

数字式水声语音通信发射器系统的研制*

程 恩¹ 王清池²

(厦门大学¹ 电子工程系,² 海洋系 361005)

摘要 利用纵振换能器的纵向振动与换能器前盖板的弯曲振动相耦合原理,采用纵振换能器与声反射器配合,研制出一种适应在复杂海洋声信道进行高速率传输,具有低频、宽带、大功率等优点的水声换能器。

关键词 换能器,声反射器,宽频带

随着国防和海洋开发事业发展的需要,水声信道高速率数字传输技术成为各种水声载体、水下机器人之间及其与指挥舰船之间进行信息快速、准确传递的重要手段,也是水声观测设备中的关键技术。而海洋声信道是随机时-空-频变参、高噪声、强混响、信道带宽窄、多途效应干扰严重的信道。为了适应在这种复杂的信道中进行有效的高速率传输,作者研制了一种具有低频、宽带、高比声功率等优点的水声换能器。

1 发射器系统的结构

水声语音通信的发射器系统由纵振复合型换能器和反射器两部分组成。其结构如图1所示。纵振复合棒型换能器是一种强功率的辐射器,它以较小的重量和体积获得大的声能密度而广泛地用于水声技术中。图1中,1为轻金属(硬铝)制成的喇叭形前盖板;2为偶数片纵向极化中间带孔的PZT压电圆片组成的压电陶瓷晶堆;3为金属(钢)制成的倒喇叭形后盖板,这三部分通过用具有良好弹性性能的铬钢制成的预应力螺杆拧紧;4为不锈钢制成的圆锥体声反射器。

2 发射器的特点

2.1 低频

纵振复合棒型换能器由前盖板、压电晶堆、后盖板组成。这种结构的换能器的频率特性应满足 $L = \lambda/2$, λ 为振子谐振频率的等效波长。因此,通过调整前盖板、压电晶堆或后盖板的长度,可以使这种换能器的应用频段范围从几千 Hz 至几十千 Hz^[1], 实现低频辐射。

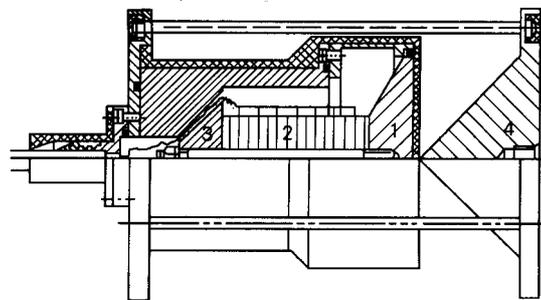


图1 发射器系统结构

1. 前盖板; 2. 压电陶瓷晶堆; 3. 后盖板; 4. 反射器

Fig.1 Diagram of projector system

1. Front panel; 2. Piezoelectric ceramic crystal pile; 3. Rear panel; 4. Reflector

2.2 高比声功率

换能器的比声功率为^[2]

$$\frac{Pa}{S} = \frac{k_{eff}^2}{1 - k_{eff}^2} T_{B/m} \omega_r Q_m(\mu k)_{\max} \frac{\nabla_c}{S} \quad (1)$$

* 国家自然科学基金资助项目 60172053 号和福建省自然科学基金资助项目 A0110001 号。

该项研制工作得到中国船舶总公司 612 厂田忠仁研究员的大力帮助和支持,谨此致谢。

第一作者:程恩,出生于 1965 年,副教授。 Email: chen gen@xmu.edu.cn

收稿日期:2001-11-29;修回日期:2002-04-27

式中, k_{eff} 为有效机电耦合系数; $\eta_{t/m}$ 为机电效率; ω_t 为谐振角频率; Q_m 为机械品质因数; $(\mu)_{max}$ 为压电陶瓷单位体积允许贮存的电能; ∇_c 为压电陶瓷的体积; S 为辐射面积。

对于圆环的压电陶瓷

$$Q_m = \frac{\bar{m}\omega_t}{R_m + R_s} = \frac{\rho_{晶} \nabla_c \omega_t}{R_m + R_s} = \frac{\rho_{晶} \nabla_c \omega_t \eta_{t/m}}{R_s} = \frac{\rho_{晶} \nabla_c \omega_t \eta_{t/m}}{(\rho)_{水} S}$$

因为, $\frac{\eta_{t/m} \omega_t \nabla_c}{S} = \frac{Q_m (\rho)_{水}}{\rho_{晶}}$

所以, $\frac{Pa}{S} = \frac{k_{eff}^2}{1 - k_{eff}^2} (\mu)_{max} Q_m^2 \frac{(\rho)_{水}}{\rho_{晶}}$ (2)

式中, $(\rho)_{水}$ 为水介质的特性阻抗; $\rho_{晶}$ 为压电陶瓷 PZT 材料的密度。

对于 PZT 压电陶瓷材料 $(\mu)_{max} = 1\ 200\ J/m^3$, 利用压电陶瓷圆环的厚度振动模式 $k_{33} = 0.6$, $\rho_{晶} = 7.5\ g/cm^3$, 若 $Q_m = 2$, 可得比声功率

$$\frac{Pa}{S} = 36\ W/cm^2$$

因此, 采用 PZT 压电陶瓷圆环制成的纵振复合棒型换能器具有较高的比声功率, 可作为大功率的辐射器。

2.3 宽频, 低 Q_m 值

水声语音通信的发射器利用纵振复合棒型换能器的纵振动和喇叭型前盖板的弯曲振动的相互耦合达到宽带的目的, 前盖板的示意图如图 2 所示。

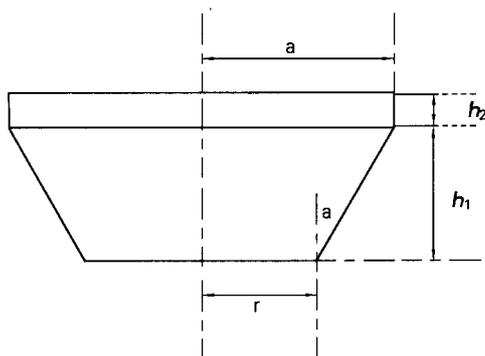


图 2 发射器的前盖板
Fig. 2 Front panel of projector

对于一个等效厚度为 H , 半径为 a 的圆盘, 其谐振频率为:

$$f_1 = \frac{H}{2\pi a} \left[\frac{E_p}{12 \rho (1 - \sigma^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中, E_p 为材料的杨氏模量; σ 为材料的泊松系数; ρ 为材料密度;

由于前盖板是受有限面积的压电陶瓷激励, 因此公式(3)中的 H 要加以修正, 对于前盖板材料为铝的情况, 通过实验得出, 在 $h/a \leq 0.5$ 范围内, H 值可近似为:

$$H \approx 3.6\ h/a \quad (4)$$

式中, $h = h_2 + \frac{1}{3} h_1 [1 + (\frac{r}{a}) + (\frac{r}{a})^2]$, h 称为前盖板的等效厚度。

另外, 由 Evans 文献指出, 对于中心激励, 厚度做线性变化圆盘的弯曲振动频率为

$$f_2 = \frac{HG}{ha} \cdot \frac{h_1 + h_2}{\sin \alpha} \quad (5)$$

式中, $G = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{E_p}{12 \rho (1 - \sigma^2)} \right]^{\frac{1}{2}}$

当 $(h_1 + h_2) < 0.5\ a$ 时, 公式(5)可简化为:

$$f_2 = \frac{3.6\ G}{a^2} \cdot \frac{h_1 + h_2}{\sin \alpha} \quad (6)$$

水声语音通信的发射器利用纵向振动频率 7.5 kHz 和前盖板弯曲振动频率 10 kHz 耦合来拓宽频带, 使换能器的带宽达 5.5 ~ 11 kHz。

2.4 利用反射器改善方向性

由换能器理论可知, 圆形活塞的方向性函数为

$$R(\theta) = \frac{2 J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} \quad (7)$$

式中, $J_1(k a \sin \theta)$ 为一阶贝塞尔函数; $k = 2\pi/\lambda$ 为波数; λ 为波长; a 为圆形活塞的半径。

为了使水声语音通信在水平方向达到全方向通信的目的, 采用纵振复合棒型与圆锥体声反射器配合, 如图 3 所示。

纵振复合棒型换能器在发射电信号的激励下, 产生纵向振动, 为了在水平方向达到无方向性, 在纵振复合棒换能器的正前方装有用不锈钢材料制成的圆锥体。

由纵振复合棒换能器纵向振动发出的声波由介质 1 传播到介质 2, 如果介质 1 的声特性阻抗 $\rho_1 c_1$ 远远小于介质 2 的声特性阻抗 $\rho_2 c_2$, 根据声波在两种不同声特性阻抗的介质传播的反射原理^[3], 由纵振复合棒换能器发出的声波经圆锥形声反射器, 声波聚集到水平方向, 从而在水平方向形成了较均匀的方向性。

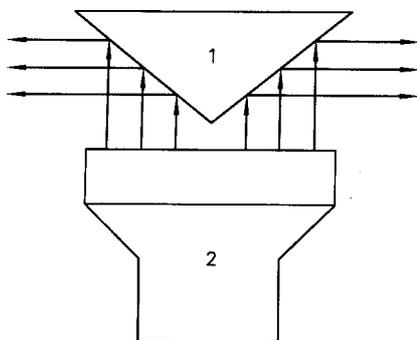


图3 纵振换能器和声反射器
1. 声反射器; 2. 纵振换能器

Fig.3 Longitudinal vibrant transducer and acoustic reflector
1. Acoustic reflector; 2. Longitudinal vibrant transducer

3 测量结果

研制的数字式水声语音通信发射器经中国船舶工业总公司612厂于2001年2月测试,其发射灵敏度-频率特性,接收灵敏度-频率特性分别列于表1。

4 结束语

数字式水声语音通信的发射器系统由纵振复合棒型换能器和声反射器组成。利用纵振复合棒型换能器的纵向振动和换能器的前盖板的弯曲振动相耦合的原理而获得较宽的频率响应,采用纵振复合棒型换能器与圆锥体声反射器配合,在水平方向形成较均匀的方向性,实验表明,这种形式的发射器系统是一种

表1 换能器的发射灵敏度-频率特性及接收灵敏度-频率特性

Tab.1 Emission sensitivity frequency response and receiving sensitivity frequency response of transducer

| 频率 (kHz) | 发射灵敏度(dB) (基准值 $1 \mu\text{Pa} \cdot \text{m}/\text{V}$) | 接收灵敏度(dB) (基准值 $1 \text{V}/\mu\text{Pa}$) |
|-------------|--|---|
| 4.5 | 139.0 | -177.9 |
| 5.0 | 142.0 | -177.3 |
| 5.5 | 138.6 | -178.4 |
| 6.0 | 137.9 | -181.2 |
| 6.5 | 137.9 | -181.2 |
| 7.0 | 137.9 | -181.3 |
| 7.5 | 138.4 | -182.4 |
| 8.0 | 138.4 | -182.1 |
| 8.5 | 140.8 | -182.6 |
| 9.0 | 140.8 | -184.0 |
| 9.5 | 140.8 | -186.5 |
| 10 | 139.1 | -185.9 |

注:发射器在 $f=8 \text{ kHz}$ 时,水平 360° 方向性的不均匀性为 1.7 dB

低频、宽带、高比声功率的发射器,适宜在复杂的水声信道中进行高速率的水声语音传输。

参考文献

- 1 周福洪. 水声换能器及基阵. 北京:国防工业出版社, 1984. 62~63
- 2 袁易全. 超声换能器. 南京:南京大学出版社, 1992. 273~276
- 3 何 镛,赵玉芳. 声学理论基础. 北京:国防工业出版社, 1981. 148~155

STUDY ON THE PROJECTOR USED IN UNDER WATER ACOUSTIC DIGITAL SPEECH COMMUNICATIONS

CHENG En¹ WANG Qingchi²

(¹ Dept. of Electronic Engineering, ² Dept. of Ocean, Xiamen University, 361005)

Received: Nov., 29, 2001

Key Words: Transducer, Acoustic reflector, Wide band

Abstract

This paper introduces a kind of projector which is fit to be used in highspeed communications on complex sea acoustic channels. The acoustic transducer has the characters of lowfrequency, wide-band and high-power. It has been obtained by both coupling the longitudinal vibration of transducer with the curved vibration of the projector front panel, and combining the longitudinal vibrant transducer with the reflector.

(本文编辑:张培新)