

CM 并用量对 ACM/CM 硫化胶力学性能的影响

刘长顺, 代欣, 郝良赐, 邓涛*

(青岛科技大学 高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042)

摘要:本文研究了 CM 并用量对 ACM/CM 硫化胶硫化特性、物理机械性能、耐磨性的影响, 结果表明, 随着 CM 并用量的增加, ACM/CM 硫化胶 M_H 、 M_H-M_L 逐渐增加, 硫化速度明显下降; 老化前 ACM/CM 硫化胶的拉伸强度、扯断伸长率、撕裂强度均随着 CM 并用量的增加先上升后下降, 当 CM 并用量为 40 份时, ACM/CM 硫化胶老化前后力学性能最优, 同时耐磨性最好。

关键词: CM 并用量; 硫化特性; 物理机械性能; 耐磨性

引用论文: 刘长顺, 代欣, 郝良赐, 等. CM 并用量对 ACM/CM 硫化胶力学性能的影响 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(8):47-50.

中图分类号: TQ330.46

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)08-0047-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.08.010

丙烯酸酯橡胶 (ACM) 以丙烯酸酯类为主单体经共聚而得到的弹性体, 其主链为饱和碳链, 其侧基为极性较强的酯基, 因此 ACM 的耐热、耐油和耐热氧老化性能十分优异, 被广泛用于耐热油制品中, 但其中也存在着机械强度较低、弹性差、耐低温性差、加工性差等缺点^[1-2], 这严重限制了其应用领域, 在特定特殊环境下仍达不到使用要求; CM 相对 ACM 是一种新型的特种橡胶, CM 分子主链饱和^[3], 与 ACM 主链相同, 具有一定相容性, 此外 CM 拉伸性能、弹性、耐低温性、加工性等均优于 ACM, 但 CM 的耐热性和耐油性略逊一筹, 少量 CM 的加入可改善 ACM 的力学性能^[4], 在降低成本的同时还不会大幅度的影响硫化胶的主要性能, 因此, 本文通过调整 CM 并用量, 来考察 ACM/CM 硫化胶力学性能的变化, 找出 CM 最佳并用量, 提高 ACM 的综合性能, 这对扩展 ACM 应用领域、提高其应用价值来说具有重要的意义。

1 实验部分

1.1 原材料

ACM-101X, 九江杜威橡胶科技有限公司; CM 135B, 潍坊亚星化学股份有限公司; 其他助剂均为橡胶行业常售原材料。

1.2 实验仪器及设备

实验用仪器和设备如表 1 所示。

表 1 实验仪器与设备

仪器名称	型号	生产厂商
开炼机	X(S)K-160	上海双翼橡塑机械有限公司
密炼机	XSM-1/20-80	上海科创橡塑机械设备有限公司
平板硫化机	LCM-3C2-G03-LM	深圳佳鑫电子设备科技有限公司
无转子硫化仪	GT-M2000-A	台湾高铁有限公司
电子拉力机	I-7000S	台湾高铁有限公司
硬度计	邵尔氏 LX-A 型	上海险峰电影机械厂
DIN 磨耗机	GM-1	扬州市天发试验机械有限公司

1.3 实验配方

CM 并用比对 ACM/CM 硫化胶的力学行为影响的配方如表 2 所示。

表 2 ACM/CM 并用配方					份
序号	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
ACM101x	100	90	80	70	60
CM135B	0	10	20	30	40

配方其他组分均相同 (单位: 份): 炭黑 N330 20, 白炭黑 15, TCY 2, BZ 2, CaCO₃ 10, MgO 5。
合计 (单位: 份): 184。

1.4 试样制备

按照实验配方在密炼机中制备 ACM 母炼胶与

作者简介: 刘长顺 (1999-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事橡胶共混与改性方面的研究。

CM 母炼胶, 其中: 密炼机温度 65 °C, 转子转速 30 r/min, 15 min 左右排胶; 随后在开炼机上制备不同生胶比例的 ACM/CM 共混胶, 并加入硫化体系, 打三角包 6 次、打卷 6 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 165 °C × t_{90} × 10 MPa。

1.5 分析与测试

(1) 硫化特性测试: 硫化特性按 GB/T 16584—1996 测试, 测试条件 165 °C × 30 min, 转动角度均为 ±1°

(2) 拉伸性能测试: 按 GB/T 528—2008 标准测试, 拉伸速度为 500 mm/min, 测试温度为室温。

(3) 邵尔 A 硬度测试: 按 GB/T 531.1—2008 标准测试, 用硬度计进行测试, 测试温度为室温。

(4) 扯断永久变形: 按 GB/T 528—2009, 试样在拉断后停放 3 min, 测量两标记点之间的距离, 记为 L_1 , 扯断永久变形使用 (1) 进行计算;

$$H=(L_1-L_0)/L_0 \times 100\% \quad (1)$$

其中, L_0 为试样初始标距 (mm)

(5) 撕裂强度测试: 按 GB529 标准测试, 测试温度为室温。

(6) 耐磨性测试: 按 GB/T 9867—2008 测试, 负荷 10 N。

(7) 老化测试: 热空气老化按 GB/T 3512—2001, 老化条件 100 °C × 72 h; 热油老化: 按 GB/T 1690—92 将橡胶试样置于 46[#] 液压油罐中, 并按照 GB/T 3512—2001, 将油罐置于老化箱中, 老化条件为 100 °C × 72 h。

(8) 交联密度测定: 以甲基丙烯酸甲酯为溶剂, 依据文献^[5]中的平衡溶胀法测得硫化胶 V_r (橡胶中凝胶的体积分数), 使用 V_r 来表征橡胶的交联密度, V_r 与橡胶交联密度呈正相关关系。

2 结果与讨论

2.1 硫化特性

不同 CM 并用量对 ACM/CM 共混胶硫化特性的影响如表 3 所示。

序号	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
$M_H/(dN \cdot m)$	16.30	20.20	20.61	21.42	22.03
$M_L/(dN \cdot m)$	3.31	3.45	3.75	3.83	3.97
$M_H-M_L/(dN \cdot m)$	12.99	16.75	16.86	17.59	18.06
t_{10}/min	0.23	0.31	0.35	0.38	0.45
t_{90}/min	4.08	19.00	21.23	22.28	23.24

根据表 3 的数据可得, CM 的并用明显降低了 ACM/CM 的硫化速度, 使得共混胶的 t_{90} 明显增加, t_{10} 也有所提高, 共混胶的加工安全性得到了改善; 在硫化剂用量一定的条件下, 随着 CM 并用量的增加, 共混胶的 M_H 、 M_L 、 M_H-M_L 均不断增加。

2.2 表观交联密度

通过平衡溶胀法, 得到不同 CM 并用量下 ACM/CM 硫化胶的老化前后表观交联密度 V_r 如表 4 所示。

表 4 不同 CM 并用量下 ACM/HNBR 硫化胶老化前后 V_r

序号	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
老化前 $V_r/\%$	20.84	23.66	25.74	27.96	29.37
老化后 $V_r/\%$	22.07	24.12	26.07	27.82	29.61

实验采用 V_r 来表征 ACM/CM 硫化胶的交联密度, V_r 越大表明硫化胶的交联程度越大。由表 4 可得, 老化后硫化胶的 V_r 与老化前相比均增大, 这是因为硫化胶在老化过程中进一步交联, 使得 ACM/CM 硫化胶的交联网络密度增大。

2.3 物理机械性能

2.3.1 CM 并用量对 ACM/CM 硫化胶热空气老化前后物理机械性能的影响

不同 CM 并用量对 ACM/CM 硫化胶老化前后物理机械性能的影响实验结果如表 5 所示。

表 5 不同 CM 并用量下 ACM/CM 硫化胶热空气老化前后物理机械性能

配方编号		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
硬度 /Shore A	老化前	86	87	90	90	92
	老化后	90	92	92	93	92
拉伸强度 /MPa	老化前	14.5	13.1	13.8	14.8	17.2
	老化后	14.3	15.4	16.3	15.7	17.2
拉断伸长率 /%	老化前	235	187	188	199	215
	老化后	106	163	165	115	142
50% 定伸应力 /MPa	老化前	5.0	4.2	4.1	5.1	5.0
	老化后	7.5	5.8	5.9	7.4	6.9
100% 定伸应力 /MPa	老化前	8.5	7.8	7.7	9.6	8.9
	老化后	13.8	10.8	11.5	13.9	13.2
200% 定伸应力 /MPa	老化前	13.4	12.8	—	—	16.4
	老化后	—	—	—	—	—
拉断永久变形 /%	老化前	15.0	10.0	7.5	10.0	10.0
	老化后	5.0	7.5	7.5	5.0	6.0
撕裂强度 /(kN·m ⁻¹)	老化前	27.0	26.8	25.3	27.3	29.1
	老化后	22.7	25.1	25.6	23.1	27.4

由表 5 可得, 随着 CM 并用量的增加, 老化前 ACM/CM 硫化胶的扯断强度、扯断伸长率、50% 定伸应力、撕裂强度、扯断永久变形均先下降后上升, 当 CM 并用量为 40 份时, ACM/CM 硫化胶的力学性能最好, 这是因为, 少量 CM 的加入无法与 ACM 相形成相互均匀的交联网络, 反而破坏了 ACM 相交联网络。

络的均匀性,引入了应力集中点,使得共混胶力学性能的下降,但随着CM并用量的增加,共混胶中CM相交联网络逐渐完善,与ACM相交联网络的匹配程度逐渐增加,当共混胶受力时两相交联网络可同时响应,进而提高了共混胶的物理机械性能。

表6 不同CM并用量下ACM/CM硫化胶热空气老化前后拉伸性能变化率

性能	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
拉伸强度变化率/%	-1.4	17.6	18.1	6.1	0.0
扯断伸长率变化率/%	-54.9	-12.8	-12.2	-42.2	-34.0

老化后与老化前相比,ACM/CM硫化胶硬度、拉伸强度、各级定伸均明显增大,扯断伸长率、扯断永久变形有所下降,结合表5分析,这是因为硫化胶在老化过程中发生了进一步交联,交联密度进一步增加所致,使得硫化胶变硬发脆,结合表6,当CM并用量为20份时,ACM/CM硫化胶的耐热空气老化性最好。

2.3.2 CM并用量对ACM/CM硫化胶热油老化后拉伸性能的影响

为进一步研究CM并用量对ACM/CM硫化胶耐热油老化性能的影响,对共混胶进行热油老化后拉伸性能及耐热油体积变化率的测定,实验结果如表7所示。

表7 不同CM并用量下ACM/CM硫化胶热油老化后性能变化率

性能	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
拉伸强度/MPa	13.7	14.1	14.1	14.2	16.1
扯断伸长率/%	169	137	172	139	191
拉伸强度变化率/%	-5.5	7.1	2.2	-4.1	-6.4
扯断伸长率变化率/%	-28.1	-26.7	-8.5	-30.2	-11.2
耐油体积变化率/%	0.52	1.82	2.13	1.67	0.35

结合表5与表7可得,与老化前相比,热油老化后ACM/CM硫化胶拉伸强度增加,扯断伸长率下降,这是由于高温使得共混胶法身了进一步交联所致;进一步分析,当CM并用量为20份时,共混胶热油老化前后拉伸性能变化率最小,但当CM并用量为40份时力学性能最优,这是因为CM并用量为40份时,共混胶中CM相交联网络完善程度高ACM相交联网络具有一定的匹配性,油不易进入,共混胶中小分子也不易析出,因此耐油体积变化率变化最小。

2.4 DIN磨耗

由图1可得,随着CM并用量的增加,ACM/CM硫化胶的磨耗体积先增大后减小,当CM用量为40份

时,共混胶的耐磨性最好。

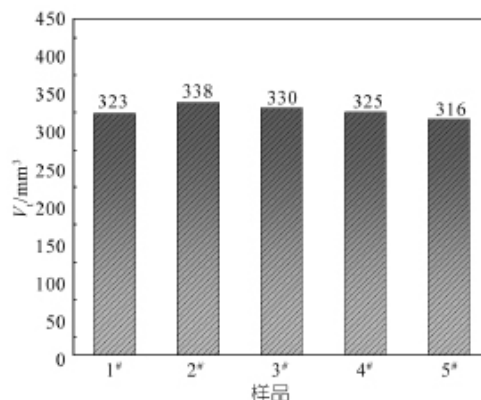


图1 不同CM并用量下ACM/HNBR硫化胶磨耗体积

3 结论

(1) 随着CM并用量的增加,共混胶的 M_H 、 M_L 、 M_H-M_L 逐渐增加,共混胶硫化速度明显下降,明显改善共混胶的加工安全性。

(2) 随着CM并用量的增加,ACM/CM硫化胶老化前拉伸强度、扯断伸长率、撕裂强度先上升后下降,当CM并用量为40份时,共混胶综合性能最好;经热空气老化后,ACM/CM硫化胶拉伸强度增加,扯断伸长率下降,当CM并用量为20份时耐热空气老化性最好,但并用量为40份时拉伸性能最优;经热油老化后,当CM并用量为20份时老化前后拉伸性能变化率最小,但并用量为40份时拉伸性能最优,且此时共混胶耐油体积变化率最小。

(3) 当CM并用量为40份时,ACM/CM硫化胶的耐磨性最好。

参考文献:

- [1] Abdel-Hakim,Ahmed,et al.Novel modification of styrene butadiene rubber/acrylic rubber blends to improve mechanical, dynamic mechanical, and swelling behavior for oil sealing applications.Polymers and Polymer Composites, 2021,(29):S959-S968.
- [2] 谢长雄.丙烯酸酯橡胶的性能和应用[J].合成材料老化与应用, 2000(03):28-30
- [3] Dziemidkiewicz A,Pingot M,Maciejewska M.Metal complexes as new pro-ecological crosslinking agents for chloroprene rubber based on Heck coupling reaction[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2019,92(03):589-597.
- [4] 刘吉超,王玲玲,邓涛.硫化剂TCY用量对CM/ACM共混硫化胶性能影响研究[J].橡塑技术与装备, 2016(6):71-74.
- [5] 易杰.NBR/EVM共混胶老化行为与性能及预测研究[D].青岛:青岛科技大学, 2017:41-42.

The influence of CM compounding amount on the mechanical properties of ACM/CM vulcanizate

Liu Changshun, Dai Xin, Hao Liangci, Deng Tao*

(Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, Shandong, China)

Abstract: This paper investigates the impact of CM blended amount on the vulcanization characteristics, physical and mechanical properties, and wear resistance of ACM/CM vulcanizates. The results indicate that as the CM blended amount increases, the Mooney viscosity (M_H) and Mooney viscosity-at-300% (M_H-M_L) of ACM/CM vulcanizates gradually increase, while the vulcanization rate significantly decreases. Before aging, the tensile strength, elongation at break, and tear strength of ACM/CM vulcanizates initially increase and then decrease with the increase in CM blended amount. When the CM blended amount is 40 parts, the mechanical properties of ACM/CM vulcanizates before and after aging are optimal, and the wear resistance is also the best.

Key words: CM blended amount; vulcanization characteristics; physical and mechanical properties; wear resistance

(R-03)

软控智能制造系统解决方案通过工信部高标准验收

MESNAC's intelligent manufacturing system solution has passed the high-standard inspection conducted by the Ministry of Industry and Information Technology

2026年6月25日,工业和信息化部办公厅、市场监管总局办公厅联合公布了2023年度智能制造系统解决方案“揭榜挂帅”项目验收结果。软控股份有限公司承担的“基于机器视觉和小样本异常数据的质量精益管控”项目,顺利通过官方验收评审。

智能制造系统解决方案“揭榜挂帅”是工信部为贯彻落实《“十四五”智能制造发展规划》、系统推进制造业数字化转型智能化升级而部署的重要专项,旨在聚焦智能工厂建设堵点痛点,发掘培育一批掌握核心技术、深耕细分行业、具有工业基因的专业化解决方案供应商。

软控本次通过验收的“基于机器视觉和小样本异常数据的质量精益管控”项目,创新融合了机器视觉智能检测技术与小样本异常数据智能分析,依托自研行业核心算法,构建了覆盖轮胎生产全流程的多层次智能在线检测体系,推动橡胶轮胎行业从“事后检测”向“过程智能管控”转变。

此次国家级“揭榜挂帅”项目顺利通过工信部验收,不仅是对软控技术研发实力、项目落地能力、产业服务水平的高度肯定,更是公司深耕智能制造、突破核心关键技术的重要里程碑。未来,软控将以此为契机,持续聚焦国家智能制造发展战略,坚持创新驱动,深耕核心技术,不断输出更优质、更智能、更高效的制造业数字化转型解决方案,助力我国橡胶轮胎行业高端化、智能化、绿色化发展。

摘编自“软控股份”

(R-03)

