

TRA 用量对 CR/BR 共混胶交联网络状态及力学性能的影响

李亮¹, 李志程², 邓涛²

(1. 蓬莱市临阁橡塑制品有限公司, 山东 蓬莱 265608 ;
2. 青岛科技大学 高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042)

摘要: 本研究系统考察了四硫化双环五次甲基秋兰姆 (TRA) 用量对氯丁橡胶 / 顺丁橡胶 (CR/BR) 共混胶交联网络状态及性能的影响。结果表明, 随着 TRA 用量从 0.6 份增加至 1.4 份, 共混胶硫化速率显著提升, 工艺正硫化时间 t_{90} 缩短; 两相交联密度均提高, 但 BR 相的交联密度变化率达 125%, 显著高于 CR 相的 15%; 共混胶的模量升高而拉伸伸长率下降, 拉伸强度则呈先升后降趋势, 当 TRA 用量为 0.8 份时, 共混胶的拉伸强度达 16.6 MPa, 拉伸伸长率为 315%; 动态力学性能分析表明共混胶的损耗因子 ($\tan\delta$) 从 0.12 降至 0.07, 动态生热降低; 100 °C × 48 h 热氧老化后, 共混胶的硬度与定伸应力均提高, 而拉伸伸长率显著下降, 其中 BR 相的交联密度变化率显著高于 CR 相。

关键词: CR/BR; 动态力学性能; 物理机械性能; 交联密度; 耐热氧老化性

引用论文: 李亮, 李志程, 邓涛. TRA 用量对 CR/BR 共混胶交联网络状态及力学性能的影响 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(5):45-50.

中图分类号: TQ331.42 TQ332.2

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)05-0045-06

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.05.010

氯丁橡胶 (CR) 因其分子链上含有大量高电负性的 -Cl (侧氯基团), 分子间作用力大, 且其主链规整性好, 易于结晶, 具有良好的力学性能、阻燃性、耐候性和化学稳定性, 被广泛应用于电缆护套、胶管、密封制品等领域^[1-2]。然而, 这种易结晶的特性也导致 CR 在加工过程中生热高、易粘辊、易焦烧, 且耐低温性较差。相比之下, 顺丁橡胶 (BR) 分子链柔顺性极好, 具有高回弹性、低生热和出色的耐低温性能^[3-4]。

橡胶共混是制备新材料的有效手段, 将 CR 与 BR 共混, 有望成为一种改善 CR 的加工与应用缺陷的方法^[5-6]。然而 CR 因分子链中氯原子对双键的吸电子效应, 双键活性降低, CR 难以和 BR 一样采用普通硫磺硫化体系实现有效硫化, 通常需依赖金属氧化物交联。二者硫化机理的差异导致共混后的两相硫化速率不匹配、交联网络结构不同、界面相容性差, 进而引起力学性能下降。例如王慧^[7]等人通过改变生胶并用比发现, 随着 BR 用量增加, 共混硫化胶的力学性能总体呈下降趋势, 其归因于 CR 本身的力学强度远高于 BR, 并且两相界面相容性差导致应力传递失效。

实现 CR 和 BR 两相间的有效结合与力学性能协

同, 关键在于通过硫化体系的设计来调控两相力学状态。对于硫磺 - 促进剂体系而言, 促进剂不仅调控硫化速率, 还影响硫化反应路径与交联结构类型, 从而对共混体系中两相交联程度及界面结合强度具有关键作用^[8]。四硫化双环五次甲基秋兰姆 (TRA) 作为一种硫载体型促进剂, 能够在硫化过程中释放活性硫并高效促进 BR 交联^[9]。

本研究系统考察了 TRA 用量对共混胶的硫化特性、动态力学性能及热氧老化前后物理机械性能的影响, 并进一步探究了 TRA 用量对两相交联密度及两相模量的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料及仪器设备

氯丁橡胶 (CR), 牌号 CR2322, 重庆长寿化工有限公司; 顺丁橡胶 (BR), 牌号 BR9000, 中国石化北京燕山石化有限公司; 快压出炉黑, 牌号

作者简介: 李亮 (1986-), 男, 工程师, 主要从事化工工程研究和运营管理工作。

N550, 卡博特(中国)投资有限公司; 其余配合剂均为市售常用工业品。

X(S)K-160 型开炼机, 无锡市创成橡塑机械有限公司; XSM-1/20-80 型密炼机, 上海科创橡塑机械设备有限公司; M-3000AU 型无转子硫化仪, 高铁检测仪器(东莞)有限公司; LCM-3C2-G03-LM 型平板硫化机, 深圳佳鑫电子设备科技有限公司; RPA 2000 型橡胶加工分析仪, 美国 Alpha 科技公司; GT-7016-AR 型气压自动切片机, 高铁检测仪器(东莞)有限公司; GT-7017-M 型老化箱, 高铁检测仪器(东莞)有限公司; AI-3000 型电子拉力机, 台湾高铁检测仪器有限公司; FA2204E 型分析天平, 常州市幸运电子有限公司。

1.2 试验设计

本研究以 TRA 的用量为变量, 系统设计了 5 个实验组, 分别编号为 1[#]~5[#]。所有共混胶配方区别仅在于 TRA 的添加量, 具体变量设计如表 1 所示。

表 1 试验变量

编号	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
TRA 用量 / 份	0.6	0.8	1	1.2	1.4

CR/BR 共混胶基本配方(单位: 份)如下:

CR 70, BR 30, N550 50, 硬脂酸(SA) 0.6, ZnO 5, MgO 4, S 0.4, TRA 变量(见表 1), 促进剂 DM 0.3, 合计 160.3。

1.3 CR/BR 共混胶的制备

基于试验设计, 在密炼机分别制备 CR 和 BR 含炭黑母炼胶, 其中: 密炼机初始温度保持 65 °C, 转子转速 30 r/min, 加入 N550, 总混炼时间约 15 min 后排胶; 室温停放 16 h。

随后在开炼机上进行 CR/BR 共混胶的制备。先将 BR 母胶包辊, 按 CR/BR 生胶比为 70/30 的比例加入 CR 母胶, 割胶, 打三角包 3 次, 混合均匀后分成 5 份, 每份根据试验配方加入 SA、ZnO、MgO、S、DM 和 TRA, 打三角包 8 次、打卷 3 次, 下片, 做好标记(1[#]~5[#]); 停放 8 h 以上, 在平板硫化机上硫化试样, 硫化条件为 150 °C × t₉₀ × 10 MPa。

1.4 性能测试

1.4.1 硫化特性

按 GB/T 9869.3—2025 测试, 转子转动角度均为 ±1°, 测试条件 150 °C × 40 min。

1.4.2 邵尔 A 硬度

采用邵尔 A 硬度计, 按 GB/T 39693.4—2025 测

试。

1.4.3 动态力学性能

按 GB/T 45159.4—2025 测试, 应变频率 1.7 Hz, 转动角度 0.5°, 测试温度 60 °C。

1.4.4 拉伸性能

按 GB/T 528—2009 测试, 拉伸速度为 500 mm/min, 测试温度为室温。

1.4.5 热氧老化性能

老化试验按 GB/T 3512—2014 测试, 测试条件为 100 °C × 48 h。

1.4.6 平衡溶胀法测定两相交联密度

选取 CR 的良溶剂及 BR 的相对不良溶剂 N, N-二甲基乙酰胺, 选取 CR 的相对不良溶剂及 BR 的良溶剂环己烷。

(1) $\mu-v_2$ 关系的确定

根据文献^[10]中的平衡溶胀法, 先求得 CR 和 EPDM 不同交联密度的硫化胶(参比试样)在两种溶剂中的相互作用参数 μ , 由 Kraus 方程得:

$$\mu = \mu_0 + \beta v_2 \quad (1)$$

式中: β 为常数; μ_0 为 v_2 为 0 时的 μ 值; v_2 为溶胀凝胶中的橡胶体积分数。参数 μ_0 和 β 可由不同参比试样的 v_2 和 μ 线性拟合后获得。因此 CR/EPDM 共混硫化胶的 μ 由式(1)确定。

(2) 共混胶两相交联密度

CR/EPDM 共混胶中, 可采用下列公式(2)求得共混胶中各相溶胀度:

$$\begin{aligned} Q^A_C &= \Phi^A Q^A_A + \Phi_B + \Phi^A_B \\ Q^B_C &= \Phi_A Q^B_A + \Phi_B + Q^B_B \\ Q^A_A &= a_1 + b_1 Q^B_A \\ Q^A_B &= a_2 + b_2 Q^B_B \end{aligned} \quad (2)$$

式中: 共混胶在 N,N-二甲基乙酰胺的溶胀度为 Q^A_C , 共混胶在环己烷的溶胀度为 Q^B_C ; 共混胶中 CR 相、EPDM 相在 N,N-二甲基乙酰胺的溶胀度为 Q^A_A , Q^A_B ; 共混胶中 CR 相、EPDM 相在环己烷的溶胀度为 Q^B_A , Q^B_B 。共混胶中 CR 相、EPDM 相的体积分数 Φ_A , Φ_B 。

根据体积溶胀度 Q_s 公式求各相的凝胶体积分数 v_2 : $Q_s = 1/v_2$ (3)

再依据 Flory-Rehner 公式, 即式(4)计算:

$$-\ln(I - v_2) - v_2 - \mu v^2_2 = \rho \frac{v_1}{M_c} \left(v^3_2 - \frac{v_2}{2} \right)$$

式中： v_1 为溶剂的摩尔体积； v_2 为溶胀凝胶中的橡胶体积分数； ρ 为溶胀前橡胶的密度； μ 为相互作用参数； M_c 为交联点间的平均分子量。

将 v_2 和 μ 代入式 (3)，计算得到 CR/EPDM 共硫化胶的两相交联密度 ρ/M_c 。

2 结果与讨论

2.1 TRA 用量对共混胶硫化特性的影响

为探究 TRA 用量对 CR/BR 共混胶硫化特性的影响，本试验首先采用橡胶硫化仪测定了各配方的硫化曲线。表 2 为 150 °C 下不同 TRA 用量的共混胶硫化特性参数。

编号	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
$M_L/dN \cdot m$	3.6	3.5	3.5	3.7	3.8
$M_H/dN \cdot m$	21.8	22.9	23.0	24.1	24.9
$M_H - M_L/dN \cdot m$	18.2	19.4	19.5	20.4	21.1
$t_{10}/m:s$	1:27	1:22	1:19	1:17	1:16
$t_{90}/m:s$	16:10	15:41	15:08	15:01	14:02

由表可见，随着 TRA 用量的增加，CR/BR 共混胶的 M_H 与 $M_H - M_L$ 呈逐步上升趋势，从 1[#] 的 18.17 dN·m 提高至 5[#] 的 21.05 dN·m，表明共混胶的硫化程度随 TRA 用量增大而提高。同时，焦烧时间 t_{10} 与工艺正硫化时间 t_{90} 均逐渐缩短， t_{90} 从 16'10" 下降至 14'2"，说明 TRA 的加入有效促进硫化反应，提高硫化速率。

实验现象表明 TRA 作为硫载体型促进剂，其硫原子数 > 2，在硫化过程中不仅能有效释放活性硫，促进交联键的形成，提高交联密度；同时也显著活化 CR/BR 共混体系，缩短硫化周期，从而提高硫化效率。

2.2 TRA 用量对共混胶物理机械性能的影响

为进一步探究 TRA 用量对 CR/BR 硫化胶整体力学性能的影响，在 150 °C 下硫化的各共混硫化胶的物理机械性能见表 3。

由表可知，随着 TRA 用量从 0.6 份逐渐增加至 1.4 份，共混胶的硬度逐步上升，100% 与 200% 定伸应力也分别从 3.7 MPa 和 8.3 MPa 提高至 4.3 MPa 和 10.2 MPa。结合共混胶硫化特性分析，定伸应力与硬度的同步增长与 $M_H - M_L$ 的持续增大趋势一致，表明提高 TRA 用量可有效增强了共混胶的交联网络，从而导致模量提升。

拉伸强度与拉断伸长率的变化则随 TRA 用量增加呈现先升后降的趋势，并在 TRA 用量为 0.8 份时达到

同时达到最高值。这表明，适中的 TRA 用量有助于构建更完善的交联结构。

表 3 不同 TRA 用量下共混胶的物理机械性能

编号	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
邵 A 硬度 /°	66	68	69	69	69
拉伸强度 /MPa	14.4	16.6	16.2	15.7	15.1
拉断伸长率 /%	292	315	299	270	262
100% 定伸应力 /MPa	3.7	3.8	3.9	4.1	4.3
200% 定伸应力 /MPa	8.3	8.5	8.8	9.2	10.2
拉断永久变形 /%	15	15	10	10	10

而过高用量则导致交联密度过大，限制了分子链的伸展能力，促使材料在拉伸过程中发生脆性破坏。

2.3 TRA 用量对共混胶两相交联密度的影响

为量化 TRA 对两相交联结构的影响，图 1 与图 2 分别展示 CR/BR 共混胶的两相交联密度及其相对于 1[#] 的变化率。

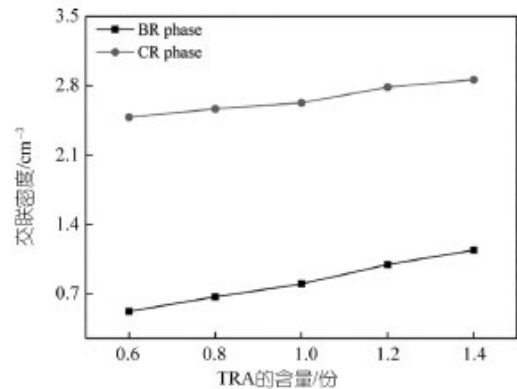


图 1 不同 TRA 用量下共混胶的 G' 和 G''

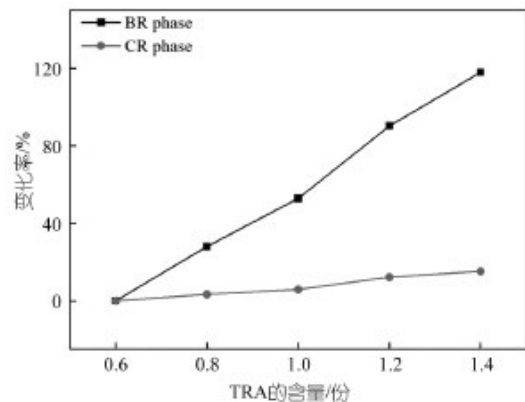


图 2 不同 TRA 用量下共混胶两相交联密度及相较于 1[#] 的变化率

由图 1 可看，随着 TRA 用量从 0.6 份增加至 1.4 份，BR 相和 CR 相的交联密度均呈现持续增长趋势。然而，两相的增长幅度存在显著差异。结合图 2，BR 相的交联密度从 1[#] 的 0.6 mol/cm³ 提升至 5[#] 的 1.35

mol/cm³, 增幅达 125%; 而 CR 相的交联密度仅从 2.48 mol/cm³ 增至 2.86 mol/cm³, 增幅仅为 15%。两相交联密度随 TRA 用量的变化率差异表明: TRA 对 BR 相的交联促进作用更为显著, 使其 BR 相交联网络密度更高。这是由于 TRA 作为硫载体型促进剂的特性, 其在硫化过程中释放活性硫, 相比 CR, S 更优先与 BR 相上更活泼的双键反应。

2.4 TRA 用量对共混胶两相模量的影响

由常温物理机械性能可知, 共混胶的拉伸强度和拉伸伸长率均出现先上升后下降的趋势。则进一步探究这一现象的微观力学性能变化。已知交联密度与各级定伸应力存在正比关系^[11], 计算出对应纯胶的模量-交联密度的拟合方程, 再将两相交联密度代入可求出不同硫化时间下 CR/EPDM 硫化胶中两相的各级定伸应力。表 4 为共混胶两相的定伸应力-交联密度的方程。

表 4 两相定伸应力与交联密度的拟合方程

应变 / %	CR 相模量 - 交联密度关系	BR 相模量 - 交联密度关系
50	$E=0.54(\rho/Mc)+1.11$	$E=0.21(\rho/Mc)+0.78$
100	$E=0.94(\rho/Mc)+2.06$	$E=0.45(\rho/Mc)+1.25$
150	$E=1.97(\rho/Mc)+3.21$	$E=1.52(\rho/Mc)+1.79$
200	$E=2.97(\rho/Mc)+4.73$	$E=2.37(\rho/Mc)+2.38$

1[#]~5[#] 共混胶的两相应力-应变曲线模量如图 3 所示, 各共混胶两相的 50% 与 100% 模量相对于 1[#] 的变化率与 TRA 用量的关系如图 4 所示。

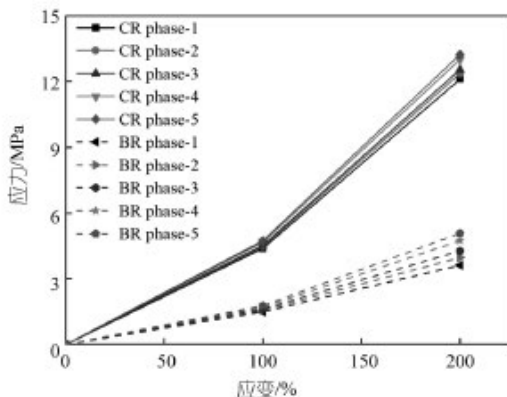


图 3 共混胶的两相应力-应变曲线

从图 3 可知, 随着 TRA 用量的增加, CR 与 BR 两相的模量均有提升, 但 BR 相的模量增长幅度明显高于 CR 相。图 4 进一步显示, BR 相模量变化率远高于 CR 相, 表明 TRA 用量主要影响了共混胶中 BR 相的交联程度, 进而造成共混胶硫化胶力学性能的变化。

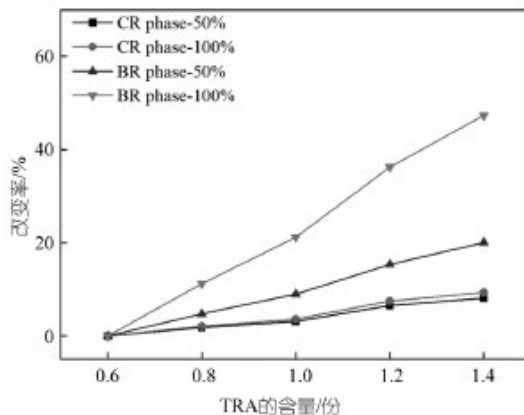


图 4 TRA 用量对共混胶两相模量变化率的影响

随着 BR 相模量向 CR 相接近, 两相间的模量匹配度得到显著提升, 在 TRA 用量为 0.8 份时, 共混胶不仅具有较高的总交联密度, 两相模量匹配程度也在增加, 这种模量匹配状态能显著提高了界面应力传递效率, 使外力能够更均匀地分散到整个材料体系中, 从而有效避免了在两相界面局部应力集中现象^[12], 这解释了共混胶拉伸性能在适量提高 TRA 用量下表现出较高的拉伸强度和拉伸伸长率。随着 TRA 用量继续增加, BR 相交联密度进一步提升, 虽然促进了两相模量的接近, 但也导致 BR 相交联网络结构过密。这种致密的交联网络限制了 BR 分子链的伸展能力和链段运动空间, 使 BR 相固有的柔顺性难以充分体现, 宏观上直接表现为共混胶拉伸伸长率和拉伸强度的下降。

2.5 TRA 用量对共混胶动态力学性能的影响

60 °C 下的共混胶动态力学性能数据如图 5 所示。随着 TRA 用量从 0.6 份增加至 1.4 份, 共混胶的储能模量 (G') 由 18.89 kPa 逐渐增大到 22.81 kPa, 表明材料在动态剪切形变过程中储存弹性势能的能力持续增强。与此同时, 损耗模量 (G'') 与损耗因子 ($\tan\delta$) 则呈下降趋势, 其中表征动态生热的 $\tan\delta$ 从 0.12 显著降低至 0.07, 降幅达 41%,

动态生热的降低归因于 TRA 用量直接影响了总交联网络密度。结合两相交联密度与 TRA 用量的关系分析可知, 随着 TRA 用量增加, 共混胶的两相交联密度均提升, 交联点间距缩短, 有效限制了分子链在动态应变下的不可逆滑移和内摩擦。这一结构变化使共混胶在动态应变中能更有效地储存和释放能量, 从而表现为共混胶的弹性增强而能量损耗显著降低, 动态生热性能改善。

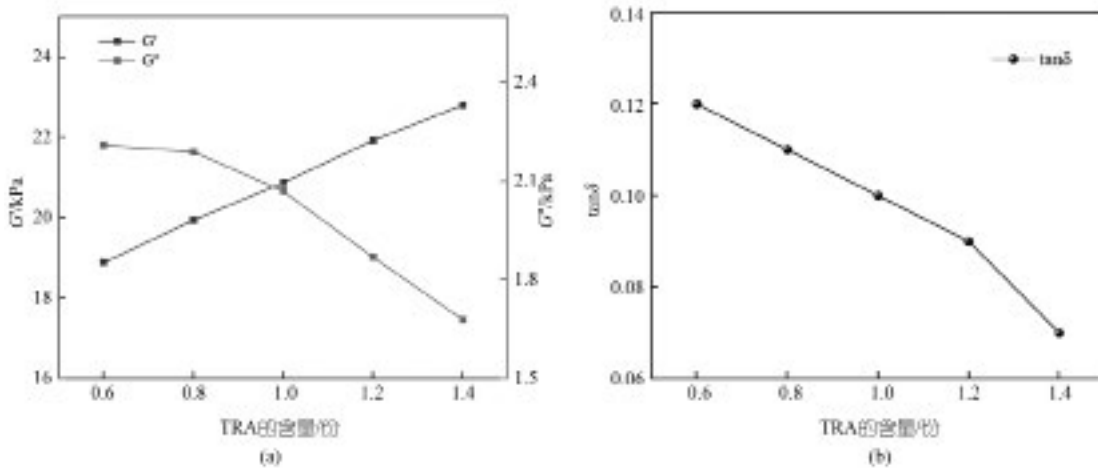


图5 不同 TRA 用量下共混胶的动态力学性能 (a) G' 与 G'' ; (b) $\tan\delta$

2.6 TRA 用量对共混胶耐热氧老化性的影响

为考察 TRA 用量对 CR/BR 共混胶耐热氧老化性能的影响,测定了共混胶在 100 °C 的热空气老化 48 h 前后的物理机械性能,并计算其性能变化率,如表 5 所示。

表 5 共混胶热空气老化前后物理机械性能对比

编号	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
邵 A 硬度 /°	72	73	74	75	75
硬度变化率 /%	9	7	7	8	8
拉伸强度 /MPa	10.7	10.5	10.6	11.1	11.4
拉伸强度变化率 /%	-25	-36	-34	-26	-27
拉断伸长率 /%	215	204	189	174	161
拉断伸长率变化率 /%	-26	-35	-35	-35	-38
100% 定伸应力 /MPa	5.6	5.9	5.9	6.2	6.3
100% 定伸应力变化率 /%	52	55	51	51	48

如表 5 所示,与老化前相比,不同 TRA 用量的 CR/BR 共混胶老化后物理机械性能呈现出一致的变化规律:邵 A 硬度均较老化前有所上升,变化率在 7%~9%

之间;100% 定伸应力显著提高,变化率最高达 55%,表明共混胶抵抗形变的能力普遍增强;拉伸强度和拉断伸长率均下降,反映出共混胶的韧性降低。

2.7 TRA 用量对热氧老化后共混胶两相交联密度的影响

进一步采用平衡溶胀法测定热氧老化后 CR/BR 共混胶两相的交联密度,实验结果如图 6 所示。

由图可知,随着 TRA 用量的增加,老化后 CR 相与 BR 相的交联密度均呈现持续上升趋势,其中 BR 相的交联密度老化前后变化率显著高于 CR 相,这一现象表明,BR 相耐热氧老化性低于 CR 相。这是由于 CR 分子链中氯原子的强吸电子效应使其双键电子云密度降低,双键反应活性较差,表现出较高的耐热氧化性;而 BR 相分子链双键活性高,在热氧条件下更易发生氧化裂解和结构化反应,导致交联密度急剧增加。

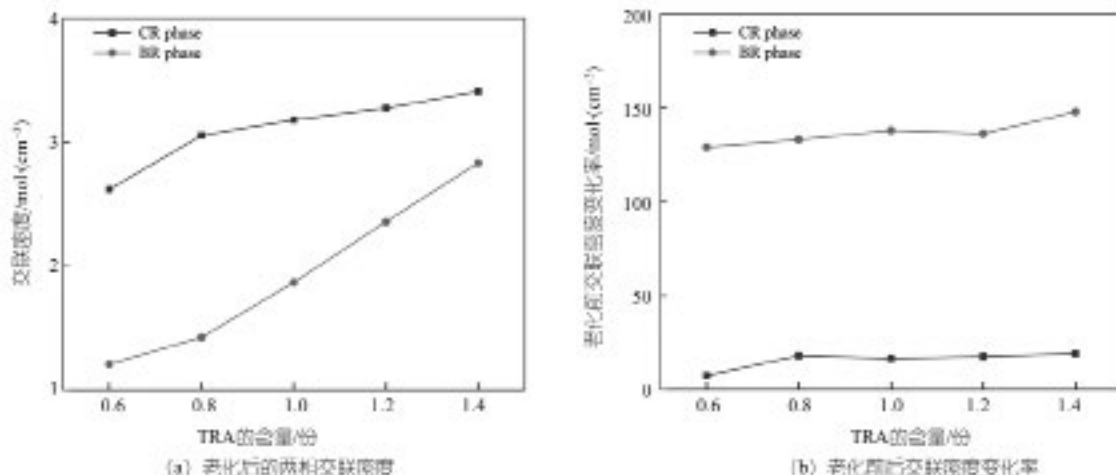


图6 热氧老化对共混胶两相交联密度的影响

综合热氧老化后的物理机械性能分析, 共混胶出现定伸应力增大而拉断伸长率显著下降的现象, 其内在原因主要是 BR 相在热氧条件下发生的交联反应, 即 BR 相的交联网络密度提高虽能提升材料抵抗形变的能力, 限制了分子链的滑移和取向能力。

3 结论

本工作通过研究 TRA 用量对 CR/BR 共混胶性能的影响, 揭示了 TRA 在调控共混胶的硫化特性、力学性能及使用性能的作用, 主要结论如下:

(1) 随着 TRA 用量从 0.6 份增加至 1.4 份, CR/BR 共混胶的硫化速率加快, 工艺正硫化时间 t_{90} 从 16:10 缩短至 14:02; 最高转矩 MH 从 21.8 dN·m 提高至 24.9 dN·m。

(2) 物理机械性能方面, 当 TRA 用量为 0.8 份时, 共混胶表现出最佳的拉伸强度 (16.6 MPa) 与拉断伸长率 (315%); 继续增加 TRA 用量, 材料的 100% 定伸应力从 3.7 MPa 持续上升至 4.3 MPa, 硬度从 66° 提升至 69°, 但拉断伸长率下降至 262%。

(3) 交联密度测试表明, TRA 用量的增加显著提高了 BR 相的交联密度, 其增幅远高于 CR 相; 动态力学性能测试显示, 共混胶的损耗因子 $\tan\delta$ 从 0.12 降至 0.07, 表明动态生热性能得到改善。

(4) 经 100 °C × 48 h 热氧老化后, 所有共混胶均呈现硬度上升、定伸应力提高、拉断伸长率下降的趋势; 其中 BR 相的交联密度变化率显著高于 CR 相。

参考文献:

- [1] 秦锴, 王一函, 艾永安. 氯丁橡胶配方设计和应用的研究进展[J]. 橡胶科技, 2024, 22 (09):485-491.
- [2] 陈海华, 翟月勤, 赵慧晖, 等. 不同硫化体系对氯丁橡胶性能的影响[J]. 合成材料老化与应用, 2022, 51(04):33-35.
- [3] FARZAD A N A, Murat S. Effects of accelerator type on stress relaxation behavior and network structure of aged natural rubber/chloroprene rubber vulcanizates[J]. Journal of Elastomers & Plastics, vol.49, 2017:81-396
- [4] Gao T M, Huang M F, Li P W. Effect of Accelerator Type on Dynamic Properties of Natural Rubber Vulcanizates[J]. Computational Materials Science, vol.231, 2024:112-592.
- [5] 崔光弼, 陈洁, 王玉瑛. 国内顺丁橡胶生产及市场分析预测与技术进展[J]. 化学工业, 2023, 41(03):86-93.
- [6] 高宏. 氯丁橡胶/顺丁橡胶共混物结构及性能研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [7] 王慧, 王浩翔, 孙学红, 等. 高性能氯丁橡胶基动态密封材料的生胶和补强体系优化[J]. 弹性体, 2024,34(01):69-74.
- [8] Boonkerd K, Liphirat W. Investigation of crosslink structure of natural rubber during vulcanization using X-ray absorption near edge spectroscopy[J]. Journal of Metals, Materials and Minerals, vol.52, 2020:224-249.
- [9] 杨清芝. 实用橡胶工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018:60.
- [10] MARK J E, ERMAN B, EIRICH F R. Science and Technology of Rubber [M]. Amsterdam:Elsevier Academic Press, 2013:400-402.
- [11] 杨清芝. 现代橡胶工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005,113-114.
- [12] Bouyge F, Jasiuk I, Ostoja-Starzewski M. A micromechanically based couple-stress model of an elastic two-phase composite[J]. International Journal of Solids and Structures, 2001,38(10-13):1 721-1 735.

The influence of TRA dosage on the crosslinking network state and mechanical properties of CR/BR blends

Li Liang¹, Li Zhicheng², Deng Tao²

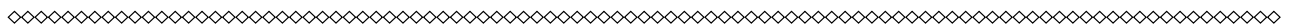
(1. Penglai Lingge Rubber & Plastic Products Co. LTD., Penglai 265608, Shandong, China;
2. Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, Shandong, China)

Abstract: This study systematically investigated the influence of the amount of thiuram tetrasulfide (TRA) on the crosslinking network state and properties of chloroprene rubber/cis-polybutadiene rubber (CR/BR) blends. The results showed that as the TRA content increased from 0.6 parts to 1.4 parts, the vulcanization rate of the blend significantly increased, and the process positive vulcanization time t_{90} was shortened; the crosslinking density of both phases increased, but the change rate of the crosslinking density in the BR phase reached 125%, significantly higher than that in the CR phase (15%); the modulus of the blend increased while the elongation at break decreased, and the tensile strength showed a trend of first increasing and then decreasing. When the TRA content was 0.8 parts, the tensile strength of the blend reached 16.6 MPa, and the

elongation at break was 315%; dynamic mechanical property analysis indicated that the loss factor ($\tan\delta$) of the blend decreased from 0.12 to 0.07, and dynamic heat build-up was reduced; after thermo-oxidative aging at 100 °C for 48 hours, the hardness and modulus at a fixed extension of the blend increased, while the elongation at break significantly decreased, with the change rate of the crosslinking density in the BR phase significantly higher than that in the CR phase.

Key words: CR/BR; dynamic mechanical properties; physical and mechanical properties; crosslinking density; resistance to thermal-oxidative aging

(R-03)



TÜV 莱茵与赛轮集团签订战略合作协议 助其推进全球化战略

TÜV Rheinland and Sailun Group signed a strategic cooperation agreement to assist in advancing its globalization strategy

3月31日,国际独立第三方检测、检验和认证机构德国莱茵 TÜV 大中华区(简称“TÜV 莱茵”)与赛轮集团股份有限公司(简称“赛轮集团”)在青岛举行战略合作签约仪式。双方将在检测、检验、认证和法规调研领域开展全面、深度的合作,助力赛轮集团提高生产效率,提升产品质量,推进全球化战略。

赛轮集团副总裁、生产中心总经理及质量中心总经理徐国峰、质量中心首席质量官延凯、质量中心副总经理刘进威,TÜV 莱茵交通服务工程及型式认证全球高级副总裁 Thomas Quernheim、大中华区高级副总裁黄余欣、青岛公司执行董事王会波等双方代表出席了签约仪式。

根据协议,TÜV 莱茵与赛轮集团将加深在轮胎 E-Mark 认证及全球市场准入、研发测试、材料化学检测、TÜV 莱茵测试标识等领域的合作;同时为赛轮集团提供管理体系认证、质量与研发工具培训、智能制造及精益生产咨询、低碳与可持续发展等全方位服务,助力赛轮集团提升轮胎产品的国际竞争力,高效开拓海外市场。

徐国峰在交流中谈到,赛轮集团与 TÜV 莱茵已携手走过 20 余年的合作历程,感谢 TÜV 莱茵长期以来在轮胎测试认证、法规培训等领域提供的专业、高效、严谨的技术服务。双方都重视安全与质量,在价值取向上高度一致。赛轮集团在全球布局技术研发中心与生产工厂,这与 TÜV 莱茵的国际网络高度契合,期待双方在全球范围内展开深度合作。

Thomas Quernheim 表示:“感谢赛轮集团 20 多年来对 TÜV 莱茵的信任和支持。我们注意到赛轮集团在激烈市场竞争中取得的快速发展,以及对高技术、高性能产品的追求。此次战略合作协议的签署,标志着双方的合作迈入新阶段。TÜV 莱茵将一如既往地持续为赛轮集团提供更多价值服务,助力其成为世界一流的轮胎企业。”

TÜV 莱茵与赛轮集团自 2005 年开启合作,服务涵盖轮胎 E-Mark 认证、轮胎测试、TÜV 莱茵测试标识、破核查等方面。TÜV 莱茵曾为赛轮集团旗下液体黄金轮胎提供实车道路油耗测试,验证该产品在节油性上的优势。未来,双方还将围绕人工智能(AI)、智能制造等领域开展交流合作,探索 AI 技术在生产环节的应用,助力赛轮集团实现数字化、智能化转型。

TÜV 莱茵车辆检测认证服务始于 1904 年,致力于为车企提供整体解决方案,涵盖研发阶段的目标市场法规调研、整车与零部件测试、道路适应性的测试、市场准入认证、功能安全和网络安全,以及生产阶段的质量管理、售后阶段的服务质量提升等服务。目前,TÜV 莱茵在欧洲市场已获得多个国家交通部的授权,包含德国 KBA、荷兰 RDW、瑞典 STA、匈牙利 EKM、卢森堡 SNCH、爱尔兰 NSAI、拉脱维亚 CSDD、英国 VCA 等,借助完善的全球服务网络和丰富的技术资源,帮助中国车辆制造企业成功实现通行全球的目标。

摘编自“美通社”

(R-03)