

子午线轮胎结构与制造技术

俞 淇 丁剑平 编著
张安强 林惠音 姚钟尧



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

子午线轮胎结构设计与制造技术/俞淇等编著. —北京:化学工业出版社, 2006. 1

ISBN 7-5025-7819-6

I. 子... II. 俞... III. ①子午线轮胎-结构设计
②子午线轮胎-生产工艺 IV. TQ336. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 127543 号

子午线轮胎结构设计与制造技术

俞 淇 丁剑平 编著
张安强 林惠音 姚钟尧
责任编辑:宋向雁 李晓文
文字编辑:徐雪华
责任校对:蒋 宇
封面设计:潘 虹

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷
三河市海波装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 26 字数 636 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7819-6

定 价:69.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

自 20 世纪 90 年代以来,子午线轮胎在我国迅速蓬勃地发展,据统计 2004 年子午线轮胎生产量达 1.04 亿条,轮胎子午化率已超过 50%。近年来在国内初步开展了对子午线轮胎结构与性能方面的研究。然而,目前国内却很少见有系统介绍子午线轮胎结构设计与生产工艺方面的专著。因此,受化学工业出版社委托,我们(华南理工大学轮胎 CAD 组)编写了本书。

在编写过程中,我们尽可能广泛地收集资料,结合多年的研究和实践经验进行分析与整理,力求能反映国内外近年来在子午线轮胎结构设计和制造工艺方面的先进技术。在结构设计方面,书中系统地叙述了子午线轮胎的设计方法,特别对研究开发的子午线轮胎结构设计 CAD 技术与子午线轮胎用有限元分析法作了简述。在子午线轮胎生产工艺方面,除广泛收集了国内外先进生产工艺与装备资料外,还对国内研究的新成果如混炼工艺的优化和硫化条件的最佳控制进行了介绍。

本书分为两篇共十八章。第一篇为子午线轮胎结构设计,主要叙述了子午线轮胎的发展历史与前景、结构与性能特点、结构设计方法与步骤、子午线轮胎的 CAD 技术以及有限元分析法的应用。第二篇为子午线轮胎的生产工艺与装备,主要介绍在生产工艺过程中各工序的工艺与装备,以及成品质量检测 and 性能测试方法。本书适合从事汽车轮胎,特别是子午线轮胎结构设计与制造工艺的技术人员和大专院校相关专业的师生阅读,也可作为轮胎行业培训专业人员的参考书。

本书第一至十章和第十五章由俞淇、丁剑平编著,第十一、十三、十四和十六章由张安强和林惠音编著,第十二和十八章由丁剑平编著,第十七章由姚钟尧编著。

本书的编写还得到北京橡胶工业研究设计院、广州市华南橡胶轮胎有限公司、广州市宝力轮胎有限公司和其他朋友与同仁们的热情帮助,他们提供了许多资料和信息,在此表示深切感谢。

由于水平和条件有限,书中难免有错漏之处,恳请同行和读者批评指正。

编著者

2005 年 9 月

目 录

第一篇 子午线轮胎结构设计

第一章 子午线轮胎的发展历史与前景	3
第一节 子午线轮胎的发明	3
第二节 子午线轮胎的发展历程	4
第三节 子午线轮胎的发展方向	16
主要参考文献	26
第二章 子午线轮胎的结构与性能	27
第一节 子午线轮胎的结构特征	27
第二节 子午线轮胎的性能特点	32
主要参考文献	40
第三章 子午线轮胎用骨架材料	41
第一节 骨架材料的性能要求	41
第二节 骨架材料的发展概况	43
第三节 骨架材料的分类与性能	51
主要参考文献	65
第四章 子午线轮胎负荷计算	66
第一节 轿车子午线轮胎	66
第二节 轻型载重子午线轮胎	72
第三节 载重子午线轮胎	76
附录 轮胎负荷指数	81
主要参考文献	82
第五章 子午线轮胎轮廓结构设计理论与方法	83
第一节 子午线轮胎轮廓结构现代设计理论	83
第二节 子午线轮胎断面轮廓设计的主要参数选取	101
第三节 自然平衡轮廓曲线简易设计法	104
第四节 非自然平衡轮廓曲线理论计算	107
主要参考文献	112
第六章 子午线轮胎带束层设计与计算	113
第一节 带束层刚性	113
第二节 带束层的结构设计	117
第三节 带束层帘线应力计算与安全系数	127
主要参考文献	129
第七章 子午线轮胎的胎体帘线选择与应力计算	130

第一节 胎体帘线的选择	130
第二节 胎体帘线应力计算与安全系数	138
主要参考文献	140
第八章 子午线轮胎胎圈结构设计及钢丝圈应力计算	141
第一节 胎圈结构	141
第二节 钢丝圈断面形状及钢丝性能	145
第三节 钢丝圈应力计算	149
主要参考文献	152
第九章 子午线轮胎胎面花纹设计	153
第一节 花纹设计的基本要求	153
第二节 胎冠花纹设计	154
第三节 胎肩花纹与花纹沟设计	163
主要参考文献	167
第十章 子午线轮胎施工设计	168
第一节 成型方法与成型鼓类型的选择	168
第二节 成型鼓直径与鼓肩曲线设计	170
第三节 成型鼓宽度计算	172
第四节 成型鼓上半成品部件的施工	175
第五节 施工表的编写	176
主要参考文献	179
第十一章 子午线轮胎设计的 CAD 技术	180
第一节 我国轮胎 CAD 的发展历程	180
第二节 CAD 技术在计算机辅助轮胎结构设计系统开发中的应用	181
第三节 WTireCAD 系统简介	187
第四节 应用 WTireCAD 系统进行轮胎结构设计的应用举例	189
第五节 轮胎 CAD 技术的进一步应用	190
主要参考文献	192
第十二章 轮胎用有限元分析法	194
第一节 轮胎用有限元分析法的理论基础	194
第二节 轮胎用有限元分析法的单元模型	197
第三节 有限元分析法的解题步	200
第四节 材料参数的确定	202
第五节 有限元分析法应用实例	208

第二篇 子午线轮胎的制造工艺与设备

第十三章 混炼工艺与装备	221
第一节 子午线轮胎混炼胶料及混炼工艺特点	221
第二节 混炼过程的质量控制	228
第三节 子午线轮胎的混炼设备	233

第四节	混炼胶料的质量检测	253
第五节	混炼车间的环保问题	256
	主要参考文献	258
第十四章	挤出工艺与装备	260
第一节	子午线轮胎对挤出工艺的基本要求	260
第二节	挤出机与复合挤出机	261
第三节	胎面胶挤出	267
第四节	胎侧胶及其他型胶部件的挤出	274
第五节	钢丝圈成型制造工艺	276
第六节	挤出法生产钢丝带束层	283
	主要参考文献	288
第十五章	压延及裁断工艺与装备	289
第一节	钢丝帘布压延工艺及装备	289
第二节	纤维帘布压延工艺及装备	297
第三节	钢丝/纤维两用压延工艺及装备	302
第四节	内衬层(气密层)压延工艺及装备	304
第五节	帘布裁断工艺及设备	307
	主要参考文献	313
第十六章	成型工艺与装备	314
第一节	子午线轮胎成型方法	314
第二节	成型鼓	314
第三节	轿车、轻型载重子午线轮胎成型机	318
第四节	载重子午线轮胎成型机	325
第五节	成型质量的保证	335
	主要参考文献	338
第十七章	硫化工艺与设备	340
第一节	子午线轮胎的硫化工艺	340
第二节	机械式轮胎定型硫化机	345
第三节	液压轮胎定型硫化机	355
第四节	RIB 型轮胎定型硫化机	362
第五节	活络模具	370
第六节	确定和优化轮胎硫化时间的方法	375
	主要参考文献	388
第十八章	子午线轮胎的成品质量检测与性能测试	389
第一节	成品质量检测	389
第二节	成品常见缺陷及原因分析	392
第三节	DOT 安全标准检测项目	396
第四节	子午线轮胎性能研究的室内试验方法	400
第五节	子午线轮胎室外道路实验场试验实际里程试验	402
	主要参考文献	406

子午线轮胎结构设计

第一章 子午线轮胎的发展历史与前景

子午线轮胎问世已有半个多世纪了。它以独特的结构带来了优异的性能，它是汽车工业发展中的一项杰出成就，引起了汽车悬挂系统的大改革，它为轮胎行业开辟了一条崭新的道路。子午线轮胎的投产使用也是轮胎工业中一场真正的技术革命。

本章将介绍子午线轮胎的发明创造、开发过程以及它今后的发展前景。

第一节 子午线轮胎的发明

众所周知，子午线轮胎的发明是法国米其林公司的贡献。曾于 1946 年 6 月 4 日在巴黎申请了子午线轮胎结构的专利，并于 1951 年把专利内容公布于众，专利号是 1001585。其实，子午线轮胎的构想早在 1913 年由英国的 Gray 和 Sloper 两位发明者申请了专利（据邓录普公司的 Eric Tompkins 著《充气轮胎的历史》一书中介绍）。采用钢丝增强胎面（简称为“束缚腰带”）携在径向排列帘线的胎体上，但当时缺乏橡胶与钢丝黏合的复合材料技术，则使此发明未能得到开发。

米其林公司自 1938 年开始进行大规模生产的一种叫“梅达利克”的轮胎，是一种全钢丝斜交载重轮胎，用 2 层或 4 层钢丝帘布层替代了 12~20 层的棉线帘布层。为了生产这种轮胎，米其林公司在从事钢丝生产的同时，还调动了一切有关橡胶专门技术的人力来研究橡胶与钢丝的黏合、钢丝帘线的制造以及钢丝的拉拔方法，还研制出了各个生产环节中的高精度工艺。这为后来生产子午线轮胎奠定了坚实的基础。

为了更好地认识轮胎的散热和热流量问题，研究人员努力想区分一些在胎侧和胎面中暴露出来的现象，设计了一种无胎侧的轮胎，但失败了。后来又设想使胎侧减薄甚至只有大间隙的钢丝帘线围绕着钢丝圈反包，轮胎很快暴露出由于散热不良而产生的大量问题，但不是出现在胎冠处，而是在胎肩部位产生大量的热量，因此处频繁地发生弯曲运动。这种实验性轮胎行驶稳定性极差，于是轮胎技术人员又进一步地改进，设计出一种由 2 层钢丝帘线构成的坚固轮胎，胎面下帘线排列角度较小，约为 20° ，是采用公司内部现成的材料制成。子午线轮胎就这样诞生了。这种轮胎的结构仍有许多不够完美的地方，迅速得到了改进和完善。将精致的钢丝帘线胎体改为一层或二层的织物帘线胎体，排列角度为 90° ，由薄层的胎侧胶来保护。带束层是三层钢丝帘线，使胎体帘线的三角结构更加完善。新开发的子午线轮胎于 1946 年在巴黎申请了专利。

从公布的专利中可知，子午线轮胎的工业化生产出现在 20 世纪 40 年代末。公司动员了企业里所有的人力、物力投入到这个工业化生产中。仅在一年多的时间里，这种子午线轮胎就大量地行驶在法国的公路上。1949 年米其林公司生产的两种规格的轮胎（165-400 和 185-400）参加了在巴黎举办的汽车博览会，大家都称它们为 X 轮胎。其中一个规格的轮胎装备在了雪铁龙 11CV 型的前轮驱动轴上。轮胎和车辆互相辉映，成为具有重大历史意义的一套装备。泊若公司、阿尔发-罗梅奥公司及其他用户立刻就采用了 X 轮胎。从那时起，子午线轮胎的质量和特性对欧洲汽车的式样和设计都起了非常重要的作用。

第二节 子午线轮胎的发展历程

子午线轮胎 20 世纪 40 年代问世, 50 年代起步, 60 年代推广, 70 年代和 80 年代大发展, 90 年代以后子午化。这半个多世纪以来, 子午线轮胎是以它独特的结构带来优异的性能和传统轮胎的竞争中发展起来的, 也是经过了被人们认识、接受直至现在受欢迎的曲折历程。下面分别介绍国外与国内子午线轮胎的发展过程。

一、国外子午线轮胎的发展

1. 法国

法国是最早生产子午线轮胎的国家。1948 年米其林公司率先生产出子午线轮胎并推向了法国的轮胎市场。早在 1952 年米其林公司就把所有的科研力量及经费转移到了改进子午线轮胎的性能上。从那时起, 它们建造所有的新轮胎厂都是按子午线轮胎生产工艺来设计的。到 1955 年子午线轮胎的产量还未达到米其林公司轮胎产量的 50%, 但到了 1972 年, 在法国子午线轮胎几乎占轮胎产量的 100%, 到 80 年代以后全部实现了子午化。

在这几十年的发展历程里, 米其林公司的子午线轮胎不仅在数量上发生了巨大的变化, 而且在产品的质量与性能上进行了更新换代的改革。以下列举在轿车胎、载重胎、工程胎以及农用胎方面的子午线轮胎的更新产品。

(1) 轿车胎 1956 年米其林公司推出简化结构和制造工艺, 即将带束层由三层改为二层, 断面高宽比下降到 0.78, 重量减轻, 价格下降, 产量也得到了提高。到了 1967 年米其林公司又有一代产品——ZX 型问世, 它比 X 型更加舒适, 噪声更小, 拐弯平稳、灵活, 重量进一步减轻, 因此也更为经济。ZX 型轮胎是由一层人造丝帘布层和二层钢丝带束层组成的, 后来又对它进行了改进和更新, 使其名次一直保持到 1975 年才让位于 XZX 型。该胎是普通的钢丝带束层子午线轮胎, 乘坐舒适, 噪声小, 特别对湿路面抓着性能好, 最高速度可达 180km/h (SR 级)。为了满足日益增长的需要, 又开始出现各种各样的新型号, 例如不对称结构, 强化子口刚性, 折叠式带束层等。专供高速轿车用, 车速可达 210km/h (HR 级), 甚至超过 210km/h, 最高可达 225km/h, 行驶舒适, 噪声小, 是 VR 级轮胎。与此同时, 无内胎技术在许多地方都采用了, 密封性能和丁基胶内胎一样, 可行驶十万公里。轿车胎的制作也比较简便, 更为经济。由于子午线轮胎的断面早已出现增宽的趋势, 故继当时十分流行的 80 系列之后, 又推出了 70 系列的产品, 受到人们的欢迎。米其林公司在多年生产子午线轮胎的基础上, 又研制出了一代新型的子午线轮胎 TRX 型。经十多年实践, 到 20 世纪 80 年代已形成了系列, 产品供给高速轿车使用。TRX 系列轮胎与传统子午线轮胎相比, 具有安全、可靠、乘坐舒适、耐磨、寿命长等优点。到了 90 年代米其林公司不断推出新产品, 如低滚动阻力、耐湿滑性好的绿色轮胎 MXT 和 MXV3-A 第一代产品, 随后又研制出了滚动阻力更低、重量更轻、潮湿和寒冷雪路面抓着性好、噪声低的第二代绿色轮胎 XT1, XT2 和 XH1。另外, 从改革制造工艺方面着手, 米其林公司又在 1992 年新建了一条成型自动流水线, 命名为 C3M 曲面成型鼓生产线。新厂房面积仅为传统轮胎厂的 10%。据报道, 这种新工艺无需半成品及其加工设备。它可大量节省人力, 降低成本, 提高产品合格率。米其林公司自 1948 年首创子午线轮胎以来已过去了半个多世纪, 这是一段不断革新生产技术和产品推陈出新的艰难开发历程。深信在

今后的 21 世纪米其林公司将会创造出更多性能优越、质量高超的新型轿车胎。

(2) 载重胎 大型和小型载重汽车, 包括公共汽车、长途公路运输货车等都是子午线轮胎发展的广阔天地, 1952 年, 首先开发了小型卡车用的纤维骨架子午线轮胎。从 1953 年起, 研制了全钢丝子午线轮胎, 直至最大规格轮胎的胎体也只用一层钢丝帘布。到 1959 年产生了新一代产品即新式无内胎产品, 轮胎装配在 15° 倾斜的圆锥形轮辋上, 从此无内胎技术得到了发展。例如当时新开发的 XZA 型是一种大型汽车轮胎, 它集中了子午线轮胎的优点, 特别适用于长距离高速度行驶。无内胎技术应用, 不仅节省了内胎和垫带的重量, 而且去掉了热源, 故 XZA 型轮胎可节约 $8\% \sim 12\%$ 的燃料, 在严格保证生产质量的前提下轮胎可翻新 $2 \sim 3$ 次。随后又开发了快速长途车用高速轮胎 XGV 型。胎侧增强, 胎面耐冲击, 提高了对地基、石路面和硬路面的牵引性和抓着力, 粗花纹轮胎 XZY 型; 对泥路或草地有非常好的抓着力, 耐刺扎、切割, 适用于建筑工地、森林、农场和小道的轮胎 XL 型; 还有适用于沙地或供需要很大浮力路面上用的轮胎 XS 型等多种载重子午线轮胎。

到 1995 年米其林公司又开发了绿色载重子午胎投放市场。这种轮胎是供长途运输汽车用的, 包括 XZA、XDA 及 XTA 三个型号。其特点是: 胎面为双层结构, 即基部胶采用添加白炭黑的 NR 胶料, 因而滞后损失小, 使轮胎滚动阻力比上一代轮胎下降 20% , 从而可节油 $4\% \sim 6\%$; 胎冠胶则使用耐磨耗、抓着力好的胶料。

(3) 工程胎、农业胎 米其林公司一贯认为在任何地区、任何路面、任何气候和任何速度等情况下, 子午线轮胎都优于斜交胎。早在 1949 年米其林公司就创制了全钢丝工程子午线轮胎。在工地上, 在没有铺设路面的道路上, 装配了子午线轮胎的车辆发挥出了优异的性能, 而且还适用于高速行车。米其林公司生产多种工程子午线轮胎。例如, XRA 型在泥路或岩石路上使用良好, 抓着力非常好, 胎侧非常牢固。XRDNA 型抓着力好, 胎面、胎侧增强牢固, 十分耐冲击和切割。后来又开发了 XRD1A 型和 XRD2A 型为超深花纹, 胎面比 XRDN 更韧, 适合于更苛刻的条件下使用。XRD1B 和 XKD1B 型均是翻斗车用胎, 前者适合于各种气候和软硬路面使用, 胎面厚, 性能好。后者为耐磨耗、耐冲击、耐切割, 适用于十分苛刻的使用条件, 是胎面和胎侧都进行了增强的工程胎。还有 XMime 型适用于井下采矿机械, 胎面花纹深, 胎体、胎侧经过增强能应付最苛刻的工作条件。

农业胎这个特殊的领域, 虽然它不存在什么过分生热、高速行驶等问题, 似乎传统轮胎已得到很好应用, 然而子午线轮胎结构特性还是做出了贡献。它提高了轮胎在松软地面上行驶的牵引性能, 而且接地压力低, 不会留下压实的车辙。米其林公司先后开发了多种农业胎, 如 Bibegrip 型有很好的抓着力性能, 花纹块加深、加宽, 适用于高功率拖拉机。窄 Bibegrip 是一种窄胎面、大直径轮胎, 专门为播种、洒水、耙地、收割使用。Forestier 和 Forestier 525 型都是森林用胎, 前者耐切割、耐冲击性能好, 适用于小型土木工程机械, 后者加深花纹块, 增强胎体, 适用于高功率机械在艰难条件下使用。还有 Pilore X Agricole 型是农业拖车用胎, 周向花纹、小半径转角, 可限制侧滑。

(4) 飞机胎 飞机轮胎是子午线轮胎尚未取代传统轮胎的最后领域。经多年的研究试制, 1981 年一架配备了米其林子午胎的法国军用飞机 (Mirge 11) 起飞了, 这是世界上第一架配备子午线轮胎的飞机。从 1983 年起, 其他许多民用、军用及商用飞机均相继配备了子午线轮胎。1984 年, 空中公共汽车 A300 客机开始配备子午线轮胎。1987 年, 空中公共汽车 A320 客机应用子午线轮胎进行了处女航。米其林飞机子午线轮胎被美国空军

指定为新麦克唐纳·道格拉斯 F15E 的专用胎。AirX 型飞机子午线轮胎使飞机起飞次数翻了一番,而且在相同负荷下,质量可减轻 25%~30%。它的翻新能力极佳,将来一定会有更多的飞机采用子午线轮胎。

2. 意大利

意大利倍耐力公司是最早发明全织物纤维子午线轮胎的公司,并于 1951 年 3 月注册了 Cinturato 专利,随后又相继获得了几个有关全织物纤维子午线轮胎的专利。倍耐力公司凭自己的技术于 20 世纪 50 年代初开始生产子午线轮胎,在 50~60 年代里相继取得了许多成果,此时纤维子午线轮胎与钢丝子午线轮胎得到了平行发展,最终证实了钢丝带束层优于纤维带束层。在意大利子午线轮胎发展的非常迅速,据资料介绍 70 年代中,轿车用原配胎已达 100%,替换用胎为 95%,载重胎约 90%。到 80 年代末已全部子午化了。

在半个多世纪里,意大利倍耐力公司也是在不断推陈出新、更换产品的艰苦奋斗过程中竞争出来的。就拿轿车子午线轮胎来说,在 20 世纪 70 年代和 80 年代,倍耐力公司历史上著名的品牌 P7 是 70 年代的低断面原配胎,但到 80 年代被 P700-Z 所取代。后来主要是为了花样翻新,到 90 年代推出了 P7000,再到 2001 年又推出新型 P7 使该系列产品获得了最终完善。另外 P6 出现于 80 年代,是普通轿车的第一代低断面高性能子午线轮胎。不久又推出了豪华轿车的低断面轮胎 P600。1995 年公司推出 P6000 的替代产品,该胎成为倍耐力最畅销的高性能轮胎。1998 年该公司又开发出并投入市场的新一代绿色轮胎——P3000 Energy,具有滚动阻力低、重量轻、安全性好和耐磨性好的特点。2001 年又有新型品种 P6 出现,这便是这家意大利公司的最新奉献了。

全钢丝载重子午线轮胎 0°带束层是倍耐力公司的专利技术,公布于 1979 年 10 月。国际公认为先进的载重子午线轮胎结构,尤其是低断面载重胎 80、70 系列均采用了这种结构的带束层。0°带束层可减小带束层边部的变形,提高子午线轮胎的胎肩刚性,减少变形生热,提高胎面稳定性,减少不均匀磨损。经过多年研究和不断开发,倍耐力公司推出了第二代新型零度角轮胎 FH15,最终在世界专利的支持下于 1984 年又推出一系列轮胎。同属第二代零度角轮胎的还有高牵引性的 TH25 轮胎。TH25 具有双带束层,胎面具有很高的磨损寿命,有可靠的抓着力。FH15 和 TH25 一次性里程很高,胎面磨损均匀,翻新率高,因而行驶里程成本低。

意大利倍耐力公司是最早发明纤维子午线轮胎的,研制农业子午线轮胎也比较早。该公司生产出了可供实土、干土、多石、黏土,尤其是潮湿土地用的拖拉机和农机子午线轮胎。胎面花纹具有公司专利,子午线轮胎花纹一般都有良好的自洁性,这点对在高湿度黏土地上使用特别重要。倍耐力公司为全驱动轮拖拉机生产了成套的 TM 系列子午线轮胎:TM-200 供前轮使用,TM-300 供后轮使用。后来又研制出世界上首批农业牵引车辆用的低断面子午线轮胎 TM-700。这种供轻、重型拖拉机用的轮胎其断面高宽比(H/B)为 0.70,无论在道路上还是田间使用都具有优越性。由于接地面的宽度增加,防止了拖拉机轮过深地陷入和压实土壤,由于牵引力增大和滑移率减小,缩短了工作时间,提高了劳动效率。此外,还可加挂大型农具,在道路上的高速安全行驶性也得到了提高。这种轮胎的燃料消耗量比相同滚动周长的斜交轮胎低 20%~25%。到 1985 年该公司又生产出了新的农业机械用子午线轮胎 TM-190。这种轮胎具有加强的胎侧和采用该公司专利的方形胎面花纹,因而具有良好的抗冲击性、自洁性和长使用寿命。TM-190 轮胎专供发动机功率高达 100 马力(1 马力=746W)的拖拉机前后轮使用。

对大多数拖拉机来说,轮胎一直是它们与地面之间的悬挂,必须履行多种功能,包括缓冲路面坑凹、减振和使车辆保持平衡和方向。另一方面,拖拉机在公路上所花费的时间越来越多,与在田间实际作业所花费的时间相比,拖拉机有一半工作时间是在公路上。欧盟国家计划将拖拉机在公路上行驶的限速提高到 70km/h。为此,倍耐力公司在 90 年代末又开发出新产品 TM800。它是一种具有超大胎面的 65 系列子午线轮胎,其接地印痕饱满而且分布均匀,保证了拖拉机在沥青路面上行驶的平顺性。TM800 的胎体帘线采用高强度尼龙,带束层采用聚酯,由于轮胎是 65 系列的低断面子午线结构,提高了胎侧刚度,保证了操纵稳定安全性,同时也有较好的乘坐舒适性,有助于吸收路面坑凹冲击,减轻振动,还有特殊的胎圈轮廓使之牢固地固定在轮辋上。80 年代倍耐力率先推出低断面拖拉机子午胎 TM700,而 TM800 借用了超低断面轿车轮胎的最新技术。TM800 的高负荷、低压实土壤、打滑轻和高度自洁性等田间性能使其满足了新一代拖拉机的要求。

据资料介绍,意大利倍耐力公司是最早向国外其他轮胎公司转让自己子午线轮胎生产技术的公司,如早在 60 年代日本就引进了该公司的生产技术,在此基础上使日本的子午线轮胎得到了迅速发展。到了 70 年代初倍耐力公司与邓录普公司组成了联合公司,进行了科研技术和生产等方面的合作。倍耐力公司在子午线轮胎生产技术上给予了邓录普公司许多帮助,主要有乘用车胎,特别是全钢子午线轮胎以及低断面轮胎,还有研究开发的一次法成型技术等均被邓录普所采用。60 年代末和 70 年代中意大利倍耐力公司又多次向前苏联转让子午线轮胎的生产技术和装备,如下卡马、白俄罗斯及莫斯科轮胎厂等均为年产 300 万~400 万套轮胎的生产规模。此外,还与波兰、匈牙利等国家洽谈了该项目。到了 80 年代末和 90 年代初该公司又给我国五家轮胎厂转让了子午线轮胎生产技术和装备。我国在“七五”和“八五”期间先后引进意大利倍耐力公司生产技术与设备的厂家有桦林、北京、青岛、东风和长春轮胎公司。

3. 英国

英国主要是靠本国的技术从 20 世纪 60 年代初开始发展子午线轮胎的,但在研究和生产方面落后于欧洲的其他国家。从 1970 年起,英国邓录普与意大利倍耐力公司组成联合公司,进行贸易、技术及生产科研等方面的合作,从中得到倍耐力公司在子午线轮胎生产技术上的许多支持,使英国的子午线轮胎占总产量的比例大幅度地提高。到 70 年代中,轿车子午线轮胎占原配胎的 97%,占替换胎的 76%,载重子午线轮胎占 70%。到 80 年代子午化率为 95%,进入 90 年代已达到了 100% 子午化率。在这子午化的发展过程中开发了许多新产品。

据邓录普轮胎公司介绍当时推出的新型轿车子午线轮胎有以下几种。

“Max Trax-Grip”采用 60 和 70 系列,两层钢丝带束层,胎体为聚酯帘线,胎面是雪泥花纹。该胎在低温时具有良好的牵引力,耐用性、强度、高速行驶性等方面均超过国家标准。

“Gold Seal”1976 年问世,是一种低断面子午线轮胎。有二层宽度到胎肩的钢丝带束层,花纹印迹宽,但胎肩处易磨损。该胎在肩部采用耐磨损花纹,在试验行驶三万英里(1 英里 = 1609.344m)后仅磨掉了 50% 左右。

“Dunlop SR4”这是一种 VR 级的钢丝子午线轮胎,特点是里程高,稳定性能好,转弯时准确,便于加速。在湿路面上有良好的制动性能。

“Rover”采用聚酯帘线胎体,钢丝带束层,并加有二层尼龙层,以增大附着性能。该胎的主要特点是:高速时乘坐性能良好,胎面硬,与路面有良好的抓着力,节油性能好。

“GT/Qualifier”为60和70系列的子午线轮胎，有二层钢丝束层，另有二层尼龙加强层。胎面有六条花纹，接地面积大。

“Sport9000”和“Sport3000”是邓录普公司90年代末推出的新一代高性能轮胎。这两种轮胎的胎面花纹都呈扇形向外展开，但有区别，Sport9000有向，无中心花纹沟；Sport3000无向，有两个中心花纹沟。两种轮胎的胎面都是用100%新型白炭黑胶料制作的。两种新型轮胎均采用了JLB（无接头尼龙）帘布筒。一条宽10mm的尼龙帘布绕在钢丝束层外面，替代了普通尼龙冠带层，使轮胎的接地压力更加均匀。1997年年底，Sport9000轮胎共有37个规格上市，为35~60系列，Z速度级，轮辋直径为381.0~482.6mm。Sport3000轮胎有7个规格，为45、50和55系列，有V、W和Z三个速度级，轮辋直径为381.0mm、406.4mm和431.8mm。

英国是较早生产子午线轮胎的国家。约在60年代就开始将子午线结构推广到载重胎方面。到80年代载重子午线轮胎已占载重胎总产量的90%。载重胎结构已向低断面和无内胎方向发展，H/B比值从0.9~1.0到20世纪60年代降到0.7~0.85，而70年代又从0.7降到了0.6。据报道，1980年英国无内胎载重胎已占其总产量的80%。当时邓录普轮胎公司介绍的轻载子午线轮胎有：LT/Rib Rover轻载子午线轮胎，胎体采用聚酯纤维帘线，束层采用二层钢丝与二高强度尼龙，适用于高速公路及一般公路；Gold Steal轻载子午线轮胎为宽胎面和低断面系列轮胎，胎体由二层聚酯帘线构成，二层钢丝束层上面附有二层尼龙增强层，使用寿命长，省油，是一种销路很广的轮胎。

子午线拖拉机胎在英国较早进行了研制，如英国固特异轮胎公司投资数百万英镑，历时三年，终于试制出第一条英国子午线拖拉机胎。该胎配套高功率拖拉机，提供较好的性能和较长的使用寿命，与斜交胎相比提高了37%，并可供道路和越野两用。又如邓录普公司经过两年首次研制成功SP400型拖拉机子午线轮胎，该胎专为满足现代农民需要而设计，装配于中等大马力拖拉机上，可大幅度提高拖拉机的耕作效率。SP400型轮胎的主要特点是：接地面积大，轮胎形变小，轮胎打滑少和对土壤压力保持最低限度。通过增大牵引力可提高工效。子午线结构使胎面花纹块的移动现象减少，从而大大延长了胎面寿命，并可降低总里程费用。

子午线摩托车胎是邓录普公司的另一个发明专利。胎体为两层径向排列的帘线，至少有一层是钢丝帘线。两层胎体之间有一层补强胶（从胎圈起一直延伸到断面高的一半以上）。胎侧补强胶的硬度为邵尔A70~90，最好为78~85，厚度为2~6mm（最好为3mm）。另外，在补强胶中也可混用钢丝帘布，但高度不可超过断面高的65%（最大为57%）。胎圈外包胶的硬度为邵尔A85，厚度为5mm，从胎圈向上逐渐减薄，高度为断面高的一半。钢丝圈包布的高度为断面高的14%~25%，包布的帘线角度与周向呈25°~60°，最好为40°。据资料介绍，20世纪90年代初邓录普公司推出了一系列引人注目的公路型摩托车子午线轮胎，这些轮胎采用了经大赛验证的最新配方和结构设计技术，从而使邓录普的摩托车胎成为世界名牌。1993年最好的轮胎是D364子午线轮胎，其胎面花纹和胎体结构与邓录普中型赛车胎一样，胶料采用了赛车胎胶料。这种设计组合的特点是有超稳定胎面，偏磨轻，转向灵敏，直线行驶稳定性显著提高。推出的规格有120/70ZR17前轮轮胎、160/60ZR17和180/55ZR17后轮轮胎。另外，当时很受欢迎的还有邓录普无接头束层（JLB）结构子午线轮胎，它的接地面积大，轮胎重量轻，操纵稳定性好。JLB结构的邓录普D202子午线轮胎被许多汽车厂采用作为多种车型的原配胎，其中包括：本田

的 CB1000 摩托车和铃木新型 RF600R、雅马哈 1000GTS 运动旅行车。还有另一个品牌创 ManTT 跑道赛记录的 Sportmax 子午线轮胎，它不仅作原配胎，还作为新型 Daytona900 和 1000 摩托车的替换胎。

英国邓录普公司早在 20 世纪 60 年代初就转让轮胎生产技术给前苏联德聂伯罗彼得洛夫斯克轮胎厂了。该厂在 1975 年生产出 MT3-80 拖拉机用的子午线轮胎 170 万条以上，1976 ~ 1978 年子午线轮胎产量又增加了 50%。到 70 年代中邓录普与倍耐力公司合作提供前苏联下卡马轮胎厂轿车、载重及公共汽车（长途旅游大客车）的子午线轮胎生产技术与装备。到 80 年代中邓录普公司给我国提供了全钢丝载重子午线轮胎生产技术与设备。国内引进的厂家有辽宁轮胎厂和重庆轮胎厂。

4. 美国

美国对子午线轮胎的研究工作，可追溯到 20 年代初。这与英国最早构想子午线轮胎仅相差十来年，但到 60 年代中期，还在争论子午线轮胎是否是美国轮胎的发展方向。有人认为，斜交胎和带束斜交胎仍然有能力与子午线轮胎竞争。这样在带束斜交胎和子午线轮胎之间摇摆了几年，直到进入 70 年代，特别是 1973 年出现石油危机后，屈于多方面压力，美国绝大多数轮胎工业决策人才认识到要走子午化道路。同时也意识到，要发展子午线轮胎，就应当认真地吸取西欧的经验，大搞设备更新，从而也就大大加速了子午线轮胎的发展。美国子午线轮胎的发展速度之所以比其他任何国家都快（1970 年仅 570 万条，到 1978 年约 1 亿条，大致增长了 20 倍。），促使美国子午线轮胎迅速发展的原因如下。

（1）因为该国面临石油短缺的压力很大，它是世界上耗油最多的国家（约占世界的三分之一，按人口平均耗油量计算，是西欧和日本的两倍），而其耗油量中的 40% 是用于汽车，50% 靠进口，加之国内石油资源不多，美国从政府到个人都十分重视节油。而大力发展子午线轮胎，是效果显著的措施之一。

（2）由于油价大幅度上涨和买油困难，车主不得不纷纷由斜交胎改用于午胎。

（3）进口子午线轮胎日益剧增，轮胎外贸逆差急剧增大，抵制进口子午线轮胎必须采取的一个办法就是发展美国自己的子午线轮胎工业。

（4）提高了子午线轮胎的生产和翻修技术水平，也推动了美国子午线轮胎的发展。有些轮胎厂家如尤尼劳埃尔公司说，现在子午线轮胎 90% 可以翻修，钢丝载重子午线轮胎保证可翻新两次，轿车胎的耐磨性和滚动阻力与西欧相近。

另外，从汽车制造业来看，由于装用子午线轮胎使车辆在节油、安全、牵引及高速等性能方面得到改善，而近来用户对这些方面的要求又比以前有所提高，进口配用子午线轮胎的汽车增多，加之美国政府已作出限制汽车耗油的决定，故美国汽车厂家不得不对其车辆制造工艺进行改进，以适应用子午线轮胎的需要来提高竞争能力。

总之，由于上述原因，从 70 年代中起，美国子午线轮胎发展很快，据报道，1975 年，在原配轿车胎中子午线轮胎占 66%，到 1978 年增至 77%，到 1990 年已达 95%，替换胎也达到 95%，到 1995 年以后为 100% 完成了子午化。在载重胎中子午线轮胎的比例，1970 年仅为 1%，1975 年为 9%，1985 年为 64%，1990 年为 95%，1995 年以后为 100% 实现了子午化。美国大规模生产子午线轮胎开始于 1970 年以后，这大约比西欧落后了二十年，但当认识子午线轮胎的优越性后发展很快，仅用二十多年实现了子午化。在这期间美国的五大公司借助雄厚的科研力量，研制出许多新产品。以下简略介绍一下具有代表性的新品种。

(1) 轿车胎 美国的新型轿车胎均为无内胎子午线结构。另外美国在 20 世纪 70 ~ 80 年代时比较流行白胎侧或白字母轮胎。

Americal Eagle 是固特异公司推出的,用于高级轿车的子午线轮胎。它以芳纶帘线(即 B 纤维帘线)作带束层,胎体用聚酯帘线,共计有 14 个规格品种;NCT 轮胎是以自然平衡轮廓理论设计的轮胎,各部位受力均匀,因而行驶性与操纵性取得了最好的配合。NCT 轮胎主要特点是:胎侧是弓形,轮胎断面呈椭圆形,人造丝胎体一层或二层(取决于规格),两层钢丝带束层,NCT 轮胎的内压比斜交胎提高了 50%,因而滚动阻力低,节油性能好,比普通子午线轮胎节油率高 3% ~ 8%;到 20 世纪 90 年代初固特异公司又推出了新品种轮胎称为 Invicta GFE,这种轮胎能降低油耗 4% (滚动阻力与其他轮胎相比降低了 20%),并相应减少废气的排放量,而不损害其胎面耐磨性和牵引性能。Invicta GFE 型轮胎的设计与工艺有三个特点:高效模压成型、减轻轮胎重量和用计算机有限元分析使胎面部件配置最佳化,这对轮胎达到最佳的节油性能和行驶性能起了很大作用;防水滑轮胎是固特异公司推出的具有特色的又一种新产品,Aquatred 轮胎的研究开发历史较长,在世界上的影响也很大。研究开发工作从 1980 年就已开始,并于 1982 年试制出第一条样胎,但该产品投放到市场却推迟到了 1991 年。Aquatred 轮胎的主要特点是:胎面中心有一条 V 形宽而深的纵向花纹沟,两侧胎面各有两条纵向窄花纹沟,胎面采用了固特异公司独自研究开发并生产的综合性能优异的苯乙烯-异戊二烯-丁二烯(SIBR)橡胶。固特异公司因 Aquatred 轮胎上市而声誉大增,但当时其他一些公司也先后推出了此类轮胎,因此该公司一直不停地对这类轮胎进行研究改进,并于 1994 年研制开发出具有两条纵向宽沟的 Eagle (鹰牌) Aquatred 高性能轮胎,1995 年又推出 Aquatred 11,后者中心沟槽比 Aquatred 宽而深,保证里程提高 800km,此外,固特异公司还在不断研究开发轻型载重汽车及体育运动汽车等车辆用的 Aquatred 型轮胎。

20 世纪 70 年代初费尔斯通公司因其“500”子午线轮胎的质量差而造成 100 多起死伤事故,其中死亡事故 41 起,因此声誉大为下降。为此,费尔斯通公司大力开发高质量新型轮胎,其中以 S-721 和 S-211 轮胎最为引人注目。S-711 是费尔斯通公司在罗马的欧洲研究中心研制成功的一种人造丝胎体、钢丝带束层子午线轮胎,用以代替“500”轮胎。这种轮胎的主要特点是:根据平衡轮廓理论设计,断面呈椭圆形,胎面弧有两个半径,钢丝带束层上附加一层尼龙,所用钢丝帘线规格为 2 + 7 + 1 结构,气压较高,速级为 S 级,用活络模硫化。此胎经八万多公里试验表明,它具有耐冲击、耐疲劳、安全、舒适、寿命长、滚动阻力低及抗湿滑和抗水膜滑行性好等优点;S-211 子午线轮胎是费尔斯通成功开发的另一种新型轮胎,以取代 S1 轮胎。主要特点与 S-721 颇为相似,也是借助于平衡轮廓设计,断面呈椭圆形,但胎面弧有两个半径为反弧形,花纹是非对称性的。

子午线轮胎的发展历程是非常艰难坎坷的。据报道,费尔斯通公司 2000 年再度发生轮胎质量问题,在委内瑞拉使用费尔斯通轮胎的福特 Explorers 型汽车发生 47 起伤亡事故。同年 8 月、9 月美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)透露由于费尔斯通的 ATX、ATXII 型轮胎因爆破等原因发生交通事故,导致死亡的美国人高达 103 人,此外还有 400 多人受伤。迫使回收了 650 万条轮胎。这次的轮胎质量事故,使其主子日本普利司通(桥石)公司蒙受了 3.5 亿美元的巨额损失,使得当年前 6 个月的净利润下降了 48.5%。

(2) 载重胎 美国大多数子午线载重轮胎都具有下述几个共同特点:胎面宽而平坦,

胎面花纹多为条形，且中心花纹两侧各有宽沟槽，胎肩部沟槽宽大，胎面基部胶较厚，以便花纹磨损后可再次切割花纹，继续使用至翻新。因此，轮胎具有耐磨、干湿路面抓着性能好、行驶温度低、安全和舒适性好等优点。以下列举当时开发的新品种。

Unisteel 11 全钢丝子午线轮胎是 1977 年固特异公司的一项重大成绩，研制出了第二代全钢丝子午线轮胎。比第一代 Unisteel 钢丝子午线轮胎胎面宽而厚，胎面有 6 条条形花纹，四层带束层比第一代的宽 9%，圆胎肩，胎侧弧度较直，上胎侧较厚。比第一代轮胎行驶里程高 25%，负荷下变形小，耐机械损伤，散热快，抓着性好。此外，还具有良好的气密层，可防止空气和水蒸气进入胎体而使钢丝帘线生锈，因此能多次翻新；G191 是固特异公司在卢森堡的轮胎研究与发展中心研制出来的，是在 G18 全钢丝子午线轮胎基础上改进完善开发的新产品。其主要特点：比 G18 胎面宽 20%，胎面弧度小 10%，接地面积大 7.5%，花纹深 5%，胎面有 6 条条形花纹，花纹沟槽等距离用胶块相隔，以防在负荷下变形时向沟槽边缘靠近。其优点是：G191 不仅耐磨耗（比 G18 高 25%），而且磨耗均匀，耐机械损伤，故可多次翻新，与同类的米其林轮胎相比性能良好，竞争力较强。

T2000 全钢丝子午线轮胎是费尔斯通公司为在欧洲条件下使用的载重车而研制开发出来的，并于 1978 年在原联邦德国法兰克福汽车展览会上展出。T2000 胎的主要特点：由于结构设计合理，轮胎具有高度均匀性，胎面花纹沟槽呈锥形（避免夹石子），圆胎肩。试验表明，这种轮胎耐磨性好，磨耗均匀，耐刺扎，散热好，保证至少翻新一次，还有滚动阻力小、噪声低等优点。

通用公司开发出的 Jesteel 轻型载重子午线轮胎是聚酯胎体和钢丝带束层结构，多数为无内胎型的。由于其胎面花纹具有宽沟槽和细缝沟槽，湿牵引性极好。XT-3148-00 全钢丝子午线轮胎系窄胎面轮胎，胎面花纹沟槽具有 $21.5^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 倾斜度，目的是提高条形花纹刚性，防止夹石子及保证容易从两半模中启模，胎面为 5 条水波形花纹；XT-3035 低断面半钢子午线轮胎，胎体和带束层分别采用尼龙和钢丝帘线，规格为 13/80R20，用于载重汽车前轮，胎面有 6 条条形花纹其中中部 4 条花纹为 X 形。通用公司还与卡特皮勒拖拉机公司共同研制椭圆形载重缠绕子午线轮胎，其剖面见图 1-1。据说，这种轮胎具有均匀性和安全性好以及滚动阻力小等优点。

(3) 农业胎 美国在 70 年代时农业子午线轮胎占的比例虽小，但还在缓慢发展。当时五大公司中，除尤尼劳尔和通用公司外，都已工业化生产这种轮胎，其中固特异公司在市场上居领先地位。

1976 年前，固特异公司是美国惟一生产农业子午线轮胎的厂家。该公司坚信这种轮胎与轿车和载重车子午胎一样会得到推广。固特异公司当时生产四种规格 Powersaver 子午线轮胎：18.4R24、18.4R38、20.8R43、20.8R38，该胎的主要特点是：胎体和带束层均为四层人造丝，花纹为 40° 斜角，花纹比一般的轮胎深 15%，胎圈坚固，钢丝圈外置有保护层。试验表明，子午胎比斜交胎接地面积大（图 1-2），不易打滑，牵引力高 20% 以上，滚动阻力小（可节油 17%），自洁性好，使用寿命长，稳定性和舒适性好。

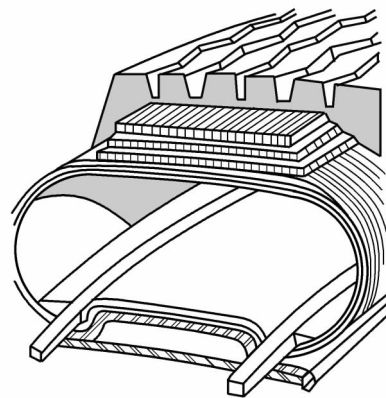


图 1-1 椭圆形载重缠绕子午线轮胎剖面

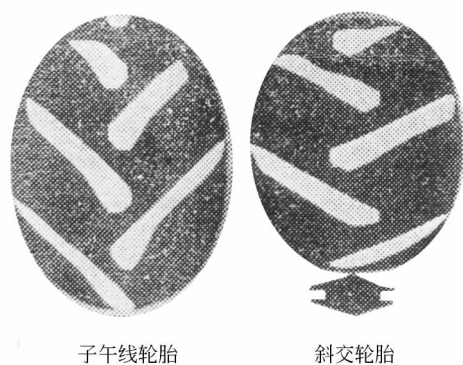


图 1-2 子午胎与斜交胎接地面积对比

18.4R42 (10 层级) 和 20.8R38 (8 层级)。其中前三种为无内胎型, 后者为有内胎的。这类轮胎胎体用聚酯制成, 带束层则用四层人造丝。试验表明, 子午线轮胎比斜交轮胎牵引力大, 在紫苜蓿草地和硬路面上分别大 17% 和 7%。

为了满足欧洲轮胎市场, 对农业低断面子午线轮胎日益增长的需求, 费尔斯通公司在 90 年代末又推出了新型 65 系列农用轮胎 Radial 90000。该轮胎采用全新的花纹设计, 使花纹前端角度加大, 而后端角度减小。这种新花纹块设计显著降低了土壤阻力, 轮胎的牵引力面积加大, 产生滚动阻力的面积减小, 从而大幅度提高了牵引力。这种新设计使花纹块之间夹带泥块减少, 而且即使夹入泥块也很容易抛出, 因此轮胎自洁性大大改善。由于花纹块宽度加大, 轮胎磨损较慢。此外, Radial 90000 接地印痕增大从而提高了悬浮通过性。在同样充气压力下, 该胎的单胎负荷比对应的 70 系列轮胎高 15%, 负荷指数高 2~3 个点。Radial 90000 为无内胎子午线轮胎, 速度有 40km/h 和 50km/h 两种。

5. 日本

日本轮胎厂基本上都是在欧美主要轮胎企业的技术援助下成长起来的。有关子午线轮胎的发展, 日本于 1964 年从意大利倍耐力公司引进了生产技术。到 1966 年才开始生产子午线轮胎, 但发展速度相当快, 1967 年仅占轮胎总产量的 0.5%; 到 1975 年轿车子午线轮胎比例为 39%, 载重子午线轮胎为 15%; 到 1980 年前者为 65%, 后者为 38%; 到 1990 年轿车胎和载重胎比例分别为 95% 和 80%; 到 2000 年以后实现了子午化^[14]。

虽然日本发展子午线轮胎的起步时间比较晚, 但在这 30 多年里他们开发研究子午线轮胎的速度却不慢。它们凝聚了雄厚的技术力量并投入了相当于销售总额 2% 以上的科研经费, 所以到 80 年代, 日本几家大轮胎公司纷纷以研究子午线轮胎结构设计的理论方法来提高轮胎的性能, 从而更新换代地开发新产品。下面简要介绍一下。

(1) 轿车胎 首先由普利司通公司于 1985 年提出了 RCOT 理论, 以滚动下的轮胎作为轮廓设计的基准, 其目的是使轮胎滚动时的无效运动减至最小, 以改善轮胎行驶性能、节省油耗和乘坐舒适性。将该理论作指导即能开发设计出高性能的轿车子午线轮胎。

东洋公司于 1988 年和 1989 年先后发表了 DSOC-S 和 DSOC-T 理论, 这些设计理论都是为了提高轮胎的包络特性和改善在接地面积中的起皱现象。结合 DSOC-T 理论的应用, 该公司开发了 CEPLOO 60~65 系列轮胎, 既能稳定控制接地面积变化, 又兼有良好的包

固特异公司历经 3 年的研制, 于 1976 年开始生产四种规格的拖拉机子午线轮胎: 16.8R28、16.9R30、16.9R34 和 13.6R38, 并打算生产其他规格的子午线轮胎。道路试验表明, 子午线轮胎耐磨性比深花斜交轮胎高 37%, 比标准深度花纹轮胎高 80%。长期在严苛农务作业条件下试验结果证明, 这种轮胎的使用效果是良好的。

费尔斯通公司也开发生产了四种规格 23°角花纹拖拉机子午线轮胎: 18.4R34 (6 层级)、18.4R38 (6 层级和 8 层级)、