

换能器声反射系统方向特性的研究*

王清池 许茹 程恩 许祥滨 黄劲

(厦门大学 361005)

提要 利用圆形平面活塞的方向性特性理论设计声反射罩,研究了换能器声反射系统方向特性。实验表明,理论计算与测量值一致。

关键词 换能器,反射罩,方向性

在水声观通设备中,经常采用由若干个换能器作为基元组成的基阵或借助于各种聚焦系统和声反射器,以获得所需的方向特性,从而提高设备的工作性能。作者承担的“大深度声遥测触底指示器”、“300 m 船用饱和潜水系统水声通讯仪”和“视频图像水下传输”等项目的换能器系统均采用结构简单、设计方便和易于加工的声反射系统。它们是由圆柱形(或自由溢流式)换能器和声反射罩构成^[1]。其目的是利用圆柱形换能器的径向振动模式,通过声反射罩,在所需

的方向上形成尖锐的指向性,增加换能器的方向性指数,从而提高设备的传输通信距离。换能器声反射系统方向特性的研究是上述各科研课题的重要部分。

1 理论依据

由换能器理论可知^[2],当圆形振子辐射面上各点的振动振幅和相位相同时,该振子便称为圆形活塞

* 国家 863 资助项目 863-512-11-24 号。

收稿日期:1999-05-06;修回日期:1999-07-01

式辐射器,它的方向性函数为:

$$D(\theta) = \frac{2J_1(ka \sin\theta)}{ka \sin\theta} = \frac{2J_1(x)}{x} \quad (1)$$

式中, $J_1(x)$ 为一阶贝塞尔函数; a 为平面圆形活塞的半径。

令 $D(\theta_{-3dB}) = 0.707$, 可以得到圆形活塞的 -3dB 束宽即波束角(半功率全角);

$$\theta_{-3dB} = 2\sin^{-1}(0.26 \frac{\lambda}{a}) \quad (2)$$

令 $D(\theta) = 0$, 可得圆形活塞的锐度角;

$$\Theta = 2\sin^{-1}(0.61 \frac{\lambda}{a})$$

当 $ka \ll 1$, ($k = 2\pi/\lambda$ 波数), 即半径远大于波长 λ 时, 除主瓣外, 还会出现旁瓣, 且主瓣宽度因 ka 增加而变窄, 旁瓣个数也因 ka 增加而变多。若 $ka \sin\theta = 3.83, 7.02, 10.17$ 时, 一阶贝塞尔函数为零点, 在这些方向上 $D(\theta) = 0$, 没有声辐射, 如图 1 所示。

声反射系统由圆柱形(或自由溢流式)换能器和在其外侧装有用不锈钢材料制成的伞型反射罩构成, 如图 2 所示。反射罩背面贴覆材料的特性阻抗与水的特性阻抗严重失配, 材料的衰减常数小的泡沫橡胶作为反声材料。换能器在外电场的激励下产生径向振动发出声波由水介质传播到反射罩, 由于水介质的声特性阻抗 $Z_{水} = 1.50 \times 10^6 \text{ gcm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 不锈钢的声特性阻抗 $Z_{钢} = 45.7 \times 10^6 \text{ gcm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 不锈钢的声特性阻抗为水的声特性阻抗的 30 倍。根据声波在两种不同声特性阻抗介质传播的反射原理^[3], 换能器径向振动发出的声波经水介质入射到不锈钢的反射罩, 经反射罩的反射, 声波聚集到所需的方向上。由图 2 可知, 圆柱换能器径向振动发出的声波经反射罩反射到达喇叭口 P-N 平面, 各声波的声程相等, 因此, 各声波到达 P-N 平面的相位是相同的, 喇叭圆平面水介质各点的振动也是相位相同, 所形成的方向性可等效为直径为 D 的圆形活塞的方向性, 理论计算反射罩的方向性可采用上述公式(1)和(2)近似计算。

2 实验结果

所研制的 15 kHz 圆柱形换能器和 18 kHz 圆柱形换能器系统于 1998 年 10 月经中国船舶总公司 721 厂测量, 测量结果如下:

2.1 波束角(半功率角)

2.2 换能器的发射电压响应和接收灵敏度

结果见图 3, 图 4。

2.3 加罩后换能器的发射电压响应和接收灵敏度

结果见图 5, 图 6。

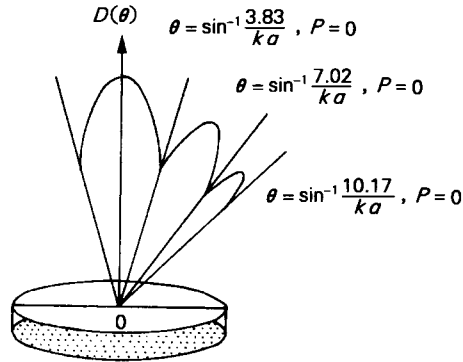


图 1 圆形超声换能器的方向性

Fig. 1 Directivity pattern of circular ultrasonic transducer

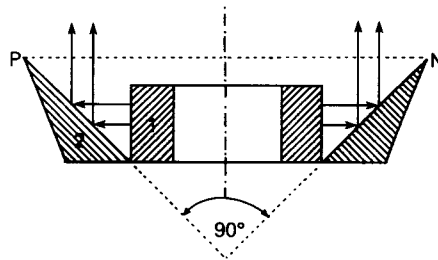


图 2 换能器和声反射罩

1. 换能器; 2. 声反射罩

Fig. 2 Transducer and acoustic reflection cowling

1. Transducer; 2. Acoustic reflection cowling

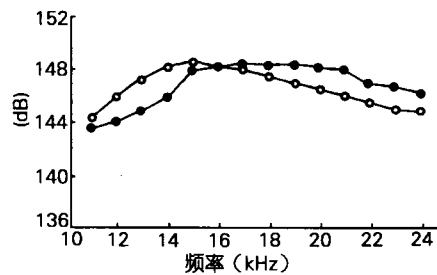


图 3 换能器的发射电压响应

—●— 1" 换能器 -○- 2" 换能器

Fig. 3 Transmitting voltage responses of transducers

表 1 波束角

Tab.1 Beam angle

换能器	频率 (kHz)	反射罩直径 (cm)	波束角	
			理论值	测量值
1#	15	60	9.9°	9.7°
2#	18	60	8.3°	8.2°

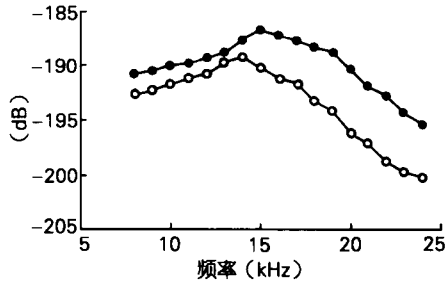


图 4 换能器的接收灵敏度

—●— 1# 换能器 —○— 2# 换能器
Fig. 4 Receiving sensitivities of transducers

2.4 加反射罩后,换能器发射电压响应的提高量
结果见表 2。

表 2 加反射罩后,换能器发射电压响应的提高量

Tab.2 Increments of transducer transmitting voltage responses after cowling

频率 (kHz)	12	14	15	16	17	18	20
1# 换能器发射电压响应提高量 (dB)	11.0	12.0	11.8	12.0	12.0	11.5	11.8
2# 换能器发射电压响应提高量 (dB)	15.6	15.9	15.9	16.3	15.4	15.5	14.2

表 3 加反射罩后,换能器接收灵敏度的提高量

Tab.3 Increments of transducer receiving sensitivities after cowling

频率 (kHz)	12	14	15	16	17	18	20
1# 换能器发射电压响应提高量 (dB)	9.0	9.8	9.0	8.7	8.7	8.8	8.0
2# 换能器发射电压响应提高量 (dB)	17.5	15.3	15.3	15.3	14.4	14.3	15.1

2.5 加反射罩后,换能器接收灵敏度的提高量
结果见表 3。

3 结语

3.1 在水声通讯中,利用声反射系统,能有效地提高换能器的发射电压响应和接收灵敏度,在所需的方向上形成尖锐的指向性,增加换能器的方向指

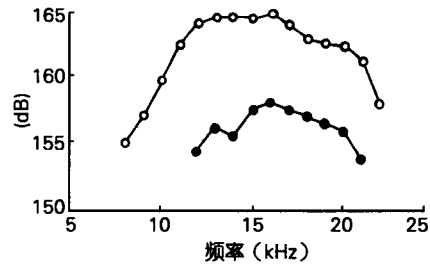


图 5 加罩后的发射电压响应

—●— 1# 换能器 —○— 2# 换能器
Fig. 5 Transmitting voltage responses of transducers after cowling

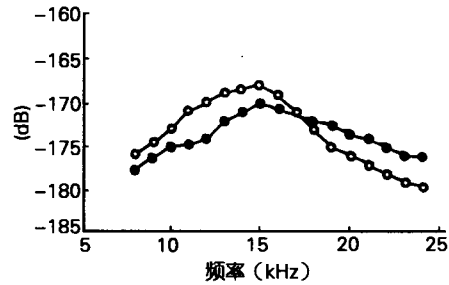


图 6 加罩后的接收灵敏度

—●— 1# 换能器 —○— 2# 换能器
Fig. 6 Receiving sensitivities of transducers after cowling

数,从而提高设备的传输通讯距离。研制的 1# 和 2# 换能器系统用于视频图像水下传输,经多次海上试验,图像清晰地传输 10 000 m 左右。

3.2 声反射罩可根据系统方向特性的要求,按圆形平面活塞的方向性理论设计,实验表明,理论计算值与实测值相符合。

参考文献

1 王清池. 海洋科学, 1998, 5: 56~58 (下转 21 页)

(上接 46 页)

2 袁易全。超声换能器。南京:南京大学出版社,1992。
273~276

3 何祚镛、赵玉芳。声学理论基础。北京:国防工业出版社,
1981。148~155

RESEARCH ON DIRECTIVITY OF ACOUSTIC REFLECTION TRANSDUCER SYSTEM

WANG Qing-chi XU Ru CHENG En XU Xiang-bin HUANG Jin
(Xiamen University, 361005)

Received: May, 6, 1999

Key Words: Transducer, Cowling of reflection, Directivity

Abstract:

In the research on directivity of acoustic reflection transducer system, the directivity theory of circular plain piston has been introduced in the design of acoustic reflection cowling. Experiments prove this introduction accurate.

(本文编辑:张培新)