基于 ANSYS的压电陶瓷 PLZT特性仿真分析

梁 磊 王少萍 曹 锋

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191)

摘 要: 针对传统的解析法和有限元法在压电陶瓷分析中的弊端,采用有限元软件 ANSYS对压电陶瓷掺镧锆钛酸铅 (PLZT)进行特性分析. 介绍了大型有限元分析软件 ANSYS及其耦合场分析功能,建立了 PLZT的 ANSYS模型用于分析单片、叠层和双晶片型 PLZT的静动态特性. 单片 PLZT的输出位移与所加电压和外力载荷均成线性关系; 叠层结构的输出位移因粘结层的变形而小于理论输出值; 双晶片变形的 ANSYS计算结果同理论分析很相近. 进行压电器件分析时,可先通过 ANSYS软件建立实体模型,设定几何尺寸和材料特性参数进行性能仿真,并且针对不同器件只需修改参数,程序通用性好.

关 键 词: 压电陶瓷; 锆钛酸铅镧; ANSYS软件

中图分类号: TP 204

文献标识码: A 文 章 编 号: 100125965(2008) 0720853204

Analysis of piezoelectric ceramics PLZT based on ANSYS

Liang Lei Wang Shaoping Cao Feng

(School of Automation Science and Electrical Engineering Beijing University of Aeronautics and Astronautics Beijing 100191, China)

Abstract In order to avoid the defect in traditional analytic method and the finite element analysis (FEA) used in the analysis of piezoelectric ceramics, FEA software ANSYS was introduced to analyze the characteristics of lanthanum2modified lead zirconate titanate (PLZT) ceramics. The software ANSYS and its coupled2field analysis function were introduced. The ANSYS model of PLZT was built and based on the model the static and dynamic performances of unilateralism, multilayer and bimorph PLZT were analyzed. The displacement output of unilateralism was linear with applied voltage and force load. The displacement output of multilayer was less than the theoretical output because of the deformation of the adhesive layer between each two layers of PLZT. The deformable magnitude of bimorph calculated with ANSYS was very close to the theoretical results by comparing with each other. So ANSYS software can be used to build solid models, employ geometrical dimensions and material characteristic parameters at piezoelectric devices analyses. Aiming at different devices, it just needs modify parameters, and the program has good currency.

Key words: piezoelectric ceramics; lanthanum2modified lead zirconate titanate; ANSYS

掺镧锆钛酸铅 (PLZT)是一种重要的压电陶瓷. PLZT的组成可在很宽的范围内变化,从而具有压电、铁电、热释电和电光等不同的性能. 在一定的工艺条件下, PLZT可以加工成透明陶瓷,因此在计算技术、显示技术、激光技术、全息存储、微声技术以及光电子学诸领域都有重要的应用前景. 除了具备以上性能, PLZT还具有一般压电陶瓷不具备的性能))) 光致伸缩效应,即在紫外光的照射下产生微量伸长,将光能转化为机械位移, PLZT的这种特性使它成为光执行器的良好材料. 应用 PLZT已开发出光驱继电器和光驱微型行走装置. 并且在太空探索领域具有潜在应用,例如利用 PLZT开发太阳跟踪器,光控阀等.

当前压电类结构的研究方法主要有解析法和有限元法. 解析法要采用很多简化假设,公式的推导也较为繁琐,并且很多时候无法求出解析解; 而

收稿日期: 2007207203

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60371043)

作者简介: 梁 磊(1979-), 女, 山东高唐人, 博士生, liang lei@ asee. buaa. edu. cn.

采用有限元法编程计算,编程的工作量很大,针对某一个问题所编出程序的通用性较差,不易推广使用.本文将利用有限元软件 ANSYS分析压电结构,只需输入命令和参数就可解算出结果,并且对不同尺寸的器件只需更改参数,程序的通用性好.

1 有限元软件 ANSYS的耦合场分析

ANSYS软件是目前世界上唯一能够真正实现多物理场耦合分析的 CAE(Computer Aided Engineering)分析系统,它集结构、热、电磁、流体、声学等多物理场求解功能于一体.耦合场分析是指考虑了两个或多个工程物理场之间相互作用的分析.如热2应力分析,热2电分析,流体2结构耦合分析,压电分析等.压电分析就是考虑结构和电场的相互作用,求解由于所加位移造成的电压分布或相反.采用耦合场分析的典型例子是压电分析,可使用的耦合单元有 SOLID5、PLANE13和 SOLID98单元. SOLID5是八节点六面体单元,本文所用陶瓷形状是长方体,所以选用 SOLID5单元进行压电耦合场分析[1].粘结层选用 SOLID45单元, SOLID45是八节点的六面体单元,可用于塑性变形、爬行、应力刚化等分析.具体的建模分析方法见图 1,其中第 2步由于压电效应反应的是结构与电场之间的耦合作用,因此在选择所需要的分析结果中应选择结构分析和电分析 2种类型.

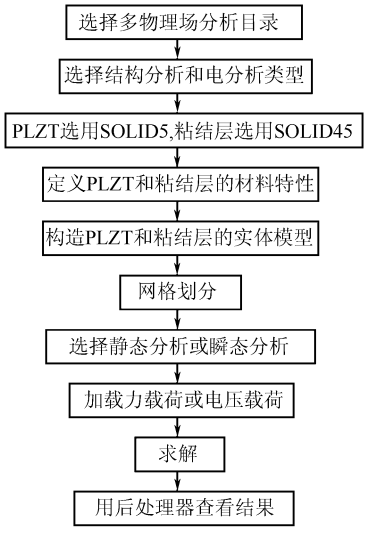
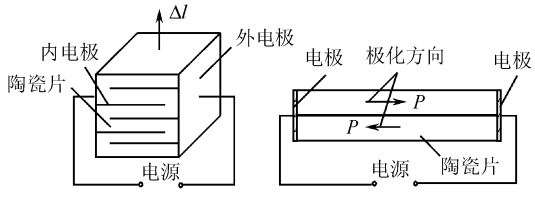


图 1 PLZT结构的分析步骤

2 PLZT的 ANSYS建模

ANSYS软件主要包括 3个部分:前处理模块、分析计算模块和后处理模块. PLZT材料有限元分析的第 1步是建立有限元模型,即将压电体离散化为有限元计算模型.只有建立一个好的有限元模型,才能准确的反映出压电体的各种特性,才能用于指导作动器结构设计[2-3].

压电陶瓷常用的结构有叠堆型和双晶片型.如图 2a所示的叠堆型由数个或几十个机械上串联、电路上并联的陶瓷片叠加,位移量与叠层数成正比.这种驱动方式的特点是推力大.图 2b所示的双晶片型是将两片极化方向相反的单片 PLZT粘贴,并在垂直极化方向的端面镀上公共电极.这样在电场作用下一片伸长另一片缩短,因此整个结构产生弯曲变形.这种驱动方式扩大了位移输出,但减小了力输出.本文的研究对象是 PLZT单片和由单片构成的堆叠结构和双晶片结构. PLZT单片为长、宽、高分别为 20mm, 5mm, 1mm的长方体,粘结层的厚度为 0.2mm.



a 叠堆结构 b 双晶片结构

图 2 常用结构

本文应用 ANSYS10.0对 PLZT进行建模.在前处理器中需要定义单元类型、材料属性,建立实体模型,分网.粘结层的材料属性如下:杨氏模量 E = 10@10^9 N/m^2;密度 Q= 1 700 kg/m^3;泊松比 L= 0.38[4].压电体选 SOLID5单元,在 ANSYS中输入压电体的材料特性参数时,文献中给出的刚度系数矩阵 c(单位: GPa)和压电应力系数矩阵 e(单位: C/m^2)是按照 x, y, z, yz, xz, xy的顺序(基于 IEEE标准),而 ANSYS的输入数据是按照 x, y, z, xy, yz, xz的顺序.也就是说,输入该参数时必须通过改变剪切项的行数据以转换到 ANSYS数据格式. ANSYS分析中 PLZT参数见文献[4].

$$c=\begin{bmatrix} 126 & 79.5 & 84.1 & 0 & 0 & 0 \\ 79.5 & 126 & 84.1 & 0 & 0 & 0 \\ 84.1 & 84.1 & 126 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 23.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 23.0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 23.0 \end{bmatrix}$$

$$e=\begin{bmatrix} 0 & 0 & -6.5 \\ 0 & 0 & -6.5 \\ 0 & 0 & 23.3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 17 & 0 \\ 17 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

密度:　　Q= 7 640 kg/m^3

介电系数矩阵 (单位: F /m):

$$E=\begin{bmatrix} 8.93 & 0 & 0 \\ 0 & 8.93 & 0 \\ 0 & 0 & 6.92 \end{bmatrix} @10^{-9}$$

ANSYS网格划分包括自由网格和映射网格. 自由网格对于单元形状没有限制, 并且没有特定的准则. 与自由网格相比, 映射网格对单元形状有限制, 而且必须满足特定的规则. 本文选用自由网格划分模型. 以 3层 PLZT为例, 采用自由网格划分后的模型如图 3所示.

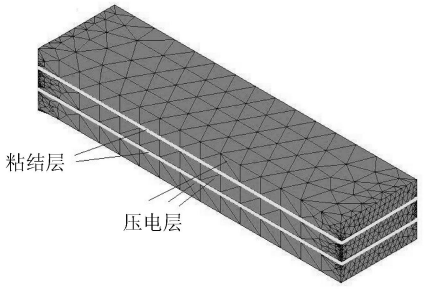


图 3　自由网格划分

对模型实施约束, 加载电压或力载荷, 再求解, 最后通过处理工具查看结果. ANSYS提供了 2种后处理工具: 通用后处理器 POST1和时间历程后处理器 POST26. 压电分析中进行静态特性分析时, 比如加载一个固定的电压载荷或力载荷时用 POST1查看压电体变形结果. 如果加载一个随时间变化的动载荷, 用 POST26查看指定点的变形量随时间的变化.

3　PLZT的特性分析

由于软件所给出的压电材料的属性中不包括迟滞特性, 因此不能仿真出压电体的迟滞特性, 如果想对这一部分进行仿真, 需要进行 ANSYS二次开发. 以下各仿真曲线中均不包括迟滞特性影响.

3.1　单片 PLZT的特性分析

1) 位移输出特性

在 0应力和 0位移的状态下, 对 PLZT单片加电压, 从 0V起, 一直加到 200 V停止, 每隔 20V利用 ANSYS计算一次. 为了验证 ANSYS计算的准确度, 把通过公式 (1)计算的理论值作为参照.

$$\$L = d_{33}U \qquad (1)$$

式中, $L 为位移量; d_{33} 为压电系数, 本文取 500. 66 @10^{-12} m /V; U为所加电压.

将所得数据列于表 1和图 4, 可知: PLZT在厚度方向的输出位移 $L与外加电压 U存在线性关系, 比例系数为压电系数; 相同的电压下, ANSYS计算值和理论值很相近. 所以进行压电器件分析时, 可先通过 ANSYS软件进行预估计.

表 1　不同 U下的理论值和 ANSYS计算值

参数	U /V									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
ANSYS理论值 /10^{-8}m	1.00	2.00	3.00	4.01	5.01	6.01	7.01	8.01	9.01	10.01
ANSYS计算值 /10^{-8}m	1.03	2.06	3.10	4.13	5.16	6.19	7.22	8.25	9.29	10.3

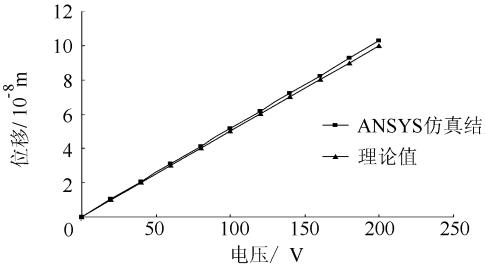


图 4　单片 PLZT的位移2电压曲线

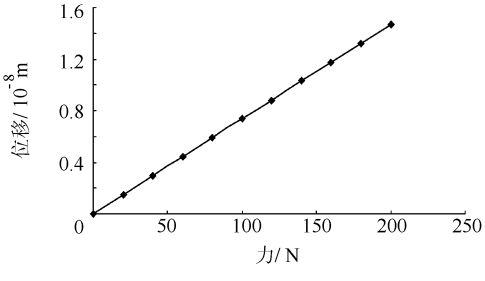


图 5　单片 PLZT的位移2力曲线

2) 刚度特性

刚度是指器件本身抵抗外力产生形变的能力. 测量方法为: 在不加电压的情况下, 测得压缩量与压力的关系. 从 0N起, 每次压力增大 20N, 加到 200N后停止. 通过 ANSYS求解得到的单片 PLZT的位移2力曲线如图 5所示, 可知陶瓷刚度为 1.36 @10^{10} N /m

3) 动特性

设 PLZT驱动器驱动电源为交变正弦信号: U= 200 sin(50 t) V, 如图 6所示. 在 ANSYS中将分析类型设为瞬态分析, 通过瞬态分析得到压电片的位移响应, 如图 7所示, 响应曲线是同输入信号频率相同的正弦信号.

3.2　叠堆型结构的特性分析

对 10层和 5层的叠堆型结构的每片 PLZT都加上 U= 200 sin(50t) V的交变正弦信号. 从前面

的分析中得知单片 PLZT在施加 200V电压时的位移输出大约为 1@10^{-7}m. 由图 8看出 10层叠堆结构的位移输出为 9.2@10^{-7}m, 比单片位移输出的 10倍要少一些, 5层叠堆结构的位移输出约为 4.7@10^{-7}m, 比单片位移输出的 5倍要少一些. 这主要是因为粘结层为粘性结构, 它的变形会吃掉一部分位移.

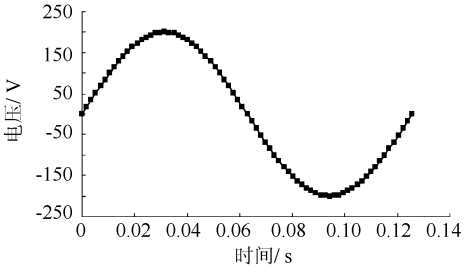


图 6 输入的正弦电压信号

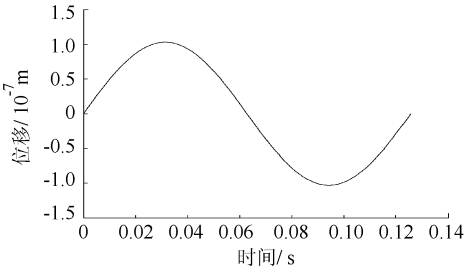


图 7 单片 PLZT的响应曲线

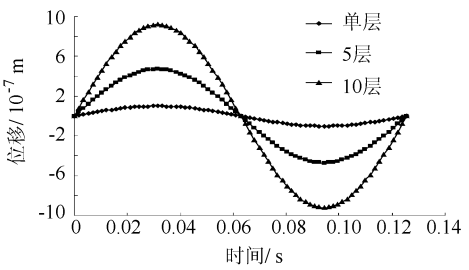


图 8 压电堆的响应曲线

3.3 双晶片结构的特性分析

将双晶片两端的公共电极间加上 20V的电压, 双晶片产生弯曲变形见图 9, 变形量为 1.46@10^{-5}m. 利用文献[5]推导出的公式进行计算:

$$D=\frac{1.5d_{33}H}{D}\#\frac{H}{2}\#E_s \qquad (2)$$

式中, D为位移; d_{33}为压电常数; D为陶瓷单片的厚度; H为陶瓷单片的长度; E_s为加在双晶片两端的电场强度.

由式(2)计算出的变形量为 1.75@10^{-5}m, 可见 ANSYS分析结果同理论值基本一致. 图 10是双晶片中的应力分布云图.

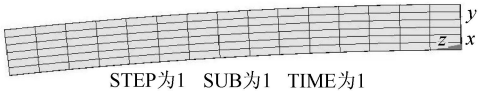


图 9 双晶片变形图

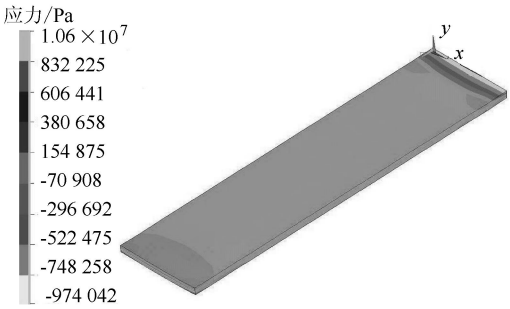


图 10 双晶片应力云图

4 结 论

ANSYS软件将材料特性融入器件的静动态特性分析中, 逼真准确的表现实际反应情况, 是一款可进行微米级分析的软件. 本文用 ANSYS软件耦合场分析功能进行了 PLZT的特性分析: ¹ 建立了 PLZT的有限元模型; º 单片 PLZT的输出位移同外加电压和外力载荷均存在线性关系, 单片 PLZT在外加正弦电压信号的激励下产生同频率的位移输出信号; » 以 10层和 5层压电堆为例得出叠堆结构的输出位移由于粘结层的变形被吃掉一部分, 实际输出位移比理论值要小些; ¼ 进行了双晶片位移输出特性分析. 将 ANSYS仿真结果和理论值进行比较发现, 两者很相近, 所以进行压电器件分析时, 可先通过 ANSYS软件进行预估计.

参考文献 (References)

[1] 涂远, 杜建江, 王涛. 压电类智能层合结构的 ANSYS仿真分析[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2005, 30(4): 288-292
Tu Yuan, Du Jianjiang, Wang Tao. The analysis of piezo-intelligent structure based on ANSYS[J]. Journal of Guangxi University (Nat Sci Ed), 2005, 30(4): 288-292(in Chinese)

[2] Chapuis P F, Bastien F, Manceau J F, et al. FEM modeling of piezo-actuated microswitches[C]//Proceeding of 7th International Conference on Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-Systems. New York: IEEE, 2006: 1-6

[3] Yao L Q, Li L, Zhang Z H, et al. Exact solution of multilayered piezoelectric diaphragms[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2003: 1262-1271

[4] 隋华. 压电效应的有限元分析及压电悬置控制方法的研究[D]. 吉林: 吉林大学车辆工程系, 2002
Sui Hua. Finite element analysis of piezoelectric effect and research of control methods of engine active mount with piezoelectric actuator[D]. Jilin: School of Vehicle Engineering, Jilin University, 2002(in Chinese)

[5] Liang L, Wang S P, Cao F. Characteristics of photo-mechanical device using PLZT wafer[C]//Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications. New York: IEEE, 2006: 354-357

(责任编辑: 张 嵘)