

# 不同摩擦因数胎面胶对轿车子午线轮胎性能的影响

孙绪利,孙晓峰,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:**研究不同摩擦因数胎面胶对轿车子午线轮胎的滚动阻力、静态刚性、接地印痕、六分力特性及整车性能的影响。结果表明:使用3种胎面胶的轮胎的滚动阻力接近;随着胎面胶摩擦因数的减小,轮胎的纵向刚性和扭转刚性变化较大,径向刚性和横向刚性变化不大,轮胎的包络刚性随胎面胶硬度的增大而增大;采用较大摩擦因数胎面胶的轮胎的接地面积及矩形比较大,3种方案轮胎其他接地特性参数差异较小;采用较小摩擦因数胎面胶的轮胎的侧偏刚度、回正刚度和纵滑刚度最大,成品轮胎的摩擦因数与胎面胶的摩擦因数呈正相关,但数值差异略大,轮胎的侧向力峰值、回正力矩峰值、纵向力峰值随胎面胶摩擦因数的增大而增大;轮胎干地刹车距离与胎面胶摩擦因数呈负相关,操控稳定性受轮胎侧偏刚度和回正刚度的影响较大,舒适性受胎面胶硬度的影响较大。

**关键词:**轿车子午线轮胎;胎面胶;滚动阻力;静态刚性;接地印痕;六分力;摩擦因数

**中图分类号:** TQ336.1

**文章编号:** 2095-5448(2023)10-0486-05

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.12137/j.issn.2095-5448.2023.10.0486



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

轿车子午线轮胎主要由胎面、胎侧、胎体、冠带层、带束层、三角胶、钢丝圈和内衬层等组成,其中胎面作为轮胎与地面接触的部件,在轮胎运动中起着重要作用<sup>[1]</sup>。胎面提供轮胎运动所需的制动力、驱动力和转向力等,在影响轮胎使用寿命的同时,对隔离地面的激励也起着重要作用。不同性能的轮胎对胎面胶性能的要求不同,如出租车轮胎需要耐磨性能好的胎面胶,偏舒适性的轮胎需要硬度略小的胎面胶,频繁制动的轮胎需要具有较大摩擦因数的胎面胶等<sup>[2-4]</sup>。

本工作设计了3种摩擦因数的胎面胶,主要研究其对轿车子午线轮胎的滚动阻力、静态刚性、接地印痕、六分力特性及整车性能的影响。

## 1 实验

### 1.1 试验材料

3种胎面胶(记为A,B,C)的基本性能如表1

**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

所示。

**表1 3种胎面胶的基本性能**

项 目	胎面胶		
	A	B	C
邵尔A型硬度/度	59	62	67
300%定伸应力/MPa	7.30	8.77	10.48
拉伸强度/MPa	19.82	19.85	18.95
拉断伸长率/%	620	549	519
阿克隆磨耗量/cm <sup>3</sup>	346.6	236.8	206.2
摩擦因数	1.37	1.24	1.12
60℃时的损耗因子(tanδ)	0.1008	0.0972	0.0942
玻璃化转变温度/℃	-15.71	-14.08	-12.65

胎面胶A,B,C的摩擦因数逐渐减小,邵尔A型硬度和300%定伸应力逐渐增大,拉断伸长率和阿克隆磨耗量逐渐减小,玻璃化转变温度逐渐升高,60℃时的tanδ有所降低,拉伸强度差异较小。

### 1.2 试验方案

采用3种胎面胶分别生产205/55R16轿车子午线轮胎,并进行滚动阻力、静态刚性、接地印痕、六分力试验,同时进行实车评价。胎面胶A,B,C对应试验方案记为方案A,B,C。

除胎面胶不同外,胎面挤出型、其他半成

品、成型机台、硫化机台和生产工艺均一致。为减少胶料混合的影响,每次挤出胎面胶前需要清理胎面挤出机料筒内的余料,确保胶料无掺杂。

### 1.3 主要设备和仪器

滚动阻力试验机,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 滚动阻力

滚动阻力试验按照ISO 28580—2018《轮胎滚动阻力测试方法》进行,试验条件为:充气压力 200 kPa,负荷 600 kg。3种方案轮胎的滚动阻力系数如表2所示。

表2 3种方案轮胎的滚动阻力系数

项 目	试验方案		
	A	B	C
轮胎质量/kg	9.69	9.45	9.55
滚动阻力系数/(N·kN <sup>-1</sup> )	7.38	7.30	7.37

从表2可以看出,3种方案轮胎的滚动阻力系数波动幅度小于2.5%,滚动阻力差异不明显。这是因为胎面胶60℃时的tanδ与轮胎滚动阻力有直接关系,60℃时的tanδ越小,轮胎滚动阻力越低<sup>[5]</sup>。本工作3种胎面胶60℃时的tanδ差异较小,因此3种方案轮胎的滚动阻力差异较小。

### 2.2 静态刚性

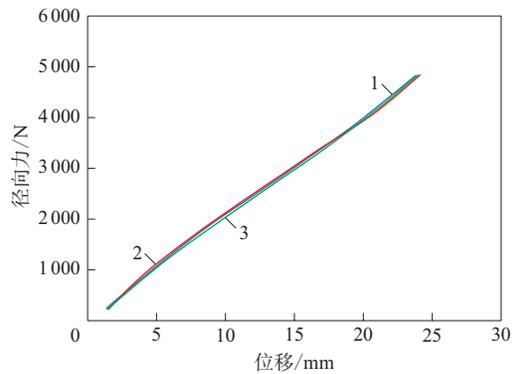
轮胎纵向刚性和横向刚性按照GB/T 23663—2020《汽车轮胎纵向和横向刚性试验方法》进行测试。

纵向刚性计算方法如下:纵向刚性=(纵向力2-纵向力1)/(纵向位移2-纵向位移1)。其中,纵向力1为基准纵向力减去250 N,纵向位移1为纵向力1所对应的位移量;纵向力2为基准纵向力加250 N,纵向位移2为纵向力2所对应的位移量;基准纵向力为试验中施加的径向负荷×30%×9.8 m·s<sup>-2</sup>。

横向刚性计算方法与纵向刚性一致。此外,本工作增加了轮胎径向刚性、扭转刚性和包络刚性试验。

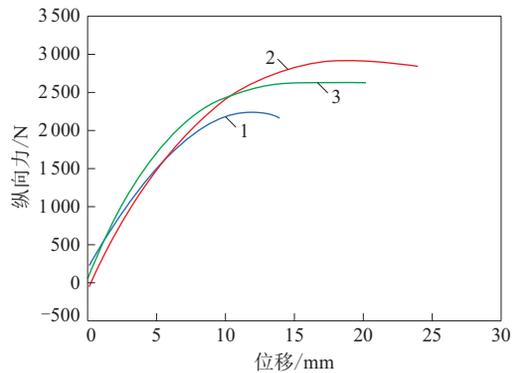
3种方案轮胎的不同刚性曲线如图1—5所示,静态刚性试验结果如表3所示。

从图1—5和表3可以看出:轮胎的径向刚性、横向刚性变化较小(位移较小时3种方案轮胎的径向力-位移曲线和横向力-位移曲线基本重合);轮胎的纵向刚性变化较大且由小到大依次为方案A、方案B和方案C,但在纵向力达到最大值(即轮胎产生



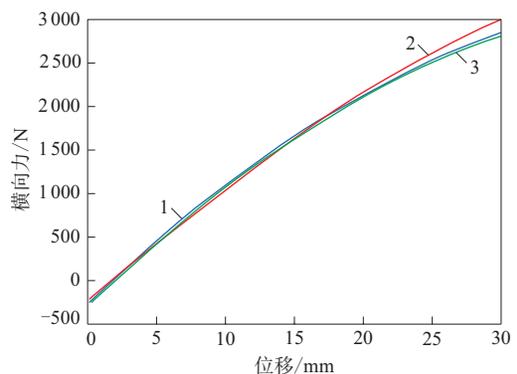
试验方案:1—A;2—B;3—C。

图1 3种方案轮胎的径向力-位移曲线



注同图1。

图2 3种方案轮胎的纵向力-位移曲线



注同图1。

图3 3种方案轮胎的横向力-位移曲线

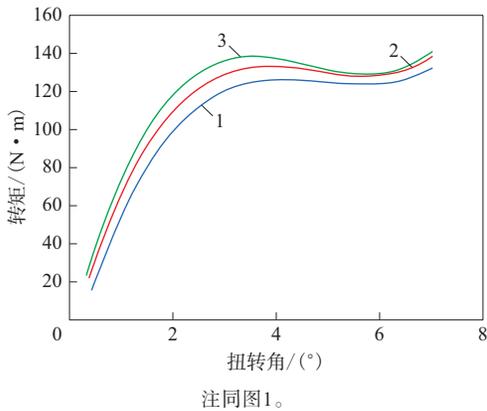


图4 3种方案轮胎的转矩-扭转角曲线

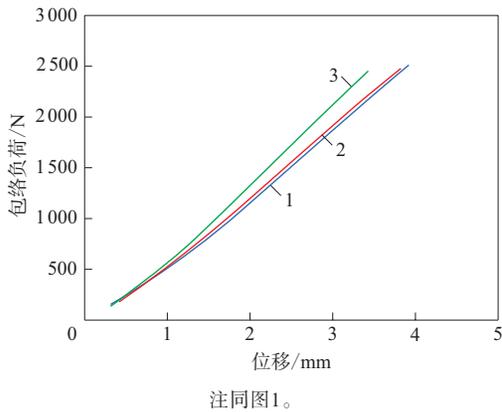


图5 3种方案轮胎的包络负荷-位移曲线

表3 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 <sup>-1</sup> )	203.3	205.8	200.0
纵向刚性/(N·mm <sup>-1</sup> )	241.5	256.4	274.7
横向刚性/(N·mm <sup>-1</sup> )	114.7	114.7	109.9
扭转刚性/[N·m·(°) <sup>-1</sup> ]	40.0	43.0	45.7
包络刚性/(N·mm <sup>-1</sup> )	724.6	735.3	806.5

纵向滑移)的情况下方案B轮胎的位移最大,其次是方案C轮胎,方案A轮胎的位移最小,这与3种胎面胶的摩擦因数有关,胎面胶的摩擦因数增大,轮胎位移减小;轮胎的扭转刚性变化较大且由小到大依次为方案A、方案B和方案C,这与3种胎面胶的摩擦因数变化具有一致性,胎面胶的摩擦因数增大,轮胎的扭转刚性减小;轮胎的包络刚性变化较大且由小到大依次为方案A、方案B和方案C,这主要受胎面胶硬度的影响,胎面胶A的硬度最小,包覆能力最好。

### 2.3 接地印痕

采用压力传感器法,按照GB/T 22038—2018《汽车轮胎静态接地压力分布试验方法》进行轮胎接地印痕测试,试验条件为:充气压力 230 kPa, 负荷 460 kg。3种方案轮胎的接地印痕如图6所示,接地特性参数如表4所示。

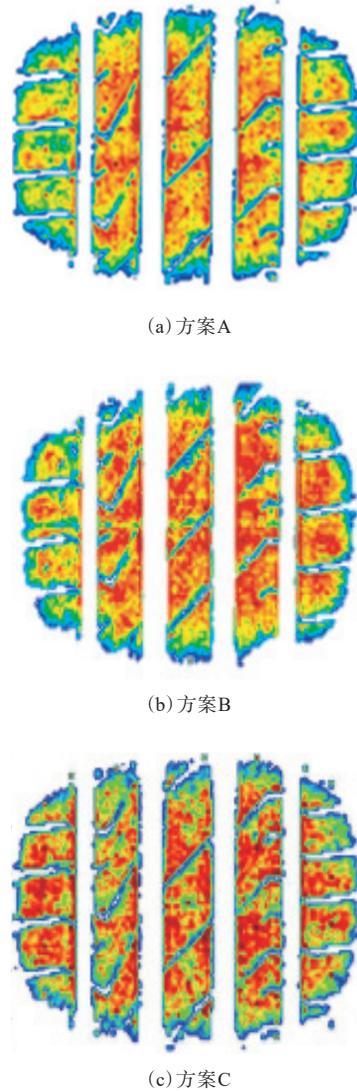


图6 3种方案轮胎的接地印痕

从图6和表4可以看出,与方案B和C轮胎相比,方案A轮胎的接地面积略大且矩形比最大,有利于提高轮胎的抓着性能<sup>[6]</sup>;3种方案轮胎的其他接地特性参数差异不大。

### 2.4 六分力特性

按照公司标准进行六分力试验(包括侧偏试

表4 3种方案轮胎的接地特性参数

项 目	试验方案		
	A	B	C
接地面积/cm <sup>2</sup>	125.78	120.96	119.24
中间接地长度/mm	118.04	119.40	118.82
接地宽度/mm	162.85	164.29	162.46
硬度因数	1.25	1.18	1.23
矩形比	1.30	1.25	1.22
下沉量/mm	21.20	22.20	22.10
径向刚度 <sup>1)</sup> /(N·mm <sup>-1</sup> )	213.25	203.64	204.53

注:1)计算方法为试验负荷除以以下沉量。

验和纵滑试验两部分),试验条件:充气压力 230 kPa,负荷 492 kg。

侧偏试验条件:路面速度为60 km·h<sup>-1</sup>,轮胎状态为自由滚动,依实际需要设置侧倾角(本工作侧倾角为0°),侧偏角输入以线性扫掠形式进行。通过测试可以得到轮胎侧偏刚度和回正刚度等<sup>[7]</sup>。

纵滑试验条件:路面速度为60 km·h<sup>-1</sup>,轮胎状态为加速或制动,依实际需要设置侧倾角和侧偏角,滑移率输入以线性扫掠形式进行,此部分可以模拟轮胎在加速或减速过程中轮胎力的变化。

3种方案轮胎的六分力特性参数如表5所示。

表5 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·(°) <sup>-1</sup> ]	1 326.77	1 389.05	1 413.45
侧向力峰值/N	5 031.62	4 999.38	4 854.17
回正刚度/[N·m·(°) <sup>-1</sup> ]	45.01	48.14	48.52
回正力矩峰值/(N·m)	97.50	95.61	95.17
纵滑刚度/[N·(%) <sup>-1</sup> ]	1 147.39	1 243.46	1 280.84
纵向力峰值/N	5 865.13	5 828.32	5 636.12
侧向摩擦因数	1.03	1.03	1.00
最大静摩擦因数	1.21	1.19	1.17
纵向滑动摩擦因数	1.12	1.00	0.96

从表5可以看出:3种方案轮胎的侧向摩擦因数、最大静摩擦因数、纵向滑动摩擦因数与表1中胎面胶的摩擦因数差异较大(测试的样品不同,设备也不同),但基本符合摩擦因数由大到小为A,B,C的规律;方案C轮胎的侧偏刚度、回正刚度、纵滑刚度最大,其相应的操控性能较好<sup>[8]</sup>;轮胎的侧向力峰值、回正力矩峰值、纵向力峰值等极限性能受胎面胶摩擦因数的影响较大,随胎面胶摩擦因数的增大而增大。

## 2.5 实车测试

为进一步确认胎面胶对轮胎性能的影响,将3

种方案轮胎在同一时间段内进行实车测试,测试采用同一车辆,轮胎充气压力为230 kPa。3种方案轮胎的实车测试结果如表6所示,基础转向、操控稳定性、舒适性均通过车手评分进行评价。

表6 3种方案轮胎的实车测试结果

项 目	试验方案		
	A	B	C
干地刹车距离/m	40.6	40.8	40.9
基础转向			
中心区	6.00	6.00	6.75
线性度	6.50	6.25	6.50
转向力矩	6.25	6.50	6.75
直行稳定性	7.50	7.50	7.50
总评分	6.13	6.50	6.75
操控稳定性			
前后轴平衡	6.75	7.00	6.50
移线	6.50	7.00	7.50
弯中松油门反应	7.25	7.50	7.50
极限过弯性能	6.75	7.25	7.00
侧倾控制	6.75	6.75	6.75
总评分	6.75	7.13	7.25
舒适性			
振动衰减	6.75	7.00	6.50
单个冲击	7.00	7.00	6.75
总评分	6.75	7.00	6.50

从表6可以看出:3种方案中,方案A轮胎的干地刹车距离最短,但与其他2个方案轮胎差异不大,这与六分力试验中纵向滑动摩擦因数相差较小一致;方案C轮胎的基础转向及操控稳定性最优,这与方案C轮胎的侧偏刚度、回正刚度最大有关;方案B轮胎的舒适性最好,其次是方案A轮胎,最差为方案C轮胎,轮胎舒适性受胎面胶硬度的影响最大。

## 3 结论

(1)使用3种摩擦因数胎面胶的轮胎的滚动阻力接近,这与胎面胶60℃时的tanδ差异较小有关。

(2)随着胎面胶摩擦因数的减小,轮胎的纵向刚性和扭转刚性变化较大,径向刚性和横向刚性变化不大,轮胎的包络刚性随胎面胶硬度的增大而增大。

(3)方案A轮胎的接地面积及矩形比较大,3种方案轮胎的其他接地特性参数差异较小。

(4) 方案C轮胎的侧偏刚度、回正刚度、纵滑刚度最大;成品轮胎的摩擦因数与胎面胶的摩擦因数呈正相关,但数值差异略大;侧向力峰值、回正力矩峰值、纵向力峰值随胎面胶摩擦因数的增大而增大。

(5) 轮胎干地刹车距离与胎面胶的摩擦因数呈负相关,操控稳定性受轮胎侧偏刚度和回正刚度的影响较大,舒适性受胎面胶硬度的影响较大。

#### 参考文献:

[1] 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.

[2] 孙崇志.高性能轮胎胎面用橡胶复合材料组成、微观结构与性能间关系的研究[D].北京:北京化工大学,2019.

[3] 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.

[4] 刘恒.石墨烯在轮胎胎面胶中的应用研究[D].广州:华南理工大学,2018.

[5] 高玲茹,张凯凯,王龙庆,等.通过接地特性预测轮胎干地制动距离[J].橡胶科技,2021,19(2):65-67.

[6] 刘丽.胎面胶动态力学及摩擦特性的研究[D].青岛:青岛科技大学,2005.

[7] 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.

[8] 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.

收稿日期:2023-07-30

## Effect of Tread Compound with Different Friction Coefficient on Performance of Passenger Car Radial Tire

SUN Xuli, SUN Xiaofeng, ZHANG Kaikai, WANG Longqing, LI Huimin

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

**Abstract:** The effects of three tread compounds with different friction coefficients on the rolling resistance, static stiffness, ground footprint, forces and moments, and overall vehicle performance of passenger car radial tires were studied. The results showed that the rolling resistances of the tires were similar. As the friction coefficient of the tread compound decreased, the longitudinal stiffness and torsional stiffness of the tire changed significantly, while the radial stiffness and transverse stiffness changed little. The enveloping stiffness of the tire increased with the increase of hardness of the tread compound. The grounding area and rectangle ratio of the tire using the tread compound with high friction coefficient were relatively large, and the difference of other grounding characteristics of the tires was small. The tire using the tread compound with low friction coefficient had the largest lateral stiffness, aligning stiffness, and longitudinal slip stiffness. The friction coefficient of the finished tire was positively correlated with the friction coefficient of the tread compound, but the numerical difference was slightly larger. The peak values of the lateral force, aligning moment, and longitudinal force of the tires increased with the increase of the friction coefficients of tread compound. The dry braking distance of the tire was negatively correlated with the friction coefficients of tread compound, and the handling stability performance was greatly affected by the lateral stiffness and aligning stiffness of the tire, while the comfort was greatly affected by the hardness of the tread compound.

**Key words:** passenger car radial tire; tread compound; rolling resistance; static stiffness; ground footprint; forces and moments; friction coefficient

欢迎在《橡胶科技》《橡胶工业》《轮胎工业》上刊登广告