

宽带宽波束纵向水声换能器研究

莫喜平^{1†} 刘永平¹ 崔政¹ 刘慧生¹ 柴勇^{1,2} 吕震涛¹

(1 中国科学院声学研究所 北京 100080)

(2 中国科学院研究生院 北京 100080)

摘要 本文通过设计纵向水声换能器辐射头的形状及利用其弯曲振动模, 实现宽带宽波束辐射特性, 采用后质量块的嵌套结构有效缩小了换能器的长度。利用 ANSYS 有限元软件模拟了小型宽带宽波束纵向水声换能器的电声特性。研制了换能器样品, 实现了与有限元模拟计算结果相一致的电声参数: 谐振频率 14kHz, 最大发射电压响应 141.9dB, -3dB 带宽为 11.3~18.7kHz, -3dB 带通 Q 值为 1.9, 在 14kHz 频率下波束宽度为 132° , 比通常纵向换能器波束宽度宽 23%。

关键词 纵向水声换能器, 宽带, 宽波束, 弯曲振动模, 有限元法

A broadband and wide-beam longitudinal underwater transducer

MO Xi-Ping¹ LIU Yong-Ping¹ CUI Zheng¹ LIU Hui-Sheng¹ CHAI Yong^{1,2}
LU Zhen-Tao¹

(1 Institute of Acoustics, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract A broadband and wide-beam longitudinal transducer is developed by designing the shape of vibration top and utilizing its flexure mode, and a nested structure of tail-mass is used to reduce the longitudinal size. The electro-acoustic characteristics of the miniature broadband and wide-beam longitudinal transducer are simulated by the ANSYS software. The measured results of the electro-acoustic characteristics of a prototype transducer are in agreement with the calculated, the former being: resonance frequency is 14kHz, maximum transmitting voltage response level 141.9dB, -3dB bandwidth 11.3~18.7kHz, Q factor for -3dB bandwidth 1.9, beam width 132° , that is 23% wider than a usual longitudinal transducer.

Key words Longitudinal underwater transducer, Broadband, Wide-beam, Flexure mode, Finite element method

2005-07-29 收稿; 2006-04-10 定稿

作者简介: 莫喜平 (1966-), 研究员, 博士, 博士生导师, 研究方向: 水声换能器及计量测试技术。

刘永平 (1975-), 助理研究员, 硕士。崔政 (1973-), 工程师。刘慧生 (1974-), 助理研究员。柴勇 (1980-), 博士研究生。吕震涛 (1976-), 现为西北大学硕士研究生。

[†] 通讯联系人 Email: moxp@mail.ioa.ac.cn

1 引言

纵向换能器(复合棒换能器)是水声领域应用较广的换能器类型之一,它以结构简单、性能稳定、布阵方便等优点而被广泛采用。单一振动模式的这类换能器频带宽度一般不宽,在工程设计上常采用一些手段来展宽频带^[1~4],前辐射头弯曲模与纵向振动模耦合是展宽频带较常用的方法之一。在实现宽波束的设计中,一般采用半球压电陶瓷元件做成换能器,由于不便于实施预应力工艺,换能器的声源级不高。而纵向换能器的辐射波束直接由辐射面大小决定,对宽波束应用显得不太合适,因此如何在一定辐射面尺度限制下,充分实现宽波束和拓宽频带有其重要的工程意义。尤其在应答器、潜水员通讯系统、小型模拟器、水中兵器制导系统等领域需要小型、稳定可靠、声源级足够高的宽带宽波束水声换能器。本文对这类应用背景条件下的水声换能器进行研究。

2 换能器的设计和有限元模拟

设计如图 1 所示的纵向换能器,换能器由前辐射头(硬铝)、压电陶瓷(PZT-4)、后质量块(黄铜)、预应力螺栓(45# 钢)组成。设计中前辐射头的特殊形状是为了获得宽波束、宽频辐射特性,后质量块设计成桶型嵌套结构是为了减少纵向尺寸。从结构部件的复杂形状上看,用集总参数等效电路法分析将比较困难,尤其是振动模之间的耦合问题,有限元法则更显优势。

如图 1 所示换能器各部分经过有限元设计优化,考虑到前辐射头弯曲模与纵向振动模耦合作用、前辐射面上法向位移分布以及对宽波束特性的贡献,设计了前辐射头的厚度、形状等。最终模型通过 ANSYS 软件模拟计算了电声参数(见图 2~图 3)。其中图 2 为换能器发射电压响应计算结果;图 3 为换能器导纳曲线计算结果;图 4 给出换能器辐射指向性波束图

(14kHz) 计算结果,环形线以 -6dB 间隔表示相对声压级,方位角度定义见图 1 所示,以换能器辐射面中心外法线方向为 0° ,顺时针旋转为角度正方向。

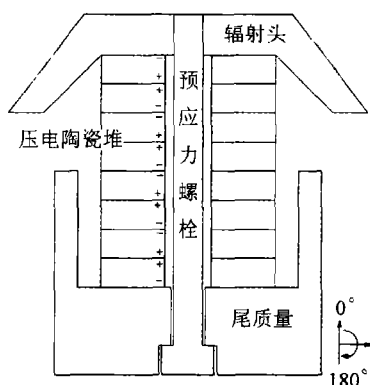


图 1 换能器结构示意图

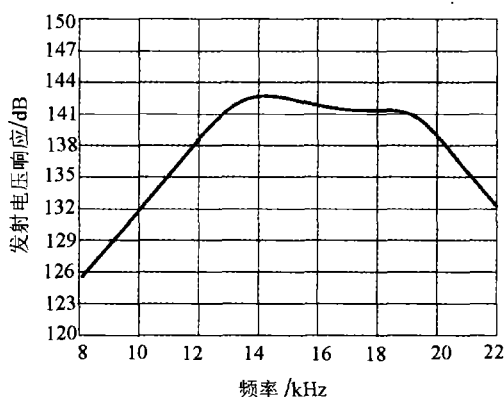


图 2 换能器发射电压响应曲线计算结果

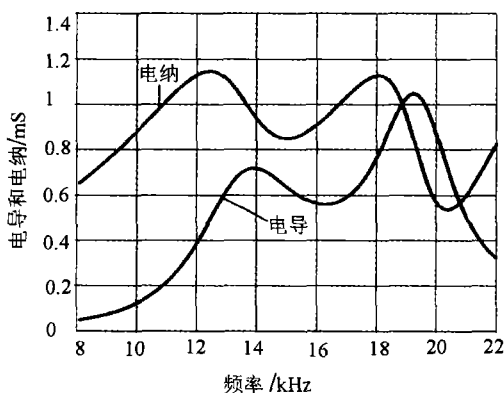


图 3 换能器导纳曲线计算结果

设计的换能器模拟计算结果: 谐振基频 14kHz, 前辐射头弯曲模频率 19.1kHz, 最大发射电压响应 142.2dB, -3dB 带宽为 7.5kHz, -3dB 带通 Q 值为 1.87, 波束宽度为 144° (图 4 也给出波束宽度测试结果为 132°)。从模拟计算结果看, 这种设计思路达到了展宽频带和增加波束宽度的目的。

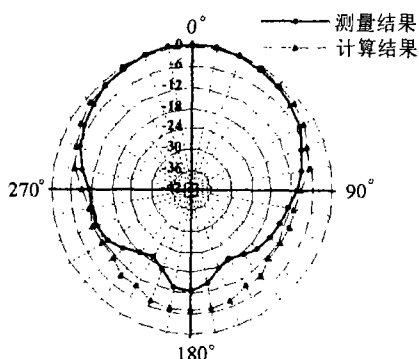


图 4 换能器指向性波束图 (14kHz)

压响应、阻抗曲线、指向性图等参数, 换能器的发射电压响应曲线测试结果见图 5, 由测试曲线可以得到换能器基频谐振频率为 14kHz, 最大发射电压响应级 141.9dB, -3dB 带宽为 11.3~18.7kHz, -3dB 带通 Q 值为 1.9。测得换能器电端等效阻抗为 652Ω , 如图 4 所示测得换能器 14kHz 频率的波束宽度 (-6dB) 为 132° 。波束图后端测试结果与模拟结果的差异是法兰的遮挡效应所致。

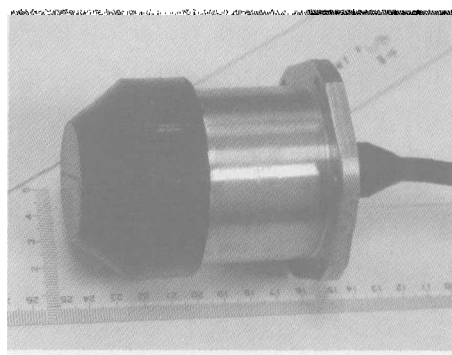


图 6 换能器样品实物照片

3 换能器样品研制及参数测试

根据有限元设计结果加工制作了一个换能器样品, 换能器的前辐射头用聚氨酯橡胶灌注, 设计了不锈钢外壳和专用的安装法兰, 换能器 (含外壳及法兰) 重量 1.3kg, 外形尺寸: $\Phi 68\text{mm} \times 90\text{mm}$ 。图 6 为换能器样品实物照片。

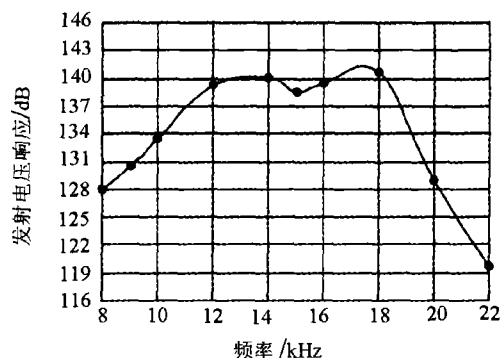


图 5 换能器发射电压响应曲线测试结果

在水池测量得到研制换能器样品的发射电

4 结论与讨论

本文设计研制了宽带宽波束纵向水声换能器, 通过前辐射头弯曲模与纵振动模耦合作用及辐射面特殊形状的设计实现了 Q 值为 1.9 和波束宽度比普通结构纵向换能器大 23% 的宽带宽波束特性。

参 考 文 献

- 1 Butler J L, Cipolla J R, Brown W D. *J. Acous. Soc. Am.*, 1981, **70**(2):500~503.
- 2 Thompson S C, Johnson M P. *Proceeding of the Third International Workshop on Transducers for Sonics and Ultrasonics*, Orlando Florida, 1992, 239~249.
- 3 Qingshan Y, Leif B. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 1997, **44**(5):1060~1066.
- 4 Mitsuhiro N, Kazuhiko I, Yoshiyuki O et al. In: *UDT 1999 Undersea Defence Technology Conference Proceedings*, Nice, France, 1999, 326~329.