

# 425/65R22.5宽基低断面无内胎轮胎优化设计

张 鹏<sup>1</sup>, 刘凤珍<sup>2</sup>, 赵长松<sup>1</sup>, 王 辉<sup>3</sup>, 宁昭波<sup>3</sup>, 姚 义<sup>3</sup>

(1. 怡维怡橡胶研究院有限公司, 山东 青岛 266500; 2. 青岛福临轮胎有限公司, 山东 青岛 266000; 3. 兴源轮胎集团有限公司, 山东 东营 257336)

**摘要:** 利用有限元分析方法对425/65R22.5轮胎轮廓进行优化设计。结果表明, 增大轮胎行驶面宽度和胎冠弧度曲率半径以及胎冠弧高度, 适当降低断面水平轴位置, 可有效减小轮胎胎冠部位的应力集中; 带束层由4层结构改为3层带束层加2层0°带束层结构, 可明显改善轮胎的接地印痕形状和接地压力分布; 成品轮胎试验结果表明, 优化设计后轮胎的耐久性能和高速性能明显提高。

**关键词:** 子午线轮胎; 结构设计; 带束层结构; 有限元分析

**中图分类号:** TQ336.1<sup>+</sup>4; U463.341<sup>+</sup>.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-8171(2018)00-0000-00

众所周知, 宽基轮胎具有低滚动阻力, 油耗低和舒适性好等优点。目前宽基子午线轮胎已在欧美得到成功推广应用, 在欧洲载重汽车轮胎市场替换率占20%以上, 在美国市场的份额也在不断增大。但是宽基轮胎在中国仍处于起步阶段, 主要是国内货车、挂车、列车超载严重, 同时单宽基轮胎的超载能力达不到双胎并装的普通断面轮胎, 而且爆胎后安全性较低。随着GB/T 1589—2016《汽车、挂车及汽车列车外缘尺寸、轴荷及质量限值》的正式实施, 国家对车辆限载的要求越来越严格, 以6×4加3轴挂车为例, 新规限载由原来的55 t减小至49 t, 下降了10.9%。轻量化逐步成为重型载货汽车发展的趋势, 而宽基轮胎是实现重型卡车轻量化的一个有效途径。以6×4牵引车为例, 若主挂车中后轴均采用单宽轮胎代替双胎并装, 整车质量减轻可达448 kg, 经济和社会效益十分明显。

425/65R22.5低断面宽基无内胎轮胎在投放市场后出现了一些质量问题。本文主要介绍该规格宽基轮胎后期改进情况, 分析轮胎损坏原因, 提出改进措施, 重新对轮胎的外轮廓设计和施工设计进行优化, 并应用有限元软件进行分析验证和优选外轮廓曲线的设计, 将改进前后结构设计及轮胎性能进行对比。

**作者简介:** 张鹏(1973—), 男, 河南焦作人, 怡维怡橡胶研究院有限公司工程师, 学士, 主要从事全钢子午线轮胎结构设计和新工艺产品研发工作。

## 1 轮胎损坏形式及主要原因

轮胎损坏形式主要为轮胎胎冠脱空和胎冠爆, 该现象的产生与轮胎接地印痕和接地压力分布不合理有关。损坏轮胎实物如图1所示。从结构设计方面考虑, 影响轮胎接地印痕和接地压力分布的因素主要有两方面: 一是轮胎外轮廓的行驶面弧度半径( $R_a$ )和胎冠弧高度( $h$ )的设计取值; 二是产品施工设计过程中带束层结构的选取。轮胎接地印痕如图2所示。



图1 损坏轮胎

经分析发现, 原轮胎轮廓 $R_a$ 偏小, 行驶面宽度( $b$ )小,  $h$ 值偏小, 断面水平轴位置( $H_1/H_2$ )设计偏高( $H_1/H_2=1$ ), 同时胎圈着合宽度( $C$ )偏小, 为等宽设计, 导致轮胎充气后应力向胎冠部位集中, 增大轮胎胎冠部位的损坏几率。

原轮胎带束层结构为4层带束层, 带束层直径膨胀率取值偏小, 没有很好地起到束缚胎体向外膨胀并形成带束层刚性的作用。同时4层带束结



图2 轮胎接地印痕

构的轮胎胎肩部位接地压力比胎冠大,应适当减小轮胎胎肩部位接地压力,减小平均接地压力,以提升轮胎的耐久性能、抗胎冠爆破性能、高速性能和通过性能<sup>[1]</sup>。0°带束层能够减小轮胎带束层层边变形,增大子午线轮胎胎肩刚性,减小变形生热,保护带束层免受应力应变作用引起的疲劳损坏和热破坏,保证轮胎在高速行驶时具有稳定的尺寸,提高胎面稳定性。

## 2 外轮廓设计

轮胎外轮廓的设计主要对外轮廓的 $b$ ,  $R_n$ ,  $h$ ,  $H_1/H_2$ 和 $C$ 等参数进行优化。最终对比设计选择了两种方案,即方案2和3,方案1为原设计方案,并对3种方案进行有限元分析对比。

轮胎外轮廓设计示意如图3所示。

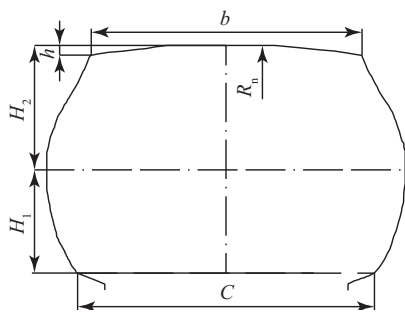


图3 轮胎外轮廓设计示意

通过增大轮胎 $b$ 和 $R_n$ ,可有效降低带束层端部的应力集中程度,同时明显改善轮胎的接地形状和接地压力分布。方案2的 $b$ 值增大8 mm,达到324 mm,  $R_n$ 增大207 mm,达到1 007 mm,  $h$ 增大至13 mm;方案3的 $b$ 和方案2一样,  $R_n$ 增大256 mm,达到1 056 mm,  $h$ 增大至12.5 mm。

为降低轮胎胎肩部位的应力,减小胎冠生热损坏,方案2的 $H_1/H_2$ 取0.846 7,方案3的 $H_1/H_2$ 取0.837 2。

低断面子午线轮胎的断面高度( $H$ )较小,胎侧刚性较大,为提高胎侧的柔软性, $C$ 值应大于轮辋宽度。方案2的 $C$ 为362 mm;方案3的 $C$ 为355.6 mm。

## 3 带束层设计

带束层由4层结构改为3层带束层加2层0°带束层结构设计。该结构有助于提高轮胎的高速性能和耐久性能,并降低滚动阻力,能更好地控制接地印痕的形状,减小高速和离心力下的胎肩部位胀大,改善宽基低断面轮胎的均匀磨耗。这种带束层结构的改进设计曾在385/65R22.5轮胎的改进中获得良好的效果<sup>[2]</sup>。

## 4 有限元分析

对3种方案进行有限元分析对比,3种方案均采用相同施工绘制材料分布图,有限元仿真所使用的配方性能相同。

### 4.1 接地印痕

轮胎的接地印痕有限元仿真结果如图4所示。

由图4可知,方案2和3轮胎的接地印痕接近圆形,方案1的接地印痕为蝴蝶形,且方案3的接地压力分布最均匀。

### 4.2 带束层耐久性能

带束层间剪切应变(ISS)分布有限元仿真结果如表1所示。带束层Mises应力分布仿真结果如图5所示。

由表1与图5可知,带束层损坏部位在0°带束层附近,根据带束层端点附近ISS变化幅度考量,得出带束层耐久性能由高到低为方案3,方案2,方案1。

### 4.3 胎圈耐久性能

胎圈应变能密度(SED)分布有限元仿真结果如表2所示。胎圈Mises应力分布仿真结果如图6所示。

由表2与图6可知,胎圈损坏部位在胎体反包端点附近,根据SED变化幅度考量,得出胎圈耐久性能由高到低为方案2,方案3,方案1。

## 5 成品轮胎性能

根据有限元分析对比结果,考虑到本次改进更注重的是轮胎耐久性能,最终决定外轮廓曲线设计采用方案3,试制轮胎的外缘尺寸、强度性能

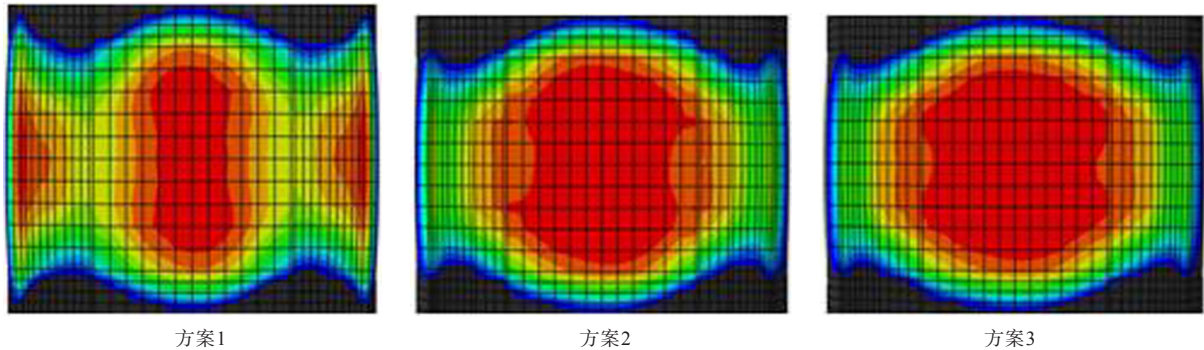
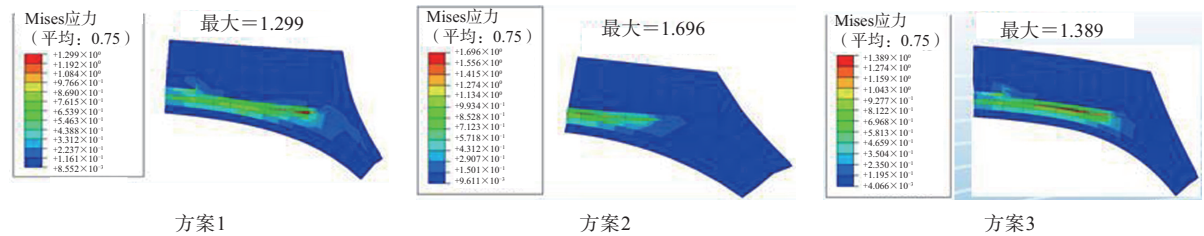


图4 不同设计方案轮胎接地印痕有限元仿真

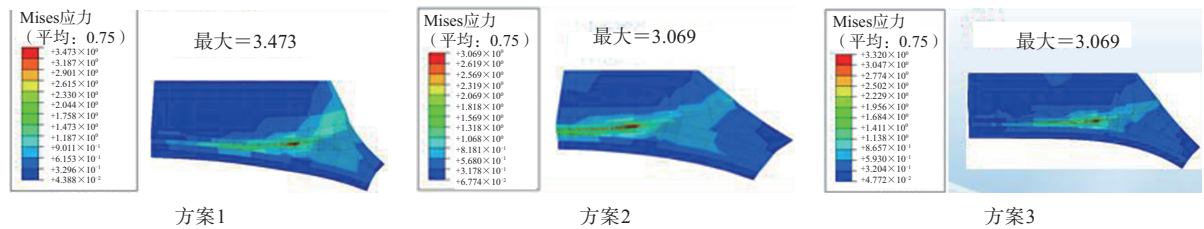
表1 带束层间ISS分布有限元仿真结果

(°)

| 方 案 | Belt1-END/(°) |       |          | Belt2-END/(°) |      |          | Belt3-END/(°) |       |          | Belt0-INNER/° |       |          |
|-----|---------------|-------|----------|---------------|------|----------|---------------|-------|----------|---------------|-------|----------|
|     | 充气压力          | 负荷    | $\Delta$ | 充气压力          | 负荷   | $\Delta$ | 充气压力          | 负荷    | $\Delta$ | 充气压力          | 负荷    | $\Delta$ |
| 方案1 | 13.18         | 40.49 | 27.31    | 1.96          | 5.73 | 3.77     | -5.44         | -3.99 | 1.46     | -1.55         | -1.81 | 0.26     |
| 方案2 | 9.73          | 37.04 | 27.31    | 1.92          | 6.89 | 4.97     | -5.78         | -3.73 | 2.05     | -1.52         | -1.69 | 0.18     |
| 方案3 | 11.20         | 37.90 | 26.70    | 2.02          | 6.75 | 4.74     | -6.08         | -3.75 | 2.33     | -1.24         | -1.32 | 0.09     |

注:充气压力为825 kPa,负荷为5150 kg, $\Delta=|(\text{负荷ISS})-(\text{充气压力ISS})|$ 。

(a) 充气压力为825 kPa



(b) 负荷为5 150 kg

图5 带束层Mises应力分布仿真结果

表2 胎圈SED分布有限元仿真结果

 $\times 10^3/(\text{J} \cdot \text{mm}^{-3})$ 

| 方 案 | 胎体    |       |          | 胎圈包布内侧 $\times 10^3/(\text{J} \cdot \text{mm}^{-3})$ |      |          | 胎圈包布外侧 $\times 10^3/(\text{J} \cdot \text{mm}^{-3})$ |       |          |
|-----|-------|-------|----------|------------------------------------------------------|------|----------|------------------------------------------------------|-------|----------|
|     | 充气压力  | 负荷    | $\Delta$ | 充气压力                                                 | 负荷   | $\Delta$ | 充气压力                                                 | 负荷    | $\Delta$ |
| 方案1 | 54.38 | 9.23  | 46.51    | 2.10                                                 | 2.01 | 0.09     | 4.64                                                 | 9.79  | 5.15     |
| 方案2 | 29.63 | 33.47 | 3.84     | 10.16                                                | 9.03 | 1.13     | 1.46                                                 | 11.62 | 10.16    |
| 方案3 | 4.51  | 45.87 | 41.63    | 0.88                                                 | 3.25 | 2.37     | 9.46                                                 | 27.52 | 18.06    |

注:充气压力与负荷同表1, $\Delta=|(\text{负荷SED})-(\text{充气压力SED})|$ 。

满足国家标准要求。

### 5.1 耐久性能

优化后成品轮胎耐久性试验条件为:充气压

力 830 kPa, 额定负荷 5 000 kg, 试验速度  $55 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。按照GB/T 4501—2008试验47 h后, 每10 h负荷率增加0.1继续进行试验,直至轮胎损



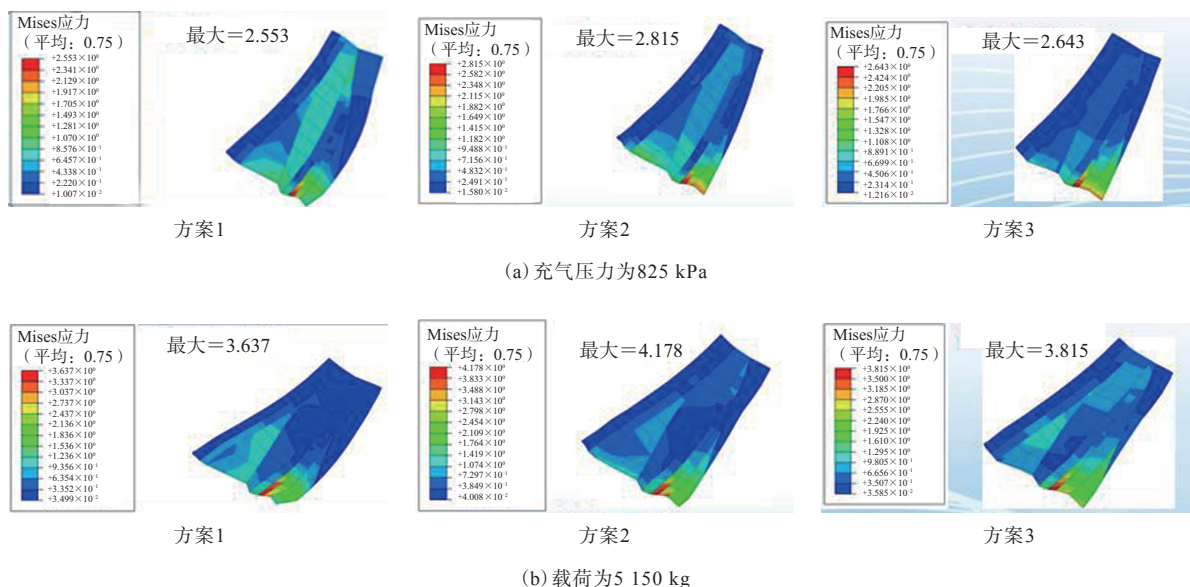


图6 胎圈Mises应力分布仿真结果

坏为止。优化设计后成品轮胎的累计行驶时间为82.15 h,比原轮廓设计轮胎平均51.39 h的耐久时间提高了60%,符合企业耐久性能内控标准要求。

## 5.2 高速性能

成品轮胎高速性能按照企业标准进行高速性能试验,高速试验通过速度为 $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,符合企业高速性能内控标准要求。原轮胎通过速度为 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,优化设计方案的改进效果十分明显。

## 6 结论

运用有限元软件分析可以有效地进行轮胎质量改进,并为试验方案提供优选依据。通过有

限元优化分析,增大轮胎的 $b$ 和 $R_0$ 以及 $h$ ,适当减小 $H_1/H_2$ ,可有效减小轮胎胎冠部位的应力集中;同时带束层由4层结构改为3层带束层加2层 $0^\circ$ 带束层结构,可明显改善轮胎的接地形状和接地压力分布。成品轮胎试验证明,优化设计后轮胎的耐久和高速性能明显提高。

## 参考文献:

- [1] 韩平安,雍占福,王青春,等.全钢载重子午线轮胎带束层结构对接地性能的影响[J].橡胶科技,2014,12(3):38-41.
- [2] 李仁国,刘凤珍,张鹏,等.385/65R22.5宽基全钢载重子午线轮胎带束层结构优化设计[J].轮胎工业,2013,33(4):216-218.

收稿日期:2017-07-27

## Optimization of 425/65R22.5 Wide Base Low Aspect Ratio Tubeless TBR Tire

Zhang Peng<sup>1</sup>, Liu Fengzhen<sup>2</sup>, Zhao Changsong<sup>1</sup>, Wang Hui<sup>3</sup>, Ning Zhaobo<sup>3</sup>, Yao Yi<sup>3</sup>

(1. EVE Rubber Institute, Qingdao 266500, China; 2. Qingdao Fullrun Tire Co., Ltd, Qingdao 266000, China; 3. Xingyuan Tire Group Co., Ltd, Dongying 257336, China)

**Abstract:** The 425/65 R22.5 tire profile was optimized by FEM. The stress concentration at belts ends was effectively reduced, by increasing the widths of tread running surface, radius curvature and height of tire crown, and lowering section horizontal axis appropriately. Meanwhile, The shape of ground-contact area and the pressure distribution in ground-contact area improved significantly, by changing belt structure from 4 layers to 3 layers with belt  $0^\circ$ . It was confirmed by the test of finished tire that the endurance and speed performance of optimized tire improved significantly.

**Key words:** radial tire; structure design; belt; FEM