

辐射头对磁致伸缩换能器输出特性的影响

袁 娅, 龙士国

(湘潭大学 材料与光电物理学院, 湖南 湘潭 411105)

摘 要:辐射头作为磁致伸缩换能器的最终输出部分,对其输出特性有显著影响。该文在换能器工作机理及压磁-压电比拟法的基础上,借助 ANSYS 工程应用软件,分析辐射头对换能器输出特性的影响。模拟结果表明,不同形状的辐射头中,长方体辐射头换能器的基振频率最低,动态位移最大;不同材料的辐射头中,45° 钢辐射头的基振频率最低,动态位移最大;在非共振低频激励条件下,换能器的输出为同频正弦周期信号;在共振条件下,换能器位移变化不再是正弦波形,但其输出的瞬时位移有明显提高,能达到 25 μm 。

关键词:磁致伸缩换能器;辐射头;基振频率;瞬时位移;有限元法

中图分类号: TB552; TM15; TN713+.2

文献标识码: A

The Effect of Radiation Head on the Output Features of Magnetostrictive Transducer

YUAN Ya, LONG Shiguo

(Faculty of Materials, Optoelectronics and Physics, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: The radiation head as the final output part of the magnetostrictive transducer has significant influence on the output features of the transducer. The effect of the radiation head on the output features of transducer has been analyzed based on the working mechanism of the transducer and piezomagnetic-piezoelectric analogy method with the assistance of ANSYS engineering application software. The results show that, among different types of radiation head, the cuboid radiation head transducer has the lowest vibration frequency and the most significant dynamic displacement; while among different materials of radiation head, 45° steel radiation head has the lowest vibration frequency and the most significant dynamic displacement. Under non-resonant low frequency excitation condition, the output of the transducer is a same frequency sine periodical signal; while under resonance condition, the displacement of the transducer is no longer sine wave shape, but the output of its instantaneous displacement has improved significantly, which can reach 25 μm .

Key words: magnetostrictive transducer; radiation head; vibration frequency; instantaneous displacement; finite element method

0 引言

近年来,无损检测技术在工业生产的各个领域得到充分的应用。其中,声波检测具有检测灵敏度高,声束指向性好,对危害性缺陷检出率高,适用性广泛等优点,是目前应用最广泛,使用频率最高的无损检测技术之一^[1]。声波无损检测系统一般由震源,即发射换能器,数据采集器,接收传感器和数据处理软件等部分组成^[2]。对换能器来说,为了探测出被测物体中较小尺寸的异常体,需增加其探测距离且提高分辨率。70 年代,美国海军研究所 Clark 等首先研制出来一种新型功能材料,它是一种铽镧

铁合金,被称为磁致伸缩材料,又称 Terfenol-D,以此制成的磁致伸缩换能器以其能量集中,发射声波传播距离远,余震小,数据重复性好及使用方便等优点成为无损检测系统的重要组成部分,其建模和输出特性受到国内外学者的广泛重视^[3-7]。Bryant and Wang 等首次提出了换能器的物理机理模型^[8]。蒋成宝等用自制的磁致伸缩作动器,对其主动控制减震效果进行测试分析^[9]。Jaewan K 等将 ANSYS 有限元法运用到磁致伸缩换能器中^[10]。贺西平等采用有限元模拟法研究前辐射头尺寸对压电换能器谐振频率的影响^[11-12]。

磁致伸缩换能器主要由 Terfenol-D 棒和辐射

收稿日期:2012-12-06

作者简介:袁娅(1987-),女,河南信阳人,硕士生,主要从事检测用磁致伸缩换能器的设计与性能优化研究。龙士国(1972-),男(苗族),湖南湘西人,教授,博士,主要无损评价方法、仪器及工程应用的研究。

头组成。Terfenol-D 棒作为机械振动的激励源(驱动元件),利用其纵向振动推动辐射头振动,向介质辐射声波。辐射头作为换能器的最终输出部分,对换能器的输出特性有显著影响。它的形状、结构参数及材料参数直接影响着换能器的工作效率。因此,本文在换能器工作原理及压磁-压电比拟法的基础上,借助 ANSYS 工程应用软件,类比分析压电换能器的方法,分析辐射头对磁致伸缩换能器输出特性的影响。

1 磁致伸缩换能器的工作原理

磁致伸缩换能器结构简图如图 1 所示。其工作原理为:给激励线圈通入交变电流,产生交变的驱动磁场,GMM 棒在磁场作用下发生伸缩变化将电能转化为机械振动,实现能量的转换,并带动辐射头振动向介质辐射声波。由于磁致伸缩材料较脆,多为棒料,故分析时可近似只考虑轴向振动。

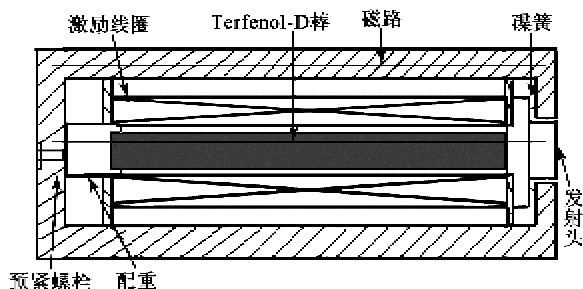


图 1 换能器结构简图

2 有限元分析

2.1 ANSYS 有限元法

因磁致伸缩换能器结构较复杂,等效电路设计方法在设计换能器时有多方限制,我们选择 ANSYS 有限元法进行分析。ANSYS 软件建模简单、快速、方便,可解决结构、力学、热学、电磁场等多物理场间的耦合问题,是换能器设计的一种重要工具。图 2 为 ANSYS 有限元软件模拟换能器流程图。

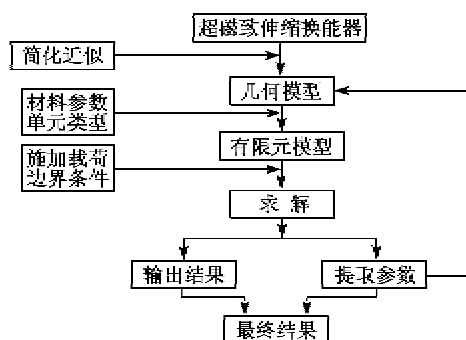


图 2 ANSYS 有限元软件模拟换能器流程图

2.2 有限元模型的建立

磁致伸缩换能器主要包括 Terfenol-D 棒(驱动元件)、激励线圈和辐射头。在进行换能器轴向振动分析时,只考虑 Terfenol-D 棒和辐射头。

选择合适的结构单元类型,加入各部分材料参数,即可生成有限元模型。设计不同形状辐射头,用 ANSYS 软件创建换能器简化模型,利用换能器的对称性,建立笛卡尔坐标系下 1/4 的三维模型,如图 3 所示,辐射头依次为圆柱体、长方体、棱柱体、截锥体, Terfenol-D 棒采用相同的尺寸模型。在保证精度的条件下,这样做明显简化了模型,缩短计算时间。换能器使用的辐射头采用 SOLID45 单元建立,定义单元自由度为 UX,UY,UZ ;稀土棒采用 SOLID5 耦合场单元建立,单元自由度为 $UX,UY,UZ,VOLT$ 。通过给定各部分结构参数及材料参数,加载对称边界条件(对称轴上节点的径向位移为 0,对称轴垂直平分面上的点的轴向位移为 0)对有限元模型进行自由网格划分。

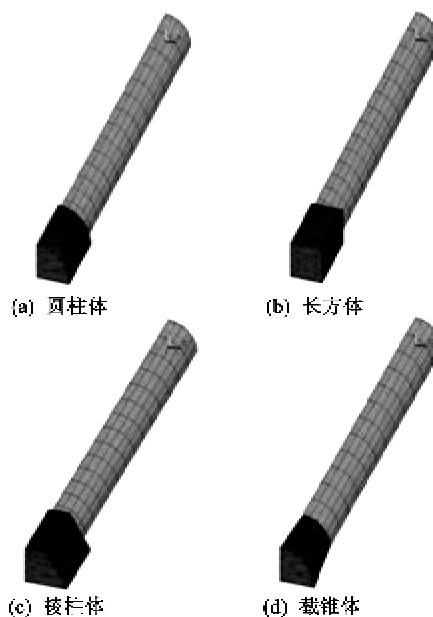


图 3 换能器 1/4 有限元模型

3 有限元模拟结果与讨论

设计的 4 种辐射头换能器,除了辐射头形状各不相同(辐射面积基本相同),其他条件均相同。应用有限元计算,通过模态分析、谐响应分析、瞬态分析,分析其对换能器输出特性的影响。

3.1 模态分析

进行空气中的模态分析,可得到各阶模态频率及模态阵型。模态频率结果如表 1 所示。由表可看

出,与未加辐射头的 Terfenol-D 率相比,添加辐射头的换能器基频数值都有不同程度的下降,其中长方体辐射头基频下降最多。图 4 为换能器一阶纵向振动位移矢量图。其直观反应了换能器的振动位移分布,辐射头依次采用圆柱体、长方体、棱柱体及截锥体,颜色不同表示模态位移的大小不同,颜色越深,模态位移越大。换能器模态位移沿着换能器的轴向逐渐增大,且变化均匀。靠近辐射头的部分模态位移最大。

表 1 换能器的各阶模态频率

	基频频率/Hz	二阶频率/Hz	三阶频率/Hz	四阶频率/Hz
无辐射头	11 061.0	33 242	55 356	77 855
圆柱体	8 775.9	27 430	47 578	68 329
长方体	8 332.4	26 694	46 992	67 922
棱柱体	8 590.6	27 117	47 343	68 201
圆锥体	9 117.8	28 076	48 309	69 483

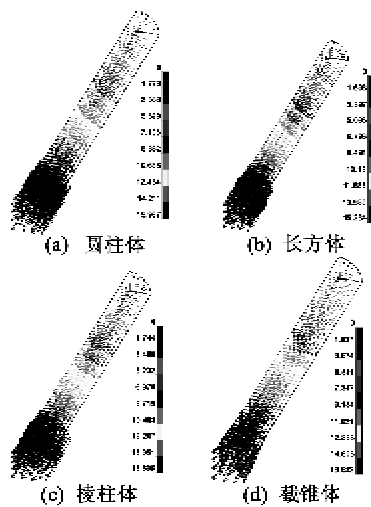


图 4 换能器的纵向振动位移图

3.2 谐响应分析

在换能器模态分析的基础上,进行谐响应动力学分析。对 4 种不同形状辐射头换能器进行谐响应分析,通过时间历程后处理器(POST26)可得到各节点求解值,对节点位移值进行加权平均后得到的输出位移作为换能器的输出位移,所得振幅-频率曲线如图 5 所示。由图 5(a)可看出,不管哪种形状的辐射头,越接近基频频率,产生的动态位移越大。其中长方体辐射头的基频频率最低,产生的动态位移最大。由图 5(b)可看出,不同材质(黄铜、钛、硬铝、镁铝合金、45# 钢)的辐射头中,45# 钢材料的辐射头换能器基频频率最低,产生的动态位移最大。

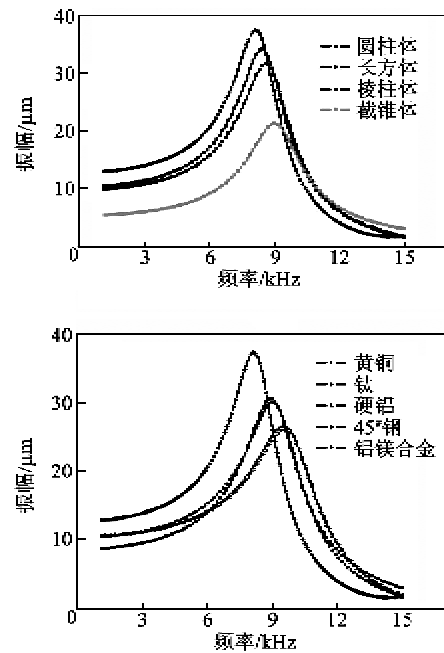


图 5 幅频曲线

3.3 瞬态分析

为了研究共振和非共振条件下换能器电能转化为机械能的实时变化情况,对两种不同频率电流激励下换能器输出位移随时间的变化进行分析。图 6 为其响应特性仿真输入电流信号。

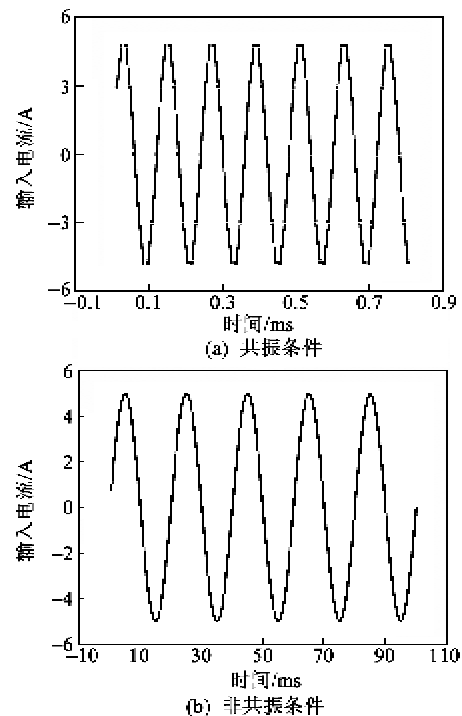


图 6 响应特性仿真输入电流信号

图 7 为同一节点在两种不同频率电流激励作用下输出位移的实时变化曲线。换能器的振动曲线理

想情形是输入为正弦信号时,输出也为同频纯正弦信号。在共振条件下(见图7(a)),换能器位移的变化不再是正弦波形,但其输出的瞬时位移有明显提高,可达到 $25\text{ }\mu\text{m}$,这是因为输入的交流驱动电流频率等于稀土棒纵振换能器机械系统的固有频率,因为两者相等时换能器处于共振状态,输出的位移最大,进而磁致伸缩材料的磁-机械耦合系数最大,换能器能量转换的效率最高。而在非共振低频条件下(见图7(b)),换能器的输出基本上为同频的正弦周期信号。

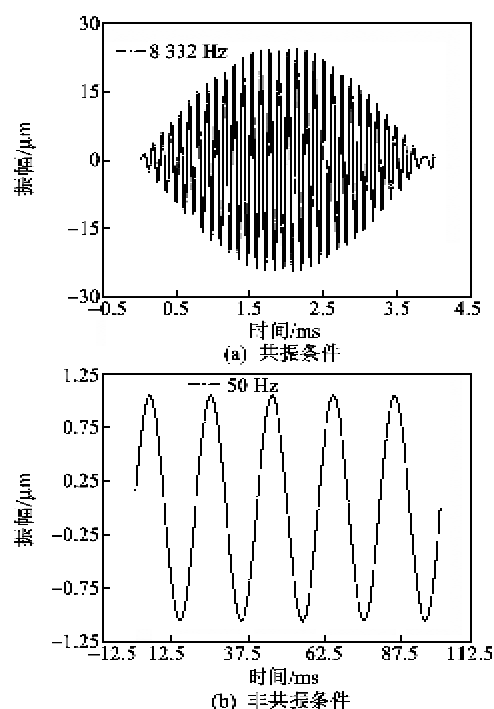


图7 输出位移的实时变化

4 结论

本文以有限元分析换能器的基本理论和压电-压电类比法为基础,利用ANSYS软件建立声波检测用磁致伸缩换能器的简化模型,对辐射头对其输出特性的影响进行模拟分析。结果发现:

1) 磁致伸缩换能器采用不同形状的辐射头,长方体辐射头的基频频率最低,当辐射头的结构确定后,其共振频率也随之确定。

2) 磁致伸缩换能器采用不同材质的辐射头,45#钢材的辐射头换能器基频频率最低,产生的动态位移最大。

3) 磁致伸缩换能器在非共振低频条件下,其输出为同频的正弦周期信号;在共振条件下,其位移的变化不再是正弦波形,但其瞬时输出位移有明显提

高,可达到 $25\text{ }\mu\text{m}$ 。

参考文献:

- [1] 罗雄彪,陈铁群. 超声无损检测的发展趋势[J]. 无损检测, 2005, 27(2): 148-152.
LUO Xiongbiao, CHEN Tiequn. Development trends of ultrasonic testing [J]. Nondestructive Testing, 2005, 27(2): 148-152.
- [2] 龙士国,马天朗. 稀土超磁致伸缩换能器的研制及其在桥梁检测中的应用[J]. 功能材料, 2007, 38(3): 1139-1141.
LONG Shiguo, MA Tianlang. Magnetostrictive transducer and its application in NDE[J]. Journal of Functional Materials, 2007, 38(3): 1139-1141.
- [3] BRAGHINI F, CINQUEMANI S. A model of magnetostrictive actuators for active vibration control[J]. Sensors and Actuators A-Physical, 2011, 155(1): 342-350.
- [4] GRUNWALD, OLABI A A G. Design of a magnetostrictive (MS) actuator[J]. Sensors and Actuators A-Physical, 2008, 144(1): 161-175.
- [5] WENMEI H, WANG B. A numerical dynamic model of giant magnetostrictive actuator[J]. Electrical Machines and Systems, 2005, 1: 772-774.
- [6] 孙英,王博文,翁玲,等. 磁致伸缩制动器的输出位移与电流频率关系实验研究[J]. 电工技术学报, 2008, 23(3): 8-13.
SUN Ying, WANG Bowen, WENG Ling, et al. Study of the relationship between output displacement and input current frequency for magnetostrictive actuator[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 18(4): 771-776.
- [7] SOON S J. Magnetostrictive Terfenol-D material linear simulation using finite element method[J]. Electromagnetics and Mechanics, 2006, 24: 187-193.
- [8] BRYANT M D, WANG Ling. Audio range dynamic model and control ability of linear motion terfenol actuators[J]. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 1994, 5(3): 431-436.
- [9] TIANLI Z, CHENGHAO J. Giant magnetostrictive actuators for active vibration control[J]. Smart Materials and Structures, 2004, 13: 473-477.
- [10] JAEHWAN K, EUNMI J. Finite element analysis for acoustic characteristics of a magnetostrictive transducer[J]. Smart Mater Struct, 2005, 14(6): 1272-1280.
- [11] 贺西平. 复合棒型压电换能器的纵弯振动[J]. 压电与声光, 2005, 27(6): 655-657.
HE Xiping. Flexural and longitudinal vibration of a compound bar piezoelectric transducer[J]. Piezoelectrics and Acoustooptics, 2005, 27(6): 655-657.
- [12] 贺西平,胡时岳,陈航. 换能器前辐射头与轴向平行方向的弯曲振动[J]. 应用声学, 2003, 22(5): 9-12.