

235/75R17.5低滚动阻力子午线轮胎的设计优化

高同舜,王 洋,高兴鹏,赵玉娜,李子奇,曹 飞

(青岛双星轮胎工业有限公司,山东 青岛 266400)

摘要:介绍235/75R17.5低滚动阻力子午线轮胎的设计优化。结构设计参数不变,即外直径 794 mm,断面宽 236 mm,行驶面宽度 188 mm,行驶面弧度高 6 mm,胎圈着合直径 443.5 mm,胎圈着合宽度 184 mm,断面水平轴位置(H_1/H_2) 1.002 86。采取优化措施为:采用低滚动阻力胎面胶和胎侧胶配方,胎面采用胎冠胶+小翼胶复合形式挤出,胎体采用 $3\times 0.24/9\times 0.225$ CCST钢丝帘线替代 $3+9\times 0.22+0.15$ NT钢丝帘线,带束层采用 $2+7\times 0.30$ ST钢丝帘线替代 $4+3\times 0.33$ ST和 $3+9+15\times 0.22+0.15$ NT钢丝帘线,优化胎圈部位材料分布,采用低温硫化工艺。成品性能试验结果表明,优化轮胎的耐久性能提高,高速性能达到企业标准要求,滚动阻力系数为 $6.12\text{ N}\cdot\text{kN}^{-1}$,满足市场要求。

关键词:低滚动阻力轮胎;子午线轮胎;设计优化;耐久性能;高速性能;滚动阻力系数

中图分类号:U463.341⁺.3/.6;TQ336.1

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)08-0461-04

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.08.0461



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

为防止全球变暖,减少二氧化碳排放,引导消费者使用环保轮胎产品,欧盟和美国等地区和国家已相继出台了轮胎标签法,对轮胎的滚动阻力、抗湿滑性能和噪声提出了限值要求^[1-4]。韩国、巴西、沙特阿拉伯等从2022年开始也实行与欧洲相同的轮胎标签要求^[5-6]。根据欧盟轮胎标签法第二阶段要求,载重汽车轮胎及客车轮胎(C3)滚动阻力系数应不大于 $6.5\text{ N}\cdot\text{kN}^{-1}$ 。

为满足国外轮胎市场需求,同时改善产品性能,提高产品附加值,我公司对载重轮胎的设计进行优化。现将235/75R17.5低滚动阻力子午线轮胎的设计优化情况介绍如下。

1 技术要求

根据韩国标签法要求,出口到韩国市场的235/75R17.5子午线轮胎需要满足滚动阻力系数不大于 $6.5\text{ N}\cdot\text{kN}^{-1}$ 的要求。我公司原成熟产品235/75R17.5子午线轮胎的滚动阻力系数为 $7.3\text{ N}\cdot\text{kN}^{-1}$,因客户要求产品外观不能发生变化,需在其基础上进行设计优化,原成熟产品的主要技术参数为:标准轮辋 6.75,充气外直径(D')

797(787~807) mm,充气断面宽(B') 236(224~242) mm,标准充气压力 775 kPa,标准负荷 2 000 kg。235/75R17.5低滚动阻力子午线轮胎的 D' 和 B' 分别为798和238 mm,其他技术参数不变^[7-9]。

2 结构设计

由于客户要求低滚动阻力轮胎的外观与原成熟产品相同,因此本设计外直径(D)和断面宽(B)均保持原设计参数不变, D 取794 mm, B 取236 mm,外直径膨胀率(D'/D)为1.005 04,断面宽膨胀率(B'/B)为1.008 48,原设计 D'/D 和 B'/B 分别为1.003 78和1.0。同时以下结构设计参数均未发生改变:行驶面宽度 188 mm,行驶面弧度高 6 mm,胎圈着合直径 443.5 mm,胎圈着合宽度 184 mm,断面水平轴位置(H_1/H_2) 1.002 86。

轮胎断面轮廓如图1所示。胎面花纹展开及轮胎花纹立体效果分别如图2和3所示。

3 配方设计

3.1 胎面胶

胎面对轮胎低滚动阻力性能影响非常重要。采用低滚动阻力胎面胶配方,与正常胎面胶配方相比,低滚动阻力胎面胶配方生胶体系由全天然

作者简介:高同舜(1992—),男,山东潍坊人,青岛双星轮胎工业有限公司工程师,学士,主要从事轮胎的结构设计工作。

E-mail:sdkgdaotongshun@163.com

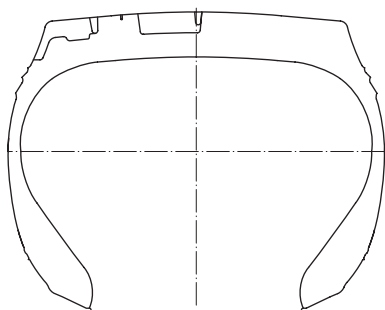


图1 轮胎断面轮廓示意

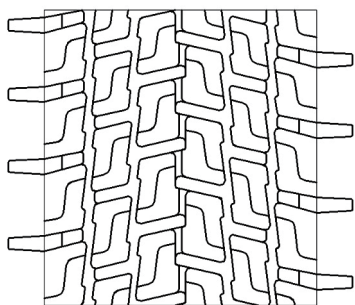


图2 胎面花纹展开示意



图3 轮胎花纹立体效果

橡胶(NR)调整为NR/钕系顺丁橡胶(BR)并用,钕系BR的玻璃化温度低,柔顺性好,具有强度高、生热低和抗湿滑等优点;补强体系减小普通炭黑用量,由高分散性白炭黑替代,并添加白炭黑分散剂,以提高其在胶料中的分散性,从而提高胶料物理性能的稳定性^[10]。

3.2 胎侧胶

采用低滚动阻力胎侧胶配方,即采用钕系BR替代高顺式BR,并适当减小炭黑用量,同时添加高分散性白炭黑^[11]。高分散性白炭黑补强性好,生热较低,有利于降低轮胎的滚动阻力,同时可以提高胶料的抗撕裂性能和耐老化性能。

4 施工设计

4.1 胎面

胎面直接接触地面,对轮胎的接地印痕和滚动阻力有直接影响。根据经验,采用胎面胶+大基部胶复合挤出形式更有利于降低胎冠生热,胎冠部位能量损失更小。但该产品因胎冠厚度较小,花纹沟底胶厚度为4 mm,若采用该种形式挤出,基部胶厚度为3 mm,实际生产挤出时若基部胶厚度出现波动,会造成基部胶厚度超出公差,基部胶渗透到花纹沟位置,会导致轮胎使用后期出现花纹沟底裂口等问题,为规避此风险,胎面采用胎冠胶+小翼胶复合形式挤出。

在对现有成熟产品轮胎断面进行分析时发现,胎冠基部胶中部偏厚,为保证胎冠胶的平滑过渡及达到改善接地印痕的效果,对胎面挤出口型进行调整,减小胎面挤出口型中厚和肩下尺寸,即胎面挤出口型中厚由13 mm减小至12.5 mm,肩下尺寸由14.5 mm减小至13 mm。调整后胎面挤出口型如图4所示。

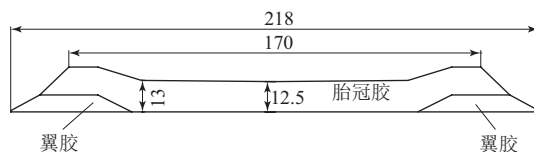


图4 调整后胎面挤出口型示意

经研究,接地印痕对轮胎滚动阻力有 $0.2 \text{ N} \cdot \text{kN}^{-1}$ 左右的影响,当接地印痕的胎面中心偏圆形时,对滚动阻力有利,但接地印痕的胎面过圆,会出现胎肩偏磨等问题。原轮胎和优化轮胎的接地印痕分别如图5和6所示。

通过调整胎侧耐磨胶口型尺寸以及胎圈包布和胎体宽度,对胎圈部位材料分布进行优化,耐磨胶高度降低可有效减少成型后轮胎出现耐磨胶打褶问题,从而避免轮胎在实际使用中出现胎圈裂口现象。

4.2 胎体

胎体作为轮胎的主要骨架支撑部位,用来承受轮胎的负荷、内部的空气压力及横向的剪切力等。胎体采用 $3 \times 0.24/9 \times 0.225$ CCST钢丝帘线替代 $3+9 \times 0.22+0.15$ NT钢丝帘线,胎体质量减



图5 原轮胎接地印痕



图6 优化轮胎接地印痕

小6%, 帘布强度提高18%, 优化后胎体安全倍数为12.69, 达到客户使用要求。

4.3 带束层

带束层作为子午线轮胎的主要受力部件, 其设计的合理与否, 对轮胎滚动阻力有重要影响。优化设计采用3层带束层+0°带束层结构, 0°带束层可以显著提升轮胎刚性。借鉴我公司在7.50R16轮胎上的测试结果, 0°带束层结构的轮胎滚动阻力比非0°带束层结构的轮胎可降低10%。0°带束层使用 $3 \times 7 \times 0.20$ HE 钢丝帘线, 3层带束层使用 $2 + 7 \times 0.30$ ST 钢丝帘线(原设计1#带束层使用 $4 + 3 \times 0.33$ ST 钢丝帘线, 2#带束层使用 $3 + 9 + 15 \times 0.22 + 0.15$ NT 钢丝帘线), 在帘布强度与原带束层帘布相当的情况下, 带束层质量可减小24%。1#带束层帘布角度为 24° , 2#和3#带束层帘布角度为 15° 。带束层安全倍数为8.133, 可以达到客户使用要求。

4.4 成型

成型机机头直径为416 mm, 平面宽为517 mm。为保证轮胎质量的稳定性, 各部件接头要求

按一定角度均匀分布, 胶部件接头要求刷汽油打毛后压实, 胎体帘布用电动拉链式接头机对接。

4.5 硫化

硫化采用液氮蒸锅式硫化机。采用低温硫化工艺, 硫化条件为: 蒸锅外温由 $(151 \pm 3)^\circ\text{C}$ 调整为 $(141 \pm 3)^\circ\text{C}$, 内蒸汽时间由5 min调整为1.5 min, 氮气时间由24 min调整为33 min, 总硫化时间由39.2 min调整为43.7 min, 胎坯硫化完成后, 成品轮胎外观质量良好。

5 成品性能

5.1 耐久性能

按照FMVSS119进行轮胎耐久性试验, 试验条件如表1所示。

表1 耐久性试验条件

项 目	试验阶段							
	1	2	3	4	5	6	7	8
负荷率/%	65	84	101	120	140	160	180	200
行驶时间/h	7	16	24	8	8	8	8	至损坏

注: 充气压力 775 kPa, 标准负荷 2 000 kg, 试验速度 $45 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

原轮胎耐久性试验累计行驶时间为80.40 h, 试验结束时轮胎损坏形式为胎肩脱空; 优化轮胎累计行驶时间为86.45 h, 试验结束时轮胎损坏形式为胎圈裂口, 两者均达到标准要求($\geq 70 \text{ h}$), 优化轮胎的耐久性能提高8%。

5.2 高速性能

成品轮胎的高速性能按照企业标准进行试验, 试验条件和结果如表2所示。轮胎在高速试验中行驶速度达到 $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 试验结束时轮胎未损坏, 高速性能符合企业标准要求($\geq 130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)。

表2 高速性能试验条件和结果

项 目	试验阶段				
	1	2	3	4	5
行驶速度/ $(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	0~110	110	120	130	130
行驶时间/h	10	10	10	30	15

注: 充气压力 775 kPa, 标准负荷 2 000 kg。

5.3 滚动阻力

轮胎滚动阻力采用测力法进行测试。设计3个方案试制轮胎进行滚动阻力测试, 方案1为正常胎面胶配方+原施工设计+正常硫化工艺, 方案

2为低滚动阻力胎面胶配方+改进施工设计+正常硫化工艺,方案3为低滚动阻力胎面胶配方+改进施工设计+低温硫化工艺。结果表明,方案1—3轮胎的滚动阻力系数分别为7.29,6.42和6.12 $\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}$ 。由此可见:低滚动阻力胎面胶配方对轮胎滚动阻力影响最大,可使轮胎滚动阻力系数降低0.4~0.6 $\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}$;改进施工设计使轮胎质量减小了6%,可使轮胎滚动阻力系数降低0.2~0.4 $\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}$;采用低温硫化工艺可使轮胎滚动阻力系数降低0.1~0.3 $\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}$ 。

6 结语

通过进行理论探究、设计分析、样品轮胎试制、成品轮胎性能检测等工作,完成了235/75R17.5低滚动阻力子午线轮胎的优化设计。成品性能试验结果表明,优化轮胎的耐久性能提高,高速性能达到企业标准要求,滚动阻力系数为6.12 $\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}$,满足要求。产品初步投入市场,达到了市场标准要求,受到用户认可。该产品的成功开发,增大了公司的国际市场份额,经济效益明显。

参考文献:

- [1] 罗忠林,李世军. 12R22.5 18PR低滚动阻力全钢载重子午胎设计[J]. 中国橡胶,2020,36(12):55-58.
- [2] 姚冰,冯琳阁. 胎面胶对全钢子午线轮胎滚动阻力影响的有限元分析[J]. 轮胎工业,2021,41(2):86-88.
- [3] 魏一凡,韩雪冰,卢兰光,等. 面向碳中和的新能源汽车与车网互动技术展望[J]. 汽车工程,2022,44(4):449-464.
- [4] 张文广,赵敏. 全钢载重子午线轮胎的滚动阻力与胎面胶性能相关性研究[J]. 轮胎工业,2021,41(12):725-728.
- [5] 张丽霞,王亚平,潘福全,等. 针对汽车最速操纵稳定性的轮胎参数优化[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版),2022,36(4):35-42.
- [6] 许男,周健锋,郭孔辉,等. 胎压载荷耦合效应下复合工况UniTire轮胎模型[J]. 机械工程学报,2020,56(16):193-203.
- [7] 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,2011:53.
- [8] 斯佳. 韩泰轮胎配套深圳巴士新能源公交车[J]. 中国橡胶,2016,32(22):32.
- [9] 黄通,刘志浩,高钦和,等. 重载车辆轮胎模型参数辨识与灵敏度分析[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2022,49(8):36-44.
- [10] 韩冬礼,杨嘉顺,刘毅,等. 新型硅烷偶联剂IMLV在绿色轮胎胎面胶中的应用[J]. 橡胶工业,2022,69(10):764-768.
- [11] 李培生. 钕系顺丁橡胶CB24在全钢子午胎胎侧配方中的应用研究[J]. 中国橡胶,2021,37(1):52-55.

收稿日期:2023-03-22

Design Optimization of 235/75R17.5 Radial Tire with Low Rolling Resistance

GAO Tongshun, WANG Yang, GAO Xingpeng, ZHAO Yuna, LI Ziqi, CAO Fei

(Qingdao Doublestar Tire Industry Co., Ltd., Qingdao 266400, China)

Abstract: The design optimization of 235/75R17.5 radial tire with low rolling resistance was introduced. The structural design parameters remain unchanged, that was as follows: overall diameter 794 mm, cross-sectional width 236 mm, width of running surface 188 mm, arc height of running surface 6 mm, bead diameter at rim seat 443.5 mm, bead width at rim seat 184 mm, and maximum width position of cross-section (H_1/H_2) 1.002 86. In the optimized construction design, the compounds with low rolling resistance were adopted in the tread and sidewall, while the co-extruded tread was constructed in the form of crowns and small wings. Moreover, the $3 \times 0.24/9 \times 0.225$ CCST steel cord was applied to replace the $3+9 \times 0.22+0.15$ NT steel cord in the carcass, and the $2+7 \times 0.30$ ST steel cord was used in the belt instead of the $4+3 \times 0.33$ ST and $3+9+15 \times 0.22+0.15$ NT steel cords. The material distribution of the bead was also optimized, and the low temperature vulcanization process was adopted. The test results of the finished tire showed that the durability of the optimized tire was improved, the high speed performance met the requirements of the enterprise standard, and the rolling resistance coefficient was 6.12 $\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}$, meeting the market requirements.

Key words: low rolling resistance tire; radial tire; design optimization; durability; high speed performance; rolling resistance coefficient