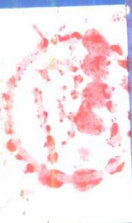


Advanced Technology of Tire

庄继德 著

现代汽车轮胎技术



北京理工大学出版社

现代汽车轮胎技术

庄继德 著



北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书是一本理论紧密联系实际,实用性很强的科技专著。内容包括:汽车轮胎概论,现代汽车轮胎设计与开发技术,高耐久性技术,高速高性能技术,轮胎安全技术,全天候、全地面轮胎技术,绿色轮胎技术,仿生轮胎技术,智能轮胎技术等。其中有些内容属最新科研成果,并且是第一次公开发表。

本书虽属学术著作,但内容深入浅出,可读性强,很便于读者理解和实际应用。

本书既可作为广大汽车轮胎生产、使用和研究工作者的参考书,也可作为高等院校有关专业师生的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

现代汽车轮胎技术/庄继德著. —北京:北京理工大学出版社,
2001.3

ISBN 7-81045-781-0

I. 现… II. 庄… III. 汽车轮胎-生产工艺 IV. TQ336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 88180 号

责任印制:刘京凤 责任校对:郑兴玉

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区中关村南大街5号)

邮政编码 100081 电话(010)68912824

各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

*

850 毫米×1168 毫米 32 开本 17.25 印张 438 千字

2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月第 1 次印刷

印数:1-3000 册 定价:35.00 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

前 言

21 世纪将是一个汽车无处不在的社会,而汽车离不开轮胎。

轮胎从诞生至今已有一百多年的历史,它随着汽车的发展而发展。种种迹象表明:当今汽车轮胎正在经历一场新的技术革命,在设计思想上孕育着一些新的理念,在技术开发上出现了一些重大突破。

归纳起来,现代汽车轮胎技术主要包括:轮胎计算机辅助设计与开发技术,高耐久性技术,高速高性能技术和轮胎系统安全技术等。另外还包括全天候、全地面轮胎,绿色轮胎,仿生轮胎和智能轮胎等新型轮胎技术。

吉林工业大学汽车地面力学研究室长期以来在汽车轮胎的高新技术方面进行了跟踪探索,取得了一些创新性研究成果。本书就是结合国内外的最新进展,并融合我们自己的心得体会,对现代汽车轮胎技术作一系统论述。

作者指导的一些博士和硕士研究生曾先后在提高汽车轮胎性能方面进行了全方位的研究工作,其中王吉忠、魏东、李杰、季学武、徐佩君等博士在新型轮胎研究领域作了一些有益的探索,本书就包含了他们的一些辛勤劳动成果。

作者曾经编写出版过《汽车轮胎学》一书,本书在撰写过程中虽也引用了该书的一些资料,但从总体上来说本书是一本内容全新的科技专著,其中有些研究成果属首次公开发表,本书的出版无疑将丰富和发展“汽车轮胎学”这门分支学科。

振兴我国的轮胎工业关键在于技术创新,调整产品结构和提高轮胎的高新技术含量,因此本书的出版将有利于推动我国轮胎工业的技术进步,加快我国轮胎工业的发展。

本书力求做到深入浅出,便于理解,尽量避免一些繁琐的数学

公式推导,并且在内容陈述上注重实用,希望能对汽车及轮胎工作者有一定的实际参考价值。

本书既可作为广大汽车轮胎生产、使用和研究工作者的参考书,也可作为高等院校有关专业师生的教学用书。

本书在撰写过程中参阅了一些有关科技著作和论文,以及报刊、杂志上刊登的有关资料,在此向所有作者一并表示感谢。

因为本书主要是从汽车的角度来研究轮胎,因此其中一些观点有可能以偏概全,甚至有错误或不当之处,恳切地希望读者批评指正。

作者

目 录

第一章 汽车轮胎概论

第一节 轮胎技术的发展历史及趋势	(1)
第二节 轮胎的结构及规格标志	(3)
一、轮胎的结构特征	(3)
二、轮胎各部分的名称和性质	(6)
三、轮胎的规格标志	(8)
第三节 轮胎的使用材料	(9)
一、帘线	(9)
二、橡胶	(11)
三、配合剂	(14)
第四节 轮胎的基本制造过程	(15)
第五节 发展中国轮胎工业的对策与措施	(21)
一、中国轮胎工业发展简史	(21)
二、中国轮胎企业在国际上的地位	(23)
三、存在差距和发展对策	(24)

第二章 现代汽车轮胎设计与开发技术

第一节 轮胎计算机辅助开发	(29)
一、确定性能要求	(30)
二、胎面设计	(32)
三、结构分析	(34)
四、振动特性模拟和操纵性评价	(36)
五、计算机辅助试验	(37)
第二节 轮胎设计四要素	(38)
一、轮胎轮廓	(38)

二、轮胎材料与结构·····	(41)
三、胎面花纹·····	(47)
第三节 现代轮胎设计理论 ·····	(51)
一、轮胎设计理论的发展过程·····	(52)
二、基于最优化途径的新的轮胎设计方法·····	(55)
三、轮胎的系统设计·····	(69)
第四节 轮胎模型及其在预测轮胎特性中的应用 ·····	(71)
一、轮胎的模型化·····	(71)
二、用模型预报子午线轮胎的固有频率·····	(74)
三、预测轮胎侧向力和回正力矩的理论模型·····	(78)
第五节 轮胎有限元建模及应用分析 ·····	(82)
一、轮胎结构力学特征·····	(83)
二、轮胎三维非线性有限元模型建立·····	(85)
三、轮胎有限元模型的应用及分析·····	(90)
第六节 轮胎胎面单元设计 - 分析 - 试验一体化 ·····	(94)
一、胎面单元与路面摩擦接触分析·····	(94)
二、胎面单元与路面相互作用试验·····	(101)
三、轮胎胎面单元设计原理·····	(118)

第三章 轮胎高耐久性技术

第一节 轮胎的失效分析 ·····	(121)
一、胎面磨损·····	(121)
二、疲劳损坏·····	(122)
三、轮胎生热·····	(123)
四、老化裂口·····	(125)
五、碰伤撕裂·····	(125)
六、长期腐蚀·····	(126)
第二节 胎面的磨损 ·····	(128)
一、胎面磨损机理·····	(128)
二、轮胎的磨损量·····	(129)
三、轮胎磨损的解析研究·····	(131)
四、轮胎参数对磨损的影响·····	(135)

五、轮胎偏磨耗·····	(139)
第三节 橡胶复合材料的疲劳·····	(141)
一、疲劳寿命的定义与影响疲劳寿命的因素·····	(141)
二、疲劳损伤机理·····	(147)
三、疲劳寿命预测·····	(150)
四、带束脱层破坏·····	(152)
第四节 轮胎的生热·····	(153)
一、橡胶和帘线的粘弹性特征·····	(153)
二、由于粘弹性产生的能量损失·····	(156)
三、轮胎在滚动过程中的温升·····	(158)
四、实际热生成率对疲劳行为的影响·····	(161)
第五节 提高轮胎使用寿命的措施·····	(165)
一、结构优化·····	(165)
二、材料创新·····	(167)
三、正确使用·····	(175)

第四章 轮胎高速高性能技术

第一节 高速耐久性·····	(182)
一、轮胎高速行驶时的主要特征·····	(182)
二、轮胎临界速度与破坏速度·····	(184)
三、影响轮胎高速耐久性的因素·····	(185)
第二节 高速附着性·····	(190)
一、轮胎与路面间产生的摩擦力·····	(190)
二、轮胎与路面的附着机理·····	(191)
三、速度对附着力和附着系数的影响·····	(199)
四、高速轮胎的滑动摩擦系数与胎面橡胶粘弹性特性的关系·····	(205)
第三节 湿地牵引性·····	(209)
一、在湿地上速度对滑动摩擦系数的影响·····	(209)
二、滑水现象·····	(211)
三、影响湿地牵引性的因素·····	(214)
第四节 直线行驶稳定性·····	(215)
一、轮胎的直行性能·····	(216)

二、轮胎的转向追随性·····	(222)
三、轮胎的摆振·····	(226)
第五节 高速高性能技术的新发展 ·····	(229)
一、胎面花纹·····	(229)
二、橡胶复合材料·····	(231)
三、轮胎结构·····	(233)
四、轮胎形状和胎面轮廓·····	(236)

第五章 全天候全地面轮胎技术

第一节 全天候、全地面轮胎的基本概念 ·····	(239)
一、特殊环境条件与轮胎性能要求·····	(239)
二、特殊用途轮胎·····	(240)
三、全天候、全地面轮胎的特点 ·····	(244)
第二节 全天候轮胎技术 ·····	(247)
一、雪地轮胎·····	(247)
二、带钉轮胎·····	(250)
三、全天候型轮胎·····	(255)
第三节 全地面轮胎技术 ·····	(259)
一、非公路用轮胎·····	(259)
二、松软地面轮胎·····	(263)
三、全地面型轮胎·····	(298)
第四节 全天候全地面轮胎的新技术 ·····	(301)
一、胎面材料智能化·····	(302)
二、花纹可变的活胎面结构·····	(303)
三、计算机调控轮胎气压·····	(303)

第六章 安全轮胎技术

第一节 汽车轮胎的安全技术 ·····	(306)
一、改善轮胎可靠性的办法·····	(306)
二、各种安全轮胎的对比评价·····	(309)
第二节 防漏轮胎 ·····	(311)
一、无内胎防漏轮胎·····	(311)

二、有内胎防漏轮胎	(314)
第三节 泄气保用系统	(315)
一、TD 轮胎	(315)
二、CT 轮胎	(316)
三、PAX 系统	(316)
第四节 安全备用装置	(319)
一、冗余设计轮胎	(319)
二、备用专门轮胎	(320)

第七章 绿色轮胎技术

第一节 绿色轮胎的基本概念	(322)
一、轮胎滚动阻力与环保的关系	(322)
二、轮胎振动是不可忽视的污染	(323)
三、轮胎噪声也是一种环境污染	(324)
第二节 低滚阻技术	(325)
一、轮胎滚动阻力的基本概念	(325)
二、降低轮胎滚动阻力的对策措施	(334)
三、低滚阻轮胎设计	(343)
第三节 低振动技术	(351)
一、轮胎的振源	(351)
二、轮胎的振动特性	(362)
三、轮胎振动的危害	(370)
四、降低轮胎振动的措施	(376)
第四节 低噪声技术	(389)
一、轮胎噪声的一般情况	(389)
二、轮胎噪声的发生机理和低噪声技术	(404)
三、轮胎胎面花纹变节距遗传优化设计	(418)

第八章 仿生轮胎技术

第一节 仿生学及其在地面车辆中的应用	(435)
一、仿生学的基本概念	(435)
二、仿生学在地面车辆中的应用	(436)

第二节 仿驼足轮胎及其性能	(439)
一、沙漠概况	(441)
二、仿驼足轮胎的生物模型和数学模型	(443)
三、仿驼足轮胎技术模型	(460)
四、仿驼足轮胎牵引性能试验	(475)
五、仿驼足轮胎结构参数的优化设计	(485)
六、仿驼足轮胎特性研究	(487)
第三节 仿人足轮胎设计探讨	(509)
一、人足与硬路面相互作用机理	(509)
二、轮胎仿人足设计技术	(522)
第四节 仿生模型在汽车轮胎设计中的应用	(526)
一、仿生模型的应用	(526)
二、在轮胎仿生中的应用实例	(526)

第九章 智能轮胎技术

第一节 智能轮胎是“信息时代”的必然产物	(529)
第二节 正处于萌芽状态的智能轮胎技术	(530)
第三节 智能轮胎是智能运输系统中的一个子系统	(532)
第四节 智能材料是智能轮胎的关键技术	(535)

主要参考文献

第一章 汽车轮胎概论

第一节 轮胎技术的发展历史及趋势

轮胎是汽车的重要组成部件,是橡胶工业最重要的产品。轮胎的主要功能是支承负荷,向地面传递制动力、驱动力和转向力,以及缓冲减振。轮胎对汽车性能具有十分重要的影响,它不仅影响汽车行驶的安全性、经济性和平顺性,而且影响汽车的环保性能和运输效率。

汽车自问世以来已走过一百多年的历程。充气轮胎的原型是1845年由苏格兰人汤姆逊(R.W.THOMSON)发明的,当时虽经申请获得专利,但离实用化还相当远。此后,在1888年,同样是苏格兰人的邓录普(J.B.DUNLOP),对此原型轮胎多方面进行了改良,使其大体上接近于实用。但因在胎体内使用的帆布其纵线和横线相互交叉接触,故每逢轮胎滚动时,由于在接地部产生变形,使得纵线和横线相互摩擦,在短时间内被磨断,因而耐久性很差。到1915年,帘线相互交叉贴合的胶帘布出现,代替了垂直交织的普通帆布,其间层为橡胶隔离,可防止相互摩擦,从而使耐久性飞速提高。

此后,在轮胎用材料方面,由于采用了纤维化强力人造丝来代替当时一直使用的棉线,因而耐久性又有大幅度提高。另外,作为帘线又陆续采用了尼龙、的确良、钢丝,最近还试用了玻璃、碳素纤维等。再就橡胶而言,代替天然橡胶的各种合成橡胶的生产,新型配合剂的开发,以及生产技术的提高等都大大地有助于轮胎耐久性和其它性能的提高。例如,最近,由于采用硅代替碳黑,轮胎的

滚动阻力显著降低,而湿牵引性却有了很大提高。

自 1888 年充气轮胎实用化以来,轮胎的结构也不断得到改进和完善。1947 年 B.F.Goodrich 公司的 Frank Herzegh 发明了无内胎轮胎,1948 年 Michelin 公司使子午线轮胎实用化,20 世纪 50 年代出现了断面高宽比接近 80%的低断面轮胎,20 世纪六七十年代市场上相继出现了 78、70、60、55、50 和 45 系列轮胎。目前 35 系列超低断面轮胎也已经实用化。无内胎化、子午化和扁平化,使轮胎的高速耐久性、经济性和操纵性能得到显著提高。

轮胎的发展有赖于设计理论和技术的进步。1950 年以前,轮胎设计建立在以简单的力学计算为基础的经验设计阶段。20 世纪 50 年代至 70 年代,轮胎设计处于半经验设计阶段。这一阶段轮胎设计以自然平衡轮廓理论和考虑一定边界条件的非自然平衡轮廓理论为基础,以静态平衡设计为出发点,以薄膜理论、薄膜—网络理论和层合分析理论指导设计,使设计工作由单纯的经验设计向以理论指导设计的方向迈出了一大步。20 世纪 80 年代至今,由于高性能计算机,计算技术和应用软件的发展,轮胎设计逐步迈入自动化设计和智能设计阶段。轮廓设计已由最初的自然平衡轮廓理论,发展到考虑轮胎滚动条件的最佳滚动轮廓理论等新的动态结构设计理论。目前市场要求日益严格,并向多样化和综合化方向发展,汽车开发的一体化思想正在汽车和轮胎行业逐步确立。轮胎开发的方向是,将轮胎的设计、开发与汽车的设计、开发相结合,以汽车对轮胎的要求为基础,将轮胎各主要设计要素进行综合设计,同时考虑轮胎特性与汽车特性的匹配,提高轮胎本身和整个车辆系统的性能。运用现代结构设计理论和方法,对轮胎花纹、轮廓、结构和材料进行综合设计,对轮胎性能进行预测和优化,可以提高轮胎本身的综合性能,减少轮胎设计、试制和室内评价工作。

轮胎发展的推动力来自于汽车制造行业的需要。随着汽车向安全、经济、舒适和环保方向发展,对轮胎的综合性能提出了更高

要求。除要求轮胎具有较高的干、湿路面牵引力、良好的乘坐和操纵特性外,还要求轮胎具有低滚阻、低磨损和低噪声,要求各项性能全面改进,在高水平上达到平衡。

综观世界各国汽车轮胎的技术发展趋势,当前轮胎工业应着重研究以下四项技术:计算机辅助设计技术,高耐久性技术,高速高性能技术和轮胎安全技术。在轮胎的新产品开发上应着重抓好四种新型轮胎的开发研制工作,这四种轮胎是:全天候、全地面轮胎,绿色轮胎,仿生轮胎和智能轮胎。

第二节 轮胎的结构及规格标志

一、轮胎的结构特征

轮胎按结构特点可分为斜交轮胎和子午线轮胎。

1. 斜交轮胎

斜帘布层轮胎简称斜交轮胎,其名称是来源于作为轮胎最主要部分的胎体结构。因为用制作工艺来说明此种胎体结构较容易理解,故首先简单地对斜交轮胎的成型工程加以叙述。

用细的横线与纵向粗的轮胎帘线织成布,并在布的两面薄薄地涂上生胶,这就称为帘布。再把此帘布斜方向剪断(斜切),裁剪下来的布就称帘布层,将后者贴合于成型圆筒上,这样轮胎的胎体部就形成,斜帘布层轮胎的名称就是从这里来的。

斜交轮胎的外胎成型过程与结构如图 1-1 所示,在圆环形的成型筒上逐层地贴合斜向裁断的帘布。第一层帘布的帘线方向,即相对于圆周方向所形成的角度,称为帘线角。若设此帘线角为 α' ,则帘线方向和第一层交叉的第二层帘布也以帘线角 α' 在成型筒上贴合。由于帘线交叉,故也称此种轮胎为交叉帘布层轮胎。

将这样贴合的帘布层两侧端部卷缠在胎圈钢丝圈上固定。之后,在胎体的外周,再粘贴上胎面胶、胎侧胶等,这样就形成生胎。

还可根据需要在接近胎体处贴上缓冲层。已成型的生胎从成型筒上取下后,即刻把胎圈部的间隔由 $A \rightarrow B, C \rightarrow D$ 缩小,如图 1-1 所示。同时在其内部装入圆筒形胶囊(称为水胎),并充入高压介质,使水胎膨胀,将生胎定型,然后把胎体部分修刮成环状。

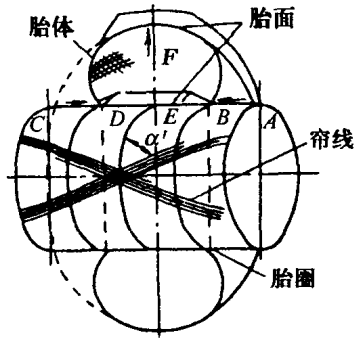


图 1-1 斜交轮胎的成型过程与结构

2. 子午线轮胎

径向帘布层轮胎简称子午线

轮胎。子午线轮胎与斜交轮胎一样,是将帘布在成型筒上粘贴合成,其两侧端部也卷缠在胎圈钢丝圈上固定。所不同的是:作为帘布裁剪角度的成型筒上帘线角 α' ,相对于圆周方向接近 90° ,如图 1-2 所示。另外,与斜交轮胎最大的不同点,还在于胎体帘布层两端固定在钢丝圈上之后,并不立刻粘贴带束(缓冲层),只在胎体部膨胀成环状后,才贴上带束。其主要理由是:子午线轮胎带束的帘线角小至 20° 左右,且多由加张力后几乎不伸张的、刚性大的材料制成。如果先贴上带束,那么胎体就不可能膨胀成环状。

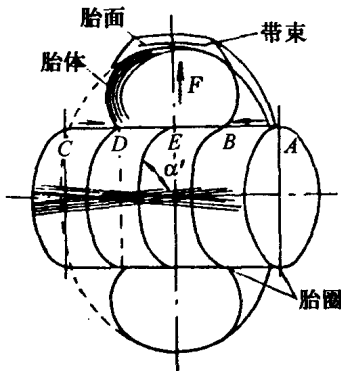


图 1-2 子午线轮胎的成型过程与结构

然而,使胎体部本身膨胀的方法,与斜交轮胎一样,即在使胎圈间隔缩短的同时,胎体内部充入压缩空气,使其膨胀成环状。但不加带束的子午线轮胎,当它完全膨胀起来时,由于帘线角大,断面会变得过大,轮胎的扁平率就不能达到预定之值。因此,如图 1-3 所示,为使胎体部的外径为既定值,胎圈的间隔 $B'D'$,在胎体的膨胀过程中都保持比 BD 宽。具体说,子午

线轮胎粘贴带束和胎面的方法是:先使胎体在两个有既定外径的圆筒内膨胀,然后将胎体从两个圆筒间取出,并在其冠部贴上带束和胎面。

子午线轮胎的特征是:在轮胎成型过程的中途插入使胎体膨胀的工艺过程。因为在膨胀的环状胎体上粘贴带束和胎面较为复杂,故造价也高。还有,带束容易偏心,轮胎的均匀性也容易变坏,故在子午线轮胎的制造中,需要有较高精度的设计技术和制作技术。

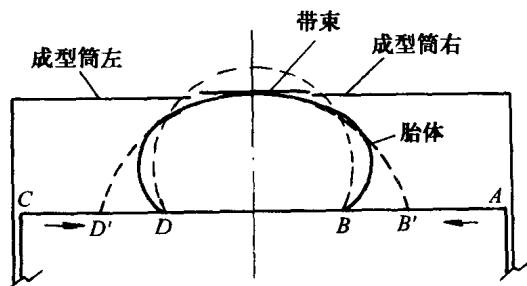


图 1-3 子午线轮胎带束的贴合方法

3. 斜交轮胎和子午线轮胎的比较

根据缩放仪原理,斜交轮胎的胎体容易伸缩,故与子午线轮胎相比,把路面上的突起包进去的能力(包络特性)大,平顺性好。它的缺点是:轮胎因载荷发生挠曲,各帘布层间产生较大的相对滑动,因而内部摩擦大,发热和滚动阻力也大。还有,曲面状轮胎胎体的一部分在与平坦路面接触时变平,从而在接地面内的胎体中发生收缩。这样,即使在自由滚动时,在胎面与路面之间也产生纵向或侧向摩擦力。而且,由于这种摩擦,斜交轮胎的耐磨耗性降低,滚动阻力增加。

至于子午线轮胎,因为有带束的张力作用,胎体不易伸缩,故它把突起包进去的能力小。但因带束非常硬,故可以用硬质橡胶作为胎面材料,因此耐磨耗性好。此外,因子午线轮胎的带束很强韧,故轮胎被钉子等扎穿的情况大致可减少一半,这些都是子午线轮胎的特点。

二、轮胎各部分的名称和性质

轮胎各部分的名称如图 1-4 所示。由图可见,轮胎主要包括如下几个部分:胎面、胎肩、胎侧和胎圈等。如果再细一些,那就有胎面花纹、防擦线、胎踵、胎圈底面、胎趾等名称。轮胎结构材料的名称有:胎面胶、胎侧胶、帘布层、气密层、钢丝圈、胎圈包布、帘布层包布、带束(缓冲层)、辅助缓冲层等。

1. 帘布层(胎体)

帘布层的两侧边缘靠胎圈部的钢丝圈固定在轮辋突缘和轮辋底座上。它在保持内压的同时,又是支承载荷的最重要部分。通常,为了保持气密性,采用橡胶制的内胎,但也有不用内胎的,这时则依靠在帘布层的内侧加一层气密性好的橡胶层(称为气密层)以确保胎壁不漏气。现在轿车用的轮胎大多是无内胎轮胎,在载重车、公共汽车上采用无内胎轮胎也在逐渐增加。另外,轿车用子午线轮胎的帘布层一般用高分子纤维,而载重车、公共汽车用轮胎的帘布层多数用钢丝帘线。

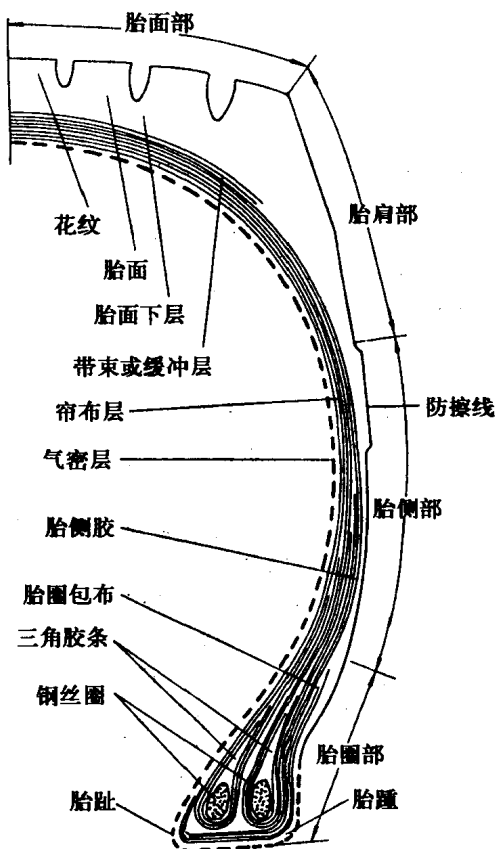


图 1-4 轮胎各部分的名称