

# 增效剂CST812在全钢载重子午线轮胎胎面胶中的应用

程 茹,王小娟,李培军,周 静,樊斌斌

(风神轮胎股份有限公司,河南 焦作 454003)

**摘要:**研究增效剂CST812在全钢载重子午线轮胎胎面胶中的应用。结果表明:直接添加增效剂CST812后,胶料的定伸应力提高,生热和滞后损失有一定程度的降低;用白炭黑等量替代部分炭黑,增大增效剂CST812的用量后,填料的分散性改善,胶料的邵尔A型硬度和定伸应力基本相当或略有提高,生热、滞后损失和损耗因子明显降低,耐磨性能有一定程度提高,但抗切割性能降低;增效剂CST812用量为0.8份时,胶料的综合性能最好。

**关键词:**全钢载重子午线轮胎;增效剂;胎面胶;生热;滞后损失;损耗因子;滚动阻力

**中图分类号:**U463.341<sup>+</sup>.3/.6;TQ330.38<sup>+</sup>7 **文章编号:**2095-5448(2022)11-0543-04

**文献标志码:**A

**DOI:**10.12137/j.issn.2095-5448.2022.11.0543



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

充气轮胎在滚动过程中由于滚动阻力的存在,车辆的燃油消耗增大<sup>[1]</sup>。随着欧洲轮胎标签法的升级和实施,以及其他国家和地区逐渐颁布相应的轮胎标签法规,对轮胎滚动阻力的要求越来越严格<sup>[2]</sup>。这就需要对轮胎胶料性能进行优化,特别是对滚动阻力影响大的胎面胶<sup>[3-4]</sup>。目前,应用新型橡胶材料、低滞后损失的补强材料及新型添加剂进行胎面胶配方优化是重要的研究方向<sup>[5-10]</sup>。

增效剂CST812是一种特殊的多功能型硅烷化反应增效剂,可以促进天然橡胶(NR)与硅烷偶联剂偶联反应,使硅烷和橡胶材料更易发生亲电加成反应,并且反应效率较高,可提高NR与硅烷的偶联效率,同时降低Payne效应和胶料的滞后损失。

本工作主要研究增效剂CST812在全钢载重子午线轮胎胎面胶中的应用。

**作者简介:**程茹(1990—),女,河南濮阳人,风神轮胎股份有限公司助理工程师,硕士,从事轮胎新材料应用及配方设计工作。

**E-mail:**chengru@rubber.chemchina.com

## 1 实验

### 1.1 原材料

NR,STR,泰国产品;顺丁橡胶(BR),牌号9000,中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司产品;炭黑N234,龙星化工股份有限公司产品;白炭黑,山东联科白炭黑有限公司产品;硅烷偶联剂TESPT,景德镇宏柏化学科技有限公司产品;增效剂CST812,外观为黑色颗粒,灰分质量分数不大于30%,江苏麒祥高新材料有限公司产品;氧化锌,石家庄志亿锌业有限公司产品;硬脂酸,杭州油脂化工有限公司产品;硫黄,山东阳谷华泰化工股份有限公司产品;促进剂CBS,科迈化工股份有限公司产品;其余材料均为市售产品。

### 1.2 试验配方

设计配方时,为降低胶料的生热和滞后损失,用白炭黑部分等量替代炭黑;同时,考虑增效剂CST812可以起到增效和提高偶联反应的作用,未调整硅烷偶联剂TESPT的用量。

试验配方如表1所示。

表1 试验配方 份

组 分	配方编号				
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
NR	80	80	80	80	80
BR9000	20	20	20	20	20
炭黑N234	40	40	35	35	35
白炭黑	15	15	20	20	20
硅烷偶联剂TESPT	4	4	4	4	4
增效剂CST812	0	0.6	0.6	0.8	1.1
其他	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8

### 1.3 主要设备和仪器

1.5 L密炼机,美国法雷尔公司产品;Φ160 mm×320 mm开炼机,广东湛江机械厂产品;MDR2000型硫化仪和RPA2000橡胶加工分析(RPA)仪,美国阿尔法科技有限公司产品;140T型平板硫化机,上海橡胶机械一厂产品;邵尔A型硬度计,上海化工机械四厂产品;Tensi TECH型电子拉力机,美国德宝公司产品;MZ-4061型阿克隆磨耗试验机,中国台湾高铁科技股份有限公司产品;Ultimate全自动压缩生热试验机,德国DOLI公司产品;RSS-II型橡胶滚动阻力试验机和RCC-I型动态切割试验机,北京万汇一方科技发展有限公司产品。

### 1.4 试样制备

胶料混炼采用2段工艺,一段混炼在密炼机中进行,二段混炼在开炼机上进行。

一段混炼工艺为:加入生胶,压压砣,在转子转速为 $80 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 下混炼60 s,加入炭黑、白炭黑及硅烷偶联剂TESPT、增效剂CST812、氧化锌和硬脂酸,压压砣,继续混炼90 s,提压砣,再压压砣,混炼90 s后排胶。

二段混炼工艺为:在一段混炼胶中添加硫黄和促进剂,混炼均匀,薄通后下片。

混炼胶停放24 h后,用硫化仪测试胶料的硫化特性,随后用平板硫化机硫化,硫化胶试样停放24 h后进行性能测试。

### 1.5 性能测试

动态力学性能测试采用RPA2000橡胶加工分析仪进行应变扫描,混炼胶应变扫描条件为:温度  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,频率  $1 \text{ Hz}$ ,应变范围  $0.28\% \sim 400\%$ ;硫化胶应变扫描条件为:温度  $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,频率  $1 \text{ Hz}$ ,应变范围  $0.28\% \sim 50.0\%$ 。

胶料生热性能测试按GB/T 1687.3—2016《硫

化橡胶 在屈挠试验中温升和耐疲劳性能的测定第3部分:压缩屈挠试验(恒应变型)》进行。胶料滞后损失和抗切割性能按照企业标准进行测试。

胶料其他性能均按相应国家标准或企业标准进行测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 硫化特性

胶料的硫化特性如表2所示, $\tan\delta$ 为损耗因子。

表2 胶料的硫化特性( $151 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

项 目	配方编号				
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
$F_L / (\text{dN} \cdot \text{m})$	1.90	2.29	2.28	2.28	2.19
$F_{\max} / (\text{dN} \cdot \text{m})$	18.08	19.13	17.87	18.72	19.27
$F_{\max} - F_L / (\text{dN} \cdot \text{m})$	16.18	16.84	15.59	16.44	17.08
$t_{30} / \text{min}$	4.50	4.51	4.82	4.81	4.66
$t_{60} / \text{min}$	6.73	6.20	6.60	6.51	6.23
$t_{90} / \text{min}$	12.92	10.84	11.22	11.01	10.65
$t_{100} / \text{min}$	27.39	23.99	23.87	23.35	23.22
$F_{\max}$ 时的 $\tan\delta$	0.052 5	0.049 1	0.045 3	0.044 5	0.042 0

从表2可以看出:与1<sup>#</sup>配方胶料相比,直接添加增效剂CST812的2<sup>#</sup>配方胶料的 $F_{\max} - F_L$ 略有增大,硫化速度变快, $F_{\max}$ 时的 $\tan\delta$ 有较明显的减小;降低炭黑用量且补充同样份数的白炭黑的3<sup>#</sup>配方胶料的 $F_{\max} - F_L$ 降低,且 $F_{\max}$ 时的 $\tan\delta$ 减小;随着增效剂CST812用量的增大,胶料的 $F_{\max} - F_L$ 明显增大, $F_{\max}$ 时的 $\tan\delta$ 有一定程度的下降,可以预测胶料的生热逐渐降低。

### 2.2 物理性能

硫化胶的物理性能如表3所示。

从表3可以看出:与1<sup>#</sup>配方硫化胶相比,2<sup>#</sup>配方硫化胶的邵尔A型硬度和定伸应力增大;与2<sup>#</sup>配方硫化胶相比,3<sup>#</sup>配方硫化胶的邵尔A型硬度和定伸应力降低;增大增效剂CST812用量后,硫化胶的邵尔A型硬度和定伸应力基本相当或略有提高;4<sup>#</sup>配方硫化胶的耐磨性能最好。老化后硫化胶的定伸应力增大,拉伸强度降低;与3<sup>#</sup>配方硫化胶相比,4<sup>#</sup>和5<sup>#</sup>配方硫化胶老化后的拉伸强度明显提高。综合来看,添加0.8份增效剂CST812的4<sup>#</sup>配方硫化胶的综合物理性能最好。

### 2.3 抗压缩疲劳性能、滞后损失和抗切割性能

硫化胶的抗压缩疲劳性能、滞后损失和抗切

割性能如表4所示。

表3 硫化胶的物理性能

项 目	配方编号				
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
邵尔A型硬度/度	65	67	66	67	67
50%定伸应力/MPa	1.8	1.9	1.7	1.8	1.9
100%定伸应力/MPa	3.1	3.3	3.2	3.3	3.3
300%定伸应力/MPa	14.3	15.2	14.5	15.3	15.8
拉伸强度/MPa	27.2	27.5	26.9	27.2	26.7
拉伸伸长率/%	510	490	501	477	496
拉伸永久变形/%	16	16	18	15	15
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	86	83	130	124	92
回弹值/%	39	37	39	40	40
阿克隆磨耗量/cm <sup>3</sup>	0.11	0.09	0.10	0.06	0.07
100℃×24 h老化后					
50%定伸应力/MPa	2.3	2.4	2.2	2.4	2.2
100%定伸应力/MPa	4.4	4.6	4.1	4.4	4.5
300%定伸应力/MPa	—	—	17.0	—	17.5
拉伸强度/MPa	16.1	16.7	16.2	17.6	18.2
拉伸伸长率/%	285	280	311	296	319
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	73	66	76	71	78
10万次疲劳后					
拉伸强度/MPa	24.4	25.9	25.2	24.8	26.5
拉伸伸长率/%	451	461	459	447	476

注:硫化条件为151℃×60 min。

表4 硫化胶的抗压缩疲劳性能、滞后损失和抗切割性能

项 目	配方编号				
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
压缩疲劳试验 <sup>1)</sup>					
温升/℃	32.9	32.2	30.4	30.0	29.2
永久变形/%	2.5	2.1	2.2	2.1	1.8
滞后损失 <sup>2)</sup>					
变形量/mm	6.43	6.63	6.66	6.56	6.64
温升/℃	31.0	31.0	28.6	28.1	28.3
功率损耗/(J·r <sup>-1</sup> )	3.34	3.29	3.16	3.11	3.03
切割量 <sup>3)</sup> /g	2.115 2	2.725 2	2.380 8	2.582 0	2.883 9

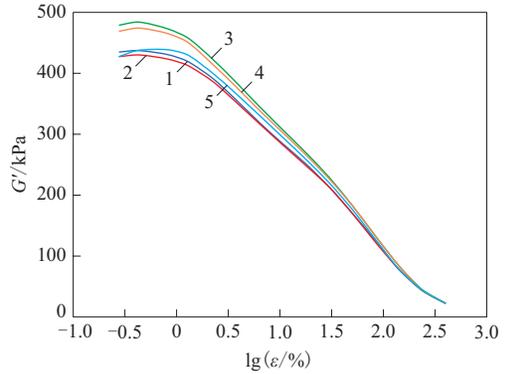
注:硫化条件同表3。1)试验条件为冲程 4.45 mm,负荷 1 MPa,温度 55℃;2)试验条件为负荷 30 MPa,时间 15 min,转速 600 r·min<sup>-1</sup>;3)试验条件为转速 720 r·min<sup>-1</sup>,打击速度 120次·min<sup>-1</sup>,打击时间 20 min。

从表4可以看出:与1<sup>#</sup>配方硫化胶相比,2<sup>#</sup>配方硫化胶的压缩疲劳温升、功率损耗等均降低,但抗切割性能也变差;3<sup>#</sup>配方硫化胶的压缩疲劳温升、功率损耗也有所降低,3<sup>#</sup>配方硫化胶的抗切割性能略优于2<sup>#</sup>配方硫化胶;随着增效剂CST812用量的增大,胶料的功率损耗逐渐降低,但抗切割性能也变差。综合来看,添加0.8份增效剂CST812的4<sup>#</sup>配方硫化胶的抗压缩疲劳性能、滞后损失和抗切割

性能最好。

### 2.4 RPA分析

混炼胶RPA应变扫描的储能模量( $G'$ )-应变( $\epsilon$ )关系曲线如图1所示。



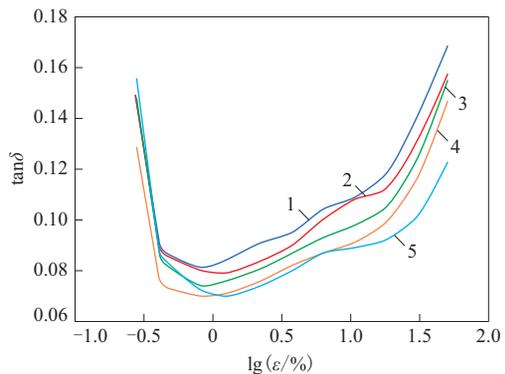
配方编号:1—1<sup>#</sup>;2—2<sup>#</sup>;3—3<sup>#</sup>;4—4<sup>#</sup>;5—5<sup>#</sup>。

图1 混炼胶应变扫描的 $G'$ - $\epsilon$ 关系曲线

从图1可以看出:随着 $\epsilon$ 增大,混炼胶的 $G'$ 迅速降低,表现出明显的Payne效应;与1<sup>#</sup>配方硫化胶相比,2<sup>#</sup>配方硫化胶最小 $\epsilon$ 下的 $G'$ 与最大 $\epsilon$ 下的 $G'$ 的差值( $\Delta G'$ )有所下降;3<sup>#</sup>配方硫化胶的 $\Delta G'$ 较高,随着增效剂CST812用量的增大,胶料的 $\Delta G'$ 逐渐下降,表征填料的分散性逐渐变好,即增效剂CST812可以提高填料在橡胶基体中的分散性。

硫化胶RPA应变扫描的 $\tan\delta$ - $\epsilon$ 关系曲线如图2所示。

从图2可以看出:与1<sup>#</sup>配方硫化胶相比,2<sup>#</sup>配方硫化胶的 $\tan\delta$ 有所减小;3<sup>#</sup>配方硫化胶的 $\tan\delta$ 小于2<sup>#</sup>配方硫化胶;随着增效剂CST812用量的增大,胶料的 $\tan\delta$ 逐渐减小,说明增效剂CST812



注同图1。

图2 硫化胶应变扫描的 $\tan\delta$ - $\epsilon$ 关系曲线

可以降低填料Payne效应和胶料的滞后损失。

### 3 结语

(1) 在全钢载重子午线轮胎胎面胶中直接加入增效剂CST812后,胶料的定伸应力提高,生热和滞后损失有一定程度的降低。

(2) 用白炭黑等量替代部分炭黑,增大增效剂CST812的用量后,填料的分散性改善,胶料的邵尔A型硬度和定伸应力基本相当或略有提高,生热、滞后损失和 $\tan\delta$ 明显降低,胶料的耐磨性能有一定程度的提高,但抗切割性能降低。当增效剂CST812用量为0.8份时,胶料的综合性能最好。

### 参考文献:

- [1] 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.  
[2] 国家标准化管理委员会. 汽车轮胎滚动阻力限值和等级: GB/T

29042—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.

- [3] 李健, 梁智彪, 汪国栋, 等. 绿色轮胎用低滞后炭黑性能的研究[J]. 轮胎工业, 2020, 40(9): 542-545.  
[4] 熊永翠, 曾清, 杨利伟, 等. 9.5R17.5经济型全钢载重子午线轮胎的设计[C]. “万力杯”第20届中国轮胎技术研讨会论文集. 北京: 中国化工学会橡胶专业委员会, 2018: 179-181.  
[5] 崔晓, 董凌波, 顾高照, 等. 白炭黑分散剂ST在全钢载重子午线轮胎胎面胶中的应用[J]. 轮胎工业, 2021, 41(9): 553-556.  
[6] 赵锡锋, 张子园. 纳米氧化铝填充EPDM制备高性能复合材料[J]. 塑料科技, 2020, 48(4): 59-62.  
[7] 赵红霞, 左秀娟, 赵振伟, 等. 多功能橡胶助剂HT918在载重子午线轮胎胎面胶中的应用[J]. 轮胎工业, 2021, 41(1): 31-35.  
[8] 王先宁, 廖发根, 胡善军. 间苯二甲酰肼在绿色轮胎胎面胶中的应用研究[J]. 橡胶工业, 2021, 68(5): 344-350.  
[9] 云霄, 王伟, 闫平, 等. 国产稀土顺丁橡胶在全天候轮胎和冬季轮胎胎面胶中的应用研究[C]. “赛轮金宇杯”第19届中国轮胎技术研讨会论文集. 北京: 中国化工学会橡胶专业委员会, 2016: 248-251.  
[10] 徐文龙, 宫亭亭, 于海洋, 等. 高比表面积白炭黑在轿车子午线轮胎胎面胶中的应用[J]. 橡胶科技, 2021, 19(1): 28-31.

收稿日期: 2022-06-19

## Application of Synergist CST812 in Tread Compound of Truck and Bus Radial Tire

CHENG Ru, WANG Xiaojuan, LI Peijun, ZHOU Jing, FAN Binbin  
(Aeolus Tyre Co., Ltd., Jiaozuo 454003, China)

**Abstract:** The application of synergist CST812 in the tread compound of truck and bus radial tire was studied. The results showed that, after adding synergist CST812 directly, the modulus of the compound increased, and the heat generation and hysteresis loss decreased to a certain extent. When part of carbon black was replaced by the same amount of silica and the amount of synergist CST812 increased, the dispersion of the filler was improved, the Shore A hardness and modulus of the compound were basically the same or slightly increased, the heat generation, hysteresis loss and loss factor were significantly reduced, the wear resistance was improved to a certain extent, but the cutting resistance was reduced. When the amount of synergist CST812 was 0.8 phr, the overall performance of the compound was the best.

**Key words:** truck and bus radial tire; synergist; tread compound; heat generation; hysteresis loss; loss factor; rolling resistance

## 声 明

《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》均不收取审稿费。任何机构、个人以任何名义向作者收取审稿费均为诈骗行为。请广大作者互相转告,勿信诈骗信息。作者投稿请直接登录官网(www.rubbertire.com.cn),在投稿系统中可查询稿件录用结果。有任何疑问请及时与编辑部联系。