

# 带束层参数与全钢轻型载重子午线轮胎性能相关性的研究

侯绪国<sup>1</sup>, 马永禄<sup>2</sup>, 张晓军<sup>1</sup>

(1. 赛轮集团股份有限公司, 山东 青岛 266550; 2. 青岛市黄岛区检验检测中心, 山东 青岛 266550)

**摘要:** 研究3层带束层参数与全钢轻型载重子午线轮胎性能的相关性。结果表明: 为保证轮胎的接地性能, 需要优选1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup>, 3<sup>#</sup>带束层角度分别为52°, 18°, 18°, 排列方向分别为左、左、右的方案; 为保证轮胎肩部、带束层受力及轮胎静态刚性, 需要优选1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup>, 3<sup>#</sup>带束层角度分别为18°, 18°, 18°, 排列方向为左、右、左的方案。

**关键词:** 全钢轻型载重子午线轮胎; 带束层角度; 带束层排列方向

**中图分类号:** TQ336.1; U463.341<sup>+</sup>.3/<sup>+</sup>.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-8171(2023)09-0525-05

**DOI:** 10.12135/j.issn.1006-8171.2023.09.0525



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

随着我国高速公路网络的完善, 长途运输发展迅速, 解决了城际间的货物运输问题, 但是市区内最后一公里的短途运输问题日益凸显, 轻型载重汽车保有量日益增加, 对轻型载重轮胎的需求量明显增大<sup>[1-4]</sup>。为了提升轻型载重轮胎性能, 满足市场需求, 本工作选取市场需求量较大的全钢轻型载重子午线轮胎, 对影响其性能的相关因素进行研究。

## 1 常见带束层角度和排列方向

全钢子午线轮胎的带束层通常有0°带束层结构和4层带束层结构, 主要用于载重汽车轮胎<sup>[5-7]</sup>。而全钢轻型载重子午线轮胎为了降低自身质量, 带束层一般采用2或3层<sup>[8-9]</sup>; 其中, 3层带束层结构通常在0°带束层结构的基础上去掉0°带束层(简称情况1)或在4层带束层结构的基础上去掉4°带束层(简称情况2)。情况1和情况2的3层带束层结构常见带束层角度和排列方向如表1所示, 全钢轻型载重子午线轮胎的3层带束层结构与情况1和2不同, 其常见带束层角度和排列方向如表2所示。

目前, 全钢轻型载重子午线轮胎的3层带束层结构的带束层角度和排列方向差异很大, 为了研

表1 情况1和2的3层带束层结构常见带束层角度和排列方向

项 目	带束层		
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>
情况1			
带束层角度/(°)	24	15	15
带束层排列方向	左	右	左
情况2			
带束层角度/(°)	52	18	18
带束层排列方向	左	左	右

表2 全钢轻型载重子午线轮胎的3层带束层结构常见带束层角度和排列方向

项 目	带束层		
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>
带束层角度/(°)	18	18	18
带束层排列方向	左	右	左

究轮胎带束层角度和排列方向与其性能的关系并合理设计轮胎, 本工作借助有限元仿真工具进行了研究。

## 2 方案设计

选取8.25R16全钢轻型载重子午线轮胎为代表进行研究, 该规格为有内胎轻型载重轮胎主流销售和配套规格, 在同类轮胎中属于最大规格, 产品性能对设计变化敏感度高, 便于发现差异。

保持轮胎带束层材料和宽度不变, 只变换带束层各层角度和排列方向设计4个试验方案进行有限元分析, 并对试验结果进行分析研究。本工作仅研

**作者简介:** 侯绪国(1979—), 男, 山东东平人, 赛轮集团股份有限公司高级工程师, 学士, 主要从事全钢子午线轮胎结构设计工作。

**E-mail:** xuguo.hou@sailuntire.com

究3层带束层结构的带束层角度和排列方向与有内胎轻型载重轮胎性能的相关性,不考虑其他轮廓参数和材料变化对轮胎性能的影响。

## 2.1 材料分布和带束层宽度

轮胎材料分布如图1所示。

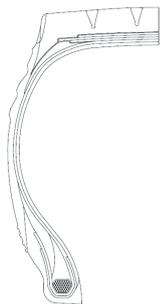


图1 轮胎材料分布示意

1#—3#带束层宽度分别为140,160,130 mm。

## 2.2 设计方案

设计方案如表3所示<sup>[10]</sup>。

表3 设计方案

项 目	带束层		
	1#	2#	3#
方案1			
带束层角度/(°)	52	18	18
带束层排列方向1	左	左	右
带束层排列方向2	左	右	左
方案2			
带束层角度/(°)	24	15	15
带束层排列方向1	左	左	右
带束层排列方向2	左	右	左
方案3			
带束层角度/(°)	24	18	18
带束层排列方向1	左	左	右
带束层排列方向2	左	右	左
方案4			
带束层角度/(°)	18	18	18
带束层排列方向1	左	左	右
带束层排列方向2	左	右	左

## 3 有限元分析

### 3.1 外缘尺寸

(1) 保持1#带束层角度变化(2#,3#带束层角度不变,下同),带束层排列方向为1,按方案1,3,4进行试验,测试标准充气压力和标准负荷下轮胎外缘尺寸,结果如表4所示。

从表4可以看出:带束层排列方向为1时,1#带束层角度变化对轮胎外缘尺寸的影响均小

表4 轮胎外缘尺寸试验结果1(带束层排列方向为1)

项 目	方案1	方案3	方案4	最大差异率/%
充气外直径/mm	860.16	860.49	859.86	0.07
充气断面宽/mm	227.15	226.94	227.20	0.11
负荷半径/mm	402.07	402.15	402.04	0.03
负荷断面宽/mm	251.00	250.84	251.02	0.07
轮胎下沉量/mm	28.01	28.10	27.89	0.75

于0.15%,影响较小;对轮胎下沉量的影响为0.75%。

(2) 保持1#带束层角度变化,带束层排列方向为2,按方案1,3,4进行试验,测试标准充气压力和标准负荷下轮胎外缘尺寸,结果如表5所示。

表5 轮胎外缘尺寸试验结果2(带束层排列方向为2)

项 目	方案1	方案3	方案4	最大差异率/%
充气外直径/mm	860.51	859.65	859.24	0.147
充气断面宽/mm	226.89	227.17	227.31	0.185
负荷半径/mm	402.16	402.17	402.16	0.002
负荷断面宽/mm	250.83	250.90	250.95	0.050
轮胎下沉量/mm	28.09	27.66	27.46	2.286

从表5可以看出,带束层排列方向为2时,随着1#带束层角度的减小,轮胎充气外直径呈减小趋势,充气断面宽呈增大趋势,负荷半径和断面宽基本不受影响(小于0.050%),对轮胎下沉量的影响为2.286%。

从表4和5还可以看出,带束层角度不变、带束层排列方向变化对轮胎外缘尺寸的影响很小,对轮胎下沉量的影响稍大一些,排列方向为2时轮胎下沉量相对较小。

(3) 保持2#,3#带束层角度增大(1#带束层角度不变,下同),带束层排列方向为1,按方案2,3进行试验,测试标准充气压力和标准负荷下轮胎外缘尺寸,结果如表6所示。

从表6可以看出:带束层排列方向为1时,2#,3#带束层角度变化对轮胎外缘尺寸的影响小于0.080%,影响较小;对轮胎下沉量的影响为0.228%。

表6 轮胎外缘尺寸试验结果3(带束层排列方向为1)

项 目	方案2	方案3	最大差异率/%
充气外直径/mm	860.25	860.49	0.028
充气断面宽/mm	227.10	226.94	0.072
负荷半径/mm	402.09	402.15	0.014
负荷断面宽/mm	250.96	250.84	0.045
轮胎下沉量/mm	28.03	28.10	0.228

(4) 保持2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>带束层角度增大,带束层排列方向为2,按方案2,3进行试验,测试标准充气压力 and 标准负荷下轮胎外缘尺寸,结果如表7所示。

表7 轮胎外缘尺寸试验结果4(带束层排列方向为2)

项 目	方案2	方案3	最大差异率/%
充气外直径/mm	860.43	859.65	0.09
充气断面宽/mm	226.88	227.17	0.13
负荷半径/mm	402.18	402.17	0
负荷断面宽/mm	250.81	250.90	0.04
轮胎下沉量/mm	28.04	27.66	1.38

从表7可以看出:带束层排列方向为2时,随着2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>带束层角度的增大,轮胎外直径呈减小趋势,断面宽呈增大趋势;负荷半径和断面宽基本不受影响(小于0.05%);对下沉量的影响为1.38%。

### 3.2 接地印痕

按方案1—4测试轮胎接地印痕,试验条件为标准充气压力 and 标准负荷(简称-1)时,结果如表8所示;试验条件为标准充气压力 and 130%标准负荷(简称-2)时,结果如表9所示。轮胎接地印痕矩形比试验结果如图2所示。

表8 轮胎接地印痕试验结果-1

项 目	方案1	方案2	方案3	方案4
矩形比				
带束层排列方向1	1.415	1.422	1.393	1.428
带束层排列方向2	1.414	1.431	1.439	1.439
长轴长度/mm				
带束层排列方向1	193.20	193.23	188.17	191.73
带束层排列方向2	189.43	189.72	189.93	191.82
短轴长度/mm				
带束层排列方向1	174.43	174.34	174.06	174.34
带束层排列方向2	173.85	173.76	174.09	174.09
接地面积/mm <sup>2</sup>				
带束层排列方向1	30 253.0	30 239.6	30 171.5	30 077.8
带束层排列方向2	30 221.3	30 139.4	29 751.3	29 751.3

从表8和9及图2可以看出:带束层排列方向为1时,1<sup>#</sup>带束层角度变化对轮胎接地印痕矩形比没有规律性的影响;随着2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>带束层角度的增大,轮胎接地印痕矩形比减小;带束层排列方向为2时,随着1<sup>#</sup>带束层角度的减小和2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>带束层角度的增大,轮胎接地印痕矩形比呈增大趋势。带束层排列方向对轮胎接地印痕长轴、短轴的影响趋势与轮胎接地印痕矩形比类似。

表9 轮胎接地印痕试验结果-2

项 目	方案1	方案2	方案3	方案4
矩形比				
带束层排列方向1	1.210	1.210	1.193	1.204
带束层排列方向2	1.201	1.203	1.238	1.242
长轴长度/mm				
带束层排列方向1	217.95	218.25	215.66	216.84
带束层排列方向2	216.36	215.52	216.58	217.23
短轴长度/mm				
带束层排列方向1	174.38	175.00	174.02	174.29
带束层排列方向2	173.86	173.78	174.13	174.13
接地面积/mm <sup>2</sup>				
带束层排列方向1	35 676.7	35 661.3	35 452.8	35 515.1
带束层排列方向2	35 493.0	35 301.6	35 034.9	35 034.9

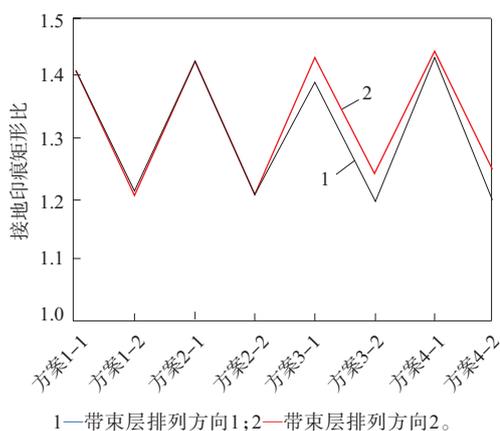


图2 轮胎接地印痕矩形比折线图

从表8和9及图2还可以看出:带束层排列方向为1时,随着1<sup>#</sup>带束层角度减小和2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>带束层角度的增大,轮胎接地面积均减小;带束层排列方向为2时,随着1<sup>#</sup>带束层角度减小,轮胎接地面积呈减小趋势;随着2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>带束层角度的增大,轮胎接地面积减小。同时,与排列方向为2相比,带束层排列方向为1时各方案的轮胎接地面积较大;与130%标准负荷相比,标准负荷时各方案轮胎的接地印痕矩形比较小。130%标准负荷、带束层排列方向为1时,方案3的轮胎接地印痕矩形比最小,接地面积最大。

### 3.3 接地压力

轮胎接地压力及其标准差在带束层排列方向1和2上的试验结果分别如表10所示。

从表10可以看出:带束层排列方向为1时,各方案轮胎接地压力平均值和标准差相当,方案1,2

**表10 轮胎接地压力及其标准差在不同带束层排列方向上的试验结果**

项 目	方案1	方案2	方案3	方案4
排列方向1				
标准负荷				
接地压力平均值/MPa	0.490	0.490	0.489	0.491
标准差/MPa	0.287	0.287	0.289	0.290
130%标准负荷				
接地压力平均值/MPa	0.554	0.553	0.554	0.555
标准差/MPa	0.269	0.269	0.268	0.270
排列方向2				
标准负荷				
接地压力平均值/MPa	0.488	0.489	0.497	0.497
标准差/MPa	0.287	0.288	0.296	0.296
130%标准负荷				
接地压力平均值/MPa	0.554	0.558	0.563	0.563
标准差/MPa	0.263	0.260	0.266	0.266

略优于方案3,4;带束层排列方向为2时,各方案轮胎接地压力平均值和标准差方案1,2相当,方案3,4相当,并且方案1,2略优于方案3,4。

### 3.4 带束层及轮胎肩部剪应力及应变能密度

在带束层排列方向为1和2时,轮胎在标准充气压力和标准负荷下的带束层及轮胎肩部剪应力及应变能密度试验结果分别如表11和12所示。

表11和12的判定原则为:轮胎剪应力和应变能密度以小值为优;剪应力和应变能密度的变化

**表11 带束层及肩部剪应力及应变能密度试验结果1**

方 案	剪应力幅值/MPa	应变能密度幅值/(MJ·mm <sup>-3</sup> )
1 <sup>#</sup> 带束层		
方案1	0.397	0.049
方案2	0.449	0.053
方案3	0.477	0.053
方案4	0.470	0.038
2 <sup>#</sup> 带束层		
方案1	0.649	0.098
方案2	0.560	0.082
方案3	0.836	0.160
方案4	0.803	0.132
3 <sup>#</sup> 带束层		
方案1	0.895	0.183
方案2	0.892	0.185
方案3	0.870	0.193
方案4	0.972	0.187
轮胎肩部		
方案1	0.895	0.183
方案2	0.892	0.185
方案3	0.870	0.193
方案4	0.972	0.187

**表12 带束层及肩部剪应力及应变能密度试验结果2**

方 案	剪应力幅值/MPa	应变能密度幅值/(MJ·mm <sup>-3</sup> )
1 <sup>#</sup> 带束层		
方案1	0.339	0.081
方案2	0.435	0.077
方案3	1.024	0.117
方案4	1.031	0.103
2 <sup>#</sup> 带束层		
方案1	0.803	0.144
方案2	0.724	0.112
方案3	1.029	0.115
方案4	1.038	0.104
3 <sup>#</sup> 带束层		
方案1	0.853	0.189
方案2	0.818	0.170
方案3	0.775	0.096
方案4	0.778	0.100
轮胎肩部		
方案1	0.853	0.189
方案2	0.818	0.170
方案3	1.029	0.117
方案4	1.031	0.104

趋势不一致时,优先考虑应变能密度;带束层和轮胎肩部的变化趋势不一致时,优先考虑轮胎肩部。从表11和12可以看出:带束层排列方向为1时,方案1的带束层及肩部的剪应力和应变能密度综合较优;带束层排列方向为2时,方案4的带束层及肩部的剪应力和应变能密度综合较优。

### 3.5 静态刚性

在标准充气压力和标准负荷下各方案的轮胎静态刚性试验结果如表13所示。

从表13可以看出:带束层排列方向为1时,随着1<sup>#</sup>带束层角度的减小(2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>带束层角度不变),轮胎的静态刚性无规律性变化;随着2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>带束层

**表13 轮胎静态刚性试验结果**

方 案	线性刚性/(N·mm <sup>-1</sup> )			扭转刚性/ [N·mm·(°) <sup>-1</sup> ]
	纵向	横向	径向	
带束层排列方向1				
方案1	557.63	264.29	785.86	149 615.91
方案2	557.32	264.43	785.24	149 388.91
方案3	552.05	259.48	785.24	146 566.02
方案4	558.57	263.55	787.42	147 855.37
带束层排列方向2				
方案1	552.84	260.35	785.86	148 452.52
方案2	552.29	260.98	786.48	148 371.42
方案3	557.08	266.61	791.17	148 926.59
方案4	562.79	269.90	793.07	150 092.55

角度的增大(1<sup>#</sup>带束层角度不变),轮胎的静态刚性有减小趋势;带束层排列方向为2时,随着1<sup>#</sup>带束层角度的减小(2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>带束层角度不变),轮胎的静态刚性增大;随着2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>带束层角度的增大(1<sup>#</sup>带束层角度不变),轮胎静态刚性增大。如果需要保证轮胎静态刚性,综合考虑优选方案4、带束层排列方向为2。

#### 4 结语

借助有限元工具对4种设计方案进行分析,总结带束层角度和排列方向对全钢轻型载重子午线轮胎性能的影响规律。如果需要保证轮胎接地性能,应优选方案1、带束层排列方向为1。如果需要保证轮胎肩部、带束层受力及轮胎静态刚性,应优选方案4、带束层排列方向为2。本工作可为全钢轻型载重子午线轮胎设计提供理论指导。

#### 参考文献:

[1] 寇越,田林.载重汽车在高速公路平曲线路段安全措施研究[J].山

西建筑,2020,46(13):108-109.

- [2] 姚斌,金寅德.全钢载重子午线轮胎断面宽选择技术分析[J].时代汽车,2022,378(6):170-171.
- [3] 吴桂忠.国内外轮胎产品和性能现状及发展趋势[C].“赛轮金宇杯”第19届中国轮胎技术研讨会论文集.北京:中国化工学会橡胶专业委员会,2016:23-28.
- [4] 侯丹丹,徐晓鹏,张春生,等.全钢载重子午线轮胎接地压力分布的仿真研究[J].橡胶工业,2022,69(4):261-267.
- [5] 燕杰凯,张玉亮,王东晓,等.9.00R20 144/142F 16PR加强型全钢载重子午线轮胎的设计开发[J].橡胶科技,2021,19(10):504-507.
- [6] 吴晓东,王红彦,张海燕,等.0°带束层钢丝帘布对全钢载重子午线轮胎耐久性能的影响研究[J].轮胎工业,2021,41(9):533-535.
- [7] 袁利真,吴学斌,宋喜政.0.22+18×0.20CCST钢帘线在全钢载重子午胎中的应用[J].中国橡胶,2022,38(2):50-52.
- [8] 张剑,曾志勇.轻型载重子午线轮胎带束层箍紧因数的测定[J].轮胎工业,2003,23(12):720-721.
- [9] 孙宝余,孙佳佳,聂本梁.7.00R16LT轻型载重子午线轮胎带束层结构与性能的相关性研究[J].轮胎工业,2022,42(4):212-214.
- [10] 赵龙,万同.带束层角度对全钢载重子午线轮胎性能的影响[J].橡胶科技,2015,13(7):37-40.

收稿日期:2023-04-20

## Study on Correlation between Belt Layer Parameters and Performance of All-steel Light Truck and Bus Radial Tire

HOU Xuguo<sup>1</sup>, MA Yonglu<sup>2</sup>, ZHANG Xiaojun<sup>1</sup>

(1. Sailun Group Co., Ltd., Qingdao 266550, China; 2. Qingdao Huangdao District Inspection and Testing Center, Qingdao 266550, China)

**Abstract:** The correlation between the parameters of the three-layer belt and the performance of all-steel light truck and bus radial tires was studied. The results showed that, when the belt angle was 52°, 18° and 18° and the arrangement direction was left, left and right for the 1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup> and 3<sup>#</sup> belt, respectively, the grounding performance of the tire was better. However, in order to better ensure the stress distribution on the shoulder and the belt layers of the tire and meet the requirement of the static rigidity of the tire, it was necessary to choose a scheme with the angle of 18°, 18° and 18° for the 1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup> and 3<sup>#</sup> belt layer and the arrangement directions of the belts were left, right and left, respectively.

**Key words:** all-steel light truck and bus radial tire; belt angle; belt arrangement direction

欢迎订阅《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》杂志  
欢迎刊登广告