

doi: 10.7690/bgzd.2015.09.013

某型拖曳接收换能器的改进研究

朱明骏

(海军驻昆明地区军事代表办事处, 昆明 650051)

摘要: 为提高拖曳接收换能器的灵敏度, 对该换能器的性能进行改进研究。对拖曳接收换能器的电声性能进行有限元仿真, 将原拖曳接收换能器内有机玻璃盖板替换为铜质盖板及在压电陶瓷圆管内增加软木橡胶背衬, 并对改进前后的性能进行对比分析。结果表明, 改进后的拖曳接收换能器的灵敏度起伏在 4 dB 以内, 且指向性特性没有明显变化。通过改进设计后, 能大幅减小换能器的灵敏度起伏, 可简化后续处理电路, 同时提高系统的动态范围。

关键词: 拖曳阵; 有限元; 接收换能器; 灵敏度

中图分类号: TP206 **文献标志码:** A

Improvement and Research of Certain Type Towed Receiving Hydrophone

Zhu Mingjun

(Naval Military Representative Room in Kunming District, Kunming 650051, China)

Abstract: For improving sensitivity of towed receiving hydrophone, carry out improvement and research of hydrophone performance. The electroacoustic performance of towed receiving hydrophone is simulated by finite element, replace the plexiglass cover plate with the copper plate and adding cork rubber liners in piezoelectric ceramics circular tube. Then compare and analyze the performances before and after improvement. The result shows that the undulation of sensitivity can be improved less than 4 dB, while the directivity of the receiving hydrophone change less. By improving the design, it can greatly reduce the sensitivity fluctuation receiving hydrophone, which can simplify the post stage circuit, and improve the dynamic range of the system.

Keywords: towed array; finite element; receiving hydrophone; sensitivity

0 引言

拖曳接收换能器是拖曳阵的关键组件^[1-4], 是拖曳阵实现实收实发功能的基础。拖曳接收换能器具有十分明显的优点: 首先, 拖曳接收换能器可远离载体本体, 受载体自身的辐射噪声影响较小; 其次, 拖曳接收换能器具有全向的指向性特性。

某水声装备所采用的拖曳接收换能器灵敏元件是 PZT-51 压电陶瓷圆管^[5], 2 只圆管串联连接, 其灵敏度理论计算值为 -196 dB。实际生产的拖曳接收换能器在 40 kHz 以下频带范围内接收灵敏度在 -202~-193dB 之间, 起伏达到 9 dB, 而该拖曳接收换能器仿真结果显示在 40 kHz 以下频带范围其灵敏度起伏可小于 4 dB, 因此该换能器性能上存在可以改进的空间。基于此, 可对某水声设备的拖曳换能器结构进行改进设计, 以提高拖曳接收换能器的灵敏度。

1 换能器性能仿真

拖曳接收换能器的结构如图 1^[6]所示, 该换能器由压电陶瓷圆管和有机玻璃盖板组成, 采用聚氨

酯透声胶硫化成水滴形。

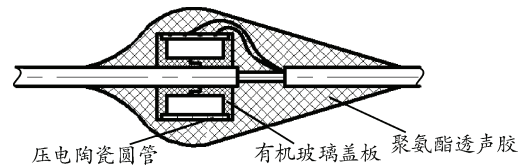


图 1 原拖曳接收换能器结构

首先, 对该压电陶瓷圆管空气中的性能进行仿真研究。由于圆管为轴对称结构, 因此只需建立换能器的二维模型^[7]。

ANSYS 可以仿真压电陶瓷材料在空气中的阻抗特性^[8-9]。

图 2 所示为压电陶瓷圆管在空气中的阻抗曲线图。接收换能器工作于开路状态, 对应换能器的反谐振状态。

接收换能器灵敏度曲线上的“峰”和阻抗曲线中电阻曲线上的“峰”在同一频率点上。而对于工作在短路状态的发射换能器来说, 发送响应的“峰”则和导纳曲线中电导曲线上的“峰”在同一频率点上。开路反谐振频率通常高于短路谐振频率,

收稿日期: 2015-04-22; 修回日期: 2015-06-03

作者简介: 朱明骏(1971—), 男, 重庆人, 硕士, 高级工程师, 从事水中兵器武器制造研究。

因此，接收灵敏度的峰值频率高于发送响应峰值频率。仿真结果显示，空气中压电陶瓷圆管的一阶反谐振频率为 55.9 kHz。

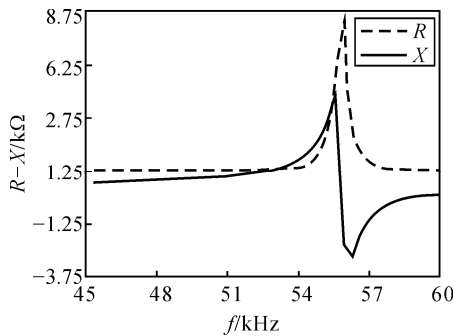


图 2 压电陶瓷圆管空气中阻抗

接下来，对该压电陶瓷圆管进行水中电声性能的有限元仿真研究^[10]。同样只需建立其二维模型，压电陶瓷圆管水中模型如图 3 所示。该压电陶瓷圆管接收灵敏度仿真结果如图 4 所示，在 40 kHz 以下频带范围内拖曳接收换能器的灵敏度起伏在 4 dB 以内，灵敏度峰值在 44 kHz。

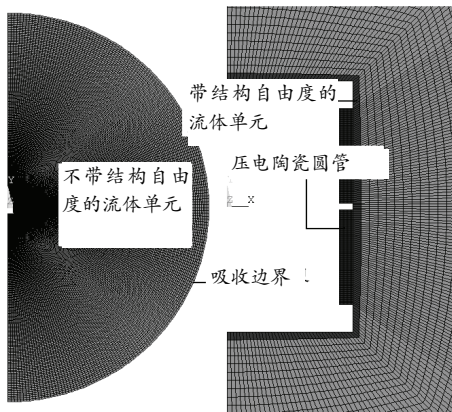


图 3 压电陶瓷圆管水中模型

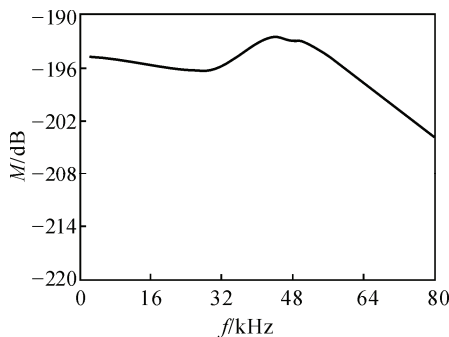


图 4 压电陶瓷圆管灵敏度

图 5 所示为压电陶瓷圆管水中阻抗特性。在水中压电陶瓷圆管的一阶反谐振频率，即阻抗曲线中 R 的峰值在 42 kHz。

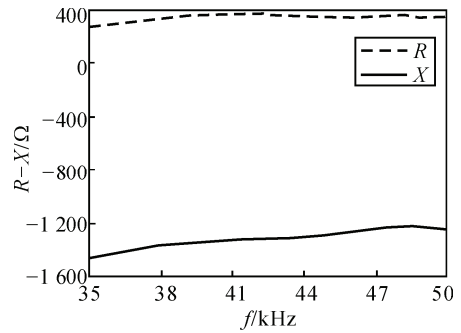


图 5 压电陶瓷圆管水中阻抗

2 拖曳接收换能器结构改进

原拖曳接收换能器灵敏度曲线实测结果如图 6。由图 6 可知：原拖曳接收换能器灵敏度曲线在 5~25 kHz 频带范围内出现了一个大“凹坑”，该“凹坑”导致灵敏度起伏过大。而图 5 中并没有如此明显的“凹坑”，因此可以通过对结构的改进来改善拖曳接收换能器的灵敏度起伏。

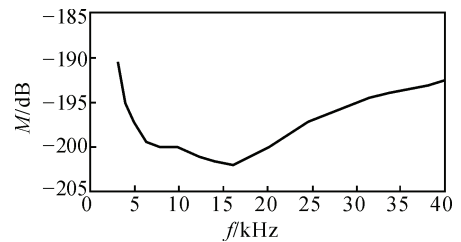


图 6 原拖曳接收换能器灵敏度

改进后拖曳接收换能器的结构如图 7 所示。与改进前的拖曳接收换能器的不同之处在于：

- 1) 将原拖曳接收换能器的有机玻璃盖板换成铜质盖板；
- 2) 在压电陶瓷圆管的内壁增加了一层软木橡胶背衬层。

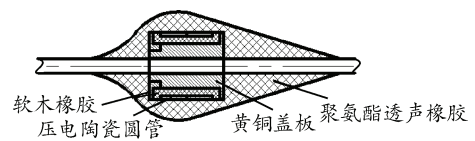


图 7 改进后拖曳接收换能器结构

拖曳接收换能器改进前后在总体结构上并没有较大变化。换能器外形保持不变，仅增加了 17 g 的重量。

3 改进前后性能对比

根据改进设计，试制了拖曳接收换能器样机，如图 8 所示。对该样机在消声水池进行了测量。改进后拖曳接收换能器的灵敏度如图 9 所示；改进前与改进后的轴向指向性如图 10、图 11 所示，周向

指向性如图 12、图 13 所示。



图 8 拖曳接收换能器样机实物

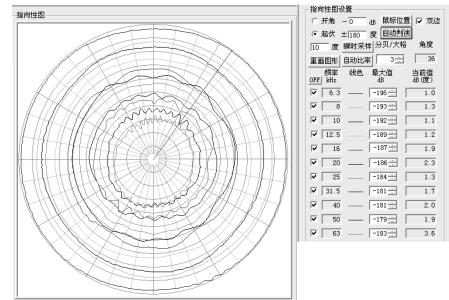


图 13 改进后换能器周向指向性

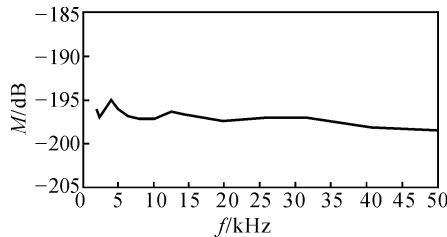


图 9 改进后拖曳接收换能器灵敏度

改进后拖曳接收换能器的接收灵敏度起伏小于 4 dB，较原拖曳接收换能器有很大改进。原拖曳接收换能器灵敏度最小值为-202 dB，改进后灵敏度最小值为-198 dB。改进后拖曳接收换能器指向性特性没有大的变化，仍满足型号对指向性的要求。

4 结束语

通过对某水声设备的拖曳换能器结构进行了改进设计，经有限元仿真分析和样机测量表明，改进后的设计能大幅减小换能器的灵敏度起伏。灵敏度响应变得平坦后，后续电路处理变得更简单，甚至可省略掉频率均衡模块，同时提高系统的动态范围。

参考文献：

- [1] Charles H. Sherman, John L. Butler. Transducers and Arrays for Underwater Sound[J]. The Underwater Acoustics Series, 2006: 308.
- [2] 路德明. 水声换能器原理[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2001: 122.
- [3] 田坦, 刘国枝, 孙大军. 声呐技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1999: 12.
- [4] 栾桂冬, 张金铎, 王仁乾. 压电换能器和换能器阵[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005: 166-170.
- [5] 周福洪. 水声换能器与基阵[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984: 8-10.
- [6] 滕舵, 陈航, 朱宁, 等. 溢流式镶嵌圆管发射换能器的有限元分析[J]. 鱼雷技术, 2008, 16(6): 32.
- [7] 莫喜平. ANSYS 软件在模拟分析声学换能器中的应用[J]. 声学技术, 2005, 30(3): 1279-1285.
- [8] 周长城, 胡仁喜, 熊文波. ANSYS 11.0 基础与典型范例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 245-248.
- [9] 蓝宇, 王智元, 王文芝. 应用有限元软件进行换能器的优化设计[J]. 声学技术. 2006, 35(4): 1215-1218.
- [10] 何祚镛, 赵玉芳. 声学理论基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981: 1-4.

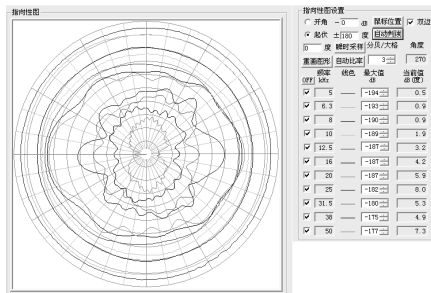


图 10 原拖曳接收换能器轴向指向性

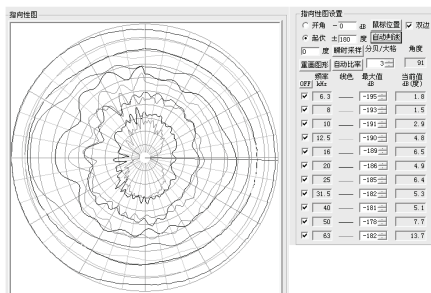


图 11 改进后换能器轴向指向性

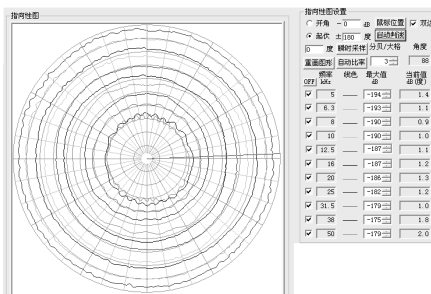


图 12 原拖曳接收换能器周向指向性