

新型圆管换能器预应力分析

严 伟

(杭州应用声学研究所, 杭州 310012)

摘要: 大功率圆管换能器在清洗、除垢、萃取等领域中有着广泛的应用。分析了一种新型圆管换能器, 通过热胀冷缩原理给换能器施加预应力, 充分发挥压电陶瓷的机械性能, 达到大功率辐射要求。通过有限元仿真软件 ANSYS 对换能器的预应力进行仿真分析, 着重分析了金属管材料、管壁厚度以及温度差与热应力的关系, 根据优化结果选择合适的材料、尺寸制作出换能器初样品, 换能器测试结果一致性较好。

关键词: 圆管换能器; 预应力; 有限元(ANSYS); 热应力

中图分类号: TB552

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2010)-02-0236-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2010.02.026

The preload stress analysis of a new type cylindrical transducer

YAN Wei

(Hangzhou Applied Acoustics Research Institute, Hangzhou 310012, China)

Abstract: High power cylindrical transducer is widely used in cleaning, contaminant separation and extraction. In order to exert the maximal mechanic capability of PZT for the purpose of high power radiation, a new type cylindrical transducer preloaded by heating the metal casing A new type cylindrical transducer preloaded by heating the metal casing is introduced in this article. Preload stress is analyzed by the finite element simulation software ANSYS. The relationship between the thermal stress and the attribute of the metal casing such as material, thickness and heating temperature is obtained through analysis. According to the optimized results, transducers have been made. Experiments show that the transducers have good performance.

Key words: cylindrical transducer; preload stress; finite element method (ANSYS); thermal stress

1 引言

圆管型换能器由于其声性能具有宽带、灵敏度高且水平无指向性等优点, 结构上具有尺寸小、重量轻等特点, 早在上世纪 40 年代在水声领域就已得到广泛的应用。由于水声信号的接收和发射一般都处在稳态的工作条件(避免产生非线性和空化), 因而功率密度比较小, 典型的结构和振动模式都能满足其应用的要求。目前在生物柴油、防垢除垢、大容积超声清洗、中药萃取、二次采油、污水降解处理以及在超声化学等方面圆管型换能器也都有广泛的应用, 但与水声应用相比, 前者要求换能器具有更大的功率、更高的效率以及工作的可靠性和稳定性^[1]。

圆管型换能器能否具备大功率, 关键因素之一是陶瓷的机械性能, 由于陶瓷的抗压能力远大于抗

拉能力, 因此需要给圆管施加一个径向压预应力。采用预应力丝的方法施加的预应力较小, 一般箍不超过 10MPa。本文介绍的预应力施加原理是利用陶瓷和金属材料管具有不同的膨胀系数, 将金属管加热至一定温度, 再将两者装配起来, 金属管温度降低, 金属管收缩就给陶瓷施加一定的预应力。这种方法比常规的预应力丝所加应力要大得多, 且陶瓷受力也较前者更均匀。

2 热应力分析

热力学分析遵循热力学第一定律, 即能量守恒定律, 其描述如下: 对于一个封闭的系统(没有质量的流入或流出)有^[2]:

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (1)$$

其中: Q - 热量; W - 做功; ΔU - 系统内能; ΔKE - 系统动能; ΔPE - 系统势能。

ANSYS 软件是目前较流行的大型有限元分析软件, 可解决多学科的问题。利用软件的多物理场求解模块, 通过对结构进行热-结构应力分析, 即将热分析的节点温度作为载荷施加在后序的应力分

收稿日期: 2009-02-05; 修回日期: 2009-05-12

作者简介: 严伟(1982-), 男, 四川德阳人, 硕士研究生, 研究方向为水声换能器及声系统、超声换能器。

通讯作者: 严伟, E-mail: kennyw25@sina.com

析中, 以此来观察陶瓷圆管的预应力分析情况。

文中的预应力圆管换能器结构可视为双层的圆管, 其有限元模型如图 1 所示。由于换能器具有轴对称性, 为简化分析过程, 采用柱坐标系下的二维模型建模。在后期结果处理上, 在模型的陶瓷表面定义一条路径, 这样便于观察和分析压电陶瓷的受力情况。

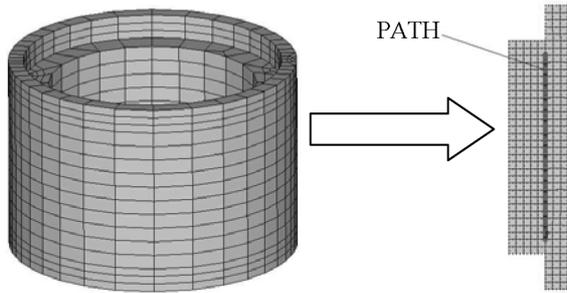


图 1 换能器有限元模型
Fig.1 Finite element model of transducer

这种换能器的预应力施加原理即热胀冷缩原理。因此, 换能器所施加的预应力大小与换能器结构件的材料属性、换能器结构件的厚度以及外圆管的加热温度有关。为掌握这些参数与陶瓷受力的关系, 我们就不同情况逐个进行仿真分析。

2.1 不同材料时应力分析

换能器结构件即外圆管材料分别选用不锈钢、硬铝、钛合金、45 # 钢以及黄铜, 管壁厚度均为 3mm, 陶瓷圆管温度为 27℃, 外圆管加热温度为 200℃。换能器外圆管为上述五种不同的金属材料时, 陶瓷受力情况分别如图 2、3 所示。

从上面的计算结果可以看出, 不同金属材料其密度、膨胀系数等参数各不相同^[3]。换能器外圆管材料选用不锈钢时, 陶瓷外表面的径向应力最大, 轴向应力也为最大; 换能器外圆管材料选用钛合金时, 陶瓷外表面的径向应力与轴向应力是几种金属

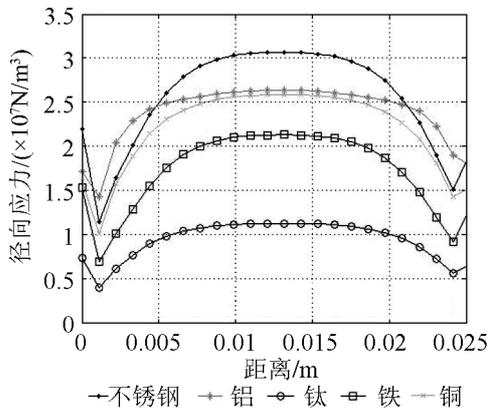


图 2 不同材料时陶瓷径向应力分布
Fig 2 The distribution of radial stress for different materials

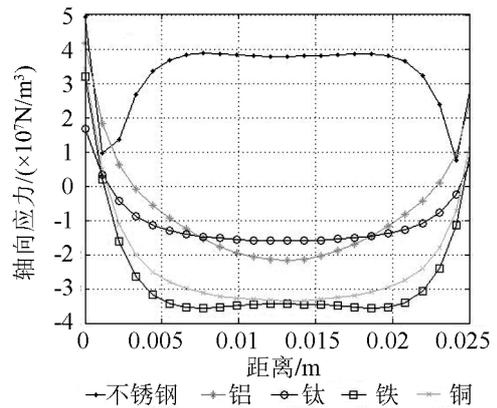


图 3 不同材料时陶瓷轴向应力分布
Fig 3 The distribution of axial stress for different materials

材料中最小的。同时, 从图 2、3 上也可以看出, 当选用钛合金做为外圆管时, 陶瓷表面受力的不均匀性也是几种金属中最小的。

2.2 不同管壁厚度时应力分析

保持换能器结构件(外圆管材料)和结构件加热温度不变, 仅改变外圆管的壁厚, 观察换能器压电陶瓷的受力与外圆管壁厚的关系。图 4、5 分别是外圆管壁厚从 1mm 增至 3.5mm(壁厚每次递增 0.5mm)时, 陶瓷径向应力与轴向应力的分布情况。

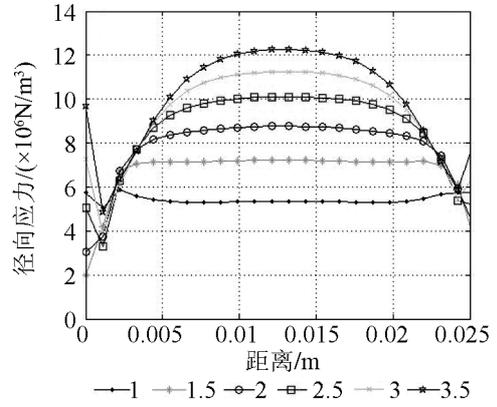


图 4 不同壁厚时陶瓷径向应力分布
Fig.4 The distribution of radial stress for different thickness

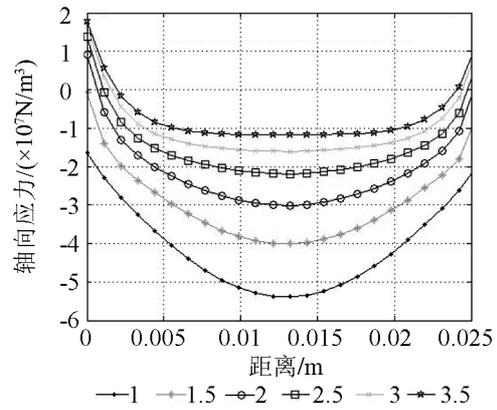


图 5 不同壁厚时陶瓷轴向应力分布
Fig.5 The distribution of axial stress for different thickness

从图中可以看出，外圆管壁厚为 1mm 时，陶瓷外表面所受径向应力最小，而轴向应力则最大；随着壁厚的不断增厚，陶瓷表面所受径向应力不断增大，轴向应力则随之减小。

2.3 不同加热温度时应力分析

保持换能器结构件(外圆管材料)属性和壁厚不变，仅改变外圆管的加热温度，观察换能器压电陶瓷的受力与加热温度的关系。外圆管加热温度从 170℃ 升至 320℃(温度每次递增 30℃)时，陶瓷径向应力与轴向应力的分布情况如图 6、7 所示。

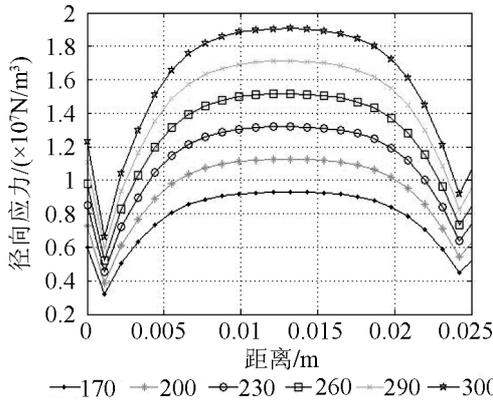


图 6 不同加热温度时陶瓷径向应力分布

Fig.6 The distribution of radial stress for different temperature

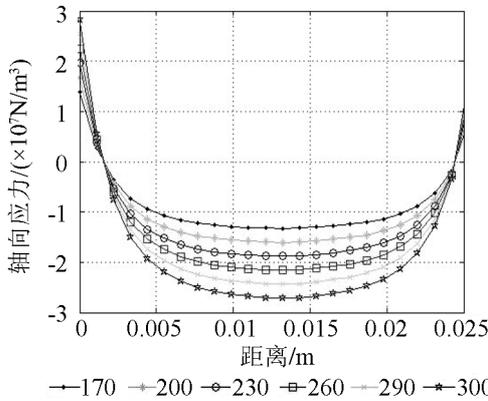


图 7 不同加热温度时陶瓷轴向应力分布

Fig.7 The distribution of axial stress for different temperature

由图 6、7 明显可以看出，陶瓷表面所受应力的大小与加热温度成正比关系，即陶瓷表面所受的应力随着加热温度的升高而增大。

查询材料手册^[4]可知，压电陶瓷的静态抗张强度为 77MPa，抗压强度可达 600MPa。因此在给压电陶瓷施加预应力时，既要使陶瓷充分发挥机械极限，又要避免预应力过大，从而破坏陶瓷。

根据以上计算结果，再综合考虑实际装配以及换能器使用性能，换能器外圆管材料选用钛合金较好，金属圆管壁厚取值在 2~3mm，壁厚过薄，陶瓷所受应力偏大，另外加工的圆管易发生形变，达不

到装配精度；壁厚过厚，会增加换能器的损耗负载，降低换能器的效率。加热温度根据实际的实验设备情况，定为 300℃ 左右。

3 换能器制作

在理论仿真分析的基础上，进行换能器的制作，换能器结构件选取壁厚为 2.5mm 的钛合金圆管，加热温度 270℃。由于这种方法对陶瓷元件以及结构件的加工精度要求比较高，在目前的陶瓷元件制作工艺和结构件加工工艺下，要达到这种要求具有一定的难度。尽量选取几何精度相对较高的陶瓷元件和钛合金管结构件，制作一批预应力圆管换能器(见图 8、9)，并对其简单的性能测试，结果如图 10、11 所示。测试结果表明，两个换能器的频率一致性较好，分别为 25.3kHz、25.1kHz。大功率性能等还需进一步测试以待验证其一致性。



图 8 1# 换能器实物图

Fig.8 Picture of 1# transducer



图 9 2# 换能器实物图

Fig.9 Picture of 2# transducer

4 结 论

本文介绍一种新型的预应力圆管换能器，通过有限元仿真软件对其预应力分布进行计算分析，总结出材料、管壁厚度、以及温度差与陶瓷预应力的

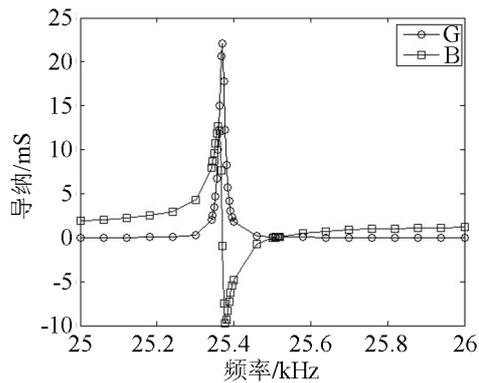


图10 1#换能器导纳曲线

Fig.10 Admittance of 1# transducer

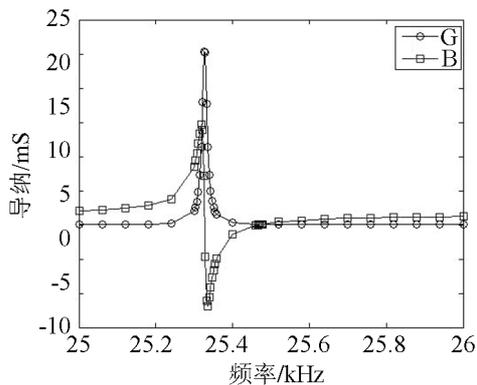


图11 2#换能器导纳曲线

Fig.11 Admittance of 2# transducer

关系,通过理论计算指导,实际制作出的预应力圆管换能器初样品经初步测试基本符合要求,且一致性较好。由于本方法在几何精度上的高要求,受目前加工工艺的局限,换能器性能可能达不到理想的效果,但也指出了一个研究的方向。

参 考 文 献

- [1] 俞宏沛. 圆柱大功率换能器的应用与发展[J]. 声学及电子工程, 2007, (4): 1-4.
YU Hongpei. The application and development of high power cylindrical transducer[J]. Acoustics and Electronics Engineering, 2007, (4): 1-4.
- [2] 李黎明. ANSYS有限元分析实用教程[M]. 清华大学出版社, 2003.
LI Liming. ANSYS finite element analysis tutorial[M]. Tsinghua University Press, 2003.
- [3] 海钦, 向俞. 中国工业材料大典[M]. 上海科学技术文献出版社, 1999.
HAI Qin, XIANG Yu. Chinese industrial material manual[M]. Publishing Company of Scientific Technique Shanghai, 1999.
- [4] 王荣津. 水声材料手册[M]. 科学出版社, 1983.
WANG Rongjin. Underwater sound material manual[M]. Publishing company of Science, 1983.