

# 蒙脱土对硅橡胶基磁流变弹性体性能的影响\*

孙桃林<sup>1</sup>, 龚兴龙<sup>1</sup>, 李剑锋<sup>1</sup>, 江万权<sup>2</sup>, 胡源<sup>3</sup>

(1.中国科学技术大学 力学和机械工程系, 中国科学院 材料力学行为和设计重点实验室, 安徽 合肥 230027;  
2.中国科学技术大学 化学系, 安徽 合肥 230026; 3.中国科学技术大学 火灾科学国家重点实验室, 安徽 合肥 230027)

**摘要:** 考察蒙脱土对硅橡胶基磁流变弹性的动态力学特性和磁流变性能的影响, 通过调节体系中蒙脱土的含量优化硅橡胶磁流变弹性体的综合性能。研究结果表明, 当弹性体中蒙脱土的含量在 4.6% 时, 硅橡胶基磁流变弹性体/蒙脱土复合材料的模量比纯弹性体的模量提高了近 345%, 硅橡胶磁流变弹性体的磁致模量达到 1.76MPa, 磁流变效应为 63.7%。

**关键词:** 磁流变弹性体; 蒙脱土; 硅橡胶

中图分类号: TB381

文献标识码: A

文章编号: 1001-9731(2007)增刊-1255-03

## 1 引言

磁流变材料是近年来发展迅速的一类新型机电耦合智能材料。它的主要特点是由外界磁场来控制它的流变性能。目前, 磁流变材料主要包括磁流变液、磁流变胶和磁流变弹性体等类型<sup>[1~3]</sup>。磁流变弹性体主要由弹性聚合物基体和可磁化颗粒所组成, 可由外界磁场控制其模量。磁流变弹性体的显著特点是, 可磁化颗粒不会沉降且具有稳定的磁流变性能。可用于制备磁流变弹性体的聚合物有硅橡胶<sup>[4]</sup>、天然橡胶<sup>[5]</sup>和异丁橡胶<sup>[6]</sup>等。目前以硅橡胶为基体的磁流变弹性体研究较多, 它的基体柔软, 制备的磁流变弹性体磁流变效应较高。但是硅橡胶磁流变弹性体机械性能很差, 远未达到工程上的应用要求, 故必须提高硅橡胶基磁流变弹性体的力学性能。

蒙脱土(MMT)是一类层间具有可交换离子的典型层状硅酸盐矿物<sup>[7]</sup>。通过溶液插层法可使得硅橡胶分子进入到用有机盐处理过的蒙脱土层间中, 形成硅橡胶/蒙脱土复合材料。在硅橡胶中添加少量的有机蒙脱土即可大幅度地提高橡胶的力学性能<sup>[8]</sup>。本文通过在硅橡胶磁流变弹性体中添加有机蒙脱土来改善弹性体的力学性能, 并考察蒙脱土含量对弹性体磁流变性能的影响。

## 2 材料的制备与表征

### 2.1 磁流变弹性体的制备

在 90℃ 甲苯中溶入一定量的甲基乙烯基硅橡胶(MVQ), 加入计量的有机蒙脱土、羰基铁粉、甲基硅油、

硅烷偶联剂和交联剂, 使其混合均匀。干燥样品以驱除体系中的溶剂。将干燥得到的产品加热到 130℃ 并放在磁场下进行预结构化。然后在 170℃、10MPa 压力条件下将样品置于平板硫化机上进行固化, 得到硅橡胶基磁流变弹性体。本文制备了蒙脱土质量分数分别为 0%、2%、3.6%、4.6%、7% 的硅橡胶基磁流变弹性体样品。

### 2.2 磁流变弹性体的性能测试

在英国 Triton Technology 公司的 Tritec 2000DMA 基础上研制改进的 DMA 上测试硅橡胶基磁流变弹性体的动态力学性能、磁流变性能。动态拉伸力学性能测试条件为扫描温度 60~120℃, 样品尺寸 10mm×10mm×2mm, 频率为 1Hz, 应变 0.1%; 弹性体磁流变剪切性能测试条件为 0~1000mT 磁场强度, 样品尺寸 10mm×10mm×3mm, 频率分别为 10、20、30、40Hz 条件下测试弹性体的剪切模量。

## 3 实验结果与讨论

### 3.1 动态拉伸力学性能

图 1、2、3 分别是不同蒙脱土含量下硅橡胶基磁流变弹性体与蒙脱土复合材料的储能模量、损耗模量、动态力学损耗与温度关系。

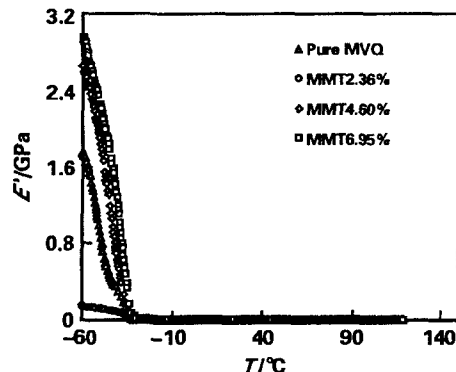


图 1 不同蒙脱土含量下 MVQ/MMT 复合材料的储能模量-温度曲线

Fig 1 Temperature dependency of  $E'$  vs temperature on MMT mass fraction

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10672154); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20050358010)

收到稿件日期: 2007-04-27

通讯作者: 龚兴龙

作者简介: 孙桃林, 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 主要从事磁流变弹性体性能研究。

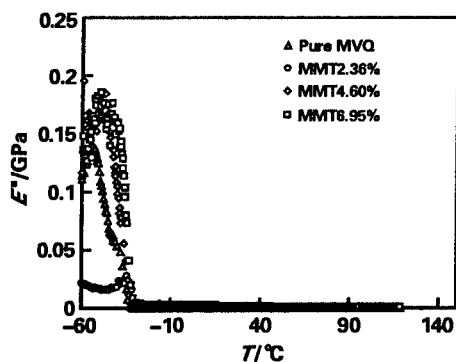


图2 不同蒙脱土含量下 MVQ/MMT 复合材料的损耗模量-温度曲线

Fig 2 Temperature dependency of  $E''$  vs temperature on MMT mass fraction

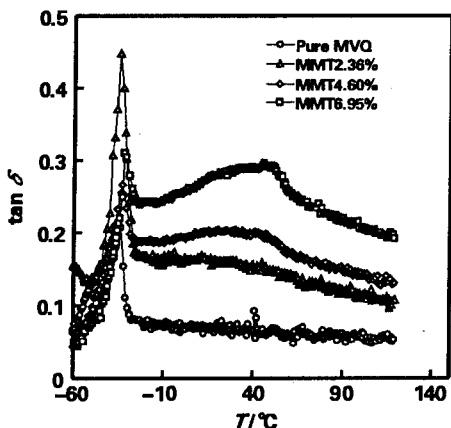


图3 不同蒙脱土含量下 MVQ/蒙脱土复合材料的动力学损耗-温度曲线

Fig 3 Temperature dependency of  $\tan \delta$  vs temperature on MMT mass fraction

从图 1、2 中可以看出,在玻璃化转变温度前随着温度的升高磁流变弹性体的储能模量和损耗模量是急剧降低的,后弹性体的模量变化趋于平缓。除了弹性体中蒙脱土的含量为 2.36% 外,弹性体的储能模量和损耗模量都随着基体中蒙脱土含量的升高而增加。反常的点可能是由于基体中溶剂未挥发完全,最终使得磁流变弹性体模量较低。从图 3 中可以看出,损耗因子在最大出的温度对应为弹性体的玻璃化转变温度。蒙脱土的含量对硅橡胶基磁流变弹性体的玻璃化转变温度(约为  $-34^{\circ}\text{C}$ )影响不大,但随着蒙脱土含量的增加磁流变弹性体的损耗峰面积增大。蒙脱土片层因对橡胶分子链限制作用降低了大分子链的活动性,可使得  $\tan \delta$  在  $T_g$  处的损耗峰面积变小。但是由于磁流变弹性体中存在大量的羰基铁粉,蒙脱土的加入与铁粉的相互摩擦使得弹性体的损耗增加超过了由链段限制活动带来的损耗降低,从而使得弹性体的阻尼随着蒙脱土的加入而增大。

### 3.2 磁流变剪切性能

利用 DMA 来测试硅橡胶基磁流变弹性体在外界磁场变化下的剪切模量的变化。磁流变效应可定义为:

$$R_g = \frac{\Delta G}{G_0} = \frac{G - G_0}{G_0}$$

其中:  $R_g$  为磁流变效应,  $\Delta G$  为磁致模量,  $G_0$  为零场模量,  $G$  为在一定磁场下弹性体的剪切模量  $G_0$ 。

图 4 是在不同测试频率、无外加磁场的情况下,不同含量蒙脱土下的磁流变弹性体的剪切模量变化。

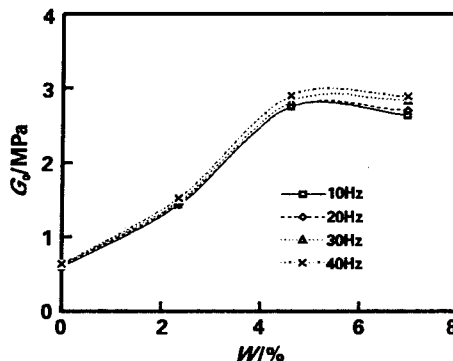


图4 蒙脱土含量与弹性体零场模量的变化关系

Fig 4 MMT mass fraction dependency of shear modulus

从图中可以看出,零场下磁流变弹性体的剪切模量随着蒙脱土含量和测试频率的增加而增加。蒙脱土在基体中均匀分散,各片层对插入其间的硅橡胶分子链有一定的限制作用,可以起到物理交联作用,使得复合体系的物理机械性能得到提高。根据时温等效原理可知,外界作用力频率的增大,作用在橡胶上的时间的缩短,弹性体内部分子链的转动跟不上外界力的变化,此时弹性体相当于表现为玻璃态,它的模量会升高。图 5 是在 800mT 的磁场作用下,不同测试频率、不同蒙脱土含量下的磁流变弹性体磁致模量的变化关系。从图中可以看出,弹性体的磁致模量随着蒙脱土含量的增加呈先升后降的趋势。同时弹性体的磁致模量随着测试频率的增加而增加。根据图 4、5 可以计算出当蒙脱土含量为 4.60% 时,硅橡胶基磁流变弹性体的剪切模量比未加蒙脱土时提高了近 345%,磁致模量达到 1.76MPa,磁流变弹性体的磁流变效应为 63.7%。

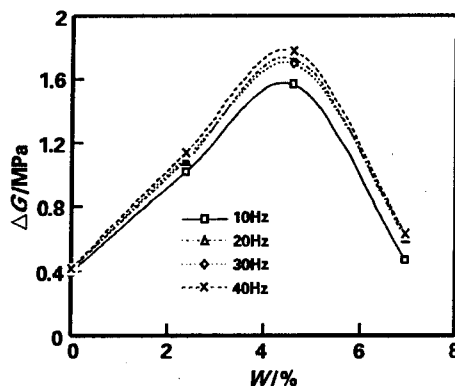


图5 蒙脱土含量与弹性体磁致模量的变化关系

Fig 5 MMT mass fraction dependency of  $\Delta G$

## 4 结 论

本文主要考察了不同含量的蒙脱土对硅橡胶基磁流变弹性体的动态拉伸力学性能和磁流变剪切性能的影响。实验结果表明:

(1) 随着蒙脱土含量的增加, 硅橡胶基磁流变弹性体的损耗峰的面积和剪切模量均增大;

(2) 随着测试频率的增大, 硅橡胶基磁流变弹性体的剪切模量增大;

(3) 在 800mT 的外界磁场强度下, 蒙脱土含量为 4.60% 时, 硅橡胶基磁流变弹性体的剪切模量提高了 345%, 磁致模量达到 1.76MPa, 磁流变效应为 63.7%。

致谢: 感谢中国科学院“百人计划”对本文的支持。

### 参考文献:

[1] Eric C, Martin R M, George E K. [J]. Langmuir, 2004, 20:

507-513.

[2] Mitsumata T, Furukawa K, Juliac E, et al. [J]. International Journal of Modern Physics B, 2002, 16(17&18): 2419-2425.

[3] Bossis G, Abbo C, Cutillas S, et al. [J]. International Journal of Modern Physics B, 2001, 15(6&7): 564-573.

[4] Wang Y L, Hu Y, Chen L, et al. [J]. Polymer Testing, 2006, 25: 262-267.

[5] 陈琳, 龚兴龙, 江万权, 等. [J]. 功能材料, 2006, 5: 703-705.

[6] Wang Y L, Hu Y, et al. [J]. Polymer Engineering and Science, 2006, 46(3): 264-268.

[7] Bandyopadhyay A, Maiti M, Bhowmick A K. [J]. Materials Science and Technology, 2006, 22(7): 818-828.

[8] 王胜, 杰李强, 王新宇, 等. [J]. 高分子学报, 1998, 4(2): 129-133.

## Influence of montmorillonite on the properties of magnetorheological elastomers based on silicon rubber

SUN Tao-lin<sup>1</sup>, GONG Xing-long<sup>1</sup>, LI Jian-feng<sup>1</sup>, JIANG Wan-quan<sup>2</sup>, HU Yuan<sup>3</sup>

(1. CAS Key Laboratory of Mechanical Behavior and Design of Materials, Department of Mechanics and Mechanical Engineering, University of Science and Technology of China (USTC), Hefei 230027, China; 2. Department of Chemistry, USTC, Hefei 230026, China; 3. State Key Laboratory of Fire Science, USTC, Hefei 230027, China)

**Abstract:** The properties of dynamic mechanical and magnetorheological effect are studied by adding the montmorillonite to the magnetorheological elastomers based on silicon rubber. The optimal properties of the composites are obtained by adjusting the montmorillonite mass fraction. The results show that when the montmorillonite mass fraction was 4.6%, the modulus of the magnetorheological elastomers mixed with montmorillonite is improved by 345%, the magneto-induced modulus and the relative magnetorheological effect can achieve 1.76MPa, 63.7%, respectively.

**Key words:** magnetorheological elastomers; montmorillonite; silicon rubber