

文章编号: 1001-2486 (2000) 06-0010-04

压电陶瓷控制元件的机电特性研究*

李东旭, 管于球

(国防科技大学航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 分析了压电陶瓷的机电特性, 建立了压电方程, 并在此基础上研究了压电陶瓷的驱动技术。揭示了压电陶瓷作控制元件在智能结构中的工作原理。

关键词: 压电陶瓷; 机电特性

中图分类号: V214.3 文献标识码: A

Research on the Mechanic-Electric Property of a Piezoelectric Control Film

LI Dong-xu, GUAN Yu-qiu

(College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The mechanic-electric properties of a piezoelectric film have been analyzed. The piezoelectric strain equation has been deduced, too. The research results have shown the working principle of the piezoelectric film in smart structures.

Key words: Piezoelectric film; mechanic-electric property

航天器外伸结构往往为柔性、大跨度、弱阻尼的结构。这类结构受任何一个微小的干扰都可能引起强烈且持久的振动。这种振动将对航天器造成不良影响, 必须对此加以控制。

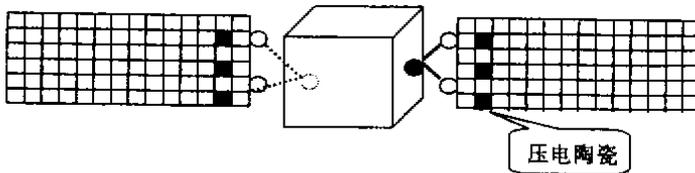


图 1 自适应智能结构示意图

Fig.1 The illustration of self-adaptive smart structures

由于受航天器特殊的工作环境的限制, 常规的控制元件不允许在外伸结构上安装, 因此应考虑采用能够实现自适应振动控制的智能结构 (如图 1 所示)。因为压电陶瓷具有良好的压电特性并可以按计算机编程控制, 使得压电陶瓷成为振动控制中的关键元件之一。本文分析了压电陶瓷的机电特性, 建立了压电方程, 研究了压电陶瓷的驱动技术。

1 压电陶瓷的机电原理与压电方程

压电陶瓷具有在电压的作用下发生变形的功能, 而且电压值与变形量之间存在定量关系。以掺镧的锆钛酸铅 (PLZT) 压电陶瓷为例, 图 2 给出了一片压电陶瓷的放大示意图。

压电陶瓷的正极化方向为图 2 中的 3 方向, 即 z 轴。图中以 1、2、3 分别代表 x 、 y 、 z 的方向, 以 4、5、6 分别代表相对于这些轴的切变方向。 t 为压电陶瓷的厚度 (作为示意, t 被放大) A 、 B 为电压的两极。压电陶瓷的压电原理可用下述关系来表示:

* 收稿日期: 2000-05-23
基金项目: 国家“863”应用基础研究项目基金资助 (863-2)
作者简介: 李东旭, (1956-), 博士, 副教授。

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{21} & d_{31} \\ d_{12} & d_{22} & d_{32} \\ d_{13} & d_{23} & d_{33} \\ d_{14} & d_{24} & d_{34} \\ d_{15} & d_{25} & d_{35} \\ d_{16} & d_{26} & d_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, d_{ij} 为电压应变常数, 单位为 m/V ; ε_j 为应变; E_i 为外加电, $i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ 。

对于已极化处理的压电陶瓷, 且在本系统中只在轴 3 方向加有 E_3 , 所以只有 d_{31} 、 d_{32} 、 d_{33} 有值, 其他均为 0, 且由材料的对称性可知 $d_{31} = d_{32}$ 。于是压电应变常数矩阵简化为

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{32} \\ 0 & 0 & d_{33} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

压电陶瓷的本构关系即应力 σ 和应变 ε 之间的关系可以表示为

$$\varepsilon_i = C_{iu}\sigma_u \quad (i, u = 1, 2, 3, 4, 5, 6) \quad (2)$$

式中, C_{iu} 称为弹性柔度系数。

$$C_{iu} = \frac{1}{Y_{iu}} \quad (3)$$

C_{iu} 表示在方向 i 上的应变与方向 u 上的应力之比。 Y_{iu} 为材料的弹性模量。对各向同性材料, 只有 C_{11} 、 C_{12} 有值。

在无约束的条件下, 压电陶瓷可以自由变形, 即机械自由 ($\sigma = 0$) 电学短路 ($E = 0$), 从而得到压电陶瓷的压电方程为

$$\varepsilon_\lambda = C_{\lambda u}^E \sigma_u + d_{j\lambda} E_j \quad (u, \lambda = 1, 2, 3, 4, 5, 6; j = 1, 2, 3) \quad (4)$$

式中: ε_λ 、 σ_u 、 E_j 分别代表压电陶瓷的应变、应力和外加电场强度。压电应变常数 $d_{j\lambda}$ 是应力恒定时, 由电场强度产生的应变:

$$d_{j\lambda} = \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial E} \right)_\sigma \quad (\text{m/V}) \quad (5)$$

短路弹性柔度系数 $C_{\lambda u}^E$ 是电场强度 E 为零 (或常数) 时的弹性柔度系数, 单位为 m^2/N 。(4) 式的意义是: 压电陶瓷的应变是由所承受的应力和电场两部分的作用组成的。式中第一项 $C_{\lambda u}^E \sigma_u$ 表示电场强度 E 为 α (或常数) 时应力对应变的影响; 第二项 $d_{j\lambda} E_j$ 表示电场强度 E 对应变的影响。(假设压电陶瓷在作用过程中, 胶层内无剪切变形, 即在陶瓷与试件的接触面内, 试件表面上的应变等于压电陶瓷的应变。)

如果只考虑压电陶瓷长度方向的作用, 则压电方程简化为

$$\varepsilon_1 = C_{11}^E \sigma_1 + d_{31} E_3 \quad (6)$$

式中, $C_{11} = \frac{1}{Y}$, Y 为 PLZT 的弹性模量。 $E_3 = \frac{V}{\varepsilon_r t}$, V 为加在电压两极上的电压, t 为压电层厚度, ε_r 为介电常数。

取压电陶瓷片的材料为 PLZT (掺镧的锆酸铅), 尺寸 (长 \times 宽 \times 厚) 为: $40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 0.5$

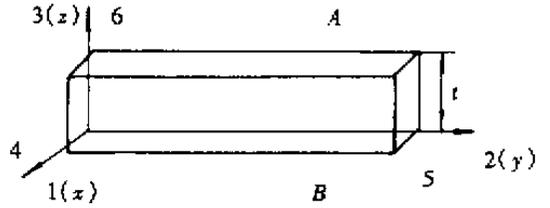


图 2 压电元件坐标定义

Fig.2 The coordinates of a piezoelectric piece

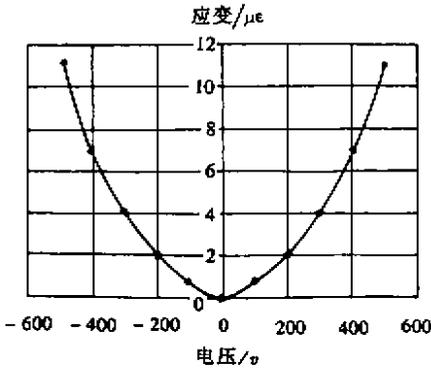


图3 压电陶瓷的电压—变形曲线

Fig.3 A strain-voltage curve

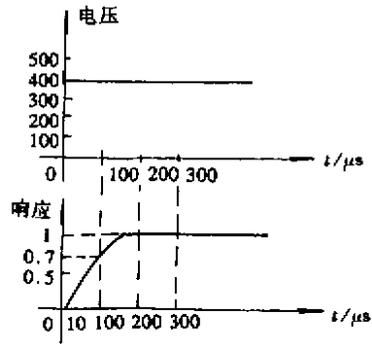


图4 压电陶瓷的阶跃响应速度曲线

Fig.4 The impulse response of a PLZT

mm，其在长度方向电压—变形曲线如图3所示。从图3中可见，这里采用的是电至伸长材料，即不论所加电压的正负，压电陶瓷的都将产生伸长效应。压电陶瓷的阶跃响应速度曲线如图4所示。

2 压电陶瓷的驱动

为了满足工作电压的要求，设计了一种适用于微机控制的双通道压电陶瓷驱动器。

该压电陶瓷驱动器采用变频调制放大方法设计。主要由输入放大、交直流逆变、交流功率放大、升压、交直流变换、泄放电路、保护电路等部分组成，其原理框图如图5所示。驱动负载频响特性如图6所示。

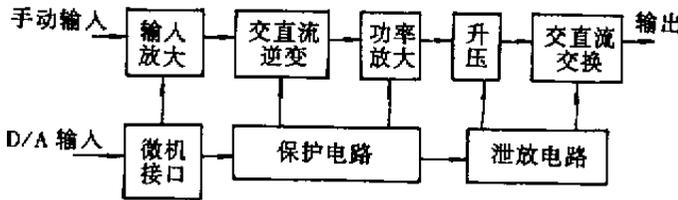


图5 控制元件驱动器原理图

Fig.5 The principle of the driver

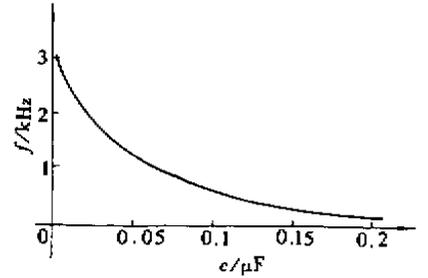


图6 驱动负载频响曲线

Fig.6 Frequency response of the driver

参考文献：

[1] Michael Walter Obal. Vibration control of flexible structures using piezoelectric devices as sensors and actuators [R]. Georgia Institute of Technology, 1986.
 [2] [美]B. 贾菲等. 压电陶瓷 [M]. 林声和译, 科学出版社, 1979.
 [3] [日]田中哲郎等. 压电陶瓷材料 [M]. 陈俊彦等译, 北京: 科学出版社, 1982.

