

# 一种五复合胎面的设计及性能研究

刘玄,任艳萍,李娜娜,杜传永,白浩,刘勇

(中策橡胶集团股份有限公司,浙江杭州 310018)

**摘要:**介绍一种五复合胎面的设计并进行性能研究。结果表明:与四复合胎面轮胎相比,五复合胎面轮胎的高速性能提高,耐久性能达到国家标准要求;低滚动阻力五复合胎面轮胎在保持湿地抓着性能不变的前提下滚动阻力降低,高湿地抓着五复合胎面轮胎在保持滚动阻力不变的前提下整体刚性增大,湿地抓着性能和操控性能提高。

**关键词:**五复合胎面;滚动阻力;湿地抓着性能;操控性能

**中图分类号:**TQ336.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-8171(2023)07-0394-05

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2023.07.0394



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

随着经济的迅猛发展,汽车产量越来越大,轮胎作为汽车行驶时唯一与地面接触的部件,与人们的安全息息相关。随着欧盟轮胎标签法规的强制执行,轮胎的滚动阻力和湿抓操控性能受到越来越多的关注。相关研究表明,克服轮胎滚动阻力消耗的燃油占汽车总油耗的14.4%,而仅由胎面产生的滚动阻力就占轮胎滚动阻力的49%,即由胎面直接造成的油耗约占汽车总油耗的7.1%<sup>[1-4]</sup>。降低胎面滚动阻力并保证良好的湿抓操控性能是目前轮胎最基本的要求。

在我国,现阶段电动汽车市场比较庞大,对电动汽车轮胎的需求也日益增长。电动汽车与燃油汽车相比增加了电池,其质量比同规格燃油汽车大20%左右,因此对轮胎负荷能力要求更高,对轻量化需求更迫切。对于纯电动汽车而言,续航里程是一个很重要的性能指标,续航里程的提高需要汽车各个部件的支持,低滚动阻力轮胎便是其中之一<sup>[5-7]</sup>。电动汽车提速快,为避免轮胎打滑,保证行驶安全,要求轮胎具有更好的抓着性能。电动汽车质量大,制动距离长,制动性能尤其是湿滑路面的制动性能是关系到轮胎行驶安全的重要因素,因此要求轮胎具有高抗湿滑性能<sup>[8-13]</sup>。总之,电动汽车轮胎需要在滚动阻力、抓着性能和耐磨性能之间取得一个良好的平衡。

为了满足绿色环保轮胎的市场需求,我公司针对电动汽车的现状研发了五复合胎面产品,通过优化配方与结构,以实现轮胎室内高速、耐久、滚动阻力以及室外湿地抓着、操控等性能的良好平衡。现以245/45ZR19 94Y轮胎为例将产品设计情况介绍如下。

## 1 实验

### 1.1 配方

上层低滚动阻力胎面胶配方组分包括天然橡胶(NR)、锂系炭黑改性低滚动阻力顺丁橡胶(BR)、炭黑、活性剂(氧化锌和硬脂酸)、防老剂(6PPD和微晶蜡)和硫化剂(硫黄和促进剂TBBS)。

上层高湿地抓着胎面胶配方组分包括NR、溶聚丁苯橡胶(SSBR)、BR、白炭黑、炭黑、新型巯基硅烷偶联剂、胎面抗湿滑树脂、活性剂(氧化锌和硬脂酸)、防老剂(6PPD和微晶蜡)和硫化剂(硫黄和促进剂CBS)。

下层胎面胶配方组分包括NR、BR、炭黑、活性剂(氧化锌和硬脂酸)、防老剂(6PPD和微晶蜡)和硫化剂(硫黄和促进剂TBBS)。

胎肩胶配方组分包括NR、SSBR、BR、炭黑、活性剂(氧化锌和硬脂酸)、防老剂(6PPD和微晶蜡)和硫化剂(硫黄和促进剂CBS)。

胎面基部胶配方组分包括NR、乳聚丁苯橡胶(ESBR)、炭黑、活性剂(氧化锌和硬脂酸)、防

**作者简介:**刘玄(1986—),女,安徽铜陵人,中策橡胶集团股份有限公司工程师,学士,主要从事轮胎配方设计工作。

**E-mail:**liux@zc-rubber.com

老剂(6PPD和微晶蜡)和硫化剂(硫黄和促进剂TBBS)。

导电胶配方组分包括ESBR、碳纳米管、活性剂(氧化锌和硬脂酸)、防老剂(6PPD和微晶蜡)和硫化剂(硫黄和促进剂TBBS)。

### 1.2 主要设备和仪器

120/150/150/150+45五复合胎面线挤出机,桂林橡胶设计院有限公司产品;Vacuun一次法子午线轮胎成型机,荷兰VMI集团产品;LLY-B1220×1800×2型轮胎液压双模硫化机,巨轮智能装备股份有限公司产品;TJR-2-PC(Y)型轿车轮胎高速耐久性能试验机和TJR-RR-PC(Y)型轮胎滚动阻力试验机,天津久荣车轮技术有限公司产品;Flat-Trac CT型六分力试验机,美国MTS系统公司产品。

### 1.3 胎面设计

传统的胎面挤出形式有二复合、三复合和四复合挤出,如图1所示。胎面四复合挤出侧重导电胶的应用,其胎面型胶包括胎面胶、基部胶、胎肩胶和导电胶。

为了提高轮胎性能,本设计胎面挤出形式采用五复合挤出,如图2所示。

五复合挤出胎面型胶包括上层胎面胶、下层胎面胶、基部胶、胎肩胶和导电胶。上层胎面胶、

下层胎面胶和基部胶依次由外向内构成胎面层;胎肩胶位于胎面层的横向两侧;导电胶为梯形,位于胎面层中心的一侧,由外向内贯穿上层胎面胶、下层胎面胶和基部胶,宽度大于上层胎面胶。上层胎面胶的厚度占胎面层厚度的50%~60%,下层胎面胶的厚度占胎面层厚度的30%~40%,下层胎面胶厚度要控制在轮胎硫化后不高于磨损标志,基部胶的厚度占胎面层厚度的5%~15%。

五复合胎面的上层胎面胶、下层胎面胶、基部胶、胎肩胶、导电胶分别经各自螺杆挤出机进胶口进胶,然后经各自螺杆挤出机及流道挤出后,通过预口型部件挤出并排列成预置形状,最后共同通过挤出型部件,复合挤出五复合胎面。挤出时只需调整挤出流道,即可将5种胶料复合成胎面部件,工艺简单。本设计5种胶料既具有各自的特点,又能够相互配合,复合挤出后,经过成型及硫化工序,胶料之间的界面相互交联,实际使用过程中不会出现不同胶料分离的问题。本设计胎面型胶通过两种上下层不同的胎面胶组合形式控制滚动阻力和操控性能,在有效降低轮胎滞后损失的同时兼顾湿地抓着性能,硫化后可以得到滚动阻力低、湿地抓着性能和操控性能好的轮胎。

胎面五复合技术可以应用在以下几个方面。

(1) 轻型载重轮胎双层胎面设计:更好地提高耐久性能。

(2) 低滚动阻力轮胎双层胎面设计:兼顾低滚动阻力和耐磨性能。

(3) 高湿地抓着双层胎面设计:满足欧盟后续对轮胎使用后期湿地抓着性能的要求。

(4) 雪地轮胎双层胎面设计:雪地轮胎上层胎面胶在低温下应保持较好的柔性,确保轮胎具有较好的雪地抓着性能;下层胎面胶要有足够的刚性以确保轮胎具有良好的耐久性能。

(5) 非对称轮胎双层胎面设计:非对称胎面的左右刚性不同,外侧刚性强,侧重操控性能和抓着性能;内侧刚性弱,侧重排水性能,通常非对称双层胎面的花纹刚性通过配方设计实现。

本工作主要将五复合胎面技术应用于两个方面,一是低滚动阻力胎面,二是高湿地抓着胎面。

### 1.4 方案

试验轮胎规格为245/45ZR19 94Y,共3个设

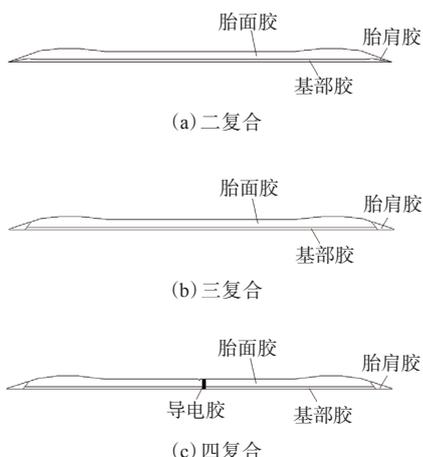


图1 传统的胎面挤出形式

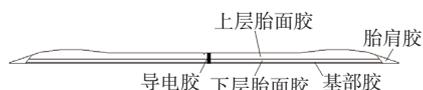


图2 五复合胎面挤出示意

计方案,方案1为单层胎面四复合,方案2为低滚动阻力双层胎面五复合,方案3为高湿地抓着双层胎面五复合,其他施工设计参数相同。将各半成品轮胎在成型机上成型,成型胎坯在硫化机上硫化。

## 2 结果与讨论

### 2.1 硫化特性和物理性能

胶料的硫化特性和物理性能如表1所示。胶料的 $F_{\max}$ 越大,模量越高; $t_{10}$ 越长,起硫越慢;门尼焦烧时间 $t_5$ 越长,加工安全性越好;拉伸强度和拉伸伸长率越大,胶料的拉伸性能越好。轮胎行业一般以60℃时胶料的损耗因子( $\tan\delta$ )表征轮胎的滚动阻力, $\tan\delta$ 越小,滚动阻力越低。

表1 胶料的硫化特性和物理性能

项 目	低滚阻 上层胎 面胶	高湿抓 上层胎 面胶	下层 胎面 胶	基部 胶	胎肩 胶	导电 胶
门尼焦烧时间 $t_5$ (127℃)/min	13.51	17.55	9.12	11.08	18.43	23.33
硫化仪数据(127℃)						
$F_{\max}/(\text{dN}\cdot\text{m})$	21.63	21.17	20.10	14.76	10.86	14.86
$t_{10}/\text{min}$	1.05	1.04	1.53	1.43	0.59	3.18
硫化胶性能 <sup>1)</sup>						
邵尔A型硬度/度	68	70	65	58	53	68
拉伸强度/MPa	19.30	16.90	21.90	22.30	16.46	18.82
拉伸伸长率/%	477	463	454	534	553	534
60℃时的 $\tan\delta$ <sup>2)</sup>	0.078	0.151	0.049	0.076	0.105	0.170

注:1)硫化条件为160℃×15min;2)测试温度 30~80℃,预应变 7%,动应变 2%,升温速率 2℃·min<sup>-1</sup>。

### 2.2 高速性能

成品轮胎高速性能试验条件如表2所示,试验结果如表3所示。

表2 成品轮胎高速性能试验条件

试验阶段	试验速度/(km·h <sup>-1</sup> )	试验时间/min
1	0~260	30
2	270	10
3	280	10
4	290	10
5	300	10
6	310	10
7	320	10
8	330	7

注:充气压力 250 kPa,负荷 750 kg,速度级别 Y级(300 km·h<sup>-1</sup>),轮辋 8.0J×19。

表3 成品轮胎高速性能试验结果

项 目	方案1	方案2	方案3
累计行驶时间/min	85	95	97
判定结果	合格	合格	合格

从表3可以看出,试验结束时3种胎面轮胎的试验速度均达到330 km·h<sup>-1</sup>,达到设计目标,其中五复合胎面轮胎的高速性能优于四复合胎面轮胎。

### 2.3 耐久性能

成品轮胎耐久性能试验条件如表4所示,试验结果如表5所示。

表4 成品轮胎耐久性能试验条件

试验阶段	负荷率/%	负荷/kg	试验时间/h
1	85	638	4
2	90	675	6
3	100	750	24

注:充气压力 250 kPa,负荷 750 kg,轮辋 8.0J×19,试验速度 120 km·h<sup>-1</sup>。

表5 成品轮胎耐久性能试验结果

项 目	方案1	方案2	方案3
累计行驶时间/h	34	34	34
判定结果	合格	合格	合格

从表5可以看出,试验结束时3种胎面轮胎的耐久累计行驶时间均为34 h,符合设计标准。

### 2.4 滚动阻力

按照ISO 28580进行滚动阻力测试,试验条件为充气压力 250 kPa,试验负荷 5.88 kN,轮辋 8.0J×19,试验速度 80 km·h<sup>-1</sup>,成品轮胎滚动阻力试验结果如表6所示。

表6 成品轮胎滚动阻力试验结果

项 目	方案1	方案2	方案3
轮胎质量/kg	12.55	12.55	12.65
动半径/m	0.325 9	0.324 3	0.324 3
滚动半径/m	0.339 7	0.339 0	0.339 0
滚动阻力系数(25℃)/ (N·kN <sup>-1</sup> )	8.3	7.9	8.4

从表6可以看出,四复合胎面轮胎的滚动阻力系数为8.3 N·kN<sup>-1</sup>,低滚动阻力五复合胎面轮胎的滚动阻力系数为7.9 N·kN<sup>-1</sup>。与四复合胎面轮胎相比,低滚动阻力五复合胎面轮胎的滚动阻力系数减小了0.4 N·kN<sup>-1</sup>;高湿地抓着五复

合胎面轮胎的滚动阻力系数与四复合胎面轮胎相当。

## 2.5 刚性

按照GB/T 23663—2020《汽车轮胎纵向和横向刚性试验方法》进行刚性测试,试验条件为充气压力 250 kPa,负荷 750 kg,速度级别 Y级 ( $300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ),轮辋  $8.0J \times 19$ ,测试100%负荷下轮胎的横向刚性、纵向刚性、径向刚性和扭转刚性,结果如图3所示。

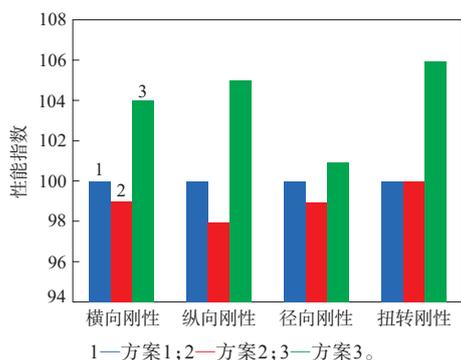


图3 成品轮胎刚性试验结果

从图3可以看出:高湿地抓着五复合胎面轮胎的横向刚性优于四复合胎面轮胎,横向刚性影响车辆的转向性能和操控性能,说明采用湿地抓着五复合胎面轮胎的车辆操纵稳定性更好;高湿地抓着五复合胎面轮胎的纵向刚性优于四复合胎面轮胎,纵向刚性影响轮胎的直线稳定性和制动性能,说明采用高湿地抓着五复合胎面轮胎的车辆制动性能更好;高湿地抓着五复合胎面轮胎的径向刚性与四复合胎面轮胎相当,径向刚性反映轮胎承受负荷的能力,与乘坐舒适性相关,说明采用高湿地抓着五复合胎面轮胎的车辆乘坐舒适性与采用四复合胎面轮胎的车辆相当;高湿地抓着五复合胎面轮胎的扭转刚性优于四复合胎面轮胎,扭转刚性反映轮胎的灵敏度和操控性能,说明采用高湿地抓着五复合胎面轮胎的车辆操控性能更好。总体来说,低滚动阻力五复合胎面轮胎的整体刚性与四复合胎面轮胎相当,高湿地抓着五复合胎面轮胎的整体刚性优于四复合胎面轮胎。

## 2.6 侧偏刚度

成品轮胎侧偏刚度试验结果如图4所示,试验

条件为温度  $(24 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ ,充气压力 250 kPa,速度  $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,负荷 1 029, 2 058, 3 087, 4 116, 5 145, 6 174, 7 203, 8 232 N,侧偏角  $-1^\circ \sim +1^\circ$ 。

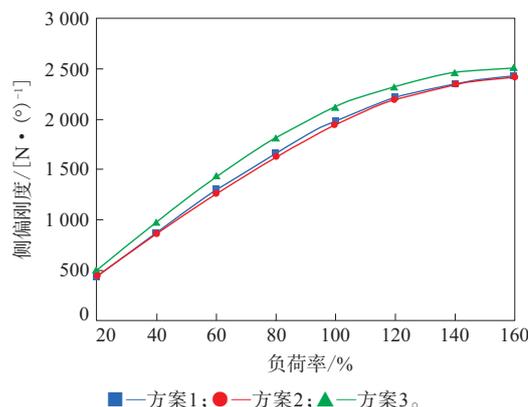


图4 成品轮胎侧偏刚度试验结果

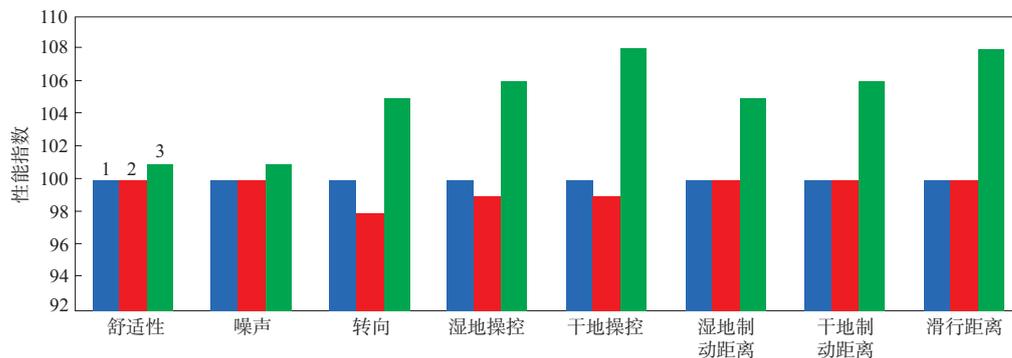
从图4可以看出:低滚动阻力五复合胎面轮胎的侧偏刚度与四复合胎面轮胎相当;高湿地抓着五复合胎面轮胎的侧偏刚度优于四复合胎面轮胎,对车辆的操纵稳定性有利。

## 2.7 室外性能

成品轮胎室外主观和客观性能测试结果如图5所示。主观性能主要测试了轮胎的舒适性、噪声、转向、湿地操控和干地操控,客观性能主要测试了湿地制动、干地制动和滑行距离,测试结果以四复合胎面轮胎为基准(100),性能指数越大,轮胎相应性能越好。

从图5可以看出:低滚动阻力五复合胎面轮胎的舒适性、噪声、转向、湿地操控和干地操控与四复合胎面轮胎相当;高湿地抓着五复合胎面轮胎的舒适性和噪声与四复合胎面轮胎相当,这与室内性能径向刚性测试结果相符;高湿地抓着五复合胎面轮胎的转向、湿地操控和干地操控均优于四复合胎面轮胎,这与横向刚性测试结果相符。

干湿地制动距离试验测试进行5次制动后,去除最大、最小值后的平均值为制动距离。从图5还可以看出,低滚动阻力五复合胎面轮胎的干湿地制动距离和滑行距离与四复合胎面轮胎相当。高湿地抓着五复合胎面轮胎的干湿地制动和滑行距离均优于四复合胎面轮胎,这与纵向刚性测试



注同图3。

图5 成品轮胎室外主观和客观性能测试结果

结果相符。

### 3 结论

与传统四复合胎面轮胎相比,五复合胎面轮胎的高速性能提高,耐久性能达到国家标准要求。低滚动阻力五复合胎面轮胎在保持湿地抓着性能不变的前提下滚动阻力降低;高湿地抓着五复合胎面轮胎在保持滚动阻力不变的前提下整体刚性增大,湿地抓着性能和操控性能提高。

### 参考文献:

- [1] 谢海粟. 轮胎滚动阻力测试方法分析[J]. 当代化工研究, 2021(13): 183-184.
- [2] 王国林, 陈晨, 周海超, 等. 胎面与胎体间接触特性对轮胎滚动阻力影响的研究[J]. 橡胶工业, 2020, 67(6): 403-409.
- [3] 刘文国, 董康, 陈亚婷, 等. 橡胶改性剂IDH在低滚动阻力轿车子午线轮胎中的应用[J]. 轮胎工业, 2021, 41(10): 635-640.
- [4] 王梦蛟. 绿色轮胎的发展及其推广应用[J]. 橡胶工业, 2018, 65(1):

105-112.

- [5] 朱波, 王海森, 郑敏毅, 等. 电动汽车专用轮胎发展趋势[J]. 汽车工程, 2018(6): 55-58.
- [6] 张春颖. 滚动阻力轮胎的研制[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2018.
- [7] 曲宾建, 黄义钢, 王君. 205/55R16低滚动阻力、抗湿滑、低噪声轮胎的设计[J]. 轮胎工业, 2021, 41(4): 222-224.
- [8] 朱晓, 徐丽红, 牟守勇, 等. 绿色产品的评价标准及其在轮胎产品中的应用[J]. 橡胶科技, 2020, 18(11): 651-654.
- [9] 王元霞. 轮胎胎面胶抗湿滑性能及其机理的研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2011.
- [10] 曾季, 阙元元, 蔡尚脉, 等. 电动汽车轮胎的发展现状与设计思路[J]. 橡胶工业, 2019, 66(12): 883-894.
- [11] 杨振, 朱斌, 江灵. 侧偏角和充气压力对轮胎滚动阻力的影响[J]. 轮胎工业, 2018, 38(5): 313-315.
- [12] 李雪莉, 张元伟, 邱海漩. 基于轮胎稳态和瞬态特性的车辆响应研究[J]. 橡胶工业, 2020, 67(7): 495-501.
- [13] 孙绪利, 刘平娟, 张凯凯, 等. 结构参数对轿车子午线轮胎滚动阻力的影响[J]. 橡胶科技, 2020, 18(11): 623-625.

收稿日期: 2023-03-06

## Design and Performance Study of a Five-composite Tread

LIU Xuan, REN Yanping, LI Na'na, DU Chuanyong, BAI Hao, LIU Yong

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

**Abstract:** A five-composite tread design was introduced and its performance was studied. The results showed that, compared with four-composite tread tires, the high-speed performance of five-composite tread tires was improved and its durability met the requirements of national standards. In the design of tires with low rolling resistance, the wet grip performance of the tire could be maintained while the rolling resistance was reduced with the five-composite tread. In the design of tires with excellent wet grip performance, the overall rigidity of the tire could be increased while maintaining its rolling resistance with the five-composite tread; as a result, both the wet grip performance of the tire and the handling performance of the vehicle were improved.

**Key words:** five-composite tread; rolling resistance; wet grip performance; handling performance