

轻型载重子午线轮胎胎肩损坏改善方法研究

宋立, 秦艳分, 王时豪

(中策橡胶集团有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要: 研究轻型载重子午线轮胎胎肩损坏改善方法, 并通过成品轮胎耐久性试验和静态压力分布试验进行验证。结果表明: 通过调整胎面厚度和带束层帘线种类以改善胎面压力分布、增加冠带层缠绕层数和提高带束层间粘合力以增大带束层间的抗剪切应力、调整带束层宽度和减小三角胶长度以减小带束层端点应力以及增大基部胶厚度以降低胎肩生热和提高胎肩散热能力等方法, 可以不同程度地提高轻型载重子午线轮胎胎肩的耐久性能。

关键词: 轻型载重子午线轮胎; 结构设计; 耐久性能; 胎肩损坏

中图分类号: TQ330.6⁺; TQ336.1

文献标志码: B

文章编号: 1006-8171(2020)06-0367-06

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2020.06.0367



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

相对轿车子午线轮胎, 轻型载重子午线轮胎的充气压力和负荷较大, 通常存在超载、恶劣路况行驶的情况, 胎肩损坏是其常见的破坏形式之一。胎肩损坏主要破坏形式有崩花、脱层、裂口、漏气、爆破和胶料熔融等^[1]。排除外力破坏、胶料配方和骨架材料异常的情况, 胎肩损坏通常都是由带束层端点问题引起的。改善胎肩损坏的常见思路有以下几种:

- (1) 调整胎面压力分布;
- (2) 增大带束层间的抗剪切应力;
- (3) 减小带束层端点部位的应力;
- (4) 降低胎肩生热和提高胎肩散热能力。

本工作采用控制变量法, 通过单因素调整并进行室内耐久性试验验证, 得出有科学依据的轻型载重子午线轮胎胎肩损坏的改善方法。

1 试验设备和方法

(1) 轮胎耐久性试验使用TJR-2-PC(Y)型高速耐久里程机(天津久荣工业技术有限公司产品)。试验方法参照FMVSS 139, 试验环境温度为38℃, 保持最后一阶段的试验速度和充气压力, 负荷逐渐增大直至轮胎损坏为止。

作者简介: 宋立(1988—), 男, 浙江绍兴人, 中策橡胶集团有限公司工程师, 学士, 主要从事轮胎结构设计工作。

E-mail: 1090635687@qq.com

(2) 静态压力分布试验使用TVR-8480型胎纹压力分布测试仪(美国Tekscan公司产品), 测试以综合试验机为加载单元, 使用压力毯进行接地压力分布测试。试验方法参照GB/T 22038—2018《汽车轮胎静态接地压力分布试验方法》, 轮胎在35℃环境下充气停放3h, 以一定充气压力和负荷将轮胎加载至压力毯上, 记录数据并生成报告。

2 结构调整方案

2.1 调整胎面压力分布

轮胎静态压力分布测试可比较直观地体现轮胎胎面压力分布情况。胎面接地印痕的矩形率越接近1, 接地印痕形状越接近矩形, 矩形率超过1, 接地印痕就会呈“蝴蝶状”, 而“蝴蝶状”接地印痕的轮胎胎肩压力通常比较大。减小胎肩压力的改善方法以及试验验证如下。

2.1.1 调整胎面厚度

调整胎面厚度有2种选择: 一种是增大中间厚度, 另一种是减小胎肩厚度。选用哪种方法需要看正常断面基部胶厚度余量, 本工作选用减小胎肩厚度的方法进行对比试验验证。以LT265/70R17轮胎为研究对象, 2个方案唯一变量为胎面型胶厚度, 方案A和B的胎面型胶结构如图1所示。

在相同测试条件下, 对方案A和B轮胎进行耐

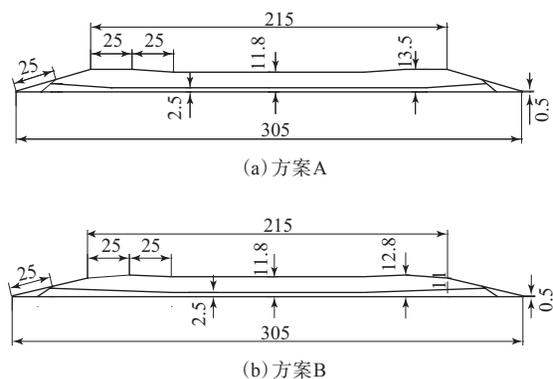
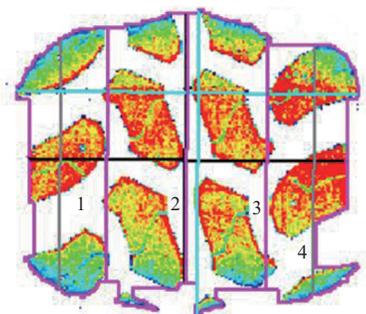


图1 方案A和B的胎面型胶结构示意图

久性试验和静态压力分布试验。

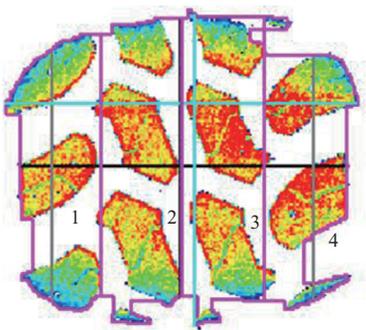
轮胎耐久性试验结果表明:采用方案A的2条轮胎累计行驶时间分别为42.62和48.50 h,试验结束时轮胎破坏形式均为胎肩脱层;采用方案B的2条轮胎累计行驶时间分别为81.43和78.67 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为胎圈上端脱层和胎冠爆破。

方案A和B轮胎的接地印痕形状分别如图2(a)和(b)所示。方案A轮胎接地印痕的左矩形率



1,2,3和4区块压强分别为882,887,907和915 kPa。

(a) 方案A



1,2,3和4区块压强分别为834,870,905和878 kPa。

(b) 方案B

图2 方案A和B轮胎的接地印痕形状

和右矩形率均为92.7%;方案B轮胎接地印痕的左矩形率为86.7%,右矩形率为69.3%(由于大花纹块原因,右侧胎肩压在花纹沟上,该数值失真不作参考)。

通过胎面厚度调整试验可以得出以下结论:胎面型胶胎肩厚度减小后,轮胎的耐久性能显著提高,且轮胎破坏形式由原来的胎肩破坏转变成胎圈破坏,说明胎肩应力大幅减小;从接地印痕形状上看,胎肩两侧的压强相对减小,矩形率略微减小。

2.1.2 调整带束层帘线角度

带束层帘线角度增大,会增大对胎体的横向约束力,减小周向约束力。本工作选用195R14C和LT245/70R17轮胎为研究对象,带束层帘线角度为唯一变量,方案C和D轮胎带束层帘线角度分别为 24° 和 30° 。

在相同测试条件下,对方案C和D轮胎进行耐久性试验和静态压力分布试验。

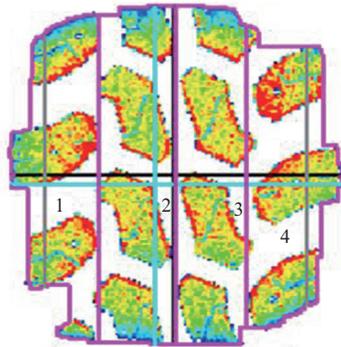
195R14C轮胎的耐久性试验结果表明:采用方案C的2条轮胎累计行驶时间分别为58.50和57.33 h,试验结束时轮胎破坏形式均为胎冠花纹块裂口;采用方案D的2条轮胎累计行驶时间均为42.53 h,试验结束时轮胎破坏形式均为胎冠花纹沟底裂。

LT245/70R17轮胎的耐久性试验结果表明:采用方案C的2条轮胎累计行驶时间分别为30.28和28.73 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为胎冠花纹块裂口和胎冠崩花;采用方案D的2条轮胎累计行驶时间分别为46.10和37.05 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为胎冠花纹沟裂口和胎冠裂口。

195R14C轮胎方案C和D的接地印痕形状分别如图3(a)和(b)所示。方案C轮胎接地印痕的左矩形率为74.8%,右矩形率为76.2%;方案D轮胎接地印痕的左矩形率为77.1%,右矩形率为79.8%。

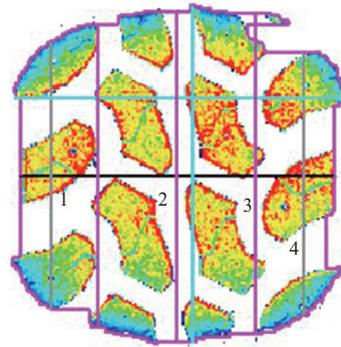
LT245/70R17轮胎方案C和D的接地印痕形状分别如图4(a)和(b)所示。方案C轮胎接地印痕的左矩形率为81.1%,右矩形率为79.3%;方案D轮胎接地印痕的左矩形率为82.6%,右矩形率为78.4%。

通过带束层帘线角度调整试验可以得出以下结论:轮胎带束层帘线角度变化对胎面接地压力



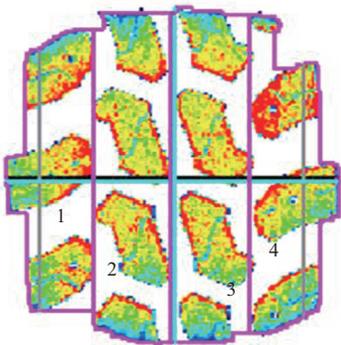
1, 2, 3和4区块压强分别为801, 773, 785和857 kPa。

(a) 方案C



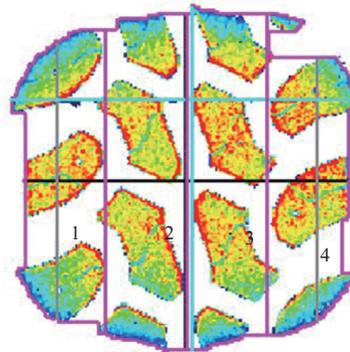
1, 2, 3和4区块压强分别为738, 803, 846和779 kPa。

(a) 方案C



1, 2, 3和4区块压强分别为808, 788, 815和834 kPa。

(b) 方案D



1, 2, 3和4区块压强分别为733, 774, 816和778 kPa。

(b) 方案D

图3 195R14C轮胎方案C和D的接地印痕形状分布影响并不大,带束层帘线角度的调整对轮胎耐久性的提升也不是绝对的。

2.1.3 调整带束层帘线种类

从生产成本和其他综合性能方面考虑,通常不会采用调整带束层帘线种类作为改善胎面压力分布的首选途径。本工作以LT285/75R16轮胎为研究对象,选用3种不同带束层帘线材料,试验方案如表1所示。

表1 不同带束层帘线材料的试验方案

| 编 号 | 带束层钢丝帘线 | 钢丝帘线 破断力/N | 压延密度/ (根·dm ⁻¹) | 安全程度 |
|-----|-------------|---------------|--------------------------------|------|
| 方案E | 3+8×0.23HT | 1 340 | 70 | 强 |
| 方案F | 3+8×0.23ST | 1 600 | 50 | 中 |
| 方案G | 2+4×0.215UT | 760 | 90 | 弱 |

在相同测试条件下,对方案E, F和G轮胎进行耐久性试验和静态压力分布试验。

耐久性试验结果表明:采用方案E的2条轮胎累计行驶时间分别为56.82和61.38 h,试验结束时轮胎破坏形式均为冠部崩花;采用方案F的2条轮

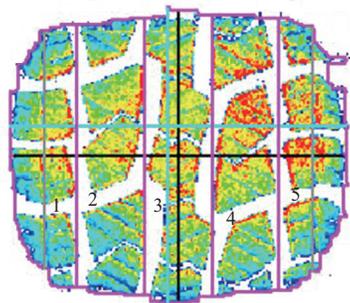
图4 LT245/70R17轮胎方案C和D的接地印痕形状胎累计行驶时间分别为59.00和64.58 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为冠部崩花和胎冠裂口;采用方案G的2条轮胎累计行驶时间分别为84.32和75.83 h,试验结束时轮胎破坏形式均为胎圈上端脱层。

方案E, F和G轮胎的接地印痕形状分别如图5 (a), (b)和(c)所示。方案E轮胎接地印痕的左矩形率为76%,右矩形率为79%;方案F轮胎接地印痕的左矩形率为80%,右矩形率为79%;方案G轮胎接地印痕的左矩形率为78%,右矩形率为75%。

通过带束层帘线种类调整试验可以得出以下结论:带束层采用3+8×0.23HT与3+8×0.23ST钢丝帘线的轮胎耐久性能对比变化不明显,但采用直径和密度小的2+4×0.215UT钢丝帘线,可以明显提高轮胎耐久性能和改善胎面压力分布。

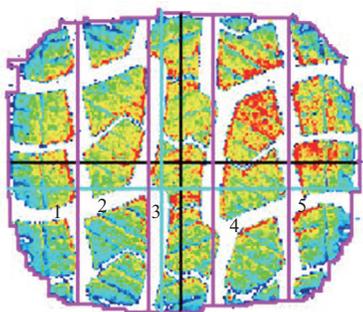
2.2 增大带束层间的抗剪切应力

在胎面压力分布比较合理的情况下,通过增大胎肩带束层的抗剪切应力是改善胎肩破坏的常



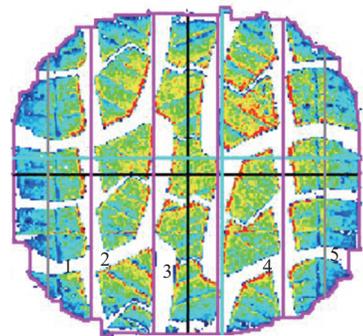
1, 2, 3, 4和5区块压强分别为513, 675, 683, 696和689 kPa。

(a) 方案E



1, 2, 3, 4和5区块压强分别为505, 649, 658, 679和687 kPa。

(b) 方案F



1, 2, 3, 4和5区块压强分别为482, 636, 656, 685和504 kPa。

(c) 方案G

图5 方案E、F和G轮胎的接地印痕形状

用方法。轮胎反复形变过程中,带束层间的剪切应力是造成轮胎脱层和分离的主要因素,胎肩部位是多种材料靠粘合连接起来的,一旦受到较大的剪切应力容易产生脱层。带束层的剪切应力是沿层间分布的,易产生剥离错位,最大剪切应力都发生在胎肩部位^[2-4]。

2.2.1 增加冠带层缠绕层数

在车辆高速行驶时,轮胎内部材料一直处于抗离心力的状态中,子午线轮胎的0°冠带层对箍紧

带束层等材料起到非常重要的作用。本工作选择LT265/65R17轮胎为研究对象,方案H和I轮胎胎肩冠带层分别采用2层和3层缠绕的结构形式,如图6和7所示。

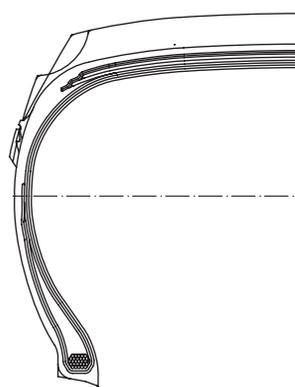


图6 方案H轮胎胎肩冠带层采用2层缠绕示意

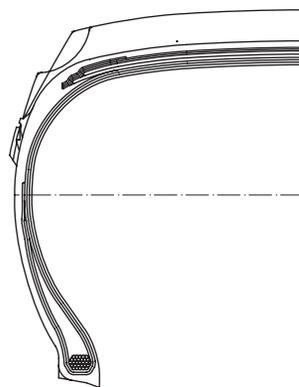


图7 方案I轮胎胎肩冠带层采用3层缠绕示意

在相同测试条件下,对方案H和I轮胎进行耐久性试验。结果表明:采用方案H的2条轮胎累计行驶时间分别为58.05和65.22 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为胎冠爆破和胎冠花纹沟底裂;采用方案I的2条轮胎累计行驶时间分别为71.02和70.17 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为胎冠花纹沟底裂和胎冠脱层。

通过调整冠带层缠绕层数试验可知,增大冠带层的缠绕强度可以有效提高带束层间的抗剪切应力。

2.2.2 提高带束层材料间的粘合力

本工作选择LT245/70R17轮胎为研究对象,采用3种方案(见表2)提高带束层材料间粘合力。

在相同测试条件下,对方案L、M和N轮胎进行耐久性试验,并与基准方案K轮胎进行对比。结果

表2 提高带束层材料间粘合力的试验方案

| 编号 | 提高粘合力方法 | 胶片形式 | 覆胶厚度/mm | 覆胶粘合性能 |
|-----|----------|------|---------|--------|
| 方案K | 基准方案 | 贴边 | 1.5 | 正常 |
| 方案L | 胶片包边 | 包边 | 1.5 | 正常 |
| 方案M | 增大胶片厚度 | 贴边 | 1.7 | 正常 |
| 方案N | 提高胶料粘合性能 | 贴边 | 1.5 | 强 |

表明:采用方案K的2条轮胎累计行驶时间分别为46.10和37.05 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为胎冠花纹沟底裂和胎冠裂口;采用方案L的2条轮胎累计行驶时间分别为51.30和48.93 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为胎肩裂口和胎冠花纹沟底裂;采用方案M的2条轮胎累计行驶时间分别为49.47和52.27 h,试验结束时轮胎破坏形式均为胎冠花纹沟底裂;采用方案N的2条轮胎累计行驶时间分别为59.97和55.12 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为胎冠爆破和胎冠脱层。

通过提高带束层材料粘合力试验可知,提高带束层材料间粘合力对改善胎肩的耐久性能有一定效果,其中提高带束层间胶料粘合性能的效果最好。

2.3 减小带束层端点应力

2.3.1 调整带束层宽度

闫相桥等^[5]对轮胎结构进行有限元分析发现,在标准负荷情况下,一定带束层宽度范围内,胎肩附近的应力随着带束层宽度的增大而减小。本工作选择LT245/70R17轮胎为研究对象,其行驶面宽度为195 mm,采用方案O和P(见表3)两种带束层宽度。

表3 方案O和P两种带束层宽度 mm

| 编号 | 1#带束层宽度 | 2#带束层宽度 |
|-----|---------|---------|
| 方案O | 210 | 195 |
| 方案P | 200 | 185 |

在相同测试条件下,对方案O和P轮胎进行耐久性试验。结果表明:采用方案O的2条轮胎累计行驶时间分别为55.85和55.72 h,试验结束时轮胎破坏形式均为胎冠爆破;采用方案P的2条轮胎累计行驶时间分别为39.02和35.48 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为胎冠裂口和胎冠脱层。

通过调整带束层宽度试验可知,采用较宽的带束层方案的轮胎胎肩耐久性能优于采用较窄带

束层方案的轮胎,这与闫相桥等^[5]的有限元分析结果相一致。

2.3.2 减小三角胶长度

一般弹性体形状急剧变化的位置就是应力集中区域。减小三角胶长度的目的是使轮胎的径向刚性降低,侧部应力下移。图8示出了轮胎行驶过程中的形变。

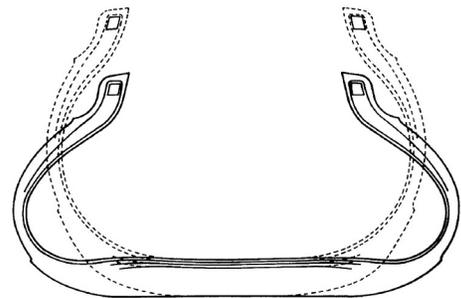


图8 轮胎行驶过程中的形变示意

本工作采用减小三角胶长度的方法来提高胎肩的耐久性能。选择LT225/75R16轮胎为研究对象,方案Q,R和S轮胎的三角胶长度分别为70,60和50 mm。

在相同测试条件下,对方案Q,R和S轮胎进行耐久性试验。结果表明:采用方案Q的2条轮胎累计行驶时间分别为45.57和47.58 h,试验结束时轮胎破坏形式均为胎冠脱层;采用方案R的2条轮胎累计行驶时间分别为64.73和69.02 h,试验结束时轮胎破坏形式均为胎肩爆破;采用方案S的2条轮胎累计行驶时间分别为73.43和65.48 h,试验结束时轮胎破坏形式均为胎圈上端脱层。

通过调整三角胶长度试验可知,减小三角胶长度后胎肩耐久性能有改善趋势,但当三角胶长度减小至50 mm后,胎圈上端部位开始出现损坏,说明三角胶长度减小后轮胎侧部应力下移。

2.4 降低胎肩生热和提高胎肩散热能力

在胎面总厚度不变的情况下,可以减小部分胎面胶厚度增加到基部胶厚度上,但过度增大基部胶厚度会影响轮胎的耐磨性能甚至导致胎面花纹块早期崩坏^[6]。也可以通过改进胶料配方的方法改善胎肩生热问题,在此不作讨论。本工作选择185R14C轮胎为研究对象,对其基部胶形状进行调整,调整前后方案T和U胎面型胶形状如图9所示。

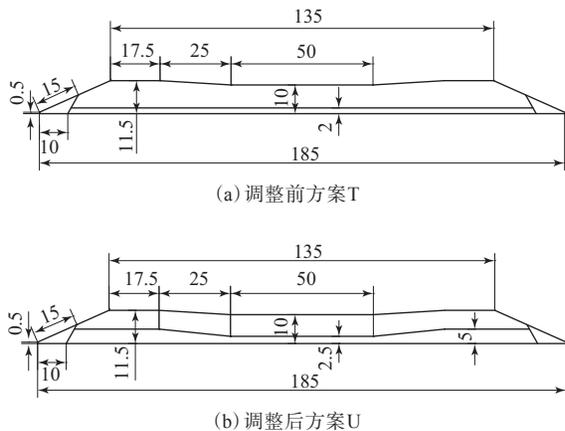


图9 胎面型胶形状示意

在相同测试条件下,对方案T和U轮胎进行耐久性试验。结果表明:采用方案T的2条轮胎累计行驶时间分别为74.37和82.83 h,试验结束时轮胎破坏形式分别为冠部崩花和胎冠脱层;采用方案U的2条轮胎累计行驶时间分别为86.10和86.97 h,试验结束时轮胎破坏形式均为冠部脱层。

通过调整基部胶形状试验可知,通常基部胶具有低生热的特性,增大基部胶厚度后胎肩的耐久性能有所提高。

3 结论

4种改善轻型载重子午线轮胎胎肩损坏的方

法对胎肩耐久性能有不同程度的提高效果。

(1)调整胎面压力分布:调整胎面厚度和带束层帘线种类效果较好,调整带束层帘线角度效果不明显。

(2)增大带束层间的抗剪切应力:增加冠带层缠绕层数和提高带束层间粘合力都有一定效果。

(3)减小带束层端点应力:调整带束层宽度和减小三角胶长度有比较明显的提升效果,但三角胶长度减小会增大胎圈部位应力。

(4)降低胎肩生热和提升胎肩散热能力:增大基部胶厚度有一定提升效果。

参考文献:

- [1] 曹秋菊,张波,袁梦丹,等.全钢载重子午线轮胎胎肩异常磨损原因分析及改善措施[J].轮胎工业,2018,38(10):595-597.
- [2] 张宁,龙飞飞,郑涛,等.镀钴钢丝帘线在子午线轮胎带束层中的应用[J].橡胶科技,2017,15(12):32-35.
- [3] 赵国群,程钢,管延锦.带束层角度对子午胎结构性能影响的三维非线性有限元分析[J].弹性体,2004,14(1):35-38
- [4] 孙学红,程鹏飞,徐胜凯,等.全钢载重子午线轮胎带束层胶料损坏原因分析及配方优化[J].橡胶工业,2018,65(2):186-189.
- [5] 闫相桥,乌大琨,王友善,等.轮胎结构有限元分析应用于轮胎结构优选Ⅱ.带束层宽度的优选[J].轮胎工业,2000,20(6):337-344.
- [6] 梁晖,王国林,梁晨,等.行驶面宽度和弧度高对轮胎偏磨影响的有限元分析[J].橡胶工业,2019,66(3):207-212.

收稿日期:2020-01-16

Study on Shoulder Damage of Light Truck and Bus Radial Tire and Improvement Methods

SONG Li, QIN Yanfen, WANG Shihao

(Zhongce Rubber Group Co., Ltd, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The shoulder damage of light truck and bus radial tire and improvement methods were studied and verified by the durability test and static pressure distribution test of the finished tire. The results showed that, by adjusting the thickness of tread and the type of belt cords to improve the pressure distribution of tread, increasing the number of winding layers of crown belt layer and increasing the adhesive force between belt plies to increase the shear stress resistance between belt plies, adjusting the width of belt and reducing the length of apex to reduce the stress at the end of belt and increasing the thickness of base compound to reduce the heat build up of shoulder and improve the heat dissipation capacity of shoulder, the shoulder durability of light truck and bus radial tire could be improved.

Key words: light truck and bus radial tire; structural design; durability; shoulder damage