

Terfenol-D 球形低频换能器

柴勇^{1,2†} 莫喜平¹ 刘永平¹ 崔政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 100029)

摘要 本文设计并制作了一种 Terfenol-D 球形换能器, 使用有限元分析软件 ANSYS 对换能器的电声参数进行模拟计算, 计算结果与实验结果符合很好。换能器水中谐振频率 $f = 6.3\text{kHz}$, $Q_{-3\text{dB}} = 2.63$, 证明具有低频、宽带的特点。

关键词 Terfenol-D, 球形低频换能器, ANSYS

A Terfenol-D spherical low-frequency transducer

CHAI Yong^{1,2} MO Xi-Ping¹ LIU Yong-Ping¹ CUI Zheng¹

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

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract A type of Terfenol-D spherical transducer is designed and developed. Using FEM software ANSYS, a series of electro-acoustic characteristics of the transducer has been modeled and the computed results are in good agreement with the measurements. With a resonant frequency of 6.3KHz in water and Q factor (-3dB) of 2.63, it is proved to be a type of low-frequency and broadband transducer.

Key words Terfenol-D, Spherical low-frequency transducer, ANSYS

1 引言

在水声实验及测试中, 经常需要一种低频、宽带同时又具有尺寸小、重量轻、使用方便等优点的实验声源。遵循这一实际需求, 本文利用通用有限元分析软件 ANSYS, 通过压磁压电比拟方法, 设计制作了一种球形低频换能器,

以尽量满足上述要求。换能器有源元件采用稀土超磁致伸缩材料 Terfenol-D, 充分利用其高能量密度和低声速的优点, 降低谐振频率, 缩减体积。设计过程中, 充分考虑了抑制涡流损耗及易于施加预应力等稀土超磁致伸缩材料使用中的实际问题。文章最后, 对磁性换能器设计中的几个问题作了初步探讨和展望。

2004-04-27 收稿; 2005-03-23 定稿

作者简介: 柴勇 (1980-), 男, 博士研究生, 主要学习水声换能器的设计与制作。

莫喜平 (1966-), 男, 研究员, 博士, 博士生导师。刘永平 (1975-), 男, 研究实习员。崔政 (1973-), 男, 工程师。

[†] 通讯联系人 Email: chaiyong@tsinghua.org.cn

2 换能器设计

2.1 预应力及偏置磁场设计

磁致伸缩换能器通常需要工作在一定的机械预应力 T_{pre} 以及偏置磁场 H_b (常称为工作点) 之下, 才能发挥最佳的性能。

对于本文设计的换能器而言, 仅考虑工作深度较小的情况, 忽略静水压作用所导致的预应力的变化。由文献 [1], 换能器正常工作应满足下列条件:

$$T_{pre} + (Q + 1)T_b < T_{max} \quad (1)$$

$$T_{pre} - (Q - 1)T_b > 0 \quad (2)$$

其中:

T_{pre} —机械预应力

T_b —偏置磁场 H_b 所产生静态应力

T_{max} —壳体材料动态抗压强度

Q —机械共振动态应力与静态应力比

本文壳体选用黄铜, 由于金属材料 T_{max} 很大, (1) 式一般自然满足。 T_b 一般可由换能器结构及稀土材料参数通过有限元计算获得, 从而可以得到预应力理论值 T_{pre} , 实际只需要提供预应力的螺栓形变位移大于最大动态位移即可。对于本文设计的换能器, 采用单根中空稀土棒穿心螺栓预应力结构, 实际操作时在预压缩状态下拧紧螺栓来满足预应力设计要求。

偏置磁场理论上应选择在 d_{33} 最大的位置, 称为最佳偏置场, 这时纵向机电耦合系数 k_{33} 也最大。由于最佳偏置场受预应力制约, 工艺随机性较大, 一般不易获得。本文选择采用文献 [1] 中所述方法, 使用钕铁硼永磁材料提供偏置场, 通过测量 k_{33} 衡量偏置场的情况, 直至认为满意为止。在设计中考虑抑制涡流损耗, 将永磁材料径向切缝处理。

2.2 换能器结构设计参数

换能器的结构示意图 (二分之一对称剖面) 如图 1 所示, 其中: 1—无磁不锈钢螺栓, 2—黄铜壳体, 3—钕铁硼永磁材料, $\Phi 20.5 \times \Phi 7.5 \times 4\text{mm}$, 2 片, 4—Terfenol-D 材料, $\Phi 20.5 \times \Phi 7.5 \times$

25mm, 5—线圈, $\Phi 1.1\text{mm}$ 高温导线绕制, 160 匝。

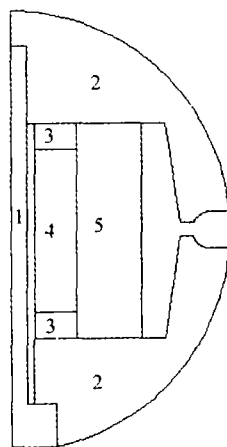


图 1 球形换能器结构示意图

换能器最大直径 (灌注后) 74mm, 空气中重量 (不含电缆) 约 500g。

3 换能器电声性能模拟计算

根据文献 [2] 的推导, 利用有限元分析软件 ANSYS 进行建模计算。模拟计算中考虑了理论近似所造成的系统误差并加以修正, 结果如图 2、图 3 所示。由图可见: 换能器空气中谐振频率 $f = 6.2\text{kHz}$, 谐振时动态阻抗约为 3.1Ω 。换能器水中谐振频率为 $f = 5.9\text{kHz}$, 最大发射电流响应 $\text{TCR}_{\max} = 171\text{dB}$ ($0\text{dB} = 1\mu\text{Pa}/\text{A}$ 1m

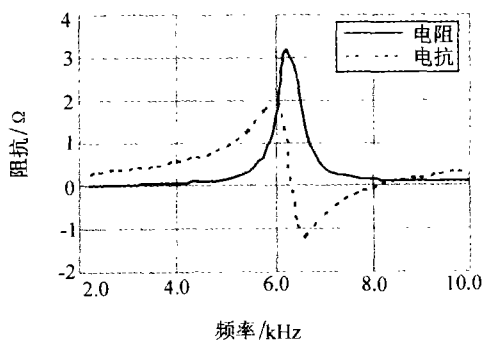


图 2 换能器空气中动态阻抗曲线模拟结果

处)。若工作电流 $I=3\text{A}$, 声源级可达 180dB 。
 -3dB 带宽约为 3kHz 。

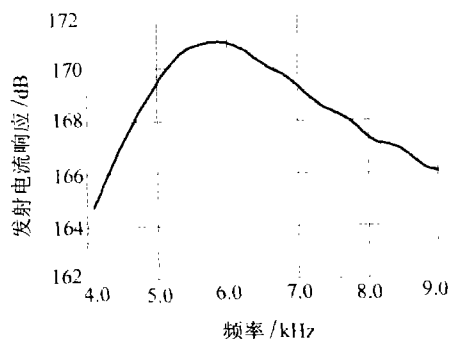


图 3 换能器发射电流响应模拟结果
 $(0\text{dB}=1\mu\text{Pa}/\text{A } 1\text{m 处})$

4 换能器电声性能实测结果

换能器的实验测量在中科院声学研究所实验水池完成, 采用脉冲法^[3]测量: 换能器空气中动态阻抗曲线如图 4 所示, 发射电流响应测量结果如图 5 所示。由图可见: 换能器水中谐振频率 $f = 6.3\text{kHz}$, -3dB 带宽约为 2.4kHz , 最大发射电流响应 $\text{TCR}_{\text{max}} = 170.9\text{dB}$ ($0\text{dB}=1\mu\text{Pa}/\text{A } 1\text{m 处}$)。结果证明该种类型换能器具有低频、宽带的特性。

5 结论与展望

本文研制的 Tefenol-D 球形换能器谐振频

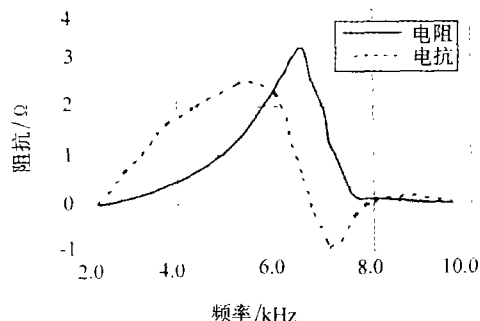


图 4 换能器空气中动态阻抗曲线测量结果

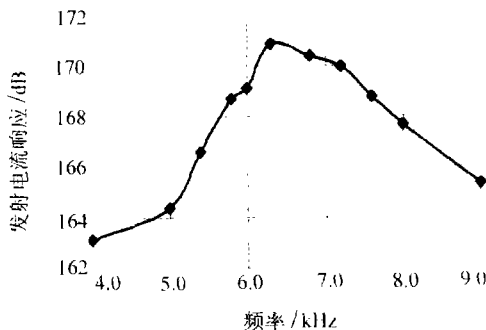


图 5 换能器发射电流响应测量结果
 $(0\text{dB}=1\mu\text{Pa}/\text{A } 1\text{m 处})$

率低, 工作频带宽 ($Q_{-3\text{dB}} = 2.63$), 体积小 (最大直径 74mm), 重量轻 (空气中约 500g), 可使用的频率范围为 $500\text{Hz}\sim 15\text{kHz}$, 性能稳定可靠, 目前已经应用于被动拖曳线列阵声纳系统的调试实验和某型模拟器系统中。

在换能器的设计过程中, 为了抑制涡流损耗, 对稀土和永磁材料均采用了径向切缝的处理方法, 实践表明, 这有利于减少发热、提高电声效率, 从而成为今后设计磁性换能器的通用思路之一。

由于在使用压磁—压电比拟方法的过程中, 作了一定的理论假设, 因此造成了模拟计算结果存在定量的系统误差, 需要在计算完成后加以修正。继续探索在不同结构形式的磁性换能器中这个系统误差的表现形式以及数值规律, 将是很有意义的工作。另外, 研究如何改进磁路, 从而更有效的利用磁能, 提高磁性换能器的电声效率, 亦将是今后我们的工作中一个重要的方向。

参 考 文 献

- 1 莫喜平, 刘建国, 崔政等. 应用声学, 2002, 21(2):12~15.
- 2 莫喜平. 新型弯张换能器的研究与设计. 哈尔滨工程大学博士学位论文. 1998.
- 3 郑士杰, 袁文俊, 缪荣兴等. 水声计量测试技术. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1995. 190~200.