

带束层钢丝帘线对半钢子午线轮胎性能的影响

孙绪利,张凯凯,王龙庆,邢玉伟,李慧敏

(青岛森麒麟轮胎股份有限公司,山东 青岛 266229)

摘要:通过成品轮胎室内试验及滚动阻力、静态刚性、接地印痕、六分力和动态冲击特性试验,研究带束层钢丝帘线对半钢子午线轮胎性能的影响。结果表明:3种带束层钢丝帘线成品轮胎的充气外缘尺寸、强度性能、脱圈阻力、高速性能和耐久性能均符合国家标准要求;带束层钢丝帘线主要影响轮胎滚动阻力、接地印痕形状和动态冲击特性,对静态刚性及六分力影响较小。

关键词:半钢子午线轮胎;带束层;钢丝帘线;滚动阻力;接地印痕;动态冲击特性

中图分类号:TQ330.38⁺9;TQ336.1

文章编号:2095-5448(2024)01-0024-06

文献标志码:A

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2024.01.0024



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

半钢子午线轮胎是由橡胶、钢丝帘线和纤维帘线等材料组成的复合制品^[1-2]。轮胎各部件具有独特的性能,如内衬层可以防止轮胎漏气、冠带层可以约束轮胎高速旋转时产生的膨胀,胎面、胎侧、胎圈、胎体、带束层、冠带层和内衬层等通过特定设备和工艺紧密结合成整体,共同实现轮胎的功能^[3]。

带束层是轮胎的主要受力部件,能够缓和路面冲击传递给车辆的能量,对汽车行驶的高速性能、平稳性和舒适性有重要作用^[4-6]。带束层以一定角度交叉贴合在胎体上方、冠带层下方,沿胎面中心线圆周方向箍紧胎体,可以保持轮胎充气后的形状。

本工作通过成品轮胎室内试验及滚动阻力、静态刚性、接地印痕、六分力和动态冲击特性试验,探讨带束层钢丝帘线对半钢子午线轮胎性能的影响。

1 实验

1.1 试验材料

选用目前常用于半钢子午线轮胎的3种钢丝帘

线作为带束层材料,其基本性能指标如表1所示。

表1 3种带束层钢丝帘线的基本性能指标

项 目	钢丝帘线		
	材料1	材料2	材料3
捻向	S	S	S
帘线直径/mm	0.60±0.03	0.60±0.03	0.78±0.04
线密度/(g·m ⁻¹)	1.130±0.05	1.458±0.07	2.235±0.11
破断力/N	≥446	≥618	≥825
单位面积质量/(kg·m ⁻²)	0.96	1.03	1.00
轮胎安全倍数	7.14	9.26	10.19

从表1可以看出,3种钢丝帘线的线密度、破断力和相应的轮胎安全倍数逐渐增大。

1.2 试验方案

采用单变量分析方法,分别使用钢丝帘线1—3,设计A—C三种试验方案,每种方案均生产15条215/55R17 98W规格半钢子午线轮胎,进行成品轮胎室内试验及滚动阻力、静态刚性、接地印痕、六分力和动态冲击特性试验,不同方案轮胎试验条件均一致。为减小轮胎之间的差异,除带束层钢丝帘线外,轮胎其他部件均为同一批次且由同一成型机、同一硫化机和同一组操作人员生产。

1.3 主要设备和仪器

滚动阻力试验机、高速均匀性试验机,德国采埃孚集团公司产品;轮胎综合性能试验机,汕头市

作者简介:孙绪利(1989—),男,山东肥城人,青岛森麒麟轮胎股份有限公司工程师,硕士,主要从事轮胎结构设计工作。

E-mail:136516124@qq.com

浩大轮胎测试装备有限公司产品;六分力试验机,美国MTS公司产品。

2 结果与讨论

2.1 充气外缘尺寸

按照GB/T 521—2012《轮胎外缘尺寸测量方法》,将成品轮胎安装在标准轮辋上,在标准充气压力下测量轮胎的外直径及断面宽。3种方案轮胎的充气外缘尺寸如表2所示。

项 目	试验方案		
	A	B	C
外直径	669.1	669.5	668.2
断面宽	228.7	228.5	229.2

从表2可以看出,3种方案轮胎的外直径及断面宽均符合国家标准要求(外直径 660.9~675.1 mm,断面宽 217.0~235.0 mm)。

2.2 强度性能

按照GB/T 4502—2016测试成品轮胎的强度性能,试验条件为:充气压力 220 kPa,压头直径 19 mm。

3种方案轮胎的强度性能试验结果如表3所示。

项 目	试验方案		
	A	B	C
破坏能/J	654.51	596.35	664.45
轮胎破坏时状况	压头触及轮辋未压穿	压头触及轮辋未压穿	压头触及轮辋未压穿
破坏能/标准破坏能/%	111.88	101.94	113.58

从表3可以看出,3种方案轮胎的强度性能均符合国家标准要求(标准破坏能为585 J)。

2.3 脱圈阻力

按照GB/T 4502—2016测试成品轮胎的脱圈阻力,试验条件为:充气压力 220 kPa,压块水平距离 305 mm。

3种方案轮胎的脱圈阻力试验结果如表4所示。

从表4可以看出,3种方案轮胎的脱圈阻力均符合国家标准要求(标准脱圈阻力为11 120 N)。

2.4 高速性能

按照GB/T 4502—2016测试成品轮胎的高速

表4 3种方案轮胎的脱圈阻力试验结果

项 目	试验方案		
	A	B	C
脱圈阻力/N	15 212.35	15 369.99	15 426.58
脱圈阻力/标准			
脱圈阻力/%	136.8	138.2	138.7

性能,试验条件为:充气压力 360 kPa,试验负荷标准负荷的68%,速度级别 W。

当轮胎行驶速度达到270 km·h⁻¹并运行 10 min时,轮胎未损坏,每10 min速度再递增10 km·h⁻¹,直至轮胎损坏。

3种方案轮胎的高速性能试验结果见表5。

表5 3种方案轮胎的高速性能试验结果

项 目	试验方案		
	A	B	C
最高行驶速度/(km·h ⁻¹)	300	310	300
累计行驶时间/h	1.47	1.55	1.42
损坏方式	胎肩崩花掉块	胎肩崩花掉块	胎冠崩花掉块

从表5可以看出,3种方案轮胎的高速性能均满足国家标准要求。

2.5 耐久性能

按照GB/T 4502—2016测试成品轮胎的耐久性能,试验条件为:耐久充气压力 220 kPa,低气压充气压力 160 kPa。

低气压耐久试验步骤如表6所示。国家标准要求完成第4阶段,本次试验至第7阶段结束(从第4阶段开始为低气压试验部分)。

表6 低气压耐久试验步骤

测试阶段	负荷率/%	行驶速度/(km·h ⁻¹)	行驶时间/h
1	85	120	4
2	90	120	6
3	100	120	24
4	110	130	1.5
5	120	140	1.5
6	130	150	1.5
7	130	160	1.5
8	130	160	至损坏

试验结束时,3种方案轮胎在耐久阶段行驶34 h均未损坏,在低气压阶段累计行驶时间均为6 h,符合标准要求。

2.6 滚动阻力

按照ISO 28580—2018《轮胎滚动阻力测试方

法》测试成品轮胎的滚动阻力。试验条件为:充气压力 250 kPa,负荷 600 kg。

3种方案轮胎的滚动阻力试验结果见表7。

表7 3种方案轮胎的滚动阻力试验结果

项 目	试验方案		
	A	B	C
轮胎质量/kg	10.21	10.59	10.68
滚动阻力系数/(N·kN ⁻¹)	6.56	6.58	6.66

从表7可以看出,随着轮胎质量的逐渐增大,轮胎的滚动阻力提高,其中方案C的滚动阻力系数最大,方案A的滚动阻力系数最小,因此,轮胎滚动阻力与质量密切相关。由于3种方案轮胎的安全倍数均符合企业标准要求,在满足安全性能的前提下,使用更轻量化的带束层钢丝帘线(如材料1)既能降低成本,又有利于降低轮胎的滚动阻力。

2.7 静态刚性

静态刚性是轮胎在静载条件下的基础性指标,主要包括径向刚性、纵向刚性、横向刚性、扭转刚性和包络刚性。在规定的径向负荷下,轮胎径向力变化量与其径向位移的比值为径向刚性,可以反映轮胎径向承载能力和振动缓冲能力;轮胎纵向力变化量与其纵向位移的比值为纵向刚性,可以反映轮胎的制动能力;轮胎横向力变化量与其横向位移的比值为横向刚性,可以反映轮胎的操控能力;轮胎扭矩与轮胎角位移的比值为扭转刚性;轮胎包络力变化量与包络位移的比值为包络刚性。

GB/T 23663—2020规定了轮胎纵向刚性和横向刚性的试验方法,本工作在GB/T 23663—2020的基础上增加了径向刚性、扭转刚性和包络刚性试验。试验设备为轮胎综合性能试验机,试验条件为:充气压力 220 kPa,负荷 460 kg。

3种方案轮胎的静态刚性试验结果见表8。

表8 3种方案轮胎的静态刚性试验结果

项 目	试验方案		
	A	B	C
径向刚性/(N·mm ⁻¹)	217.4	214.6	214.6
纵向刚性/(N·mm ⁻¹)	252.5	256.4	248.8
横向刚性/(N·mm ⁻¹)	118.2	118.5	116.0
扭转刚性/[N·m·(°) ⁻¹]	45.0	44.0	44.3
包络刚性/(N·mm ⁻¹)	756.6	735.3	735.3

从表8可以看出,轮胎的径向刚性、纵向刚性、横向刚性、扭转刚性和包络刚性受轮胎带束层钢丝帘线的影响较小,基本未发生大的变化,但值得注意的是方案C轮胎的纵向刚性和横向刚性相对较小。

2.8 接地印痕

轮胎作为车辆与路面接触的唯一部位,其接地区域直接影响轮胎与路面间作用力的传递,接地面积大有利于轮胎抓着性能,接地压力分布均匀有利于轮胎的磨耗性能等^[7-8]。

使用轮胎综合性能试验机,采用压力传感器法,按照GB/T 22038—2018进行接地特性测试。试验条件为:充气压力 220 kPa,负荷 460 kg。

3种方案轮胎的接地印痕如图1所示,接地特性参数如表9所示。其中内、外侧胎肩接地长度为80%接地印痕宽度处对应胎肩位置的接地长度。硬度系数=负荷/(接地印痕面积×轮胎充气压力),该参数等于1说明轮胎的充气压力刚好承受全部负荷,为理想状态;大于1说明充气压力不能承受全部负荷(胎体骨架承受过多负荷);小于1说明充气压力承受全部负荷后还有富余。接地印痕矩形比=2×接地印痕中间长度/(内侧胎肩接地长度+外侧胎肩接地长度),可以表征接地印痕形状,数值越大(>1),接地印痕形状越趋向椭圆形;越接近1,接地印痕形状越趋向矩形。

从表9可以看出:方案C轮胎的接地印痕矩形比最小,接地印痕形状更趋向矩形,理论上操纵性能较其他两种方案轮胎更优,但平均接地压力更大;方案B轮胎的接地印痕中间长度和平均接地压力均最小,接地区域受力更加均匀;方案A轮胎的接地印痕矩形比最大,接地印痕形状更趋向椭圆形,其舒适性应较另两种方案轮胎略好。

2.9 六分力

六分力为路面作用于轮胎上的垂向力、侧向力、纵向力3个力和滚动阻力矩、侧倾力矩、回正力矩3个力矩的总称。六分力是研究轮胎力学性能和车辆动力学的基础课题,特别是轮胎的侧偏特性,它是指轮胎产生侧偏角时侧偏力、回正力矩与侧偏角的关系,主要影响车辆的操纵稳定性。

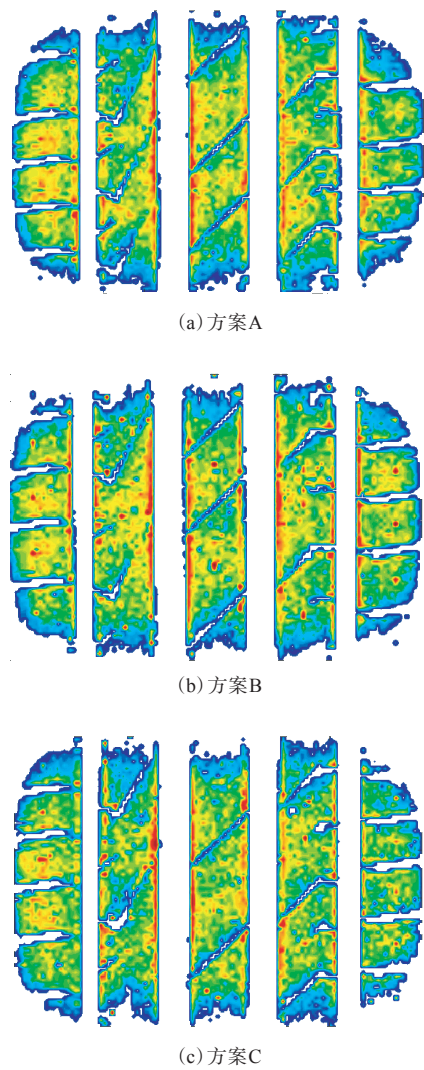


图1 3种方案轮胎的接地印痕

表9 3种方案轮胎的接地特性参数

项 目	试验方案		
	A	B	C
接地印痕面积/cm ²	130.13	126.19	131.56
接地印痕中间长度/mm	111.86	107.29	111.25
内侧胎肩接地长度/mm	93.57	94.18	98.45
外侧胎肩接地长度/mm	103.02	98.15	110.95
接地印痕宽度/mm	170.08	170.08	170.12
硬度系数	1.20	1.22	1.16
接地印痕矩形比	1.14	1.12	1.06
下沉量/mm	20.00	19.80	22.00
平均接地压力/kPa	346.43	342.65	357.23

按照公司六分力试验标准在六分力试验机上进行轮胎侧偏试验,试验条件为:充气压力 220 kPa,负荷 460 kg。

3种方案轮胎的六分力特性参数如表10所示,

表10 3种方案轮胎的六分力特性参数

项 目	试验方案		
	A	B	C
侧偏刚度/[N · (°) ⁻¹]	1 439.11	1 421.24	1 416.91
回正刚度/[N · m · (°) ⁻¹]	42.57	40.72	40.11
侧偏力峰值/N	5 044.58	5 002.79	5 021.91
回正力矩峰值/(N · m)	87.66	84.60	84.92
侧向摩擦因数	1.05	1.04	1.05

其中侧偏刚度为±2°侧偏角内轮胎侧偏力与侧偏角关系直线的斜率,回正刚度为±2°侧偏角内回正力矩与侧偏角关系直线的斜率。

从表10可以看出:随着带束层钢丝帘线强度的增大,3种方案轮胎的侧偏刚度、回正刚度逐渐减小,但变化幅度较小;3种方案轮胎的侧向摩擦因数基本一致。

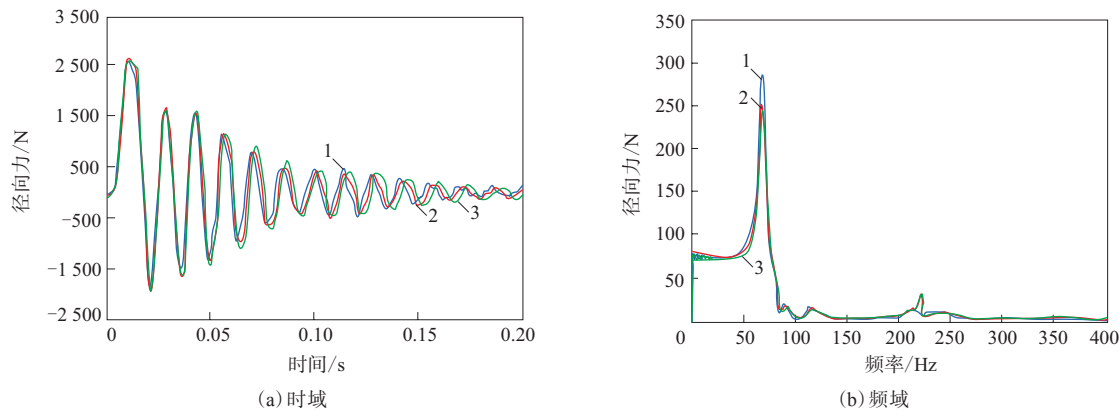
2.10 动态冲击特性

轮胎能够传递和过滤路面激励对车辆的冲击,轮胎动态冲击特性对车辆平顺性研究有重要指导意义^[9-10]。在高速均匀性试验机上进行冲击特性试验,根据冲击块的安装形式又可分为横置安装(90°)及斜置安装(45°),本工作主要研究3种方案轮胎在冲击块横置安装时的动态冲击特性。

选取尺寸为15 mm×15 mm的冲击块在速度60 km · h⁻¹下进行轮胎动态冲击特性试验,试验条件为:充气压力 220 kPa,负荷 460 kg,采样频率为1 000 Hz,记录轮胎在不同速度下通过冲击块的径向力、纵向力和侧向力。由于本试验冲击块横置安装,仅针对径向力和纵向力进行分析,同时通过傅里叶转换将时域信号转换为频域信号,研究带束层钢丝帘线在频域内对轮胎动态冲击特性的影响。

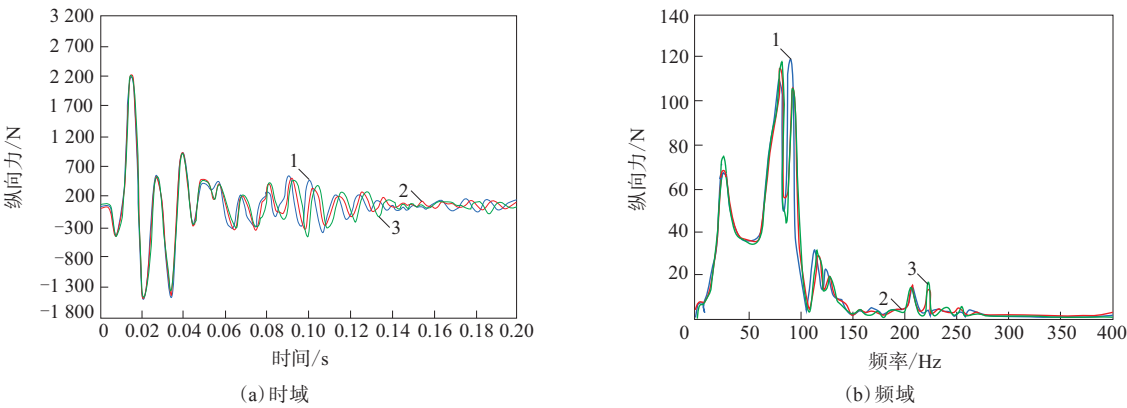
3种方案轮胎的径向力和纵向力在时域和频域内的变化曲线分别如图2和3所示,典型值分别如表11和12所示。

从图2和3、表11和12可以看出:时域内3种方案轮胎的首个波峰径向力差异较小,但方案A轮胎的首个波谷径向力最小,波峰与波谷径向力的极差最小,因此,方案A轮胎的冲击特性略优于方案B,C轮胎;3种方案轮胎冲击曲线形态上未发生大的变化,但随着带束层钢丝帘线强度的增大,冲击曲线后期衰减对应峰的位置发生变化,方案A轮胎冲击峰前移;频域内3种方案轮胎的径向一阶固有频率不同,其中方案A轮胎频率最小,方案C轮胎频



试验方案:1—方案A;2—方案B;3—方案C。

图2 3种方案轮胎的径向力在时域和频域内的变化曲线



注同图2。

图3 3种方案轮胎的纵向力在时域和频域内的变化曲线

率最大,但3种方案轮胎的频率差异较小,径向力峰值随带束层钢丝帘线强度增大而逐渐减小;方案A轮胎的波峰与波谷纵向力的极差最大;频域内3种方案轮胎的纵向一阶固有频率差异较小,纵向力峰值随带束层钢丝帘线强度的增大而逐渐增大。

表11 3种方案轮胎的径向力在时域和频域内的典型值			
项 目	试验方案		
	A	B	C
时域内			
首个波峰径向力/N	2 608.10	2 631.94	2 610.99
首个波谷径向力/N	-1 806.98	-2 016.32	-2 038.70
波峰与波谷径向力的极差/N	4 415.08	4 628.26	4 649.69
频域内			
首个波峰径向力/N	288.05	254.93	243.37
首个波峰径向力对应的频率/Hz	68.165	69.272	69.948

表12 3种方案轮胎的纵向力在时域和频域内的典型值			
项 目	试验方案		
	A	B	C
时域内			
首个波峰纵向力/N	2 255.24	2 211.29	2 175.10
首个波谷纵向力/N	-1 499.01	-1 447.87	-1 417.35
波峰与波谷纵向力的极差/N	3 754.25	3 659.16	3 592.45
频域内			
首个波峰纵向力/N	67.79	68.25	75.11
首个波峰纵向力对应的频率/Hz	26.12	26.26	26.55

3 结论

本工作从成品轮胎室内试验性能、滚动阻力、静态刚性、接地印痕、六分力、动态冲击特性方面进行分析,研究了3种带束层钢丝帘线对轮胎性能的影响,结论如下。

(1) 3种带束层钢丝帘线轮胎的充气外缘尺寸、强度性能、脱圈阻力、高速性能和耐久性能均符合国家标准要求。

(2) 方案A,B轮胎的滚动阻力接近,方案C轮胎的滚动阻力最大,这与钢丝帘线的质量密切相关。

(3) 3种方案轮胎静态刚性差异较小,但方案C轮胎的纵向刚性和横向刚性相对较小。

(4) 方案A轮胎接地印痕形状更趋向椭圆形,轮胎偏舒适型,方案C轮胎接地印痕形状更趋向矩形,轮胎偏操控型。

(5) 六分力方面,3种方案轮胎的侧偏刚度和回正刚度随带束层钢丝帘线强度的增大而逐渐减小,但变化幅度较小。

(6) 动态冲击特性方面,时域内方案A轮胎的波峰与波谷径向力的极差最小,波峰与波谷纵向力的极差最大,频域内3种方案轮胎的径向和纵向一阶固有频率差异较小,但对应径向力和纵向力峰值差异较大。

综上所述,3种带束层钢丝帘线成品轮胎的室内试验结果均符合国家标准要求,带束层钢丝帘线主要影响轮胎的滚动阻力、接地印痕形状和动态冲击特性,对六分力及静态刚性影响较小。同

时,3种钢丝帘线在成本方面存在差异,轮胎设计时应根据需要选择合适的带束层钢丝帘线。

参考文献:

- [1] 王宝凯. 205/55R16子午线轮胎的结构设计、带束层优化与性能研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2020.
- [2] 孙奇涛,王庆,张腾飞,等. 半钢子午线轮胎耐久性试验问题分析及解决措施[J]. 橡胶科技,2021,19(4):190-192.
- [3] 姜云平,罗之祥,梅凤国. 国外子午线轮胎带束层材料和结构发展[J]. 轮胎工业,2016,36(7):387-391.
- [4] 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.
- [5] 秦艳分,张典,宋立,等. 半钢子午线轮胎的侧偏特性研究[J]. 轮胎工业,2022,42(1):20-23.
- [6] 苑诗帅,焦冬梅,杨世豪,等. 轮胎带束层接头缺陷在线检测研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2022,49(4):96-104.
- [7] 王国林,陈幸鹏,周海超. 接地特性参数对轮胎抓地性能的影响研究[J]. 汽车工程,2019,41(6):647-653.
- [8] 刘从臻. 轮胎性能协同提升的复合仿生设计方法研究[D]. 镇江:江苏大学,2022.
- [9] 刘振国,任念组,魏晓辰. 轮胎包容特性及冲击特性试验数据分析[J]. 中国橡胶,2018,5:36-40.
- [10] 许文超. 多材料组装车轮结构-连接-性能一体化多目标优化设计方法研究[D]. 长春:吉林大学,2021.

收稿日期:2023-09-27

Effect of Belt Steel Cord on Performance of Steel-belted Radial Tire

SUN Xuli, ZHANG Kaikai, WANG Longqing, XING Yuwei, LI Huimin

(Qingdao Sentury Tire Co., Ltd, Qingdao 266229, China)

Abstract: In this study, the effect of steel cord in the belt on the performance of steel-belted radial tire was studied by laboratory test of the finished tires, and tests of the rolling resistance, static rigidity, footprint, forces and moments, and dynamic impact characteristics. The results showed that the inflation peripheral dimension, strength performance, bead unseating resistance, high-speed performance and durability of the finished tires with three kinds of steel cord in the belt all met the requirements of national standards. The steel cord in the belt mainly affected the rolling resistance, the shape of the footprint and the dynamic impact characteristics of the tire, but had little influence on the static rigidity and forces and moments.

Key words: steel-belted radial tire; belt; steel cord; rolling resistance; footprint; dynamic impact characteristic

欢迎在《橡胶科技》《橡胶工业》《轮胎工业》上刊登广告