

# 改性溶聚丁苯橡胶在电动汽车全天候轮胎胎面胶中的应用

汪燕, 张颖, 刘永强, 李崇兵

[浦林成山(山东)轮胎有限公司, 山东 荣成 264300]

**摘要:** 对比研究不同生产厂家的低玻璃化转变温度改性溶聚丁苯橡胶(SSBR)在电动汽车全天候轮胎胎面胶中的应用。结果表明:不同生产厂家的SSBR用于胎面胶中,胶料的硫化特性、物理性能和动态力学性能基本相当;试制的215/55R17 98V轮胎的高速和耐久等性能满足企业标准要求,抗湿滑性能和滚动阻力性能分别达到欧盟标签法的B和A级,  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下轮胎的滚动阻力系数为 $7.8\text{ N}\cdot\text{kN}^{-1}$ 。

**关键词:** 改性溶聚丁苯橡胶;全天候轮胎;胎面胶;电动汽车

**中图分类号:** TQ336.1<sup>+</sup>1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-8171(2025)06-0351-05

**DOI:** 10.12135/j.issn.1006-8171.2025.06.0351



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

众所周知,发展新能源汽车成为我国实现“碳中和、碳达峰”目标的重要途径。作为新能源汽车的主流技术路线的电动汽车发展尤为迅速。电动汽车对轮胎的主要要求包括轻量化、低滚动阻力、低噪声、高湿地抓着性能和高承载性能<sup>[1-3]</sup>。电动汽车全天候轮胎在不同温度下都应具有卓越的低滚动阻力和高湿地抓着性能,尤其是低温环境下,更低的滚动阻力可以更好地应对低温环境下因电池衰减严重而影响车辆续航里程的问题<sup>[3]</sup>。

本工作主要研究低玻璃化转变温度( $T_g$ )改性溶聚丁苯橡胶(SSBR)在电动汽车全天候轮胎胎面胶中的应用。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

改性SSBR-1, 苯乙烯基含量为15%, 乙烯基含量为25%,  $T_g$ 为 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 波兰Synthos集团产品; 改性SSBR-2(A, B和C), 苯乙烯基含量为25%, 乙烯基含量为20%,  $T_g$ 为 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 充油25份, A, B和C分别为韩国A和B公司及日本C公司产品。

**作者简介:** 汪燕(1985—), 女, 山东临清人, 浦林成山(山东)轮胎有限公司高级工程师, 硕士, 主要从半钢子午线轮胎配方设计与开发工作。

**E-mail:** yawang@prinxschengshan.com

### 1.2 配方

配方1(用量/份)为: 改性SSBR-1 60, 改性SSBR-2(C) 50, 炭黑 5, 高分散性白炭黑 75, 偶联剂 6, 软化剂 13.5, 活性剂 5, 防老剂 4.5, 硫黄/促进剂 5.5。

配方2(用量/份)为: 改性SSBR-1 70, 改性SSBR-2(变生产厂家) 37.5, 炭黑 5, 高分散性白炭黑 75, 偶联剂 6, 软化剂 16, 活性剂 5, 防老剂 4.5, 硫黄/促进剂 5.5。配方2A, 2B和2C分别采用SSBR-2(A), SSBR-2(B)和SSBR-2(C)。

### 1.3 主要设备与仪器

X(S)M-1.5型密炼机和XK(S)-160开型炼机, 青岛科高橡塑机械技术装备有限公司产品; GE420/GE800型串联密炼机和GK270型密炼机, 益阳橡胶塑料机械集团有限公司产品; 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; Instron 3365型拉力试验机, 美国Instron公司产品; VR-7130型动态热机械分析(DMA)仪, 日本株式会社上岛制作所产品; GT-7012-D型DIN磨耗机, 中国台湾高铁检测仪器有限公司产品; 1525-2414型凝胶渗透色谱(GPC)仪, 美国沃

特世公司产品;DSC-3型差示扫描量热(DSC)仪,瑞士梅特勒-托利多公司产品。

## 1.4 混炼工艺

### 1.4.1 小配合试验

胶料采用3段混炼工艺,均在X(S)M-1.5型密炼机中进行。

一段混炼转子转速为 $65 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,压砣压力为 $0.6 \text{ MPa}$ ,混炼工艺为:加入生胶、白炭黑、部分防老剂,压砣 $30 \text{ s}$ →提压砣→加入软化剂、偶联剂→压砣 $30 \text{ s}$ ,清扫,转子转速降至 $50 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ →压砣 $25 \text{ s}$ →提压砣,转子转速降至 $45 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ →压砣至 $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 开始恒温混炼→ $240 \text{ s}$ 排胶,在开炼机上下片冷却。二段混炼转子转速为 $50 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,压砣压力为 $0.6 \text{ MPa}$ ,混炼工艺为:加入一段混炼胶、活性剂、剩余防老剂、炭黑→压砣 $30 \text{ s}$ →提压砣,清扫→压砣 $30 \text{ s}$ →提压砣,转子转速降至 $35 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ →压砣至 $158 \text{ }^\circ\text{C}$ →排胶,再开炼机上下片冷却。三段混炼转子转速为 $45 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,压砣压力为 $0.4 \text{ MPa}$ ,混炼工艺为:加入二段混炼胶、硫黄、促进剂→压砣 $20 \text{ s}$ →提压砣,清扫,转子转速降至 $35 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ →压砣 $20 \text{ s}$ →提压砣,保持 $10 \text{ s}$ →压砣至 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ →排胶,在开炼机上下片冷却。

### 1.4.2 大配合试验

胶料采用3段混炼工艺,一段和二段混炼均在GE420/GE800型串联密炼机中进行,三段混炼在GK270型密炼机中进行。

一段混炼转子转速为 $58 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,压砣压力为 $0.4 \text{ MPa}$ ,混炼工艺为:加入生胶、部分防老剂→压砣 $30 \text{ s}$ →提压砣,加入白炭黑,转子转速降至 $50 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ →压砣 $30 \text{ s}$ →提压砣,加入偶联剂、软化剂→压砣 $30 \text{ s}$ →提压砣,转子转速降至 $30$

$\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ →压砣至 $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 开始恒温混炼→ $160 \text{ s}$ 排胶至下密炼机(转子转速为 $20 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ )→升温至 $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 开始恒温混炼→ $200 \text{ s}$ 排胶,下片冷却。二段混炼转子转速为 $30 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,压砣压力为 $0.4 \text{ MPa}$ ,混炼工艺为:加入一段混炼胶、活性剂、剩余防老剂、炭黑→压砣 $30 \text{ s}$ →提压砣→压砣 $25 \text{ s}$ →提压砣,转子转速降至 $20 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ →压砣至 $155 \text{ }^\circ\text{C}$ 排胶,下片冷却。三段混炼转子转速为 $23 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,压砣压力为 $0.35 \text{ MPa}$ ,混炼工艺为:加入二段混炼胶、硫黄、促进剂→压砣 $25 \text{ s}$ →提压砣,保持 $8 \text{ s}$ →压砣 $25 \text{ s}$ →提压砣,保持 $8 \text{ s}$ →压砣至 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 排胶,下片冷却。

## 1.5 性能测试

胶料各项性能均按照相应的国家标准测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 改性SSBR的理化性能

改性SSBR的理化性能按照企业标准进行检测,结果见表1。

从表1可以看出,3个厂家的改性SSBR-2的乙烯基、苯乙烯基和嵌段苯乙烯含量以及 $T_g$ 、相对分子质量、相对分子质量分布等基本相当。

### 2.2 小配合试验

#### 2.2.1 硫化特性

小配合试验胶料的硫化特性如表2所示。

从表2可以看出,各个配方胶料的焦烧时间、门尼粘度、 $F_{\max}$ 和 $t_{90}$ 等相差不大,即硫化特性基本相当。

#### 2.2.2 物理性能

小配合试验硫化胶的物理性能如表3所示。

从表3可以看出:与配方2A,2B和2C硫化胶相

表1 改性SSBR的理化性能

项 目	改性SSBR-1	改性SSBR-2(A)	改性SSBR-2(B)	改性SSBR-2(C)
门尼粘度[ML(1+4)100 $^\circ\text{C}$ ]	86	108	104	104
$T_g/^\circ\text{C}$	-61.2	-51.5	-51.0	-52.1
苯乙烯含量/%	14.9	24.4	25.7	25.8
乙烯基含量/%	26.2	19.7	19.4	17.1
嵌段苯乙烯含量/%	0.1	0.4	0.6	0.4
重均相对分子质量	859 413/295 761	1 182 426	1 280 082	1 204 993
数均相对分子质量	766 307/253 530	409 630	578 578	518 235
相对分子质量分布指数	1.12/1.17	2.89	2.21	2.33

表2 小配合试验胶料的硫化特性

项 目	配方编号			
	配方1	配方2A	配方2B	配方2C
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	92	90	92	89
门尼焦烧时间 $t_5$ (127℃)/min	20.2	23.6	22.6	23.4
硫化仪数据(161℃)				
$F_L$ /(dN·m)	2.20	1.93	2.01	2.09
$F_{max}$ /(dN·m)	14.55	13.79	13.85	14.38
$t_{10}$ /min	2.3	2.6	2.6	2.7
$t_{30}$ /min	2.9	3.1	3.1	3.2
$t_{60}$ /min	3.7	3.9	3.9	4.0
$t_{90}$ /min	8.2	8.5	9.2	8.7
$t_{95}$ /min	11.2	11.5	12.6	11.6

表3 小配合试验硫化胶的物理性能

项 目	配方编号			
	配方1	配方2A	配方2B	配方2C
邵尔A型硬度/度	62	63	63	63
100%定伸应力/MPa	2.1	2.1	2.1	2.2
300%定伸应力/MPa	11.7	11.2	11.2	11.3
拉伸强度/MPa	19.1	18.0	17.3	17.8
拉伸伸长率/%	404	396	392	397
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	44	47	44	46
回弹值/%	69	68	68	68
DIN磨耗指数/%	229	235	225	219
100℃×72h热空气老化后				
邵尔A型硬度/度	65	66	66	66
100%定伸应力/MPa	2.7	2.8	2.9	2.8
300%定伸应力/MPa	15.6	15.8	15.8	15.9
拉伸强度/MPa	17.3	16.8	17.7	16.8
拉伸伸长率/%	320	312	324	308
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	45	44	46	47

注:硫化条件为161℃×20min。

比,配方1硫化胶的拉伸强度和拉伸伸长率稍高,这与配方1中使用改性SSBR-2的比例更高有关,改性SSBR-2的相对分子质量更高;配方2A,2B和2C硫化胶的邵尔A型硬度、拉伸强度、拉伸伸长率、定伸应力、DIN磨耗指数和撕裂强度无明显差异,各个配方胶料的物理性能基本相当。

### 2.2.3 动态性能

小配合试验硫化胶(硫化条件为161℃×20min)的DMA温度扫描数据和曲线分别如表4和图1所示, $\tan\delta$ 为损耗因子, $E'$ 为弹性模量, $\tan\delta_{max}$ 为 $\tan\delta$ 最大值。

从表4和图1可以看出:与配方2A,2B和2C硫化胶相比,配方1硫化胶的 $\tan\delta$ 曲线稍右移, $T_g$ 高2℃,-25℃时 $E'$ 偏高,这与配方1中使用改性SSBR-2的比例更高,且改性SSBR-2的 $T_g$ 高于改性SSBR-1有关<sup>[4]</sup>;配方2A硫化胶的动态性能略好,

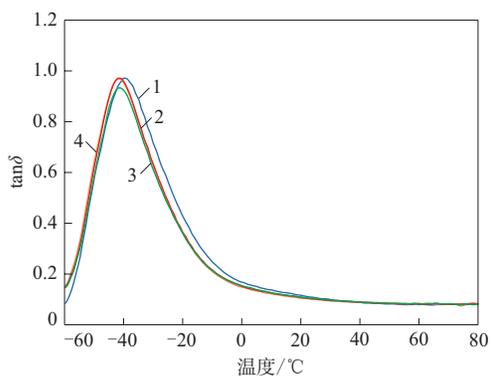
表4 小配合试验硫化胶的DMA温度扫描数据

项 目	配方编号			
	配方1	配方2A	配方2B	配方2C
$T_g$ /℃	-39.9	-41.7	-41.8	-41.8
$E'$ /MPa				
-25℃	30.3	26.0	28.6	24.3
25℃	9.3	9.5	10.5	9.1
60℃	7.5	7.6	8.4	7.4
$\tan\delta$				
0℃	0.168	0.151	0.154	0.148
25℃	0.106	0.101	0.103	0.099
60℃	0.079	0.083	0.081	0.083
$\tan\delta_{max}$	0.972	0.972	0.933	0.969

但与配方2B和2C硫化胶的动态性能相差不大。

### 2.3 大配合试验

根据小配合试验结果,综合考量胶料性能,尤其是拉伸性能和动态性能,选择配方1进行大配合试验[考虑到SSBR-2供应情况,将其中的SSBR-2



1—配方1; 2—配方2A; 3—配方2B; 4—配方2C。

图1 小配合试验硫化胶的DMA温度扫描曲线  
(C)更换为SSBR-2(B)],并与生产配方进行对比。

### 2.3.1 硫化特性

大配合试验胶料的硫化特性见表5。

项 目	试验配方	生产配方
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	97	94
门尼焦烧时间 $t_5$ (127℃)/min	19.0	26.4
硫化仪数据(161℃)		
$F_L$ /(dN·m)	2.09	2.13
$F_{max}$ /(dN·m)	14.94	16.59
$t_{10}$ /min	2.3	3.7
$t_{30}$ /min	2.8	4.6
$t_{60}$ /min	3.5	5.7
$t_{90}$ /min	7.8	11.6
$t_{95}$ /min	11.1	14.5

从表5可以看出,与生产配方胶料相比,试验配方胶料的焦烧时间缩短7 min,  $F_{max}$ 减小约10%,  $t_{90}$ 缩短3.8 min。采用试验配方胶料挤出胎面时无熟胶问题。

### 2.3.2 物理性能

大配合试验胶料的物理性能见表6。

从表6可以看出:与生产配方胶料相比,试验配方胶料的硬度和300%定伸应力偏低,拉断伸长率偏大,这与配方中白炭黑和软化剂用量不同有关;DIN磨耗指数偏高,与配方使用低 $T_g$ 改性SSBR有关<sup>[5-10]</sup>。

### 2.3.3 动态性能

大配合试验硫化胶(硫化条件为161℃×20 min)的DMA温度扫描数据和曲线分别如表7和图2所示。

从表7和图2可以看出,大配合试验胶料的 $T_g$ 明显偏低,  $\tan\delta$ 曲线左移, -25℃时 $E'$ 偏低,与试验

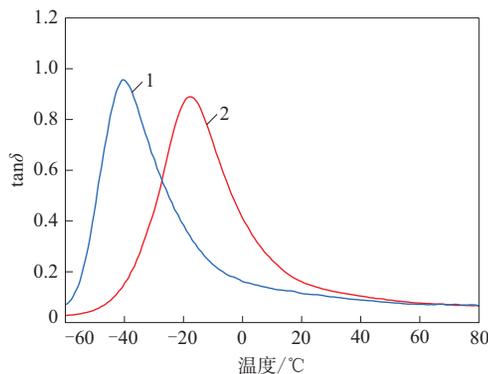
表6 大配合试验胶料与现行生产配方胶料的物理性能

项 目	试验配方	生产配方
邵尔A型硬度/度	64	65
100%定伸应力/MPa	2.1	2.6
300%定伸应力/MPa	11.0	14.0
拉伸强度/MPa	19.9	19.4
拉断伸长率/%	445	382
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	45	38
回弹值/%	50	60
DIN磨耗指数/%	191	171
100℃×72 h热空气老化后		
邵尔A型硬度/度	67	68
100%定伸应力/MPa	2.9	4.1
300%定伸应力/MPa	14.6	19.7
拉伸强度/MPa	18.3	19.8
拉断伸长率/%	359	298
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	46	41

注:同表3。

表7 大配合试验胶料的DMA温度扫描数据

项 目	试验配方	生产配方
$T_g$ /℃	-40.8	-17.8
$E'$ /MPa		
-25℃	28.4	476.4
25℃	10.4	11.3
60℃	8.6	8.8
$\tan\delta$		
0℃	0.163	0.411
25℃	0.111	0.141
60℃	0.073	0.078
$\tan\delta_{max}$	0.955	0.890



1—试验配方; 2—生产配方。

图2 大配合试验胶料的DMA温度扫描曲线  
配方使用较多低 $T_g$ 改性SSBR有关。

### 2.4 成品轮胎性能

采用试验配方胶料生产的胎面胶试制215/55R17 98V轿车轮胎进行成品性能测试,结果如表8所示。

表8 成品轮胎性能

项 目	试验轮胎	企业标准或目标
高速性能		
通过阶段	310 km · h <sup>-1</sup> × 12 min	250 km · h <sup>-1</sup> × 10 min
试验结束时轮胎状况	胎圈爆破	
耐久性能		
累积行驶时间/h	120.0	41.5
试验结束时轮胎状况	轮胎未破坏	
压穿强度/J	1 105	585
脱圈阻力/N	13 810	11 120
滚动阻力系数/ (N · kN <sup>-1</sup> )		
常温	5.4	≤6.5
-7 °C	7.8	≤8.5
湿滑指数	1.43	≥1.40
雪地抓着指数	1.08	≥1.07

从表8可以看出: 试验成品轮胎的高速性能、耐久性能、强度性能和脱圈阻力性能满足企业标准要求; 滚动阻力、湿滑指数、雪地抓着指数均达到设计目标, 抗湿滑性能和滚动阻力性能分别达到欧盟标签法的B和A级, -7 °C下轮胎的滚动阻力系数为7.8 N · kN<sup>-1</sup>。

### 3 结论

低 $T_g$ 改性SSBR用于电动汽车全天候轮胎胎面胶中, 胶料性能满足生产要求, 试制的215/55R17 98 V轮胎的高速和耐久等性能满足企业标准要求, 抗湿滑性能和滚动阻力性能分别达到欧盟标

签法的B和A级, -7 °C下轮胎的滚动阻力系数为7.8 N · kN<sup>-1</sup>。

### 参考文献:

- [1] 朱波, 王海森, 等. 电动汽车专用轮胎发展趋势[J]. 汽车工程, 2018 (6): 55-58.
- [2] 汪燕, 徐旗, 徐文龙, 等. 超低滚动阻力胎面配方在电动汽车轮胎中的应用[J]. 轮胎工业, 2022, 42 (4): 223-226.
- [3] 李国良, 初亮, 鲁和安. 电动汽车续航里程的影响因素[J]. 吉林工业大学自然科学学报, 2000, 30 (3): 20-24.
- [4] WANG L, ZHAO S H, LI A, et al. Study on the structure and properties of SSBR with large-volume functional groups at the end of chains[J]. Polymer, 2010, 51 (9): 2084-2090.
- [5] 王梦蛟. 填料-弹性体相互作用对填充硫化胶滞后损失、湿摩擦性能和磨损性能的影响[J]. 轮胎工业, 2007, 27 (10): 579-584.
- [6] WANG M J. Effect of fillers on wet skid resistance of tires. Part I: Water lubrication vs filler-elastomer interactions[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2008, 81 (4): 552-575.
- [7] WANG Y X, WU Y P, LI W J, et al. Influence of filler type on wet skid resistance of SSBR/BR composites: Effects from roughness and micro-hardness of rubber surface[J]. Applied Surface Science, 2011, 257 (6): 2058-2065.
- [8] 张寒珠, 梁琳, 郝福兰, 等. 芳纶纳米纤维对溶聚丁苯橡胶胶料性能的影响[J]. 橡胶工业, 2023, 70 (3): 195-200.
- [9] 陈松, 李红卫, 兰金华, 等. 两种溶聚丁苯橡胶在轮胎胎面胶中的应用[J]. 橡胶科技, 2023, 21 (2): 74-78.
- [10] 王鹭飞, 董康, 刘文国, 等. 橡胶操作油用量对溶聚丁苯橡胶性能的影响[J]. 轮胎工业, 2024, 44 (3): 159-164.

收稿日期: 2025-01-20

## Application of Modified Solution Styrene-Butadiene Rubber in Tread Compound of All-weather Tire for Electric Vehicle

WANG Yan, ZHANG Ying, LIU Yongqiang, LI Chongbing

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

**Abstract:** The application of low-glass-transition-temperature modified solution styrene-butadiene rubbers (SSBR) from different manufacturers in the tread compound of all-weather tire for electric vehicle was comparatively studied. The results showed that when the SSBRs from different manufacturers were used in the tread compounds, the vulcanization characteristics, physical properties and dynamic mechanical properties of the compounds were basically equivalent. The high-speed performance and durability of the trial-produced 215/55R17 98V tire met the requirements of the enterprise standards, the wet skid resistance and rolling resistance grade reach level B and level A, respectively, according to the EU labeling regulation, and the rolling resistance coefficient of the tire at -7 °C was 7.8 N · kN<sup>-1</sup>.

**Key words:** modified SSBR; all-weather tire; tread compound; electric vehicle