

# 高速轿车无内胎子午线轮胎的技术特点

罗锡荣 贾云海 徐丽君 谢遂志 李大为

(化工部北京橡胶工业研究设计院 100039)

**摘要** 介绍了当今世界高速轿车无内胎子午线轮胎的技术特点,包括新的结构设计方法,研究或采用的几种带束层结构,胎面花纹形式的改进,胎圈部位的加强,以及胶料配方的设计等几个主要方面的现状和发展趋势。

**关键词** 高速轿车无内胎子午线轮胎,轮胎结构,带束层,胎面花纹,胎圈,胶料配方

为满足在不同季节、不同道路上安全、高速行驶,世界轿车工业对轿车轮胎性能的要求日益提高。在干、湿路面上行驶时,要求抓着性和排水性好、操纵稳定、滚动阻力小、生热低、散热好、高速行驶安全、使用寿命长。因此,当前世界轿车轮胎正在向高性能轮胎的方向发展。在西欧,高性能轮胎主要分夏季轮胎、冬季轮胎和全天候轮胎三种。西欧轿车轮胎不仅全部实现了子午化和无内胎化,而且胎面花纹也已根据不同使用条件系列化,并开发出不少适于各种路面并具有特殊性能的新颖花纹。轮胎断面则向扁平化方向发展,其扁平率已由 80 和 70 系列过渡到 60 和 50 系列,甚至低至 45 和 40 系列,总的趋势是降低轮胎断面的高宽比,以提高轮胎行驶时的稳定性。轿车轮胎行驶速度为  $120\text{--}240\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,分为若干速度等级。

国外先进的轮胎公司,尤其是西欧,根据轿车使用条件不同,轮胎结构、花纹形式和胶料性能等都有所不同,显示出轮胎花纹新颖、外表美观大方、性能优越等特性。我国轿车子午线轮胎目前还处于初期开发阶段,但发展速度较快,1992 年轿车轮胎子午化率已达 70%;扁平化方面主要为 80 和 70 系列,60 系列则正在引进或开发。为适应高档次轿车

的需要,国产轿车轮胎也正向高性能轮胎方向发展,目前主要是研制开发速度较高、适于国内路面行驶的子午线轿车子午线轮胎系列。为了满足汽车高速行驶的安全性、舒适性、操纵稳定性等要求,轿车轮胎除必须采用子午线结构、断面扁平化和无内胎化外,在结构设计和胶料配方设计方面还有若干特点。现从几个主要方面阐述当前结构设计和配方设计的趋向。

## 1 开发应用新的轮胎结构设计方法

80 年代以来,由于大型电子计算机的推广和有限元法的应用,子午线轮胎的设计理论和方法实现了新的飞跃,从基于薄膜网络理论的静态设计方法向动态设计方法转变,开发了动态平衡轮廓设计法,大大降低了子午线轮胎,尤其是低断面子午线轮胎带束层和胎圈的张力,使轮胎的性能取得最佳的综合平衡。例如日本普利司通公司开发的 RCOT(最佳滚动轮廓理论)<sup>[1]</sup>应用于结构设计,目的是解决轿车子午线轮胎接地区胎面的翘曲问题,减少轮胎滚动时的无效运动,在保持轮胎材料和结构不变的情况下,仅改变轮胎形状,达到降低滚动阻力,改善制动性、转向性、侧滑性、舒适性的目的。又如日本东

洋公司的 DSOC-T (动态稳定最佳接触理论)<sup>[2]</sup>,通过分析轮胎行驶时接地状态和变形情况,使轮胎结构和形状达到最佳化,带束层受力均匀,减少接地区的变化,提高速度变化时和转向时的接地稳定性。此外,东洋公司开发的 DSOC-S (动态稳定性最佳化组合体系)<sup>[2]</sup>和 SCL (同步转向滞后理论)<sup>[2]</sup>等,都引起轮胎设计者的极大关注。

## 2 当前研究或采用的几种带束层结构

带束层是子午线轮胎受力的主要部件,承担轮胎所受应力的 70%,因此要有较大的刚性。带束层刚性大小取决于选用材料的种类(目前多采用钢丝)、结构、密度、角度、层数、宽度、排列方式等。带束层的结构设计和帘线的几何排列对轮胎高速性能的影响,大于带束层材料种类的影响。同一种材料,因设计参数变更(如带束层宽度、层数以及边缘的形式)会导致高速性能相差近 50%。目前高速轿车子午线轮胎的带束层设计,大致有如下几种。

### 2.1 带 0°冠带层的带束层结构

目前高速轿车子午线轮胎(H 级以上)通常在钢丝带束层顶部加贴一层或两层与圆周方向呈 0°角的冠带层。此冠带层一般由尼龙帘线构成,宽度为带束层宽度的 110%,排列密度因所选帘线结构不同而不同。采用这种带束层结构,轮胎制造工艺较为方便,可以有效地改善轮胎的高速耐久性能。

也有的钢丝带束层两端增设两条 0°角尼龙冠带层,宽度通常为 20—30mm,用以覆盖带束层边端。采用这种结构同样可以防止带束层在轮胎高速运行时破坏。上述两种带束层结构见图 1。

### 2.2 带有两个延伸钢丝增强带的带束层结构<sup>[3]</sup>

这种带束层结构由两层断裂伸长率为 2.6%—3.2%的钢丝构成,其末端有两个增强带。增强带的宽度为内衬层宽度的 7%—

40%,由断裂伸长率为 4%—8%的钢丝帘线组成,其末端与带束层末端重合(见图 2)。采用这种带束层结构的子午线轮胎行驶稳定性好,高速行驶时有更好的耐疲劳性和安全性。

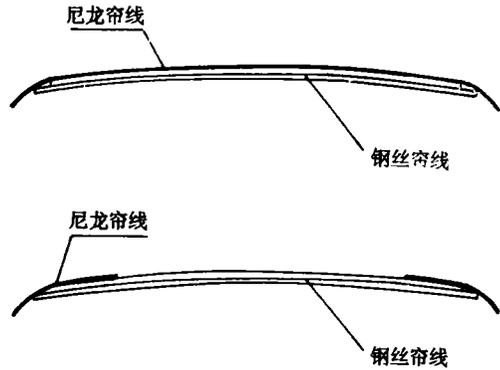


图 1 含冠带层的带束层结构

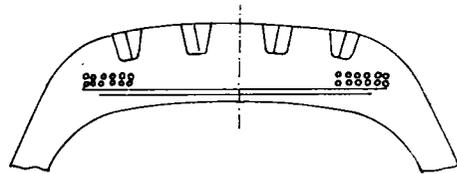


图 2 含钢丝增强带的带束层

### 2.3 带纤维加强层的带束层结构

这种结构是在带束层上按圆周方向加贴一层织物纤维加强层。它既能保证轮胎具有较好的高速耐久性(耐疲劳性),又不影响轮胎的均匀性(见图 3)<sup>[4]</sup>。织物加强层分段均匀平衡排列,每段长度相同,均相当于对应的圆周方向展开长度的 1/4 或 1/8;加强层段间隙总长度相当于轮胎圆周方向展开长度的 4%。

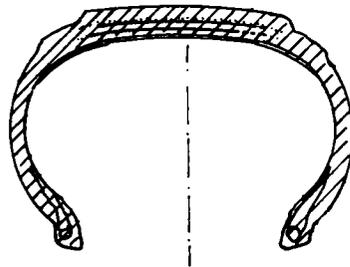


图 3 带纤维加强层的带束层

## 2.4 特种纤维带束层结构

为改善轿车子午线轮胎的高速性、行驶稳定性、耐磨性和降低滚动阻力,在胎体帘布层上面的第 1 层带束层采用芳纶纤维帘线,第 3 层(靠近胎面)采用碳纤维帘线。第 1、2 两层中至少有一层的端部是折叠的,并使折叠部分覆盖碳纤维层的端部,其结构有图 4 所示的三种形式<sup>[5]</sup>。这种结构轮胎的带束层角度与周向成  $10\sim 35^\circ$ ;胎体为聚酯帘线,其角度与轮胎周向成  $70\sim 90^\circ$ 。这种带束层结构的轮胎比钢丝带束层结构的轮胎可提高行驶舒适性,高速性能提高 5%,轮胎重量减轻,但制造成本较高。

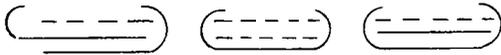


图 4 特种纤维带束层结构

-----为碳纤维;—为芳纶

## 3 胎面花纹形式的改进

从改善轮胎高速行驶的操纵稳定性和降低滚动阻力出发,改进了胎面弧度、花纹形式、花纹高度及胶料性能。花纹形式一般都采用复杂的纵向条形花纹,高度在 6.5—8.0mm 之间,而且胶料硬度较高。有人认为,随着轮胎速度级别的提高,胎面胶的硬度也要相应增大(但要避免花纹沟基部裂口和胎面崩花),大力开发新型胶种及其应用研究,以获得滚动阻力小、抗滑性能好的胎面胶料。

目前高速轿车子午线轮胎的花纹设计主要是考虑轮胎有良好的排水性和降低花纹噪声,以适应车辆的高速行驶;同时要适应豪华高级轿车的配套要求,讲究美观。其代表性的花纹如图 5 所示。这些花纹的设计特点是:

(1)主花纹沟环绕胎面周向排列,表现出流畅、明快的特点,并保持轮胎高速下良好的抗侧滑能力;

(2)配以一定角度排布的横向花纹沟,使轮胎与路面具有优异的抓着性能和制动性

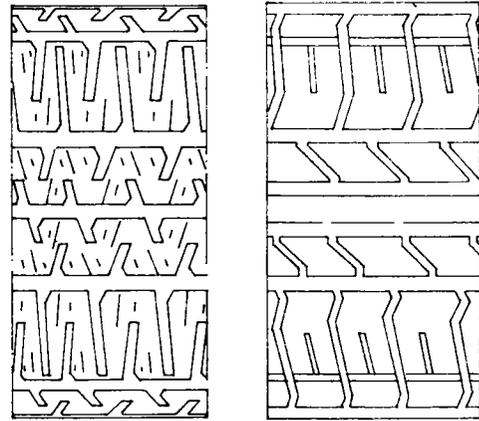


图 5 高速轿车子午线轮胎的胎面花纹

能;

(3)恰当地设计花纹块节距的最佳排列形式,大大地降低轮胎行驶的噪声。

据报道<sup>[6]</sup>,高宽比等于或小于 60 的高速轿车子午线轮胎,其胎面接地区的中心基本为直线的凹陷区,宽度等于或大于行驶面宽度的 10%,胎面行驶面等于或大于轮胎最大断面宽的 90%,胎面花纹有许多基本呈轴向分布,延伸至胎面两侧边缘的弧形花纹沟,中部及轴向延伸的花纹沟深度应不大于 6.35mm(因为花纹沟深度减小可降低滚动阻力),在特殊情况下还可减至 4.572mm。这种轮胎有较好的湿牵引性和水膜滑行特性。胎面花纹块面积以 50%—60%为宜(见图 6)。

最近开发一种排水性能好、噪声低、适合于高速车辆使用的子午线轮胎<sup>[7]</sup>,其行驶面有方向性,胎面中央有一条或两条纵向花纹沟,周围是多条斜向排列的花纹沟。斜向花纹沟呈人字形排列,不与纵向花纹沟相连接,在相当于胎面宽 0.30—0.45 倍处有一转折点。该转折点以里靠近胎冠花纹沟的角度  $\alpha$  为  $40\sim 85^\circ$ ;转折点以外花纹沟角度  $\beta$  为  $0\sim 50^\circ$  ( $\alpha, \beta$  为花纹沟与轮胎轴向夹角)(见图 7)。

## 4 胎圈部位的加强

子午线轮胎由于帘布层数少、帘线角度

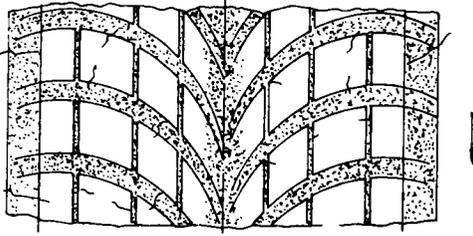


图6 高宽比等于或小于60%的高速轿车  
子午线轮胎的轮胎花纹  
箭头方向为滚动方向

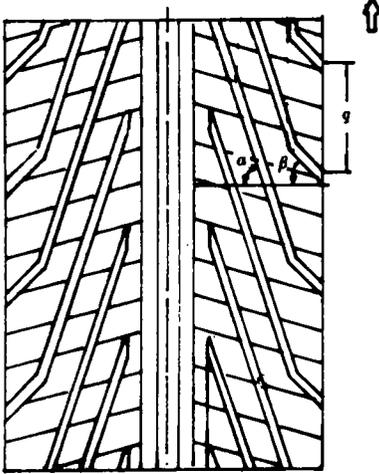


图7 中央为纵向花纹沟的胎面花纹

小,胎侧柔软,因此轮胎在高速行驶时刚性不足,稳定性差。为提高胎圈刚性,可采用延伸至胎侧中部的高硬度三角胶芯,使胎侧屈挠部位缩小,改善轮胎的稳定性;此外,还在胎圈外侧加贴补强层,或在胎圈外下胎侧加贴高硬度的支撑胶等。据报道<sup>[8]</sup>,在胎圈与帘布层之间设钢丝帘布加强层,其高度不超过断面高的50%,角度为15—45°。此角度若小于15°,则弯曲刚度降低;超过45°,则弯曲刚度过大,容易损坏。三角胶芯胶料硬度为60—95度(见图8)。

还有,为保证轮胎的高速稳定性,在胎圈中的钢丝圈上包一层覆胶的钢丝帘布增强层,内侧 $d_2$ 高于外侧 $d_1$  [ $d_2 = (1.5-2.5)d_1$ ],其角度为与轮胎圆周中心线成15—45°。这种轿车子午线轮胎适宜于速度超过

210km·h<sup>-1</sup>的汽车使用(见图9)<sup>[9]</sup>。



图8 在胎圈与帘布层之间设钢丝帘布加强层

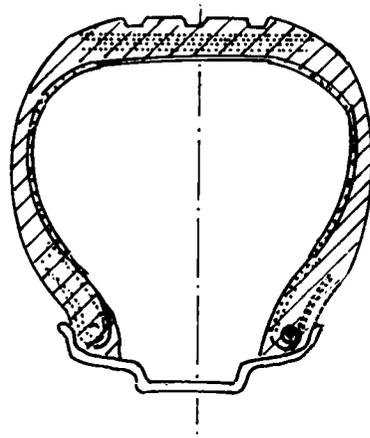


图9 胎圈中钢丝圈包以钢丝帘布的  
子午线轮胎

为解决无内胎轿车子午线轮胎的“脱楔”(Unwedging)问题,胎圈可由两个钢丝圈构成,其中一个紧挨胎圈端部,另一个是在受到强烈轴向力冲击时保护前一个胎圈,以便使胎圈端部与轮辋的驼峰更有效地配合(见图10)<sup>[10]</sup>。

还有报道<sup>[11]</sup>,在胎体与三角胶芯之间设一层碳纤维加强层,其高度不小于三角胶芯的高度,这样可以改善轮胎的稳定性和高速耐久性、舒适性(见图11)。

## 5 胶料配方设计

子午线轮胎的胶料配方,各公司、厂家都

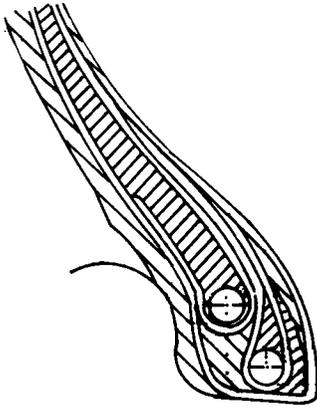


图 10 由两个钢丝圈组成的胎圈

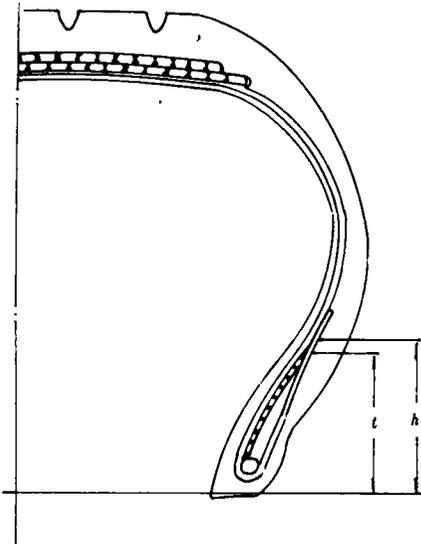


图 11 设有碳纤维加强层的胎圈结构

互相保密, 甚少见有公开发表; 即使发表也多系一般性的论述, 极少实用性的配方。总的来看, 配方研究和开发工作, 主要侧重于以下几个方面:

### 5.1 增大胶料的弹性模量、减小变形、降低胶料生热、提高胶料耐热性能

轮胎在行驶过程中, 因橡胶和纤维等高分子材料的滞后作用而发热, 温度升高。轮胎内部温度与轮胎负荷和行驶速度的乘积成正比, 而橡胶和织物纤维又是热的不良导体, 热量不易扩散, 因此高速轮胎行驶时的内部温

度可达 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上, 甚至高达 $120\text{--}130\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[12]</sup>。在此温度下, 胶料强度只保持室温时的 $55\%$ 左右, 纤维材料强度只保持室温时的 $54\%\text{--}68\%$ <sup>[12]</sup>。温度升高, 橡胶与钢丝或纤维材料的粘合强度也降低。因此, 降低胶料生热, 提高耐热性能, 一直是配方研究的重要内容。高速轿车轮胎还要求防滑性好, 滚动阻力小。各国都在致力于开发新型胶种和改进胶料并用技术。

为了进一步满足轮胎高速性能的要求, 近年来国外在研究和开发新型弹性体方面, 取得了不小的进展。新型弹性体的开发, 多侧重于胎面、胎侧和气密层用的弹性体<sup>[13, 14]</sup>。

80年代以前, 胎面胶用的弹性体变化不大, 多以乳聚丁苯橡胶(SBR)与顺丁橡胶(BR)并用为主。其中:S和T级的轮胎基本上是SBR 1712与少量BR并用; H级高速胎要求与干湿路面的抓着力更好, 使用苯乙烯含量较高的SBR 1721与SBR 1712并用; V和Z级等高性能轮胎, 可使用苯乙烯含量 $30\%\text{--}35\%$ 的SBR。高苯乙烯乳聚SBR的缺点是其性能显著地依赖于轮胎的表面温度: 它的玻璃化转变温度 $T_g$ 高, 低温时硬化, 而高温时则因其热塑性而软化, 故生热高, 滚动损失大, 并有损于轮胎的操纵性。若使用高结构、高表面积的黑炭, 这些性能可在一定程度上得以改善。这类黑炭使胶料在低温时弹性较低, 改善了抗湿滑性, 并因改善了硫化胶的撕裂性能而降低磨损。通常采用制造炭黑母胶的方法, 解决生胶与炭黑的结合和炭黑的分散问题。

高性能轮胎特别强调要与湿路面有良好的抓着性。据介绍, 采用传统的胎面用聚合物与氯化丁基胶并用, 可降低胶料的弹性而获得最佳的抓着性能, 但这是以牺牲部分耐磨性为代价的方法。

近几年, 通过使用改性锂催化体系的溶液聚合方法, 用传统聚合物用的同样单体, 已可制得特殊链结构的聚合物。举例如下。

(1)用乙烯基含量为40%—50%的中乙烯基丁二烯橡胶代替SBR 1712,可以降低胶料滚动阻力。若使用乙烯基含量达60%—80%的高乙烯基丁二烯橡胶,则效果更好,它少量与NR或SBR并用,可使各项性能取得更好的平衡。但由于乙烯基丁二烯橡胶的物理机械性能较低,故与SBR和顺式BR相比,其当前总耗量实际上是微不足道的。

(2)通过改变微观结构,即改变聚合物中乙烯基和苯乙烯的含量及其在分子链中的分布状态,可制得滚动阻力较低和湿抓着力较高的橡胶:

(3)为提高高性能轮胎的湿抓着力性能,可并用少量3,4-聚异戊二烯。但因其耐磨性较差,并用量应在10—20份范围内。

(4)开发玻璃化转变温度范围宽的SIBR橡胶(苯乙烯-异戊二烯-丁二烯)。

## 5.2 气密层胶料配方的改进

高速轿车轮胎都采用无内胎结构,其气密层采用卤化丁基橡胶。为了改善卤化丁基橡胶胶料与含相同或不同橡胶的胶料共硫化后的粘合性能,可加入石油系树脂,这样制成的胶料工艺性能好,特别适宜作气密层使用。

高速无内胎轮胎只有在行驶过程中保持最佳气压,才能在操纵性、滚动阻力和耐磨性等方面达到最佳水平。内压降低会引起轮胎变形增大、生热增高,因此气密层胶料要有优良的气密性。氯化丁基橡胶(CIIR)最先用于工业化生产制造气密层。但是,其活性较小,单独使用时粘性较低;若与NR并用,则既可保持CIIR部分优良的气密性,又可改善粘合性能,提高混炼胶的强度,便于加工操作,并可改善胶料的低温性能(冬用轮胎尤为重要)。轿车子午线轮胎气密层的并用比为CIIR/NR=70/30。溴化丁基橡胶(BIIR)的活性比CIIR大,与帘布层所用不饱和橡胶的粘合较好,因而80年代中期起,气密层胶逐步向使用BIIR过渡。但是,用BIIR作气密层胶仍应在下述几方面作进一步改进:①提

高混炼胶的强度,减小接头的麻烦;②提高气密性,进一步降低气密层厚度和减小气压损失;③提高胶料的应力松弛速度,以减小胶料收缩引起的麻烦。通过不同方法改变并用胶的低分子量部分或高分子量部分,最终使生胶的分子量分布较宽。这样,高分子量部分可以起增加混炼胶强度的作用,而低分子量部分则起加速应力松弛的作用。而且,高分子量部分可以起有效的封闭作用(提高气密性),而低分子量部分的引入则可减少配方中的操作油用量,从而改善胶料的气密性。

## 5.3 改进橡胶与钢丝帘线的粘合技术,合成新型粘合剂,开发新型粘合体系

早年,人们就已开始使用环烷酸钴、硬脂酸钴和树脂酸钴作为橡胶与镀黄铜和镀锌钢丝帘线的粘合剂。但是这些粘合剂耐热性能差,老化后粘合性能下降严重。后来,英国Manchem公司开发了硼酰化钴Manoband系列粘合剂。因其分子结构中引入具有耐热性质的硼原子,并以硼酸基的结构形式与钴形成B—O—Co特征的弱键合,比之二酸钴的C—O—Co键合容易释放出活性钴,增进橡胶与钢丝的黄铜或镀锌层的粘合。由于硼酰化钴对黄铜和锌的粘合活性高,具有耐热、耐湿气、耐盐水和减缓金属锈蚀的优点,被认为是橡胶与钢丝帘线粘合技术的一个突破。我国于1988年由北京橡胶工业研究设计院完成了硼酰化钴粘合剂的研制,并在镇江冶炼厂投产,已被列为子午线轮胎引进技术配套产品<sup>[15]</sup>。

至于间苯二酚型树脂粘合体系(间甲白体系),多年来已应用于橡胶与镀黄铜或镀锌钢丝帘线或纤维帘线的粘合。如果将钴盐与间甲白体系并用,将比单用一类粘合剂能进一步提高粘合强度。因此,目前广泛采用的粘合体系是钴盐、间甲白(或间甲)和间甲白钴体系。这三种体系在我国均已国产化产品,并在子午线轮胎生产中获得广泛的应用。今后,要想在橡胶与钢丝帘线粘合技术上有新

的突破,还有赖于新型粘合剂品种的开发。

#### 5.4 加强轮胎胎圈部位的刚性,提高三角胶芯胶料的硬度、粘合性能和耐屈挠性能

高速子午线轮胎三角胶芯的硬度应在 85—90 度,除了适当调整补强体系和硫化体系以及采用新型补强增硬材料外,考虑到胶料的工艺性能,还加入各种类型的树脂。

#### 5.5 胎侧胶料的研究

高速轮胎胎侧变形频率高,要求胶料有优良的耐屈挠龟裂性、耐候性和耐疲劳性。由于轮胎结构趋于扁平化,高宽比变小,胎侧屈挠部位集中于更小的范围,因而对胶料上述性能要求更为苛刻。顺式聚丁二烯橡胶耐疲劳性能好,可减缓龟裂形成,NR 则龟裂扩展速度慢,这两者以 50 : 50 并用,可在抗屈挠龟裂的形成与扩展方面取得最佳平衡,加之 NR 加工性能和粘着性能好,故胎侧胶目前广泛采用 NR 与 40—50 份顺式聚丁二烯橡胶并用。

近年来,国外开发的钨催化体系 BR 用于胎侧胶,改善了胶料的粘性和耐屈挠疲劳性能,可以提高 BR 的并用比例。三元乙丙橡胶(EPDM)与 NR 并用的耐臭氧和耐屈挠性能很好,但 EPDM 并用量至少为 40 份才能获得良好的耐臭氧性能。分子量高且乙叉降冰片烯含量也较高的 EPDM,与通用橡胶的粘合良好。减少促进剂用量可使胶料模量降

低并有利于多硫交联键的生成,从而改善胶料疲劳寿命和耐割口增长性能。NR 与 EPDM 并用作胎侧胶可以不添加防老剂,因此可免除因防老剂迁移而造成的胎侧污染变色,使轮胎在整个使用期间的胎侧保持良好的外观。

#### 参考文献

- 1 王维秋. 轮胎结构力学第七讲轮胎力学理论的发展现状(上). 轮胎工业,1993;(8):19—22
- 2 王维秋. 轮胎结构力学第七讲轮胎力学理论的发展现状(下). 轮胎工业,1993;(9):26—30
- 3 USP 4 420 025
- 4 EP 0 287 496
- 5 USP 4 711 286
- 6 USP 4 700 762
- 7 USP 4 726 407
- 8 USP 4 716 950
- 9 USP 4 782 880
- 10 USP 4 700 765
- 11 USP 4 735 249
- 12 北京橡胶工业研究所六室. 国外高速乘用车轮胎简介. 橡胶工业,1979;(1):63—72
- 13 Maxwede G W *et al.* Kaut. Gum. Kunst. 1993;46(5):380—388
- 14 Sumner A J M. 等著,黄丽萍译. 子午线轮胎胎侧的未来发展趋势. 轮胎工业,1993;(12):30—33
- 15 蒲启君等. 钴盐粘合剂 RC 系列的特性及其应用. 橡胶工业,1991;38(5):260—265

收稿日期 1994-02-28

## Technical Features of High Speed Tubeless Radial Passenger Tire

*Luo Xirong, Jia Yunhai etc.*

(Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry 100039)

**Abstract** The technical features of high speed tubeless radial passenger tire were introduced. The present status and future trend of the construction design and the compound design, the improvement of belt, tread patterns and bead portion of said tire were described.

**Keywords** high speed tire, radial passenger tire, tubeless tire