

结构设计

“65”和“60”系列低断面轿车子午线轮胎的开发

胡幼学*

(化工部北京橡胶工业研究设计院 100039)

摘要 在运用新概念、新理论、新公式进行“65”,“60”系列低断面轿车子午线轮胎的开发过程中,采取了改进胎圈结构、选用高速胎面弧形和低噪声变节新型花纹及改用聚酯帘线作骨架材料等措施。成品试验和实际使用结果表明,该系列产品全部符合国标要求,各项性能满足使用要求,可替代同规格进口产品。

关键词 轿车子午线轮胎,低断面轮胎

轿车轮胎在欧洲、美国和日本等地区和国家已实现或基本实现子午化和无内胎化,目前正在向超扁平化、超高速和高性能方向发展。我国高速公路发展很快,轿车也在向大功率、高速度方向发展。为此,我院在与山东荣成市橡胶厂合作完成轻载车和轿车子午线轮胎系列(“80”,“75”,“70”)产品设计的基础上,开发成功了“65”,“60”系列H级低断面轿车子午线轮胎。此系列产品属于国际上低断面、超高速子午线轮胎范畴。

1 设计指导思路

轮胎在超高速($210\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上)行驶时,受到强大的离心力等作用,这给轮胎设计带来了新的难题和挑战。

(1)临界温度。轮胎高速行驶时变形频率猛增,温度上升。当轮胎达到 $120\sim 125^\circ\text{C}$ 临界温度时,各部位复合材料性能大幅度下降,容易引起轮胎爆破。

(2)临界速度。轮胎产生驻波时的速度称为临界速度,它标志着轮胎将很快破坏。

(3)动负荷随速度增高而增大,使轮胎变形、生热增加。轮胎在 $80\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 速度下行驶,产生的动负荷为静负荷的150%;在

$240\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的高速下行驶,动负荷为 $210\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时的110%。

(4)高速旋转下离心力的作用。轮胎高速旋转时,内部产生附加应力,外直径增大,带束层端点上翘,断面宽变窄,钢丝圈被胎体帘布拉向倾斜(脱离轮辋)^[1,2]。当旋转速度为 $160\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,轮胎内部应力几乎没有变化;但当旋转速度达到 $210\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,轮胎钢丝圈、带束层部件所受应力为充气后静止时的140%左右;速度继续增加到 $240\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,就增至160%左右,钢丝圈增加幅度最大,带束层次之,胎体帘布层较小^[1]。

综上所述,当轿车子午线轮胎速度级别由高速S级($180\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)上升到超高速H级($210\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)时,轮胎产品结构设计必须进行大幅度的调整,而且有关配合、复合材料的性能及其制造工艺技术和生产工艺装备等也要进行必要的调整和更新。

2 技术改进措施

为了提高轮胎的操纵稳定性、高速性、抗湿滑性,降低噪声,我们采取了强化带束层、增强钢丝圈、改进花纹设计以及使用新型粘合体系等技术措施。

* 贾云海、于喜涛、何晓玫、楚阿丽、刘昌波、许美华等参加了设计和试制。

2.1 采用 PDEP 理论^[3](“全新轮胎结构概念”设计法)指导设计

PDEP 理论以低断面轿车子午线轮胎为研究对象,运用有限元结构分析程序,以轮胎的预应力轮廓为设计基准,充分考虑轮胎在动态条件下的变形情况,通过改变轮胎胎体轮廓在模型内的形状来实现对带束层和胎圈施加张力,使其在动态下达到最佳平衡状态,并从研究轮胎负荷下的接地状态入手,优化

轮胎的接地印痕及压力分布来达到相同条件下滚动半径增大、控制带束层张力分布的目的。应用该理论设计轮胎,不仅提高了轮胎的高速耐久性、乘坐舒适性和安全性,而且降低了滚动阻力。与传统的设计轮胎轮廓的方法相比,应用该理论设计制造的轮胎具有更好的侧向稳定性和转向灵活性。现将所设计的 6 种规格轮胎的技术特征列于表 1。

表 1 轮胎技术特征¹⁾

规格 ²⁾	标准轮辋	允许轮辋	标准气压 kPa	标准负荷 kN	速度级别	充气尺寸,mm	
						外径	断面宽
205/60 * R15	5 $\frac{1}{2}$ JJ	6JJ	280	5.88	S	627	203
			310	5.88	H	627	203
195/60 * R14	5 $\frac{1}{2}$ JJ	6JJ	280	5.15	S	590	196
			310	5.15	H	590	196
205/65 * R15	5 $\frac{1}{2}$ JJ	6JJ	280	6.32	S	647	203
			310	6.32	H	647	203
205/65 * R14	5 $\frac{1}{2}$ JJ	6JJ	280	6.03	S	622	203
			310	6.03	H	622	203
195/65 * R15	5 $\frac{1}{2}$ JJ	6JJ	280	5.83	S	635	196
			310	5.83	H	635	196
185/65 * R14	5 $\frac{1}{2}$ JJ	5JJ	280	5.05	S	569	184
			310	5.05	H	569	184

注:1)花纹均采用条块状;H 级胎冠处为 2 层尼龙冠带+2 层钢丝+2 层聚酯;S 级胎冠处为 2 层钢丝+2 层聚酯;S 级和 H 级胎侧处均为 2 层聚酯。2)“*”处按速度级别插入速度符号 S 或 H。

2.2 运用国际上最新 DSOC-T(动态稳定最佳接触)理论设置尼龙冠带层

为减少胎面中心的压缩,提高操纵稳定性,选用尼龙冠带条为宜^[4,5],同时整体尼龙冠带层在高速高温下能够抑制胎面胶的蠕变变形,有利于耐磨性,也不能忽视。为此我们运用国际上最新 DSOC-T 理论,在 205/60HR15 和 195/65HR15 等规格轮胎上同时采用尼龙冠带条和整体尼龙冠带层,效果良好,临界速度都达到 210km·h⁻¹ 以上。

2.3 应用“空气容量法”负荷公式核算超扁平化轮胎的负荷

以往使用的负荷计算公式,是以圆形轮胎($H/B=0.96$)为基础的,当轮胎扁平化后,则需要校正。目前应用的“空气容量法”原理计算比较简易,而且对于当前轮胎扁平化“增寸原理”(表 2)的演进机理,也容易理解,详见表 3 和下式。

$$Q=\frac{3.2V^2+580V}{V+30}$$

表 2 增寸原理参数

参 数	轮辋增 1 英寸			轮辋增 2 英寸	
	185/70R13	185/65R14	195/60R14	195/55R15	205/50R15
系列	70	65	60	55	50
充气外直径,mm	598	596	590	595	587
充气断面宽,mm	186	184	196	196	203

注:与 185/70R13 规格 330.2mm(13 英寸)轮辋对比。

表 3 轮胎负荷“空气容量法”计算值与各种标准的对比

N

规格	气压,kPa				
	250			240	
	计算值	GB	JSATMA(日)	计算值	TRA-90(美)
205/60HR15	6517	5880	5684	6370	5782
195/65HR15	6350	5831	5880	6203	5684

$V=K_0P$

$K_0=2\pi^2r_mR^2=\frac{1}{2}r_mL^2$

式中 Q——轮胎负荷;
P——充气压力;
K₀——轮胎断面内腔体积;
r_m——轮胎断面最宽点半径;
R——轮胎内轮廓的平均半径;
L——轮胎内轮廓周长。

2.4 改进胎圈结构

高速子午线轮胎经常损坏部位除胎冠、胎肩外,就是胎圈(三角胶顶端)。胎圈容易起鼓或爆破。据文献报道,超高速子午线轮胎由于离心力而引起的附加内应力,其增幅最大的部位是钢丝圈,其次是带束层,最小的是胎体^[1]。为此,如何处理好胎圈部位的应力应变均匀过渡是不可忽视的。针对上述情况,我们增大了三角胶和胎圈胶的高度,减小硬三角胶和邻近胎体帘布层的层间剪切,并使用单根缠绕成型钢丝圈,以减少接头效应。采取上述措施达到了提高胎圈部位耐久性、保证质量的目的。

现以 195/65HR15 为例,展示带束层、胎体和钢丝圈 3 个主要部件的安全倍数搭配情况,详见表 4。

表 4 195/65HR15 轮胎带束层、胎体和钢丝圈安全倍数(理论)搭配

部件	充气压力,kPa			
	250		280	
	一次法	二次法	一次法	二次法
钢丝带束层				
T _B ,N·根 ⁻¹	50.96	50.96	50.96	50.96
K _B	11.7	11.7	10.5	10.5
胎体层				
T _C ,N·根 ⁻¹	7.87	6.86	8.78	7.23
K _C	17.5	20.0	15.6	17.8
钢丝圈				
T _b ,N·圈 ⁻¹	2838.08	2838.08	3178.14	3178.14
K _b	11.6	11.6	10.3	10.3

注:1)一次法和二次法成型轮胎,胎体帘线总根数分别为 2274 和 2601,成型机头直径分别为 362 和 414mm;2)T 代表张力,K 代表安全倍数;3)实际水压爆破试验,安全倍数达到 11(标准要求 7 倍以上),冠部爆破(一字形),钢丝圈未断。

2.5 选用高速胎面弧形和低噪声变节新型花纹

根据现代低断面高速子午线轮胎使用性能要求,进行胎面弧形和花纹设计。为了解决花纹沟与噪声的矛盾,花纹沟排水防滑与耐

磨性的矛盾,宽行驶面与水膜排出的矛盾等,采取了下列改进措施:

(1)胎面由三个弧度半径构成,克服以往平弧的不足,即实现转向和直线行驶同等的驾驶性能。

(2)印痕形状呈椭圆形,水从胎面中部向两边挤出。

(3)在宽胎面上设计纵向中沟,使水挤在中沟内,排水阻力小,抗水膜滑行。在胎面中心与胎肩中间区域设置斜向沟,即切水工作沟,以降低噪声。

2.6 选用国产聚酯帘线作为骨架材料

以往国内生产半钢子午线轮胎多选用人造丝帘线作骨架材料,但由于国内人造丝帘线资源紧张,性能无法满足要求等问题,我们在开发轿车子午线轮胎时选用了国产聚酯帘线。这不仅符合国际子午线轮胎性能发展总趋势,而且能充分利用国内聚酯帘线资源。国内已引进多条聚酯帘线生产线,预期轮胎工业用聚酯帘线年产量可达 2.5 万 t 以上。国产聚酯帘线具有强度大,模量高,疲劳性能好,相对密度小等优点,但是使用中必须解决好聚酯易水解、胺解以及聚酯帘线与橡胶的粘合等技术问题。根据轮胎强度要求选取帘线,我们选取的聚酯帘线及其性能见表 5。

表 5 聚酯帘线性能

项目	1110dtex/2 ¹⁾	1110dtex/3 ²⁾
断裂强力, N · 根 ⁻¹	>140	>198
44.1N 定负荷伸长率, %	4.5 ± 0.8	4.5 ± 0.8
H 抽出力, N	>120	>130
断裂强力不匀率, %	≤4	≤4
断裂伸长不匀率, %	≤5	≤5
断裂伸长率, %	15 ± 2	15 ± 2
覆胶量, %	5 ± 1	5 ± 1
直径, mm	0.55 ± 0.03	0.66 ± 0.03
初捻(Z), 捻 · (10cm) ⁻¹	4.5 ± 1.5	4.5 ± 1.5
复捻(S), 捻 · (10cm) ⁻¹	4.5 ± 1.5	4.5 ± 1.5
干热收缩率, %	≤4	≤4
含水率, %	≤1	≤1

注:1)一胎体 2 层;2)一胎体 1 层。

为了解决子午线轮胎成型中胎体膨胀定型时帘线伸张不均等问题,聚酯帘布的纬纱改为弹性纬纱,其平均强力为 2—5N · 根⁻¹,断裂伸长率为 230%—260%^[6,7]。

在采取上述各项措施后,我们在配方、工艺和管理等方面也有所改进。在配方设计中,原材料立足于国内,采用了国产化新型原材料和国际上先进的粘合体系,各部件的力学性能和硫化速度的匹配有较大的改进。在工艺上先选用二次法成型工艺,然后移植到先进的一次法成型机组上^[8,9],并配合三复合挤出机挤出复合胎面,实现了“冠包侧”成型工艺,不但成型效率有所提高,而且减轻了轮胎重量,降低了成本,并为提高轮胎均匀性能创造了条件。同时还加强工艺管理,建立、制定了合理的工艺控制体系和质量保证体系。

3 实施效果

我们开发的“65”,“60”系列低断面 H 级轿车子午线轮胎,已属世界超高速、超低断面较高档产品,在国内处于领先地位。经成品试验和实际使用,证明取得了如下实际效果。

(1)轮胎高速性能良好,6 个规格的轮胎高速性能试验结果全部达到 H 级要求。

(2)耐久性能优越,各规格轮胎耐久性试验结果均超过指标,140h 轮胎未损坏。

(3)外缘尺寸稳定,静态下外缘尺寸全部达到国家标准,动态试验后的外缘尺寸变化较小。

(4)轮胎强度高,水压爆破的安全倍数均达到 7 以上,超过国家标准。

(5)均匀性检测达标率 85%以上, X 光检验通过率 95%以上。

(6)密封性能好,各规格轮胎的脱圈阻力试验均达到国标要求。

4 结语

“65”,“60”系列产品全部符合国标要求,

(下转第 496 页)

(上接第 462 页)

各项性能满足使用要求,可替代同规格进口产品,能满足国产汽车原配胎要求,于 1994 年 7 月通过化工部部级鉴定,专家评定为接近国际先进水平。

致谢 本项目成品试验得到国家轮胎监测中心和山东荣成市橡胶厂实验室的大力支持,谨致谢意!

参考文献

- 1 Tseng N T. Finite element simulation of destructive tire testing. Tire Science and Technology, 1991; 19(1): 2
- 2 Walter J D and Kiminecz R K. Bead contact pressure measurements at the tire-rim interface, SAE 750458
- 3 何晓玫, 吴桂忠等. 低断面轿车子午线轮胎 PDEP 设计理论. 橡胶工业, 1995; 42(2): 67
- 4 化工部北京橡胶工业研究设计院轮胎研究室编译. 充气轮胎理论基础. 1990: 528
- 5 邴文光, 胡幼学. 高速低断面轿车子午线轮胎冠带层力学性能研究. 轮胎工业, 1995; 12: 714
- 6 刘昌波, 于喜涛等. 国产聚酯帘布在半钢子午线轮胎中的应用. 轮胎工业, 1994; 14(4): 3
- 7 陈振宝, 王同英等. 高模低收缩型聚酯帘线特性研究. 橡胶工业, 1995; 42(5): 259
- 8 吕秉棠, 郑维峰. 对美国通用轮胎公司的考察报告. 轮胎工业专辑, 1994: 19
- 9 Kabe K and Morikawa T. A new tire construction which reduces ply steel. Tire Science and Technology, 1991; 19(1): 37

收稿日期 1996-02-06