

硅格粉在全钢子午线轮胎基部胶中的应用

苏忠铁, 黄仙红*, 吕志文, 陆一鸣, 陈家辉, 韩启龙

(中策橡胶集团股份有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要: 研究硅格粉在全钢子午线轮胎基部胶中的应用。结果表明: 与生产配方胶料相比, 加入硅格粉的试验配方胶料的门尼焦烧时间变化不大, $F_{\max} - F_t$ 减小, 表明硅格粉与NR形成胶料交联密度略差于白炭黑胶料; 试验配方硫化胶的50%和100%定伸应力略有下降; 300%定伸应力、拉伸强度和撕裂强度明显下降; 试验配方硫化胶60℃时的损耗因子显著降低, 可降低生热; 试验轮胎的耐久性能提升, 滚动阻力下降。

关键词: 全钢子午线轮胎; 基部胶; 硅格粉; 生热; 滚动阻力

中图分类号: TQ330.38⁺3; U463.341⁺.6

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2022)06-0347-04

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2022.06.0347



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎基部胶作为胎面下层胶, 除了具备一定的力学性能, 低生热性能也同样重要。全钢子午线轮胎在使用过程中, 胎面基部温度相对较高, 降低基部胶的生热, 能够有效减少冠空等缺陷, 延长轮胎的使用寿命^[1-2]; 同时降低基部胶的生热对降低轮胎的滚动阻力有益, 进而有利于低燃油消耗、环境友好型轮胎的发展。采用白炭黑作为填料是降低胶料生热的一种有效措施^[3-10]。硅格粉以天然矿物质及秸秆灰等为原料, 采用生物构筑技术, 经深度纯化、复合而成, 调控的表面羟基, 实现了与硅烷及高分子材料的结合作用, 在高温下可以减小填料与高分子链之间的内摩擦力, 从而表现为极佳的低生热行为^[11]。

本工作研究硅格粉在全钢子午线轮胎基部胶中的应用, 以期能为低生热基部胶、低滚动阻力、高性能全钢子午线轮胎的研究提供参考。

1 实验

1.1 主要原材料

天然橡胶(NR), 牌号SCR20, 泰国产品; 硅格粉, 哈尔滨硅格新材料有限公司产品; 炭黑N330, 上海卡博特化工有限公司产品; 白炭黑, 确成硅化学股份有限公司产品; 防老剂4020, 圣奥化学科技

有限公司产品; 防老剂RD, 中国石化集团南京化学工业有限公司产品; 硫黄, 无锡华盛橡胶新材料科技股份有限公司产品; 促进剂TBBS, 山东戴瑞克新材料有限公司产品。

1.2 配方

1.2.1 小配合试验

生产配方: NR 100, 炭黑N330 35, 白炭黑 15, 硅烷偶联剂Si69 1.5, 氧化锌 3.5, 硬脂酸 1, 防老剂4020和RD 3.5, 硫黄 1.8, 促进剂TBBS 1.5, 其他 5。

试验配方: 用15份硅格粉代替15份白炭黑, 其他组分及用量同生产配方。

1.2.2 大配合试验

生产配方: NR 100, 炭黑N330 30, 白炭黑 15, 硅烷偶联剂Si69 1.5, 氧化锌 3.5, 硬脂酸 1, 防老剂4020和RD 3.5, 硫黄 2.2, 促进剂TBBS 1.4, 其他 4。

试验配方: 用15份硅格粉代替15份白炭黑, 其他组分及用量同生产配方。

1.3 主要设备和仪器

XK-160型开炼机, 无锡第一橡塑机械有限公司产品; 2.5 L小型密炼机, 佰弘机械(上海)有限公司产品; F370型和F270型密炼机, 桂林橡胶机械有限公司产品; MDR2000型硫化仪, 美国阿尔法科技有限公司产品; XLB-D型平板硫化机, 湖州宏侨橡胶机械有限公司产品; GT-TCS-2000-G型电

作者简介: 苏忠铁(1970—), 男, 吉林榆树人, 中策橡胶集团股份有限公司工程师, 学士, 主要从事胶料配方的研究。

*通信联系人(hxh.1989@163.com)

子拉力试验机,高铁检测仪器(东莞)有限公司产品;动态热机械分析(DMA)仪,德国耐驰仪器公司产品。

1.4 试样制备

小配合试验采用两段混炼工艺,一段混炼在2.5 L小型密炼机中进行。混炼工艺如下:生胶(30 s)→炭黑N330、白炭黑(或硅格粉)和小料→压压砣(50 s)→提压砣清扫→压压砣至150 °C→排胶,在开炼机上下片。二段混炼在XK-160型开炼机上进行,混炼工艺为:一段混炼胶→硫黄和促进剂TBBS→左右割刀各3次→薄通、打三角包6次→出片。

大配合试验采用3段混炼工艺,一和二段混炼均在F370型密炼机中进行,三段混炼在F270型密炼机中进行。

一段混炼工艺如下:生胶及1/3炭黑→压压砣(35 s)→提压砣(120 °C)→压压砣至(150±5) °C→排胶。

二段混炼工艺如下:一段混炼胶、2/3炭黑、白炭黑(或硅格粉)和小料→压压砣(35 s)→提压砣(125 °C)→压压砣(30 s)→提压砣→压压砣至(155±5) °C→排胶。

终炼混炼工艺如下:二段混炼胶和硫黄→压压砣(30 s)→提压砣→压压砣(35 s)→提压砣→压压砣至(105±5) °C→排胶。

胶料在平板硫化机上硫化,硫化条件为151 °C×20 min。

1.5 性能测试

胶料各项性能和成品轮胎室内性能均按相应国家标准进行测试。

2 结果与讨论

2.1 理化性能

硅格粉的理化性能见表1。

从表1可以看出,硅格粉的各项理化性能均达

表1 硅格粉的理化性能

项 目	实测	指标
外观	浅灰色粉末	灰色或浅灰色粉末
二氧化硅含量/%	78.5	≥75
粒径(D_{75}^{11})/μm	11.02	≤18
加热减量(60 °C×0.5 h)/%	6.8	≤7

注:1) D_{75} 为样品累计粒度分布达75%时所对应的粒径。

到指标要求。

2.2 小配合试验

小配合试验结果见表2。

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焦烧时间变化不大, $F_{\max}-F_L$ 减小,表明硅格粉与NR形成胶料交联密度略小于白炭黑胶料, t_{10} 和 t_{90} 相差不大;与生产配方硫化胶相比,试验配方硫化胶的50%和100%定伸应力略有下降、300%定伸应力下降17.8%、拉伸强度下降9.4%,撕裂强度下降23.8%,这是因为与白炭黑相

表2 小配合试验结果

项 目	试验配方	生产配方
门尼焦烧时间 t_5 (127 °C)/min	16.00	16.43
硫化仪数据(151 °C)		
F_L /(dN·m)	1.14	1.44
F_{\max} /(dN·m)	16.24	17.06
t_{10} /min	4.11	4.33
t_{90} /min	9.28	9.67
t_{97}^{11} /min	30.15	30.37
硫化胶性能		
邵尔A型硬度/度	60	62
50%定伸应力/MPa	1.4	1.5
100%定伸应力/MPa	2.8	2.9
300%定伸应力/MPa	12.0	14.6
拉伸强度/MPa	26.0	28.7
拉断伸长率/%	505	522
拉断永久变形/%	22.0	22.4
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	125	164
100 °C×48 h热空气老化后		
邵尔A型硬度/度	65	67
50%定伸应力/MPa	1.8	1.9
100%定伸应力/MPa	3.6	4.0
300%定伸应力/MPa	15.1	18.1
拉伸强度/MPa	23.0	26.1
拉断伸长率/%	414	428
100 °C高温拉伸性能		
50%定伸应力/MPa	0.9	1.0
100%定伸应力/MPa	1.8	2.1
200%定伸应力/MPa	4.3	5.6
300%定伸应力/MPa	7.2	9.2
拉伸强度/MPa	15.4	15.8
拉断伸长率/%	539	468
硫化胶动态力学性能 ²⁾		
60 °C时损耗因子(tanδ)	0.089	0.116
复合模量(E^*)/MPa	4.55	5.08
储能模量(E')/MPa	4.52	5.06
损耗模量(E'')/MPa	0.402	0.587

注:1) t_{97} 为硫化返原3%时所用的时间;2)DMA仪测试条件:频率 20 Hz,应变 10%±2%。

比,硅格粉与NR基体结合能力差,补强性能弱。经 $100\text{ }^{\circ}\text{C}\times 48\text{ h}$ 热空气老化后的生产配方和试验配方硫化胶的性能保持率相当,表明胶料的耐老化性能相当。在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温下拉伸,生产配方和试验配方硫化胶的定伸应力保持率相当,试验配方硫化胶的拉断伸长率较大,表明高温下试验配方硫化胶的拉伸性能提升。

从表2还可以看出,与生产配方硫化胶相比,试验配方硫化胶 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 显著降低,降幅约为23%,表明试验配方硫化胶的滚动阻力小,生热低。

2.3 大配合试验

大配合试验结果见表3。

从表3可以看出,与生产配方硫化胶相比,试验配方硫化胶的总体物理性能稍差,但硫化胶 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 小、生热低,动态力学性能较优。大配合试验胶料的硫化特性和物理性能变化趋势与小配合试验胶料基本一致。

2.4 工艺性能

采用大配合试验胶料进行工艺性能评价。以12R22.5轮胎为例,压出基部胶出现轻微裂边,原因可能是硅格粉的补强性能差造成胶料的弹性形变大、部件收缩率大,从而出现裂边;与生产配方胶料相比,试验配方胶料的粘合性能略差,但成型时未出现工艺问题。为避免胶料粘合性能下降,建议试验配方胶料的停放时间短于生产配方胶料。

2.5 成品性能

采用大配合试验胶料制备12R22.5成品轮胎。成品轮胎的耐久性试验按GB/T 4501—2016进行,结果表明轮胎耐久性试验的累计行驶时间由生产轮胎的96 h延长至试验轮胎的105 h。成品轮胎的滚动阻力按照GB/T 29040—2012测试,结果表明轮胎滚动阻力系数由生产轮胎的 $5.4\text{ N}\cdot\text{kN}^{-1}$ 降至试验轮胎的 $5.2\text{ N}\cdot\text{kN}^{-1}$ 。综合可见,试验轮胎的耐久性能明显提升,滚动阻力略降低,表明基部胶使用硅格粉能够有效提升轮胎使用性能。

3 结论

(1)与生产配方胶料相比,试验配方胶料的门尼焦烧时间变化不大, $F_{\max}-F_L$ 减小,表明硅格粉

表3 大配合试验结果

项 目	试验配方	生产配方
硫化仪数据 ($151\text{ }^{\circ}\text{C}$)		
$F_L/(\text{dN}\cdot\text{m})$	1.31	1.95
$F_{\max}/(\text{dN}\cdot\text{m})$	16.43	17.43
t_{10}/min	4.40	4.84
t_{90}/min	10.01	10.69
$t_{97}^{1)}/\text{min}$	25.47	30.80
硫化胶性能		
邵尔A型硬度/度	60	62
50%定伸应力/MPa	1.3	1.4
200%定伸应力/MPa	6.8	7.7
300%定伸应力/MPa	12.4	14.4
拉伸强度/MPa	24.5	27.0
拉断伸长率/%	462	490
拉断永久变形/%	15.0	18.0
撕裂强度/ $(\text{kN}\cdot\text{m}^{-1})$	103	154
回弹值/%	29	19
$100\text{ }^{\circ}\text{C}\times 48\text{ h}$ 热空气老化后		
邵尔A型硬度/度	67	68
50%定伸应力/MPa	1.9	2.0
200%定伸应力/MPa	9.9	11.5
300%定伸应力/MPa	15.8	19.0
拉伸强度/MPa	21.8	23.6
拉断伸长率/%	341	356
回弹值/%	35	31
$100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温拉伸性能		
50%定伸应力/MPa	1.5	2.2
100%定伸应力/MPa	2.7	2.4
200%定伸应力/MPa	6.1	6.1
300%定伸应力/MPa	9.4	10.6
拉伸强度/MPa	14.1	13.8
拉断伸长率/%	439	372
硫化胶动态力学性能 ²⁾		
$60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时 $\tan\delta$	0.063 8	0.082 0
E^*/MPa	4.75	4.94
E'/MPa	4.74	4.92
E''/MPa	0.302	0.404

注:同表2。

与NR形成胶料交联密度略小于白炭黑胶料。

(2)与生产配方硫化胶相比,试验配方硫化胶的50%和100%定伸应力略有下降;300%定伸应力、拉伸强度和撕裂强度明显下降;耐老化性能相当、高温拉伸性能提升;试验配方硫化胶 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 显著降低。

(3)与生产轮胎相比,试验轮胎的耐久性能明显提升,滚动阻力下降。

基部胶中使用硅格粉部分替代白炭黑,能够有效改善胶料的生热特性,基于其优异的性价比,硅格粉在基部胶中应用前景良好。

参考文献:

- [1] 陈忠强. 抗疲劳剂G-108在工程机械轮胎胎面下层胶中的应用[J]. 橡胶科技, 2019, 17(3): 173-175.
- [2] 谢小梅, 牟守勇, 尹娜. 防肩空剂ST-103在工程机械轮胎胎面下层胶中的应用[J]. 轮胎工业, 2013, 33(5): 294-296.
- [3] 徐竞. 白炭黑的表面改性及应用[J]. 炭素, 2009(1): 35-38.
- [4] 何桂德. 白炭黑在全钢巨型工程子午胎基部胶中的应用[C]. 白炭黑及纳米补强填料在橡胶中的高端应用技术研讨会论文集. 上海: 上海橡胶制品研究所《世界橡胶工业》编辑部, 2011: 78-81.
- [5] 胡源, 牟成乾, 李建勋, 等. 白炭黑在全钢载重子午线轮胎胎面基部胶中的应用[J]. 轮胎工业, 2020, 40(8): 483-487.
- [6] 申志忠. 浅论白炭黑与轮胎的低滞后性[C]. 2020年全国无机硅化物行业年会暨行业高质量发展研讨会论文集. 北京: 中国无机盐工业协会, 2020: 52-55.
- [7] YATSUYANAGI F, SUZUKI N, ITO M, et al. Effects of secondary structure of fillers on the mechanical properties of silica filled rubber systems[J]. The International Journal for the Science & Technology of Polymers, 2001, 42(23): 9523-9529.
- [8] 朱东林, 边慧光, 汪传生, 等. 湿法混炼雾化干燥技术增大全钢载重子午线轮胎胎面胶白炭黑用量的研究[J]. 橡胶工业, 2021, 68(3): 208-211.
- [9] 张鹏宇, 王娜, 戴采云, 等. 纳米二氧化硅粒径对橡胶复合材料力学性能的影响[J]. 功能材料, 2014, 23(45): 23086-23090.
- [10] 王奎, 李乾波, 王冲, 等. 纳米二氧化硅阻燃环氧树脂研究[J]. 塑料科技, 2021, 49(8): 43-46.
- [11] 徐俊, 胡跃军, 金迪锋, 等. 双相炭黑生产工艺[P]. 中国: CN 112080161A, 2020-12-15.

收稿日期: 2022-01-16

Application of Crystalline Silicon Powder in Base Compound of All-steel Radial Tire

SU Zhongtie, HUANG Xianhong, LYU Zhiwen, LU Yiming, CHEN Jiahui, HAN Qilong

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

Abstract: The application of crystalline silicon powder in the base compound of all-steel radial tire was studied. The results showed that, compared with the production formula compound, the Mooney scorch time of the test formula compound using crystalline silicon powder changed little and the torque change value ($F_{\max} - F_L$) decreased, indicating that the crosslinking density of the compound formed by crystalline silicon powder and NR was slightly worse than that of the silica filled NR compound. Compared with the production formula vulcanizate, the modulus at 50% and 100% elongation of the test formula vulcanizate decreased slightly. The modulus at 300% elongation, tensile strength and tear strength decreased significantly. The loss factor of the test formula vulcanizate at 60 °C decreased significantly, indicating that its heat build-up was low. Moreover, the durability of the finished tire of the test formula was improved and the rolling resistance was reduced.

Key words: all-steel radial tire; base compound; crystalline silicon powder; heat build-up; rolling resistance

一种轮胎成型机带束鼓成型鼓一体式机箱及其工作方法

由天津赛象科技股份有限公司申请的专利(公布号 CN 114131976A, 公布日期 2022-03-04)“一种轮胎成型机带束鼓成型鼓一体式机箱及其工作方法”, 涉及的轮胎成型机带束鼓成型鼓一体式机箱包括芯轴、机箱装置、带束层传递环、带束鼓机构和成型鼓。机箱装置包括机箱框架、成型鼓旋转驱动和成型鼓分合装置; 芯轴转动安装在机箱框架上; 成型鼓分合装置包括内轴、外轴

和分合动力组件, 内轴滑动套装在芯轴上, 外轴滑动套装在内轴上, 成型鼓的两部分分别安装在内轴和外轴上, 分合动力组件能够带动内轴和外轴相互靠近或者远离。本发明减少了一个机箱, 降低生产制造成本的同时减小了设备占地面积, 优化了整机设备布局, 为提高设备自动化布局提供了基础, 解决了人为调整机箱主轴同轴度施工及检验困难的问题, 提高了设备运行稳定性以及轮胎成型质量。

(本刊编辑部 马 晓)