

## Ⅲ型弯张换能器设计研制

尚宇航, 张争气, 房雅娟

(西北工业大学 航海学院, 陕西 西安 710072)

**摘要:**随着科技的不断发展,Ⅲ型弯张换能器以其低频、宽带、小尺寸和大功率等特点成为水声研究领域的重点。该文基于有限元理论,采用 ANSYS 有限元软件建立 2.4 kHz 的Ⅲ型弯张换能器模型并进行分析,得出换能器在空气中和水中的振型、导纳曲线等基本数据,根据分析结果采用合理的结构形式和装配工艺制作样机,并进行测试,测试的结果与理论分析基本符合,达到预期技术指标。

**关键词:**Ⅲ型弯张换能器;有限元法;导纳

**中图分类号:**TN303;TB565

**文献标识码:**A

## Design and Development of Ⅲ Type Flextensional Transducer

SHANG Yuhang, ZHANG Zhengqi, FANG Yajuan

(College of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** Ⅲ type flextensional transducer is a research key in the field of underwater acoustics, with the features of low frequency, broadband, small size and high power. Based on the finite element theory and the finite element software ANSYS, 2.4 kHz Ⅲ type transducer model is established and analyzed. Basic figures of the transducer such as modes in air or water, and the admittance curve of the data are obtained. According to the results and analysis, prototype is made and tested using reasonable structural form and assembly process. Test results basically accord with the theoretical analysis, achieving the expected technical specifications.

**Key words:** Ⅲ flextensional transducer; finite element method; admittance

### 0 引言

随着科技的进步,在水声领域中对换能器性能提出了更高的要求,如低频、大功率、宽带、深水、性能稳定,体积小,质量小等。弯张换能器<sup>[1]</sup>因其频率低及功率大等特点成为水声领域研究的重点,该类型换能器可分为 7 种,其中Ⅲ型弯张换能器应用较普遍,具有较小的体积,能较好地满足成阵需求等特点,因此成为人们研究的重点。Ⅲ型弯张换能器除了具有其他弯张换能器的共同特点外,还具有两个独特的优点,即

1) 该换能器的壳体采用凹形曲梁设计,使换能器的轴向和径向在同相位上振动,使其具有较高的工作效率。

2) 随着换能器工作深度的增加,有源元件的预应力随着深度逐渐变大,使Ⅲ型弯张换能器具备深水工作的性能<sup>[2]</sup>。

### 1 Ⅲ型弯张换能器的工作原理简介

Ⅲ型弯张换能器的基本结构如图 1 所示,作为弯张换能器中的一个分支,Ⅲ型弯张换能器的外围由几块凹型弯曲梁围成<sup>[3-4]</sup>,压电陶瓷堆或磁致伸缩

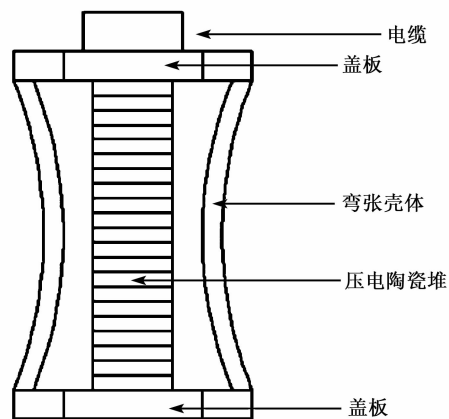


图 1 Ⅲ型弯张换能器的基本结构示意图

收稿日期:2015-10-14

作者简介:尚宇航(1990-),男,陕西西安人,硕士生,主要从事水声换能器及其应用的研究。E-mail:vinsera@163.com。

棒插入长轴中作为驱动元件,驱动元件沿长轴轴向振动,从而带动筒型辐射面作弯曲振动。

试制作换能器样机如图 2 所示,外形主要由盖板和壳体两部分组成,其尺寸分别为 45 mm 和 125 mm。

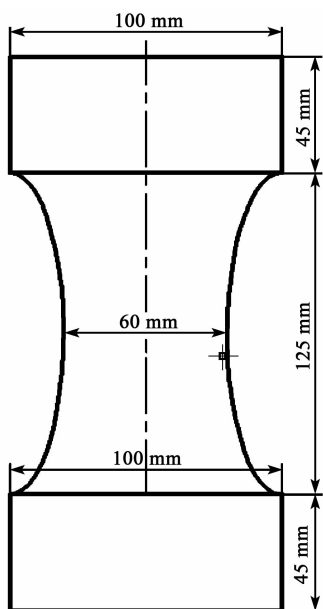


图 2 换能器工程图

## 2 III型弯张换能器的有限元分析

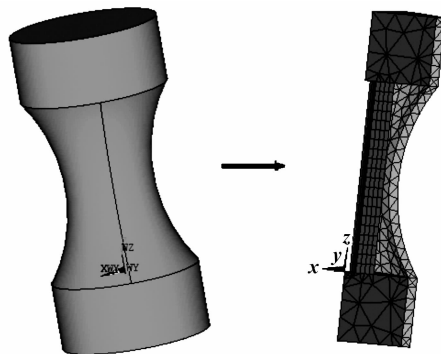
### 2.1 ANSYS 软件分析换能器的一般步骤

应用 ANSYS 软件分析<sup>[5]</sup>时,应结合具体分析的问题,在满足 ANSYS 软件前处理要求的前提下,先对模型进行适当的简化。然后建立换能器的几何模型,设定材料的参数,划分网格,形成换能器的有限元模型。必要时可将结构拆分或合并,从而使建模更直观,便于后续求解。网格的划分要保证求解的精度以及求解的速度。建立换能器的有限元模型后,在模型上施加载荷和边界条件等,然后进行求解。求解结束后,通过后处理过程提取所需数据,得出图形结果<sup>[6]</sup>。

### 2.2 建立有限元模型

III型弯张换能器的结构如图 3 所示。通常其壳体上沿轴向都有一定数目的开槽,这可减少换能器壳体的径向刚度,从而降低换能器的谐振频率。根据开槽数目对谐振频率和声源级产生影响,文中取开槽数目为 4。首先对换能器的模型进行简化,把换能器外层的透声聚氨酯橡胶当作水来处理,忽略粘接层、薄电极片等,粘接部分及过盈配合部分当作

连续体来描述,边界部分标准为自由界。仅对盖板、压电陶瓷堆、壳体进行建模分析,并忽略由材料一致性、机械加工、装配工艺等所造成的非轴对称问题<sup>[7]</sup>。



(a) III型弯张换能器的结构示意图 (b) 1/4有限元模型

图 3 III型弯张换能器的结构示意图及 1/4 有限元模型

III型弯张换能器的壳体结构因为开槽的存在,严格来讲其不是轴对称模型,而是循环对称的,因此,在建模时不能将其归类为二维模型来进行分析。在文中构建换能器的 1/4 模型是用边界对称条件来模拟其循环对称结构<sup>[8]</sup>。由图 3 可知,这样不仅能够提高计算机的运算速度,且换能器内部结构变化较直观。

### 2.3 III型弯张换能器模态分析

利用 ANSYS 的前处理功能得到有限元模型,加载对称边界条件,进入通用后处理进行模态分析可得到换能器的自然频率和振动位移分布,从而获得所需模态结果。并计算出换能器在空气中前三阶振动模态,如图 4 所示。

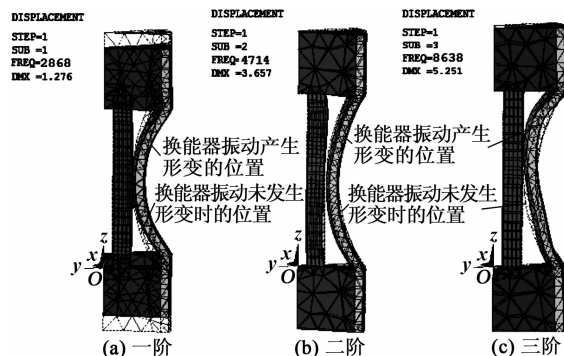


图 4 III型弯张换能器的三阶振动模态

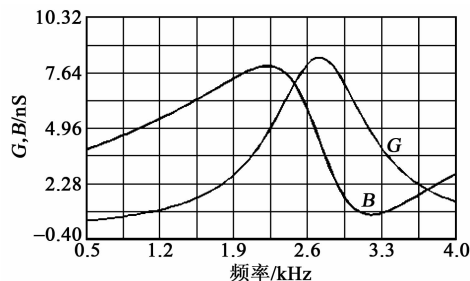
由图 4 可知,振型变化主要集中在刚度较小的弯曲壳体部位,表现为弯曲壳体在  $xOy$  和  $xOz$  平面内弯曲振动,其他结构如盖板结构振型变化不明显。由图 4 还可知,III型弯张换能器的第一阶谐振

频率为 2 668 Hz,换能器两端的盖板沿换能器轴向运动,由此牵引壳体作呼吸式弯张运动;第二阶谐振频率为 4 714 Hz;第三阶谐振频率为 8 638 Hz。

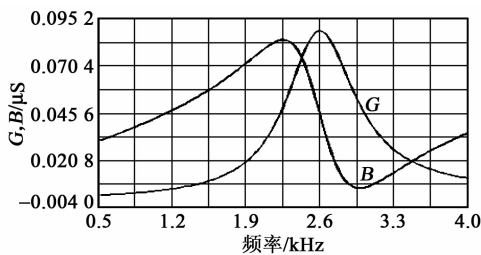
### 3 Ⅲ型弯张换能器的声电特性分析

ANSYS 软件提供了谐响应分析功能,该功能可以确定一个结构承受正弦变化载荷作用下的响应,可适用于模拟换能器空气中与水中的工作状态。能够求出换能器在工作状态下的位移分布、电导纳等数据,在流体中还可求出其声场特性<sup>[9]</sup>。

通过对换能器在空气中和水中的模型进行谐响应分析可得换能器相应的导、纳( $G$ 、 $B$ )曲线(见图 5)及水中发射响应曲线(见图 6)。



(a) Ⅲ型换能器在空气中的导纳曲线



(b) Ⅲ型换能器在水中的导纳曲线

图 5 Ⅲ型换能器在空气和水中的导纳曲线

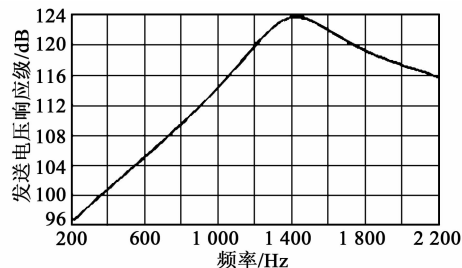


图 6 发送电压响应曲线图

由图 5(a)可知,导纳的谐振频率为 2 868 Hz,与第二节中分析结果相同。谐振频率下换能器的最大电导  $G_m = 0.84$  mS。由图 5(b)可知,由于流体跟换能器间的相互作用,换能器在水中的导纳曲线起伏较平缓,换能器在水中的谐振频率为 2 395 Hz,在此谐振频率下换能器的  $G_m = 0.86$  mS。由此可得,换能

器在水中的谐振频率比空气中的谐振频率降低了 473 Hz,这是因为换能器在水中振动时辐射表面的等效质量变大,从而降低谐振频率。

### 4 Ⅲ型弯张换能器的数据测试

根据上文中的要求设计样机如图 7 所示,并在消声水池对换能器进行测量,用阻抗分析仪对其在空气中的导纳频率进行测量(见图 8)。由图 8 可知,换能器的谐振频率约为 2.7 kHz。



图 7 换能器样机

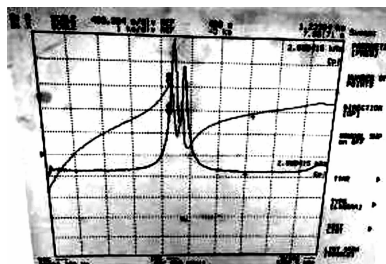


图 8 换能器在空气中的导纳频率测量

用阻抗分析仪在水中换能器进行导纳频率测量,如图 9 所示,由图可知换能器的谐振频率约为 2.35 kHz。

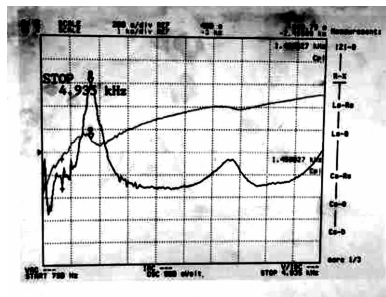


图 9 换能器在水中的导纳频率测量

通过实验测量换能器的发送电压响应,所得数据如图 10 所示。经过与上文中 ANSYS 分析的数据结果对比可得,ANSYS 分析出来的换能器谐振

频率略低于实测值<sup>[10]</sup>,这是因为在 ANSYS 中进行建模时作了相关简化,对换能器陶瓷片的介电损耗、无源镶拼条和胶层的机械损耗、水介质的吸收及流固耦合的能力损失等进行了简化<sup>[11]</sup>。虽然数值间存在一定的误差,但吻合度较好,同时可证明用 ANSYS 有限元法分析换能器是可行、有效的,样机制作也较成功。

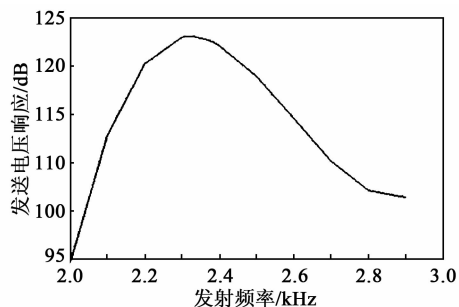


图 10 换能器在水中的发射电压响应曲线图

## 5 结束语

本文介绍了Ⅲ型弯张换能器的工作原理,并通过 ANSYS 软件对换能器进行了有限元分析,通过模态分析和谐响应分析得出换能器的主要参数。然后根据要求制作样机进行测试并与分析的结果进行对比。测量结果与有限元分析结果基本符合。因此,可以得出通过有限元法对换能器的设计具有重大意义。

## 参考文献:

- [1] ROLT K D. History of flextensional electroacoustic transducer[J]. J Acoust Soc Am, 1990, 87(3): 1340-1349.
- [2] 蔡志勋,高毅品,申扣喜,等. 凹筒型弯张低频发射换能器[J]. 应用声学, 2003, 22(3): 19-26.  
CAI Zhixun, GAO Yipin, SHEN Kouxi, et al. The barrel type flextensional transducer[J]. Applied Acoustics, 2003, 22(3): 19-26.
- [3] 王雨虹. 新型弯张换能器——欧米伽换能器频率特性与形状参数关系[J]. 四川兵工学报, 2012(5): 1-5.
- [4] 张秀辉,胡仁喜. 有限元分析从入门到精通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [5] 王世全,夏铁坚,王月兵. Ⅲ型弯张换能器的有限元设计及结果验证[J]. 声学及电子工程, 2004(4): 1-5.  
WANG Shiquan, XIA Tiejian, WANG Yuebing. Finite element design and results of type Ⅲ flextensional transducer[J]. Acoustics and Element Engineering, 2004(4): 1-5.
- [6] 宁连旺. ANSYS 有限元分析理论与发展[J]. 山西科技, 2008(4): 65-68.  
NING Lianwang. ANSYS finite element analysis theory and development[J]. Shanxi science and Technology, 2008(4): 65-68.
- [7] 曾春霞,蒋凌. 压电换能器底座 ANSYS 有限元分析[J]. 仪表技术, 2011.  
ZENG Chunxia, JIANG Ling. Piezoelectric transducer base with ANSYS finite element analysis[J]. Instrumentation Technology, 2011.
- [8] 张强. 双前盖板换能器研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [9] 苏妍,王月兵. 用有限元法分析拼镶式换能器[J]. 声学及电子工程, 2003(1): 29-32.  
SU Yan, WANG Yuebing. Spelling is analyzed with finite element method with transducer[J]. Journal of Acoustics and Electronic and Electronic Engineering, 2003(1): 29-32.
- [10] 桑永杰. 大尺寸压电超声换能器的特性研究及有限元仿真[D]. 西安: 陕西师范大学, 2007.
- [11] 蓝宇. 弯张换能器有限元设计[J]. 声学技术, 2005, 24(4): 268-271.  
LAN Yu. Design of flextensional transducer based on finite element method[J]. Technical Acoustics, 2005, 24(4): 268-271.