

高改性溶聚丁苯橡胶对电动汽车轮胎胎面胶性能的影响

赵相帅,刘华侨,顾培霜,魏建新,朱家顺
[特拓(青岛)轮胎技术有限公司,山东 青岛 266100]

摘要:以在产电动汽车轮胎胎面胶配方为基本配方,分别采用不同牌号的溶聚丁苯橡胶(SSBR)做等量替换,研究SSBR微观结构对胎面胶硫化特性、物理性能和动态力学性能的影响。结果表明,在胶料各项性能相当的前提下,采用乙烯基含量较高的双末端官能化SSBR的胶料具有更低的滞后损失,进而使轮胎的滚动阻力更低。

关键词:电动汽车轮胎;溶聚丁苯橡胶;乙烯基;官能化;滚动阻力

中图分类号:TQ336.1;TQ330.1

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2024)04-0220-03

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2024.04.0220



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

近年来,得益于双积分政策的福利,新能源汽车发展异常迅猛^[1]。然而,相比于传统的燃油汽车,电动汽车存在着质量大和续航时间短的缺点^[2],这对电动汽车轮胎的性能提出了更高的要求。

20世纪90年代初,米其林公司推出了被称为“绿色轮胎”的第1代环保节能轮胎^[3],轮胎的滚动阻力指标自此得到广泛重视。此后,溶聚丁苯橡胶(SSBR)+白炭黑配方体系成为低滚动阻力轮胎胎面配方的标配。得益于阴离子聚合高立构规整度和活性聚合的特点^[4-6],SSBR牌号如雨后春笋般不断涌现,其中低苯乙烯含量的SSBR恰好可以满足电动汽车轮胎胎面胶的性能需求。

本工作以在产电动汽车轮胎胎面胶配方为基本配方,分别采用不同牌号的SSBR做等量替换,进行对照试验,以考察SSBR微观结构对胎面胶性能的影响。

1 实验

1.1 主要原材料

SSBR,牌号代号A,B和E,韩国锦湖石油化学公司产品;牌号代号C,日本ZS Elastomers公司产品;牌号代号D,美国陶氏化学公司产品。顺丁橡胶(BR),牌号CB24,德国朗盛公司产品。炭黑

N375,上海卡博特化工有限公司产品。白炭黑,牌号1165MP,确成硅化学股份有限公司产品。加氢树脂,德国吕特格公司产品。偶联剂Si69,南京曙光硅烷化工有限公司产品。

1.2 主要设备和仪器

XK-200型双驱动电动调距两辊开炼机,青岛科高橡塑机械技术装备有限公司产品;PolyLab OS型哈克密炼机,德国HAAKE公司产品;MM4130C型无转子硫化仪,高特威尔(中国)仪器设备有限公司产品;LX-A型橡塑邵尔A硬度计,江苏明珠试验机械有限公司产品;GT-7080S2型门尼粘度计和GT-AT-7000M型电子拉力机,高铁检测仪器(东莞)有限公司产品;Eplexor[®]型动态力学分析仪,德国GABO公司产品。

1.3 试验配方

试验配方如表1所示。

1[#]配方为在产电动汽车轮胎胎面配方;2[#],3[#]和4[#]配方均在1[#]配方的基础上进行不同牌号SSBR等量替换。另外,通过调整树脂用量平衡玻璃化温度(T_g),调整油的用量平衡硬度,使4个配方的理论 T_g 和理论硬度处在同一水平。

1.4 混炼工艺

胶料混炼分两段进行。

一段混炼在哈克密炼机中进行,转子转速为 $80\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,三区(转子、模腔、卸料门)温控 $80\text{ }^\circ\text{C}$,混炼工艺为:生胶(1 min)→一段混炼小料(除

作者简介:赵相帅(1996—),男,山东济宁人,特拓(青岛)轮胎技术有限公司工程师,硕士,主要负责轮胎配方设计。

E-mail:2056913420@qq.com

表1 试验配方

组 分	配方编号			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
SSBR A	40	0	0	0
SSBR B	0	40	0	0
SSBR C	0	0	40	0
SSBR D	0	0	0	40
SSBR E	34.38	34.38	34.38	34.38
BR	25	25	25	25
炭黑N375	15	15	15	15
白炭黑	55	55	55	55
油	6	10	14	11.6
加氢树脂	15	10	5	8
其他	25.9	25.9	25.9	25.9
合计	216.28	215.28	214.28	214.88

氧化锌外)、1/2填料(1 min或110 °C)→剩余填料、油料(135 °C)→氧化锌(140 °C)→恒温混炼(2 min或150 °C)→排胶,开炼机下片冷却,停放0.5 h。

终炼在两辊开炼机上进行,辊温40 °C,混炼工艺为:一段混炼胶→终炼小料→左右割刀各5次→薄通、打卷5次→下片,停放。

1.5 测试分析

(1) 动态力学性能。采用Eplexor[®]型动态力学分析仪进行测试,采用拉伸模式,温度扫描,预拉伸 7%,频率 10 Hz,振幅 0.25%,温度范围-60~80 °C。

(2) 胶料其余性能。均按相应国家标准或化工行业标准进行测定。

2 结果与讨论

2.1 微观结构

SSBR的微观结构参数如表2所示。

表1 SSBR的微观结构参数

牌号代号	苯乙烯质量分数/%	乙烯基质量分数/%	$T_g/^\circ\text{C}$	官能化方式
A	21	43	-35	双末端
B	21	50	-25	双末端+3单
C	25	43	-20	双末端+链中
D	21	49	-28	单末端
E	36	26	-26	单末端

从表2可以看出,A,B,C,D四个牌号SSBR的微观结构均采用低苯乙烯、高乙烯基设计,且均未末端官能化,这种类型的SSBR被广泛应用于低滚动阻力白炭黑胎面胶配方。一方面,低苯乙烯含量带来更低的生热;另一方面,高乙烯基和白炭黑更亲和^[7],两个方面均对轮胎的低滚动阻力有贡献。

另外,不论是苯乙烯还是乙烯基,其含量的增大均会使分子链的运动能力减弱,需要更高的能量才能激发材料从玻璃态到高弹态的转变,反映在宏观上即为 T_g 提高。

2.2 硫化特性

胶料的硫化特性如表3所示。

表3 胶料的硫化特性

项 目	配方编号			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
一段混炼胶				
$F_L/(dN \cdot m)$	3.26	3.30	3.30	3.24
$F_{max}/(dN \cdot m)$	7.08	6.75	6.88	6.68
t_{10}/min	0.95	0.88	0.95	0.64
t_{50}/min	8.66	9.01	7.68	5.50
t_{90}/min	30.87	31.16	30.27	29.53
终炼胶				
$F_L/(dN \cdot m)$	2.44	2.48	2.27	2.32
$F_{max}/(dN \cdot m)$	15.21	14.94	14.94	15.39
t_{10}/min	2.22	2.11	2.17	2.09
t_{50}/min	4.81	4.45	4.69	4.72
t_{90}/min	9.41	9.03	8.88	8.71

从表3可以看到,与2[#]配方相比,4[#]配方一段混炼胶的 t_{10} 和 t_{50} 均缩短,即硫化早期的转矩快速上升,这是白炭黑分散不良的体现^[8],填料聚集体未能完全被打破,存在大量包容橡胶,这种聚集体在硫化仪的低频条件下难以被破坏,反而会诱导形成更大的聚集体,在宏观上表现为材料模量增大。这可能是4[#]配方SSBR(D)的官能化程度较弱的缘故。

2.3 物理性能

硫化胶的物理性能如表4所示。

从表4可以看出,4个配方硫化胶在同一硬度水平下的拉伸性能相当,即SSBR微观结构的变化对硫化胶的拉伸性能影响甚微。

表4 硫化胶的物理性能

项 目	配方编号			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
邵尔A型硬度/度	58	58	58	59
10%定伸应力/MPa	0.48	0.47	0.45	0.45
50%定伸应力/MPa	1.21	1.24	1.16	1.2
100%定伸应力/MPa	2.03	2.11	1.99	2.03
200%定伸应力/MPa	4.91	5.07	4.85	4.81
300%定伸应力/MPa	9.22	9.46	9.11	9.01
拉伸强度/MPa	21.16	20.88	21.24	20.19
拉伸伸长率/%	547	539	559	538

2.4 动态力学性能

硫化胶的动态力学性能如表5所示。

表5 硫化胶的动态力学性能

项 目	配方编号			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
$T_g/^\circ\text{C}$	-15.853	-14.420	-13.375	-14.243
损耗因子 ($\tan\delta$)				
最大值	0.658	0.710	0.638	0.648
20 $^\circ\text{C}$	0.222	0.208	0.233	0.235
40 $^\circ\text{C}$	0.160	0.144	0.164	0.163
60 $^\circ\text{C}$	0.130	0.122	0.136	0.133

从表5可以看出,4个配方硫化胶的 T_g 均处在同一水平,调整树脂用量来平衡胶料 T_g 的配方设计目的达成。

从表5还可见,与1[#]配方相比,2[#]配方硫化胶60 $^\circ\text{C}$ 下的 $\tan\delta$ 更小,这是因为在两个配方SSBR苯乙烯含量相同的情况下,2[#]配方中的SSBR(B)具有更高的乙烯基含量,硅烷偶联剂的挂链反应更易进行,填料-橡胶的交联网络更强,交变运动下填料-橡胶间的内摩擦更弱,生热更小,滞后值也更低。

与1[#]配方相比,3[#]配方硫化胶60 $^\circ\text{C}$ 下的 $\tan\delta$ 更高,是因为在两个配方中SSBR乙烯基含量相同的情况下,3[#]配方中的SSBR C具有更高的苯乙烯含量,在交变运动下,更多的苯环侧基会增大分子链间的内摩擦,生热更大,滞后值也更高。

与2[#]配方相比,4[#]配方硫化胶60 $^\circ\text{C}$ 下的 $\tan\delta$ 更高,这是因为在两个配方中SSBR微观结构相同的前提下,4[#]配方SSBR(D)的官能化程度较弱,白炭

黑表面羟基消除不充分,分散程度较差,这种不规则团聚也会增加交变运动下的填料间的内摩擦,生热更大,滞后值也更高。

3 结论

以在产电动汽车轮胎胎面胶配方为基本配方,采用不同牌号的SSBR做等量替换,进行对照试验。结果表明,在胶料的各项性能相当的前提下,乙烯基含量较高的双末端官能化SSBR具有更低的滞后损失,进而使轮胎具有更低的滚动阻力。

参考文献:

- [1] 欧阳明高. 我国节能与新能源汽车发展战略与对策[J]. 汽车工程, 2006, 28(4): 317-321.
- [2] 吴洪军, 穆玉忠, 王波, 等. 电动汽车的发展及存在的问题[J]. 汽车维修, 2022(3): 2-4.
- [3] 陈琛. 滚动阻力及米其林绿色轮胎[J]. 汽车与配件, 2009(8): 73.
- [4] ZHAO X, LIN X, LI C, et al. The Study on the microstructure and properties of SSBR using tin-containing organic lithium initiator[J]. Petrochemical Industry Technology, 2007, 18(7): 1096-1108.
- [5] LEI W, ZHAO S, AN L, 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.
- [6] 贺电, 陈移姣. 1,4-双(2,3-环氧丙氧基)丁烷端基极性改性溶聚丁苯橡胶的制备及性能研究[J]. 橡胶工业, 2022, 69(11): 835-840.
- [7] 陈松, 李红卫, 刘华侨, 等. 末端基改性溶聚丁苯橡胶在全天候轮胎胎面胶中的应用[J]. 轮胎工业, 2019, 39(6): 344-348.
- [8] 陈翔. 炭黑、白炭黑与橡胶的相互作用及其对橡胶性能的影响[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2011.

收稿日期: 2024-01-23

Effect of Highly Modified Solution Polymerized Styrene Butadiene Rubber on Performance of Electric Vehicle Tire Tread Compound

ZHAO Xiangshuai, LIU Huaqiao, GU Peishuang, WEI Jianxin, ZHU Jiashun

[TTA(Qingdao) Tire Technology Co., Ltd, Qingdao 266061, China]

Abstract: Taking the tread formula of electric vehicle tires in production as the basic formula, different grades of solution polymerized styrene butadiene rubber (SSBR) were used for equal replacement, and the effect of SSBR microstructure on the curing characteristics, physical properties and dynamic mechanical properties of the tread compound were studied. The results showed that under the premise that the properties of the compounds were equivalent, the double-end functionalized SSBR with higher vinyl content had lower hysteresis loss, thereby lowering the rolling resistance of the tire.

Key words: electric vehicle tire; SSBR; vinyl; functionalization; rolling resistance