

引用格式:王一民,王美豪,赵秀英,等. 苯基硅橡胶复合材料的制备与性能研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2020,47(2):51–57.

WANG YiMin, WANG MeiHao, ZHAO XiuYing, et al. Preparation and properties of phenyl silicone rubber composites[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2020,47(2):51–57.

苯基硅橡胶复合材料的制备与性能研究

王一民 王美豪 赵秀英* 卢咏来 张立群

(北京化工大学 北京市新型高分子材料制备与加工重点实验室, 北京 100029)

摘 要:通过阴离子开环聚合的方法合成了二苯基硅橡胶(DPVMQ)与单苯基硅橡胶(MPVMQ),并研究了苯基链节的种类与含量对硅橡胶复合材料性能的影响。结果表明:随着硅橡胶分子主链上苯基链节含量的增加,DPVMQ 与 MPVMQ 在硫化过程中的扭矩差均有不同程度的减小,两者的拉伸强度均呈先增大后减小的趋势,但 DPVMQ 展现了更好的拉伸性能;随着苯基链节含量的增加,DPVMQ 与 MPVMQ 的损耗峰向高温方向移动,其中 DPVMQ 的损耗峰有效温域更宽,损耗峰对应的温度也更高;DPVMQ 与 MPVMQ 在辐照后的拉伸强度保持率随苯基链节含量升高都大致呈上升的趋势,含有 25% 摩尔分数苯基链节的 DPVMQ 在辐照后的拉伸强度保持率达到 88.9%。

关键词:苯基硅橡胶;单苯基;二苯基;阴离子开环聚合;阻尼性能;耐辐照性能

中图分类号:TQ333.93 **DOI:**10.13543/j.bhxbzr.2020.02.008

引 言

在当今社会和工业的快速发展下,橡胶材料被广泛应用于各个领域,但其在某些极端条件下表现的性能却并不完美,如航空航天领域^[1–2]。太空环境是一个高真空、高温和低温、强辐照和充满等离子体的复杂环境,这样的条件对材料的性能提出了更高的要求^[3–4]。在太空环境中使用的聚合物将不可避免地经历老化和降解,这会导致材料物理和化学性质的变化^[5]。因此,航空航天领域使用的硅橡胶阻尼材料不仅要具有优异的阻尼性能,而且要具有强的耐高温、耐低温和耐辐照性能。

硅橡胶以硅氧键为主链,侧基通常被甲基、乙烯基、苯基、乙基等基团取代,这使得不同侧基的硅橡胶具有不同的性能优势^[6–10]。苯基硅橡胶属于半无机半有机结构,兼具无机聚合物的耐热性和有机聚合物的柔韧性^[9,11]。通常,硅橡胶中苯基摩尔分数小于 10% 时为低苯基硅橡胶,其具有优异的耐寒性,在 $-100 \sim -80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 依然保持弹性;苯基含量

10%~20% 为中等苯基含量的硅橡胶,具有良好的阻燃性^[12–14];苯基含量高于 20% 时为高苯基硅橡胶,具有强的耐辐照性和耐烧蚀性等特殊性^[15–19]。苯基为刚性大分子结构,有着较大的空间位阻,在开环聚合过程中会产生较大的滞后性从而影响聚合的程度,导致分子量和聚合度变低^[20]。另外,在生产过程中,使用较大容量的反应釜合成硅橡胶会进一步加大聚合的难度。

国内外学者对耐辐照材料做了大量研究,发现在经受同样剂量的辐照后,聚二甲基硅氧烷(PDMS)的交联密度显著增加,聚甲基三氟丙基硅氧烷则在辐射交联的同时伴随有辐射裂解,而含二苯基链节的聚硅氧烷辐照后交联密度和动力学性能的变化很小,说明二苯基链节有效地降低了聚合物主链辐射效应^[21]。有文献研究了聚二甲基二苯基硅氧烷(PDMDPS)及 PDMS 与 PDMDPS 混合物的辐射效应,发现含有相同数量苯基的共聚物和混合物在经受辐射后的辐射效应几乎相同,苯基显著地降低了交联效率,并且材料的耐辐照性能随着苯基浓度的增大而成指数增加^[22]。在硅橡胶体系中,苯基的引入可以增强体系的耐辐照性能,但苯基在硅橡胶中分子链上的空间位置与分布也对其性能有着一定的影响。本文通过阴离子聚合的方法,使用碱性催化剂并给予体系更久的反应时间合成了高分子

收稿日期:2019-11-25

第一作者:男,1993 年生,硕士生

* 通信联系人

E-mail: zhaoxy@mail.buct.edu.cn

量、窄分子量分布的两种含不同苯基链节的硅橡胶(二苯基硅橡胶 DPVMQ 与单苯基硅橡胶 MPVMQ),并对其力学性能、阻尼性能以及耐辐照性能进行了评估。DPVMQ 与 MPVMQ 的区别在于 MPVMQ 中的含苯基链节一侧为苯基一侧为甲基,具有一定的不对称性,而 DPVMQ 中的含苯基链节两侧为对称的苯基基团。两种苯基硅橡胶虽然由完全相同的元素和基团组成,但是由于其结构的不同导致它们的性能也会有一定的差异。

1 实验部分

1.1 实验原料

八甲基环四硅氧烷(D_4 , $C_8H_{24}O_4Si_4$),纯度 98%,美国道康宁公司;四甲基四乙烯基环四硅氧烷(V_4 , $C_{12}H_{24}O_4Si_4$),纯度 98%,安耐吉化学;八苯基环四硅氧烷(P_4 , $C_{48}H_{40}O_4Si_4$),纯度 98%,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;四甲基四苯基环四硅氧烷(P'_4 , $C_{28}H_{32}O_4Si_4$),纯度 99.85%,格瑞化学工业有限公司;四甲基氢氧化铵(TMAOH, $C_4H_{13}NO$),25%水溶液,北京伊诺凯科技有限公司;氢氧化钾,纯度 99%,上海迈瑞尔化学技术有限公司;十甲基四硅氧烷($(CH_3)_3SiO[Si(CH_3)_2O]_2Si(CH_3)_3$),纯度 97%,百灵威科技有限公司;甲基乙烯基硅橡胶 VMQ(110-2),数均分子量约为 30×10^4 g/mol,分子

量分布指数小于 2.00,上海树脂厂。

1.2 设备与仪器

SK-160 开炼机, XQLB-350 平板硫化机,上海橡胶机械厂; YF-8105 橡胶硫化仪,扬州市源峰试验机械厂; CMT4104 电子万能试验机,深圳新三四材料检测公司; DDV-11-EA 动态热机械分析仪(DMA),美国科学流变公司; 515HPLC 凝胶渗透色谱分析仪,美国沃特斯公司。

1.3 DPVMQ 与 MPVMQ 的合成

本文合成了不同摩尔分数苯基链节的二苯基与单苯基硅橡胶,合成路线如图 1 所示。

在装有通氮管、机械搅拌桨、冷凝管和温度计的三口烧瓶中加入不同剂量的 D_4 和 V_4 。控制机械搅拌速率为 200 r/min,升温至 47°C ,开启真空泵控制体系真空度为 -0.09 MPa 左右,真空状态下除水 1 h。随后关闭真空泵,使反应体系恢复常压状态。将碱性催化剂、封端剂和 P_4/P'_4 依次加入三口烧瓶中,再次控制体系真空度为 -0.09 MPa 左右,除水 1 h。除水完毕,通入氮气使体系恢复常压,控制至合适的搅拌速率及氮气鼓泡速率,在氮气保护下在 110°C 聚合 2 h。随后升温破坏催化剂活性,生成三甲胺和甲醇,最后将三甲胺、甲醇和一些未反应的单体在 170°C 下抽真空除去。最终通入氮气保护,冷却至室温后取出。

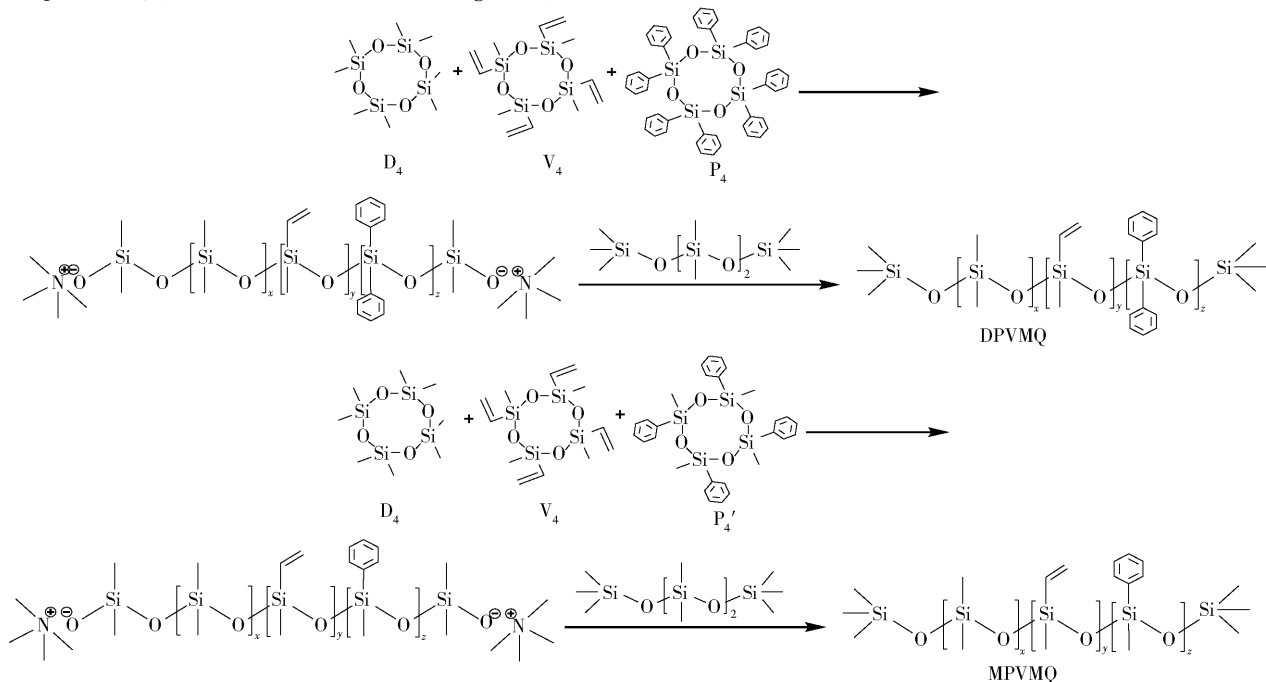


图 1 DPVMQ 与 MPVMQ 的合成路线

Fig. 1 Synthesis route of DPVMQ and MPVMQ

1.4 苯基硅橡胶/白炭黑复合材料的制备

将不同苯基链节含量的单苯基与二苯基硅橡胶生胶放于开炼机上,待其包辊后加入结构化控制剂和疏水型气相法白炭黑,最后加入硫化剂。将混炼胶置于室温下存放 24 h 后,使用 25 t 平板硫化机在 180 ℃ 下硫化成型,二段硫化条件为 190 ℃,反应 4 h。

1.5 测试与表征

凝胶渗透色谱(GPC)分析 使用 515HPLC 型凝胶渗透色谱分析仪对合成产物的分子量(数均分子量 M_n 和重均分子量 M_w)和分子量分布指数(PDI)进行分析,测试环境为四氢呋喃相,待测产物需保证提前完全溶解在四氢呋喃中。

硫化特性表征 采用 YF-8105 型橡胶硫化仪表征橡胶的硫化特性,将混炼胶停放一定时间后称取 6 g,硫化温度选择为 180 ℃。在 180 ℃ 下经过 40 min 得到其硫化特性曲线。

力学性能测试 根据 GB/T 528—1998,使用 CMT4104 型电子万能试验机对制备的不同苯基含量以及不同配方的 MVPQ 硫化胶测试其力学性能。

动态力学性能分析 对硫化胶进行动态力学性能测试,测试条件为:拉伸模式,温度范围 -130 ~ 80 ℃,测试频率 10 Hz,升温速率 3 ℃/min,小应变设定为 0.1 %。

耐辐照性能测试 Co-60 γ 射线由山东省泉港辐射技术发展有限公司提供。样品在空气中所接受的总辐照剂量为 300 kGy。样品的耐辐照性能以辐照前后力学性能的变化为指标进行表征。

2 结果与讨论

2.1 不同苯基链节含量 DPVMQ 与 MPVMQ 的分子量及分子量分布

从表 1 不同苯基链节含量 DPVMQ 与 MPVMQ 的分子量测试结果可知,5% ~ 25% 苯基链节含量 DPVMQ 的数均分子量 M_n 在 $22 \times 10^4 \sim 28 \times 10^4$ g/mol 之间,MPVMQ 的数均分子量 M_n 在 $25 \times 10^4 \sim 35 \times 10^4$ g/mol 之间。由于苯基较大的空间位阻,随着含苯基链节的增多,DPVMQ 的分子量逐渐降低,MPVMQ 的分子量先保持不变后降低。MPVMQ 为单苯基链节,分子链上的苯基占有基团的含量比 DPVMQ 少得多,其位阻抑制聚合的程度也较小,PDI 变化程度也相应较小;DPVMQ 分子链两端均为苯基,聚合难度大于 MPVMQ,因此合成后的分子量低于 MPVMQ。两种苯基硅橡胶聚合过

程中均不可避免地存在重排反应,分子链上的苯基越多,重排反应越多,最终导致高苯基含量硅橡胶的 PDI 比低苯基含量的更大。

表 1 DPVMQ 与 MPVMQ 的分子量及分子量分布
Table 1 Molecular weight and PDI of DPVMQ and MPVMQ

不同苯基链节 含量的硅橡胶	M_n / ($10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	M_w / ($10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	M_z / ($10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	PDI
VMQ(110-2)	35.08	49.77	66.40	1.41
DPVMQ-5%	27.47	46.70	67.42	1.69
DPVMQ-10%	25.16	46.12	68.63	1.83
DPVMQ-15%	22.74	42.53	65.00	1.87
DPVMQ-20%	22.58	42.16	64.60	1.86
DPVMQ-25%	22.09	41.50	64.05	1.87
MPVMQ-5%	34.21	60.39	65.93	1.92
MPVMQ-10%	34.31	60.80	66.46	1.94
MPVMQ-15%	34.41	64.64	70.99	1.94
MPVMQ-20%	29.08	52.34	57.33	1.97
MPVMQ-25%	25.84	46.76	50.04	2.06

2.2 不同苯基链节含量 DPVMQ 与 MPVMQ 复合材料的硫化特性

硅橡胶的硫化过程会在很大程度上影响成型后材料的物理机械性能,所以详细了解硫化进程来设计过程参数对于控制产品的质量有着重大的意义。在 180 ℃ 下使用无转子硫化仪测试混炼胶的硫化特性,结果见表 2。

表 2 不同苯基链节含量 DPVMQ 与 MPVMQ 复合材料的硫化特性
Table 2 Vulcanization characteristics of DPVMQ and MPVMQ composites with different phenyl chain contents

硅橡胶 种类	苯基 链节含 量/%	最大扭 矩 M_H / ($\text{dN} \cdot \text{m}$)	最小扭 矩 M_L / ($\text{dN} \cdot \text{m}$)	扭矩差 ($M_H - M_L$)/ ($\text{dN} \cdot \text{m}$)	t_{10} / s	t_{90} / min
DPVMQ	5	22.4	4.5	17.9	29	25.8
	10	20.3	3.9	16.4	30	25.0
	15	22.9	4.6	18.3	31	25.0
	20	18.1	3.0	15.1	29	24.9
	25	14.9	2.7	12.3	30	20.8
MPVMQ	5	35.2	6.2	29.1	28	25.1
	10	36.4	6.3	30.2	29	24.3
	15	35.5	6.5	29.0	31	25.3
	20	34.4	5.9	28.5	30	25.2
	25	32.6	6.5	26.1	29	27.6

由表 2 可知,焦烧时间 t_{10} 在苯基链节含量为 5% ~ 25% 时均维持在 30 s 左右,工艺正硫化时间 t_{90} 一般为 25 min 左右;随着苯基含量的增加,扭矩差呈缓慢的下降趋势,反映出交联密度的缓慢降低。苯基链节含量的增大导致甲基乙烯基的浓度降低,且苯基不会与过氧化物产生的自由基反应,从而降低了交联密度。MPVMQ 中苯环的实际含量比 DPVMQ 中的要少,所以扭矩差要比 DPVMQ 的稍大一些。

2.3 DPVMQ 与 MPVMQ 复合材料的力学性能

DPVMQ 在聚合后除极少量的分子链含乙烯基链节外,其余分子链均为对称性结构,而 MPVMQ 中含苯基的链节两侧为不同基团,分子链为部分不对称结构,这就导致两种苯基硅橡胶的性能存在着较大的差异。表 3 中列出了不同苯基链节含量的 DPVMQ 与 MPVMQ 复合材料在常温下的力学性能。

表 3 不同苯基链节含量 DPVMQ 与 MPVMQ 复合材料的力学性能

Table 3 Mechanical properties of DPVMQ and MPVMQ composites with different phenyl chain contents						
硅橡胶	苯基链节含量/%	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	定伸应力 Se(100)/MPa	定伸应力 Se(300)/MPa	邵 A 硬度
VMQ(110-2)	0	9.8	691	0.71	1.86	53
	5	11.6	847	0.57	1.57	51
	10	10.9	837	0.52	1.53	50
DPVMQ	15	9.3	817	0.62	1.76	50
	20	7.9	829	0.45	1.17	48
	25	6.3	798	0.45	1.10	47
MPVMQ	5	8.1	392	1.47	5.68	51
	10	8.2	371	1.51	6.29	50
	15	9.2	503	1.76	5.33	49
	20	10.0	566	1.58	5.61	48
	25	9.5	502	1.79	6.21	46

引入少量苯基后,硅橡胶的力学性能在一定范围内有所提升,之后随着苯基链节含量的增加又呈下降趋势。苯基的引入导致分子链运动阻力增大、模量升高,对材料的拉伸性能有着增益的效果;但当苯基含量过高时会导致聚合物的分子量降低,分子链变短,形成的网络结构变小,加上苯基的引入降低了硅橡胶的交联密度,最终导致了力学性能的下降。

综合以上两种因素,苯基硅橡胶的力学性能随苯基链结含量的增加呈先升高后下降的趋势,存在一个力学性能的最优值,这个最优值是由分子链中苯基的含量决定。DPVMQ 的分子结构中苯基含量高于 MPVMQ,所以 DPVMQ 力学性能的最优值在较低的苯基链节含量处出现,MPVMQ 力学性能的最优值出现在苯基链节含量略高的位置。苯基硅橡胶复合材料的邵 A 硬度(保持在 50 左右)和定伸应力变化不明显,DPVMQ 的 100% 定伸应力保持在 0.45 ~ 0.62 MPa 之间,MPVMQ 的保持在 1.47 ~ 1.79 MPa 之间。随着苯基链节含量的升高,DPVMQ 复合材料拉伸强度从 11.6 MPa 降到 6.3 MPa,断裂伸长率从 847% 逐渐降低到 798%。两种苯基硅橡胶在力学性能上有着不同的表现,DPVMQ 在 5% 苯基链节含量、MPVMQ 在 20% 苯基链节含量时达到拉伸强度的最高点;但相比于 DPVMQ,MPVMQ 拉伸强度表现较差,这可能是由其分子链的不对称性和无序性导致的。

2.4 DPVMQ 与 MPVMQ 复合材料的动态力学性能

从图 2 中可以看出,随着苯基链节含量的增加,MPVMQ 与 DPVMQ 的阻尼峰对应的温度向高温方向移动。当硅橡胶分子链带有大体积和数量较多的侧基时,硅橡胶链段运动受阻程度增大,内耗增大。当硅橡胶上的甲基被苯基替代后,增加了硅橡胶的刚性与分子链间的相互作用力,所以当苯基链节含量从 5% 升至 25% 时,阻尼损耗峰向高温移动且有效阻尼温域也在拓宽。图 2(a) 中硅橡胶在引入二苯基后, $\tan\delta$ 有了相当大程度的提升,从 0.15 升至 0.85 左右;另外,DPVMQ 损耗峰温度普遍高于同苯基链节含量的 MPVMQ,且有效温域更广。

2.5 DPVMQ 与 MPVMQ 复合材料的耐辐照性能

将制备的不同苯基链节含量的 DPVMQ 与 MPVMQ 复合材料进行辐照实验,结果如图 3 所示。

图 3 展示了 DPVMQ 与 MPVMQ 复合材料在一次性承受 300 kGy 的辐照量后力学性能的变化情况。两种硅橡胶在辐照后的拉伸强度保持率大致随着苯基链节含量的升高持续提高,DPVMQ 从 47.8% 提高到 88.3%,在苯基链节含量为 20% 时辐照后拉伸强度仍可以保持在 6.7 MPa,可见二苯基链节的引入对其耐辐照性能有了很大幅度的提升;MPVMQ 的拉伸强度保持率随着单苯基链节含量的增加从 44.44% 持续缓慢提高到 54.74%,提高的幅

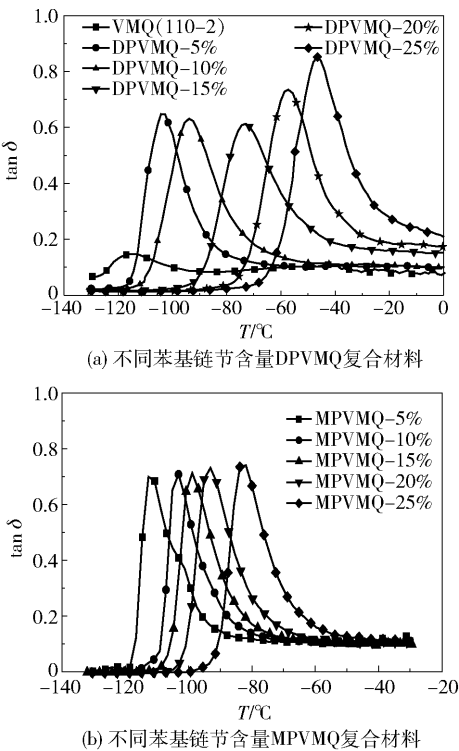


图 2 苯基硅橡胶复合材料的 $\tan \delta$ 变化曲线
Fig. 2 $\tan \delta$ curves of phenyl silicone rubber composites

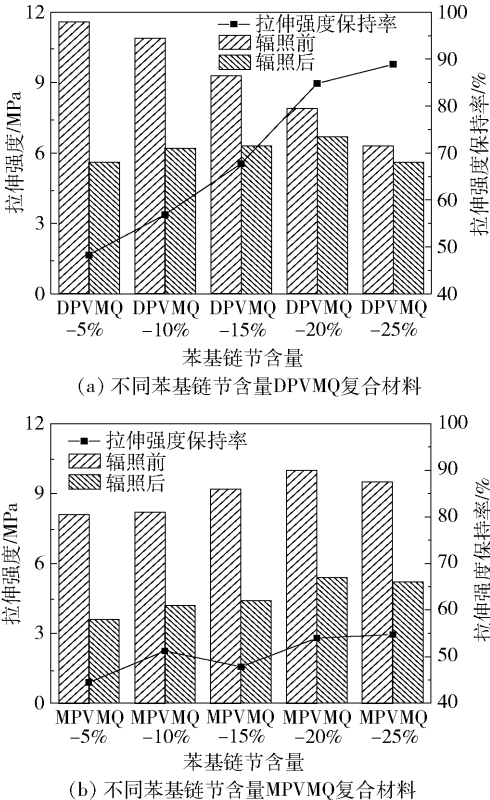


图 3 苯基硅橡胶在辐照前后的力学性能变化情况
Fig. 3 Change in mechanical properties of phenyl silicone rubber before and after irradiation

度明显小于 DPVMQ。苯环的辐射保护作用主要归因于其共轭结构中的大 π 键能分散所吸收的辐射能,使激发能在分子间或分子内进行转移,从而避免了键的断裂,因此有着更多苯基的 DPVMQ 的耐辐照性能更好。

3 结论

- (1)随着硅橡胶分子主链上苯基链节含量的增加,硫化过程中 DPVMQ 与 MPVMQ 的扭矩差减小,工艺正硫化时间 t_{90} 均维持在 25 min 左右。
- (2)随着硅橡胶分子主链上苯基链节含量的增加,DPVMQ 与 MPVMQ 拉伸强度呈先增加后减小的趋势;DPVMQ 在 5% 苯基链节含量、MPVMQ 在 20% 苯基链节含量达到拉伸强度的最高点;相比之下,DPVMQ 展现出更好的力学性能。
- (3)随着硅橡胶分子主链上苯基链节含量的增加,DPVMQ 与 MPVMQ 损耗峰向高温方向移动;DPVMQ 损耗峰对应的温度更高,有效温域更宽;两者的阻尼性能均好于 VMQ(110-2)。
- (4)随着硅橡胶分子主链上苯基链节含量的增加,DPVMQ 与 MPVMQ 复合材料辐照后的拉伸强度保持率都呈大致上升的趋势,大约在 20% 苯基链节含量时辐照后的拉伸强度达到最大值。

参考文献:

[1] SHI X Y, LI Q, FU G J, et al. The effects of a polyol on the damping properties of EVM/PLA blends[J]. Polymer Testing, 2014, 33: 1-6.

[2] XIA L C, LI C H, ZHANG X M, et al. Effect of chain length of polyisobutylene oligomers on the molecular motion modes of butyl rubber: damping property[J]. Polymer, 2018, 141: 70-78.

[3] CHEN J, DING N W, LI Z F, et al. Organic polymer materials in the space environment[J]. Progress in Aerospace Sciences, 2016, 83: 37-56.

[4] GOUZMAN I, GIRSHEVITZ O, GROSSMAN E, et al. Thin film oxide barrier layers: protection of Kapton from space environment by liquid phase deposition of titanium oxide[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2010, 2 (7): 1835-1843.

[5] HE Y J, SULIGA A, BRINKMEYER A, et al. Atomic oxygen degradation mechanisms of epoxy composites for space applications[J]. Polymer Degradation and Stability, 2019, 166: 108-120.

- [6] 许妃娟, 邱祖民. 国内外特种硅橡胶材料的研究进展[J]. 弹性体, 2009, 19(3): 60–64.
XU F J, QIU Z M. Research progress of special silicone rubber materials at home and abroad[J]. China Elastomers, 2009, 19(3): 60–64. (in Chinese)
- [7] GRUSHEVENKO E A, BORISOV I L, BAKHTIN D S, et al. Silicone rubbers with alkyl side groups for C_3+ hydrocarbon separation[J]. Reactive and Functional Polymers, 2019, 134: 156–165.
- [8] MENG Y, WEI Z, LIU L, et al. Significantly improving the thermal stability and dispersion morphology of polyhedral oligomeric silsesquioxane/polysiloxane composites by in-situ grafting reaction[J]. Polymer, 2013, 54(12): 3055–3064.
- [9] 程买增, 曾幸荣, 李伟明, 等. 阻燃性有机硅高分子材料的研究进展[J]. 有机硅材料, 2003, 17(6): 21–25, 46.
CHENG M Z, ZENG X R, LI W M, et al. Research progress of flame retardant silicone polymer materials[J]. Silicone Material, 2003, 17(6): 21–25, 46. (in Chinese)
- [10] 王雁冰, 黄志雄, 张联盟. 硅橡胶阻尼材料的研究进展[J]. 材料导报, 2004, 18(10): 50–53.
WANG Y B, HUANG Z X, ZHANG L M. Research on silicone rubber damping material[J]. Materials Reports, 2004, 18(10): 50–53. (in Chinese)
- [11] HE C, LI B Q, REN Y, et al. How the crosslinking agent influences the thermal stability of RTV phenyl silicone rubber[J]. Materials, 2019, 12(1): 88.
- [12] 唐振华, 谢志坚, 曲亮靓, 等. 苯基含量对甲基乙烯基苯基硅橡胶性能的影响[J]. 橡胶工业, 2007, 54(10): 610–612.
TANG Z H, XIE Z J, QU L L, et al. Effect of phenyl content on the properties of methyl vinyl phenyl silicone rubber[J]. China Rubber Industry, 2007, 54(10): 610–612. (in Chinese)
- [13] 苏正涛, 钱黄海, 米志安, 等. 苯基硅橡胶的动态性能研究[J]. 世界橡胶工业, 2005, 32(8): 3–4, 31.
SU Z T, QIAN H H, MI Z A, et al. Study on the dynamic properties of phenyl silicone rubber[J]. World Rubber Industry, 2005, 32(8): 3–4, 31. (in Chinese)
- [14] XU Y, GAO Q, LIANG H Q, et al. Effects of functional graphene oxide on the properties of phenyl silicone rubber composites[J]. Polymer Testing, 2016, 54: 168–175.
- [15] EDUOK U, FAYE O, SZPUNAR J. Recent developments and applications of protective silicone coatings: a review of PDMS functional materials[J]. Progress in Organic Coatings, 2017, 111: 124–163.
- [16] DIAO S, JIN K K, YANG Z Z, et al. The effect of phenyl modified fumed silica on radiation resistance of silicone rubber[J]. Materials Chemistry and Physics, 2011, 129(1/2): 202–208.
- [17] DI M W, HE S Y, LI R Q, et al. Resistance to proton radiation of nano-TiO₂ modified silicone rubber[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2006, 252(2): 212–218.
- [18] XUE Y, LI X F, WANG H S, et al. Improvement in thermal conductivity of through-plane aligned boron nitride/silicone rubber composites[J]. Materials & Design, 2019, 165: 107580.
- [19] CHEN W J, ZENG X R, LAI X J, et al. Effect and mechanism of ureido-modified MQ silicone resin and platinum on tracking and erosion resistance of silicone rubber[J]. Polymer Testing, 2018, 70: 162–169.
- [20] 孙全吉, 黄艳华, 吴娜, 等. 苯基硅橡胶性能的研究进展[J]. 有机硅材料, 2018, 32(1): 71–76.
SUN Q J, HUANG Y H, WU N, et al. Research progress in properties of phenyl silicone rubber[J]. Silicone Material, 2018, 32(1): 71–76. (in Chinese)
- [21] 冯圣玉, 卢海峰, 刁岫. 山东省耐辐照硅橡胶发展报告[C]//山东省材料发展报告(2010—2011). 济南: 山东省科学技术协会, 2012: 274–278.
FENG S Y, LU H F, DIAO Y. Shandong province development report of radiation resistant silicone rubber[C]//Shandong Material Development Report 2010—2011. Jinan: Shandong Association for Science and Technology, 2012: 274–278. (in Chinese)
- [22] 姜志钢. 耐辐照硅橡胶研究[D]. 济南: 山东大学, 2007.
JIANG Z G. Studies on the radiation resistant silicone rubber[D]. Jinan: Shandong University, 2007. (in Chinese)

Preparation and properties of phenyl silicone rubber composites

WANG YiMin WANG MeiHao ZHAO XiuYing* LU YongLai ZHANG LiQun

(Key Laboratory of Beijing City on Preparation and Processing of Novel Polymer Materials, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Diphenyl silicone rubber (DPVMQ) and monophenyl silicone rubber (MPVMQ) have been synthesized by an anionic ring-opening polymerization method using tetramethylammonium hydroxide as a catalyst. The effects of varying the type and content of phenyl substituents on the properties of the silicone rubber composites were investigated. The results show that the torque differences in the rubber compounds decrease with increasing phenyl content in the main chain of the silicone rubber, while, the tensile strength of both rubbers initially increases and then decreases. DPVMQ exhibited superior tensile properties to MPVMQ. With increasing phenyl content, the loss peaks of both DPVMQ and MPVMQ move towards higher temperature, but the effective damping temperature range of DPVMQ is wider and the temperature corresponding to the loss peak is higher. The tensile strength retention rate of DPVMQ and MPVMQ after irradiation increased with increasing phenyl content. After irradiation, the tensile strength retention rate of DPVMQ with a phenyl content of 25% was 88.9%.

Key words: phenyl silicone rubber; monophenyl; diphenyl; anionic ring opening polymerization; damping performance; irradiation resistance