

# 非标准炭黑在轿车子午线轮胎胎侧胶中的应用

徐文龙, 邱海强, 朱金先, 宫亭亭, 汪 燕, 孙世悦, 徐 旗, 李崇兵

[浦林成山(山东)轮胎有限公司, 山东 威海 264300]

**摘要:** 研究非标准炭黑在轿车子午线轮胎胎侧胶中的应用。结果表明: 与填充炭黑N330的胶料相比, 填充非标准炭黑BC2123胶料的门尼粘度、门尼焦烧时间和硫化速度相当, 挤出口型膨胀率较小, 具有更好的炭黑分散性; 密度、硬度和耐屈挠性能相当, 定伸应力和拉伸强度稍有提升, 拉伸伸长率和撕裂强度略有下降, 具有更好的高低温弹性、更低的生热和更小的损耗因子; 以非标准炭黑BC2123减量替代炭黑N330, 成品轮胎的滚动阻力降低。

**关键词:** 非标准炭黑; 轿车子午线轮胎; 胎侧胶; 加工性能; 炭黑分散性; 物理性能; 滚动阻力

**中图分类号:** TQ330.38<sup>+</sup>1; U463.341<sup>+</sup>.4/.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-8171(2023)05-0279-04

**DOI:** 10.12135/j.issn.1006-8171.2023.05.0279



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

在轮胎发展过程中, 经历了数次革命性的进步, 为汽车工业的不断突破做出了贡献。如今, 全球汽车市场发展迅猛, 伴随绿色可持续发展理念深入全球汽车行业, 轮胎工业也面临新的挑战和机遇。汽车电动化、智能化等发展大趋势, 不仅为汽车的动力总成、底盘、电子设备等零部件带来重大变革, 也使轮胎行业进入新的发展阶段。

在“双碳”目标的激励下, 国内电动汽车行业蓬勃发展, 电动汽车具有近零排放的特性, 是交通领域绿色低碳发展, 实现“碳中和”的重要途径<sup>[1-2]</sup>, 因此电动汽车被认为是未来汽车的发展趋势。当前电动汽车发展受限于电池能量密度低, 续航里程是电动汽车发展的瓶颈之一, 低滚动阻力轮胎是提升电动汽车续航里程的一个重要解决方案。《中国制造2025》对低滚动阻力轮胎提出了明确要求: 国产节能轮胎的抗湿滑性能、耐磨性能和噪声性能持续改善, 滚动阻力降低30%, 其实现节油6%以上, 占自主市场份额超过50%。根据“未来市场透视”(FMI)在2019年发布的研究报告, 低滚动阻力轮胎市场有望达到680亿美元, 2018—2028年将以10.8%的复合年增长率攀升。

据统计乘用车的燃料中有8%~20%被轮胎以热能耗散的形式消耗。轮胎滚动阻力每降低

10%, 通常可使燃料消耗降低1%~2%。子午线轮胎各部位滚动阻力大约占比为: 胎面 49%, 胎侧 14%, 胎体 11%, 胎圈 11%, 带束层 8%, 其他 7%。目前低滚动阻力轮胎胶料配方研究多集中于胎面胶配方<sup>[3-6]</sup>, 其他部位胶料配方研究相对较少。胎面胶除了要求低滚动阻力性能外, 还需要耐磨性能和抓着性能好。受限于性能的“魔三角”, 胎面胶的滚动阻力降低也是有限的。胎侧是除胎面以外, 对轮胎滚动阻力贡献较大的部件。胎侧胶的研究多集中于提升耐臭氧防护、耐热老化和外观改善等<sup>[7-9]</sup>, 对低滚动阻力的胎侧胶配方研究较少。

本工作研究非标准炭黑对轿车子午线轮胎胎侧胶滞后损失的影响, 为进一步降低轮胎滚动阻力提供新的思路。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

天然橡胶(NR), SMR20, 马来西亚产品; 顺丁橡胶(BR), 牌号9000, 北京燕山石油化工有限公司产品; 炭黑N330, 金能科技股份有限公司产品; 非标准炭黑BC2123, 潍坊博拉碳材料有限公司产品。

### 1.2 配方设计

以轿车子午线轮胎的胎侧胶配方体系作为研究对象, 在此基础上调整炭黑种类及用量, 具体配方如表1所示。

**作者简介:** 徐文龙(1989—), 男, 山东青岛人, 浦林成山(山东)轮胎有限公司工程师, 硕士, 主要从事轮胎配方设计开发工作。

**E-mail:** wlxu89@163.com

表1 试验配方 份

组 分	配方编号		
	A	B	C
NR	40	40	40
BR	60	60	60
炭黑N330	50	0	0
非标准炭黑BC2123	0	50	45
环保芳烃油	5	5	5
防老剂	3.5	3.5	3.5
防护蜡	2	2	2
硫黄	1.6	1.6	1.6
促进剂TBBS	0.8	0.8	0.8

### 1.3 主要设备和仪器

X(S)M-3型实验密炼机和XK(S)-160型开炼机,青岛科高橡塑机械技术装备有限公司产品;V502H-18X型平板硫化机,美国WASBASH MPI公司产品;UM2050型门尼粘度仪,青岛育肯仪器有限公司产品;MDR3000型无转子硫化仪,德国Montech公司产品;RPA2000橡胶加工分析(RPA)仪,美国阿尔法科技有限公司产品;GT-AI7000M型拉力试验机和GT-7042-RDHS数位式高温回弹性试验机,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品;VR-7130型动态热机械分析(DMA)仪和FT-1200型压缩生热试验机,日本株式会社上岛制作所产品。

### 1.4 混炼工艺

为保证混炼工艺相同,各试验配方混炼均分为两段进行。

一段混炼在实验室密炼机中进行,初始转子转速为 $70 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,混炼工艺为:生胶(30 s)→1/2炭黑和环保芳烃油(60 s)→剩余1/2炭黑、防老剂和其他小料(120 s)→调整转子转速为 $65 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,升温至 $165 \text{ }^{\circ}\text{C}$ →排胶至开炼机;胶料在开炼机上薄通(辊距3 mm)3次,每次45 s,下片并停放24 h。

二段混炼在开炼机上进行,混炼工艺为:一段混炼胶→硫黄和促进剂→混炼均匀→下片。

### 1.5 性能测试

胶料各项性能测试按照相关国家标准进行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 门尼粘度和硫化特性

胶料的门尼粘度、门尼焦烧时间和硫化特性数据可简单评估其加工性能,结果见表2。

表2 胶料门尼粘度和硫化特性

项 目	配方编号		
	A	B	C
门尼粘度[ML(1+4)100 $^{\circ}\text{C}$ ]	57	56	52
门尼焦烧时间 $t_5$ (127 $^{\circ}\text{C}$ )/min	21.1	22.6	22.7
硫化仪数据(161 $^{\circ}\text{C}$ )			
$F_L$ /(dN·m)	1.88	1.73	1.58
$F_{\max}$ /(dN·m)	13.34	13.29	12.23
$t_{30}$ /min	3.16	3.48	3.59
$t_{60}$ /min	3.82	4.13	4.23
$t_{90}$ /min	5.68	5.95	6.04

从表2可以看出:在相同炭黑用量下,配方A和B胶料的门尼粘度、门尼焦烧时间和硫化特性数据相当,说明填充非标准炭黑BC2123胶料与填充炭黑N330胶料的加工性能相当;减小非标准炭黑BC2123用量的配方C胶料的门尼粘度、 $F_L$ 和 $F_{\max}$ 比配方B胶料减小,硫化时间延长。

### 2.2 挤出性能

利用RPA仪中Die Swell程序进行胶料的挤出性能评价,在应变为2%、频率为3.33 Hz、温度为 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下,测得配方A,B,C胶料的粘性模量( $S''$ )分别为0.078,0.069和0.060 N·m。

通常 $S''$ 越小说明胶料的挤出口型膨胀率越小。由试验数据可知,不同配方胶料的口型膨胀率不同,即不同炭黑对口型膨胀影响不同,非标准炭黑BC2123会减小胶料的口型膨胀率。因此采用非标准炭黑BC2123在生产胎侧半成品时,需要调整挤出口型板的尺寸或调整挤出工艺。

### 2.3 填料分散性

利用RPA仪中Payne Effect程序进行填料的分散性测试,胶料的弹性模量( $G'$ )和弹性模量变化量( $\Delta G'$ )越小,说明填料不易形成填料网络<sup>[10]</sup>,分散性越好。各配方胶料Payne效应测试结果如图1和表3所示(测试温度为 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,频率为1 Hz)。

由图1和表3可知:配方B胶料的 $G'$ 和 $\Delta G'$ 较配方A胶料小,说明非标准炭黑BC2123比炭黑N330分散性好;减小非标准炭黑BC2123用量的配方C胶料的 $G'$ 和 $\Delta G'$ 进一步减小。

### 2.4 物理性能

各配方胶料的物理性能如表4所示, $\tan\delta$ 为损耗因子。

从表4可以看出:与配方A胶料相比,配方B胶料的密度、硬度和耐屈挠性能相当,定伸应力和拉

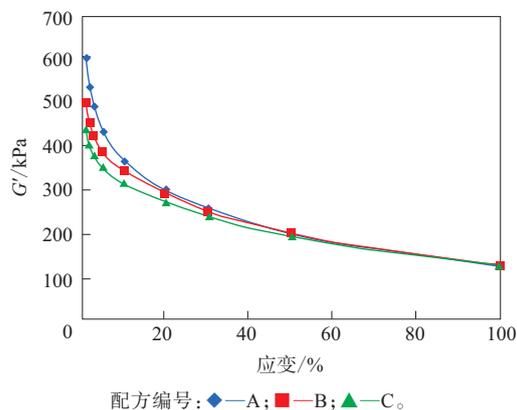


图1 胶料的Payne效应曲线

表3 胶料的Payne效应测试数据 kPa

项 目	配方编号		
	A	B	C
$G_1'$	598.7	502.0	438.6
$G_2'$	121.7	121.7	119.6
$\Delta G'$	477.0	380.3	319.0

注:  $G_1'$ 和 $G_2'$ 分别为应变1%和100%时的 $G'$ ,  $\Delta G' = G_1' - G_2'$ 。

表4 胶料的物理性能

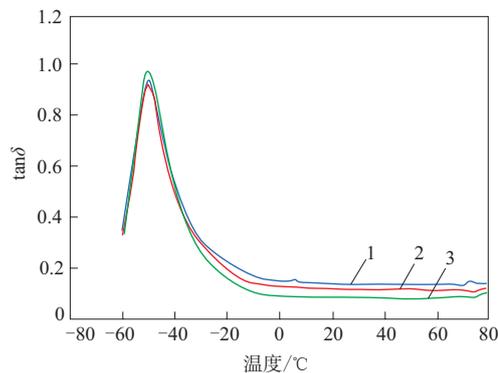
项 目	配方编号		
	A	B	C
密度/( $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	1.096	1.095	1.087
邵尔A型硬度/度	57	57	55
100%定伸应力/MPa	1.9	2.1	1.9
300%定伸应力/MPa	8.1	8.5	7.8
拉伸强度/MPa	18.6	18.8	18.0
拉断伸长率/%	536	511	545
撕裂强度/( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ )	43	40	41
回弹值/%			
23 °C	57.3	59.7	62.0
60 °C	61.2	64.9	68.1
2万次屈挠等级	1	1	1
压缩生热 <sup>1)</sup>			
初始温度/°C	57.9	58.2	57.9
终止温度/°C	98.0	96.4	93.8
温度变化/°C	40.1	38.2	35.9
$\tan\delta$	0.144	0.135	0.127

注: 硫化条件为160 °C × 20 min; 1) 试验条件为静态预加载 100 N, 动态加载 800 N, 压缩频率 10 Hz, 测试时间 25 min, 初始温度 55 °C。

伸强度稍有提升, 拉断伸长率和撕裂强度略有下降, 具有更好的高低温弹性、更低的生热和更小的 $\tan\delta$ ; 将非标准炭黑BC2123用量减小至45份, 其胶料可保持与50份炭黑N330胶料相当的力学性能, 同时弹性和生热性能改善效果明显,  $\tan\delta$ 明显减小。

## 2.5 动态力学性能

胶料的动态力学性能表征胶料在特定形变下的力学性能, 各配方胶料的动态力学性能测试结果见图2和表5。



配方编号: 1—A; 2—B; 3—C。

图2 胶料的动态力学性能曲线

表5 胶料的动态力学性能参数

项 目	配方编号		
	A	B	C
玻璃化温度/°C	-51.8	-51.8	-51.8
60 °C时的 $\tan\delta$	0.120	0.112	0.109

由图2和表5可知: 3种配方胶料的玻璃化温度相同; 在相同用量下, 使用非标准炭黑BC2123的胶料60 °C时的 $\tan\delta$ 较使用炭黑N330的胶料小, 当非标准炭黑BC2123的用量减小至45份时, 胶料60 °C时的 $\tan\delta$ 进一步减小, 这与胶料的弹性和生热性能测试结果一致。这说明非标准炭黑BC2123在保持胶料力学性能相当的前提下, 可减小胶料的滞后损失, 降低轮胎的滚动阻力。

## 2.6 成品轮胎性能

选择配方A和C进行成品轮胎试制, 轮胎规格为215/55R17 91V。经过抽胎测试, 两个方案轮胎均通过高速耐久性试验。

参照ECE-R117标准进行滚动阻力测试, 采用配方A和C的轮胎的滚动阻力系数分别为8.183和7.932  $\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}$ , 可见使用非标准炭黑BC2123可有效降低成品轮胎的滚动阻力。

## 3 结论

(1) 相同用量下, 非标准炭黑BC2123填充胶料与炭黑N330填充胶料的门尼粘度、门尼焦烧时

间和硫化特性相当,非标准炭黑BC2123对胶料的加工性能无不利影响。

(2) 相同用量下,非标准炭黑BC2123填充胶料的口型膨胀率小于炭黑N330填充胶料。

(3) 在相同用量下,非标准炭黑BC2123填充胶料的弹性模量和Payne效应小于炭黑N330填充胶料,表明炭黑在胶料中的分散性更好。

(4) 在相同用量下,与炭黑N330填充胶料相比,非标准炭黑BC2123填充胶料的密度、硬度和耐屈挠性能相当,定伸应力和拉伸强度稍有提升,拉伸伸长率和撕裂强度略有下降,具有更好的高低温弹性、更低的生热和更小的 $\tan\delta$ ;将非标准炭黑BC2123用量减小至45份,其填充胶料可保持与50份炭黑N330填充胶料相当的力学性能,同时弹性和生热性能改善效果明显, $\tan\delta$ 明显减小。

(5) 在相同用量下,与炭黑N330填充胶料相比,非标准炭黑BC2123填充胶料60℃时的 $\tan\delta$ 较小;当非标准炭黑BC2123的用量减小至45份时,其填充胶料60℃时的 $\tan\delta$ 进一步减小。

(6) 成品轮胎滚动阻力测试结果表明,以非标准炭黑BC2123减量替代炭黑N330,轮胎的滚动阻

力降低。

#### 参考文献:

- [1] 尹宗义. 绿色低碳背景下“双积分政策”对新能源汽车行业的影响分析[J]. 汽车与新动力, 2022, 5(1): 11-15.
- [2] 刘帅. 基于低碳经济的我国轮胎产业转型研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2015.
- [3] 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.
- [4] 赵光芳, 梁志成, 王大鹏. 改性白炭黑在低滚阻PCR胎面胶中的应用[J]. 中国橡胶, 2018, 34(4): 42-44.
- [5] 赵百顺, 汪传生. 白炭黑胎面胶热解动力学研究[J]. 橡胶工业, 2020, 67(11): 812-820.
- [6] 张利召. 抗湿滑低滚动阻力轮胎胎面胶的研究[D]. 太原: 中北大学, 2021.
- [7] 刘晴晴, 程茹, 李培军. 长效防护蜡在全钢载重子午线轮胎胎侧胶中的应用[J]. 橡胶科技, 2019, 17(10): 583-585.
- [8] 蒋延华, 宁卫明, 李海艳, 等. 外观改良剂对胎侧外观的影响[J]. 橡塑技术与装备, 2020, 46(21): 51-54.
- [9] 李威, 徐艺, 王大鹏, 等. 防老剂6PPD对胎侧胶变色的影响研究[J]. 轮胎工业, 2020, 40(8): 507-510.
- [10] WANG M J. The role of fillers networking in dynamic properties of filled rubber[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1998, 71(3): 520-589.

收稿日期: 2022-12-30

## Application of Non-standard Carbon Black in Sidewall Compound of Passenger Car Radial Tire

XU Wenlong, QIU Haiqiang, ZHU Jinxian, GONG Tingting, WANG Yan, SUN Shiyue,  
XU Qi, LI Chongbing

[Prinx Chengshan (Shandong) Tire Co., Ltd, Weihai 264300, China]

**Abstract:** The application of non-standard carbon black in the sidewall compound of passenger car radial tires was studied. The results showed that compared with the compound filled with carbon black N330, the Mooney viscosity, Mooney scorch time and curing speed of the compound filled with non-standard carbon black BC2123 were comparable, the extrusion die expansion rate was smaller, and the dispersion of carbon black was better. By replacing carbon black N330 with non-standard carbon black BC2123, the density, hardness and flexural resistance of the vulcanizate were comparable, the modulus and tensile strength were slightly improved, the elongation at break and tear strength were slightly decreased, the elasticity under either high or low temperature was better, and the heat build-up and loss factor were smaller. Moreover, the rolling resistance of the finished tire was reduced.

**Key words:** non-standard carbon black; passenger car radial tire; sidewall compound; processing property; carbon black dispersion; physical property; rolling resistance