

高频线阵的研制

李世樑 解宝兴

(中科院声学所, 北京 100080)

1994 年 4 月 26 日收到

摘要 本文描述了一种用于侧扫声纳的高频线阵列。该阵由中心频率分别为 100kHz 和 500kHz 的两部分构成。由于采用阵元加权排列和充分利用有效工作面积, 该阵具有尖锐的主瓣, 较高的主、副瓣比和较高的发射、接受灵敏度 (100kHz 时分别为 174dB、-178dB, 500kHz 时分别为 174dB、-183dB), 技术指标达到国外同类高频线阵的水平。满足侧扫声纳的尖波束、低副瓣、大功率、高灵敏度、深水(100m)使用的要求。本阵的设计方法和结构特点, 可供设计高频基阵参考。

关键词 高频线阵, 束控法, 灵敏度

A high frequency linear array

Li Shiliang, Xie Baoxing

(Institute of Acoustics, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract This paper describes a high frequency linear array developed for application to a side-scan sonar. The array consists of two parts, one for operating at the central frequency of 100kHz and the other for 500 kHz. Due to the weighted spacing of the array elements and full utilization of effective operation area, the array has the advantages of sharp main lobe, high main/side lobe ratio, and high transmitting and receiving sensitivities (174 dB and -178 dB at 100kHz, and 174 dB and -183 dB at 500 kHz, respectively). The performance of the array reaches the international commercial level and can satisfy the requirements for the side-scan sonar in the aspects of narrow beam, low side lobes, high power, high sensitivity and deep operation depth (1000m). The design and construction of the array presented in this paper may also be a useful reference for the design of high frequency arrays.

Key words High frequency linear array, Shading, Sensitivity

1 前言

随着海洋开发工作的深入, 侧扫声纳的应用越来越广泛, 国内外在这方面的理论探讨和研制工作十分活跃。用于地貌仪、渔探仪上的声纳基阵已有不少种类^[1-2], 它们的中心频率多为几十千赫到几百千赫。为提高分辨率, 该类

基阵有向高频发展的趋势, 要求基阵不但要有尖锐的方向性开角(一般为几度甚至更小), 较高的主、副瓣比(一般大于 14dB), 还要有较高的发射源级及接受灵敏度。当然, 结构可靠, 性能稳定和耐高静水压也是必须考虑的。为此, 多采用线阵方式来实现。如美国 KLEIN 公司研制的侧扫声纳换能器选用频率为 100kHz 和

500kHz,在两种频率下,波束宽度分别为1°和0.2°,主副瓣比为14dB,发射源级为220dB左右,接收电压灵敏度为-185dB左右,加拿大、俄罗斯都有类似产品,指标与美国相近.由于商业竞争原因,其技术细节没有透露.国内从70年代陆续开展了侧扫声呐的研制,也有一些样机问世,但由于换能器技术性能存在一定缺陷,使国内侧扫声呐整机水平与国外先进产品有一定差距.

自1991年以来,根据国内现状,我们开展

了侧扫声呐高频线阵的研制工作,工作重点为(1)解决以往换能器声、电转换效率低的缺点,提高发射及接收灵敏度;(2)在保证尖波束的前提下,提高主副瓣比;(3)提高换能器的可靠性、稳定性,解决耐高静水压.

2 设计考虑

根据侧扫声呐的总体要求,高频线阵的具体技术要求如表1所示.

首先,要确定阵元的型式、材料和尺寸.从

表1 高频线阵技术指标

工作频率 (kHz)	水平开角	垂直开角	源级 (0dB = 1V/μPa)	接收灵敏度 (0dB = 1V/μPa)	主副瓣比	带宽 (kHz)	耐压
100	1°	40°	>228dB	>-180dB	>16dB	16	10MPa
500	0.2°	40°	>220dB	>-185dB	>16dB	70	10MPa

工程使用和便于排阵方面考虑,要求阵元性能稳定,振动单纯.为此,我们采用结构简单的厚度振动模式,材料选用收发型的PZT4压电陶瓷.由关系

$$N_t = t \cdot f_p \tag{1}$$

式中, N_t 为压电材料的厚度振动频率常数, t 为阵元的厚度, f_p 为厚度谐振频率. 来确定阵元的厚度. 阵元长和宽的选取则要考虑在此方向上的谐振频率要远离主谐振频率, 以免造成耦合效应, 影响性能. 阵元的不同长、宽引起的谐振频率偏移, 必须加以修正.

阵元初步确定后,阵元谐振时的发射、接收灵敏度各为:

$$S_v = \frac{2q}{R_m + R_R} \cdot R_R \tag{2}$$

式中, S_v 为谐振时阵元的发射电压灵敏度, q 为阵元的机电转换系数, R_m 为机械阻, R_R 为辐射阻.

$$M_0 = \frac{2q \cdot r \cdot S}{(R_m + R_R) \cdot C_0 \omega_r} \tag{3}$$

式中, M_0 为谐振时阵元的接收电压灵敏度, r 为接收优质因子, $r = 1$, S 为表面积, ω_r 为谐振时角频率, C_0 为静电容. 实际上, 换能器的

结构及工艺对阵元参数有一定影响,因此,阵元的尺寸和性能必须根据实测结果进一步修正确定.

阵元确定后,用等间距线阵的基本排列方式^[3],有

$$R(\alpha) = \frac{\sin\left(\frac{n\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right)}{n \sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right)} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi \rho}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\frac{\pi \rho}{\lambda} \sin \alpha} \tag{4}$$

式中: $R(\alpha)$ 为线阵的方向性函数, α 为方向角, n 为阵元数, ρ 为阵元尺寸, d 为阵元间距, λ 为水中波长

由上式可以初步确定两种谐振频率线阵的阵长,阵元数及阵元间距.

均匀连续直线阵的理论分析指明^[4-5],最好的主副瓣比不会超过14dB,因此,要想提高主副瓣比必须采取束控的方法.在束控方法中,不等间距分布是比较容易实现的,但考虑它要牺牲有效工作面积,因而我们采用了不均匀振幅分布中的道尔夫-卡比雪夫方法.

由 n 个单元组成的直线阵,阵元间距为 d , 线的总长度是 $(n - 1) \cdot d$. 与法线成 θ 角的方向上总灵敏度为:

$$y = a_1 e^{-j(n-1)x} + a_2 e^{-j(n-3)x} + \dots + a_n e^{j(n-1)x} \tag{5}$$

式中, $x = \frac{1}{2} Kd \sin \theta$

直接给出灵敏度显式的通式为

$$2a_{n-(2m+1)} = \sum_{r=0}^m (-1)^r (n-1) \cdot \frac{(n-r-2)!}{(m-r)! r! (n-m-r-1)!} z_0^{n-2r-1} \tag{6}$$

式中, $m = 0, 1, 2, \dots$,

$$z_0 = \cos K \left[\frac{1}{n-1} \cos K^{-1} R_T \right]$$

R_T = 主瓣灵敏度/副瓣灵敏度。求出 a_{n-1} , $a_{n-3}, a_{n-5}, \dots$ 分别是序号为 1, 2, 3, $\dots, n-1, n$ 的基元的相对灵敏度。

按上述规律, 将不同灵敏度的阵元安排在线阵中的不同位置, 达到束控的目的。

经上面综合考虑, 确定的基阵结构及尺寸如表 2。

表 2 基阵结构及尺寸

$f(\text{kHz})$	阵元数	间距(mm)	阵长 (mm)
100	103	7	720
500	495	1.45	720

基本结构的示意图见图 1。

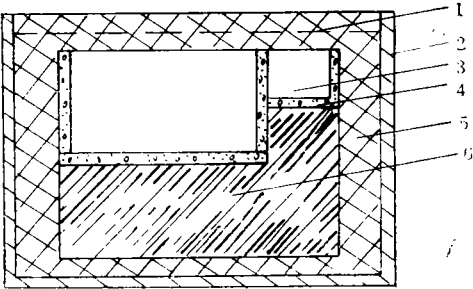


图 1 基阵结构示意图

- 1.电屏蔽网 2.外壳 3.敏感元件 4.声屏蔽材料
- 5.透声橡胶 6.底板

在结构设计中, 要考虑振动的耦合, 声、电屏蔽、互辐射及水密问题。

3 结果

研制成的高频线列阵在水中进行了测试, 结果如表 3 和图 2 至图 5。静水压实验超过 10 MPa。

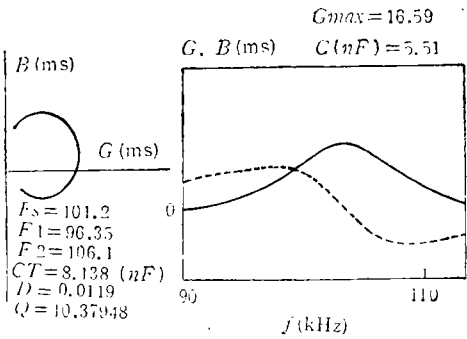


图 2 100kHz 导纳圆图

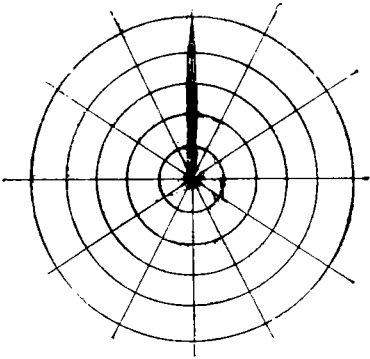


图 3 100kHz 水平方向性

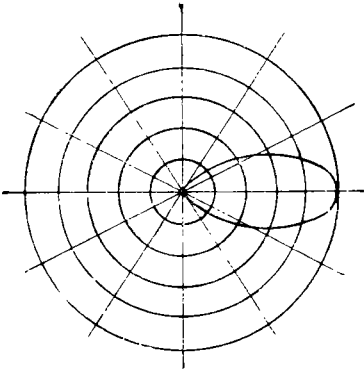


图 4 100kHz 垂直方向性

表 3 高频线阵测试结果

工作频率 (kHz)	发射灵敏度 (0dB = 1μPa/V)	接收灵敏度 (0dB = 1V/μPa)	水平开角	垂直开角	主副瓣比 (dB)	带宽 (kHz)
100	174	-178	1°	40°	>16	10
500	174	-183	0.2°	40°	>16	62

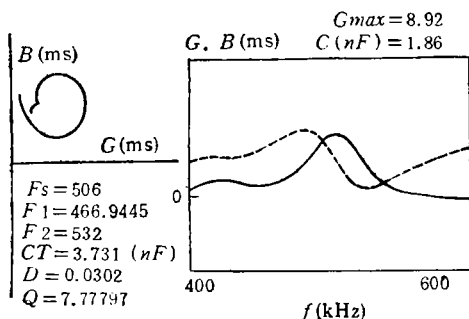


图 5 500kHz 导纳圆图

由上表及图可见结果与设计基本一致。

4 讨论

KS-A 型高频线列阵的特点是:

1. 将理论点源线阵与幅度加权相结合, 得到了较理想的指向特性和主副瓣比值。
2. 充分利用有效工作面积及合理组合, 得到了基阵优异的收、发性能。
3. 结构设计中的去耦、防漏措施可靠, 性能稳定。
4. 总重量轻, 约 5kg。

参 考 文 献

- [1] Urlick R J. 水声原理, 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1990, p. 5.
- [2] Somers M L, Stubers A R. *Proc. Inst. Elec. Eng.* Part F, 1984, Vol. 131: 243—256.
- [3] 利昂. 坎普. 水声学. 水声译丛编译组, 1977, 197—198.
- [4] El-Khamg Saide. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Oct 1989, 384—395.
- [5] Lester R. Leblanc. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* Jan 1984, 31—39.

反射式鱼雷声靶的初步研究 ——材料和结构

王智元 苏 洪 惠俊英

(哈尔滨工程大学水声研究所, 哈尔滨 150001)

1994 年 6 月 14 日收到

摘要 单应答器式的传统的鱼雷声靶不能满足具有对抗和识别能力的新一代鱼雷试验要求。反射式鱼雷声靶能模拟目标的尺度特征, 并能对复杂的鱼雷探测声信号作出合理的响应, 能满足“智能”鱼雷试验的初步要求。用玻璃微珠橡胶作为靶体的反射式声靶可在湖上试验场作为固定式悬挂声靶。或拖曳靶。本文介绍玻璃微珠橡胶靶体的声学性能及靶体结构设想。

关键词 鱼雷声靶, 反射式鱼雷声靶, 玻璃微珠橡胶靶体

A preliminary research on reflecting torpedo target- Material and structure

Wang Zhiyuan, Su Hong, Hui Junying

(Harbin Engineering University Underwater Acoustic Institute, Harbin 150001)

Abstract The traditional torpedo target based on a single transponder can not

应用声学

• 17 •