

冠带条材料对轮胎性能的影响

孙晓峰,王可尊,李 帅,张凯凯,王龙庆,李慧敏

(青岛森麒麟轮胎股份有限公司,山东 青岛 266229)

摘要:选取4个规格轮胎,采用单变量结构的方式,研究锦纶、聚酯和混纺材料冠带条对轮胎性能的影响。结果表明:混纺冠带条轮胎的高速性能最佳,聚酯冠带条轮胎的低气压耐久性能最佳;冠带条材料主要对轮胎的侧向力和回正力矩产生影响,对纵向力影响较小;与锦纶冠带条相比,混纺冠带条可以明显提高轮胎的侧偏刚度,降低回正刚度,聚酯冠带条可以明显降低轮胎的回正刚度;参考轮胎性能评价函数,混纺冠带条可以提高轮胎的响应性和操控稳定性;仅考虑轮胎过坎后冲击力的变化,混纺冠带条和锦纶冠带条轮胎对车辆的乘坐舒适性影响较小。

关键词:冠带条;轮胎;锦纶;聚酯;混纺材料;评价函数;安全性;六分力

中图分类号:TQ330.38⁺⁹

文章编号:2095-5448(2023)03-0123-05

文献标志码:A

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2023.03.0123



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎作为车辆的重要组成部分,在操控性、稳定性和舒适性等方面发挥着重要作用。随着汽车行业的发展,轮胎行业蒸蒸日上,人们也日益意识到轮胎的重要性。对于半钢子午线轮胎,骨架材料可以保持轮胎形状和尺寸的稳定性,起到抗机械损伤和承受负荷的作用,同时需要满足轮胎所需的耐疲劳、耐冲击和抗变形等性能要求,骨架材料还对轮胎的乘坐舒适性、噪声、高速性能以及使用寿命有重要影响。

冠带条主要影响轮胎的周向形变。冠带条缠绕方式多样、材料种类丰富,因而轮胎设计工程师尤为擅长通过调整冠带条对轮胎的性能进行调整优化,而且冠带条也是轮胎轻量化设计的关键部件,在轮胎设计中担任重要角色。

锦纶、聚酯和混纺材料是常用的轮胎纤维骨架材料。锦纶的特点是耐热性好、强度大;聚酯的特点是强度大、收缩小,但耐热性较差;混纺材料

的特点则是强度大、刚度高、耐热性好^[1-2]。本工作主要研究冠带条材料对轮胎性能的影响,选取4个常用轮胎规格进行设计,采用控制变量和单变量结构的验证方式研究锦纶、聚酯以及混纺材料冠带条对轮胎性能的影响。

1 实验

1.1 试验设计

锦纶为冠带条常用材料,故主要研究其余两种材料与锦纶帘线的对比。选取规格225/55R17和215/55R17进行混纺材料和锦纶冠带条的对比验证;选取规格205/55R17和185/60R15进行聚酯和锦纶冠带条的对比验证;其中,锦纶材料为锦纶66,规格为1400dtex/2,拉断强度为650 MPa;混纺材料为锦纶1670dtex/1和芳纶1400dtex/1捻合而成,拉断强度为780 MPa;聚酯材料规格为1110dtex/2,拉断强度为560 MPa。

花纹轮廓主要采用我公司配套市场的Qirin 990和LS388系列。验证方案之间保证仅冠带条材料不同,其余的结构设计、花纹轮廓以及生产工艺保持一致。验证规格轮胎信息如表1所示。

作者简介:孙晓峰(1995—),男,山东潍坊人,青岛森麒麟轮胎股份有限公司工程师,学士,主要从事轮胎动力学研究和结构设计工作。

E-mail:2514304701@qq.com

表1 验证规格轮胎信息

规格	负荷指数及速度等级	最大单胎气压/MPa	最大单胎负荷/kg	冠带条材料
225/55R17	101W	340	825	锦纶/混纺
215/55R17	98W	340	750	锦纶/混纺
205/55R17	95W	340	690	锦纶/聚酯
185/60R15	84H	300	500	锦纶/聚酯

1.2 试验设备

高速耐久试验机,汕头市浩大轮胎测试装备有限公司产品;高速均匀性&滚动阻力试验机,德国采埃孚(ZF)集团公司产品;MTS Flat-Trac CT Plus六分力试验机,美国MTS系统公司产品。

2 结果与讨论

2.1 安全性能

安全性能试验按照倾角高速、高速和低气压耐久试验程序进行,试验条件如表2—4所示,试验结果如表5—7所示。

从表5—7可以看出:从试验时间对比可以发现,轮胎高速性能从优到劣的顺序为混纺冠带条轮胎、锦纶冠带条轮胎、聚酯冠带条轮胎;轮胎低气压耐久性能从优到劣的顺序为聚酯冠带条轮胎、锦纶冠带条轮胎、混纺冠带条轮胎。

表2 倾角高速试验条件

项 目	测试阶段						
	1	2	3	4	5	6	7
速度/(km·h ⁻¹)	190	240	250	260	270	280	280
行驶时间/min	10	10	10	10	10	10	至损坏

注:试验气压为280 kPa,负荷率为69%,轮胎倾角为3°。

表3 高速试验条件

项 目	测试阶段						
	1	2	3	4	5	6	7
速度/(km·h ⁻¹)	0~260	260	270	280	290	300	300
行驶时间/min	10	20	10	10	10	10	至损坏

注:试验气压为360 kPa,负荷率为68%。

表4 低气压耐久试验条件

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

注:耐久试验气压为220 kPa,低气压耐久试验气压为160 kPa,从试验阶段4开始为低气压耐久试验部分。

表5 倾角高速试验结果

规格	冠带条材料	最高速度/(km·h ⁻¹)	累计行驶时间/min	损坏方式
225/55R17	锦纶	270	50.0	上模胎侧掉块
225/55R17	混纺	300	77.0	轮胎爆破
205/55R17	锦纶	280	64.1	上模胎肩脱层掉块
205/55R17	聚酯	280	58.7	上模胎肩脱层掉块

表6 高速试验结果

规格	冠带条材料	最高速度/(km·h ⁻¹)	累计行驶时间/min	损坏方式
225/55R17	锦纶	320	106.6	上模胎肩脱层掉块
225/55R17	混纺	340	127.1	胎冠崩花掉块
205/55R17	锦纶	320	104.0	胎冠崩花掉块
205/55R17	聚酯	310	91.2	胎冠崩花掉块

表7 低气压耐久试验结果

规格	冠带条材料	最高速度/(km·h ⁻¹)	累计行驶时间/min	损坏方式
225/55R17	锦纶	160	4 034.0	下模胎肩脱层
225/55R17	混纺	160	3 293.7	上模胎肩裂口
205/55R17	锦纶	160	2 490.6	下模胎肩崩花掉块
205/55R17	聚酯	160	2 550.0	下模胎肩脱层掉块

骨架材料的初始模量高,可以减小轮胎的初始变形;帘线拉断强度与轮胎冠带条的强度直接相关,冠带条帘线的拉断强度大,轮胎高速行驶时周向变形减小,高速性能提高^[3]。3种帘线的拉断强度差异造成了轮胎高速试验结果的差异。

轮胎的耐久性能受帘线的耐疲劳性能影响,帘线的耐疲劳性能是纤维材料的固有特性,由分子结构决定,分子链刚性越大,帘线的耐疲劳性能越差^[3-4]。混纺材料的分子链刚性最大,混纺冠带条轮胎的耐久性能最差;同理,聚酯冠带条轮胎的低气压耐久性能最好。

2.2 六分力试验

对各组对比方案分别进行六分力试验^[5],试验气压均为250 kPa,负荷为最大负荷的80%,进行纯侧偏(侧偏角加载±15°)和纯纵滑(滑移率加载±30%)试验,并对数据进行归一化处理,其中 K_y 、 K_a 和 K_x 分别为归一化的侧偏刚度、回正刚度和纵滑刚度, $F_{y\max}$ 、 $M_{z\max}$ 和 $F_{x\max}$ 分别为归一化的峰值侧向力、峰值回正力矩和峰值纵向力,变化率为材料变化造成的数据差值绝对值与指标最小值的百分比。

纯侧偏和纯纵滑试验结果如表8所示。

表8 纯侧偏和纯纵滑试验结果

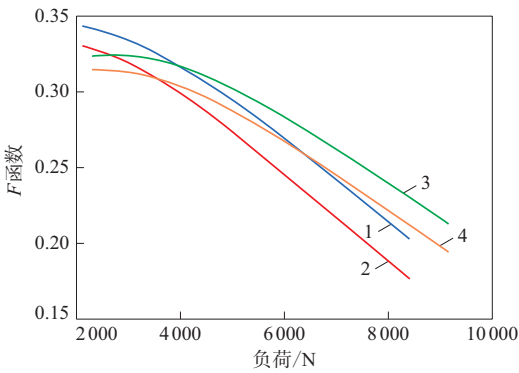
规格	K_y	$F_{y\max}$	K_a	$M_{z\max}$	K_x	$F_{x\max}$
225/55R17						
锦纶冠带条	0.254 8	0.956 5	0.850 0	0.182 0	0.224 9	1.118 4
混纺冠带条	0.265 0	0.950 5	0.820 0	0.175 0	0.226 2	1.129 8
变化率/%	4.00	0.63	3.66	4.00	0.58	1.02
215/55R17						
锦纶冠带条	0.246 5	0.960 0	0.850 0	0.185 0	0.217 5	1.102 5
混纺冠带条	0.256 5	0.942 2	0.770 0	0.168 0	0.222 7	1.112 5
变化率/%	4.06	1.89	10.39	10.12	2.39	0.91
205/55R17						
锦纶冠带条	0.230 6	0.957 1	0.870 0	0.198 0	0.215 7	1.155 3
聚酯冠带条	0.226 9	0.942 7	0.790 0	0.176 0	0.218 1	1.156 4
变化率/%	1.63	1.53	10.13	12.50	1.11	0.10
185/60R15						
锦纶冠带条	0.236 4	1.022 2	0.660 0	0.163 0	0.206 0	1.301 8
聚酯冠带条	0.231 0	1.009 4	0.610 0	0.154 0	0.204 4	1.302 1
变化率/%	2.34	1.27	8.20	5.84	0.78	0.02

从表8可以看出:由锦纶冠带条替换为混纺冠带条,轮胎的侧偏刚度明显增大,峰值侧向力、回正刚度和回正力矩减小,纵滑刚度和峰值纵向力略有增加;由锦纶冠带条替换为聚酯冠带条,轮胎的回正刚度和回正力矩明显减小,侧偏刚度、纵滑刚度、峰值侧向力和峰值纵向力变化较小。分析可知,混纺冠带条主要对侧向力、回正刚度和回正力矩有影响,聚酯冠带条主要对回正力矩有影响,3种冠带条材料对纵向力影响较小。

按照GMW 15204—2014《轮胎稳态力和力矩试验方法》针对锦纶和混纺两种冠带条材料的两组对比方案进行试验,并获取评价函数^[6],试验气压为250 kPa。对比方案的 F 函数(归一化的侧向力), A_T 函数(归一化的回正力矩), H 函数(载荷敏感度函数)和 G 函数(载荷转移敏感度函数)对比曲线分别如图1—4所示。

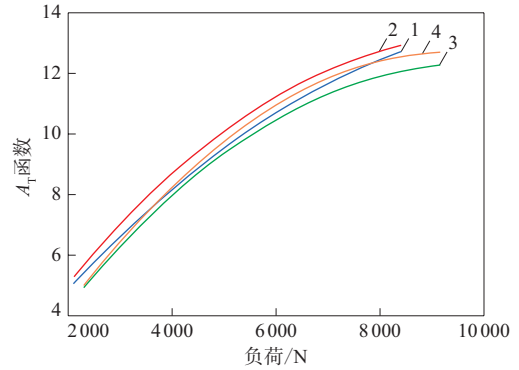
从图1和2可以看出,当侧偏角为1°时,混纺冠带条轮胎的 F 函数均大于锦纶冠带条轮胎,而 A_T 函数则小于锦纶冠带条轮胎,即混纺冠带条与锦纶冠带条相比,其可以提高轮胎的侧偏刚度,但会降低回正刚度。

从图3可以看出,混纺冠带条轮胎的 H 函数大于锦纶冠带条轮胎,说明随着侧偏角的增大,混纺冠带条轮胎更容易进行侧向力的调整,可提高车身的稳定性。



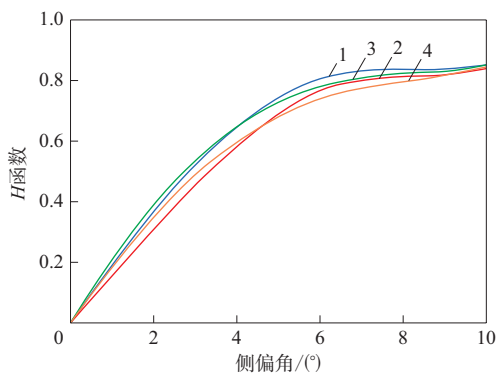
1—215/55R17规格,混纺冠带条;2—215/55R17规格,锦纶冠带条;3—225/55R17规格,混纺冠带条;4—225/55R17规格,锦纶冠带条。

图1 F 函数-负荷曲线



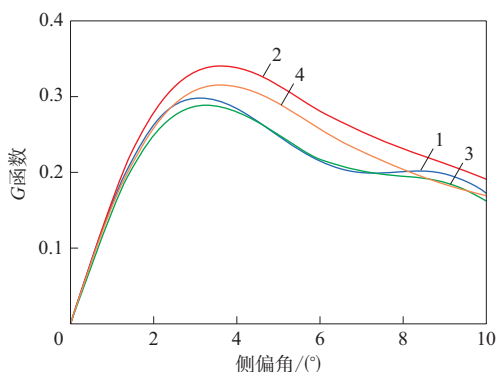
注同图1。

图2 A_T 函数-负荷曲线



注同图1。

图3 H函数-侧偏角曲线



注同图1。

图4 G函数-侧偏角曲线

从图4可以看出,当侧偏角为 $2^{\circ}\sim 4^{\circ}$ 时,混纺冠带条轮胎的G函数明显更小,说明其轮胎发生载荷转移时,侧向力的静态损失更小,操控稳定性更好,即相比于锦纶冠带条轮胎,混纺冠带条轮胎可以提高车辆的操控稳定性。

2.3 动态冲击试验

在高速均匀性&滚动阻力试验机上进行负荷率为80%的过障碍(cleat)条冲击试验^[7],试验气压为250 kPa,速度为 $60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,cleat条规格为 $20\text{ mm}\times 20\text{ mm}$,径向力和纵向力数据分别如表9和10所示。

从表9和10可以看出:混纺冠带条轮胎的初始冲击力略小于锦纶冠带条轮胎,但经过初始波动后会有一定反弹,而且锦纶冠带条轮胎冲击力的衰减速度更快;对比轮胎过坎后冲击力的数值可知,两种冠带条材料引起的冲击力波动相差较小。分析认为锦纶和混纺冠带条对轮胎的过坎冲击影

表9 径向力数据

N

项 目	锦纶冠带条	混纺冠带条
波峰1	9 267.64	9 268.18
波谷1	3 898.15	3 963.79
波峰2	8 063.87	8 096.88
波谷2	4 201.91	4 164.61
波峰3	8 109.09	8 138.78
波谷3	4 532.24	4 542.90
波动1	5 369.49	5 304.39
波动2	4 165.72	4 133.09
波动3	3 861.96	3 932.27
波动4	3 907.18	3 974.17
波动5	3 576.85	3 595.88
衰减1	1 203.77	1 171.30
衰减2	-45.22	-41.90

注:波动为相邻波峰与波谷径向力的差值,代表径向力波动幅度,其中波动1反映轮胎初始冲击力的大小;衰减为相邻波峰径向力的差值,代表径向力衰减速度。

表10 纵向力数据

N

项 目	锦纶冠带条	混纺冠带条
波峰1	2 384.67	2 351.19
波谷1	-1 636.18	-1 653.50
波峰2	612.35	625.22
波谷2	-1 286.89	-1 265.89
波峰3	892.17	895.13
波谷3	-368.38	-349.88
波动1	4 020.85	4 004.69
波动2	2 248.53	2 278.72
波动3	1 899.24	1 891.11
波动4	2 179.06	2 161.02
波动5	1 260.55	1 245.01
衰减1	1 772.32	1 725.97
衰减2	-279.82	-269.91

注:波动为相邻波峰与波谷纵向力的差值,代表纵向力波动幅度,其中波动1反映轮胎初始冲击力的大小;衰减为相邻波峰纵向力的差值,代表纵向力衰减速度。

响很小,但由于这两种材料会造成轮胎的刚度和质量差异,其与车辆的悬架系统存在耦合作用时,可能会对车辆的乘坐舒适性产生影响。

3 结论

采用单变量结构的方式,研究锦纶、聚酯和混纺冠带条材料对轮胎性能的影响,得出的结论如下。

(1)对于安全性能,轮胎高速性能从优到劣的顺序为混纺冠带条轮胎、锦纶冠带条轮胎、聚酯冠带条轮胎;轮胎低气压耐久性能从优到劣的顺序

为聚酯冠带条轮胎、锦纶冠带条轮胎、混纺冠带条轮胎。

(2) 冠带条材料主要对轮胎的侧向力、回正刚度和回正力矩产生影响,对纵向力影响很小;混纺冠带条替代锦纶冠带条可以明显提高轮胎的侧偏刚度,降低峰值侧向力、回正刚度和回正力矩;聚酯冠带条替代锦纶冠带条,可以明显降低轮胎的回正刚度和回正力矩。

(3) 参考评价函数,与锦纶冠带条相比,混纺冠带条在不同负荷下均可提高轮胎侧偏刚度,但会降低回正刚度,混纺冠带条轮胎有较高的载荷敏感度;当载荷转移时,混纺冠带条轮胎的侧向力损失相对更小,可以提高轮胎的响应性和操控稳定性。

(4) 分析动态冲击试验数据,仅考虑轮胎过坎后冲击力的变化,混纺冠带条和锦纶冠带条对轮胎的乘坐舒适性影响很小,但由于材料变化引起轮胎的刚度和质量变化,可能会和车辆悬架系统存在耦合作用,从而对乘坐舒适性产生影响。

综合考虑,锦纶是最常用的冠带条材料,可以保证轮胎的性能,同时又可以控制成本;聚酯冠

带条会使轮胎的高速安全性能和操控性能下降,几乎不会成为冠带条材料的选择目标;混纺冠带条可提高轮胎的高速性能和操控稳定性,但其成本远大于锦纶冠带条,这也限制了混纺材料的选择。冠带条材料的使用需要轮胎设计工程师综合考虑各方面因素进行选择,使轮胎的性能最优化,效益最大化。

参考文献:

- [1] 危银涛,李勇,冯希金,等. 轮胎理论与技术[M]. 北京:清华大学出版社,2013.
- [2] 何毫明,高超群,蔡习舟,等. 31×10. 50R15LT 109Q 6PR 泥地轮胎的开发[J]. 轮胎工业,2020,40(2):92-94.
- [3] 王华. 纺织纤维骨架材料对轮胎性能的影响[J]. 世界橡胶工业,2004,31(4):47-48,57.
- [4] 刘晨,李凡珠,卢咏来,等. 非充气轮胎的结构设计与力学性能[J]. 橡胶工业,2021,68(2):83-90.
- [5] 姜洪旭,王海艳. 整车操纵性能仿真客观评价体系研究[J]. 轮胎工业,2020,40(10):630-634.
- [6] 王锋,董毛华,卢荡,等. 轿车子午线轮胎结构与侧偏特性的探讨[J]. 轮胎工业,2010,30(12):726-730.
- [7] 姜贺贺. 路面冲击下车轮动载特性研究[D]. 长春:吉林大学,2017.

收稿日期:2022-11-01

Effect of Crown Strip Material on Tire Performance

SUN Xiaofeng, WANG Kezun, LI Shuai, ZHANG Kaikai, WANG Longqing, LI Huimin

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

Abstract: Four specifications of tires were selected and the effect of nylon, polyester and blended material crown strips on tire performance was studied by means of univariate analysis. The results showed that the high-speed performance of the tire with blended material crown strip was the best, and the low air pressure durability of the tire with polyester crown strip was the best. The material of crown strip mainly affected the lateral force and aligning torque of the tire, and had little effect on the longitudinal force. Compared with nylon crown strips, the blended material crown strips could significantly improve the cornering stiffness and reduce the aligning stiffness of the tire, while the polyester crown strips could significantly reduce the tire aligning stiffness. Referring to the tire performance evaluation function, the blended material crown strips could improve the responsiveness and handling stability of the tire. If only the change of the impact force after the tire passed over the ridge was considered, the blended material crown strips and nylon crown strips tires had little effect on the riding comfort of the vehicle.

Key words: crown strip; tire; nylon; polyester; blended material; evaluation function; safety; six-component force