



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代轮胎结构设计

辛振祥 邓涛 王伟 编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代轮胎结构设计

辛振祥 邓 涛 王 伟 编



化学工业出版社

·北京·

《现代轮胎结构设计》整理了近几年轮胎结构设计中新的理论与方法，结合轮胎结构设计所需的基础知识、基础理论与基础方法，重点在于系统掌握普通轮胎及子午线轮胎结构设计的方法与过程，便于读者系统的阅读与掌握。全书共分四章，书中第一章主要介绍了轮胎的结构、分类、规格表示、演变发展、轮辋等基本知识；第二章主要介绍了轮胎的力学基础和设计理论，是从事轮胎结构设计与分析的基础；第三章主要介绍了普通斜交轮胎、子午线轮胎及特殊轮胎的结构设计方法及要点。第四章主要介绍了计算机辅助设计技术及有限元分析技术在轮胎结构设计中的应用基础及分析方法。

本书中每个章节均附有习题供学习者练习使用，即适合各大专院校学生企业培训学习作为教材学习使用，又适合于各轮胎公司与相关企业技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代轮胎结构设计/辛振祥，邓涛，王伟编.

北京：化学工业出版社，2011.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-122-12107-3

I. 现… II. ①辛…②邓… ③王… III. 轮胎-结构设计-高等学校-教材 IV. TQ336.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 167892 号

责任编辑：杨 菁

文字编辑：林 丹

责任校对：顾淑云

装帧设计：杨 北

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 9 $\frac{3}{4}$ 字数 250 千字 2011 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：20.00 元

版权所有 违者必究

前 言

轮胎工业随着世界橡胶工业发展发生了巨大的变化，中国的轮胎工业也已显现出勃勃生机，在不断总结引进技术的同时，我国轮胎工业在产品结构设计的理论、方法、手段等方面有了很多的进步与提高，特别是在子午线轮胎的设计手段上均普遍使用了有限元技术对产品进行分析研究，最终达到优化产品设计方案目的。《现代轮胎结构设计》结合传统轮胎的设计方法融入了现代轮胎设计理论与方法，在总结多年教学与研究经验的基础上编写了此书。编者均是长期从事轮胎结构设计课程的教授并从事相关的科研工作，书中第一章至第三章由邓涛副教授执笔完成，第四章由王伟副教授执笔完成，辛振祥教授负责全书的审阅。

本书在编写过程中得到了轮胎企业广大同仁及校友的支持与帮助，提供了珍贵的资料并提出了很多宝贵的意见，同时该书作为国家“十一五”出版教材得到了化工出版社、青岛科技大学教务处及学生们的大力支持，编者在此谨致衷心感谢！

由于轮胎技术的迅速发展，编者掌握最新资讯与接触轮胎新产品结构设计开发实际经验不足，书中难免会有错漏之处，敬请广大读者批评指正！

目 录

第一章 概论	1	五、轮胎结构与其生热	35
第一节 轮胎的功能及使用性能	1	第四节 轮胎的结构设计理论	35
一、轮胎的基本功能	1	一、薄膜网络理论	35
二、轮胎的基本使用性能	1	二、层合理论简介	36
第二节 轮胎的结构组成与分类	2	三、现代轮胎结构设计理论	37
一、轮胎的组成	2	习题	43
二、轮胎的骨架结构	4	第三章 轮胎结构设计方法	44
三、轮胎的分类方法	5	第一节 普通轮胎结构设计方法	44
第三节 轮胎的规格表示与命名	8	一、轮胎结构设计的基本依据和程序	44
一、传统的规格表示法	8	二、轮胎结构设计的技术指标	45
二、ISO 国际标准表示法	8	三、外胎外轮廓尺寸的确定方法	47
第四节 轮胎的历史与发展	9	四、外胎花纹设计	53
一、轮胎的发展历程	9	五、充气轮胎常用骨架材料	59
二、轮胎结构设计技术和生产技术的		六、外胎内轮廓曲线的确定方法	62
发展	11	七、设计方案优选与绘制图纸	68
三、现代形形色色的轮胎产品	15	八、外胎施工设计原理	69
第五节 车轮与轮辋	15	第二节 子午线轮胎结构设计方法	80
一、车轮的类型	15	一、自然平衡轮廓理论简介	80
二、轮辋的断面分类	16	二、子午线轮胎轮廓主要参数	80
三、轮辋规格及代号	17	三、子午线轮胎花纹设计特点	83
习题	18	四、子午线轮胎带束层设计	85
第二章 轮胎的性能力学基础和设计		五、子午线轮胎胎体层强度计算	88
理论	19	六、子午线轮胎胎圈设计特点	88
第一节 轮胎的基本受力与变形	19	七、子午线轮胎的施工设计特点	91
一、轮胎内压负荷特性	19	第三节 特殊用途轮胎结构设计特点	96
二、轮胎负荷下的接地印痕面积与压力		一、工程机械轮胎	96
分布	20	二、农业及林业机械轮胎	98
三、轮胎的侧向力与侧向形变、纵向力与		三、摩托车轮胎	99
滚动变形	23	习题	103
第二节 轮胎各部位的力学基础	27	第四章 轮胎 CAD/FEA	104
一、胎面的应力与应变	27	第一节 轮胎 CAD	105
二、缓冲层(带束层)中的应力	28	一、CAD 技术在轮胎中的应用概况	105
三、胎体帘布层中的应力与应变	29	二、轮胎 CAD 系统简介	105
四、胎圈钢丝圈的应力	30	第二节 轮胎有限元分析	107
第三节 轮胎滚动的生热和热状态	32	一、有限元基础知识	107
一、轮胎滚动过程温度的分布	32	二、轮胎有限元分析	117
二、轮胎滚动速度与各部位温升	33	三、轮胎结构优化	144
三、轮胎承受负荷与轮胎生热	34	习题	147
四、轮胎气压与生热	35	参考文献	148

第一章 概 论

【学习目的与要求】

通过对轮胎功能和使用性能的了解，进一步掌握轮胎的结构特点、分类方法以及规格表示，能熟练的了解斜交轮胎和子午线轮胎的结构与组成、规格表示与分类，了解轮胎及轮胎生产工艺的发展趋势。

第一节 轮胎的功能及使用性能

轮胎是汽车的重要部件之一，它直接与路面接触，和汽车悬架共同来缓和汽车行驶时所受到的冲击，保证汽车有良好的乘坐舒适性和行驶平顺性；保证车轮和路面有良好的附着性，提高汽车的牵引性、制动性和通过性；承受着汽车的重量，轮胎在汽车上所起的重要作用越来越受到人们的重视。

一、轮胎的基本功能

随着车辆的高档化、高性能化、使用条件的多样化，轮胎需要的功能、性能也不断发展成多样化。为达到良好的牵引力和稳定性，还要根据不同的用途选择轮胎花纹。而且，轮胎被镶在轮辋上使用，需要与轮辋紧紧结合，因此这部分应具有坚固的结构。具体来说，轮胎作为汽车的一个重要的部件，其功能是：

- ① 承受车辆自重及承载货物的负荷；
- ② 和汽车悬架共同缓冲来自路面的冲击，并衰减由此产生的震动，以保证汽车有良好的行驶平稳性和乘坐舒适性；
- ③ 为传递驱动力和制动力，提供足够的附着力；
- ④ 为改变或保持汽车行驶方向提供足够的转向操纵与方向稳定性。

二、轮胎的基本使用性能

轮胎的使用性能包括承载负荷性、耐磨性能、缓冲性能、附着与牵引性能、行驶安全性能、节能与经济性、高速性等。

1. 承载负荷性能

轮胎载荷能力是由结构参数决定的，主要有外形尺寸、充气压力、帘布性能以及断面轮廓等。而决定载荷能力的重要设计依据是轮胎的径向变形，在最佳径向变形条件下，轮胎能获得最好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胎体层数，否则会使轮胎生热高、散热慢，并降低轮胎缓冲性能。因此提高载荷能力通常是采用加大轮胎尺寸和选用优质材料的途径来达到。

2. 耐磨性能

轮胎正常使用的破坏形式就是指胎面胶料的磨损，胎面花纹沟逐渐的变浅，直至被磨损的不具有牵引和附着能力而报废。因此，轮胎胎面是否耐磨就成为轮胎正常使用寿命的表征手段。简言之，轮胎的接地面形状、内部骨架材料的分布情况、充气压力、轮胎承受负荷以及胶料自身的磨损性能均影响轮胎在使用状态下的耐磨程度，胎面较好的耐磨程度是提供轮胎使用寿命的必要条件。

3. 缓冲性能

车辆在使用过程中, 车上人员及车辆的机械机构都有一定的减震要求, 该要求是车辆的减震系统和轮胎共同完成的。对于轮胎要求在使用过程有一定的下沉量, 其在运转过程中, 能够吸收来自路面的震动, 这种震动的吸收源于适当下沉量引起的轮胎内腔空气适当的气压及柔软的胎体, 这种缓冲性能的要求更源于车辆自身、成员、承载货物等的要求。

4. 附着与牵引性能

轮胎与道路的附着性能是汽车行驶安全的决定因素, 用来描述该性能一般用附着系数, 国际公路协会规定了在不同道路条件下的最低附着系数在 0.4~0.6 范围内。附着系数的高低取决于轮胎结构参数、使用条件、负荷和内压, 以及行驶速度和路面。

5. 行驶安全性能

车辆行驶对安全性的要求, 进一步提出轮胎的使用安全性, 它包括在车辆正常行驶的过程中, 轮胎在所经受的各种作用力下, 发生相应形变的同时, 不能出现车辆失控及轮胎爆破等安全事故。轮胎在我国是被强制安全认证的产品, 也就是通常所说的“CCC”认证, 世界其他国家如美国的轮胎也要通过其交通部的强制认证“DOT”认证。这些都充分说明对轮胎产品安全性要求的重要性。

6. 节能与经济性

轮胎的节能经济性是指其在使用过程中生热较小, 轮胎自身消耗车辆能源较少。在世界能源危机的今天, 轮胎在使用过程燃料消耗的减少, 可以降低温室效应气体的排放, 改善日益严重的世界性大气污染, 因此, 轮胎节能及经济性对世界的环境改善有很大的意义和帮助。

7. 轮胎的高速性能

对于当今汽车工业的飞速发展, 汽车的先进程度及汽车等车辆的行驶速度在不断提高, 行驶速度在 200~300km/h 的车辆已较为普遍, 因此, 要求与之相配的轮胎的使用速度也要有大幅度的提高。轮胎的设计及生产者不断研究行驶速度与轮胎自身的结构特点、外部因素如气压、负荷等的关系, 进而使轮胎的行驶速度进一步提高成为可能, 以满足日益加快的车辆行驶速度。

随着轮胎工业的不断发展, 轮胎产品的各项使用性能在不断提高, 进一步满足各种车辆的要求。

第二节 轮胎的结构组成与分类

轮胎作为结构较为复杂的橡胶制品, 它是车辆的重要配件, 为更好的了解和掌握它的设计及生产工作, 必须首先了解其结构、组成及各部位材料的性能和作用, 只有这样, 才能更好地完成它的设计工作。

一、轮胎的组成

轮胎一般由外胎、内胎、垫带组成, 有些情况下如果是一条无内胎轮胎, 那么就只有外胎。外胎是轮胎设计最为复杂、生产工艺最多的产品, 下面对外胎的组成进行详尽的介绍, 外胎的组成包括胎面、胎体、胎圈三部分, 如图 1-1 是轮胎与轮辋的装配, 图 1-2 所示为外胎各部位的组成。

1. 胎面

组成包括胎冠胶、胎侧胶。外胎同地面接触部分称为胎冠, 胎面胶分上层冠部胶和下层

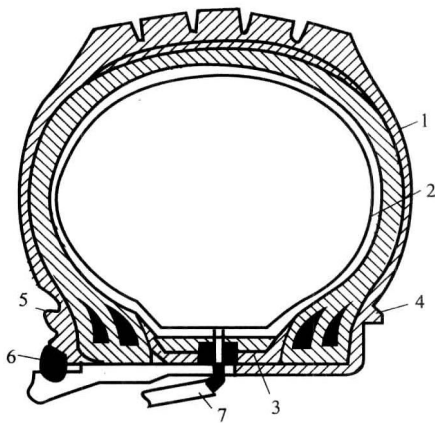


图 1-1 轮胎轮辋装配图

1—外胎；2—内胎；3—垫带；4—轮辋；
5—轮缘；6—锁环；7—气门嘴

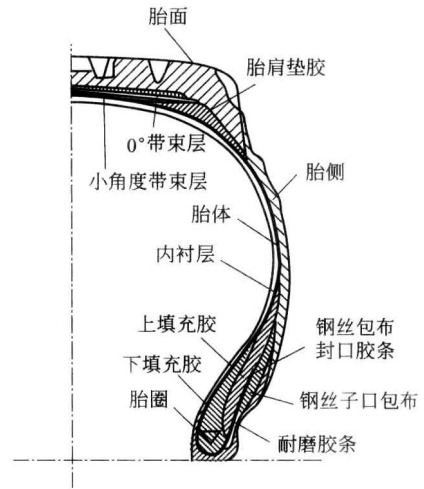


图 1-2 外胎各部位的组成

基部胶两层。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，常用不同于冠部胶的耐热、耐剪切的橡胶制成；胎侧胶位于外胎的侧部，起到保护侧部骨架材料在使用过程中不受损伤的作用，一般由屈挠性能较好并且耐热氧和日光及紫外线等老化的胶料组成。

2. 胎体

由一层或多层挂胶帘布按一定的角度贴合而成，使外胎具有所需要的强度和弹性，以承受轮胎使用时的复杂应力和多次变形，并缓和外来的路面振动和冲击。帘布层是胎体的骨架，支撑着外胎各部分，也是固定外胎的外轮廓。缓冲层或带束层位于胎体帘布层和胎面之间，有帘布和胶片两种形式。目前，应用合成纤维（尼龙和聚酯等）、人造丝、玻璃纤维和钢丝帘布来制造外胎。

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三角填充胶、钢丝圈包布组成。钢丝圈是轮胎胎圈的基础，是外胎强度的重要组成部分，其构造分为方形、六角形、半圆形和圆形四种断面形式。填充胶为刚性钢丝圈的弹性胎侧部位过渡的半硬质胶体，也有采用两种配方制成复合填充胶。

内胎是一个富有弹性的圆环胶筒，充气时能伸张紧贴在外胎的内腔上，起密封空气的作用。制造内胎的胶料应具有高弹性、耐撕裂、耐疲劳和气密性优异等性能，通常丁基橡胶能满足这些要求。内胎的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，胎冠部位或着合部位往往厚于其他部位。

内胎的气门嘴按其结构可分为橡胶金属气门嘴（主要用于轿车内胎上）、胶垫气门嘴（主要用于载重轮胎内胎上）和水气两用气门嘴（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。

垫带放在内胎与轮辋之间的接触部位，以保护内胎不受轮辋组合件的磨损。垫带按其结构分为有型式、无型式和平带式三种。垫带的边缘较薄，表面光滑，具有耐热性。

二、轮胎的骨架结构

在了解外胎断面组成的基础上，我们进一步对其骨架的组成及排列进行学习，掌握用于制作轮胎的骨架材料材质、结构、排布等，因为它的不同直接影响轮胎的使用性能。

随着轮胎工业的发展，最初骨架材料选用的是棉帆布，发展到棉帘布、人造丝帘布，现今常用尼龙帘布，聚酯帘布和钢丝帘布。骨架层的结构由帆布发展到帘布进而先进的绳缠绕技术。

外胎骨架的排列方式十分重要，它直接影响外胎的充气形状、各部位受力状态以及使用性能。外胎骨架的排列方式是用胎冠角 (β_k 或 α_k) 表示，胎冠角 β_k 是指轮胎胎体帘线与胎冠中心线的垂线之间的夹角；胎冠角 α_k 一般指轮胎胎体帘线与胎冠中心线之间的夹角，子午线结构轮胎用这种表示方法。胎冠角的位置见图 1-3。

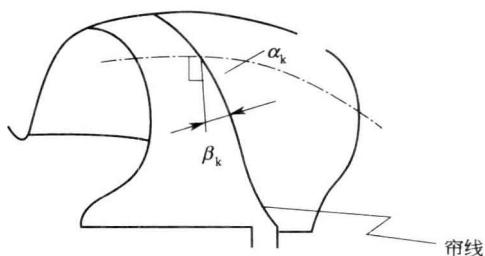


图 1-3 胎冠帘线角示意图

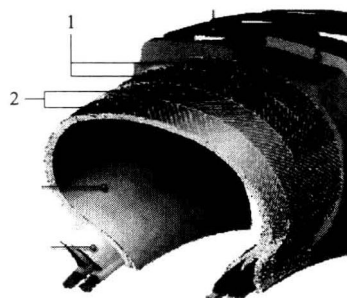


图 1-4 斜交轮胎骨架结构
1—缓冲层；2—胎体帘布层

1. 斜交轮胎

有一类轮胎的胎体帘布层帘线的胎冠角 (β_k) 一般在 $48^\circ \sim 56^\circ$ ，并且胎体帘布层帘线按这一角度相互交叉排列，层数均为偶数，各层帘布密度由内向外依次变稀，缓冲层帘布密度最稀，并角度大于或等于胎体层 β_k ，结构视轮胎规格而定，具有以上骨架结构特点的外胎，就是斜交结构轮胎，简称斜交轮胎，其骨架结构见图 1-4。

斜交轮胎的历史较为悠久，在 18 世纪末 19 世纪初，开始使用帘布结构作为胎体骨架，帘布的帘线的排列方式就是斜交结构。该结构轮胎的使用特点是：胎体坚固，负荷下变形小，胎侧不易损伤，转向与制动等性能良好。此外，由于其生产历史较长、技术好掌握，因此，生产效率高、加工费用低。但是，斜交结构骨架分配不合理，原材料消耗多，胎面磨损较大，对地面抓着性较差，滚动阻力大，行驶温度高，进一步改进的潜力已较小，不能满足日益提高的使用要求。目前，除了路面条件优良的西欧和美国，斜交轮胎在世界其他国家仍占有一定的比例。

2. 子午线轮胎

随着轮胎工业的发展，在 20 世纪 30~40 年代，出现了骨架结构类似于地球子午线结构的轮胎，我们叫它子午线轮胎。该种轮胎的骨架排列特点是胎体帘布层帘线与胎冠中心呈 90° 或接近 90° 角排列，即 α_k 为 90° ，并以带束层箍紧胎体的充气轮胎，国际代号为 R。胎体帘线排列像地球的子午线的形式，胎冠角在 α_k 为 90° ($\beta_k = 0^\circ \sim 15^\circ$) 范围内。而带束层帘线接近于周向排列，其胎冠角为 $\alpha_k = 15^\circ \sim 24^\circ$ ($\beta_k = 66^\circ \sim 75^\circ$)，它像刚性环带一样，紧紧箍在呈子午线排列的胎体上，胎体帘线平行排列，胎体帘布层数奇数、偶数均可，带束层帘线交叉排列，接近圆周方向，帘布密度由内向外渐稀。骨架结构见图 1-5。

子午线轮胎的使用特点可归纳为以下几点。

(1) 减振性较好 子午线轮胎胎体帘线呈子午排列, 和轮胎变形方向一致, 有效地利用了帘线的强度, 故可以减少帘布层数和橡胶用量。和普通结构轮胎相比, 帘布层数减少 40%~50%, 橡胶用量可减少 20%, 轮胎重量可减轻 5%~8%, 胎体薄, 柔软, 行驶平稳, 乘坐舒适并可减少机械磨损, 减少维修费用。

(2) 耐磨性较好 周向排列的带束层, 加固了胎冠, 使轮胎周向不能伸张, 极大的减少了轮胎滚动过程中胎面沿路面的滑移摩擦, 显著提高了胎面的耐磨性和抗机械损伤性能。和普通轮胎比耐磨提高了 30%~70%。

(3) 抓着性较好 子午线轮胎胎体柔软, 下沉量大, 胎面与路面接触面积大, 接触压力分布均匀。同时, 胎冠刚性大, 胎面周向滑移小。所以, 胎面与路面抓着性好, 比普通胎提高 10%~50%, 同时牵引性能和越野性能好, 行驶安全, 通过性好, 爬坡性能好。

(4) 行驶温度低 胎体帘线子午排列, 消除了普通结构轮胎交叉排列层间剪切移动。因此, 消耗能量少, 生热低。另外, 由于胎体帘布层数少, 胎测较薄, 也便于散热。所以行驶温度比普通轮胎低 30%~70%。

(5) 使用寿命长 综合寿命比普通轮胎提高 50%~100%, 一般路面 10 万公里, 好路面 14 万公里, 坏路面 7 万公里左右。

(6) 侧向稳定性较差, 胎侧易裂口, 工艺复杂, 造价较高, 投资大。

3. 带束斜交轮胎

在 20 世纪 40 年代末到 50 年代期间, 出现了胎体结构为帘线排列和普通结构轮胎相似, 缓冲层类似于子午胎的带束层结构, 属过渡产品。其性能介于子午胎和斜交胎之间, 只用于乘用轮胎和轻卡轮胎, 林业轮胎、军用轮胎等特种轮胎, 载重胎没用。这种轮胎的使用特点是胎冠、胎侧的耐刺能力较强, 但高速行驶的生热较高。

三、轮胎的分类方法

从不同角度可对轮胎进行不同的分类, 通常的分类包括按照骨架结构分类、按照用途及国际标准进行分类、按照不同使用车辆进行分类等。

1. 按照结构分类

根据轮胎骨架材料的排布情况, 轮胎可分为斜交轮胎、带束斜交轮胎、子午线轮胎。斜交结构轮胎是历史最悠久的一种结构, 设计理论、生产工艺较为成熟, 随着汽车及轮胎工业的发展, 出现了子午线轮胎和带束斜交胎。

2. 按照用途及国际标准分类

轮胎按照国际标准一般分为轿车轮胎、载重轮胎、农业轮胎、工程轮胎、特种车辆轮胎、航空轮胎、摩托车胎和自行车胎。每一种轮胎都有相应的标准对其规范, 确定各种类和规格的相应指标。

3. 按照使用车辆分类

不同用途的车辆使用的轮胎种类是不同的, PC——轿车轮胎; LT——轻型载货汽车轮胎; TB——载货汽车及大客车胎; AG——农用车轮胎; OTR——工程车轮胎; ID——工业用车轮胎; AC——飞机轮胎; MC——摩托车轮胎。

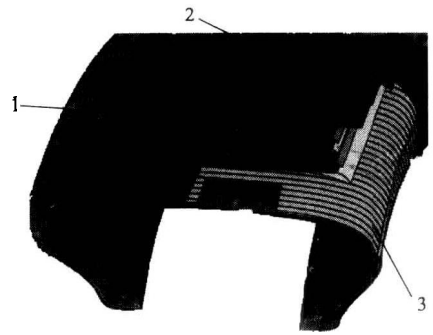


图 1-5 子午线轮胎骨架结构
1—带束层; 2—冠带层; 3—胎体帘布层

4. 其他的分类方法

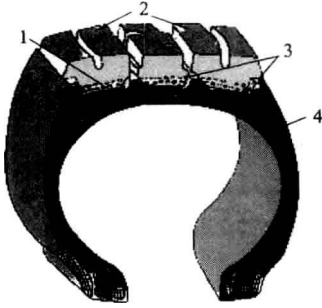


图 1-6 活胎面轮胎示意图

1—钢丝纤维；2—活胎面；
3—凸缘；4—胎体

(1) 活胎面轮胎 于 1959 年投产，由胎体和可更换的胎面组成。胎面依靠胎体充气后产生的径向张应力固着于胎体上。为使胎体充气后能产生的足够径向张应力，保证胎面牢固的箍在胎体上，胎体多采用子午线结构。胎面又叫胎条，分为单胎条（整胎条）、多胎条、履带式胎条三种，如图 1-6 所示。使用特点可归纳为：①使用方便，胎面磨光或损坏后，换用新的胎面，减少翻修的麻烦；②花纹适应性强，可根据路面、季节，随时换用不同花纹的胎面；③制造简便，比子午胎制造简便；④具有子午胎同样的缺点，发展缓慢。

(2) 低断面轮胎 汽车速度的提高，必须提高其稳定性。减小轮辋和轮胎的直径，降低汽车的重心，增加轮辋宽度和轮胎的断面宽，提高轮胎侧向刚性，都可提高汽车的稳定性。

一般常用轮胎断面高宽比为：乘用轮胎扁平率最小 0.25 左右，一般在 0.5~0.8；载重轮胎 0.85~1.25。特点：低断面轮胎断面高小，断面宽大，断面呈扁平状，稳定性好，舒适安全，适合快速行驶；伴随断面呈现扁平，胎面外缘曲线变得较为平坦，胎面与路面接触面积增大，接触压力分布均匀，牵引性与制动性好；断面高小，胎侧曲挠程度轻，生热低，轮胎寿命长。此外尚可减轻轮胎重量和降低耗油量。轮胎低断面、扁平化的发展趋势见图 1-7。

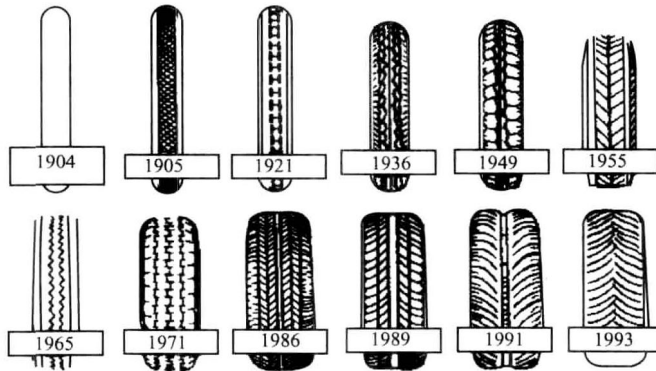


图 1-7 轮胎低断面、扁平化低断面发展趋势

(3) 宽断面轮胎 这种轮胎于 1955 年投产，其结构特点是：断面宽比为一般常用轮胎宽 0.5~1 倍，断面高宽比为 0.6~0.75，胎侧与一般常用轮胎胎侧一样。宽断面轮胎，负荷能力大，用以代替并装双胎。优点：①行驶性能好；②经济意义大；③改善车辆使用性能。宽断面轮胎断面高宽比小，车辆重心低。此外，单胎代替双胎，轮轴弹簧可以外移，轮胎间距增大。缺点：携带备用胎不方便。此外，由于仅后轮使用宽断面轮胎，前后轮胎不能互换位用。宽断面轮胎最初只用于越野汽车上，后来使用范围日益扩大。现在这种轮胎除装配于越野汽车外，在普通载重汽车、公共汽车、拖拉机和工程车辆上的应用越来越多，已成为国际轮胎的发展趋势之一。

(4) 拱形轮胎 拱形轮胎是一种断面比上述宽断面轮胎还宽的轮胎。断面宽较一般常用轮胎大 1.5~2.5 倍，断面高宽比为 0.45~0.5，胎肩呈圆弧形。适于在 0.7~2kgf/cm² (1kgf/cm²=98.0665kPa) 内压力下使用。拱形轮胎宽度大，内压低，因而与路面接触面积大，接触压力低，而且分布均匀，松软地面上具有较大浮力和牵引力，通过性能好。适于在

泥泞、沼泽、海滩、盐田、沙漠和雪地等特殊条件下使用，但不宜在硬路面上使用，其外形见图 1-8。

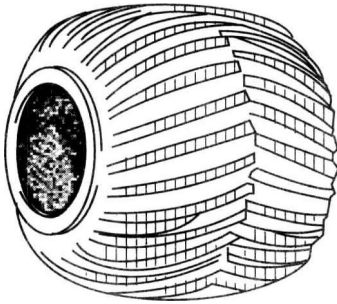


图 1-8 拱形轮胎外形图

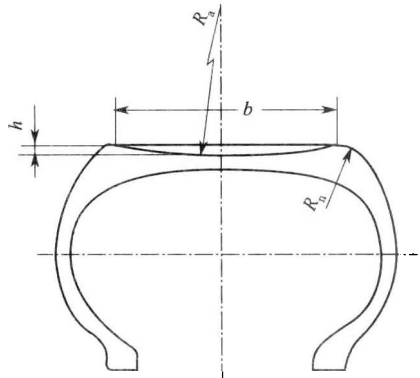


图 1-9 反弧轮胎示意图

(5) 反弧轮胎 成品胎冠中心部位相对其两侧部位凹陷下去的轮胎。1934 年开始研制，60 年代末期应用到乘用车胎，70 年代初期应用到航空轮胎，目前仍在继续研究。优点：充气后胎面很平坦，轮胎受的负荷能在接地面全宽范围内均匀分布，接触压力低、分布均匀，从而大大地提高了轮胎稳定性、牵引性、耐磨性及乘坐舒适性，并可以降低生热。耐磨性比一般常用轮胎高 10%~30%。缺点：对内压要求较严。其示意图见图 1-9。

(6) 无内胎轮胎 不用内胎、垫带，压缩空气直接充入外胎中。胎里有气密层，用以增加气密性；胎圈外侧有环形沟纹或其他形状密封胶；着合直径小，将轮胎严密地固着在轮辋上。优点：使用方便，安全性好。行驶温度低，可减轻胎顶磨损和改善胎体老化，延长轮胎使用寿命。轮胎重量可减轻 10%~15%，节省原材料，降低耗油量，并可简化生产工序。缺点：对轮辋要求较高，胎圈与轮辋密合困难，损坏不易修补。

(7) 安全轮胎 轮胎因刺扎等意外原因造成漏气后，仍能继续安全使用一段距离的轮胎，称为安全轮胎，如图 1-10。

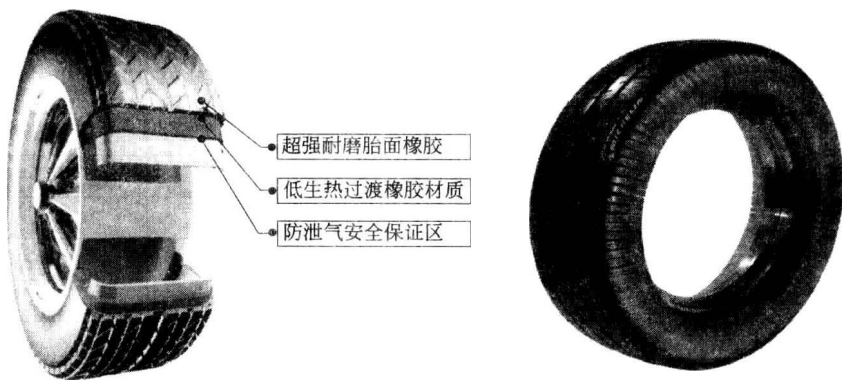


图 1-10 安全轮胎示意图

总的来说，当前随着汽车制造和交通运输部门对轮胎要求日益苛刻，安全舒适和耐用等问题日益突出。为此，轮胎结构趋势是三化一体。三化是子午线化、无内胎化、低断面化。一体是三化共同实施于一条轮胎上。

第三节 轮胎的规格表示与命名

轮胎规格表示方法有传统沿用和国际标准两种。传统表示法是在轮胎发展过程中,各个轮胎生产厂家按照各自的习惯对轮胎的规格进行表示,但随着现代轮胎工业的发展,用传统规格表示的参数不能完全表达现代的轮胎规格尺寸;同时随着轮胎工业的世界性交流,应对世界不同的轮胎规格表示进行统一表示,避免规格表示的不通用性。

一、传统的规格表示法

① 充气轮胎尺寸目前一般用英制为单位,但欧洲国家则常用公制。高压胎一般用 $D \times B$ 来表示,其中 D 表示轮胎直径的英寸数, B 表示轮胎断面宽度的英寸数。例如, 34×7 即表示轮胎外径 D 为 34in,断面宽度 B 为 7in。

② 汽车上常用的是低压胎,其尺寸标记用 $B-d$ 表示,例如 9.00-20, $B-d$ 即表示名义断面宽度 B 为 9in,而轮辋直径 d 为 20in。

③ 欧洲国家的低压胎用 $B \times d$ 表示,尺寸单位用毫米,例如 185×400 轮胎,表示其断面宽度 B 为 185mm,轮辋直径 d 为 400mm。这种规格的轮胎相当于 7.50-16 轮胎。

二、ISO 国际标准表示法

在 ISO 国际标准中,轮胎编号表示为(名义断面宽度)/(扁平率)(轮胎结构标记号)(适用轮胎直径)(载荷指数)(速度记号)。比如编号 195/60R 14 85 H 的轮胎,意义如下:195 表示轮胎名义断面宽度为 195mm,60 表示为扁平率的百分数,即轮胎断面的高度比宽度为 60%,R 表示子午线轮胎(另外还有 D、B 分别表示普通斜交轮胎和带束斜交轮胎),14 表示使用轮辋直径为 14in,85 是载荷指数,H 是速度标记号,字母由 B~U(除 D、H、I、O 外)顺序排列时,最大时速由 5~20km/h 递增,每级相差 10km/h,特殊地,D 最大时速表示 65km/h,而 H 表示最大时速 210km/h。

国际标准化组织(ISO)在原有西欧“S”、“H”、“V”级速度标志的基础上,通过了更详尽的轮胎速度标志,表 1-1 所列为轮胎速度标志各级符号。

表 1-1 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	40	N	140
B	50	P	150
C	60	O	160
D	65	R	170
E	70	S	180
F	80	T	190
G	90	U	200
J	100	H	210
K	110	V	230
L	120	Z	240 以上
M	130		

对于载重轮胎来说,从 F 到 M 级速度没有实用价值,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，没有最高速度的概念。

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 279 个等级负荷指数，每个指数数字代表一级“轮胎载荷能力”，其指数差级约 3%，最低负荷指数为 0，相应负荷为 0.44kN，最高一级为 279，相应负荷为 1334kN。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，见表 1-2。

表 1-2 轮胎负荷指数与负荷能力对应

负荷指数 L_1	负荷能力 /kN	负荷指数 L_1	负荷能力 /kN	负荷指数 L_1	负荷能力 /kN	负荷指数 L_1	负荷能力 /kN
0	0.44	33	1.13	66	2.94	99	7.60
1	0.45	34	1.16	67	3.01	100	7.85
2	0.47	35	1.19	68	3.09	101	8.09
3	0.48	36	1.23	69	3.19	102	8.34
4	0.49	37	1.26	70	3.29	103	8.58
5	0.51	38	1.30	71	3.38	104	8.83
6	0.52	39	1.33	72	3.48	105	9.07
7	0.53	40	1.37	73	3.58	106	9.32
8	0.55	41	1.42	74	3.68	107	9.56
9	0.57	42	1.47	75	3.80	108	9.81
10	0.59	43	1.52	76	3.92	109	10.10
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
155	38.98	192	109.83	229	318.72	266	931.63
156	39.23	193	112.78	230	328.52	267	956.15
157	40.45	194	115.72	231	338.33	268	980.67
158	41.68	195	119.15	232	348.14	269	1010.08
159	42.90	196	122.58	233	357.94	270	1039.50
160	44.13	197	126.02	234	367.75	271	1068.92
161	45.36	198	129.45	235	380.01	272	1098.34
162	46.58	199	133.70	236	392.23	273	1127.76
163	47.81	200	137.29	237	404.52	274	1157.18
164	49.03	201	142.20	238	416.78	275	1186.60
165	50.50	202	147.10	239	429.04	276	1225.83
166	51.98	203	152.00	240	441.30	277	1260.15
167	53.45	204	156.91	241	453.56	278	1294.48
168	54.92	205	161.81	242	465.82	279	1333.70

第四节 轮胎的历史与发展

一、轮胎的发展历程

很早以前，轮胎是用木头、铁等材料制成的，第一个空心轮子是 1845 年英国人罗伯特·汤姆逊发明的，他提出用压缩空气充入弹性囊，见图 1-11，以缓和运动时的振动与冲

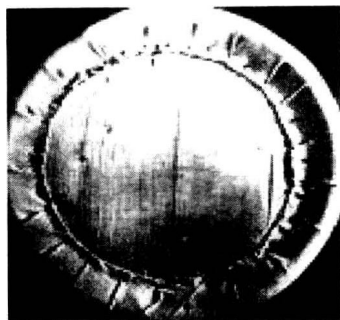


图 1-11 世界上第一只
充气式轮胎十分简单

击。尽管当时的轮胎是用皮革和涂胶帆布制成的，然而这种轮胎已经显示出滚动阻力小的优点。根据这一原理，1888年约翰·邓禄普制成了橡胶空心轮胎，随后托马斯又制造了带有气门开关的橡胶空心轮胎，可惜的是因为内层没有帆布，而不能保持一定的断面形状和断面宽。1895年随着汽车的出现，充气轮胎得到广泛的发展，首批汽车轮胎样品是1895年在法国出现的，这是由平纹帆布制成的单管式轮胎，虽有胎面胶而无花纹。

直到1908年至1912年间，轮胎才有了显著的变化，即胎面胶上有了提高使用性能的花纹，从而开拓了轮胎胎面花纹的历史，并增加了轮胎的断面宽度，允许采用较低的内压，以保证获得较好的缓冲性能。1892年英国的伯利密尔发

明了帘布，1910年用于生产，这一成就除改进了轮胎质量，扩大了轮胎品种外，还使外胎具备了模制的可能性。随着对轮胎质量要求的提高，帘布质量也得到改进，棉帘布由人造丝代替，20世纪50年代末人造丝又被强力性能更好、耐热性能更高的尼龙、聚酯帘线所代替，而且钢丝帘线随着子午线轮胎的发展，具有很强的竞争力。

1904年马特创造了炭黑补强橡胶，大规模用于补强胎面胶是在轮胎采用帘布之后，因为在这之前，帆布比胎面在轮胎使用中损坏得还要快，炭黑在胶料中的用量增长很快，20世纪30年代，每100份生胶中使用的炭黑也不过20份左右，这时主要在胎面上采用炭黑，胎体不用，现在已达50份以上。胎面中掺用炭黑以前，轮胎大约只行驶6000km就磨光了，掺用炭黑后，轮胎的行驶里程很快就得到显著的提高。现在一组货车轮胎大约可行驶10万公里，在好的路面上，甚至可达20万公里。因此，1913~1926年发明了帘线和炭黑轮胎技术，为轮胎工业发展奠定了基础。

1937年，世界著名的米其林轮胎公司开始研制子午线轮胎，并于1946年生产子午线结构的轮胎，子午线轮胎的诞生，标志着轮胎业的发展进入了一个新的时代，它开创了轮胎发展史的新纪元。

1896年，在美国出现了第一家制造充气轮胎的厂家，古德里奇公司（Goodrich）。

1931年，中国上海的一家轮胎制造厂生产出第一条国产汽车轮胎。

目前，性能优越的子午线轮胎已成为轮胎发展的主流，世界主要轮胎生产国家已完成了由斜交轮胎向子午线轮胎的过渡。子午线轮胎自1948年法国开始工业化生产以来，到70年代末世界子午胎产量开始超过斜交胎。进入80年代后，随着高新技术和新材料在子午胎生产和科研开发上应用，进一步推进了子午胎的发展。世界轮胎子午化率已达90%，发达国家已达到或接近100%。在我国子午线轮胎仍处于逐步取代斜交胎的发展期，成为新兴产业。回顾世界轮胎工业发展史，如以1888年，邓禄普发明有内胎的充气轮胎算起，也有120年的历史，称为世界轮胎的第一次技术革命；1948年，米其林发明了子午线轮胎，称为轮胎的第二次技术革命，两次技术革命分别相距40年和60多年。西欧发达国家完成轮胎100%子午化率（1990年）约用了40年时间，美国起步较晚，于2000年完成，用了31年。目前日本子午化率也在95%以上，约用了35年。韩国起步更晚（1975年），至今也在90%以上。全世界平均用了50多年，现在为90%。

我国研发子午线轮胎始于20世纪60年代中，几乎与美、日、俄同期起步，但到1980年，生产不到1万条，至2003年，全国生产子午线轮胎已达7500万条（其中全钢载重1100万条），子午化率约为47%，汽车轮胎已达60%以上，若与日本发展速度类似，即用

35 年时间,于 2015 年将实现汽车轮胎子午化率达到 95%。从整体发展史看,轮胎的发展与国家的整体国民经济、汽车工业、道路乃至政策、法规有密切相关。有人把上述这 120 多年称为“轮胎前工业化时代”,而进入 21 世纪,轮胎已发展到“全新概念技术”时期,世界轮胎新一轮技术革命已经开始,“轮胎后工业化时代”就要来临。在这一时代,轮胎工业将是由强大的创新技术作为支撑。

从宏观上看,未来几年中国国民经济增长速度虽会有所放缓,但仍将保持 8%~9% 的增长速度。2010 年,中国高速公路已达到 5.5 万公里,汽车年产量达到 1000 万辆,汽车保有量增加到 6200 万辆。根据中国公路、汽车、交通运输事业的发展规划,2010 年中国轮胎总需求量约 3 亿条,其中子午胎 2.1 亿条,子午化率达 70%。

二、轮胎结构设计技术和生产技术的发展

1. 轮胎结构设计技术的发展及现代结构设计思想

轮胎的制造必须先经过设计,再经过合理的工艺才能被生产出来。因此,我们必须先了解轮胎的设计过程,轮胎结构设计是指通过计算、选择、绘图等方法确定轮胎整体及各部件的结构和尺寸并拟定出施工标准及设计辅助工具的过程。轮胎结构设计直接影响轮胎质量及使用性能。自 1888 年英国的邓禄普发明充气轮胎以来已有一个多世纪了,但进行轮胎结构力学的理论研究工作还是为时不久,最多是近 30~40 年发展起来的。最早出现在英国伍德氏的著作中提出了比例图变形的初期设想,找出了轮胎帘线角度和半径的函数关系。随之,美国的伯第采用薄膜理论对轮胎进行了近似的数学计算。后来德国的崔夫伯日提出了不考虑橡胶刚性的网络理论,发展了斜交胎设计理论的研究,从而奠定了现在斜交胎结构设计的理论基础——薄膜网络理论。20 世纪 50 年代末,前苏联的彼德尔曼进行了轮胎平衡轮廓形状和应力-应变的计算分析。1959 年日本赤坂隆在假定帘线不伸长并考虑橡胶刚性的前提下,对轮胎进行了斜交层合理理论的研究。不久后,美国的克拉克在 1963 年提出了采用帘线/橡胶复合材料为基础的层合理理论对轮胎进行结构力学研究。到 20 世纪 70 年代初,沃特和罗比奇等进一步开展层合理理论和薄壳理论对轮胎负荷下的应力-应变的探讨。20 世纪 70 年代末、80 年代初,由于计算机的广泛使用,为轮胎结构分析研究引入了有限法。在此基础上,到 20 世纪 80 年代中期、后期,蓬勃兴起了轮胎结构优化设计的理论研究,如日本的普利斯顿轮胎公司先后发表了“RCOT”理论、“TCOT”理论,日本的其他轮胎公司也都纷纷发表这方面的研究论文并作为推出新产品的理论依据,使轮胎结构力学又得到进一步的新发展。

由于轮胎结构及其力学行为的复杂性,长期以来,尽管人们提出了多种理论对轮胎结构进行分析,如薄膜-网络理论、层合理理论、薄壳理论等,这些理论的应用,对轮胎工业的发展起了明显的促进作用,但这些分析方法对轮胎非对称性负荷接触问题,即轮胎在集中负荷下的形状和应力-应变以及对带束层的层间受力分析等不能解决。近三四十年来,随着电子计算机的飞速发展和广泛应用,一种新的数值方法即有限元法被提出来了,并被广泛的应用于各种工程实际问题中,显示出其不可比拟的优越性。国外许多大轮胎公司都将有限元法引入轮胎分析及优化设计中,并取得了很大的成果及明显的经济效益。有限元法的实质是将无限个自由度的连续体简化为只有有限个自由度的离散单元集合体,使问题简化为适合于数值解法的结构型问题,有限元法具有对任何结构形状都可方便进行模拟的特点。从其基本解法来看,可分为位移法、力法和混合法三种方法,所谓位移法即选用节点位移作未知变量,力法即以节点力为未知量,混合法即部分节点位移和另一部分节点力为未知量通过平衡方程求解。其处理过程大致包括前处理、中间处理和后处理三个阶段。用有限元法来分析研究轮胎结构,可在计算机上模拟预测轮胎在不同工作状况下,各种不同的结构形式的应力、应变分

布情况以及轮胎轮廓的变形情形,从而可达到通过改进轮胎结构来消除各种不利因素,使得轮胎的结构更趋合理化,其使用性能达到各种不同的要求。这将为轮胎结构的优化设计开辟一条极有价值之路。

轮胎结构设计现在广泛采用的传统设计方法,是以静态平衡轮廓理论为设计依据,用薄膜-网络理论为原理指导轮胎设计,轮胎在模型内的轮廓用几何作图法,从外缘轮廓向内进行设计。

2. 轮胎生产技术的发展

轮胎的生产经历约一个多世纪的发展,由原来的基本接近于手工制作,见图 1-12,逐渐发展到半自动化生产,近十年世界上很多知名的轮胎公司纷纷对轮胎特别是子午线轮胎的生产工艺进行改进,提高了劳动生产率,同时也降低了生产成本。

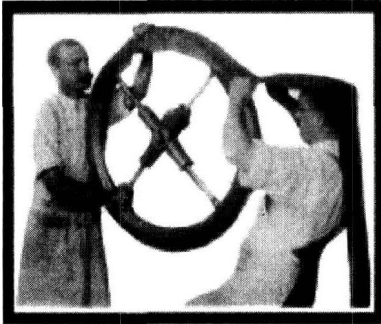


图 1-12 早期轮胎的制造工艺

下面介绍一下新兴的子午线轮胎生产工艺。

(1) 米其林 C3M 技术 C3M 全称为 Command+Control+Communication&Manufacture, 建议译为“指挥+控制+通信与制造一体化系统”。

C3M 技术有 5 项要点: 连续低温混炼; 直接压出橡胶件; 成型鼓上编织/缠绕骨架层; 预硫化环状胎面; 轮胎电热硫化。C3M 技术的关键设备是特种编织机和挤出机。C3M 技术通过以成型鼓为核心, 合理配置特种编织机组和挤出机组而得以实现。特种编织机环绕成型鼓编织无接头环形胎体帘布层和带束层, 并环绕成型鼓缠绕钢丝得到钢丝圈。挤出机组连续低温(90℃以下)混炼胶料, 压出胎侧、三角胶条以及其他橡胶件。C3M 技术特点是: 部件既不经冷却/停放, 也不需要再加工或预装配, 直接送到成型鼓上一次性完成轮胎成型。在成型过程中, 成型鼓一直处于加热状态, 胎坯在成型的同时被预硫化从而达到定型。

米其林于 1982 年开始研究 C3M 技术, 1992 年宣布研究成功, 次年在总部所在地——克萊蒙费朗建立首家 C3M 厂, 现有 8 家 C3M 厂分别在法国、美国、瑞典、西班牙。

(2) 固特异 IMPACT 技术 IMPACT 全称为 Integrated Manufacturing Precision Assembly Cellular Technology, 建议译为集成加工精密成型单元技术。

IMPACT 有四大要素(又称四大单元): 热成型机; 改进控制技术, 提高生产效率; 自动化材料输送; 单元式制造。上述四要素既可以单独使用, 也可以组合使用, 而且无论是某个要素还是整个系统与现有轮胎工艺流程都能紧密结合成一体。IMPACT 技术不像其他新一代轮胎制造系统那样与现用系统不兼容。对橡胶界而言, 热成型机似乎是闻所未闻的新工装设备。其实它由多台微型型材压延机、冷喂料挤出机和 1 条钢质输送带构成。压延机的 2 个辊筒直径在 700mm 左右, 与传统压延机不同之处在于有 1 个辊筒是型辊, 双辊温度超过传统压延工艺温度。钢质输送带又称移动轨床, 由 2 个导辊和 1 条不锈钢薄带构成, 其最高速度为 15m/min, 通常以 8~9m/min 速度运行。每台压延机配备 1 台冷喂料挤出机, 负责向压延机供料。对冷喂料挤出机没有特殊要求, 但其规格则必须与在该工位压出/贴合的轮胎部件的体积流量相匹配, 保证供给压延机足够的胶料。

目前, 固特异已经研制出 2 种热成型机: 一是七工位, 适用于卡车轮胎生产; 二为四工位, 适用于轿车轮胎生产。七工位热成型机由 7 台微型型材压延机组成, 移动轨床将这 7 台压延机连接成一个整体, 可压出 7 种不同的轮胎部件并同时完成部件与部件之间的定位和组装/贴合。