

压电陶瓷、复合电流变液及其集成结构实验

李全禄

(陕西师范大学 物理学与信息技术学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 简要报道了高性能压电陶瓷 FD_3 -PZT (或 FD_4 -PZT)、复合电流变液及其集成智能结构的设计、制作和初试的情况。同时, 也指出了它们的一些重要用途。

关键词: 压电陶瓷; 电流变液; 集成结构

中图分类号: TM28; TB380 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-274X(2001)04-0292-03

多功能电子材料和集成器件的研究是现代高技术发展的需要, 特别是机-电一体化的智能元(器)件。本工作从材料的制备到它们的性能测试; 从单个材料到它们的集成器件的试制, 都取得了良好的进展。此种智能结构, 对于新型的抗震结构、振动阻尼器、减振器、制动器、高速制动装置中机-电一体化的连接物, 以及无后坐力武器装备等均有实用意义。另外, 该智能结构, 将使电流变液在无电源和可移动的高压电源的场合的使用成为可能。

1 实验步骤

1.1 高性能压电陶瓷的研制

制备本工作所需的高性能压电陶瓷^[1,2]。

1.1.1 压电陶瓷的配方 FD_3 -PZT: $xPb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ - $yPbTiO_3$ - $zPbZrO_3$,

($x + y + z = 1$; $x = 0.36 \sim 0.38$; $y = 0.36 \sim 0.38$), 加进一定量的 MnO_2 、 SrO 和 K_2O 。

FD_4 -PZT: $Pb_xSr_yBa_z[(Zn_{1/3}Nb_{2/3})_m(Sn_{1/3}Nb_{2/3})_n(Zr_pTi_q)]O_3$

(2)

($x + y + z = 1$; $m + n + p + q = 1$; $x = 0.94 \sim 0.96$; $y = 0.02 \sim 0.03$; $m = 0.05 \sim 0.07$; $n = 0.05 \sim 0.07$; $p = 0.43 \sim 0.45$), 加进一定量的 MnO_2 和 Sb_2O_3 。

1.1.2 压电陶瓷的制备工艺 压电陶瓷 FD_3 -PZT 和 FD_4 -PZT 的具体制备工艺条件及参数, 如: 烧结温度及保温时间、极化条件(电压 V 、温度 T 和时间 t) 等见文献[1,2]报道。其工艺流程为:

配方设计、选料、研磨(超细粉级)—计算、配料—原料混和—预压—预烧(第一次烧结)—粉碎—高速气流粉碎或超细粉级振动粉碎—造颗粒—干压成型—排塑—烧结—烧后机械加工—电极—极化—老化—性能测试—压电陶瓷元件。

1.1.3 FD_3 -PZT 和 FD_4 -PZT 的基本性能参数 烧结后机械加工和上电极之后, 压电陶瓷晶体经过极化(采用最佳极化电场、极化温度和极化时间), 陶瓷晶体才会具有压电性。经过人工老化后, 这些 PZT 晶片按压电陶瓷的 IEEE 标准测量性能, 选优待用。本工作制备的 FD_3 -PZT 和 FD_4 -PZT 的基本性能参数见表 1。

表 1 FD_3 -PZT 和 FD_4 -PZT 的主要性能参数

Tab. 1 Principal properties of FD_3 -PZT and FD_4 -PZT

材料代号	K_p	Q_m	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	$d_{33}/pC \cdot N^{-1}$	$g_{33}/V \cdot m \cdot N^{-1}$	$\tan\delta/10^{-2}$	$\rho/kg \cdot m^{-3} \times 10^3$
FD_3 -PZT	0.68	1 100	1 600	460	32	3.0	7.7
FD_4 -PZT	0.62	1 230	2 400	670	40	1.5	7.8

注: (1) K_p 平面机电耦合系数, Q_m 机械品质因数, $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$ 相对介电常数, d_{33} 压电应变常数, g_{33} 压电电压常数, $\tan\delta$ 介质损耗, ρ 材料密度; (2) 压电陶瓷性能是在直径为 20 mm, 厚度为 1 mm 的圆片上按 IEEE 标准测定。

收稿日期: 2000-03-04

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(99C33); 陕西省教育厅专项科研基金资助项目(00JK114)

作者简介: 李全禄(1948-), 男, 陕西岐山人, 陕西师范大学副教授, 从事固体物理研究。

1.1.4 FD_3 -PZT 和 FD_4 -PZT 的应用 对于 FD_3 -PZT 和 FD_4 -PZT, 已经用于气体点火栓、电子干粉灭火枪的扳机、声纳、蜂鸣器和高功率超声换能器, 如超声清洗机和超声粉碎机等, 它们的工作状态良好, 也有些试用于超声马达和声悬浮技术。特别是在本工作中, 这两种压电陶瓷被用于研制“压电陶瓷与复合电流变液集成的智能结构”。

1.2 复合电流变液的配制

材料设计—选料、备料—按复合组分配制电流变液—电流变液装盒、装盒上设置电极—变换电场和其他条件试验—测量电流变液的性能—分析、比较和确定最佳电流变液样品。实验步骤如下:

1) 按预定计划制备本工作要用到的强极性压电陶瓷(如 FD_3 -PZT 或者 FD_4 -PZT), 然后机械粉碎至 $50\ \mu\text{m}$, 再用超声粉碎至 $10\ \mu\text{m}$ 左右。这些压电陶瓷的颗粒被用作复合电流变液的主要分散粒子。

2) 选择强极性压电液晶^[3], 被用作复合电流变液的液相添加剂之一。

3) 制备第三相: 有机硅油、矿物油按比例混合, 被用作电流变液的分散介质。

4) 复合电流变液的活性剂和稳定剂: 卤代烃、醇、胺等和一些表面活性剂。

5) 按设计的复合电流变液的组分, 以分散相体积分数在 $10\% \sim 30\%$ 之间, 分组配制复合电流变液。尔后各组复合电流变液分别用超声进行乳化处理, 这样, 进一步防止了复合电流变液中分散颗粒的下沉。

6) 设计和加工电流变液装盒, 分组把复合电流变液装盒, 并给装盒两端设置电极。

7) 测量复合电流变液的基本性能。

8) 变换施加在复合电流变液上的电场(频率和其他条件), 测定有关参数(交流 $1 \sim 41\ \text{kV}$ 、直流 $1 \sim 30\ \text{kV}$)。

1.2.1 复合电流变液的基本性能 零场粘滞度 $\eta_0 < 100\ \text{mPa} \cdot \text{s}$ (在零电场); 屈服应力 $\tau_y < 4\ \text{kPa}$ (在 $E = 3.5\ \text{kV} \cdot \text{mm}^{-1}$); 电流密度 $J > 100\ \text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ (在 $E = 3.5\ \text{kV} \cdot \text{mm}^{-1}$); 响应时间 $t < 1\ \text{ms}$; 抗沉淀, 无毒和不含水分。

1.2.2 电流变液的应用 应用于国防、电子、航空航天、交通、化工、机器人和医疗仪器等领域内的新型、高效、快速和准确的电控驱动器、激励器、刹车、离合器、无后坐力装备以及多种多样的减振器和阻尼器等, 特别是复合电流变液被用于研制同压电陶瓷集成的智能结构。

2 结果和讨论

2.1 智能结构的理论设计

基于压电体的线性理论^[4], 当压电元件受到应力, 各向异性的压电陶瓷元件就会在其(上、下)两极间产生电位差, 该电压为

$$V = \frac{d_{33}T_1A}{C + \epsilon_{33}^0A/t} \quad (1)$$

式中 d_{33} 是压电陶瓷元件的压电应变常数(也就是压电电荷常数), T_1 是施加在压电陶瓷元件表面上在极化轴方向施加的应力, A 是压电陶瓷元件受力方面的面积, C 是压电陶瓷元件的低频电容量, ϵ_{33}^0 是压电陶瓷元件的介电常数, t 是压电陶瓷元件的厚度。另外, 考虑到用的是圆柱状的沿长度 l 方向(轴向)极化, 两个电极在两端头的压电陶瓷元件, 那么, 当施加轴向应力 T_1 , 在开路条件下, 压电陶瓷元件两极间的电压 V_1 为

$$V_1 = -g_{31}lT_1 \quad (2)$$

式中 g_{31} 是压电陶瓷元件的压电电压常数, l 是圆柱状压电陶瓷元件的长度。

当压电陶瓷被施加瞬时冲击力, 它将在非常短的时间内向外(在智能结构中输向复合电流变液)输出电压 ($15 \sim 25\ \text{kV}$), 而电流变液同时由液态转变为固态, 抵消了外来冲击力。在压电陶瓷元件和复合电流变液装盒串联的情况下, 电路中的时间常数 τ 为

$$\tau = RC \quad (3)$$

式中 R 是等效电路中的串联电阻(大于 $10^{10}\ \Omega$), C 是等效电路中的串联电容(大于 $3\ 000\ \text{pF}$)

在如此的条件下, 时间常数 τ 至少在几秒钟以内, 因此, 复合电流变液从液态变为固态的转变能够进行得非常充分。

2.2 智能结构的初步实验

用压电陶瓷(FD_3 -PZT 或者 FD_4 -PZT)与复合电流变液集成制作了一种集成智能结构的模型, 图1为(两个压电陶瓷柱串联的)压电陶瓷与电流变液集成的智能结构模型的原理图。当该整体结构被 $45\ \text{T}$ 油压机冲头自重 ($20\ \text{kg}$) 的瞬时冲击力加到压电陶瓷元件, 其直径为 $10\ \text{mm}$, 长度为 $40\ \text{mm}$ 的两个 PZT 圆柱或一个圆柱上时, 在压电陶瓷串联电流变液(装盒)的电路中, 复合电流变液发生显著的相变。初步实验结果同理论设计基本吻合。在该集成的智能结构中, 瞬时冲击力与压电陶瓷的作用时间

在秒(s)级,压电响应时间在微秒(μs)级,而复合电流变液的响应时

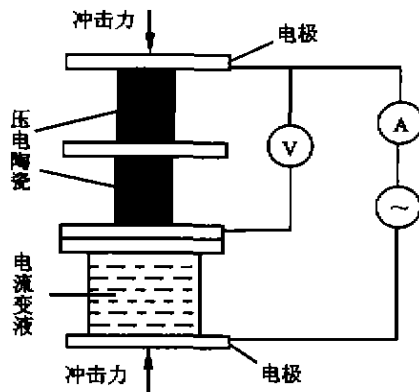


图 1 压电陶瓷与电流变液集成的智能结构模型的原理图
Fig. 1 Schematic diagram of principle of the model of the integrated intelligent structure

参考文献:

- [1] 李全禄. 大功率声电转换材料的研究及其应用[J]. 声学技术, 1998, 17(1): 26-29.
- [2] LI Quan-lu. Research and applications of high-performance piezoelectric ceramics. Proceedings of The First China International Conference on High-performance Ceramics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999. 305-307.
- [3] INOUE A, MANIWA S, IDE Y, *et al.* Electroheological Effect of liquid crystalline polymers[J]. Int J Mod Phys B (Singapore), 1996, 10(23-24): 3 191-3 198.
- [4] van RANDERAAT J, SETTERINGTON R E. Piezoelectric Ceramics[M]. London: Mullard House, 1974.

(编辑 曹大刚)

Preliminary experiments of the piezoelectric ceramic, composite electrorheological fluid and their integrated structure

LI Quan-lu

(College of Physics & Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: The design, preparation and trial of high-performance piezoelectric ceramics, (e. g. $\text{FD}_3\text{-PZT}$ or $\text{FD}_4\text{-PZT}$), composite electrorheological fluid and their integrated structure by present work are briefly reported. At same time, their various applications are pointed out.

Key words: piezoelectric ceramic; composite electrorheological fluid; integrated structure

· 学术动态 ·

《高校学报导读[理工版]》免费征订

全国 50% 以上的科研成果出自于高等院校, 高校学报是反映高校科研水平的重要窗口。在高校学报上发表有不少读者需要的有价值的研究论文, 而读者却不知道或很难找到。为此, 《高校学报导读[理工版]》以目录和文摘的形式, 通过网络为您导读。网上免费订阅, 定期发送。

订阅或浏览请登陆 <http://listmail.126.com> 或 <http://zhaoDL.cn99.com>

主编信箱: listedit@chinese.com

(薛 鲍)