

低滚阻剂DS01在全丁苯橡胶矿用载重子午线轮胎胎面胶中的应用

丛明辉, 吕丹丹, 王婷婷, 周鹏程, 董凌波*, 徐海妮

(三角轮胎股份有限公司, 山东 威海 264200)

摘要: 研究低滚阻剂DS01在全丁苯橡胶矿用载重子午线轮胎胎面胶中的应用。结果表明: 加入低滚阻剂DS01后, 胶料的门尼焦烧时间缩短, 硫化速度加快, 耐磨性能提高, 60 ℃时的损耗因子减小, 其他物理性能和动态力学性能变化不大; 成品轮胎的耐久性能提升。

关键词: 低滚阻剂; 丁苯橡胶; 载重子午线轮胎; 胎面胶; 耐磨性能; 生热; 耐久性能

中图分类号: TQ336.1; TQ330.38⁺7

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2022)02-0099-04

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2022.02.0099



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

矿用全钢载重子午线轮胎作业条件恶劣, 轮胎的失效形式主要体现在两个方面: 运行路面主要是非铺装碎石路面, 轮胎胎面易被割伤或刺穿, 出现崩花掉块; 高负荷使轮胎生热较大, 易出现肩空。这些问题导致矿用轮胎使用寿命缩短和安全性能大幅降低^[1-2]。

丁苯橡胶(SBR)的分子链侧基是苯基和乙烯基, 分子间作用力大, 抗切割、抗刺扎性能优于天然橡胶(NR)^[3]。为了提高矿用轮胎胎面胶抗切割、抗刺扎性能, 一般会使用大量SBR, 但SBR生热高于NR。因此提高矿用轮胎胎面胶的抗切割、抗刺扎性能, 同时降低生热是目前亟待解决的问题。

本工作通过研究低滚阻剂DS01在全SBR矿用轮胎胎面胶中的应用, 以期在提高胎面胶的抗切割、抗刺扎性能的同时降低生热。

1 实验

1.1 主要原材料

低滚阻剂DS01, 日本大冢材料科技有限公司产品; 乳聚丁苯橡胶(ESBR), 牌号1502, 中国石油吉林石化公司产品; 环保芳烃油(TDAE), 新疆独山子石油化工有限公司产品; 白炭黑LK975和炭黑

N220, 山东联科科技股份有限公司产品。

1.2 配方

生产配方: ESBR 100, 炭黑N220 53, 白炭黑LK975 8, TDAE 12, 氧化锌 5, 硬脂酸 3.5, 防老剂4020 2.5, 防老剂RD 1.5, 硫黄和促进剂TBBS 3.5, 其他 8。

试验配方1和2分别添加3和5份低滚阻剂DS01, 其他组分和用量同生产配方。

1.3 主要设备和仪器

1.5 L实验室用小配合密炼机, 德国克虏伯公司产品; XLB-500型电热平板硫化机和XK-160型开炼机, 青岛先锐机电有限公司产品; BB620和BB270剪切型密炼机, 日本神户制钢所产品; TS-2000M型拉力机, 中国台湾高铁检测仪器有限公司产品; Premier MDR型无转子硫化仪, 美国阿尔法科技有限公司产品; Q800型橡胶动态热机械分析(DMA)仪, 美国热分析仪器公司产品。

1.4 试样制备

小配合试验胶料采用两段混炼工艺。一段混炼采用1.5 L密炼机, 转子转速为50 r·min⁻¹, 混炼工艺为: 低滚阻剂DS01、生胶和小料→压压砣混炼20 s→加入炭黑、白炭黑和TDAE→压压砣混炼30 s→提压砣→压压砣, 在150~155 ℃下混炼2 min→排胶。二段混炼工艺为: 一段混炼胶在开炼机上混炼至胶料包辊→依次加入硫黄和促进剂→

作者简介: 丛明辉(1986—), 男, 山东威海人, 三角轮胎股份有限公司工程师, 硕士, 主要从事轮胎配方研发工作。

*通信联系人(donglingbo@triangle.com.cn)

混炼约4 min(期间左右各割刀2次进行捣胶)→打卷薄通5次→下片。

大配合试验胶料采用3段混炼工艺。一段和二段混炼在BB620剪切型密炼机中进行,转子转速为 $45 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,混炼工艺为:生胶、小料和低滚阻剂DS01→压压砣混炼20 s→加入炭黑和白炭黑→压压砣混炼30 s→加入TDAE→压压砣,在 $150 \sim 155 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下混炼2 min→排胶。二段混炼工艺为:一段混炼胶→压压砣混炼30 s→提压砣→压压砣混炼至 $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ →排胶。终炼在BB270剪切型密炼机中进行,转子转速为 $20 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,混炼工艺为:二段混炼胶、硫磺和促进剂→压压砣混炼35 s→提压砣→压压砣混炼25 s→提压砣→压压砣混炼至 $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ →排胶。

混炼胶在 $150 \text{ }^{\circ}\text{C} \times 30 \text{ min}$ 条件下于平板硫化机上硫化。

1.5 性能测试

(1) 物理性能。各项性能均按相应的国家标准进行测试。

(2) 动态力学性能。在DMA仪拉伸模式下进行温度扫描,测试条件为:温度范围 $-60 \sim 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$,频率 10 Hz ,升温速率 $3 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$,静态应变 1% ,动态应变 0.25% 。

2 结果与讨论

2.1 小配合试验

2.1.1 硫化特性

小配合试验胶料的硫化特性如表1所示。

从表1可以看出,低滚阻剂DS01对胶料加工性能有一定影响。随着低滚阻剂DS01用量增大,胶料的门尼粘度增大,硫化速度加快,门尼焦烧时间比生产配方胶料缩短 $15\% \sim 35\%$,加工安全性降低。这可能是因为低滚阻剂DS01与SBR中的双键发生反应,消耗掉部分双键,硫化体系中硫磺和促

表1 小配合试验胶料的硫化特性

项 目	试验 配方1	试验 配方2	生产 配方
门尼粘度[ML(1+4) 100 $^{\circ}\text{C}$]	36	37	34
门尼焦烧时间 t_5 (127 $^{\circ}\text{C}$)/min	26.62	19.83	30.97
硫化仪数据(150 $^{\circ}\text{C}$)			
$F_L/(\text{dN} \cdot \text{m})$	1.35	1.32	1.37
$F_{\max}/(\text{dN} \cdot \text{m})$	11.91	11.51	11.74
t_{10}/min	5.40	4.43	5.86
t_{90}/min	19.73	15.86	27.79

进剂相对“过量”。

2.1.2 物理性能

小配合试验胶料的物理性能如表2所示。

表2 小配合试验胶料的物理性能

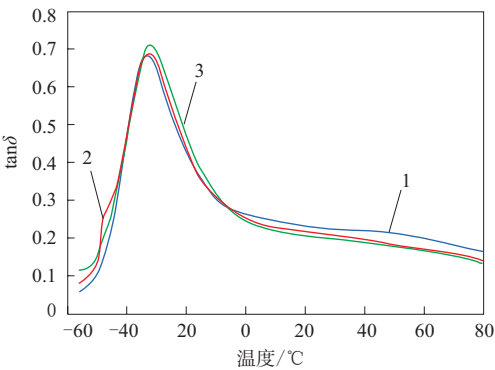
项 目	试验配方1	试验配方2	生产配方
邵尔A型硬度/度	63	62	61
100%定伸应力/MPa	1.8	1.9	1.5
300%定伸应力/MPa	7.2	7.5	6.3
拉伸强度/MPa	18.7	19.7	18.2
拉伸伸长率/%	636	618	651
拉伸永久变形/%	22	25	27
撕裂强度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	49	50	47
回弹值/%			
25 $^{\circ}\text{C}$	31	32	30
100 $^{\circ}\text{C}$	50	51	48
DIN磨耗量/ cm^3	0.187	0.183	0.209
阿克隆磨耗量/ cm^3	0.147	0.150	0.153
100 $^{\circ}\text{C} \times 48 \text{ h}$ 老化后			
邵尔A型硬度/度	70	70	68
100%定伸应力/MPa	3.7	3.8	3.2
300%定伸应力/MPa	12.8	13.0	12.2
拉伸强度/MPa	14.4	14.1	14.5
拉伸伸长率/%	342	326	357
撕裂强度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	50	51	50

从表2可以看出,与生产配方胶料相比,试验配方胶料的DIN磨耗量明显降低,而阿克隆磨耗量变化不大。这说明低滚阻剂DS01可有效提升较好铺装路面条件下胎面胶的耐磨性能,对较差路面条件下胎面胶的耐磨性能无不利影响。试验配方胶料的其他性能与生产配方胶料相当。

2.1.3 动态力学性能

轮胎胎面配方研究中,轮胎抗湿滑性能通常用 $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的损耗因子($\tan\delta$)进行预测,其值越高,轮胎的抗湿滑性能越好,反之越差;轮胎的滚动阻力或胶料生热性能用 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 进行预测,其值越低,轮胎的滚动阻力或胶料生热越低,反之越高^[4-5]。小配合试验胶料的 $\tan\delta$ -温度曲线见图1。

从图1可以看出:试验配方和生产配方胶料 $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 差异不大;而试验配方胶料 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 $\tan\delta$ 较生产配方胶料降幅达 14% 。这说明在胎面胶配方中加入低滚阻剂DS01,可以在不影响轮胎抗湿滑性能的前提下,大幅度降低胶料生热,进而降低轮胎滚动阻力,提升轮胎耐久性能。分析原因可能是低滚阻剂DS01一方面与SBR中的双键发生反应,接枝到橡胶分子主链上;另一方面低滚阻



1—生产配方;2—试验配方1;3—试验配方2。

图1 小配合试验胶料的tan δ-温度曲线

剂DS01上炭黑亲和基团与炭黑表面官能团作用,即低滚阻剂DS01在橡胶分子与炭黑之间起到“架桥”作用,增强了橡胶分子与炭黑间相互作用,减少了橡胶分子链自由移动,改善了炭黑在橡胶中的分散性。

2.2 大配合试验

小配合试验结果显示,低滚阻剂DS01用量为3和5份时,胶料的物理性能和动态力学性能差异不大,为保障胶料加工安全性,选择低滚阻剂DS01用量3份的试验配方1进行大配合试验。

大配合试验结果如表3所示。

从表3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和硫化时间缩短,可适当增大防焦剂的用量进行调整;定伸应力和拉伸强度增大;DIN磨耗量减小约17%;0 °C时的tan δ基本不变,60 °C时的tan δ减小约15%。大配合试验结果与小配合试验结果基本一致。

2.3 工艺性能

2.3.1 密炼工艺

一段混炼胶的出片情况如图2所示。

从图2可以看出,试验配方1一段混炼胶胶片表面呈麻面状态,但其二段混炼胶和终炼胶的表面光滑平整,与生产配方无明显差异。

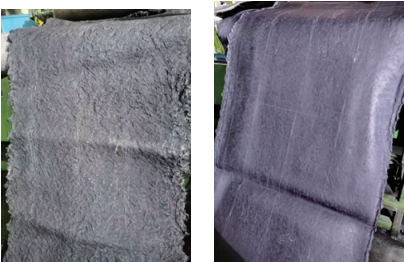
2.3.2 胎面挤出工艺

试验配方1胶料挤出胎面如图3所示。

从图3可以看出,试验配方1胶料挤出胎面表面光滑平整,未因胶料门尼焦烧时间缩短而出现熟胶的问题。

表3 大配合试验结果

项 目	试验配方1	生产配方
门尼粘度[ML (1+4) 100 °C]	53	50
门尼焦烧时间 t_5 (127 °C) /min	19.78	34.03
硫化仪数据 (150 °C)		
F_L / (dN · m)	1.74	1.80
F_{max} / (dN · m)	12.80	12.66
t_{10} /min	4.54	5.83
t_{90} /min	16.67	23.86
邵尔A型硬度/度	66	66
100%定伸应力/MPa	1.9	1.6
300%定伸应力/MPa	7.2	5.8
拉伸强度/MPa	21.4	18.9
拉断伸长率/%	694	693
拉断永久变形/%	26	31
撕裂强度 / (kN · m ⁻¹)	54	53
回弹值/%		
25 °C	31	29
100 °C	48	42
DIN磨耗量/cm ³	0.175	0.212
100 °C × 48 h老化后		
邵尔A型硬度/度	73	74
100%定伸应力/MPa	4.0	3.8
300%定伸应力/MPa	12.6	12.1
拉伸强度/MPa	18.3	17.6
拉断伸长率/%	453	442
撕裂强度 / (kN · m ⁻¹)	50	49
0 °C时的tan δ	0.236	0.239
60 °C时的tan δ	0.165	0.193



(a) 试验配方1 (b) 生产配方

图2 一段混炼胶的出片情况



图3 试验配方1胶料挤出胎面

2.3.3 成型工序

试验配方1胶料胎面成型情况如图4所示。



图4 试验配方1胎面成型情况

从图4可以看出,试验配方1胶料胎面在成型时接头粘性较差,出现接头开裂问题,后续可对试验配方1粘合体系进行微调,加入增粘树脂,以增大胎面胶粘性,改善成型时胎面接头质量。

2.4 成品性能

为进一步考察低滚阻剂DS01对矿用轮胎耐久性能的影响,按照企业标准进行成品轮胎耐久性能测试。测试轮胎为我公司12.00R20 22PR TR691JS轮胎,胎面胶分别使用生产配方和试验配方1胶料,其他施工条件均相同。测试条件及结果如表4所示。

从表4可以看出,试验配方1轮胎累计行驶时间为73.8 h,生产配方轮胎累计行驶时间为65.8 h。试验配方1轮胎的耐久性能较生产配方轮胎提升约12%。

3 结论

(1) 在全SBR矿区轮胎胎面胶中加入低滚阻

表4 成品轮胎的耐久性测试条件及结果

项 目	试验阶段					
	1	2	3	4	5	6
负荷率/%	66	85	101	110	120	130
试验速度/(km·h ⁻¹)	35	35	35	35	35	35
试验时间/h						
生产配方	7	16	24	10	8.8	
试验配方1	7	16	24	10	10	6.8

剂DS01后,胶料的门尼焦烧时间缩短,硫化速度加快,DIN磨耗量减小约17%,60℃时的tanδ减小约15%,其他性能与未添加低滚阻剂DS01的胶料相当。

(2) 添加低滚阻剂DS01的胎面在成型时,接头粘性较差,出现接头开裂问题,但可通过加入增粘树脂增大胎面胶粘性,改善成型时胎面接头质量。

(3) 添加低滚阻剂DS01的胎面胶试制的12.00R20 22PR TR691JS轮胎耐久性能提升约12%。

参考文献:

- [1] 江苏通用科技股份有限公司. 一种矿山轮胎胎面胶及其制备方法[P]. 中国:CN 111440363A, 2020-07-24.
- [2] 王洁,李钊,李子然.制动工况下不同滑移率轮胎胎面的磨耗行为研究[J].橡胶工业,2021,68(8):563-568.
- [3] 三角轮胎股份有限公司. 硬质矿区使用的轮胎胎面橡胶组合物及其生产方法[P]. 中国:CN 102634089A, 2012-08-15.
- [4] 张海盟. 抗湿滑树脂TL100在轿车轮胎胎面胶中的应用[J]. 轮胎工业,2018,38(9):556-559.
- [5] 梁守智,钟延堃,张丹秋. 橡胶工业手册(修订版) 第四分册 轮胎[M]. 北京:化学工业出版社,1989.

收稿日期:2021-10-16

Application of Low Rolling Resistance Agent DS01 in Full SBR Tread Compound of Truck and Bus Radial Tire for Mine

CONG Minghui, LYU Dandan, WANG Tingting, ZHOU Pengcheng, DONG Lingbo, XU Haini

(Triangle Tire Co., Ltd, Weihai 264200, China)

Abstract: The application of low rolling resistance agent DS01 in the full styrene butadiene rubber (SBR) tread compound of truck and bus radial tire for mine was investigated. The results showed that, by adding DS01 in the full SBR tread compound, the Mooney scorch time of the compound was shortened, the curing rate increased obviously, the wear resistance was improved, the tanδ at 60℃ was reduced, and the other physical properties and dynamic mechanical properties were not changed much. The durability of the finished tires was improved.

Key words: low rolling resistance agent; SBR; truck and bus radial tire; tread compound; wear resistance; heat build-up; durability