外缘尺寸比模型小，使用后外缘尺寸增加很多，产生花纹裂口、胎面脱空等质量问题。为了提高轮胎质

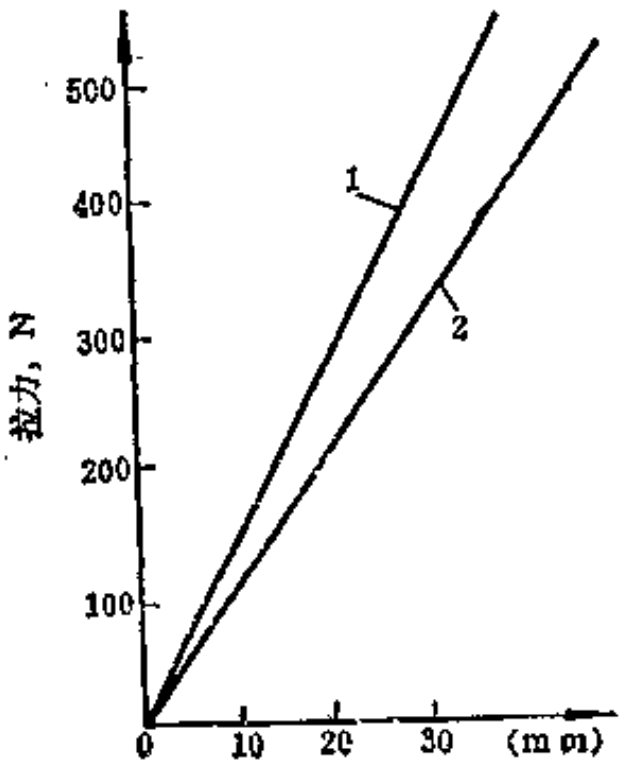



图 1-12-19 带束钢丝拉伸曲线

1—比利时12股；2—国产21股

（成品抽出：拉速为5mm/min；纸速为500mm/min）

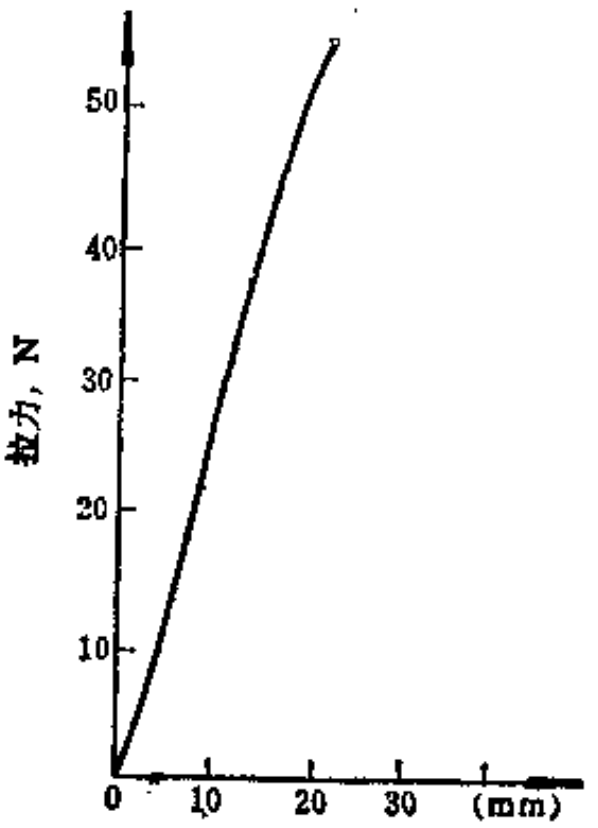



图 1-12-20 人造丝(1650/3)拉伸曲线

（成品抽出：拉速为200mm/min；纸速为200mm/min）

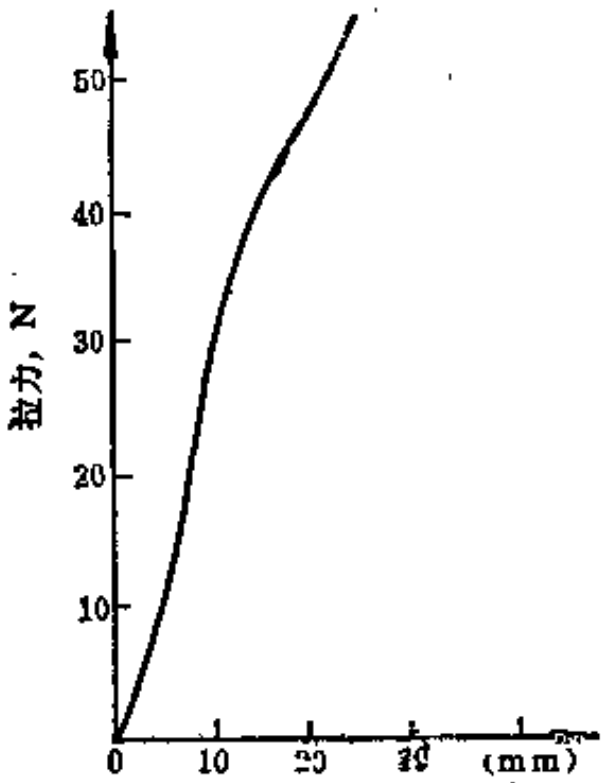



图 1-12-21　人造丝(1650/2)拉伸曲线
成品抽出：拉速为200mm/min；纸速为200mm/min

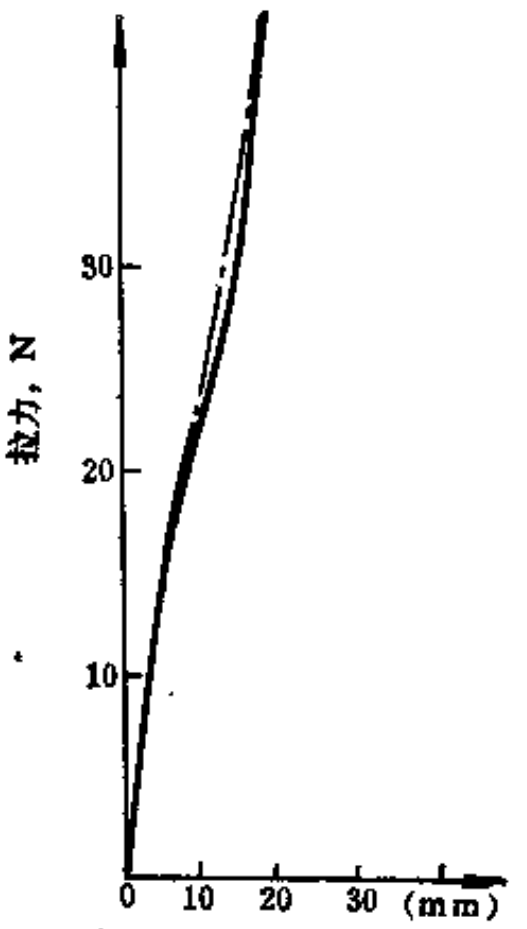



图 1-12-22　尼龙帘线(1260den/2)拉伸曲线
—·—·A厂尼龙6；——B厂尼龙6

量，使用后保持外缘尺寸稳定，尼龙轮胎要进行后充气处理，经过后充气处理的尼龙轮胎在压力为零时其外缘尺寸有的往往比模型还要大，如果仍然按照硫化罐的工艺情况来预测充气形状，其结果与实际不符，要比实际测量的小。

因此本文计算尼龙轮胎的形状，是以压力为零时轮胎的帘线长度作为边界值。在压力为零时，轮胎处于一种平衡状态，它具有最小的断面宽和外直径，此时仍可以按照平衡轮廓公式（1-12-14)计算，此时的边界值(边界条件)只有两个，即压力为零时的断面宽和外直径。由计算机计算出到压力为零时的平衡形状和帘线长度（见图1-12-24），所得 9.00-20 尼龙轮胎的内轮廓曲线与测量结果基本上一致，只是在下胎侧略有差异。按此方法将 9.00-20 尼龙轮胎压力为零时的外缘尺寸进行数理统计，得出压力为零时的断面宽和外直径，以此二者作为边界条件，用式（1-12-14)进行计算，求得压力为零时的帘线长度，再用此帘线长度作为边界值，预测轮胎充气形状。

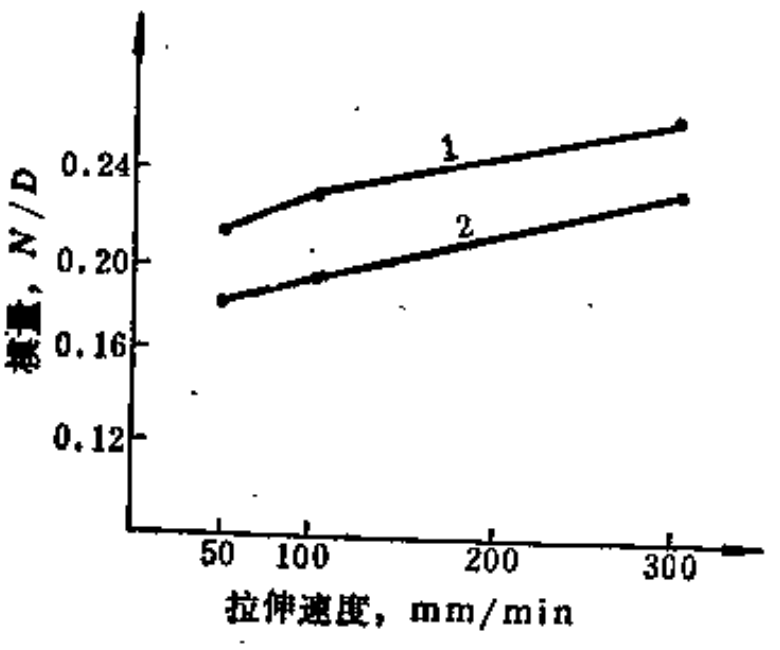



图 1-12-23　模量与拉伸速度的关系
1—A厂尼龙6；2—B厂尼龙6

以9.00-20尼龙轮胎为例：后充气压力为 680kPa，对A厂尼龙6和B厂尼龙6，用上述方法分别找出两种帘线从轮胎模型到压力为零时长度的变化（见表1-12-9)。

A厂尼龙6帘线9.00-20轮胎，经过后充气处理后，比在模型中的轮胎帘线长度平均伸张3%，对B厂尼龙6帘线9.00-20轮胎进行同样的计算，经过后充气处理后，其轮胎帘线长度

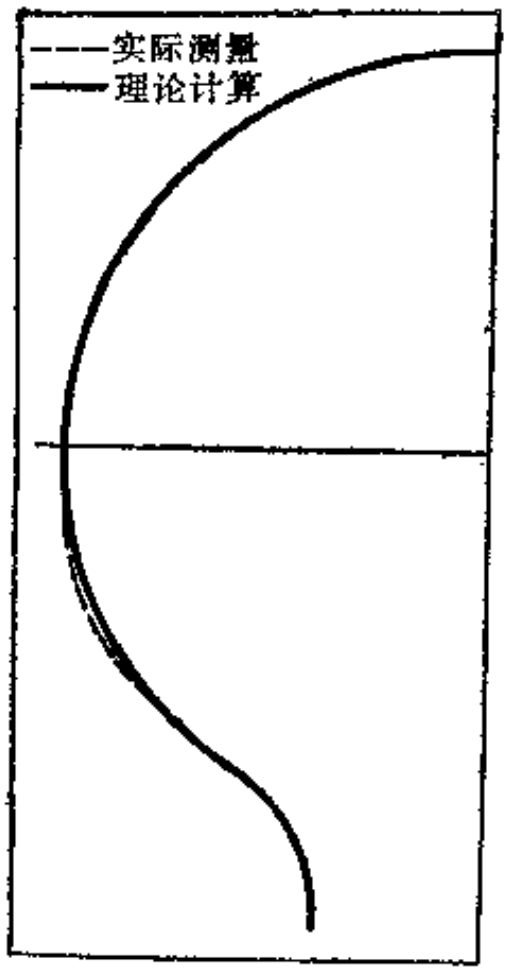



图 1-12-24 9.00-20尼龙轮胎压力为零时的平衡轮廓

(轮辋6.00T；轮胎在压力为零时：$\alpha_k=39.65°$，$R_k=474.1$mm，$R_m=373.1$mm，$y_{max}=106.3$mm)

与在模型中的轮胎帘线长度基本一致，保持不变，因此A厂尼龙6帘线的热蠕变率比B厂尼龙6帘线大。所以同样的轮胎结构，同样的工艺，A厂尼龙6帘线9.00-20轮胎后充气外缘尺寸比B厂尼龙6帘线轮胎大；从成品帘线模量来看（见图1-12-22和图1-12-24），A厂尼龙6帘线的模量比B厂尼龙6帘线大，但是这种影响较小，总的来说，A厂尼龙6轮胎的外缘尺寸比B厂尼龙6轮胎大。

根据以上统计数据，计算轮胎成品帘线长度的经验公式为：

$$L_m = L_M \cdot K_c$$

A厂尼龙6帘线 $K_c$取1.03，B厂尼龙6帘线 $K_c$取1.00。

轮胎模型设计完成后，由经验公式算出轮胎经过后充气处理后的帘线长度，用它作为边界值预测轮胎充气形状。

（c）压力函数对轮胎充气形状的影响

薄膜原理是把轮胎看作一个无弯曲刚度的薄膜，这种简化与实际情况有差别，因此计算的充气平衡轮廓，往往外直径偏大，断面宽偏小，这是忽略各部位的刚度而引起的。轮胎胎面部位有较厚的胎面胶、缓冲层和胎体，比较坚硬，弯曲刚度较大；胎侧部位只有较薄的胎侧胶和胎体层，比较柔软，弯曲刚度显然小得多，充气后容易膨胀。如果按照实际情况来考虑弯曲刚度，把轮胎作为一个复合材料构成的薄壳处理，使问题复杂化，计算工作量增大，因此现仍把轮胎当作无弯曲刚度的薄膜处理，用压力函数$F_n$来反映充气压力对轮胎弯曲刚度不同部位的作用力。这样既保留了薄膜原理、网络理论计算的简便性，又提高了计算充气轮胎的准确性。计算充气轮胎，压力函数一般取式（1-12-12）的前三项即可。

表 1-12-9 A厂尼龙帘线9.00-20轮胎模型到压力为零时帘线的伸张率

| 轮胎编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 压力为零时外直径，mm | 1021.5 | 1020.7 | 1021.3 | 1019.6 | 1023.1 | 1022.4 | 1023.5 | 1023.2 | 1025.3 | 1024.6 | 1020.2 | |
| 压力为零时断面宽，mm | 234.7 | 235.7 | 235.5 | 237.5 | 235.4 | 237.4 | 233.1 | 235.4 | 232.1 | 233.8 | 239.2 | |
| 帘线伸张率，% | 2.46 | 2.55 | 2.63 | 2.91 | 3.04 | 3.44 | 2.55 | 3.05 | 2.7 | 2.99 | 3.6 | 2.9(取3.0) |

$$F_n = P + P_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_d}{L_M}\right) + P_3 \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} \cdot \frac{L_d}{L_M}\right)$$

$P$为充气压力，$P_1$和$P_3$通过试验和分析统计获得。

曾对A厂尼龙6帘线9.00-20轮胎的充气外缘尺寸进行统计，其充气外直径平均为

1026.5mm，充气断面宽平均为257.7mm，以此作为边界值，用微分方程组式（1-12-13）进行计算，求出$P_1$和$P_3$之值，并绘出轮胎断面上各点压力函数分布趋势。轮胎充气时是自由状态，不受任何约束，压力函数大，表示相对的膨胀大一些；压力函数小，表示相对的膨胀小一些（见图1-12-25）。胎面和下胎侧比较坚硬，弯曲刚度大，压力函数小，不易膨胀；胎侧薄，弯曲刚度小，压力函数大，容易膨胀。

如果不采用压力函数，用原来的方法，把断面上各点的压力当作常数，则由此计算的平衡轮廓与用压力函数计算的形状差别较大，见表1-12-10和图1-12-26。

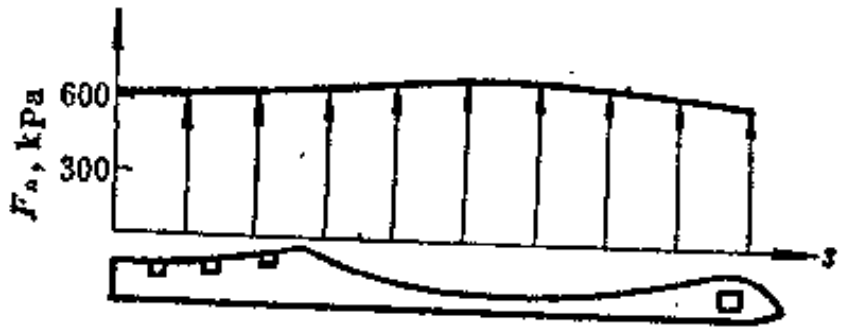



图 1-12-25　压力函数$F_n$分布曲线

表 1-12-10　计算的外缘尺寸与测量结果对比

| 特　征 | 充气外直径,mm | 充气断面宽,mm |
|---|---|---|
| 原方法 | 1030.8 | 248.2 |
| 采用压力函数 | 1026.5 | 252.7 |
| 测量结果 | 1026.5 | 252.7 |

采用原来的方法计算的外直径比测量结果大，断面宽比测量结果小，采用压力函数$F_n$以后，计算的形状与测量结果较为一致。

（d）胎冠角度对轮胎充气形状的影响

① 同一轮胎模型，胎冠角度$\alpha_k$对轮胎充气形状的影响　当胎冠角度$\alpha_k$增加时，其充气外直径随着胎冠角度$\alpha_k$增加而增加，充气断面宽则随着胎冠角度增加而减少（见图1-12-27）。

② 胎里半径相同，胎冠角度$\alpha_k$对轮胎断面形状的影响：同一轮胎，若充气胎里半径相同，胎冠角度$\alpha_k$越大，断面宽则越小，当胎冠角度$\alpha_k$为90°时，其充气断面宽最小（见图1-12-28）。

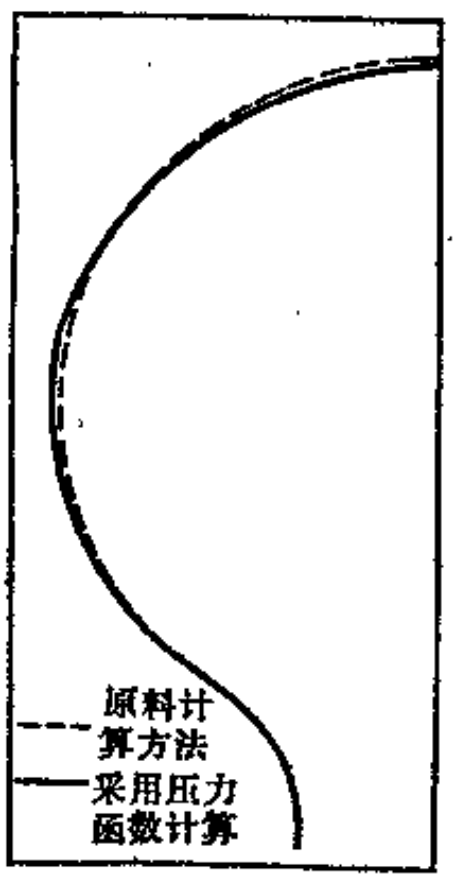



图 1-12-26　两种方法计算的轮胎充气形状对比

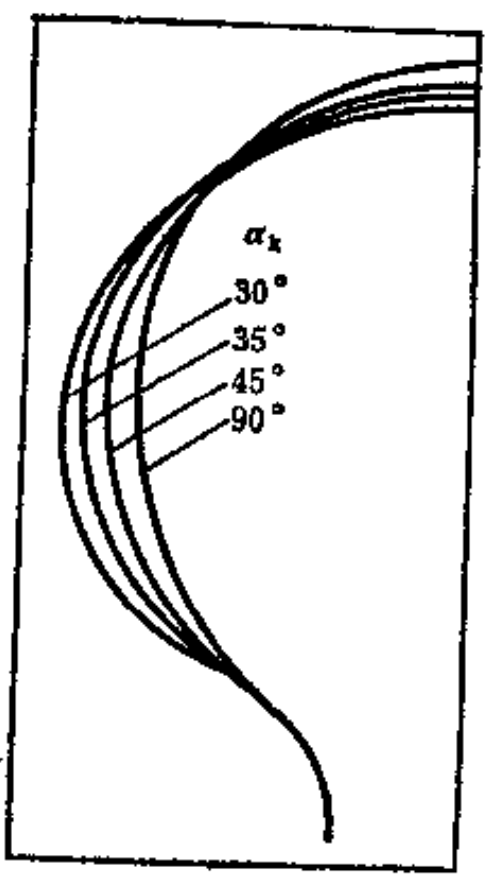



图 1-12-27　同一轮胎模型，胎冠角度$\alpha_k$对轮胎充气形状的影响

③ 轮胎断面宽相同，胎冠角度$\alpha_k$对轮胎断面形状的影响：同一轮胎，若充气断面宽相等，胎冠角度越大，其充气外直径越大，当胎冠角度90°时，充气外直径最大（见图1-12-29）。

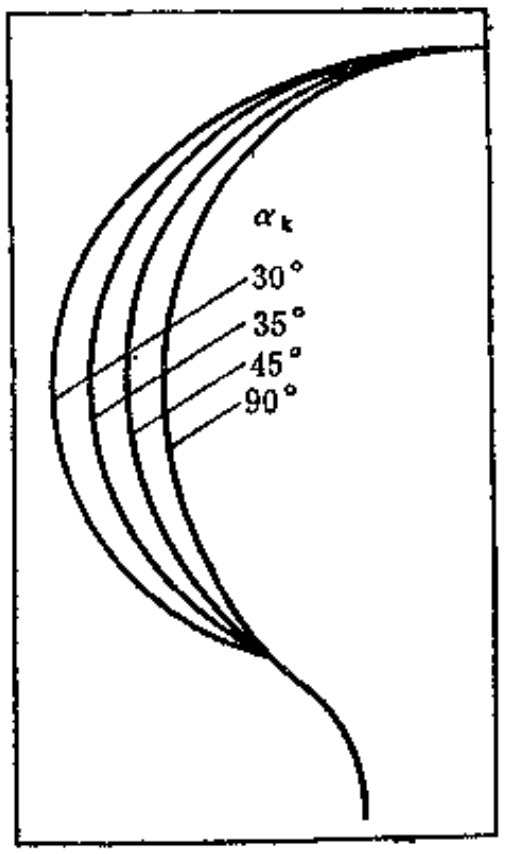



图 1-12-28 胎里半径相同，胎冠角度$\alpha_k$对轮胎断面形状的影响
（外直径为1022mm）

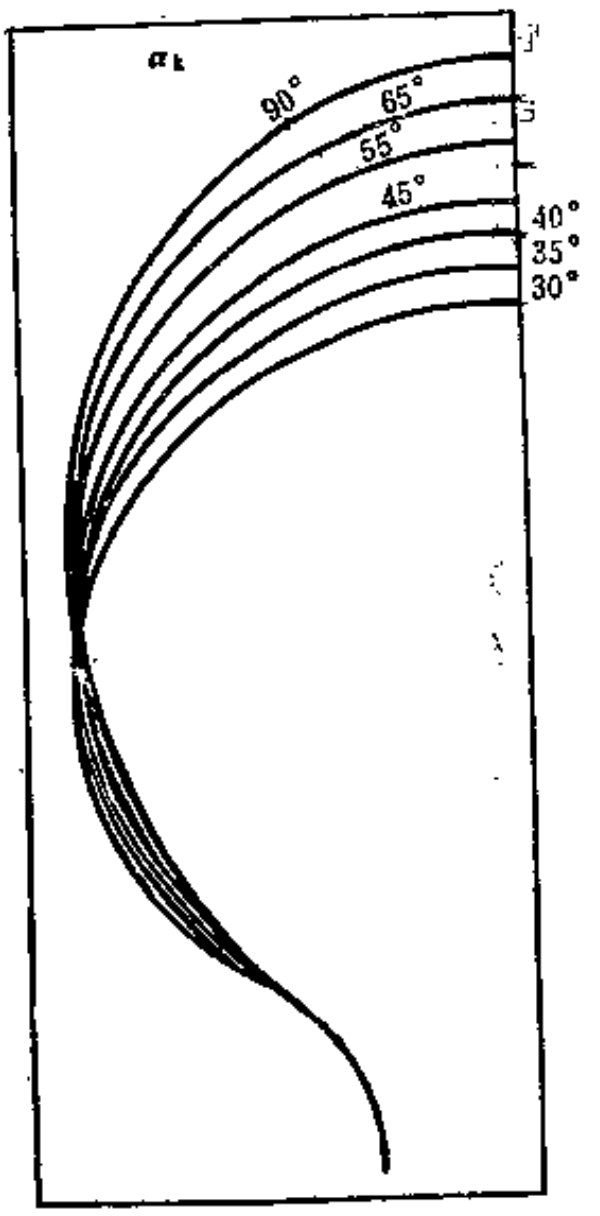



图 1-12-29 断面宽相同，胎冠角度$\alpha_k$对轮胎断面形状的影响
（断面宽为250mm）

（e）计算和预测轮胎充气形状 根据结构参数及其制造工艺条件（如硫化后充气）对轮胎形状的影响，提出轮胎帘线长度的初始值；根据骨架材料的不同，提出材料的拉伸模量；然后根据现在生产的轮胎，分析统计充气轮胎外缘尺寸的变化，提出压力函数。在此基础上就可以较准确地预测轮胎充气的形状，下面举一个9.00-20尼龙轮胎的计算实例：

（i）轮胎在模型中的帘线长度 该模型按6.00T轮辋设计，用微分方程组(1-12-14)计算，其结果见表1-12-11。

表 1-12-11 9.00-20尼龙轮胎在模型中计算的帘线长度

| 模型编号 | 外直径 mm | 断面宽 mm | 胎冠角度 $\alpha_k$ | 帘线长度 $L_M$, mm | 断面宽最宽点半径 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| 3号模 | 1022 | 216 | 38.8° | 342.1 | 378 |
| 4号模 | 1020 | 222 | 39° | 338.7 | 375 |

（ii）后充气后轮胎帘线的伸张率见表1-12-12。

(iii) 成品帘线拉伸模量见表1-12-13。

表 1-12-12　9.00-20轮胎后充气后帘线的伸张率

| 帘线品种 | 后充气后帘线伸张率，% | 后充气压力 kPa(kgf/cm²) |
|---|---|---|
| A厂尼龙6 | 3 | 670(6.8) |
| B厂尼龙6 | 0 | 670(6.8) |

表 1-12-13　成品帘线拉伸模量

| 帘线品种 | 拉伸模量 MPa | 后充气压力 kPa(kgf/cm²) |
|---|---|---|
| A厂尼龙6 | 2100 | 670(6.8) |
| B厂尼龙6 | 1800 | 670(6.8) |

(iv) 压力函数

$P$——标准气压　590kPa(6.0kgf/cm²)

$$F_n=P+P_1\cdot\sin\left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{L_d}{L_M}\right)+P_3\cdot\sin\left(\frac{3\pi}{2}\cdot\frac{L_d}{L_M}\right)$$

(v) 几何边界值　几何边界值只有一个，为轮辋点至轮胎胎冠未充气的帘线长度（经过后充气处理的帘线长度），见表1-12-14。

表 1-12-14　9.00-20轮胎（经过后充气处理）的帘线长度

| 模型特征 | 帘线品种 | 轮胎帘线长度 | 模型特征 | 帘线品种 | 轮胎帘线长度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 3号模 | A厂尼龙 | 342.1×1.03 | 4号模 | A厂尼龙 | 338.7×1.03 |
| 3号模 | B厂尼龙 | 342.1×1.00 | 4号模 | B厂尼龙 | 338.7×1.00 |

(vi) 可调整的变量，因几何边界值只有一个，相应地可调整的变量也只有一个，为从轮辋点到胎冠点的断面弧长 $s$ 。

采用微分方程组式（1-12-13），利用差分法，由计算机求解，迭代算出并绘出轮胎充气形状，见表1-12-15、图1-12-30和图1-12-31。

表 1-12-15　9.00-20轮胎计算的充气尺寸与测量结果对比

| 测量结果 \ 方案特征 | | B厂尼龙6帘线 | | A厂尼龙6帘线 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 3号模型（5条胎） | 4号模型（8条胎） | 3号模型（3条胎） | 4号模型（9条胎） |
| 外直径 | 实测范围,mm | 1021.1～1021.9 | 1021.3～1024.3 | 1025.4～1026.4 | 1024.3～1029.3 |
| | 实测平均,mm | 1021.6 | 1022.2 | 1025.8 | 1026.5 |
| | 计算,mm | 1021.2 | 1021.9 | 1025.8 | 1026.6 |
| | 与平均值相对误差 | −0.03% | −0.03% | 0 | — |
| 断面宽 | 实测范围,mm | 245.9～260.4 | 245.6～251.9 | 251.4～253.0 | 251.6～253.9 |
| | 实测平均,mm | 248.3 | 249.8 | 252.3 | 252.7 |
| | 计算,mm | 248.7 | 248.5 | 253.0 | 252.7 |
| | 与平均值相对误差 | +0.2% | −0.5% | +0.3% | — |

由表1-12-15、图1-12-30和图1-12-31可见，两种帘线两种模型构成4种轮胎，采用同样的压力函数，计算充气轮胎的形状与测量结果基本上一致，因此压力函数$F_n$，用以预测9.00-20轮胎在6.00T轮辋上的充气形状。同理，根据装在7.0轮辋上充气轮胎外缘尺寸的变化，可

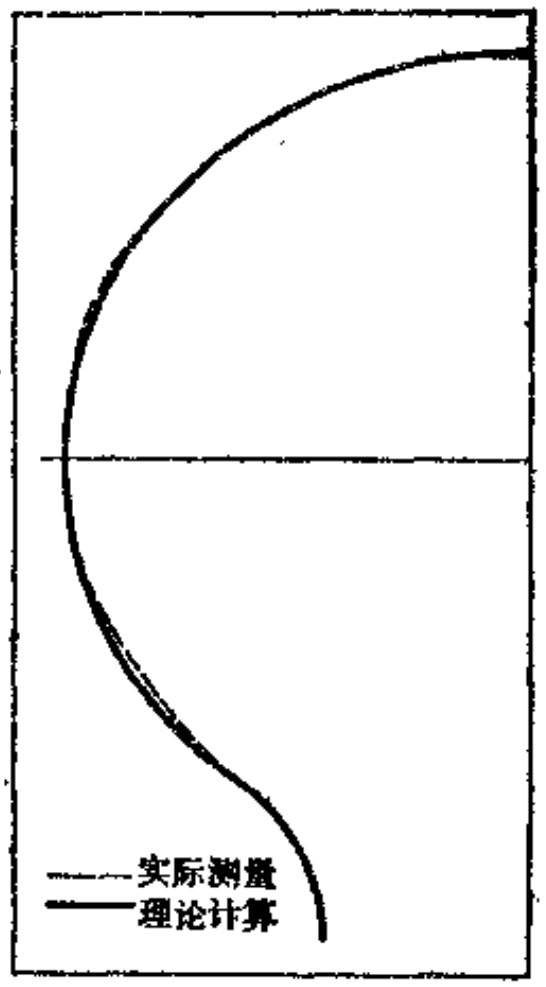



图 1-12-30　900-20轮胎充气平衡轮廓
(轮辋6.00T;气压为590kPa(6kgf/cm²)时: $\alpha'_k=41.35°$, $R'_k=478.1$mm, $Y'_{max}=112.1$mm, $R'_m=378.6$mm)

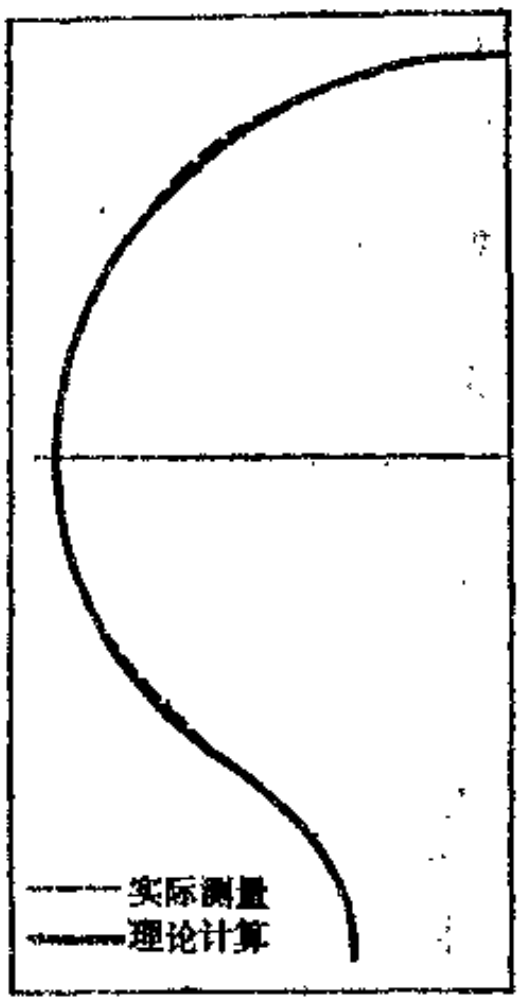



图 1-12-31　9.00-20轮胎充气平衡轮廓
轮辋7.0; (气压为590kPa时:$\alpha'_k=41.67°$, $R'_k=477.5$ mm, $y'_{max}=116.8$mm, $R'_m=374.7$mm)

以找到在7.0轮辋上的压力函数，如此类推，根据现在生产的轮胎，找出装在各种轮辋上的压力函数，来预测类似规格的新设计轮胎的外缘尺寸。

**(三) 斜交轮胎充气力学分析**

**1. 计算帘线张力和层间剪切力的数学模式**

**(1) 计算帘线张力的数学模式**

$$T=\frac{P(R'^2_k-R'^2_m)}{2\cdot n_1\cdot l'_k\cdot R'_k}\cdot\frac{1}{\sin^2\alpha'} \qquad (1\text{-}12\text{-}28)$$

**(2) 计算帘线层间剪切力的数学模式**

$$\text{周向剪切力}\mu_0=\frac{2\cdot l'\cdot T\cdot\cos\alpha'\cdot\sin\phi}{R'\cdot\sin\alpha'} \qquad (1\text{-}12\text{-}29)$$

$$\text{帘线方向的剪切力}\mu_c=\mu_0\cdot\cos\alpha'$$

$$=\frac{2\cdot l'\cdot T\cdot\cos^2\alpha'\cdot\sin\phi}{R'\cdot\sin\alpha'}$$

$$\text{垂直帘线方向的剪切力}\mu_n=\mu_0\cdot\sin\alpha'$$

$$=\frac{2\cdot l'\cdot T\cdot\cos\alpha'\sin\phi}{R'}$$

式 (1-12-29) 计算的帘线层间剪切力，只考虑帘线，忽略了胶料的作用，计算的层间剪切力小于实际的剪切力，但是各个部位剪切力大小的趋势与实际相符合。周向、帘线方向和垂直帘线方向 3 个方向的剪切力以周向最大，故在设计中通常只计算周向剪切力。

2. 计算结果与分析

（1）胎冠角度$\alpha_k$对帘线张力的影响

a．根据图1-12-32可以得出如下几点。

① 在同一轮胎断面上，若不考虑缓冲层，从胎圈部位到胎冠点断面上各点帘线所受的张力逐渐增大，以胎冠点最大。

② 在胎冠点上，帘线所受的张力随着胎冠角度$\alpha_k$减少而增加，胎圈部位则相反，胎圈部位帘线所受的张力随着胎冠角度$\alpha_k$减少而减少。

b．由图1-12-33可以得出如下两点结论。

① 由于帘线角度和轮胎半径的变化，若不考虑缓冲层，胎冠帘线密度随着胎冠角度减少而增加。在图1-12-33中可以看出，$\alpha_k$为33.5°时帘线密度最大；当$\alpha_k$等于51.5°时，帘线密度最稀，而胎圈部位的帘线密度受角度影响甚小。

② 一般斜交轮胎帘线密度最稀处在胎肩，但是随着胎冠角度$\alpha_k$增加，帘线密度最稀处向胎冠中央靠近。在斜交轮胎中，通常采用的胎冠角度$\alpha_k$在35～41°之间，因此斜交轮胎帘线密度最稀处一般在胎肩部位。

c．同一轮胎断面上，一般轮胎若考虑缓冲层，帘线所受张力最大处不在胎冠而在胎肩

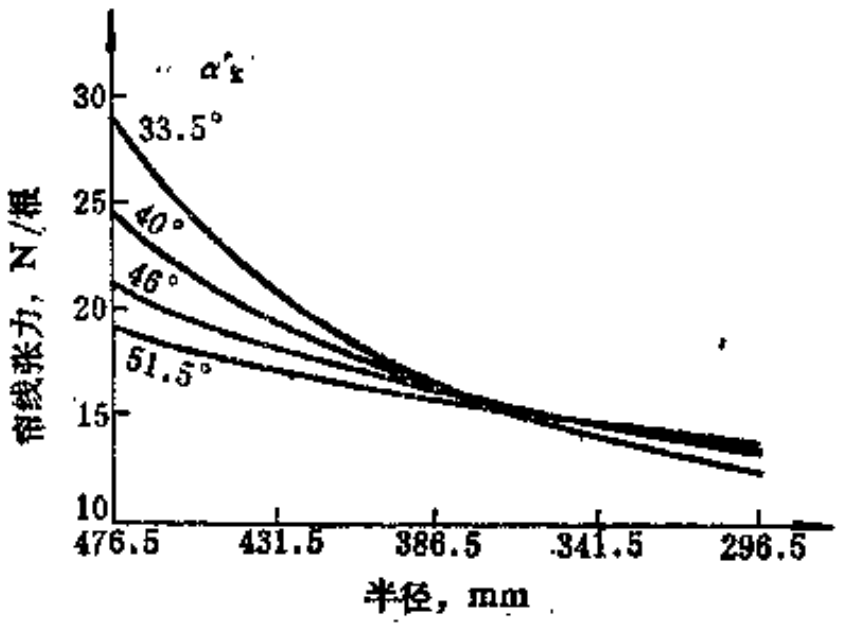



图 1-12-32 9.00-20轮胎在不同胎冠角度下帘线张力变化示意图（不计缓冲层）

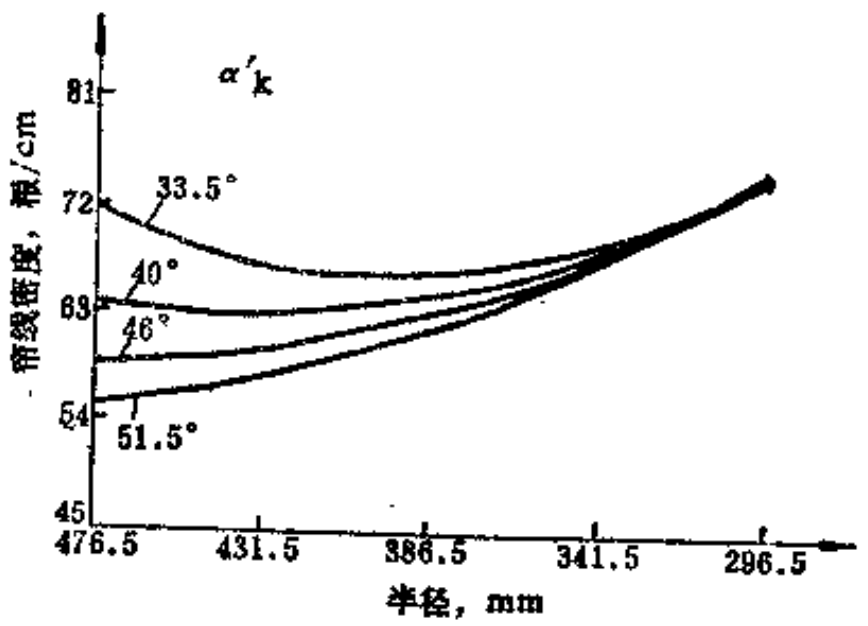



图 1-12-33 不同胎冠角度下轮胎帘线密度变化示意图（不计缓冲层）

缓冲层端点上，但是随着胎冠角度$\alpha_k$的减少，帘线张力最大处逐渐由胎肩移向胎冠。象我国生产的9.00-20尼龙轮胎，一般在胎肩缓冲层端点帘线受力最大，因为9.00-20尼龙轮胎的胎冠角$\alpha_k$一般在37～41°之间（见图1-12-34）。

d．在同一轮胎断面上，一般轮胎若不计缓冲层，帘线密度最稀处在胎肩，若计算缓冲层，帘线密度最稀处仍在缓冲层端点上，形成一个突变点（见图1-12-35），在该点上帘线的应力-应变明显地增加。

（2）胎冠角度对帘线层间剪切力的影响

a．从图1-12-36可见，帘线层间剪切力随着胎冠角度$\alpha_k$减小而急剧增加，在同一轮胎断面中，剪切力曲线的最高峰在胎肩，但随着$\alpha_k$的增加，剪切力不但变小，且曲线也趋于平坦，胎冠和胎肩部位剪切力的差距缩小。

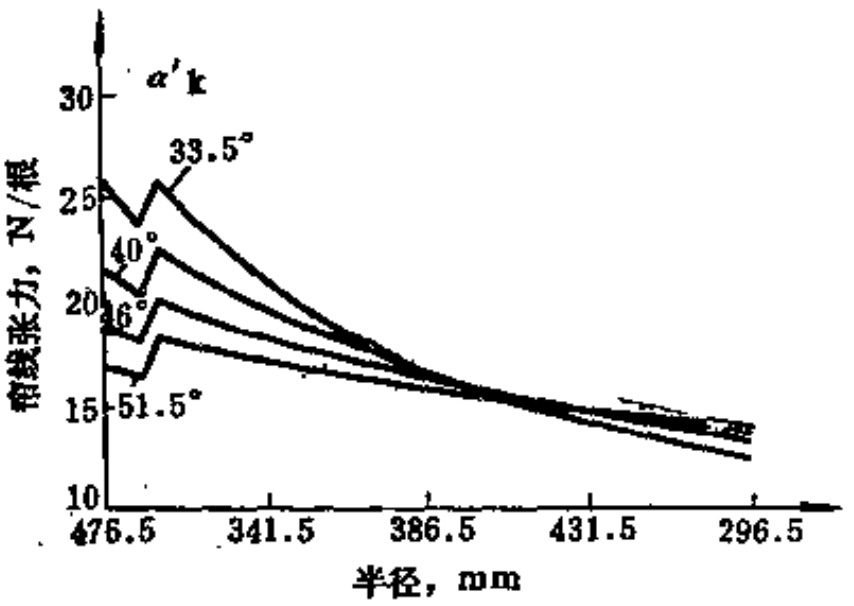



图 1-12-34 不同胎冠角度下轮胎帘线张力变化示意图（计缓冲层）

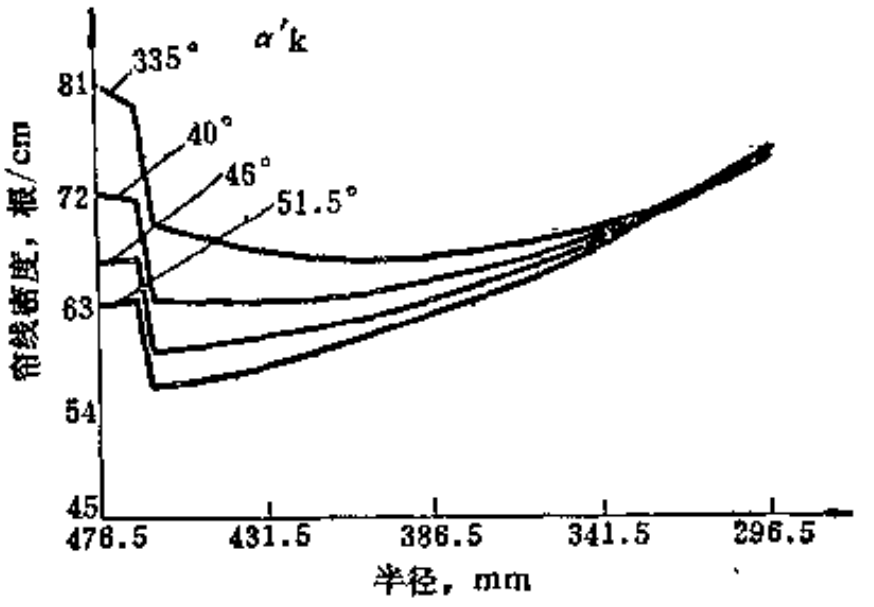



图 1-12-35 不同胎冠角度下轮胎帘线密度变化示意图（计缓冲层）

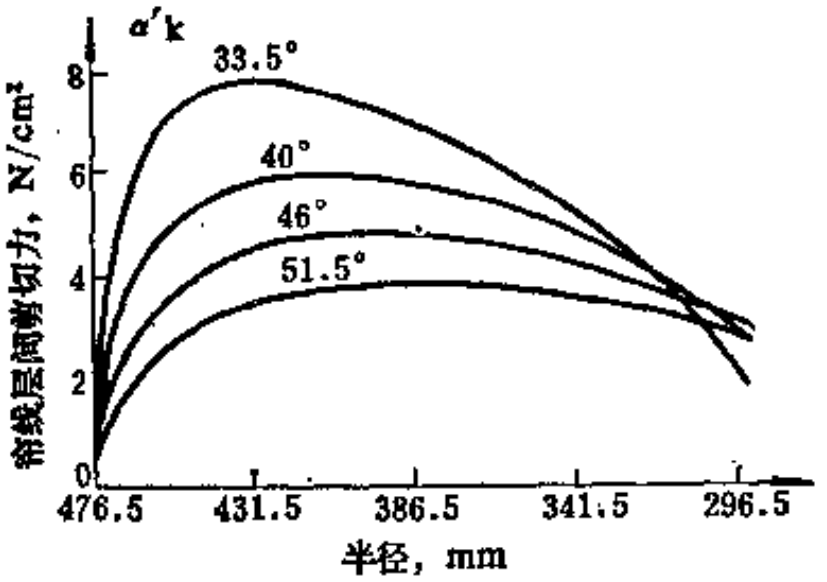



图 1-12-36 不同胎冠角度下帘线层间剪切力变化示意图

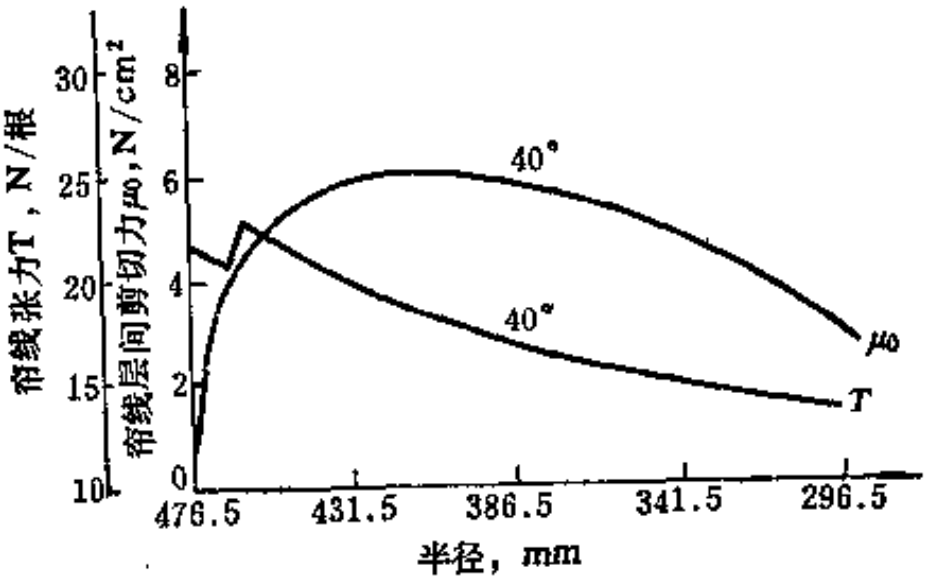



图 1-12-37 帘线张力和帘线层间剪切力曲线示意图

b．从图1-12-37可见，层间剪切力在轮胎断面上各点的分布，层间剪切力最大处在胎肩，一般斜交轮胎胎冠角度$\alpha_k$在35～41°之间，帘线张力最大处在缓冲层端点上计缓冲层）。

根据计算结果分析表明以下两点。

① 胎冠点帘线张力和胎肩部位帘线层间剪切力，随着胎冠角度$\alpha_k$减少而增加；反之则减小，且层间剪切力曲线趋向平坦，胎冠和胎肩层间剪切力的差距也减少。但胎冠点帘线张力和胎肩部位帘线层间剪切力减小后，使用性能不理想，一般斜交轮胎胎冠角度$\alpha_k$在35～41°之间较好，低断面轮胎胎冠角度小于此值。

② 帘线层间剪切力最大处在胎肩缓冲层端点附近，若计算缓冲层，轮胎帘线张力最大处在缓冲层端点上，由此可知缓冲层端点是一个薄弱环节，室内和室外试验的结果表明9.00-20尼龙轮胎在使用中经常在胎肩出现问题，发生肩空、肩裂的质量毛病。

## 四、斜交轮胎自由旋转时形状力学的研究

### （一）研究斜交轮胎自由旋转时形状力学的目的

高速公路的出现和汽车速度的不断提高，对轮胎性能提出越来越高的要求。首先要满足

汽车的高速性。轮胎在高速旋转下，由于离心力的作用，轮胎形状发生了很大的变化，这种变化是研究轮胎动态力学性能的一个重要问题，因为计算高速旋转下帘线和各个部位所受的应力-应变情况时，应以高速旋转下轮胎轮廓形状作为基础。高速旋转下帘线和钢丝圈所受的张力比静止充气时所受的张力大得多，同时轮胎形状发生很大的变化，外直径和胎冠曲率随着旋转速度增加而增加，断面宽和胎侧曲率随着旋转速度增加而减少。因此用计算机来预计充气旋转下轮胎的断面形状，并以此来预测断面各点帘线所受的张力和钢丝圈的应力，为轮胎设计人员提供不同使用速度下的轮胎设计依据。

**（二）轮胎旋转时的基本方程式**

本方程式只限于斜交轮胎，仍然以薄膜网络理论为基础，轮胎在旋转时所受的力除了法向力外，还有在内压作用下的离心力。

轮胎在旋转时，其断面上所承受的离心力$F_c$的作用(见图1-12-38)：

$$F_c = m \cdot R_\omega \cdot \omega^2$$

离心力在周向，径向和法向的分力见图1-12-39。

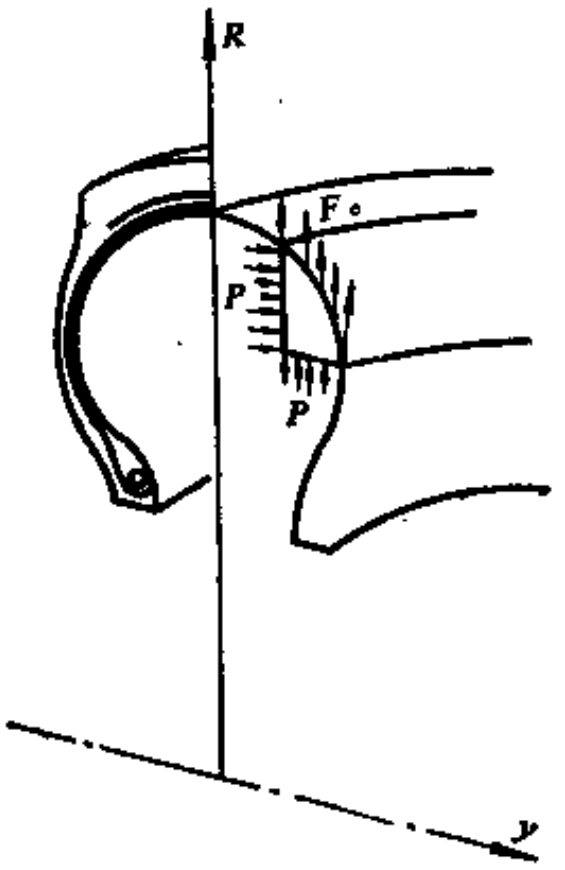



图 1-12-38　轮胎受内压与离心力的作用

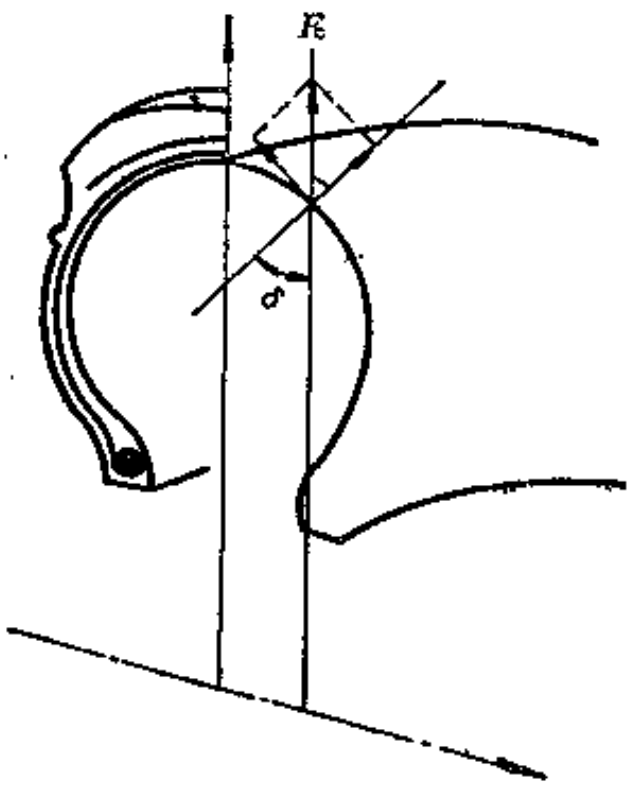



图 1-12-39　旋转轮胎离心力的分力

断面上各个点的离心力都垂直于旋转轴，故周向离心力的分力为零。

$$\left.\begin{aligned} &\text{周向离心力的分力} F_{\theta c} = 0 \\ &\text{径向离心力的分力} F_{\phi c} = F_c \cdot \sin\delta \\ &\text{法向离心力的分力} F_{nc} = F_c \cdot \cos\delta \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}12\text{-}30)$$

一个充气旋转轮胎，承受内压和离心力两种力的作用，因此它在三个方向上的总力为：

$$\left.\begin{aligned} &\text{周向外力} F_{\theta\omega} = 0 \\ &\text{径向外力} F_{\phi\omega} = F_c \cdot \sin\delta = m \cdot \omega^2 \cdot R_\omega \cdot \sin\delta \\ &\text{法向外力} F_{n\omega} = P + F_c \cdot \cos\delta = P + m \cdot \omega^2 \cdot R_\omega \cdot \cos\delta \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}12\text{-}31)$$

根据薄膜网络理论以及增加离心力以后的平衡方程式，经过积分整理，得到轮胎旋转时的周向应力$N_{\theta\omega}$和径向应力$N_{\phi\omega}$。

$$N_{\theta\omega}=\frac{2\cdot R_{\cdot\omega}\cdot R_{\omega}\cdot\cos\delta-(R_{\omega}^{2}-R_{m}^{2})}{2\cdot R_{\cdot\omega}\cdot\cos^{2}\delta}P+m\cdot R_{\omega}^{2}\cdot\omega^{2} \tag{1-12-32}$$

$$N_{\cdot\omega}=\frac{R_{\omega}^{2}-R_{m}^{2}}{2\cdot R_{\omega}\cdot\cos\delta}P \tag{1-12-33}$$

轮胎旋转时，离心力的作用垂直于旋转轴，所以在旋转轴方向没有离心力的分力，这一事实刚好可用数学表达式（1-12-33）说明。如果考虑结构是完全刚性体，$R=R_{\omega}$，则离心力只增加周向应力的合量，而不会影响径向应力的合量（方程式（1-12-32）说明了这一点），但由于离心力的存在使轮胎形状发生了变化，实际上对径向力多少有所影响。

轮胎旋转时的径向应力及周向应力与轮胎断面切线夹角 $\delta$ 的关系如下：

$$\cos\delta=\frac{R_{\omega}^{2}-R_{m}^{2}}{R_{k\omega}^{2}-R_{m}^{2}}\exp\int_{R_{\omega}}^{R_{k\omega}}\left(\frac{N_{\theta\omega}}{R_{\omega}\cdot N_{\phi\omega}}-\frac{m\cdot R_{\omega}\cdot\omega^{2}}{N_{\phi\omega}}\right)dR_{\omega} \tag{1-12-34}$$

1．轮胎旋转时形状的数学模式

（1）由曲率半径计算轮胎旋转时的形状

轮胎旋转时的形状可通过曲率半径计算得到[6]。

$$R_{\phi\omega}=\frac{(R_{k\omega}^{2}-R_{m}^{2})\exp\left\{-\int_{R_{\omega}}^{R_{k\omega}}\left(\frac{N_{\theta\omega}}{R_{\omega}\cdot N_{\phi\omega}}-\frac{m\cdot\omega^{2}\cdot R_{\omega}}{N_{\phi\omega}}\right)dR_{\omega}\right\}}{2\cdot R_{\omega}-\left(\frac{R_{\omega}^{2}-R_{m}^{2}}{R_{\omega}}\right)\cdot\frac{N_{\theta\omega}}{N_{\phi\omega}}} \tag{1-12-35}$$

（2）由断面宽和旋转半径的关系计算轮胎旋转时的形状

轮胎旋转时的形状还可通过断面宽与旋转半径之间的关系计算得到[7]。

$$\phi(\lambda)=\frac{1}{4\cdot\sin^{2}\beta_{k}}\left\{2\lambda(1-\lambda^{2}\cdot\sin^{2}\beta_{k})^{3/2}-\lambda(1-\lambda^{2}\sin^{2}\beta_{k})^{1/2}-\frac{\sin^{-1}(\lambda\cdot\sin\beta_{k})}{\sin\beta_{k}}\right\}$$

(1-12-36 a)

$$\lambda_{y1}=\int_{\lambda_{k}}^{1}\frac{(\lambda^{2}-\lambda^{2}m)(1-\lambda^{2}\cdot\sin^{2}\beta_{k})^{1/2}d\lambda}{[\{(1-\lambda^{2}m)\cos\beta_{k}+m_{1}\cdot\Omega[\phi(\lambda)-\phi(1)]\}^{2}-(\lambda^{2}-\lambda_{m}^{2})^{2}(1-\lambda^{2}\cdot\sin^{2}\beta_{k})]^{1/2}}$$

$$(1\geqslant\lambda\geqslant\lambda_{s}) \tag{1-12-36 b}$$

$$\lambda_{y2}=\int_{\lambda}^{\lambda_{s}}\frac{(\lambda^{2}-\lambda^{2}_{m})(1-\lambda^{2}\cdot\sin^{2}\beta_{k})^{1/2}d\lambda}{[\{(1-\lambda_{m}^{2})\cos\beta_{k}+m_{1}\cdot\Omega[\phi(\lambda_{s})-\phi(1)]+m_{2}\cdot\Omega]\phi(\lambda)-\phi(\lambda_{s})\}^{2}-(\lambda^{2}-\lambda_{m}^{2})^{2}(1-\lambda^{2}\cdot\sin^{2}\beta_{k})]^{1/2}}$$

$$(\lambda_{s}\geqslant\lambda\geqslant\lambda_{b}) \tag{1-12-36 c}$$

式（1-12-36）分两段计算轮胎旋转时的形状，其中式（1-12-36 b）是计算轮胎旋转时从胎冠至胎肩部位形状的数学模式。式（1-12-36 c）是计算轮胎旋转时从胎肩到轮辋点的数学模式。

2．轮胎旋转时断面上帘线张力的数学模式

轮胎旋转时胎冠至胎肩帘线所受的张力为

$$T_1(\lambda)=\frac{\pi\cdot P\cdot R_{k\omega}^2\cdot\{(1-\lambda_m^2)\cos\beta_k+m_1\cdot\Omega[\phi(\lambda)-\phi(1)]\}}{n(1-\lambda^2\cdot\sin^2\beta_k)}$$

$$\lambda_s\leqslant\lambda\leqslant 1 \qquad (1\text{-}12\text{-}37\,a)$$

轮胎旋转时胎肩至轮辋点帘线所受的张力[7]为

$$T_2(\phi_\lambda)=\frac{\pi\cdot P\cdot R_{k\omega}^2\cdot\{(1-\lambda_m^2)\cos\beta_k+m_1\cdot\Omega[\phi[(\lambda_s)-\phi(1)]+m_2\cdot\Omega[\phi(\lambda)-\phi(\lambda_s)]\}}{n(1-\lambda^2\cdot\sin^2\beta_k)}$$

$$\lambda_b\leqslant\lambda\leqslant\lambda_s \qquad (1\text{-}12\text{-}37\,b)$$

数学模式（1-12-35）比较复杂，计算量大，上机时间长，因此本文计算轮胎旋转时的形状采用方程式（1-12-36 a）和（1-12-36 b），计算轮胎旋转时断面各点帘线所受的张力采用方程式（1-12-37 a）和（1-12-37 b）。

轮胎旋转时所产生的离心力除受速度的影响外，还与轮胎单位面积上的平均质量$m$有密切的关系，而轮胎单位面积中橡胶与帘线的质量$m$是随着轮胎半径$R$而变化的，因此把轮胎分成两部分来计算，用胎冠部位质量$m_1$代表胎冠到胎肩区域内的平均质量，用胎侧部位的质量$m_2$代表胎肩到轮辋点区域内的平均质量，所以计算轮胎旋转时的形状和断面上各点帘线所受的张力，分别采用两个数学模式来计算：即胎冠到胎肩区域使用一个数学模式，胎肩到轮辋点区域则应用另一个数学模式。

### （三）计算与分析

应用上述数学模式计算轮胎旋转时断面形状，必须事先确定轮胎一些结构参数，如轮胎旋转时的胎里半径$R_{k\omega}$，肩部半径$R_{s\omega}$，断面宽最宽点半径$R_{m\omega}$，和胎冠帘线角度$\beta_{k\omega}$等。这些参数国外是用仪器直接测量得到的，而我们由于条件所限，不能直接测量，因此只能采用经验公式计算的方法，根据文献[8]介绍的高速滚动时轮胎半径增量的经验公式，求出不同速度下的胎里半径$R_{k\omega}$，并相应求得肩部半径$R_{s\omega}$和断面宽最宽点半径，为了计算方便，可以采用静态的。轮胎旋转时胎冠帘线角度的计算，仍然按网络理论的正弦定律求得，上述方法皆为近似计算。

下面对国内三种规格轿车斜交轮胎（7.50-14，6.95-14和6.70-13）在不同旋转速度时的轮胎形状及沿断面方向的帘线张力进行计算。

1．轮胎旋转时胎里半径和胎冠角度的公式

（1）轮胎旋转时胎里半径的计算公式

胎里半径的经验公式[8]如下：

$$\Delta R=k\frac{m\cdot\omega^2\cdot R_1'}{P}B' \qquad (1\text{-}12\text{-}38)$$

$$=kAB'$$

$$A=\frac{m\cdot\omega^2\cdot R_1'}{P}$$

轮胎质量$m$、角速度$\omega$和充气外半径$R_1'$均为已知，$A$即可算出来：

$$R_{k\omega}=R_k'+\Delta R$$

系数$k$与轮胎规格和断面质量分布有关，它随着轮辋宽度，帘线硬度和帘线胎冠角度$\beta_k$的增大而减少，$k$值在0.1～0.2之间，$A\leqslant 0.5$时用式（1-12-38）计算较为合适，超过此值$\Delta R$增加较慢。

（2）轮胎旋转时胎冠角度$\beta_{k\omega}$的公式

$$\sin\beta_{k\omega}=\frac{\sin\beta'_k}{R'_k}\cdot R_{k\omega}$$

2. 计算结果与分析

曾对6.95-14、6.70-13和7.50-14三种轿车轮胎进行了旋转时的计算，根据计算结果，可以得出下列几点供轮胎结构设计人员作为设计参考和依据。

（1）角速度对轮胎形状的影响　内压一定时，角速度增加，外直径和胎冠曲率（胎冠拱度）随之增加，而断面宽和胎侧曲率则随之减少，见图1-12-40～图1-12-42。

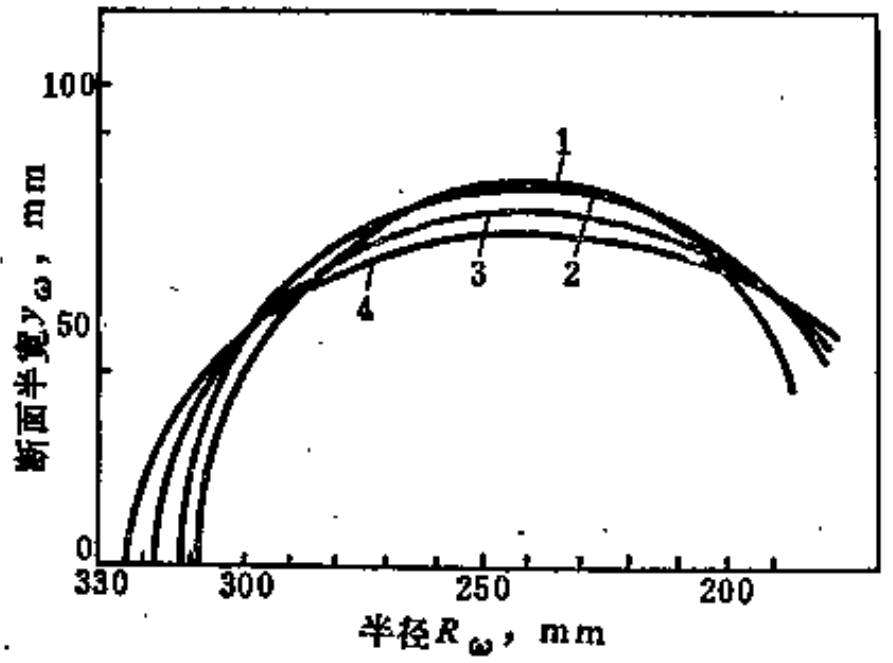



图 1-12-40　6.95-14轮胎角速度对断面形状的影响

（1—0r/min；2—800r/min；3—1200r/min；4—1600r/min；（气压为210kPa时）

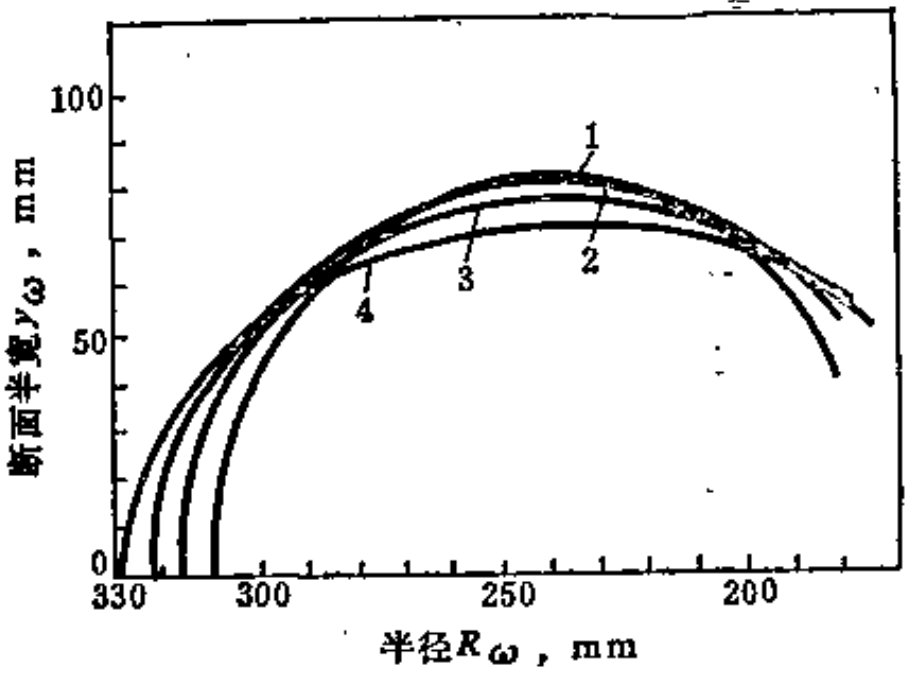



图 1-12-41　6.70-13轮胎角速度对断面形状的影响

1—0r/min；2—800r/min；3—1200r/min；4—1600r/min；（气压为210kPa时）

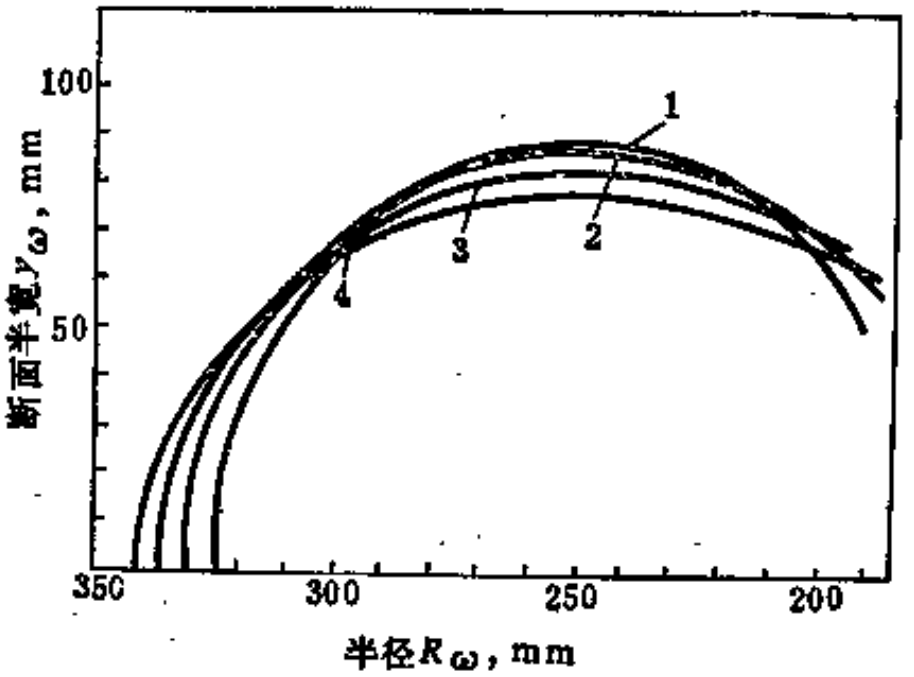



图 1-12-42　7.50-14轮胎角速度对断面形状的影响

1—0r/min；2—800r/min；3—1200r/min；4—1600r/min；（气压为210kPa时）

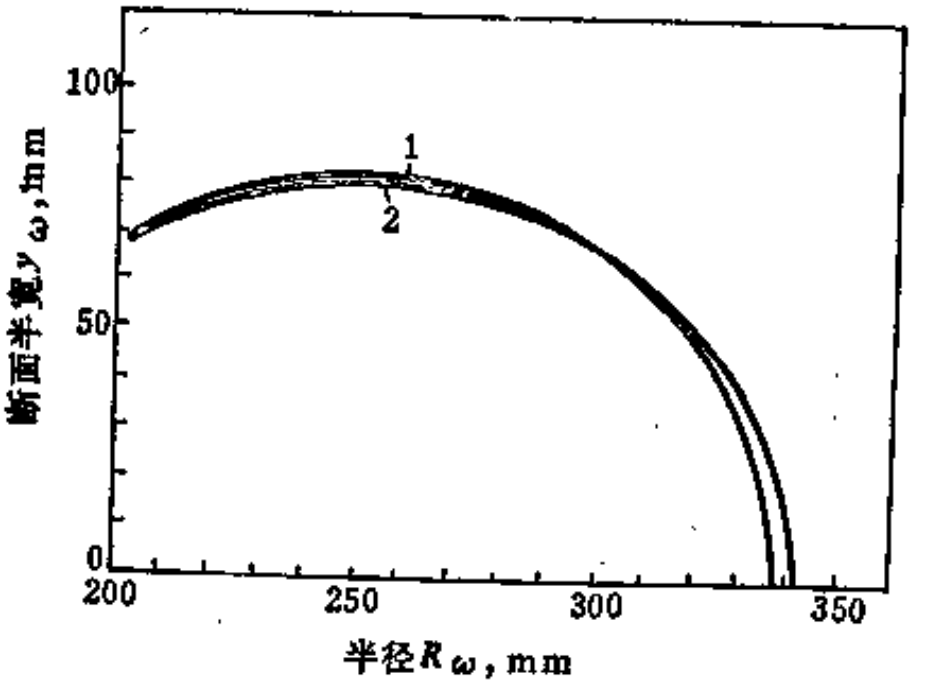



图 1-12-43　7.50-14轮胎气压对断面形状的影响

1—210kPa；2—140kPa

（角速度为1200r/min；）

（2）内压对轮胎形状的影响　角速度一定时，内压降低，外直径和胎冠曲率随之增加，而断面宽和胎侧曲率则随之减少（见图1-12-43）。

（3）角速度对帘线张力的影响　由于离心力的关系，帘线所受的张力随着角速度的增加而增加，轮辋点（胎圈部位）帘线所受张力增加的速度比胎冠部位快，然而帘线张力最大处仍在胎冠点（见图1-12-44）。

（4）气压对帘线张力的影响　角速度一定时，帘线所受的张力随着气压增加而增加，胎冠部位帘线所受张力增加的速度比轮辋点（胎圈部位）要快（见图1-12-45）。

（5）角速度的变化对胎冠点、最大断面半宽点和轮辋点（胎圈部位）帘线张力（分别用$T_{b\omega}$，$T_{m\omega}$，$T_{b\omega}$表示）有一定影响，见图1-12-46。

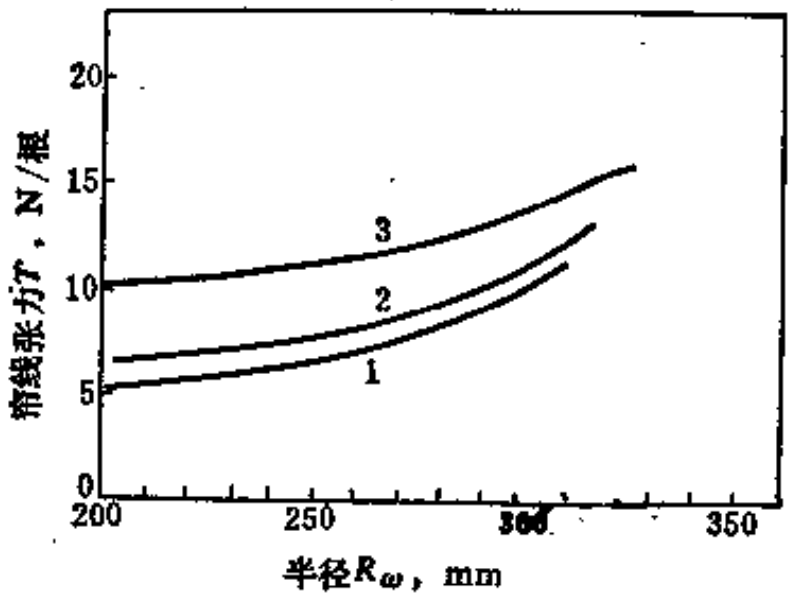



图 1-12-44　6.95-14轮胎角速度对帘线张力的影响
1—0r/min；2—800r/min；3—1600r/min；
（气压210kPa时）

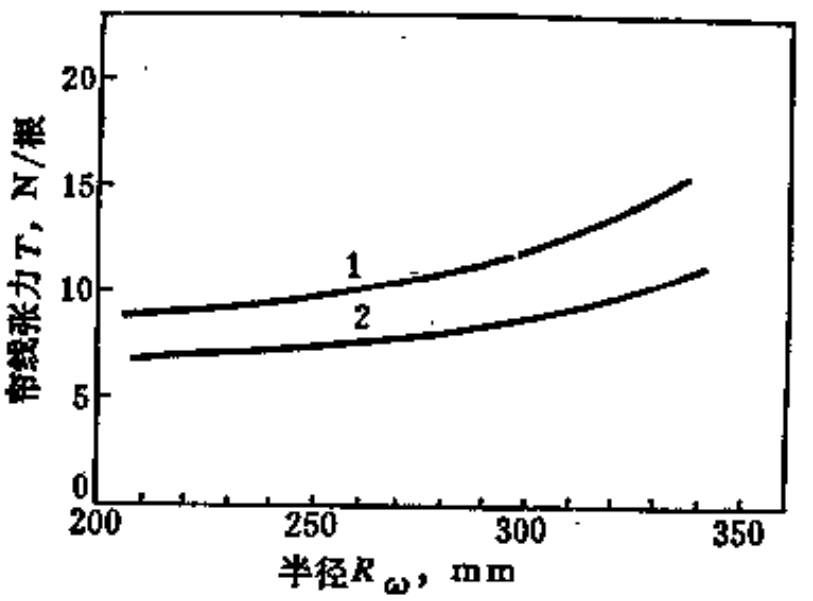



图 1-12-45　7.50-14轮胎气压对帘线张力的影响
1—210kPa；2—140kPa
（角速度1200r/min）

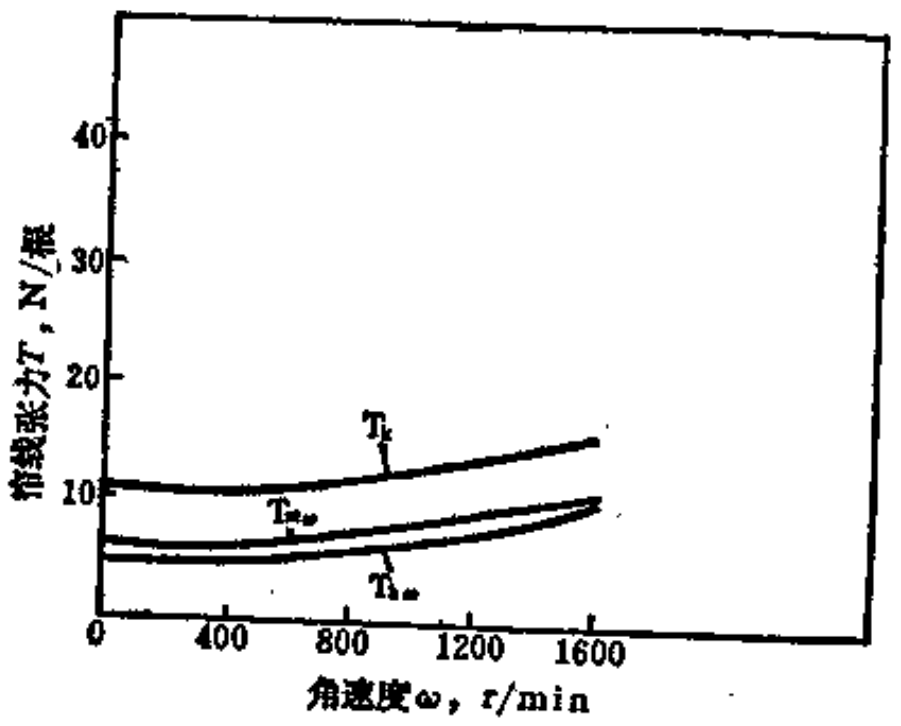



图 1-12-46　6.95-14轮胎角速度对胎冠点、最大断面半宽点和轮辋点帘线张力的影响
（气压210kPa）

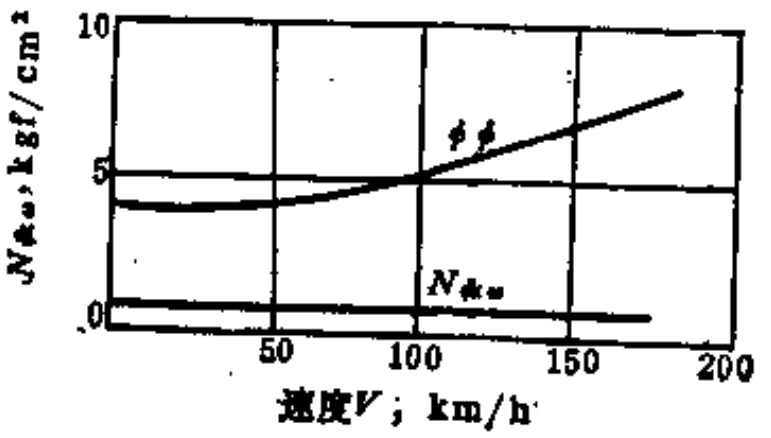



图 1-12-47　速度对胎冠点径向应力$N_{k\omega}$和应力之比值$\phi\phi$的影响

（6）速度对胎冠点径向应力$N_{\phi\phi}$和应力之比$\phi\phi$的影响　随着角速度的增加，尽管断面形状发生很大的变化，但胎冠点的径向力增加很少，几乎不变，而胎冠点的周向应力却增加很多，见图1-12-47，图中$\phi\phi=N_{\phi\phi}/N_{\phi\phi}$的比值。

**（四）分析结果**

上述计算与分析的结果有如下两点。

（1）充气旋转轮胎由于受离心力的影响，帘线所受张力随着角速度增加而增加。轮胎在高速时，胎圈部位帘线所受张力增加的速度要比胎冠点快（见图1-12-44），因此在设计高速轮胎时，帘线取的安全倍数应大于低速轮胎，而钢丝圈的安全倍数则应比低速轮胎更大。

（2）内压一定时，轮胎断面形状随着角速度的不同而发生变化。当角速度增加时，外直径和胎冠曲率（胎冠拱度）随之加大，而断面宽和胎侧曲率则减少（见图1-12-40～图1-12-42）。因此设计高速轮胎的胎面曲率应比低速轮胎要小，胎面要平坦，否则稳定性差，不耐磨耗。高速轮胎的断面高宽比应小于低速轮胎，这样重心低，轮胎稳定性能好。

# 第二节　子午线轮胎形状力学研究

## 一、采用薄膜网络理论

### （一）计算机计算

计算方法与斜交轮胎相同，从轮辋点到带束端点分成若干段，胎体帘线角度$\alpha$为90°，再从带束层端点到胎冠点分成若干小段，由于带束层是子午线轮胎的关键部位，带束层部位分段尺寸要比斜交轮胎小。采用带束层角度由计算机进行计算并绘出轮廓曲线（见图1-12-48），计算方法不再重述。

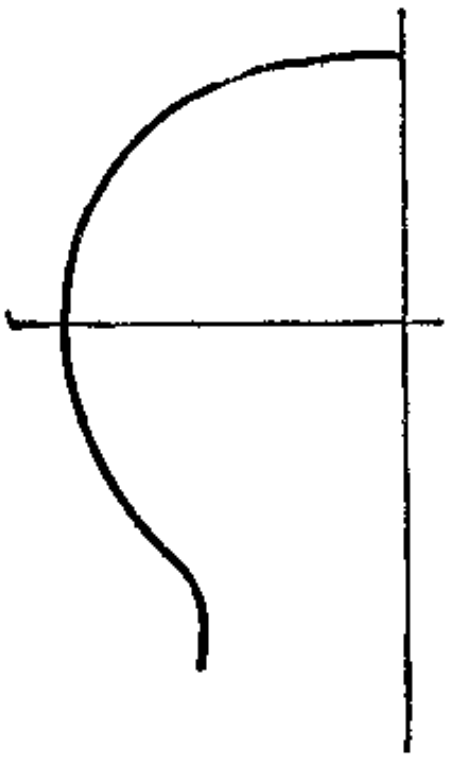


图 1-12-48　6.50R16子午线轮胎形状

### （二）直接作图法

因胎体帘线角度$\alpha$为90°，可以直接作图，轮廓曲线按胎体层中心线绘制，下面分别介绍轮廓曲线和轮胎负荷下曲线的绘制方法。因作图用的符号较多，所有符号所代表的物理量只适于本节。

1．轮廓曲线绘制法

（1）根据国家标准和以往轮胎设计的经验，确定轮胎外半径$R_t$，断面宽$B$，轮辋半径$R_1$和轮辋边缘半径$R_f$，绘制出轮胎外缘尺寸框架图（图1-12-49）。

（2）确定胎面半径$\rho_1$，胎面胶至胎体中心层的厚度$m$，胎侧胶至胎体中心层厚度$n$，绘制出图1-12-50。图中参数的说明见表1-12-16及图1-12-51。

（3）计算轮廓曲率半径绘制轮廓曲线图之三（图1-12-52）

$$\rho_3=\frac{R_K^2-R_m^2}{2\cdot R_m}$$

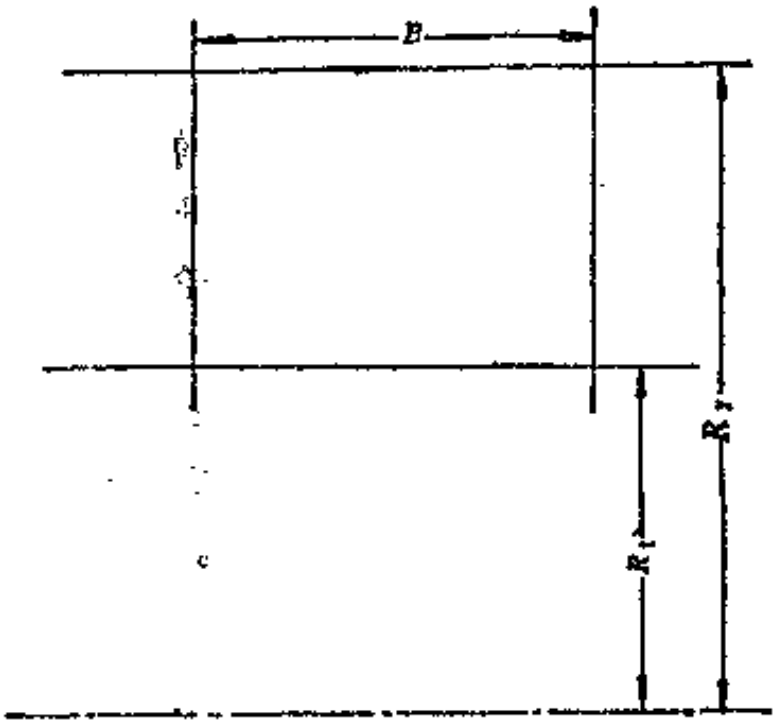



图 1-12-49　轮胎外缘尺寸框架图

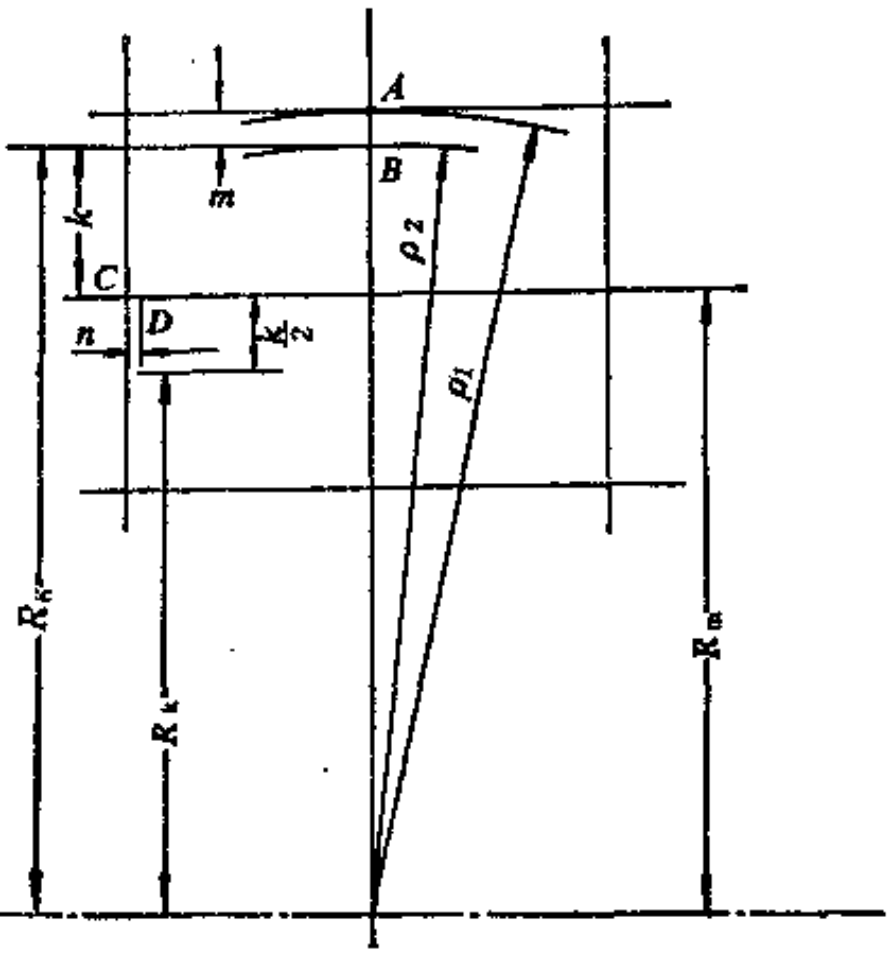



图 1-12-50　轮廓曲线图之一

表 1-12-16　图1-12-50中参数的说明

| | |
|---|---|
| $\rho_1=\alpha \cdot B$ | 轿车轮胎 $\alpha$ 取1.5～1.6<br>载重车轮胎 $\alpha$ 取1.7～1.8 |
| $m=AB$ | $\rho_2=\rho_1-m$<br>$R_k=R_y-m$ |
| $n=CD$ | $R_m=1/2(R_y+R_t)$ |
| $h=IB$ | $R_k=R_m-h/2=1/2(3R_m-R_k)$ |

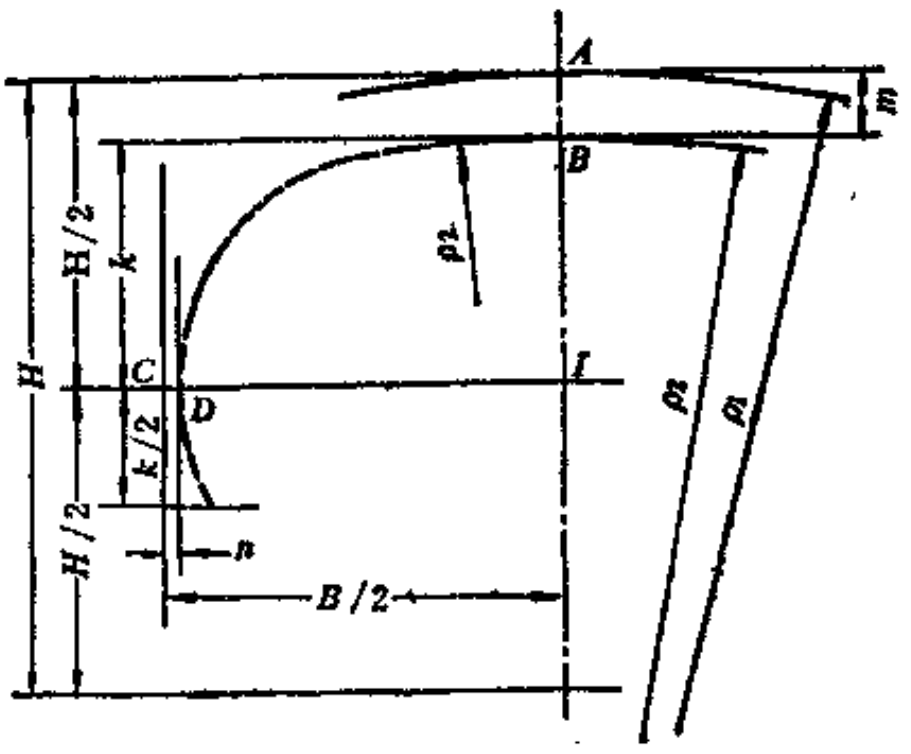



图 1-12-51　轮廓曲线图之二

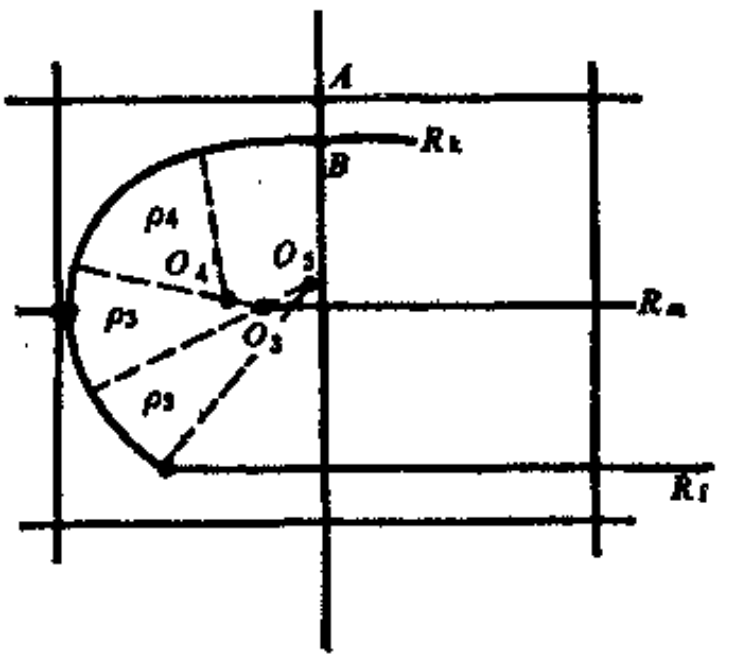



图 1-12-52　轮廓曲线图之三

$$\rho_4=\frac{R_K^2-R_m^2}{2\cdot R_b}$$

$$\rho_5=\frac{R_K^2-R_m^2}{2\cdot R_t}$$

（4）以$O_5$为圆心，2倍$\rho_5$为半径画一圆弧与$E$为圆心，$\rho_5$为半径所画圆弧的交点，得到圆心$O_6$，然后以$O_6$为圆心，$\rho_5$为半径绘出轮胎胎圈部位$EF$，见轮廓曲线图之四（图1-12-53），其参数$E$的说明见图1-12-54，全部参数的计算见表1-12-17。

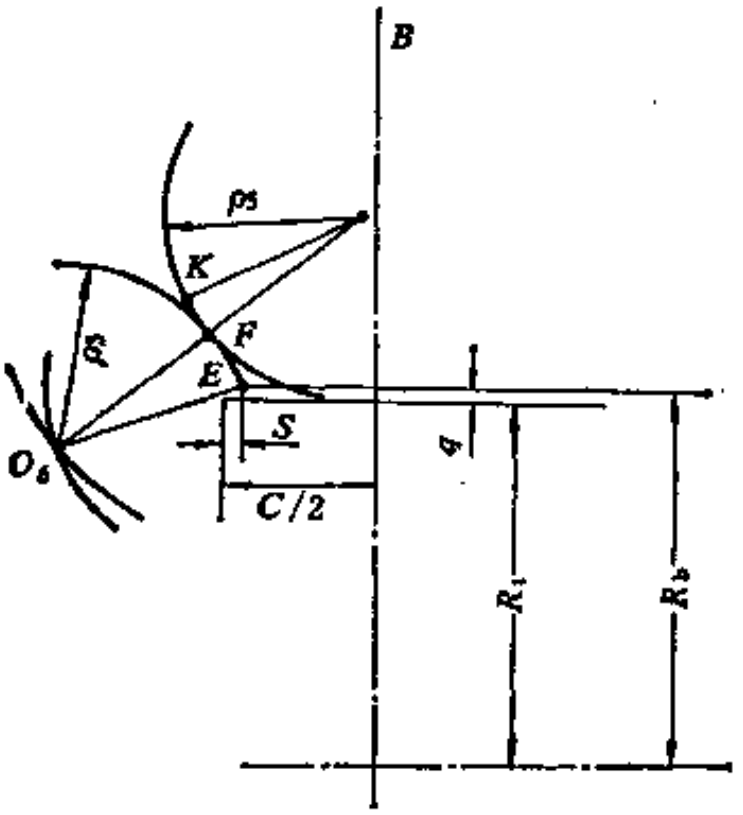



图 1-12-53　轮廓曲线图之四

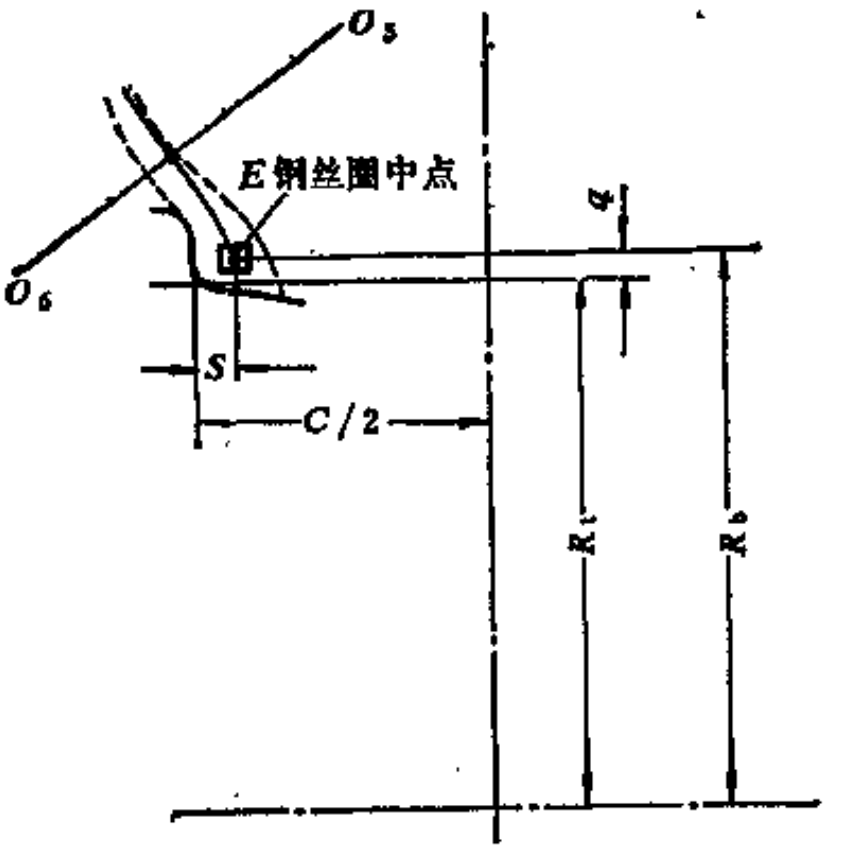



图 1-12-54　轮廓曲线图之五

表 1-12-17　绘制轮廓曲线所需的参数

| 轮胎规格 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 输入数据 | | | | |
| $R_t=$ | $R_y=$ | $R_i=$ | $B=$ | $\rho_1=$ |
| $C=$ | $S=$ | $q=$ | $m=$ | $n=$ |
| 轮廓参数 | | | | |
| $R_k=R_y-m=$ | | $R_m=\frac{R_y+R_i}{2}=$ | | |
| $\rho_2=\rho_1-m=$ | | $h=R_k-R_m=$ | | |
| $R_b=R_t+q=$ | | $R_z=\frac{3R_m-R_k}{2}=$ | | |
| $\rho_3=\frac{R_k^2-R_m^2}{2\cdot R_m}=$ | | | | |
| $\rho_4=\frac{R_k^2-R_m^2}{2\cdot R_k}=$ | | | | |
| $\rho_5=\frac{R_k^2-R_m^2}{2\cdot R_t}=$ | | | | |

完整的轮廓曲线图见图1-12-55。

2. 轮胎负荷下曲线的绘制

（1）轮胎下沉量 $f$ 的确定　根据丰富的设计经验可以直接估计出轮胎的下沉量，如果资料不多也可以大致计算出来，计算方法如下（各符号含义见图1-12-56）。

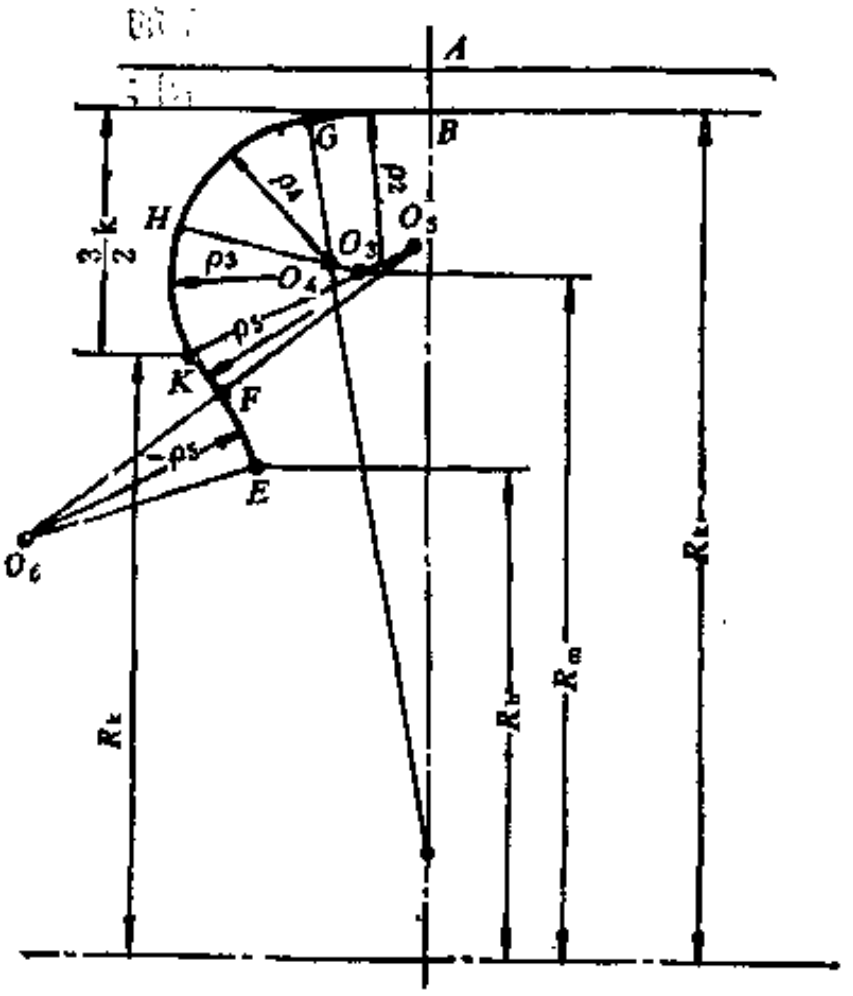



图 1-12-55　完整的轮廓曲线图

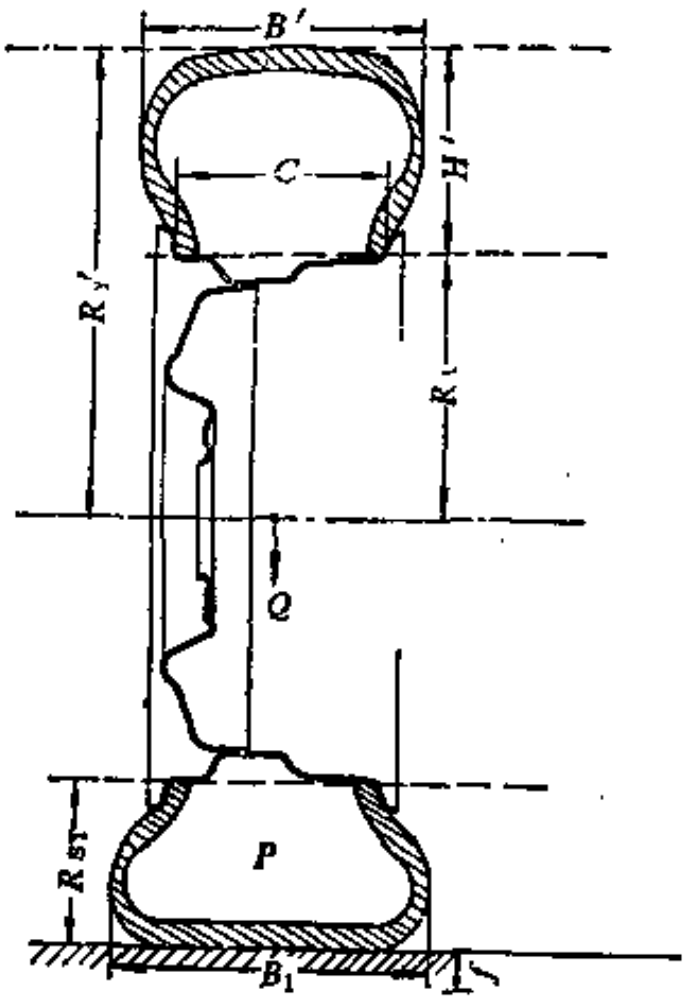



图 1-12-56　轮胎变形图

$\lambda=H'/B'$；$Q=H'/R'_r$；$\phi=f/H'$；$\mu=f/R'_r$；$\gamma_1=C/B'$

$$Q=\mu(1-A\cdot\theta\cdot\mu)\left(\frac{\theta}{\lambda}+\beta\cdot\mu\right)(P+P_0)D^2$$

式中　$Q$——标准负荷；

$P$——标准气压；

$A=4.15$；　$\beta=0.67$；　$P_0=5.3$psi；　$D=2R'_r$

$$f=\mu\cdot R'_r \qquad (1\text{-}12\text{-}39)$$

先算出$\mu$，再用式（1-12-39）求出下沉量 $f$，计算单位为in。

（2）负荷下断面宽$B_1$的估算

$$B_1=B'+B'\cdot f$$

求出了负荷下的断面宽$B_1$和下沉量 $f$，负荷下的外缘尺寸框架图即可以绘出（见图1-12-57）。

有了负荷下外缘尺寸的框架图以后，即可以画出轮胎负荷下的变形曲线，其方法步骤与绘制充气轮廓曲线的相同。

3. 负荷下轮胎应力的估算

假设轮胎充气到负荷下帘线的长度不变，利用轮廓曲率半径变化的公式计算轮胎各部位应力的分布（见图1-12-58）。

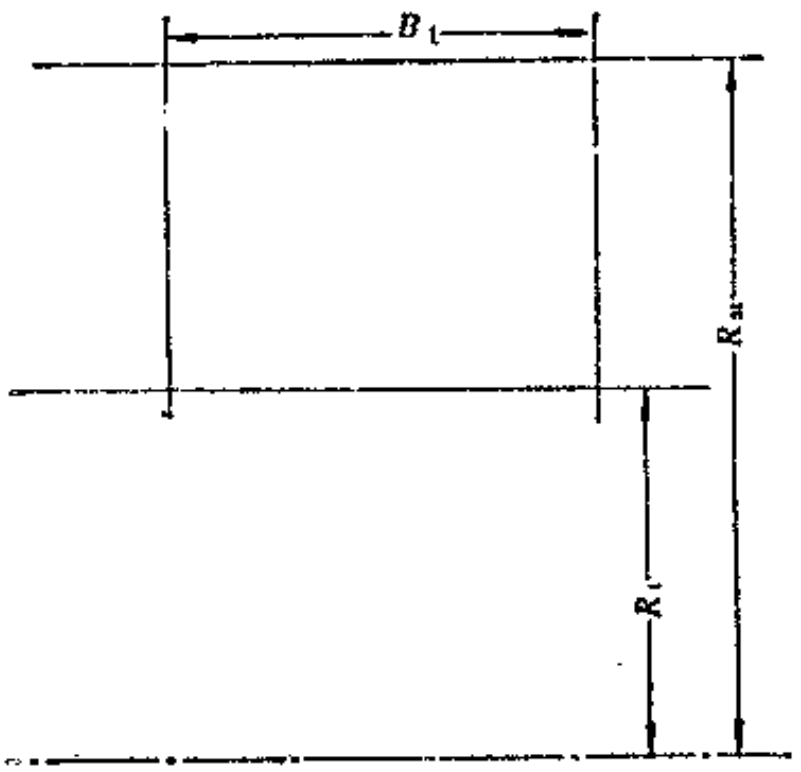



图 1-12-57　负荷下外缘尺寸框架图

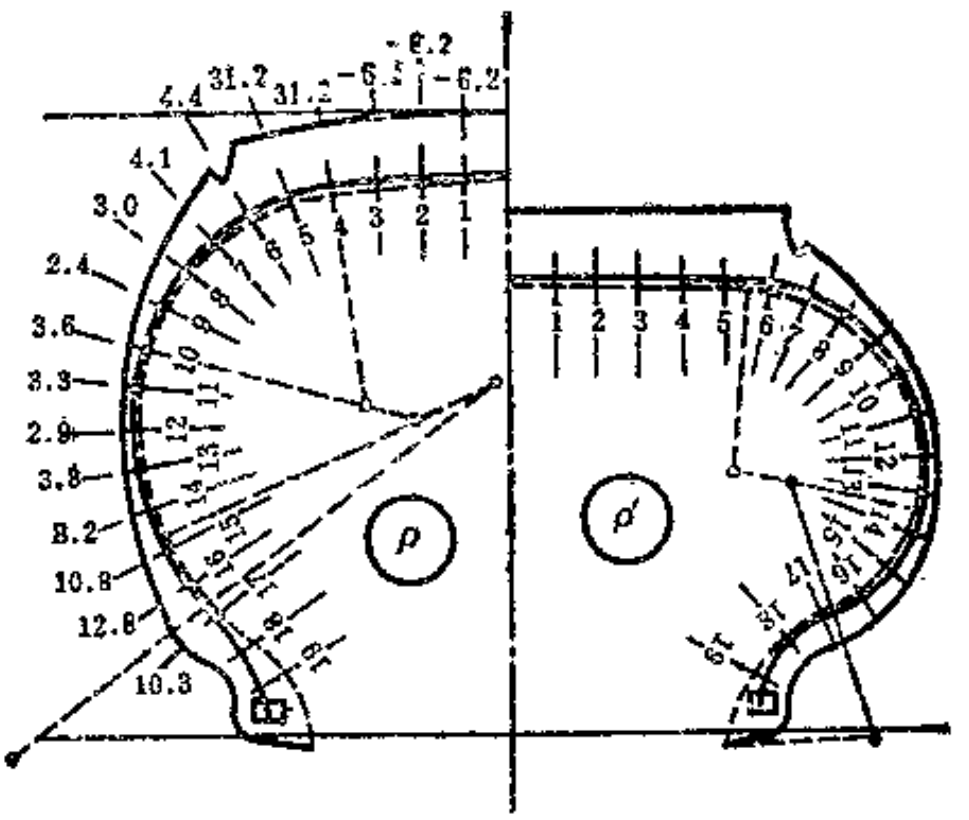



图 1-12-58　轮胎断面上应力分布

$$s = t\left(\frac{1}{\rho'} - \frac{1}{\rho}\right)$$

式中　$s$ ——应力；

$t$ ——胎体厚度。

## 二、有　限　元　法

子午线轮胎的带束层一般由两层或两层以上与周向线成15～25°角的非伸张钢丝帘线组成，极其坚硬；而胎体则由与周向成90°角的较少层数的帘线组成，非常柔软，采用薄膜网络理论研究其充气形状，结果不如斜交轮胎理想。有限元法作为一种解决复杂问题的有效分析方法，已得到越来越广泛地应用。近年来有限元法逐渐应用于轮胎工业，成为分析轮胎应力-应变、为轮胎设计提供可靠数据的不可缺少的手段之一，因此子午线轮胎的充气形状力学研究采用有限元法[9]较为合适。

### （一）有限元法分析步骤

本文描述的有限元法是二维轴对称，4～8节点等参元，使用NFAP和ADINA美国通用程序。以轻卡6.50R16轮胎为例，该轮胎是由两层人造丝胎体和两层钢丝带束层组成，以两层帘线厚度为单元的宽度，单元的长度约为宽度的2～3倍。对各向同性的胶料，单元可适当划分得大一些；对应力-应变剧烈的区域（钢丝带束层端部和胎圈部位），单元可划分得小一些，将轮胎分割成有限的四边形，在带束层端点，包边差级上也可分成三角形（见图1-12-59）。

边界条件假设在轮辋的节点没有相对的移动，即沿着轮胎-轮辋的内表面1方向与2方向上都没有位移，而在胎冠部位1方向上可以自由移动（见图1-12-60）。

轮胎充气压力与变形之间的关系，是一个逐步慢硬化的过程，也就是轮胎的结构刚度随着气压的增加而增加。由于这种特殊性，在求解时需要把气压分为若干小步，采用牛顿法（Newton Method）和修正牛顿法（Modified Newton Method）混合使用迭代技术来求解，在解算过程中考虑校正压力作用的方向，以保持垂直于轮胎变形表面。

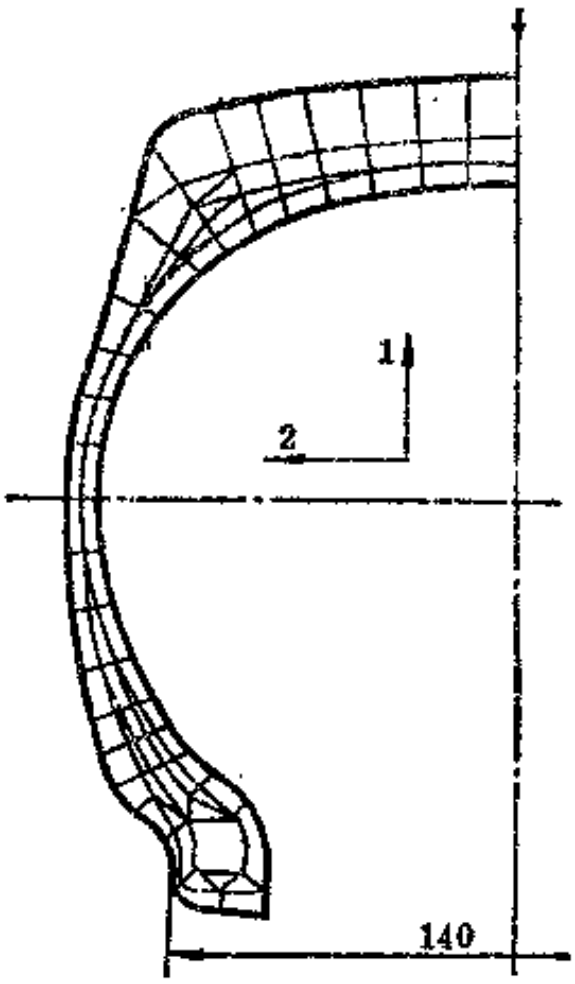



图 1-12-59　6.50R16子午线轮胎有限元网络图

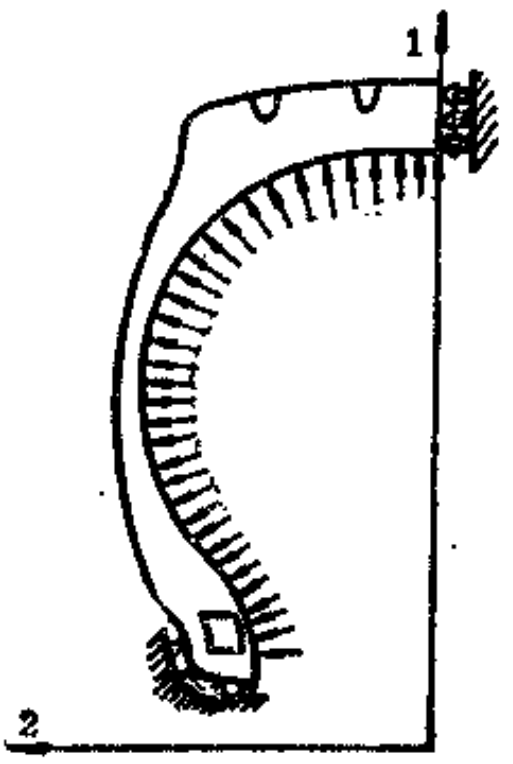



图 1-12-60　轮胎简化分析模型图

### （二）材料性质

轮胎断面上的各个部位具有各种不同的材料，如轮胎的胎面区域为各向同性材料，带束层和胎体层均为正交各向异性材料，帘布层单元的材料性质与橡胶和帘线的杨氏模量、剪切模量、帘线的密度、角度、粗度等参数有关。轴对称二维实体正交各向异性材料共有7个独立参数，在此主要采用了复合平板模型，参考了Gough—Tangorra理论[10]的基本公式（见式（1-12-40）和式（1-12-41）），其余四个参数则根据位移恒等原理和不可压缩材料的原理求得。

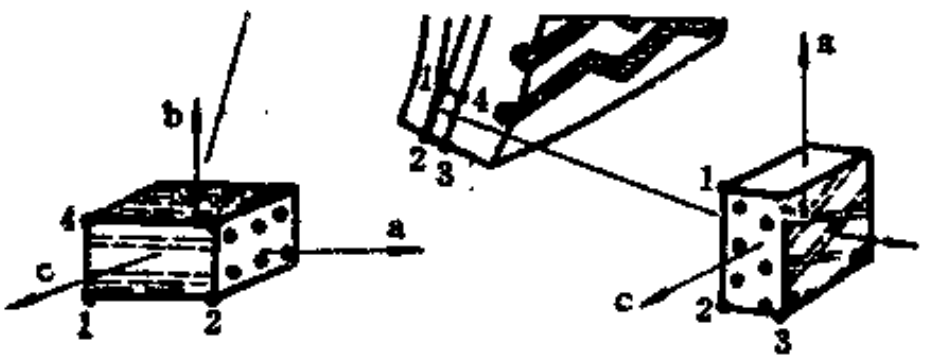



图 1-12-61　局部座标示意图

1．各向同性材料

$$E=E_r \qquad \nu=\nu_r$$

2．正交各向异性材料

其局部座标示意图见图1-12-61。

（1）子午线胎体

$$\begin{cases} E_a=E_tV_t+E_r(1-V_t) \\ E_c=\{4E_r(1-V_t)[E_tV_t+E_r(1-V_t)]\}/[3E_tV_t+4E_r(1-V_t)] \\ E_b=E_c \\ G_{ab}=E_r/2(1+\nu_r) \\ \nu_{ac}=0.5E_c/E_a;\ \ \nu_{ab}=\nu_{ac};\ \ \nu_{bc}=0.49 \end{cases} \tag{1-12-40}$$

（2）对称排列斜交锩层

$$\begin{cases} E_a = E_f V_f \cdot \cos^4\beta + 4G_r(1-V_f) - \dfrac{[E_f V_f \sin^2\beta\cos^2\beta + 2G_r(1-V_f)]^2}{[E_f V_f \sin^4\beta + 4G_r(1-V_f)]} \\ E_c = E_a(\pi/2-\beta) \\ E_b = E_a(\pi/2) \\ G_{ab} = \dfrac{E_r}{2(1+\nu_r)} \\ \nu_{ac} = \nu_{ca}\dfrac{E_c}{E_a};\ \ \nu_{ab} = (1-\nu_{ca})E_b/E_a;\ \ \nu_{bc} = 0.49 \\ \nu_{ca} = [E_f V_f \sin^2\beta\cos^2\beta + 2G_r(1-V_f)]/[E_f V_f \sin^4\beta + 4G_r(1-V_f)] \end{cases} \quad (1\text{-}12\text{-}41)$$

（3）对称排列带束层

$$\begin{cases} E_a = E_f V_f \cos^4\beta + 4G_r(1-V_f) - \dfrac{[E_f V_f \sin^2\beta\cos^2\beta + 2G_r(1-V_f)]^2}{[E_f V_f \sin^4\beta + 4G_r(1-V_f)]} \\ E_b = E_a(\pi/2) \\ E_c = \dfrac{E_f A_f n_c I \sin^4\beta}{t_e}\left(1 - \dfrac{thk}{k}\right) \\ G_{ab} = E_r/[2(1+\nu_r)] \\ \nu_{ac} = [E_f V_f \sin^2\beta\cos^2\beta + 2G_r(1-V_f)]/[E_f V_f \sin^4\beta + 4G_r(1-V_f)] \\ \nu_{ab} = 0.49;\ \ \nu_{bc} = (1-\nu_{ac}) \end{cases} \quad (1\text{-}12\text{-}42)$$

式中 $E$——弹性模量；

$E_f$——帘线弹性模量；

$E_r$——胶料弹性模量；

$\nu$——泊松比；

$\nu_r$——胶料泊松比；

$G_{ab}$——剪切模量；

$V_f$——体积份数（单位面积上帘线截面积所占的比例数）；

$A_f$——钢丝帘线有效面积＝单丝面积乘单丝根数；

$t_e$——各单元计算宽度；

$n_c$——单元中包含帘线的层数。

## （三）充气子午线轮胎应力-应变的分析

1. 轮胎的变形

在气压为450kPa时，预测了6.50R16子午线轮胎的充气形状，并用样膏对子午线轮胎充气后的外轮廓形状做了实际测量，还定点测量了充气轮胎断面宽和外直径，计算结果与测量结果有较好的重合性（见图1-12-62）。冠部的外轮廓位移为0.43mm，而内轮廓位移达0.9mm，胎冠部位压缩了0.47mm，最大断面宽处外轮廓位移1.83mm，而内轮廓位移2.02mm，压缩了0.19mm。从图1-12-62还可看出断面轮廓的外层与内层变形不一样，内层变形大于外层。

图1-12-63表示了断面上各部位厚度的压缩量分布，断面各部位充气后其厚度受到不同程度的压缩，在胎冠部位和胎圈上部的压缩量为最大，胎肩与胎侧部位压缩量较小，并且分布比较均匀。

将充气压力从40kPa分步增加到标准气压450kPa时，对6.50R16轮胎进行了充气断面宽的理论计算和实际测量，其对比的数据见图1-12-64，由图看出，$K$-$K$以下的区域里有限元

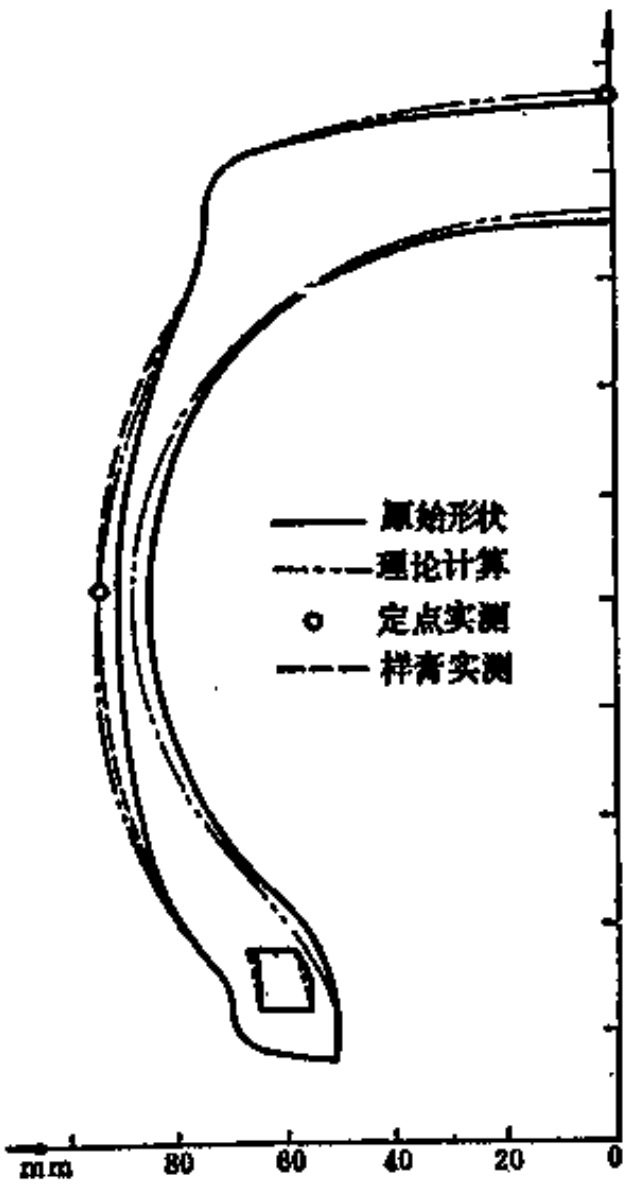



图 1-12-62　6.50R16轮胎充气位移图
(气压450kPa；轮辋5.50F)

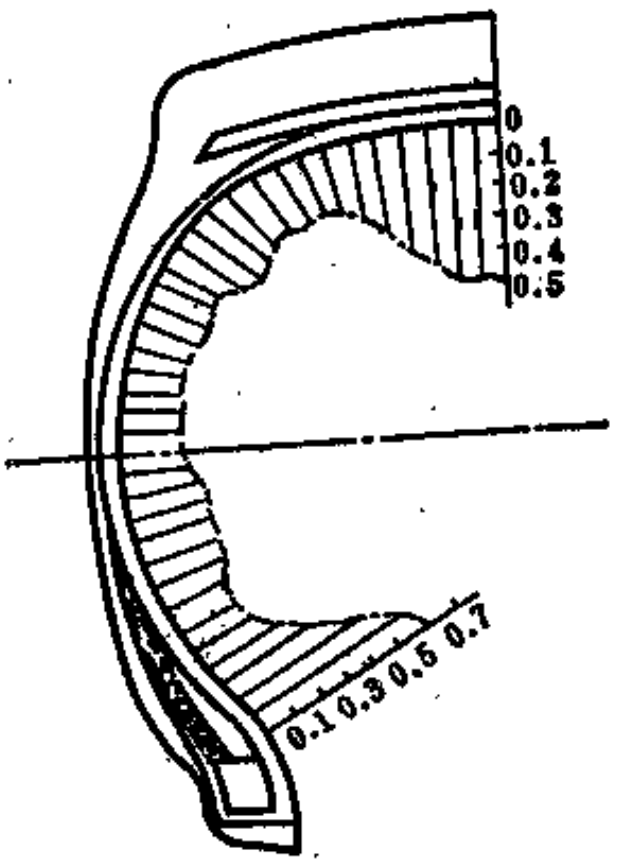



图 1-12-63　轮胎断面压缩量分布（单位：mm）

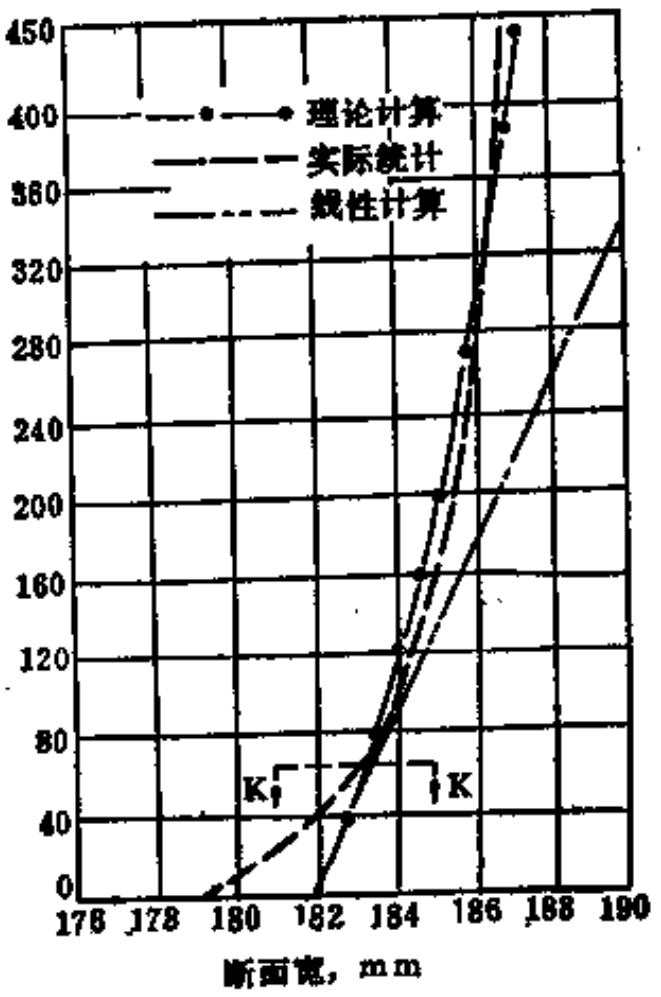



图 1-12-64　6.50R16轮胎充气压力对其断面形状的影响（轮辋5.50F）

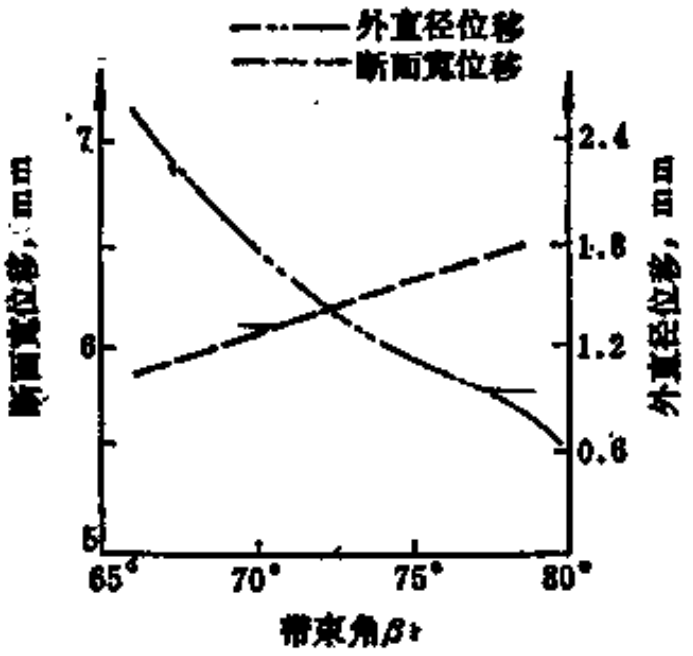



图 1-12-65　不同带束载断角的外缘位移

法预算值与实测值偏差较大，但在65kPa以上的区域里有比较接近的重复性，图中也表示了用线性有限元法来预算，则与实测值偏差很大。

不同的带束层钢丝帘线角度对充气轮胎外直径和断面宽有一定影响，图1-12-65表明带束层的钢丝帘线角度$\beta_k$不同所引起的轮胎外直径与断面宽的变化，随着带束层帘线角度$\beta_k$增大，轮胎外直径变小，其断面宽增大。

2．轮胎的帘线张力

每个单元中胎体帘线张力与在该单元中帘线所占的体积分数有关。图1-12-66表明，按照轮胎轮廓的分布情况，内层帘线张力在肩部和胎侧上部比较大，而向胎圈部位逐渐减少。

轻卡6.50R16子午线轮胎的带束钢丝帘线张力在断面轮廓（主要是行驶面）分布情况见图1-12-67，可以看出，带束层帘线张力最大处在胎冠中部，越靠近带束层端点帘线张力越小，约离胎冠中部2/3宽度的地方出现一个最低值，表现了距胎冠1/3宽的区域里主要承受了周向力。

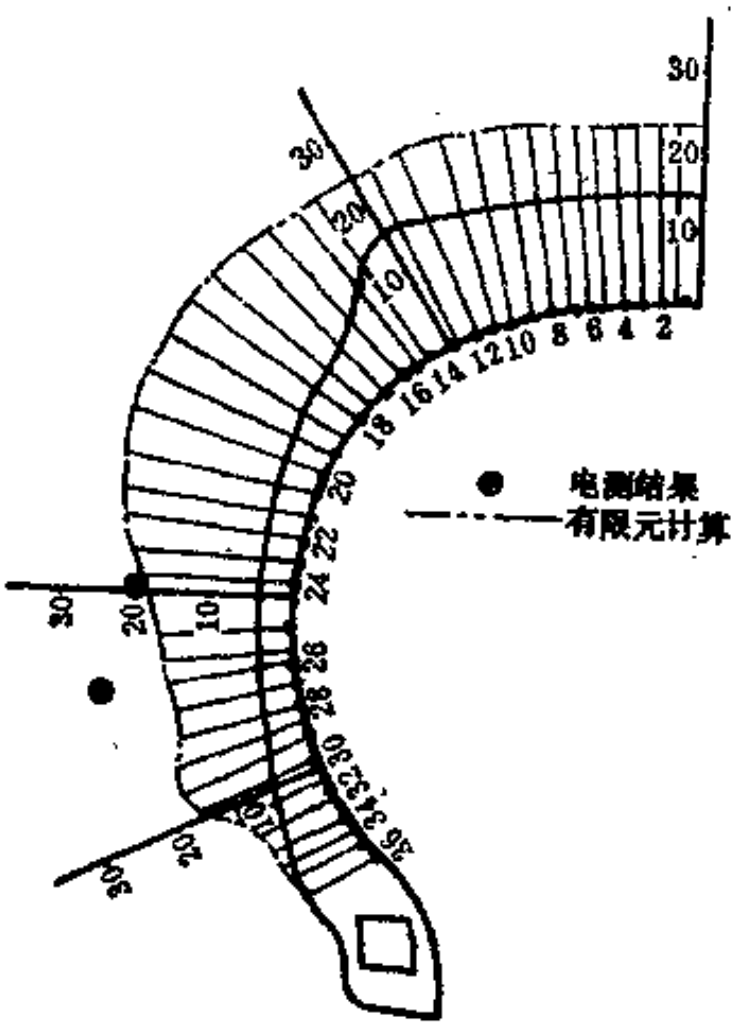



图 1-12-66　6.50R16轮胎胎体帘线张力分布
（气压450kPa；轮辋5.50F；单位：N）

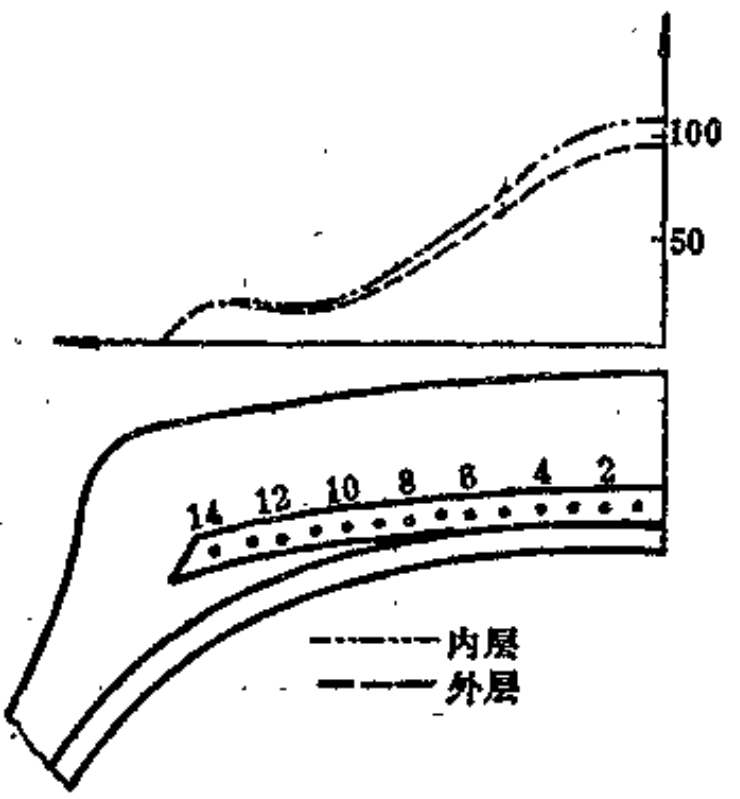



图 1-12-67　带束层帘线张力的分布
（气压450kPa；轮辋5.50F；单位：N）

3．轮胎的剪切应力

图1-12-68为轮胎胎体剪切应力的分布情况。剪切应力集中在胎肩和胎圈部位，剪切应力的方向是以最大断面宽为分界，上胎侧与下胎侧剪切应力方向相反，图1-12-68中表示了两个不同方案的剪切力分布：（a）轮胎胎圈部位有钢丝帘布加强层；（b）轮胎胎圈部位无钢丝帘布加强层。可以明显地看出，（a）方案在轮胎胎圈部位增加了加强层，剪切应力在胎圈部位明显地减小，减少约30%。由此可见，胎圈和带束层构造的设计，是子午线轮胎的关键，子午线轮胎在使用中经常出现肩空和子口空，如果这两个区域材料布置合理，会大大降低其剪切应力，有利于解决两空问题。

4．轮胎的应变

图1-12-69和图1-12-70分别表示了轮胎表面周向和径向应变沿着断面的分布。从图1-12-69可以看出，周向应变大约以胎侧中部为界，上半部是拉伸应变，下半部为压缩应变。从图1-12-70可以看出：轮胎表面沿整个断面的径向应变均可认为是拉伸应变，在下胎侧及子口部位应变较大。从图可见，测量数据与计算数据较为一致。

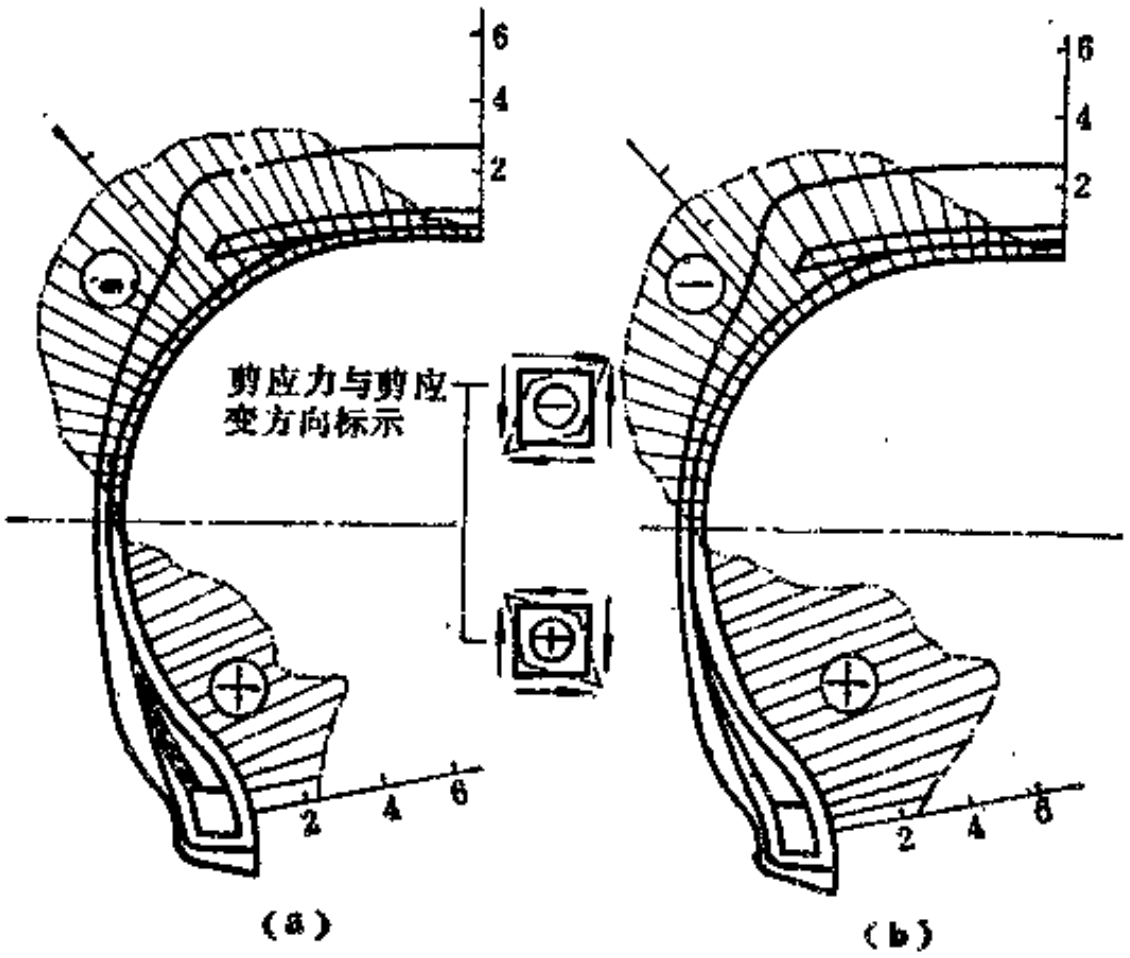



图 1-12-68　6.50R16轮胎胎体剪应力分布

(气压450kPa；轮辋5.50F；单位：MPa)

(a) 胎圈部位有钢丝帘布加强层；(b)胎圈部位无钢丝帘布加强层

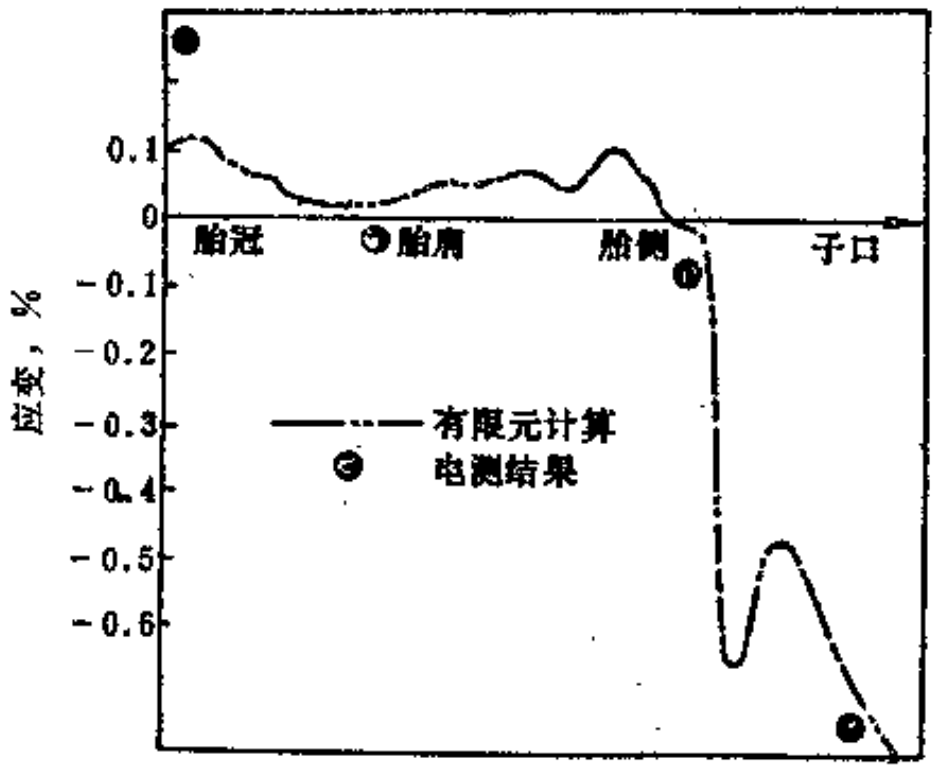



图 1-12-69　6.50R16轮胎表面周向应变

(气压450kPa，轮辋5.50F)

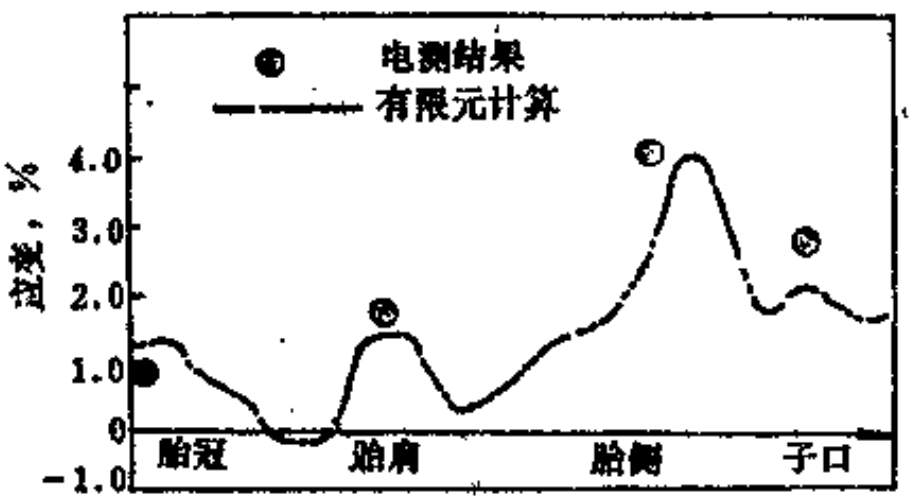



图 1-12-70　6.50R16轮胎表面径向应变

(气压450kPa，轮辋5.50F)

# 第三节　计算机辅助设计轮胎

## 一、辅助设计轮胎施工

### （一）帘线及钢丝圈强度的计算

1．数学模式与传统设计者相同

2．计算结果

帘线及钢丝圈强度的计算结果见表1-12-18。

表 1-12-18　9.00-20轮胎帘线和钢丝圈强度的计算

| 半径$R$,mm | 角度$\beta$,℃ | 帘线张力$T$ N/根 | (kgf/根) | 安全倍数$K$ |
|---|---|---|---|---|
| 476.50 | 49.93 | 24.04 | (2.45) | 8.56 |
| 471.50 | 49.22 | 23.35 | (2.38) | 8.81 |
| 466.50 | 48.52 | 22.71 | (2.32) | 9.06 |
| 461.50 | 47.83 | 22.11 | (2.26) | 9.31 |
| 456.50 | 47.15 | 21.54 | (2.20) | 9.55 |
| 451.50 | 46.48 | 21.01 | (2.14) | 9.80 |
| 446.50 | 45.81 | 20.51 | (2.09) | 10.03 |
| 441.50 | 45.16 | 20.04 | (2.04) | 10.27 |
| 436.50 | 44.51 | 19.59 | (2.00) | 10.51 |
| 431.50 | 43.87 | 19.17 | (1.96) | 10.74 |
| 426.50 | 43.23 | 18.77 | (1.92) | 10.97 |
| 421.50 | 42.60 | 18.39 | (1.88) | 11.19 |
| 416.50 | 41.98 | 18.03 | (1.84) | 11.41 |
| 411.50 | 41.37 | 17.69 | (1.80) | 11.63 |
| 406.50 | 40.76 | 17.36 | (1.77) | 11.85 |
| 401.50 | 40.15 | 17.05 | (1.74) | 12.07 |
| 396.50 | 39.55 | 16.76 | (1.71) | 12.28 |
| 391.50 | 38.96 | 16.48 | (1.68) | 12.49 |
| 386.50 | 38.37 | 16.21 | (1.66) | 12.70 |
| 381.50 | 37.78 | 15.95 | (1.63) | 12.90 |
| 376.50 | 37.20 | 15.70 | (1.60) | 13.10 |
| 371.50 | 36.63 | 15.47 | (1.58) | 13.30 |
| 366.50 | 36.06 | 15.24 | (1.56) | 13.50 |
| 361.50 | 35.49 | 15.03 | (1.53) | 13.69 |
| 356.50 | 34.93 | 14.82 | (1.51) | 13.89 |
| 351.50 | 34.37 | 14.62 | (1.49) | 14.07 |
| 346.50 | 33.81 | 14.43 | (1.47) | 14.26 |
| 341.50 | 33.26 | 14.25 | (1.45) | 14.44 |
| 336.50 | 32.71 | 14.07 | (1.44) | 14.62 |
| 331.50 | 32.17 | 13.90 | (1.42) | 14.80 |
| 326.50 | 31.63 | 13.74 | (1.40) | 14.98 |
| 321.50 | 31.09 | 13.58 | (1.39) | 15.15 |
| 316.50 | 30.55 | 13.43 | (1.37) | 15.32 |
| 311.50 | 30.02 | 13.29 | (1.36) | 15.49 |
| 306.50 | 29.49 | 13.15 | (1.34) | 15.65 |
| 301.50 | 28.96 | 13.01 | (1.33) | 15.81 |
| 296.50 | 28.44 | 12.88 | (1.31) | 15.97 |

| 每个胎圈所受的力$T_B$,N(kgf) | | 安全倍数,$K_B$ | 钢丝根数,$N_B$ |
|---|---|---|---|
| 21417.06 | (2185.41) | 4.00 | 62.00 |
| 21417.06 | (2185.41) | 4.50 | 70.00 |
| 21417.06 | (2185.41) | 5.00 | 78.00 |
| 21417.06 | (2185.41) | 5.50 | 86.00 |
| 21417.06 | (2185.41) | 6.00 | 94.00 |
| 21417.06 | (2185.41) | 6.50 | 101.00 |
| 21417.06 | (2185.41) | 7.00 | 109.00 |
| 21417.06 | (2185.41) | 7.50 | 117.00 |
| 21417.06 | (2185.41) | 8.00 | 125.00 |
| 21417.06 | (2185.41) | 8.50 | 133.00 |
| 21417.06 | (2185.41) | 9.00 | 140.00 |

### （二）成型机头宽度的计算

成型机头宽度计算在轮胎结构设计中用得最多，无论是设计新模型或改进原设计都离不开它，成型机头宽度计算正确与否对轮胎质量至关重要。但是成型机头宽度计算比较复杂繁琐，容易出错，故采用计算机进行计算，既可避免人为的误差，又大大提高了计算速度。

计算成型机头宽度的数学模式为：

$$BS=\frac{2L_n}{\delta_1}\sin\alpha_G-2(L_G\cdot\sin\alpha_G-C)$$

(1-12-43)

式中除帘线长度外，其它系数皆为已知，因此必须先找出计算帘线长度的数学模式算出帘线长度。轮胎模型断面内轮廓由多个曲率半径组成（见图1-12-71），由计算机分别求出各切点的座标，然后计算各个半径对应部位的帘线长度。计算帘线长度有两种方法。

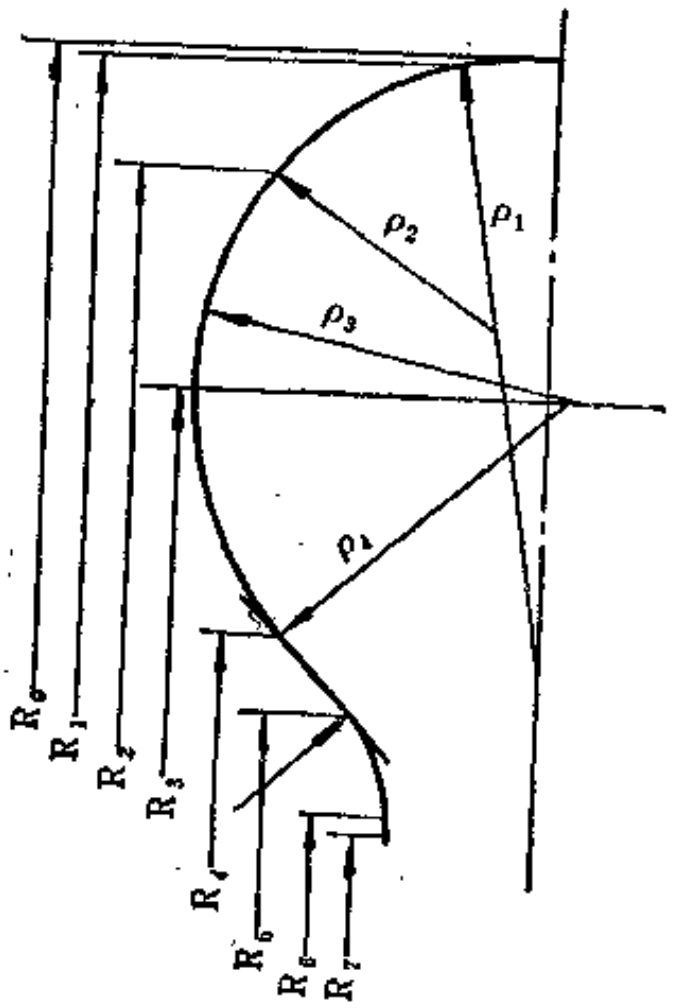



图 1-12-71　多个曲率半径构成的轮胎断面

1、根据弧微分与曲率关系建立帘线长度的数学模式

因为在$R=R_0$时，被积函数出现无穷大，是奇异积分，故在计算中将$\rho_1$对应的第一段帘线长度分成两段来积分。

（1）$\rho_1$对应的第一段帘线长度的数学模式

第一段中的第一段帘线长度的数学模式为：

$$K_1=\frac{1}{\rho_1}$$

$$L_{11}(\eta)=-2K_1^{-1}\left\{\left(1-\frac{R_0-\frac{1}{K_1}\eta}{R_0}\right)^2\cos^2\alpha_0\right\}^{-1/2}\arcsin\sqrt{-\frac{1}{2}\eta\cdot K_1}$$

第一段中的第二段帘线长度的数学模式为

$$L_{12}(\eta)=\int_{R_1}^{R_0-\eta}\{1-[K_1(R-R_0)-1]^2\}^{-1/2}\left[1-\left(\frac{R}{R_0}\right)^2\cos^2\alpha_0\right]^{-1/2}dR \quad (1\text{-}12\text{-}44a)$$

$\eta$为充分小的正数

（2）其它各段帘线长度的数学模式

$$\left.\begin{aligned}K_i&=\frac{1}{\rho_i}\\G_1&=-1\\G_i&=G_{i-1}+K_{i-1}(R_{i-1}-R_{i-2})\\L_i&=\int_{R_i}^{R_{i-1}}\{1-[K_i(R-R_{i-1})+G_i]^2\}^{-1/2}\left[1-\left(\frac{R}{R_0}\right)^2\cos^2\alpha_0\right]^{-1/2}dR\end{aligned}\right\} \quad (1\text{-}12\text{-}44b)$$

在式（1-12-44a）和式（1-12-44b）中，$R_0$代表胎里半径，$\alpha_0$代表胎冠角度。

计算机头曲线部位帘线长度的数学模式与成品部位完全相同，第一段帘线长度用方程式（1-12-44a）进行计算，其它段采用方程式（1-12-44b）计算。

2．分小段计算法

与传统人工计算的方法完全相同，$dL=\frac{ds}{\sin\alpha}$，计算机自动对各个曲率半径对应的弧段分成大约10mm的小段，再对各小段进行计算（见图1-12-72）。

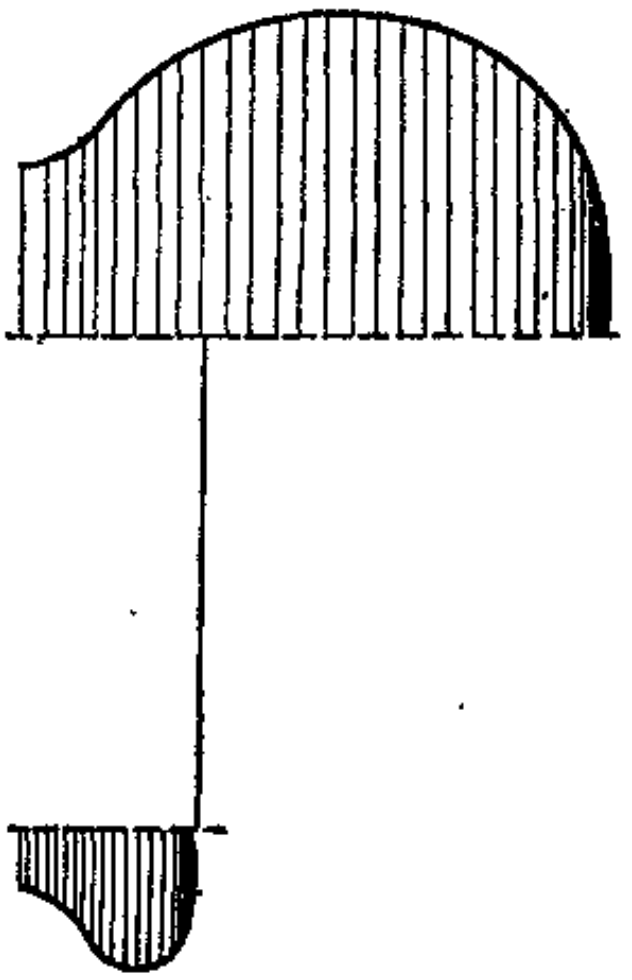


图 1-12-72　成型机头宽度计算及绘图

一般在设计轮胎内轮廓时，上胎侧采用三个曲率半径（$\rho_1$，$\rho_2$，$\rho_3$），如果上胎侧只有两个曲率半径时，下胎侧曲率半径$\rho_4$和$\rho_5$之间相切或由切线相联接，只要给出一个信号，其位置关系即由程序予以判断，计算机自动加以修正。因此本方法能够计算各种类型轮胎及各种半芯轮式、半鼓式的成型机头宽度，只需要几分钟即可算出一系列的成型机头宽度，供设计人员选择，不仅效率高，而且计算准确。表1-12-19是计算机与传统人工计算的成型机头宽度的对比。

### （三）实心胎面胶体积计算

用传统方法计算实心胎面胶体积时，是先将胎面分成许多小平行四边形和三角形，用制图方法找出这些平行四边形和三角形的重心，然后逐个测量这些重心的旋转半径，再进行计算，与计算成型机头宽度一样繁琐。用计算机计算时，只需把胎面胶分成两个部分：一是由外轮廓构成的实心旋转体；另一个是由胎面胶内轮廓构成的实心旋转体，把大小两个实心体相减，即得到了实心胎面胶体积（见图1-12-73）。

表 1-12-19 计算机与人工计算的成型机头宽度对比

| 规　格 | 计算方法 | 布筒半径 mm | 裁断角度 $\alpha_0$ | 帘线假定伸张 $\delta_1$ | 成型机头宽度 $BS$,mm |
|---|---|---|---|---|---|
| 9.00-20-14层级 | 计算机 | 301 | 59.5° | 1.032 | 516.9 |
| 轮辋7.0 | 人　工 | | | | 516 |
| 9.00-20-11层级 | 计算机 | 305 | 60° | 1.035 | 517 |
| 轮辋6.00T | 人　工 | | | | 516 |
| 18.4-26 | 计算机 | 412.5 | 59.5° | 1.045 | 848.6 |
| | 人　工 | | | | 850 |
| 5.00-8 | 计算机 | 141 | 57.5° | 1.045 | 262 |
| | 人　工 | | | | 261 |
| 6.00-9 | 计算机 | 158 | 58.5° | 1.045 | 309.3 |
| | 人　工 | | | | 308.5 |
| 60×24-26 | 计算机 | 417.6 | 58° | 1.045 | 1100 |
| | 人　工 | | | | 1092 |

**（四）辅助设计轮胎材料布置图**

轮胎材料布置图按胎体层数不同，有单钢丝圈和多钢丝圈两种。材料布置图不象机械图，它没有一定的轨迹，人工绘制比较困难。为了用计算机绘制轮胎材料布置图，已编制了数十种专用子程序：如内轮廓曲线，外轮廓曲线，成型机头曲线，帘布由成品到半成品宽度及厚度的变化，胎面胶、缓冲层或带束层，钢丝圈（其中又分圆形、矩形、半圆形以及六角形）等子程序。计算机根据输入的参数将材料布置图绘出来，如果设计人员认为不合适，可修改内、外轮廓曲线的参数后再进行计算、绘制，直到达到设计要求为止（见图1-12-74）。

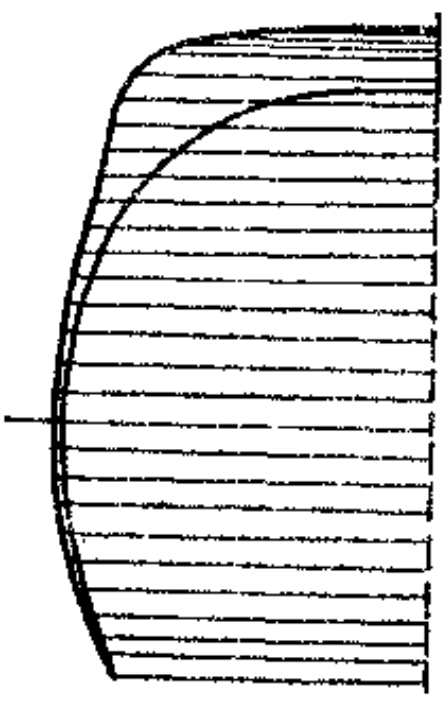


图 1-12-73　实心胎面胶体积计算及绘图

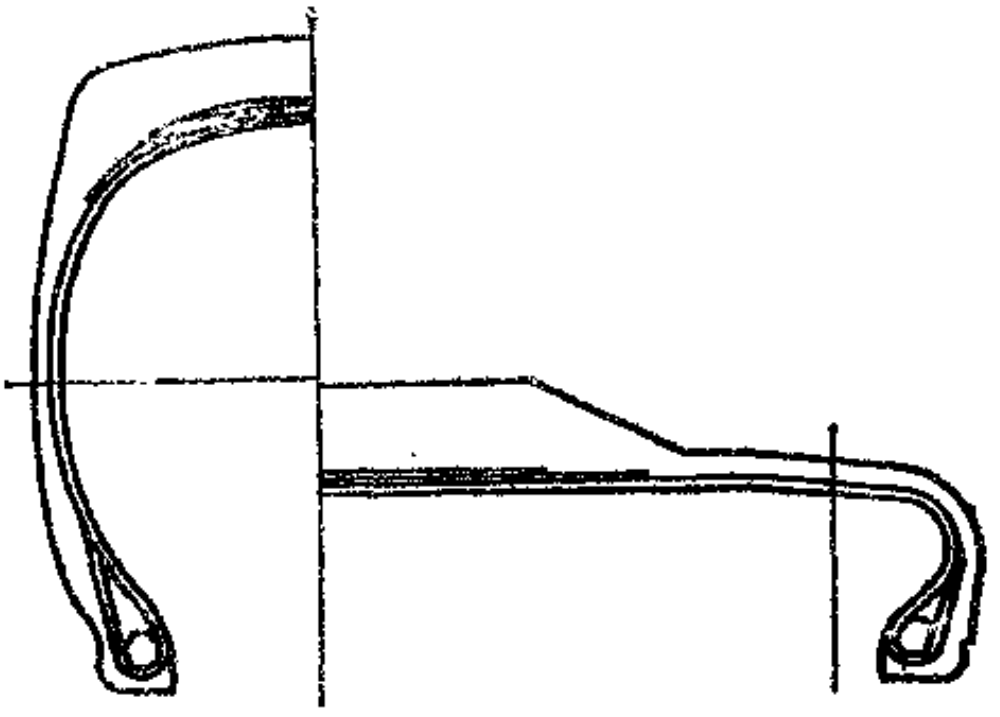


图 1-12-74　单钢丝圈材料布置图

## 二、辅助设计轮胎花纹总图

### （一）辅助设计轮胎花纹

计算机绘制花纹有两种方法：一种是利用数字化仪和Auto CAD在每个花纹节距内随机绘图，另一种是编制程序。下面所介绍的属于第二种，以这种方法编制出我国常用的10余种花纹程序。（1）横向花纹，主要用于大型工程轮胎，其特点是耐机械损伤，抓着性能好。（2）人字花纹，主要用于农业轮胎，牵引力大，清洗性能好。（3）烟斗、八角、联烟斗和曲折等花纹，主要用于载重轮胎，具有耐磨耗，不打滑的优点。（4）不等节距的曲折花纹，镶钢片，适用于轿车轮胎，在好路面上行驶时，速度快，阻力小，不打滑，行驶安全，噪音低。每种类型花纹均可改变角度和节距的大小，组成多种形式，并可自动算出每种形式的花纹沟面积，供设计人员参考与选择（见图1-12-75～图1-12-80）。

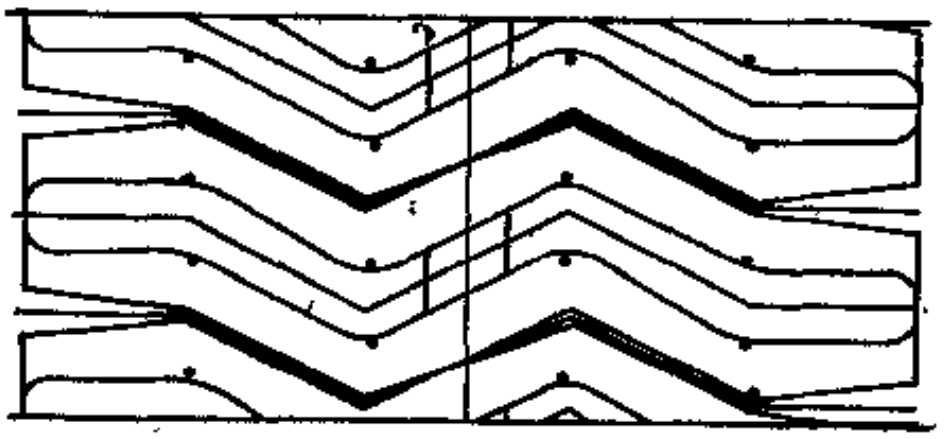


图 1-12-75　横向花纹

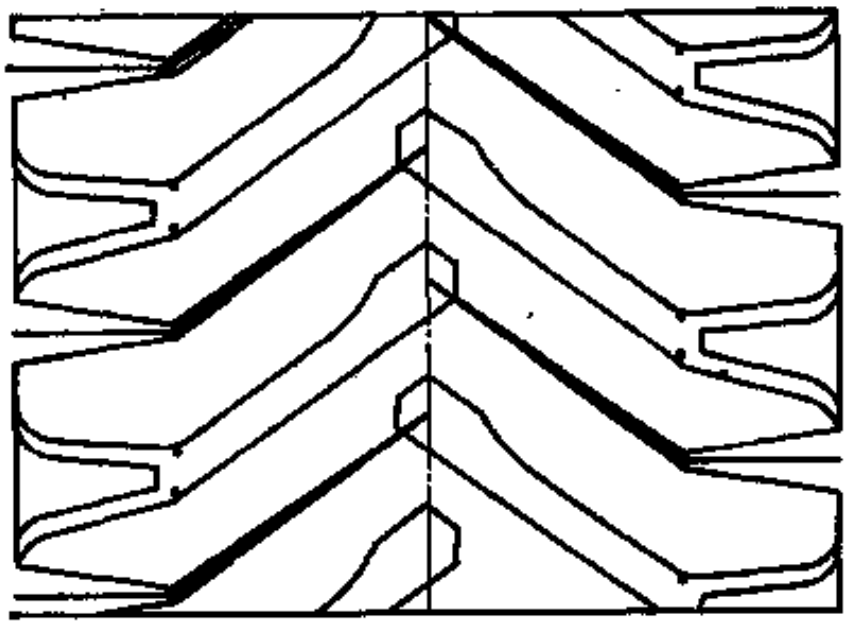


图 1-12-76　人字花纹

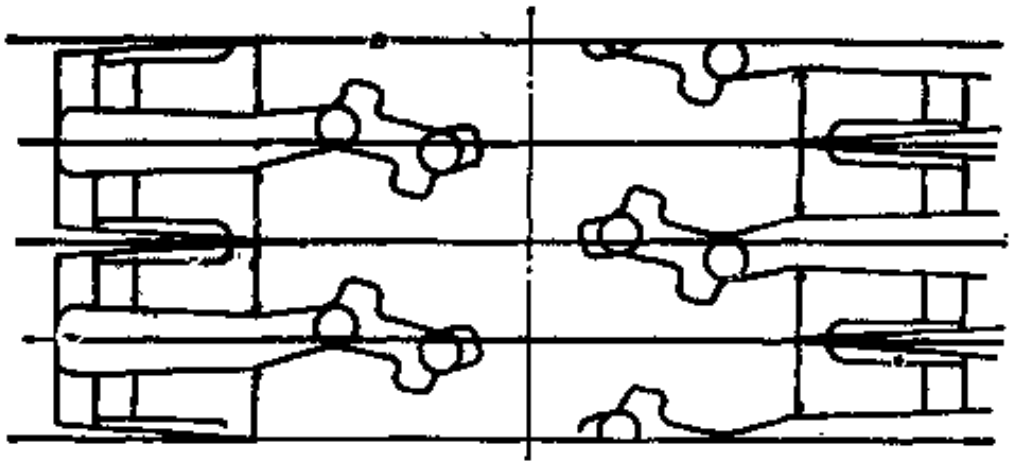


图 1-12-77　烟斗花纹

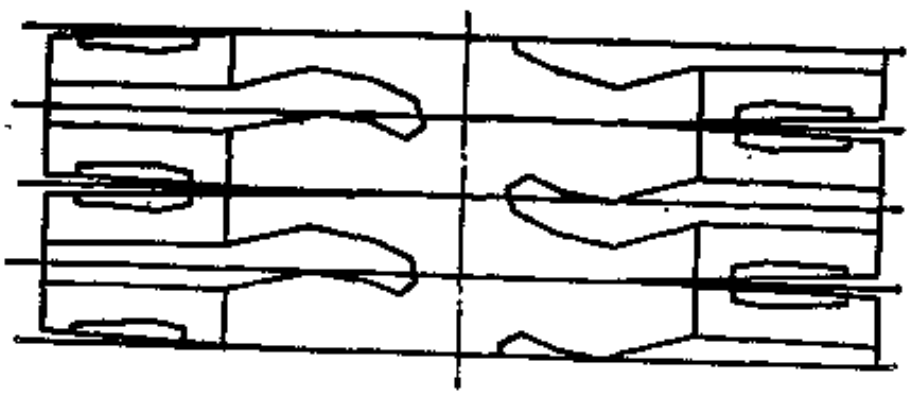


图 1-12-78　八角花纹

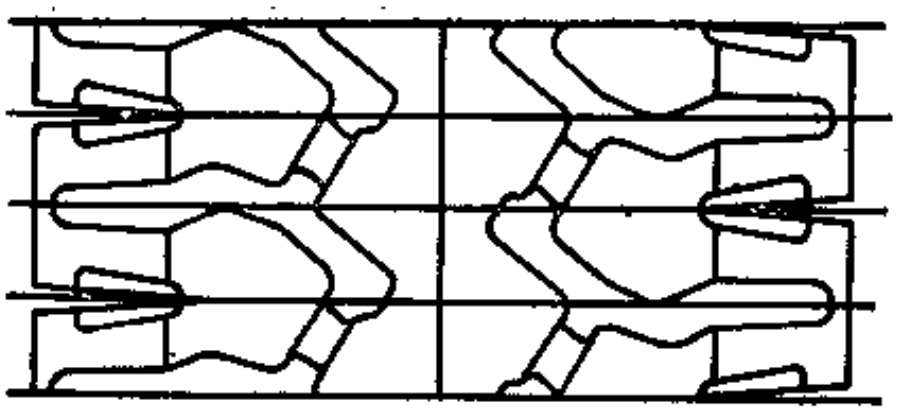


图 1-12-79　联烟斗花纹

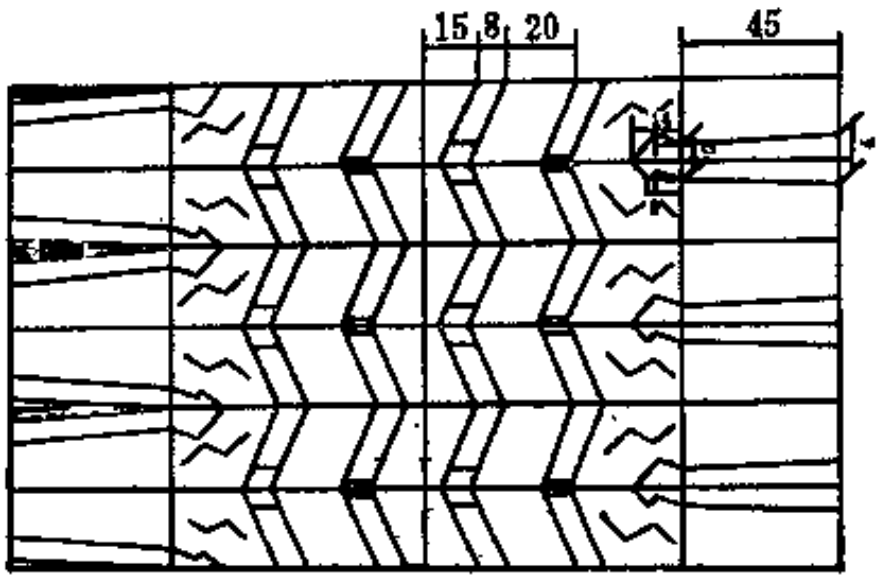
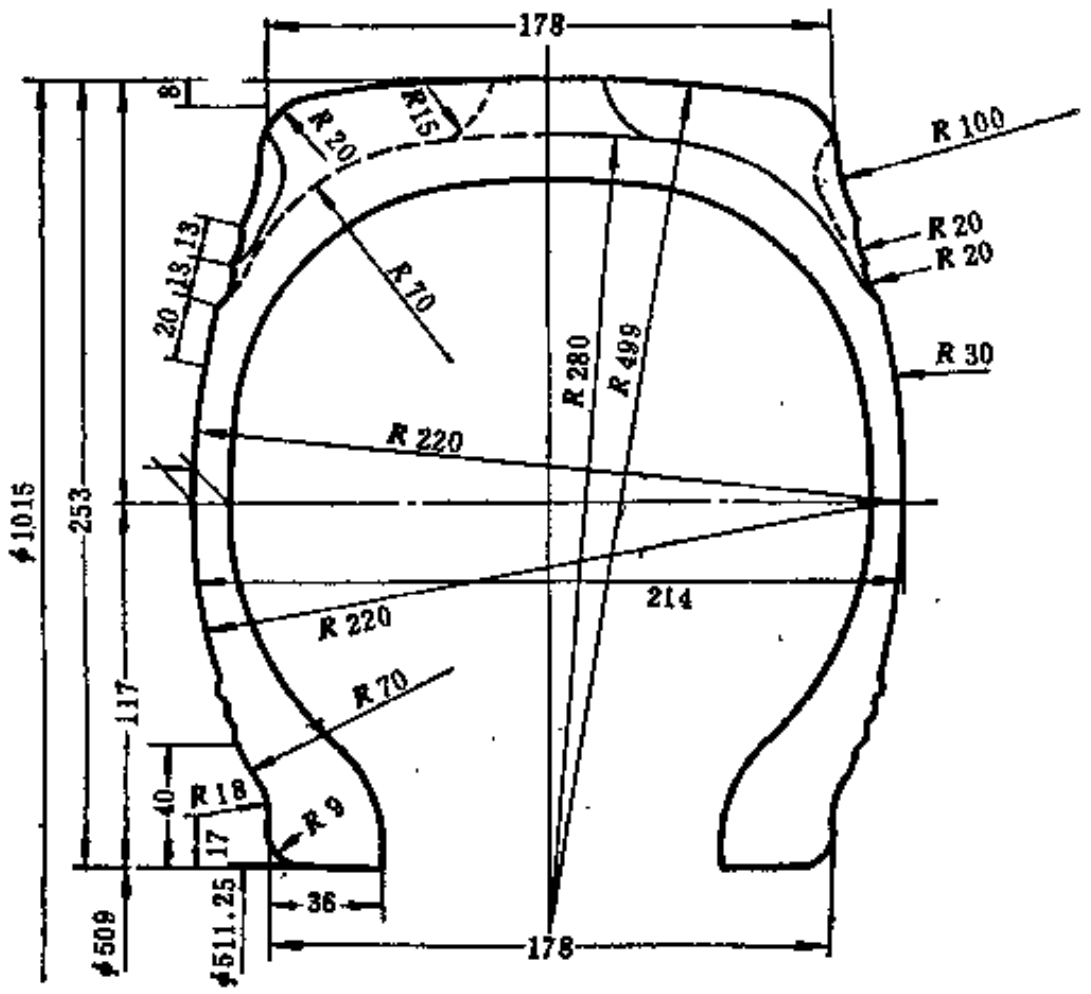
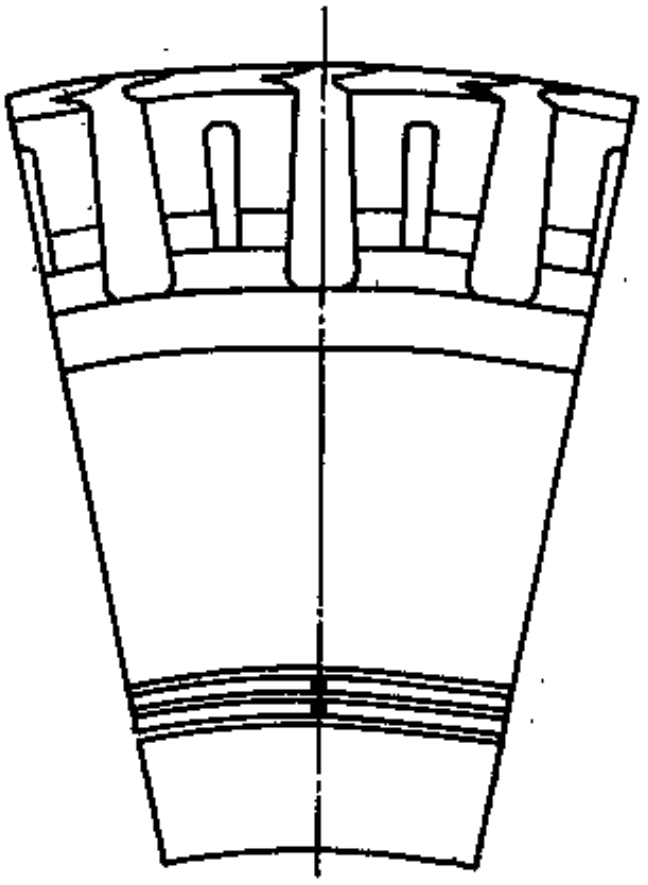



图 1-12-80　曲折花纹（单位：mm）



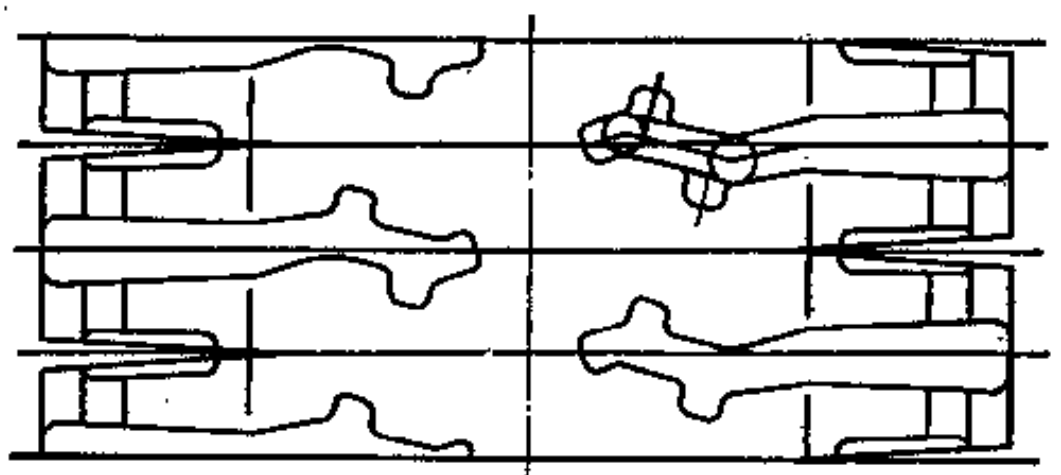



图 1-12-81　外胎花纹展开图（单位：mm）

$H/B=1.1295$；$b/B=0.7946$；$H_1/H_2=0.8603$；$C/B=0.7946$；$h/H=0.0316$

### （二）辅助设计外胎花纹总图

轮胎断面轮廓和花纹形状确定以后，开始绘制外胎花纹总图，有主视图，花纹展开图和侧视图，座标关系由计算机直接换算，自动将三视图绘制出来。在绘制花纹总图时，需要若干汉字，如“花纹展开图”，“花纹沟面积”等，为此研制了常用汉字库，只要输入字的编码，即可调出该汉字，在屏幕上显示，并绘制在花纹图上面（见图1-12-81）。

## 三、辅助设计水胎，垫带和内胎

计算机绘制的水胎与外胎、垫带与外胎、内胎与外胎的配置图见图1-12-82～图1-12-84，它们与外胎内轮廓有关尺寸的比例关系以及它们的体积显示在计算机屏幕上，供设计人员对比和选择。

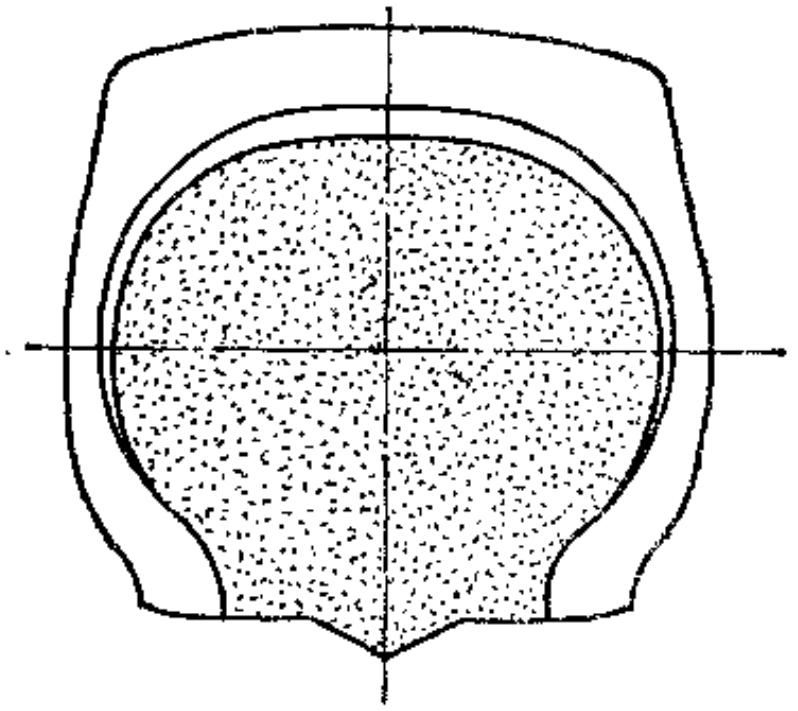


图 1-12-82　水胎与外胎配置图

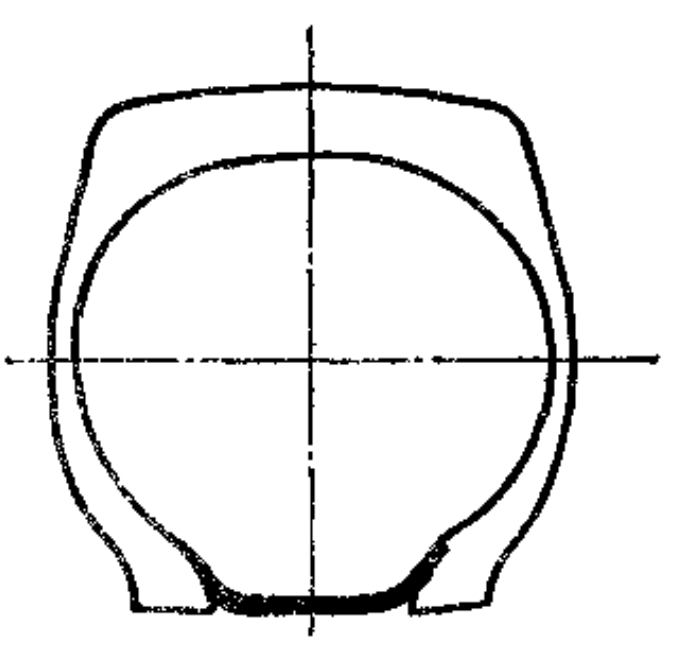


图 1-12-83　垫带与外胎配置图

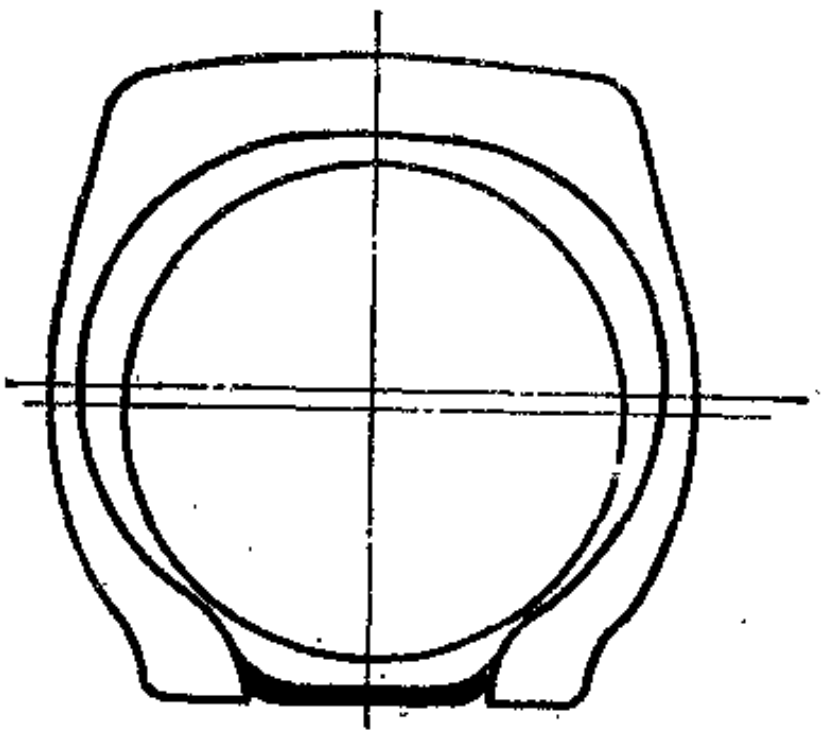


图 1-12-84　内胎与外胎配置图

## 四、辅助设计轮胎模具

### （一）外胎模型

按国家标准规定的轮胎外胎模具结构形式见图1-12-85。

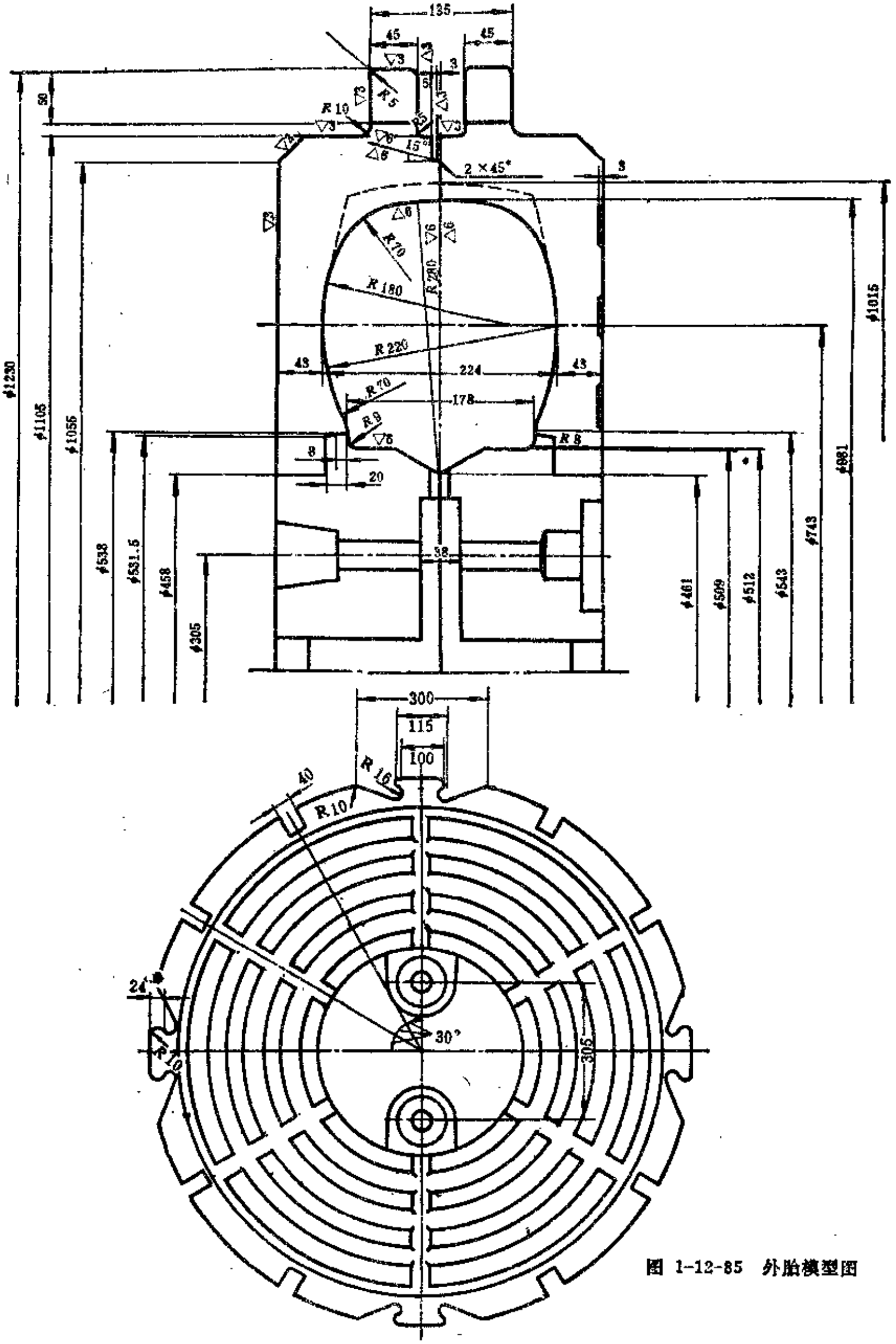



图 1-12-85　外胎模型图

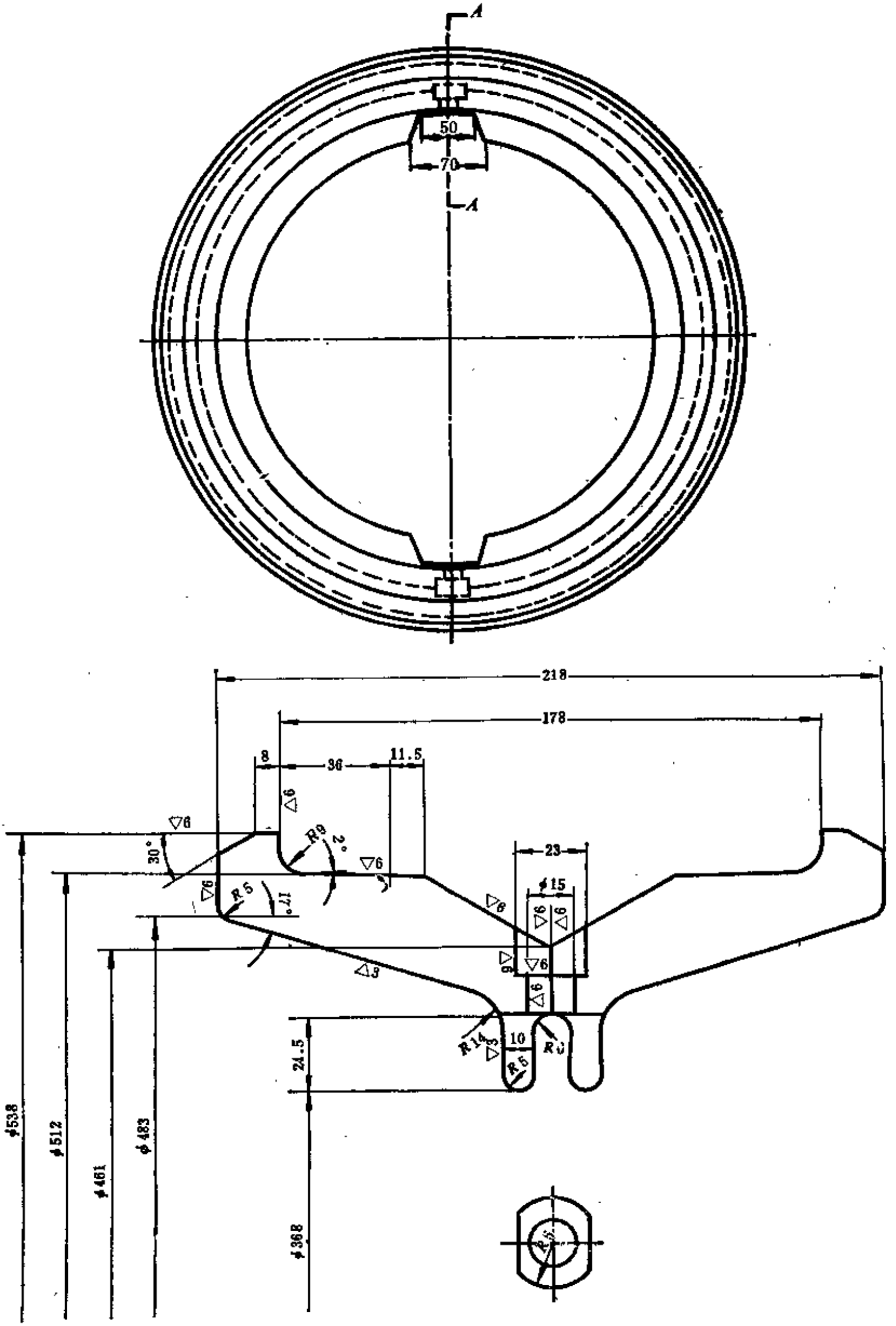

A
50
70
A
218
178
8
36
11.5
23
φ15
30°
R9
2°
R5
17°
R14
10
R6
R5
24.5
φ538
φ512
φ461
φ483
φ368

图 1-12-86 钢菱圈图

（二）水胎模型

其结构形式与外胎模型相似

（三）钢丝圈模具

其结构形式见图1-12-86。

## 五、建立轮胎图形信息库

计算机存贮量大，运算速度快，是信息管理的重要工具。人们对于文字和数据信息的存贮、检索和查询已做了大量的工作，研制出了各种数据库软件，而如何存贮大量的图形信息则仍是一个有待进一步解决的课题。轮胎结构设计是离不开图形的，利用计算机可初步实行图形信息的存贮。

（1）建立成型机头图形库　该图形库存贮了全国统一设计半芯轮式、半鼓式成型机头曲线和一些特殊的机头曲线图。

（2）建立常用轮辋图形库　一种规格的轮胎往往用在几种轮辋上，有了常用轮辋曲线图形库以后，如果需要观察轮胎胎圈与某种轮辋的配合情况，只要向计算机发出指令，轮辋曲线便立即显示在屏幕上，反映二者的配合情况。

一个磁盘可存贮数百以至上万个成型机头和轮辋曲线图形，使用方便，只需从键盘上输入某种命令即可在屏幕上迅速显示其形状和结构参数。如得到硬拷贝命令，可将此图形用绘图仪或打印机输出，全过程一分钟内即可完成，提高了绘图效率，也为图纸资料的检索提供了便利条件。磁盘还留有一个接口，新的成型机头曲线及轮辋曲线可随时存入盘中。

此外，还建立了轮胎花纹总图、材料布置图以及轮胎模具等图形库。大量的轮胎产品图纸不易保存，年久要变质失效，用磁盘存贮图纸，安全可靠，存贮量大，便于保管，查找迅速方便。轮胎新产品的研制都要借鉴前人的经验，设计人员通过在几片磁盘上进行资料检索，很快就能掌握前人的成果，得到借鉴和启发，随着轮胎结构图形信息库的进一步开发和完善，它必将成为设计人员的得力助手。

## 主要参考文献


〔1〕 刘大众等，橡胶工业，12，1～6(1986)。
Robecchi, E. Amici, L.,
〔2〕 E. Robecchi and L. Amici, Tire Science & Technology, 1,3,290～345(1973).
〔3〕 Leibee, J. B. and Schoffers, W. J., Rubber Chemistry and Technology, 42, 4, 1079～1086(1973).
〔4〕 Пиковский, М, Л, . Каучук и Резика, 10,46～48(1973).
〔5〕 北京橡胶工业研究设计院译，《汽车轮胎的计算与设计》，139～140页，中国工业出版社，1959年。
〔6〕 Robecchi, E., Tire Science & Technology, 1, 4, 382～438(1973).
〔7〕 Walter, J. D., Textile Research Journal, 40, 1, 1～7(1970).
〔8〕 Бидерман, В. Л. и др, "Автомобильные Шины", Госхимиздат, 1963.
〔9〕 俞淇，许叔亮等，充气子午线轮胎有限元分析，1984年国际橡胶会议论文集，B部分，B-47论文。
〔10〕 Walter, J. D., Rubber Chemistry Technology, 51,3,524～572.

# 第十三章　斜交轮胎配方设计

## 第一节　汽车轮胎配方

### 一、胶料配方与轮胎性能的关系

由于汽车的发展，对轮胎性能提出了更新更多的要求。（1）滚动阻力：有关车辆工业燃料经济标准，有的国家已列入法规，而轮胎滚动阻力直接与燃料经济相关，一般降低轮胎滚动阻力5～7%，可节省燃料油约1%。（2）牵引力：系轮胎的重要性能，包括在湿的和干的路面上具有良好的牵引性能，而一般降低滚动阻力会降低牵引性能，两者要综合改善。（3）胎面磨耗：系与轮胎寿命直接有关的重要因素，现在仍要求保持较好的耐磨性能。（4）耐久性能：胎体要求牢固，翻新率高，翻新次数多，这能显著增加轮胎使用寿命。（5）乘坐与操纵性能：要求舒适与安全性。（6）气压保持性：既要满足车辆工业标准气压的保持，又要降低胎内氧气和水汽含量，无内胎的发展尤为重要。（7）均匀性：加工精度要求高，性能要稳定，不波动。如此等等一系列性能，要求全面改进而又不能损害或牺牲其中任何一项重要性能，这些与胶料配方的设计有着密切的关系。

#### （一）耐磨性能

轮胎的耐磨性能系直接影响轮胎使用寿命的一项重要指标。轮胎的磨耗是一个复杂的过程，影响因素很多，在轮胎结构确定以后，胶料的配方设计将是起主要作用的，而至今尚没有哪种单一的胶料性能较好地表征轮胎耐磨性能的好坏，因为轮胎的磨耗机理是复杂的，它与使用条件有关，因此，配方设计不仅考虑胎面胶原材料的选择、工艺以及整体配方，同时也要考虑轮胎使用中磨耗的类型等。

1．磨耗的种类

根据橡胶磨耗机理的现代概念，大致可以分成3种磨耗现象，轮胎就是根据使用条件的不同，按照这3种机理进行磨耗的。

（1）磨损磨耗　这种类型的磨耗系在橡胶以较高摩擦系数与粗糙表面相摩擦时产生的。其特点是在被磨橡胶表面上呈现一条与滑动方向一致的平行磨损痕带。在路面条件较差的情况下，磨损磨耗起主要作用，其磨耗苛刻度一般为2000km/mm左右或更低，即相当于0.5mm/km以上。

（2）“卷曲”磨耗　橡胶与相对光滑的表面摩擦时，产生一种特殊的磨耗，它是一种新的高弹体所特有的磨耗机理，称之为“卷曲”磨耗，产生于橡胶和摩擦表面之间存在较高摩擦系数的情况下，其过程是橡胶表面层逐渐撕开，被撕开的橡胶层在滚动摩擦条件下搓成“卷”。撕裂强度较低的橡胶较大可能产生这种磨耗。研究顺丁橡胶胎面的磨纹图明显看到了这种磨耗现象。

（3）疲劳磨耗　以上二种形式的磨耗均属于高强度形式的磨耗，在实际中主要存在强度较低的磨耗形式，称之为疲劳磨耗。疲劳磨耗是最普遍的一种磨耗，它产生在橡胶和摩擦表面的摩擦力不甚大以及作用在坚硬粗糙表面上的接触应力也不很大的条件下，橡胶表面层

的损坏是因多次变形而引起的。轮胎在良好路面上正常速度和负荷下使用时，主要是产生疲劳磨耗，其磨面光滑，磨纹图一般看不出裂痕。其磨耗苛刻度一般为8000km/mm或0.12mm/1000km左右。

我国载重汽车轮胎（9.00-20）在全国六个评比地区的磨耗水平如表1-13-1所示。予计在车型改进后，车速增加、负荷增大的情况下，磨耗苛刻度也会随之增加。

表 1-13-1 我国六个地区磨耗苛刻度水平　　单位：mm/1000km

| 地　　区 | 60年代 | 70年代 | 80年代 |
|---|---|---|---|
| 新疆地区 | 0.10 | 0.09 | 0.09 |
| 南京地区 | 0.11 | 0.10 | 0.09 |
| 黑龙江地区 | 0.13 | 0.10 | — |
| 湖北地区 | 0.14 | 0.11 | 0.11 |
| 广州地区 | 0.19 | 0.16 | 0.16 |
| 云南地区 | 0.26 | 0.22 | 0.18 |

2. 轮胎耐磨性与胶料力学性能的关系

（1）与扯断能量的关系　许多研究都认为拉伸强度是决定橡胶耐磨性的一个主要力学性能，这只是相对于采用同一类聚合物而言。根据国内载重汽车轮胎的实际使用情况，对并用顺丁橡胶的胎面胶，以扯断能量表征耐磨性更为接近于实际，如下式：

$$A=C\cdot\mu\frac{1}{W} \tag{1-13-1}$$

式中　$A$——轮胎实际磨耗量；

$W$——胶料扯断能量（即拉伸应力—应变曲线包含的面积，或相对以拉伸强度与扯断伸长率之积表示）；

$\mu$——摩擦系数；

$C$——系数。

（2）与弹性模量的关系　在产生磨损磨耗与"卷曲"磨耗的情况下，胎面耐磨性能随胶料的弹性模量增大而改善；但在疲劳磨耗的情况下，耐磨性能随胶料的弹性模量增大而下降。所以弹性模量相同的胶料在不同的地区往往具有不同的耐磨效果。

常规试验中的300%定伸应力也存在类似的关系。

（3）与综合物理机械性能的关系　轮胎耐磨性与某种单一的力学性能往往不存在很好的相关性，因此有人通过统计的方法，提出胎面胶磨耗强度与有关的物理机械性能之综合性关系式如下：

$$I=\frac{K}{f\cdot M_{300}\cdot\sqrt{\theta}} \tag{1-13-2}$$

式中　$I$——胎面磨耗强度（$I$值大表示耐磨性差）；

$f$——拉伸强度；

$M_{300}$——300%定伸应力；

$\theta$——弹性系数（即扯断伸长率与永久变形的比值）；

$K$——不同类型橡胶的系数。

从综合式中可以定性地看出，胎面耐磨性能随胶料的拉伸强度、300% 定 伸应力、扯断伸长率的提高以及永久变形的减少而得以改善。

（4）与玻璃化转变温度（$T_g$）的关系　从聚合物微观结构来看，$T_g$对 磨耗的影响是起决定作用的。有人专门研究了顺式、反式、乙烯基和苯乙烯含量不同的聚合物对磨耗的影响，结果认为：耐磨性与聚合物的$T_g$有很好的相关性，即随$T_g$的降低，耐磨性提高。如高顺式聚丁二烯橡胶具有很低的$T_g$，其耐磨性能很好。同时还 要 注 意与轮胎使用时的温度也有关。

此外，耐磨性能还与胶料的疲劳性能、老化性能等有一定关系。总之，磨耗是一种综合物理机械性能的宏观反映，而它又是随使用条件不同而有所变化的。以上列举的一些关系式一般都是针对一定类型的聚合物以及在一定的试验方法下而得到的定性的关系，并非完全可以定量的关系。

3．胎面胶组分对耐磨性能的影响

由于轮胎使用温度不同（如南方或北方）、行驶道路不同（包括路面、坡度、拐弯等），因此各种聚合物、补强助剂等胎面胶组分的影响也不尽相同，选择时宜加注意。

（1）生胶　国内外目前汽车轮胎胎面胶常用的聚合物有天然橡胶（NR）、丁苯橡胶（SBR）、顺丁橡胶（BR）、异戊橡胶（IR）等。国内则以顺丁橡胶与天然橡胶并用体系较为普遍，它具有耐磨性较优的特点，但在使用温度较高或路面很差的情况下，丁苯橡胶或丁苯橡胶与天然橡胶并用体系也具有较好的耐磨性，如图1-13-1和表1-13-2所示。从图中曲线看到，当轮胎表面温度较高时（35℃以上），丁苯橡胶耐磨性优于天然橡胶，而在低于35℃时，则天然橡胶优于丁苯橡胶；在并用顺丁橡胶以后，当轮胎表面温度高于45℃时，丁苯橡胶与顺丁橡胶并用体系的耐磨性优于天然橡胶与顺丁橡胶并用体系，而在低于45℃时，则天然橡胶与顺丁橡胶并用体系优于丁苯橡胶与顺丁橡胶并用体系。可见，丁苯橡胶胎面胶适于较高的使用温度，顺丁橡胶在较高温度下也优于天然橡胶。在低温下，顺丁橡胶显得更为耐磨，所以在寒冷地区，以用顺丁橡胶为宜。丁苯橡胶在低温下性能较差，其胎面胶甚至可能出现“蜂窝状”，而在热带地区，则两者较为接近。根据目前国内使用条件，胎面表面温度一般低于45℃，所以在大多数情况下，其耐磨优劣顺序为BR→NR→SBR，相应的并用体系亦然，即BR/NR→BR/SBR/NR→SBR/NR。另外，从表中数据可知：在良好路面上使用时，顺丁橡胶与天然橡胶并用体系的胎面胶轮胎的耐磨性远高于丁苯橡胶胎面胶的耐磨性；在不良路面上使用时，含顺丁橡胶的胎面胶耐磨性相对下降；面且装在后轴的轮胎（驱动，负荷大）比较，顺丁橡胶与天然橡胶并用体系不如丁苯橡胶，只有在冬天才略优于丁苯橡胶。

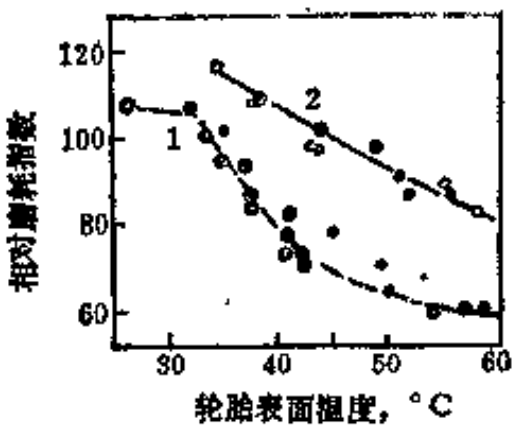



图 1-13-1　不同表面温度下不同胶料的相对磨耗指数

1—充油NR对充油SBR之比；2—充油NR/BR对充油SBR/BR之比

以上二例说明在使用条件不同时，导致不同胶种相对耐磨性的差异，这是需加以注意的。

（2）炭黑　炭黑的品种及其适宜用量对轮胎的耐磨性是起关键性作用的。对炭黑粒子粗细与结构大小来说，又以粒径对磨耗性的影响更大。一般炭黑粒径越细，耐磨性越高，如

表 1-13-2　9.00-20轮胎不同胶种胎面胶在不同路面上的相对耐磨性比较

| 使用条件 | | | 甲级路面 | | 乙级路面（包括采石场） | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | SBR100 | BR70/NR30 | SBR100 | SR70/NR30 |
| 冬季 | 平均磨耗，km/mm | | 7692 | 12500 | 4167 | 4545 |
| | 相对耐磨性 | 前　轴 | — | — | 100 | 126 |
| | | 后　轴 | — | — | 100 | 104 |
| | | 平　均 | 100 | 161 | 100 | 111 |
| 夏季 | 平均磨耗，km/mm | | 7143 | 8333 | 3846 | 3330 |
| | 相对耐磨性 | 前　轴 | — | — | 100 | 104 |
| | | 后　轴 | — | — | 100 | 79 |
| | | 平　均 | 100 | 120 | 100 | 87 |

超耐磨炉黑优于中超耐磨炉黑，后者又优于高耐磨炉黑。尤其在磨耗条件较苛刻的情况下，其差别则更显著，如在磨耗强度很低的情况下，其差别减小（见表1-13-3）。同时在不同胶种及不同结构轮胎中，其差别也不尽相同，见表1-13-4。另外还应注意到，即使是同一品种炭黑，不同的产地，其差异也甚大。曾有试验表明，同一品种中超炉黑的五个产地产品，其耐磨性可相差10～20%，这可能与炭黑的粒子分布及表面粗糙度之差异有关。

表 1-13-3　不同比表面积和结构的炭黑对胎面胶的相对耐磨性

| 炭黑品种 | $N_2$吸附比表面积 $10^{-5}m^2/kgf$ | DBP吸油值 $10^5m^3/kgf$ | 相对耐磨性（当磨耗强度不同时） | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | <0.40mm/1000km | 0.41～0.53 mm/1000km | 0.54～0.81 mm/1000km | >0.81mm/1000km |
| N330 | 84 | 1.11 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| N347 | 89 | 1.26 | 105 | 102 | 116 | 130 |
| N285 | 104 | 1.27 | 110 | — | 119 | 126 |
| N220 | 123 | 1.11 | 118 | 106 | 112 | 113 |
| N242 | 130 | 1.29 | 116 | 108 | 128 | 133 |

表 1-13-4　不同炭黑在不同并用胶中的相对耐磨性

| 炭黑品种 | $N_2$吸附比表面积 $10^{-5}m^2/kgf$ | DBP吸油值 $10^5m^3/kgf$ | NR50/BR50 | | SBR50/BR50 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 子午线轮胎 | 斜交轮胎 | 子午线轮胎 | 斜交轮胎 |
| N220 | 120 | 1.10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| N375 | 102 | 1.18 | 101 | 91 | 84 | 99 |
| N303 | 96 | 1.29 | 95 | 86 | 89 | 95 |
| N330 | 76 | 0.98 | 89 | 78 | 76 | 73 |

胎面胶的其它组分如硫化体系、防老体系及各类操作油等对耐磨性也有一定的影响，但主要取决于生胶和炭黑。

### （二）滚动阻力

轮胎滚动阻力不仅与其结构有关，而且与配方、工艺也有关。在胶料引起的能量损失中，胎面胶最为显著，以9.00-20斜交胎为例，胎面胶引起的能量损失可能占50%以上。有试验表明，用六种常用的通用橡胶制成不同的胎面胶轿车轮胎，通过硫化体系调整硬度一致的前提下，轮胎滚动阻力相差可达12%；又如用不同的并用胶体系制成不同的胎面胶载重汽车轮胎，其滚动阻力相差也较大；再如炭黑品种和用量对滚动损失的影响也是很大的；由于硫化体系能较大地改变硫化胶的交联程度，从而对滚动损失也起作用。

胶料的动态力学性能与轮胎滚动损失有密切关系，胶料的弹性模量（$E'$）较高而损耗模量($E''$)较低者，或者说损耗角正切较小者，其滚动损失则较小。从表1-13-5可以看出，天然橡胶胎面胶滚动损失低于丁苯橡胶，顺丁橡胶与天然橡胶并用体系又比天然橡胶体系低。

胶料的摩擦系数越小，滚动损失也越小。图1-13-2表明，滚动距离随湿表面摩擦系数的增大而减少。胶料的弹性越大，滚动距离也越大。图1-13-3所示，其中滚动损失与弹性的相关性较好，轮胎的实际油耗试验结果也初步证明了这种相关性的存在。

表 1-13-5　不同类型胎面胶9.00-20轮胎的滚动损失（炭黑50～55重量份）

| 胎面胶中橡胶类型 | 胶料动态力学性能(KMP—01仪) | | | | | | | 轮胎滚动损失 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $E'$ | | $E$ | | $E''/E\times$ | $E''/E^2$ | | |
| | MPa | (kgf/cm²) | MPa | (kgf/cm²) | $10^2$ | $MPa^{-1}\times10^4$ | $(cm^2/kgf\times10^4)$ | kgf·m/r |
| $NR_{100}$ | 1.8 | (18) | 4.8 | (49) | 37 | 763 | (78) | 52 |
| $SBR^{①}{}_{100}$ | 2.3 | (23) | 4.6 | (47) | 49 | 1058 | (104) | 65 |
| $BR_{50}$ / $SBR^{①}{}_{50}$ | 2.0 | (20) | 4.5 | (46) | 43 | 964 | (87) | 55 |
| $BR_{50}$ / $SBR^{②}{}_{50}$ | 2.7 | (28) | 6.3 | (64) | 44 | 697 | (70) | 56 |
| $BR_{50}/NR_{50}$ | 1.7 | (17) | 4.9 | (50) | 33 | 696 | (68) | 47 |
| $BR_{70}/NR_{30}$ | 1.4 | (14) | 4.2 | (43) | 32 | 773 | (76) | 43 |

① SBR牌号为CKC-30APKM-15;
② SBR牌号为CKC-25

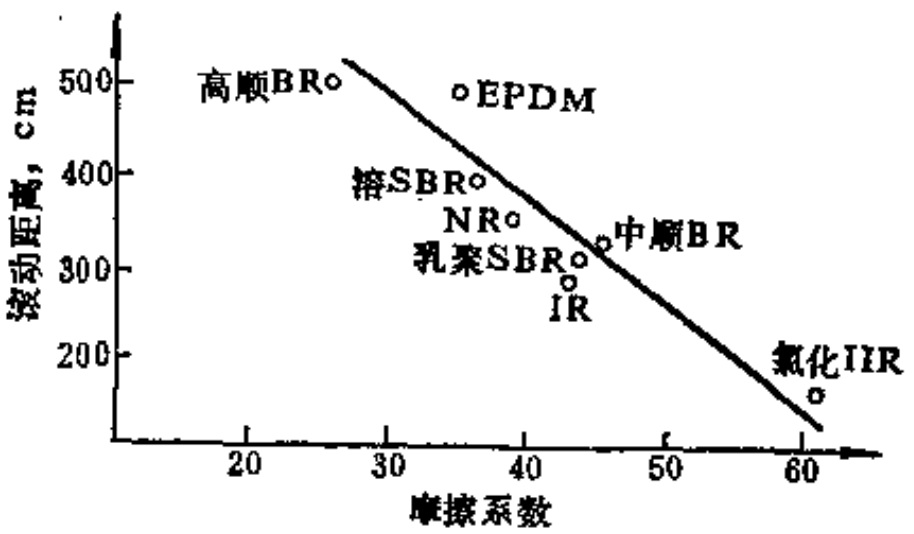



图 1-13-2　胶料的摩擦系数与滚动距离的关系

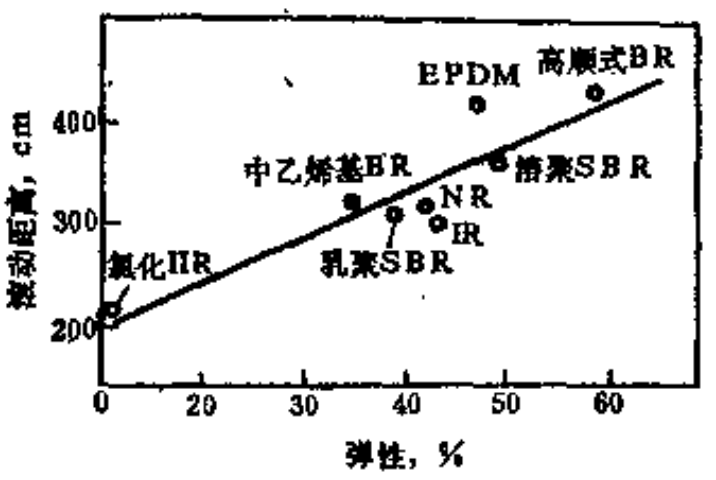



图 1-13-3　不同胶料的弹性与滚动距离的关系

从现有常用的聚合物来看，高顺式聚丁二烯橡胶的滚动损失是最小的，以其为胎面胶的轮胎有利于车辆的节油。我国汽车轮胎胎面胶是以顺丁橡胶与天然橡胶并用体系为主的，国外以SBR为主做胎面胶，目前也出现了一些新的聚合物，既改进了SBR滚动损失大的缺陷，又保持其原有抗湿滑性好的优点，如乙烯基含量较高的聚丁二烯橡胶以及牌号Cariflex S1215丁苯橡胶等。

炭黑品种对滚动损失也有影响。不同炭黑的基本性能及其对胎面胶力学性能的影响见表1-13-6。有试验表明，如果耐磨性能与滞后性能(滚动损失)都同时兼顾，则N234、N299比N339更为适宜，粒子过细的N110反而不好。如果着重于降低滚动阻力，则以N351更好。综合性能以N299较好，参见表1-13-7数据。

表 1-13-6 不同炭黑类型在胎面胶 (NR60/BR40)
中的物理性能与动态力学性能 (千次)

| 炭黑类型 | $N_2$吸附比表面积$10^{-3}$ $m^2/kgf$ | DBP吸油值$10^3$ $m^3/kgf$ | 结合胶% | 体积电阻 Ω·cm | 弹性% | 生热 ℃ | 300%定伸应力 MPa | 拉伸强度 MPa | 扯断伸长率% | 撕裂能 kJ/m² | 疲劳寿命 kc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N110 | 150 | 1.11 | 32.6 | 33.1 | 61.0 | 52.8 | 8.3 | 22.8 | 600 | 33.6 | 189.2 |
| N121 | 130 | 1.30 | 39.4 | 119 | 60.0 | 56.7 | 10.4 | 23.2 | 540 | 17.7 | 182.2 |
| N234 | 122 | 1.26 | 34.6 | 86.6 | 61.0 | 54.7 | 10.1 | 22.5 | 540 | 18.1 | 155.1 |
| N220 | 113 | 1.10 | 29.2 | 48.5 | 62.0 | 51.5 | 9.4 | 22.3 | 560 | 26.5 | 140.8 |
| N299 | 107 | 1.25 | 33.4 | 150 | 63.1 | 51.7 | 10.6 | 21.7 | 570 | 15.1 | 163.0 |
| N375 | 103 | 1.14 | 31.4 | 458 | 63.1 | 49.7 | 9.9 | 22.6 | 550 | 21.9 | 226.2 |
| N339 | 97 | 1.20 | 31.2 | 291 | 63.6 | 50.6 | 11.7 | 22.0 | 500 | 15.1 | 174.8 |
| N347 | 90 | 1.26 | 28.2 | 99.3 | 64.6 | 50.7 | 11.0 | 21.7 | 510 | 13.6 | 188.1 |
| N330 | 78 | 1.03 | 25.8 | 246 | 65.7 | 45.0 | 9.2 | 21.4 | 560 | 12.2 | 169.0 |
| N351 | 74 | 1.20 | 27.2 | 1290 | 66.2 | 45.0 | 11.0 | 20.5 | 590 | 14.9 | 123.7 |

| 炭黑类型 | MTS试验条件A① | | | | | MTS试验条件B② | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $E$ MPa | $E'$MPa | $E''$ MPa | tgδ×10³ | $D''$ MPa⁻¹×10⁴ | $E$ MPa | $E'$ MPa | $E''$ MPa | tgδ×10³ | $D''$ MPa⁻¹×10⁴ |
| N110 | 7.13 | 7.02 | 1.23 | 175 | 242 | 6.70 | 6.54 | 1.44 | 220 | 321 |
| N121 | 8.91 | 8.76 | 1.61 | 184 | 216 | 7.78 | 7.56 | 1.84 | 243 | 312 |
| N234 | 7.78 | 7.66 | 1.37 | 179 | 226 | 7.05 | 6.87 | 1.60 | 233 | 322 |
| N220 | 7.29 | 7.19 | 1.23 | 171 | 231 | 6.83 | 6.67 | 1.45 | 217 | 311 |
| N299 | 7.70 | 7.59 | 1.29 | 170 | 218 | 6.88 | 6.73 | 1.45 | 215 | 306 |
| N375 | 7.10 | 7.01 | 1.13 | 161 | 224 | 6.54 | 6.41 | 1.31 | 204 | 306 |
| N339 | 7.75 | 7.65 | 1.24 | 162 | 206 | 7.00 | 6.85 | 1.45 | 212 | 296 |
| N347 | 7.45 | 7.36 | 1.16 | 158 | 209 | 6.82 | 6.69 | 1.34 | 200 | 288 |
| N330 | 6.33 | 6.26 | 0.93 | 148 | 231 | 5.90 | 5.80 | 1.09 | 188 | 313 |
| N351 | 7.07 | 7.00 | 1.00 | 143 | 200 | 6.40 | 6.30 | 1.15 | 183 | 281 |

① 伸长14.5%，60℃，10Hz，7.5%$\varepsilon$

② 伸长14.5%，0℃，1Hz，25%$\varepsilon$

表 1-13-7 不同炭黑类型对综合性能的相对值

| 炭黑类型 | N110 | N234 | N299 | N339 | N330 | N351 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 滞后平均值 | +11.8 | +4.8 | −1.1 | 0 | +4.7 | −3.2 |
| 磨耗指数 | 107 | 111 | 108.5 | 100 | 90 | 91.5 |
| 磨耗—滞后综合指数 | 95 | 106 | 110 | 100 | 85 | 95 |
| 胶料成本(单位体积) | 103.3 | 100.9 | 100 | 100 | 99.3 | 99.4 |
| 干摩擦系数 | 101.5 | 105.9 | 101.3 | 100 | 97.5 | 98.4 |

炭黑和油用量对滚动损失的影响。炭黑用量增加，滚动损失增加，不能用增加油用量的办法来抵偿由于提高炭黑用量引起的轮胎滚动损失的增大，如表1-13-8所示。

**表 1-13-8 不同炭黑和油用量对轮胎滚动损失的影响**

（9.00—20轮胎，BR70/SBR30胎面胶）

| 用量(重量份) | | 轮胎滚动损失 | 胶料动态性能 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $E$ | | $E''$ | | $E''/E^2$ | | $E''/E\times10^2$ |
| 炭黑 | 油 | kgf·m/c | MPa | (kgf/cm²) | MPa | (kgf/cm²) | $MPa^{-1}\times10^4$ | $(cm^2/kgf\times10^4)$ | |
| 60 | 10 | 53 | 5.2 | (53) | 1.9 | (19) | 703 | (68) | 38 |
| 80 | 25 | 57 | 5.0 | (51) | 2.1 | (21) | 840 | (82) | 41 |
| 100 | 37.5 | 61 | 4.9 | (50) | 2.3 | (23) | 958 | (92) | 46 |
| 100 | 50 | 64 | 5.1 | (52) | 2.7 | (28) | 1038 | (100) | 52 |

用N299炭黑由27.5～31.5%及烷烃油10～50重量份，对滚动损失的影响，以下式表示：

$$\left.\begin{aligned} tg\delta\times10^3&=160.8+8.20X_2+6.24X_1\\ D''\times10^3&=49.5+10.1X_2 \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}13\text{-}3)$$

式中 $tg\delta$——阻尼系数，与滚动损失有关；

$D''$——损耗柔量，与牵引力有关；

$X_1$——炭黑用量；

$X_2$——油用量。

结果表明，当炭黑用量一定时，减少10份油用量，滚动阻力降低约2%，而牵引力损失7～8%；而当油用量一定时，炭黑含量减少2%，滚动阻力降低约2.6%，而对牵引力无明显影响。

不同类型和用量的炭黑及不同用量的油对滚动损失的影响，可以下式表示：

$$\left.\begin{aligned} tg\delta\times10^3&=160+17.2X_3+7.92X_1+5.81X_2+6.33X_3\cdot X_4\\ D''\times10^3&=45.5+8.14X_2-2.89X_4+2.44X_3-0.89X_1 \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}13\text{-}4)$$

式中 $X_1$——炭黑用量；

$X_2$——油用量；

$X_3$——$N_2$吸附比表面积；

$X_4$——DBP吸附值。

以上公式表明，除了前述的炭黑和油用量的影响以外，炭黑的比表面积和结构大小对滚动损失也有影响，而其中以比表面积大小的影响较大，即炭黑粒径越小，滚动损失越大。

关于胶料的动态力学性能与轮胎滚动阻力之间也可以下式表示，当然这只能说明一种趋势，其它条件变化，式中常数也相应产生变化。

$$\%RR=219tg\delta+64 \qquad (1\text{-}13\text{-}5)$$

式中 $\%RR$——相对滚动阻力百分数，系在$\phi$1.7m轮鼓上，速度为80km/h时测定；

$tg\delta$——非共振式动态试验机，50℃、10Hz，7.5%$\varepsilon$条件下测定的阻尼系数。

**（三）防滑性能**

由于汽车工业的发展，路面条件的改善，车辆行驶速度也在逐步提高，为了车辆行驶的

安全性，对轮胎的防滑性能应放在重要地位来加以考虑。轮胎在路面上行驶时，摩擦与磨耗同时发生，一般来说，胶料的摩擦系数大，则抗滑性高，但耐磨性较差，滚动损失也相应增加。反之，耐磨性好的胶料，其摩擦系数一般较小，抗滑性较差，因此要根据具体情况，取得最佳的综合性能。

1．测定胶料摩擦系数的仪器

根据不同目的和胶料的不同使用条件而设计的摩擦系数试验装置有各式各样。但许多国家都采用摆锤式摩擦系数测定仪来研究胎面胶料的抗滑性能，作为筛选胎面胶料配方的室内手段。其原理系摆锤带着橡胶滑块绕轴心自由落下经过与摩擦面（路面）接触后，摆的位能损失等于安装在摆臂末端的橡胶块滑过摩擦面（路面）时克服摩擦所作的功。

$$\text{摩擦系数}\mu = W(H-h)/P\cdot D \qquad (1\text{-}13\text{-}6)$$

式中 $W$——摆臂的有效重量；

$H$——橡胶块的原始高度；

$h$——橡胶块通过摩擦面（路面）后升起高度；

$P$——橡胶块与摩擦面（路面）之间的平均法向负荷；

$D$——橡胶块的滑动距离。

$W$、$H$、$P$、$D$系仪器常数，$h$为试验值，经换算可直接在仪器刻度盘上指示出摩擦系数值，约为实际摩擦系数的100倍。

此种仪器测定的摩擦系数与车速为48km/h时轮胎在柏油路面行驶时的抗滑性能相关性最好，如表1-13-9所示。与刹车距离的相关性如表1-13-10所示。

表 1-13-9 轮胎路面制动距离与摩擦系数的相关性

| 速　　度,km/h | 相 关 系 数 | 变 异 系 数 |
|---|---|---|
| 16 | 0.79 | 12.6 |
| 32 | 0.92 | 5.1 |
| 48 | 0.99 | 0.6 |

表 1-13-10 室内试验与道路试验抗滑性结果

| 胶料(重量份) | | 室内试验 | | 道路试验(车速45.7km/h) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 摩擦系数（摆锤仪读数） | 湿滑指数 | 湿柏油路 | | 湿混凝土路 | |
| | | | | 平均刹车距离，m | 湿滑指数 | 平均刹车距离，m | 湿滑指数 |
| SBR | 100 | 50 | 100 | 26.8 | 100 | 27.1 | 100 |
| SBR/BR220 | 70/30 | 44 | 88 | 28.8 | 93 | 28.2 | 96 |
| SBR/BR220 | 50/50 | 40 | 80 | 30.8 | 87 | 29.8 | 91 |
| SBR/BR880 | 30/70 | 37 | 74 | 31.1 | 86 | 31.0 | 88 |
| BR880+Hi-Sil | 100 | 37 | 74 | 31.2 | 86 | 30.7 | 88 |
| BR880 | 100 | 33 | 66 | 34.1 | 79 | 32.8 | 83 |

2．胶料组分和性能对抗湿性能的影响

（1）胶料组分的影响　抗湿性能主要包括抗湿滑性以及冰雪上的防滑性。胶料的抗滑性与橡胶本身的结构有关。若橡胶结构规整性好，分子链柔性大，则弹性高，内摩擦小，滞后损失小，其抗湿滑性就较差。各种生胶及其填充不同炭黑量，顺丁橡胶与天然橡胶不同并

用比例对抗滑性的影响如图1-13-4、图1-13-5及表1-13-11、表1-13-12所示。

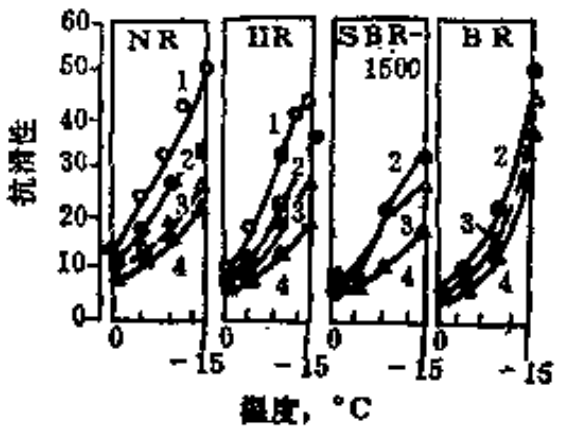



图 1-13-4 不同温度下各胶种的冰上抗滑性

1—未加炭黑；2—加20份HAF；
3—加40份HAF；4—加60份HAF

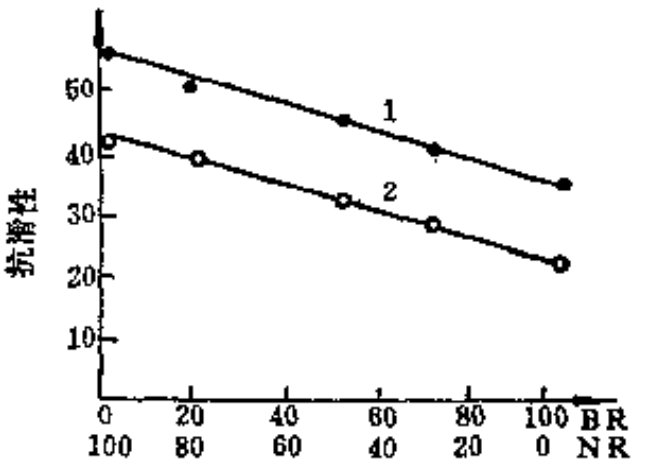



图 1-13-5 低顺式BR与NR的并用比例对抗湿滑性的影响

1——斑岩砖；2——釉面砖

表 1-13-11 不同胶种的摩擦系数（填充炭黑45份）

| 胶　种 | 天然橡胶 NR | 异戊橡胶 IR-10 | 乳聚丁苯橡胶 SBR1500 | 溶聚丁苯橡胶 2000R | 顺丁橡胶 BR | 中乙烯基聚丁二烯橡胶 V-BR | 氯化丁基橡胶 $C_{11}R$ (1068) | 三元乙丙橡胶 EPDM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 摩擦系数（摆锤式，湿柏油路面） | 40 | 41 | 42 | 39 | 28 | 44 | 62 | 45 |

表 1-13-12 聚合物不同并用比例对抗滑性的影响

| BR/NR并用体系(04号炭黑) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 并用比例 | 70/30 | | 60/40 | | 50/50 | | 30/70 | |
| 摩擦面(柏油砖) | 干 | 湿 | 干 | 湿 | 干 | 湿 | 干 | 湿 |
| 摩擦系数 | 85 | 29 | 86 | 28 | 86 | 25 | 90 | 30 |

| BR/NR/SBR并用体系 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 并用比例 | 70/30/0 | | 50/50/0 | | 50/30/20 | | 20/30/50 | | 0/30/70 | |
| 摩擦面（柏油砖） | 干 | 湿 | 干 | 湿 | 干 | 湿 | 干 | 湿 | 干 | 湿 |
| N110 | 87 | 33 | | | | | | | 89 | 41 |
| N219 | 91 | 33 | 93 | 33 | 88 | 31 | 88 | 35 | 89 | 41 |
| N239 | 93 | 33 | | | | | | | 85 | 38 |
| N339 | 95 | 32 | 89 | 30 | 88 | 31 | 79 | 35 | 80 | 38 |
| 鞍山中超炉黑 | 93 | 33 | | | | | | | 88 | 37 |

从试验结果表明，丁基橡胶以及氯化丁基橡胶的抗湿滑性最好，其次系乙丙橡胶、乳聚丁苯橡胶等，顺丁橡胶最差，值得注意的是新近发展的聚合物中乙烯基聚丁二烯橡胶也具有较好的抗滑性。异戊橡胶也是较好的。在并用体系中，随比例的变化而显示出并用胶中各

自本身的特征。但在顺丁橡胶/天然橡胶或顺丁橡胶/丁苯橡胶/天然橡胶的不同比例中，其摩擦系数的差别并不很明显，而主要取决于采用的生胶种类。

炭黑品种对抗滑性的影响不明显，这可能系综合效应的结果。炭黑用量的影响系视其具体情况而不同，在顺丁橡胶/天然橡胶体系中，抗滑性系随炭黑用量增加而改善；在丁基橡胶中，则随炭黑用量增加而变差；在乙丙橡胶和丁苯橡胶中，抗滑性不随炭黑用量而改变。

对天然橡胶、顺丁橡胶、丁苯橡胶和丁基橡胶，采用不同炭黑用量（0～60份）的胶料在冰面上测定其抗滑性，所有胶料的抗滑性均系随温度的降低而提高，尤其在炭黑用量很低时更为显著。低于－15℃时，顺丁橡胶的抗滑性优于其它几种胶，即顺丁橡胶具有冰面上防滑性能好的特点。炭黑用量对冰面上抗滑性的影响与室温下的影响系不同的。在冰面上，炭黑用量增加，防滑性降低。以上现象可用胶料的粘弹性能来解析。

（2）胶料物性与防滑性的关系　胶料的防滑性除了受聚合物结构的影响以外，还与硫化胶的某些力学性能有关。如与硫化胶的弹性和硬度有关，综合这两种[illegible]的相关性很好，如表1-13-13所示，表明弹性与硬度的增加，湿摩擦系数降低。可近似地用式（1-13-7）表示。

$$SR=71.3-0.40R-0.18D \tag{1-13-7}$$

式中　$SR$——试验室试验机抗湿滑性的读数；

$R$——弹性值；

$D$——硬度值（邵尔A）。

表 1-13-13　弹性与硬度对湿摩擦的相对显著性

| 硫化胶性能 | 相关系数 | |
|---|---|---|
| | 柏油路面 | 波纹玻璃 |
| 弹　　性 | －0.78 | －0.92 |
| 硬　　度 | －0.29 | －0.35 |
| 弹性与硬度 | －0.85 | －0.94 |

此外，还与胶料的动态力学性能有很好的相关性（图1-13-6）为不同聚合物的硫化胶阻尼系数（tgδ）与防滑性的关系，即tgδ值越大，防滑性越好。也可用损耗柔量$D''$（即$E''/E^2$）来表征的，即$D''$值越大，防滑性越好。

3．改善胶料防滑性的途径

为了安全性，胶料要具有一定的湿摩擦系数，如在冰雪路面上行驶还要有特殊的防滑性要求。从表1-13-10数据中可以看到，顺丁橡胶抗湿滑性不好，而加入一定量的白炭黑则可获得改善。在冰雪路面上，顺丁橡胶由于具有较低的玻璃化转变温度($T_g$)，其防滑性较好。如顺丁橡胶与异戊橡胶并用，并加入硅藻土之类的填料，则可取得更好效果，甚至可以代替防滑链，轮胎可在冰雪路面上行驶，这主要是异戊橡胶本身有较大的变形，使轮胎接地而积

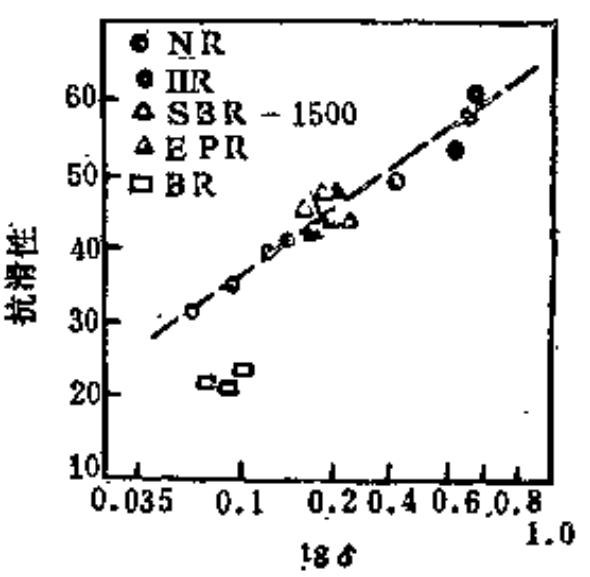



图 1-13-6　各胶种的抗滑性与阻尼系数的关系

相应增加，而硅藻土可以破坏轮胎表面与路面之间的水膜。

最近，国内外采用聚合物并用途径来改善防滑性，如在顺丁橡胶并用体系中，加入卤化丁基橡胶，已取得初步效果。表1-13-14系不同用量的溴化丁基橡胶对改善湿滑性的作用，掺用5～10份卤化丁基橡胶对耐磨性无明显影响，而能改善湿滑性。如在BR50/NR50胎面胶中以12份氯化丁基橡胶代替顺丁橡胶，室内摩擦系数由35提高到42，增加了20%，用175R14轮胎在湿表面的转鼓试验机上试验，最大侧向力系数提高了23%；用9.00—20尼龙轮胎作整车道路试验，制动距离可减少4%，面百公里耗油仅增加0.9%，实际使用结果（惠阳、云南下关、东北三个地区平均）耐磨指数还提高4%，这与它同时改善了老化性能有关。

表 1-13-14 溴化丁基橡胶对抗滑性能的影响

| 溴化丁基橡胶(重量份) | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 干表面 | −5℃ | 45 | 36 | 35 | 34 | 32 |
| | 25℃ | 105 | 105 | 101 | 102 | 102 |
| | 65℃ | 108 | 105 | 105 | 104 | 104 |
| 湿表面 | 25℃ | 56 | 57 | 57 | 60 | 62 |
| | 65℃ | 54 | 55 | 59 | 60 | 62 |
| 冰表面 | −5℃ | 18 | 18 | 14 | 19 | 18 |

此外，为了获得抗湿滑性和抗冰滑性的冬用轮胎，在胎面胶中加入5%以上的由氧化丙烯和烯丙基缩水甘油醚制成的橡胶状共聚物（其主链主要由氧乙烯单元构成，缩写为PAGAR），其结果如表1-13-15所示。

表 1-13-15 不同胎面胶料抗湿滑性和抗冰滑性对比

| 试验轮胎 | 胎面胶特征 | 在−2℃冰面上 | | | 在湿路面上 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 最大牵引力 kN | 加速度 $m/s^2$ | 制动距离 (20km/h),m | 制动距离 (60km/h),m | 制动距离 (40km/h),m |
| A | BR29/SBR71 | 1.617 | 0.63 | 17.5 | 38.4 | 15.5 |
| B | BR70/NR30 | 2.058 | 0.76 | 12.6 | 42.6 | 17.3 |
| C | BR70/NR18/PAGAR12 | 2.156 | 0.72 | 15.6 | 37.4 | 14.8 |

试验胎A：丁苯橡胶用量较高，在湿路面上抗湿滑性良好，但在冰面上的抗滑性则较差。

试验胎B：顺丁橡胶用量较高，在冰面上的抗滑性良好，但在湿路面上的抗滑性较差。

试验胎C：由于加入部分PAGAR，可改善抗湿滑性，略优于丁苯橡胶为主的胶料；同时抗冰滑性较好，大大优于丁苯橡胶为主的胶料，而与顺丁橡胶为主的胶料相近。

（四）生热性能

轮胎在一定使用条件下达到平衡时的最高湿度，通常称之为轮胎升温。它与轮胎的使用寿命有直接的关系。轮胎由于使用过程温度的升高，引起材料性能的下降，面最终导致轮胎脱层、爆破，斜交结构尼龙轮胎的破坏临界温度为120～125℃。为了适应日益发展的高速、超载车辆的使用要求，降低轮胎升温系极为重要的。同时对改善尼龙轮胎的肩空，提高耐磨性能都是有利的。

1. 胶料生热性能与轮胎升温的关系

轮胎升温一般采用半导体点温计直接测定，同时预先钻孔（在所需要测定的部位）。有研究表明，可通过测定轮胎各部件胶料的动态力学性能而简直计算出轮胎的升温，如式（1-13-8）。

$$\Delta T = 38.0 + 0.45 \times 10^4 D'' + 319 d_1 + 1730 d_2 \qquad (1\text{-}13\text{-}8)$$

式中 $\Delta T$——轮胎升温，℃；

$D''$——胎冠胶的损耗模量$\left(D'' = \frac{E''}{E^2}\right)$；

$d_1$——基部胶的损耗模量$\left(d_1 = \frac{E''}{E}\right)$；

$d_2$——帘布胶的损耗模量$\left(d_2 = \frac{E''}{E}\right)$。

通过对一些轮胎的统计分析，得到各部件胶料对轮胎升温的比例，一般胎冠胶占10%左右，基部胶占25～30%，布层胶占20～30%，还有一部分升温系帘线本身生热产生的。

表1-13-16～表1-13-18列举了轮胎主要部件胶料生热性对轮胎升温以及对轮胎耐久性试验结果的影响，可以看出：降低胶料生热可降低轮胎升温，并可显著提高轮胎的耐久性。当然，轮胎升温还受轮胎结构、充气压力、负荷以及使用条件（尤其车速）、环境温度等诸因素的影响。

在工艺正常情况下，降低轮胎升温，可以提高轮胎耐久性。轮胎在机床上试验，达到破坏时的工作能力主要取决于负荷作用的时间及温度，其寿命依赖于轮胎的提高平衡温度和径向负荷，以式（1-13-9）表示。

$$N = N_0 \exp \frac{Q_0 - aQ}{RT} \qquad (1\text{-}13\text{-}9)$$

表 1-13-16 胎面胶对9.00-20轮胎升温的影响

| 胎面胶结构 | | 胎冠胶不分层 | | 胎冠胶分上下层 | | 气温，℃ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 胶料性能 | 部件 | 胎冠 | 胎肩 | 胎冠 | 胎肩 | |
| | 300%定伸应力，MPa | 73 | — | 73 | 92 | |
| | 硬度（邵尔A） | 58 | — | 58 | 58 | |
| | 弹性，% | 46 | — | 46 | 51 | |
| | 生热，℃ | 47 | — | 47 | 28.5 | |
| 测温部位① | | 肩部 | 冠中 | 肩部 | 冠中 | |
| 机床测温（60km/h），℃ | 负荷17.64kN | 100 | 66 | 93.5 | 66 | 27 |
| | 超10% | 99 | 68 | 99.5 | 70 | 26 |
| | 超20% | 123 | 75 | 108.5 | 76 | 30 |
| | 超30% | 126 | 79 | 114 | 78 | 31 |
| 道路行驶平均升温，℃（平均车速约40km/h） | | 77.5 | 59 | 74 | 59 | 37 |

① 肩部系指胎面胶两肩与缓冲层接触处，测定两肩平均值；冠中系指胎面胶中心部位与缓冲层接触处。

表 1-13-17　胎体胶对9.00—20轮胎升温的影响

| 胎体胶配方 | | 正常胎体配方 | | | 低生热胎体配方 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 胶料生热，℃ | 胎冠胶 | 47 | | | 47 | | |
| | 胎肩胶 | 28.5 | | | 28.5 | | |
| | 缓冲胶 | 44.5 | | | 28.5 | | |
| | 外层胶 | 43.5 | | | 26 | | |
| | 内层胶 | 43.5 | | | 26 | | |
| 测温部位 | | 肩部 | 冠中 | 花纹沟 | 肩部 | 冠中 | 花纹沟 |
| 机床测温(17.64kN,60km/h),℃ | | 94 | 84 | 74 | 85 | 76 | 72 |
| 道路测温(平均车速40km/h),℃ | | 73 | 68 | 54 | 63 | 58 | 48 |

表 1-13-18　低生热配方与正常配方对9.00—20轮胎耐久性的影响

| 配方特征 | | 胎肩、胎体胶低生热 | | 正常配方 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 模型特征 | | 正弧 | 反弧 | 正弧 | 反弧 |
| 机床寿命(60km/h,障碍物) | | 241h01min | 101h55min | 148h17min | 45h80min |
| 外缘尺寸变化 | 外直径增加,% | 0.87 | 0.90 | 1.04 | 1.44 |
| | 断面宽增加,% | 0.79 | 0.80 | 2.30 | 2.65 |
| | 胎肩宽增加,% | 2.95 | 1.70 | 5.20 | 5.91 |

式中　$N$——轮胎机床寿命，km；

$T$——轮胎最高温度，K；

$R$——气体常数；

$Q$——轮胎承受的负荷；

$N_0$、$\alpha$——常数。

当负荷$Q$固定时，则：

$$N=N_0\exp\frac{B}{T}$$

$\ln N\sim\frac{1}{T}$的相关性趋于直线，可见，轮胎升温越高，寿命越短。

2．胶料组分对生热性的影响

聚合物本身结构不同，对胶料生热性能的影响，系一重要因素；但硫化胶结构尤其是交联程度的影响，有时却是起决定作用的。当炭黑用量一定时，通过硫化体系的调整，使硫化胶的定伸应力和硬度基本保持一致时，常用聚合物的生热性能优劣顺序为：顺丁橡胶——天然橡胶——丁苯橡胶，但采用顺丁橡胶的胎面胶，其定伸应力往往不能太高，面一般都低于天然橡胶和丁苯橡胶，此时，生热性能的优劣顺序为：天然橡胶——顺丁橡胶——丁苯橡胶。

可见，硫化体系的影响系较大的，往往由于促进剂用量过低，而影响交联密度较低，而导致生热性较大。采用DTDM的半有效硫化体系，能显著降低生热，而且可以相应减少炭黑

的用量，而能保持一定的定伸应力和硬度要求。因此，胎肩胶采用这种半有效硫化体系，能显著降低胶料生热、提高弹性。

炭黑的品种和用量对胶料生热的影响系显而易见的。炭黑的粒径越小、结构越高，生热性越大，由于帘布层胶对轮胎升温有着不可忽视的作用，因此在选择炭黑品种和用量上，应改变传统的用法，硬质炭黑要减少而代之以软质炭黑为主，即采用N660系列炭黑。目前国内常用的几种胎体胶炭黑，其生热优劣如下：GPF——FEF——LS-HAF。当生热一定时，其相当用量大致为GPF（34重量份）～FEF（28重量份）～LS-HAF（25重量份）。

胶料中的油品种对生热性的影响也是不容忽视的，以机油或芳烃油代替常用的松焦油，生热性可获得改善。

总之，胶料各组分对生热性都会产生作用，而以生胶和炭黑的影响尤甚。下面列举数据（见表1-13-19）和通过试验设计并由电算机绘制的不同炭黑生热的回归曲线如图1-13-7所示。

表 1-13-19　胎面胶常用聚合物硫化胶的生热性比较

| 聚合物类型① | | NR | SBR1500 | | BR | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 硫化体系 | S | 2.0 | 1.7 | 1.7 | 2.0 | 1.0 |
| | NOBS | 0.6 | 1.2 | 1.0 | 0.8 | 0.8 |
| | DTDM | — | — | — | — | 1.5 |
| 300%定伸应力，MPa | | 10.8 | 10.8 | 7.8 | 7.0 | 10.7 |
| 硬度（邵尔A） | | 64 | 64 | 6.3 | 60 | 62 |
| 弹性，% | | 41 | 38 | 37 | 51 | 59 |
| 生热，℃ | | 33 | 43 | 48.5 | 41 | 29.5 |

① 基本配方：生胶100，硬脂酸2，氧化锌3，石蜡1，防老剂4010NA2，中超炉黑45，10号机油5。

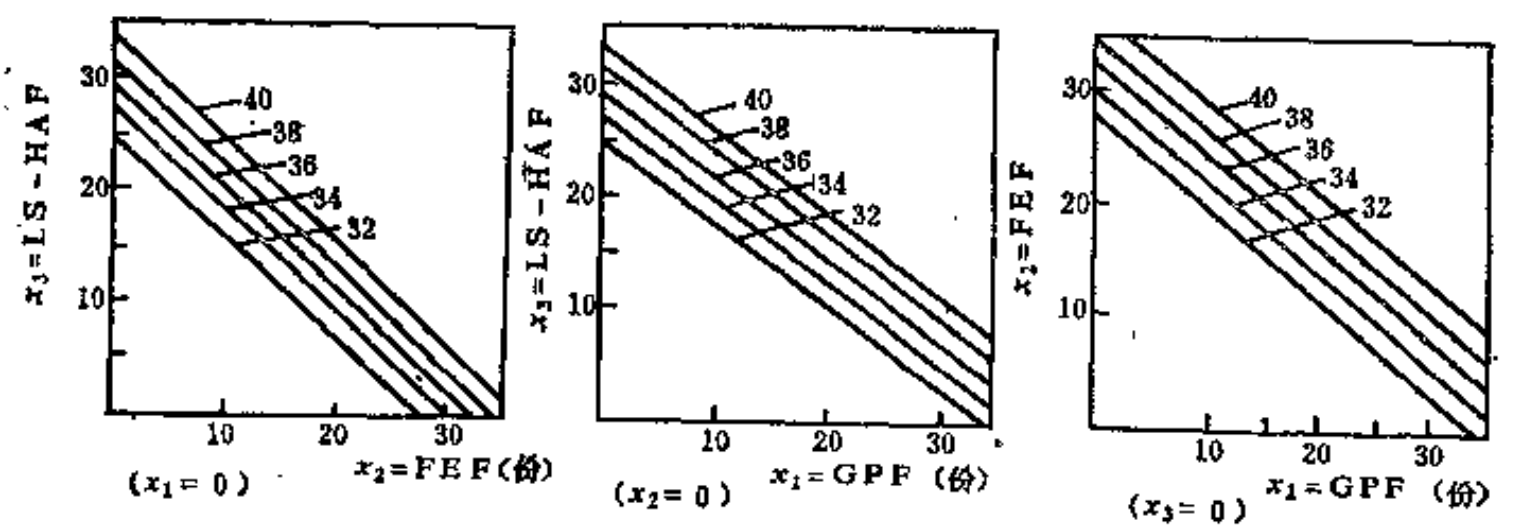



图 1-13-7　炭黑并用体系生热等温线图

**(五)耐热性能和防老化性能**

轮胎在使用过程中，胶料的性能也是在变化的，而且在轮胎的不同部位，其变化程度也不尽一样。一般在轮胎形变较大、温度较高的部位，其变化也较大。如各层间附着力的下降，以胎面胶下层与缓冲层或缓冲层与外层之间下降率最大；又如胎面胶多采用顺丁橡胶并用体系（与天然橡胶或与丁苯橡胶），其变硬变脆程度较大，易于导致胎面胶的崩花掉块以及不耐刺扎等（均会影响轮胎的使用寿命），因此提高胶料的耐热性能和抗老化性能是十分重要的。

采用新型防老剂以及适当增加防老剂用量，这是常用的改善老化性能的重要途径之一，

这里不再重述。根据硫化胶在老化过程中结构变化的特点，从硫化体系方面加以改善，这也是值得重视的重要途径。由于不同交联键的键能不同，其稳定性不同，一般规律多硫键容易降解，硫化胶交联结构中的多硫键随着老化进程而降解，相应的单硫键增加，碳一碳键增加，总的交联密度随之增加。而这种变化进程与网络结构中原始多硫键的密度以及每个多硫键的平均硫原子数多少有关。多硫键密度大，每个交联键中的硫原子数多，则上述变化速率加快，从而加快了硫化胶的老化或者变硬变脆，这种变化情况与轮胎在机床试验后或实际行驶里程后测定的结果，基本上也是相同的。

硫化体系对交联键的类型比例、硫键平均硫原子数、对主链的变异性等均有密切的关系。试验表明，采用DTDM半有效硫化体系，对主链变异性较小，多硫键中平均硫原子数较少，因此能改善老化性能同时也不会导致疲劳性能的下降。表1-13-20以顺丁橡胶为例，几种典型的硫化体系对硫化胶结构与胶料稳定性的影响。

表 1-13-20　顺丁橡胶不同硫化体系的交联结构与性能比较

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 硫化体系 | S | 1.5 | 0.3 | — | — | 0.9 |
| | CZ | 0.7 | 3.0 | — | — | 0.7 |
| | TMTD | — | — | 3 | — | — |
| | DCP | — | — | — | 4 | — |
| | DTDM | — | — | — | — | 1.0 |
| 硫化胶结构(143℃×30min) | 总交联密度$C_t$, $\times10^4$mol/g | 3.10 | 3.60 | 5.00 | 5.80 | — |
| | $C_{p+d}/C_t$, % | 66.5 | 52.8 | 0 | 0 | — |
| | $C_M/C_t$, % | 5.5 | 25.8 | 82.0 | 0 | — |
| | $C_C/C_t$, % | 28.0 | 21.4 | 18.0 | 100 | — |
| 300%定伸应力, MPa | | 7.9 | 8.2 | 13.6 | ～18 | 10.1 |
| DTA差热分析结果 | 硫化放热峰面积, mm² | 300 | 125 | 85 | 1160 | 210 |
| | 氧化放热峰温度, ℃ | 206 | 228 | 250 | 195 | 210 |
| 吸氧诱导期(135℃), h | | 0 | 2.5 | 6.0 | 0 | — |
| 应力松弛半衰期 (110℃,伸长30%) | | 45min | 10h20min | >29 h | 3h25min | — |
| 增硬10度的时间(110℃), h | | 43 | 115 | 175 | 80 | — |
| 割口增长(3KC), mm | | 12.8 | 15.6 | 22.6 | 破裂 | 17.8 |
| 弹性, % | | 45 | 44 | 52 | 61 | 60 |

注；$C_{p+d}$——双硫键和多硫键，$C_M$——单硫键，$C_C$——碳—碳键。

降低硫黄用量，相应增加促进剂用量，即所谓“低硫高促”硫化体系，可以获得所需要的交联密度和定伸应力，而改善了老化性能。根据综合性能和经济性要求，在常用的BR50/NR50胎面胶配方中，硫黄用量以1.0～1.2份为宜，顺丁橡胶比例减少，硫黄用量可相应增加。历年胎面胎配方中硫黄用量发展趋势如表1-13-21所示。

由于缓冲层胶处于轮胎作用中温度最高、剪切应力应变最大的条件下使用，所以提高缓冲层胶料在较高温度下的耐老化性能，包括胶和帘线的粘合力的保持率，对延长斜交轮胎的使用寿命有着密切的关系。表1-13-22和表1-13-23列举了几种典型的缓冲胶料配方及其在不同温度下的性能变化。A为常用配方，B为低生热配方，C为加入粘合体系配方，D为加入特殊硫化体系的耐热配方。在老化温度70℃下，各配方胶料的B值均为负值，即附着力仍有上升的趋势（如在70℃下使用），但实际使用温度超出此范围的；在100℃下，各种胶料显出

表 1-13-21 国产9.00—20轮胎胎面胶硫黄用量的变化

| 年份 | 评比厂数 | 用50%BR的厂数 | 硫黄用量范围（厂数） | | | | | 促进剂品种（厂数） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1.65～1.75 | 1.5～1.6 | 1.3～1.4 | 1.0～1.2 | <1.0 | CZ (0.5～0.9) | NOBS (0.6～1.2) | CZ+DM (0.8～0.9) |
| 1967 | 10 | 8 | 8 | | | | | 4 | | 4 |
| 1968 | 9 | 7 | 5 | 2 | | | | 3 | 3 | 1 |
| 1969 | 8 | 6 | 4 | 1 | | 1 | | 2 | 3 | 1 |
| 1970 | 12 | 3 | 1 | 2 | | | | 2 | | 1 |
| 1971 | 17 | 7 | | 2 | 1 | 4 | | 2 | 5 | |
| 1972 | 27 | 10 | | 2 | 1 | 6 | 1 | 6 | 4 | |
| 1973 | 26 | 6 | | | | 6 | | 3 | 3 | |
| 1974 | 22 | 8 | | | 2 | 6 | | 7 | 1 | |
| 1975 | 24 | 10 | | | 1 | 9 | | 3 | 7 | |
| 1976 | 23 | 12 | | 1 | 1 | 10 | | 8 | 3 | (CZ+DZ) 1 |
| 1977 | 23 | 11 | | | 1 | 10 | | 7 | 4 | |
| 1978 | 26 | 15 | | | 1 | 14 | | 6 | 9 | |
| 1979 | 15 | 12 | | | | 12 | | 2 | 10 | |
| 1980 | 17 | 16 | | | | 16 | | 5 | 10 | (CZ+NOBS) 1 |
| 1981 | 17 | 14 | | | | 14 | | 7 | 5 | (DM+NOBS) 1 (CZ+NOBS) 1 |
| 1982 | 23 | 21 | | | 1 | 20 | | 8 | 11 | 1 1 |
| 1983 | 23 | 20 | | | 1 | 19 | | 8 | 11 | 1 |
| 1984 | 23 | 20 | | | 2 | 18 | | 5 | 13 | 1 1 |

表 1-13-22 几种典型的缓冲胶配方 单位：重量份

| 配方编号 | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶（1号烟片） | 100 | 85 | 85 | 85 |
| 顺丁橡胶（北京） | — | 15 | 15 | 15 |
| 硬脂酸 | 2.5 | 2.5 | 1 | 2 |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 防老剂A | 1 | 1 | 1 | (防老剂D)1 |
| 防老剂BLE | 1.5 | 1.5 | — | — |
| 防老剂4010Na | — | — | 1.5 | 1.5 |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 12 | — | — | — |
| 低结构高耐磨炉黑(HAF-LS) | — | — | 25 | 25 |
| 通用炉黑(GPF) | 20 | 40 | 10 | 13 |
| 易混槽黑(EPC) | 10 | — | — | — |
| 松焦油 | 4 | — | — | 3.5 |
| 10号机油 | — | 4.5 | 4 | — |
| 促进剂DM | 0.8 | 0.4 | 0.4 | 0.5 |
| 促进剂M | 0.5 | — | — | |
| 促进剂NOBS | — | 1.0 | 1.0 | (对醌二肟) 1.5 |
| 促进剂TMTD | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.1 |
| 硫黄 | 2.5 | 2.2 | 2.0 | 1.0 |
| 胶粘剂A | — | — | 2 | — |
| RE树脂 | — | — | 3 | 4 |
| RH络合物 | — | — | 1 | 1 |
| 合计 | 159.83 | 158.13 | 156.93 | 161.1 |

表 1-13-23 缓冲胶料在不同温度下的性能变化

| | 温度，℃ | 70 | | 100 | | 120 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 附着力变化 | 配 方 | $B$ | $\ln Y_0$ | $B$ | $\ln Y_0$ | $B$ | $\ln Y_0$ |
| | A | $-0.17\times10^{-2}$ | 2.76 | $0.17\times10^{-2}$ | 2.81 | $0.96\times10^{-2}$ | 2.68 |
| | B | $-0.20\times10^{-2}$ | 2.67 | $0.50\times10^{-2}$ | 2.72 | $0.79\times10^{-2}$ | 2.62 |
| | C | $-0.15\times10^{-2}$ | 2.71 | $0.47\times10^{-2}$ | 2.79 | $1.17\times10^{-2}$ | 2.84 |
| | D | $-0.17\times10^{-2}$ | 2.76 | $0.30\times10^{-2}$ | 2.77 | $0.22\times10^{-2}$ | 2.73 |
| | 温度，℃ | 100 | | 110 | | 120 | |
| 应力松弛(伸长30%) | 配 方 | $\tau_{\frac{1}{2}}$ | | $\tau_{\frac{1}{2}}$ | | $\tau_{\frac{1}{2}}$ | |
| | A | 35h40min | | 13h30min | | 5h20min | |
| | B | 58 h | | 19h30min | | 7h30min | |
| | C | 96 h | | 42h30min | | 17h20min | |

注1. 老化后附着力Y，可通过$\ln Y=\ln Y_0-B\cdot t$计算而得。其中$Y_0$为老化前的附着力；$B$为老化过程性能变化速率；$t$为老化时间(h)。

2. $\tau_{1/2}$为应力松弛半衰期，即应力下降到原始应力的一半所需的时间。

差别；而在120℃下，除耐热性能较好的D配方外，其余配方的B值明显增加，即附着力急剧下降，所以使用温度达到120℃时，轮胎很容易产生脱层损坏。不同温度下的应力松弛半衰期，同样以D配方为最长，由此说明D配方耐热老化性能系较佳的。

提高缓冲胶料的耐老化性能还可以采用硫黄给予体DTDM的半有效硫化体系，或适当加大防老剂用量。

此外，除了考虑降低胶料的生热性、提高耐热性，还可以增加胶料的导热性。

## 二、汽车轮胎的整体配方设计

前面已叙述了轮胎各部位胶料的作用和性能要求，胶料配方与轮胎性能的关系。轮胎是一个复合材料体，不单要考虑各个部件胶料本身性能要求，而且要考虑各个部件胶料的相互影响和相互作用，包括物理的和化学的相互作用。物理的作用主要是应力-应变的均匀过渡；化学的作用主要是各部件胶料的界面性质、共硫化、各种助剂的迁移性等等，从而使整体配方设计显得复杂性和重要性。整体配合不仅考虑新胎胶料设计时的合理平衡，还应考虑到轮胎在使用过程中胶料性能发生的变化，如定伸应力或硬度的匹配，各部位胶料在轮胎制造时有一种匹配，而这种匹配轮胎使用一定时间后会产生变化，也就是说，整体配方设计时就要把这种变化因素包括在考虑之列，否则，也会导致不良的结果。

在叙述整体配方设计之前，先将配方的制定方法概括列于图1-13-8，汽车轮胎各部件的主要性能和相应采用的主要原材料列于表1-13-24。

### (一)各部件胶料的应力-应变匹配

一般情况多系以定伸应力和硬度来考虑轮胎的胶料应力—应变匹配，有条件时，还应考虑胶料的杨氏模量及不同温度下的动态模量。

轮胎的形变特征主要取决于结构设计及骨架材料，在正常情况下，胶料的作用不是很明显的。但是，轮胎产生形变时，各部位之间产生相应的剪切应力、压缩应力、拉伸应力，如果各部件胶料的应力-应变性能匹配恰当，则可相对减少各部位之间的剪切应力，并适应于

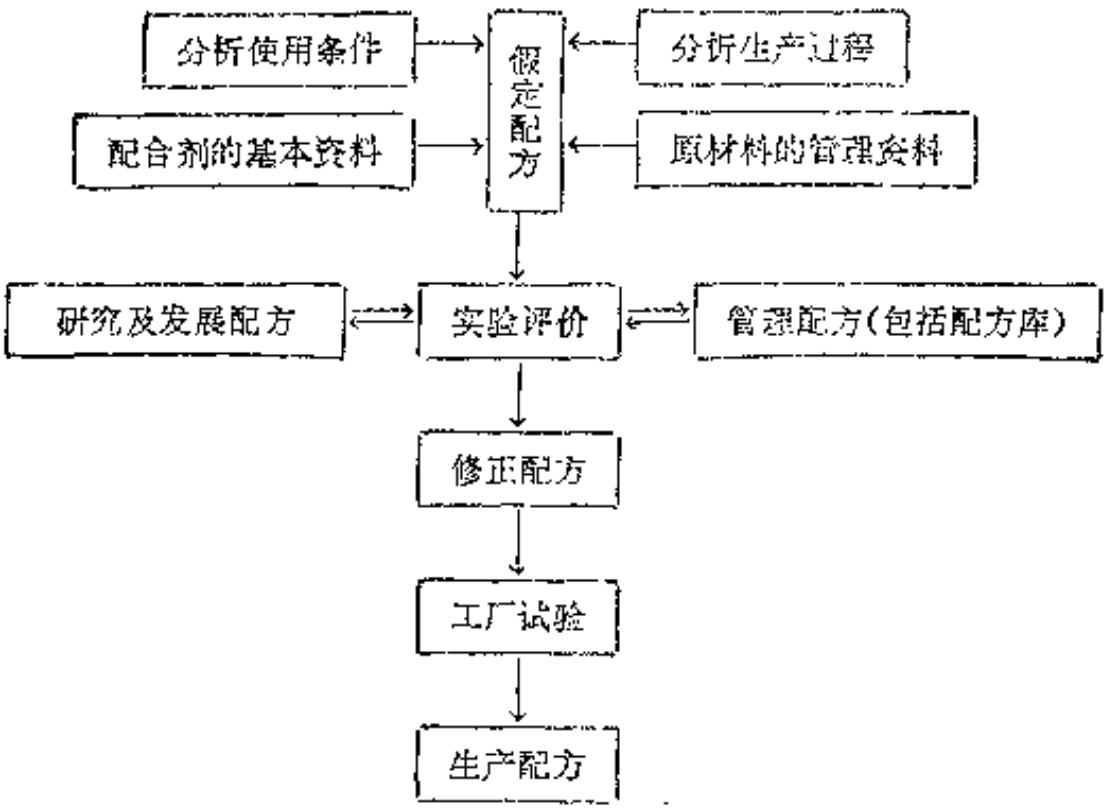



图 1-13-8 配方的制定方法

**表 1-13-24 汽车轮胎各部件的主要性能及主要原材料**

| 部件 | | 胎冠胶 | 胎肩（基部）胶 | 胎侧胶 | 缓冲层胶 | 胎身胶 | 气密层胶 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 性能要求 | 最大 | 牵引力<br>防湿滑（冰雪） | 热和氧稳定性<br>导热性 | 对外层粘合 | 对帘线粘合<br>热稳定性 | 对帘线粘合<br>热稳定性 | 热氧稳定性<br>对内层粘合 |
| | 最小 | 磨耗<br>滚动阻力<br>花纹沟龟裂<br>割口增长 | 滞后损失<br>（生热性或能量损失） | 天候龟裂<br>曲挠龟裂 | 生热 | 滞后损失 | 气透性 |
| 生胶 | | NR<br>BR<br>SBR | NR<br>BR<br>IR | NR<br>BR<br>SBR | NR<br>BR<br>IR | NR<br>BR<br>SBR | CIIR或BIIR<br>NR<br>SBR |
| 补强剂 | | N234,N299<br>N339,N375<br>N347,N330<br>白炭黑 | N330<br>N550<br>N660 | N330<br>N550<br>N660 | N330<br>N660<br>白炭黑 | N660<br>白炭黑 | N660<br>N550 |
| 硫化体系 | | 常用硫化体系或<br>半有效硫化体系 | 半有效硫化体系<br>(DTDM) | 不定 | 常用硫化体系 | 常用硫化体系 | 不定 |
| 试验室试验项目 | | 摆锤式抗滑性动态性能<br>（弹性模量、损耗模量、损耗系量）疲劳破损<br>弹性 | 动态性能<br>（弹性模量、损耗模量）<br>弹性<br>压缩生热 | 臭氧老化<br>（静态、动态）<br>疲劳破损<br>曲挠龟裂 | 动态性能<br>（弹性模量、损耗模量）<br>粘合<br>弹性<br>生热 | 动态性能<br>（损耗模量）<br>粘合<br>弹性<br>生热 | 气透性<br>疲劳破损 |

整体的形变。

由于轮胎行驶时所承受的外力，系由胎面部位传向轮胎内层，而硫化胶为弹性体，一部分外力被胶料的弹性变形所吸收和分散，使各部件胶料所受的力由外向内逐步减小。因此受力大的胎面胶，其定伸应力应为最高，同时胎面胶定伸应力较高时，还能提高胎面的抗刺扎性能，以及能降低轮胎滚动阻力，但定伸应力过高，会导致胎面胶疲劳性能的下降，尤其并

用顺丁橡胶的胎面胶定伸应力不宜过高。受力较小的内层胶定伸应力应为最低，介于两者之间的缓冲层、外层胶依次过渡。这种整体配方设计定伸应力大小，就是所谓“阶梯形”分布。一般全天然橡胶（或丁苯橡胶）的胎面胶，采用这种“阶梯形”分布的定伸应力匹配。

另一种分布，就是所谓“山峰形”分布。这就是缓冲层胶定伸应力为最高，胎面胶次之，外层胶又次之，内层胶为最低。缓冲层胶定伸应力较高时，能相对减少轮胎的周向变形，对提高轮胎耐磨性起一定作用，但缓冲层定伸应力过高，会增加它与胎面胶之间的剪切应力，容易导致该部位的脱空，因此在设有胎面下层胶时，其定伸应力应接近于或略高于缓冲层胶为宜。胎面胶掺用30%以上的顺丁橡胶时，多系采用“山峰形”分布的整体设计。实际上，经过一段时期使用后，顺丁橡胶胎面胶由于交联密度的迅速增大，定伸应力也相应迅速增高，此时，也由“山峰形”变为“阶梯形”了，所以，掺用顺丁橡胶胎面胶，新胎整体配方设计时，多系“山峰形”。

在一般情况下，胶料的硬度系随定伸应力的增高而增高的，所以硬度的匹配与定伸应力的匹配系相对应的。常用的各部件胶料定伸应力和硬度范围如表1-13-25所示。

表 1-13-25　整体配方的定伸应力和硬度匹配范围

| 部　　位 | 胎　面　胶 | | |
|---|---|---|---|
| 胶　　种 | NR100 | NR70/SBR30 | NR50/BR50 |
| 300%定伸应力，MPa | 10～13 | 10～12 | 8～9 |
| 硬　　度（邵尔A） | 62～68 | 61～67 | 57～63 |
| 部　　位 | 胎　面　下　层　胶 | | |
| 300%定伸应力，MPa | 9～12 | | |
| 硬　　度（邵尔A） | 58～63 | | |
| 部　　位 | 缓　冲　层　胶 | | |
| 骨　架　材　料 | 尼　龙 | 人造丝 | 棉帘线 |
| 300%定伸应力，MPa | 9～11 | 9～11 | 7～9 |
| 硬　　度（邵尔A） | 58～63 | 58～63 | 56～61 |
| 部　　位 | 外　层　胶 | | |
| 骨　架　材　料 | 尼　龙 | 人造丝 | 棉帘线 |
| 300%定伸应力，MPa | 7～9 | 7～9 | 6～8 |
| 硬　　度（邵尔A） | 56～61 | 56～61 | 55～60 |
| 部　　位 | 内　层　胶 | | |
| 骨　架　材　料 | 尼　龙 | 人造丝 | 棉帘线 |
| 300%定伸应力，MPa | 6～8 | 6～8 | 5～7 |
| 硬　　度（邵尔A） | 55～60 | 55～60 | 54～58 |

### （二） 各部件胶料的硫化速度匹配

外胎系多层复合的厚壁制品，各部位厚度不一，硫化时内外加热条件不同，斜交轮胎所用材料又多系热的不良导体，因而轮胎各部位的胶料在硫化时的受热状态不一。这就要求配方设计时要根据产品的规格、品种、硫化设备、热介质以及热传递方式等因素，合理设计各部件胶料的硫化速度，正确选定胶料的半成品硫化速度和成品硫化条件，使各部位硫化速度协调同步。首先，胶料在硫化过程的开始阶段，硫化起点要大致同步，避免形成各部件之间存在明显的界面，各层之间的界面要达到共硫化，形成均一的空间结构。同时，胎里层胶料还要尽快定型，减少里层胶料向各层扩散；在硫化过程完成时，各部位胶料都要达到正硫化，不能产生欠硫，而所有胶料都在硫化平坦范围之内，这就是整体配方设计中要求的同步硫化匹配。如果设计合理，不仅能提高轮胎质量，而且能提高生产效率，缩短硫化周期，节省能源。

随着工艺装备的改造和更新，将全部采用定型硫化机硫化汽车轮胎。对于尼龙轮胎以及用具有热收缩特性的化学纤维作骨架材料的轮胎，除了考虑合理的硫化匹配以外，还要选择合适的后光气条件，而这种后硫化的热效应也包括在整个硫化过程的硫化匹配之中。

1．等效硫化时间的测定方法和举例

为了获得合理的硫化速度匹配和正确制定成品硫化条件，计算机的应用，大大促进了这一技术的发展。

（1）先测定轮胎硫化时各部位温度，再计算出相应的等效硫化时间。这是一传统的方法，但有了很大的发展。

测温步骤：首先在轮胎成型过程，根据所需测温的部位分别埋入镍铬和考铜（$\phi \approx 0.5$ mm）线组成的热电偶；在硫化过程通过手动电位差计或多点式（12点）自动平衡记录仪（XWC—300型）分别读出或自动记录出硫化全过程的时间-温度曲线。然后计算出各部件各部位的胶料等效硫化时间。

等效硫化时间的计算，有如下几种方法：

a．采用硫化温度系数（$K$）为恒定值，一般取$K=2$。

b．实际上不同的胶料（尤其掺用合成橡胶后）在不同的温度下，$K$值不是恒等的，所以用$K$值可变的方法计算等效硫化时间更为准确。

c．根据阿累尼乌斯公式，先求出各胶料的硫化活化能（$\Delta E$），$\Delta E$可通过硫化仪试验而获得，一般作三个以上的硫化温度，用相应的$T_{90}$或$T_{10}$即可求得。再根据实际测定的时间（一般每间隔5分钟）相对应的温度，以及活化能，便可计算出等效硫化时间，这些计算均可通过计算机完成。

（2）采用单板机，在硫化测温过程，按事先编好的程序，直接就可打印出等效硫化时间。此法埋线步骤与（1）法相同。

（3）采用程序控制温度硫化仪。硫化测温的方法与（1）法相同，但将所测的时间-温度曲线输入硫化仪的碳墨纸上，再用相应的胶料按相应的时间-温度曲线进行程温硫化仪试验，则可模拟出各胶料在不同部位轮胎硫化过程中的硫化程度。它的优点系直观地看到了各胶料在成品硫化中的硫化匹配情况，并据此来调整胶料的硫化速度，如胎肩胶料在轮胎硫化中系最弱，调整后使之加快到某一硫化周期时则与其他胶料同步，这既保证了硫化薄弱的部位不致欠硫，又可缩短硫化周期。

（4）利用热传导技术和计算机，直接计算予[illegible]各部位胶料的等效硫化时间。这方法省

去了轮胎实际测温的过程。只要给定一个硫化条件，并测定选用胶料的导温系数（试验室有专用仪器），根据轮胎断面上的不同位置以及编好的程序，通过计算机即可计算出轮胎各胶料在该硫化条件下的等效硫化时间。这方法有利于优选更合理的硫化条件而又不需浪费了测温轮胎，省时省力，并提高了准确性。

目前，等效硫化不仅应用控制定硫化条件，而且已应用于生产中的硫化控制。由于硫化过程中温度的波动或其它原因的变化，硫化效应可以获得合理的自动补偿。

用55in双模定型硫化机硫化9.00-20-12PR尼龙轮胎，测定等效硫化时间的例子如下。

硫化条件（单位：min）

| 内压 | | 外压 | |
|---|---|---|---|
| 一次水 | 2 | 闭汽 | 6 |
| 循环（内压，2.45MPa内温165℃） | 54 | 正硫化(145℃) | 51 |
| 内冷 | 2 | 外排 | 3 |
| 内排 | 1 | | |
| 合计 | 59 | 合计 | 69 |

表 1-13-26　9.00-20-12PR外胎硫化各部位温度测定结果

单位：℃

| 热电偶号 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 测定部位 | | 胶囊与油皮胶之间 | 内层帘布之间 | 两胎圈之间 | 内层与层之间 | 外层与缓冲层之间 | 缓冲层与胎肩之间 | 胎肩与胎冠之间 | 胎冠与模具之间 | 胎侧与模具之间 |
| 硫化阶段 min | 5 | 103 | 70 | 47 | 63 | 55 | 64 | 54 | 115 | 115 |
| | 10 | 122 | 86 | 84 | 70.5 | 68.5 | 78 | 63 | 130.5 | 130.5 |
| | 15 | 127.5 | 97.5 | 102.5 | 84 | 76 | 97 | 92 | 136.5 | 136.5 |
| | 20 | 131.5 | 109 | 118 | 98.5 | 90 | 101.5 | 105.5 | 137.5 | 137.5 |
| | 25 | 134.5 | 121 | 127.5 | 110.5 | 105 | 122.5 | 117.5 | 138.5 | 138.5 |
| | 30 | 138.5 | 129.5 | 136.5 | 122.5 | 117 | 130.5 | 125 | 138.5 | 140 |
| | 35 | 140.0 | 135.5 | 144.5 | 126.5 | 125 | 138.5 | 131.5 | 140.5 | 140 |
| | 40 | 142.5 | 142.5 | 147 | 134.5 | 131.5 | 142.5 | 136 | 140.5 | 140.5 |
| | 45 | 143.5 | 143.5 | 149 | 140.5 | 136.5 | 144.5 | 138.5 | 140.5 | 140.5 |
| | 50 | 144.5 | 149 | 150 | 144.5 | 141.5 | 146 | 141.5 | 141.5 | 141.5 |
| | 55 | 146 | 150 | 153 | 151 | 144.5 | 149 | 144.5 | 141.5 | 140.5 |
| | 59 | 150 | 151 | 153 | 153 | 144.5 | 149 | 143.5 | 126.5 | 132.5 |
| 后充气阶段 min | 65 | 135.5 | 141.5 | 143.5 | 143.5 | 145 | 145 | 140 | 110.5 | 110.5 |
| | 70 | 126.5 | 133.5 | 124.5 | 137.5 | 138.5 | 137.5 | 129 | 106.5 | 93.5 |
| | 75 | 119 | 126.5 | 110.5 | 129.5 | 131.5 | 131 | 120 | 104.5 | 86 |
| | 80 | 114 | 117 | 98.5 | 123 | 126 | 122 | 112.5 | 96 | 78 |
| | 85 | 110.5 | 113 | 89 | 116 | 117 | 115.5 | 106 | 91 | 71 |
| | 90 | 100.5 | 105 | 83 | 109 | 112 | 106.5 | 99.5 | 89 | — |
| | 95 | 97 | 100 | 77.5 | 103 | 104.5 | 99.5 | 94.5 | 84 | — |
| | 100 | 92 | 95.5 | 73.5 | 97 | 100 | 95.5 | 89 | 83 | — |
| | 105 | 88 | 90 | 70 | 93 | 93 | 87.5 | 86 | 77.5 | — |
| | 110 | 82 | 85 | 66 | 87.5 | 89 | 84 | 81 | 72.5 | — |

轮胎硫化各部位温度测定结果如表1-13-26所示。等效硫化时间的计算系采用 阿累尼乌斯公式，测定各胶料的三个硫化温度下的$T_{sc}$，然后通过编好的程序由Victor 9000微机计算出活化能及等效硫化时间，如表1-13-27所示。

表 1-13-27 外胎各部位[illegible]

单位：min

| 胶料名称 | 部位（热电偶号） | 标准硫化计 | | | 按个硫化过程计 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 138℃ | 143℃ | 148℃ | 138℃ | 143℃ | 148℃ |
| 胎冠胶 | 胎冠中心～模具（10号） | | 38.2 | 26.8 | 1 | 40 | 28 |
| | 胎冠（肩部）～胎肩胶（8号） | | 23.6 | 16.7 | | 34 | 23.8 |
| 胎侧胶 | 胎侧～模具（11号） | | 40.4 | 29.4 | | 42.4 | 31 |
| 胎肩胶 | 胎肩胶～胎冠（肩部）（8号） | 34 | 25 | | 50.7 | 379 | |
| | 胎肩胶～缓冲层（肩部）（6号） | 47 | 35 | | 72 | 53 | |
| 缓冲胶 | 缓冲（肩部）～胎肩胶（6号） | 47.3 | 35.1 | | 72 | 53.7 | |
| | 缓冲（肩部）～外层(5号) | 29.5 | 21.9 | | 55 | 40 | |
| 外层胶 | 外层～缓冲（肩部）（5号） | 29 | 21 | | 54.8 | 40 | |
| | 外层～内层（肩部）（4号） | 40 | 29 | | 65.6 | 48 | |
| 内层胶 | 两胎圈之间（3号） | 59.4 | 45 | | 76 | 58 | |
| | 内层胶之间（2号） | 47.5 | 36 | | 69 | 52 | |

2．外胎的硫化匹配范围

根据以上9.00-20-12PR尼龙轮胎的实际测定结果，如在上述硫化条件下，外胎各部件胶料的半成品硫化速度以表1-13-28中所列数列为宜（不同规格轮胎要根据具体条件而定）。

**表 1-13-28 9.00-20-12PR外胎各部件胶料半成品硫化匹配**

| 胶料名称 | 硫化温度 ℃ | 正硫化时间 min | 要求平坦范围 min | 胶料名称 | 硫化温度 ℃ | 正硫化时间 min | 要求平坦范围 min |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 胎冠胶 | 143 | 25 | 60 | 缓冲胶 | 138 | 30 | 70 |
| | 148 | 15 | 50 | | 143 | 20 | 60 |
| 胎侧胶 | 143 | 40 | 60 | 外层胶 | 138 | 30 | 70 |
| | 148 | 30 | 50 | | 143 | 20 | 60 |
| 胎肩胶 | 138 | 30 | 70 | 内层胶 | 138 | 45 | 80 |
| | 143 | 25 | 50 | | 143 | 35 | 70 |

## 三、汽车轮胎配方列举

汽车轮胎配方设计虽如前所述有着许多共同点，但也因规格、品种不同而有差异，同时往往受原材料市场、工艺条件等具体情况而有所变化，下面按国内外两部分列举一些具体配方例子。

### （一）国外汽车轮胎配方列举

表1-13-29～表1-13-34所列为国外汽车轮胎配方。

表 1-13-29 国外9.00-20载重轮胎剖析结果

| 年份 | 部件 | 胎冠胶 | 胎 | 胎侧胶 | 胎 | 外层胶 | 内层胶 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1978 | 天然橡胶 | | | | | 42 | 51 |
| | 丁苯橡胶 | | | | | 16 | 10 |
| | 顺丁橡胶 | | | — | | 12 | 39 |
| | 炭黑类型 | — | | GPF | HAF | | |
| | 炭黑含量，% | 29.01 | | 30.35 | | 22.02 | |
| | 丙酮抽提物，% | 7.6 | | — | | | |
| | 促进剂类型 | 次磺酰胺 | 次磺酰胺 | 次磺酰胺 | | | |
| | 全硫含量，% | 1.82 | 1.69 | 1.70 | | 1.37 | |
| | 防老剂类型 | 4010 Na | | 4010 Na | | | |
| 1978 | 天然橡胶 | 6.5 | 51 | 5 | 75 | 70 | 72 |
| | 丁苯橡胶 | 44.5 | — | 95 | — | — | 10 |
| | 顺丁橡胶 | 50 | 49 | — | 25 | 30 | 18 |
| 1980 | 天然橡胶 | 80 | 60 | — | | 100 | 60 |
| | 丁苯橡胶 | 20 | 20 | 100 | | — | 20 |
| | 顺丁橡胶 | | 20 | — | | — | 20 |
| | 炭黑类型 | SAF | | GPF | | GPF | FEF |
| | 炭黑含量，% | 29 | | 31 | | 25.31 | 22.24 |
| | 丙酮抽提物，% | 7.05 | | | | | |
| | 全硫含量，% | 1.34 | | 1.52 | | 2.05 | 2.16 |
| | 防老剂类型 | 4020,AW,D | | 4010 Na | | | |
| 1983 | 天然橡胶 | 80 | 为主 | — | | 为主 | 85 |
| | 丁苯橡胶 | 20 | — | 75 | | — | 15 |
| | 顺丁橡胶 | — | 少量 | 25 | | 少量 | — |
| | 炭黑类型 | SAF | FEF | FEF | | | |
| | 炭黑含量，% | 28.9 | 27.88 | 29.34 | | | |
| | 全硫含量，% | 1.33 | 1.64 | 1.61 | | 1.29 | 1.10 |
| | 防老剂类型 | 4020, H | | 4020, H | | 4020, H | 4020, MB, H |

表 1-13-30 国外汽车轮胎配方列举之一 单位：重量份

| 轮胎类别 | 载重汽车轮胎 | | | | | | | | 轿车轮胎 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 轮胎部件 | 大型载重胎胎面胶 | | 中型载重胎胎面胶 | | 胎侧胶 | 缓冲胶 | 胎体胶 | | 胎面胶 | | 缓冲胶 | 胎体胶 |
| | 单层 | 双层 | 单层 | 双层 | | | 大型 | 中型 | 单层 | 双层 | | |
| 天然（异戊）橡胶 | 50 | 20 | — | — | — | 100 | 70 | 50 | 20 | 10 | 70 | 100 |
| 顺丁橡胶 | 30 | 45 | 30 | 45 | 30 | — | — | — | 40 | 40 | 30 | — |
| 丁苯橡胶 | 20 | 35 | 70 | 55 | 70 | — | 30 | 50 | 40 | 50 | — | — |
| 再生胶 | — | — | — | — | — | — | 10 | 25 | — | — | — | — |
| 松香 | — | — | — | — | — | 1.5 | 1 | 1 | — | — | 2 | 1.5 |
| 改性剂 | — | — | — | — | — | 2 | 2 | 2 | — | — | 2 | 2 |
| 硬脂酸 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3.5 | 3.5 | 5 | 5 |

续表

| 轮胎类别 | 载重汽车轮胎 | | | | | | | | 轿车轮胎 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 轮胎部件 | 大型载重胎胎面胶 | | 中型载重胎胎面胶 | | 胎侧胶 | 缓冲胶 | 胎体胶 | | 胎面胶 | | 缓冲胶 | 胎体胶 |
| | 单层 | 双层 | 单层 | 双层 | | | 大型 | 中型 | 单层 | 双层 | | |
| 微晶蜡 | 2 | — | 2 | — | 2 | — | — | — | 2 | — | — | — |
| 防老剂 | 3 | 2.5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 操作油 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 3 | 6 | 3 | 15 | 12 | 3 | 3 |
| 古马龙 | — | — | — | — | — | 2 | 3 | 3 | — | — | 3 | 2 |
| 硬质炭黑 | 55 | 60 | 60 | 65 | 55 | 15 | — | — | 65 | 68 | 25 | 15 |
| 软质炭黑 | — | — | — | — | — | 30 | 40 | 40 | — | — | 30 | 30 |
| 白炭黑 | — | — | — | — | — | 5 | 5 | 5 | — | — | 6 | 6 |
| 防焦剂 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| 促进剂 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.1 | 1 | 0.8 | 0.9 | 1.1 | 1.1 | 1 | 1 |
| 硫 黄 | 1.6 | 1.6 | 1.8 | 1.8 | 1.2 | 2.3 | 1.7 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 2.3 | 2.3 |
| 合 计 | 181.6 | 184.0 | 184.8 | 187.8 | 181.9 | 171.3 | 178.8 | 191.0 | 194.0 | 192.0 | 181.8 | 171.3 |
| 含胶率，% | 55.07 | 54.35 | 54.11 | 53.25 | 54.98 | 58.38 | 55.93 | 52.36 | 51.55 | 52.08 | 55.01 | 58.38 |

表 1-13-31 国外汽车轮胎配方列举之二 单位：重量份

| 轮胎类别 | 载重汽车轮胎 | | | | 轿车轮胎 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 轮胎部件 | 胎面胶 | 胎面胶 | 外层胶 | 内层胶 | 胎面胶 | 胎侧胶 | 外层胶 | 内层胶 |
| 配方编号 | A—1 | A—2 | D—1 | D—2 | A—3 | B—1 | D—3 | D—4 |
| SMR | 50 | — | 80 | 80 | — | — | 70 | 60 |
| 轮胎专用胶(含10%油) | 50 | 40 | — | — | — | — | — | — |
| SBR 1712 | — | — | — | — | 82.5 | 82.5 | — | 27.5 |
| BR 1252 | — | 82.5 | — | — | 55 | 50 | — | — |
| BR 1220 | — | — | 20 | 20 | — | — | 30 | 20 |
| 硬脂酸 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 氧化锌 | 3 | 3 | 5 | 5 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 防老剂 4020 | 2 | 2 | — | — | 1 | 2 | — | — |
| 防老剂 BLE | 1 | 1 | 1 | 1 | — | — | 1 | 1 |
| 防老剂 124 | — | — | — | — | 2 | 2 | — | — |
| 高芳烃油 | 10 | 8 | — | — | — | — | — | — |
| 环烷烃油 | — | — | 3 | 3 | — | — | 8 | 4 |
| 混合油 Reogen | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | (Arofene 1055 B) | (Arofene 1055 B) |
| Sunolite 240 | 2 | 2.5 | — | — | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 松 香 | — | — | 3 | 3 | — | — | — | — |
| N220 | 55 | 70 | — | — | — | — | — | — |
| N339 | — | — | (N 330)45 | — | 70 | — | — | (白炭黑)6 |
| N660 | — | — | — | 35 | — | 70 | 50 | 50 |

续表

| 轮胎类别 | 载重汽车轮胎 | | | | 轿车轮胎 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 轮胎部件 | 胎面胶 | 胎面胶 | 外层胶 | 内层胶 | 胎面胶 | 胎侧胶 | 外层胶 | 内层胶 |
| 配方编号 | A—1 | A—2 | D—1 | D—2 | A—3 | B—1 | D—3 | D—4 |
| 促进剂 NOBS | 0.7 | (MDB)1 | 0.65 | 0.65 | (CZ)1 | (CZ)1 | 0.8 | 0.8 |
| 促进剂 Cumpar P25 | — | — | 3 | 3 | — | — | — | (RE)1.25<br>(粘合A)1.4 |
| 促进剂 Melhyl Tuads | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 |
| 硫黄（或不溶性硫黄） | 1.8 | 1.5 | 2.25 | 2.25 | 1.5 | 1.5 | 2 | 2 |
| 合　计 | 179.5 | 215.5 | 165.9 | 165.9 | 222.0 | 217.0 | 168.8 | 182.1 |

表 1-13-32　配方列举之二物理性能

| 配方编号 | | A—1 | A—2 | D—1 | D—2 | A—3 | B—1 | D—3 | D—4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 硫化温度，℃ | | 150 | | 160 | | | | 170 | |
| Monsanto 流变仪 | $T_1$, min | 5.6 | 5.5 | 2.5 | 2.8 | 4.8 | 3.5 | 1.9 | 1.6 |
| | $T_{90}$, min | 19 | 25 | 9.2 | 9.8 | 14.2 | 10.0 | 5.2 | 5.4 |
| 硫化时间，min | | 22 | 22 | 10 | 10 | 13 | 13 | 6 | 6 |
| 300%定伸应力，MPa | | 5.1 | 4.6 | 3.8 | 5.8 | 4.5 | 4.7 | 6.0 | 6.1 |
| 硬度（邵尔A） | | 54 | 54 | — | — | 56 | — | — | — |
| 拉伸强度，MPa | | 19.4 | 19.8 | 16.4 | 18.9 | 17.4 | 12.8 | 15.4 | 11.1 |
| 扯断伸长率，% | | 700 | 760 | 650 | 610 | 690 | 700 | 570 | 480 |
| 弹性，% | | 61.5 | 55.5 | 70.7 | 77.6 | 60.5 | 65 | 71.8 | 66.2 |
| 动态性能 | | 22℃,12Hz,负荷0.44 MPa,伸长3.5% | | | | | | 82℃,12Hz,伸长1% | |
| 弹性模量，MPa | | 6.39 | 6.01 | 4.36 | 3.16 | 6.73 | — | 3.79 | 4.15 |
| 损耗模量，MPa | | 1.14 | 1.48 | 0.48 | 0.23 | 1.73 | — | 0.45 | 0.56 |
| tgδ | | 0.210 | 0.246 | 0.109 | 0.073 | 0.263 | — | 0.119 | 0.133 |
| 臭氧老化 | 静态 | 0 | 0 | — | — | 0 | 0 | — | — |
| | 动态 | 0.5～2.5 | 0.5～2.5 | — | — | 0.5～1.5 | 0.5～1.0 | — | — |
| 疲劳寿命，KC | 伸长219% | 301 | 81 | — | — | — | 274 | — | — |
| | 伸长236% | 63 | 45 | — | — | — | 138 | — | — |

表 1-13-33　国外汽车轮胎配方列举之三　　单位：重量份

| 轮胎类别 | 载重轮胎 | 轿车轮胎 | | |
|---|---|---|---|---|
| 轮胎部件 | 胎面胶 | 胎面胶 | 胎侧胶 | 胎体胶 |
| 配方编号 | A—4 | A—5 | B—2 | D—5 |
| SBR 1500 | 100 | — | 50 | — |
| SBR 1712 | — | 82.5 | 50 | 41.3 |
| BR | — | 40 | — | — |
| NR(RSSI) | — | — | — | 70 |

续表

| 轮胎类别 | 载重轮胎 | 轿车轮胎 | | |
|---|---|---|---|---|
| 轮胎部件 | 胎面胶 | 胎面胶 | 胎侧胶 | 胎体胶 |
| 配方编号 | A—4 | A—5 | B—2 | D—5 |
| 硬脂酸 | 1 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 氧化锌 | 6 | 3 | 3 | 5 |
| 微晶蜡 | — | 3 | 2 | — |
| 防老剂AW | 1 | 2 | (BLE)2 | — |
| 防老剂D | 0.5 | — | — | — |
| 防老剂二苯基对苯二胺混合物 | — | — | — | 1 |
| 防老剂4020 | — | — | 4 | — |
| 芳烃油 | 10 | 18 | 12 | — |
| 环烷烃油 | — | — | — | 8 |
| 亚磷酸苯酯 | — | 1.3 | — | — |
| Reogen | (增粘剂) 2 | — | 1 | — |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 60 | — | — | — |
| 高耐磨炉黑(HAF) | — | 70 | — | — |
| 通用炉黑(GPF) | — | — | 65 | 50 |
| 促进剂CZ | 1.5 | 1.1 | — | — |
| 促进剂NOBS | — | — | 1.1 | — |
| 促进剂DM | — | — | — | 0.85 |
| 促进剂D | — | 0.1 | — | 0.15 |
| 硫　黄 | 1.75 | 1.8 | 2.05 | 2.5 |
| 合　计 | 172.75 | 224.30 | 193.65 | 180.30 |

表 1-13-34　配方列举之三物理性能

| 配方编号 | A—4 | A—5 | B—2 | D—5 |
|---|---|---|---|---|
| 门尼粘度($ML_{1+4}$,100℃) | 62 | 42 | — | 43 |
| 硫化条件 | 145℃×40min | 145℃×25min | — | 157.2℃×10min |
| 300%定伸应力，MPa | 7.9 | 5.6 | 8.3 | — |
| 硬　度（邵尔A） | 60 | 57 | 58 | 56 |
| 拉伸强度，MPa | 26.6 | 16.9 | 13.7 | 19.2 |
| 扯断伸长率，% | 660 | 690 | 560 | 540 |
| 撕裂强度，kN/m | — | — | 39.2 | — |

## （二）国内汽车轮胎配方列举

由于原材料的发展以及配方技术的进步，国内汽车轮胎配方从50年代到80年代有了较大的变化，其主要特征及趋势如表1-13-35所示。以载重汽车轮胎为例，各部件胶料的一些典型配方分别列举如下。胎冠胶配方见表1-13-36；胎肩胶配方见表1-13-37；胎侧胶配方见表1-13-38；缓冲层胶配方见表1-13-39；外层胶配方见表1-13-40；内层胶配方见表1-13-41。

表 1-13-35 国内汽车轮胎配方在不同年代的主要特征及其发展

| 部件 | 主要原材料 | 50年代 | 60年代 | 70年代 | 80年代初中期 | 80年代中后期 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 胎面胶 | 生 胶 | 全用NR | NR100或并用SBR20—30 | NR/BR，以50%BR为主 | NR/BR | NR/BR或NR/BR/SBR |
| | 炭 黑 | EPC | EPC为主，并用少量HAF | HAF为主，并用EPC | ISAF，HS-ISAF | N339，N234，N299等 |
| | 软化剂 | 松焦油 | 松焦油 | 机械油，三线油 | 机械油，芳烃油 | 芳烃油 |
| | 促进剂 | M、DM单用或并用 | M＋DM或CZ＋DM | CZ＋DM或CZ、NOBS单用 | CZ，NOBS单用<br>部分采用防焦剂CTP | NOBS、CZ、NS单用<br>采用防焦剂 |
| | 硫用量 | 2.6～2.7 | 2.2～2.5 | 由1.65～1.75降到1.2 | 1.2～1.5 | 1.2～1.5 |
| | 防老剂 | A、D | A、D，少量4010 | D(或A)＋4010(或4010Na)＋H | 4010Na＋RD(或A，D) | 4010Na，4020，RD，微晶蜡 |
| 胎体 | 骨架材料 | 棉帘线 | 人造丝为主，部分棉帘线 | 尼龙6为主 | 尼龙6和尼龙66 | 尼龙66和尼龙6为主 |
| | 生 胶 | 全用天然橡胶 | NR100 | NR为主，并用SBR5～10份 | NR(80—70)/SBR＋BR<br>(20～30)部分用充油SBR | NR(80—60)/BR＋SBR<br>(20—40)部分用充油SBR或BR |
| | 炭 黑 | SRF为主，并用少量EPC<br>总用量22.5～35份 | SRF＋EPC<br>总用量25～40份 | SRF＋EPC＋HAF<br>总用量30～40份 | SRF(或GPF)＋HAF<br>总用量35～42份 | N550，N660为主 |
| | 软化剂 | 松焦油3～3.5份 | 松焦油3～3.5份 | 松焦油3～3.5份 | 松焦油，机油4～6份 | 芳烃油较多 |
| | 促进剂 | DM，M，TMTD | DM＋M＋TMTD<br>或 DM＋TMTD | DM＋M＋TMTD<br>或CZ＋DM＋TMTD | CZ(或NOBS)＋DM<br>＋TMTD | CZ，NOBS，DM，TMTD |
| | 硫用量 | 2.5～2.6 | 2.5～2.7 | 2.3～2.5 | 2.2—2.3<br>部分用不溶性硫黄 | 普通用不溶性硫黄 |
| | 防老剂 | A，D | A、D、少量4010 | A，D，4010，BLE | A，D，4010或4010Na，RD | 4010Na，RD，BLE为主 |
| | 增粘剂 | 松 香 | 松 香 | 松 香 | 大部分不用 | 各类增粘剂 |

表 1-13-36 载重汽车轮胎胎冠胶配方列举 单位：重量份

| 编号 | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 | 1-6 | 1-7 | 1-8 | 1-9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 70 | 70 | 70 | 50 | 50 | 50 | 40 | 30 | 30 |
| 顺丁橡胶 | 30 | 30 | 30 | 50 | 50 | 50 | 60 | 70 | 70 |
| 硬脂酸 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 氧化锌 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 石 蜡 | 1 | — | — | 1 | 1 | — | 1 | — | — |
| 抗臭氧混合蜡 | — | 1 | 1 | — | — | 1 | — | 1.5 | 1.5 |
| 防老剂4010NA | 1 | — | — | 1 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1 | 1.5 |
| 防老剂4020 | — | 1.5 | 1.5 | — | — | — | — | 2 | 1.5 |
| 防老剂RD | 0.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | (防D)1.2 | 1.5 | 1.5 | — | — |
| 防老剂BLE | 1.5 | — | — | — | (防H)0.3 | — | — | — | — |
| 三线油 | — | — | — | 4 | 5.5 | — | 8 | — | — |
| 机 油 | 5 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 芳烃油 | — | 6 | 7 | — | — | 7 | — | 7 | 6 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 30 | — | — | 53 | 33 | — | 32 | — | — |
| 高结构中超耐磨炉黑(HS-ISAF) | 20 | — | — | — | 20 | — | 21 | 50 | — |
| N339 | — | 50 | — | — | — | 52 | — | — | — |
| N234 | — | — | 60 | — | — | — | — | — | 45 |
| 白炭黑 | — | — | — | — | — | — | — | — | 7 |
| 促进剂CZ | — | — | — | 0.65 | 0.8 | — | — | — | — |
| 促进剂NOBS | 0.6 | 0.7 | 0.7 | — | — | 1 | 1 | 0.9 | 1 |
| 硫 黄 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.2 | 1.0 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| 防焦剂CTP | — | — | 0.03 | — | — | — | — | — | (Si-69) 1.5 |
| 合 计 | 168.1 | 168.2 | 169.23 | 171.35 | 171.3 | 171.2 | 173.2 | 169.6 | 172.2 |

表 1-13-37 载重汽车轮胎胎肩胶配方列举 单位：重量份

| 编号 | 2-1① | 2-2① | 2-3 | 2-4 | 2-5 | 2-6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 70 | 65 | 70 | 80 | 80 | 80 |
| 顺丁橡胶 | 30 | 35 | 30 | 20 | 20 | 20 |
| 硬脂酸 | 2 | 3 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 氧化锌 | 4 | 4 | 4 | 10 | 10 | 10 |
| 石 蜡 | 1 | 1 | — | — | — | — |
| 防老剂A | 1.5 | (防老剂D)1.5 | — | — | — | — |
| 防老剂RD | 1.2 | — | 1 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 防老剂4010NA | — | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 防老剂H | 0.3 | — | — | — | — | — |
| 三线油 | 3 | 5 | — | — | — | — |
| 机 油 | — | — | 5 | — | — | — |
| 芳烃油 | (沥青)3 | — | — | 6 | 5 | 6 |

续表

| 编　　号 | 2-1① | 2-2① | 2-3 | 2-4 | 2-5 | 2-6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 半补强炉黑 (SRF) | 15 | — | — | — | — | — |
| 通用炉黑 (GPF) | — | 15 | 10 | 10 | (N774)25 | — |
| 低结构高耐磨炉黑 (LS-HAF) | — | — | — | 30 | — | — |
| 高耐磨炉黑 (HAF) | 25 | 15 | 35 | — | 20 | — |
| 快压出炉黑 (FEF) | — | 15 | — | — | — | 40 |
| 混气槽黑 (MPC) | 10 | — | — | — | — | — |
| 促进剂 CZ | 0.4 | — | — | 1.2 | — | 1.2 |
| 促进剂 NOBS | 0.3 | 0.9 | 0.9 | — | 1.0 | — |
| 硫化剂 DTDM | — | — | 1.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 硫　黄 | 1.4 | 1.4 | 0.9 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| 合　　计 | 168.1 | 163.3 | 162.0 | 164.4 | 168.2 | 164.4 |

① 系与胎侧胶同一配方。

表 1-13-38　载重汽车轮胎胎侧胶配方列举　　单位：重量份

| 编　　号 | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 | 3-5 | 3-6 | 3-7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 70 | 50 | 50 | 30 | 30 | 50 | 50 |
| 顺丁橡胶 | 30 | 50 | 50 | 50 | — | 25 | 25 |
| 丁苯橡胶 | — | — | — | 20 | 70 | (EPDM) 25 | (CIIR) 25 |
| 硬脂酸 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 氧化锌 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 |
| 石　　蜡 | 1 | 1 | (混合蜡) 1.5 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 防老剂 4010NA | 1.5 | 0.7 | — | 2.5 | 2.5 | 2 | 2 |
| 防老剂 4020 | — | — | 3 | — | — | — | — |
| 防老剂 BLE | 1 | 1.3 | — | — | — | 1 | 1 |
| 防老剂 A | 0.6 | 0.5 | — | — | — | — | — |
| 防老剂 H | — | — | — | 0.3 | 0.3 | — | — |
| 矿质胶 | — | 3 | — | — | — | — | — |
| 机　　油 | 4.5 | (古马隆) 3 | — | 8 | 12 | 12 | 12 |
| 芳烃油 | — | (锭子油) 2 | 7 | — | — | — | — |
| 高耐磨炉黑 (HAF) | 40 | 55 | 35 | 20 | — | — | — |
| 通用炉黑 (GPF) | 10 | — | — | — | — | — | — |
| 快压出炉黑 (FEF) | — | — | 20 | 35 | 45 | 50 | 50 |
| 低结构高耐磨炉黑 (LS-HAF) | — | — | — | — | 10 | — | — |
| 促进剂 NOBS | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 1.2 | 0.6 |
| 硫化剂 DTDM | — | — | — | — | — | — | 0.5 |
| 硫　黄 | 1.5 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.5 | 0.9 | 0.9 |
| 合　　计 | 167.6 | 175.4 | 175.3 | 174.6 | 180.2 | 174.1 | 174.0 |

表 1-13-39 载重汽车轮胎缓冲层胶配方列举 单位：重量份

| 编号 | 4-1 | 4-2 | 4-3 | 4-4 | 4-5 | 4-6 | 4-7 | 4-8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 100 | 100 | 90 | 85 | 85 | 80 | 80 | 80 |
| 顺丁橡胶 | — | — | 10 | 15 | 15 | 20 | 20 | 20 |
| 硬脂酸 | 2 | 2 | 2.5 | 2.5 | 1 | 2.5 | 2 | 2 |
| 氧化锌 | 7.5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 防老剂 4010NA | 0.8 | 2 | — | — | 1.5 | 1 | 2 | 2 |
| 防老剂 A | — | — | 1 | 1.5 | 1 | — | — | — |
| 防老剂 RD | 1 | — | 1.5 | 1.5 | — | 1.5 | 3 | 2 |
| 防老剂 BLE | 1 | 1.5 | — | — | — | — | — | — |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 27 | — | 30 | — | — | 22 | — | 13 |
| 通用炉黑(GPF) | — | 40 | 15 | 40 | 10 | — | 20 | 27 |
| 低结构高耐磨炉黑(LS-HAF) | — | — | — | — | 25 | — | 20 | — |
| 半补强炉黑(SRF) | 15 | — | — | — | — | 22 | — | — |
| 松焦油 | 4 | — | 4 | — | — | — | — | — |
| 机 油 | — | 4.5 | — | — | — | — | — | — |
| 三线油 | — | — | — | 4.5 | — | 4 | — | — |
| 芳烃油 | — | — | — | — | 5 | — | 4.5 | 4 |
| 促进剂DM | 1.2 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | 0.5 | 0.6 | 0.6 |
| 促进剂CZ | — | — | 0.15 | — | — | — | — | 0.3 |
| 促进剂NOBS | — | 0.8 | — | 1 | 1.2 | 0.4 | 0.4 | — |
| 促进剂TMTD | 0.03 | — | — | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | — |
| 硫化剂DTDM | — | 1.0 | — | — | — | — | — | 1.0 |
| 硫黄（或不溶性S） | 2.5 | 1.5 | 2.5 | 2.1 | 2 | 2.3 | 2.2 | 1.5 |
| RE/RH/粘合剂A | (CTP)0.07 | — | — | — | 3/1/2 | — | — | — |
| 合 计 | 162.1 | 158.9 | 162.15 | 158.53 | 157.93 | 161.23 | 159.73 | 157.9 |

表 1-13-40 载重汽车轮胎外层胶配方列举 单位：重量份

| 编号 | 5-1 | 5-2 | 5-3 | 5-4 | 5-5 | 5-6 | 5-7 | 5-8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 90 | 90 | 85 | 80 | 80 | 80 | 70 | 60 |
| 顺丁橡胶 | — | — | 10 | 10 | 10 | 10 | 20 | 30 |
| 丁苯橡胶 | 10 | — | — | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 充油丁苯橡胶 | — | 13.8 | 6.875 | — | — | — | — | — |
| 松 香 | — | — | — | — | 1 | — | 1 | 1 |
| 硬脂酸 | 2 | 2 | 2 | 2.5 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 防老剂4010NA | — | — | 1 | — | — | — | 1.5 | 1 |
| 防老剂4020 | — | — | — | — | — | 1.5 | — | — |
| 防老剂A | 1 | — | — | 1 | 1 | — | — | — |
| 防老剂RD | 1.5 | 1 | 0.5 | 1.5 | 1.5 | 2 | 2 | — |
| 防老剂BLE | — | 1.5 | 1 | — | — | — | — | 2 |

续表

| 编　　号 | 5-1 | 5-2 | 5-3 | 5-4 | 5-5 | 5-6 | 5-7 | 5-8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 松焦油 | 6 | 4 | 3 | 4 | 4 | — | — | (古马隆)2 |
| 机　油 | — | — | — | — | — | — | — | 4 |
| 芳烃油 | — | — | — | — | — | 6 | 6 | — |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 7 | 15 | 15 | 17 | 15 | 15 | — | — |
| 通用炉黑(GPF) | 11 | — | — | 23 | — | 20 | 23 | 10 |
| 半补强炉黑(SRF) | 20 | 23 | 20 | — | 15 | — | — | — |
| 低结构高耐磨炉黑(LS-HAF) | — | — | — | — | — | — | 15 | 20 |
| 混气槽黑(MPC) | — | — | 5 | — | 10 | — | — | — |
| 白炭黑 | — | — | — | — | — | 5 | — | 10 |
| 促进剂M | 0.5 | 0.27 | — | — | — | — | — | — |
| 促进剂DM | 0.6 | 0.88 | 0.3 | 0.7 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 0.4 |
| 促进剂CZ | — | — | 0.6 | 0.1 | 0.7 | 0.3 | 0.4 | — |
| 促进剂DZ | — | — | — | — | — | — | — | 1.5 |
| 促进剂TMTD | 0.06 | 0.03 | 0.03 | — | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.05 |
| 硫黄(或不溶性S) | 2.5 | 2.6 | 2.35 | 2.3 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| 合　　计 | 157.16 | 159.08 | 157.655 | 157.1 | 157.85 | 158.63 | 158.93 | 161.15 |

**表 1-13-41　载重汽车轮胎内层胶配方列举**　　单位：重量份

| 编　　号 | 6-1 | 6-2 | 6-3 | 6-4 | 6-5 | 6-6 | 6-7 | 6-8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 90 | 90 | 80 | 70 | 70 | 70 | 70 | 50 |
| 顺丁橡胶 | — | — | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | 30 |
| 丁苯橡胶 | 10 | — | 10 | — | 10 | 10 | 10 | 20 |
| 充油丁苯橡胶 | — | 13.8 | — | 13.75 | — | — | — | — |
| 松　香 | — | — | 1 | — | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 硬脂酸 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 防老剂A | 1 | 1 | 1 | — | 1 | 2 | 2 | — |
| 防老剂BLE | — | 1 | — | 1 | — | — | — | 2 |
| 防老剂RD | 1.5 | — | 1.5 | 0.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | — |
| 防老剂4010NA | — | — | — | 1 | — | — | — | 1 |
| 松焦油 | 6 | 4 | 4 | 2 | 5 | — | — | — |
| 芳烃油 | — | — | — | — | — | 5 | 6 | 4 |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 5 | 10 | 10 | 15 | 15 | — | — | — |
| 通用炉黑(GPF) | 15 | 25 | 30 | 20 | 20 | 38 | 38 | 38 |
| 半补强炉黑(SRF) | 15 | — | — | — | — | — | — | — |
| 白炭黑 | — | — | — | — | — | 3 | — | — |
| 促进剂M | 0.5 | 0.27 | — | — | — | — | — | — |
| 促进剂DM | 0.6 | 0.83 | 0.9 | 0.3 | 0.35 | 0.8 | 0.7 | 0.3 |
| 促进剂CZ | — | — | 0.25 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | (NOBS)0.8 |
| 促进剂TMTD | 0.05 | 0.05 | — | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | — |
| 硫黄（或不溶性S） | 2.5 | 2.5 | 2.3 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| 合　　计 | 154.15 | 155.45 | 156.95 | 153.38 | 153.68 | .94 | 158.74 | 1563 |

## 第二节　农业轮胎配方

农业轮胎在我国系耕作和运输两用，着重于耐磨性能、耐刺扎性能的不断改善来提高轮胎使用寿命。同时为了更能适应于耕作，要求最大的牵引力。此外，大花纹块的轮胎，对胎面胶基部胶料要保持较高的抗疲劳性能；在工艺上要有较好的流动性，硫化过程不出现明疤，不出重皮裂口。在此基础上，尽最大限度降低胶料成本。

### 一、胶型的选择

国外农业轮胎的胎面胶多系采用丁苯橡胶与天然橡胶并用，丁苯橡胶比例一般为40～60%，也有采用全用丁苯橡胶的。此外，也有采用丁苯橡胶、天然橡胶、顺丁橡胶三者并用的（在第一节中已经叙述），国外拖拉机轮胎选用的胶型列举于表1-13-42。

国内农业轮胎的胎面胶多系如下3种情况：天然橡胶与丁苯橡胶并用；天然橡胶与顺丁橡胶并用；天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶三元并用。其中合成橡胶总用量为30～50%。

由于丁苯橡胶具有良好的湿牵引性能、抗刺扎性能，并且具有优异的抗硫化还原性，所以农业轮胎在胶型选择上应着重于丁苯橡胶，尤其是充油丁苯橡胶的扩大使用。随着国内工艺装备水平的提高，原材料的配套及质量水平提高，农业轮胎将以丁苯橡胶为主。掺用少量顺丁橡胶能提高耐磨性、弹性和抗龟裂性，顺丁橡胶与丁苯橡胶在某些性能和工艺方面可以相互补充，因此，三元并用体系也是可取的。采用三元并用在混炼工艺上要注意三胶的混合均匀，同时配方设计合理，这样可以取得满意的结果。表1-13-43系不同胶型并用的对比结果。

表 1-13-42　国外拖拉机轮胎的胶型列举

| 拖拉机型号 | 轮胎产地（国别、公司） | 轮胎规格 | 轮胎部位 | 胶型及用量，重量份 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | NR | SBR | BR |
| 150马力SAME拖拉机 | 意大利 | 13.6-28 | 胎冠 | 45 | 55 | |
| 拖拉机 | 意大利 | 18.9R38 | 胎冠 | ✓ | ✓ | |
| 拖拉机 | 意大利 | 12.4R28 | 胎冠 | ✓ | ✓ | |
| 拖拉机 | 意大利 | 14.9R30 | 胎冠 | 53 | 47 | |
| | | | 胎侧 | 52 | | 48 |
| 120马力CLASS联合收割机 | 联邦德国 | 12.5/80-18 | 胎冠 | 58 | 42 | |
| 120马力拖拉机 | 联邦德国 | 23.1/18-18 | 胎冠 | 45 | 55 | |
| 拖拉机 | 联邦德[illegible]chelin) | 13. -24 | 胎冠 | | 100 | |
| 拖拉机 | [illegible]lin) | 13.6R24 | 胎冠 | | 100 | |
| 收割机 | [illegible] | 18.4-30 | 胎冠 | ✓ | ✓ | ✓ |
| 联合收割机 | [illegible]p) | 23.1/18-26 | 胎冠 | 49 | 51 | |
| 联合收割机 | 南斯拉夫 | 18.4-26 | 胎冠 | 20 | | 80 |
| 二轮驱动拖拉机(IMT678) | 南斯拉夫 | 18.4/15-30 | 胎冠 | 20 | 60 | 20 |
| 二轮驱动拖拉机(IMT578) | 南斯拉夫 | 750-16 | 胎冠 | 20 | 60 | 20 |
| 四轮驱动拖拉机(IMT579) | 南斯拉夫 | 9.5/9-24 | 胎冠 | 20 | 60 | 20 |
| ZMAJ1470拖车 | 南斯拉夫 | 13.9/6.5-18 | 胎冠 | 50 | 20 | 30 |
| 拖拉机 | 瑞典(Goodyear) | 14.9-24 | 胎冠 | | 100 | |
| 150马力TARBO联合收[illegible]机 | 美国 | 24.5-32 | 胎冠 | 46 | 54 | |
| SAME拖拉机 | Goodyear | 13.6-28 | 胎肩 | 45 | 55 | |
| 拖拉机 | Goodyear | 18.4-[illegible]8 | 胎冠 | 45 | 55 | |
| 联合收割机 | G[illegible]year | 30.[illegible]-32 | 胎肩 | 56 | 20 | 24 |
| 150马力联合收割机 | G[illegible]dyear | [illegible]6.[illegible]0 | 胎冠 | 36 | 64 | |

续表

| 拖拉机型号 | 轮胎产地（国别、公司） | 轮胎规格 | 轮胎部位 | 胶型及用量，重量份 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | NR | SBR | BR |
| JD4440，156马力 | Goodyear | 18.4-38 | 胎冠 | 10 | 60 | 30 |
| 四轮驱动拖拉机 | | | 胎侧 | 10 | 60 | 30 |
| 四轮驱动拖拉机 | Goodyear | 13.6/12-36 | 胎冠 | | 100 | |
| | | 11.2/10×24 | 胎冠 | | 100 | |
| 拖拉机 | 法国(Goodyear) | 12.4R28 | 胎冠 | ✓ | ✓ | |
| | | | 胎侧 | | ✓ | ✓ |
| 拖拉机 | 英国(Goodyear) | 13.6R38 | 胎冠 | ✓ | ✓ | |
| 拖拉机 | 美国 | 18.4-38 | 胎冠 | ✓ | ✓ | ✓ |
| 拖拉机 | 美国 | 16.9-34 | 胎冠 | | ✓ | ✓ |
| MF760联合收割机 | 加拿大 | 30.5L-32 | 胎冠 | 56 | 20 | 24 |
| 拖拉机 | 澳大利亚 | 18.4-38 | 胎冠 | ✓ | ✓ | |
| 拖拉机 | 捷克斯洛伐克 | 14.9/13-24 | 胎冠 | ✓ | ✓ | |
| | | | 胎侧 | ✓ | ✓ | |

注：✓表示含该胶型，但具体比例未分析。

**表 1-13-43 不同胎面胶拖拉机轮胎使用寿命和耐磨性能比较**

| 试验项目 | | 轮胎使用寿命，h | | | 耐磨性能，h/mm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 轮胎规格 | | 12-33 | 13.6-38 | 13.6-38 | 12-33 | 13.6-38 | 13.6-38 |
| 胎体材料 | | 人造丝 | 棉帘线 | 人造丝 | 人造丝 | 棉帘线 | 人造丝 |
| 胎面胶 | NR60/BR40 | 4351 | 3636.4 | 3950.6 | 168.3 | 142 | 156.8 |
| | NR30/SBR20/BR50 | 3979 | 3602.3 | 3583.7 | 195.3 | 149.2 | 164.3 |
| | NR30/SBR50/BR20 | 4629 | 4341.8 | 4620.3 | 168.5 | 182.3 | 200.3 |

## 二、农业轮胎配方列举

表1-13-44列举的配方系结合国内条件而设计的，随着原材料的发展，新工艺炭黑、芳烃油等将更多地采用，防老剂D逐步减少。胎体材料随着棉帘线的淘汰，胶料配方中的合成橡胶用量以及炭黑和油的用量将会相应增加。此外，根据农业轮胎规格的变化，配方的硫化体系也要作适当的调整。

表 7-13-44 农业轮胎各部件配方列举

单位：重量份

| 部件名称 | 胎面胶 | | | | | | | 胎侧胶 | 缓冲胶 | | 外层胶 | | 内层胶 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 70 | 70 | 50 | 50 | 40 | 30 | 30 | 40 | 100 | 90 | 100 | 70 | 100 | 70 |
| 丁苯橡胶 | 30 | 30(充油) | — | 10 | 30 | 20 | 50 | (充油)30 | — | 10 | — | 10 | — | 10 |
| 顺丁橡胶 | — | — | 40 | 40 | 30 | 50 | 20 | 30 | — | — | — | 20 | — | 20 |
| 硬脂酸 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2.5 | 2.5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 氧化锌 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| 松香 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 石蜡 | 1.5 | 1 | 1.5 | 1 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1 | — | — | — | — | — | — |
| 防老剂A | — | 1 | 1.25 | 1.5 | — | 1 | 1 | 1 | — | — | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 防老剂D | 1.5 | 1 | 1.25 | 1 | 1.5 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 |
| 防老剂4010NA | 1 | 1 | — | — | 1.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 1 | 1.0 | — | — | — | — |
| 沥青 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 机油 | — | 6 | 6 | 6 | — | 6 | 6 | 6 | — | — | — | — | — | — |
| 三线油 | 6.5 | — | — | — | 10 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 松焦油 | — | — | — | — | — | — | — | — | 4 | 4 | 4.5 | 6 | 5 | 6 |
| 中超耐磨炉黑 (ISAF) | — | 40 | 27 | 50 | 55 | 32 | 32 | 30 | — | — | — | — | — | — |
| 高耐磨炉黑 (HAF) | 20 | — | 25 | — | — | 20 | 20 | — | — | — | — | 12 | — | 10 |
| 混气炭黑 (MPC)(混气) | 27 | 12 | — | — | — | — | — | 20 | 12 | 12 | 10 | 12 | 10 | 12 |
| 通用炉黑 (GPF) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 30 | 10 | — | 10 | — |
| 半补强炉黑 (SRF) | — | — | — | — | — | — | — | — | 30 | — | 20 | 15 | 18 | 15 |
| 促进剂NOBS | 0.76 | — | — | — | 0.9 | — | — | 0.9 | — | — | — | — | — | — |
| 促进剂CZ | — | 0.7 | 0.55 | 1.1 | — | 0.8 | 0.8 | — | — | 0.5 | — | 1.1 | — | 1.1 |
| 促进剂DM | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.3 | 0.8 | 1.4 | — | 1.4 | — |
| 促进剂TMTD | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.06 | 0.06 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| 硫黄 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1 | 1.4 | 1.3 | 1.5 | 1.2 | 2.5 | 2.5 | 2.4 | 2.2 | 2.3 | 2.2 |
| 合计 | 170.06 | 171.3 | 170.95 | 167.6 | 177.8 | 170.6 | 170.8 | 168.6 | 160.86 | 160.86 | 160.82 | 160.83 | 159.22 | 158.82 |

# 第三节　工程轮胎配方

## 一、工程轮胎配方设计的特点

由于工程机械的迅速发展，尤其是大型工程机械的日益增多，对巨型工程轮胎有着特殊的要求，从而对其配方的研究也得到了重视，并有了较大的发展。工程轮胎大部分在矿区或非正式道路上行驶，由于使用条件苛刻，对轮胎的抗刺扎和切割性能要求很高，还要保持较好的耐磨性能，为提高胎面胶的抗刺扎和切割性，目前有如下几种措施或途径。

（1）采用天然橡胶为主，提高其胶料的定伸应力，一般认为300%定伸应力以16～18 MPa为宜，同时还要求较高的弹性。掺用顺丁橡胶的胶料，则不宜采用高定伸应力。

（2）采用丁苯橡胶为主，用树脂、硫黄和硫黄给予体的综合硫化体系。树脂用含硫烷基酚醛树脂（如辛基或壬基二硫代酚醛树脂），硫黄给予体用二硫代吗啡啉。采用这种硫化体系的丁苯橡胶胶料优于天然橡胶的胎面胶，可提高耐刺扎性20～30%，耐磨性也提高约15%。

（3）加入白炭黑和硅烷偶联剂（如Si-69）的补强体系。

（4）加入短纤维或短纤维与白炭黑一起用的补强体系。

（5）加入钢丝短纤维或缓冲层用钢丝帘线。

（6）改善抗硫化还原性，由于工程轮胎硫化时间很长，胎面胶通过硫化体系等方面的特殊设计，可以改善硫化还原性。

所以，胎面胶配方设计应以天然橡胶或丁苯橡胶为主，一般系以天然橡胶与丁苯橡胶并用，掺用少量顺丁橡胶对提高耐磨性和弹性有一定作用，而巨型工程轮胎的胎面胶则多采用天然橡胶单用。炭黑采用补强性较高的超耐磨炉黑或中超耐磨炉黑，但这些炭黑用于胎面尤其天然橡胶胎面胶，焦烧速度和硫化速度均较快，所以最好采用硫化速度慢的补强性炭黑，如S212等炭黑品种。加入白炭黑后，炭黑用量相应减少。

胎面胶下层胶，为了降低生热性，改善动态疲劳性能，采用DTDM半有效硫化体系。同时为了硫化区配合性，比胎冠胶硫化速度适当快些，硫化周期相应缩短。

轮胎成品的主要力学性能，如表1-13-45所列举。其特征为300%定伸应力较高，硬度适中，弹性较高。

表 1-13-45　国外工程轮胎胎面胶的主要性能列举

| 厂　牌 | 规　格 | 300%定伸应力,MPa | 硬　度（邵尔A） | 拉伸强度 MPa | 扯断伸长率 % | 永久变形 % | 弹　性 % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 美国Goodyear | 30.00-51 | 17.0 | 70 | 26.1 | 450 | 20 | |
| 美国Goodyear | 36.00-51 | 14.9 | 68 | 27.6 | 460 | 23 | 63 |
| 日本东洋 | 30.00-51 | 18.8 | 70 | 26.1 | 420 | 20 | |

## 二、工程轮胎配方列举

近年来国外工程轮胎胎面胶的主要特征列举于表1-13-46。几种典型的胎面胎配方列于表1-13-47。

表 1-13-46 国外工程轮胎胎面胶主要特征列举

| 国别、公司 | 轮胎规格 | 轮胎部位 | 胶型（重量份） | | | 炭黑含量 | $SiO_2$含量 | S总含量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | NR | SBR | BR | % | % | % |
| 美国Goodyear | 18.00-33 | 胎面 | 100 | | | 23.16 | 8.93 | 1.71 |
| | | 胎侧 | ✓ | ✓ | | 25.29 | 7.37 | 1.80 |
| 美国Goodyear | 21.00-35 | 胎面 | 100 | | | 22.48 | 8.00 | 1.77 |
| 美国Goodyear | 35/65-33 | 胎面 | 45 | 40 | 15 | | | |
| 美国Goodyear | 36.00-51 | 胎面 | 100 | | | 21.45 | 9.21 | 1.64 |
| 美国Firestone | 21.00-35 | 胎面 | 100 | | | 26.49 | 4.02 | 1.38 |
| 日本普利司通 | 29.5-29 | 胎冠 | | 100 | | | | |
| | | 胎面下层 | 75 | 25 | | | | |
| 日本普利司通 | 18.00-33 | 胎面 | 100 | | | 24.27 | 9.66 | 1.76 |
| 日本普利司通 | 24.00-35 | 胎面 | | 100 | | 33.27 | — | 1.08 |
| 日本东洋 | 23.5-25 | 胎面 | ✓ | ✓ | ✓ | 28.33 | | |
| 日本东洋 | 18.00-33 | 胎面 | ✓ | ✓ | | 23.58 | 9.54 | 1.43 |
| 日本东洋 | 30.00-51 | 胎肩 | 100 | | | 24.61 | 9.19 | 1.32 |
| 日本横滨 | 30.00-51 | 胎面 | ✓ | ✓ | | 28.54 | 4.65 | 1.27 |
| 法国Michelin | 12.5-20 | 胎面 | ✓ | | ✓ | 28.85 | | |
| 法国Michelin | 12.00R24 | 胎面 | 100 | | | 24.36 | 7.48 | 1.46 |
| | | 胎侧 | ✓ | | ✓ | 32.17 | — | 1.60 |
| 法国Michelin | 21.00R35 | 胎肩 | ✓ | | ✓ | 24.08 | 7.77 | 1.51 |
| 苏联 | 18.00-25 | 胎面 | 100 | | | 25.85 | 5.81 | 1.41 |

注：✓表示含该胶型。

表 1-13-47 工程轮胎胎面胶配方列举 单位：重量份

| 配方编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 100 | 100 | 70 | 70 | 60 | 50 |
| 丁苯橡胶 | — | — | 30 | 30 | 40 | 30 |
| 顺丁橡胶 | — | — | — | — | — | 20 |
| 硬脂酸 | 2 | 2 | 3 | 3.5 | 2 | 3.5 |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 |
| 石蜡 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | (混合蜡)1.5 | 1.0 |
| 防老剂RD | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 2 | 1.5 |
| 防老剂4010NA | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | — | 1.5 |
| 防老剂4020 | — | — | — | — | 2 | — |
| 机 油 | — | — | — | 4.5 | — | 6 |
| 芳烃油 | 3 | 3 | 6 | — | 3 | — |
| N234 | 38 | 38 | — | — | (N231)40 | — |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | — | — | 30 | 30 | — | 40 |
| 高耐磨炉黑(HAF) | — | — | 15 | — | — | — |
| 易混槽黑(EPC) | — | — | — | 18 | — | 10 |
| 白炭黑 | 12 | 12 | 7 | — | 10 | — |
| Si-69 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | — | — | — |
| 短纤维(Sautoweb DX) | — | — | 2 | — | 2.25 | — |

续表

| 配方编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 促进剂NOBS | 0.7 | 1.5 | 0.6 | 0.65 | 0.7 | 0.8 |
| 硫化剂DTDM | 0.9 | 1.5 | 0.6 | — | 0.6 | — |
| 硫　黄 | 1.5 | 0.8 | 1.5 | 2.1 | 1.5 | 1.8 |
| 合　　计 | 169.1 | 169.8 | 176.7 | 166.75 | 170.55 | 171.1 |

# 第十四章　子午线轮胎胶料的配方

## 第一节　子午线轮胎特点与胶料的关系

### 一、结构特点与胶料的关系

子午线轮胎胎体帘线层以及带束层帘线的排列，是分别按其不同的作用而设置的。带束层帘线几乎呈周向排列，其长度基本上保持不变。因此带束层的结构决定着轮胎的外直径和轮胎部件中由内压引起的初始应力，通常带束层承受内压应力的60～75%。因此，带束层应该是一刚性的整体，帘线与橡胶的粘合力在热、机械疲劳的作用下应能保持较高的水平，胶料能承受高度的应变强度，具有生热低等特性。

子午线轮胎胎体帘线呈径向排列，胎侧径向变形比斜交轮胎大10～30%，而它承受的最大应力比斜交轮胎约高出一倍。在此情况下，胎侧中部的胶料经受两向伸张，而胎圈区和胎面边端则为两向压缩，从而易使胎圈区产生屈挠裂口，或导致带束层端部与胎面之间发生脱层。而且，轮胎伸张应力是通过橡胶传递到带束层上，因而胎体与带束层之间产生相当大的剪切应力。此外，胎面与胎侧的刚性相差很大，所以剪切应力最大区域发生在带束层的边端。这些特点，使子午线轮胎的带束层、胎体层、胎侧胶等各部件胶料的性能有不同子斜交轮胎的要求。

子午线轮胎的胎圈区，也是轮胎的易损坏部位。由于钢丝圈承受的应力比斜交轮胎大30～40%，而胎体帘布层数少，胎侧柔软，容易造成胎圈刚性不足，变形大，行驶稳定性差。为了克服这些缺点，加强胎圈的刚性是十分必要的，使胎圈区的刚性从高刚度的钢丝圈逐渐向柔软的胎侧过渡，防止胎圈各部件间产生脱层或裂口。通常采用加大三角填充胶的办法来解决刚性合理过渡，载重汽车轮胎则采用复合填充胶芯，即下胶芯胶硬度高，上胶芯胶硬度较低。胎圈区并辅以不同形式的加强层。此外，与轮辋接触的部位，都加贴耐磨高硬度的子口护胶等。

由于子午线轮胎结构上所具有的特点，胶料部件较多。表1-14-1列举了轿车轮胎及载重轮胎两种结构所需部件的比较。

表 1-14-1　子午线轮胎与斜交轮胎胶料部件的比较

| 胶料部件名称 | 轿车轮胎 | | 载重轮胎 | |
|---|---|---|---|---|
| | 斜交结构 | 子午线结构 | 斜交结构 | 子午线结构 |
| 胎面胶 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 胎面基部胶 | | | ✓ | ✓ |
| 胎肩胶 | | ✓ | ✓ | ✓ |
| 缓冲层帘布胶（带束层胶） | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 外层帘布胶 | | | ✓ | |
| 内层帘布胶(子午线轮胎胎体帘布胶) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 胎侧胶 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

续表

| 胶料部件名称 | 轿车轮胎 | | 载重轮胎 | |
|---|---|---|---|---|
| | 斜交结构 | 子午线结构 | 斜交结构 | 子午线结构 |
| 带束层间端部垫胶 | | | | ✓ |
| 油皮胶（无内胎气密层胶） | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 钢丝圈钢丝压出胶 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 子口包布胶 | | | ✓ | |
| 下三角胶总胶 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 上三角胶总胶 | | | | ✓ |
| 子口护胶 | | ✓ | | ✓ |
| 中间胶片 | | ✓ | | ✓ |

## 二、各部件胶料性能的匹配

轮胎在行驶过程中承受了侧向、径向和周向力的作用，而部件之间由于刚性的不同，在力的作用下产生的形变也不同，部件变形的差别使界面层间产生相对的剪切变形。如果各部件之间在性能上配合不当，就可能使层间发生早期损坏，降低轮胎的使用寿命。

子午线轮胎最易损坏区是胎肩部位带束层端点的区域和胎圈区。由于子午线轮胎胎冠横断面上产生的剪切应力从胎冠至胎肩逐渐增大，而帘布层帘线内压应力在断面各点上都相等，不同于斜交轮胎（内压应力从胎冠逐渐降低到胎圈为最小），因此，子午线轮胎胎圈部内压应力比斜交轮胎高30～40%。虽然近年来在结构设计方而可通过调整断面轮廓曲线而使轮胎各部分的应力分布比较合理，但每种胶料部件也应示其所在位置的作用，提出相应的物理机械性能要求及相互匹配条件，才能保证轮胎的使用性能。

子午线轮胎由于胎体帘布层数少，不象斜交轮胎那样可以调整内层帘布胶、外层帘布胶、缓冲层帘布胶以及胎面胶的定伸应力配置，以适应轮胎各部位的应变状况。子午线轮胎胶料的特点与结构材料和结构特性相关，例如轮胎所用的钢丝帘线模量高达294.2～1863.3MPa（3000～19000kgf/cm$^2$），假使钢丝帘布胶的定伸应力确定过低，也可能导致钢丝与橡胶粘合界面产生较大的剪切变形，不利于动态下钢丝与橡胶保持牢固粘合强度的要求。又如在结构特性上要求带束层变形小，承受应力大，需要采用强度较高的钢丝帘线　胶料的硬度也较高；但胎体帘布层变形大，承受应力低，则可用较软的胶料配合强度较低的帘线制造。特别是带束层端部及胎圈部位，刚性的过渡是保证轮胎使用耐久性的关键问题。因此在考虑胶料配方时，不但看到了作为一个多层复合制品各部件所具有的独立作用及特性，还要十分重视整体的匹配，才能保证轮胎的质量。下述是整体配合的几个主要方面。

### （一）胶料刚性的配合

这里提出刚性的配合，即斜交轮胎中经常提及的所谓定伸应力分布的问题。但在子午线轮胎中，钢丝帘线具有高度的刚性是其特性表征之一。在研究轮胎的变形时，与胎而刚度、胎圈刚度密切相关。子午线轮胎的带束层间垫胶、胶芯胶和子口护胶等要求硬度高，以加强各相应部位的刚性。所以，胶料的硬度直接反映了各部位的刚性程度，因此子午线轮胎胶料以硬度表示其刚性配合更为确切。

胎肩和胎圈部位是子午线轮胎构件最为集中的区域，也是承受应力与应变过渡最明显的区域。这二个区域材料刚性的分布问题，历来是研究提高轮胎质量的主要内容。

1. 胎肩区胶料刚性的分布

胎肩区是从刚性最大的带束层端部过渡到刚性低的上胎侧。为了避免刚性的突然变化而产生最大的剪切变形和屈挠集中点，在主要工作层的端点有一硬度高的垫胶，以提高带束层整体的刚性。而位于带束层之下的低硬度胎肩垫胶，则可吸收带束层部分的变形，防止在带束层端部产生应变的最大点。

2. 胎圈区胶料刚性的分布

整个胎圈是由刚性最大的钢丝圈向柔软的下胎侧过渡。为了使部件刚性逐渐过渡，避免出现变形突然转移区，载重轮胎需要采取上、下胶芯不同的硬度配合作为刚性过渡部件，另外还要以胎圈加强层及子口护胶等部件增加胎圈下部的刚性。还可以在加强层的上端以弹性较高的胶料填充，提高过渡区的耐屈挠疲劳性，整个胎圈形成一个从坚硬到柔软的弹性整体，以保证其耐久性能。

3. 各种规格轮胎主要胶料的刚性配合

各种规格轮胎主要胶料的刚性配合如表1-14-2所列。

**表 1-14-2 不同类型子午线轮胎胶料刚性配合示例**（以邵尔A硬度表示）

| 胶料名称 \ 轮胎类型 | 中型载重轮胎（纤维帘线胎体层） | 中型载重轮胎（全钢丝子午线轮胎） | 轻型载重轮胎 | 轿车轮胎 |
|---|---|---|---|---|
| 胎面胶 | 60～62 | 62～66 | 65～70 | 62～68 |
| 胎侧胶 | 57～60 | 57～60 | 55～60 | 55～60 |
| 带束层帘布胶 | 65～70 | 68～74 | 68～72 | 60～70 |
| 带束层间垫胶 | 约80 | 80以上 | 约80 | |
| 胎肩垫胶 | 约55 | 54～58 | 约55 | 50～55 |
| 胎体帘布胶 | 约60 | 62～70 | 约60 | 55～60 |
| 油皮胶（气密层胶） | 60～65 | 60～65 | 约62 | 60～65 |
| 上胶总胶 | 60～65 | 60～70 | | |
| 下胶总胶 | 80以上 | 80～88 | 80～83 | 约80 |
| 子口护胶 | 80～83 | 80～85 | 77～82 | 77～82 |
| 中间胶 | 65～70 | 65～70 | 约66 | |

## （二）硫化速率的匹配

子午线轮胎胎体帘布层数少，传热较快，特别是刚丝帘线胎体层的结构，金属帘线传热比合成纤维帘线更快，所以轮胎硫化过程中各部件胶料的温度历程与斜交轮胎有明显的差别。经实验及理论计算证明，采用硫化机硫化时，子午线轮胎由硫化胶囊方向的传热比外温更快，也就是胎体帘布层的升温最快。因此在考虑各部件胶料硫化速率时，不能采用过去以胎面胶最慢，胎体帘布胶最快的硫化速率匹配方式。

过去胎面胶半成品的硫化条件，通常以$T_{90}$为标准控制最佳硫化程度143℃×30min，胎体帘布胶为137℃×30min。这样的匹配，实际上轮胎的帘布层胶过硫十分严重，损害了胶料的物理机械性能。尤其采用钢丝帘布作胎体层时，由于胎体薄、钢丝传热性好，轮胎硫化实际上是从内向外传热占优势，其升温历程比外模至胎面方向进行更快（如图1-14-1所示）。因此，子午线轮胎胎体帘布层胶的正硫化时间应该与胎面胶基本相同，或者更慢一些，才不致造成帘布层胶硫化程度过深面降低其性能。按照上述原则进行硫化速度匹配，使轮胎各部件胶料同步达到较佳的硫化程度，以获得较好的使用性能。各类型子午线轮胎胶料部件正硫化时间控制范围及成品硫化条件示例如表1-14-3和表1-14-4所列。

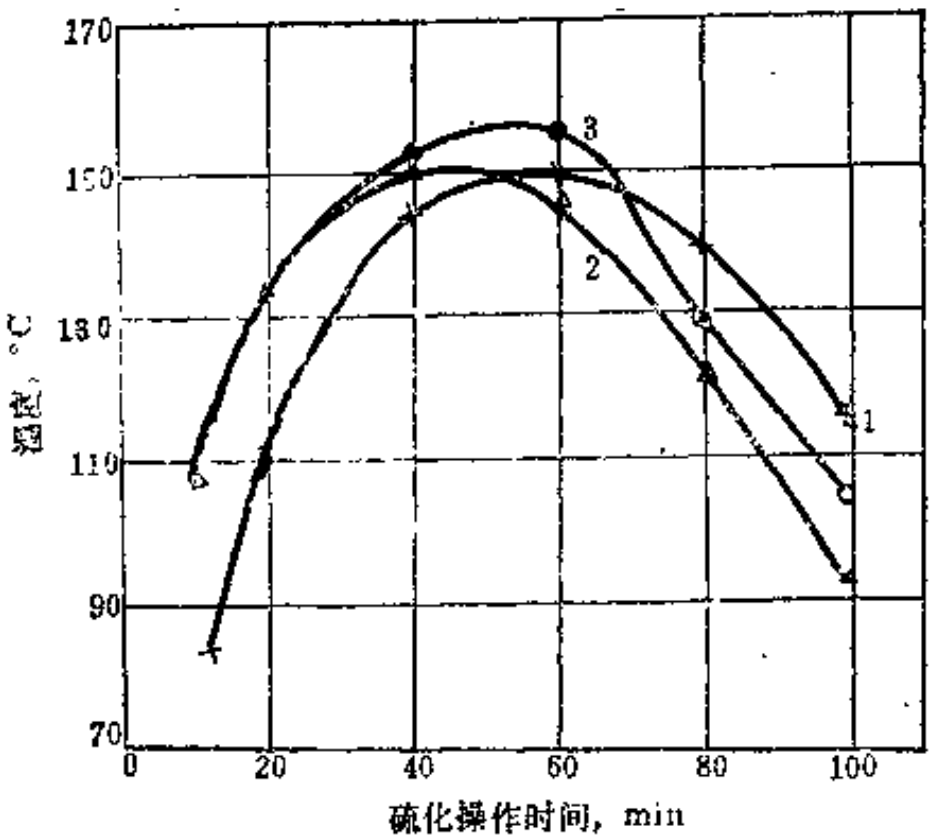



图 1-14-1　9.00R20钢丝子午线轮胎硫化过程内、外温升温情况

1—胎面胶；2—胎肩部带束层端点；3—钢丝帘布胶与肩垫胶间

**表 1-14-3　各类型子午线轮胎胶料正硫化时间的匹配**

| 部件名称 | 中型载重轮胎 | 轻型载重轮胎 | 轿车轮胎 |
|---|---|---|---|
| 胎面胶 | 143℃×30min | 143℃×30min | 143℃×25～30min |
| 胎侧胶 | 143℃×35min | 143℃×35～40min | 143℃×30～35min |
| 带束层帘布胶 | 143℃×30min | 143℃×30～35min | 143℃×25min |
| 带束层间垫胶 | 143℃×30min | 143℃×30～35min | |
| 肩部垫胶 | 143℃×30min | 143℃×30～35min | 143℃×25min |
| 中间胶 | 143℃×30min | 143℃×35～40min | 143℃×30min |
| 胎体帘布胶 | 143℃×30～35min | 143℃×35～40min | 143℃×30min |
| 油皮胶（气密层胶） | 143℃×25～30min | 143℃×25～30min | 143℃×20min |
| 上胶总胶 | 143℃×30min | | |
| 下胶总胶 | 143℃×30min | 143℃×25～30min | 143℃×20min |
| 钢丝圈钢丝压出胶 | 143℃×25～30min | 143℃×25～30min | 143℃×20min |
| 子口护胶 | 143℃×25～30min | 143℃×25～30min | 143℃×20min |

**表 1-14-4　子午线轮胎硫化条件示例**

| 硫化条件 \ 轮胎规格 | 载重轮胎， | 轻型载重轮胎 | 轿车轮胎 |
|---|---|---|---|
| 内压过热水温度，℃ | 160～170 | 165～170 | 180～185 |
| 外汽温度，℃ | 145 | 160 | 160～165 |
| 充过热水，min | 2～3 | 2～3 | 1～2 |
| 正硫化时间，min | 45～55 | 35～45 | 20～25 |
| 充冷却水，min | 2～3 | 2～3 | 1～2 |
| 排出胶囊冷却水，min | 2～3 | 2～3 | 1～2 |
| 抽真空，min | 1～2 | 1～2 | 1～2 |

图1-14-2是子午线轮胎后硫化对轮胎硫化程度的影响。可以看出，带束层以及胎面下层胶的后硫化效应十分显著，约占等效时间的30%。采用硫化温度越高，后硫化效应的作用越重要。因此，各部件胶料硫化速度的配合以及硫化条件的确定都应考虑以上因素的影响。

### （三）界面层的关系

轮胎是一复合材料多层厚制品，其中胶料又占主要的部分，其整体性的体现除了定伸应力或硬度的配置、硫化速率的匹配作为不同结合层间宏观统一性外，还涉及界面层的化学作用和结合强度问题[1]。

胶料界面层的结合强度以及耐疲劳稳定性与界面层的结构有关，只有在界面层橡胶分子链之间通过化学键形成一空间结构时，才能达到最大的结合强度。

例如硫化过程中促进剂和硫黄会在胎面胶—缓冲胶—帘布层胶之间进行迁移，结果使界面层交联结构横键特性与物理机械性能有所变化。如果界面层采用相同的生胶类型，则促进剂和硫黄的迁移速率仅取决于这两者的浓度。由于促进剂和硫黄的扩散浓度比较迅速，结果界面层浓度趋于一致，这时即使界面层胶料的硫黄与促进剂含量互异，也不致破坏界面层硫化的同步性。但如果界面层胶料所用的生胶品种不同，则促进剂和硫黄的迁移率不仅与这两者的浓度有关，而且还与它们在不同类型生胶中不同的扩散速度有关。这时应注意硫黄与促进剂的选择要保证界面层的同步硫化。

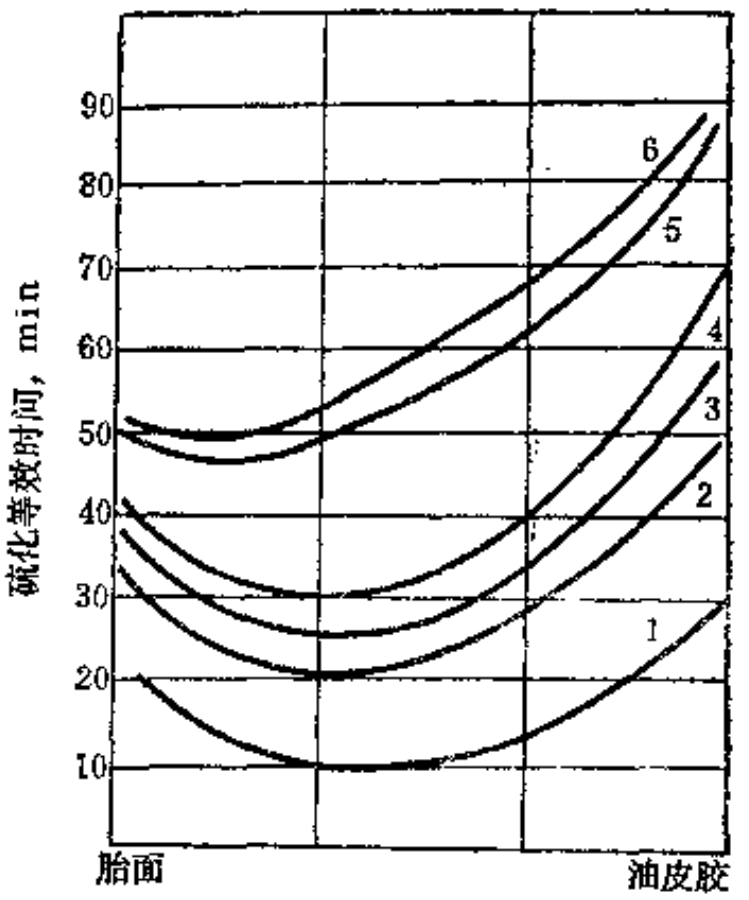



图 1-14-2　9.00R20钢丝子午线轮胎后硫化对轮胎硫化程度的影响

1、2、3、4—分别为硫化时间40、50、55、60min；5—启模后20min；6—启模后40min

另一方面，界面层的结合强度还取决于界面层的粘合性。如胶料在硫化初始阶段诱导时间较长，保持其粘流状态，则有利于界面层的粘合和保证帘线间有较高的粘合强度。因此采用诱导期较长的迟效性促进剂，对提高界面层的粘合有利，当它与部分速效性促进剂并用时，不影响硫化速度，也可达到与胎面胶同步硫化的要求。

钢丝帘线与橡胶之间的粘合，只有当硫黄和黄铜的反应速度与硫黄和橡胶进行交联反应的速度同步时，才能获得最佳的粘合水平。如硫黄与黄铜的反应较快，导致生成过多的铜的硫化物从面妨碍橡胶与钢丝的粘合[2]，反之，如实现快速硫化，也会使黄铜与硫黄反应不充分，粘合性也不佳。因此要获得钢丝帘线与橡胶的最佳粘合强度，应实现界面层化学反应的平衡。

此外，软化剂、蜡类、硬脂酸及防老剂的迁移也同样影响胶料界面层间的粘着性和抗老化性能。配合量不当时，甚至在半成品即产生迁移面喷出表面，给制造工艺带来麻烦。所以对胶料界面层的特性应引起重视，才能使轮胎得到良好的使用性能。

## 三、国内外子午线轮胎胶料性能简介

子午线轮胎自1948年在法国MICHELIN橡胶公司问世以来，仅40年时间，已在轮胎工业上独树一帜，成为最富有竞争力的轮胎新品种。七十年代后期，子午线轮胎的优越性能得到世界各国一致的公认，因而相继大力发展，成为轮胎品种更新换代的目标。子午线轮胎在质量上，无论是节约燃料、行驶里程、胎面耐磨耗性能以及操作性能方面，均优于斜交轮胎。我国的能源、交通运输工业是实现四化的基础工业，大力加快子午线轮胎的发展是必然的趋

势，因此，了解国内、外子午线轮胎特性及胶料配方主要特点和性能是很必要的。

### （一）国外轮胎配方的主要特点

表1-14-5和表1-14-6分别是美国Smither公司及我国对国外主要厂家轮胎组分的分析结果。

**表 1-14-5 Smither公司对子午线轮胎胶料的分析结果**

| 厂 牌 | 11R22.5 | | | 12.00R20 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 胎面胶 | 胎侧胶 | 气密层胶 | 胎面胶 | 胎侧胶 | 带束层钢丝帘布胶 | 胶芯胶 |
| Firestone | 55NR/45SBR | 45NR/55SBR | NR/ClIIR | 75NR/10SBR/15BR | 55NR/45SBR | 100NR | 100NR |
| 桥石 | 100NR | 70NR/30SBR | NR/ClIIR | 100NR | 65NR/35SBR | 100NR | 90NR/10SBR |
| Pirelli | 100NR | 65NR/35BR | NR/ClIIR | 100NR | 60NR/40BR | 100NR | 100NR |
| Goodyear | 55NR/15SBR/30BR | 60NR/10SBR/30BR | NR/ClIIR | 100NR | 50NR/20SBR/30BR | 100NR | 100NR |
| Michelin | 100NR | 60NR/40BR | NR/ClIIR | 100NR | 55NR/45SBR | 100NR | 100NR |
| 大陆 | 100NR | 45NR/55BR | NR/ClIIR | | | | |
| 东洋 | 100NR | 65NR/35BR | NR/SBR/ClIIR | | | | |
| Uniroyal | | | | 90NR/10BR | 50NR/50BR | 100NR | 100NR |
| Dulop | | | | 100NR | 100NR | 100NR | 100NR |

**表 1-14-6 9.00R20轮胎各部件胶料主要组分的分析结果**

| 厂 牌 | | Michelin | Goodyear | 桥 石 | Pirelli | 东 洋 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 胎面胶 | 胶种及比例 | 100NR | 60NR/40SBR | 100NR | 80NR/20SBR | 100NA |
| | 炭黑类型及含量，% | ISAF 29.4 | ISAF 31.2 | SAF 29.6 | ISAF 28.8 | |
| | 促进剂类型 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 |
| | 防老剂类型 | 4020 | AW、4020 | 4010NA | 4010NA、AW | 4010NA、4020 |
| 胎侧胶 | 胶种及比例 | 50NR/50BR | 40NR/40SBR/20BR | 50NR/30SBR/20BR | 50NR/50BR | 50NR/50BR |
| | 炭黑类型及含量，% | HAF 27.7 | | GPF或FEF 26 | HAF 29.2 | |
| | 促进剂类型 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 |
| | 防老剂类型 | 4020、AW、D | AW、4020 | 4010NA；AW | AW | |
| 胎肩垫胶 | 胶种及比例 | 100NR | 100NR | 100NR | 100NR | |
| | 炭黑类型及含量，% | ISAF 24.3 | | ISAF 22.2 | HAF 27.7 | |
| | 促进剂类型 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | |
| | 防老剂类型 | 4020 | AW、4020 | 4010NA、AW | | |
| 带束胶 | 胶种及比例 | 100NR | 100NR | 100NR | 100NR | 100NR |
| | 炭黑类型及含量，% | ISAF 31 | | ISAF 31 | HAF 25.9 | ISAF 28.4 |
| | 防老剂类型 | 4020 | AW、4020 | 4010NA | | 4010NA |
| 胎体帘布胶 | 胶种及比例 | 100NR | 100NR | 100NR | 100NR | 100NR |
| | 炭黑类型及含量，% | | HAF16.2 | | FEF 23.6 | |
| | 促进剂类型 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 |
| | 防老剂类型 | 4020 | AW、4020 | 4010NA | | |
| 上胶芯胶 | 胶种及比例 | 100NR | 100NR | 100NR | 100NR | 100NR |
| | 炭黑类型及含量，% | ISAF 25.5 | GPF或FEF | | SAF 30.9 | |
| | 促进剂类型 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 |
| | 防老剂类型 | 4020、AW、D | 4020、AW | | 4010NA、AW | |

续表

| | 厂　牌 | Michelin | Goodyear | 桥　石 | Pirelli | 东　洋 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 下胎芯胶 | 胶种及比例 | 100NR | | | | |
| | 炭黑类型及含量，% | 33.9 | | | | |
| | 促进剂类型 | 次磺酰胺类 | | | | |
| | 防老剂类型 | 4020、AW、D | | | | |
| 油皮胶 | 胶种及比例 | 60NR/40SBR | 100NR | 50NR/50BR | 60NR/10SBR/30BR | 100NR |
| | 炭黑类型及含量，% | 25 | 27.7 | ISAF 24.8 | SRF 22.3 | |
| | 防老剂类型 | MB、4020、AW | | 4010NA | 4010NA、AW | |
| 子口护胶 | 胶种及比例 | 10NR/90BR | 40NR/40SBR/20BR | 50NR/50BR | 100NR | 50NR/20SBR/30BR |
| | 炭黑类型及含量，% | ISAF 39.3 | ISAF(SAF)32 | ISAF 35 | ISAF(SAF) 33.7 | |
| | 促进剂类型 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | 次磺酰胺类 | |
| | 防老剂类型 | 4010NA、AW、D | | | 4010NA、AW | |

## （二）国内、外轮胎胶料的特性

表1-14-7～表1-14-9中列举了国内、外一些成品主要胶料部件的性能。

表 1-14-7　抽检国产子午线轮胎胶料的性能

| 试　验　项　目 | | 中型载重轮胎 I | 中型载重轮胎 II | 轻型载重轮胎 | 乘用轮胎 |
|---|---|---|---|---|---|
| 胎面胶老化前/100℃,48 h老化后 | 硬度(邵尔A) | 67/70 | 63/66 | 70 | |
| | 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 25.0/11.7(255/119) | 26.7/19.3(262/197) | 25.6(261) | |
| | 扯断伸长率，% | 488/254 | 513/372 | 454 | |
| | 300%定伸应力，MPa(kgf/cm²) | 14.9(152) | 13.5/15.3(138/166) | 17.3(176) | |
| | 永久变形，% | 25 | 20 | 17 | |
| | Akron 磨耗，cm³/1.61km | 老化后：0.558 | 老化后：0.373 | | |
| | 相对密度 | 1.122 | 1.129 | | |
| 胎侧胶老化前/100℃ 48 h老化后 | 硬度(邵尔A) | 63/67 | 56/58 | 69 | 59 |
| | 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 20.1/15.8(205/161) | 21.3/14.2(217/145) | 22.0(225) | 15.5(158) |
| | 扯断伸长率，% | 597/437 | 675/467 | 571 | 543 |
| | 300%定伸应力，MPa(kgf/cm²) | 8.6/9.8(88/100) | 6.8/8.5(70/87) | 10.0(102) | 8.3(85) |
| | 永久变形，% | 16 | 16 | 12 | 12 |
| 层间附着力，kN/m (kgf/cm) | 胎面与带束层间 | 14.5(14.8) | 12.2(12.4) | 14.4(14.7) | 10.8(11.1) |
| | 胎侧与胎体帘布层间 | 19.5(19.9) | 7.3(7.4) | | 5.7(5.9) |
| | 带束层与胎体帘布层间 | 20.6(21.0) | 9.6(9.8) | 11.7(11.9) | 10.9(11.2) |
| | 带束层1～2层间 | 19.8(20.2) | 16.6(16.9) | 16.4(16.7) | 13.9(14.2) |
| | 带束层2～3层间 | 17.2(17.5) | 15.2(15.5) | | |
| | 带束层3～4层间 | 15.9(16.2) | 13.4(13.7) | | |
| | 胎冠部胎体帘布层1～2层间 | | 7.6(7.8) | 10.4(10.6) | 6.7(6.9) |
| | 胎冠部胎体帘布层2～3层间 | | 7.1(7.2) | | |
| | 胎冠部胎体帘布层3～4层间 | | 8.6(8.8) | | |
| | 胎冠部胎体帘布层4～5层间 | | 9.2(9.4) | | |
| | 胎冠部胎体帘布层5～6层间 | | 8.3(8.5) | | |

表 1-14-8 Smither公司对10.00R20轮胎胶料性能测试结果❶

| 试验项目 | Goodyear | | 桥石 | | Firestone | | Goodrich | | Michelin | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 胎面 | 胎侧 | 胎面 | 胎侧 | 胎面 | 胎侧 | 胎面 | 胎侧 | 胎面 | 胎侧 |
| 硬度(邵尔A) | 68 | 59 | 65 | 61 | 65 | 58 | 64 | 55 | 65 | 51 |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 20.0(204) | 15.2(155) | 31.1(317) | 25.6(261) | 27(275) | 16.9(172) | 26.3(268) | 13.4(137) | 22.4(284) | 22.4(228) |
| 扯断伸长率，% | 470 | 460 | 490 | 520 | 430 | 450 | 520 | 570 | 520 | 600 |
| 300%定伸应力，MPa(kgf/cm²) | 11.4(116) | 8.9(91) | 17.3(176) | 10.7(109) | 17.4(177) | 7.6(77) | 11.5(117) | 5.0(51) | 13.8(141) | 7.3(7.4) |
| 氧弹70℃，氧压1960kPa (20kgf/cm²)老化72h后： | | | | | | | | | | |
| 硬度(邵尔A) | 71 | 63 | 71 | 65 | 70 | 63 | 69 | 62 | 70 | 64 |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 16.7(170) | 12.1(123) | 23.7(242) | 19.7(201) | 20.4(208) | 13.4(137) | 20.7(211) | 10(102) | 22.1(225) | 17.9(183) |
| 扯断伸长率，% | 410 | 400 | 390 | 440 | 400 | 350 | 500 | 420 | 430 | 570 |
| 烘箱100℃×24h老化： | | | | | | | | | | |
| 硬度(邵尔A) | 70 | 64 | 68 | 65 | 71 | 63 | 68 | 60 | 67 | 62 |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 17.5(178) | 12.3(125) | 26.7(272) | 21.4(218) | 24.7(252) | 14.3(146) | 24.9(254) | 10.8(110) | 23.4(239) | 20.4(208) |
| 扯断伸长率，% | 330 | 370 | 400 | 430 | 380 | 380 | 470 | 450 | 420 | 560 |
| 附着力室温/100℃，kN/m (kgf/cm) 带束层1与胎体帘布层间 | 23.6/9.4(24.1/9.6) | | 9.3/4.9(9.5/5.0) | | 11.6/3.5(11.8/3.6) | | 19.2/13.6(19.6/13.9) | | 31.5/13.5(32.1/13.8) | |
| 带束层2～3之间 | 7.2/7.2(7.3/7.3) | | 12.3/7.2(12.5/7.3) | | 12.5/7.2(12.8/7.3) | | 9.3/7.2(9.5/7.3) | | 20.4/3.5(20.9/3.6) | |
| 带束层与胎面胶间 | 20.1/14.9(20.5/15.2) | | 25.5/10(26.0/10.2) | | 32.7/16.5(33.4/16.8) | | 11.4/9.6(11.6/9.8) | | 26.8/8.7(27.3/8.9) | |
| 胎侧与胎体帘布层间 | 25.0/6.5(25.5/6.6) | | 24.1/8.4(24.6/8.6) | | 33.8/5.4(34.5/5.5) | | 17.4/10.2(17.8/10.4) | | 34.5/8.7(35.2/8.9) | |
| 三角胶芯胶 | 半硬质胶 | | 半硬质胶 | | 半硬质胶 | | 半硬质胶 | | 半硬质胶 | |

① 橡胶技术情报资料，1983.2.№10。

表 7-14-9 我国对国外几种9.00R20轮胎成品分析结果①

| 胶料名称 | 项目 \ 厂牌 | Michelin | Goodyear | 桥　石 | Pirelli | 东　洋 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 胎面胶 老化前/100℃×48h 老化后 | 硬度(邵尔A) | 62/64 | 73/74 | 59/62 | 64/66 | 55/59 |
| | 扯断伸长率，% | 515/406 | 448/345 | 471/366 | 446/344 | 600/495 |
| | 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 27.6(281)/22.3(227) | 22.6(231)/17.6(179) | 29.4(300)/24.2(247) | 25.2(257)/21.7(222) | 26.2(267)/21.8(222) |
| | 300%定伸应力,MPa(kgf/cm²) | 13.5(138)/15.4(157) | 14.7(150)/14.7(150) | 17(173)/15.4(157) | 15.8(161)/19(194) | 13.7(140)/16.3(166) |
| | 100℃×48h老化系数 | 0.64 | 0.6 | 0.64 | 0.67 | 0.87 |
| | 弹性，% | 46 | 35 | 50 | 39 | 44 |
| | 撕裂强度，kN/m(kgf/cm) | 78.5(80) | 107.8(110) | 93.1(95) | 99(101) | 82.4(84) |
| 胎侧胶(纵向) 老化前/100℃×48h 老化后 | 硬度(邵尔A) | 62/63 | 65/69 | 59/62 | 58/59 | 57/57 |
| | 扯断伸长率，% | 609/554 | 450/301 | 522/316 | 650/399 | 529/406 |
| | 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 22.2(226)/20.3(208) | 17.2(175)/12.3(125) | 21.7(221)/14.9(152) | 21.7(221)/14.9(152) | 18.6(190)/15.3(156) |
| | 300%定伸应力,MPa(kgf/cm²) | 7.8(79)/8.6(88) | 11.7(119)/11.7(119) | 10.6(108) | 7.0(71)/10.9(111) | 8.8(90)/11.2(114) |
| | 100℃×48h老化系数 | | 0.48 | 0.42 | 0.42 | 0.63 |
| 三角胶芯胶 | 硬度(邵尔A)，上胶芯/下胶芯 | 62/83 | 62（上、下同） | 75（上、下同） | 72（上、下同） | 76（上、下同） |
| 胎面胶 | Akron磨耗，cm³/1.16km | 0.433 | 0.35 | 0.442 | 0.33 | |
| | 相对密度 | 1.102 | 1.128 | 1.118 | 1.124 | |
| 层间附着力 kN/m (kgf/cm) | 带束层—胎面胶 | 17.6(18.0) | 14.0(14.3) | 10～12.9(10.2～13.2) | 11.2(11.4) | 19.6(20) |
| | 胎体帘布层—带束层 | 24.9(25.4) | 13.6(13.9) | 15.3(15.6) | 8.4～11.9(8.6～12.1) | 13.4(13.7) |
| | 带束层1—2层间 | | 分不开 | 6.6(6.8) | 8.2(8.4) | 8.7(8.9) |
| | 带束层2—3层间 | 9.8(10.0) | 8.5(8.7) | 6.8(7.0) | 6.6～6.8(6.7～9) | 9.9(10.1) |
| | 带束层3—4层间 | 9.9(10.1) | 8.5(8.7) | | 8.3(8.5) | |
| | 胎侧胶—胎体帘布层 | | | 拉断胶 | 拉断胶 | 11.8(12.0) |
| | 纤维帘线胎体帘布层间 | | | | 2—3层间: 9.3(9.5) | 1—2层间: 10.2(10.4) 3—4层间: 14.5(14.8) |

① Michelin,Goodyear,桥石厂牌为钢丝帘线胎体；Pirelli产品人造丝帘线胎体；东洋产品聚酯帘线胎体层。

## 第二节　各部件胶料配方的要求

### 一、概　　况

子午线轮胎工艺上的要求比斜交轮胎更为严格，部件的尺寸精度高，对胶料要求有较好的半成品工艺加工性及硫化胶物理机械性能，其胶料配方大致有以下特点。

#### （一）天然橡胶的使用比例

由于天然橡胶的物理机械性能优良，工艺加工性好，以及未硫化胶的强度大、与钢丝帘线的粘合力高等优点，因此最适合用于载重子午线轮胎各部件的胶料。目前子午线轮胎使用的天然橡胶量比斜交轮胎多。据报道，国外子午线轮胎和斜交轮胎天然橡胶与合成橡胶消耗的比例见表1-14-10所列[3]。

表 1-14-10　载重轮胎结构与生胶消耗的比例

| 国家 \ 生胶种类 | 天然橡胶 | | 合成橡胶 | |
|---|---|---|---|---|
| | 子午线轮胎 | 斜交轮胎 | 子午线轮胎 | 斜交轮胎 |
| 美国 | 57 | 21 | 43 | 79 |
| 英国① | 95 | 65 | 5 | 35 |
| 西欧各国 | 73 | 61 | 27 | 39 |

① 指10.00R20以上载重轮胎。

合成橡胶的使用，仍以丁苯橡胶和顺丁橡胶为多。通用型丁苯橡胶SBR1500一般适用于层数少、行驶生热低的乘用轮胎和轻型载重轮胎。顺丁橡胶则可与其它胶种并用，适用于所有不同类型的轮胎。顺丁橡胶用于胎面配方，有优良的耐磨性、耐寒性，生热低且抗花纹沟裂口性能好。其它部件也可根据胶料不同性能的要求，适量并用顺丁橡胶，以获得较好的综合性能。异戊橡胶作为天然橡胶的取代品，基本上与天然橡胶一样可用于各部件的胶料配方中。

充油丁苯橡胶和充油顺丁橡胶主要用在轿车轮胎的胎面胶中。氯化丁基或溴化丁基橡胶可与天然橡胶并用，作为无内胎轮胎气密层胶料。胎侧胶除了采用通用型橡胶外，还可以用天然橡胶与三元乙丙橡胶、氯化丁基橡胶并用，胶料具有优异的抗臭氧龟裂、抗天候老化及耐屈挠性能，是最为理想的胎侧胶料。

#### （二）硫化体系

子午线轮胎胶料的硫化体系仍以硫黄及次磺酰胺类促进剂为主，苯并噻唑类如促进剂M、DM或秋兰姆类的TMTD等作为第二促进剂使用。硫黄用量有趋于减少的趋势。

次磺酰胺类促进剂以NOBS、CZ应用较多，但在橡胶与钢丝帘线粘合配方中，则以促进剂DZ的综合效果较好。此外，促进剂OTOS、TMTS等迟延效果更好，且硫化速度也较快的促进剂，适合于采用较高的硫化温度硫化。

近年来，对半有效硫化体系进行了大量的试验研究工作。该体系可改善轮胎的动态性能，提高胶料的抗老化及抗硫化返原性，特别适用于胎面下层胶和肩垫胶配方，钢丝帘布胶也可采用。常用的硫黄给予体有二硫化吗啡啉（DTDM）等。

#### （三）填充补强剂

目前轮胎胶料使用的炭黑品种比较集中，以方便炼胶工艺的自动称量及投料操作。胎面胶仍以HAF或ISAF为主。但近年迅速发展的新工艺炉黑，性能优于传统的炉法炭黑，已得到广泛的使用。如N234、N299、N339等比较适用于胎面胶，S315、S212等氧化代槽炉黑，可用于钢丝帘布胶配方。其它部件的胶料可采用快压出炭黑、通用炉黑或与耐磨炉黑并用。

白炭黑在子午线轮胎胶料中的应用十分重要，除了可在胎面胶中代替部分炭黑，以改善

胶料抗撕裂性和抗花纹掉块性能；在与顺丁橡胶并用的胶料，还具有提高抗湿滑性能等优点。使用白炭黑时，应该加入硅烷偶联剂，可使橡胶分子和硅表面进行化合结合，达到改善性能的目的。硅烷偶联剂有硫醇型，如美国联合碳化物公司的A-189；多硫化物型如德古莎公司的$S_i$-69等品种。至于钢丝帘线与橡胶的粘合配方，间甲白增粘体系仍得到广泛的应用，其中白炭黑起着非常重要的作用。

**（四）防护体系**

对苯二胺类防老剂具有抗臭氧以及耐热、氧、屈挠疲劳等优异的抗老化性能，因而防老剂4010、4010NA、4020等品种得到普遍的应用。其中防老剂4020在生胶中的溶解度较大，具有耐水抽提性好，挥发性小和毒性小等优点，有取代4010NA的趋势。此外，酮胺聚合物防老剂BLE，其耐热及抗疲劳性好，对钢丝与橡胶的粘合有利，可用于钢丝帘布胶料中。其它防老剂AW、RD等也常与对苯二胺类并用，得到较好的综合效果。

子午线轮胎胎侧胶所用的防老剂和抗臭剂要比斜交轮胎多一些。胎侧配方加入微晶蜡与粗晶蜡的混合蜡类，与化学防老剂并用，可显著改善胶料的抗臭氧龟裂及其它老化性能。

**（五）其它助剂类**

其它助剂如软化剂、防焦剂、增粘剂的应用，可根据胶料的性能要求而定。常用的软化剂有石油系软化剂和松脂系。配方中随着炭黑用量的增加，软化剂用量要相应增加，这样以保持胶料的门尼粘度，不影响其工艺加工性能。至于防焦剂如PVI、钢丝粘合的增粘剂如粘合剂A、RE树脂、粘合剂RS及环烷酸钴等的应用，将在有关胶料配方中叙述。

## 二、胎面胶和胎侧胶

**（一）载重轮胎**

载重轮胎的胎面胶和胎侧胶配方要点分述于下。

1．胎面胶

子午线轮胎的胎面胶和斜交轮胎一样，要求耐磨、生热低、抗花纹沟裂口以及耐切割、抗撕裂，对在公路上使用的轮胎还需具有良好的抗湿滑性能。子午线轮胎的结构特点决定它具有耐磨性好、花纹沟不易裂口以及生热低等性能，因此对胎面胶的物理机械性能要求并不比斜交轮胎更高，对配合剂的选择范围也较宽一些。

子午线轮胎因为带束层伸张小，胎面承受的应力大，尤其在坏路面行驶时更为显著，因而胎面胶易被扎伤，甚至出现掉块现象。为了克服这些缺点，要求胶料具有较高的弹性、耐老化、耐疲劳和良好的抗机械损伤性能。

目前在大、中型载重轮胎胎面胶中，主要采用天然橡胶，以满足耐磨、耐刺扎、生热低的性能要求。在一般路面行驶的轮胎，也可采用天然橡胶与丁苯橡胶并用，以获得较好的耐磨及抗刺扎性能。但丁苯橡胶的掺用量不宜过高，以30重量份为好。中、小型载重轮胎，可采用天然橡胶与丁苯橡胶或顺丁橡胶并用，特别是顺丁橡胶，耐磨性优异，其并用量一般在20～50份之间，中型轮胎顺丁橡胶用量在20～30份，小型轮胎则不超过50份为宜。如果用量比例过高，不但给胶料加工带来困难，同时还使胎面的抗湿滑性能显著下降，易产生崩花掉块等缺陷。

胎面胶的填充补强剂，使用的品种多为ISAF或HAF，用量一般为40～50重量份。在天然橡胶配方中，填充补强剂用量超过50份后，虽然对耐磨性有利，但弹性下降，耐疲劳龟裂性能变差。并用顺丁橡胶时，由于炭黑较易混入顺丁橡胶中，故炭黑用量可适当增加至50～

55重量份，同时软化剂用量也应适当增加，以保证胶料的所需硬度及加工性能。高结构炭黑可提高顺丁橡胶的定伸应力，改善苛刻路面条件下的耐磨性，并具有加工性能好的优点，如N234、N299、N339等新工艺高结构类型炭黑正在扩大使用。

此外，其它配合体系则与斜交轮胎配方基本相同。在硫黄-促进剂硫化体系中，天然橡胶配方的硫黄量在2.4～2.8重量份之间，并用顺丁橡胶时，为了防止胶料老化后硬度增加太大，硫黄量宜低些。促进剂则以次磺酰胺类的NOBS、CZ较为普遍。防老剂采用物理防老剂与化学防老剂并用，其效能最好。例如可采用微晶蜡与4010NA、4020并用，也可使用防老剂BLE、RD等抗热、氧的防老剂。

中型以下规格的轮胎可根据使用条件采用整块压出或分层压出的胎面。分层压出时，胎面基部胶要求生热低及耐热性好，炭黑可采用HAF与FEF并用的配合。

2. 胎侧胶

子午线轮胎的胎侧柔软，使用伸张程度高，变形大。其胶料要求有优异的抗屈挠性、耐大气老化性能。采用天然橡胶与顺丁橡胶并用，便可获得足够的耐屈挠性。如果在天然橡胶中掺用三元乙丙橡胶和氯化丁基橡胶，还可进一步提高其抗大气老化性，效果更佳。此外，胎侧胶还应与胎体帘线层保持良好的粘合强度。

子午线轮胎的胎侧顺帘线方向裂口是一种容易发生的损坏现象。而降低胶料在使用中承受的伸张程度，提高抗屈挠裂口性，则是克服顺帘线方向裂口的有效办法。因此，胎侧胶大

**表 1-14-11 载重汽车子午线轮胎的胎面胶、胎侧胶配方示例**

单位：重量份

| 原材料名称 | 胎面胶 | | | | | | 胎侧胶 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 |
| 天然橡胶 | 100 | 70 | 70 | 70 | 80 | 50 | 50 | 50 | 60 |
| 顺丁橡胶 | | | 30 | 30 | 20 | 20 | 50 | 50 | 40 |
| 丁苯橡胶1500 | | 30 | | | | 30 | | | |
| 氧化锌 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 |
| 硬脂酸 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2.5 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 防老剂4010 | 1.5 | | | 1.5 | 2.5 | 2 | 2 | | 2.5 |
| 防老剂4020 | | 1.5 | 1.5 | | | | | 2 | |
| 防老剂RD | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.5 | 1 | 1.5 | 2 | 1.5 |
| 微晶蜡 | | 1 | 1 | 1 | | 2 | 1 | 1 | |
| 松焦油 | 6 | | | | | | | | |
| 高芳烃油 | | 6 | 6 | 5 | 3 | 11 | 5 | 5 | 6 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | | 45 | 47 | 43 | | | | | |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 45 | | | | 55 | 55 | 25 | 25 | 55 |
| 快压出炉黑(FEF) | | | | | | | 25 | 25 | |
| 促进剂NOBS | 0.6 | 0.9 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | | 0.6 | | 0.8 |
| 促进剂DZ | | | | | | 1.3 | | 0.9 | |
| 白炭黑 | | | | 7 | | | | | |
| 硅烷偶联剂 | | | | 2 | | | | | |
| 防焦剂 | | | 0.1 | 0.1 | | 0.2 | | | |
| 硫黄 | 2.5 | 2 | 1.8 | 1.4 | 1.8 | 1.6 | 1.2 | 1.2 | 2 |
| 合计 | 165.1 | 164.9 | 166.5 | 168.7 | 172.2 | 181.1 | 168.3 | 167.1 | 174.8 |

多采用低定伸应力的配方，这样既可适应胎侧的高伸张性，也改善了抗裂口增长性能。一般300%定伸应力可控制在7.8MPa(80kgf/cm²) 左右，甚至可低至 4.9～5.9MPa(50～60kgf/cm²)。

胎侧胶的补强体系以用HAF和FEF为主，用量40～50份，使胶料强度高，并保持较高的伸长率和抗屈挠性能。除此之外，为了得到优异的耐老化性，防老剂用量较其它胶料多，常用品种有4010、4010NA、4020、BLE、RD等，用量达3份，还加入1～2份 微晶蜡，其抗屈挠、抗臭氧及耐大气老化性极佳。

胎面胶与胎侧胶的配方示例见表1-14-11所列。

**（二）乘用轮胎**

乘用轮胎大多行驶于较好的路面，要求舒适、安全、高速、经济、耐磨以及操纵性良好。因此胶料的基本要求除与载重轮胎相同外，抗湿滑性显得十分重要。为了保证高速安全行驶，一般通用型橡胶均可采用，但仍以充油丁苯橡胶较好。其它如充油顺丁橡胶也可获得较好的湿抓着性能。但普通顺丁橡胶用量不宜过高，应在30份以下。因为顺丁橡胶抗湿滑性差，会降低行驶安全性。

近年发展的定向催化聚合溶聚丁苯橡胶，既可改善耐磨性，降低生热及提高抗湿滑性

表 1-14-12 轿车轮胎胎面胶、胎侧胶配方示例

单位：重量份

| 原材料名称 | 胎面胶 | | | | | | | | 胎侧胶 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 基部胶 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 天然橡胶 | 70 | 70 | 70 | 50 | | 40 | 70 | 100 | 50 | 60 | 50 | 60 |
| 丁苯橡胶1500 | 30 | 30 | | | | | | | | | EPDM | 氯化丁基橡胶 |
| 丁苯橡胶1712 | | | | | 68.5 | 82.5 | | | | | 20 | 35 |
| 顺丁橡胶 | | | | | | | 30 | | 50 | 40 | 氯化丁基橡胶 | 15 |
| 充油37%顺丁橡胶 | | | 41.2 | 68.5 | 68.5 | | | | | | 30 | |
| 硬脂酸 | 3 | 2.5 | 2 | 2 | 2 | 2.5 | 2.5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1.5 |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| 防老剂对苯二胺类 | 1.5 | 2 | 2 | 2.5 | 2.5 | 2 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 1.5 | 1 |
| 防老剂酮胺缩聚物 | 1.5 | 1 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1 | 1 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1 | 1 |
| 微晶蜡 | 1 | | 1 | 1.5 | 1.5 | | 1 | | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 石油系高芳烃软化剂 | 6 | 7 | 30 | 20 | 20 | 5 | 7 | 松焦油3 | 5 | 6 | 5 | 5 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | | | | | 95 | 55 | 50 | 15 | | | | |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 45 | 60 | 70 | 95 | | HAF-LS 20 | | HAF-LS 25 | 25 | 55 | 45 | 15 |
| 快压出炉黑(FEF) | | | | | | | | | 25 | | | 35 |
| 促进剂NOBS | 0.9 | 0.9 | 1.1 | 1.5 | 1.5 | 1.3 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | | |
| 促进剂 | | | TT0.1 | TT0.2 | TT0.2 | | | | | | DM/TT 0.8/0.6 | DM/TT 1.0/0.6 |
| 硫黄 | 2 | 2 | 1.4 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 2 | 2.5 | 1.2 | 2 | 0.5 | 0.5 |
| 防焦剂PVI | | | | | | | 0.1 | 0.1 | | | | |
| 增粘树脂 | | * | | 4 | 2 | | | | | | MgO 0.5 | |
| 合　　计 | 165.9 | 180.4 | 225.3 | 251.5 | 268 | 216.1 | 169.4 | 157.2 | 166.3 | 176.8 | 162.9 | 166.6 |

能，其加工性能也较好，是一种很有实用价值的高聚物。胶料配方除选用生胶品种外，炭黑大多采用中超耐磨炉黑，特别是新工艺高结构中超耐磨炉黑，加工性好，并改进花纹沟耐裂口性。炭黑用量一般为60～80份，软化剂用量也较大。其它配合剂的使用情况与载重轮胎基本相同。

胎侧胶的配方特点也和载重轮胎类同，不作赘述。胎面及胎侧胶配方示例 如表 1-14-12 所列。

## 三、带束层及有关部件

带束层的结构及胶料性能，是保证子午线轮胎获得高行驶里程、耐久性、安全性、良好操纵性能和多次翻新的关键部件。其胶料包括带束层钢丝帘布胶、胎肩垫胶、带束层间垫胶等。下面分别述及各部件胶料的配方特点。

### （一）带束层钢丝帘布胶

带束层的骨架材料，除了轿车轮胎可用高模量的纤维帘线外，均采用钢丝帘线。带束层比斜交轮胎的缓冲层承受更大的剪切应力，因而胶料应有较高的拉伸强度、耐疲劳性、耐热性以及与帘线的粘合强度，尤其是粘合性能的好坏，成为保证轮胎质量的主要技术问题。

1．胶料配方基本要求

为了得到最好的橡胶与钢丝粘合性能，世界各国的轮胎公司以及原材料生产厂对粘合问题都进行广泛的试验研究。据认为，胶料的组分和钢丝帘线的镀层结构及组分均对粘合力产生明显的影响，它们之间也存在一定的相依性。但大致上说，采用天然橡胶、高硫用量和增粘体系才能获得较好的粘合性能。其它配合剂的选择也应考虑对粘合性的影响，确定适宜的品种和用量。

在天然橡胶配方中，掺用10～20%的顺丁橡胶，可改善胶料的弹性，降低生热，与钢丝粘合有较好的附胶量。配方中高硫黄是必需的配合，一般为3～6份，但硫黄容易喷霜，从而降低胶料表而的粘着性，为了克服这个缺点，要用不溶性硫黄，由于它在橡胶中的溶解度极低，可避免喷霜现象。同时胶料混炼时的加硫温度应严格控制，不能超过90℃，否则不溶性硫黄逐渐发生还原，变为可溶性硫黄而失去其特性。

2．增粘体系的应用

增粘体系是提高钢丝帘线与橡胶粘合性的重要组分，虽已取得显著的效果，但各国仍致力于这方面的研究和改进，以期获得效能更高的增粘剂。目前在轮胎上应用的增粘剂，大体上有钴盐增粘剂、间甲白增粘体系和三嗪类增粘剂等类型，其特性如表1-14-13所列。

（1）间甲白增粘体系　这种体系基本上是由间苯二酚、亚甲基给 予体 和白 炭黑 所组成。在硫化过程中，间苯二酚与亚甲基给予体产生树脂化反应，同时橡胶分子也进行树脂化交联，这样增粘剂起到协调硫化和参与交联的作用，以增进橡胶对黄铜的粘合性能[3]。但由于间苯二酚在橡胶中难以分散，混炼时又产生刺激性的气味，因此发展了含间苯二酚的组合物或其衍生物来代替间苯二酚，如粘合剂RS、RL和RE树脂等。普通的 亚甲基 给予体 六亚甲基四胺在橡胶中分散性也很差，从而采用含亚甲基给予体的化合物，如粘合剂 A 等。另外，白炭黑在体系中对老化后粘合力的保持率起到十分明显的效果。

一般的胶料粘合配方，增粘体系组分中粘合剂 A 的用量在2～4份之间，RE 树脂 为1～3份，两者用量比以2:1较佳。白炭黑用量示胶料其它性能的要求，大约为5～15份。也有不加白炭黑的配合。

表 1-14-13 钢丝帘线与橡胶粘合的增粘体系

| 增粘体系 | 商 品 名 | 成 分 | 推荐用量范围 | 生 产 厂 |
|---|---|---|---|---|
| 间甲白增粘体系 | 粘合剂A(Cohedure A) | 六羟甲基二聚氰胺醚化物 | 2～4份 | 常州曙光化工厂等 |
| | 粘合剂RS(Cohedure RS) | 间苯二酚和硬脂酸共熔物 | 3～5份 | 常州曙光化工厂等 |
| | RE树脂 | 间苯二酚和乙醛的缩聚体 | 1～3份 | 常州曙光化工厂等 |
| | 间苯二酚 | 间苯二酚 | 1～3份 | 通用橡胶助剂 |
| | 促进剂H | 六亚甲基四胺，作为亚甲基给予体使用 | 2～4份 | 通用橡胶助剂 |
| | 白炭黑 | 水合二氧化硅 | 5～15份 | 吉林通化第二化工厂等 |
| 钴盐增粘体系 | 环烷酸钴 | 含钴量为10%的环烷酸钴 | 2～6份 | 上海长风化工厂等 |
| | ManobondCP—216 | 含钴量大于11%的羧酸、硼酸钴复合物 | 2～4份 | ICI-Manchem Co |
| | ManobondC—16 | 含钴量大于16%的羧酸、硼酸钴复合物 | 1.5～3份 | ICI-Manchem Co |
| | Manobond680C | 含钴量大于23%的羧酸、硼酸钴复合物 | 1～2份 | ICI-Manchem Co |
| SW增粘体系 | Vulcalond SW | 2-氯-4-氨基-6[间-羟基苯氧基]均三嗪 | 2～4份 | ICI-Manchem Co |
| 其它增粘剂 | $R_4$ Vulklor | 间苯二酚乙醛树脂/四氯苯醌为2/1使用份 | 2～4份 | |

（2）钴盐增粘体系　钴盐化合物增粘大多采用含钴量为10%的环烷酸钴。这种增粘体系组分单一，比较容易掌握，并具有较高的初始粘合强度，其缺点是对热和水蒸汽老化后的粘合力下降率大于间甲白增粘体系。

为了改善老化后粘合力的保持率，近年出现了含硼的钴化合物，如英国ICI—Manchem公司的Manobond 680C、Manobond C—16、Manobond CP—216等，含钴量分别为26%、16%和11%。这类钴硼络合物除具有环烷酸钴的特点外，还能改善老化后粘合保持率，已日益受到重视。一般认为，增粘胶料配方中钴的最佳含量约为0.2份，目前国内环烷酸钴的含钴量为7～8%，故用量可在3～6份之间。此外，钴盐增粘体系加入适当的白炭黑量，同样可改善老化后粘合力的保持率。

目前，由于间甲白增粘或钴盐增粘的效果都有一些缺点，因而趋向两种增粘体系并用，即间甲白—钴盐增粘体系。这种并用能够取长补短，达到比较理想的增粘效果，它既保持了较高的初始粘合力，经老化后粘合力保持率也显著提高。

（3）三嗪类化合物增粘剂　这类增粘剂主要商品有英国ICI公司 Vulcabond SW等，它是单一组分，用法简单，没有间苯二酚在加工中产生烟雾的问题，对胶料的硬度也不产生影响。

上述3种增粘体系的优缺点如表1-14-14所列。

3。其它配合剂对粘合性能的影响

硫化体系除硫黄外，促进剂的品种对粘合性关系很大。实践证明，间甲白增粘体系以次磺酰胺类促进剂效果最佳。其中促进剂DZ有最长的硫化诱导期，故可使橡胶交联速度和橡胶与金属界面的反应相一致，获得高粘合力。促进剂NOBS效果亦佳，但速效性的促进剂对

表 1-14-14 不同增粘体系的优缺点比较

| 增粘体系 | 主要优点 | 缺点 |
|---|---|---|
| 间甲白增粘体系 | 1.商业化品种牌号较多,可供选择;<br>2.初始粘合力较高，经各种老化后粘合力保持率好 | 1.组分较多，配炼比较麻烦；<br>2.影响胶料的性能.如提高胶料的硬度及生热性;<br>3.对硫化体系的选择性较强 |
| 钴盐增粘体系 | 1.单组分成分，用法简单,用量少;<br>2.对胶料其它物理机械性能无明显影响;<br>3.起始粘合力高;<br>4.对没有镀铜保护层的钢丝帘线切头端点.也有良好的增粘作用 | 1.目前所用的环烷酸钴不是橡胶专用配合剂，质量不稳定;<br>2.老化性能较差，特别经湿热老化后使橡胶与钢丝的粘合力下降幅度较大，但含硼的钴盐能改善湿热老化性 |
| 三嗪类化合物增粘剂 | 1.单组分成分，易于掌握使用;<br>2.不影响胶料其它性能;<br>3.可采用低硫高促配合仍具增粘作用，且对非镀铜钢件也有增粘效果 | 1.品种较少，价格稍高;<br>2.使用历史较短，用户缺乏信心;<br>3.少数人经接触可能产生皮肤过敏现象 |

粘合能产生不良的影响；秋兰姆之类的超促进剂会明显降低粘合强度,切忌使用。表1-14-15为促进剂对粘合强度的影响。

表 1-14-15 不同促进剂品种对钢丝帘线与橡胶粘合力的影响①

| 增粘体系 / 粘合性能 | 空白 | | 间甲白体系（促进剂H 2 份，白炭黑10份，间苯二酚 2 份） | | 环烷酸钴(2.5份) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 粘合力 | 附胶量 | 粘合力 | 附胶量 | 粘合力 | 附胶量 |
| 促进剂 | kN/m(kgf/cm) | 级别 | kN/m(kgf/cm) | 级别 | kN/m(kgf/cm) | 级别 |
| DBM(2-2′,4′二硝基苯硫基苯并噻唑) | 33(34) | 8 | 41(42) | 8 | 48(49) | 7 |
| CZ | 39(40) | 4 | 44(45) | 7 | 40(41) | 3 |
| NOBS | 39(40) | 4 | 47(48) | 7 | 46(47) | 4 |
| DZ | 34(35) | 8 | 45(46) | 7 | 47(48) | 5 |

① 试验配方：NR100、硬脂酸1.0、ZnO 5.0、HAF 50、Oil 3.0。

环烷酸钴增粘体系对促进剂敏感性低，噻唑类以及次磺酰胺类促进剂均可获得很好的粘合性能。一般可用促进剂M、DM、DZ、NOBS等品种。

在带束层胶料中，适当选用防老剂可改善胶料老化后粘合性的保持率。软化剂用量则很据炭黑用量的增加而适当多用一些，但用量以最低限度为好，否则易于渗出表面而影响橡胶与钢丝帘线间的粘合强度。

炭黑对粘合性无不利的影响，但一般认为带酸性的炭黑有迟延硫化作用，利于提高粘合强度，故多以槽黑为主或与高耐磨炉黑并用。目前发展了氧化代槽炉黑，以取代槽法炭黑用于钢丝帘线胶料中，可改善胶料的粘合性能。

### （二）肩部垫胶

为了将胎体帘布层与带束层的端部隔离，并使带束层的弧度和胎面基本保持平行，减少钢丝帘线承受的弯曲变形，起到转移和吸收动态下胎肩最大的应力，因面在胎肩部带束层下设有一定形状的垫胶。肩部垫胶处于胎冠到胎侧的过渡区，它使胎肩平缓地过渡至胎侧区，

避免了厚度突然变化引起肩部胶料的疲劳损坏。

肩部垫胶的特性主要为高弹性、低生热和低定伸应力。为此可以全天然橡胶为基础，配入35～40份高耐磨炉黑或快压出炉黑、通用炉黑等，该胶料可采用压出或压型法制备。

（三）带束层间垫胶

中型以上载重轮胎，在带束层2～3层边缘之间夹有一小块硬度高的垫胶。带束层2、3层为工作层，其端点是没有镀铜的裸露钢丝，与橡胶的粘合性差，在经受较大剪切应力情况下，容易产生松动、脱粘、端头松散等问题。采用带束层间垫胶不仅可提高层间的粘合力，还起到固定端点的效果，防止带束层端部位移，减少引起胎肩层间脱空损坏的危险。

该垫胶应具有耐热、耐老化性，与钢丝帘线有良好的粘合力，还应具有高硬度以便固定带束层端点。胶料组分以天然橡胶为主，可采用间甲白或钴盐增粘体系，高炭黑填量以获得80以上的邵尔A硬度。其它的配合剂和带束层配方相近。

此外，钢丝帘布裁断的切口是裸露的钢丝，为了保持切口与橡胶的粘合性，裁断切口的封口胶条可用钢丝帘布胶，或者专门制造一种能与钢质材料有良好粘合性的专用配方。

（四）带束层帘布胶及有关部件的配方示例

带束层帘布胶及有关部件的配方示例见表1-14-16。

表 1-14-16　带束层帘布胶及其它部件配方示例

单位：重量份

| 原材料名称 | 带束层帘布胶 | | | | | | | 带束层间垫胶 | | 胎肩垫胶 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 天然橡胶 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 | 80 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 丁腈橡胶 | | | | | | 10 | 20 | | | | |
| 硬脂酸 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1.5 | 1.5 |
| 氧化锌 | 10 | 5 | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 |
| 防老剂（对苯二胺类） | 2 | 2 | | | 2 | 1 | 1 | 1.5 | 1 | 1 | 1 |
| 防老剂（酮胺缩聚物） | 1 | | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.5 | 1 | 1 |
| 易混槽黑(EPC) | 15 | | 15 | 15 | 15 | 15 | | | | | |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 30 | 30 | 25 | 20 | | 20 | 50 | | 20 | | |
| 快压出炉黑(FEF) | | | | | 30 | | | 65 | 50 | | |
| 通用炉黑(GPF) | | | | | | | | | | 20 | 30 |
| 半补强炉黑(SRF) | | | | | | | | | | 20 | 20 |
| 白炭黑 | | 15 | | | 10 | | 10 | | | | |
| 粘合剂A | | | | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1.5 | | |
| RE树脂 | | | | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1.5 | | |
| 环烷酸钴 | 2 | 2 | 2 | | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 促进剂NOBS | | | | | | | | | | 0.5 | 0.7 |
| 促进剂DZ | | 1.4 | 1.2 | 1.4 | 1.2 | 1.4 | 1.8 | 1.4 | 1.2 | | |
| 促进剂M | 0.9 | | | | | | | | | | |
| 促进剂TT | | | | | | | | | | | 0.02 |
| 不溶性硫黄 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2.7 | 2.7 | 2.5 | 1.5 |
| 松焦油 | 4 | 6 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3 | | | 5 | 4 |
| 氧化镁 | 1 | | | | | | | | | | |
| 乙烯基异丁基苯酚 | | | | | | | 4 | | | | |
| 合计 | 170.9 | 168.4 | 159.2 | 156.4 | 162.2 | 158.4 | 159.8 | 184.6 | 186.4 | 161.7 | 170.02 |

## 四、胎体胶料的配方

子午线轮胎的胎体胶料包括胎体帘布胶、密封层或油皮胶、过渡层胶几种。下面是有关的配方特点。

### （一）胎体帘布胶

一般而言，中型以上载重轮胎的胎体骨架材料都采用钢丝帘线，而中型及轻型载重轮胎既可用钢丝帘线，也可应用纤维帘线。轿车轮胎则用纤维帘线。

子午线轮胎胎体层在使用中除了承受较大的应变外，成型时胶料经受的拉伸张力比斜交轮胎大，因而未硫化胶应具有内聚强度高．表面粘着性好的特点，才能保证胎坯的质量。硫化胶则应有较高的拉伸强度，较好的耐疲劳、耐热和抗老化性，钢丝帘线胎体帘布胶还应着重改善钢丝与橡胶的粘合性能。配方主要应用天然橡胶，由于钢丝帘线刚性大，胶料的定伸应力也应提高，以降低钢丝与胶料模量相差悬殊产生的剪切变形。炭黑宜用槽法炭黑或与高耐磨炉黑并用，用量示增粘体系而异。间甲白增粘体系具有树脂化作用，胶料硬度增加，故炭黑量不宜超过40份；钴盐增粘对硬度没有影响，炭黑量可达45份。其它的配合剂使用原则与带束层胶相同。

作胎体帘布层的纤维帘线有人造丝、尼龙及聚酯等，胶料配方的原则和要求与斜交轮胎基本相同。但如上所述，子午线轮胎帘布层数少，呈径向排列，成型中胶料受拉伸大，故未

表 1-14-17　各种帘线作胎体帘布层的配方示例

| 原材料名称 | 钢丝帘布胶 | | 人造丝帘布胶 | | | | 尼龙帘布胶 | | 聚酯帘布胶 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | |
| 天然橡胶 | 100 | 90 | 100 | 100 | 90 | 87.5 | 93 | 80 | 90 |
| 丁苯橡胶 | | | | | 10 | 12.5 | 7 | 10 | 10 |
| 顺丁橡胶 | | 10 | | | | | | 10 | |
| 硬脂酸 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 氧化锌 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 | 6 | 8 |
| 防老剂对苯二胺类 | 2 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.5 | |
| 防老剂酮胺缩聚物 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 高耐磨炉黑(HAF) | | 30 | | | | | | | 5 |
| 通用炉黑(GPF) | EPC15 | | 16 | 13 | 15 | 20 | 20 | 38 | 30 |
| 快压出炉黑(FEF) | 30 | | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | $SiO_2$ 3 | |
| 促进剂NOBS | | | 0.5 | 0.9 | | | 0.8 | | |
| 促进剂DZ | 0.9 | 1.4 | | | 1.1 | | | | |
| 促进剂TT | | | 0.03 | | | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| 促进剂 | | | | | | M/DM0.5/0.8 | | DM/CZ0.8/0.4 | DM1.2 |
| 不溶性硫黄 | 4 | 3 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.2 | 2.5 |
| 松焦油 | 4 | 6 | 3 | 3 | 7 | 5.5 | 5 | 5 | 3 |
| 粘合剂A | | 2 | | 1 | | 1 | | 树脂 | 0.8 |
| RE树脂 | | 1 | | 0.5 | | 2 | | 1 | 0.6 |
| 环烷酸钴 | 2 | 1 | | | | | | | |
| 白炭黑 | | 15 | | | | | | | |
| 松香 | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | | |
| 氧化镁 | 1 | | | | | | | | |
| 合　　计 | 170.9 | 168.4 | 156.13 | 155.0 | 160.7 | 165.43 | 161.43 | 159.94 | 155.13 |

硫化胶料的强度应高些，因而合成橡胶的掺用量宜低，最好不超过20份。炭黑用量比斜交轮胎多5份左右，保证有较高的定伸应力，提高胎体的刚性。

**（二）气密层或油皮胶**

无内胎轮胎在胎里有气密层，除了起到保护帘布层的作用外，主要是防止轮胎充气时内压通过橡胶渗出帘布层，引起漏气而失掉密封的功能。气密层胶应具有最优的耐气透性能、耐老化和抗疲劳性能，未硫化胶要具有较高的强伸性能等，因此，气密层配方可采用天然橡胶与氯化（或溴化）丁基橡胶并用，以获得优异的气密性和胶料加工性，其中氯化丁基橡胶用量范围可在30～70份。硫化体系用硫黄、促进剂DM与TMTD并用，补强剂以通用炉黑与快压出炭黑为主，使用量为45～50份，也可采用高耐磨炉黑与半补强型炭黑并用，提高硫化胶的物理机械性能。

油皮胶适用于有内胎轮胎，它保护胎体帘布层免受空气和水等有害物质的侵蚀。胶料性能要求与斜交轮胎相同。此外，未硫化胶要有较高的拉伸强度，故含胶率应稍高，并采用高耐磨炉黑或与通用炉黑并用，以适应子午线轮胎未硫化胶在成型中受拉伸较大的特点。

**（三）过渡层胶**

所谓过渡层，指胎冠部带束层下与帘布层上的胶层，用以提高带束层和胎体帘布层间的粘合性，并使胶料硬度有一适当的过渡。胶料的硬度以介于带束层胶和胎体帘布胶最佳，但也可采用带束层帘布胶或胎体帘布胶。

**（四）配方示例**

表1-14-17列举了各种帘线为胎体骨架材料的配方示例，表1-14-18为气密层或油皮胶的配方例子。

**表 1-14-18 气密层、油皮胶配方示例**

| 原材料名称 | 油皮胶 | | | | | 气密层胶 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 |
| 天然橡胶 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 | 40 | 20 | 50 |
| 丁苯橡胶1600 | | | | | 10 | | | |
| 氯化丁基橡胶HT1068 | | | | | | 60 | 80 | 50 |
| 硬脂酸 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 3 | 5 |
| 防老剂对苯二胺类 | 1 | 1.5 | 1 | 1 | 1.5 | 1 | 1.5 | 1 |
| 老防剂酮胺缩聚物 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 20 | HAF-LS | 20 | 25 | | 30 | | 30 |
| 快压出炉黑(FEF) | | 55 | | | 25 | SRF20 | | |
| 通用炉黑(GPF) | 25 | | 25 | 20 | 15 | | 60 | 20 |
| 促进剂NOBS | 0.8 | 1.0 | 0.8 | | | | | |
| 促进剂DZ | | | | | 1.0 | | | |
| 促进剂TT | | | | 0.04 | | 0.8 | 0.04 | 0.8 |
| 促进剂 | | | | M/DM0.6/0.4 | | DM1 | DM1.3 | DM0.7 |
| 硫黄 | 2.5 | 2.6 | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 0.5 | 0.5 | 0.6 |
| 松焦油 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | | | |
| 石蜡油 | | | | | | 5 | 10 | 5 |
| 防焦剂PVI | 0.2 | | | | | | | |
| 氧化镁 | | | | | | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 合　　计 | 162.8 | 172.6 | 162.9 | 161.64 | 156.1 | 166.8 | 177.84 | 165.5 |

## 五、胎圈各部件的胶料

子午线轮胎的胎圈结构比较复杂，其特点是部件多而尺寸要求准确。如设计不当，轮胎很快会产生胎圈裂口、脱空等质量问题。

胎圈部件包括有钢丝圈、填充三角胶、胎圈加强层、子口护胶等部件，此外，还包含了胎体帘布层及反包帘布层。其中比较主要的胶料为填充三角胶和子口护胶。

对子午线轮胎而言，胎体帘布层数少，胎侧薄而柔软，但胎圈的刚性必须加强，使屈挠变形移至胎侧。如刚性不足，胎圈部位在轮胎滚动时产生过大的屈挠变形，很容易从帘布反包处及胎圈加强层端点位置发生裂口、脱空而导致轮胎损坏。为了提高胎圈的整体刚性，可以采用硬度高的胶芯加强胎圈，并辅以帘布加强层和高硬度的子口护胶。

各部件胶料的特点分述于下。

### （一）填充三角胶

填充三角胶在斜交轮胎中仅起填充的作用，对胶料性能的要求不高，往往掺用一些低质胶及大量填料，但子午线轮胎的填充三角胶不仅作为填充，更主要的作用是加强胎圈。因此，胶芯尺寸一般较大，其高度位置都在胎圈与轮辋接触点以上，甚至可达胎侧中心线左右。所以胶芯胶除了高硬度外，还需有良好的耐屈挠和抗老化性能，良好的工艺加工性以及较强的表面粘着力。

中型以上的载重轮胎，胎体帘布层大多采用一层钢丝帘布，因此胎圈部需配有一大胶芯才能保持足够的刚性。大胶芯可采用上、下两种胶料组成的复合胶芯，上胶芯胶料硬度较低而有较大的伸长率，能够承受反复施加压缩、伸张应变作用的屈挠疲劳，生热性也应较低；下胶芯胶位于胎圈轮辋接触点以下，主要是增强胎圈的刚性，其硬度很高，一般可达80～85邵尔A硬度。对于轻型载重轮胎和轿车轮胎，填充三角胶芯可采用单一胶芯，硬度也应保持在80度左右，并具有一定的耐屈挠性。

根据以上的要求，填充三角胶的配方可采用全天然橡胶，或与顺丁橡胶、丁苯橡胶并用，加入耐磨型炭黑60～70份。软化剂油类的用量尽可能少，这种高炭黑低油量配合将可获得高硬度的胶料。配方最好加入增硬剂提高胶料的硬度，此时可适当减少炭黑用量，对改善混炼、压出工艺操作极为有利。如有必要可加入表面增粘剂，改善半成品的粘着性，方便成型操作并提高胎坯的质量。

复合胶芯的上胶芯配方以天然橡胶或并用顺丁橡胶、丁苯橡胶均可，炭黑用细粒子炉黑50份左右，使胶料硬度适中面兼顾耐屈挠疲劳性。上、下胶芯胶都要用不溶性硫黄，使胶料不喷硫、表面粘着性好，硫黄用量在2.5～3份之间。

### （二）子口护胶

子口护胶代替斜交轮胎的子口包布，作为胎圈外表面的保护层，防止胎圈与轮辋接触部分因经受反复的伸张与压缩应变面磨损胎圈外部，同时高硬度的护胶也提高了胎圈的刚性。

子口护胶在硫化后应有规整的形状，因此要求胶料不易流失或移动。基于它的作用，应在硫化前具有强韧性和尺寸稳定性，采用较快的硫化速度，在流动前很快定型。硫化胶硬度（邵尔A）高达80～85，具有较大的刚性和耐磨性，以及较好的耐老化和抗屈挠性能。

配方可用全天然橡胶或与顺丁橡胶、丁苯橡胶并用。其它配合剂与高硬度的下胶芯配方基本相同，但要求尺寸稳定性好。硫化体系方面，在保证有足够的硫化诱导期，不致与胎侧

等相接部件硫化速度差别过大造成重皮裂口前提下，可适当增加促进剂用量，提高硫化速率，较快定型而保持稳定的尺寸。

### （三）钢丝圈钢丝压出胶

钢丝圈的钢丝压出胶料，要保证胎圈镀铜钢丝与胶料有良好的粘合性，使钢丝粘结在一起保持整体，并且要有较好的压出性。在配方中可采用较高的硫黄用量和大量填充剂，既得到高硬度，又有较好的胶料与钢丝粘合力以及压出性能。至于子午线轮胎的钢丝圈钢丝压出胶，也可与斜交轮胎相同。

### （四）配方示例

表1-14-19为胎圈各部件主要胶料配方的示例。

表 1-14-19　胎圈各部件主要胶料配方示例

单位，重量份

| 原材料名称 | 上胶芯胶 | | | 下胶芯胶 | | | 子口护胶 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 天然橡胶 | 100 | 70 | 60 | 100 | 85 | 70 | 70 | 70 | 70 | 60 |
| 顺丁橡胶 | | 30 | 40 | | 15 | 30 | 30 | 30 | 30 | 40 |
| 硬脂酸 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 防老剂对苯二胺类 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.5 | 1.5 |
| 防老剂酮胺缩聚物 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.5 | 1.5 |
| 促进剂NOBS | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 0.6 | | | 0.6 | 0.6 |
| 促进剂DZ | | | | | | | | 1.4 | | |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 30 | 40 | | 35 | 35 | 35 | 55 | 65 | 35 | 35 |
| 快压出炉黑(FEF) | 30 | | 40 | 30 | 35 | 35 | HAF-LS 15 | | 35 | 30 |
| 通用炉黑(GPF) | | | 20 | | | | | | | |
| 半补强炉黑(SRF) | | 15 | | | | | | | | |
| 松焦油 | 5 | | | 6 | 6 | | | | | |
| 石油系软化剂 | | 4 | 3 | | | 6 | 3 | 6 | 4 | 4 |
| 增硬剂 | | | | 3.5 | 2.5 | 3.5 | 粘合剂A 1RE树脂 1.5 DTDM 1.9 | 1.5 | 3 | 3.5 |
| 表面增粘剂 | | | 4 | 3 | | | | | | |
| 防焦剂PVI | | | | 0.2 | 0.2 | 0.1 | | | | |
| 不溶性硫黄 | 2.8 | 2.8 | 3.0 | 3.0 | 2.8 | 3.0 | 1.2 | 2.8 | 2.5 | 2.5 |
| 合　　计 | 177.5 | 171.4 | 179.6 | 190.3 | 190.8 | 192.2 | | 185.7 | 190.1 | 185.6 |

## 主要参考文献


〔1〕 龚克成，橡胶工业，6,66～75(1979)。

〔2〕 周国檀，橡胶工业，11,1～55(1980)。

〔3〕 Diamond. J. E., Rubber in Engineering, K1～5(1973).

# 第十五章　电子计算机在胶料配方设计中的应用

随着生产和科学技术的发展，特别是计算机技术的发展和计算机的微型化，计算机的应用已深入到社会生活的各个领域，当然，这一先进工具也被橡胶工业的生产和科研所采用。计算机应用于胶料配方设计，我国始于1974年，随后在这方面取得了相当快的进展。为配合这一新技术的发展，在本章中介绍下述几个方面的内容：

① 正交设计及回归设计，以及如何在计算机上实现试验设计的自动化；

② 正交设计数据的统计分析及计算机的实现；

③ 回归分析，回归方程的建立，胶料配方的优化设计，二维等值曲线图的绘制及这些工作的计算机实现；

④ 胶料配方数据库的基本知识和它的实现。

有关试验设计的其它方法参见本篇第二章第二节。

## 第一节　正交试验设计及统计分析

在橡胶工业的生产和科学研究中，经常要做大量的配方试验。试验方案安排得当，试验次数不多就能得到满意的结论；试验方案安排得不好，虽然试验次数较多也不一定能得到满意的结果。有时试验次数过多，不但浪费了大量人力、物力，延长了配方研制周期，而且由于时间拖得过长，使得试验条件改变，从而导致试验失败。因此，合理地安排试验，即认真地进行试验设计乃是一个值得重视的问题。现举一例如下。

例 1　某轮胎厂为提高胎侧胶的耐屈挠性能，开展了对胎侧胶耐屈挠性能的研究，以期望得到新的生产配方。现考虑 3 个配方因素对胎侧胶耐屈挠性能的影响。

第一个因素是促进剂总量；

第二个因素是炭黑品种，试验中选用天津高耐磨炉黑和长春硬质炭黑与天津高耐磨炉黑并用；

第三个因素是硫黄用量。

按照传统的简单比较法安排试验方案，可以在促进剂总量与硫黄用量固定的情况下，变化炭黑品种，做一轮试验，确定炭黑品种；其次固定炭黑品种及硫黄用量，对促进剂总量进行变量试验，确定促进剂总用量；在前二轮试验的基础上，再进行硫黄用量的变量试验，最后得到一个认为满意的方案。其实，这样安排试验，试验次数多且试验周期长，得到的结论不一定可靠，因为它只是孤立地考察各因素的作用，没有考虑不同因素间相互搭配时所起的作用。

我们采用下述方法安排试验：

因子与水平

因子$A$：促进剂总量；

第一水平$A_1$：1.5，第二水平$A_2$：1.0。

因子$B$：炭黑品种；

第一水平$B_1$：天津高耐磨炉黑，第二水平$B_2$：天津高耐磨炉黑与长春硬质炭黑并用。

因子$C$：硫黄用量

第一水平$C_1$:2.5，第二水平$C_2$:2.0

3个因子各取二个水平的所有可能组合是$2\times2\times2=8$，按下列顺序安排8次试验，就做完了所有可能的8种配方。

第一号：$A_1$ $B_1$ $C_1$；

第二号：$A_1$ $B_1$ $C_2$；

第三号：$A_1$ $B_2$ $C_1$；

第四号：$A_1$ $B_2$ $C_2$；

第五号：$A_2$ $B_1$ $C_1$；

第六号：$A_2$ $B_1$ $C_2$；

第七号：$A_2$ $B_2$ $C_1$；

第八号：$A_2$ $B_2$ $C_2$

这种试验安排称为3个二水平因子的全面试验。把这组试验用正交表$L_8(2^7)$列出来得表1-15-1。

表 1-15-1 三因子二水平试验方案

| 试验号 \ 列号及因子 | 1<br>A | 2<br>B | 3 | 4<br>C | 5 | 6 | 7 | 屈挠，万次 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 51.5 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 52.0 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 52.0 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 51.5 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 52.0 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 63.0 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 52.5 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 52.0 |

对试验结果进行统计分析，可发现：促进剂总量对胶料耐屈挠性能影响显著；炭黑品种、硫黄用量对胶料耐屈挠性能影响不显著；炭黑品种与硫黄用量二者的搭配对胶料耐屈挠性能影响显著；$B_1C_2$搭配好；所以得到最好的生产配方是$A_2B_1C_2$，即促进剂总量为1.0，炭黑品种为天津高耐磨炉黑，硫黄用量为2.0。

由此可见，认真进行了试验设计，仅用八个配方试验就找出了影响胶料耐屈挠性能的主要因素和较优的配方方案，这是传统的简单比较试验法所做不到的。这种试验设计法跳出了在其它条件固定下进行比较的框框而进行整体设计，其结果是通过对试验数据进行综合比较分析而取得的。

试验设计是数理统计的一门重要分支，它的主要内容是讨论如何合理地安排试验以及试验后的数据如何分析等[1]。其基本思想是：使影响试验结果的多个因素同时变动，将试验结果综合比较，进行统计分析，从而得出哪些因素影响大，哪些因素影响小，进而找出最佳生产方案，最优工艺参数。用试验设计法安排配方试验可以做到下面两点：

①在试验安排上尽可能地减少试验次数；

②在较少试验的基础上，充分利用所取得的试验数据，通过统计分析，得出正确的结论，得到最优生产方案。

## 一、正交试验设计

正交试验设计法是利用正交表进行整体设计、综合比较和统计分析、研究多因素试验问题的一种重要的数学方法。目前已在冶金、化工、纺织、橡胶等方面得到了有效的应用。

### （一）正交表

1．正交表的含义

我们将表1-15-1简化写成表1-15-2的形式，就构成了一张$L_8(2^7)$正交表。

表 1-15-2　$L_8(2^7)$正交表

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |

从$L_8(2^7)$正交表可以看出以下二点。

①任意二列中1和2的数目相同，即每个因素在每列中各水平出现的次数相同。如在$L_8(2^7)$正交表的七列中，每列都有4个1和4个2，即各出现4次。

②任意二列同行组成的数字对（1,1）、（1,2）、（2,1）、（2,2）各有两个，即任意二个因素各水平配搭出现的次数相同。

这就是正交表的性质——对称性，即正交性。

二列之间具有搭配均匀性质的表，即具有正交性质的表称为正交表[1]。

2．正交表符号的说明

正交表有它专用的记号，如：$L_4(2^3)$、$L_8(2^7)$、$L_{16}(2^{15})$、$L_9(3^4)$、$L_{27}(3^{13})$、$L_{16}(4^5)$等。以$L_4(2^3)$为例，说明正交表记号的含意。

$L_4(2^3)$

- 表示在表中有3列，在这张正交表中最多可安排3个二水平因素
- 表示在这张正交表中的因素有二个水平
- 表示在表中有4行，用这张正交表安排的试验方案需做4次试验
- 表示“正交”

上面列举的正交表都是水平数相等的正交表，即每列中所包含的水平数相等。还有一些正交表中各列所包含的水平数不相等，这类正交表叫做混合型正交表。如：$L_8(4\times2^4)$，它是将二水平正交表$L_8(2^7)$的第1、2列按(1,1)→1、(1,2)→2、(2,1)→3、(2,2)→4改造后面成的混合型正交表，表中共有8行5列。实质上是将$L_8(2^7)$表中的1、2二列，连同它们

的交互列（第3列）一起改为四水平的一列，$L_8(2^7)$表的1、2、3列由1、2、3、4四个水平组成，后四列由1、2二个水平组成，用这张正交表安排试验，需做8次试验，最多可考察一个四水平和四个二水平的因素。

本章附录Ⅰ中给出了部分正交表。

**（二）交互作用**

在例2中，通过统计分析得到炭黑品种和硫黄用量对胶料的耐屈挠性能无影响，但这两个因素的不同搭配却显著地影响着胶料的耐屈挠性能，因而得出$A_2B_1C_2$这一最佳配方。因素间联合起来影响胶料某一性能的作用称为因素间的交互作用[1]。部分交互作用表见本章附录Ⅰ。

我们通常说的交互作用，系指一阶交互作用而言，还有$A^2\times B$，$B^2\times C^2$，$A\times B\times C$等高阶交互作用，一般的正交试验设计只考虑到一阶交互作用，高阶交互作用常常被忽略。

**（三）用正交表进行配方试验设计**

用正交表进行配方试验设计可分以下步骤。

1．确定变量因素并列出因素水平表

首先根据试验的目的，确定试验所要考察的胶料性能指标，在此基础上分析影响各性能指标的各种配方因素，排除那些对性能指标影响不大或与性能指标间关系已确被掌握了的因素，将它们固定在合适的取值上，把那些对性能影响大的因素，定为本次试验的变量因素，然后确定这些变量因素的取值范围（即优选区），在优选区内定出每个因素的水平数和每个水平的取值，每个因素的水平数可以相等，也可以不相等。在因素、水平确定后，列出因素水平表。例1的因素水平表为表1-15-3。

表 1-15-3　因素水平表

| 因素 / 水平 | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$(1.5) | $B_1$(HAF) | $C_1$(2.5) |
| 2 | $A_2$(1.0) | $B_2$(HAF+EPC) | $C_2$(2.0) |

安排试验时还应考虑，在一批试验中，如果要在不同机器（或同一配方因素使用不同品质的几种原料、由几位不同水平的试验人员进行试验等）上进行，由于机器（或原料、人员）的不同而带来误差，从而干扰试验的分析，则在安排试验时，可以用正交表中未安排因素的列来安排机器（或原料、人员）。

另一应考虑的问题是，在上面的例子中，每个因素的水平总是由大到小（或由小到大）按顺序排列，用正交表安排试验时，所有的1水平要碰到一起，所有的2水平也要碰到一起，而这些极端情况的出现，有时是试验者所不希望的，有时是没有实际意义的，有时试验者希望某一种特定的水平组合出现。因此，最好不要完全按由小到大或由大到小排列因素水平的实际用量，常用随机化的方法来安排因素水平的实际用量。

例如：研究硫化体系时，可采用下面的形式安排硫黄这个因素水平的实际用量。

| 水　　平 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 实际用量 | 2.3 | 2.5 | 1.9 | 2.1 |

上述的工作，不是由数学方法能够解决的，必须由技术人员根据实际情况，结合经验而定，这是进行试验设计取得满意结果的重要环节，应特别引起注意。

2．正交表的选用

（1）有关正交表中自由度的规定

①正交表的总的自由度$f_{总}$＝试验次数－1；

正交表每列的自由度$f_{列}$＝此列水平数－1；

正交表的总的自由度$f_{总}$＝各列自由度之和。

②某因子的自由度$f_i$＝该因子的水平数－1；

两个因子间交互作用的自由度$f_{i\times j}$＝两个因子自由度的积。

（2）正交表的选用原则　正交表的选用，一般系根据因子及水平的多少以及试验的费用、精度要求而定。表选的太小，要考察的因子及其交互作用可能安排不下，有时虽然能安排得，但精度低；选得过大，虽然精度高，但试验次数多，以至实际情况不允许，如在原材料昂贵情况下，试验费用大大增加，也不符合节约原则。正交表的选用，在考虑了上述情况下又是很灵活的，没有严格的规定，必须视具体情况做具体分析。如果全是二水平的，就取二水平的正交表$L_8(2^7)$、$L_{16}(2^{15})$、$L_{32}(2^{31})$等；如果全是三水平的，就取三水平的正交表$L_9(3^4)$、$L_{27}(3^{13})$等；如果水平数不相等，可选用$L_{16}(4^3\times 2^6)$、$L_8(4\times 2^4)$等。但是一般说来有一条原则：要考察的因子及交互作用的自由度总和必须不大于所选正交表的总自由度。这条原则也仅是为我们提供了一个选择合适正交表的可能性，至于如何选择合适的正交表，还必须通过具体实践而定。

3．表头设计

（1）表头设计的方法　在确定了变量因素和水平，并选取了合适的正交表后，剩下的问题就是如何合理地把各因子和要考察的交互作用安排到正交表的各列上去，这就是表头设计。

表头设计的方法各种各样，但必须符合上述有关自由度的两条原则，因此，我们根据这些原则，归纳出表头设计的基本步骤和一般方法如下。

①首先考虑交互作用不可忽略（包括一时不知能否忽略的）的因子，按"不可混杂"● 的原则，将这些因子及其交互作用在表头上排妥。

②在表头设计时，一般总先把因子放在常用列● 上。只有当要考察的因子较多，常用列上放不下时，才将因子安排在非常用列上。

③剩余的那些可忽略交互作用的因子，可以任意安排在余下的各列上。

附录Ⅰ中列出了部分表头设计。

（2）表头设计举例

例 2　例 1 的表头设计

---

● 混杂——某一列分别代表一个因子和一个或多个交互作用或代表二个因子或多个交互作用，这种现象称为混杂。

● 对于$L_8(2^7)$来讲，习惯上常用列是第 1、2、4 列；$L_{16}(2^{15})$常用列是第 1、2、4、8 列；$L_{32}(2^{31})$常用列是第 1、2、4、8、16列。

假如我们不知它们彼此之间的交互作用能否忽略（一般情况下，三因子间或更高阶的交互作用可忽略，所以本章中所指的交互作用系指二因子间的交互作用而言）。首先将 A、B 两个因子安排在$L_8(2^7)$的常用列 1 、 2 列上，那么第 3 列就是$A$、$B$的交互作用列，于是把$C$安排在第 4 列上，第 5 列为 $A$、$C$ 的交互作用列，第 6 列为 $B$、$C$ 的交互 作用列，第 7 列空白，作为误差列，这样可得到表1-15-4所示的表头设计。

表 1-15-4 表头设计

| 因　　素 | $A$ | $B$ | $A\times B$ | $C$ | $A\times C$ | $B\times C$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 列　　号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

**例 3　乙丙橡胶硫化体系的研究**

要考察的因子有 3 个，每个因子取 3 个水平，因子水平表见表1-15-5。

表 1-15-5 因素水平表

| 因子 / 水平 | $A$ (硫黄用量) | $B$ (DM/TS) | $C$ (DMC+TS) |
|---|---|---|---|
| 1 | $A_1(1.5)$ | $B_1(2/1)$ | $C_1(1.5)$ |
| 2 | $A_2(2.0)$ | $B_2(3/1)$ | $C_2(1.25)$ |
| 3 | $A_3(2.5)$ | $B_3(4/1)$ | $C_3(1.0)$ |

在不考虑交互作用时，可选用$L_9(3^4)$表来安排试验，将因子$A$、$B$、$C$放在 1 、 2 、 3 列上，第 4 列留作误差，于是得到如下的表头设计：

| 因　　素 | $A$ | $B$ | $C$ | |
|---|---|---|---|---|
| 列　　号 | 1 | 2 | 3 | 4 |

如果考虑$A$与$C$的交互作用，选用$L_9(3^4)$表显然是不合适的，所以选用 $L_{27}(3^{13})$表来安排试验，于是得下面的表头设计。

| 因　　素 | $A$ | $B$ | | $C$ | $(A\times C)$ | $(A\times C)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 列　　号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

**例 4**　研究某一橡胶配方，选取 4 个因素，每个因素取 4 个水平，其因子水平表如表1-15-6所示。

在不考虑交互作用的情况下，4 个因素都为 4 个水平时，选 用 $L_{16}(4^5)$，4 个因素 放在表的任意 4 列上，得表头设计如下。

| 因　　素 | $A$ | $B$ | $C$ | $D$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| 列　　号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

表 1-15-6 因素水平表

| 因素 / 水平 | A (促进剂总量) | B (氧化锌总量) | C (促进剂D占的比例) | D (促进剂M占的比例) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $A_1$(2.9) | $B_1$(1) | $C_1$(25%) | $D_1$(34.7%) |
| 2 | $A_2$(3.1) | $B_2$(3) | $C_2$(30%) | $D_2$(39.7%) |
| 3 | $A_3$(3.3) | $B_3$(5) | $C_3$(35%) | $D_3$(44.7%) |
| 4 | $A_4$(3.5) | $B_4$(7) | $C_4$(40%) | $D_4$(49.7%) |

如果$A$、$B$、$D$取4个水平，$C$取二个水平，选用$L_{16}(4^3\times2^6)$表，$A$、$B$、$D$安排在前三列上，$C$安排在余下的任一列上，得表头设计如下。

| 因　素 | A | B | D | C | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 列　号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

4．列出配方试验方案表

将表头上已安排了因素的每列中的数字即水平数，依次改写成该因素取此水平时相应的实际用量，得到一张含有试验号及每次试验中各变量因素实际用量的表，这就是配方试验方案表。例1的配方试验方案见表1-15-7。

到此，用正交表进行试验设计的工作就做完了，将已得到的试验方案加上配方中其它被固定的组分添入配方表中就可进行试验工作。为了减少试验中由于先后掌握不匀带来的误差干扰，试验进行的次序可不按正交表中的试验号码排列，而是用抽签等方法来决定。

表 1-15-7 配方试验方案表

| 因素 / 试验号 | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.5 | 天津高耐磨炉黑 | 2.5 |
| 2 | 1.5 | 天津高耐磨炉黑 | 2.0 |
| 3 | 1.5 | 天津高耐磨炉黑＋长春硬质炭黑 | 2.5 |
| 4 | 1.5 | 天津高耐磨炉黑＋长春硬质炭黑 | 2.0 |
| 5 | 1.0 | 天津高耐磨炉黑 | 2.5 |
| 6 | 1.0 | 天津高耐磨炉黑 | 2.0 |
| 7 | 1.0 | 天津高耐磨炉黑＋长春硬质炭黑 | 2.5 |
| 8 | 1.0 | 天津高耐磨炉黑＋长春硬质炭黑 | 2.0 |

### （四）部分实施

随着因子数目和因子所取水平数的增多，全面试验的试验次数大幅度增加。由于高级交互作用及某些二因子间交互作用的忽略（经验已告诉人们，此二因子间无交互作用），反映在正交表上，就是存在着较多的空白列。空白列的存在对统计分析是有利的（无需做重复试验），但过多也是不必要的，会造成浪费。因此，除十分必要外，一般不进行全面试验，而仅仅选做其中的一部分试验，以减少空白列，多安排因子，这就是“部分实施”。例如：1/2

实施，1/4实施，1/3实施等。在使用部分实施安排试验计划时应注意，一定要避免混杂，即一定要弄清哪些交互作用是可以忽略的，哪些交互作用是不可忽略的，千万不要把需要考察的交互作用与某一因子或另一需要考察的交互作用安排在同一列上。通过部分实施，虽减少了试验次数，但仍能得到比较满意的结果，这是由正交表的正交性决定的。

## 二、方 差 分 析

用正交表安排试验方案并取得完整的、所需要的数据后，如何科学地分析这些数据，以得出正确的结论，是一个很重要的问题。为了实现对数据的科学分析，就要使用方差分析的方法。

在所取得的试验数据中，我们会发现这些数据之间是参差不齐的，即数据有大有小，甚至相差很大。数据间的这种差异来源于两个方面：一是由于各因子取不同水平所致，即因子对此性能的贡献；二是由于试验中存在着误差（它是由一些偶然的因素，如：环境，原材料，测试等的微小、随机的变化引起的）。简单地说，方差分析是一种把由于因子水平（或交互作用）的改变所引起试验结果的差异和由于试验误差的波动引起试验结果的差异区别开来，并将二者比较，然后得出因素对性能指标影响大小的正确结论的方法[16]。

在进行表头设计时，往往都留有不放因子的空白列，我们用空白列的平均离差平方和来估计试验误差，用放因子或交互作用列的平均离差平方和与之比较，从而鉴别哪些因子和交互作用对胶料性能指标的影响显著，哪些因子和交互作用影响小，即不显著，影响显著的因子应取何水平，影响显著的交互作用的因子水平搭配，最后得到一个较好的胶料配方。这是利用了正交表特有的“综合可比性”这一特点。由于计算较繁，通常都是把计算的中间结果和最后结果列成表格，即方差分析表。

### （一）离差平方和

设试验数据为 $y_1$，$y_2$，$y_3$，$\cdots$，$y_n$。用$\bar{y}$代表它们的算术平均值，即

$$\bar{y}=(y_1+y_2+y_3+\cdots+y_n)/n=\sum_{i=1}^{n}y_i/n$$

式中“$\Sigma$”表示求和，“$\sum_{i=1}^{n}y_i$”表示把$y_1$，$y_2$，$y_3$，$\cdots$，$y_n$加和的意思。我们称 $y_1$，$y_2$，$\cdots$，$y_n$与$\bar{y}$之差的平方和为离差平方和，记为$S$。即

$$S=\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2$$

不难看出，$S$刻划了$n$个数据$y_i(i=1,2,\cdots,n)$ 的集中与分散程度，即$S$越大，表明这组数据越分散；$S$越小，表明这组数据越集中。

还可以看出，$S$的大小与该组数据的个数有关。为了合理地比较两组个数不同的数据的分散和集中程度，必须采用平均离差平方和（简称为均方和），即将$n$个数据$y_1$，$y_2$，$\cdots$，$y_n$的离差平方和$S=\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})$除以$(n-1)$，就得到平均离差平方和$S/(n-1)$。因为$y_1$，$y_2$，$\cdots$，$y_n$这$n$个数据并非无关，而是满足$\bar{y}=\sum_{i=1}^{n}y_i/n$这一关系式，所以数学上称这$n$个数中只有$n-1$个（此处“1”即一个关系式）是“自由”变动的，所以除以（$n-1$），$n-1$就称为$S$的自由度。

## （二）试验数据的方差分析

1．举例

**例 5** 为了方便，仍以例 1 为例来说明如何对所取得的试验数据进行方差分析。

假定只考察 3 个因子和 1 个交互作用 $B \times C$（其他交互作用均被忽略）对胶料耐屈挠性能的影响，选用正交表 $L_8(2^7)$，$A$、$B$、$C$ 三个因子分别安排在 1，2，4 列上，第 6 列则为 $B \times C$。做 8 次试验（即 8 个配方试验），得到 8 个试验数据 $y_1$，$y_2$，…，$y_8$（真实结果见表1-15-1），它们的算术平均值为：

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{8} y_i / 8 = 52.0625$$

总的离差平方和$S_{总}$为：

$$S_{总} = \sum_{i=1}^{8} (y_i - \bar{y})^2 = 1.71875$$

其自由度为（8－1）＝7。$S_{总}$的大小反映了这组试验结果的差异。这个差异是由因子水平的改变和已考虑的交互作用及误差（随机因素及确实存在而又未被考虑的交互作用）引起的。

下面我们来计算由因子水平的改变引起的差异。例如因子A，它被放在 $L_2(2^7)$ 表的第 1 列上，有 4 个 1 水平和 4 个 2 水平，我们可以利用 4 个 1 水平对胶料耐屈挠性能的平均影响 $\mathrm{I}_1/4$代表各个 1 水平（四个）对胶料耐屈挠性能的影响（这里 $\mathrm{I}_1 = y_1 + y_2 + y_3 + y_4$），用 4 个 2 水平的平均影响 $\mathrm{II}_1/4$ 代表各个 2 水平（4 个）对胶料耐屈挠性能的影响（这里 $\mathrm{II}_1 = y_5 + y_6 + y_7 + y_8$）。$\mathrm{I}_1/4$与$\mathrm{II}_1/4$有可比性，因为在 1 水平条件下的 4 次试验（1～4）中，因子 $B$、$C$ 皆取了二个水平，而且二种水平出现的次数相同，各为 2 次；同样在 2 水平条件下，因子 $B$、$C$ 的两个水平也各出现 2 次。这就是说，对于 $A$ 因子取 1 水平的 4 次试验和取 2 水平的 4 次试验结果，虽然 $B$、$C$ 也在变动，但这种变动是“平等”的，所以 $\mathrm{I}_1/4$与 $\mathrm{II}_1/4$之间的差异反映了因子 $A$二个水平的差异。当然这里面还包含误差的影响。因子 $A$取二个不同水平所引起的结果的离差平方和可由$\mathrm{I}_1/4$与$\mathrm{II}_1/4$之间的离差计算得到。

4 个$\mathrm{I}_1/4$和4个$\mathrm{II}_1/4$的平均值即总平均值为

$$(4 \times \mathrm{I}_1/4 + 4 \times \mathrm{II}_1/4)/8 = (\mathrm{I}_1 + \mathrm{II}_1)/8 = \bar{y}。$$

所以
$$\begin{aligned} S_A &= 4 \times (\mathrm{I}_1/4 - \bar{y})^2 + 4 \times (\mathrm{II}_1/4 - \bar{y})^2 \\ &= \mathrm{I}_1^2/4 + \mathrm{II}_1^2/4 - 2\bar{y}(\mathrm{I}_1 + \mathrm{II}_1) + 8\bar{y}^2 \\ &= \mathrm{I}_1^2/4 + \mathrm{II}_1^2/4 - 2(\mathrm{I}_1 + \mathrm{II}_1)(\mathrm{I}_1 + \mathrm{II}_1)/8 + 8((\mathrm{I}_1 + \mathrm{II}_1)/8)^2 \\ &= (\mathrm{I}_1 - \mathrm{II}_1)^2/8 \\ &= 0.78125 \end{aligned}$$

其自由度 $f_A = (2-1) = 1$。

同理可求出 $S_B$、$S_C$、$S_{A\times B}$、$S_{A\times C}$、$S_{B\times C}$及空白列（第 7 列）$S_7$。

第 7 列是空白列，未放因子，$S_7$不包含因子水平间的差异，它反映了试验误差的大小。因此，在正交试验设计中，可把空白列的离差平方和作为试验误差的估计，称之为误差平方和，记作$S_e$。在有多个空白列时，为了提高对试验误差估计的精度，把这些空白列的离差平方和合并起来（即各空白列离差平方和之和）作为试验误差的估计。某些列虽为交互作用列（两个因子的交互作用），在不做为本次试验考察之对象（即此交互作用被忽略）时，其离差平方和也与误差平方和合并之。在被考察的因子或交互作用列的离差平方和等于或小于误差平方和时，因为该列不显著，即对性能无贡献，为提高精度，也常被合并于误差平方和。

所以，误差平方和之值应为空白列离差平方和、本次试验中被忽略的交互作用列离差平方和与接近于上述二离差平方和之和的列的离差平方和之和，其自由度也为此三部分的自由度之和。

为了清楚起见，常把各离差平方和的计算过程列成表1-15-8的形式。

表 1-15-8 离差平方和的计算

| 因子列号 / 试验序号 | $A$ | $B$ | $A\times B$ | $C$ | $A\times C$ | $B\times C$ | | 屈挠 (万次) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 51.5 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 52.0 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 52.0 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 51.5 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 52.0 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 53.0 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 52.5 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 52.0 |
| Ⅰ | 57.0 | 58.5 | 58.0 | 58.0 | 58.5 | 57.0 | 58.5 | |
| Ⅱ | 59.5 | 58.0 | 58.5 | 58.5 | 58.0 | 59.5 | 58.0 | |
| Ⅰ－Ⅱ | −2.5 | 0.5 | −0.5 | −0.5 | 0.5 | −2.5 | −0.5 | |
| $(Ⅰ-Ⅱ)^2/8$ | 6.25/8 | 0.25/8 | 0.25/8 | 0.25/8 | 0.25/8 | 6.25/8 | 0.25/8 | |

把要考察的因子或交互作用的平均离差平方和与平均误差平方和进行比较，例如因子$A$，得

$$F=(S_A/f_A)/(S_e/f_e)=25$$

很明显，这个比值越大，表明因子的两个不同水平对性能指标的影响越大，反之则小。在此例中$F=25$，为了判断因子$A$对性能指标的影响是否显著，应当给出一个数量界限，这个界限是在一定置信度时，通过查$F$表而得。在0.95置信度时（一般情况下，其精度是够的），本例的$F$表值为10.13，因为$25>10.13$，所以因子$A$是显著的。其它因素及交互作用都用同样方式进行分析。

通常情况下，都把上述进行的显著性检验列成一个表，即方差分析表（表1-15-9）。

表 1-15-9 方差分析表

| 方差来源 | 平方和 | 自由度 | 平均平方和 | $F$值 | 显著性 |
|---|---|---|---|---|---|
| $A$ | 6.25/8 | 1 | 6.25/8 | 25 | *① |
| $B$ | 0.25/8 | 1 | 0.25/8 | 1 | |
| $C$ | 0.25/8 | 1 | 0.25/8 | 1 | |
| $B\times C$ | 6.25/8 | 1 | 6.25/8 | 25 | * |
| 误差 | 0.75/8 | 3 | 0.25/8 | | |

① 显著者一般用一个“*”号表示，特别显著者用“**”号表示。

虽然因子$B$、$C$对胶料耐屈挠性能无显著影响，但其交互作用$B\times C$是显著的，因此还要考虑它们如何搭配，才是最佳生产方案。为此，按$B$与$C$的不同搭配计算其平均值。

| | $B_1$ | $B_2$ |
|---|---|---|
| $C_1$ | (51.5+52.0)/2=51.75 | (52.0+52.5)/2=52.25 |
| $C_2$ | (52.0+53.0)/2=52.5 | (51.5+52.0)/2=51.75 |

从上面计算结果可以看出，$B_1C_2$和$B_2C_1$较好。

综合起来，对胶料耐屈挠性能来说，生产方案$A_2B_1C_2$和$A_2B_2C_1$较好。

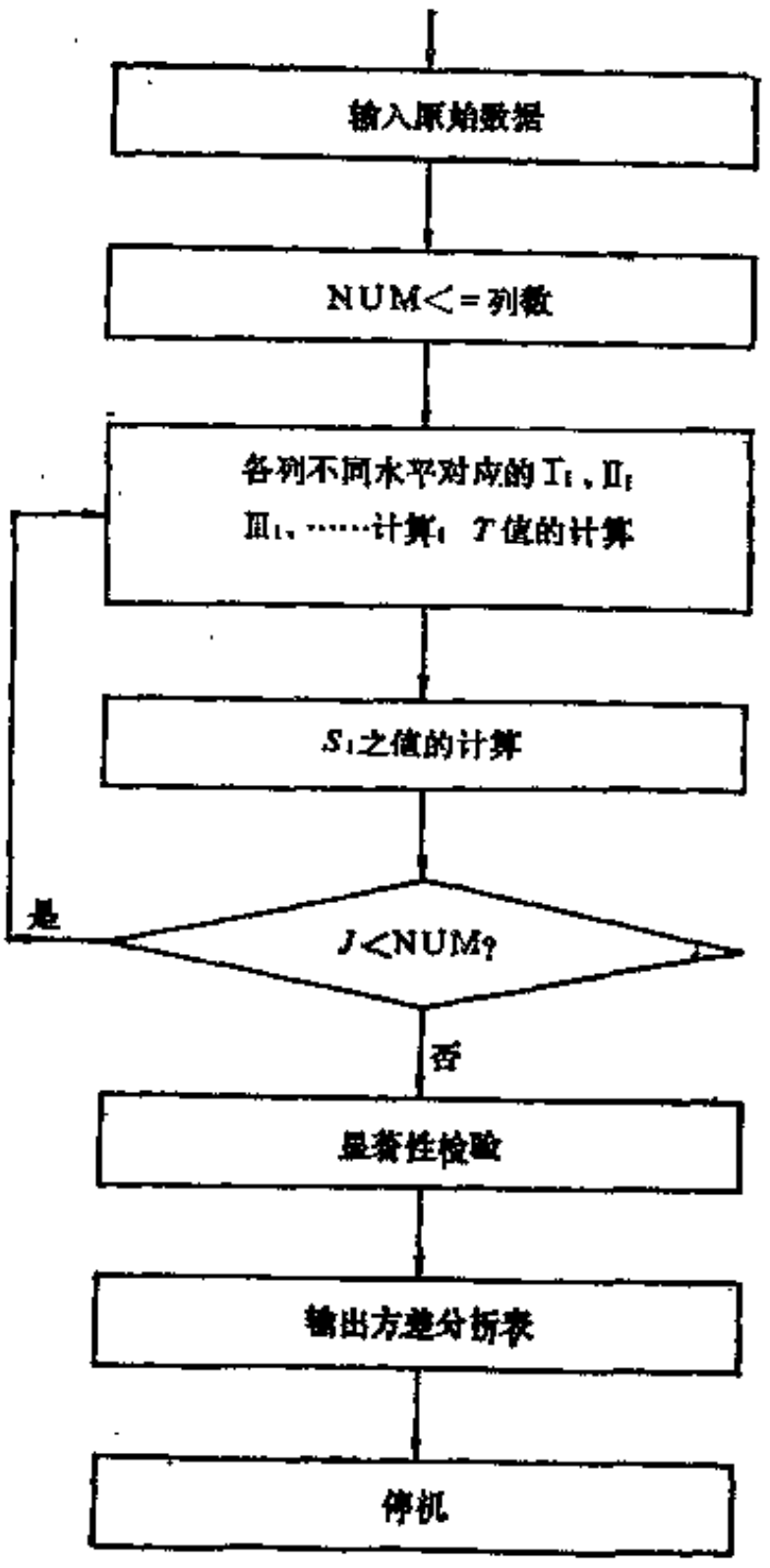



图 1-15-1 程序框图

2. 方差分析的计算

二水平正交试验的方差分析可按表1-15-8计算$(Ⅰ-Ⅱ)^2/n$，然后做一个方差分析表即表1-15-9的格式。在诸因子取更高水平情况下的计算为：

（1）计算各列不同水平对应之和：Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ，…；

（2）计算试验数据之总和：

$$T=\sum_{i=1}^{N} y_i$$

式中$N$为试验次数；

（3）计算各列对应的离差平方和：

$S_i=(Ⅰ^2+Ⅱ^2+\cdots)/$(每个水平的试验次数)$-T^2/$试验总次数

式中$i$为列号；

（4）计算$F$之值：$F=(S_i/f_i)/(S_e/f_e)$；

（5）查$F$表，做出显著性判断。

如果有交互作用显著时，通过计算不同搭配时的平均值，将其进行比较，最后做出较好配方的结论。

3. 程序框图

方差分析的一系列计算与分析判断，可以用人工进行，但很麻烦，也容易出错。用计算机来做这项工作就非常容易，而且准确无误，其粗略程序框图见图1-15-1。

## 第二节 回归分析和回归设计

### 一、回 归 分 析

#### （一）回归分析的意义

1. 二种不同类型的变量关系

简单地说，回归分析就是一种处理变量与变量之间关系的数学方法[2]。因此我们首先来

看一看变量之间的关系。

在生产和科学研究中，人们经常与各种变量打交道。处于同一过程中的各种变量是相互联系、相互依存的，从而它们之间存在着一定的关系。变量与变量之间的关系大致分为二类。一类是确定性关系。例如：正方形的面积等于边长的平方；电压等于电流乘以电阻等等，这类关系称为函数关系，这是人们早已熟知的。另一类变量间的关系则是不确定性的。例如：胶料的物理机械性能（如扯断强度，弹性，定伸应力等）与配方因子（如生胶用量，炭黑品种及用量，硫黄用量，促进剂品种及用量等）和加工工艺都是紧密相关的，但同样的配方因子和加工工艺，其胶料的物理机械性能却不一定完全一样。象这种至少有一个是随机变量的变量间关系称为相关关系，也称为回归关系[10]。

然而，这种具有不确定性关系的变量间往往还是有一定规律可循的。为了深入了解事物的本质，人们通过反复实践和调查研究，发现了许多变量间确实存在着某种客观规律性，从而建立了这些变量间的定量关系，来近似地描述所观察到的结果。变量间的相关关系尽管不是函数关系，但仍可借助于相应的函数表达它们之间的规律性，这样的函数称为回归函数[10]。例如：人们通过大量的试验观察，归纳出胶料物理机械性能与配方因子和加工工艺等因素之间的相关关系，可用一个二次多项式来近似地描述[3,4,5]。

研究两个变量之间相关关系称为一元回归分析，研究多个变量间相关关系称为多元回归分析等。回归函数为一次回归方程的称为线性回归，高于一次的称为非线性回归等。

2．回归分析所能解决的问题

回归分析是一种处理变量与变量间相关关系的一种数理统计方法。概括起来，主要解决下述几个方面的问题：

（1）确定几个特定的变量之间是否存在相关关系，如果存在的话，找出它们之间合适的数学表达式；

（2）根据一个或几个变量的值，预报或控制另一个变量的取值，并且要知道这种预报或控制的精确度；

（3）进行因素分析。例如，在共同影响一个变量的许多变量（因素）之间，找出哪些是重要因素，哪些是次要因素，这些因素之间的关系等等。

回归分析有着很广泛的应用，工农业生产和科学研究中的许多问题都可用回归分析的方法解决。现今，在橡胶工业中也正在成为一种非常有用的方法。

### （二）回归方程的建立

回归分析根据所研究对象的不同，有一元回归分析、多元回归分析、线性（一次）回归分析和非线性（高次）回归分析。为叙述方便起见仅以一元线性回归为例说明回归方程的建立。

1．确定回归方程的原则

例 6　在某合成纤维的强度与拉伸倍数试验中，得到强度 $y$ 与相应的拉伸倍数 $x$ 间对应的一组数据，见表1-15-10。

将拉伸倍数 $x$ 作为自变量，强度 $y$ 作为因变量，绘成图1-15-2。

从图1-15-2可直观地看出二个变量之间存在着相关关系，而且大致呈一直线关系。因此可用线性函数关系来近似描述它，为：

$$\hat{y}=a+bx$$

于是可在这些点中间画一条直线，求出直线的斜率 $b$ 和截距 $a$，即确定了拉伸倍数 $x$ 和强度

表 1-15-10　某合成纤维拉伸倍数和强度

| 编　号 | 拉伸倍数$x$ | 强度$y$ | | 编　号 | 拉伸倍数$x$ | 强度$y$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MPa | (kgf/cm²) | | | MPa | (kgf/cm²) |
| 1 | 1.9 | 13.7 | (140) | 13 | 5.0 | 53.9 | (550) |
| 2 | 2.0 | 12.7 | (130) | 14 | 5.2 | 49.0 | (500) |
| 3 | 2.1 | 17.6 | (180) | 15 | 6.0 | 53.9 | (550) |
| 4 | 2.5 | 24.5 | (250) | 16 | 6.3 | 62.7 | (640) |
| 5 | 2.7 | 27.4 | (280) | 17 | 6.5 | 58.8 | (600) |
| 6 | 2.7 | 24.5 | (250) | 18 | 7.1 | 51.9 | (530) |
| 7 | 3.5 | 29.4 | (300) | 19 | 8.0 | 63.7 | (650) |
| 8 | 3.5 | 26.4 | (270) | 20 | 8.0 | 68.6 | (700) |
| 9 | 4.0 | 39.2 | (400) | 21 | 8.9 | 83.3 | (850) |
| 10 | 4.0 | 34.3 | (350) | 22 | 9.0 | 78.4 | (800) |
| 11 | 4.5 | 41.2 | (420) | 23 | 9.5 | 79.4 | (810) |
| 12 | 4.6 | 34.3 | (350) | 24 | 10.0 | 79.4 | (810) |

$y$ 之间的回归方程。

平面上的直线有无数条，究竟用哪一条来表达强度与拉伸倍数之间的相关关系更为切合实际情况呢？这就需要有一个原则。有些直线离各点都近些，用它来描述强度与拉伸倍数之间的关系，与实际情况较为符合；有些直线离各点的距离都远些，用它来描述强度与拉伸倍数之间的关系，其精度就差些。因此，回归直线乃是一切直线中最接近试验点的一条直线，也就是说，以这条直线来表达 $x$ 与 $y$ 之间的关系与实际数据的误差比其它任何直线都小。因此回归直线是描述 $x$ 与 $y$ 之间关系较为合理的一条直线。

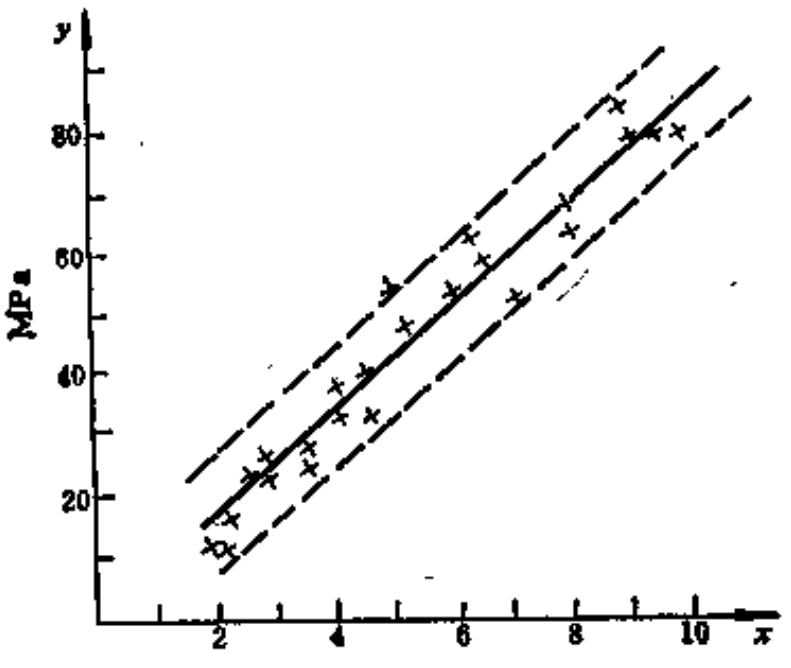



图 1-15-2　纤维的强度对拉伸倍数的回归直线

2. 回归方程系数的求解(最小二乘法原理)

在已知观察数据的情况下，如何定出一条符合上述原则的回归线（方程）呢？下面仍以例 6 为例来说明。

一般地说，若用$(x_t, y_t)(t=1,2,\cdots, N)$表示$N$组观察数据，即$N$个观察点，面在一条直线的方程可写成如下形式：

$$\hat{y}=a+bx。$$

如果用这条直线表达 $x$ 与 $y$ 之间的关系，则对每个已知的观察点 $(x_t, y_t)$，就用同一横座标$x_t$的直线上的点（其纵座标为$\hat{y}=a+bx$）来代替实际值$y_t$，其误差为

$$\delta=y_t-\hat{y}_t=y_t-a-bx_t$$

$N$个观察点所引起的误差$\delta_t$就构成了总误差。显然这个总误差不能用这些$\delta_t$的代数和

$$\sum_{t=1}^{N}\delta_t=\delta_1+\delta_2+\cdots+\delta_N$$

来表示。因为这些$\delta_t$中有正有负，所以单纯地相加，由于正负抵消而不能代表真正的误差。

用$\delta_i$的绝对值之和

$$\sum_{i=1}^{N}|\delta_i| = |\delta_1| + |\delta_2| + \cdots + |\delta_N|$$

来表示总误差，可以避免这个缺点，但是这种表示法给以后的数学处理带来麻烦，因此采用每个误差的平方和，即

$$Q = \sum_{i=1}^{N}\delta_i^2 = \sum_{i=1}^{N}(y_i - a - bx_i)^2 \qquad (1\text{-}15\text{-}1)$$

式（1-15-1）就做为总的误差。回归直线就是在所有的直线中误差平方和$Q$最小的一条直线，也就是说，回归直线的系数$a$和$b$使$Q$达到极小值。求回归直线的问题，实际上是求解回归方程系数的问题。

根据数学分析的极值原理，要使$Q$达到极小值，只需将式（1-15-1）分别对系数$a$、$b$求偏微分，令其等于零，于是满足

$$\begin{cases} \dfrac{\partial Q}{\partial a} = -2\sum_{i=1}^{N}(y_i - a - bx_i) = 0 \\ \dfrac{\partial Q}{\partial b} = -2\sum_{i=1}^{N}(y_i - a - bx_i)x_i = 0。 \end{cases}$$

解此联立方程组可得：

$$b = \sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \Big/ \sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

式中

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{N}x_i/N$$

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{N}y_i/N$$

从观察数据求出回归系数$a$、$b$之值后，就确定了回归方程为

$$\hat{y} = a + bx$$

上述确定回归方程的方法，是使它与所有观察数据误差的平方和达到极小值。由于平方运算也称为“二乘”运算，因此，通常也将此方法称为最小二乘法。

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2 \text{——} x \text{的离差平方和}$$

$$l_{yy} = \sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2$$

$$= \sum_{i=1}^{N}y_i - \left(\sum_{i=1}^{N}y_i\right)^2 N \text{——} y \text{的离差平方和}$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

$$= \sum_{i=1}^{N}x_iy_i - \left(\sum_{i=1}^{N}x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{N}y_i\right) \Big/ N \text{——} x\text{、}y \text{的离差乘积之和}$$

例 6 需建回归方程的计算过程见表1-15-11。

表 1-15-11　回归直线方程的计算步骤

| | | |
|---|---|---|
| $\sum_{i=1}^{N} x_i=127.5$ | $\sum_{i=1}^{N} y_i=110.38$ | $N=24$ |
| $\bar{x}=5.31$ | $\bar{y}=46.16$ | |
| $\sum_{i=1}^{N} x_i^2=829.61$ | $\sum_{i=1}^{N} y_i^2=62515.32$ | $\sum_{i=1}^{N} x_i y_i=71f^{\prime}$ |
| $\left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2 / N=677.34$ | $\left(\sum_{i=1}^{N} y_i\right)^2 / \mathrm{N}=51187.40$ | $\left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{N} y_i\right) / N=5888.23$ |
| $l_{xx}=152.27$ | $l_{yy}=11327.92$ | $l_{xy}=1281.45$ |
| $b=1281.45/152.27=8.416$ | | |
| $a=46.16-8.416\times 5.31=1.47$ | | |

于是得到某纤维的拉伸倍数和强度之间的回归方程为：

$$\hat{y}=1.47+8.416x$$

### （三）多元线性回归

一元线性回归问题是最简单的，它只讨论因变量与一个自变量之间的线性相关问题。在许许多多实际问题中，影响因变量的因素往往不是一个，而是多个，这类回归问题称为多元回归问题，其中简单而又一般的是多元线性回归问题，因为许多非线性回归问题均可以化成线性回归分析来处理。多元线性回归分析的原理与一元线性回归分析完全相同，但在计算上要复杂的多，以至于必须借助于电子计算机。下面通过一个二元线性回归的例子来说明多元回归分析计算的一般方法，然后推广到多元线性回归。

**例 7**　维尼纶工厂生产牵切纱的工艺流程是将维尼纶长丝经过牵切、粗纺、细纺三道工序纺成。根据经验，粗纱的质量不匀率$y$与牵切条干不匀率$x_1$和牵切质量不匀率$x_2$有关。试验测得29个样的结果见表1-15-12。

表 1-15-12　维尼纶长丝切条干不匀率$x_1$牵切质量不匀率$x_2$与粗纱不匀率$y$的数据

| 编　号 | $x_1$,% | $x_2$,% | $y$, % | 编号 | $x_1$,% | $x_2$,% | $y$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 15.58 | 1.95 | 1.34 | 16 | 17.88 | 2.52 | 2.41 |
| 2 | 10.68 | 1.37 | 1.27 | 17 | 13.38 | 1.43 | 1.69 |
| 3 | 15.62 | 2.39 | 1.56 | 18 | 14.21 | 2.27 | 1.59 |
| 4 | 15.78 | 1.14 | 1.48 | 19 | 16.80 | 1.41 | 1.19 |
| 5 | 13.22 | 1.85 | 1.40 | 20 | 16.38 | 1.78 | 2.44 |
| 6 | 16.44 | 1.32 | 1.82 | 21 | 10.81 | 1.32 | 1.35 |
| 7 | 11.40 | 2.05 | 0.85 | 22 | 17.26 | 1.31 | 1.57 |
| 8 | 16.17 | 1.11 | 1.40 | 23 | 14.92 | 1.42 | 1.64 |
| 9 | 14.03 | 1.47 | 1.15 | 24 | 18.14 | 2.13 | 1.64 |
| 10 | 15.67 | 1.38 | 1.89 | 25 | 18.15 | 1.20 | 2.34 |
| 11 | 12.74 | 1.35 | 0.87 | 26 | 10.31 | 0.98 | 0.65 |
| 12 | 11.73 | 1.33 | 1.53 | 27 | 11.40 | 1.27 | 1.19 |
| 13 | 14.84 | 1.09 | 1.25 | 28 | 12.57 | 0.87 | 2.06 |
| 14 | 13.73 | 1.27 | 2.47 | 29 | 17.61 | 1.21 | 1.57 |
| 15 | 15.12 | 1.78 | 1.83 | | | | |

利用表1-15-12中的数据，在$x_1$、$x_2$与$y$之间配置一条线性回归方程。

$$\hat{y}=b_0+b_1x_1+b_2x_2$$

式中　$\hat{y}$——粗纱质量不匀率的计算值；

$b_0$——回归方程的常数项；

$b_1$——对于$x_1$的回归系数；

$b_2$——对于$x_2$的回归系数。

在多元回归分析中，$y$对某一自变量的回归系数表示当其它自变量都固定时，该自变量变化一个单位时，使$y$平均变化的数值。

$b_0$、$b_1$、$b_2$仍应用最小二乘原理求得，即选取这样的$b_0$、$b_1$、$b_2$之值使残差平方和（总的误差平方和）$Q$达到极小值。

$$Q=\Sigma(y-\bar{y})^2=\Sigma(y-b_0-b_1x_1-b_2x_2)^2$$❶

用求偏微分的方法可得出$b_1$，$b_2$必须满足下面的线性方程组

$$\begin{cases}\Sigma(x_1-\bar{x}_1)^2b_1+\Sigma(x_1-\bar{x}_1)(x_2-\bar{x}_2)b_2=\Sigma(x_1-\bar{x}_1)(y-\bar{y})\\ \Sigma(x_1-\bar{x}_1)(x_2-\bar{x}_2)b_1+\Sigma(x_2-\bar{x}_2)^2b_2=\Sigma(x_2-\bar{x}_2)(y-\bar{y})\end{cases}$$

我们称这种确定回归系数的方程组为正规方程。常数项$b_0$由

$$b_0=\bar{y}-b_1\bar{x}_1-b_2\bar{x}_2$$

来求解。

其中

$$\bar{y}=(\Sigma y)/N,\quad \bar{x}_1=(\Sigma x_1)/N,\quad \bar{x}_2=(\Sigma x_2)/N。$$

令：　$l_{ij}=l_{ji}=\Sigma(x_i-\bar{x}_i)(x_j-\bar{x}_j)\quad i,j=1,2$

$$l_{iy}=\Sigma(x_i-\bar{x}_i)(y-\bar{y})\quad i=1,2$$

则正规方程可简化为：

$$\begin{cases}l_{11}b_1+l_{12}b_2=l_{1y}\\ l_{21}b_1+l_{22}b_2=l_{2y}\end{cases}$$

解正规方程得：

$$b_1=(l_{1y}l_{22}-l_{2y}l_{12})/(l_{11}l_{12}-l_{12}^2)$$

$$b_2=(l_{2y}l_{11}-l_{1y}l_{21})/(l_{11}l_{12}-l_{12}^2)$$

对表1-15-12中的数据进行计算，得：

| | | |
|---|---|---|
| $\bar{x}_1=14.57$ | $l_{11}=159.8905$ | $l_{1y}=16.1565$ |
| $\bar{x}_2=1.516$ | $l_{12}=7.2838$ | $l_{2y}=0.8551$ |
| $\bar{y}=1.567$ | $l_{22}=5.1999$ | $l_{yy}=6.0436$ |

于是得正规方程：

$$\begin{cases}159.8905b_1+7.2838b_2=16.1565\\ 7.2838b_1+5.1999b_2=0.8551\end{cases}$$

解正规方程得：

---

❶ 为简单起见，后文中凡没有下标的"$\Sigma$"号均表示对指标$i$求和，即对所有观测点的相应数据求和，$i=1,2,\cdots,N$。

$$b_1=(16.1565\times5.1999-0.8551\times7.2838)/(159.8905\times5.1999-(7.2838)^2)$$
$$=0.0999$$
$$b_2=(0.8551\times159.8905-16.1565\times7.2838)/(159.805\times5.1999-(7.2838)^2)$$
$$=0.0245$$
$$b_0=1.567-0.0999\times14.57-0.0245\times1.516$$
$$=0.074$$

故粗纱质量不匀率$y$对牵切条干不匀率$x_1$及牵切质量不匀率$x_2$的线性回归方程为：

$$\hat{y}=0.074+0.0999x_1+0.0245x_2$$

上述求解二元线性回归方程系数的方法推广到有多个自变量的情况。

设影响因变量$y$的自变量共有$k$个：$x_1$，$x_2$，…，$x_k$，通过试验得到$N$组观测数据

$$(x_{1t},\ x_{2t},\ \cdots,\ x_{kt};\ y_t)\qquad t=1,2,\cdots,\ N。$$

根据这$N$组观测数据，在$y$与$x_1$，$x_2$，…$x_k$之间配一线性回归方程

$$\hat{y}=b_0+b_1x_1+b_2x_2+\cdots+b_kx_k。$$

式中 $b_i(i=1,2,\cdots,\ k)$为$y$对$x_i$的回归系数，$b_0$为常数项。

根据最小二乘法原理，选择这样的$b_0$，$b_1$，…，$b_k$使

$$Q=\Sigma(y-\hat{y})^2=\Sigma(y-(b_0+b_1x_1+\cdots+b_kx_k))^2$$

达到极小值。为此，将上式分别对$b_0$，$b_1$，…，$b_k$求偏微商，令其等于零，化简整理得$b_1$，$b_2$，…，$b_k$必须满足下面的正规方程

$$\begin{cases} l_{11}b_1+l_{12}b_2+\cdots+l_{1k}b_k=l_{1y} \\ l_{21}b_1+l_{22}b_2+\cdots+l_{2k}b_k=l_{2y} \\ \vdots \\ l_{k1}b_1+l_{k2}b_2+\cdots+l_{kk}b_k=l_{ky} \end{cases}$$

$$b_0=\bar{y}-b_1\bar{x}_1-b_2\bar{x}_2-\cdots-b_k\bar{x}_k$$

式中 $\bar{y}=\Sigma y/N$；$\bar{x}_i=\Sigma x_i/N\quad i=1,2,\cdots,\ k$；

$l_{ij}=l_{ji}=\Sigma(x_i-\bar{x}_i)(x_j-\bar{x}_j)\quad i,\ j=1,2,\ \cdots,\ k$；

$l_{iy}=\Sigma(x_i-\bar{x}_i)(y-\bar{y})\quad i=1,2,\cdots,\ k$。

解上述正规方程，即可求出诸回归系数$b_i$之值，从而也可求出常数项$b_0$之值。

解正规方程的数学方法有许多，一种叫行列式法，但阶数高于3时，一般很少采用，另一种常用的方法是消去法（即消元法），此法可用来解任意阶的线性方程组，根据精度要求的不同，可有几种消元法供选择。

**（四）线性关系的显著性检验**

从上而所述的求解回归直线的方法来看，对任何一组试验数据（$x_t$，$y_t$），$t=1,2,\cdots,N$，不管它们之间是否确实存在线性相关关系，都可以利用最小二乘法，形式上求得$y$对$x$的回归直线。这就产生了一个问题，即$x$与$y$之间是否真的有线性相关关系呢？下面介绍线性相关关系显著性检验法：相关系数检验法；回归问题的方差分析。通过显著性检验，来回答$y$与$x$之间是否确实线性相关。

1．相关系数显著性检验

描述变量间线性关系密切程度的一个数量性指标称为相关系数。二变量情况下，通常用字母$r$表示，它是由下式定义和计算的。

$$r = l_{xy} / \sqrt{l_{xx} l_{yy}}$$
$$= \Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y}) / \sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2 (y-\bar{y})^2}$$

相关系数的符号取决于离差乘积之和$l_{xy}$，与回归系数 $b$ 一致。

在多变量情况下，因变量与多个自变量之间的相关系数称为复相关系数，通常用字母$R$表示，以下式来定义和计算这个量。

$$R = \sqrt{U/l_{yy}} = \sqrt{1 - Q/l_{yy}}$$

式中 $U$——回归平方和 $U = \Sigma(\hat{y}-\bar{y})^2 = \sum_{i=1}^{k} b_i l_{iy}$；

$Q$——剩余平方和 $Q = \Sigma(y-\hat{y})^2 = l_{yy} - U$；

$l_{yy}$——总离差平方和 $l_{yy} = \Sigma(y-\bar{y})^2 = U + Q$

可以证明，$0 \leqslant |r| \leqslant 1$，$0 \leqslant |R| \leqslant 1$。

$r$ 与 $R$ 之意义基本相同，下面仅以 $r$ 为例加以说明。

（1）当$|r|=1$时，所有的点都落在一条直线上，即回归直线上，此时称 $x$ 与 $y$ 完全线性相关。

（2）当 $r=0$时，则$l_{xy}=0$，$b=0$，即回归直线平行于 $x$ 轴，这说明 $y$ 的变化与 $x$ 无关，$x$ 与 $y$ 之间毫无线性关系。

（3）当$0 \leqslant |r| \leqslant 1$时，$x$ 与 $y$ 之间有一定的线性相关性。

相关系数确实可以表示出 $x$ 与 $y$ 之间线性相关性的密切程度，$|r|$越接近于零，$x$ 与 $y$ 之间的线性相关程度越低；反之，$|r|$越大，越接近 1，$x$ 与 $y$ 之间的线性相关性就越密切。但必须指出，$|r|$之值很小或甚至等于零，并不一定表示 $x$ 与 $y$ 之间不存在其它关系。那么，$|r|$接近于 1 达到何等程度，才能做出 $x$ 与 $y$ 之间确实存在着线性相关的结论呢？前人已为我们制定了相关系数的临界值表（见本章附录Ⅱ），在给定的置信度 $\alpha$ 下，可查出相应的临界值$r_\alpha$。当计算出的$|r|$大于$r_\alpha$时，就可以结论为 $x$ 与 $y$ 之间存在着线性相关关系，或者说 $x$ 与 $y$ 之间的线性相关性显著。当计算出的$|r|$小于$r_\alpha$时，则认为 $x$ 与 $y$ 之间不存在线性相关性，或者说线性相关性不显著。查表时的自由度计算是用观测数据的个数$N$减去变量的个数（包括因变量和自变量）。

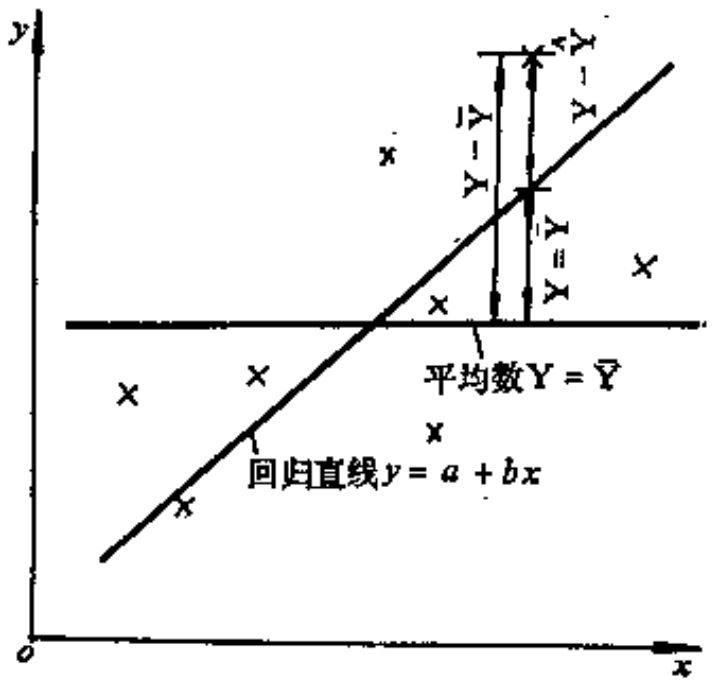



图 1-15-3 $y-\bar{y}$的分解

2. 回归问题的方差分析

前面已提到 $y$ 的总离差平方和$l_{yy}$，它表达了全部$N$次观测值的总波动（相对于$\bar{y}$而言）。从图1-15-3可看出，每个观测点的离差$y-\bar{y}$可分解成

$$y - \bar{y} = (y - \hat{y}) + (\hat{y} - \bar{y})。$$

将上式两边求平方，然后对所有$N$个观测点求和，则有

$$\Sigma(y-\bar{y})^2 = \Sigma((y-\hat{y}) + (\hat{y}-\bar{y}))^2$$
$$= \Sigma(y-\hat{y})^2 + \Sigma(\hat{y}-\bar{y})^2 + 2\Sigma(y-\hat{y})(\hat{y}-\bar{y})$$

因为
$$\begin{aligned}
&\Sigma(y-\hat{y})(\hat{y}-\bar{y})=\Sigma(y-\hat{y})\hat{y}-\Sigma(y-\hat{y})\bar{y}\\
&=\Sigma(y-\hat{y})b_0+\Sigma(y-\hat{y})b_1x_1+\cdots+\Sigma(y-\hat{y})b_kx_k-\Sigma(y-\hat{y})\bar{y}\\
&=\Sigma(b_0-\bar{y})\Sigma(y-\hat{y})+b_1(y-\hat{y})x_1+\cdots+b_k\Sigma(y-\hat{y})x_k\\
&=(b_0-\bar{y})\Sigma(y-b_0-\Sigma b_ix_i)+b_1\Sigma(y-b_0-\Sigma b_ix_i)x_1+\cdots+\\
&\quad+b_k\Sigma(y-b_0-\Sigma_{bi}x_i)x_k\\
&=(b_0-\bar{y})\cdot0+b_1\cdot0+\cdots+b_k\cdot0(b_0,\ b_i\text{的选取满足此条件})\\
&=0
\end{aligned}$$

所以总离差平方和可分解成两部分，即

$$\Sigma(y-\bar{y})^2=\Sigma(y-\hat{y})^2+\Sigma(\hat{y}-\bar{y})^2 \qquad (1\text{-}15\text{-}2)$$

式（1-15-2）右边的第二项是回归值$\hat{y}$与平均值$\bar{y}$之差的平方和，根据回归方程，回归值$\hat{y}=b_0+\sum_{i=1}^{k}b_ix_i$，因此可以把$\hat{y}-\bar{y}$看作是由于$x$的变化而引起的$y$值的变化。所以，所有这些量的平方和$\Sigma(\hat{y}-\bar{y})^2$就反映了在$y$值的总的变化中由于$x$与$y$的线性关系而引起的$y$值变化的部分，称之为回归平方和，记为$U$，$y$值的这部分变化可以通过控制$x$值而避免，因此回归平方和也就是考虑了$x$与$y$的线性关系，或者说作了回归后能使总离差平方和减少的部分。

式（1-15-2）右边的第一项$\Sigma(y-\hat{y})^2$正是所有观测点距回归直线的残差$\delta_i=y_i-\hat{y}_i$的平方和，是所有类似直线与观测点距离平方和中最小的一个，它是除了$x$对$y$的线性影响之外的一切因素（包括$x$对$y$的非线性影响及测量误差等）对$y$离差的作用，称之为剩余平方和，用$Q$表示之。$y$的这部分离差是仅考虑$x$对$y$的线性关系不能减少的部分。

从回归平方和与剩余平方和的意义可知，一个回归效果的好坏取决于$U$和$Q$的大小，或者说取决于$U$在总离差平方和$l_{yy}$中所占的比例$U/Q$。这个比值越大，回归效果越好。每个平方和都有一个称之为“自由度”的数跟它相关联。正如总离差平方和可以分解为回归平方和与剩余平方和二部分一样，总离差平方和的自由度$f_总$，也可以分解成二部分：回归平方和的自由度$f_U$和剩余平方和的自由度$f_Q$，且

$$f_总=f_U+f_Q$$

在回归问题中$f_总=N-1$，$f_U$对应于自变量的个数$k$即$f_U=k$，所以，$f_Q=N-1-k$。我们把这种平方和及自由度进行分解的方法称为方差分析法，其方差分析的结果通常归纳在一个表中，这种表称之为方差分析表。表1-15-13是方差分析表的一般形式。

**表 1-15-13　多元线性回归的方差分析表①**

| 方差来源 | 平　方　和 | 自　由　度 | 均方（方差） | $F$ |
|---|---|---|---|---|
| 回归 | $U=\Sigma(\hat{y}-\bar{y})^2=\sum_i b_il_{iy}$ | $k$ | $U/k$ | $U(N-k-1)/(Qk)$ |
| 剩余 | $Q=\Sigma(y-\hat{y})^2=l_{yy}-U$ | $N-k-1$ | $Q/(N-k-1)$ | |
| 总　计 | $l_{yy}=\Sigma(y-\bar{y})^2$ | $N-1$ | | |

① 当$k=1$时就是一元线性回归的方差分析表，所以不再画出一元线性回归的方差分析表。

表1-15-13中最右一列的$F$值是回归均方与剩余均方之比，即$F=U/k/[Q/(N-k-1)]$，利用这个数值可以对整个回归进行显著性检验，即因变量$y$与所考虑的$k$个自变量$x_1, x_2, \cdots,$

$x_k$之间的线性关系是否显著。检验方法是要查$F$分布表（见本章附录Ⅱ）。$F$ 分布表中有两个自由度$f_1$和$f_2$，分别对应于上式中分子的（回归平方和）自由度$k$和分母的（剩余平方和）自由度（$N-k-1$）。有的又称第一自由度和第二自由度。在给定的置信度下，查出$F$分布表中对应于$f_1$和$f_2$的$F$之值，与计算出的$F$之值相比较，若$F_{表}>F_{计}$则认为在该置信度水平上回归不显著，此时，$y$与这$k$个自变量之间的线性关系不密切；若$F_{表}\leqslant F_{计}$则认为在该置信度水平上回归显著，此时，$y$与这$k$个自变量之间线性相关。

剩余平方和除以它的自由度

$$S^2=Q/(N-k-1)$$

称为剩余均方（方差），它可以看作在排除了$k$个自由量对$y$的线性影响后（或者说当$k$个自变量都固定时），衡量$y$随机波动大小的一个估计量。剩余均方（方差）的平方根

$$S=\sqrt{Q/(N-k-1)}$$

称为剩余标准差，其意义同$S^2$，可用它来衡量所有随机因素对$y$的一次观测值的平均离差的大小，单位与$y$相同。

可以根据回归平方和与剩余平方和的定义式推出，在一元情况下，

$$U=bl_{xy}=r^2l_{yy}$$

$$Q=l_{yy}-l_{xy}=(1-r^2)l_{yy}。$$

通过这些关系，可以更进一步理解相关系数的意义。$r$的绝对值越大，则回归效果越好。由于$U$是$l_{yy}$的一部分，所以$U\leqslant l_{yy}$，而且$Q$为非负数，所以$r^2\leqslant 1$，即$0\leqslant|r|\leqslant 1$。多元线性回归的复相关系数$R$与$r$相同。

**（五）根据回归方程预报和控制 $y$ 值**

对因变量$y$取值的预报和控制是生产、科研中一个非常重要的问题，在建立了因变量$y$与$k$个自变量之间的回归方程后，这个问题很容易得到解决。所谓预报就是对给定的$k$个自变量之值，估计因变量$y$的取值范围。所谓控制，就是当希望$y$取值在指定的范围内时，问如何控制$k$个自变量的取值才能达到此目的。两个问题，实际上是一个问题的正反两种提法，因此一个问题解决了，另一个问题也随之得到了解决。在胶料配方的优化设计中要用到前者即预报。

1.预报

将给定的$x_i$（$i=1,2,\cdots,k$）之值代入回归方程，便可求出一个与之对应的$y$的值，它记作$\hat{y}_0$。而相对应的因变量$y$的观测值$y$是一个随机变量，且服从正态分布（在按照固定工艺操作条件下的一般生产数据，总是大致服从正态分布的），因此它的平均数，就是当自变量取给定值时，由回归方程计算得到的$\hat{y}_0$值，其方差可用剩余均方（方差）来估计。

根据正态分布的性质，$y$的取值是以$\hat{y}_0$为中心对称分布的，越靠近$\hat{y}_0$的地方出现的概率越大，远离$\hat{y}_0$的地方出现的概率越小，与剩余标准差$S$之间有下述关系。

| | |
|---|---|
| 落在$\hat{y}_0\pm 0.5S$区间约占 | 30% |
| 落在$\hat{y}_0\pm S$区间约占 | 68% |
| 落在$\hat{y}_0\pm 2S$区间约占 | 95% |
| 落在$\hat{y}_0\pm 3S$区间约占 | 99.7% |

由此可见，$S$愈小，用回归方程预报$y$的值就愈精确，所以剩余标准差是一个很重要的量，只要比较$S$与所允许的偏差，就能帮助我们了解一个回归能否对解决实际问题有所帮助，因此它是检验一个回归是否有效的重要标志。

2．控制

希望$y$值落于某一区间（$y_1, y_2$）之内，只是在已知$y_1, y_2$的情况下，求$x_i$（$i=1,2,\cdots,k$）之值的问题，在懂得了预报的情况下，它是比较容易做到的，这里不再叙述。

最后强调一个问题，回归方程的适用范围一般仅局限于原来观测数据的变动范围内，而不能随意外推。当然在某种必要情况下，也可外推，但应十分小心，必须在实践中检验所得结果的适用性。

**（六）有关数学模型的检验**

回归分析既然是一种处理变量间相关关系的一种数学方法，所以在对一组观测数据进行回归分析前，必须先确定所采用的数学模型。然而所采用的数学模型是否正确地描述了所要解决的具体问题呢？要回答这个问题，就有必要对所采用的数学模型进行拟合程度的检验。其方法是用方差分析法，进行$F$分布检验。

在利用$F$分布对回归方程进行显著性检验时，我们把总离差平方和分解为回归平方和与剩余平方和。在有若干次重复试验时（例如，在中心点重复试验$m$次），可进一步将剩余平方和分解为试验误差平方和MSE和模型误差平方和MSLF二部分（不适用于区组试验），即

$$Q=\mathrm{MSE}+\mathrm{MSLF}$$

$$\mathrm{MSE}=\sum_{i=1}^{m}(y_{i0}-\bar{y}_0)^2$$

对应的自由度　$f_E=m-1$，　$f_{LF}=f_Q-m+1$

$$F=(\mathrm{MSLF}/f_{LF})/(\mathrm{MSE}/f_E)$$

依据$f_E$，$f_{LF}$查给定置信度下的$F$分布表，得到一个$F$值，若$F_{计}<F_{表}$时，表明模型误差平方和的影响小于试验误差平方和的影响，则说明所采用的数学模型拟合程度适用；反之，若$F_{计}\geqslant F_{表}$，则说明采用的数学模型拟合不足，适用性不好。

在无重复性试验的情况下，可凭经验估计试验误差平方和来代替计算的MSE之值，但必须是在试验误差平方和估计恰当的情况下。

经检验若发现数学模型拟合不足，则需更换数学模型，重新处理，或采取其它补救的办法。

**（七）化非线性回归为线性回归**

在回归分析这一部分的介绍结束之前，还要简单提一下非线性回归的问题。

在许多实际问题中，变量之间的内在关系并不都是线性的，如，胶料配方组分与物理机械性能之间的内在关系就呈曲线关系，因此选择合适类型的曲线要比配一条直线更为符合实际情况。为试验数据配置曲线，一般说来可分下述二个步骤。

（1）确定变量间内在关系的函数类型，即数学模型。其方法之一是根据专业知识从理论上推导或凭以往的实践经验确定，方法之二是从散点图上来选择合适的曲线来拟合。

（2）求出回归方程中各系数之值，其方法一般仍应用最小二乘法。无论是用何种方法，对于许多函数类型都可通过变量变换把非线性函数关系化成线性关系，然后应用这些方法求回归系数之值，其方差分析仍如上所述。

## 二、回　归　设　计

回归分析是一种常用的数学方法，但古典的回归分析长期以来只是被动地处理已有的试验数据，而对试验的安排几乎不提出任何要求，对所求得的回归方程的精度也很少研究。这

不仅盲目地增加了试验次数，而且试验数据还不能提供充分的信息，以致于在许多多因子问题中达不到试验目的。

随着生产、科研的发展，特别是由于寻求最佳工艺和配方，以及建立生产过程的数学模型等的需要，人们愈来愈要求以较少的试验次数建立高精度的回归方程。因此有必要把试验安排、数据处理和回归方程的精度统一起来加以考虑，也就是根据试验的目的和数据分析来选择试验点，这样不仅使得在每个试验点上获得的数据含有最大的信息，从而减少试验次数，而且还使数据的统计分析具有一些较好的性质。五十年代初，人们已开始研究如何在因子空间中选择适当的试验点，使得能以最快的速度建立一个有效的回归方程，从而解决最优化问题，这就是回归设计的产生。回归设计发展到今天，内容已相当丰富，有回归的正交设计，回归的旋转设计等等，在本节中将介绍这两方面的内容。

按回归模型的次数，回归设计又可分为一次回归设计、二次回归设计等等。结合胶料配方工作的实际，本节仅介绍二次回归设计。

### （一）二次回归的正交设计

回归的正交设计是利用正交表进行的试验设计。一次回归的正交设计已在上节详细叙述，二次回归的正交设计要比一次回归的正交设计复杂的多。$k$个自变量的二次回归方程

$$\hat{y}=b_0+\sum_{i=1}^{k}b_ix_i+\sum_{i=1}^{k}\sum_{j>i}^{k}b_{ij}x_ix_j$$

共有$q=(k+1)(k+2)/2$个回归系数，为了得到二次回归方程，试验次数$N$必须不小于$q$。为了计算二次回归方程的系数值，每个变量所取水平数不应小于3，因而所要做的试验次数往往是比较多的。当变量因子个数等于或超过4($k\geqslant 4$)时，3水平全因子试验的次数大大增加，以致于使得试验者根本不可能接受，因此3水平的全因子试验做为二次回归设计的基础是不可取的。

经研究人们提出了一种“组合设计”。所谓“组合设计”，就是在因子空间中选择几类具有不同特点的点，把它们适当组合起来而形成试验计划[6]。下面以二因子（$k=2$）为例加以说明。

在二因子$x_1$，$x_2$情况下，组合设计由$N=9$个试验组成，具体安排如图1-15-4。各试验点的座标（水平）列于表1-15-14。

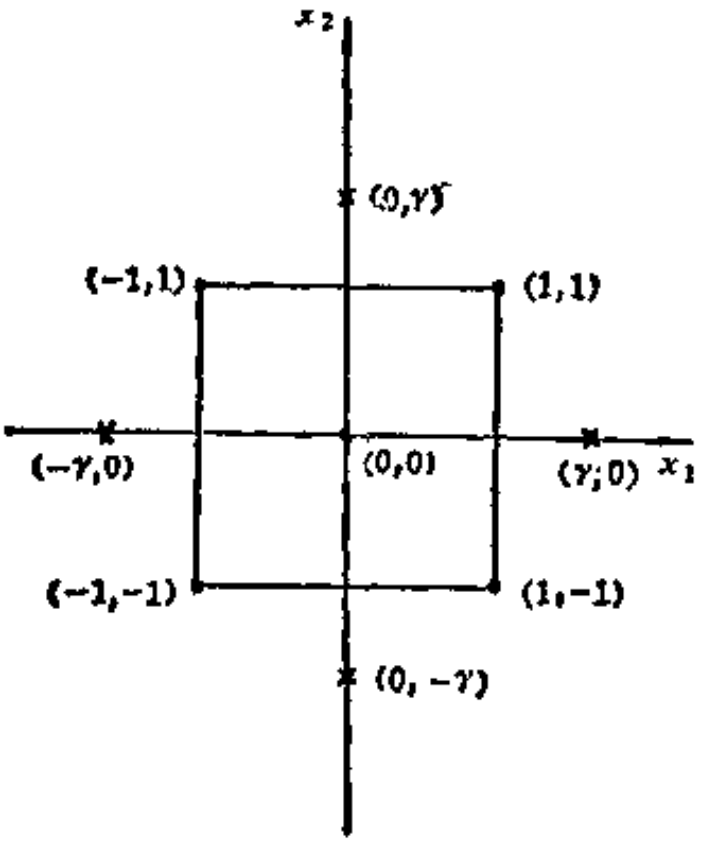



图 1-15-4　试验点分布

从上述可以看出，在$k$个变量的组合设计中，由下面$N$个试验点组成。

$$N=m_c+2k+m_0$$

式中　$m_c$——二水平（+1和-1）的全因子试验的试验点个数$2^k$，或它的部分实施的试验点个数$2^{k-1}$，$2^{k-2}$等；

$2k$——分布在$k$个座标轴上的星号点，它与中心点的距离$\gamma$称为星臂，是待定参数，根据一定的要求（如正交性，旋转性）调节$\gamma$之值，就可得到各种具有很好性质的设计（如正交设计，旋转设计）；

表 1-15-14 各试验点的座标（水平）

| 试验序号 | $x_1$ | $x_2$ | 说明 |
|---|---|---|---|
| 1 | (−1 | −1) | 这四个试验点组成二水平(+1和−1)的全因子试验$2^2$ |
| 2 | (−1 | +1) | |
| 3 | (+1 | −1) | |
| 4 | (+1 | +1) | |
| 5 | (−γ | 0) | 这四个试验点分布在$x_1$和$x_2$轴上的星号位置 |
| 6 | (+γ | 0) | |
| 7 | (0 | −γ) | |
| 8 | (0 | +γ) | |
| 9 | (0 | 0) | 由$x_1$和$x_2$的零水平组成的中心试验点 |

$m_0$——在各变量都取零水平的中心点的重复试验次数，它可以只做一次，也可重复二次或多次。

用组合设计安排试验计划，不但试验点比 3 水平全因子试验少得多，而且仍保持足够的剩余自由度。

要使组合设计成为正交设计，就要确定适当的星臂 $\gamma$ 之值。表1-15-15列出了 $k=2$，3，4，5；$m_0=1\sim10$各种情况下的$\gamma^2$值。

表 1-15-15 $\gamma^2$ 值 表

| $m_0$ | $k$ | | | | $m_0$ | $k$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 3 | 4 | 5(1/2实施) | | 2 | 3 | 4 | 5(1/2实施) |
| 1 | 1.000 | 1.476 | 2.000 | 2.39 | 6 | 1.742 | 2.325 | 2.950 | 3.31 |
| 2 | 1.160 | 1.650 | 2.198 | 2.58 | 7 | 1.873 | 2.481 | 3.140 | 3.49 |
| 3 | 1.317 | 1.831 | 2.390 | 2.77 | 8 | 2.000 | 2.633 | 3.310 | 3.66 |
| 4 | 1.475 | 2.000 | 2.580 | 2.95 | 9 | 2.123 | 2.782 | 3.490 | 3.83 |
| 5 | 1.606 | 2.164 | 2.770 | 3.14 | 10 | 2.243 | 2.928 | 3.66 | 4.00 |

为了计算的方便，要对结构矩阵（表1-15-16是 $k=3$的一个例子）中的平方项$x_{ij}^2$进行中心化，即令

$$x'_{ij}=x_{ij}^2-(\Sigma x_{ij}^2)/N$$

代替结构矩阵中变量的平方列，变换后的结构矩阵见表1-15-17。

运用组合设计进行二次回归正交设计的步骤如下。

（1）确定变量因子的变化范围　设在某一问题中，有 $k$ 个因子$x_1,x_2,\cdots x_k$，其中第 $i$ 个因子的上、下限分别为$x_{2i}$，$x_{1i}$ $(i=1,2,\cdots k)$，为运用二次回归正交设计安排试验计划，按下式计算各因子零水平和单位变化值。

$$x_{0i}=(x_{2i}+x_{1i})/2$$

$$\Delta_i=(x_{2i}-x_{0i})/\gamma$$

式中 $\gamma$ 之值根据表1-15-15确定。

（2）编制因子水平与实际用量表

因子水平与实际用量表的格式见表1-15-18。

| pH | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| lg$\alpha$ | 8.35 | 7.35 | 6.35 | 5.35 | 4.35 | 3.35 | 2.35 | 1.37 | 0.51 | 0.09 | 0.01 |

3. 螯合物分配常数〔温度($t$)20℃；离子强度($\mu$)0.1$M$〕

| | $CCl_4$ | $CHCl_3$ | $C_6H_6$ |
|---|---|---|---|
| $\lg K_D$ | 4.61 | 5.40 | 5.35 |

4. 螯合物形成常数〔温度($t$)30℃；离子强度($\mu$)-，75%二氧六环〕

| 金属离子 | $Ba^{2+}$ | $Be^{2+}$ | $Ca^{2+}$ | $Cd^{2+}$ | $Ce^{3+}$ | $Co^{2+}$ | $Cu^{2+}$ | $Cs^{+}$ | $Fe^{2+}$ | $K^{+}$ | $Li^{+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\lg K_1$ | 6.10 | 13.62 | 7.17 | 8.67 | 10.99 | 10.36 | 12.98 | 3.42 | 11.15 | 3.67 | 6.95 |
| $\lg K_2$ | 5.40 | 12.41 | 6.38 | 7.96 | 10.54 | 9.70 | 12.00 | — | 10.35 | — | — |
| $\lg K_3$ | — | — | — | — | 8.85 | — | — | — | — | — | — |

| 金属离子 | $Mg^{2+}$ | $Mn^{2+}$ | $Na^{+}$ | $Ni^{2+}$ | $Pb^{2+}$ | $Rb^{+}$ | $Sr^{2+}$ | $Zn^{2+}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\lg K_1$ | 8.54 | 9.32 | 4.18 | 10.83 | 9.75 | 3.52 | 6.40 | 10.23 |
| $\lg K_2$ | 7.67 | 8.47 | — | 9.89 | 9.04 | | 5.70 | 9.42 |

5. 螯合物分配常数〔温度($t$)25℃；离子强度($\mu$)0.1$M$〕

| 金属离子 | 分 配 平 衡 | 有 机 相 | $\lg K_{D,ML_n}$ |
|---|---|---|---|
| $Am^{3+}$ | $[AmL_3]_0/[AmL_3]$ | HL0.5-$CHCl_3$ | 2.05 |
| $Be^{2+}$ | $[BeL_2]_0/[BeL_2]$ | HL-$CHCl_3$ | 1.60① |
| $UO_2^{2+}$ | $[UO_2L_2]_0/[UO_2L_2]$ | HL0.1-$CHCl_3$ | 3.4② |

① $t$=22℃，$\mu$=1.0；② $t$=30℃，$\mu$=0.1

6. 萃取常数〔温度($t$)20℃；离子强度($\mu$)0.1$M$〕

| 金属离子 | 萃 取 平 衡 | 有 机 相 | $\lg K_{ex}$ |
|---|---|---|---|
| $Ag^{+}$ | $[AgL]_0[H^+]/[HL]_0[Ag^+]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −8.58 |
| $Al^{3+}$ | $[AlL_3]_0[H^+]^3/[HL]_0^3[Al^{3+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −8.92 |
| $Am^{3+}$ | $[AmL_3]_0[H^+]^3/[HL]_0^3[Am^{3+}]$ | HL0.5-$CHCl_3$ | −17.55 |
| $Be^{2+}$ | $[BeL_2]_0[H^+]^2/[HL]_0^2[Be^{2+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −3.46 |
| $Ca^{2+}$ | $[CaL_2]_0[H^+]^2/[HL]_0^2[Ca^{2+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −18.0 |
| $Cd^{2+}$ | $[CdL_2]_0[H^+]^2/[HL]_0^2[Cd^{2+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −13.98 |
| $Co^{2+}$ | $[CoL_2]_0[H^+]^2/[HL]_0^2[Co^{2+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −10.78 |
| $Cs^{+}$ | $[CsL]_0[H^+]/[HL]_0[Cs^+]$ | HL-$C_6H_6$ | −14.63① |
| $Cu^{2+}$ | $[CuL_2]_0[H^+]^2/[HL]_0^2[Cu^{2+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −3.80 |
| $Fe^{3+}$ | $[FeL_3]_0[H^+]^3/[HL]_0^3[Fe^{3+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −1.93 |
| $Ga^{3+}$ | $[GaL_3]_0[H^+]^3/[HL]_0^3[Ga^{3+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −5.76 |
| $Gd^{3+}$ | $[GdL_3]_0[H^+]^3/[HL]_0^3[Gd^{3+}]$ | HL-$C_6H_6$ | −16.5② |
| $In^{3+}$ | $[InL_3]_0[H^+]^3/[HL]_0^3[In^{3+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −7.61 |
| $K^{+}$ | $[KL]_0[H^+]/[HL]_0[K^+]$ | HL-$C_6H_6$ | −15.05 |
| $La^{3+}$ | $[LaL_3]_0[H^+]^3/[HL]_0^3[La^{3+}]$ | HL-$C_6H_6$ | −19.9② |
| | $[LaL_3]_0[H^+]^3/[HL]_0^3[La^{3+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −19.46 |
| $Li^{+}$ | $[LiL]_0[H^+]/[HL]_0[Li^+]$ | HL-$C_6H_6$ | −14.15① |
| $Lu^{3+}$ | $[LuL_3]_0[H^+]^3/[HL]_0^3[Lu^{3+}]$ | HL-$C_6H_6$ | −15.18 |
| $Mg^{2+}$ | $[MgL_2]_0[H^+]^2/[HL]_0^2[Mg^{2+}]$ | HL0.1-$C_6H_6$ | −14.72 |
| $Mn^{2+}$ | $[MnL_2]_0[H^+]^2/[HL]_0^2[Mn^{2+}]$ | HL-$C_6H_6$ | −13.71 |
| $Na^{+}$ | $[NaL]_0[H^+]/[HL]_0[Na^+]$ | HL-$C_6H_6$ | −14.97① |

（3）选择相应的组合设计方案

从表1-15-15中查出使此设计具有正交性的星臂 $\gamma$ 之值，进行 $N=m_c+2k+m_0$ 次试验。

**（二）回归的旋转设计**

回归正交设计的优点是：试验次数少；计算简单；消除了回归系数间的相关性。但正交设计存在着一个最基本的缺点，那就是二次回归的预测值 $\hat{y}$ 的方差强烈地依赖于试验点在因子空间的位置，即

$$S_{\hat{y}}^2=S^2(1+\rho^2)/N$$

$$\rho=\sum_{i=1}^{k}x_i^2$$

由于试验误差的干扰，试验者不能直接寻找最佳区域。这是我们不希望的。使二次回归设计具有旋转性，能使与试验中心点距离相等的点上的预测值 $\hat{y}$ 的方差相等，因此有助于克服回归正交设计的这一缺点。所以试验者经常牺牲部分正交性而获得旋转性。使二次回归设计具有旋转性的条件是：在 $k$ 之 $d$ 次回归的旋转设计中，相应的信息矩阵 A 的元素的值应满足式 (1-15-2)[6]和式 (1-15-3)[6]的要求。

$$\sum_{a}x_{a_1}^{a_1}x_{a_2}^{a_2}\cdots x_{a_k}^{a_k}=\lambda_a\left(N\prod_{i=1}^{k}a_i!\Big/\left(2^{a/2}\prod_{i=1}^{k}(a_i/2)!\right)\right) \qquad (1\text{-}15\text{-}2)$$

$$\sum_{a}x_{a_1}^{a_1}x_{a_2}^{a_2}\cdots x_{a_k}^{a_k}=0 \qquad (1\text{-}15\text{-}3)$$

式 (1-15-2) 是所有 $a_i$ 皆为偶数或零的情况，式 (1-15-3) 是所有 $a_i$ 中至少有一个为奇的情况。此二式中指数 $a_1$，$a_2$，…，$a_k$ 分别可取0，1，2，…，$2d$ 等非负整数，且满足 $0\leqslant a_1+a_2+\cdots+a_k=a\leqslant 2d$，$N$ 为试验次数，$\lambda_a$ 为待定参数，它的下标 $a$ 一定是偶数，特例 $\lambda_0=1$。

在 $d=2$ 即二次旋转设计中，为防止信息矩阵 A 的退化，必须满足：二次回归设计的非退化条件[6]。

$$\lambda_4/\lambda_2^2\neq k/(k+2)$$

从二次旋转设计的旋转性条件出发，可推导出：

$$\lambda_4/\lambda_2^2=(\Sigma\rho_i^4/(\Sigma\rho_i^2)^2)(Nk/(k+2))。$$

此式告诉我们，待定参数 $\lambda_2$ 与 $\lambda_4$ 的比值，不仅与因子个数 $k$ 和试验次数 $N$ 有关，而且与 $N$ 个试验点所在球面的半径 $\rho_i$（$i=1,2,\cdots,N$）有关。究竟 $N$ 个试验点应分布在几个球面上，在每个球面上如何分布，才能满足二次回归旋转设计的旋转性条件和非退化条件呢？经证明下面不等式成立：

$$\lambda_4/\lambda_2^2\geqslant k/(k+2)。$$

等式（即等号）成立的唯一条件是 $N$ 个试验点位于同一球面上。因此，为了满足非退化条件，要使 $N$ 个试验点不位于同一球面上，也就是说，要使这 $N$ 个试验点至少位于二个半径不等的球面上。$N$ 个试验点在球面上如何分布才能满足旋转性条件呢？我们先从最简单的情况，也就是 $N$ 个试验点分布在二个球面上，其中有 $m_0$ 个试验点集中在半径为 0 的球面上（即在中心点重复 $m_0$ 次试验），其余 $m_1=N-m_0$ 个试验点均匀分布在半径为 $\rho(\rho\neq 0)$ 的球面上来讨论。

在 $k=2$ 即二因子情况下，因为空间是一个平面，因而球就转化为平而上的一个圆，所谓 $m_1$ 个试验点均匀分布在半径为 $\rho$ 的圆周上，就是这 $m_1$ 个点位于半径为 $\rho$ 的圆内接正多边形的顶点。

均匀分布在正半径圆周上的$m_1$个点，满足旋转性条件的充要条件是$m_1>4$[6]。

所以只要在平面上选取正五边形、正六边形、正八边形等的顶点作试验点，再在中心点补充一些必要的试验，就可得到二因子的二次回归旋转设计方案。

在$k=3$即三因子情况下，三维空间里仅有正四面体、正六面体、正八面体、正十二面体和正二十面体等五种正多面体。前三种正多面体的顶点座标不满足旋转性条件，后二种正多面体的顶点座标满足旋转性条件，但不满足非退化条件。但是只要把这些正多面体的顶点进行适当的组合，或补充一些中心点试验，还是可以获得二次回归旋转设计的方案。在三因子或更多因子情况下，往往借助于组合设计的思想来实现旋转设计。

组合设计的$N$个试验点

$$N=m_c+2k+m_0$$

分布在三个不同的球面上，其中：

$m_c$个点分布在半径为$\rho_c=\sqrt{k}$的球面上；

$2k$个点分布在半径为$\rho_\gamma=\gamma$的球面上；

$m_0$个点集中在半径为$\rho_0=0$的球面上。

按组合设计选取试验点不会使信息矩阵A退化，即满足非退化条件。只要正确地确定$\gamma$之值，在$m_c=2^k$情况下，使

$$\gamma=2^{k/4},$$

在$m_c=2^{k-1}$或$m_c=2^{k-2}$情况下，使

$$\gamma=2^{(k-1)/4} \quad 或 \quad \gamma=2^{(k-2)/4}$$

就能满足旋转性条件，参数$\gamma$称为星臂。表1-15-19列出了二次旋转组合设计中常用到的$\gamma$与$\gamma^2$之值。从表中可以看出，在$k<5$的情况下，$\rho_c=\rho_r$或$\rho_c\approx\rho_r$，即$m_c$个全因子试验点与$m_r$个星臂点分布在或接近分布在同一球面上，造成不满足非退化条件，为此，必须增加中心点试验，以获得满足非退化条件的旋转设计方案。在其它情况下，即使在中心点不做试验，其信息矩阵A也不会退化，即满足非退化条件。

表 1-15-19 $\gamma$与$\gamma^2$值表

| $k$ | $\rho_c=\sqrt{k}$ | $\rho_r=\gamma=2^{(k-1)/4}$ | $\gamma^2$ | $m_c$ | $m_r$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1.414 | 1.414 | 2.000 | 4 | 4 |
| 3 | 1.732 | 1.682 | 2.828 | 8 | 6 |
| 4 | 2.000 | 2.000 | 4.000 | 16 | 8 |
| 5 | 2.236 | 2.378 | 5.655 | 32 | 10 |
| 5(1/2实施) | 2.236 | 2.000 | 4.000 | 16 | 10 |
| 6 | 2.450 | 2.828 | 8.000 | 64 | 12 |
| 6(1/2实施) | 2.450 | 2.378 | 5.655 | 32 | 12 |
| 7 | 2.646 | 3.364 | 11.316 | 128 | 14 |
| 7(1/2实施) | 2.646 | 2.828 | 8.000 | 64 | 14 |
| 8(1/2实施) | 2.828 | 3.364 | 11.316 | 128 | 16 |
| 8(1/4实施) | 2.828 | 2.828 | 8.000 | 64 | 16 |

正交设计有许多优点，但二次旋转组合设计因其回归系数$b_0$与$b_{ii}$之间、$b_{ii}$与$b_{jj}$之间存在着相关性，因而不具备正交性。只要消除它们之间的相关性，就可使之具有正交性。为此，要对平方项进行中心化转换，并且还要使得$\lambda_4=\lambda_2^2$或$\lambda_4/\lambda_2^2=1$。要做到使$\lambda_4/\lambda_2^2=1$，只有调

整总的试验次数$N$，而$N$中的$2^k$型全因子试验（或部分实施）的试验次数$m_c$和星臂点的试验次数$m_r$都已确定，不能变动，这就只能通过调整中心点的试验次数$m_0$来达到，所以，适当的选取$m_0$，就可使得二次旋转组合设计获得正交性。表1-15-20列出了二次正交旋转组合设计的参数。

表 1-15-20　二次正交旋转组合设计参数表

| $k$ | $m_c$ | $\gamma$ | $N$ | $\lambda_4/\lambda_2^2$ | $m_0$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 4 | 1.414 | 16 | 1 | 8 |
| 3 | 8 | 1.682 | 23 | 0.99 | 9 |
| 4 | 16 | 2.000 | 36 | 1 | 12 |
| 5 | 32 | 2.378 | 59 | 1.01 | 17 |
| 5(1/2实施) | 16 | 2.000 | 36 | 1 | 10 |
| 6(1/2实施) | 32 | 2.378 | 59 | 1.01 | 15 |
| 7(1/2实施) | 64 | 2.828 | 100 | 1 | 22 |
| 8(1/2实施) | 128 | 3.364 | 177 | 1 | 33 |
| 8(1/4实施) | 64 | 2.828 | 100 | 1 | 20 |

如果一个回归设计使得它的预测值的方差在区间$0<\rho<1$范围内基本上保持为一个常数，这对试验者根据预测值直接寻找最优区域是非常有利的。二次旋转设计虽然使得与试验中心点距离相等的点，预测值的方差相等，但还不能达到使预测值的方差在$0<\rho<1$区间内基本上保持为某一常数。能使得预测值的方差在$0<\rho<1$区间内基本上为一常数的设计，称为通用性设计[6]，即这种设计具有通用性。要使得旋转组合设计具有通用性。关键在于$\lambda_4$之值的确定，当$\lambda_4$的值确定后，再从比值$N/\lambda_4$确定$N$之值，最后再定$m_0$的值。因此只要在中心点补做$m_0$次试验，就可得到二次通用性旋转组合设计方案。二次通用性旋转组合设计的参数列于表1-15-21。

表 1-15-21　二次通用性旋转组合设计参数表

| $k$ | $m_c$ | $\gamma$ | $N/\lambda_4$ | $\lambda_4$ | $N$ | $m_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 4 | 1.414 | 16 | 0.81 | 13 | 5 |
| 3 | 8 | 1.682 | 23.314 | 0.86 | 20 | 6 |
| 4 | 16 | 2.000 | 36 | 0.86 | 31 | 7 |
| 5(1/2实施) | 16 | 2.000 | 36 | 0.89 | 32 | 6 |
| 6(1/2实施) | 32 | 2.378 | 58.627 | 0.90 | 53 | 9 |
| 7(1/2实施) | 64 | 2.828 | 100 | 0.92 | 92 | 14 |
| 8(1/2实施) | 128 | 3.364 | 177.256 | 0.93 | 165 | 21 |
| 8(1/4实施) | 64 | 2.828 | 100 | 0.93 | 93 | 13 |

回归的旋转设计安排试验的步骤与二次回归正交设计安排试验的步骤相同，这里不再赘述。

## 三、应用举例

**例 8**　在掺用50份顺丁橡胶和11号高结构中超耐磨炉黑（自贡）情况下，以VA-7为硫黄给予体，研究半有效硫化体系对尼龙斜交轮胎胎面胶耐磨耗性能的影响。

### （一）试验设计

根据所要研究的目的，确定促进剂 VA-7、NOBS 和硫磺为配方变量因子。基本配方列于表1-15-22。

表 1-15-22 基本配方表 单位，重量份

| 原材料名称 | 基本配合 | 原材料名称 | 基本配合 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 50 | 石蜡 | 1 |
| 顺丁橡胶 | 50 | 机油 | 6 |
| 氧化锌 | 4 | 高结构中超耐磨炉黑(ISAF-HS) | 15 |
| 硬脂酸 | 3 | 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 |
| 防老剂D | 1.5 | 促进剂(NOBS) | $x_3$ |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 促进剂(VA-7) | $x_2$ |
| 防老剂H | 0.3 | 硫黄 | $x_1$ |

各变量因子的取值范围列于表1-15-23。

采用中心复合试验设计即二次回归旋转组合试验设计法进行试验方案的设计。试验设计方案见表1-15-24。

编制变量因子水平与实际用量表（见表1-15-25）。

表 1-15-23 各变量因子的取值范围

| 变量因子 | 取值范围 |
|---|---|
| $x_1$(硫黄) | 0.30～0.80 |
| $x_2$(VA-7) | 0.80～2.00 |
| $x_3$(NOBS) | 0.80～1.40 |

表 1-15-25 变量因子水平与实际用量表

| 水平 \ 因子 | $x_1$(硫黄) | $x_2$(VA-7) | $x_3$(NOBS) |
|---|---|---|---|
| −1.682 | 0.30 | 0.80 | 0.80 |
| −1.000 | 0.40 | 1.04 | 0.92 |
| 0.000 | 0.55 | 1.40 | 1.10 |
| 1.000 | 0.70 | 1.76 | 1.28 |
| 1.682 | 0.80 | 2.00 | 1.40 |

表 1-15-24 试验方案

| 试验号 \ 因子 | $x_1$(硫黄) | $x_2$(VA-7) | $x_3$(NOBS) | 试验号 \ 因子 | $x_1$(硫黄) | $x_2$(VA-7) | $x_3$ (NOBS) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | −1 | −1 | −1 | 11 | 0 | −1.682 | 0 |
| 2 | 1 | −1 | −1 | 12 | 0 | 1.682 | 0 |
| 3 | −1 | 1 | −1 | 13 | 0 | 0 | −1.682 |
| 4 | 1 | 1 | −1 | 14 | 0 | 0 | 1.682 |
| 5 | −1 | −1 | 1 | 15 | 0 | | 0 |
| 6 | 1 | −1 | 1 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | −1 | 1 | 1 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | −1.682 | 0 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1.682 | 0 | 0 | | | | |

写出实际配方表（表1-15-26），供进行实地配方试验用。

### （二）试验数据的回归分析

通过物理试验，根据需要，取得了表1-15-27中列出的 9 项物理机械性能数据，在此数

表 1-15-26 配　　方　　表

单位：重量份

| 组分 \ 配方编号 | DL-1 | DL-2 | LD-3 | LD-4 | LD-5 | LD-6 | LD-7 | LD-8 | LD-9 | LD-10 | LD-11 | LD-12 | LD-13 | LD-14 | LD-15 | LD-16 | LD-17 | LD-18 | LD-19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 顺丁橡胶 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 氧化锌 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 硬脂酸 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 防老剂D | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 防老剂 4010NA | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| 防老剂H | 0.3 | 0.3 | 6.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 石　蜡 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 机　油 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 高结构中超耐磨炉黑(ISAF-HS) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 促进剂NOBS | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 1.28 | 1.28 | 1.28 | 1.28 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 0.80 | 1.40 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 |
| 促进剂VA-7 | 1.04 | 1.04 | 1.76 | 1.76 | 1.04 | 1.04 | 1.76 | 1.76 | 1.40 | 1.40 | 0.80 | 2.00 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 |
| 硫　黄 | 0.40 | 0.70 | 0.40 | 0.70 | 0.40 | 0.70 | 0.40 | 0.70 | 0.30 | 0.80 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| 合　　计 | 169.36 | 169.66 | 170.08 | 170.38 | 169.72 | 170.02 | 170.44 | 170.74 | 169.80 | 170.30 | 169.45 | 170.65 | 169.75 | 170.35 | 170.05 | 170.05 | 170.05 | 170.05 | 170.05 |

表 1-15-27　物理机械性能

| 物理机械性能 \ 配方编号 | LD-1 | LD-2 | LD-3 | LD-4 | LD-5 | LD-6 | LD-7 | LD-8 | LD-9 | LD-10 | LD-11 | LD-12 | LD-13 | LD-14 | LD-15 | LD-16 | LD-17 | LD-18 | LD-19 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 硫化条件：143℃×35min | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 拉伸强度，MPa | 23.7 | 23.8 | 23.7 | 23.2 | 23.5 | 22.2 | 23.9 | 23.0 | 23.2 | 24.1 | 23.1 | 23.8 | 23.8 | 24.2 | 23.5 | 24.0 | 23.6 | 23.2 | 23.5 |
| (kgf/cm²) | (242) | (243) | (242) | (237) | (240) | (227) | (244) | (235) | (237) | (246) | (236) | (243) | (243) | (247) | (240) | (245) | (241) | (237) | (240) |
| 门尼焦烧，min | 35.0 | 30.7 | 27.7 | 25.7 | 29.2 | 24.9 | 25.0 | 23.0 | 29.3 | 28.3 | 33.0 | 28.0 | 33.3 | 26.3 | 29.7 | 29.3 | 28.3 | 27.3 | 28.0 |
| 300%定伸应力，MPa | 6.2 | 10.6 | 9.0 | 9.3 | 9.2 | 10.8 | 9.4 | 10.6 | 7.5 | 10.5 | 8.2 | 8.6 | 9.2 | 9.2 | 8.9 | 8.2 | 9.1 | 8.0 | 7.7 |
| (kgf/cm²) | (63) | (108) | (92) | (95) | (94) | (110) | (96) | (108) | (77) | (107) | (84) | (88) | (94) | (94) | (91) | (84) | (98) | (82) | (79) |
| 生热，℃ | 52.0 | 46.0 | 47.5 | 49.0 | 43.5 | 43.0 | 45.0 | 41.0 | 50.0 | 43.0 | 49.0 | 42.0 | 49.0 | 43.5 | 46.5 | 46.0 | 46.5 | 46.0 | 47.0 |
| (箱式) 热空气老化(100℃×48h) | 0.75 | 0.75 | 0.74 | 0.74 | 0.79 | 0.82 | 0.72 | 0.65 | 0.78 | 0.61 | 0.71 | 0.55 | 0.78 | 0.76 | 0.72 | 0.62 | 0.66 | 0.69 | 0.72 |
| 硬度(邵尔A) | 61 | 63 | 61 | 64 | 62 | 64 | 64 | 65 | 61 | 65 | 63 | 64 | 62 | 65 | 64 | 63 | 62 | 63 | 62 |
| 磨　耗 | 0.190 | 0.206 | 0.209 | 0.216 | 0.173 | 0.173 | 0.170 | 0.225 | 0.157 | 0.197 | 0.171 | 0.202 | 0.176 | 0.182 | 0.175 | 0.174 | 0.191 | 0.183 | 0.183 |
| 屈挠龟裂 | 50 | 38 | 36 | 12 | 35 | 9 | 50 | 5 | 50 | 15 | 39 | 36 | 50 | 13 | 40 | 35 | 37 | 38 | 11 |

据的基础上，对该9项物理机械性能数据进行统计分析。

1。数学模型

设有$k$个自变量$x_1$，$x_2$，…，$x_k$，它们与因变量之间的关系可用下式表达。

$$y=f(x_1,\ x_2,\cdots,x_k)$$

配方因素与物理机械性能之间不是确定的函数关系而是不确定的相关关系，因此人们就用上式的泰勒展开式即$d$次多项式来表达，即

$$y=b_0+\sum_{i=1}^{k}b_ix_i+\sum_{i=1}^{k}\sum_{j\geq 1}^{k}b_{ij}x_ix_j+\cdots$$

对于配方因素与物理机械性能之间的关系而言，$d$的取值，有的取$d=1$[7][8]，多数取$d=2$[3][4][5]，即用一个二次多项式来近似表达。

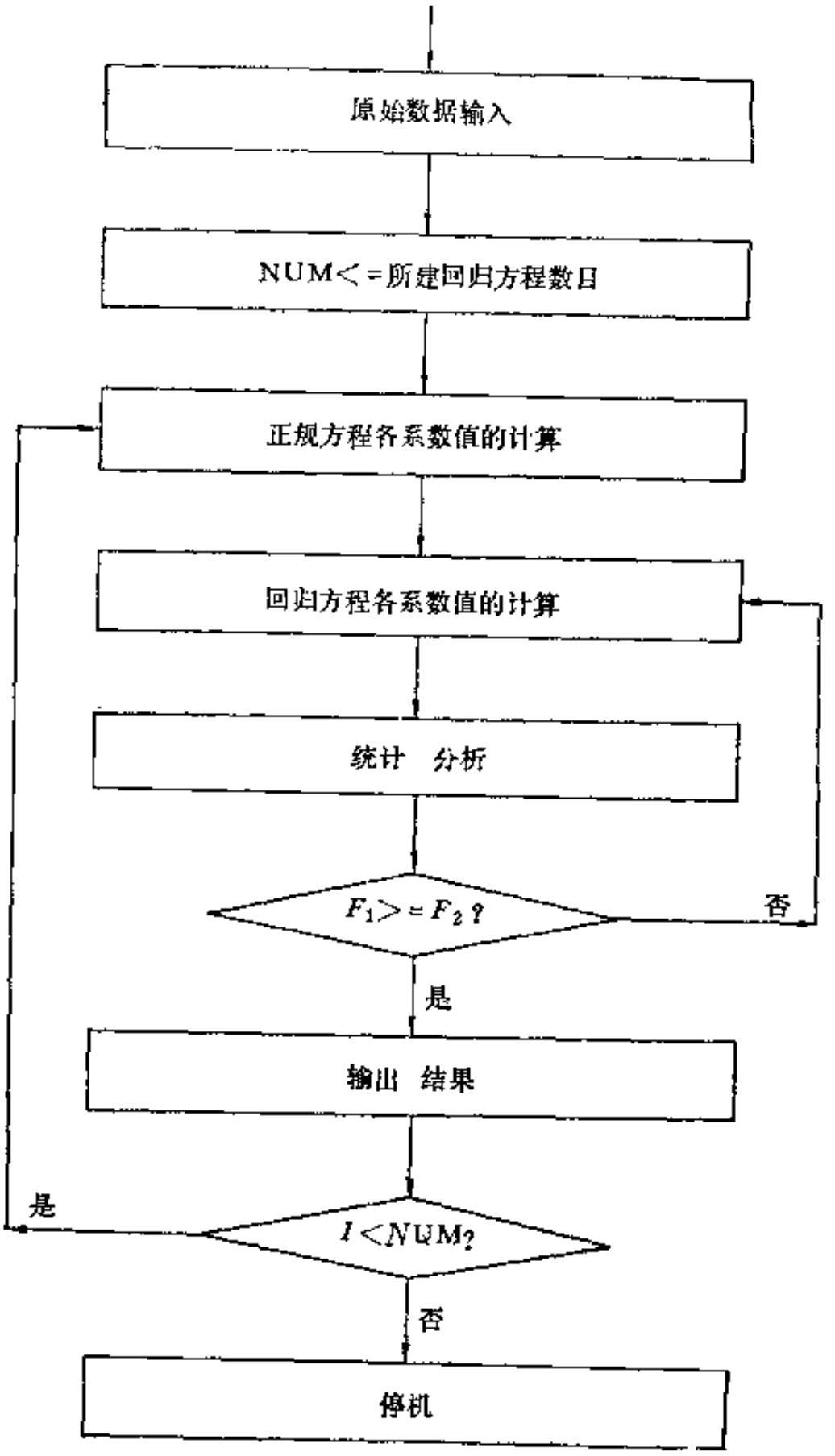



图 1-15-5 回归分析程序框图

$$y=b_0+\sum_{i=1}^{k}b_ix_i+\sum_{i=1}^{k}\sum_{j\geq i}^{k}b_{ij}x_ix_j$$

此式是一个多元非线性回归方程。

2．回归系数的求解

配方因素与物理机械性能间的回归方程是一个多元非线性回归方程，它不能通过代数变换被改写成线性问题来处理，但可通过换元法对该回归方程处理，即把二次项看成一些新的变量，如：$X_{k+1}=x_i^2$，$X_{2k+1}=x_ix_j$等，将上式化为线性回归方程

$$y=b_0+\sum_{i=1}^{k}X_i \quad k=(k+1)(k+2)/2-1$$

采用最小二乘法原理，就可求出回归方程各系数之值。根据图1-15-5所示的程序框图编制求解回归系数的源程序，在普通的个人微型计算机上，仅用几分钟的时间就可求出各回归系数之值。

本例诸回归系数的求解结果列于表1-15-28。

表 1-15-28 诸回归方程的回归系数之值

| 回归方程 \ 回归系数 | $b_0$ | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_{11}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 拉伸强度 | 0.2354579E+2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 门尼焦烧 | 0.2852681E+2 | −0.1045669E+1 | −0.1962917E+1 | −0.2106712E+1 | 0 |
| 硬　度 | 0.6306263E+2 | 0.1078323E+1 | 0.4160124E+0 | 0.8087422 | 0 |
| 300%定伸应力 | 0.8775966E+1 | 0.9073695 | 0 | 0.3587575 | 0 |
| （箱式）热空气老化 | 0.6848494 | −0.2386397E−1 | −0.3873995E−1 | 0 | 0 |
| 磨　耗 | 0.1868947 | 0.1049037E−1 | 0.9674888E−2 | 0 | 0 |
| 屈挠龟裂 | 0.3152631E+2 | −0.1214431E+2 | 0 | −0.7265501E+1 | 0 |
| 生　热 | 0.4607895E+2 | −0.1520986E+1 | −0.1008475E+1 | −0.2288068E+1 | 0 |

| 回归方程 \ 回归系数 | $b_{12}$ | $b_{13}$ | $b_{23}$ | $b_{23}$ | $b_{33}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 拉伸强度 | 0 | −0.2205000 | 0 | 0.2205000 | 0 |
| 门尼焦烧 | 0 | 0 | 0 | 0.7750002E+0 | 0 |
| 硬　度 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 300%定伸应力 | −0.5631099 | 0 | 0 | 0 | 0.3052102 |
| (箱式)热空气老化 | 0 | 0 | 0 | −0.2750000E−1 | 0.4011217E−1 |
| 磨　耗 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 屈挠龟裂 | 0 | 0 | 0 | 0.6375000E+1 | 0 |
| 生　热 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表 1-15-29 方差分析表

| 回归方程 | 方差来源 | 平 方 和 | 自由度 | $F_{UQ}$ | $F_{0.05}$ | $F_{SE,SL}$ | $F_{0.05}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 拉伸强度 | $U$ | 0.7779238 | 2 | 2.05 | 3.63 | | |
| | $Q$ | 0.3041432E+1 | 16 | | | | |
| | $SE$ | 0.318853 | 4 | | | 2.65 | 5.91 |
| | $SL$ | 0.2722679E+1 | 12 | | | | |
| 门尼焦烧 | $U$ | 0.1329836E+3 | 4 | 14.83 | 3.11 | | |
| | $Q$ | 0.3139328E+2 | 14 | | | | |
| | $SE$ | 0.3808003E+1 | 4 | | | 2.90 | 5.96 |

续表

| 回归方程 | 方差来源 | 平 方 和 | 自由度 | $F_{UQ}$ | $F_{0.05}$ | $F_{SESL}$ | $F_{0.05}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 门尼焦烧 | $SL$ | 0.2758528E+2 | 10 | | | | |
| 硬 度 | $U$ | 0.2717868E+2 | 3 | 23.56 | 3.29 | | |
| | $Q$ | 0.5768681E+1 | 15 | | | | |
| | $SE$ | 0.2800000E+1 | 4 | | | 0.39 | 5.49 |
| | $SL$ | 0.2968681E+1 | 11 | | | | |
| 300%定伸应力 | $U$ | 0.1686608E+2 | 4 | 7.17 | 3.11 | | |
| | $Q$ | 0.8231688E+1 | 14 | | | | |
| | $SE$ | 0.2255019E+1 | 4 | | | 1.06 | 5.96 |
| | $SL$ | 0.5976669E+1 | 10 | | | | |
| 生 热 | $U$ | 0.1169921E+3 | 3 | 15.34 | 3.29 | | |
| | $Q$ | 0.3813944E+2 | 15 | | | | |
| | $SE$ | 0.7000000 | 4 | | | 19.45 | 5.94 |
| | $SL$ | 0.3743944E+2 | 11 | | | | |
| (箱式)热空气老化 | $U$ | 0.5795715E−1 | 4 | 6.93 | 3.11 | | |
| | $Q$ | 0.2888495E−1 | 14 | | | | |
| | $SE$ | 0.7280020E−2 | 4 | | | 1.19 | 5.96 |
| | $SL$ | 0.2160495E−1 | 10 | | | | |
| 磨 耗 | $U$ | 0.2781519E−2 | 2 | 7.53 | 3.64 | | |
| | $Q$ | 0.2954270E−2 | 16 | | | | |
| | $SE$ | 0.1928001E−3 | 4 | | | 4.77 | 5.91 |
| | $SL$ | 0.2761470E−2 | 12 | | | | |
| 屈挠龟裂 | $U$ | 0.3060486E+4 | 3 | 12.34 | 3.29 | | |
| | $Q$ | 0.1240251E+4 | 15 | | | | |
| | $SE$ | 0.5747999E+3 | 4 | 0.42 | | | 5.94 |
| | $SL$ | 0.6654508E+3 | 11 | | | | |

在求解回归系数的同时，进行了方差分析，本例在中心点有重复试验，所以还进行了曲线拟合情况的检验。统计分析结果列于表1-15-29。

**（三）最优配方的选取**

建立配方组分与物理机械性能之间的定量关系式即回归方程是为了对物理机械性能进行预测，以期望求出最优区域，即最优配方。最优配方的选取是一个优化设计问题，其数学方法很多[9]。根据目前配方设计工作的特点，最常采用的方法之一是网格法，在此仅介绍一下网格法。

网格法求最优配方的基本思想是，将每个变量因子分成若干水平（水平的多少视具体情况而定），把各变量因子的不同水平组合起来，代入回归方程，计算各物理机械性能之值，满足全部约束条件的因子水平组合即为较优的配方。把它们提供给配方设计人员，配方人员再根据具体情况，确定产品（或试制）配方。采用网格法选取最优配方的程序框图示于图1-15-6。表1-15-30列出了例8中求最优配方的约束条件和优选出的一组配方。

为了慎重起见，对优选出的最优配方要进行复试试验，验证一下预测的准确性，然后再确定产品(或试制）配方。表1-15-31列出了例8中优选出的最优配方的物理机械性能的试验值和计算值以及标准差。

**（四）等值曲线图的绘制**

建立了配方因子与物理机械性能之间的回归方程，已表达出了它们之间的关系，但是不

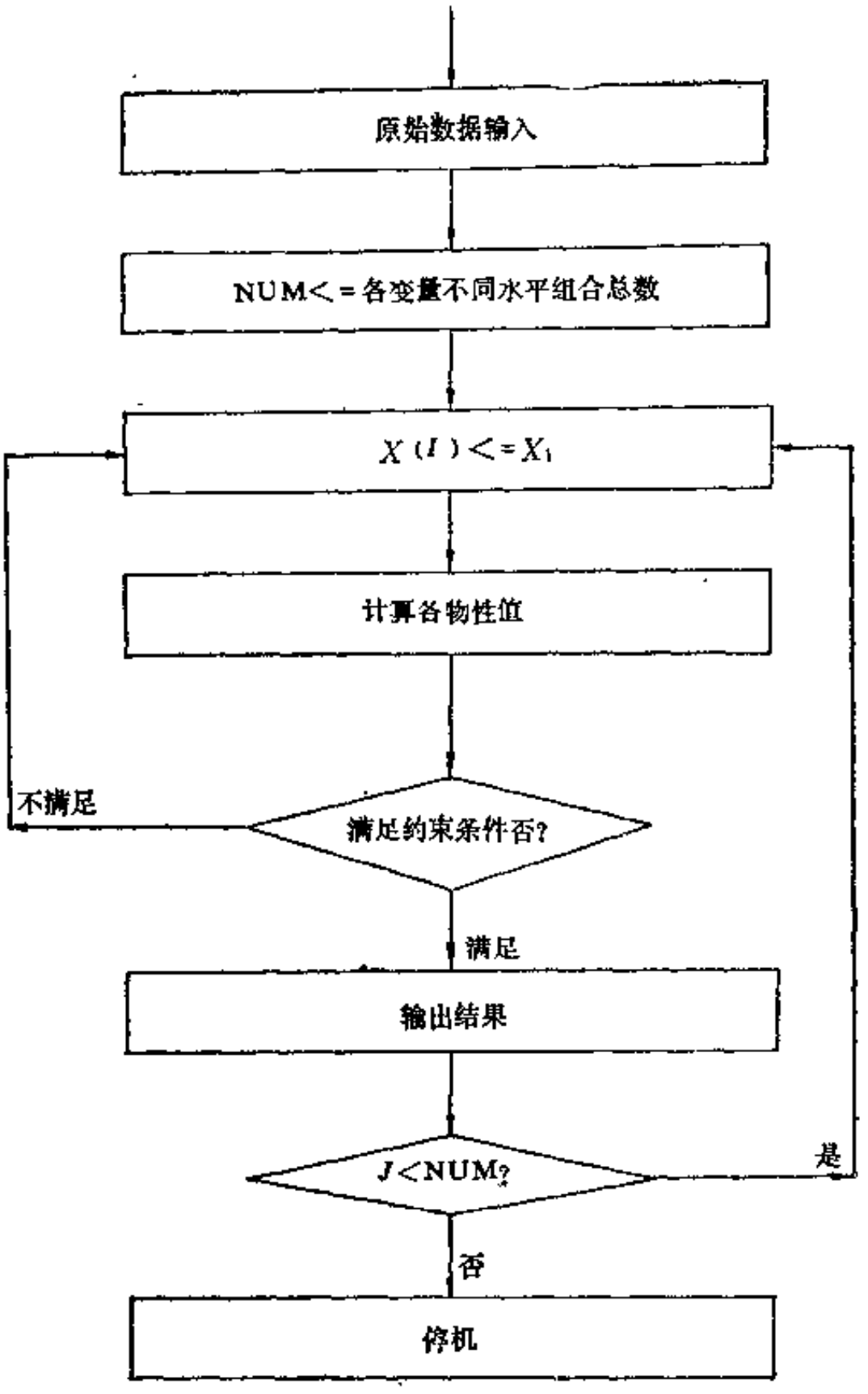



图 1-15-6 最优配方选取程序框图

表 1-15-30 约束条件及优选配方

| 约束条件 | | 优选配方 | | |
|---|---|---|---|---|
| 物理机械性能 | 约束值 | 变量 | 水平 | 实际用量，重量份 |
| 门尼焦烧，min | 28 | $x_1$(S) | 0.4979 | 0.62 |
| 300%定伸应力,MPa(kgf/cm²) | ≥7.8～(≥80) | $x_2$(VA-7) | −0.9016 | 1.08 |
| | | $x_3$(NOBS) | −1.386 | 0.85 |
| 硬 度(邵尔A) | 60～64 | | | |
| 生热，℃ | ≤50 | | | |
| （箱式）热空气老化(100℃×48h) | ≥0.7 | | | |
| Akron磨耗,cm³/1.61km | ≤0.200 | | | |
| 屈挠龟裂 | ≥30 | | | |

表 1-15-31 最优配方物性的试验值、计算值及标准差

| 物理机械性能 | 计 算 值 | 试 验 值 | 标 准 差 |
|---|---|---|---|
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 24.12(246.1) | 23.3(238) | 0.4362(4.448) |
| 门尼焦烧，min | 33.66 | 38.8 | 1.497 |
| 300%定伸应力,MPa(kgf/cm²) | 9.57 97.7 | 7.6 78 | 0.767(7.824) |
| 硬度（邵尔A） | 62.1 | 62 | 0.6201 |
| 生热，℃ | 49.4 | 49.0 | 1.595 |
| （箱式）热空气老化(100℃×48h) | 0.751 | 0.72 | 0.04542 |
| Akron磨耗，cm³/1.61km | 0.1834 | 0.137 | 0.01359 |
| 屈挠龟裂 | 43.5 | | 9.093 |

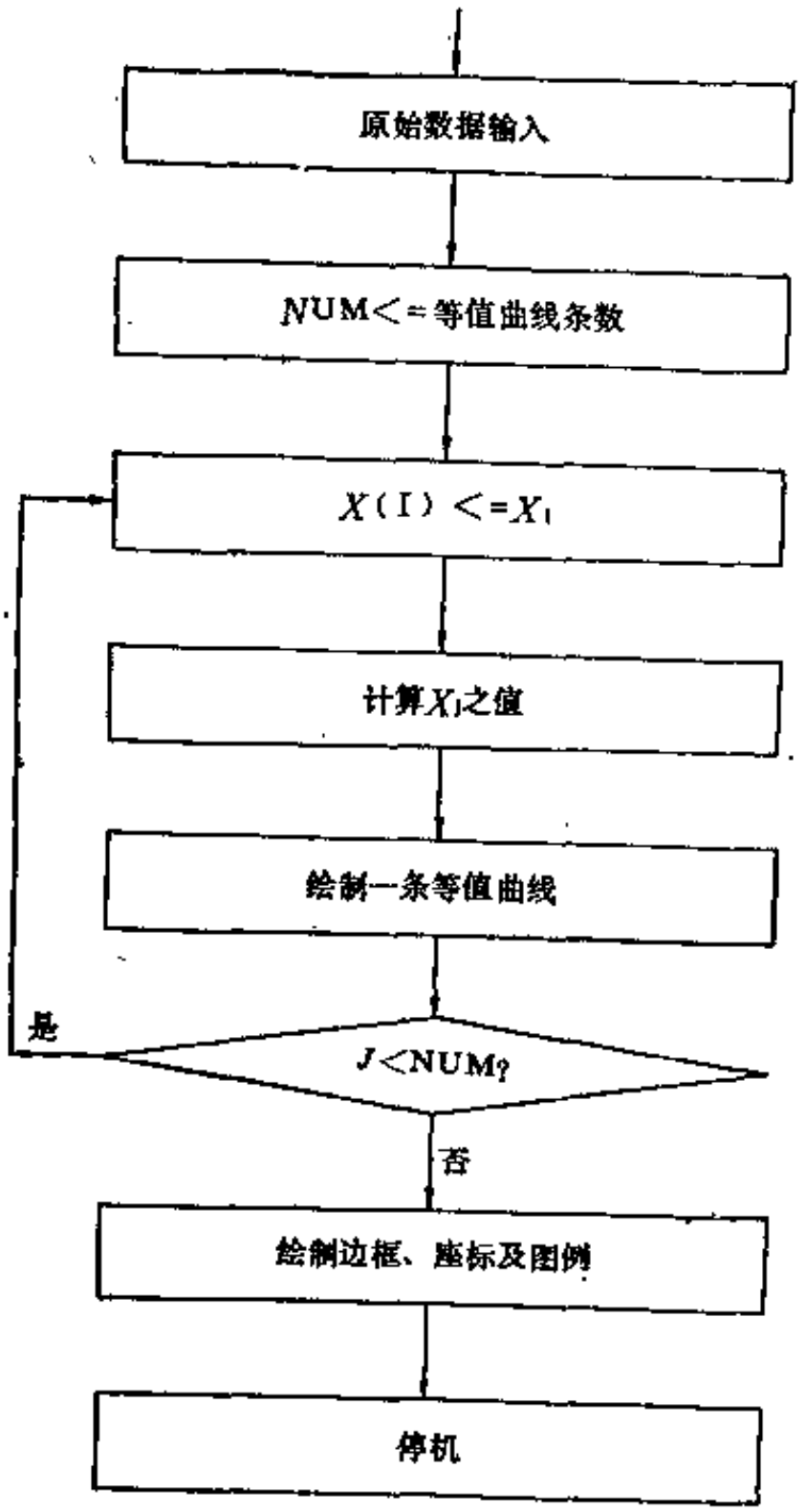



图 1-15-7 绘图程序框图

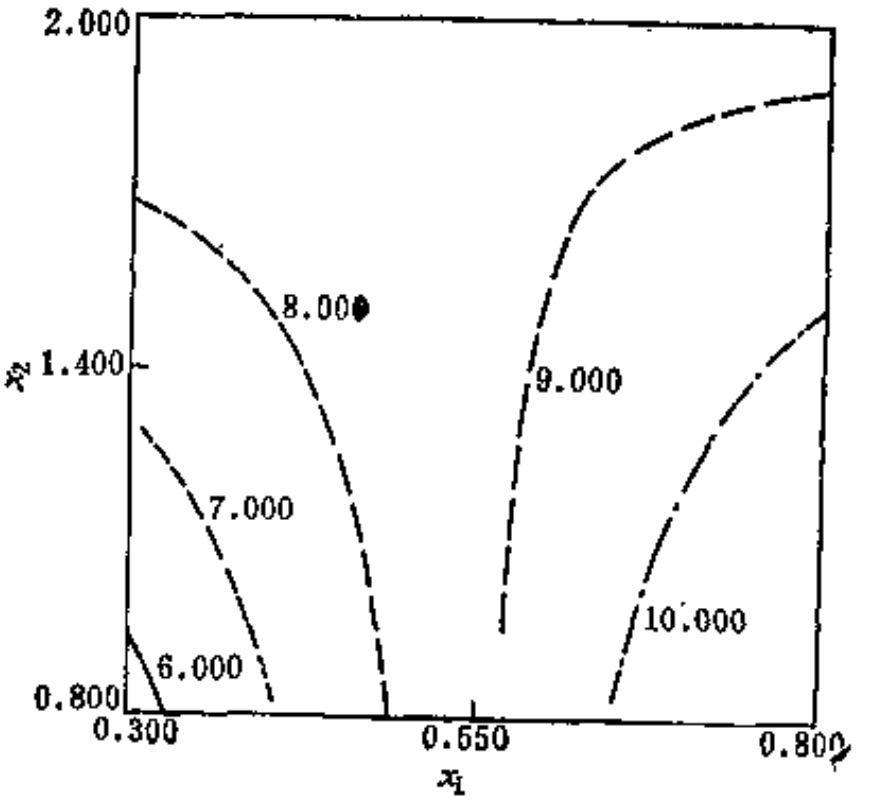



图 1-15-8 300%定伸应力

够直观。利用回归方程绘制出配方组分—物理机械性能—配方组分间的等值曲线图，就可以直观地表达配方组分—物理机械性能—配方组分间的变化规律。可以绘制成平面（二维空间）、也可绘成立体（三维空间）等值曲线图。为了简便其见，一般多绘制平面等值曲线图。平面等值曲线图对二因子场合非常适合，在多变量因子场合，有一个将多变量因子转换为二因子的问题，为此将除所要研究的两个变量以外的其它变量都固定在某一水平上（固定在零水平或最优配方各变量的水平等）。将多变量问题转换为二变量问题进行处理。因此不管有多少个变量，都可以归结为用同一数学表达式来表达，即

$$Y = b_0X_1b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2$$

在绘制等值曲线图时，$Y$是预先给定的，如果把$X_1$作为自变量，那么因变量$X_2$可用下式求出。

$$X_2=(-(b_2+b_{12}X_1)\pm\sqrt{(b_2+b_{12}X_1)^2-4b_{22}(-y+b_0+b_1X_1+b_{11}X_1^2)})/(2b_{22})$$

给定一系列$X_1$的值，就可以求出相应的$X_2$之值，将$X_1$与$X_2$分别做为横座标和纵座 标，利用绘图设备就能绘出等值曲线图。绘图工作可以边计算边进行，也可在计算完毕后进行，这由程序编制来定。

绘制等值曲线图的程序框图见图1-15-7。

图1-15-8～图1-15-10是利用微型计算机，在平板式绘图仪上绘制的例 8 中300%定伸应力的等值曲线图，三个因子都固定在各自的零水平。

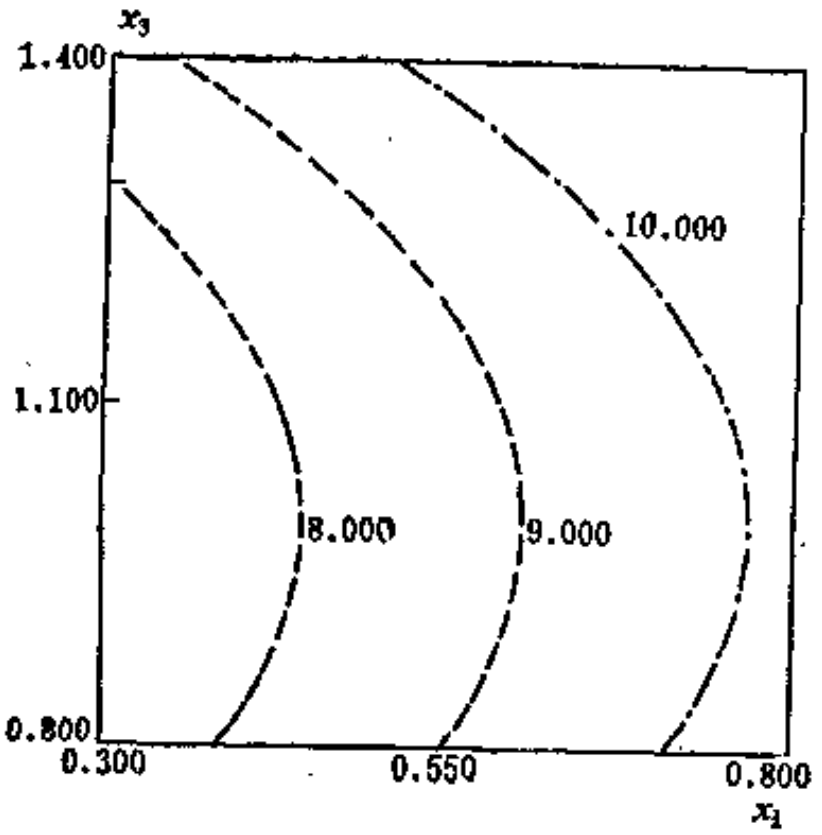



图 1-15-9　300%定伸应力

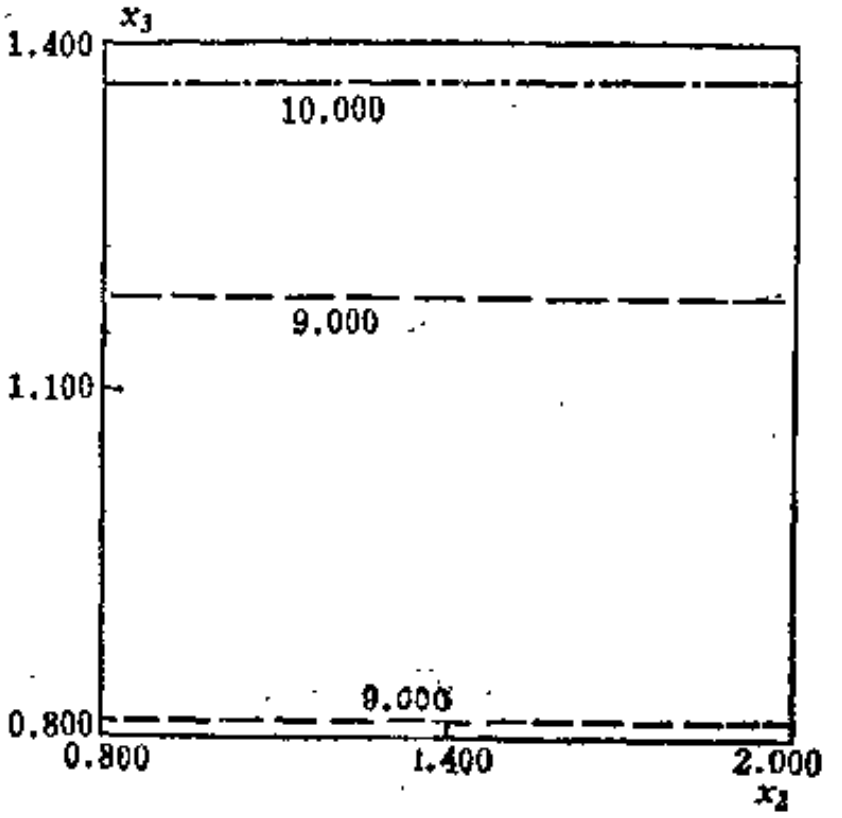



图 1-15-10　300%定伸应力

## 第三节　胶料配方试验设计的自动实现

### 一、胶料配方试验设计的自动实现

实践证明，利用数理统计的方法开发研制橡胶制品的产品配方或研究新型原材料的使用特性是一种行之有效的方法，不仅可以缩短开发研制周期，节省人力、物力、而且可实现优化设计，提高老产品的质量，使新产品的质量达到最优，同时还可降低成本。然而，在利用回归分析建立胶料配方组分—物理机械性能间定量关系式，进而进行最优区域寻找时，以采用通用性回归旋转设计为最好。当采用回归旋转设计安排试验方案时，配方技术人员，必须进行一定量的计算和查找有关表格及有关参数才能构成试验方案，这就增加了配方技术人员的若干工作量。为了减少配方技术人员的工作量，在具有汉字系统的计算机上，通过运行已编制的程序，就能完成这些工作。一方面可代替人工计算，另一方面可自动生成所需要的试验设计方案，还可以输出本次胶料配方试验中原来需要人工书写的各配方表，当然在运行程序前需输入一些必要的原始数据。这在某种意义上讲，实现了配方技术人员办公自动化，减少了出错的几率，提高了工作效率。其程序框图见图1-15-11。

## 二、实　　例

**例 9**　我们仍以例 8 为例来说明胶料配方试验设计的自动实现。

基本配方见表1-15-22，变量因子及其取值范围见表1-15-23。将各变量因子名称，取值的上、下限，基本配方中各原材料名称及其用量，加工工艺条件，需要测试的物理机械性能名称及条件等编制成数据文件（所有为汉字的地方一律输入汉字），在运行程序过程中，按照机器的提示再输入一些必要的其它数据，如日期，胶料名称，配方编号，放大倍数，本次试验的配方数目等，机器就可输出因子水平和实际用量表，中心复合试验设计方案表，各配方表。本例中输出的上述表格见表1-15-32～表1-15-52(本例中安排做19个配方试验，所以共输出19个配方表)。

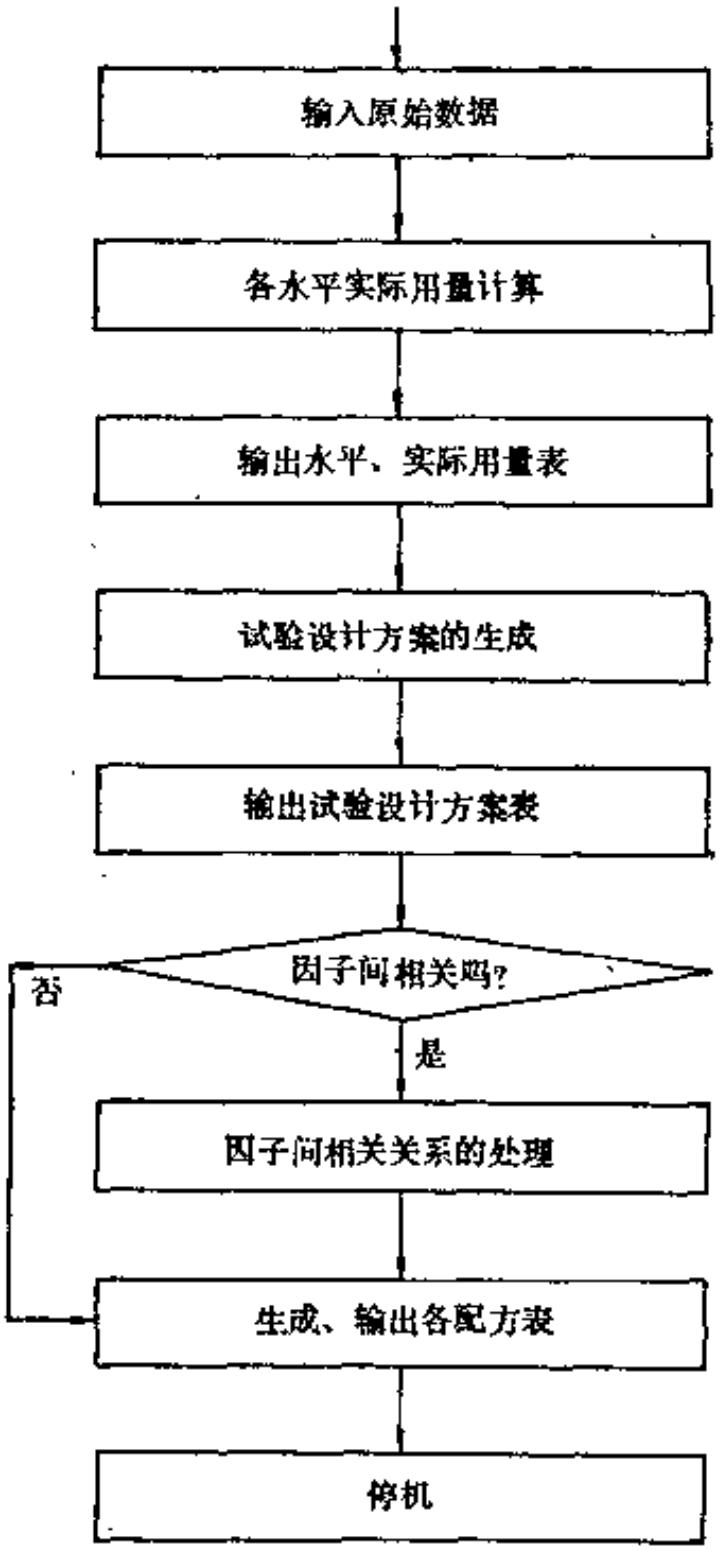



图 1-15-11　试验设计程序框图

**表 1-15-32　3因子水平和实际用量表**

| 水　　平 | ×1:硫黄 | ×2:VA-7 | ×3:NOBS |
|---|---|---|---|
| −AA | 0.3 | 0.8 | 0.8 |
| −1 | 0.4 | 1.04 | 0.92 |
| 0 | 0.65 | 1.4 | 1.1 |
| +1 | 0.7 | 1.76 | 1.28 |
| +AA | 0.8 | 2 | 1.4 |

表 1-15-33　3因子中心复合试验设计方案

| 序　号 | ×1 | ×2 | ×3 | 序　号 | ×1 | ×2 | ×3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | −1 | −1 | −1 | 11 | 0 | −1.682 | 0 |
| 2 | 1 | −1 | −1 | 12 | 0 | 1.682 | 0 |
| 3 | −1 | 1 | −1 | 13 | 0 | 0 | −1.682 |
| 4 | 1 | 1 | −1 | 14 | 0 | 0 | 1.682 |
| 5 | −1 | −1 | 1 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | −1 | 1 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | −1 | 1 | 1 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | −1.682 | 0 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1.682 | 0 | 0 | | | | |

表 1-15-34　胎面胶配方表(LD-1)

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物 理 机 械 性 能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶(NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶(BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化(100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ ½炭黑 $\xrightarrow{2min}$ 油 $\xrightarrow{1min}$ ½炭黑 |
| 机油 | 6 | 0.12 | $\xrightarrow{2min}$ 小料 $\xrightarrow{1min}$ 下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑(ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 0.922 | 0.019 | |
| VA-7 | 1.043 | 0.021 | |
| 硫黄 | 0.401 | 0.008 | |
| 合　计 | 169.366 | 3.387 | |

表 1-15-35　胎面胶配方表(LD-2)

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物 理 机 械 性 能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶(NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶(BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化(100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ 油 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ → |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ 下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑(ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |

续表

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物 理 机 械 性 能 |
|---|---|---|---|
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 0.922 | 0.018 | |
| VA-7 | 1.043 | 0.021 | |
| 硫黄 | 0.699 | 0.014 | |
| 合计 | 169.664 | 3.393 | |

**表 1-15-36 胎面胶配方表(LD-3)**

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶(NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶(BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化(100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ →油 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ → |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ →下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑(ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 0.922 | 0.018 | |
| VA-7 | 1.757 | 0.035 | |
| 硫黄 | 0.401 | 0.008 | |
| 合　计 | 170.08 | 3.401 | |

**表 1-15-37 胎面胶配方表(LD-4)**

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物 理 机 械 性 能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶(NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶(BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化(100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ →油 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ → |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ →下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑(ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 0.922 | 0.018 | |
| VA-7 | 1.757 | 0.035 | |
| 硫黄 | 0.699 | 0.014 | |
| 合　计 | 170.378 | 3.407 | |

**表 1-15-38 胎面胶配方表(LD-5)**

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶(NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶(BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化(100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ →油 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ → |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ →下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑(ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.278 | 0.026 | |
| VA-7 | 1.043 | 0.021 | |
| 硫黄 | 0.401 | 0.008 | |
| 合　计 | 169.722 | 3.395 | |

**表 1-15-39 胎面胶配方表(LD-6)**

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶(NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶(BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化 (100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ →油 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ → |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ →下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑(ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.278 | 0.026 | |
| VA-7 | 1.043 | 0.021 | |
| 硫黄 | 0.699 | 0.014 | |
| 合　计 | 170.02 | 3.401 | |

表 1-15-40 胎面胶配方表(LD-7)

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶(NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶(BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化（100℃×48h） |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ 油 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ 下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑(ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.278 | 0.026 | |
| VA-7 | 1.757 | 0.035 | |
| 硫黄 | 0.401 | 0.008 | |
| 合　计 | 170.436 | 3.409 | |

表 1-15-41 胎面胶配方表 (LD-8)

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 (NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化(100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ 油 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ 下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑(ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.278 | 0.026 | |
| VA-7 | 1.757 | 0.035 | |
| 硫黄 | 0.699 | 0.014 | |
| 合　计 | 170.734 | 3.415 | |

**表 1-15-42 胎面胶配方表 (LD-9)**

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 (NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化(100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ →油 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ → |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ →下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑 (ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放8小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.1 | 0.022 | |
| VA-7 | 1.4 | 0.028 | |
| 硫黄 | 0.3 | 0.006 | |
| 合　计 | 169.8 | 3.396 | |

**表 1-15-43 胎面胶配方表 (LD-10)**

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 (NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化 (100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ →油 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ → |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ 下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑 (ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放8小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.1 | 0.022 | |
| VA-7 | 1.4 | 0.028 | |
| 硫黄 | 0.8 | 0.016 | |
| 合　计 | 170.3 | 3.406 | |

表 1-75-44 胎面胶配方表 (LD-11)

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 (NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化 (100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗 (老化后) |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ →油 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ → |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ →下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑 (ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.1 | 0.022 | |
| VA-7 | 0.8 | 0.016 | |
| 硫黄 | 0.55 | 0.011 | |
| 合　计 | 169.45 | 3.389 | |

表 1-75-45 胎面胶配方表 (LD-12)

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 (NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化 (100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗 (老化后) |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ →油 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ → |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ →下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑 (ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.1 | 0.022 | |
| VA-7 | 2 | 0.04 | |
| 硫黄 | 0.55 | 0.011 | |
| 合　计 | 170.65 | 3.413 | |

**表 1-15-46 胎面胶配方表** (LD-13)

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 (NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化 (100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗 (老化后) |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ →油 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ →下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑 (ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 0.8 | 0.016 | |
| VA-7 | 1.4 | 0.028 | |
| 硫黄 | 0.55 | 0.011 | |
| 合　计 | 169.75 | 3.395 | |

**表 1-15-47 胎面胶配方表** (LD-14)

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 (NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化 (100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗 (老化后) |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ →1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ →油 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ → |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ →下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑 (ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.4 | 0.028 | |
| VA-7 | 1.4 | 0.028 | |
| 硫黄 | 0.55 | 0.011 | |
| 合　计 | 170.35 | 3.407 | |

**表 1-15-48 胎面胶配方表 (LD-15)**

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶(NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化 (100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗 (老化后) |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ 油 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ 下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑 (ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.1 | 0.022 | |
| VA-7 | 1.4 | 0.028 | |
| 硫黄 | 0.55 | 0.011 | |
| 合　计 | 170.05 | 3.401 | |

**表 1-15-49 胎面胶配方表 (LD-16)**

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶(NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化 (100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗 (老化后) |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ 油 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ 下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑 (ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.1 | 0.022 | |
| VA-7 | 1.4 | 0.028 | |
| 硫黄 | 0.55 | 0.011 | |
| 合　计 | 170.05 | 3.401 | |

**表 1-15-50 胎面胶配方表 (LD-17)**

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 (NR) | 30 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化 (100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗 (老化后) |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ 油 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ 下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑 (ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.1 | 0.022 | |
| VA-7 | 1.4 | 0.028 | |
| 硫黄 | 0.55 | 0.011 | |
| 合　计 | 170.05 | 3.401 | |

**表 1-15-51 胎面胶配方表 (LD-18)**

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶 (NR) | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶 (BR) | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化 (100℃×48h) |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗 (老化后) |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ 油 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ 下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑 (ISAF-HS) | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.1 | 0.022 | |
| VA-7 | 1.4 | 0.028 | |
| 硫黄 | 0.55 | 0.011 | |
| 合　计 | 170.05 | 3.401 | |

表 1-15-52 胎面胶配方表（LD-19）

| 材料名称 | 基本配合 | 实用配合 | 物理机械性能 |
|---|---|---|---|
| 天然橡胶（NR） | 50 | 1 | 强力曲线：10min 20min 25min 30min 35min 40min 60min |
| 顺丁橡胶（BR） | 50 | 1 | 门尼焦烧 |
| 氧化锌 | 4 | 0.08 | 屈挠 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.06 | 老化（100℃×48h） |
| 防老剂D | 1.5 | 0.03 | 生热 |
| 防老剂4010NA | 1.2 | 0.024 | 磨耗（老化后） |
| 防老剂H | 0.3 | 0.006 | 工艺条件： |
| 石蜡 | 1 | 0.02 | 生胶 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ 油 $\xrightarrow{1min}$ 1/2炭黑 $\xrightarrow{2min}$ |
| 机油 | 6 | 0.12 | 小料 $\xrightarrow{1min}$ 下片 |
| 高结构中超耐磨炉黑（ISAF-HS） | 15 | 0.3 | 存放 8 小时，补充加工 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 35 | 0.7 | |
| 促进剂NOBS | 1.1 | 0.022 | |
| VA-7 | 1.4 | 0.028 | |
| 硫黄 | 0.55 | 0.011 | |
| 合　计 | 170.05 | 3.401 | |

## 第四节　配方数据库

### 一、几个基本概念

1．数据

数据是用文字、数字、符号、语言等介质表示事、物、现象等的内容，此内容不因载荷它的物质介质的不同而改变。数据也称为信息。数据库中的数据不再是那种狭义的数据概念，而是包括更丰富内容的广义数据的概念。

2．数据库

数据库是以一定的组织方式存入外存贮器（如磁盘）上的相互有关的数据集合。数据在数据库中的存放不是杂乱无章的，它必须符合下述一些规则：

① 冗余度尽可能小；

② 最大的数据独立性；

③ 数据是积成的；

④ 各部分数据间有多种联系；

⑤ 往往是某个（些）企业的操作数据的集合。

规定这些规则是为了用户能有效地访问数据库。

3．数据库的特点

数据库能以最佳的方式和最少的重复（冗余）为多个用户服务；数据的存贮与使用数据的应用程序无关，数据与应用程序都具有较高的独立性；数据的增加、删除、更新和检索等都使用通用的处理方法；另外数据库还提供了保证系统的可靠性、保密性和数据的一致性、完整性等方面的措施。

4．数据库的构成

通常所说的数据库一般是指数据库系统而言，它包括两个方面的内容：数据库和数据库管理系统（DBMS)。数据的概念如（一）所述，数据是数据库构成的基础；数据管理系统是一组例行程序，提供对库中数据的组织、存贮、操作和使用等一系列管理方法，它是建立在操作系统上的文件管理系统。大型完整的数据库构成中还应包括数据库管理员。

5．数据库方法

常用的数据库方法有两种，格式化方法和关系法。

（1）格式化方法　格式化方法是利用图形来描述数据间的逻辑关系，分为层次法和网状法两种。层次法数据结构是一个有根的定向有序树。如城市工矿企业登记表(图1-15-12)。

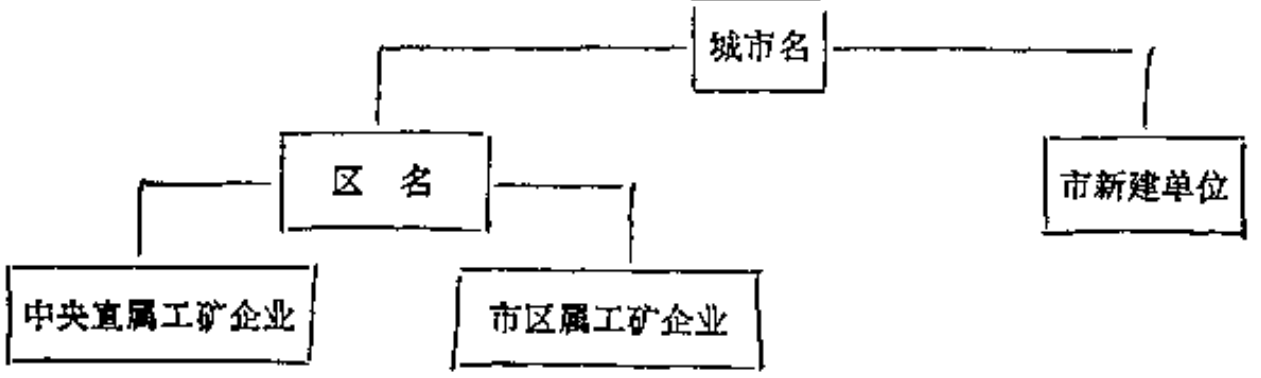



图 1-15-12　城市工矿企业登记表

这个城市工矿企业登记表的定向有序树的图形见图1-15-13。

用这种定向有序树结构来描述数据间逻辑联系的叫层次法。用有向图形表示，但不是层次法中的1:N关系，而是N:M关系（见图1-15-14）叫网状法。层次法容易实现，但效率低。网状法的效率高，实现起来复杂。

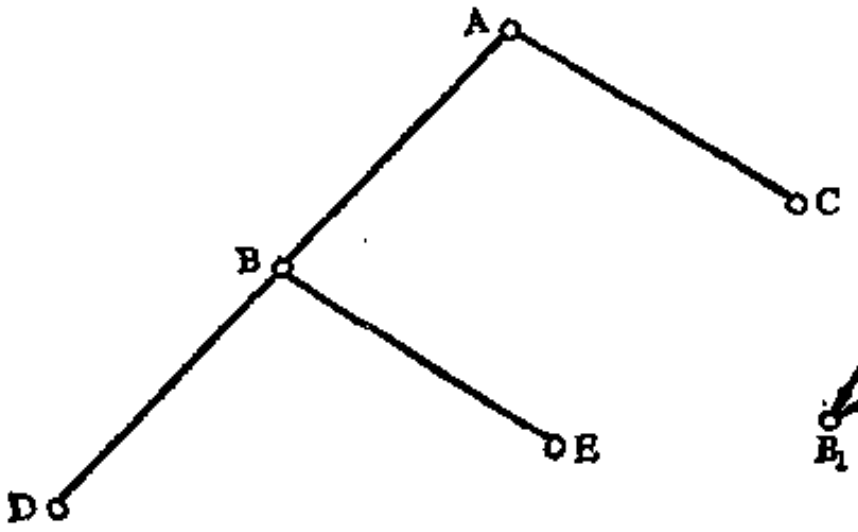



图 1-15-13　定向有序树图形

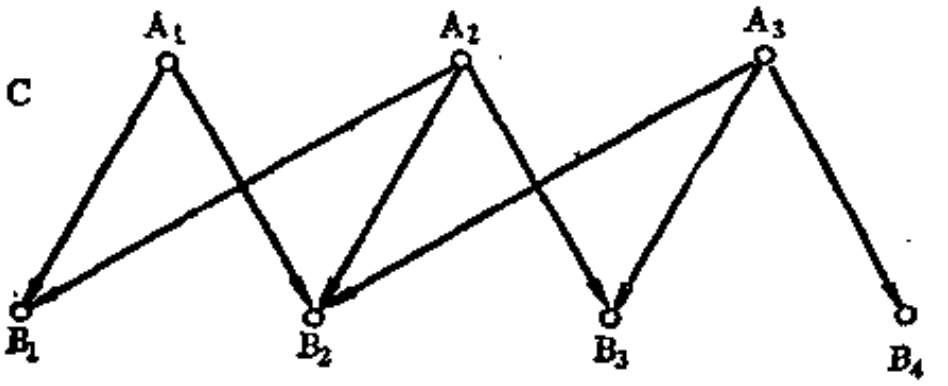



图 1-15-14　非树形图形

（2）关系法　关系法是将数据间的逻辑关系归结为满足一定条件的二维表形式。每个关系为一个二维表，相当于一个文件，表中的一行为一个关系元组，相当于记录值，每一列称为关系的一个属性，相当于字段（数据项)，二维表的结构为一个关系框架，相当于文件结构，从而构成关系数据库。关系数据库是数据库的最新“产品“，它将一切错纵复杂的数据结构归结成简单的二维表的形式，从而使数据摆脱了过分繁琐和不灵活的缺陷。在关

系模型中，将数据看作是一组非分层的时变关系，此观点使关系代数运算及表达式可以扩展用于数据操作。一个复杂结构可以分解为一组简单的关系，从而使数据的存取简单、迅速。

用数据库方法管理数据是数据管理技术上的一个重要突破，是一场革命。数据库概念的产生可以追溯到六十年代初期，随后，在国际上相继开展了对数据库方法的深入研究。在微型机产生和“信息爆炸”出现以来，数据库方法已广泛应用于工矿企业管理、科技情报管理、交通运输管理、能源管理、人事管理、医药卫生和文教管理等各个领域。数据库已不再仅仅是图书管理员和科技人员的工具，而是直接送到“终端用户”的办用桌上。

## 二、关系数据库dBASE Ⅱ

随着计算机的发展，微型计算机已被广范应用于各个领域。虽然[illegible]外存都比较小，操作系统比较简单，但是大都配置了关系数据库 dBASE Ⅱ，[illegible]机型还配置了3dBASE Ⅱ。作为关系数据库来说，dBASE Ⅱ是当之无愧的。关系数据的[illegible] F. Codd在1981年获得图灵奖时的讲演中说过：一个数据库管理系统要想被称为关系数据库系统，至少应具有3种操作：选择、投影和联合。dBASE Ⅱ支持这3种操作，并且在某些场合里允许组合使用这些操作。

dBASE Ⅱ的执行效率高，特别适用于办公室自动化中的一些中、小型数据库的建立和管理。其功能简述如下：

（1）建立整个数据库系统；

（2）方便地加入、删除、编辑、查询、显示和打印数据库的数据且文件数据具有最小的冗余；

（3）使程序和数据具有较高的独立性，即当数据改变时，可不必改变程序，反之，当程序改变时，也不必改变数据的组织；

（4）可从一个或多个不同的数据库中生成报表，使用时，可自动进行乘除、总计和小计等数据运算；

（5）支持全屏幕编辑功能和建立屏幕格式，因此数据可在确定的位置上显示出来，也可在确定的位置上“填空”式地写入数据。

## 三、配方数据库

胶料配方数据库是将胶料配方中的各种原材料及其用量、相应的各种物理机械性能及与该配方有关的信息（如：胶料配方名称，试验日期等），按着一定的逻辑方式存入计算机的配方内容、物理机械性能和有关信息序列，如果用关系法建立胶料配方数据库，就成为一个二维表。用数据库管理系统进行管理，以供配方技术人员随时查询，使用。

胶料配方的开发研制是橡胶行业各研究单位和生产厂家一项经常而又重要的工作，因此各单位每年都积累若干有参考价值和实用价值的胶料配方资料，并且逐年在增加，同时还收集了许多有参考价值的胶料配方文献资料。为了加强对这些宝贵资料的管理，便于研制者个人和其他人员的随时查阅，对进一步的开发起参考借鉴作用，以提高胶料配方开发研制的质量和效率，降低研制成本，应当建立自己的胶料配方数据库系统。为了全行业资源共享，应当建立整个行业的胶料配方数据库系统。随着我国计算机技术的发展，特别是近几年来微型机技术的发展，已为橡胶行业建立自己的胶料配方数据库系统提供了技术条件，目前，已经或正在建立的这一数据库系统，大都是在dBASE Ⅱ系统下建立的。

胶料配方数据的特点是一个配方所包括的信息多，如：原材料有若干种，还有与之相应的用量；物理机械性能的项目也很多；橡胶制品的胶料配方种类繁多。因此胶料配方数据库中的一个记录包含的属性多，以至于在dBASE Ⅱ系统下不容易实现。另外在对库文件进行查询时，查找项多，而且因目的不同，查找的项数及内容可能相差很大，因此影响查询速度。为了利用dBASE Ⅱ系统建立胶料配方数据库，应当认真分析繁琐的胶料配方数据间的逻辑关系，将其尽量简化成一个或多个既简单又便于查询的二维表形式，以建立所需的胶料配方数据库。利用 dBASE Ⅱ的一些命令编制一系列命令文件来建立库文件、查询和维护库文件，从而得到一个完整的胶料配方数据库系统。例如，可以把种类不同的胶料配方分类，分别建立若干库文件，编制命令文件时，可采用模块结构（见图1-15-15），这样将有利于库文件的建立，查询及维护，也有利于命令文件的编制与修改。

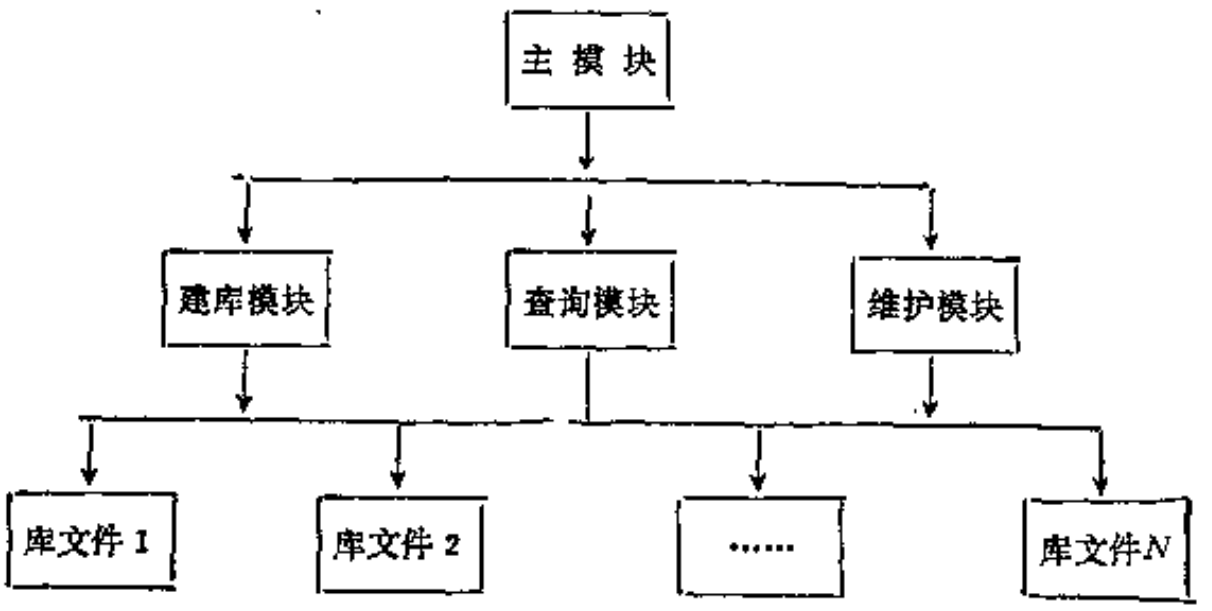



图 1-15-15　胶料配方数据库系统

# 附录1　正　交　表

$L_4(2^3)$

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 |
| 3 | 2 | 1 | 2 |
| 4 | 2 | 2 | 1 |
| 组 | 1 | 2 | |

$L_8(2^7)$

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 组 | 1 | 2 | | 3 | | | |

$L_8(2^7)$ 二列间的交互作用

| 列号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (1) | 3 | 2 | 5 | 4 | 7 | 6 |
| | | (2) | 1 | 6 | 7 | 4 | 5 |
| | | | (3) | 7 | 6 | 5 | 4 |
| | | | | (4) | 1 | 2 | 3 |
| | | | | | (5) | 3 | 2 |
| | | | | | | (6) | 1 |
| | | | | | | | (7) |

$L_8(2^7)$ 表头设计

| 因子数 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | $A$ | $B$ | $A\times B$ | $C$ | $A\times C$ | $B\times C$ | |
| 4 | $A$ | $B$ | $A\times B$<br>$C\times D$ | $C$ | $A\times C$<br>$B\times D$ | $B\times C$<br>$A\times D$ | $D$ |
| 4 | $A$ | $B$<br>$C\times D$ | $A\times B$ | $C$<br>$B\times D$ | $A\times C$ | $D$<br>$B\times C$ | $A\times D$ |
| 5 | $A$<br>$D\times E$ | $B$<br>$C\times D$ | $A\times B$<br>$C\times E$ | $C$<br>$B\times D$ | $A\times C$<br>$B\times E$ | $D$<br>$A\times E$<br>$B\times C$ | $E$<br>$A\times D$ |

$L_{16}(2^{15})$

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 9 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 12 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 14 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 15 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 16 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 组 | 1 | 2 | | 3 | | | | 4 | | | | | | | |

$L_{16}(2^{15})$ 二列间的交互作用

| 列号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (1) | 3 | 2 | 5 | 4 | 7 | 6 | 9 | 8 | 11 | 10 | 13 | 12 | 15 | 14 |
| | | (2) | 1 | 6 | 7 | 4 | 5 | 10 | 11 | 8 | 9 | 14 | 15 | 12 | 13 |
| | | | (3) | 7 | 6 | 5 | 4 | 11 | 10 | 9 | 8 | 15 | 14 | 13 | 12 |
| | | | | (4) | 1 | 2 | 3 | 12 | 13 | 14 | 15 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| | | | | | (5) | 3 | 2 | 13 | 12 | 15 | 14 | 9 | 8 | 11 | 10 |
| | | | | | | (6) | 1 | 14 | 15 | 12 | 13 | 10 | 11 | 8 | 9 |
| | | | | | | | (7) | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| | | | | | | | | (8) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | | | | | | | | | (9) | 3 | 2 | 5 | 4 | 7 | 6 |
| | | | | | | | | | | (10) | 1 | 6 | 7 | 4 | 5 |
| | | | | | | | | | | | (11) | 7 | 6 | 5 | 4 |
| | | | | | | | | | | | | (12) | 1 | 2 | 3 |
| | | | | | | | | | | | | | (13) | 3 | 2 |
| | | | | | | | | | | | | | | (14) | 1 |

$L_{16}(2^{15})$ 表头设计

| 因子数 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | $A$ | $B$ | $A\times B$ | $C$ | $A\times C$ | $B\times C$ | | $D$ | $A\times D$ | $B\times D$ | | $C\times D$ | | | |
| 5 | $A$ | $B$ | $A\times B$ | $C$ | $A\times C$ | $B\times C$ | $D\times E$ | $D$ | $A\times D$ | $B\times D$ | $C\times E$ | $C\times D$ | $B\times E$ | $A\times E$ | $E$ |
| 6 | $A$ | $B$ | $A\times B$<br>$D\times E$ | $C$ | $A\times C$<br>$D\times F$ | $B\times C$<br>$E\times F$ | | $D$ | $A\times D$<br>$B\times E$<br>$C\times F$ | $B\times D$<br>$A\times E$ | $E$ | $C\times D$<br>$A\times F$ | $F$ | | $C\times E$<br>$B\times F$ |
| 7 | $A$ | $B$ | $A\times B$<br>$D\times E$<br>$F\times G$ | $C$ | $A\times C$<br>$D\times E$<br>$E\times G$ | $B\times C$<br>$E\times F$<br>$D\times G$ | | $D$ | $A\times D$<br>$B\times E$<br>$C\times F$ | $B\times D$<br>$A\times E$<br>$C\times G$ | $E$ | $C\times D$<br>$A\times F$<br>$B\times G$ | $F$ | $G$ | $C\times E$<br>$B\times F$<br>$A\times G$ |
| 8 | $A$ | $B$ | $A\times B$<br>$D\times E$<br>$F\times G$<br>$C\times H$ | $C$ | $A\times C$<br>$D\times F$<br>$E\times G$<br>$B\times H$ | $B\times C$<br>$E\times F$<br>$D\times G$<br>$A\times H$ | $H$ | $D$ | $A\times D$<br>$B\times E$<br>$C\times F$<br>$G\times H$ | $B\times D$<br>$A\times E$<br>$C\times G$<br>$F\times H$ | $E$ | $C\times D$<br>$A\times F$<br>$B\times G$<br>$E\times H$ | $F$ | $G$ | $C\times E$<br>$B\times F$<br>$A\times G$<br>$D\times H$ |

$L_{32}(2^{31})$

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 9 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 10 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 11 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 12 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |

续表

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 14 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 15 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 16 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 17 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 18 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 19 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 20 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 21 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 22 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 23 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 24 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 25 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 26 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 27 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 28 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 29 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 30 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 31 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 32 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 组 | 1 | 2 | | 3 | | | | 4 | | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | |

$L_9(3^4)$

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 组 | 1 | | 2 | |

注：任意二列间的交互作用为另外二列。

$L_{27}(3^{13})$

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |

续表

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| 12 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 13 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 14 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 17 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| 18 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 19 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 20 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 21 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 22 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 23 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 24 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 25 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 26 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 27 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 组 | 1 | | 2 | | | | | 3 | | | | | |

$L_{27}(3^{13})$ 二列间的交互作用

| 列号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | 3 | 2 | 2 | 6 | 5 | 5 | 9 | 8 | 8 | 12 | 11 | 11 |
| | 4 | 4 | 3 | 7 | 7 | 6 | 10 | 10 | 9 | 13 | 13 | 12 |
| (2) | 1 | 1 | 8 | 9 | 10 | 5 | 6 | 7 | 5 | 6 | 7 |
| | 4 | 3 | 11 | 12 | 13 | 11 | 12 | 13 | 8 | 9 | 10 |
| (3) | 1 | 9 | 10 | 8 | 7 | 5 | 6 | 6 | 7 | 5 |
| | 2 | 13 | 11 | 12 | 12 | 13 | 11 | 10 | 8 | 9 |
| (4) | 10 | 8 | 9 | 6 | 7 | 5 | 7 | 5 | 6 |
| | 12 | 13 | 11 | 13 | 11 | 12 | 9 | 10 | 8 |
| (5) | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 4 | 3 |
| | 7 | 6 | 11 | 13 | 12 | 8 | 10 | 9 |
| (6) | 1 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 |
| | 5 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| (7) | 3 | 4 | 2 | 4 | 3 | 2 |
| | 12 | 11 | 13 | 9 | 8 | 10 |
| (8) | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 10 | 9 | 5 | 7 | 6 |
| (9) | 1 | 4 | 2 | 3 |
| | 8 | 7 | 6 | 5 |
| (10) | 3 | 4 | 2 |
| | 6 | 5 | 7 |
| (11) | 1 | 1 |
| | 13 | 12 |
| (12) | 1 |
| | 11 |

$L_{27}(3^{13})$ 表头设计

| 因子数 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | $A$ | $B$ | $(A\times B)_1$ | $(A\times B)_2$ | $C$ | $(A\times C)_1$ | $(A\times C)_2$ |
| 4 | $A$ | $B$ | $(A\times B)_1$<br>$(C\times D)_2$ | $(A\times B)_2$ | $C$ | $(A\times C)_1$<br>$(B\times D)_2$ | $(A\times C)_2$ |

| 因子数 \ 列号 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | $(B\times C)_1$ | | | $(B\times C)_2$ | | |
| 4 | $(B\times C)_1$<br>$(A\times D)_2$ | $D$ | $(A\times D)_1$ | $(B\times C)_2$ | $(B\times D)_1$ | $(C\times D)_1$ |

$L_{25}(5^6)$

| 试验号 \ 列号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 |
| 8 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 |
| 9 | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 |
| 10 | 2 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 11 | 3 | 1 | 3 | 5 | 2 | 4 |
| 12 | 3 | 2 | 4 | 1 | 3 | 6 |
| 13 | 3 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 |
| 14 | 3 | 4 | 1 | 3 | 5 | 2 |
| 15 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 3 |
| 16 | 4 | 1 | 4 | 2 | 5 | 3 |
| 17 | 4 | 2 | 5 | 3 | 1 | 4 |
| 18 | 4 | 3 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| 19 | 4 | 4 | 2 | 5 | 3 | 1 |
| 20 | 4 | 5 | 3 | 1 | 4 | 2 |
| 21 | 5 | 1 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 22 | 5 | 2 | 1 | 5 | 4 | 3 |
| 23 | 5 | 3 | 2 | 1 | 5 | 4 |
| 24 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 5 |
| 25 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 组 | 1 | | | 2 | | |

# 附录 2　相关系数检验表

| $N-2$ \ $\alpha$ | 0.05 | 0.01 | $N-2$ \ $\alpha$ | 0.05 | 0.01 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.997 | 1.000 | 21 | 0.413 | 0.526 |
| 2 | 0.950 | 0.990 | 22 | 0.404 | 0.515 |
| 3 | 0.878 | 0.959 | 23 | 0.396 | 0.505 |
| 4 | 0.811 | 0.917 | 24 | 0.388 | 0.496 |
| 5 | 0.754 | 0.874 | 25 | 0.381 | 0.487 |
| 6 | 0.707 | 0.834 | 26 | 0.374 | 0.478 |
| 7 | 0.666 | 0.798 | 27 | 0.367 | 0.470 |
| 8 | 0.632 | 0.765 | 28 | 0.361 | 0.463 |
| 9 | 0.602 | 0.735 | 29 | 0.355 | 0.456 |
| 10 | 0.576 | 0.708 | 30 | 0.349 | 0.449 |
| 11 | 0.553 | 0.684 | 35 | 0.325 | 0.418 |
| 12 | 0.532 | 0,661 | 40 | 0.304 | 0.393 |
| 13 | 0.514 | 0.641 | 45 | 0.288 | 0.372 |
| 14 | 0.497 | 0.623 | 50 | 0.273 | 0.354 |
| 15 | 0.482 | 0.606 | 60 | 0.250 | 0.325 |
| 16 | 0.468 | 0.590 | 70 | 0.232 | 0.302 |
| 17 | 0.456 | 0.575 | 80 | 0.217 | 0.283 |
| 18 | 0.444 | 0.561 | 90 | 0.205 | 0.267 |
| 19 | 0.433 | 0.549 | 100 | 0.195 | 0.254 |
| 20 | 0.423 | 0.537 | 200 | 0.138 | 0.181 |

$F$分布表 ($\alpha=0.05$)

| $N_2$ \ $N_1$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 15 | 20 | 60 | ∞ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 161.4 | 199.5 | 215.7 | 224.6 | 230.2 | 234.0 | 236.8 | 238.9 | 240.5 | 241.9 | 243.9 | 245.9 | 248.0 | 252.2 | 254.3 |
| 2 | 18.51 | 19.00 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.35 | 19.37 | 19.38 | 19.40 | 19.41 | 19.43 | 19.45 | 19.48 | 19.50 |
| 3 | 10.13 | 9.55 | 9.28 | 9.12 | 9.01 | 8.94 | 8.89 | 8.85 | 8.81 | 8.79 | 8.74 | 8.70 | 8.66 | 8.57 | 8.53 |
| 4 | 7.71 | 6.94 | 6.59 | 6.39 | 6.26 | 6.16 | 6.09 | 6.04 | 6.00 | 5.96 | 5.91 | 5.86 | 5.80 | 5.69 | 5.63 |
| 5 | 6.61 | 5.79 | 5.41 | 5.19 | 5.05 | 4.95 | 4.88 | 4.82 | 4.77 | 4.74 | 4.68 | 4.62 | 4.56 | 4.43 | 4.36 |
| 6 | 5.99 | 5.14 | 4.76 | 4.53 | 4.39 | 4.28 | 4.21 | 4.15 | 4.10 | 4.06 | 4.00 | 3.94 | 3.87 | 3.74 | 3.67 |
| 7 | 5.59 | 4.74 | 4.35 | 4.12 | 3.97 | 3.87 | 3.79 | 3.73 | 3.68 | 3.64 | 3.57 | 3.51 | 3.44 | 3.30 | 3.23 |
| 8 | 5.32 | 4.46 | 4.07 | 3.84 | 3.69 | 3.58 | 3.50 | 3.44 | 3.39 | 3.35 | 3.28 | 3.22 | 3.15 | 3.01 | 2.93 |
| 9 | 5.12 | 4.26 | 3.86 | 3.63 | 3.48 | 3.37 | 3.29 | 3.23 | 3.18 | 3.14 | 3.07 | 3.01 | 2.94 | 2.79 | 2.71 |
| 10 | 4.96 | 4.10 | 3.71 | 3.48 | 3.33 | 3.22 | 3.14 | 3.07 | 3.02 | 2.98 | 2.91 | 2.85 | 2.77 | 2.62 | 2.54 |
| 11 | 4.84 | 3.98 | 3.59 | 3.36 | 3.20 | 3.09 | 3.01 | 2.95 | 2.90 | 2.85 | 2.79 | 2.72 | 2.65 | 2.49 | 2.40 |
| 12 | 4.75 | 3.89 | 3.49 | 3.26 | 3.11 | 3.00 | 2.91 | 2.85 | 2.80 | 2.75 | 2.69 | 2.62 | 2.54 | 2.38 | 2.30 |
| 13 | 4.67 | 3.81 | 3.41 | 3.18 | 3.03 | 2.92 | 2.83 | 2.77 | 2.71 | 2.67 | 2.60 | 2.53 | 2.46 | 2.30 | 2.21 |
| 14 | 4.60 | 3.74 | 3.34 | 3.11 | 2.96 | 2.85 | 2.76 | 2.70 | 2.65 | 2.60 | 2.53 | 2.46 | 2.39 | 2.22 | 2.13 |
| 15 | 4.54 | 3.68 | 3.29 | 3.06 | 2.90 | 2.79 | 2.71 | 2.64 | 2.59 | 2.54 | 2.48 | 2.40 | 2.33 | 2.16 | 2.07 |
| 16 | 4.49 | 3.63 | 3.24 | 3.01 | 2.85 | 2.74 | 2.66 | 2.59 | 2.54 | 2.49 | 2.42 | 2.35 | 2.28 | 2.11 | 2.01 |
| 17 | 4.45 | 3.59 | 3.20 | 2.96 | 2.81 | 2.70 | 2.61 | 2.55 | 2.49 | 2.45 | 2.38 | 2.31 | 2.23 | 2.06 | 1.96 |
| 18 | 4.41 | 3.55 | 3.16 | 2.93 | 2.77 | 2.66 | 2.58 | 2.51 | 2.46 | 2.41 | 2.34 | 2.27 | 2.19 | 2.02 | 1.92 |
| 19 | 4.38 | 3.52 | 3.13 | 2.90 | 2.74 | 2.63 | 2.54 | 2.48 | 2.42 | 2.38 | 2.31 | 2.23 | 2.16 | 1.98 | 1.88 |
| 20 | 4.35 | 3.49 | 3.10 | 2.87 | 2.71 | 2.60 | 2.51 | 2.45 | 2.39 | 2.35 | 2.28 | 2.20 | 2.12 | 1.95 | 1.84 |
| 21 | 4.32 | 3.47 | 3.07 | 2.84 | 2.68 | 2.57 | 2.49 | 2.42 | 2.37 | 2.32 | 2.25 | 2.18 | 2.10 | 1.92 | 1.81 |
| 22 | 4.30 | 3.44 | 3.05 | 2.82 | 2.66 | 2.55 | 2.46 | 2.40 | 2.34 | 2.30 | 2.23 | 2.15 | 2.07 | 1.89 | 1.78 |
| 23 | 4.28 | 3.42 | 3.03 | 2.80 | 2.64 | 2.53 | 2.44 | 2.37 | 2.32 | 2.27 | 2.20 | 2.13 | 2.05 | 1.86 | 1.76 |
| 24 | 4.26 | 3.40 | 3.01 | 2.78 | 2.62 | 2.51 | 2.42 | 2.36 | 2.30 | 2.25 | 2.18 | 2.11 | 2.03 | 1.84 | 1.73 |
| 25 | 4.24 | 3.39 | 2.99 | 2.76 | 2.60 | 2.49 | 2.40 | 2.34 | 2.28 | 2.24 | 2.16 | 2.09 | 2.01 | 1.82 | 1.71 |
| 30 | 4.17 | 3.32 | 2.92 | 2.69 | 2.53 | 2.42 | 2.33 | 2.27 | 2.21 | 2.16 | 2.09 | 2.01 | 1.93 | 1.74 | 1.62 |
| 40 | 4.08 | 3.23 | 2.84 | 2.61 | 2.45 | 2.34 | 2.25 | 2.18 | 2.12 | 2.08 | 2.00 | 1.92 | 1.84 | 1.64 | 1.51 |
| 60 | 4.00 | 3.15 | 2.76 | 2.53 | 2.37 | 2.25 | 2.17 | 2.10 | 2.04 | 1.99 | 1.92 | 1.84 | 1.75 | 1.53 | 1.39 |
| 120 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.17 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.83 | 1.75 | 1.66 | 1.43 | 1.25 |
| ∞ | 3.84 | 3.00 | 2.60 | 2.37 | 2.21 | 2.10 | 2.01 | 1.94 | 1.88 | 1.83 | 1.75 | 1.67 | 1.57 | 1.32 | 1.00 |

## $F$分布表 ($\alpha=0.01$)

| $N_2$ \ $N_1$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 15 | 20 | 60 | $\infty$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4052 | 4999.5 | 5403 | 5625 | 5764 | 5859 | 5928 | 5982 | 6022 | 6056 | 6106 | 6157 | 6209 | 6313 | 6366 |
| 2 | 98.50 | 99.00 | 99.17 | 99.25 | 99.30 | 99.33 | 99.36 | 99.37 | 99.39 | 99.40 | 99.42 | 99.43 | 99.45 | 99.48 | 99.50 |
| 3 | 34.12 | 30.82 | 29.46 | 28.71 | 28.24 | 27.91 | 27.67 | 27.49 | 27.35 | 27.23 | 27.05 | 26.87 | 26.69 | 26.32 | 26.13 |
| 4 | 21.20 | 18.00 | 16.69 | 15.98 | 15.52 | 15.21 | 14.98 | 14.80 | 14.66 | 14.55 | 14.37 | 14.20 | 14.02 | 13.65 | 13.46 |
| 5 | 16.26 | 13.27 | 12.06 | 11.39 | 10.97 | 10.67 | 10.46 | 10.29 | 10.16 | 10.05 | 9.89 | 9.72 | 9.55 | 9.29 | 9.02 |
| 6 | 13.75 | 10.92 | 9.78 | 9.15 | 8.75 | 8.47 | 8.26 | 8.10 | 7.98 | 7.87 | 7.72 | 7.56 | 7.40 | 7.06 | 6.88 |
| 7 | 12.25 | 9.55 | 8.45 | 7.85 | 7.46 | 7.19 | 6.99 | 6.84 | 6.72 | 6.62 | 6.47 | 6.31 | 6.16 | 5.82 | 5.65 |
| 8 | 11.26 | 8.65 | 7.59 | 7.01 | 6.63 | 6.37 | 6.18 | 6.03 | 5.91 | 5.81 | 5.67 | 5.52 | 5.36 | 5.03 | 4.86 |
| 9 | 10.56 | 8.02 | 6.99 | 6.42 | 6.06 | 5.80 | 5.61 | 5.47 | 5.35 | 5.26 | 5.11 | 4.96 | 4.81 | 4.48 | 4.31 |
| 10 | 10.04 | 7.56 | 6.55 | 5.99 | 5.64 | 5.39 | 5.20 | 5.06 | 4.94 | 4.85 | 4.71 | 4.56 | 4.41 | 4.08 | 3.91 |
| 11 | 9.65 | 7.21 | 6.22 | 5.67 | 5.32 | 5.07 | 4.89 | 4.74 | 4.63 | 4.54 | 4.40 | 4.25 | 4.10 | 3.78 | 3.60 |
| 12 | 9.33 | 6.93 | 5.95 | 5.41 | 5.06 | 4.82 | 4.64 | 4.50 | 4.39 | 4.30 | 4.16 | 4.01 | 3.86 | 3.54 | 3.36 |
| 13 | 9.07 | 6.70 | 5.74 | 5.21 | 4.86 | 4.62 | 4.44 | 4.30 | 4.19 | 4.10 | 3.96 | 3.82 | 3.66 | 3.34 | 3.17 |
| 14 | 8.86 | 6.51 | 5.56 | 5.04 | 4.69 | 4.46 | 4.28 | 4.14 | 4.03 | 3.94 | 3.80 | 3.66 | 3.51 | 3.18 | 3.00 |
| 15 | 8.68 | 6.36 | 5.42 | 4.89 | 4.56 | 4.32 | 4.14 | 4.00 | 3.89 | 3.80 | 3.67 | 3.52 | 3.37 | 3.05 | 2.87 |
| 16 | 8.53 | 6.23 | 5.29 | 4.77 | 4.44 | 4.20 | 4.03 | 3.89 | 3.78 | 3.69 | 3.55 | 3.41 | 3.26 | 2.93 | 2.75 |
| 17 | 8.40 | 6.11 | 5.18 | 4.67 | 4.34 | 4.10 | 3.93 | 3.79 | 3.68 | 3.59 | 3.46 | 3.31 | 3.16 | 2.83 | 2.65 |
| 18 | 8.29 | 6.01 | 5.09 | 4.58 | 4.25 | 4.01 | 3.84 | 3.71 | 3.60 | 3.51 | 3.37 | 3.23 | 3.08 | 2.75 | 2.57 |
| 19 | 8.18 | 5.93 | 5.01 | 4.50 | 4.17 | 3.94 | 3.77 | 3.63 | 3.52 | 3.43 | 3.30 | 3.15 | 3.00 | 2.67 | 2.49 |
| 20 | 8.10 | 5.85 | 4.94 | 4.43 | 4.10 | 3.87 | 3.70 | 3.56 | 3.46 | 3.37 | 3.23 | 3.09 | 2.94 | 2.61 | 2.42 |
| 21 | 8.02 | 5.78 | 4.87 | 4.37 | 4.04 | 3.81 | 3.64 | 3.51 | 3.40 | 3.31 | 3.17 | 3.03 | 2.88 | 2.55 | 2.36 |
| 22 | 7.95 | 5.72 | 4.82 | 4.31 | 3.99 | 3.76 | 3.59 | 3.45 | 3.35 | 3.26 | 3.12 | 2.98 | 2.83 | 2.50 | 2.31 |
| 23 | 7.88 | 5.66 | 4.76 | 4.26 | 3.94 | 3.71 | 3.54 | 3.41 | 3.30 | 3.21 | 3.07 | 2.93 | 2.78 | 2.45 | 2.26 |
| 24 | 7.82 | 5.61 | 4.72 | 4.22 | 3.90 | 3.67 | 3.50 | 3.36 | 3.26 | 3.17 | 3.03 | 2.89 | 2.74 | 2.40 | 2.21 |
| 25 | 7.77 | 5.57 | 4.68 | 4.18 | 3.85 | 3.63 | 3.46 | 3.32 | 3.22 | 3.13 | 2.99 | 2.85 | 2.70 | 2.36 | 2.17 |
| 30 | 7.56 | 5.39 | 4.51 | 4.02 | 3.70 | 3.47 | 3.30 | 3.17 | 3.07 | 2.98 | 2.84 | 2.70 | 2.55 | 2.21 | 2.01 |
| 40 | 7.31 | 5.18 | 4.31 | 3.83 | 3.51 | 3.29 | 3.12 | 2.99 | 2.89 | 2.80 | 2.66 | 2.52 | 2.37 | 2.02 | 1.80 |
| 60 | 7.08 | 4.98 | 4.13 | 3.65 | 3.34 | 3.12 | 2.95 | 2.82 | 2.72 | 2.63 | 2.50 | 2.35 | 2.20 | 1.84 | 1.60 |
| 120 | 6.85 | 4.79 | 3.95 | 3.48 | 3.17 | 2.96 | 2.79 | 2.66 | 2.56 | 2.47 | 2.34 | 2.19 | 2.03 | 1.66 | 1.38 |
| $\infty$ | 6.63 | 4.61 | 3.78 | 3.32 | 3.02 | 2.80 | 2.64 | 2.51 | 2.41 | 2.32 | 2.18 | 2.04 | 1.88 | 1.47 | 1.00 |

# 主要参考文献


〔1〕 中国科学院数学研究所数理统计组，《常用数理统计方法》，科学出版社，1973年.

〔2〕 中国科学院数学研究所数理统计组，《回归分析方法》，科学出版社，1974年。

〔3〕 梅沢芳朗　桜井信之　天田和宣，日本ゴム協会誌，42，5，329(1969).

〔4〕 We issert F. C. and Cundiff R. R., Rubber Age, 92, 6, 881(1963).

〔5〕 Гуревич Х.Г., Адлер Ю. Л., Шварц А. Г., Буйко Г. Н., Каучук и Резина, 4, 11(1966).

〔6〕 上海师范大学数学系概率统计教研组，《回归分析及其试验设计》，上海教育出版社，1978年。

〔7〕 Агаяни Н. М., Рубин В. С., Каучук и Резина, 10, 20(1971).

〔8〕 Сахновский Н. Л. Евстратов В. Ф., Гаврилов Б. Г., Арензон Н. М., Гуревич А. Г., Шварц А. Г., Каучук и Резина, 4, 10(1969).

〔9〕 席少霖，赵凤治著，《最优化计算方法》，上海科学技术出版社，1983年。

〔10〕 萧亮壮，谭锐先著，《概率论与数理统计》，国防工业出版社，1980年。

# 第十六章　轮胎成品检测

## 第一节　外缘尺寸测定

轮胎的外缘尺寸指轮胎与轮辋组合体的外形尺寸以及内胎和垫带的尺寸，它不仅关系到轮胎与车辆之间的匹配，也影响轮胎之间的互换。因此轮胎外缘尺寸测定已作为规定的轮胎质量检测项目列入国家标准GB521—84。

### 一、测　试　原　理

轮胎外缘尺寸是用量具直接测量轮胎的指定部位而得到的，主要包括轮胎的外周长、断面宽度和胎面花纹深度以及内胎的双层厚度、垫带的中部厚度、边缘厚度和展平宽度。在上述尺寸中，前3项是在处于静止状态的轮胎上测得的，测量时轮胎应安装在规定的轮辋上，充入规定压力的压缩空气，并且不受任何外力；后4项专指内胎和垫带的有关尺寸。

轮胎外缘尺寸测定按它的测定目的可分为二类：一类用于检验轮胎的尺寸是否符合标准规定或设计要求，这类测定一般是在符合现行轮胎国家标准规定的轮辋和充气内压下进行的；另一类用于从宏观上分析轮胎的变形，因此需要测定在不同轮辋上和不同充气内压下的轮胎外缘尺寸，以求得其变形的规律。

### 二、测　试　步　骤

轮胎外缘尺寸的测试步骤如下。

（1）将硫化后停放24小时以上的轮胎置于18～36℃的室温下，至少停放3小时。

（2）用步骤（5）和（6）规定的量具和方法测量内胎的双层厚度和垫带的中部厚度、边缘厚度和展平宽度。

（3）将内胎和垫带装入外胎中，组装成轮胎，再把轮胎安装在规定轮辋上，充入规定压力之压缩空气。如果属于检验性的测定，则使用的轮辋和充气内压都应符合现行轮胎国家标准的规定。其中：轿车轮胎的标准气压为轮胎层级推荐负荷所对应的气压；其它轮胎的标准气压为轮胎层级最大负荷所对应的气压，当规定有单胎和双胎两种使用条件时，则用单胎层级最大负荷所对应的气压作为标准气压。

（4）在18～36℃的室温下停放24小时，再把轮胎中的气压调整到标准气压，即可按步骤（5）和（6）测量轮胎的外周长、断面宽度和胎面花纹深度。如果需要测量不同充气内压下的轮胎外缘尺寸，则应在停放后将轮胎中的气压降到0，停放15分钟，先测量轮胎在充气内压为零时的外缘尺寸，然后从低气压到高气压逐级按充气、停放、测量的顺序进行，停放时间仍为15分钟。

（5）测量轮胎外缘尺寸用的量具及其精度要求如表1-16-1所示。

（6）轮胎外缘尺寸的测量方法如下。

a．轮胎外周长　用金属卷尺沿胎冠中心线绕轮胎一周，测量它的外周长，再按式（1-16-1）求得外直径，精确到0.1mm。

表 1-16-1 测量轮胎外缘尺寸用的量具及其精度要求

| 量具名称 | 精度要求 |
|---|---|
| 轮胎用气压表 | ≤9.8kPa(0.1kgf/cm²) |
| 金属卷尺 | ≤1mm |
| 大卡尺 | ≤0.1mm |
| 三用游标卡尺或深度计 | ≤0.05mm |
| 百分表 | ≤0.01mm |

$$D=\frac{L}{\pi} \tag{1-16-1}$$

式中 $D$——轮胎外直径，mm；

$L$——轮胎外周长，mm；

$\pi$——圆周率，取3.1416。

b．轮胎断面宽度　在轮胎胎侧选取没有标志、装饰线或防擦线等凹凸物的断面最宽处，用大卡尺按轮胎圆周四等分测量4个点，取其平均值，精确到0.1mm。

c．胎面花纹深度　用三用游标卡尺或深度计测量花纹沟底至胎面行驶面外表面的垂直距离。其中：纵向花纹的测量位置应以靠近胎冠中心线的花纹沟为准；横向花纹的测量位置则以胎肩至胎冠中心线间二分之一处的花纹沟为准。每条轮胎均按其圆周180°对称二处，每处测量胎冠中心线左右对称二点，取4个点测量结果的平均值，精确到0.1mm。

d．内胎双层厚度　在排除内胎测量部位的胎内空气并压实后，用百分表测量二层内胎胎壁的厚度，精确到0.1mm。

e．垫带中部厚度　用百分表测量垫带中部的厚度，精确到0.1mm。

f．垫带边缘厚度　用百分表测量垫带边缘的厚度，精确到0.1mm。

g．垫带展平宽度　将垫带展平后，用金属卷尺测量垫带的总宽度精确到1mm。

## 三、测试结果举例

表1-16-2是9.00-20和9.00R20轮胎外缘尺寸的实测值与标准值对照。

由表1-16-2中的数据可以看出以下几点。

（1）这两种轮胎的外直径和断面宽度都符合GB2977—82“载重汽车轮胎系列”中的规定。

（2）它们的外直径和断面宽度都随充气内压的增高而增大，说明它们在圆周方向和断面方向都由于充气内压的作用发生伸张变形。

（3）9.00R20轮胎系钢丝子午线结构，故它的外直径和断面宽度的充气膨胀率都比锦纶帘线斜交结构的9.00-20轮胎小。

## 四、影响因素

由于橡胶和锦纶帘线等轮胎材料具有粘弹性的性质，所以轮胎在应力下也会发生蠕变。充入轮胎中的空气压力，又会随温度改变。因此轮胎在硫化后和充入压缩空气后，必须在规定的室温下停放规定的时间，使之达到平衡状态，然后方可测量轮胎的外缘尺寸。在需要测量不同充气内压下的轮胎外缘尺寸时，必须从低气压到高气压逐级按顺序进行。

表 1-15-2 9.00-20和9.00R20轮胎外缘尺寸的实测值与标准值对照

| 项目 | 轮胎规格 | 层级 | 轮辋型号 | 充气内压 | | 外周长 mm | 外直径mm | 断面宽度mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | kPa | (kgf/cm²) | | | |
| 标准值 | 9.00-20 | 12 | 7.0 | 652 | (6.7) | | 1018 | 259 |
| | 9.00R20 | 12 | 7.0 | 686 | (7.0) | | 1018 | 259 |
| 实测值 | 9.00-20 | 12 | 7.0 | 657 | (6.7) | 3195 | 1017.0 | 265.3 |
| | | | | 588 | (6.0) | 3190 | 1015.4 | 264.5 |
| | | | | 520 | (5.3) | 3185 | 1013.8 | 253.6 |
| | | | | 0 | ( 0) | 3168 | 1008.4 | 235.8 |
| | 9.00R20 | 12 | 7.0 | 755 | (7.7) | 3206 | 1020.5 | 257.3 |
| | | | | 686 | (7.0) | 3203 | 1019.6 | 256.7 |
| | | | | 657 | (6.7) | 3203 | 1019.6 | 256.4 |
| | | | | 613 | (6.3) | 3202 | 1019.2 | 256.3 |
| | | | | 549 | (5.6) | 3202 | 1019.2 | 256.2 |
| | | | | 0 | ( 0) | 3191 | 1015.7 | 244.8 |

注：表中的9.00-20和9.00R20轮胎的各项标准值取自GB2977-82，外直径公差为±1%，断面宽度公差为±3%。

在测定轮胎外缘尺寸时，所用的轮辋应符合现行轮胎和轮辋国家标准的规定。还应使轮胎胎圈在轮辋上正确就位，以免因轮辋宽度的改变影响轮胎断面宽度的测量结果。

## 第二节 静负荷性能测定

轮胎的静负荷性能指在规定的轮辋和充气内压条件下，静止轮胎上的负荷与轮胎变形的关系。它反映轮胎承受负荷的能力，与轮胎的耐久性紧密相关，也影响轮胎与车辆之间的匹配和轮胎之间的互换。轮胎静负荷性能测定是轮胎质量检验的基本项目之一，国家标准局已颁布了GB522—84 "轮胎静负荷性能测定方法"。

### 一、测 试 原 理

充气轮胎是一个具有两向曲率半径之断面形状的弹性壳体，因此在垂直负荷的作用下，它不仅在径向发生变形，而且在另外两个方向也出现变形。轮胎的静负荷性能包括静负荷半径、负荷下断面宽度、印痕的面积、长轴和短轴等参数。静负荷半径系指静止的有负荷轮胎的旋转轴中心至支撑平面的垂直距离，与负荷的作用方向相同，是轮胎受负荷压缩后的半径，所以它与充气后半径之差（即轮胎的径向挠度）称为下沉量。断面宽度是轮胎两外侧之间的最大距离（不包括轮胎胎侧上的标志、装饰线和防擦线等凹凸物）。由于轮胎在径向受负荷压缩发生屈挠，其两侧向外膨胀，所以轮胎的负荷下断面宽度大于它的充气后断面宽度。印痕面积指轮胎在规定的充气内压和负荷下，胎面行驶面压在硬质平面上的投影面积，它近似一椭圆形，其长轴表示轮胎受负荷作用发生的周向变形，短轴则是横向变形的结果。因此静负荷半径、负荷下断面宽度、印痕的面积、长轴和短轴等参数，从径向、横向和周向表示了轮胎在垂直负荷下的变形情况。

轮胎的静负荷性能是在安装于规定轮辋上、充入规定压力之压缩空气并施加规定垂直负荷的静止轮胎上测得的。它的测定分为两类：一类是在符合现行轮胎国家标准规定的轮辋、充气内压和负荷下进行的，主要用于轮胎质量检验；另一类是进行轮辋、充气内压和负荷的

变量试验，主要用于研究轮胎静负荷性能的变化规律。

## 二、测试设备和步骤

### （一）测试设备

轮胎静负荷性能试验机按加负荷方式分为砝码式、机械式和液压式3种。

砝码式轮胎静负荷性能试验机主要由水平架、支架、承压铁板和砝码架组成，如图1-16-1所示。水平架的一端支承在支架上，另一端悬挂砝码架。为了尽可能地减少砝码重量，试验轮胎安装在接近支架处。水平架的位置可上下调节，以便使它保持水平状态。砝码和水平架的重量将轮胎垂直地压在承压铁板上。砝码式轮胎静负荷性能试验机的负荷精度较高，但试验操作的劳动强度大。在试验时，应加砝码重量按照杠杆原理计算。

图1-16-2是机械式轮胎静负荷性能试验机。它由支架、机座、动横梁、调速系统、负荷测量系统和轮胎变形测量系统组成。二个支架紧固在机座上，在每个支架的上端各有1个轴承座，用于安装试验轮胎、轮辋和轴的组合体。在每个支架内各有一根螺杆和导柱，螺杆与动横梁两端的螺母相连，动横梁的上面固定一块承压铁板。一台交流电动机通过蜗轮箱带动螺杆旋转，使动横梁沿导柱升降，通过承压铁板给轮胎加负荷或卸负荷。在动横梁与承压铁板之间，安装一个传感器，用于测量给轮胎所加的负荷。在动横梁和支架上还有两个位移传感器，分别测量轮胎的静负荷半径和负荷下断面宽度。

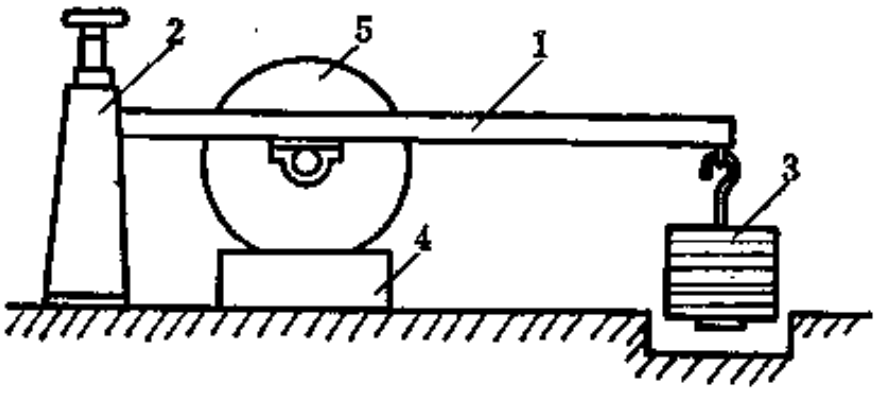



图 1-16-1　砝码式轮胎静负荷性能试验机示意

1—水平架；2—支架；3—砝码架；4—承压铁板；5—试验轮胎



图 1-16-2　机械式轮胎静负荷性能试验机

图1-16-3是液压式的轮胎强度、脱圈和静负荷性能试验机。试验轮胎水平地安装在机座中间的轴上。上机架上的油缸带动脱圈压块升降，供无内胎轿车轮胎的脱圈阻力试验用。侧机架上的油缸带动圆锥形压头作水平移动，用于轮胎强度试验，若将该压头换成承压铁板，则可做轮胎静负荷性能试验。

### （二）测试步骤

测试步骤如下。

（1）将硫化后停放24小时以上的轮胎，在规定的室温下至少停放3小时。

（2）把轮胎安装在规定的轮辋上，充入规定压力之压缩空气，在规定的室温下停放24

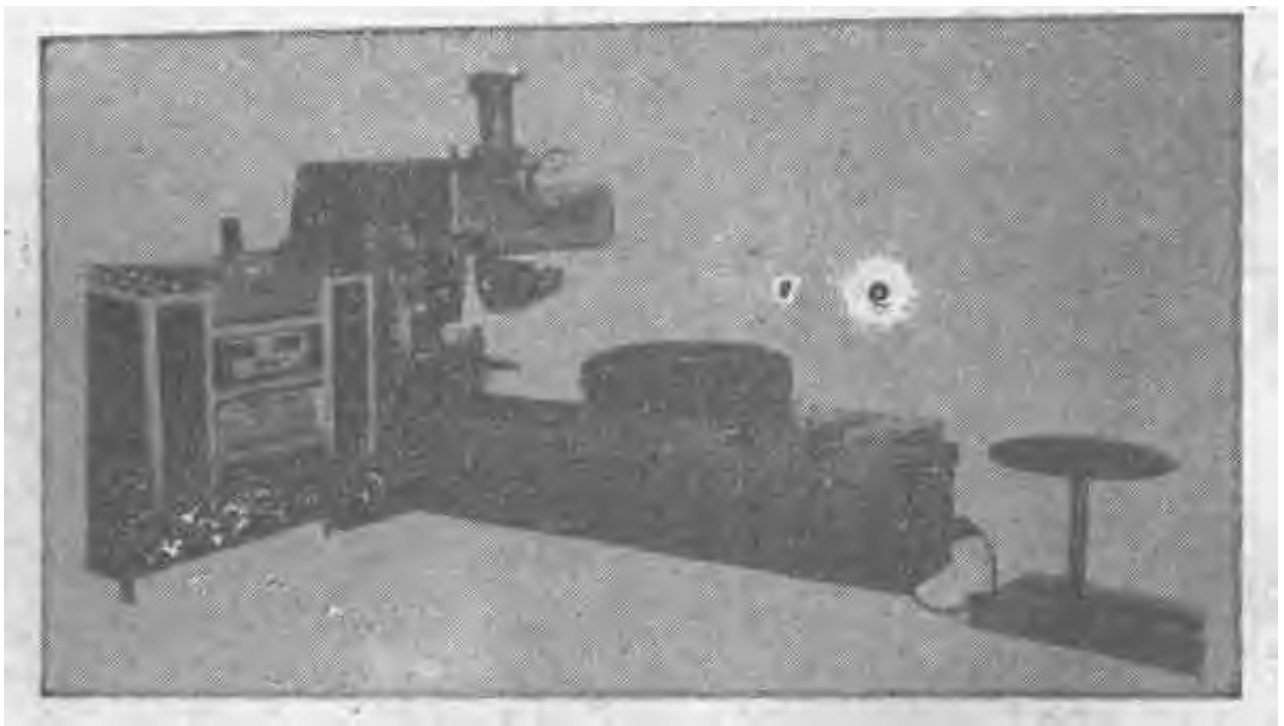


图 1-16-3　轮胎强度、脱圈和静负荷性能试验机

小时，再把轮胎中的气压调整到规定压力。

（3）将轮胎与轮辋组合体安装在静负荷性能试验机上，在试验机的支承铁板上放一张厚的白纸，再在将与支承铁板接触的轮胎行驶面上均匀地涂上一薄层红色印油，白纸和涂印油的行驶面长度和宽度，应大于轮胎接地印痕的长轴和短轴。缓慢地给轮胎施加负荷，直到试验规定值，停放15分钟，然后测量轮胎的静负荷半径和负荷下断面宽度。测量完毕后使轮胎脱离支承铁板，取出压上轮胎行驶面印痕的白纸，测量该印痕的面积、长轴和短轴。

（4）如果是属于质量检验性的测定，则使用的轮辋、充气内压和负荷都应符合现行轮胎国家标准的规定。其中：轿车轮胎的负荷和气压应以轮胎层级的推荐负荷及其所对应的气压为准；其它轮胎则以轮胎层级的最大负荷及其所对应的气压为准。当规定有单胎和双胎两种使用条件时，应采用单胎层级的最大负荷及其所对应的气压。如果需要测定不同充气内压和负荷下的轮胎静负荷性能，则必须按照从低到高的次序，逐级改变轮胎的充气内压和负荷，且在每次改变后都应让轮胎停放15分钟，然后再进行下一步测试。

（5）按照下述方法测量轮胎的静负荷半径、负荷下断面宽度、印痕面积、印痕长轴和短轴。

a．静负荷半径　用钢尺或位移传感器测量静止的有负荷轮胎的旋转轴中心到承压铁板的垂直距离。

b．负荷下断面宽度　用外卡钳和钢尺或位移传感器测量静止轮胎受负荷压缩部分的两外侧之间的最大距离，测量部位应无标志、装饰线和防擦线等凹凸物。

c．印痕面积　用求积仪测量印痕纸上的轮胎行驶面的投影面积（包括胎面花纹沟的面积）。

d．印痕长轴　用钢尺测量印痕纸上的轮胎行驶面投影长度。

e．印痕短轴　用钢尺测量印痕纸上的轮胎行驶面投影宽度。

（6）由测量数据按式（1-16-2)～式（1-16-6)分别计算轮胎的下沉量、下沉率、印痕平均单位压力、硬度系数和接地系数。

a．下沉量

$$h_1 = \frac{D}{2} - r_1 \qquad (1\text{-}16\text{-}2)$$

式中 $h_1$——轮胎的下沉量，mm；

$D$——轮胎充气后直径，mm；

$r_1$——轮胎静负荷半径，mm。

b．下沉率

$$f = \frac{2h_1}{D-d} \times 100\% \qquad (1\text{-}16\text{-}3)$$

式中 $f$——轮胎的下沉率；

$h_1$——轮胎的下沉量，mm；

$D$——轮胎充气后直径，mm；

$d$——轮辋着合直径，mm。

c．印痕的平均单位压力

$$g = \frac{Q}{A} \times 10 \qquad (1\text{-}16\text{-}4)$$

式中 $g$——印痕的平均单位压力，kPa；

$Q$——轮胎负荷，N；

$A$——印痕面积，$cm^2$。

d．硬度系数

$$k_1 = \frac{g}{P} \qquad (1\text{-}16\text{-}5)$$

式中 $k_1$——轮胎的硬度系数；

$g$——印痕的平均单位压力，kPa；

$P$——轮胎气压，kPa。

e．接地系数

$$k_2 = \frac{a}{b} \qquad (1\text{-}16\text{-}6)$$

式中 $k_2$——轮胎的接地系数；

$a$——印痕长轴，mm；

$b$——印痕短轴，mm。

表 1-16-3 轮胎静负荷性能测定的精度要求

| 项　　目 | 精度要求 | 项　　目 | 精度要求 |
|---|---|---|---|
| 轮胎充气内压 | | 轮胎静负荷半径 | ≤0.5mm |
| 333kPa(3.4kgf/cm²) | ≤10kPa(0.1kgf/cm²) | 轮胎负荷下断面宽度 | ≤0.5mm |
| 及其以下者 | | 轮胎印痕面积 | ≤1cm² |
| 343kPa(3.5kgf/cm²) | ≤20kPa(0.2kgf/cm²) | 轮胎印痕长轴 | ≤1mm |
| 及其以上者 | | 轮胎印痕短轴 | ≤1mm |
| 轮胎负荷 | ≤试验值的2% | | |

（7）轮胎静负荷性能测定的精度要求如表1-16-3所示，有关轮胎的停放、充气、加负荷和测量等操作都应在18~36℃的室温下进行。

## 三、测量结果举例

表1-16-4是9.00-20和9.00R20轮胎静负荷性能测量结果。

表 1-16-4　9.00-20和9.00R20轮胎静负荷性能测量结果

| 轮胎规格 | 轮辋型号 | 充气内压 kPa(kgf/cm²) | 负荷 kN(kgf) | 静负荷半径 mm | 下沉量 mm | 下沉率% | 负荷下断面宽 mm | 印痕面积 cm² | 平均单位压力 kPa(kgf/cm²) | 硬度系数 | 印痕长轴 mm | 印痕短轴 mm | 接地系数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9.00R20 | 7.0 | 755(7.7) | 22.95(2340) | 473.0 | 37.2 | 14.7 | 281.0 | 384 | 621(6.4) | 0.92 | 256 | 159 | 1.61 |
| | | 686(7.0) | 22.95(2340) | 470.5 | 39.7 | 15.5 | 282.0 | 389 | 601(6.1) | 0.88 | 265 | 159 | 1.67 |
| | | 618(6.3) | 22.95(2340) | 467.0 | 42.6 | 16.9 | 285.5 | 406 | 565(5.8) | 0.91 | 279 | 158 | 1.77 |
| | | 549(5.6) | 22.95(2340) | 464.0 | 45.6 | 18.1 | 287.4 | 431 | 533(5.4) | 0.89 | 292 | 161 | 1.81 |
| | | 686(7.0) | 19.61(2000) | 475.0 | 34.8 | 13.8 | 279.0 | 330 | 594(6.1) | 0.87 | 245 | 154 | 1.59 |
| | | 686(7.0) | 21.33(2175) | 472.5 | 37.3 | 14.7 | 281.4 | 357 | 597(6.1) | 0.87 | 257 | 157 | 1.64 |
| | | 686(7.0) | 22.95(2340) | 470.5 | 39.3 | 15.5 | 282.0 | 382 | 601(6.1) | 0.87 | 265 | 159 | 1.67 |
| 9.00-20 | 7.0 | 657(6.7) | 22.95(2340) | 471.5 | 37.0 | 14.7 | 282.0 | 468 | 490(5.0) | 0.74 | 290 | 177 | 1.64 |

这两种轮胎都是12层级的，其中9.00-20轮胎系锦纶帘线和斜交结构的，9.00R20轮胎是钢丝帘线和子午线结构的。按照GB2977—82“载重汽车轮胎系列”中的规定，它们的单胎最大负荷均为22.95kN（2340kgf），但两者的对应气压不同，9.00-20（12层级）的为657 kPa（6.7kgf/cm²），9.00R20（12层级）的为686kPa（7.0kgf/cm²）。由表1-16-4中的数据可以看出以下二点。

（1）随充气内压的降低或负荷的增加，轮胎的静负荷半径减小，负荷下断面宽度、印痕面积及其长轴增大，印痕短轴因受轮胎胎肩的限制，故改变较小，这些趋势表明轮胎的径向变形、横向变形和周向变形都随之增大。

（2）在相同的轮辋和负荷时，尽管9.00R20轮胎的充气内压比9.00-20轮胎高，但由于子午线结构的轮胎具有胎侧径向刚度小、胎冠周向刚度大的特点，所以9.00R20轮胎的静负荷半径、印痕面积和印痕长轴均较小，负荷下断面宽度较大（两者的充气后直径和断面宽度近似）。

## 四、影响因素

为了减小轮胎材料的粘弹性和温度对测量结果的影响，轮胎在硫化、充气和加负荷之后，都必须停放规定的时间，待轮胎形状达到相对稳定后方可测试。在给轮胎充气和加负荷时，不得超过试验规定值。如果需要测定不同充气内压和负荷下的轮胎静负荷性能，必须按照从低到高的次序逐级进行。在轮胎停放、充气、加负荷和测量中，试验室温度应保持在18~36℃内并尽可能减小其波动。

试验用的轮辋应符合现行轮胎和轮辋国家标准的规定。轮胎与轮辋组合体以及给其施加的负荷，都必须垂直于支承铁板，它们的侧倾角不得大于0.17°。

# 第三节　强 度 试 验

## 一、汽车轮胎的强度试验

强度试验是测定轮胎成品帘线强度的试验，是以破坏性试验方法来达到检验轮胎成品帘线强度的目的。我国制订的轿车轮胎强度试验方法标准（GB4503—84）和载重汽车轮胎强度试验方法标准（GB6327—86），以及美国的机动车辆安全标准（FMVSS）、日本的工业标准（JIS）等，都将该项试验列为质量指标，从而成为批量轮胎生产的必测项目。

### （一）试验原理

强度试验是以轮胎帘线破坏功来表示其强度的。试验时，将标准直径的半球面金属圆柱压头以规定的速度压入轮胎中，直至轮胎破坏（或压至轮辋），然后记录压头压入轮胎的力和穿透轮胎的深度，即压头行程，并计算轮胎帘线的破坏功。轮胎破坏功按式（1-16-7）计算。

$$W=\frac{1}{2}FS \qquad (1\text{-}16\text{-}7)$$

式中　$W$——轮胎帘线破坏功，N·m；

$F$——轮胎帘线破坏时的力，N；

$S$——轮胎帘线破坏时的压头行程，m。

### （二）试验设备和方法

试验设备由框架和液压系统构成，框架中心线上备有三个不同高度的伸缩轴，可分别试验轿车轮胎、载重汽车轮胎和部分工程机械轮胎。整机右侧的液压系统驱动一个可上下运动的金属圆柱压头，压头的末端为半球面形，压头直径有三种，试验时按不同种类轮胎选用。我国标准规定的强度试验压头直径见表1-16-5。试验时压头以50mm/min的速度压入轮胎，并由仪表显示（或打印数据、绘出曲线）轮胎帘线破坏时的力（N）和破坏时的压头行程(m)。试验设备及液压系统示意如图1-16-4。

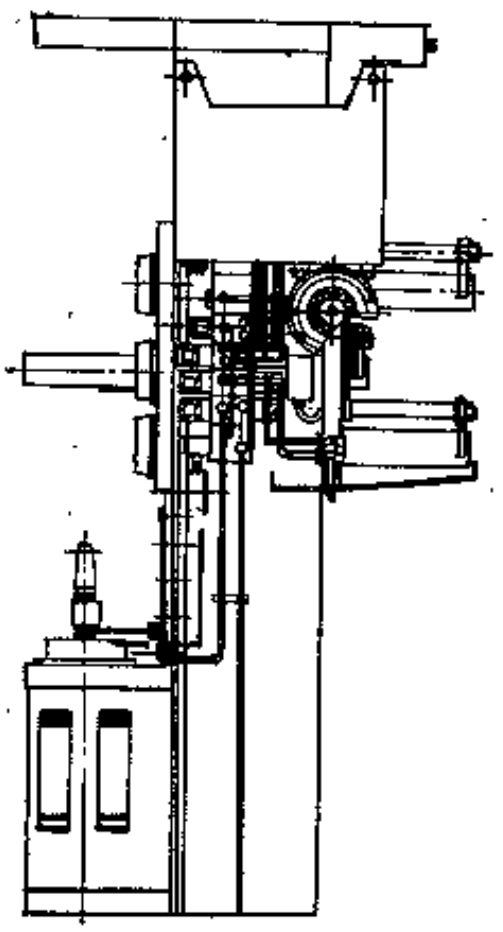


图 1-16-4　轮胎强度试验机示意

表 1-16-5　我国标准规定强度试验压头直径

单位：mm

| | |
|---|---|
| 轿车轮胎<br>轻型载重汽车轮胎 | 19 |
| 载重汽车轮胎　12层级及其以下 | 32 |
| 载重汽车轮胎　14层级及其以上 | 38 |

### （三）国家标准规定值与试验结果举例

按上述试验设备和程序进行试验，国家标准规定轿车和载重车轮胎分别应达到的最低破坏功值见表1-16-6和表1-16-7。试验结果举例见表1-16-8～表1-16-9，图1-16-5为强度试验示意。

表 1-16-6　国标规定轿车轮胎最低破坏功值

| 层级 | | | 4 | | 6 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 最低破坏功 N·m(kgf·cm) | 断面宽 mm | 轮胎系列：80以上 | ≤170 | ≥170 | ≤170 | ≥170 |
| | | 轮胎系列：80或80以下 | ≤180 | ≤180 | ≤180 | ≥180 |
| | 轮辋直径(代号) | 10 | 187.3 (1910) | | 280.5 (2860) | |
| | | 12或12以上 | 220.6 (2250) | 294.2 (3000) | 330.5 (3370) | 440.3 (4490) |

表 1-16-7　国标规定载重汽车轮胎最低破坏功值

| 层级 | | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最低破坏功 N·m (kgf·cm) | 轻型载重汽车胎轮辋直径(代号)14及其以下 | 192.2 (1960) | 271.6 (2770) | 286.4 (2920) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 轻型载重汽车胎轮辋直径(代号)14及其以上 | — | 361.9 (3690) | 514.8 (5250) | 565.8 (5880) | 644.3 (6570) | 712.0 (7260) | — | — | — | — | — |
| | 载重汽车轮胎 | — | — | 893.4 (9110) | 1413.1 (14410) | 1785.8 (18210) | 2283.0 (23280) | 2598.8 (26500) | 2825.3 (28810) | 3050.8 (31110) | 3220.5 (32840) | 3390.2 (34570) |

表 1-16-8　轿车轮胎强度试验实例

| 轮胎规格 | 层级 | 试验轮辋 | 气压 kPa(kgf/cm²) | 压头直径 mm | 压穿点的破坏能值 N·m(kgf·cm) | 规定值的百分率% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.70-13 | 6 | 4½J | 206(2.1) | 19 | 551.1(5620) | 208 |
| 6.70-13 | 6 | 4½J | 206(2.1) | 19 | 516.7(5259) | 195 |
| 6.70-13 | 6 | 4½J | 206(2.1) | 19 | 557.9(5689) | 211 |
| 6.70-13 | 6 | 4½J | 206(2.1) | 19 | 518.9(5291) | 196 |
| 6.70-13 | 6 | 4½J | 206(2.1) | 19 | 577.6(5890) | 218 |

表 1-16-9　载重车轮胎强度试验实例

| 轮胎规格 | 层级 | 试验轮辋 | 气压 kPa(kgf/cm²) | 压头直径mm | 压穿点的破坏能值 N·m (kgf·cm) | 规定值的百分率 % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9.00-20 | 12 | 7.0 | 588(6.0) | 32 | 2599.3(26505) | 146 |
| 9.00-20 | 12 | 7.0 | 588(6.0) | 32 | 2149.4(21918) | 120 |
| 9.00-20 | 12 | 7.0 | 588(6.0) | 32 | 2942.8(30008) | 165 |
| 9.00-20 | 14 | 7.0 | 686(7.0) | 38 | 4156.7(42387) | 182 |
| 9.00-20 | 14 | 7.0 | 686(7.0) | 38 | 3451.0(35190) | 151 |
| 9.00-20 | 14 | 7.0 | 686(7.0) | 38 | 3466.7(35350) | 135 |
| 11.00-20 | 16 | 8.0 | 726(7.0) | 38 | 5093.4(51938) | 196 |
| 11.00-20 | 16 | 8.0 | 726(7.4) | 38 | 5571.6(56814) | 214 |
| 11.00-20 | 16 | 8.0 | 726(7.4) | 38 | 4636.8(47282) | 178 |

## 二、轮胎水压爆破试验

轮胎水压爆破试验是测定轮胎的抗爆破能力，从而判断其胎体强度（即安全倍数），通过试验还可以确定轮胎的薄弱部位。该试验主要用于新产品或新设计轮胎，鉴定其是否符合要求。



图 1-16-5 载重汽车轮胎9.00-20正在进行强度试验

### （一）试验原理

水压爆破试验是测量轮胎爆破时的压力，并与轮胎的标准气压比较，从而确定其安全倍数。由式(1-16-8)表示试验结果。

$$K=\frac{S}{P} \qquad (1\text{-}16\text{-}8)$$

式中 $K$——试验轮胎的安全倍数；

$S$——轮胎爆破时的水压，kPa；

$P$——轮胎标准气压，kPa；

### （二）试验设备与方法

轮胎水压爆破试验机为国产SB-3型。轮胎装在专用试验轮辋之前，先排出内胎中的空气，然后将内胎和垫带装入外胎并装在专用轮辋上，再将水压入轮胎里。轮胎注满水之后（开始升压前）测量外缘尺寸，然后继续泵水升压，直至轮胎爆破，记录压力表读数。

### （三）试验轮胎损坏分析举例

（1）一般轮胎爆破后，破口呈十字形或丁字形，但帘线整齐不松散，说明轮胎密着力较好。

（2）轮胎爆破处呈锯齿形，层数散乱、钢丝折断，或胎圈歪斜脱轮辋，说明钢丝强力不够，或子口部位松弛等。

### （四）影响因素

在整个水压爆破系统中，由水泵至试验轮胎之间，应设有贮水罐，以保证水压均匀、无脉冲，使得试验结果准确。

# 第四节 耐久性试验

轮胎的耐久性标志着它的经久耐用程度，是轮胎质量的一个重要组成部分。它主要由耐热，耐疲劳和耐磨耗三方面组成。因此轮胎的耐久性试验也可分为里程试验、转鼓试验和快速磨耗拖车试验。里程试验能鉴定轮胎的综合耐久性，转鼓试验主要用于鉴定轮胎的耐热和耐疲劳方面，磨耗拖车试验则专供鉴定轮胎的耐磨耗方面用。三者各有所长，互为补充。

## 一、里 程 试 验

### （一）原理

里程试验就是将试验轮胎装在车辆上，按照一定的试验要求在公路上（或在作业区内或试验场的跑道上）作行驶试验，以鉴定轮胎的耐久性。因此它切合实际使用情况，所得结果主要是轮胎耐久性的综合结果。通过里程试验，还可以了解轮胎与车辆的其它组合使用情况。

里程试验分为实际里程试验和快速里程试验两种。实际里程试验一般与轮胎使用单位的运输生产相结合，故使用条件为试验条件，使用结果即为试验结果。实际里程试验虽然所需费用低，但试验周期长，影响因素多，试验误差大，因此适用于试验轮胎对比方案少而数量多的验证试验。快速里程试验系用专用车辆，装载一定的负荷，在指定公路上（或在作业区或试验场的跑道上）进行试验，因此试验周期短，试验条件基本可控制，试验误差小，但费用高，适用于探索试验和质量抽查试验。实际里程试验与快速里程试验之间虽有上述差别，但两者均属于使用试验，都应加以充分利用。

**（二）基本要求**

由于里程试验系使用试验，故使用条件（如环境温度、路面、车辆、驾驶和保养等）对试验结果的影响很大。为尽快地得到准确和可比的试验数据，在里程试验中应做到以下几点。

（1）试验轮胎要同时装车、同期试验。实际里程试验的装车时间不得超过1个月。

（2）试验条件应具有代表性和针对性。同批试验轮胎的试验条件要一致。在试验过程中，试验条件要做到"八定"，即定车辆，定驾驶员，定载重量，定拖挂量，定行驶路线或路区，定车辆月行驶里程，定车辆二级保养和轮胎换位的间隔里程和定轮胎充气内压。

（3）在装车和试验中，要检查和调整车辆的车轮定位、轴距和制动距离等与轮胎有关的性能，使其符合出厂要求；要仔细检查轮胎各部位，认真分析损坏原因；要按规定的间隔里程和图1-16-6所示的方法进行轮胎换位；要按本章第一节中的要求，测量轮胎在规定的充气内压下的外周长、断面宽度和胎面花纹深度，但同规格和不同胎面花纹轮胎的胎面花纹深度测量位置应尽量相同（9.00-20轮胎以距胎冠中心线35mm处为准），各测量点在轮胎上的位置都应固定。

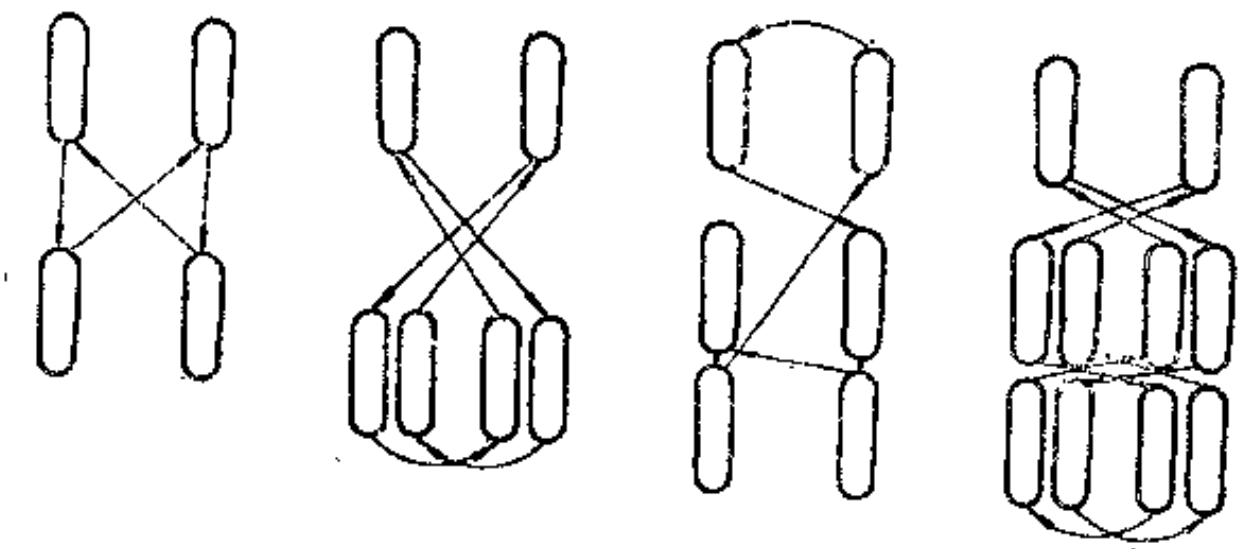


图 1-16-6　试验轮胎的换位方法

（4）试验轮胎要按相同的标准结束试验。在载重汽车轮胎翻新前的试验中，当轮胎符合下述四项规定之一者，即结束试验，并且在一辆车（以六轮车为例）上有4条轮胎结束时，则全车轮胎均结束试验。

a．尚余的胎面花纹深度在2mm左右者；

b．因使用不当损坏面失去试验意义者；

c．出现胎冠脱空、胎肩脱空以及有一层以上帘布断裂的肩裂、磨子口和胎面接头开裂等质量损坏之一者；

d．由于损伤严重而需提前翻新者。

（5）试验轮胎要按下述方法计算其试验结果。

a．凡属于使用不当损坏而失去试验意义的轮胎均不作考核，其试验结果也删除不计。

b．每条轮胎的行驶里程为从新胎开始至试验结束止车辆实际行驶里程之累计。

c．每条轮胎的磨耗按式（1-16-9）计算。

$$W=\frac{D_t}{d_n-d_e} \tag{1-16-9}$$

式中 $W$——轮胎的累计磨耗，km/mm；

$D_t$——行驶里程，km；

$d_n$——新胎的胎面花纹深度，mm；

$d_e$——尚余的胎面花纹深度，mm。

d．每条轮胎的外直径（从胎面花纹沟底部计算）按式（1-16-10）计算。

$$D_b=\frac{L}{\pi}-2d \tag{1-16-10}$$

式中 $D_b$——轮胎外直径，mm；

$L$——轮胎外周长，mm；

$d$——胎面花纹深度，mm；

$\pi$——圆周率，取3.1416。

e．每辆车或每个厂牌（或方案）的同规格轮胎的一次翻新率按式（1-16-11）计算。

$$R_t=\frac{N_0-N_1}{N_0}\times 100\% \tag{1-16-11}$$

式中 $R_t$——一次翻新率；

$N_0$——考核的轮胎条数；

$N_t$——质量损坏的轮胎条数。

f．每辆车或每个厂牌（或方案）的同规格轮胎的行驶里程或磨耗，均按每条轮胎的行驶里程或磨耗相加，取其平均数。

（6）除上述试验结果外，在试验报告中还应包括轮胎质量的优缺点和用户意见。轮胎的损坏和损伤名称应由轮胎的损坏部位与损坏类型两部分字义组成，如胎冠脱空、肩裂、胎面刺裂和胎侧划伤等。

### （三）试验结果举例

表1-16-10是在我国中部地区进行的一次9.00-20轮胎（12层级的锦纶帘线斜交结构）从新胎至翻新的实际里程试验结果。该地区的月平均气温，最低为2～4℃(1月)，最高为27～29℃(7月)，年降雨量为1200mm。参加试验的有16个厂牌的轮胎，每个厂牌试验12条轮胎，分别安装在2辆汽车上，共安装了32辆汽车。车辆均为用东风牌EQ140型载重汽车底盘改装的长途客车，空车重量60.46kN(6165kgf)，载客45人，货架载重3.92kN（400kgf），双轴六轮，后轴驱动，轮辋型号为7.0-20。发动机最大功率为99.3kW（135马力），不带拖挂，指定专人驾驶，定车定轮胎。车辆主要行驶在平原和丘陵地区的二级和三级公路上，大部分为沥青碎石路面和沥青表面处治路面，少部分为山区公路和有泥结碎石路面。为保证各厂牌轮胎的行驶路线一致，车辆采取循环行驶。车辆月行驶里程为6000～7000km。轮胎每行驶

表 1-16-10 9.00-20轮胎实际里程试验结果实例

| 轮胎厂牌 | 轮胎数量，条 | | | 实驶里程 | 花纹深度，mm | | 磨耗 | 一次翻新率 | 损坏数量，条 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 开始 | 使用不当 | 考核 | km | 新胎 | 尚余 | km/mm | % | 肩空 | 肩裂 | 其它 |
| A | 12 | 0 | 12 | 125164 | 16.6 | 2.7 | 9071 | 100.0 | | | |
| B | 12 | 0 | 12 | 117337 | 16.3 | 2.6 | 8562 | 100.0 | | | |
| C | 12 | 0 | 12 | 115437 | 15.9 | 1.9 | 8263 | 100.0 | | | |
| D | 12 | 0 | 12 | 115778 | 16.6 | 1.7 | 7775 | 100.0 | | | |
| E | 12 | 0 | 12 | 108085 | 14.0 | 2.2 | 9175 | 100.0 | | | |
| F | 12 | 0 | 12 | 103293 | 14.7 | 2.0 | 8122 | 100.0 | | | |
| G | 12 | 0 | 12 | 90322 | 14.4 | 1.9 | 7215 | 100.0 | | | |
| H | 12 | 0 | 12 | 87118 | 14.9 | 1.9 | 6686 | 100.0 | | | |
| I | 12 | 0 | 12 | 102541 | 15.6 | 2.3 | 7743 | 91.7 | 1 | | |
| J | 12 | 0 | 12 | 99296 | 15.0 | 1.6 | 7408 | 91.7 | 1 | | |
| K | 12 | 0 | 12 | 90349 | 14.7 | 1.7 | 6969 | 91.7 | 1 | | |
| L | 12 | 0 | 12 | 82206 | 14.2 | 2.3 | 6880 | 91.7 | 1 | | |
| M | 12 | 0 | 12 | 119897 | 16.0 | 1.9 | 8507 | 83.3 | 2 | | |
| N | 12 | 0 | 12 | 99575 | 14.4 | 1.5 | 7748 | 83.3 | 2 | | |
| O | 12 | 0 | 12 | 88865 | 16.5 | 1.8 | 6068 | 83.3 | 2 | | |
| P | 12 | 0 | 12 | 108238 | 17.7 | 2.7 | 7230 | 75.0 | 3 | | |

7000～8000km进行一次二级保养。在每次二级保养时，测量轮胎的外缘尺寸，检查和修补轮胎，进行轮胎换位。轮胎的充气内压按生产厂要求执行。

从表1-16-10中的数据见到，这批试验轮胎取得了较好的试验结果，但也暴露出一些质量缺陷。参加这次试验的轮胎共有192条，在试验期间未发生因使用不当损坏而失去试验意义者，故实际考核试验结果的轮胎仍为192条。16个厂牌试验轮胎的平均实驶里程达到了103344km，平均磨耗为7714km/mm，平均一次翻新率为93.2%。在192条轮胎中，有8个厂牌的13条轮胎因质量缺陷而损坏，它们的损坏部位都在胎肩，损坏类型为脱空，主要发生在胎面胶与缓冲层之间。在不同厂牌轮胎之间，存在相当大的质量差别，实驶里程相差达42958km，一次翻新率相差达25%，磨耗相差达3107km/mm。在16个厂牌轮胎中，有10个厂牌轮胎的实驶里程超进100000km，有8个厂牌轮胎的一次翻新率达100%。综合来看，以“A”和“B”的质量较好，它们不仅无质量损坏，而且其行驶里程高。相比之下，以“L”，“O”和“P”的质量较差，“L”的实驶里程低，“O”的磨耗差，“P”的质量损坏胎多。

## 二、转鼓试验

### （一）原理

里程试验虽然结合实际使用情况，并能鉴定轮胎的综合耐久性，但试验周期长，因此为满足产品日常检验和方案筛选的需要，快速模拟试验是不可缺少的。历年来，各国研究了很多模拟试验方法，其中应用最普遍的是转鼓试验。

转鼓试验就是用转鼓作为活动的模拟路面，将试验轮胎以规定的负荷压在转鼓上，作连续匀速行驶试验。整个试验按行驶时间分为几个阶段，按阶段次序逐步增加试验轮胎的负荷，以增加试验的苛刻性。它的试验结果一般以轮胎从开始至损坏的累计行驶时间或里程表示，在试验中也测量轮胎的气压、温度和外缘尺寸，以便分析轮胎质量。由于转鼓法轮胎耐

久性试验是模拟轮胎在干的平滑路面上的直线自由滚动，所以它主要用于鉴定轮胎耐久性中的耐热和耐疲劳方面。由于它具有高效率、低费用和试验条件可控制的优点，因此受到各国重视。目前，美国、日本、澳大利亚和很多欧洲国家都把这项试验列入了标准。我国的国家标准局也已颁布了CB4501—84“载重汽车轮胎耐久性试验方法（转鼓法）”和GB4502—84“轿车轮胎耐久性试验方法（转鼓法）”。

转鼓试验的用途很广，它不仅能进行轮胎耐久性试验，还可用于测定轮胎高速性、噪声、振动、动率损失、温度、力和力矩、变形和应力、附着性能和滚动半径等。下面主要介绍转鼓法轮胎耐久性试验，其它将分别在有关章节中叙述。

### （二）转鼓试验机和试验步骤

1．转鼓试验机

转鼓试验机的种类甚多。按试验轮胎的类型来分，有轿车轮胎用、载重汽车轮胎用和工程机械轮胎用几种。按试验轮胎与转鼓的接触形式来分，有外接圆的和内接圆的。按转鼓和试验轮胎的数量区分，有一鼓一胎位、一鼓二胎位、一鼓多胎位、二鼓四胎位和多鼓多胎位等。此外，它还可按给试验轮胎加负荷的方式分成砝码式、液压式和机械式。根据GB4501—84和GB4502—84中的规定，我国轿车轮胎和载重汽车轮胎耐久性试验用的转鼓试验机，以外接圆式为标准试验机。在国家标准中还规定，转鼓表面平滑，外直径为1707mm（即其外周长相当于三百分之一哩），宽度大于试验轮胎的充气后断面宽度。目前，在我国广泛应用的转鼓试验机是一鼓二胎位的和二鼓四胎位的，采用电液伺服的液压加负荷不仅可以降低试验操作的劳动强度，而且便于实现程序控制和提高试验精度。

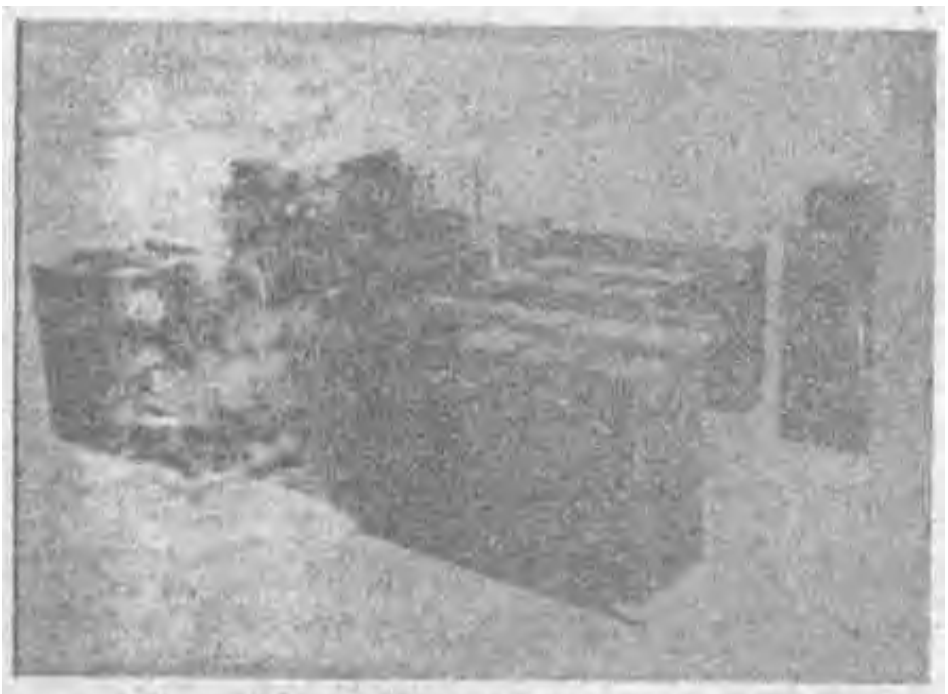


图 1-16-7　二鼓四胎位转鼓试验机示意

图1-16-7是二鼓四胎位转鼓试验机示意。它如同平行装在一个机座上的二台一鼓二胎位转鼓试验机，其中一侧供轿车轮胎试验用，另一侧供载重汽车轮胎试验用。二侧都具有很大的负荷和速度调节范围，并能对负荷和速度进行程序控制，因此它们既可用于轮胎耐久性试验，也可供轮胎高速性试验用，所以该试验机很适合于试验轮胎的规格品种多但数量少的情

表 7-16-11　二鼓四胎位转鼓试验机主要性能实例

| 项　目 | 数　据 | |
|---|---|---|
| | 轿车轮胎试验部分 | 载重汽车轮胎试验部分 |
| 轮胎外直径 | 450～900mm | 600～1500mm |
| 轮胎断面宽度 | 最大435mm | 最大635mm |
| 轮胎动负荷半径 | 210～450mm | 220～750mm |
| 轮胎负荷 | 0.98～24.52kN(100～2500kgf) | 9.81～88.26kN(1000～9000kgf) |
| 转鼓外直径 | 1707mm | 1707mm |
| 转鼓宽度 | 380mm | 508mm |
| 转鼓速度 | 30～300km/h | 20～200km/h |
| 主拖动电动机 | 37kW,1150r/min | 75kW,1150r/min |

况下使用。它的主要性能如表1-16-11所示。

由图1-16-7可以看出，该试验机主要由机座、转鼓、电动机、活动架、油缸、油泵、电源柜和控制柜组成。转鼓用钢制成，行驶面平滑，无障碍物。每个转鼓各用一台直流电动机驱动，由电源柜中的硅整流装置供给直流电源。转鼓轴的一端连接旋转脉冲发生器，它将转鼓速度转换成脉冲频率信号，送入控制柜中的计算机，控制直流电动机的转速。在每个转鼓的径向两侧，各有一个活动架和油缸。试验轮胎和轮辋组合体固定在活动架的轮轴上，活动架由后面的油缸推动，在机座上向前移动，从而将试验轮胎压在转鼓的行驶面上。轮轴上有测力传感器。它将试验轮胎上的负荷转换成电压信号，送入控制柜经放大和比较后，调节通过伺服阀进入油缸的油流量，对轮胎上的负荷实现闭环控制。油泵则提供恒定压力的油源。在控制柜的计算机中没有负荷程序和速度程序，可按时间分阶段地改变试验轮胎的负荷和转鼓速度。该试验机能测定轮胎的累计行驶时间和里程，以及负荷、速度、气压和温度等参数，还可附加上给轮胎施加侧偏角和侧倾角的装置，所有的检测参数都在控制柜上显示和自动打印。

2．试验步骤

根据GB4501—84和GB4502—84中的规定，转鼓法轮胎耐久性试验按以下步骤进行。

（1）检查轮胎的外观，挑选符合GB520—82“轮胎外观质量”的轮胎作为试验轮胎。

（2）将试验轮胎安装在特制的轮辋上，充入规定压力的压缩空气。轮辋和充气内压都应符合现行轮胎国家标准的规定，其中轿车轮胎的充气内压为轮胎层级推荐负荷所对应的气压，载重汽车轮胎的充气内压为轮胎层级最大负荷所对应的气压，如果有单胎和双胎之分时，则以单胎的为准。

（3）将试验轮胎与轮辋组合体装在转鼓试验机上，在38±3℃的室温下至少停放3小时，再把轮胎中的气压调整到规定气压，停放15分钟后，测量轮胎的外周长和断面宽度，测量方法和使用的量具及其精度按本章第一节中的要求。

（4）关上安全罩，启动电动机，使转鼓速度达到表1-16-12中的规定。

表 1-16-12 转鼓法轮胎耐久性试验的转鼓速度

| 轮胎类型与层级 | 转鼓速度，km/h | 轮胎类型与层级 | 转鼓速度，km/h |
|---|---|---|---|
| 轿车轮胎 | 80 | 12层级 | 65 |
| 载重汽车轮胎 | | 14层级 | 55 |
| 8层级及其以下 | 80 | 16层级及其以上 | 50 |
| 10层级 | 65 | | |

注：10层级以上的越野花纹轮胎试验的转鼓速度比上表中的规定值低10km/h。

（5）将试验轮胎平稳地压在转鼓行驶面上，随之一起旋转，使轮胎上的负荷符合表1-16-13中第一试验阶段的规定。

（6）按表1-16-13中之规定，分阶段给试验轮胎增加负荷，连续进行3个阶段的行驶试验，除试验轮胎有异常现象或机器发生故障外，试验不得中断。

（7）在试验期间，试验室的温度应保持在38±3℃的范围内，转鼓速度和轮胎负荷的允许误差分别为表1-16-12和表1-16-13中规定值的±2%。

表 1-16-13　转鼓法轮胎耐久性试验各阶段的轮胎负荷和行驶时间

| 轮胎类别与层级 | 第1阶段 | | 第2阶段 | | 第3阶段 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 负荷率 % | 行驶时间 h | 负荷率 % | 行驶时间 h | 负荷率 % | 行驶时间 h |
| 轿车轮胎 | 100 | 4 | 110 | 6 | 115 | 24 |
| 轻型载货汽车、中小客车及其挂车轮胎 | | | | | | |
| 6和8层级 | 75 | 4 | 95 | 6 | 115 | 24 |
| 10、12和14层级 | 75 | 7 | 95 | 16 | 115 | 24 |
| 载货汽车、大客车及其挂车轮胎 | | | | | | |
| 8层级及其以下 | 75 | 7 | 95 | 16 | 115 | 24 |
| 10层级 | 70 | 7 | 90 | 16 | 105 | 24 |
| 12、14、16和16以上层级 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 |

注：轿车轮胎的负荷率以现行轮胎国家标准中之轮胎层级推荐负荷为100%，其它轮胎的负荷率则以现行轮胎国家标准中之轮胎层级最大负荷为100%(若有单胎和双胎之分时，则以单胎层级最大负荷为准)。

（8）在完成所规定的全部行驶试验或者在试验中发现试验轮胎有异常的摆动和行驶声，出现橡胶焦烧的气味、胶块甩出及爆破声等现象时，应立即使试验轮胎离开转鼓，使转鼓停止转动或在转鼓与试验轮胎之间加上安全护栏，然后先检查试验轮胎的外观，如发现有脱层（胎面、胎侧、帘布层或胎圈）、帘线断裂、帘布层裂缝达下层帘线、接头脱开、胎面胶或胎侧胶掉块或龟裂等现象，即认为该轮胎已损坏。再测量轮胎的气压、胎面温度、外周长和断面宽度，并按式(1-16-12)～式(1-16-14)计算它们的增大率。

a．气压增高率

$$\Delta_P = \frac{P - P_0}{P_0} \times 100\% \tag{1-16-12}$$

式中 $\Delta_P$——气压增高率；

$P_0$——试验开始时的轮胎气压，kPa；

$P$——试验结束时的轮胎气压，kPa。

b．外直径增大率

$$\Delta_D = \frac{D - D_0}{D_0} \times 100\% \tag{1-16-13}$$

式中 $\Delta_D$——外直径增大率；

$D_0$——试验开始时的轮胎外直径，mm；

$D$——试验结束时的轮胎外直径，mm。

c．断面宽度增大率

$$\Delta_S = \frac{S - S_0}{S_0} \times 100\% \tag{1-16-14}$$

式中 $\Delta_S$——断面宽度增大率；

$S_0$——试验开始时的轮胎断面宽度，mm；

$S$——试验结束时的轮胎断面宽度，mm。

（9）及时做好试验记录，在记录中应包括以下内容：

(1) 试验日期和时间；

(2) 试验人员；

③ 试验目的；
④ 试验轮胎的厂牌、规格、层级、结构类型、胎面花纹形式和生产编号；
⑤ 轮辋型号；
⑥ 试验机及其胎位的编号；
⑦ 试验室温及其波动范围；
⑧ 试验轮胎负荷及其波动范围；
⑨ 转鼓速度及其波动范围；
⑩ 试验轮胎的累计行驶时间和里程；
⑪ 试验轮胎的气压、外直径、断面宽度以及它们的增大率；
⑫ 试验轮胎的胎面温度、外观变化、损坏部位和现象。

(10) 如果试验轮胎在完成第3阶段的试验后尚未损坏，可根据需要延长它的行驶时间或再增加适当的负荷，继续进行试验。

### （三）试验结果举例

表1-16-14和表1-16-15分别是9.00-20轮胎转鼓法耐久性试验的试验条件和试验结果实例。

这些试验结果包括6个厂牌，每个厂牌2条轮胎，共计12条轮胎的数据，所有的试验轮胎都系锦纶帘线斜交结构的。

由表1-16-15中的数据可以看出，全部试验轮胎的累计行驶时间均超过47小时，符合GB4501—84中的规定，表明它们都具有足够的耐热性和耐疲劳性。在6个厂牌的试验轮胎中，以“V”的平均累计行驶时间较高；以“W”和“Z”的两条轮胎累计行驶时间之间的差异小，反映它们的质量较稳定；“X”和“Z”的外直径和断面宽度增大率大于其它轮胎，说明它们在热和张力作用下的胎体帘线变形较大。在12条试验轮胎中，除1条未损坏外，其余

表 1-16-14 9.00-20轮胎转鼓法耐久性试验条件实例

| 轮胎厂牌 | 轮胎编号 | 转鼓速度 km/h | 各试验阶段的轮胎负荷率和行驶时间 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 第1阶段 | | 第2阶段 | | 第3阶段 | | 第4阶段 | | 第5阶段 | | 第6阶段 | | 第7阶段 | | 第8阶段 | |
| | | | 负荷率 % | 行驶时间 h | 负荷率 % | 行驶时间 h | 负荷率 % | 行驶时间 h | 负荷率 % | 行驶时间 h | 负荷率 % | 行驶时间 h | 负荷率 % | 行驶时间 h | 负荷率 % | 行驶时间 h | 负荷率 % | 行驶时间 h |
| U | 1 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 10 | 145 | 6.17 |
| | 2 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 7.25 | | | | | | |
| V | 1 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 0.17 | | |
| | 2 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 10 | 145 | 13 |
| W | 1 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 8.65 | | |
| | 2 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 2 | | |
| X | 1 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 1.12 | | |
| | 2 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 2 | | | | | | |
| Y | 1 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 6 | | |
| | 2 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 5.63 | | | | |
| Z | 1 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 6.67 | | | | |
| | 2 | 65 | 65 | 7 | 85 | 16 | 100 | 24 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 6.67 | | | | |

注：1. 所有试验轮胎都系12层级的，轮辋型号为7.0，充气内压为657kPa(6.7kgf/cm²)，负荷率以22.95kN(2340kgf)为100%，试验室温为38±℃。
2. 试验轮胎仅在第3阶段试验结束后，停机检查和测量，其它阶段均连续进行。

表 1-16-15　9.00-20轮胎转鼓法耐久性试验结果实例

| 轮胎厂牌 | 轮胎编号 | 累计行驶时间 h | 累计行驶生程 km | 轮胎气压 | | | 外直径 | | | 断面宽度 | | | 轮胎外观 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 开始试验 kPa (kgf/cm²) | 行驶47 h 后 kPa (kgf/cm²) | 增加% | 开始试验 mm | 行驶47 h 后 mm | 增加% | 开始试验 mm | 行驶47 h 后 mm | 增加% | |
| U | 1 | 93.17 | 6038 | 657(6.7) | 745(7.6) | 13.4 | 1020.2 | 1027.8 | 0.74 | 253.3 | 256.6 | 1.3 | 胎肩脱空 |
| | 2 | 64.26 | 4163 | 657(6.7) | 755(7.7) | 14.9 | 1020.2 | 1028.5 | 0.81 | 253.3 | 258.1 | 1.9 | 胎肩脱空 |
| V | 1 | 77.17 | 5007 | 657(6.7) | 844(8.6) | 28.4 | 1023.4 | 1026.2 | 0.27 | 257.1 | 259.6 | 1.0 | 胎肩脱空 |
| | 2 | 100.00 | 6470 | 657(6.7) | 844(8.6) | 28.4 | 1022.7 | 1026.6 | 0.38 | 258.4 | 260.2 | 0.7 | 未损坏 |
| W | 1 | 85.65 | 5578 | 657(6.7) | 804(8.2) | 22.4 | 1021.5 | 1028.1 | 0.65 | 255.1 | 258.8 | 1.5 | 胎肩脱空 |
| | 2 | 78.00 | 5147 | 657(6.7) | 834(8.5) | 26.9 | 1019.9 | 1026.9 | 0.69 | 257.0 | 260.6 | 1.4 | 胎肩脱空 |
| X | 1 | 78.12 | 5073 | 657(6.7) | 844(8.6) | 28.4 | 1021.5 | 1031.6 | 0.99 | 260.1 | 266.3 | 2.4 | 胎肩脱空 |
| | 2 | 59.00 | 3823 | 657(6.7) | 844(8.6) | 28.4 | 1021.1 | 1030.7 | 0.94 | 258.1 | 263.2 | 2.0 | 胎肩脱空 |
| Y | 1 | 83.00 | 5386 | 657(6.7) | 804(8.2) | 22.4 | 1023.7 | 1030.1 | 0.63 | 257.8 | 260.4 | 1.0 | 胎肩脱空 |
| | 2 | 72.63 | 4710 | 657(6.7) | 834(8.5) | 26.9 | 1023.7 | 1031.3 | 0.74 | 258.1 | 261.2 | 1.2 | 胎肩脱空 |
| Z | 1 | 73.67 | 4721 | 657(6.7) | 824(8.4) | 25.4 | 1026.2 | 1034.8 | 0.84 | 256.0 | 261.0 | 2.0 | 胎肩脱空爆破 |
| | 2 | 73.17 | 4715 | 657(6.7) | 804(8.2) | 22.4 | 1022.1 | 1032.9 | 1.06 | 253.5 | 258.8 | 2.1 | 胎肩脱空 |

的11条都因胎肩脱空而损坏，脱空大部分发生在胎肩花纹块下面的缓冲层差级端点处。尽管转鼓法耐久性试验是在特定条件下的模拟试验，因此难以找出轮胎的转鼓试验里程与里程试验里程之间的相关性。但是多年来的经验证明，一定的转鼓试验里程对于控制轮胎质量是十分重要的，此外在轮胎的损坏部位和损坏类型方面，转鼓试验与里程试验之间具有一定的相关性。

### （四）影响因素

试验轮胎的硫化后停放时间、充气内压、安装位置、负荷、速度和试验室温度都会影响试验结果，因此要注意以下事项。

（1）轮胎硫化后须经停放方可进行试验，停放时间不少于24小时，还需在18～38℃的室温下停放，时间不少于 3 小时。

（2）经常用标准压力计校正轮胎气压表，使其精度保持在 9.8kPa (0.1kgf/cm²) 范围内。

（3）除特殊试验外，试验轮胎在转鼓上的侧偏角和侧倾角应不大于0.17°。

（4）定期标定试验机的轮胎加负荷系统，使静标定精度符合其出厂要求，还应保证试验机的负荷控制精度在试验负荷的2%范围内。

（5）定期标定转鼓速度的调节和检测系统，使它的控制精度在试验速度的2%范围内。

（6）试验室温要保持在38±3℃范围内，尽量减少波动。

## 三、磨耗拖车试验

### （一）原理

轮胎在有路面道路上行驶时的磨耗，主要起因于轮胎与路面之间的滑动摩擦，在一定的轮胎、路面和温度等条件下，轮胎胎面的磨耗随轮胎在路面上行驶时的摩擦功一起增减，因此控制摩擦功就可以实现轮胎的快速磨耗试验。在该试验中所控制的因素，可以是轮胎接地面上的摩擦功，也可以是组成摩擦功的摩擦力或滑动，目前应用较多的是控制滑动。在控制滑动

的条件下进行轮胎磨耗试验，有利于减少其它因素的干扰，从而可提高试验的分辨率和结果的可比性。

当车辆受到侧向风或在具有横坡的道路上行驶及作转向运动时，轮胎在侧向力的作用下，由于它的横向弹性，会产生侧向偏离，如图1-16-8所示。此时，轮胎运行方向偏离于车轮前进方向，在二者之间形成了侧偏角（$\alpha$）。侧偏角的存在，加大了轮胎在路面上的滑动，其滑率 $s=\sin\alpha$。表1-16-16是车辆运行方式与轮胎磨耗的关系。从表1-16-16中的数据可见，转向运动引起的轮胎磨耗要比其它几种方式运动大得多，说明侧偏角将显著地加速轮胎磨耗。磨耗拖车试验就是根据上述原理，使轮胎在一定侧偏角下行驶，以加大胎面滑动，实现控制条件下的快速磨耗试验。

表 1-16-16　车辆运行方式与轮胎磨耗关系

| 车辆运行方式 | 加速度 m/s² | 磨耗指数 |
|---|---|---|
| 制动 | 0.38 | 150 |
| 转向 | 0.38 | 1000 |
| 加速和减速(64—97—64km/h) | 0.10 | 12 |

注：磨耗指数以轮胎在64km/h的速度下作直线行驶时的单位里程磨耗为1。

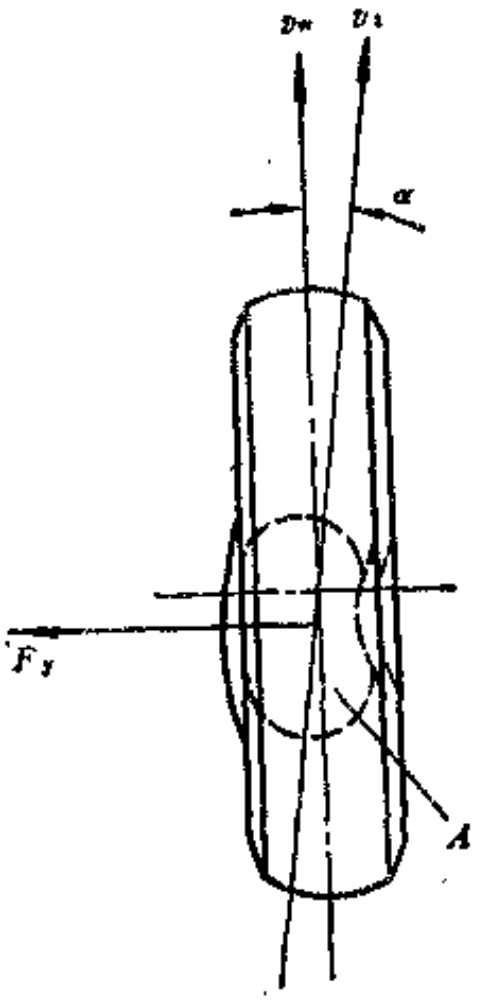



图 1-16-8　轮胎侧向偏离示意

$v_w$—车轮方向；$v_t$—行驶方向；$\alpha$—侧偏角；$F_y$—横向力；A—接地印痕

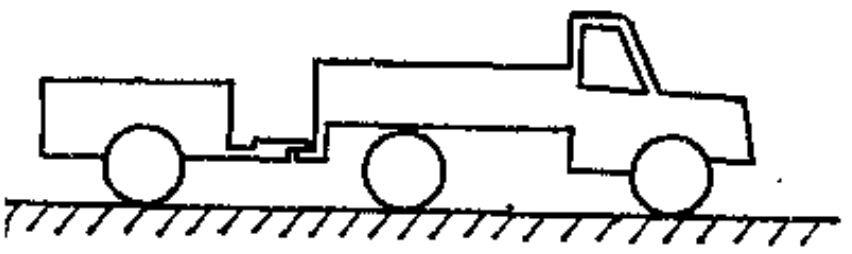


图 1-16-9　轮胎磨耗试验车

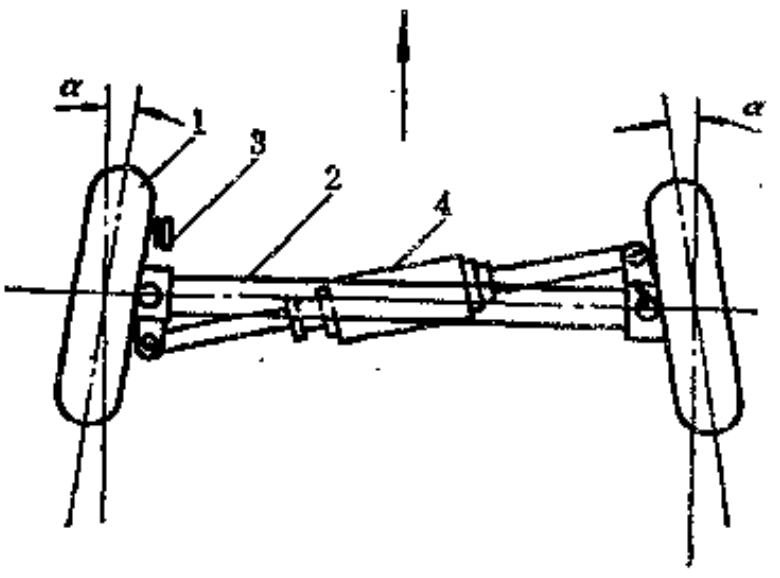



图 1-16-10　挂车车轮变角机构示意

$\alpha$—侧偏角；1—轮胎；2—车轴；3—接近开关；4—气缸

## （二）磨耗试验车

磨耗试验车由牵引车和挂车二部分组成，如图1-16-9所示。牵引车用于给挂车提供动力。二条试验轮胎分别安装在挂车车轴的左右两端，通过由磁感接近开关、数字控制仪、二位四通电控滑阀和气缸组成的变形机构，给试验轮胎施加侧偏角。挂车车轮的变角机构、电路

原理和气路原理分别见图1-16-10、图 1-16-11 和图1-16-12。接近开关安装在左轮的内侧。每当车轮转动 1 周，接近开关便输出 1 个脉冲信号，数字控制仪就在给定值上减去 1 。当数字控制仪的给定值全被减尽时，它一方面输出 1 个接通或断开电路的信号；另一方面自动返回给定值继续工作。二位四通电控滑阀连续在压缩空气源 与 1 个双向气缸之间的 气 路 上，由数字控制仪控制。当接通电路时，滑阀打开通向气缸右腔的气路，活塞在压缩空气的压力推动下，向左作轴向移动，推动左车轮的后端向外并拉动右车轮的前端向里；当 断 开 电 路时，则与之相反。由此，左右车轮上的试验轮胎就随之按照给定的转数周期，同时作朝里或朝外的侧偏角变换。侧偏角的大小可通过调节活塞行程的左右限位实现。侧偏角的变换周期由数字控制仪上的给定转数值决定，可任意选择。

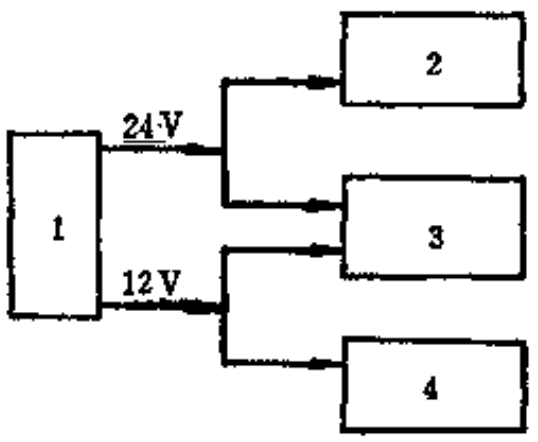



图 1-16-11　变角机构的电路原理

1—蓄电池；2—二位四通电控滑阀；3—数字控制仪；4—接近开关

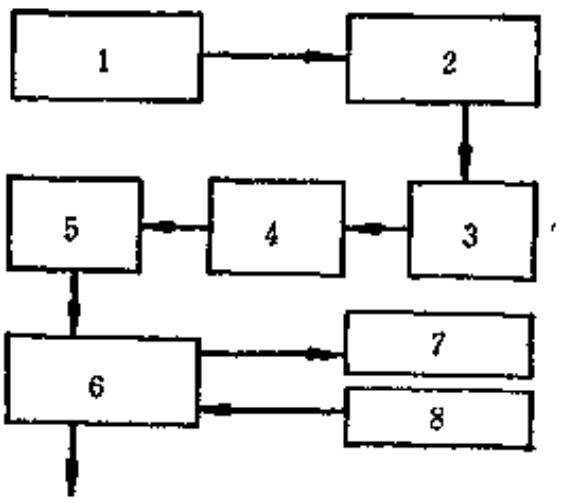



图 1-16-12　变角机构的气路原理

1—牵引车空气压缩机；2—拖车贮气缸；3—分水滤气器；4—调压阀；5—油雾器；6—二位四通电控滑阀；7—气缸左腔；8—气缸右腔

在试验前和达到预定的行驶里程时，用三用游标卡尺或深度计测量轮胎的胎 面 花 纹 深度，或用天平称量轮胎的质量，就可求得试验轮胎的深度磨耗或质量磨耗。磨耗有两种表示方法：一种是单位胎面花纹深度或单位胎面质量可行驶的里程，计量单位为km/mm或km 100 g；另一种是单位行驶里程磨去的胎面花纹深度或胎面质量，计量单 位 为 mm/1000km 或g/1000km。

在行驶试验中，应测量轮胎中的气压、胎面温度、气温和路面温度，还应按照一定的行驶里程间隔，对换左右二条轮胎的位置，以减少路面横坡和驾驶操作的影响。

磨耗试验车的主要性能实例如表1-16-17所示。

表 1-16-17　轮胎磨耗试验车主要性能实例

| 项　目 | 数　据 | 项　目 | 数　据 |
|---|---|---|---|
| 牵 引 车 | 解放CA10B型载重汽车 | 最高行驶速度 | 50km/h |
| 挂车型式 | 单轴二轮 | 轮胎侧偏角 | |
| 试验轮胎规格 | 9.00-20 | 变角范围 | 0～±4° |
| 挂车空车重量 | 19.61kN(2000kgf) | 变角周期 | 任意可调 |
| 挂车最大载重量 | 19.61kN(2000kgf) | 轮胎外倾角 | 0° |

### （三）试验结果举例

表 1-16-18 是牵引车与挂车轮胎磨耗对比。牵引车和挂车上的轮胎均为 9.00-20(10 层级）锦纶帘线斜交轮胎，生产条件也相同。每条挂车轮胎的负荷为 12.06kN (1230kgf)，每条牵引车轮胎的负荷为13.08kN (1334kgf)。从表1-16-18中的数据可见，即使按比率相差较小的深度磨耗计算，轮胎磨耗试验挂车的试验效率仍然要比其牵引车约快10倍。

**表 1-16-18 牵引车与挂车轮胎磨耗对比**

| 类别 | 已行里程 km | 深度磨耗 | | 质量磨耗 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | km/mm | 比率 | km/100g | 比率 |
| 牵引车6条轮胎平均 | 5452 | 4774 | 1148 | 4235 | 4281 |
| 挂车2条轮胎平均 | 4778 | 416 | 100 | 99 | 100 |

注：挂车轮胎的侧偏角为±2°。

表1-16-19是挂车左车轮与右车轮磨耗偏差。表1-16-19中的数据是由二条生产条件相同

**表 1-16-19 挂车左车轮与右车轮磨耗偏差**

| 行驶试验序号 | 深度磨耗 | | | 质量磨耗 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 左轮 km/mm | 右轮 km/mm | 偏差 % | 左轮 km/100g | 右轮 km/100g | 偏差 % |
| 1 | 300 | 280 | 3.6 | 87 | 95 | 4.5 |
| 2 | 390 | 369 | 4.3 | 96 | 101 | 2.6 |
| 3 | 567 | 567 | 0 | 114 | 122 | 3.4 |
| 4 | 721 | 636 | 6.7 | 134 | 140 | 2.2 |
| 5 | 760 | 684 | 5.6 | 158 | 166 | 2.5 |

的9.00-20轮胎，在挂车上经过 5 次行驶试验得到的，都是本次行驶试验的轮胎磨耗。上表中列出的数据表明，挂车左车轮与右车轮之间的轮胎磨耗偏差一般均在±5%的范围内，其中深度磨耗因受测量误差的影响，故偏差稍大。

由磨耗拖车试验和里程试验得到的斜交轮胎和子午线轮胎的磨耗指数见表 1-16-20。由于斜交轮胎与子午线轮胎的侧偏刚度相差甚大，因此采取控制转弯力即车轴方向的力的方式进行磨耗试验较妥。由表1-16-20中可以看出，适当加大轮胎转弯力（当然侧偏角也增大），

**表 1-16-20 二种结构轮胎磨耗拖车试验与里程试验结果对比**

| 轮胎结构 | 转弯力 N(kgf) | 胎面温度，℃ | 磨耗指数 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 拖车试验 | 里程试验 |
| 斜交 | 902(92) | 76 | 100 | |
| 子午线 | 902(92) | 64 | 190 | |
| 斜交 | 1824(186) | 82 | 100 | |
| 子午线 | 1824(186) | 68 | 260 | |
| 斜交 | | | | 100 |
| 子午线 | | | | 190 |

能放大两种轮胎的磨耗差异，而其趋势仍与里程试验结果一致，由此可知，磨耗拖车试验不仅具有较高的分辨能力，而且与里程试验结果之间具有较好的一致性。

**（四）影响因素**

1．侧偏角

图 1-16-13 是侧偏角与轮胎磨耗关系的实例，以侧偏角的对数作为横座标。由图中清楚地看出，两种胎面胶配方轮胎的磨耗都随侧偏角的加大而急剧增大。因此在磨耗拖车试验中，必须严格控制试验轮胎的侧偏角，不仅要使同批轮胎在相同的侧偏角下试验，而且要使左车轮和右车轮的侧偏角相等，以便把试验误差减少到最小。

2．轮胎侧偏刚度

轮胎横向力变化与侧偏角变化之比率称为侧偏刚度。生产或使用条件（如轮胎的结构、帘线材料、充气内压和负荷等）不同的轮胎，它们的侧偏刚度也不等。如果将侧偏刚度不等的轮胎同时装在挂车的左右车轮上，即使它们的给定侧偏角相等，也会发生在图 1-16-14 中见到的现象。侧偏刚度大的轮胎产生的横向力也大，从而引起车轴上的力不平衡，推动挂车作横向运动，使挂车与牵引方向成 $\theta$ 角的偏航。因为 $C_{\alpha 1} > C_{\alpha 2}$，左轮轮胎的实际侧偏角为 $\alpha - \theta$，而右轮轮胎为 $\alpha + \theta$，由此干扰了轮胎的磨耗试验结果。为了保证试验结果的可比性，同时装在挂车左右轮上的轮胎必须是侧偏刚度接近一致的。如果需要进行不同侧偏刚度轮胎的磨耗试验，应先通过力和力矩试验，测出试验轮胎的侧偏刚度，然后把侧偏刚度接近的试验轮胎装在同一辆磨耗试验挂车上，同时装试几辆磨耗试验挂车或用一辆挂车轮流进行行驶试验，但是试验应该按照横向力相等的原则，先计算出不同侧偏刚度轮胎的给定侧偏角，然后在等力不等滑的条件下进行。

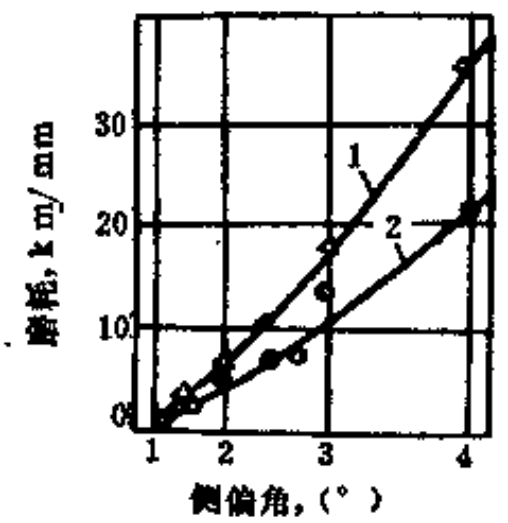



图 1-16-13　侧偏角与轮胎磨耗的关系

1—全天然橡胶胎面轮胎；2—掺用50%顺丁橡胶胎面轮胎

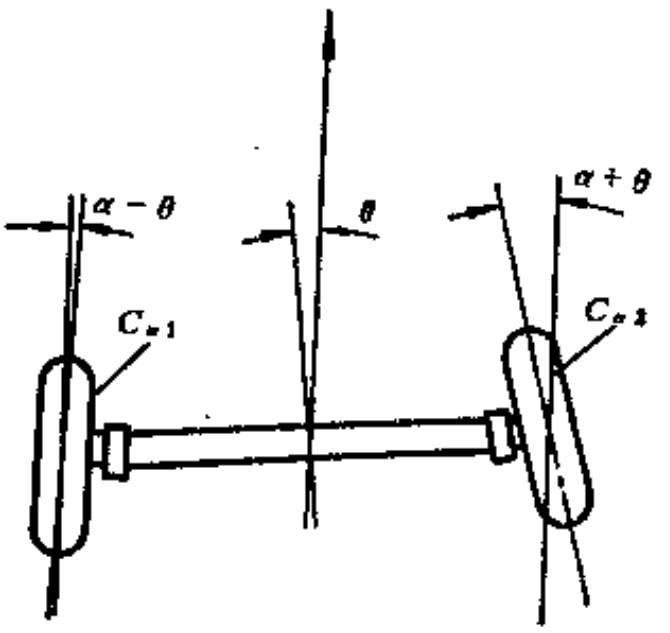



图 1-16-14　轮胎侧偏刚度的影响

$\alpha$—侧偏角；$C_{\alpha 1}$—左轮轮胎侧偏刚度；$C_{\alpha 2}$—右轮轮胎侧偏刚度；$\theta$—偏航角

3．胎面温度

温度对橡胶磨耗有一定的影响，但其影响程度对不同橡胶是不一样的。在磨耗拖车试验中，控制温度比较困难，胎面温度不仅与气温、路面温度、行驶速度及轮胎充气内压和负荷有关，且随滑动的加大面升高。消除温度影响的方法，首先是尽可能在接近的温度下试验；其次是先根据不同温度时的胎面磨耗求得温度系数，然后将试验数据都校正到基准温度时数据。它的校正公式见式（1-16-15）。

$$r_0 = r_t[1 + c(t_t - t_0)] \qquad (1\text{-}16\text{-}15)$$

式中 $r_0$——基准温度时的胎面磨耗，mm/km；

$r_t$——试验温度时的胎面磨耗，mm/km；

$c$——胎面磨耗的温度系数，mm/km·℃；

$t_t$——试验时胎面温度，℃；

$t_0$——基准温度，℃。

以上列举了磨耗拖车试验的3个主要影响因素，除此之外还有一些因素也会影响试验结果，如道路的横坡、弯道和路面结构与粗糙度、制动和转向等试验车的驾驶操作。因此磨耗拖车试验应选择在路面结构和粗糙度一致、横坡小、弯道少和交通流量小的道路上进行，且应尽量使牵引车和挂车保持直行方向，避免左右摆动。

## 第五节 高速性能试验

高速性能试验是测定轮胎高速行驶能力的试验。它对轿车轮胎和轻型载重汽车轮胎是十分必要的。国家标准局已颁布了GB7034—86“轿车轮胎高速性能试验方法 转鼓法”和GB7035—86“轻型载重汽车轮胎高速性能试验方法 转鼓法”。

### 一、试 验 原 理

汽车在高速行驶时，轮胎的滚动损失增加，大量的动能通过摩擦转换成热能，致使轮胎的温度上升，材料性能下降。尤其是在速度达到使轮胎断面上单元的变形发生速率等于或大于它的变形恢复速率时，在轮胎圆周上就会出现如图1-16-15所示的波浪状变形。该变形是由横波传播运动引起的。它以轮胎断面上单元的径向位移为波幅，沿轮胎圆周传播。由于该变形总是发生在轮胎离地后部分，且呈现出宏观上稳定的外貌，故称为驻波。轮胎开始产生驻波的行驶速度称为临界速度。随着速度的提高，轮胎驻波的波幅增大，可以目测到的波数也由1个增加到2个、乃至3个、4个，其总的范围延长到轮胎的四分之一周以上。这时，轮胎要承受很大的附加力，变形范围增大，滚动损失和温度急剧上升，从而加速轮胎结构的破坏。轮胎发生损坏时的行驶速度称为损坏速度。



图 1-16-15 轮胎驻波示意

高速性能试验就是轮胎在规定的轮辋、充气内压和负荷下，按逐级递增行驶速度的方法进行行驶试验，直至轮胎损坏或达到规定的速度，以测定轮胎的临界速度、损坏速度、行驶时间和里程等。

### 二、试验设备和步骤

#### （二）试验设备

轮胎高速性能试验一般在转鼓试验机上进行。GB7034—86和GB7035—86中规定，转鼓试验机的转鼓用钢制成，外直径为1707mm，宽度大于被试验轮胎的总宽度，表面平滑。转

鼓试验机的结构见本章第四节。

**（二）试验步骤**

轮胎高速性能试验按以下步骤进行。

（1）按照GB520—82“轮胎外观质量”的规定检查试验轮胎的外观，用合格的轮胎进行试验。

（2）将试验轮胎安装在符合现行的轮胎和轮辋国家标准之规定和特制的轮辋上，充入表1-16-21中之规定压力的压缩空气。

（3）把试验轮胎与轮辋组合体安装在转鼓试验机上，在38±3℃的室温下至少停放3小时，再把轮胎中的气压调整到表1-16-21中之规定值，停放15分钟后，测量轮胎的外周长和断面宽度，测量方法和使用的量具及其精度按本章第一节中之要求，并应在调整轮胎气压后的30分钟内，开始试验。

表 1-16-21 高速性能试验的轮胎充气内压

| 轮胎类型 | 充气内压 kPa(kgf/cm²) |
|---|---|
| 轿车轮胎 | |
| 斜交结构 | |
| 4层级 | 206(2.1) |
| 6层级 | 235(2.4) |
| 子午线结构 | |
| Q级速度 | 255(2.6) |
| S级速度 | 255(2.6) |
| H级速度 | 275(2.8) |
| 轻型载重汽车轮胎 | 现行轮胎国家标准规定的，与轮胎层级最大负荷所对应的气压，若有单胎与双胎之分时，则用单胎的 |

（4）按表1-16-22中规定的负荷和表1-16-23中各阶段的次序及其转鼓速度和行驶时间进行试验，其中轿车斜交轮胎和轻型载重汽车轮胎都应先进行预试，而轿车子午线轮胎则没有预试阶段，直接进行第1阶段的试验。在完成轿车斜交轮胎和轻型载重汽车轮胎的预试后，应使其脱离转鼓并使转鼓停止旋转，测量轮胎的胎面温度、气压、外周长和断面宽度，检查轮胎的外观，然后让轮胎停放和自然冷却，待它的温度降到室温时，把轮胎中的气压调整到表1-16-21中之规定值，测量它的外周长和断面宽度，接着再按表1-16-22中规定的负荷和表1-16-23中规定的第1、2、3阶段的次序及其转鼓速度和行驶时间继续进行试验。

（5）轿车斜交轮胎和轻型载重汽车轮胎的第1至3阶段的试验以及轿车子午线轮胎的第1至5阶段的试验，都应继续进行，不得中断，中途也不调整轮胎中的气压，各阶段改变速度到速度稳定所需时间少于1分钟。

（6）在试验中，应细心观察轮胎的试验情况及其驻波的发生和发展（包括驻波的个数、大小、形状、位置和范围），如发现轮胎有异常的摆动和行驶声、橡胶烧焦味、胶块甩出或爆破声等现象时，或者在完成表1-16-23中各阶段的试验后，应立即使轮胎脱离转鼓和转动停止旋转，先检查轮胎的外观，如果有脱层、裂口、掉块、帘线断裂或接头脱开等缺陷时，即认为该轮胎已损坏，再测量轮胎的胎面温度和气压等。

（7）如果轮胎在完成表1-16-23中各阶段试验后仍未损坏，可参照原来的速度程序，

表 1-16-22 高速性能试验的轮胎负荷

| 轮胎类型 | 负荷 |
|---|---|
| 轿车轮胎 | 除少数规格轮胎按GB7034—86中的规定外，其它均按现行轮胎国家标准规定的轮胎层级推荐负荷 |
| 轻型载重汽车轮胎 | 现行轮胎国家标准规定的轮胎层级最大负荷（若有单胎与双胎之分时，则用单胎的）×0.88 |

表 1-16-23 轮胎高速性能试验各阶段的转鼓速度和行驶时间

| 轮胎类型与结构 | 轮胎速度级别 | 轮辋名义直径代号 | 轮胎层级 | 预试阶段 | | 第1阶段 | | 第2阶段 | | 第3阶段 | | 第4阶段 | | 第5阶段 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 转鼓速度 km/h | 行驶时间 min | 转鼓速度 km/h | 行驶时间 min | 转鼓速度 km/h | 行驶时间 min | 转鼓速度 km/h | 行驶时间 min | 转鼓速度 km/h | 行驶时间 min | 转鼓速度 km/h | 行驶时间 min |
| 轿车斜交轮胎 | | 10 | 4 | 80 | 120 | 100 | 30 | 110 | 30 | 120 | 30 | | | | |
| | | ≥12 | 6 | 80 | 120 | 120 | 30 | 130 | 30 | 140 | 30 | | | | |
| 轿车子午线轮胎 | Q | 10 | | | | 0～100 | 10 | 100 | 10 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 20 |
| | | 12 | | | | 0～110 | 10 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 20 |
| | | ≥13 | | | | 0～120 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 10 | 150 | 20 |
| | S | 10 | | | | 0～110 | 10 | 110 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 20 |
| | | 12 | | | | 0～120 | 10 | 120 | 10 | 130 | 10 | 140 | 10 | 150 | 20 |
| | | ≥13 | | | | 0～140 | 10 | 140 | 10 | 150 | 10 | 160 | 10 | 170 | 20 |
| | H | 12 | | | | 0～150 | 10 | 150 | 10 | 160 | 10 | 170 | 10 | 180 | 20 |
| | | ≥13 | | | | 0～170 | 10 | 170 | 10 | 180 | 10 | 190 | 10 | 200 | 20 |
| 轻型载重汽车轮胎 | | 10 | 4,6,8 | 80 | 120 | 90 | 30 | 100 | 30 | 110 | 30 | | | | |
| | | 12～14 | 6,8,10 | 80 | 120 | 110 | 30 | 120 | 30 | 130 | 30 | | | | |

继续增加转鼓速度，进行延长试验。

（8）在轮胎的预试、停放和各阶段的试验中，试验室温度应保持在38±3℃的范围内，轮胎高速性能试验的精度要求如表1-16-24所示。

表 1-16-24 轮胎高速性能试验的精度要求

| 项目 | 精度要求 | 项目 | 精度要求 |
|---|---|---|---|
| 转鼓径向全跳动 | ≤0.25mm | 转鼓速度 | ≤给定值的1% |
| 试验室温度 | ≤3℃ | 累计行驶时间 | ≤1min |
| 轮胎充气内压 | ≤9.8kPa(0.1kgf/cm²) | 累计行驶里程 | ≤10km |
| 轮胎负荷 | ≤给定值的2% | | |

（9）及时做好试验记录，在记录中应包括下列内容：

① 试验日期和时间；

② 试验人；

③ 试验目的；

④ 试验轮胎的厂牌、规格、结构类型，层级、胎面花纹形式和生产编号；

⑤ 试验室温度、试验轮胎负荷和转鼓速度的波动范围；

⑥ 试验轮胎的临界速度和驻波变化情况；

⑦ 试验轮胎的损坏速度和在该速度下的行驶时间以及累计行驶时间和里程；

⑧ 试验轮胎的外直径和断面宽度变化情况；

⑨ 试验轮胎的气压、胎面温度和外观变化情况以及损坏部位和损坏类型。

## 三、试验结果举例

表1-16-25是轿车轮胎高速性能试验结果实例。由表1-16-25中的数据见到，三种规格试验轮胎的损坏速度都超过了GB7034—86中不低于140km/h的规定，而且还有相当的速度潜力。经解剖这些试验轮胎证明，它们最终都因胎冠或胎肩部位的缓冲层的帘线与橡胶脱离而损坏。这是因为轮胎在高速行驶时的损坏主要是由于热引起的，而轮胎在耐热方面的关键环节在帘线与橡胶的粘合界面。

表 1-16-25 轿车轮胎高速性能试验结果实例

| 轮胎规格 | 层级 | 轮辋型号 | 充气内压 kPa (kgf/cm²) | 负荷 kN(kgf) | 临界速度 km/h | 损坏速度 km/h | 在损坏速度时行驶时间 min | 累计行驶时间 h | 累计行驶里程 km | 预试后变化 | | | 轮胎外观 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | 负荷增加 % | 外直径增大 % | 断面宽度增大 % | |
| 6.40-14 | 6 | 4十J | 240(2.4) | 4.81(490) | 150 | 180 | 12 | 5.20 | 633 | 27.6 | 0.2 | 0.3 | 肩空 |
| 6.75-13 | 6 | 4十J | 240(2.4) | 5.05(515) | 160 | 180 | 9 | 5.15 | 618 | 18.5 | 0.5 | 1.2 | 冠空 |
| 7.35-14 | 6 | 5十J | 240(2.4) | 5.20(530) | 160 | 170 | 6 | 4.60 | 518 | 16.7 | 0.4 | 0.4 | 冠空 |

表 1-16-26 是上述三种规格轿车轮胎在各种速度下的行驶时间和驻波情况实例。表1-16-26中的数据表明，尽管轮胎的临界速度与损坏速度互有影响，但它们在性质上是有区别的。临界速度表示轮胎的高速性，主要取决于轮胎中的气压、单位长度的质量、帘线角度和断面的曲率半径。损坏速度表示轮胎的高速耐久性，主要取决于轮胎的耐热性能。因此在分析轮胎的高速性能时，应予区别对待。如表1-16-26中的6.40-14与7.35-14二种轮胎相比，前者的临界速度较低，但损坏速度较高；后者则正好与之相反，所以提高6.40-14轮胎高速性能的主要途径在于改善它的高速性；而对7.35-14轮胎来说，则主要应减少生热，提高耐热性。

表 1-16-26 轿车轮胎在各种速度下的行驶时间和驻波情况实例

| 轮胎规格 | 层级 | 在各种速度下的行驶时间和驻波情况，min | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 80km/h | 120 km/h | 130 km/h | 140 km/h | 150km/h | 160km/h | 170km/h | 180km/h |
| 6.40-14 | 6 | 120 | 30 | 30 | 30 | 30,一个波 | 30,二个波 | 30,三个波 | 12,三个波 |
| 6.70-13 | 6 | 120 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30,一个波 | 30,二个波 | 9,二个波 |
| 7.35-14 | 6 | 120 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30,一个波 | 6，二个波 | |

## 四、影响因素

转鼓法的轮胎高速性能试验与耐久性试验所使用的试验设备和步骤基本相同。它们之间的主要差别在于：高速性能试验是随时间增加速度的轮胎行驶试验，而耐久性试验则是随时

间增加负荷。因此它们的影响因素也相同，具体要求可参阅本章第四节中之有关部分。

## 第六节　平衡试验和均匀性试验

均匀性差的轮胎在理想的平路上行驶时，也会发生径向跳动、侧向摆动和跑偏等现象。这些现象的出现，不仅加速车辆部件和轮胎的疲劳和磨损，而且使车辆的乘坐舒适性和操纵稳定性恶化，危及车辆的安全行驶。因此不断改善轮胎的均匀性，是轮胎工程的一个重要课题。但是轮胎是由多种材料多种部件组成并经多道工序制成的结构制品，原材料质量不一和分布不均，部件几何尺寸和位置的误差以及结构形状的局部不对称等因素，都会影响轮胎的均匀性。所以，制造理想均匀的轮胎实际上是不可能的，只能通过各种途径把轮胎的不均匀性控制在尽可能小的允许范围内。这对行驶速度高的轿车轮胎和部件种类多、要求制造精度高的子午线结构轮胎来说，就更为重要。

轮胎是一筒状断面的圆环形挠性旋转体，它在滚动中出现的振动和跑偏现象，都是由轮胎作用于其旋转轴上的附加力引起的。这些附加力包括轮胎旋转时的不平衡离心力；轮胎形状不对称和刚度不相等引起的弹力以及轮胎内部结构引起的有关耦合力。因此，轮胎的不均匀性就是轮胎圆周方向和断面方向上各对称部位的几何形状和力学性能不一致，其主要由质量不平衡、形状不对称和轮胎力波动三者组成。于是测定轮胎均匀性的方法也相应地分为平衡试验、尺寸偏差试验和力波动试验三种。因为尺寸偏差试验可与力波动试验一起在均匀性试验机上进行，故把这二种试验统称为均匀性试验。

### 一、平　衡　试　验

#### （一）原理

平衡试验的目的是测定轮胎的不平衡度及其位置。轮胎的不平衡有静不平衡和动不平衡两种。静不平衡指轮胎径向对称部位的质量不相等，即通过轮胎重心的主惯性轴与它的旋转轴平行而不重合，如图1-16-16所示。由于静不平衡表现为静态下的重力不平衡和旋转时的离心力不平衡，故也称为力不平衡。它只反映轮胎的径向不平衡，只需在轮胎一个平面上的重点径向对称位置进行平衡配重便可校正，因此又称为单面不平衡。动不平衡指轮胎直径方向和断面方向上对称部的质量不相等，即轮胎的主惯性轴与旋轴交错，且相交于轮胎的重心上，如图1-16-17所示。由于动不平衡的轮胎在旋转时产生一对离心力的力偶，反映轮胎径向对角线方向的不平衡，需要在轮胎左右二个平面上的重点径向对称位置，各加上一个平衡补片才能校正，因此也可把它称为力矩不平衡或双面不平衡。在实际中，轮胎的不平衡大部分以静动不平衡的形式出现，如图1-16-18所示。因此要使轮胎达到完全平衡，就必须测定它的静不平衡度和动不平衡度，并加以平衡配重。

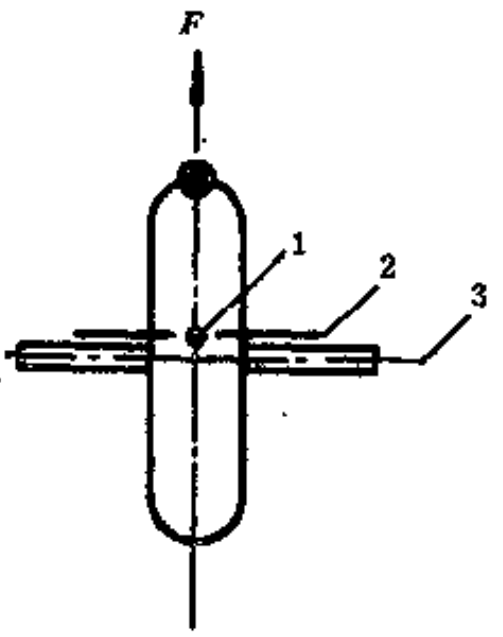



图 1-16-16　轮胎的静不平衡

1—重心；2—主惯性轴；3—旋转轴；$F_c$—离心力

轮胎的平衡试验也可分为静平衡试验和动平衡试验两种。静平衡试验只能测定轮胎的静

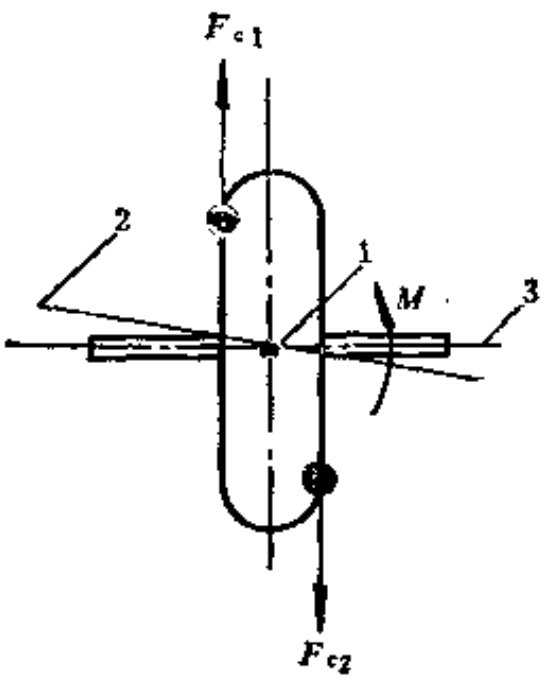



图 1-16-17　轮胎的动不平衡

1—重心；2—主惯性轴；3—旋转轴
$F_{c1}$、$F_{c2}$—离心力；$M$—力偶矩

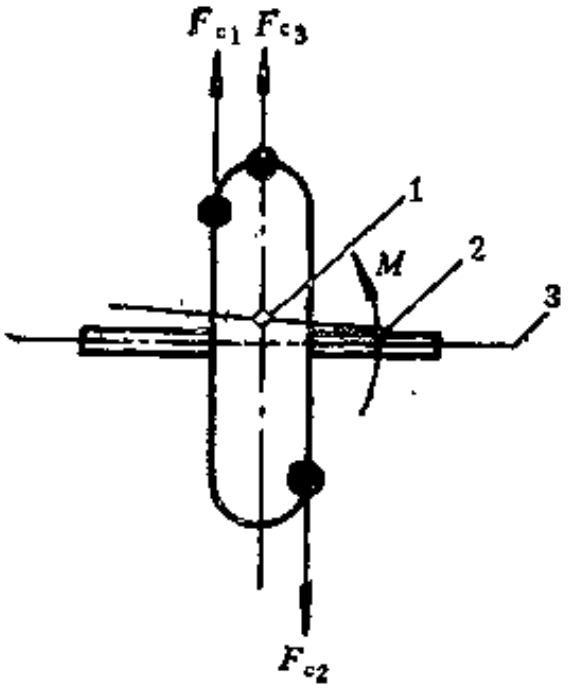



图 1-16-18　轮胎的静动不平衡

1—重心；2—主惯性轴；3—旋转轴；
$F_{c1}$、$F_{c2}$、$F_{c3}$—离心力；$M$—力矩

不平衡度及其位置，其试验方法有二种。一种是将充好气的轮胎铅垂地装在一水平的旋转轴上，使之左右自由转动，待其自动停止后，由于重力作用，其重点总是位于轮胎圆周下端的铅垂位置，如图1-16-19所示。另一种是将充好气的轮胎水平地放在中心支点上，则较重的一端就向下，使轮胎平面倾斜，如图1-16-20所示。然后，在静不平衡的轮胎上，在其重点的径向对称位置进行平衡配重。动平衡试验是在旋转轮胎上进行测量。试验方法是将充好气的轮胎安装在水平或铅垂的旋转轴上，使之以恒定的速度旋转，然后测量轮胎的不平衡离心力和力矩或由此而产生的旋转轴偏转。因此，动平衡试验可以测定轮胎的静不平衡度和动不平衡度以及它们的位置。

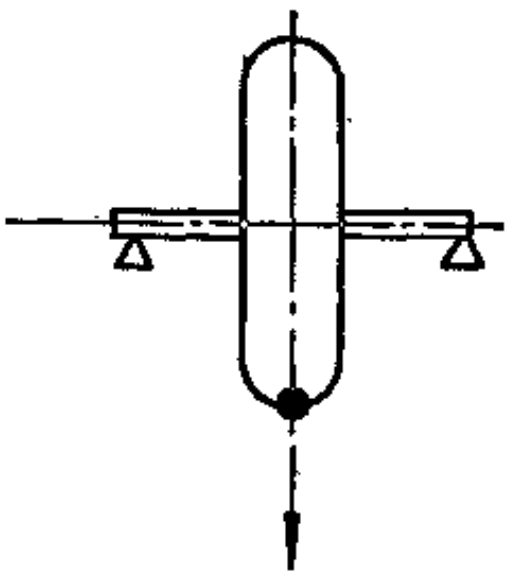


图 1-16-19　轮胎停止转动后的重点位置

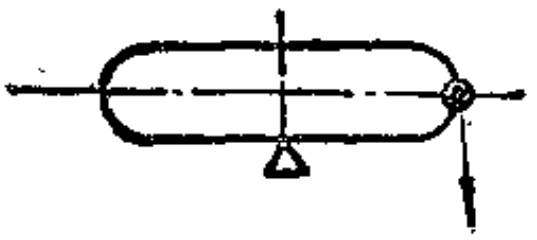


图 1-16-20　轮胎平置时的重点位置

轮胎的不平衡度用重点与其对称点之质量差与重点至轮胎旋转中心的距离之乘积表示，也可用配重补片的质量与它至轮胎旋转中心的距离之乘积表示，其计量单位为g·cm。

**（二）平衡试验机和试验步骤**

1．平衡试验机

轮胎平衡试验机的类型较多。首先，按轮胎试验状态可分为静平衡试验机和动平衡试验

机二大类。由于在动平衡试验机上既能检测轮胎的动不平衡，也能检测轮胎的静不平衡，因此动平衡试验机被广泛应用。动平衡试验机按轮胎旋转轴的位置区分，有水平式和立式二种。水平式动平衡试验机结构较简单，但拆装轮胎较费时，主要用于实验室和汽车检修车间。立式动平衡试验机的用途较广，在增加轮胎输送和装卸轮辋等辅助装置后，可联接到轮胎生产线上使用。由于轮胎旋转轴的支承方式不同，轮胎动平衡试验机又可分为硬支承型和软支承型两种。硬支承型的旋转轴通过轴承支承在硬弹簧上，因此旋转轴的振动位移很小，可以通过测定作用于轴承上的离心力求得轮胎的不平衡度及其位置。软支承型的轴承用软弹簧支承，故可以通过测定旋转轴的振动位移，以求得轮胎的不平衡度及其位置。轮胎动平衡试验机按检测面的数量区分，还可分为单面和双面二种。单面动平衡试验机是把轮胎当作只有一个旋转平面的旋转体，测定由不平衡离心力引起的，能使单支承的旋转轴绕其支点做回转运动的力矩。因此对于静动不平衡的轮胎，应先进行静平衡试验，在静平衡配重后再进行单面动平衡试验。所以，大多数的单面动平衡试验机都是静动平衡试验机。双面动平衡试验机是把轮胎当作具有二个旋转平面的旋转体，逐面进行平衡试验，分别测出每个旋转平面上的不平衡度及其位置，于是经平衡配重后就可使轮胎达到静动平衡。因此，双面动平衡试验机与单面静动平衡试验机相比，具有操作简便，效率高等优点。各种轮胎平衡试验机实测见图1-16-21～图1-16-24。

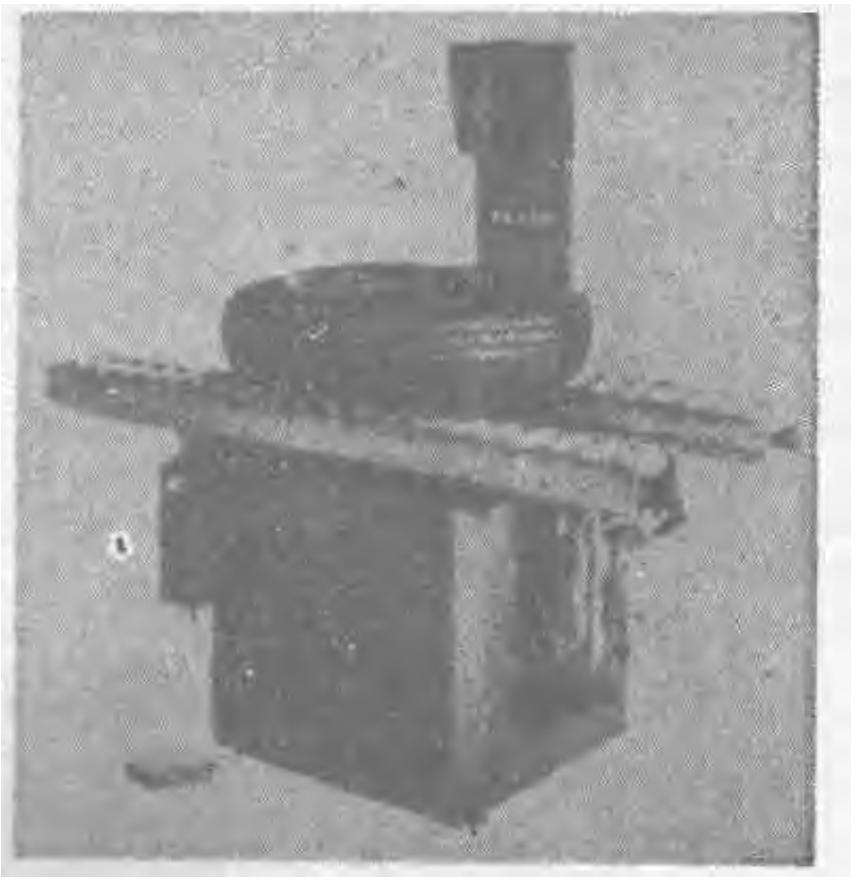


图 1-16-21　立式轮胎静平衡试验机

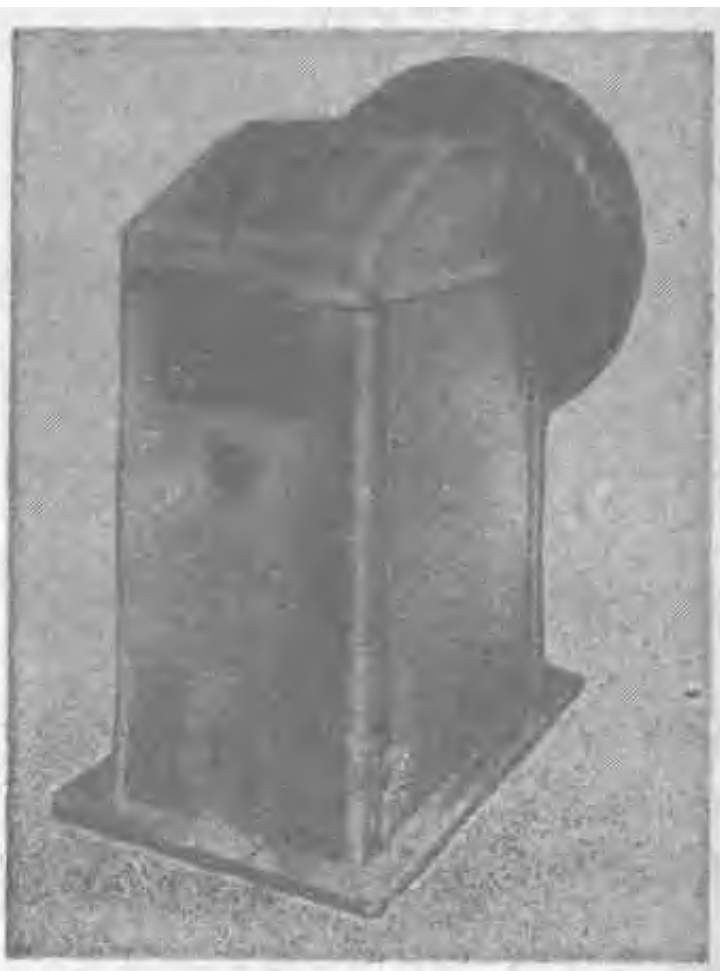


图 1-16-22　水平式单面轮胎静动平衡试验机



图 1-16-23　立式双面轮胎动平衡试验机

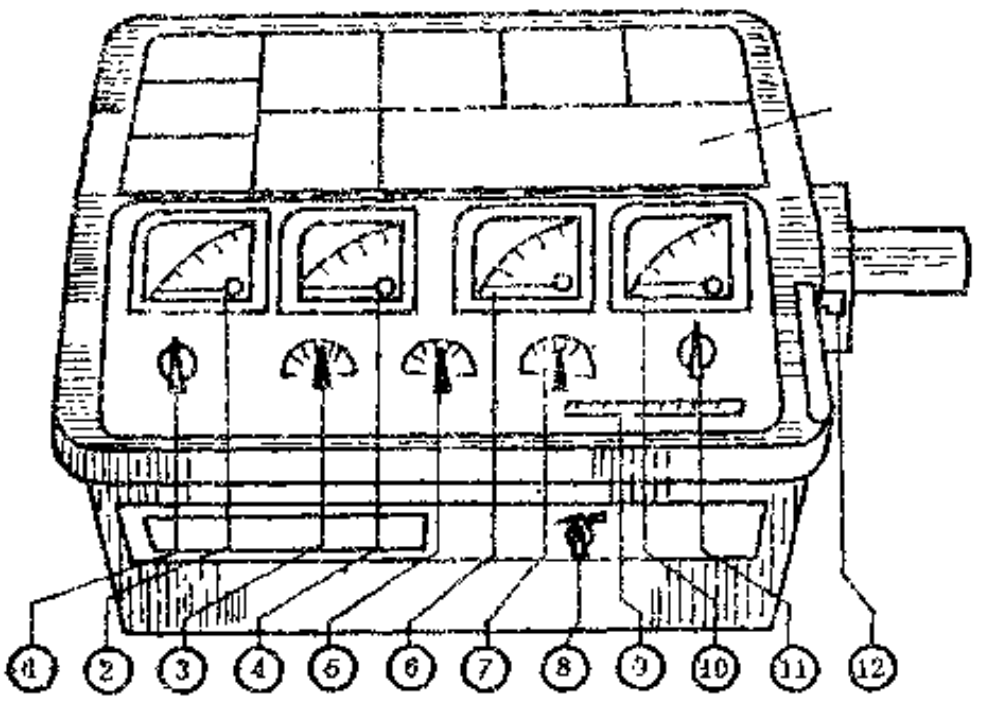



图 1-16-24　水平式双面轮胎动平衡试验机

1—测量选择开关；2—轮胎的左检测面不平衡度指示计；3—轮辋宽度给定旋钮；4—左检测面不平衡角度指示计；5—轮辋直径给定旋钮；6—右检测面不平衡度指示计；7—轮辋至机壳距离给定旋钮；8—电动机启动和制动开关；9—机壳至轮辋测距尺；10—右检测面不平衡角度指示计；11—检测面选择开关；12—机壳至轮辋测距器

图1-16-24是水平式双面轮胎动平衡试验机的实例。它具有以下特点：①能够测定轮胎左右二个检测面的不平衡度和不平衡角度（即重点的周向位置）；②有4个指示计分别表示二个检测面的不平衡度和不平衡角度，它们的读数可保持到下次启动电动机为止；③通过预先给定平衡补片的位置尺寸（即轮辋直径、轮辋宽度和机壳至轮辋的距离），使不平衡度指示计直接表示出应加的平衡补片质量；④在完成每个检测面的测试和制动电动机后，轮胎上的重点位于下方铅垂线上；⑤有手动和自动二种操作方式，试验效率高。该试验机的主要性能如表1-16-27所示。

表 1-16-27　水平式双面轮胎动平衡试验机的主要性能

| 项　目 | 数　据 | 项　目 | 数　据 |
|---|---|---|---|
| 轮辋直径代号 | 10至18 | 试验速度 | 650r/min |
| 最大轮胎外直径 | 850mm | 测量精度 | 轮胎左侧5g，轮胎右侧5g |
| 最大轮胎断面宽度 | 250mm | 试验机外形尺寸 | 760×550×970mm |
| 最大轮胎与轮辋重量 | 0.34kN(35kgf) | 试验机重量 | 约1.96kN(200kgf) |

2．试验步骤

使用图1-16-24所示的水平式双面轮胎动平衡试验机，进行轮胎平衡试验的主要步骤如下。

（1）将试验轮胎装在规定轮辋上，充入规定压力之压缩空气。

（2）把轮胎与轮辋组合体固定在试验机的旋转轴上。

（3）测量和用有关旋钮预先给定平衡补片的位置尺寸，即固定平衡补片处的轮辋直径、轮辋宽度和机壳至轮辋的距离。

（4）向右转动电动机开关，使试验轮胎旋转，于是某一检测面的不平衡度指示计和不平衡角度指示计上的指针就向右转动，待它们稳定2～3秒后，就向左转动电动机开关，制动

试验轮胎。

（5）核对不平衡角度指示计上的读数与旋转轴轴承罩上刻度盘的读数，如果二者相同，则重点就在轮胎下部铅垂线上。

（6）按照不平衡指示计上的读数，在该检测面（左面、右面）的轮辋铅垂线上部的指定部位进行平衡配重，固定好平衡补片。

（7）把检测面选择开关转到另一侧，重复步骤（4）、（5）和（6），即可使试验轮胎达到静动平衡。

## 二、均匀性试验

### （一）原理

轮胎均匀性试验分为尺寸偏差试验和力波动试验两种。轮胎的尺寸偏差包括径向偏差(RRO)、横向偏差（LRO）以及它们的最大点。

无负荷旋转轮胎的径向偏差——沿垂直于旋转轴方向测量的轮胎旋转一周的自由半径周期变化，一般以轮胎自由半径的最大值与最小值之差表示。

有负荷自由滚动轮胎的径向偏差——轮胎滚动1周的动负荷半径周期变化，一般以轮胎动负荷半径的最大值与最小值之差表示。

无负荷旋转轮胎的横向偏差——沿平行于旋转轴方向和在轮胎断面最宽点测量的，无负荷轮胎旋转一周的横向位置周期变化（分别测量轮胎的左右两侧），一般以同一侧的轮胎胎侧横向位置的最大值与最小值之差表示。

最大点——最大自由半径（或动负荷半径）或最大断面宽度在轮胎圆周上的位置。

轮胎的尺寸偏差多数以无负荷旋转轮胎的为准(也可在有负荷自由滚动轮胎上测试，但测量部位应在未发生变形处)。因此它的试验方法比较简单，只需把充好气的轮胎与轮辋组合体固定在旋转轴上，使之匀速旋转，然后用位移传感器测量轮胎的径向偏差和横向偏差。有时也需要测量有负荷自由滚动轮胎的径向偏差，这时不仅要使轮胎在外力（而不是扭矩）作用下，在平整的模拟道路（如转鼓）上做匀速直线运动，而且必须使轮胎上的负荷保持不变，以免测量数据受轮胎负荷波动的影响。

由试验得到的轮胎尺寸偏差与轮胎旋转角度的关系曲线，是一条形状呈周期性恒定的谐振曲线。在该曲线中，原波与谐波之间的关系见式（1-16-16）。

$$f(x)=a_0\sum_{n=1}^{\infty}a_n\sin\left(\frac{2\pi nx}{L}\right) \qquad (1\text{-}16\text{-}16)$$

式中 $f(x)$——$x$ 座标上的原波位移，mm；

$a_0$——$x=0$时的初始位移，mm；

$n$——原波中的各次谐波，$n=1, 2, 3\cdots\cdots\infty$；

$a_n$——第 $n$ 次谐波的位移，mm；

$x$——行驶距离，m；

$L$——轮胎的滚动周长，m。

因此，可以用傅里叶分析把原波分解成一系列谐波，它们的频率都是轮胎旋转频率（即基频）的整数倍。其中：频率比为1者，称为轮胎旋转频率的1次谐波（又称基波）；频率比为2者，称为2次谐波，其余依次类推。如图1-16-25所示。

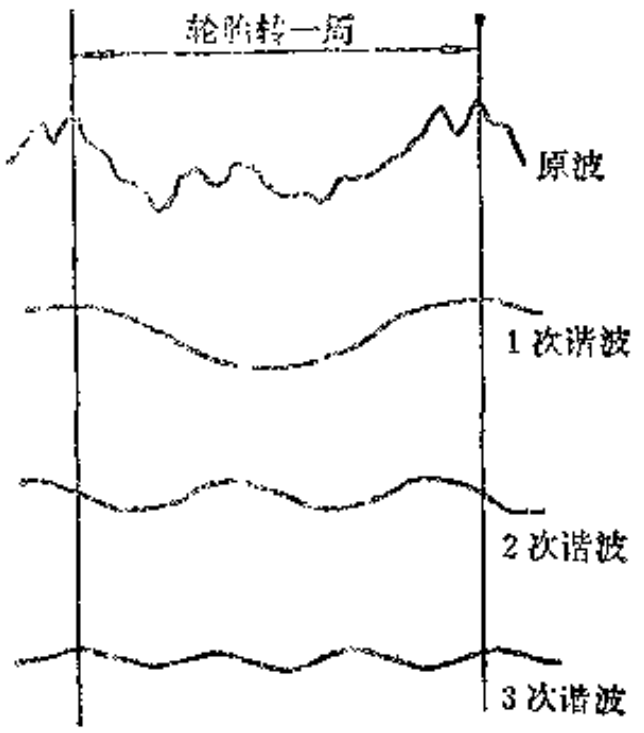



图 1-16-25 无负荷旋转轮胎径向偏差与旋转角度关系曲线的分解

由于上述原因，轮胎的尺寸偏差（包括径向偏差和横向偏差）就又可分为以下3种。

（1）总偏差 在实际测量的径向偏差或横向偏差-旋转角度曲线中，一个周期中的最大振幅差。

（2）各次谐波中的偏差 在径向偏差或横向偏差-旋转角度曲线的各次谐波中，1个周期内的振幅差。

（3）高点 在径向偏差或横向偏差的1次谐波中，最大自由半径（或动负荷半径）或最大断面宽度在轮胎圆周上的位置。

轮胎的径向偏差和横向偏差的计量单位为mm，高点则以（°）为单位。

轮胎力波动试验的方法是把试验轮胎装在规定的轮辋上，充入规定压力的压缩空气，以恒定的动负荷半径（轮胎滚动一周的平均法向力应符合规定负荷）、直线行驶的状态（即轮胎的侧偏角和侧倾角都为零度）和稳定的速度，在平整的模拟道路（如转鼓）上做自由滚动，然后分别测量轮胎在顺时针方向和逆时针方向旋转时的力波动。

在轮胎力波动试验中测量的力，都以美国汽车工程师学会规定的轮胎座标系为准（详见本章第十一节）。轮胎力波动通常包括以下参数：

（1）径向力波动（$RFV$） 轮胎滚动1周的法向力周期波动，一般用它的最大值表示；

（2）横向波动（$LFV$） 轮胎滚动1周的横向力周期波动，一般用它的最大值表示；

（3）横向力偏移（$LFD$） 轮胎滚动1周的平均横向力，分别测量轮胎在顺时针方向和逆时针方向旋转的；

（4）牵引力波动（$TFV$） 轮胎滚动1周的纵向力周期波动，一般用它的最大值表示；

（5）锥度效应力（$CON$） 在轮胎旋转方向改变时，其值的符号（以车轮前进方向的右向为正）也随之改变的横向力偏移；

（6）角度效应力（$PLY$） 在轮胎旋转方向改变时，其值的符号保持不变的横向力偏移；

（7）最大点（$PP$） 出现最大法向力或横向力的轮胎圆周位置。

在上述轮胎力波动中，因为牵引力波动对车辆行驶性能的影响较小，故一般不予测量；锥度效应力和角度效应力是由不同轮胎旋转方向的横向力偏移计算而得。锥度效应力和角度效应力的计算公式见式（1-16-17）和式（1-16-18）。

$$CON=\frac{LFD_1+LFD_2}{2} \tag{1-16-17}$$

$$PLY=\frac{LFD_1-LFD_2}{2} \tag{1-16-18}$$

式中 $CON$——锥度效应力，N；

$PLY$——角度效应力，N；

$LFD_1$——轮胎在顺时针方向旋转时横向力偏移，N；

$LFD_2$——轮胎在逆时针方向旋转时横向力偏移，N；

由力波动试验得到的轮胎径向力或横向力与轮胎旋转角度的关系曲线，也是1条谐振曲线，因此也可用傅里叶分析把它们分解成一系列轮胎旋转频率的谐波，如图1-16-26所示。于是，轮胎力波动就有以下三部分。

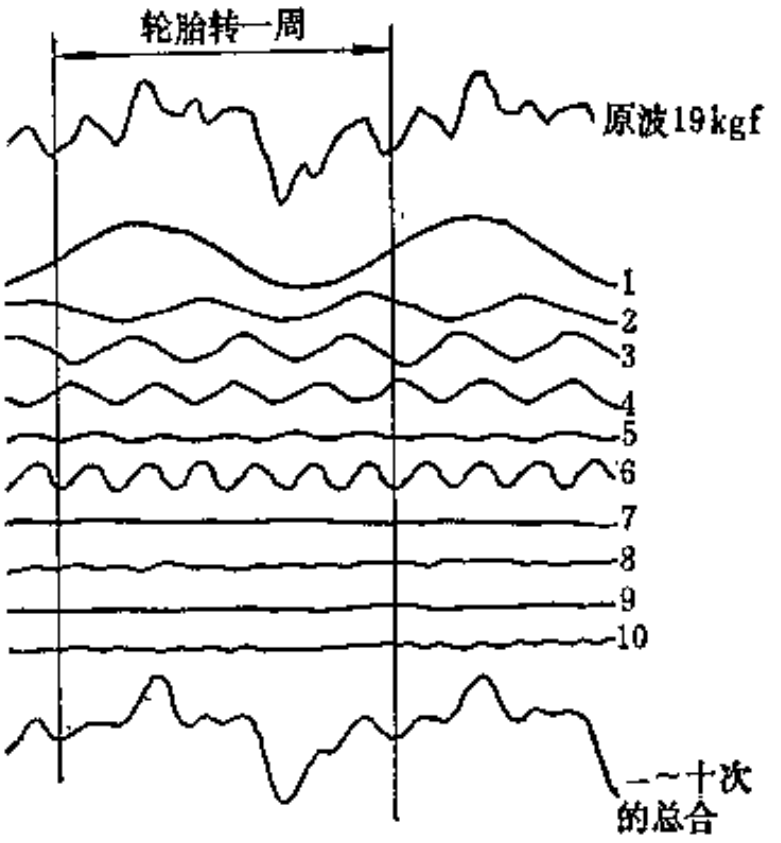



图 1-16-26 轮胎径向力与旋转角度关系曲线的分解

1——次9.5kgf；2—二次3.5kgf；3—三次4.2kgf；4—3.7kgf；5—1.3kgf；6—3.8kgf；7—0.5kgf；8—0.8kgf；9—0.5kgf；10—0.7kgf

(1kgf=9.80665N)

（1）总波动　在实际测量的轮胎径向力或横向力-旋转角度曲线中，一个周期内的最大振幅差。

（2）各次谐波中的波动　在轮胎径向力或横向力-旋转角度的各次谐波中，一个周期内的振幅差。

（3）高点　在轮胎径向力或横向力-旋转角度的1次谐波中，最大径向力或横向力在轮胎圆周上的位置。

各种轮胎力的计量单位都用牛顿（N），高点则用（°）。

在均匀性试验中，大部分的尺寸偏差试验是在无负荷的旋转轮胎上进行的，故仅能检测轮胎的形状不对称性和质量不平衡性；而力波动试验由于是在有负荷的滚动轮胎上进行的，并且采取了固定轮胎旋转轴的空间位置和测量轮胎接地面上反应力的方式，所以测得的是轮胎的质量不平衡性、形状不对称性、刚度不一致性和内部结构引起的有关耦合力的综合结果。但是，由于目前的轮胎均匀性试验大多数是在低速(60r/min)下进行的，因此在它的测量结果中，只包含少量的由轮胎不平衡离心力引起的尺寸偏差或力波动。为了研究在高速行驶时轮胎不均匀性对振动和噪声的影响，也有在120～1200r/min的速度下进行轮胎高速均匀性试验，但目前还未被广泛应用。

对于具有一定的径向偏差或径向力波动的轿车轮胎，可以用砂轮在轮胎高点部位磨去相应量的胎面胶，使其符合均匀性的要求。但是，对于径向偏差或径向力波动过大的轿车轮胎，因为需要磨去的胎面胶太多，影响轮胎的使用性能和外观，故不予磨削。对于载重汽车轮胎，也只测试它们的均匀性而不予修正。

### （二）均匀性试验设备和试验步骤

1．均匀性试验设备

轮胎均匀性试验用的设备可分为二类：一类是专用于轮胎尺寸偏差试验的同心度试验机，如图1-16-27所示；另一类是兼有轮胎力波动试验和轮胎尺寸偏差试验两种用途的均匀性试验机，如图1-16-28所示。

（1）同心度试验机　图1-16-27是轮胎同心度试验机的实例。它主要由进口提升运输机构、中央卡盘机构、测量装置、磨削装置、高点打印器、等级打印器、出口升降运输机构、操作盘、控制柜、电源柜和油泵等组成。试验外胎由提升机和中央输送带水平地送到卡

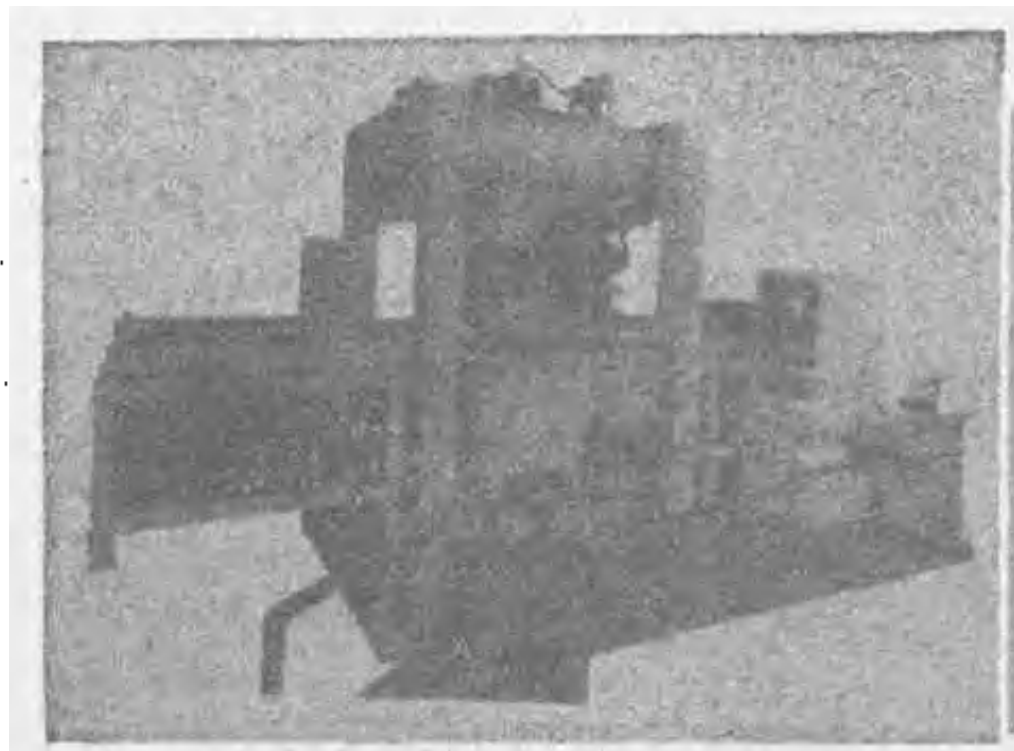


图 1-16-27　轮胎同心度试验机实例

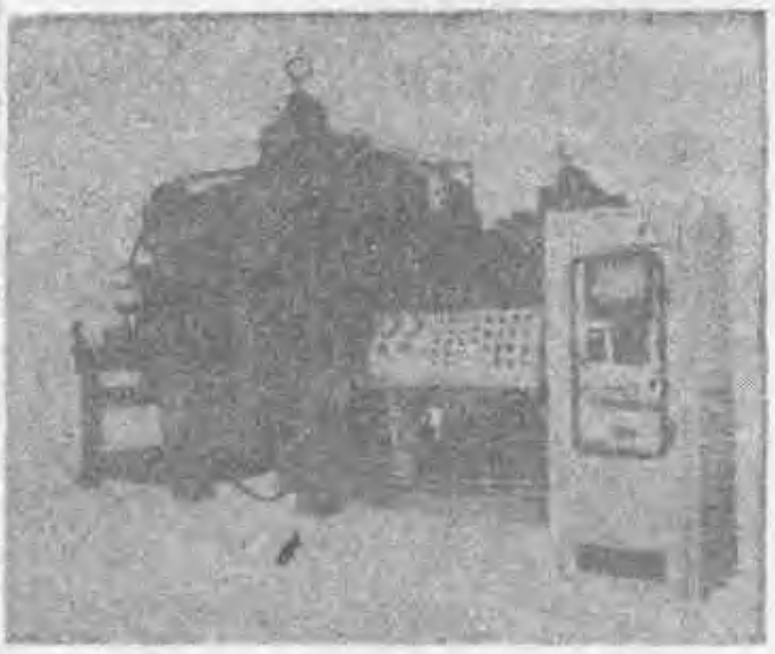


图 1-16-28　轮胎均匀性试验机实例

盘中心位置。卡盘分上、下二部分。一个对开式的精密轮辋的二部分，分别固定在上、下卡盘上。当外胎就位后，中央输送带和上卡盘分别由风筒带动下降，将上、下卡盘压合并锁紧，使外胎装在轮辋上。压缩空气通过上卡盘内的孔进入外胎胎腔内，使外胎胎圈落座并达到试验规定的充气内压。1台同步交流电动机通过齿轮带与下卡盘下部的轴相连，带动试验外胎按一定的速度旋转。3个测量装置在油缸推动下向外胎方向移动，在达到指定位置后，由它的非接触式位移传感器测量外胎的径向偏差和横向偏差。油缸推动磨削装置靠近外胎，由电动机驱动的砂轮磨削轮胎上的径向偏差高点，再按试验结果给外胎分级，打印出高点。然后，放掉外胎内的压缩空气，升起上卡盘和中央输送带。为了避免外胎胎圈粘在轮辋上，可在装胎前向轮辋上喷射少量硅油。最后，外胎由输送带运到出口升降机，送入下一道工序。该试验机配备一台计算机和有关终端设备，控制测试、磨削、分级和打印标记等操作并处理测量数据。该试机的主要性能如表1-16-28所示。

表 1-16-28　轮胎同心度试验机主要性能实例

| 项　　目 | 数　　据 |
|---|---|
| 轮胎外直径 | 711～1524mm |
| 轮胎断面宽度 | 127～584mm |
| 轮胎胎面宽度 | 101～508mm |
| 轮胎最大重量 | 0.333kN(340kgf) |
| 轮辋直径 | 406～648mm |
| 轮辋宽度 | 101～457mm |
| 轮辋胎圈座的径向跳动和轴向摆动 | 不大于0.038mm |
| 轮胎转速 | 60r/min |
| 转速精度 | 不大于1% |
| 轮胎充气内压 | 69～843kPa(0.7～8.6kgf/cm²) |
| 气压精度（在轮胎旋转时） | ≤0.2% |
| 10×10试验的重现性（径向偏差的标准差$\sigma$值） | ≤0.051mm |
| 每条轮胎的试验周期（不包括预运转和磨削） | 40s |

（2）均匀性试验机　均匀性试验机与同心度试验机在结构上的最大区别，是前者有一个兼有给轮胎加负荷、提供模拟道路和测量轮胎力3种功能的转鼓。均匀性试验机的主机位于中央，两端分别为进口或出口的提升输送机构。主机分前后二部分：前部有卡盘机构、尺寸偏差测量装置、磨削装置、高点打印器和分级打印器；后部为转鼓。试验外胎由提升机升起，平滑到滚道上，经定位后用输送带送到下卡盘处，降下输送带和上卡盘，将上、下卡盘压合并锁紧，使外胎装在卡盘外缘的精密轮辋上，给外胎充入压缩空气并在电动机带动下旋转。转鼓由另一电动机通过螺杆带动，给轮胎（充好气的外胎）施加负荷，使轮胎的动负荷半径保持不变。转鼓轴的两端各支承在一个两分力传感器上，以测量轮胎在滚动时的径向力

表 1-16-29　轮胎均匀性试验机主要性能实例

| 项　目 | 数　　据 | |
|---|---|---|
| | 轿车轮胎均匀性试验机 | 载重汽车轮胎均匀性试验机 |
| 试验轮胎 | | |
| 外直径 | 480～813mm | 710～1524mm |
| 断面宽度 | 最大300mm | 最大580mm |
| 胎面宽度 | 最大250mm | 最大533mm |
| 静负荷半径 | | 最小310mm |
| 精密轮辋 | | |
| 直径 | 304.8～406.4mm | 381～635mm |
| 宽度 | | 最大457mm |
| 轮胎转速 | | |
| 预运转时 | 400r/min | 300～400r/min |
| 试验时 | 60r/min | 30～60r/min |
| 旋转方向 | 顺时针和逆时针方向 | 顺时针和逆时针方向 |
| 轮胎负荷 | 0～9.81kN(0～1000kgf) | 0～55.60kN(0～5670kgf) |
| 轮胎充气内压 | | |
| 膨胀压力 | 最大343kPa(3.5kgf/cm²) | 69～834kPa(0.7～8.5kgf/cm²) |
| 试验压力 | 最大206kPa(2.1kgf/cm²) | 69～834kPa(0.7～8.5kgf/cm²) |
| 转鼓 | | |
| 直径 | 854.1mm | 1600.2mm |
| 宽度 | 254mm | 533mm |
| 轮胎力 | | |
| 总的径向力波动 | 0～0.981kN(0～100kgf) | 0～4.90kN(0～500kgf) |
| 总的横向力波动 | 0～0.981kN(0～100kgf) | 0～4.90kN(0～500kgf) |
| 1次谐波的径向力波动 | 0～0.981kN(0～100kgf) | 0～4.90kN(0～500kgf) |
| 1次谐波的横向力波动 | 0～98kN(0～100kgf) | 0～4.90kN(0～500kgf) |
| 横向力偏移 | ±0.981kN(±100kgf) | ±2.45kN(±250kgf) |
| 锥度效应力 | ±0.981kN(±100kgf) | ±2.45kN(±250kgf) |
| 角度效应力 | ±0.981kN(±100kgf) | ±2.45kN(±250kgf) |
| 高点位相 | 0～360° | 0～360° |
| 尺寸偏差 | | |
| 径向（上面胎肩） | 0～10mm | 0～10mm |
| 径向（胎面中心） | 0～10mm | 0～10mm |
| 径向（下面胎肩） | 0～10mm | 0～10mm |
| 横向（上面胎侧） | 0～10mm | 0～10mm |
| 每条轮胎试验周期（不包括预运转和磨削） | 35s | 60s |

和横向力。两套尺寸偏差测量装置，在轮胎-转鼓接触面之径向对称位置，分别测量轮胎的径向偏差和横向偏差。磨削装置对轮胎径向力高点部位的胎面进行磨削修正。由打印器打印高点标记和等级标记，然后放掉外胎中的压缩空气、升起上卡盘和输送带，将外胎送至出口。该试验机也配有操作盘、控制柜、电源柜和油泵，用计算机控制试验操作和处理测量数据。轮胎均匀性试验机的主要性能实例见表1-16-29。轮胎均匀性试验机的精度要求见表1-16-30。

**表 1-16-30　轮胎均匀性试验机的精度要求**

| 项　目 | 精度要求 | |
|---|---|---|
| | 轿车轮胎均匀性试验机 | 载重汽车轮胎均匀性试验机 |
| 轮辋的径向全跳动 | ≤0.025mm | ≤0.025mm |
| 轮辋的轴向摆动 | ≤0.025mm | ≤0.025mm |
| 轮辋在负荷下运转时，其胎圈座在任何方向的变形 | ≤0.127mm | ≤0.127mm |
| 测力传感器精度 | ≤满度的±1% | ≤满度的±1% |
| 轮胎负荷精度 | ≤试验值的±1% | ≤试验值的±1% |
| 轮胎充气内压精度 | ≤±39kPa(±0.4kgf/cm²) | |
| 轮胎充气内压波动 | ≤±0.5kPa(±0.005kgf/cm²) | |
| 转鼓直径 | 854.1±2.5mm | 1600.2±2.5mm |
| 转鼓的径向全跳动 | ≤0.025mm | ≤0.025mm |
| 转鼓的不平衡度 | ≤11.7g·cm | |
| 轮胎轴与转鼓轴的平行度（在10kN的径向力和500N的横向力下） | ≤0.25mm/m | |
| 测定值的重现性（径向力波动、横向力波动、横向力偏差、锥度效应力和角度效应力的10×10试验数据之标准差$\sigma$值 | ≤9.8N(1kgf) | ≤15N(1.5kgf) |

2. 均匀性试验步骤

轮胎的均匀性试验可按以下步骤进行。

（1）把试验外胎装在精密的符合现行轮胎国家标准规定的轮辋上，充入压力比试验气压高98～147kPa(1～1.5kgf/cm²) 的压缩空气，待外胎的胎圈在轮辋上就位后，再调整到试验的充气内压。轿车轮胎的试验气压为196kPa(2.0kgf/cm²)，载重汽车轮胎的试验气压为现行轮胎国家标准中规定的轮胎层级最大负荷所对应的气压，若有单胎与双胎之分时，则以单胎的为准。

（2）启动电动机，使轮胎按顺时针方向旋转，再将转鼓压在轮胎上，使轮胎滚动一周的平均负荷，等于现行轮胎国家标准规定的轮胎层级最大负荷（若有单胎与双胎之分时，则以单胎的为准）的85%，然后固定转鼓轴与轮胎轴之间的距离。

（3）为了消除贮存或运输中造成的变形，轮胎需以400r/min的转速预运转2分钟，但直接从生产线上来的轮胎可不必进行预运转。

（4）把轮胎的转速调整到60r/min，测量、计算和记录下列数据，

①　总的径向力波动，

② 总的横向力波动；

③ 1次谐波的径向力波动；

④ 1次谐波的横向力波动；

⑤ 横向力偏移；

⑥ 总的径向偏差；

⑦ 总的横向偏差；

⑧ 1次谐波的径向力高点；

⑨ 1次谐波的横向力高点。

（5）如果轿车轮胎的径向力波动超出规定值，则在它的高点部位磨削相应量的胎面胶，然后再测量上述有关数据，但对于载重汽车轮胎和超出规定值过大的轿车轮胎，不予磨削修正。

（6）使轮胎按逆时针方向旋转，再测量、计算和记录下列数据：

① 横向力偏移；

② 锥度效应力；

③ 角度效应力。

（7）打印轮胎的高点位置标记和等级标记。

（8）放掉轮胎中的压缩空气，从轮辋上拆下外胎。

（9）试验完毕后签发试验报告，在报告中应包括试验日期、操作人员姓名、外胎的生产编号与成型工号、步骤（4）、（5）和（6）中记录的数据以及外胎的均匀性等级。

## 三、试验结果举例

表1-16-31是美国通用汽车公司于1985年制订的《轮胎性能标准规范体系》中的轿车轮胎均匀性和平衡性验收标准。由表1-16-31中的数据见到，对轿车轮胎均匀性的要求比对其平衡性的要求高得多。这是因为在轮胎装上轮辋后，还要进行平衡试验并用平衡补片配重使其达到平衡，故允许轮胎本身可以具有一定的不平衡度。

**表 1-16-31 轿车轮胎均匀性和平衡性验收标准**

| 标准项目 | 验收标准 | 修正 |
|---|---|---|
| 均匀性 | | 允许按验收标准的规定进行修正 |
| 总的径向力波动 | ≤182N(18.6kgf) | |
| 1次谐波的径向力波动 | ≤111N(11.3kgf) | |
| 1次谐波的横向力波动 | ≤133N(13.6kgf) | |
| 锥度效应力 | ≤133N(13.6kgf) | |
| 角度效应力 | 正值 | |
| 平衡性（不平衡度） | | |
| 轮辋直径代号为15的轮胎 | ≤36g·m | |
| 轮辋直径代号为14的轮胎 | ≤31g·m | |
| 轮辋直径代号为13的轮胎 | ≤27g·m | |

注：均匀性试验在255kPa(2.6kgf/cm²) 的充气内压和相当于85%的177kPa(1.8kgf/cm²) 气压对应负荷下，按照《轮胎性能标准程序和规范手册》中的TWSI—90程序进行。

图1-16-29和图1-16-30分别是轿车斜交轮胎和轿车子午线轮胎的径向力波动。由图中可

见，这两种结构轿车轮胎经磨削修正后，其径向力波动降低了很多，都修正到0.5kN(5kgf)以下。

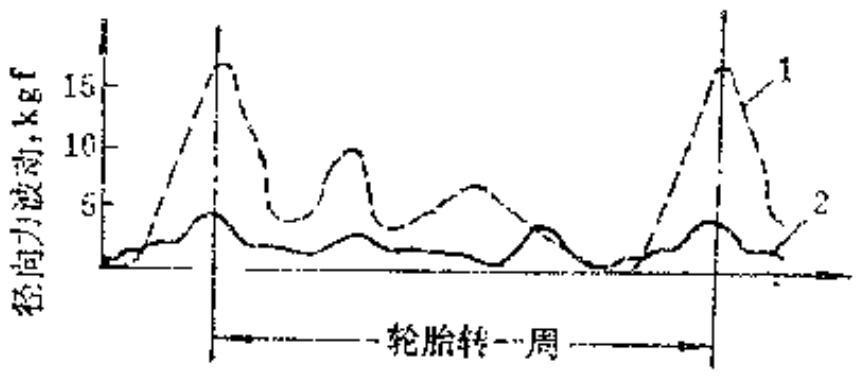



图 1-16-29 轿车斜交轮胎的径向力波动
1-磨削前；2-磨削后

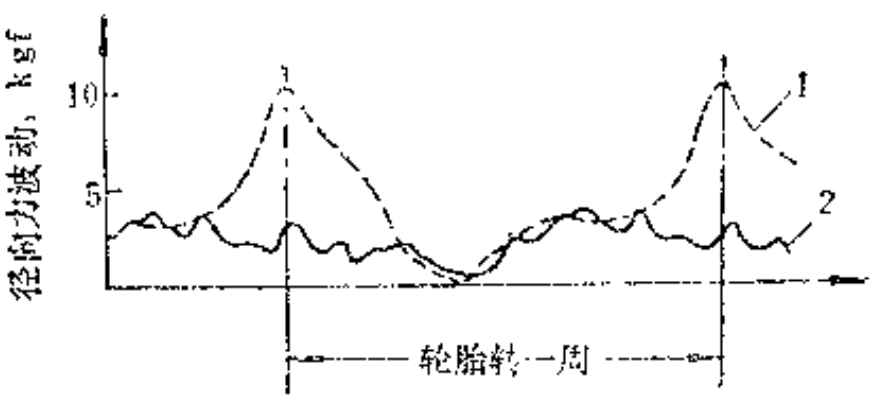



图 1-16-30 轿车子午线轮胎的径向力波动
1-磨削前；2-磨削后

表1-16-32是10条9.00R20（14层级）钢丝子午线轮胎的均匀性试验结果。它们都是装在7.0-20轮辋上和保持686kPa(7.0kgf/cm²)的充气内压下进行的。由表1-16-32中的数据说明，这些轮胎的总的径向力波动，大部分在0.981kN(100kgf)以下，其中一次谐波的径向力波动都不超过0.74kN(75kgf)；横向力波动和锥度效应力都很小，但角度效应力较大，是横向力偏移中的主要成分。上述规律表明，这些轮胎的形状对称性和刚度一致性都较好，尤其是在轮胎的横向更好，然而由轮胎内部结构中的力的耦合效应（主要是带束层弯曲引起的剪切）较大，但是由此形成角度效应力的矢向都在轮胎行驶方向的右侧，因此均系正值。

表 1-16-32 9.00R20轮胎均匀性试验结果

| 轮胎序号 | 试验负荷 | 径向力波动 | | 横向力波动 | | 横向力偏差 | | 锥度效应力 | 角度效应力 | 高点，(°) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 总的 | 一次谐波的 | 总的 | 一次谐波的 | 顺时针方向旋转 | 逆时针方向旋转 | | | 径向力波动 | 横向力波动 |
| | kN(kgf) | kN(kgf) | kN(kgf) | kN(kgf) | kN(kgf) | kN(kgf) | kN(kgf) | kN(kgf) | kN(kgf) | | |
| 1 | 23.02(2347) | 0.65(66) | 0.49(50) | 0.10(10) | 0.01(1) | 0.70(71) | −0.75(−76) | −0.02(−2) | 0.72(74) | 61 | 38 |
| 2 | 23.05(2350) | 0.62(63) | 0.50(51) | 0.28(28) | 0.23(23) | 0.84(86) | −0.75(−76) | 0.05(5) | 0.79(81) | 259 | 269 |
| 3 | 22.99(2344) | 0.99(101) | 0.71(72) | 0.22(22) | 0.12(12) | 0.74(75) | −0.77(−78) | −0.02(−2) | 0.75(77) | 205 | 94 |
| 4 | 23.02(2347) | 0.48(49) | 0.31(32) | 0.15(15) | 0.09(9) | 0.69(70) | −0.78(−79) | −0.04(−4) | 0.73(74) | 284 | 38 |
| 5 | 22.90(2335) | 0.45(46) | 0.21(21) | 0.15(15) | 0.09(9) | 0.69(70) | −0.72(−73) | −0.02(−2) | 0.70(72) | 212 | 191 |
| 6 | 22.87(2332) | 0.81(83) | 0.58(59) | 0.16(16) | 0.09(9) | 0.67(68) | −0.86(−88) | −0.10(−10) | 0.77(78) | 250 | 69 |
| 7 | 23.02(2347) | 0.95(97) | 0.65(66) | 0.21(21) | 0.21(21) | 0.76(77) | −0.73(−74) | 0.02(2) | 0.74(76) | 66 | 176 |
| 8 | 22.93(2338) | 0.96(98) | 0.23(23) | 0.15(15) | 0.06(6) | 0.64(65) | −0.78(−79) | −0.07(−7) | 0.71(72) | 274 | 151 |
| 9 | 22.99(2344) | 1.06(108) | 0.74(75) | 0.26(26) | 0.22(22) | 0.71(72) | −0.78(−79) | −0.04(−4) | 0.74(76) | 297 | 93 |
| 10 | 22.87(2332) | 0.64(65) | 0.42(43) | 0.20(20) | 0.09(9) | 0.69(70) | −0.78(−79) | −0.05(−5) | 0.73(74) | 344 | 75 |

## 四、影 响 因 素

轮辋、转鼓、传感器和轮胎变形等因素都会对轮胎的平衡试验结果和均匀性试验结果产生显著的影响，因此要注意下面几点。

（1）平衡试验用的轮辋和连接盘等旋转部件都应先进行平衡试验，使它们达到静动平衡。

（2）均匀性试验用的轮辋和转鼓应具有最小的径向偏差和横向偏差，并且是静动平衡的，它们在负荷下应具有最小的变形，轮胎轴与转鼓轴应保持平行。

（3）在拆装或更换均匀性试验机上的轮辋后，必须检查它的径向跳动、轴向摆动以及轮胎轴与转鼓轴的平行度，使其符合要求。

（4）定期标定平衡试验机和均匀性试验机上的各种传感器，用留样的轮胎进行$10\times1^{0}$的试验（即试验10条轮胎，每条轮胎试验10次），以检验均匀性试验结果的重现性。

（5）轮胎在包装、贮存和运输中会发生局部变形，为消除这种变形，凡不是直接从生产线上来的轮胎，都应先经过预运转。

## 第七节　非破坏性试验

### 一、X射线检验

#### （一）原理

X射线是一种波长短、能量较大的电磁波，它可以透过物质的原子间隙。其透过能力与波长有关，波长愈短，则能量愈大，穿透性能力也愈强。物质吸收X射线的能力，决定于物质的原子量，密度、厚度和波长，原子量愈大，对X射线吸收能力也愈大。一般说，物质吸收X射线的能力与构成物质的原子序数的四次方成正比；物体的密度(或相对密度)愈大，对X射线的吸收也愈大；物体吸收X射线的能力与其厚度成正比；X射线的被吸收性与其本身的波长三次方成正比。因此，当应用X射线检查物体的缺陷时，其穿过物体的完好部位和有缺陷部位的衰减程度就不一样，在X射线软片或荧光屏上的感光程度也就会显示出差异。人们根据这些差别，即可推断物体的缺陷位置和缺陷的性质。

#### （二）X射线检验设备与方法

国产实验室用X射线探伤机由主机、X射线管、图象增强系统、装胎“机械手”以及操作控制台等组成（见图1-16-31）。



图 1-16-31　实验室用轮胎X射线探伤机

X射线管是关键部件。金属陶瓷X射线管不仅有耐震、体积小、重量轻、绝缘性能好等优点，而且由于采用钼靶铍窗，小焦点，大大提高了影象质量。铍窗X射线管的出现，提供了足够强度的软X射线，使轻金属、非金属材料的无损探伤有了突破和实用价值。灯塔式X射线管（Lighthouse X-Ray Tube）为进一步提高轮胎专用机的质量和效率创造了条件。

图象增强器是一个真空管（见图1-16-32），输入端为磷光阴极，其第一层放射出的光线量比例于照射其上的X射线量；第二层射出电子数比例于第一层射出的光线量。这些电子在

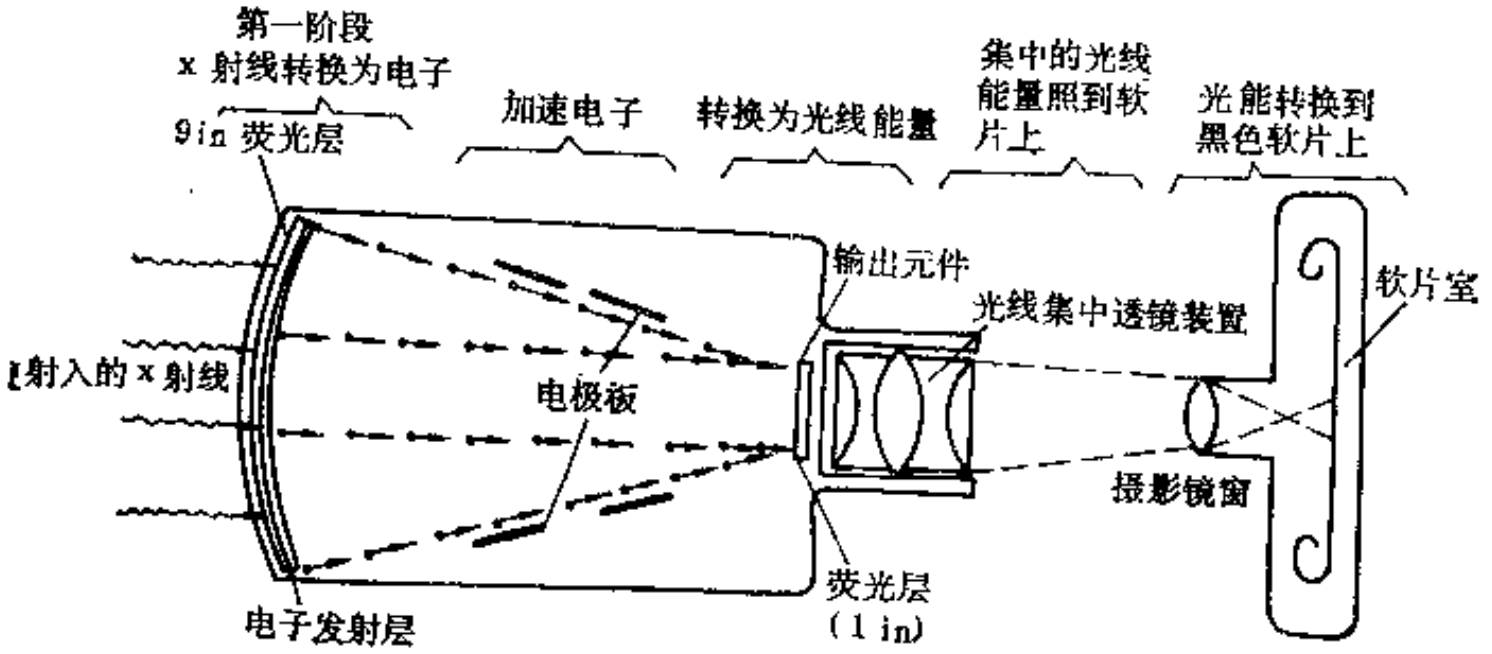



图 1-16-32　X射线图像增强器

第二级被高压加速，借助一个集中装置的网络电路，把释放出来的微量电流汇集起来，就得到一个缩小了的并由电子加速输出的高反差图象。后部设有一个高分辨能力的观察体系与显像管的输出磷光层相接，再将图像放大到原来大小的高反差物象，显像管的输出荧光层，还可同电视体系摄象管相联接。

检测方法分实验室手工操纵与生产线联接全自动控制两种，但最终都是由检验人员对缺陷进行判断。随着电子、电视技术的普及，长期应用的荧光透视检查已被电视监视器所代替，这样就将检验人员有效地与X射线隔离开，从而保证了人体健康。目前，大批量轮胎生产中的X射线检验，无论是实验室抽查或是生产线逐条检查，主要都是检验人员通过电视监视器判断合格与否，只是对极个别有研究价值的问题或需要反馈给生产工艺的某些特殊问题才予以照相拍片处理。

**（三）X射线的照相检查**

X射线在软片上感光作用的强弱，以及在底片上黑白反差清晰与否，与以下条件有关。

（1）电压　电压的高低与被检轮胎的厚度和特点有关。一般照射轮胎冠部时的电压要高于照射其它帘线轮胎的电压。检验轮胎和其它橡胶制品常用的电压如下：

| | |
|---|---|
| 一般帘线轮胎 | 40～50kV |
| 钢丝帘线轮胎 | 70～80kV |
| 钢丝胎圈 | 90～100kV |
| 内胎 | 20～30kV |

（2）管电流及照射时间　管电流和照射时间的乘积表示输出X射线的总量毫安秒(mA·s)的高低，它直接影响底片的清晰度。调节管电流或照射时间，使X射线的总输出量不变，可获得相同的影像效果。

（3）阴极焦点与胶片距离　应尽量缩小焦点与胶片距离。实际经验证明，一般焦点与胶片的距离在75～115mm之间，摄取的照片效果较好。

X射线透过被检轮胎，经聚焦而形成的焦点大小不一，选择小焦点可避免影像放大失真，以便获得清晰底片。

（4）感光量与电压、管电压以及焦点与胶片距离的关系

$$PE=\frac{mA\times S\times(KV)^2}{D^2} \tag{1-16-19}$$

式中　$PE$——感光量；

$mA$——管电流，mA；

$S$——照射时间，s；

$KV$——管电压，kV；

$D$——焦点与胶片的距离，mm；

由式（1-16-19）可知，只要保持感光量不变，无论怎样变动$mA$、$S$、$KV$和$D$，均可得到相同的摄影效果。

**（四）轮胎常见缺陷的类型及图像的辨认**

在这里，仅着重介绍电视监测器上可以观察到的常见图像。

（1）气泡　在电视荧光屏上呈现不太明显的浅白色块状阴影，边缘整齐与周围组织的反差随气泡大小而异。

（2）脱层　由于其厚度差太小，一般在屏幕上呈现不规则的模糊阴影，影像极淡，易被忽略。

（3）海绵状　呈密集斑点状阴影。试验证明，极小的针孔状海绵，X射线检验不易发现。

（4）帘布缺陷　包括人造丝、尼龙、钢丝等不同骨架材料构造的帘布层，由人造丝、尼龙、聚酯帘布构成的斜交轮胎，其帘线打弯、帘线折断、帘线密度不均等，都可以检验出来，但影像有时不太清楚。钢丝帘线构成的子午胎，不管是带束层还是胎体层，其帘布接头脱开、接头过多、帘线排列不均，及并线、漏线，带束层不正、边缘不齐和端点松散等，均可十分清晰地辨认。

（5）夹杂物　可分为金属夹杂物与非金属夹杂物两种。金属夹杂物在管电流稍高的条件下，在荧光屏上呈黑色，从反差明显的影像，可迅速正确地判断。非金属夹杂物必须在适当的管电流和管电压条件下，才隐约可见，较小的或与胶料密度相近的杂质，不能有效探出。

## 二、全息照相检验

**（一）原理**

全息照相是利用光的干涉原理。用一束未经调制的光波与物体光波发生干涉，两光束在照相底板上相遇，位相相同时，产生最大强度；位相相反时，则产生的强度最小。把物体光波的振幅变化信息和位相变化信息记录下来，即记录了物体的全部光学信息。再用参考光波照射处理过的底片，底片就再现原始物体光波，物体就原样出现。即先将三维物体的信息记录在照相底板上，然后把记录下来的物体三维图象再现。

全息照相的记录与再现的基本光路设计如图1-16-33。由激光器产生的激光被分成两部分单色光相互干涉，其中一束光由被摄物体反射或散射，另一束光（参考光）从物体旁直接

投射到照相底板上，由波前迭加而在照相底板上形成干涉图像。这个干涉图象即物体的波前图，从表面上看，它与物体毫无相似之处，但却包含了物体的全部光学信息。再现时，用参考光束照射全息照片，可观察到被摄物体的两个象（见图1-16-33(b)），一个虚像(原始像)和一个实像（共轭像）。

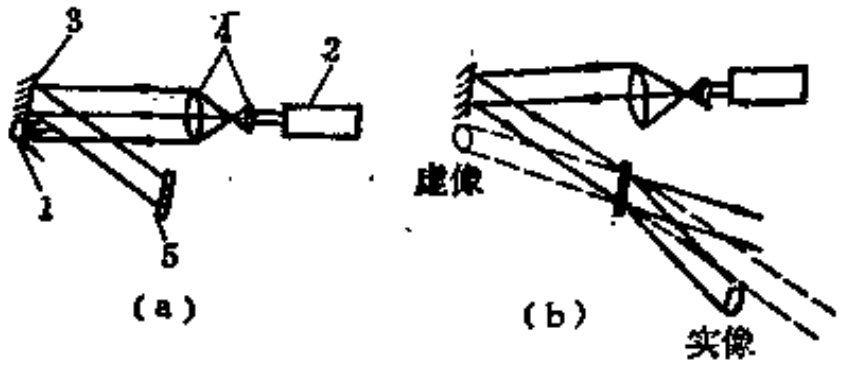



图 1-16-33 全息照相的记录与再现
(a) 记录；(b)再现
1—被照物；2—激光器；3—反射镜；4—扩束装置；5—照相底板

### (二) 全息照相检验设备与方法

1968年世界出现了第一台轮胎全息照相检测装置，当时检验一条轿车轮胎需要12～15分钟。10年后，新的轮胎全息照相无损探伤机逐步完善，更适合于工业化生产的要求。图1-16-34所示设备可检验轿车轮胎、载重车轮胎以及飞机胎，胎圈直径为305～813mm，为了提高效率，还采用了双胎位检测装置，每小时可检验轮胎50～60条。

全息照相检轮胎，是将轮胎在两种不同状态下所显示的全息图，记录在同一照相底板上进行比较。一种状态是轮胎未受外力作用时摄取的全息图，这个全息图上的干涉条纹反映了

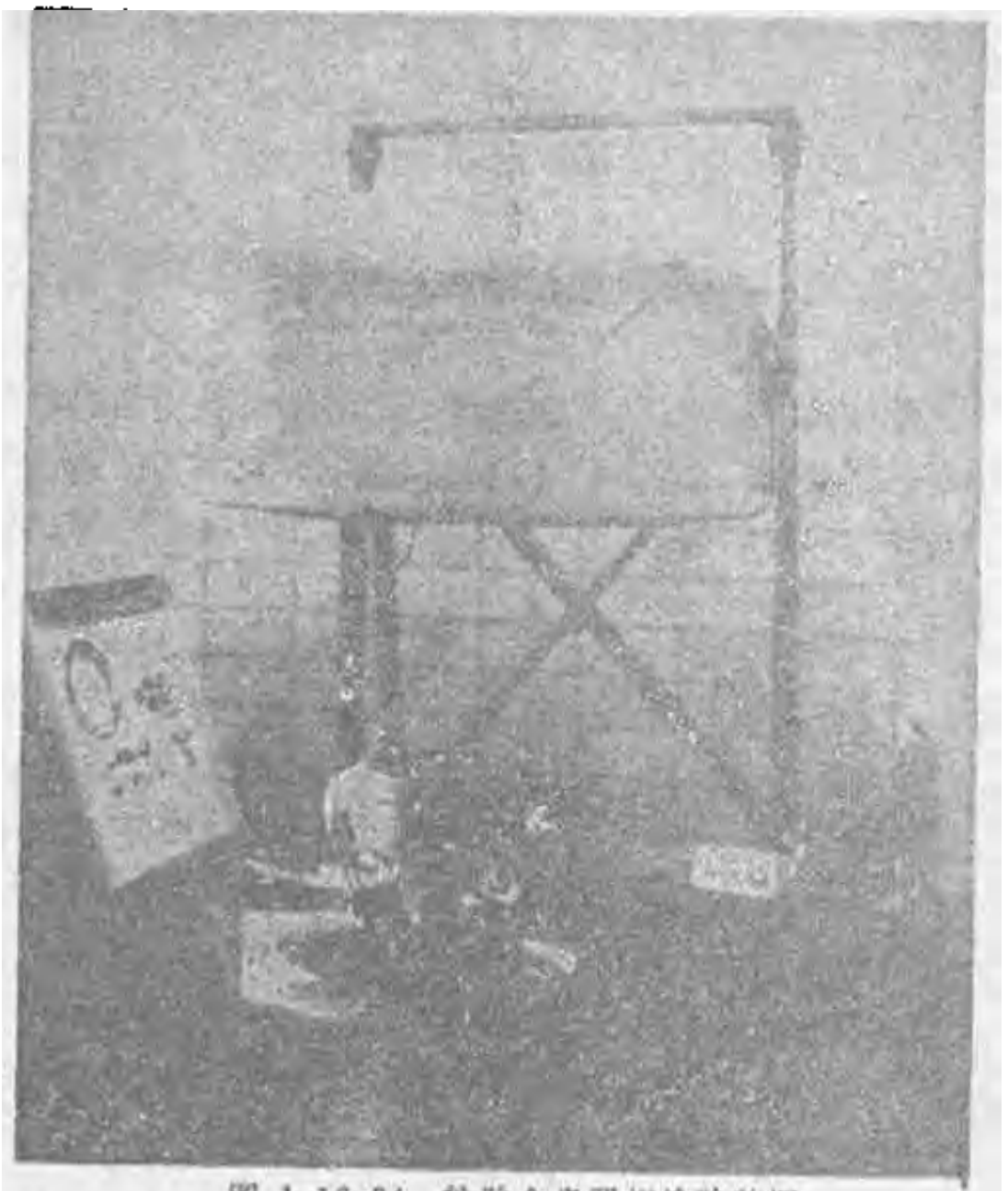


图 1-16-34 轮胎全息照相检验装置

不受外力的轮胎表面轮廓情况。另一种状态是轮胎在受外力作用时取得的全息图，这时轮胎由于受力，其表面发生位移，表面轮廓发生变化，这个全息图上的条纹对前一个全息图的条纹来说，就发生了移动。每个全息图都各自显示出被轮胎表面所反射的光波波阵面，每个波阵面相遇时发生干涉条纹。由于轮胎有一定的形状，所以在同样力的作用下，轮胎各部位所

发生的位移并不相同，因而各部位所对应的条纹的形状和间距也不相同。当轮胎内部结构正常，无异物、无缺陷时，这种条纹的形状是宏观的、连续的，是与轮胎的外形轮廓变化相协调的。但当轮胎结构异常和有缺陷时，则轮胎表面异常部位的应变率与其周边的应变率有所不同，干涉条纹将表现出有局部突变和畸形。因而，可根据条纹的变化和局部畸形，检测出轮胎内部的缺陷，如图1-16-35。观察表面位移的方式有实时法和两次曝光法，轮胎检验大都用后一种方法，即把处于两种不同应力状态下的轮胎两次全息图，先后记录在同一张照相底板上，然后进行处理。为了拍摄轮胎在不同状态下的全息图，必须对轮胎进行加载，使其

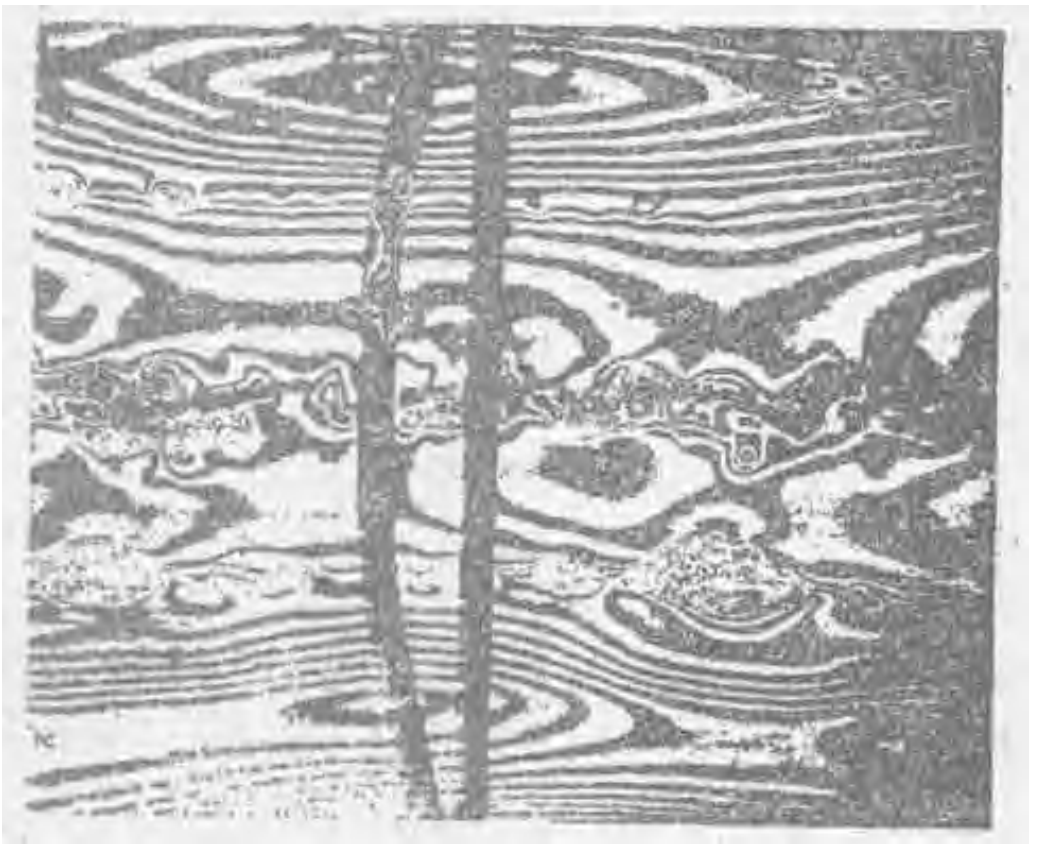


图 1-16-35　用全息照相检验出来的轮胎内部缺陷

产生变形。目前多用真空法，将轮胎置于真空内减压，摄取第一个全息图，待轮胎恢复原状后再摄取第二个全息图。

### （三）全息照相系统技术要求

1．稳定性

对采用连续激光器的全息照相系统来说，因其曝光时间较长，拍摄时如果系统运动，则导致底片上的干涉条纹扰动模糊不清，因此，在拍摄过程中，必须确保整个系统的稳定。从而应注意工作台和轮胎支承架的坚固稳定；反射镜、扩展镜与分束器等光学元件要安装稳定，拧紧适度，拧得不紧易造成不稳定，但拧得过紧会使反射镜内部产生应力，应力扩散也会引起条纹的移动；另外，周围空气运动、系统任何部分的温度变化及噪声干扰，如高声谈话、邻室声响等，都是导致系统不稳定的因素。

2．光源

要求单色性好，相干长度大于物体的尺寸，并有足够的能量和稳定度。由于轮胎体积大，反光性差，因此，要求激光器输出的激光相干性要好，功率要大，光源要稳定。

3．底片

最好是分辨力高，感光速度快，而且能多次反复使用。在进行全息照相时，要根据底片的分辨力，来确定物体光束与参考光束之间夹角的极限值。同时，还应根据底片来选择参考光束与物体光束强度之比。一般说来，比值为4/1～10/1就能得到比较满意的结果。国内天津感光胶片厂生产的全息Ⅰ型，光强比用2/1～3/1为宜。

4．光路布置

欲求得较为理想光路，应尽量做到：光学元件越少越好，因系统中任何一部分微小的变化，都将引起干涉条纹的变化；物体光束与参考光束之间的最大夹角控制在照相底片分辨力的极限之内；采用等光程，以保证有最大的相干性。

## 三、红外线检验

### （一）原理

红外线是一种电磁波，波长范围大约从0.76至760 μ，按照辐射理论，任何物体的辐射能谱和该物体的绝对温度和波长有关。若以$W$表示单位时间内、单位面积上物体在绝对温度$T$时的红外辐射能量，则：

$$W=\sigma\varepsilon\int_0^{\infty} f(\lambda_0,T)\,\mathrm{d}\lambda=\sigma\varepsilon T^4 \qquad (1\text{-}16\text{-}20)$$

式中 $T$——物体的绝对温度；

$\varepsilon$——物体表面的比辐射率；

$\sigma$——斯忒蕃-波尔曼常数（$5.6697\times10^{-12}\mathrm{W\cdot cm^2\cdot deg^{-4}}$）

$\lambda$——物体辐射波长（绝对黑体的辐射最大值所对应的波长$\lambda_{max}$与温度的关系为$\lambda_{max}=2897/T\mu$）。

式（1-16-20）说明，物体的温度越高，物体表面所辐射的能量就越大，红外探测器就是根据这一原理，把物体表面所辐射的一部分红外线接收下来，并转换为电信号，再进行记录或显示。

### （二）检验方法

（1）轮胎运转时检验　此法是将被检验轮胎安装在转鼓试验机上，在规定的负荷和速度下运转。如果轮胎内部存在缺陷，则因其相互摩擦产生热量，导致轮胎表面形成“过热点”。相反，轮胎内部无缺陷，其表面的红外辐射是均匀的。

（2）在轮胎冷却时检验　轮胎从硫化模取出后，如存在缺陷，则内部缺陷会阻挡热量从内往外传递，因而会使表面变得冷些，即形成“过冷点”。反之，轮胎表面红外辐射是均匀的。

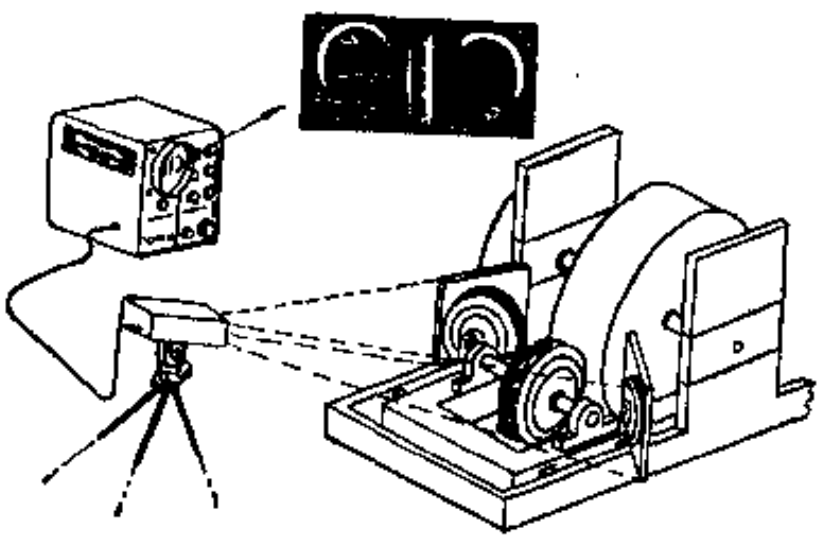


图 1-16-36　红外线探伤仪检测系统

（3）有效加热轮胎　用外部热源辐射轮胎，造成瞬变热流。如果轮胎内部有缺陷，则会阻挡热量由外向内传递，形成“过热点”。

### （三）试验装置及结果

使用红外摄影机检验轮胎内部缺陷的试验如图1-16-36所示。红外探测系统对被检轮胎视区进行扫描，并把探测器的输出信号输入阴极射线管，结果在阴极射线管屏幕上呈现出来。“热谱图”显示出白色、灰色到黑色的变化。白色表示较热的部分，黑色表示较冷的部分。在这中间的过渡温度显出灰色的变化。根据热谱图及其颜色变化，即可找出缺陷存在的位置及大小。用红外探伤器检测方法可检测的温度变化为0.2℃，这就能找出轮胎的过热点和过冷点，确定轮胎内部的缺陷。

## 四、超声波检验

### （一）原理

超声波是一种频率为20000Hz以上的高频机械波，由于其波长短并具有较好的方向性，能成射线定向传播，加之超声波在液体和固体中的衰减很小，因此穿透能力很强。尤其在不透光固体中，超声波能够穿透几十米的厚度，而且碰见杂质或分界面就会有显著的反射。根据这一原理，人们用它来检测物体内部的均匀性及气孔、杂质等缺陷。

超声波的产生是根据某些晶体的压电现象，例如石英晶体，在机械力的作用下，发生压缩或拉伸变形时，受力的两表面就发生异性电荷，使两表面产生电位差或电场（正电压现象）。相反，此时如果石英的两表面上也建立一个电位差，则两表面间的距离就缩短或伸长，视电场的方向而定（逆电现象）。由此可见，利用石英的逆电现象，可以将电振荡变为机械振动，面产生超声波；反之，利用石英的正电现象，又可以将机械振动变为电振荡而接收超声波。

### （二）试验仪器

超声波的发生器和接受器（又称探头）系由若干石英薄片组成，这些薄片并联在一起成为一整体。在薄片的两表面上镶以M和N两块铁片，来降低石英片的固有频率，使石英片和铁片的整体固有频率能够适合产生超声波的条件。如果将铁板连到一个高频振荡器上，并调节其频率，使其与整体的固有频率相等，整体就发生机械振动，并发生平面波型的超声波。此外，在外来超声波的作用下，石英薄片和铁片也发生机械振动，而产生交变电压接收超声波。用超声波检验物体就是根据超声波从发射到接收所用的时间和强度的大小及接收波的波形来断定被检物内部缺陷的大小和均匀度。

国内广东省汕头超声电子仪器厂生产的CTS-10型非金属超声检测仪，即可用于轮胎、橡胶制品等的探伤。该仪器由石英主振器和同频高频时标发生系统、延迟触发扫描和扫描发生系统、延迟激发发射和发射脉冲发射系统衰减器，以及接受电路、显示电路和电源等七个部分组成。超声波的工作频率为30，50，100，500kHz和自振五档，扫描范围为15～4000μs，显示时标分周期为2,10,50,250和2000μs，衰减器$10^{-1}$，$10^{-2}$，$10^{-3}$，$10^{-4}$dB。

### （三）用超声波检测轮胎

根据超声波可穿透一般电磁波所不能穿透的物体并能在两界面上反射这一特性，如果物体内部有气孔、杂质、脱层或其它缺陷及不均匀性，就会大大地减弱它的强度。为了防止两换能器与被测试件接触不良面引起过高的能量损失与缺陷混淆而得出错误结果，由于能量在橡胶中被强烈吸收，可选用较低的频率，一般为50～100kHz。

虽然轮胎结构上的变化使得超声波检验结果随着轮胎设计而变化，但仍有一些共同的特性，其中包括橡胶本身的声学性能。从表1-6-33中可以看出，超声波检验最主要的障碍是橡胶对超声波的巨大衰减作用。声频的下降使得较多的声能可以穿透橡胶和橡胶组成物。在波长方面的相应增大或干扰的物理范围增大都会导致立体分辨能力的损失。例如，在橡胶中，当声频在1MHz时，波长为1.5mm；而当频率降低到$1\times10^{6}$Hz时，波长可增大到15mm。

水和橡胶几乎具有相同的超声速度和密度，具有近似的声学阻抗值。因此从水进入橡胶介质的超声能是相对有效的。例如，对水—橡胶界面来说，仅密度反射系数就达$3.6\times10^{-2}$，这意味着96%的能量将进入橡胶中。因此，轮胎的超声波无损检验应以水为介质，但因为检验后消除水所带来的麻烦而使这一技术推广得相当缓慢。

表 1-16-33 橡胶及其组成物的声学性能

| 材　　料 | 1MHz频率下的衰减 | 速度，$10^3$cm/s |
|---|---|---|
| 炭黑填充天然橡胶的硫化胶 | 3.85dB/cm | 1.53 |
| 预硫化胎面胶 | 3.35dB/cm | 1.40 |
| 粗粒炭黑填充天然橡胶的硫化胶 | 12.0dB/cm | 1.40 |
| 两层汽车轮胎 | 绝对损失30dB | 1.47 |

# 第八节　噪声与振动试验

## 一、噪　声　试　验

汽车的噪声主要来自发动机、传动机构、排气、车身骚扰空气以及轮胎等。随着汽车速度的增加、噪声越来越大，严重地危害着人们的健康，从而引起社会的重视和研究。

### （一）轮胎发生噪声的基理

轮胎与道路之间相互作用产生声响的主要基理如下。

（1）胎面或道路的空腔形成“泵气效应”（Airpumping）　当轮胎接触地面时，胎面或道路空腔里聚集的空气突然外流，而轮胎离开道路接触面时空气又突然流入。

（2）胎体振动　胎体和胎面被道路粗糙部分的激励造成振动或胎体本身振动。

（3）根据空气动力学，轮胎噪声有以下三方面：①“转盘”（Spinning　Dise）噪声；②空气紊流对整个或部分轮胎的撞击；③路面浮动空气的撞击。

胎面花纹噪声（胎面花纹发生噪声的机理与上述理论是一致的）频率可采用经验公式（1-16-21）计算：

$$f=\frac{V\cdot n}{3.6\times 2\pi r} \tag{1-16-21}$$

式中　$n$——轮胎圆周上的沟槽数；

$r$——轮胎有效半径，m；

$V$——行驶速度，km/h。

### （二）轮胎噪声测量方法

汽车轮胎噪声测量仪器与其它噪声测量仪器完全一致，都是将其所发生的声响，通过仪器转换为与之成比例的电量参数，然后进行读数显示和记录。但在测量方法上，机动车（包括汽车）噪声测量则有自己的标准。

1．噪声测量仪器与组合

（1）声级计　是一种测量声压级的轻便仪器（见图1-16-37），可单独使用，并能不致分辨出声音的“声压级”。但该仪器只能测得一个脉冲信号，对分析研究不能提供更多的数据。它由拾音器、放大器、计数网络，指示电表等部分组成（如图1-16-38）。

拾音器（也称麦克风）有晶体式、动圈式、电容式数种。晶体式具有结构简单、价格低廉，灵敏度高等优点，但有不耐高温（>45℃）、不耐高湿（>85%）、怕振等缺点。电容式拾音器则是一种较好的拾音器，它具有体积小，频率响应宽，频率特性平直，在高、低温及长

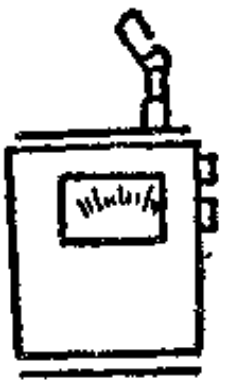


图 1-16-37　声级计外形示意

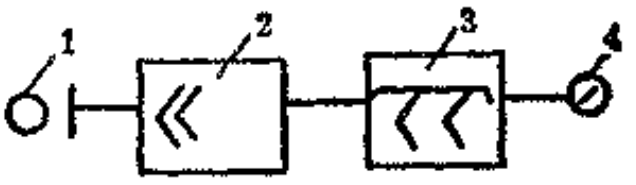



图 1-16-38　声级计构造示意

1—拾音器；2—放大器；3—计数网络；4—指示电表

时间使用下性能稳定等优点，但价格较贵。一般多与精密声级计配用。

（2）频谱仪　是一种分析声音频谱特性的仪器，由多组滤波器组成，可用来进行噪声频谱分析。声压级与频率的关系曲线见图1-16-39，表示声源特性，称为频谱。

滤波器的频带宽度有1/1，1/3……1/6倍频几种。在进行轮胎噪声频谱分析时，多采用1/3倍频程分析仪。“实时1/3倍频程分析仪”能将测量的任意复杂或脉冲信号的频谱，以实时阴极射线管显示，从而大大方便了频谱分析。

一般将拾音器、精密噪声计和1/3倍频程分析仪组合起来（如图1-16-40）进行噪声测量。若用来进行频谱分析，只有在多次重复试验条件（例如在转鼓试验台上试验）时才能达到目的。如果频谱仪有足够的电压放大时，也可不用精密噪声计。

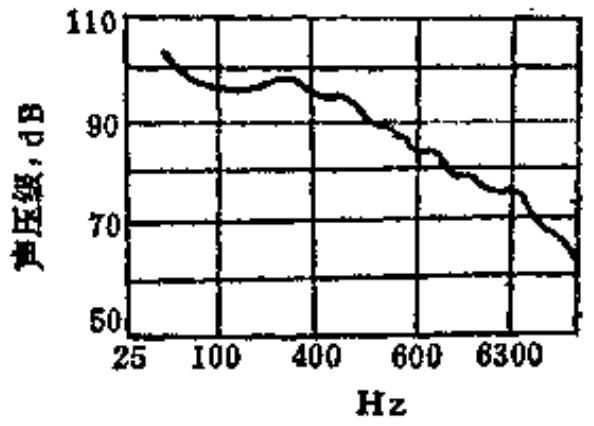



图 1-16-39　声压级与频率关系曲线

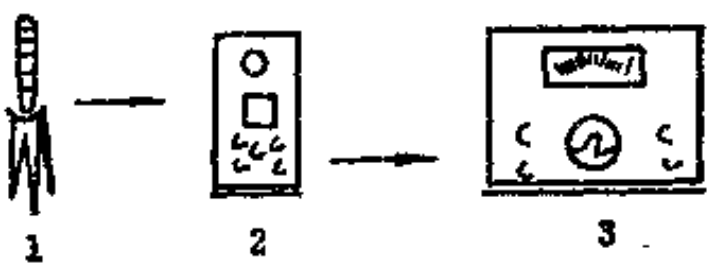



图 1-16-40　噪声测量仪器匹配示意

1—拾音器；2—精密噪声计；3—1/3倍频程分析仪

（3）记录仪和录音机　在测量恒定噪声时，为了快速而准确地分析频谱，常常使用记录仪与磁带录音机，用记录仪可将声音的频谱直接绘制并记录下来。

对于“瞬态噪声”（如轮胎噪声的场地测量），则需用优质录音机将噪声录在磁带上，然后在实验室“还音”给频谱仪，进行频谱分析。对优质录音机的要求主要是频率特性好（即300～7500Hz范围内，频率特性曲线比较平直），动态范围大于50dB，这样才能保证“还音”与“录音”时的频率特性一致。在录音过程中多用环形磁带，这样更方便“还音”和频谱分析。

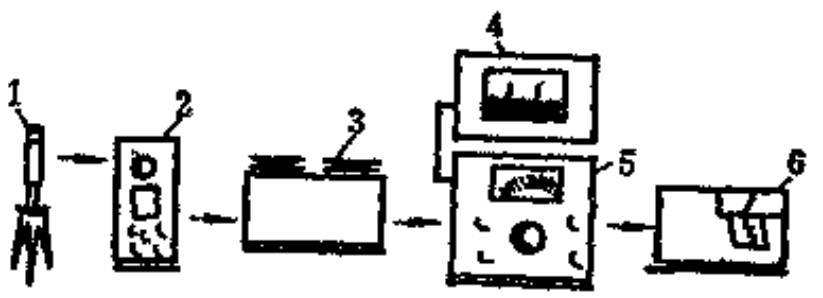



图 1-16-41　具有记录仪的噪声测量仪器匹配示意

1—拾音器；2—精密噪声计；3—录音机；4—实时分析仪；5—1/3倍频程分析仪；6—电平记录仪

记录仪则应选用“电平记录仪”。它与示波器记录仪的不同点在于它是以记录包络曲线为特点的，具备记录仪的噪声测量仪器组合如图1-16-41所示。

2．轮胎噪声的室内测量

轮胎噪声的室内测量一般需要具备三个条件：一套完善的测量仪器，专用试验台；隔声与消声室。第一项前面已作了介绍，现就后两项分述如下，

（1）专用试验台　目前噪声室内测量专用试验台，仍大量使用转鼓试验台。室内转鼓试验台的优点是：试验条件易控制，干扰少，试验结果重现性好。国内常用的轮胎试验机即耐久性转鼓试验机。为了模拟不同粗糙度路面对胎面花纹所造成的影响，转鼓表面有的可换3～5种结构。

（2）隔声与消声室　噪声的室内测量，一般都需要有一个隔声、消声良好的试验室。因为声源在室内发声后，向四面八方传播时，声能将被界面反射、吸收与透射。这三者的关系是：

$$\alpha + \beta + \tau = 1 \qquad (1\text{-}16\text{-}22)$$

一般来说，吸收系数$\alpha$与反射系数$\beta$所占比例大，直接影响室内声学状态。因此建立噪声试验室要求尽力提高吸收系数$\alpha$。凡是$\alpha > 0.2$的均为吸收材料。而消声“尖劈”若长0.6～1.5m，其吸收系数可达0.99。由于它的消声效果好，要求高的消声室在四面墙、五面墙装上如图1-16-42所示的消声尖劈。为了隔声，不让外面的声音透射进来，要做成双层墙，中间以空气为介质。

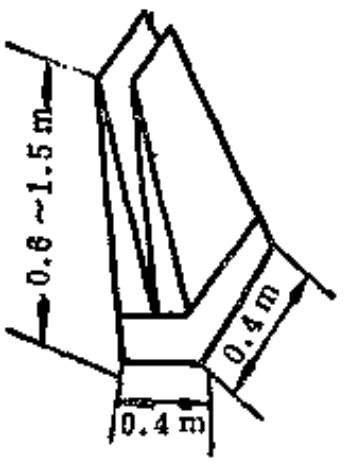


图 1-16-42　消声“尖劈”示意

3．轮胎噪声的场地测量

轮胎的噪声场地测量与机动车辆整车的噪声测量方法基本一致。但一般机动车辆比较重视加速行驶及匀速行驶时的车外噪声，而对轮胎花纹研究来说，则更重视匀速行驶，滑行行驶以及侧滑时车外噪声；轿车、公共汽车轮胎还应重视车内噪声等。这种差别的原因，在于研究轮胎花纹噪声时应尽量排除车辆机械噪声的干扰。

车外噪声要求测量场地平坦而空旷，在测量中心以25m为半径的范围内，不应有反射物，如建筑物、围墙等，测试场地路道应有20m以上平直、干燥的沥青路面或混凝土路面。背景噪声（包括风的噪声）应比所测车辆噪声低10dB。并保证测量不被偶然的其它声源峰值所干扰。测量场地及测点位置如图1-16-43所示，车外噪声测量话筒位于20m跑道中心点两侧，各距中线7.5m，距地面高1.2m，话筒接受面应朝向试验车。

滑行与匀速行驶，均按所要求的速度通过试验区段。滑行需将变速杆放到空档位置，匀速则在稳速情况下，力求保持油门不变；侧滑则应圆周行驶，在发生“强烈”噪声时测量并同时记录车辆行驶的向心加速度，以便评价不同轮胎花纹侧滑噪声的优劣。

车内噪声测量话筒位置见图1-16-44，公共汽车还可在车厢中部安置第二话筒。

最后应当注意的是，同一试样应进行两次，取算术平均值。车辆同侧两次测量结果之差不应大于2dB，否则应重新试验。此外在噪声测量过程中，除认真记下声源的声压和频谱外，还需详细记下测量时的如下有关技术数据及有关资料：

① 测量对象及其主要参数；

② 测量用的仪器型号、序号；

③ 背景噪声及频谱；

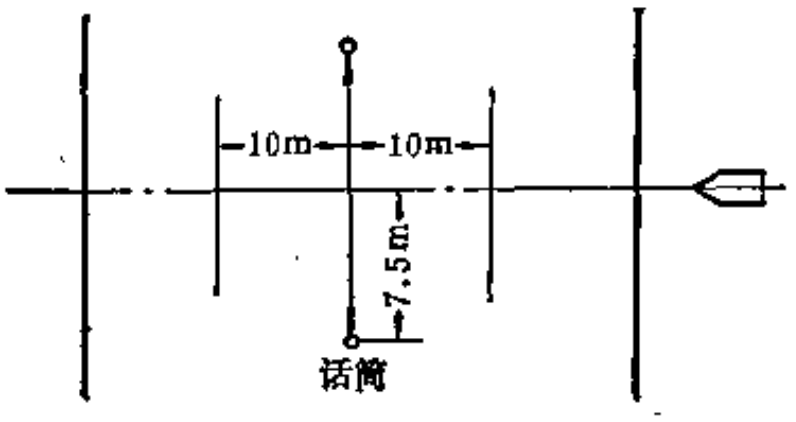



图 1-16-43　车外噪声测量场地示意

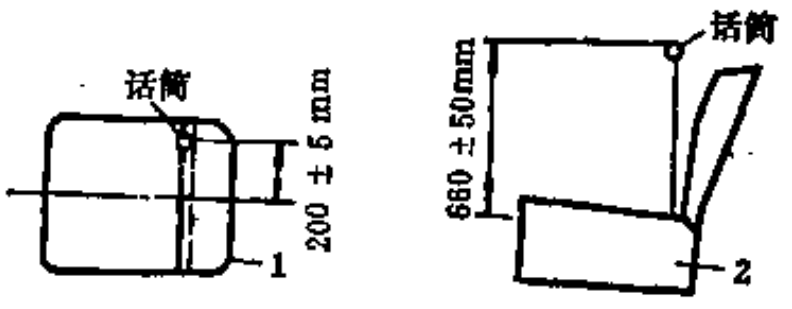



图 1-16-44　驾驶室内车内噪声测量点位置

1—驾驶员坐椅俯视；2—驾驶员坐椅侧视

④　测定位置、平面图及话筒的取向；

⑤　测量环境的描述（试验室尺寸、材料及条件）；

⑥　气象条件（温度、湿度、气压等）。

**（三）汽车轮胎噪声举例**

汽车轮胎的噪声是多方面的，在这里着重介绍轮胎胎面花纹所引起的噪声测量。

三种近似规格（A：8.90-15；B：215/70VR15；C：215R15）轿车轮胎胎面花纹噪声的对比　试验是在室内转鼓试验台上进行的，速度为100km/h，标准气压和标准负荷。从图1-16-45三种胎面花纹的噪声频谱曲线可以看出，在低频时与背景噪声（转鼓的噪声）很接近，难于分辨。频率在1000Hz以上，轮胎胎面花纹噪声高于背景噪声，但三者比较接近。频率到2000Hz以上时，则以A花纹较优越，其余两种较接近。

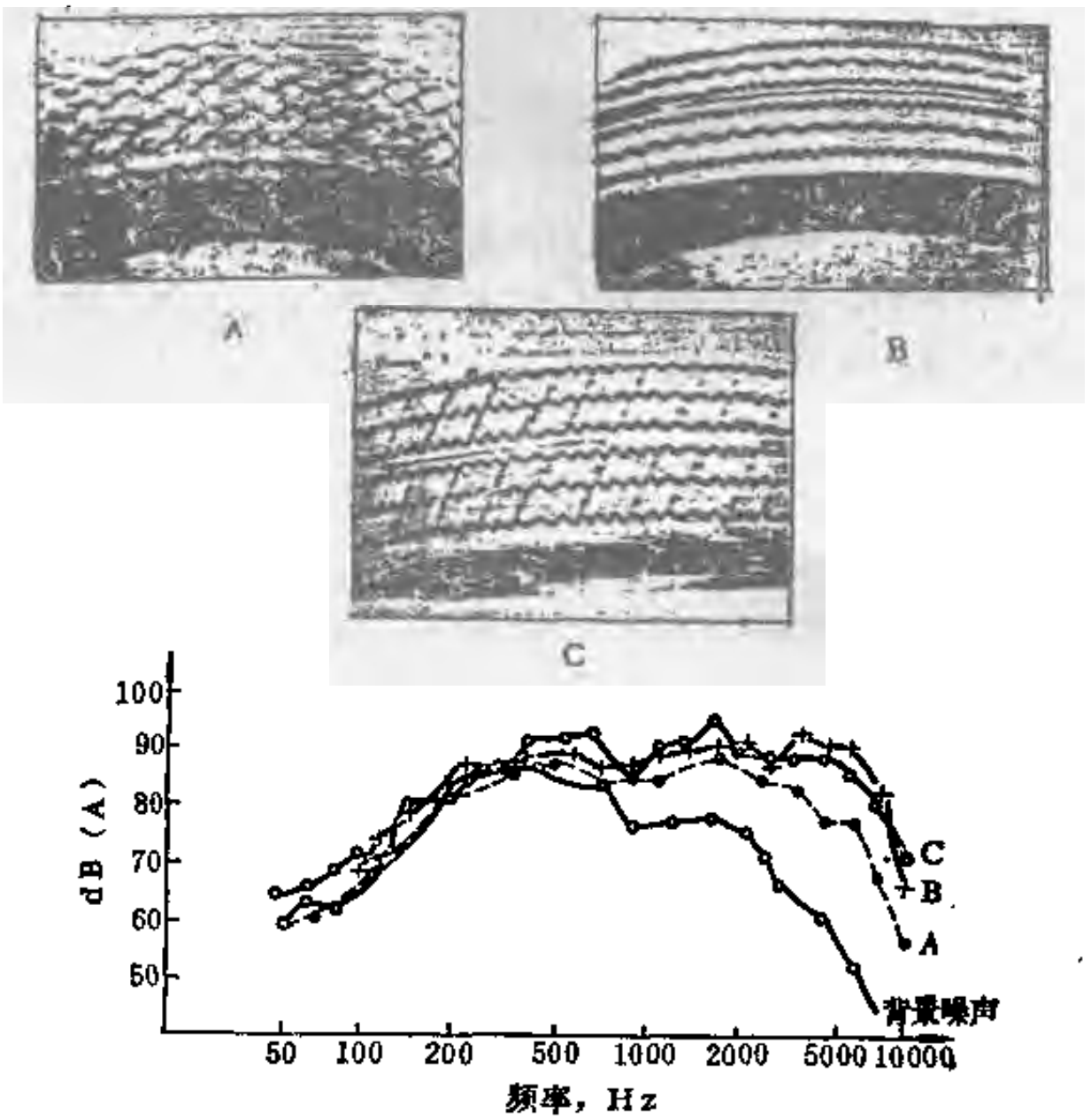



图 1-16-45　不同花纹轮胎在转鼓试验机上噪声频谱曲线

按场地轮胎噪声测量要求，在混凝土路面上，三种不同胎面花纹轮胎噪声对比结果见图1-16-46。由图可以看出，当车速在100km/h以下时，轿车胎三种花纹与转鼓试验台的趋势是一致的，即A种花纹噪声最小；B最大；C中等。但车速在100km/h以上时，情况则有所变化。一般说来，当车速增大一倍时，声级约增大9～14dB，而各试验对象的这种噪声增长率略有不同。

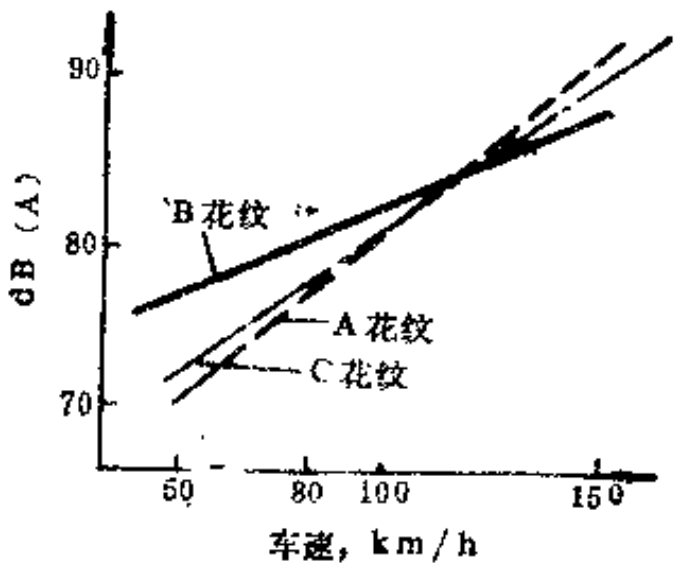



图 1-16-46 混凝土路面轿车胎花纹噪声对比
（新胎，7.5m处测量）

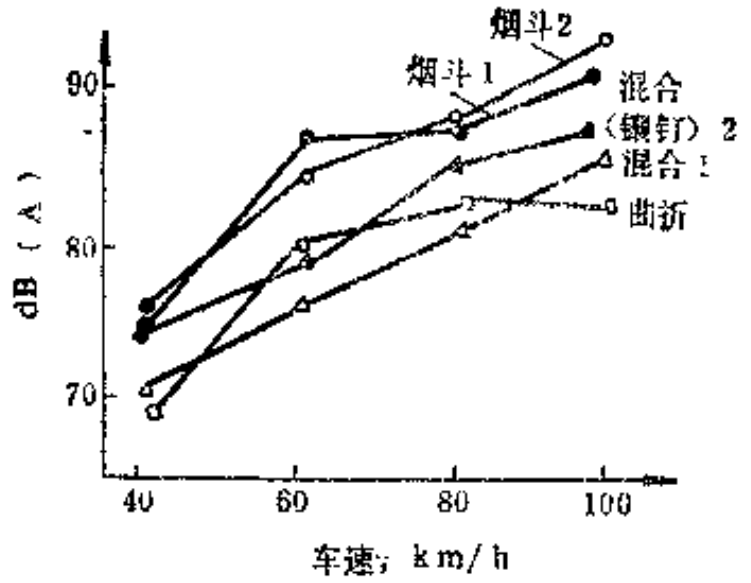



图 1-16-47 柏油路面载重车胎花纹噪声对比

载重车胎胎面花纹噪声见图1-16-47，可看出横向花纹具有噪声大的趋势。从烟斗（1）、烟斗（2）和混合（1）、混合（2）的噪声也可看出，同类型胎面花纹的不同设计，噪声效果也有差异。

**（四）汽车轮胎噪声测量影响因素**

1．拾音器位置

汽车轮胎噪声测量必须严格按照标准规定的话筒位置和高度，否则会影响测量结果。如果话筒位置相差一倍噪声测量值约低5～6dB（详见表1-16-34）。此外，由于国外（如美国、日本）标准不尽一致，在查阅资料时也应注意。

表 1-16-34 拾音器不同位置噪声值对比

| 10.00-20,14PR胎面花纹 | 不同拾音器位置所测噪声，dB(A) | | 两者相差，dB(A) |
|---|---|---|---|
| | 7.5mm | 15mm | |
| 横　向 | 85.2 | 79.9 | 5.3 |
| 混　合 | 78.4 | 72.2 | 6.2 |
| 曲　折 | 79.0 | 73.3 | 5.7 |

2．噪声测量路面

试验路面的粗糙度和干湿均影响噪声的测量结果，因此需要特别予以注意。由路面的粗糙度引起的轮胎噪声变化程度约7dB左右。如图1-16-48在100～1600Hz之间，平坦路面上的声压水平较低。可见路面的影响是很大的。

湿路面比干路面噪声大10dB左右，这是因为在湿路面行驶，溅水噪声造成假噪声值的缘故，与花纹的关系不大。因此，规定雨天或有水的湿路面不进行噪声测量。

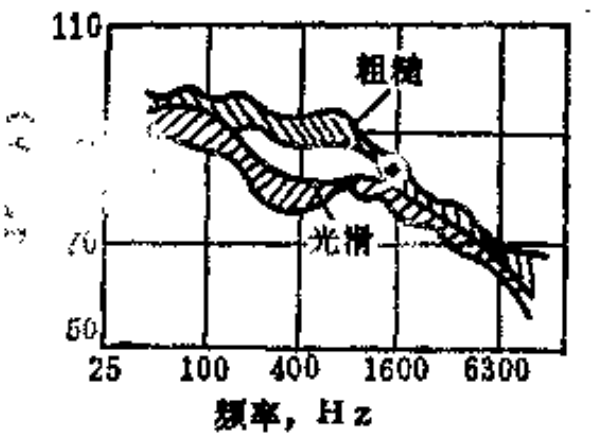



图 1-16-48 路面粗糙度与轮胎噪声频谱的关系

## 二、振 动 试 验

汽车在行驶中，由于路面不平或其它种种原因，会使汽车产生振动，除轮胎以及汽车悬架吸收一部分之外，剩余部分会影响到汽车的平顺性、操纵稳定性和噪声。因此，为了分析研究轮胎吸收振动的水平，促使了轮胎振动试验的开展。

### （一）振动的基本概念

在近代动力学基础理论中，频率-频率特性分析（即频率法），占有重要地位。所谓频率特性，系指线性系统在各种频率下输入与输出的关系。通常用输出与输入的振幅来表示幅值关系，称为幅频特性。因此，在振动试验中，首先要了解振幅、频率和相位三要素。

振幅是指轮胎振动时偏离平衡位置的最大距离。轮胎在行驶中的振动，一般是在外力作用下所产生的强迫振动。

频率是指在单位时间内的振动次数，以Hz表示。

相位在振动试验中有很重要的意义，相位的具体含义参看图1-16-49，$OC$与$OA$间的夹角为$\alpha$，表示$OC$较$OA$滞后$\alpha$角，$\alpha$就称为振动的“相位角”或“相位”。

### （二）试验仪器及应用

在轮胎试验之前，应先了解各种测振器如测振仪、拾振器（传感器）、示波器的工作性能，以便正确使用仪器，保证试验准确。

1．测振仪

GZ-2型测振仪可同时对六个不同信号进行位移、速度和加速度的振动试验。仪器可接电压式、磁电式等各种类型的拾振器，以适应各种不同情况下的使用要求。仪器的输出可连接高、低内阻示波器，以观察所测轮胎的振动结果，并可进行远距离多路的振动测试。GZ-2型测振仪的方框图如1-16-50所示。

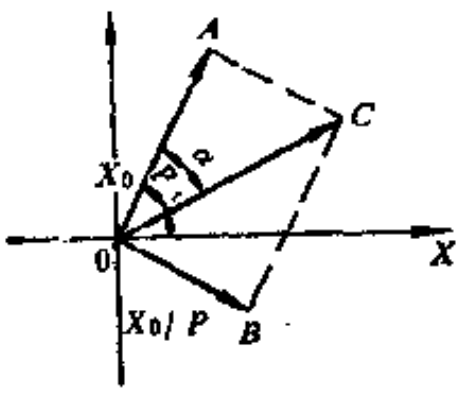



图 1-16-49 相位的含义

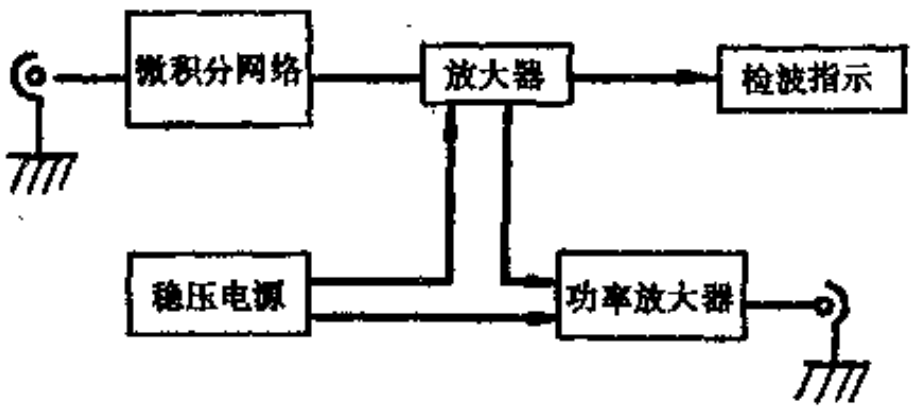



图 1-16-50 GZ-2型测振仪示意图

当使用磁电式速度拾振器时，其信号首先要通过GZ-2型测振仪的无源微积分网络，微分后通过放大器，被显示和记录下来。GZ-2型测振仪只能给出有效值。当被测动是简谐运

动时，将所测有效值按规定乘以常数即可得单峰值。

该测振仪由于有电压输出，因此可接至阴极射线示波器上，以观察波型。同时它又有功率输出，因此也可以接至各种记录仪上，把振动波型记录下来。

2. 拾振器

磁电式拾振器是一种速度型拾振器，将所产生的信号直接放大，即可测量速度。国内轮胎试验一般都采用这种拾振器。

电磁式拾振器的磁回路中装有永久磁钢，线圈与磁钢相对运动而产生感应电动势。根据感应定律，此感应电动势与拾振器中线圈对磁场的相对速度成正比。

试验时，把拾振器外壳紧固于[illegible]试验台上，使其顶杆顶住与轮胎相连的不旋转轴，这样，两物体之间由振动而引起的相对运动，必然导致磁钢和线圈之间的相对运动，于是线圈切割磁力线，发生正比于振动速度的电势。该电势输入GZ-2型测振仪，便可在表针上指示出其振幅及加速度的大小。

### （三）试验举例

振动试验分别用215R15、215/70VR-15子午线轮胎和8.20-15斜交胎，进行有障碍物与无障碍物对比试验，（障碍物高10mm）。对比试验结果见表1-16-35和表1-16-36。

从试验结果表明，不同气压有障碍试验时，斜交轮胎8.20-15较好，215R15中等，215/70VR-15较差。无障碍物试验215/70VR-13较好，8.20-15中等，215R15较差。

表 1-16-35 有障碍物振动试验结果

| 负荷 kN (kgf) | 气压 kPa (kgf/cm²) | 振动值（振幅），mm | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 8.25-15 | 215R15 | 215/70VR15 |
| 6.17(630) | 216(2.2) | 24.0 | — | — |
| | 245(2.5) | 23.3 | 31 | 25.8 |
| | 275(2.8) | 26.8 | 31 | 29.0 |
| | 304(3.1) | 27.8 | 34.5 | 37.8 |
| 7.15(730) | 216(2.2) | 26.0 | — | — |
| | 245(2.5) | 26.5 | 36.5 | 32.0 |
| | 275(2.8) | 28.5 | 30.0 | 30.8 |
| | 304(3.1) | 28.8 | 32.0 | 39.0 |

注：试验速度为100km/h。

表 1-16-36 无障碍物振动试验结果

| 轮胎规格 | 气压 kPa (kgf/cm²) | 振幅峰值，mm | | | | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 8.20-15 | 216(2.2) | 5<br>6 | 3<br>3 | 5<br>5 | 3<br>3 | 最高与最低相差1倍 |
| 8.20-15 | 245(2.5) | 5<br>6 | 3<br>3 | 6<br>7 | 3<br>3 | 最高与最低相差1.3倍 |
| 215R15 | 245(2.5) | 4<br>5 | 12<br>11 | 6<br>7 | 5<br>5 | 最高与最低相差3倍 |
| 215/70VR15 | 245(2.5) | 8<br>7 | 6<br>6 | 7<br>7 | 8<br>7 | 最高与最低相差0.3倍 |

描述振动最直接的方法是用图表曲线或数学式，将相对测量点的瞬时位移、速度或加速度值以时间的函数表示出来。由轮胎的频率可知（见图1-16-51），结构不同的轮胎频率变化也不同。

**（四）试验误差**

（1）电路误差　以积分电路为例，由于无原微积分网络带来有规律的误差，即系统误差，因此，对所测数据应按照仪器出厂所给的校正曲线予以修正。

（2）为了消除转鼓试验台非平行移动所带来的误差，在标定工作中，都必须采用对称法，即互易法。所谓互易法就是每个试验都必须进行两次，在这两次试验中，其它条件不变，只是将拾振器的位置和光栅的位置互易，而后将两次所得结果予以平均，这样可消除试验台上安装拾振器和光栅两处运动不一致所带来的误差。

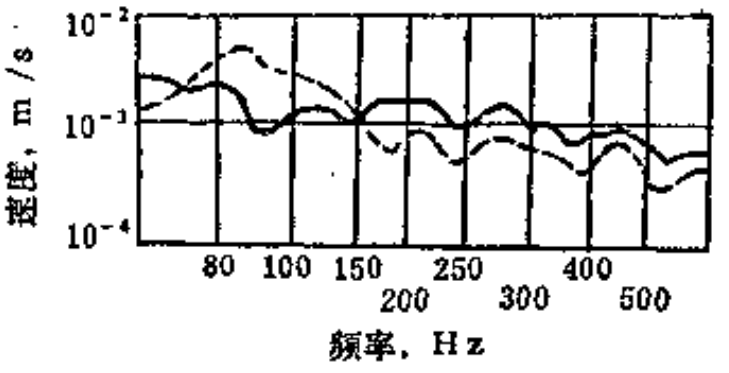



图 1-16-51　子午线与斜交轮胎振动特性比较
——斜交 ……子午胎

## 第九节　功率损失试验

在正常使用条件下，消耗在轮胎滚动上的功率约占汽车发动机总功率的25～30%。因此，开展功率损失试验，无论是从节约的观点或是改善汽车性能方面来讲，都具有重要意义。另外，功率损失试验在鉴定轮胎的使用性能，以及研究改进与提高轮胎的质量方面，也有着实际应用价值。

轮胎功率损失试验包括：轮胎静态滞后损失试验、轮胎滚动损失试验和轮胎耗油试验。

### 一、静态滞后损失试验

1．原理

轮胎滚动损失主要消耗在轮胎与路面的变形上。对硬路面来说，其变形极小可忽略不计，这时损失的能量即轮胎变形的结果。由于橡胶轮胎为非理想弹性体，具有粘弹特性，当轮胎屈挠变形时，就会产生粘弹性阻尼，这种阻抗会消耗一部分能量，并转变为热能。轮胎由此而引起的不可逆现象，称之为弹性滞后。由弹性滞后而造成的能量损失，称为滞后损失。轮胎静态滞后损失是指测定轮胎在静负荷作用下的滞后损失。

2．试验设备与方法

轮胎静态滞后试验可在国产$J_{Z-1}$和$J_{10-1}$型静负荷试验机，以及国产LYT-Ⅱ型强度与脱圈试验机上进行。这类试验机均配备$X$-$Y$函数记录仪。当施加在轮胎上的载荷变化时，其压缩与伸张变形也随着发生变化。试验时，将拟定负荷逐步递增，施加于轮胎上，直至最高负荷；然后，再逐步递减，负荷降至零位。这时$X$-$Y$函数记录仪将绘制出滞后环形曲线，由环形曲线形成的面积，即可评价不同轮胎损失的功。LYT-Ⅱ型试验机，由于采用了微机进行数据处理，可以将滞后环形成的面积经计算直接打印输出，从而提高了精度，也方便了操作。

3．试验结果举例

按上述试验方法测出6.50-16轮胎不同气压的滞后损失见表1-16-37。用此方法，可研究不同结构轮胎、不同材料制成轮胎的滞后损失对比。

表 1-16-37　轮胎不同气压滞后损失对比

| 规格 | 层级 | 材料 | 负荷,kN(kgf) | 气压,kPa(kgf/cm²) | 滞后损失,N·m(kgf·cm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 6.50-16 | 10 | 尼龙 | 9.807(1000) | 390(4.0) | 63.7(650) |
| 6.50-16 | 10 | 尼龙 | 9.807(1000) | 490(5.0) | 40.0(408) |
| 6.50-16 | 10 | 尼龙 | 9.807(1000) | 590(6.0) | 21.0(245) |

## 二、滚动阻力试验

1．轮胎滚动阻力产生的机理

轮胎滚动阻力是指纵向反作用力，即轮胎输入能量而不做有用功的那一部分。橡胶的粘弹性、滚动轮胎作用于地面的力，以及轮胎结构力学、驱动时的损失、侧滑时的损失等，构成轮胎滚动阻力的基础。通常为了简化上述复杂的详细说明，而按图1-16-52用计算公式(1-16-23)表达。

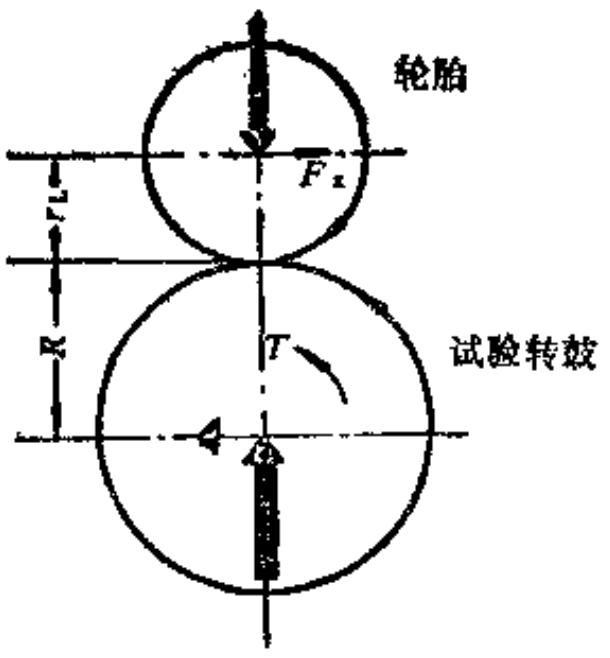



图 1-16-52　轮胎滚动阻力测试图示

$$F_R = F_z\left(1 + \frac{r_L}{R}\right) \qquad (1\text{-}16\text{-}23)$$

式中　$F_R$——轮胎滚动阻力，N；

$F_z$——试验轮胎心轴纵向力，N；

$r_L$——轮胎负荷下半径，m；

$R$——试验机转鼓半径，m。

2．轮胎滚动阻力的测量方法

轮胎滚动阻力的测量方法比较多，归纳起来主要有以下四种。

（1）惯性法　使用已知转动惯量的转鼓，给试验胎施加径向负荷，以规定速度行驶，稳定后，切断电源，或用离合器切断电机与转鼓轴之间的联接，然后测量转鼓惯性运转对时间的减速度（直至完全停止）。该试验方法除升温时间外，大约需要1.5小时，而且随着试验速度提高，试验时间还要延长。为此，这个方法已被淘汰。

（2）驱动轴转矩法　在电机和转鼓轴之间，设置扭矩测量仪，在稳态速度下，直接测量转鼓的驱动力矩。

（3）能量法　转鼓由直流电机驱动，分别测出转鼓空转和有轮胎时所消耗的功，两者之差值，即轮胎滚动阻力所表现的功率损失。

（4）轮胎轴向力测量法　在被试轮胎轴上，安装一个径向与纵向双向力传感器，直接测得轴上纵向力，按式（1-16-23）计算出滚动阻力。这是采用相当普遍的一种试验方法。

3．试验结果举例

（1）斜交轮胎的滚动阻力比子午线轮胎高，9.00-20和9.00R20对比试验结果表明，前者高35～38%；随着速度增加，虽然两种结构轮胎的滚动阻力都增加，但是，斜交轮胎增加得更快，同时可以看出载重车胎9.00-20由40km/h速度增加到80km/h滚动阻力将增加

12～13%（见图1-16-53）。

（2）不同规格子午胎的滚动阻力相差很大（见图1-16-54）；同规格、不同负荷，滚动阻力则随负荷增加而增加（见图1-16-55）。

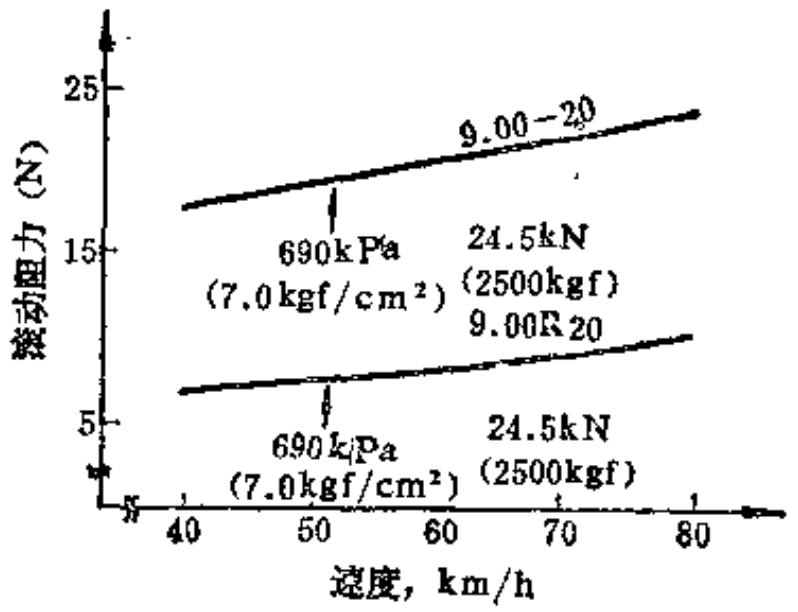



图 1-16-53 斜交胎与子午胎滚动阻力对比

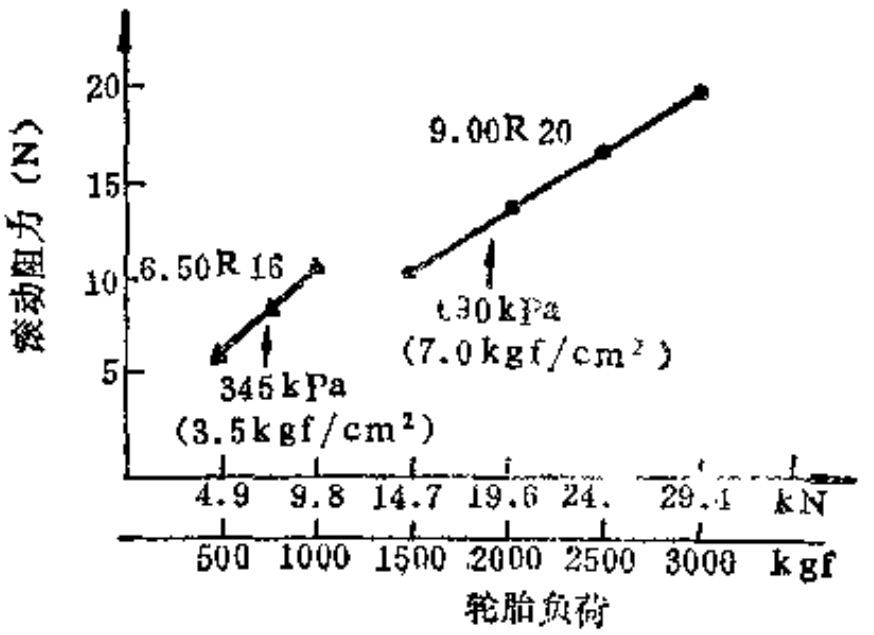



图 1-16-54 不同规格子午胎滚动阻力对比

4．影响因素

在滚动阻力试验中，必须严格控制试验条件，否则会因此而造成试验误差，严重时甚至导致试验的失败。

（1）气压 试验时轮胎的内压的敏感，可定义为：滚动阻力的斜率对内压倒数的函数，图1-16-56是实测的结果。因此，试验过程中最好能自动控制所要求的气压。

（2）温度 滚动阻力试验时环境温度规定为24℃，否则应按式（1-16-24）修正。

$$F_R = F_d[1 + c_t(t_x - t_s)] \qquad (1\text{-}16\text{-}24)$$

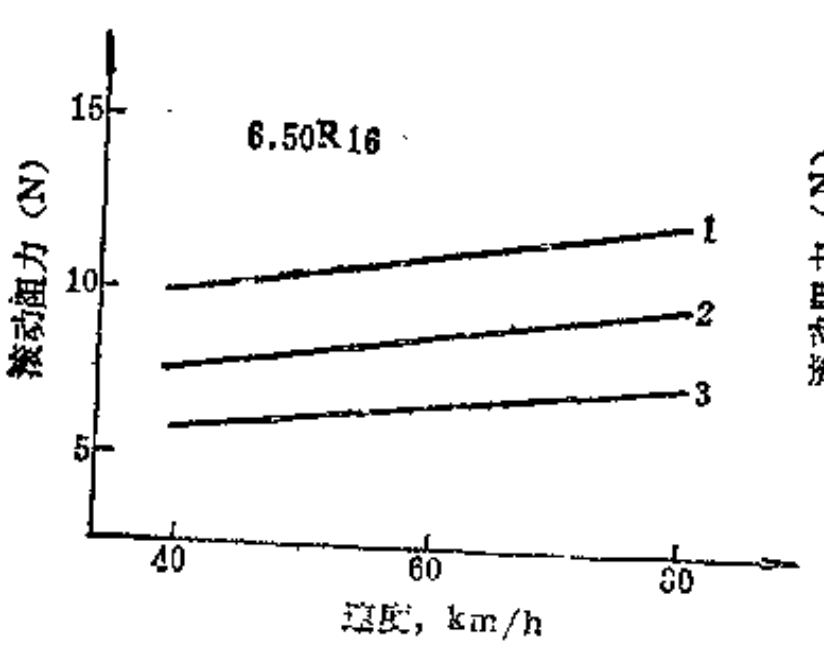



图 1-16-55 6.50R16不同负荷下的滚动阻力

1—负荷8.82kN(900kgf)；2—负荷6.86kN(700kgf)；3—负荷4.90kN(500kgf)

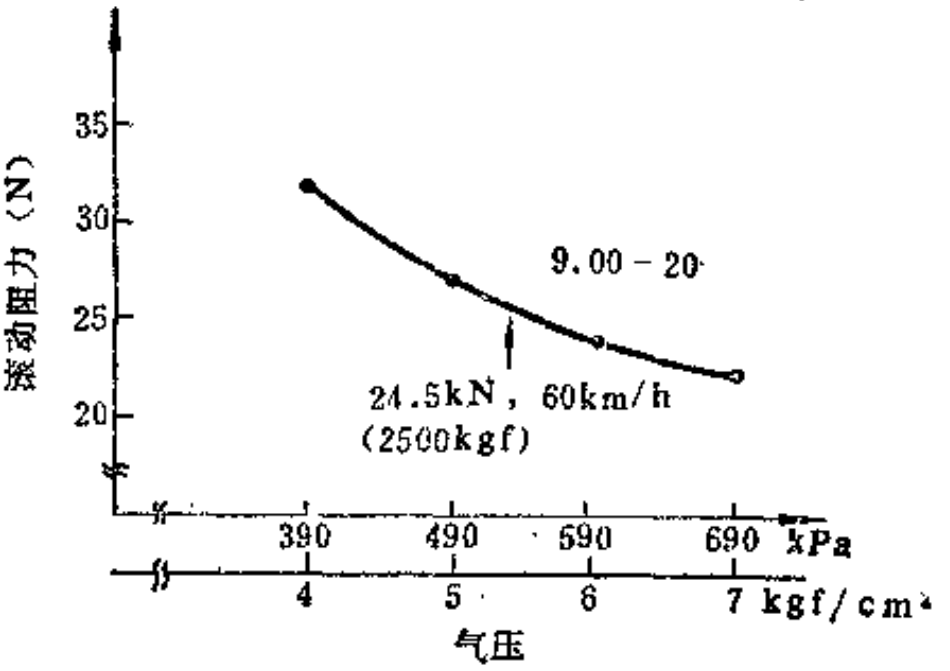



图 1-16-56 气压对滚动阻力的影响

式中 $F_R$——规定温度时轮胎滚动阻力；

$F_d$——非规定温度时轮胎滚动阻力；

$t_x$——试验期间平均温度；

$t_s$——规定温度（24℃）；

$c_t$——温度修正系数（$9\times10^{-3}$）。

修正温度后，将使任何一次试验的温度波动影响小于±3℃。

## 三、轮胎耗油量试验

1．原理

轮胎耗油试验与汽车燃料经济性试验是一致的，前者把车辆有关参数如发动机工作的经济性、汽车的结构参数（重量、传动速比、传动效率、流线型等），为固定的常数，在道路行驶中专门研究轮胎与燃料消耗的关系。后者则研究包括轮胎在内的整车燃料经济特性。

轮胎耗油量试验项目包括（1）测定燃料经济特性、即汽车在稳定工作（即规定档位、车速和路面）情况下，测定各种轮胎单位里程、燃料消耗与行驶速度的关系；（2）测定各种道路的燃料消耗量，即通常所说的不同轮胎百公里耗油对比试验。

2．试验方法

（1）燃耗经济特性试验　该方法又称等速油耗试验，一般使用专门的燃料消耗测量仪，例如双筒流量计、DG100E型油耗计等。试验时，车辆按要求速度进入给定质量平直道路的试验区间时，立即接通开关，当车辆行驶完规定的试验区间（要求500～1000m）时，及时关闭开关，记录仪器显示的数值。试验往返两次，取算术平均值。试验车为直接档，速度按不同要求而定。试验结果以N/100km(kgf/100km）表示。

（2）各种道路的燃料消耗量试验　该试验即各种轮胎长途行驶的耗油测定。试验采用油耗较为准确；也可用称量油箱内试验前后的燃料重量。试验需在100km的给定质量道路上，以同等距离、规定的工况（即各种速度的行驶距离或时间），并在拟定的工况图控制下完成试验，所以又将这种方法称为“工况试验法”。同样，试验取往返两次的算术平均值；试验结果以N/100km(kgf/100km）表示。

3．试验结果举例

表1-16-38是9.00-20不同结构轮胎的等速油耗对比；表1-16-39是9.00-20不同结构轮胎行驶100km的油耗对比，这些试验结果不仅反映了子午线轮胎的优点，面且表示方法直观，因此受到交通运输部门的欢迎。

4．影响因素

①　油耗计正式试验前，须作精确的标定和校正。

表 1-16-38　9.00-20不同结构等速油耗试验结果

| 厂　牌 | 轮胎结构 | 花纹及其深度 mm | 试验气压 kPa (kgf/cm²) | 不同速度时的油耗，N/100km(kgf/100km) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 斜交（尼龙） | 烟斗16.2 | 520(5.3) | 224(22.8) | 243(24.8) | 247(25.2) | 258(26.3) | 278(28.3) |
| 2 | 子午胎（全钢丝） | 烟斗14.2 | 686(7.0) | 203(20.7) | 219(22.3) | 222(22.5) | 229(23.4) | 255(26.0) |
| 3 | 子午胎（纤维胎体） | 纵向11.7 | 637(6.5) | 204(20.8) | 217(22.1) | 224(22.8) | 239(24.4) | 245(25.0) |

表 1-16-39　不同结构轮胎耗油量对比试验

| 厂　　牌 | 轮胎结构 | 花纹及其深度，mm | 试验气压，kPa (kgf/cm²) | 行驶油耗，N/100km (kgf/100km) | 相对节油率，% |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 斜交（尼龙） | 烟斗16.7 | 686(7.0) | 254.5(25.95) | 0 |
| 2 | 斜交（尼龙） | 烟斗15.8 | 598(6.0) | 251.1(25.61) | 1.3 |
| 3 | 子午胎（全钢丝） | 烟斗14.2 | 586(7.0) | 237.7(24.24) | 6.6 |
| 4 | 子午胎（纤维胎体） | 纵向11.7 | 637(6.5) | 235.3(23.99) | 7.6 |

② 试验时，无论是油耗计或试验车辆的有关油路部分，不得有点滴漏油现象，否则必须立即停止试验，待故障彻底排除后，方能重新开始试验。

## 第十节　测 温 试 验

汽车轮胎的寿命及其各种损坏，如帘布脱层、胎面脱层、轮胎内层爆破及崩花等，都涉及到轮胎使用中本身温度的过度增长。因此，对轮胎行驶中温度的测量和研究，引起人们的广泛重视。现按测定方法分类，将轮胎的测温试验介绍如下。

### 一、热电偶测温试验

#### （一）原理

热电偶测温是利用金属材料的热电效应，将两种不同成分的导体或半导体两端相互紧密地连接在一起，组成一个闭合回路（见图1-16-57）。如两连接点a、b处的温度不同($t \neq t_0$)，则此回路中就会产生电动势，形成热电电流，这种热电路称为热电偶。两个连接点中测温的一端称为工作端，另一端称为自由端（也称为冷端）。

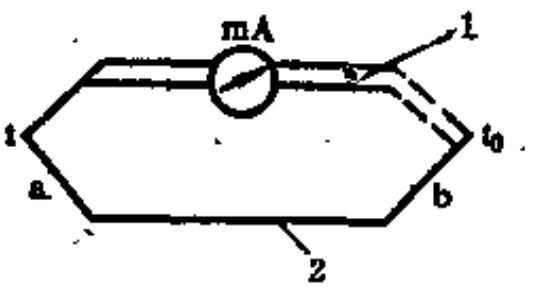



图 1-16-57　由两根不同金属导体或半导体组成的热电偶

1—A导体；2—B导体

任何导体中都有自由电子，而且不同物体中的自由电子密度不同。如图 1-16-57 所示，假设A金属材料的自由电子密度大于B金属，A、B接触后，自由电子扩散，A由于失去的电子较多而带正电，B则反之而带负电，从而形成电场，且在A、B之间产生一定的电位差（此电位差的大小决定于接触温度和两种金属材料的化学性质，但与材料的几何形状、尺寸无关），即：

导体A、B接点在温度 $t$ 时形成电位差$e_{AB}(t)$；

导体A、B接点在温度$t_0$时形成电位差$e_{AB}(t_0)$；

这样，此闭合回路的总电势$E_{AB}(t, t_0)$ 应为：

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{AB}(t_0) \qquad (1\text{-}16\text{-}25)$$

当A、B材料固定后，总电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 是温度 $t$ 和 $t_0$ 的函数差，即 $E_{AB}(t, t_0) = f(t) - f(t_0)$。

如果一端的温度$t_0$保持不变，则$E_{AB}(t, t_0)$ 就成为 $t$ 的单一函数，即：

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t) - c = \varphi(t) \qquad (1\text{-}16\text{-}26)$$

由（1-16-26）式可知，当热电偶的冷端温度保持不变时，则测量某物体所得的热电势

就是被测温度的单值函数。当测得热电势以后，也可由式（1-16-26）反推出温度。

**（二）热电偶的材料和构造**

对热电偶的材料有如下几点要求：

① 受热后，有较高的热电势产生，而且热电势和温度之间成直线（或近似直线）关系；

② 能测量较高和较广的温度范围，在此范围内经过长时间使用后，其热电性质保持不变；

③ 使用时热电偶材料不发生化学和物理性质的改变；

④ 电阻温度系数小，导热性能好，热容量小；

⑤ 材料组织均匀，具有一定的韧性，且价格便宜。

基本符合上述要求的普通金属热电偶技术特性见表1-16-40。

**表 1-16-40 普通金属热电偶技术特征**

| 热电偶名称 | 工作端100℃，冷端0℃时的热电势，mV | 被测温度上限，℃ | |
|---|---|---|---|
| | | 长期连续使用 | 短期运转用 |
| 铂-铂铑 | 4.75 | 350 | 500 |
| 铁-康铜 | 5.75 | 600 | 800 |
| 铬合金-铝铜 | 6.90 | 950 | 800 |
| 铬合金-铝合金 | 4.10 | 1100 | 1250 |

热电偶的种类和外形各有特点，但其结构大致相同。通常一个热电偶由热电极、保护套管和接线盒等几个主要部分构成。

热电极是热电偶的感温元件，可直接由热电偶的两种材料焊接在一起，也可由一对专门选择的材料构成，然后焊接在热电偶上。图1-16-58所示热电极 9 就属于前一种。热电偶的两线之间必须装有绝缘电木（见图1-16-58中 6），使其有良好的绝缘条件，以防短路或线盒内固定着接线板，补偿导线就装在接线盒中。图1-16-58是EF2-02型轮胎测温用针状热电偶的结构。这种国产针状热电偶结构简单，使用方便，并设有热电偶探针深度调节装置。

另一种测温热电偶安装在轮胎转鼓试验机台上。当轮胎试验停机时，由电机将有 5 个热电偶的托架，推向轮胎预定测温位置，使热电偶插入轮胎中进行温度测量，试验完毕后，则由弹簧使针回到原处，测温所需全部时间约30～40秒。这种方法的优点是能重复测量同一部位的温度，而且由于测温时间短促，不会因轮胎冷却或温度重新分布而造成误差。

此外，热电偶插入轮胎胎腔内，通过集流器引出并与二次仪表连接，还可实现轮胎滚动中的动态测温。不过一般难以准确地了解胎面、胎测、或轮胎其它任何部位的实际温度。

**（三）试验举例**

9.00-20载重汽车轮胎各部位温度随不同行驶时间的变化情况见图1-16-59，行驶速度为50km/h。由图示曲线可以看出，轮胎各部位温度在最初行驶的 60 分钟内剧烈上升。以后，由于轮胎与周围环境的热交换逐渐平衡，温度不再升高，这种热平衡大约要 90～100 分钟之后发生，此时温度趋于稳定，不再受行驶时间的影响。曲线还显示出轮胎各主要部件较明显的温差。这些试验数据具体反映了这一轮胎测温方法的实际意义。

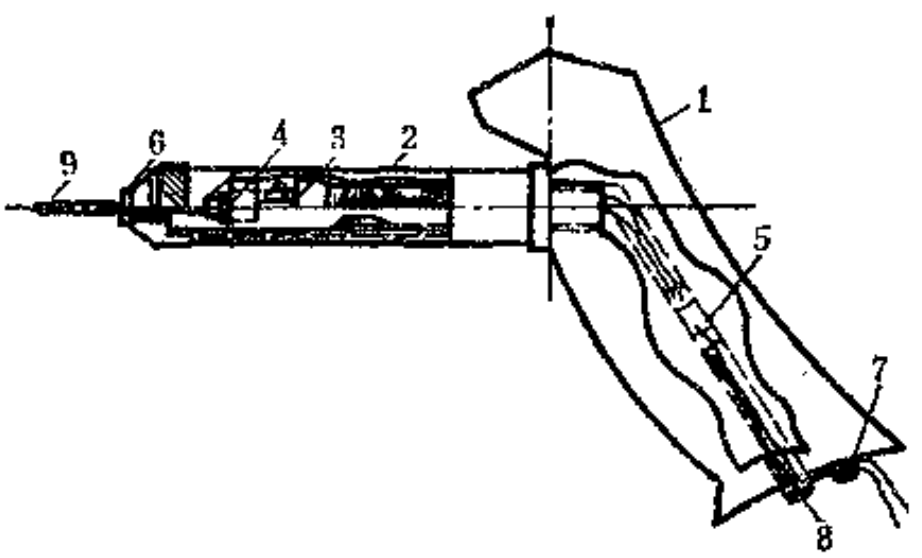



图 1-16-58 轮胎测温用EF2-02型针状热电偶结构

1—电木手柄（接线盒）；2—套管（附深度调节装置）；3—刻度螺杆；4—针头螺丝；5—补偿电偶；6—绝缘电木；7—压线螺丝；8—热电偶引出口；9—热电极针头

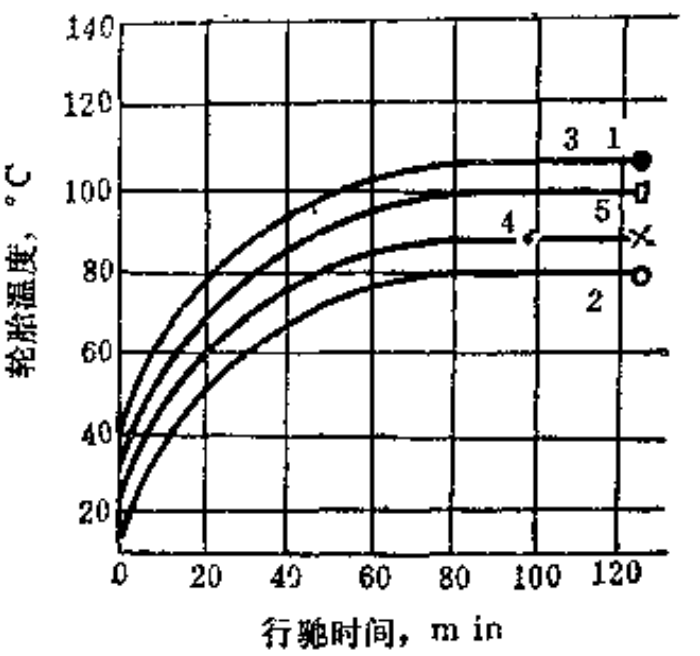



图 1-16-59 9.00-20载重车胎各部位温度变化情况

1—胎冠帘布层；2—胎面胶；3—胎冠缓冲层；4—胎肩帘布层；5—胎侧帘布层

### （四）影响因素

由于热电偶的分度表是在冷端温度$t_0=0$℃时进行的，而在实际使用时冷端温度一般不等于0℃（往往也不一定恒定在某一温度值），因此会产生测量误差。消除这种误差的方法有补偿导线、调整仪表机械零点，自由端点温度计算补正、电桥自动补正及冷端恒温等。

补偿导线一般采用与所配接的热电偶同样的金属材料制成，以保证两者具有相同的温度、电势等值关系。补偿导线与热电偶连接（见图1-16-60）后，实际上等于将热电偶的原冷端移动到温度比较低和恒定的地方。因此必须注意，如果补偿导线所接移的自由端温度仍处于温度较高并有较大波动的地方，那么补偿导线便失去意义。同时还应注意热电偶和补偿导线联接处所处的温度不超过100℃，否则也将产生误差。

## 二、热敏电阻测温试验

### （一）原理

热敏电阻是负温度系数元。它的导电性能主要由其内部的载流子（电子或空穴）的密度和迁移率所决定。当温度升高时，晶体内晶格的原子外层束缚电子，在热激发下，大量地成为载流子，使载流子的密度大大增加，活动力加强，从而导致其阻值急剧下降。热敏电阻的阻值随温度的变化见图1-16-61。由此可以看出，它们不是线性关系。

### （二）方法

半导体热敏电阻的电阻随温度而变化，其变化程度比金属电阻大。实践证明，对于大多数金属，当温度变化1℃时，其阻值变化为0.4～0.6%，而半导体热敏电阻的阻值变化达3～6%。显然，半导体热敏电阻的反应较灵敏。不仅如此，它还具有热惰性小（反应迅速）、电阻值较大（可接较长引线）等一系列优点。在轮胎测温试验中，利用热敏电阻测温主要有两种方法：一是将热敏电阻直接埋藏于轮胎测温部位，再用引出线接入二次仪表；另一种方法，是将热敏电阻（$R_T$）按电桥原理（如图1-16-62所示）组成测温仪（即半导体点温计），通过感温过程的电阻变化来反应所测物体的温度。利用半导体点温计测量轮胎温度，多选用

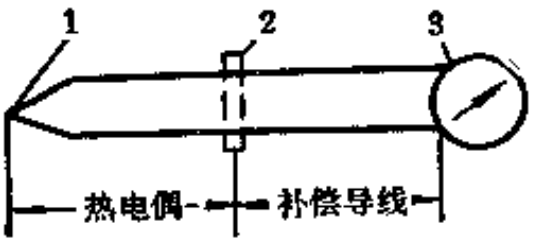



图 1-16-60　补偿导线的连接
1—测量点；2—接线盒；3—显示仪表

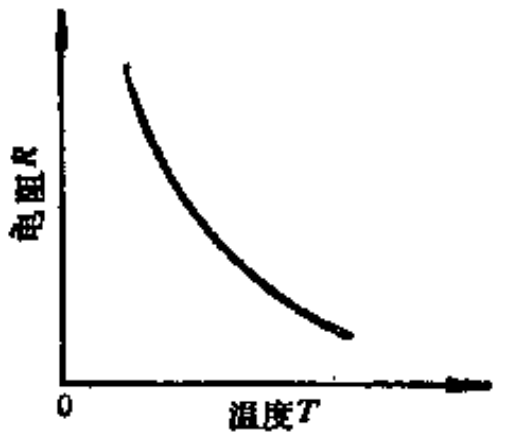



图 1-16-61　热敏电阻的电阻$R$与温度$T$的关系

直径为4mm的金属探头。如果测量轮胎内层或缓冲层（或带束层）的温度等，则需在被试轮胎的测温位置钻孔。

### （三）试验举例

测量各种条件下斜交轮胎缓冲层或子午线轮胎带束层的温度，可在室内转鼓试验机上进行。试验前，将被试验轮胎的测温位置钻孔，钻孔数按胎面宽度而定，一般应测5～7个点。测温孔应有一定的角度，以保证测温探针能触及到缓冲层（见图1-16-63）。同一轮胎不同试验条件，或同一试验条件不同特性轮胎可做测温对比试验。图1-16-64所示曲线，是9.00-20尼龙轮胎在不同行驶速度时的温度上升情况。试验结果表明，轮胎温度的上升与速度的增加密切相关，面且行驶1～2小时后，轮胎就可达到最高温度，并处于平衡状态。这种测温方法，还可以进行各种不同配方，或不同结构设计轮胎的温度对比。

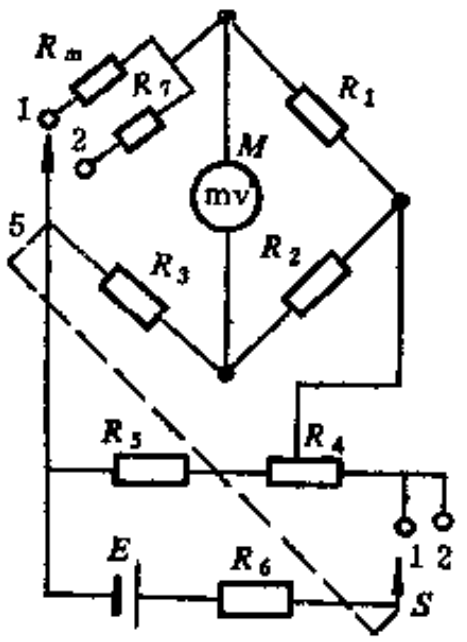



图 1-16-62　半导体点温计的电桥原理

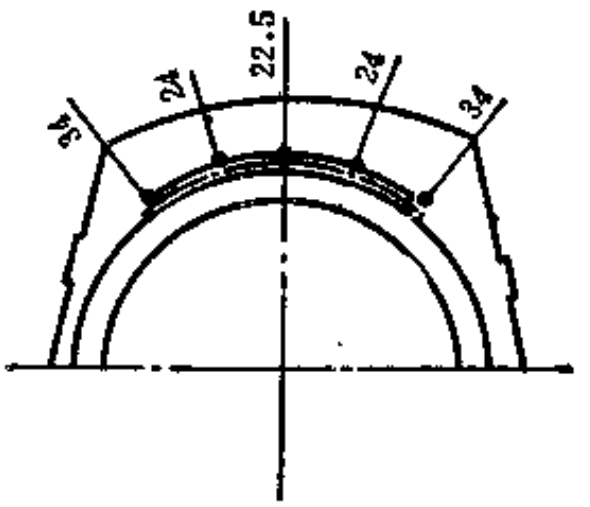



图 1-16-63　9.00-20轮胎测温钻孔部位的角度与深度

### （四）影响因素

按以上方法进行轮胎测温试验，应在正式开始试验之前进行预试，称为适应性试验。预试就是在试验胎正式投入测温前，以标准气压、标准负荷在转鼓试验机上先作两小时的不计温试验，然后将试验胎停放至室温（或第二天），再正式开始试验。新轮胎未经预试而直接投入试验时，温度会显得过高且不稳定，影响试验结果的可比性和重现性。如图1-16-65所示，轮胎若不进行预试，温度将偏高5%左右。

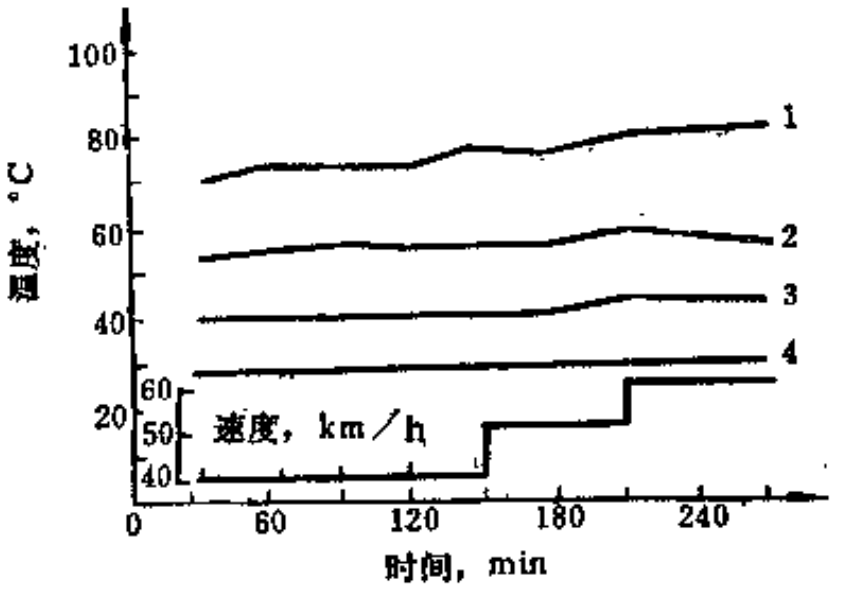



图 1-16-64　9.00-20轮胎不同速度升温对比

1—缓冲层最高温度；2—花纹沟温度；
3—胎面温度；4—试验室温度

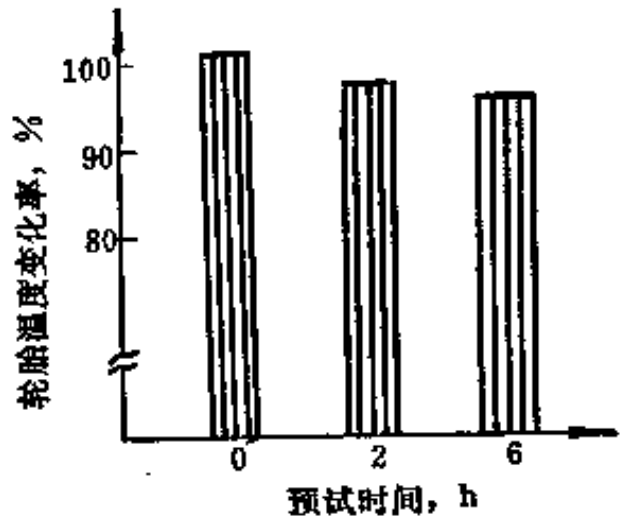



图 1-16-65　10.00-20轮胎预试时间与升温的关系（试验温度38℃）

## 三、红　外　测　温

### （一）原理

热辐射理论表明，任何物体的辐射能谱和该物体的绝对温度有关，物体的温度越高，所辐射能就越大。红外测温探测器就是根据这一原理，把物体表面所辐射的一部分红外线接收下来，变为电信号并显示出来。一般地说，电信号越大，说明物体的温度也越高，因此观察记录的大小值，就可以判断所测物体的发热情况。红外测温仪是一种连续、快速、非接触测量物体表面的新型仪器。它特别适用于运动物体的测温，例如轮胎滚动中胎面、胎侧表面温度的测量。

### （二）红外测温仪的结构

红外测温仪由红外探测器，光学系统、调制盘（或滤光片、光栅）、电子线路、记录仪（或显示器）等许多元件组成，一般称为红外系统。图1-16-66为HW-2型红外测温仪原理图。

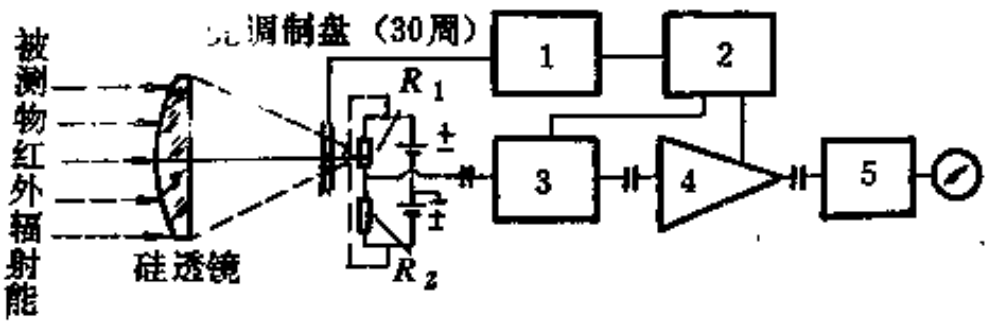



图 1-16-66　HW-2型红外测温仪原理图

$R_1$，$R_2$为热敏元件，$R_1$——工作元件；$R_2$——补偿元件；
1—调制极极化继电器；2—电源±9V；3—前置级；4—选频级；5—桥式整流

1．红外探测器

红外探测器是一种对红外线敏感的器件。它能吸收红外线，并将其能量转换成人们熟悉

的能量形式（主要是热能和电能）。按转换形式的不同，一般又把红外探测器分为热探测器和光探测器两大类。

热探测器是借助热敏器件把光学系统所接收的热辐射信号转换成电信号。这种探测器是利用热效应，因而有一个热平衡过程，它的热响应时间尽管比一般热电偶短得多，但与光探测器相比还是比较长的。热探测器对任何波长的红外线都接收。

光探测器一般用半导体材料制成，并利用半导体光电性质进行探测。常用的锑化铟探测器就是根据光电导效应或光生伏特效应制成的。其灵敏度比热探测器高，但往往需在低温下工作，常不及热探测器使用方便。

2．光学系统

热探测器的探测效率随接收面积的减小而增加。光学系统的任务就是把接收到所测物体的热辐射聚焦到热探测器的受光面上，以缩小面积，提高探测率。光学系统有单透镜或双透镜式。透镜材料为单晶硅或单晶锗，它们不透可见光，而对波长为1.8～16μ之间的红外线有较高的透过率，所以是理想的红外透过材料。有的仪器为了使整个光学系统与外界隔离，以便防尘、防水等，在镜头的窗口选用硫化锌为材料制成的保护窗。

3．调制盘

红外线辐射是普遍存在的，任何物体都是红外线辐射源，被测物在辐射，被测物的背景（周围的物体）也在辐射，两者的辐射如不加以区别，红外探测器就不能探测到满意的效果。因此，在红外线的探测中，必须避免背景的干扰。

光学调制是一种常用的方法，即在红外探测器前面安装某种形状的圆盘，叫做调制盘。它的遮光部分与透光部分相间排列，当透光部分转到与被测物体位置一致时，被测物体辐射的红外线就穿过调制盘落到探测器上，产生一个电信号（如图1-16-67中1）；当调制盘转过一个角度，把被测物体遮挡以后，其发出的红外线就不能到达探测器，这时被测物的信号为零（如图1-16-67中的2）。这样，被测物的信号被调制成交变的电信号。相反背景物而积大，不论调制盘旋转到哪一个角度位置，都无法挡住背景发出的红外线，于是始终有一个稳定信号输出（如图1-16-67中的虚线），从而达到了红外探测被免背景干扰的目的。

4．电子线路

根据各种红外线测温仪性能、结构的不同，仪器设计的电子线路也有所差异，但某些要求却仍然是一致的，例如在各种红外测温仪中均设有前置放大器，其作用是将热敏电阻的输出信号加以放大，因热敏电阻接收辐射后所输出的电压信号一般在微伏数量级，如此微弱的信号，易受外界干扰，不易传输。

5．记录仪（或显示器）

探测器把红外线能量转换成电信号输出，经电子线路放大和处理，指示在仪表上。根据不同的需要，也可以把结果记录下来，或者形成图象（即扫描）在显示器上显示。

**（三）试验结果举例**

由红外测温仪测得的两个典型轮胎热分布图见图1-16-68。上半部曲线（A）是8.25-14轮胎胎侧的温度，水平中心线表示50℃，最高点为胎肩，约57℃。图中央偏右有两个峰，这显示了白胎侧槽所引起的温度差异。同时还可看出，胎侧温度由子口至胎肩缓慢地发展逐步提高。下半部曲线（B）为轮胎胎面的正常温度情况，左右两端的两个峰实际上是胎肩温度，其余的峰表示胎面花纹沟温度。通常，中央沟的温度稍低于边缘沟的温度。峰谷值表示胎冠花纹块表面温度。

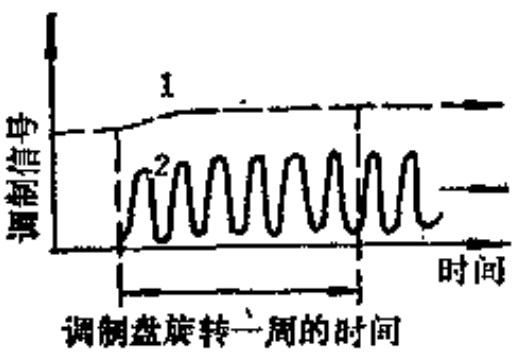



图 1-16-67　经调制盘调制后的红外信号
1—背景信号；2—某被测物信号

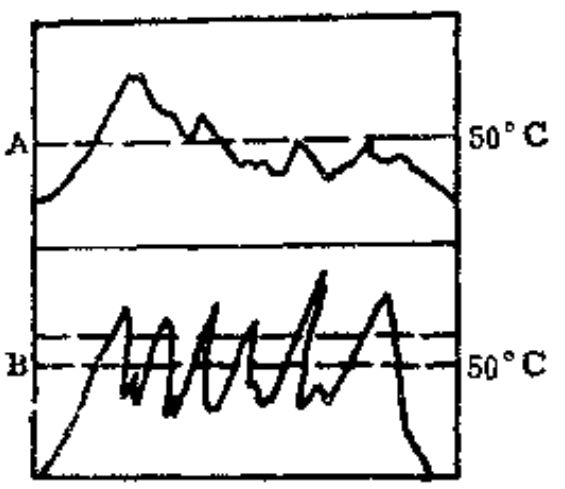



图 1-16-68　轮胎滚动时的热分布图
A—胎侧；B—胎冠

### （四）影响因素

如果将红外测温仪用于测量汽车行驶中的轮胎温度，则远比室内试验中使用复杂。因行驶中的轮胎温度随气候、太阳辐射以及车辆运行状况不同而有很大别差，要全部掌握上述因素，往往有一定的困难。为此需要多做试验，通过大量试验取得数据，以及对这些试验结果的分析，以摸索出一套波形规律来进行温度的准确判断。在室内使用则是一种比较理想的测温仪器。

## 第十一节　轮胎力和力矩试验及整车操纵稳定性试验

轮胎介于车辆与地面之间，是力的支承和传递单元。轮胎接地面上的横向力是驾驶员控制车辆行驶方向的保证，而在该接地面上产生的回正力矩，又是运动车辆给驾驶员的反馈信息。因此，轮胎的性能是构成车辆操纵稳定性的不可忽视的因素。

轮胎力和力矩试验及整车操纵稳定性试验都是测定轮胎对车辆操纵稳定性影响的试验，其中：轮胎力和力矩试验系用测定轮胎在运动中的反应力和力矩的方法，单独评价轮胎的性能，预测它对车辆性能的影响；整车操纵稳定性试验则通过轮胎与车辆的组合试验，评价它与车辆的匹配性。它们对于汽车轮胎和摩托车轮胎，尤其是新结构轮胎和改变结构设计的轮胎是十分重要的。

### 一、轮胎力和力矩试验

#### （一）轮胎的力和力矩特性

轮胎的力和力矩特性系指由地面作用在有负荷的滚动轮胎上的力和力矩与轮胎变形或有关参数之间的关系。它包括轮胎的侧偏特性、侧倾特性、驱动特性和制动特性四个部分。侧偏特性指轮胎的力和力矩（主要是横向力和回正力矩）与侧偏角之间的关系。侧倾特性为轮胎的力和力矩（主要是横向力）与侧倾角之间的关系。驱动特性和制动特性则分别为轮胎的驱动力或制动力与打滑率之间的关系。关于轮胎的驱动试验和制动试验将在本章第十三节中叙述，在此主要介绍与车辆操纵稳定性有密切联系的轮胎侧偏特性和侧倾特性及其试验方法。

在车辆行驶时，由于侧向风或转弯等原因，车轮上要受侧向力$F_c$的作用，于是在轮胎接地面上就有反应力$F_y$，并引起轮胎侧向变形，如图1-16-69所示。这时，轮胎接地部分的胎

面中心线与车轮平面在地平面上的投影不重合，致使轮胎的行驶方向偏离车轮的指向，两者之间的夹角为侧偏角，这种现象称为轮胎的侧向偏离，如图1-16-70所示。由于横向力沿轮胎印痕长轴的分布不对称，因而产生使车轮指向校正到轮胎行驶方向的回正力矩$M_z$。回正

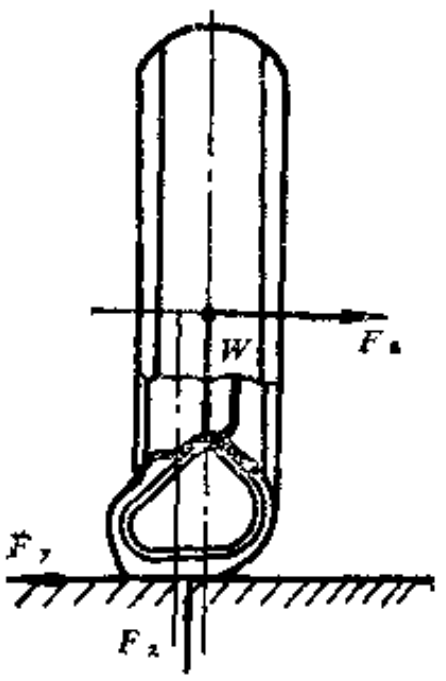



图 1-16-69　轮胎受侧向力作用的变形

$W$—垂直负荷；$F_s$—侧向作用力；$F_y$—横向反应力；$F_z$—法向反应力

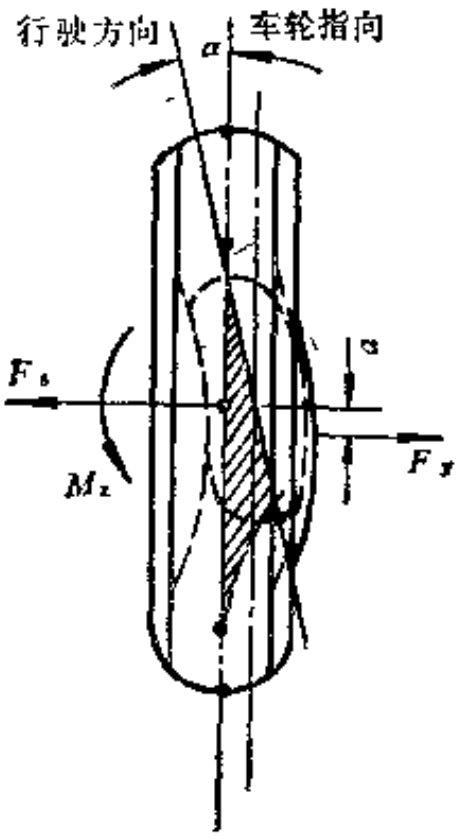



图 1-16-70　轮胎的侧向偏离

$F_s$—侧向作用力；$F_y$—横向反应力；$\alpha$—侧偏角；$M_z$—回正力矩；$a$—横向力中心至接地中心的距离

力矩与横向力之间的关系见式（1-16-27）。

$$M_z = F_y a \tag{1-16-27}$$

式中　$M_z$——回正力矩，N·m；

$F_y$——横向力，N；

$a$——横向力中心至接地中心的距离，m。

又由于轮胎接地面上的法向力的位置偏离轮胎的接地中心，于是产生使车轮倾倒的翻转力矩$M_x$，如图1-16-71所示。翻转力矩与法向力之间的关系见式（1-16-28）。

$$M_x = F_z b \tag{1-16-28}$$

式中　$M_x$——翻转力矩，N·m；

$F_z$——法向力，N；

$b$——法向力中心至接地中心的距离，m。

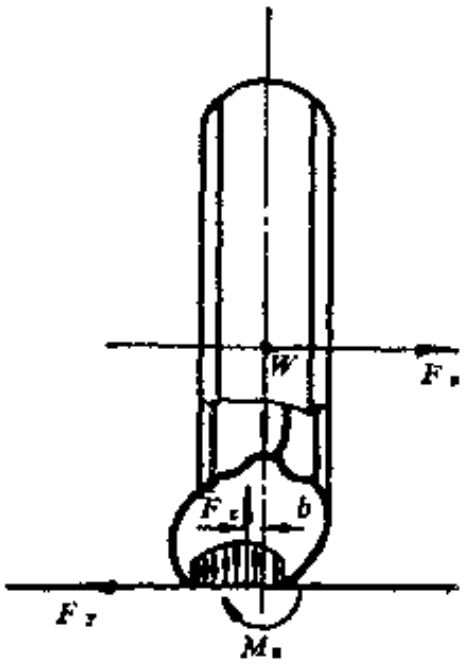



图 1-16-71　轮胎受侧向力作用产生翻转力矩

$F_s$—侧向作用力；$W$—垂直负荷；$F_y$—横向反应力；$F_z$—法向反应力；$M_x$—翻转力矩；$b$—法向力中心至接地中心的距离

具有外倾角的车轮滚动时，或车轮在具有横坡的道路上滚动时，在轮胎的接地面上也产生横向力、回正力矩和翻转力矩，如图1-16-72和图1-16-73所示。其回正力矩由二部分组成：一是由于横向力在轮胎印痕长轴上的分布不对称引起的力矩；另一是由于侧倾车轮的两侧半径不等，使纵向力$F_x$在轮胎印痕短轴上的分布不对称，也产生回正力矩。因此侧倾车轮轮胎上的回正力矩，可用式（1-16-29）表示。

$$M_z = F_y a + F_x b \tag{1-16-29}$$

式中 $M_z$——回正力矩，N·m；

$F_y$——横向力，N；

$a$——横向力中心至接地中心的距离，m；

$F_x$——纵向力，N；

$b$——纵向力中心至接地中心的距离，m。

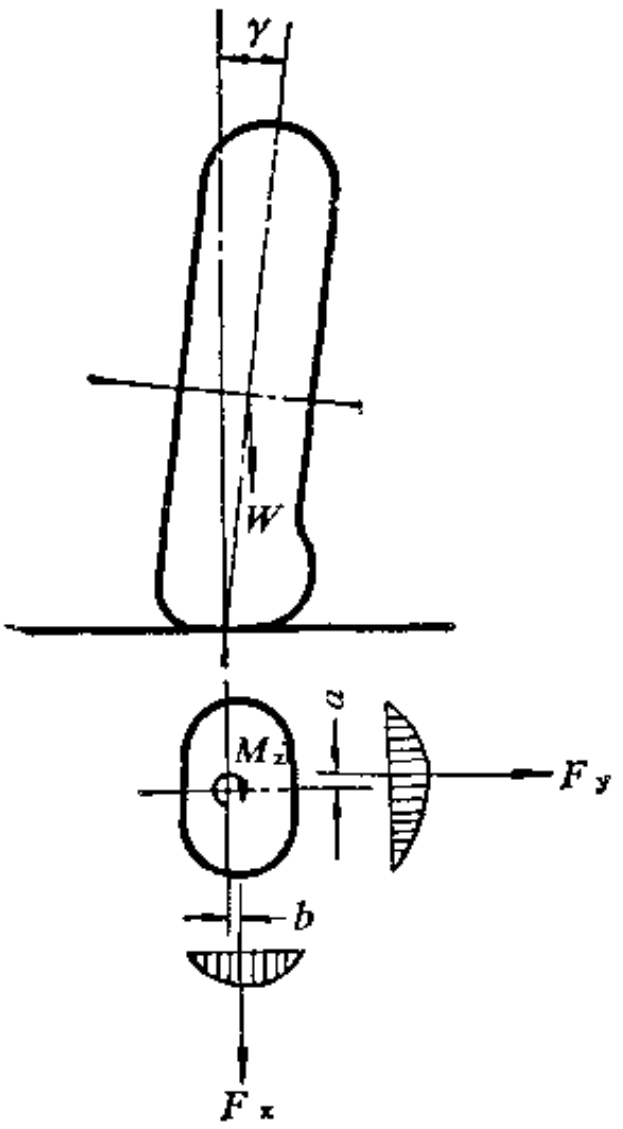



图 1-16-72 侧倾车轮轮胎产生横向力和回正力矩

$\gamma$—侧倾角；$W$—垂直负荷；$M_z$—回正力矩；
$F_y$—横向力；$a$—横向力中心至接地中心的距离；
$F_x$—纵向力；$b$—纵向力中心至接地中心的距离

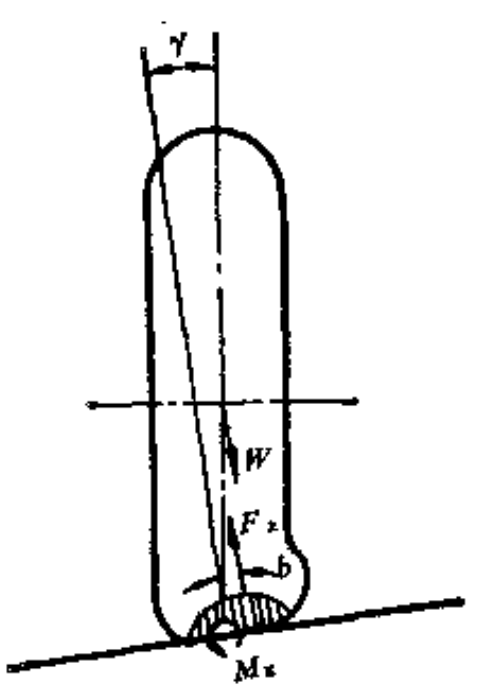



图 1-16-73 侧倾车轮轮胎产生翻转力矩

$\gamma$—侧倾角；$W$—垂直负荷；$M_x$—翻转力矩；
$F_z$—法向力；$b$—法向力中心至接地中心的距离

轮胎的侧向倾斜不仅发生在有预置外倾角或在横坡道路上滚动的车轮上，而且只要有侧向力的作用，也会出现在水平道路上滚动和无预置外倾角的车轮上，尤其是在车辆转弯时，由于离心力的作用，使车辆的重心向外侧移动，由此引起轮胎上的负荷由一侧转移到另一侧，这就使车轮平面离开原来的垂直位置，绕着纵轴向外倾斜，于是就形成侧倾角。因此在多数情况下，轮胎的侧向偏离和侧向倾斜是同时发生的。

如前所述，在轮胎力和力矩特性的诸因素之间，存在着三维空间关系，因此为了便于比较和研究，必须先确定它们的基准座标系。现在广泛应用的是美国汽车工程师学会规定的轮胎座标系，如图1-16-74所示。该座标系的原点为轮胎接地中心；$X$轴为车轮平面与路平面的交线，以指向前方为正值；$Z$轴垂直于路平面，以指向下方为正值；$Y$轴位于路平面上，所指方向以使这一座标系形成右手直角座标系为准。必须注意的是轮胎接地中心并非轮胎印痕面积的中心，而是车轮平面和车轮旋转轴线在路平面上投影的交点，车轮平面则为垂直于

车轮旋转轴线的轮胎中心平面。与轮胎座标系有关的术语及其定义如下：

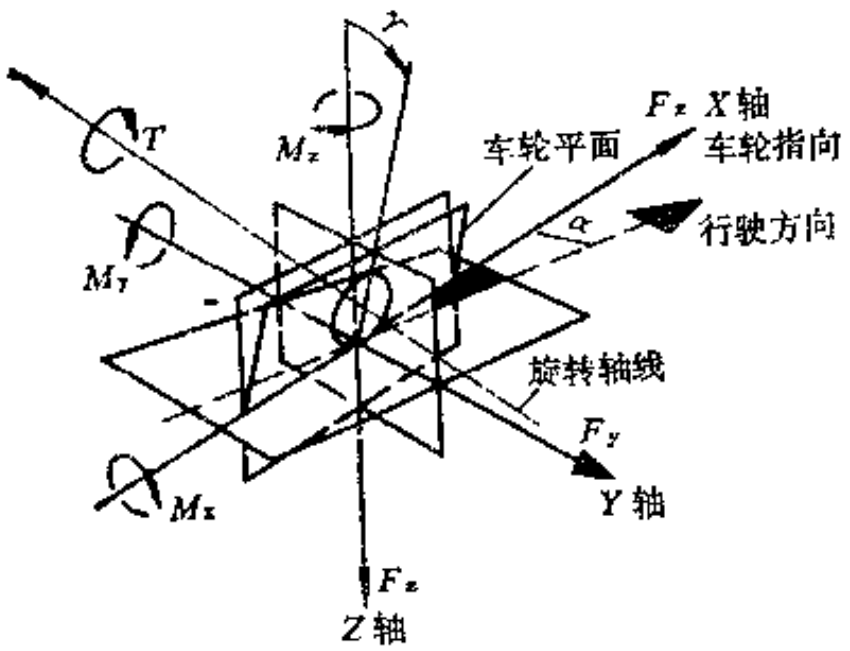



图 1-16-74 轮胎座标系

侧偏角（$\alpha$）——$X$轴与轮胎接地中心行驶方向之间的夹角；

侧倾角（$\gamma$）——$Z$轴与车轮平面之间的夹角；

纵向力（$F_x$）——轮胎力矢量沿$X$方向的分力；

驱动力——由施加驱动扭矩产生的纵向力；

驱动力系数——驱动力对垂直负荷的比值；

制动力——由施加制动扭矩产生的负的纵向力；

制动力系数——制动力对垂直负荷的比值；

滚动阻力——由于滚动轮胎变形的能量损耗产生的负的纵向力；

滚动阻力系数——滚动阻力对垂直负荷的比值；

横向力（$F_y$）——轮胎力矢量沿$Y$方向的分力；

横向力系数——横向力对垂直负荷的比值；

侧偏角力——在侧倾角为零度并减去角度效应力和锥度效应力（系由轮胎的不均匀性引起的）时的横向力；

外倾力——在侧偏角为零度并减去角度效应力和锥度效应力（系由轮胎的不均匀性引起的）时的横向力；

法向力（$F_z$）——轮胎力矢量沿$Z$方向的分力；

垂直负荷——轮胎在道路上的法向反应力，等于法向力的负值；

向心力——轮胎力矢量沿垂直于轮胎接地中心行驶方向的分力，等于横向力与侧偏角余弦之乘积减去纵向力与侧偏角正弦之乘积所得之差；

牵引力——轮胎力矢量沿轮胎接地中心行驶方向的分力，等于横向力与侧偏角正弦之乘积加上纵向力与侧偏角余弦之乘积所得之和；

阻力——负的牵引力；

翻转力矩（$M_x$）——使轮胎趋向于绕$X$轴旋转的轮胎力矩矢量的分力矩，以从$X$轴的正向看时的顺时针方向为正；

滚动阻力矩（$M_y$）——使轮胎趋向于绕$Y$轴旋转的轮胎力矩矢量的分力矩，以从$Y$轴的正向看时的顺时针方向为正；

回正力矩（$M_z$）——使轮胎趋向于绕$Z$轴旋转的轮胎力矩矢量的分力矩，以从$Z$轴的正向看时的顺时针方向为正；

车轮扭矩（$T$）——由车辆施加给轮胎的绕旋转轴的外力矩，在图 1-16-74 中表示的是正的车轮扭矩；

驱动扭矩——正的车轮扭矩；

制动扭矩——负的车轮扭矩。

### （二）试验设备

轮胎力和力矩试验的设备分为试验车和试验机两类。试验车又可分为试验拖车和试验车轮装置两种。试验机按其模拟路面可分为平板式、转鼓式和钢带式3种。用试验车进行轮胎力和力矩试验具有接近实际车辆和道路的优点，在试验机上进行试验则能够精确地控制试验条件，因此二者各有所长，互为补充。但是无论是试验车还是试验机，它们采用的试验原理是相同的，一般都通过给试验轮胎输入侧偏角和侧倾角，以测量试验轮胎的反应力和力矩。

1．试验拖车

图1-16-75是轮胎道路试验拖车实例。它由牵引车、基准车和试验挂车组成。该拖车选用发动机功率大、车体坚固和后轮附着力大的汽车作为牵引车，以便提供足够的牵引力和保证行驶方向的直线性。基准车介于牵引车与试验挂车之间，用于给试验挂车提供水平的基准面。在基准车上安装液压伺服系统，通过该系统调节牵引试验挂车的连杆，使试验挂车的车体保持水平位置，这样就不会由于试验轮胎动负荷半径的改变，给其附加一后倾角。试验挂车为单轴挂车，车轴的左、右车轮上各安装一条试验轮胎。另在试验挂车的尾部装一稳定车轮，用于平衡作用于试验挂车上的侧向力。试验挂车用电液脉冲马达通过减速机带动垂臂摆动式转向系统，给试验车轮施加侧偏角，还可通过手动平行四连杆悬挂给试验车轮施加侧倾角。二个试验车轮的侧偏角和侧倾角的方向相反，以使其所产生的侧向力互相平衡。在左侧试验车轮的悬臂轴末端，安装一个5分力传感器。该传感器为整体式框架结构，由4对弹性梁组成，其中上梁和下梁为悬臂梁，左梁和右梁为简支梁。在梁上粘贴电阻丝应变计，连接成5个测量电桥，再通过线性补偿系统消除5个分力之间的交叉耦合之后，即可获得轮胎的纵向力、横向力、法向力、翻转力矩和回正力矩的力值。在试验时，由牵引车牵引基准车和试验挂车，在平整和洁净的道路上匀速直线行驶，然后改变试验轮胎的侧偏角或侧倾角，用各种传感器分别测出车速、轮胎转速、侧偏角、侧倾角和轮胎的上述5个分力，记录在牵引车内的磁带记录器上。

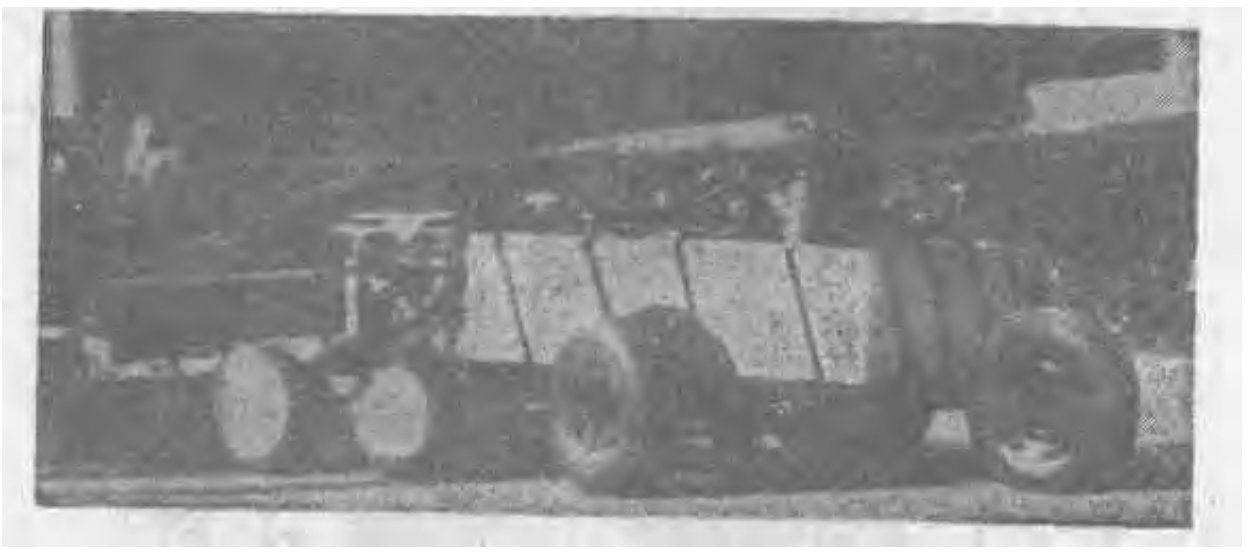


图 1-16-75　轮胎道路试验拖车实例

上述轮胎道路试验拖车的主要性能如下：

① 挂车空车重量　7.85kN(8000kgf)；

② 挂车载重量　9.807kN(1000kgf)；

③ 最大车速　90km/h；

④ 轮胎侧偏角　±20°；

⑤ 轮胎侧倾角　0～10°；

⑥ 纵向力　0～0.98kN(0～100kgf)；

⑦ 横向力　±9.807kN(±1000kgf)；

⑧ 法向力　0～9.807kN(0～1000kgf)；

⑨ 翻转力矩　±1961N·m(±2000kgf·m)；

⑩ 回正力矩　±196N·m(±20kgf·m)。

2. 试验车轮装置

试验车轮装置是在车辆的前轴与后轴之间安装一试验车轮，如图1-16-76所示。它可以

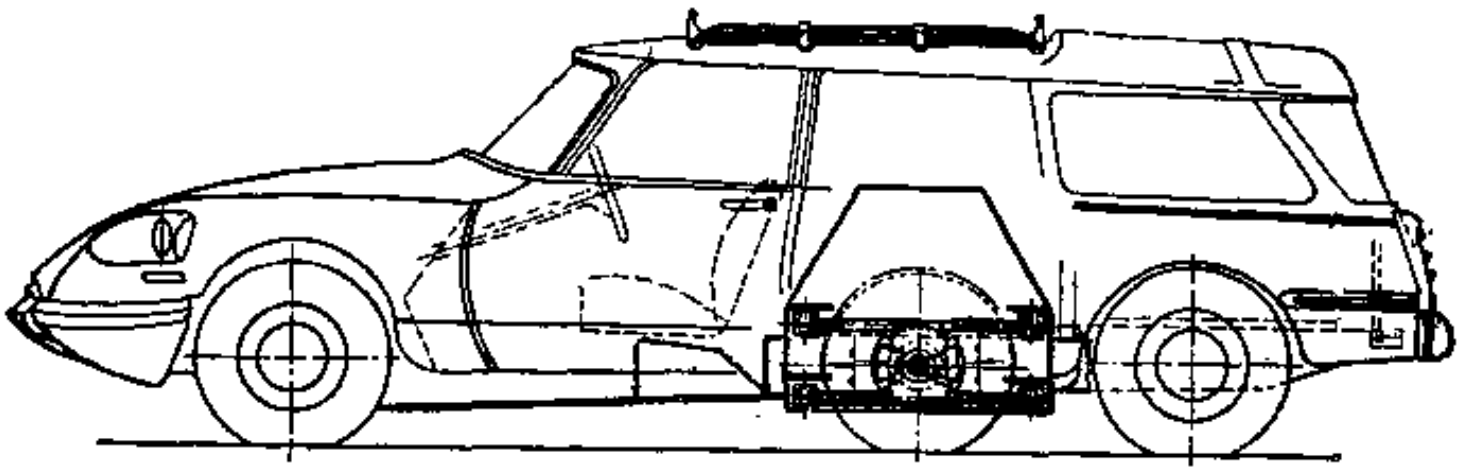


图 1-16-76　轮胎力和力矩试验车轮装置实例

选用已有的汽车加以改装。试验车轮的位置以在汽车轮距的中心线上并靠近后轴为妥。试验车轮上有液压的加载、转向和倾斜机构，分别给轮胎施加垂直负荷、侧偏角和侧倾角。也可用安装在试验车轮悬臂轴上的传感器，测量轮胎力和力矩。在试验前可将试验车轮升起，待汽车保持直线行驶时将试验车轮压在路面上滚动，再改变它的侧偏角和侧倾角。

3. 平板式试验机

平板式轮胎力和力矩试验机主要由活动平板、轮胎定位机构、检测系统和计算机组成，如图1-16-77所示。试验轮胎安装在定位机构的轮轴上，由定位机构给其施加侧偏角和侧倾角，并按一定的垂直负荷把试验轮胎压在活动平板上。该平板系用金属制成，表面可以铺沥青、水泥混凝土、防滑砂纸或其它材料。它由电动机或油缸驱动，在机座的滑道上前后移动，从而带动试验轮胎转动。在轮轴上安装多分力传感器，能检测轮胎的力和力矩，经计算机处理后打印和绘图。

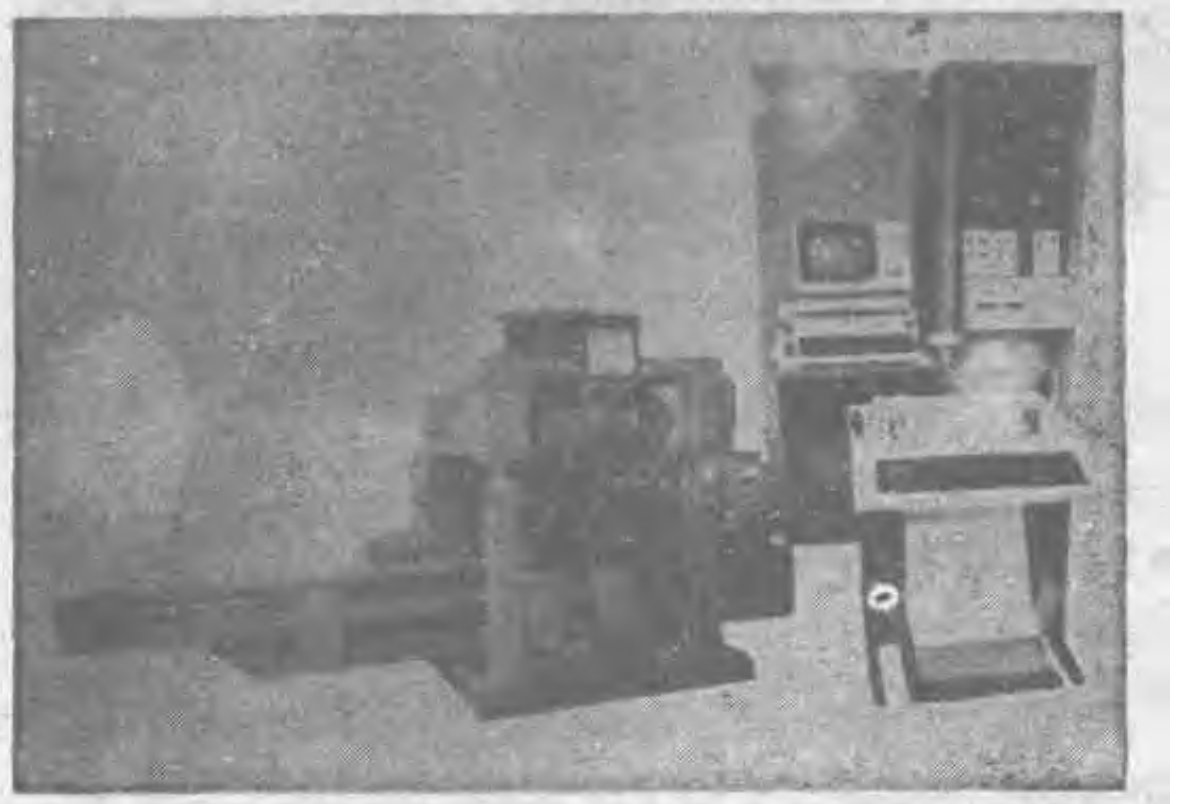


图 1-16-77　平板式轮胎力和力矩试验机实例

平板式轮胎力和力矩试验机的主要性能举例说明如下：

① 试验轮胎类型　轿车轮胎；

② 路面材料　滚花的钢面和沥青；

③ 平板驱动机构　直流电动机和球螺杆；

④ 平板移动速度　6m/min；

⑤ 传感器类型　多分力应变计传感器；

⑥ 最大负荷　4.90kN(500kgf)；

⑦ 最大侧偏角力　2.94kN(300kgf)；

⑧ 最大滚动阻力　1.96kN(200kgf)；

⑨ 最大回正力矩　9.8N·m(10kgf·m)，

⑩ 最大制动扭矩　490N·m(50kgf·m)，

⑪ 侧偏角　±10°；

⑫ 侧倾角　−10°～+45°。



图 1-16-78　轮胎动性能试验机示意

4．转鼓式试验机

图1-16-78是轮胎动性能试验机示意。该试验机主要包括以大转鼓为核心的模拟路面系统，给试验轮胎施加垂直负荷、侧偏角和侧倾角的轮胎定位系统，给试验轮胎提供支承、制动和测力的轮胎测力机构，采集测试数据的检测系统以及配电、油源和给排水等附属设备。

模拟路面系统安装在地平面以下，转鼓与试验轮胎呈立式外接圆的布置。转鼓直径为试验轮胎直径的4倍以上，在它的行驶面上可粘贴防滑砂纸和在与试验轮胎接触之前的转鼓行驶面上喷水，因此该转鼓的曲率影响很小并能模拟实际路面的摩擦系数。转鼓轴的两端支承在轴承座上，一端与功率较大的直流电动机连接，能使转鼓以20～250km/h的圆周速度旋转；另一端通过离合器和减速机，与功率较小的直流电动机相连，可使转鼓以2～25km/h的圆周速度旋转。二台电动机都采用电流和速度双闭环调速，因此它们的速度精度高。

轮胎定位系统安装在龙门式机架上，其机械结构分为上、中、下3层。上层是油缸，它的塞柱沿垂直轴上下运动，从面给试验轮胎施加垂直负荷，油缸中的上、下腔压力由伺服阀按照轮胎测力机构的法向力信号进行调节，因此它的负荷精度高。中层是主轴、静压轴承和侧偏角机构。主轴的上端与油缸塞柱相连，外周通过静压轴承悬浮在机架中，所以它与机架之间的摩擦力很小。侧偏角机构由电液脉冲马达带动，使主轴绕垂直轴旋转，从面给试验轮胎施加侧偏角。下层是侧倾角机构。它也由电液脉冲马达带动，使轮胎测力机构在扇形体上绕纵轴旋转，以对试验轮胎施加侧倾角。

轮胎测力机构的壳体连接在侧倾角机构的下部。试验轮胎装在轮轴上，轮轴通过轴承和测力框架支承在壳体中。测力框架有前、后两个，前框架位于试验轮胎的轮平面上，用于测量轮胎的纵向力和法向力；后框架固定在距轮平面0.718m处，能够测量轮胎的横向力、翻转力矩和回正力矩。每个测力框架由二个悬梁和二个简支梁组成，表面粘贴电阻丝应变计。在轮轴上还装有制动盘和制动钳，用应变梁测量施加于试验轮胎上的制动扭矩。

检测系统包括各种敏感元件及其测量电路、30点巡回检测装置、6通道动态检测装置和计算机共4个部分。在该系统中，用加法器对测量信号进行模拟量运算，以消除测力框架上5个分力之间交叉耦合的影响；用计算机对所采集的轮胎力数据进行算术平均、座标系换算

和回归分析等运算。该系统能够检测轮胎在行驶时的各种参数，打印成表。

轮胎动性能试验机的主要性能如下：

① 试验轮胎规格 5.20-13至12.00-20；

② 轮胎负荷 1.96～39.23kN(200～4000kgf)；

③ 转鼓直径 5m；

④ 转鼓速度 2～250km/h；

⑤ 侧偏角范围 0～±30°；

⑥ 侧偏角速率 最大7°/s；

⑦ 侧倾角范围 0～±8°；

⑧ 纵向力 0～5.88kN(0～600kgf)；

⑨ 横向力 0～±11.77kN(0～±1200kgf)；

⑩ 法向力 0～11.77kN(0—1200kgf)；

⑪ 翻转力矩 0～±3.923N·m(0～±400kgf·m)；

⑫ 制动力矩 0～2942N·m(0～300kgf·m)；

⑬ 回正力矩 0～±441N·m(0～±45kgf·m)。

除上述参数外，该试验机还可检测行驶轮胎的运行时间、行驶里程、转速、气压、胎体温度、动负荷半径、电动机消耗功率以及试验室温度等。

5. 钢带式试验机

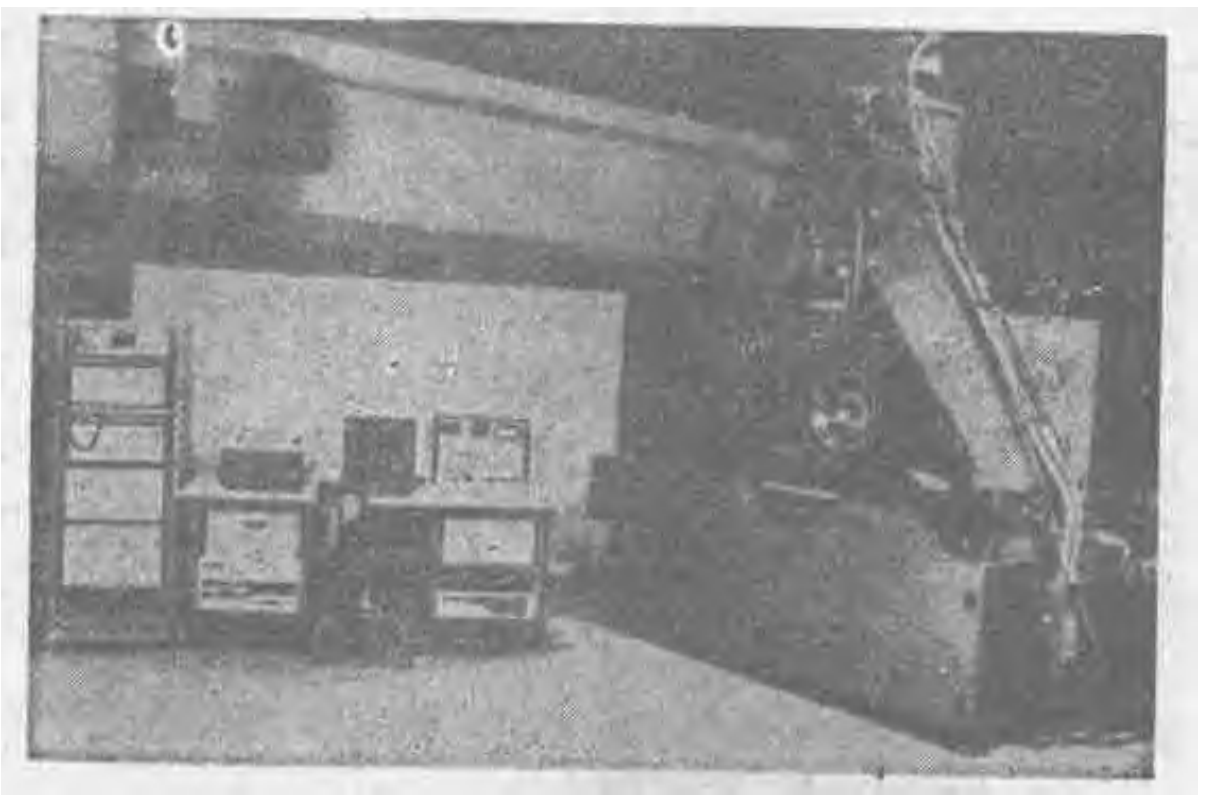


图 1-16-79 平路面轮胎试验机实例

钢带式试验机又称平路面轮胎试验机。它的实例如图1-16-79所示。平路面轮胎试验机的模拟路面是一条厚0.81mm，宽600mm的环形钢带。它套在二个直径为760mm的转鼓上。二个转鼓呈纵向排列，中心距为1000mm，其中一个为驱动鼓，由直流电动机驱动；另一个为从动鼓，在一张力油缸的推动下把钢带拉紧。钢带在驱动鼓的带动下，如同一条传动带在两个转鼓上转动。为了防止钢带在侧向力作用下发生侧向位移，用一电液伺服控制的调偏油缸调节从动鼓轴的倾斜角，使之产生反方向的阻力。在两个转鼓之间的钢带下面，安装一个用水作为润滑剂和冷却剂的支持轴承，以支承由试验轮胎压在钢带上的负荷，减小钢带与轴

承之间的摩擦力和使钢带温度保持在24±2℃的范围内。

试验轮胎安装在呈A字形机架中的轮轴上。在机架一侧的侧倾角油缸推动下，A形架绕枢轴向两侧倾斜。试验轮胎由偏置的侧偏角油缸推动绕A形架顶端的中心轴转动，由直立的加载油缸将其压在钢带上。这三个动作都采用电液伺服控制，按照试验轮胎上的力和位移的反馈信号，经与给定值比较后，进行随动调节，因此它们的控制精度高。

在轮轴的一端连接5个单向力传感器，其中3个装在轴向，两个位于垂直方向。这些传感器都只灵敏于某一指定方向的力，它们之间的力的交叉耦合很小。

该试验机的控制系统由模拟控制装置、运行控制装置和数据采集与处理装置组成。模拟控制装置供标定和检修机器时使用，共有7条伺服控制线路和15条传感器线路。运行控制装置分手动操作和逻辑控制二部分。逻辑控制通过微处理机和程序存贮器实现，可以编排各种试验程序和安全程序。数据采集与处理装置包括计算机、终端显示器和打印机，主要用于较正试验轮胎在不同形态时的负荷、补偿测力传感器之间力的交叉耦合，变换轮胎座标系和对测量数据进行回归分析。

如前所述，钢带式试验机是一种先进的轮胎实验室试验设备。它既具有如同平板式试验机那样的平直模拟路面，又能使试验轮胎象在转鼓式试验机上一样地高速连续行驶。但是迄今还未见到具有较高的侧偏角和侧倾角变角速率的钢带式试验机，所以它主要用于稳态的和低频的轮胎力和力矩试验，至于频率较高的轮胎摆振试验仍在转鼓式试验机上进行，下面是上述平路面轮胎试验机的主要性能：

① 试验轮胎的最大外直径 910mm；
② 试验轮胎的最小半径 150mm；
③ 轴承支承的钢带最大长度 400mm；
④ 轴承支承的钢带最大宽度 450mm；
⑤ 钢带速度 3.5～130km/h；
⑥ 最大径向负荷 24.00kN(2447kgf)；
⑦ 径向负荷的最大速率 25mm/s；
⑧ 最大侧偏角 ±15°；
⑨ 侧偏角的最大速率 3°/s；
⑩ 最大侧倾角 ±10°；
⑪ 最大横向力 ±14.00kN(±1428kgf)；
⑫ 最大滚动阻力 1.00kN(102kgf)；
⑬ 最大回正力矩 ±700N·m(±71kgf·m)；
⑭ 最大翻转力矩 7000N·m(714kgf·m)；
⑮ 滚动半径 150～456mm。

**（三）试验步骤**

轮胎的力和力矩试验可按其在测量轮胎力和力矩时的侧偏角、侧倾角和垂直负荷等输入量的状态，分成稳态试验和瞬态试验两种。稳态试验是在所有的输入量都保持恒定时测量轮胎力和力矩，因此测得数据不受输入量变化速率的影响。在实际试验中，也可把输入量在作比规定值低的速率改变时看作稳态。瞬态试验指在任何一个输入量改变的同时测量轮胎力和力矩，因此在测得的数据中含有反应与输入之间的位相关系。瞬态试验是通过改变输入量的变化速率和轮胎的行驶速度实现的，通常在输入量呈阶跃、三角波或正弦波改变时测量轮胎

的反应力。目前，稳态试验已被广泛采用并已制订出标准。下面是根据美国材料试验学会标准F460—79和F516—77中的有关内容，归纳成轿车轮胎侧偏刚度和回正刚度试验以及力和力矩特性试验的主要步骤。

1．轿车轮胎侧偏刚度和回正刚度试验的主要步骤

试验主要步骤如下。

（1）按预定的试验要求挑选试验轮胎，其中用于结构和材料比较试验的轮胎的生产年份和贮存条件应大致相同。

（2）把试验轮胎装在标准轮辋上，充入压缩空气，使轮胎的胎圈在轮辋上就位。

（3）如果是在转鼓式或钢带式试验机上试验，则应按下列步骤进行。

a．将轮胎与轮辋的组合体装在试验机上，再把轮胎中的气压调整到193±3kPa(1.97±0.03kgf/cm²)，侧偏角和侧倾角都调整到零度，按现行轮胎标准规定的并与轮胎气压相对应的负荷（以下简称为额定负荷）施加法向力，然后启动转鼓或钢带，给试验轮胎进行预运转，直至达到热平衡为止，即在10分钟内，行驶轮胎内空气温度的变化小于3℃，待预运转结束就立即按步骤b或c进行试验。

b．将法向力减少到额定负荷的40%，然后在±3°的范围内，以不大于0.03rad/m的行程频率（即侧偏角变化频率与轮胎行驶速度之比），连续改变侧偏角并同时采集轮胎力和力矩数据，或者是在±3°的范围，按0.5°的增量改变侧偏角，但后者应至少让试验轮胎滚动一周之后方可采集测量数据，最后将侧偏角回到零度，接着按相当于额定负荷60%、80%、100%、120%、140%和160%的法向力顺序，重复上述改变侧偏角和采集轮胎力和力矩数据的步骤。

c．将试验轮胎上的法向力减到零，然后在相当于额定负荷40～160%的范围内，以不大于0.23kN/m(23kgf/m)的速率（即法向力变化速率与轮胎行驶速度之比），连续改变法向力并同时采集轮胎力和力矩数据，或者是在上述范围内，按相当于额定负荷之20%的增量改变法向力，但后者也应让试验轮胎滚动1周之后方可采集测量数据，最后将法向力减到零，接着在+0.5°、+1°、+1.5°、+2°、+2.5°、+3°、−0.5°、−1°、−1.5°、−2°、−2.5°和−3°的侧偏角下，重复上述改变法向力和采集轮胎力和力矩数据的步骤。

d．将试验轮胎停放，冷却到室温后，改变轮胎中的气压，再按步骤a、b和c进行预运转和试验。

（4）如果是在平板式试验机上试验，则按下列步骤进行。

a．将轮胎与轮辋的组合体装在试验机上，再把轮胎中的气压调整到193±3kPa(1.97±0.03kgf/cm²)，使侧偏角和侧倾角都调整到零度。

b．给试验轮胎施加相当于额定负荷之40%的法向力。

c．启动用于模拟道路的平板，待轮胎运转到其力值稳定后记录测量数据。

d．使平板停止移动，将法向力减到零，再把平板退回起点。

e．按相当于轮胎额定负荷60%、80%、100%、120%、140%和160%的法向力顺序，重复步骤c和d。

f．在+0.5°、+1°、+1.5°、+2°、+2.5°、+3°、−0.5°、−1°、−1.5°、−2°、−2.5°和−3°的侧偏角下，重复步骤b、c、d和e。

g．改变试验轮胎中的气压，按以上步骤进行各种充气内压下的试验。

h．在试验中，用风扇冷却试验轮胎，防止轮胎温度升高。

（5）在轮胎试运转和试验期间，试验室温度应保持恒定，其允差为±1.5℃。

（6）按式（1-16-30）和式（1-16-31）分别计算轮胎在零度侧偏角下的侧偏刚度和回正刚度。

$$F_y' = b_0 + b_1\alpha + b_2\alpha^2 + b_3\alpha^3 \tag{1-16-30}$$

式中 $F_y$——横向力，N；

$\alpha$——侧偏角，（°）；

$b_0$、$b_1$、$b_2$、$b_3$——回归系数，其中$b_1$为零度侧偏角下的侧偏刚度。

$$M_z' = c_0 + c_1\alpha + c_2\alpha^2 + c_3\alpha^3 \tag{1-16-31}$$

式中 $M_z'$——回正力矩，N·m；

$\alpha$——侧偏角，（°）；

$c_0$、$c_1$、$c_2$、$c_3$——回归系数，其中$c_1$为零度侧偏角下的回正刚度。

2．轿车轮胎力和力矩特性试验的主要步骤

试验主要步骤如下。

（1）按预定的试验要求挑选试验轮胎，其中用于结构和材料比较试验的轮胎的生产年份和贮存条件应大致相同。

（2）把试验轮胎装在标准轮辋上，充入标准气压之压缩空气，使轮胎胎圈在轮辋上就位。

（3）将轮胎与轮辋的组合体装在试验机上，施加现行轮胎标准规定的并与标准充气内压相对应的负荷，启动试验机的模拟道路，在±20°的范围内连续改变侧偏角，给轮胎进行预运转，直至测得的轮胎横向力系数的变化小于5%时为止。

（4）使试验轮胎停放，待冷却到室温后，把轮胎中的气压调整到193±2kPa(1.97±0.02kgf/cm²)，将侧偏度和侧倾角都调整到零度，给试验轮胎施加法向力，其力值为现行轮胎标准规定的并与165kPa(1.68kgf/cm²)的充气内压相对应的负荷(以下简称为额定负荷)之40%，再启动模拟道路，待其速度稳定后，按步骤5或6或7进行试验。

（5）改变侧偏角的试验

a．在±20°的范围内，以不大于0.03rad/m的行程频率（即侧偏角变化频率与轮胎行驶速度之比），连续改变侧偏角并同时采集轮胎力和力矩数据，或者是在±20°的范围内，按2°（在±8°的侧偏角范围内）或4°(在+8～+20°和-8～-20°的侧偏角范围内)的增量改变侧偏角，但后者应至少让轮胎滚动1周之后方可采集测量数据，最后把侧偏角回到零度，使模拟道路停止运转。

b．在相当于轮胎额定负荷之60%、80%、100%、120%、140%和160%的法向力下，重新启动模拟道路，重复步骤a。

（6）改变垂直负荷的试验

a．在相当于轮胎额定负荷之40%至160%的法向力范围内，以不大于1.50kN/m (153 kgf/m) 的速率（即法向力变化速率与轮胎行驶速度之比），连续改变法向力并同时采集轮胎力和力矩数据，或者是在上述法向力范围内，按相当于额定负荷之20%的增量改变法向力，但在采用后者的方法时，应至少让试验轮胎滚动1周之后方可采集测量数据，最后把法向力减到零，使模拟道路停止运转。

b．在+2°、+4°、+6°、+8°、+12°、+16°、+20°、-2°、-4°、-6°、-8°、-12°、-16°和-20°的侧偏角下，重新启动模拟道路，重复步骤a。

（7）改变侧倾角的试验

a．在±12°的范围内，以不大于0.03rad/m的行程频率（即侧倾角变化速率与轮胎行驶速度之比），连续改变侧倾角并同时采集轮胎力和力矩数据，或者是在±12°的范围内，按2°（在±6°的侧倾角范围内）或3°（在+6～+12°和-6～12°的侧倾角范围内）的增量改变侧倾角，但后者也应至少让试验轮胎滚动1周之后才能采集测量数据，试验完毕后把侧倾角回到零度，使模拟道路停止运转。

b．在相当于轮胎额定负荷60%、80%、100%、120%、140%和160%的法向力下，重新启动模拟道路，重复步骤（a）。

（8）根据试验需要，在各种轮胎充气内压下重复步骤（4）、（5）、（6）和(7)。

（9）求出各种条件下的横向力和回正力矩值，标绘它们与侧偏角、侧倾角和法向力的关系曲线图。

除上述试验步骤外，由于大部分试验设备的测力传感器都装在轮轴上，其测得的轮胎力和力矩属于以轮轴中心为原点的测量座标系的（如图1-16-80所示），因此需要换算成为以轮胎接地中心为原点的轮胎座标系（如图1-16-81所示）。它们的换算公式见式（1-16-32）。

$$\left.\begin{aligned}
F_{xg} &= F_{xw} \\
F_{yg} &= F_{yw}\cos\gamma - F_{zw}\sin\gamma \\
F_{zg} &= F_{zw}\cos\gamma + F_{yw}\sin\gamma \\
M_{xg} &= M_{xw} + \frac{F_{yw}\cdot R}{\cos\gamma} \\
M_{yg} &= M_{yw}\cos\gamma - M_{zw}\sin\gamma - F_{xw}\cdot R \\
M_{zg} &= M_{zw}\cos\gamma + M_{yw}\sin\gamma - F_{xw}\cdot R\cdot \mathrm{tg}\gamma
\end{aligned}\right\} \quad (1\text{-}16\text{-}32)$$

式中 $F_{xg}$——轮胎座标系的纵向力，N；

$F_{yg}$——轮胎座标系的横向力，N；

$F_{zg}$——轮胎座标系的法向力，N；

$M_{xg}$——轮胎座标系的翻转力矩，N·m；

$M_{yg}$——轮胎座标系的滚动阻力矩，N·m；

$M_{zg}$——轮胎座标系的回正力矩，N·m；

$\gamma$——侧倾角，(°)；

$R$——轮胎动负荷半径，m；

$F_{xw}$——测量座标系的纵向力，N；

$F_{yw}$——测量座标系的横向力，N；

$F_{zw}$——测量座标系的法向力，N；

$M_{xw}$——测量座标系的翻转力矩，N·m；

$M_{yw}$——测量座标系的滚动力矩，N·m；

$M_{zw}$——测量座标系的回正力矩，N·m。

**（四）试验结果举例**

稳态的轮胎力和力矩试验结果的表示方式，一般有二种：一种是由测得的数据计算出横向力、回正力矩与侧偏角、侧倾角、法向力之间的函数，如侧偏刚度、侧倾刚度、回正刚度、横向力系数、负荷灵敏度、负荷转移灵敏度和回正力矩系数等；另一种是由测得的数据先求出其回归方程，再标绘各种关系曲线图。在各种曲线图中，列线图能表达一个因变量与二个

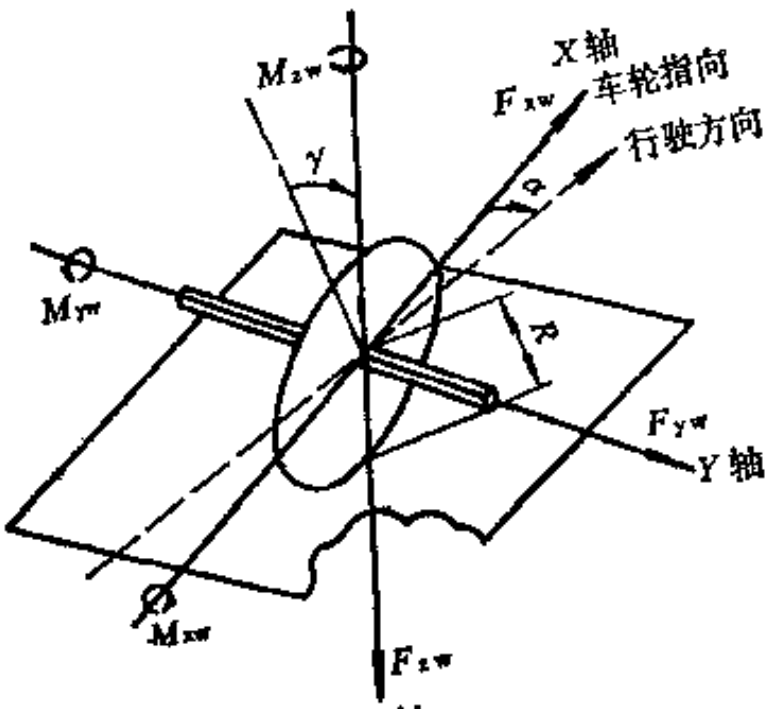



图 1-16-80　以轮轴中心为原点的测量座标系

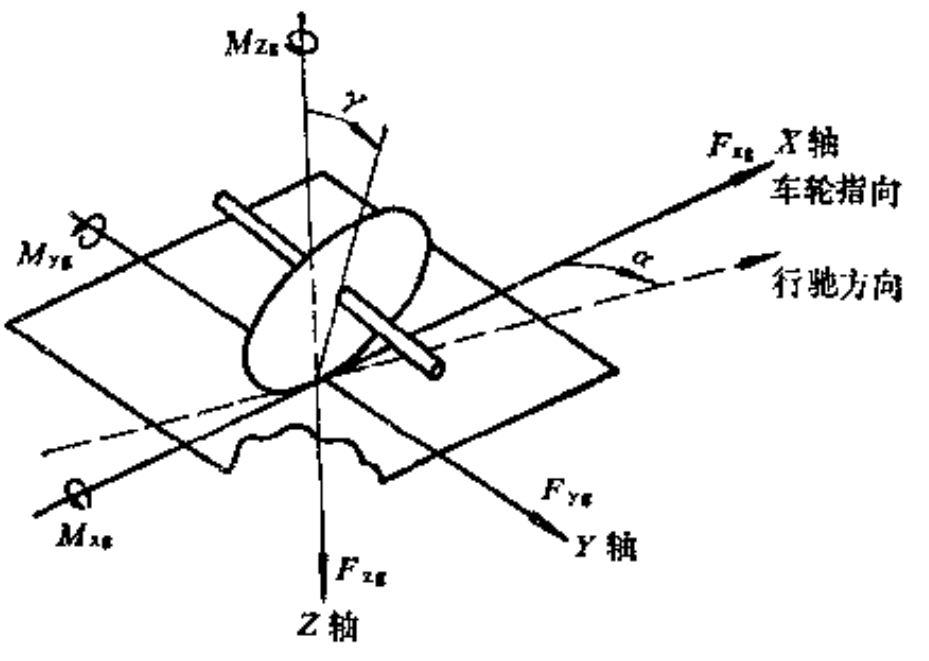



图 1-16-81　以接地中心为原点的轮胎座标系

自变量之间的关系，所以应用较广。常用的列线图有：横向力与侧偏角和法向力的关系曲线图；回正力矩与侧偏角和法向力的关系曲线图；轮胎拖迹与侧偏角和法向力的关系曲线图以及横向力与侧倾角和法向力的关系曲线图。此外，还可标绘翻转力矩与侧偏角和法向力的关系曲线图、回正力矩或翻转力矩与侧倾角和法向力的关系曲线图以及各种侧偏角下的滚动阻力和车轮扭矩对横向力、回正力矩的影响等曲线图。

图1-16-82是175SR14轮胎的横向力与侧偏角和法向力的关系。由图1-16-82表明，横向力与侧偏角的关系呈非线性，其曲线的斜率随侧偏角增大而减小，直至接近于零。这是由于横向力是轮胎横向变形的弹力，其极限取决于轮胎与路面之间的附着力。车轮在很小的侧偏角下滚动时，轮胎完全附着在路面上，由侧偏角引起的横向位移全部以轮胎横向变形的形式出现，这时的轮胎侧偏刚度最大。随着侧偏角增大，轮胎接地面发生局部滑动，单位侧偏角引起的横向变形减小，轮胎的侧偏刚度也因此变小，这种趋势持续到使轮胎接地面发生全部滑动的侧偏角时为止。图1-16-82还表明，车轮在小的侧偏角下滚动时，因为横向力主要取决于轮胎的横向弹性，所以法向力对横向力的影响较小，但是在大的侧偏角下，轮胎与路面之间的附着性能就成为主要的，故法向力对横向力的影响较大。而且随着法向力增大，与最大横向力相对应的侧偏角也增大。

图1-16-83是 175SR14 轮胎的回正力矩与侧偏角和法向力的关系。回正力矩是弹性车轮特有的，主要是由于横向力在轮胎印痕纵轴上的分布不对称引起的。车轮在很小的侧偏角下滚动时，轮胎接地面基本无滑动，所以接地面后部的横向力大于前部的，其合力中心位于轮胎接地中心之后，这时的回正刚度最大。随着侧偏角增大，轮胎接地面后部发生滑动，横向力中心移向轮胎接地中心，回正刚度逐渐减小。在4～6°的侧偏角时，回正力矩达到最大。在此之后，若再增加侧偏角，虽然横向力仍续继增加，但因接地面的滑动加剧，因此回正力矩减小，直至趋近于零。由于法向力直接影响轮胎与路面之间的附着力，所以即使在小的侧偏角下，它对回正力矩的影响仍较显著。随着法向力增加，与最大回正力矩相对应的侧偏角也增大。为了更加清晰地表示上述关系，可将图1-16-82和图1-16-83综合成轮胎拖迹与侧偏角和法向力的关系曲线图，如图1-16-84所示。

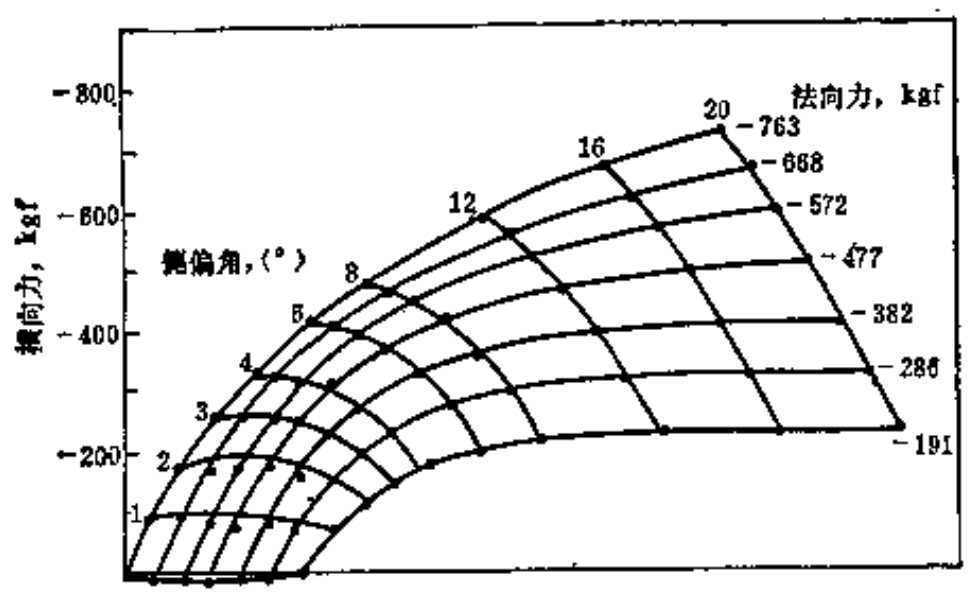



图 1-16-82　175SR14轮胎的横向力与侧偏角和法向力的关系

装试轮辋：5JJ×14；充气内压：196kPa(2kgf/cm²)

(1kgf=9.80665N)

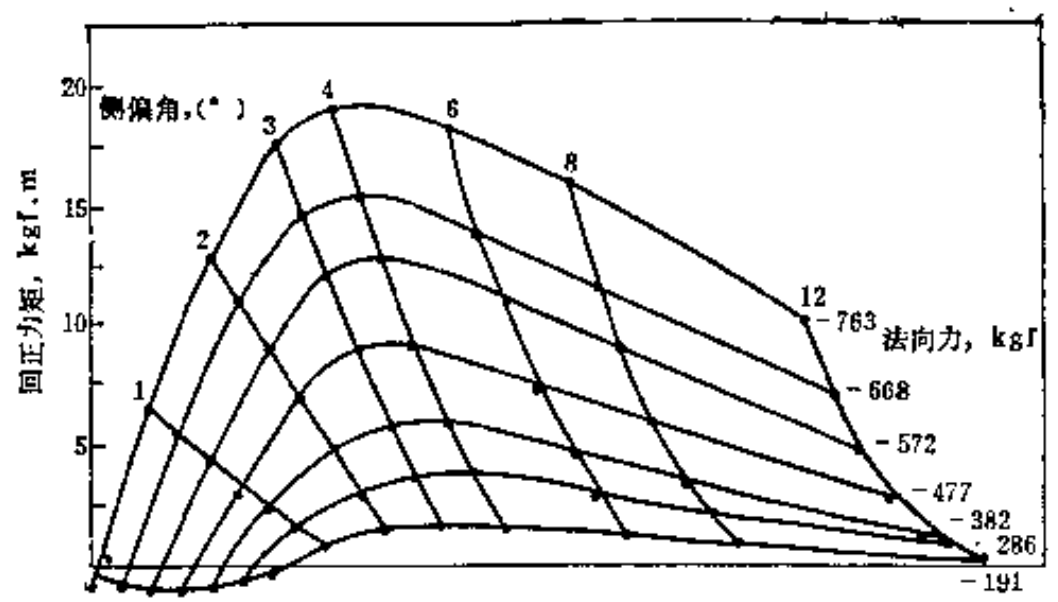



图 1-16-83　175SR14轮胎的回正力矩与侧偏角和法向力的关系

装试轮辋：5JJ×14；充气内压：196kPa(2kgf/cm²)

(1kgf·m=9.80665N·m)

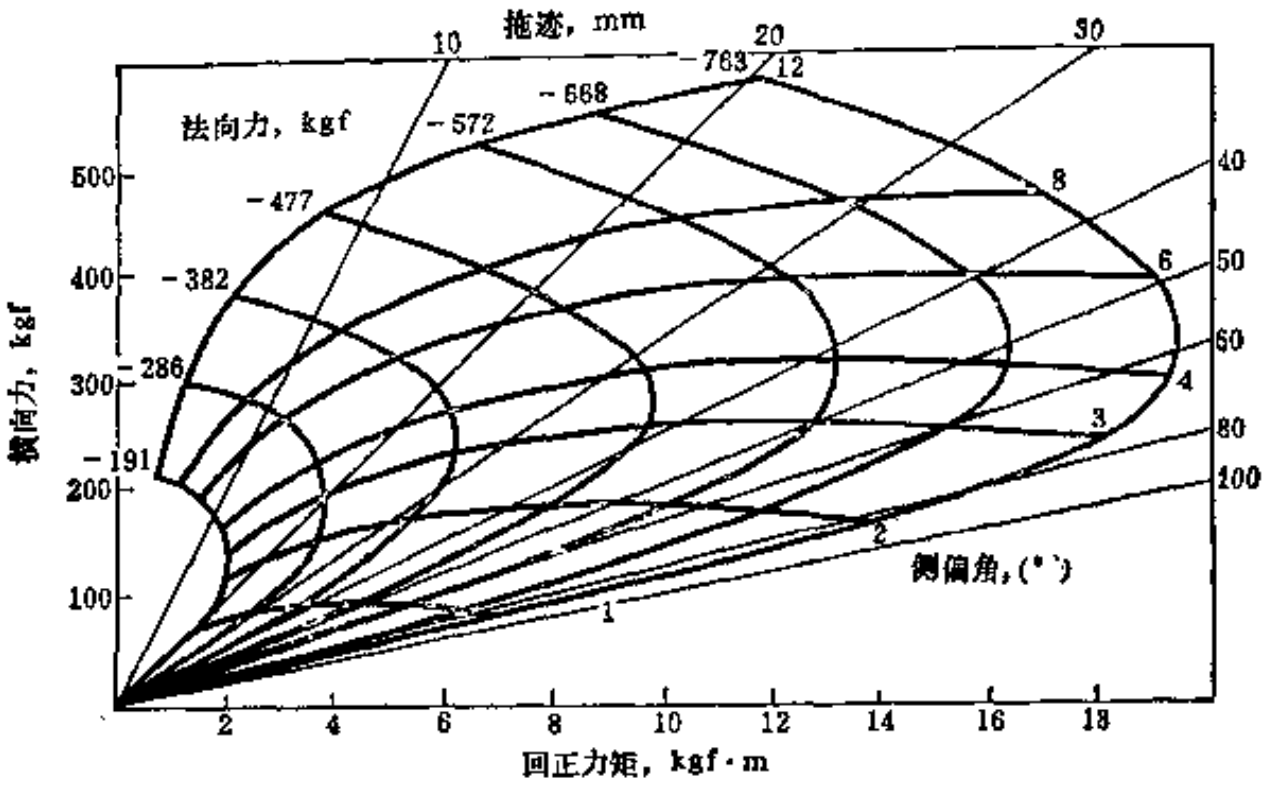



图 1-16-84　175SR14轮胎的拖迹与侧偏角和法向力的关系

装试轮辋：5JJ×14；充气内压：196kPa(2kgf/cm²)

(1kgf=9.80665N；1kgf·m=9.80665N·m)

表1-16-41是两种规格轮胎的侧偏刚度、回正刚度和侧倾刚度。图1-16-85、图1-16-86和图1-16-87分别是该两种规格轮胎的横向力与侧偏角、回正力矩与侧偏角以及横向力与侧倾角的关系。上述图表都是用消除了轮胎不对称性后的数据标绘的，故能很清晰地看出该两种规格轮胎之间的差别。175SR14 轮胎因系子午线结构，有呈周向排列的并由钢丝帘线组成的

表 1-16-41　两种规格轮胎的侧偏刚度、回正刚度和侧倾刚度

| 轮胎规格 | 0°侧偏角时的侧偏刚度 | | 0°侧偏角时的回正刚度 | | 0°侧倾角时的侧倾刚度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | N/(°) | kgf/(°) | N·m/(°) | kgf·m/(°) | N/(°) | kgf/(°) |
| 175SR14 | 981 | 100 | 46 | 4.73 | 42 | 4.3 |
| 6.95-14 | 628 | 64 | 33 | 3.36 | 108 | 11.0 |

注：表中的数据都是轮胎装在5J轮辋上，在193kPa (1.97kgf/cm²)的充气内压和 4.68kN(477kgf) 的法向力下测得的。

带束层，所以它在0°侧偏角时的侧偏刚度比6.95-14斜交结构轮胎大57%。另外，175SR14轮胎系圆胎肩，且在胎面花纹中有细槽，所以其最大横向力也较大。二者的拖迹相差不大，这样侧偏刚度大的轮胎，其回正刚度必然也大。然而，因为175SR14轮胎的胎体帘布层数少，胎侧薄，所以它在0°侧倾角时的侧倾刚度比6.95-14轮胎小57%。上述差别说明，175SR14轮胎具有使车辆转向灵敏，行驶方向稳定，抗侧滑，方向盘上的手感强和轮胎磨损少的优点，但是它会使车辆的不足转向略为减少。因此为了保证车辆的操纵稳定性，最好将原设计装配6.95-14轮胎车辆的前轮定位稍加调整后，再装用175SR14轮胎。值得注意的是由于175SR14轮胎与6.95-14轮胎的力和力矩特性相差甚大，切忌将它们混合装配在同 1 辆车上。

为了便于汽车设计上的应用和控制轮胎的负荷量，美国通用汽车公司用1°侧偏角时的横向力系数、回正力矩系数、负荷灵敏度和负荷转移灵敏度表示轿车轮胎的力和力矩特性。它们都是在指定的试验轮辋、充气内压和垂直负荷下的轮胎测试结果。垂直负荷以与179kPa (1.83kgf/cm²)气压相对应的美国轮胎与轮辋协会规定负荷作为100%。这些参数的定义如下。

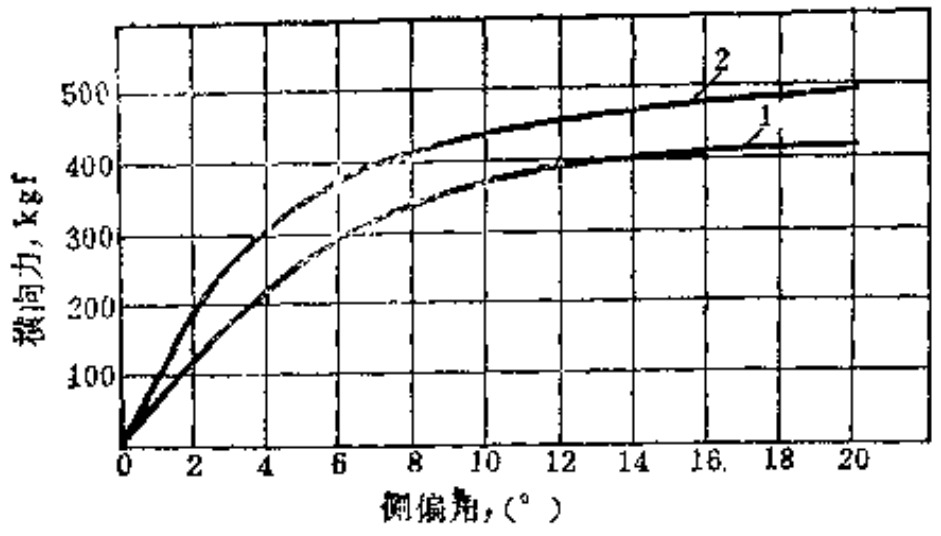



图 1-16-85 二种规格轮胎的横向力与侧偏角的关系

装试轮辋：5JJ×14；充气内压：196kPa(2kgf/cm²)；
1—6.95-14；2—175SR14
(1kgf=9.80665N)

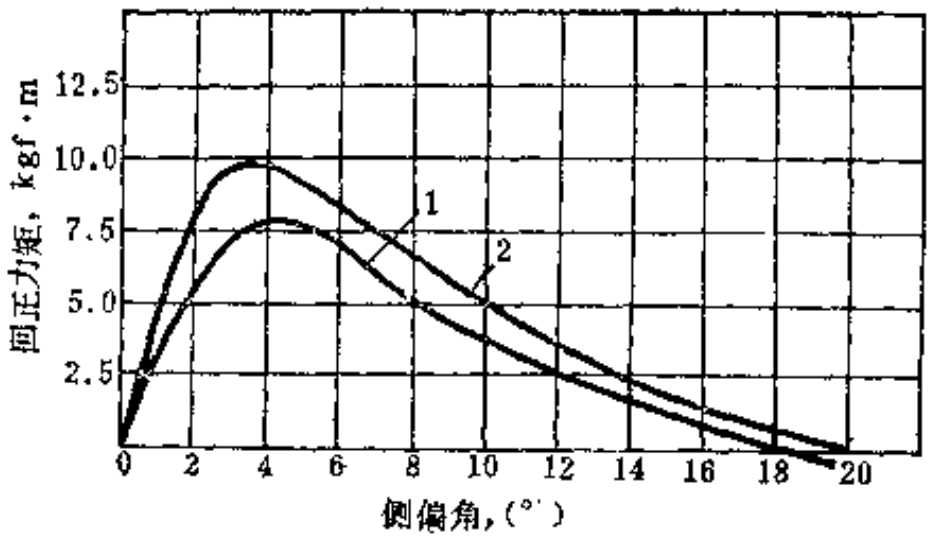



图 1-16-86 二种规格轮胎的回正力矩与侧偏角的关系

装试轮辋：5JJ×14；充气内压：196kPa(2kgf/cm²)；
1—6.95-14；2—175SR14
(1kgf=9.80665N)

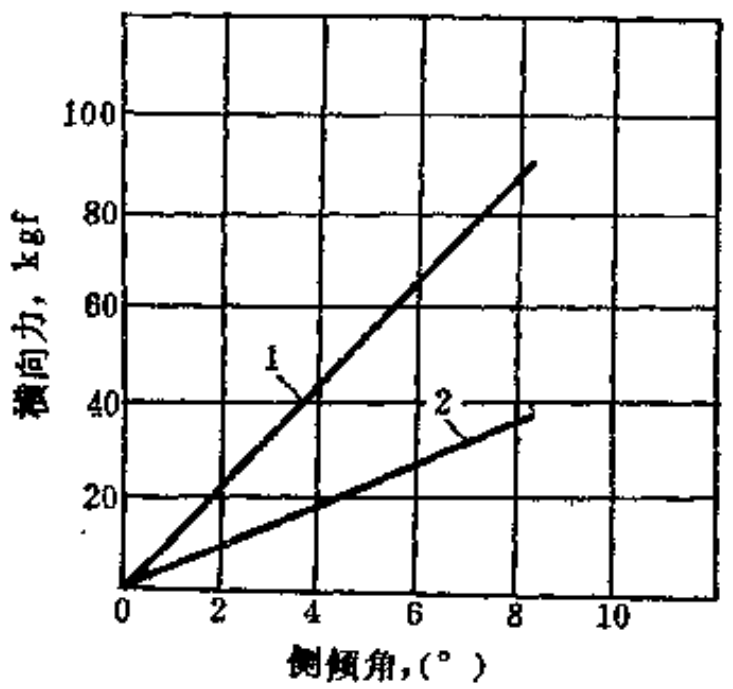



图 1-16-87 二种规格轮胎的横向力与侧倾角的关系

装试轮辋：5JJ×14；充气内压：196kPa(2kgf/cm²)；
1—6.95-14；2—175SR14
(1kgf·m=9.80665N·m)

（1）1°侧偏角时的横向力系数 指轮胎在100%垂直负荷和1°侧偏角下的横向力对垂直负荷的比值。1°侧偏角之横向力系数的计算公式见式（1-16-33）。

$$F(1°)=\frac{F_y}{P} \tag{1-16-33}$$

式中 $F(1°)$——1°侧偏角时的横向力系数；

$F_y$——1°侧偏角和100%垂直负荷下的横向力，N；

$P$——100%垂直负荷，N。

（2）回正力矩系数 指轮胎在100%垂直负荷和1°侧偏角下的回正力矩对垂直负荷的比值。回正力矩系数的计算公式见式（1-16-34）。

$$AT(1°)=\frac{M_z}{P} \tag{1-16-34}$$

式中 $MT(1°)$——回正力矩系数，m；

$M_z$——1°侧偏角和100%垂直负荷下的回正力矩，N·m；

$P$——100%垂直负荷，N。

（3）负荷灵敏度 指轮胎在1°侧偏角下，100%垂直负荷时与80%垂直负荷时的横向力差值对垂直负荷差值的比值。负荷灵敏度的计算公式见式（1-16-35）。

$$H(1°)=\frac{\Delta F_Y}{P-0.8P} \tag{1-16-35}$$

式中 $H(1°)$——负荷灵敏度；

$\Delta F_Y$——在1°侧偏角下，100%垂直负荷时与80%垂直负荷时的横向力差值，N；

$P$——100%垂直负荷，N。

（4）负荷转移灵敏度 相当于1对轮胎在4°侧偏角下，其中1条轮胎增加60%的垂直负荷而另1条减少60%的垂直负荷，由此引起的总横向力的损失率。负荷转移灵敏度的计算公式见式（1-16-36）。

$$G(4°)=\frac{\Delta F_Y\cdot P}{(\Delta P)^2} \tag{1-16-36}$$

式中 $G(4°)$——负荷转移灵敏度；

$\Delta F_Y$——在4°侧偏角下，轮胎在100%垂直负荷时的横向力与在160%和40%垂直负荷时的平均横向力之差值，N；

$P$——100%垂直负荷，N；

$\Delta P$——垂直负荷的增减量，在此$\Delta P=0.6P$，N。

表1-16-42是美国通用汽车公司对轮胎力和力矩特性的要求。它载于该公司于1984年制订的《轮胎性能标准规范体系》中。表中的数据都是指3条轮胎样品在试验轮辋上，充入试验气压的压缩空气和在一定的垂直负荷下应达到的。垂直负荷以与179kPa（1.83kgf/cm²）气压相对应的美国轮胎与轮辋协会规定负荷为100%。该要求还对轮胎样品的测试结果作出如下规定：对1°侧偏角时的横向力系数和负荷转移灵敏度的总体均值来说，80%置信区间必须在要求的最大值与最小值之间；对回正力矩系数和负荷灵敏度的总体均值来说，80%置信下

表 1-16-42 美国通用汽车公司对轮胎力和力矩特性的要求

| 序号 | 轮胎规格 | 轮辋宽度 mm | 试验气压 | | 1°侧偏角时的横向力系数 | | 回正力矩系数(最小) mm | 负荷灵敏度 (最小) | 负荷转移灵敏度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | kPa | (kgf/cm²) | 最小 | 最大 | | | 最小 | 最大 |
| 1028MS | P175/80R13 SL | 139.7 | 260 | (2.65) | 0.170 | 0.195 | 5.5 | 0.04 | 0.15 | 0.35 |
| 1029MS | P185/80R13 SL | 139.7 | 260 | (2.65) | 0.170 | 0.195 | 6.0 | 0.04 | 0.15 | 0.35 |
| 1040MS | P195/70R13 SL | 139.7 | 260 | (2.65) | 0.190 | 0.215 | 5.2 | 0.08 | 0.10 | 0.30 |
| 1022MS | P205/70R13 SL | 139.7 | 260 | (2.65) | 0.185 | 0.210 | 6.0 | 0.08 | 0.10 | 0.30 |
| 1022MS | P185/75R14 SL | 152.4 | 260 | (2.65) | 0.180 | 0.205 | 5.2 | 0.07 | 0.15 | 0.35 |
| 1024MS | P195/75R14 SL | 152.4 | 260 | (2.65) | 0.185 | 0.210 | 5.2 | 0.06 | 0.15 | 0.35 |
| 1026MS | P205/70R14 SL | 152.4 | 260 | (2.65) | 0.185 | 0.210 | 6.2 | 0.05 | 0.20 | 0.40 |
| 1025MS | P205/75R14 SL | 152.4 | 260 | (2.65) | 0.185 | 0.210 | 5.8 | 0.05 | 0.15 | 0.35 |
| 1031MS | P205/75R15 SL | 152.4 | 260 | (2.65) | 0.175 | 0.200 | 6.5 | 0.05 | 0.15 | 0.40 |
| 1034MS | P215/75R15 SL | 152.4 | 260 | (2.65) | 0.175 | 0.200 | 6.5 | 0.05 | 0.15 | 0.40 |
| 1035MS | P225/75R15 SL | 152.4 | 260 | (2.65) | 0.170 | 0.195 | 6.5 | 0.05 | 0.15 | 0.40 |

限必须大于或等于要求的最小值；对1°侧偏角时的横向力系数来说，在低于最小要求值0.007以内的和高于最大要求值0.007以内的80%置信水平时，应有90%的总体限度。

**（五）影响因素**

在轮胎和力矩试验中，有如下一些影响因素。

（1）侧偏角、侧倾角和轮胎力传感器的测量精度，对试验结果具有重要影响；因此每天在试验前应该用静加载的方法对它们进行快速检验，还应定期标定和用基准轮胎进行动态检验。

（2）轮胎和轮辋的不均匀性会引起轮胎力和力矩的波动，干扰试验结果的规律性，所以应挑选均匀性好的轮胎进行试验，轮辋应经过平衡试验并应保证轮胎与轮辋组合体在轮轴上的位置准确、牢固。

（3）由于在新轮胎的外表面上有一层涂料，而且在运输和贮存中，轮胎的胎体会发生变形，因而轮胎在试验前应进行预运转，以除去胎面上的附着物和使胎体形状恢复正常。

（4）轮胎的力和力矩特性对温度是敏感的，故为了保证试验结果的可比性，应使轮胎在热平衡的状态下进行试验。首先应使试验室温度的波动不超过3℃。其次如果在平板式试验机上试验，应该用吹风机冷却轮胎；如果在转鼓式或钢带式试验机上试验，则应在试验前先进行预运转，在轮胎达到热平衡后立即进行试验，假若轮胎在试验中出现热的不平衡时，则应重新进行预运转，然后方可继续试验。

（5）轮胎的力和力矩特性由轮胎的弹性和轮胎与路面之间的附着性能组成，因此轮胎胎面和路面的磨损或污染都会明显地影响试验结果，所以必须使轮胎胎面和路面都保持洁净，无松散结构或其它附着物，它们的粗糙度和摩擦系数应保持恒定。如果轮胎胎面出现发粘或磨损大时，应更换试验轮胎。

## 二、整车操纵稳定性试验

轮胎的整车操纵稳定性试验一般采用汽车的操纵性和稳定性试验方法。在车辆不变的情况下，进行不同轮胎或不同使用条件（如充气内压和负荷等）的对比试验。

**（一）试验项目及其方法**

轮胎的整车操纵稳定性试验大部分在平坦、干燥和清洁的场地上进行，路面为沥青或水泥混凝土的，其在任意方向的坡度都不大于2%。试验用的汽车应经过检查和校正，使其性能符合出厂规定和试验安全的需要。试验轮胎的充气内压和负荷按照汽车的出厂规定，或者根据轮胎的试验要求加以确定。如果试验轮胎系新胎，则在试验前至少要经过200km正常行驶的磨合。试验时的风速不大于5m/s，环境温度在5～32℃之间。

1．不足转向与过多转向试验

在试验场地上，用颜色明显的涂料画出半径为15m的圆圈，以作为试验的起始圆周。先驾驶汽车以3m/s²的侧向加速度，沿所画的圆圈行驶500m，给轮胎预热。然后，驾驶汽车以最低稳定速度沿地上的圆圈行驶，待拖挂于汽车尾部中点的第5车轮能沿该圆圈行驶半圈以上时，就固定住方向盘，使汽车停车，启动记录仪器，记下汽车前进速度和横摆角速度二个变量的零线。再使汽车起动，缓慢连续地加速（纵向加速度不能超过0.25m/s²），直至汽车的侧向加速度达6.5m/s²，或者受发动机功率的限制而不能再增加车速，或者在汽车出现不稳定状态时为止，记下上述二个变量的变化过程。以汽车向左转和向右转的方式，各进行3次重复试验。由记录数据按式（1-16-37）～式（1-16-39）计算汽车的侧向加速度、转弯半径

比和前后轴侧偏角差。

$$a_i = V_i \omega_i \tag{1-16-37}$$

式中 $a_i$——各前进速度时的侧向加速度，$m/s^2$；

$V_i$——各个前进速度，m/s；

$\omega_i$——各前进速度时的横摆角速度，rad/s。

$$\frac{R_i}{R_0} = \frac{V_i \omega_0}{V_0 \omega_i} \tag{1-16-38}$$

式中 $R_i$——各前进速度时的转弯半径，m；

$R_0$——起始转弯半径，在此$R_0=15m$；

$V_i$——各个前进速度，m/s；

$V_0$——起始前进速度，在此$V_0=0m/s$；

$\omega_i$——各前进速度时的横摆角速度，rad/s；

$\omega_0$——起始前进速度时的横摆角速度，在此$\omega_0=0rad/s$。

$$(\alpha_1 - \alpha_2)_i = \frac{360^\circ}{2\pi} L \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_i} \right) \tag{1-16-39}$$

式中 $\alpha_1$——前轴侧偏角，(°)；

$\alpha_2$——后轴侧偏角，(°)；

$L$——汽车轴距，m；

$\pi$——圆周率；

$R_0$——起始转弯半径，在此$R_0=15m$；

$R_i$——各前进速度的转弯半径，m。

然后，把计算结果标绘成汽车转弯半径比对侧向加速度以及汽车前后轴侧偏角差对侧向加速度的关系曲线图。一般，在侧向加速度为$4m/s^2$时评价上述曲线：如果转弯半径比大于1或者前后轴侧偏角差为负数，则系不足转向；而在转弯半径比小于1或前后轴侧偏角差为正数时，则系过多转向。

2．回正性能试验

在正式试验开始之前，汽车以$3m/s^2$的侧向加速度，沿半径为15m的圆周行驶500m，以给试验轮胎预热。然后，按试验轮胎的类型分别进行中速回正试验或高速回正试验。

对最高速度低于100km/h的轮胎来说，进行中速回正试验即可。在进行该试验时，首先驾驶汽车沿半径为$15\pm1m$的圆周行驶，再把前进速度调整到28km/h左右，待汽车达到$4\pm0.2m/s^2$的侧向加速度时，稳定3秒钟，然后驾驶员突然松开方向盘，记录松开方向盘后3秒钟内的汽车前进速度、横摆角速度、侧向加速度和时间，在记录时间内使汽车的油门保持不变。试验按汽车向右转和向左转的方式，各做3次。

对最高速度超过100km/h的轮胎来说，应进行高速回正试验。试验时，汽车以80km/h的速度沿试验路段直线行驶，适当地转动方向盘，使其侧向加速度达到$4\pm0.2m/s^2$，然后稳定3秒钟，再突然松开方向盘，记录松开方向盘后3秒钟内的汽车前进速度、横摆角速度、侧向加速度和时间，在记录时间内使汽车的油门保持不变。试验也以汽车向左转和向右转的方式，各做3次。

由中速或高速的回正性能试验的记录数据，整理出以下试验结果。

（1）第一次回零时间　指松开方向盘后，汽车横摆角速度曲线第一次与零线相交时的时间。

（2）回正时间　指在松开方向盘后的3秒内，汽车横摆角速度曲线回复到零线位置的时间。

（3）稳定时间　指在松开方向盘后的3秒内，汽车横摆角速度虽未回复到零线位置但达到某一不变数值的时间。

（4）残留横摆角速度　指达到稳定时间的横摆角速度。

（5）回正性能不稳定　表示在松开方向盘后的3秒内，汽车根本不能回正或振荡越来越大的现象。

上述试验结果都取3次试验的平均值，按左转向和右转向分别列出数据并标绘汽车横摆角速度回正特性曲线。

3．撒手稳定性试验

在试验前，试验轮胎要在汽车上先进行预热行驶。然后，汽车以等速作直线行驶，猛打方向盘后立刻撒手。这样汽车因猛打方向盘而受到横向扰动，处于自由振动状态，产生衰减振动。汽车的前进速度为60、80、100和120km/h4档。打方向盘的角度在60～150°之间，随车速的增加而减少，使扰动后引起的侧向加速度在2～3m/s²之间。在试验中，记录汽车的前进速度、横摆角速度和侧向加速度的变化过程，再将记录数据整理并标绘成汽车横摆角速度的振动频率对车速、汽车侧向加速度的振动频率对车速和相对阻尼系数对车速的关系曲线图。

4．方向盘转角阶跃输入试验

轿车轮胎进行方向盘转角阶段输入试验时的车速为80km/h。其它轮胎为60km/h，但不能用呈过多转向的汽车作为试验车。首先，使装好试验轮胎的汽车以试验车速至少行驶10km，以给轮胎预热。然后，驾驶汽车按试验车速作直线行驶，使其横摆角速度为零。接着，以尽可能快的速度（不低于500°/s）转动方向盘，达到预先选定的位置，并在这个位置保持数秒种或等到所测量的汽车运动变量达到稳态值为止。试验时，使汽车的油门位置维持不变。试验按0、1、2、3和4m/s²的侧向加速度分为4档，每档包括左转向和右转向试验各一次。在试验中，要测量并记录汽车的前进速度、方向盘转角、侧向加速度和横摆角速度，再将记录数据整理成以下试验结果。

（1）稳态值　系指汽车的前进车速、方向盘转角、侧向加速度、横摆角速度和车厢侧倾角进入稳态后的平均值。

（2）响应时间　指以方向盘转角达到终了值的50%时为起点，侧向加速度和横摆角速度响应首次达到新稳态值之90%所需的时间。

（3）峰值响应时间　它也以方向盘转角达到终了值的50%时为起点，但系侧向加速度和横摆角速度响应达到其第1个峰值所需的时间。

最后，把试验结果标绘成稳态侧向加速度对方向盘转角、稳态横摆角速度对方向盘转角、侧向加速度的响应时间和峰值响应时间对侧向加速度以及横摆角速度的响应时间和峰值响应时间对侧向加速度的关系曲线图。这些曲线都按左转向试验和右转向试验分别加以标出。

5．蛇行试验

在长度不小于1000m和宽度不小于试验车宽度5倍的场地上，按图1-16-88沿直线布置10个标桩。标桩间距和规定车速见表1-16-43。

选定经验丰富的驾驶员3人。按图1-16-88所示的路线和表1-16-43中的规定车速，每名

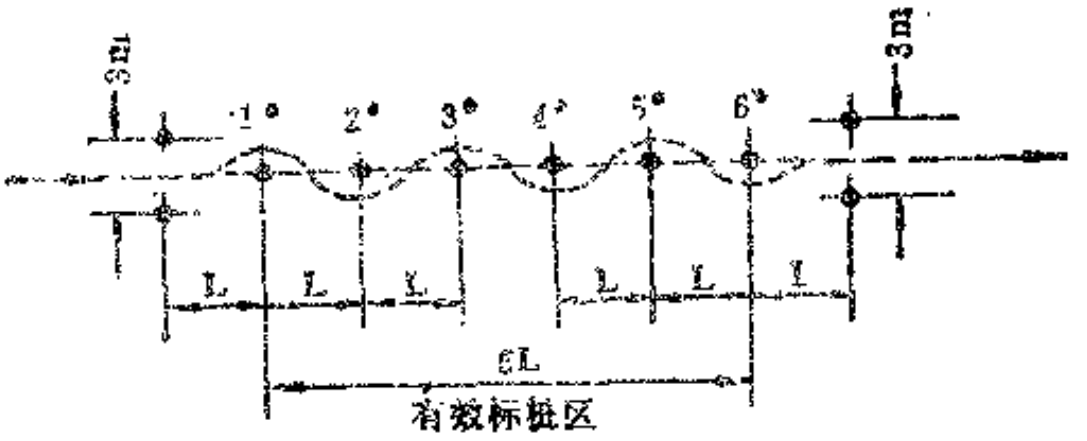



图 1-16-38 蛇行试验的标桩布置

L—标桩间距

表 1-16-43 蛇行试验的标桩间距和规定车速

| 试验车类型 | 标桩间距 m | 规定车速 km/h | 试验车类型 | 标桩间距 m | 规定车速 km/h |
|---|---|---|---|---|---|
| 轿车 | 30 | 60 | 中、大型载货汽车和越野汽车 | 30 | 40 |
| 小型载货汽车和轻型越野汽车 | 30 | 40 | 大型客车 | 40 | 40 |

驾驶员先进行5个往返的练习。接通仪器电源，使之预热到仪器正常工作的温度。然后，按规定车速和路线，在不撞倒标桩的前提下，每名驾驶员驾驶试验车往返穿行3次（撞倒标桩或车速不符合规定者不计在内，但应在记录内加以说明），记录汽车的方向盘转角、横摆角速度、侧向加速度和通过有效标桩区的时间。最后，将记录数据整理成以下试验结果。

（1）蛇行车速　是由有效标桩区间的直线距离除以汽车通过该区间的时间而得。

（2）平均方向盘转角　指汽车通过第2、3、4和5号4个标桩的方向盘转角（取其绝对值）的平均值。

（3）平均横摆角速度　指汽车通过第2、3、4和5号4个标桩的横摆角速度的平均值。

（4）平均侧向加速度　为汽车通过第2、3、4和5号4个标桩的侧向加速度的平均值。

以上结果要先按每名驾驶员和每次试验列出，再求出每名驾驶员往返穿行3次的平均值以及3名驾驶员试验结果的平均值。

**（二）试验仪器和设备**

轮胎的整车操纵稳定性试验需要测量汽车的方向盘转角、横摆角速度、侧向加速度和车速等参数。用各种不同的传感器把各种非电量的物理量转换成电量，输入综合控制仪。综合控制仪可以将各电量进行放大，再通过记录仪器把各项参数的变化过程同步地记录下来。现举例说明主要参数的测量仪器及其安装位置。

（1）方向盘转角的测量　在汽车方向盘上方的固定不动处悬接一软轴。在软轴的一端装有一微型的多圈电位器。电位器的外壳固定在方向盘的中心部位，可随方向盘一起转动；而电位器的轴因与软轴相连，故不能转动。因此当方向盘转动时，电位器的电阻值就随之改变，于是就可测出方向盘转角的大小。

（2）横摆角速度的测量　汽车的横摆角速度是它绕其垂直轴旋转的角速度，用放在汽车内的二个自由度的角速度陀螺仪加以测量。

（3）侧向加速度的测量　汽车的侧向加速度可用过载传感器进行测量。当汽车悬挂质量上的侧向加速度改变时，该传感器中的重块发生移动，带动输出电位器的电刷，使之产生电信号。

（4）车速的测量　在汽车尾部的中心位置安装一第5轮。在第5轮的侧面装有一断电器，每当第5轮转动1周，它便断电1次，由此测出第5轮的转数。因为第5轮的滚动半径是事先标定好的，所以只要测得它的转数便可求得汽车的行程。在汽车上另设有计时装置，每隔0.25秒发出一个脉冲信号。最后，根据行程和时间计算出汽车的瞬时速度。

**（三）试验结果举例**

表1-16-44是不同轮胎的汽车不足转向试验结果对比。表1-16-45是不同轮胎的汽车蛇行试验结果对比。上述试验结果都是用同一辆红旗CA770型轿车测得的。由表1-16-44中的数据看出，在同一辆车上，当把其使用的轮胎由8.20-15的斜交结构轮胎改变为215R15的子午线结构轮胎时，汽车的不足转向将减少，其中在4m/s²的侧向加速度时前后轴侧偏角差减少1.5°，转弯半径比减少17%。又从表1-16-45中得到，在通过同样的标桩区时，装用215R15轮胎的汽车比装用8.20-15轮胎的汽车的方向盘转角小，时间短，即汽车响应驾驶员指令的效率高，操纵比较自如。这些差别表明，由于轮胎结构的不同，引起轮胎力和力矩特性的不同，从而改变汽车的操纵性和稳定性。这与在本节的轮胎力和力矩试验中举例说明的175SR14轮胎与6.95-14轮胎之间的差别完全一致，又一次证明轮胎性能与汽车性能必须匹配，二者都应兼顾，只有这样才能获得满意的结果。

**表 1-16-44　不同轮胎的汽车不足转向试验结果对比**

| 轮胎规格 | 汽车前后轴侧偏角差(°) | 汽车转弯半径比 |
|---|---|---|
| 8.20-15 | 4.1 | 1.50 |
| 215R15 | 2.6 | 1.25 |

注：表中的汽车前后轴侧偏角差和汽车转弯半径比均系在4m/s²的侧向加速度时的。

**表 1-16-45　不同轮胎的汽车蛇行试验结果对比**

| 轮胎规格 | 方向盘转角(°) | 横摆角速度(°)/s | 侧向加速度m/s² | 时间s | 驾驶员反映 |
|---|---|---|---|---|---|
| 8.20-15 | 258 | 16.3 | 4.4 | 13.1 | 已到极限 |
| 215R15 | 190 | 15.4 | 4.8 | 12.0 | 略有潜力 |

**（四）影响因素**

在整车操纵稳定性试验中，有以下影响因素。

（1）在稳态试验中，由于汽车横摆角速度的变化很慢，因此角速度陀螺仪固的有频率并不重要。但在瞬态试验中，汽车横摆角速度的变化很快，容易引起测量系统的共振。因此为了保证测量精度，角速度陀螺仪的固有频率应至少是其测量频率的5倍。

（2）试验前，应将所有用于试验的仪器，按其不同要求和方法，在专门装置上进行标定，以检验精度和确定标尺。例如，测量侧向加速度用的过载传感器应在水平的平台上进行标定；角速度陀螺仪应在综合陀螺检验台上检验等。

# 第十二节　轮胎应力-应变测量

轮胎应力-应变测量主要采用非电量电测法（简称电测），是一门发展迅速并逐渐普及的测试技术。其特点是可以进行很多过程的同步记录；应用示波器同时记录随时间变化的几个参量。由于电测技术在轮胎试验中的应用，才使得研究轮胎滚动过程的应力-应变成为可能，从而为轮胎结构设计提供了参考，并促进了轮胎变形理论研究的发展。现分别介绍轮胎内、外表面变形和轮胎胎里帘线应力的电测方法。

## 一、原　　理

电测是将测量的非电量转变为和它成函数关系的电量值，从而进行显示的记录。因此，非电量与电量之间成线性关系是非常重要的。

### （一）电测变换器（转换元件）

要进行测量的非电数值（机械量、物理量），首先需要变为与它本身成比例的电量（电流或电压）。在测量装置里面完成这种变换作用的元件称为变换器，或称为转换元件（在整个测量系统中，一般又称为第一变换器）。这种元件的种类很多，在轮胎变形的测量中，往往将非电量转变为电阻、电感、电容之类的电量变化。目前应用最广泛和使用较方便的是电阻丝变换器。它所依据的原理是金属导线在拉伸压缩时，电阻发生变化。当输胎某一部位发生变形时，电阻丝也随之变形，而引起元件的值改变，其改变数值就表示所测量部位变形的大小。

应变电阻变换器的电阻$R$由式（1-16-40）决定。

$$R=\rho\frac{l}{s} \tag{1-16-40}$$

式中　$\rho$——电阻丝比电阻（或电阻系数），$\Omega\cdot mm^2/m$；

$l$——电阻丝长度，mm；

$s$——电阻丝截面积，$mm^2$。

当金属丝有变形时，不仅改变了它的尺寸，而且也相应改变了它的电阻系数$\rho_0$，如果$\rho$的数值与电阻丝的变形无关，则可得出下列关系：

$$R=\rho\frac{l}{s}$$

$$\Delta R=\Delta R_1-\Delta R_2$$

式中　$\Delta R_1$——长度变化而引起的电阻增量；

$\Delta R_2$——截面积变化而引起的电阻变化。

$$\Delta R=\rho\frac{\Delta l}{s}-\frac{\rho l\Delta s}{s^2}$$

$$\frac{\Delta R}{R}=\frac{\Delta l}{l}-\frac{\Delta s}{s}=\frac{\Delta l}{l}-2\frac{\Delta r}{r}$$

式中　$r$——电阻丝半径。

因为

$$\frac{\Delta r}{r}=-\mu\frac{\Delta l}{l}$$

式中　$\mu$——电阻丝材料的波桑系数。对金属此系数等于0.24～0.4。

则
$$\frac{\Delta R}{R}=(1-2\mu)\ \frac{\Delta l}{l}$$

$$K_0=\frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}=1+2\mu \tag{1-16-41}$$

$K_0$为元件电阻丝的相对灵敏度，即每一单位变形所引起的电阻相对变量，一般在1.6～3之间。但是试验得出的各种金属的$K_0$值，超出了上述范围，所以实际上应当是：

$$K_0=\frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}=(1+2\mu)\frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta l/l} \tag{1-16-42}$$

由于$\frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta l/l}$对一般材料来说在弹性变形时为常数，因此，$\Delta R/R$和$\Delta l/l$成线性关系。

### （二）测量电桥

转换元件虽为实现电测打下了一定的基础，但由于电阻数值变化极小，较难测量，因此电测需应用一定的电路（又称第二变换器），将电阻变化进一步转换成易于放大测量的电流或电压的变量，以便应用仪器观察记录。

在电测中，主要采用电桥式测量电路。对电桥电路来说，最主要的指标是灵敏度$K_y$，因它直接影响整个测量装置的灵敏度$K$。

$$K=\frac{h}{\varepsilon}=\frac{\Delta R/R}{\varepsilon}\cdot\frac{\Delta I(\Delta V)}{\Delta R/R}\cdot\frac{h}{\Delta I(\Delta Y)}=K_0\cdot K_y\cdot K_h \tag{1-16-43}$$

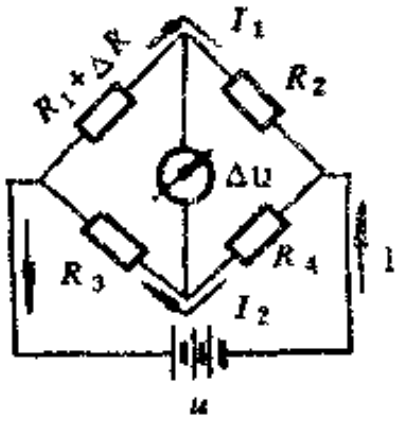



图 1-16-89　电桥示意图

式中　$\varepsilon$——应变值；

$h$——指示器的指针偏移值；

$K_0$——元件的灵敏度；

$K_y$——电桥电路的灵敏度；

$K_h$——指示器的灵敏度。

变换器通常接在电桥电路里，并按惠斯登电桥原理来测定电阻的变化量（即部件相应的变形量）。图1-16-89中，$\Delta R$是由于变形而在$R_1$处产生的电阻变化量；$u$是电桥的输入电压，为常数，$\Delta u$是电桥失去平衡时对角线间两端的电位差。

当电桥平衡时，$\Delta u=0$。

在外力作用下，由于零件相对变形$\varepsilon$的影响，使电阻丝$R_1$的电阻值增加了$\Delta R$，电桥就失去平衡，在对角线1,3之间出现了电位差$\Delta u$，可用式（1-16-44）表示：

$$\Delta u=\frac{1}{4}u\varepsilon K_0 \tag{1-16-44}$$

该式刻划了电桥的工作特点，即电桥所输出电压$\Delta u$和零件的相对变形$\varepsilon$成正比关系，而$\varepsilon$正比于外力，因而$\Delta u$也正比于外力。

## 二、轮胎内外表面变形的电测试验

轮胎由复合材料制成，它的变形与撕裂、老化以及使用寿命有着十分密切的联系。长期

以来，人们多以定性分析的方法进行研究，因此，建立轮胎内外表面变形的电测试验，由直接测得的变形率来进行研究是很有必要的。

### （一）电测转换元件

转换元件是电测的基础，实现轮胎电测必须首先确定适当的元件。轮胎由充气负荷直至滚动均发生较大的应变（约10～15%），而一般金属零件变形所用的变换器如电阻应变片，是在相当小的应变范围内考虑的，一般不超过1～1.5%，因此，它不能直接用于轮胎胎冠、胎侧和胎肩这些主要部位来研究轮胎的变形。用于轮胎内外表面变形电测的转换器应符合下列基本要求：

① 测量应变范围在0.2～20%之间；

② 转换元件本身具有最低的刚性，变换器的装配不致改变轮胎变形的特性；

③ 变换器与轮胎的联结要求简单可靠；

④ 变换器具有良好的线性关系；

⑤ 变换器有相当的灵敏度及稳定的读数。

按照上述要求，国内试制了橡胶线电阻丝变换器，以适应轮胎内外表面变形测量的需要。

橡胶线电阻丝变换器结构如图1-16-90所示。用这种转换元件粘贴在轮胎上的测定变形部位，同轮胎一起变形，电阻丝被拉伸或压缩，其阻值随之而相变化，并且呈函数关系。这种元件的最大测量值可达50%的变形，其线性范围经数理统计的回归分析可达20%，转换元件的主要参数见表1-16-46。J-20型转换元件适用于载重汽车轮胎，J-13型转换元件适用于轿车轮胎。

### （二）试验仪器及电路

以电的方法来测量非电量值仪器基本结构可绘制图1-16-91所示形式。

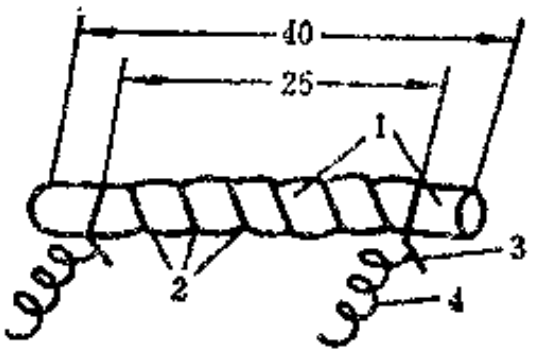



图 1-16-90 J-20型橡胶线电阻丝转换元件(单位：mm)
1—橡胶线；2—康铜丝；3—接头；4—引出线

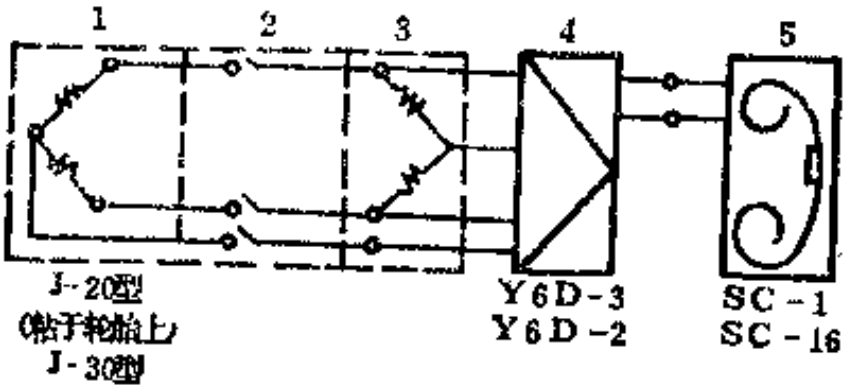



图 1-16-91 轮胎电测仪器组合图
1—应变计；2—集流器（动态）；3—电桥盒；4—应变仪；5—记录仪

电测所用的仪器主要有放大器（应变仪）和示波器（记录仪）。

由于测量上的要求，因此在应变仪的设计上增加了稳定电流电压的稳压装置，检测电桥输出的电压检测装置，将电路输出端的交变电流加以整流的整流装置，从而使电路复杂化。其方框图如图1-16-92。

### （三）轮胎内外表面静、动态变形电测试验举例

1．轮胎充气及静负荷下的变形测定

轮胎充气及静负荷下的变形测定为轮胎电测的第一步，也是动态测量的基础。试验前，

表 1-16-46 橡胶线电阻丝转换元件主要参数

| 元件型号 | 电阻值Ω | 胶线直径，mm | 康铜丝直径,mm | 元件全长,mm |
|---|---|---|---|---|
| J-20 | 120±2 | 2.0 | 0.03 | 40 |
| J-13 | 120±2 | 1.3 | 0.02 | 25 |

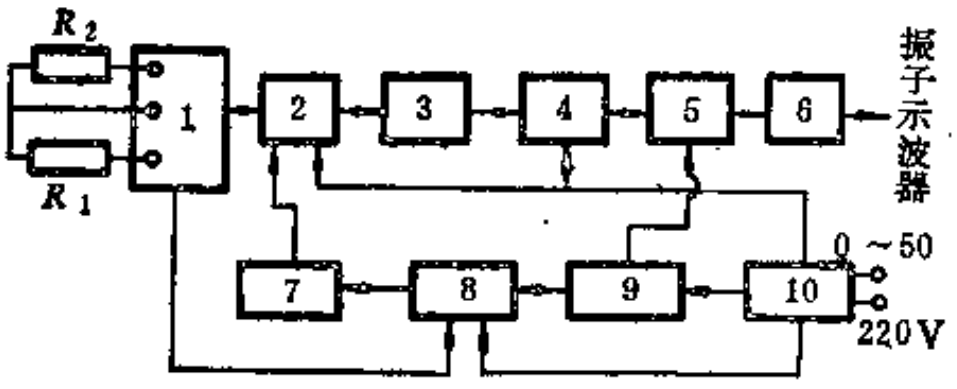



图 1-16-92 Y6D-3型动态应变仪方框图

1—电桥盒；2—输入电路；3—衰减器；4—放大器；5—相敏减波器；6—滤波器；7—标定；8—振荡器；9—缓冲器；10—电源供给器

首先按要求确定轮胎的检验部位，并作好打磨、擦净，划线等表面处理，然后在划线处粘贴元件。元件与应变仪焊接后，调节平衡，选择适当衰减，即元件受力达最大值时，电流读数以不超过记录仪满刻度的80%为宜。同时，选定示波器振子，调好亮度电压，光栅及纸带速度，并调整光点即可进行测试。

轮胎充气及静负荷电测变形是在室内静负荷试验机上进行的。轮胎测量位置包括：胎冠内、外；胎肩内、外；胎侧内、外；子口等。测量结果见表1-16-47及表1-16-48。由此可见，轮胎不同部位或同部位的内外表面等，在充气和静负荷下的变形均有明显差异，这对汽车轮胎的研究和设计无疑是具有参考意义的。

表 1-16-47 轮胎内、外表面由充气至负荷下变形对比

单位：%

| 气压 kPa (kgf/cm²) | 胎肩外表面 | | 胎肩内表面 | | 胎侧外表面 | | 胎侧内表面 | | 胎冠内表面 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 充气时平均 | 负荷下平均 | 充气时平均 | 负荷下平均 | 充气时平均 | 负荷下平均 | 充气下平均 | 负荷下平均 | 充气下平均 | 负荷下平均 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 520 (5.3) | +18.25 | +1.07 | +13.22 | +1.75 | +16.9 | +12.10 | +5.93 | +1.75 | +3.48 | +4.26 |
| 588 (6.0) | +18.80 | +3.21 | +14.02 | +3.67 | +16.9 | +15.30 | +6.28 | +2.29 | +3.82 | +4.83 |
| 618 (6.3) | +19.25 | +4.04 | +14.13 | +4.19 | +16.9 | +15.90 | +6.28 | +3.49 | +4.17 | +5.14 |
| 0 | 0 | 0 | — | — | 0 | 0 | 0 | — | 0 | — |

注：负荷为17.66kN(1800kgf)。

表 1-16-48　轮胎不同位置和不同角度充气应变值

单位：%

| 气压 kPa (kgf/cm²) | 轮胎径向 | | | 胎侧 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 胎肩 | 胎侧 | 子口 | 0°T方向 | 45°纟方向 | 135°纟方向 |
| 0 | — | — | — | — | — | — |
| 275 (2.8) | +10.93 | +11.15 | +0.39 | −2.61 | +3.71 | +4.54 |
| 451 (4.6) | +15.66 | +11.15 | +0.56 | −3.07 | +7.73 | +6.28 |
| 520 (5.3) | +16.97 | +12.17 | +0.63 | −2.61 | +9.04 | +6.98 |
| 588 (6.0) | +17.62 | +13.18 | +0.67 | −2.61 | +11.12 | +7.15 |
| 618 (6.3) | +18.27 | +13.69 | +0.73 | −2.61 | +11.12 | +7.50 |

2. 轮胎载荷下滚动时的变形测量

轮胎滚动时的电测，是至今唯一能实现轮胎动态变形测量的试验方法。轮胎动态测量则需将轮胎装在汽车上，选择平直的水泥路面，在标准载荷下，以20km/h的速度（或特殊需要规定的速度）进行试验。其测量仪器和电路与静态变形试验基本一致，不过要在被测轮胎半轴头上装一个集流器，以便将轮胎变形转换元件输出的电信号准确地传至应变放大，并由示波器记录。

按上述测试方法，轮胎动态变形测量结果见图1-16-93，这是胎侧外表面不同角度位置的典型曲线。图1-16-94是胎肩内、外表面同时测出来的曲线，显示其变形相差约50%左右。图1-16-95系9.00-20斜交轮胎与9.00R20子午线结构轮胎胎侧变形示波曲线的比较。

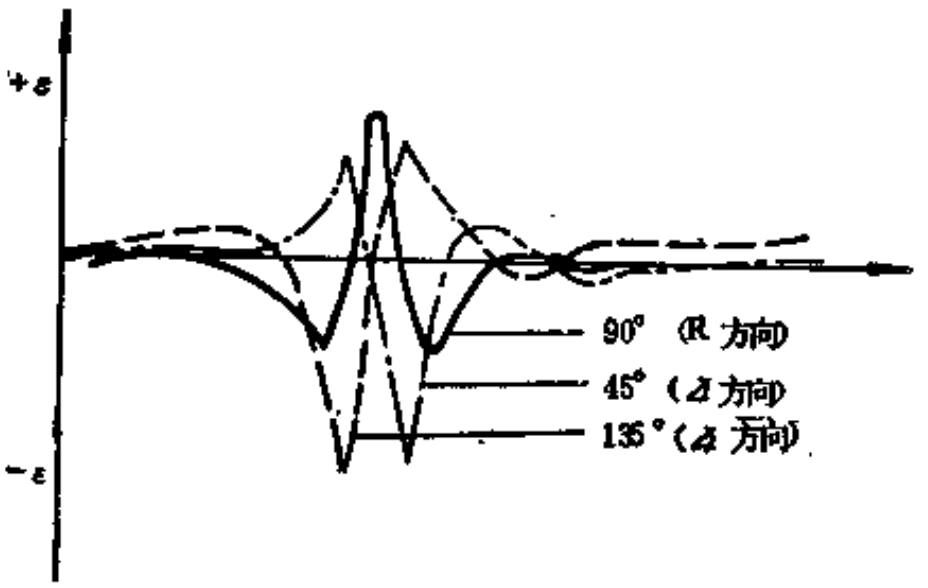



图 1-16-93　胎侧不同角度方向的变形曲线

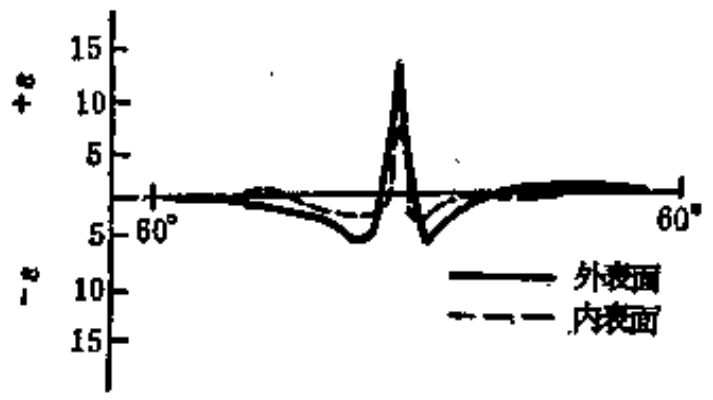



图 1-16-94　胎肩（R方向）内、外表面变形曲线

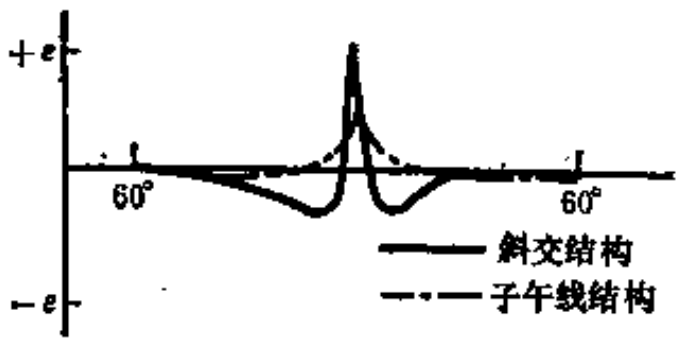



图 1-16-95　斜交、子午线结构轮胎胎侧变形曲线

## 三、轮胎胎里帘线应力的电测试验

轮胎帘线是复杂的粘弹性体，要用数学的方法表示其所受负荷的应力-应变是困难的。因此，有必要建立一种直接测得轮胎胎里帘线静动态应力-应变的试验方法，然后再进行理论分析。轮胎胎里帘线应力的电测试验就是一种比较理想的方法。

### （一）电测用传感器

轮胎胎里帘线电测用传感器为应变片式传感器，一般多采用梯式（或称为鞍式）。这种传感器相当小，但具有足够的强力，在轮胎里能敏捷、长时间地反复测定帘线滚动时的周期负荷而不影响帘线排列。

1。传感器的一般设计原则

（1）传感器任何截面上的应力都要低于所用材料的弹性极限。传感器的灵敏度要较大，且又应注意安全系数不要过大。

（2）传感器在粘贴应变片的截面上，其变形应是单一的。

（3）弹性元件变形（应变片及反映的应变信号）与所测参量之间应成线性关系，并具有良好的重现性。

（4）选用具有一定回弹模量的材料。

所谓回弹模量是杆件变形后，单位体积材料贮存的能量，在撤除应力时，所释放的单位体积功，即：

$$\frac{1}{2}\sigma\varepsilon=\frac{1}{2}\cdot\frac{\sigma^2}{E} \tag{1-16-45}$$

弹性模量$E$低而弹性极限高的材料，就具有高的回弹模量。

2。用于轮胎胎里帘线的电测传感器

用于轮胎胎里帘线的电测传感器由矩形短条铝板粘贴应变片而成，其特点是结构简单，性能稳定，使用也较方便。

（1）外形尺寸　作为传感器的弹性元件——矩形短条，长约10～13mm。两端末端各有一个$\phi$1.5mm的圆孔，专供帘线从孔中穿过，因此传感器则表示了两根帘线所受应力，一根帘线则相当于所显示值的一半。

（2）传感器的制作工艺　按上述要求做好的矩形铝板，贴上横向效应小，蠕变小，灵敏度较高的金属箔式应变片。其电阻值为120Ω，有效面积为3×2或3×1.5mm$^2$。粘贴好的元件分三个温阶逐步升温固化后即可投入使用。

（3）传感器的标定　标定在常温下进行，且只要作静负荷试验。图1-16-96为传感器的典型标定曲线。由此可以看出，帘线受1力kgf，传感器约输出50个微应变（1个微应变等于元件单位长度相对伸长百万分之一）。

（4）传感器的电桥线路　传感器的电桥线路如图1-16-97所示，它属四分之一桥的惠斯登电桥联接，这主要是因为弹性元件可用面积小，应用四分之一桥即可保质量。由于同一桥臂采取上下两个应变片的串联形式，从而消除了弹性元件在拉伸条件下可能出现的弯曲应力。

### （二）轮胎胎里帘线电测结果举例

轮胎胎里帘线电测试验实现了轮胎在充气、静负荷以及滚动时的帘线所受应力的测定，

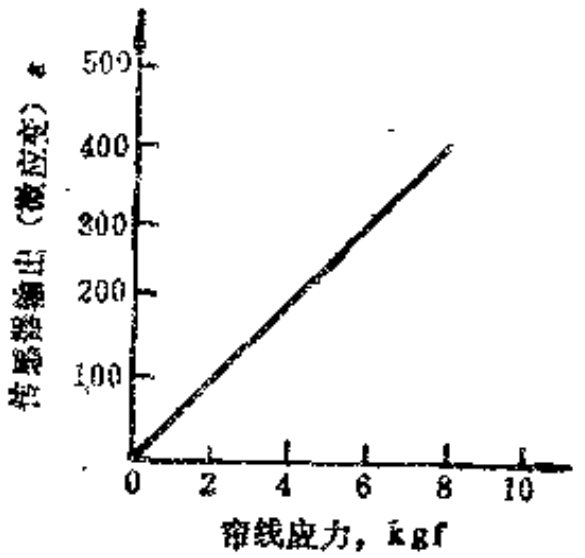



图 1-16-96　传感器标定曲线

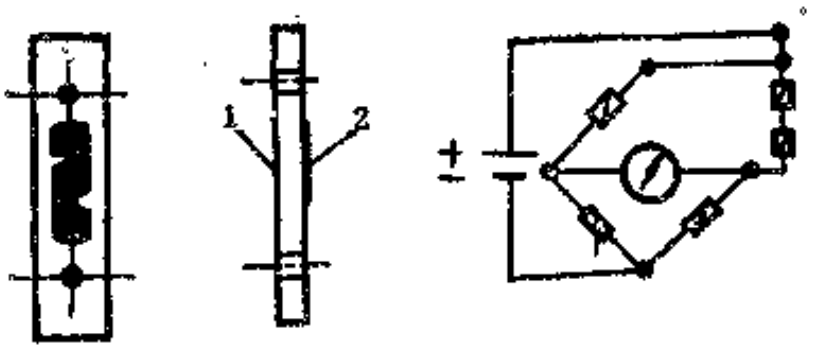



图 1-16-97　四分之一桥传感器、应变片及电桥电路
1,2—应变片

而且所显示的结果是绝对值（kgf），这将更加方便人们对研究结果的分析和应用。有关试验结果参阅图1-16-98和图1-16-99。

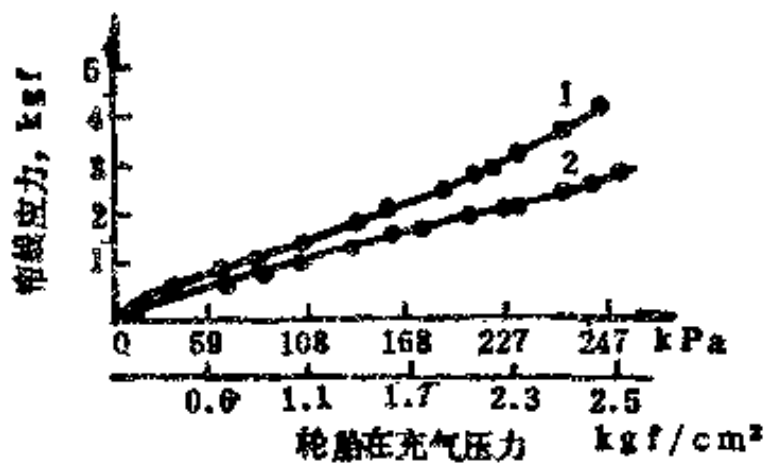



图 1-16-98　轮胎在充气压力下，胎冠和胎侧帘线受力情况
1—胎冠；2—胎侧

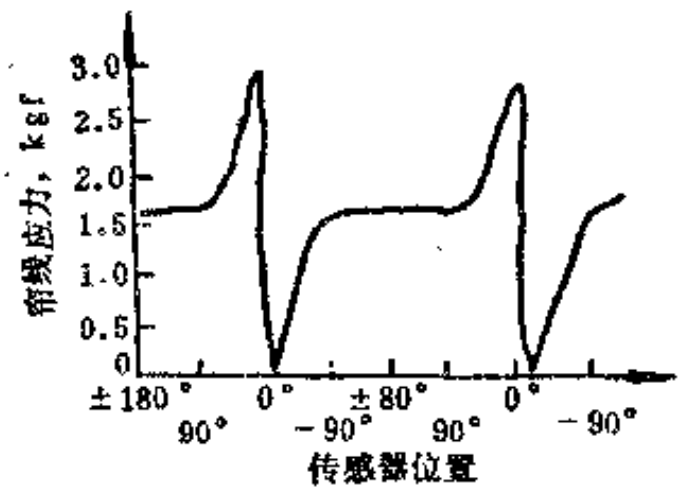



图 1-16-99　轮胎滚动时，胎侧外层帘线受力波形

## 四、影响因素

### （一）应变片温度补偿

在电测试验中，必须消除温度对应变片的影响，因温度变化能引起消除温度对应变片的影响，因温度变化能引起电阻应变片相当大的电阻变化，其电阻值$\Delta R_t$变化可按式（1-16-46）表示：

$$\Delta R_t = \alpha_s R \Delta t + (\beta_b - \beta_s) K R \Delta t \qquad (1\text{-}16\text{-}46)$$

式中　$\alpha_s$——丝栅材料的电阻温度系数；

$R$——电阻应变片电阻值；

$\Delta t$——温度变化；

$\beta_s$——丝栅材料的线膨胀系数；

$\beta_b$——被测零件材料的线膨胀系数；

$K$——丝栅材料的灵敏系数。

温度引起的虚假应变，称为视应变。在测试过程中，如不采取措施，有时温度变化1℃，

可引起相当于40个微应变的视应变值，从而给测试结果带来很大的误差。通常用的温度补偿方法有补偿片补偿法和工作片补偿法两种。

表 1-16-49　不同车速轮胎外表面变形结果

单位：%

| 测试部位 | 20km/h | 40km/h | 60km/h |
|---|---|---|---|
| 胎侧(120) | 5.93 | 6.29 | 6.80 |
| 胎肩(50) | 10.89 | 11.51 | 11.86 |
| 胎肩(70) | 12.09 | 12.42 | 12.73 |

**（二）试验速度**

试验时的速度对轮胎变形结果的影响是明显的，20，40，60km/h进行对比，数据如表1-16-49所示。

因此，试验中必须严格控制速度，才能确保试验结果的重现性和可比性。

**（三）轮胎内表面试验的轮辋问题**

轮胎内表面试验不能应用现有汽车轮辋，否则会因轮胎滚动过程中内胎与外胎之间发生相对位移，而使引出线断开，造成无信号输出；同时又因轮胎充气后内胎膨胀而压迫转换元件，产生横向效应，致使输出信号偏高，出现假应变值。因此，在轮胎内表面电测试验时，必须选用改制的分解式无内胎轮辋。

## 第十三节　附着性能试验

轮胎是车辆与道路系统中力的传递单元。它的传递能力受轮胎与路面之间附着性能的限制。附着性能不仅与轮胎的结构、胎面花纹、胎面胶配方、轮辋、充气内压、负荷和行驶速度等有关，而且随路面和环境条件而改变，因此附着性能是某一轮胎在一定的路面上和一定的环境条件下的一种性能。

轮胎附着性能试验按其试验场合或所用的设施可分为：道路试验、田间试验、转鼓试验和土壤槽试验。前二类为室外试验，后二类在实验室内进行。

### 一、汽车轮胎道路试验

在道路上进行汽车轮胎附着性能试验的方法一般有以下6种：驱动试验；制动试验；制动拖车试验；无扭矩车轮转弯试验，有扭矩车轮转弯试验以及力和力矩拖车试验。现参照美国材料试验学会标准F376—79、F403—80、F408—81、F424—81、F435—81和F554—78，以轿车轮胎和轻型载重汽车轮胎的试验为例，对上述6种试验的要求和步骤作一简单介绍。

这些试验一般都在沥青路面或水泥混凝土路面的道路或场地上进行。在该道路或场地的试验区内，路面的铺装年份、结构和磨损应一致。试验路面还应平整，无松散材料或外来沉积物，任何方向的坡度都不大于2%，用3m平尺检验的不平度不大于6.4mm。在进行湿路面上的试验时，应至少提前0.5小时用净化水把试验路面淋湿，使路面上的凸起部分也浸在水中并保证在试验期间路面上的水深均匀。为了对路面进行预处理，在试验前用非试验轮胎在试验路面上至少做20次试验，直至其试验结果趋于稳定为止，然后再测定路面的摩擦系数。

根据试验要求挑选试验轮胎，同批轮胎的生产年份和贮存条件应基本相同。剪去轮胎胎面上的模缝流失胶边和排气孔流失胶辫。将轮胎安装在符合轮胎标准规定的轮辋上，充入表1-16-50规定压力之压缩空气，停放24小时后，再把轮胎中的气压调整到规定压力。给轮胎与轮辋组合体进行平衡试验，把它安装在符合试验要求的车辆上。用重物调整车辆的重量分

布，使试验轮胎上的静负荷符合表1-16-51的要求。然后，试验车按表1-16-52的要求在道路上试运行，以除去轮胎胎面上的润滑剂和光泽，但应避免轮胎磨损不均匀。试运行结束后，让轮胎停放并冷却到环境温度。在试验开始前，重新把轮胎中的气压调整到表 1-16-50 的规定压力。

表 1-16-50 附着性能试验（道路试验）的轮胎充气内压

| 轮胎类型 | 充气内压 |
|---|---|
| 轿车轮胎 | 169±3.9kPa(1.7±0.04kgf/cm²) |
| 轻型载重汽车轮胎 | 轮胎标准规定的该层级轮胎单胎最大负荷的对应气压 |

表 1-16-51 附着性能试验（道路试验）的轮胎负荷

| 轮胎类型 | 负荷 |
|---|---|
| 轿车轮胎 | 轮胎标准规定的与168kPa (1.7 kgf/cm²)的气压相对应的负荷 |
| 轻型载重汽车轮胎 | 轮胎标准规定的该层级轮胎的单胎最大负荷 |

表 1-16-52 附着性能试验（道路试验）的轮胎试运行要求

| 试验方法 | 行驶速度 km/h | 试运行里程 km | 胎面花纹磨去深度 |
|---|---|---|---|
| 驱动试验 | 80～88 | ≥80 | ≤新胎的5% |
| 制动试验 | 96～113 | ≥80 | ≤新胎的10% |
| 制动拖车试验 | 96～113 | ≥80 | ≤新胎的10% |
| 无扭矩车轮转弯试验 | 96～113 | ≥161 | ≤新胎的5% |
| 有扭矩车轮转弯试验 | 80～88 | ≥80 | ≤新胎的10% |
| 力和力矩拖车试验 | 96～113 | ≥161 | ≤新胎的5% |

### （一）驱动试验

驱动试验用的主要装备有试验车、测功车、测力传感器、扭矩计、五轮仪、转速计和多通道记录器等。试验车应是后轴驱动的，具有发动机功率大和传动比大的特点。测功车由牵引杆连接在试验车尾部，能给试验车施加行驶阻力。测力传感器用于测量牵引杆上的牵引力。扭矩计测量试验车驱动轴上的扭矩。5 轮仪用于测量车速。转速计安装在车轮上，以测量它们的转速。全部测量数据都记录在多通道记录器上。测力传感器、扭矩计、5 轮仪和转速计都应定期标定和经常检验。

在试验车的驱动轮（后轮）都装上试验轮胎和转速计，另用二条与试验轮胎类似的轮胎装在它的非驱动轮（前轮）上，再把测力传感器和扭矩计安装在试验车上振动最小的位置，5 轮仪位于试验车的轮辙中间位置。给试验车称重，使试验轮胎上的静负荷符合表 1-16-51 的要求，但不超过车辆的出厂规定。

记录环境温度、路面温度、风速和相对于试验车行驶路线方向的风向。调整测功车，使牵引杆上的牵引力为零。试验车牵引测功车直线行驶，以4km/h的匀速驶入指定道路或场地的试验区。然后，先启动记录器，一方面增加测功车的制动力，另一方面加大试验车的油门，使牵引杆上的牵引力逐步增加而车速则基本不变，甚至达到最大牵引力之后，试验车轮滑转为止，但滑转时间以不超过0.5秒为宜。接着，松开试验车的油门踏板，卸出测功车的制动力并关闭记录器。每组轮胎在相同的条件下，按照上述步骤往返各做 5 次行驶试验。在试验轮胎中，指定其中一组为对照轮胎。试验轮胎和对照轮胎的试验穿插进行。除因停水外，全部试验应在 1 天内完成。

从记录曲线（如图1-16-100）上读出最大牵引杆牵引力值、滑移时的牵引杆牵引力值以及与它们对应的驱动轴扭矩值。先按式（1-16-47）对驱动轴扭矩和牵引杆牵引力的测量值进行回归分析，求出它们之间的转换率：

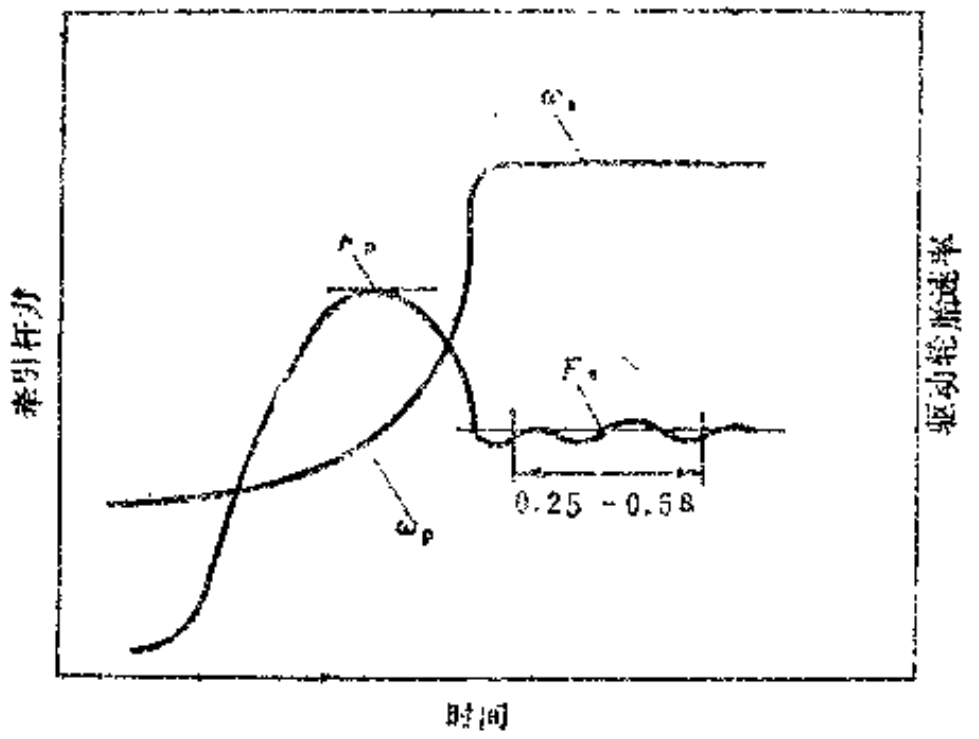



图 1-16-100 汽车轮胎驱动试验的记录曲线

$F_p$—最大牵引杆力；$\omega_p$—最大牵引杆力时转速；$F_s$—滑移牵引杆力；$\omega_s$—滑移牵引杆力时转速

$$T = T_0 + cF \tag{1-16-47}$$

式中 $T$——驱动轴扭矩，N·m；

$T_0$——牵引杆牵引力为零时的驱动轴扭矩，N·m；

$F$——牵引杆牵引力，N；

$c$——回归系数，即驱动轴扭矩与牵引杆牵引力之间的转换率，m。

然后，按式（1-16-48）和式（1-16-49）分别计算最大驱动系数和滑移驱动系数：

$$\mu_p = \frac{T_p}{c\left(\frac{h}{l}F_p + W_r\right)} \tag{1-16-48}$$

$$\mu_s = \frac{T_s}{c\left(\frac{h}{l}F_s + W_r\right)} \tag{1-16-49}$$

式中 $\mu_p$——最大驱动系数；

$\mu_s$——滑移驱动系数；

$T_p$——与最大牵引杆牵引力对应的驱动轴扭矩，N·m；

$T_s$——滑移时的驱动轴扭矩，N·m；

$F_p$——最大牵引杆牵引力，N；

$F_s$——滑移时的牵引杆牵引力，N；

$c$——驱动轴扭矩与牵引杆牵引力之间的转换率，m；

$h$——试验车后轴（即驱动轴）高度与拖曳装置高度之差，m；

$l$——试验车轴距，m；

$W_t$——试验车后轴（即驱动轴）的垂直负荷，N。

如果没有驱动轴扭矩的测量值，则可按式（1-16-50）和式（1-16-51）分别计算最大驱动系数和滑移驱动系数：

$$\mu_p = \frac{F_p + D}{\frac{h}{l}F_p + W_t} \tag{1-16-50}$$

$$\mu_s = \frac{F_s + D}{\frac{h}{l}F_s + W_t} \tag{1-16-51}$$

式中 $D$——车辆在试验速度时的拖曳阻力（即试验车与测功车的滚动阻力之和，可另测出），N。

再由记录曲线读出与最大牵引杆牵引力对应的驱动轮转速和滑移时的驱动轮转速，按式（1-16-52）和式（1-16-53）分别计算它们的纵滑速度：

$$V_p = \frac{V_0(\omega_p - \omega_0)}{\omega_0} \tag{1-16-52}$$

$$V_s = \frac{V_0(\omega_s - \omega_0)}{\omega_0} \tag{1-16-53}$$

式中 $V_p$——与最大牵引杆牵引力对应的纵滑速度，m/s；

$V_s$——滑移时的纵滑速度，m/s；

$V_0$——试验车速，m/s；

$\omega_p$——与最大牵引杆牵引力对应的驱动轮转速，rad/s；

$\omega_s$——滑移时的驱动轮转速，rad/s；

$\omega_0$——牵引杆牵引力为零时的驱动轮转速，rad/s。

每组试验轮胎和对照轮胎在每种试验条件下的最大驱动系数、滑移驱动系数以及与它们对应的纵滑速度，都取4次或4次以上试验结果的平均值。在试验过程中，由于试验路面逐渐磨光，因此驱动系数值有随试验次数增加而下降的趋势。为了弥补这个不足，需要按照对照轮胎的平均最大驱动系数值和平均滑移驱动系数值下降趋势，对试验轮胎的测试结果加以校正。它的校正方法是：先将对照轮胎的平均最大驱动系数值和平均滑移驱动系数值，分别按试验顺序号进行线性回归，求出一次曲线的截距和斜率，再计算出对照轮胎在整个试验期间的上述二个驱动系数的总平均值，然后，把试验轮胎的各个试验顺序号代入上述回归方程，分别求出对照轮胎的预测值，计算出对照轮胎的总平均值与各预测值的比率，最后，将试验轮胎的平均最大驱动系数值和平均滑移驱动系数值，分别乘以与其试验顺序号一致的上述比率，即得到校正后的试验轮胎的平均最大驱动系数和平均滑移驱动系数。

**（二）制动试验**

制动试验在具有代表性的和后轴驱动的汽车上进行。在试验前，对试验车的前轮定位和制动系统进行检查和调整，把加速度计牢固地固定在车辆的悬挂质量上，位置应处于或接近其重心，把测量车速用的5轮仪装在试验车上接近车辙中间的位置，在试验车轮上安装测速发电机。全部仪器都要定期标定和经常检查，所有的测量数据都记录在车内的多通道记录器上。

将试验轮胎装在试验车的二个前轮上或呈对角线的1个前轮和1个后轮上，在别的车轮

上都装配与试验轮胎类似的非试验轮胎，但是只有试验车轮的制动器起作用，非试验车轮的制动器都不工作。给试验车称重，使试验轮胎上的静负荷符合表1-16-51的要求，但不应超过车辆的出厂规定。试验车速为32.64和96km/h 3种。

记录环境温度、路面温度、风速和相对于试验车行驶路线方向的风向。首先，驾驶试验车以超出试验车速6～13km/h的速度，直线驶入试验区，再将变速器置于空档，启动记录器。在达到试验车速后，踩下制动踏板，使由制动产生的试验车初始减速度的增长率为10～30m/s³。继续踩制动踏板，直至二个试验车轮都抱死为止。然后，在32～96km/h的车速范围内，至少使试验车轮抱死1秒，再松开制动器和关闭记录器。每组试验轮胎在每种试验车速和路面上，进行10次重复试验（往返方向各5次）。在试验轮胎中，指定其中的1组为对照轮胎。试验轮胎和对照轮胎的试验应穿插进行。除因停水外，全部试验应在1天内完成。

从记录曲线（如图1-16-101所示）上读出最大减速度值、滑移减速度值、由拖曳阻力引起的减速度值以及对应于最大减速度和滑移减速度的车速值。当用试验车的前轮进行试验时，按式（1-16-54）和式（1-16-55）分别计算最大制动系数和滑移制动系数：

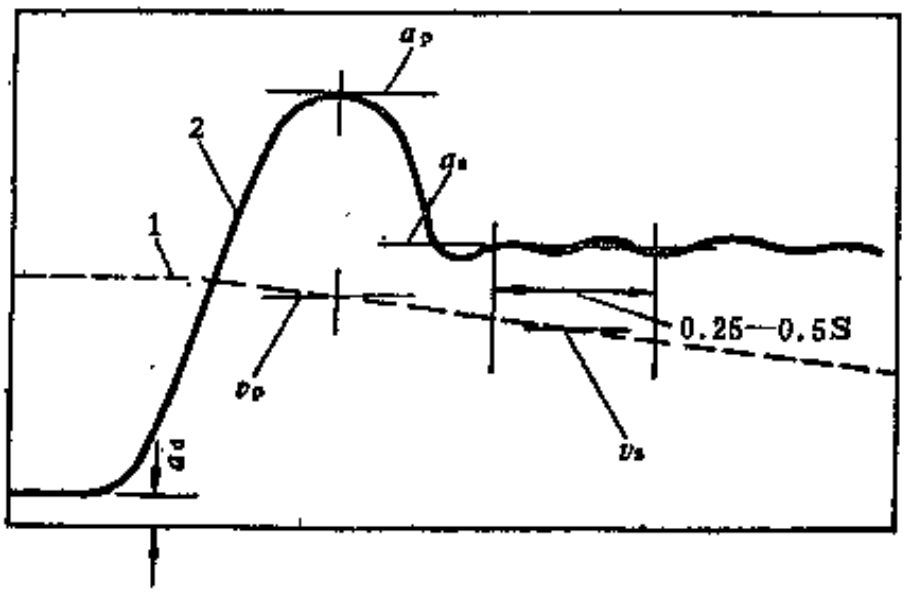



图 1-16-101 汽车轮胎制动试验的记录曲线

1—车速；2—减速度；$a_p$—最大减速度，$a_s$—滑移减速度；$a_d$—由于拖曳阻力引起的减速度；$v_p$—最大减速度时车速；$v_s$—滑移减速度时车速

$$\mu_p = \frac{a_p - a_0}{\frac{W_t g}{W} + (a_p - a_0)\frac{h}{l}} \qquad (1\text{-}16\text{-}54)$$

$$\mu_s = \frac{a_p - a_0}{\frac{W_t g}{W} + (a_s - a_0)\frac{h}{l}} \qquad (1\text{-}16\text{-}55)$$

式中 $\mu_p$——最大制动系数；

$\mu_s$——滑移制动系数；

$a_p$——最大减速度，$m/s^2$；

$a_s$——滑移减速度，$m/s^2$；

$a_0$——拖曳减速度，$m/s^2$；

$g$——重力加速度，$g=9.81m/s^2$；

$W_t$——试验车前轴的垂直负荷，N；

$W$——试验车总重，N；

$h$——试验车重心高度，m；

$l$——试验车轴距，m。

当用对角线车轮进行制动试验时，则可按式（1-16-56）和式（1-16-57）计算最大制动系数和滑移制动系数：

$$\mu_p = \frac{2(a_p - a_0)}{g} \qquad (1\text{-}16\text{-}56)$$

$$\mu_s = \frac{2(a_s - a_0)}{g} \qquad (1\text{-}16\text{-}57)$$

由于前车轮与后车轮的制动器和悬挂不同，后车轮的路面水深又受前车轮行驶的影响，所以前轮制动试验法优于对角线车轮制动试验法。

每组试验轮胎和对照轮胎在每种试验条件下的最大制动系数和滑移制动系数，都取10次试验结果的平均值。试验轮胎的平均最大制动系数值和平均滑移制动系数值，也要根据对照轮胎的上述2个系数值随试验次数的下降趋势，分别予以校正。校正方法与驱动试验的

相同。

### （三）制动拖车试验

制动拖车由牵引车和试验挂车组成。牵引车具有足够的拖曳挂车的能力，能在32～96 km/h的范围内保持恒定的车速，甚至在给挂车施加最大制动力时，车速的偏差也保持在0.8 km/h以内。在牵引车上装备挂车制动器的启动装置、可调整高度的拖曳装置、水箱和多通道记录器等。在试验挂车上有自动淋水系统、与牵引车连接的装置和两个试验车轮。通过更换试验车轮和调整载重量，可以在挂车上试验各种规格的轮胎，也可在75～125%（以表1-16-51中的规定值为100%）的范围内改变轮胎上的负荷。挂车连接装置的离地高度不得大于轮胎的静负荷半径，从球头至挂车轴中心线的长度不小于其高度的10倍。试验车轮辙与牵引车轮辙间的距离不小于0.3m。每个试验车轮都有液压制动系统和悬架。制动系统可在0.2～0.3秒内把车轮抱死，其误差不超过±0.1秒。它的悬架在最大垂直位移下，能使车轮的前束和外倾的变化保持在0.05°以内。淋水系统的喷嘴位于试验车轮的前面，距路面25～100mm，以20～30°角对准路面，将净化水喷射到轮胎接地中心之前的0.25～0.46m处。水层至少要比试验轮胎的胎面宽25mm，厚度应均匀，飞溅和过量喷射要少。在车速为32km/h时，单位淋水宽度的喷水率为0.17dm³/s·mm；在64km/h时，其应为0.34dm³/s·mm；在96km/h时，则为0.51dm³/s·mm。实际喷水率的误差，应在上述规定值的±10%之内。因此在进行湿路面上的制动拖车试验时，可以不用试验场地或道路上的淋水系统。在挂车轮轴的中垂线位置，安装用于测量车速的5轮仪。在每个试验车轮上，都装有测量制动力和法向力的传感器。所有的仪器都要定期标定和经常检查。

将试验轮胎装在挂车的车轮上。调整牵引车拖曳装置的位置，使挂车车体保持水平和挂车与牵引车位于同一直线上。再给挂车称重，调整轮胎上的负荷，使之符合试验要求。

牵引车拖曳挂车，以规定的试验车速（分为32、64和96km/h 3种）驶入试验区，启动记录器。在制动前约0.5秒，打开淋水系统，开始向试验路面上喷水。再给挂车车轮施加制动，直至把车轮抱死并至少保持1.5秒。这时，车辆应保持规定的试验车速，其误差在0.8 km/h以内。然后停止记录器并关闭淋水系统，再按上述步骤进行反方向的行驶试验。在每种试验路面上和每种试验车速下，每组轮胎至少要进行4次往返重复试验，其中同一方向的试验，应在试验区内的同一地点进行。指定1组试验轮胎为对照轮胎。各组试验轮胎和对照轮胎的试验应穿插进行，力争在1天内完成全部试验。

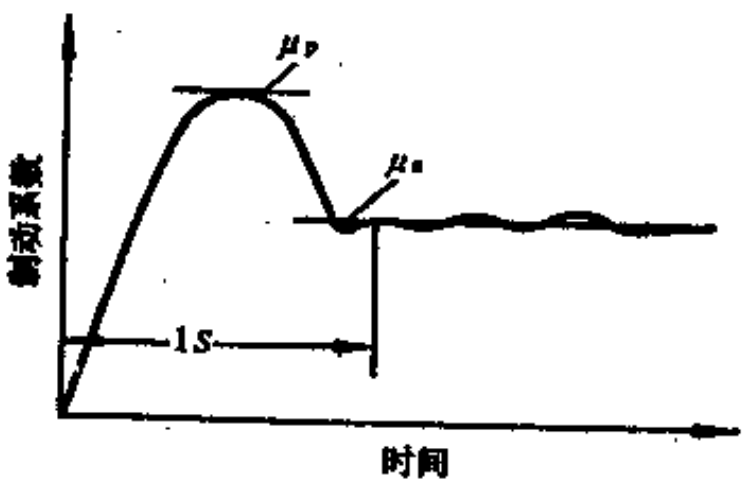



图 1-16-102　汽车轮胎制动拖车试验的记录曲线
$\mu_p$—最大制动系数；$\mu_s$—滑移制动系数

从记录曲线（见图1-16-102）上读出制动力的最大值和滑移值以及与它们相对应的法向力值，再将上述二个制动力值分别除以对应的法向力值，即得最大制动系数和滑移制动系数。然后，对8个或8个以上的重复试验结果进行平均，求得每组轮胎在每种试验条件下的平均最大制动系数和平均滑移制动系数。最后，按本节驱动试验中规定的方法，对平均最大制动系数值和滑移制动系数值进行校正，以弥补试验路面逐渐磨光的影响。

### （四）无扭矩车轮转弯试验

无扭矩车轮转弯试验也称前轮侧滑试验，是在具有代表性的和后轴驱动的汽车上进行

的。在试验前，对试验车的前轮定位进行检查和调整，使之符合汽车的出厂规定。把加速度计牢固地固定在试验车重心附近的悬挂质量上，以测量悬挂质量在垂直于汽车纵轴线且平行于路面方向的加速度（即侧向加速度）。另外，可用以下3种方法消除汽车横摇对加速度计输出的影响：一种是把加速度计安装在试验车的测量位置上进行动标定；另一种是在测量侧向加速度的同时，用横摇角传感器测量试验车对路平面的横摇角，再校正侧向加速度的测量值；再一种是先把稳定平台固定在试验车的悬挂质量上，其方向沿着车身的主轴线，再在该平台上安装加速度计。此外，还应在方向盘上安装转角传感器，在轮轴中垂线上安装测量车速用的5轮仪。所有的仪器都应定期标定和经常检查，用多通道记录器记录它们的输出。

将试验轮胎装在试验车的二个前轮上，在后轮上则安装与试验轮胎同规格的或具有较高转弯附着性能的轮胎。给试验车称重，使试验轮胎上的负荷符合要求（与试运行时的负荷相同），但不应超过汽车的出厂规定。

记录环境温度、路面温度、风向和风速。试验车用一定的档位，以64±2km/h的试验车速驶入试验区，匀速转动方向盘，直至前轮侧滑为止。判断前轮侧滑的依据是当方向盘转角持续增加时，侧向加速度在达到最大值后呈反向变化，横摆速度也由稳定增加变为突然减少。每组试验轮胎至少要完成4次有效试验。在试验轮胎中，指定其中的1组为对照轮胎，试验轮胎和对照轮胎的试验应穿插进行。除因停水外，全部试验应在1天内完成。

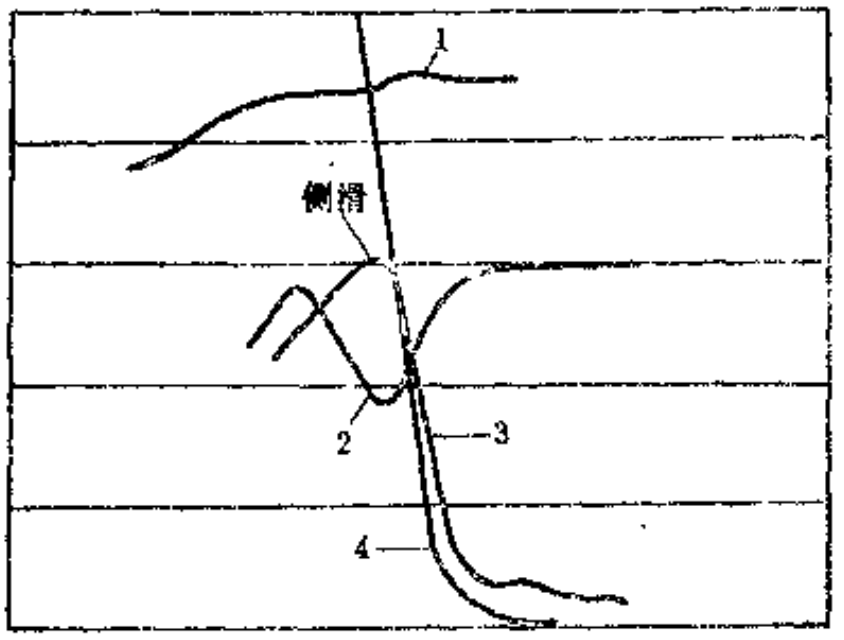



图 1-16-103 汽车轮胎无扭矩车轮转弯试验的记录曲线

1—车速；2—侧摆速度；3—侧向加速度；4—方向盘转角

检查记录曲线（见图1-16-103），确定侧向加速度在试验中是否达到最大值以及试验中的车速是否稳定在64±2km/h。如果进一步增加方向盘转角而侧向加速度不再增加时，即表示侧向加速度已达到最大值。从记录曲线上读出最大侧向加速度值。如果加速度计系直接装在试验车的车身上，且已做过动标定，则用式（1-16-58）计算向心加速度，并且假设汽车的侧滑角很小，把其余弦看作为等于1，所以向心加速度等于侧向加速度：

$$a_c = K_c a_0 \tag{1-16-58}$$

式中 $a_c$——向心加速度，$m/s^2$；

$K_c$——加速度计的动标定常数，$m/s^2 \cdot cm$；

$a_0$——侧向加速度记录曲线的位移，cm。

如果加速度计系直接装在试验车的车身上，但在试验中也测量了试验车的横摇角，则用式（1-16-59）计算侧向加速度：

$$a = K_s(a_0 - \sin\theta) \tag{1-16-59}$$

式中 $a$——侧向加速度，$m/s^2$；

$K_s$——加速度计的静标定常数，$m/s^2 \cdot cm^2$；

$a_0$——侧向加速度记录曲线的位移，cm；

$\theta$——横摇角，（°）。

如果加速度计系安装在稳定平台上，则用式（1-16-60）计算侧向加速度：

$$a=K_{y}a_{0} \tag{1-16-60}$$

式中 $a$——侧向加速度，$m/s^2$；

$K_y$——加速度计的静标定常数，$m/s^2 \cdot cm$；

$a_0$——侧向加速度记录曲线的位移，cm。

然后，计算每组轮胎4次试验的侧向加速度之平均值，又假设试验车的侧滑角很小，其余弦近似于1以及在试验车前后轴之间无负荷转移，因此就可认为最大侧向加速度与重力加速度之比值，即为轮胎的转弯附着系数。最后，根据对照轮胎的平均转弯附着系数值随其试验次序呈线性下降的趋势，对各组试验轮胎的平均转弯附着系数值加以校正，其校正方法见本节中驱动试验部分。

（五）有扭矩车轮转弯试验

有扭矩车轮转弯试验又称后轮侧滑试验。它的主要装备有试验车、加速度计、5轮仪、方向盘转角传感器、扭矩计、横摇角传感器、稳定平台和多通道记录器。试验车为具有代表性的后轴驱动汽车，最好是装有大功率发动机和大传动比后桥的车辆，其性能应符合其出厂规定。加速度计有二个：一个用于测量试验车悬挂质量的纵向加速度；另一个用于测量该质量的侧向加速度，它们可以直接固定在试验车的悬挂质量上，也可通过稳定平台固定在悬挂质量上，但其位置应处于或接近该质量的重心。5轮仪装在试验车上之轮辙中间位置，用于测量车速。转角传感器测量方向盘的转角。扭矩计装在车上振动最小处，用于测量试验车驱动轴的扭矩。横摇角传感器测量试验车相对于路平面的横摇角，以校正侧向加速度。全部仪器均应按规定标定和检查，其输出都由多通道记录器加以记录。

在试验车的后轮上，都安装试验轮胎，其前轮则装上与之类似的轮胎。给试验车称重，使试验轮胎上的负荷符合试验要求（与试运行时的负荷相同），但不超过汽车的出厂规定。

记录环境温度、路面温度、风速和风向。驾驶试验车以40～48±2km/h的车速和约2m/s²的侧向加速度，在试验区内作向左或向右的稳态回转。在回转中，应使方向盘保持固定位置，记录稳态（即试验车的横摆速度、横摇角、车速和侧向加速度保持稳定）时的测量值。在试验车回转1周并到达指定地点后，逐步增大油门，直至后轮滑移或油门全开为止。如果在试验中出现前轮滑移，则该次试验无效。试验结束，关掉记录器。然后，按初始侧向加速度约等于3m/s²、4m/s²、5m/s²、6m/s²以及前轮不滑移可达到的最大值或二者同时出现的值进行试验。每档初始侧向加速度的试验，都至少要重复4次。按上述步骤在各种试验路面上进行试验，只要不停水，全部试验应在1天内完成。在试验轮胎中，指定其中1组为对照轮胎，各组试验轮胎和对照轮胎的试验应穿插进行。最后，按以下步骤计算试验结果。

（1）检查记录曲线，读出在驱动轴扭矩和侧向加速度达到最大值时的车速、方向盘转角、横摇角、纵向加速度、侧向加速度和驱动轴扭矩的值。

（2）如果侧向加速度计是直接固定在车身上的并系经过动标定的，那么就按式(1-16-61)计算向心加速度（假设试验车的侧滑角很小，所以向心加速度等于侧向加速度）：

$$a_{yc}=K_{yd}a_{y0} \tag{1-16-61}$$

式中 $a_{yc}$——向心加速度，$m/s^2$；

$K_{yd}$——侧向加速度计的动标定常数，$m/s^2 \cdot cm$；

$a_{y0}$——侧向加速度记录曲线的位移，cm。

如果侧向加速度计直接固定在车身上，但在同时也测量了试验车的横摇角，就可用式(1-16-62)计算侧向加速度：

$$a_y=\frac{K_{y_s}a_{y0}-g\sin\phi}{\cos\phi} \tag{1-16-62}$$

式中 $a_y$——侧向加速度，$m/s^2$；

$K_{y_s}$——侧向加速度计的静标定常数，$m/s^2\cdot cm$；

$a_{y0}$——侧向加速度记录曲线的位移，cm；

$\phi$——横摇角，(°)。

如果侧向加速度计是装在稳定平台上的，则按式（1-16-63）计算侧向加速度：

$$a_y=K_{y_s}a_{y0} \tag{1-16-63}$$

式中 $a_y$——侧向加速度，$m/s^2$；

$K_{y_s}$——侧向加速度计的静标定常数，$m/s^2\cdot cm$；

$a_{y0}$——侧向加速度记录曲线的位移，cm。

由于试验车的纵摇角对其纵向加速度的影响很小，所以纵向加速度可按式（1-16-64）计算：

$$a_x=k_{x_s}a_{x0} \tag{1-16-64}$$

式中 $a_x$——纵向加速度，$m/s^2$；

$k_{x_s}$——纵向加速度计的静标定常数，$m/s^2\cdot cm$；

$a_{x0}$——纵向加速度记录曲线的位移，cm。

（3）按式（1-16-65）和（1-16-66）分别计算合成附着系数的纵向分量和侧向分量：

$$\mu_x=\frac{T_d i\eta}{R\left(W_r+W\dfrac{a_x h}{gL}\right)} \tag{1-16-65}$$

$$\mu_y=\frac{a_y W_r}{W_r g+a_x W\dfrac{h}{L}} \tag{1-16-66}$$

式中 $\mu_x$——合成附着系数的纵向分量；

$\mu_y$——合成附着系数的侧向分量；

$T_d$——驱动轴扭矩，N·m；

$i$——主传动比；

$\eta$——后桥的传动效率；

$R$——轮胎动负荷半径，m；

$W_r$——后桥静负荷，N；

$W$——试验车总重，N；

$h$——试验车重心高度，m；

$L$——轴距，m；

$a_x$——纵向加速度，$m/s^2$；

$a_y$——侧向加速度，$m/s^2$；

$g$——重力加速度，$g=9.81m/s^2$。

（4）再用式（1-16-67）和（1-16-68）计算合成附着系数和附着力矢量角：

$$\mu=\sqrt{\mu_x^2+\mu_y^2} \tag{1-16-67}$$

$$\cos\theta=\frac{\mu_x}{\mu} \tag{1-16-68}$$

式中 $\mu$——合成附着系数；

$\mu_x$——合成附着系数的纵向分量；

$\mu_y$——合成附着系数的侧向分量；

$\theta$——附着力矢量角，(°)。

（5）对每组轮胎在每种试验路面上得到的合成附着系数和附着力矢量角，按式(1-16-69)进行回归分析：

$$\frac{1}{\mu}=a_0+a_1\cos\theta \tag{1-16-69}$$

式中 $\mu$——合成附着系数；

$\theta$——附着力矢量角，(°)；

$a_0$、$a_1$——回归系数。

（6）按式（1-16-70）和（1-16-71）分别计算最大横向力系数和偏心率系数：

$$\mu_{y0}=\frac{1}{a_0} \tag{1-16-70}$$

$$e=\frac{a_1}{a_0} \tag{1-16-71}$$

式中 $\mu_{y0}$——最大横向力系数；

$e$——偏心率系数；

$a_0$、$a_1$——合成附着系数与附着力矢量角方程中之回归系数。

（7）然后，由上面求得的最大横向力系数和偏心率系数并按照式（1-16-72），就可计算出在任一附着力矢量角时的合成附着系数：

$$\mu=\frac{\mu_{y0}}{1+e\cos\theta} \tag{1-16-72}$$

式中 $\mu$——合成附着系数；

$\mu_{y0}$——最大横向力系数；

$e$——偏心率系数；

$\theta$——附着力矢量角，(°)。

（8）给每组轮胎在每种试验条件下的4次重复试验结果，计算平均最大横向力系数和平均偏心率系数。

（9）先求出对照轮胎的平均最大横向力系数和平均偏心率系数随试验顺序的变化趋势，再按此趋势对各组试验轮胎的测试结果进行校正，其方法同本节驱动试验中之规定。

**（六）力学特征拖车试验**

测力拖车由牵引车和试验挂车组成。牵引车具有在32～96km/h的车速范围内拖曳挂车的能力，即使在最大横向力时也能使车速保持稳定，其允许差为±0.8km/h。在牵引车上，有使挂车车轮转向的控制装置、水箱、喷水率控制装置、可调整高度的拖曳装置和多通道记录器。试验挂车能用于试验各种规格的轿车轮胎和轻型载重汽车轮胎，可通过改变挂车上的

载重，使每条试验轮胎上的负荷在标准推荐负荷的50～150%范围内可调。在挂车上有与牵引车连接的装置，试验车轮和自动淋水系统。连接装置的离地高度不大于轮胎的静负荷半径，它从球头至挂车轴中心线的长度不小于其高度的10倍。在该装置上有侧滑角传感器，以测量挂车的侧滑角。挂车与牵引车的轮辙要错开，二者的距离不小于0.41m。在挂车尾部的轮辙中间位置，安装用于测量车速的5轮仪。每个试验车轮都有转向机构、悬架、转向角传感器和测力传感器。试验车轮的转向速率与车速有关，在32km/h的车速下，应小于4°/s；在48km/h的车速下，应小于6°/s；在64km/h的车速下，应小于8°/s。如果挂车上有左和右二个试验车轮，则它们的转向角方向应相反，但转向动作应同步，转向角应相等。测力传感器一般安装在试验车轮的悬臂轴上，能够测量轮胎的法向力和横向力。悬架在最大垂直位移下，其对试验车轮前束和外倾的影响都在±0.1°之内。淋水系统的喷嘴距路面25～100mm，以20～30°对准路面，将净化水喷射到轮胎接地中心之前0.25～0.46m处。水层至少比试验轮胎在最大侧偏角时的接地面宽50mm，且应厚度均匀，飞溅和过量喷射小。在车速为32km/h时，单位淋水宽度的喷水率为4.5dm³/s·m；在64km/h时，其为8.9dm³/s·m；在96km/h时，则为13.4dm³/s·m。实际喷水率应在上述规定值±10%的范围内。因此在进行测力拖车试验时，可以不用试验场地上的淋水设施，而由试验车淋水。在实践中，也可将试验挂车简化为包括加负荷和转向机构的1个试验车轮，再把它固定在汽车的前后轴之间，犹如测量轮胎力和力特性用的试验车轮装置。

将试验轮胎安装在挂车上。调整牵引车拖曳装置的位置，使挂车保持水平和位于牵引车中线的延长线上。给挂车配重，使试验轮胎上的负荷符合试验要求（以试运行时的负荷为100%）。然后，按瞬态法或稳态法进行试验。

1．瞬态法

牵引车拖曳挂车以48km/h的速度或其它规定速度，直线驶入试验区，启动记录器，向试验轮胎前方路面上喷水。约0.5秒后，便按一定的转向速率使试验轮胎从0°转向到20°，这时的车速应在规定值±0.8km/h范围内。再以最大的转向速率将试验轮胎返回0°转向角位置，中断喷水，停止记录器。然后，按上述步骤进行相反行驶方向的试验。在每种试验条件（如负荷和车速等）下和每种路面上，每组试验轮胎至少做4次往返重复试验。为了减少试验误差，重复试验应在试验区内的同一地点进行。

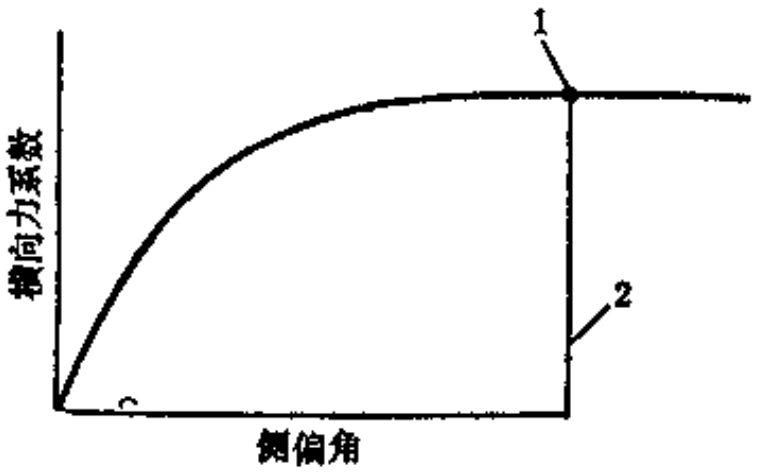



图 1-16-104　最大横向力系数和临界侧偏角的确定
1——最大横向力系数；2——临界侧偏角

2．稳态法

挂车在牵引车的拖曳下，以48km/h的速度或其它规定速度，直线驶入试验区，启动记录器，向试验轮胎前方路面上喷水。约0.5秒后，以最大转向速率使试验轮胎从0°转向到产生最大横向力的转向角，再使其保持1～1.5秒。接着以最大转向速率将试验轮胎返回0°转向角位置，中断喷水，停止记录器。然后，按上述步骤进行相反行驶方向的试验。在每种试验条件下和每种路面上，每组试验轮胎至少在同一地点进行4次往返重复试验。

在瞬态法或稳态法的试验结束后，从记录曲线上读出横向力的最大值以及与之相对应的法向力、转向角和侧滑角的值，先按式（1-16-73）计算临界侧偏角（即与最大横向力对应

的侧偏角，如图1-16-104所示）：

$$\alpha = \delta - \beta \qquad (1\text{-}16\text{-}73)$$

式中 $\alpha$——轮胎侧偏角，(°)；

$\delta$——轮胎转向角，(°)；

$\beta$——挂车侧偏角，(°)。

再将最大横向力除以对应的法向力，便得到轮胎的最大横向力系数（即转弯附着系数）。由每种试验条件和每种路面上的测试结果，计算几次重复试验的平均最大横向力系数及其临界侧偏角。

## 二、农用拖拉机轮胎田间试验

### （一）试验条件及试验准备

用于旱地的拖拉机轮胎，其试验应在作物的茬地及准备播种的松软土地上进行。用于水田的拖拉机轮胎，其试验应在灌水的稻茬地和已耕过的水田中进行。

农用拖拉机轮胎田间试验用的主要仪器和设备有：试验用拖拉机、施加牵引负荷或拖曳用的拖拉机、测力传感器、驱动轮转数计、燃油流量计、多通道记录器、轮胎气压表、轮胎花纹深度计、温度计以及土壤的坚实度计、剪切力计和湿度计。

试验前，要做好如下准备工作：

（1）对拖拉机各部分进行检查，使其保持正常状态；

（2）试验拖拉机应保持额定满载；

（3）拖拉机在负荷下预先工作一段时间，使它的各部分达到正常温度；

（4）测量轮胎胎面花纹深度，并清除附在行走机构上的泥土；

（5）检查轮胎中的气压，使之符合规定；

（6）测量环境温度、风速和风向。

### （二）试验方法

1．牵引特性试验

（1）选定试验地块，划出测定区。测定区长度不小于20m，坡度不大于0.5%。在测定区两端插上标杆。

（2）以装有试验轮胎的拖拉机作为试验拖拉机，另一辆拖拉机作为负荷拖拉机，由前者拖曳后者，后者给前者施加牵引负荷，用测力传感器测量牵引杆上的牵引力。牵引力线应与地面平行，并与拖拉机的纵向中心线重合，避免偏牵引。

（3）试验从小的牵引负荷开始，逐步增大，直至能将试验拖拉机的最大牵引功率和最大牵引力示出为止。试验时，拖拉机不得在旧辙上行驶。

（4）试验应在拖拉机田间作业常用的各变速箱档位进行，测定在不同牵引负荷下的牵引力、通过测定区时间、驱动轮转数和燃油消耗量，计算出相应的拖拉机行驶速度、牵引功率、每小时的燃油消耗量、燃油消耗率和驱动轮滑转率等。

a．平均行驶速度按式（1-16-74）计算：

$$V = 3.6\frac{S}{T} \qquad (1\text{-}16\text{-}74)$$

式中 $V$——平均行驶速度，km/h；

$S$——测定区长度，m，

$T$——通过测定区的时间，s。

b．牵引功率按式（1-16-75）计算：

$$N_g=\frac{P_g\cdot V}{3.6} \tag{1-16-75}$$

式中 $N_g$——牵引功率，W；

$P_g$——牵引力，N；

$V$——行驶速度，km/h。

c．滑转率按式（1-16-76）计算：

$$\delta=\frac{n_t-n_k}{n_t}100\% \tag{1-16-76}$$

式中 $\delta$——滑转率；

$n_t$——试验拖拉机在牵引负荷下通过测定区的左右驱动轮平均转数；

$n_k$——试验拖拉机空驶通过测定区的左右驱动轮平均转数（水田试验时应在硬路面上测得）。

d．燃油消耗量按式（1-16-77）计算：

$$G_t=3.6\frac{\Delta G}{T} \tag{1-16-77}$$

式中 $G_t$——燃油消耗量，g/h；

$\Delta G$——试验拖拉机通过测定区的耗油量，g；

$T$——通过测定区的时间，s。

e．燃油消耗率按式（1-16-78）计算：

$$G_g=\frac{G_t}{N_g} \tag{1-16-78}$$

式中 $G_g$——燃油消耗率，g/W·h；

$G_t$——燃油消耗量，g/h；

$N_g$——牵引功率，W。

f．假定牵引效率按式（1-16-79）计算：

$$\eta_g=\frac{N_{gmax}}{N_{emax}} \tag{1-16-79}$$

式中 $\eta_g$——假定牵引效率，W；

$N_{gmax}$——试验拖拉机在牵引试验中各档最大牵引功率，W；

$N_{emax}$——试验拖拉机发动机的最大功率，W。

g．土壤湿度按式（1-16-80）计算：

$$w=\frac{g_1-g_2}{g_2}100\% \tag{1-16-80}$$

式中 $w$——土壤湿度；

$g_1$——湿土试样的量，g；

$g_2$——完全烘干后的土壤试样的量，g。

（5）将以上测定和计算数据列出牵引特性试验结果表，并绘制牵引特性曲线图。

2．*滚动阻力试验*

拖拉机的轮胎滚动阻力是在试验地块上，用拖曳拖拉机的方法测定的。试验应在与牵引特性试验相同的地块上进行，其行驶速度则相当于拖拉机工作时的速度。

以安装试验轮胎的拖拉机为试验拖拉机，另准备一辆拖拉机为牵引拖拉机，在它们之间的牵引装置上装有测力传感器。牵引力线应与地面平行，并与拖拉机的纵向中心线重合。

试验时，试验拖拉机的发动机应熄火，并将其变速杆放在空档位置，在牵引拖拉机拖曳下匀速行驶，测定它的拖曳力。在试验中，试验拖拉机不许沿旧辙行驶。为抵消试验地块坡度的影响，往返各做 1 次试验，取二次试验测定的拖曳力之平均值，作为试验拖拉机的轮胎滚动阻力。

## 三、转 鼓 试 验

使用专门设计的或经过改装的转鼓试验机，也可进行轮胎在硬基路面上的附着性能试验。该试验机的主机由转鼓、负荷机构、驱动机构、制动机构、轮胎轴和测力装置等部分组成。转鼓用于给轮胎提供平坦的模拟道路。它可以通过在其鼓面上铺装各种材料的行驶面，改变路面结构及其摩擦系数，并可向行驶面上喷水，以模拟湿路面。尤其是在与轮胎呈内接圆接触的转鼓上试验时，较容易控制其行驶面上的水深。负荷机构能给轮胎施加垂直负荷，一般均采用电液伺服控制的液压加载式。转鼓和轮胎都有驱动机构和制动机构，以便模拟驱动车轮和制动车轮。试验轮胎安装在轮胎轴上。测力方法有测扭矩法和测力法两种。测力装置位于轮胎与驱动机构和制动机构之间，通常由各种粘贴电阻丝应变计的传感器组成。

试验前，应检查轮胎中的气压，使之符合规定。然后，将轮胎以一定的负荷压在转鼓行驶面上，与转鼓一起转动。待轮胎的转速稳定后，给转鼓或轮胎施加制动扭矩，直到轮胎发生滑转或滑动为止。当轮胎驱动而转鼓制动时，能够测定轮胎的驱动力；反之，即可测定轮胎的制动力。在试验中，必须使轮胎上的垂直负荷以及轮胎转速（测定驱动力时）或转鼓转速（测定制动力时）保持稳定。最后，按式（1-16-81）和（1-16-82）计算轮胎的驱动力系数和制动力系数，再按式（1-16-83）和（1-16-84）计算轮胎驱动时的滑转率和轮胎制动时的滑动率。

$$\mu_d = \frac{F_d}{P} \tag{1-16-81}$$

$$\mu_b = \frac{F_b}{P} \tag{1-16-82}$$

式中 $\mu_d$——驱动力系数；

$\mu_b$——制动力系数；

$F_d$——驱动力，N；

$F_b$——制动力，N；

$P$——垂直负荷，N。

$$s_d = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \tag{1-16-83}$$

$$s_b = \frac{\omega' - \omega'_0}{\omega'_0} \tag{1-16-84}$$

式中 $s_d$——轮胎驱动时的滑转率，其值在0—+1范围内；

$s_b$——轮胎制动时的滑动率，其值在0—-1范围内；

$\omega_0$——轮胎自由滚动时的转鼓角速度，rad/s；

$\omega$——轮胎驱动和转鼓制动时的转鼓角速度，rad/s；

$\omega_0'$——轮胎自由滚动时的轮胎角速度，rad/s；

$\omega'$——轮胎制动和转鼓驱动时的轮胎角速度，rad/s。

## 四、土壤槽试验

土壤槽主要用于测定轮胎在软基路面上的驱动力、制动力、滚动阻力、下陷深度和滑转率等。图1-16-105是土壤槽实例。它主要包括槽、行走机构和牵引机构等部分。槽用水泥混凝土制成，它可以建造在地面上，也可建在地面下。槽内装土或砂等，以模拟各种软基路面。行走机构由电动机、变速箱、砝码、支撑轮和试验车轮等组成。砝码用于给试验车轮施加垂直负荷。电动机通过变速箱驱动试验车轮，使其在槽内行驶。支撑轮可在槽的外侧滚动，从一侧支撑行走机构，使其保持侧向稳定。试验车轮上有转数计，用于测定滑转率。牵引机构由电动机、绞盘、绳索和测力传感器等组成。电动机带动绞盘，拉紧绳索，给行走机构施加拉力、由测力传感器测出其力值。

试验前，应测定土壤或砂的湿度、坚实度和剪切力。驱动力测定是在行走机构驱动而牵引机构制动时进行的，制动力测定则与之相反。若在牵引机构驱动面行走机构不制动时，即可测定滚动阻力。试验车轮之轮辙底部至路平面的垂直距离，就是下陷深度。滑转率由试验车轮之转数计算而得，见本节中农用拖拉机轮胎田间试验。

在试验中，由于行走机构的支撑轮也有滚动阻力，因此应在试验前预先加以测定，然后在制动力和滚动阻力的测量值中减掉，但应加在驱动力测量值上。

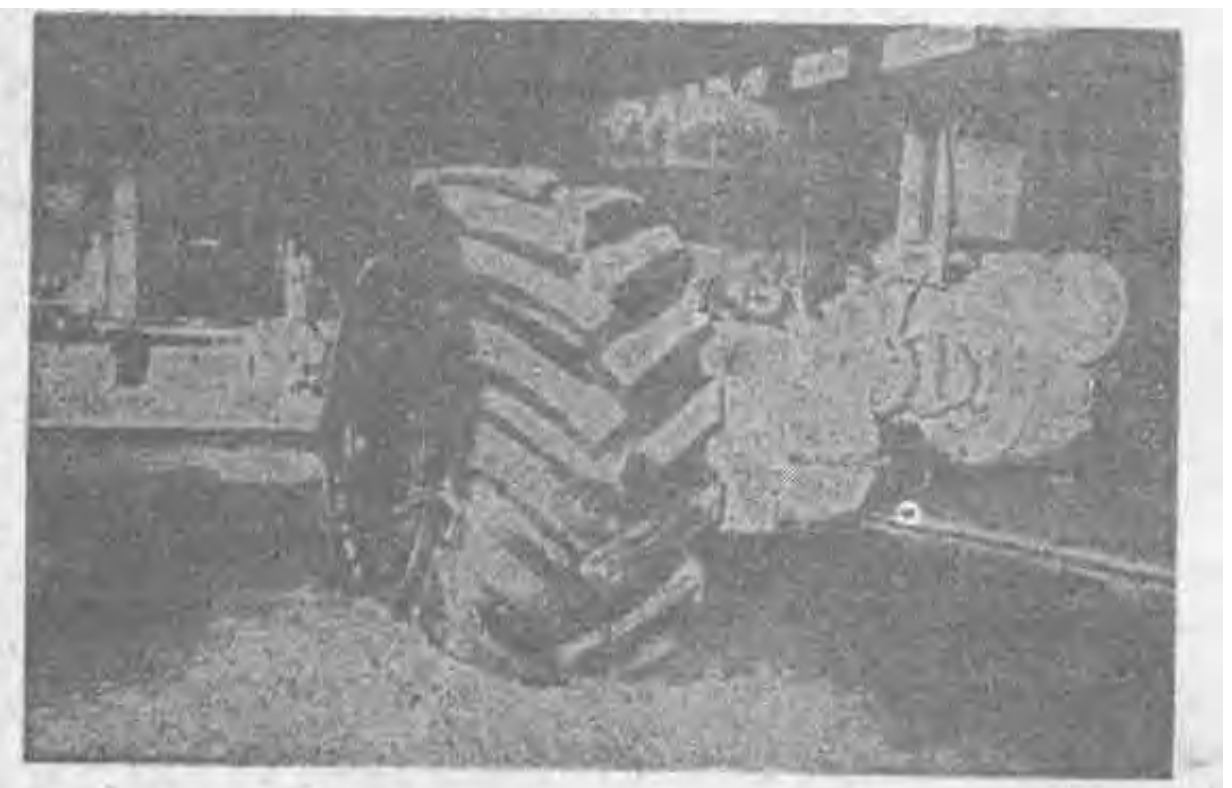


图 1-16-105 土壤槽实例

## 五、试验结果举例

以解放牌CA30型越野汽车的12.00-18轮胎为例，该种规格轮胎在海滩砂地和冰地上进行的附着性能试验结果见表1-16-53和表1-16-54。

表1-16-53中的试验结果表明，随着轮胎气压降低，最大驱动力增加，滚动阻力减小，说明轮胎与路面附着情况有明显的改善。它的原因是，随着轮胎气压降低，轮胎与路面的接触面积增加，路面承受的单位面积压力因之而减小，由此使砂地的变形也减小。但轮胎气压

表 1-16-53　12.00-18轮胎在海滩砂地上的附着性能试验结果

| 轮胎气压 | | 最大驱动力 | | 滚动阻力 | |
|---|---|---|---|---|---|
| kPa | (kgf/cm²) | kN | (kgf) | kN | (kgf) |
| 245 | (2.5) | 30.20 | (3080) | 10.79 | (1100) |
| 147 | (1.5) | 32.96 | (3360) | 3.78 | (385) |
| 123 | (1.25) | 35.70 | (3640) | 2.70 | (275) |
| 96 | (1.0) | 38.25 | (3900) | 2.21 | (225) |
| 74 | (0.75) | 39.32 | (4010) | 2.16 | (220) |
| 49 | (0.5) | 39.42 | (4020) | 2.70 | (276) |

从74kPa(0.75kgf/cm²) 降低到49kPa(0.5kgf/cm²)时，最大驱动力没有明显提高，而滚动阻力则有回升趋势，这是由于气压过低，使轮胎变形增加过大引起的。

表1-16-54表明，在冰地上，随着轮胎气压的降低，制动力稍有提高，而滚动阻力则增加很多。众所周知，滚动阻力是轮胎变形和路面变形引起的，轮胎气压降低对冰地变形影响很小，但对轮胎变形影响较大，因此必然导致滚动阻力增加。

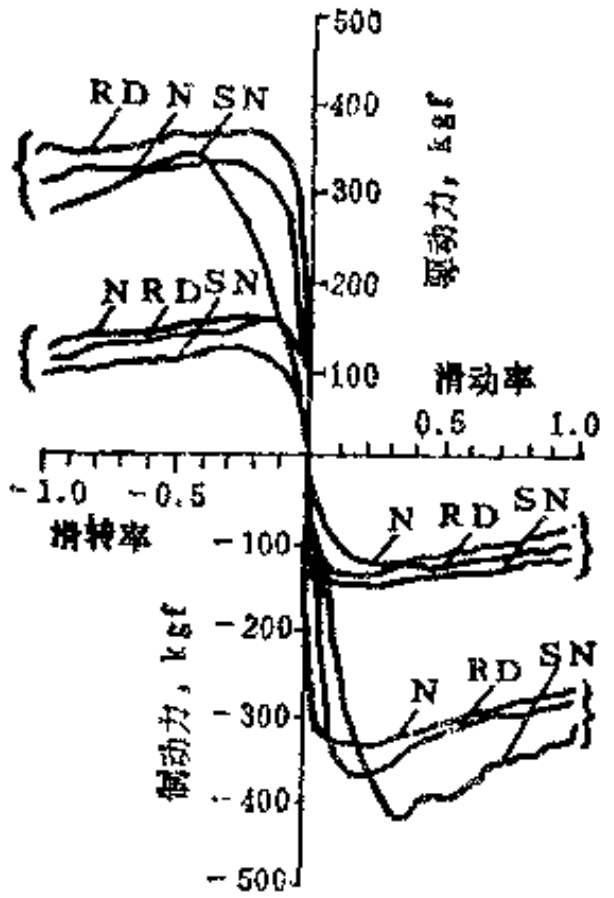



图 1-16-106　转鼓试验结果实例

轮胎负荷：300kgf；速度：60km/h；
N—5.60-13级向花纹轮胎；RD—165SR13子午线轮胎；
SN—5.60-13雪地轮胎(1kgf=9.80665N)

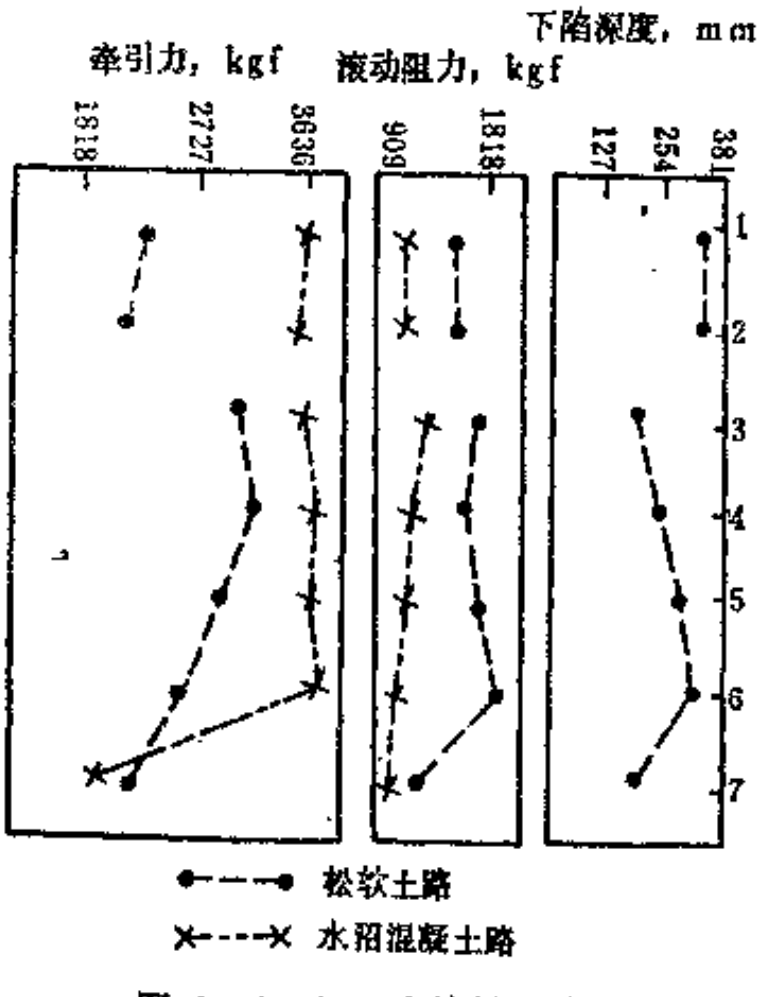



图 1-16-107　土壤槽试验结果实例

| 序号 | 轮胎规格 | 负荷kN(kgf) | 充气内压 kPa(kgf/cm²) |
|---|---|---|---|
| 1 | 23.5-25 | 47.96(4891) | 98(1.0) |
| 2 | 23.5-25 | 47.96(4891) | 137(1.4) |
| 3 | 64×31.0-25 | 50.68(5168) | 29(0.3) |
| 4 | 64×31.0-25 | 50.68(5168) | 49(0.5) |
| 5 | 64×31.0-25 | 50.68(5168) | 88(0.9) |
| 6 | 64×31.0-25 | 50.68(5168) | 196(2.0) |
| 7 | 64×31.0-25 | 27.90(2845) | 49(0.5) |

注：1kgf=9.80665N

表 1-16-54　12.00-18轮胎在冰地上的附着性能试验结果

| 轮胎气压 | | 最大制动力 | | 滚动阻力 kPa | |
|---|---|---|---|---|---|
| kPa | (kgf/cm²) | kN | (kgf) | kN | (100) |
| 343 | 3.5 | 7.75 | (790) | 0.98 | (140) |
| 245 | 2.5 | 7.85 | (300) | 1.37 | (140) |
| 147 | 1.5 | 8.53 | (870) | 1.96 | (200) |
| 74 | 0.75 | 9.22 | (940) | 3.33 | (340) |
| 49 | 0.5 | 9.51 | (970) | 4.51 | (460) |

从上述两种路面上的附着性能试验结果可见，对于松散、承压力和剪切力都很小的砂地来说，采取降低轮胎气压来提高汽车的通过能力，是颇有成效的，但在冰地上则效果不太显著。

图1-16-106是转鼓试验结果实例。由图1-16-106可看出，首先是驱动力和制动力均在较低的滑转率或滑动率时达到它们的最大值，然后随着滑转率和滑动率的增大而逐渐减小；其次是在湿路面上的驱动力和制动力都大大低于干路面上的，这主要是水的润滑作用；第三是在该三种轮胎中存在一定的差异，最大驱动力以165R13子午线轮胎略好，最大制动力则以5.60-13雪地轮胎为高。

图1-16-107是土壤槽试验结果实例。这些结果说明在这二种工程机械轮胎中，64×31.0-25超宽基轮胎在基本不增加滚动阻力的情况下，其驱动力比23.5-25宽基轮胎大，且下陷深度浅，因此它更有利于在软基路面上行驶。

## 第十四节　脱圈阻力试验

由于轿车无内胎轮胎的构造和使用特点，要求轮胎胎圈与轮辋之间必须有足够的密合力。为了控制轮胎的质量，确保汽车安全行驶，我国的国家标准局已颁布了GB4504—84“轿车无内胎轮胎脱圈阻力试验方法”。

### 一、试验原理

汽车在转弯时会产生离心力。当离心力超过轮胎胎圈与轮辋间的密合力时，胎圈将离开轮缘，在轮辋的胎圈座上向内作横向位移。轿车轮胎的行驶速度高，气压低，易于发生这种胎圈横向位移。若此位移出现在无内胎轮胎上，胎内压缩空气即迅速从该处泄漏，严重威胁汽车安全行驶。脱圈阻力试验就是按照上述轮胎使用条件，在室内机器上进行静态模拟试验，即向轮胎胎侧施加压力，迫使胎圈从轮辋的胎圈座上向内脱落，测定其所需的最大力值。该力值即为轮胎的脱圈阻力。

### 二、试验设备和步骤

1．试验设备

脱圈试验机示意见图1-16-108。试验机主要由轮胎支承轴和脱圈压块等部件组成。脱圈压块的形状与尺寸如图1-16-109所示，它至轮胎轴中心的距离，随试验轮胎的轮辋直径代号不同而改变，详见表1-16-55。脱圈压块在油缸或电动机带动下垂直地下降，压迫胎侧的下降速度为50±2.5mm/min。

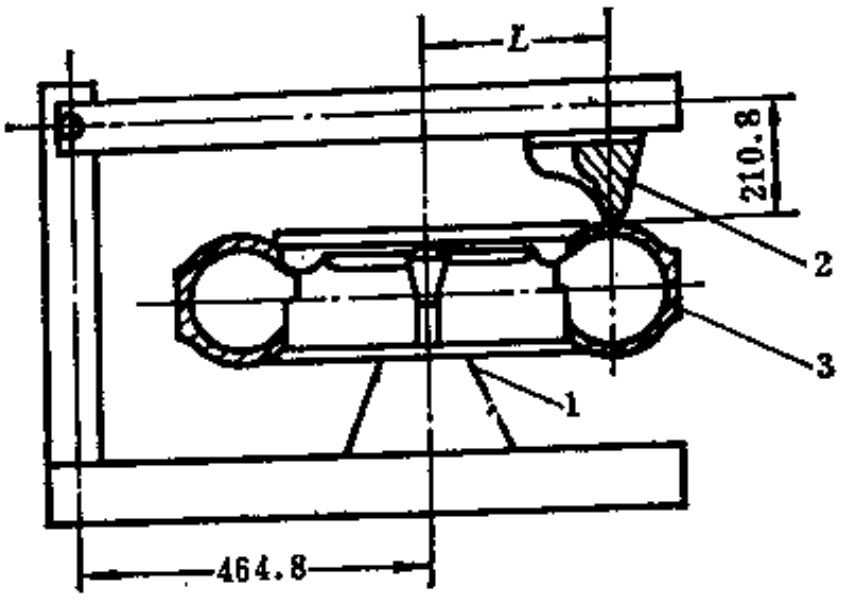
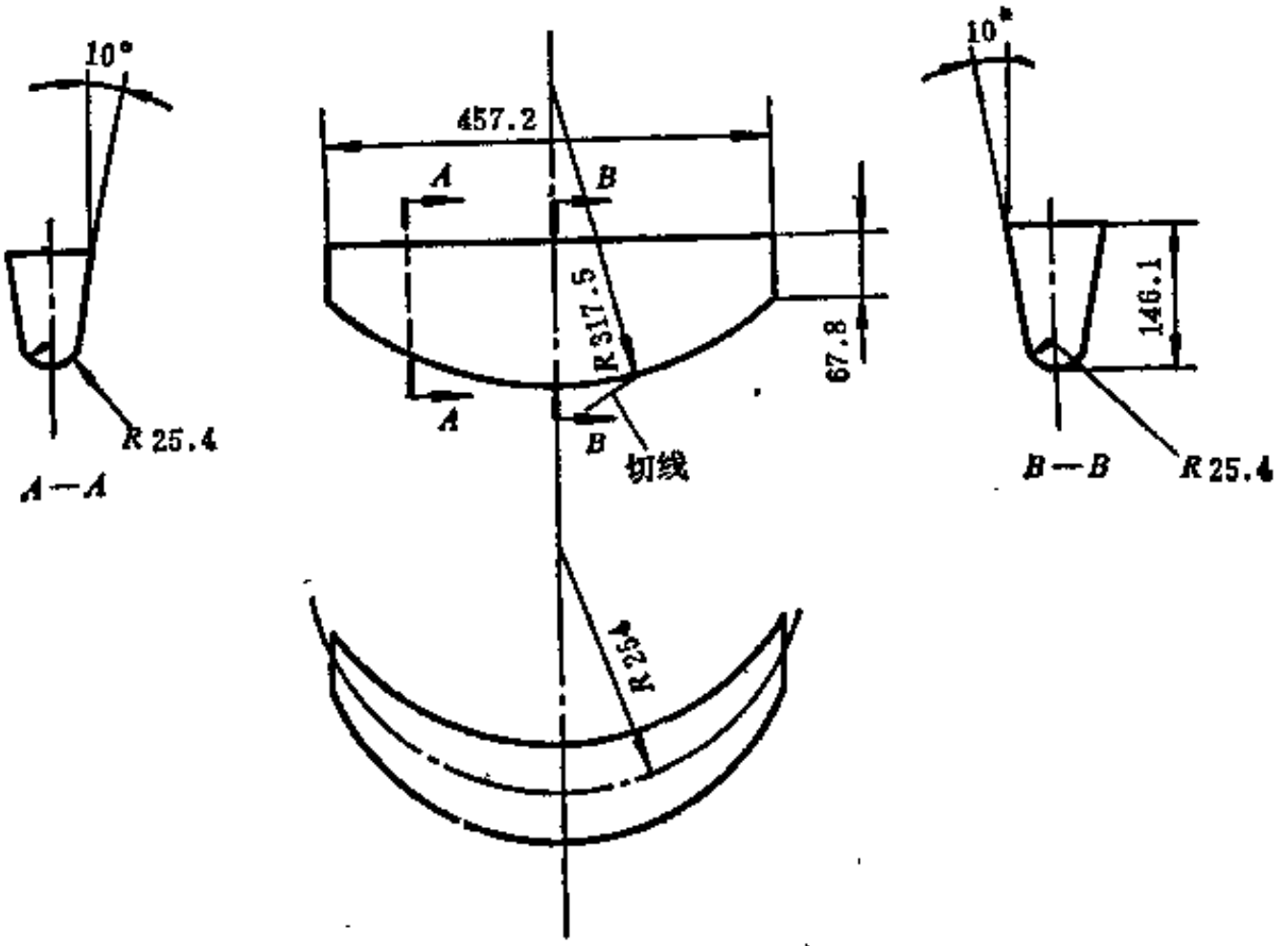



图 1-16-108　脱圈试验机示意（单位：mm）

1—轮胎支承轴；2—脱圈压块；3—试验轮胎；*L*—脱圈压块至轮胎轴中心的距离



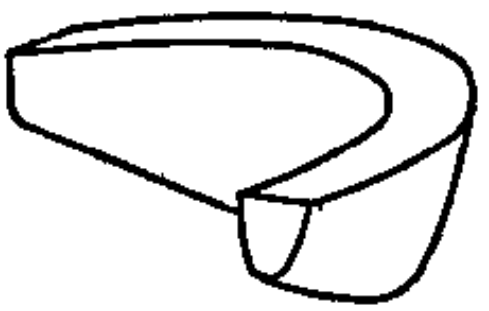



图 1-16-109　脱圈压块形状与尺寸（单位：mm）

表 1-16-55　脱圈压块至轮胎轴中心的距离

| 轮胎直径代号 | 10 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 脱圈压块至轮胎轴中心的距离，mm | 216 | 241 | 254 | 267 | 279 | 292 |

2．试验步骤

试验步骤如下。

（1）检查试验轮胎的外观质量，挑选没有任何脱层、帘线断裂、接头脱开和胎圈部位缺胶、变形等外观缺陷的轮胎进行试验。

（2）将试验轮胎的胎圈部位洗净并晾干，安装在外观光洁、不涂润滑剂或粘合剂、没有损伤变形并符合现行轮胎国家标准规定的轮辋上。

（3）按现行轮胎国家标准规定的轮胎层级推荐负荷所对应的气压，给试验轮胎充气，在18～36℃的室温下停放3小时，再调整到标准规定的轮胎充气内压。

（4）将轮胎与轮辋组合体水平地固定在脱圈试验机的轮胎支承轴上，按表1-16-50规定的中心距离调整脱圈压块的位置。

（5）在轮胎胎侧圆周面上确定不少于4个的等间隔点、按步骤（6）逐点进行试验。

（6）使脱圈压块以50±2.5mm/min的速度下降，向胎侧施加压力，直到轮胎胎圈从轮辋的胎圈座上脱落或达到规定的最小脱圈阻力值时为止，记录脱圈时或停止试验时的阻力值。

## 三、试验结果举例

在GB4504—84中规定，在轮胎的各试验点上之脱圈阻力均不得低于表1-16-56中的规定值。

表 1-16-56　轿车无内胎轮胎最小脱圈阻力

| 轮胎断面宽度，mm | 155以下 | 155～205 | 205以上 |
|---|---|---|---|
| 最小脱圈阻力，kN | 6.67 | 8.92 | 11.08 |
| (kgf) | (680) | (910) | (1130) |

## 四、影　响　因　素

由于轮胎的脱圈阻力受它与轮辋间的接触压力和界面质量的影响，因此首先要求试验轮胎内的气压必须符合规定，气压的测量精度为不大于9.8kPa(0.1kgf/cm²)，轮胎应在调整气压后的15分钟内开始试验；其次是试验轮胎的胎圈部位和轮辋的轮缘与胎圈座部位必须保持干净，不得有润滑剂或粘合剂等异物存在。

为了保证试验精度，脱圈压块施加给胎侧的压力必须垂直于轮胎与轮辋组合体的平面，脱圈阻力的测量精度为不大于试验值的2%。

# 第十五节　滚动半径测定

由于轮胎在路面上滚动，轮轴的旋转角速度便转换成纵向线速度，从而使车辆获得行驶速度，因此轮胎的滚动半径标志着它的速度传递能力。滚动半径同外直径、断面宽度和静负荷半径一样，都是轮胎的主要尺寸，也关系到轮胎之间的互换性和轮胎与车辆之间的匹配性。在有些国家的轮胎标准中，按轮胎规格规定了其滚动半径。所以测定轮胎的滚动半径是一个重要的轮胎成品检测项目。

## 一、测　试　原　理

充气轮胎属于弹性车轮，在承受外力时会发生变形。由于存在变形，轮胎的工作半径就

可分为自由半径、静负荷半径、动负荷半径和滚动半径4种。

自由半径指轮胎按规定充气后，在无负荷状态下轮轴中到胎面最外表面的垂直距离。在静止轮胎上，它即为充气后半径。在旋转轮胎上，它因受旋转离心力的作用而大于充气后半径。

静负荷半径指轮胎在静止状态并受垂直负荷作用时，从轮轴中心到支撑平面的垂直距离。

动负荷半径指轮胎在承受负荷下行驶时，从轮轴中心到支撑平面的垂直距离。动负荷半径也称为轮轴中心高度或滚动高度，是车轮扭矩（驱动扭矩或制动扭矩）的作用力臂。

滚动半径指在规定条件下，轮胎滚动2π分之一周行驶的距离。尽管它在名称上也是一个半径，但在性质上与自由半径、静负荷半径和动负荷半径不同，主要区别有以下几点。

（1）自由半径、静负荷半径和动负荷半径都是轮胎上的实际尺寸，但滚动半径系轮胎与路面互相作用的结果，是一个假设的轮胎半径。

（2）除轮胎本身的尺寸外，自由半径、静负荷半径和动负荷半径主要与轮胎在充气内压、负荷、旋转离心力和车轮扭矩等作用下的径向变形有关，而滚动半径则主要取决于轮胎在受上述力作用时的接地周向变形和滑移。

（3）在无滑移或只有少量滑移的滚动中，由于因负荷和车轮扭矩引起的轮胎周向压缩变形小于它的径向变形，故转动的滚动半径小于它的自由半径，而大于它的动负荷半径。但当轮胎与路面间有较大的滑移时，就会改变上述关系，其中滑转使轮胎的滚动半径减小，滑动则使之增大。

如前所述，滚动半径并非轮胎上的实际尺寸，只有通过测量轮胎在路面上的运动才能获得。目前，测定轮胎滚动半径的途径有二种。一种是测量轮轴中心在纵向的线位移和车轮的角位移，然后按式（1-16-85）计算轮胎的滚动半径。

$$R_e = \frac{S}{2\pi n} \tag{1-16-85}$$

式中 $R_e$——滚动半径，m；

$S$——行驶距离，m；

$n$——车轮转数；

$\pi$——圆周率

另一种是测量轮轴中心在纵向的线速度和车轮的角速度，再计算出轮胎的滚动半径，其计算公式见式（1-16-86）。此外，它的表示形式也不尽相同，有的用滚动半径，有的用滚动

$$R_e = \frac{v}{\omega} \tag{1-16-86}$$

式中 $R_e$——滚动半径，m；

$v$——行驶速度，m/s；

$\omega$——车轮角速度，rad/s。

周长，也有的用每行驶1.61km的轮胎转数，但是它们的性质相同并存在以下换算关系，见式（1-16-87）。

$$R_e = \frac{L_r}{2\pi} = \frac{1610}{2\pi n} \tag{1-16-87}$$

式中 $R_e$——滚动半径，m；

$l_e$——滚动周长，m；

$n$——每行驶1.61km之轮胎转数；

$\pi$——圆周率。

## 二、测 试 方 法

测定轮胎滚动半径的方法，按试验场合区分有道路试验和转鼓试验二种；按测量参数区分又有测位移法和测速法二种。一般，道路试验采用测位移法，转鼓试验采用测速法。现将它们的测试方法叙述如下。

### （一）道路试验

道路试验的方法及步骤如下。

（1）在沥青路面或水泥混凝土路面的道路上，选择路面干燥、坚实、不间断和结构相同的平直路段。把该路段按长度划分为三个区：中间为试验区，长度为3220m；二端为稳定区，其长度应满足使试验车速度达到稳定的需要。在试验区的起点和终点分别竖立标志杆。

（2）挑选质量符合现行轮胎国家标准的轮胎作为试验轮胎，以二条为1组。每组试验轮胎的厂牌、规格、结构、帘布层数和胎面花纹都应相同，且它们的充气后外直径的差别不大于0.5%。

（3）选择代表性的、性能符合出厂规定的车辆作为试验车。试验车应该用后轴（即非转向轮的车轴）驱动，如果系多轴驱动车，应使其它车轴都与传动机构脱开。

（4）把同组的试验轮胎装在符合现行轮胎国家标准的轮辋上，充入表 1-16-52 中规定气压的压缩空气，至少停放24小时，再把轮胎中气压调整到表 1-16-52 中的规定气压，按本章第一节中的要求测量轮胎的外周长并计算它的外直径。

（5）将同组的二个轮胎与轮辋组合体分别安装在试验车左右二个同轴驱动轮上，若试验车的驱动轮为双胎，则只装二个外轮，内轮不装任何轮胎。

（6）给试验车装载适当的重物，使每条试验轮胎上的负荷都符合表 1-16-52 的规定。

（7）试验车以96km/h 的速度试运行 161 ± 32km，然后至少停放 3 小时，待试验轮胎冷却到环境温度后，再把轮胎中的气压重新调整到表 1-16-57 的规定气压。如果试验车的速度达不到96km/h，则可按它能够达到的最高车速试运行。

（8）使试验车以72km/h的速度作轮胎预热行驶，其中：轿车轮胎需预热行驶16km，预热后再将轮胎中的气压调整到规定气压；载重汽车轮胎需预热行驶30分钟，预热后不再调整轮胎中的气压。在完成预热行驶后，立即进行试验。

（9）试验车在试验路段一端的稳定区内，加速到72km/h 的速度并使之进入稳速行驶状态，然后以72km/h 的速度直行通过试验区，在另一端的稳定区内减速和折返。用安装在试验车尾部的 5 轮仪测量试验车的行驶速度和通过试验区的行驶距离（也可按事先测量的试验区长度为准），用试验车驱动轴上的转数计测量试验轮胎通过试验区的转数，计算出轮胎的滚动半径。

(10) 每组试验轮胎在试验路段上往返行驶二次，取 4 次测量结果的平均值，但这 4 次结果彼此相差应不大于1%。如果试验因故中断，那么就应再给轮胎作预热行驶，然后方可继续试验。试验结束后，立即测量轮胎的外周长并计算它的外直径。

(11) 试验轮胎的充气、停放、测量、试运行、预热行驶和测量行驶都应在 4～32℃ 的

表 1-16-57 滚动半径道路试验的轮胎充气内压和负荷

| 轮胎类型 | 充气内压 | 负荷 |
|---|---|---|
| 轿车轮胎 | 轮胎层级推荐负荷所对应的气压加上29kPa(0.3 kgf/cm²) | 轮胎层级推荐负荷 |
| 轻型载重汽车轮胎和宽基载重汽车轮胎 | 轮胎层级单胎最大负荷所对应的气压 | 轮胎层级单胎最大负荷 |
| 其它载重汽车轮胎 | 轮胎层级最大负荷（如有单胎与双胎之分时，则为双胎最大负荷）所对应的气压 | 轮胎层级最大负荷（如有单胎与双胎之分时，则为双胎最大负荷） |

注：表中的轮胎层级的推荐负荷、最大负荷、单胎最大负荷、双胎最大负荷及其所对应的气压，均为现行轮胎国家标准中之规定值为准。

环境温度下进行。

（12）上述步骤也可用于40km/h和96km/h等其它车速下的试验。

（13）试验也可在试验区长度小于3220m的路段上进行，但必须相应提高试验轮胎转数的测量精度，即当把转数计的精度由1转提高到$\frac{1}{4}$转时，则试验区的长度可减少到805m。

**（二）转鼓试验**

转鼓试验的方法及步骤如下。

（1）在转鼓试验机的轮胎轴和转鼓轴的一端，各安装一个旋转脉冲发生器并最好在转鼓的行驶面上粘贴防滑砂纸。

（2）将充好气的试验轮胎与轮辋组合体安装在转鼓试验机的轮胎轴上，最好把轮胎的气门嘴与装有精密调压阀的压缩空气管线相连，以便在恒定的轮胎气压下进行测试。

（3）启动电动机，使转鼓旋转，再把试验轮胎按照规定的负荷垂直地压在转鼓的行驶面上，以80km/h的速度试运行1～2小时，然后停机，让试验轮胎冷却到室温，把轮胎中的气压调整到规定压力。

（4）以规定的负荷和80km/h的速度给试验轮胎作预热行驶，时间不少于30分钟。在完成预热行驶后，立即进行测试。

（5）用频率计或其它适当的仪器测量旋转脉冲发生器的输出，然后按式（1-16-88）计算轮胎的滚动半径。每次试验测量5次，取其平均值。

$$R_e=\frac{R_d\omega_d n_t}{\omega_t n_d} \tag{1-16-88}$$

式中 $R_e$——轮胎滚动半径，m；

$R_d$——转鼓半径，m；

$\omega_d$——转鼓轴旋转脉冲发生器的输出频率，Hz；

$n_d$——转鼓轴旋转脉冲发生器的每转输出脉冲数，p/r；

$\omega_t$——轮胎轴旋转脉冲发生器的输出频率，Hz；

$n_t$——轮胎轴旋转脉冲发生器的每转输出脉冲数，p/r。

（6）试验轮胎的充气内压和负荷可参照本节道路试验中的要求。

（7）试验结束后，应立即测量轮胎的外周长并计算它的外直径。

（8）上述步骤也可用于其它速度下的测试。

## 三、测试结果举例

表1-16-53是3种结构9.00-20轮胎滚动半径测量结果实例。它们是在水泥混凝土路面上，以40km/h的速度，在解放CA10B型载重汽车的后轮上测得的。

由表1-16-58中的测量结果可知，这三种轮胎的充气后半径很接近，但二种子午线轮胎的滚动半径却明显地大于锦纶斜交轮胎。这是由于在二种子午线轮胎中，都具有呈周向排列的钢丝帘线组成的带束层，使轮胎的周向刚度增大，从而减小了轮胎在负荷下滚动时的周向压缩变形。上述差别表明：当汽车的车轴转速相等时，装用子午线轮胎的汽车行驶速度比装用锦纶斜交轮胎者快；当汽车的行驶距离相等时，装配子午线轮胎的车轮转数就必然比装配锦纶斜交轮胎者少。这是子午线轮胎能够节省燃料，且胎面磨损少的原因之一。

表 1-16-58　3种结构9.00-20轮胎滚动半径测量结果实例

| 轮胎结构 | 帘线材料 | 充气后半径,m | 滚动半径,m | 滚动周长,m | 每行驶1.61km之转数,r/1.61km |
|---|---|---|---|---|---|
| 斜交 | 锦纶 | 0.5078 | 0.4904 | 3.0813 | 522 |
| 子午线 | 钢丝 | 0.5083 | 0.4947 | 3.1083 | 518 |
| 子午线 | 人造丝胎体<br>钢丝带束层 | 0.5100 | 0.4976 | 3.1265 | 515 |

## 四、影 响 因 素

轮胎的充气内压、负荷、行驶速度、定位、车轮扭矩以及路面的平整、干湿和洁净程度，都对轮胎滚动半径的测量结果有很大影响，因此在试验中要注意下列事项。

（1）试验轮胎的充气内压必须符合规定，最好能使试验中的轮胎气压保持恒定或者尽可能地缩短试验行驶距离，以防因轮胎气压升高而引起滚动半径的改变。

（2）试验车上装载的重物要固定，轮胎上的负荷要符合规定。

（3）在试验时，试验车或转鼓的行驶速度要保持稳定，避免轮胎滚动半径受旋转离心力改变的影响。

（4）用转鼓试验法测定轮胎滚动半径时，应使试验轮胎的侧偏角和侧倾角都保持零度。用道路试验法时，试验轮胎的定位应符合汽车的出厂规定，且应使试验车保持直线行驶，进入试验区后不得转动车辆的方向盘。

（5）为减少车轮扭矩对轮胎周向变形的影响，防止轮胎在路面上滑转或滑动，试验车进入试验区后应保持油门稳定，更不得踩刹车。

（6）试验路面或转鼓行驶面应平整、干燥和洁净、具有较高的附着系数，以免试验轮胎或5轮仪发生跳动或滑转。

# 第十六节　轮胎试验场

对汽车轮胎来说，没有“性能”和“寿命”并重，轮胎就不能适应现代汽车高速、高负荷行驶所必须具备的各种特性。然而，按旧的方法在公路上作各种试验，将受到地形、安全、气候等限制而无法进行。由于试验场里的试验条件基本保持稳定，能得到重现性良好

的数据；宽阔的试验跑道和齐全的试验设施，即使是十分危险的或极限状态的安全试验也可以进行；人造风雨能提高效率不受季节和气候限制；人为设置的各种特殊条件，使得理论研究有可能与实际相结合。因此，轮胎试验场可以说是当今改进和提高产品质量、研究新产品和进行应用理论研究等的重要手段之一。

## 一、轮胎试验场的类型

轮胎试验场是一个广范的总称，根据不同的目的和用途，事实上轮胎试验场已经形成以下三种类型。

1．汽车轮胎性能试验场

这种试验场以轿车轮胎为重点，主要是研究各种轿车轮胎在不同干、湿路面的防湿滑与制动性能；汽车响应驾驶员指令的水平，即轮胎对汽车操纵稳定性的影响；以及对汽车经济性、动力性和舒适性的影响等等。这类轮胎试验场一般规模较小，占地面积不大，例如意大利Pirelli公司的维左拉试验场就属这一类型（见图1-16-110）。

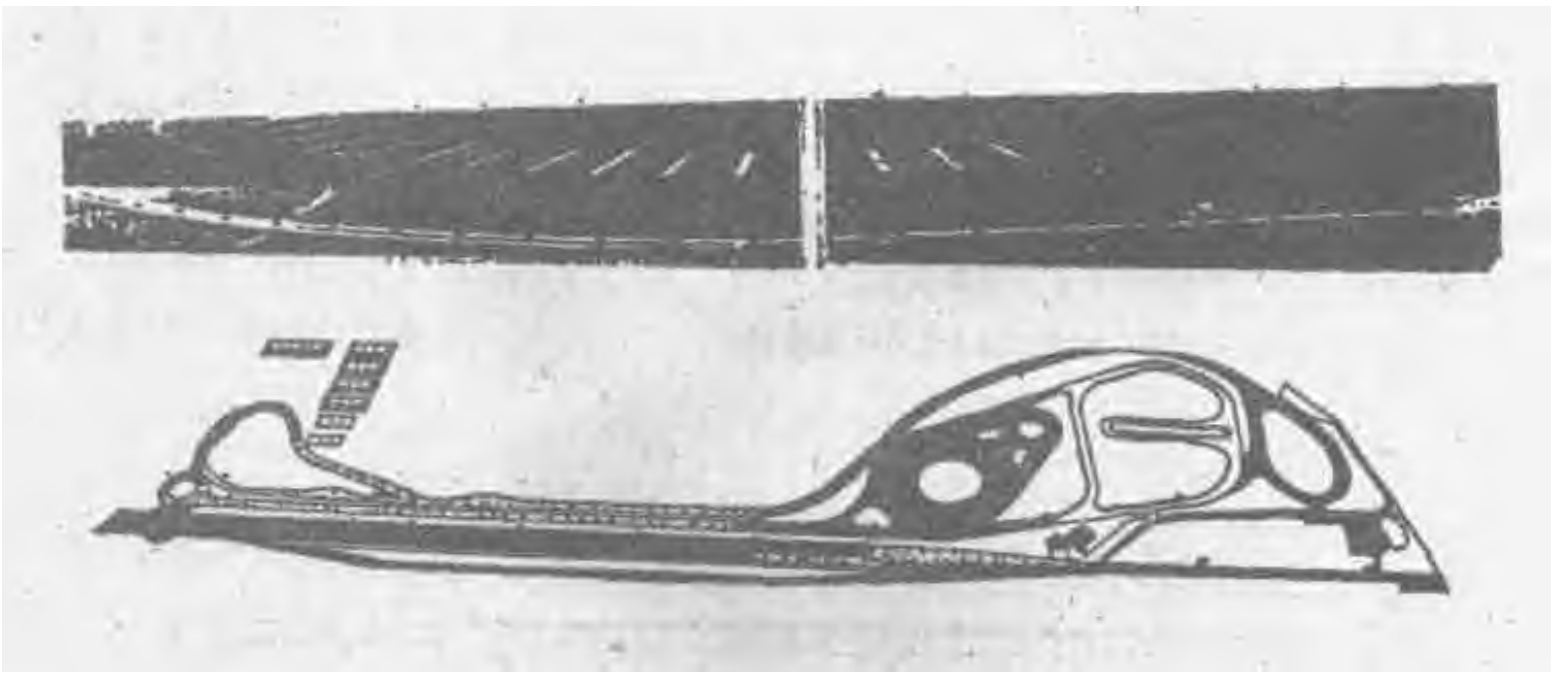


图 1-16-110　意大利维左拉试验场

2．汽车轮胎高速与性能试验场

这是在上述轮胎性能试验场的基础上，增加了一条能进行150—300km/h 高速试验的跑道，由于速度的特殊要求，使得这类试验场的占地面积与造价成倍的提高了。同时，整个试验场的形状基本取决于高速跑道的设计。这是目前轮胎试验场中最普遍的一种类型。例如西德大陆公司Contidrom试验场（见图1-16-111）和日本普利斯通公司的栃木轮胎试验场（见图1-16-112）。

3．综合轮胎试验场

这类试验场是在以上两种试验场的基础上，进一步扩大到可以试验拖拉机轮胎和工程机械轮胎，为此增加了这方面专业试验的地段与设施。例如泥土或砂石牵引试验路段；大石块或角钢砌成的耐割口试验路段；甚至设有各种路面按一定比例搭配的轮胎耐久性试验路段等等。总之，这类试验场规模大，占地面积广阔，试验容量大且项目多。例如美国Goodyear公司的圣·安基诺试验场（见图1-16-113）和法国Michelin公司的勒杜试验场（见图1-16-114）。

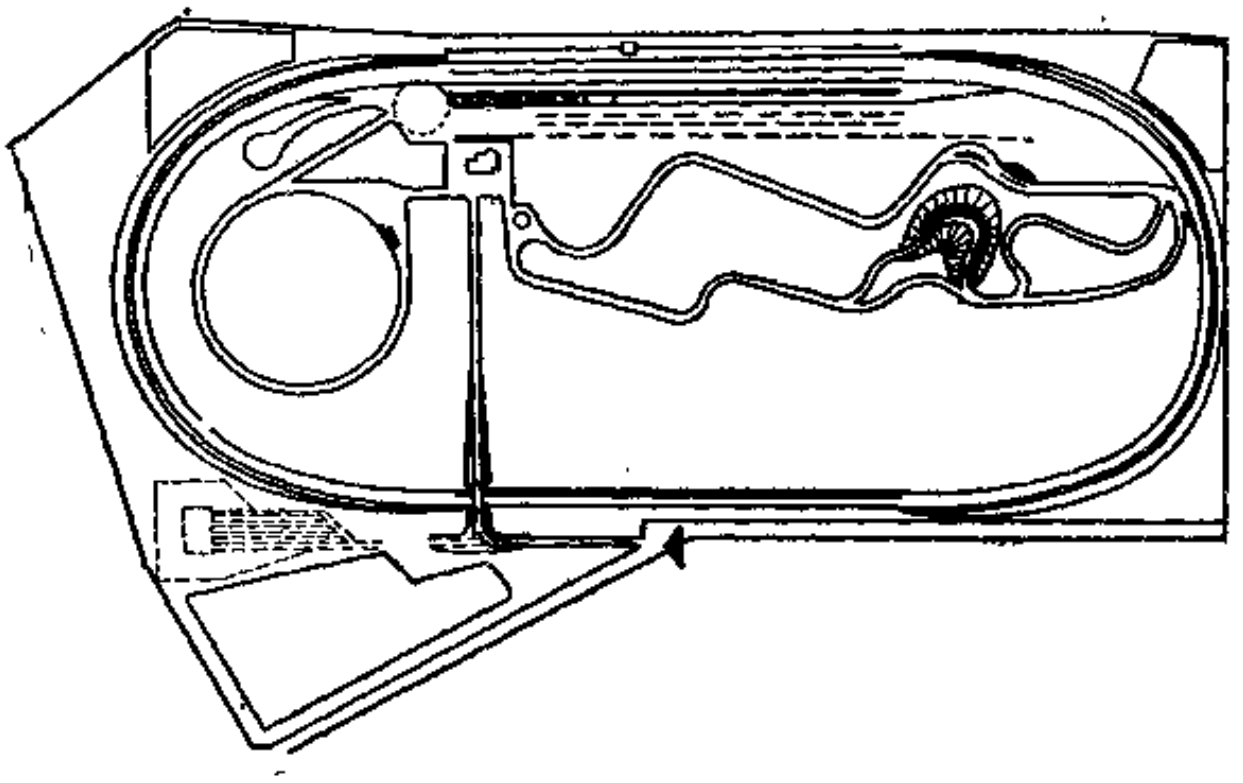


图 1-16-111　西德Contidrom试验场

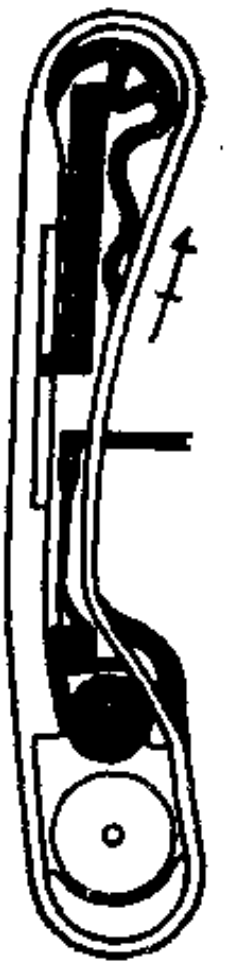



图 1-16-112　日本栃木试验场

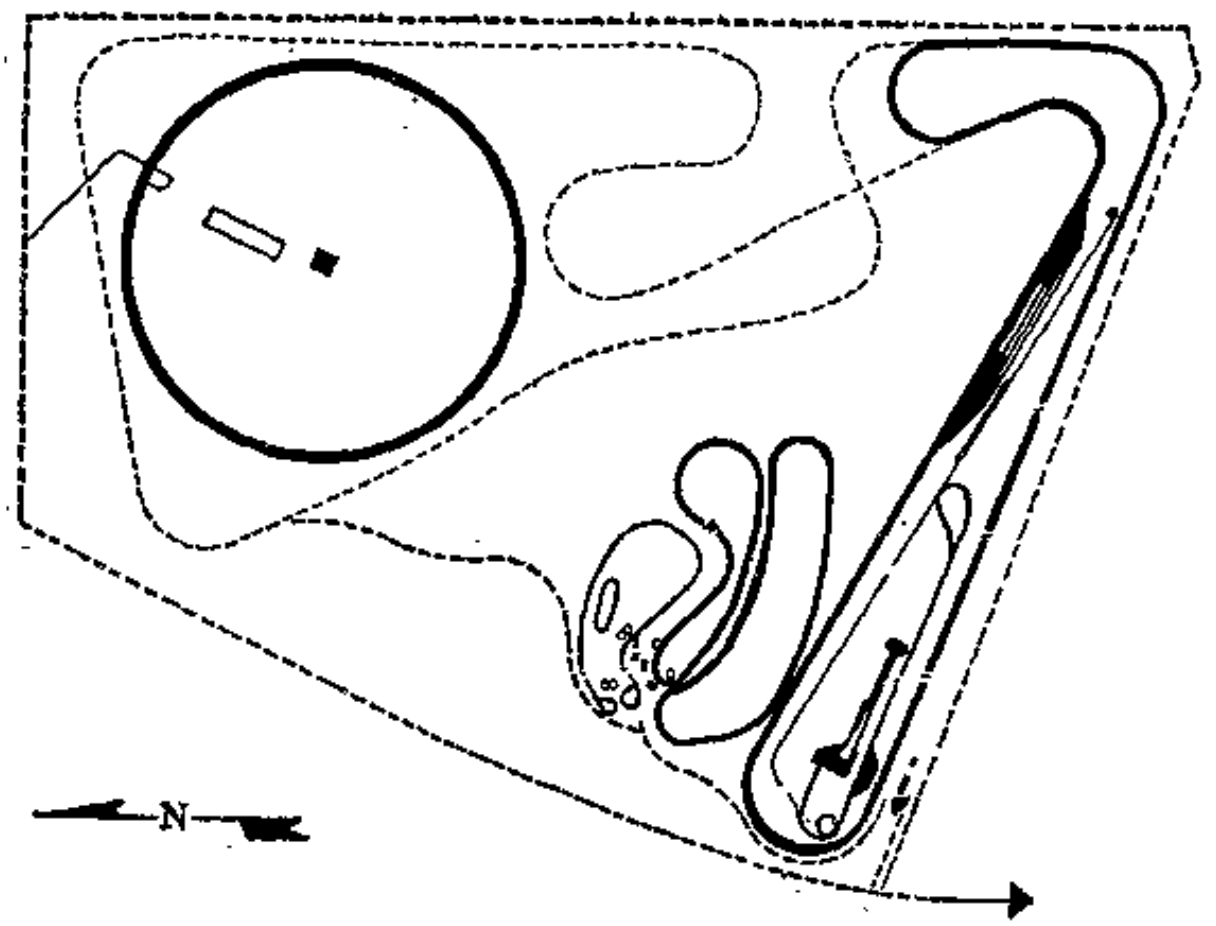



图 1-16-113　美国圣·安基诺试验场

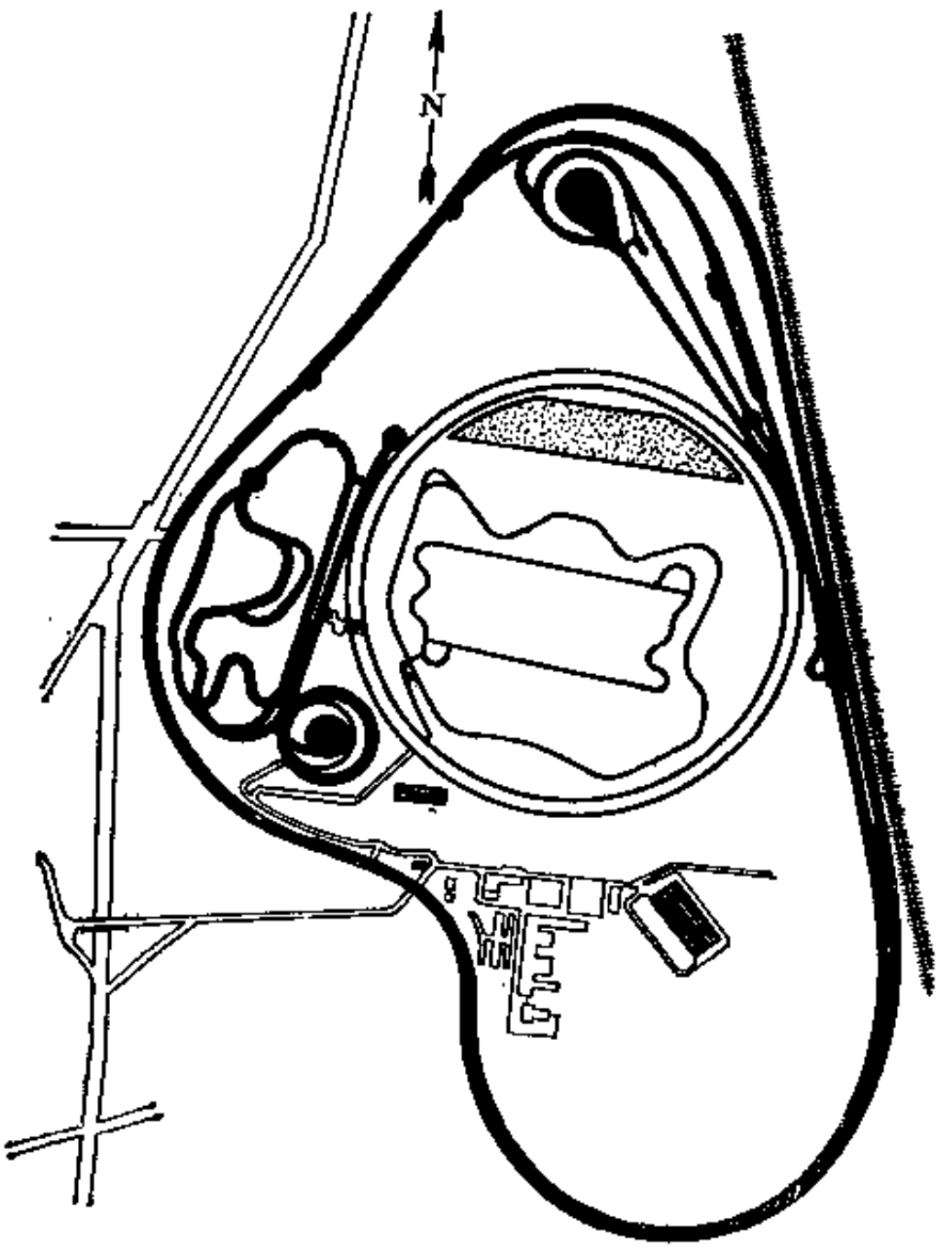



图 1-16-114　法国勒杜试验场

## 二、轮胎试验场的主要跑道

1．高速环形跑道

用于进行轮胎高速性能试验，即经济性、动力性等。例如测轮胎在高速时，轿车四条轮胎所消耗的功率，以及轮胎对车辆加速性能的影响等，一般高速跑道为 2～5 车道，长 2km 至 10 km 不等，有的长达 20 km。直线部分是平坦的，曲线部分设有斜坡，使之与试验车的离心力形成平衡（见图1-16-115）。高速试验的最高速度取决于跑道的设计指标，一般为200km/h，最高可达350km/h。

2．综合试验跑道

为了能安全、准确地进行轮胎的防滑性能、干湿路面的制动性能以及轮胎对汽车经济性、动力性、操纵性方面的影响，综合试验跑道就成为轮胎试验场最基本的组成部分。这种不同路面条件的直线跑道，在一个试验场中可多达10至30条。即使同一种类的混泥土路面或柏油路面，也有各种粗糙度之分。这些跑道几乎都具备洒水试验条件。

在该项试验中，试验前轮胎要在干路面上试跑 160km，轿车胎轻型载重车胎的试跑速度为90～110km/h，试跑时尽可能不要急转弯、制动或加速，以避免不均匀磨损。试跑的目的是为了除掉新轮胎表面粘着模具的润滑剂和表面过分光滑。进行湿滑路面试验前半小时，就要将试验路面淋湿，并继续保持必须的最低限量的水，同时，至少进行20次非正式试验的往

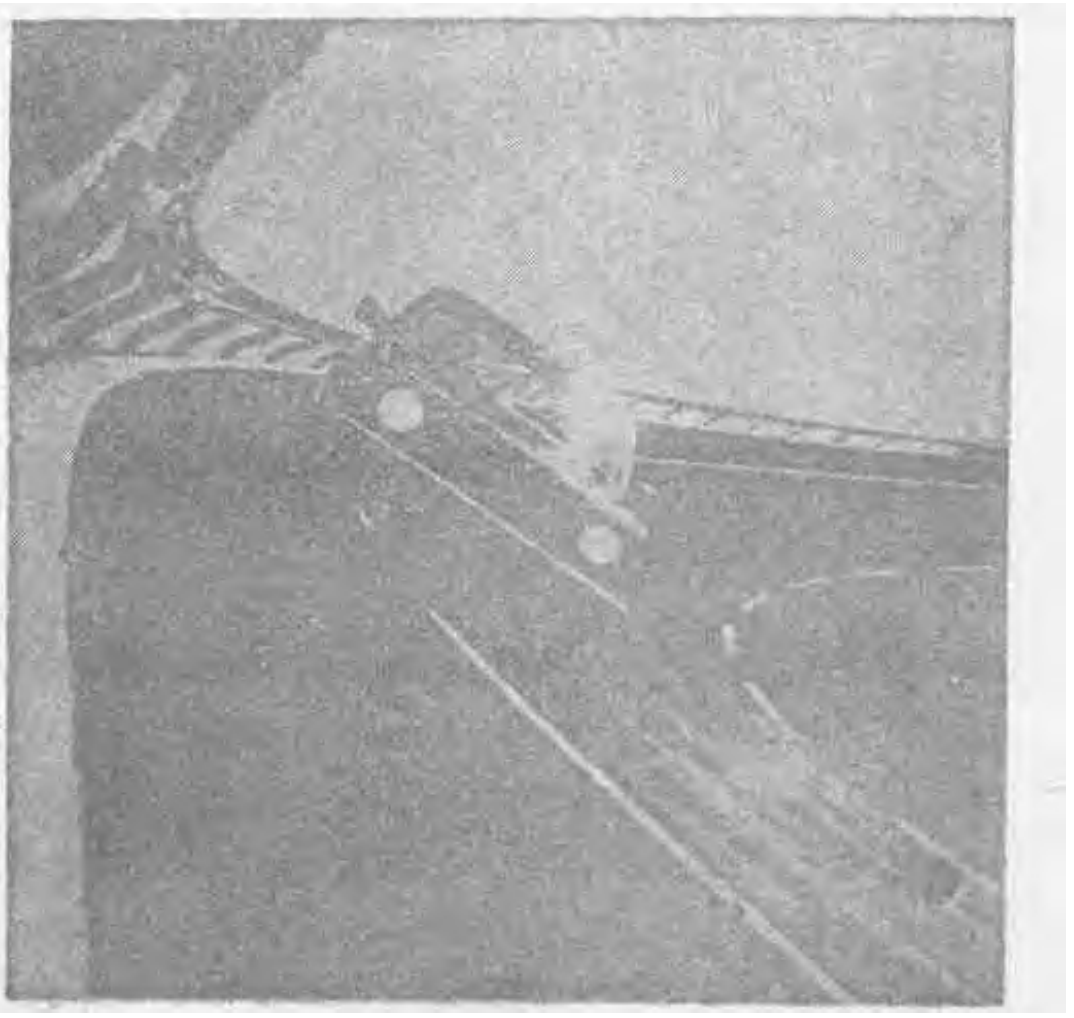


图 1-16-115　汽车在跑道曲线部分斜坡上高速试验

返行驶，来处理湿路面并保持相对稳定。在这个基础上，才能进行准备好的整车或拖车等方式的各种试验，图1-16-116就是轮胎直线行驶制动时，在湿路面上的典型实例。

3．易滑试验区和光滑试验跑道

一般为独立的试验区，方形或圆形均有，后者居多。直径为100～200m，是进行轮胎对车辆操纵稳定性影响与滑制动而专门设置的，同时还能进行定点噪声试验。由于路面的特殊加工，而使摩擦系数达到低值，洒水后继续降低。有时为了试验安全，还在试验车上挂上链条（见图1-16-117）。通过试验，证实子午线轮胎侧滑起滑点能提高20%，即转弯时行驶的安全系数高于斜交轮胎。

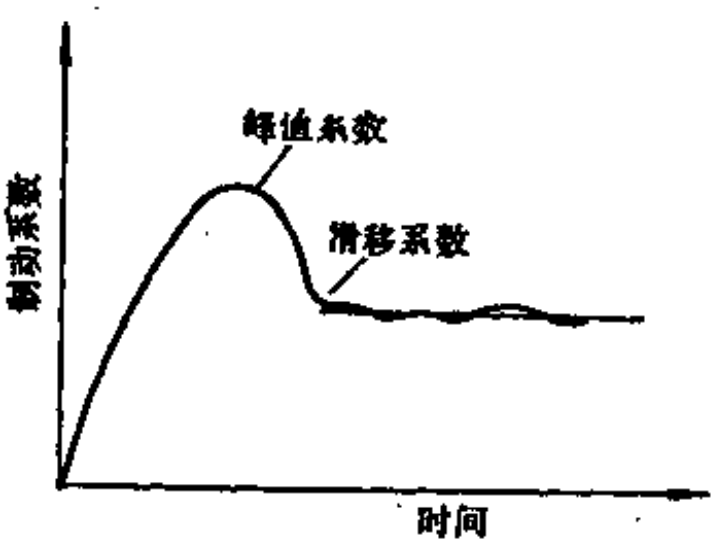



图 1-16-116　波形记录曲线实例

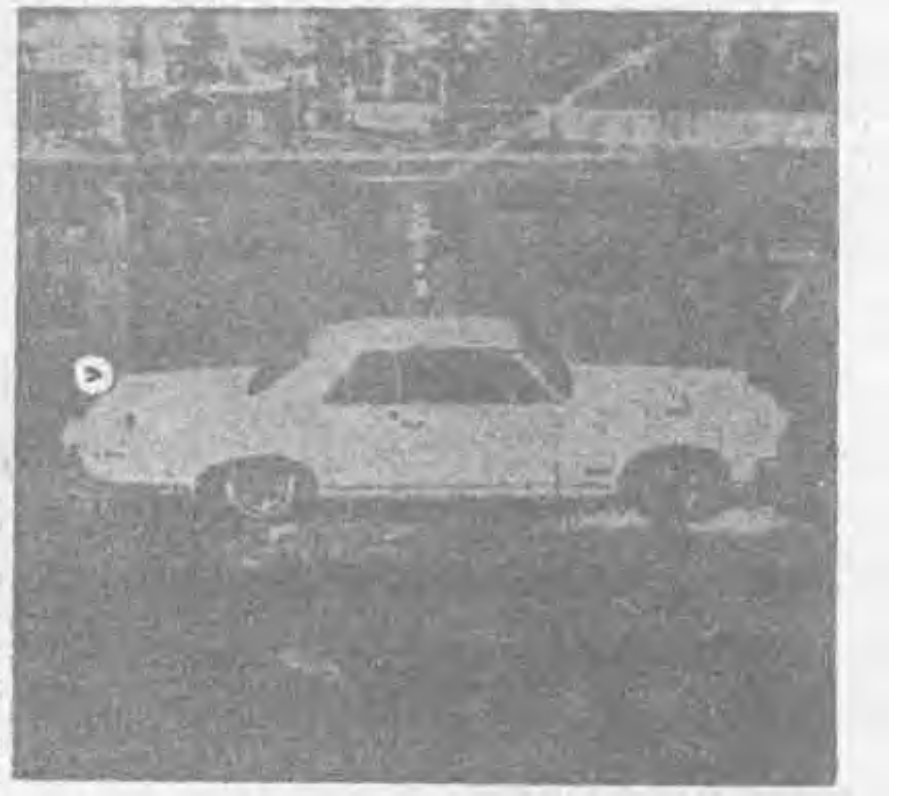


图 1-16-117

4．凹凸不平试验跑道

此类跑道结构形式多样。有波形路，专门为激起轮胎的振动而设计的，有的波长为0.7～1.0m、波幅为10～50mm；有的波长2～15m、波幅为50～150mm、另有一种将水泥路面的接缝连续地排列起来，或有意使裂缝形成龟甲状，车辆在这种跑道上试验，会促使轮胎产生噪声，从而对比各种胎面花纹对路面条件的敏感性。还有专门用石块或卵石铺成的凹凸不平路面，用以探讨不同轮胎对振动的吸收能力。例如低速行驶在这类路面上，子午胎因包络性能差，而显得车内噪声大，不如斜交轮胎。

5．通过性试验路段及其它试验路区

各种直线、曲线的坡路；砂砾路；泥泞路；模拟非正式公路的乡间等等，主要是用以考验轮胎的通过性。在越野汽车上，轮胎的通过性从某种角度而言，具有决定意义。因此，在这方面的试验一直受到重视。此外，还有深水路、盐水路、耐久性试验路（各种路面按比例组合），以及专门试验工程机械轮胎、拖拉机轮胎的路区。

## 三、轮胎试验场的主要设施

轮胎试验场除了必备的各种车辆和拖车之外，为满足试验需要，还具有以下设施与设备。

1．控制塔

控制塔或称控制中心，它是一座高8～15m的塔楼，可纵观全场，不断地发出各种试验指令。控制塔有两种类型，一种只作全场试验的调度与安排，确保试验安全，一般只配备一些简单的通讯设备。另一种则装有高度现代化与自动化的仪器设备，试验速度等数据出场内光电元件测得，通过地下电缆传送到控制塔的计算中心；或将遥测电讯号，直接送入电算机，几小时后便可得到试验的分析结果。

2．试验设施

（1）速度测量　要求快速、准确，有带状开关式、感应线圈式、光电式、雷达式等等，传统的“五轮仪”仍然是速度检测的基本手段之一。

（2）各种拖车　有测功拖车，测量试验车辆在各种条件下的功率消耗；磨耗拖车，用以快速试验轮胎的磨损；轮胎性能拖车，专供测量轮胎行驶中的力和力矩；噪声拖车，有时与主机相隔20m，以便精确测定轮胎在不同路面上的实际噪声。

（3）气象模拟装置　横向风力装置，洒水系统等。

（4）其它特殊设施　地下高速摄影装置等。

# 第十七章　轮胎的使用与保养

汽车轮胎的寿命，是指在正常条件下，能达到的应有里程。由于使用不当，而造成轮胎早期损坏，这不仅会增加运输成本，对社会来说也是一笔浪费，甚至会给行车安全带来隐患，因此，正确地、科学地用好轮胎，已被我国许多运输单位重视，并取得了明显的效果。

我国载重汽车轮胎平均行驶里程已达10万公里，轮胎所占运输成本已由60年代初的15%下降到7～8%，更好一些的单位，如江苏省和武汉长途汽车运输公司只占6%；云南省地处山区，陡坡多、弯道急，路面条件也较差，70年代初期全省平均轮胎行驶里程只有30,000km，经过10年的努力，提高到60,000km。以上情况说明，重视轮胎的使用与保养，肯定是会获得经济效益的。

## 第一节　轮胎的使用

### 一、轮胎的正确选用

首先，在设计一辆新汽车时，应当注意十分慎重地选用轮胎。例如根据车辆使用特点来选用不同轮胎的胎面花纹；按照设计的汽车总重和前后轴重量分配来计算每条轮胎的负荷，从而确定选用轮胎的规格和层级。然后，按照国家标准GB516—82、GB1191—82或按轮胎系列标准GB2977—82、GB2978—82来查阅你所需要的轮胎。表1-17-1为轮胎的合理搭配。国外经验告诉我们，轮胎增加一档选用将是适宜的。例如某轻型货车前轴重2500kg，一般选用7.50-16；10层级；1260kg负荷即可，（尚余20kg容量）。但国外一般选7.50-16；12层级；负荷1405kg，这样增加10%左右的负荷贮备率，被认为是合理的。

大多数汽车还是使用几年后，需要购买新胎替换，这时除了按上述要求选购轮胎外，还应特别注意，在同一车轴上不得混装下列轮胎。

（1）不同类别的轮胎　例如6.95-14有轿车轮胎，也有轻型货车轮胎（面包车也属于轻型货车），尽管是同一规格，它们的使用气压、允许负荷及轮胎工作时的下沉量都不同。

（2）不同规格的轮胎或同规格不同轮辋的轮胎

例如：7.00-16　5.50F轮辋　外直径780mm

6.50-16　5.50F轮辋　外直径755mm

6.00-16　4.50E轮辋　外直径730mm

从外直径的数值就清楚地说明，这些不同的轮胎装在同一车轴上，直径大的会因承担负载过多而爆破，这是十分危险的。

（3）不同花纹的轮胎也不能装在同一车轴上

例如：9.00-20　普通花纹轮胎外径　1018mm

越野花纹轮胎外径　1038mm

6.50-16　普通花纹轮胎外径　755mm

越野花纹轮胎外径　765mm

（4）胎体结构不同的轮胎　这是从汽车行驶操纵稳定性要求提出的，原则上不同胎体

结构的轮胎不能在同一车上使用。特殊情况也只能将子午线轮胎装在汽车后轴使用，否则将造成过渡过向（见图1-17-1和图1-17-2），而会带来翻车的严重后果。

表 1-17-1 轮胎的合理搭配

| 前轴 | 斜交轮胎 | 子午线轮胎 |
|---|---|---|
| 后轴 | 斜交轮胎<br>子午线轮胎 | 子午线轮胎 |

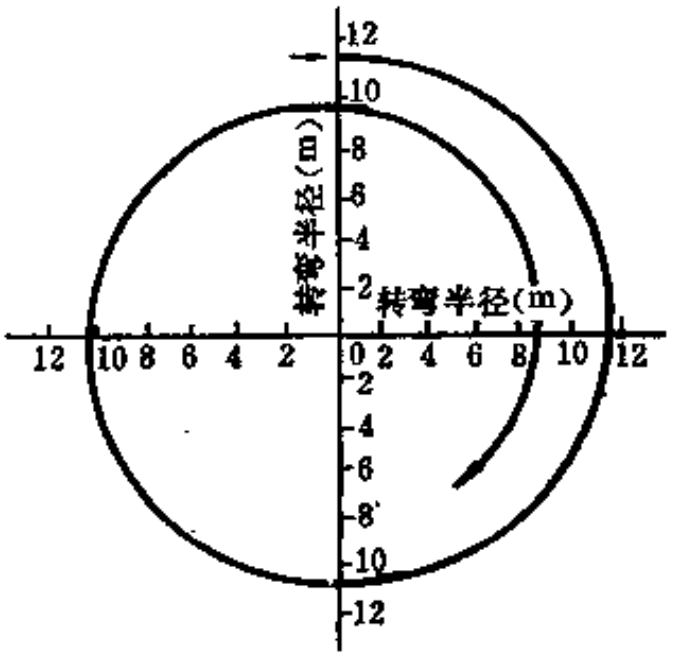



图 1-17-1 前轮子午胎、后轴斜交胎的车辆转弯轨迹

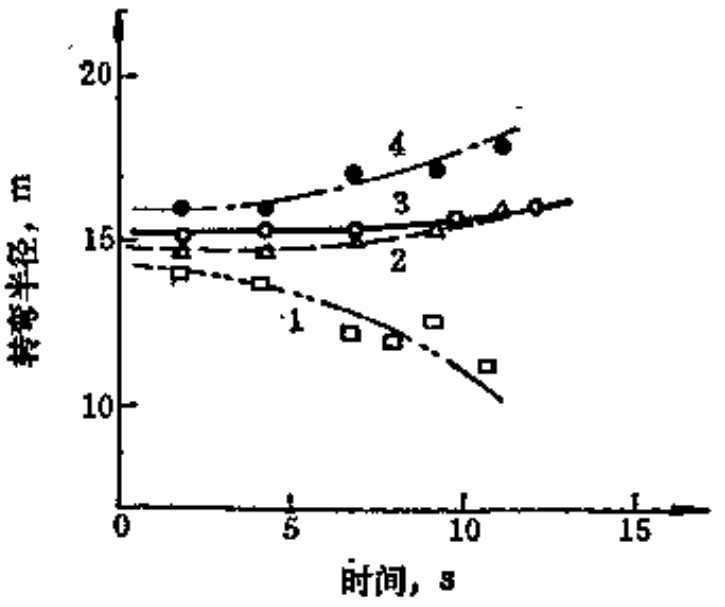



图 1-17-2 方向盘180°时不同轮胎搭配的转弯半径

试验轮胎：155SR13 5.60-13-4PR

| | 前轴 | 后轴 |
|---|---|---|
| 1 | 子午胎 | 斜交胎 |
| 2 | 子午胎 | 子午胎 |
| 3 | 斜交胎 | 斜交胎 |
| 4 | 斜交胎 | 子午胎 |

表 1-17-2 建设选用的载重汽车和公共汽车轮胎

| 行驶条件 | | 推荐轮胎(划○) | | | | 适用车辆 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 道路 | 行驶速度，km/h | 花纹深 | 胎面花纹 | 子午胎 | 斜交胎 | |
| 高速公路 | 100 | 浅 | 纵向 | ○ | ○ | 高速公共汽车；旅游公共汽车 |
| 高速公路 | 80 | 中深 | 纵向 | — | ○ | 高速公共汽车；长途客车 |
| | | | 混合 | ○ | ○ | 高速载重汽车和挂车 |
| | | | 块状 | ○ | — | 长途载重汽车和挂车 |
| 普通路面 | 柏油、水泥路 60 | 中深 | 纵向 | — | ○ | 旅游客车、长途客车、市内公共汽车、长途载重汽车和挂车、本地区载重汽车、自卸车、客货两用车 |
| | | | 混合 | ○ | — | |
| | | | 横向 | ○ | ○ | |
| | | | 块状 | ○ | — | |
| | | 深 | 混合 | — | ○ | |
| | | | 横向 | — | ○ | |
| | 泥土路 60 | 中深 | 横向 | ○ | ○ | 市内公共汽车、本地区载重汽车、自卸载重汽车、客货两用车 |
| | | 深 | 混合 | — | ○ | |
| | | | 横向 | — | ○ | |

续表

| 行驶条件 | | 推荐轮胎(划○) | | | | 适用车辆 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 道　路 | 行驶速度km/h | 花纹深 | 胎面花纹 | 子午胎 | 斜交胎 | |
| 积雪路面 | — | 中深 | 越野 | ○ | — | 各种公共汽车、载重汽车和拉车 |
| | | 深 | 越野 | ○ | ○ | |
| | | | 镶钉 | ○ | ○ | |

注 1　最高速度我国标准规定为90km/h(GB516—82)。
2　大型载重汽车不宜以60km/h速度在普通公路上行驶。

表 1-17-3　建议选用的轻型载重汽车轮胎

| 行驶条件 | | 推荐轮胎(划○) | | | | | 适用车辆 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 道路 | 行驶速度 km/h | 轮辋名义直径 | 层级 | 胎面花纹 | 子午胎 | 斜交胎 | |
| 高速公路 | 100 | ≤14 | 4,6,8 | 纵向 | ○ | ○ | 篷车和轻型载重汽车 |
| | | ≥15 | 4,6,8 | 纵向 | ○ | ○ | 小型公共汽车<br>轻型载重汽车 |
| | | | | 混合 | ○ | ○ | |
| | | | | 横向 | ○ | ○ | |
| | | | | 块状 | ○ | — | |
| | | | 12,14 | 纵向 | ○ | ○ | |
| 普通公路 | 60 | ≤14 | 4,6,8 | 纵向 | ○ | ○ | 篷车和轻型载重汽车 |
| | | ≥15 | 6,8,10 | 纵向 | ○ | ○ | 小型公共汽车<br>轻型载重汽车 |
| | | | | 混合 | ○ | ○ | |
| | | | | 横向 | ○ | ○ | |
| | | | | 块状 | ○ | — | |
| | | | 12,14 | 纵向 | ○ | ○ | |
| | | | | 混合 | ○ | ○ | |
| | | | | 横向 | ○ | ○ | |
| | | | | 块状 | ○ | — | |
| 积雪路面 | — | ≤14 | 4,6,8 | 越野 | ○ | ○ | 篷车和轻型载重汽车 |
| | | | | 镶钉 | ○ | ○ | |
| | | ≥15 | 4,6,8<br>12,14 | 越野 | ○ | ○ | 小型公共汽车<br>轻型载重汽车 |
| | | | | 镶钉 | ○ | ○ | |

表 1-17-4　建议选用的小型载重汽车轮胎

| 行驶条件 | | 推荐轮胎(划○) | | | | | 适用车辆 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 道路 | 行驶速度 km/h | 轮辋名义直径 | 层级 | 胎面花纹 | 子午胎 | 斜交胎 | |
| 高速公路 | 100 | 12 | 4,6,8 | 纵向 | ○ | ○ | 小型载重汽车 |
| | 80 | 10,12 | 4,6,8 | 纵向 | ○ | ○ | 小型载重汽车<br>小型公共汽车 |
| 普通公路 | 50 | 10,12 | 4,6,8 | 纵向 | ○ | ○ | |
| 积雪路面 | — | 10,12 | 4,6,8 | 越野 | — | ○ | |
| | | | | 镶钉 | — | ○ | |

如果遇到高宽比不同的轮胎时，原则上也是不能在同一辆车上使用，暂时的特殊情况，则应将小的高宽比系列装在后轴。例如“95”系列与“82”系列，“82”系列轮胎应装在后轴。

汽车轮胎行驶条件不同，建议按表1-17-2～表1-17-4选择较适合的轮胎。

## 二、轮胎的气压

在轮胎设计中，气压是按轮胎允许载重量、轮胎的类别、使用特点，然后通过一系列的计算和试验方法确定的。在使用中严格遵守轮胎标准中规定的气压，是使轮胎达到应有使用里程的基本条件之一。

汽车行驶中，轮胎在动负荷情况下，胎侧产生屈挠变形，标准气压条件下，这种变形不会超过允许限度，因为在轮胎设计中已经考虑到了。但是，降低气压使用，轮胎刚度会下降，胎侧变形区域扩大，结果会使胎壁帘布层呈环状断裂或子口折断，(见图1-17-3和图1-17-4)，或使胎面磨耗不均，两肩加快磨损（见图1-17-5）。

还应指出，由于降低气压行驶，轮胎的变形过大，导致各层帘布间剪切应力增加和加速帘线疲劳。剪切应力增加会使轮胎温度上升（见图1-17-6和表1-17-5），橡胶和帘线的物理机械性能随之下降，其结果是轮胎早期损坏，大大缩短了轮胎的使用寿命。

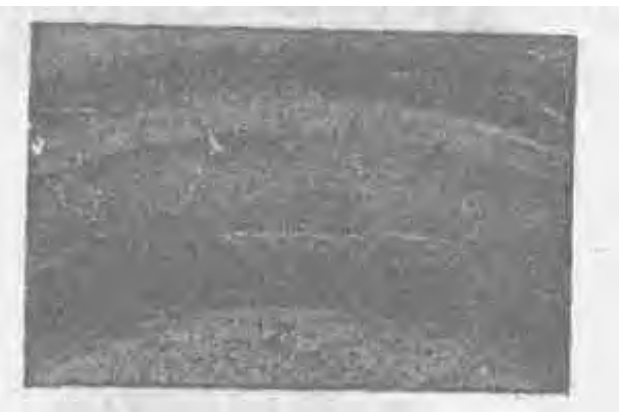


图 1-17-3　胎壁帘布呈环状断裂

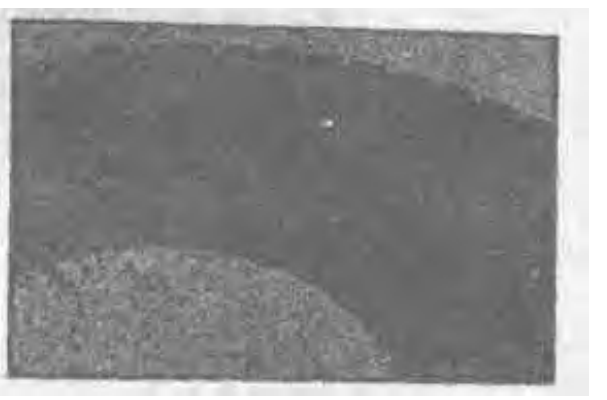


图 1-17-4　轮胎子口折断



图 1-17-5　胎冠两肩加速磨损

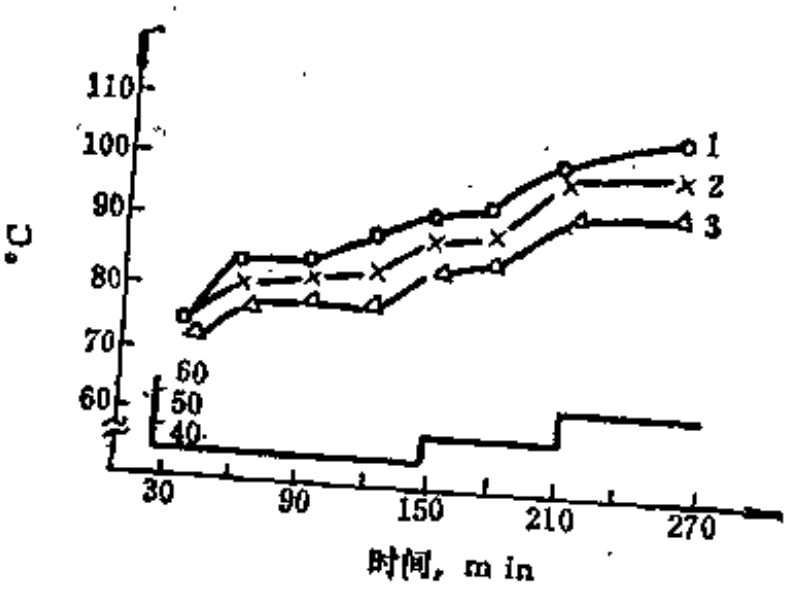



图 1-17-6　不同气压缓冲层温度
1—415kPa；2—550kPa；3—620kPa

表 1-17-5 不同气压缓冲层最高温度对比

| 轮胎规格 | 气压,kPa(kgf/cm²) | 缓冲层各点最高温度，℃ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9.00-20 | 415(4.2) | 106 | 92 | 85 | 87 | 103 |
| | 550(5.6) | 101 | 90 | 89 | 87 | 99 |
| | 620(6.3) | 93 | 86 | 85 | 83 | 92 |
| 轮胎不同气压温度差，℃ | | 13 | 6 | 4 | 4 | 11 |

轮胎缺气的原因，常常是出车时间较长，未能按保养要求及时补气；或者在充气时，气泵生热过高气体膨胀，而造成实际充气压力偏低。

除规定的情况外，提高气压使用轮胎也是不允许的，因为这样做的结果，将使帘布的帘线因伸张过大而经受极大应力。这时，汽车行驶在不平坦的路面上，遇到障碍物，往往会引起磨耗不均，例如胎冠中间部分过多的磨损（见图1-17-7）、胎面不耐刺且易割伤（见图1-17-8），以致花纹基部裂口，发生胎冠爆破（见图1-17-9和图1-17-10）。

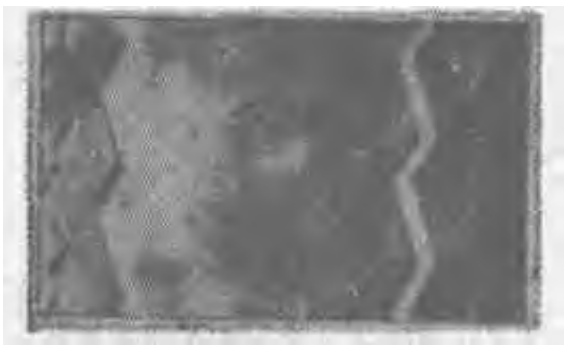


图 1-17-7 胎冠中间部分磨损过多

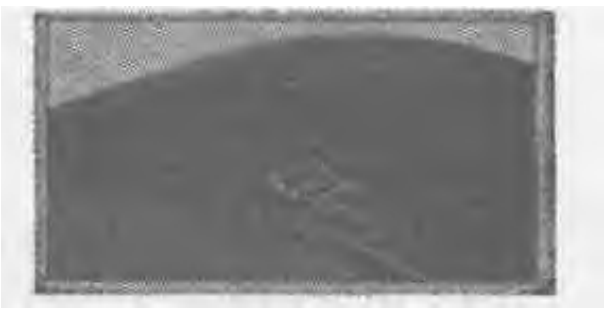


图 1-17-8 胎肩割伤



图 1-17-9 花纹基部裂口



图 1-17-10 胎冠爆破

一般认为，提高气压25%，轮胎寿命将会降低15～20%；降低气压25%，寿命约降30%，（见图1-17-11）。

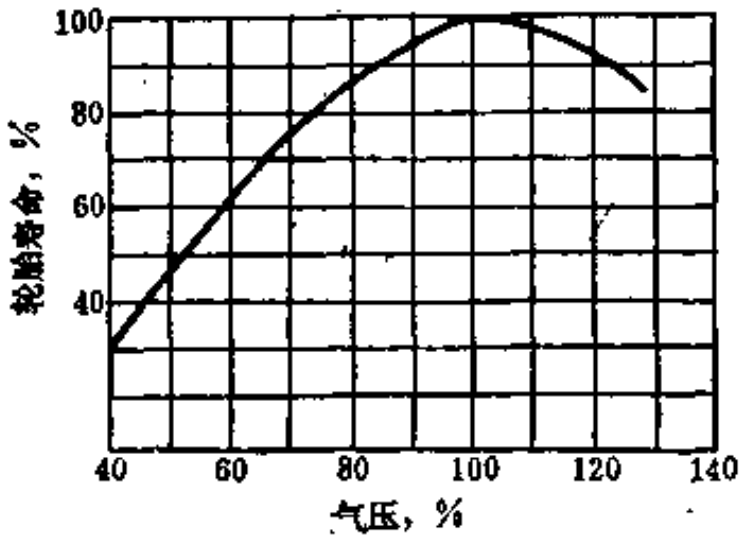



图 1-17-11 气压与轮胎的寿命

## 三、轮胎的负荷

轮胎使用中的负荷也是极为重要的。

轮胎的负荷是根据轮胎的结构、帘线层数的强度以及使用气压和速度等，经过计算才确定的。不遵守标准面超载使用轮胎，会影响其寿命，从轮胎的生热（即温度分布）就可看出超负荷的严重性，（见表1-17-6）。

轮胎超负荷使用时，用增加气压的方法来

表 1-17-6 起负荷缓冲层最高温度对比

| 轮胎规格及结构 | 负荷，kN(kgf) | 缓冲层各点最高温度，℃ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9.00-20 斜交轮胎 | 17.64(1800) | 93 | 83 | 86 | 83 | 92 |
| | 19.40(1980) | 99 | 90 | 88 | 86 | 98 |
| | 21.17(2160) | 107 | 95 | 93 | 91 | 106 |
| | 22.93(2340) | 111 | 99 | 94 | 93 | 106 |
| 轮胎不同负荷温度差，℃ | | 17 | 14 | 8 | 10 | 17 |
| 9.00R20 子午线轮胎 | 17.64(1800) | 71 | 76 | 68 | 78 | 72 |
| | 19.40(1980) | 76 | 79 | 68 | 81 | 76 |
| | 21.17(2160) | 81 | 82 | 75 | 85 | 80 |
| | 22.93(2340) | 84 | 86 | 76 | 87 | 84 |
| 轮胎不同负荷温度差，℃ | | 13 | 9 | 8 | 9 | 12 |

注：试验速度60km/h；气压620kPa。

弥补是不对的。从图1-17-12可以看 出：超 负荷10%寿命将降低20%；超负荷还会增加滚动阻力，超负荷30%，滚动阻力将增加45～60%。当然，低于标准负荷下使用，对轮胎寿命是有好处的，但全衡运输成本就不一定合算。

按标准正确使用，适当增加负荷使用是允许的，国标GB516—82中规定，各类轮胎在较慢速度下行驶，可适当提高负荷，（见表1-17-7）。

表 1-17-7 轮胎使用速度与负荷对应表

| 速度 km/h | 负荷变更率，% | | | 速度 km/h | 负荷变更率，% | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 重型载重车胎 | 载重汽车轮胎 | 轻型载重汽车轮胎 | | 重型载重车胎 | 载重汽车轮胎 | 轻型载重汽车轮胎 |
| 40 | +5 | +10 | +12.5 | 80 | — | — | +2.5 |
| 50 | +2.5 | +7.5 | +10 | 90 | — | — | — |
| 60 | — | +5.0 | +7.5 | 100 | — | — | — |
| 70 | — | +2.5 | +5 | | | | |

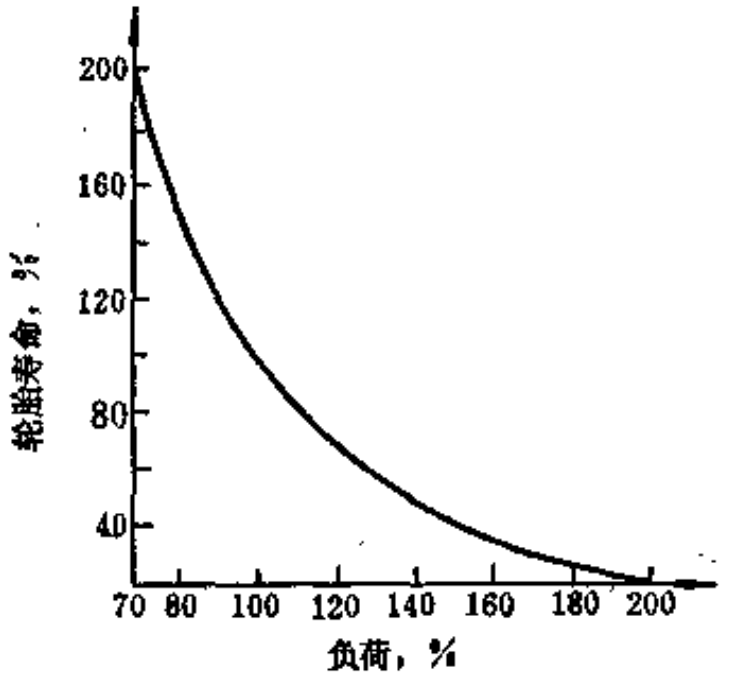



图 1-17-12 负荷与轮胎的寿命

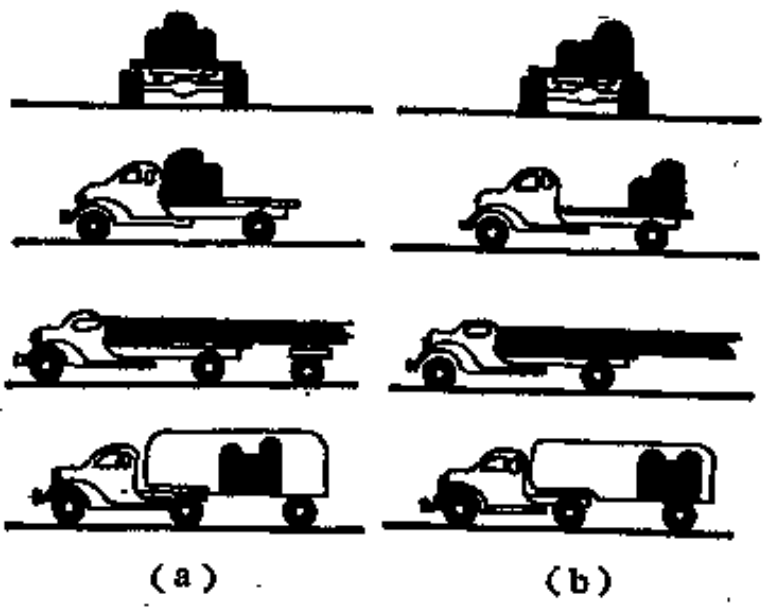



图 1-17-13 货物合理放置示意
(a) 正确放置，正常载荷；
(b) 错误放置，造成轮胎超载

轮胎超负荷的原因是多方面的，为了多装货物虽然是主要原因之一，但是，货物堆放不合理，也是常见的造成超载的原因，货物合理放置方法见图1-17-13。

## 四、轮胎的使用车速

轮胎主要是由高分子复合材料构成，温度将促使橡胶老化。汽车高速行驶时，会使整个轮胎的温度升高。从图1-17-14可以看出，车速由40km/h增至60km/h，9.00-20斜交胎缓冲层最高温度可增加21℃，一般升高15～17℃，胎面会升高10℃，可见速度对轮胎的生热关系十分密切。

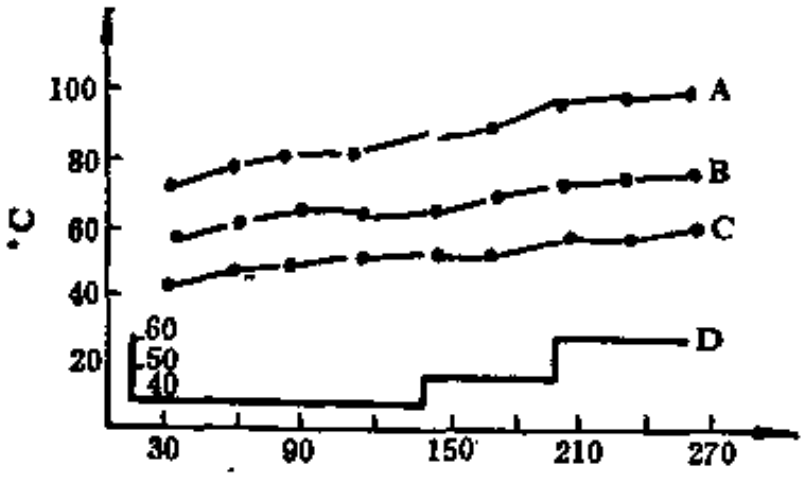



图 1-17-14 轮胎升温与使用车速的关系

A—缓冲层最高温度；B—胎面花纹沟温度；C—胎面温度；D—车速，km/h

在高速情况下，不仅轮胎温度升高，影响胎面磨耗，胎面温度升高1℃，磨耗会增加2%；同时，轮胎又因高速会使行驶中的滑转增加，也会促使磨耗增加。以轿车轮胎为例，在75km/h时，磨耗为100%；90km/h时，只能达到79%；120km/h时磨耗只剩下43%。因此，国家标准GB516—82中，对载重汽车轮胎的使用速度作了规定。

最高使用车速：重型载重汽车轮胎70km/h；

载重汽车轮胎90km/h；

轻型载重汽车轮胎100km/h。

国家标准GB1191—82和GB2978—82对轿车轮胎的使用车速也作了规定，见表1-17-8。

表1-17-8 轿车轮胎最高行驶速度

| 轮胎结构 | 速度级别 | 不同轮辋直径的轮胎最高速度，km/h | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 10in | 12in | 13in及其以上 |
| 斜交 | 一般 | 120 | 135 | 150 |
| 子午胎 | S | 150 | 165 | 180 |
| | H | — | 195 | 210 |

每种轮胎都有自己的临界速度，当高速行驶达到一定速度时，轮胎就会出现“驻波”（如图1-17-15），这就是该轮胎的“临界速度”，如果在此条件下继续使用，轮胎很快就会



图 1-17-15 轮胎高速行驶时出现“驻波”

爆破。主要是因为轮胎旋转速度快到接地部分来不及恢复，也有人用振动原理来解释，认为这是轮胎胎面连续振动的表现。因此，为了安全，汽车是不允许超过轮胎规定的高速条件下行驶的。

如果是雨天或路面有积水，高速行驶时，路表水膜会像“楔子”一样将轮胎与道路隔离开，而使汽车在水面上飘浮，驾驶员手中的方向盘会失去“路感”，车辆行驶处于失控状态，这种现象称为水飘（见图1-17-16）。轮胎胎面花纹磨平或花纹设计排水性不好，以及不同结构的轮胎等，反映都不相同。例如，子午线轮胎稍优于斜交轮胎。

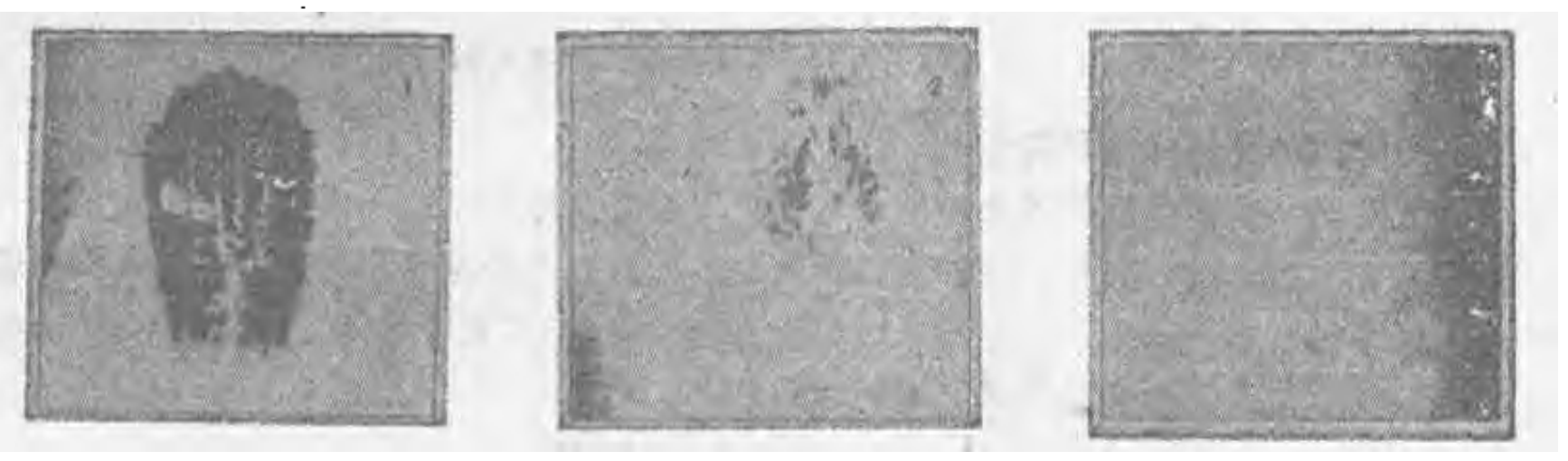


图 1-17-16 轮胎高速行驶时的水飘现象

1—汽车行驶50km/h时，胎面与道路完全接触；
2—汽车行驶80km/h时，水飘产生，轮胎只有极少部分接触路面；
3—汽车行驶100km/h时，完全处于水飘状态，胎面与道路不接触

## 五、轮胎使用的其它注意事项

### （一）新胎的预行驶阶段

凡是新胎投入使用时，首先要进行一段“预行驶阶段”，从面使各部件处于正常使用条件，新胎未经预行驶，温度会高出5％（见图1-17-17）。这种突然升高的温度，对轮胎使用寿命不利，甚至容易发生事故。因此，对新胎使用初期规定了一段预驶速度与距离，（见表1-17-9）。

表 1-17-9 新胎预行驶速度和距离

| 轮胎种类 | 最高速度 km/h | 预行驶距离 km |
|---|---|---|
| 轿车和轻型载重汽车轮胎 | 80 | 100以上 |
| 载重汽车、公共汽车 | | |
| 轻型载重汽车以及挂车 | 60 | 200以上 |
| 载重汽车、公共汽车 | | |
| 轻型载重汽车以及挂车 | 50 | 300以上 |

汽车持续高速行驶时，需要每隔一段时间停车一次，从图1-17-18可以看出，2小时后，轮胎一直处于热平衡状态，长时间的热积聚会导致轮胎早期损坏。因此，行车2小时以后拟停车一次，使轮胎适当降温。炎热的夏季行车尤其应注意这一点。

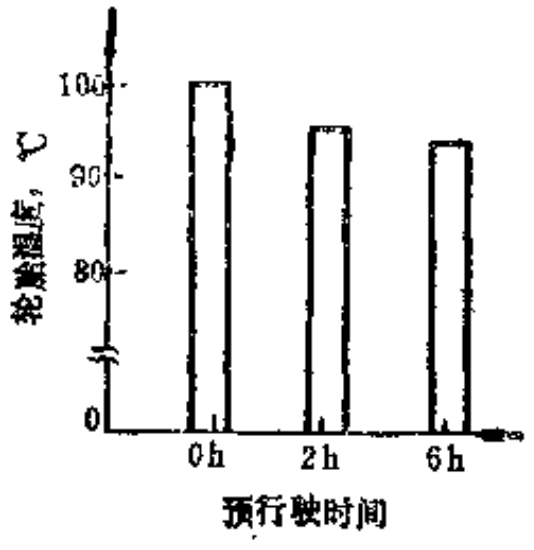



图 1-17-17　轮胎预行驶温度

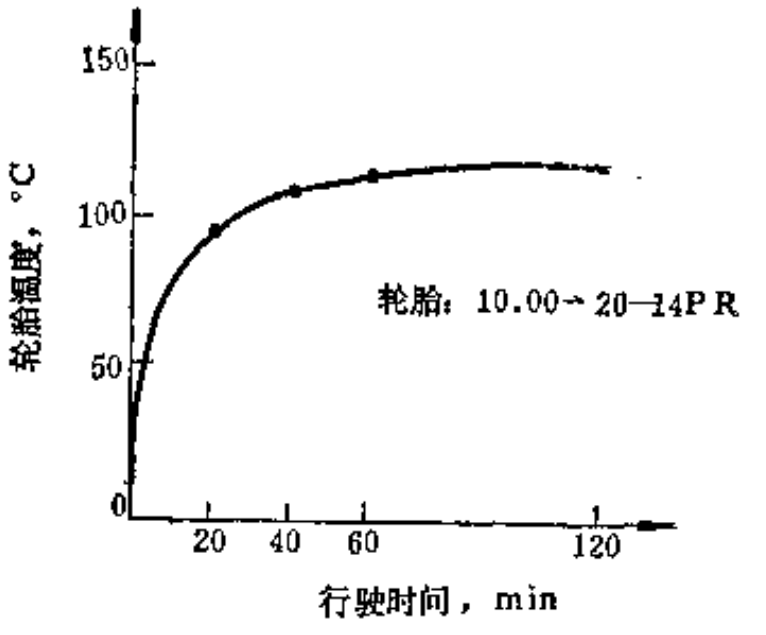



图 1-17-18　轮胎行驶时间与升温（轮胎：10.00-20-14PR）

## （二）胎面花纹磨耗的极限规定

胎面花纹磨至一定深度就应停止使用。这是出于两方面的要求，一是轮胎翻新的需要，以便有一个完好的胎体进行翻新，能够保证翻新胎的质量。二是从安全出发，花纹过浅会影响在紧急情况下的汽车制动距离，见图1-17-19～图1-17-21。因此，规定了轮胎花纹磨耗使用限度，这是安全与经济全衡的结果（表1-17-10）。

表 1-17-10　各种轮胎花纹磨耗使用限度

| 轮胎类别 | 剩余花纹深度，mm |
|---|---|
| 载重汽车、公共汽车轮胎 | 3.2 |
| 轻型载重汽车轮胎 | 2.4 |
| 轿车和小型载重汽车轮胎 | 1.6 |

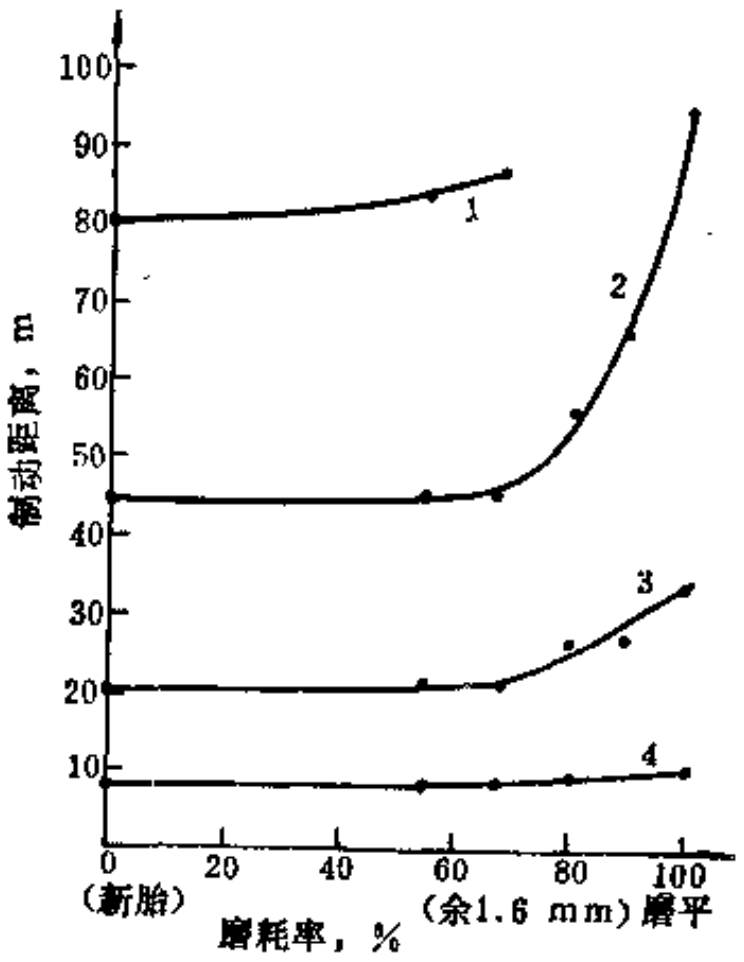



图 1-17-19　轿车轮胎花纹沟深度与汽车制动距离的关系
轮胎：6.95-14-4PR
1—100km/h；2—80km/h；3—60km/h；4—40km/h

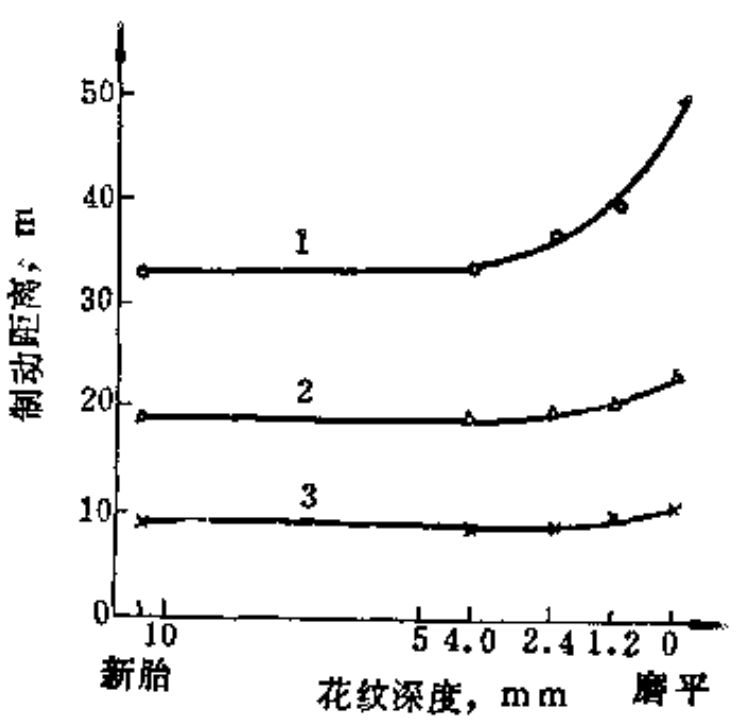



图 1-17-20　轻型载重车胎花纹沟深度与汽车制动距离的关系
轮胎：7.50-15-12PR
1—70km/h；2—55km/h；3—40km/h

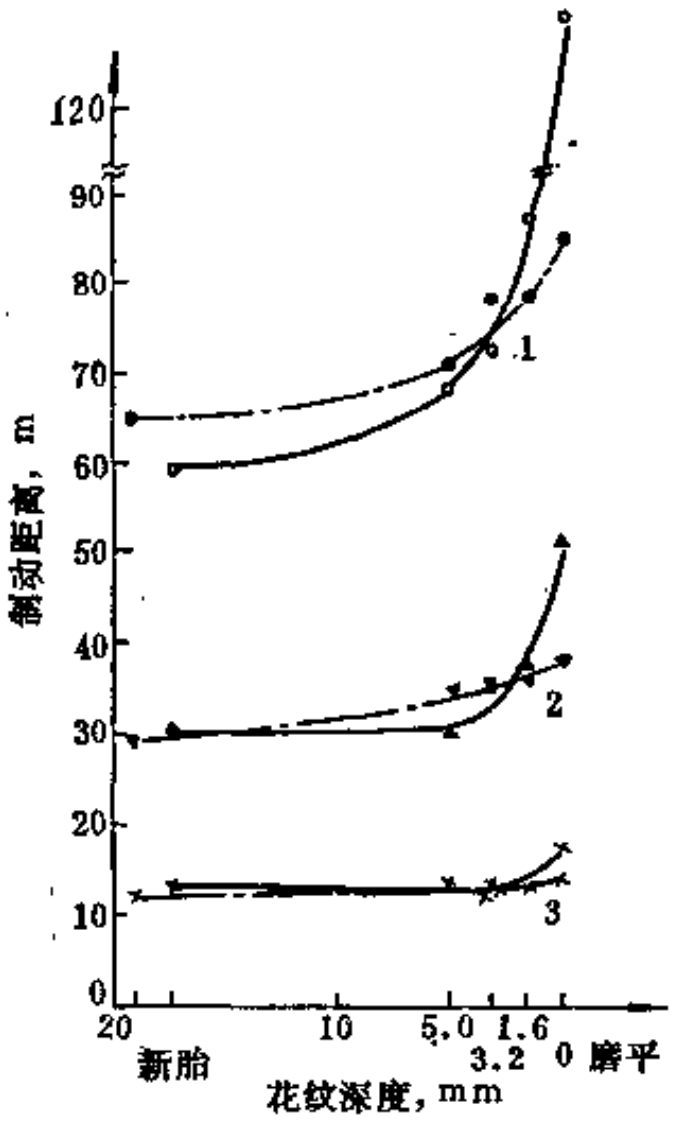



图 1-17-21 载重汽车轮胎花纹沟深度与汽车制动距离的关系

轮胎：10.00-20-14PR

1—80%km/h；2—60km/h；3—40km/h

### （三）注意双胎外径差值

双胎外径应尽量的减小，差值不得超过表1-17-11的规定值。此外，如果遇到双胎外径大小不一样时，外径较小的应装在内侧。

表 1-17-11 双胎外径差值限制

| 轮胎名义断面宽 | 外直径的差值 |
|---|---|
| 9.00及其以上 | 12mm |
| 8.25及其以下 | 8mm |

## 第二节 轮胎的保养

汽车轮胎经常处于良好的技术状况，坚持轮胎按规定保养，是保护胎体，提高翻新率和翻新质量，延长使用寿命，提高行驶里程的必备条件。凡是轮胎使用寿命高的单位，都一再证明严格执行轮胎保养的规定，是极其重要的。一般汽车轮胎随着车辆保养间隔里程的规定，进行轮胎的分级保养。

### 一、轮胎保养主要作业项目

1．一级保养主要作业项目

（1）检查轮胎罗母是否缺少及松紧程度，气门嘴是否漏气，气门帽是否齐全。如果发现损坏或缺少应及时修理或补气。

（2）挖出夹入轮胎花纹中的石子和杂物，如有不正常的磨损或起鼓变形等现象，应找出原因，予以排除。

（3）检查轮胎搭配有无不当，轮辋挡圈、锁圈是否正常。

（4）检查轮胎气压（含备胎），并按规定补足。

（5）检查轮胎与汽车悬架钢板销、钢板卡、螺栓等，有无擦胎可能；挡泥板有无碰擦轮胎的情况。如有不符合要求者，应予以纠正。

2．二级保养主要作业项目

凡轮胎二级保养，应执行一级保养各项作业的同时，进行以下作业：

（1）轮胎拆卸后应测量外直径，作为换位的搭配依据。

（2）车轮解体检查

a．观察外胎胎冠、胎肩、胎侧有无脱空、起瘤和变形异常现象；以及胎内有无内伤等。

b．内胎、垫带有无咬伤、折迭现象，气门嘴、气门芯是否完好。

c．轮辋挡圈和锁圈有无变形，并除锈、上漆。

d．轮辋螺栓孔有无过渡磨损或裂纹。

（3）车轮排除故障后的正确组装与充气。

（4）按规定进行轮胎换位，填写保养记录。

（5）发现轮胎有不正常磨损或损坏，应会同有关人员查明原因，予以排除。

3．子午线轮胎的保养

由于子午线轮胎结构的特点，在执行上述一、二级保养各项作业的同时，还应特别注意以下事项：

① 子午线轮胎的胎冠、胎侧一旦被刺伤、刮破，露出钢丝时，要及时修补，以免水分进入胎体帘线层，锈蚀钢丝帘线，造成早期损坏；

② 子午线轮胎胎圈应力高，容易造成损坏，拆装时应特别小心。

## 二、轮胎保养主要作业要点

1．轮胎充气

（1）轮胎充气应按照国家标准规定的标准气压执行。

（2）新胎安装内胎前，应检查胎里是否有杂物；要拧紧内胎气门嘴垫片螺帽，以防漏气。

（3）充入的空气中不得含有水分和油污。

（4）轮胎充气时，应注意安全防护，防止锁圈跳出。

（5）气压表保证准确，定期进行校对。

2．轮胎换位

为了使轮胎磨损均匀，应结合车辆保养周期进行轮胎换位。在路面拱度较大地区或夏季用胎，轮胎磨损差别较大时，可增加换位次数。

轮胎换位的方法常用的有“交叉换位法”和“循环换位法”，子午线轮胎建议采用“单面循环换位法”（见图1-17-22～图1-17-24）。凡整车更换轮胎，可采用以上换位方法。装用不同成色轮胎，可根据具体情况，合理换位。目前，国内使用最普遍的是交叉换位。

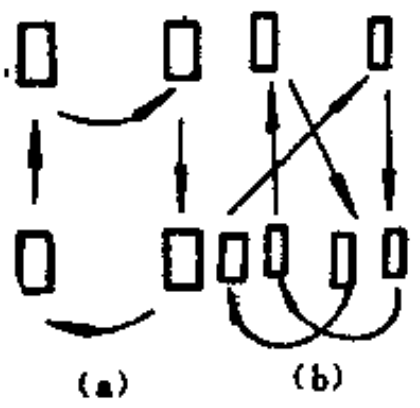



图 1-17-22 交叉换位法
（a）轿车；（b）载重车、公共汽车

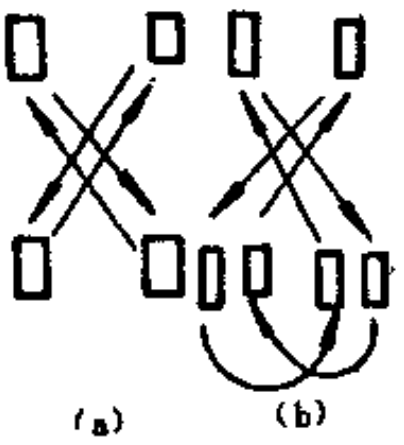



图 1-17-23 循环换位法
（a）轿车；（b）载重车、公共汽车

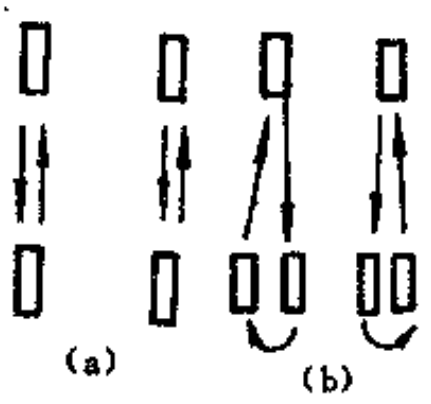



图 1-17-24 单面循环换位法
（a）轿车；（b）载重车、公共汽车

3．轮胎拆装

（1）轮胎拆装须在清洁、干燥、无油污的地面上进行。

（2）拆装轮胎要用专门的工具，不允许使用大锤敲击或其它尖锐的工具撬胎。无内胎轮胎一定要用拆装机，以免损坏子口漏气。

（3）外胎、内胎、垫带、轮辋等应符合国家标准的规定，才能组合装配。

（4）气门嘴的位置应装在轮辋气门嘴孔的中心部位。凡轮胎侧面注有“△”“○”“□”

等符号或注有“W”“D”字母者，均表示轮胎经过平衡试验测出的较轻部位，内胎气门嘴则应安装在该处。

## 第三节　车辆技术状况与轮辋要求

### 一、车辆技术状况对轮胎的影响

轮胎使用寿命在很大程度上取决于汽车的技术状况，汽车技术状况的不正常，会造成轮胎的严重磨损或损坏。

#### （一）汽车前束和外倾对轮胎磨损的影响

汽车前轮纵向的前端差值叫做前束（见图1-17-25）。前束和汽车的行驶方向形成一个实际的侧向偏离角（Slip Angle)以便吸收由于行驶中道路冲击而产生的侧向推力，并消除转向车轮的左右摆动。但是，前束过大，又会导致轮胎胎面磨耗加快和不均，并且会增加滚动阻力。例如：北京212吉普车，前束值分别为1.2；2.6；4.7mm时，轮胎磨损完全正常。前束值为－2.6；7.2或7.5mm时，开始出现胎面畸形磨损。当前束值大于7.5mm时，胎面花纹出现明显的畸形磨耗，且前束值越大，畸形磨损越严重。所以，BJ212规定前束值为3～5mm。各种汽车都规定了自己的前束，解放牌汽车则规定为5～8mm。前束如不按规定，调整不当，有时一条新胎只能行驶4000～6000km就磨光，还不到正常行驶的十分之一，俗称“吃胎”。这种情况对轮胎使用寿命影响是相当严重的，胎面花纹会磨成“羽毛状”。

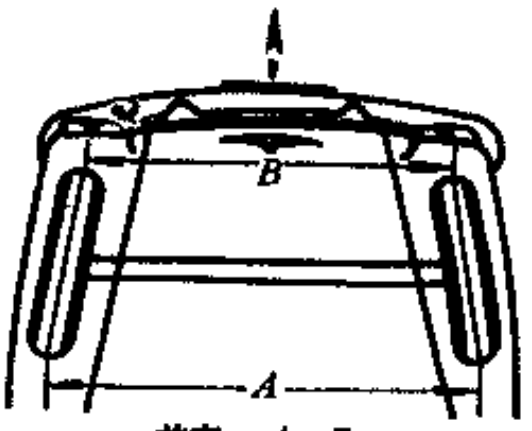



图 1-17-25　汽车前轮的前束

轮胎的结构不同，在相同厂牌汽车的前束，应有区别。具体来说，装用子午线轮胎的前束应比斜交斜胎小。例如，解放牌汽车装用子午轮胎，前束可调整为零，或者是1～2mm，长期使用证明，其效果是好的。前束测量一般使用前轮定位仪，或用木杆、钢卷尺测量轮胎的中心线求得前轮的前束。

外倾角是指前轮中心平面与垂直线所形成的夹角（见图1-17-26）。外倾角过大或过小，也会造成轮胎的加速磨损和不均，最常见的是造成“单边磨损”。外倾角的调整比前束复杂得多，外倾角的测量应采用“倾角测量仪”。但相对来说，外倾角在车辆中比较稳定，不易发生太大的变化。

#### （二）车辆其它技术状况对轮胎的影响

（1）车辆两边轴距不等　汽车在行驶中受到各种冲击力，长期使用不校正，会造成左右轴距长度不等（如图1-17-27），从而导致轮胎行驶时滑转，大大增加了磨损，缩短轮胎使用寿命。

（2）差速器间隙过大　差速器组装不当或磨损严重，会使差速器齿轮间隙过大，这将引起车辆行驶中产生振动。在这种条件下，轮胎使用一段时间会出现花纹块前高后低，（俗称“倒角”），且倒角花纹块的间隔是有规律的。因此，应及时排除此类故障。

（3）后桥下沉、轴承裂损　轮胎花纹出现偏磨，或内外挡轮胎磨耗相差很大。首先，通过水平尺检查后桥是否弯曲过大，如果正常，则应将汽车顶起，在轮胎表面涂上印油，然后缓缓放下，测得内外挡轮胎印痕，用求积仪测量其面积，两者相差10%以上，就可以确认

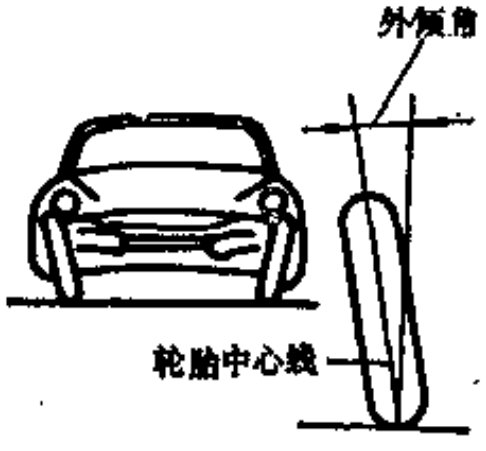



图 1-17-26　汽车前轮外倾角

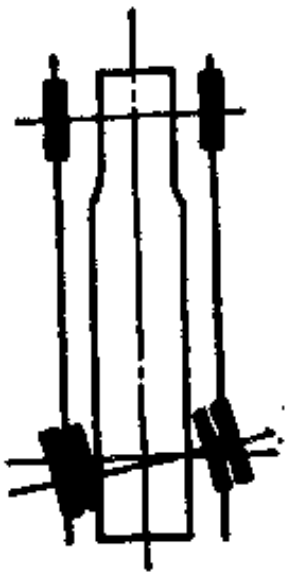


图 1-17-27　轴距左右不等

是轴承裂损，应予以更换。

## 二、轮辋的类别与技术要求

使用轮辋时，必须按照国家标准中指定的轮胎用轮辋。轮辋分为以下几类。

深槽轮辋（DC）　适用于轻型载货汽车及轻型越野汽车。

深槽宽轮辋（WDC）　深槽宽轮辋适用于轿车和轻型载重汽车。该类轮胎可选用不同的胎圈座，在轮胎胎趾处，增加一个“峰”，以防轮胎漏气后脱出。峰有圆峰、平峰、组合峰三种，圆峰有“轮胎装卸面”与“轮胎非装卸面”之分（见图1-17-28）；平峰一般为对称式，两边均为装卸面；组合峰的轮胎装卸面选用平峰，非装卸面选用圆峰，这种结构只用于“JJ”型轮辋。

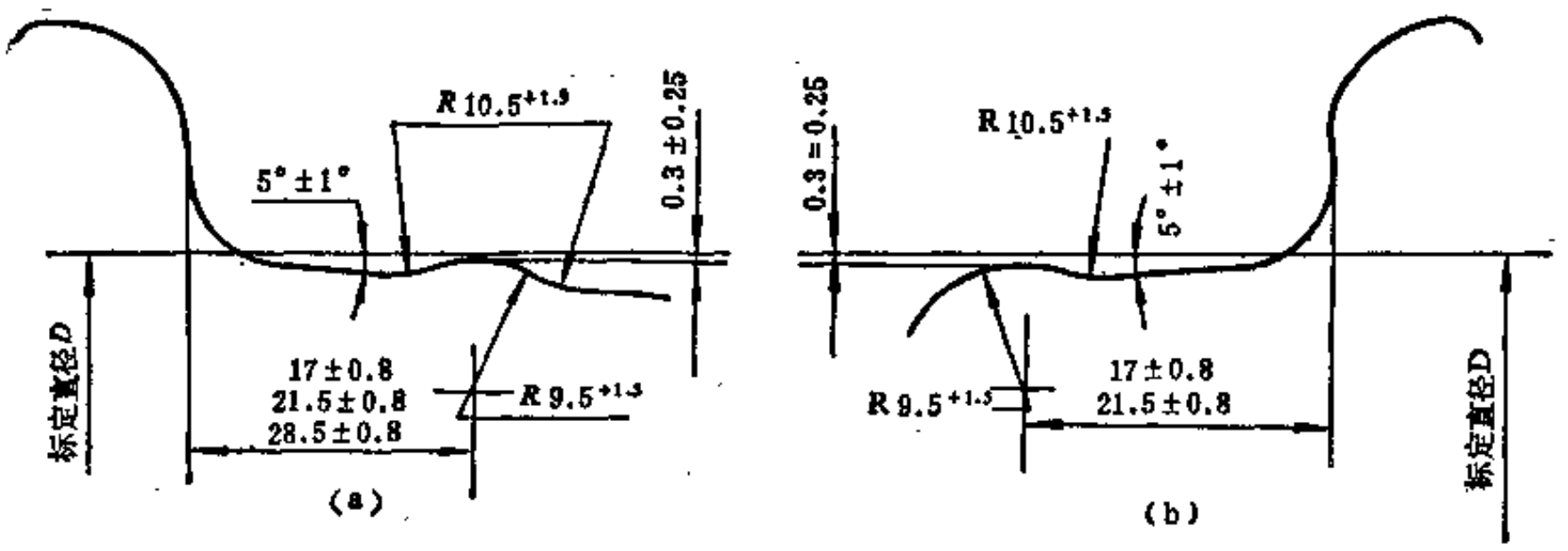



图 1-17-28　圆峰胎圈座

（a）轮胎装卸面；（b）轮胎非装卸面

半深槽轮辋（SDC）　适用于轻型货车，近年来，随着无内胎轮胎的发展，轻型越野汽车也多选用半深槽式。

平底式宽轮辋（WFB）　适用于中、重似载货汽车、越野汽车、自卸汽车及大客车，也是我国轮胎用户接触最多的一种轮辋。

平底式轮辋（FB）　适用范围同上，属于淘汰型轮辋，正逐步被平底式宽轮辋所代替。

此外，还有适用于重型矿用自卸汽车及重型越野汽车用的全斜底轮辋（TB），以及超低压轮胎用的对开式轮辋（DT）等。

常常遇到的情况是：用户并不十分严格选用轮胎所规定的轮辋，有时也存在某些特殊情况，这就要求具体分析，慎重对待。例如，在特殊条件下，可以勉强使用比规定宽的轮辋，如按6.5-20设计的轮胎，可用在7.0-20的轮辋上，但切忌相反的做法，否则会引起轮胎磨损加快、子口折断和滚动阻力增加等一系列缺点。

轮辋由于制造和使用原因，造成变形而不符合轮辋标准(GB3487-83)中所规定的各部位尺寸的要求。这就要求定期予以检查。首先，应该检测的重要尺寸是“轮辋直径”，由于现行国家标准推广的轿车、载重车轮辋底部均有角度，所以为了保证测量准确，而需要用专门的“球带尺”（见图1-17-29）来检测。轮辋周长检测允许偏差值见表1-17-12和表1-17-13。

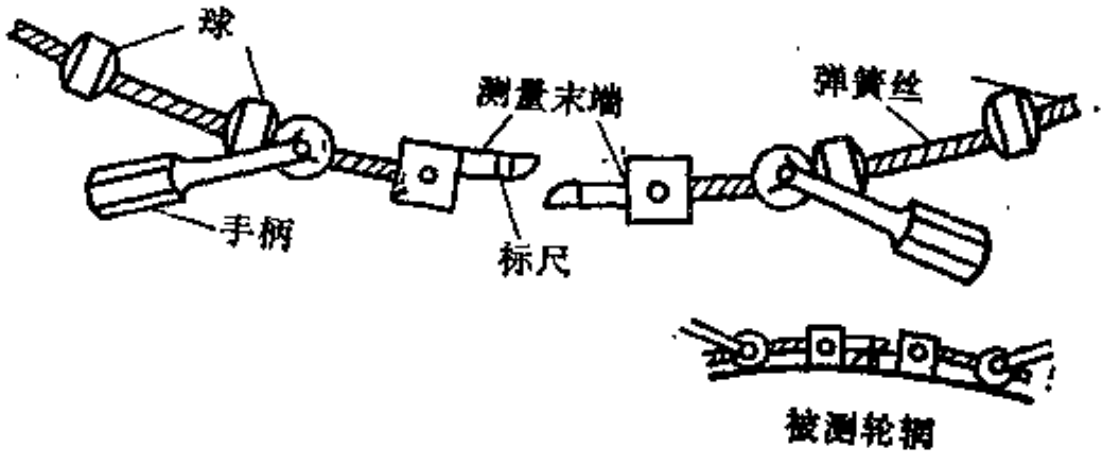



图 1-17-29 球带尺

表 1-17-12 $\beta=5°$轮辋的标定直径及检验周长

| 名义直径，in | 轮辋轮廓类型 | 标定直径，mm | | 球带尺直径，mm | 检验心轴尺寸，mm | | 周长偏差，mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 直径 | 偏差 | | 直径 | 周长 | |
| 10 | DC<br>WDC | 253.2 | ±0.4 | 16 | 252.25 | 792.47 | −2.5 |
| 12 | | 304.0 | | | 303.06 | 952.09 | |
| 13 | | 329.4 | | | 328.46 | 1031.89 | |
| 14 | | 354.8 | | | 353.86 | 1111.68 | |
| 15 | WDC,SDC<br>WFB | 380.2 | | | 379.26 | 1191.48 | |
| | | 387.4 | | | 386.46 | 1214.10 | |
| 16 | DC,SDC | 405.6 | | 20 | 404.66 | 1271.28 | |
| 18 | DT | 463.6 | | | 462.33 | 1452.45 | |
| 20 | WFB | 514.4 | | | 513.13 | 1612.05 | |

表 1-17-13 平底轮辋的标定直径与检验周长

| 名义直径，in | 轮辋轮廓类型 | 标定直径，mm | | 检验周长，mm | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 尺寸 | 偏差 | 尺寸 | 偏差 |
| 18 | FB | 457.2 | ±0.4 | 1436.3 | ±1.2 |
| 20 | | 508 | | 1595.9 | |

除了轮辋直径外，还要注意查对轮辋边缘高度及边缘弧度是否与国家标准相一致。宽轮辋与平底轮辋的轮缘尺寸相差较大，以载重车轮胎9.00-20使用的两种轮缘尺寸为例（见表1-17-14)这些尺寸都应该用专门样板检验。

表 1-17-14 轮缘尺寸比较表

| 轮辋规格 | 高度，mm | 宽度，mm | 半径，mm |
|---|---|---|---|
| 6.00T | 38±1.2 | 26 | 22.5 |
| 7.0 | 38±1.2 | 21 | 19±2.5 |

轮辋不圆和摆差，都会造成车轮在路上呈S形扭摆前进，加剧胎面磨损和磨耗不均。如北京有个车辆保养场，发现一台车前轮轮辋摆差，使得同车轮胎前轮的行驶里程仅为1万多公里，后轮行驶里程达10余万公里，几乎相差10倍，问题严重性十分明显。

## 本篇附录 轮胎部分物理机械性能指标

表 1 轮胎胎面胶物理机械性能

| 物理性能 \ 轮胎类型 | | 断面宽17in及其以上工程机械轮胎（包括重型轮胎） | | 载重轮胎和小型工程机械轮胎（包括工业轮胎） | | 轿车轮胎 | 农业林业轮胎 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 上层 | 下层 | 上层 | 下层 | | |
| 扯断强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 全天然橡胶 | 2.45(250) | 2.45(250) | 2.45(250) | 2.45(250) | 2.45(250) | 2.26(230) |
| | 50%以下合成橡胶 | 2.26(230) | 1.96(200) | 1.96(200) | 1.77(180) | 1.67(170) | 1.77(180) |
| | 50%合成橡胶 | — | — | 1.86(190) | 1.77(180) | 1.67(170) | 1.57(170) |
| 扯断伸长率，%≥ | | 470 | 470 | 470 | 470 | 470 | 450 |
| 硬度（邵尔A） | | 65～70 | 50～65 | 55～70 | 50～65 | 55～65 | 55～65 |
| 磨耗量，cm³/1.61km≤ | 天然橡胶 | 0.50 | — | 0.50 | — | 0.50 | 0.50 |
| | 合成橡胶 | 0.40 | — | 0.40 | — | 0.40 | 0.40 |

表 2 轮胎部件间附着力指标

单位：kN/m(kgf/cm)≥

| 部位 | 汽车轮胎和工程轮胎 | 农业和林业轮胎 |
|---|---|---|
| 胎面胶与缓冲层间 | 7.8(8.0) | 6.9(7.0) |
| 缓冲层之间 | 6.9(7.0) | 5.9(6.0) |
| 缓冲层与帘布层间 | 5.9(6.0) | 5.9(6.0) |
| 帘布层之间 | 5.4(5.5) | 4.9(6.0) |
| 胎侧胶与帘布层间 | 5.4(5.5) | 4.9(5.0) |

表 3 内胎和垫带物理机械性能指标

| 项目 | | 内胎 | 垫带 |
|---|---|---|---|
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 天然橡胶 | 19.6(200) | 6.9(70) |
| | 合成橡胶 | 17.7(180) | |
| 扯断伸长率，% | ≥ | 600 | 450 |
| 扯断永久变形，% | ≤ | 35 | 40 |
| 附着力，kN/m(kgf/cm)≥ | 内胎与气门嘴胶垫间 | 3.9(4.0) | — |
| | 气门嘴与胶垫间 | 3.9(4.0) | — |
| 撕裂强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 天然橡胶 | 4.9(50) | — |
| | 合成橡胶 | 3.9(40) | — |
| 接头扯断强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 天然橡胶 | 9.81(100) | — |
| | 合成橡胶 | 8.8(90) | — |

# 第二篇　力车轮胎

力车轮胎是安装在以人力驱动为动力的自行车、三轮车、手推车、赛车以及人力、畜力两用力车上使用的充气轮胎，包括自行车轮胎、三轮车轮胎、手推车轮胎和赛车轮胎。

在我国，力车轮胎作为短途运输和交通工具起着独特的作用，它与广大人民的生活和工作有着密切的联系。目前，手推车在农村中仍然是主要的运输工具，其保有量在4000万辆以上。另外，在工矿企业、建筑工地和铁路修建等方面，手推车也发挥出其特有的短途运输的优势。因而，手推车轮胎对于农业生产、货物运输、工业建设和城市发展等方面都起着特殊的补充作用。在城市和乡镇中，自行车用于交通代步和轻量运载，成为人们日常生活和工作的基本工具，其保有量在13000万辆以上。因而，自行车轮胎具有旺盛的生命力。由此可见，根据我国国情的具体条件，力车轮胎在我国国民经济中的地位是不容忽视的。

1888年，英国的Dunlop发明了自行车轮胎，由于自行车具有轻便、灵活、无噪音、能载重、不用燃料和不污染等特点，其生产至今未衰，目前世界上力车轮胎产量的98%是自行车轮胎。

我国力车轮胎的生产历史已有70多年。建国前，力车轮胎的生产企业只有少数几家，其规模、产量甚微，品种单调，工艺装备落后，原材料依赖进口，国内市场所需要的力车轮胎多数靠进口来满足。建国后，力车轮胎的生产随着社会主义经济建设的发展和人民生活水平的逐步提高，得到了很大的发展，其产量已跃居世界第一，成为我国橡胶工业的一大类产品。每年还出口部分产品到世界上50多个国家和地区，赢得了一定的声誉。产品的品种规格也有了较大的增加，自行车轮胎已发展到30多个规格，3个系列（软边轮胎、直边轮胎、钩边轮胎）；手推车轮胎也有二个系列（软边轮胎、直边轮胎）。骨架材料实现了升级换代，绝大多数自行车轮胎采用尼龙帘布取代棉帘布作骨架材料，部分手推车轮胎也正在采用尼龙帘布作骨架材料。另外，硬边自行车轮胎的生产比重逐年增加，市场上又推出了彩色自行车轮胎、丁基橡胶内胎等新品种

## 第一章　力车轮胎的分类、规格及技术标准

### 第一节　力车轮胎分类

力车轮胎按照其胎圈和胎踵的结构不同可分为4种。

1．软边轮胎

软边轮胎是外胎胎耳用半硬质胶芯包以经过擦胶后的帘布层及保护胶条，并具有耳形胎踵结构的充气轮胎，胎耳嵌入轮辋内（如图2-1-1）。此轮胎较易维修，稍有缺气现象时，也不易滑出轮辋。

2．直边轮胎

直边轮胎是一种外胎胎圈用单根或多根钢丝为芯，外包以经过擦胶后的帘布及细帆布作保护层，具有直立形胎踵结构的充气轮胎（如图2-1-2）。该种轮胎固着性能好，乘骑轻快、

舒适，装卸方便。其生产工艺机械化程度高，劳动强度比软边轮胎低，原材料消耗较合理。

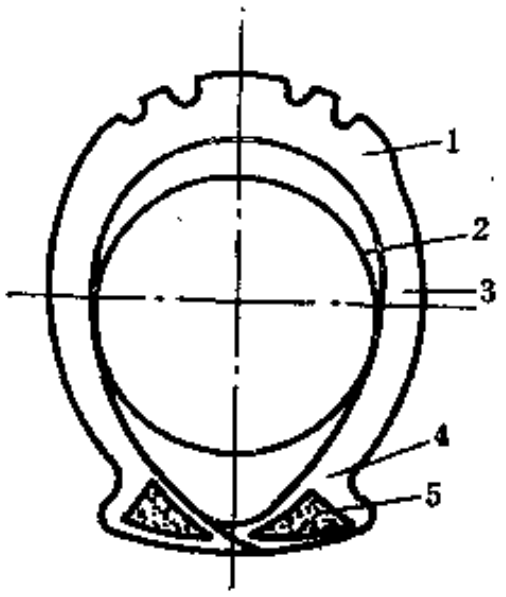



图 2-1-1　软边轮胎

1—外胎胎冠；2—内胎；3—外胎胎侧；4—外胎胎耳；5—胶芯

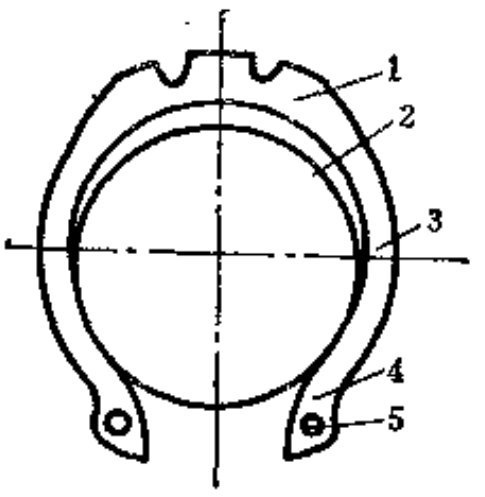



图 2-1-2　直边轮胎

1—外胎胎冠；2—内胎；3—外胎胎侧；4—外胎胎圈；5—钢丝

3．钩边轮胎

钩边轮胎是外胎胎圈用单根或多根钢丝为芯，外包以经过擦胶后的帘布及细帆布作保护层，并具有马蹄形胎踵结构的充气轮胎（如图2-1-3）。该结构的轮胎充气容量大，乘骑舒适，是国际上新发展的一个品种。

4．管式轮胎

这种轮胎的内外胎包缝为一个整体，胎体成管状形式，固着面覆有加强布层。轮胎在安装于轮辋之前，需涂刷粘着胶浆，为赛车专用轮胎（如图2-1-4）。

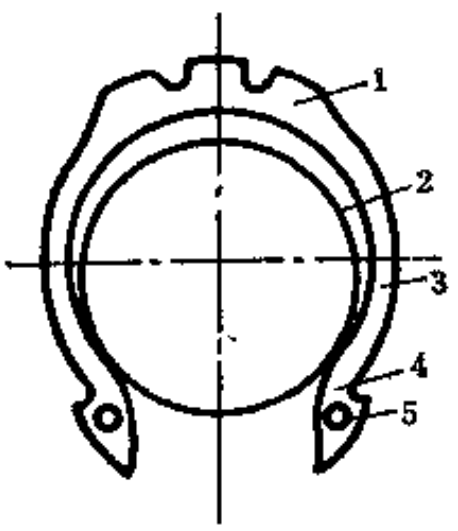



图 2-1-3　钩边轮胎

1—外胎胎冠；2—内胎；3—外胎胎侧；4—外胎胎圈；5—钢丝

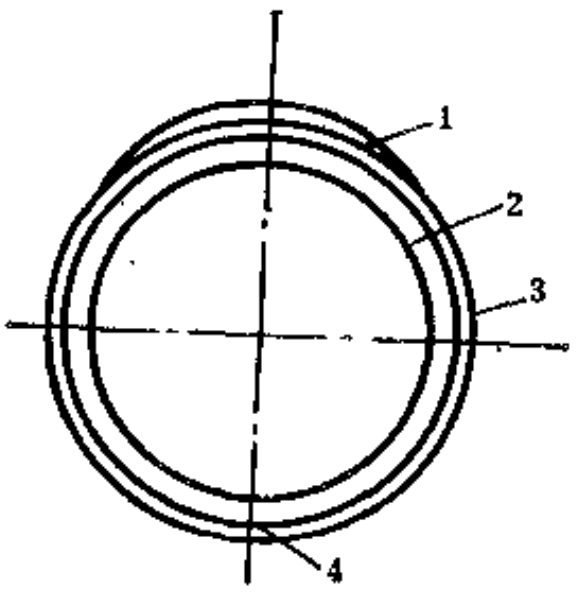



图 2-1-4　管式轮胎

1—外胎胎冠；2—内胎；3—外胎胎侧；4—封口带

## 第二节　力车轮胎规格及国内主要力车轮胎生产厂商标

### 一、力车轮胎规格

力车轮胎规格可视轮胎结构的不同，而所表示的方法也有各异。

1．软边轮胎

软边轮胎(Beaded Edge)用“轮胎外直径标记×断面宽度标记B/E”来表示。“B/E”是由“Beaded Edge”两个词的首字母组成的。如“26×2½B/E”；“28×1½B/E”等，其计量单位为in。

2．直边轮胎

直边轮胎（Wired-on）用“标准轮辋着合直径标记×断面宽度标记W/O”来表示。“W/O”是由“Wired-on”两个词的首字母组成的，如“28×1½W/O”；“26×1⅜W/O”；“27×1¼W/O”等，其计量单位为英寸。

目前，直边轮胎的规格标志采用国际标准（ISO）中的有关规定表示，如“37—540W/O（24×1⅜W/O）”；“37—590W/O（26×1⅜W/O）”等。其中，37为轮胎断面宽度的公称尺寸；540，590为轮胎着合直径的公称尺寸，其计量单位为mm；W/O的表示方法与旧标志中的表示方法相同，其含意也相同。

3．钩边轮胎

钩边轮胎（Hooked Edge）用“轮胎外直径标记×断面宽度标记H/E”表示。“H/E”是由“Hooked Edge”的两个字首字母组成，如“20×1.75H/E”；“24×1.75H/E”；“20×2.125H/E”；“26×2.125H/E”等，其计量单位为英寸。

4．管式轮胎

目前，管式轮胎的规格仅有“27×1”一种，它的表示方法是“轮胎外直径标记×断面宽度标记”，其计量单位为英寸。

## 二、力车轮胎基本参数

### （一）主要力车外胎基本参数

主要力车外胎基本参数是按照国家标准GB1702—86“力车外胎”中的有关条款执行。表2-1-1为软边轮胎外胎基本参数；表2-1-2为直边轮胎外胎基本参数；表2-1-3为钩边轮胎外胎基本参数。

### （二）主要力车内胎基本参数

主要力车内胎的基本参数是按照新制订的国家标准GB1703—86“力车内胎”中有关条

表 2-1-1 主要力车软边轮胎（B/E）的基本参数

| 级别 | 轮胎规格 | | 帘布层数 | 基本参数 | | | | | 主要尺寸①，mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 标志 | 原GB 1702—79 标志 | | 标准轮辋，mm | | | 最大负荷 kN (kgf) | 相应气压 MPa (kgf/cm²) | 新胎尺寸 | | 最大使用尺寸 | |
| | | | | 外直径 | 断面内口宽度 | | | | 充气断面宽度 | 充气外直径 | 充气断面宽度 | 充气外直径 |
| | | | | | 标准 | 允许使用宽度 | | | | | | |
| Z | 26×1½ | 26×1½ | 2 | 600±1 | 22.5 | 20±1 | 0.98(100) | 0.44(4.5) | 37 | 666 | 40 | 672 |
| P | 28×1½ | 28×1½ | 2 | 650±1 | 22.5 | 20±1 | 0.98(100) | 0.41(4.2) | 37 | 715 | 40 | 720 |
| Z | 28×1½ | 28×1½ | 2 | 650±1 | 22.5 | 20±1 | 1.47(150) | 0.59(6.0) | 37 | 715 | 40 | 722 |
| Z | 26×1¾ | 26×1¾ | 2 | 600±1 | 25 | — | 1.18(120) | 0.41(4.2) | 40 | 682 | 44 | 690 |
| Z | 26×2 | 26×2 | 4 | 600±1 | 28 | — | 19.6(200) | 0.59(6.0) | 46 | 688 | 50 | 696 |
| Z | 13×2½ | 13×2½ | 4 | 270±1 | 36 | — | 1.58(160) | 0.60(6.0) | 62 | 365 | 67 | 375 |
| Z | 26×2½ | 26×2½ | 4 | 584±1 | 36 | — | 3.19(325) | 0.60(6.0) | 62 | 698 | 67 | 708 |

① 不适用于棉帘布的外胎。

款的规定执行，表2-1-4列出了主要力车内胎的基本参数。

表 2-1-2 主要力车直边轮胎 (W/O) 的基本参数

| 级别 | 轮胎规格 | | 帘布层数 | 基本参数 | | | | | 主要尺寸①，mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 标志 | 原GB 1702—79 标志 | | 标准轮辋，mm | | | 最大负荷 kN(kgf) | 相应气压 MPa (kgf/cm²) | 新胎尺寸 | | 最大使用尺寸 | |
| | | | | 轮合直径 | 断面内口宽度 | | | | 充气断面宽度 | 充气外直径 | 充气断面宽度 | 充气外直径 |
| | | | | | 标准 | 允许使用宽度 | | | | | | |
| Q·P | 32-630 | 27×1¼ | 2 | 630±1 | 18 | 20±1<br>22±1 | 0.69(70) | 0.49(5.0) | 29 | 693 | 32 | 699 |
| Q·P | 37-540 | 24×1⅜ | 2 | 540±1 | 22 | 20±1<br>25±1 | 0.69(70) | 0.34(3.5) | 32 | 614 | 37 | 622 |
| Q·P | 37-590 | 26×1⅜ | 2 | 590±1 | 22 | 20±1<br>25±1 | 0.69(70) | 0.34(3.5) | 32 | 660 | 37 | 668 |
| P | 40-330 | 16×1½ | 2 | 330±1 | 25 | 22±1 | 0.54(55) | 0.41(4.2) | 37 | 408 | 40 | 414 |
| P | 40-432 | 20×1½ | 2 | 432±1 | 25 | 22±1 | 0.59(60) | 0.41(4.2) | 37 | 510 | 40 | 516 |
| P | 40-584 | 26×1½ | 2 | 584±1 | 25 | 22±1 | 0.78(80) | 0.34(3.5) | 37 | 660 | 40 | 666 |
| Q | 40-635 | 28×1½ | 2 | 635±1 | 25 | 22±1 | 0.78(80) | 0.34(3.5) | 37 | 713 | 40 | 720 |
| P | 40-635 | 28×1½ | 2 | 635±1 | 25 | 22±1 | 0.98(100) | 0.39(4.0) | 37 | 715 | 40 | 720 |
| Z | 40-635 | 28×1½ | 2 | 635±1 | 25 | — | 1.47(150) | 0.59(6.0) | 37 | 715 | 40 | 722 |
| P | 47-622 | 28×1¾ | 2 | 622±1 | 27 | — | 0.98(100) | 0.34(3.5) | 44 | 712 | 47 | 718 |
| Z | 70-535 | — | 4 | 535±1 | 45 | — | 3.92(400) | 0.69(7.0) | 66 | 675 | 70 | 683 |
| Z | 80-535 | — | 4 | 535±1 | 45 | — | 4.90(500) | 0.69(7.0) | 76 | 692 | 80 | 700 |

① 不适用于棉帘布的外胎。

表 2-1-3 主要力车钩边轮胎 (H/E) 的基本参数

| 级别 | 轮胎规格 | | 帘布层数 | 基本参数 | | | | 主要尺寸①，mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 标志 | 原GB 1702—79 标志 | | 标准轮辋，mm | | 最大负荷 kN (kgf) | 相应气压 MPa (kgf/cm²) | 新胎尺寸 | | 最大使用尺寸 | |
| | | | | 外直径 | 断面内口宽度 | | | 充气断面宽度 | 充气外直径 | 充气断面宽度 | 充气外直径 |
| Q·P | 20×1.75 | — | 2 | 422±1 | 25±0.5 | 0.64(65) | 0.34(3.5) | 44 | 500 | 47 | 506 |
| Q·P | 24×1.75 | — | 2 | 524±1 | 25±0.5 | 0.69(70) | 0.34(3.5) | 44 | 602 | 47 | 608 |
| Q·P | 20×2.125 | — | 2 | 422±1 | 25±0.5 | 0.78(80) | 0.29(3.0) | 54 | 518 | 57 | 524 |

① 不适用于棉帘布的外胎。

表 2-1-4 主要力车内胎的基本参数

单位：mm

| 标志 | 原GB1702—79标志 | 双层厚度，≥ | 平叠长度① | 平叠宽度① | 标志 | 原GB1702—79标志 | 双层厚度，≥ | 平叠长度① | 平叠宽度① |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26×1¾ | 26×1¾ | 2.0 | 940±10 | 49±2 | 40-584 | 26×1½ | 2.0 | 940±10 | 45±2 |
| 26×2 | 26×2 | 2.2 | 930±10 | 55±2 | 40-635 | 28×1½ | 2.0 | 1020±10 | 45±2 |
| 13×2½ | 13×2½ | 2.2 | 450±10 | 68±2 | 47-622 | 28×1¾ | 2.0 | 1020±10 | 49±2 |
| 26×2½ | 26×2½ | 2.2 | 925±10 | 68±2 | 70-535 | — | 2.2 | 935±10 | 68±2 |
| 32-630 | 27×1¼ | 1.8 | 1010±10 | 34±2 | 80-535 | — | 2.2 | 890±10 | 95±2 |
| 37-540 | 24×1⅜ | 1.8 | 870±10 | 40±2 | 20×1.75 | — | 2.0 | 680±10 | 49±2 |
| 37-590 | 26×1⅜ | 1.8 | 950±10 | 40±2 | 24×1.75 | — | 2.0 | 840±10 | 49±2 |
| 40-330 | 16×1½ | 2.0 | 570±10 | 45±2 | 20×2.125 | — | 2.0 | 690±10 | 58±2 |
| 40-432 | 20×1½ | 2.0 | 710±10 | 45±2 | | | | | |

① 无接头内胎不作控制。

## 三、国内主要力车轮胎生产厂商标及产品规格

国内以生产自行车轮胎为主的力车轮胎生产厂家大约有120多家。1984年对力车轮胎行业的调查统计表明：年产量在200万套以上的生产企业有18家，表2-1-5列出了1984年力车胎行业调查统计的国内主要力车轮胎生产企业的商标及产品品种。

**表 2-1-5 国内主要力车轮胎生产企业商标及产品规格**（按笔划顺序排列）

| 序号 | 厂名 | 商标 | 主要产品规格 |
|---|---|---|---|
| 1 | 广州第一橡胶厂 | 钻石 | 28×1½B/E、28×1½W/O、26×1⅜W/O、26×2¼B/E |
| 2 | 上海中南橡胶厂 | 凤凰、永久、飞轮、双钱、回力 | 28×1½B/E、26×1⅜W/O、28×1½W/O、27×1¼W/O、28×1½×1¼W/O、26×1⅜×1¼W/O |
| 3 | 丹东轮胎厂 | 丹字 | 28×1½B/E、26×2¼B/E、28×1½W/O、26×1⅜W/O |
| 4 | 天津力车胎厂 | 金牛 | 28×1½B/E、28×1½W/O、26×2¼B/E |
| 5 | 天津自行车胎厂 | 飞鸽、胜利 | 28×1½B/E、28×1½W/O、26×1⅜W/O |
| 6 | 无锡橡胶三厂 | 长征 | 28×1½B/E、26×1⅜W/O |
| 7 | 北京橡胶一厂 | 京字、双环 | 28×1½B/E、28×1½W/O、26×1⅜W/O、26×2¼B/E |
| 8 | 安阳第一橡胶厂 | 黄河 | 28×1½B/E、28×1½W/O |
| 9 | 西安新华橡胶厂 | 新华 | 26×2¼B/E、28×1½B/E |
| 10 | 许昌第一橡胶厂 | 中洲 | 26×2¼B/E、28×1½B/E |
| 11 | 武汉橡胶厂 | 大桥 | 26×2¼B/E、28×1½B/E |
| 12 | 杭州橡胶厂 | 朝阳 | 28×1½B/E、28×1½W/O、26×1⅜W/O、26×2¼B/E |
| 13 | 青岛同泰橡胶厂 | 骆驼 | 28×1½B/E、26×2¼B/E、28×1½W/O、26×1⅜W/O |
| 14 | 宜昌轮胎厂 | 三峡 | 26×2¼B/E、28×1½B/E |
| 15 | 唐山橡胶厂 | 永江 | 28×1½B/E、26×2¼B/E、28×1½W/O |
| 16 | 徐州橡胶厂 | 甲字 | 28×1½B/E、26×2¼B/E、28×1¼W/O |
| 17 | 桂林橡胶厂 | 山水 | 26×2¼B/E、28×1½W/O、26×1⅜W/O |
| 18 | 厦门橡胶厂 | 海燕 | 28×1½B/E、26×2¼B/E、28×1½W/O、26×1⅜W/O |

# 第三节 力车轮胎产品技术标准

## 一、国家标准

有关力车轮胎的国家标准有：GB1702—86“力车外胎”；GB1703—86“力车内胎”；GB2984—84“力车轮胎系列”。

1．GB1702—86和GB1703—86

GB1702—79和GB1703—79是1979年国家标准局批准由原石化部在1975年制订的部标准（HG4—232—75“力车充气轮胎”和HG4—233—75“力车充气轮胎外观质量标准”）升级为国家标准的。随着国民经济的发展，各种类型的合成材料的应用，产品类型及品种的增加，原国家标准GB1702—79和GB1703—79已不能适用于力车轮胎的生产。为此，化工部组织全行业本着技术先进、经济合理、安全可靠的原则，修订了原标准，并已得到国家标准局的批准，于1986年11月1日起开始实施。新国标的主要特点如下。

（1）随着合成材料的大量应用，力车轮胎中外胎的骨架材料逐步实现以尼龙帘布为基础；内胎增加了丁基橡胶内胎。

（2）外胎规格类型和轮辋型式除了软边、直边外，又增加了钩边类。

（3）外胎按使用对象不同分为载重型（Z级）、普通型（P级）和轻型（Q级）三种类型。并根据使用要求分别制订物理机械性能指标。

（4）轮胎的规格标志、主要参数与ISO保持一致，使我国产品与国外同类产品保持一致性和互换性。

（5）把外胎和内胎分为二个标准（GB1702—86和GB1703—86），并将相应的主要参数、物理机械性能指标和外观质量标准分别集中在外胎和内胎标准内，以达到标准的完整性。

力车外胎物理机械性能标准见附录1，外观质量标准见附录2。力车内胎物理机械性能标准见附录3，外观质量标准见附录4。

2．GB2984—84（报批稿）

力车轮胎系列的国家标准包括了目前在生产的、预测要开发的规格品种，它是参照有关的国际标准和国外先进标准制订的。它将指导新产品的开发和生产。这个标准中软边轮胎的规格品种有七种；直边轮胎的规格品种有二十二种；钩边轮胎的规格品种有九种。

力车轮胎系列规格尺寸（软边轮胎、直边轮胎、钩边轮胎）标准见附录5。

## 二、国际标准及国外标准

目前，国际上自行车轮胎最通用并且受到普遍采用的产品技术标准来源于四大系统：

（1）国际标准化组织（ISO）标准；

（2）欧洲轮胎与轮辋技术组织（ETRTO）标准；

（3）美国轮胎与轮辋协会年鉴（TRA）标准；

（4）日本工业规格（JIS）标准。

这四大系统的标准处于并行不悖，最终向ISO标准统一的过程。

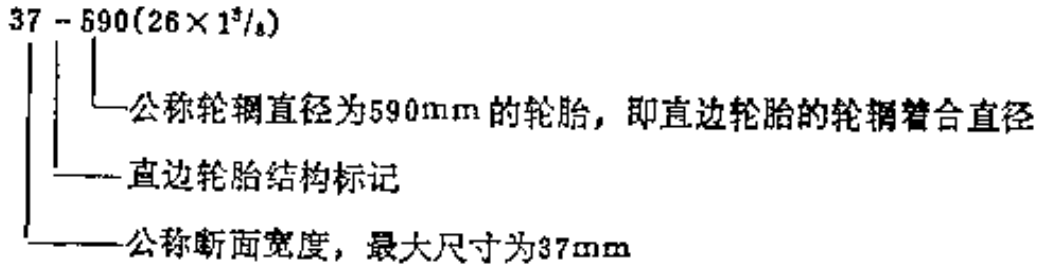
### （一）国际标准化组织（ISO）标准

ISO对自行车轮胎的系列仅颁布了ISO5775/1，即第一部分：自行车轮胎的名称和尺寸。

ISO尚未制订自行车轮胎的负荷标准，对我国目前尚在大量生产的软边轮胎也没有订入，目前在国际上除了JIS等少数标准有部分软边轮胎纳入标准外，大多数标准都不将软边轮胎纳入标准里，这是国际标准和国外先进标准的发展趋势。

（1）直边自行车轮胎（过去我国习惯称作硬边自行车轮胎）系列标准是按公制断面宽从小到大的顺序排列，相同的断面宽则按着合直径从小到大的顺序排列，共有102个规格，把国际上超过150种的旧式命名方式的自行车轮胎统一在内。

例如：




（2）钩边轮胎系列则按公称外直径为间隔从小到大排列。断面宽度系列包括有：1.25，1.35，1.75，2.125共组合成为16个规格。

例如：

20×1.75
- 具有公称断面宽度为1.75标记的钩边轮胎
- 钩边轮胎结构标记
- 具有公称轮胎外直为20标记的钩边轮胎

（3）直边轮辋标准（草案）5775/3推荐一种模式，是10°斜底着合圈座的深式轮辋，按圈口宽可分为6个规格，每个规格与公称着合直径组合为若干种轮辋。表示方式为：

公称直径×公称圈口宽度(均用公制)

例如：400×20

**（二）欧洲轮胎与轮辋技术组织（ETRTO）标准（1985年版）**

1．直边自行车轮胎系列

ETRTO对自行车轮胎名称及规格的表示方法，目前已被ISO采纳。它的表示方法为：

公称断面宽-轮辋着合直径（例如：32-590）

ETRTO对直边自行车轮胎的系列间隔是以公称断面宽度为准，从小到大排列，即从20～62共87个规格，其特点是按发展方向设置系列，而不是单纯为了包罗旧系列面设置规格。例如有7个规格是目前仍未有的发展系列规格（20-622，25-630，…等）。

ETRTO对用于加重型的运输自行车轮胎，则另建立一个系列，共有6个规格(37-340T，57-390T，……等)。

2．钩边自行车轮胎系列

ETRTO的钩边自行车轮胎系列较简单，只有4个规格，即20×1.75，24×1.75，26×1.75，20×2.125。

轮辋亦只有深底式钩边轮辋一种。ETRTO规定凡既可装于钩边又可装于直边轮辋的轮胎规格应作如下命名表示，这个系列也只有4个规格。

例如：20×1.75/47-406

前面为钩边轮胎表示法，后面为直边轮胎表示法。

3．ETRTO的轮辋轮廓标准特点

ETRTO对自行车胎直边轮辋着合直径的测量方法作了较详细的介绍，推荐使用带尺法和专用深度尺法，并提出圈口宽与选用圈口宽的数据，与日本工业标准（JIS）基本相似。

4．ETRTO轮辋系列

（1）自行车赛车用管式轮胎的轮辋系列　有关管式轮胎的轮辋规格按其直径不同有6个规格，即18，20，22，24，26，28。并统一规定轮辋的断面几何形状和曲线，这对于统一轮辋规格有一定的意义。

按照轮辋的断面宽度又可分为4个规格，即17.5，19.5，20.5，21.5。

（2）直边轮胎的轮辋系列　在ETRTO中，按轮辋着合直径不同可分为39个规格，从小到大排列(194～635)。按轮辋断面口宽又可分为14，16，18，20，22，24，27，30.5等8个规格。

（3）钩边轮胎的轮辋系列　ETRTO对钩边轮胎的轮辋断面几何形状，作了统一规定，并且与其它标准有所不同。按着合直径不同可分为541，590，622，630等4个规格。在标准中，ETRTO明确指出，钩边轮胎的胎趾最低处为着合直径，这与JIS及ISO标准的表示方法有所不同，在查找钩边轮胎着合直径尺寸时，要特别注意。

### （三）美国轮胎与轮辋协会（TRA）年鉴(1986年版)

1．自行车轮胎系列标准

TRA将自行车轮胎系列分为二类：一类是直边自行车轮胎，也就是我国目前使用的硬边自行车轮胎；另一类是钩边自行车轮胎，没有边软自行车轮胎这一规格系列。

直边轮胎系列共有15个规格，其命名方式沿用老式命名，外直径系列规格16～27in，公称断面宽有$1^{3}/_{4}$，$1^{3}/_{8}$，$1^{1}/_{4}$等3种，设有$1^{1}/_{2}$这种在我国通用的规格。

钩边轮胎系列共14个规格，按公称断面宽区分则有1.25，1.375，1.75，2.125等4种，按公称外直径区分则有16，20，24，26等4种。

可装置于直边轮辋上的钩边轮胎有2个规格，即20×1.75/47—406和24×2.125/57—507。以及26×2.10的直边轮胎。

2．自行车轮胎的轮辋系列标准

（1）TRA标准中，直边自行车轮胎的轮辋轮廓标准共有4个系列，共14个规格，分为：

a．窄圈口(20)　共有$SS_1$，$SS_2$，$SS_3$，$SS_4$，$SS_5$，$SS_6$6个规格；

b．宽圈口(24)　共有$SS_7$，$SS_8$，$SS_9$，$SS_{10}$4个规格；

c．适用于装置在直边轮辋上的钩边轮胎的轮辋宽度(30.5)　即$SS_{11}$和$SS_{12}$二个规格；

d．适用于体育运动用的特窄圈口(18)　共有$SS_{13}$和$SS_{14}$二个规格。

（2）TRA标准中，钩边轮胎的轮辋标准仅有一种，属平底式钩边轮辋，86年版标准中改变了原标准对钩边部分的标准要求，使之更适应轮辋加工工艺以及明确标出钩边轮胎在轮辋上的着合直径尺寸位置，这对于轮辋与轮胎配合极为有利。

按直径分类共有4个规格，即HB—1，HB—2，HB—3，HB—4。

按圈口宽度分类共有3个规格，即20，25，27。

（3）自行车轮胎基本负荷公式（英制）

$$W=K\times 0.425\times P^{0.585}\times S^{1.39}(D_r+S) \tag{2-1-1}$$

式中　$W$——负荷，lbf；

$K$——负荷系数，自行车轮胎的$K=0.88$；

$P$——空气压力，$lbf/in^2$；

$D_r$——轮胎着合直径（直边轮胎的$D_r$＝轮辋直径"$A$"❶；钩边轮胎的$D_r$＝轮辋直径"$A$"$-0.02$），in；

$S$——在62.5%轮辋上的断面宽度，in。

$$S_{0.625}=\frac{S_t\times 180^\circ-\sin^{-1}\frac{W_t}{S_t}}{141.3^\circ}$$

式中　$W_t$——设计轮辋凸缘之间的宽度，in；

$S_t$——轮辋设计断面宽度，in。

### （四）日本工业标准（JIS）

1．自行车轮胎系列标准（JISD9112—81）

JIS有关自行车轮胎系列标准有3个。

---

❶ "$A$"的尺寸见美国轮胎轮辋协会(TRA)年鉴轮廓图。

（1）软边轮胎　8个规格；

（2）直边轮胎　17个规格；

（3）钩边轮胎　10个规格。

软边轮胎和直边轮胎均沿用旧式命名方法，而钩边轮胎则按国际上通用的命名法，并规定了负荷计算公式，比过去使用的标准内压、标准负荷系数（如推荐内压和推荐最大负荷）增强了科学性。系列标准中包括实用车、轻便车、小轮径用车及体育运动用车的自行车轮胎，但不包括16in以下的手推车轮胎及运输车辆用的轮胎。

2．自行车橡胶轮胎的性能（JIS K6302—82、JIS K6303—82）

JIS标准中规定了外胎、内胎的基本物理性能及有关测试方法。这对我国国情较为实用，可有所借鉴，但都比我国现行标准所规定的指标值低，而对于产品的耐久性、安全性等特性有明确的规定。

3．自行车轮胎用轮辋系列（JISD 9421—83）

JIS标准中对自行车轮胎用轮辋规定了3个系列。

（1）软边轮辋　BE-1、BE-2、BE-3，其结构形式各有其特点。

（2）直边轮辋　WO-1、WO-2、WO-3、WO-4、WO-5等5个规格，其中WO-4适用于低负荷、小断面轮胎。

（3）钩边轮辋　JIS标准中只有一个规格的钩边轮辋，即HE-1，属平底型钩边轮辋，圈口宽度为25mm，适用于公称断面宽为1.75和2.125的钩边轮胎。

4．负荷公式

JIS标准中所用负荷公式是按TRA的负荷公式计算的，但改为公制后，$K$的取值就不同了。

$$W=K\times 4.0\times 10^{-4}\times P^{0.585}\times S_{0.625}^{1.59}(D_r+S_{0.625}) \qquad (2\text{-}1\text{-}2)$$

式中　$W$——负荷，kgf；

$K$——负荷系数(0.90～1.1)；

$P$——充气压力，kgf/cm²；

$$S_{0.625}=S_1\times\frac{180^\circ-\sin^{-1}\dfrac{W_1}{S_1}}{141.3^\circ}$$

式中　$S_1$——设计轮胎的充气断面宽度，mm；

$W_1$——设计轮胎所选用的标准轮辋圈口内宽，mm；

$D_r$——设计轮胎的着合直径，mm。

# 第二章　力车轮胎的轮辋型式及尺寸

力车轮胎只有装配在相应的规定轮辋上才有使用价值，因而其轮辋也与轮胎一样有软边轮辋、直边轮辋和钩边轮辋之分，不论是自行车轮胎还是手推车轮胎，轮辋的型式、尺寸以及断面的几何尺寸和形状都有一个标准规定。目前在我国执行的标准有如下几种。

① GB3577—83　自行车轮辋(车圈)；

② GB3936.2—83　胶轮力车轮辋$\left(26\times2\frac{1}{2}\ \mathrm{B/E}\right)$；

③ 行业协议　27×3、26.5×2.75直边轮胎轮辋；

④ 企业标准　27×1管式轮胎轮辋。

另外，为适应新产品的开发和对外贸易的发展，还可执行国际标准和国外标准，总之，均以相应轮胎配套轮辋达到互相配合，以保证产品的标准化和产品的互换性、通用性和统一性。

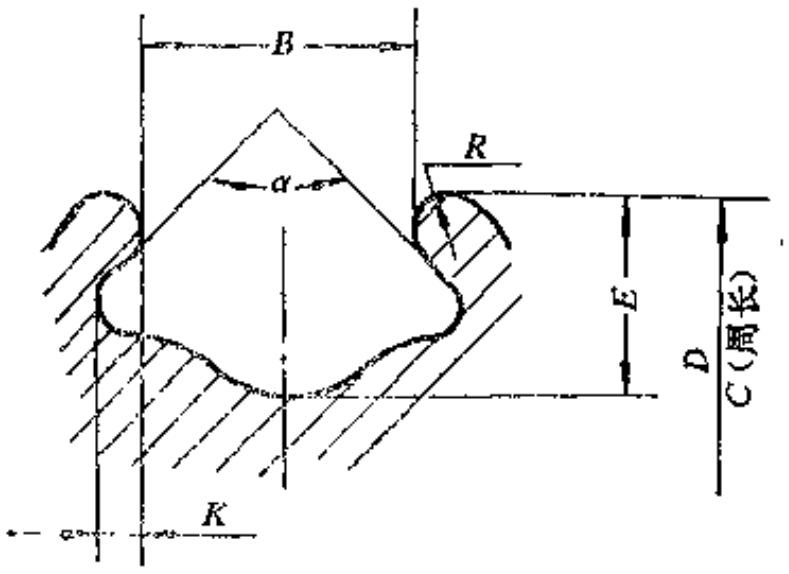
轮胎与轮辋之间的配合尺寸十分重要，尤其是直边轮胎、钩边轮胎，其配合的轮辋尺寸大小、轮辋断面宽度以及几何形状都应该有一种比软边轮胎所配套的轮辋要求更严格的标准。只有这样才能保证轮胎与轮辋的配合和产品使用的合理性以及重要的产品安全可靠性。

## 第一节　自行车轮胎用轮辋

### (一) 型式尺寸

1。软边轮胎用轮辋

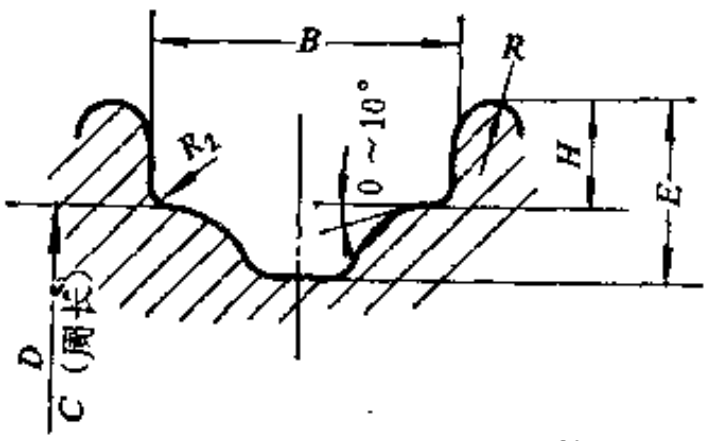
软边轮胎用轮辋见图2-2-1。




单位：mm

| B | | E | K | R | α |
|---|---|---|---|---|---|
| 22.5 | ±1 | 15 | ≥3 | ≤2.5 | 100±15° |
| 20.0 | | 13 | | | |

图 2-2-1　软边轮胎用轮辋




单位：mm

| B | E | H | $R_{min}$ |
|---|---|---|---|
| 18 | 11.5 | 6.5 | 1.5 |
| 20 | | | 1.8 |
| 22 | 13.5 | | |
| 25 | 15 | 7.3 | 2.0 |

±1　　±0.5

图 2-2-2　直边轮胎用轮辋

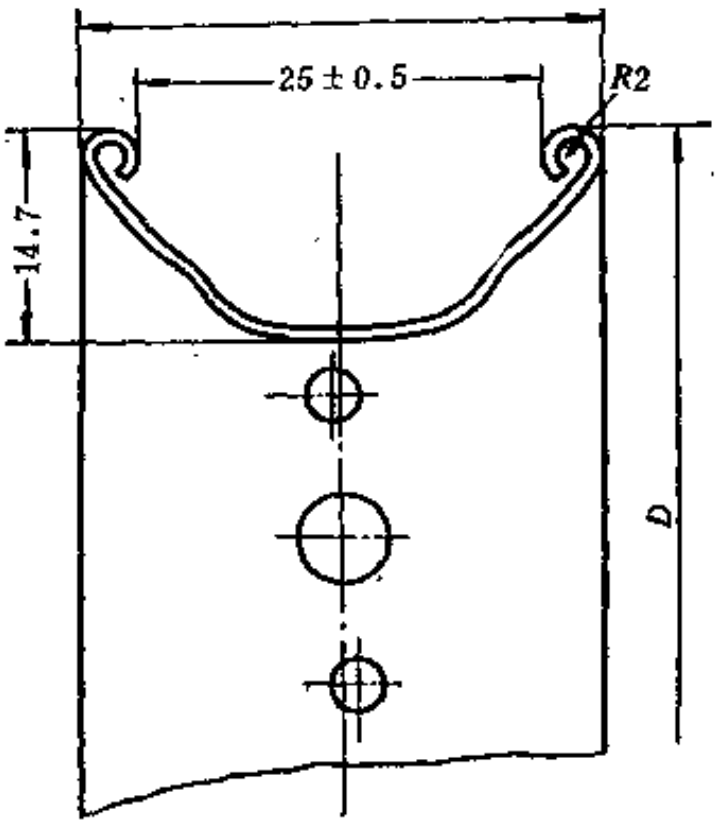
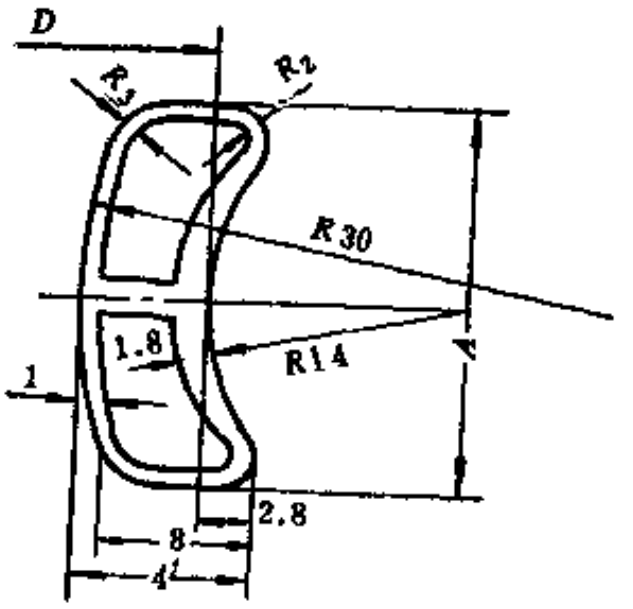



图 2-2-3　钩边轮胎用轮辋




单位：mm

| 管式胎规格标志 | 轮辋宽(A) | 直径(D) | 轮辋厚度(t) |
|---|---|---|---|
| 27×1 | 22±0.5 | 631 | 10 |

图 2-2-4　管式轮胎的轮辋

**表 2-2-1　轮辋着合直径与周长**

单位：mm

| D | C | | D | C | |
|---|---|---|---|---|---|
| 321 | 1008.4 | ±3 | 502 | 1577.1 | ±3 |
| 330 | 1036.7 | | 524 | 1646.2 | |
| 349 | 1096.4 | | 540 | 1696.5 | |
| 371 | 1165.5 | | 590 | 1853.5 | |
| 400 | 1256.6 | | 597 | 1875.5 | |
| 422 | 1325.8 | | 600 | 1885.0 | |
| 432 | 1357.2 | | 630 | 1979.2 | |
| 451 | 1416.9 | | 635 | 1994.9 | |
| 473 | 1485.9 | | 650 | 2042 | |

2．直边轮胎用轮辋

直边轮胎用轮辋见图2-2-2。

3．钩边轮胎用轮辋

钩边轮胎用轮辋见图2-2-3。

**（二）轮辋着合直径与周长**

轮辋的着合直径与周长之间的关系见表2-2-1。

**（三）管式轮胎的轮辋型式及尺寸**

管式轮胎的轮辋见图2-2-4。

管式赛车轮胎的轮辋按不同的使用方式可分为：场地型、公路型和练习用轮胎，如表2-2-2。

**表 2-2-2　管式赛车轮胎的轮辋**

| 管式赛车胎 Tubular Tire | 管式胎 |
|---|---|
|  | 场地型27×1 |
| | 公路型27×1 |
| | 练习胎27×1 |

## 第二节　手推车轮胎用轮辋

### （一）软边轮胎用轮辋

目前，我国软边手推车轮胎用轮辋的国家标准只有一个，即26×2½软边手推车轮胎用

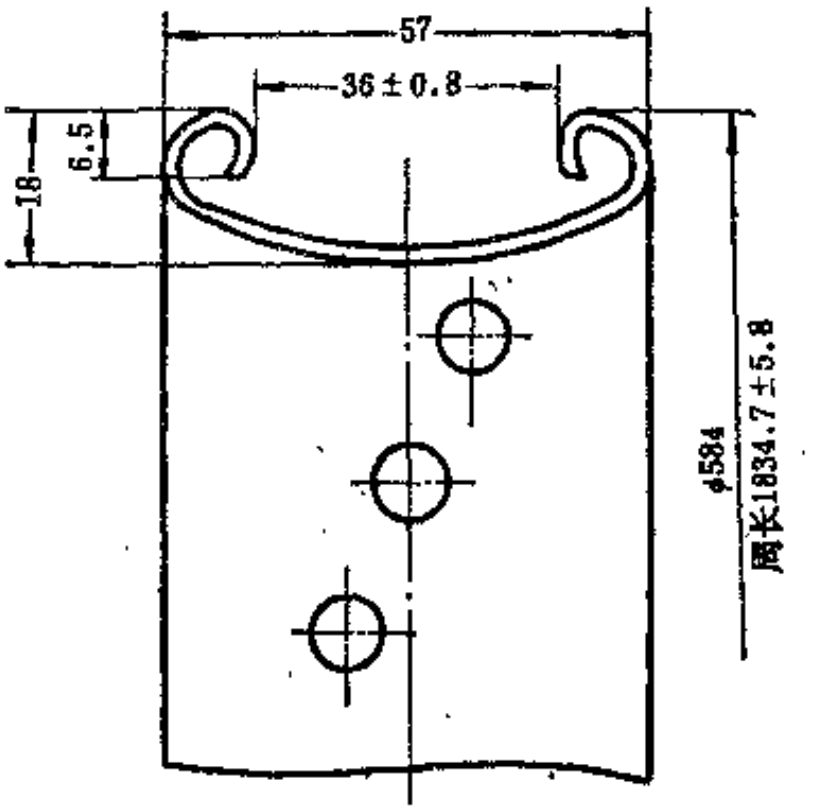



图 2-2-5　26×2½B/E的轮辋型式及尺寸（单位：mm）

轮辋（国家标准GB3936.2—83）。胶轮力车轮辋见附录。图2-2-5给出了国家标准中26×2½的轮辋型式及尺寸。

26×2等软边轮胎用轮辋只有企业的非正式图纸，没有任何级别的标准。

### （二）直边手推车轮胎用轮辋

直边轮胎过去叫做硬边轮胎，没有标准，仅有力车轮胎行业协议。图 2-2-6给出了力车轮胎行业有关27×3、26.5×2.75直边轮胎的轮辋的结构图。

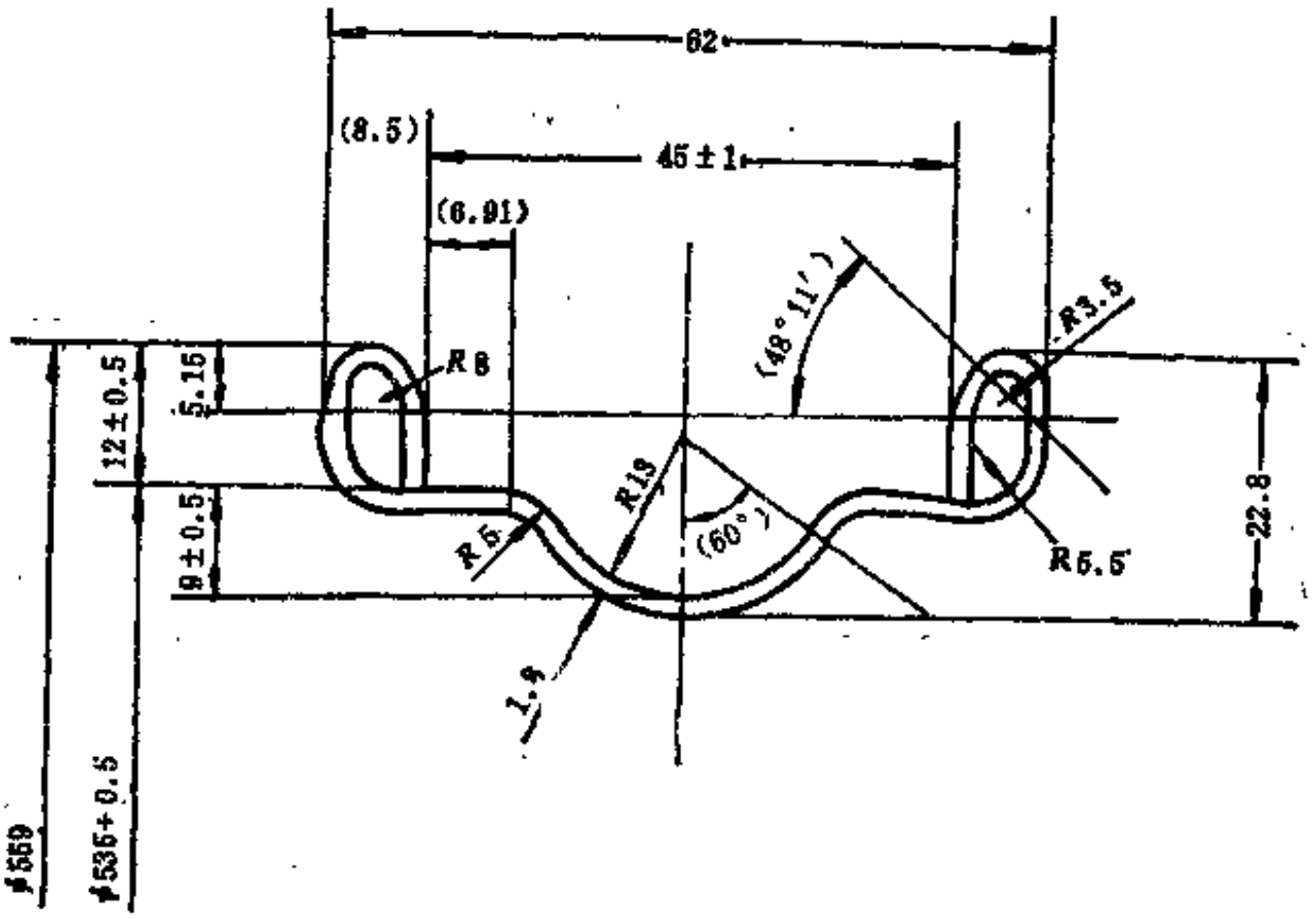



图 2-2-6　力车胎行业协议27×3、26.5×2.75直边轮胎用轮辋结构图（单位：mm）

# 第三章 产品设计

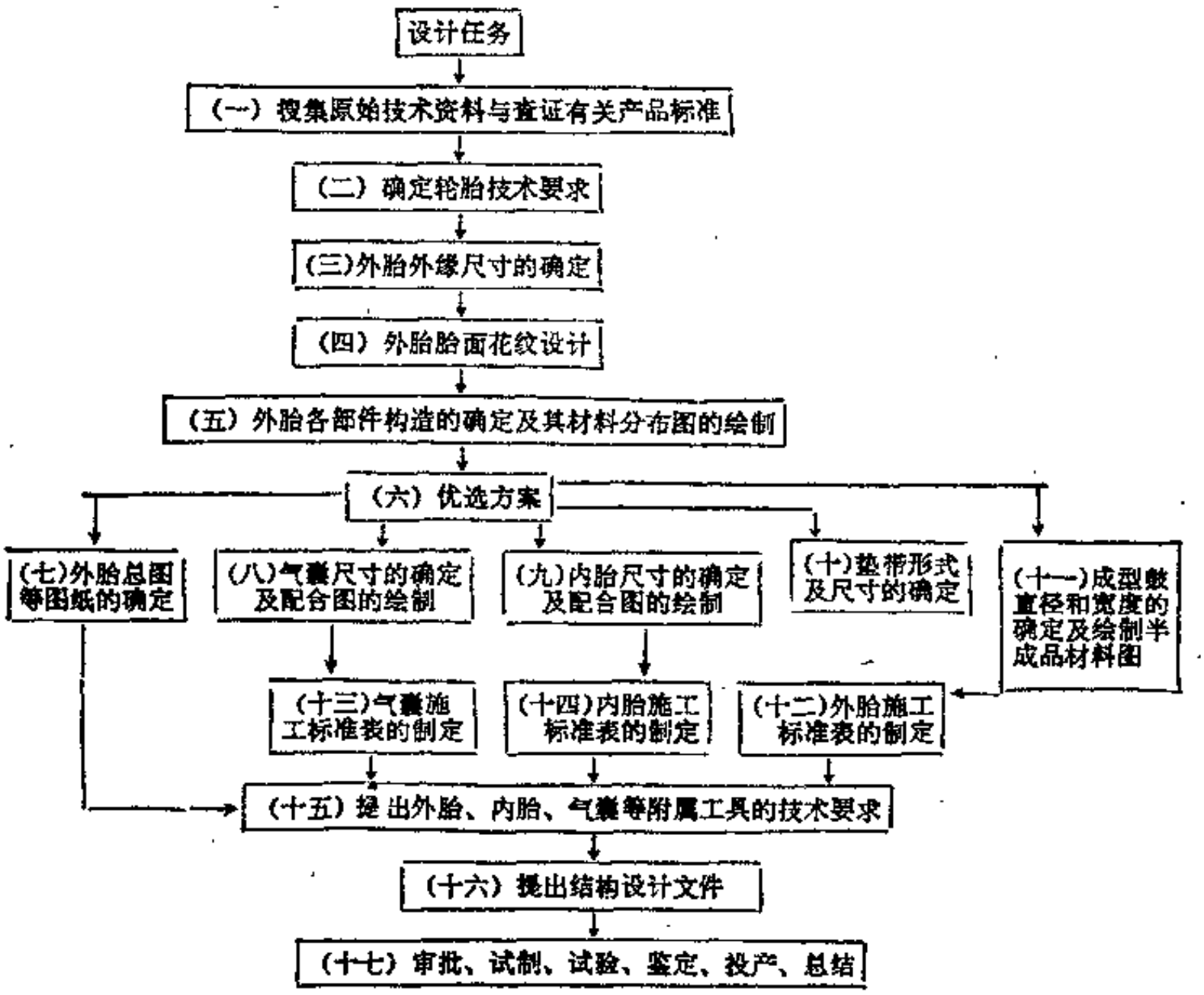
## 第一节 概 述

力车充气轮胎结构设计一般分为二个阶段。

第一阶段为技术设计。通过选取轮胎类型、规格、基本材料，并经过一系列的设计与计算，提出外胎总图和内胎及气囊结构图，作为外胎硫化模型、内胎及气囊硫化模型的设计制造的依据。

第二阶段为施工设计。根据技术设计提出外胎成型鼓曲线图、外胎材料分布图，以及外胎、内胎及气囊、垫带等施工标准表，作为成型鼓设计制造和轮胎某些部件所需其它附属设备及工具设计制造的依据。

### 一、产品设计程序图




### 二、产品设计程序说明

1. 收集原始资料

主要是了解情况，收集下列各项原始资料。

（1）收集该产品的国内外标准。

（2）了解车辆的技术性能。

a．车辆的类型和用途。

b．车辆自重，载重量，整车重量在各车轴上的分布以及车轴所需要承担的牵引负荷。

c．轮辋类型、代号、标准尺寸、图纸及尽可能收集有关轮辋的样品。

d．车辆的平均速度和最高速度，允许转弯最小半径及转弯时最高速度。

e．车辆上轮胎最大允许外缘尺寸，如外直径，断面宽度等。

f．对内、外胎的特殊要求。

g．今后这种车辆和轮胎的发展远景。

（3）了解行驶道路类型（水泥、柏油、碎石、沙土、冰雪等路面情况）及气候条件。

（4）了解国内外其它厂牌同规格或类似规格轮胎的结构和使用情况。

a．层数，内压，负荷和花纹等方面的情况。

b．充气前后的静负荷性能。

c．轮胎的物理机械性能试验和机床试验情况。

d．实际使用中的性能和优缺点。

e．使用单位的建议和要求。

f．尽可能收集有关轮胎样品。

（5）了解国内外其它厂牌同规格或类似规格轮胎的经济技术指标，包括消耗、成本、劳动生产率和合格率等。

2．确定轮胎技术要求

产品技术要求与结构设计关系较大的部分应包括下列主要内容。

（1）轮胎类型：规格、帘布层数、胎面花纹。

（2）基本参数：最大负荷，相应气压。

（3）主要尺寸：轮胎充气后的外直径和断面宽度，内胎双层最小厚度，垫带材料及其主要尺寸。

（4）内胎气门嘴型式或尺寸标准。

3．优选方案

主要根据不同的外轮廓，内轮廓及各种花纹方案进行综合比较，选定比较理想的方案，然后根据已定方案确定外胎结构，内胎结构，气囊结构及绘制各类图纸。

## 第二节　技术设计

### 一、力车外胎结构设计

#### （一）轮胎类型和标准轮辋的确定

1．标准轮辋的确定

由轮胎规格选定（或由有关部门提供）轮辋的类型，我国执行的轮辋标准，自行车轮辋为GB3577；手推车轮辋为GB3936.2。对标准中未列入的产品规格在设计中可等同，等效及参照采用国际标准或地区标准。

2．轮胎类型

力车轮胎按照其胎圈和胎踵的结构不同分为：软边轮胎；直边轮胎；钩边轮胎；管式轮

胎。

（1）软边轮胎　从图2-3-1中可看出在胎踵处有一耳形胎踵结构。

（2）直边轮胎　直边轮胎外胎轮廓图见图2-3-2。

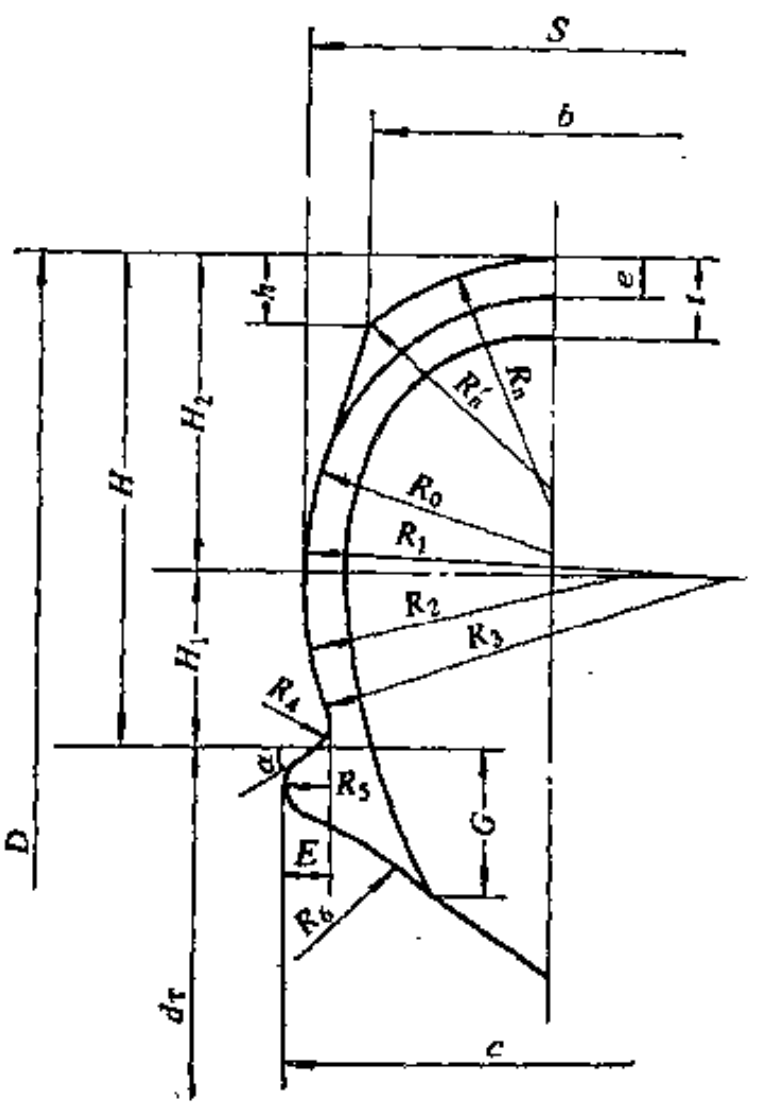



图 2-3-1　软边外胎轮廓图

$D$—外直径；$d_T$—着合直径；$H$—断面高；$H_1$—下断面高；$H_2$—上断面高；$S$—断面宽；$b$—胎冠宽；$e$—花纹深度；$E$—胎趾宽度；$G$—胎趾边高度；$c$—模型胎趾间宽度；$R_n$—胎冠弧度半径；$R'_n$—胎肩与胎冠连接弧半径；$R_1$—胎侧上弧度半径；$R_2$—胎侧下弧度半径；$R_3$—胎侧下端与胎趾根部连接弧半径；$R_4$—胎侧与胎踵连接弧半径；$R_5$—胎踵弧度半径；$R_6$—胎趾边弧度半径

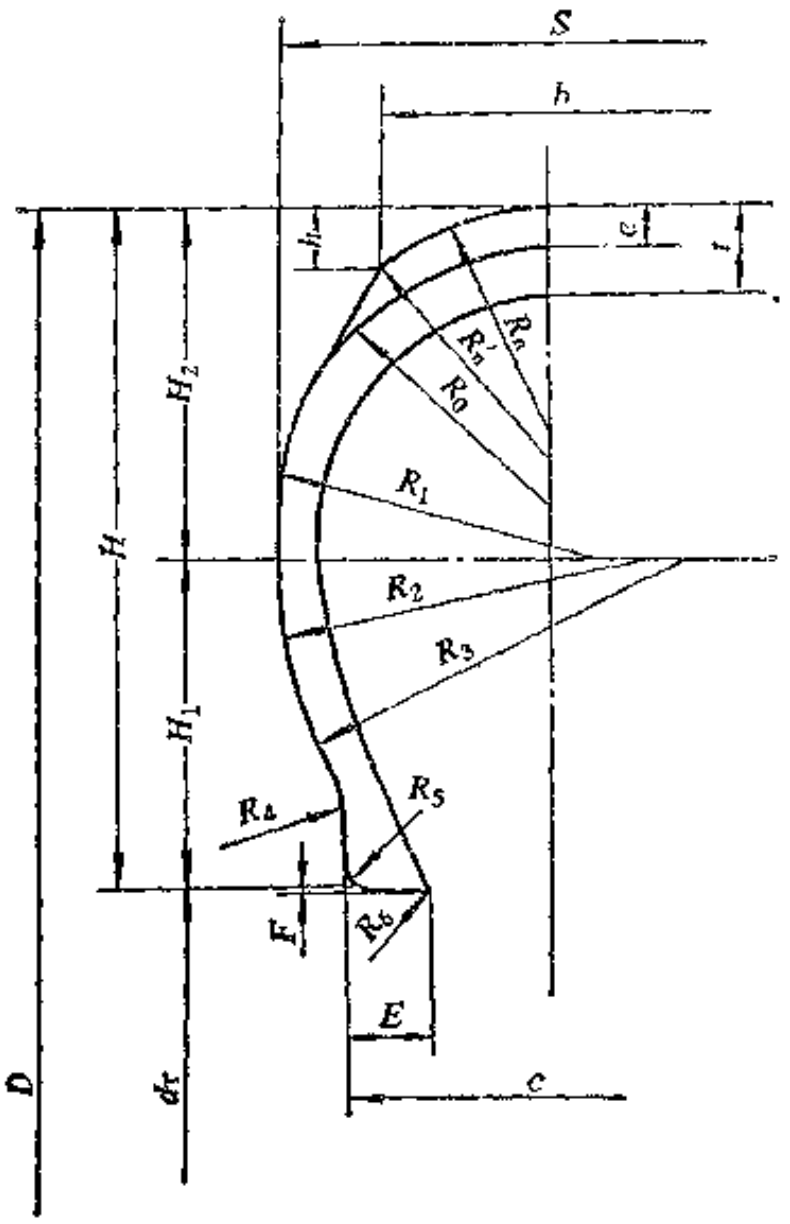



图 2-3-2　直边外胎轮廓图

$D$—外直径；$d_T$—着合直径；$H$—断面高；$H_1$—下断面高；$H_2$—上断面高；$S$—断面宽；$b$—胎冠宽；$e$—花纹深度；$E$—胎趾宽度；$c$—模型胎趾间宽度；$\alpha$—胎趾角度；$R_n$—胎冠弧度半径；$R'_n$—胎肩与胎冠连接弧半径；$R_0$—花纹底部弧度半径；$R_1$—胎侧上弧度半径；$R_2$—胎侧下弧度半径；$R_3$—胎侧下端与胎趾根部连接弧度半径；$R_4$—胎侧与胎趾连接弧度半径；$R_5$—胎趾弧度半径；$R_6$—胎趾边弧度半径

（3）钩边轮胎　钩边轮胎外胎轮廓图见图2-3-3。

（4）管式轮胎　管式轮胎结构图见图2-3-4。

直边轮胎和钩边轮胎统称为硬边轮胎。直边轮胎结构型式用于自行车轮胎和手推车轮胎；钩边轮胎的结构形式用于自行车轮胎；软边轮胎的结构形式用于自行车轮胎和手推车轮胎。

充气轮胎是由外胎、内胎、垫带组成，各种类型的轮胎与轮辋配合图见图2-3-5～图2-3-8。

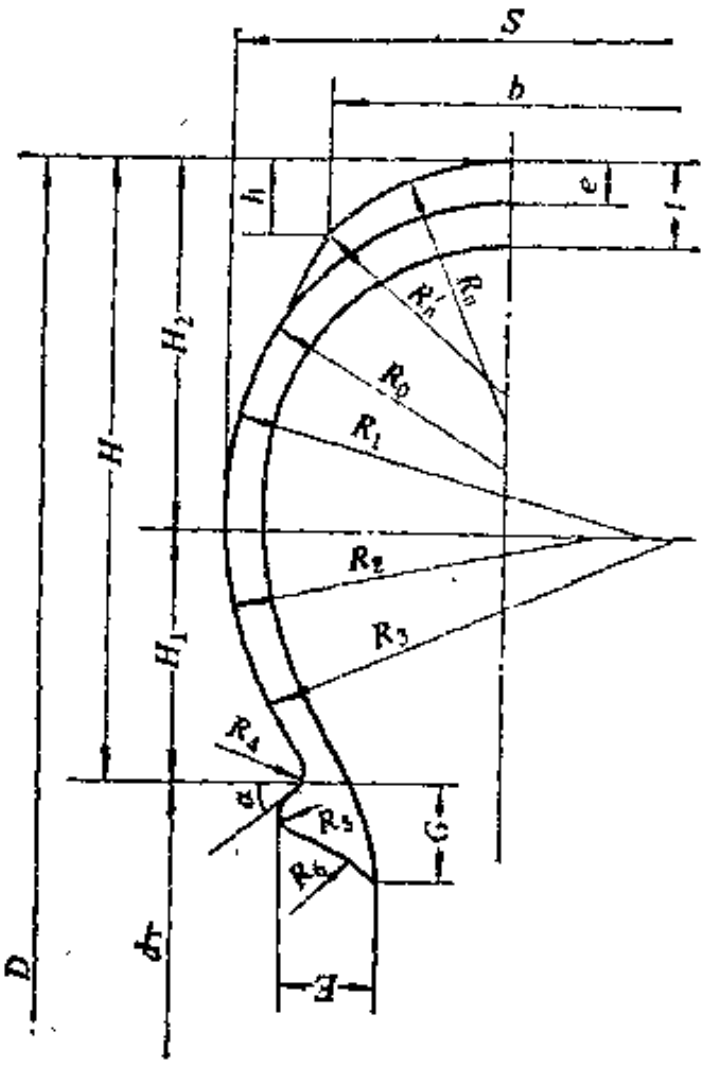



图 2-3-3 钩边外胎轮廓图

$D$—外直径；$d_r$—轮合直径；$H$—断面高；$H_1$—下断面高，$H_2$—上断面高；$S$—断面宽；$b$—胎冠宽；$e$—花纹深度；$E$—胎趾宽度；$F$—胎趾底部斜度高；$c$—模型胎趾间宽度；$R_n$—胎冠弧度半径；$R'_n$—胎肩与胎冠连接弧半径；$R_0$—花纹底部弧度半径；$R_1$—胎侧上弧度半径；$R_2$—胎侧下弧度半径；$R_3$—胎侧下端与胎趾根部连接弧半径；$R_4$—胎侧与胎踵连接弧半径；$R_5$—胎踵弧度半径；$R_6$—胎趾边弧度半径

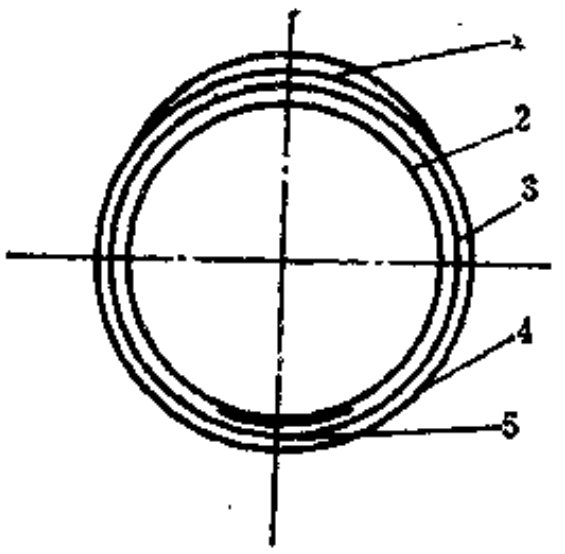



图 2-3-4 管式轮胎结构图

1—外胎胎冠；2—内胎；3—外胎胎侧；4—封口带；5—包缝处

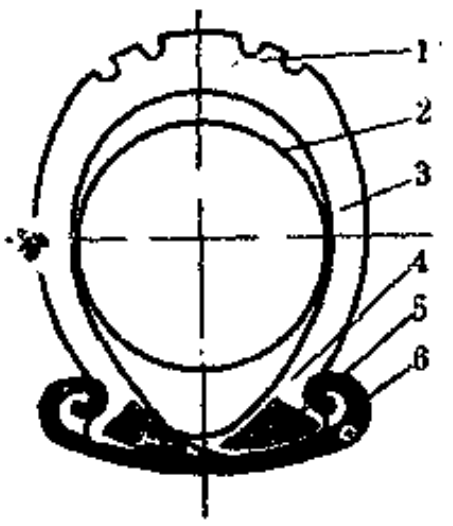



图 2-3-5 软边胎装配图

1—外胎胎冠；2—内胎；3—外胎胎侧；4—外胎胎耳；6—胶芯；6—轮辋

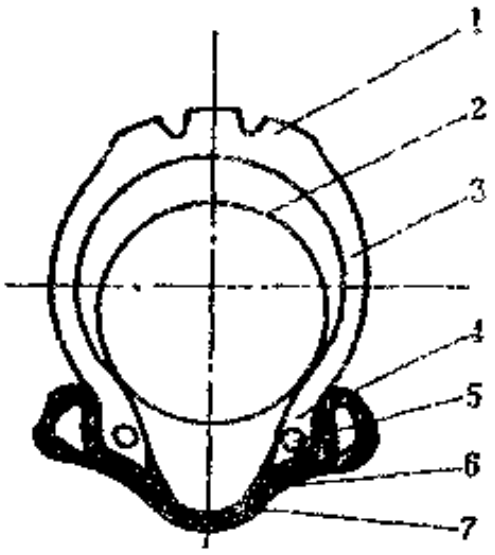



图 2-3-6 硬边胎装配图

1—外胎胎冠；2—内胎；3—外胎胎侧；4—外胎胎圈；5—钢丝；6—垫带；7—轮辋

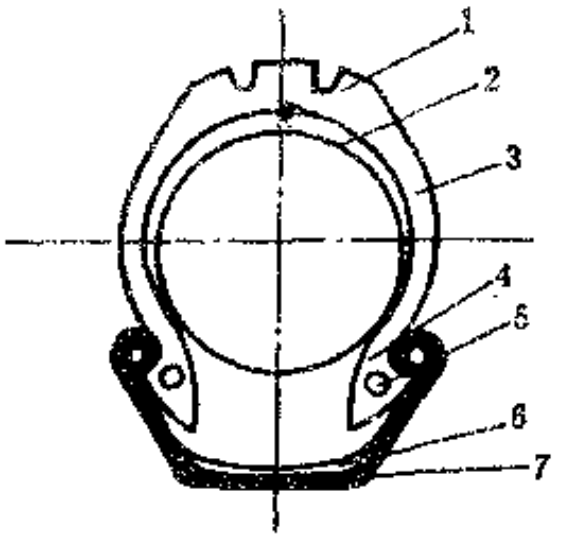



图 2-3-7 钩边胎装配图

1—外胎胎冠；2—内胎；3—外胎胎侧；4—外胎胎圈；5—钢丝；6—垫带；7—轮辋

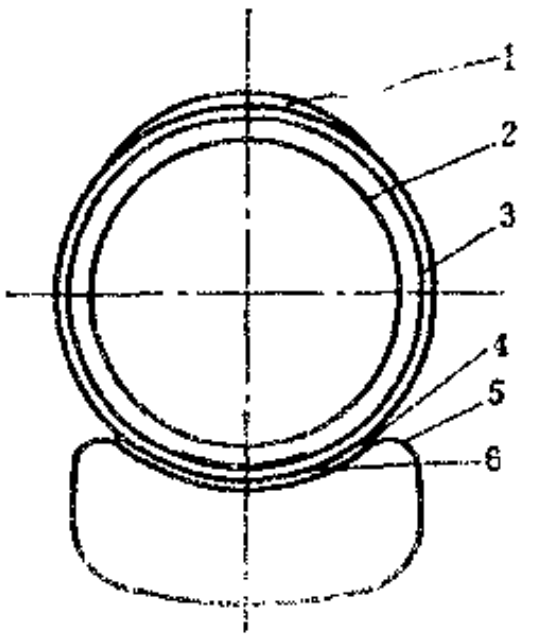



图 2-3-8 管式胎装配图

1—外胎胎冠；2—内胎；3—外胎胎侧；4—封口带；5—轮辋；6—包缝处

### （二） 充气轮胎外缘尺寸的确定

力车轮胎安装在轮辋上后，充入压缩空气，在轮胎内腔形成一个压力腔，以便于承受负荷。为使所设计的轮胎能承受所规定的负荷，就应初步考虑轮胎充气后的外缘尺寸，然后根据轮胎模型尺寸和轮胎充气后外缘尺寸的变化率来进行一系列的轮胎硫化模型尺寸的设计。

轮胎充气后外缘尺寸可依据以下几方面的资料来确定。

① 查阅有关力车轮胎的国家标准、专业（部颁）标准、企业标准。

② 根据设计任务书中所规定的轮胎充气后所允许的外缘尺寸。

③ 根据现有的同规格、同类型或同规格不同类型轮胎充气后外缘尺寸。

根据以上资料，确定以下主要参数。

① 未使用轮胎充气后的外直径$D'$。

② 未使用轮胎充气后断面宽$S'$。

轮胎充气后的外直径$D'$及断面宽$S'$与轮胎模型外直径$D$及断面宽$S$的变化率如表2-3-1所示。

表 2-3-1 充气轮胎的变化率

| 规　　格 | 充气后外直径 $D'$,mm | 模型外直径 $D$,mm | 直径变化率 $D'/D$ | 充气后断面宽 $S'$,mm | 模型断面宽 $S$,mm | 断面变化率 $S'/S$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 26×2$^1/_2$软边手推车外胎 | 703±5 | 678±2 | 1.03～1.04 | 64±2.5 | 64.5±1.5 | 0.99～1.02 |
| 28×1$^1/_2$软边加重自行车外胎 | 715±5 | 701±2 | 1.02～1.03 | 37±2 | 37.5±1.5 | 0.97～1.01 |
| 40-635(28×1$^1/_2$)硬边自行车外胎 | 713±5 | 715±1 | 1.00～0.99 | 37±2 | 36±0.5 | 1.04～1.05 |

### （三） 设计断面宽度$S$和断面高度$H$的确定

未充气力车轮胎（即硫化模型尺寸）的断面宽度$S$和断面高度$H$是力车轮胎结构设计中的二个主要参数。

断面高度与断面宽度比值$H/S$是表示轮胎外轮廓的结构值。所取比值大小主要与轮胎的胎体结构形式，所使用帘布的种类，选取的花纹类型及轮辋的宽度等有关。$H/S$比值直接

影响着轮胎的使用性能与使用寿命。

（1）$H/S$的比值大于1.0

a．在直角座标上的轮胎断面呈长半轴在$y$轴上的椭圆。但充气后在直角座标上的轮胎断面呈现出$x$轴上短半轴增长，$y$轴上长半轴减少，使轮胎断面由椭圆形趋向于圆形，轮胎的外直径缩小，其胎冠为收缩形态，可以提高轮胎的耐刺伤垫伤性能，但由于外直径胎冠收缩，胎侧部的伸张相应增大，使胎面与帘布层之间存在剪切应力，容易使胎面与帘布出现剥离现象。

b．由于轮胎断面椭圆形长半轴在$y$轴上，能减少轮胎其接地面积，行驶较轻快、省力、转弯灵活，适合于行驶速度较快的轮胎结构上。

c．由于轮胎骨架材料采用尼龙帘布，尼龙帘布强度较高，但较棉帘布骨架材料柔软，因而轮胎下沉量相应增大，$H/S$值大于1.0时，使其下沉量相应减小。

（2）$H/S$的比值小于1.0

a．在直角座标上的轮胎断面为长半轴在$x$轴上的椭圆形，充气后能减小胎面和帘布间的剪切应力，使胎面与帘布不易剥离，但是降低了耐磨耗、耐刺伤性能。

b．轮胎的下沉量略为增大，缓冲性能较好。轮胎断面宽度的变化取决于断面高和断面宽的比值、断面轮廓、帘线胎冠角度、帘布类型以及帘布假定伸张率等。

我国力车轮胎主要生产厂家$H/S$比值参数见表2-3-2。

表 2-3-2　我国主要厂家$H/S$比值

| 规格 \ 厂 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 26×2¹/₂软边外胎 | 1.016 | 1.008 | 0.994 | 1.016 | 0.992 |
| 28×1¹/₂软边加重外胎 | 0.973 | 1.011 | 1.028 | 0.921 | 0.974 |
| 40-635(28×1¹/₂)硬边外胎 | 1.159 | 1.162 | 1.203 | 1.246 | 1.15 |

注：钩边轮胎$H/S$取0.88～0.89〔见ISO 5775/1(E)〕。

（3）断面宽度$S$值的确定　根据产品设计的要求，查阅力车轮胎的有关国家标准，专业（或部颁）标准及企业标准，为了向国际同类产品规格靠拢，同时参照有关的国际标准和国外地区标准。

a．断面宽定义

（a）设计断面宽度$S$　轮胎的外侧胎侧间垂直距离，供模具制造使用。

（b）未使用轮胎充气后断面宽度$S'$　新轮胎充气停放24小时后轮胎的外侧胎侧间垂直距离。不包括标记，装饰线，防擦线的高度。

（c）最大宽度$S_{max}$　轮胎使用膨胀后，轮胎的最大外侧胎侧间的垂直宽度（其数值供车辆生产厂设计轮胎间隙用）。

（d）公称断面宽度$S_N$　轮胎规格名称中所标志的，安装在其理论轮辋上的断面宽度。

b．设计时提供取值范围的轮胎断面宽度和外直径计算公式。

（a）新轮胎断面宽

硬边自行车轮胎$S'=S\times(1.04\sim1.05)$

软边自行车轮胎$S'=S\times(0.97\sim1.01)$

软边手推车轮胎$S'=S\times(0.99\sim1.02)$

（b）软边轮胎充气后外直径$D'=S'\times0.92\times2+$（软边轮辋外径）

（c）直边轮胎充气后外直径$D'=S'\times2+$（硬边轮辋着合直径）

（d）钩边轮胎充气后外直径$D'=S'\times0.89\times2+$（钩边轮辋着合直径）

（e）最大宽度$S_{max}=S'+3(mm)$

（f）最大外直径$D_{max}=D'+b(mm)$

**例 1** 40-635(28×1 1/2)硬边自行车轮胎

主要技术性能参照力车充气轮胎国家标准。见表2-3-3。

**表 2-3-3 40 635硬边自行车轮胎主要参数**

| 最大负荷 kN(kgf) | 相应气压,MPa (kgf/cm²) | 标准轮辋,mm | | 新胎轮尺寸,mm | | 最大使用尺寸,mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 着合直径 | 辋口宽 | 断面宽度 | 外直径 | 断面宽度 | 外直径 |
| 0.98 (100) | 0.41 (4.2) | 635 | 25 | 37 | 715 | 40 | 720 |

根据表2-3-3，取新胎断面宽度$S'=37mm$

设计断面宽度$S=\frac{S'}{1.05}=\frac{37}{1.05}=35.24(mm)$

取整数$S=35.5mm$

变化率$S'/S=\frac{37}{35.5}=1.042$符合表2-3-1所示40-635(硬边自行车轮胎)$S'/S=1.04\sim1.05$。

40-635(28×1 1/2) 硬边轮胎我国力车轮胎主要生产厂家$S$值见表2-3-4。

**表 2-3-4 40-635硬边力车轮胎不同厂牌S值**

单位：mm

| 厂 号 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| S值 | 35 | 34.7 | 34.5 | 35.5 | 35 |

**例 2** 28×1 1/2软边加重自行车轮胎。

主要技术性能参照力车充气轮胎国家标准，见表2-3-5。

**表 2-3-5 28×1 1/2软边加重自行车轮胎主要参数**

| 最大负荷 kN(kgf) | 相应气压,MPa (kgf/cm²) | 标准轮辋,mm | | 新胎尺寸,mm | | 最大使用尺寸,mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 外直径 | 辋口宽 | 断面宽度 | 外直径 | 断面宽度 | 外直径 |
| 1.47 (150) | 0.59 (6.0) | 650 | 22.5 | 37 | 715 | 40 | 722 |

根据表2-3-5取新轮胎断面宽$S'=37mm$

设计断面宽度 $S=\frac{S'}{1.01}=\frac{37}{1.01}=36.6(mm)$

取整数 $S=37mm$

变化率 $S'/S=\frac{37}{31}=1$。符合表2-3-1所示$28\times1^1/_2$软边加重自行车轮胎 $S'/S=0.97\sim1.01$。

$28\times1^1/_2$软边加重自行车轮胎，我国力车轮胎主要生产厂家 $S$ 值见表2-3-6。

表 2-3-6 $28\times1^1/_2$软边加重自行车胎不同厂牌S值

| 厂　号 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| $S$值(mm) | 37 | 37 | 38 | 37 | 38 |

（4）断面高度$H$值的确定

根据所设计轮胎的使用要求，以及对尼龙帘布作骨架材料的特点，确定$H/S$比值来计算断面高度$H$值。

**例 1** 40-635($28\times^1/_2$)硬边自行车轮胎。

参考各生产企业结构设计中$H/S$比值（表2-3-2），再结合本企业对该产品技术要求选取$H/S$比值，此例中$H/S$比值取1.12。

已知：$S=35.5mm$　$H/S=1.12$

$$H=S\cdot1.12=35.5\times1.12=39.76(mm)$$

则模型外直径$D$可按式（2-3-1）计算得到：

$$D=d_T+2H \qquad (2-3-1)$$

式中 $d_T$——轮胎着合直径（取$d_T=634.5mm$）。

则$D=634.5+2\times39.75=714(mm)$。

**例 2** $28\times1^1/_2$软边加重自行车轮胎。

$H/S$比值见表2-3-2，取$H/S=0.973$。

已知：$S=37mm$　$H=0.973S=0.973\times37=36.001(mm)$

取整数$H=36mm$。

模型外直径$D$按式（2-3-1）进行计算。

$$D=d_T+2H$$

式中 $d_T$——轮胎着合直径（取值计算见本章软边轮胎胎圈直径的确定一节）。$d_T$取626mm。

$$D=626+2\times36=698(mm)$$

**（四） 轮胎负荷能力的计算**

（1）额定负荷　轮胎在一定的充气压力下允许承载的最大负荷称为额定负荷。

额定负荷分为静负荷和动负荷二种。

a．静负荷　车辆的自重与载重量所给予轮胎的负荷。

b．动负荷　车辆载重行驶所发生的冲击力、惯性力的总和所给予轮胎的负荷。

（2）轮胎理论负荷公式

$$W=2.68\times10^{-7}KP^{0.585}\cdot S^{1.39}(S+D_r) \tag{2-3-2}$$

式中 $W$——轮胎理论负荷量，kN；

$P$——轮胎相应气压，kPa；

$K$——轮胎负荷系数（车辆速度30km/h以下取0.9～1.0，20km/h取1.0～1.1，20km/h以下取1.1～1.2，20km/h以下的载重轮胎取1.2～1.4）；

$D_r$——标准轮辋着合直径，mm；

$S$——理想轮辋上轮胎断面宽度，mm。

在负荷计算中设计轮胎的充气断面宽度$S'$应换算成为符合理想轮辋上轮胎断面宽度$S$，其换算公式见式（2-3-3）。

$$S=\frac{180^\circ-\sin^{-1}\frac{W'}{S'}}{180^\circ-\sin^{-1}\frac{W}{S}}\cdot S' \tag{2-3-3}$$

式中 $S'$——轮胎充气断面宽度，mm；

$W'$——标准轮辋断面宽度，mm；

$W/S$——理想轮辋断面宽与理想轮胎断面宽之比值（$W/S$取0.625或0.7）。

例 1 40-635($28\times1^1/_2$)直边自行车轮胎。已知，最大负荷为0.98kN(100kgf)；相应气压为411.88kPa(4.2kgf/cm²)；$S'=37$mm；$W'=25$mm；$D_r=635$mm；$W/S=0.625$。

计算该轮胎负荷是否满足设计要求。

根据式（2-3-3)计算$S$值。

$$S=\frac{180^\circ-\sin^{-1}\frac{W'}{S'}}{180^\circ-\sin^{-1}\frac{W}{S}}\cdot S'=\frac{180^\circ-\sin^{-1}\frac{25}{37}}{180^\circ-\sin^{-1}0.625}\times37=\frac{137.49^\circ}{141.32^\circ}\times37=36(\text{mm})$$

根据式（2-3-2）计算负荷量$W$

$$W=2.68\times10^{-7}\cdot K\cdot P^{0.585}\cdot S^{1.39}(S+D_r)=2.68\times10^{-7}\times1.2\times411.88^{0.585}\times36^{1.39}(36+635)$$

$$=1.064\text{kN}$$

根据力车轮胎国家标准规定，40-635（$28\times1^1/_2$）直边自行车轮胎的相应气压为411.88kPa(4.2kgf/cm²)，负荷量为0.98kN（100kgf)。通过计算，该轮胎的负荷能满足设计要求。

例 2 $28\times1^1/_2$软边加重自行车轮胎，已知：最大负荷为1.47kN(150kgf)，相应气压为588.4kPa(6.0kgf/cm²)；$S'=37$mm；$W=22.5$；

$$D_r=645\text{mm};\ K=1.3;\ W/S=0.625$$

根据式（2-3-3）计算$S$值

$$S=\frac{180^\circ-\sin^{-1}\frac{W'}{S'}}{180^\circ-\sin\frac{W}{S}}\cdot S'=\frac{180^\circ-\sin^{-1}\frac{22.5}{37}}{180^\circ-\sin^{-1}0.625}\times37=\frac{142.55^\circ}{141.32^\circ}\times37=37.3(\text{mm})$$

根据式（2-3-2）计算负荷量$W$

$$W=2.68\times10^{-7}K\cdot P^{0.585}\cdot S^{1.39}(S+D_r)=2.68\times10^{-7}\times1.3\times588.4^{0.585}\times37.3^{1.39}(37.3+645)$$

$$=1.52(\text{kN})$$

根据力车轮胎国家标准规定，$28\times1\ ^1/_2$软边加重自行车轮胎的最大负荷为1.47kN（150 kgf），通过计算，可得出该轮胎符合设计要求。

从轮胎负荷公式可知，轮胎负荷能力与轮胎断面、轮辋断面宽度、充气内压三因素成正比，在负荷量不能满足设计要求时，可适当调节这三者。但是，在加宽轮胎断面与选取较宽轮辋时，会影响使用轻快性，提高充气内压时将影响乘骑舒适性，避震能力下降。所以，轮胎设计时要掌握使用性能和结构的相互影响关系。

**（五） 轮胎断面水平轴位置的确定**

轮胎断面水平轴位置可采用$H_1$与$H_2$的比值（$H_1/H_2$）来表示，水平轴位置，即轮胎断面宽度最大值处。水平轴位置决定着胎侧最大变形的部位。若水平轴偏低，胎侧最大变形接近胎圈部位，屈挠变形应力过于集中在胎圈部位，容易造成近胎圈部位早期损坏；若水平轴偏高，则胎肩部分应力过于集中，也容易造成胎肩处损坏及早期脱层。因此正确选择$H_1/H_2$值对提高轮胎的使用寿命是极为重要的。力车轮胎常用$H_1/H_2$值见表2-3-7。

**表 2-3-7 力车轮胎$H_1/H_2$值**

| 轮胎规格 | $H_1/H_2$ | 备注 |
|---|---|---|
| $26\times2^1/_2$软边外胎 | 0.60～0.70 | 适用于其它规格的软边手推车轮胎 |
| $28\times1^1/_2$软边外胎 | 0.55～0.65 | 适用于其它规格的软边自行车轮胎 |
| 40-635($28\times1^1/_2$)直边外胎 | 0.80～0.90 | 适用于其它规格的直边自行车轮胎 |

我国力车轮胎主要生产厂家$H_1/H_2$值见表2-3-8。

**表 2-3-8 不同厂牌$H_1/H_2$的值**

| 轮胎规格＼厂号 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| $26\times2^1/_2$软边外胎 | 0.684 | 0.628 | 0.684 | 0.613 | 0.648 |
| $28\times1^1/_2$软边外胎 | 0.565 | 0.583 | 0.556 | 0.681 | 0.618 |
| 40-635($28\times1^1/_2$)硬边外胎 | 0.905 | 0.875 | 0.916 | 0.86 | 0.904 |

**例 1** 40-635($28\times1^1/_2$) 硬边自行车轮胎。已知：$H=H_1+H_2=39.75$；$H_1/H_2=0.916$

则 $H_1=\dfrac{39.75}{1+0.916}=20.746\text{mm}$，取$H_2=20.75\text{mm}$时，$H_1=H-H_2=39.75-20.75=19\text{mm}$。

**例 2** $28\times1^1/_2$软边加重自行车轮胎。已知：$H=H_1+H_2=36\text{mm}$，取$H_1/H_2=0.565$。同理$H_1=13\text{mm}$，$H_2=23\text{mm}$

**（六） 轮胎胎圈间距离C值的确定**

力车轮胎胎面胎圈间距离（指模具上两胎圈距离$C$值）$C$值计算方法：一种与轮辋宽度

尺寸相吻合；另一种则与轮辋宽度不吻合。前者一般适用于大型硬边轮胎（如硬边手推车轮胎和摩托车轮胎等）；后者一般适用于断面较小的硬边轮胎（如40-635，20×2.125等）以及大部分软边轮胎。设计方法的选取必须根据轮胎的结构情况和工艺条件而定，尤其是轮胎在使用尼龙帘布作骨架材料后，生产工艺上容易产生缺胶现象。$C$值大，轮胎下胎侧轮廓曲率小，在外胎硫化过程中，有利于胎面胶的流动和模具与生胶间的空气排出，同时气囊在受充气压力影响下，断面的膨胀对胎侧的受力较均匀，能减少胎侧的缺胶现象，提高轮胎的外观质量，因此轮胎设计时应考虑模具上二胎圈间距离与轮辋宽度的关系来改善外胎胎侧的外观质量，但$C$值不宜无限增大，如果选取过大将使胎侧成为直线。轮胎安装在轮辋上后胎侧伸张变形大，将降低胎侧耐屈挠性能，导致胎侧胶早期老化和裂口。表2-3-9列出各种力车轮胎常用$C/S$值数。

表 2-3-9 各种力车轮胎常用$C/S$值

| 轮胎规格 | $C/S$ |
|---|---|
| 26×2¹/₂软边外胎 | 0.80～0.95 |
| 28×1¹/₂软边外胎 | 0.850～1.000 |
| 40-635硬边外胎(28×1¹/₂) | 0.70～0.95 |

我国力车轮胎主要生产厂家$C/S$比值见表2-3-10。

表 2-3-10 典型的$C/S$值对比示例

| 规格＼厂号 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 26×2¹/₂软边外胎 | 0.905 | 0.905 | 0.848 | 0.942 | 0.906 |
| 28×1¹/₂软边外胎 | 0.945 | 0.919 | 0.906 | 1 | 0.877 |
| 40-635硬边外胎(28×1¹/₂) | 0.899 | 0.873 | 0.86 | 0.892 | 0.725 |

**例 1** 40-635(28×1¹/₂) 硬边自行车轮胎。

已知：$S=35.5$mm　取$C/S=0.82$

$C=0.82\times S=0.82\times 35.5=29.11$(min)，取整数$C=29$mm

以$C=29$代入$C/S=29/35.5=0.817$

符合表2-3-9中软边轮胎$C/S$的比值范围。

**（七） 轮胎胎圈直径的确定**

1．软边力车轮胎胎圈直径的确定

软边轮胎其外胎模型直径$d_T$的尺寸是按轮辋相应的直径$D_r$的尺寸确定的，即$d_T$之值取决于$D_r/d_T$的比值（见图2-3-9）。此比值对产品使用质量很重要。$D_r/d_T$之值选取过大，胎身对轮辋的伸张变形大，不但轮胎装卸困难，严重者将使胎耳胶芯和帘布撕裂，降低胎耳刚性，容易发生烧边，影响轮胎使用寿命。如果$D_r/d_T$比值选取过小，胎耳对轮辋伸张力小，又降低胎耳对轮辋的固着性，在使用过程中易发生滑边。一般软边自行车轮胎$D_r/d_T$比值范围为1.025～1.035，软边手推车轮胎$D_r/d_T$比值范围为1.045～1.055。我国力车轮胎主要生

产厂家，软边轮胎$D_t/d_t$比值见表2-3-11。

表 2-3-11　软边轮胎$D_t/d_T$比值

| 厂　　号 | A | B | C | D* | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 软边自行车轮胎 | 1.027 | 1.029 | 1.027 | 1.03 | 1.027 |
| 软边手推车轮胎 | 1.049 | 1.055 | 1.047 | 1.05 | 1.05 |

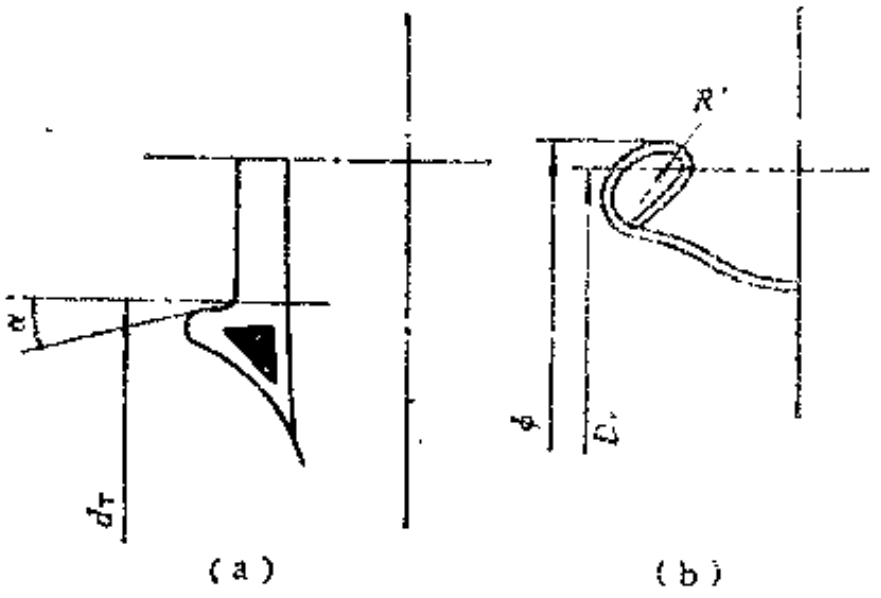



图 2-3-9　(a)软边轮胎胎趾，(b)软边轮胎轮辋

例　$28\times1^1/_2$软边加重自行车轮胎。

参照图2-3-9，已知：$28\times1^1/_2$软边轮胎轮辋$\phi=650$mm，$R=2.5$mm，轮辋着合直径$D_t=\phi-2R$。

式中　$\phi$是软边轮辋外直径；$R$是轮辋圈口圆弧半径。

$$取D_t/d_T=1.03$$

$$d_T=\frac{D_t}{1.03}=\frac{645}{1.03}=626.2(\text{mm})，取整数$$

$$d_T=626\text{mm}。$$

软边自行车轮胎胎耳倾角取15～20°。软边手推车轮胎胎耳倾角取18～20°。

2．硬边力车轮胎胎圈直径的确定

图2-3-10为钩边轮胎胎耳和轮辋示意图，图2-3-11为直边轮胎胎耳和轮辋示意图。

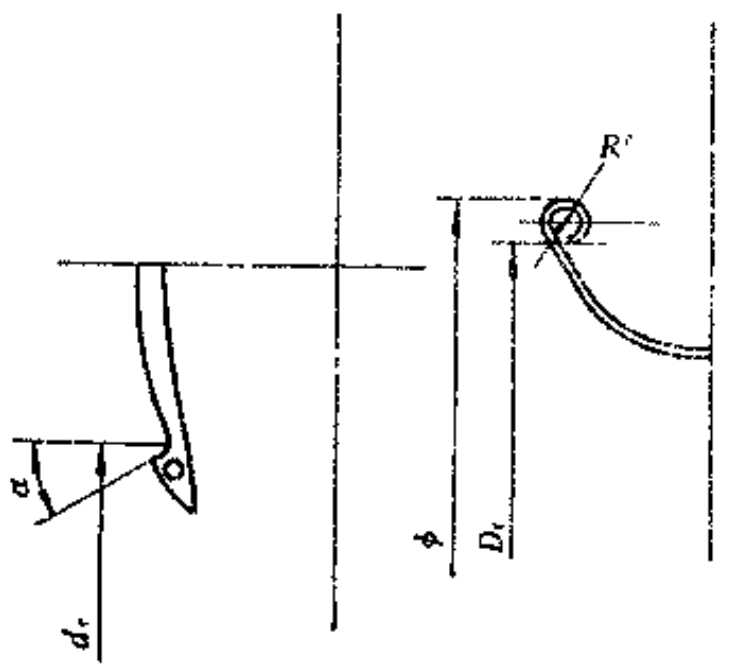



图 2-3-10　钩边轮胎胎耳和轮辋示意图

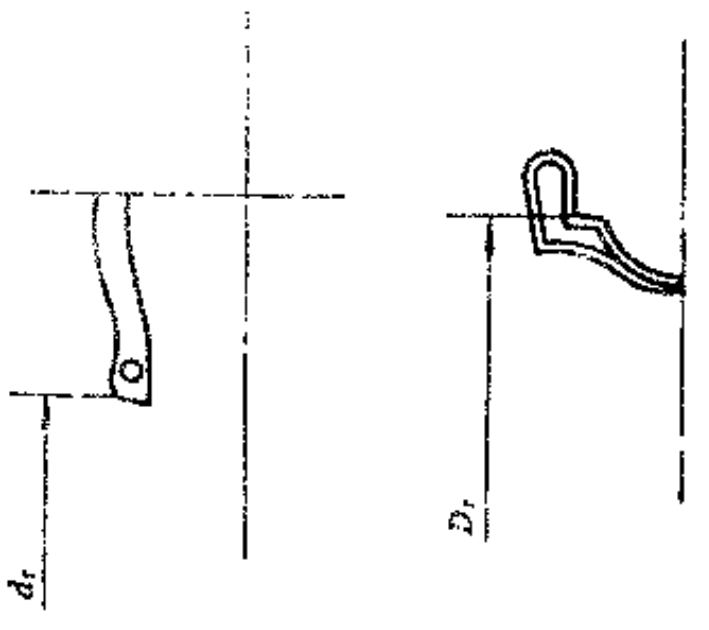



图 2-3-11　直边轮胎胎耳和轮辋示意图

硬边力车轮胎的着合直径$d_T$大小的确定，应以标准轮辋的着合直径$D_t$为依据，如果轮胎着合直径$d_T$大于规定值$D_t$，则易产生相对位移，严重的还会造成脱圈现象，使产品失去使用价值；如$d_T$小于$D_t$，则装卸轮胎较困难，装胎时易损坏胎圈，且轮胎与轮辋不易装正，在装毕后充气时易使轮胎呈现扭曲现象，导致使用价值降低。因此在进行轮胎的结构设计时必须充分考虑轮胎与轮辋之间的紧密配合。

直边轮胎的着合直径$d_T$选取比标准轮辋$D_t$小1mm，公差范围上、下限为0.5mm。

钩边轮胎的着合直径一般取$d_T=D_t$。

$$D_r=\phi-2R$$

式中 $\phi$——钩边轮辋外直径；

$R$——轮辋圈口圆弧半径。

$d_1$的公差范围为上限取0.20mm，下限取零。胎耳间的夹角取30°左右。

例 40-635(28×1¹/₂)硬边自行车轮胎。轮辋着合直径$D_r$=635mm。

轮胎着合直径$d_r$取634±0.5mm。

**(八)轮胎胎肩结构形式。**

力车轮胎在进行结构设计时应注意它的轻快性、平稳性、导向性和防侧滑性能。因此对胎冠、胎肩结构有一定要求。胎肩结构分类如下：

1．无肩轮胎

胎冠和胎肩无明显分界线，由一个光滑曲线从胎冠过渡到胎肩。此类结构轮胎大都用于快速骑行的车辆上，如管式赛车胎，硬边27×1¹/₄赛车胎等。

2．有肩轮胎

胎冠和胎肩有较为明显的分界线，胎冠有一定的行驶面及胎冠弧度高度。此类结构轮胎大都用于一般自行车及手推车车辆。

（1）有肩轮胎胎冠行驶宽度$b$值的确定 设计力车轮胎时，必须注意轮胎的轻快性。因此行驶面宽度$b$值取得正确与否，直接影响轮胎的使用寿命，当$b$值选取过小时，会增大单位面积的承载负荷，造成胎面早期磨损，如果$b$值选取过大时，则胎冠边缘接近胎侧，使得胎侧部位帘线屈挠集中，同时胎冠过宽，胎肩部增厚，引起应力集中，容易使胎肩产生高温，造成轮胎肩部脱层损坏现象，故$b$值的选取适中。在采用尼龙帘线作骨架材料后，考虑到帘线强度高，附着力较大，橡胶与帘布之间不易脱层等优点，设计越野型轮胎时，$b$值可适当放大。

各类力车轮胎的行驶宽度$b$值，行驶面宽度与断面宽度的比值$b/S$可见表2-3-12。

**表 2-3-12 各类力车轮胎的$b$、$b/S$比值**

| 轮胎规格 | $b$,mm | $b/S$ |
|---|---|---|
| 26×2¹/₂软边轮胎 | 40～45 | 0.65～0.7 |
| 28×1¹/₂软边轮胎 | 20～22.5 | 0.55～0.6 |
| 40-635(28×1¹/₂)硬边轮胎 | 20～22 | 0.58～0.66 |

（2）胎冠弧度高$h$值的确定 胎冠弧度高$h$值取决于轮胎在负荷作用下，胎冠的变形尺寸及胎冠根据实际使用需要的曲率而定。力车轮胎胎冠部在行驶宽度$b$值确定的情况如下。

a．胎冠弧度高$h$值取值较大，使胎冠弧度曲率增大，轮胎行驶较轻快，但胎冠接地面积减少，单位受力强度增加，会导致轮胎耐磨性下降。

b．胎冠弧度高$h$值取值较小，使胎冠弧度曲率小，轮胎行驶平稳，抓着力好，但行驶阻力较大。

各类力车轮胎胎冠弧度高$h$值及它与轮胎断面高$H$值的比值$h/H$，可见 表2-3-13。

我国力车轮胎主要生产厂家$b$、$b/S$、$h$，$h/H$比值见表2-3-14。

表 2-3-13 各类轮胎的$h$,$h/H$比值

| 轮胎规格 | $h$,mm | $h/H$ |
|---|---|---|
| 26×2$^1/_2$软边轮胎 | 7～8 | 0.11～0.13 |
| 28×1$^1/_2$软边轮胎 | 3～4 | 0.08～0.12 |
| 40-635(28×1$^1/_2$) 硬边轮胎 | 3.5～4.5 | 0.08～0.1 |

表 2-3-14 各厂$b$、$b/S$、$h$、$h/H$比值

| 规格 | 厂号 | $b$,mm | $b/S$ | $h$,mm | $h/H$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 26×2$^1/_2$软边轮胎 | A | 43 | 0.68 | 8 | 0.13 |
| | B | 41 | 0.65 | 7.75 | 0.12 |
| | C | 40 | 0.63 | 7.5 | 0.12 |
| | D | 45 | 0.68 | 7.6 | 0.12 |
| | E | 45 | 0.7 | 7.6 | 0.12 |
| 28×1$^1/_2$软边轮胎 | A | 21 | 0.583 | 3 | 0.08 |
| | B | 22.5 | 0.597 | 3.6 | 0.1 |
| | C | 21.5 | 0.566 | 4.15 | 0.12 |
| | D | 21.5 | 0.583 | 3 | 0.08 |
| | E | 20 | 0.548 | 3.4 | 0.09 |
| 40-635(28×1$^1/_2$)硬边轮胎 | A | 20 | 0.58 | 3.5 | 0.09 |
| | B | 21 | 0.59 | 3.5 | 0.08 |
| | C | 20 | 0.62 | 4 | 0.1 |
| | D | 22 | 0.63 | 4 | 0.1 |
| | E | 20.5 | 0.59 | 4.3 | 0.1 |

如果力车轮胎胎冠曲线形状已确定，已知曲率半径$R_n$，胎冠弧度高$h$可按式（2-3-4）由求。

$$h=R_n-\sqrt{R_n^2-b^2/4} \tag{2-3-4}$$

如果根据轮胎胎冠在负荷作用下，要求下沉的变形尺寸即可参照$h/H$的值来选取$h$值。

**例 1** 40-635(28×1$^1/_2$) 硬边自行车轮胎，求$b$值、$h$值。

已知：$S=35.5$mm，$b/S=0.58\sim0.65$，取$b/S$为0.58，$b=35.5\times0.58=20.59$(mm)，取$b=21$mm

验算：$b/S=21/35.5=0.59$（在$b/S$的比值范围内）

已知：H=39.75，$h/H=0.08\sim0.1$，取$h/H$为0.9，$h=39.75\times0.9=3.58$(mm)，取$h=4$mm

验算：$h/H=4/39.75=0.1$（在$h/H$的比值范围内）

如果轮胎胎冠根据行驶需要预先确定了胎冠曲率，其曲率半径$R_n$取15.78mm，根据式（2-3-4）计算$h$值。

$$h=R_n-\sqrt{R_n^2-\frac{b^2}{4}}=15.78-\sqrt{15.78^2-\frac{21^2}{4}}=4(\text{mm})$$

**例 2** 28×1$^1/_2$/软边加重自行车轮胎，求$b$值、$h$值。

已知：$S=37$mm，$b/S=0.55\sim0.60$，取$b/S=0.55$，$b=37\times0.55=20.35$(mm)，取

$b=21$mm。

验算：$b/S=21/37=0.58$（在$b/S$的比值范围内）

已知：$H=36$mm，$h/H=0.08\sim0.12$，取$h/H=0.09$，$h=36\times0.09=3.24$，取$h=3.3$mm。

验算：$h/H=\frac{3.3}{36}=0.092$（在$h/H$的比值范围内）

如果确定了胎冠曲率，其曲率半径$R_n$取18.36mm，根据式（2-3-4）计算$h$值。

$$h=R_n-\sqrt{R_n^2-\frac{b^2}{4}}=18.36-\sqrt{18.36^2-\frac{21^2}{4}}=3.298\approx3.3(\text{mm})。$$

3．胎冠弧度半径$R_n$的确定

力车轮胎胎冠部弧度一般均采用一个弧度半径，但也有采用二个半径的，主要目的是使轮胎胎肩部减薄，使胎冠部有较平坦的弧度曲线，而肩部则要曲率小一些，可增加轮胎的防滑性能及改善肩部的受力情况，在设计力车轮胎胎冠部分的过程中，半径$R_n$有二种确定方法。

（1）根据轮胎使用条件确定胎冠弧度的曲率，如果要求轮胎在行驶中轻快一些，导向性能好，则取胎冠弧度曲率大一些，曲率半径$R_n$值则小，反之如要行驶平稳，抓着力大，胎冠弧度曲率取小为宜，则曲率半径$R_n$值须大，确定$R_n$值后再由式（2-3-4）修整$h$值。

（2）如果选定行驶平面宽度$b$值及胎冠弧度高$h$值时，$R_n$值可按式（2-3-5）计算得出。

$$R_n=\frac{b^2}{8h}+\frac{h}{2} \qquad (2\text{-}3\text{-}5)$$

力车轮胎胎冠弧度半径$R_n$值：$26\times2^1/_2$软边外胎一般为30～37mm，$28\times1^1/_2$软边外胎为16～20.5mm，40-635($28\times1^1/_2$) 硬边外胎为14.5～17mm。

我国主要力车轮胎生产厂家$R_n$值见表2-3-15。

表 2-3-15　主要力车轮胎生产厂$R_n$值

| 轮胎规格 \ 厂号 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| $26\times2^1/_2$软边外胎 | 33 | 31 | 37 | 30 | 35 |
| $28\times1^1/_2$软边外胎 | 20.5 | 17.85 | 17 | 16.5 | 16 |
| 40-635($28\times1^1/_2$) 硬边外胎 | 18 | 15.08 | 14.5 | 20 | 17 |

例 1　40-635($28\times1^1/_2$) 硬边自行车轮胎，已知$b=21$mm，$h=4$mm，求$R_n$值。

根据式（2-3-5）　$R_n=\frac{b^2}{8h}+\frac{h}{2}=\frac{21^2}{8\times4}+\frac{4}{2}=15.78$mm

例 2　$28\times1^1/_2$软边自行车轮胎，已知$b=21$mm，$h=3.3$mm，求$R_n$值。

$$R_n=\frac{b^2}{8h}+\frac{h}{2}=\frac{21^2}{8\times3.3}+\frac{3.3}{2}=18.36\text{mm}$$

### （九）胎侧部曲线的确定

胎侧部位曲线主要由半径 $R_1$、$R_2$、$R_3$ 以及上胎侧近胎肩处的切线 $L$ 组成。$R_1$ 和 $R_2$ 尽可能用一个弧度半径，$R_3$ 是轮胎下胎侧圆弧半径 $R_2$ 与轮胎胎圈（或胎身）处的轮廓圆弧半径 $R_4$ 的连接圆弧的半径，使胎圈（或胎身）上部轮廓成一均匀平滑的曲线，取值不宜过大或过小，所有部位的弧度连接处必须圆滑，不能有突然过渡点。力车轮胎在设计时用作图法求得胎侧处的曲线，并通过计算进行调整（见图2-3-12）。

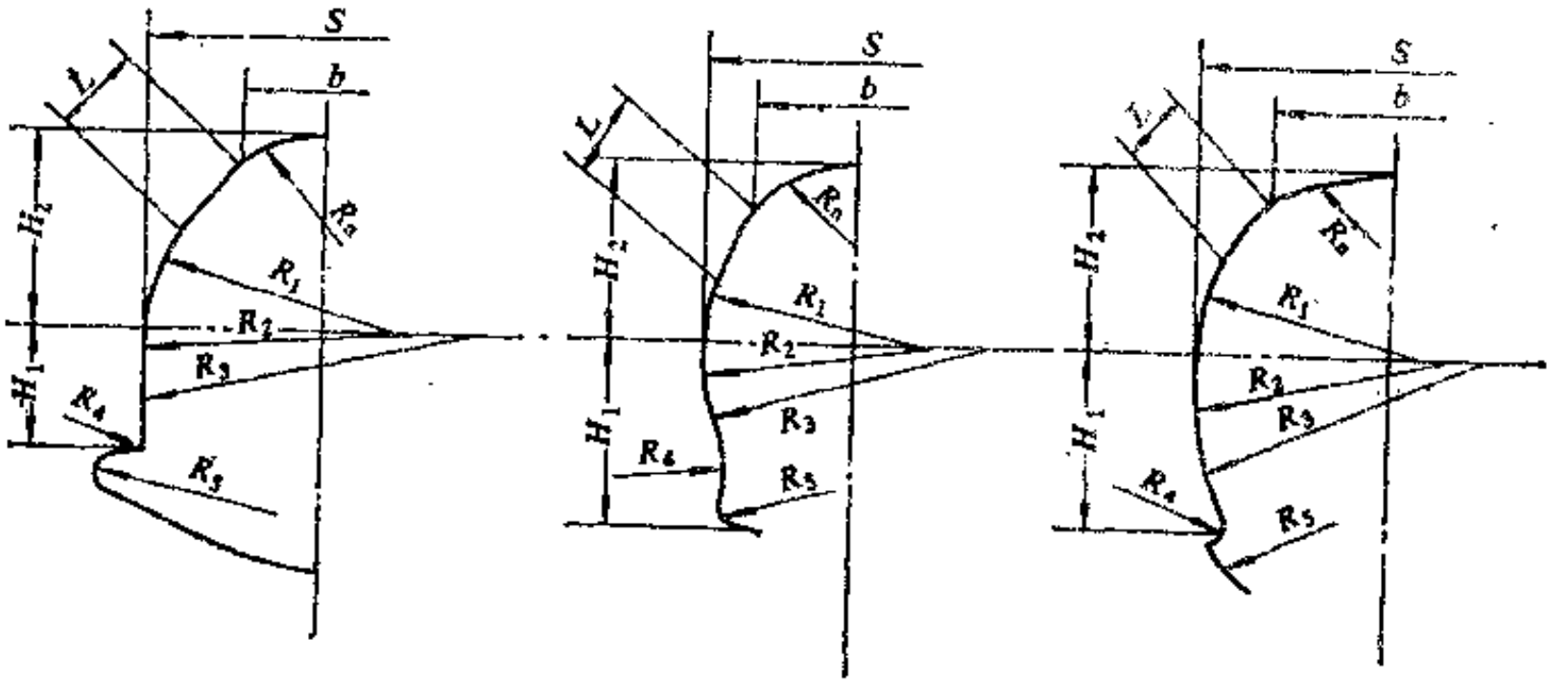



图 2-3-12　胎侧曲线作图法

上胎侧弧度曲率半径$R_1$按式（2-3-6）计算得到。

$$R_1=\frac{(H_2-h)^2+(S-b)^2/4-L^2}{S-b} \tag{2-3-6}$$

胎肩切线长度 $L$ 可按式（2-3-7）计算得到。

$$L=\sqrt{(H_2-h)^2-\left(R_1-\frac{S-b}{2}\right)^2-R_1^2} \tag{2-3-7}$$

我国主要力车轮胎生产厂家$R_1$、$R_2$取值见表2-3-16。

表 2-3-16　主要力车轮胎生产厂$R_1$、$R_2$值

| 轮胎规格 \ 厂号 | | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 26×2½软边外胎 | $R_1$ | 30.5 | 32 | 42.7 | 32 | 44 |
| | $R_2$ | 42 | 70 | 81 | 45 | 52.6 |
| 28×1½软边外胎 | $R_1$ | 17.6 | 24.7 | 21 | 22 | 24 |
| | $R_2$ | 24 | 37 | 20 | 55 | 46.5 |
| 40-635(28×1½)硬边外胎 | $R_1$ | 19 | 27.5 | 17.25 | 19.25 | 19 |
| | $R_2$ | 50 | 29.5 | 35 | 28 | 50 |

**例 1**　40-635(28×1½) 硬边自行车轮胎，已知 $H_2=20.75$mm，$h=4$mm，$S=35.5$ mm，$b=21$mm，取$R_1=19.6$mm，求胎肩切线 $L$。

胎肩切线 $L$ 依式（2-3-7）进行计算：

$$L=\sqrt{(H_2-h)^2+\left(R_1-\frac{S-b}{2}\right)^2-R_1^2}=\sqrt{(20.75-4)^2+\left(19.6-\frac{35.5-21}{2}\right)^2-19.6^2}$$

$$=6.99(\text{mm}),\ \text{取}L=7\text{mm}$$

根据$L=7$mm，用式（2-3-6）校正$R_1$，

$$R_1=\frac{(H_2-h)^2+(S-b)^2/4-L^2}{S-b}=\frac{(20.75-4)^2+\frac{(35.5-21)^2}{4}-7^2}{35.5-21}=19.595(\text{mm})$$

例 2　$28\times1^1/_2$软边自行车轮胎，已知$H_2=23$mm，$h=3.3$mm，$S=37$mm，$b=21$mm，取$R_1=24$mm，求胎肩切线$L$。

胎肩切线依式（2-3-1）进行计算：

$$L=\sqrt{(H_2-h)^2+\left(R_1-\frac{S-b}{2}\right)^2-R_1^2}$$

$$=\sqrt{(23-3.3)^2+\left(24-\frac{37-21}{2}\right)^2-24^2}=8.25(\text{mm})$$

根据$L=8.25$mm，用式（2-3-6）校正$R_1$值，

$$R_1=\frac{(H_2-h)^2+\frac{(S-b)^2}{4}-L^2}{S-b}=\frac{(23-3.3)^2+\frac{(37-21)^2}{4}-8.25^2}{37-21}$$

$$=24(\text{mm})$$

一般胎肩切线长度取$H_2$的1/3左右，如40-635($28\times1^1/_2$) 硬边自行车轮胎，$H_2=20.75$，$L=H_2\times\frac{1}{3}=20.75\times\frac{1}{3}\approx7$；$28\times1^1/_2$软边自行车轮胎$H_2=23$，$L=H_2\times\frac{1}{3}=23\times\frac{1}{3}=8$。

### （十）轮胎胎面花纹设计

力车轮胎的花纹设计取决于力车轮胎的使用条件和行驶路面，它应符合下列要求：

① 地面抓着性能良好，防止轮胎侧向滑动；

② 具有良好的耐磨耗性能及散热性能；

③ 具有良好的耐垫、刺伤性能及耐冲击性能，防止花纹块的崩落；

④ 车辆行驶时，要有最小的滚动阻力；

⑤ 具有较好的自结性，不夹石子等；

⑥ 花纹美观大方，且要方便于硫化模型加工。

力车轮胎花纹种类很多，一般有普通花纹（水波、宝石、竹节、条形、方块等）、混合花纹及越野花纹。常用的几种花纹及其特征分别见图2-3-13及表2-3-17。

表2-3-18列出了力车轮胎胎面花纹深度，花纹沟宽度及基部胶厚度。

花纹块表面积占轮胎胎面面积55～65%，花纹表面积太小，行驶时单位压力大，花纹易磨耗及崩花，花纹表面过大，不利于行驶时散热及阻力增大，乘骑不轻快。

防止花纹在使用时产生裂口现象，设计花纹时花纹沟两侧向的沟底过渡采用圆角，使应力不集中于沟底（见图2-3-14）。

花纹沟底的圆角半径可按式（2-3-8）计算得到，示意图见2-3-15。

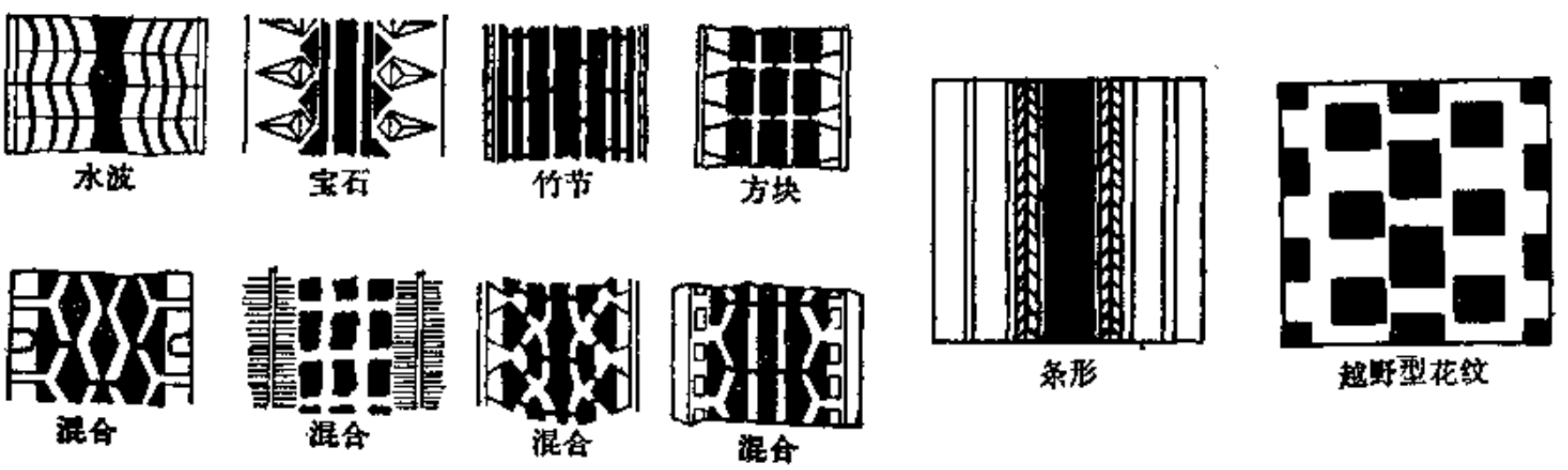



图 2-3-13　力车轮胎花纹类型

表 2-3-17　常用力车轮胎花纹特征

| 名　　称 | 方块花纹 | 水波、宝石、竹节、条形花纹 | 越野花纹 | 混合花纹 |
|---|---|---|---|---|
| 模具制造速度 | 较快 | 快 | 一般 | 慢 |
| 乘骑轻快性 | 一般 | 好 | 差 | 一般 |
| 自洁性（泥土去除性） | 好 | 差 | 好 | 好 |
| 抓着性能 | 好 | 差 | 好 | 一般 |
| 防侧滑性能 | 好 | 好 | 好 | 好 |
| 耐垫刺伤性能 | 较好 | 差 | 一般 | 好 |
| 适用道路 | 平坦、砂石、泥土路 | 平坦道路 | 山路 | 普通路面 |

表 2-3-18　力车轮胎胎冠花纹参数

| 轮胎断面规格 | 轮胎类型 | 花纹深度，mm | 花纹基部胶厚 mm | 花纹沟宽度，mm |
|---|---|---|---|---|
| $1^1/_2$以上 | 硬边和软边 | 不少于2.5 | 不少于2.5 | 3.0～5.5 |
| $1^1/_2$以下（包括）$1^1/_2$ | 普通、硬边和软边加重、硬边和软边 | 不少于2.0 | 不少于2.0 | 2.0～2.5 |

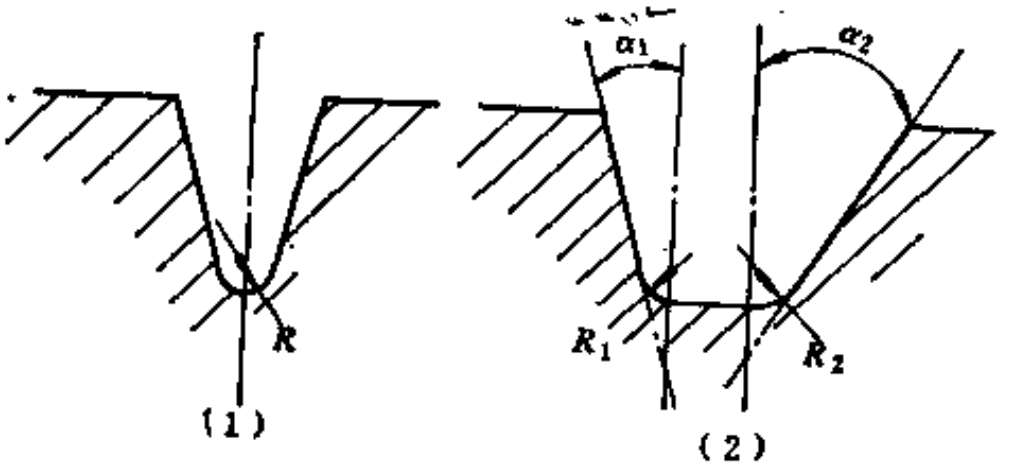



图 2-3-14　胎面花纹沟示意图

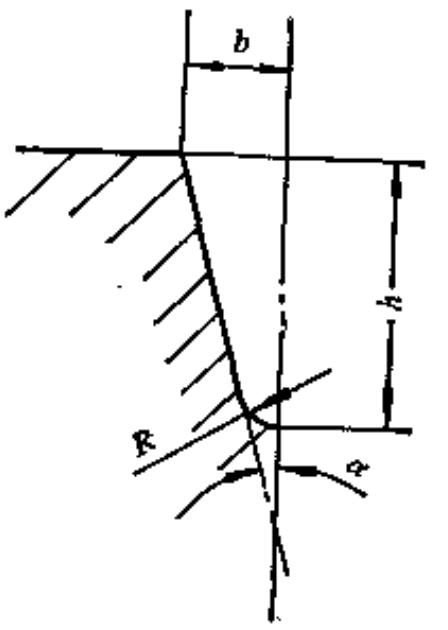



图 2-3-15　花纹沟底半径设计示意图

$$R=\frac{b\cos\alpha-h\sin\alpha}{1-\sin\alpha} \tag{2-3-8}$$

式中 $R$——花纹沟底过渡圆半径，mm；

$b$——花纹沟侧向面宽度，mm；

$\alpha$——花纹沟侧向面角度，(°)；

$h$——花纹深度，mm。

**(十一) 轮胎胎圈部设计**

轮胎能否与轮辋牢固地吻合，关键在于轮胎胎圈（软边轮胎称胎耳）曲线的设计。如果二者吻合不牢，则容易产生相对位移，胎圈将会早期磨损。轮胎胎圈曲线以轮胎所配标准轮辋曲线为准。轮辋及轮胎胎圈的模型曲线示意图见2-3-16～图2-3-18。

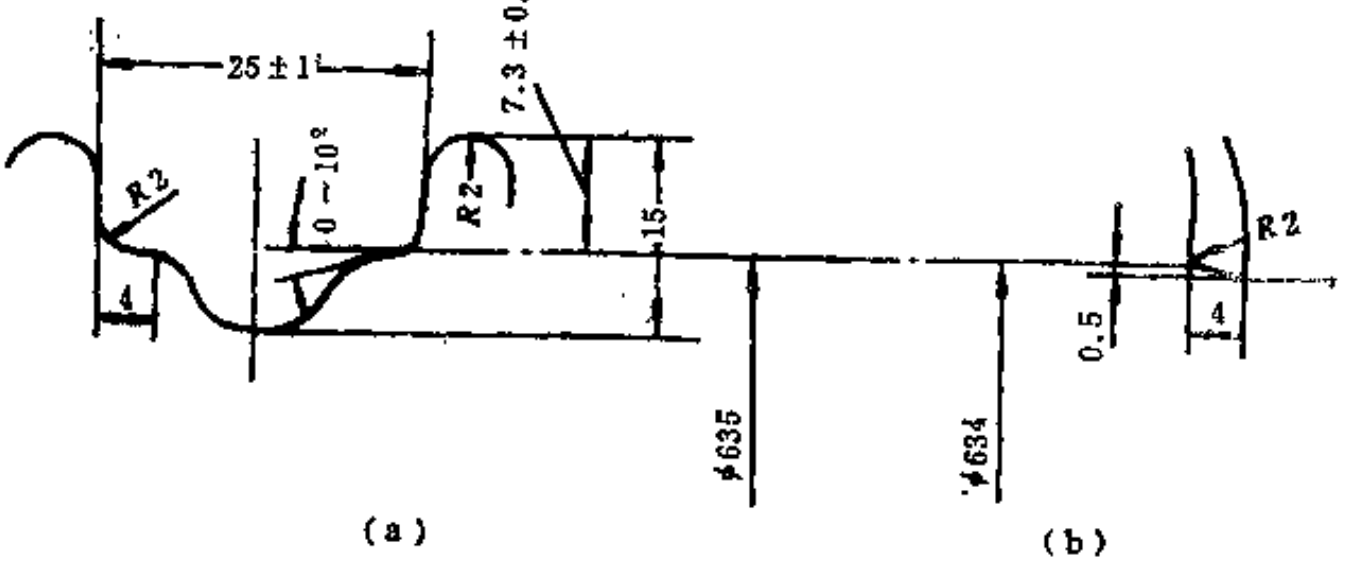



图 2-3-16 40-635(28×1¹/₂)硬边自行车轮辋、胎圈示意图

(a) 轮辋曲线；(b) 胎圈曲线

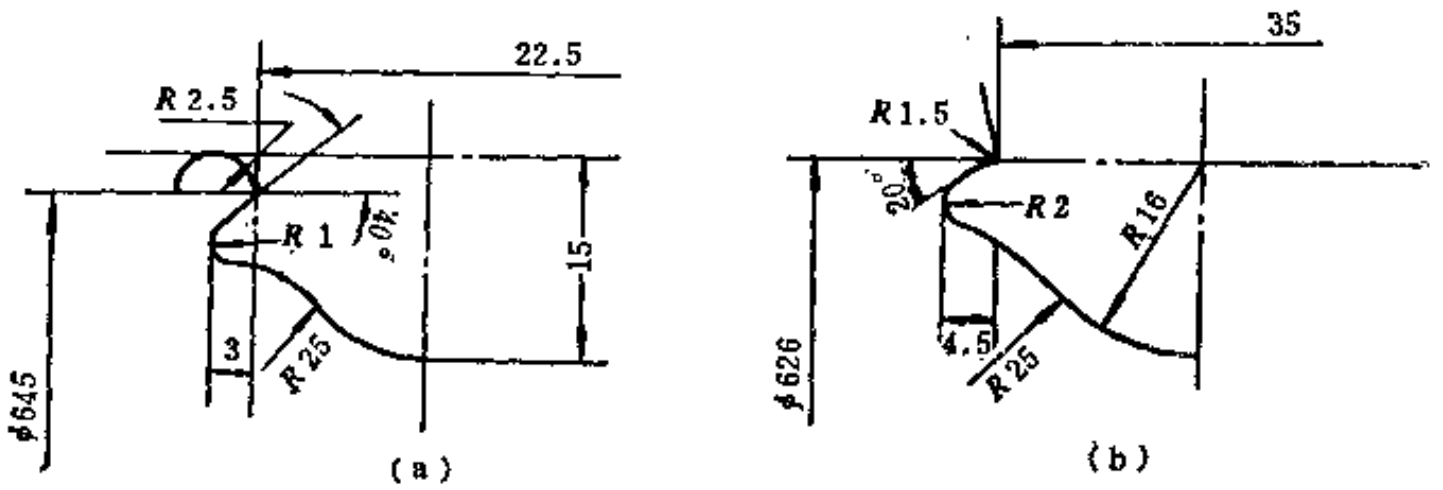



图 2-3-17 28×1¹/₂软边轮辋、胎耳示意图

(a) 轮辋曲线；(b) 胎耳曲线

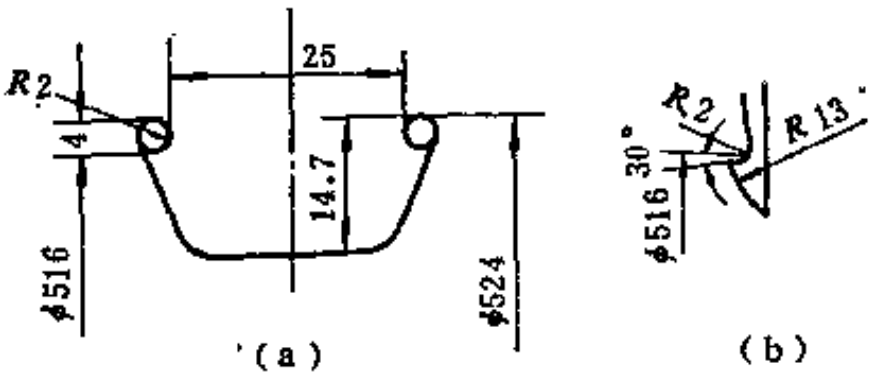



图 2-3-18 24×1.75勾边轮胎轮辋、胎圈示意图

(a) 轮辋曲线；(b) 胎趾曲线

## （十二）轮胎断面外轮廓曲线的绘制

外胎断面外轮廓曲线是指硫化模具尺寸，根据充气轮胎的外部形状曲线要求来确定模具曲线各部位的参数。明确各参数以后，即可着手绘制模具外轮廓曲线（见图 2-3-19 和图 2-3-20）

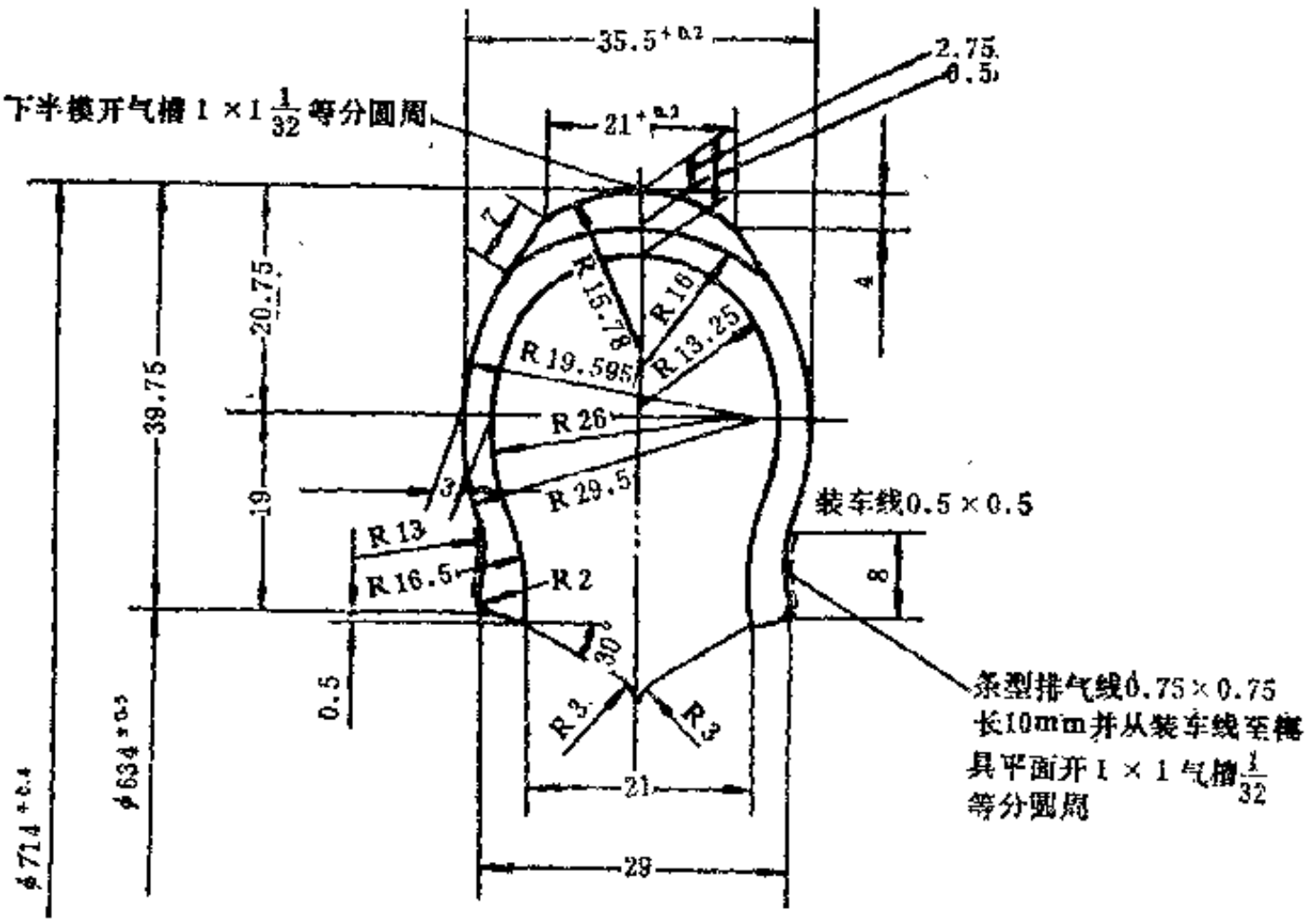



图 2-3-19　40-635W/D(28×1½)硬边外胎断面轮廓曲线图

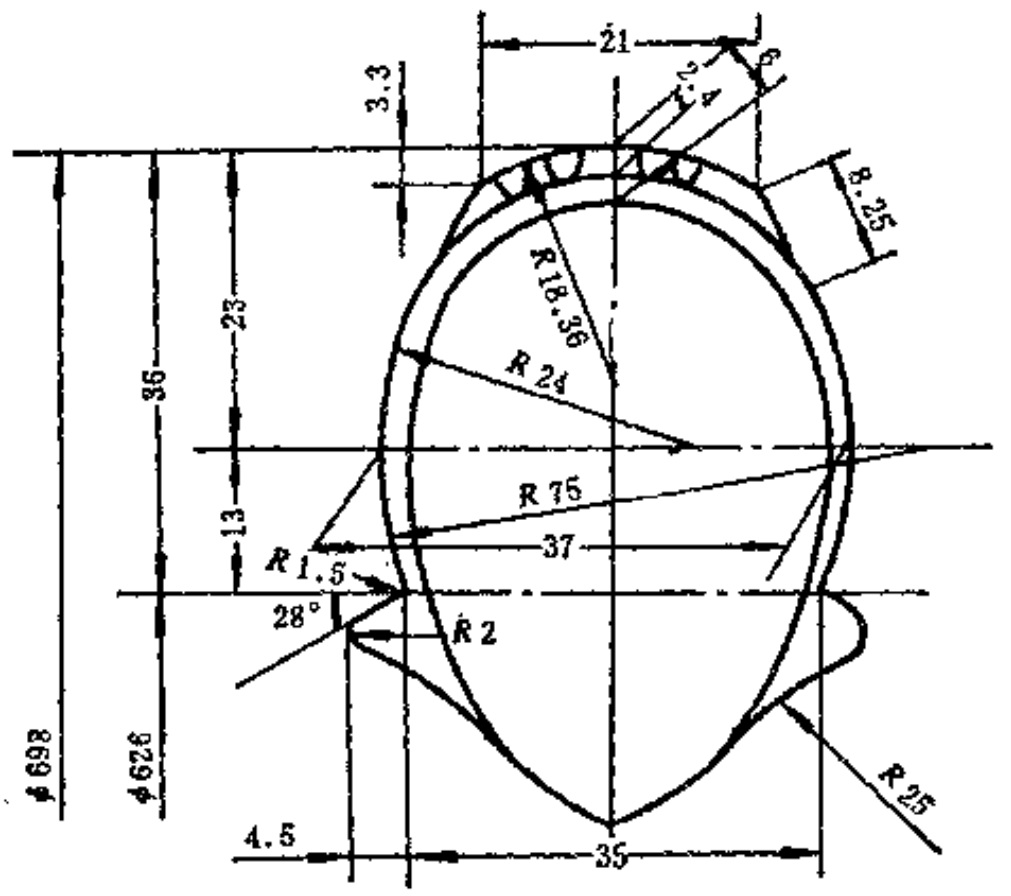



图 2-3-20　28×1½软边外胎断面轮廓曲线图

绘图时，首先在图纸上绘出轮胎断面对称轴及限制断面外形尺寸（高与宽）的线条，再绘出胎冠、胎侧和胎圈内外轮廓曲线。

### （十三）轮胎内轮廓的设计

轮胎胎冠（包括花纹）、胎侧、胎圈等外缘尺度及轮胎所需的技术性能参数确定完毕后，即着手内轮廓设计。内轮廓设计取决于轮胎的技术性能、使用条件和使用寿命。所需采用的骨架材料和胎圈部位材料，帘布层数、分布情况和胎面胶厚度，以及组成轮胎各部位的半制品总厚度，通过各部位的压缩计算得出成品各部位厚度，然后用轮胎外轮廓减去各部位材料厚度即得出内轮廓。

1. 轮胎帘布层数与帘布规格的确定

确定轮胎的帘布层数是设计工作中最重要的任务之一，因为轮胎的承载能力和使用性能主要取决于帘线的强度和帘布层数。帘布层数的多少主要是根据所使用的充气压力、安全倍数和帘线强力来确定的，其单根帘线所受的张力可用式(2-3-9)及单根帘线所受张力计算(见图2-3-21)。

$$I=\frac{P\cdot\rho[r(2\mathrm{tg}\beta+\mathrm{ctg}\beta)-\rho\cdot\sin\phi\cdot\mathrm{tg}\beta]}{10N\cdot r\cdot i} \tag{2-3-9}$$

式中 $I$——单根帘线所受的张力，N/根(kgf/根)；

$i$——成品帘线密度，根/cm；

$r$——轮胎断面第一层帘布上的中心点到车轮旋转轴的距离，cm，$\left(r=\frac{D-2t}{2}\right)$；

$t$——胎面胶厚度；

$\rho$——按帘布中心层计算的充气外胎的断面半径，cm；

$\left(\rho=\frac{L}{2\pi}\right.$，$\left.L$：外胎内轮廓断面周长$\right)$

$P$——充气压力，kPa(kgf/cm²)；

$\beta$——胎冠帘线角度（48～52°）；

$\phi$——断面水平轴与径向间所夹的角度，力车轮胎一般都为径向轴与水平轴的夹角 $\varphi=90°$，$\sin\varphi=1$。

$N$——帘布层数。

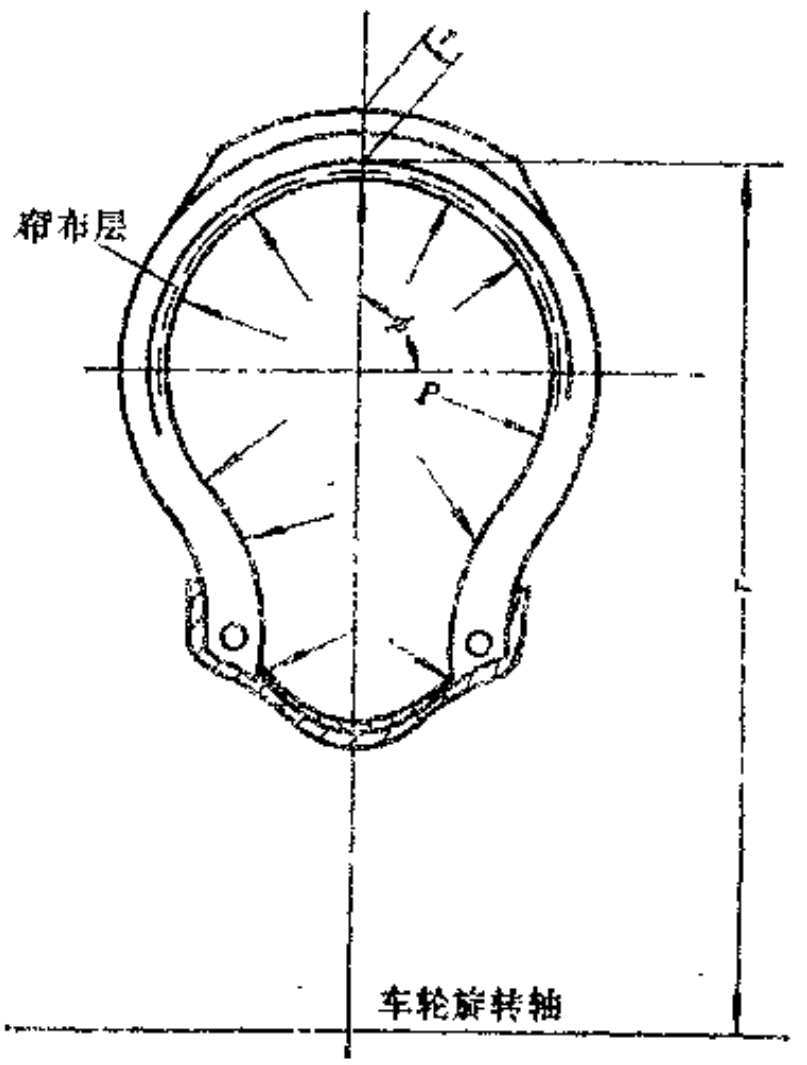



图 2-3-21 单根帘线所受张力计算图示

成品帘线密度 $i$ 可按式（2-3-10）计算

$$i=\frac{i_0\cos\alpha}{\delta\cos\beta} \tag{2-3-10}$$

式中 $i$——成品帘线密度，根/cm；

$i_0$——半成品帘线密度，根/cm；

$\delta$——外胎胎里直径与成型时第一层帘布筒直径之比值。

为了证实所确定的帘布层数与帘线规格的合理性，可用安全系数$K$值来进行验证，安全系数$K$值可按式（2-3-11）来进行计算。

$$K=\frac{\sigma}{I} \tag{2-3-11}$$

式中 $K$——帘线强力安全系数（一般5～7倍）；

$\sigma$——单根帘线强力，N/根(kgf/根)；

$I$——单根帘线所受张力，N/根(kgf/根)。

安全系数$K$值一般应不小于5，其具体数值取决于轮胎的使用条件。因轮胎使用时要经受超负荷（高内压、高冲击力等）的作用，特别是在使用条件比较苛刻，内压较高的情况下，如果帘线强力安全系数较小，则会缩短轮胎使用寿命。根据轮胎技术要求可计算出单根帘线所受张力$I$，然后根据该轮胎的安全倍数$K$选择，按式（2-3-11）计算出单根帘线强力$\sigma$，根据$\sigma$范围来选择帘布规格，其帘布规格及单根帘线强力$\sigma$，参照帘布材料有关规定。

轮胎帘布层数选取，根据式（2-3-9）及式（2-3-11）中可知，$K$与$I$成反比，要提高安全倍数即要求降低单根帘线所受张力，而单根帘线所受张力$I$与帘布层数$N$也成反比，层数多即单根帘线所受张力减小，故在帘布规格、安全倍数已定情况下，可增加帘布层数来减少单根帘线所受张力，进而保证安全倍数。

对帘布规格选择中，还得考虑帘布帘线密度$i$，按式（2-3-9）中密度$i$与帘线所受张力$I$也成反比，密度$i$选取大些即可降低单根帘线所受张力，另外单根帘线所受张力指轮胎整体受力情况而言，轮胎在行驶中胎冠部能受到局部顶刺外力，故轮胎要做强度性能测试（破坏能试验）。其试验方法及计算见轮胎测试部分。如果帘布规格选取后安全倍数能达到，而强度性能测试后性能较差，那得修改帘布帘线密度，以提高其强度性能。

力车轮胎帘布层数与规格见表2-3-19。

**表 2-3-19 各种力车轮胎帘布规格及层数**

| 轮胎规格 | 最大负荷 kN(kgf) | 帘布层数 | 帘布规格 | 单根帘线强度 kN(kgf) | 帘线密度 根/cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 26×2¹/₂软边外胎 | 3.19(325) | 4 | 尼龙6 1680den/1<br>尼龙6 1680den/2 | 0.13 (13)<br>0.15 (15) | 9<br>9.4 |
| 28×1¹/₂软边普通外胎 | 0.98(100) | 2 | 尼龙6 1260den/1 | 0.10(10) | 9 |
| 40-635(28×1¹/₂) 硬边外胎 | 0.98(100) | 2 | 尼龙6 1260den/1 | 0.10(10) | 9 |
| 37-590(26×1³/₈) 硬边外胎 | 0.69(70) | 2 | 尼龙6 840den/1 | 0.07((7) | 9 |
| 20×2.125钩边外胎 | 0.76(77) | 2 | 尼龙6 1260den/1 | 0.10(10) | 9 |

**例 1** 40-635(28×1¹/₂) 硬边自行车轮胎，已知：$N=2$，$P=412\text{kPa}(4.2\text{kgf/cm}^2)$，断面帘布中心层周长半径$\rho=\frac{L}{2\pi}$，取$L=9.9\text{cm}$，则：$\rho=\frac{9.9}{2\times3.14}=1.58\text{cm}$，断面第一层帘布中心点至车轮轴间的距离$r=\frac{D-2t'}{2}$，$D=71.4\text{cm}$，$t'=0.525\text{cm}$，则$r=\frac{71.4-2\times0.525}{2}=35.175(\text{cm})$；成品胎冠角度取$\beta=49°$；断面水平轴与径向所夹的角度$\varphi=90°$，$\sin90°=1$；帘布帘线密度$i_0=9$根/cm，帘线裁断角度$\alpha=45°$；胎里直径与第一层

帘布角直径之比值 $\delta$ 取1.1，代入式(2-3-10)，则 $i=\frac{i_0\cos\alpha}{\delta\cos\beta}=\frac{9\cos45^\circ}{1.1\cos49^\circ}=8.8$(根/cm)，

求单根帘线所受的张力 $I$。

根据式 (2-3-9)

$$I=\frac{P\cdot\rho[r(2\mathrm{tg}\beta+\mathrm{ctg}\beta)-\rho\cdot\sin\varphi\mathrm{tg}\beta]}{10\cdot N\cdot r\cdot i}$$

$$=\frac{412\times1.58[35.175\times(2\times1.15+0.869)-1.58\times1\times1.15]}{10\times2\times35.175\times8.8}=11.53(\mathrm{N/根})$$

作为轮胎骨架材料的尼龙帘线，其安全倍数可根据式 (2-3-11) 计算。

当采用尼龙6 1260den/1时，$\sigma=98.1$N/根(10kgf/根)

则：
$$K=\frac{\sigma}{I}=\frac{98.1}{11.527}=8.5$$

根据计算结果可知，40-635($28\times1^1/_2$) 硬边自行车轮胎用尼龙 6 1260den/1作骨架材料时，其帘线密度为 9 根/cm，帘线安全倍数为8.5。

**例 2** $28\times1^1/_2$软边加重外胎，已知：$P=588.4$kPa(6kgf/cm$^2$)，$N=2$，断面帘布中心层周长半径$\rho=1.88$cm，断面第一层帘布中心至车轮旋转轴间距离 $r=35.285$cm，成品胎冠角度 $\beta=49^\circ$，断面水平轴与径向所夹的角度$\varphi=90^\circ$，$\sin90^\circ=1$，成品胎冠帘线密度$i=9.85$根/cm。求单根帘线所受的张力 $I$。

根据式 (2-3-9)，将已知条件代入，得

$$I=\frac{588.4\times1.88[32.285(2\times1.15+0.869)-1.88\times1\times1.15]}{10\times2\times32.285\times9.85}=17.419\ \mathrm{N/根}$$

安全倍数可根据式 (2-3-11) 求得。

$$K=\frac{\sigma}{I}$$

当采用尼龙6 1260den/1时，$\sigma=98.1$ N/根 (10kgf/根) 则：

$$K=\frac{98.1}{17.419}=5.63$$

计算结果可知，$28\times1^1/_2$ 软边加重自行车外胎采用尼龙6，1260den/1作骨架材料时，其帘线密度为10根/cm，帘线安全倍数为5.63倍。

2．硬边轮胎钢丝圈的设计

轮胎钢丝圈是轮胎中的主要部件，正确地选择和设计钢丝圈，是轮胎生产和使用的关键。一般力车轮胎钢丝圈由单根钢丝或多根钢丝组成。

（1）钢丝圈直径　钢丝圈的直径是根据轮胎装卸方便，使用时不发生滑圈等要求来确定的。

直边轮胎单根钢丝钢丝圈直径计算图见图2-3-22，及式 (2-3-12)。

$$D_n=d_T+2(TK+R_n) \qquad (2\text{-}3\text{-}12)$$

式中 $D_n$——直边轮胎钢丝圈直径，cm(单根钢丝$D_n$指钢丝圈中径，作为单根钢丝长度计算的参数)；

$d_T$——直边轮胎着合直径，cm；

$T$——直边轮胎压缩前钢丝圈下部材料的总厚度，cm；

$K$——压缩系数，（$K=0.90\sim0.95$）；

$R_s$——单根钢丝断面半径，cm；

直边轮胎多根钢丝圈直径计算中，$D_s$值指钢丝圈的内直径，作为制造钢丝圈成型盘的外直径参数，计算如式（2-3-13）。

$$D_s=d_T+2KT \tag{2-3-13}$$

该式中符号见式（2-3-12）。

钩边轮胎单根钢丝钢丝圈直径计算如图2-3-23及式（2-3-14）所示。

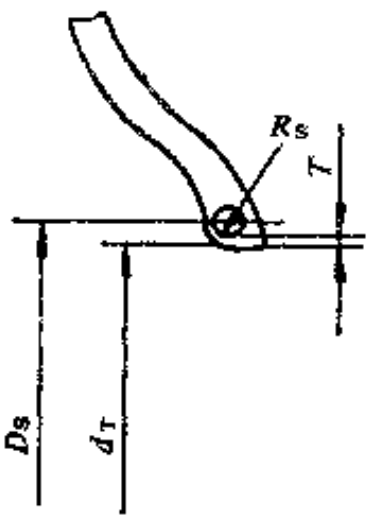



图 2-3-22 直边轮胎钢丝圈计算图

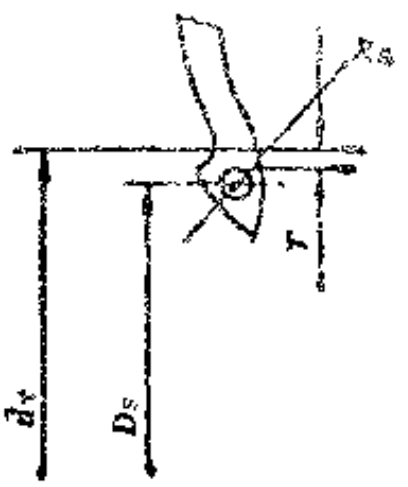



图 2-3-23 钩边轮胎钢丝圈计算图示

$$D_s=d_T-2(T+R_s) \tag{2-3-14}$$

式中 $D_s$——钩边轮胎钢丝圈直径，cm（单根钢丝$D_s$指钢丝圈中径，作为单根钢丝长度计算的参数）；

$d_T$——钩边轮胎着合直径，cm；

$T$——轮胎着合直径至钢丝圈上部间隙（取$T=1.5\sim2.0$mm）；

$R_s$——钢丝圈断面半径，cm。

钩边轮胎多根钢丝圈直径计算中$D_s$值指钢丝圈的内直径，作为制造钢丝圈成型盘的外直径参数，计算式如式（2-3-15）。

$$D_s=d_T-2(T-\phi_s) \tag{2-3-15}$$

式中 $\phi_s$——多根钢丝组成钢丝圈，横断面高度（见图2-3-24）。

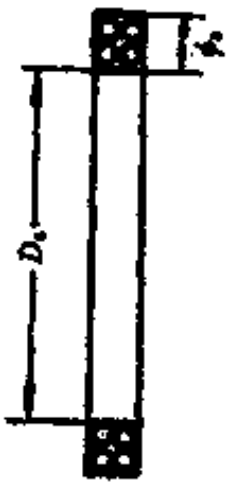



图 2-3-24 钩边轮胎多根钢丝钢丝圈图

表 2-3-20 镀锌、镀铜钢丝规格及强力

| 钢丝规格 | 钢丝断面直径 mm | 钢丝强力，kN/根（kgf/根） |
|---|---|---|
| 镀锌15号 | 1.825 | 4.51(460) |
| 镀锌14号 | 2.032 | 5.77(588) |
| 镀锌13号 | 2.337 | 6(612) |
| 镀铜19号 | 1 | 1.3(132.6) |

（2）钢丝圈钢丝规格的选择 根据轮胎规定的气压，负荷，结构形状计算出钢丝圈所

受的应力，然后鉴于钢丝的强力和轮胎所规定的使用安全倍数来选择钢丝的规格及钢丝圈中钢丝的根数。钢丝规格及强力见表2-3-20。

（3）钢丝应力计算　钢丝圈应力计算图见图2-3-25及式（2-3-16）。

$$Q=\frac{P}{40}[2\pi\rho^2+D_t(W'-2E)]$$

(2-3-16)

式中　$Q$——钢丝圈所受应力，N(kgf)；

$P$——轮胎充气压力，kPa(kgf/cm²)，

$D_t$——轮辋着合直径，cm；

$W'$——轮辋宽度；

$E$——胎趾宽度，cm；

$\rho$——按帘布中心层计算的充气外胎的断面半径，cm；

$\left(\rho=\frac{L}{2\pi}，L\text{为外胎内轮廓断面周长}\right)$

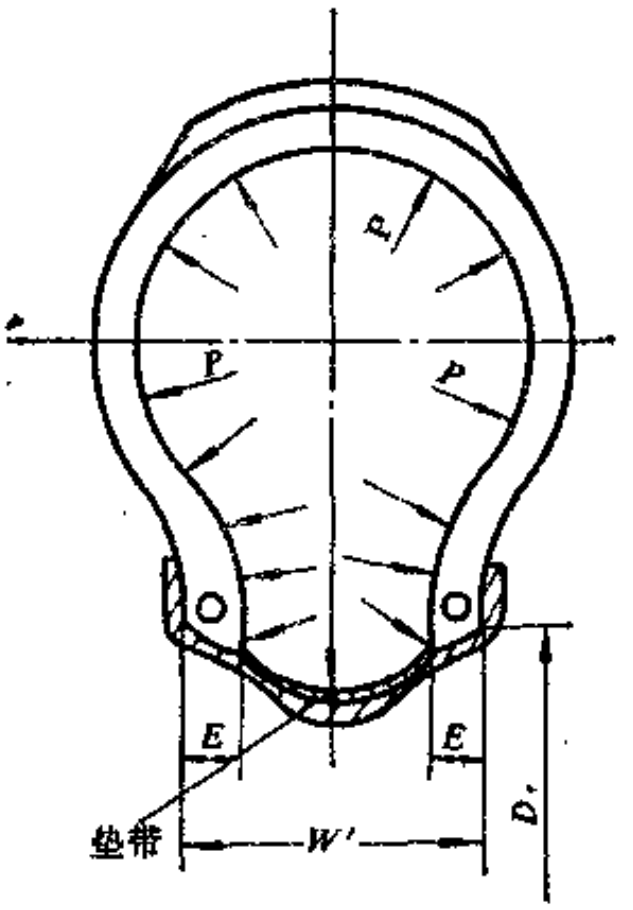



图 2-3-25　钢丝圈应力计算图

钢丝圈安全倍数可按式（2-3-17）计算：

$$K=\frac{n\cdot\sigma}{Q}$$

(2-3-17)

式中　$K$——钢丝圈安全倍数（一般$K=4\sim7$倍）；

$n$——每个钢丝圈中钢丝根数，根；

$\sigma$——单根钢丝强力，N/根；

$Q$——钢丝圈应力，N；

钢丝规格选取，要根据所需钢丝圈安全倍数及轮胎钢丝圈的应力，确定钢丝圈中钢丝根数，计算出单根钢丝强力$\sigma$值范围，然后根据表2-3-20中钢丝规格及强力栏中找出$\sigma$值范围的钢丝规格，来选用适用该设计的轮胎钢丝圈的钢丝规格。

**例**　40-635(28×1½)硬边自行车轮胎

（1）钢丝圈直径$D_t$的计算，已知：$d_T=63.45$cm，$T=0.12$cm，$K=0.9$。选用14号镀锌钢丝，查表2-3-20得$R_t=0.10$cm，代入式（2-3-12）得：

$$D_t=63.45+2\times(0.12\times0.9+0.10)=63.87\text{cm}$$

（2）钢丝圈应力$Q$计算　钢丝圈应力计算按式（2-3-16）求得：

$$Q=\frac{P}{40}[2\pi\rho^2+D_t(W'-2E)]$$

已知：$P=411.8$kPa(4.2kgf/cm²)，$D_t=63.5$cm，$W'=2.5$cm，$E=0.4$cm，$\rho=1.58$cm，则得：

$$Q=\frac{411.88}{40}[2\times3.14\times1.58^2+63.5(2.5-2\times0.4)]=1273\text{N}$$

采用单根14号镀锌钢丝组成钢丝圈，计算钢丝圈安全倍数。安全倍数按式（2-3-17）

计算。

$$K=\frac{n\cdot\sigma}{Q}$$

已知：$Q=1273\,N$，$n=1$。$\sigma=5.77\times10^3$N/根，则得：

$$K=\frac{1\times5.77\times10^3}{1273}=4.53\text{（倍）。}$$

按照要求$K=4\sim7$倍，此设计符合要求。

**（十四）轮胎内轮廓曲线的绘制**

在绘制轮胎内轮廓曲线以前，确定轮胎断面各部位的厚度，根据所需要的设计厚度来确定半制品各部位的厚度。实际上半制品在硫化过程中有个受压缩的过程，轮胎各部位的压缩比$K$值如表2-3-21。

**表 2-3-21 轮胎断面各部位压缩比**

| | 胎冠部 | 胎侧部 | 胎侧下部 | 胎圈部位 | 钢丝圈底部 |
|---|---|---|---|---|---|
| $K$值 | 0.75～0.8 | 0.75～0.8 | 0.75～0.8 | 0.85～0.9 | 0.9～0.95 |

注：实际制成品厚度＝半制品厚度×$K$。

表2-3-22列出各种力车轮胎断面各部位推荐厚度。

**表 2-3-22 各种力车轮胎断面各部位推荐厚度** 单位，mm

| 轮胎规格 | 帘布层厚度 | 胎侧胶厚度 | 胎冠胶厚度 |
|---|---|---|---|
| 26×1½软边外胶 | 3～3.5 | ≥1.4 | ≥5 |
| 28×1½软边外胶 | 1.1～1.45 | ≥1.3 | ≥4 |
| 40—635(28×1½) 硬边外胎 | 1.1～1.45不小于1.6 | ≥1.3 | ≥4 |

在确定断面各部位的厚度以前，可参考实测的软边轮胎和直边轮胎外轮廓断面及各部位尺寸。有关内容可见图2-3-26、表2-3-23和表2-3-24。

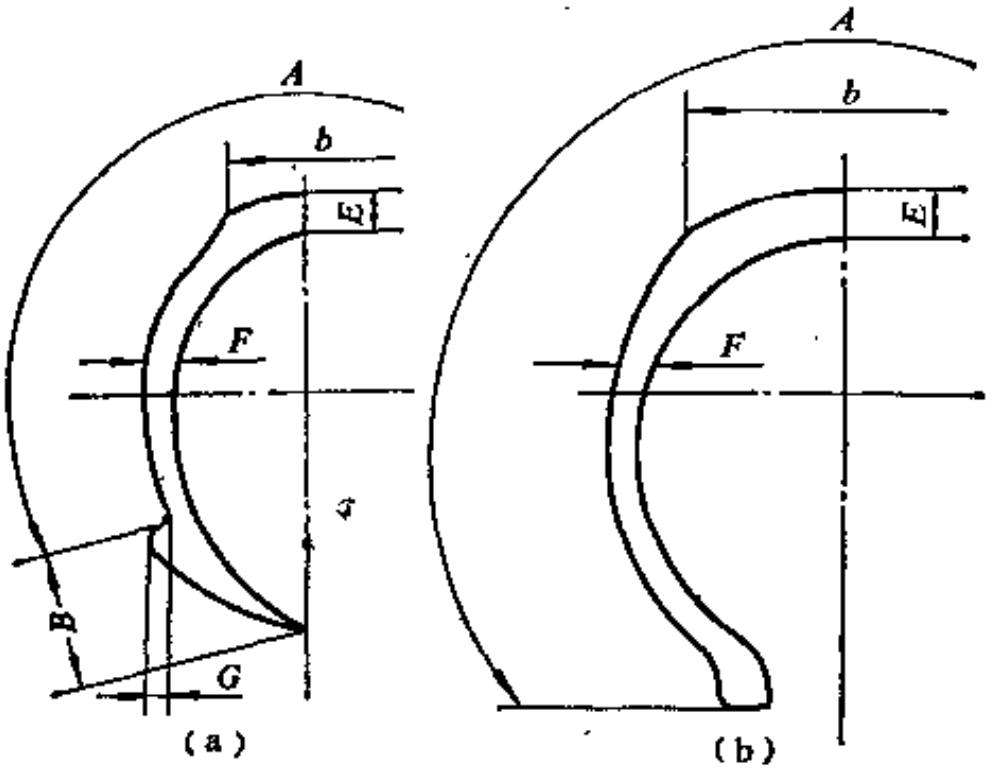



图 2-3-26 力车轮胎断面

（a）软边轮胎断面，（b）硬边轮胎断面

表 2-3-23　软边轮胎实测断面尺寸　　单位：mm

| 断面代号 \ 断面尺寸 | 1½in | 2in | 2½in | 3in |
|---|---|---|---|---|
| A | 84～88 | 112 | 148～157 | 178 |
| B | 18～20 | 23 | 28～30 | 35 |
| b | 20～23 | 32 | 40～45 | 52 |
| E | 5.4～7.0 | 7.5 | 8～10 | 10.5 |
| F | 2.5～4.0 | 3.6 | 4.5～5.5 | 6 |
| G | 4.5～5.0 | 5.0 | 5.5～6.0 | 6.5 |

表 2-3-24　直边轮胎实侧断面尺寸

单位：mm

| 断面代号 \ 断面尺寸 | 1⅜in | 1½in | 断面代号 \ 断面尺寸 | 1⅜in | 1½in |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 75 | 83～85 | E | 4.5～5.5 | 5.0～6.5 |
| b | 20～22 | 20～22 | F | 1.8 | 2.5～3 |

绘制轮胎内轮廓曲线时，主要是在上述计算出来的成品厚度和外轮廓曲线半径的基础上进行的，外轮廓曲线半径减去成品厚度即为内轮廓曲线半径，内轮廓曲线的绘制必须保证内轮廓呈圆弧形光滑连接。

**例 1**　40-635(28×1½) 硬边自行车轮胎。

花纹深度取2.75mm，基部胶取2.5mm，帘布规格取1260den/1，经过压延贴胶后帘布厚度为0.73±0.03mm。帘布层数为 2 层，布层压缩系数为0.9。

成品冠部厚度＝2.75＋2.5＋0.73×2×0.9＝6.56mm，冠部厚度取6.56mm。

胎侧胶厚度取1.75mm。

成品胎侧厚度＝1.75＋0.73×2×0.9＝3.06mm，胎侧厚度取3mm。

胎圈部外包布用2×2 帆布，贴胶厚度为 0.35mm，钢丝圈采用14号单根钢丝直径 $\phi$2.1mm。

成品胎圈厚度＝(0.35＋0.73)×2×0.9＋2.1＝4.04mm。

成品胎圈厚度取4mm。

**例 2**　28×1½软边加重外胎。

花纹深度取2.4mm，基部胶厚度2.2mm，帘布同40—635 (28×1½)硬边自行车轮胎，布层压缩系数取0.9。

成品冠部厚度＝2.4＋2.2＋0.73×2×0.9＝5.91mm，冠部厚度取6mm。

胎侧胶厚度取1.75mm。

成品胎侧厚度＝1.75＋0.73×2×0.9＝3.06mm，胎侧胶厚度取3mm。

胎耳外包布用2×2帆布，贴胶厚度为0.35mm。

胎耳根部厚度＝1.75＋(0.35＋0.73×2)×0.9＝3.38mm，胎耳根部厚度取3.5mm。

## 二、内 胎 设 计

轮胎中对内胎的要求是：装胎后尺寸适宜，不打褶子，也不因伸张过大使胎体变薄而影响气密性。

内胎设计以前，必须首先绘制出外胎在轮辋上的断面图（包括外胎的内、外轮廓图），利用此图可测定内胎在外胎中的位置，一般用1:1的比例绘出外胎断面图（见图2-3-27）。根据充气轮胎外胎内轮廓直径和断面周长，考虑到内胎充气时的伸张率，分别求得未充气内胎的外径和断面周长，然后根据内胎断面周长换算成内胎断面直径。内胎内直径＝内胎外直径－2×内胎断面直径。内胎模型尺寸示意图见图2-3-28。

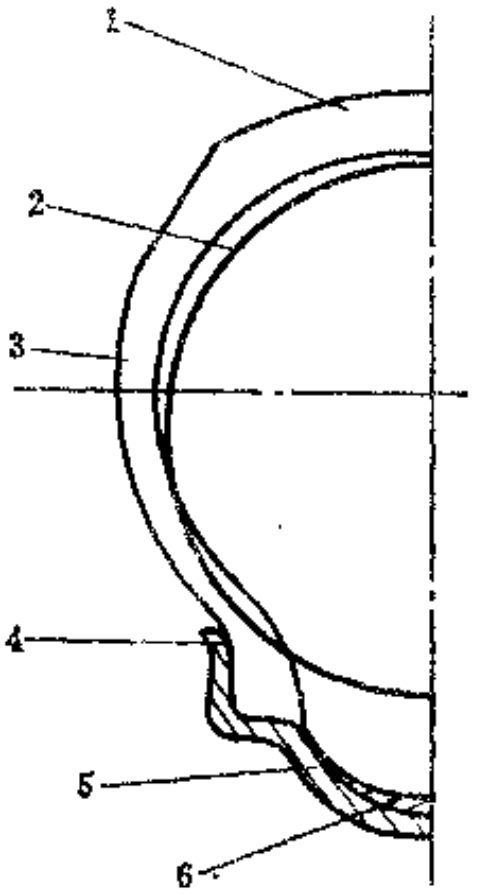



图 2-3-27 硬边外胎、内胎配套图

1—外胎胎冠；2—内胎；3—外胎胎侧；4—外胎胎趾；5—轮辋；6—垫带

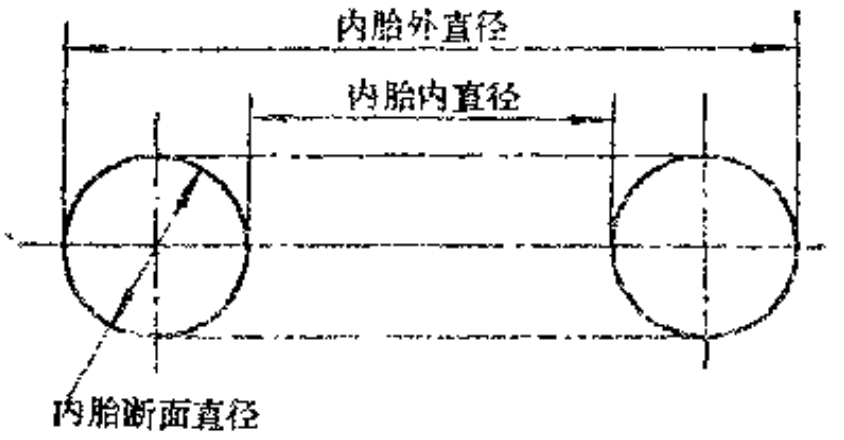



图 2-3-28 内胎模型尺寸示意图

内胎直径伸张即充气内胎与未充气内胎（成品内胎）外直径的比值，其伸张为1.02～1.05，成品内胎与模具尺寸还有一相应收缩值，收缩值为1%。为了方便计算，把未充气内胎尺寸参数换算成内胎模具尺寸参数再与充气内胎参数按伸缩值直接计算出模具所需尺寸。

$$\text{内胎外直径伸长}=\frac{\text{充气外胎内轮廓直径}}{\text{内胎模具外直径}}=1.01\sim1.04$$

$$\text{内胎周长伸长}=\frac{\text{充气外胎内轮廓断面周长}}{\text{内胎模具断面周长}}=1.1\sim1.2$$

为了表现充气内胎的变化情况，还必须考虑充气时内胎内直径收缩率。

$$\text{内胎内直径收缩}=\frac{\text{内胎模具内直径}}{\text{充气后内胎内直径}}=1.01\sim1.04$$

上述各种伸张值的选用，主要是为了保证内胎具有很好的使用性能，伸长率过大，会引起胎壁过薄，使橡胶过度伸长，以致内胎易刺扎损坏及影响内胎气密性；伸长率过小，会使内胎打褶，也会导致过早磨损或爆破。内胎根据不同充气形式采用不同气门嘴，气门嘴有普通型气门嘴及胶垫式气门嘴。具体结构、性能，可参阅本篇气门嘴部分。

例 40-635(28×1½) 硬边自行车轮胎内胎计算。

已知：外胎内轮廓直径＝714－2×6.5＝701mm，外胎内轮廓周长（指外胎安装在轮

辋上，包括轮辋所在部分）113.1mm。

计算内胎外直径，断面直径，内直径。

取内胎外直径伸张为1.01。

$$\text{内胎模具外直径}=\frac{701}{1.01}=694\text{mm}。$$

内胎断面周长伸张取1.2。

$$\text{内胎模具断面周长}=\frac{113.1}{1.2}=94.25\text{mm}。$$

$$\text{内胎模具断面直径}=\frac{94.25}{\pi}=30\text{mm}。$$

内胎模具内直径=694－2×30=634mm。

已知轮辋配上1mm厚垫带，其最小直径为621.6mm，验证内胎内直径收缩率，内胎内直径收缩率$=\frac{634}{621.6}=1.02$。

$28\times1^1/_2$软边轮胎内胎等效采用40-635($28\times1^1/_2$) 硬边轮胎内胎尺寸。

## 三、垫 带 设 计

硬边轮胎需以垫带来保护内胎，免其受辐条端部的损伤。制造垫带的材料较多，一般采用橡胶、塑料及帆布等。$2\frac{1}{2}$in以下的硬边轮胎采用一层帆布或塑料带即可，$2\frac{1}{2}$in以上规格的硬边轮胎应配有一定几何形状的橡胶垫带（边缘较薄，中间较厚），也可用帆布、塑料等较厚的条带代用。

垫带套入轮辋时，垫带对轮辋有一定的伸张，使其固定在轮辋内径中，不致发生移动。因此需要控制垫带重迭长度。

$$\text{成品垫带重迭长度}=\frac{\text{轮辋内径}\times\pi\cdot K}{2}$$

$K$值为收缩比，根据材料而定，橡胶垫带$K=0.8\sim0.85$；塑料垫带$K=0.9\sim0.93$，帆布、塑料$K=0.95\sim0.97$。

成品垫带宽度，根据轮辋内口宽度减去2倍外胎胎趾宽度即成。厚度自行车轮胎中一般取1.2～1.5mm，在宽度的中心位置冲以$\phi$9mm的气门嘴孔。

例 40-635 ($28\times1^1/_2$) 硬边自行车垫带设计。

已知：材料取塑料，$K=0.92$；轮辋内径619mm；轮辋内口宽=25mm；胎趾宽4mm。未垫带。

$$\text{成品垫带重迭长度}=\frac{619\cdot\pi\cdot0.92}{2}=894.5，\text{取}895\text{mm}。$$

$$\text{垫带宽度}=25-2\times4=17\text{mm}$$

厚度取1.2mm，中心位置冲直径为9mm孔一个，垫带搭头取30～40mm，互相对粘起来。

## 四、气 囊 设 计

气囊是力车轮胎外胎在硫化时所必需的工具，其断面曲线设计应以外胎内轮廓的曲线为依据，但在外胎胎圈处要留1mm左右的空隙，内轮廓顶部留1～1.5mm空隙(见图2-3-29)。

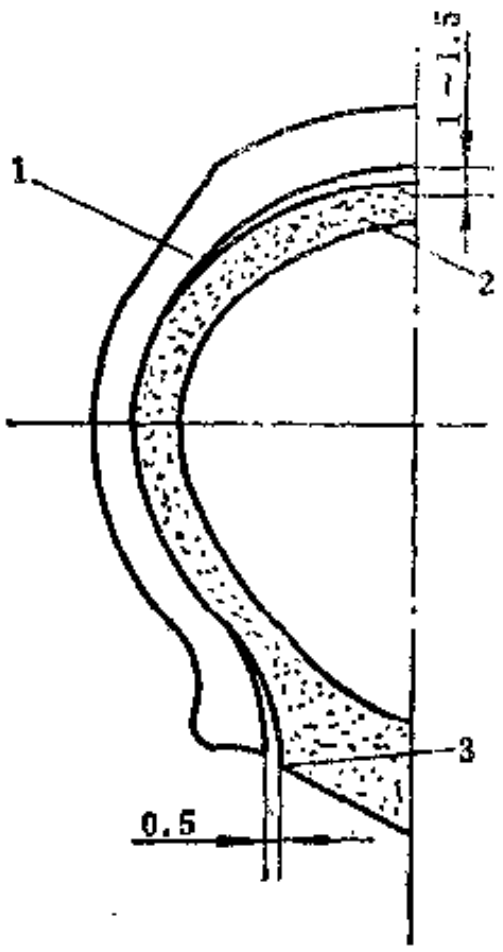



图 2-3-29 硬边轮胎外胎、气囊配合图
1—外胎；2—气囊；3—气囊胎趾

设计时，应首先考虑外胎骨架材料性能，如尼龙帘布作骨架材料，由于尼龙帘布的热收缩比棉帘布大，因此在设计气囊时应尽量增大气囊断面周长，以利于尼龙帘布气泡的排除和轮胎尺寸的稳定。

（1）气囊在使用时，气囊外直径对外胎内轮廓直径的伸张为：

$$\text{气囊外直径伸张}=\frac{\text{外胎内轮廓直径}}{\text{气囊成品外直径}}$$

$$=1.01\sim1.03$$

气囊断面伸张为：

$$\text{气囊断面伸张}=\frac{\text{外胎断面胎里有效周长}}{\text{气囊成品断面有效周长}}$$

$$=1.02\sim1.05$$

（2）由于气囊成品在硫化后，其外直径对模具尺寸有一定收缩值；

$$\text{气囊成品外直径收缩比}=\frac{\text{气囊模具外直径}}{\text{气囊成品外直径}}=1.022\sim1.025$$

（3）气囊壁厚及气囊胎趾处厚度，一般以经验方法来确定。必须保证气囊有弹性和一定的内腔容积以及较高的使用寿命。

例 1　40-635（28×1½）硬边自行车轮胎气囊设计。

已知：外胎内轮廓直径 701mm；外胎内轮廓周长 96mm。根据气囊设计要求（即外胎内轮廓中胎圈及内直径与气囊配合时留下的空隙后得出的气囊曲线轮廓），得出的气囊成品断面周长94mm。

① 气囊断面周长伸张$=\frac{96}{94}=1.021$

② 气囊成品外直径伸张取1.02。

$$\text{气囊成品外直径}=\frac{\text{外胎内轮廓直径}}{1.02}=\frac{701}{1.02}=687.25$$

③ 取气囊成品外直径与气囊模具的收缩比为1.022，求气囊模具外直径。

$$\text{气囊模具外直径}=\text{气囊成品外直径}\times1.022$$

$$=687.25\times1.022=702.4$$

取整数，气囊模具外直径为702.5mm。

④ 气囊冠部及侧部厚度取8.5～9mm，气囊胎趾（气囊筋）厚度取13±0.5mm。

**例 2** $28\times1^1/_2$软边轮胎气囊设计。

已知：外胎内轮廓周长125mm；气囊断面周长119.05mm。

① 气囊断面伸张率$=\frac{125}{119.05}=1.05$

② 外胎内轮廓直径为686mm，取气囊成品外直径伸张1.03。

$$气囊成品外直径=\frac{686}{1.013}=677.2mm$$

③ 取气囊成品外直径与气囊模具的收缩比为1.022，求气囊模具外直径。

$$气囊模具外直径=677.2\times1.022=692mm$$

④ 气囊厚度与40-635($28\times1^1/_2$)硬边自行车轮胎气囊相同。

胶囊设计，硬边外胎除用气囊作为硫化时的工艺手段外，还可用胶囊来作为硫化时的工艺手段，胶囊是安装在定型硫化机上的。其功能与气囊相同，其优点：①使硫化工艺简化，省去硫化时装囊，剥囊工序；②外胎半成品硫化合模前装在胶囊上使其有一定型过程，使外胎各部分组成材料均匀（故该硫化机称为定型硫化机）；③可承载热载负压力介质（如过热水、过热蒸汽）对外胎进行双向加热硫化，可缩短硫化时间，提高生产效率，(见图2-3-30)。其具体计算方法与气囊相同，胶囊在压板内一部分长度及胎趾形状根据不同硫化机台要求不同而不同，视机台要求而设计。

胶囊面长度（a至b）与气囊胎趾到另一胎趾周长相等，定型硫化机合模后，其胶囊外直径与气囊外直径相等，厚度一般在4～6mm左右。

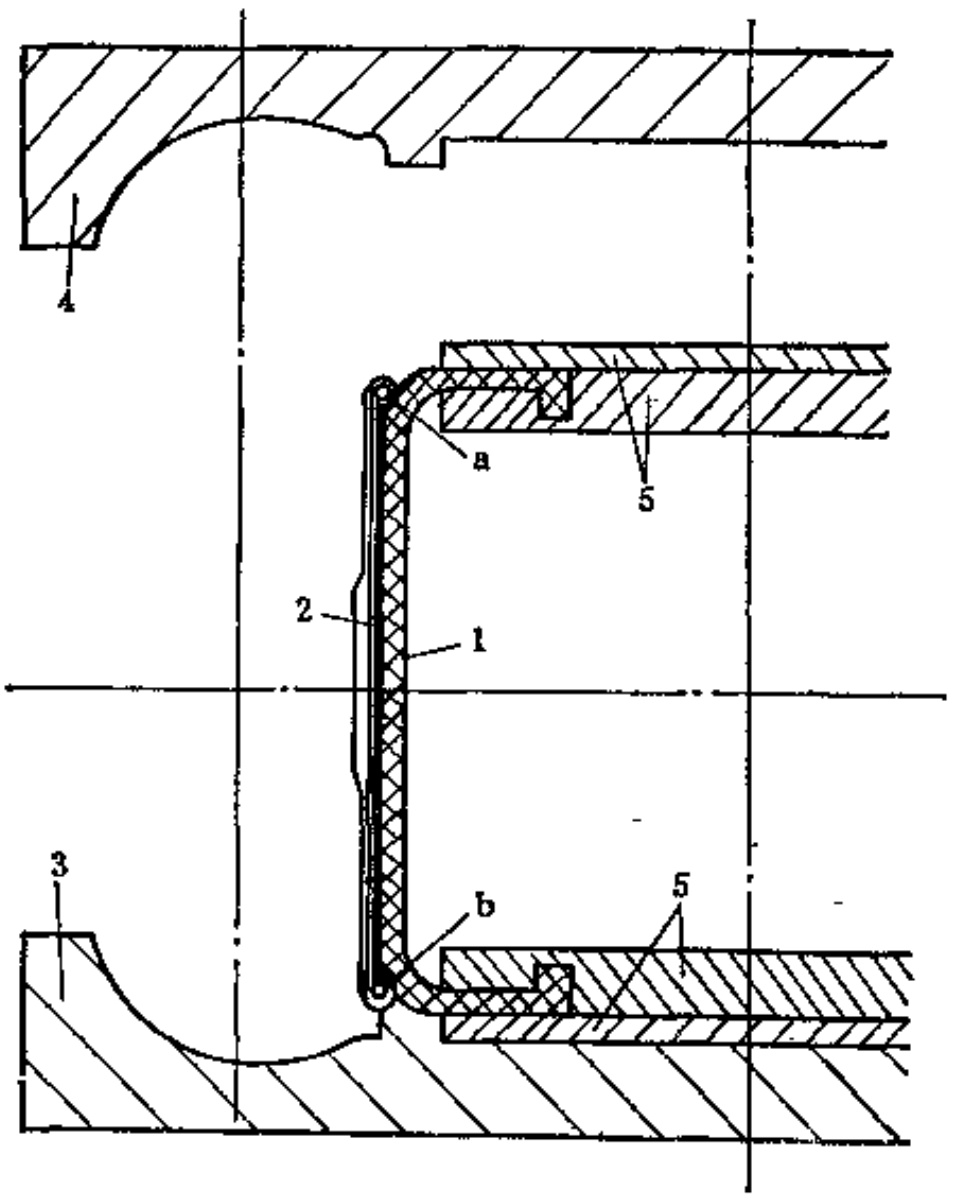



图 2-3-30 胶囊示意图

1—胶囊；2—半成品外胎；3—外胎下模；4--外胎上模；5—胶囊压板

# 第三节　力车轮胎施工设计

施工设计是在技术设计的基础上进行的，其任务是造取成型方法，设计成型鼓，绘制外胎材料分布图，制定外胎，内胎和气囊施工标准表。

## 一、力车轮胎的成型方法

### （一） 成型方法的选取

成型方法的选取，应综合技术设计要求、产品结构形式、成型工艺的简便、工序质量和生产效率、劳动强度等多方面因素来决定。

成型方法基本上有4种：（1）多层差级贴合法；（2）多层包边贴合法；（3）单层包叠法；（4）单层缠绕法。4种方法适用轮胎类型及成型条件如表2-3-25所列。

表 2-3-25　成型方法适用的轮胎类型及成型条件

| 成型方法 | 适用轮胎类型 | 成型鼓形式 | 成型鼓鼓面结构 |
|---|---|---|---|
| 多层差级贴合法 | 软边自行车轮胎<br>软边手推车轮胎 | 单鼓 | 平鼓式 |
| 多层包边贴合法 | 硬边手推车轮胎 | 单鼓 | 半鼓式 |
| 单层包叠法 | 硬边自行车轮胎 | 单鼓、双鼓 | 平鼓式 |
| 单层缠绕法 | 硬边自行车轮胎 | 双鼓 | 平鼓式 |

几种成型方法示意图见图2-3-31。

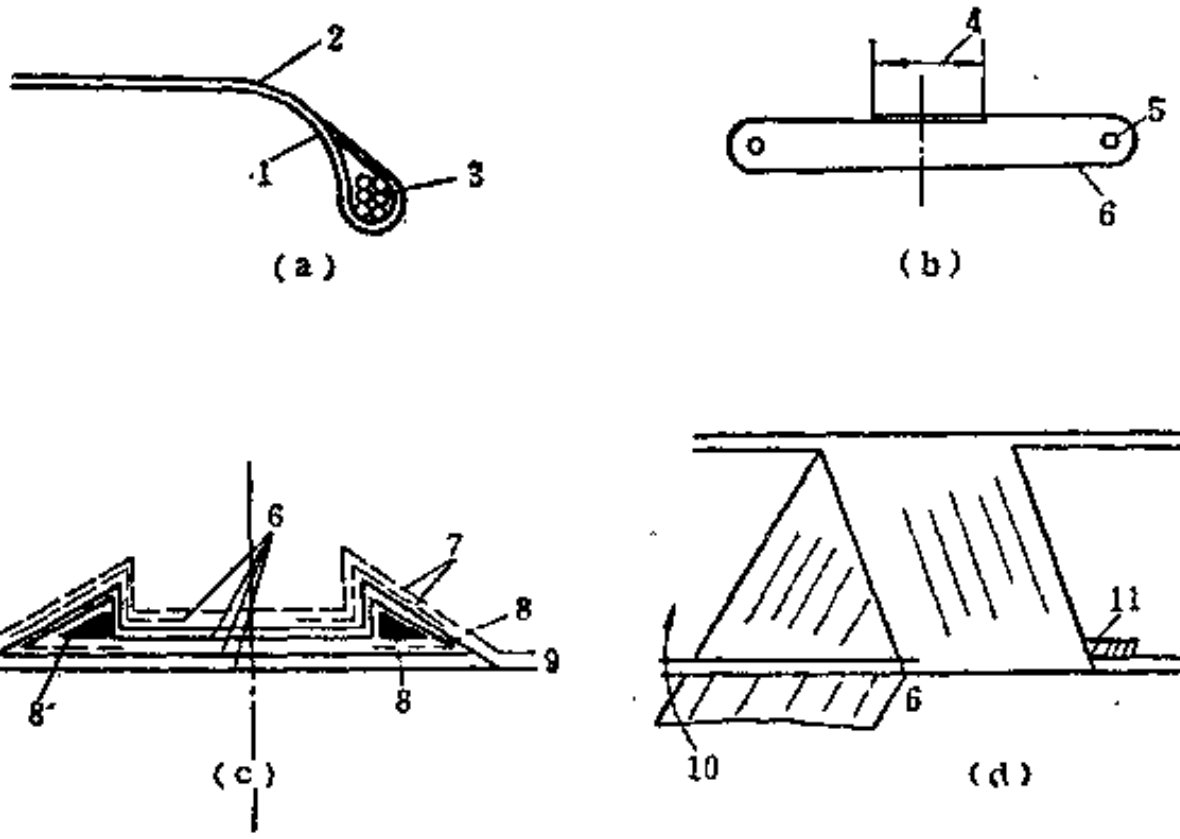



图 2-3-31　几种成型方法示意图

（a）包边式；（b）包叠式；（c）贴合法；（d）缠绕法

1—第一层帘布；2—第二层帘布；3—多根钢丝圈；4—帘布搭头宽度；5—钢丝；6—帘布；7—外包布；8—胶芯；9—座垫布；10—缠绕方向；11—帘布起点搭头

### （二） 成型鼓设计

成型鼓分单鼓及双鼓，其形式见图2-3-32。

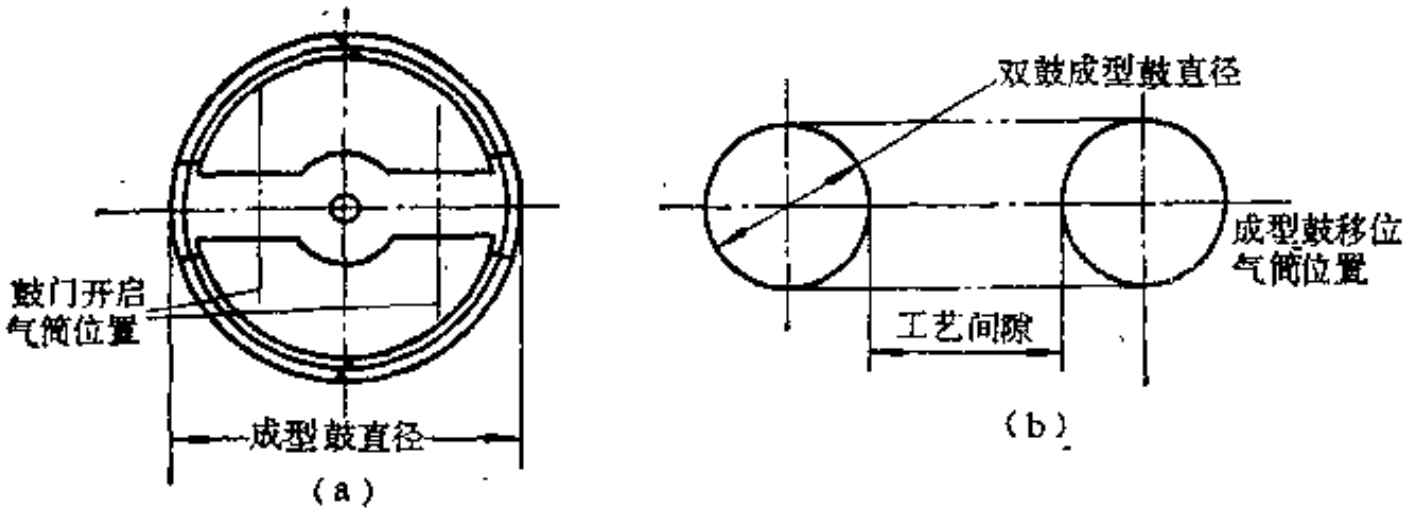



图 2-3-32 成型鼓示意图

(a) 单鼓成型鼓；(b) 双鼓成型鼓

1．成型鼓直径的确定

成型鼓直径$D_{鼓}$取决于该直径对外胎胎里直径的伸张值，成型方法，成品帘线角度，帘线假定伸长率和轮胎的骨架材料应力（轮胎的耐压系数）等。

（1）包叠式成型鼓直径的确定　硬边自行车轮胎用包叠成型方法时，成型鼓直径不论单鼓或双鼓，其直径均已确定，不需要再进行设计计算。如为单鼓，将钢丝圈的直径$D_n$即可作为单鼓成型鼓直径；如为双鼓，其双鼓直径的选择应考虑成型加工时，二鼓中间的空间间隔作为成型工艺间隔。

（2）缠绕式成型鼓直径的确定　硬边自行车轮胎的缠绕成型方法，只适用双鼓，主动成型鼓直径决定于帘布绕盘与成型鼓速比及帘布缠绕螺旋距离，缠绕成型机传动部分示意见图2-3-33。

缠绕成型机采用一个主动鼓和一个被动鼓，由电动机带动，将帘布缠绕在二根钢丝圈上，其主动鼓线速度与绕盘的线速度有关计算如下：

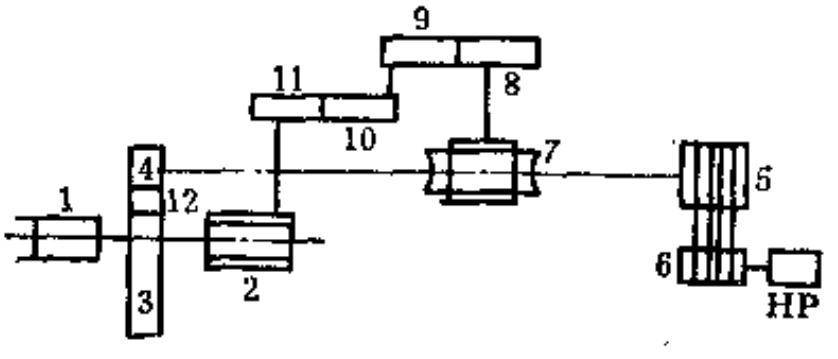



图 2-3-33　缠绕成型机传动部分示意图

1—被动鼓；2—主动鼓；3—绕盘$Z_3=159$；4—调节齿盘，$Z_4=60、66、72、78、84$；5—皮带盘$\phi240mm$；6—减速箱$\phi80mm$；7—齿轮，$Z_7=30$，$Z_{13}=3$；8—齿轮，$Z_8=31$；9—齿轮，$Z_9=31$；10—齿轮，$Z_{10}=35$；11—齿轮，$Z_{11}=37$；12—齿轮，$Z_{12}=95$

$$主动鼓转速\ B=n\cdot\frac{Z_{13}\cdot Z_{10}}{Z_7\cdot Z_{11}}$$

$$绕盘转速\ A=n\cdot\frac{Z_4}{Z_3}$$

式中　$n$——皮带盘输出转速。

$$主动鼓转速与绕盘转速比：\frac{B}{A}=\frac{Z_{13}\cdot Z_{10}\cdot Z_3}{Z_7\cdot Z_{11}\cdot Z_4}$$

$$设：A=1，\quad B=\frac{Z_{13}\cdot Z_{10}\cdot Z_3}{Z_7\cdot Z_{11}\cdot Z_4}$$

参照图2-3-33，已知各齿轮齿数，齿轮4的齿数$Z_4$有60、66、72、78、84等几种，作为调节用，将各齿数代入上式可求得主动鼓不同转速。

$$B_{60}=\frac{3\times35\times159}{30\times37\times60}=0.2507$$

$$B_{66}=\frac{3\times35\times159}{30\times37\times66}=0.2279$$

$$B_{72}=\frac{3\times35\times159}{30\times37\times72}=0.2089$$

$$B_{78}=\frac{3\times35\times159}{30\times37\times78}=0.1928$$

$$B_{84}=\frac{3\times35\times159}{30\times37\times84}=0.1791$$

绕盘转1圈需主动鼓周长转一个绕布螺旋距离$P$值，按下式计算。

$$A\cdot P=\pi\cdot D\cdot B$$ 设：$A=1$，则

$$D=\frac{P}{\pi\cdot B}$$

式中 $D$——主动鼓上二钢丝中心间直径，mm；（见图2-3-34）

$P$——绕布螺旋距离。

（3）包边式成型鼓直径的确定 硬边手推车轮胎采用包边式成型方法，使用单鼓、平鼓式成型鼓，见图2-3-35。成型鼓直径$D_{成}$计算如下：

$$D_{成}=D_1+2h$$

式中 $D_{成}$——半鼓式成型鼓直径；

$D_1$——钢丝圈内径；

$h$——鼓肩高度（一般取15～20mm）。

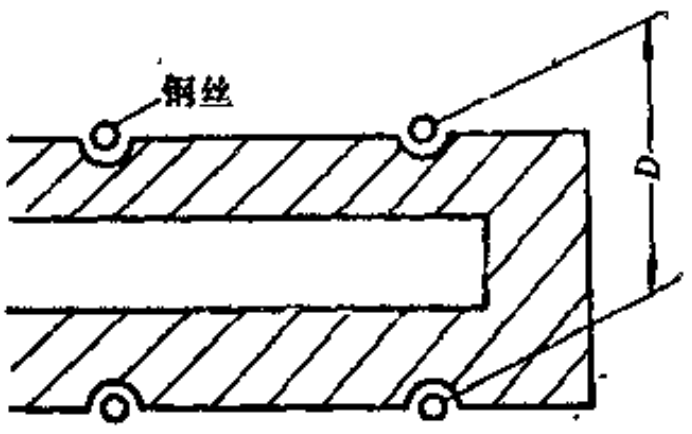



图 2-3-34 钢丝中心间直径示意图

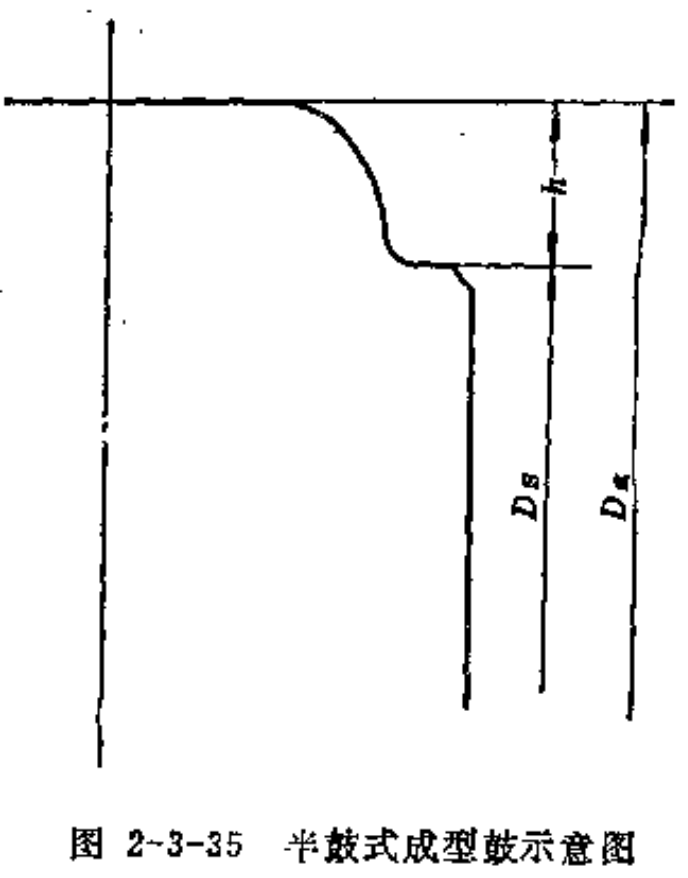



图 2-3-35 半鼓式成型鼓示意图

（4）贴合法成型鼓直径的确定 软边自行车轮胎及软边手推车轮胎均采用贴合法成型方法，使用单鼓、平鼓式成型鼓。

成型鼓直径选值偏小，则伸张值过大，将导致胎冠帘线角度增大，密度减小，造成轮胎骨架材料应力增加（轮胎耐压系数减小），使用中易产生帘线折断或胎体爆破；如果选取过大，则伸张值过小，导致胎冠帘线密过大，将降低帘布层之间的附着力，使用中易产生脱层现象，硫化后成品帘线弯曲，使用中轮胎胎体变大的缺陷。外胎胎里直径与成型鼓直径之比

值一般取1.10～1.20。在选定适当的比值后，即可按式（2-3-18）计算成型鼓直径$D_{成}$值。

$$D_{成}=\frac{D_内}{\delta} \tag{2-3-18}$$

式中 $D_{成}$——成型鼓直径，mm；

$D_内$——轮胎内轮廓胎里直径，mm；

$\delta$——外胎胎里直径与成型鼓直径之比值。取$\delta$=1.10～1.20。

2．成型宽度$B_1$值计算中有关数值的确定

（1）帘线假定伸张值$\delta_1$的选取　帘线假定伸张值$\delta_1$的选取应根据帘线的种类，帘布挂胶方法等因素来决定，取值的大小，要直接影响到轮胎弹性和使用性能。尤其采用尼龙帘布作骨架材料后，其假定伸张值是一个很重要的问题，$\delta_1$值与压延工艺的方法不同有很大关系。总的来讲，尼龙帘布的假定伸张值较棉帘线要小，而四辊压延机因为有较好的张力装置，其取值要比三辊压延机小，同样是三辊压延机，是否加张力装置，其伸张值也可有不同的值。

$\delta_1$值的选取应适当，如$\delta_1$值选取过小，可造成帘线伸张不足，产生帘线弯曲现象和使用中胎体变大，帘线易折断，胎体会因变形不足而造成扭曲状。

（2）帘布裁断角度$\alpha$的确定　裁断角度（见图2-3-36）是根据成品轮胎冠角度而定的，成品胎冠角度（见图2-3-37）一般选取18～52°，轻便自行车轮胎，如硬边（$26\times1\frac{3}{8}$，$27\times1\frac{1}{4}$等）一般选取45～48°。如果成品胎冠角度$\beta$选取过大，则轮胎骨架材料应力增大（轮胎耐压系数减小），同时断面宽度增大，造成轮胎上侧伸张力增大及胎冠剥离现象增加；反之，则充气外胎外直径膨胀增大，胎面呈伸张状态，不耐磨，不耐垫刺伤。

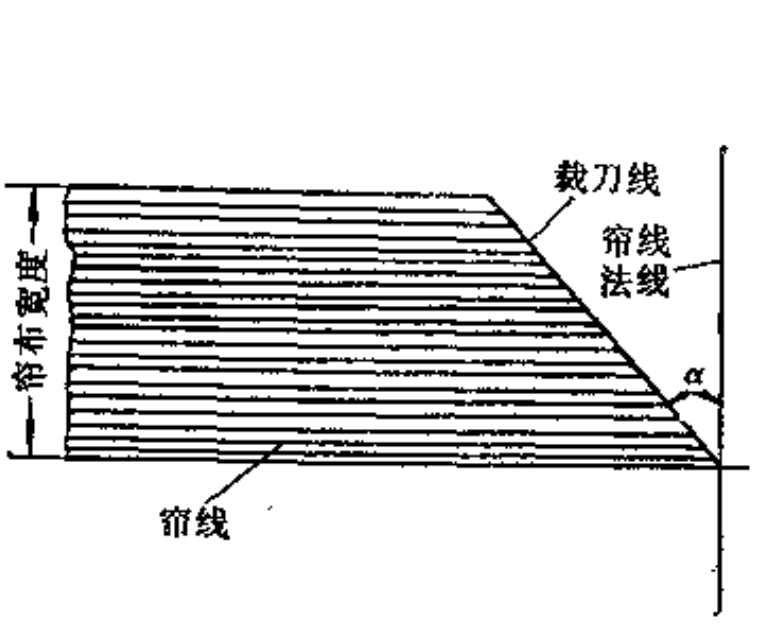



图 2-3-36　$\alpha$帘线裁断示意图

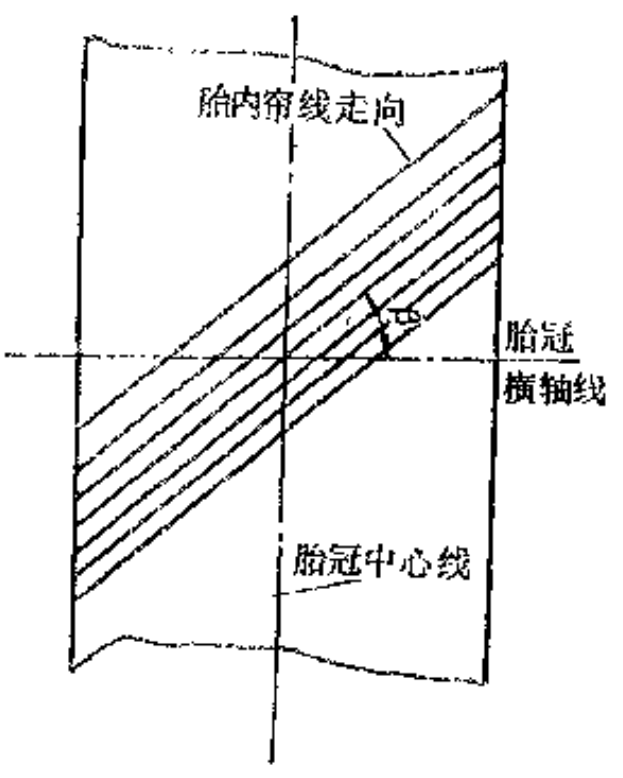



图 2-3-37　胎冠角度$\beta$示意图

（3）成型宽度$B_1$值计算及计算方法　按2:1的比例绘制外胎半面轮廓的材料分布图，将内轮廓曲线按4mm等分成小段，分至钢丝圈底部，再求出每4mm等分段弧长的平均直径，最后划出相应于第一层帘布筒直径的一条线（第一层帘布筒直径小于或等于成型鼓直径），每等分取中点（即每分段平均直径点处）到该线的距离即为从帘布筒展开成硫化外胎时

的伸张值（见图2-3-38和图2-3-39）。软边胎等分段弧长分到三角胶芯上部止，只计算两三角胶芯间成型宽度（另加胎耳宽度）。

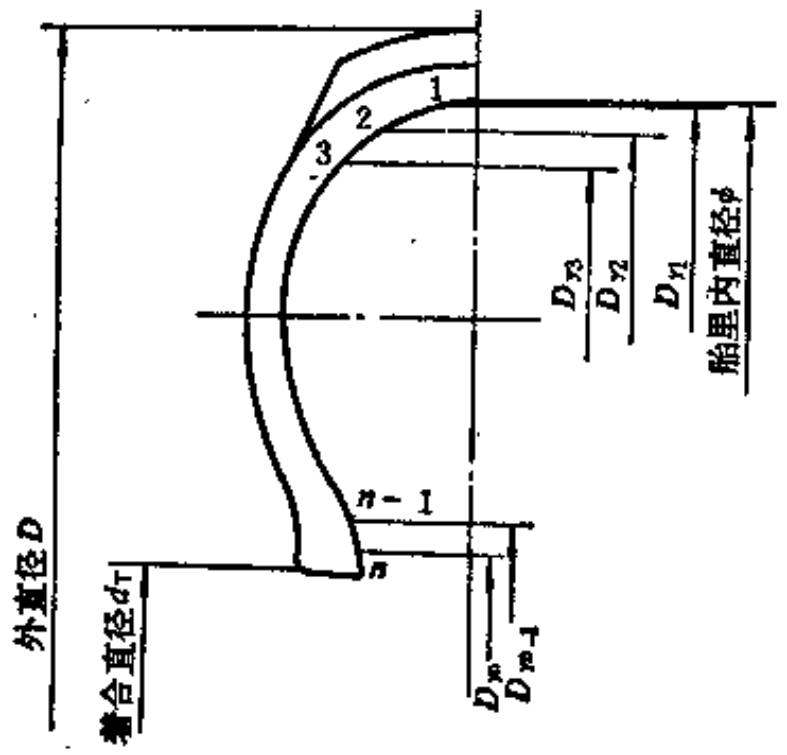



图 2-3-38 硬边$B_s$值计算图

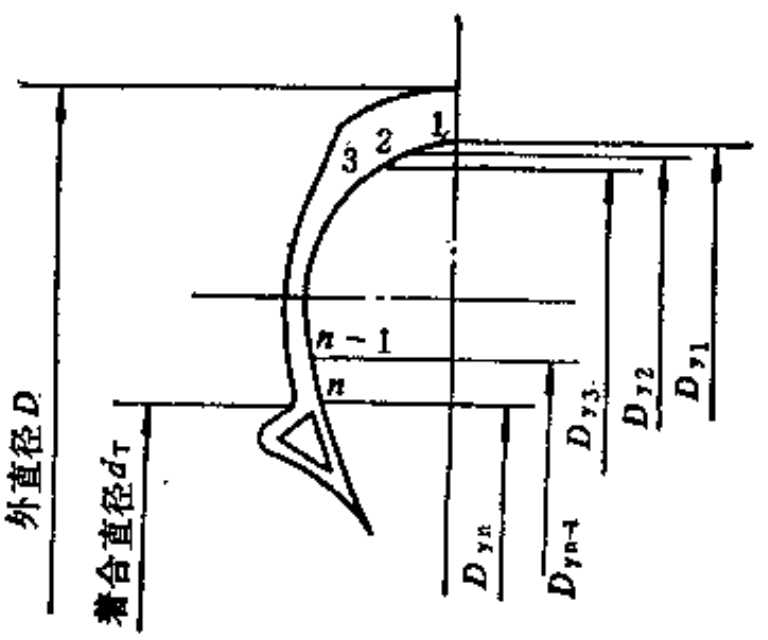



图 2-3-39 软边$B_s$值计算图

成型宽度按式（2-3-19）计算：

$$b_0=\frac{b\cdot\mathrm{ctg}\alpha}{\left[\frac{\delta_1^2}{\sin^2\alpha}-\delta_N^2\right]^{1/2}} \tag{2-3-19}$$

式中 $b_0$——成型鼓上相应于轮胎断面内轮廓每等分所需帘布宽度，mm；

$b$——轮胎胎里断面轮廓等分宽度，mm；

$\delta_N$——第一层帘布筒（或成型鼓）直径对轮胎胎里等分段平均直径之伸张值，

$$\delta_N=\frac{D_y}{D_0}；$$

$\alpha$——帘布裁断角度，(°)；

$\delta_1$——帘线假定伸张值。

应用式（2-3-20）计算出每分段半制品的宽度$b_0$，将所有的$b_0$相加即可算出构成硫化外胎内轮廓（硬边轮胎从一个钢丝圈底部至第一个钢丝圈底部的长度，软边轮胎二个三角间的长度）的第一层帘布筒宽度$B_s$。

$$B_s=2\Sigma b_0$$

为了计算和校正方便起见，应将计算数据列表显示。

例 40-635(28×1½) 硬边自行车轮胎$B_s$计算。

取$\alpha=45°$；$\delta_1=1.03$；$b=4$mm；第一层帘布筒或成型鼓直径$D_0=636$mm；$D_y$胎里等分段平均直径按图2-3-25中实际测量。列表2-3-26。

最后得出$\Sigma b_0=39.5257$mm，

$$B_s=2\Sigma b_0=2\times39.5257=79.05(\mathrm{mm})。$$

（4）成型鼓宽度$B$值确定 成型鼓宽度$B$值视采用的何种成型鼓鼓面而定。

表 2-3-26　40-635(28×1¹/₂)硬边自行车轮胎成型宽度计算

单位：mm

| 序号 | $D_r$ | $\delta_N=\frac{D_r}{D_0}$ | $\delta_N^2$ | $b$ | $b\cdot ctg\alpha$ | $\frac{\delta_1^2}{\sin^2\alpha}$ | $\left[\frac{\delta^2_1}{\sin^2\alpha}-\delta^2_N\right]^{1/2}$ | $b_0=\frac{b\cdot ctg\alpha}{\left[\frac{\delta_1^2}{\sin^2\alpha}-\delta_N^2\right]^{1/2}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 701 | 1.1022 | 1.2148 | 1 | 1 | 2.1218 | 0.9524 | 1.05 |
| 2 | 700.9 | 1.1020 | 1.2145 | 2 | 2 | 2.1218 | 0.9525 | 2.0997 |
| 3 | 700.76 | 1.1018 | 1.2139 | 2 | 2 | 2.1218 | 0.9528 | 2.0990 |
| … | …… | …… | …… | | | | | |
| $n-1$ | 670.6 | 1.0544 | 1.1118 | 2 | 2 | 2.1218 | 1.005 | 1.99 |
| $n$ | 669.6 | 1.0528 | 1.1085 | 2 | 2 | 2.1218 | 1.0066 | 1.987 |

a．平鼓式成型鼓

（a）软边轮胎采用层贴法成型，成型鼓鼓面是平的（见图 2-3-40），即成型鼓宽度$B$按式（2-3-21）计算。

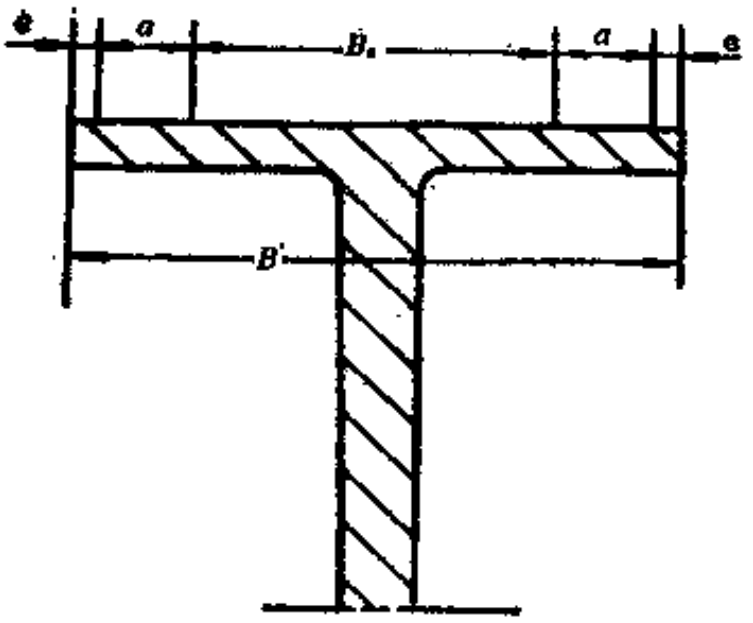



图 2-3-40　软边轮胎平鼓鼓面示意图

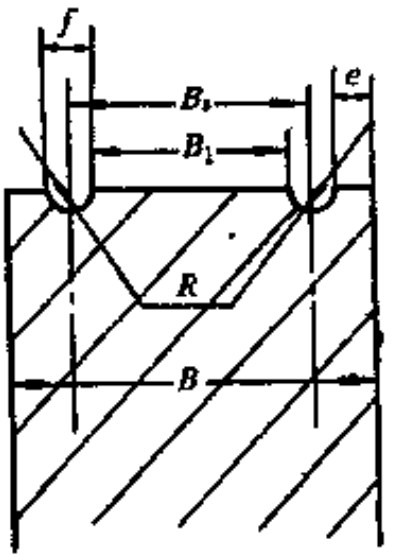



图 2-3-41　硬边轮胎平鼓鼓面示意图

$$B=B_s+2(a+e) \tag{2-3-20}$$

式中　$B$——成型鼓宽度，mm；

$B_s$——软边轮胎二个三角胶芯间成型宽度，mm；

$a$——软边轮胎胎耳宽度，mm；

$e$——成型鼓鼓面余量宽度（任选），mm。

（b）硬边自行车轮胎采用的平鼓式成型鼓，应有二根钢丝槽，其成型鼓（见图2-3-41）宽度$B$按式（2-3-21）计算。

$$B=B_1+2(f+e) \tag{2-3-21}$$

式中　$B$——成型鼓宽度，mm；

$f$——钢丝槽宽度，mm；

$e$——成型鼓鼓面余量宽度（任选），mm；

$B_1$——两钢丝圈间宽度，mm。

$$B_1=B_s-2\cdot\frac{\pi R}{2}=B_s-\pi R$$

式中 $B_s$——从一个钢丝圈底部至另一个钢丝圈底部的成型宽度，mm；

$R$——钢丝圈半径，mm。

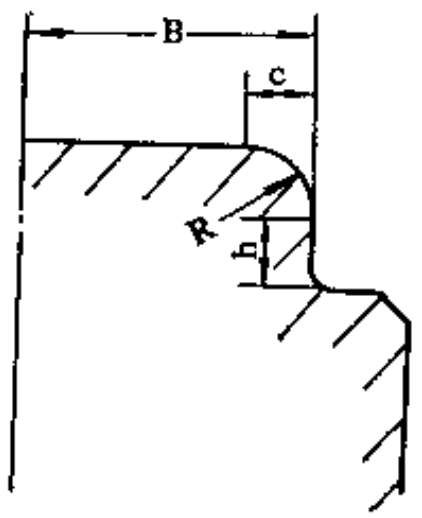



图 2-3-42 半鼓式成型鼓鼓面示意图

b．半鼓式成型鼓 硬边手推车轮胎成型采用半鼓式成型鼓（见图2-3-42）成型鼓宽度$B$按式（2-3-22）计算。

$$B=B_s-2\left(\frac{\pi R}{2}+h\right)+2C \qquad (2-3-22)$$

式中 $B$——成型鼓宽度，mm；

$R$——鼓肩过渡圆半径，mm；

$h$——成型鼓肩高，mm；

$C$——鼓面至鼓肩曲线部分宽度，mm。

## 二、未硫化外胎材料分布图的绘制

成型鼓轮廓设计及其宽度计算结束后，就可着手绘制2:1，3:1，或4:1的未硫化外胎的材料分布图（见图2-3-43和图2-3-44），该图要绘制在成品外胎材料分布图的同一张图纸上。

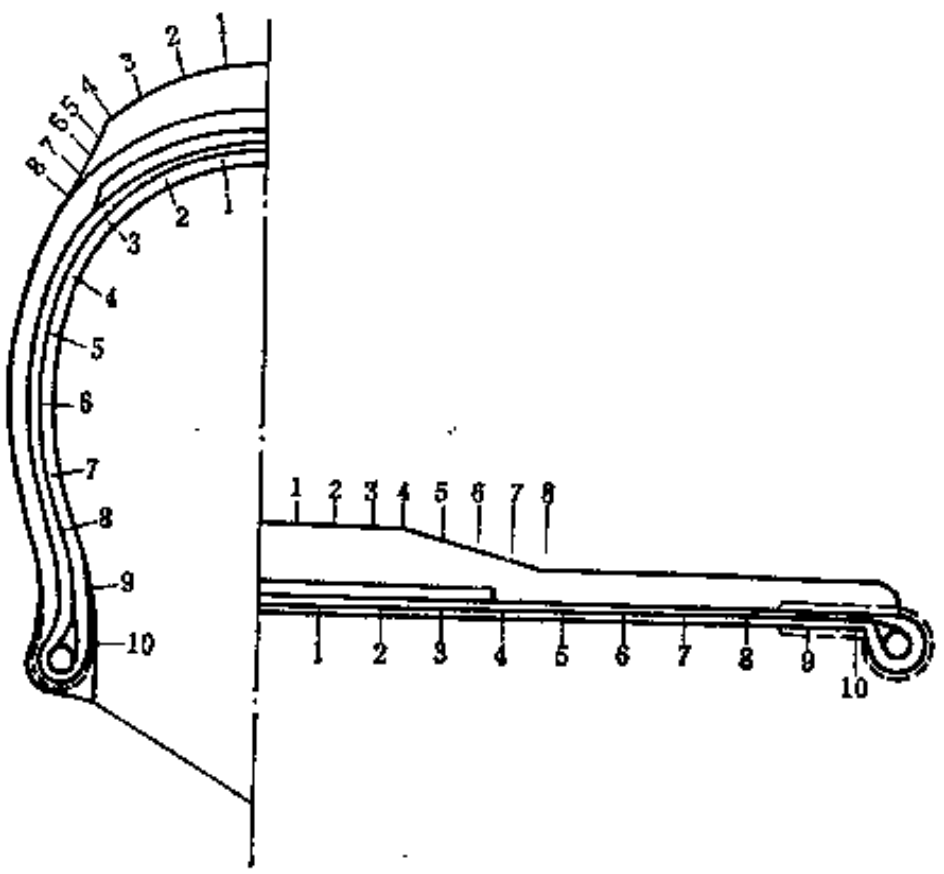


图 2-3-43 硬边轮胎未硫化外胎中材料分布图

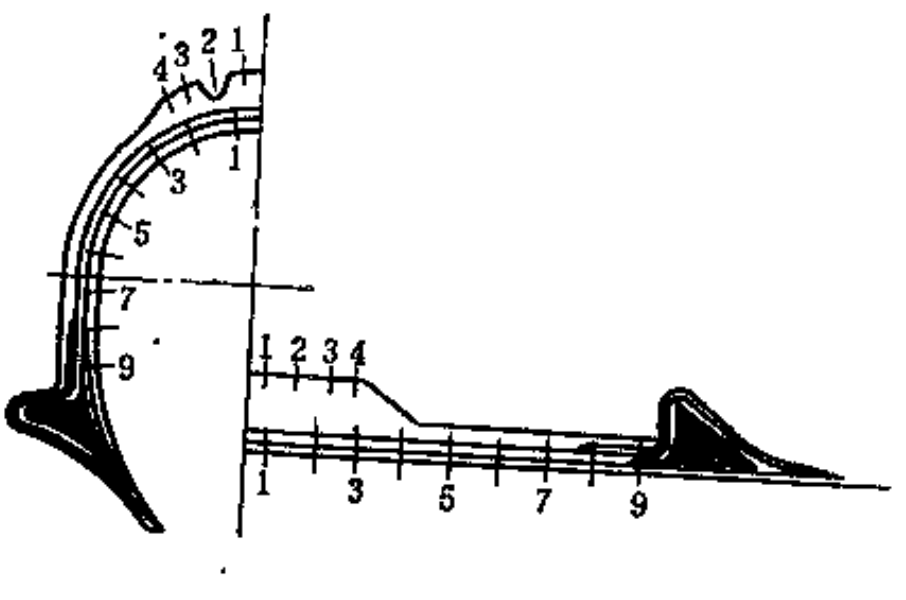


图 2-3-44 软边轮胎未硫化外胎中材料分布图

在图纸上应首先绘出已确定的成型鼓轮廓，然后在该轮廓上按顺序自第一层帘布起，根据各未硫化部位的厚度，从成品外胎各部位的边缘位置，按外胎分段换算成等分段，在成型鼓上分段点，逐点移绘出未硫化外胎的所有部位厚度。所以未硫化部位厚度在技术设计中，确定内轮廓时已经选取。

## 三、施工尺寸的确定

1．外胎半成品施工尺寸的确定

根据未硫化外胎材料分布图，确定外胎各部件的半制品规格。

（1）帘、帆布规格及挂胶厚度，成型鼓尺寸，帘帆布裁断角度，胎面宽度，三角胶芯形状尺寸（软边轮胎），钢丝圈规格和尺寸（硬边轮胎）等，根据技术设计，施工设计和工艺要求选取并可先记入外胎施工工艺标准表中。

（2）帘布宽度确定　帘布宽度按不同成型方法进行选取。

a．包叠法成型帘布宽度确定　硬边自行车外胎包叠法成型，宽度为在施工设计中已确定的成型宽度$B_1$值的两倍，然后再加搭头宽度，包叠后的搭头宽度一般控制在20～25mm左右。

b．包边法成型帘布宽度确定　硬边手推车轮胎采用包边法，帘布的包边形式基本上有3种，见图2-3-45。

帘布宽度选取为成型宽度$B_1$再加上2倍包布宽度。

c．缠绕法成型帘布宽度确定　硬边自行车轮胎用缠绕法成型，由于其成型方法的特性（见图2-3-46），帘布宽度及长度计算方法如下。

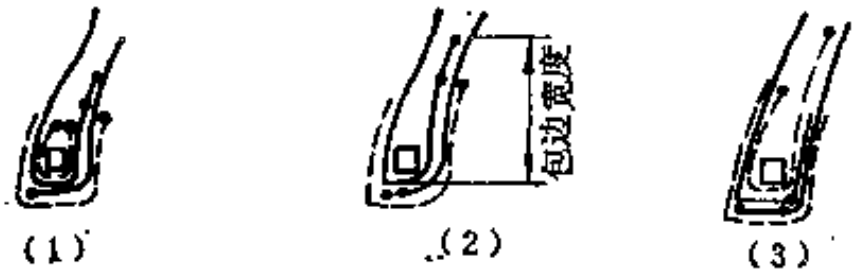



图 2-3-45　包边法结构形式

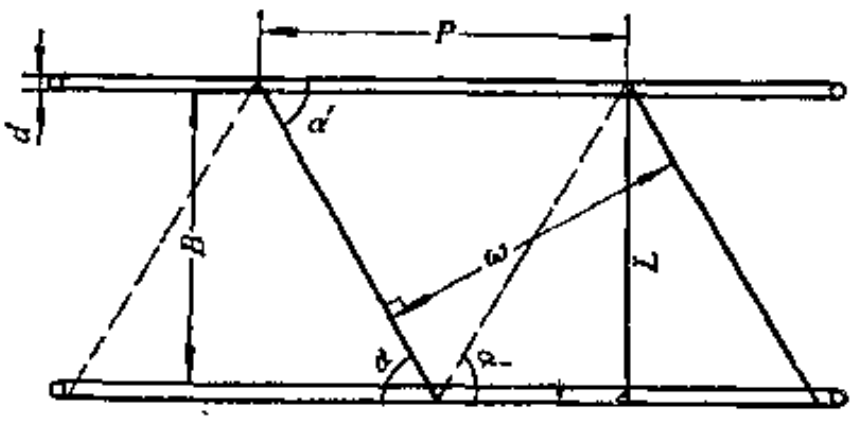



图 2-3-46　缠绕成型示意图

帘布长度的确定：绕布螺旋距离$P$值按式（2-3-23）计算。

$$P=\frac{2L}{\mathrm{tg}\alpha'} \qquad (2\text{-}3\text{-}23)$$

式中　$P$——绕布螺旋距离，mm；

$\alpha'$——缠绕角度，(°)($\alpha'=90°-\alpha$，$\alpha$——帘布裁断角度)；

$L$——计算长度，mm。

$$L=B+(d_1+t)\pi \qquad (t\text{——帘布层长度})$$

然后按式（2-3-24）计算成型缠绕段数$M$：

$$M=\frac{L_1}{P} \qquad (2\text{-}3\text{-}24)$$

式中　$M$——缠绕段数；

$L_1$——钢丝圈周长，mm；

$P$——缠绕螺旋距离，mm。

若所求$M$值不是整数，应取$M$值为整数，再按已知的段数$M$修正$P$值，以$P$值来修整$\alpha'$，最后根据$\alpha=90°-\alpha'$来修整帘布裁断角度。

通过上二式计算最终来计算帘布裁断长度$L'$，按式（2-3-25）。

$$L'=2M\cdot\frac{L}{\sin\alpha'}+l \qquad (2\text{-}3\text{-}25)$$

式中 $L'$——帘布裁断长度，mm；

$M$——缠绕段数；

$L$——计算长度，mm；

$\alpha'$——缠绕角度，(°)；

$l$——帘布搭头长度（一般为25～30mm），mm。

帘布裁断宽度$\omega$值的确定（按式（2-3-26））。

$$\omega = P \cdot \sin\alpha' + l' \tag{2-3-26}$$

式中 $\omega$——帘布裁断宽度，mm；

$P$——绕布螺旋距离，mm；

$\alpha'$——缠绕角度，(°)；

$l'$——绕布搭叠宽度（一般为4～6mm）。

d．层贴法成型帘布宽度确定　软边自行车轮胎和软边手推车轮胎帘布宽度以成型宽度$B_s$值加上两倍的胎耳部分帘布宽度，其在胎耳部分材料分布图，见图2-3-47。

二层帘布的轮胎应将帘布包过胶芯，外包布高度为6～10mm；四层帘布的轮胎，其第2层与第3层应达到胶芯的下尖端，第1层与第4层应包过胶芯下尖端，并需有差级，外包布高度为10～14mm，二层包布间应有2mm以上的差级。

一般软轮边胎的胎耳边宽度：$2^1/_2$in断面胎耳宽度不低于27mm；$1^1/_2$in断面胎耳边宽度不低于18mm，见图2-3-48。

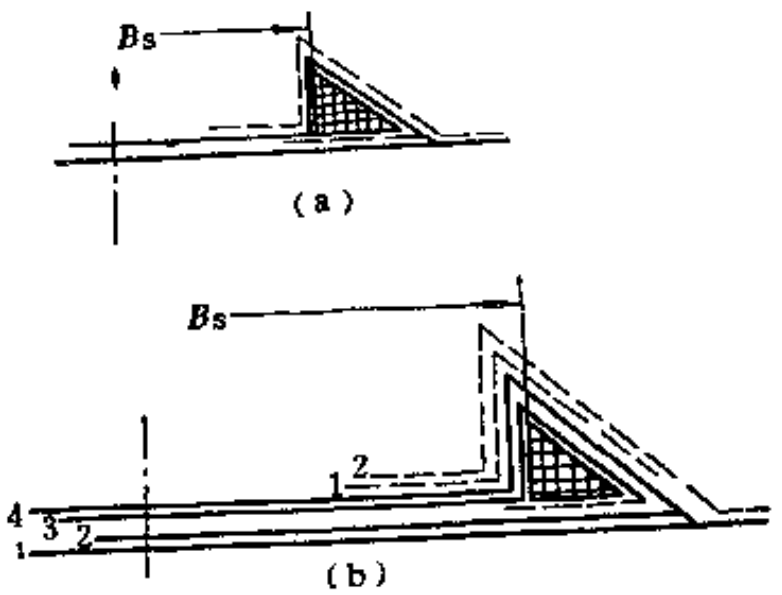



图 2-3-47　软边轮胎材料分布图

（a）二层帘布；（b）四层帘布

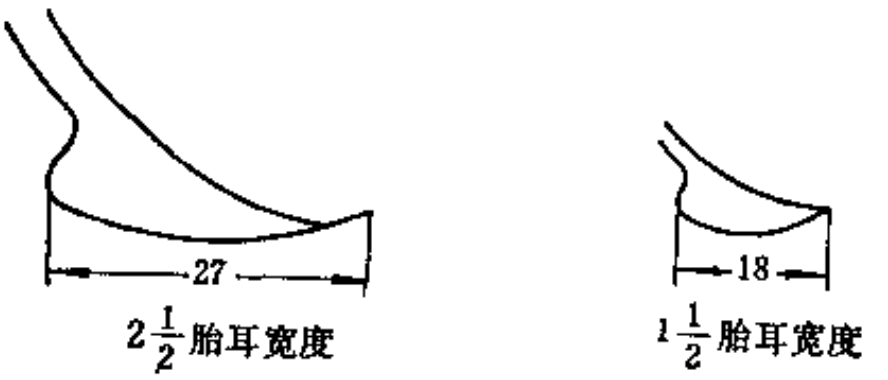



图 2-3-48　胎耳部示意图

以上各成型方法所定帘布宽度，根据工艺因素进行适当调整后，即为所确定的帘布实际宽度。细布，帆布宽度由未硫化外胎材料分布图上直接测量确定。

（3）各部件长度的确定方法　一般情况下根据成型鼓直径，先确定各部件长度，再在实际生产中测定调整各部件的长度，最后确定各部件的实际长度。各部件半制品重量可在长度、宽度、厚度确定下按其密度通过计算得出或在实际生产中测定校正后确定。将上述确定的各种数据也记入外胎施工工艺标准表中。

2．内胎半成品施工尺寸的确定

内胎半成品的厚度应根据成品厚度的技术要求及硫化时断面伸张大小来确定，其伸张率大小应考虑设备类型，胶料配方和制造方法等。具体伸张数值应结合生产实际来确定，当采

用模型硫化时，伸张率一般在5～20%左右。

$$\text{内胎半成品厚度}=\frac{\text{成品要求厚度}}{(1-\text{伸张率})}$$

内胎半成品平叠宽度，是根据成品平叠宽度的要求，结合具体生产实际情况来确定，一般采取略小于成品宽度1～3mm，对内外直径比值大的内胎采用较大的数值。

内胎半成品成型长度是根据半成品硫化成成品时，内、外周长的伸长率来确定，其大小选择与厚度伸长率相同。

内胎半成品成型长度＝硫化模型外直径×π×(1－伸长率)

内胎半成品重量可按下式确定：

内胎半成品重量＝双层平叠断面积×长度×密度。

内胎半制品用挤出机挤出成型时，其口型可见表2-3-27。

表 2-3-27　内胎断面宽度与压出口型尺寸关系表

| 内胎规格，in | 压出平叠宽度 mm | 压出口型直径 mm | 内胎规格，in | 压出平叠宽度 mm | 压出口型直径 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| 1¼ | 33±1 | 16 | 2 | 52±1 | 25.5 |
| 1⅜ | 39±1 | 18.5 | 2½ | 65±1 | 32 |
| 1½ | 44±1 | 21 | 3 | 80±1 | 40 |
| 1¾ | 51±1 | 22.5 | | | |

从上表可知，内胎压出平叠宽度与压出口型直径比值在2.0～2.3之间。

在内胎半成品的规格要求确定后，即可制定内胎施工标准表。

3．垫带施工尺寸

垫带施工尺寸参照垫带技术设计进行

4．气囊半成品施工尺寸的确定

气囊半成品规格应较气囊成品规格（无论是气囊断面周长，或气囊外周长）小一些，气囊的施工尺寸可按下列式子计算，再在实际生产中调整。

气囊半成品断面周长＝气囊模具断面周长×(1－伸张率)

气囊半成品外直径周长＝硫化模型外直径×π×(1－伸张率)

其断面周长的伸张率一般取3～5%，气囊周长的伸张率一般取2～6%。

气囊和其半制品的胎壁厚度，一般以经验方法来确定，其具体要求见气囊技术设计。外胎断面宽在2in以下的，气囊胎壁厚度为6～8mm，2in以上的，气囊胎壁厚度为8～10mm，气囊胎趾部分（气囊筋）厚度要比胎壁厚度大。

气囊半成品重量一般按成品实际重量来确定，也可计算其体积再乘上密度来求出，气囊的压出口型与气囊模具尺寸的关系可见表2-3-28。

在气囊半成品规格确定后，就可制定气囊施工标准表。

我国力车轮胎主要生产厂家的40-635(28×1½)硬边自行车轮胎和28×1½软边加重轮胎主要参数表见附录。

表 2-3-28　气囊压出口型与模具尺寸的关系

| 规格，in | | 26×1¹/₂软边外胎 | 28×1¹/₂软边外胎 | 40-636(28×1¹/₂)硬边外胎 |
|---|---|---|---|---|
| 压出口型尺寸 | 胎身直径，mm | 44 | 29 | 28 |
| | （加强筋）胎趾半径，mm | 24 | 15.5 | 18 |
| | （加强筋）胎趾宽度，mm | 21 | 15.5 | 18 |
| | 断面周长，mm | 178 | 118 | 110 |
| | 成型长度，mm | 1860 | 2030 | 2100 |
| 模具尺寸 | 外直径，mm | 651 | 687 | 705 |
| | 内直径，mm | 622 | 592 | 637 |
| | 断面宽，mm | 54 | 30 | 30 |
| | 断面周长，mm | 186 | 123 | 114.2 |
| 断面周长伸张值 | | 1.045 | 1.043 | 1.038 |

# 附　录

## 1. 我国主要力车轮胎生产厂家40-635 (28×1¹/₂) 硬边自行车轮胎主要参数表

| 厂号 | $S$ | $D$ | $d_T$ | $H$ | $H_1$ | $H_2$ | $C$ | $b$ | $h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 35 | 715 | 634 | 40.5 | 19.25 | 21.25 | 31.5 | 20 | 3.5 |
| B | 34.7 | 715.5 | 634.6 | 40.5 | 19 | 21.5 | 30 | 21 | 3.5 |
| C | 34.6 | 717 | 634.1 | 41.5 | 19.5 | 22 | 30 | 20 | 4 |
| D | 35.6 | 716 | 634 | 41 | 19 | 22 | 32 | 22 | 4 |
| E | 35 | 714.5 | 634 | 40.25 | 19 | 21.25 | 26 | 20.5 | 4.3 |

| 厂号 | $R_n$ | $R_1$ | $R_2$ | $H/S$ | $H_1/H_2$ | $C/S$ | $b/S$ | $h/H$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 16 | 19 | 50 | 1.159 | 0.906 | 0.899 | 0.57 | 0.09 |
| B | 15.08 | 27.5 | 29.5 | 1.167 | 0.884 | 0.873 | 0.61 | 0.09 |
| C | 14.5 | 17.25 | 35 | 1.203 | 0.886 | 0.87 | 0.58 | 0.1 |
| D | 20 | 9.25 | 28 | 1.155 | 0.86 | 0.9 | 0.62 | 0.1 |
| E | 17 | 9 | 50 | 1.15 | 0.89 | 0.743 | 0.59 | 0.1 |

## 2. 我国主要力车轮胎生产厂家 28×1¹/₂ 软边加重自行车轮胎主要参数表

| 厂号 | $S$ | $D$ | $d_T$ | $H$ | $H_1$ | $H_2$ | $C$ | $b$ | $h$ | $R_n$ | $R_1$ | $R_2$ | $H/S$ | $H_1/H_2$ | $C/S$ | $b/S$ | $h/H$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 37 | 698 | 626 | 36 | 13 | 23 | 35 | 21 | 3 | 20.5 | 17.6 | 24 | 0.973 | 0.565 | 0.946 | 0.568 | 0.08 |
| B | 37 | 703 | 628 | 37.6 | 14 | 23.5 | 34 | 22.5 | 3.6 | 17.85 | 24.7 | 37 | 1.014 | 0.596 | 0.919 | 0.61 | 0.1 |
| C | 38 | 704 | 626 | 39 | 14 | 25 | 34.6 | 21.5 | 4.15 | 17 | 21 | 90 | 1.026 | 0.56 | 0.907 | 0.566 | 0.11 |
| D | 37 | 697 | 629 | 34 | 13.5 | 20.5 | 37 | 21.5 | 3 | 16.5 | 22 | 55 | 0.920 | 0.659 | 1 | 0.581 | 0.09 |
| E | 38 | 701 | 627 | 37 | 14 | 23 | 33.5 | 20 | 3.4 | 16 | 24 | 46.5 | 0.974 | 0.609 | 0.88 | 0.526 | 0.09 |

## 3. 外胎施工标准表 I

规格28×1¹/₂　层数2　类型软边普通自行车轮胎　制表日期　年　月　日

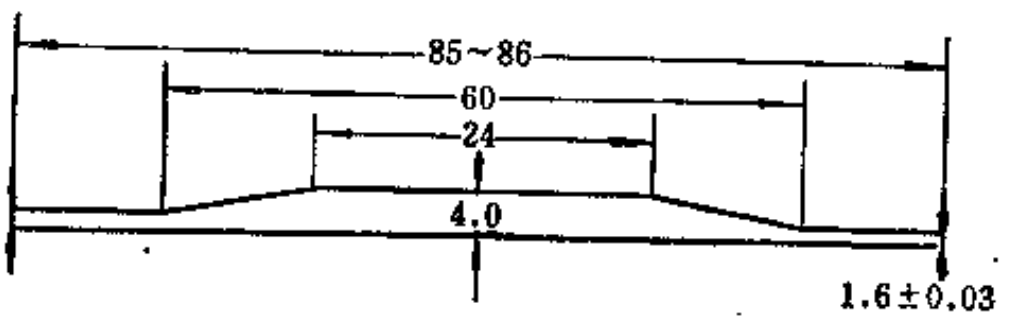
**胎身帘布**

| 帘布规格 | 层次 | 裁断角度 | 胶号 | 厚度 | 公差 | 宽度 | 公差 | 长度 | 公差 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1260den/1 90133尼龙 | 1 | 45±1° | | 0.70 | ±0.05 | 122 | ±2.6 | 1905 | ±6 |
| 1260den/1 90133尼龙 | 2 | 45±1° | | 0.70 | ±0.05 | 128 | ±2.5 | 1910 | ±5 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

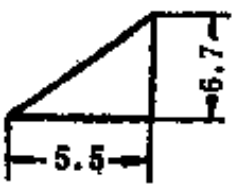
**胎耳包布**

| | 布类规格 | 层次 | 裁断角度 | 胶号 | 厚度 | 公差 | 宽度 | 公差 | 长度 | 公差 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外包布 | 2×2帆布 | 1 | 45±1° | | 0.60 | ±0.05 | 35 | 1.5 | 1865 | ±5 |
| 内包布 | 1×1细布 | 1 | 90° | | 0.50 | ±0.05 | 14 | 1 | 1938 | ±5 |
| | | | | | | | | | | |

| | |
|---|---|
| 胎面胶号 | |
| 胎面长度 | 1910 |
| 胎面重量 | 0.450±0.010 |




| 胎圈结构 | | |
|---|---|---|
| | 胶芯胶号 | |
| | 胶芯长度 | 1880 |
| | 胶芯重量 | 0.160±0.01 |




**钢丝圈**

| 钢丝 | 钢丝规格 | 钢丝直径 | 钢丝长度 | 钢丝根数 | 钢丝胶号 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

| 压出钢丝半硫化条件 | 直接蒸汽压力 | 风压 | 硫化时间 | 说明 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

**补充说明**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 成型圈直径 | 609±0.5　定型直径662 | 成型圈宽度 | 120，三角间距84±1 |
| 生坯重量 | 0.990±0.020 | 采用原因 | |
| 材料分布图编号 | | 原始根据 | |

**硫化条件**

| 蒸汽压力 kPa(kgf/cm²) | | 内压 MPa(kgf/cm²) | 硫化时间 min |
|---|---|---|---|
| 春冬637(6.5) | 夏秋588(6.0) | 1.42(14.5) | 12 |

备注：长度单位：mm　重量单位：kg

生产日期　年　月　日至　年　月　日　施工表编号

技术科　　校对　　制表

## 4. 外胎施工标准表 Ⅱ

规格40-635(28×1¹/₂)　层数2　类型硬边自行车轮胎　制表日期　年　月　日

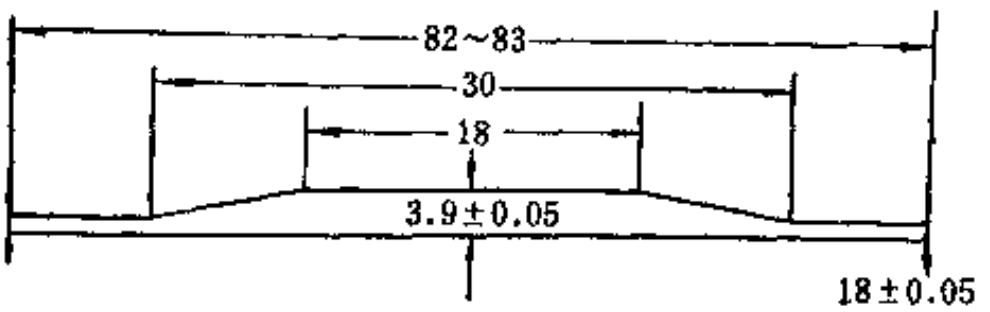
**胎　身　帘　布**

| 帘布规格 | 层次 | 裁断角度 | 胶号 | 厚　度 | 公　差 | 宽　度 | 公　差 | 长　度 | 公　差 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1260den/1 9@133尼龙 | 2 | 45±1° | | 0.70 | ±0.05 | 208 | ±2.5 | 2000 | ±5 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

**胎　耳　包　布**

| | 布类规格 | 层次 | 裁断角度 | 胶号 | 厚度 | 公　差 | 宽　度 | 公　差 | 长　度 | 公　差 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外包布 | 2×2帆布 | 1 | 90° | | 0.50 | ±0.05 | 24 | ±1 | 2020 | ±5 |
| 内包布 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

| | |
|---|---|
| 胎面胶号 | |
| 胎面长度 | 2000 |
| 胎面重量 | 0.420±0.010 |




| 胎圈结构 | | |
|---|---|---|
| | 胶芯胶号 | |
| | 胶芯长度 | |
| | 胶芯重量 | |

**钢　丝　圈**

| 钢　丝 | 钢丝规格 | 钢丝直径 | 钢丝长度 | 钢丝根数 | 钢丝胶号 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 14号 | 2.1 | 1998±0.5 | 2 | |

| 冷轧套管 | 滚齿长度 | 滚齿后外直径 | 套管长度 | 套管直径 | 压模槽直径 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 5~6 | ≥2.43 | 13±0.5 | 4.0~4.1 | 3.5~3.6 |

**补　充　说　明**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 成型圈直径 | 638.7 | 成型圈宽度 | $B_z$=79±0.5 |
| 生坯重量 | 0.860±0.020 | 采用原因 | |
| 材料分布图编号 | | 原始根据 | |

| 硫　化　条　件 | | | 备注 | 长度单位：mm 重量单位：kg |
|---|---|---|---|---|
| 蒸汽压力 kPa/(kgf/cm²) | 内　压 MPa(kgf/cm²) | 硫化时间 min | | |
| 春冬637(6.5) 夏秋588(6.0) | 1.42(14.6) | 12 | | |

生产日期　年　月　日至　年　月　日　施工表编号

技术科　　校对　　制表

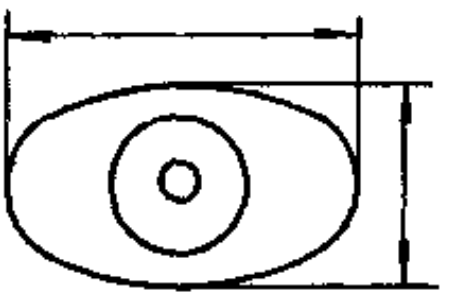
## 5. 内胎施工标准表

规格40-635(28×1¹/₂)　　类型自行车内胎　　制表日期　　年　月　日

| 内胎胶管　　胶号: | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 单层厚度 | 公差 | 平叠厚度 | 公差 | 长度 | 公差 | 重量 | 公差 |
| 压出工序 | 1.30 | ±0.05 | 43.5 | ±1 | 2175 | ±10 | 267 | ±5 |
| 成型工序 | 1.30 | ±0.05 | 43.5 | ±1 | 2085 | ±10 | 267 | ±6 |
| 成品 | 平叠厚度 | 公差 | 平叠宽度 | 公差 | 平叠长度 | 公差 | 重量 | 公差 |
| 不低于 | 2.0 | | 45 | ±2 | 1020 | ±10 | 267 | ±6 |
| 成品搭头宽度 | | | 气门嘴搭头距离 | | | | | |

内胎垫片

| | 胶垫片 | 布垫片 |
|---|---|---|
| 胶号 | | |
| 布规格 | | 细布、1×1维细布 |
| 厚度 | 0.7 | 0.4　0.5 |
| 宽度 | 30 | 25　20 |
| 长度 | 65 | 50　20 |



补充说明

| 内胎模具 | | 压出口型直径 | 19.2 |
|---|---|---|---|
| 模子外径 | 694 | 压出芯直径 | |
| 模子内径 | 634 | 气门嘴孔直径 | 6 |
| 断面直径 | 30 | 原始根据 | |

备注
长度单位: mm 重量单位: kg
硫化条件:
蒸汽压力657kPa(6.7kgf/cm²)

生产日期　　年　　月　　日　　施工表编号

生产组　　校对　　制表

## 6. 气囊施工标准表 I

规格 $28\times1^{1}/_{2}$B/E　　胶管胶号　　制表日期：　　年　月　日

| 工序 | 项目 / 部位 | 厚度 | 公差 | 长度 | 公差 | 重量 | 公差 | 断面周长 | 公差 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 出料 | 胎身部 | 8 | ±0.5 | 2120 | +50 | | | 110 | ±2 |
| | 配根部 | 10 | ±0.5 | | | | | | |
| 成型 | 胎身部 | 8 | ±0.5 | 2020 | ±10 | 1.950 | ±0.05 | 110 | ±2 |
| | 配根部 | 10 | ±0.5 | | | | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 胶管接头斜度 | 60～65° | 气门嘴与接头距离 | 380±10 | |
| 压出口型尺寸 | 胎身直径 $D$ | 28 | 成型示意图 | |
| | 配根半径 $R$ | 15.5 | | |
| | 配根部宽 $W$ | 8.5 | | |

| 硫化模型规格 | 图纸编号 | 外直径 | 内直径 | 断面宽 | 根部宽 | 断面周长 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 692 | 592 | 30 | 23 | 119.05 |

| 硫化条件 | 蒸汽压力 kPa (kgf/cm²) | | 内压 MPa (kgf/cm²) | 正硫化时间 h |
|---|---|---|---|---|
| | 春冬637(6.5) | 夏秋588(6.0) | 1.42(14.5) | 3 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 成品重量 | 1.950±0.050 | 原始根据 | |
| 备注 | 长度单位：mm；重量单位：kg | | |
| 生产日期 | 年　月　日 | 施工表编号 | |

技术科长　　校对　　制表人

7. 气门嘴施工标准表Ⅱ

规格40-635(18×1½)W/O _____ 胶管胶号：_____ 制表日期_____年__月__日

| 工序 \ 部位 \ 项目 | | 厚度 | 公差 | 长度 | 公差 | 重量 | 公差 | 断面周长 | 公差 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 出料 | 胎身部 | 7.5 | ±0.5 | 2200 | ±10 | | | 90 | ±2 |
| | 配根部 | 10 | ±.05 | | | | | | |
| 成型 | 胎身部 | 7.5 | ±0.5 | 2100 | ±10 | 1.60 | ±0.1 | 90 | ±2 |
| | 配根部 | 10 | ±0.5 | | | | | | |
| 胶管接头斜度 | | 60～65° | | 气门嘴与接头距离 | | | | 400±50 | |
| 压出口型尺寸 | 胎身直径 $D$ | 24 | | | | 成型示意图 | | | |
| | 配根半径 $R$ | 14 | | | | | | | |
| | 配根部宽 $W$ | 11 | | | | | | | |

| 硫化模型规格 | 图纸编号 | 外直径 | 内直径 | 断面宽 | 根部宽 | 断面周长 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 692 | 625 | 28 | 20 | 94 |

| 硫化条件 | 蒸汽压力，kPa(kgf/cm²) | | 内压，MPa(kgf/cm²) | 正硫化时间，h |
|---|---|---|---|---|
| | 春冬637(6.5) | 夏秋588(6.0) | 1.42(14.5) | 3 |

| 成品重量 | 1.60±0.05 | 原始根据 | |
|---|---|---|---|

| 备注 | 长度单位：mm；重量单位：kg |
|---|---|

| 生产期 | 年　月　日 | 施工表编号 | |
|---|---|---|---|

技术科长_____ 校对_____ 制表人_____

# 第四章　力车轮胎胶料配方设计

## 第一节　配方设计的目的

根据力车轮胎产品制造及使用要求，胶料配方设计为一项实践性很强的技术工作，需要从品种繁多的原材料中选用合适的材料，设计能满足要求的配方，进一步提高管理水平和技术素质，推广新技术、新设备、新工艺。因此，配方设计是力车轮胎制造的重要环节。

力车轮胎各部件的胶料可分为胎面胶、帘布胶、胶态胶、包布胶、气密层、内胎胶及胶浆等。配方设计就是根据经济合理的原则，使各部件胶料获得最佳的综合平衡的物性，寻找各种配合组合组分的最适宜的配比组合。

总而言之，配方设计的目的有以下几方面：

（1）改善橡胶在某些方面性能的不足，并进一步提高橡胶在某些方面的性能；

（2）改善生产工艺管理，有利于生产工艺操作，满足生产需要；

（3）在不影响产品性能的前提下，配入填充材料，以便于降低成本；

（4）为适应苛刻的使用条件和地区差别，加入特殊的补强材料，满足使用性能的特殊需要；

（5）为满足用户和国内外市场的需要，配入特殊的着色材料，增加产品的花色品种。

## 第二节　配方设计的特点、要求和程序

### 一、配方设计的特点和要求

配方设计人员必须掌握原材料、工艺、设备等方面的知识，才能设计出优良的配方。

配方设计涉及到许多原材料，要在品种繁多的原材料中选择最佳性能的材料，必须掌握各种原材料的特性，几种原材料并用时应考虑到它们的协同效应与作用规律。

力车轮胎生产工艺中采用不同的工艺条件是基于不同的工艺装备，由于加工过程及加工热历程不同，胶料配方设计应与之适应，不能因为配方的调整而改变工艺装备，因此必须熟悉生产工艺及装备，还必须掌握新的橡胶科学理论，如运用界面理论、流变学、溶解度参数、极性概念等来指导配方设计，建立新的配方体系。具体地说，必须做到以下几点。

（1）选用原材料要坚持立足于国内的原则。

（2）根据产品实际使用要求，使用条件及用户对产品性能的要求，应考虑产品的质量和使用寿命。

（3）配方设计既要考虑到产品的整体性能，又要考虑到各个不同部件在使用性能方面的差异和共性，并符合国家标准规定的物理机械性能指标。

（4）要考虑产品制造全过程中的各个工序生产工艺及设备对配方设计的要求，在不影响产品质量的前提下，应该满足工艺与设备对产品制造的要求。

（5）要考虑职工的劳动保护及操作人员的身体健康，不应使用有毒的原材料和配合剂。

（6）要考虑降低动力消耗和设备消耗，降低生产成本，提高劳动生产率，提高经济效益，用价廉的原材料，生产出满足用户需求的产品。

配方设计须根据橡胶工艺理论来指导实践并以实践来验证理论

**（一）影响配方设计的综合因素**

1．工艺装备对配方的影响

通过不同变量的不同配方设计，在实验室获得满意的配方，在生产实践中不一定能得到相同的效果。原因是由于实验室的条件比较好，工艺执行严格，工艺装备与生产上用的装备也不尽相同。在一个工厂使用满意的生产配方，在另一个工厂使用时不一定会获得相同的物理机械性能，这是由于各个工厂的工艺条件、生产方式、工艺装备等不一定完全相同，另外各厂所使用的原材料的产地不同，性能上也有差异，因此，配方设计必须根据上述具体情况进行调整，才能获得满意的效果。

2．操作对配方的影响

在配方设计中，由于不同的混炼操作方法，所获得的物理机械性能不一定相同。即使是相同的工艺装备，但采用不同的操作方法，所得到的物理机械性能也是不相同的。因此，必须严格工艺操作，才能获得配方设计的满意效果。

3．环境对配方的影响

一个工厂在正常生产的情况下，经常受到环境的影响（如气候的突然变化，与原材料、工艺条件的偶合等多方面综合因素的影响），因此，必须有一个合适的生产环境，才能获得配方设计的满意效果。

**（二）配方设计五大体系的特点**

1．生胶及生胶并用体系

随着高分子材料的发展，合成橡胶的品种及其系列越来越多，对不同要求和用途的产品，可选用不同的胶种来生产。高分子材料的应用能使不同的材质在性能上相互取长补短，还可改善加工性能，是当前生胶改性迅速可靠的有效措施。

力车轮胎目前所使用的生胶品种主要有：天然橡胶（NR）丁苯橡胶（SBR）、顺丁橡胶（BR）及丁基橡胶（IIR），还有三元乙丙橡胶（EPDM）等。

天然橡胶具有优异的工艺性能，是制造力车轮胎的主要胶种，它具有弹性高，滞后损失小，多次变形时生热低的优点，适合与丁苯橡胶、顺丁橡胶等合成橡胶并用。

丁苯橡胶同路面有较好的接触性能，对路面的适应性强，抓着力高，缺点是抗撕裂性差，抗龟裂性不如天然橡胶好。因此，丁苯橡胶的使用必须配合大量炭黑，以获得必要的强度和耐磨性。目前，丁苯橡胶多用于力车轮胎胎面和帘布胶中，并与顺丁橡胶一起并用于天然橡胶中，胎面胶的配合量为35%左右，帘布胶的配合量为30%左右。

顺丁橡胶具有较高的耐磨性、弹性和耐寒性，滞后损失小，生热小，抗龟裂和耐曲挠性能好，适用于力车轮胎胎面胶和帘布胶，与丁苯橡胶和天然橡胶可分别并用或混合并用，胎面胶的配合量为30～50%，帘布胶的配合量为10～20%。

丁基橡胶由于具有高饱和度结构的特点，是制造力车内胎和气囊的最好材料。

三元乙丙橡胶具有较好的耐候性、耐热老化性，耐磨性和耐寒性，可用于力车轮胎胎侧胶，特别适用于浅色胎胎侧，与天然橡胶和丁苯橡胶三者并用时，其配合量为30%左右。

2．硫化促进体系

目前，橡胶工业制品中所使用的硫化体系已从硫黄发展到树脂硫化体系、过氧化物硫化

体系等。有效硫化体系（EV）在耐热制品、半有效硫化体系（SEV）在顺丁橡胶中有较多的应用。

目前，力车轮胎使用的硫化剂基本上都是硫黄，硫黄的用量随着不同胶种的使用而异。一般天然橡胶，[illegible]，丁苯胶或顺丁橡胶，硫黄的用量不超过2份；天然橡胶与丁苯橡胶或顺丁[illegible]并用，硫黄的用量应等于或少于2份。

硫化促进剂多使用CZ、DM和NOBS等，但促进剂的选择主要取决于所使用的炭黑种类、生胶类型、工艺条件及工艺装备。一般情况下，DM用于天然橡胶；CZ和NOBS用于丁苯及顺丁橡胶。由于现在都广泛使用炉法炭黑，所以，CZ和NOBS应用较多，但一般都是用DM、M和TT等促进剂并用。CZ和DM并用特别适用于合成橡胶制造的轮胎胎面，通常帘布胶料中促进剂的用量比胎面胶应稍多一些，一般情况下，胎面胶中促进剂的用量为1.5～2份；帘布胶中促进剂的用量为1.8～2.3份。

3．补强填充体系

橡胶工业制品，随着补强填充剂的大量使用，改变了生胶的物理机械性能，对提高力车轮胎的使用性能起着决定性的作用，除了使用炭黑外，还使用浅色的填充剂和补强剂。

力车轮胎使用的炭黑品种有中超耐磨炭黑（ISAF）、高耐磨炭黑（HAF）、半补强炭黑（SRF）、通用炭黑（GRF）、快压出炭黑（FEF）和混气炭黑等。胎面胶中配入炭黑，以提高其耐磨性能和强力，一般以ISAF/HAF并用为主，并用比例为20～35/20～30份，总用量为50～55份。帘布胶一般以SRF/HAF、GRF/HAF、SRF/ISAF、混气/HAF四种并用较多，总用量为30～45份。

4．操作软化体系

力车轮胎用软化剂，随着高分子材料的发展、研究和应用，已不单是操作助剂，它起着增塑作用，而且还成为生胶的一种补充材料。

力车轮胎胶料中通常用松焦油和古马隆作为增塑软化剂，但是如果采用丁苯橡胶、顺丁橡胶或顺丁橡胶与天然橡胶并用，则较多地使用石油类软化剂。

5．防老体系

防老剂的使用对提高和延长轮胎的使用寿命，有着重要的作用，在高分子材料开发研究方面也起着重要作用。目前，最优性能比价的协同效应及键合型防老剂已成为防老剂研究的两大方向。

力车轮胎的老化是由于氧和热的破坏，屈挠疲劳与臭氧的侵蚀，危害了帘布内层胶、胎面胶和胎侧胶。天然橡胶的老化是由于分子链的断裂而变软；丁苯橡胶或顺丁橡胶则由于分子链的交联密度增大而变硬。在屈挠疲劳下，天然橡胶易产生龟裂，但裂口增长较慢；丁苯橡胶或顺丁橡胶不易产生龟裂，但龟裂后裂口增长较快。

由于引起老化的原因是多种多样的，因此，防老剂的选择应考虑其综合协同效应。目前，力车轮胎生产中所使用的防老剂主要有4010、4010NA以及A和D，另外还有臭氧防老剂AW、耐热老化防老剂RD及腈类防老剂。

配方设计是实现产品标准化的最终目标。配方设计者必须根据总体要求，结合产品的具体情况进行配方设计，要着重了解和掌握产品的技术标准和技术特征；产品的组成及部件的分解；产品结构设计和配方设计的综合与差异；加工的生产方式和工艺条件，然后据据产品的特殊要求制定各部件配合的特定条件，进行各种条件的综合平衡，设计出符合产品标准的各

部件生产配方。

## 二、配方设计的程序

配方设计要有试验原始数据，必须通过生产实践，并经过多次反复实践，才能制定出符合产品标准要求的配方。配方设计一般按下列程序进行。

1．产品技术要求的确定

配方设计前，应据据产品的用途、使用条件和要求，以及产品的使用寿命，搜集有关的技术资料和实物样品。经过对样品分析和技术资料的查阅，以实现产品标准为目标，进行综合平衡后，分别确定各部件配方的性能要求和指标。

2．设计方案的制定

技术要求和技术指标确定之后，可制订配方设计的试验方案，即基本试验配方和变量试验范围。

3．方案的试验

按照已制订的方案，在实验室进行小样试验，并将试验的原始记录数据进行整理分析，然后确定该配方是否满足要求，可否投入生产等作出结论性意见。

4．最佳配方的选取

通过在实验室进行试验的各方案的小样配方，对试验方案进行筛选，选出综合平衡性能最佳的配方。

5．扩大试验

将确定的最佳配方进行复试，如果某物理性能稳定并达到要求，则可进一步在生产车间进行大样试验，并试制产品，同时鉴定工艺性能，产品的物理机械性能，初步确定适宜的生产工艺条件。

6．生产配方的确定

根据在生产车间大样试验确定的最适宜生产工艺条件，进一步扩大试生产，鉴定产品的综合平衡性能是否稳定和达到要求，最后确定生产配方的组分、胶料质量指标、工艺条件及检验方法等。

# 第三节　配方的整体设计

胶料配方的整体设计是制造力车轮胎的重要条件之一，设计质量的优劣，直接影响到轮胎的使用质量，轮胎的使用寿命取决于轮胎在使用过程中各部位受力是否均匀一致，变形是否接近，各部件的结构、结合是否牢固，对轮胎各部件胶料配方须按其特征进行整体设计。

## 一、力车轮胎部件性能

设计胶料配方应考虑产品各部件都是相互联系、相互配合的，如果忽视某一部件的作用，都会影响到产品的使用质量，因此，要求各部件胶料性能达到综合平衡的最佳性能。据据力车轮胎使用要求和制造工艺的特点，对各部件胶料性能的要求如下。

1．胎面胶

胎面胶包括胎冠胶和胎侧胶。胎冠胶应具有高弹性和良好的拉伸强度、撕裂强度、耐磨性能，才能保证产品骑行轻快、耐刺伤、耐磨耗；胎侧胶要求具有高度的耐屈挠和耐老化龟裂性能，才能保证产品不发生早期老化损坏。因此，在设计胎面胶配方时，应综合平衡胎冠

胶和胎侧胶的性能。胎面胶的含胶率一般为50～58%，手推车轮胎在设计胎面胶时选取较低值，自行车轮胎选取较高值。

2．帘布胶

帘布胶应具有良好的附着性能、弹性和耐屈挠性能。为减少轮胎下沉变形并能承受冲击，还要求胶料具有一定的定伸应力，通常情况下，外层帘布胶定伸应力要高于内层，整个胎体的定伸应力由内向外逐渐增大。由于力车轮胎胎体较薄，硫化速度较快，因而还要求帘布胶具有较好的耐焦烧性能。帘布胶的含胶率一般为55～65%，手推车轮胎的外层帘布胶和自行车轮胎的帘布胶采用较高值，手推车轮胎的内层帘布胶采取较低值。

3．胶芯胶

胶芯胶所采用的是半硬质胶，要求胶料具有较高的硬度（邵尔A85度左右）、较小的变形、一定的坚韧性和较快的硫化速度，含胶率一般为10～17%。

4．包布胶

包布胶要求具有良好的渗透性、耐焦烧性能，含胶率一般为50～55%。

5．内胎胶

内胎胶应具有良好的弹性、气密性、抗撕裂性和耐老化性，以及较小的永久变形和耐焦烧性能，此外，还要具有一定的柔软性，以便于修补，含胶率一般为54～58%。

6．气囊胶

气囊和胶布胶应具有良好的耐热、耐老化、耐屈挠性能和较小的永久变形，以及合适的硬度和一定的弹性，含胶率一般为55～60%。

## 二、各部件硬度与定伸应力的配合

轮胎在行驶时，由于受外力的作用，胎面部位会产生应力集中。由于轮胎各部位的受力分布是由外向内逐渐减小，因此，在应力作用下各部位产生的变形量也是由外向内逐渐变小，否则，各部件之间因变形不同而产生的剪切应力，能使轮胎早期损坏。所以，通常在设计轮胎各部件配方时，硬度与定伸应力的配合要合理。硬度同定伸应力均采取由布层向外至胎面逐渐增大的原则，二者适当配合，通常采用300%定伸应力作为平衡各部件胶料性能的指标，目的是减少轮胎各层胶料间的变形差，以免应力集中导致轮胎胎体脱层，造成轮胎损坏。力车外胎各部件硬度与300%定神应力配合见表2-4-1。

表 2-4-1　各部件硬度与300%定伸应力配合

| 部　件 | 硬度(邵尔A) | 300%定伸应力 MPa(kgf/cm²) | 部　件 | 硬度(邵尔A) | 300%定伸应力 MPa(kgf/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|
| 手推车轮胎：胎面胶 | 56～60 | 7.4～8.3(75～85) | 自行车轮胎：胎面胶 | 54～59 | 6.9～7.9(70～80) |
| 外层帘布胶 | 52～56 | 6.4～7.4(65～75) | 帘布胶 | 52～56 | 5.9～6.9(60～70) |
| 内层帘布胶 | 48～52 | 5.4～6.4(55～65) | | | |

## 三、各部件硫化特性的同步

目前，力车外胎硫化是由外部单向受热的过程，面外胎是由多层多部件胶料组成的产品，部件越多，硫化程度越是难于一致，又由于各部位胶料在硫化时受热情况不一样，胎侧

胶最先达到硫化温度，胎冠胶次之，帘布胶较慢，胶芯胶（胎圈部位）最慢，所以在设计配方时，要求各部位胶料的硫化速度应在受热速度不等的状态下达到等价硫化程度，并要求各部件胶料，特别是胎面胶（包括胎冠胶、胎侧胶）要具有较宽的硫化平坦范围。在设计配方时，不应只注意单个配方的合理性，还应整体考虑多个配方的综合平衡。

1．部件配方成型焦烧的同步

配方设计应考虑胶料的焦烧时间，但焦烧时间不一定越长越好，因为焦烧安全期过长，会影响硫化深度的控制，胶料容易沿着力的方向流动，从而会使硫化外胎胎面胶产生重皮，出现帘布胶料分布不均及帘线弯曲现象。部件间成型焦烧的同步，有利于部件间胶料的相互扩散、渗透、附着力提高；部件间成型焦烧不同步，假如其中有一部件配方较快，则表面定型并形成一个界面，阻止了胶料相互间的扩散与渗透、造成层与层之间附着力下降，因此，成型焦烧同步可提高胎面胶与帘布胶之间及帘布胶层之间的附着力，提高轮胎的整体强度。

2．部件配方正硫化的同步

正硫化是指配方设计中，胶料的各项物理机械性能达到最佳状态范围。在多部件的力车轮胎中，由于热的传递方式不同，不同部位的升温曲线有着很大的差别，导致各部件配方物理机械性能的差异。因此，要求各部件配方正硫化同步，可对配方的整体设计获得综合平衡的物理机械性能的最佳范围，同时能减少轮胎的质量波动。如果各部件配方正硫化不同步，轮胎胎面与帘布胶之间或帘布胶层之间的剥离在偏离正硫化远的一面，轮胎使用中出现早期脱层损坏。因为尼龙帘线与橡胶的粘着力较差，采用尼龙帘布作骨架材料的力车轮胎的正硫化同步尤为重要。

为了提高轮胎的整体强度、必须力求轮胎各部件配方正硫化同步，使各部件胶料硫化速度能与综合物理机械性能良好配合，首先应确定各部件胶料的正硫化条件和硫化温度系数，一般都在一定的硫化温度下做出一系列不同硫化时间的物理性能后，按最理想的结果来选择胶料的硫化时间。

为了了解硫化工艺中轮胎各部位的硫化条件情况，可通过热电偶电位计或硫化仪来测定和计算硫化成品外胎各部位的硫化效应和硫化等价时间，以便检查和调整各部件配方的硫化速度。

## 四、胎面胶的配方设计

### （一）提高胎面胶的耐磨性能

根据力车轮胎部件性能要求，以及尼龙轮胎在使用过程中下沉量大，胎体放粗等缺陷，胎面胶的配方设计必须考虑提高其耐磨性能。

尼龙外胎由于胎体较柔软，在外力作用下，轮胎下沉量大，帘线蠕变而造成胎体放粗，从而导致轮胎着地面积增大。又由于尼龙帘线的初始模量低，在较小的应力作用下，即产生较大的变形，如果长期受力，胎面胶则经常处于局部伸张状态。另外，为了乘骑轻快，在结构设计中减小了断面胎冠宽度，使之与地面接触面积减小，这些都导致胎面磨耗减量的增大，使外胎的使用寿命降低。因此，根据尼龙轮胎的特点，要提高胎面胶的耐磨性能、抗撕裂性能、有效弹性、耐老化性能及定伸应力，可适当增加炭黑用量，采用高耐磨炭黑；使用白炭黑代替部分炭黑；顺丁橡胶与丁苯橡胶并用来提高胎面胶的耐磨性能。

### （二）提高胎面胶的耐老化性和耐屈挠龟裂性能

根据橡胶的特性以及尼龙轮胎的特点，胎面胶的配方设计应考虑提高其耐老化性能和耐

屈挠龟裂性能。

橡胶的老化分为静态老化和动态老化，由于橡胶固有的特性，橡胶在静态中随着时间的推移，在空气中臭氧的作用下，会产生老化龟裂现象，而石蜡类防老剂对静态中臭氧引起的龟裂现象有着很好的防老化效能。

根据尼龙帘线初始模量小、外胎在加工及使用过程中容易变形、与帘线结合的胶料随帘线的变形而变形的特征，胶料在伸张状态下使用，外胎圆周膨胀率及胎侧的膨胀率随着时间的推移而增大，使胎侧胶在动态下产生老化龟裂，降低外胎的使用寿命。因此，根据尼龙帘线的特点，要使胎面胶具有良好的耐老化、耐屈挠龟裂性能，可提高胶料的定伸应力和硬度，并使应力-应变曲线较为平坦，应力松驰时间长，从而可延缓老化龟裂出现的时间。低定伸胶料裂纹出现时间早，裂纹细面密，扩展速度较慢；高定伸胶料裂纹出现较迟，裂纹粗而疏，扩展速度较快。因此，必须适当提高胶料的300%定伸应力，为适应这种要求，可应用防老剂来解决，一般采取多元防老剂的并用，以产生协同效应，采用高效的对第二胺类防老剂及喹啉类防老剂并用，有着很好的防老化龟裂性能。

应注意定伸应力提高之后，胶料的弹性会有所降低，因此胶料在保证具有必要的定伸应力的条件下，应有较好的弹性，可采用胎面与胎侧不同配方或分层配方。

## 五、胎身胶的配方设计

根据力车轮胎部件性能要求以及尼龙帘线与橡胶结合性能差等缺点，胎身胶的配方设计应考虑提高其附着性能。

由于尼龙帘线具有极性强，不易与疏水性胶料结合等性能，因此在配方设计时应提高胶料的极性，提高胶料与尼龙帘布的粘着力，但粘性的大小对外胎成型质量的好坏影响极大，因为尼龙帘布挺性大，密度疏，在粘性过小时，成型贴合不紧密，存在空气，造成外胎硫化时起泡，在粘性过大时，成型操作困难，容易引起胶帘布打折，因此必须适当提高胎身胶料的粘性，以天然橡胶和丁苯橡胶并用较为合适，因为丁苯橡胶中带有苯环，能使胶料的极性增大，填充补强体系采用极性较强的炭黑或填充剂以及采用间甲白体系都将使胶料的极性增大，粘着性能提高。软化剂可选用芳烃型的增粘剂，这既有利于极性的提高，又有利于工艺操作。

## 六、彩色胶的配方设计

目前生产的彩色轮胎均为黑色胎冠、彩色胎侧的双色自行车轮胎。黑色胎冠胶的配方设计和一般黑色外胎的胎冠胶相同，而彩色胎侧一般有白色，透明、彩色等胶料的配方设计，由于彩色轮胎目前所使用的原材料多为天然橡胶，而天然橡胶中分子的每个单元链节中都有一个双键，不饱和度较高，从而影响了彩色自行车外胎胎侧老化龟裂及使用寿命。因此，设计彩色轮胎胶料的配方应注意以下几点：

① 选用的原材料要求颜色鲜艳，不污染，是非污染型的；

② 在高温和太阳曝晒下，具有优良的防老化龟裂性能；

③ 产品的物理机械性能应符合标准；

④ 选用价廉的原材料。

1．橡胶品种的选择

为了使胶料的色泽鲜艳，透明度高，保证产品不受污染及具有良好的耐老化龟裂性能，

橡胶品种的选择是十分重要的，一般采用天然橡胶与合成橡胶并用，胎侧胶和帘布胶中采用天然橡胶与丁苯橡胶并用；胎冠胶中采用天然橡胶与顺丁橡胶并用。天然橡胶一般采用白绉片胶。乳聚丁苯和溶聚丁苯橡胶都可作为浅色轮胎胶料中的生胶。另外，天然橡胶与不同的聚合物并用能够明显地改善屈挠龟裂性能、天然老化和耐臭氧老化性能，如三元乙丙橡胶、氯化丁基橡胶和氯化聚乙烯等。但综合平衡各项性能和原材料情况，氯化聚乙烯是目前改善彩色轮胎胎侧老化龟裂较为理想的聚合物，为了获得更好的耐臭氧性及耐屈挠龟裂性能，胎侧胶料必须有低定伸应力。

2．防老剂的选择

根据彩色轮胎胶料配方设计的要求，应使用不变色、非污染、耐老化和耐屈挠龟裂性能的防老剂，如SP，WSP，MB，CEA，2246等，不同类型的防老剂并用性能对比见表2-4-2。

表 2-4-2　不同类型的老剂性能对比

| 性　能　项　目 | 防老剂MB+2246 | 防老剂MB+CEA | 防老剂WSP+SP | 防老剂WSP+CEA |
|---|---|---|---|---|
| 硬度(邵尔A) | 62 | 62 | 63 | 61 |
| 拉伸强度,MPa(kgf/cm²) | 37.8(385) | 20.2(206) | 21.1(225) | 20.4(208) |
| 伸长率，% | 722 | 622 | 783 | 820 |
| 屈挠次数，万次 | 103 | 3 | 23 | 50 |
| 老化系数 | 0.933 | 0.904 | 0.875 | 1.062 |
| 焦烧 | | | | |
| $T_{10}$ | 4.1 | 3.9 | 6.0 | 5.8 |
| $T_{90}$ | 15.3 | 15.2 | 17.0 | 19.6 |
| 硫化速度 | | | | |
| $M_n$ | 4.2 | 4.2 | 5.5 | 6.8 |
| $M_m$ | 33.2 | 33.8 | 38.0 | 36.8 |

其中，取代酚（SP）防老剂是所有防老剂中性能最好的一类，它具有不污染、不变色等优点；多元取代酚（WSP）防老剂其抗屈挠老化性能一般，橡胶制品在曝晒时略有变红现象，进一步曝晒后又随即消失；苯并咪唑型防老剂（MB）是较有名的不污染，不变色，抗热、抗氧化性能优良的防老剂，最宜与其它防老剂并用；烷基芳基仲胺防老剂（CEA）对硫化胶的臭氧老化及一般的热氧、屈挠老化均有防护作用，烷基撑双取代酚防老剂（2246）其防护作用在取代酚和胺类防老剂之间，防抗屈挠龟裂性能较差。总之，防老剂的选取应从防老效果和不变色性二个方面来决定。

3．补强剂的选择

为防止白色、半透明的彩色胶料中颜色的迁移及变色现象的产生，彩色自行车轮胎胎侧胶和胎身胶一般均使用白炭黑作为填充剂，因为白炭黑能使硫化胶具有强力高、伸长率大、弹性和耐热性能好、抗撕裂强度高以及抗污染性能好等特点。不同组分的白炭黑其产品性能对比见表2-4-3。

由于白炭黑成本高，为了保证产品质量，降低成本，通常采取白炭黑、钛白粉、碳酸钙三者并用作为填充补强剂。能减慢硫化速度，应注意调整胶料的硫化速度。

4．促进剂的选择

由于目前生产的彩色轮胎均为双色自行车轮胎，因此在双色胎面胶的配方设计上，胎冠

表 2-4-3　不同组分白炭黑性能对比

| 性能项目 | 白炭黑,20份 | 白炭黑,35份 | 性能项目 | 白炭黑,20份 | 白炭黑,35份 |
|---|---|---|---|---|---|
| 硬度(邵尔A) | 45 | 56 | 变形,% | 24 | 34 |
| 伸长率,% | 704 | 656 | 500%定伸应力,MPa(kgf/cm²) | 9.8(100) | 11.6(119) |
| 拉伸强度,MPa(kgf/cm²) | 25.7(262) | 21.8(222) | 含胶率,% | 76 | 68 |
| 300%定伸应力,MPa(kgf/cm²) | 3.9(40) | 5.3(54) | | | |

与胎侧胶的硫化速度与深度的一致性是相当重要的，它直接关系到两种胶料的流动性是否达到一致和物理机械性能的配合是否达到标准，否则将影响硫化成品的质量及轮胎的使用寿命。胎侧胶料的配方一般采取以DM、DPG和H三种促进剂并用体系，而胎冠胶料配方则采用M、DM和TT三种并用体系。

5．软化剂的选择

软化剂在胶料的加工过程或存放过程中，不仅会使橡胶增硬变脆，还会污染胶料，所以，软化剂的耐久性及变色性在彩色轮胎胶料的配方设计中也是一个重要的因素。一般以石蜡烃橡胶操作油系列中非污染型油为好，这种软化剂在橡胶中的迁移速度较慢，能提高胶料及橡胶半成品贮存的稳定性。

## 七、丁基橡胶内胎的配方设计

丁基橡胶是以异丁烯为主体，与少量的异戊二烯首一尾结合成的线型高分子，由于聚合物中只含有少量的异戊二烯，因此，丁基橡胶的不饱和度较低（约是天然橡胶的1/50），故具有极好的气密性和良好的耐热、耐候老化性。以天然橡胶制造的力车内胎因慢漏气现象往往造成力车轮胎早期损坏，而采用丁基橡胶制造力车内胎，可改善和解决这一质量缺陷。

力车内胎系薄壁橡胶制品，根据力车轮胎各部件性能要求，丁基橡胶内胎的配方设计特点有下列几方面。

1．橡胶品种的选择

不同牌号的丁基橡胶，由于生胶分子量大小不同和门尼粘度的高低差别，其加工工艺性能也不相同；二烯烃含量不同，硫化速度也不相同。为了得到较好的加工工艺性能及物理机械性能，丁基橡胶型号的选择是十分重要的，一般选择分子量大（门尼粘度高）的268号丁基橡胶为宜。

丁基橡胶由于其分子不饱和度低，不宜与其它高饱和度的橡胶并用，因此，丁基橡胶在加工中若混入其它不饱和橡胶会影响其质量，一般情况下应单独使用。

2．补强剂的选择

丁基橡胶在加工中易粘辊，加工工艺性能差，放压出、压延操作困难。配方设计中常采用大量补强填充剂来提高压出速度，使压出胎管表面光滑、断面尺寸稳定、均匀，其中以快压出炉法炭黑最佳，其次是炉法炭黑、槽法炭黑，陶土及碳酸钙等也有较好的压出性能。为了获得良好的综合性能，通常采用40份的快压出炭黑（FEF）与30份的半补强炭黑（SRF）并用。

3．软化剂的选择

丁基橡胶配方中由于使用了大量的炭黑，快压出炭黑（FEF）的折叠性差，使胶料过

硬，影响生用自胎胎接头的质量。为了进一步改善硫化前内胎的强度，配方设计中通常以20份炭黑与20份油类配合使用。一般可用石蜡类或环烷类的操作油。

4．硫化体系的选择

丁基橡胶的主要缺点是硫化速度慢，故需要高温或长时间的硫化，但是又因为丁基橡胶的不饱和度较低，因此宜采用高温、短时间硫化。为了提高硫化效率，还可使用高效促进剂。配方设计中选择焦烧安全、良好、硫化速度较快的 ZDC、TT、硫黄为硫化体系。

5．其它方面

丁基橡胶具有良好的耐臭氧性、耐热老化性，因此在配方设计中可以不需要防老剂或只添加少量的防老剂。

为了稳定力车内胎接头质量，可在配方中适量加入增粘树脂。

## 八、典型配方的简要分析

力车轮胎各部件胶料配方的整体设计，可按三种不同类型的配方组合进行分析。第一组是手推车外胎的胎面胶及胎身胶的配方设计，其配方举例见表2-4-4。

**表 2-4-4　手推车外胎胎面胶及胎身胶配方**

单位：重量份

| 名　称 | 胎面胶 | 帘布胶（3～4层） | 帘布胶（1～2层） | 名　称 | 胎面胶 | 帘布胶（3～4层） | 帘布胶（1～2层） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 马来西亚标准橡胶(SMR) | 40.0 | 3号烟片胶 60.0 | 3号烟片胶 60.0 | 硫黄 | 1.2 | 1.9 | 1.9 |
| 顺丁橡胶(BR) | 40.0 | 15.0 | 15.0 | 促进剂CZ | 0.8 | 0.7 | 0.5 |
| 丁苯橡胶(SBR-1712) | 20.0 | SBR 25.0 | 25.0 | 促进剂D | — | — | 0.2 |
| 再生橡胶 | 8.0 | — | — | 促进剂DM | 0.65 | 0.9 | 0.9 |
| 促进剂M | 0.2 | 0.7 | 0.75 | 硬脂酸 | 3.0 | 2.5 | 2.0 |
| 促进剂TMTD | — | 0.07 | 0.07 | 防老剂AM | 1.0 | 1.0 | 1.5 |
| 氧化锌(ZnO) | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 防老剂H | 0.2 | 0.5 | — |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 23.5 | (GRF)15.0 | 16 | 防老剂4010 | 0.5 | — | — |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 30.43 | 20.0 | 11 | 防老剂A | 0.5 | — | — |
| 古马隆 | 5.0 | 凡士林2.0 | 1.5 | 石蜡 | 1.0 | — | — |
| 重油 | 3.5 | 6.5 | 7.5 | 合　计 | 183.48 | 166.70 | 181.81 |
| 碳酸钙($CaCO_3$) | — | 9.93 | 32.99 | | | | |

本组配方的特点：生胶均采用三胶并用，这是根据三种橡胶的不同特性，相互配合使用；为解决产品后期的老化增硬问题，胎面胶及胎身胶均采用高促低硫配合，但是胎身胶的促进剂用量较大，300%定伸应力比胎面胶高；为了使胶料的工艺性能良好，有利于工艺操作，采用了粘性大的软化剂，尤其是在胎身胶中的用量较大。同时对硫化同步和硫化深度作了控制，并考虑到胎面胶及胎身胶的物理机械性能的综合平衡。

第二组是自行车轮胎外胎胎面胶及胎身胶的配方设计，其配方举例见表2-4-5。

本组配方的特点是：胎身胶配方着重于提高胶料的极性，生胶以天然橡胶与丁苯橡胶并用，丁苯橡胶的用量较大，采用了较大的促进剂用量，使用了混气炭黑，从而增加了胶料的粘着强度；胎身胶配方中还选用了数量较多的软化剂，并采用了松焦油作软化剂，因而是工艺可塑代替了真可塑，使工艺性能良好，有利于工艺操作（尤其是成型工艺操作），因此，胎身胶的配方设计既能得到较好的动态性能，又能与工艺性能综合平衡。

第三组是较新体系的自行车轮胎外胎胎面胶和胎身胶配方的组合，其配方举例见表2-4-6。

表 2-4-5　自行车外胎胎面胶及胎身胶配方

单位：重量份

| 名　称 | 胎面胶 | 帘布胶 | 名　称 | 胎面胶 | 帘布胶 |
|---|---|---|---|---|---|
| 马来西亚标准橡胶(SMR20) | 60.0 | 3号烟片胶 70.0 | 中超耐磨炉黑(ISAF) | 30 | 混气炭黑 20 |
| 顺丁橡胶(BR) | 40.0 | — | 高耐磨炉黑(HAF) | 20 | SRF 10 |
| 丁苯橡胶(SBR) | — | 30.0 | | | |
| 再生橡胶 | 10.0 | — | 机油 | 8 | 10 |
| 硫黄 | 1.3 | 1.9 | 松焦油 | — | 6 |
| 氧化锌 | 5.0 | 5.0 | 碳酸钙 | — | 8 |
| 硬脂酸 | 3.0 | 2.5 | 防老剂4010 | 1.5 | 防老剂A 0.5 |
| 促进剂CZ | 0.8 | 0.6 | 防老剂RD | 1.5 | 1.0 |
| 促进剂DM | 0.8 | 0.8 | | | |
| 促进剂M | — | 1.1 | 合　计 | 181.9 | 167.4 |

表 2-4-6　自行车外胎胎面胶及胎身胶的配方

单位：重量份

| 名　称 | 胎面胶 | 帘布胶 | 名　称 | 胎面胶 | 帘布胶 | 名　称 | 胎面胶 | 帘布胶 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3号烟片胶 | 70.0 | 70.0 | 促进剂M | — | 0.6 | 防老剂RD | 3.0 | 1.5 |
| 顺丁橡胶(BR) | 30.0 | 丁苯橡胶 30.0 | 氧化锌 | 4.0 | 6.0 | 防老剂4010NA | 1.0 | — |
| 再生橡胶 | 20.0 | — | 硬脂酸 | 3.0 | 2.5 | 防老剂A | — | 0.6 |
| 硫黄 | 2.0 | 不溶性 2.0 | 高耐磨炉黑(HAF) | 40.0 | 20.0 | 间苯二酚 | — | 0.5 |
| 促进剂DM | 0.6 | 促进剂H 0.8 | 白炭黑 | 20.0 | 15.0 | 碳酸钙 | — | 25 |
| 促进剂TT | — | 0.05 | 烷烃油 | 10.0 | 8.0 | 合　计 | 205.4 | 182.45 |
| 促进剂CZ | 0.8 | 1.0 | 石蜡 | 1.0 | — | | | |

本组配方的特点是：胎面胶及帘布胶含胶率都比较低；胎面胶配方采用较高的硫黄用量，使动态疲劳性能达到较高的水平；为防止后期老化龟裂采用数量较大的防老剂，同时使用了白炭黑代替了部分炭黑，以提高胶料的耐撕裂性能、有效弹性及耐磨性能。帘布胶配方最大的特点是采用间甲白体系，以提高胶料的动态附着性能，保证胶帘布的粘性（尤其是成型操作），配方中改用了不溶性硫黄。本组配方设计着重强调配合的综合平衡性能。

## 第四节　胶料配方对工艺性能的影响

胶料配方设计的主要目的是满足产品物理机械性能的要求，保证产品的使用质量。产品的质量除了通常与产品的结构设计、胶料配方设计、产品制造加工设备等有关外，还与生产工艺有关，而影响工艺性能的因素，主要是胶料配方设计的质量，这也充分说明了配方设计的重要性。如果胶料的配方设计不能满足工艺性能要求，则会影响工艺性能，甚至会使产品的物理机械性能达不到标准、产品的使用质量降低、使用寿命缩短，因此在配方设计时，必须考虑混炼、压延、压出、成型、硫化等工序的工艺性能及工艺操作要求。胶料配方对工艺性能有下列影响。

1．可塑度

生胶或混炼胶的可塑度应适宜，可塑度太高或太低都会影响工艺性能，使压延或压出工艺操作困难，半制品尺寸不易控制。在配方设计中，生胶的门尼粘度非常重要，门尼粘度一般在50左右就能满足加工要求，对于门尼粘度偏高的生胶应降低其粘度，使胶料达到一定的可塑度。选用的软化剂和填充剂对混炼胶可塑度的影响最大，软化剂中以矿物油，填充剂中以硬质炭黑影响最大，应适量使用。

2．粘辊

胶料通过炼胶机、压延机或挤出机时，由于胶料粘辊，给工艺操作带来困难，配方中应选用硬脂酸、石蜡等，以克服或改善粘辊现象。

3．粘性

胶帘布和胎面等半制品在成型贴合时，要求必须贴合紧密、结实、粘为一体，还要求能较长时间地保持这种自粘性，保证轮胎的硫化质量，因此在配方中应避免使用过量的蜡类物质或填充剂，可配入古马隆、松香或酚醛树脂等来提高粘性。但应注意，不要加入太多，否则会太粘而影响成型贴合操作与成型质量。

4．焦烧

配方设计中高效硫化促进剂使用过量，胶料在操作或停放过程中会出现自硫现象。为避免这种现象的发生，一般加入酸性配合剂（软化剂）能减少胶料的生热性，对防止胶料焦烧有一定的作用。采用后效性能好的硫化促进剂CZ或采取促进剂并用等方法能延长胶料的焦烧期，防止焦烧。

5．喷霜

配方中因配合剂使用过量，胶料在冷却停放过程中配合剂喷出胶料的表面，影响胶料的粘着性并影响成型贴合操作与成型后制品的质量。为避免喷霜，配方设计中可控制硫黄的用量以及石蜡与防老剂的用量。

## 第五节　生产配方举例

### 一、手推车外胎胎面胶和胎身胶配方

手推车外胎胎面胶的配方设计举例见表2-4-7；手推车外胎胎身胶的配方设计举例见表2-4-8。

表2-4-7　手推车外胎胎面胶配方

单位：重量份

| 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 50 | 40 | 50 | 50 | 50 | 防老剂A | 0.5 | 2.0 | | | |
| 顺丁橡胶 | 30 | 35 | 40 | 40 | 30 | 防老剂D | | | 1.0 | | 1.0 |
| 丁苯橡胶 | 20 | 25 | 10 | 10 | 20 | 防老剂H | 0.3 | | | | 0.3 |
| 再生橡胶 | 8.0 | | 8.0 | 8.0 | 10.5 | 防老剂RD | 0.8 | | | | |
| 硫黄 | 1.3 | 1.2 | 1.6 | 1.8 | 1.3 | 防老剂4010 | | | 1.0 | | |
| 促进剂M | 0.25 | | | 0.15 | | 防老剂4010NA | 0.5 | 0.5 | | | 1.0 |
| 促进剂DM | 0.5 | 0.8 | 0.7 | 1.0 | 0.8 | 氧化锌 | 4.0 | 4.0 | 4 | 4.0 | 4.0 |
| 促进剂CZ | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.3 | 0.8 | 硬脂酸 | 1.5 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.5 |

续表

| 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 石蜡 | 1.0 | 白蜡 1.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 松焦油 | | | 4.0 | | |
| | | | | | | 软质油 | | | | | 4.0 |
| 碳酸钙 | | 7.0 | | | | 合成脂肪酸 | 1.5 | | | | |
| 中超耐磨炉黑 | 23.5 | 30 | 35 | 50 | 30 | 古马隆 | 4.5 | | | 2.55 | |
| 高耐磨炉黑 | 30.43 | 20 | 18 | | 15 | | | | | | |
| 机油 | | 10 | | 6.0 | | 合　计 | 183.38 | 180.50 | 182.10 | 175.80 | 172.20 |
| 软化重油 | 4.1 | | 4.0 | | | 含胶率，% | 54.5 | 55.4 | 54.9 | 55.3 | 58.0 |

## 表 2-4-8　手推车外胎帘布胶配方

单位：重量份

| 名　称 | 1 | | 2 | 3 | | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1～2层 | 3～4层 | 1～4层 | 1～2层 | 3～4层 | 1～4层 | 1～2层 | 3～4层 |
| 天然橡胶 | 60 | 60 | 80 | 65 | 70 | 65 | 70 | 80 |
| 顺丁橡胶 | 14 | 14 | | 20 | 10 | 15 | | |
| 丁苯橡胶 | 26 | 26 | 20 | 15 | 20 | 20 | 30 | 20 |
| 再生橡胶 | | | | 15 | | | | |
| 硫黄 | 1.9 | 1.9 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.2 | 2.2 |
| 促进剂D | | 0.2 | | 0.25 | 0.25 | | 0.20 | 0.15 |
| 促进剂M | 0.7 | 0.8 | 1.0 | 0.4 | 0.5 | 0.195 | 1.4 | 1.3 |
| 促进剂DM | 0.95 | 0.85 | | 1.2 | 0.7 | 1.1 | | |
| 促进剂CZ | 0.7 | 0.5 | 1.1 | | 0.6 | 0.5 | | 0.6 |
| 促进剂DPG | | | 0.2 | | | | | |
| 促进剂TT | | 0.07 | | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | |
| 防老剂A | 0.5 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 0.8 | 1.0 |
| 防老剂D | 1.0 | 1.5 | | | | | 0.8 | 1.0 |
| 防老剂RD | | | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1.0 | | |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 硬脂酸 | 2.5 | 2.0 | 2.5 | 2.0 | 2.5 | 2.0 | 2.0 | 2.5 |
| 碳酸钙 | 15.08 | 36.38 | 18.9 | 33 | 23 | | 34.55 | 26.25 |
| 混气槽黑 | | | 20 | | | | 15 | |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | | | | 12 | 18 | 26.955 | | |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 20 | 11 | | | | | 18 | 15 |
| 通用炉黑(GPF) | 15 | 16 | | | | 10 | | |
| 半补强炉黑(SRF) | | | 10 | 20 | 20.9 | | | 18 |
| 机油 | | | | | | 6 | | |
| 软化重油 | 8 | 9 | 10 | 5.5 | 6 | 1 | | |
| 松焦油 | | | | | | 5.5 | 10 | 5 |
| 古马隆 | | | | 3.5 | 3 | | | |
| 合　计 | 172.33 | 185.2 | 172.5 | 200.42 | 182.9 | 160.4 | 190 | 178 |
| 含胶率，% | 58.03 | 54.00 | 57.95 | 49.9 | 64.67 | 62.23 | 52.63 | 56.2 |

## 二、自行车轮胎外胎胎面胶及胎身胶配方

自行车外胎胎面胶的配方设计举例见表2-4-9；自行车外胎胎身胶的配方设计举例见表2-4-10。

表 2-4-9　自行车外胎胎面胶配方

单位：重量份

| 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 65 | 65 | 50 | 65 | 70 | 防老剂4010NA | 2.2 | | | | |
| 顺丁橡胶 | | 35 | 35 | 35 | 30 | 氧化锌 | 4 | 6 | 4 | 6 | 4 |
| 丁苯橡胶 | 45 | | 15 | | | 硬脂酸 | 3.0 | 1.5 | 2.5 | 2.7 | 3.0 |
| 再生橡胶 | | 10 | 12 | 10 | | 石蜡 | 1.0 | 1.0 | 1.9 | 0.8 | 1.0 |
| 硫黄 | 1.2 | 1.5 | | 1.2 | 1.8 | 碳酸钙 | | 7.2 | | | 12.39 |
| 促进剂D | | 0.07 | | | | 机油 | 6 | | | 7 | |
| 促进剂M | | 1.00 | | | 0.21 | 中超耐磨炉黑(ISAF) | 30 | 10 | 20 | 27 | |
| 促进剂DM | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 0.8 | 1.0 | 高耐磨炉黑(HAF) | 15 | 15 | 11 | 20 | 44.4 |
| 促进剂CZ | 0.8 | 0.5 | 1.0 | 0.8 | | 半补强炉黑(SRF) | | | 18 | | |
| 促进剂NOBS | | | | | 0.6 | 软化重油 | | 4 | 5 | | 8 |
| 防老剂A | | 0.5 | 1.0 | | | 松焦油 | 2 | 4 | | | 2 |
| 防老剂D | | | 1.0 | 1.0 | | 古马隆 | | 2 | 3 | | |
| 防老剂RD | | 1.0 | | | 0.7 | 合成脂肪酸 | | 1.5 | | | |
| 防老剂4010 | | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.4 | 合　计 | 156.2 | 166.67 | 182.5 | 177.30 | 180.00 |
| | | | | | | 含胶率，% | 30.17 | 59.83 | 54.79 | 56.40 | 65.43 |

表 2-4-10　自行车外胎帘布胶料配方

单位：重量份

| 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 80 | 70 | 70 | 50 | 50 | 硬脂酸 | 2.5 | 1.0 | 2.5 | 2.5 | 2.0 |
| 顺丁橡胶 | | | 30 | | 20 | 碳酸钙 | 18.3 | 执27.9 | 10.0 | 20.8 | 24.9 |
| 丁苯橡胶 | 20 | 30 | 20 | 30 | 30 | 混气槽黑 | 20 | | | | |
| 硫黄 | 2.3 | 2.2 | 1.8 | 2.2 | 1.6 | 中超耐磨炉黑(ISAF) | | 5 | 8 | | |
| 促进剂D | | 0.4 | | 0.1 | 0.3 | 高耐磨炉黑(HAF) | | 22.0 | | 15.0 | 27.8 |
| 促进剂M | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.15 | 半补强炉黑(SRF) | 10 | | 25 | 17 | 11 |
| 促进剂DM | | 0.4 | 1.5 | | 1.0 | 机油 | | | | | 7.5 |
| 促进剂CZ | 1.1 | 0.2 | 1.0 | 1.0 | 0.6 | 软化重油 | 10 | 6 | 4 | | 7.5 |
| 促进剂TT | 促进剂DTG 0.2 | | 0.07 | | 0.05 | 松焦油 | | 3 | | 8 | |
| 防老剂A | 1.0 | 0.5 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 古马隆 | | 2 | 4 | | |
| 防老剂D | | | | 0.8 | | 合成脂肪酸 | | 1 | | | |
| 防老剂RD | 0.5 | 1.0 | 0.7 | | | 合　计 | 172.50 | 178.60 | 163.97 | 174.00 | 189.00 |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 含胶率，% | 57.90 | 55.90 | 60.98 | 57.47 | 52.91 |

## 三、力车内胎胶料、气囊胶料配方

力车内胎胶料的配方设计举例见表2-4-11，力车轮胎气囊胶料配方设计举例见表2-4-12。

表 2-4-11　力车内胎胶料配方

单位：重量份

| 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 碳酸钙 | 54.68 | 54 | 52.0 | 54.8 | 51.1 |
| 硫黄 | 2.2 | 2.3 | 2.1 | 2.2 | 2.2 | 半补强炉黑(SRF) | | | | | 10 |
| 促进剂M | 0.28 | | | 0.5 | | 机　油 | | | 3.0 | | |
| 促进剂DM | 0.56 | 0.4 | 0.8 | 0.3 | 0.6 | 松焦油 | | | | | 1.5 |
| 促进剂CZ | 0.28 | 0.6 | | 0.3 | 0.6 | 凡士林 | 1 | 2 | | 1 | |
| 防老剂A | 0.75 | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 水杨酸 | | | | 0.2 | |
| 防老剂D | | 1.0 | | 0.5 | 1.0 | 立德粉 | 8 | 12.5 | 10 | 8 | |
| 防老剂RD | 0.75 | | 1.0 | | | 橡胶大红L | 金光红C 0.5 | 1.2 | 0.8 | 0.7 | |
| 氧化锌 | MgO 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 合　计 | 177.0 | 181.2 | 177.9 | 177.0 | 175.0 |
| 硬脂酸 | 2 | 2 | 1.5 | 1.5 | 2 | | | | | | |
| 石蜡 | 1.0 | 0.8 | 白蜡1.2 | 1.0 | 0.5 | 含胶率，% | 56.50 | 55.19 | 56.21 | 56.50 | 57.14 |

表 2-4-12　力车气囊胶料配方

单位：重量份

| 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 名　称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基橡胶 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 树脂2402 | 5.0 | 6.5 | 6.0 | | 10.0 |
| 硬脂酸 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 氧化亚锡 | 1.25 | 1.00 | 1.30 | 1.26 | 1.70 |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 62.5 | 61.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | | | | | | |
| 凡士林 | 6.25 | 6.00 | 7.00 | 7.00 | 6.00 | 合　计 | 176.00 | 176.50 | 175.30 | 175.46 | 178.70 |
| 树脂201 | | | | 6.7 | | 含胶率，% | 56.82 | 56.66 | 57.05 | 56.99 | 55.96 |

# 第五章　力车轮胎工艺

## 第一节　力车外胎工艺

力车轮胎外胎生产工艺分为软边外胎生产工艺和硬边外胎生产工艺，软边外胎生产工艺流程见图2-5-1，硬边外胎生产工艺流程见图2-5-2。

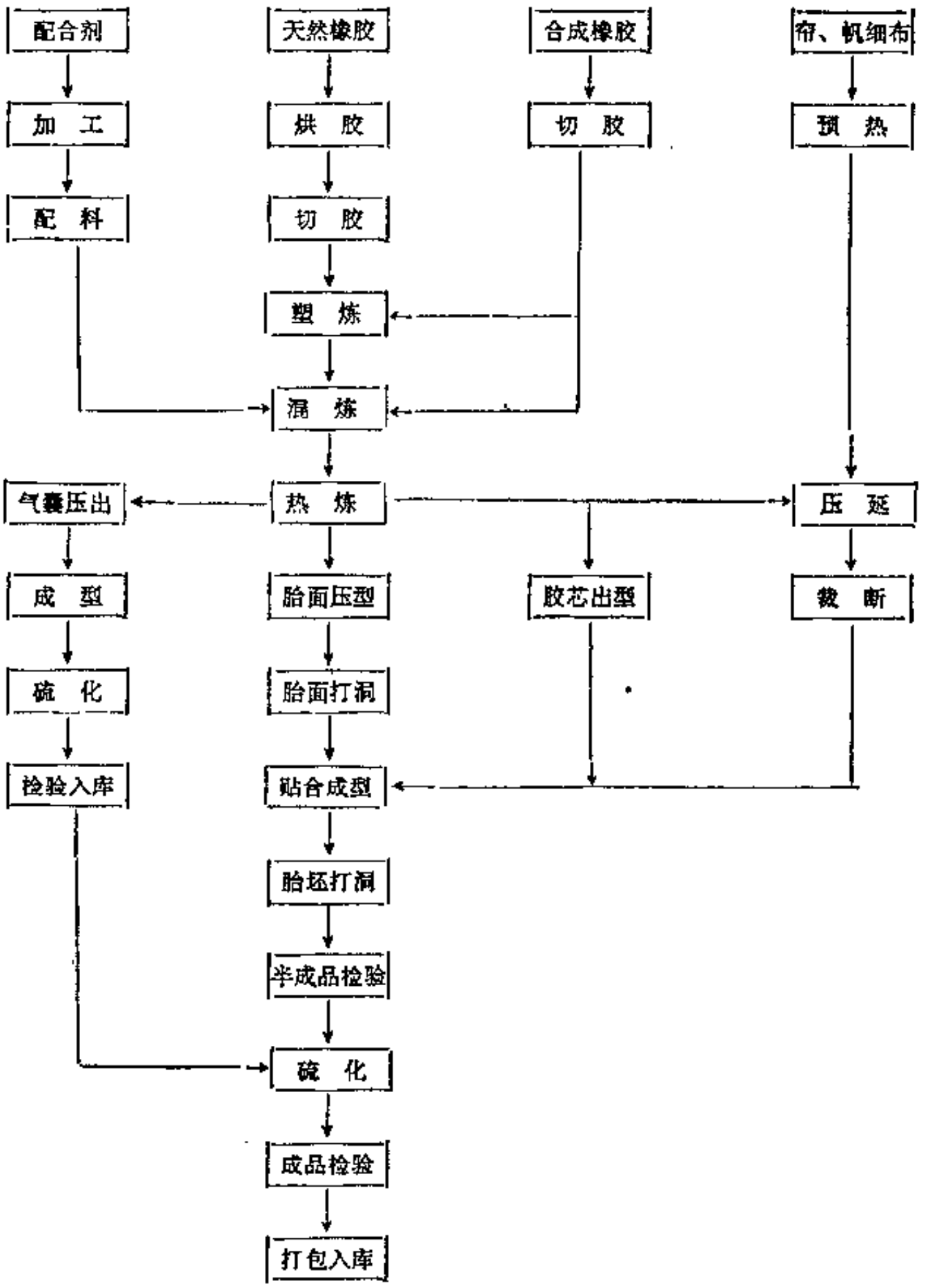



图 2-5-1　力车软边外胎生产工艺流程

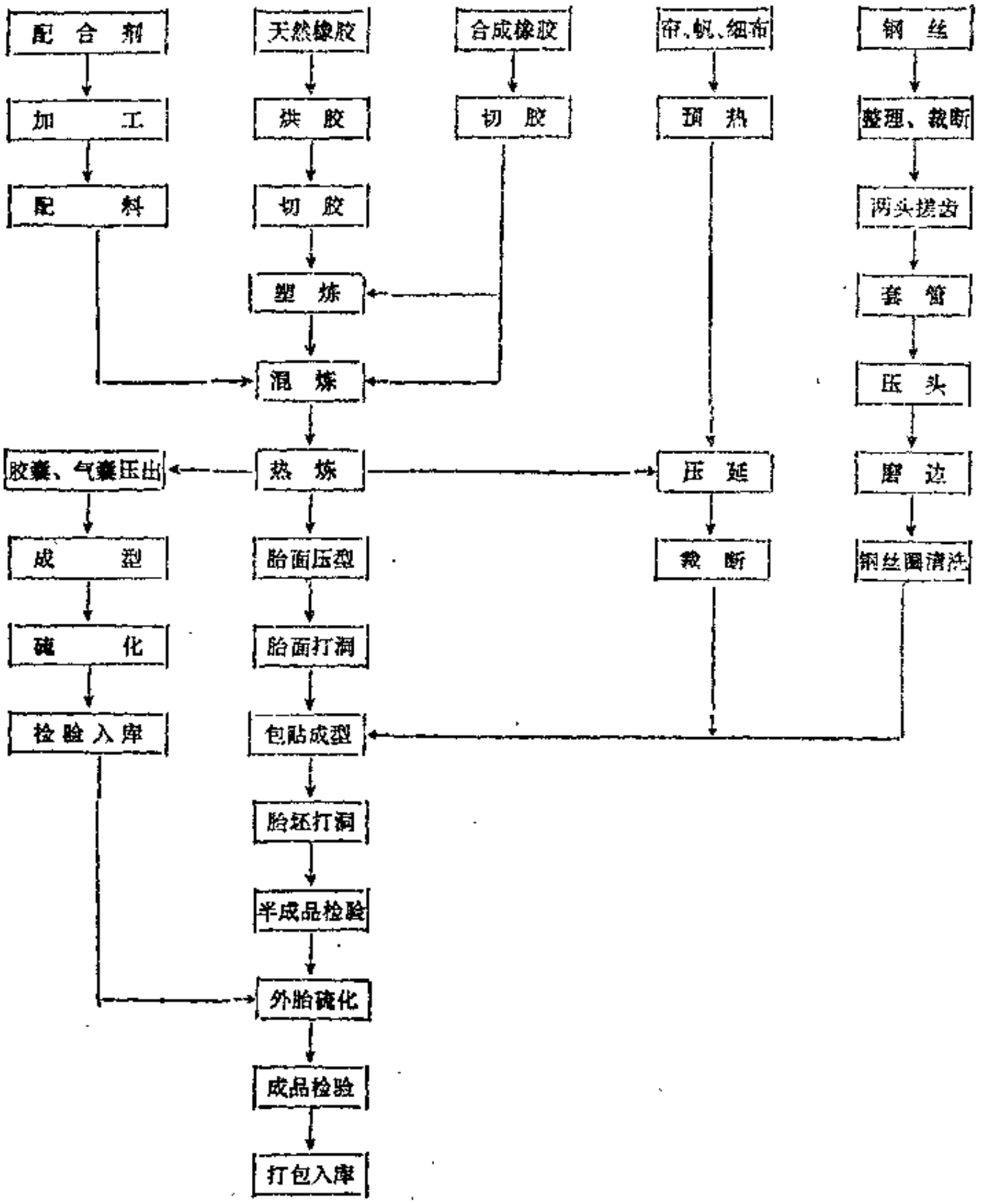



图 2-5-2 力车硬边外胎生产工艺流程

## 一、混 炼 工 艺

参见第三分册《基本工艺》中有关部分。

## 二、压 延 工 艺

参见第三分册《基本工艺》中有关部分。

## 三、胎面压型工艺

胎面压型主要是利用辊筒压延机或挤出机制造具有一定断面形状的带状胶片。

### （一）胎面压型前的准备

采用热喂料式压型设备进行胎面压型时，所使用的混炼胶料必须先经开炼机热炼后才能压型。胶料的热炼分为粗炼和细炼，粗炼的目的主要是提高胶料的可塑性，通常采用低温薄通，薄通时的辊温为50～55℃；细炼是提高胶料的温度及均匀性，辊筒温度一般控制在60～65℃之间。热炼机的配备可根据压延机的用胶量而定，通常配备2～3台热炼机。在压型过程中，为了使胶料软硬均匀、保证供胶温度、用量及压型胎面的质量，可在热炼机上安装自动翻料装置，并通过输送带由热炼机连续自动供料。采用冷喂料式压型设备压型胎面时，必须将使用的混炼胶制成一定宽度与厚度的胶条。

### （二）胎面压型方式

力车轮胎胎面压型方式可分为单色与彩色胎面二种。

1．单色胎面压型

采用辊筒压延法，一般使用的是辊筒直径为230mm的三辊或四辊压延机，胶料通过刻有一定断面尺寸的型辊面获得所要求的胎面。压延法为胎面整体一次压型，即胎冠与胎侧由同一台压延机用同一种胶料一次压型。此法工艺操作简便，压型质量容易控制，生产效率较高。

三辊压延机与四辊压延机相比较，三辊压延机的优点是使用简单方便，缺点是压型胎面的表面不够光滑，气泡较多；四辊压延机的优点是压型胎面质量较好，胎面表面光滑，气泡较少，旁侧辊更换方便，可以根据生产需要随时更换，缺点是使用较复杂。

三辊压延机压型方法见图2-5-3，四辊压延机压型方法见图2-5-4。

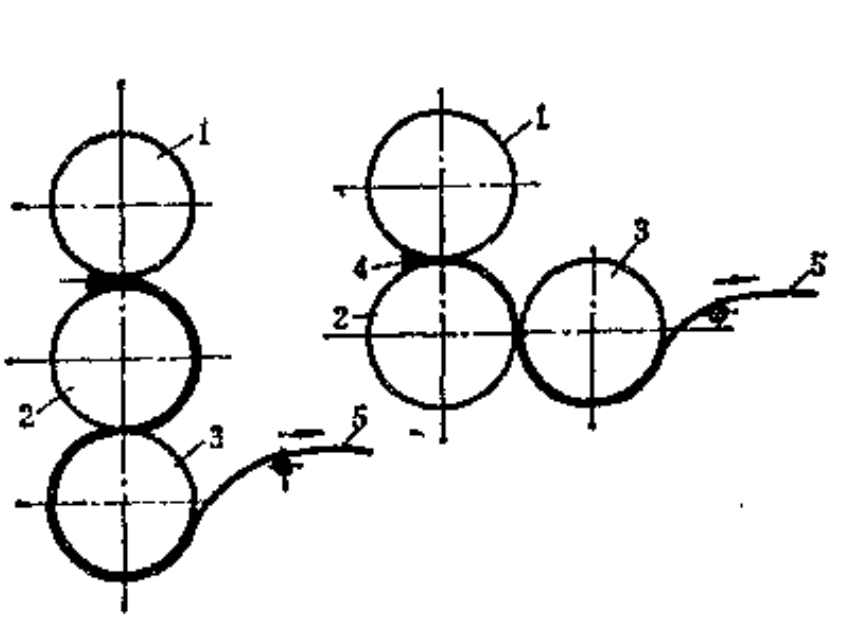



图 2-5-3　三辊压延机胎面压型
1—上辊；2—中辊；3—下辊或侧辊；4—余胶；5—胎面

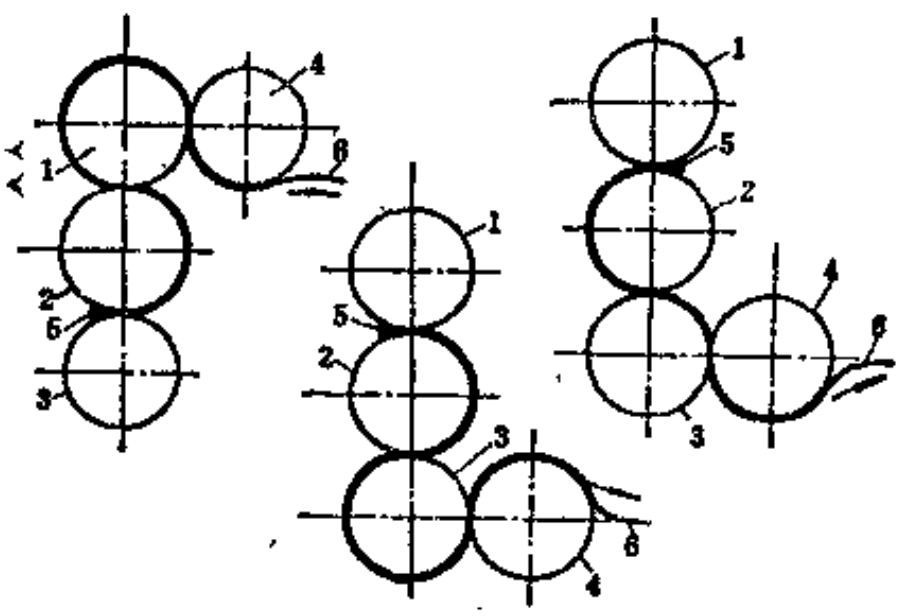



图 2-5-4　四辊压延机胎面压型
1—上辊；2—中辊；3—下辊；4—侧辊；
5—余胶；6—胎面

2．彩色胎面压型

目前自行车彩色轮胎的品种多为双色胎面，其胎面压型工艺主要有复合挤出法和压延法二种。

（1）复合挤出法　采用两台直径为65mm的冷喂料复合挤出机，联接一个复合机头配合使用，胎冠与胎侧分别有两种不同颜色的胶料（或不同配方的胶料）进入挤出机，同时通过复合机头口型板一次完成胶料的热炼和胎面的压出。冷喂料复合挤出机的特征见表2-5-1，双色胎面的断面形状见图2-5-5。

表 2-5-1 冷喂料复合挤出机特征

| 设备名称 | 长度:直径 | 螺杆转速 r/min | 各部位温度，℃ | | | | | 生产能力 kg/h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 上机筒 | 下机筒 | 上螺杆 | 下螺杆 | 机头 | |
| 直径为65mm的冷喂料挤出机 | 14:1 | 4.5～45 (2～20) | 60～70 | 65～75 | 65～75 | 70～80 | 90～100 | 150 |

（2）辊筒压延法 采用二台直径为230mm的三辊压延机复合压出。也可采用一台热喂料挤出机与一台三辊压延机或一台七辊压延机复合压出，胎冠与胎侧两种不同颜色的胶料（或不同配方的胶料）分别通过二个型辊出片，然后在复合压辊上完成胎面压出。二台三辊压延机双色胎面压型方法示意图见图2-5-6；一台挤出机与一台三辊压延机双色胎面压型方法示意图见图2-5-7；七辊压延机双色胎面压型方法示意图见图2-5-8。



图 2-5-5 双色胎面断面形状图

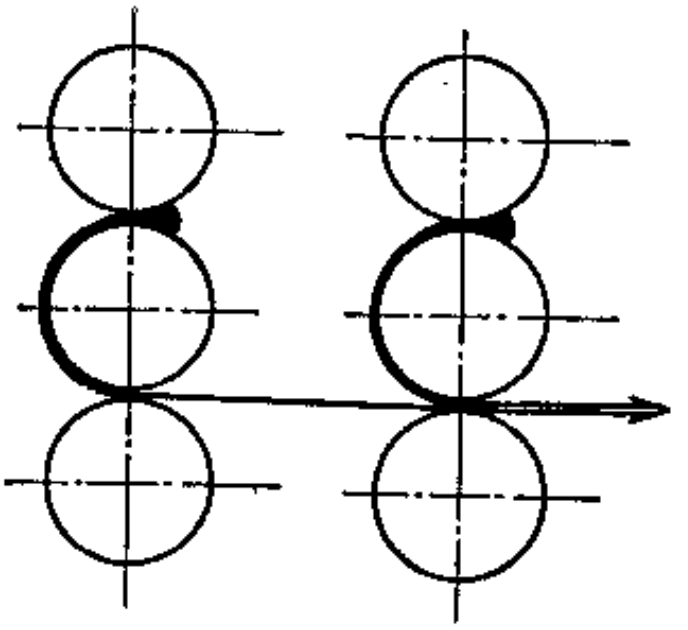


图 2-5-6 二台三辊压延机双色胎面压型



图 2-5-7 一台挤出机与一台三辊压延机配合胎面出型

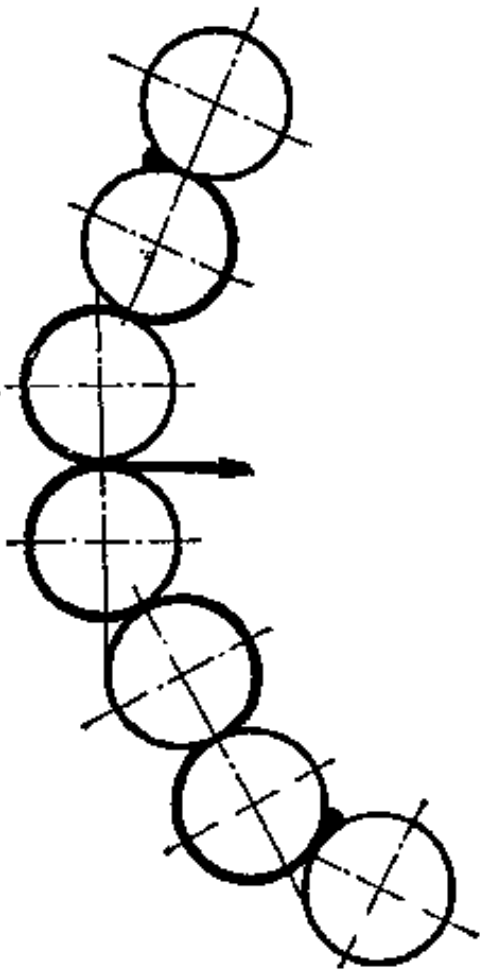


图 2-5-8 七辊压延机胎面压型

**复合挤出法与辊筒压延法工艺操作比较** 复合挤出法与辊筒压延法是彩色自行车轮胎胎面压出的二大主要工艺，该二种工艺操作的比较见表2-5-2。

**表 2-5-2 复合挤出法与辊筒压延法比较**

| 序号 | 复合挤出法 | 辊筒压延法 | 序号 | 复合挤出法 | 辊筒压延法 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 胶料不需要热炼 | 胶料需要热炼 | 7 | 对胶料要求严 | 对胶料要求不严 |
| 2 | 操作人员少 | 操作人员多 | 8 | 清洗机头麻烦 | 清洗辊筒容易 |
| 3 | 电能消耗少 | 电能消耗多 | 9 | 设备成本低 | 设备成本高 |
| 4 | 一次压出一条胎面 | 可以同时压出两条胎面 | 10 | 自动控制温度 | 人工控制温度 |
| 5 | 更换规格方便 | 更换规格不易 | 11 | 彩色胶边分界线清楚 | 彩色胶边分界线不清楚 |
| 6 | 胎面气泡少 | 胎面气泡多 | 12 | 操作容易控制 | 操作控制技巧要求较高 |

较先进的双色自行车轮胎胎面压型采用直径为300mm、长度为300mm的四辊压延机，该压延机压型的特点是，第二和第四辊为型辊，第一和第三辊筒为光面辊；第一、二辊为一组合（胎冠），第三辊和第四辊为一组合（胎侧），胎冠与胎侧分别在第一、二辊和第三、四辊之间出片，然后在复合压辊间完成双色胎面压出。该四辊压延机既具备一般辊筒压延法进行双色胎面压延复合的工艺简单、容易进行的工艺优点，又有一般辊筒压延法所不容易做到的特点：①可以进行两方三块胎面的复合压延工艺；②更换型辊简单易行；③设备简单紧凑，压延过程中不容易混胶混色。

国外三色自行车轮胎的结构是由胎冠（一般为黑色）、胎侧（一般为白色）和底胶（一般为红或蓝色）构成，底胶是花粒或花条，它是用研磨或切削工艺将底色露出而成的。三色自行车轮胎的胎面压型必须采用三方五块结构，同时要求胎侧部分胶片必须非常薄，故压型工艺要求较高。

三色自行车轮胎胎面压型工艺装备一般是在双色胎面压型工艺装备的基础上再增加一台复合挤出机或压延机即可复合压出。

**（三）胎面压型辊筒温度**

控制胎面压型辊筒温度是保证胎面质量的主要环节，辊温过低会造成胎面表面不光滑，收缩性大；辊温过高又会造成胎面表面气泡过多。所以，要掌握好辊温，天然橡胶胎面压型辊温要比合成橡胶的胎面压型辊温高一些，但不高于90℃，挤出机和压延机辊筒温度范围见表2-5-3。

**表 2-5-3 胎面压型辊温**

单位：℃

| 设备名称 | 上辊 | 中辊 | 下辊 | 旁侧辊 |
|---|---|---|---|---|
| 三辊压延机 | 55～60 | 75～80 | 65～70 | |
| 四辊压延机 | 55～60 | 75～80 | 65～70 | 75～80 |
| 螺杆挤出机 | 机身 | 机头 | 口型 | |
| | 45～50 | 80～85 | 95～100 | |

**（四）胎面压出速度**

胎面压出速度是决定胎面压型质量的重要因素，胎面压出通常在压出联动装置输送带上进行，输送带速度要求符合胎面质量要求，即输送带牵引速度应与压出速度配合一致，速度过快容易产生气孔，速度过慢，生产效率太低。

**（五）胎面冷却与停放**

压型的胎面由于温度较高，收缩性较大，必须经冷却后才能使用，以避免胎面厚薄不均匀和宽窄不一。胎面冷却通常是在压出联动装置输送带（单层或多层）上进行自然冷却，有些是在冷却水槽及输送带上进行的，冷却水的温度不高于25℃，冷却时间按工艺要求而定。

若采用浸水冷却，胎面在贴合前应将胎面上的水分除净。

胎面冷却后，一种方法是经过裁断，存放在胎面板或胎面车上供成型时使用。胎面一般采用自控裁断长度，电刀温度为180～200℃，近年来采用胎面裁断后自动称量，控制每条胎面的重量。胎面冷却存放时间一般不超过36小时。采用此法胎面尺寸稳定，但辅助劳动强度较大，需要一定的场地存放胎面。另一种方法是不经过裁断存放，在联动装置前配备一台上胎面机，压出后的胎面在输送带上连续供成型使用。此法生产效率高，但胎面贴合工艺操作要求较高。另外还有胎面压出后加垫布打卷后供成型使用。

**（六）胎面打洞**

采用胎面压出后打洞的方法，可以减少尼龙轮胎成品的气泡缺陷，使轮胎在高温硫化时因帘线收缩而产生的气体能及时逸出。

胎面打洞方法一般有滚齿打洞和往复式打洞两种。

（1）滚齿打洞　该打洞装置的特点是简单易行，缺点是热胎面或收缩性大的胎面易使洞孔封死。

打洞条件：直径为2mm的钢针，刺孔间距为12mm，在胎面冠部反面连续刺孔。滚齿打洞装置见图2-5-9所示。

（2）往复式打洞　该打洞装置较复杂，特点是打洞效果好，洞孔不易封死。

打洞条件：直径为2mm的钢针，打洞间距为15mm，在胎面冠部中心位置上连续打洞。往复式打洞装置见图2-5-10所示。

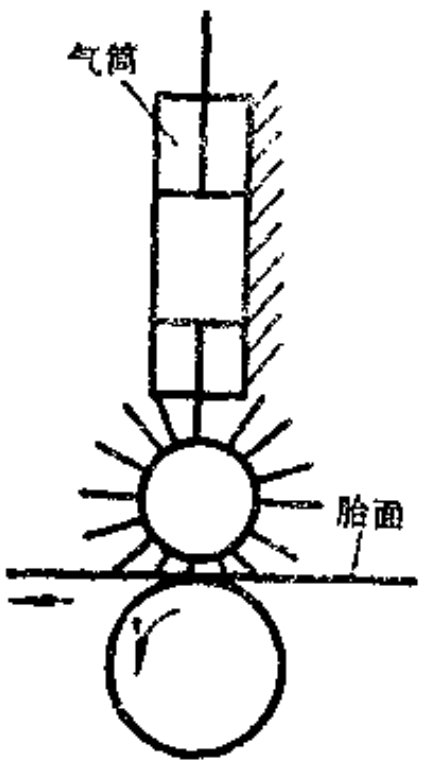



图 2-5-9　滚齿打洞示意图

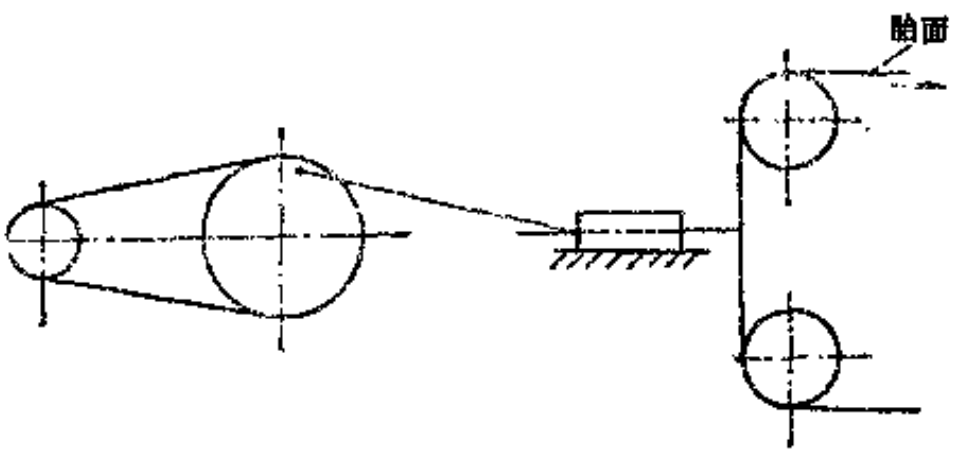



图 2-5-10　往复式打洞示意图

胎面打洞工艺要点有以下二方面：

①　从胎面底层部位向上打洞或刺孔，形成胎面上表面洞孔小，胎面底层洞孔大，呈蜂窝态；

②　以胎面冷却后打洞或穿孔为宜。

**（七）胎面压型质量要求**

胎面压型的质量要求如下。

①　胎面的重量及断面尺寸应符合施工标准。

②　压型胎面应平整、光滑、无气泡、无杂物、无熟胶粒子等现象。

③ 分层压出的胎面，上下层要求贴正，压实，无气泡。

④ 胎面返回胶掺用率不得大于20%。

⑤ 胎面打洞或刺孔不得偏歪至胎侧，洞孔不应阻塞。

常见胎面压型质量问题及改进措施见表2-5-4。

表 2-5-4 胎面压型质量问题及改进措施

| 质量问题 | 造成原因 | 改进措施 |
|---|---|---|
| 胎面气泡 | 胶料中使用挥发性大的配合剂，或胶料含有水分，返回胶掺用率大于20%，压型辊温过高，采用胶卷供胶压型 | 严格控制原材料，合理使用，严格执行工艺，控制压型辊温，改进供放方式，采用胶片连续供胶出型 |
| 胎面疤痕或粗糙 | 胶料热炼辊温低，热炼胶料不均匀，压型辊温（口型）低，供胶温度低 | 严格控制辊温、胶温，严格遵守工艺操作，胶料热炼安装自动落料装置，并采用胶片连续供胶压型 |
| 胎面断面尺寸不符合要求 | 压型辊筒形状不符合要求，压型温度控制不当，牵引速度与压出速度配合不当，压出后冷却不足或存放条件不良 | 更换压型辊筒，严格控制压型温度，调整压出牵引速度，改善冷却与存放条件 |

## 四、外胎成型工艺

### （一）外胎成型前的准备

1．钢丝圈制造

力车硬边外胎成型用的钢丝圈分为单根（镀锌）焊接及冷压接头和单根或多根（镀铜）压出钢丝圈二种类型。

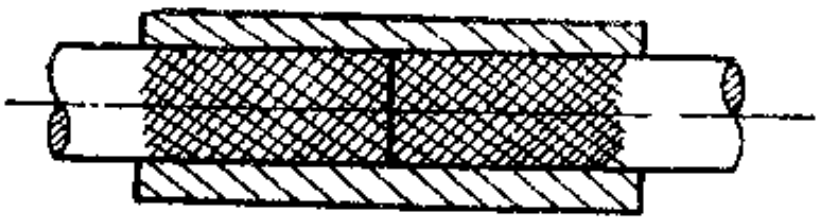


图 2-5-11 挫齿式接头断面示意图

（1）单根冷压接头钢丝圈 由于单根焊接钢丝圈制造工艺操作复杂，工序繁多，生产效率低，质量（接头强力）不易控制，已逐渐被单根挫齿式冷压接头新工艺所取代，其挫齿式接头断面见图2-5-11。

单根冷压接头钢丝圈的制造工艺为：钢丝校直定长裁断→两头挫齿→汽油洗头→接头套管→油泵压头→套管磨边→汽油清洗钢丝圈→检查。钢丝圈制造工艺标准分别见表 2-5-5 挫齿工艺标准、表2-5-6套管工艺标准、表2-5-7冷压接头工艺标准及表 2-5-8 压头磨边工艺标准。

表 2-5-5 挫齿工艺标准

单位：mm

| 设备名称 | 钢丝直径 | 挫齿长度 | 挫齿深度 | 挫齿直径 | 特征 |
|---|---|---|---|---|---|
| 挫齿机 | $2.1^{+0.03}_{-0.07}$ | 5～6 | 0.33～0.37 | 2.33～2.38 | 19～21根/mm(单头) |

表 2-5-6 套管工艺标准

单位：mm

| 设备类别 | 套管长度 | 套管直径 | | 说明 |
|---|---|---|---|---|
| | | 外径 | 内径 | |
| 机床切割 | 12±0.6 | 4.0～4.1 | 2.38～2.42 | 镀铜套管 |

表 2-5-7　冷压接头工艺标准

| 设备名称 | 工作压力 MPa(kgf/cm²) | 压模槽直径 mm | 套管外径，mm |
|---|---|---|---|
| 液压机 | 6.9～9.8 (70～100) | 3.4～3.5 | ≤3.5 |

表 2-5-8　压头磨边工艺标准

| 设备名称 | 生产能力，根/min | 形式 | 套管外径 mm |
|---|---|---|---|
| 钢丝磨头机 | 8～10 | 双轮砂轮机 | ≥3.4 |

国外钢丝冷压接头方式还有二种，一种为螺纹式冷压接头，如图2-5-12所示，这种接头方法接触面积大，加工较容易，但挤压时需要压力较高的压力机。另一种是嵌接式冷压接头，如图2-5-13所示，这种接头方法结构简单，接头强力较高，但需用专用刀具进行加工。

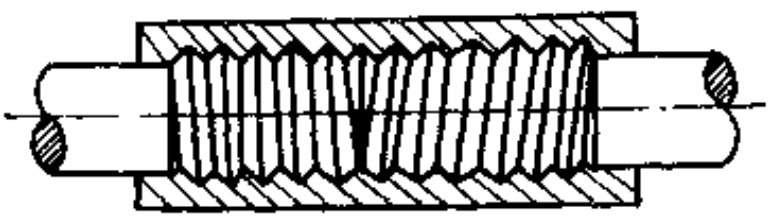


图 2-5-12　螺纹式接头断面示意图

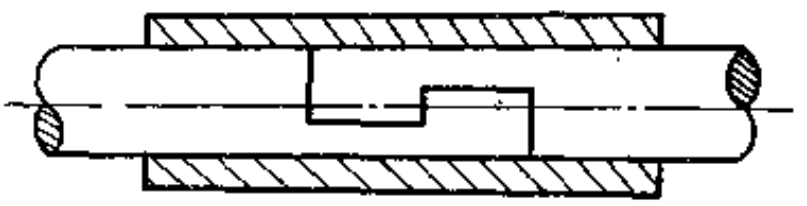


图 2-5-13　嵌接式接头断面示意图

单根冷压钢丝圈制造工艺质量要求有以下几点：

①　钢丝校直定长裁断机输送钢丝速度15～20m/min；

②　裁断的钢丝必须整根平直，铡口平整，裁断长度的公差为±0.5mm；

③　挫齿后表面齿点清晰，不得有纹路模糊或平尖现象，齿板不得有缺纹；

④　两头挫齿后的钢丝人工套进镀铜套管，两头必须碰紧，不得有空隙，钢丝两端以不见齿纹为准；

⑤　冷压时铜丝套管部分必须平整地放在压模槽内，同时将钢丝两端头向套管中心碰紧；

⑥　磨削掉套管废边，不得留有明显的痕迹或块边。

（2）单根或多根压出钢丝圈　单根或多根压出钢丝圈制造工艺为：单根或多根钢丝→浸盐酸处理→清洗→压出→卷层。钢丝处理的工艺标准见表2-5-9，钢丝压出的工艺标准见表2-5-10。

表 2-5-9　钢丝处理工艺标准

| 钢丝直径 mm | 30%工业盐酸 | 浸酸时间，s | 清洗要求 |
|---|---|---|---|
| 1.0±0.03 | 浓度为3% | 3～5 | 80℃热水中清洗，并吹干水分 |

表 2-5-10　钢丝压出工艺标准

| 设备名称 | 压出温度，℃ | | | 压出口型直径 mm | 压出机速度，r/min |
|---|---|---|---|---|---|
| | 口　型 | 机　身 | 螺旋堂内 | | |
| φ63挤出机 | 70～80 | 40～50 | 冷水冷却 | 1.6±0.05 | 5 |

这种方法与单根冷压接头法相比较具有工艺操作简单、机械化连续化程度高、劳动生产率高的特点。一般的载重力车轮胎和机动轮胎以采用压出钢丝圈结构为佳，而轻型自行车轮胎则采用单根冷压接头钢丝圈。

单根或多根压出钢丝圈制造工艺质量要求有以下几点：

①　钢丝通过挤出机包胶压出，经过缠绕数圈成钢丝圈，钢丝排列必须整齐；

②　压出后的钢丝圈两端必须用胶布包扎，防止钢丝圈变形；

③　压出后的钢丝圈不应有缺胶、露钢丝以及沾有油污等缺陷现象。

（2）挂胶帘布、帆布和细布的裁断

（1）胶帘布裁断　裁断宽度与角度是否准确，直接关系到成型胎坯的质量，也会影响轮胎的使用质量。胶帘布裁断在立式裁断机上按一定宽度和角度进行斜向裁断。胶帘布裁断示意图见图2-5-14。

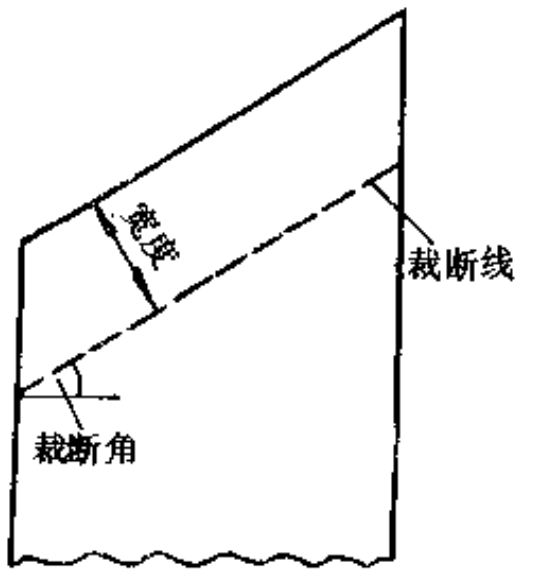



图 2-5-14　胶帘布裁断示意图

胶帘布裁断所使用的立式裁断机特征见表2-5-11。

另外，也有用卧式裁断机裁断胶帘布的，胶帘布在裁断机上沿横向按一定的角度裁断，然后按经线方向一定的宽度撕开。

胶帘布的裁断是根据力车轮胎的设计要求，按照施工标准规定的宽度与角度进行裁断的，胶帘布的裁断公差见表2-5-12。

表 2-5-11　立式裁断机特征

| 设备名称 | 裁断最大宽度，m | 裁断角度 | 特征，次/min | 适用范围 |
|---|---|---|---|---|
| 立式裁断机 | 1 | 0～45° | 30～36 | 帘布层贴合 |

表 2-5-12　胶帘布裁断公差

| 名　称 | 裁断公差 | | 说　明 |
|---|---|---|---|
| | 宽度，mm | 角　度 | |
| 尼龙帘布 | ±2.5 | ±1° | 帘布拼接出线宽度3～6根，拼接长度不小于30mm，每层接头数不多于4个 |

胶帘布应按压延先后顺序进行使用裁断，裁断后的布片存放与输送有两种方法。一种是将裁断的布片直接挂在输送链上或将裁断的布片经定长后放在输送链盘内，送往成型工段使用。该法的特点是适用于软边外胎连续化大生产，但由于布片直接挂在链上，长时间停放容易造成布片变形，下端下垂变窄等现象。另一种方法是将裁断后的布片(定长或不定长)用塑料筒卷取后套在输送链上，送往成型工段供成型之用。该法的特点是适用于硬边外胎的连续化大生产，但对工艺操作要求较高：布片卷取要整文，松紧要适当。

胶帘布裁断后不应出现帘线弯曲、两端宽度不相等、帘线稀缝、掉胶皮、帘布表面有熟胶粒及油污等缺陷。胶帘布裁断工艺常见的质量问题及改进措施见表2-5-13。

表 2-5-13　胶帘布裁断工艺质量问题及改进措施

| 质量问题 | 造　成　原　因 | 改　进　措　施 |
|---|---|---|
| 大小头 | 帘布两边松紧不一，胶帘布有兜，裁断机压板不紧 | 改进帘布质量，提高压延操作质量，调整裁断机压板 |
| 宽度波动 | 胶帘布太粘或喷霜，裁断机有故障，操作不当 | 严格控制胶帘布压延质量，存放条件，更新或维修裁断机，提高操作技能 |
| 角度波动 | 供布松紧走斜，裁断机压板松动 | 调整送布装置，调整裁断机压板 |

（2）胶帆、细分裁断　胶帆、细布的作用是加固轮胎圈，若裁断宽度与角度不准确，将影响轮胎胎圈的强度，造成轮胎早期损坏。胶帆、细布的裁断是在卧式裁断机与撕布机上进行的，卧式裁断机是将胶帆布按固定45°角度裁断，人工接头自动卷取后供成型使用；撕

布机是将胶帆、细布按纵向（90°角）撕成一定宽度的胶布条，连续自动卷取后供成型使用。胶帆、细布裁断机的特征见表2-5-14。

表 2-5-14 胶帆、细布裁断机特征

| 设备特性 | 裁断宽度 mm | 裁断角度 | 特 征 |
|---|---|---|---|
| 卧式裁断刀 | 25～55 | 45° | 25～30次/min |
| 裁布机 | 10（细布）<br>25（胶布） | 90° | 8m/min |

表 2-5-15 胶帆、细布裁断公差

| 名称 | 裁割公差 | | 备 注 |
|---|---|---|---|
| | 宽度，mm | 角 度 | |
| 胶帘布 | ±1.5 | ±1° | 拼接长度不小于50mm<br>接头宽度±10mm |
| 胶细布 | ±1 | ±1° | 接头宽度±10mm |

胶帆、细布按照施工标准中规定的宽度与角度裁断。裁断公差见表2-5-15。

胶帆、细布应按压延的先后顺序进行裁断然后供成型，裁断的胶帆、细布不应有露白、打折、熟胶粒、油污等现象。

3．三角胶芯制造

胶芯压出前必须将所使用的混炼胶先经开炼机热炼，热炼时辊温控制在50～60℃，待胶料表面光滑后划成厚度为8～10mm的胶片并打卷供压型使用。胶芯压型一般在直径为230mm的二辊压延机上进行，以冷辊压型，压型后的胶芯停放4小时以上，然后切割。胶芯切割是在三角胶芯切割分条机上进行，将整排三角胶芯通过成组圆盘切刀切割分条，切刀刀口形状有双斜面和单斜面两种，双斜面刀切割锐利，但修磨较麻烦。胶芯切割速度为22～30m/min，圆盘刀转速为90～110r/min。

切割分离后的三角胶芯要求表面不得有残缺或凸出的节痕、油污等，重量及断面形状、尺寸应符合施工标准的规定。

**（二）外胎成型工艺**

外胎成型就是将胶帘布、内外包布、三角胶芯或钢丝圈和胎面等各种半制品在成型鼓上及借助各种辅助装置，按工艺要求进行贴合成型，制成半成品的胎坯。

1．成型方式

力车轮胎的成型按工艺方法可分为硬边轮胎与软边轮胎成型工艺；按帘布贴合方式分为缠绕、包叠和层贴三种；按成型鼓鼓面设计分为平面型和半鼓型。硬边自行车轮胎通常采用双鼓式缠绕或包叠成型；硬边手推车及轻型摩托车轮胎采用半鼓式层贴成型；软边手推车和自行车轮胎采用平面鼓式层贴成型。

（1）双鼓式缠绕成型　成型设备用的是双鼓卧式成型机，成型时将钢丝圈套在鼓面沟槽中，然后将胶帘布缠绕在钢丝圈上组成胎壳，再贴上胎圈外包布和胎面后构成胎坯，其缠绕成型示意图见图2-5-15。此法由于胶帘布缠绕搭头多，成型、硫化后的轮胎乘骑性能差，这种成型工艺适用于以棉帘布作骨架材料的硬边自行车轮胎。自从推广使用尼龙帘布作骨架材料后，成型工艺采用双鼓式包叠成型。

（2）双鼓式包叠成型　成型设备采用双鼓立式和卧式成型机，成型时将钢丝圈套在鼓面沟槽中，再将供布装置上的胶帘布贴在上部钢丝圈下，同时贴上胎圈外包布，成型鼓运转时，包叠装置上的翻布轮、抹布轮进行自动包叠，经过压辊压合后构成胎壳，贴上胎面后就成为胎坯，包叠成型断面图见图2-5-16，包叠成型机特征见表2-5-16。

双鼓式包叠成型机有二个鼓，分别为主动鼓和被动鼓，二个鼓的直径一般相同，鼓上钢丝槽深为3mm，宽为3.5～4.0mm。翻布轮的作用是将胶帘布、包布在包叠前预先翻边；抹

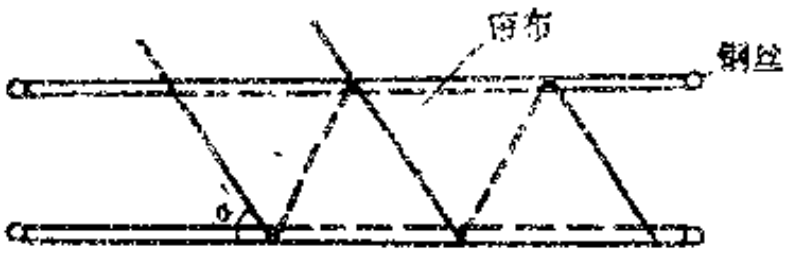



图 2-5-15　双鼓式缠绕成型示意图



图 2-5-16　双鼓式包叠成型断面示意图

表 2-5-16　双鼓式包叠成型机特征

| 轮胎类型 | 成型鼓直径 mm | 工作压力 MPa(kgf/cm²) | 生产能力，条/h | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 不贴胎面 | 贴胎面 |
| 自行车轮胎 | 216 | 0.34～0.39(3.5～4.0) | 72～80 | 50～57 |

布轮的作用是将已翻边的胶帘布、包布抹平并包叠；压辊的作用是将胶帘布、包布、胎面等逐层加以压合，压实。

双鼓式包叠成型的特点是帘布在胎冠部搭接，故能增强轮胎胎体的强度，提高轮胎的使用性能。按不同规格轮胎成型要求，搭接宽度一般为20～35mm（或控制包叠偏重值小于等于7～10mm）。包叠成型方法一般优于缠绕成型方法，包叠成型与缠绕成型特点的比较见表2-5-17。

表 2-5-17　包叠成型与缠绕成型比较

| 名　称 | 包　叠　成　型 | 缠　绕　成　型 |
|---|---|---|
| 帘布接头个数 | 1～3个 | 11个 |
| 原材料消耗 | 较少，节约 | 较多，浪费 |
| 操作工序 | 不需修头 | 需修头 |
| 劳动生产率 | 2.15人/台·班 | 3人/台·班 |
| 劳动强度 | 坐式成型，劳动强度低 | 立式成型，劳动强度高 |
| 帘布裁断方法 | 胶帘布沿横向按一定宽度和角度裁断 | 胶帘布沿横向按一定角度裁断，然后按经线方向撕开 |
| 帘布裁断方式 | 立式裁断 | 卧式裁断 |
| 帘布贴合层数 | 二层，胎冠部为三层 | 二层 |
| 适用性 | 帘线收缩状况相同，适用于尼龙骨架材料 | 帘线收缩状况不同，易引起胎身打折，适用于棉帘布作骨架材料 |
| 轮胎使用性能 | 可加强轮胎抗刺扎伤，提高行驶性能 | 轮胎断面易产生粗细不均匀，乘骑时出现跳动现象，不耐刺扎伤 |

随着力车轮胎工业的发展，成型工艺开始采用自动包叠式成型机。其特点是帘布和胎面可以卷成卷贮备在导出装置上自动供料、自动裁断，通过翻料装置和压合装置等自动包叠成型，并能调整下部成型机头的位置（即被动鼓），可在同一组成型机头上成型不同直径的外胎；调整成型机头两钢丝槽的间距和改变导轮的宽度，可以在同一组成型机头上成型不同断面宽度的外胎。

（3）半鼓式贴合成型　成型设备使用单鼓立式成型机，适用于硬边手推车轮胎及轻型摩托车轮胎。其包叠贴合成型断面示意图见图2-5-17。

单鼓式贴合成型法的特点是层贴，帘布边在胎圈部反包或包叠贴合，为了克服劳动强度大、生产效率低的缺点，成型鼓可采用气动膨胀，帘布边采用机械反包装置等措施，硬边手推车轮胎大部分采用这种成型工艺。

（4）平鼓式贴合成型　成型设备采用单鼓坐式成型机，成型时将胶帘布、内包布、三角胶芯、外包布依次逐层均匀贴合在鼓面上，并经压辊压合，最后贴上胎面构成胎坯，其贴合成型断面示意图见图2-5-18。软边手推车轮胎和软边自行车轮胎均采用这种成型工艺。

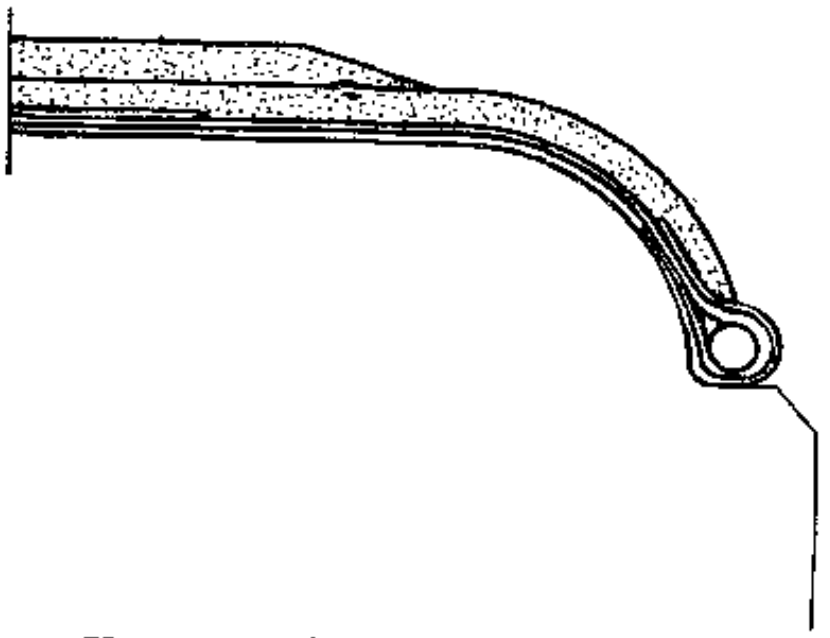


图 2-5-17　半鼓式包叠贴合断面示意图

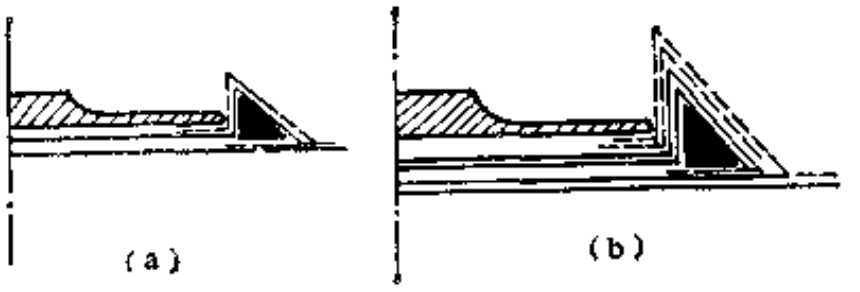



图 2-5-18　平鼓式贴合成型断面示意图
（a）二层断面；（b）四层断面

单鼓坐式成型机由机架、传动装置、成型鼓、压辊及供料装置等部件组成，成型机特征见表2-5-18。

表 2-5-18　单鼓坐式成型机特征

| 轮胎类型 | 成型鼓直径 mm | 工作压力 MPa(kgf/cm²) | 生产能力 条/h |
|---|---|---|---|
| 手推车轮胎 | 530～550 | 0.39～0.59 (4～6) | 20～27 |
| 自行车轮胎 | 600～620 | 0.39～0.59 (4～6) | 30～50 |

成型鼓为平鼓型或双斜面型，斜面角为3～5°，鼓面上有一排真空吸口吸附帘布，内外包布供布装置在成型鼓的上方，成型鼓的后面装有多片压辊或在下方装有双片圆盘式压辊，三角胶芯压辊由气缸推动压在成型鼓上，成型操作顺序由带孔的码盘发讯器进行程序控制，胎面由输送装置运送，胎坯通过输送带送至检验工段。

成型鼓的结构和尺寸将直接影响产品的使用质量。目前使用平鼓型成型鼓进行成型操作较方便，但帘布贴合质量不及双斜面型鼓好。

压辊的作用是将胶帘布、内外包布、三角胶芯、胎面等部件逐层加以压合、压实，目前使用的压辊有胶囊式、多片式、双片圆盘式及金属压辊。

a．胶囊式压辊　所使用的胶囊是用丁腈橡胶制造，这种压辊的特点是胶囊具有弹性，能适应胎坯形状的变化面将胎坯层层压实，胶囊充气压力为0.20～0.29MPa(2～3kgf/cm²)，充气后的胶囊断面直径不宜过大。

b．多片式压辊　由直径为100mm，厚度为3mm的铁片若干片串成一体面组成，成型贴合时随胎坯形状变化面将胎坯层层压实。

c．双片圆盘式压辊　使用时双片压辊紧压在胎坯上，当胎坯旋转时压辊自中间逐渐向左右两边分开直至胎耳根部为止，这种压辊的特点是经滚压后的胎坯能消除帘布层与胎面间的气泡，使贴合紧密。

d．金属压辊　能在成型贴合时局部压实胎坯，但不能适应胎坯形状的变化而压实胎坯。

三角胶芯压辊的作用主要是在贴合胶芯时作为定位及压实之用；胎面接头压块的作用是将表面刻有网状形花纹的压块通过气压的作用在胎面接头处加以压紧压实，使胎面接头牢固；内外包布供布装置的作用是贴合包布时作为定位及自动供布；胎面输送装置的作用是用输送带运输胎面供成型贴合使用。

2．成型操作要点

成型胎坯质量的优劣不仅影响成品的外观质量，而且还影响到产品的实际使用寿命。成型操作时，各部件贴合要正，并做到伸张均匀一致，层层压实，以保证胎坯各部位材料分布均匀，符合轮胎结构设计要求。尼龙轮胎胎坯在成型时，各部件的贴合，要严格做到层层压实，胎坯压实程度的优劣，直接影响到硫化成品的外观质量。

通过多年的生产实践，力车轮胎行业总结出了“四正”、“二实”、“二不交叉”、“二均匀”的操作要领，胶芯接头要接牢，防止脱空。其具体内容是：

四正——帘布正、胶芯正、内外包布正、胎面正；

二实——胎体压实、胶芯根部压实；

二不交叉——相邻两层帘布接头互不交叉、胎面接头与相邻帘布接头互不交叉；

二均匀——上帘布时拉伸均匀、上胎面时拉伸均匀。

3．胎坯（或胎壳）打洞

为了更加有效地减少尼龙轮胎成品的气泡缺陷现象，除了胎面采取打洞方法外，对胎坯（成胎壳）也可进行打洞，这是一项保证产品质量优良的措施。

胎坯（成胎壳）打洞方法采用滚齿打洞法，打洞条件同胎面打洞法相同，使用时滚齿装置紧压在胎坯（成胎壳）上，当胎坯（或胎壳）旋转时，装置上的针对胎坯（或胎壳）冠部进行连续刺孔。

4．胎坯存放与输送

成型后并经过检验合格的胎坯，需经短时间的停放，然后按成型先后顺序供给硫化工段。尼龙胎坯应考虑到尼龙帘布吸湿性及变形性大的特点，并且随着停放时间延长而增大，一般情况下，尼龙胎坯的停放时间不超过36小时，胎坯可存放在专用的车内或采用专用输送链运送至硫化工段供硫化，前者需要有一定的存放场地，劳动强度较大，后者机械化程度较高，但是要求成型与硫化必须密切配合。

5．成型胎坯质量要求

成型胎坯胎体应压实，不应有脱层、起泡、打折等现象，成型后的胎坯质量应符合力车轮胎施工工艺标准的规定。常见的成型后胎坯的缺陷及对成品质量的影响见表2-5-19。

## 五、外胎硫化工艺

硫化是外胎制造的最后一道工序，也是决定成品物理机械性能和使用性能的重要工序。目前所使用的力车轮胎硫化设备均为立式水压硫化机和电动个体硫化机，一般分双层和三层两种，硫化方法采用空气内压气囊或胶囊单向导热模型硫化，硫化过程分别采用射流、集成电路和微处理机自动控制硫化条件，以确保轮胎质量。

### （一）硫化前的准备及硫化设备

1．胎坯或气囊涂刷隔离剂

表 2-5-19 成型胎坯常见缺陷及对成品质量的影响

| 缺　　陷 | 造　成　原　因 | 对成品质量的影响 |
|---|---|---|
| 杂物、油污 | 布片、胎坯落地 | 造成外观，有杂物，胎体脱层、气泡。 |
| 帘布接头过多，接头重叠交叉 | 操作工责任性不强，没有严格执行工艺规定。 | 外胎充气后粗细不均匀，轮胎乘骑性能差。 |
| 胎面接头高或脱开 | 成型操作不当 | 造成局部硫化不足，降低轮胎平稳性及舒适性，易造成翻边。 |
| 帘布差级不符 | 成型操作不当 | 影响胶芯上提或下移，加快了轮胎在使用中的差级折断和烧边。 |
| 耳根未压实 | 成型压轮失灵 | 影响胶芯移位，轮胎在使用中易产生烧边。 |
| 胎体未压实 | 成型操作不当，压辊失灵。 | 硫化成品易产生气泡影响轮胎胎体附着强度。 |

为了防止硫化过程中外胎与气囊的粘连，便于胎坯装囊、定型以及硫化后的拔囊操作，减轻操作工的劳动强度，应在胎坯胎里或气囊表面涂刷液体隔离剂。液体隔离剂有两种，一种是皂液隔离剂；另一种是硅油隔离剂。配制比例为：

皂液隔离剂　甘油:中性皂:水=11.5:1:70（重量比）

硅油隔离剂（用于胎坯）　硅橡胶:汽油=1:18.5（重量比）

硅油隔离剂（用于气囊）　硅橡胶:汽油=1:40（重量比）

隔离剂配比浓度应适当，如果浓度过大时，易造成硫化成品胎里帘线稀缝、弯曲、胎里沟痕及蜂窝；浓度过小时，会给装囊、定型以及硫化后的拔囊等操作带来困难，造成硫化后轮胎胎圈（或胎耳）变形。

皂液隔离剂的使用方法是，将隔离剂涂刷在每条胎坯的胎里上或每条气囊的外表面上，气囊外表面涂刷隔离剂必须做到每硫化一次，涂刷一次隔离剂；若胎坯涂刷皂液隔离剂必须待停放干燥后才可进行硫化。

硅油隔离剂的使用方法是：将隔离剂涂刷在气囊外表面，硫化过程中每班使用的每条气囊必须涂刷硅油隔离剂3～4次。也有将隔离剂涂刷在胎坯的胎里上，这种方法以尼龙硬边轮胎胎坯较合适，硫化过程中每班使用3～4条涂刷硅油隔离剂的胎坯即可。

2．硫化机

力车外胎所使用的硫化机一般为立式个体硫化机，按动力驱动形式可分为电动硫化机和水压硫化机两种，前者由电动机通过螺杆带动连杆使硫化模型开启、闭合及锁模；后者用高低压水通过水缸柱塞的升降使硫化模型开启、闭合及锁模。

电动硫化机采用单台传动控制，硫化模型启动合模速度较快，在停电或电机发生故障时能用人工开启模型，但是这种硫化机设备活动部件多，维修量较大，噪音大。电动硫化机的特征见表2-5-20。

水压硫化机的优点是结构简单，制造方便，噪音小，设备维修简单；缺点是不能采用单台传动控制，需要配备一套高低压水动力设备，当压力水动力系统发生故障时将影响全部机台的生产，另外柱塞的升降速度较慢，即硫化模型启动合模速度较慢。水压硫化机的特征见表2-5-21。

硫化机还可根据硫化模型层数的不同分为单层、双层和三层三种形式，一般的硫化机采

表 2-5-20 电动硫化机特征

| 设备名称 | 层数 | 总压力,kN(t) | | 真空度 kPa (mmHg) |
|---|---|---|---|---|
| | | 气囊型 | 胶囊型 | |
| 电动硫化机 | 1～2 | 196～245 (20～25) | 245～294 (25～30) | 50.66(380) |

表 2-5-21 水压硫化机特征

| 设备名称 | 层数 | 低压水压力 MPa (kgf/cm²) | 高压水压力 MPa (kgf/cm²) | 总压力 kN(t) | 水缸柱塞直径 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| 水压硫化机 | 2～3 | 1.96(20) | 8.8～9.8 (90～100) | 245～373 (25～38) | 200 |

用双层或三层。应用多层硫化机生产，设备占地面积小，生产效率高，有利于充分利用作业面积扩大生产量。但是多层硫化机的硫化模型上下之间必须保持一定的操作距离，硫化自行车外胎上下模之间开启的距离一般在125mm以上（若采用胶囊式硫化工艺则应在250mm以上）；硫化手推车轮胎时上下模型开启距离一般在200mm以上。

3．硫化模型

外胎硫化模型的制造方法有三种，第一种是刻花模型，即在一定规格尺寸的钢模上直接刻花，这种钢模使用寿命较长，外观质量较好，但刻花时间长，造价高；第二种是浇注模型和压注模型，前者是在一定规格尺寸的模型上用铝合金浇注花纹而成，后者是用铝合金压注成若干块胎面花纹，然后在模型上进行拼花铆接，这两种模型制造快、造价低，花纹更换较容易，但是花纹易损坏，模型不能清洗，外观质量较差；第三种是镶花模型，即在一定规格尺寸的钢模上直接将铸成的小块花纹进行拼花铆接，这种模型不但制造速度快，花纹更换容易，而且轮胎的外观质量好，并且符合轮胎结构设计要求，使用质量优良。目前，一般都采用镶花模型生产，根据使用条件和用户要求，还可制造出较复杂的各种类型的花纹。

硫化模型的加热方式按其结构分为两种，一种是蒸汽夹套与硫化模型制成一体，由蒸汽直接加热模型；另一种是硫化模型用螺钉固定在硫化机的蒸汽夹套上，蒸汽通过夹套间接加热模型。前者的加热方式传热速度快，模型表面温度高，硫化时间短，缺点是不能任意更换模型，后者的加热方式传热速度较慢，模型表面的温度稍低，硫化时间较长，但是可以根据生产需要随时更换不同规格的模型进行生产，目前大部分企业都采用第二种方式加热模型。

4．装气囊定型机

把气囊置放在气囊托杆上，由气缸活塞杆带动钩气囊的钩子翻起钩住气囊向圆盘内收缩，然后将胎坯放在胎盘上，再由气缸活塞杆带动定型连杆将定型滑块连同气囊一起推出，此时钩子松开气囊，推胎杆将气囊推出，使气囊装入胎坯的内腔，同时使胎坯定型。装气囊定型机的特征见表2-5-22。

表 2-5-22 装气囊定型机特征

| 设备名称 | 压缩空气压力 MPa(kgf/cm²) | 气缸直径 mm | 生产能力 条/min |
|---|---|---|---|
| 装气囊定型机 | 0.4～0.6 (4～6) | 200～220 | 8～9 |

5．拔气囊机

将硫化成品外胎在拔气囊机上将气囊拔出，能减轻拔气囊操作工的劳动强度。

拔气囊机的工作原理是：将硫化成品外胎送入拔气囊机内，由气缸带动正胎挡板将外胎固定位置，再由顶胎气缸的活塞杆端部的顶胎块将外胎顶成弓形，使气囊部分从胎里顶出，然后顶气囊气缸将气囊向上顶起，最后由拔气囊气缸的活塞杆带动拔气囊钩将气囊从外胎胎里拔出。

6．外胎包装机

用于手推车外胎成品翻面和套叠，再由人工用绳索等捆扎包装。它能减轻翻面和套叠轮胎的劳动强度，提高成品的包装效率。

外胎包装机的工作原理是，把成品外胎置放在包装机的四只定位钩上，由上气缸活塞杆带动压胎杆向内压住外胎，并将上部胎边翻转，同时十字翻胎架下降，将外胎翻面推落在托胎架上，此时撑胎气缸活塞杆带动16根弧形撑胎杆扩开将已翻面的外胎撑圆，再在套胎滚道上由压紧气缸活塞杆带动顶胎板将外胎顶折成弓形。第二条胎按前面的顺序工作并套在第一条轮胎外面，套叠4～6条轮胎为一捆。外胎包装机的特征见表2-5-23。

**表 2-5-23 外胎包装机特征**

| 设备名称 | 压缩空气压力 MPa ($kgf/cm^2$) | 生产能力 条/min |
|---|---|---|
| 手推车外胎包装机 | 0.4～0.6 (4～6) | 10～13 |

### （二）硫化气囊和胶囊

外胎硫化一般通过气囊或胶囊提供内压，前者用于软边外胎和硬边外胎的硫化，后者适用于硬边外胎硫化。

（1）气囊法　该法是在装气囊的定型机上将气囊装入胎坯，经定型后放在硫化模型内加温加压进行硫化，通常采用空气内压气囊单向导热硫化。

（2）胶囊法　直接将胎坯放入胶囊式定型硫化机内加热加压连续完成定型和硫化。通常采用空气内压胶囊，单向导热模型硫化。

电动或水压硫化机通过安装橡胶胶囊硫化中心机构装置而成为胶囊式定型硫化机。该机工作原理是开启硫化模型，胶囊装置中的中心机构气缸活塞杆上升，胶囊内腔抽真空呈伸直收缩状态，此时将胎坯套在胶囊外面，关闭真空使胶囊装置内腔的容积突然减小，压力增大，胶囊向外鼓出，胎坯进行定型，待合模后充入内压进行硫化。

胶囊法的特点是：不需要装气囊定型机，可简化操作工序，降低劳动强度，并可以充分利用热能，是较先进的一种硫化方法，也是发展机械化、自动化操作的理想设备；缺点是轮胎硫化后没有气囊支撑胎体，对于以尼龙帘线作骨架材料的轮胎来说，容易造成局部热收缩变形。

国外较先进的硫化机是双模（并排）胶囊硫化机，胶囊内压介质使用的是蒸汽，最大压力为1.37MPa($14kgf/cm^2$)。这种硫化机装有安全自控装置，除了装胎坯是人工操作外，其余操作均为自动化。

### （三）硫化工艺

#### 1．硫化条件

硫化是外胎制造中的最后一道工序，也是最重要的关键工序，外胎硫化质量的好坏是由外胎的硫化条件，即温度、压力和时间的选择是否正确决定的，硫化条件的选择是根据不同的产品以及产品各部件半制品胶料正硫化时间、产品的材料结构、硫化设备和工艺要求确定的。

（1）硫化温度　外胎硫化时模型采用的加热介质大多数是蒸汽，通常的硫化温度为165～170℃，也有采用较高温度硫化的。尼龙轮胎的硫化温度要比棉帘线轮胎的硫化温度高2～3℃。硫化过程中一般采用蒸汽自动控制装置控制蒸汽压力，稳定硫化温度，保证产品质量。

（2）硫化压力　一定的硫化压力能使外胎各部件紧密结合，胶料能均匀地渗入布层缝隙间，增强了轮胎胎体强度、屈挠性能和胎面耐磨性能，并获得精确的轮廓和清晰的花纹。

外胎硫化时气囊及胶囊加压介质有压缩空气和蒸汽。采用蒸汽作加热介质时，热量通过囊壁从内部导入外胎胎体中，形成外胎内外同时加热，能加速导热过程，缩短正硫化时间，提高生产效率；缺点是目前提高蒸汽内压有一定的难度，另外由于温度随压力增大而增大，易导致胎体帘线性能下降，尚有待于改进。采用压缩空气作加压介质，内压力容易提高，并能提高轮胎的质量，但是硫化时间太长。

外胎硫化从综合考虑，压力控制在1.27～1.77MPa(13～18kgf/cm²) 较佳。不同类型的轮胎硫化压力也不同；手推车外胎的硫化压力控制在 1.47～1.77MPa (15～18kgf/cm²) 较宜；自行车外胎硫化压力控制在 1.27～1.57MPa(13～16kgf/cm²)。为了提高硫化效率，可采用压缩空气预热法，蒸汽与压缩空气混气硫化方法。

（3）硫化时间　外胎硫化时间包括正硫化时间和操作时间。正硫化时间是根据硫化温度、产品规格、胶料配方以及外胎成品物理机械性能达到最佳状态的综合平衡性能而定，采用尼龙帘线作骨架材料的力车外胎，其硫化时间可比棉帘线轮胎缩短 1 分钟，不同规格和类型的外胎硫化时间示例见表2-5-24。

表 2-5-24　不同规格和类型外胎硫化时间示例

| 轮　胎　类　型 | 蒸汽压力,MPa(kgf/cm²) | 正硫化时间,min |
|---|---|---|
| 26×2¹/₂软边 | 0.74±0.02(7.5±0.2) | 19(尼龙、棉) |
| 28×1¹/₂软边加重 | 0.64±0.02(6.5±0.2) | 12(尼龙)、13(棉) |
| 28×1¹/₂软边普通 | 0.64±0.02(6.5±0.2) | 11(尼龙)、12(棉) |
| 28×1¹/₂硬边普通 | 0.64±0.02(6.5±0.2) | 11(尼龙)、12(棉) |
| 26×1³/₈硬边 | 0.64±0.02(6.5±0.2) | 10(尼龙)、11(棉) |
| 28×1¹/₂硬边普通(胶囊) | 0.59±0.02(6.0±0.2) | 7(尼龙、棉) |

2．硫化机控制

在硫化过程中通常采用电磁阀或射流系统来控制硫化机单机或机组联动操作。

单机控制，电动硫化机的硫化模型开启或闭合是通过电机的正、反转动来控制的，内压的充入与排放、真空管路的通与断均通过电磁阀的动作来控制；水压硫化机硫化模型的开启或闭合，内压的充入与排放是通过气动薄膜阀来控制低压水的通路，再由高压水自控阀控制水压硫化机的水缸，使柱塞升降来控制。

机组联动，即由数台硫化机组成的一个机组中实行联动操作，当第一台硫化机排净内压开启模型进行操作完毕合模时，就发出信号给第二台硫化机，使第二台硫化机的电磁阀或气动薄膜阀动作，排出内压，开启模型，待第二台硫化机操作完毕合模时发出信号给第三台硫化机，依次类推。

为了保证产品质量，缩小产品间质量的差异，近年来推广应用集成电路和微处理机自控硫化条件及自动开启硫化模型。由于集成电路控制较单一，只能控制轮胎的正硫化时间及自动开启硫化模型，目前正在应用微处理机。微处理机控制硫化的方式有两类，一类是积分控制，另一类是定温定时控制。

积分控制（TP-801单板计算机)从技术角度看，较先进，能根据不同的硫化温度来调正自控时间，适用于硫化温度波动较大的生产状况，但瞬时动力消耗大，产量计划性差。

定温定时控制（Z-80单板计算机）从技术可行性、实用性、投资省等方面考虑，适宜于硫化温度波动较小的生产状况。

3．尼龙外胎硫化工艺特点

根据尼龙帘线具有热收缩变形的特点，尼龙外胎硫化工艺有与棉帘线外胎硫化工艺不同的特点。

（1）三套气囊　气囊在装入胎坯等待硫化时，气囊的温度不宜太高，因为尼龙帘线在高温下发生收缩现象，胶帘布与胎面间产生空隙，如果温度太高就会在轮胎里积存大量气体，造成硫化后的轮胎胎圈（或胎耳）变形和产生胎里气泡等缺陷；气囊温度过低又会造成

硫化后外胎欠硫现象。气囊在装入胎坯时表面温度控制在60～70℃，控制方法可采用三套气囊循环使用，即第一套气囊在硫化后不剥离，仍在外胎内冷却定型，第二套气囊装入外胎内正在模型内硫化，第三套气囊装入胎坯内等待硫化，这样周而复始，循环使用。

（2）后冷却取囊　尼龙外胎硫化后不应立即取囊，经冷却定型后才取囊，如果立即取囊，外胎在无气囊支撑的情况下逐渐冷却，会使外胎胎圈（或胎耳）边缘随着温度的降低而呈扭曲状。因此硫化后的外胎，不应立即将气囊剥离，使外胎在气囊支撑状态下逐渐冷却定型后再取出气囊，可减小外胎外缘尺寸的变化及使用时的永久变形，提高轮胎的使用质量。不同种类、规格的轮胎，硫化后冷却取囊时间有所不同，一般控制在4～6分钟较宜。

**（四）模型的清理**

硫化模型光洁程度的优劣对产品的外观质量有很大的影响，所以对硫化模型要定期进行清理。清理的方法是用砂布或钢丝刷擦刷模型，但是这种方法对胶垢清除不彻底，特别是积存在花纹底部的胶垢更难以清除，同时模型磨损严重，擦模工劳动强度大。

较理想的擦模方法是用碱液（20%的苛性钠溶液）洗模，即将碱液灌注在模型内，在高温及压力作用下腐蚀模型表面的胶垢，或将上模卸下，分别在上、下模型内注入碱液，腐蚀模型表面的胶垢，洗净完毕用清水冲洗模型，再用毛刷及细砂布擦洗至模型光洁为止。这种方法减轻了擦模工的劳动强度，使模型内的胶垢清除彻底，花纹棱角清晰完整，产品外观光洁美观，而且也不损坏模型，根据硫化模型规格尺寸的不同，洗模时间略有不同，一般控制在5～10分钟。

为了保证硫化模型光洁，提高产品的外观质量，硫化操作时有利于成品脱模，可以在模型表面涂上脱模剂，理想的脱模剂有乳化硅油等。

**（五）硫化质量要求**

硫化质量要求有以下几点：

① 先成型的胎坯先硫化，胎坯存量停放时间不超过36小时；

② 硫化操作前，模型与气囊（胶囊）必须先进行预热，预热时间必须是在施工工艺规定的蒸汽压力（或温度）下预热0.5～1小时；

③ 硫化过程中，应经常开放回汽阀或用气水分离器自动控制排水，避免因积水而降低模型的温度，造成硫化成品外胎欠硫；

④ 硫化成品外胎必须冷却至50℃以下才可进行包装。

硫化成品外胎质量常见的缺陷及预防措施见表2-5-25；外胎使用过程中的主要质量问题及改进措施见表2-5-26。

**表 2-5-25　成品外胎常见缺陷及预防措施**

| 缺陷名称 | 造　成　原　因 | 预　防　措　施 |
|---|---|---|
| 胎面缺胶（花纹、胎肩、胎侧） | 1．主要是胎面胶料流动性差；<br>2．胎面形状不合适；<br>3．胎面厚薄不均匀；<br>4．硫化内压低或不足；<br>5．模型太脏；<br>6．模型排气槽阻塞；<br>7．模型内留存空气 | 1．提高胎面胶料的可塑度；<br>2．改进胎面出型辊筒的形状；<br>3．严格执行工艺技术标准；<br>4．提高硫化内压；<br>5．定期清洗模型，适当涂刷润滑剂；<br>6．定期疏通模型内上下排气槽；<br>7．调整气囊与外胎的配合；<br>8．调整配方设计 |

续表

| 缺陷名称 | 造成原因 | 预防措施 |
| --- | --- | --- |
| 胎面起泡 | 1. 胎面出型时潜有气泡；<br>2. 原材料含水率过高并含有挥发性物质；<br>3. 胎面出型时辊温太高 | 1. 严格控制原材料质量；<br>2. 严格控制半制品质量；<br>3. 严格掌握胎面出型辊温；<br>4. 改进配方设计，掺用再生橡胶 |
| 胎里起泡 | 1. 尼龙帘布热收缩性大；<br>2. 胎体未压实；<br>3. 轮胎欠硫 | 1. 结构设计时，应考虑帘线假定伸张值；<br>2. 胎面与帘布应层层压紧、压实；<br>3. 严格控制硫化时，装气囊的温度不高于70℃；<br>4. 改进气囊成型接头方法，控制接头处壁厚；<br>5. 严格控制轮胎正硫化点；<br>6. 严格控制尼龙帘布的含水率；<br>7. 胎面和帘布采用打洞工艺方法 |
| 胎体脱层 | 1. 硫化温度太低，硫化时间及内压不足；<br>2. 成型时胎体未压实；<br>3. 半制品沾有杂质、水迹、油迹等；<br>4. 胶帘布存放时间过长，不粘 | 1. 严格掌握正硫化条件(时间、温度、压力)；<br>2. 成型时层层压实；<br>3. 加强现场工艺管理，保持半制品清洁；<br>4. 控制胶帘布存放时间；<br>5. 硫化时经常开放回汽阀 |
| 帘线弯曲 | 1. 帘线伸张不足；<br>2. 胎体膨胀大 | 1. 调整施工设计（成型鼓直径与成型胎圈或胎耳间距）；<br>2. 控制胎面和胶帘布厚度；<br>3. 气囊与外胎应合理配合；<br>4. 涂刷隔离剂不应过浓或太湿 |
| 胎耳不满 | 硫化时外胎胎耳不贴模 | 1. 控制和提高硫化内压力；<br>2. 调整施工设计（成型鼓直径与成型胎耳或胎圈间距）；<br>3. 提高胎耳包布胶可塑度；<br>4. 调整胎耳施工设计，使之与模型配合 |
| 胎圈（胎耳）变形 | 1. 胎圈（胎耳）直径过大或过小；<br>2. 硫化操作不当 | 1. 调整施工设计（成型鼓直径与成型胎圈（胎耳）间距；<br>2. 气囊与外胎配合合理；<br>3. 控制装囊机尺寸；<br>4. 提高硫化操作技术水平；<br>6. 增加气囊装胎润滑性 |
| 露皮 | 1. 模型不清洁；<br>2. 胎面表面沾污；<br>3. 胎面形状不合适；<br>4. 胶料流速太快 | 1. 定期清洗模型，保持半制品清洁；<br>2. 改进胎面出型辊筒形状；<br>3. 调整配方；<br>4. 改进结构设计中胎侧轮廓曲线 |

表 2-5-26 外胎使用中主要质量问题及改进措施

| 损坏名称 | 损坏原因 | 改进措施 |
|---|---|---|
| 胎冠刺伤 | 轮胎在行驶过程中，碰到尖、硬、锋口等物体 | 1．增强轮胎刚性；<br>2．增强轮胎胎体缓冲性能；<br>3．提高胶料定伸强度；<br>4．调正H/B中的H值；<br>5．增加花纹基部厚度，改进花纹设计，花纹沟改为非放式；<br>6．提高硫化内压力；<br>7．严格掌握正硫化点 |
| 胎体垫伤 | 轮胎在负重或快速行驶过程中，碰到尖、硬的物体 | 1．加固胎体强度；<br>2．增强轮胎胎体缓冲性能；<br>3．提高胶料定伸强度；<br>4．增加帘布复胶厚度；<br>5．提高骨架材料的强度；<br>6．调正H/B中的H值；<br>7．正确选取$\delta_1$，减小帘线伸张率；<br>8．提高硫化内压力 |
| 胎体脱层 | 轮胎欠硫，胶帘布间及胶帘布与胎面间密着性能差，半制品不清洁，沾有杂物，水份，油迹等 | 1．严格控制正硫化点；<br>2．提高胶帘布间或胶帘布与胎面间附着强度；<br>3．增加帘布复胶厚度；<br>4．提高硫化内压力；<br>5．严格控制半制品标准，加强现场管理；<br>6．调正结构设计参数比值，减小应力集中 |
| 帘线折断 | 轮胎在缺气下或超负荷状态下行驶 | 1．轮胎应在规定的负荷、内压下使用；<br>2．提高帘线强度；<br>3．增加帘布复胶厚度；<br>4．增强轮胎刚性 |
| 胎耳烧边 | 轮辋与外胎胎耳不配合，轮胎在超负荷下行驶 | 1．改进胎耳设计，使胎耳与轮辋紧密配合；<br>2．提高胎耳强度；<br>3．提高胎耳包布耐疲劳性能；<br>4．增加胎耳包布复胶厚度 |
| 钢丝断裂 | 钢丝圈制造的质量问题或轮胎在超负荷下行驶 | 1．提高钢丝圈制造工艺质量；<br>2．改进钢丝圈制造工艺；<br>3．严格控制钢丝圈制造质量；<br>4．轮胎应在规定的负荷下行驶 |
| 滑圈 | 轮胎着合直径与轮辋尺寸配合不符或装配不当 | 1．轮辋尺寸、几何形状应符合标准；<br>2．轮胎在标准内压下行驶；<br>3．轮胎着合直径不能太大，应符合标准；<br>4．轮胎胎圈结构设计应合理；<br>5．钢丝圈制造尺寸应严格控制，防止变形 |

## 六、尼龙帘线轮胎与棉帘线轮胎制造工艺比较

力车轮胎骨架材料由尼龙帘布取代棉帘布后，其生产工艺条件和操作方法的主要区别和要求见表2-5-27。

表 2-5-27　尼龙帘线与棉帘线轮胎制造工艺比较

| 工艺技术名称 | 棉帘线轮胎工艺 | 尼龙轮胎工艺 |
|---|---|---|
| 帘布压延 | | |
| 压延前帘布干燥 | 在较高温度(140~145℃)下干燥 | 在低温(70℃以下)干燥或不烘 |
| 压延前帘布含水率控制 | 低(2.5%以下) | 较低（2%以下） |
| 压延温度 | 略高 | 略低 |
| 压延张力 | 适中 | 较大 |
| 压延线速度 | 适中 | 适中或略快 |
| 压延复胶量 | 略高 | 适中或略低 |
| 压延方式 | 平贴、压力贴胶 | 平贴 |
| 胶帘布厚度 | 较厚(0.75~1.15mm) | 略薄(0.65~0.80mm) |
| 胶帘布粘性 | 适度 | 略粘 |
| 胶帘布存放时间 | 较长 | 较短 |
| 胎面压型 | | |
| 胎冠部位 | 不刺洞 | 刺洞 |
| 胎面重量 | 适中 | 适中或略低 |
| 胎面宽度 | 适中 | 略宽 |
| 胎面冷却方式 | 浸水或自冷 | 自冷 |
| 胶芯出型 | | |
| 胶芯体积 | 略小 | 略大 |
| 胶芯重量 | 略轻 | 略重 |
| 胶芯高度 | 略低 | 略高 |
| 帘布裁断 | | |
| 裁断速度 | 中速 | 中速或慢速 |
| 裁断角度 | 略大 | 略小 |
| 裁断宽度 | 较窄 | 较宽 |
| 胎坯成型 | | |
| 成型机牙距 | 适中 | 较大 |
| 胎体压实程度 | 压实 | 严格压实 |
| 胎坯整圈 | 不刺洞 | 胎冠刺洞 |
| 外胎硫化 | | |
| 胎坯停放时间 | 适中 | 较短 |
| 定型气囊温度 | 较高 | 较低（75℃以下） |
| 启模卸囊方式 | 热取囊 | 冷却取囊 |
| 硫化内压 | 较高 | 高 |

## 七、气囊及胶囊制造工艺

气囊及胶囊在力车外胎硫化过程中的作用是传递压缩空气或蒸汽等硫化介质作外胎硫化时的内压力和热量，同时又起支撑外胎的作用，使外胎在内压力的作用下各部件向外均匀伸张，增加各部件之间的附着力，提高胎体强度，获得正确的外轮廓和清晰的花纹。气囊的断面形状见图2-5-19，胶囊断面形状见图2-5-20。

制造气囊和胶囊的材料有天然橡胶和丁基橡胶，由于天然橡胶耐老化性能与耐臭氧性能

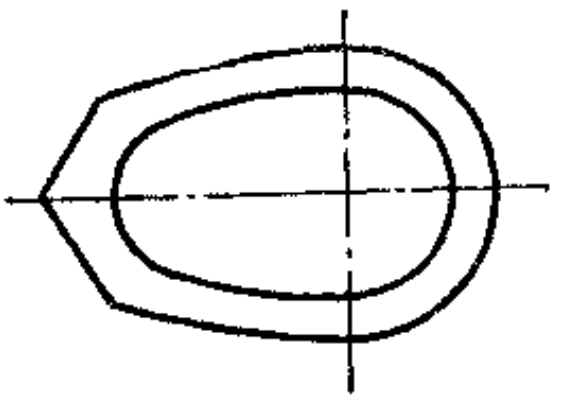


图 2-5-19　气囊断面形状

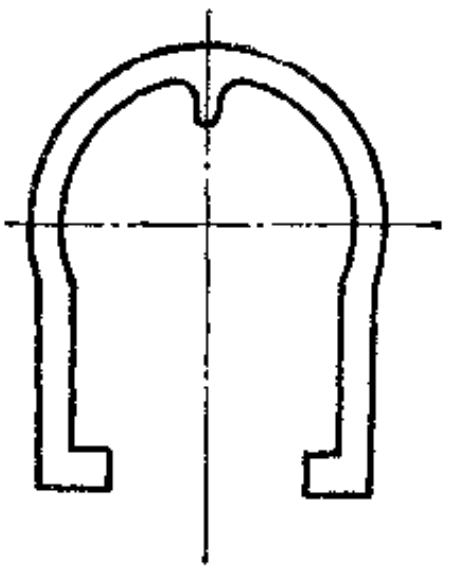


图 2-5-20　胶囊断面形状

比较差，用它制造的气囊或胶囊使用寿命短，一般只能使用100次左右就损坏或老化龟裂报废。近年来，广泛应用具有良好的耐热性、耐老化性和耐臭氧性能的丁基橡胶制作气囊及胶囊。该种气囊及胶囊的使用寿命长，使用次数低的每条可达数百次，高的可超过1000次（气囊）。力车轮胎多采用丁基橡胶来制作气囊及胶囊。

**(一)气囊制造工艺**

1。气囊压出工艺

压出前先将混炼胶料在开炼机上进行热炼，热炼时的辊温为35～45℃，辊距为6～7mm，待胶料表面光滑后划成胶条，通过输送带自动输送至螺杆挤出机压出胶管。使用的挤出机螺杆直径一般为115～150mm，转速为30～35r/min，挤出机头温度为45～55℃，口型温度为60～70℃，机身温度在25℃以下，螺杆腔内通冷却水。不同类型、规格的气囊压出标准示例见表2-5-28。

**表 2-5-28　各种规格类型气囊压出标准示例**

单位：mm

| 轮胎规格 | 管壁厚度 | 配更厚度 | 胶管长度 | 断面周长 | 轮胎规格 | 管壁厚度 | 配更厚度 | 胶管长度 | 断面周长 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26×2½软边 | 11±0.5 | 13±0.5 | 2000±50 | 175±2 | 28×1½硬边普通 | 7.5±0.5 | 10±0.5 | 2200±50 | 105±2 |
| 28×1½软边加重 | 8±0.5 | 10±0.5 | 2120±50 | 118±2 | 26×1⅜硬边 | 6.5±0.5 | 9±0.5 | 2045±50 | 98±2 |
| 28×1½软边普通 | 8±0.5 | 10±0.5 | 2120±50 | 118±2 | | | | | |

压出后的胶管应放在水箱中用清水冷却，胶管冷却后应放在槽板内（配更部向上）停放2小时以上供成型使用。

2。胶芯制造工艺

（1）胶芯压出工艺　胶芯的压出与气囊压出工艺相同，压出标准为直径22±2mm的实芯胶粒，不同的规格尺寸胶芯成型标准示例见表2-5-29。

（2）胶芯成型工艺　胶芯的成型是将胶柱按不同的规格尺寸切割成一定的长度，然后在砂轮上抛磨成一定形状和尺寸，胶芯的断面形状见图2-5-21。

表 2-5-29 各种规格胶芯成型标准

| 轮胎类型 | 胶芯总长度，mm | 胶芯帽厚，mm | 胶芯直径，mm | 备　注 |
|---|---|---|---|---|
| 26×2½ 软边 | 26±2 | 1.5～2.0 | 18±2 | 砂轮上抛磨成型 |
| 28×1½ 软边加重 | 20±2 | 1.5～2.0 | 16±2 | 砂轮上抛磨成型 |
| 28×1½ 软边普通 | 20±2 | 1.5～2.0 | 16±2 | 砂轮上抛磨成型 |
| 28×1½ 硬边普通 | 20±2 | 1.5～2.0 | 16±2 | 砂轮上抛磨成型 |
| 26×1⅜ 硬边 | 16±2 | 1.5～2.0 | 16±2 | 砂轮上抛磨成型 |

3。气囊成型工艺

将经过冷却停放2小时以上的胶管，根据不同的规格尺寸进行定长成型，不同规格气囊成型标准示例见表2-5-30。

定长后的胶管两头在砂轮上进行抛磨磨平，外缘要磨低1～2mm，抛磨时不可留清烟，接口要保持清洁，在距接头360～400mm处装入胶芯，胶芯上面贴盖一层垫布〔长×宽＝340×(22～40±2)mm〕，垫布采用4×4帆布，此帆布应预先刷丁基橡胶胶浆4～5次（胶浆的配比为丁基橡胶：汽油＝1:4），装入胶芯后的胶管停放2小时后放在接头机上进行电热压力接头，气囊接头工艺见表2-5-31。接头后的胶管，其接头处应在水箱中冷却15～20分钟，然后再停放24小时，割去接头时挤出的余胶后送硫化工段硫化。气囊接头的方法中，还有采用按口径抛磨后直接进行拼接头工艺。

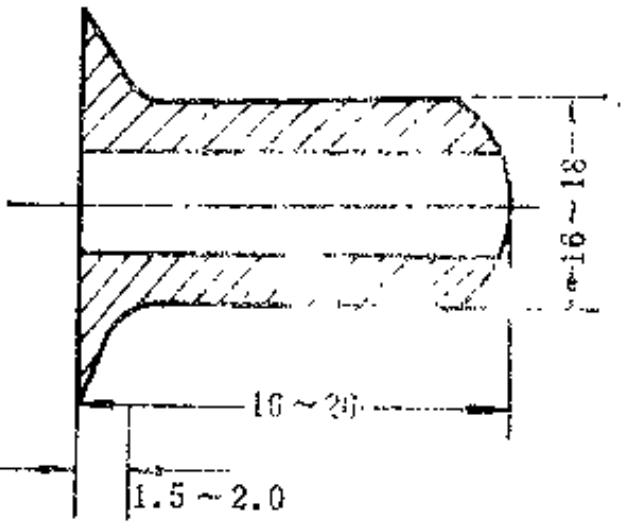



图 2-5-21 胶芯断面图（单位：mm）

表 2-5-30 气囊成型标准

| 轮胎规格 | 管壁厚度 mm | 配更厚度 mm | 长　度 mm | 断面周长 mm | 重　量 kg |
|---|---|---|---|---|---|
| 26×2½软边 | 11±0.5 | 13±0.5 | 1850±10 | 175±2 | 3.5～3.6 |
| 28×1½软边加重 | 8±0.5 | 10±0.5 | 2020±10 | 118±2 | 1.85～1.95 |
| 28×1½软边普通 | 8±0.5 | 10±0.5 | 2020±10 | 118±2 | 1.85～1.95 |
| 28×1½硬边普通 | 7.5±0.5 | 10±0.5 | 2100±10 | 105±2 | 1.6～1.7 |
| 26×1⅜硬边 | 6.5±0.5 | 9±0.5 | 1945±10 | 98±2 | 1.3～1.4 |

表 2-5-31 气囊接头工艺

| 轮胎规格 | 电　压 V | 加热温度 ℃ | 烘烤距离 mm | 烘烤时间 min | 接头方式 |
|---|---|---|---|---|---|
| 26×2½软边 | 220 | 100±5 | 20 | 3 | 机械压力拼接头 |
| 28×1½ 软边加重 | 220 | 100±5 | 20 | 2～3 | 机械压力拼接头 |
| 28×1½ 软边普通 | 220 | 100±5 | 20 | 2～3 | 机械压力拼接头 |
| 28×1½ 硬边普通 | 220 | 100±5 | 20 | 2～3 | 机械压力拼接头 |
| 26×1⅜硬边 | 220 | 100±5 | 20 | 2～3 | 机械压力拼接头 |

4。气囊硫化工艺

气囊硫化用的设备与外胎硫化工艺相同，但是由于气囊表面光滑，要求其硫化模型不带花纹。气囊硫化工艺标准见表2-5-32。

表 2-5-32 气囊硫化工艺标准

| 轮胎规格 | 空气压力,MPa(kgf/cm²) | 蒸汽压力,MPa(kgf/cm²) | 硫化时间，h |
|---|---|---|---|
| 26×2½ 软边 | 1.27～1.47(13～15) | 0.59～0.64(6.0～6.5) | 4 |
| 28×1½ 软边重型 | 1.27～1.47(13～15) | 0.59～0.64(6.0～6.5) | 3 |
| 28×1½ 软边普通 | 1.27～1.47(13～15) | 0.59～0.64(6.0～6.5) | 3 |
| 28×1½ 硬边普通 | 1.27～1.47(13～15) | 0.59～0.64(6.0～6.5) | 3 |
| 26×1⅜ 硬边 | 1.27～1.47(13～15) | 0.59～0.64(6.0～6.5) | 3 |

## （二）胶囊制造工艺

### 1．胶囊压出工艺

胶囊压出与气囊压出工艺相同，胶囊压出工艺标准见表2-5-33。

表 2-5-33 胶囊压出工艺标准

| 轮胎规格 | 胶片宽度 mm | 胶片侧厚 mm | 胶片冠厚 mm | 胶片长度 mm |
|---|---|---|---|---|
| 28×1½ | 120～122 | 6～7 | 6.5～7.5 | 2000±20 |
| 26×1⅜ | 120～122 | 6～7 | 6.5～7.5 | 1850±20 |

压出的胶片应放在水箱中用清水冷却，冷却后的胶片停放 2 小时以上再供成型之用。

### 2．胶囊成型工艺

将冷却后停放 2 小时以上的胶片按照不同的规格尺寸进行定长成型，胶囊成型工艺标准见表2-5-34。

表 2-5-34 胶囊成型工艺标准

| 轮胎规格 | 胶片厚度 mm | 胶片侧厚 mm | 胶片冠厚 mm | 胶片长度 mm | 斜口接头长度 mm | 重量，kg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 28×1½ | 120～122 | 6～7 | 6.5～7.5 | 1960±10 | 10～20 | 1.55±0.05 |
| 26×1⅜ | 120～122 | 6～7 | 6.5～7.5 | 1850±10 | 10～20 | 1.27±0.05 |

将经过定长的胶片两头在砂轮上进行抛磨，一头磨外口，另一头磨内口，磨成斜口长度15±5mm，然后直接粘合成囊坯经过停放 2 小时以上送硫化工段硫化。

### 3．胶囊硫化工艺

胶囊硫化用的硫化设备与气囊硫化设备相同，硫化模型也不带花纹形状，硫化方式是将成型后的囊坯直接套在有一定断面形状的铁芯模上进行硫化。胶囊硫化工艺标准见表2-5-35

表 2-5-35 胶囊硫化工艺标准

| 轮　胎　规　格 | 蒸汽压力，MPa(kgf/cm²) | 硫化时间，h |
|---|---|---|
| 28×1½ | 0.59～0.64(6.0～6.5) | 1.5 |
| 26×1⅜ | 0.59～0.64(6.0～6.5) | 1.5 |

**(三)气囊及胶囊硫化质量要求**

气囊及胶囊硫化质量要求有以下几点。

① 先成型的囊坯先硫化，防止变形。

② 硫化前模型必须预热，模型预热时间应在工艺规定的蒸汽压力或温度下预热0.5～1.0小时。

③ 硫化前模型表面应涂擦一层脱模剂，如乳化硅油等，避免硫化后气囊或胶囊与模型粘连，也方便于取囊。

④ 硫化过程中，应经常开放回汽阀或用汽水分离器自动控制排水，免除因积水而降低模型温度，造成欠硫。

⑤ 硫化后的成品气囊或胶囊模型合模处的逃胶必须抛磨平后才能供外胎硫化使用。

## 第二节 力车内胎工艺

### 一、力车内胎生产工艺流程

天然橡胶内胎生产工艺流程见图2-5-22，丁基橡胶内胎生产工艺流程见图2-5-23和图2-5-24。

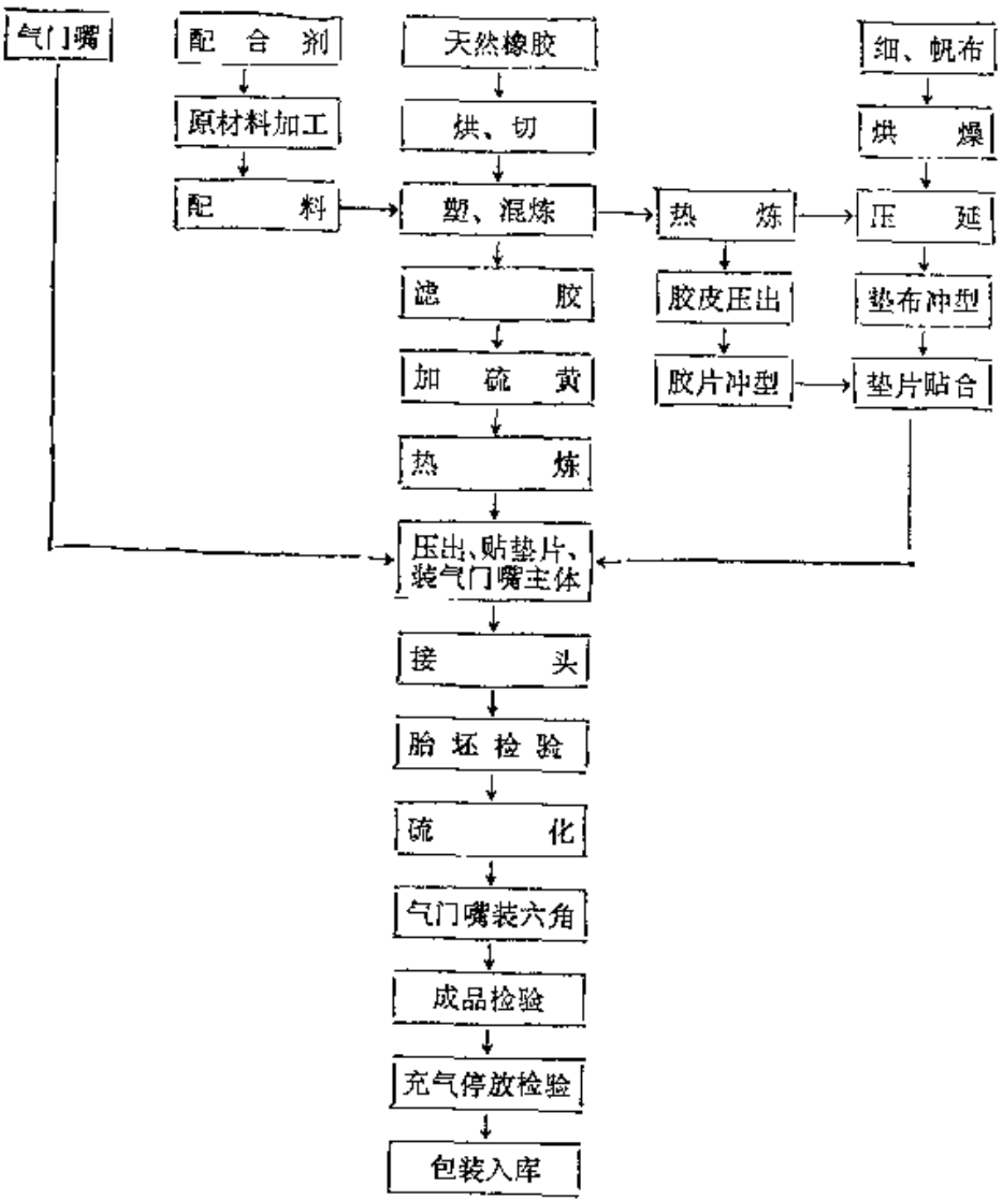



图 2-5-22 天然橡胶内胎生产工艺流程简图

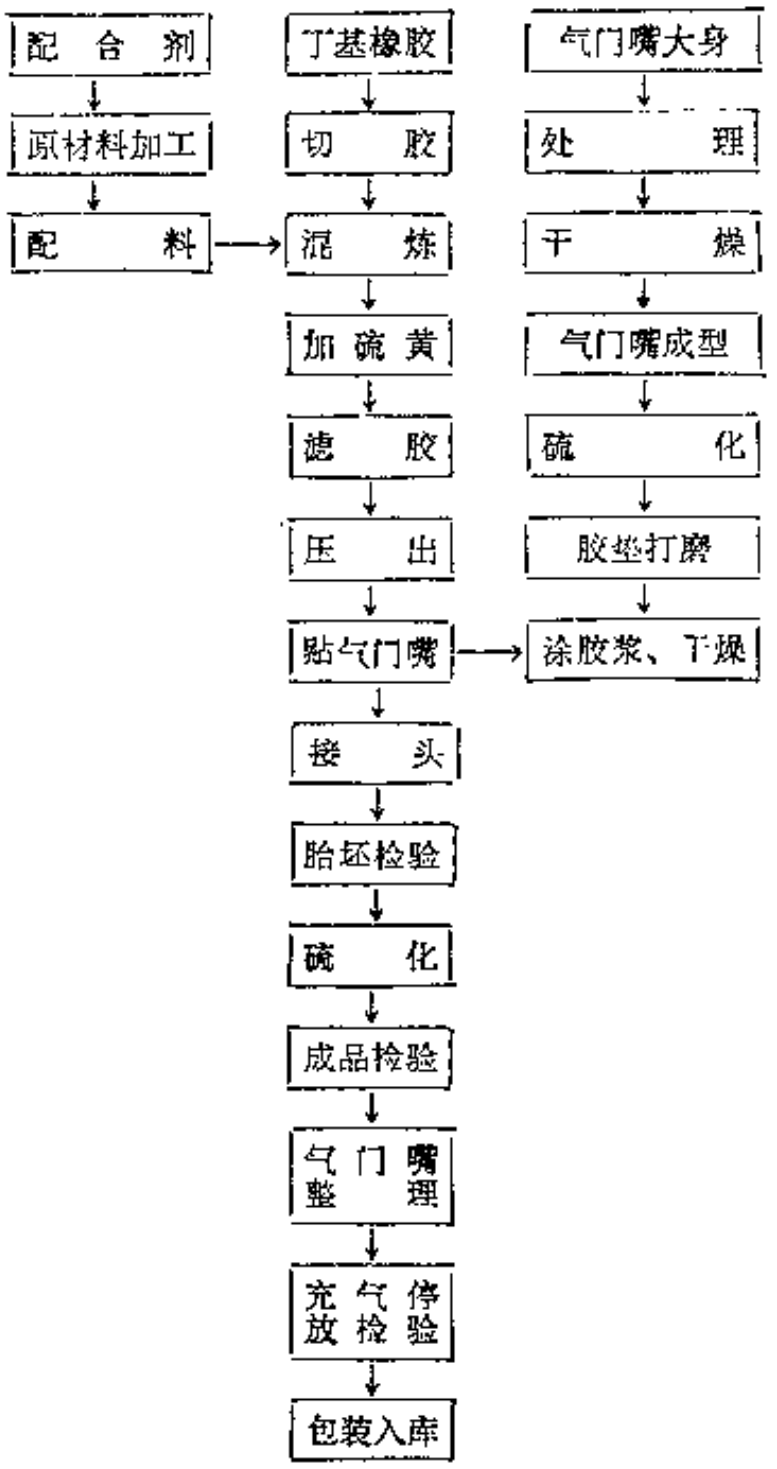



图 2-5-23 丁基橡胶胶垫气门嘴内胎生产工艺流程简图

## 二、工 艺 简 述

制造力车内胎大多使用天然橡胶，由于天然橡胶气密性较差，轮胎在实际使用过程中的内胎慢漏气现象严重，每隔1～3天就要充气一次，严重影响轮胎的乘骑及使用质量。为了改善内胎的慢漏气现象，正在试制应用气密性良好的丁基橡胶制造自行车内胎，这种内胎可解决实际使用过程中内胎慢漏气的质量问题，丁基橡胶制造的内胎充气一次，可乘骑三个月左右，提高了轮胎的使用质量和使用寿命。

### （一）天然橡胶内胎制造工艺

1．混炼工艺

制造力车内胎的橡胶和配合剂在混炼前的准备与质量要求，均与力车外胎相同，但是由于内胎属于薄制品，对生胶及配合剂有更高的质量要求。通常，天然橡胶在混炼前必须除去橡胶表面的杂物或剥去表面外包皮后进行切胶塑炼，塑炼胶可塑度范围为0.47±0.03，配合剂中的硫黄也应该经过80目筛网筛选后使用。混炼所采用的设备与外胎所用的混炼设备相同。

（1）开炼机混炼　开炼机混炼橡胶的加料顺序为塑炼胶→填料→细料→油膏。混炼时

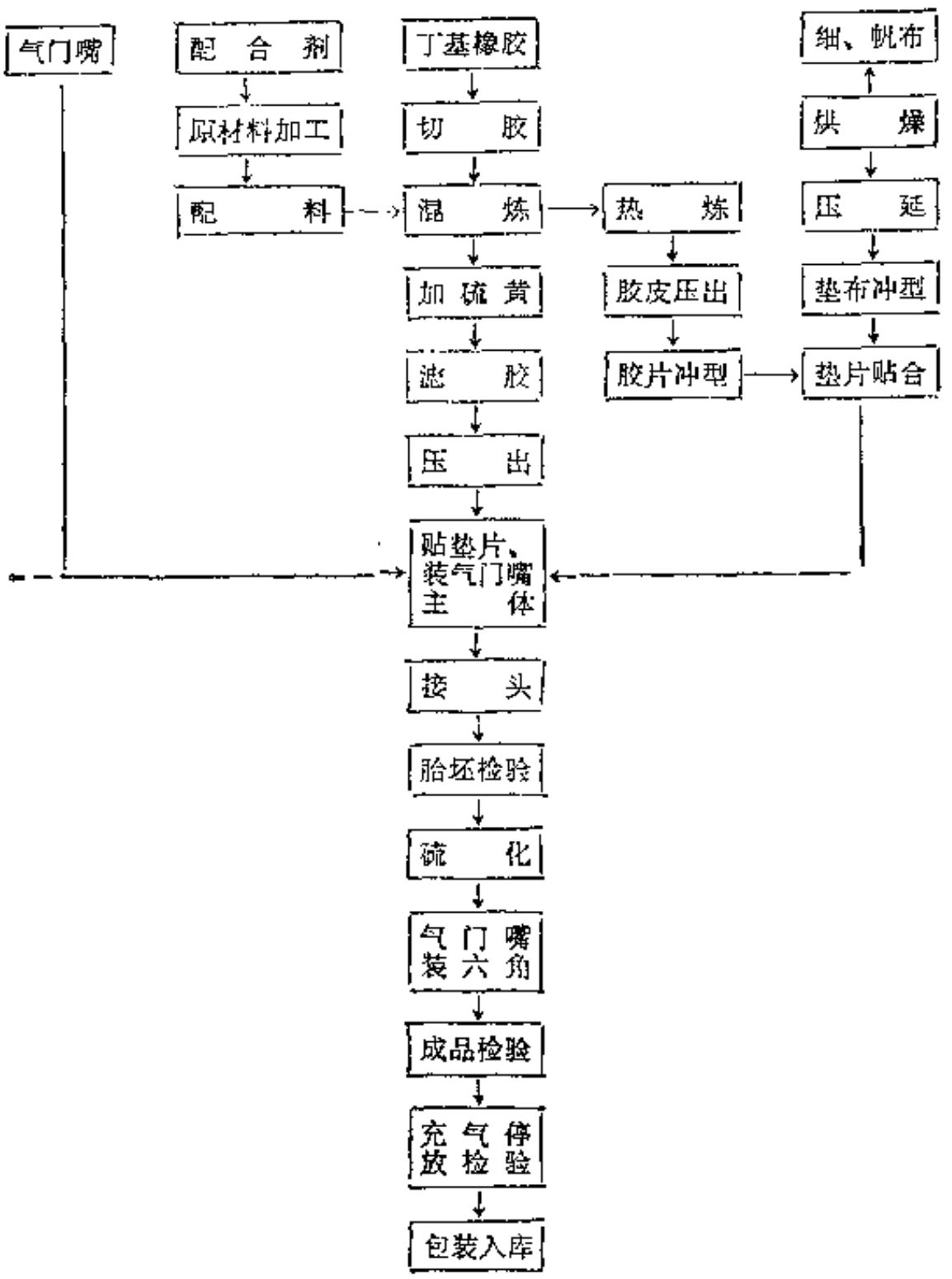



图 2-5-24 丁基橡胶普通气门嘴内胎生产工艺流程简图

辊筒温度不高于65℃，辊距为12～15mm，混炼周期为18～20分钟。开炼机在进行混炼操作时应注意以下几点：

① 塑炼胶在混炼以前必须停放4小时以上；

② 着色剂可预先制成母胶或油膏；

③ 在加配合剂前，包辊橡胶表面光滑后应割下余胶，然后再加入配合剂；

④ 加入配合剂后不能割刀，应待全部粉状配合剂混入后，投入割下的余胶，翻炼均匀后再薄通4～5次。

（2）密炼机混炼 混炼操作所使用的工艺装备一般用50L小型密炼机，也可使用140L密炼机。其混炼操作的加料顺序为塑炼胶→细料→填料→母胶或油膏→排胶，混炼周期7～8分钟，排胶时胶料温度不高于125℃，混炼结束后胶料必须停放4小时以上才能使用，混炼胶料的可塑度范围为0.50±0.03。

（3）滤胶与加硫黄 滤胶的目的主要是除去胶料内的杂物，有利于内胎胎管压出操作的顺利进行，保证内胎压出质量及成品质量。滤胶在直径为150mm的螺杆挤出机中进行，螺杆转速为28r/min，滤胶用的滤网规格为44目二层；20目一层；10目一层。滤胶时，挤出

机的机头温度为100±5℃，机身温度为50±5℃，螺杆腔内通冷水冷却，挤出时胶料的温度不高于130℃。开炼机混炼后的胶料可直接划成胶料供滤胶；密炼机混炼后的胶料必须经过热炼机热炼后才能划胶条供滤胶使用，一般使用二台热炼机，辊筒温度为45～55℃。

，滤胶后的胶料需停放1小时以上，然后在开炼机上加硫黄。加硫黄时的辊筒温度为45～55℃，辊距为10～12mm，硫黄通过80孔的筛网过筛后才能加入，待硫黄全部混入胶料内后，再在辊距为1.2～1.5mm的开炼机上薄通3～4次。加了硫黄的混炼胶料经冷却后停放4小时以上，然后，送压出工段压出使用。

2．内胎压出工艺

（1）压出前的准备

a．胶垫片的制造　胶垫片的作用是增强气门嘴的拔出强度，保护气门嘴处内胎胎体免受损坏，提高内胎的使用质量和使用寿命，胶垫片由胶皮、胶帆布、胶细布贴合而成，胶垫片的规格尺寸见表2-5-36。

表 2-5-36　胶垫片规格尺寸标准

单位：mm

| 规格 | 胶皮 | | | 胶帆布 | | | 胶细布 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 长度 | 宽度 | 厚度 | 长度 | 宽度 | 厚度 | 长度 | 宽度 | 厚度 |
| 26×2½ | 68 | 40 | 0.6～0.7 | 20 | 20 | 0.5 | 50 | 25 | 0.4 |
| 28×1¾ | 65 | 30 | 0.6～0.7 | 20 | 20 | 0.5 | 50 | 25 | 0.4 |
| 26×1⅜ | 55 | 26 | 0.6～0.7 | 20 | 20 | 0.5 | 40 | 22 | 0.4 |

胶垫片贴合方法见图2-5-25。

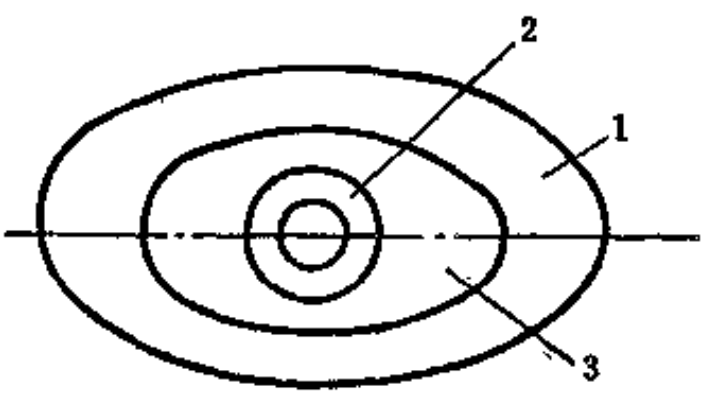



图 2-5-25　胶垫片贴合示意图
1—胶皮；2—胶帆布；3—胶细布

为了增强胶垫片的强度，可采用维尼纶帆布，胶垫片贴合时，三孔必须对准，细、帆布中心孔的直径为6.5mm，胶皮的中心孔直径7.0mm。先贴合的胶垫片应按顺序先使用，胶垫片的存放时间不得超过3天，并保持胶垫片的干燥和清洁。

b．气门嘴的制造　制造内胎所使用的普通气门嘴均由生产气门嘴的专业厂制造提供，气门嘴由防尘帽、压气螺帽、气门针、防松螺帽、六角螺帽、垫片、主体等组成。

c．胶料的热炼与供胶　胶管压出以前必须将混炼胶料经开炼机热炼，热炼机为2～3台，热炼时辊筒温度：粗炼为45～55℃，细炼不高于70℃，热炼时返回胶掺用量不大于25%。

内胎胎管在压出过程中，为了使供胶软硬均匀，控制供胶温度及用量，保证胎管的压出质量，可在热炼机上安装自动翻料装置，并通过输送带由热炼机连续向挤出机供料。

（2）压出方式　胎管压出通常采用螺杆挤出机，螺杆直径为115～150mm，挤出机的螺杆转速为46r/min，也有采用60r/min的螺杆转速，高转速的挤出机可提高生产效率，但

是胎管的缩性较大，断面尺寸不稳定，通用的挤出机机头结构为单机头，即一次只能压出一条内胎胎管。

国外较先进的内胎胎管挤出机，其螺杆直径为115mm，螺杆转速为25r/min，挤出机的机头为双条压出结构，即一次可以同时压出二条内胎胎管，并且装有二个挤出机头，以活页式连结在挤出机身前的左右两边。该机的特点是生产不同规格的内胎时，更换挤出机的机头较容易，能缩短停机时间，提高了生产效率。

目前，国外已推广应用冷喂料挤出机和真空挤出技术生产内胎。冷喂料挤出方法可以简化工艺，因为它省略了热炼机，所以又可以节省生产设备、减少动力和能源消耗，提高了生产效率；真空挤出方法可以提高压出胎管的质量。

（3）压出工艺　内胎胎管的压出断面尺寸和形状与压出口型的设计、压出时的温度及压出时输送带的速度有关，不同规格的胎管压出标准范围见表2-5-37，压出时的温度见表2-5-38，压出时输送带的速度一般为11.4～34.0m/min。

表 2-5-37　内胎胎管压出标准范围

| 规　格 | 压出口型直径 mm | 双层宽度 mm | 单层厚度 mm | 胶管长度 mm | 胎管重量g |
|---|---|---|---|---|---|
| $26\times2^{1}/_{2}$ | 32～33 | 67～68 | 1.35～1.45 | 1885±10 | 410±10 |
| $28\times1^{1}/_{2}$ | 18.5～19.5 | 43～44 | 1.20～1.30 | 2085±10 | 267±5 |
| $26\times1^{3}/_{8}$ | 16.5～17.5 | 37.5～38.5 | 1.20～1.30 | 1950±10 | 215±5 |

表 2-5-38　内胎胎管挤出机特征

| 设　备　名　称 | 螺杆转速 r/min | 机头温度，℃ | 口型温度，℃ | 机身温度，℃ | 备　注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 直径为115～150mm螺杆挤出机 | 46 | 不高于85 | 不高于105 | 40～50 | 螺杆腔内通冷水冷却 |

胎管压出后的喷刷隔离剂、冷却停放、贴合胶垫片、装气门嘴主体等作业是在内胎压出联动装置进行的，国内各生产厂已广泛使用该压出工艺流水线。联动装置的应用实现了内胎压出的连续化，并降低了劳动强度，提高了生产效率。

内胎压出联动装置是由液体隔离剂循环装置、切断装置及存放输送装置等组成。

a．液体隔离剂循环装置　该装置包括液体隔离剂喷嘴、隔离剂循环装置及喷刷隔离剂装置。

喷嘴是挤出机头的一个组成部分，它的作用是将液体隔离剂和压缩空气在气室内混合形成细雾状，喷刷在胎管内壁上，防止内胎胎管在停放过程中，内壁互相粘连。压缩空气的压力为0.05～0.10MPa(0.5～1.0kgf/cm²)。

隔离剂循环装置是将盛液槽内的液体隔离剂经泵体输送至喷嘴和喷刷隔离剂槽内，多余的液体返回盛液槽内。

喷刷隔离剂槽是用于压出后的内胎胎管外表面浸刷液体隔离剂，防止胎管在停放过程中互相粘连以及便于硫化后的脱模。

液体隔剂在使用以前先按一定的配比进行调和（碳酸镁：滑石粉：水＝1:4:适量），碳酸镁和滑石粉需经过100目的滤网过滤。

b．切断装置　其作用为胎管自动定长切断，切刀有电热切刀和冷切刀两种，电热切刀

的使用效果要比冷切刀好，电热切刀的刀温一般为160～180℃。

c 存放输送装置 该装置是用于胎管冷却停放，并在输送带上对胎管进行定长、涂刷汽油、打孔、贴胶垫片、装气门嘴等作业，存放输送装置上的输送带的宽度为230mm，输送线速度为0.35～0.50m/min，存放时间控制在25～30min。在输送带下面还要装上蒸汽管道，当冬季来临，生产现场的温度较低时，可对压出后的内胎胎管进行保温。打孔一般采用电热钻孔，也有采用电钻钻孔，打孔直径控制在6mm。

国外较先进的内胎压出联动装置，即胎管经压出和冷却后，在传送装置上应用时序控制器控制各个独立装置，完成对压出后的胎管进行定长切断、打气门嘴孔、贴胶垫气门嘴及印刷商标等操作。输送带的速度为5～15m/min，打孔真空度为5.9kPa(600mm$H_2O$)。

3．内胎接头工艺

内胎接头是内胎制造的关键工序，接头质量的好坏直接关系到产品的使用质量和使用寿命。国内均采用机械接头方法，机械接头比手工接头的质量稳定，接头强度高3～4倍，劳动强度低，生产效率也有提高。

内胎接头机由压胎装置、切头装置、接头装置及控制装置等组成，内胎接头机特征见表2-5-39。

**表 2-5-39 内胎接头机特征**

| 设备名称 | 压胎、切刀装置压力 MPa(kgf/cm²) | 接头装置压力 MPa(kgf/cm²) | 电热刀刃温度，℃ | 生产能力，条/h |
|---|---|---|---|---|
| 内胎接头机 | 0.2～0.4<br>(2～4) | 0.4～0.6<br>(4～6) | 200～220 | 380～400<br>(单条) |

内胎接头机有单条胎管接头和双条胎管接头两种，双条胎管接头可提高生产效率25%左右，胎管接头方式为拼接头方式。

接头机工作原理是将停放30分钟后的胎管放在接头机压胎装置的左、右下模板上，按动气控传动机构按钮，使顺序操纵部分各自动作，压胎气缸带动压胎上模下降，将胎管两头压住，然后切刀装置气缸活塞杆带动电热刀下降，切去多余部分的两头胎管，接着接头装置气缸活塞杆带动左边的压胎模（连同胎管一起）向右边的压胎模移动，以机械压力将胎管两头进行拼接粘合，完成胎管头的拼接头操作，使之成为半成品胎坯。

（1）压胎装置 该装置的作用是保证胎管在拼接头时不松动，接合牢固。压胎模上，下模具的宽度可通过调距板进行调整，以适应不同规格的内胎生产，压胎模具与胎管尺寸示例见表2-5-40。

**表 2-4-40 压胎模具与胎管尺寸示例**

单位：mm

| 规格 | 胎管尺寸 | | 压胎模宽度 | |
|---|---|---|---|---|
| | 平叠宽度 | 单层厚度 | 上模 | 下模 |
| 26×2$^1/_2$ | 67±0.5 | 1.4±0.5 | 65 | 66.5 |
| 28×1$^1/_2$ | 43±0.5 | 1.3±0.5 | 41.5 | 42 |
| 26×1$^3/_4$ | 37.5±0.5 | 1.25±0.5 | 36 | 36.5 |

（2）切刀装置　装置上的两把切刀的起落要平稳，两把刀的刀口要处在同一水平线上，切刀与垂直面的夹角一般控制在20°较好，电热切刀刃口温度控制在200～220℃，切刀切下时与下模板内边的距离为0.5～1.0mm，切下深度比下模板低0.2～0.5mm。

（3）接头装置　该装置的作用是在压力下完成胎管的拼接头，胎管在拼接时，为了防止冲击力过大，影响内胎的接头强度，一般在左拖板上装有弹簧缓冲杆。胎管拼接头的时间控制在1～2秒，完成一条胎管的拼接时间为4～5秒，拼接头压力为0.4～0.6MPa（4～6kgf/cm$^2$）。

（4）控制装置　接头机的控制方法有射流控制和机械凸轮组程序控制两种，前者控制方法使用的元件简单，但要求较高，稳定性较差；后者控制方法采用的机械结构较复杂，但是运行可靠，动作准确，一般的生产厂都采用该控制方法的接头机。

内胎半成品胎坯质量要求如下：

①　胎坯应无杂物、熟胶粒、气泡、洞眼等；

②　胶垫片不应有打褶、缺口、脱开、露布等；

③　接头以后的内胎胎管不应有大小头现象，接头处挤出胶皮要均匀，挤出的胶皮离内胎表面不高于1.5mm，接头处不得有内外裂。

内胎接头工艺常见的缺陷与改进措施见表2-5-41。

表 2-5-41　内胎接头常见缺陷与改进措施

| 缺陷名称 | 产生原因 | 改进措施 |
|---|---|---|
| 接头左右错位 | 胎管宽度不一，接头导轨与拖板活动间隙大、模板移位 | 提高胎管压出质量，选用符合要求的胎管，调正导轨，校正模板 |
| 接头上下错位 | 胎管厚度不一，模板紧固螺丝松动，接头导轨磨损，模板左右不正移位 | 提高胎管压出质量，选用符合要求的胎管，校正模板，拧紧螺丝，更换导轨，校正模板 |
| 接头不牢 | 接头压力低于标准，胎管接口不平，沾有油污等，电刀温度过高，胶料焦烧，拼接时撞接力过大 | 接头压力符合规定标准，调正拖板距离，电刀温度符合规定标准，拼接时要有缓冲性 |
| 接头胶边过高 | 胎管胶料太软，压力过大，接头拼接时间过长 | 控制热炼返回胶掺用量，胎管经冷却停放后使用，调整接头压力与拼接时间 |
| 接头外裂与内裂 | 隔离剂喷刷量过多，胎管接口不平，沾有油污，水份等，胎管胶料太硬，硫化充气时过急 | 隔离剂用量适当，胎管接口要清洁，提高胎管胶料的可塑度，胎管预热，改小硫化进气阀门直径 |
| 两侧生伤 | 胎管太软，压胎模压力过高，胎管断面尺寸形状不符 | 调整胎管冷却停放的时间，压力应符合规定的压力标准，提高胎管压出的质量，接头时选用符合要求的胎管 |

4．内胎硫化工艺

硫化是内胎制造的最后一道工序，也是决定成品物理机械性能和使用性能的主要工序。大多数力车轮胎生产厂使用的硫化设备是个体硫化机，一般为单层式，硫化方法采用蒸汽内压双向导热模型硫化，也有采用混气（空气与蒸汽）双向导热模型硫化，硫化过程应用集成电路和微处理机自动控制硫化条件，以保证内胎质量。

（1）硫化设备及辅助设备

a．硫化设备　力车内胎硫化设备一般为立式个体硫化机。硫化机按动力驱动形式可分为电动硫化机和水压硫化机两种，硫化机的性能与特征参见本章第一节力车外胎硫化工艺

简述。

由于内胎系薄壁制品，对内胎硫化机及硫化操作要求较高，要求硫化机开模与合模速度快，上下模型开启距离大，便于操作，故通常采用单层式电动硫化机。

b．硫化模型　因内胎不带花纹形状，硫化模型的制造方法一般是在一定规格尺寸的钢模上直接加工制造而成，这种制造方法速度快，模型更换方便，外观质量好。

硫化模型的加热方式是采用螺钉固定在硫化机的蒸汽夹套上，蒸汽通过夹套间接加热模型。

c．六角螺母旋紧机　用于内胎气门嘴上的六角螺母旋紧，防止气门嘴与内胎接合处漏气。其工作原理是将气门嘴插入六角孔内，六角孔即带动已套在气门嘴上的螺母旋转并将它旋紧，旋转机机头的转速为1260r/min。

d．内胎上圆螺母机　用于内胎胎内空气的抽除，便于内胎的折叠包装，以及上压紧轮辋圆螺母与压气门芯圆螺母，其工作原理是将气门嘴插入真空吸气嘴内自动抽去内胎腔内的空气，再将气门嘴插入上圆螺母头的孔内旋上并旋紧圆螺母，上圆螺母头转速为1400r/min。

（2）硫化工艺

a．硫化方法　内胎硫化有模外充气定型硫化和模内充气定型硫化两种方法，前者需增添定型设备和场地，增加工作量，但是硫化后的成品质量较好；后者可在模型内直接定型硫化，设备占地少，并可减少工作量，但是对硫化操作的要求较高。目前大多数企业采用模内直接充气定型进行硫化。

b．硫化条件　由于内胎为薄壁橡胶制品的缘故，所以硫化温度、压力和时间的选择要适当，并经常保持恒定的温度和压力，防止硫化后的成品产生厚薄不均匀等缺陷，掌握好硫化条件，可获得质量优良的成品内胎。

（a）硫化温度　内胎硫化时模型加热介质一般采用的是蒸汽，通常的硫化温度为165～167℃，硫化过程中，应用蒸汽自动控制装置控制蒸汽压力，能稳定硫化温度，有效地保证产品质量。

（b）硫化压力　硫化时的加压介质有压缩空气、热空气和蒸汽。因为内胎是薄壁橡胶制品，而且也没有一定花纹轮廓，不需要较高的硫化压力，采用压缩空气或热空气时，硫化时间需要延长，因此，通常采用蒸汽作为内胎硫化内压力，硫化压力一般为0.60～0.65MPa（6.0～6.5kgf/cm²）。

（c）硫化时间　内胎的硫化时间包括正硫化时间和操作时间。正硫化时间是根据硫化温度、压力、产品规格、胶料配方以及成品物理机械性能达到最佳状态的综合性能而定。

不同规格内胎的硫化时间示例见表2-5-42。

表 2-5-42　内胎硫化条件

| 轮胎规格 | 硫化温度，℃ | 硫化蒸汽压力，MPa(kgf/cm²) | 硫化时间，min |
|---|---|---|---|
| 26×2½ | 166 | 0.64(6.4) | 3.5 |
| 28×1¾ | 166 | 0.64(6.4) | 3.25 |
| 26×1¾ | 166 | 0.64(6.4) | 3.25 |

c．硫化机控制　参见本章第一节外胎硫化工艺简述。

d．模型的清洗　由于内胎不带花纹形状，对产品的外观质量要求较高，因此硫化模型要定期进行清理，保持一定的光洁度，清理的方法可用机油或蓝油膏擦洗硫化模型。

e．硫化质量要求　硫化质量要求有以下几点：

① 必须做到先接头的胎坯先硫化，胎坯的存放时间不超过 6 小时；

② 硫化前模型必须进行预热，预热时间应是在工艺规定的蒸汽压力下预热0.5～1小时；

③ 硫化过程中，应经常开放回汽阀或用汽水分离器自动控制排水，避免因积水过多而降低模型温度，造成内胎欠硫缺陷；

④ 蒸汽作内压时，必须先经过过滤器除去其中的水分后才能使用。

硫化后的成品常见的质量问题及预防措施见表2-5-43，内胎使用过程中存在的主要存量问题及改进措施见表2-5-44。

表 2-5-43　内胎常见质量问题及预防措施

| 缺陷名称 | 造成原因 | 预防措施 |
|---|---|---|
| 麻斑 | （1）胶料可塑度低，流动性差；<br>（2）压出的胎管宽度不一；<br>（3）硫化内压不足；<br>（4）模型内留存空气；<br>（5）模型表面脏 | （1）提高胶料的可塑度；<br>（2）控制压出胎管的宽度；<br>（3）提高硫化内压；<br>（4）模型表面开排气线；<br>（5）定期清洗模型 |
| 接头裂开 | 胎管接头不牢造成的 | （1）胎管两接口必须清洁；<br>（2）严格控制电刀温度和角度；<br>（3）经常保持电刀刃口的清洁；<br>（4）提高胶料的可塑度；<br>（5）提高胎管拼接时的压力；<br>（6）控制半制品存量 |
| 厚薄不匀 | （1）压出的胎管厚薄不匀，宽度过窄；<br>（2）定型时充气压力过大；<br>（3）硫化操作不当；<br>（4）半成品停放时间过长 | （1）控制压出胎管的宽度；<br>（2）严格控制定型时充气压力；<br>（3）提高硫化工的操作技术水平；<br>（4）控制半制品的存量 |
| 杂物 | （1）原材料不纯，含有杂物；<br>（2）生产现场不清洁 | （1）严格控制原材料的质量标准；<br>（2）严格控制胶料过滤质量；<br>（3）加强现场管理，做到文明生产；<br>（4）加强工艺管理，严格工艺纪律，做到三不落地 |
| 打褶 | （1）硫化定型压力过大；<br>（2）胎管平叠长度过长；<br>（3）胎管过宽；<br>（4）胎坯停放时间过长 | （1）调整硫化定型压力；<br>（2）胎管平叠长度，宽度应符合施工标准；<br>（3）严格控制胎坯的停放时间 |

表 2-5-44 内胎使用中的质量问题及改进措施

| 损坏名称 | 损坏原因 | 改进措施 |
| --- | --- | --- |
| 慢漏气 | （1）内胎胎管有砂眼；<br>（2）气门嘴六角螺帽未旋紧 | （1）加强现场工艺管理；保持半制品清洁；<br>（2）提高胶料过滤质量；<br>（3）气门嘴上的六角螺帽应旋紧；<br>（4）成品内胎应进行充气停放检查；<br>（5）采用丁基橡胶制造内胎 |
| 垫片两边穿孔 | 充气内胎在行驶过程中，垫片两边局部伸张过大 | 改用椭圆形垫片 |
| 局部膨胀过大 | （1）压出胎管厚薄不匀，<br>（2）硫化模型温度局部过低；<br>（3）施工尺寸与结构设计不配套 | （1）严格控制压出胎管质量；<br>（2）施工尺寸与结构设计应配套；<br>（3）硫化过程中应经常开放回汽阀 |
| 内胎内侧割坏 | 外胎胎耳包布过宽 | （1）控制包布裁断标准；<br>（2）控制胎坯成型标准；<br>（3）加强检验，控制胎坯质量标准 |

### （二）丁基橡胶内胎制造工艺

1．混炼工艺

内胎混炼前生胶与配合剂的准备和质量要求，均与天然橡胶内胎相同。丁基橡胶不需要塑炼，可直接进行混炼，通常在专用的密炼机中进行。如没有专用密炼机，则必须在混炼前将密炼机混炼室进行清洗，除去混炼室内残留的其它橡胶，防止混入丁基橡胶中而影响丁基橡胶的质量。清洗的方法是将废丁基橡胶投入密炼机内，清洗数分钟后排胶即可。

由于丁基橡胶的包辊性能与混炼性能都很差，一般使用20r/min的慢速型密炼机，混炼时间为13～18分钟，并且实际混炼容量要比理论混炼容量大10～15%，以提高混炼效果。

丁基橡胶在混炼中，配合剂分散性较差，因此上顶栓空气压力一般不应小于0.6MPa（6kgf/cm²），以改善配合剂分散性能，提高丁基橡胶混炼胶料的均匀度。

混炼后，混炼胶料的排胶温度以高些为宜，一般控制在140～160℃的范围内。

丁基橡胶混炼时的加料顺序为丁基橡胶→细料→炭黑、油→种子胶→炭黑、油→排胶。混炼胶料划片冷却停放，一般用陶土溶液作为隔离剂，冷却停放时间为8小时，混炼胶的可塑度范围为0.50±0.03。

2．滤胶与加硫黄工艺

滤胶与加硫黄方法有二种，一种是先滤胶后加硫黄，另一种是先加硫黄后滤胶。前者是通常采用的方法，其特点是操作简便，工艺安全，但胶料需要停放，占地面积大，容易造成污染；后者可实现生产连续化，生产效率高，减少了胶料污染，但是对技术管理、生产管理的要求较高。

滤胶与加硫黄工艺操作前，必须先将混炼胶料进行热炼，一般使用1～2台热炼机，热炼时辊筒温度为45～55℃。滤胶与加硫黄工艺与制造天然橡胶内胎的滤胶和加硫黄工艺相同。如采用先加硫黄后滤胶工艺时，使用的滤网规格为两层56目，一层44目。

3．压出工艺

目前丁基橡胶内胎的压出工艺与天然橡胶内胎的压出工艺相同。内胎胎管压出设备采用直径为115～150mm的螺杆挤出机，由于丁基橡胶的压出性能较差，压出速度比天然橡胶的

压出速度慢30%以上，因此，压出口型比天然橡胶内胎的压出口型小，为了提高丁基橡胶内胎的压出效率，可提高压出速度。

先进的丁基橡胶内胎生产设备大多数采用冷喂料或热喂料专用压出机，其长径比较大，冷喂料为12～14，热喂料为6～8。采用冷喂料压出机可以简化工艺，省略热炼机，减少动力消耗，节约场地，提高生产效率。另外还有采用真空压出技术生产内胎，这种方法可以消除气泡，提高压出胎管质量。

压出返回胶在掺用时应注意，返回胶不应含水分和杂物，返回胶的掺用量应该恒定，为了保证压出胎管尺寸的稳定，掺用量一般不超过20%。

内胎胎管压出后均采用内外喷洒干滑石粉作为隔离剂，滑石粉应预先经过干燥、过筛后才能使用。

4．接头工艺

丁基橡胶内胎胎管接头设备与天然橡胶内胎胎管接头设备相同，由于丁基橡胶的自粘性较差，所以，接头压力、温度和时间都要适当提高，丁基橡胶内胎接头机特征见表2-5-45。

表 2-5-45　内胎接头机特征

| 设备名称 | 压胎、切刀装置压力 MPa(kgf/cm²) | 接头装置压力 MPa(kgf/cm²) | 电热切刀温度，℃ | 生产能力 条/h |
|---|---|---|---|---|
| 内胎接头机 | 0.2～0.4 (2～4) | 0.45～0.60(4.5～6.0) | 280～290 | 270～300 |

切刀装置上的两把切刀与垂直面的夹角为20°左右，切刀刃口要保持清洁，应经常抹擦，保证内胎的接头质量。

胎管拼接头时间控制在 4 秒内，每拼接一条胎管为6～7秒。不同的电刀温度对接头强力影响示例见表2-5-46，不同的电刀角度对接头强力影响示例见表2-5-47，不同的拼接时间对接头强力影响示例见表2-5-48。

表 2-5-46　不同的电刀温度对接头强力的影响

| 项目 \ 温度，℃ | 250 | 270 | 280 | 290 | 310 |
|---|---|---|---|---|---|
| 接头强力（平均），MPa (kgf/cm²) | 4.4(45) | 4.8(49) | 5.0 (51) | 5.2 (53) | 4.5 (46) |

表 2-5-47　不同的电刀角度对接头强力的影响

| 项目 \ 角度 | 10° | 15° | 20° | 25° |
|---|---|---|---|---|
| 接头强力（平均），MPa (kgf/cm²) | 粘　刀 | 6(61) | 6.8(69) | 6(61) |

表 2-5-48　不同的拼接时间对接头强力的影响

| 项目 \ 拼接时间，S | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|
| 接头强力（平均），MPa (kgf/cm²) | 4.5 (46) | 5.2 (53) | 4.6(47) |

先进的丁基橡胶内胎接头机除了把胎管放入及接头后取出工序为人工操作外，其余均为自动化，一次可以同时进行二条或多条内胎胎管接头操作，适用于不同规格内胎胎管接头。

接头方式有的采用梯阶式切断系统结构，其特点是，首先将切刀垂直下切到胎管总厚度的1/3处，这时胎管压胎模开始向两侧外移，与此同时，切刀继续往下切，剩余的2/3胎管被斜向切断，其断面形状为梯阶式，用此方法切断的胎管其拼接面积较大，接头强度较高，接头机特征见表2-5-49。

表 2-5-49 梯阶式内胎接头机特征

| 设备名称 | 胎管最大宽度 mm | 电刀温度,℃ | 压缩空气压力 MPa(kgf/cm²) | 生产能力，条/h | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 单　条 | 双　条 |
| 梯阶式内胎接头机 | 140 | 150～300 | 0.69（7） | 270 | 470 |

5．硫化工艺

丁基橡胶属于高饱和度的结构，硫化速度较慢，因此丁基橡胶内胎的硫化温度要比天然橡胶内胎的硫化温度高。一般自行车内胎的硫化温度控制在175～180℃，内压为0.78～0.88 MPa(8～9kgf/cm²)，硫化时间为4.5～5分钟，硫化设备与天然橡胶内胎的硫化设备相同。

# 第六章　力车轮胎测试

## 第一节　概　　述

### 一、测试近况和方向

国际上，力车轮胎工业生产已向轻量化、美观化以及作为体育运动锻炼器材和娱乐性方面发展，因此对产品的外观和内在质量以及使用的要求也有所提高。我国的力车轮胎主要用于短途运输和代步交通工具，目前，对成品的代用质量指标有所调整，逐步趋向于注重提高使用质量，除实际耐用性能里程试验外还需进行室内综合性能试验，各种试验项目均制订相应的标准，以求统一。

国外轮胎行业比较重视成品综合性能的检测工作，已逐渐取消或减少轮胎解剖后的物理机械性能试验，而是以室内成品综合性能的检测来取代。对于轮胎成品性能检测来说，尤其重视其使用中的安全可靠性。综合以上情况，轮胎的成品性能检测主要达到以下 3 个目的：

① 轮胎的使用性能；

② 轮胎的使用安全性能；

③ 轮胎的工艺制造技术水平。

力车轮胎与汽车轮胎基本上相同，属于同一类型的产品，但由于力车轮胎是用人力驱动的，所以与汽车轮胎最大的区别是行驶速度慢，因此对以上 3 个内容的检测手段就比汽车轮胎相应要简单容易。

力车轮胎的检测分为室内和室外二种类型。

室内检测包括了解剖后的物理机械性能测试、成品耐久性能里程检测、成品安全性能检测、静负荷检测和成品强度（压穿）性能检测等。室外检测是依靠实际里程试验，因该试验条件比较错综复杂、其结果的对比性和重现性较差，试验周期也较长，所以不能单靠实际里程试验评价产品质量。

鉴于以上情况，力车轮胎的检测必须在进一步明确检测目的的基础上，室内和室外检测同时进行，逐步完善室内检测手段，并过滤到以室内检测为主。

### 二、测 试 目 的

力车轮胎各个项目的检测是为了保证产品质量，尤其是产品的使用质量。除了按照国家标准GB1702—86力车外胎和GB1703—86力车内胎中所规定的外观检验 检查外，还必须进行必要的代用指标——物理机械性能的测试；轮胎成品结构设计参数的检测——静负荷下的外缘尺度分析；轮胎成品的安全性能测试——轮胎的强度试验、水压爆破试验、成品的脱圈试验等；轮胎成品的耐久性里程机床试验，以及力车轮胎的实际使用试验等。

通过这些试验，可以鉴定产品质量，检验产品是否符合标准，并帮助我们发现和解决力车轮胎在生产和使用中存在的问题。通过分析这些测试的结果，为减少产品的损耗、降低成本、改革工艺及提高质量和采用新型材料积累可靠数据资料，从而逐步达到产品技术先进、

经济合理、安全可靠的最佳综合技术经济效益和社会效果。

力车轮胎的测试主要有3方面。

① 物理机械性能试验；

② 成品试验；

③ 实际使用里程试验。

## 第二节 力车轮胎解剖及物理机械性能的检测

### 一、力车轮胎解剖

力车轮胎解剖的目的是通过对试样进行各种物理机械性能的检测，了解成品轮胎各部位的局部质量性能，并通过试样解剖作断面分析，了解材料分布结构的设计质量和成型与硫化工艺质量情况，也可为减少消耗、降低成本、改革工艺和提高质量积累数据资料。

对力车轮胎各部位的物理机械性能的检测项目，包括胎面胶料的强度、模量、伸长率、硬度和磨耗等，还有胎面胶与帘布层以及帘布层之间的附着强度、帘线强伸性能和模量，帘线（胎冠部位）的角度、密度、粗度等。内胎还要进行接头强力和撕裂强度等检测项目，对外胎胎面胶料和内胎胎身胶料还需进行耐热老化性能测试。

力车轮胎的解剖和取样方法基本上参照汽车轮胎的解剖取样方法和有关的物理机械性能检测方法标准。详细内容可按照相应国家标准中有关规定执行。

（1）根据国家标准GB1702—86“力车外胎”及GB1703—86“力车内胎”的要求，逐项进行检测，各个品种和规格的内、外胎，均以不多于5万条为一批，每批取1条，按照GB1702—86表4和GB1703—86表2的规定进行检验。所有的测试仪器、仪表均应定期取得法定机关校核验证，否则，所测数据无效。

（2）抽样时要在试验通知单上注明品种、规格、硫化模型的编号、硫化条件和生产日期与单位。

（3）由于化纤骨架材料的收缩性以及丁基橡胶应用于内胎等原因，成品轮胎硫化后，必须在室温条件下放置12小时，以消除内应力，使分子排列趋于稳定，并使成品温度与试验室温度相同，保证测试数据的稳定，只有这样才能进行成品的解剖取样。

（4）试验室温度除特殊要求外，一般为23±2℃。用拉力机进行测试时，必须保证使用负荷在仪器满标负荷的15～85%的范围内进行。

（5）所测定的试验结果，应按国家标准中有关的中值方法进行正确计算，超过标准规定的数值必须按标准规定删去。参于表示结果的中值，其试样不得少于国家标准所规定的个数。

### 二、力车外胎物理机械性能检测

1．检测项目

力车外胎物理机械性能测试是检测产品的代用质量特性。但是，代用质量特性不等于真正的质量特性。从理论上讲，物理机械性能指标按其能否充分反映使用质量的特性可分为特性指标的测试和非特性指标的测试，例如胎面胶料的磨耗减量、橡胶与帘布间的附着强度、钢丝圈整圈强度等属于特性指标；而强伸性能则是成品的非特性指标。因此，目前国际上已明显地降低了这些非特性的代用质量指标的控制值，而对成品的耐用特性、安全性等指标给

予重视。但是对产品的内在质量又必须有一明确的代用指标值来控制。一般情况下，外胎物理机械性能检测应包括下列项目。

① 磨耗减量；

② 胎面胶与胶帘布层的附着强度、胶帘布层之间的附着强度；

③ 帘线的强度；

④ 钢丝圈的整圈强度；

⑤ 胎面胶的拉伸强度、伸长率、变形率；

⑥ 胎面胶的硬度；

⑦ 胎面胶的撕裂强度。

4、成品解剖

所谓解剖，就是将成品轮胎分解为各种检测项目所需要的试片。成品的解剖应按国家标准GB519—65执行，要求试片光滑，平整，没有缺口，尤其是检测橡胶与帘布层的附着强度，必须小心割取，不使帘线受伤，否则将影响帘线强度测试结果。同时，可对轮胎断面是否合理，材料分布是否符合原设计要求。

## 三、试 验 方 法

1．胎面胶料的磨耗减量试验

力车轮胎在使用过程中，胎面与地面不断摩擦，因此耐磨耗性能是用来衡量其产品使用寿命的代用指标。我国国家标准规定以Akron磨耗减量试验为标准，其目的在于推断产品的使用寿命和产品的耐磨损性能，并研究改进措施。但这种磨耗减量试验方法与实际使用中的磨耗减量的相关性尚存在一些差异，有待于改进。

取样方法标准按国家标准GB519—65中的有关规定执行；试验方法标准是按国家标准GB1689—82中的有关规定执行。试验结果为在15°倾斜条件下，运转1.61km所损耗的胎面胶体积。

2．附着强度试验

力车外胎附着强度试验是测定胎面胶与骨架材料之间结合能力的方法，通过试验判断产品中的橡胶与骨架材料、骨架材料之间静态附着强度是否达到规定要求。我国力车外胎的骨架材料已基本实现锦纶（尼龙）化，由于锦纶胶帘布的附着强度比棉胶帘布的高，因而锦纶外胎的附着强度高于棉帘线轮胎，但是附着强度的高低还与橡胶配方、覆胶工艺、硫化条件等有着密切的关系，因此附着强度试验从理论上基本反映了轮胎胶料层与帘布层之间的结合能力，同时也是检查配方、工艺以及硫化条件是否合理的重要方法。这种静态的结合能力与轮胎的使用质量之一——胎体早期脱层有着密切的相关性，在轮胎整体上与轮胎结构设计的合理性有关。

附着强度试验的取样方法标准是GB519—65；试样方法标准是GB532—82。其试验结果为单位宽度内的强度。

3．帘线的强度与分布、角度和密度

力车轮胎的载荷能力主要取决于充气内压，充气内压的承受能力又取决于骨架材料的强度及其单位宽度中的密度和胎冠部的帘布角度等。组成骨架材料的帘布由于采用了锦纶，其单根强度比棉帘线大有提高，锦纶帘线的直径小，因而胎体的附着力也相应增大。其成品胎冠部角度的大小，对轮胎的下沉量等使用特性有较大的影响，应在生产中加以注意。帘线角

度是保证产品质量的重要因素之一，角度太大，帘线密度减少，轮胎安全系数降低，但尺寸稳定性较好，也比较耐磨；角度太小，帘线密度相应增大，但降低了布层之间的附着强度，生热也大，容易造成轮胎早期脱层等缺陷，同时还会降低使用寿命。测量帘线角度示意图见图2-6-1。

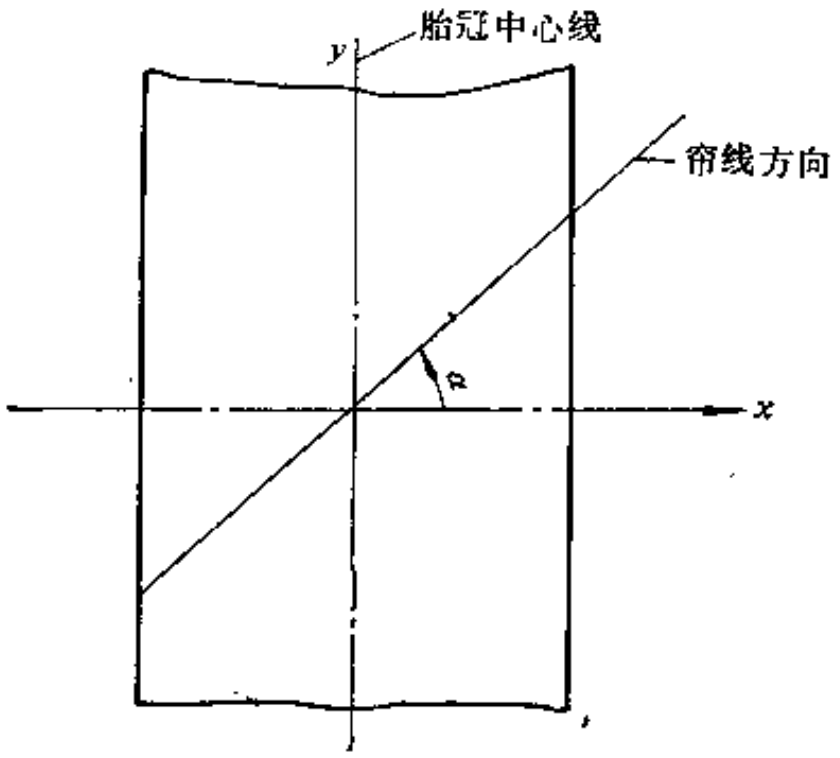



图 2-6-1 帘线角度测量示意图
α——为成品胎冠部帘线角度

过纵横轴（$x$，$y$）交点处，作该层胎冠部位帘线的平行线，用量角器测量此线与横轴（$x$）之间的夹角$\alpha$，即该层帘线的角度与其部位帘布裁断角相对应。每层帘布的帘线角度以二个试样的4个角度的中值作为结果。

在此角度的试样上，沿帘线方向作垂直线，测量出50mm的宽度，在此宽度内精确测定帘线根数，然后换算成100mm内的帘线根数，即为帘线的密度。

4．钢丝圈强度试验

对于硬边力车轮胎，其钢丝圈强度的大小将直接影响轮胎的使用寿命和轮胎的安全可靠性，它是轮胎使用特性的直接反映，因而测定其强度是保证产品质量的重要条件之一。

试验的方法是以接合处为中心，截取长度约200mm的钢丝圈，在常温下用1000kgf的强力试验机进行拉伸强度试验，试验机的速度为25±5mm/min（多根钢丝组成的钢丝圈在试验时不允许同时夹住二个搭头）。

钢丝圈强度试验的结果是整圈的拉伸强度。

5．断面分析

本检测项目虽然不属于物理机械性能检测范围，但一般与物性检测同时进行。对于力车轮胎成品而言，其断面结构的分析从理论上说甚为重要，它可检查产品是否符合原设计要求，尤其是产品的材料分布是否符合质量控制要求，也可知道产品在成型加工和硫化中的工艺质量。

断面分析的内容主要包括胎冠总厚、胎冠胶厚、胎冠宽度、包叠成型中的包叠宽度和偏斜值，还包括胎侧总厚、胎侧胶厚、胎侧布层角度、胶布组织、胶布层厚，以及软边轮胎胎耳胶芯尺寸、硬边轮胎钢丝圈结构和花纹深度等，这些分析对指导生产具有十分重要的意义。

对于内胎的断面分析，除胎身的厚度外还应包括平叠宽度和平叠长度等外型尺寸的检测。

6．胎面胶强伸性能试验

力车轮胎的胎面直接与路面接触，是轮胎首先承受摩擦和冲击等多种外力作用的部件，它承载负荷并将所承载的负荷传递给骨架材料，因此要求胎面胶料应具有较高的弹性和一定的强度，以保证产品骑行方便、耐刺垫伤并具有一定的耐磨耗性能。强伸性能试验与这些使用性能有一定的相关性，但它本身不是轮胎的特性指标。在国际上，一些轮胎工业先进的国家，已将力车轮胎胎面胶的强伸性能指标作了适当的调整，充分注意到整体的综合技术经济效益和使用质量。但是由于胎面胶质量与轮胎的使用质量之间有着一定的相关性，因面其性

能要求也有一定的控制指标值。如果强度、定伸数值较高，则有利于耐磨和耐刺垫伤性能的提高；伸长率大、永久变形小，则产品弹性较好，有利于骑行轻便，因此强伸性能测试一般列为胎面胶的测试项目，借以观察轮胎的质量，研究、制订改进措施。

同时，也应进行耐老化性能的试验，观察胎面胶料在一定的热老化条件下的变化情况，以便改进产品耐老化的功能，这是因为力车轮胎在使用和贮存时，受热和氧的作用导致使用寿命降低，尤其是近年来浅色外胎发展较快，耐老化性能更为重要。因此进行热空气老化试验对判断、比较产品在测试温度下的耐老化性能有一定的模拟作用。

胎面胶强伸性能试验的取样方法按国家标准GB519—65中的有关规定执行，试验方法按国家标准GB528—82中的有关规定执行。

7．胎面胶的硬度

胎面胶硬度过大，车辆在上坡时抓着力小，滑动就大；胎面太软，滞后损失大，滚动阻力也大。胎面胶的硬度与配方和硫化工艺有密切关系，因此测试胎面胶料的硬度又是检验配方设计是否合理、硫化深度是否适宜的一个方法。

胎面胶硬度的测验取样方法按国家标准GB519—65中的条款执行，试验方法按国家标准GB531—65中的条款执行。

8．胎面胶的耐撕裂强度试验

力车轮胎在行驶中，胎侧周期性地不断受压、弯曲，出现裂口或胎侧受刺伤等缺陷；在载荷作用下，易产生裂口并产生撕裂而降低使用寿命。所以可用胎面胶撕裂强度这一代用指标的试验方法来检测其耐撕裂特性。

胎面胶料撕裂强度试验取样方法按国家标准GB519—65中有关条款执行，试验方法按国家标准GB529～530—81中的有关条款执行。

9．力车内胎300%定伸永久变形率试验

力车内胎除了按规定进行的与外胎相同的强伸性能测试、撕裂强度试验、内胎接头强度试验（无接头内胎）以及内胎接头附着强度试验外，还应进行300%定伸永久变形率测定，用来取代过去的永久变形测试项目和胶垫气门嘴座拔出力试验。

300%定伸永久变形率比扯断永久变形更能确切地反映实际使用情况，由于内胎在实际使用过程中扯断是不太可能的，也就不需要其扯断后的变形量，而伸长变形率是在伸长3倍但不扯断的情况下进行的，所以其数据更接近实际使用，对于内胎的质量检测更具有指导意义。这种方法在日本等国家标准中均已采用，其试验数据有可比性。

300%定伸永久变形率试验的取样方法按国家标准GB1703—86中的有关条款执行，试验方法也按GB1703—86中的有关条款执行。

## 第三节　力车轮胎成品试验

### 一、力车轮胎结构参数检测

一般采用静负荷测定仪进行检测，目前采用的是JC-1型力车轮胎静负荷测定仪。

静负荷试验是测定轮胎在静态负荷作用下的各种性能，用来检测成品轮胎结构设计参数。所测的这些性能与充气压力、负荷大小、轮胎结构、组成各部件材料的特性有关，从而为设计、试制、研究开拓新产品、改进老产品以及正常产品的特性评价有一定的指导意义。

表示这些特性性能的主要项目有压缩系数、接地系数、硬度系数、下沉量(率)、平均单

位压强等，还包括轮胎的充气外直径、断面宽度、负荷下断面宽度。

## 二、力车轮胎充气静负荷性能试验

### （一）一般要求

静负荷性能试验的一般要求如下。

① 每个品种、规格的外胎，20万条为一批，每批抽取1条外观合格的产品作一次静态负荷性能试验。

② 由于锦纶帘布的热收缩性，因此，硫化后的成品必须停放24小时，然后安装在标准轮辋上充入标准气压，再停放24小时后补充气压至标准状态，只有这样所测定的尺寸才能作为标准数值。

③ 静负荷测定可采用机床手工测定或静负荷仪测定。

④ 静负荷试验平台应保持水平，在试验中应做到支架和大轴水平，两边高度差不得超过1mm。

⑤ 进行印痕试验时，平台与轮胎要缓慢接触，禁止冲击。

⑥ 在试验过程中，每改变一次负荷或相应气压，应停机2～3分钟。

⑦ 所用气压表、计量仪表等，在使用前均应按规定校正至零点。

⑧ 静半径及断面宽度测量准确度为0.5mm。

### （二）试验设备

（1）静态负荷性能测定采用JC-1型静负荷试验机，也可采用静负荷测定仪等。附属工具有气泵、气压表、标准轮辋、卡尺、钢卷尺、活动板手、记录用品等。

（2）试验结束后的测绘与计算用品有三角板、云形规、计算器、求积仪等。

（3）轮胎的负荷量　轮胎负荷量按式（2-6-1）计算。

$$Q=\frac{(W-G)S_1}{S_2} \tag{2-6-1}$$

式中　$Q$——应加负荷量，kgf；

$W$——轮胎实际承受负荷，kgf；

$G$——机架作用于轮胎上的负荷，kgf；

$S_1$——支点到垂点的距离，cm；

$S_2$——支架全长，cm。

（4）静负荷试验

静负荷试验示意图见图2-6-2。

### （三）试验步骤

1．外缘尺寸测量

外缘尺寸测量的步骤如下。

① 首先应平衡该机床的水平及相对零点。

② 测定标准轮辋重量，并测定标准轮辋的外周长、着合直径等参数。

③ 将硫化后停放24小时的轮胎安装于标准轮辋上，并放置于试验机机架上，充内压至标准气压，停放24小时后再补充气压至标准压力，测量轮胎外周长，并计算出外直径。

④ 轮胎置于试验机上后应保持水平，并相应校正零点。

⑤ 在轮胎上任意选定对称四点（必须避开商标、文字等），测定此四点的充气断面宽

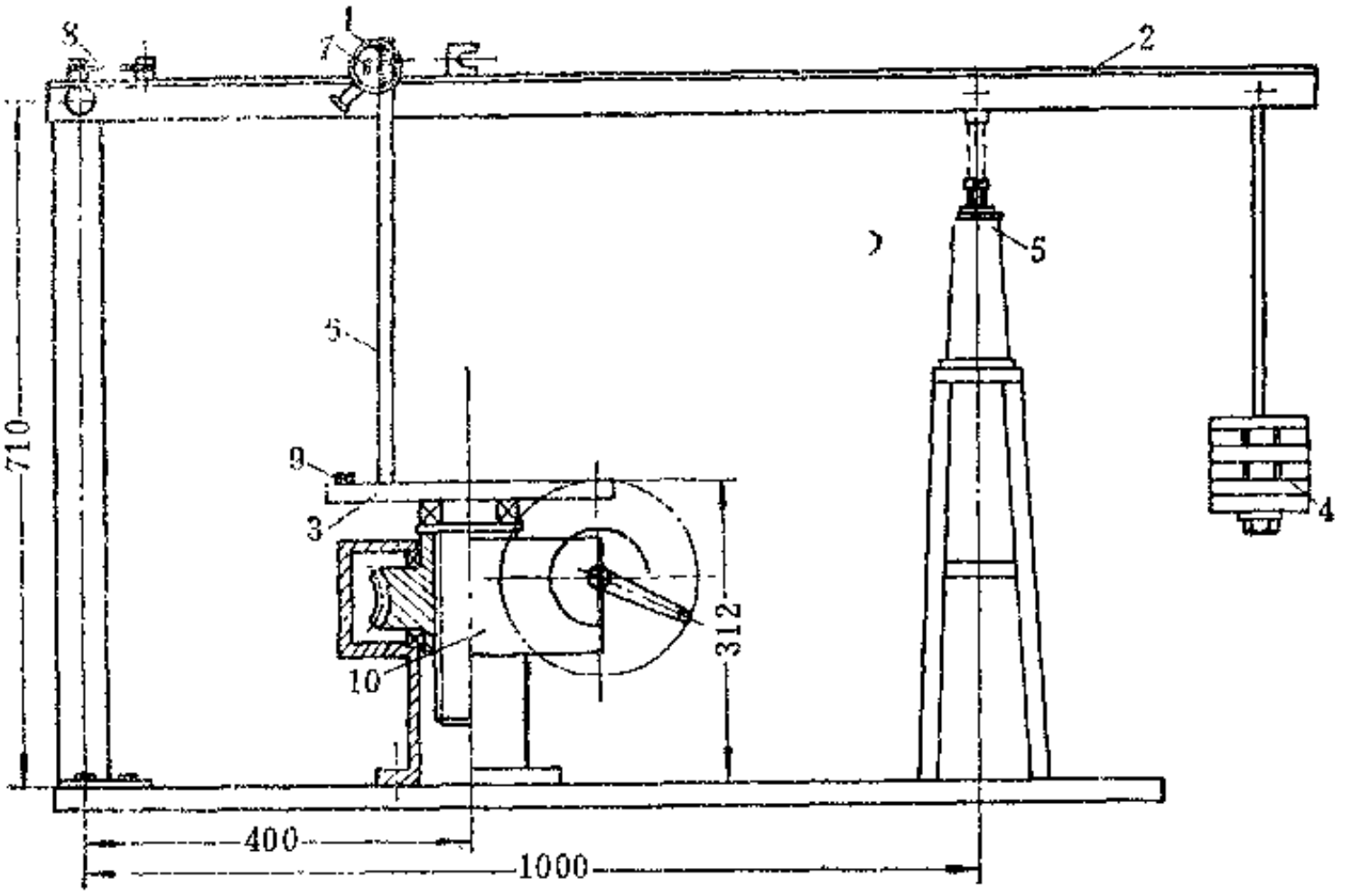



图 2-6-2　静负荷试验示意图（单位：mm）
1--放大镜；2—支架；3—平台；4—砝码；5—千斤顶；6—标尺；7—指针；8—支架水平仪；
9—平台水平仪；10—平台升降机

度并作记录，采用中值计算平均值，选其中最接近中值的点为标准点。

⑥ 在此标准点左右约250mm范围内涂上有色油墨或印泥，在平台上放一张厚纸，给试验机架上加上规定重量的砝码，缓慢地降下，使标准负荷传递给试验轮胎上，此时在厚纸上印出了试验轮胎的印痕，同时测量在此负荷下轮胎的断面宽度，在标尺上读出负荷静半径。

⑦ 缓慢地除去负荷，使轮胎负荷量减为零，取出印痕纸，操作中应注意保持轮胎、机架后的水平稳定，不允许有左右摆动现象。

⑧ 减去轮胎中的内压，测量当内压为零时的外周长，四点的断面宽度。

⑨ 根据需要，可按上述操作步骤进行超内压或超负荷下轮胎的外周长、断面宽、下沉量、静半径等数据。

⑩ 在印痕纸上按胎冠中心，作出椭圆形印痕的直角坐标，长轴为 $y$ 轴，短轴为 $x$ 轴，并测量其长度（见图2-6-3）。在图上可用求积仪，求作接地面积。

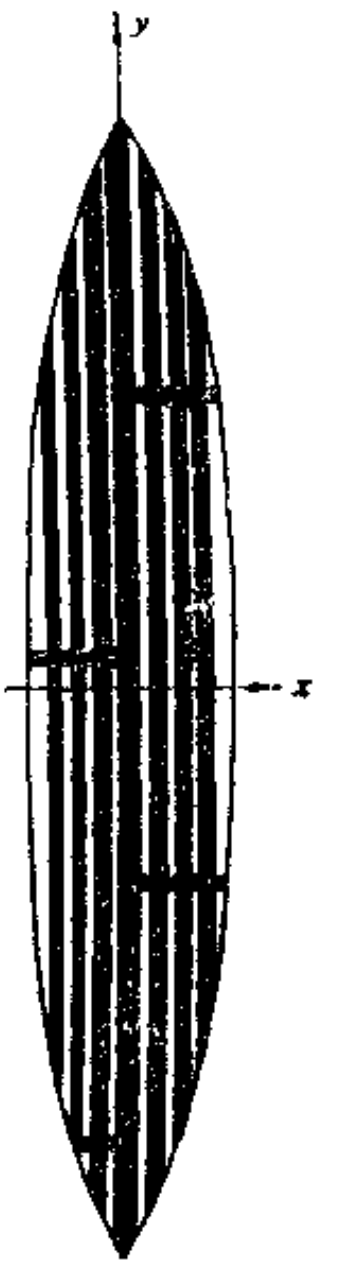



图 2-6-3　力车轮胎负荷下印痕图

2．断面打样印痕

在静负荷试验中，为了观察在一定的负荷、相应气压条件下，其断面宽度、下沉量和屈挠点的变化情况，应在各种负荷及相应气压下对轮胎断面打样。

该试验用样膏采用牙科用样膏或医用石膏、白纸等。若采用牙科用样膏，试验步骤如下。

① 把样膏放在热水中（约60℃）浸5分钟，使其变软。

② 把样膏放在负荷试验机平台架上，使其紧贴平台台板。

③ 使机架缓慢地下落，使轮胎上所选标准点落在样膏中心，待样膏冷却后，将内压排除，除去负荷砝码，然后取出样膏。

④ 将此样膏剖开，将其切开面上用细砂置于平台上磨平，并使其断面与底面垂直。

⑤ 将有色印泥涂于该断面上，印于白纸上，即为在此负荷、相应气压条件下轮胎断面打样印痕。

⑥ 可由此断面印痕，描出该轮胎的外轮廓曲线。

3．试验结果计算

（1）平均单位压强

$$\text{平均单位压强}=\frac{\text{负荷量(kgf)}}{\text{接地痕迹面积(cm}^2\text{)}}$$

在一定的相应气压条件下，已知负荷和接地痕迹面积，可以求出单位平均压强。

（2）接地系数

$$\text{接地系数}=\frac{\text{印痕长轴}(x\text{轴})，\text{mm}}{\text{印痕短轴}(y\text{轴})，\text{mm}}$$

（3）下沉量　化纤骨架材料在相同设计，相同使用条件下，将会增大下沉量。测定下沉量（率）对改进产品质量有很大关系，下沉量过大，将影响到使用寿命，力车轮胎骑行时也较费力，在设计中用提高胎侧的刚性来改进其质量。

$$\text{下沉量}=\text{充气断面高}-\text{负荷下断面高，mm；}$$

$$\text{充气断面高}=(\text{外直径}-\text{轮辋着合直径})/2，\text{mm；}$$

$$\text{负荷下断面高}=\text{负荷静半径}-\text{轮辋着合直径}/2，\text{mm。}$$

（4）压缩系数

$$\text{压缩系数}=\frac{\text{下沉量}}{\text{充气断面高}}\times 100\%$$

（5）硬度系数

$$\text{硬度系数}=\frac{\text{平均单位压强(kgf/cm}^2\text{)}}{\text{充气压力(kgf/cm}^2\text{)}}$$

在负荷与气压一定时，硬度系数越大，表示胎体越硬，胎体刚性越大。如果轮胎充气内压过大，接地面积缩小，胎面易磨耗，增大了平均单位面积压强，但乘骑轻快。增大充气内压对于骨架材料强度的要求也有提高，由于尼龙帘线的强度较高，适当增加内压可减小下沉量和减轻胎侧屈挠，但是也不宜增加太大，否则综合技术经济效益将会降低。当充气不足时，接地面积加大，缓冲性能有所提高，但是帘线屈挠加剧，易造成胎侧帘线折断和胎侧胶裂口。因此，尼龙帘布作骨架材料的力车轮胎其相应内压可适当增加一些，但不宜增加太大。

（6）偏斜率　测定偏斜率是检查力车轮胎胎冠中心线两侧质量分布是否均匀的一种方法，尤其是尼龙帘布力车轮胎采用包叠式成型方法后，采用此检查方法对生产工艺的控制有一定的现实意义。

$$\text{偏斜率}=\frac{\text{印痕短轴上、下两段之差(mm)}}{\text{印痕短轴上、下两段之和(mm)}}\times 100\%$$

偏斜率愈小，表示轮胎质量越好，包叠中心越均匀。如果数值过大，应首先检查轮胎与平台是否垂直，若是正确的话，则说明该试验轮胎包叠中心的接头，其重量部分不均匀。应提高现场工艺管理，控制工艺质量。

## 三、力车轮胎安全性能测定

### （一）力车轮胎安全性能测试

力车轮胎安全性能测试（推荐试验方法）是用同一种形式来达到二个目的，即在轮胎内充入水压来测试轮胎与轮辋的配合情况（脱圈）和将轮胎爆破，并判断轮胎胎体（帘布层）或胎趾（钢丝圈）的强度（安全倍数），通过检测还可发现轮胎其它薄弱部位。

（1）试验设备和试验方法　水压是通过水泵和蓄力器，并用针型阀门控制充入轮胎的流量，用双针压力计观察水压充入大小。

硫化后的轮胎应在试验室停放24小时以上才允许装入专用试验轮辋，将管道连接后，用较慢的流速充入水压，需排除轮胎内腔中残留的空气一次。

试验分为二个阶段：第一阶段充入水压至标准规定的压力，检查轮胎与轮辋配合情况，是否脱圈；第二阶段充入水压直至轮胎爆破，然后计算安全倍数。

（2）计算及分析　软边力车轮胎往往在轮胎爆破前就发生脱圈，使软边轮胎的爆破试验的对比性不真实，而硬边力车轮胎（包括钩边轮胎和直边轮胎），大部分在帘布层爆破前产生钢丝接头断开而爆破，说明该钢丝圈的安全倍数普遍低于帘布层的安全倍数。计算公式为

$$\text{安全倍数}=\frac{\text{爆破水压}}{\text{轮胎标准内压}}$$

### （二）力车轮胎的强度（压穿）性能测试

测定力车轮胎压穿强度，即强度试验，对力车轮胎骨架材料采用化纤材料后尤为重要。它是检测轮胎成品的骨架材料——帘线强度的一种方法。和安全试验相同，都是以破坏性试验方法来达到检验轮胎的成品强度为目的的。力车轮胎的强度（压穿）试验设备是采用JC-1型力车轮胎静负荷试验机。

将试验轮胎和相应内胎按标准要求安装于规定的标准轮辋上，充入标准气压并停放24小时，再补充气压至标准气压。

测定时，使用直径为0.8±0.1mm的半球状冲刺棒，该冲刺棒应垂直于胎轴，以50mm/min的速度挤入外胎胎冠中心部位胎面花纹突出部，并把轮胎外周长大致分为4等分，测定轮胎在各个位置上受到破坏时的挤入力和冲刺棒的行程，当冲刺棒已经到达轮辋，而轮胎尚未被破坏时，记下冲刺棒到达轮辋时的值。

各个位置上的破坏能按照式（2-6-2）计算，在得出轮胎破坏能的4个测定值之中，舍去最高值和最低值，取剩下的二个值的平均值为轮胎的破坏能。

$$W=\frac{F\times P}{2} \tag{2-6-2}$$

式中　$W$——破坏能，Nm(kgf·cm)；

$F$——破坏时的挤入力，N(kgf)；

$P$——冲刺棒行程，mm。

在测试小断面规格的力车轮胎时，往往会因为尼龙帘线的初始模量小而不能将轮胎压

穿，其破坏能量反而不及棉帘布或人造丝的轮胎高。

## 四、力车轮胎耐久性能里程试验测试

### （一）概述

轮胎耐久性能试验，是在室内通过各种试验条件的变更来验证和检验轮胎在行驶过程中所产生的各种摩擦、扭转、剪切、应力应变、高频变形等物理现象对轮胎所产生的影响，以及对轮胎使用质量的考验。通过试验从中摸索出与实际使用的相关性，从而达到掌握轮胎的使用质量，提出对比改进措施和验证新产品投产鉴定性能等，还可以通过该试验测定轮胎的振动、噪声、功率损失、牵引性能、滚动半径等动态模拟试验。所以耐久性能试验是检测轮胎使用质量比较重要的手段之一。根据试验目的，可将耐久性能试验分为 4 个方面：

① 主要用于综合效果的试验，如实际里程试验；

② 用于考核耐疲劳性能和耐热性能的转鼓试验；

③ 用于考核高速性能的高速转鼓试验；

④ 用于考核耐磨性能的快速磨耗拖车试验。

目前，力车轮胎急需改进现有室内转鼓试验，使之更适用于骨架层化纤化的要求。

1．转鼓试验机及其试验方法

当前力车轮胎行业应用的转鼓试验机为“单转鼓双胎式”，并按式(2-6-3)，通过杠杆加负荷方法，使轮胎在负载下向转鼓压紧和因受转鼓摩擦而被动转动。加砝码重量计算如下：

$$W=\frac{(Q-G)L_2}{L_1} \tag{2-6-3}$$

式中 $W$——应加砝码重量，kgf；

$Q$——试验要求轮胎应承受的负载，kgf；

$G$——整个负荷机构的自重，kgf；

$L_1$——重臂，cm；

$L_2$——力臂，cm。

单转鼓双胎式试验机试验示意图见图2-6-4。

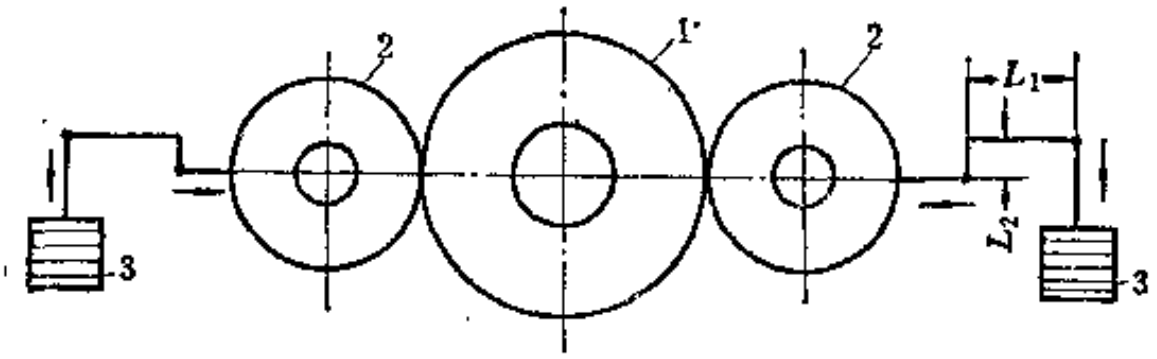



图 2-6-4 单转鼓双胎式试验机

1—转鼓；2—装上轮辋的轮胎；3—砝码

轮胎在经受负荷下，变形频率的影响而考验了轮胎的耐热性和耐疲劳性，试验结果可按行驶至报废标准为止的里程（$h$），也可以是行驶至规定里程（$h$）而不报废为合格。在试验中需定期（$h$）检查轮胎、气压、温度和外缘尺寸，以便分析轮胎质量。

2．轮胎的使用质量与转鼓试验之间的相关性

在没有科学地找出轮胎使用质量与转鼓试验之间的相关性以前，力车轮胎行业每年需投入大量的人力、物力和财力来搞实际使用里程试验。转鼓试验只能在某些方面体现轮胎的使

用性能，当轮胎在转鼓试验中内压一定时，导致轮胎破坏的主要因素有二个，一是轮胎在负荷下的下沉变形，二是转鼓转速一定时所产生的周期变形，也是变形频率，其它皆属次要因素。

下沉量和变形频率是对轮胎的耐疲劳性能与耐各种剪切变形应力性能的考验。具体表现为胎面胶的耐屈挠疲劳所反映出的胶料老化情况、橡胶与布层以及布层与布层之间的耐剪切性能（附着性能）所反映出的脱层问题、帘线的耐屈挠疲劳性能所反映出的帘线折断等问题，以及其它如胎趾与轮辋的配合问题所反映的烧边、趾部（帘线）折断等问题。

由于力车轮胎的骨架层已逐步由尼龙帘布代替棉帘布，因尼龙的耐屈挠性能好，与各层间的附着性能显著提高，从而使力车轮胎的机床寿命成倍增加。

**（二）耐久性能里程试验**

1．机床构造

该机床由机架、飞轮、重铊3个主要部分组成。机架全长4m左右，轮胎与重铊之间有丝杠和连杆，可调节重铊杆水平。

飞轮外周长约2500mm，宽100mm飞轮的表而有6个障碍物，是高度为10mm、宽为20mm的半圆形物体，障碍物与飞轮边缘线的夹角为45°、90°、135°、45°、90°、135°。电动机通过变速器带动飞轮旋转。

重铊根据外胎试验所需要的负荷，按机床设计规定的比例，放在重铊盘上，使力车轮胎对飞轮的压力符合规定。

2．试验条件

（1）试验室的温度为28±1℃，温度的测量在距离试验胎1m以外的位置进行。

（2）试验的轮胎必须在硫化后24小时至8个月内进行试验。

（3）试验开始前，必须将试验轮胎充气至标准内压并在试验室温下停放24h后，在符合表2-6-1的规定下进行试验，即按国家标准GB1702—86和GB1703—86中的规定执行。

**表 2-6-1 耐久性能里程试验条件**

| 试验轮胎规格 | 标准轮辋，mm | | 内压 MPa (kgf/cm²) | 负荷 kN(kgf) | 转鼓速度 km/h | 试验终止时间 h |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 着合直径 | 断面宽 | | | | |
| 26×2¼手推车轮胎 | 584±1 | 36±1 | 0.59(6.0) | 3.18(325) | 18.3 | 200 |
| 28×1¾软边加重轮胎 | 650±1 | 22.6±1 | 0.59(6.0) | 1.47(150) | 30 | 160 |
| 28×1¾软边普通轮胎 | 650±1 | 22.5±1 | 0.41(4.2) | 0.98(100) | 30 | 180 |
| 28×1¾硬边普通轮胎 | 635±1 | 25±1 | 0.41(4.2) | 0.98(100) | 30 | 200 |

3．试验步骤

试验步骤如下。

① 试验以前检查外胎的外观质量并称重；

② 充气停放时，在内胎气门嘴右边100mm处取第1测量点，其对称部位为第3测量点，第1、3两点左右两边中间分别为第2、4两个测量点。该4处不得有商标或文字；

③ 所试验的轮胎，在充气停放24小时后必须调整压力至标准内压，并分别测量试验轮胎的外周长和4个测量点的断面宽度。

④ 试验开始后，按照表2-6-2中规定的试验时间进行停机检查（第1、2次时间为停

机外观检查时间，如无异样，则继续充气至标准内压后进行试验，从第3次时间起为停机折胎检查时间）。

表 2-6-2 试验轮胎停机折胎检查时间

| 试验轮胎规格 | 停机外观检查时间，h | 停机折胎检查时间，h |
|---|---|---|
| 26×2½手推车外胎 | 50.80 | 100、130、150、160、170、180、190、200 |
| 28×1½软边加重外胎 | 50.80 | 100、110、120、130、140、150、160 |
| 28×1½软边普通外胎 | 50.80 | 100、120、130、140、150、160、170、180 |
| 28×1½硬边普通外胎 | 50.80 | 110、130、150、160、170、180、190、200 |

⑤ 每次停机折胎检查必须在60分钟内完成。检查内容包括内压，试验轮胎的外周长，4个测量点处的断面宽度，外胎损坏情况以及试验室的温度，并做好记录。

4．试验轮胎报废标准

（1）在进行试验过程中，各种规格的试验轮胎如有达到表2-6-3中所列的报废标准项目中的任何一项，均作报废而论。

表 2-6-3 试验轮胎的报废标准

| 报废项目 | 报废标准 |
|---|---|
| 爆破 | 胎里帘线和胎面胶均破裂在1处者 |
| 烧边 | 软边力车轮胎烧边至外包布断裂100mm，并露出帘布1处者 |
| 帘线折断 | 胎里帘线1处折断或因帘线折断1根而咬破内胎1处者 |
| 脱层 | 胎冠部位的胎面胶与帘布层之间脱层累计为周长的1/4以上；任何一边胎肩或帘布两边胎肩部位脱层累计为周长的1/2以上或帘布层与帘布层之间脱层累计为周长的1/4以上 |
| 钢丝折断 | 直边轮胎钢丝圈折断 |
| 胎趾帘线折断 | 直边轮胎钢丝圈胎趾处帘线折断10mm以上 |

（2）试验结束以后，对报废的试验轮胎要解剖分析其损坏情况，分析整理试验结果，写出试验报告。试验报告内容应包括试验条件，检查情况，解剖分析结果。

5．力车轮胎耐久性能里程试验注意事项

① 轮胎耐久性能里程试验必须是24小时连续进行，直至达到规定的报废标准或试验终止时间为止。

② 在试验过程中，如遇到内胎漏气损坏，必须更换新内胎，然后继续进行试验。

③ 每次停机折胎检查时，应将试验轮胎补充至标准气压，然后测量其外缘尺寸。如两边胎肩均脱层，其脱层以两边胎肩脱层相加累计。

④ 为确保机床转鼓线速度达到标准，必须将机床试验机装上稳压装置后才能进行试验，避免因电压不稳定而影响试验速度。

## 第四节 力车轮胎实际使用试验

力车轮胎的实际使用试验是轮胎生产厂委托使用单位，按照一定的试验要求，进行实际使用试验。是系统地积累轮胎在实际使用全过程中的试验资料和数据，及时得出正确可比的试验结果，全面反映轮胎的使用性能，为改进和提高产品质量、鉴定新品种，采用新材料、

新结构、新技术、新工艺提供可靠依据的一项科学实验。

## 一、试验点的选择与使用条件

力车轮胎的实际使用试验工作能否达到预期效果，与所选择试验点的关系很大，因此，必须认真选择。所选择的试验点必须具有代表性。一个较理想的试验点必须具备下列几项基本条件。

1．车辆情况

力车轮胎装用的车辆，其类型比较复杂，使用情况各不相同。例如手推车轮胎有双轮行驶，也有独轮行驶，甚至还有三轮行驶；自行车轮胎有乘骑使用，也有载货使用，有双轮行驶，也有三轮行驶；轮辋中，有的比较符合标准，有的严重变形；有的车辆系个人分散使用，有的车辆属单位集中使用。因此，选择试验点时应尽可能选择有一定数量车辆，所装用的车辆类型比较接近，轮辋比较符合标准，车辆使用比较集中的单位作为试验点，以便于能承担试验工作。

2．使用条件

由于使用单位和地区不同，因此力车轮胎的使用条件相差很大。例如有的在标准负荷、标准内压下使用，有的在超负荷、超内压下使用；有的间断使用，有的连续使用。为了保证试验工作能在预定时间内及时得出准确可比的结果，所选择的试验在使用条件方面应尽可能做到下列几方面：

① 装用的车辆必须比较固定；

② 负荷量和使用内压比较接近；

③ 行驶路面比较固定；

④ 使用车辆的人员比较固定；

⑤ 车辆使用率比较高。

3．管理和保养试验点

应指定专人负责组织检查，对每条试验轮胎进行保养管理，同时积累试验资料，以确保按照试验要求，正常开展试验工作。

## 二、试 验 工 作

试验轮胎装车时间，一般选在每年的上半年为宜，原因主要是轮胎经过夏季使用后，轮胎通常存在的质量问题都会暴露出来，这样可及时为生产和质量的改进提供资料依据。力车轮胎实际使用试验工作，一般有下列几项工作要进行：

① 抽取试验轮胎；

② 将试验轮胎装配于车辆上；

③ 检查试验轮胎的实际使用情况；

④ 按一定的表格形式将整个试验过程和结果记录下来，并结算试验所需费用；

⑤ 试验轮胎的报废。

1．试验轮胎的抽取

（1）所抽取的试验轮胎是由技术部门从正常产品或某种试验轮胎中抽取一定数量的合格品，一般每种规格的试验轮胎抽取10条。

（2）所抽取的试验轮胎必须有厂名、商标，并有明显标记以便检查识别。

2，试验轮胎装车

（1）试验轮胎在装车前，必须对每条轮胎进行外观检查，并称量，不合格的轮胎不能装车。

（2）试验轮胎在装车前，应对所使用的轮辋内口宽度、直径等进行一次测量检验，并做好记录。对不符合要求的轮辋必须调换。

（3）试验轮胎装车后，应及时提供装车报告，其基本内容是：

① 基本情况；

② 装车前的检查情况及装车人员、修理人员和使用人员意见；

③ 试验轮胎分布情况，使用条件。

3，检查

（1）每批试验轮胎装车使用后，一般每隔3～4个月检查一次，发现轮胎有损坏情况时，按报废标准（表2-6-4）判定是否继续使用，或是作报废处理。如果报废率达到70%左右时，即可对该批试验轮胎进行检查总结，检测方法见表2-6-5。

表 2-6-4 力车外胎实际使用试验报废标准

| 名　　称 | 手推车外胎 | 自行车外胎 |
|---|---|---|
| 垫伤 | 呈"1"型，长30mm，累计长40mm，Y、X两边之和长40mm | 一处长20mm，累计长25mm |
| 爆破 | 报废 | 报废 |
| 刺通 | 断四层帘线，一处长25mm，累计长30mm | 断两层帘线，长15mm，两次累计长20mm |
| 刺通＋垫伤 | 同时出现两种损伤，累计长40mm | 两种损伤累计长25mm |
| 脱层 | 30mm | 一处长10mm，累计长30mm |
| 胎冠帘线折断 | 30mm | 20mm |
| 胎面磨损 | 胎面花纹磨平1/2周 | 胎面花纹磨平1/2周 |
| 胎里帘线松动 | 累计长200mm | 累计长400mm |
| 胎侧帘线折断 | 25mm | 15mm |
| 外包布差级折断 | 第四层一处长100mm，累计长150mm；第三、四层均断 | 第二层长20mm或两层均断 |
| 外包布脱层 | 不开口、宽度 10mm，累计长 500mm，宽10mm以下，一侧整周；<br>开口宽度10mm，一处长100mm，累计长300mm，宽度10mm以下达1/2周 | |
| 烧边 | 第四层帘线断，长100mm；第三、四层均断 | 断帘线一层，一处长20mm |
| 胎趾帘线折断 | 帘线断，露钢丝 | 一处长15mm，累计长20mm |
| 子口帘线折断 | 第四层一处长50mm，第三、四层均断 | 一处长20mm，累计长30mm |
| 胎圈断钢丝 | 报废 | 报废 |

注1．刺洞：5mm以下为钉洞（包括5mm），6mm以上按刺通计算。

2．凡因使用不当，造成轮胎早期损坏，如硬边轮胎被撬断钢丝、撬露钢丝、爆破、垫伤、胎面局部磨平等，达不到本厂牌平均吨公里的30%者不作考核（以试验终止数据为准）。

3．出勤不正常，吨公里达不到本厂牌平均吨公里的50%者，不作考核（以试验终止数据为准）。

4．试验轮胎前，外观检查不合格品的不能装车。如未发现而已装车使用者，仍作考核。

5．凡因垫、刺伤达不到报废标准加衬垫使用者，应加内胎皮或薄衬垫。若因加衬垫不当，造成手推车轮胎外胎磨断二层帘线，其长度为60mm者作报废处理；自行车轮胎外胎磨断一层帘线，其长度为30mm者作报废处理，但是若其吨公里达不到本厂牌平均吨公里50%以上的，不作考核（以试验终止数据为准）。

6．序号为"13"、"15"栏中，手推车外胎标准适用于硬边手推车外胎。

（2）试验轮胎检查时应按约定时间，将车辆集中做好检查准备工作，首先对试验轮胎进行外直径、断面宽度、花纹深度测量，然后放掉内压，卸下轮胎逐条进行检查，内部和外

观有无损坏情况，详细记录，同时听取使用人员的反映。

（3）试验轮胎每检查一次，都必须做好实用天数、每条轮胎实载吨公里、损坏报废类型、报废率等资料的统计及汇总工作。对试验轮胎要妥善保管，以便供生产分析研究。也可将损坏报废轮胎实物，选择有代表性的拍摄照片，供总结报告时使用。

（4）中间检查或试验结束后总结检查应及时提供报告资料，以便比较试验轮胎质量、研究分析鉴定轮胎损坏的原因，为改进和提高力车轮胎质量提供依据。报告的基本内容应包括：

① 整个试验过程的基本内容；

② 每条轮胎在试验过程中实际使用天数和完成吨公里情况；

③ 试验轮胎报废数量和原因；

④ 使用单位、车辆使用人员对试验轮胎的意见，负责试验工作人员对试验轮胎质量分析意见。

**表 2-6-5 力车外胎实际使用试验报废轮胎检测方法**

| 名　　称 | 特　　征 | 检测方法 | 备　　注 |
|---|---|---|---|
| 垫伤 | 胎里帘线2～4层，胎折一般呈1YX型，而胎面完好 | 将轮胎展平，测量其最大长度 | 记录方式：两处长度用"+"号，同处用"×"号分记 |
| 爆破 | 胎面及帘线层同一处破坏 | 目测 | |
| 刺通（划伤） | 胎体刺通断四层帘线 | 测胎里破口最大长度。如胎面伤口大于胎里伤口，则测内外口长除以2，取平均长 $\left(\frac{大+小}{2}\right)$ | 因划伤与刺通属同一类型故合并 |
| 刺通＋垫伤 | 出现在同一条轮胎，但不同部位 | 测两者长度之和 | |
| 脱层 | 胎面胶与帘线层之间或帘布与帘布层之间分层 | 测量其最大长度 | |
| 胎面胶磨损 | 胎冠部位严重磨损 | 目测 | |
| 胎冠帘线折断 | 由胎里表现成周向 | 将轮胎展平，测量其最大长度 | |
| 胎里帘线松动 | 表现出帘线开始分离 | 将轮胎处于自然状态，测量其最大长度 | |
| 胎侧帘线折断 | 在外包布边缘以上胎肩花纹以下折断 | 将轮胎展平，测量其最大长度 | |
| 外包布脱层 | 包布与包布或包布与帘布之间分离 | 测量其最大长度，若一侧连续间断出现，按整周计 | 记录方式：开口记"开"字，宽度与长度用"×"号分开，不开口只记宽度"×"号 |
| 绕边 | 胎耳跟部帘线折断 | 测量折断部位最大长度 | |
| 胎趾帘线折断 | 帘线折断使钢丝露出 | 测量露出部位最大长度 | |
| 子口帘线折断 | 硬边轮胎外包布边缘位置帘线折断 | 测量折断部位最大长度 | |
| 胎圈钢丝折断 | 接头处与非接头处胎圈钢丝折断 | 目测、手感 | |
| 外包布差级折断 | 外包布边缘帘线折断 | 将轮胎处于自然状态，测量折断部位最大长度 | |

注：测量工具为150mm游标卡尺；2m以下钢卷尺。

# 附　录

## 1. 力车外胎物理机械性能标准

力车轮胎外胎物理机械性能按国家标准GB1702“力车外胎”中的有关规定执行，见表1。

表 1　外胎物理机械性能标准

| 性能名称 \ 级别 | | Q（轻型） | | P（普通型） | Z（重型） | | 取样方法 | 试验方法 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 自行车轮胎 | | 自行车轮胎 | 自行车轮胎 | 手推车轮胎 | | |
| | | 彩色胎冠 | 黑色胎冠 | | 三轮车轮胎 | | | |
| 拉伸强度，MPa (kgf/cm²) | | 7.8 (80) | 9.8 (100) | 11.8 (120) | 13.7 (140) | 13.7 (140) | GB519—65 | GB528—82 |
| 扯断伸长率，%≥ | | 300 | 350 | 400 | 450 | 450 | GB519—65 | GB528—82 |
| 磨耗量，cm³/1.61km≤ | | 2.0 | 1.2 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | GB519—65 | GB1689—82 |
| 附着强度 kN/cm (kgf/cm) | 胎面与布层≥ | 2.45 (250) | 2.45 (250) | 2.94 (300) | 3.43 (350) | 3.92 (400) | GB519—65 | GB532—82 |
| | 三层与四层≥ | — | — | — | — | 3.92 (400) | GB519—65 | GB532—82 |
| | 二层与三层≥ | — | — | — | — | 2.94 (300) | GB519—65 | GB532—82 |
| | 一层与二层≥ | 2.45 (250) | 2.45 (250) | 2.94 (300) | 3.43 (350) | — | GB519—65 | GB532—82 |
| 钢丝圈强度kN/根 (kgf/根) ≥ | | 3.14 (320) | 3.14 (320) | 3.43 (350) | 3.92 (400) | — | 见5.3条 | 见5.3条 |

## 2. 力车轮胎外胎外观质量标准

力车轮胎外胎外观质量标准按国家标准GB1702—86“力车外胎”中的有关规定执行，见表2。

表 2　外胎外观质量标准

| 缺陷名称 | 品　种 | 一　级　品 | 二　级　品 |
|---|---|---|---|
| 花纹缺胶 | 手推车轮胎 | 深度不超过1.0mm，累计长度不超过1/8周长 | 深度不超过1.5mm，累计长度不超过1/4周长 |
| | 自行车轮胎 | 深度不超过1.0mm，累计长度不超过1/10周长 | 深度不超过1.5mm，累计长度不超过1/5周长 |
| 花纹错位 | 手推车轮胎 | 不超过1.0mm | 不超过3.0mm |
| | 自行车轮胎 | 不超过1.0mm | 不超过2.0mm |
| 胎冠胶边 | 手推车轮胎 | 厚度不超过1.0mm，花纹不得显线痕 | 厚度不超过1.5mm，花纹不得显线痕 |
| | 自行车轮胎 | 厚度不超过0.5mm，花纹不得显线痕 | 厚度不超过1.0mm，花纹不得显线痕 |
| 胎冠杂物 | 手推车轮胎 | 深度不超过1.0mm，累计长度不超过10.0mm | 深度不超过1.5mm，累计长度不超过15.0mm |
| | 自行车轮胎 | 无 | 深度不超过1.0mm，累计长度不超过15.0mm |
| 模口错位 | 手推车轮胎 | 不超过0.5mm | 不超过1.0mm |
| | 自行车轮胎 | 不超过0.3mm | 不超过0.5mm |

续表

| 缺陷名称 | 品　种 | 一　级　品 | 二　级　品 |
|---|---|---|---|
| 胎侧缺胶 | 手推车轮胎 | 深度不超过胶厚的1/3，累计长度不超过50.0mm | 深度不超过侧胎胶厚的1/2，累计长度不超过150.0mm |
| | 自行车轮胎 | 深度不超过胶厚的1/3，累计长度不超过20.0mm | 深度不超过胎侧胶厚的1/2，累计长度不超过40.0mm |
| 胎侧胶杂物 | 手推车轮胎 | 深度不超过胎侧胶厚的1/3，累计长度不超过6.0mm | 深度不超过胎侧胶厚的1/2，累计长度不超过15.0mm |
| | 自行车轮胎 | 深度不超过胎侧胶厚的1/3，累计长度不超过3.0mm | 深度不超过胎侧胶厚的1/2，累计长度不超过10.0mm |
| 胎侧气泡 | 手推车轮胎 | 最大长度不超过3.0mm，不超过2处 | 最大长度不超过5.0mm，不超过3处 |
| | 自行车轮胎 | 最大长度不超过3.0mm，不超过1处 | 最大长度不超过5.0mm，不超过2处 |
| 胎耳不满 | 手推车轮胎 | 不低于0.5mm，累计长度不超过1/5周长 | 不低于1.0mm，累计长度不超过1/2周长 |
| | 自行车轮胎 | 不低于0.5mm，累计长度不超过1/20周长 | 不低于1.0mm，累计长度不超过1/4周长 |
| 胎耳边窄 | 手推车轮胎<br>自行车轮胎 | 断面宽度边宽：<br>$2^1/_2$不窄于27.0mm；2不窄于22.0mm；$1^3/_4$不窄于20.0mm；$1^1/_2$不窄于18.0mm | 边宽不窄于一级品3，但允许窝边一处，长度不超过25.0mm |
| 胎耳软边 | 手推车轮胎<br>自行车轮胎 | 高度不超过1.0mm | 高度不超过2.0mm |
| 耳根露布 | 手推车轮胎 | 宽度不超过2.0mm | 宽度不超过4.0mm |
| | 自行车轮胎 | 宽度不超过1.5mm | 宽度不超过2.5mm |
| 胎圈底部缺胶 | 手推车轮胎<br>自行车轮胎 | 长度不超过1/10周长 | 长度不超过1/7周长 |
| 胎圈底部软边 | 手推车轮胎<br>自行车轮胎 | 胶厚不超过1.0mm | 胶厚不超过2.0mm |
| 胎圈里侧出沟 | 手推车轮胎<br>自行车轮胎 | 有痕无沟 | 长度不超过1/10周长，沟宽不超过5.0mm |
| 胎趾吐帘布 | 手推车轮胎<br>自行车轮胎 | 无 | 无 |
| 帘线弯曲 | 手推车轮胎 | 弯曲度不超过1.0mm，累计长度不超过1/6周长 | 弯曲度不超过2.0mm，累计长度不超过1/3周长 |
| | 自行车轮胎 | 弯曲度不超过1.0mm，累计长度不超过1/6周长 | 弯曲度不超过2.0mm，累计长度不超过1/4周长 |
| 帘线稀缝 | 手推车轮胎<br>自行车轮胎 | 宽度不超过2.0mm | 宽度不超过3.0mm，不超过4处，接头处除外 |
| | 手推车轮胎(棉)<br>自行车轮胎(棉) | 宽度不超过1.0mm | 宽度不超过2.0mm，不多于4处 |
| 胎里气泡 | 手推车轮胎<br>自行车轮胎 | 最大不超过5.0mm，不超过3处（棉帘轮胎不允许有） | 最大不超过7.0mm，不超过6处（棉帘线轮胎不允许有） |
| 胎里不平 | 手推车轮胎<br>自行车轮胎 | 轻微 | 凹凸处不超过0.5mm |

续表

| 缺陷名称 | 品　种 | 一　级　品 | 二　级　品 |
|---|---|---|---|
| 胎面痕迹斑点 | 彩色<br>自行车轮胎 | 不允许 | 允许有轻微痕迹斑点，在1m的视距下不允许有明显色差 |
| 胎面胶污染 | 彩色<br>自行车轮胎 | 不允许有明显污染 | 允许有一处面积不超过50mm²，累计面积不超过250mm² |

注：三轮车轮胎外胎的外观质量按自行车轮胎外胎的外观质量标准执行。

### 3．力车内胎物理机械性能标准

力车轮胎内胎物理机械性能按国家标准GB1703—86“力车内胎”中的有关规定执行，见表3。

表3　内胎物理机械性能标准

| 性能名称 \ 指标 | 天然橡胶内胎 | 丁基橡胶内胎 | 试验方法 |
|---|---|---|---|
| 拉伸强度，MPa (kgf/cm²) ≥ | 17.6 (180) | 7.35 (75) | GB528—82 |
| 扯断伸长率，%≥ | 500 | 400 | GB528—82 |
| 300%定伸永久变形率，%≤ | 15 | — | 见5.2.3款 |
| 撕裂强度，MPa (kgf/cm²) ≥ | 2.9 (30) | — | GB529—81 |
| 无接头内胎接头强度，MPa (kgf/cm²) ≥ | 3.9 (40) | 3 (30) | GB528—82 |
| 有接头内胎接头附着强度，MPa(kgf/cm²) ≥ | 0.12 (1.2) | — | GB523—82 |

### 4．力车轮胎内胎外观质量标准

力车内胎外观质量标准按国家标准GB1703—86“力车内胎”中的有关规定执行。无接头内胎外观质量标准见表4；有接头内胎外观质量标准见表5。

表4　无接头力车内胎外观质量标准

| 缺陷名称 | 一　级　品 | 二　级　品 |
|---|---|---|
| 胶垫气泡 | 无 | 最大不超过30mm，不多于2处 |
| 胶垫脱层 | 无 | 无 |
| 胶垫缺胶 | 无 | 深度不超过0.5mm |
| 胶垫边缘裂痕 | 长度不超过胶垫周长的1/10，不多于一处 | 累计长度不超过胶垫周长的1/3 |
| 胶垫褶边 | 无 | 宽度不超过2.0mm，无明显痕迹 |
| 接头重皮 | 无 | 累计长度不超过断面周长的1/4 |
| 接头内外裂口 | 无 | 无 |
| 表面斑痕 | 累计长度不超过1/6周长 | 累计长度不超过1/4周长 |
| 表面杂物或伤痕 | 无 | 深度不超过0.2mm，长度不超过10.0mm，不多于一处 |
| 流失胶边 | 宽度不超过1.0mm | 宽度不超过1.5mm，但沟槽处的厚度不低于标准厚度 |
| 局部厚度不匀 | 无 | 对应部位双层厚度偏差不超过0.3mm，最薄处双层厚度不低于标准 |
| 接头内外裂 | 无 | 不允许外裂，内裂处有效厚度不低于标准厚度的80%，累计长度不超过5.0mm |
| 胶垫边缘裂口 | 无 | 深度不超过0.2mm，不大于胶垫圆周长的1/4 |
| 胎身打折 | 无 | 允许有一处、长度不超过10.0mm，深度不超过2.0mm |

注：第12、13、14项仅适用于丁基橡胶内胎。

表 5　有接头力车内胎外观质量标准

| 缺陷名称 | 一　级　品 | 二　级　品 |
|---|---|---|
| 胶垫气泡 | 无 | 最大不大于3.0mm，不多于2处 |
| 气门嘴孔不正 | 偏中心，不超过2.0mm | 偏中心不超过4.0mm |
| 接头磨迹外露 | 宽度不超过2.0mm | 宽度不超过3.0mm |
| 接头胶边外露 | 宽度不超过4.0mm | 宽度不超过8.0mm |
| 接头边缘厚度 | 不超过0.4mm | 不超过0.6mm |
| 接头开缝 | 无 | 无 |
| 表面杂物 | 无 | 无 |
| 表面麻疤斑点 | 无 | 每处长度不超过2.0mm，不多于3处 |
| 胎身折痕 | 无 | 长度不超过1/10周长 |
| 喷粉不匀 | 允许有轻微不匀粉点 | 有粉痕疤迹，累计面积不超过80mm² |
| 伤痕 | 无 | 表面轻微痕迹，长度不超过10.0mm　不多于1处 |
| 胎身沟痕 | 无 | 无 |
| 窗气皱纹 | 无 | 累计长度不超过1/6周长 |

## 5．力车胎轮系列规格尺寸标准

力车轮胎系列规格尺寸标准按照国家标准GB2984—84“力车轮胎系列”中的有关规定执行。软边轮胎规格尺寸见表6；直边轮胎规格尺寸见表7；钩边轮胎规格尺寸见表8。

表 6　软边轮胎(B/E)规格尺寸

| 级别 | 轮胎规格 | 基本参数 | | | | | | 主要尺寸①，mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 帘布层数 | 标准轮辋，mm | | 允许轮辋，mm | 相应气压 kPa (kgf/cm²) | 最大额定负荷 kN (kgf) | 新轮胎尺寸 | | 轮胎最大使用尺寸 | |
| | | | 断面宽度 | 外直径 | 断面宽度 | | | 断面宽度 | 外直径 | 断面总宽度 | 总外直径 |
| Z | 26×1¹/₂ | 2 | 22.5±1 | 600±1 | 20±1 | 441 (4.5) | 0.98 (100) | 37 | 666 | 40 | 672 |
| P | 28×1¹/₂ | 2 | 22.5±1 | 650±1 | 20±1 | 412 (4.2) | 0.98 (100) | 37 | 715 | 40 | 721 |
| Z | 28×1¹/₂ | 2 | 22.5±1 | 650±1 | 20±1 | 588 (6.0) | 1.47 (150) | 37 | 715 | 40 | 721 |
| Z | 26×1³/₄ | 2 | 25±1 | 600±1 | — | 412 (4.2) | 1.18 (120) | 40 | 682 | 43 | 688 |
| Z | 26×2 | 4 | 28±1 | 600±1 | — | 588 (6.0) | 1.96 (200) | 46 | 688 | 49 | 694 |
| Z | 13×2¹/₂ ② | 4 | 36±1 | 270±1 | — | 588 (6.0) | 1.57 (160) | 64 | 365 | 67 | 371 |
| Z | 26×2¹/₂ ② | 4 | 36±1 | 584±1 | — | 588 (6.0) | 3.25 (325) | 64 | 698 | 67 | 704 |

① 不适用于棉帘布的力车轮胎。
② 适用于手推车。

表 7　直边轮胎(W/O)规格尺寸

| 级别 | 轮胎规格 | | 基本参数 | | | | | | 主要尺寸①，mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 名称 | 旧标志 | 帘布层数 | 标准轮辋，mm | | 允许轮辋 mm | 相应气压 kPa (kgf/cm²) | 最大额定负荷 kN (kgf) | 新轮胎尺寸 | | 轮胎最大使用尺寸 | |
| | | | | 断面宽度 | 着合直径 | 断面宽度 | | | 断面宽度 | 外直径 | 断面总宽度 | 总外直径 |
| Q | 32-597 | 26×1¹/₄ | 2 | 18±1 | 597±1 | 20±1 | 392(4.0) | 0.64(65) | 29 | 661 | 32 | 667 |
| Q | 32-630 | 27×1¹/₄ | 2 | 18±1 | 630±1 | 20±1<br>22±1 | 490(5.0) | 0.69(70) | 29 | 694 | 32 | 709 |
| Q | 37-349 | 16×1⅜ | 2 | 22±1 | 349±1 | 18±1 | 294(3.0) | 0.39(40) | 34 | 423 | 37 | 429 |

续表

| 级别 | 轮胎规格 | | 基本参数 | | | | | 主要尺寸①，mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 名称 | 旧标志 | 帘布层数 | 标准轮辋，mm | | 允许轮辋 mm | 相应气压 kPa | 最大额定负荷 kN | 新轮胎尺寸 | | 轮胎最大使用尺寸 | |
| | | | | 断面宽度 | 着合直径 | 断面宽度 | (kgf/cm²) | (kgf) | 断面宽度 | 外直径 | 断面总宽度 | 总外直径 |
| Q | 37-400 | 18×1³/₈ | 2 | 22±1 | 400±1 | 18±1 | 294(3.0) | 0.44(45) | 34 | 474 | 37 | 480 |
| Q | 37-451 | 20×1³/₈ | 2 | 22±1 | 451±1 | 18±1 | 294(3.0) | 0.49(50) | 34 | 526 | 37 | 513 |
| Q | 37-501 | 22×1³/₈ | 2 | 22±1 | 501±1 | 18±1 | 294(3.0) | 0.54(55) | 34 | 575 | 37 | 581 |
| Q | 37-540 | 24×1³/₈ | 2 | 22±1 | 540±1 | 18±1 | 294(3.0) | 0.59(60) | 34 | 614 | 37 | 620 |
| Q | 37-590 | 26×1³/₈ | 2 | 22±1 | 590±1 | 20±1<br>25±1 | 294(3.0) | 0.69(70) | 34 | 664 | 37 | 670 |
| Q | 37-642 | 28×1³/₈ | 2 | 22±1 | 642±1 | 20±1<br>25±1 | 343(3.5) | 0.74(75) | 34 | 716 | 37 | 722 |
| Q.P | 40-330 | 16×1½ | 2 | 25±1 | 330±1 | 22±1 | 412(4.2) | 0.54(55) | 37 | 410 | 40 | 416 |
| Q.P | 40-432 | 20×1½ | 2 | 25±1 | 432±1 | 22±1 | 412(4.2) | 0.59(60) | 37 | 512 | 40 | 518 |
| Q.P | 40-534 | 24×1½ | 2 | 25±1 | 534±1 | 22±1 | 412(4.2) | 0.64(65) | 37 | 614 | 40 | 620 |
| Q.P | 40-584 | 26×1½ | 2 | 25±1 | 584±1 | 22±1 | 343(3.5) | 0.69(70) | 37 | 664 | 40 | 670 |
| Q | 40-635 | 28×1½ | 2 | 25±1 | 635±1 | 22±1 | 343(3.5) | 0.78(80) | 37 | 715 | 40 | 721 |
| P | 40-635 | 28×1½ | 2 | 25±1 | 635±1 | 22±1 | 412(4.2) | 0.98(100) | 37 | 715 | 40 | 721 |
| Z | 40-635 | 28×1½ | 2 | 25±1 | 635±1 | 22±1 | 588(6.0) | 1.47(150) | 37 | 715 | 40 | 721 |
| P | 47-622 | 28×1¾ | 2 | 27±1 | 622±1 | 25±1 | 343(3.5) | 0.98(100) | 44 | 712 | 47 | 718 |
| Z | 61-535 | 26×2 | 2 | 34±1 | 553±1 | — | 588(6.0) | 2.45(250) | 52 | 670 | 55 | 683 |
| Z | 102-484 | 27×4 | 6 | 55±1 | 484±1 | — | 600(6.0) | 6.00(600) | 105 | 382 | 113 | 695 |
| Z | 64-535 | 26×2.5 | 4 | 45±1 | 535±1 | — | 650(6.5) | 3.50(350) | 52 | 664 | 66 | 677 |
| Z | 70-535 | 26.5×2.75 | 4 | 45±1 | 535±1 | — | 650(6.5) | 4.00(400) | 68 | 677 | 73 | 690 |
| Z | 76-535 | 27×3 | 6 | 45±1 | 535±1 | — | 650(6.5) | 5.00(500) | 76 | 693 | 83 | 707 |

① 不适用于棉帘布的轮胎。

## 表 8 钩边轮胎(H/E)规格尺寸

| 级别 | 轮胎规格 | | 基本参数 | | | | | | 主要尺寸①，mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 名称 | 旧标志 | 帘布层数 | 标准轮辋，mm | | 允许轮辋 mm | 相应气压 kPa | 最大额定负荷 kN | 新轮胎尺寸 | | 轮胎最大使用尺寸 | |
| | | | | 断面宽度 | 外直径 | 断面宽度 | (kgf/cm²) | (kgf) | 断面宽度 | 外直径 | 断面总宽度 | 总外直径 |
| Q | 16×1.75 | — | 2 | 25±1 | 321±0.5 | — | 343(3.5) | 0.49(50) | 44 | 399 | 47 | 405 |
| Q·P | 20×1.75 | — | 2 | 25±1 | 422±0.5 | — | 343(3.5) | 0.64(65) | 44 | 500 | 47 | 506 |
| Q·P | 22×1.75 | — | 2 | 25±1 | 473±0.5 | — | 343(3.5) | 0.69(70) | 44 | 551 | 47 | 557 |
| Q·P | 24×1.75 | — | 2 | 25±1 | 524±0.5 | — | 343(3.5) | 0.78(80) | 44 | 602 | 47 | 608 |
| Q·P | 26×1.75 | — | 2 | 25±1 | 575±0.5 | — | 343(3.5) | 0.83(85) | 44 | 653 | 47 | 659 |
| Q·P | 16×2.125 | — | 2 | 27±1 | 321±0.5 | 25±1 | 275(2.8) | 0.59(60) | 54 | 417 | 57 | 423 |
| Q·P | 20×2.125 | — | 2 | 27±1 | 422±0.5 | 25±1 | 275(2.8) | 0.76(77) | 54 | 578 | 57 | 524 |
| Q·P | 24×2.125 | — | 2 | 27±1 | 524±0.5 | 25±1 | 275(2.8) | 0.91(93) | 54 | 620 | 57 | 626 |
| Q·P | 26×2.125 | — | 2 | 27±1 | 575±0.5 | 25±1 | 275(2.8) | 0.98(100) | 54 | 671 | 57 | 677 |

① 不适用于棉帘布的轮胎。

## 6．锦纶力车轮胎工艺技术若干规定及检查方法

锦纶力车轮胎工艺技术若干规定及检查方法见表9。

表9　锦纶力车轮胎工艺技术若干规定及检查方法

| 工艺技术规定 | 检查方法 |
|---|---|
| 各种生胶要求使用前，表面无杂物 | 现场检查，从炼胶机台备用生胶中抽查10块，80%达到要求为合格 |
| 配料用秤规格与秤量公差：<br>超促进剂：用1000g粗天平，公差±0.5g；<br>小料单量：用5kg案秤，公差±5g；<br>中料单量：用50kg台秤，公差±50g；<br>大料单量：用300～500kg磅秤，公差±200g | 各种配合剂各抽4个，各种配合剂量器和零点检查4个。按20个点计算，80%达到标准为合格 |
| 密炼机塑炼容量：<br>XM-140/20为130±5kg；<br>XM-50/36为45±5kg<br>在辊筒、室壁磨损的情况下，允许增加的最大容量不大于标准容量的6%。<br>排胶温度不高于166℃，风压不低于490kPa(5.0kgf/cm²) | 将塑炼后的胶料过磅复秤，抽查2车；取不小于3kg的胶团，用0～200℃温度计插入胶团内，反复3次，直至温度不再上升，抽样2车；抽查风压表压力一次。按5个点计算，80%达到标准为合格 |
| 开炼机塑炼容量：<br>XM-560不大于60kg，XK-450不大于40g；<br>XK-400不大于33kg，XK-360不大于25kg（有沟纹的塑炼机除外）；<br>辊筒温度不高于65℃，用增塑剂的塑炼辊温允许增高10℃ | 将塑炼后的胶料过磅复秤，抽3车。用弓形温度计测定辊温2次。按5个点计算，80%达到标准为合格（用弓形温度计测定辊温时，在炼胶时测左中右3点，以最高点为准） |
| 塑炼胶可塑度公差±0.03 | 胶料在下片至中段时，抽取试样送试验室试验，抽5个，检查塑炼胶可塑度原始记录，任意抽取10个连续数字，按15个点计算，80%达到标准为合格 |
| 密炼机混炼容量：<br>XM-140/20：胎面胶为140±3L；其它胶料为147±3L；<br>XM-50/36：胎面胶为50±3L；其它胶料为50±3L<br>在辊筒、室壁磨损的情况下，允许增加的最大容量不大于标准容量的4%<br>风压：不低于490kPa(5kgf/cm²)<br>排胶温度：胎面胶不高于140℃，其它胶料（丁基气囊胶料、胶芯胶料除外）不高于125℃ | 过磅复秤，放下的全部胶料，按比重换算成体积测定2车；<br>取不小于3kg的胶团，用0～200℃温度计插入胶团内，反复三次，待温度不再上升为止，抽样2车；<br>现场检查风压表一次，按6个点计算，80%达到标准为合格 |
| 开炼机混炼容量按下式计算，超过量最大值不大于计算容量的10%。<br>W=0.042γDL（英制）<br>或W=0.000065γDL（公制）<br>式中W——填料重量，kg；<br>γ——填料密度；<br>D——前辊直径，in或mm<br>L——辊筒长度，in或mm<br>辊温：炭黑母胶和胶芯胶不高于75℃；其它胶料不高于65℃（使用尼龙粉帘布混炼胶芯胶的情况除外） | 将塑炼后的胶料过磅复秤，抽3车。用弓形温度计测定辊温2次，按5个点计算，80%达到标准为合格（用弓形温度计测定辊温时，在炼胶时测左中右3点，以最高为点准） |
| 掺用30%以上合成胶的胎面胶料，应采取两段混炼，硫黄在第二段混炼时加入 | 检查工艺规程，检查现场操作 |

续表

| 工艺技术规定 | 检查方法 |
| --- | --- |
| 压片机加硫黄时，胶料温度不高于100℃；要抽余胶，硫黄没混完中间不得割刀，加硫黄后应充分翻炼均匀（捣胶次数不少于4个来回）<br><br>开炼机上加硫黄后，薄通不少于3次，薄通胶片厚度不大于2.5mm | 取不少于3kg的胶团，用0～200℃温度计插入胶团内，连续3次，待温度不再上升才读数，抽测3车；测量胶片厚度用游标卡尺测量，抽测2次，按5个点计算，80%达到标准为合格 |
| 混炼胶和胎面母胶冷却停放时，胶料温度不高于45℃，停放时间不少于4小时，不多于120小时 | 检查工艺规程，现场抽查，将温度计插入冷却停放的混炼胶料中，连续3次，取最高读数，测定3车，胶料停放时，检查7车，按10个点计算，80%达到标准为合格 |
| 混炼胶料快速检验标准公差：<br><br>可塑度为±0.03；硬度为±2；密度为±0.01 | 胶料在下片至中段时，抽取试样6个，送试验室试验，检查原始记录，任意抽取10个连续数字，按15个点计算，80%达到标准为合格 |
| 热炼容量（压延）：<br>XK—660≤170kg；XK—450≤110kg；<br>XK—400≤70kg、XK—360≤50kg。<br>热炼辊筒温度：<br>粗炼不高于65℃；细炼不高于80℃ | 热炼容量：过磅复秤三次。<br>用弓形温度计测定辊温，同一辊筒测左、中、右3点，取最高温度，测定二台炼胶机，按5个点计算，80%达到标准为合格 |
| 帘布压延前30分钟内拆除外层包装物，压延前10分钟内拆除防潮层包装物，随拆随用，一匹必须一次用完 | 现场检查，任意查看5匹，80%达到标准为合格 |
| 帘布含水率应经常抽查，压延前帘布含水率必须控制在2%以下 | 检查进厂帘布原始记录8个，并在样机布上取样复查帘布含水率，检查二匹帘布，按10个点计算，80%达到标准为合格 |
| 帘布压延时压延机辊筒温度不高于110℃；如帘布预热，其预热辊筒温度不超过70℃ | 用弓形温度计测定压延机中辊温度，测定5次（不连续），80%达到标准为合格 |
| 帘布压延复胶后，每匹（以180cm为一匹计算）应检查用胶量，每匹帘布的用胶量以规定用胶量的百分率来控制，规定用胶量100kg以上（包括100kg）的公差为±5%，100kg以下的公差为±6% | 现场过磅复秤3匹。检查压延帘布复胶原始记录任意抽取连续12个数据，按15个点计算，80%达到标准为合格；每匹帘布宽度，应测定3个点，其平均值为此匹帘布的宽度；帘布压延复胶时，必须要有长度计，每匹记录实际长度。没有长度计的，为此条不合格 |
| 帘布压延覆胶后的停放时间：<br><br>夏秋季节为6～120小时；春秋季节为8～72小时。 | 现场检查10匹帘布，80%达到标准为合格 |
| 压延后帘布边部密度，在0～10cm范围内，按帘线的标准根数，不超过10% | 在帘布裁断岗位，现场任意检查胶帘布二匹，在帘布边部0～10cm范围内，数帘线根数，取5个数据，80%达到标准为合格 |
| 垫布在压延使用前，必须经除尘整理 | 检查工艺规程，现场抽查 |
| 热炼容量（胎面和胶芯出型）：<br>XK—560≤120kg；XK—450≤100gk；<br>XK—400≤70kg；XK—360≤50kg<br>热炼辊筒温度：<br>粗炼≤60℃；细炼≤70℃ | 热炼容量：过磅复秤三次<br>用弓形温度计测定辊筒温度，同一辊筒测左、中、右3点，取最高温度，测定二台炼胶机，按6个点计算，80%达到标准为合格 |
| 胎面出型时的辊筒温度≤95℃ | 用弓形温度计测定，检查上，中，下辊筒温度各一次，不合格可复测一次，复测仍不合格，为不合格品 |
| 胎面返回胶掺用率≤20% | 现场抽查 |
| 胎面使用时的重量公差：<br>自行车轮胎为±10g；手推车轮胎为±15g | 在胎面运输带上随机取胎面10条，按标准长度称取重量，80%达到标准为合格；或者测定成型使用前的胎面长度和重量，成型后用回扣法计算胎面使用时的重量公差，抽查10条胎面，80%达到标准为合格 |
| 胎面出型后，停放时间不大于36小时。胎面和胶芯存放时要避免变形，使用时应无喷霜和不粘的现象 | 现场检查，如发现有变形，喷霜或不粘等现象时为不合格 |

续表

| 工艺技术规定 | 检查方法 |
| --- | --- |
| 帘布裁断公差：<br>胶帘布的裁断公差为±2.5mm；裁断角度公差为±1° | 任取10张帘布，离两头各150mm处，用2m钢卷尺测前、后、中3次宽度，2/3合格为此张帘布合格；同时，用量角器测量角度，按20个点计算，80%达到标准为合格 |
| 拼接的胶帘布，其长度不能小于300mm，允许连续使用两块，每层接头个数不能多于4个。外包布的拼接长度不小于50mm | 随机抽样，用150mm钢直尺测量，检查不数胎面的胎坯10条，帘布拼接长度，使用个数，包布拼接长度共30个点计算，80%达到标准为合格 |
| 成型时应执行“四正、二实、二均匀、二不交叉”的操作方法（四正：帘布正、胎面正、胎耳胶芯正、外包布正；二实：胎坯耳根部位压实、胎体压实；二均匀：上胎面拉伸均匀、上帘布拉伸均匀；二不交叉：相邻两层帘布的接头互不交叉、胎面接头与相邻帘布接头互不交叉）。成型时胶芯接头要接牢，防止脱空 | 检查胎坯，随机抽样10条，每条胎坯按“四正”4个点；二实”2个点；二均匀”2个点；二不交叉”2个点，共10个点计，80%达到标准为合格 |
| 胶帘布的拼接处，压线宽度3～6根 | 检查胎坯帘布接头，数压线根数，以最多压线根数和最少压线根数的平均值为标准，但最少压线根数处不得少于3根。抽查10条，80%达到标准为合格 |
| 成型压轮间距公差控制在±1mm | 用300mm游标卡尺测量，压轮紧贴鼓面，测量间距，每台成型机测3个点，2/3合格，为此台机合格，检查10台成型机，80%达到标准为合格。 |
| 胎面应上到胎耳根部，但不超过胎耳尖部，胎耳边部要压实 | 现场检查10条胎坯，80%达到标准为合格 |
| 胎面接头两端应剪成斜坡口，胎面接头高度为自行车轮胎不大于2mm，手推车轮胎不大于3mm，接头应接牢、压实，不脱空 | 用150mm钢直尺测量，检查10条，80%达到标准为合格 |
| 胎坯胎边宽度公差：<br>自行车轮胎为±2mm；手推车轮胎为±3mm | 现场检查10条胎坯，80%达到标准为合格。要求按下图检查，从胎耳尖部到外包布与第1层帘布重叠处读数 |
| 钢丝压出包胶前经浸酸处理，应无油污、水渍 | 检查进入压出机头前的钢丝表面清洁程度，用白纸来鉴定是否带有油污、水渍，不连续测5次，80%达到要求为合格 |
| 压出后的包胶钢丝圈，应无水渍和掉胶现象，并排列整齐，不松散 | 检查工艺，抽查10根钢丝圈，80%达到要求为合格 |
| 单根钢丝圈的钢丝裁断长度公差为±0.5mm | 采用二根1m的钢直尺拼接测量钢丝长度，随机抽取10根钢丝，80%达到标准为合格 |
| 硬边轮胎胎坯宽度公差为±1.5mm | 放平胎坯，用150mm钢直尺测量胎坯宽度，每条测4点，75%达到要求，为此条胎坯合格，检查测定10条胎坯，80%达到标准为合格 |
| 硬边轮胎采用包叠成型时，帘布包叠搭头的偏歪值应控制在规定的范围以内（偏歪值是指胶帘布的包叠宽度边缘与胎坯边缘距离之差即$\|a-b\|$）各种规格帘布包叠重叠宽度c值应不小于胎冠设计尺寸标准<br>自行车轮胎为 $\|a-b\| \leqslant 7mm$；<br>手推车轮胎为 $\|a-b\| \leqslant 10mm$ | 取胎坯断面上任何一点，自胎壳左面边绝量到包叠宽度边缘，读数为$a_i$；又自胎壳右面边缘量到包叠宽度边缘，读数为$b_i$；检查测定10条胎坯，80%达到标准为合格（测量时以圆周上任何断面上的最大数据为准） |
| 成型好的胎坯存放时间不能超过36h，要按成型先后顺序硫化 | 检查工艺，现场检查 |
| 硫化前，胎坯在定型时，所使用的气囊温度不能高于75℃ | 用0～100℃玻璃温度计现场检查5条气囊表面温度，80%达到标准为合格 |
| 硫化蒸汽压力波动公差为±19.6kPa(0.2kgf/cm²)，内压不低于1.3MPa(13kgf/cm²)，硫化时间公差为±0.5min | 检查硫化时间、蒸汽压力、内压（总表）是否达到要求，以秒表测定5台硫化机硫化时间，80%达到标准为合格。发现蒸汽压力、内压（总表）达不到要求时，为此条不合格 |
| 成品硫化结束后，不应马上剥离气囊，应适冷却停放（胶囊硫化除外） | 现场检查 |
| 内胎胶料所使用的滤网最细层不少于40目 | 现场检查 |

续表

| 工 艺 技 术 规 定 | 检 查 方 法 |
| --- | --- |
| 内胎压出返回胶掺用率不大于20% | 现场检查 |
| 内胎挤出机头温度不高于85℃，口型温度不高于105℃(掺用合成橡胶或采双口型挤出机时，温度允许不高于110℃) | 用弓形温度计测量，抽测两台挤出机，分别测机头温度2次，口型温度3次，按10个点计算，80%达到标准为合格 |
| 内胎胎管压出时重量公差：<br>自行车内胎为±7g；手推车内胎为±10g | 任意抽取10条内胎胎管秤重，计算合格率，80%达到标准为合格 |
| 内胎在模型中硫化时，蒸汽压力波动公差为±19.6kPa(0.2kgf/cm²)，硫化时间公差为±15s，用蒸汽压力作内压时，其压力不低于539kPa(5.5kgf/cm²) | 测查蒸汽压力总表两次(上、下午各1次)，硫化时间测8次，按10个点计算，80%达到标准为合格 |
| 内胎套管硫化时，蒸汽罐硫化压力波动公差为±19.6kPa(0.2kgf/cm²)，升压时间不多于4min | 测蒸汽压力2次，升压时间3次，按5个点计算，80%达到标准为合格 |
| 硫化后的内外胎成品在包装时的温度应冷却至50℃以下 | 将0～100℃玻璃温度计插入待包装成品堆中测量温度，一次为准 |
| 胶料下片，内胎压出，硫化内外胎抹气囊都要用不飞扬的隔离剂（套管内胎生产工艺除外） | 检查工艺规程，检查现场 |
| 各种胶料、半成品、垫布不能落地，保持清洁 | 检查现场 |

# 第三篇　实心轮胎

实心轮胎最初应用于力车，后来大量用作载重汽车的轮胎。车辆上使用实心轮胎是利用橡胶胎体的弹性来减弱和吸收车轮转动时所承受的冲击。由于实心轮胎与充气轮胎相比，其缓冲性能差，易损坏车辆和装载的货物，不适宜用于高速运输的车辆上，并且易损坏路面及动力损耗大，故逐渐为充气轮胎所代替。然而，实心轮胎不需充气，不存在穿刺漏气，在负荷下轮胎变形小，而且负荷量大，启动阻力小，结构简单，使用和维护方便，所以仍适用于低速高负荷的车辆，如工业装卸车、叉式起重车、载货拖车或特种用途的动力车辆。另外，小型实心轮胎还大量用于人力推车，如各种童车、室内或车间之间的货物搬运手推车以及装配在各种仪器、测试设备、家庭生活器具上，便于在室内移动。小型实心轮胎还用作某些机械转动时的支撑轮。因而实心轮胎仍有其广泛的用途。

## 第一章　实心轮胎的种类

实心轮胎按橡胶胎体与轮辋的固定方法，可分为粘结式和非粘结式两大类。

### 第一节　粘结式实心轮胎

粘结式实心轮胎是指在制造这种轮胎时，利用粘结剂将橡胶胎体与轮辋粘合为一体的实心轮胎。粘结式实心轮胎的另一种形式是将橡胶胎体与轮圈粘合为一体，制成实心轮胎，然后通过机械方法压配于相配合的轮辋上。这种实心轮胎又称压配式实心轮胎。我国HG4—561-67标准内将粘结式实心轮胎分为：螺丝联接式实心轮胎，固定式实心轮胎和压配式实心

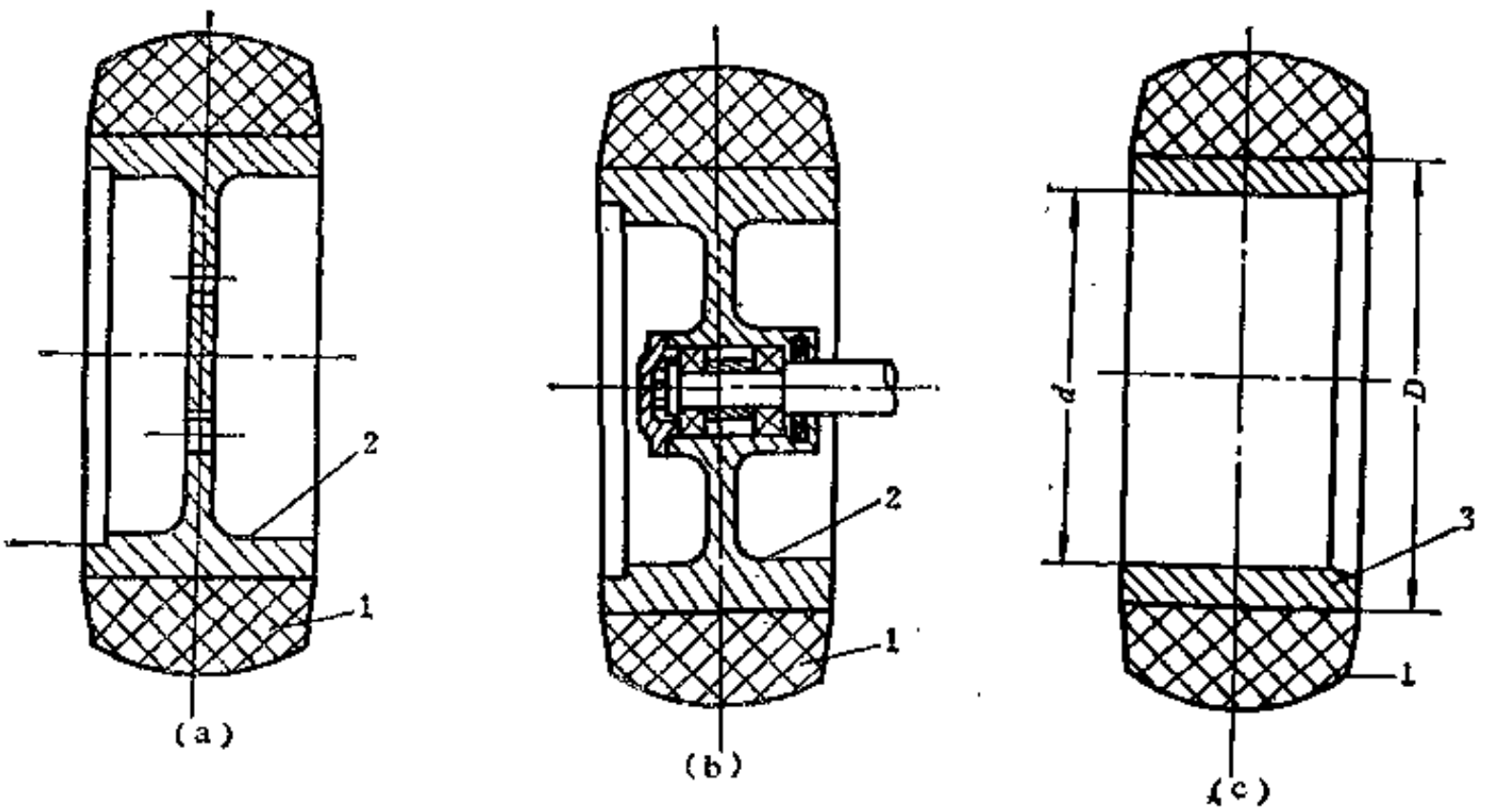



图 3-1-1　粘结式实心轮胎

（a）螺丝联接式实心轮胎；（b）固定式实心轮胎；（c）压配式实心轮胎

1—橡胶胎体；2—轮辋；3—轮圈

轮胎 3 种。

螺丝联接式实心轮胎和固定式实心轮胎都是橡胶胎体与轮辋直接粘合在一起的粘结式实心轮胎，见图3-1-1(a)、图3-1-1(b)。前者在安装时与车轴上的轮托用螺栓固定，后者的轴套中装上滚珠，然后套入车轴上。

压配式实心轮胎见图3-1-1(c)。通常实心轮胎制造厂只提供橡胶胎体与轮圈粘合的实心轮胎，由使用部门将这种实心轮胎压配入轮辋。为使实心轮胎能牢固地与轮辋紧箍，其轮圈的内径应比轮辋的外径小0.35～1.70mm。压配式实心轮胎的轮辋外径与其相应的轮圈内周长列于表3-1-1，供参考。

表 3-1-1　压配式实心轮胎的轮辋外径和轮圈内周长　　单位：mm(in)

| 轮辋外径 | "c" | 轮辋外径 | "c" |
|---|---|---|---|
| 101.6(4)～127(5) | 1.2(0.047) | 381(15)～508(20) | 2.7(0.0108) |
| 127(5)～254(10) | 1.6(0.063) | 508(20)～610(24) | 3.5(0.0138) |
| 254(10)～381(15) | 2.0((0.078) | 610(24)及以上 | 5.2(0.0203) |

注：1. 正确的轮圈内周长应是轮辋实际外周长扣除 "c" 项数值；
2. 轮圈内周长公差：±0.64mm(0.025in)；
3. 实际轮辋直径公差：$^{+0.13mm(0.005in)}_{-0.00mm(0.00in)}$。

小型粘结式实心轮胎通常采用固定式轮辋。轮辋的轴套内有的可装配滚珠，有的直接套于车轴上使用。

## 第二节　非粘结式实心轮胎

非粘结式实心轮胎是将橡胶胶料制成环形橡胶胎体，然后用机械方法固定在轮辋上的一种实心轮胎。

为便于安装，这种实心轮胎的胎体基部多设计成锥形，其轮辋有中心分开、侧分，有的在轮辋边缘设计有凸肩，也有采用充气轮胎的轮辋，因此橡胶胎体的截面形状也有不同，图3-1-2～图3-1-5为不同形状轮辋或胎体截面的示意图。

为使环形橡胶胶体能牢固地固定在轮辋上，橡胶胎体的基部应采用补强材料增强（见图3-1-6）。补强材料多用钢丝圈，也有用短纤维或涂胶帆布增强。

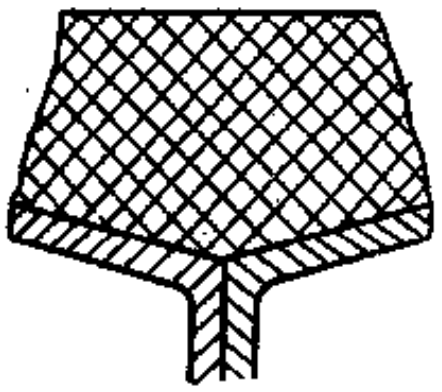


图 3-1-2　中心分开轮辋实心轮胎

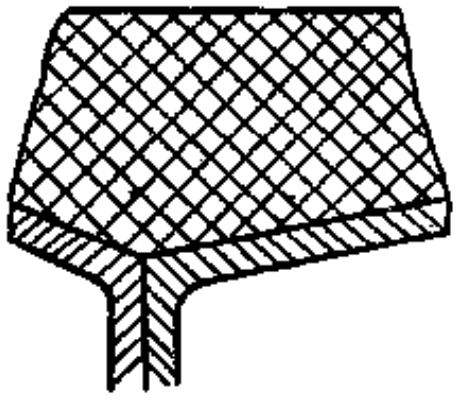


图 3-1-3　侧分轮辋实心轮胎

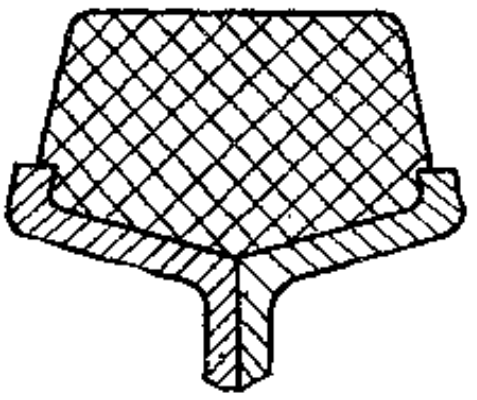


图 3-1-4　凸肩轮辋实心轮胎

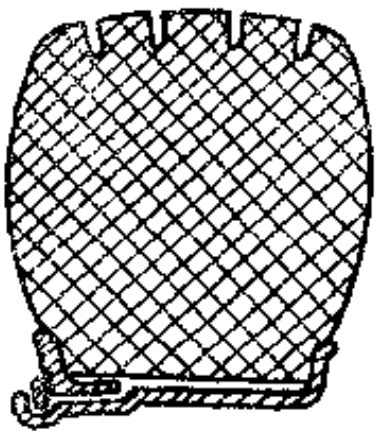


图 3-1-5　充气轮胎轮辋实心轮胎

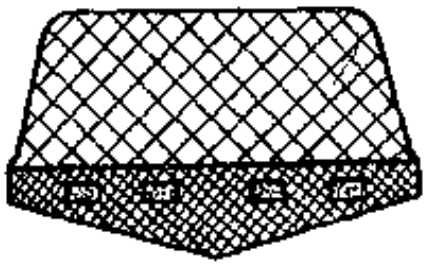


图 3-1-6　钢丝圈增强的实心轮胎



图 3-1-7　童车用环形实心轮胎

截面积成圆状或带有胎肩的小型环形实心轮胎（见图3-1-7）一般都直接嵌入轮辋，常用于童车。

实心轮胎除按上述胎体与轮辋结合方法分为不同形式的种类外，按其截面组成形式还可分为实心、胎面与基底中间无缓冲层、中空和海绵胎芯等类。目前又有一种半实心轮胎，半实心轮胎有较大的空腔，弹性好，适用于负载不大的各种手推车、小型拖拉机和割草机等。半实心轮胎的截面形状见图3-1-8。

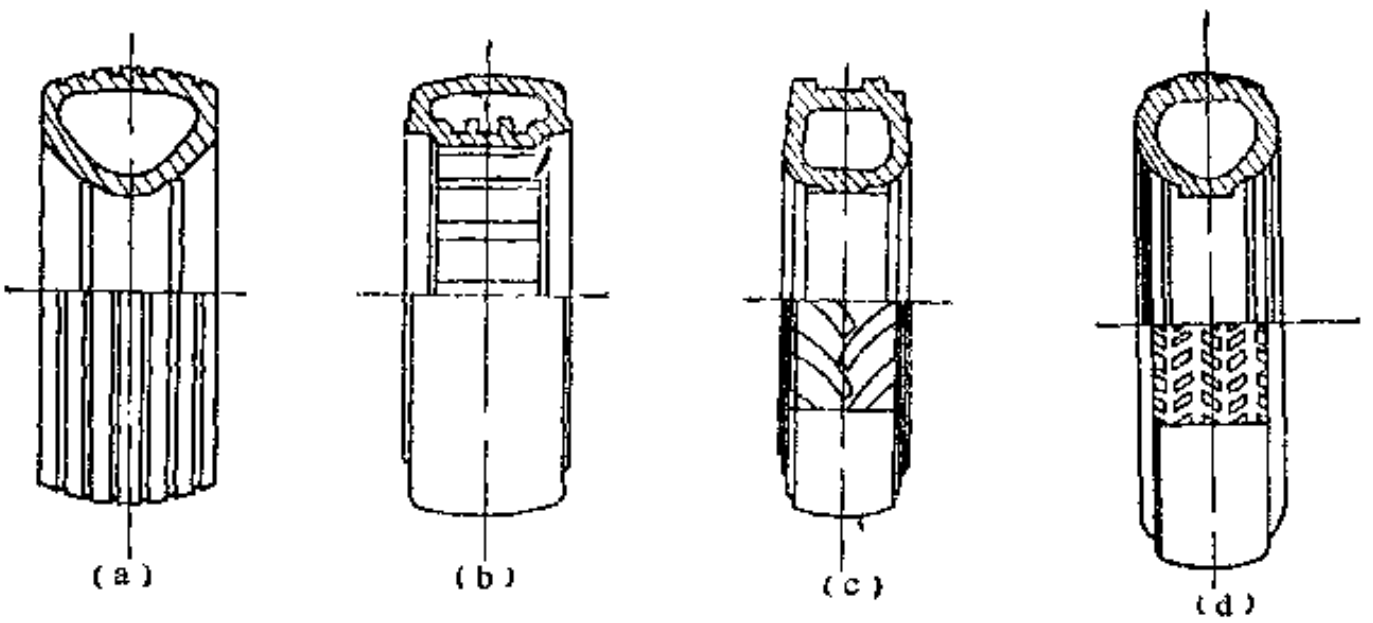



图 3-1-8　半实心轮胎

（a）条状胎面；（b）平状胎面；（c）拖拉机胎面；（d）草地胎面

## 第三节　实心轮胎的结构要求

实心轮胎在外径相同时，胎体厚度和宽度的大小取决于轮胎的负荷量，而厚度又与对车辆的缓冲性能和行驶速度的要求有关。通常将实心轮胎的胎体厚度$H$和宽度$B$及其比值($H$/

$B$）作为实心轮胎的结构设计参数。我国通用实心轮胎部颁标准HG—4—561—67 规定 的胎体厚度和宽度，其$H/B$比值为0.24～0.30，可满足一般车辆的时速、负荷量和 缓冲 性能要求。

在特殊情况下，如果车辆的时速较快，其行驶时所造成的滞后现象极易产生热量，由于实心轮胎的胎体厚实，热传导差，积蓄的热量致使胎体橡胶强度下降并加速老化，造成实心轮胎掉胶、脱胶等损坏现象。实心轮胎的厚度越大，生热越快，散热越慢，而胎体温度高，轮胎的寿命就会降低。反之，胎体厚度减小，则生热少，散热快，胎体温度低，轮胎的寿命提高。实验证明，在满足车辆对实心轮胎的缓冲性能要求条件下，将实心轮胎的宽度增大，厚度减小，其$H/B$在0.132～0.165之间，能保持其负荷量并提高车辆的行驶速度。

有些车辆要求实心轮胎有较高的弹性和较好的缓冲性能，胎体的厚度就需增大。为使这种厚体轮胎在使用时降低生热，加快热的分散，应考虑在胎体的胎面部位设计花纹沟槽。胎面设计花纹沟槽除有利于提高实心轮胎的使用寿命外，还能增大胎面与地面的抓着性能，有利于传递车辆的牵引力和制动力。

# 第二章　实心轮胎的胶料配方

实心轮胎一般都在高负荷状况下使用，要求胎体具有高辐向刚性，使其在负荷下的下陷幅度相当小，因而胶料必须有足够的定伸应力、较高的硬度和较小的永久变形。另外要求胶料有良好的耐磨性能。

目前大多数实心轮胎胶料还是以天然橡胶为主，配合较多的炭黑，硫黄用量略多于一般天然橡胶软质胶料中的含量。由于实心轮胎是厚壁制品，在促进剂的选用上应考虑内外层胶料硫化程度的平衡，一般可选择噻唑类或次磺酰胺类促进剂，以使胶料有较平坦的硫化曲线。在速度较快或做长途运输的实心轮胎胶料中，可配入较多量导热性能好的配合剂，如氧化锌，以求使用时内热易外导，提高实心轮胎的使用寿命。实心轮胎在使用时负荷大，而且往往路面条件差，易造成胎面掉快，故在配方设计时考虑胶料具有一定的抗撕裂性能。

粘结式实心轮胎的胎体与金属轮辋粘结要求很高，否则极易出现橡胶与轮辋脱层。过去常用含有大量硫黄和氧化铁（20份为宜）的硬质橡胶层与轮辋粘结，但硬质橡胶性脆，受热后容易塑性变形，温度高于60℃时粘结强力迅速下降，故硬质橡胶作为粘结层一般只用于小型实心轮胎。大型实心轮胎可用异氰酸酯类胶粘剂，如JQ-1胶粘剂（20%4,4′,4″-三苯甲烷三异氰酸酯的二氯甲烷、二氯乙烷或氯苯溶液）。

在采用硬质橡胶作为粘结层时，为防止硬质橡胶层中的硫黄向胎面胶迁移而引起胎面胶性能下降，可在硬质橡胶与胎面胶之间贴合一层含硫黄较少的过渡胶层。

为适应高负荷实心轮胎，目前国内外已逐渐采用聚氨基甲酸酯橡胶。聚氨酯橡胶强度高、抗压缩强度和耐冲击弹性好，在同样的变形条件下与其它橡胶制成的实心轮胎相比，其承重载能力提高几倍。聚氨酯橡胶还具有非常好的耐油性能，对氧、臭氧以及放射线具有较好的稳定性，其抗撕性能及其它已知橡胶所没有的高耐磨性能使之成为制造在苛刻条件下使用的实心轮胎的优良的弹性材料。但聚氨酯橡胶的滞后损失较大，生热较高，因此限于低速运转条件下使用。

聚氨酯橡胶按其化学结构或从其预聚体的组成来看有聚酯和聚醚两类，如从其胶料的加工工艺形式来分，则可分为混炼型、浇注型和热塑型3类。聚酯或聚醚类聚氨酯橡胶及其三种加工工艺都可用来制造各种不同用途的实心轮胎。

聚氨酯橡胶属自补强型橡胶，本身具有很高的强力，加入补强填充剂（如炭黑）一般不起补强作用。在实心轮胎胶料配方中加入适量炭黑或其它矿物填充剂可获得所需硬度，并能降低胶料成本。

聚氨酯橡胶的硫化体系主要有硫黄、过氧化物和二异氰酸酯。硫化剂的选用要根据制得的聚氨酯是否具有异氰酸端基，饱和型还是不饱和型而定。浇注型聚氨酯橡胶常用3,3′-二氯-4,4′-二氨基二苯甲烷（商品名：Moca)作为交联剂。

用聚氨酯橡胶制造粘结式实心轮胎时，胎体胶料与金属轮辋粘结的粘合剂也可采用异氰酸酯类胶粘剂。异氰酸酯与聚氨酯橡胶主链中氨基上的活泼氢反应形成主价结合，其粘结强度远远超过与天然橡胶的粘结强度，这样就更能保证聚氨酯橡胶实心轮胎在高负荷下运行。

表3-2-1为实心轮胎胎体胶料配方举例，其中配方1、2为大型实心轮胎胎体胶料配方，配

方3为小型实心轮胎胎体胶料配方，配方4是采用不饱和混炼型聚氨酯橡胶作胎体胶料的配方。

表3-2-2为硬质胶粘合层胶料配方举例，配方5胶料制成胶浆涂刷于金属轮辋表面，然后贴合配方6硬质胶层。用硬质胶作粘合剂和基底层主要用于小型实心轮胎。

表 3-2-1 实心轮胎胎体胶配方举例 单位：重量份

| 配合剂 \ 配方编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 配合剂 \ 配方编号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 100.0 | 70.0 | 50.0 | — | 活性剂NH-1 | — | — | — | 1.0 |
| 丁苯橡胶 | — | 30.0 | 50.0 | — | 防老剂A | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 1.0 |
| 轮胎再生胶 | — | — | 300.0 | — | 松焦油 | — | 7.0 | — | — |
| 不饱和混炼型聚氨酯橡胶 | — | — | — | 100.0 | 固体古马隆 | 3.0 | 3.0 | — | — |
| 氧化锌 | 40.0 | 5.0 | 10.0 | — | 硫黄 | 4.0 | 3.0 | 7.0 | 2.0 |
| 氧化铅 | 2.0 | — | — | — | 合计 | 213.5 | 223.0 | 500.0 | 181.0 |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 60.0 | 60.0 | 73.0 | 20.0 | | | | | |
| 半补强炉黑(SRF) | — | — | — | 50.0 | 物理机械性能 | | | | |
| 喷雾炭黑 | — | 50.0 | — | — | | | | | |
| 硬脂酸 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | — | 拉伸强度，MPa | 20.6 | 21.6 | 16.2 | 27.5 |
| 硬脂酸镉 | — | — | — | 1.0 | 扯断伸长率，% | 380 | 340 | 400 | 480 |
| 促进剂M | 0.5 | — | 2.5 | 2.0 | 硬度（邵尔A） | 77 | 80 | 70 | 90 |
| 促进剂DM | — | 1.0 | 2.5 | 4.0 | 磨耗量，$cm^3/1.61km$ | 0.23 | 0.2 | 0.3 | 0.12 |
| 促进剂D | — | — | 0.5 | — | 永久变形，% | 20 | 10 | 20 | 15 |

表 3-2-2 硬质胶粘合层胶料配方例举 单位：重量份

| 配合剂 \ 配方编号 | 5 | 6 | 配合剂 \ 配方编号 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 100.0 | 100.0 | 碳酸钙 | 93.0 | — |
| 轮胎再生胶 | — | 33.3 | 促进剂M | — | 1.7 |
| 氧化锌 | 5.0 | 5.0 | 促进剂DM | 4.0 | — |
| 氧化铅 | 60.0 | — | 促进剂D | — | 1.3 |
| 氧化铁 | 20.0 | 44.4 | 硫黄 | 40.0 | 37.5 |
| 氢氧化钙 | — | 15.0 | 硬脂酸 | — | 1.4 |
| 锌钡白 | 10.0 | — | 松香 | 2.0 | — |
| 陶土 | — | 46.4 | 合计 | 334.0 | 286.0 |

# 第三章　实心轮胎生产工艺

实心轮胎的生产工艺流程见图3-3-1。

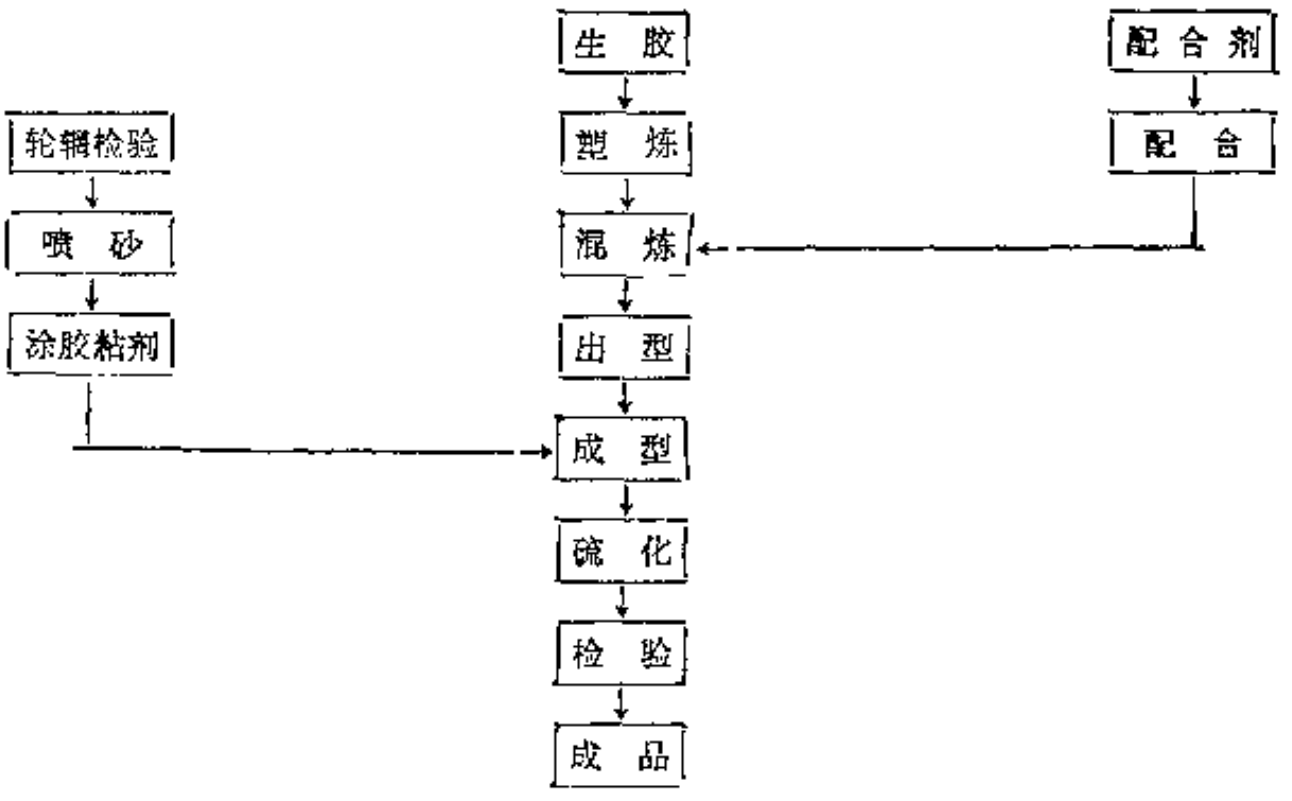



图 3-3-1　实心轮胎工艺流程

## 第一节　粘结式实心轮胎生产工艺

### 一、轮辋的处理及表面沟槽

轮辋的处理是橡胶与金属粘合作业中极其重要的一环。处理的目的是除去与橡胶粘合的金属表面沾污物及氧化层，赋于金属以新生表面，适当增加表面粗糙度和表面积，从而保证金属与橡胶牢固结合。

实心轮胎轮辋表面处理一般采用钢丝刷清刷、车床切削加工或喷砂。大型和要求较高的轮辋都是经车床切削加工后，再经喷砂处理，以确保获得良好的粘合效果；钢丝刷清刷法只能用于手推车等负载不高的实心轮胎轮辋。

喷砂系将粒度在3～4mm的不规则石英砂，经压缩空气喷射到轮辋表面。压缩空气压力应保持在0.6MPa(6kgf/cm$^2$) 左右，压力过小，喷砂效果就差，甚至起不到表面处理的效果。喷射石英砂应注意劳动保护，现在有采用喷丸法，即喷射钢丸或钢珠来代替喷砂。

经喷砂处理后的轮辋应刷除喷砂粉尘，如有油污残留需用溶剂洗刷，然后及时使用。放置时间过长，表面又会氧化生锈。因此表面处理过的金属轮辋宜存放在湿度得到控制的室内，并限定最长存放时间。

粘结式实心轮胎的轮辋材料一般是铸铁或铸钢浇铸而成，也有用钢板经焊接而成。有些小型实心轮胎的轮辋也有用硬铝、玻璃钢、尼龙等作为材料的。

为增强轮辋表面与橡胶的粘合强力，在轮辋表面可加工成燕尾形、矩形或锯齿形的纵向

沟槽(见图3-3-2)。一些小型手推车的轮辋表面也有制成横向沟槽(见图3-3-3)。燕尾形、矩形纵向沟槽和横向沟槽都适用于以硬质橡胶作为粘结尾的实心轮胎，这些沟槽可以增大橡胶与金属的粘结面并使硬质橡胶牢固地嵌在沟槽内。直接用软质橡胶粘结在轮辋上的实心轮胎，其轮辋表面宜采用锯齿形沟槽或梯形沟槽，如果采用燕尾形或矩形沟槽，则容易在沟的棱角处造成应力集中，会使橡胶早期损坏。梯形沟槽（见图3-3-4)的槽深为2～3mm，由于切削加工方便，表面易于喷砂处理而被广泛采用。

随着胶粘技术的发展，在较低荷载下使用的实心轮胎，其轮辋表面可制成无任何沟槽的平面，只需作喷砂处理。

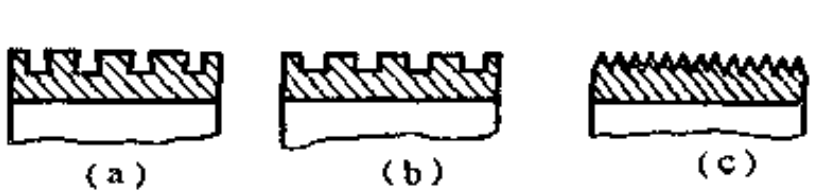



图 3-3-2 轮辋沟槽
(a) 燕尾形；(b)矩形；(c)锯齿形

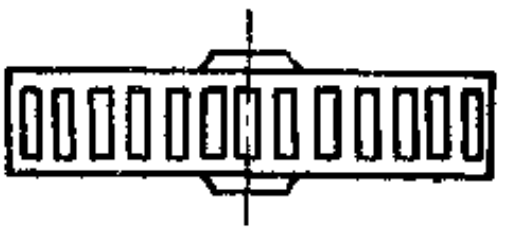


图 3-3-3 横向沟槽轮辋



图 3-3-4 梯形沟槽轮辋

## 二、涂刷胶粘剂和贴合硬质橡胶层

采用异氰酸酯作胶粘剂时，以涂刷二遍为宜。先涂一次，待基本干燥后，再涂一次，以防在第一次涂刷时可能产生的涂刷空缺。涂刷要均匀，特别要注意不应使异氰酸酯胶粘液在轮辋表面的沟槽内积储，造成胶粘膜过厚而影响粘合强度。待异氰酸酯胶粘剂干燥后，即可贴合胎体胶料。异氰酸酯在空气、热、光、水汽等作用下易分解变质，因此对涂刷、成型、硫化各工序之间的存放环境条件和停放时间，应严加控制。

使用硬质橡胶作为粘合层时，先用粘合层胶料制成的胶浆均匀涂刷2～3遍，待干燥后，在轮辋的沟槽内嵌入硬质橡胶层的胶料，然后包复一层2～3mm厚的硬质橡胶胶片，再贴胎体胶料。

## 三、胎体胶贴合成型

实心轮胎胎体胶料硬度高、自粘性较差，胎体胶料的贴合如按通常工艺——压延或挤出压片后，冷却、停放后再卷取贴合成型，显然易出现胶片层之间粘合不良的缺陷，从而影响

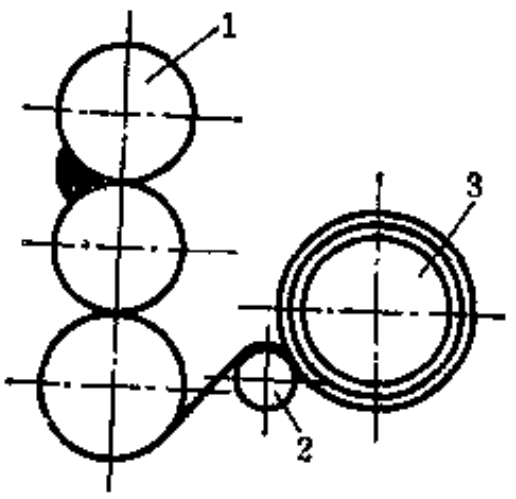



图 3-3-5 三辊压延机“热成型”示意图
1—三辊压延机；2—托辊；3—实心轮胎轮辋

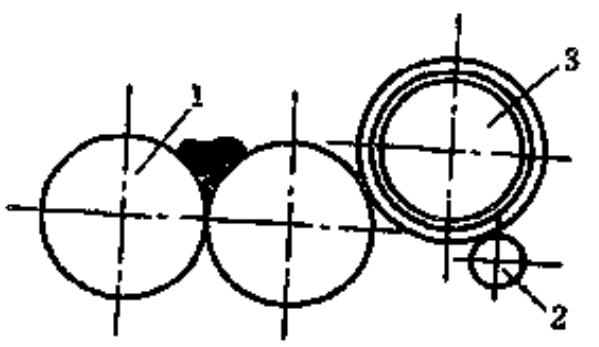



图 3-3-6 开放式炼胶机“热成型”示意图
1—开放式炼胶机；2—托辊；3—实心轮胎轮辋

产品质量。采用“热成型”法可使胶层间粘合良好。“热成型”法是指胎体胶料在压延或挤出胶片的同时，即卷取粘合在轮辋上，此时胶片的温度高、热塑性大，表面自粘性好，可利用胶片的自然收缩使胶片层之间粘合紧密，制成的实心轮胎在高负荷下使用不致产生分层。利用压延机或开炼机进行“热成型”的操作示意见图3-3-5和图3-3-6。

## 四、硫　　化

粘结式实心轮胎皆采用模具硫化。通常是将成型后的半成品装入模具，放在硫化机中加压硫化；或先用压模机加压，用螺栓将模具锁紧，然后在硫化罐内硫化。

采用硬质橡胶作为粘合剂和基底胶层，应根据硬质橡胶硫化的特点，用逐步升温的方法。将表3-2-1配方3胶料和表3-2-2配方5、6胶料制造的小型手推车实心轮胎先在平板硫化机上作第一次定型硫化，逐一取出后成批地放入硫化罐用逐步升温法作第二次硫化，这种方法可充分提高设备和模具的利用率。用上述胶料所制的手推车实心轮胎的硫化条件见表3-3-1。

用异氰酸酯作胶粘剂和表3-2配方2为胎体胶料，在硫化罐中的硫化条件见表3-3-2。

表 3-3-1　以配方3，5，6胶料制造的小型实心轮胎硫化条件

| 实心轮胎直径 | 第一次硫化 | | 第二次硫化时间，min | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 温　度 | 时　间 | 蒸汽压力，MPa(kgf/cm²) | | | 合　计 |
| mm(in) | ℃ | min | 0～0.15 (0～1.5) | 0.15～0.25 (1.5～2.5) | 0.25～0.29 (2.5～3.0) | |
| 76.2～127 (3～5) | 161 | 16 | 20 | 30 | 35 | 85 |
| 152.4～254 (6～10) | 161 | 20 | 20 | 30 | 45 | 95 |
| 304.8(12) | 161 | 25 | 30 | 30 | 50 | 110 |

表 3-3-2　用配方2胶料的实心轮胎硫化条件

| 实心轮胎规格 直径(mm)×宽度(mm) | 硫化时间，min 蒸汽压力0.39～0.44MPa (4～4.5kgf/cm²) | 实心轮胎规格 直径(mm)×宽度(mm) | 硫化时间，min 蒸汽压力0.39～0.44MPa (4～4.5kgf/cm²) |
|---|---|---|---|
| 250×125 | 90 | 450×150 | 90 |
| 300×120 | 90 | 500×150 | 90 |
| 350×125 | 90 | 550×150 | 90 |
| 400×125 | 90 | 600×200 | 105 |

## 第二节　非粘结式实心轮胎生产工艺

1．条状装配式实心轮胎

条状装配式实心轮胎的生产方法，一般是采用挤出机压出所需断面形状的胎体，并按所需长度截取半成品平放在硫化盘内，然后放入硫化罐内用直接蒸汽进行硫化。

2．环状装配式实心轮胎

普通的小型环状装配式实心轮胎基底部不需用胶帆布或钢丝束补强，其生产方法与一般模型橡胶制品相同。

大型环状装配式实心轮胎的生产方法是先在成型筒上贴合基底胶层，在其上缠绕补强胶帆布和钢丝束，胶帆布层之间或钢丝束间应贴合粘合层胶片，然后再以“热成型”法贴合胎体胶层，将此半成品从成型筒上取下，装入模型中硫化即可。

## 第三节　实心轮胎主要质量问题及解决方法

### 一、橡胶与轮辋脱层

粘结式实心轮胎在正常使用条件下判断其质量优劣最主要的莫过于橡胶与轮辋粘结是否牢固。在生产各环节中任何疏忽都会导致轮胎在使用时出现橡胶与轮辋脱层。

造成橡胶与轮辋脱层的原因主要有轮辋表面氧化层和沾污物未彻底清除，或清除后由于存放不当而重新腐蚀、沾污；胶粘剂本身质量问题、涂刷过量、未充分干燥，在使用异氰酸酯类胶粘剂时，涂刷后的存放时间过长或环境条件控制不严；贴合胶料表面喷霜或沾污；成型用料量不足，而使模压硫化时没有足够的压力以及成型用料量过多，在模压硫化时胶粘剂随多余胶外溢而流失等等。因此，生产厂应针对上述问题，建立相应的工艺制度和质量监督，以确保质量。

在使用异氰酸酯类胶粘剂时，由于该粘合剂不宜长时间暴露于空气中，尤其湿度过高、阳光照射更易分解变质，影响粘结效果，因此除因控制车间内的相对湿度和避免胶粘剂曝露在阳光下外，宜在胶粘剂干燥后随即复贴胶片，半成品的停放时间不超过 2 小时。在工序间隔需较长时间时，最好能待异氰酸酯胶粘剂干燥后，再涂复一层胶浆保护。胶浆胶料配方如下(重量份)：

| 氯丁橡胶 | 氧化锌 | 硬脂酸 | 防老剂 | 炭　黑 | 氧化镁 | 变压器油 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 5 | 1 | 2 | 20 | 4 | 5 |

也可用适宜配方胶料组成。

采用硬质橡胶作为粘结式实心轮胎的胶粘剂和底基层时，应注意硫化时的温度控制，升温过快或硫化温度过高，会引起硬质橡胶层出现气孔或爆裂。硬质橡胶对热的变化较敏感，当温度逐渐升高时，硬度逐渐降低，甚至热塑变形。因此，用硬质橡胶的粘结式实心轮胎在高负荷或速度较快的情况下使用，当轮胎内温升高后，易出现橡胶与金属轮辋脱层。在这种条件下使用，不宜采用硬质橡胶作粘合剂和基底层而宜采用异氰酸酯类胶粘剂或其它耐热性较好的胶粘剂。

### 二、胶层之间脱层

为确保实心轮胎在负载下变形小，制造实心轮胎胎体橡胶的配方中含有较多量的炭黑和填充剂，使胎体有较高硬度，因此这种胎体半成品胶料的自粘性和硫化时的流动性都较差，在半成品成型时，如胶层间粘合不良，硫化后的产品用目测检验虽未见胶层分层，但在使用时往往出现胶层之间脱层。解决办法可在胶料压延出片后即成型贴合；不使用表面已喷霜或沾污的胶片；采用溶剂涂刷胶片表面等，但最恰当的办法是采用前述的“热成型”方法。

半成品用料量不够，使模压硫化时压力不足，是造成实心轮胎胶层之间脱层原因之一。因而胶料用量应称重或对半成品作尺寸检验。

# 第四章　实心轮胎标准

实心轮胎标准（HG—4—561—67)规定：

实心轮胎和轮辋的规格尺寸见表 3-4-1，实心轮胎的时速和不同规格的最大负荷见表3-4-2，实心轮胎的物理机械性能见表3-4-3，实心轮胎的外观质量见表3-4-4。

**表 3-4-1　实心轮胎和轮辋的规格尺寸**　　单位：mm

| 成品规格 | 成品公差 | 轮辋规格 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 外径 $D$ | | 内径 $d$ | 宽度 $B$ |
| 直径×宽度 | 直径×宽度 | 设计尺寸 | 翻修最小尺寸 | (公差$D_4$) | (公差$d_7$) |
| 250×125 | ±3 | 190 | 184 | 166 | 125 |
| 300×125 | ±3 | 240 | 234 | 216 | 125 |
| 350×125 | ±3 | 290 | 284 | 265 | 125 |
| 400×125 | ±3 | 335 | 329 | 305 | 125 |
| 450×150 | ±3 | 375 | 369 | 345 | 150 |
| 500×150 | ±3 | 425 | 419 | 395 | 150 |
| 550×150 | ±3 | 460 | 454 | 425 | 150 |
| 600×200 | ±3 | 495 | 489 | 455 | 200 |

注：表中$D$、$d$和$B$符号见图3-1-1～图3-1-3。

**表 3-4-2　实心轮胎的时速和不同规格的最大负荷**

| 规格，mm 直径×宽度 | 时速 km/h | 最大负荷 kg | 规格，mm 直径×宽度 | 时速 km/h | 最大负荷 kg |
|---|---|---|---|---|---|
| 250×125 | 10 | 550 | 450×150 | 10 | 1250 |
| 300×125 | 10 | 650 | 500×150 | 10 | 1400 |
| 350×125 | 10 | 750 | 550×150 | 10 | 1550 |
| 400×125 | 10 | 850 | 600×200 | 10 | 2200 |

**表 3-4-3　实心轮胎的物理机械性能**

| 性能名称 | 指标 | 性能名称 | 指标 |
|---|---|---|---|
| 拉伸强度，MPa[kgf/cm²] ≥ | 9.81(100) | 硬度（邵尔A） | 70～85 |
| 扯断伸长率，% ≥ | 200 | Akron磨耗，cm³/1.61km ≤ | 0.8 |

**表 3-4-4　实心轮胎的外观质量**

| 外观缺陷 | 一级品 | 二级品 | 外观缺陷 | 一级品 | 二级品 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1．同一实心轮胎的胶厚比差 | | | 2．胶层内部鼓泡 | 不允许 | 不允许 |
| 成品直径＜400mm | ≤2mm | ≤4mm | 3．胶层表面海绵现象 | 不允许 | 不允许 |
| 成品直径≥400mm | ≤3mm | ≤6mm | | | |

小型粘结式实心轮胎和轮辋轴孔规格尺寸见表3-4-5，小型装配式实心轮胎规格尺寸见表3-4-6，小型实心轮胎的物理机械性能见表3-4-7，小型实心轮胎的外观质量见表3-4-8。

**表 3-4-5 小型粘结式实心轮胎和轮辋轴孔规格尺寸**

| 规格 in | 尺寸，mm | | | 公差，mm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 外径 | 宽度 | 轴孔直径 | 外径 | 宽度 | 轴孔直径 |
| 3 | 76 | 23 | 10.0 | ±2 | ±2 | +0.6<br>−0.3 |
| 4 | 102 | 35 | 16.5 | ±2 | ±2 | +0.6<br>−0.3 |
| 5 | 127 | 37 | 16.5 | ±2 | ±2 | +0.8<br>−0.3 |
| 6 | 152 | 38 | 19.4 | ±2 | ±2 | +0.8<br>−0.4 |
| 7 | 178 | 38 | 25.6 | ±3 | ±2 | +1.0<br>−0.4 |
| 8 | 203 | 41 | 25.6 | ±3 | ±2 | +1.0<br>−0.4 |
| 10 | 254 | 47 | 25.6 | ±3 | ±3 | +1.0<br>−0.4 |
| 12 | 305 | 55 | 32.0 | ±3 | ±3 | +1.2<br>−0.6 |

**表 3-4-6 小型装配式实心轮胎规格尺寸**

| 规格 in | 尺寸，mm | | | 公差，mm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 外径 | 内径 | 宽度 | 外径 | 内径 | 宽度 |
| 4 | 100 | 50 | 30 | ±2 | ±2 | ±2 |
| 6 | 152 | | 31 | ±2 | ±2 | ±2 |
| 7 | 178 | | 34 | ±3 | ±3 | ±2 |
| 8 | 201 | | 41 | ±3 | ±3 | ±2 |
| 9 | 226 | | 37 | ±3 | ±3 | ±2 |
| 10 | 254 | | 40 | ±3 | ±3 | ±2 |
| 11 | 279 | | 50 | ±3 | ±3 | ±2 |

**表 3-4-7 小型实心轮胎的物理机械性能**

| 性能名称 | 指标 | 性能名称 | 指标 |
|---|---|---|---|
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) ≥ | 11.8(120) | Akron磨耗，cm³/1.61km ≤ | 2 |
| 扯断伸长率，% ≥ | 300 | 永久变形，% ≤ | 45 |
| 硬度（邵尔A） | 75±5 | | |

**表 3-4-8 小型实心轮胎的外观质量**

| 外观缺陷 | 一级品 | 二级品 |
|---|---|---|
| 表面凹痕 | 凹痕深1 mm，宽10mm，长30mm，不多于二处 | 凹痕深1 mm，宽10mm，长30mm，不多于三处 |
| 线状胶料逃痕 | 逃痕深1.0mm，宽2.5mm、全长20%不多于一处 | 逃痕深1.5mm，宽3.4mm，全长30%不多于一处 |

续表

| 外 观 缺 陷 | 一 级 品 | 二 级 品 |
|---|---|---|
| 边子厚 | | |
| 轮胎直径3～4in | ≤1.5mm | ≤2mm |
| 轮胎直径5～7in | ≤2.5mm | ≤3mm |
| 轮胎直径8～12in | ≤3.5mm | ≤4mm |
| 边子凹凸不平 | 凸状不大于2mm，凹状不大于1mm | 凸状不大于2mm，凹状不大于2mm |
| 模缝错位 | | |
| 轮胎直径3～5in | ≤1.5mm | ≤2mm |
| 轮胎直径6～12in | ≤2mm | ≤3mm |
| 杂质及自硫胶料 | 直径≤5mm | 直径≤6mm |
| 轮胎直径3～4in | 不多于二处 | 不多于二处 |
| 轮胎直径5～7in | 不多于三处 | 不多于三处 |
| 轮胎直径8～12in | 不多于四处 | 不多于四处 |
| 心轮偏歪 | | |
| 轮胎直径3～4in | ≤2mm | ≤2.6mm |
| 轮胎直径5～7in | ≤2.5mm | ≤3mm |
| 轮胎直径8～12in | ≤3mm | ≤3.5mm |
| 硬质橡胶与轮辋脱层 | 不允许 | 不允许 |
| 欠硫喷霜 | 不允许 | 不允许 |
| 气泡 | 不允许 | 表面直径不大于5mm，高3mm一处 |
| 发粘发脆 | 不允许 | 不允许 |
| 轮辋碎 | 不允许 | 不影响使用 |

# 附录 1 美国轮胎与轮辋协会标准

## 一、安装于充气轮胎轮辋上的实心轮胎（用于平衡重叉车上）

| 轮胎尺寸标记（尺寸/轮辋宽） | 轮胎最大尺寸 | | 最大负荷量，lbf | |
|---|---|---|---|---|
| | 断面宽，in | 外径，in | 负载轮(6mile/h) | 操纵轮(10mile/h) |
| 4.00-6/3.25 | 4.75 | 10.50 | — | 595 |
| 4.00-8/2.50 | 4.75 | 16.64 | — | 1405 |
| 4.00-8/3.00 | 4.75 | 16.64 | — | 1685 |
| 4.00-8/3.25 | 4.75 | 16.64 | — | 1825 |
| 4.80-8/3.75 | 4.75 | 16.64 | — | 2105 |
| 5.00-8/3.00 | 5.75 | 18.46 | — | 1935 |
| 5.00-8/3.25 | 5.75 | 18.46 | — | 2100 |
| 5.00-8/3.75 | 5.75 | 18.46 | — | 2420 |
| 5.70-8/4.50 | 5.75 | 18.46 | — | 2905 |
| 6.00-9/4.00 | 6.90 | 21.46 | 4230 | 3065 |
| 6.50-10/5.00 | 7.00 | 23.50 | 5810 | 4210 |
| 6.50-10/5.50 | 7.00 | 23.50 | 6390 | 4630 |
| 6.50-16/4.50 | 7.15 | 30.18 | 6415 | 4645 |

续表

| 轮胎尺寸标记 (尺寸/轮辋宽) | 轮胎最大尺寸 | | 最大负荷量，lbf | |
|---|---|---|---|---|
| | 断面宽，in | 外径，in | 负载轮(8mile/h) | 操纵轮(10mile/h) |
| 7.00-12/5.00 | 7.57 | 26.88 | 6640 | 4810 |
| 7.00-15/5.50 | 8.05 | 29.88 | 7905 | 5725 |
| 7.00-15/6.50 | 8.05 | 29.88 | 9340 | 6765 |
| 7.50-10/5.00 | 8.00 | 25.46 | 6460 | 4675 |
| 7.50-10/5.50 | 8.00 | 25.46 | 7105 | 5145 |
| 7.50-15/5.50(30) | 8.45 | 30.46 | 8125 | 5660 |
| 7.50-15/6.50(30) | 8.45 | 30.46 | 9600 | 6900 |
| 7.50-15/5.50 | 8.45 | 31.82 | 8630 | 6250 |
| 7.50-15/6.50 | 8.45 | 31.82 | 10195 | 7385 |
| 7.50-16/5.50 | 8.65 | 32.24 | 8615 | 6240 |
| 7.50-17/6.00 | 8.65 | 34.47 | 10125 | 7330 |
| 8.25-15/5.50 | 9.30 | 33.36 | 9200 | 6665 |
| 8.25-15/6.50 | 9.30 | 33.36 | 10875 | 7875 |
| 8.15-15/6.50 (28×9-15/6.50) | 8.70 | 27.80 | 8360 | 6055 |
| 8.15-15/7.00 (28×9-15/7.00) | 8.70 | 27.80 | 9000 | 6520 |
| 8.25-20/5.50 | 9.30 | 39.04 | 10115 | 7325 |
| 8.25-20/6.50 | 9.30 | 39.04 | 11950 | 8655 |
| 9.00-20/6.50 | 10.20 | 40.85 | 13200 | 9560 |
| 10.00-20/6.50 | 10.95 | 42.23 | 13825 | 10010 |
| 10.00-20/8.00 | 10.95 | 42.23 | 17015 | 12320 |
| 12.00-20/8.00 | 12.40 | 45.10 | 18605 | 13475 |
| 12.00-20/10.00 | 12.40 | 45.10 | 23255 | 16840 |
| 12.00-24/8.00 | 12.40 | 49.10 | 19835 | 14360 |
| 12.00-24/10.00 | 12.40 | 49.10 | 24790 | 17950 |
| 14.00-24/8.00 | 14.75 | 53.84 | 22500 | 16295 |
| 14.00-24/10.00 | 14.75 | 53.84 | 26130 | 20365 |
| 32×12.1-15/9.75 | 12.10 | 32.50 | 15745 | 11405 |
| 21×8-9/6.00 | 8.16 | 21.06 | 6190 | 4480 |
| 21×9-9/7.00 | 9.00 | 21.16 | 7265 | 5260 |
| 23×8-10/6.50 | 8.00 | 22.88 | 7290 | 5280 |
| 23×9-10/6.50 | 8.86 | 23.43 | 7525 | 5450 |
| 23×10-12/8.00 | 10.10 | 23.50 | 8820 | 6385 |
| 250-15/7.00 | 9.84 | 28.94 | 9615 | 6960 |
| 250-15/7.50 | 9.84 | 28.94 | 10300 | 7460 |
| 300-15/8.00 | 12.75 | 33.00 | 13190 | 9550 |

注1. 轮胎断面宽度实际上小于上表所列尺寸。

2. 外径公差为$^{+0}_{-5\%}$。

## 二、高负荷压配式实心轮胎（间歇性使用于工业平衡重叉车上）

| 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | | | 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 操纵轮 | 负载轮 | | | 操纵轮 | 负载轮 | |
| | 最大时速10 mile以下 (空载) | 最大时速6 mile以下 (重载) | 最大时速10 mile以下 (重载) | | 最大时速10 mile以下 (空载) | 最大时速6 mile以下 (重载) | 最大时速10 mile以下 (重载) |
| 8×4½×4½ | 2150 | 2430 | 2150 | 8½×4×4 | 1940 | 2200 | 1940 |
| 8×5×6¼ | 1500 | 1700 | 1500 | 9×5×5 | 2680 | 3020 | 2680 |

续表

| 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | | | 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 操纵轮 | 负载轮 | | | 操纵轮 | 负载轮 | |
| | 最大时速10 mile以下（空载） | 最大时速6 mile以下（重载） | 最大时速10 mile以下（重载） | | 最大时速10 mile以下（空载） | 最大时速6 mile以下（重载） | 最大时速10 mile以下（重载） |
| 10×4×5 | 2190 | 2480 | 2190 | 16¼×5×11¼ | 4250 | 4800 | 4250 |
| 10×3½×6 | 1840 | 2080 | 1840 | 16¼×6×11¼ | 5360 | 6050 | 5360 |
| 10×3×6¼ | 1490 | 1690 | 1490 | 16¼×7×11¼ | 6450 | 7300 | 6450 |
| 10×4×6¼ | 2190 | 2460 | 2190 | 17×4½×12⅛ | 3820 | 4330 | 3820 |
| 10×5×6¼ | 2890 | 3270 | 2890 | 17×5×12⅛ | 4390 | 4970 | 4390 |
| 10×6×6¼ | 3540 | 4000 | 3540 | 17×6×12⅛ | 5530 | 6250 | 5530 |
| 10×7×6¼ | 4240 | 4770 | 4240 | 17×7×12⅛ | 6650 | 7520 | 6650 |
| 10×4×6½ | 2200 | 2490 | 2200 | 18×4½×12⅛ | 3940 | 4470 | 3940 |
| 10×5×6½ | 2830 | 3190 | 2830 | 18×5×12⅛ | 4590 | 5170 | 4590 |
| 10×3½×8 | 1620 | 1830 | 1620 | 18×6×12⅛ | 5850 | 6610 | 5850 |
| 10½×5×5 | 3060 | 3470 | 3060 | 18×7×12⅛ | 7110 | 8040 | 7110 |
| 10½×6×5 | 3900 | 4400 | 3900 | 18×8×12⅛ | 8380 | 9470 | 8380 |
| 10½×7×5 | 4710 | 5330 | 4710 | 18×9×12⅛ | 9660 | 10900 | 9660 |
| 10½×5×6½ | 2990 | 3380 | 2990 | 18×4×14 | 3400 | 3850 | 3400 |
| 10½×6×6½ | 3720 | 4200 | 3720 | 18×5×14 | 4480 | 5070 | 4480 |
| 10½×7×6½ | 4450 | 5040 | 4450 | 18×7×14 | 6650 | 7530 | 6650 |
| 10½×3×8 | 1540 | 1740 | 1540 | 18×8×14 | 7750 | 8750 | 7750 |
| 10½×3½×8 | 1860 | 2100 | 1860 | 18×9×14 | 8820 | 9980 | 8820 |
| 10½×4½×8 | 2500 | 2820 | 2500 | 20×6×15 | 6040 | 6840 | 6040 |
| 10½×5×8 | 2820 | 3180 | 2820 | 20×8×16 | 8410 | 9500 | 8410 |
| 12×3½×8 | 2110 | 2390 | 2110 | 20×9×10 | 9550 | 10800 | 9550 |
| 12×4×8 | 2510 | 2840 | 2510 | 21×5×15 | 5130 | 5810 | 5130 |
| 12×4½×8 | 2910 | 3300 | 2910 | 21×6×15 | 6580 | 7420 | 6580 |
| 13×3½×8 | 2200 | 2480 | 2200 | 21×7×15 | 8010 | 9040 | 8010 |
| 13×4½×8 | 3130 | 3540 | 3130 | 21×8×15 | 9440 | 10670 | 9440 |
| 13×5½×8 | 4060 | 4590 | 4060 | 21×9×15 | 10870 | 12290 | 10870 |
| 13½×3½×8 | 2200 | 2490 | 2200 | 22×5×16 | 5310 | 6010 | 5310 |
| 13½×4½×8 | 3200 | 3620 | 3200 | 22×6×16 | 6810 | 7680 | 6810 |
| 13½×5½×8 | 4200 | 4740 | 4200 | 22×7×16 | 8290 | 9360 | 8290 |
| 14×4½×8 | 3260 | 3680 | 3260 | 22×8×16 | 9760 | 11040 | 9760 |
| 14×4×10 | 2820 | 3190 | 2820 | 22×9×16 | 11260 | 12720 | 11260 |
| 15×3×11¼ | 2020 | 2280 | 2020 | 22×10×16 | 12740 | 14400 | 12740 |
| 15×3½×11¼ | 2490 | 2820 | 2490 | 22×12×16 | 15710 | 17760 | 15710 |
| 15×5×11¼ | 3880 | 4390 | 3880 | 22×14×16 | 18680 | 21110 | 18680 |
| 15×6×11¼ | 4800 | 5440 | 4800 | 22×16×16 | 21640 | 24470 | 21640 |
| 15×7×11¼ | 5730 | 6480 | 5730 | 22×6×17¾ | 6480 | 7320 | 6480 |
| 15×8×11¼ | 6650 | 7530 | 6650 | 22×8×17¾ | 9000 | 10170 | 9000 |
| 15×9×11¼ | 7690 | 8700 | 7690 | 22×10×17¾ | 11520 | 13020 | 11520 |
| 15½×5×10 | 4110 | 4640 | 4110 | 26×5×20 | 6020 | 6810 | 6020 |
| 15½×6×10 | 5210 | 5880 | 5210 | 26×7×20 | 9390 | 10610 | 9390 |
| 16×4½×10½ | 3630 | 4110 | 3630 | 28×7×22 | 9930 | 11230 | 9930 |
| 16×5×10½ | 4200 | 4760 | 4200 | 28×10×22 | 15260 | 17250 | 15260 |
| 16×6×10½ | 5330 | 6040 | 5330 | 28×12×22 | 18820 | 21280 | 18820 |
| 16×7×10½ | 6470 | 7320 | 6470 | 28×14×22 | 22380 | 25300 | 22380 |
| 16¼×4×11¼ | 3140 | 3560 | 3140 | 28×15×22 | 25930 | 29320 | 25930 |

续表

| 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | | | 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 操纵轮 | 负载轮 | | | 操纵轮 | 负载轮 | |
| | 最大时速10 mile以下（空载） | 最大时速6 mile以下（重载） | 最大时速10 mile以下（重载） | | 最大时速10 mile以下（空载） | 最大时速6 mile以下（重载） | 最大时速10 mile以下（重载） |
| 36×8×30 | 14130 | 16000 | 14130 | 36×12×30 | 22730 | 25690 | 22730 |
| 36×9×30 | 16280 | 18400 | 16280 | 36×16×30 | 31310 | 35400 | 31310 |
| 36×10×30 | 18430 | 20840 | 18430 | | | | |

注1．所谓负载轮，系指最接近有效负重的轮胎。
2．凡步行式平衡重货车上轮胎，其负荷量按上表增加10%。
3．凡多只轮胎并联使用时，其负荷量应是各个轮胎负荷量的总和。
4．间歇性使用，系指空车行驶约占50%者。
5．所列各表之负荷量，如未专门指出，均以光滑路面为使用条件。

## 三、标准负荷压配式实心轮胎（间歇性使用于工业平衡重叉车上）

| 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | | | 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 操纵轮 | 负载轮 | | | 操纵轮 | 负载轮 | |
| | 最大时速10 mile以下（空载） | 最大时速6 mile以下（重载） | 最大时速10 mile以下（重载） | | 最大时速10 mile以下（空载） | 最大时速6 mile以下（重载） | 最大时速10 mile以下（重载） |
| 8½×4×4 | 1260 | 1430 | 1260 | 16×6×10½ | 3460 | 3920 | 3460 |
| 9×5×6 | 1740 | 1960 | 1740 | 16×7×10½ | 4200 | 4750 | 4200 |
| 10×3×6¼ | 970 | 1100 | 970 | 16¼×4×11¼ | 2040 | 2310 | 2040 |
| 10×4×6¼ | 1420 | 1600 | 1420 | 16¼×5×11¼ | 2760 | 3120 | 2760 |
| 10×6×6¼ | 2300 | 2600 | 2300 | 16¼×6×11¼ | 3480 | 3930 | 3480 |
| 10×7×6¼ | 2750 | 3100 | 2750 | 16¼×7×11¼ | 4190 | 4740 | 4190 |
| 10×5×6½ | 1840 | 2070 | 1840 | 17×4½×12⅛ | 2480 | 2810 | 2480 |
| 10½×5×5 | 1990 | 2250 | 1990 | 17×7×12⅛ | 4320 | 4880 | 4320 |
| 10½×6×5 | 2630 | 2860 | 2530 | 18×4½×12⅛ | 2560 | 2900 | 2560 |
| 10½×7×5 | 3060 | 3460 | 3060 | 18×5×12⅛ | 2980 | 3360 | 2980 |
| 10½×7×6½ | 2890 | 3270 | 2890 | 18×6×12⅛ | 3800 | 4290 | 3800 |
| 12×4½×8 | 1890 | 2140 | 1890 | 18×7×12⅛ | 4620 | 5220 | 4620 |
| 13×3½×8 | 1430 | 1610 | 1430 | 18×8×12⅛ | 5440 | 6150 | 5440 |
| 13×4½×8 | 2030 | 2300 | 2030 | 18×9×12⅛ | 6270 | 7080 | 6270 |
| 13½×3½×8 | 1430 | 1620 | 1430 | 18×7×14 | 4320 | 4890 | 4320 |
| 13½×4½×8 | 2080 | 2350 | 2080 | 18×8×14 | 5030 | 5680 | 5030 |
| 13½×5½×8 | 2730 | 3080 | 2730 | 18×9×14 | 5730 | 6480 | 5730 |
| 14×4½×8 | 2120 | 2390 | 2120 | 20×6×16 | 3920 | 4440 | 3920 |
| 14×5×10 | 1880 | 2120 | 1880 | 20×8×16 | 5460 | 6170 | 5460 |
| 15×5×11¼ | 2520 | 2850 | 2520 | 21×5×15 | 3330 | 3770 | 3330 |
| 15×6×11¼ | 3120 | 3530 | 3120 | 21×6×15 | 4270 | 4820 | 4270 |
| 15×7×11¼ | 3720 | 4210 | 3720 | 21×7×15 | 5200 | 5870 | 5200 |
| 15×8×11¼ | 4320 | 4890 | 4320 | 21×8×15 | 6130 | 6930 | 6130 |
| 15½×5×10 | 2670 | 3010 | 2670 | 21×9×15 | 7060 | 7980 | 7060 |
| 15½×6×10 | 3380 | 3820 | 3380 | 22×5×16 | 3450 | 3900 | 3450 |
| 16×4½×10½ | 2360 | 2670 | 2360 | 22×6×16 | 4420 | 4990 | 4420 |
| 16×5×10½ | 2730 | 3090 | 2730 | 22×7×16 | 5380 | 6080 | 5380 |

续表

| 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | | | 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 操纵轮 | 负载轮 | | | 操纵轮 | 负载轮 | |
| | 最大时速10 mile以下（空载） | 最大时速6 mile以下（重载） | 最大时速10 mile以下（重载） | | 最大时速10 mile以下（空载） | 最大时速6 mile以下（重载） | 最大时速10 mile以下（重载） |
| 22×8×16 | 6340 | 7170 | 6340 | 28×10×22 | 9910 | 11200 | 9910 |
| 22×9×16 | 7310 | 8260 | 7310 | 28×12×22 | 12220 | 13820 | 12220 |
| 22×10×16 | 8270 | 9350 | 8270 | 28×14×22 | 14530 | 16430 | 14530 |
| 22×12×16 | 10200 | 11530 | 10200 | 28×16×22 | 16840 | 19040 | 16840 |
| 22×14×16 | 12130 | 13710 | 12130 | 36×9×30 | 10570 | 11950 | 10570 |
| 22×16×16 | 14050 | 15890 | 14050 | 36×10×30 | 11970 | 13530 | 11970 |
| 26×5×20 | 3910 | 4420 | 3910 | 36×12×30 | 14760 | 16680 | 14760 |
| 26×7×20 | 6100 | 6890 | 6100 | 36×16×30 | 20330 | 22990 | 20330 |
| 28×7×22 | 6450 | 7290 | 6450 | | | | |

注：1．所谓负载轮系指最接近有效负载的轮胎。
2．凡步行式平衡重货车上轮胎，其负荷量按上表增加10%。
3．凡多只轮胎并联使用时，其负荷量为各个轮胎负荷量的总和。
4．间歇性使用，系指空车行驶约占50%者。
5．所列各表之负荷量，均以光滑路面为使用条件。

## 四、标准负荷压配式实心轮胎（用于工业载重车和拖车上）

最大时速：10mile

| 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf |
|---|---|---|---|---|---|
| 8½×4×4 | 1100 | 15×7×11¼ | 3240 | 18×8×14 | 4370 |
| 9×5×5 | 1510 | 15×8×11¼ | 3760 | 18×9×14 | 4980 |
| 10×3×6¼ | 850 | 15½×5×10 | 2320 | 20×6×16 | 3410 |
| 10×3½×6 | 1040 | 15½×6×10 | 2940 | 20×8×16 | 4740 |
| 10×3½×8 | 910 | 16×4½×10½ | 2060 | 20½×7×17¾ | 3730 |
| 10×4×5 | 1230 | 16×5×10½ | 2370 | 21×5×15 | 2900 |
| 10×4×6½ | 1220 | 16×6×10½ | 3010 | 21×6×15 | 3710 |
| 10×6×6¼ | 2000 | 16¼×4×11¼ | 1780 | 21×7×15 | 4520 |
| 10×7×6¼ | 2390 | 16¼×5×11¼ | 2400 | 21×8×15 | 5330 |
| 10×5×6½ | 1600 | 16¼×6×11¼ | 3020 | 21×9×15 | 6140 |
| 10½×5×5 | 1730 | 16¼×7×11¼ | 3650 | 22×5×16 | 3000 |
| 10½×6×5 | 2200 | 16×2½×13¾ | 920 | 22×6×16 | 3840 |
| 10½×7×6½ | 2520 | 17×4½×12½ | 2160 | 22×7×16 | 4680 |
| 12×4½×8 | 1660 | 17×7×12¼ | 3760 | 22×8×16 | 5520 |
| 13×3½×8 | 1240 | 18×5×12½ | 2590 | 22×9×16 | 6360 |
| 13×4½×8 | 1770 | 18×6×12¼ | 3300 | 22×10×16 | 7190 |
| 13½×4½×8 | 1810 | 18×7×12½ | 4020 | 22×12×16 | 8870 |
| 13½×5½×8 | 2370 | 18×8×12¼ | 4730 | 24×4×20 | 2390 |
| 14×4½×8 | 1840 | 18×9×12½ | 5450 | 26×5×20 | 3400 |
| 14×4×10 | 1590 | 18×4×14 | 1920 | 26×7×20 | 5300 |
| 15×5×11¼ | 2190 | 18×5×14 | 2540 | 28×10×22 | 8620 |
| 15×6×11¼ | 2710 | 18×7×14 | 3760 | | |

注：关于压配式实心轮胎尺寸标记的说明：第一数字表示轮胎的最大直径，in；第二数字表示轮圈宽度，in；第三数字表示实际轮辋直径，in。

## 五、标准负荷粘结式实心轮胎（用于非动力型工业载重车和拖车上）

最大时速：10mile

| 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf | 轮胎尺寸标记 | 最大负荷量，lbf |
|---|---|---|---|---|---|
| 6×2 | 400 | 4×3 | 500 | 6×4½ | 1090 |
| 7×2 | 450 | 6×3 | 680 | | |
| | | 8×3 | 840 | 5½×5 | 1150 |
| 6×2½ | 540 | 10×3 | 1000 | 6×5 | 1230 |
| 7×2½ | 600 | 12×3 | 1140 | 6½×5 | 1310 |
| 8×2½ | 660 | 14×3 | 1280 | 8×5 | 1530 |
| 10×2½ | 790 | | | | |
| | | 12×3½ | 1370 | 10½×6 | 2290 |
| 3¼×3 | 430 | | | | |
| | | 12×4 | 1610 | | |
| 3⅝×3 | 440 | | | | |

注 1.以上轮胎如用于动力型车上，其负荷量按上表减少15%。

2. 尺寸标记说明：第一数字代表轮胎总外径，in；第二数字代表轮辋宽度，in。

## 六、轮辋上有突棱的轮胎

最大时速：5mile

| 轮胎尺寸标记 | 轻负载最大负荷量 lbf | 重负载最大负荷量 lbf | | 轮辋尺寸 | 最大轮胎断面 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 中空的（半充气轮胎） | 中空的（半充气轮胎） | 实心轮胎 | mm | in |
| 5×1.75 | 60 | 90 | 145 | 5×1.75 | 1.75 |
| 6×2.00 | 90 | 140 | 200 | 6×2.00 | 2.00 |
| 8×2.00 | 110 | 170 | 250 | 8×2.00 | 2.00 |
| 10×2.00 | 130 | 200 | 290 | 10×2.00 | 2.00 |
| 12×2.00 | 145 | 220 | 325 | 12×2.00 | 2.00 |
| 8×2.50 | 145 | 220 | 350 | 8×2.50 | 2.60 |
| 10×2.50 | 165 | 255 | 390 | 10×2.50 | 2.60 |
| 10×2.75 | 185 | 285 | 440 | 10×2.75 | 2.75 |
| 10×3.00 | 205 | 315 | 485 | 10×3.00 | 3.15 |
| 12×3.00 | 230 | 350 | 540 | 12×3.00 | 3.15 |
| 16×4.00 | 405 | 625 | 950 | 16×4.00 | 4.15 |

注：如最大时速超过5mile(10mile以下)，上述最大负荷量减少20%，但不得超过10mile。

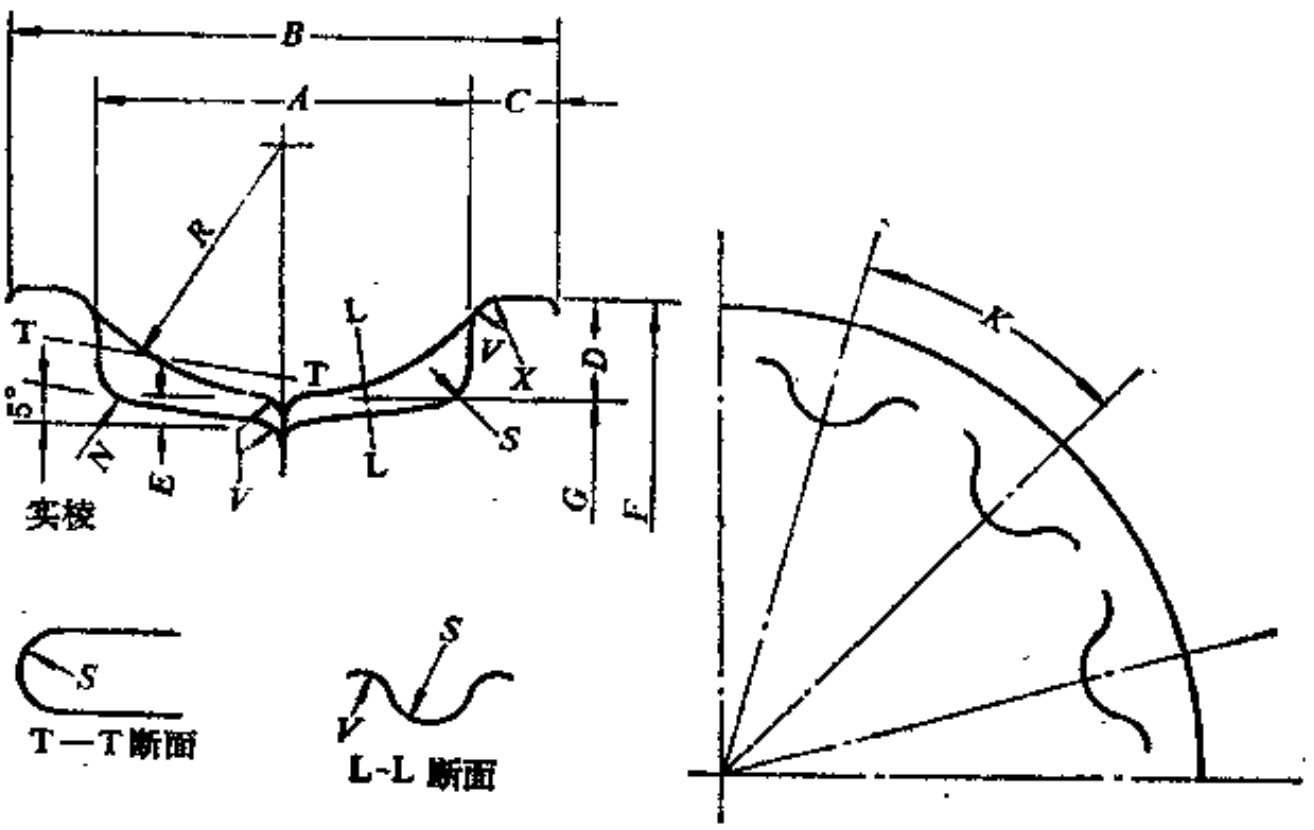
## 七、有突棱的轮辋尺寸

单位，in

| 轮辋尺寸 | *A* | *B* | *C* | *D* | *E* | *F* | *G* | *K* | *N* | *R* | *S* | *V* | *X* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5×1.75 | 0.875 | 1.313 | 0.219 | 0.250 | 0.125 | 2.500 | 2.000 | 45° | 7 | 0.625 | 0.156 | 0.125 | 0.094 |
| 6×2.00 | 1.125 | 1.563 | 0.219 | 0.300 | 0.125 | 3.063 | 2.463 | 30° | 11 | 0.750 | 0.188 | 0.125 | 0.125 |
| 8×2.00 | 1.125 | 1.563 | 0.219 | 0.300 | 0.156 | 4.500 | 3.900 | 22.5° | 15 | 0.750 | 0.156 | 0.125 | 0.125 |
| 10×2.00 | 1.125 | 1.563 | 0.219 | 0.300 | 0.156 | 6.500 | 5.900 | 18° | 19 | 0.750 | *0.156* | *0.125* | *0.125* |
| 12×2.00 | 1.125 | 1.663 | 0.219 | 0.300 | 0.156 | 8.500 | 7.900 | 15° | 23 | 0.750 | 0.156 | 0.125 | 0.125 |

续表

| 轮辋尺寸 | A | B | C | D | E | F | G | K | N | R | S | V | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8×2.50 | 1.375 | 2.063 | 0.344 | 0.400 | 0.125 | 4.063 | 3.263 | 30° | 11 | 1.000 | 0.188 | 0.125 | 0.188 |
| 10×2.50 | 1.375 | 2.063 | 0.344 | 0.400 | 0.125 | 5.500 | 4.700 | 30° | 12 | 1.000 | 0.188 | 0.125 | 0.188 |
| 10×2.75 | 1.375 | 2.125 | 0.375 | 0.400 | 0.093 | 5.540 | 4.740 | 45° | 8 | 1.125 | 0.188 | 0.125 | 0.188 |
| 10×3.00 | 1.750 | 2.563 | 0.344 | 0.500 | 0.125 | 5.000 | 4.000 | 30° | 12 | 1.250 | 0.188 | 0.125 | 0.250 |
| 12×3.00 | 1.750 | 2.563 | 0.344 | 0.500 | 0.125 | 7.000 | 6.000 | 30° | 12 | 1.250 | 0.188 | 0.125 | 0.250 |
| 16×4.00 | 2.250 | 3.563 | 0.532 | 0.700 | 0.126 | 9.000 | 7.600 | 22.5° | 16 | 1.750 | 0.250 | 0.125 | 0.375 |




# 附录2　欧洲轮胎和轮辋协会标准

## 一、工业用汽车和叉车的实心轮胎（推荐的英制尺寸）

| 轮胎尺寸标记 | | 负荷量，kgf | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 叉式起重车 | | | | 其它车辆 |
| | | 10km/h以下 | | 16km/h以下 | | |
| 以in标志 | 以mm标志 | 负载轮 | 操纵轮 | 负载轮 | 操纵轮 | 16km/h |
| 10 1/2 ×5×5 | 267×127×127 | 1100 | 900 | 980 | 825 | 780 |
| 10×6×5 | 267×152×127 | 1400 | 1150 | 1245 | 1050 | 1000 |
| 10×4×6 1/4 | 254×102×158.8 | 780 | 640 | 700 | 590 | 560 |
| 10×5×6 1/4 | 254×127×158.8 | 1030 | 840 | 915 | 770 | 730 |
| 10×6×6 1/4 | 254×152×158.8 | 1270 | 1040 | 1135 | 950 | 910 |
| 13 1/2 ×4 1/2 ×8 | 343×114×203.2 | 1150 | 940 | 1025 | 860 | 820 |
| 13 1/2 ×5 1/2 ×8 | 343×140×203.2 | 1510 | 1240 | 1345 | 1130 | 1080 |
| 16×5×10 1/2 | 406×127×266.7 | 1510 | 1240 | 1345 | 1130 | 1080 |
| 16×6×10 1/2 | 406×152×266.7 | 1910 | 1570 | 1710 | 1435 | 1360 |
| 16×7×10 1/2 | 406×178×266.7 | 2325 | 1910 | 2070 | 1740 | 1660 |

续表

| 轮胎尺寸标记 | [illegible] | 负荷量，kgf | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 叉式起重车 | | | | 其它车辆 |
| | | 10km/h以下 | | 16km/h以下 | | |
| 以in标志 | [illegible] | 负载轮 | 操纵轮 | 负载轮 | 操纵轮 | 16km/h |
| 18×5×12⅛ | [illegible] | 1810 | 1350 | 1470 | 1230 | 1170 |
| 18×6×12⅛ | 457×152×308 | 2100 | 1720 | 1870 | 1575 | 1500 |
| 18×7×12⅛ | 457×178×308 | 2650 | 2100 | 2280 | 1910 | 1820 |
| 18×8×12⅛ | 457×203×308 | 3000 | 2475 | 2680 | 2250 | 2150 |
| 18×9×12⅛ | 457×228×308 | 3450 | 2850 | 3090 | 2600 | 2475 |
| 22×5×16 | 559×127×406.4 | 1910 | 1570 | 1700 | 1430 | 1360 |
| 22×6×16 | 559×152×406.4 | 2450 | 2000 | 2180 | 1830 | 1740 |
| 22×7×16 | 559×178×406.4 | 2975 | 2450 | 2650 | 2230 | 2125 |
| 22×8×16 | 559×203×406.4 | 3500 | 2875 | 3130 | 2625 | 2500 |
| 22×9×16 | 559×228×406.4 | 4050 | 3325 | 3600 | 3025 | 2875 |
| 22×10×16 | 559×254×406.4 | 4575 | 750 | 4080 | 3425 | 3250 |
| 22×12×16 | 559×305×406.4 | 5625 | 4625 | 5030 | 4225 | 4025 |

## 二、工业用汽车和[illegible]车轮（非[illegible]的英制尺寸）

| 轮胎尺寸标记 | [illegible] | 负荷量，kgf | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 叉式起重车 | | | | 其它车辆 |
| | | 10km/h以下 | | 16km/h以下 | | |
| 以in标志 | [illegible] | 负载轮 | 操纵轮 | 负载轮 | 操纵轮 | 16km/h |
| 9×5×5 | 229×127×127 | 960 | 790 | 855 | 715 | 680 |
| 10½×5×6½ | 267×127×165.1 | 1070 | 880 | 960 | 810 | 770 |
| 10½×6×6½ | 267×152×165.1 | 1340 | 1100 | 1190 | 1000 | 950 |
| 10½×7×6½ | 267×178×165.1 | 1600 | 1310 | 1430 | 1200 | 1140 |
| 12×3½×8 | 305×89×203.2 | 760 | 620 | 675 | 565 | 595 |
| 12×5×8 | 305×127×203.2 | 1150 | 980 | 1065 | 890 | 850 |
| 13×3½×8 | 330×89×203.2 | 790 | 650 | 700 | 590 | 615 |
| 13×4½×8 | 330×114×203.2 | 1120 | 920 | 1000 | 840 | 800 |
| 13×5×8 | 330×127×203.2 | 1290 | 1060 | 1150 | 965 | 920 |
| 14×4½×8 | 356×114×203.2 | 1170 | 960 | 1045 | 875 | 830 |
| 15½×5×10 | 394×127×254 | 1470 | 1210 | 1315 | 1100 | 1050 |
| 15½×6×10 | 394×152×254 | 1870 | 1530 | 1665 | 1400 | 1330 |
| 17×6×11 | 432×152×279.4 | 2000 | 1650 | 1800 | 1510 | 1440 |
| 15×3½×11¼ | 381×89×285.8 | 890 | 730 | 800 | 670 | 700 |
| 15×5×11¼ | 381×127×285.8 | 1300 | 1140 | 1240 | 1040 | 990 |
| 16¼×5×11¼ | 413×127×285.8 | 1630 | 1250 | 1360 | 1145 | 1090 |
| 16¼×6×11¼ | 413×152×285.8 | 1920 | 1580 | 1715 | 1440 | 1370 |
| 16¼×7×11¼ | [illegible] | 2375 | 1900 | 260 | 1735 | 1650 |

续表

| 轮胎尺寸标记 | | 负荷量，kgf | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 叉式起重车 | | | | 其它车辆 |
| | | 10km/h以下 | | 16km/h下以 | | |
| 以in标志 | 以mm标志 | 负载轮 | 操纵轮 | 负载轮 | 操纵轮 | 16km/h |
| 16×4×12 1/8 | 406×102×308 | 1120 | 920 | 1000 | 840 | 800 |
| 17×4×12 1/8 | 432×102×308 | 1170 | 960 | 1050 | 875 | 830 |
| 17×4 1/2×12 1/8 | 432×114×308 | 1370 | 1130 | 1225 | 1030 | 980 |
| 17×5×12 1/8 | 432×127×308 | 1570 | 1290 | 1400 | 1180 | 1120 |
| 17×6×12 1/8 | 432×152×308 | 1980 | 1630 | 1770 | 1485 | 1410 |
| 21×5×15 | 533×127×381 | 1840 | 1510 | 1640 | 1385 | 1320 |
| 21×6×15 | 533×152×381 | 2350 | 1930 | 2100 | 1765 | 1680 |
| 21×7×15 | 533×178×381 | 2875 | 2350 | 2560 | 2150 | 2050 |
| 21×8×15 | 533×203×381 | 3375 | 2775 | 3025 | 2540 | 2425 |
| 21×9×15 | 533×229×381 | 3900 | 3200 | 3475 | 2920 | 2775 |
| 20×5×16 | 508×127×406.4 | 1740 | 1430 | 1560 | 1310 | 1250 |
| 20 1/4×7×16 | 515×178×406.4 | 2650 | 2175 | 2365 | 1990 | 1890 |
| 26×6×20 | 660×152×508 | 2775 | 2275 | 2470 | 2075 | 1975 |
| 26×7×20 | 660×178×508 | 3375 | 2775 | 3000 | 2525 | 2400 |
| 26×8×20 | 660×203×508 | 3975 | 3275 | 3550 | 2980 | 2850 |
| 26×10×20 | 660×254×508 | 5175 | 4250 | 4625 | 3880 | 3700 |
| 26×12×20 | 660×305×508 | 6375 | 5250 | 5700 | 4780 | 4550 |

## 三、工业用汽车和叉车的实心轮胎（公制尺寸标准）

| 轮胎尺寸标记 | 负荷量，kgf | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 叉式起重车 | | | | 其它车辆 | |
| | 10km/h以下 | | 16km/h以下 | | | |
| | 负载轮 | 操纵轮 | 负载轮 | 操纵轮 | 16km/h | 手拉车 |
| 150/60-100 | — | — | — | — | 160 | 265 |
| 160/50-100 | — | — | — | — | 170 | 285 |
| 160/75-100 | — | — | — | — | 280 | 465 |
| 200/75-100 | — | — | — | — | 345 | 575 |
| 180/50-120 | — | — | — | — | 185 | 310 |
| 180/75-120 | — | — | — | — | 305 | 510 |
| 230/60-120 | — | — | — | — | 265 | 440 |
| 230/75-120 | — | — | — | — | 375 | 625 |
| 200/50-140 | — | — | — | — | 200 | 335 |
| 250/75-140 | — | — | — | — | 400 | 670 |
| 250/90-140 | — | — | — | — | 520 | 865 |
| 250/100-140 | 765 | 625 | 680 | 575 | 545 | — |
| 250/180-140 | 1065 | 875 | 950 | 800 | 760 | — |
| 230/50-160 | — | — | — | — | 225 | 375 |
| 230/75-160 | — | — | — | — | 375 | 625 |
| 260/100-160 | 785 | 640 | 700 | 585 | 560 | — |

续表

| 轮胎尺寸标记 | 负荷量，kgf | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 叉式起重车 | | | | 其它车辆 | |
| | 10km/h以下 | | 16km/h以下 | | | |
| | 负载轮 | 操纵轮 | 负载轮 | 操纵轮 | 16km/h | 手拉车 |
| 265/150-160 | 1810 | 1080 | 1175 | 985 | 940 | — |
| 265/160-160 | 1420 | 1165 | 1265 | 1065 | 1015 | — |
| 280/160-160 | 1510 | 1240 | 1350 | 1135 | 1080 | — |
| 230/60-170 | — | — | — | — | 225 | 375 |
| 230/75-170 | — | — | — | — | 365 | 610 |
| 250/60-170 | — | — | — | — | 305 | 505 |
| 250/75-170 | — | — | — | — | 405 | 680 |
| 250/80-170 | — | — | — | — | 445 | 735 |
| 280/75-170 | — | — | — | — | 435 | 725 |
| 310/100-170 | 880 | 725 | 785 | 660 | 630 | — |
| 250/50-190 | — | — | — | — | 240 | 395 |
| 250/60-190 | — | — | — | — | 300 | 500 |
| 280/160-190 | — | — | — | — | 325 | 545 |
| 285/100-200 | 825 | 675 | 735 | 620 | 590 | — |
| 300/80-200 | — | — | — | — | 510 | 850 |
| 310/75-200 | — | — | — | — | 470 | 785 |
| 310/120-200 | 1135 | 930 | 1010 | 850 | 810 | — |
| 280/50-220 | — | — | — | — | 260 | 430 |
| 280/75-220 | — | — | — | — | 425 | 710 |
| 300/50-220 | — | — | — | — | 270 | 445 |
| 300/75-220 | — | — | — | — | 465 | 775 |
| 310/60-220 | — | — | — | — | 350 | 585 |
| 310/120-220 | 1105 | 905 | 985 | 830 | 790 | — |
| 405/160-250 | 2045 | 1680 | 1825 | 1530 | 1460 | — |
| 360/60-270 | — | — | — | — | 395 | 655 |
| 360/75-270 | — | — | — | — | 535 | 895 |
| 360/85-270 | — | — | — | — | 635 | — |
| 450/150-270 | 2020 | 1660 | 1800 | 1515 | 1445 | — |
| 400/65-305 | — | — | — | — | 475 | 790 |
| 400/75-305 | — | — | — | — | 580 | 965 |
| 405/130-305 | 1510 | 1240 | 1350 | 1135 | 1080 | — |
| 415/90-305 | — | — | — | — | 670 | — |
| 415/100-305 | 1115 | 915 | 1000 | 835 | 795 | — |
| 425/150-305 | 1910 | 1570 | 1700 | 1435 | 1365 | — |
| 455/100-305 | 1155 | 950 | 1030 | 865 | 825 | — |
| 460/160-305 | 2250 | 1845 | 2000 | 1685 | 1605 | — |
| 450/80-370 | — | — | — | — | 685 | — |
| 450/90-370 | — | — | — | — | 795 | — |
| 500/85-370 | — | — | — | — | 785 | — |
| 520/100-370 | 1275 | 1050 | 1140 | 955 | 910 | — |
| 525/120-370 | 1675 | 1375 | 1500 | 1260 | 1200 | — |
| 530/90-370 | — | — | — | — | 835 | — |
| 500/65-410 | — | — | — | — | 656 | 940 |

续表

| 轮胎尺寸标记 | 负荷量，kgf | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 叉式起重车 | | | | 其它车辆 | |
| | 10km/h以下 | | 16km/h以下 | | | |
| | 负载轮 | 操纵轮 | 负载轮 | 操纵轮 | 16km/h | 手拉车 |
| 520/85-410 | — | — | — | — | 830 | — |
| 540/85-410 | — | — | — | — | 830 | — |
| 650/120-410 | 1750 | 1440 | 1565 | 1315 | 1250 | — |
| 550/160-410 | 2550 | 2100 | 2280 | 1915 | 1825 | — |
| 560/100-410 | 1350 | 1110 | 1205 | 1015 | 965 | — |
| 590/120-410 | 1780 | 1460 | 1590 | 1335 | 1270 | — |
| 610/150-410 | 2505 | 2055 | 2235 | 1880 | 1790 | — |
| 620/200-410 | 3790 | 3110 | 3380 | 2840 | 2705 | — |
| 645/250-410 | 4810 | 3930 | 4180 | 3430 | 3125 | — |
| 645/300-410 | 6060 | 4960 | 5275 | 4330 | 3935 | — |
| 645/150-180 | 2900 | 2380 | 2590 | 2175 | 2070 | — |
| 645/200-480 | 3865 | 3175 | 3450 | 2900 | 2760 | — |
| 700/100-500 | 1405 | 1155 | 1250 | 1050 | 1005 | — |
| 760/250-500 | 5440 | 4450 | 4730 | 3885 | 3530 | — |
| 780/200-555 | 4485 | 3685 | 4000 | 3365 | 3205 | — |
| 790/150-555 | 2920 | 2400 | 2610 | 2190 | 2085 | — |
| 825/200-555 | 4575 | 3760 | 4080 | 3430 | 3270 | — |
| 830/130-670 | 2575 | 2115 | 2300 | 1930 | 1840 | — |
| 905/150-670 | 3235 | 2655 | 2890 | 2425 | 2310 | — |
| 940/200-670 | 5045 | 4145 | 4500 | 3780 | 3600 | — |

## 四、安装于充气轮胎轮辋上的实心轮胎（用于工业叉车上）

| 轮胎尺寸标记 | 相当于充气轮胎的帘布层级 | 轮辋 | 轮胎最大尺寸，mm | | 负荷量，kgf | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 宽度 | 直径 (±2%) | 叉式起重车 25km/h以下 负载轮 | 叉式起重车 25km/h以下 操纵轮 | 其它车辆 25km/h以下 | 其它车辆 10km/h以下 | 其它车辆 6km/h以下 |
| 3.00-4/2.10 | 4 | 2.10-4 | 87 | 250 | 260 | 195 | 195 | 235 | 260 |
| 4.00-4/2.50 | 6 | 2.50C-4 | 116 | 306 | 530 | 405 | 405 | 485 | 530 |
| 5.00-8/3.00 | 10 | 3.00D-8 | 143 | 458 | 1390 | 1070 | 1070 | 1260 | 1390 |
| 6.00-9/4.00 | 12 | 4.00E-9 | 173 | 529 | 1840 | 1420 | 1420 | 1675 | 1840 |
| 6.50-10/5.00 | 14 | 5.00F-10 | 191 | 576 | 2310 | 1780 | 1780 | 2100 | 2310 |
| 7.00-12/5.00 | 16 | 5.00S-12 | 207 | 657 | 2920 | 2240 | 2240 | 2640 | 2930 |
| 7.00-15/5.50 | 12 | 5.5-15 | 213 | 731 | 3500 | 2690 | 2690 | 3165 | 3500 |
| 7.50-10/5.50 | 16 | 5.50F-10 | 224 | 632 | 3000 | 2310 | 2310 | 2725 | 3000 |
| 7.50-15/6.00 | 16 | 6.0-15 | 229 | 757 | 3880 | 2980 | 2980 | 3510 | 3880 |
| 8.25-15/6.50 | 18 | 6.5-15 | 253 | 819 | 4750 | 3650 | 3650 | 4300 | 4750 |
| 8.25-20/6.50 | 14 | 6.5-20 | 253 | 961 | 4800 | 3675 | 3675 | 4335 | 4820 |
| 7-9/5.00 | 10 | 5.00S-9 | 188 | 651 | 2310 | 1780 | 1780 | 2100 | 2310 |
| $22\times4\frac{1}{2}$/3.11 | 4 | 3.11F-13 | 143 | 583 | 1045 | 805 | 805 | 950 | 1045 |

续表

| 轮胎尺寸标记 | 相当于充气轮胎的帘布层级 | 轮辋 | 轮胎最大尺寸,mm | | 负荷量, kgf | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 宽度 | 直径 | 叉式起重车 | | 其它车辆 | | |
| | | | | | 25km/h以下 | | 25km/h | 10km/h | 6km/h |
| | | | | (±2%) | 负载轮 | 操纵轮 | 以下 | 以下 | 以下 |
| 23×5/3.75 | 6 | 3.75P-13 | 167 | 622 | 1470 | 1135 | 1135 | 1340 | 1470 |
| 25×6/3.75 | 8 | 3.75P-13 | 184 | 666 | 2200 | 1695 | 1695 | 2000 | 2200 |
| 15×4$\frac{1}{2}$-8/3.25 | 12 | 3½I-8 | 132 | 377 | 1040 | 800 | 800 | 940 | 1040 |
| 16×6-8/4.33 | 10 | 4.33R-8 | 164 | 417 | 1260 | 970 | 970 | 1145 | 1250 |
| 18×7-8/4.33 | 14 | 4.33R-8 | 187 | 453 | 2130 | 1640 | 1640 | 1940 | 2180 |
| 21×8-9/6.00 | 16 | 6.00E-9 | 216 | 524 | 2750 | 2120 | 2120 | 2505 | 2750 |
| 23×9-10/6.50 | 18 | 6.50E-10 | 243 | 583 | 3160 | 2430 | 2430 | 2875 | 3160 |
| 27×10-12/8.00 | 16 | 8.00G-12 | 275 | 676 | 3810 | 2935 | 2935 | 3465 | 3810 |
| 28×9-15/7.00 | 12 | 7.0-15 | 233 | 693 | 3360 | 2585 | 2585 | 3060 | 3360 |
| 300×15/8.00 | 18 | 8.0-15 | 324 | 823 | 5725 | 4410 | 4410 | 5210 | 5725 |

# 第四篇　翻修轮胎

## 概　　述

轮胎翻修是最能体现综合利用和节约能源的一种工业，也是橡胶工业的一个重要支柱和特殊部门。轮胎翻修是轮胎制造的延伸和再加工，它具有很大的社会经济效益，在国民经济中占有重要的地位，与轮胎制造一样，都是工农业交通运输所不可缺少的行业。

轮胎翻修工业的加工对象是胎面花纹基本磨光不适于继续使用和部分早期损坏的轮胎。它的产品分类与新胎一样，按用途分有轿车轮胎、载重汽车轮胎、农业轮胎、工程机械轮胎、航空轮胎及其它各种用途的轮胎；按骨架材料分有尼龙轮胎、钢丝轮胎、人造丝轮胎和聚酯轮胎等；按胎体结构分为斜交轮胎和子午线轮胎；按有无内胎分为有内胎轮胎和无内胎轮胎。所不同的是在上述各类产品名称前，冠以翻修或修补名称。对于翻新轮胎的基本要求有4点。第一是安全可靠。即在使用中保证安全可靠，不能因为翻修轮胎质量不好而引起任何事故，为此，对旧胎胎体强度必须有严格的要求。根据生产实践，在选择旧胎体时，因达不到规定的标准而报废的为数较多，其中除旧胎经过多次翻新，属于正常报废外，还有一些旧胎因骨架材料及制造质量不佳，使用保养不善，致使旧胎胎体失去翻新条件。另一方面，翻新施工质量对于安全可靠性的影响也至关重要。第二是产品质量高。它包括二个方面：使用质量与外观质量。使用质量又集中表现为行驶里程或使用寿命，通常以实际行驶里程数字及其相当于新胎行驶里程的百分比来表示，行驶里程高可以降低轮胎费用。此外，降低翻新胎的滚动阻力，可以减少车辆的油料消耗；减少翻新胎的不平衡度并提高缓冲性能，以增加舒适性。翻新胎的外缘尺寸必须达到产品标准中规定的范围。在外观质量上，各种缺陷不能超过产品标准中规定的限度，并尽可能使其外观美化。第三是售价低。轮胎费用在运输成本中占有相当大的比重。翻新胎售价低，对工农业交通运输部门具有极大的吸引力，同时也利于翻胎企业的发展。降低售价的前提是降低成本。为此，翻胎企业要不断地采用先进技术与装备，改善管理方法，加强综合利用等，来实现这一目标。从工农业交通运输部门降低轮胎费用的要求出发，在加强新胎胎体强度的基础上，努力提高使用和保养水平，使一次翻新后能继续多次翻新，不但使用部门受益，而且也能大幅度地增大社会效益。同时，翻胎企业在翻修中必须采用各种先进技术以保持原有旧胎胎体强度，实现多次翻新和提高行驶里程。第四是施工周期短。目前实行的制度是由用胎单位将旧胎送到翻修企业翻修，而后原胎取回。所以施工周期的长短与用胎单位的轮胎周转有密切的关系，它不仅体现了翻胎企业的管理水平，而且也是企业服务质量的重要标志之一。缩短施工周期能加快工农业和交通运输部门的轮胎周转，使换胎及时，提高出车率。为此必须加强生产调度，提高设备利用率，从技术上、管理上制定相应的制度，以适应送翻旧胎规格变化大情况复杂的特点，尽量缩短从旧胎进厂到出厂的时间，为工农业交通运输提供最好的服务。

轮胎翻修工业的加工分为二类，一是翻新，另一是修补。轮胎翻新系指将胎面花纹已基本磨平不宜继续使用的旧胎，经过选胎，磨胎、涂胶、贴胎面、硫化等主要工序加工后，在胎体行驶面上更换一个与原胎相似的新胎面，以恢复其使用价值，这种轮胎称为翻新轮胎。

轮胎修补系指轮胎在使用中，发生各种不同程度的损伤，如穿洞、疤伤、钉眼等，但胎面花纹还保留有一定的深度，这时需要进行修补，针对不同的损伤采用不同的修补方法及相应的材料，修好后的轮胎称为修补轮胎。若送翻的旧胎既要翻新又要修补者，其施工后的轮胎称为翻修轮胎。

轮胎翻新的基本形式有3种，即胎翻新、顶翻新和全翻新（见图1）。我国目前肩翻新轮胎的产量约占65%，但顶翻新轮胎能节约更多的橡胶，正广泛受到重视，产量也在逐步增长。全翻新轮胎因耗胶量最多，也最费工时，外观虽较美观，但成本高，售价昂贵。

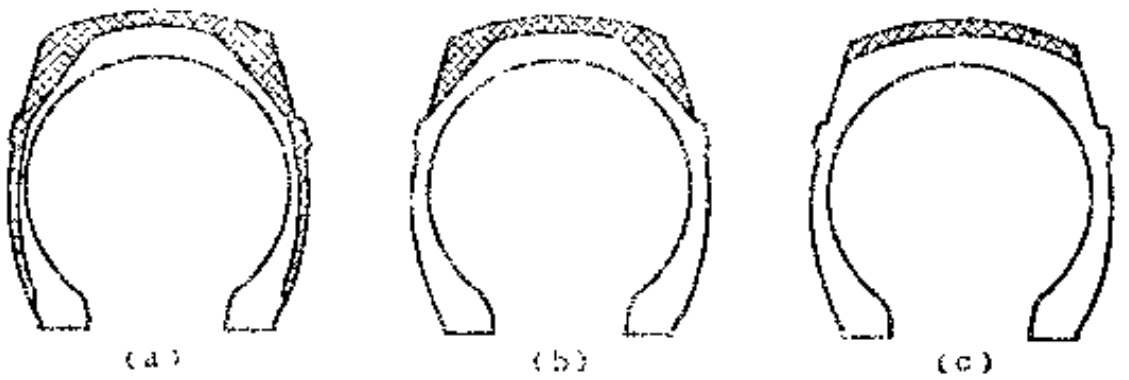



图 1　轮胎翻新的基本形式（图中阴影部分为翻新部位）
（a）全翻新；（b）肩翻新；（c）顶翻新

轮胎翻新的基本工艺一般分为传统法与预硫化胎面法二大类。前者系将旧胎削磨后，在胎体上贴上胎面，然后压合，或者将胶条送入冷喂压出机，把压出的热胶条直接绕贴在胎体上，制成一个胎面，最后放入整圆硫化机内硫化。胎面贴合又有冷贴与热贴之分，冷贴系指压出的热胎面经过冷却、停放，再贴到胎体上，压出与贴合是间断分开的；而热贴是将压出的热胎面，直接贴到胎体上，压出与贴合两部分组成一个联动生产线。传统法翻新轮胎的硫化均在整圆硫化机内进行。对于特殊大型轮胎（如工程机械轮胎等）的翻新，经削磨后一般均用绕贴法制成胎面，然后在胎面上刻出所需要的花纹，再放入硫化罐内硫化。预硫化胎面翻胎工艺基本上与传统法的相同，所不同的是将压出的胎面在专用的设备上硫化（这种已硫化并带有花纹的胎面称为预硫化胎面）。将预硫化胎面用粘合胶浆及胶片粘贴到胎体上，然后加上包封套，放入硫化罐或硫化机内进行第二次硫化。由于第二次硫化温度在100℃左右，故又称之为低温翻胎法。用预硫化胎面翻胎法翻新出来的轮胎耐磨性能好，行驶里程高，胎面抗刺扎，又因在较低温度下硫化，能增加翻新次数，但其选胎要求较高而且严格，需要有充足的合格的胎源。目前我国环状及条状的预硫化胎面均有生产，其产量正在逐步增长中。

由于轮胎的损伤情况多种多样，而且在轮胎的各个部位都可能发生，因此轮胎的修补工作比较复杂。轮胎损伤一般概括为洞、疤、钉三种情况，应根据其所在部位采取不同的修补技术和处理方法，同时在施工中绝不允许任意扩大损伤范围，以确保修补质量。对于使用部门则要求当轮胎发生损伤时，无论大小都应立即采取措施进行临时性修补或送翻修厂修补，不能拖延，否则轮胎损伤处在继续使用中会迅速扩大，最后造成无法修补直至报废，尤其是翻新过的轮胎更应及时修补以保证翻新胎面继续发挥作用。

轮胎翻新所用胶料和花纹板设计对翻修轮胎的使用质量具有重要的作用。轮胎不同部位的胶料具有不同的使用性能，为了实现这些要求，需采用新型优质的原材料与设计合理的配方，以及正确的炼胶工艺方法。花纹板的设计不但要求使翻新轮胎的外缘尺寸与新轮胎相

近，而且还要正确选取胎面花纹以满足使用要求。轮胎翻修所用机工具的设计，必须适用于一定的轮胎规格，防止轮胎的变形。保持胎体有足够的强度。

翻修轮胎的检验，目前仍采用敲听法。对于少数品种（如翻新航空轮胎等）均使用先进的精密仪器进行检验，如全息照相法、X光机等，超声波检验方法也引起了人们的重视。

轮胎翻修工业历来以节约能源和原材料，具有很大的社会经济效益而著称。轮胎翻修工业发达的国家对于其能节约大量能源的作用均有明确的认识，这是因为制造大量新轮胎所使用的主要原材料如合成橡胶、合成纤维帘布、炭黑及各种有机助剂等都是以石油为基础原料制成的。翻新轮胎所使用的原材料，除不使用合成纤维帘布外，在合成橡胶和炭黑等的使用方面与新轮胎相类似，但翻新一条轮胎的用量却比制造一条新轮胎的用量少得多，因此能节约大量能源，根据美国资料，列表（表1）说明如下：

表 1 每条新轮胎与翻新轮胎石油用量表

单位：L（U. S. gal）

| 轮胎类别 | 新 轮 胎 | 翻新轮胎 | 节约石油用量 |
|---|---|---|---|
| 轿车轮胎 | 27(7.0) | 9.5(2.5) | 17(4.5) |
| 载重汽车 | 106(28.0) | 27(7.0) | 79.6(21.0) |

根据我国情况，轮胎翻新的节约数量是以生胶为基数来统计的，包括天然橡胶和合成橡胶，其中有一部分还需要进口以弥补不足。当前无论是新轮胎或是翻新轮胎，每条胎橡胶的用量与国外相比一般都偏低，这就说明还存在着较大的节约石油的潜力。除生胶外，还有以石油为基础原料制成的炭黑及各种有机助剂等。今以9.00-20 14PR载重轮胎为例，比较新轮胎和翻新轮胎每条所用的生胶、炭黑及各种有机助剂数量，列于表2中。

表 2 9.00-20PR新轮胎和翻新轮胎主要原料用量对比

单位kg/条

| 原材料种类 | 新 轮 胎 | 传统法翻新轮胎 | | 节约数量及百分比 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 肩 翻 | 顶 翻 | 肩 翻 | | 顶 翻 | |
| | | | | 重 量 | 百分比，% | 重 量 | 百分比，% |
| 生胶 | 20.8 | 6.7 | 5.36 | 14.10 | 67.78 | 15.44 | 74.23 |
| 炭黑 | 9.37 | 3.725 | 2.784 | 5.645 | 60.25 | 6.586 | 70.29 |
| 有机助剂等 | 3.733 | 1.896 | 0.663 | 2.837 | 75.99 | 3.07 | 80.24 |
| 合成纤维帘布 | 3.811 | 0 | 0 | — | — | — | — |
| 胎圈钢丝 | 1.926 | 0 | 0 | — | — | — | — |

从表2可以看出，9.00-20肩翻新轮胎的生胶用量仅为同规格新轮胎的1/3；顶翻新轮胎更少，只有1/4，节约生胶量十分显著，炭黑及有机助剂的节约也有类似的比例。在价格上，9.00-20肩翻新轮胎的售价还不及同规格新轮胎的1/5，包括修补费在内，其售价也只有新轮胎的1/4左右。顶翻新轮胎的售价就更低了。在轮胎行驶里程上，由于涉及到路面、气候，使用与保养条件及新胎胎体质量、轮胎翻新与修补质量等多种因素，同时我国地域辽阔，使用情况复杂，因此各地区之间的轮胎行驶里程差异较大。一般说来，用传统法翻新的轮胎，平均行驶里程可达3.5～7万公里，为同地区同规格新轮胎的50～60%；在城市中使用的翻新

轮胎平均行驶里程达到15万公里以上，为同地区同规格新轮胎的80～100%。此外翻新轮胎还可起到平衡市场的作用。因此加强对轮胎早期损伤的及时补修，对节约能源、降低轮胎费用，以及为今后翻新提供良好的胎体都有直接关系。

随着国产子午线轮胎的生产，翻修子午线轮胎的生产技术工作正在深入进行。生产企业通过学习国外先进技术、引进先进设备，正有计划有步骤地进行技术和设备改造，使企业在产品产量、品种、成本、节约能源等方面，缩小同国外的差距，把我国的翻胎技术提高到一个新的水平。

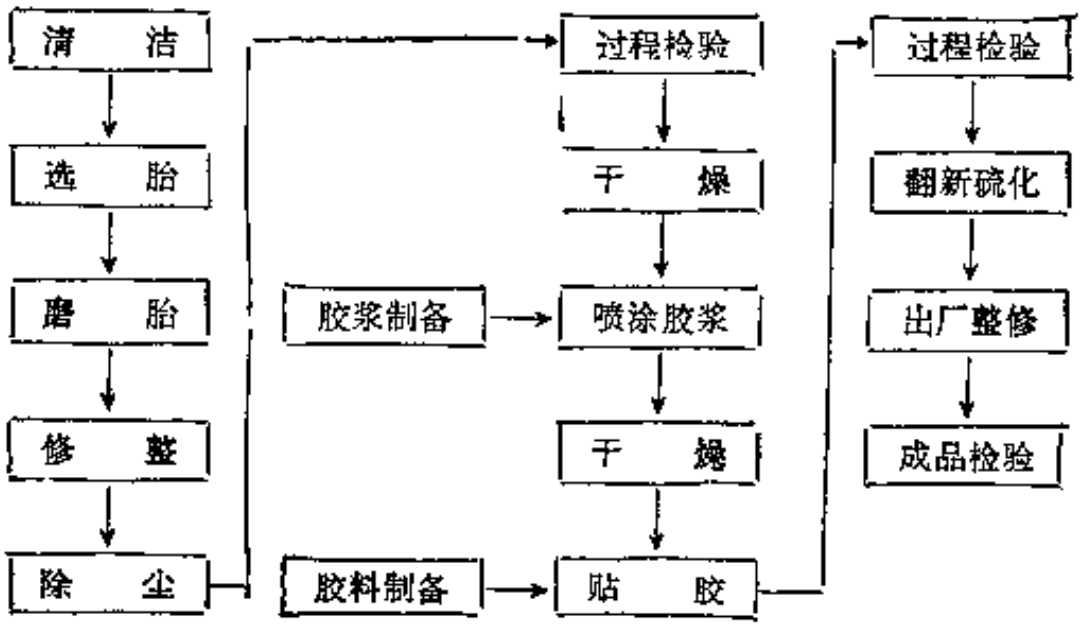
# 第一章　翻新轮胎

## 第一节　翻新斜交轮胎

### 一、翻新斜交轮胎基本工艺流程

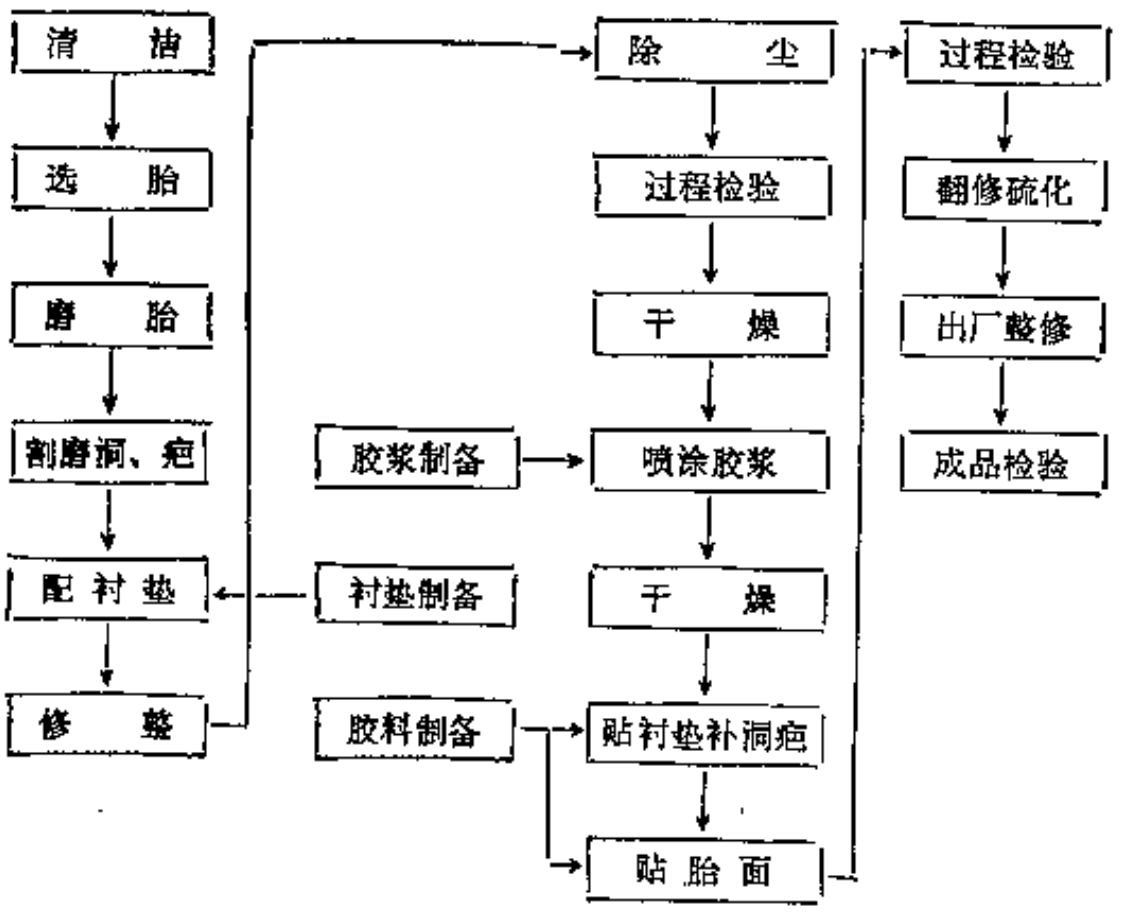
**1．翻新轮胎工艺流程**

**翻新轮胎工艺流程如下。**

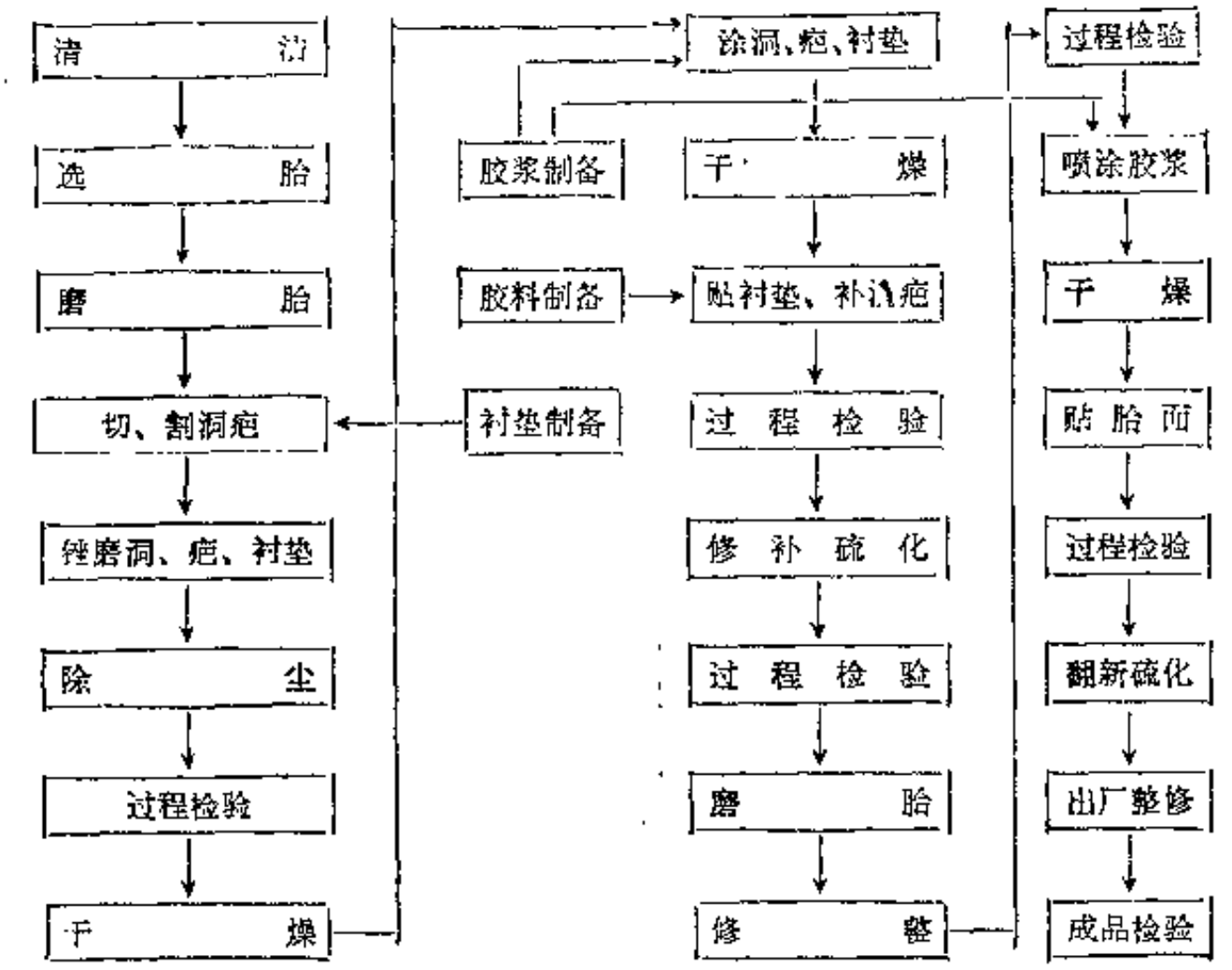



**2．翻新加修补工艺流程**

**（1）翻新和修补一次硫化工艺流程**



（2）翻新和修补分二次硫化工艺流程




## 二、翻新斜交轮胎工艺简述

### （一）清洁

1．清洁的作用

进厂轮胎在施工前必须经过清洁处理，把轮胎内外以及嵌入花纹沟或刺入胎面的石子等杂物清除干净。其作用如下：

① 保证施工安全；

② 改善作业卫生条件；

③ 防止污染加工表面影响翻新质量。

2．清洁的方法

通常用清水洗刷轮胎。用人工或用洗胎机清洗，清洗后排除胎内积水。如胎内积有冰雪，先送入干燥室待冰雪融化后再清洗。清洗后的轮胎用布擦净水分并晾干。

3．钢丝轮胎的清洗

用钢丝作骨架材料的轮胎，不用水清洗，以防钢丝生锈，可进行干洗；也可使用带刷子的磨胎机干洗。

### （二）选胎

1．选胎标准

（1）选胎标准的依据　选胎标准的依据有企业技术条件、轮胎状况和用户要求。根据轮胎结构的不同，对于载重汽车、轻型载重汽车及轿车轮胎的选胎标准分斜交胎体及子午线胎体二种，此外根据轮胎的完好程度与翻新后的使用价值又分为甲、乙二级。农业、工程机械、林业、工业及畜力车轮胎则不分等级，但选胎标准必须保证技术可靠，经济合理。根据翻新修补轮胎国家标准，斜交轮胎翻新选胎标准如下。

甲级翻新胎体必须符合下列条件。

① 胎面中部剩余花纹不低于2mm，局部磨损不得伤及缓冲层。

② 胎体无脱层，胎里不允许有辗线跳线。

③ 胎侧不允许有老化裂纹情况。

④ 胎侧胶机械损伤裂口在两处以下，且深度不得超过1mm。

⑤ 胎肩胎侧胶与帘布层间不允许有脱空。

⑥ 胎圈包布不得有机械损伤或较严重磨损，胎圈不允许有变形。

⑦ 胎冠允许有穿洞（包括损坏50%胎体层数以上者），最大尺寸和数量见表4-1-1。

**表 4-1-1 胎冠允许穿洞最大尺寸和数量**

| 轮胎规格 | 胎冠穿洞长度 mm | 穿洞数量，个 | 轮胎规格 | 胎冠穿洞长度 mm | 穿洞数量，个 |
|---|---|---|---|---|---|
| 5.00-12～6.00-16 | 5 | 不超过 2 | 9.00-20～11.00-20 | 30 | 不超过 2 |
| 6.50-16～7.00-20 | 20 | 不超过 2 | 12.00-20～14.00-20 (12.00-24) | 35 | 不超过 3 |
| 7.50-20～8.25-20 | 25 | 不超过 2 | | | |

注：1. 穿洞长度系指洞口底部尺寸。
2. 两洞间距不得小于100mm。
3. 上述条件只适用于第一次翻新轮胎。

乙级翻新胎体必须符合下列条件：

① 胎面中部花纹磨平，缓冲层允许局部有磨损；

② 胎体无脱层，胎里允许有轻微辗线、跳线；

③ 胎侧有轻微老化裂纹，但不得深及帘布层；

④ 胎肩胎侧胶与帘布层间允许有局部脱空，长度不超过1/5圆周；

⑤ 胎圈包布允许有轻微机械损伤及磨损，但胎圈不允许有变形；

⑥ 胎体允许穿洞（包括损坏50%胎体层数以上）最大尺寸见表4-1-2。

**表 4-1-2 胎体穿洞允许最大尺寸**

| 项目 \ 轮胎类别 | 轿车及轻型载重汽车轮胎 | 载重汽车轮胎 |
|---|---|---|
| "—" 形洞口 | 不超过同规格新胎断面宽度的40% | 不超过同规格新胎断面宽度的80% |
| "○" 形洞口 | 不超过同规格新胎断面宽度的20% | 不超过同规格新胎断面宽度的40% |
| "×" 形洞口 | 不超过同规格新胎断面宽度的30% | 不超过同规格新胎断面宽度的60% |
| 洞口总长（包括损坏50%胎体层数以上者） | 不超过同规格新胎断面宽度的100% | 不超过同规格新胎断面宽度的180% |

注：1. 洞口长度系指洞口底部尺寸。
2. 洞口底部宽度超过其洞口底部长度50%者，按"○"形洞处理，"×"形洞口短缝长度不超过长缝长度40%者，按"—"形洞处理。
3. 两洞间距不得不小于100mm，否则按一个穿洞计算，其长度应包括两洞之间的距离。
4. 洞口总长度包括前一次修补洞口的长度。
5. 从胎内测量，胎趾至破损处最短距离不小于70mm。
6. 翻修过一次以上的轮胎只能列为乙级翻新胎体。

2. 选胎的任务

选胎的任务主要有以下二项：

① 全面掌握轮胎技术状况，合理制定轮胎翻修的可能性和社会及企业经济效益；

② 确定可翻新轮胎的等级、施工范围和施工要求。

3．对选胎人员的要求

对选胎人员有以下几方面的要求：

① 熟悉轮胎选胎标准、成品标准、本企业工艺操作规程以及其它有关规定；

② 了解轮胎的性能、构造、特征及损坏原因；

③ 熟练地运用敲听技巧，准确地判断轮胎内部损坏情况；

④ 熟练地使用检验设备和各种检验工具。

4．确定施工要求

根据轮胎技术状况，确定施工要求和方法，见表4-1-3。

表 4-1-3 翻新轮胎施工要求

| 项 次 | 轮 胎 状 况 | 施工要求 | 施 工 方 法 |
|---|---|---|---|
| 1. | 胎面中部花纹磨平，基部胶、胎体、胎肩完好 | 顶翻或肩翻 | 只磨表面层 |
| 2. | 胎面磨损达缓冲层，未伤帘布层，胎肩完好 | 顶翻或肩翻 | 磨去磨蚀部分，尽量保留橡胶层 |
| 3. | 胎面橡胶磨损至帘布层但胎肩完好 | 顶翻或肩翻 | 磨去磨蚀部分，尽量保留橡胶层，填补损伤部位，一次硫化 |
| 4. | 胎肩橡胶与帘布层脱离，胎侧开裂深达帘布层，胎面磨损，胎肩部位洞疤较多 | 肩翻 | 磨去胎面胎肩磨蚀部分，填补损伤部位，一次硫化及边疤硫化 |
| 5. | 胎面整圈开裂深达缓冲层或帘布层；两胎肩花纹块下或缓冲层下有连续小点脱空或整圈脱离；胎面磨损不正常 | 提前翻修 | 磨去磨蚀部分，修补损伤部位，一次硫化 |
| 6. | 胎面磨损穿洞较大 | 先修复穿洞后顶翻或肩翻 | 先修补穿洞局部硫化再翻新硫化 |

5．检验方法

（1）手工检验方法　用手工检验轮胎时，要用扩胎设备将轮胎胎圈张开，以便于检查并有助于取得较好的检查效果。

a．分别按胎面、胎圈和胎体顺序检查，查出所有损伤并画上明显标记。

b．用验胎小锤敲击胎体，判定胎体坚实程度及有无脱空、脱层现象，并标出其部位和范围。

c．测量轮胎外缘直径、断面外缘周长，断面宽和行驶面宽；确定翻新施工尺寸。

（2）检验设备和仪器　检验轮胎的设备和仪器对轮胎不产生变形影响，不损坏其结构，不破坏其性能，称无损探伤设备。用于检验轮胎者，有以下几种。

a．超声波探伤器　它是用高频率声波来探测胎体帘布层脱空和断裂现象。如存在暗伤，超声波通过时即受到阻碍，由于橡胶与空气的抗声阻相差很大，暗伤处即可在仪表上显示出来。接受器有的安装在磨胎机上，操作方便，效率高。

b．X射线机　适用于检查钢丝子午线轮胎，可以检查金属帘线的排列和损伤。

c．激光全息照相法　利用激光束在常压或真空状态下的光线干涉原理，用激光束照射轮胎，遇到轮胎内有微小变化的部分时就会出现紊乱的干涉条纹，从而发现内部缺陷。激光全息照相法准确度高，但费用昂贵，多用于要求很严格的轮胎检测，如用于航空轮胎的检测。

### （三）磨胎

1．锉磨的目的

① 除去旧表面橡胶氧化层，并使翻新轮胎具有规定的断面形状和外缘尺寸。

② 锉磨出新鲜洁净表面，使之具有良好的化学活性，提高锉磨面与未硫化胶的浸润能力。

③ 使硫化后的结合面获得良好的粘合强度和抗剪切变形的能力。

2．锉磨沟纹形状

锉磨沟纹表面形状为凸凹相间的细密沟纹，通称锉缝。它的粗细、形状及锉缕疏密分布对新老胶的粘合强度和抗剪切变形的关系密切，主要有以下二点。

① 锉磨面锉缝的表面总面积　锉缝的表面总面积越大，锉磨面新旧胶间的粘合力也越大。

② 锉缝的形状　锉缝断面形状有半圆形、半圆锥形、圆锥形及棱锥形。其中以半圆形和半圆锥形的锉缝所得的表面积最大。为其它形状表面积的1.5～1.9倍，粘合强度也最好。

3．锉磨的刀具

（1）异形锯齿磨片及磨轮　形状如折纸扇面，每4～5片拼成一个圆周，用5～15层组成一个磨轮。磨轮见图4-1-1，磨片见图4-1-2。

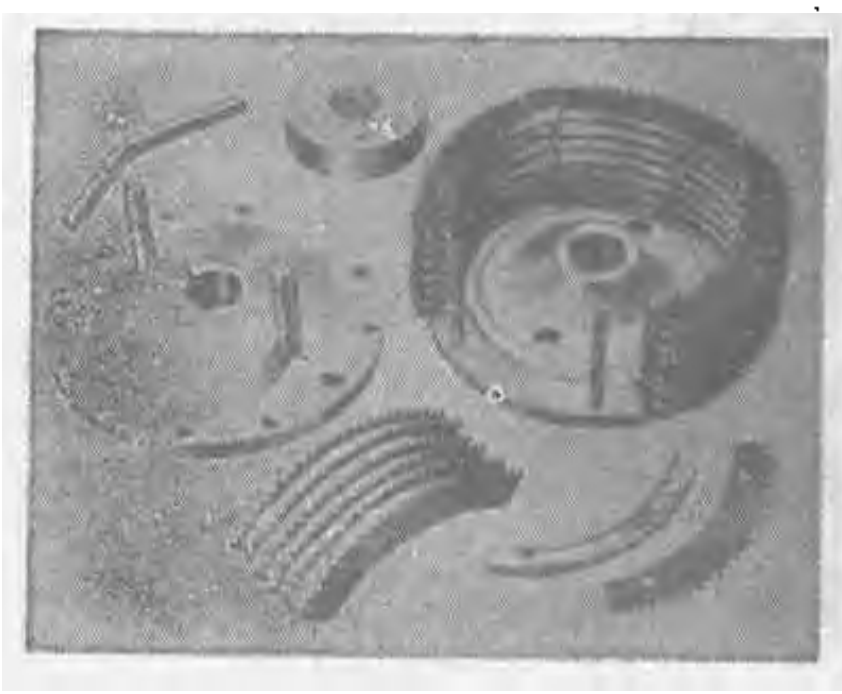


图 4-1-1　磨轮组合图

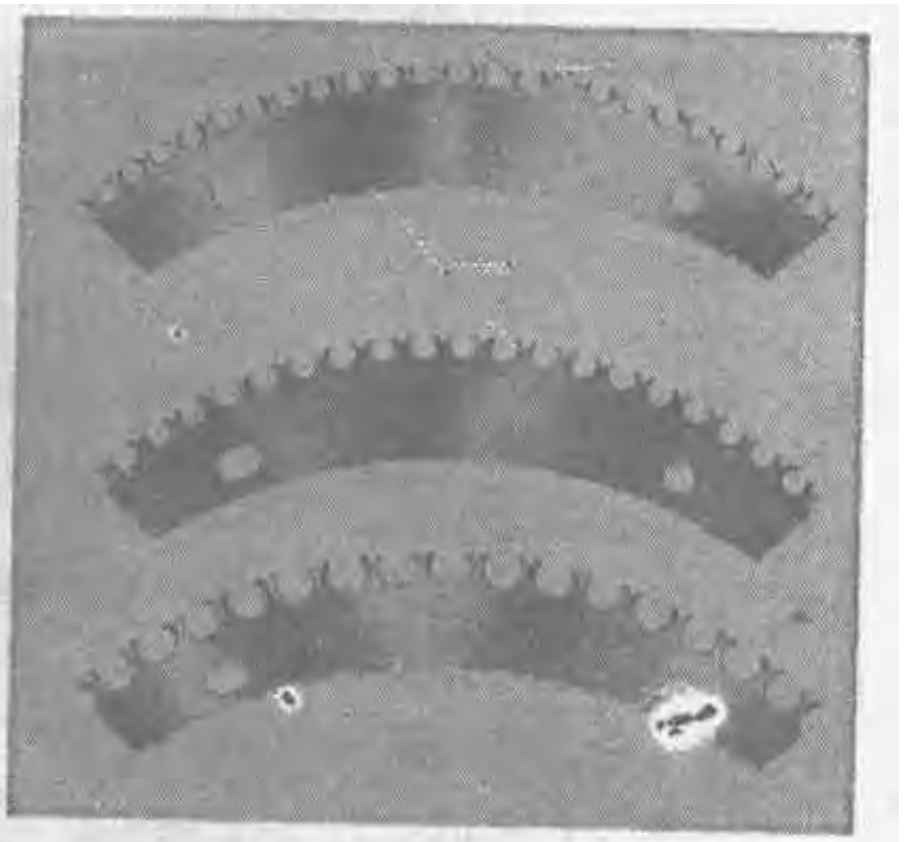


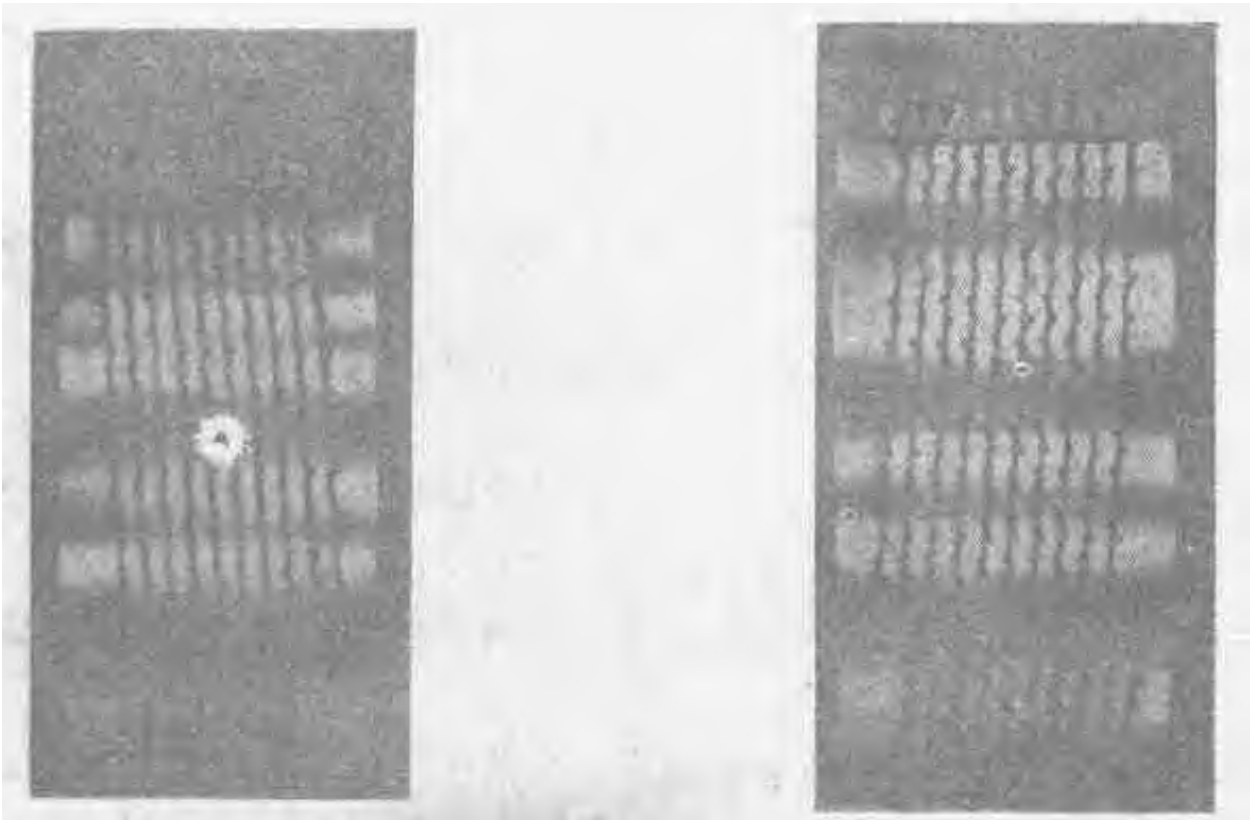
图 4-1-2　异形锯齿磨片

异形锯齿磨片散热快，刃口锋利，磨胎时胎面不易发生焦烧，锉磨出来的锉缝使粘合质量最好，更换磨片方便。异形锯齿磨片根据磨片排列的方式不同，可以组合成以下三种磨轮。

a．无螺旋磨轮　用于磨轮的旋转方向与轮胎旋转方向成90°相交的磨胎设备。磨片排列与磨轮旋转方向平行。

b．规则螺旋磨轮　安装在磨轮上的磨片与磨轮的旋转方向呈15°夹角。用于轮胎与磨轮旋转方向相同的设备，见图4-1-3(b)。

c．不规则螺旋磨轮　安装在磨轮上的磨片与磨轮的旋转方向交替成±15°夹角（见图4-1-3(a)）。



（a）　　（b）

图 4-1-3　磨轮磨片排列

（a）不规则螺旋磨头　　（b）规则螺旋磨头

（2）钢丝轮　用于磨胎体部分、旧衬垫及疤伤表面等处。

（3）砂轮　用氧化铝制成各种形状的磨轮，用于磨钢丝轮胎的胎体部分。

（4）钉轮　用专用磨胎钢钉安装在带孔的钢圈上即为钉轮，用以锉磨胎面胶部分，钉轮磨的锉缝比较粗糙，粘合质量较差。

4．不同锉磨工具和锉缝的关系

常见的锉磨刀具有钉轮、锯片磨轮、钢丝轮和异形锯齿片磨轮等，也有不同刀具混合使用的。不同工具对锉缝的宽窄深浅和粘附强度的关系见表4-1-4。

表 4-1-4　不同锉磨工具对锉缝和粘附强度的关系

| 锉磨工具名称 | 锉磨表面特征 | 锉缝深度 mm | 锉　缝平整度 | 粘附强度指标 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 静态剥离强度 kN/m(kgf/cm) | 动态耐久性 次 |
| 刀＋钢丝刷 | 很　细 | 0.1～0.3 | 4 | 9.8(10) | 390 |
| 刀＋异型锯齿片磨轮 | 中　等 | 0.3～0.5 | 3 | 15～16(15～15) | 1050 |
| 刀＋异型锯齿片磨轮＋钢丝刷 | 中　等 | 0.3～0.5 | 3 | 14～15(14～15) | 950 |
| 钉轮 | 粗　糙 | 0.5～1 | 2 | 7(7) | 120 |
| 锯片磨轮 | 很粗糙 | >1 | 1 | 6(6) | 650 |

注：表中锉磨工具刀＋×××系指先用刀切削，然后再用某种锉磨工具锉磨，锉缝愈粗均整度代号愈小。

根据表4-1-4，锉缝深度在 0.3～0.5mm，使用异型锯齿片磨轮或与钢丝轮并用所得磨面的粘合强度最好，尤其是动态耐久性能更为明显。锉磨表面凸凹不均整，会使应力显著集中，导致薄弱部分分离开，而使该部分损坏。

此外，锉磨后表面存在有纤维头，纤维头越长越影响粘合强度。因此，对残留的纤维头，都应用刀、剪或利用软轴磨胎机装上专用剪线电剪、电刀片将线头剪除，以提高粘附强度。

5．锉磨翻新轮胎的技术要求

（1）锉磨后的翻新轮胎应达到的要求

① 锉磨粗细均匀，无漏磨或扩大锉磨范围。

② 锉磨表面无浮动胶丝、松动帘线以及水分油渍灰尘污染。

③ 锉磨表面帘线线头长度不大于1mm。

④ 锉磨表面无焦烧及刀痕亮面存在。

⑤ 锉磨后轮胎断面形状及外缘尺寸符合工艺规定。

⑥ 无失圆现象。

（2）锉磨轮胎外缘尺寸　轮胎在翻新前大部分已变形，因此要掌握轮胎的变化特性，精细测量轮胎的外缘直径、断面宽、胎面宽、胎面弧度高及断面外缘周长等，并根据此项测定数据，确定轮胎施工尺寸，选择最合适的硫化内模。测量各部位尺寸时应交叉测量二处取其平均值以减少误差。当轮胎断面宽与硫化内模相应尺寸相同时，锉磨后轮胎外直径$D$可按式（1-4-1）计算。

$$D=D_i-2(t+\delta)-\lambda \tag{4-1-1}$$

式中　$D$——锉磨后轮胎外直径，mm；

$D_i$——翻新硫化内模内直径，mm；

$t$——硫化内模花纹深度，mm；

$\delta$——花纹沟基部胶厚度，mm（一般横向花纹为花纹深度的20～25%）；

$\lambda$——硫化时轮胎应膨胀的尺寸，mm。

6. 磨胎的专用设备

锉磨轮胎的专用设备型号较多，机械化自动化程度也不同。为了保证轮胎质量，控制最佳磨胎尺寸及胶料消耗，锉磨翻新胎时应当使轮胎充有0.15～0.20MPa（1.5～2.0kgf/cm²）的气压，这样可以掌握轮胎的变形情况，测量轮胎各部位尺寸时减小误差，使锉磨尺寸准确，并有利于保障锉磨的表面质量。锉磨翻新轮胎的控制机构有以下几种。

（1）磨胎样板　又称靠模样板，这是将预先设计好的样板安装在磨胎机上，锉磨时轮胎由磨胎机上的行走机构靠紧样板转动，从而能准确地磨出具有规定断面形状和尺寸的翻新轮胎。

（2）微型计算机控制　把磨胎的操作程序输入微型计算机贮存，使磨胎机在微型计算机控制下进行操作。

（3）先切削后锉磨　有一些磨胎机先用碗形刀靠在预先设计好的样板上，按仿形切削原理削成规定的胎冠形状和外缘尺寸，然后用磨轮磨出锉缝。这种方式广泛使用在花纹块较大的轮胎翻新上。多功能削磨机也采用了仿形削磨机构，这种方法具有节省能源、提高工作效率、减少粉尘污染和节约锯齿磨片的优点。

（4）锉磨轮胎直径自动显示装置　这种装置能自动显示锉磨中轮胎的外直径，能及时掌握和控制锉磨时轮胎外直径的变化。

（5）自动选模器　这种选模器能贮存很多硫化内模的参数，它能根据翻新轮胎的尺寸自动选择最适宜的硫化内模。与微型计算机联合使用就可按所选模型照程序施工，使整个磨胎操作（包括选模、磨胎）完全自动化。装有微型计算机选模和自动显示装置充气仿形磨胎机见图4-1-4。

**（四）翻新修整**

轮胎锉磨后，特别是用人工操作钉轮锉磨的表面上，常会发生锉缝不均匀或存在浮动胶

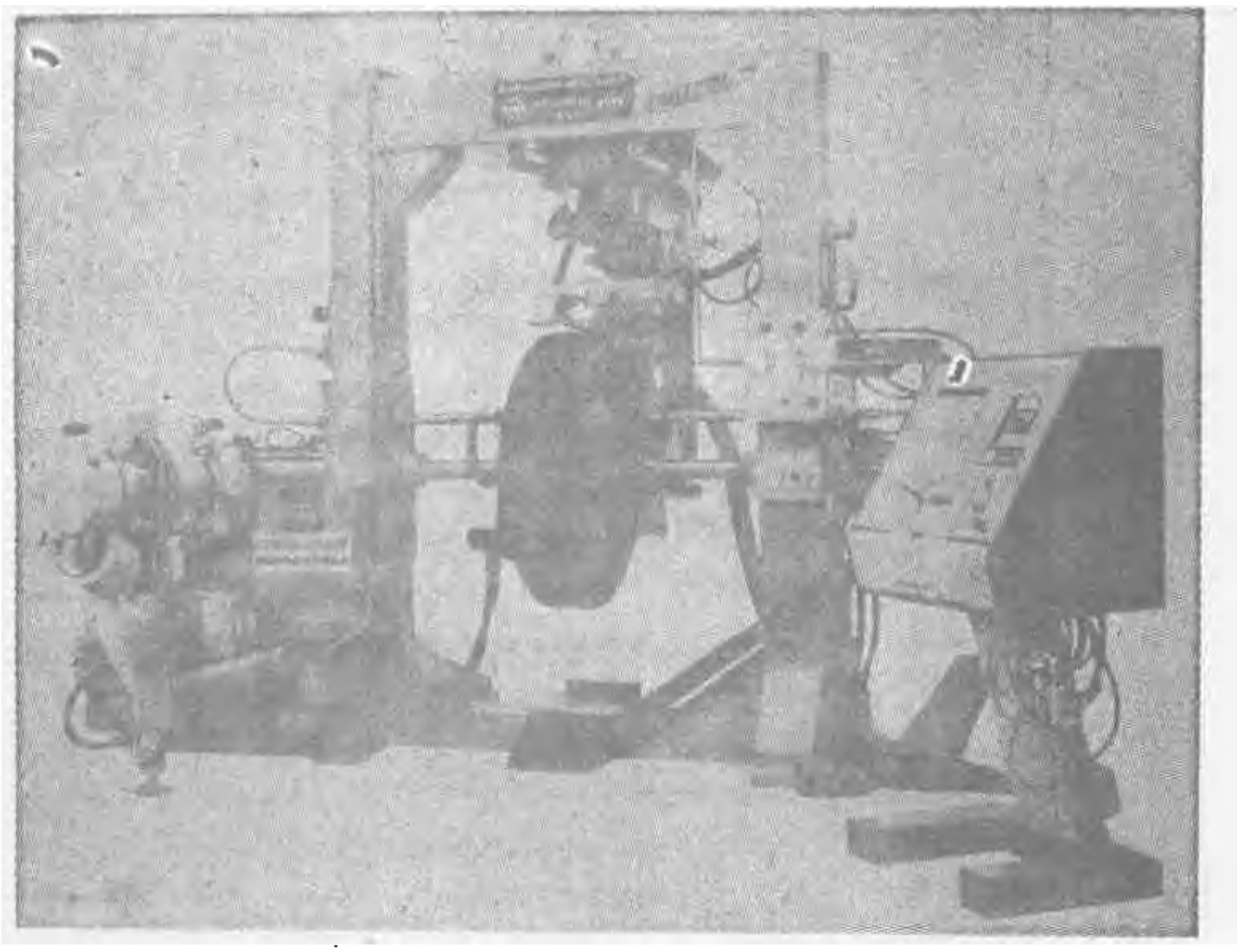


图 4-1-4　装有微型计算机选模装置的充气仿形磨胎机

丝；损伤部分有帘线头露出等现象，这些都会影响粘合强度，因此要对锉磨后磨面上出现的这些缺陷进行修整。但要注意以下几点。

①　修整后的翻新轮胎要求能改善锉磨表面质量，但不能改变轮胎的正圆形状和断面形状。

②　修整方法应使锉磨方向与原锉缝成一定角度，这样能提高锉缝质量，也易于清除浮动胶丝和帘线头。

修整用的刀具种类较多，一般使用小型工具，如软轴磨胎机、电动砂轮机等，装用的刀具有小钉轮、钢丝刷、各型小锯片、砂轮和炭化钨磨轮及电动剪。

**（五）除尘**

翻新轮胎锉磨后，要对表面进行除尘，以保持锉磨表面的清洁和下一工序的环境卫生，保证粘合表面的质量。通常有下面两种方式。

（1）单胎或局部除尘通常使用吸尘器或压缩空气（但要严格地对空气进行油水分离），吹除表面胶末灰尘，对轮胎里的胶末灰尘，也要用硬毛刷边刷边抽出，或用压缩空气配合抽风装置除尘。

（2）车间内安装通风除尘系统。通常用两级除尘系统，在各操作点安装一级除尘装置，抽出的胶末粉进入二级除尘系统，经旋风分离器沉降处理。这种系统除保证锉磨质量外，还可改善整个车间生产环境的卫生条件。

**（六）过程检验**

过程检验是保证轮胎翻修质量的重要措施。由于轮胎翻修是流水作业，在几个主要工序后，按各工序半成品质量要求，须对轮胎进行逐条逐项的详细检查，及时消除可能发生的缺

陷，以阻止不合格的半成品流入下一工序。过程检验工作要注意以下几点。

① 过程检验根据需要分设在几个主要工序之前，即在磨胎修整完毕后及喷涂胶浆之前，入模或入罐硫化之前，即贴好胎面胶待入模硫化之前，必须作严格的检查。

② 喷涂胶浆之前的过程检验，要检查轮胎所有加工处的质量，有无遗漏处，轮胎是否还存在隐蔽损伤及清洁干燥情况等。

③ 入模或入罐硫化以前的过程检验，主要检查轮胎贴好胎面胶以后的几个主要尺寸，如轮胎外直径、断面宽、胎面宽、断面周长等，检查胎面胶及其它贴补材料是否密实、胎面胶外观是否符合半成品技术要求及轮胎外部特别是贴补胶料的表面有无污染。

④ 过程检验主要使用小型机工具由专职过程检验人员担任。

**（七）干燥**

干燥是利用加热的方法以蒸发排除轮胎胎体内所含的水分、防止轮胎在硫化过程中发生脱空现象。如果加工表面潮湿或干燥不当，会影响粘合性能及轮胎翻新质量，甚至造成次品。

干燥工艺要注意以下几个问题。

① 不同骨架材料的吸潮率不同，因此胎体水分含量也不同。实践证明，当水分含量低于2.5%时对粘合有利，水分含量超过3%时对翻胎质量有严重影响，水分含量再高就会产生废品。尼龙胎体吸潮率低，一般可以不进行干燥，这样可以避免尼龙胎体经高温干燥引起收缩现象，但在特殊情况下如经过多次翻新或湿度特别高的地区，也可进行干燥。

② 翻新轮胎的干燥设施 通常是干燥室或干燥箱。干燥室或干燥箱要有通风装置，随时将潮湿空气排出。用加热空气的方法干燥轮胎，应使干燥室和干燥箱温度保持在40～50℃，根据胎体帘布层厚度，干燥时间一般在16～24小时之间。使用红外线对轮胎进行干燥，可以将干燥速度提高50～100倍。也可利用其它干燥方法干燥轮胎。

③ 干燥后的轮胎应尽快连续施工，否则因停放时间过久，胎体又会吸入空气中的湿气产生回潮现象，干燥质量得不到保证。

④ 轮胎干燥程度可用湿度仪测定。

**（八）喷涂胶浆**

在翻新轮胎锉磨的表面喷涂或刷上一层胶浆以利施工，也有利于增强新胶与胎体间的粘合强度。喷涂胶浆还能提供成型时的粘着性，但不能改变粘合物间的化合性质，因此在不影响翻新成型操作顺利进行的条件下，也可以不喷涂胶浆面直接进行热粘合，同样能获得新旧胶的粘合强度。对胎体帘线已裸露的部分，橡胶对帘线渗透扩散比较困难，物理粘合条件差，仍需涂刷胶浆，以增加橡胶对帘线浸润渗透深度，增大有效粘合面积。

1．胶浆制备

胶浆是以胶浆胶（尼龙或钢丝粘结胶）溶于溶剂中制成，溶剂一般采用不含油脂和其它杂质且挥发快的纯净汽油，常用的如橡胶溶剂汽油，又称工业溶剂汽油。制备胶浆应在密封状态下搅拌制成，胶料与溶剂汽油按一定重量比例配制，先用胶浆搅拌机制成浓度较大的胶浆，再根据用途加入溶剂汽油予以稀释，制成工艺所要求的浓度，胶浆浓度用比轻表测定。胶浆使用前应搅拌均匀，防止沉淀，胶浆不宜长期存放以防结团沉淀而影响质量。

2．胶浆浓度和涂胶次数

胶浆浓度根据工艺需要而定，一般喷涂翻新胎锉磨部分用的胶浆可稀一些，面涂在裸露帘线部分的浓一些。胶浆浓度和喷涂次数见表4-1-5。

表 4-1-5 胶浆浓度和喷涂次数

| 喷涂部位 | 胶浆浓度（质量比） | | 喷涂次数 |
|---|---|---|---|
| | 胶浆胶 | 溶 剂 | |
| 锉磨表面 | 1 | 10～20 | 1 |
| 缓冲胶片表面 | 1 | 7～10 | 2 |

3．胶浆的干燥

翻新轮胎喷涂胶浆以后要进行干燥，使溶剂挥发掉。干燥温度35～40℃，空气湿度40～60%，过大不利于干燥。空气流速不超过0.2m/s，以自然通风为宜。如干燥温度过高，空气流速太快，胶浆表面很快产生一层薄膜，将阻碍胶下溶剂的挥发，影响贴合质量，硫化后容易产生空泡。

4．喷涂胶浆设备

翻新轮胎多采用喷涂的方式，即利用类似喷油漆的装置进行喷涂。喷胶浆设备大致分为二类。

（1）无压缩空气喷胶机　是用柱塞泵把胶浆压入喷枪进行喷涂的设备。柱塞泵最好用压缩空气作动力，以保证安全。

（2）压缩空气喷胶机　用0.6～0.8MPa（6～8kgf/cm²）的压缩空气把胶浆从喷嘴中喷出。使用压缩空气时必须在压缩机进气前加装空气滤清器，输出后加装油水分离器，分离空气中所含的尘污油水，防止进入胶浆中而影响质量。

5．人工涂刷

用圆形或扁形硬毛刷蘸胶浆涂刷在锉磨表面，涂刷时应注意使胶浆浸入沟缝中，涂层均匀，不堆厚不积团。

6．喷涂胶浆注意事项

喷涂胶浆要注意以下几方面问题。

①　局部锉磨表面多用毛刷涂刷，但不要使四处积胶浆。

②　喷涂胶浆表面要厚薄均匀色彩新鲜，表面无结块积团，防止潮湿灰尘杂物污染。锉缝内和外露纤维层无漏涂现象。

③　喷涂胶浆完毕的轮胎，在干燥、运输或存放过程中应保持清洁。干燥好的轮胎要尽快连续施工，不要长时间停放，防止胶模表面失去粘性。

（九）贴胶

1．贴缓冲胶片

先用0.8～1.2mm厚的缓冲胶条将胎冠喷涂胶浆表面的坑凹处及露帘线处填补平整，然后再用0.8～1.2mm厚的缓冲胶片将整个轮胎复贴一层以增加胎面与涂胶浆表面的粘着性能。如果采用热贴工艺而且胎面胶具有较好的粘着性能，也可以不贴缓冲胶片。

2．贴胎面胶

（1）胎面胶尺寸的确定　整块式胎面胶尺寸包括胎面胶厚度、上宽、底宽和长度。顶翻胎胎面胶断面形状为等腰梯形，上宽与底宽相差不大；肩翻胎胎面断面底宽较大，也可以分为两层重叠粘合。用胎面胶胶条绕胎者则用微型计算机控制贴胶量。上述胎面胶尺寸的确定，系根据轮胎锉磨后的外直径、需要保持的基部胶厚度、花纹深度及花纹沟所占体积来计

算其应贴胎面胶量。胎面胶的用量关系到轮胎的使用性能和经济性能，如轮胎的滚动阻力、胎面的散热性能及行驶里程等，同时也关系到材料消耗。因此正确制订胎面胶尺寸，准确控制胎面胶用量是一项重要的技术工作。整块式胎面胶的厚度是一个关键尺寸，上宽与底宽则按照规定胎面宽等制订，长度因锉磨后的外直径有一定的差异，由操作者按工艺规定截取，或由机械自动截断。胎面胶厚度的计算见式（4-2-2）。

$$\text{胎面胶厚度}=\frac{\text{基部胶厚度}\times(1+\text{花纹深度占胎面胶厚的}\%)+\text{花纹深度}}{1+\text{花纹深度占胎面胶厚的}\%} \qquad (4\text{-}2\text{-}2)$$

（2）胎面胶粘贴工艺

a．冷贴胎面胶　冷贴工艺多用在无热贴设备时，这种操作工艺是用开炼机或挤出机按规格尺寸将胎面压出后存放。贴胎面胶时存取用，贴好后用胎面压合机滚压。

b．胎面压出—热贴—滚压生产线　这种工艺通常简称为热贴，是用开炼机将胎面胶热炼成具有可塑性能的胶料喂入橡胶挤出机，挤出机配备有可以快速更换口型模板的机头，可以挤出各种断面形状的胎面胶。胎面胶压出后经过输送装置将热胎面胶送到轮胎胎冠上。轮胎装在自动充气膨胀的活络轮辋上，边旋转边滚压，旋转一周即粘贴完毕。当使用冷喂料挤出胎面胶时，可以不用开炼机，此种方式是把冷的胎面胶条直接喂入挤出机中，压出热的胎面胎贴在轮胎上，所以这种方式叫冷喂料热贴工艺，其机组组合示意图如图4-1-5所示。冷喂料热贴联动设备见图4-1-6。

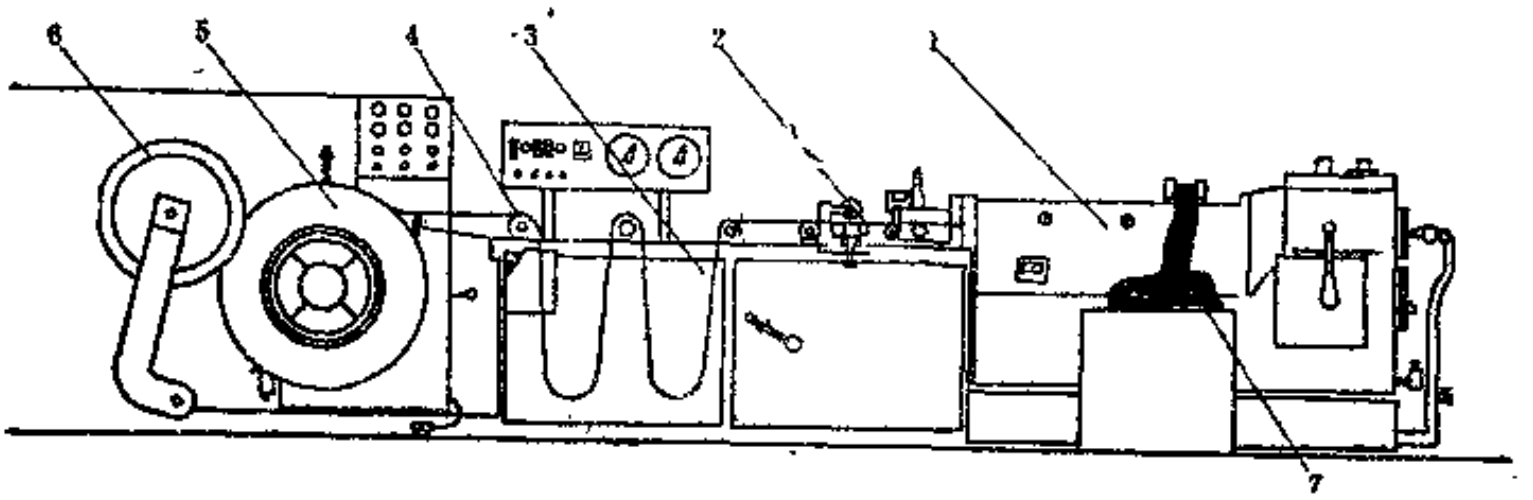



图 4-1-5　冷喂料热贴胎面联动机组

1—冷喂料挤出机；2—厚度检查；3—胎面胶贮存；4—胎面胶；5—轮胎；6—液压空气囊；7—供胶条



图 4-1-6　冷喂料热贴胎面联动机组

c．绕贴胎面工艺　它由冷喂料挤出机和缠绕机构二部分组成。胎面胶不需热炼而直接喂入冷喂料挤出机内，挤出呈一定断面形状的带状胶条。轮胎装在自动充气膨胀的活络轮辋上，轮辋一边转动一边作扇形摆动，胶条即以缠绕压胎的方式直接绕在胎体上而形成胎面。绕贴前要预先填平胎面上坑凹不平处，绕贴规格和用料重量是经过预先制好的程序控制卡或全部用微型计算机控制。这种工艺自动化程度高，节省动力，占地面积小，特别是缠绕贴上的胎面胶分布十分均匀，且勿需接头，有利用改善轮胎的平衡性能，而且重量误差很小，节省胶料。绕贴工艺见图4-1-7所示。

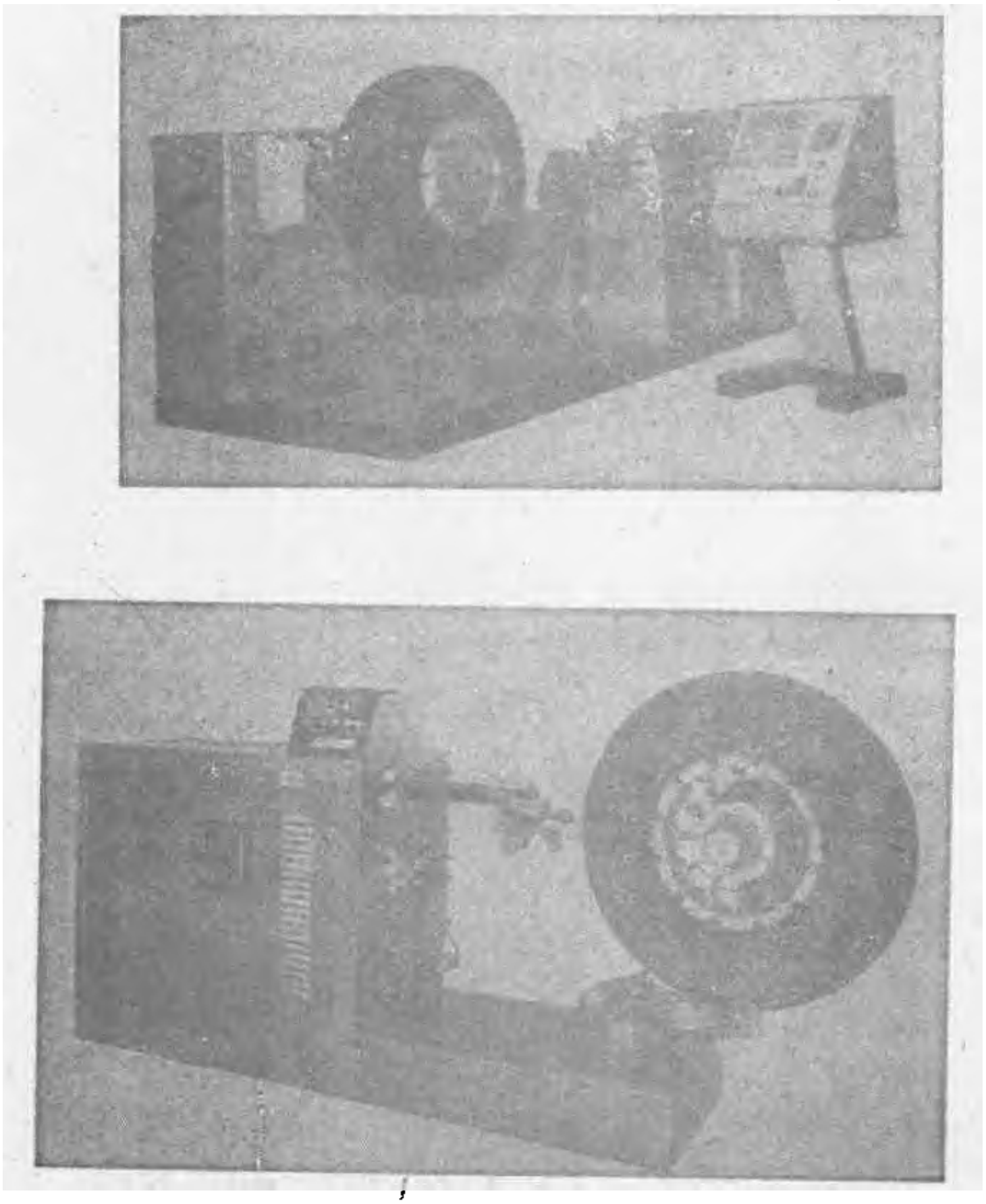


图 4-1-7　胎面绕贴机

d．压力胎面贴压工艺　用柱塞式或螺杆式挤出机，经过特制的压出口型模压出胎面胶并直接压贴在胎体上。这种工艺是在压力的直接作用下操作，可以同时将胎体上的坑凹处填补满，不需要事先填补坑凹，能节省工时，提高生产效率，见图4-1-8。

### （十）翻新硫化

翻新硫化是决定产品质量的重要工序，要求翻新轮胎受到均匀加压，使胶料在规定的温度和时间内得到最佳的物理机械性能，并在硫化过程中使未硫化胶呈粘流态而充分渗入胎面锉缝间，使二者紧密接触并牢固结合。

1．硫化条件的确定

硫化条件指翻新硫化时所施加于胎面胶的压力，规定的硫化温度和硫化完毕所用的时间，简称为压力、温度、时间三要素。

（1）热源　翻新硫化热源通常使用蒸汽或过热泵。

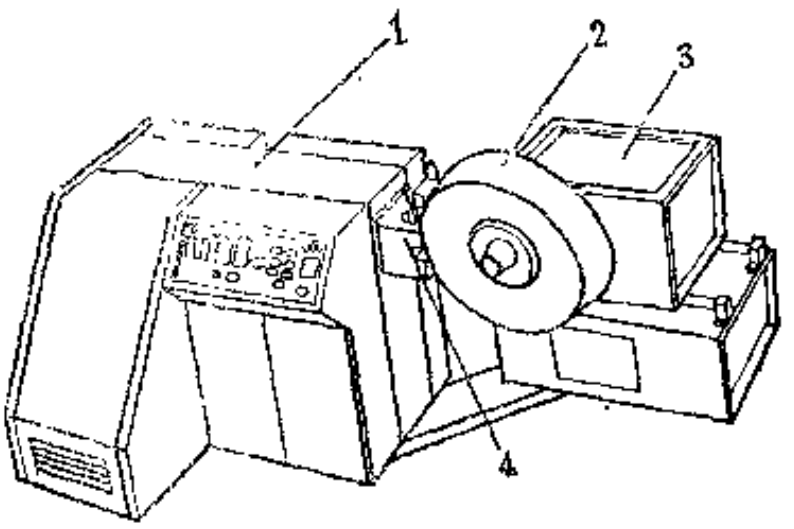



图 4-1-8　压力胎面压贴机

1—冷喂料螺旋压出机；2—轮胎；3—轮胎驱动装置；4—快速更换压出口型

（2）胎内加压介质　胎内加压介质通常用过热泵、压缩空气或蒸汽。使用过热泵效果最好，它的压力温度均匀，容易实现冷却，而且能减少对硫化内胎的氧老化从而延长其使用寿命。也有用压缩空气和蒸汽交替使用的。

（3）硫化温度　翻新轮胎的硫化温度不宜太高以保护胎体，过高温度还会使胶料产生“返原”现象，加剧尼龙帘线的热收缩，影响胎体和胶料的粘合性能。通常硫化温度以140～150℃为宜（硫化温度系指达到模型表面的温度）。

（4）硫化内压　翻新轮胎硫化时所充的内压可使胶料在硫化过程中组织致密，并渗透到帘线缝隙和锉缝中，能够提高胶料的耐磨耗性能，增加各部件间的粘合强度。硫化内压的高低应考虑轮胎的结构特点、帘线种类、胎体层数和整体刚性，还要考虑介质类型和硫化结构强度。硫化子午线载重轮胎宜采用较高内压如1.5～2.0MPa(15～20kgf/cm²)，斜交载重轮胎内压不宜低于1.2MPa(12kgf/cm²)。

（5）硫化时间　硫化时间的确定取决于胎面材料和硫化方法，要尽可能在短时间内使各部位胶料均处于正硫化或平坦范围以内。确定硫化时间的方法如下。

①　首先在试验室求得恒温下胶料正硫化点和硫化平坦曲线，测定不同胶料的硫化温度系数。

②　在生产条件下利用热电偶测量温度及其变化，求出硫化强度值和硫化效应面积，然后逐步求得相当的硫化时间值。

③　用硫化仪连续测定胶料硫化过程的模量变化，从胶料对振动变形的抵抗力，观察胶料交联情况，以确定正硫化平坦范围。

2．硫化工艺操作

为保证翻新胎质量和保护翻新胎胎体，在硫化工艺操作上要注意做到以下4点。

（1）翻新轮胎与硫化内模的配合　翻新轮胎与硫化内模内直径的配合是最重要的一个配合关系，允许换算后轮胎直径比模型直径小，不同材料的胎体，其与模型尺寸的配合间隙也不同。尼龙轮胎的配合公差较大，其它纤维胎体次之，钢丝轮胎胎体最小。轮胎与模型尺寸的配合还应保证胎面有合适的基部胶厚度，并应防止胎体变形，翻新后轮胎的外缘尺寸应和原胎接近。

（2）逐步升温冷却启模方式　为了避免翻新胎体发生脱空脱层现象，并减少轮胎各部

位硫化程度的差别，胎面入模时不可以骤然接触较高的温度，应在一定的时间内将温度升高至需要的正硫化温度。在硫化完毕时，胎冠部及其它受热部分的分子均处于比较活跃状态，骤然释放内压立即出模容易造成部件分离或其它部位的脱空。

（3）硫化后充压冷却　为了克服尼龙纤维因硫化后热收缩而影响尼龙胎体的变形，通常采取加压冷却的方法，即是对尼龙胎体冷却到70℃以下时再释放内压出模。冷却方法是当硫化终了时将冷水压入胎体内进行冷却，若任其自然冷却则时间越长效果越差。

（4）硫化脱模剂　在硫化内模上喷涂脱模剂，可以使翻新轮胎硫化后顺利脱模，既能保护模型防止模型表面结垢，又可以防止出现轮胎崩花掉块从而提高翻新胎外观质量。常用的脱模剂有甲基硅油和中性皂液。甲基硅油性能较好，困其在硫化温度下热稳定性好。

3．轮胎翻新硫化设备

轮胎硫化翻新设备种类较多，硫化机的机械化程度也有很大差别。如全自动胶囊翻胎硫化机不使用翻胎硫化内胎面使用胶囊，硫化操作全部实现自动控制，由于胶囊比水胎薄，热能传导快而且均匀，能缩短硫化时间。单模和双模全自动硫化机见图4-1-9。各种翻新硫化设备详见第九分册。

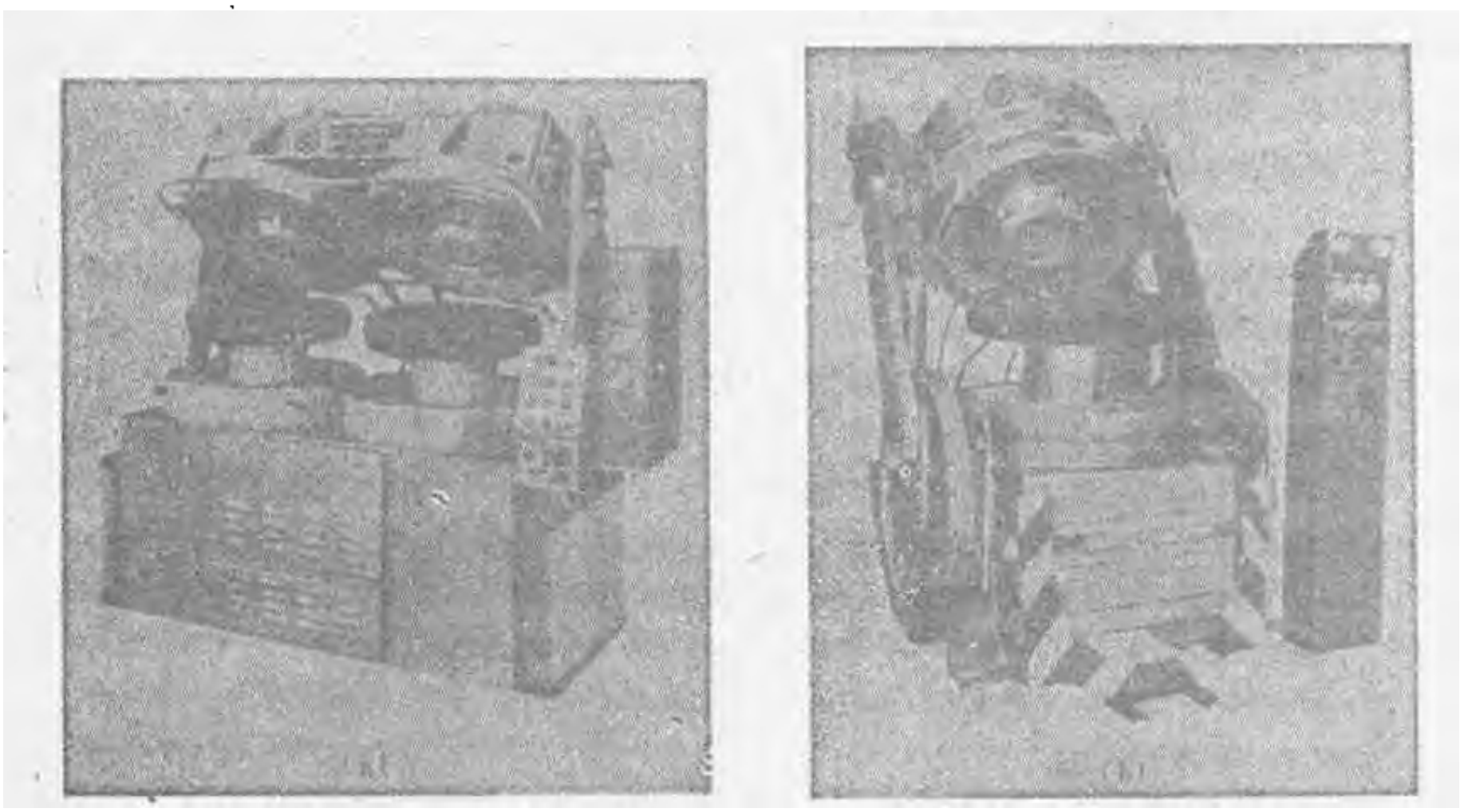


图 4-1-9　全自动胶囊翻新硫机

（a）全自动双模硫化机；
（b）全自动单模硫化机

## （十一）成品整修

1．翻新轮胎成品整修

整修工作包括除去翻新硫化后产生的溢胶边等，有的还在外部喷涂表面保护剂。整修即可改善翻新轮胎的外观质量，又能对翻新后轮胎表面起保护作用。喷涂表面保护剂可以用喷涂胶浆的喷枪(无空气喷涂)，也有专门用于翻新轮胎整修的设备，它可以使轮胎旋转并用刀削去溢流胶边和气孔溢胶，并能防止喷涂保护剂时雾状物的飞散。

2．平衡试验

对轿车轮胎和轻型轮胎翻新后应进行平衡性试验。实践证明经过平衡处理后的轮胎，其行驶里程可以提高20%左右。平衡试验是在平衡试验机上测定其不平衡度，不平衡度分静不平衡度和动不平衡度两种，处理不平衡度一般有两种方法：①在轻点粘贴平衡胶片；②在轻点做出标记，装轮辋时在轻点上加装平衡块。平衡试验机图4-1-10。

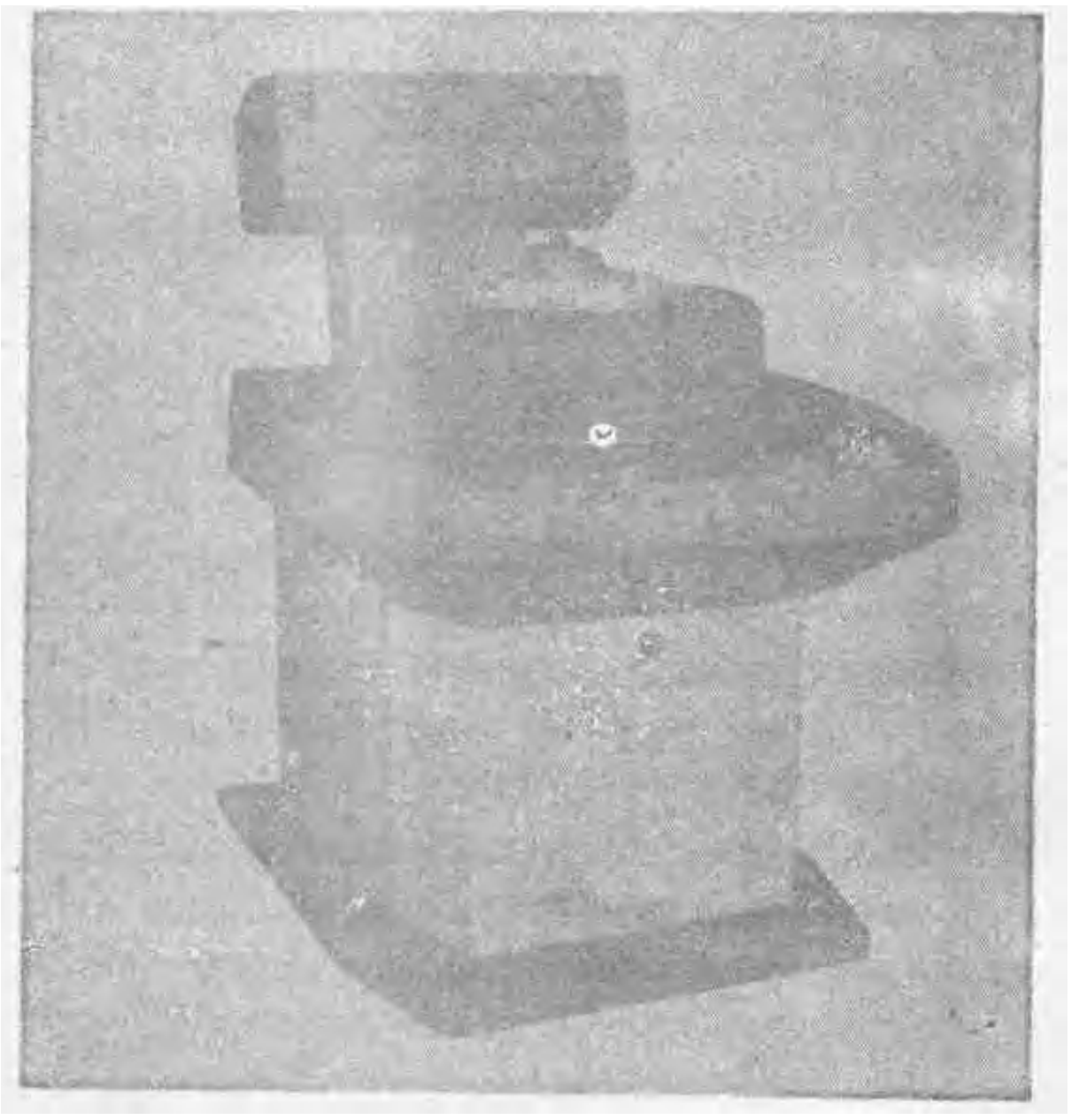


图 4-1-10　轮胎平衡试验机

### （十二）成品检验

成品检验应严格按成品标准进行，并按规定填发翻新轮胎产品合格证。必要时可抽样作机床试验，道路试验和爆破试验。

### （十三）翻新轮胎技术要求

1．成品胎面胶物理机械性能

成品胎面胶的物理机械性能列于表4-1-6。

2．静不平衡度最大允许值

静不平衡度最大允许值列于表4-1-7。

3．翻新胎外观质量

翻新轮胎合格品分为一级品和二级品两种，其外观质量必须符合表4-1-8所规定的标准。翻新后的轮胎必须无漏修部分。轿车及轻型载重汽车翻新轮胎合格品的外观质量必须符合表4-1-8中所规定的一级品标准。在允许范围内的缺陷个数，一等品不得多于4个，二等品不得多于 6 个。超出此数者，一等品降为二级品，二等品降为等外品。

4．翻新轮胎外缘尺寸

（1）国产轮胎翻新后的外缘尺寸，原则上符合充气轮胎国家标准的规定。

表 4-1-6　成品胎面胶物理机械性能

| 物理机械性能 | 载重汽车及轿车轮胎 | | 农业、工业及畜力车胎 | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) ≥ | 21.6(225) | 18.6(190) | 19.6(200) | 16.7(170) |
| 扯断伸长率，% ≥ | 450 | 470 | 430 | 450 |
| 永久变形，% ≤ | 40 | 30 | 40 | 30 |
| Akron磨耗，cm³/1.61km ≤ | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| 硬度（邵尔A） | 60～70 | 55～65 | 60～70 | 55～60 |
| 300%定伸应力，MPa(kgf/cm) ≥ | 7.8(85)～11.3(120) | 8.9(76)～10.8(110) | 7.8(80)～11.8(120) | 6.9(70)～10.8(110) |
| 粘附强度，kN/m(kgf/cm) ≥ | | | | |
| 胎面胶与原胎界面及缓冲层与帘布层间 | 7(7) | 7(7) | 7(7) | 7(7) |
| 衬垫与脱体界面间 | 6.4(6.5) | 6.4(6.5) | 6.4(6.5) | 6.4(6.5) |

注　1. 表中1指全天然橡胶。

2. 表中2指天然橡胶50%与合成橡胶50%并用，若并用50%以上合成橡胶时其拉伸强度不低于16.7MPa(170kgf/cm²)。

表 4-1-7　静不平衡度最大允许值　　单位：g·cm

| 轮胎类别 | 一级品 | 二级品 |
|---|---|---|
| 轿车轮胎 | 2600 | 4800 |
| 轻型载重汽车轮胎 | 4400 | 8300 |

表 4-1-8　翻新轮胎外观质量标准

| 序号 | 缺陷情况 | 一级品 | 二级品 | 备注 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 胎面花纹缺胶或圆角 | 深度不超过1.5mm，累计长度不大于1/4圆周 | 深度不超过3mm，累计长度不大于1/4圆周 | |
| 2 | 胎面花纹崩花 | 不允许 | 不超过花纹深度的1/2；总长度不超过1/5圆周；不得掉块或花纹基部裂开 | |
| 3 | 模型缝口错位 | 不大于1mm | 不大于3mm | |
| 4 | 胎冠胶边 | 胶边基部厚度不大于1.5mm | 不大于3mm | |
| 5 | 花纹错位 | 不大于花纹节距1/6 | 不大于花纹节距1/4 | |
| 6 | 胎肩蜂窝 | 不允许 | 允许轻微蜂窝深度不大于1.5mm | |
| 7 | 胎里坑凹和实鼓 | 不允许 | 深度和高度分别不大于3mm，长度不大于1/5圆周 | 晋泥花纹轮胎除外 |
| 8 | 花纹基部胶过薄 | 不允许 | 不允许露锉印 | |
| 9 | 花纹不完整（缺花） | 不允许 | 不允许 | |
| 10 | 胎面重修 | 不允许 | 不允许 | |
| 11 | 重硫化造成胎侧老化 | 不允许 | 不允许 | |
| 12 | 胎侧模型印痕 | 深度不大于2mm，轻型载重胎及轿车胎不大于1mm | 深度不大于3mm | 子午线轮胎不允许有 |
| 13 | 胎冠胎侧杂质印痕 | 胎冠处深度不大于胎面胶厚度的20%，胎侧处深度不大于胎侧胶厚度30%，均不多于1处 | 胎冠处深度不大于胎面胶厚度的30%，胎侧处深度不大于胎侧胶厚度的40%，均不多于2处 | |
| 14 | 衬垫小点脱层 | 不允许 | 在洞口四周75mm以外，允许直径10mm以内2个小点脱层 | |
| 15 | 子午线轮胎翻修后钢丝刺出和露出 | 不允许 | 不允许 | |
| 16 | 欠硫和严重过硫 | 不允许 | 不允许 | |
| 17 | 胎圈损伤及变形 | 不允许 | 不允许 | |

（2）国外进口轮胎翻新后的外缘尺寸，应当接近新胎的外缘尺寸。

（3）顶翻新轮胎胎面胶宽度与原胎面宽度的误差为 $\pm \begin{matrix}0\\3\end{matrix}$ mm。

## 第二节　子午线轮胎的翻新

### 一、子午线轮胎结构及对翻修技术的要求

#### （一）子午线轮胎结构特点

翻修子午线轮胎必须根据它的结构特点，考虑各部件性能对子午线轮胎几何形状的影响。

（1）子午线轮胎的胎体帘线为子午线状排列，帘线方向与胎圈成正交。帘线变形方向和轮胎变形方向一致，从而最大限度地发挥出帘线的作用。胎体帘线应力在全部断面范围内恒定不变。

（2）子午线轮胎的带束层帘线几乎呈周向排列，带束层长度几乎保持不变。因此带束层决定轮胎形状及轮胎部件中由内压引起的初始应力，载重子午线轮胎带束层约承受轮胎内压总应力的60～70%。

（3）子午线轮胎的侧向稳定性差，侧向刚性比斜交结构轮胎低10～30%，所承受最大应力也高1倍，因而使胎圈区产生屈挠裂口，并导致带束层与胎面边端脱层。由于拉伸应力作用在带束层上，胎体和带束层间就有相当大的剪切力，最大应力产生在带束层边端。由于上述受力变形特点，子午线轮胎容易出现肩部和胎圈部脱层。

（4）带束层帘线角度为70～75°。角度过小时紧箍效果不好，影响耐磨耗；角度过大对使用性能不利。带束层的排列形式对磨耗和防止脱层均有影响。

（5）胎面胶要耐磨，并兼顾抗湿滑性能；花纹不宜过深，以降低滚动阻力和生热。材料分布要避免产生突出的过渡点，以免发生应力集中而损坏。

#### （二）子午线轮胎的选胎标准

甲级翻新胎体必须符合下列条件[1]：

① 胎面中部剩余花纹不低于2mm，局部磨损不得伤及带束层；

② 胎体和两胎肩不允许有脱空；

③ 胎侧不允许有老化裂纹情况；

④ 胎侧机械损伤裂口在二处以下，深度不得超过1mm；

⑤ 胎侧胶与子午线胎体间不允许有脱空；

⑥ 胎圈不得有机械损伤及较严重磨损，胎圈不允许有变形。

乙级翻新胎体必须符合下列条件：

① 胎面中部花纹接近磨平，带束层局部磨损允许一层；

② 两胎肩允许有局部小面积脱层，其单边宽度9.00R20及以下规格不得超过20mm，10.00R20及以上规格不得超过30mm；

③ 胎侧允许有轻微老化裂纹，但不得深及帘布层；

④ 胎侧机械损伤裂口不得损伤帘布层；

---

[1] 该条件只适用于第一次翻新轮胎。

⑤ 损伤部位帘线允许有轻微锈蚀（除锈后钢丝无折断），不允许有蔓延性脱层；

⑥ 胎侧胶与子午线胎体间允许有局部脱层，长度不超过1/8圆周；

⑦ 胎圈包布允许有轻微机械损伤及磨损，胎圈不允许有变形；

⑧ 子午线载重汽车及轿车轮胎允许穿洞处数及最大尺寸（mm）分别列于表4-1-9和表4-1-10。

**表 4-1-9 子午线载重汽车轮胎允许穿洞的处数及最大尺寸**

| 轮胎规格 | 损伤部位 | 洞口底部测量最大尺寸 mm | | 从胎里测量至胎趾最短距，mm | 缓冲层最大损坏 mm | 损伤处数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 横过帘线 | 顺沿帘线 | | | |
| 8.25R20以下规格 | 胎侧及胎肩 | 35<br>25<br>15 | 75<br>105<br>125 | 60 | | 一处 |
| | 胎　冠 | 30 | 30 | | $\phi$30 | |
| 9.00R20～10.00R20 | 胎侧及胎肩 | 35<br>25<br>15 | 95<br>125<br>145 | 65 | | 一处 |
| | 胎　冠 | 50 | 50 | | $\phi$50 | |
| 11.00R20及以上规格 | 胎侧及胎肩 | 35<br>25<br>15 | 95<br>125<br>145 | 70 | | 一处 |
| | 胎　冠 | 50 | 50 | | $\phi$50 | |

注：胎冠钉眼$\phi$15mm以下者，允许有3处，间距70mm以上。

**表 4-1-10 子午线轿车及轻型载重汽车轮胎允许穿洞的处数及最大尺寸**

| 轮胎规格 | 损伤部位 | 洞口底部测量最大尺寸 mm | | 从胎里测量至胎趾最短距，mm | 缓冲层最大损坏 | 损伤处数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 横过帘线 | 顺沿帘线 | | | |
| 6.50R16以下规格 | 胎侧及胎肩 | 15 | 35 | 50 | | 一处 |
| | 胎　冠 | 20 | 20 | 50 | $\phi$20 | |

注：1．胎冠钉眼$\phi$5mm以下者允许有2处。
2．翻修过一次以上的轮胎只能列入乙级翻新胎体。

### （三）翻修子午线轮胎的工艺

1．翻修子午线轮胎的工艺特点

子午线轮胎由于结构特点在工艺上也有特殊要求。主要应注意以下几点。

（1）重点要处理好4个关键部位，即由坚硬的胎面向二个薄而软的胎侧过渡的部位，二个胎侧向厚面坚硬的胎圈过渡部位。这4个区域最容易产生小点脱层和钢丝锈蚀，胎里出现波浪形和胎侧裂缝等现象。翻修过程中材料重叠不平衡、用料分布不均匀及出现变形和施工失圆等均易造成应力集中，因此工艺要求上要严格。

（2）带束层在子午线轮胎中具有特别重要的作用，对带束层的处理必须使其符合原胎的要求。因此对带束层的材料类型、密度、直径、层数和角度排列都要慎重考虑，精心设

计。

（3）子午线轮胎胎圈受力很大，要加强和保持胎圈部位良好的支撑性，将变形范围缩小到水平轴上下。

（4）胎面花纹不要太深，胎肩部花纹沟不要过深过宽，避免使用径向花纹。肩部向胎侧要均匀过渡，一般都采用凹形弧以减薄胎肩部橡胶。

（5）子午线轮胎损伤部位补强，要精确施工，力求减少滚动阻力避免应力集中。

2．翻新子午线轮胎工艺与翻新斜交轮胎工艺的不同点

翻新子午线轮胎与翻新斜交轮胎在工艺上有以下几点不同之处。

（1）橡胶与钢丝的结合　翻新钢丝子午线轮胎的橡胶与钢丝的粘合是决定质量的关键之一，要求橡胶与钢丝的粘合性能不但附着力高，而且要在剥离或抽出后的钢丝表面附有相当的附胶。附胶性能好可保护钢丝抵抗水分浸蚀。使钢丝断头不会松散。

（2）子午线轮胎锉磨翻新要求使用高精度磨胎机在充气状态下施工，确保断面形状和尺寸精度。锉磨遇到钢丝帘线时要防止线头松散退火焦烧现象，防止钢丝起锈。

（3）子午线轮胎使用的补强衬垫及带束层材质、结构和操作方法与斜交胎截然不同，子午线轮胎补强衬垫有5种：①定型钢丝十字衬垫；②扇形衬垫；③带束层斜条或整圈衬垫；④尼龙帘线衬垫；⑤利用旧子午线胎体剥制的衬垫。

（4）子午线轮胎裸露钢丝部分在磨锉后要立即刷上钢丝胶浆。胶浆干后粘上一层1mm厚钢丝粘结胶片。

（5）子午线轮胎翻新硫化时要求轮胎与模型定位准确，在模型中受力均匀，形状精确，在装卸时不能损坏其尺寸的精确性，不产生任何变形。因此要求子午线轮胎的锉磨尺寸按式(4-1-3)计算。

$$\begin{aligned} D_2 &= D - 2(t+S) - \Delta d \\ D_1 &= D - 2t\phi - \Delta d \end{aligned} \qquad (4\text{-}1\text{-}3)$$

由于子午线胎直径膨胀极小，$\Delta d$值可不计，即$\Delta d = 0$

则　$D_2 = D - 2(t+S) = D - 2\left(t + \frac{t}{4}\right) = D - 2\,\frac{1}{2}\,t$

$$D_1 = D - 2t\phi = D - 2t \cdot \frac{V_1}{V} = D - \frac{t}{2}$$

式中　$S$——胎面新基部胶的必要厚度，一般为$\frac{1}{4}\,t$；

$V_1$——胎面花纹所占体积；

$\phi$——胎面花纹所占体积比，一般为25%；

$V$——翻新胎基部胶以上的胎面总体积；

$t$——花纹深度；

$D$——翻新硫化内模直径；

$D_2$——应磨轮胎外直径；

$D_1$——翻新胎贴胎面胶后的外直径。

## 二、子午线轮胎翻新装备特点

1．加工设备要保证子午线轮胎翻新具有较高尺寸精度

（1）充气仿形磨胎机　能保翻新胎锉磨平稳，克服跳动变形。锉磨尺寸精度高，断面形状准确。

（2）冷喂料绕贴胎面机　保证粘贴胎面厚度准确形状精确。

（3）活络模硫化机　要强调使用活络模硫化机，便于子午线轮胎出入模方便，轮胎定位尺寸精确，操作不伤轮胎趾口，硫化时受力均匀。活络模硫化机见图4-1-11。

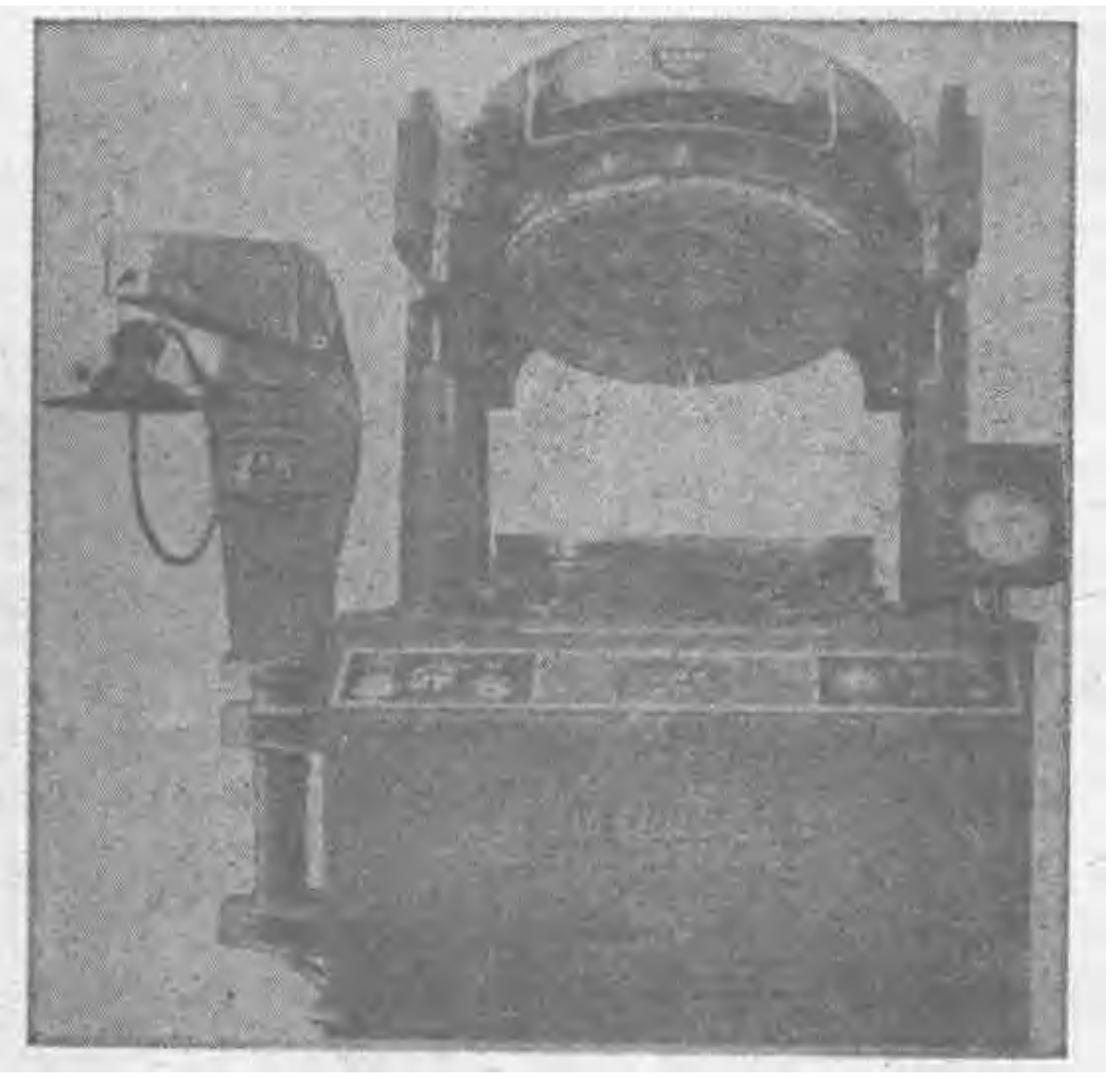


图 4-1-11　全自动活络模硫化机

2．提高硫化内压

子午线轮胎翻新硫化内压应提高到1.6MPa(16kgf/cm²)以上，以保证硫化质量。

3．预硫化胎面翻胎法

这种工艺方法适合于翻新钢丝子午胎，在二次硫化时，不用专用硫化模，没有模型限制，能适应直径大小的变化（详见本章第四节）。

4．用橡胶—塑料制成的柔性膜

能适应直径变化在38mm以内的轮胎，从而避免直径尺寸配合要求较高的矛盾。

5．割磨钢丝的工具

使用高速电动砂轮或高速风动砂轮，可保持钢丝层表面作到光洁平整，且操作简便。风砂轮转速高达16000～20000r/min，配用$\phi$40～50N10×10的砂轮，砂轮硬度$ZY_2$，磨料粒度24～40号。风砂轮磨钢丝时有冷却作用可防止钢丝退火和使胶料焦烧。

## 三、子午线轮胎更换保护层

已损坏的钢丝保护层可以去掉，但结合目前的使用条件，应予更换或修补，有利于保证

使用质量提高翻新率和翻新次数。更换保护层具体操作方法如下。

（1）去除损坏部分　在磨胎机上把损坏处两肩磨成一定角度，露出第二层。从一、二层间插入刀具，使轮胎缓缓旋转使保护层脱离，用木锤从胎体一侧取下保护层。用风动砂轮机清理外露钢丝表面。

（2）贴合保护层　在锉磨表面先喷涂胶浆，然后将胶料粘于锉磨表面并贴好新保护层。新换的保护层的帘线方向应和原来的相同，接处要滚压结实。保护层边缘要用胶填平，最外面再粘一层缓冲胶作为胎面基部胶，最后粘上翻新胎面。

### 四、子午线轮胎的技术服务

子午线轮胎具有很好优越性能，能多次翻新是扩大其经济效益的主要方面。为发挥此优越性能，必须搞好修理技术服务工作。因为铁丝子午线轮胎一旦被刺伤极易生锈，如不及时修理，容易损坏胎体，不利于发挥子午线轮胎能多次翻新和使用寿命长的优越性。

## 第三节　无内胎轮胎的翻新

无内胎轮胎的翻新工艺和一般翻新工艺相同，只是要注意不能损坏胎圈上的密封胶和胎体内壁上的气密层，以保证轮胎的气密性。

（1）胎圈　无内胎轮胎的胎圈在胎踵的外面有一层密封胶，有的在密封胶上有几道周向环形凸胶线，它与轮辋严密接着，防止胎内气体泄出而使内压下降。因此翻新无内胎轮胎时要使模型的胎圈部位完全符合轮胎胎圈的形状，避免压伤胎圈的密封胶和环状凸胶线。

（2）胎体补衬垫　无内胎轮胎在胎体内壁上有一层气密层，它是用气密性好的胶料制成，其作用是防止胎内充气渗入胎体面泄出，有代替内胎的作用，因此无论是胎体损伤还是气密层损坏，在翻新过程中补衬垫和修理气密层，都需要使用气密性好的胶料（详见本篇第二章第三节）。

## 第四节　预硫化胎面翻新工艺

预硫化胎面翻新工艺，是先把翻新胎面胶部分单独硫化，然后再粘贴在胎体上经过第二次硫化才成为一个整体翻新轮胎。这是翻新工艺上一大变革，同时对传统的翻胎生产组织方式产生明显的影响。

预硫胎面翻新工艺常见的有二种，即条状（Bandag法）和环状（马郎贡尼RTS法）二大类。由于这种新工艺的出现便把通常的翻新工艺称为传统法（也称热法）翻新工艺。

### 一、预硫化胎面翻新工艺的特点

预硫化胎面翻新工艺与传统法翻新工艺对比具有以下特点。

（1）预制胎面条的硫化压力较大　传统法翻胎工艺，胎面胶贴在胎体上与轮胎同时装模硫化，其压力来源于硫化内压。由于设备条件的限制，硫化机承受压力不可能太大，面且翻新轮胎的胎体还要吸收一部分压力，因此胎面胶实际受到的压力要小于硫化表压所示，且每一条轮胎又因装模尺寸不同胎体膨胀率不一，而使胎面胶硫化压力有较大的波动。

预硫化胎面则是同模制品一样，放在金属模具中加压硫化。其压力高出传统法使用硫化机的二三倍以上，为此它具有压力大、压力稳定、硫化条件准确的特点，所得胎面胶条硫化程度均匀，胶料质地密实，从面提高了胎面胶的物理机械性能。使胎面胶的耐磨耗，抗刺

扎性能有明显改善。

（2）采用较平坦的胎面弧度　预硫化翻新胎面采用较平坦的弧度，使轮胎与地面接触面积增大，降低单位着地面积的压强，从而改善了耐磨耗的性能。

（3）适应轮胎直径的尺寸变化　使用预硫化胎面翻新轮胎，胎面胶条可以适应不同尺寸直径的轮胎。这一点特别有利于钢丝子午线轮胎的翻新，它摆脱了传统法翻胎受模型限制的被动局面。

（4）对胎体和翻新工艺要求严格　预硫化胎面翻新工艺比较复杂，成本较高，它对翻新轮胎胎体的选择标准要求较高，同时加工工艺上也要求严格。如预硫化胎面翻新轮胎，在加工过程中必须保证轮胎的形状和尺寸精度，否则不能制造出优质翻新胎，而传统法翻新最后由金属模型来确定翻新轮胎外缘尺寸。

（5）提高质量减少成品的缺陷　消除了一切由于使用硫化模型而出现的缺陷，如流失胶边胶囊和胎体硫化中的变形等缺陷。

（6）改变了翻胎工业的生产组织形式　预硫化胎面翻新工艺的出现使翻胎工业的生产组织形式发生了重大的变化。它可以把胎面胶条的生产集中在少数几个中心厂进行，而在遍布各地的翻胎厂只进行胎体加工和胎面与胎体的二次硫化，这样使多数翻胎企业摆脱了胶料生产和硫化模具设备的大量投资，而中心厂则可以配备完善的设备以进行胶料和胎面胶条的生产。这种生产组织形式可以节省投资，提高翻胎经济效益和节约能源等综合经济利益。

预硫化胎面翻新工艺摆脱了模具和胶料加工的沉重负担，也有可能实现翻胎流动服务，如流动翻胎服务车，可以到轮胎使用单位进行翻胎，随时可以流动，可谓最便利于用户的服务方式。

（7）预硫化胎面翻新工艺的适应范围　预硫化胎面翻新工艺与传统翻胎工艺对比，具有能提高行驶里程，适应钢丝子午线轮胎尺寸要求严格的优点。但也存在一些缺点，例如：

① 不能搞肩翻新，只可以顶翻新；

② 材料消耗高于传统法工艺，而且成本较高；

③ 不适于搞航空轮胎的翻新。

## 二、预硫化胎面翻新工艺

### （一）胎面胶条预制

#### 1．条状胎面胶条的预制

条状胎面胶条是用长条形花纹模型放在多层长条状液压平板硫化机上硫化的（见图4-1-12）。

硫化压力为2.5～4.4MPa(25～45kgf/cm²)，硫化温度为150℃，用这种设备可以高速度大量生产各种胎面胶条。胎面胶条硫化程度达到正硫化点的80%。

胎面胶条硫化后在底面用磨毛机打毛，然后喷涂胶浆，并用包装材料仔细包好防止表面污染。

#### 2．环状预硫化胎面胶条的制造

环状预硫化胎面胶条用环状胎面硫化机硫化（参见图4-1-13）。

环状胎面胶条在环状硫化机内用6.1～7.1MPa(62～72kgf/cm²)的高压下进行硫化，设备用液压驱动，用电热或蒸汽加热，加热温度在155℃左右。硫化时间15分钟，胎面胶硫化程度约为80%。胎环出模后也要在胎面打磨机上将底面打毛并喷涂胶浆，然后包装备用。

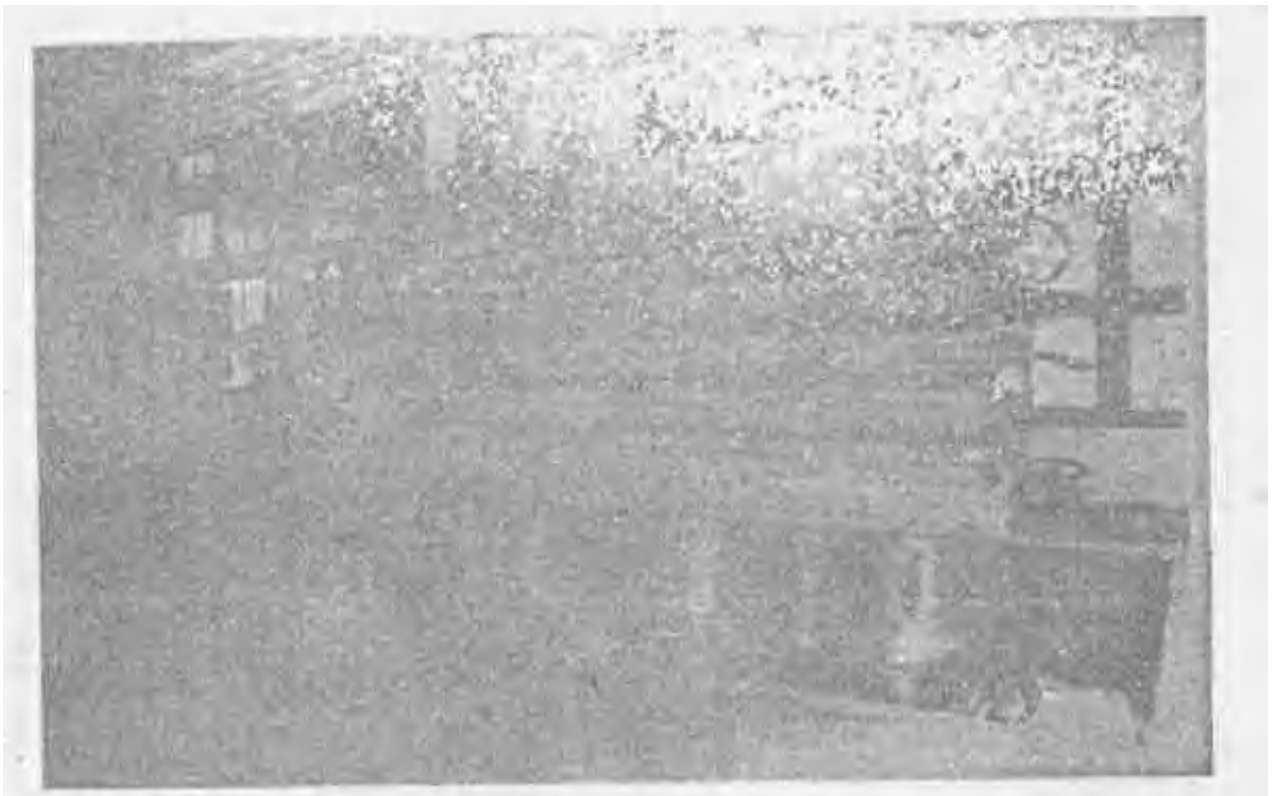


图 4-1-12　多层液压平板硫化机

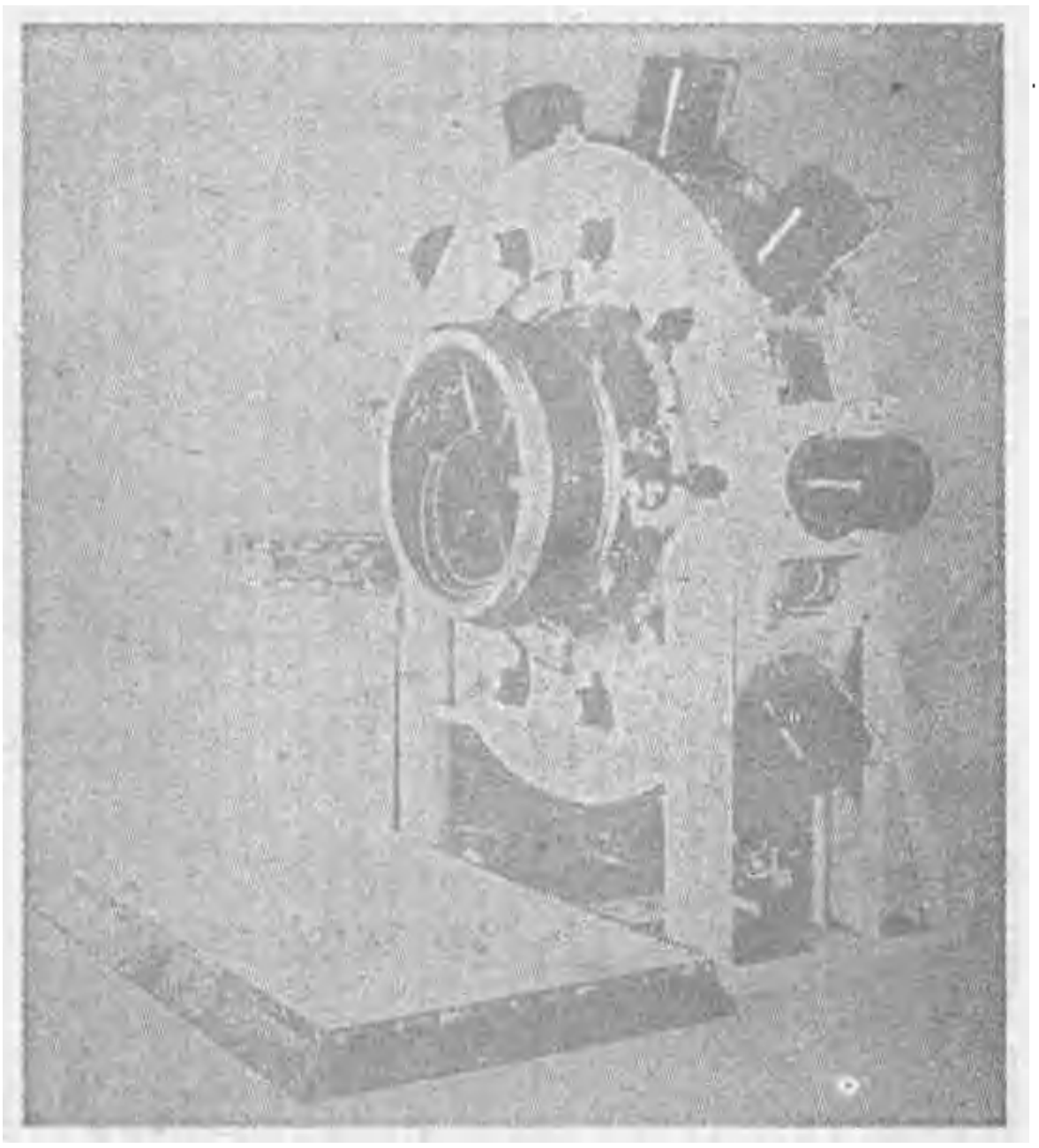


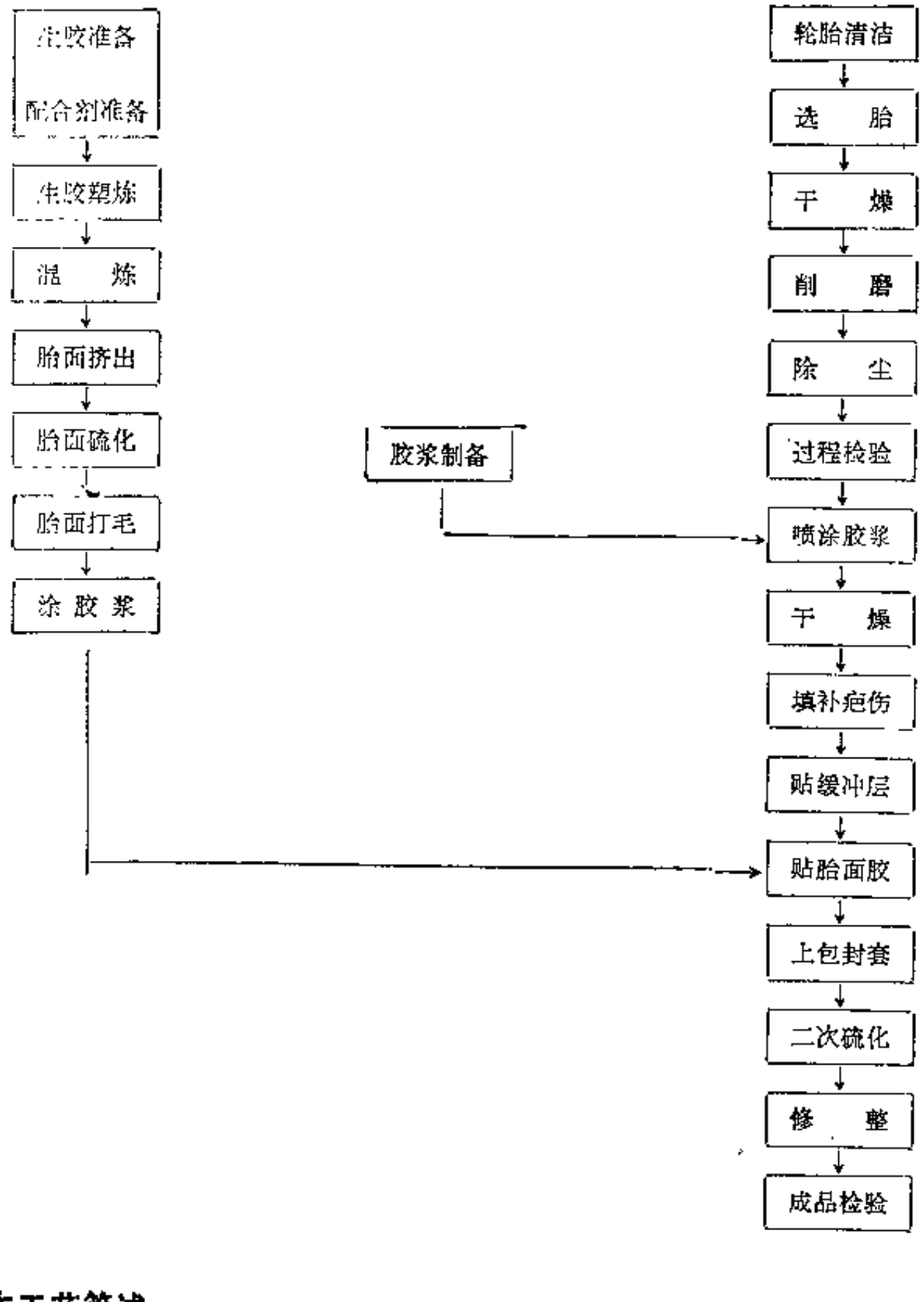
图 4-1-13　环状胎面硫化机

环状胎面生产效率较低，生产成本高于条状的。

预硫化胎面胶由于使用了优质材料和用高压硫化，从而改善了胎面胶的物理机械性能，但预硫化胎面胶料的价格也较普通胎面胶高。

## （二）预硫化胎面翻新基本工艺流程

预制好胎面胶条和翻新胎体的加工以及把预制胎面胶条与胎体加工成翻新胎的工艺流程如下。




## （三）基本工艺简述

1．清洁

轮胎清洗设备和操作与传统法工艺相同。

2．选胎

预硫化胎面翻胎工艺所需胎体的选胎标准，要比传统法工艺要求的标准要严格一些。

3．削磨（锉磨）

预硫化胎面翻新工艺只可进行顶翻新，其锉磨工艺要用充气仿形削磨设备。由于预硫化胎面翻新全是顶翻新，而胎面弧度则是锉磨要求控制的部分，因此也有一些充气磨胎机其仿形部分不是用样板，而是利用一个划弧机使翻新胎面磨成一定半径的胎面圆弧。这是专门供预硫化胎面翻新使用的磨胎机。

几种常见的载重汽车轮胎胎面削磨弧度半径见表4-1-11。

表 4-1-11 胎冠弧度削磨半径尺寸表 单位：mm

| 轮胎规格 | 外直径范围，$D$ | 胎面宽，$b$ | 锉磨胎面弧半径，$R_n$ |
|---|---|---|---|
| 7.50-20 | 900～940 | 146 | 350 |
| 8.25-20 | 950～970 | 170 | 400～450 |
| 9.00-20 | 980～1030 | 178 | 400～450 |
| 10.00-20 | 1030～1090 | 194 | 450～550 |
| 11.00-20 | 1090～1100 | 210 | 500～550 |
| 12.00-20 | 1130～1150 | 220 | 450～500 |
| 12.00-20 | 1160～1200 | 232 | 500～550 |
| 14.00-20 | 1250～1270 | 288 | 550～600 |
| 14.00-24 | 1350～1370 | 290 | 550～600 |

当轮胎外直径$D$和胎面宽$b$的值不变时，胎面弧半径$R_n$和胎面弧度高$h$的变化如表4-1-12所示。

表 4-1-12 $R_n$与$h$值变化对应表 单位：mm

| 轮胎规格 | $R_n$与$h$值变化 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_n$ | $h$ | $R_n$ | $h$ | $R_n$ | $h$ |
| 7.50-20 | 265 | 10 | 310 | 9 | 350 | 8.5 |
| 8.25-20 | 370 | 10 | 400 | 9 | 450 | 8 |
| 9.00-20 | 335 | 12 | 400 | 10 | 450 | 9 |
| 10.00-20 | 400 | 12 | 450 | 10 | 500 | 9 |
| 11.00-20 | 425 | 13 | 500 | 12 | 550 | 10 |
| 12.00-20 | 395 | 15 | 450 | 13.5 | 500 | 12 |
| 12.00-20 | 435 | 15 | 500 | 13 | 550 | 12 |
| 14.00-20 | 480 | 22 | 550 | 20 | 600 | 18 |
| 14.00-24 | 490 | 22 | 550 | 20 | 600 | 18 |

4．喷涂胶浆

与传统法喷涂胶浆工艺相同。

5．填补疤伤

预硫化胎面翻新工艺要求填补疤伤表面与原来轮胎表面呈同一弧形，以免使轮胎成型后出现局部失圆。通常用电热挤胶枪来填补洞疤，使之填胶坚实并用挤胶枪头部铲平表面。

6．贴缓冲胶

预硫化胎面翻新必须粘贴一层1～1.2mm厚特制的缓冲胶片，其宽度应比胎面底部增加8～10mm。缓冲胶要粘平整，不能出现皱折和其它影响轮胎失圆的现象，要仔细滚压，排净气泡。

7．贴胎面胶

无论是环状还是条状的胎面胶条，在选用时要用规格相同花纹类型合乎要求的胶条。条状的要按轮胎周长量取胎面胶条，条状胎面允许有接头但一般不超过3个。

预制好的胎面胶条应当把底面打磨好，并涂刷胶浆，用干净的包装材料贴在粘贴表面，也有的把缓冲胶也贴在胎条上。

条状胎面胶条的接头处磨锉后涂刷胶浆，并粘贴一层缓冲胶，将接头对紧，然后用金属

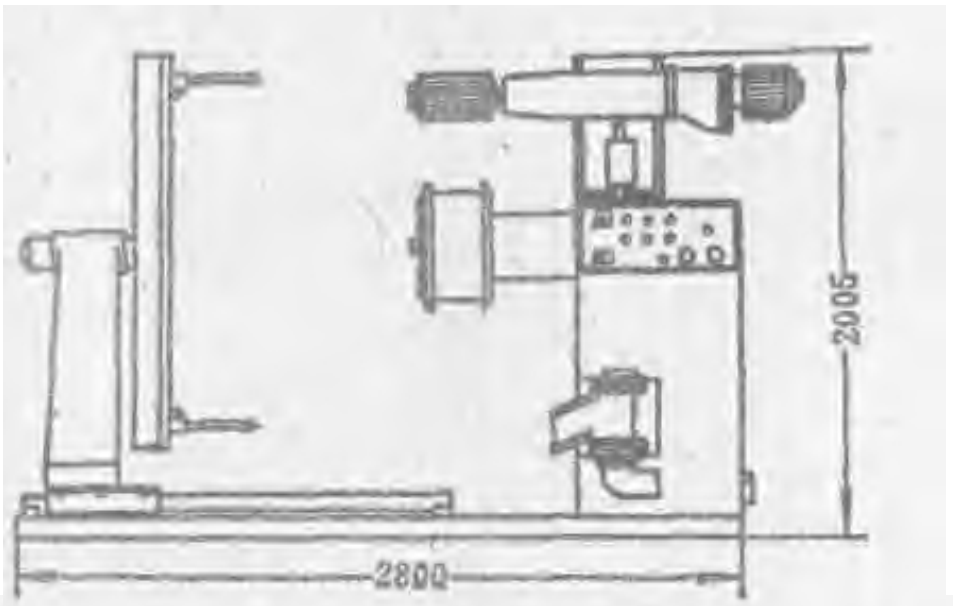
Π型钉子固定。胎面贴合要正，胎面花纹对好。环状胎面应使用专用设备把胎条直径张大，然后套在轮胎上。胎面贴好以后要用压辊滚压实。

8．上包封套

是将包封套套在粘贴好胎面的轮胎上。包封套的作用是防止轮胎在二次硫化时，空气或蒸汽从粘合的界面串入胎内。所以包封套和轮胎之间不应存在任何气体。有时在轮胎和包封套之间放排气网，利用包封套上的排气嘴，采取措施使轮胎与包封套之间的气体排出（见图4-1-14）。



图 4-1-14 装包封套的轮胎



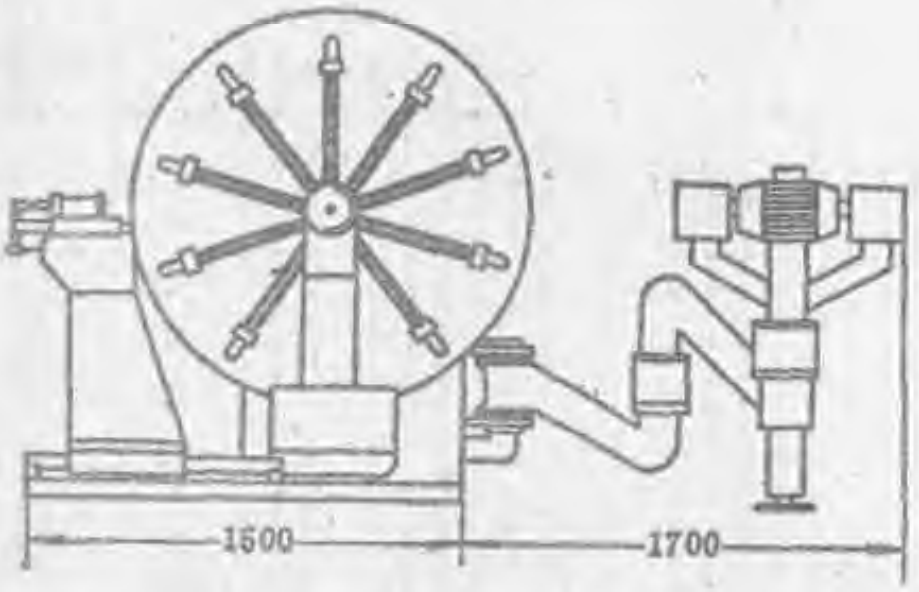




图 4-1-15 多功能削磨机（单位：mm）

包封套可以用人工或专用设备使之套在轮胎上或取下。现在已有专门设备可以把预硫化胎面翻新的削磨、喷涂胶浆、粘贴胎面和上包封套操作在同一台机器上完成（参见图4-1-15多功能削磨机），从面大大简化了翻胎的工艺设备。

9．硫化

（1）硫化的设备　预硫化胎面翻新硫化是第二次硫化，是使已预制好的胎面胶条与胎体硫化成一个整体。它不象传统法工艺硫化时要使用模型并给翻新轮胎以花纹和一定的形状。预硫化胎面翻新的硫化设备多使用各种类型的硫化罐和光滑模等。

a．大型硫化罐　适于大批量生产，硫化罐容量一次可硫化翻新胎10～20条，硫化罐有蒸汽加热和电热两种，为间接加热。罐内有热空气强制循环装置，以保证温度均匀。翻新轮胎可以挂在硫化罐的钢梁上，每条轮胎都可有专门导管连接到向翻新胎充内压和抽出包封套与胎面间空气的导管。罐内也可以压缩空气为翻新预硫化胎面轮胎加外压用（见图4-1-16）。

用硫化罐硫化预硫化胎面翻新轮胎，使用的温度和压力也不相同，温度在99～125℃之间，时间也由2.5～5小时不等。

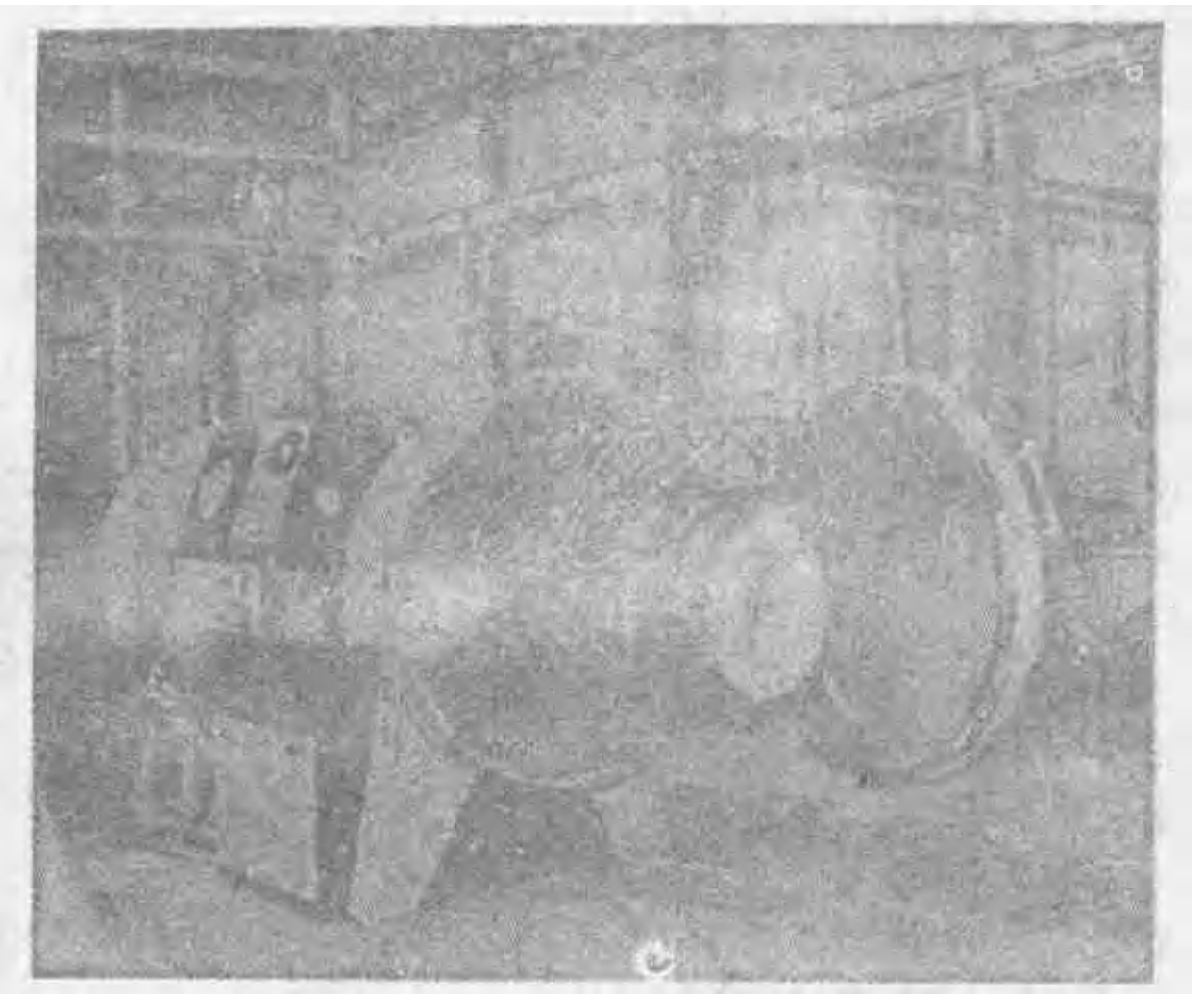


图 4-1-16　大型硫化罐

硫化内压多充压缩空气，压力为0.7MPa(7kgf/cm²)，而在硫化罐内充压缩空气，压力与轮胎内压相同或稍低为0.1～0.2MPa(1～2kgf/cm²)。

抽真空目的是防止气体串入翻新胎使新老胶结合层，同时保证花纹沟底部有均匀的压力。抽真空的方法有3个。

①　用真空泵抽去包封套和胎条间花沟内的残存空气。

②　将包封套上汽嘴接通排气导管，不用真空泵抽去残存气体，由胎内外压力迫使气体沿导管排出硫化罐以外。

③　由导管向包封套和胎面胶条之间充少量气压，使胎面花纹沟槽中保持相当压力，从面保证硫化压力均匀分布在整个胎面上，而且减少包封套在花沟部分的变形，以延长包封套的寿命。

b．双腔硫化罐　这种硫化设备与大型硫化罐基本相同，但其省掉装卸轮辋的操作，每个硫化室有两副胎圈挡板，可以把轮胎直接装在胎圈挡板上，其它与大型硫化罐相似。

c．光滑模　用光滑模进行二次硫化的可以一模一胎进行硫化。包封套由光滑模压紧胎侧边缘达到密封要求，其余原理与硫化模相同。

（2）硫化后应排出罐内和胎内压力，并拆去轮胎上的轮辋和包封套，条状预硫化胎面翻新胎接头上的Π形钉子要逐个挑除干净。

10．产品检查

与传统工艺相同。

## 第五节　特种用途轮胎的翻新

### 一、航空轮胎的翻新

航空轮胎（简称航胎）的使用条件比较特殊，其构造和翻新均与普通汽车轮胎不同。由

于航胎是在高速度、高负荷、瞬间大冲击力及较大变形条件下使用，因此对航胎的特殊要求是具有高负荷及过载时的安全性；短距离内达到超高速运转；低生热和较好耐磨耗性能。胎面花纹一律是纵向沟槽，对地面的抓着力并不重要。

航胎是飞机安全起落的重要部件，航胎在工作时若发生损坏，常会导至飞机发生重大事故，因此世界各国对航胎和翻新航胎的检测和管理都很严格。国际上通常采用美国联邦航空管理局（FAA）制订的轮胎轮辋制动器鉴定技术标准（TSO—$C_{62}C$）等文件规定的条件进行检测。

航胎的使用寿命通常是以飞机起落的次数来计算，航胎能经过多次翻新，一般为5～6次，有的可达10次以上。因此翻新航胎是一件具有重要经济价值的工作。

1．航空轮胎的使用特点对翻胎工艺的影响

航胎不同的使用条件对翻新工艺条件的影响很大的。其使用条件及特点如下。

① 高速度　航胎使用速度高于汽车轮胎，最高可达400km/h以上，但它不是持续长时间的高速使用，而是在很短时间内（1分钟以内）加速到最高速度，但每次起落转动时间很短。

② 高负荷　减少航胎重量对飞机具有特殊重要的意义，因此需要增大航胎充气压力，提高每一条航胎的载重量。航胎充气压力高达0.99～1.5MPa(10～15kgf/cm²)。

③ 变形大　航胎是在较大变形条件下工作，其下沉量高达32～35%。航胎下沉量大可以吸收飞机降落滑跑中的能量而使之减速。

④ 航胎转速高　航胎每次使用时间很短，但转速却在几十秒钟内由零达到1000r/min以上，因而对各部件产生很大的离心力。胎面胶部分对此很敏感，因为根据力学原理，当直径相等时，离心力与速度的平方成正比，离心力有可能把胎面胶甩掉。

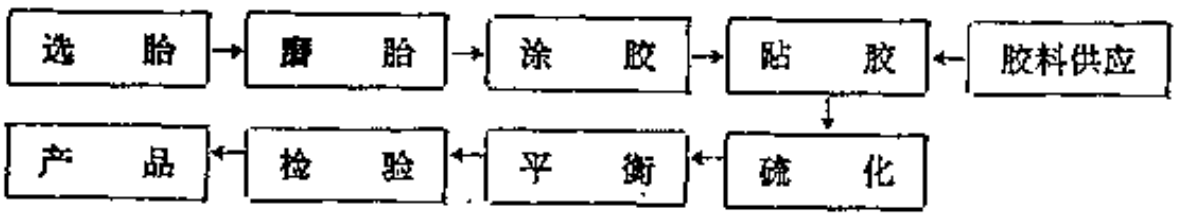
⑤ 工作环境温差大　航胎不但受不同纬度气温温差的影响，而且高空温度很低，而着陆后又会因刹车生热使周围温度在35℃以上。

⑥ 良好的动、静平衡　航胎对动静平衡要求很高，对轮胎的重量和尺寸精度也有很严格的要求。

2．翻新航胎的工艺

翻新航胎的工艺与翻新汽车轮胎工艺的区别较大，而且翻新航胎只适于用传统法工艺而不宜于使用预硫化胎面翻新工艺。翻新航胎的工艺与翻新汽车轮胎工艺的区别如下。

（1）工艺流程　翻新航胎的工艺流程如下：




（2）选胎　航胎对胎体要求很严格，并应当用无损探伤设备检查。例如用X光检查胎体或胎圈钢丝构件的完整性，用激光全息照像检查仪检查胎体是否存在气泡、脱层和帘线松散等缺陷。选胎标准如下：

① 胎体完好；

② 胎圈完整；

③ 花纹磨平未露出胎体最外一层帘线；

④ 缓冲层或带束层完好；

⑤ 胎侧有老化龟裂或径向裂纹，但未深达帘布层；

⑥ 胎面未受油脂浸渍影响；

⑦ 胎面因受热焦烧但未影响帘布层的。

（3）磨胎 应用高精度磨胎机锉磨航胎，以保证航胎的尺寸精度和断面几何形状。尺寸误差应不大于±1mm，锉磨掉受热焦烧的表面。锉磨过程不许伤及缓冲层（或带束层）和胎体帘布层。锉磨后的航胎要尽快喷涂胶浆。

（4）涂胶 应使用柱塞或压缩机喷涂胶浆的无空气喷胶设备。防止压缩空气中的水分油脂混入胶浆，以保证粘合牢固。

（5）贴粘胎面胶

a．胶料 航胎用胎面胶及缓冲胶等均采用100%天然橡胶配方，因为航胎工作环境温差很大，要使用脆性温度较低的天然橡胶为原料的配方，航胎用的胶料应当是相对密度较小的。

胎面胶料优先考虑的性能是耐磨耗和低生热性能，胶料300%定伸应力应达到1.08～1.37 MPa(110～140kgf/cm²)。配方举例见表4-1-13。

表 4-1-13 航胎胎面配方举例 单位：重量份

| 原材料名称 | 天然橡胶 | 氧化锌 | 硬脂酸 | 促进剂 | 硫黄粉 | 防老剂 | 槽法炭黑 | 石蜡 | 松焦油 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 配合比 | 100 | 4 | 3 | 0.6 | 2.6 | 2.5 | 50 | 0.5 | 4.5 | 167.7 |

b．粘贴胎面胶 应使用冷喂料绕贴机成型，使用绕贴机成型胎面以保证贴胶的尺寸精度和胎面胶的分布均匀。

c．胎面胶下加贴加强层 对于时速太高的航胎（超过360km/h以上的）在胎面胶的下部（花纹沟以下）增加1～2层加强层（见图4-1-17）。这个加强层用挂胶尼龙帘布制成，用以增加胎面的整体性，可防止高速转动中在离心力作用下甩掉胎面胶，同时也可降低胎面胶生热倾向。

（6）硫化

a．硫化设备 航胎使用全自动或半自动个体硫化机硫化，航胎由于胎体坚硬且都是用环状纵向花纹沟，因此出入模型比较困难，应使用可径向运动的活络模型，见图4-1-18。

硫化内压应比普通轮胎高，为1.8～2.0MPa(18～20kgf/cm²)。

b．硫化内模设计 航胎使用的硫化内模应使其翻新后与原胎外缘尺寸相同，花纹沟也应一样，航胎一般不用块状花纹以防止使用中掉块。改变航胎外缘尺寸或花纹时，必须重新作适航性能检查。

c．航胎硫化温度为145～155℃。硫化内压介质一般使用压缩空气或过热水。由于胎面薄无内伤，硫化时间较短。

（7）平衡 所有翻新的航胎要逐条作平衡试验。用平衡试验机检查不平衡度和轻点的位置，通常用相对密度较大的物质放在轻点处以矫正轮胎的不平衡度。矫正不平衡度的方法是在轻点位置加配重物质，配重物质都是相对密度较大的材料制成，例如铅块、砂块和配重胶料等。

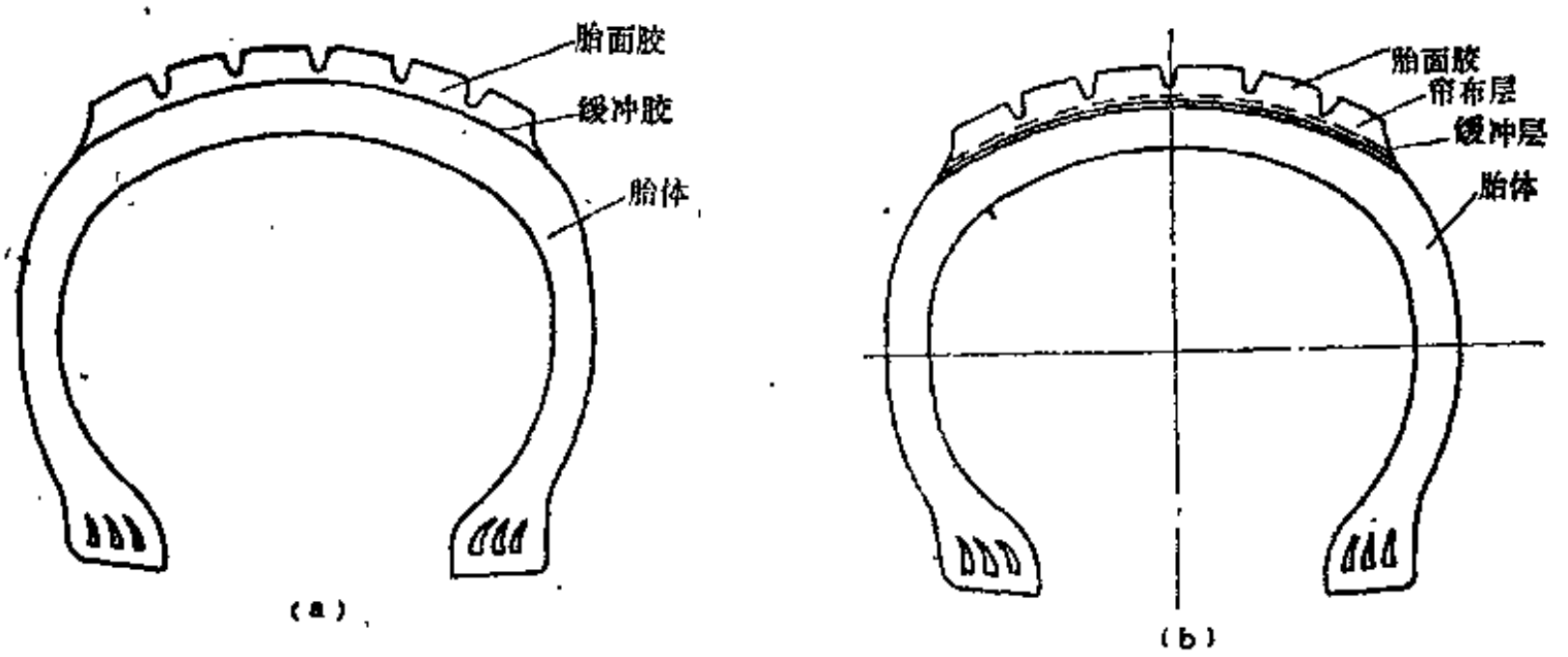



图 4-1-17　胎面加强层

(a) 全橡胶航空轮胎胎面；(b) 有帘布加强层航空轮胎胎面

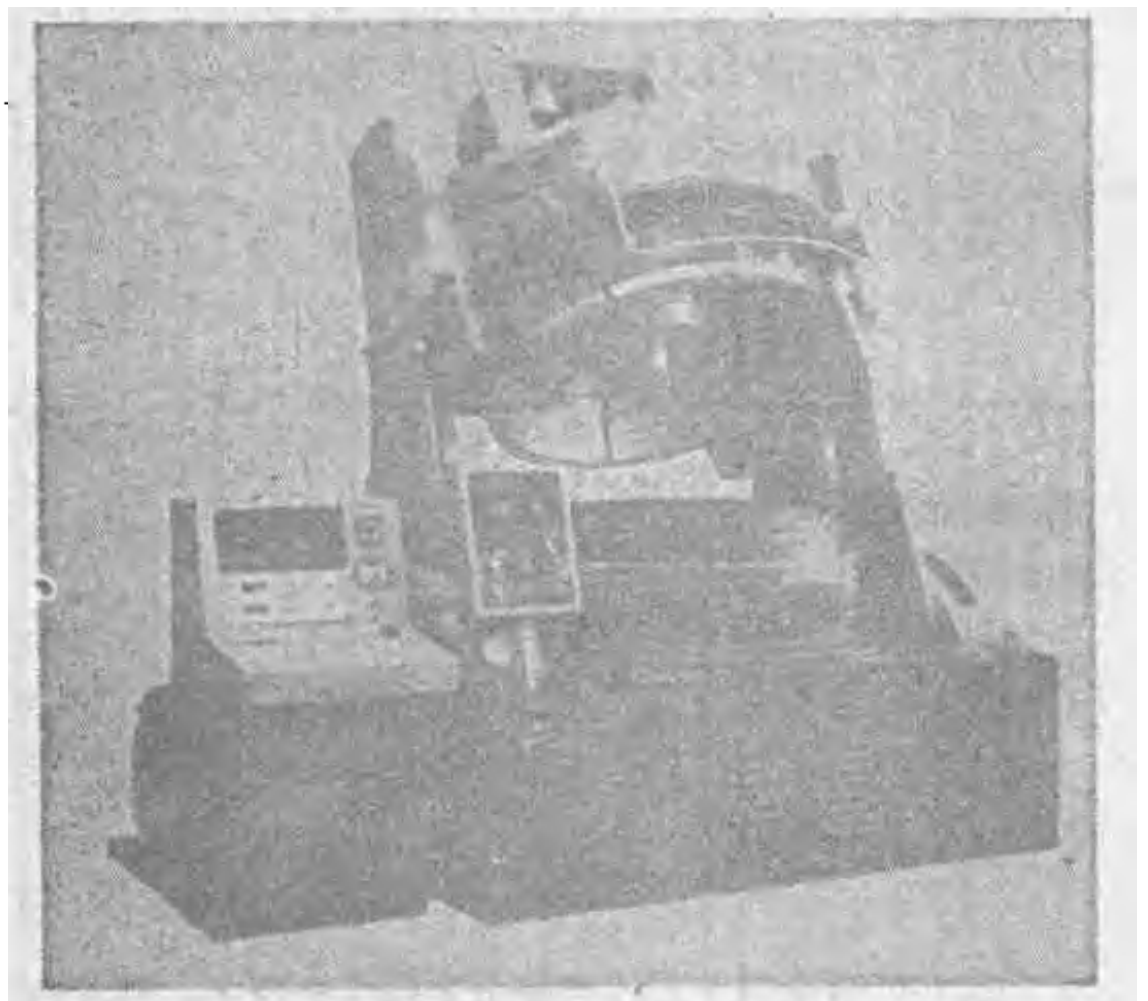


图 4-1-18　航胎全自动个体翻新硫化机

铅块或砂块粘在轮胎胎里上，在使用中由于航胎剧烈的屈挠容易脱落，因此多使用配重橡胶，把一定重量的配重橡胶粘在轮胎的轻点上。配重橡胶要求相对密度大，容易硫化，具有一定的强度，并且在再次翻新时容易取下来，而且不伤及航胎的气密层。配重胶料的配方举例见表4-1-14。

表 4-1-14　配重橡胶配方举例　　单位：重量份

| 原材料名称 / 配方号 | 天然橡胶 | 氯丁橡胶 | 氧化锌 | 氧化铅 | 硬脂酸 | 通用炉黑 | 石蜡 | 固体古马隆 | 硫黄粉 | 二乙基二硫化氨基甲酸锌 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 100 | 10 | 240 | 2 | | 2 | 4 | | | 358 |
| 2 | 100 | | 200 | | 1 | 30 | | | 1.75 | 1 | 333.75 |

（8）检验　航胎翻新后要进行严格检验，要完全合格才能允许使用。其检验项目除外观质量外还要充气检查密封性、外缘尺寸和下沉量等项目。

完工的翻新轮胎要作无损检查胎体，即用X光机和激光全息照相法，以准确测定胎体有无影响使用的隐患。

完工的翻新轮胎要在胎上制有不易除去的以下各项标志。

①　翻胎厂名，编号，生产日期，操作检验人员代号和翻新次数的标志。

②　平衡标志　标出轻点位置。

3．子午线和无内胎航胎的翻新

航胎多数是无内胎轮胎，斜交胎体结构。但近年来子午线结构的航胎开始应用在飞机上，取得较好的经济效益。使用子午线结构的航胎与斜交结构航胎相比具有以下优点：①使用起落次数提高一倍；②重量减轻，军用航胎可减轻重量15%，而民用大型客机航胎可减轻重量25~30%。

翻新子午线结构的航胎无技术上的困难，但在处理钢丝帘线和橡胶的粘合上可参照子午线轮胎部分处理。

## 二、工程机械轮胎的翻新

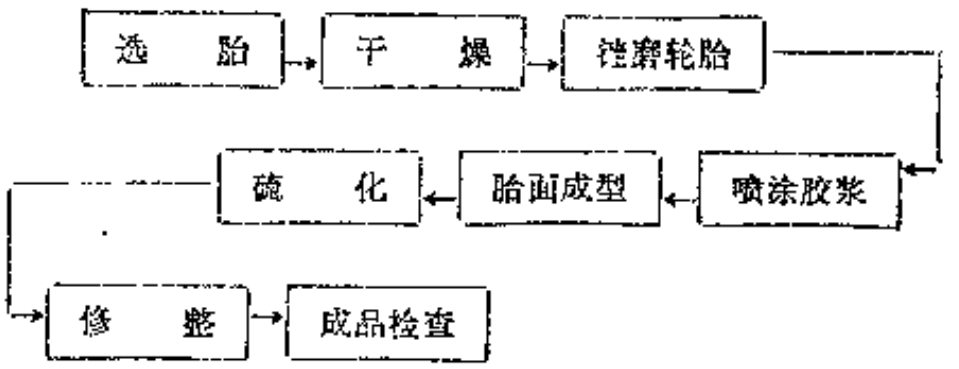
工程机械轮胎的特点是规格型号复杂；多数直径大；重量大；使用条件苛刻；转动速度慢；价格昂贵。因此翻新工程机械轮胎具有很大的经济效益。

1．工程机械轮胎翻新的工艺方法

（1）传统模硫化翻新法　用传统的翻新工艺翻新工程轮胎，用模型硫化。由于模型设备昂贵，只适用于胎源稳定批量大的工程轮胎。其工艺流程与翻新斜交轮胎工艺相同，但要解决工艺中轮胎的起吊和运输问题。

（2）预硫化胎面翻新工艺　用预硫化胎面翻新工程轮胎，可采用条状和环状两种工艺，其工艺过程和翻新汽车轮胎相同。但由于大型工程胎胎面重量大，搬运和粘贴胎面均有一定的困难，通常不用于大型工程轮胎，只用于中小型工程胎的翻新。例如最大规格不超过18.00-25。

（3）无模硫化工艺　这种工艺特点是不使用硫化模型，从而减少了购置大型昂贵的硫化模型的投资。这种工艺流程如下：




无模翻新工程轮胎的工艺与汽车轮胎翻新工艺差别较大的地方简述如下。

a．选胎　工程轮胎作业条件恶劣而复杂，翻新费用和轮胎本身价格均甚昂贵。因此应当按以下标准选择轮胎。

①　胎面花纹深度尚余20%。

②　胎体帘布层无老化、松散、断裂和大面积脱层现象。

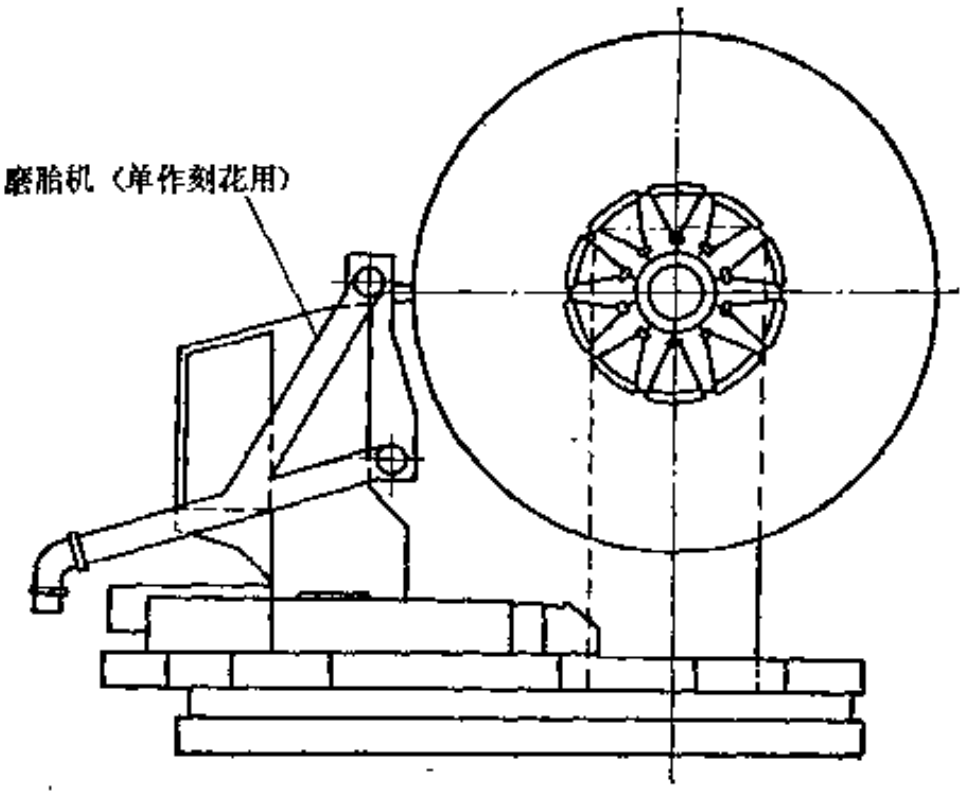



图 4-1-19　大型工程轮胎割磨刻花和绕贴设备
（a）磨胎和刻花机组；（b） 绕贴胎面机组

③ 胎体穿洞长度不超过断面宽度的2/3，有两个或两个以上的穿洞其总长度不超过断面宽度。两个洞口间最小间距不小于500～700mm。

④ 胎圈钢丝圈无松散、变形或折断。

⑤ 缓冲层无大面积脱层和损伤。

⑥ 穿洞距胎踵不小于200mm。

b．干燥　工程轮胎干燥时间要比汽车轮胎延长2～3天，其它干燥条件均相同。

c．磨胎　工程轮胎多数花纹是块状越野花纹，花沟的深度通常应采取先切削后锉磨的工艺。就是先把轮胎充一定气压装在磨胎机上，仿形切削去剩余花块，然后用磨轮把表面磨成粗糙面。

d．喷涂胶浆　本工艺与翻新汽车轮胎相同，可参阅本篇第一章。

e．胎面成型　大型工程机械胎面成型方法的特点是在粘贴胎面胶的同时要作好花纹。其具体方法如下：

① 贴花法　本方法是在工程轮胎上先粘贴一层基部胶，然后用挤出机挤出花纹条，再将花纹条粘在胎面基部胶上并压实。这种方法适用于斜条花块的胎面。

② 刻花法　刻花法是工程轮胎胎面成型较新的方法，它具有机械化程度高，劳动强度较小的特点。刻花法胎面成型工艺是先用大型绕贴机由冷喂料挤出机挤出胶条后，再将胶条在微型计算机控制下按预定程序绕贴成型好胎面胶，然后用与花沟断面形状相同的电热刀头按一定程序在胎面上刻出预先设计好的花纹沟。刻花刀头加热温度为90～95℃。割磨刻花和绕贴可以放在同一台设备上加工，以避免大型轮胎的搬动。割磨和绕贴联动设备见图4-1-19。

f．硫化　无模翻新工程轮胎不使用模型硫化工艺而是用大型硫化罐硫化。硫化罐的特点及操作方法如下。

① 硫化罐用间接蒸汽加热，加热温度为135℃。由于工程轮胎的胎体和胎面均较厚，故采取低温长时间硫化。

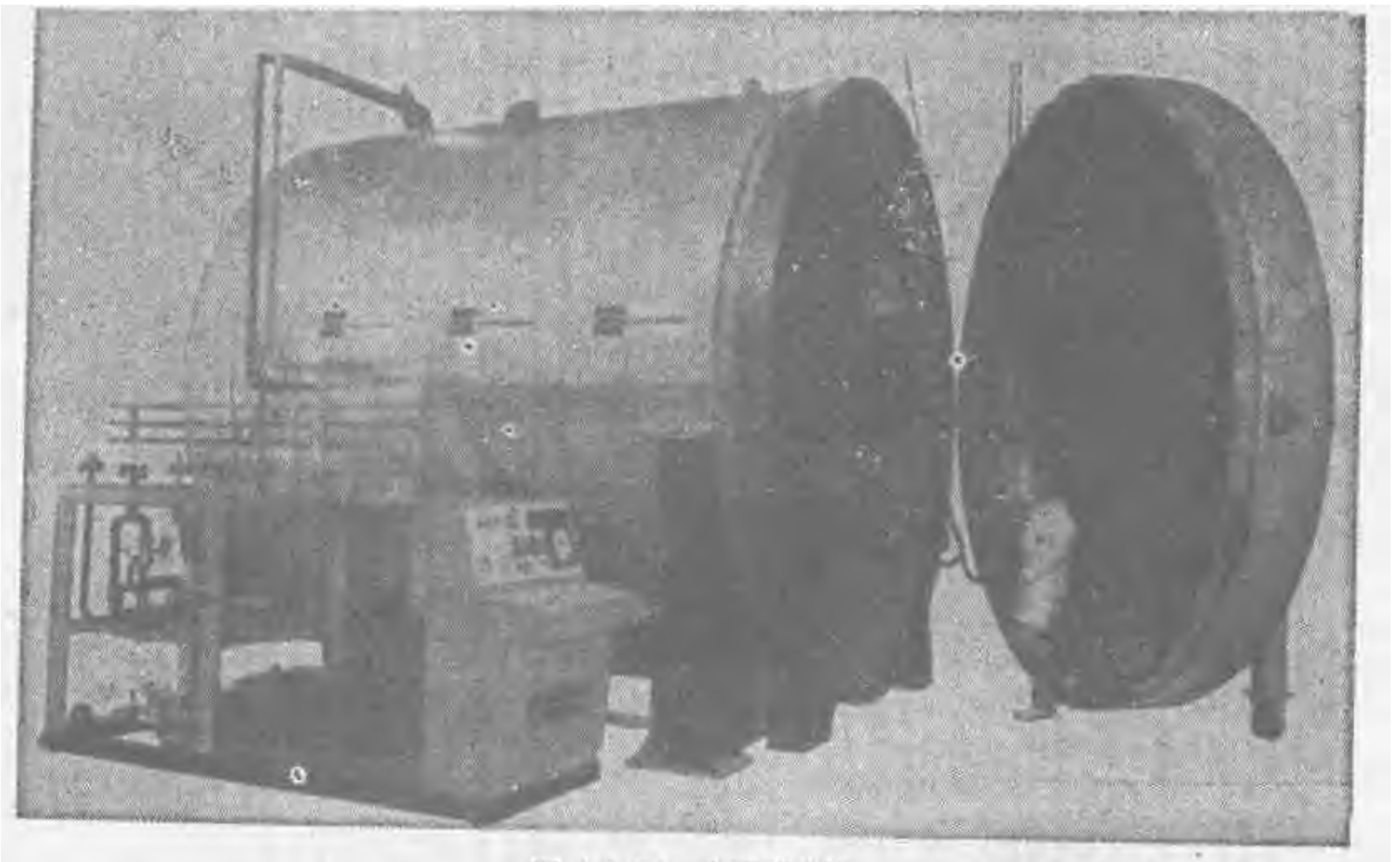


图 4-1-20　大型硫化罐

② 硫化罐内有两根轴用来悬挂欲硫化的轮胎，这两根轴可带动轮胎以3～5r/min的慢速旋转。以防止胎面受热使胶料变软后向下悬垂。

③ 硫化过程中罐内充以惰性气体（如氮气或二氧化碳等），压力为0.49～0.59MPa（5～6kgf/cm²）。

④ 硫化完毕要关掉加热蒸汽放出冷气压力，并在罐内用冷却水喷淋轮胎，使轮胎迅速冷却到70℃以下后才能打开蒸罐。

硫化罐硫化轮胎的方式见图4-1-20。

用上述方法生产的工程轮胎外观质量稍差，但能满足要求。

## 三、农业机械轮胎的翻新

农业轮胎包括用于各种农业机械的轮胎，其特点是胎体薄，工作压力低。农业轮胎花纹与其它种类翻新轮胎不同：驱动轮为高越野花纹；导向轮则多为纵向条纹。

农业轮胎的翻新多采用传统的翻修工艺法进行，不宜于采用预硫化翻胎工艺。其工艺流程和设备与翻新汽车轮胎基本相似；但又具有以下特点。

（1）胶料 农业轮胎的翻新胎面胶料可比汽车轮胎用胎面胶的物理机械性能要求稍低，这是因为农机轮胎的速度较慢。其它部位翻新胶料可以使用汽车轮胎翻新用胶料。

（2）选胎标准 根据"翻新修补轮胎"国家标准，农业、林业、工业车辆等轮胎的选胎标准如下：

① 胎面中部剩余花纹深度拖拉机前轮及马车轮胎等不低于2mm，拖拉机后轮及工程机械轮胎等不低于3mm；

② 缓冲层允许局部磨损至两层，胎体无脱层，胎里不允许有整圈的擦线跳线；

③ 缓冲层之间、缓冲层与胎体之间允许有局部脱层，单个长度不超过同规格新胎断面宽度的40%，总长度不超过外周长的1/2；

④ 胎侧允许有轻微老化裂纹，但不得深及帘布层；

⑤ 胎间胎侧胶与帘布层间允许有局部脱层，长度不超过1/5圆周；

⑥ 胎圈允许有局部机械损伤及磨损，但不伤及胎圈钢丝，胎圈不允许有变形；

⑦ 胎体允许穿洞（包括损坏50%胎体层数以上者），最大尺寸如表4-1-15。

（3）花纹要适合农业机械的特殊需要，驱动轮和导向轮要用适合于作业条件的花纹

表 4-1-15 胎体允许穿洞最大尺寸

| 项目 ＼ 轮胎类别 | 拖拉机、农业机械、林业机械、工业车辆工程机械及马车轮胎 |
|---|---|
| "—"形洞口长度 | 不超过同规格新胎断面宽度的40% |
| "○"形洞口长度 | 不超过同规格新胎断面宽度的20% |
| "×"形洞口长度 | 不超过同规格新胎断面宽度的30% |
| 洞口（包括损坏50%胎体层数以上者） | 不超过同规格新胎断面宽度的100% |
| 总长度 | |

注：1. 洞口长度系指洞口底部尺寸。

2. 洞口底部宽度超过其洞口底部长度50%者按"○"形洞处理，"×"形洞口短缝长度不超过长缝长度40%者按"—"形洞处理。

3. 两洞间距不得小于100mm，否则按一个穿洞计算，其长度应包括两洞间的距离。

4. 洞口总长度包括上次修补洞口的长度。

5. 从胎内测量，胎趾至损坏处最短距离14.00以下轮胎不小于70mm，14.00以上轮胎不小于100mm。

翻新。

## 第六节　翻新轮胎常见的外观质量缺陷

翻新轮胎在生产中可能产生一些外观上的质量缺陷，产生的原因和解决的措施见表4-1-16。

表 4-1-16　翻新轮胎常见外观质量缺陷产生原因分析

| 缺陷类型 | 产生缺陷的原因 | 解决的措施 |
|---|---|---|
| 翻新胎面花纹圆角、明疤 | 1.翻新轮胎大磨和贴胎面成型尺寸与硫化内磨不配合主要是大磨和贴胎面弧度高较大，胎面宽较小；<br>2.胎面胶局部胶料不足；<br>3.翻新硫化内模花纹排气孔堵塞或开孔位置不当；<br>4.入模温度过高和胎面胶焦烧及性能不好；<br>5.压出胎面温度过高表面焦烧 | 1.改进磨贴翻新胎面轮廓使之与硫化内模相适应；<br>2.增加花纹间排气孔，并保持排气孔畅通，检查排气孔分布位置使之合理；<br>3.入模温度应低于100℃<br>4.挤出胎面胶温度应低，冷贴用者要充分冷却 |
| 翻新胎面花纹裂口崩花 | 1.启模温度过高，启模动作过猛；<br>2.胶料过硫；<br>3.花纹设计不当 | 1.启模前应使模型温度下降到100℃以下；<br>2.改进胶料配方和硫化工艺使胶料硫化平坦区加长；<br>3.纵向花纹应增加一些花纹沟上的加强筋条 |
| 肩部蜂窝 | 1.胎小模大或贴胎面胶两肩呈圆角；<br>2.内压偏低 | 1.修改贴胎面尺寸并使断面轮廓与模型相适应；<br>2.内压应不低于规定 |
| 胎面胶欠硫 | 1.模型温度低冷凝水排出不畅；<br>2.硫化内胎中积水未排净，影响硫化；<br>3.模型中积垢太多 | 1.检查并排除导致模具温度低的故障；<br>2.硫化内胎用前排净积水；<br>3.清除硫化内模蒸汽室中的积垢 |
| 模缝错位 | 1.紧模时上下模未对正；<br>2.模型加工不同心 | 1.装模后合模要注意合正再紧模；<br>2.检查并重新加工 |
| 花纹错位 | 1.硫化内模装配不合要求；<br>2.硫化内模花纹制造不合要求 | 1.重新装配；<br>2.重新加工硫化内模 |
| 模缝溢流胶边太厚 | 1.合模局部不紧或全部不紧；<br>2.模型使用日久局部磨损严重 | 1.合模必须全部合紧而平；<br>2.修理或更换新模型 |
| 花纹沟基部胶过薄 | 1.胎体偏大；<br>2.胎面胶厚度不够 | 1.严格掌握施工尺寸；<br>2.严格控制胎面胶厚度 |
| 胎面胶下局部脱空 | 1.胎面胶下面积存有气体未排掉；<br>2.胎面胶下有污染物或溶剂不干 | 1.胎面滚压密实排尽气体；<br>2.保持胎面胶和胎体清洁；<br>3.溶剂彻底挥发后再贴胎面胶 |
| 胎面和胎体间串空 | 1.胎体有钉眼未予修补，同时硫化内胎也有漏气钉孔，致使空气串入两者之间；<br>2.胎体有钉眼未予修补而硫化内胎表面或胎腔内有水分，硫化中受热蒸发串入二者之间 | 1.修补好钉眼；<br>2.硫化内胎在使用前要仔细检查发现漏气立即停用，修复后才能用；<br>3.揩净胎腔内积水，硫化内胎上涂的隔离剂要等干后再用 |

续表

| 缺陷类型 | 产生缺陷的原因 | 解决的措施 |
| --- | --- | --- |
| 硫化后胎体脱层 | 1.胎体含水分过高；<br>2.硫化后未降温启模 | 1.胎体要干燥；<br>2.硫化后要冷却启模 |
| 胎里突鼓 | 1.胎大模小；<br>2.装模操作不好，导致局部胎挤变形 | 1.严格控制选模尺寸；<br>2.合模时要使模型平稳合拢 |
| 胎体内凹 | 1.带穿洞硫化的翻新胎胎小模大，洞口部分顶出；<br>2.洞口贴胶不实 | 1.严格控制翻新胎施工尺寸；<br>2.洞口贴胶密实不缺胶 |
| 胎圈严重弯曲或钢丝圈折断 | 1.胎圈钢丝圈折断漏检；<br>2.胎大模小；<br>3.施工时张开胎圈过猛过大 | 1.对胎体胎圈仔细检查；<br>2.严格控制轮胎选模尺寸；<br>3.施工中要注意操作防止损伤钢丝圈 |

# 第二章　轮 胎 修 补

轮胎在使用中，由于保养不善或机械损伤而造成局部损坏，应及时予以修复，从而防止破损扩大及轮胎早期报废。对轮胎进行局部修补以恢复其使用性能，能延长轮胎使用寿命和提高翻新率。

## 第一节　轮 胎 修 补

### 一、轮胎损伤的种类和修理方法

根据轮胎损伤部位和程度不同，其种类和修理方法见表4-2-1。

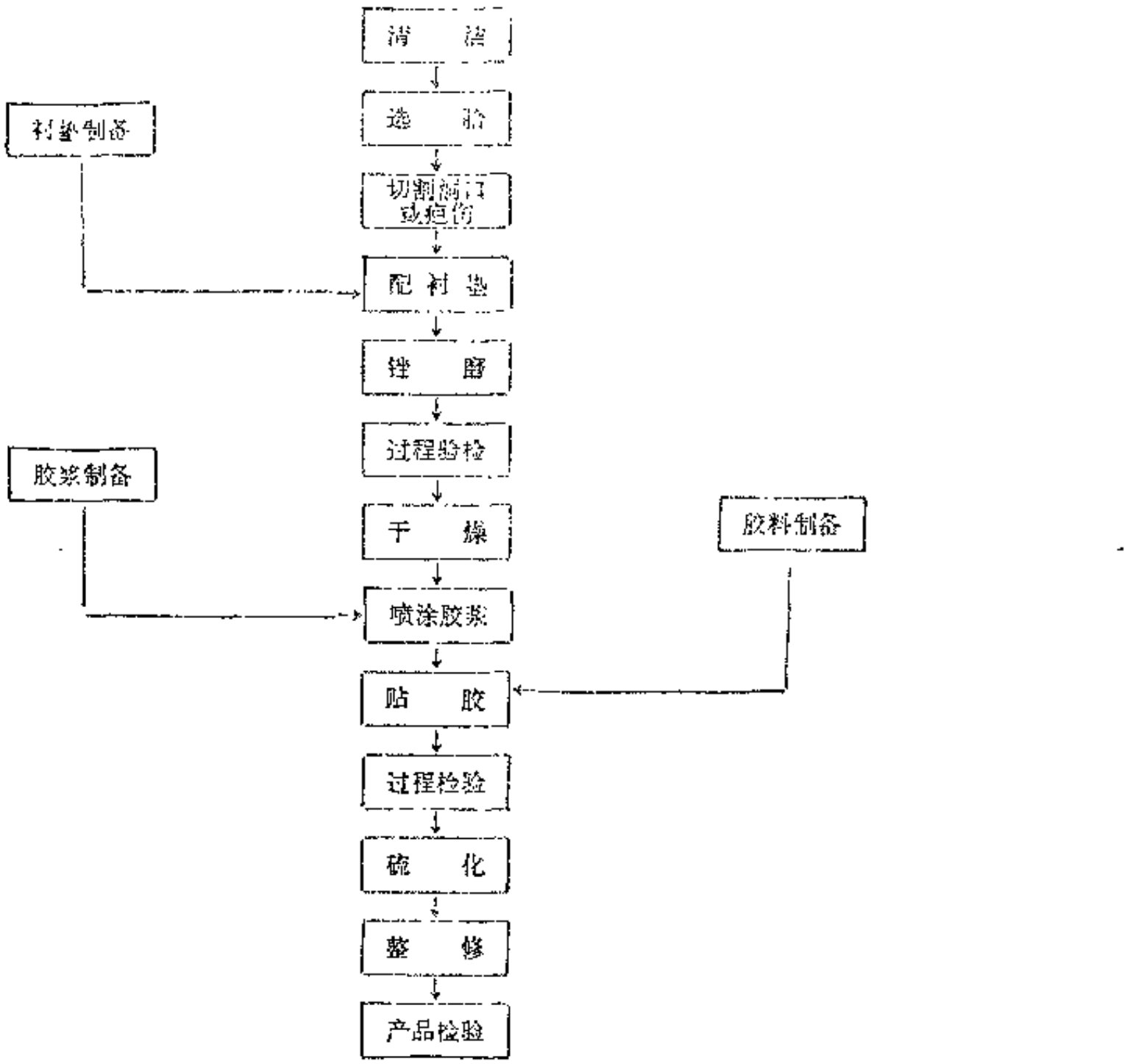
表 4-2-1　轮胎损伤分类及修理方法

| 损伤名称 | 损 伤 状 况 | 简 要 修 理 方 法 |
|---|---|---|
| 穿　　洞 | 轮胎胎体穿透的洞口直径大于5mm | ①切割并锉磨洞口；<br>②补衬垫；<br>③洞口填胶；<br>④硫化 |
| 疤　　伤 | 损伤外部胶料或伤及胎体帘布层但未穿透者 | ①切割并锉磨疤伤；<br>②帘布层损伤过多配衬垫；<br>③伤处填胶；<br>④硫化 |
| 钉　　眼 | 刺穿小洞直径不大于5mm | ①清洁洞孔；<br>②补胶片或衬垫；<br>③硫化 |
| 胎体损伤 | 胎体折裂脱层或松散 | ①锉磨掉损坏帘线；<br>②损坏层数多的配衬垫；<br>③硫化 |
| 胎圈损伤 | 胎圈包布或帘布层破损 | ①磨掉损坏的包布或帘布；<br>②用胶或挂胶帘布修复胎圈；<br>③硫化 |

### 二、斜交轮胎修补工艺

#### （一）工艺流程

轮胎修补的工艺流程如下：




## （二）工艺简述

1．清洁

2．选胎

修补轮胎清洁工艺与翻新轮胎相同，参见本篇第一章。

修补轮胎应保证安全可靠经济合理，因此应严格遵照规定的修补胎选胎标准选胎。根据“翻新和修补”国家标准的规定，修补斜交轮胎选胎标准如下。

（1）轿车及载重汽车轮胎选胎技术要求

① 胎面测量点剩余花纹深度不低于新胎花纹深度的1/3。

② 胎体脱空不得超过胎体层数的1/3，轿车及轻型载重汽车轮胎单个脱空长度不超过同规格轮胎名义断面宽度的40%，载重汽车轮胎单个脱空长度不超过同规格名义断面宽度的80%。轿车及轻型载重汽车轮胎脱空总长度不超过同规格轮胎名义断面宽度的100%，载重汽车轮胎脱空总长度不超过同规格轮胎名义断面宽度的180%。

③ 胎里允许有局部辗线、跳线，层数不得超过一层，长度不超过内圆周长的1/5。

④ 胎侧胶允许有轻微老化现象。

⑤ 胎肩胎侧胶与帘布层间允许有局部脱空，长度不超过周长的1/5。

⑥ 胎圈包布允许有机械性损伤或磨损，但不得暴露钢丝，胎圈不允许有变形。

⑦ 胎体允许穿洞（包括损坏50%胎体层数及其以上者）最大尺寸见表4-2-2。

表 4-2-2 胎体允许穿洞最大尺寸

| 项目 \ 轮胎类别 | 轻型载重汽车轮胎 | 载重汽车轮胎 | 轿车轮胎 |
|---|---|---|---|
| "—" 形洞口长度 | 不超过同规格轮胎名义断面宽度的40% | 不超过同规格轮胎名义断面宽度的60% | φ5mm及其以下钉眼3处以下 |
| "○" 形洞口长度 | 不超过同规格轮胎名义断面宽度的20% | 不超过同规格轮胎名义断面宽度的40% | |
| "×" 形洞口长度 | 不超过同规格轮胎名义断面宽度的30% | 不超过同规格轮胎名义断面宽度的60% | |
| 洞口（包括损坏50%胎体层数及其以上者）总长两洞间距不小于100mm | 不超过同规格轮胎名义断面宽度的100% | 不超过同规格轮胎名义断面宽度的180% | |

注：1. 洞口长度系指洞口底部尺寸。

2. 洞口底部宽度超过其洞口底部长度50%者按"○"形洞口处理、"×"形洞口短缝长度不超过长缝长度40%者按"—"形洞处理。

3. 两洞间距小于表中规定者，按一个穿洞计算，长度应包括两洞之间的距离。

4. 洞口总长度包括历次修补的洞口长度。

5. 沿胎里测量，9.00-20及其以下规格胎趾至洞口处最短距离不小于70mm；10.00-20及其以上规格轮胎胎趾至洞口处最短距离不小于80mm。

选胎工艺操作与翻新轮胎选胎工艺基本相同，可参阅本篇第一章。

3. 切割洞疤

切割洞疤的作用是：①清除损坏朽烂组织；②形成一个易于加工和粘合的形状。切割洞疤是轮胎修补的重要工序，因为如损坏或朽烂组织割除不净将留下隐患，而切割范围过大又会影响胎体强度并增加修补材料的消耗。

（1）洞疤切割特征和操作方法　根据洞疤部位、范围、损伤状况等因素而采取不同的切割方法，见表4-2-3。

（2）凡须切割的洞口胎体部分不许留有尖角。

4. 配衬垫

修补洞疤用的衬垫是补强胎体用的材料，其目的是弥补受损伤胎体的强度，恢复轮胎的使用性能。

（1）衬垫的种类和用途

a. 旧衬垫　是利用旧胎剥制的衬垫，它通常用于较大的穿洞。用剥去胎面和胎侧胶的旧胎体，按照需要的长度和宽度截取，四周切削成坡面，补在受损伤胎里上。

旧衬垫的优点是：

① 废物利用成本较低；

② 已形成比较适合的轮廓，便于贴合；

③ 帘线已受过伸张，适合大型洞口，可以现用现配。

旧衬垫的缺点是：

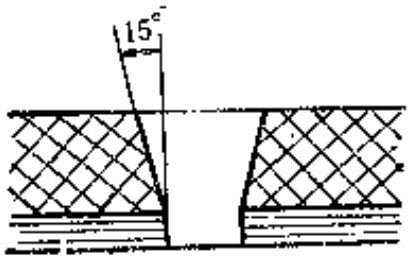
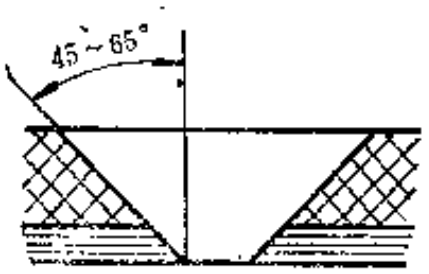
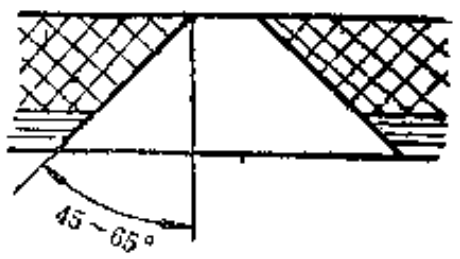
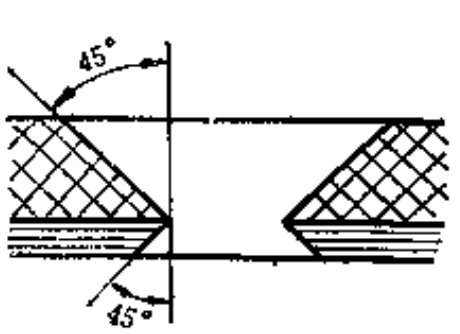
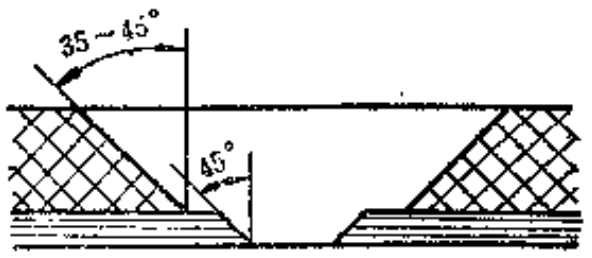
① 修补处挺硬，降低了缓冲性能，增大了不平衡性，不利于高速行驶；

② 加工复杂，操作繁重；

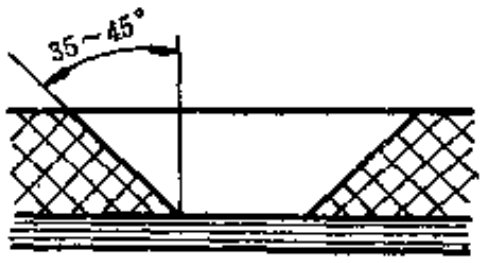
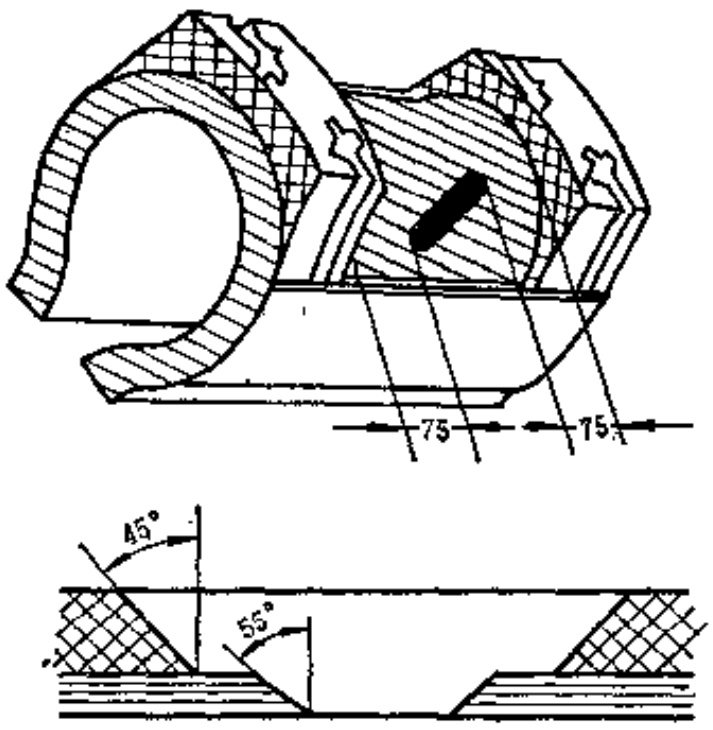
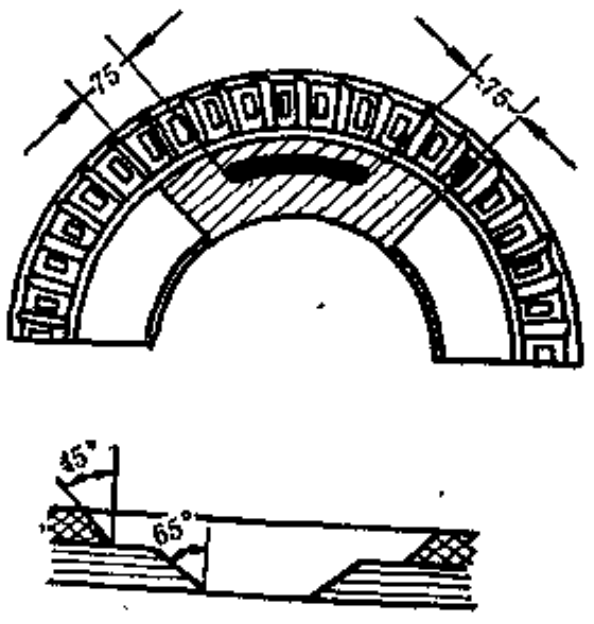
③ 废旧轮胎及切除下的余料占地较多。

b. 十字垫　是用新的挂胶帘布，以90°角重叠交叉粘合而成。十字垫（见图4-2-1）多用尼龙帘线或高强度人造丝帘线制成。十字垫根据硫化程度可分为未硫化、半硫化和全硫化

**表 4-2-3 洞疤切割工艺要求**

| 洞疤切割名称 | 洞疤形状 | 洞疤特征 | 操作要点 |
|---|---|---|---|
| 钉眼 |  (a) | 穿洞直径不大于5mm | 不切割，清理洞口内污秽，胎里补胶片或衬垫 |
| 小外圆锥切割 |  (b) | 直径不大于50mm穿洞 | 切割胎面胶，坡面呈15°，胎体部分只除去损坏帘线，不切割胎体部分 |
| 外圆锥切割 |  (c) | 长度大于50mm的穿洞，洞口外大内小 | 切割洞口成45～60°坡面，胎冠部角度取小值，胎侧部取大值 |
| 内圆锥切割 |  (d) | 穿洞长度大于50mm，洞口内大外小 | 洞口切割45～60°坡面，胎冠部角度取小值，胎侧部取大值 |
| 内外圆锥切割 |  (e) | 冠部穿洞大于50mm，洞口内外大小相近 | 内外洞口均切成45°坡面 |
| 混合切割 |  (f) | 洞口长度大于50mm，且洞口周围胎面胶有脱空部分 | 胎面胶部分切割成35～45°坡面，胎体洞口坡面为45°。胎面部分用老皮的取大值，用新胶填补的取小值 |

续表

| 洞疤切割名称 | 洞 疤 形 状 | 洞疤特征 | 操作要点 |
|---|---|---|---|
| 伤疤切割 |  (g) | 胎体无裂口，外部胶层破损或脱空 | 割除破损或脱空部分，坡面为35~45°，填补新胶的伤疤取小值，扣老皮的取大值 |
| 扣老皮切割 |  (h) | 胎冠部大型穿洞 | 洞口周向两端向外延伸75mm，两侧沿轮胎装配线，剥下原胎面老皮，并在此范围内按15mm级差剥下两层外层帘线 |
| 胎侧机老皮切割 |  (i) | 大型胎侧穿洞而且距胎圈较近的 | 洞口周向外延伸75mm，至防擦线，向胎圈剥取扇形胎侧胶，并在扇面范围内以15mm级差剥下两层帘布和这部分的胎圈包布 |

三种，有一系列规格能适应不同洞口，还有一种专用于胎侧穿洞的十字垫。

十字垫的优点是：

① 重量轻、强力大，操作容易；

② 耐屈挠性能比旧衬垫好，对修补处缓冲性能的影响也比旧衬垫要小一些；

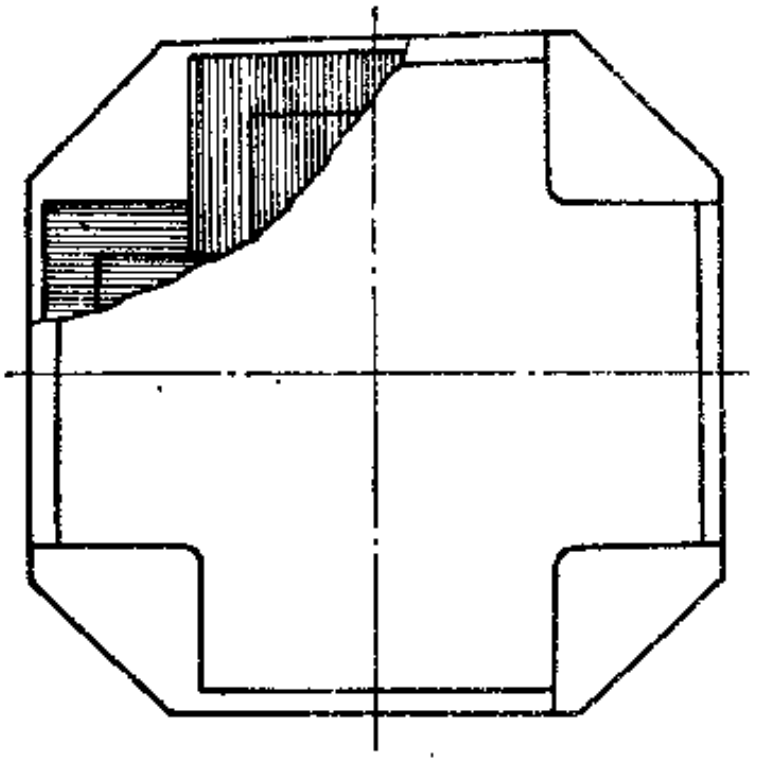


图 4-2-1 十字垫圈

③ 对轮胎平衡性有利；

④ 使用中不易出现翘边现象。

十字垫的缺点是：

① 成本较高；

② 不适于补较大穿洞。

（2）旧衬垫的选配 胎体有穿洞破损的轮胎需要配以旧衬垫，行驶道路条件较差时，所配旧衬垫一般都较大。

a．旧衬垫的长度 旧衬垫长度分为有效补强长度和坡面长度两个部分。坡面长度和层数有关，每层宽度为12mm。有效补强长度比洞口长，要根据洞口大小，部位和形状来确定。衬垫总长度可以按下列经验公式求得。

$$L = l + 2l + 2 \times 12 \times (P - 1) \qquad (4\text{-}2\text{-}1)$$

式中 $L$——衬垫总长度，mm；

$l$——洞口长度，mm；

$l$——衬垫有效补强长度，每边比洞口长80～150mm。

$P$——衬垫层数。

b．旧衬垫的宽度 根据洞口或胎体损伤的部位分为三种（见图4-2-2）。

① 胎冠部位的穿洞 旧衬垫宽度应超过水平轴而接近胎圈加强部，见图4-2-2(a)。

② 胎侧在水平轴以上的穿洞 旧衬垫宽度与有穿洞一侧和胎趾平齐，另一边超过水平轴，见图4-2-2(b)。

③ 胎侧在水平轴以下近胎圈部位的穿洞 旧衬垫近穿洞一侧应包胎圈，与胎踵平齐，见图4-2-2(c)。

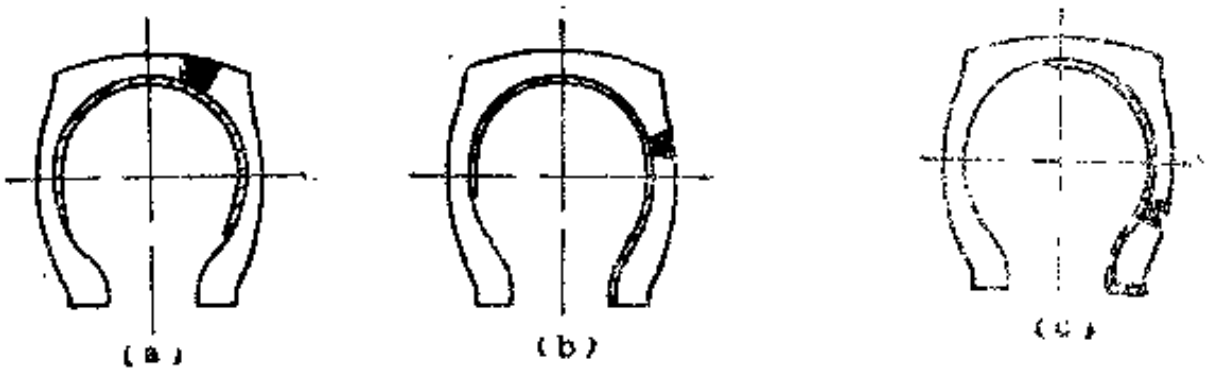



图 4-2-2 配衬垫宽度示意图

c．配衬垫的层数 配旧衬垫的层数应按以下规定选取。

① 胎体损伤层数不超过总层数的1/3，且面积较小时，不大于50mm 的损伤可不配衬垫。

② 超过第①项规定的要配衬垫，衬垫层数应等于已损坏的层数，但每一块衬垫不要超过6层，多于6层的衬垫应用双层衬垫叠合使用。

③ 长度小于50mm的穿洞配垫层数可减少2层。

④ 扣老皮修补的穿洞，在老皮上带有完整帘布层2层，从外面补强胎体时，衬垫也可减少2层。

（3）十字垫配用 十字垫不适于补强较大穿洞，一般只用于补强不大于100mm的损伤，未硫化十字垫只适于补强未穿透的损伤。

5．蚀磨

锉磨修补轮胎的洞疤，用专用磨具把需要修理的部位磨毛，增加粘合面积，切割的部位要锉磨，未切割部位如小裂口和胎里补衬垫的部位也要锉磨。

（1）磨洞磨疤 是锉磨修补轮胎外部的穿洞和疤伤，使用的磨具有小钉轮、小锯片组、钢丝轮和碳化钨各式磨头，钉轮和锯片组只能磨胎面胶部分，钢丝轮用于磨胎体帘布层，碳化钨磨头是不同粒度的碳化钨颗粒焊在不同形状磨头的刃口上，它不但可以磨胎面胶，面且可以磨帘布层和线头。磨面粘合质量的散热块表面不易焦烧，碳化钨磨头见图4-2-3。

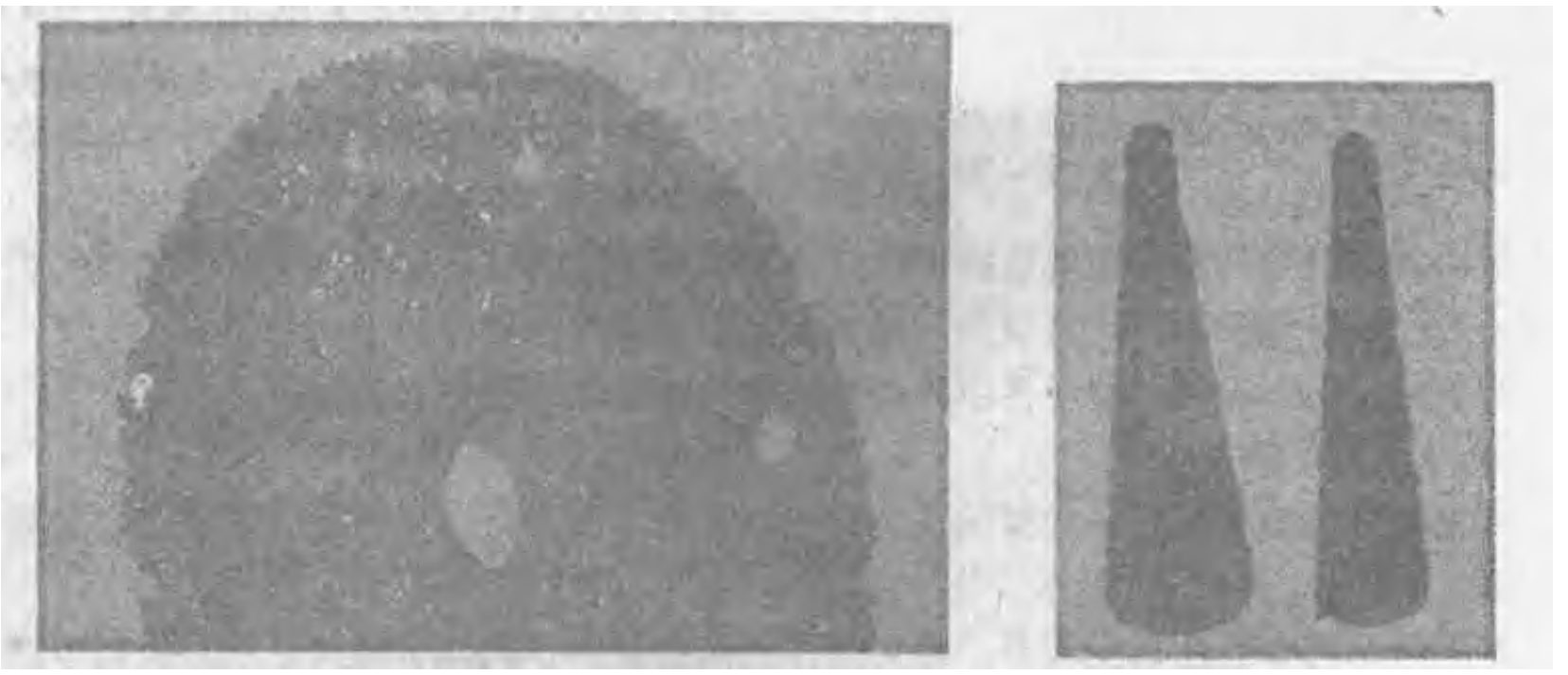


图 4-2-3 碳化钨磨头

（2）磨胎里 是磨轮胎内腔，需要粘贴衬垫范围或洞口坡面，使用钢丝轮打磨。

（3）锉磨修补轮胎的设备 使用较广泛的是软轴磨胎机，也使用电动或风动手提式砂轮机。磨胎里内部有专用的内磨机，具有较高的生产效率。

6．过程检查

这是控制质量的重要检查工序，通常靠人工逐胎进行检验，主要应当检查以下内容：①割磨质量；②有无未予修理的遗漏损伤，尤其是胎体暗伤；③施工记录并对轮胎作彻底清洁。

表 4-2-4 修补轮胎胶浆浓度

| 喷涂次数 | 胶浆配比（胶:汽油重量比） |
|---|---|
| 第一道胶浆 | 1:7～10 |
| 第二道胶浆 | 1:6～8 |

7．干燥

修补轮胎同样需要进行干燥，详见本篇第一章。

8．胶浆制备

参见本篇第一章。

9．喷涂胶浆

修补轮胎所有锉磨过的表面都必须涂刷胶浆，也有采取用喷涂方法的。所用胶浆比翻新

轮胎所用胶浆浓度大一些，喷的胶浆比人工涂的要稀一些。胶浆以涂两遍为宜，第二遍比第一遍要用浓一些的胶浆。修补轮胎胶浆的浓度见表4-2-4。

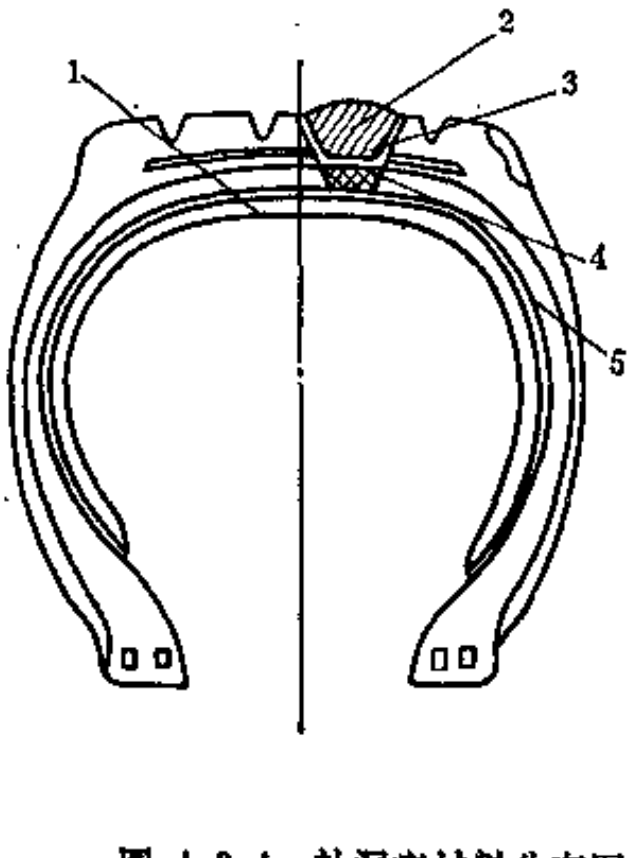



图 4-2-4 补洞疤材料分布图
1—衬垫；2—修补胶；3—缓冲胶；4—洞口胶；5—衬垫胶

由于胶浆浓度比翻新胎用的胶浆浓度大，溶剂挥发慢，修补轮胎胶浆干燥时间也应延长，应在第一道胶浆干后再涂第二道胶浆。

其它条件可参阅本篇第一章。

10．贴胶

修补轮胎洞疤贴胶是一项细微而繁重的操作，多数靠人工用胶条把洞疤填平，也有使用胶料挤出枪填补洞疤的。各种胶料根据不同用途填补不同部位（参见图4-2-4）。

洞疤填胶要紧密贴实，排除窝藏气泡。胎面和胎肩部所补胶料应高出胎弧面中部2～3mm，胶片表面应清洁。如遇有灰尘或喷霜，用工业汽油擦洗表面，但要等汽油挥发干后再贴第二层。

胶料挤出枪是一种微型电热挤出机，将补洞胶料装入机内靠电加热用压缩空气驱动一个蜗杆将胶直接挤到洞疤上，可以保证胶料密实和减少人工操作。

穿洞应先粘好衬垫，然后再填补洞口，衬垫粘贴应注意位置和方向。

11．过程检查

在粘贴好衬垫和洞疤后，要检查洞口粘贴是否牢实，衬垫是否有脱空及其它遗漏现象。

12．硫化

由于轮胎的修补情况变化多，硫化条件就比较复杂。例如不同洞疤所补胶料厚度相差悬殊，硫化时间也不相同；轮胎花纹深浅不同，硫化条件也有差异。

（1）硫化条件

a．硫化温度　热源通常使用饱和蒸汽，也有使用电热硫化的，要求温度达到140～150℃。

b．硫化内压　修补轮胎硫化内压是通过节段气囊注入加压介质来实现。经常使用的加压介质有压缩空气、过热水和蒸汽。过热水和蒸汽还可以同时起到加热的作用，适用于硫化加有衬垫的修补处。

硫化内压一般为0.6～0.8MPa(6～8kgf/cm²)，条件许可时(节段气囊和硫化模的强度)内压可提高到0.98MPa(10kgf/cm²)，能显著提高粘合强度和胶料密实程度。

c．硫化时间　修补轮胎局部硫化的时间要根据花纹深度、贴胶厚度、补强衬垫厚度和材料以及硫化加热方法来确定。模型单面加热的方法比较普遍，但硫化时间较长，采取双面加热的方法可以显著缩短硫化时间。双面加热硫化的方法除去在节段气囊中用蒸汽或过热水充当加压加热介质外，还可以采用电热垫带的方法。两面加热的方法适用于硫化补有衬垫的轮胎。

由于修补轮胎硫化时间较长，也应采取逐步升温，冷却启模的硫化方法，即每次硫化完毕启模前要冷却30分钟左右，这样可以缩小内外层硫化程度的差异，减少脱空脱层的毛病。具体硫化时间的确定应根据设备条件和配方，通过测定胶料硫化效应来决定。

（2）硫化设备　修补轮胎的硫化设备种类很多，常见的有以下几种。

a．固定式局部硫化模　这种设备适用于同规格同尺寸的轮胎和大批量生产。要求轮胎的断面宽和行驶面宽基本一致。这种设备价格较低，使用方便，维修简单；缺点是轮胎尺寸单一，稍有变化时适应性较差，处理不当容易发生质量问题。

b．活动式局部硫化模　可以根据轮胎的断面宽度和行驶面宽度的变化调换模板或增减夹条。其优点是适应范围较广，但操作上比较麻烦。

（3）简易修补设备　多用于小面积修补和大型轮胎的修复。它包括小型电加热模板和机械紧固加压装置，用砂袋或装铅粉袋子作为加热的垫块，这种设备使用简便，尤其适用于大型轮胎的小面积修复，见图4-2-5。



图 4-2-5　简易电加热修补设备

13．整修

整修是将硫化后的修补轮胎清除多余的溢流胶边，胎面修补部分要刻出花纹。

（1）修剪溢流胶边　用专用刀具修剪掉硫化后产生的溢流胶边。

（2）刻花　刻花有机械刻花和电热刻花两种，应刻出与原胎相同的花纹。

a．机械刻花　用特制刻花刀（见图 4-2-6）刻花。将该刀装在软轴磨胎机上，用人工刻出花纹。刻花刀口径不同可刻出不同宽度的花纹沟，花纹沟深度不宜超过刀口的半径。这种刀具制造容易，使用方便。

b．电热刻花刀　利用电热材料制成不同形状的刀头，装在电热器上，可切出不同断面形状的花纹沟。电热器和刀头见图4-2-7。

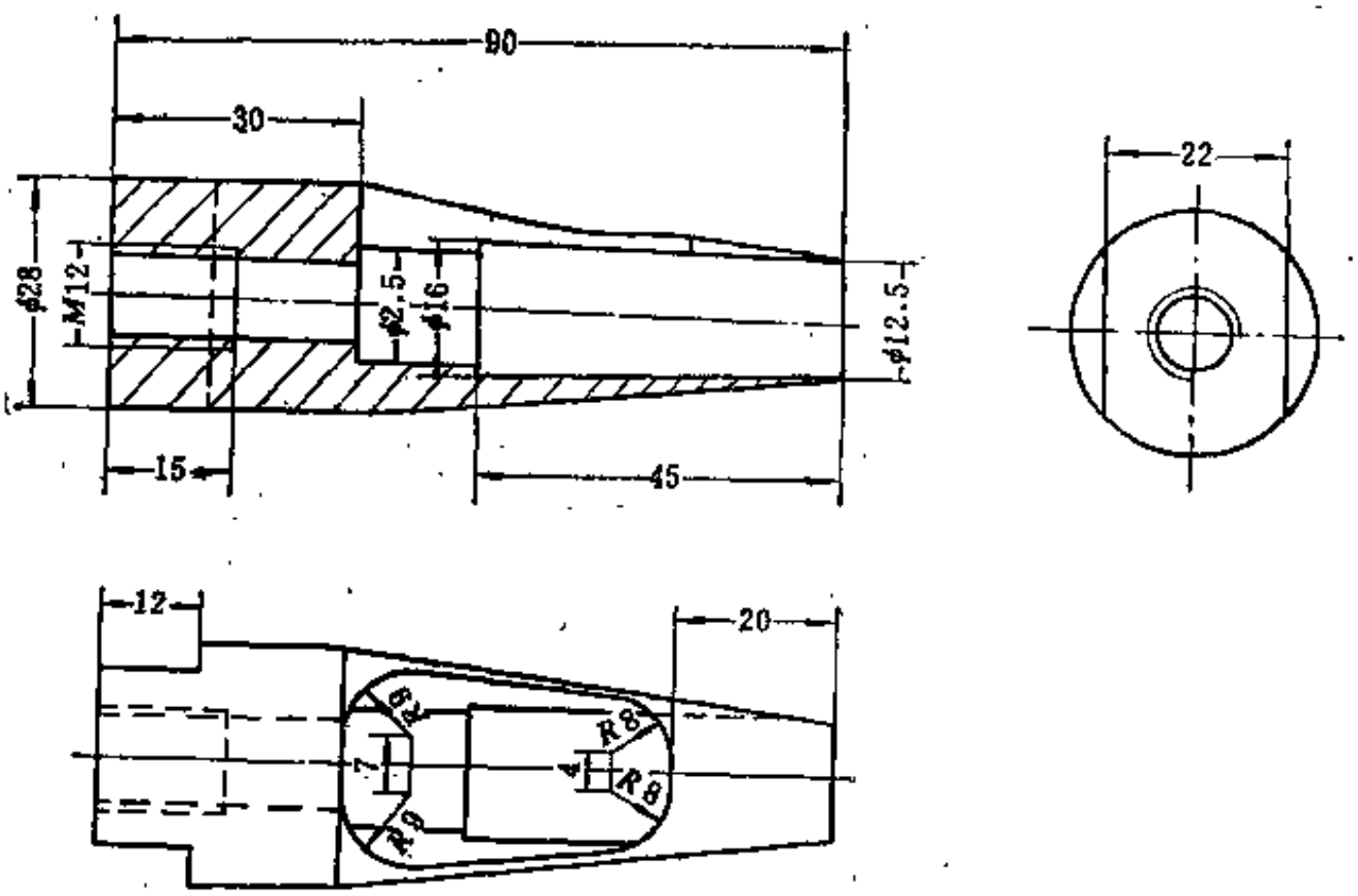
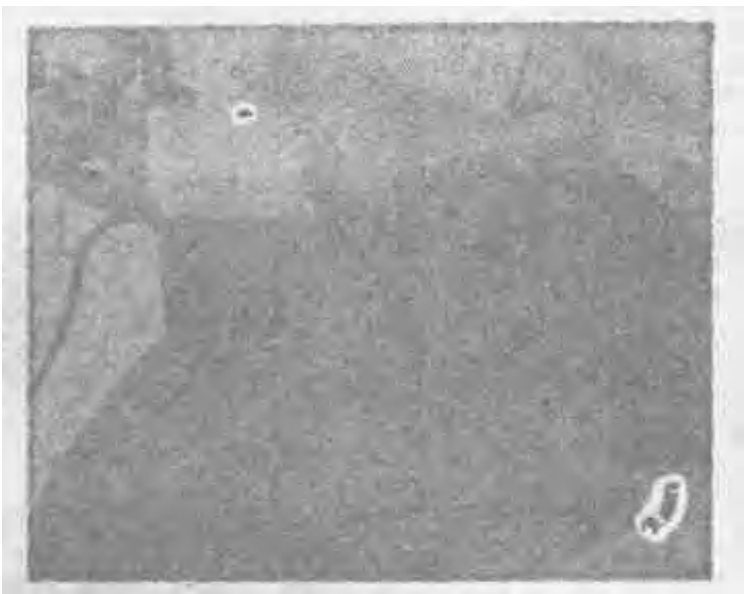



图 4-2-6　刻花刀图（单位，mm）



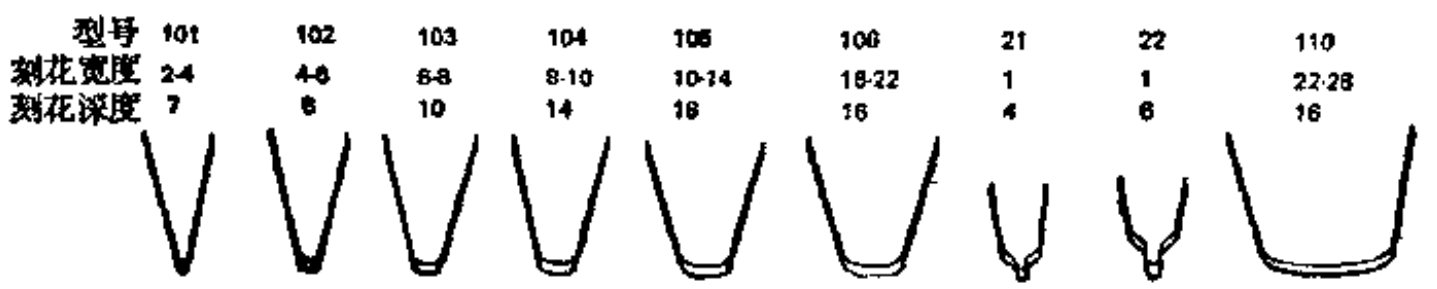



图 4-2-7　电热器和刀具

14. 产品检验

产品检验应根据外观质量标准逐条进行检查。并应使用符合技术条件的胶料，“翻新和修补轮胎”国家标准中关于修补轮胎产品质量的标准摘录如下。

（1）修补轮胎胶料物理机械性能标准见表4-2-5。

表 4-2-5　修补轮胎胶料物理机械性能标准

| 项　目 | 载重汽车轿车轮胎 | | 农业、工业、车辆工程机械及马车轮胎 | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 21.6(220) | 18.6(190) | 19.6(200) | 16.7(170) |
| 伸长率，%≥ | 450 | 470 | 430 | 450 |
| 永久变形，%≥ | 40 | 30 | 40 | 30 |
| Akron磨耗，cm³/1.61km≤ | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| 硬度（邵尔A） | 60～70 | 55～65 | 60～70 | 55～65 |

注：表中指标1指纯天然橡胶；表中指标2指合成橡胶并用量为50%及其以下，若并用50%以上合成橡胶时，拉伸强度不低于16.7MPa(170kgf/cm²)。

（2）修补轮胎外观质量

① 修补处花纹清晰。

② 载重汽车轮胎外直径失圆不大于±5mm；轿车及轻型载重汽车轮胎不大于±3mm。

③ 配旧胎面应具有同类型花纹。

④ 胎冠修补处，必须刻出相同花纹。

⑤ 衬垫与胎体粘合严密，在洞口四周75mm以外，允许有直径在10mm以内的2个小点脱空。

⑥ 修补处无蜂窝状，不欠硫，不过硫。

⑦ 胎圈直径必须保持原胎直径，修补后胎圈没有变形。

⑧ 胎里修补处衬垫凸凹不大于5mm。

⑨ 修补处加热区内没有老化裂纹。

## 第二节 修补轮胎常见的外观质量缺陷

修补轮胎外观质量缺陷的产生原因和解决措施见表4-2-6。

**表 4-2-6 修补轮胎常见外观质量缺陷的产生原因及解决措施**

| 缺陷种类 | 产生原因 | 解决的措施 |
|---|---|---|
| 衬垫下脱层 | ①胶浆不干或局部积存过多；<br>②衬垫与胎里弧度不合；<br>③衬垫粘后未压实并藏有空气 | ①胶浆应喷涂均匀等干燥后再贴补；<br>②选择弧度相近的衬垫；<br>③贴时先中后边辊压密实 |
| 胎面补疤海绵 | ①气囊压力不足；<br>②模板与轮胎形状不合；<br>③花纹沟未堵实造成胶料流失或模缝溢胶过多<br>④贴胶不足 | ①保证硫化内压；<br>②选用合适模板；<br>③补疤周围花纹沟要堵实；<br>④胎面洞口填胶中部略高于原胎，四周与原胎平 |
| 欠　硫 | ①模型局部温度低；<br>②硫化时间不适应胶料厚度 | ①检查模型故障并排除；<br>②按胶料厚度规定硫化时间 |
| 洞口胎里坑凹 | ①轮胎与模型轮廓不合适；<br>②洞口填胶不足 | ①选择轮廓与轮胎相合的模具；<br>②洞口填胶应坚实 |
| 洞口胎里实鼓 | 洞口填胶过多过高 | 洞口填胶合适但要密实 |

## 第三节 子午线轮胎的修补工艺

子午线轮胎胎体结构特殊，其修补工艺必须适应子午线轮胎结构特点。子午线轮胎的修补工艺与斜交轮胎的主要不同点如下。

① 子午线轮胎尺寸精度要求较高，修补时必须使用完全适合其轮廓的硫化模具，使修补胎能保持原有的轮廓而不发生变形。

② 子午线轮胎大多是用钢丝帘线或钢丝带束层，因此要有与钢丝粘合相应的胶浆和胶料。

③ 要有能适合子午线轮胎结构补强的专用衬垫。

④ 要有能锉磨钢丝帘线的专用工具。

子午线轮胎由于胎体使用材料不同，又分为全钢丝、全纤维和半钢丝子午线轮胎三种。全钢丝子午线轮胎全部用钢丝制作带束层和胎体帘布层。全纤维子午线轮胎全部用合成纤维制作带束层和胎体帘布层。半钢丝子午线轮胎的带束层是钢丝帘线，而胎体帘线是用合成纤维。用不同材料的帘线制成胎体的子午线轮胎，其修补工艺也有所不同。

### 一、钢丝子午线轮胎的修补

钢丝子午线轮胎修补工艺流程与斜交轮胎相同，但又有其特殊要求。

1. 清洁

由于钢丝子午线轮胎胎体和带束层均是金属材料，受潮容易生锈，因此不能用水清洗，

施工前可以用刷子刷去表面泥污。附有钢丝刷的磨胎机可以把轮胎表面刷净，同时应有吸尘装置把刷掉的灰尘吸走。

2. 选胎

钢丝子午线轮胎选胎标准摘自“翻新和修补轮胎”国家标准，内容如下。

载重汽车、轿车轮胎选胎技术要求

① 胎面测量点剩余花纹深度不低于新胎花纹深度的1/3。

② 两胎肩允许有局部小面积脱空，9.00R20及以下规格的单边宽度不得超过20mm，10.00R20及以上规格的单边宽度不得超过30mm。

③ 胎侧允许有轻微老化现象。

④ 胎侧胶与钢丝层（或帘布层）间允许有局部脱空，长度不超过周长的1/5。

⑤ 胎圈加强层允许有全周性开裂，但反包边缘不允许有脱空。

⑥ 损伤部位允许有轻微锈蚀，不允许有慢延性脱空。

⑦ 胎圈包布允许有轻微机械损伤及磨损，胎圈不允许有变形。

⑧ 子午线轮胎允许穿洞最大尺寸（mm）及处数见表4-2-7和表4-2-8。

表 4-2-7 载重汽车子午线轮胎允许穿洞最大尺寸及处数

| 轮胎规格 | 损伤部位 | 洞口底部测量最大尺寸，mm | | 从胎里测量至胎趾最短距离 mm | 带束层最大损伤，mm | 损伤处数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 横过帘线 | 顺沿帘线 | | | |
| 7.00R20～8.25R20 | 胎侧及胎肩 | 35<br>25<br>15 | 75<br>105<br>125 | 60 | | 1 |
| | 胎　冠 | 30 | 30 | | $\phi$30 | |
| 9.00R20～10.00R20 | 胎侧及胎肩 | 35<br>25<br>15 | 95<br>125<br>145 | 65 | | 1 |
| | 胎　冠 | 50 | 50 | | $\phi$50 | |
| 11.00R20及以上规格 | 胎侧及胎肩 | 35<br>25<br>15 | 95<br>125<br>145 | 70 | | 1 |
| | 胎　冠 | 50 | 50 | | $\phi$50 | |
| 上列规格 | 胎冠$\phi$15 mm以下穿洞 | 两洞间距70mm以上 | | | | 3 |

表 4-2-8 轿车子午线轮胎及轻型载重汽车子午线轮胎允许穿洞最大尺寸及处数

| 轮胎规格 | 损伤部位 | 洞口底部测量最大尺寸，mm | | 从胎里测量至胎趾最短距离 mm | 带束层最大损伤mm | 损伤处数 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 横过帘线 | 顺沿帘线 | | | |
| 6.00R16及其以上规格 | 胎侧及胎肩 | 15 | 35 | 50 | | 1 |
| | 胎　冠 | 20 | 20 | | $\phi$20 | |
| 轿车胎 | 胎冠$\phi$5以下穿洞 | 两洞间距70mm以上 | | | | 2 |

3．割洞疤

用刀割去损坏的胶面，以不伤胎体或带束层为前提。切割坡面角度不限。洞口露出的散乱帘线破头，用钢剪剪掉或用电动、风动高速砂轮切割。

4．锉磨

锉磨胎面胶部分与斜交胎相同，露出的钢丝帘线断头必须磨净，应使用砂轮锉磨，与锉磨翻新子午线轮胎相同。

5．涂刷胶浆

钢丝帘线裸露部分磨好后要尽可能快地涂上粘钢丝专用胶浆。钢丝胶浆的胶和汽油配比为1:5～6。涂刷两遍，胶浆干后贴一层钢丝粘结胶胶片。

6．配衬垫

子午线轮胎胎体结构与斜交胎不同，胎体或带束层损坏需要补强时，必须配专用衬垫。钢丝帘线胎体和纤维帘线胎体的子午线轮胎，应分别使用与胎体材质相同的帘线制成专用衬垫。钢丝子午线轮胎胎体如有小损伤需补强，也可以使用尼龙或高强度人造丝等帘线制成的衬垫。补强子午线轮胎的专用衬垫可分为以下三种。

（1）方形垫　用钢丝帘线作骨架材料制成，其构造见图4-2-8（a）。

方形垫用于补强带束层损伤，应贴在胎里中间，不能使方形垫的宽度超过带束层的范围，与胎里接触的帘线应与胎体帘线平行，参见图4-2-9。

（2）交叉矩形衬垫　用钢丝帘线作骨架材料制成，钢丝帘线的交角应与子午胎带束层帘线交角相同，参见图4-2-8（b）。交叉矩形衬垫用于补强冠部的较大磨损，或与扇形衬垫同时用于冠部穿洞的补强。交叉矩形衬垫应补在胎冠部中间，两边不宜超过带束层两边缘，见图4-2-10。

（3）扇形垫　用于子午线轮胎胎体帘线断裂及外胎侧有穿洞时的补强，胎冠部胎体帘线断裂时用长条形中间宽的扇形垫。扇形垫形状见图4-2-8（c）。

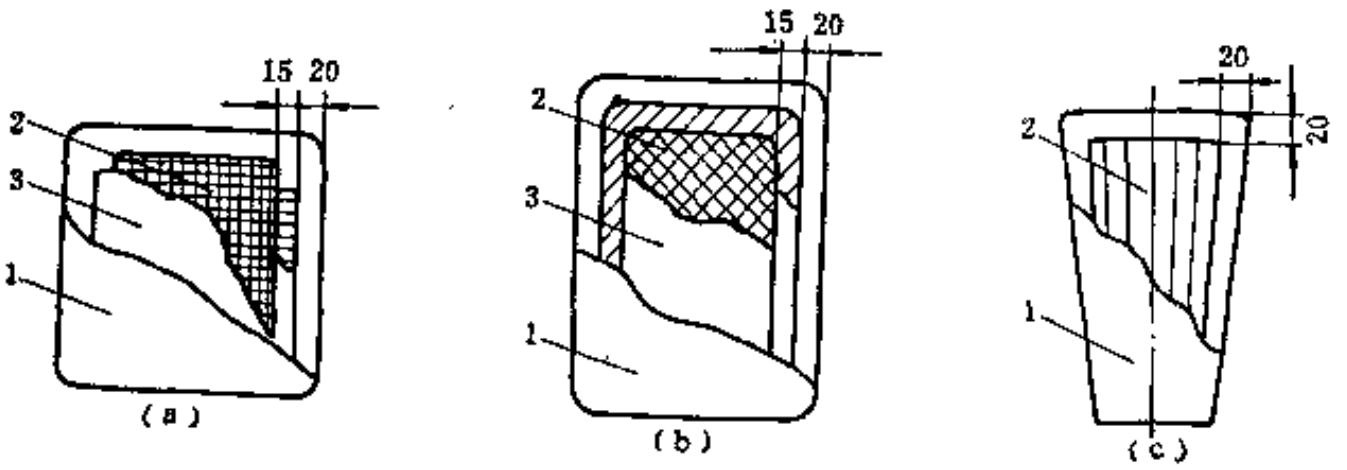



图 4-2-8　钢丝帘线专用衬垫（单位：mm）

（a）方形衬垫；（b）交叉矩形衬垫；（c）扇形衬垫

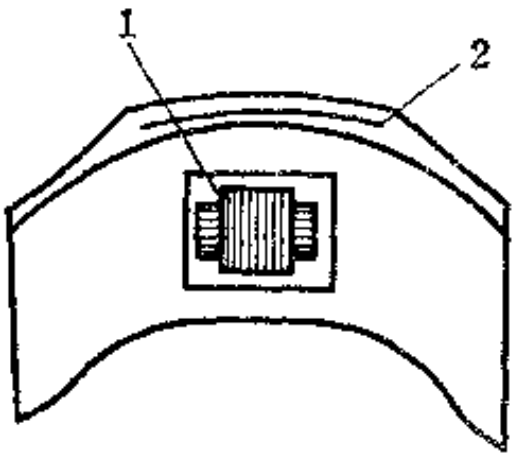
1—衬垫复胶；2—钢丝；3—钢丝帘布胶

钢丝子午线轮胎扇形垫补强的用法见图4-2-11。

a．钢丝子午线轮胎带束层的保护层损伤可用胶补平，不需衬垫补强。

b．带束层损伤2层以内、胎冠部胎体断线在10根以内可补方形垫。方形垫加强层比伤口每边加大20mm。

c．带束层损坏面积较大，深及三层的可补交叉矩形衬垫。交叉矩形衬垫加强层比损伤面积每边大30mm。



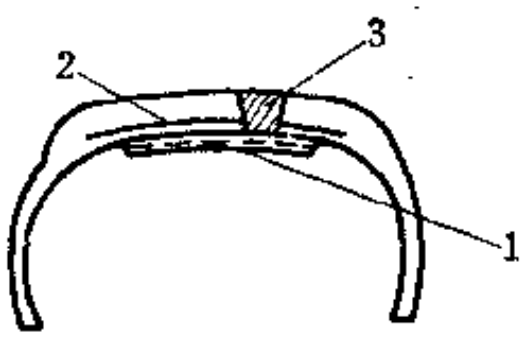
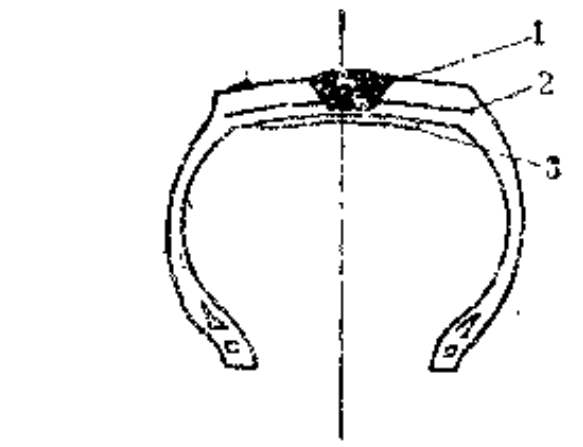




图 4-2-9　方形垫补强示意图

1—方形垫；2—带束层；3—洞口填胶



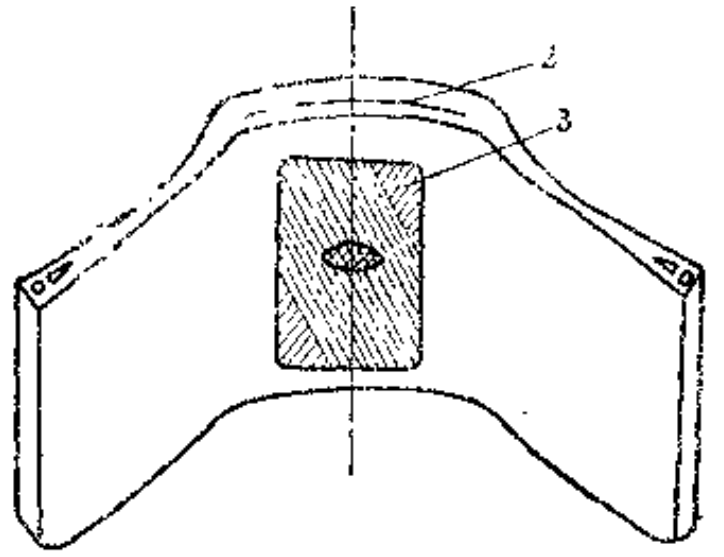
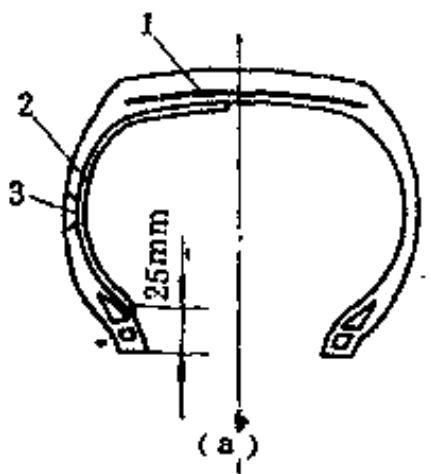




图 4-2-10　交叉矩形衬垫补强示意图

1—洞口；2—带束层；3—交叉矩形衬垫



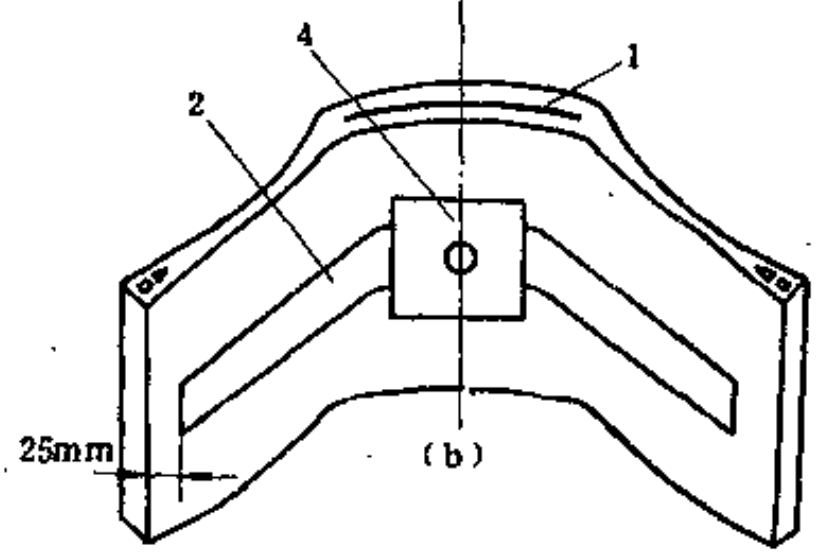




图 4-2-11　扇形垫补强示意图

1—带束层；2—长扇形垫；3—穿洞；4—方形垫

d．胎冠部穿透小洞，可用中宽长条扇形垫加方形垫补强。

e．胎冠部较大穿洞可用中宽长条扇形垫加交叉矩形衬垫补强。

f．胎侧洞用扇形垫补强，扇形垫宽度比穿洞每边宽 $I$ 根线。一端与胎趾平，另一端补胎冠中心线。

g．胎冠中间胎体帘线损伤可用中宽长条扇形垫补强，扇形垫宽度比损伤每边宽25mm。扇形垫两端到距胎趾25mm。

h．所有钢丝帘线制的专用衬垫，都要用2mm厚钢丝粘结胶封边。露出的钢丝要涂胶浆后再封边，防止钢丝露出。

7．贴胶

钢丝子午线轮胎胎侧和肩部应使用耐屈挠耐老化的胎侧胶修补。其它操作与斜交轮胎修补操作相同。

8．硫化

钢丝子午线轮胎局部修补的硫化模具和节段气囊应与轮胎的轮廓相同，防止硫化过程中使胎体变形。其余和斜交轮胎相同。

### 二、纤维子午线轮胎的修补

纤维子午线轮胎的带束层是用钢丝帘线制成，胎体用人造丝或合成纤维线制成。纤维子午线轮胎修补和钢丝子午线轮胎修补的区别主要在胎体部分。

（1）清洁　纤维子午线轮胎的清洁与钢丝子午线轮胎相同。

（2）洞疤切割　钢丝带束层范围内的损伤按钢丝子午线轮胎的切割方法施工。冠部胎体上的损伤可按小角度外圆锥方式切割，胎侧部位的损伤同样按小角度外圆锥方式切割。

（3）配衬垫　应使用人造丝或合成纤维帘线制成的方形垫、交叉矩形衬垫和扇形垫进行补强。其使用方法和钢丝子午线轮胎的不同点如下。

a．胎体损伤可按其层数补强，带束层中保护层损伤可不予补强。

b．所用衬垫的帘线层数应与损伤层数相同，但方形垫和交叉矩形衬垫必须为偶数层。

c．衬垫加强层应比洞口宽度大1根线。

d．可利用废旧纤维子午线轮胎胎体制作扇形垫。

（4）锉磨　钢丝帘线带束层与钢丝子午线轮胎锉磨方法相同，纤维胎体与普通斜交轮胎洞疤锉磨相同。

（5）粘贴和硫化　纤维子午线轮胎粘贴和硫化工艺与钢丝子午线轮胎相同。

## 第四节　农业轮胎及工程机械轮胎的修补

### 一、农业轮胎的修补

农业轮胎是指农业机械和畜力车轮胎。农机轮胎使用特点是速度低，但通过性能较好，其中驱动轮胎多为大直径高越野花纹，导向轮胎多为纵向直条形花纹。为适应农田松软地面使用，多用低压宽断面的轮胎。畜力车轮胎与斜交轮胎相同，多采用高压小断面、胎面弧度大的结构，以减少轮胎滚动阻力。

农业轮胎修补与斜交轮胎修补工艺基本相同，但有以下几点不同。

（1）胶料　修补农业轮胎用的胶料与斜交轮胎修补用的胶料相同，胶料性能可以适当降低。

（2）硫化用的模板要能适合农业轮胎外形尺寸，要用专门的硫化内模修补轮胎。

（3）由于农业机械轮胎胎体薄花纹高，在硫化内模中硫化时花纹块与模型接触面积小，影响压力和传热。因此在硫化前应将花纹沟以粘土为填料堵实。当硫化区段有修补的新胶料时，先用一块塑料薄膜贴在修补的胶面上，然后用粘土填平。其余修理工艺与斜交轮胎相同。

### 二、工程轮胎的修补工艺

工程轮胎主要是装配于各种工程机械上使用，品种规格复杂，轮胎结构也不同，有的在胎面胶下部混有短钢丝的胶层。工程轮胎的使用特点是低速重载、高牵引力和通过性，工作条件恶劣，因此工程轮胎的修补工艺非常复杂。

工程轮胎修补工艺与普通汽车轮胎修补工艺的不同点如下。

（1）清洗　工程轮胎由于胎体厚、伤口多可不用水冲洗，以免浸入水分难以干燥，可用湿布擦净表面泥污。

（2）洞口切割　不同胎体帘线和不同结构应采取不同的切割方法，但切割角度不宜过大。

（3）硫化模具　修补工程轮胎应尽可能避免使用局部硫化设备，特别是超大型工程轮胎，还要避免使用节段硫化气囊，应使用专门制造的硫化电加热卡具，用装有铝粉布袋作垫块来完成硫化时加热的作用。工程轮胎也可使用专门配制的胶料以适应工程轮胎低温短时间的硫化要求。

（4）质量要求　工程轮胎内外观质量要求比载重汽车轮胎低。外缘尺寸公差也可稍大。

## 第五节　无内胎轮胎的修补

在无内胎轮胎的胎圈与轮辋胎圈接触面上以及胎里均有耐透气胶层，装上轮辋后仍能不用内胎而保持胎内气压，因此无内胎轮胎修补时不能损坏气密层，以保持胎圈和外胎间的密封性能。

1．无内胎轮胎的胎圈

无内胎轮胎的着合直径、胎踵和胎趾角度均与普通轮胎不同。例如胎圈着合直径要比轮辋的直径小，我国为4.8～7.8mm；美国为3.2～4.6mm；日本为4.6～7.8mm。在施工中不能改变其胎圈的形状尺寸，也不能产生任何模型印痕。

2．锉磨

无内胎轮胎胎里上面有一层耐气透性很好的气密层，当胎体刺穿时可避免胎内气压迅速下降，还能防止气体窜入胎体帘布层。修补胎体刺穿可以用专用工具将胶条修补胎塞塞入穿孔中，从而达到修补的目的。当胎体有较大穿洞必须用衬垫补强时，则需锉磨掉贴衬垫部位的气密层，气密层一般是用丁基橡胶制造的，锉磨时不能残留有丁基橡胶，以防影响粘合性。

3．无内胎轮胎补强衬垫　无内胎轮胎用的补强衬垫，无论是用旧胎体制造的或是用挂胶帘布制造的，都应当贴一层丁基橡胶气密层。以废旧无内胎轮胎胎体制成的衬垫，其气密层完好的可以利用，否则都要把内腔一面磨毛，粘贴2～3mm厚度的丁基橡胶气密层胶片。

4．无内胎轮胎修补用的胶料

无内胎轮胎修补所用胶料与其它轮胎相同，唯有修补气密层用的胶料，应采用气密性能良好的胶料配方，通常使用氯化丁基橡胶与天然橡胶并用，从面使气密性和粘合性均能满足需要。

5．无内胎轮胎修补的其它加工工艺与斜交轮胎相同

## 第六节　轮胎的快速修补

随着轮胎制造和修理技术的发展，出现了轮胎的快速修补工艺，其特点是不需要加热硫化即可完成修补作业，因此又称冷法修补。这种方法多用于修补轮胎小的穿洞，也适用于钢丝子午线轮胎和无内胎轮胎的修补。快速修补法的优点是施工简便，无需设备，只需专用工具和修补材料即可施工；无需将轮胎送到修胎工厂，在轮胎保养时即可完成修补工作。按使用修补部件不同分述如下。

### 一、蘑　形　塞

1．菌形塞的形状和结构

菌形塞又称蘑菇塞，其形状和结构见图4-2-12。

（1）塞帽　是中间厚四周薄的圆形胶片，较大的中间夹一层帘布增强层，塞帽外表面突起的用于无内胎轮胎。

（2）塞茎　塞茎是堵塞轮胎穿洞的，其断面形状有圆形和椭圆形，以堵塞不同形状的穿洞，断面尺寸应与孔洞尺寸相同。通常菌形胶塞可以修补25～75mm的穿洞。

有的塞茎上部稍大，塞入洞口后不易脱落。有的塞茎是实心光面，有的是实心，表面根部有沟槽。还有的塞茎表面有一层0.5～1mm厚的粘结胶，以增加与洞壁的粘合力。

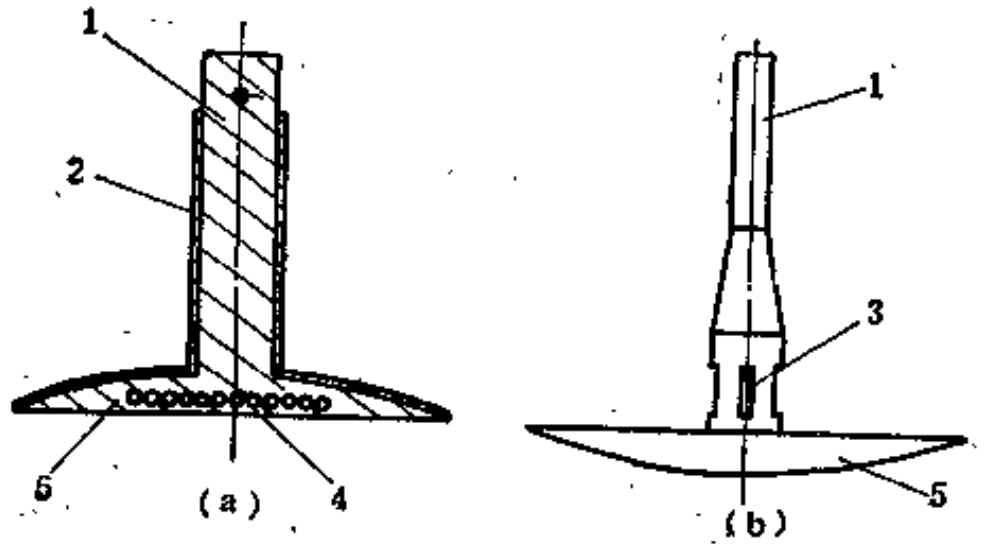



图 4-2-12　菌形塞形状和结构图

（a）用于有内胎轮胎的菌形塞；（b）用于无内胎轮胎的菌形塞

1—塞茎；2—粘结层；3—塞茎上沟槽；4—骨架层；5—塞帽

塞茎上部有一个穿孔，用于穿铁丝或帘线便于将菌形塞拉入穿孔。

2．菌形塞安装工艺

使用菌形塞需要将轮胎从轮辋上卸下，其安装工艺要点如下。

①　清除孔洞中嵌入物和泥污。

②　打磨应粘塞帽部位的轮胎胎里。

③　用冷硫化胶浆涂刷在孔洞内和锉磨的表面。

④　扩孔，即用专用工具扩大孔洞，扩孔器见图4-2-13。

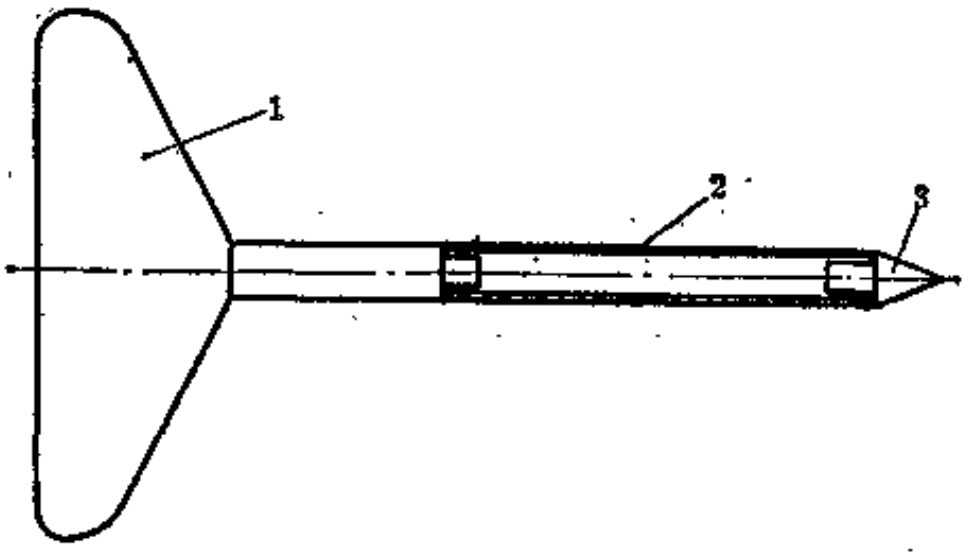



图 4-2-13　菌形塞扩孔器

1—活动手柄；2—导管；3—活动卡头

⑤ 安装修补胶塞 先用扩孔专用工具从轮胎里面穿出洞孔，扩孔时要防止帘线脱层或损伤无内胎轮胎的气密层。当导管全部穿过胎体时，卸去活动手柄和活动夹头，将修补胶塞装入导管中，拔出导管修补胶塞即留在洞孔中。将塞茎向外拉紧粘好塞帽并辗实。

⑥ 修整，即将菌形塞塞茎露出胎面的多余部分割净。

## 二、胶　塞

1．胶塞的形状和结构

常用的胶塞有两种，一种用于无内胎轮胎补洞，另一种用于有内胎轮胎补洞，其外形和结构见图4-2-14，外形均是圆柱形断面胶条。

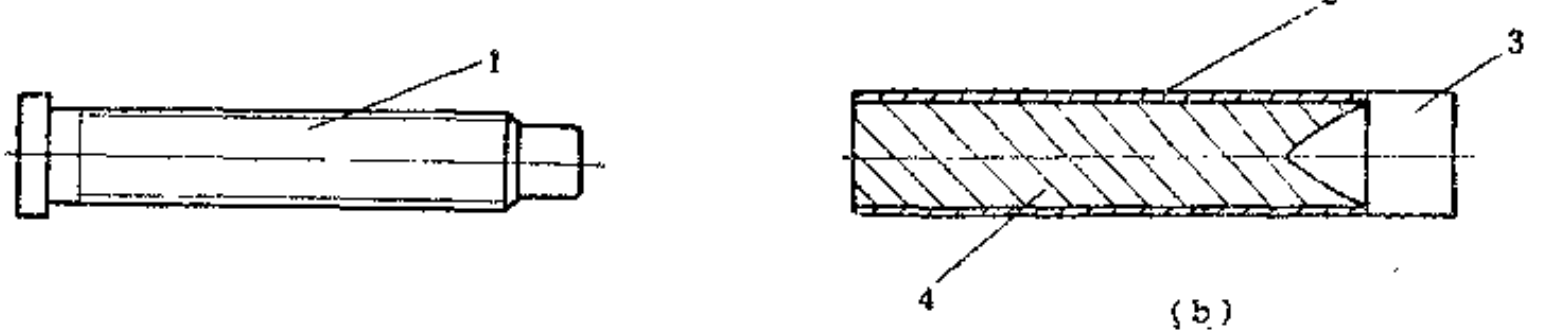



图 4-2-14 胶塞图

(a) 需拆卸轮辋安装的胶塞；(b) 不需拆卸轮辋就可安装的胶塞

1—有螺丝塞茎；2—粘结层；3—硬胶塞子底座；4—实心塞茎

(1) 用于无内胎轮胎的胶塞结构 用于无内胎轮胎补洞的胶塞结构比较复杂，分为以下几部分。

a．硬胶底座 用硬底较大的胶料制成。

b．塞茎 用圆柱形实心软胶制成，其直径与孔洞直径相同。

c．粘结层 是一层能快速硫化的半硫化胶包在塞茎表面，厚度为0.3～0.5mm。它能增加胶塞与孔洞的粘合强力和密封性能。

(2) 用于有内胎轮胎的胶塞 其结构比较简单，用同一种柔软的胶料制成。塞茎上有的有螺纹，以增加与孔洞的密着性能。

2．安装胶塞的扩孔器

用于安装两种不同胶塞用的扩孔器也不同。见图4-2-15。

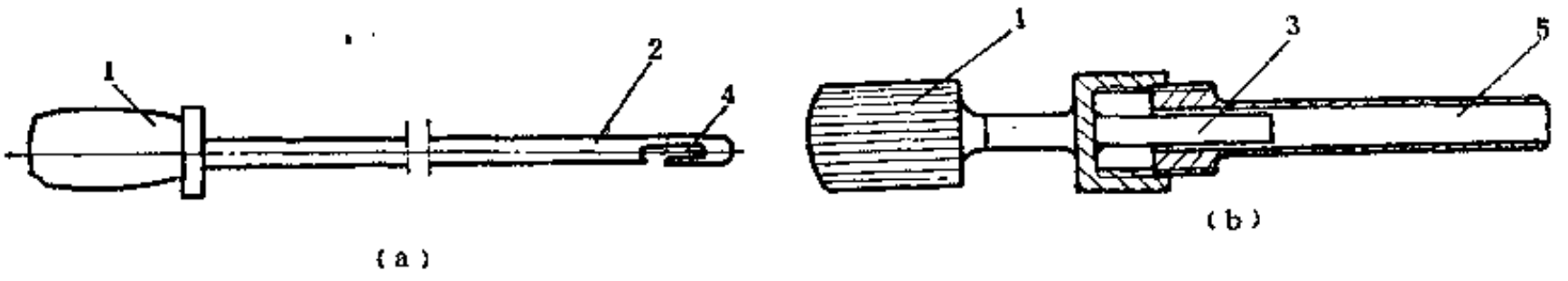



图 4-2-15 胶塞安装扩孔器图

(a) 需要拆卸轮辋安装胶塞的扩孔器；(b) 不需要拆卸轮辋安装胶塞的扩孔器

1—手柄，2—插杆；3—顶杆；4—勾子；5—导管

3．胶塞安装工艺

无内胎轮胎可以不必拆卸轮辋即安装胶塞。其操作要点如下。

① 清除轮胎洞孔中嵌入的杂物和泥污，并涂上冷硫化胶浆。
② 将胶塞完全装入扩孔器导管中，将导管从轮胎外面插入穿孔中。
③ 转动手柄使顶杆将胶塞的硬胶底座顶出导管。
④ 拔出导管胶塞即留在洞孔中。
⑤ 把露出胎面多余的胶塞削净。

有内胎轮胎安装胶塞需要先拆卸轮辋。其操作要点如下。

① 清除穿洞中的嵌入杂物和泥污。
② 穿洞中涂上冷硫化胶浆。
③ 将扩孔器自轮胎外面插入穿洞中。
④ 将胶塞嵌入扩孔器插杆上的孔中，并用插杆把胶塞拉入穿洞。
⑤ 把露出轮胎表面多余的胶塞削平。

## 第七节 衬垫的制备

用于轮胎补强的衬垫可分为旧胎体衬垫和新帘布衬垫两大类。

### 一、用旧胎体制备衬垫

用没有翻修价值的斜交结构旧胎剥取胎体部分制备衬垫，可以充分利用废旧胎的材料。

#### （一）选择废旧胎体的标准

挑选废旧胎制造衬垫，其标准如下：

① 胎体无辗线现象；
② 胎体无多次翻新或老化龟裂现象；
③ 胎体无连续穿洞或脱层，长度利用率较高；
④ 胎里内腔光滑，无裂口现象；
⑤ 帘线单根强力应符合表 4-2-9 中所列的标准。

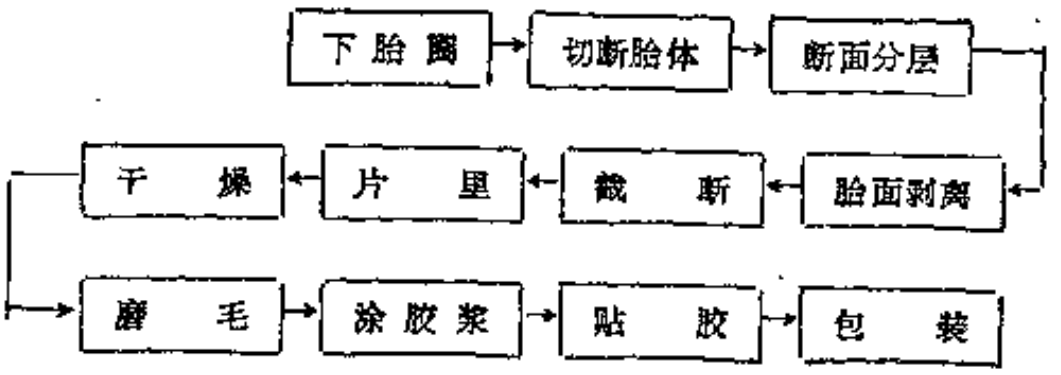
表 4-2-9 不同帘线强力

| 帘线种类 | 帘线强力 |
|---|---|
| 合成纤维帘线 | ≥98 N/根(10kgf/根) |
| 人造丝帘线 | ≥78 N/根(8kgf/根) |

#### （二）制备工艺

1．工艺流程

用旧胎体制备衬垫其工艺流程如下：




3．工艺简述

（1）下胎圈　用胎圈切割机将废旧轮胎的胎圈割下。下刀应尽量靠近钢丝圈处切割，以便充分利用胎体的宽度。

（2）切断　将已切去胎圈的废胎切断，切断部位应在最大洞伤边缘，切后的断面应平

直，帘布层应清晰。

（3）断面分层　在无洞伤的断面上，将需要剥离的地方，用刀分层并剥开60～80mm宽，以便安放夹具剥离。

（4）剥离胎面　将已被分层剥开的胎用夹具在胎面剥离机上夹紧，然后将胎面与胎体帘布层分开。剥时遇有洞伤应用小刀慢慢地划割开，防止撕坏胎体帘布层及帘线跳层。

（5）截断　将已剥好的胎体帘布层按照衬垫的尺寸截取，它决定于衬垫的长度和宽度。多数衬垫应采用系列化的标准尺寸以利于组织生产，对特殊伤洞的补强则应按所需尺寸现配现用，生产规模较小的翻胎企业也可全部现配现用。

（6）衬垫切削坡面　用衬垫斜面切削机将衬垫四周削成坡面。切削方式有两种：合成纤维帘线衬垫周向两端在内腔一面切削成坡面，而径向两边在外面切削成坡面；人造丝帘线的衬垫则全部在外面切削成坡面。用机械切削的坡面保证坡面宽度和各层帘线的间距相近，如达不到要求则要用手工予以修整。

（7）其它工艺　磨毛干燥、喷涂胶浆、贴胶等工艺可参照修补轮胎工艺中的方法进行。

（8）包装　属于标准尺寸的衬垫，可用包胶布或塑料薄膜分类包装存贮备用。

3．旧胎体衬垫的技术要求

旧胎体衬垫的技术要求如下：

① 衬垫层数和长度宽度应符合规定，层数应为偶数层；

② 坡面每层阶梯宽度应均匀整齐，宽度应符合要求；

③ 表面粘胶应保持清洁，包装应严密以防污染；

## 二、用新纤维帘布制备衬垫

### （一）帘布及其加工

使用纤维帘布应尽可能选用高强力和密度较大的帘布来制造衬垫，以减少衬垫层数和重量。可使用帘布成卷加工成挂胶帘布裁制成衬垫，也可使用制造轮胎的边角余料来加以充分利用。

帘布加工为挂胶帘布应两面贴胶，贴胶以后的挂胶帘布厚度为1.2±0.1mm。使用帘布的型号如下：

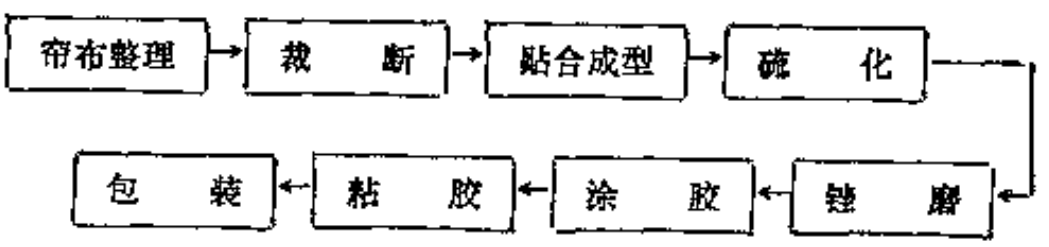
① 人造丝帘布为RV-1，帘线密度为98根/100mm；

② 合成纤维帘线帘布为NV-1，帘线密度为100根/100mm。

### （二）制备工艺

1．工艺流程

帘布制备的工艺流程如下：




2．工艺简述

（1）帘布整理　要检查帘布表面有无喷霜、局部粘连起褶及局部掉片等现象，如有要

采取措施补救。使用边角余料的除对上述缺陷要作处理外，还要按尺寸大小拼接使用。

（2）裁断　按工艺规定，样板划线，用手工裁断制成衬垫，用于斜交轮胎的多为十字垫。

（3）粘合成型

a．十字垫粘合成型　每两层之间按90°角交叉，均为偶数层，见图4-2-16。

帘布层粘贴好以后应在底面贴1～1.2mm厚的衬垫胶一层。胶比帘布层每边多12～15mm，翻边包好帘布裁断端头及4个角，成型后十字垫外形为八角形。

b．胎侧补强衬垫粘合成型　它与十字垫成型方法相同，只是把靠近胎圈方向的角裁去而成。

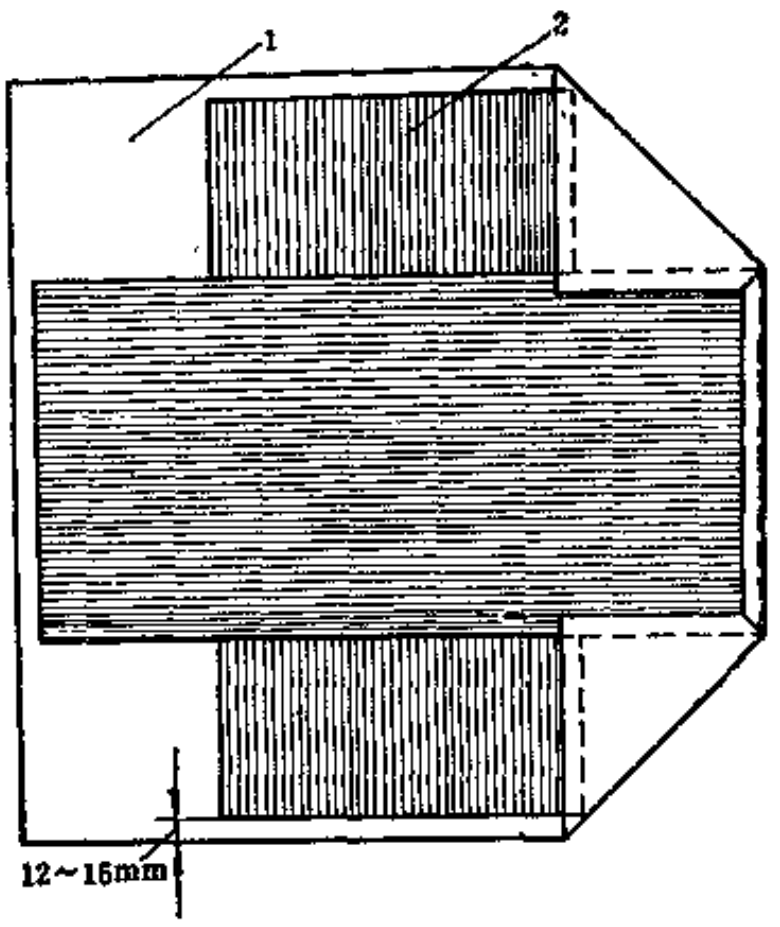



图 4-2-16　十字垫成型图

1—衬垫胶；2—挂胶帘布

十字垫帘布层裁断尺寸举例见表4-2-10。

表 4-2-10　载重汽车轮胎补强十字垫施工尺寸表

| 适应洞伤尺寸，mm | 十字垫 | | 裁片尺寸，mm | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 层数 | 尺寸，mm | 1～2层 | 3～4层 | 5～6层 |
| 10～25 | 4 | 140×140 | 110×50 | 140×80 | |
| 25～50 | 6 | 230×230 | 170×80 | 200×110 | 230×140 |
| 50～75 | 6 | 280×280 | 220×280 | 250×160 | 280×190 |

十字垫分为预硫化和未硫化两种，未硫化衬垫只适用于补强未穿透的洞伤，该衬垫在粘合成型后即可进行包装和使用。

（4）硫化　预硫化十字垫根据硫化程度的不同可分为半硫化和全硫化两种，其区别为半硫化十字垫硫化程度约为正硫点的80%。

硫化十字垫的设备为专用模型或利用硫化内胎的模型来硫化。

（5）锉磨　硫化好的十字垫底面用钢丝轮磨毛。

（6）涂胶浆　在磨毛表面涂胶浆，并要等溶剂完全挥发以后再转入下一工序。

（7）粘胶　在涂胶表面贴一层0.8～1mm厚的衬垫胶并压实。

（8）包装　粘好胶的衬垫在贴合面上要隔一层处理过的垫布或塑料薄膜，以保护表面不受污染。

## 三、钢丝帘布衬垫

钢丝帘布衬垫是用于补强钢丝子午线轮胎的。小的洞伤也可以用纤维帘布衬垫补强。

1．钢丝帘布的规格

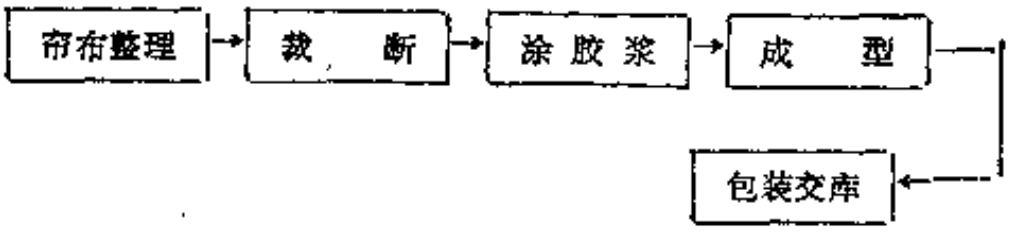
钢丝帘布规格有二种，一种是用于胎体层补强的，而另一种是用于修理带束层的。

2．钢丝帘布衬垫的制备

由于钢丝帘布衬垫的钢丝帘线刚性较大，方形衬垫和交叉矩形衬垫均可制成未硫化的半成品使用。扇形衬垫应视胎体断裂根数现用现配。

（1）工艺流程

制备钢丝帘布衬垫的工艺流程如下：




（2）工艺简述

a．帘布整理　把钢丝帘布分类和按尺寸长短整理，清除表面不洁杂物。其宽度可以拼接。

b．裁断　按需要尺寸划线，并用钢剪按线裁剪。方形垫以90°裁断，交叉矩形衬垫以45°角裁断。

c．涂胶浆　剪断的钢丝帘线端头应立即涂刷钢丝粘结胶浆两遍，以防止氧化受潮。并于胶浆干后用厚度1.2～1.5mm厚钢丝胶条封口粘好。

d．成型　将裁好的钢丝帘布层两面都刷上汽油，再按照施工尺寸粘成所需衬垫。成型中应当作到以下几点。

①　钢丝帘布的长度不许拼接，而宽度可以拼接。

②　方形衬垫两层之间为直角相交，交叉矩形衬垫以带束层帘布两层与轮胎中心线45°角交叉粘合。

③　级差不小于15mm。

④　方形垫和交叉矩形垫粘好以后，应在正反两面粘1.5～2.5mm厚的衬垫胶，胶片比帘布每边大出20～25mm，按图4-2-11(a)和(b)的尺寸成型。

⑤　扇形衬垫一般均用一层胎体钢丝帘布，根据施工尺寸用手将近胎冠一端适当拉宽少许，使成扇形状衬垫。然后用1.5～2.5mm厚衬垫胶粘贴表面，胶片应比帘布每边宽15～20mm。钢丝裁断时断头所露钢丝部分均应涂刷钢丝粘接胶浆（见图4-2-11(c)）。

e．包装　用处理过的垫布或塑料薄膜包装，防止表面污染。钢丝帘布的衬垫不宜长期存放，应当现用现做。

# 第三章　胶 料 配 方

## 第一节　胶料种类及性能要求

### 一、胶 料 种 类

翻修轮胎用的胶料主要有9种，其性能各异，不可互相代替。各种胶料的名称和用途如表4-3-1所示。

表 4-3-1　翻修轮胎胶料种类和用途

| 胶料名称 | 用　　途 | 胶料名称 | 用　　途 |
|---|---|---|---|
| 胎面胶 | 翻新轮胎的胎面及胎肩部分 | 补胎胶 | 填补所修洞疤部分 |
| 缓冲胶 | 胎面胶及胎体间之粘合 | 衬垫胶 | 粘贴在衬垫表面 |
| 胶浆胶 | 制胶浆，喷涂于轮胎锉磨表面 | 洞口胶 | 填补轮胎洞疤的胎体部分 |
| 尼龙粘结胶 | 粘贴于裸露的尼龙帘线的表面 | 胎侧胶 | 粘补翻修子午线轮胎的胎肩和胎侧部分 |
| 钢丝粘结胶 | 制胶浆涂刷和粘贴于裸露的钢丝帘线的表面 | | |

### 二、胶料的性能要求

#### （一）各种胶料的性能要求

（1）胎面胶　胎面胶是翻修轮胎的主要胶料，它直接与地面接触，承受负荷，产生摩擦，传递牵引力和制动力，要求具有良好的耐磨耗、抗刺扎和抗撕裂的性能，并要求有优良的动态和耐疲劳老化性能。

（2）缓冲胶　缓冲胶位于胎面和胎体之间。它的作用是使胎面胶与胎体牢固的粘合，并能吸收和分散由胎面传来的能量。因此要求缓冲胶具有高定伸、粘着力强、生热小和抗剪切性好等性能。

（3）胶浆胶　胶浆胶用于制配胶浆，涂刷或喷涂在翻修轮胎的锉磨表面。胶浆胶要有很好的粘着性能，特别是能牢固地与胎体骨架材料粘合。

（4）尼龙粘结胶　尼龙粘结胶要求生热小，抗剪切性能好，还应能使尼龙胎体与胶料牢固地粘合在一起。

（5）钢丝粘结胶　钢丝粘结胶用于制备粘结钢丝的胶浆，也用来粘贴在裸露钢丝的表面。

（6）补胎胶　补胎胶用于修补轮胎的洞疤表面，其性能与胎面胶性能相似，但稍低于胎面胶。要求有较好的工艺性能以便于填补时操作。

（7）衬垫胶　衬垫胶用于衬垫与胎体之间的粘合。由于衬垫与轮胎胎体都是强韧的材料，衬垫胶要求有较好的粘合力和高定伸应力。硫化速度要比其它胶料快。

（8）洞口胶　洞口胶用于填补胎体上的洞口，由于洞口位于胎体中间，同时在轮胎使用时成为应力集中的部位，因此洞口胶要具备生热小、低定伸、耐热老化、粘合力强和散热

性能好的特点。

（9）胎侧胶　胎侧胶专门用于子午线轮胎肩部和胎侧外部修理。由于子午线轮胎结构的关系，肩部和胎侧部分变形大，但又不与地面直接接触。因此这些部位在翻修时不宜使用胎面胶。胎侧胶要求耐屈挠，抗疲劳，耐老化。

**（二）胶料性能的整体配合**

轮胎翻修要用多种胶料多层次来完成，因此提高胶料的整体配合性能是保证质量的重要措施。

1．物理机械性能的配备

翻修轮胎所用胶料性能的配备主要是300%定伸应力的配备，它用以平衡各部位的应力，使翻新轮胎各层胶料之间及胶料与胎体之间的应力变形差减少、应力分布均匀，即一种胶与另一种胶之间的应力传递和应变相协调，防止出现局部应力集中而使轮胎早期损坏，翻新轮胎各种胶料的300%定伸应力配备，应由内向外逐步提高。

2．硫化体系与硫化速度的配合

翻修轮胎用的各种胶料在轮胎的不同部位，所经历硫化的热历程也相差悬殊，即处在一个由高到低的温度场中。不同胶料的硫化速度必须与其所受热硫化效应相适应。各种胶料所使用的硫化体系应当尽可能接近，以利于不同胶料的界面上形成均匀的过渡。胶料与胶料、胶料与骨架材料之间的界面层能否牢固地粘合，除物理粘附外，还决定于是否形成了化学键的结合，只有两方面的共同作用才能提高翻修胶料及与轮胎结合的整体性。

## 三、胶料配方举例

翻修轮胎所使用的胶料配方与制造新轮胎相似，但也有其特点。

**（一）胎面胶**

1．胶料的选择

制造胎面胶的橡胶主要有天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶以及异戊二烯橡胶，要根据使用条件来选择橡胶的品种。单独使用天然橡胶的较少，只有翻新大型工程轮胎和航空轮胎时才用100%天然橡胶，较多的是用天然橡胶与丁苯橡胶或顺丁橡胶并用，或三种橡胶并用。并用丁苯橡胶和顺丁橡胶后的耐磨耗及耐老化性能比单独使用天然橡胶有所提高，但顺丁橡胶并用量太大（如50%以上），会使轮胎的防滑性能下降。此外，也可全部使用丁苯橡胶来制胎面胶。

胎面胶中可掺用少量优质再生胶，以降低成本，节约橡胶。掺用少量再生胶对磨耗无明显的影响，并且使工艺性能有所改善。

2．补强剂

炭黑是胎面胶最好的补强剂，适用于胎面胶的炭黑粒径范围为20～40μm，例如中超耐磨炉黑、高耐磨炉黑和槽黑等。炭黑总用量为45～60重量份，要根据橡胶的种类和用量来具体调整炭黑的品种和用量。例如顺丁橡胶用量大时，要增加中超耐磨炉黑的份数，以提高橡胶的抗撕裂性能；丁苯橡胶用量大时，为提高胶料弹性和降低生热，应使用高耐磨炉黑并用槽黑，总用量要相应减少。炭黑粒径相同时其结构程度也较高，所制胶料的300%定伸应力也较高，同时胶料工艺性能也较好，容易混炼，压出性能好。因此要根据橡胶种类、性能要求和工艺条件来决定炭黑的品种和数量。

3．硫化体系

翻胎胎面胶的硫化体系与制造轮胎的硫化体系相似。硫化体系取决于胶料的种类、炭黑品种和工艺条件。在广泛使用炉法炭黑和合成橡胶的条件下，应当选用迟延性促进剂和较低的硫黄份数。特别是使用顺丁橡胶的配方，硫黄量高会使顺丁橡胶出现异构化，在胶料中生成不稳定的多硫键，增加游离硫黄，使胶料性能变劣。过高的硫黄用量还导致胶料多链结构不稳定，加快老化过程。因此对于顺丁橡胶的配方，采取低硫黄高促进剂的硫化体系比较有利。

低硫黄（硫黄用量低于1.5重量份）高促进剂的硫化体系，是用较高数量的次磺酰胺类促进剂，同时降低硫黄用量。所得硫化胶的硫化交联度高，硫化曲线平坦，对焦烧性能无明显的影响。这种硫化体系能缩短总的硫化时间，不影响滞后损失和老化性能，也不会出现硫化返原现象。

4．防护体系

胎面胶是在较苛刻的条件下工作的。其防护体系应当选用抗疲劳龟裂和抗热氧老化的防老剂，总用量为1.5～2.5重量份。采取几种防老剂并用可以取得较好的综合性能，并且可以避免防老剂过多出现的表面喷霜。常用的防老剂有防老剂A、防老剂D、防老剂4010、防老剂4010NA和防老剂RD等。

在胎面胶中配用适量的石蜡也可以起到表面防护作用。

5．软化剂

胎面胶配方中的软化剂对加工工艺性能和胶料物理性能有影响，应选用与橡胶有良好互溶性的软化剂。天然橡胶配方以采用松焦油作软化剂的综合性能较好；顺丁橡胶配方应选用

**表 4-3-2 胎面胶配方举例**

单位，重量份

| 原材料名称＼配方编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 烟片胶 | 100 | 70 | 70 | 70 | 50 | 50 | 40 | 30 |
| 丁苯橡胶 | | 30 | 30 | | | 20 | | 20 |
| 顺丁橡胶 | | | | 30 | 50 | 30 | 60 | 50 |
| 再生胶 | | | 20 | | | | | |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| 硬脂酸 | 3 | 3 | 2.5 | 3 | 2.5 | 3.5 | 4 | 3 |
| 石　蜡 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.2 | 1 | 1 |
| 促进剂M | 1.2 | 0.5 | | | | | | |
| 促进剂DM | | 0.7 | 1.6 | | | | | |
| 促进剂CZ | | | | 0.65 | | | 1 | 1 |
| 促进剂NOBS | | | | | 1 | 1 | | |
| 防老剂A | 1 | | 0.5 | | 0.6 | | 1 | 1.5 |
| 防老剂D | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 防老剂4010NA | | 1 | | 1 | | 0.8 | | |
| 松焦油 | 6 | 6 | 7 | | | 三线油6 | | 4 |
| 固体古马隆 | | | | 2 | | | | |
| 机油 | | | | 3 | 7 | | 6 | 4 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | | 20 | | | 26 | | 60 | 40 |
| 槽黑 | | | | | | 20 | | |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 46 | 27 | 53 | 50 | 26 | 35 | | 15 |
| 硫黄 | 2.75 | 2.5 | 2.2 | 2 | 1.2 | 1.6 | 1.2 | 1.5 |
| 合　计 | 167.45 | 168.2 | 192.3 | 168.15 | 169.7 | 175.6 | 180.7 | 177.5 |

高芳烃含量石油系软化剂，用量可大一些，这种软化剂对物理性能无明显的影响，并有利于改善工艺性能。

胎面胶配方举例见表4-3-2。

### （二）缓冲胶

缓冲胶贴在胎面胶之下胎体之上，起缓冲和分散应力的作用。缓冲胶承受轮胎行驶中产生的剪切应力，把胎面和胎体牢固地粘在一起，防止因应力集中而导致早期损坏。因此要求缓冲胶具有低生热、耐疲劳和良好的粘合性能。

多数缓冲胶用全天然橡胶配方，也可并用少量丁苯橡胶或顺丁橡胶。补强剂选用半补强炉黑或快压出炉黑，或二种炭黑并用。炭黑用量和轮胎骨架有关，一般在35～45重量份。

硫化体系采用噻唑类或次磺酰胺类为第一促进剂，以二硫化四甲基秋兰姆类促进剂为第二促进剂。这种硫化体系物理性能好，硫化速度快，不易焦烧，硫化曲线平坦，能满足物理性能和工艺上的要求。缓冲胶应配用不溶性硫黄，以防止缓冲胶片在存贮过程中表面喷霜。

防老剂要选用RD或BLE等耐热型防老剂，或与4010NA等耐疲劳型防老剂并用，总用量为1.5～2.5重量份。

用于预硫化胎面翻新的缓冲胶要求能在较低的硫化温度（80～99℃）下硫化。促进剂选用二硫代氨基甲酸盐类的超促进剂。缓冲胶配方举例见表4-3-3。

表 4-3-3　缓冲胶配方举例

单位：重量份

| 原材料名称 \ 配方编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 烟片胶 | 100 | 70 | 100 | 100 | 100 | 80 |
| 顺丁橡胶 | | 30 | | | | 20 |
| 硫黄 | 2.5 | 2 | 2.5 | 2.75 | 2.5 | 2.5 |
| 促进剂M | | | 0.8 | 1 | 0.6 | |
| 促进剂DM | 1 | | | | 0.5 | 1.1 |
| 促进剂TT | | 0.1 | 0.04 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 促进剂NOBS | 0.5 | $CZ_1$ | | | | |
| 防老剂A | | | 1 | 0.5 | 1 | 1 |
| 防老剂D | | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1 | |
| 防老剂RD | 1.06 | | | | | |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 8 | 20 | 5 | 12 |
| 硬脂酸 | 3 | 2.5 | 2.5 | 3 | 2 | 2 |
| 半补强炉黑(SRF) | 36 | 20 | 25 | 20 | 35 | |
| 混气槽黑 | | | 10 | | | |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | | 15 | | | | 30 |
| 松香 | 0.5 | | | | | |
| 松焦油 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 碳酸钙 | | | | | 10 | |
| 合　计 | 154.55 | 152.10 | 155.34 | 152.85 | 161.60 | 152.70 |

### （三）胶浆胶和尼龙粘结胶

粘合性能是这二种胶料的主要性能，尤其是在与骨架材料粘合时。其配方特点是用全天然橡胶，采用间苯二酚—甲醛—白炭黑体系，以增进橡胶与尼龙胎体之间的粘合力。也可使用专用粘合剂，例如粘合剂A（甲醛给予体，三聚氰胺的羟甲基醚的化合物)；16号树脂(间

苯二酚与六亚甲基四胺的络合物)；RE树脂（间苯二酚乙醛树脂)；RS粘合剂（2份间苯二酚加1份硬脂酸的共熔物)。这些都是可以用于橡胶和尼龙帘线间粘合的配合剂。

胶浆胶炭黑用量少，仅作为着色剂用，而尼龙粘结胶配用炭黑量则较高，用量在20～30份。为了提高粘合力，这两种胶料的硫黄用量都较高。为了防止喷霜，尼龙粘结胶应配用不溶性硫黄。

胶浆胶和尼龙粘结胶配方举例见表4-3-4。

**表 4-3-4　胶浆胶和尼龙粘结胶配方举例**

单位：重量份

| 原材料名称 \ 配方编号 | 胶浆胶 | | | | 尼龙粘结胶 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 烟片胶 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 氧化锌 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 5 |
| 硬脂酸 | 3 | 0.2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 硫　黄 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 2.7 | 2.5 | 2.6 | 2.6 |
| 促进剂CZ | 1 | M1.4 | 0.7 | M1 | 1.1 | 1 | 1.2 |
| 促进剂DM | | | | 0.2 | | 0.2 | 0.5 |
| 促进剂TT | 0.1 | 0.05 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.08 |
| 促进剂H | 2 | | | 1.7 | 2 | 1.7 | 2 |
| 粘合剂 | | A2.5 | RH3 | | | | |
| 防老剂A | | | 1 | 0.5 | | 0.5 | 0.5 |
| 防老剂D | 2 | 1 | 1 | 0.6 | 2 | | 1.5 |
| 防老剂4010 | | 1 | | | | | |
| 防老剂RD | | | | 1 | | 1 | |
| 间苯二酚 | 3 | | | 2.5 | 3 | 2.6 | 3 |
| 白炭黑 | | | 15 | 14 | | 14 | 15 |
| 半补强炉黑(SRF) | 7.5 | 20 | 20 | | 20 | | GPF10 |
| 混气槽黑 | | | | | | 4 | |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 7.5 | | | | | | |
| 松　香 | | | | 1 | | 1 | 1 |
| 松焦油 | 2 | 4 | 古马隆7 | 1 | 3 | 5 | 5 |
| 粘合剂RS | | 3.7 | 1.8 | | | | |
| 合　计 | 135.8 | 146.45 | 159.10 | 138.3 | 145.7 | 145.7 | 150.38 |

### （四）补胎胶

补胎胶用于修补损坏的胎面胶部分及斜交轮胎胎侧疤伤，因此它也是一种胎面胶。为了便于工艺操作，补胎胶中很少并用合成橡胶，多采用全天然橡胶配方。补胎胶拉伸强度比胎面胶要求低，因此配方中并用部分半补强炉黑，也可掺用少量再生胶。补胎胶配方举例见表4-3-5。

### （五）洞口胶

洞口胶填补于轮胎的中层。洞口部分在轮胎的使用中是应力集中处，生热高散热困难，因此洞口胶胶料要有较快的硫化速度，具有低定伸、低生热、耐热老化的性能。洞口胶多用全天然橡胶配方，氧化锌用量要多一些，炭黑选用半补强炉黑，用量较少，也有不用炭黑而用碳酸钙加着色剂制成有色洞口胶的。此外还需使用不溶性硫黄以防止胶料表面喷霜。洞口胶配方举例见表4-3-6。

表 4-3-5 补胎胶配方举例

单位：重量份

| 原材料名称 \ 配方编号 | 1 | 2 | 3 | 原材料名称 \ 配方编号 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 烟片胶 | 100 | 100 | 100 | 混气槽黑 | | 25 | |
| 再生胶 | 50 | 20 | 10 | 高耐磨炉黑(HAF) | | | 20 |
| 硫　黄 | 3.6 | 2.5 | 2.3 | 半补强炉黑(SRF) | | 25 | 25 |
| 促进剂M | 0.7 | 1 | 1.1 | 通用炉黑 | 10 | | |
| 促进剂DM | 0.7 | | 0.15 | 防老剂A | | 1 | 1.5 |
| 促进剂TT | | | 0.1 | 防老剂D | 2 | 1 | |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 5 | 松焦油 | 6 | 6 | 4 |
| 硬脂酸 | 4 | 3 | 3 | 石　蜡 | 1 | | 1 |
| 中超耐磨炉黑(ISAF) | 40 | | | 合　计 | 223 | 189.5 | 173.15 |

表 4-3-6 洞口胶配方举例

单位：重量份

| 原材料名称 \ 配方编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 原材料名称 \ 配方编号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 烟片胶 | 100 | 100 | 100 | 100 | 防老剂RD | 1 | | 1.05 | |
| 氧化锌 | 20 | 15 | 20 | 10 | 防老剂4010NA | | | 1 | |
| 硬脂酸 | 1.5 | 1.5 | 3 | 2 | 氧化铁 | 1 | 3 | | |
| 硫　黄 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 半补强炉黑(SRF) | | | | 20 |
| 促进剂M | | 0.85 | 0.8 | H2 | 碳酸钙 | 20 | | | |
| 促进剂DM | | | 0.5 | | 碳酸镁 | | | 20 | |
| 促进剂TT | 0.06 | 0.08 | 0.1 | 0.1 | 松　香 | 0.5 | 0.5 | 1 | |
| 促进剂CE | 1 | | | 1.1 | 间苯二酚 | | | | 3 |
| 防老剂A | | 0.75 | | | 松焦油 | 4 | 1 | 3 | 3 |
| 防老剂D | | 0.75 | | 2 | | | | | |
| | | | | | 合　计 | 151.86 | 126.13 | 152.95 | 145.7 |

### （六）胎侧胶

子午线轮胎在使用时肩部和胎侧受到频繁而剧烈的屈挠变形，同时又有径向、周向压缩和拉伸变形，因此在子午线轮胎的胎侧部位容易产生裂口，胎肩部位热量高散热困难。这就要求修理这个部位的胶料必须有很好的耐天候老化、耐屈挠龟裂及耐热和抗撕裂性能，采用全天然橡胶配方就很难满足上述要求，但可用天然橡胶与部分顺丁橡胶并用，也可选用其它耐老化型胶料。

胎侧胶与胎面胶配方的区别是炭黑总用量减少，或以补强型与半补强型炭黑并用，以改善胶料抗屈挠龟裂性能。炭黑总用量45～55份。防老剂要选用高效抗疲劳龟裂防老剂4010NA，用量可以增加到2.5～3.0重量份。

胎侧胶硫化体系的配合与胎面胶一样。对翻修钢丝子午线轮胎的胶料要适合子午线轮胎的特性。子午线轮胎的特点是胎冠部较刚硬，胎侧部软而胎圈部尤其硬。胎侧胶的配方举例见表4-3-7。

### （七）钢丝粘结胶

钢丝粘结胶是翻修钢丝子午线轮胎时，用于使裸露的钢丝帘线与橡胶粘合的胶料。由于钢丝子午线轮胎在翻修时裸露的钢丝帘线表面镀铜层已被磨蚀掉，因此钢丝粘结胶应能使钢

丝与橡胶很好地粘合在一起。

评价钢丝帘线与胶料的粘合强度，不但要测试其H抽出强力，而且要观察钢丝帘线抽出后在帘线表面附着胶料的面积。

可以使橡胶与钢丝粘合的方法较多，比较适合翻胎工艺的是在胶料配方中加入有机钴盐，如硬脂酸钴、环烷酸钴、油酸钴、乙酸钴等均可。其中以硬脂酸钴和环烷酸钴粘结钢丝的效果较佳，用量为3～5重量份。使用有机钴盐虽然可解决与钢丝的粘合，但也加速了胶料的老化过程，因此使用有机钴盐配方，要合理选用防护体系。此外合理选用硫化体系也会有助于改善橡胶与钢丝的粘合。

表 4-3-7 胎侧胶配方举例

单位：重量份

| 原材料名称 \ 配方编号 | 1 | 2 |
|---|---|---|
| 烟片胶 | 50 | 70 |
| 顺丁橡胶 | 50 | 30 |
| 氧化锌 | 5 | 5 |
| 硫　黄 | 1.2 | 1.5 |
| 促进剂NOBS | 1.2 | |
| 促进剂CZ | | 1.2 |
| 防老剂D | | 1.5 |
| 防老剂4010NA | 3 | 1.5 |
| 槽法炭黑 | 20 | 25 |
| 半补强炉黑(SRF) | 20 | 20 |
| 石　蜡 | 1.5 | 1 |
| 硬脂酸 | 2 | 2.5 |
| 机　油 | 6 | 5 |
| 合　计 | 159.9 | 164.2 |

（1）硫化体系　在钢丝胶料的粘合中提高硫黄用量可以改进橡胶与钢丝帘线的粘合性能，试验证明硫黄为5重量份时粘合性能最好。促进剂的选择也很重要，促进剂M用量在1～1.2重量份时效果最好。促进剂MOR和促进剂NS也能改善橡胶与金属的粘合性能。通常硫化速度和硫化诱导时间长的促进剂，可以使金属表面有充分的活化时间，这对提高橡胶和金属的粘合强度有利。

（2）防护体系　为改善使用钴盐胶料配方造成的老化性能降低，需选用能提高抗热氧老化和抑制有害金属腐蚀的防老剂。例如：防老剂4010NA，防老剂MB等，也可几种防老剂并用。

表 4-3-8 钢丝粘接胶配方举例　　单位：重量份

| 原材料名称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 烟片胶 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 硫　黄 | 5 | 5 | 5 | 3 | 1 |
| 促进剂M | 1.2 | 1.1 | 1.2 | | 3 |
| 促进剂DZ | | | | 1.2 | 1.2 |
| 氧化锌 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 |
| 硬脂酸 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 槽法炭黑 | 50 | 45 | 50 | | |
| 高耐磨炭黑(HAF) | | | | 45 | 45 |
| 防老剂A | 1 | 1 | 1 | | ELE1 |
| 防老剂D | 1 | 0.5 | 1 | | |
| 防老剂4010NA | | 0.5 | | 2 | 1 |
| 硬脂酸钴 | | 5 | | | |
| 环烷酸钴 | 3 | | | | |
| 油酸钴 | | | 5 | | |
| 松焦油 | 4 | 3 | 3.8 | 4 | 5 |
| 树　脂 | | | | RE3 | 6号2 |
| 粘合剂A | | | | 3 | 2 |
| 合　计 | 172.2 | 172.1 | 176 | 173.2 | 168.2 |

（3）补强剂　炭黑品种对橡胶与钢丝的粘合也有影响。试验证明使用40～50重量份的槽黑效果较好。

（4）软化剂　软化剂在与金属粘合的配方中，用量不宜过多，多了有害于橡胶与钢丝的粘合强度。

使用间苯二酚—甲醛—白炭黑体系作为增强与金属粘合强度的粘合剂，近年来也有所发展，使用这种体系有利于改善胶料耐高温和耐老化性能。例如采用 6 号树脂与16号络合物并用，在较高温度和老化后均可获得较好的与金属粘着的性能。

钢丝粘结胶的配方举例见表4-3-8。

**（八）衬垫胶**

衬垫胶采用全天然橡胶配方，这有利于提高粘合和定伸应力。应选用硫化速度较快的硫化体系，同时使用不溶性硫黄以防止胶片表面喷霜。炭黑以补强类型为主并用半补强炉黑。

衬垫胶配方举例见表4-3-9。

**表 4-3-9　衬垫胶配方举例**　　单位：重量份

| 原材料名称 | 1 | 2 | 3 | 原材料名称 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 烟片胶 | 100 | 100 | 100 | 高耐磨炉黑(HAF) | 20 | | 20 |
| 硫　黄 | 2.5 | 2 | 6 | 半补强炉黑(SRF) | 20 | 20 | 15 |
| 氧化锌 | 5 | 5 | 5 | 槽法炭黑 | | 25 | |
| 促进剂M | 0.5 | | 0.8 | 防老剂A | 1 | | |
| 促进剂DM | 0.5 | | 0.4 | 防老剂D | 1 | 1.5 | 1.5 |
| 促进剂CZ | | 1 | | 防老剂4010MA | 1 | 1 | 1 |
| 促进剂TT | 0.1 | 0.05 | 0.08 | 松焦油 | 3 | 3.5 | 4.5 |
| 硬脂酸 | 2 | 2 | 2 | | | | |
| | | | | 合　计 | 156.6 | 161.05 | 158.28 |

## 四、翻修轮胎各种胶料的半成品物理性能标准

翻胎用各种胶料半成品必须达到规定的标准，才能保证翻胎产品标准对胶料的性能要求。根据1980年“翻胎工艺技术若干规定”中对胶料半成品的性能要求见表4-3-10。

**表 4-3-10　翻修轮胎胶料半成品物理性能标准**

| 胶料名称 | 拉伸强度 MPa(kgf/cm²) ≥ | 300%定伸应力 MPa(kgf/cm²) | 硬度(邵尔A) | 伸长率，% ≥ | Akron磨耗 cm³/1.61km ≥ | 永久变形，% ≤ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 胎面胶① | 24.7(250) | 8～11.8(80～120) | 60～70 | 500 | 0.4 | 40 |
| 胎面胶② | 20.7(210) | 7～10.9(70～110) | 55～65 | | 0.2 | |
| 胎面胶③ | 18.7(190) | 7～10.9(70～110) | 55～65 | | 0.2 | |
| 缓冲胶 | 24.7(250) | 6～7.9(60～80) | 48～58 | 550 | | |
| 衬垫胶 | 24.7(250) | 5～7.9(50～80) | 50～60 | 550 | | |
| 补胎胶 | 21.7(220) | 7～10.9(70～110) | 65～68 | 470 | | |
| 洞口胶 | 24.7(250) | 3～4.9(30～50) | 50～60 | 550 | | |
| 胶浆胶 | 24.7(250) | | | 600 | | |

注：表中胎面胶①指全天然橡胶；②指50%天然橡胶与50%合成橡胶并用；③指50%以上合成橡胶与天然橡胶并用配方。

## 第二节　胶料加工

1．胶料加工工艺

翻修轮胎所用各种胶料的加工工艺，与制造新轮胎的各种胶料加工相似。因此胶料加工有关塑炼、混炼、压延和压出工艺均可参阅第三分册。

2．商品胶料及包装

翻修轮胎所用的胶料，有的是由胶料生产企业供给，这就需要包装以便于贮运。包装的好坏直接影响到胶料的质量，这些商品胶料的包装是胶料加工的一个重要部分。对有热炼设备的翻胎企业，胶料可直接装箱运送。而没有热炼设备，但有冷喂料挤出设备的翻胎企业，则可将胎面胶条直接装入密封的箱子中运送。但对多数翻胎企业则要将胶料按需要的规格压出，然后包装供应。对包装的具体要求如下：

（1）所用包装材料不能与胶料产生化学反应，并且与胶料及其配合剂不互相渗析。

（2）包装材料应与胶料粘合表面不发生粘结现象，但能隔绝空气及防止污染胶料表面。

（3）包装后的胶料应能防止杂质混入或日光照射，并能保持胶片的形状和厚度。

（4）包装材料应成本低，容易得到并便于在专用设备上加工包装。

通常用聚丙烯等薄膜贴在胶片需要粘合的表面。薄胶片卷成筒状包装，内衬以坚固的纸筒芯以防止胶卷变形。几个胶卷用塑料薄膜包好后放在坚固的纸箱中密封，以防止杂质或阳光的照射。

胎面胶在需要粘合的表面粘贴一层薄膜，成卷地装在纸箱内。

所有的包装纸面上都要印有胶料名称、种类、规格及检验日期，同时还要有合格标记及生产厂家、包装日期、净重量和毛重量，箱内还需附有使用说明书及注意事项。

3．商品胶料的质量标准

翻修轮胎的胶料作为商品供给翻胎企业，它除了能够满足翻胎质量标准的要求以外，还要能满足翻胎工厂工艺条件的要求。主要是规定胶料的厚度、宽度以及胎面胶料的断面形状和每一包装件的重量等。

（1）薄胶片的尺寸和重量

薄胶片的尺寸和重量见表4-3-11。

表 4-3-11　薄胶片包装尺寸表

| 胶料名称 | 厚度 mm | 宽度 mm | 每箱重量 kg | 备　注 |
|---|---|---|---|---|
| 缓冲胶 | 1.0 | 460 | 20(4×5) | 每箱4卷，每卷5kg |
| 洞口胶 | 1.0 | 460 | 20(4×5) | 同上 |
| 胶浆胶 | 2 | 460 | 20(4×5) | 同上 |
| 补胎胶 | 1.0 | 460 | 20(4×5) | 同上 |
| 补胎胶 | 1.5 | 460 | 20(4×5) | 同上 |
| 补胎胶 | 2.5 | 460 | 20(4×5) | 同上 |
| 洞口胶 | 2 | 460 | 20(4×5) | 同上 |
| 胎面胶 | 9 | 70 | 30 | 同上 |

（2）胎面胶的包装和断面形状　胎面胶用薄膜贴在其需要粘合的底面，断面形状常用的有3种。

有的胎面胶底面已粘好缓冲胶片，并在缓冲胶片上贴有包装薄膜。

胎面胶每卷重量在20～30kg，成卷装入纸箱贮运。

（3）规定胶料的用途　除不同种类胶料其用途不同外，通常还根据使用条件的不同，制成不同成分和性能的胎面胶。比如用于轿车的轮胎、用于载重汽车的轮胎、用于工程机械车的轮胎及农用拖拉机的轮胎。

（4）胶料物理性能和工艺性能　要注明胶料在正常贮存条件下半年内可以保证达到的物理性能指标。此外要注明工艺条件，通常是门尼焦烧和硫化条件。特别是胎面胶，通常要求达到在150℃条件下1mm厚度硫化时间为5～7分钟。

# 第四章　硫化专用工具的设计与制造

## 第一节　硫 化 内 胎

### 一、种　　类

硫化内胎是传统法翻新轮胎硫化时传递内压和热能的专用工具。其作用与制造新轮胎所使用的水胎相同。根据硫化内胎的断面形状又可分为二种，即水胎型硫化内胎（或简称硫化水胎）和内胎型硫化内胎（或简称硫化内胎）（见图4-4-1）。

1．水胎型硫化内胎

水胎型硫化内胎的断面形状类似水胎，其优点是：①使用方便；②对压力和热能传递均匀，尤其是胎圈部位。其缺点是：①胶料消耗较多；②制造工艺较复杂；③重量大，使用时要用扒水胎机；④模型加工费事。

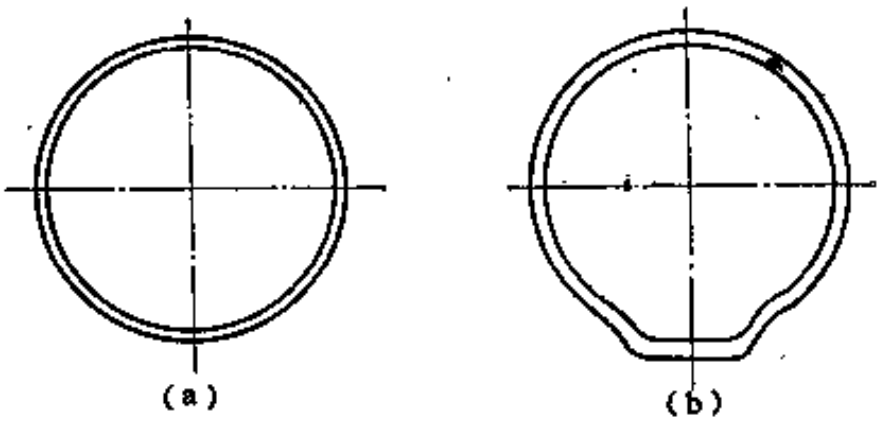



图 4-4-1　不同种类硫化内胎断面示意图
(a)内胎型硫化内胎；(b)水胎型硫化内胎

2．内胎型硫化内胎

内胎型硫化内胎其断面类似汽车内胎，断面形状是圆形或近似圆形。其优点是：①胶料消耗较少；②制造工艺较简便，模型加工较容易；③重量较轻，使用时人工装取，不需扒水胎机。其缺点是：①使用时要加装垫带；②胎圈部位传热和传递压力不均匀。

3．硫化内胎的规格型号

硫化内胎的规格即所适用的轮胎规格。

### 二、硫化内胎的设计

#### (一) 硫化内胎几个重要设计参数的确定

硫化内胎的外轮廓与翻新轮胎的内轮廓应尽可能接近，使硫化内胎在使用时各部位伸张小而均匀。硫化内胎伸张大的部位，会加快老化进程。硫化内胎的牙子伸张大会造成嘴子早期损坏，伸张太小也会造成使用时装卸硫化内胎困难，硫化内胎易出现打褶面缩短使用寿命。因此正确确定硫化内胎的设计参数十分重要。

1．硫化内胎外直径的确定

硫化内胎的外径伸张率应大于水胎，这是因为翻新轮胎胎内可能有衬垫而使内轮廓变小。翻新轮胎内轮廓第一层帘布直径$D_n$与硫化内胎的外直径$D_{bn}$的比值为 1.02～1.03，可按式（4-4-1）计算求得$D_{bn}$的数值。

$$\frac{D_n}{D_{bn}}=1.02\sim1.03 \qquad (4\text{-}4\text{-}1)$$

2．硫化内胎水平轴的位置

硫化内胎断面水平轴位置应比所翻新轮胎断面水平轴位置低 8～16mm。这和硫化内胎

的外径伸张率有关，当外径伸张率大时取较大值，反之取较小值。

3．硫化内胎牙子的内直径

硫化内胎牙子的内直径应比翻新轮胎的胎圈直径大8～16mm。

4．硫化内胎牙子的宽度

硫化内胎牙子宽度可按式（4-4-2）计算：

$$b = c - 2s - 2 \times \Delta l \tag{4-4-2}$$

式中 $b$——硫化内胎牙子宽度，mm；

$c$——翻新轮胎模具胎圈着合宽度，mm；

$s$——翻新轮胎胎圈厚度，mm；

$\Delta l$——牙子和胎圈的间隙，mm。

$\Delta l$取值为3～6mm，根据翻新轮胎胎体帘布层数多少决定取值大小。

5．硫化内胎断面外周长的伸张率

硫化内胎断面外周长的伸张率比同规格水胎大，通常为1.04～1.08。硫化内胎断面尺寸大的或胎圈直径小的均应取较大值。按式（4-4-3）计算：

$$\frac{P_n}{P_{bh}} = 1.04 \sim 1.08 \tag{4-4-3}$$

式中 $P_n$——轮胎内轮廓断面周长，mm；

$P_{bh}$——硫化内胎断面周长，mm。

硫化内胎的断面外轮廓与轮胎断面内轮廓应当近似。两条轮廓曲线的间隙应均匀过渡，硫化内胎断面曲线的长度应当满足断面伸张率的要求。

内胎型硫化内胎的断面形状为圆形或近似圆形。在使用时为了防止近胎圈部位变形大而早期损坏，要装垫带。因此设计内胎型硫化内胎时应把垫带尺寸一并考虑在内。可参照上述各参数设计。

6．硫化内胎的胎壁厚度

硫化内胎胎壁厚度应比汽车内胎厚，随其断面大小和使用橡胶种类选定其厚度（参见表4-4-1）。

**表 4-4-1 硫化内胎胎壁厚度表** 单位：mm

| 硫化内胎断面宽度 | 胎壁厚度 | | 硫化内胎断面宽度 | 胎壁厚度 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 丁基橡胶 | 天然橡胶 | | 丁基橡胶 | 天然橡胶 |
| 160以下 | 3～4 | 6～8 | 200～250 | 5～7 | 8～10 |
| 160～200 | 4～5.5 | 7～9 | 250以上 | 6～8 | 10～12 |

硫化内胎的牙子厚度应比胎壁大一些，水胎型硫化内胎牙子厚度比胎壁大30～50%，内胎型硫化内胎其内圆周部分也应比胎壁厚度增加20～40%。

7．硫化内胎嘴子

硫化内胎嘴子有胶嘴和金属嘴二种，胶嘴类似水胎上的胶嘴；金属嘴子类似普通汽车内胎气门嘴，直接安在硫化内胎上。每条硫化内胎装一个嘴子，使用循环过热水的要装双嘴。

**（二）硫化内胎设计举例**

以9.00-20硫化内胎为例。

（1）绘制所要翻新的9.00-20轮胎断面图（见图4-4-2）。

（2）9.00-20硫化内胎水平轴的位置比轮胎水平轴低11mm，其水平轴线的直径为$\phi$758mm。

（3）9.00-20硫化内胎的外直径伸张率取值为102.5%，则硫化内胎的直径可由式（4-4-1）求出。

$$\frac{D_n}{D_{bk}}=102.5\%$$

式中：$D_n$=958mm，则求得$D_{bk}$=934.6mm。

（4）硫化内胎牙子的内直径比胎圈直径大10mm，则硫化内胎牙子内直径为510+10=520mm。

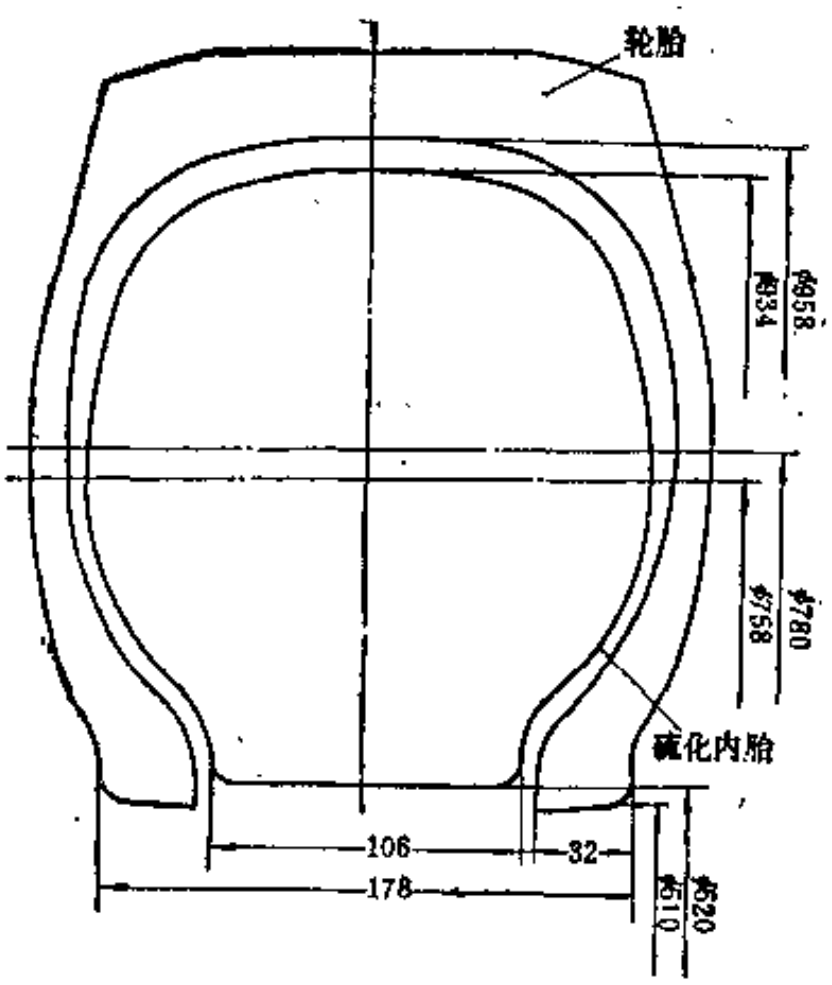



图 4-4-2 9.00-20硫化内胎断面图(单位：mm)

（5）硫化内胎牙子与轮胎胎圈的间隙取4mm。根据式（4-4-2）求出硫化内胎牙子宽度。

$$b=c-2s-2\times\Delta d$$

已知：$c$=178mm，$s$=32mm，$\Delta d$=4mm

则求得$b$=106mm。

（6）硫化内胎在已确定上述参数的条件下，硫化内胎的外轮廓应使其形状与轮胎内轮廓接近，作出的弧线使其间隙自上而下逐步缩小达到均匀过渡。并计算其断面周长$P_n$=594mm，$P_{bk}$=561.92mm。

$$\frac{P_n}{P_{bk}}=\frac{594}{561.92}=105.71\%$$

硫化内胎断面外周长的伸张率105.71%合乎要求。

## 三、胶料配方

硫化内胎要能在150℃左右的高温下长时间使用，经受热空气、蒸汽、过热水的浸蚀老化。因此制造硫化内胎应选用耐热氧老化的橡胶。硫化内胎不能象水胎那样多次翻新，因此用天然橡胶制造硫化内胎的方法已逐渐淘汰，而广泛采用丁基橡胶或与其它合成橡胶并用，延长了使用寿命。

### （一）丁基橡胶的胶料配方

1．橡胶

丁基橡胶的种类牌号较多，应选用通用型丁基橡胶来制造硫化内胎。其不饱合度在1.6～2%之间，通常用301或268等牌号。不同生产厂名称牌号不同。此外也可以使用丁基橡胶的改性产品，例如氯化丁基橡胶。

为改善胶料某些性能也可与其它橡胶并用。

（1）与三元乙丙橡胶并用

丁基橡胶与三元乙丙橡胶并用，可以降低胶料的脆性温度，提高胶料的屈服强度和半成品的挺性，能迟延胶料老化后变软现象。三元乙丙橡胶并用量在20%重量份。

（2）与氯丁橡胶并用　与氯丁橡胶并用可以延缓丁基橡胶高温老化后容易出现的硫化返原现象。同时氯丁橡胶可以作为丁基橡胶的活化剂，以代替金属氧化物，用量5～10%重量份。

（3）与氯化丁基橡胶并用　丁基橡胶与氯化丁基橡胶并用，可以降低胶料的永久变形。氯化丁基橡胶可以作为活化剂，其用量为5～10%重量份，用量过高操作不安全。

（4）氯化丁基橡胶与天然橡胶并用　氯化丁基橡胶与天然橡胶并用可以改善氯化丁基橡胶的工艺性能。但随天然橡胶并用量的增加，胶料的耐老化性能明显降低。天然橡胶并用量不宜超过10%重量份。

2．硫化体系

丁基橡胶的硫化体系很多，通常有硫黄和树脂两类。

（1）硫黄硫化体系　硫黄硫化体系的优点是硫化速度快，加工工艺困难少。缺点是耐老化性能较树脂硫化体系差，硫键不稳定，高温使用易产生硫化返原。采用硫黄硫化体系时，由于丁基橡胶不饱和度很低，为了使其硫化产生交联，要提高硫化温度，配用较高数量的超速促进剂。

（2）树脂硫化体系　一些合成树脂可以使丁基橡胶在硫化过程中形成稳定的—C—C—和—C—O—C—的交联键。使用树脂硫化体系的胶料耐老化性能好，长时间在高温下使用不会产生硫化返原。不同的树脂对丁基橡胶的硫化活性不同。常用的有叔丁基苯基酚醛树脂（101B；SP1045；2402）；对辛基苯酚醛树脂（SP137）；溴化甲基烷基苯酚甲醛树脂（SP1055；SP1056；20）。以上几种树脂都能使丁基橡胶硫化产生交联，并获得良好的耐热氧老化性能，但硫化速度很慢，要求用较高的硫化温度（170℃以上）才能充分交联，配用活化剂才有实用价值，常见的活化剂有以下几种。

a．氧化锌　氧化锌可作为活化剂，但活性效果不如金属氯化物。用量5%重量份左右。

b．金属氧化物　有氯化亚铁、氯化锌、氯化亚锡。其中以氯化亚锡活性最好，耐热耐老化以及物理机械性能较好。但使用氯化亚锡工艺上困难很多，如粘辊筒，易腐蚀设备。氯化亚锡贮存不稳定，在胶料中分散困难。

c．含氯的高聚物　一些含氯的高聚物也可作活化剂使用，如氯丁橡胶，氯化丁基橡胶和氯磺化聚乙烯等都可作活化剂使用。

（3）补强填充体系　用丁基橡胶制造硫化内胎，胶料的补强填充体系主要是炭黑，炉黑要选用活性和半活性炭黑，用量大于在天然橡胶中的配比。选用炭黑要综合考虑硫化胶的物理机械性能和加工工艺性能，例如未硫化胶的定伸应力不应太高，以利于胎筒接头和定型。半补强炉黑与快压出炉黑并用的胶料压出性能很好。用高耐磨炉黑或快压出炉黑与槽法炭黑并用，均可得到较好的综合性能。炭黑的用量为50～75%重量份。

（4）增塑剂　丁基橡胶加入增塑剂可以改善操作性能．宜采用低极性高饱和的增塑剂，使用沸点高与橡胶相容性好的增塑剂以改善与炭黑的相容性。用于丁基橡胶的增塑剂有凡士林和机油等。

（5）增粘剂　丁基橡胶粘着性能不好，加入少量的氢化松香酸酯、古马隆树脂、烯树脂及改性酚醛树脂，可以改善粘着性能，加入少量多烷基苯酚二硫化物也有增粘效果，并能

显著提高硫化胶的伸长率。

（6）防老剂　由于丁基橡胶不饱和度低，用丁基橡胶制造硫化内胎，可以不加防老剂。以丁基橡胶为基础的硫化内胎胶料配方举例见表4-4-2。

**表 4-4-2　丁基橡胶配方举例**

单位：重量份

| 原材料名称 \ 配方编号 | 硫黄硫化体系 | | 树脂硫化体系 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 丁基橡胶301 | 100 | 100 | 100 | 80 | 95 | 天然橡胶10 | 100 | 80 |
| 氯化丁基橡胶HT1068 | | | | 20 | 氯丁橡胶5 | 90 | | 三元乙丙橡胶20 |
| 氧化锌 | 5 | 10 | | 10 | 5 | 10 | 5 | 5 |
| 硬脂酸 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 2 | 1 | 1 |
| 凡士林 | 5 | | 6 | 5 | 5 | 5.5 | 5 | |
| 硫黄粉 | 1 | 0.4 | | | | | | 0.5 |
| 促进剂M | 0.5 | 1 | | | | DM1 | | 1.2 |
| 促进剂ZDC | 0.5 | CZ0.5 | | | | | | 0.5 |
| 促进剂TT | 0.8 | 0.5 | | | | 0.5 | | 1.8 |
| 高耐磨炉黑(HAF) | 50 | 50 | 50 | 50 | 滚筒法炭黑30 | | 60 | |
| 快压出炉黑(FEF) | | | | | 30 | ISAF35 | | GPF50 |
| 酚醛树脂 | | | (2402) 8 | (2402) 10 | (2402) 10 | | (201) 10 | |
| 氧化亚锡 | | | 2 | | 2 | | | |
| 松　香 | | | 1 | | | | | |
| 古马隆 | 5 | | | | | | | |
| 机　油 | | 17 | | | | | | 8 |
| 石　蜡 | | | | 1 | | | 1 | |
| 420活化剂 | | | 1.5 | | | | 1 | |
| 陶　土 | | | | | | 20 | | |
| 氧化铁 | | | | | | 0.3 | | |
| 合　计 | 168.8 | 181.4 | 169.5 | 177 | 182 | 174.3 | 183 | 168 |

## （二）天然橡胶的胶料配方

使用天然橡胶为基础制造硫化内胎，使用寿命较短，消耗大，但由于天然橡胶来源容易，加工方便。目前仍有使用者。

1．硫化体系

使用耐热硫化体系，如无硫配合，即使用高效硫载体使胶料产生交联的硫化体系。常用的有超速促进剂TT、二硫化吗啡啉，不配用硫黄。这种硫化体系使胶料不产生游离硫和多硫键，从而改善了胶料耐热氧老化性能。超速促进剂用量多易产生喷霜，可以几种超速促进剂并用，也可加入少量硫黄而降低超速促进剂用量。这种硫化体系的胶料耐热性能好，但硫化胶的永久变形较大。

2．填充补强剂

加入较多的氧化锌可以改善胶料耐蒸汽的腐蚀性能。采用半活性炭黑补强耐热性能比掺用活性炭黑好，通常选用半补强炉黑或快压出炉黑。加入陶土、白炭黑也有利改善胶料耐热性能。

3．防护体系

应当选用耐热耐氧老化的防老剂，也要考虑抗疲劳龟裂老化性能。常用防老剂为BLE，RD，MB和4010NA等，用量比通常要多。可以二三种并用以防止胶料喷霜。

天然橡胶硫化内胎的胶料配方举例见表4-4-3。

表 4-4-3 天然橡胶配方举例

单位：重量份

| 原材料名称 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 硫　　黄 | 0.3 | | 2.5 | 2 |
| 氧 化 锌 | 60 | 50 | 8 | 5 |
| 促进剂TT | 2.7 | 2.8 | | |
| 促进剂M | | | 0.75 | 0.9 |
| 硬 脂 酸 | 2.5 | 1.5 | 2 | 3 |
| 防老剂A | 1 | | 4.5 | 2 |
| 防老剂D | 1 | MB1.5 | 4.5 | 2 |
| 防老剂4010NA | 1 | | | |
| 高耐磨炭黑(HAF) | | 20 | | |
| 半补强炉黑(SRF) | 20 | 20 | 50 | 10 |
| 混气炭黑 | 20 | | | |
| 陶　　土 | | | | 25 |
| 松 焦 油 | 5 | | 3 | 3.5 |
| 石　　蜡 | | | 1 | |
| 沥　　青 | | 4 | 19 | 5 |
| 松　　香 | | 1 | | |
| 合　　计 | 213.5 | 2[illegible].8 | 195.25 | 158.4 |

## 四、硫化内胎制造工艺

### （一）胶料加工工艺

硫化内胎胶料加工工艺，因使用橡胶种类不同而有区别。使用天然橡胶为基础的胶料加工与制造水胎的胶料加工工艺相同，请参阅本分册第一篇有关章节。使用丁基橡胶为原料制造的胶料加工工艺如下。

1．混炼

（1）开炼机混炼　丁基橡胶可不经塑炼直接混炼。但因丁基橡胶回缩性大，开始时不易包辊，使用开炼机混炼有困难，除去采用冷辊、小辊距、小容量（比天然橡胶减少1/3～1/4)以外，还可采用如下方法。

a．引料法　将前一辊所炼的胶（未加硫化剂的）取1/3～1/4，先上辊包辊按顺序加料混炼，混好粉剂加硫化剂前取下1/3～1/4包辊胶供下一车混炼用，最后再加入硫化剂。如此周而复始循环加工。

b．薄通法　先加部分丁基橡胶以小辊距反复薄炼，等生胶包辊后逐步加入余下生胶，配合剂也逐次加入，逐步增大辊距。

c．开炼机混炼要求前辊温度略高于后辊，因为丁基橡胶易包冷辊。

d．加药顺序　丁基橡胶混炼加药顺序为橡胶→氧化锌、硬脂酸→炭黑和软化剂→

硫化剂和活化剂。

当用氧化锌作硫化剂时要后加。

（2）用密炼机混炼　丁基橡胶适于用密炼机混炼。其容量应比天然橡胶增大15%左右。当填充剂多时用逆混炼法效率高，逆混炼法加药顺序是：炭黑→橡胶→其它配合剂

密炼机混炼控制排胶温度不高于130℃，硫化剂和活化剂在压片机上混入。

制硫化内胎的胶料应过滤，在混炼后加硫化剂前过滤。胶料混炼后要停放8小时以后再用。

2．挤出或压延

制造硫化内胎的胶料，先挤出成一定断面尺寸的胎筒。天然橡胶制成的胶料挤出或压延工艺按一般工艺进行。

丁基橡胶挤出工艺比天然橡胶的要求严格。使用树脂硫化体系的丁基橡胶虽然硫化温度要求很高，但焦烧性能很差。因此挤出工艺要注意以下几点：

① 供胶热炼时间要短，胶温不超过80℃。并尽可能排出胶中气泡和残留水分；

② 给挤出机供胶要均匀，胶条不要中断，保持挤出机内压力不变；

③ 尽量减少回炼胶件，回混胶与新胶要均衡搭配；

④ 挤出机用较低转速，挤出机口型要小一些，因为丁基橡胶挤出膨胀较大；

⑤ 挤出的胎筒浸水冷却，存放不能重叠；

⑥ 挤出胎筒停放4小时以上再用。

**（二）硫化内胎的成型**

1．硫化内胎成型工艺的种类

（1）长筒成型工艺

a．用挤出机挤出胎筒其工艺流程为：截取胎筒→安装嘴子→接头→定型

b．用挤出或压延的胶片卷制胎筒，其工艺流程为：截胶片→卷粘胎筒→安装嘴子→接头→定型

2．嘴子的制备安装

胶嘴用压出胶棒制造，用模型先制成半硫化胶嘴，然后打毛刷胶浆粘在胎筒上。也可以用未硫化胶制成胶嘴形状直接粘在胎筒上。

3．硫化内胎粘合

硫化内胎粘合时要注意以下二点。

① 粘合表面涂刷胶浆或溶剂，其目的是造成一个新鲜表面。这种方法必须使溶剂挥发干净，否则残余溶剂无法在硫化时散逸出去而影响粘合。

② 用钢丝刷磨出新鲜表面，然后用机械辊擦净沟纹中的气泡，并使压力保持一段时间（通常为30秒左右），使之粘合牢固。

**（三）硫化工艺**

硫化操作应使用内胎硫化机。天然橡胶的硫化内胎，其硫化工艺与水胎相同，可参见本分册第一篇有关章节。丁基橡胶硫化内胎的硫化工艺应作好以下几点。

（1）硫化温度　应采用较高的硫化温度和较长的硫化时间。采用树脂硫化体系时，硫化温度应在170℃以上，才能使胶料充分交联，提高耐热、耐氧老化性能。

（2）脱模　丁基橡胶硫化内胎易粘模型，尤其是配用氯化亚锡的胶料，粘模严重。在模型表面喷涂脱模剂，以氢化硅油效果最好。

（3）排气线　模型上要有合理的排气线，因为丁基橡胶胶料流动性不好，易产生明

疤。所以要注意排气线的布置和设计。

## 五、质 量 标 准

1．胶料物理性能标准

硫化内胎胶料物理性能标准见表4-4-4。

表 4-4-4 硫化内胎胶料物理性能标准

| 项 目 | 天然橡胶硫化内胎 | 丁基橡胶硫化内胎 |
|---|---|---|
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²) | 19.6(200)以上 | 9.81(100)以上 |
| 伸长率，% | 450以上 | 350以上 |
| 撕裂强度（直角），kN/m(kgf/cm) | 54(55)以上 | 34(35)以上 |
| 永久变形，% | 25以下 | 15以下 |
| 老化系数(100℃×24h)，% | 0.5以上 | 0.8以上 |

2．外观质量标准

硫化内胎的外观质量标准如下。

（1）表面无杂质和气泡。

（2）胎身厚薄均匀，充少量压缩空气无明显局部膨胀及不均匀现象。

（3）无针孔漏气现象。

（4）表面平整光滑，无明疤，无重皮、缺胶现象。

（5）嘴子孔（胶嘴）内光滑畅通，不漏气；金属嘴子螺纹完整，与胎身粘合牢固，双嘴应180°相对。

（6）牙子周正。

（7）胎上编号清楚齐全。

## 六、胶 囊

胶囊是胶囊翻新硫化机上的重要部件，它代替硫化内胎在翻新轮胎硫化时起传递压力和

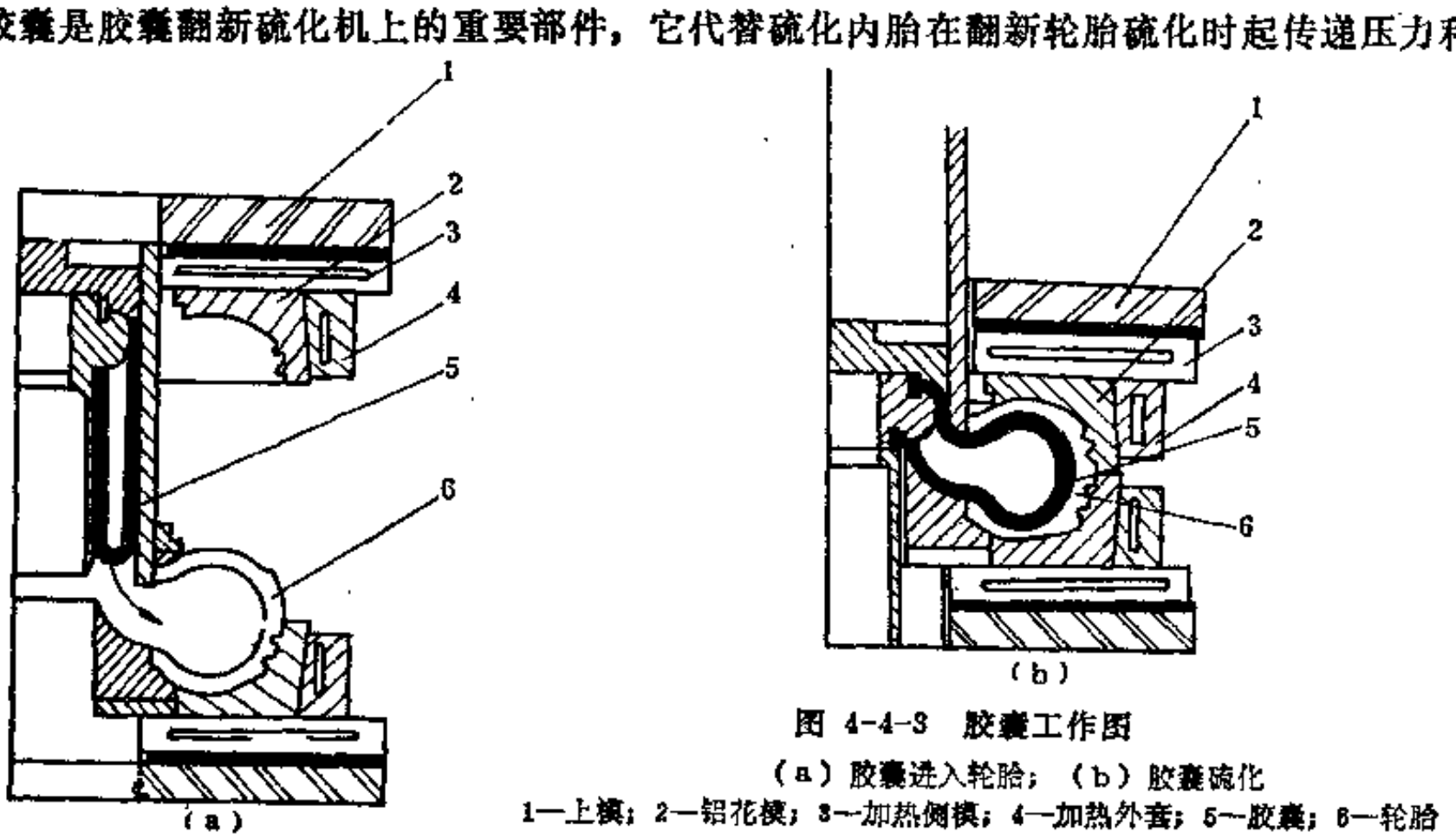



图 4-4-3 胶囊工作图

（a）胶囊进入轮胎；（b）胶囊硫化

1—上模；2—铝花模；3—加热侧模；4—加热外套；5—胶囊；6—轮胎

热能的作用。使用胶囊可使翻新硫化机操作实现机械化、自动化。翻新硫化机使用的胶囊和制新轮胎使用的胶囊基本相同。由于翻新轮胎是已硫化好的坚韧的环状壳体，没有新胎硫化前的筒状过程，因此胶囊进入胎腔内比较困难。为便于胶囊进入胎腔内，胶囊可做薄一些，同时中心机构要有相应的部件使胶囊容易进入胎腔内（见图4-4-3）。

胶囊的设计制造可参阅本分册第一篇有关章节。

## 第二节　节段气囊

节段气囊是局部修补轮胎硫化时传递压力和热能的专用工具。在气囊内充入内压和热能介质，使轮胎修补区段受到一定压力并加热。

### 一、节段气囊的种类和构造

1．种类

节段气囊根据构造、骨架材料和使用的橡胶进行分类。

（1）根据嘴子数量分为单嘴和双嘴二种

a．单嘴　只在气囊一头装一个嘴子，只能充以压缩空气。

b．双嘴　在气囊两头各装一个嘴子，其中有一个嘴子尾部带有吸水管，可供排出冷凝水。

（2）按骨架材料区分，可分为钢丝和纤维帘线二种。

（3）根据使用橡胶种类区分，有天然橡胶气囊和丁基橡胶气囊二种。

2．节段气囊的构造

节段气囊由内胆、增强层、端头、牙子、端头增强层和嘴子几部分组成。见图4-4-4。

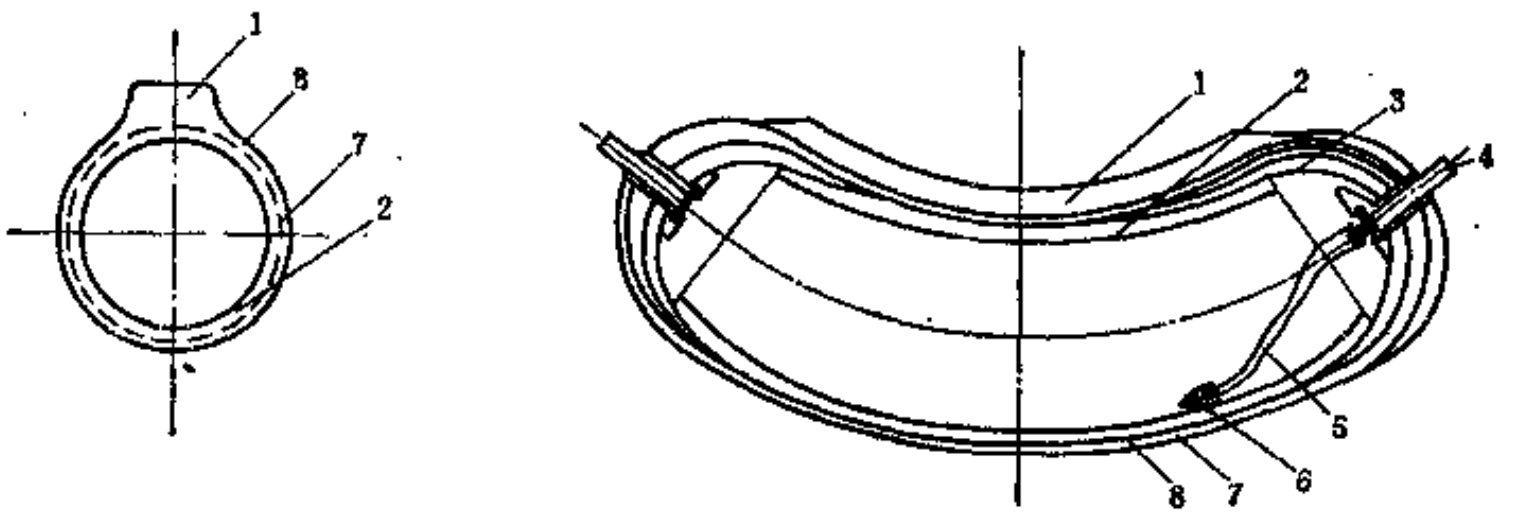



图 4-4-4　节段气囊构造图

1—牙子；2—内胆；3—堵头；4—嘴子；5—吸水管；6—滤水头；7—外皮胶；8—骨架材料

（1）内胆　位于节段气囊的内部，是用橡胶制成的厚壁密封囊体。在头部装有嘴子，使用时向内充入内压和加热介质。内胆是气段气囊最重要的部件。

（2）增强层　包覆在内胆外面的骨架层，它是节段气囊的主要受力部分，用钢丝（或者其它纤维帘线）按一定角度排列而成。

（3）嘴子　节段气囊的嘴子有胶嘴和金属嘴两种。胶嘴与水胎的近似，也配用金属插嘴。金属嘴子则有进气（或水）和出回水的两种，出水用的带有吸水管和滤水头。嘴子及

其附件和胶嘴及金属插嘴见图4-4-5。

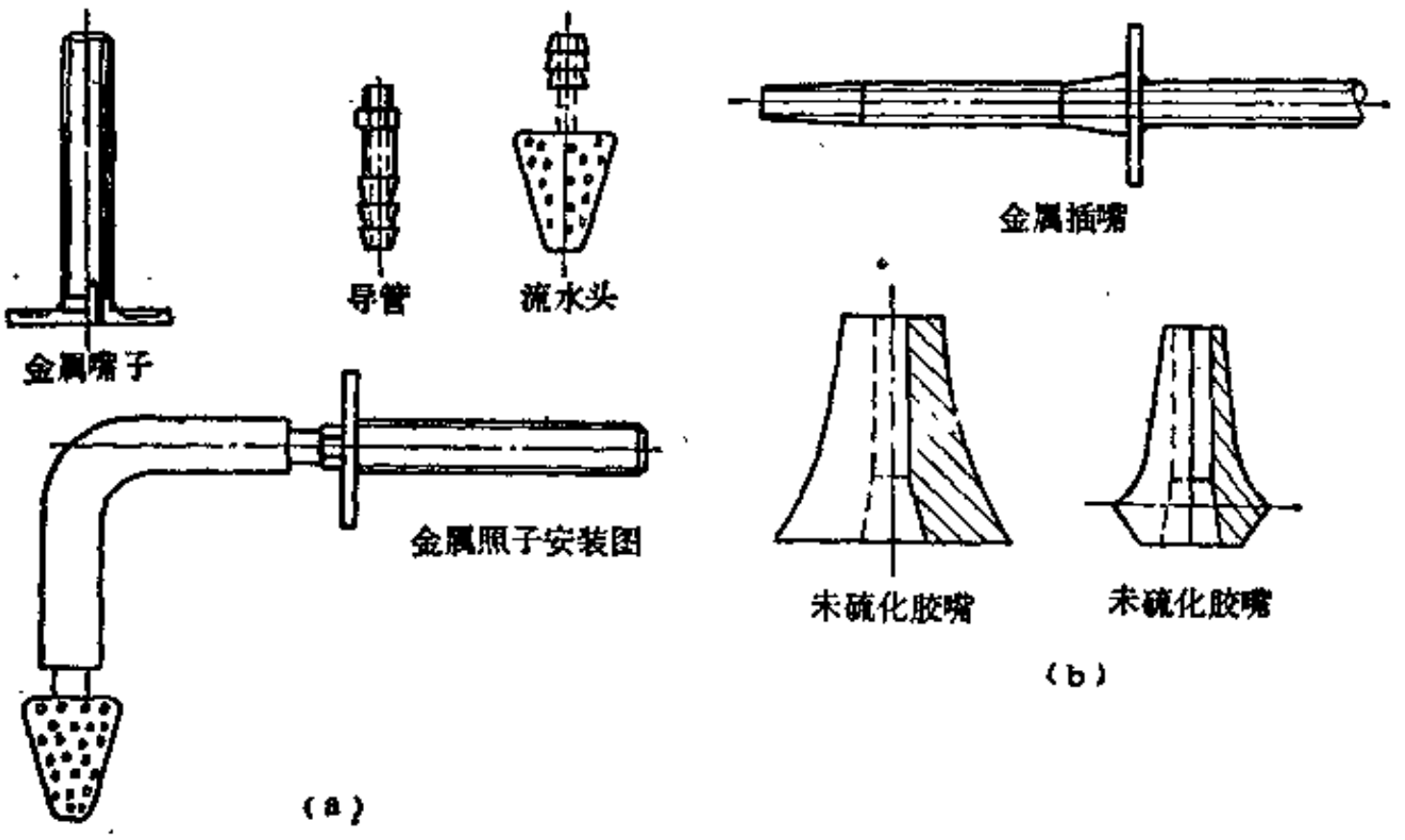



图 4-4-5 嘴子图

（a）嘴子及其附件；（b）胶嘴及金属插嘴

（4）外皮胶 用橡胶制成覆盖在整个节段气囊的外部，保护和固定增强层免受浸蚀。

（5）牙子 用橡胶制成，可以用外皮胶或质地稍差的橡胶。

（6）端头加强层 是一层包在端头的挂胶布。用以增强端头部分。

3．节段气囊的规格

以其适用的轮胎规格为节段气囊的规格。

## 二、节段气囊的设计

1．节段气囊外轮廓的设计

设计节段气囊要首先设计其外轮廓，节段气囊的外轮廓要根据所修补轮胎的内轮廓来确定。

（1）节段气囊外缘曲率半径 节段气囊外缘曲率半径$R_o$应比轮胎内轮廓第一层帘线直径$D_o$的二分之一大10～30mm。取值大小和轮胎的胎体帘线层数有关，层数多的取值大。

（2）节段气囊工作面长度夹角的确定 节段气囊工作面长度$L_o$夹角$\alpha$的大小对其使用性能和经济效益有关。工作面长度过大使节段气囊装卸困难，过小则限制每次硫化的长度。轮胎胎圈直径大时，$\alpha$角可以稍大；轮胎断面宽大时，$\alpha$角应稍小。此外$\alpha$角也和局部硫化机的模板长度应适合，节段气囊尺寸长于模板也会影响轮胎变形。

（3）节段气囊断面外周长伸张率 节段气囊断面外周长伸张率可以与硫化内胎的相同。参照本章第一节。

（4）牙子尺寸的确定 节段气囊的牙子在使用中伸张很小，各部位尺寸应按如下确定。

① 牙子的宽度　牙子宽度可与同规格硫化内胎相同，参见本章第一节。

② 牙子的曲率半径　节段气囊牙子的曲率半径$r_n$应先确定节段气囊的断面高$H$。而$H$应比轮胎内轮廓断面高小6～8mm，即补衬垫的厚度。然后由下式求出$r_n$

$$r_n = R_n - H \qquad (4\text{-}4\text{-}4)$$

③ 牙子的高度　节段气囊牙子高度$h$在15～30mm，规格大的取大值。

（5）节段气囊外轮廓的绘制　在以上几个参数确定后即可绘制节段气囊外轮廓图（见图4-4-6）。

根据各部件厚度可以绘出内胎的尺寸。各部件的厚度见表4-4-5。

2．节段气囊的设计举例

（1）$R_n$的确定　9.00-20轮胎冠部第一层帘线直径为φ944mm。节段气囊的$R_n$比其半径大20mm，则$R_n = \frac{944}{2} + 20 = 492$mm。

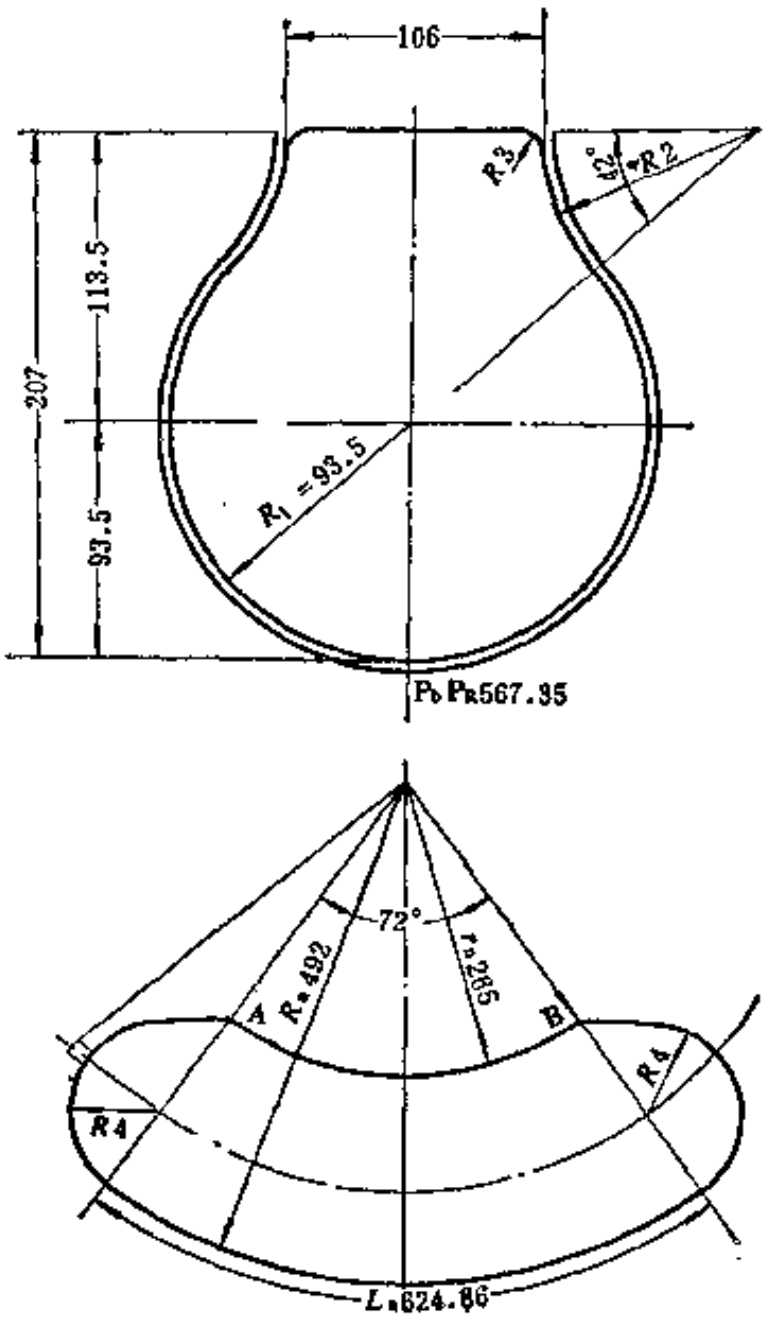



图 4-4-6　节段气囊外轮廓设计举例(单位：mm)

（2）$L_n$和$\alpha$角的确定　9.00-20节段气囊总长度扇形夹角应不大于110°。而有效工作长度$L_n$根据局部硫化模要求应为600mm。当节段气囊有效长度夹角为72°时，整个节段气囊扇形夹角为103°（双嘴）或100°（单嘴）。当$\alpha$角按72°设计时$L_n$长度为624.86mm，这个长度能满足使用要求。

表 4-4-5　节段气囊各部件厚度表

单位：mm

| 部件名称 | 丁基橡胶节段气囊 | 天然橡胶节段气囊 |
|---|---|---|
| 内　胆 | 8～12 | 10～15 |
| 堵　头 | 比同规格内胆增大1～2 | 比同规格内胆增大1～2 |
| 增强层 | 钢丝每层1.5～2（胶帘布1.2～1.5） | 钢丝每层1.5～2（胶帘布1.2～1.5） |
| 外皮胶 | 3～6 | 5～7 |

（3）节段气囊牙子曲率半径　节段气囊断面高比轮胎内轮廓断面高小10mm，则牙子曲率半径$r_n$按下式求出：

$r_n$=(轮胎冠部第一层帘布直径/2)－（轮胎内轮廓断面高－10mm)

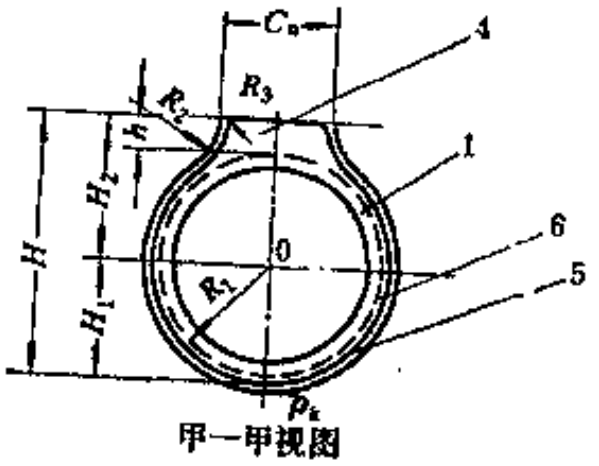
$$r_n=285\text{mm}$$

牙子高度取20mm，则(217－20)/2=$H_1$

$$H_1=93.5$$

$$H_2=113.5$$

（4）节段气囊的二个端头　二个端头为半球形，$R_4=R_1=93$mm，以$R_4$为半径绘出端头圆弧，然后在AB二点向端头圆弧作切线，即绘端头的侧面外轮廓。



甲—甲视图

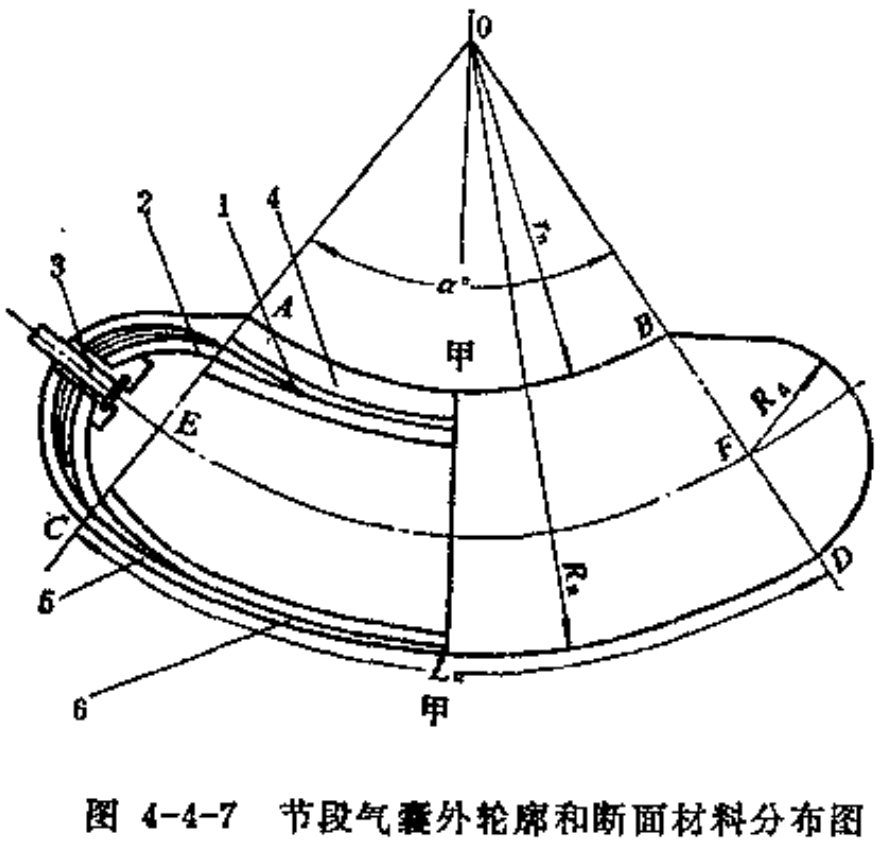


图 4-4-7　节段气囊外轮廓和断面材料分布图

1—内胆筒；2—内胆堵头；3—预制嘴子；4—牙子；5—外皮胶；6—骨架层

（5）节段气囊牙子的宽度与硫化内胎的牙子宽度相同，为106mm。

根据以上数值可以绘制出节段气囊的外轮廓图和材料断面分布图（见图4-4-7）。

## 三、节段气囊的胶料配方

1．胶料的种类和性能要求

节段气囊使用条件和硫化内胎相近，其不同点如下。

（1）有用骨架材料制成的增强层。

（2）端头部要单独承受使用时的内压

节段气囊可以使用与硫化内胎相同的胶种和硫化体系，只是要调整某些部件胶料的物理性能和与增强层的粘着性能。因此节段气囊各种胶料的性能要求如下。

a．内胆胶　要求具有优越的耐热氧老化性能和气密性、较高的定伸应力和硬度、较小的变形，与骨架材料要有一定的粘合力。

b．外皮胶　包在囊体外面，起着保护和固定骨架层的作用，要求比内胆胶软一点，与骨架材料粘合好，胶料流动性好，也要有良好的耐热氧老化的性能。

（3）嘴子胶　用于制造胶嘴或粘合金属嘴子，制胶嘴可以用内胆胶。与金属嘴子粘合的胶料，除要求能抗热氧老化外，还要与金属有良好的粘着性能。

2．胶料配方举例

以天然橡胶和丁基橡胶为原料制节段气囊的各种胶料配方举例见表4-4-6和表4-4-7。

## 四、节段气囊的制造工艺

### （一）工艺流程

节段气囊制造可根据使用不同蕊型而区分为空芯法和蜡芯法两种。

1．空芯法工艺流程

表 4-4-6 丁基橡胶配方举例

单位：重量份

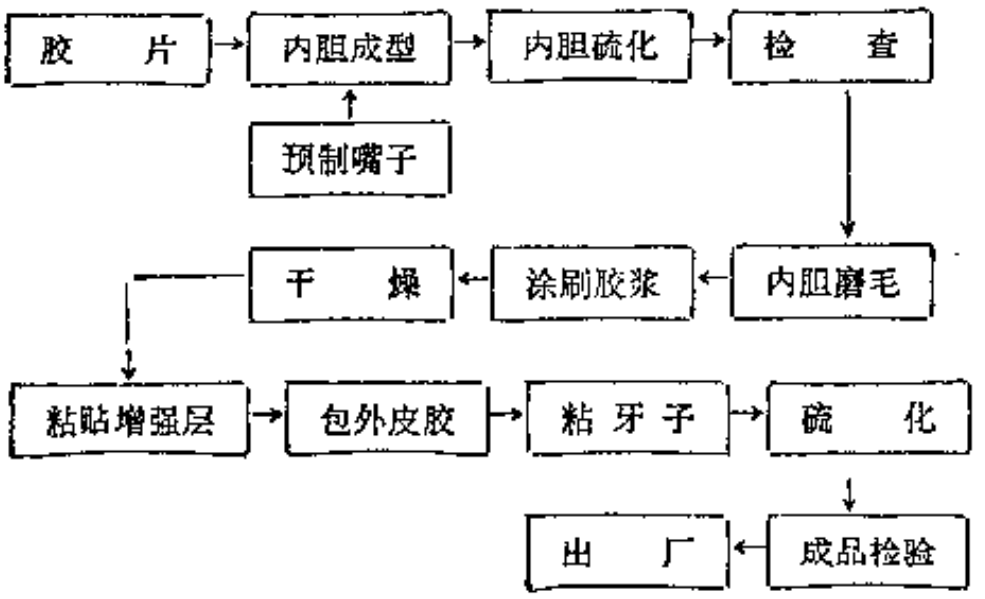
| 原材料名称 \ 配方编号 | 硫黄硫化体系 | | 树脂硫化体系 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 丁基橡胶301 | 100 | 100 | 100 | 80 | 95 | 天然橡胶10 | 100 | 80 |
| 氯化丁基橡胶MT1068 | | | | | 氯丁橡胶 | | | 三元乙丙橡胶20 |
| | | | | 20 | 5 | 90 | | |
| 氧化锌 | 5 | 10 | | 10 | 5 | 10 | 5 | 5 |
| 硬脂酸 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 2 | 1 | 1 |
| 凡士林 | 5 | | 5 | 5 | 5 | 5.5 | 5 | |
| 硫　黄 | 1 | 0.4 | | | | | | 0.5 |
| 促进剂M | 0.5 | 1 | | | | DM1 | | 1.2 |
| 促进剂ZDC | 0.5 | ZP, 1.5 | | | | | | 0.5 |
| 促进剂TT | 0.8 | 1.5 | | | | 0.5 | | 1.8 |
| 高耐磨炉黑(HAF) | | | | | 辊筒法发黑 | | | |
| | 70 | 50 | 50 | 50 | 30 | | 60 | |
| 快压出炉黑(FEF) | | | | | 30 | HAF,35 | | GPR,50 |
| 酚醛树脂 | | | (2402)8 | (2402)10 | (2402)10 | | (201)10 | |
| 氯化亚锡 | | | 2 | | 2 | | | |
| 松　香 | | | 1 | | | | | |
| 古马隆 | 5 | | | | | | | |
| 机　油 | | 17 | | | | | | 8 |
| 石　蜡 | | | | 3 | | | 1 | |
| 活化剂420 | | | 1.5 | | | | 1 | |
| 陶　土 | | | | | | 20 | | |
| 氧化镁 | | | | | | 0.3 | | |
| 合　计 | 168.3 | 181.4 | 169.5 | 177 | 182 | 174.3 | 183 | 168 |

表 4-4-7 天然橡胶配方举例

单位：重量份

| 原材料名称 | 1 | 2 | 3 | 4 | 原材料名称 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然橡胶 | 100 | 100 | 100 | 100 | 高耐磨炉黑(HAF) | | 10 | | |
| 硫　黄 | 0.3 | | 2.5 | 2 | 半补强炉黑(SRF) | 20 | 20 | 50 | 10 |
| 氧化锌 | 60 | 61 | 8 | 5 | 混气炭黑 | 20 | | | |
| 促进剂TT | 2.7 | 2.8 | | | 陶　土 | | | | 25 |
| 促进剂M | | | 0.75 | 0.9 | 松焦油 | 5 | | 3 | 3.5 |
| 硬脂酸 | 2.5 | 2.5 | 2 | 3 | 石　蜡 | | 0.5 | 1 | |
| 防老剂A | 1 | 1.5 | 4.5 | 2 | 沥　青 | | 3 | 19 | 5 |
| 防老剂D | 1 | 1.5 | 4.5 | 2 | | | | | |
| 防老剂4010NA | 1 | 0.6 | | | | | | | |
| | | | | | 合　计 | 213.5 | 203.3 | 195.25 | 158.4 |

空芯法工艺流程如下：




2．蜡芯法

与空芯法不同的地方是先制一个蜡的芯型，在芯型上成型，等硫化时蜡受热融熔由内胆排出。这种方法工艺较复杂，采用者很少，但它在贴合辊压时不会变形。

**（二）成型工艺**

1．内胆成型

（1）内胆成型工艺流程

内胆成型工艺按以下流程进行：




（2）预制嘴子　预制胶嘴就是用模型硫化成半硫化状。预制金属嘴子就是把金属嘴子经过表面处理然后包胶在模型中硫化制成，然后磨毛涂胶浆粘到气囊上，目的是保证金属和橡胶能很好的粘合。

（3）胆筒裁片　胆筒是以大小不同的两块扇面形胶片粘制而成。胶片样板尺寸见表4-4-8及图4-4-8。胆筒成型尺寸见表4-4-9及图4-4-9。

**表 4-4-8　节段气囊内胆筒胶片样板尺寸表**

单位：mm

| 节段气囊规格 | 尺　寸 | | | | 节段气囊规格 | 尺　寸 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *R* | *A* | *L* | *A*－*B* | | *R* | *A* | *L* | *A*－*B* |
| 12.00-20 | 613 | 290 | 910 | 25 | 9.00-20 | 535 | 215 | 780 | 25 |
| 11.00-20 | 570 | 260 | 850 | 25 | 8.25-20 | 500 | 180 | 660 | 25 |
| 10.00-20 | 546 | 244 | 810 | 25 | 7.50-20 | 475 | 166 | 600 | 25 |

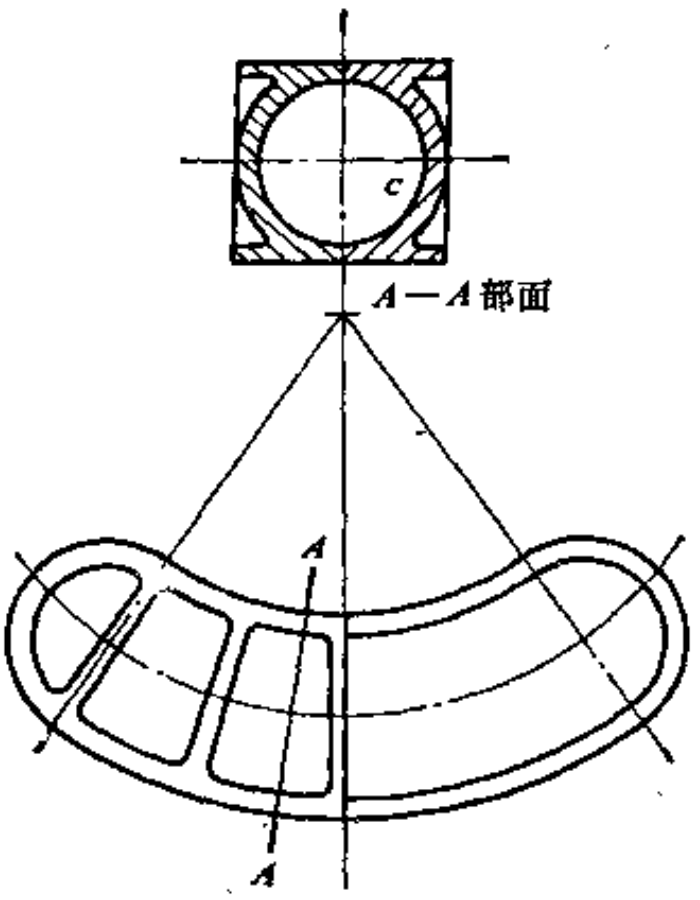



图 4-4-8　节段气囊内胆筒胶片样板

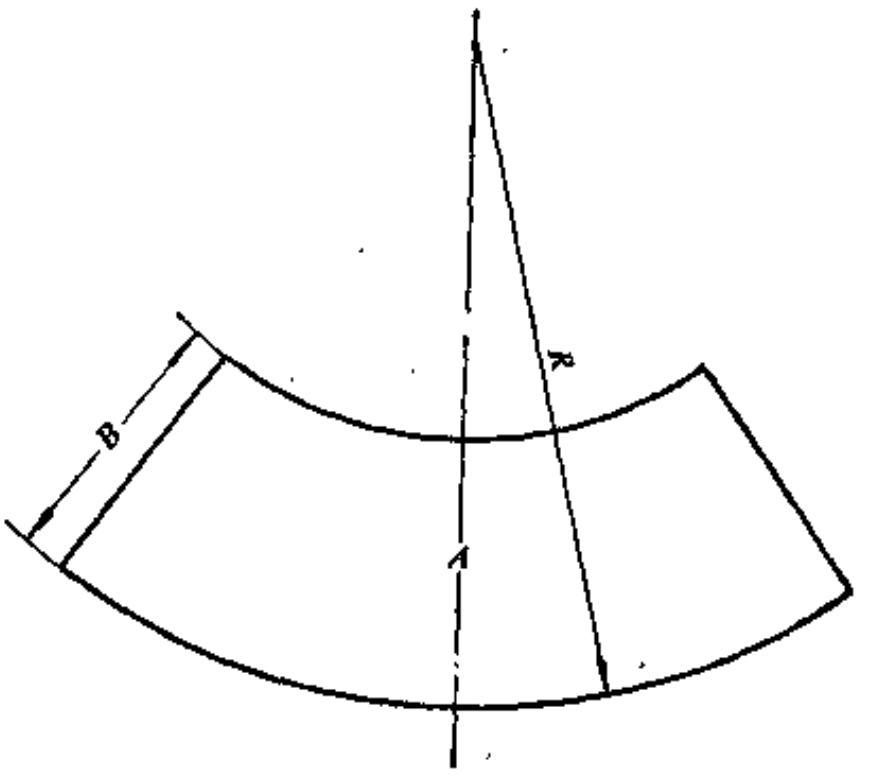



图 4-4-9　胆筒成型尺寸

（4）堵头　内胆堵头用胶片裁制成圆片，四周片削成坡面，胶片厚度比内胆胆筒加厚1～2mm。嘴子粘在堵头的中心。

（5）内胆成型　成型的内胆胆筒要粘成中部断面周长比二端断面周长大30～40mm的胆筒，然后粘好堵头。

（6）内胆硫化　一次成型的内胆在硫化前即粘增强层。二次硫化的内胆成型后要先用内胆模硫化，硫化后再将表面磨毛涂刷胶浆，然后粘一层厚度为0.8mm的薄胶再粘增强层。内胆硫化通常用铝合金两半模，形状见图4-4-10。

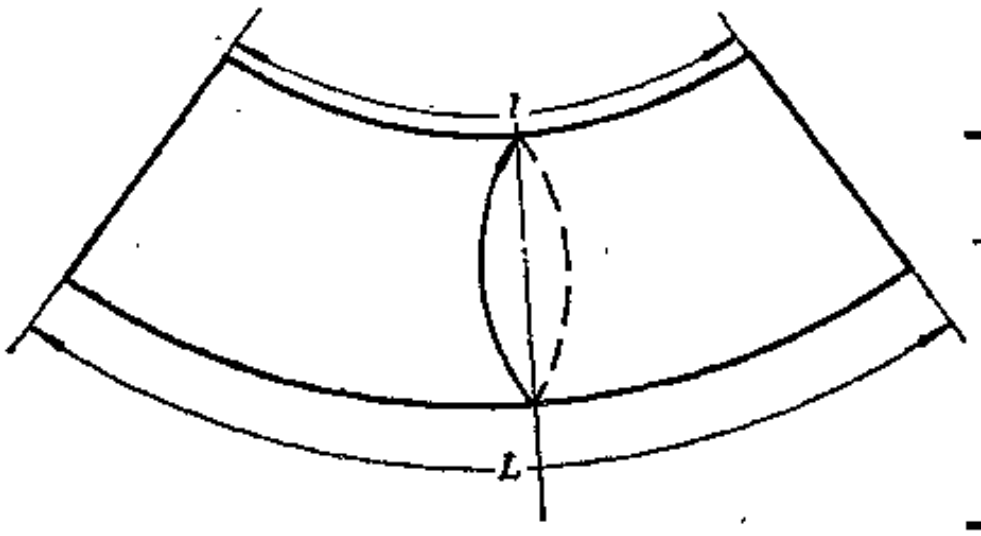



图 4-4-10　节段气囊内胆硫化模型

表 4-4-9　胆筒尺寸表

单位，mm

| 节段气囊规格 | L | 中间断面外周长 | l |
|---|---|---|---|
| 12.00-20 | 890 | 640 | 580 |
| 10.00-20 | 780 | 550 | 600 |
| 9.00-20 | 750 | 540 | 550 |
| 8.25-20 | 670 | 440 | 520 |
| 7.50-20 | 650 | 420 | 510 |

（7）检查　内胆硫化好以后要充气检查，内胎不漏气且厚薄均匀即可继续施工。

2．粘贴增强层

制作节段气囊的增强层通常用钢丝，也有使用细的镀锌铁丝或挂胶纤维帘布。增强层骨架材料的排列方法也不同，通常以骨架材料在囊体部分是平行排列，这样气囊可得到充分膨胀，施工简便。也有成15～30°交角排列的，这种排列多用于多层纤维骨架材料的结构。气囊腹部伸张稍差，在囊体两个端头增强层骨架材料呈放射状排列。

（1）钢丝　用45号炭结钢丝，直径为0.5~0.7mm，强力为17.7~19.6MPa(180~200kgf/cm²)，钢丝密度应为30根/100mm。

（2）增强层的缠绕方式　将全周钢丝根数分为8股，每股算1组，每组绕囊体1周。缠绕的根数见表4-4-10。

表 4-4-10　每股钢丝根数表

| 节段气囊规格 | 7.50-20 | 8.25-20 | 9.00-20 | 10.00-20 | 11.00-20 | 12.00-20 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 每股钢丝根数 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |

在气囊两端头钢丝呈放射状排列，形状和缠绕先后顺序见表4-4-11及图4-4-11。

表 4-4-11　节段气囊钢丝缠绕方法(单嘴举例)

| 缠钢丝圈数 | 有嘴子端头缠绕顺序 | 无嘴子端头缠绕顺序 | 缠钢丝圈数 | 有嘴子端头缠绕顺序 | 无嘴子端头缠绕顺序 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 由1起头 | 1—9 | 5 | 15—8 | 8—16 |
| 2 | 9—3 | 3—11 | 6 | 16—10 | 10—2 |
| 3 | 11—5 | 5—13 | 7 | 2—12 | 12—4 |
| 4 | 13—7 | 7—15 | 8 | 4—14 | 14—6 |
| | | | | 6绕过嘴子收尾 | |

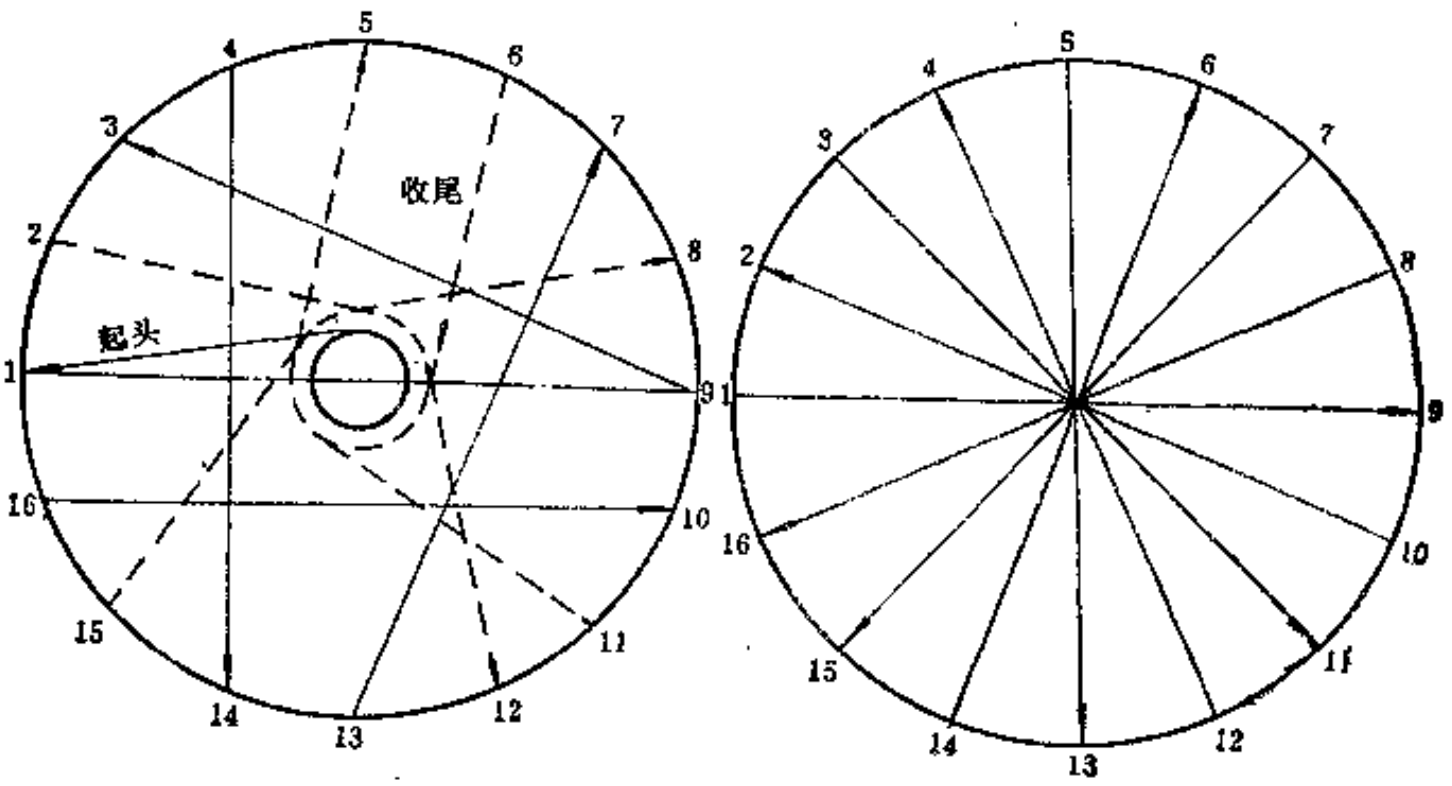



图 4-4-11　节段气囊钢丝缠绕方法

（3）操作方法　内胆先充少量压缩空气使内胎膨胀便于操作。用厚度为0.5~0.8mm厚胶条边缠钢丝边固定钢丝。等全部钢丝缠好后，表面粘一层0.8~1mm厚薄胶片，两端头包一层浸胶帆布作为增强层。

3．包外皮

外皮包胶厚度为3~7mm，气囊大的用较厚者，气囊小的用较薄者。外皮粘完后粘上牙子。牙子用外皮胶叠并用刀削成牙子形状。

4．硫化

节段气囊均使用模型硫化。模型多使用铝合金制成两半模，见图4-4-12。

节段气囊模型可在平板硫化机或专用个体硫化机上硫化。也可用夹具夹紧放在硫化罐中硫化。硫化温度天然橡胶的为140～150℃，丁基橡胶的要高一些。硫化内压应为0.8～0.98 MPa(8～10kgf/cm²)。

## 五、节段气囊的质量标准

1．外观质量标准

节段气囊的外观质量标准如下●。

（1）表面平整光滑，无明疤缺胶海绵及杂质存在。

（2）模缝溢胶厚度约1mm。

（3）嘴子螺纹完整，嘴孔通畅，胶嘴孔内光滑。

（4）无脱层现象。

（5）充少量压缩空气，囊体膨胀均匀。

（6）无欠硫现象。

（7）充气浸水检查无漏气现象。

2．胶料物理性能标准应达到表4-4-12的要求

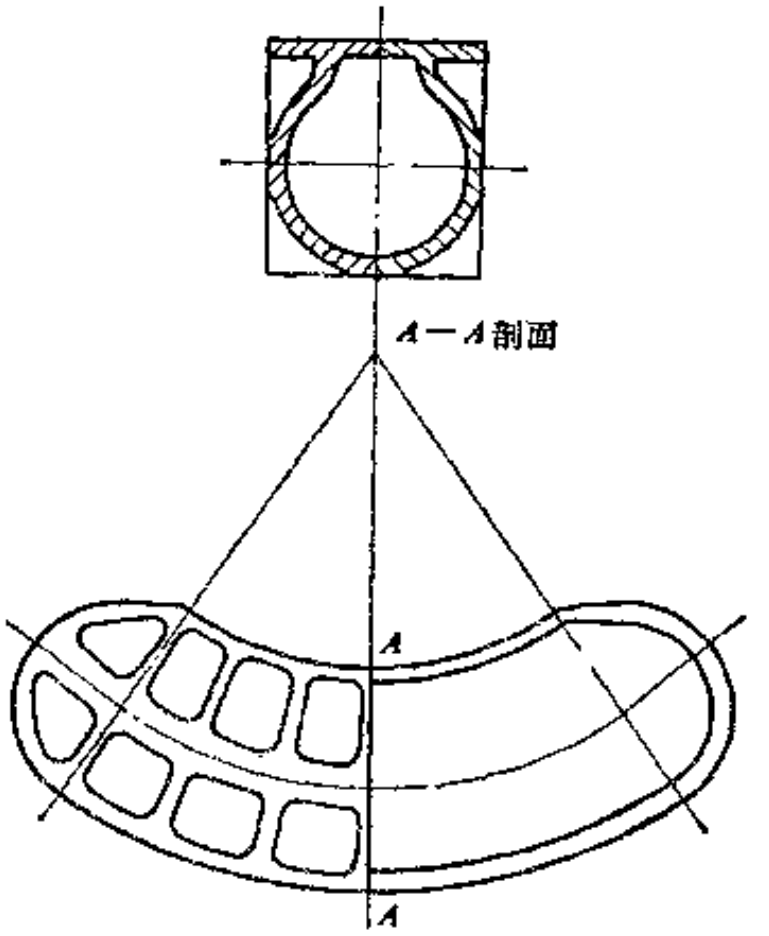



图 4-4-12 节段气囊硫化模

表 4-4-12 节段气囊胶料物理性能标准

| 项　目 | 天然橡胶气囊 | 丁基橡胶气囊 |
|---|---|---|
| 拉伸强度，MPa(kgf/cm²)≥ | 17.6(180) | 9.80(100) |
| 伸长率，%≥ | 400 | 400 |
| 撕裂强度（直角），kN/m(kgf/cm)≥ | 49(50) | 34(35) |
| 硬度（邵尔A） | 63±3 | 68±3 |
| 老化系数(100℃×24h) ≥ | 0.65 | 0.80 |

## 六、电 热 垫

电热垫是用于修补轮胎胎体局部破损的电加热部件。“电热垫“的形状象一段用旧胎体制成的衬垫形状。

利用电热垫修理轮胎具有简便易行，特别是修理异型或巨型轮胎时更能发挥其特有的效能，也可与节段气囊配合使用，实现两面加热以提高生产效率。电热垫通常用耐热橡胶制成。

1．电热垫的制造方法简介

（1）将电阻丝（直径0.6～1mm）拉伸成波浪型，通以24～48V电压，通过改变电阻丝长度使之发热温度为140～150℃。可用实验求出其长度和电压。

（2）装上电阻丝，并在表面粘贴厚度为5～6mm的耐热胶片。先贴一层胶片，并用胶条固定电阻使之均匀排列防止短路。然后粘上另一层胶片，并辊压防止中间窝藏气泡。

● 此标准选自天津市轮胎翻修厂企业标准。

电热垫可根据需要制成不同大小和不同形状及选用不同直径和长度的电阻丝制成。

（3）电热垫边缘应成坡面。可以放在翻新轮胎或修补轮胎中硫化，硫化时间要长一些。

（4）制好的电热垫要通入规定电压测试表面温度。

2. 电热垫的应用

（1）电热垫用于修补轮胎　电热垫可以放在修补轮胎的衬垫和节段气囊中间。使修补轮胎实现内外两面加热，从而改善硫化质量缩短硫化时间。

（2）电热垫适用于修补异型和大型轮胎　电热垫用在修补异型或巨型轮胎上的洞疤修理时，将电热垫放在要加热硫化的胎面或衬垫上，然后表面放上沙袋（或用铝粉装入袋中）作为加压垫。用卡具夹紧即可进行加热硫化。

（3）使用电热垫要注意安全　使用电热垫要注意安全，电压不能超过48 V。此外还注意装上短路指示装置，防止因短路升温过高而烧焦轮胎，并检查胶片的绝缘情况，应无穿孔和显露电阻丝的地方。

# 第五章　硫化内模设计

翻修轮胎用的硫化内模分为两种，用于翻新轮胎的称为翻新硫化内模（又名花纹板），用于修补轮胎的称为修补硫化内模。传统法翻胎和预硫化胎面及修补轮胎均使用硫化内模完成其硫化工艺，因此模具设计和制造的优劣，对产品质量有直接影响。

翻胎和修胎硫化设备包括硫化机和内模两部分，本章只介绍内模部分。

硫化内模的设计，主要在于合理地确定内轮廓尺寸。硫化内模是装配在硫化机上使用的，内模的应变受硫化机制约，硫化内模外形尺寸要符合硫化机加工装配要求。硫化内模内轮廓要求符合翻新或修补轮胎的外部尺寸，使轮胎在硫化过程中不产生变形，而对硫化内模的强度计算可以省略不计。制造内模的材料应考虑来源容易，加工简便，传热快，使用装配轻便而且有一定强度和硬度的金属材料均可。

## 第一节　翻胎硫化内模的设计

### 一、翻新硫化内模类别

翻新硫化内模可分为固定式和活络模两大类。

1．固定式翻新硫化内模

固定式翻新硫化内模又称两半模，它是沿周向从中部分为两部分的模具（如图 4-5-1 所示）。

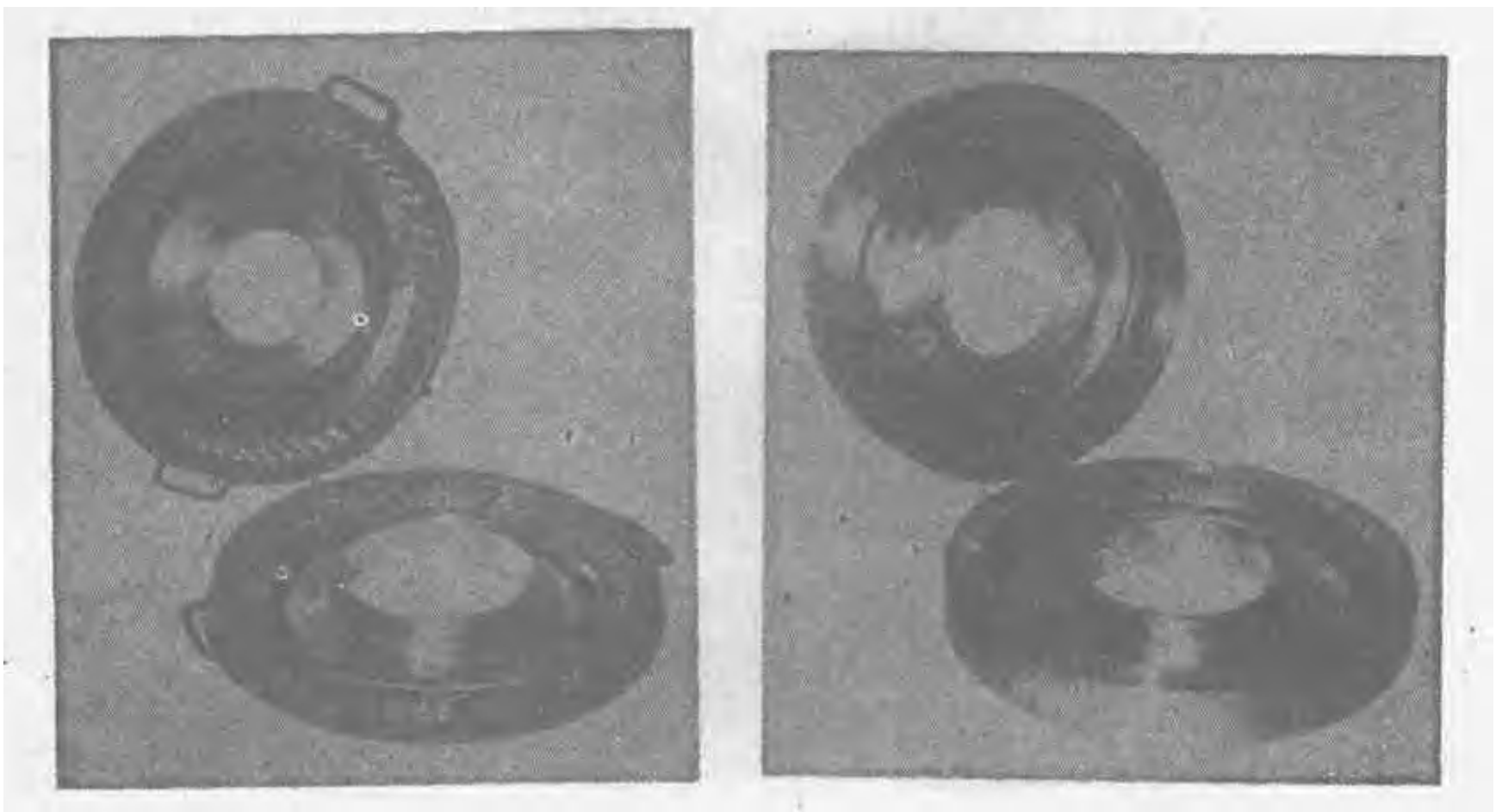


图 4-5-1　固定式翻新硫化内模

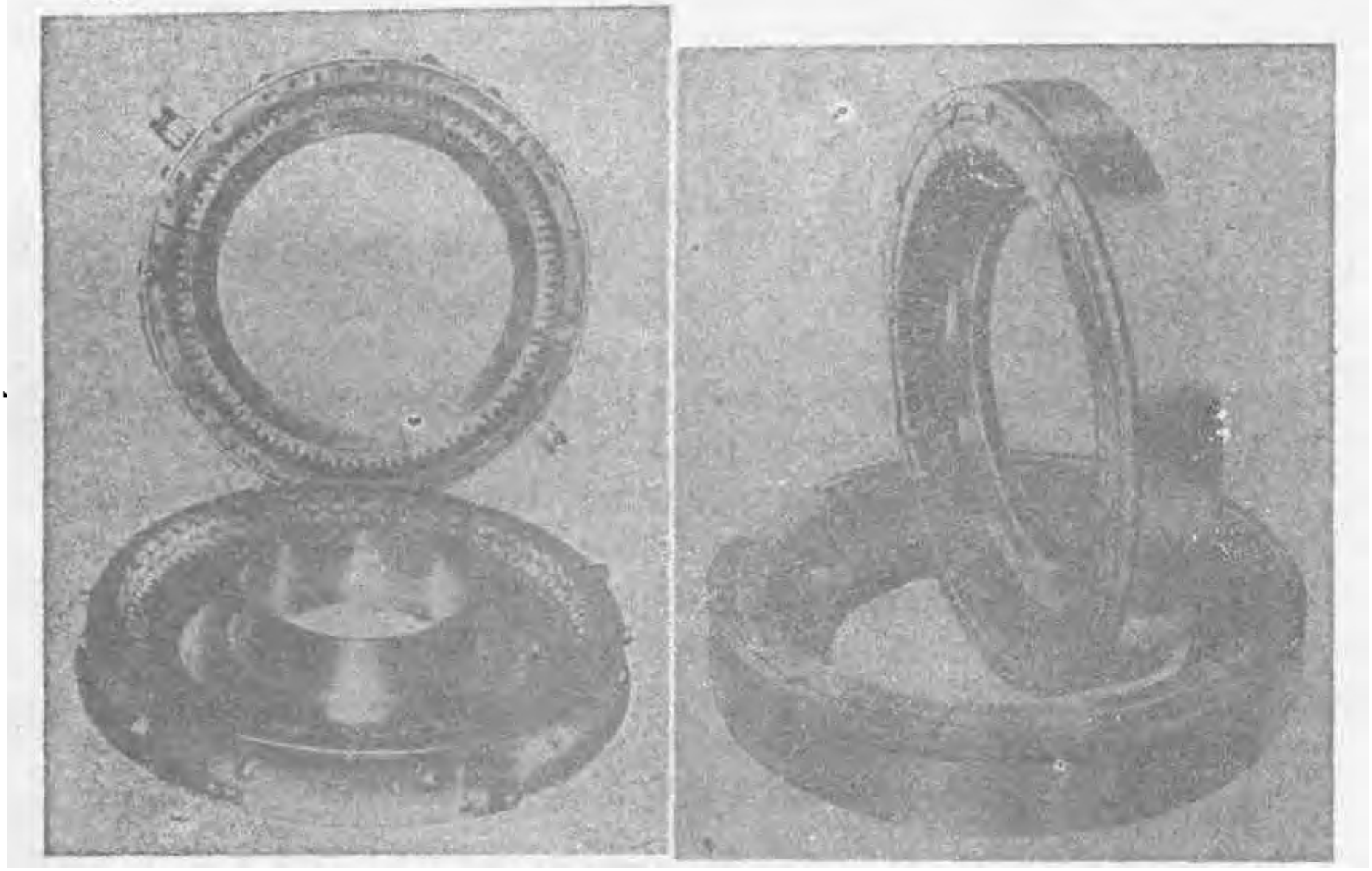
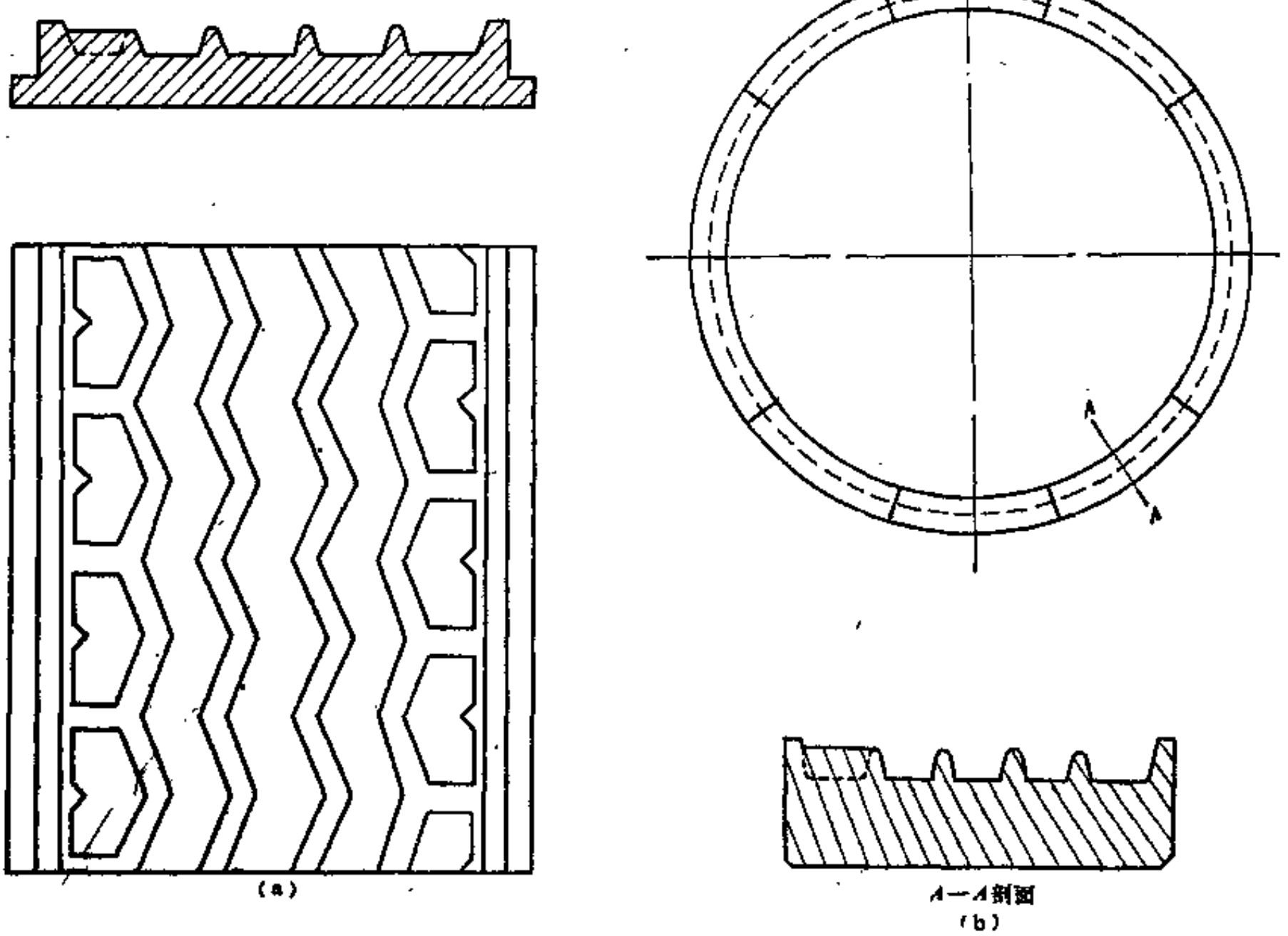


图 4-5-2　活络式翻新硫化内模




(a)　(b)

图 4-5-3　预硫化胎面硫化内模
（a）条状预硫化胎面硫化内模；（b）环状预硫化胎面硫化内模

2．活络式翻新硫化内模

活络式翻新硫化模系按圆周分成若干等分的模具。它又分为两半式活络模和胎面部分活络模。当两半式活络模合紧模型时象两半模，胎面部分的活络模则为将胎面部分分为若干等分的模块，而两胎肩和胎侧仍各成为一个整体（如图4-5-2所示）。

3．预硫化胎面硫化内模

预硫化胎面硫化内模分为条状和环状二种。条状胎面用长条形的模具，环状胎面是按圆周方向分成若干等分的活络模具（见图4-5-3）。

## 二、模 型 设 计

### （一）主要设计参数

1．各部位尺寸代号

翻新轮胎硫化内模各部位名称的代号按制造新轮胎标准术语以及习惯用语和代号来表示。具体代号如表4-5-1和图4-5-4所示。

表 4-5-1 翻新硫化内模部位名称代号表

| 代 号 | 部位名称 | 代 号 | 部位名称 |
|---|---|---|---|
| $D$ | 外直径 | $L$ | 上胎侧肩部切线 |
| $B$ | 断面宽 | $R_3$ | 联接$R_2$与$R_4$的弧度半径 |
| $H$ | 断面高 | $c$ | 胎圈着合宽度 |
| $h$ | 胎冠弧度高 | $d$ | 胎圈内径 |
| $b$ | 胎面宽 | $R_4$ | 与轮辋边缘对应的弧缘半径 |
| $H_1$ | 胎圈基部至水平轴距离 | $R_5$ | 胎踵弧度半径 |
| $H_2$ | 断面水平轴至胎冠距离 | $t$ | 花纹深度 |
| $R_1$ | 水平轴上部胎侧半径 | $W$ | 花纹宽度 |
| $R_2$ | 水平轴下部胎侧半径 | $r$ | 花纹顶部弧半径 |
| $R_n$ | 胎冠弧度半径 | $\alpha$ | 花纹壁倾角 |

2．设计要求和数据收集

翻新轮胎硫化内模的设计要达到以下几点要求。

① 具有和原轮胎相同的外缘尺寸和达到国家标准的要求。

② 恢复轮胎原有的使用性能。

③ 具有适合使用要求的花纹。

④ 具有较高的经济效益，如使用较少的材料而获得较高的使用寿命。

翻新轮胎是新轮胎的延续，是轮胎的再加工。因此设计翻新轮胎的硫化内模要了解和收集以下数据和资料。

（1）了解所翻轮胎的胎体的结构，如斜交胎体或子午线胎体。因为不同类型胎体结构其硫化内模的各种参数也有差异。例如子午线轮胎的$H/B$值要小一些，而低断面轮胎更小一些。

（2）了解轮胎骨架材料的种类，因为不同种类帘线制成的轮胎其变形规律也有差异。

（3）了解和测量新轮胎使用前后及充气前后的外缘尺寸变化，掌握轮胎充气变形的规律。设计翻新轮胎的硫化内模，有些数值可以直接取自轮胎结构尺寸(模型尺寸)。例如$R_3$，$R_4$，$R_5$和$e$值等。

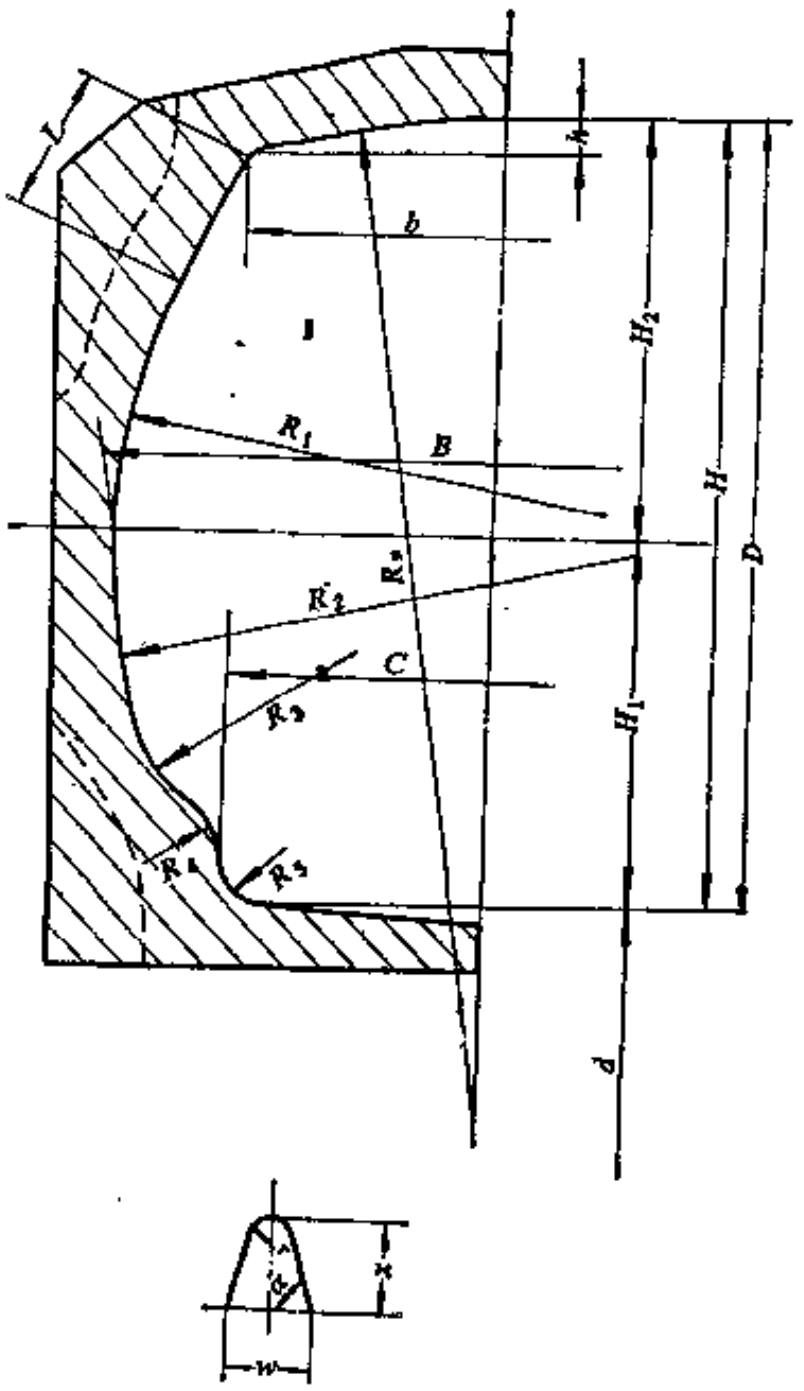






图 4-5-4 硫化内模断面代号

（4）要掌握翻胎工艺的要求。翻胎工艺是根据轮胎类别，结构和帘线材料等因素而制订的磨胎，贴胶和硫化一系列的技术要求，而使翻新轮胎能达到预期的性能要求和经济目标。因此设计轮胎翻新硫化内模必须满足翻新工艺需要。

（5）花纹设计的有关参数对硫化内模一些重要尺寸有影响。例如花纹类型和花纹体积的比例等设计参数对于$D$，$b$，$h$等参数有影响。

3．花纹设计

花纹设计是翻新轮胎硫化内模设计的一个重要组成部分，它和新轮胎花纹的设计有相同之处，但也有其特殊要求。轮胎花纹设计和轮胎的用途、使用条件、轮胎结构、骨架材料、负荷和速度级别有关。花纹设计不但关系到轮胎的使用性能，对安全性和经济性能都有直接关系。

（1）翻胎花纹的要求、

对翻新轮胎花纹设计的要求如下。

① 能迅速有效的传递牵引力和制动力。

② 降低滚动损失。

③ 易于散热和排除泥污。

（4）花纹块的几何形状要使其受力后应力分布均匀，耐磨耗，不致出现崩花裂口和不规则磨损，而且外形要美观。

（2）花纹的类型　汽车轮胎的花纹根据用途通常分为三类。

a．普通花纹　其中又可分为二类

（a）乘用车胎花纹多以纵向为主，如波纹形、曲折形、锯齿形等及各种组合形式。

（b）载重汽车花纹，除纵向外还有横向花纹，如烟斗、连烟斗、八脚等各种分联组成的形式。

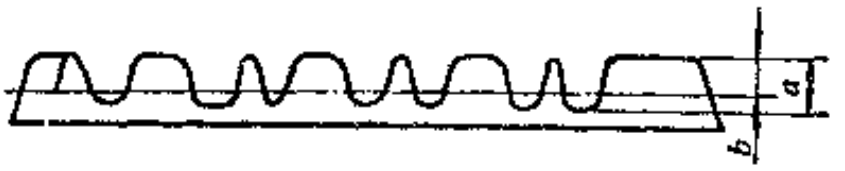
b．越野花纹　是多以横向花纹为主的大块形花纹。此类花纹又有有方向花纹和无方向花纹之分。对轮胎旋转方向具有选择性的是有方向花纹，如人字形花纹及其各种变形。用于矿山装载机或牵引车用轮胎则多为横向波纹形花纹，等边∧字形宽花纹。也有专门设计用于各种特殊用途的雪泥花纹。

c．混合花纹　兼具以上两种特点的花纹为混合花纹。

此外农业机械的轮胎花纹用于驱动轮的多为人字形、鱼骨形、八字形等，用于导向的则多为直沟式花纹。

d．细缝花纹　有的翻新轮胎胎面花纹块上设计成有若干细缝花纹，可以改善轮胎在使用时抗湿滑性能。近年来，有的在预硫化胎面花块上割出斜向细缝，细缝与胎面周向呈65～70°交角，这种胎面在湿滑道路上能提高与地面抓着力25%，在轮胎正常行驶中花块接触地面

会因有细缝而减轻接地压力的不均匀性，从而改善耐磨性能，提高行驶里程20%。细缝花纹深度约为花纹深度的70～75%。细缝花纹见图4-5-5。



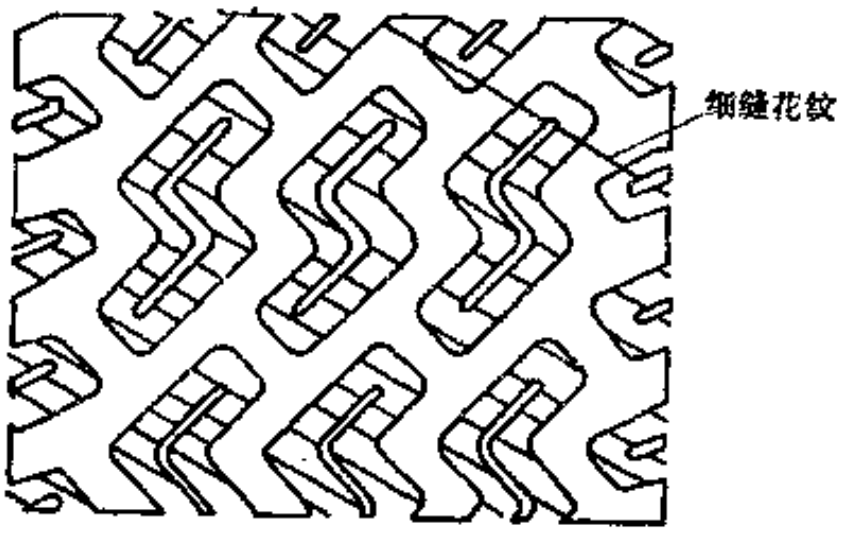




图 4-5-5 细缝花纹图

*a*—花纹深度；*b*—细缝花纹深度

（3）翻胎花纹的分类和用途 翻胎花纹类型和用途见表4-5-2。

表 4-5-2 翻胎花纹类型和用途

| 花纹类型 | 适 应 范 围 | 适 应 路 面 |
|---|---|---|
| 普通花纹 | 乘用车，轻型载重汽车，载重汽车（包括大客车） | 柏油，混凝土甲级碎石，硬泥土等道路 |
| 越野花纹 | 越野汽车，工程机械，矿山车辆， | 松土，泥雪，崎岖山路，矿山，工地等 |
| 混合花纹 | 载重汽车 | 乙级碎石，泥土，松土路，混凝土路 |

（4）翻胎花纹块面积 翻新轮胎行驶面的花块面积按其占行驶面总面积的百分比来计算，普通花纹花块面积占行驶面总面积的65～80%，越野花纹为40～50%，混合花纹为55～62%。特殊用途的大型矿山机械轮胎其等边∧形花纹其花纹块面积可达70～80%。

设计普通花纹无论是纵向或横向花纹，特别是乘用车胎，花纹沟不要太宽，越野轮胎的花纹沟则不能太窄。对特种用途的轮胎，如工程和农机轮胎，通常按原花纹翻新还原。花纹块的面积可用计算方法求得。

a．胎冠行驶面积 轮胎是一个形状比较复杂的环状壳体，翻胎胎冠行驶面多采用圆弧形，因此当胎冠弧度半径 $R<\frac{D_0}{2}$，$D_0$为环状壳体外直径，则此环状壳体就是以同一个圆心，分别以 $R$ 和 $\frac{D_0-2R}{2}$ 为半径做圆所形成的一个圆环；如 $R>\frac{D_0}{2}$，则是一个以 $R$ 为半径，最大直径为 $D_0$，高为 $2R$ 的鼓状壳体，胎冠行驶面面积，就是这种环壳体上一个环带的面积。胎冠弧度宽 $b$，即为环带的弦宽。所以，求出环带的面积即为行驶面面积，如图4-5-6所示。

$M-N$为中线，两边线间的距离为胎面宽。

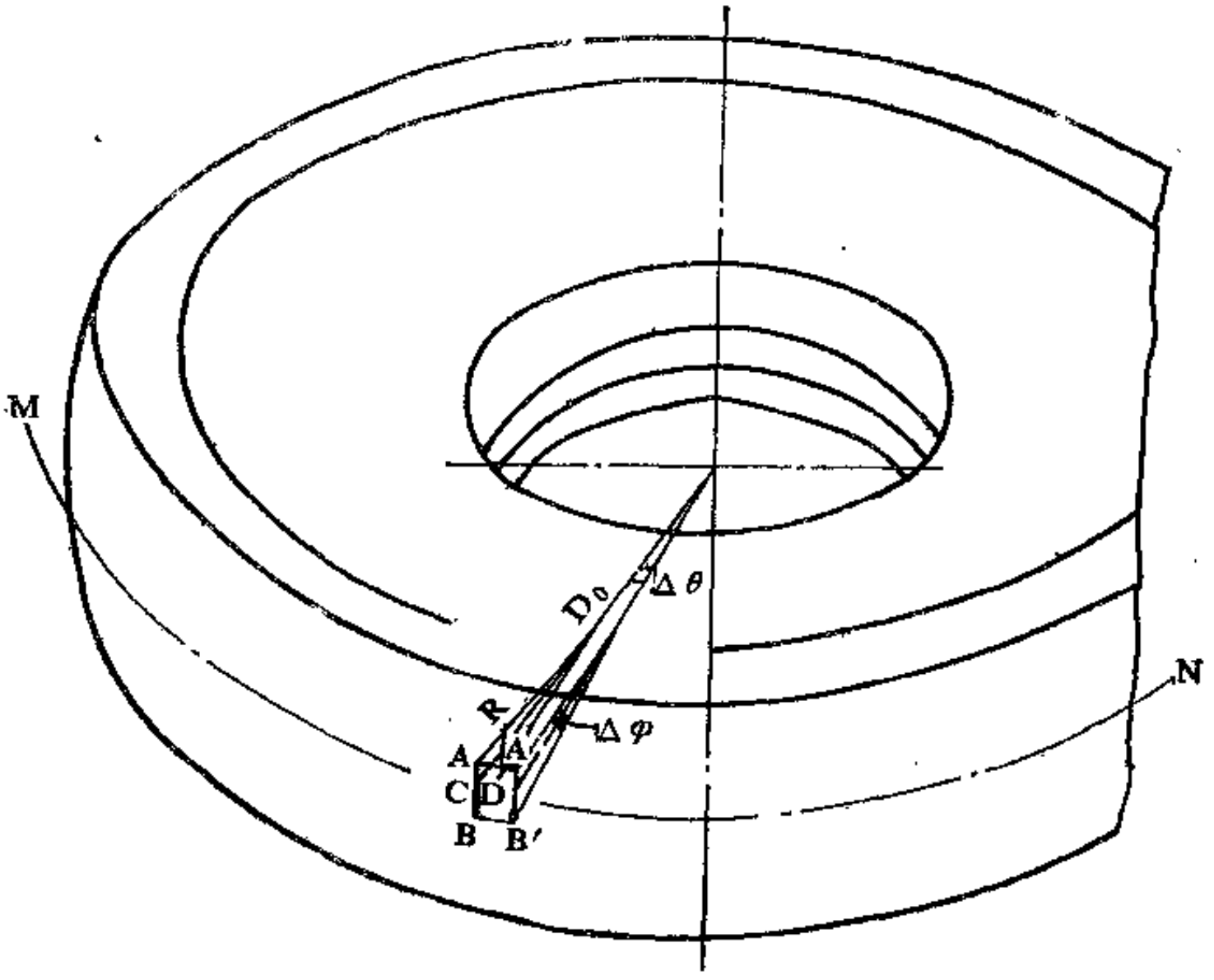



图 4-5-6 行驶面面积图

（a）积分法 在行驶面上，任取一小块面积$AA'BB'$，当$\Delta\varphi$和$\Delta\theta$两个角度都很小时，则面积$\Delta S_{AA\,BB'}=AA'\cdot BB'=\widehat{AA'}\cdot\widehat{BB'}$（见图4-5-6），

则
$$S=\int_0^{2\pi}\int_0^{\varphi}R\cdot\frac{D_0}{2}\cdot d\varphi\cdot d\theta=\pi RD_0\varphi \qquad (4-5-1)$$

（b）三角函数法（如图4-5-7）

$$\varphi=2\sin^{-1}\frac{b}{2R}$$

$$S=2\pi RD_0\sin^{-1}\frac{b}{2R}$$

即
$$S=\pi RD_0\varphi \qquad (4-5-2)$$

（c）作图法 此法简单易行且直观，将环带面按中线$M-N$，在$X$轴及$Y$轴两个方向展开，成为一个矩形或平行四边形（如图4-5-8）。

在展示图上，用测量法测得：
$$\left.\begin{aligned}&EE'\doteq\text{胎冠弧长}\doteq FF',\\&EF=E'F'=GG'=\pi D_0,\\&S=EE'\cdot EF=\pi RD_0\varphi\end{aligned}\right\}\ (4-5-3)$$

以上三式最后结果相同。

b.花纹块总面积 花纹块总面积$A_1$，为胎冠行驶面面积$S$减去花纹沟总面积$A_2$，即$A_1$

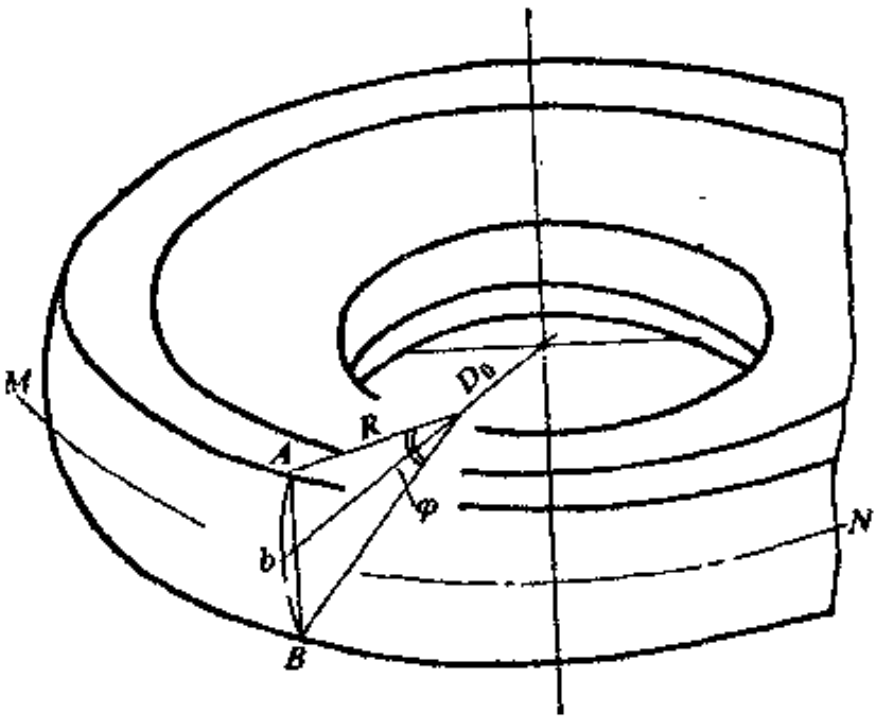



图 4-5-7　胎冠行驶面面积计算（三角函数法）

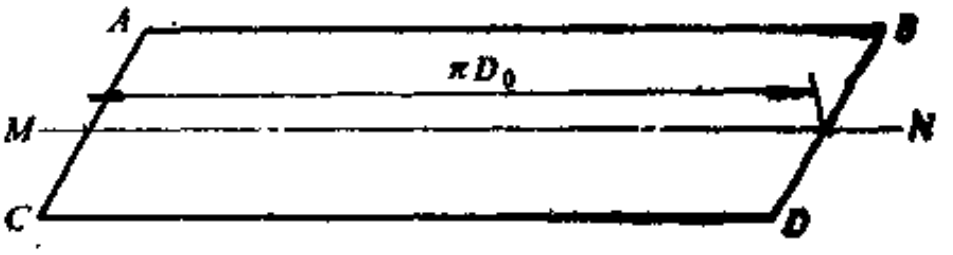



图 4-5-8　胎面行驶面展示（作图法）

$=S-A_2$。

由于$A_2$是花纹板中所设计者，因此它的面积可以根据图纸尺寸计算出来。例如锯齿形花纹（如图4-5-9）可按下列步骤求出其面积。

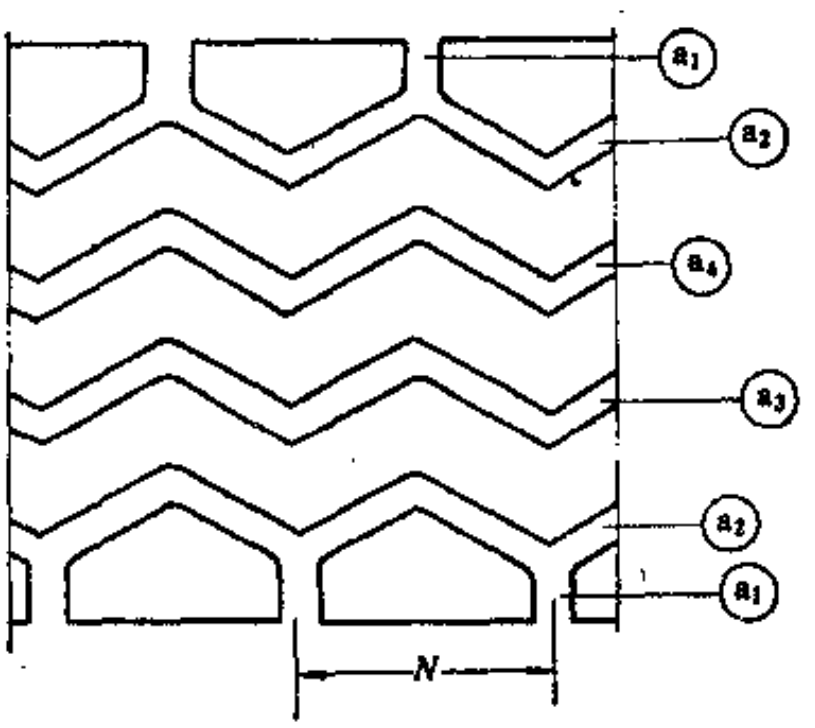



图 4-5-9　锯齿形花纹展示图

取$N$节中之一节计算，见图4-5-9。每一节为每个平行四边形组成，即$a_1$和$a_2$，而$a_1=a_2$，因此锯齿形 4 条花纹沟面积为：

$$S_1=(a_1+a_2)\cdot N\cdot 4=8\cdot N\cdot a_1 \quad 或 \quad 8\cdot N\cdot a_2$$

同样，边部花纹沟面积为：　　$S_2=2\cdot N\cdot(a_3+a_4)$

$a_3=a_4$，所以，$S_2=4\cdot N\cdot a_3$　或$4\cdot N\cdot a_4$

花纹沟总面积为：　　$A_2=8\cdot N\cdot a_1+4\cdot N\cdot a_3=4N(2a_1+a_3)$

则花纹块总面积为：　　$A_1=S-A_2$

花纹块面积所占百分比$=\frac{S-A_2}{S}\cdot 100\%=A_1/S\cdot 100\%$

其它形式的花纹，用类似方法，根据平面图形把它分成若干个简单的几何形状，如矩形、三角形、圆形、半圆形、梯形等，复杂的多分一些，将其化整为零，而后又积零为整，用计算方法求出来。

c．花纹沟体积计算　花纹沟体积用花纹沟长度乘花纹沟断面面积求得。其长度则可根据花纹沟在胎冠弧上位置及平面展示尺寸计算之。花纹沟断面形状大多为等腰梯形，底部为半圆形，以及由此而演变的其它形状（如图4-5-10所示）。

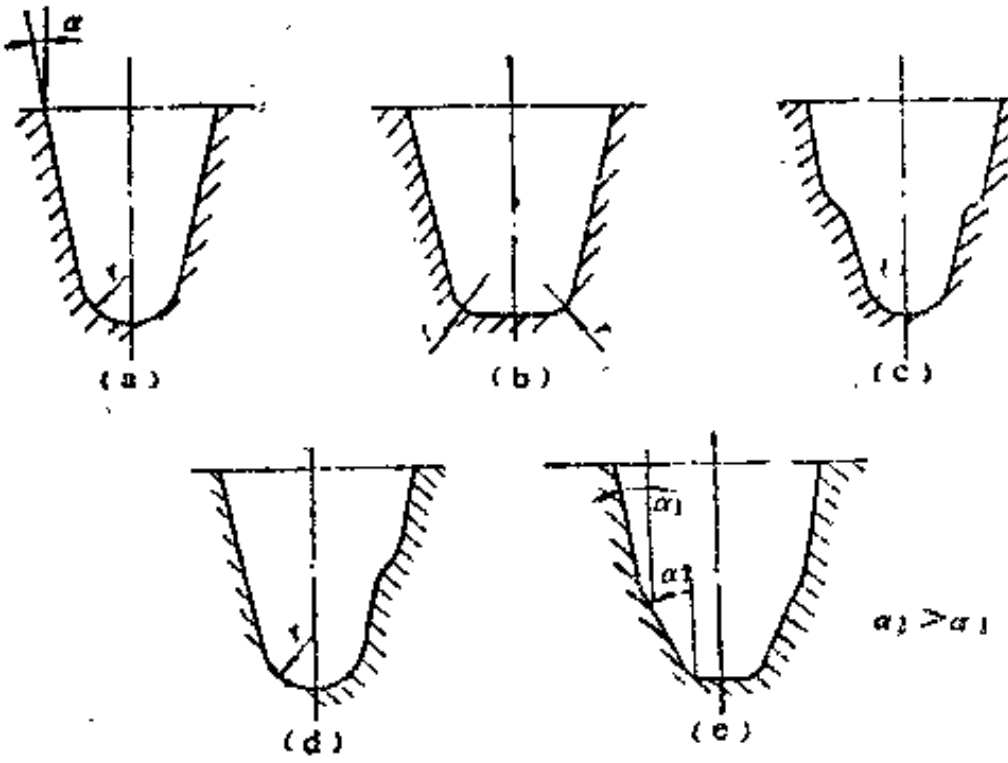



图 4-5-10　花纹沟断面形状

（a）花纹沟较窄者多用此种形式，底部为半圆形；上部为等腰梯形，（b）花纹沟较宽者整个为一等腰梯形根部为圆角；（c）为双边双层，实为（a）（b）之重叠；（d）为单边双层；（e）为花纹块根部加强双梯形

仍以锯齿形花纹为例（见图4-5-11）。将花纹沟断面分成梯形$ABCD$，及以$r=\frac{BC}{2}$为半径的半圆形。则其面积为$S=S_1+S_2$的花纹沟体积$V$为4000条锯齿花纹沟体积$V_1$，$V_2$，$V_3$，$V_4$及边部花纹沟体积$V_5$，$V_6$之和。由于$V_1$和$V_4$，$V_2$和$V_3$，$V_5$和$V_6$对称于胎冠中心线，所以$V_1=V_4$，$V_2=V_3$，$V_5=V_6$。只需求出$V_1$，$V_2$，$V_5$即可。由于花纹沟槽处在胎冠弧上的位置不同，则其圆周长度也不一样，可分别按其所在弧上位置计算。这样加以修正，使近似值更加接近前段。计算花纹块总面积时也应分别计算。

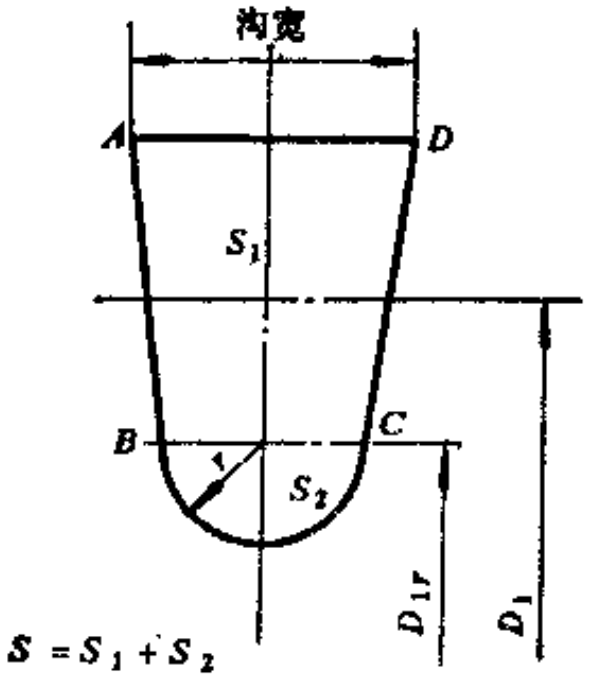



图 4-5-11　花纹沟断面积

又根据平面展开图，如图4-5-12所示，则锯齿形花纹每二分之一节的长度为：

$$l_1=\frac{\pi D_1}{2N\sin\theta},$$

每条长度为：

$$L_1=\frac{\pi D_1}{\sin\theta},$$

$$l_3=\frac{\pi D_3}{2N\sin\theta},$$

$$L_3=\frac{\pi D_3}{\sin\theta}。$$

胎面边部花纹沟长度按图4-5-13所示计算。每个花纹长$l=FD+\frac{DE}{2}$，每边全长为：$L=N\cdot l$

则花纹沟总体积 $V=Z(V_1+V_2+V_3)=Z\cdot S\left(\frac{\pi D_1}{\sin\theta}+\frac{\pi D_2}{\sin\theta}+L\right)$。

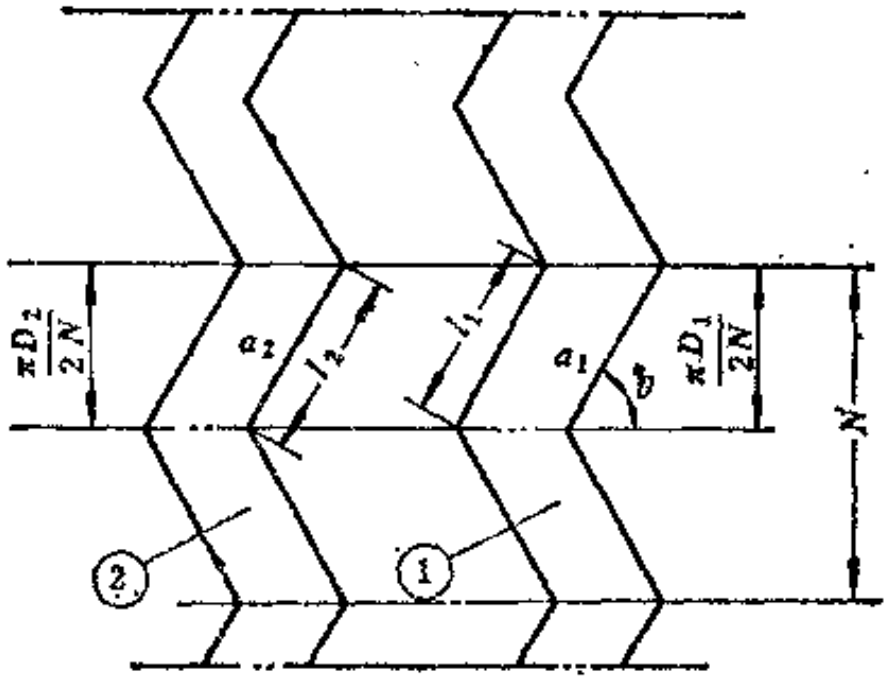



图 4-5-12 花纹沟平面展开（局部）

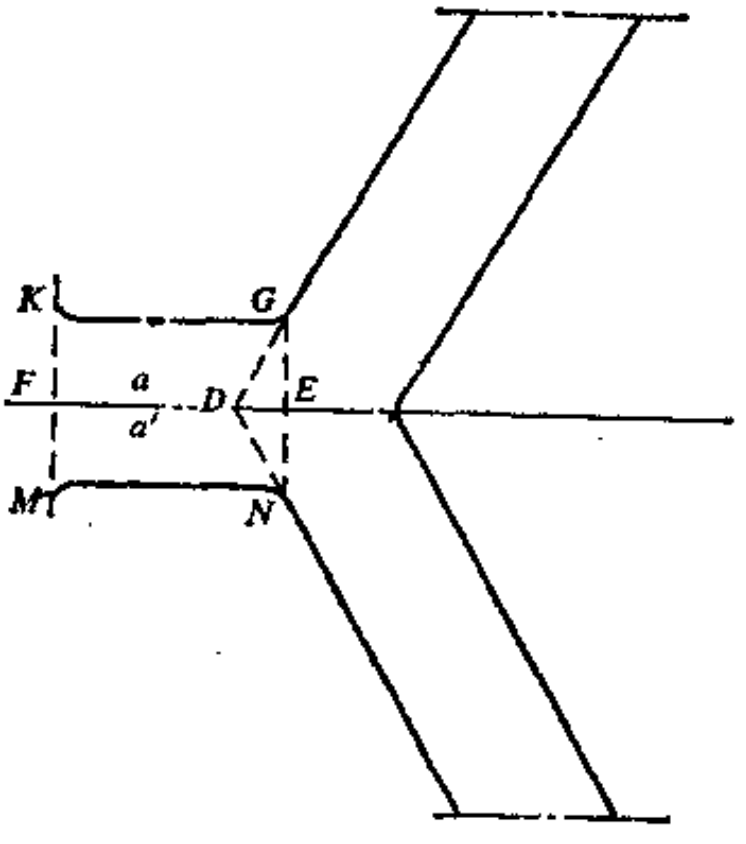



图 4-5-13 胎面胎肩花纹展示（局部）

花纹沟的体积$V$，即是胎面胶在硫化时被挤出的胶的体积。

其它形式花纹，不论其形式如何，都有一定的排列规律，仍然用分割的办法，求出一节，一段或一组。

（5）翻新轮胎花纹沟深度的确定 翻新轮胎花纹沟的深度和花纹类型规格尺寸的选择和轮胎结构有关。例如越野花纹沟要比普通花纹沟深一些；子午线轮胎的花纹沟要比斜交轮胎的花纹沟浅一些；而农机驱动轮和大型工程胎花纹沟更深；最深的是水田拖拉机驱动轮花纹沟，深达100mm以上。高速轮胎花纹沟最浅，如航空胎。相同类型的轮胎，尺寸大的花纹沟也深一些。

翻新轮胎花纹沟深度可以按新轮胎花纹深度的百分比来确定。也有的规定翻新轮胎花纹沟深度的最小值。见表4-5-3～表4-5-5。

表 4-5-3　新汽车轮胎花纹深度表　　单位：mm

| 轮胎规格 | 花纹类别 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 普通花纹 | 加深花纹 | | 牵引花纹 | |
| | | 斜交结构 | 子午线结构 | 斜交结构 | 子午线结构 |
| 6.00-16 | 10.0 | | | 16.0 | 14.5 |
| 6.50-16 | 10.5 | | | 16.5 | 15.0 |
| 7.00-16 | 11.0 | | | 17.0 | 15.5 |
| 7.50-20 | 11.5 | | | 18.0 | 16.0 |
| 8.25-20 | 12.0 | 15.0 | 14.0 | 19.0 | 16.5 |
| 9.00-20 | 12.5 | 17.0 | 14.5 | 20.0 | 17.0 |
| 10.00-20 | 13.0 | 18.5 | 15.0 | 20.5 | 17.5 |
| 11.00-20 | 13.5 | 19.5 | 15.7 | 21.5 | 18.0 |
| 12.00-20 | 14.0 | | | 22.5 | 19.5 |
| 13.00-20 | 14.5 | | | 24 | 19.0 |
| 14.00-24 | 15.5 | | | 25.5 | 20.0 |

表 4-5-4　新汽车轮胎花纹深度表　　单位：mm

| 轮胎结构 | 轮胎断面宽 mm(in) | 公路型 | 公路型 | 加深花纹 | 超深花纹 |
|---|---|---|---|---|---|
| 斜交轮胎结构 | 178(7.00) | 10.0 | | 12.7 | 17.0 |
| | 191(7.50) | 11.2 | | 13.2 | 17.3 |
| | 210(8.25) | 11.9 | | 15.0 | 18.3 |
| | 229(9.00) | 12.5 | | 17.3 | 20.1 |
| | 254.0(10.00) | 13.0 | 15.0 | 18.4 | 20.6 |
| | 279.4(11.00) | 13.5 | 16.0 | 19.4 | 21.3 |
| | 304.8(12.00) | 14.0 | 17.0 | 20.8 | 22.4 |
| | 330.2(13.00) | 14.7 | | | 23.9 |
| | 355.6(14.00) | 15.5 | | | 25.4 |
| 子午线轮胎结构 | 191(7.50) | 12.0 | 12.5 | 15.0 | 17.8 |
| | 210(8.25) | 12.5 | 13.0 | 15.5 | 18.6 |
| | 229(9.00) | 13.0 | 13.5 | 16.0 | 20.1 |
| | 254.0(10.00) | 13.5 | 14.0 | 16.5 | 20.6 |
| | 279.4(11.00) | 14.0 | 14.5 | 17.0 | 21.3 |
| | 304.8(12.00) | 14.5 | 15.5 | 17.5 | 22.4 |

表 4-5-5　[illegible]轮胎花纹深度最小允许范围　　单位：mm

| 轮胎类别 | 轮胎规格 | 最小花纹深度 | 轮胎类别 | 轮胎规格 | 最小花纹深度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 小客车轮胎 | 6.00-13～9.50-14 | 8.00 | 轻卡宽断面轮胎 | 7.00-15～8.00-20 | 10.3～19 |
| 轻卡轮胎 | 6.00-16～9.00-16 | 8.7～11.1 | 载重轮胎 | 12.00-21～12.00-25 | 12.7 |
| 载重轮胎 | 6.50-20～12.00-24 | 10.2～12.7 | 拖车轮胎 | 7.00-20～14.00-20 | 10.3～19 |
| [illegible]轮胎 | 7.50-22.5～12.00-24.5 | 10.3～12.7 | | | |

**（二）翻新轮胎硫化内模设计举例**

（1）规格9.00-20，翻新类别为顶翻新，主要尺寸(mm)和花纹如下：

外直径 $D=1010$；　　断面宽 $B=230$；

断面高度 $H=250.5$；　　胎冠行驶面宽 $b=176$；

胎冠弧度高 $h=12$；　　胎圈着合直径　$d=507$；

胎圈着合宽度 $c=178$，

花纹类型为烟斗型；　　花纹周节=50个；

花纹深度 $t=12.5$；　　花纹沟宽=13；

花纹块面积%=78%；

有关比例关系为：　　$H/B=1.1386$；

$b/B=0.8$；

$c/B=0.6909$；

$h/B=0.0545$；

$H_1/H_2=0.9$

（2）翻新轮胎硫化内模　图4-5-14为翻新硫化内模设计图例。

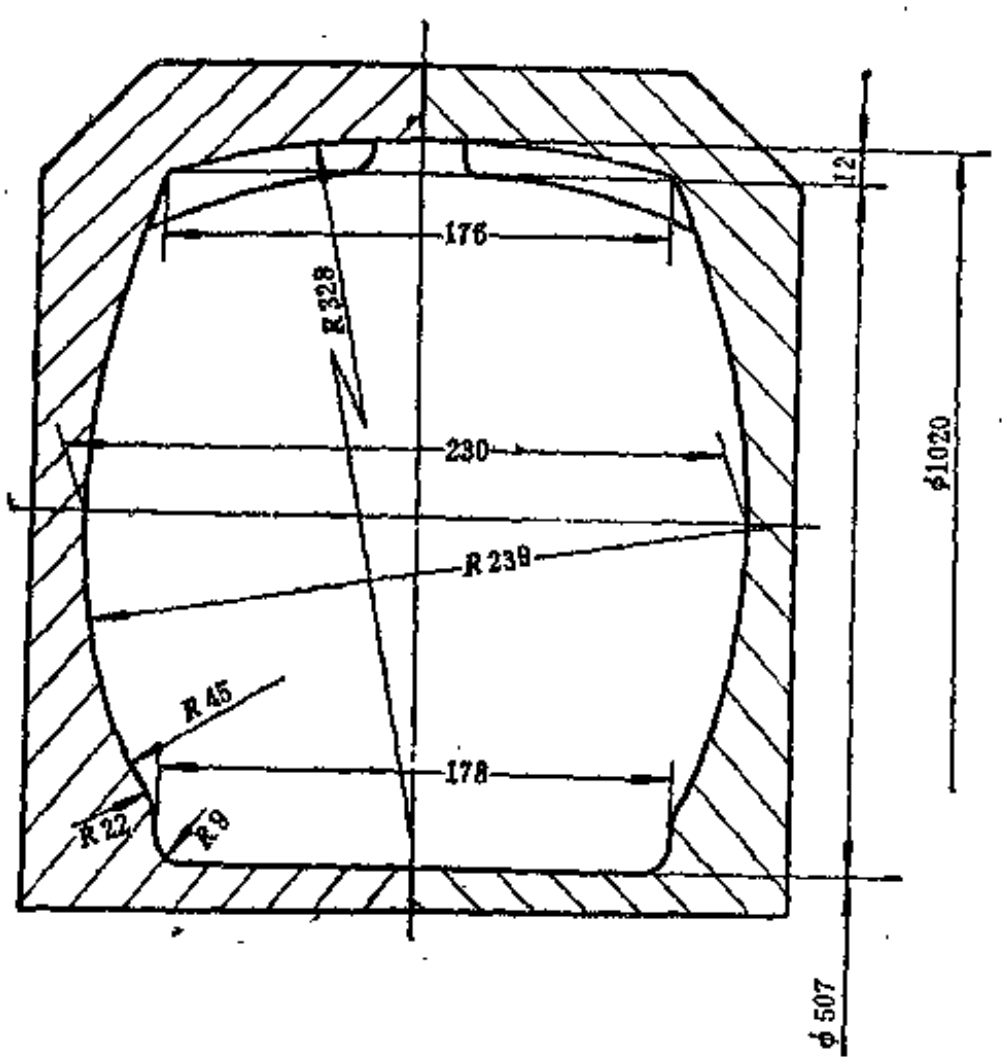



图 4-5-14 翻新硫化内模设计图例

（3）常用汽车轮胎翻新硫化内模尺寸　表4-5-6列出了常用汽车轮胎的硫化内模尺寸。

表 4-5-6　常用汽车轮胎硫化内模尺寸表

单位：mm

| 规　格 | 外直径 $D$ | 断面宽 $B$ | 断面高 $H$ | 胎面宽 $b$ | 胎冠弧度高 $h$ | 花纹深度 $t$ | 胎圈着合宽 | $H/B$ | $b/B$ | $c/B$ | $h/H$ | 花纹型式 | 配用轮辋规格 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.00-9 | 535 | 152 | 152.5 | 104 | 8 | 9 | 102 | 1.003 | 0.684 | 0.671 | 0.053 | 横沟 | 4.00E |
| 6.00-12 | 640 | 180 | 168 | 164 | 25 | 22 | 127 | 0.933 | 0.911 | 0.705 | 0.139 | 人字 | 5.00E |
| 6.00-16 | 734 | 155 | 164 | 125 | 8 | 8 | 115 | 1.058 | 0.806 | 0.742 | 0.052 | 条形 | 4.50F |
| 6.40-15 | 694 | 165 | 157 | 120 | 8 | 9 | 115 | 0.952 | 0.727 | 0.697 | 0.048 | 波纹 | 4半K |
| 6.50-16 | 756 | 162 | 175 | 132 | 8 | 8 | 115 | 1.080 | 0.815 | 0.710 | 0.049 | 波纹 | 4.50E |
| 6.70-15 | 718 | 173 | 169 | 118 | 8 | 9 | 115 | 0.977 | 0.682 | 0.665 | 0.046 | 条形 | 4半K |
| 7.00-9 | 590 | 164 | 165 | 120 | 8 | 8 | 110 | 1.006 | 0.729 | 0.671 | 0.049 | 混合 | 4.33R |
| 7.00-12 | 679 | 176 | 187 | 136 | 7 | 9 | 127 | 1.063 | 0.773 | 0.722 | 0.040 | 马牙 | 5.00S |
| 7.00-15 | 752 | 182 | 186 | 140 | 8 | 9 | 115 | 1.022 | 0.769 | 0.632 | 0.044 | 八脚 | 4半K |
| 7.00-16 | 807 | 188 | 220.5 | 138 | 10 | 10 | 140 | 1.173 | 0.734 | 0.745 | 0.053 | 烟斗 | 5.50F |
| 7.00-16 | 780 | 174 | 187 | 140 | 10 | 10 | 146 | 1.075 | 0.804 | 0.805 | 0.057 | 条形 | 5.50F |
| 7.50-16 | 790 | 185 | 182 | 142 | 11 | 12 | 140 | 1.038 | 0.767 | 0.757 | 0.054 | 条形 | 5.50F |
| 7.50-16 | 778 | 178 | 186 | 140 | 10 | 10 | 127 | 1.045 | 0.788 | 0.713 | 0.056 | 烟斗 | 5.00F |
| 7.50-20 | 933 | 187 | 212 | 140 | 10 | 12 | 127 | 1.134 | 0.744 | 0.679 | 0.053 | 烟斗 | 5.00S |
| 7.50-20 | 920 | 178 | 205.5 | 140 | 9 | 11 | 127 | 1.154 | 0.786 | 0.713 | 0.050 | 烟斗 | 5.00S |
| 8.25-12 | 714 | 212 | 204.5 | 152 | 8 | 10 | 127 | 1.012 | 0.757 | 0.599 | 0.038 | 烟斗 | 5.00S |
| 8.25-15 | 840 | 229 | 235 | 165 | 9 | 9.5 | 152 | 1.026 | 0.720 | 0.664 | 0.039 | 烟斗 | 6L |
| 8.25-20 | 980 | 210 | 235.5 | 155 | 8 | 10 | 127 | 1.121 | 0.786 | 0.605 | 0.038 | 烟斗 | 5.00S |
| 8.25-20 | 968 | 204 | 229.5 | 150 | 8 | 13 | 167 | 1.125 | 0.735 | 0.819 | 0.039 | 烟斗 | 6.00S |
| 9.00-20 | 1018 | 230 | 252 | 172 | 10 | 13 | 178 | 1.107 | 0.748 | 0.774 | 0.043 | 烟斗 | 7.0 |
| 9.00-20 | 1006 | 224 | 248.5 | 174 | 10 | 13 | 192 | 1.109 | 0.777 | 0.678 | 0.045 | 烟斗 | 6.00T |
| 9.00-20 | 998 | 220 | 244.5 | 174 | 10 | 13 | 152 | 1.111 | 0.791 | 0.691 | 0.045 | 烟斗 | 6.00T |
| 9.00-20 | 1008 | 220 | 249.5 | 172 | 12 | 12 | 152 | 1.134 | 0.782 | 0.691 | 0.054 | 烟斗 | 6.00T |

续表

| 规 格 | 外直径 $D$ | 断面宽 $B$ | 断面高 $H$ | 胎面宽 $b$ | 胎肩弧度高 $h$ | 花纹深度 $t$ | 胎圈着合宽 $c$ | $H/B$ | $b/B$ | $c/B$ | $h/H$ | 花纹型式 | 配用轮辋规格 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9.00-20 | 1024 | 224 | 257.5 | 174 | 12 | 12 | 152 | 1.149 | 0.777 | 0.678 | 0.053 | 烟斗 | 6.00T |
| 9.00R20 | 1032 | 242 | 259 | 175 | 12 | 13 | 178 | 1.081 | 0.723 | 0.736 | 0.050 | 烟斗 | 7.0 |
| 9.75-18 | 978 | 247 | 260 | 216 | 24 | 16 | 152 | 1.053 | 0.874 | 0.615 | 0.097 | 雪泥 | 6.00T |
| 9.75-18 | 980 | 246 | 257 | 212 | 23 | 14 | 152 | 1.046 | 0.883 | 0.618 | 0.093 | 雪泥 | 6.00T |
| 10.00-15 | 921 | 262 | 270.5 | 182 | 14 | 13 | 186 | 1.032 | 0.895 | 0.710 | 0.053 | 柳叶 | 7.50V |
| 10.00-20 | 1035 | 248 | 263.5 | 200 | 12 | 12.5 | 186 | 1.062 | 0.806 | 0.750 | 0.048 | 烟斗 | 7.33V |
| 10.00-20 | 1029 | 244 | 260 | 184 | 12 | 13 | 186 | 1.062 | 0.757 | 0.762 | 0.049 | 烟斗 | 7.33V |
| 11.00-20 | 1067 | 260 | 273 | 204 | 14 | 13.5 | 186 | 1.073 | 0.785 | 0.713 | 0.054 | 烟斗 | 7.33V |
| 11.00-20 | 1080 | 258 | 285.5 | 204 | 14 | 13.5 | 186 | 1.106 | 0.714 | 0.921 | 0.054 | 烟斗 | 7.33V |
| 12.00-18 | 1107 | 306 | 324.5 | 254 | 15 | 14 | 229 | 1.060 | 0.830 | 0.748 | 0.051 | 雪泥 | 9.00V |
| 12.00-20 | 1140 | 292 | 315.5 | 242 | 15 | 13 | 186 | 1.080 | 0.829 | 0.637 | 0.054 | 烟斗 | 7.33V |
| 12.00-20 | 1118 | 278 | 304.5 | 222 | 15 | 13.5 | 186 | 1.095 | 0.718 | 0.670 | 0.054 | 烟斗 | 7.33V |
| 12.00-22 | 1186 | 286 | 313 | 230 | 15 | 13.5 | 186 | 1.094 | 0.804 | 0.650 | 0.052 | 烟斗 | 7.33V |
| 12.00-24 | 1384 | 344 | 337 | 270 | 22 | 24 | 254 | 0.980 | 0.808 | 0.738 | 0.064 | 雪泥 | 10.00W |
| 10.2-28 | 1203 | 270 | 243.5 | 264 | 18 | 25 | 230 | 0.902 | 0.978 | 0.852 | 0.065 | 人字 | w—9 |
| 11-32 | 1363 | 300 | 381.5 | 260 | 36 | 30 | 254 | 1.282 | 0.933 | 0.847 | 0.120 | 人字 | w—10 |

注：1. 各种比例关系可与新胎的设计尺寸对照参考，视其是否在设计要求范围之内。

2. $H_1/H$，可根据设计时所定的水平轴位置，自行计算。

3. 轮辋与内模制成一整体者，轮辋着合直径加工时应比标称尺寸小1～2mm，以利轮胎装拆。

## 第二节　修补轮胎硫化内模的设计

修外轮胎硫化内模装配在局部硫化机上使用，局部硫化机种类很多，常见的有活动式和固定式两种。此外还有专供修补轮胎胎侧疤伤的平板硫化机。修补轮胎硫化内模也因硫化模不同而各异。修补轮胎的硫化内模不带花纹，它的设计与制造影响修补质量，还关系到整胎的使用效果。因此修胎内模的设计和制造与翻新硫化内模同等重要。

### （一）硫化内模主要参数的选择

修补硫化内模主要设计参数的选取与翻新硫化内模设计参数的选择基本相同，其主要不同点如下。

① 轮胎外径小　由于轮胎需要修补时花纹已磨去若干毫米，而多数轮胎的花纹已磨掉一半以上，因此修补硫化内模$D$值应小于翻新硫化内模。新胎外直径减去一个花纹深度的数值作修补内模直径即可。

② 轮胎行驶面较宽　由于胎面已磨损一定程度，因此其$b$值也相应增大。

③ 胎面弧度半径较大　使用后轮胎胎面弧度高$h$值减小，因而胎面弧度半径加大。

### （二）硫化内模尺寸和构成

1．硫化内模尺寸

通常以局部硫化内模长度为圆周的几分之一来表示，有1/4，1/5，1/6等。通常应视轮胎的胎圈直径和断面宽而定，要与所使用的节段气囊长度相适应，以提高生产效率，避免节段气囊过大在轮胎表面造成模型印痕。

2．硫化内模的构成

硫化内模由底模板、侧模板和趾口压板组成。见图4-5-15。

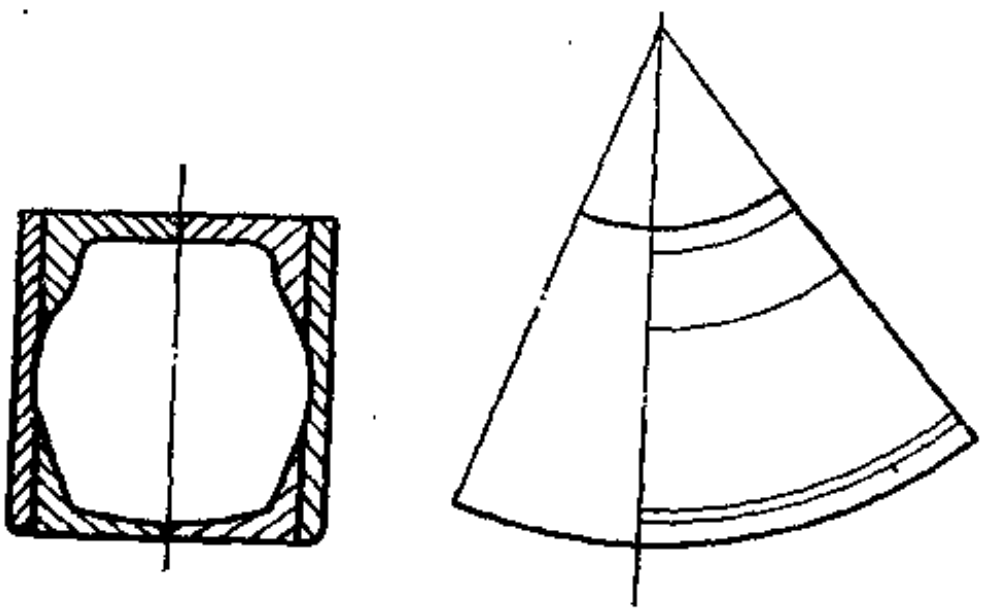


图 4-5-15　修胎硫化内模组合图

（1）底模板　底模板的外缘与硫化外模配合，内缘半径$D/2$即为被修补轮胎的半径。$B$为断面宽，$b$为胎面宽，$R_a$为胎冠弧度半径。底模制成两半中加衬条以调节胎面宽度（见图4-5-16），

（2）侧模板　用于插入外模内壁，以调节外模内壁间的宽度，可适应不同断面宽度的需要。板厚通常为12mm、17mm，侧模板中部接触轮胎部分应制成与胎侧轮廓相同的曲面。活动式外模则不需侧模板（见图4-5-17）。

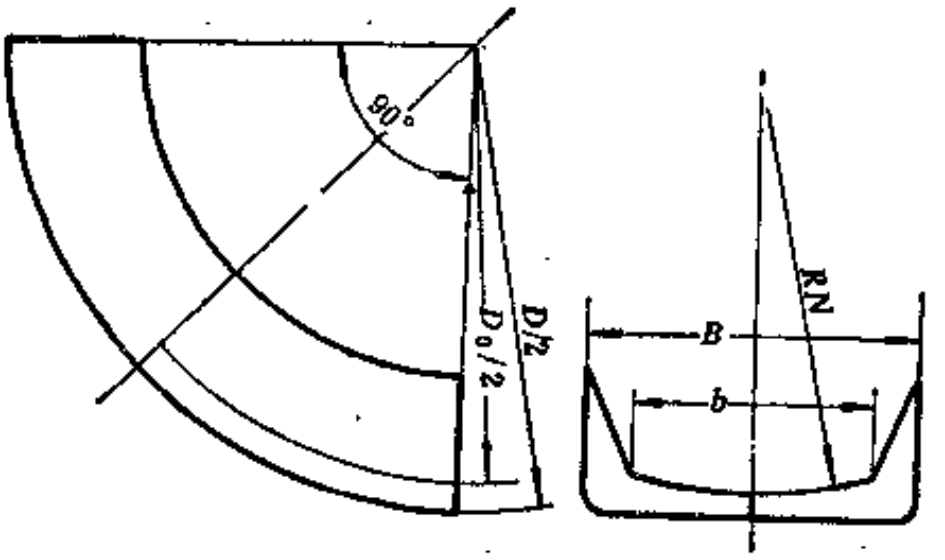



图 4-5-16　底模板

（3）胎圈压板　硫化时压盖在轮胎的胎圈上，其轮廓尺寸与轮胎胎圈部位相同（见图4-5-18）。

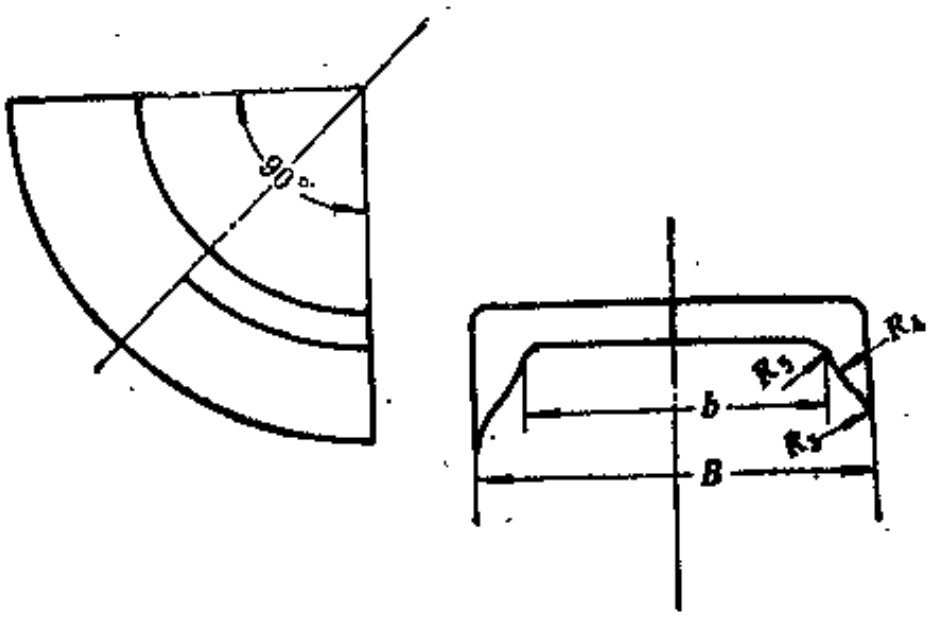



图 4-5-17　侧模板

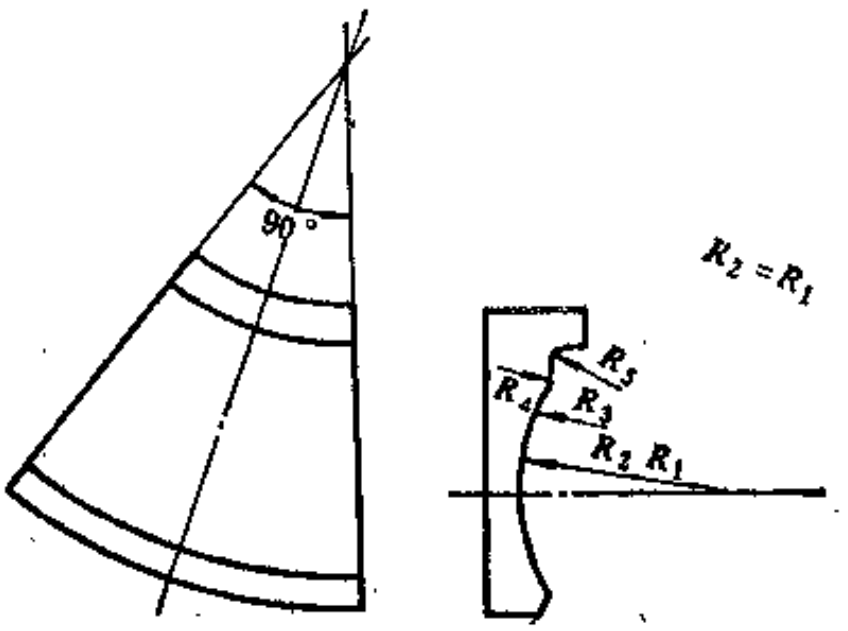



图 4-5-18　胎圈压板

上述修补硫化内模的优点是可以适应几种不同胎面宽度和不同断面宽度的轮胎上，但其缺点是经过硫化后的轮胎胎侧部分容易产生变形，不能用于修补子午线轮胎，因其胎侧薄而软。采用以下模板可修补子午线轮胎（见图4-5-19）。

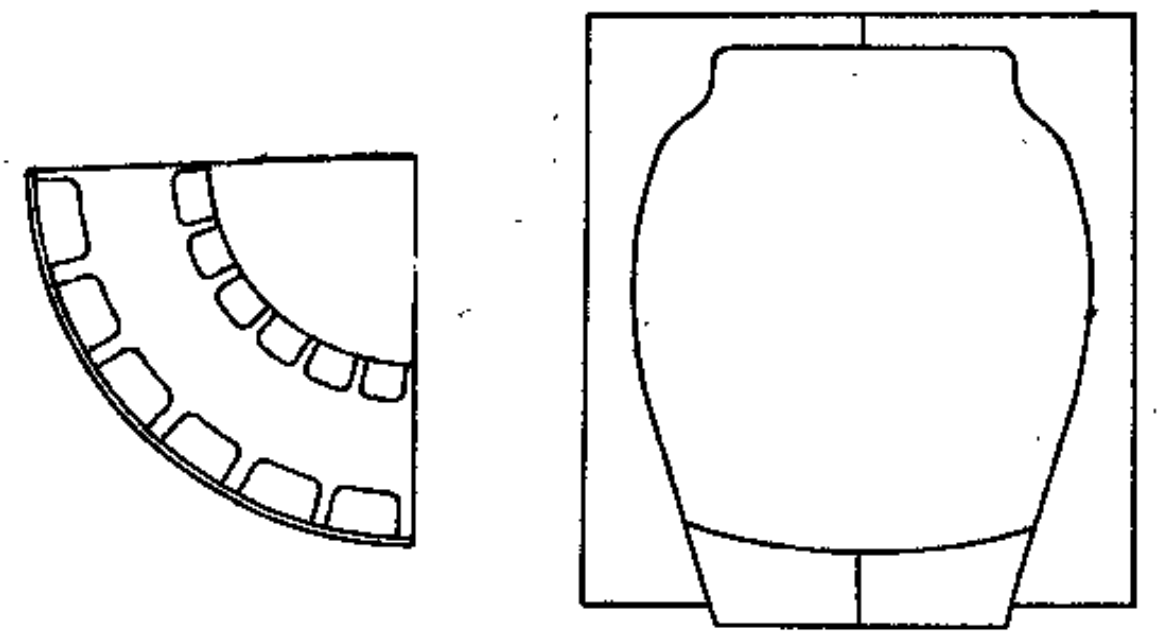


图 4-5-19　用于子午线轮胎的硫化内模

这种硫化内模修补的轮胎不会产生胎侧变形和模型印痕，因此适用于子午线轮胎的修补。

3．胎侧硫化模板

胎侧硫化模板是用于修补轮胎胎侧疤伤的模具，放在单面平板硫化机上硫化。模板宽度与胎圈到胎肩投影宽度相同，模板长度也按轮胎规格取圆周若干分之一成为一扇面形。7.50-20以下小规格取1/6，7.50-20～11.00-20取1/8，11.00-20以上取1/10。其胎圈和胎侧部位弧线按新轮胎有关尺寸设计，参见图4-5-20。

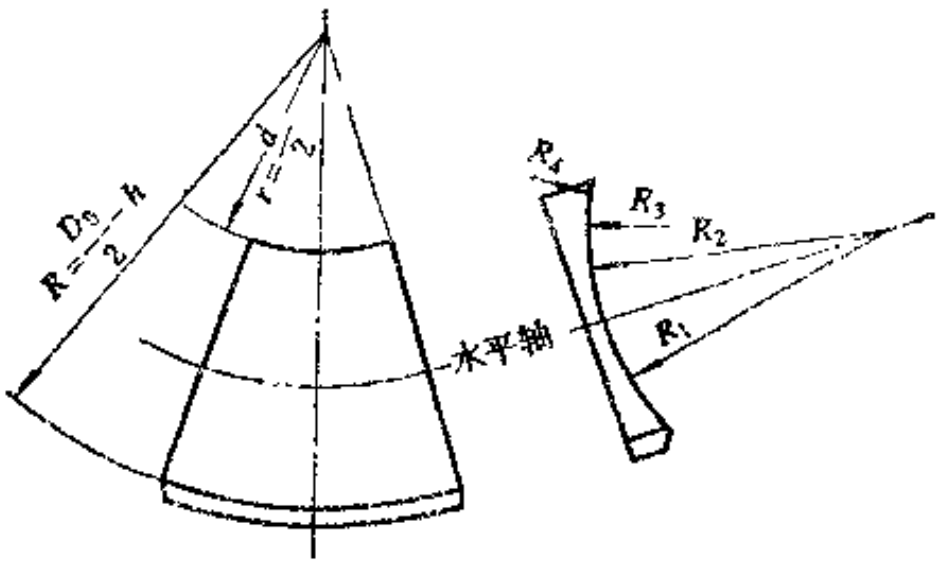



图 4-5-20　胎侧硫化模板

## 第三节　硫化内模的制造

### 一、制造硫化内模的材料

制造硫化内模的材料要求具备一定机械强度，导热性能良好，易于机械加工，使用轻便，价格便宜等，通常采用铝合金，用铸造的方式加工制造。现举ZL101及ZL103为例。这两种铝合金都有良好的锻造性能，耐腐蚀，加工性能好，工作温度可在200℃以下，能满足翻修硫化工艺的要求。

ZL101及ZL103铸造铝合金化学成分见表4-5-7。

表 4-5-7　铸铝合金化学成分(GB1173—74)

| 合金牌号 | 合金代号 | 主要化学成分 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 硅 | 铜 | 锰 | 镁 | 锌 | 镍 | 铬 | 铝 |
| 101铸铝 | ZL101 | 6.0～8.0 | | 0.2～0.4 | | | | | 其余 |
| 103铸铝 | ZL103 | 4.5～5.0 | 1.5～5.0 | 0.3～0.7 | 0.3～0.7 | | | | 其余 |

铸铝合金因铸造方法和热处理工艺不同而所得到的机械性能也不同。ZL101和ZL103铸造铝合金的铸造和热处理工艺与机械性能关系见表4-5-8。

表 4-5-8 铸铝合金的机械性(GB1173—74)

| 合金代号 | 铸造方法 | 热处理状态 | 机械性能 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 拉伸强度 MPa(kgf/cm²) | 伸长率，% | 布氏硬度HB 不低于 |
| ZL101 | S | $T_4$ | 1.8(18) | 4 | 50 |
| | J | $T_5$ | 2.1(21) | 2 | 60 |
| | S | $T_6$ | 2.0(20) | 2 | 60 |
| | SB | $T_6$ | 2.3(23) | 1 | 70 |
| | SB | $T_7$ | 2.0(20) | 2 | 60 |
| ZL102 | S,J | $T_1$ | 1.7(17) | 0.5 | 65 |
| | J | $T_5$ | 2.2(22) | 0.5 | 75 |
| | S,J | $T_6$ | 2.5(25) | 0.5 | 75 |
| | S,J | $T_7$ | 2.1(21) | 1 | 70 |
| | S,J | $T_8$ | 2.7(28) | 2 | 65 |

注：J—金属型铸造；T—砂型铸造；$T_1$—退火；$T_4$—淬火；$T_5$—淬火和部分时效；$T_6$—淬火和完全时效；$T_7$—淬火和稳定回火；$T_8$—淬火和软化回火。

## 二、硫化内模的加工

硫化内模和加工与通常机械加工一样，只是翻新硫化内模花纹部分的加工方法为其特殊部分，一般有下列4种方法。

1．镶花花条

先将硫化内模底模加工好，再镶上加工好的花纹条。这种方法适用于宽度不小于10mm的花纹条。加工方法有以下几种。

（1）用砂型制花纹条　修整后将花条铆在规定的位置。

（2）用金属花纹模型在翻新硫化内模上浇铸，在浇铸花纹条位置的底模上先打好孔，浇铸后花纹即牢固的固定在硫化内模上。

以上方法适用于简单的单个花纹的模板制造。

（3）镶花纹块　用金属模型将一组花纹或一段花纹浇铸成一块，再将若干块花纹模压在硫化内模上拼成一个完整的花纹模板。这种方法尤其适用于制造复杂的花纹，如花纹块上带有细缝切口的花纹模板必须用这种方法制造。

（4）刻花纹　用刻花机按一定程序，刻出花纹来。

2．硫化内模加工技术要求

①　内外模配合间隙见表4-5-9。

表 4-5-9 内外模配合间隙表　　单位：mm

| 外模内径 | <1000 | >1000～1500 | >1500 |
|---|---|---|---|
| 间　隙 | 1.0±0.200 | 1.5±0.200 | 1.8±0.200 |

②　与轮胎接触的表面光洁度应尽可能高一些，一般不应低于▽6。

③ 镶花纹条或花纹块的镶合间隙见表4-5-10。

表 4-5-10 镶花纹条底部镶合间隙 单位：mm

| 花纹条宽度 | ≤12 | >12 |
|---|---|---|
| 间　　隙 | 0.03 | 0.05 |

镶花纹块两块的间隙应不大于0.03mm 。

[General Information]
书名=橡胶工业手册　第四分册　轮胎
作者=
页数=976
SS号=0
出版日期=

封面
书名
版权
前言
目录
目　　录

第一篇充气轮胎
第一章充气轮胎概述
第一节　轮胎和轮辋的组成、分类、标志和基本参数
一、轮胎
二、车轮和轮辋
（一）轿车车轮与轮辋
（二）载重汽车轮辋
（三）越野车车轮
（四）农业机械轮辋
（五）工程机械轮辋
（六）摩托车轮辋
第二节　轮胎使用性能
一、载荷能力
二、耐？性能
三、缓冲性能
四、附着性能
五、行驶安全性
六、滚动阻力
七、轮胎经济性
第三节　轮胎的应力和变形
一、轮胎内压载荷情况
二、轮胎滚动时径向力载荷
（一）帘线变形
（二）橡胶变形
三、轮胎的侧向力
四、子午线轮胎的应力和变形
第四节轮胎应力分析和测量方法
一、轮胎应力分析方法
（一）网状分析法
（二）薄膜分析法
（三）薄壳分析法
（四）有限元分析法
二、轮胎应力测量方法
（一）轮胎表面变形测量法
（二）轮胎内部变形测量法
（三）轮胎帘线受力测量法
（四）其它应力测试方法
主要参考文献
第二章轮胎设计基本程序
第一节　轮胎结构设计程序
一、技术设计
（一）轮胎设计前的准备工作
（二）技术要求的确定
（三）外胎外轮廓设计
（四）外胎胎面花纹设计
（五）外胎内轮廓设计
（六）优选方案＆ 7
（七）外胎总图等图纸的绘制
二、施工设计
（一）成型机头直径及肩部曲线的确定
（二）成型机头宽度的计算
（三）绘制材料分布图
（四）外胎施工标准表的制定
（五）外胎制造附属工具的技术要求
第二节　轮胎配方设计的程序

一、配方设计的目的要求
（一）配方设计的目的意义
（二）配方设计的要求
二、轮胎胶料配方的组成和配合剂的选择
（一）轮胎胶料配方的组成
（二）配方的表示方法及理论相对密度的计算
（三）配合剂的选择
（四）未硫化胶的性能
（五）硫化胶的性能
三、各部件胶料的要求
（一）胎面部分
（二）胎身部分
（三）胎圈部分
（四）内胎
（五）垫带
四、外胎整体配方的设计
（一）定伸应力的配置
（二）硫化速度的匹配
五、各部件胶料半成品物理机械性能的控制
六、配方试验设计方法的应用
（一）进行配方试验设计的必要性
（二）主要方法的应用
七、配方工作的程序
（一）准备工作
（二）配方试验
（三）试制及试产
（四）总结、鉴定、投产
主要参考文献
第三章汽车轮胎
第一节　汽车轮胎的基本性能
一、承载性能
二、高速性能
三、胎面耐磨性能
四、胎体耐屈挠性能
五、轮胎的滚动阻力
（一）影响轮胎滚动阻力的因素
（二）减小轮胎滚动阻力的措施
六、乘坐舒适性
七、操纵稳定性
八、通过性能和牵引性能
九、行驶安全可靠性能
第二节　汽车轮胎的分类
一、按用途分类
二、按有无内胎分类
三、按结构分类
第三节　载重汽车轮胎
一、载重汽车轮胎的分类和标志
（一）ＩＳＯ国际标准轮胎规格标志
（二）现有英制规格标志
二、载重汽车轮胎的轮辋
三、载重汽车轮胎和轮辋的标准及其系列
四、载重汽车轮胎的结构设计特点
（一）设计前需要收集的资料
（二）载重汽车轮胎的负荷计算及举例
（三）载重汽车轮胎的外轮廓设计
（四）载重汽车轮胎胎体及缓冲层结构
五、载重汽车轮胎的花纹

（一）胎面花纹的作用及要求
（二）胎面花纹的分类
（三）花纹深度
（四）花纹宽度
（五）花纹沟底部形状
（六）磨耗标志
第四节轿车轮胎
一、结构
（一）轮胎的负荷能力
（二）轮胎的标志
（三）外胎外轮廓设计
（四）胎面花纹的设计
（五）胎体强度的确定
（六）密封层的确定
二、性能
（一）高速行驶性能
（二）操纵性和稳定性
（三）噪声＆1
主要参考文献
第四章农业和林业机械用轮胎
第一节　农业拖拉机驱动轮胎
一、农业拖拉机驱动轮胎的性能
二、农业拖拉机驱动轮胎的结构设计
（一）拖拉机驱动轮胎的规格
（二）拖拉机驱动轮胎的轮辋
（三）拖拉机轮胎的负荷计算
（四）农业拖拉机轮胎的结构设计特点
（五）水田拖拉机轮胎的设计
（六）手扶拖拉机轮胎
第二节　农业拖拉机导向轮胎
一、１ＳＯ标准中列出的拖拉机导向轮胎规格
二、拖拉机导向轮胎的轮辋
三、拖拉机导向轮胎的负荷计算
四、拖拉机导向轮胎的设计特点
（一）轮胎断面高宽比
（二）拖拉机导向轮胎的轮辋宽度
（三）行驶面宽度和弧度高
（四）导向轮胎的花纹
第三节　农机具轮胎
一、农机具轮胎的规格
二、农机具轮胎的轮辋
三、农机具轮胎的结构设计特点
（一）轮胎负荷计算
（二）轮胎断面高宽比
（三）轮辋宽度与轮胎断面宽的比
（四）农机具轮胎的花纹
第四节　林业机械轮胎
一、林业轮胎的主要规格及参数
二、林业轮胎的轮辋
三、林业轮胎的设计特点
四、国外林业机械轮胎
主要参考文献
第五章工程机械轮胎
第一节　工程机械轮胎的分类和用途
第二节　工程机械轮胎结构设计特点
第三节　工程轮胎无内胎结构设计
第四节　工程轮胎ＴＫＰＨ值的计算
第五节　关于轮胎充水使用问题

主要参考文献
第六章越野轮胎
第一节越野轮胎的通过性
第二节　越野轮胎的基本参数
一、高浮力轮胎
二、可调压轮胎
三、子午线轮胎
第三节　特种越野轮胎
一、椭圆形轮胎
二、拱形轮胎
三、沙地轮胎
主要参考文献
第七章航空轮胎
第一节　航空轮胎和轮辋的分类、型号
一、航空轮胎的分类
二、航空轮胎的型别和规格
三、航空轮胎用轮辋
第二节　航空轮胎结构设计
一、对航空轮胎的技术要求
二、航空轮胎的负荷性能
三、航空轮胎负荷能力计算
四、轮胎类型和结构参数的选取
五、胎面花纹设计和胎面结构的选取
（一）胎面花纹设计
（二）胎面结构的选取
六、胎圈设计
（一）胎圈外轮廓设计
（二）胎圈结构设计
七、轮胎帘布层帘线角度的选取
八、航空轮胎强力安全倍数的选取
九、轮辋断面曲线设计
第三节　航空轮胎测试
一、静态测试
二、动态测试
（一）低速轮胎
（二）高速轮胎
主要参考文献
第八章摩托车轮胎
第一节摩托车轮胎的分类和结构设计特征
一、摩托车轮胎的使用特点和分类
二、摩托车轮胎的规格标志
三、摩托车轮胎结构设计特点
四、摩托车轮胎新品种简介
第二节摩托车轮胎的配方设计
一、配方的整体设计
二、胎面胶料
三、胎体胶料
四、内胎、垫带和水胎（及隔膜）的胶料配方
第三节　摩托车轮胎生产工艺
一、准备工艺
二、外胎的成型和硫化
（一）成型工艺
（二）硫化方法
三、内胎生产工艺
四、摩托车垫带的制造
五、水胎、硫化气囊和硫化隔膜的制造
第九章内胎、垫带、水胎和胶囊设计
第一节内胎设计
第二节　垫带设计

第三节水胎设计
第四节胶囊设计
一、胶囊的类型
二、胶囊的主要设计参数
三、胶囊有关尺寸的确定
（一）A型胶囊有关尺寸的确定
（二）B型胶囊有关尺寸的确定
第五节　内胎、垫带、水胎和胶囊施工标准表的制定
一、内胎施工标准表的制定
二、垫带施工标准表的制定
三、水胎施工标准表的制定
四、胶囊施工标准表的制定
第六节　内胎、垫带、水胎和胶囊制造附属工具的技术要求
第十章轮胎气门嘴
第一节　轮胎气门嘴概况
第二节　轮胎气门嘴术语
第三节　轮胎气门嘴芯腔结构分类
第四节　轮胎气门嘴的结构分类和技术特性
第五节　轮辋气门嘴的结构分类
一、葫芦包胶型轮辋气门嘴
二、轻型卡车、载重汽车和公共汽车用轮辋气门嘴
三、大型工程轮胎轮辋气门嘴
第六节各类轮胎气门嘴的技术要求
第七节　轮胎气门芯结构、分类和技术规范
第八节　轮胎气门嘴主要工艺流程
第九节　轮胎气门嘴胶垫硫化工艺
第十节轮胎气门嘴配件、垫片、橡胶密封圈、六角螺母、密封帽和气门嘴螺纹的规定
第十一章子午线轮胎设计的特点
第一节　子午线轮胎的基本参数
第二节　带束层结构特点
第三节胎肩部设计特点
第四节　胎圈部设计特点
第五节　高速轿车轮胎设计
第六节　轮胎强度的计算
一、轮胎充气尺寸的计算……４０？二、轮胎各部件强度的计算
三、９．００Ｒ２０轮胎计算举例
主要参考文献
第十二章计算机在轮胎结构设计中的应用
第一节　斜交轮胎形状力学的研究
一、引言
二、薄膜原理和网络理论计算轮胎形状的数学模式和计算方法
（一）符号命名
（二）薄膜原理和网络理论计算充气轮胎形状的主要方程式
（三）计算方法
三、斜交充气轮胎形状力学研究
（一）计算机辅助设计轮胎模型
（二）计算机辅助设计预测轮胎充气形状
（三）斜交轮胎充气力学分析
四、斜交轮胎自由旋转时形状力学的研究
（一）研究斜交轮胎自由旋转时形状力学的目的
（二）轮胎旋转时的基本方程式

（三）计算与分析
（四）分析结果
第二节　子午线轮胎形状力学研究
一、采用薄膜网络理论
（一）计算机计算
（二）直接作图法
二、有限元法
（一）有限元法分析步骤
（二）材料性质
（三）充气子午线轮胎应力－应变的分析
第三节　计算机辅助设计轮胎
一、辅助设计轮胎施工
（一）帘线及钢丝圈强度的计算
（二）成型机头宽度的计算
（三）实心胎面胶体积计算
（四）辅助设计轮胎材料布置图
二、辅助设计轮胎花纹总图
三、辅助设计水胎、垫带和内胎
四、辅助设计轮胎模其
五、建立轮胎图形信息库
主要参考文献
第十三章斜交轮胎配方设计
第一节　汽车轮胎配方
一、胶料配方与轮胎性能的关系
（一）耐磨性能
（二）滚动阻力
（三）防滑性能
（四）生热性能
（五）耐热性能和防老化性能
二、汽车轮胎的整体配方设计
（一）各部件胶料的应力－应变匹配
（二）各部件胶料的硫化速度匹配
三、汽车轮胎配方列举
（一）国外汽车轮胎配方列举
（二）国内汽车轮胎配方列举
第二节　农业轮胎配方
一、胶型的选择
二、农业轮胎配方列举
第三节　工程轮胎配方
一、工程轮胎配方设计的特点
二、工程轮胎配方列举
第十四章子午线轮胎胶料的配方
第一节　子午线轮胎特点与胶料的关系
一、结构特点与胶料的关系
二、各部件胶料性能的匹配
（一）胶料刚性的配合
（二）硫化速率的匹配
（三）界面层的关系
三、国内外子午线轮胎胶料性能简介
（一）国外轮胎配方的主要特点
（二）国内、外轮胎胶料的特性
第二节　各部件胶料配方的要求
一、概况
（一）天然橡胶的使用比例
（二）硫化体系
（三）填充补强剂
（四）防护体系
（五）其它助剂类
二、胎面胶和胎侧胶
（一）载重轮胎

（二）乘用轮胎
三、带束层及有关部件
（一）带束层钢丝帘布胶
（二）肩部垫胶
（三）带束层间垫胶
（四）带束层帘布胶及有关部件的配方示例
四、胎体胶料的配方
（一）胎体帘布胶
（二）气密层或油皮胶
（三）过渡层胶
（四）配方示例
五、胎圈各部件的胶料
（一）填充三角胶
（二）子口护胶
（三）钢丝圈钢丝压出胶
（四）配方示例
主要参考文献
第十五章　电子计算机在胶料配方设计中的应用
第一节　正交试验设计及统计分析
一、正交试验设计
（一）正交表
（二）交互作用
（三）用正交表进行配方试验设计
（四）部分实施
二、方差分析
（一）离差平方和
（二）试验数据的方差分析
第二节　回归分析和回归设计
一、回归分析
（一）回归分析的意义
（二）回归方程的建立
（三）多元线性回归
（四）线性关系的显著性检验
（五）根据回归方程预报和控制 y 值
（六）有关数学模型的检验
（七）化非线性回归为线性回归
二、回归设计
（一）二次回归的正交设计
（二）回归的旋转设计
三、应用举例
（一）试验设计
（二）试验数据的回归分析
（三）最优配方的选取
（四）等值曲线图的绘制
第三节　胶料配方试验设计的自动实现
一、胶料配方试验设计的自动实现
二、实例
第四节配方数据库
一、几个基本概念
二、关系数据库 d B A S E Ⅱ
三、配方数据库
附录 1　正交表
附录 2　相关系数检验表
主要参考文献
第十六章轮胎成品检测
第一节　外缘尺寸测定
一、测试原理
二、测试步骤
三、测试结果举例

四、影响因素
第二节　静负荷性能测定
一、测试原理
二、测试设备和步骤
三、测量结果举例
四、影响因素
第三节　强度试验
一、汽车轮胎的强度试验
（一）试验原理
（二）试验设备和方法
（三）国家标准规定值与试验结果举例
二、轮胎水压爆破试验
（一）试验原理
（二）试验设备与方法
（三）试验轮胎损坏分析举例
（四）影响因素
第四节　耐久性试验
一、里程试验
（一）原理
（二）基本要求
（三）试验结果举例
二、转鼓试验
（一）原理
（二）转鼓试验机和试验步骤
（三）试验结果举例
（四）影响因素
三、磨耗拖车试验
（一）原理
（二）磨耗试验车
（三）试验结果举例
（四）影响因素
第五节　高速性能试验
一、试验原理
二、试验设备和步骤
（一）试验设备
（二）试验步骤
三、试验结果举例
四、影响因素
第六节　平衡试验和均匀性试验
一、平衡试验
（一）原理
（二）平衡试验机和试验步骤
二、均匀性试验
（一）原理
（二）均匀性试验设备和试验步骤
三、试验结果举例
四、影响因素
第七节　非破坏性试验
一、X射线检验
（一）原理
（二）X射线检验设备与方法
（三）X射线的照相检查
（四）轮胎常见缺陷的类型及图像的辨认
二、全息照相检验
（一）原理
（二）全息照相检验设备与方法
（三）全息照相系统技术要求
三、红外线检验
（一）原理
（二）检验方法

（三）试验装置及结果
四、超声波检验
（一）原理
（二）试验仪器
（三）用超声波检测轮胎
第八节　噪声与振动试验
一、噪声试验
（一）轮胎发生噪声的基理
（二）轮胎噪声测量方法
（三）汽车轮胎噪声举例
（四）汽车轮胎噪声测量影响因素
二、振动试验
（一）振动的基本概念
（二）试验仪器及应用
（三）试验举例
（四）试验误差
第九节　功率损失试验
一、静态滞后损失试验
二、滚动阻力试验
三、轮胎耗油量试验
第十节测温试验
一、热电偶测温试验
（一）原理
（二）热电偶的材料和构造
（三）试验举例
（四）影响因素
二、热敏电阻测温试验
（一）原理
（二）方法
（三）试验举例
（四）影响因素
三、红外测温
（一）原理
（二）红外测温仪的结构
（三）试验结果举例
（四）影响因素
第十一节　轮胎力和力矩试验及整车操纵稳定性试验
一、轮胎力和力矩试验
（一）轮胎的力和力矩特性
（二）试验设备
（三）试验步骤
（四）试验结果举例
（五）影响因素
二、整车操纵稳定性试验
（一）试验项目及其方法
（二）试验仪器和设备
（三）试验结果举例
（四）影响因素
第十二节　轮胎应力－应变测量
一、原理
（一）电测变换器（转换元件）
（二）测量电桥
二、轮胎内外表面变形的电测试验
（一）电测转换元件
（二）试验仪器及电路
（三）轮胎内外表面静、动态变形电测试验举例
三、轮胎胎里帘线应力的电测试验
（一）电测用传感器
（二）轮胎胎里帘线电测结果举例
四、影响因素
（一）应变片温度补偿

（二）试验速度
（三）轮胎内表面试验的轮辋问题
第十三节　附着性能试验
一、汽车轮胎道路试验
（一）驱动试验
（二）制动试验
（三）制动拖车试验
（四）无扭矩车轮转弯试验
（五）有扭矩车轮转弯试验
（六）力学特征拖车试验
二、农用拖拉机轮胎田间试验
（一）试验条件及试验准备
（二）试验方法
三、转鼓试验
四、土壤槽试验
五、试验结果举例
第十四节脱圈阻力试验
一、试验原理
二、试验设备和步骤
三、试验结果举例
四、影响因素
第十五节　滚动半径测定
一、测试原理
二、测试方法
（一）道路试验
（二）转鼓试验
三、测试结果举例
四、影响因素
第十六节　轮胎试验场
一、轮胎试验场的类型
二、轮胎试验场的主要跑道
三、试验场的测试项目与设施
第十七章轮胎的使用与保养
第一节　轮胎的使用
一、轮胎的正确选用
二、轮胎的气压
三、轮胎的负荷
四、轮胎的使用车速
五、轮胎使用的其它注意事项
第二节　轮胎的保养
一、轮胎保养主要作业项目
二、轮胎保养主要作业要点
第三节　车辆技术状况与轮辋要求
一、车辆技术状况对轮胎的影响
二、轮辋的类别与技术要求
本篇附录　轮胎部分物理机械性能指标
第二篇力车轮胎
第一章力车轮胎的分类、规格及技术标准
第一节　力车轮胎分类
第二节　力车轮胎规格及国内主要力车轮胎生产厂商标
一、力车轮胎规格
二、力车轮胎基本参数
三、国内主要力车轮胎生产厂商标及产品规格
第三节　力车轮胎产品技术标准
一、国家标准
二、国际标准及国外标准
（一）国际标准化组织（ＩＳＯ）标准
（二）欧洲轮胎与轮辋技术组织

（ＥＴＲＴＯ）标准（８５年版）
（三）美国轮胎与轮辋协会（ＴＲＡ）年鉴（８６年版）
（四）日本工业标准（ＪＩＳ）
第二章力车轮胎的轮辋型式及尺寸
第一节　自行车轮胎用轮辋
第二节　手推车轮胎用轮辋
第三章产品设计
第一节概述
一、产品设计程序图
二、产品设计程序说明
第二节技术设计
一、力车外胎结构设计
（一）轮胎类型和标准轮辋的确定
（二）充气轮胎外缘尺寸的确定
（三）设计断面宽度Ｓ和断面高度Ｈ的确定
（四）轮胎负荷能力的计算
（五）轮胎断面水平轴位置的确定
（六）轮胎胎圈间距离Ｃ值的确定
（七）轮胎胎圈直径的确定
（八）轮胎胎肩结构形式
（九）胎侧部曲线的确定
（十）轮胎胎面花纹设计
（十一）轮胎胎圈部设计
（十二）轮胎断面外轮廓曲线的绘制
（十三）轮胎内轮廓的设计
（十四）轮胎内轮廓曲线的绘制
二、内胎设计
三、垫带设计
四、气囊设计
第三节　力车轮胎施工设计
一、力车轮胎的成型方法
（一）成型方法的选取
（二）成型鼓设计
二、未硫化外胎材料分布图的绘制
三、施工尺寸的确定
附录
１．我国主要力车轮胎生产厂家４０－６３５（２８×１１／２）硬边自行车轮胎主要参数表
２．我国主要力车轮胎生产厂家２８×１１／２软边加重自行车轮胎主要参数表
３．外胎施工标准表Ⅰ
４．外胎施工标准表Ⅱ
５．内胎施工标准表
６．气囊施工标准表Ⅰ
７．气囊施工标准表Ⅱ
第四章力车轮胎胶料配方设计
第一节　配方设计的目的
第二节　配方设计的特点、要求和程序
一、配方设计的特点和要求
二、配方设计的程序
第三节　配方的整体设计
一、力车轮胎部件性能
二、各部件硬度与定伸应力的配合
三、各部件硫化特性的同步
四、胎面胶的配方设计
（一）提高胎面胶的耐磨性能
（二）提高胎面胶的耐老化性和耐屈挠龟裂性能
五、胎身胶的配方设计
六、彩色胶的配方设计
七、丁基橡胶内胎的配方设计
八、典型配方的简要分析

第四节胶料配方对工艺性能的影响
第五节　生产配方举例
一、手推车外胎胎面胶和胎身胶配方
二、自行车轮胎外胎胎面胶及胎身胶配方
三、力车内胎胶料、气囊胶料配方
第五章力车轮胎工艺
第一节力车外胎工艺
一、混炼工艺
二、压延工艺
三、胎面压型工艺
（一）胎面压型前的准备
（二）胎面压型方式
（三）胎面压型辊筒温度
（四）胎面压出速度
（五）胎面冷却与停放
（六）胎面打洞
（七）胎面压型质量要求
四、外胎成型工艺
（一）外胎成型前的准备
（二）外胎成型工艺
五、外胎硫化工艺
（一）硫化前的准备及硫化设备
（二）硫化气囊和胶囊
（三）硫化工艺
（四）模型的清理
（五）硫化质量要求
六、尼龙帘线轮胎与棉帘线轮胎制造工艺比较
七、气囊及胶囊制造工艺
（一）气囊制造工艺
（二）胶囊制造工艺
（三）气囊及胶囊硫化质量要求
第二节力车内胎工艺
一、力车内胎生产工艺流程
二、工艺简述
（一）天然橡胶内胎制造工艺
（二）丁基橡胶内胎制造工艺
第六章力车轮胎测试
第一节概述
一、测试近况和方向
二、测试目的
第二节力车轮胎解剖及物理机械性能的检测
一、力车轮胎解剖
二、力车外胎物理机械性能检测
三、试验方法
第三节　力车轮胎成品试验
一、力车轮胎结构参数检测
二、力车轮胎充气静负荷性能试验
（一）一般要求
（二）试验设备
（三）试验步骤
三、力车轮胎安全性能测定
（一）力车轮胎安全性能测试
（二）力车轮胎的强度（压穿）性能测试
四、力车轮胎耐久性能里程试验测试
（一）概述
（二）耐久性能里程试验
第四节　力车轮胎实际使用试验
一、试验点的选择与使用条件
二、试验工作

附录
１．力车外胎物理机械性能标准
２．力车轮胎外胎外观质量标准
３．力车内胎物理机械性能标准
４．力车轮胎内胎外观质量标准
５．力车轮胎系列规格尺寸标准
６．锦纶力车轮胎工艺技术若干规定及检查方法
第三篇实心轮胎
第一章实心轮胎的种类
第一节粘结式实心轮胎
第二节　非粘结式实心轮胎
第三节　实心轮胎的结构要求
第二章实心轮胎的胶料配方
第三章实心轮胎生产工艺
第一节　粘结式实心轮胎生产工艺
一、轮辋的处理及表面沟槽
二、涂刷胶粘剂和贴合硬质橡胶层
三、胎体胶贴合成型
四、硫化
第二节　非粘结式实心轮胎生产工艺
第三节　实心轮胎主要质量问题及解决方法
一、橡胶与轮辋脱层
二、胶层之间脱层
第四章实心轮胎标准
附录１　美国轮胎与轮辋协会标准
一、安装于充气轮胎轮辋上的实心轮胎
二、标准负荷压配式实心轮胎（间歇性使用于工业平衡重叉车上）
三、标准负荷压配式实心轮胎（用于工业载重车和拖车上）
四、标准负荷粘结式实心轮胎（用于非动力型工业载重车和拖车上）
五、轮辋上有突棱的轮胎
六、有突棱的轮辋尺寸
附录２　欧洲轮胎和轮辋协会标准
一、工业用汽车和叉车的实心轮胎（推荐的英制尺寸）
二、工业用汽车和叉车的实心轮胎（非推荐的英制尺寸）
三、工业用汽车和叉车的实心轮胎（公制尺寸标准）
四、安装于充气轮胎轮辋上的实心轮胎（用于工业叉车上）
第四篇翻修轮胎
概　　述
第一章翻新轮胎
第一节翻新斜交轮胎
一、翻新斜交轮胎基本工艺流程
二、翻新斜交轮胎工艺简述
（一）清洁
（二）选胎
（三）磨胎
（四）翻新修整
（五）除尘
（六）过程检验
（七）干燥
（八）喷涂胶浆
（九）贴胶
（十）翻新硫化
（十一）成品整修
（十二）成品检验
（十三）翻新轮胎技术要求

第二节　　子午线轮胎的翻新
一、子午线轮胎结构及对翻修技术的
要求
（一）子午线轮胎结构特点
（二）子午线轮胎的选胎标准
（三）翻修子午线轮胎的工艺
二、子午线轮胎翻新装备特点
三、子午线轮换更胎保护层
四、子午线轮胎的技术服务
第三节　　无内胎轮胎的翻新
第四节　　预硫化胎面翻新工艺
一、预硫化胎面翻新工艺的特点
二、预硫化胎面翻新工艺
（一）胎面胶条预制
（二）预硫化胎面翻新基本工艺流程
（三）基本工艺简述
第五节　　特种用途轮胎的翻新
一、航空轮胎的翻新
二、工程机械轮胎的翻新
三、农业机械轮胎的翻新
第六节　　翻新轮胎常见的外观质量
缺陷
第二章轮胎修补
第一节轮胎修补
一、轮胎损伤的种类和修理方法
二、斜交轮胎修补工艺
（一）工艺流程
（二）工艺简述
第二节　　修补轮胎常见的外观
质量缺陷
第三节　　子午线轮胎的修补工艺
一、钢丝子午线轮胎的修补
二、纤维子午线轮胎的修补
第四节　　农业轮胎及工程机械轮胎
的修补
一、农业轮胎的修补
二、工程轮胎的修补工艺
第五节无内胎轮胎的修补
第六节　　轮胎的快速修补
一、菌形塞
二、胶塞
第七节衬垫的制备
一、用旧胎体制备衬垫
（一）选择废旧胎体的标准
（二）制备工艺
二、用新纤维帘布制备衬垫
（一）帘布及其加工
（二）制备工艺
三、钢丝帘布衬垫……９２？第三章胶料配方第一节胶料种类及性能要求
一、胶料种类
二、胶料的性能要求
（一）各种胶料的性能要求
（二）胶料性能的整体配合
三、胶料配方举例
（一）胎面胶
（二）缓冲胶
（三）胶浆胶和尼龙粘结胶
（四）补胎胶
（五）洞口胶
（六）胎侧胶
（七）钢丝粘结胶
（八）衬垫胶

四、翻修轮胎各种胶料的半成品物理
性能标准
第二节胶料加工
第四章硫化专用工具的设计与制造
第一节硫化内胎
一、种类
二、硫化内胎的设计
（一）硫化内胎几个重要设计参数的
确定
（二）硫化内胎设计举例
三、胶料配方
（一）丁基橡胶的胶料配方
（二）天然橡胶的胶料配方
四、硫化内胎制造工艺
（一）胶料加工工艺
（二）硫化内胎的成型
（三）硫化工艺
五、质量标准
六、胶囊
第二节　　节段气囊
一、节段气囊的种类和构造
二、节段气囊的设计
三、节段气囊的胶料配方
四、节段气囊的制造工艺
（一）工艺流程
（二）成型工艺
五、节段气囊的质量标准
六、电热垫
第五章硫化内模设计
第一节翻胎硫化内模的设计
一、翻新硫化内模类别
二、模型设计
（一）主要设计参数
（二）翻新轮胎硫化内模设计举例
第二节修补轮胎硫化内模的设计
（一）硫化内膜主要参数的选择
（二）硫化内膜尺寸和构成
第三节硫化内模的制造
一、制造硫化内模的材料
二、硫化内模的加工