

# 超细硫化胶粉在半钢子午线轮胎胎面胶中的应用

徐凯<sup>1</sup>, 解晓吼<sup>1</sup>, 于道光<sup>2</sup>

(1. 山东华盛橡胶有限公司, 山东 广饶 257300; 2. 广饶县计量测试检定所, 山东 广饶 257300)

**摘要:** 研究超细硫化胶粉在205/55R16 91V半钢子午线轮胎胎面胶中的应用。结果表明: 在胎面胶中用超细硫化胶粉等量代替部分顺丁橡胶和炭黑, 并适当调整硫化体系, 对胶料的硫化特性和物理性能无明显影响, 工艺性能满足生产要求, 成品轮胎性能相当, 同时可以降低生产成本, 提高环保性能。

**关键词:** 硫化胶粉; 半钢子午线轮胎; 胎面胶; 补强; 环保性能; 成本

**中图分类号:** TQ330.38<sup>+</sup>3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-8171(2023)07-0411-04

**DOI:** 10.12135/j.issn.1006-8171.2023.07.0411



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

随着经济发展和社会进步, 汽车与轮胎的产量逐年增大, 导致废旧轮胎数量越来越多。据统计, 我国近10年废旧轮胎产量每年都超过了1 000万t, 造成了严重的黑色污染和环境问题。我国废旧轮胎综合利用途径主要包括原形直接利用、轮胎翻新、制造裂解炭黑、生产再生橡胶和硫化胶粉5种方式, 其中将废旧轮胎制成胶粉再使用, 是解决废旧轮胎资源化再生利用, 综合解决环境保护和资源问题的有效途径之一<sup>[1-4]</sup>。胶粉是一种废旧橡胶制品经粉碎加工处理得到的粉末状橡胶材料, 按制造方式不同分为常温胶粉、冷冻胶粉、精细胶粉与超细胶粉等。研究<sup>[5-9]</sup>表明, 轮胎某些部位使用硫化胶粉可以降低生热和节省成本。

本工作研究超细硫化胶粉在205/55R16 91V半钢子午线轮胎胎面胶中的应用。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

乳聚丁苯橡胶(ESBR), 牌号1712(充油量为37.5份); 顺丁橡胶(BR), 牌号9000, 中国石化齐鲁石化公司产品。炭黑N339, 龙星化工股份有限公司产品。160目(96 μm)超细硫化胶粉, 广州爱其科技有限公司产品。造粒氧化锌, 潍坊奥龙锌业有限公司产品。硬脂酸和硫黄, 东营兴隆新材

料科技有限公司产品。防老剂4020, RD和促进剂CBS, 山东尚舜化工有限公司产品。防护蜡S-602和S-672, 青岛锦鲜科技有限公司产品。芳烃油, 山东天源化工有限公司产品。促进剂ZBEC, 朗盛化学(中国)有限公司产品。

### 1.2 配方

采用205/55R16 91V半钢子午线轮胎胎面胶配方考察超细硫化胶粉应用性能。

生产配方: ESBR 110, BR 20, 炭黑N339 80, 氧化锌 3, 硬脂酸 1.5, 防老剂4020 2.5, 防老剂RD 1.5, 防护蜡S-602 0.5, 防护蜡S-672 1, 芳烃油 8, 硫黄 2.15, 促进剂CBS 1.1, 促进剂ZBEC 0.2。

试验配方: 用10份超细硫化胶粉等量替代BR和炭黑N339各5份, 促进剂CBS用量调整为1.8份, 不添加促进剂ZBEC(因硫化胶粉未脱硫, 故适当调整硫化体系), 其他同生产配方。

### 1.3 主要设备和仪器

X(S)M-1.5X(0-120)型实验室用密炼机、XK-160型实验室用开炼机, 青岛科高橡塑机械技术装备有限公司产品; BB430型和BB305型密炼机, 日本神钢集团公司产品; MV2000型门尼粘度仪和MDR2000型无转子流变仪, 美国阿尔法科技有限公司产品; HDD-2型邵尔A型硬度计、GT-TCS-2000型电子拉力机、RH-2000N型橡胶压缩生热试验机, 中国台湾高铁检测仪器有限公司产品; 轮胎高速耐久试验机, 青岛高测科技股份有限

**作者简介:** 徐凯(1990—), 男, 山东青岛人, 山东华盛橡胶有限公司工程师, 硕士, 主要从事轮胎配方与性能研究工作。

**E-mail:** 805507197@qq.com

公司产品;TGA-2型热重分析(TG)仪和ME104E型电子天平,瑞士梅特勒-托利多集团公司产品;SZF-06型索氏抽提器,上海洪纪仪器设备有限公司产品;DHG-9075A型恒温干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司产品;150目(106 μm)分样筛、RX-29-10型机械振筛机,美国泰勒标准筛公司产品。

## 1.4 混炼工艺

### 1.4.1 小配合试验

胶料混炼分两段进行。一段混炼在1.5 L密炼机中进行,转子转速为 $70 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,压砵压力为25 MPa,混炼工艺为:生胶→炭黑→小料→排胶(130~140 °C),停放4 h后进行二段混炼;二段混炼在开炼机上进行,混炼工艺为:一段混炼胶→硫磺、促进剂→混炼均匀→下片。

### 1.4.2 大配合试验

胶料混炼分3段进行。一段和二段混炼在BB430型密炼机中进行,转子转速为 $55 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,压砵压力为12 MPa,一段混炼工艺为:生胶、炭黑、小料→压压砵(25 s)→芳烃油→压压砵(25 s)→提压砵(30 s)→排胶(180±5) °C;二段混炼工艺为:一段混炼胶→压压砵(30 s)→提压砵(25 s)→排胶(180±5) °C;三段混炼在BB305型密炼机中进行,转子转速为 $40 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,压砵压力为10 MPa,混炼工艺为:二段混炼胶→硫磺、促进剂→压压砵(30 s)→提压砵(30 s)→排胶(110±5) °C。各段混炼胶停放时间不少于4 h。

## 1.5 性能测试

(1)硫化胶粉性能。按照GB/T 19208—2020测试理化性质,按照GB/T 14837.1—2014进行TG分析。

(2)混炼胶性能。按照GB/T 1232.1—2016测试门尼粘度,按照GB/T 16584—1996测试硫化特性。

(3)硫化胶物理性能。按照相应国家标准进行测试。

(4)成品轮胎性能。按照GB/T 4502—2016测试成品轮胎的高速性能和耐久性能。

## 2 结果与讨论

### 2.1 硫化胶粉的理化性质

硫化胶粉的TG曲线见图1。

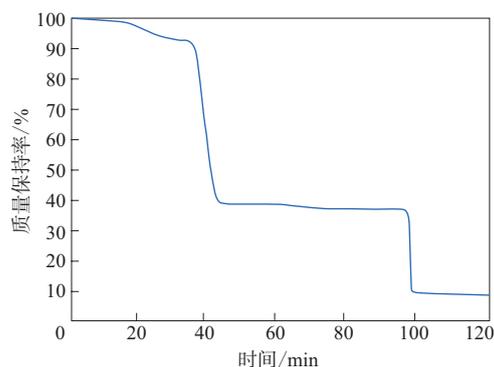


图1 硫化胶粉的TG曲线

从图1可以看出,0~90 min为聚合物热裂解质量损失段,90~120 min为炭黑燃烧质量损失段。通过抽提校正将各组分热质量损失换算为橡胶胶与炭黑的质量分数,校正系数为(100-丙酮抽出物质量分数)%。硫化胶粉的理化性质如表1所示。

表1 硫化胶粉的理化性质

项 目	测试值	指标
加热减量(80 °C×2 h)/%	0.59	≤1.0
灰分质量分数/%	8.79	≤10
丙酮抽出物质量分数/%	6.57	≤8
橡胶烃质量分数/%	56.55	≥42
炭黑质量分数/%	28.08	≥26
筛余物质量分数/%	10.65	≤15

从表1可以看出,硫化胶粉的理化性质均符合国家标准要求。

### 2.2 小配合试验

#### 2.2.1 门尼粘度和硫化特性

小配合试验胶料的门尼粘度和硫化特性见表2。

表2 小配合试验胶料的门尼粘度和硫化特性

项 目	试验配方	生产配方
门尼粘度[ML(1+4)100 °C]	40	35
门尼焦烧时间 $t_2$ (125 °C)/min	26.7	29.3
硫化仪数据(160 °C)		
$F_L$ /(dN·m)	4.0	3.5
$F_{max}$ /(dN·m)	22.8	23.3
$F_{max}-F_L$ /(dN·m)	18.8	19.8
$t_{10}$ /min	2.3	2.8
$t_{90}$ /min	10.2	10.4
$t_{90}-t_{10}$ /min	7.9	7.6

从表2可以看出:与生产配方胶料相比,试验配方胶料的门尼粘度较大,门尼焦烧时间较短,硫化特性基本相当。

### 2.2.2 物理性能

小配合试验胶料的物理性能见表3。

表3 小配合试验胶料的物理性能

项 目	试验配方	生产配方
密度/(Mg·m <sup>-3</sup> )	1.158	1.153
邵尔A型硬度/度	68	68
100%定伸应力/MPa	2.1	2.2
300%定伸应力/MPa	10.1	10.9
拉伸强度/MPa	18.2	20.0
拉断伸长率/%	497	494
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	53	59
回弹值/%	29	29
压缩疲劳性能 <sup>1)</sup>		
压缩疲劳温升/℃	62	60
压缩永久变形/%	27.2	25.8
炭黑分散等级	7.0	7.4
100℃×48h热空气老化后		
邵尔A型硬度/度	72	72
100%定伸应力/MPa	3.3	3.2
拉伸强度/MPa	16.9	18.6
拉断伸长率/%	364	379
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	51	58

注:1)冲程 4.45 mm,负荷 1 MPa,频率 30 Hz,温度 55℃。硫化条件为160℃×15 min。

从表3可以看出:与生产配方胶料相比,试验配方胶料老化前后的100%和300%定伸应力相当,拉伸强度和撕裂强度均略低,但在可接受程度范围之内;弹性和压缩疲劳性能相当。

### 2.3 大配合试验

#### 2.3.1 门尼粘度和硫化特性

大配合试验胶料的门尼粘度和硫化特性见表4。

表4 大配合试验胶料的门尼粘度和硫化特性

项 目	试验配方	生产配方
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	51	47
门尼焦烧时间 $t_5$ (125℃)/min	23.3	24.5
硫化仪数据(160℃)		
$F_L$ /(dN·m)	3.4	3.3
$F_{max}$ /(dN·m)	22.8	22.8
$F_{max}-F_L$ /(dN·m)	19.4	19.5
$t_{10}$ /min	2.5	2.7
$t_{90}$ /min	10.8	10.2
$t_{90}-t_{10}$ /min	8.3	7.5

从表4可以看出,与生产配方胶料相比,试验配方胶料的门尼粘度较大,门尼焦烧时间略短,硫化特性相当。

### 2.3.2 物理性能

大配合试验胶料的物理性能见表5。

表5 大配合试验胶料的物理性能

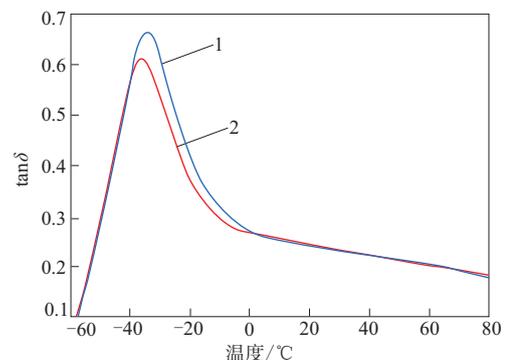
项 目	试验配方	生产配方
密度/(Mg·m <sup>-3</sup> )	1.157	1.150
邵尔A型硬度/度	66	66
100%定伸应力/MPa	2.6	2.6
300%定伸应力/MPa	12.9	12.7
拉伸强度/MPa	17.9	18.7
拉断伸长率/%	408	430
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	53	58
回弹值/%	34	33
压缩疲劳性能 <sup>1)</sup>		
压缩疲劳温升/℃	46	48
压缩永久变形/%	20.2	20.6
炭黑分散等级	8.1	8.6
100℃×48h热空气老化后		
邵尔A型硬度/度	68	68
100%定伸应力/MPa	3.4	3.4
拉伸强度/MPa	16.5	18.5
拉断伸长率/%	324	374
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	50	53

注:同表3。

从表5可以看出:与生产配方胶料相比,试验配方胶料老化前后的100%和300%定伸应力相当,拉伸强度和撕裂强度略有降低,但在可接受程度范围之内;弹性和压缩疲劳性能相当。

胶料的动态热机械分析(DMA)温度扫描曲线见图2,tanδ为损耗因子。

从图2可以看出:与生产配方胶料相比,试验配方胶料在0℃时的tanδ较大,说明添加硫化胶粉的胎面胶抗湿滑性能较好;在60℃时的tanδ基本相同,说明二者滚动阻力相当。



1—试验配方;2—生产配方。

图2 胶料的DMA温度扫描曲线

## 2.4 工艺性能

采用添加硫化胶粉的试验配方胶料作为胎面胶试制205/55R16 91V半钢子午线轮胎,压出胶料尺寸稳定、无撕边现象,同时胎面胶气孔率低,成型工艺正常,接头正常,无开裂等异常情况,满足现场生产工艺要求。硫化工艺正常,成品轮胎外观质量符合工厂质量标准要求,经X光、动平衡与均一性检查均无异常,满足生产工艺需求。

## 2.5 成品轮胎室内性能

采用试验配方胶料作为胎面胶试制205/55R16 91V半钢子午线轮胎,试验轮胎和生产轮胎的高速性能和耐久性能测试结果见表6。

表6 成品轮胎的高速性能和耐久性能

累计行驶时间	试验轮胎	生产轮胎	指标
高速性能/min	81.0	82.0	≥60
耐久性能/h	60.8	60.7	≥34

从表6可以看出,试验轮胎与生产轮胎的高速性能和耐久性能相当,即在胎面胶中用一定量硫化胶粉代替部分生胶与炭黑,可以满足成品轮胎性能要求。

## 2.6 成本分析

由于硫化胶粉价格较低,因此在半钢子午线轮胎胎面胶中,使用硫化胶粉等量代替部分生胶与炭黑,在保持轮胎性能总体稳定的同时可以降低生产成本。经计算,采用试验配方胶料作为胎面胶,每条205/55R16 91V半钢子午线轮胎成本可

降低约1.2元。

## 3 结论

超细硫化胶粉的生产工艺成熟,技术指标符合标准要求。在半钢子午线轮胎胎面胶中使用10份超细硫化胶粉等量代替部分生胶与炭黑并适当调整硫化体系,对胶料的加工性能、硫化特性与物理性能无明显影响,成品轮胎性能基本保持一致,在降低成本的同时有利于环保。

## 参考文献:

- [1] 李蒙沂,袁秀玲,田怀璋,等.用低温粉碎法生产精细胶粉技术的发展[J].低温与超导,2001(2):26-29,11.
- [2] 马瑞刚.常温法精细胶粉生产及复塑(再生)新技术[J].中国轮胎资源综合利用,2018(10):38-40.
- [3] 朱信明,裴恒凯,刘巨源,等.精细胶粉在轮胎胎面胶中的应用[J].轮胎工业,2002,22(3):156-158.
- [4] 于森,廖万林,吕志榕,等.深冷精细胶粉在胎面胶中的应用研究[J].轮胎工业,2015,35(4):224-227.
- [5] 程安仁,张艳霞,汪文昭,等.120目精细轮胎胶粉在轮胎胎冠胶中应用研究[J].合成材料老化与应用,2015,44(6):46-52.
- [6] 张艳霞,程安仁,汪文昭,等.炭黑N234和深冷精细胶粉对天然橡胶/顺丁橡胶轮胎胎面胶性能的影响[J].橡胶科技,2017,15(5):24-27.
- [7] 张丙旭.再生橡胶与40目硫化胶粉并用农业胎面胶中的应用[J].橡塑资源利用,2019(5):6-10,29.
- [8] 巩雨注,王小萍,贾德民.废旧轮胎粉碎技术及其应用进展[J].橡胶工业,2021,68(1):66-72.
- [9] 骆岐明,王小萍,贾德民.胶粉的改性及其在热塑性弹性体中的应用[J].高分子通报,2022(2):10-16.

收稿日期:2023-03-16

# Application of Ultrafine Vulcanized Rubber Powder in Tread Compound of Steel-belted Radial Tire

XU Kai<sup>1</sup>, XIE Xiaohou<sup>1</sup>, YU Daoguang<sup>2</sup>

(1. Shandong Huasheng Rubber Co., Ltd, Guangrao 257300, China; 2. Metrological Testing and Verification Institute of Guangrao County, Guangrao 257300, China)

**Abstract:** The application of ultrafine vulcanized rubber powder in the tread compound of 205/55R16 91V steel-belted radial tire was studied. The results showed that the curing characteristics and physical properties of the compound had no obvious change, the processing property met production requirements and the performance of the finished tire was equivalent by using the ultrafine vulcanized rubber powder to replace part of butadiene rubber and carbon black in equal weight in the tread compound and adjusting the vulcanization system properly. In the meantime, the production cost was reduced and the environmental performance was improved.

**Key words:** vulcanized rubber powder; steel-belted radial tire; tread compound; reinforcement; environmental performance; cost