

# 硅橡胶/EPDM 泡沫合金材料的结构与性能

赵 祺<sup>1</sup>, 雷卫华<sup>2</sup>, 古忠云<sup>2</sup>, 马玉珍<sup>2</sup>

(1. 北京理工大学 机电工程学院, 北京 100081; 2. 中国工程物理研究院 化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 分别采用电镜和激光共聚焦显微镜研究了硅橡胶/EPDM 泡沫合金的结构均匀性和泡孔结构, 并进行强伸性能、压缩性能和阻尼减震性能的研究。结果表明, 采用硅烷偶联剂后, 硅橡胶/EPDM 共混物的分散均匀性较好; 泡沫合金的密度小于  $0.55 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 泡孔均匀, 平均孔径小于  $80 \mu\text{m}$ , 且泡沫合金的拉伸强度、压缩性能和阻尼减震性能优于硅橡胶泡沫。

**关键词:** 硅橡胶; EPDM; 泡沫合金; 共混; 强伸性能; 压缩性能; 阻尼减震性能

**中图分类号:** T Q333. 4; T Q328. 9      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-890X(2001)05-0277-05

硅橡胶泡沫制品具有优异的耐高低温、低永久变形、耐气候、耐老化等独特的综合性能, 作为密封、减震、隔音和隔热部件, 在交通运输、石油、化工和航空航天等各个领域的应用日益广泛。但硅橡胶的力学性能较差, 不能满足高强度场合的要求。EPDM 具有多聚乙烯和多聚丙烯的主链, 饱和度高, 内聚能低, 分子链在较宽的温度范围内保持柔顺性, 具有较好的力学性能和工艺性能; 而且 EPDM 与硅橡胶溶解度参数接近, 均可采用白炭黑补强和过氧化物硫化, 具备与硅橡胶共混以及共硫化的有利条件。为此, 我们探索通过采用硅橡胶/EPDM 泡沫合金材料的方法, 提高硅橡胶的力学性能。目前, 硅橡胶/EPDM 合金材料的研究报道较多<sup>[1~3]</sup>, 但硅橡胶/EPDM 泡沫合金的研究却很少见。通过采用泡沫合金的方法改善硅橡胶泡沫的性能, 对拓宽硅橡胶泡沫制品的应用领域具有重要意义。

## 1 实验

### 1.1 原材料

甲基乙烯基硅橡胶, 牌号 110-2, 晨光化工研究院二分厂产品; EPDM, 牌号 4045, 门尼粘度  $ML(1+4)_{100}^{100} \text{ } ^\circ\text{C}$  为 42, 碘值为 26, 日本三

井株式会社产品; 气相法 2<sup>#</sup> 白炭黑, 沈阳化工厂产品; 过氧化二异丙苯(DCP), 江苏太仓县化工厂产品; 乙烯醋酸乙烯酯共聚物(EVA), 北京东方化工厂产品; 硅烷偶联剂, 牌号 KH-570, 南京建业化工研究所产品; 发泡剂 AC, 上海向阳化工厂产品; 其它均为橡胶工业常用配合剂。

### 1.2 基本配方

硅橡胶 70, EPDM 30, 白炭黑 50, 硫化剂 DCP 1~3, 发泡剂 AC 6~10, 发泡助剂 6~10, 相容剂 0.5~5.0。

### 1.3 试验设备与仪器

S(X)K-160B 炼胶机, 上海轻工机械技术研究所产品; YX-50 压力成型机, 上海伟力机械厂产品; YX-1 硬度计, 上海化工机械四厂产品; WD-50 型电子万能材料试验机, 长春材料试验机研究所产品; MRC-1000 型激光共聚焦显微镜, 美国奥林帕斯公司产品; DMA7e 热分析仪, 美国 Perkin-Elmer 公司产品; S-4500 型扫描电镜, 日本日立公司产品。

### 1.4 泡沫合金的制备

分别将硅橡胶、EPDM 与白炭黑、适量相容剂制成混炼胶; 再按一定比例与硫化剂、发泡剂等均匀混合后, 在开炼机上薄通下片, 裁片称量后装入模具, 采用硫化成型机在  $150 \text{ } ^\circ\text{C}$  以上加压硫化、发泡成型 8~12 min, 出模后, 裁片制得薄片试样。

作者简介: 赵祺(1972-), 男, 重庆人, 北京理工大学在读博士生, 主要从事弹性体和胶粘剂等高分子材料方面的研究工作。

## 1.5 性能测试

(1)微观形态分析:用体积比为1:1的硝酸水溶液酸洗硅橡胶/EPDM硫化试样,并用沸水热处理2 h,试样用溅镀机溅镀金粉于表面后,在扫描电镜上测试并拍照。

(2)泡孔尺寸及孔密度:直接用激光共聚焦显微镜的配套软件测量,并记录图片。

(3)拉伸性能:按GB/T 528—92进行测试。

(4)压缩性能:采用非标准方法测量。试样选用长方形薄片[40 mm×20 mm×(0.5~0.8) mm],用万能材料试验机在温度为24℃、相对湿度为69%、加载速率为0.5 mm·min<sup>-1</sup>条件下,测试试样的应力-应变曲线。

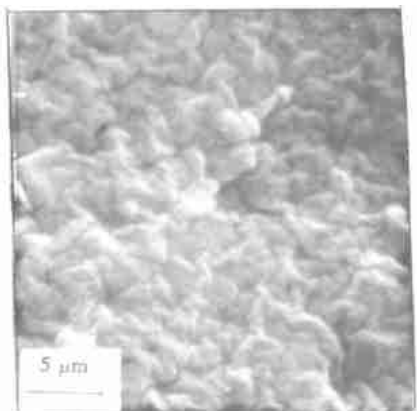
(5)动态力学分析(DMA):在频率为1 Hz、升温速率为10℃·min<sup>-1</sup>条件下,在热分析仪上测试材料储能模量与损耗因子(tan δ)随温度的变化。

## 2 结果与讨论

### 2.1 硅橡胶/EPDM混炼胶的相容性

为了使硅橡胶与EPDM有良好的分散性,必须添加相容剂,降低硅橡胶与EPDM之间的界面能,增强两者间的共混相容性,以进一步提高泡沫合金的力学性能。针对硅橡胶和EPDM的结构特点,分别选择了A(DCP),B(EVA)和C(硅烷偶联剂)3种材料作为相容剂进行硅橡胶与EPDM共混物的发泡试验。这些相容剂含有可与硅橡胶或EPDM起接枝或共聚反应的官能团,通过接枝或共聚作用改善分散效果,提高两相间的界面结合强度;或者是与另一种组分有良好的共混相容性,在两种橡胶界面间起到了相容作用,提高共混物的力学性能。

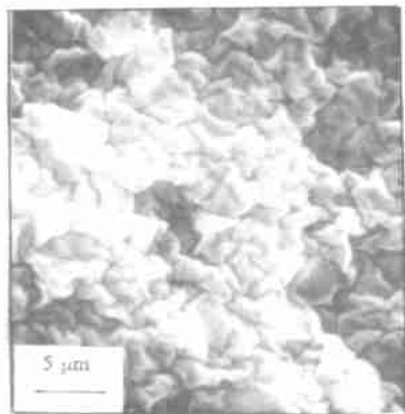
硅橡胶/EPDM共混物的微观结构见图1。由图1可见,在硅橡胶/EPDM共混物中,相容剂A使两相有较小的分散尺寸,分散均匀性较好,拉伸强度为3.1 MPa;使用相容剂B的共混物,分散尺寸相对较大,两相界面明显,分散均匀性较差,拉伸强度为4 MPa;与前两种共混物相比,使用相容剂C的共混物,两相分散尺寸介于它们之间,分散均匀性较好,拉伸强度达到



(a)相容剂 A



(b)相容剂 B



(c)相容剂 C

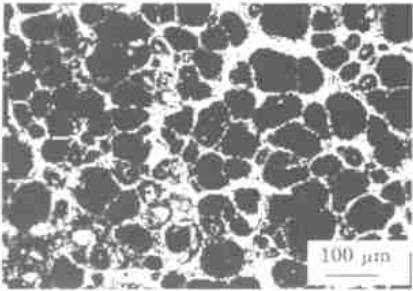
图1 硅橡胶/EPDM共混物的微观结构

6 MPa。这说明具有较好力学性能的共混物,两相间必须有适宜的分散尺寸,分散尺寸偏大或偏小都会降低共混物的力学性能。

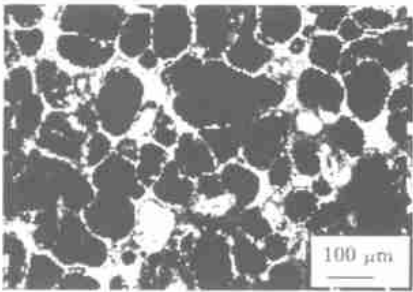
### 2.2 泡沫合金的泡沫结构

为了揭示两种橡胶共混对泡沫结构的影响,分别对硅橡胶/EPDM泡沫合金和硅橡胶

泡沫的显微结构进行研究,结果见图 2。由图 2 可见,添加相容剂后的泡沫合金,泡孔微细,平均孔径小于  $80\text{ }\mu\text{m}$ ,分布均匀,孔密度大于  $400\text{ 个}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,材料密度小于  $0.55\text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;硅橡胶泡沫平均孔径小于  $140\text{ }\mu\text{m}$ ,有少量穿孔现象,孔密度大于  $180\text{ 个}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,材料密度小于  $0.6\text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。可见,泡沫合金材料比硅橡胶泡沫有更小的孔径、更高的孔密度和更好的均匀性。这说明相容剂能有效地改善硅橡胶和 EPDM 的共混效果,共混物结构均匀,各种助剂分散性好。



(a)泡沫合金



(b)硅橡胶泡沫

图 2 泡沫微观结构

2.3 强伸性能

硅橡胶/EPDM 并用比对泡沫合金强伸性能的影响见表 1。

由表 1 可见,随着 EPDM 用量的增大,泡沫合金的拉伸强度、扯断伸长率、扯断永久变形增大,拉伸强度比硅橡胶泡沫增大 3 倍以上,扯断伸长率增大 2 倍,表明泡沫合金有较好的弹性,扯断永久变形比硅橡胶泡沫大,但仍属于良好的范围。综合比较,泡沫合金的拉伸性能优于硅橡胶泡沫。

表 1 硅橡胶/EPDM 并用比对泡沫合金强伸性能的影响

| 项 目      | 并用比   |       |       |
|----------|-------|-------|-------|
|          | 100/0 | 70/30 | 30/70 |
| 拉伸强度/MPa | 0.60  | 0.93  | 2.00  |
| 扯断伸长率/%  | 170   | 330   | 460   |
| 扯断永久变形/% | 0.08  | 0.50  | 2.00  |

2.4 压缩性能

泡沫合金和硅橡胶泡沫的应力-应变曲线见图 3。由图 3 可见,随着应变的增大,应力呈逐渐上升趋势,且在  $10\% \sim 40\%$  应变范围内,应力与应变近似呈线性关系,曲线上升趋势较平缓,说明应力随应变变化较小;应变大于  $40\%$  以后,随着应变的增大,应力呈急剧上升趋势,两条曲线在应变约为  $58\%$  处相交,此时,硅橡胶泡沫的应变已接近最大值,且泡沫合金应变范围大于硅橡胶泡沫的应变范围。应变在  $0 \sim 58\%$  范围内,泡沫合金的曲线在硅橡胶泡沫之上,说明泡沫合金的压缩模量比硅橡胶泡沫大,加入 EPDM 有利于提高泡沫合金的压缩模量。

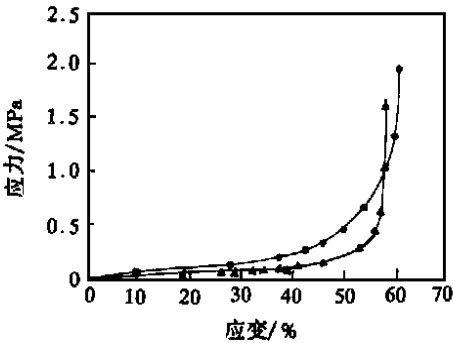
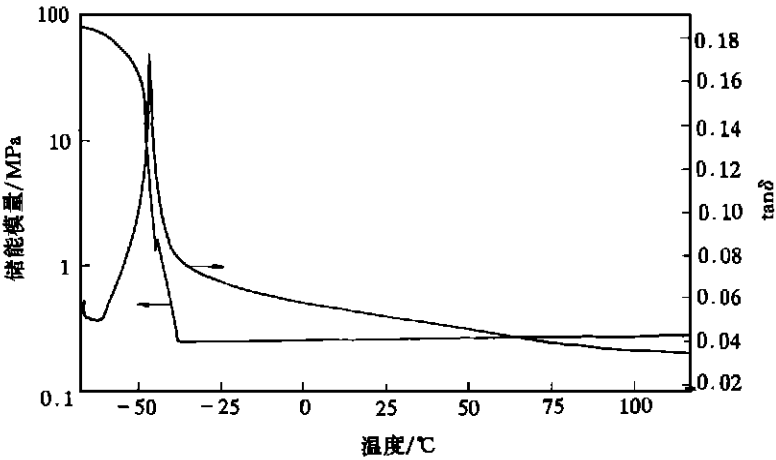


图 3 压缩应力-应变曲线

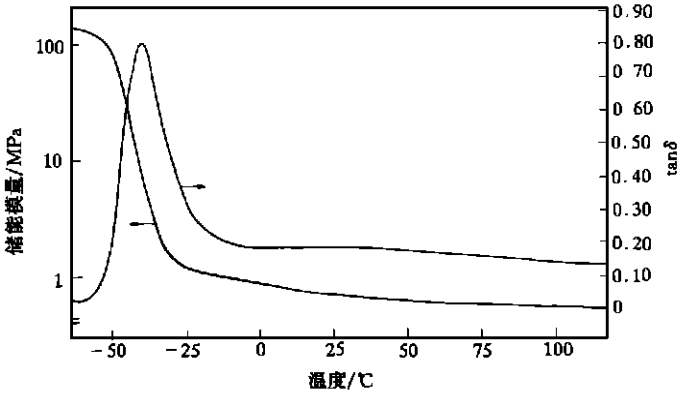
●—泡沫合金; ▲—硅橡胶泡沫

2.5 阻尼减震性能

泡沫材料的 DMA 研究反映了在交变应力、应变作用下材料发生的滞后现象和力学损耗,这有助于研究泡沫材料的阻尼减震性能。硅橡胶泡沫和泡沫合金的 DMA 曲线分别如图 4 所示。由图 4 可见,在  $-60 \sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间,泡沫合金的储能模量比硅橡胶泡沫高。硅橡胶泡沫在  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  出现较尖锐的  $\tan\delta$  峰,泡沫合金在  $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$  出现了一个  $\tan\delta$  峰。与硅橡胶泡沫的 DMA 曲线相比,泡沫合金的  $\tan\delta$  峰形变



(a) 硅橡胶泡沫



(b) 泡沫合金

图4 DMA曲线

宽, 峰值对应温度升高。在 0 ~ 100 °C 范围内, 硅橡胶泡沫的  $\tan \delta$  为 0.03 ~ 0.05, 泡沫合金的  $\tan \delta$  稳定在 0.14 左右, 比硅橡胶泡沫增大 3 倍。这说明泡沫合金有更优良的阻尼减震性能。

3 结论

(1) 采用加入相容剂的方法, 可使硅橡胶/EPDM 泡沫合金具有良好的共混均匀性, 其中相容剂为硅烷偶联剂时效果最优。

(2) 硅橡胶/EPDM 泡沫合金的密度小于  $0.55 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 泡孔微细、均匀, 平均孔径小于  $80 \mu\text{m}$ 。

(3) 与硅橡胶泡沫相比, 硅橡胶/EPDM 泡沫合金具有更好的强伸性能和压缩性能。

(4) 在 0 ~ 100 °C 范围内, 硅橡胶/EPDM 泡沫合金的  $\tan \delta$  约为硅橡胶泡沫的 3 倍, 说明泡沫合金有更优良的阻尼减震性能。

参考文献:

[ 1 ] 邓本诚, 李俊山. 橡胶塑料共混改性[ M ]. 北京: 中国石化出版社, 1996. 10.  
[ 2 ] 窦 强, 吴石山, 朱学海. 甲基乙烯基硅橡胶与 EPDM 共混研究[ J ]. 橡胶工业, 1997, 44(5): 263.  
[ 3 ] 孙明亭, 陈 果. 硅橡胶与 EPDM 共混工艺研究[ J ]. 合成橡胶工业, 1991; 14(5): 372

# Study on structure and properties of silicone rubber/EPDM blend foam

ZHAO Qi<sup>1</sup>, LEI Wei-hua<sup>2</sup>, GU Zhong-yun<sup>2</sup>, MA Yu-zhen<sup>2</sup>

(1. Beijing University of Science and Technology, Beijing 100081, China; 2. China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** The morphology and structure of the silicone rubber/EPDM foam were studied by SEM and laser focusing microscope and its tensile strength, compression property and damping characteristics were also investigated. The results showed that the better dispersity of the blend was obtained by using silane coupling agent; the density of the blend foam was lower than  $0.55 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ; the pore size distribution was narrow and the mean pore diameter was less than  $80 \mu\text{m}$ ; and tensile strength, compression property and damping characteristics of the blend foam were superior to those of silicone rubber foam.

**Keywords:** silicone rubber; EPDM; blend foam; blend; tensile strength; compression property; damping characteristics

**SANS**®

深圳市新三思计量技术有限公司



通过德国  
ISO 9001质量体系认证

24h提供解决方案  
服务热线: (0755) 3405001

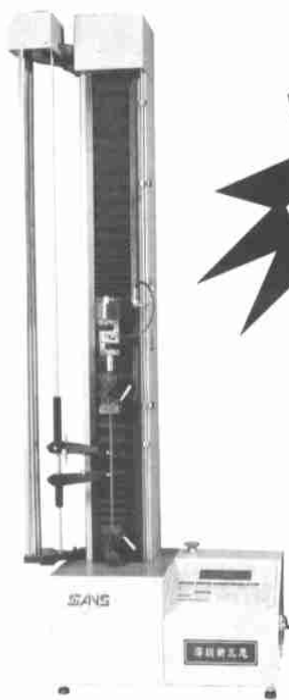
EXJ2000系列为橡胶专用拉伸试验机, 主机为单柱型, 配有专门的侧立式大变形测量装置, 变形分辨率可达 $0.02\text{mm}$ ,  $128 \times 64$ 大屏幕液晶显示, 信息多、容量大、功能强, 可以测试五点的定伸长应力(五点可设定)、抗拉强度、延伸率等。

## 主要技术参数:

测力范围:  $\pm 0.05\text{N} \sim \pm 500\text{N}$   
测力精度:  $\pm 1\%$   
位移精度:  $\pm 0.5\%$   
转换速率: 50次/秒  
有效行程:  $\geq 750\text{mm}$   
使用温度:  $0 \sim 40^\circ\text{C}$   
允许超载:  $150\% F \cdot S$   
打印输出: 进口打印机  
电源: 单相220V  
重量: 约70kg  
外形尺寸:  $650\text{mm} \times 370\text{mm} \times 1400\text{mm}$   
主要型号: EXJ2101、EXJ2102、EXJ2502

## 其它产品

CMT系列微机控制电子万能试验机  
ENT系列液晶电子拉力试验机  
CHT系列微机液压万能试验机  
SHT系列微机控制电液伺服万能试验机  
ZBC系列摆锤冲击试验机



EXJ2000系列橡胶拉伸试验机

地址: 深圳市福田区金地工业区138栋首层 工厂: 深圳市福田区金地工业区128/133栋首层  
电话: (0755)3415578 3405001 传真: (0755)3418301 邮编: 518048  
E-mail: sans@sans.com.cn http://www.sans.com.cn