

NR/BR 并用比对铁路货车减震胶料性能的影响

胡博渊, 赵承芳, 何俊明, 张海丽, 靳旋, 陈邵康, 于国芳
(中车石家庄车辆有限公司, 河北 石家庄 051430)

摘要: 本文从硫化特性、门尼焦烧性能、物理力学性能以及热氧老化性能四个研究了天然橡胶(NR)和顺丁橡胶(BR)并用比对铁路货车减震胶料性能的影响。结果表明, 随着 BR 配比增加, 胶料的焦烧时间延长, 硫化速率变慢, 门尼黏度提高; 硫化胶的邵 A 硬度、撕裂强度、拉伸强度、拉断伸长率和 100% 定伸应力降低, 回弹性、耐磨性提高, 热氧老化性能呈现下降趋势。当 NR/BR 配比为 60/40 时, 拉伸强度达到了 23.1 MPa, 100% 定伸应力达到 2.8 MPa, 撕裂强度达到了 114 kN·m⁻¹, 门尼黏度适中, 胶料流动性好, 综合性能达到最佳。

关键词: 减震胶料; 天然橡胶; 顺丁橡胶; 并用比

引用论文: 胡博渊, 赵承芳, 何俊明, 等. NR/BR 并用比对铁路货车减震胶料性能的影响 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(9): 65-68.

中图分类号: TQ333.2, TQ330.52

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)09-0065-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.09.013

天然橡胶具有优良的物理力学性能、良好的加工性能, 作为减震材料被广泛应用于桥梁隧道、工程建设、汽车制造、轨道交通、航空航天等诸多领域^[1-4]。但其混炼胶的物理力学性能不能满足高标准减震需求的场所, 因此需要与其他胶种并用, 改善其性能, 拓宽其应用领域^[5-7]。张松等^[8]研究了塑炼工艺对不同黏度和不同极性的天然橡胶/溴化丁基橡胶(NR/BIIR)并用胶料性能的影响, 结果表明, 在拉伸强度、100% 定伸应力、剪切模量、170% 阻尼比、水平等效刚度等方面, 不经过专门的塑炼和停放工序的胶料性能更好; 耐热氧性方面, 经过专门塑炼和停放工序的胶料耐热氧性稍好。程安仁等^[9]研究了硫化剂用量和辐射硫化工艺对 EPDM/NR 硫化胶老化前后性能的影响, 结果表明, 辐射硫化胶的热氧老化性能、拉伸强度和拉断伸长率优于传统硫化胶。

顺丁橡胶分子链柔顺性好, 具有高回弹性、优异的低温性能、良好的耐曲折性能, 与 NR 具有良好的相容性。将二者并用可进一步提高混炼胶的力学性能、热稳定性等性能。Zhang 等^[10]采用碳纳米管和乙醇辅助混合制备了共混比为 80/20 的 NR/BR 复合材料, 结果表明, 碳纳米管均匀分布后抗拉强度、撕裂强度和热稳定性得到了提升。Li 等^[11]研究了增强型 NR/BR 纳米复合材料在不同混合比下的自加热和疲劳裂纹扩

展行为, 结果表明, 当 NR/BR 混合比为 70/30 时, 体系的耗散自热最明显; 随着 BR 混合比例增加, 临界撕裂能量(T_c)呈现下降趋势。

目前, 针对铁路货车减震胶料的研究主要集中在硫化工艺研究、减震件寿命预测和结构改进方面, 需要加强对减震胶料综合性能变化规律及优化提升的探讨。因此, 本文研究了 NR/BR 并用比硫化特性、门尼焦烧性能、物理力学性能和热氧老化性能的变化规律, 探讨了减震胶综合性能最好时 NR/BR 并用比。

1 实验部分

1.1 主要原料

NR: 牌号为 RSS1, 泰国; BR: 牌号为 BR9000, 齐鲁石化公司; N550、N774: 青州博奥公司; 白炭黑(HM-6175MP): 江西黑猫炭黑有限公司; 硅烷偶联剂(Crosile): 艾科普新材料有限公司; 微晶石蜡(ZT-880): 福斯特橡塑科技有限公司; 氧化锌、硬脂酸(SA1801)、防老剂 RD、硫磺、促进剂 NOBS 均为市售橡胶工业级产品。

作者简介: 胡博渊(1992-), 男, 硕士研究生, 中级工程师, 主要研究方向为铁路货车减震材料。

基金项目: 中国中车股份有限公司“十四五”科技重大专项科研课题(2021CTZ026-7)

1.2 仪器及设备

SS-8060M 型密炼机：台湾松恕有限公司；SS-8060K 型双辊开炼机：台湾松恕有限公司；MDR S3L 型密闭式无转子硫化仪：台湾松恕有限公司；MV S3L 型门尼黏度试验机：台湾松恕有限公司；SS-5709 型热空气老化箱：台湾松恕有限公司；SY-6210-A 型电动气片机：世研精密仪器有限公司；MX-1080 型电子拉力试验机：江苏摩信工业系统有限公司；JK-DIN 05 型 DIN 磨耗试验机：江苏江凯机械设备有限公司；ELB-JJ-3005 型橡胶冲击回弹试验机：英徕铂科技（湖南）有限公司。

1.3 试验配方

减震胶使用的是 NR 和 BR 的共混胶。实验基本配方（质量份）为：NR/BR 变量（分别为 100/0、60/40、50/50、40/60、0/100），N330 22~28，N774 32~38，白炭黑 4~10，硅烷偶联剂 0.4~1.0，氧化锌 5~8，硬脂酸 1~2，防老剂 3.5，防护蜡 2，环烷油 4，硫化体系（硫化剂和促进剂）3。

1.4 样品制备

1.4.1 生胶塑炼

将 NR 放置于鼓风干燥箱中，在 60 °C 下烘胶 4 h，烘胶后在双辊开炼机上薄通 8~10 次备用。

1.4.2 生胶混炼

设置密炼机投料温度 60~70 °C，上顶栓压力 0.6~0.8 MPa，转子转速 60 r/min，投入生胶混炼 2 min，投入氧化锌、硬脂酸混炼 1.5 min；投入环烷油和一半炭黑混炼 2 min，继续投入剩余炭黑、防老剂、防护蜡混炼 2 min；清扫飞扬的粉料并加入密炼室，降低转速以 40 r/min 混炼 1.5 min 后排胶。冷却后在开炼机上加入硫磺和促进剂，混炼均匀后出片停放待用。

1.5 性能测试

硫化特性按照 GB/T 1233—2008 进行测试（150 °C）；拉伸强度、定伸应力和拉断伸长率按照 GB/T 528—2009 进行测试，选择 1 型哑铃状试样，厚度 2.0±0.2 mm，宽度 6~6.4 mm，拉伸速度为（500±50）mm/min，试验结果取中值；撕裂强度按照 GB/T 529—2008 进行测试，选择直角形试样，拉伸速度为（500±50）mm/min，试验结果取中值；邵 A 硬度按照 GB/T 531—2008 进行测试，测试前确保试样表面洁净平整，在试样表面不同位置进行 5 次测量取中值；压缩永久变形按照 GB/T 7759.1—2015 进行测试，选择 A 型试样；门尼黏度按照 GB/T 1232.1—2000 进

行测试，采用大转子，预热 1 min，测试 4 min，同一试样测试两次取平均值；门尼焦烧性能按照 GB/T 1233—2008 进行测试；其他性能测试均按照国家标准进行。

2 结果与讨论

2.1 NR/BR 并用比对减震胶料硫化特性的影响

图 1 表示的是 NR/BR 并用比对减震胶料硫化特性曲线的影响。表 1 表示的是 NR/BR 并用比对减震胶料硫化特性参数的影响。由图 1 和表 1 可以看出：随着 BR 配比增加，最小弹性转矩 M_L 、最大弹性转矩 M_H 和转矩差 $M_H - M_L$ 逐渐增大，说明胶料的交联密度增大。起硫时间 t_{s1} 、工艺正硫化时间 t_{90} 延长、硫化速率变慢，硫化平坦期范围变宽。这是因为 BR 的分子链柔顺性优于 NR，本体黏度、门尼黏度高于 NR；随着 BR 并用比增加，混炼胶的熔体黏度增加，对应硫化仪初始阶段的最小转矩增大。其次，NR 分子链含大量双键且侧基为甲基，反应活性高；BR 分子链为高顺式 1,4-聚丁二烯，双键反应活性低于 BR，硫化诱导期和反应周期更长。随着 BR 并用比增加，硫化反应速率降低， t_{s1} 、 T_{c90} 延长。最后，随着 BR 并用比增加，硫化剂和促进剂在两相中的分配更偏向于低反应活性相，导致两相硫化速率的差异被放大，转矩上升过程更缓慢，无明显陡峭的阶跃段。

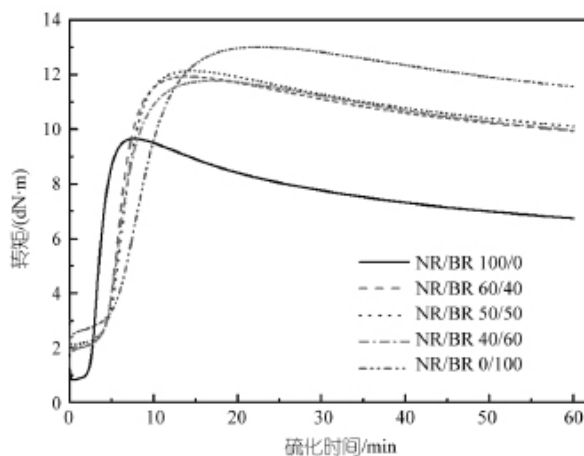


图 1 150 °C 条件下 NR/BR 不同并用比的硫化特性曲线

2.2 NR/BR 并用比对减震胶料门尼焦烧性能的影响

表 2 表示的是 NR/BR 并用比对减震胶料门尼焦烧性能参数的影响，图 2 给出了 NR/BR 并用比对减

表 1 硫化特性参数随 NR/BR 并用比的变化

并用比	$M_L/\text{dN}\cdot\text{m}$	$M_H/\text{dN}\cdot\text{m}$	$M_H-M_L/\text{dN}\cdot\text{m}$	t_{s1}/min	t_{10}/min	t_{90}/min	硫化平坦期 /min
100/0	0.819	9.665	8.846	2.67	2.63	5.15	5.15~16.19
60/40	1.960	11.944	9.984	4.43	4.43	8.70	8.70~32.79
50/50	2.075	12.145	10.07	4.65	4.65	9.28	9.28~32.54
40/60	1.859	11.796	9.937	4.30	4.28	9.82	9.82~37.80
0/100	2.356	13.025	10.669	5.03	5.17	13.55	13.55~48.63

震胶料门尼焦烧性能的影响。由图 2 和表 2 可以看出：随着 BR 配比增加，最小门尼值 L_M 、最大门尼值 M_1 以及门尼黏度 M_V 增大，门尼焦烧时间 t_5 和门尼硫化时间 t_{35} 延长，门尼硫化速率 $t_{35}\sim t_5$ 变慢。说明 BR 配比增加促使减震胶料的黏度提高，门尼硫化速率变慢，有延缓硫化的作用。

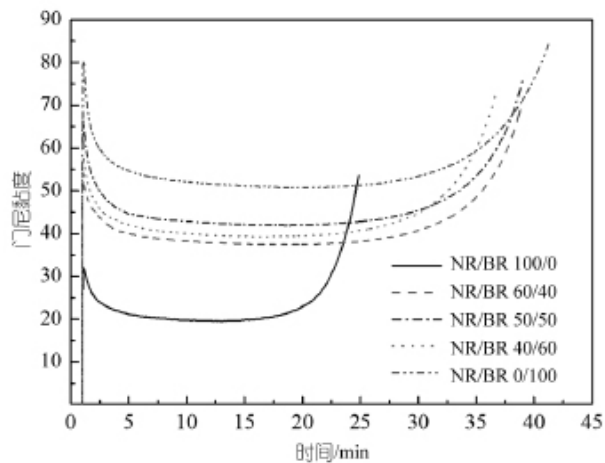


图 2 NR/BR 并用比对减震胶料门尼焦烧性能的影响

表 2 减震胶料门尼焦烧性能参数随 NR/BR 并用比的变化

序号	配比	L_M	M_1	t_5	t_{35}	$t_{35}\sim t_5$	M_V
1	100/0	19.518	31.871	20:56	24:51	03:55	28.866
2	60/40	39.260	57.771	29:36	36:47	07:10	43.097
3	50/50	41.892	66.415	31:26	39:01	07:35	33.672
4	40/60	37.384	54.563	31:43	39:02	07:19	50.876
5	0/100	50.728	80.402	32:34	41:22	08:48	60.652

2.3 NR/BR 并用比对减震胶料物理力学性能的影响

NR/BR 并用比对减震胶料物理力学性能的影响如表 3 所示。由表 3 可以分析出，随着 BR 配比增加，硫化胶的邵 A 硬度、撕裂强度、拉伸强度、拉断伸长率和 100% 定伸应力降低，回弹性、耐磨性提高。当二者并用比为 60/40 时，混炼胶综合性能最好。此时撕裂强度达到了 $114\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ ，拉伸强度和 100% 定伸应力分别为 23.1 MPa 、 2.8 MPa 。这主要是由于顺丁橡胶分子链更规整且柔顺，受力后分子链易回复常态。同时，受力时内耗 ($\tan\delta$) 更小，能量损失少，能更

好地分散应力，抵抗磨损过程中的机械破坏。天然橡胶分子链存在侧基，硫化后能形成更致密的交联网络，受力时能够有效传递应力，避免局部撕裂扩展。而顺丁橡胶交联网络相对松散，应力集中时易发生链断裂。

表 3 NR/BR 并用比对减震胶料物理力学性能的影响

性能	NR/BR 并用比				
	100/0	60/40	50/50	40/60	0/100
邵尔 A 硬度	65	64	62	61	58
撕裂强度 $/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-1})$	118	114	112	109	75
回弹性 /%	70.5	71.4	72.0	73.1	74.8
耐磨性 (体积减少量) $/ \text{mm}^3$	166	141	140	138	105
拉伸强度 /MPa	24.8	23.1	21.5	18.9	14.7
拉断伸长率 /%	469	505	488	512	417
100% 定伸应力 /MPa	3.1	2.8	2.7	2.4	1.8

2.4 NR/BR 并用比对减震胶料热氧老化性能的影响

表 4 表示的是 NR/BR 并用比对减震胶料热氧老化性能的影响，分别从邵 A 硬度变化、拉伸强度变化、拉断伸长率变化和压缩永久变形 4 个方面进行了评估。结果显示，随着 BR 配比增加，胶料的热氧老化性能呈现下降趋势，说明 BR 热氧老化性能劣于 NR。原因主要是二者分子结构中不饱和双键的反应活性及分子间作用力差异导致的，BR 分子链为规整的 $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$ 结构，与双键相邻的亚甲基 $-\text{CH}_2-$ 氢原子活性更高，更易在热、氧作用下发生抽氢反应，引发分子链断裂或交联。而 NR 分子链中含侧甲基，会对双键及相邻氢原子形成空间位阻，降低其被氧化的反应活性。此外，NR 分子链的侧甲基增加了分子间作用力，使分子链堆积更紧密，一定程度上阻碍了氧分子向橡胶内部扩散。而 BR 分子链中无侧基，分子间作用力弱，氧分子更易渗透，加速热氧老化进程。

表 4 NR/BR 并用比对减震胶料热氧老化性能的影响

热氧老化性能	NR/BR 并用比				
	100/0	60/40	50/50	40/60	0/100
邵 A 硬度变化	0	+1	+1	+1	+2
拉伸强度变化 /%	-1.28	-2.43	-2.88	-2.97	-3.58
拉断伸长率变化 /%	-5.1	-8.9	-9.8	-10.7	-13.4
压缩永久变形 /%	19.1	22.4	23.7	23.9	26.6

4 结论

(1) 随着 BR 配比增加, M_L 、 M_H 和 M_H-M_L 逐渐增大, t_{s1} 、 t_{90} 延长、硫化速率变慢, 硫化平坦期范围变宽。 L_M 、 M_1 以及 M_V 增大, t_5 和 t_{35} 延长, $t_{35} \sim t_5$ 变慢。

(2) 随着 BR 配比增加, 邵 A 硬度、撕裂强度、拉伸强度、拉断伸长率和 100% 定伸应力降低, 回弹性、耐磨性提高, 热氧老化性能呈现下降趋势。当 NR/BR 配比为 60/40 时, 胶料的综合性能最好。

参考文献:

- [1] 王文博, 赵晓键, 雷宇等. 天然橡胶在减震降噪领域的研究进展 [J]. 聚酯工业, 2024,37(04):66-69.
- [2] 胡国标, 黄俊, 林景辉等. 橡胶材料在建筑减震降噪领域的应用研究进展 [J]. 合成材料老化与应用, 2025,54(05):65-68.
- [3] 庞松, 田安伟, 李剑等. NR 种类及 NR/IR 并用比对减震橡胶材料性能的影响 [J]. 橡胶工业, 2024,71(09):688-691.
- [4] 李国洪, 向忠益, 郭森. 低动静刚度比天然橡胶减震功能配方技术研究和进展 [J]. 汽车工艺与材料, 2022,(04)39-45.
- [5] 张潇杨, 卢雪, 李海龙等. NR/BR 并用质量比对胎侧胶臭氧老化和屈挠疲劳性能的影响 [J]. 弹性体, 2023,33(06):46-50.
- [6] 王瑞欣, 黄从岗, 杨瑞宁等. 并用比对 NR/CIIR 共混物的拉伸取向及 SIC 行为的研究 [J]. 北京化工大学学报 (自然科学版), 2025,52(01):57-65.
- [7] 宋仕隆, 孙学红. 天然橡胶 / 顺丁橡胶并用比对轮胎胶料均质性与稳定性影响 [J]. 弹性体, 2024,34(06):18-23.
- [8] 张松, 马志凯, 杜伟等. 不同塑炼工艺对不同黏度和不同极性的 NR/BIIR 并用胶料性能的影响 [J]. 弹性体, 2024,34(06):39-43.
- [9] 程安仁, 杨红军, 李思源等. 不同硫化工艺对 EPDM/NR 并用胶性能的影响 [J]. 特种橡胶制品, 2023,44(02):42-45.
- [10] ZHANG Ju-zheng, GU Zheng, MENG Chao, et al. Morphology and selected properties of NR/BR/CNT nanocomposites effect of ethanol-assisted mixing [J]. Polimery, 2023,68(5):251-258.
- [11] LI Peng, GU Bo-chao, ZHANG Xiao-lin, et al. Self-heating and fatigue crack growth behavior of reinforced NR/BR nanocomposites with different blending ratio [J]. International Journal of Fatigue, 2024,183:107-118.

The influence of the NR/BR blend ratio on the performance of railway freight car shock-absorbing rubber compound

Hu Boyuan, Zhao Chengfang, He Junming, Zhang Haili, Jin Xuan, Chen Shaokang, Yu Guofang

(CRRC Shijiazhuang Co. LTD., Shijiazhuang 051430, Hebei, China)

Abstract: This article investigates the influence of the blending ratio of natural rubber (NR) and butadiene rubber (BR) on the performance of railway freight car damping rubber compounds, focusing on vulcanization characteristics, Mooney scorch performance, physical and mechanical properties, and thermo-oxidative aging properties. The results indicate that as the proportion of BR increases, the scorch time of the rubber compound extends, the vulcanization rate slows down, and the Mooney viscosity rises. The Shore A hardness, tear strength, tensile strength, elongation at break, and modulus at 100% deformation of the vulcanizate decrease, while the resilience and wear resistance improve. The thermo-oxidative aging properties show a downward trend. When the NR/BR ratio is 60/40, the tensile strength reaches 23.1 MPa, the modulus at 100% deformation attains 2.8 MPa, the tear strength achieves $114 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$, the Mooney viscosity is moderate, the rubber compound exhibits good fluidity, and the overall performance is optimal.

Key words: shock-absorbing rubber compound; natural rubber; butadiene rubber; blending ratio

(R-03)

