

215/70R17.5全钢载重子午线轮胎胎冠性能优化

孙佳佳, 孙宝余, 鲁强

(三角轮胎股份有限公司, 山东威海 264200)

摘要:以215/70R17.5全钢载重子午线轮胎为研究对象,通过内轮廓调整和带束层结构优化,探讨内轮廓设计及材料分布优化对轮胎性能的影响。结果表明,通过以减小胎肩及肩下厚度为设计目标的内轮廓和材料分布优化及带束层结构由3层调整为3层+1层0°带束层,轮胎强度提升26%,胎冠部位整体的充气膨胀量和负荷下轮胎下沉量减小,轮廓的径向稳定性提升,轮胎耐久性能大幅提升,滚动阻力系数减小。

关键词:全钢载重子午线轮胎;胎冠性能;材料分布;内轮廓设计;成品轮胎性能

中图分类号:U463.341⁺.3/.6

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)05-0275-04

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.05.0275



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着国内外交通领域和汽车技术的快速发展,市场对汽车的安全性、舒适性和节油性的要求越来越高^[1-3],轮胎作为汽车与路面接触的主要部件,对汽车的整体性能具有重要影响。而轮胎的结构设计和轮廓设计作为轮胎产品设计的重要环节对产品的性能具有决定性的作用^[4]。

轮胎结构设计发展经历了几个重要的阶段:一是以生产经验和试验对比为基础的经验设计阶段;二是以自然平衡轮廓理论为指导的半经验设计阶段;三是基于有限元分析的现代化设计阶段。基于轮胎结构设计理念的发展,轮胎企业先后提出了不同的轮廓设计理论,早期基于网格-薄膜理论和自然平衡轮廓理论,普利司通公司提出了轮胎最佳张力控制理论(TCOT)和最佳滚动理论(RCOT),横滨公司提出了应变能最小化理论(STEM)。20世纪80年代后,非自然平衡轮廓理论伴随计算机技术的发展应运而生,东洋公司提出了动态模拟最佳滚动轮廓理论(DSOC),住友公司提出了预应力轮廓理论(PSP)等。随着轮廓设计理论的发展,内轮廓形状对轮胎性能的影响更为直接和明显^[5-6]。

为探讨内轮廓设计对轮胎性能的影响,提升轮胎的胎冠性能,本工作通过对215/70R17.5全钢

载重子午线轮胎胎冠部位材料分布优化,调整胎冠部位内轮廓,研究材料分布及内轮廓变化对轮胎综合性能的影响。

1 轮廓设计

轮胎模具开发完成后产品的外轮廓已被固化,若要更改外轮廓则需要重新开发模具,不仅会延长产品开发周期,还会造成严重的资源浪费,因此在保证外轮廓不变的情况下进一步提升轮胎性能具有重要的意义。

为提高215/70R17.5全钢载重子午线轮胎胎冠性能,进行内轮廓调整设计,如图1所示,调整后轮胎肩部及肩下厚度明显减小。

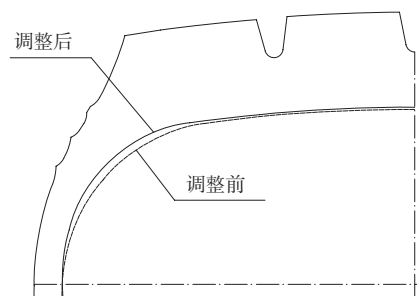


图1 调整前后轮胎内轮廓设计对比

2 材料分布优化

早期轮胎结构设计的网格-薄膜理论认为,轮胎在充气状态下胎体帘线所受张力是均匀的,

作者简介:孙佳佳(1988—),女,山东威海人,三角轮胎股份有限公司工程师,硕士,主要从事全钢子午线轮胎结构设计工作。

E-mail:sunjiajia@triangle.com.cn

且受力后胎体网格形成平衡轮廓^[7],忽略了带束层和加强层对压力的分担作用,主要考虑轮胎在静态下的强度,忽略了轮胎在使用过程中的动态特性。

带束层作为胎冠部位最主要的钢丝增强部件,除了起缓冲作用外,还对胎体起紧箍作用,0°带束层结构是载重子午线轮胎常用的带束层结构,相对于3层带束层结构来说,0°带束层的使用能够有效控制轮胎肩部的扩张,减少肩部偏磨现象的发生。

对于子午线轮胎来说,带束层和胎体的共同作用决定了轮胎在充气状态下的形状和接地压力分布。本工作在优化内轮廓形状的同时,针对带束层对胎冠部位应力分布的影响进行研究。根据调整后的内轮廓形状,对带束层宽度及胎肩垫胶形状进行适当调整。为进一步提升胎冠性能、改善胎肩部位因应力集中造成的早期损坏,对带束层结构进行优化,由3层带束层结构调整调整为3层+1层0°带束层结构,调整前后带束层材料不变,材料分布如图2所示。

胎肩是带束层端点的集中区,也是轮胎主要的应力集中部位。作为胎冠设计中厚度最大的区

域,胎肩部位变形引起的能耗也是最大的。根据经验,胎肩部位的实测温度会比胎冠中心位置温度高2~4℃^[8-9]。本次内轮廓及材料分布优化以减小胎肩及肩下厚度为设计目标,并通过带束层结构调整突显带束层对胎体的箍紧作用,通过提升带束层的整体模量有效地减少胎肩部位因反复滚动变形而产生的应力集中现象,提升轮胎胎冠部位的强度、耐久性能和滚动阻力性能等。

3 力学仿真模拟分析

轮胎轮廓和材料分布设计阶段采用公司自主开发的轮胎力学仿真分析系统对轮胎性能进行分析和评估。仿真条件:轮辋 6.00,负荷 1 320 kg,充气压力 600 kPa。施工设计调整前后轮胎仿真接地印痕对比如图3所示。

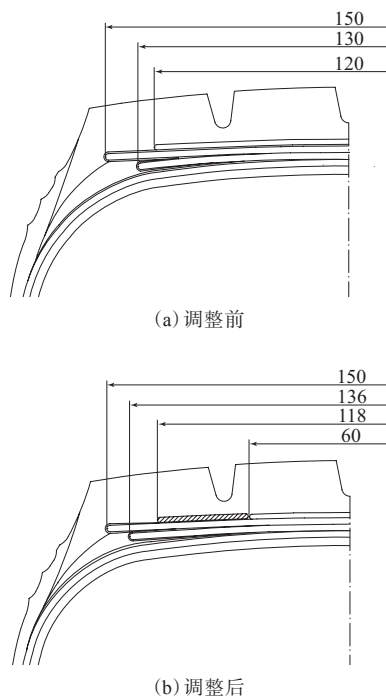


图2 施工设计调整前后轮胎材料分布对比

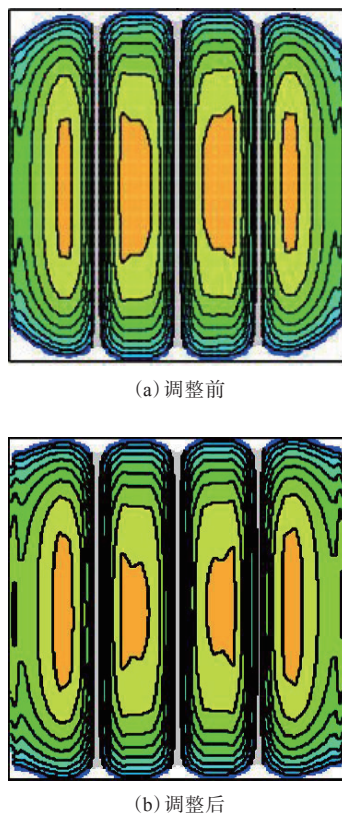


图3 施工设计调整前后轮胎仿真接地印痕对比

由图3可见,调整后轮胎胎肩沉降值明显减小,整体接地印痕形状由椭圆形调整为矩形,接地印痕面积明显增大。通过内轮廓和材料分布调整,轮胎胎肩部位接地压力分布不均匀的问题得

到一定程度的改善。0°带束层结构的使用有效分担了胎肩部位的压力,抑制1[#]和2[#]带束层的周向角度变化,对胎肩部位起到有效的箍紧作用;调整后胎肩部位的内轮廓曲率增大,肩部及肩下厚度减小,充气后有利于肩部膨胀,同时边沟部位又受到0°带束层的紧箍作用,使得肩部边缘充气膨胀明显,接地压力整体分布更均匀^[10-14]。

4 成品轮胎性能

本工作通过胎冠内轮廓调整达到优化胎体形状的目的,并结合0°带束层的使用进一步提升带束层的整体模量,通过带束层和胎体的配合提升产品的整体性能,对调整前后的成品轮胎进行外缘尺寸、强度、耐久性能、滚动阻力及充气膨胀特性进行测试对比。

4.1 外缘尺寸和强度

分别按照GB/T 521—2012和GB/T 4501—2016进行轮胎充气外缘尺寸和强度测试,充气压力为600 kPa,测试结果如表1所示。

表1 轮胎充气外缘尺寸和强度测试结果		
项 目	调整前	调整后
充气外直径/mm	751	749
充气断面宽/mm	204	206
破坏能/J	1 266. 3	1 594. 8

从表1可以看出:通过内轮廓设计和材料分布优化,轮胎的充气外缘尺寸略有变化,带束层由3层结构调整调整为3层+0°结构后总体模量增大,充气后外直径相对较小,断面宽增大;调整前后破坏能与标准值的百分比分别为197%和248%,调整后破坏能增大26%,说明带束层结构优化及内轮廓调整对轮胎强度提升具有显著作用。

4.2 充气膨胀特性

为进一步探索胎冠接地压力分布均匀性,对不同充气压力下轮胎胎冠部位的膨胀量进行对比分析,分别在100和600 kPa充气压力下对施工设计调整前后的轮胎进行充气轮廓扫描,结果如图4和表2所示。

从图4和表2可以看出,调整后由于0°带束层的使用,充气压力增大后轮胎总体膨胀量显著减小,胎冠膨胀形状相对均匀。胎肩部位厚度减小有利

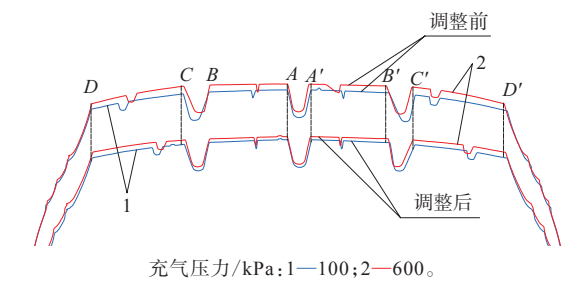


图4 调整前后100和600 kPa充气压力下
轮胎充气轮廓对比

表2 100与600 kPa充气压力下轮胎充气膨胀量 mm

项 目	测量点							
	D	C	B	A	A'	B'	C'	D'
调整前	2.04	2.93	2.68	2.17	2.18	2.62	3.04	2.75
调整后	2.35	1.71	1.36	1.21	1.18	1.50	1.87	2.22

于其在充气状态下进行径向和横向膨胀,这与力学仿真分析的胎肩部位接地压力增大一致。

4.3 静负荷性能

对施工设计调整前后的轮胎进行静负荷性能测试,测试条件为:充气压力 600 kPa,负荷 13 200 N。试验结果如表3所示。

表3 轮胎静负荷性能测试结果		
项 目	调整前	调整后
静负荷半径/mm	347. 2	347. 9
接地印痕面积/cm ²	245. 3	249. 5
下沉量/mm	27. 33	26. 60
下沉率/%	18. 0	17. 5

由表3可见,相对于调整前,调整后轮胎带束层的总体模量增大,静负荷半径略大,下沉量减小,轮廓的径向稳定性提升。

4.4 耐久性能

轮胎耐久性能按照GB/T 4501—2016进行测试,达到国家标准要求后继续按照企业标准进行测试。施工设计调整前轮胎耐久性能试验累计行驶时间为51 h,试验结束时上模胎肩裂口;调整后轮胎耐久性能试验累计行驶时间为77 h,试验结束时轮胎未损坏,轮胎耐久性能大幅度提升。

4.5 滚动阻力

轮胎滚动阻力采用公司国家工程实验室TSII-001型滚动阻力测试机床、按照ISO 28580: 2018进行测试。施工设计调整前后轮胎滚动阻力系数分别为7. 11和6. 88 N·kN⁻¹。

调整后轮胎带束层的模量和刚度提高,结合新轮廓设计,轮胎下沉量和滚动阻力系数减小。

5 结论

以215/70R17.5全钢载重子午线轮胎为研究对象,通过内轮廓调整和带束层结构优化,探讨内轮廓设计及材料分布优化对轮胎性能的影响,得到如下结论。

(1) 轮胎的整体强度与带束层结构有直接关系,调整后轮胎强度提高26%。

(2) 调整后轮胎胎冠部位整体的充气膨胀量减小,负荷下轮胎下沉量减小,轮廓的径向稳定性提升。

(3) 调整后轮胎耐久性能大幅提升,滚动阻力系数减小。

参考文献:

- [1] 唐洪斌,刘乐丹,张君媛. 基于碰撞波形与约束系统耦合的汽车安全性改进[J]. 汽车工程,2021,43(10):1504-1512.
- [2] 张俊江. 计及再生制动和乘坐舒适性的四驱纯电动汽车控制策略研究[D]. 重庆:重庆大学,2021.
- [3] 曾小华,崔臣,宋大风,等. 行星混动混合动力汽车节油因素分

析[J]. 北京理工大学学报,2019,39(7):699-705.

- [4] 李大双. 非充气轮胎结构设计及性能分析[D]. 青岛:青岛大学,2021.
- [5] 赵厚杰,张宝亮,戚顺青. 载重轮胎轮廓设计与性能的相关性研究[J]. 轮胎工业,2021,41(5):284-286.
- [6] 辛振祥,邓涛,王伟. 现代轮胎结构设计[M]. 北京:化学工业出版社,2011:1-2.
- [7] 杨建,王国林,赵璠. 新非自然平衡轮廓载重子午线轮胎设计及试验验证[J]. 机械科学与技术,2016(7):1112-1119.
- [8] 陈佛国,晋琦,辛飞飞. 内轮廓优化对TBR轮胎滚动阻力性能改进方法的研究[J]. 中国橡胶,2017,33(17):46-48.
- [9] 杨建,王国林,万治君. 子午线轮胎的非自然平衡轮廓设计及性能分析[J]. 中国机械工程,2015,26(13):1827-1833.
- [10] 崔志博,侯丹丹,苏召乾,等. 带束层膨胀对轮胎接地印痕的影响研究[J]. 橡胶工业,2021,68(1):10-16.
- [11] 冯强,雍占福. 12R22.5轮胎带束层帘线的有限元优化设计[J]. 弹性体,2021,31(4):29-33.
- [12] 王国林,吴旭,梁晨,等. 低滚动阻力轮胎结构设计[J]. 机械设计与制造,2018(S2):77-79.
- [13] 叶佳蕾,王红彦,张海燕,等. 低断面载重子午线轮胎带束层结构的优化[J]. 轮胎工业,2018,38(7):399-400.
- [14] 杨建,王国林,董自龙,等. 轮胎带束层宽度和帘线角度对滚动阻力的影响[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2015,43(4):128-132.

收稿日期:2022-12-27

Optimization on Crown Performance of 215/70R17.5 Truck and Bus Radial Tire

SUN Jiajia, SUN Baoyu, LU Qiang

(Triangle Tire Co., Ltd, Weihai 264200, China)

Abstract: Taking 215/70R17.5 truck and bus radial tires as the research object, the effects of inner contour design and material distribution optimization on the tire performance were discussed through inner contour adjustment and belt structure optimization. The results showed that through the optimization of the inner contour and material distribution which reduced the thickness of the tire shoulder and the layer under the shoulder, and the adjustment of the belt structure from 3 layers to 3 layers with an additional layer of 0° belt, the tire strength was increased by 26%, the overall inflation expansion of the crown and the tire deformation under typical load were reduced, the radial stability of the contour was improved, the durability of the tire was greatly improved, and the rolling resistance coefficient was reduced.

Key words: truck and bus radial tire; crown performance; material distribution; internal contour design; finished tire performance