

专论综述

提高载重尼龙轮胎速度性能的研究

梁慎言* 罗锡荣* 杨始燕 陆洪华 高波 莫力瑛 张艳

(化工部北京橡胶工业研究设计院 100039)

摘要 分析了载重汽车斜交尼龙轮胎在高等级公路上使用损坏的原因,阐述了提高速度性能的技术措施,从而使 11.00 - 20 16PR 轮胎全面达到攻关指标。耐久性(试验速度 $65\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)最高达 158.72h,高速性能通过 $110\text{km}\cdot\text{h}^{-1} 2\text{h}$,均超过耐久性 100h,高速 $100\text{km}\cdot\text{h}^{-1} 2\text{h}$ 的攻关指标。

关键词 载重斜交轮胎,尼龙,耐久性能,高速性能

随着国民经济的迅速发展,公路运输事业蒸蒸日上,我国高等级公路越来越多,汽车速度不断提高。90 年代以来,我国公路建设取得了较大进展,尤其是高等级公路在“八五”期间发展很快。目前,汽车专用公路已达 1.3 万 km 以上,其中高速公路 2400km。预计到 2000 年,汽车专用公路将达 4.6 万 km,高速公路达 4000—5000km。载重汽车的车速也由原来的 $50\text{—}60\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 提高到 $70\text{—}80\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,直至 $100\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上。而一般的载重斜交轮胎由于不适应于长距离的高速行驶,逐渐暴露出较多的质量问题,如早期的脱层、爆破等。为解决这一矛盾,我国正加快载重子午线轮胎的发展。但是,由于众所周知的原因,资金、技术、产量等都不是一下子可以解决的。预计我国在较长的一段时期内,载重斜交轮胎的生产量和消耗量仍将占较大的比例,因此提高载重斜交轮胎的速度性能以满足高速度、高负荷、长距离运输的要求势在必行。

化工部轮胎行业的主管部门和研究部门

作者简介 梁慎言,男,57 岁。大学本科,物理专业毕业。高级工程师。主要技术成果有:《24 - 25 军用工程机械轮胎》获 1978 年全国科学大会奖;《20.5 - 25 工程机械轮胎》获 1982 年化工部科技进步三等奖;参加化工部三次载重尼龙轮胎攻关,第 1 次获 1990 年国家科委科技进步二等奖;第 2 次获 1992 年宁夏回族自治区科技进步二等奖;第 3 次已于 1996 年 11 月通过化工部技术鉴定。

及时提出了载重斜交轮胎的第 3 次攻关。第 1 次以优质轻量为攻关目标;第 2 次以优化设计降低成本为攻关目标;第 3 次以提高速度性能为攻关目标。第 1,2 次以 9.00 - 20 轮胎为代表产品来实施,第 3 次以 11.00 - 20 16PR 轮胎为代表产品来实施。攻关目标为:以 11.00 - 20 16PR 载重斜交尼龙轮胎为代表规格,在基本保持现有轮胎原材料成本的前提下,使其达到高等级公路行驶要求的性能。具体攻关指标如下:

(1) 耐久性能($65\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)达到 100h;

(2) 室内高速性能($100\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)达到 2h;

(3) 在高速公路平均行驶速度在 $80\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上的条件下,实际里程达到 50000km 以上。

11.00 - 20 轮胎是规格较大、产量较多的产品,但过去的攻关以及各单位的生产都是以 9.00 - 20 轮胎为重点,而对提高 11.00 - 20 质量与速度性能方面的研究工作做得较少,要达到上述指标难度是很大的。经过对载重斜交轮胎在高速公路上损坏原因的认真分析,在结构、配方、工艺等方面采取了一系列的有效措施,后在一院六厂的共同努力下经过广州、贵州两次试制,攻关工作进展比较顺利。到目前为止,攻关工作已达到了预期目的,完成了化工部下发的技术指标。现

将这次攻关取得的结果介绍如下。

1 问题的出现与原因分析

要提高载重斜交轮胎的速度性能,首先必须从斜交轮胎的损坏谈起。1991年沈阳长途汽车客运总公司(以下简称沈长客公司)指出,他们使用的载重斜交轮胎与子午线轮胎损坏情况统计结果表明,斜交轮胎在高速公路上爆破占37.3%,脱空占27.3%(见表1)。从其它厂家对9.00-20轮胎所做的耐久性试验^[1]以及本次攻关前所做的11.00-20轮胎摸底试验结果(见表2和3)不难看出,载重斜交轮胎的损坏主要是肩部脱空。

表1 子午线轮胎与斜交轮胎损坏原因及数量对比表

原因	子午线轮胎		斜交轮胎	
	数量,条	比例,%	数量,条	比例,%
磨平	140	40	66	25.1
爆破	63	18	98	37.3
脱空	6	1.7	72	27.3
刺穿	16	4.6	10	3.8
裂口	115	32.9	—	—
其它	10	2.8	17	6.5
合计	350	100	263	100

表3 11.00-20轮胎耐久试验结果

项 目	厂 牌							
	A		B		C		D	
	3#	4#	3#	4#	3#	4#	3#	4#
胎位								
寿命,h	86.12	83.53	76.33	91.58	160	86.15	28.63	36.92
损坏部位和形式	肩空	肩空	冠空	肩空	侧裂	肩裂	肩空	冠空

注:检测中心测试。

果。普通斜交轮胎帘布层界面间所存在的周向剪切力按下式计算:

$$\mu = \frac{2it\cos\alpha}{r\sin\alpha} \quad (1)$$

式中 i ——帘线密度;
 α ——轮胎圆周中心线与帘线方向所成的夹角;
 r ——断面任意点轮胎半径;
 t ——断面任一点的切线与 X 轴平行线夹角。

表2 9.00-20 14 PR轮胎耐久性试验和破坏时的各部位温度

序号	各部位温度, °C				损坏部位和形式	耐久性 h
	胎侧	胎冠	胎肩	损坏部位		
1	70	92	94	114	肩部鼓包	78.92
2	80	90	85	102	肩部鼓包	72
3	79	88	97	120	肩部两处鼓包	81.70
4	76	100	104	120	肩空	104.33
5	80	95	98	122	肩空	—

注:所测温度均为外胎损坏时的表面温度。

现就引起肩部脱空的原因进行分析。

引起胎肩脱空的主要原因是胎肩产生的高应力和高温,由此降低了材料强度和橡胶与帘线的粘合力,当肩部温度达到100以后,温度继续升高,胶料和帘线的性能及粘合力明显下降,直至引起脱层。因此,轮胎设计所要解决的主要问题,是如何减少肩部的应力集中和肩部的升温。

1.1 应力分布的分析

据应用薄膜网络理论分析^[2],轮胎滚动时产生的剪切力分布在帘布层及胎体和胎面之间所有表面和界面上。在分析帘布层间剪切力时,只考虑帘线的作用,而把胶料忽略不计,因而胎体发生的剪切力是作为充气压力 P 的函数而发展起来的帘线张力 t 的直接结

另一种剪切力阻止帘线沿其自身取向移动,它被称为帘线方向剪切力,可按下式计算:

$$\mu_c = \mu \cos\alpha \quad (2)$$

垂直于帘线方向的剪切力为:

$$\mu_n = \mu \sin\alpha \quad (3)$$

从(1)~(3)三个公式来看,影响剪切力大小的是帘线角度 α 和帘线张力 t ,但又受 $\cos\alpha$ 的影响,在轮胎胎冠点 $\cos\alpha = 0$ ($=$

90° ,所以,胎冠点的剪切力为 0,而剪切应力最大处位于胎肩或上胎侧,这是因为该部位帘线密度最小,单根帘线所承受的张力 t 最大的缘故(见图 1 和 2)。

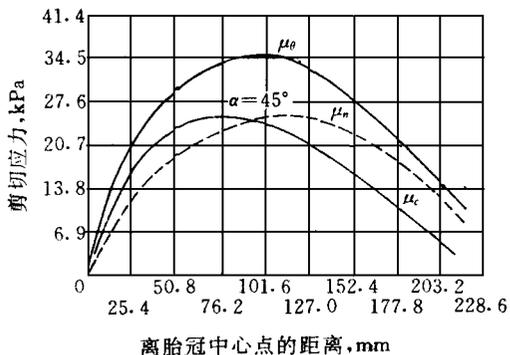


图 1 布层间不同方向剪切应力
在外胎各部位的分布

从近几年的试验得知,在理论计算的应力集中区,由于轮胎负荷的作用,内外轮廓曲

率发生变化,位置上移。

上述轮胎的剪切应力是用薄膜网络理论分析得出的。轮胎在使用过程中还有受轮胎负荷影响而产生的弯曲应力和来自胎面的剪切力。轮胎在滚动时,经受周期性的拉伸和压缩,由于胎体帘线的刚度和胶料的刚度相差甚远,所以,它所产生的弯曲应力和剪切力仍在胎体(缓冲层和底层胶区域)和胎面胶之间,应力的大小取决于轮胎的周向刚度和各部分的刚度差值。若各部分的刚度差小,则弯曲应力减小,反之增大。若周向刚度大,则胎面和胎体之间的剪切力减小,反之增大。

1.2 轮胎升温的影响

近年来轮胎在高速行驶中暴露出的质量问题,大都与轮胎的升温密切相关,其实,各种汽车轮胎使用寿命和事故(脱层、爆破)都涉及到轮胎在使用中温度过度升高。

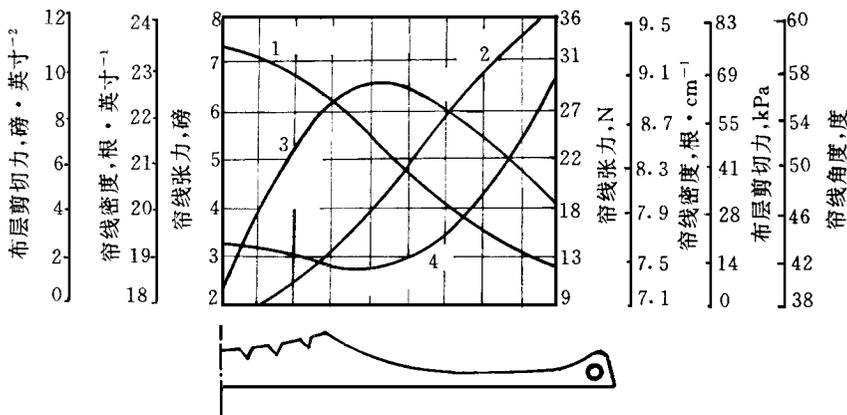


图 2 斜交轮胎布层间剪切力和其它参数关系的典型曲线图
(10.00 - 20 轮胎)

1—帘线张力;2—帘线角度;3—布层剪切力;4—帘线密度

由于轮胎反复变形,引起轮胎材料的滞后损失而转变成热能,轮胎每旋转一周的生热量 Q 可用下式表示^[3]:

$$Q = 2 (1/2 E_0^2) \text{tg}$$

式中 tg 为损失角正切。

$$\text{tg} = \frac{E}{E}$$

式中 E ——损失弹性模量;
 E ——贮存弹性模量。

从式中可以看出,生热量 Q 与变形能量 $(1/2 E_0^2)$ 和 tg 之积成正比。而轮胎温度可按下式计算:

$$T = T_0 + \frac{QL}{Ft}$$

式中 T ——轮胎温度;
 T_0 ——环境温度;
 L ——轮胎厚度;
 λ ——导热系数;
 F ——放热面积;
 t ——时间。

与此同时,轮胎的热量将向如下几个方向散出: 轮胎内部空气; 从轮胎表面向周围环境; 通过轮辋向周围环境。这些热量

将随轮胎的规格、结构、材料及使用条件的不同而不同。轮胎本身的温度随行驶时间的延长而上升,到某一时间达到平衡温度。

早在70年代末,我院为了降低轮胎升温,解决肩空问题,从降低胶料生热着手,经室内转鼓测温试验和实际里程测温试验,测量轮胎缓冲层部位升温状况,结果表明,凡升温低者,转鼓寿命就高,实际里程行驶中升温也低,肩空数量少(见表4和5)。

表4 9.00-20斜交轮胎的升温测量

项 目	方案一			方案二				
	缓冲层区		花纹沟	胎面	缓冲层区		花纹沟	胎面
	肩部	冠中			肩部	冠中		
转鼓测温,	94	84	74	52	85	76	72	58
实际里程测温,	73	68	54	46	63	58	48	44
耐久性寿命,h	148.12			241.02				

表5 缓冲层部位升温与肩空率

项 目	方案A		方案B	
	两肩端点处	中心处	两肩端点处	中心处
转鼓测温(超 负荷30%),	133.5	91	124.5	88
肩空率,%				
甲地区	50		33	
乙地区	58		8	

行驶速度提高,则轮胎温度明显升高,即使在速度不高的范围内也如此,试验表明,9.00-20斜交轮胎速度由 $40\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 增加至 $60\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,缓冲层区最高温度可上升 21°C ,一般可上升 $15\sim 17^\circ\text{C}$ ^[4]。有报道说,9.00-20轮胎速度由 $60\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 提高至 $100\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,温度上升 30°C ^[5]。

曾用几个不同厂牌的11.00-20 16PR轮胎进行高速和耐久性试验,虽然所用轮胎花纹型式、施工设计有差别,但凡胎肩部缓冲层端点升温高者,其高速性能差,耐久性也差(见表6和7)。

由于轮胎升温与使用寿命关系重大,因而有轮胎使用的“临界温度”这一概念。所谓“临界温度”,就是轮胎安全行驶时允许达到

表6 缓冲层端部升温与转鼓试验寿命

厂牌	花纹	负荷率 %	缓冲层端点温度 $^\circ\text{C}$	寿命 h	损坏情况
		100	92.5	—	—
		130	121.5	83.53	肩空
B	条形	85	81	—	—
		100	89	—	—
		130	105	91.58	肩空
C	条形	85	88.5	—	—
		100	103	—	—
		130	123	86.15	肩空
D	烟斗	85	108.5	36.93	冠空

注:试验速度为 $65\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

表7 高速性能试验

厂牌	花纹	80 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 缓冲	达到速度等	行驶时间
		层端点温度, $^\circ\text{C}$	级, $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	min
A	条形	104	90	48
B	条形	92	100	36
C	条形	99.5	100	30
D	烟斗	110.5*	80	38

注:试验速度为 $70\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

的最高温度,超过临界温度,则安全性没有保证。至于临界温度值,各国有不同的提法:英国登录普认为斜交轮胎为 115°C ;日本提出不

宜超过 110℃；前苏联则认为，只有在低于 115℃下使用，才能保证橡胶具有必需的疲劳强度^[5]。根据材料的性能与温度变化的关系，一般认为，斜交轮胎使用的临界温度为 125℃。

从表 7 的试验结果看到，在 80km·h⁻¹速度下，几个厂牌条形花纹 11.00-20 16PR 轮胎缓冲层端点温度已接近或达到 100℃，如果按国外所提的临界温度来衡量，已接近临界温度，与实际试验达到的破坏速度等级(90—100km·h⁻¹)是基本一致的。

有人对轮胎行驶温度与轮胎耐久性寿命的关系做了大量研究后推导出下面的经验公式：

$$S = 225.847 - 0.147T - 0.00787T^2$$

式中 S——轮胎使用寿命；

T——轮胎最高温度。

常数项与轮胎规格、结构、使用条件、配方等因素有关^[6]。

从此式可以看出，轮胎使用寿命随温度升高的二次方下降，足见轮胎升温过高的危害性，可以说，轮胎高速运行的适应性主要取决于其生热值。

载重轮胎层数多，厚度大，在高速度和高负荷下长时间持续行驶时所经受的屈挠变形的幅度与频率要比通常条件下大得多，其结果是造成大量生热，导致轮胎内部温度大幅度升高(热积累效应)。这种过高的行驶温度，如果持续时间较长，胶料的耐热性能变差，将导致轮胎的早期损坏，或者会缩短轮胎的使用寿命。

1.3 温度对胶料性能的影响

轮胎是由橡胶和纤维材料等构成的高分子材料复合体。而轮胎材料的强度和屈挠性能是随温度上升而急剧下降的，当达到使用临界温度(120—125℃)时，胎面胶、缓冲胶及帘布胶等的拉伸强度最多只有室温时的 55%，纤维材料强度仅为室温时的 55%—

50%^[7]，这时若连续运行，必然造成轮胎脱层或爆破。有试验表明，胶料热老化后的拉伸强度或伸长率 Y 与老化前 Y₀ 及老化时间 t 有下式关系：

$$\ln Y = \ln Y_0 - Bt$$

式中 B 为性能变化速度常数，B 值随老化温度不同而变化，温度愈高，B 值显著增大^[8]。足见轮胎运行时保持低生热的必要性。

我院曾对几种不同斜交尼龙轮胎缓冲层胶料作不同温度下拉伸强度、拉伸应力松弛半衰期(应力下降 50%所需的时间)、老化性能和橡胶-帘布粘合强度等试验。结果表明，在 70℃ 时，胶料拉伸强度约为室温时的 80%；100℃ 时明显下降，为室温时的 45%—55%；当温度达 120℃ 时，拉伸强度急剧下降，仅为室温时的 35%—45% (见表 8)。不同温度下的拉伸连续应力松弛半衰期也有相似的情况，若以 100℃ 的半衰期为 100%，则 110℃ 时为 30%—45%，若温度为 120℃，则为 15%—20% (见表 9)。100℃ 时胶-帘布的粘合强度为 70℃ 时的 60%—70%，120℃ 时保持率则更低(随配方不同而异，见表 10)。不同温度老化后胶料的强度、胶-线粘合强度试验表明，70℃ 老化，性能下降缓慢，100℃ 老化则下降很快，120℃ 老化则性能急剧下降。

轮胎行驶时，内部温度与轮胎的负荷和

表 8 不同温度下胶料拉伸强度保持率 %

配 方	试验温度, ℃			
	室温	70	100	120
A	100	80	44	42
B	100	83	47	30
C	100	80	53	34

表 9 不同温度下相对拉伸应力松弛相对半衰期

配 方	相对半衰期, %		
	100℃	110℃	120℃
A	100	38	15
B	100	44	18
C	100	32	13

表 10 温度对胶-帘布粘合强度的影响

配 方	相对粘合强度, %		
	70	110	120
A	100	67	50
B	100	72	68
C	100	61	53

注:以 70 时为 100%。

车速的乘积成正比^[9],速度愈高,或规格愈大(负荷愈大),升温愈高。因此,在高等级公路上使用的轮胎,寿命下降的原因主要是轮胎温度升高引起材料强度相应下降造成的。

从上述试验结果还可以看出,虽然温度升高对胶料性能下降影响显著(尤其在高温区),但是不同胶料在高温下性能下降率有明显差别,表明通过改进配方可以有效地提高胶料的耐热性能,从而提高轮胎的使用寿命。

2 主要技术措施

根据以上分析,可见引起轮胎脱空损坏的主要原因,是胎肩部产生的高应力和高温使材料强度和胶-线粘合强度下降引起脱层,因此我们主要采取以下技术措施。

2.1 结构设计

2.1.1 减少肩部应力应变,降低生热

在同一条轮胎中,帘布层之间的剪切力也必然沿着帘线走向大小不一,肩部的剪切力最大。轮胎滚动时经受周期性的屈挠变形,胎面胶和胎体之间产生一个剪切应力。因此,要减少肩部的应力集中,首先要保证合理的压延厚度,以吸收来自帘线的剪切力。

要减少帘线的应力应变,首先要保证帘线伸张的均匀性,我们通常的施工设计大都采用一个裁断角度,通过计算机进行计算可以得知,从第一层到最后一层帘线伸张是不均匀的,计算结果如表 11 所示^[3]。

另外,据报道,航空轮胎从里向外包过每个钢丝圈的帘布裁断角度相差 1°,用相同的试验条件与同期生产的轮胎做了低速滑行测温对比,见表 12。从表 12 可以看出,胎肩温度与同期生产的轮胎相比,降低了 10—20°,这说明每个帘布筒采用不同裁断角度对帘线的均匀伸张是有利的:减少帘线的变形、内摩擦和生热。

表 11 设计与计算结果对比

层 数	设 计				实 际			
	(°)	(°)	B_s, mm	(°)	(°)	B_s, mm	B_s, mm	
1—3	30	51	1.028	580	30	51	1.028	580
4—6	30	51	1.028	587	30	51	1.020	596
7—8	30	51	1.028	595	30	51	1.017	610

注:—裁断角;—胎冠角;—假定伸张; B_s —机头宽度。

表 12 测温记录表

轮 胎 连续号码	缓冲层结构特征			滑行试验胎肩测温记录				
	帘布产地及帘布号	挂胶号	热胶帘布厚,mm	1次	2次	3次	4次	5次
86811-2	平 V ₂	11-10	1.0	134	134	—	140	136
86812-3	日 V ₂	11-10	1.0	132	142	140	—	—
86811-5	平 V ₂	11-10	1.0	108	—	124	—	—
88012185-1	上 V ₂	12-4	1.2	120	117	150	150	—
88012184-1	平 V ₂	12-4	1.2	128	128	—	—	130
86101015 *	上 V ₂	12-4	1.2	81	94	98	100	107
88012186	上 V ₂	12-4	1.2	113	124	120	—	126

注:平 V₂—平顶山帘子布厂生产的 1400dtex/2 尼龙 66V₂ 帘布;日 V₂—进口的 1400dtex/2 尼龙 6V₂ 帘布;上 V₂—上海产 93.3dtex/2 尼龙 6V₂ 帘布。* 胎体裁断角从里向外增大。

2.1.2 合理选择花纹的形式和深度

根据使用条件来选择不同类型的花纹形式和花纹深度。以前由于我国公路条件差,车速低等原因,国产轮胎的花纹类型多为横向花纹,如烟斗花纹、八角花纹、羊角花纹,花纹深度多为 16mm 或 17mm。

随着车速的提高和公路状况的不断改善,胎面花纹形式应较多地向纵向花纹过渡,花纹深度也逐渐向公路型标准靠拢[如美国 TRA(轮胎轮辋协会)为 13.5mm]。

2.1.3 优化结构设计参数,缩小模型轮廓

根据外胎充气平衡轮廓的计算,优化结构设计参数,适当缩小模型设计的外缘尺寸,使新胎的充气外缘尺寸达国标的最佳值,以保证轮胎的优质轻量,适当加大行驶面的弧度,合理选取 h ,减薄胎肩厚度,降低肩部升温,防止脱空。同时使胎面接地压力差曲线趋于平坦,改善磨损性能。

2.1.4 尼龙帘线加粗减层,减薄压延厚度

根据史密斯分析,载重轮胎的胎体帘线,如固特异、通用公司等 在 70 年代末就已采用 1400dtex/3 高强度尼龙帘线,使得胎体层数少,胎体薄,升温低,重量轻,质量优。国内在尼龙轮胎优化设计攻关中也已采用这种帘线。

本次攻关选用近几年新开发的 1400dtex/3 高强度尼龙帘线作为胎体帘线,这种帘线与 2100dtex/2 相比具有疲劳性能和粘合性能较优的特点,而缓冲层帘线采用 930dtex/2 V_3 。胎体采用加粗减层结构,组成 8 层胎体、2 层缓冲结构,比通常采用 1870dtex/2 帘线 10 层胎体、2 层缓冲结构的轮胎,减薄了胎体厚度,同时相应地减薄压延厚度,减轻外胎重量,使升温低,散热好,性能优越。

关于尼龙 6 和尼龙 66 的选用问题,也做了对比试验。

2.1.5 胎面胶采用“三方四块”结构形式

胎面胶的“三方四块”结构形式,在第 1

轮和第 2 轮攻关技术推广中已广泛采用。本次攻关要保证轮胎的速度性能,采用的是胎冠胶上、下层机内热复合,使上、下层肩部的对正和高度要求都较容易控制,同时要保证下层胶在冠中部的适当厚度,使冠中部的温度不至于过高。这样,既保证了胎面胶的合格率,又提高了质量。胎侧胶单独挤出,在成型机头上冷贴,组成“三方四块”胎面结构。

2.1.6 施工设计

与通常的施工相比,本施工设计具有以下特点: 帘布随布套不同采用变角度裁贴,以保证帘线伸张的均匀性,增加胎冠刚度,减小应力应变; 减薄压延厚度,加贴隔离胶片,以吸收帘布层间的剪切力; 缓冲层采用一宽一窄。

2.2 配方设计

2.2.1 合理选择原材料,改进配方,降低胶料生热,提高耐热性能

(1) 采用半有效硫化体系,并适当减少炭黑用量,既可使胶料生热降低,耐热性能提高,又使胶料具有较高的定伸应力。老化后胶-帘线粘合强度保持率高。Walker 等^[10]以载重轮胎基部胶为例,证明这一体系效果显著。我们的试验也表明,在胎肩胶和缓冲层中采用半有效硫化体系克服尼龙轮胎肩空取得满意的效果。

(2) 使用硅烷偶联剂改性的白炭黑,能使胶料压缩变形和滞后损失降低,且胶料弹性高、生热低、耐老化性能好,可使胎面胶在低滚动阻力、低生热和高耐磨性能之间获得最佳的平衡。布层胶采用由白炭黑组成的间甲白体系则可增进橡胶与纤维材料的粘合强度。

(3) 采用较高用量的脂肪酸(或其盐类)的半有效硫化体系,如在半有效硫化体系中,增加硬脂酸用量,可以改善 NR 或以 NR 为主的 NR/BR 胶料的耐磨性能及过硫后的性能保持率,而且硬脂酸及其盐类的“润滑”作用降低了胶料的内摩擦,从而可以降低生

热^[11,12]。

(4)调整 NR 与 SR 的使用比例,使关键性部件胶料保持最适当的 NR 含量。对于使用过程中应力应变较大的部位即生热较高、散热又难的部位的胶料(如胎肩胶、缓冲胶等),采用较高的 NR 用量。

(5)合理选择炭黑品种和用量。虽然炭黑体积分数增加时,胶料生热增高,但炭黑的补强特性也同时提高了胶料的耐热性能,炭黑填充硫化胶可以使纯胶的高温强力突降区向高温方向推移(提高约 40%),而且,炭黑用量增加,胶料导热系数也增大,炭黑的结构高,生热相对大些,但高结构的炭黑导热系数也大^[4]。因此,通过合理选择炭黑品种和用量或采用并用的方法,可获得满意的物理性能,使胶料在生热、耐热和导热三方面取得良好的平衡。

(6)选用对热、氧、疲劳和变价金属离子的老化防护效能高,迁移速度慢,挥发性低,耐抽出性好的防护体系。

2.2.2 适当提高胶料整体定伸应力,合理匹配各部件胶料定伸应力

根据轮胎各部位受力大小和形式的不同,合理选取各部件胶料的定伸应力,增大轮胎的刚性,减小轮胎在运行中的变形,其目的也是为了最大限度地降低轮胎的升温。轮胎运行时,胎面胶的受力形式属于恒定应力,胎体胶的受力形式为恒定变形。在恒定应力下,提高胶料定伸应力是有利的,而在恒定变形下,定伸应力过高就不利。对轮胎运行时各部位受力状态的分析 and 实际试验表明,在整体定伸应力适当提高的前提下,胎冠-胎肩(含下层)-缓冲-外层-内层的定伸应力采取“高-较高-最高-较低-最低”的匹配形式,即以缓冲层为最高点的不对称山峰形匹配,同时与胶料的低生热性能相配合,对提高斜交轮胎的高速性能和耐久性是有利的。我们以这样的匹配形式,经多次试验,取得了较好的效果,即使是采用生热较高的尼龙 66 帘线,高

速性能试验的破坏速度也都稳定在 $110\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, 耐久性试验(试验速度 $65\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)稳定在 100h 以上,最高达 158h(见表 14 和 16)。肩部缓冲层端点温度在 $80\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时不超过 100, 耐久性试验为 105—116, 均低于文献报道的斜交轮胎使用的临界温度(见表 15 和 17)。采用生热较低的尼龙 6 帘线,高速性能达 $120\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, 耐久性达 131h 因花纹沟裂口而停试,胎体完好无损,肩部缓冲层端点温度,高速试验 85.5, 耐久性试验 104.5, 大大低于使用临界温度(见表 15 和 17)。

3 试验结果

3.1 试验方法

攻关胎的试验包括室内和室外两部分。室内测试全部由国家轮胎质量检测中心承担,主要包括: 轮胎外缘尺寸测定; 轮胎静负荷性能测定; 强度试验; 水压爆破试验; 耐久性能试验; 高速性能试验; 缓冲层端点温度测量; 轮胎表面温度测量。

— 项按现行国家试验方法标准进行; 项按行业标准进行; — 项按攻关方案论证会讨论通过的试验方法进行。

耐久性能试验方法和高速性能试验方法目前没有国标,根据攻关要求,在 GB4501—84“载重汽车轮胎耐久性能试验方法”的基础上,参照国外部分公司的试验方法,并征求了全国轮标委秘书处和部分厂意见后制定的。试验程序和试验要求基本上按 GB4501—84 标准操作。耐久性能试验速度为 $65\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。高速性能试验每阶段 2h 通过。

缓冲层端点温度的测量:试验前,将试胎的测量位置钻孔,钻孔的位置和深度根据材料布置图确定,在耐久或高速各个试验阶段停机时用半导体点温计测定,测量时间控制在 3min 以内。

轮胎表面温度的测量用红外热相仪进行,测量在耐久或高速各试验阶段停机时进

行。测量结果以图像、曲线和数字表示。

道路里程试验,在沈大高速公路上进行,试验车辆为黄河大客车,车速 $80\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上。试验要求按“汽车轮胎里程试验若干规定”及“汽车轮胎里程试验操作规程”进行。

3.2 试验结果

(1)外缘尺寸、强度和水压爆破试验。结果见表 13。

由表 13 可见,外缘尺寸和强度试验均符合国家标准,水压爆破安全倍数为 6.2,符合

表 13 外缘尺寸和强度及水压爆破试验结果

检验项目	依 据	标 准 值	检 验 值		结果判定
			尼龙 6	尼龙 66	
外缘尺寸,mm	GB/ T521 —93	外直径 1085 ±10.85	1084.7	1076.8	符合国标
		断面宽 293 ±8.79	292.3	290.1	符合国标
强度,N·m	GB6327 —86	2599	4699	4380	符合国标
水压爆破安全倍数	HG2186 —91	5 以上	—	6.2 *	

注: *爆破压力为 5000kPa。

HG2186 —91 中规定为 5 倍以上的标准。

(2)耐久性检验及温度测量。结果见表 14 和 15。

表 14 结果均超过 100h 的攻关指标。

(3)高速性能检验及温度测量。结果见表 16 和 17。

表 16 结果均达到速度为 $100\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 运行 2h 的攻关指标。

表 14 耐久性检验结果

胎号	胎体材料	检验值, h	轮胎状况	结果判定
B44-1107	尼龙 6	131	花纹沟裂 口, 停试	达到攻关指标
B44-096	尼龙 66	158.72	冠爆	达到攻关指标
N512B-0613	尼龙 66	127.77	肩空	达到攻关指标

注:试验速度为 $65\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

表 15 耐久性温度测量结果

负荷 kg	试验 时间 h	尼龙 6		尼龙 66	
		肩部缓冲层 端点温度	冠表面 温度	肩部缓冲层 端点温度	冠表面 温度
2126	7	70.5	65	71	64
2780	16	77.5	69	78.5	68
3270	24	82	70	88	70
3597	10	89	71	95.5	74
3924	10	—	—	—	—
4251	10	99	73	109	73
4251	23	104.5	80	116	83
4251	31	—	—	—	—

表 16 高速性能检验结果

胎体材料	检验速度 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	检验时 间, h	轮胎状况	结果判定
尼龙 6	120	0.43	胎冠脱空	达到攻关指标
尼龙 66	110	1.25	胎肩脱空	达到攻关指标
尼龙 66	110	0.97	胎冠脱空	达到攻关指标

表 17 高速性能试验温度测量结果

试验 速度 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	试验 时间 h	尼龙 6		尼龙 66	
		肩部缓冲层 端点温度	冠表面 温度	肩部缓冲层 端点温度	冠表面 温度
55	2	—	—	—	—
60	2	76.5	66	83.5	68
70	2	80	70	89.5	73
80	2	85.5	76	95	77

为确保安全,试验速度达 $80\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上停止测温。从表 17 可以看出,尼龙 6 比尼龙 66 胎肩温度约低 10 。

(4)实际里程试验。1994 年广州第一批攻关胎发往沈长客公司装 4 部车,共两个方案进行实际里程试验。试验已于 1995 年 5 月结束。具体试验结果见表 18。

表 18 试胎(广州)达攻关指标时的结果及最终里程

方案	累计磨损 $\text{km}\cdot\text{mm}^{-1}$	行驶里程 km	剩余花纹 mm	最终里程 km
1	6523	56746	5.6	85735
2	6604	67357	4.4	87935

1995年贵州攻关胎再次装于沈长客公司原4部车上,其试验结果见表19。

表19 试胎(贵州)达攻关指标时的结果及最终里程

方案	累计磨耗 km·mm ⁻¹	行驶里程 km	剩余花纹 mm	最终里程 km
1	6592	53346	5.7	89921*
2	6727	57909	4.7	88763

*预计里程。

试胎没有发生脱空或爆破,耐磨性能及安全性能好,外形尺寸变化小,全部超过5万km的攻关指标,用户十分满意。

4 结论

批量试制的攻关胎经国家轮胎质量检测中心按国标和攻关检验方法测试都取得了满意的效果,全部达到攻关指标。

(1)在耐久性能(65km·h⁻¹)测试中全部超过100h的攻关指标,最高的达158.72h。

(2)均达到速度100km·h⁻¹运转2h的高速性能攻关指标,高的通过110km·h⁻¹。

(3)外缘尺寸、强度性能符合国家标准,水压爆破安全倍数为6.2。

(4)经过沈长客公司在沈大高速公路上的实际里程试验,试胎全部超过5万km以上的攻关要求。用户满意。

综上所述,提高载重斜交尼龙轮胎速度

性能的攻关批量试胎,全面达到和超过攻关指标,表明所采取的各项攻关技术措施是切实可行的,这对适应我国公路与汽车的发展需要,乃至轮胎出口都将具有现实意义。

参考文献

- 1 余双玉. 斜交轮胎耐久性试验破坏的特点及成型工艺质量的影响. 轮胎工业, 1993;13(4):16—18
- 2 郑正仁等. 汽车轮胎制造与测试. 北京:化学工业出版社, 1987:264
- 3 加部和幸. 刘昌令等译. 轮胎应力与生热温度对轮胎耐久性的影响. 轮胎工业, 1990;10(6):30—36
- 4 钟延坝. 汽车轮胎的温度与测量. 橡胶工业, 1979;25(3):50—57
- 5 叶可舒. 国外对载重轮胎生热研究的简况. 轮胎工业, 1991;11(10):3—7
- 6 . 唐云峰译. 载重汽车轮胎最高温度和使用寿命的关系. 轮胎工业, 1992;12(12):44—45
- 7 罗锡荣等. 高速轿车无内胎子午线轮胎的技术特点. 橡胶工业, 1994;41(11):669—675
- 8 罗锡荣. 尼龙斜交轮胎胎肩的生热、导热和老化性能的研究. 轮胎工业, 1988;8(6):12—16
- 9 Kainradl P *et al.* Heat generation in pneumatic tires. *Rubb. Chem. Technol.*, 1976;49(3):823—861
- 10 Walker L A *et al.* Improved dynamic properties in tires. *Rubbercon '81*, 1981;1, D2
- 11 Barnard D. Natural rubber compounds for truck tires. *ACS Rubber Dir. Sym.*, 1984:42
- 12 王平粤. 硬脂酸用量对天然橡胶为主的胎面胶撕裂强度和生热性能的影响. 橡胶工业, 1991;38(10):585—587

第九届全国轮胎技术研讨会论文(二等奖)

Study on Improving Performance of Nylon Truck Tyre at High Speed

Liang Shenyan, Luo Xirong, Yang Shiyan, Lu Honghua, Gao Bo, Mo Liying and Zhang Yan
(Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry 100039)

Abstract The causes of nylon truck tyre to failure on the high-type highway were analysed. The several technical measures for improving the performance of the tyre at the high speed were taken to make the overall performance of 11.00 - 20 16PR test tyre in accordance with the targets set in the project for tackling key problems. The endurance test showed that the maximum bench life of the test tyre at standard test speed of 65km·h⁻¹ reached 158.72h; the tyre passed the test at the speed of 110km·h⁻¹ for 2h.

Keywords truck bias tyre, nylon, endurance, high-speed performance