

低加速度灵敏度水听器

蔡志恂 申扣喜 韩黎明

(江苏雷声电子设备厂 无锡 214061)

1995年1月9日收到

摘要 本文介绍了一种用于拖曳线列阵声呐的压电陶瓷型水听器。我们在提高水听器工作稳定性与可靠性,并确保水听器有较高接收灵敏度的前提下,进行了水听器结构方案优化设计,以降低水听器的加速度灵敏度。研制的水听器接收灵敏度为 -193dB ,在 $20\text{--}1000\text{Hz}$ 频段内灵敏度起伏为 1.2dB ,加速度灵敏度为 -70dB 左右。

关键词 水听器,加速度灵敏度,拖曳线列阵

Low acceleration-sensitivity hydrophone

Cai Zhixun, Shen Kouxi, Han Liming

(Jiangsu Raysound Electronic Equipment Plant, wuxi 214061)

Abstract A type of piezoelectric ceramic hydrophone used for towed line array sonar is presented in this paper. Along with improving the stability and the reliability, and ensuring high receiving sensitivity we carried out an optimum structural design of the hydrophone such that its acceleration sensitivity is also low. The receiving sensitivity of the completed hydrophone is -193dB , the undulation of the receiving sensitivity over the frequency range from 20Hz to 1000Hz is 1.2dB , while the acceleration sensitivity is about -70dB .

Key words Hydrophone, Acceleration sensitivity, Towed line array

1 引言

拖曳线列阵声基阵的工作方式、环境条件和结构安装诸特点对水听器的性能和结构提出了许多特殊的要求,其中接收灵敏度及其频响和加速度灵敏度最为重要。尤其是加速度灵敏度,它关系到拖曳线列阵声纳能否有效地抑制由拖缆抖动、涡流及变速拖曳力等引起的振动噪声干扰。因此,历来成为水听器设计中的主攻目标。

应用声学

要降低压电陶瓷水听器的加速度灵敏度,主要存在如下技术难度:

第一,水听器的加速度输出是由惯性力引起的,直接与敏感元件的质量相关。由于压电陶瓷本身比重相当大,一般来说,加速度灵敏度很难与用PVDF压电有机薄膜材料所制作的水听器(轴向加速度灵敏度 $= -70\text{--}-80\text{dB}$)媲美。

第二,水听器加速度灵敏度与接收灵敏度直接相关,人们通常以牺牲接收灵敏度的方法

• 29 •

来减小水听器的加速度输出. 要在保证水听器有较高接收灵敏度的前提下降低其加速度灵敏度通常是相当困难的.

第三, 要提高水听器在工程应用中的稳定性与可靠性, 必须考虑到几个方面的因素. 水听器除了应满足各项技术指标设计要求外, 应能经受静态压力试验和高低温度突变试验, 以适应变深工作的环境条件; 拖线阵声阵段是卷绕在绞车上收放式使用的, 水听器应具有一定的机械强度, 能经受振动、冲击、挤压和轻度摔打; 水听器应能长期浸泡在腐蚀性轻腊油中而工作性能稳定不变. 因此, 水听器的敏感元件不能裸露在外, 也不宜用薄膜型乳胶浸渍处理, 最理想的是用耐腐蚀的橡胶包复密封. 但是试验表明, 用橡胶包复密封的水听器, 在加速度灵敏度装夹测试时, 因橡胶的粘连作用使装夹应力传递作用于陶瓷敏感元件, 而导致加速度灵敏度性能严重恶化.

为此, 我们应以降低水听器加速度灵敏度为主要研究方向, 目标是在提高水听器工作稳定性与可靠性并确保水听器有较高接收灵敏度的前提下, 寻求一种水听器优化设计方案, 使其加速度灵敏度能接近于 PVDF 薄膜型水听器水平.

2 原理与设计

为保证水听器深水工作性能和较高的接收灵敏度, 通常采用端面带盖板的径向极化圆管型设计. 由于其轴向对称性, 对于横向加速度分量, 本身有加速度抵消作用, 所以横向加速度灵敏度很低, 在设计中主要考虑的是要降低其轴向加速度灵敏度.

水听器的加速度灵敏度 Mg , 定义为水听器的开路输出电压 V 与水听器所受到的加速度 g 的比值^[1]

$$Mg = V/g \quad (1)$$

根据压电、运动方程可以导出端面加盖板的单圆管水听器的轴向加速度灵敏度为:

$$MgL = 20 \lg Mg \quad (2)$$

而

$$Mg = g_{31}(M + 2M_1)b^2t/[2\pi(b^2 - a^2)^2] \quad (3)$$

式中, g_{31} 是陶瓷管的压电常数, a 、 b 、 t 分别是压电陶瓷圆管内, 外半径与壁厚 ($t=b-a$). M 和 M_1 分别是陶瓷管和一端盖板的质量, 由 (3) 式可知, 在材料确定后, 加速度灵敏度主要取决于陶瓷管和盖板的质量. 对于 $a=0.9$ cm, $b=1$ cm、 $M=4.5$ g 的 PZT-5 陶瓷圆管和 $M_1=1.7$ g 的铝质盖板, 单圆管水听器的加速度灵敏度为 $MgL=-40$ dB.

因此, 对于压电陶瓷型水听器, 必须采用目前国内外广泛使用的加速度抵消措施^[1], 加速度抵消的原理可参见示意图 1, 图中的正负号为压电陶瓷元件极化方向.

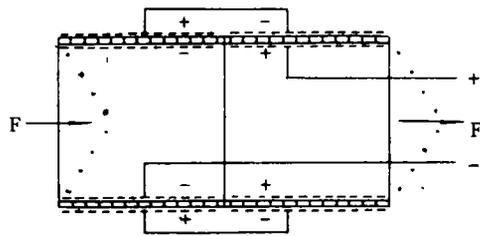


图 1 加速度抵消原理示意图

如图所示, 我们用两个尺寸相同, 径向极化方向相反的薄壁陶瓷圆管串联相接组成水听器. 这样使水听器的接收灵敏度提高将近一倍, 而当水听器受到轴向加速度力作用时, 两个陶瓷圆管分别受到压力和拉力, 在两陶瓷管的同极性面感生出等量相反极性的电荷, 串联之后两管的加速度输出正好抵消, 从而降低了水听器的加速度灵敏度.

这时水听器的低频接收灵敏度可由下式计算^[2]:

$$M = 2b[g_{33}(b-a) / (b+a) + g_{31}(2b+a)/(b+a)] \quad (4)$$

而

$$ML = 20 \lg M \quad (5)$$

式中 g_{31} 、 g_{33} 分别是陶瓷管垂直和平行于极化方向上的电压压电常数, (4) 式中等号右边首项 2 表示因陶瓷管串联相接而使接收灵敏度提

高一倍。从(3)、(4)式中可以看出,改变陶瓷管的尺寸固然可以降低加速度灵敏度,但同时也会损失水听器接收灵敏度,要降加速度灵敏度,主要应从加速度抵消上着手。

要提高加速度抵消的效果,就必须提高水听器的电学对称性和机械对称性。所谓电学对称,就是要保证构成水听器的两个陶瓷管除了极化方向相反外,其他任一部分相对于固定面(中间面或端面)对称的另一陶瓷管上的相应部分具有相同的电性能;电学对称比较容易,因为在相同条件下生产的一批陶瓷管电性能差别不大,而且,制作好的陶瓷管可以根据其电性能来进行选配。

所谓机械对称,就是要保证构成水听器的两个陶瓷管在加速力的作用下,能够产生相对于同一固定面对称的、相反的形变,这样才能在电学对称的基础上产生大小相等、符号相反的电荷,从而保证水听器的输出很小,降低水听器的加速度灵敏度。

实际上,电学对称和机械对称是相辅相成的,要做到完全对称是很困难的,而且往往由于考虑结构的坚固可靠而被忽视。我们从结构上作了深入的探讨和研究,为设计稳定可靠的低加速度灵敏度水听器,我们采取了一些有效的措施,概括如下:

① 采用端面对称的方法保证机械上达到完全对称。

② 为提高水听器的工作稳定可靠性,采用1.5 mm的聚氨脂橡胶包复密封。



图2 水听器样品外形图片

应用声学

③ 采用中轴支撑、铜壳隔离技术克服了因装夹应力传递而导致的加速度灵敏度的严重恶化。

在保证水听器较高接收灵敏度的基础上,我们采用了以上方法设计出的水听器样品见图2。测试结果表明,该种水听器具有与PVDF有机薄膜相接近的加速度灵敏度,经压力和高温突变及轻腊油长时间浸泡等试验,性能无明显变化。

3 水听器样品的实测性能

我们采用 $a=0.9\text{ cm}$, $b=1\text{ cm}$, $h=1\text{ cm}$ 的PZT-5陶瓷管制成水听器样品,采用拖曳阵列水听器的常规测试方法进行测试^[3],任选其中一只,测试结果见图3、图4。图3是水听器低频接收灵敏度响应曲线,接收灵敏度约为 $-193\text{ dB}(ref. 0\text{ dB}=1\text{ v}/\mu\text{ Pa})$,在20—1000 Hz频段中灵敏度起伏小于1.2 dB;图4是一个水听器样品的加速度灵敏度频响曲线,加速度灵敏度为 -70 dB 左右($ref. 0\text{ dB}=1\text{ v}/g$)。

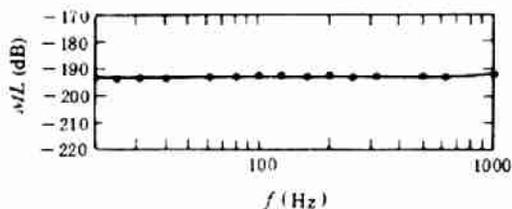


图3 水听器样品低频接收灵敏度响应

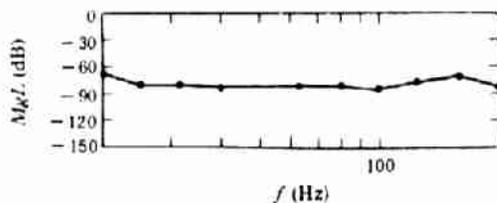


图4 水听器样品加速度灵敏度频响

表1为我们生产的水听器样品与国外同类型水听器及国内PVDF薄膜水听器性能参数的比较^[1,4]。从表中可以看出,我们在没有牺牲水听器接收灵敏度的前提下同样获得了低加速度灵敏度。

表 1 国内外同型水听器性能比较

参数	型号	中国 721 厂	美国本索斯公司 AQ-2S 型	美国本索斯公司 AQ-3 型	中国 715 所 PVDF 薄膜
接收电压灵敏度	dB(0 dB=1V/ μ Pa)	-193	-197	-193	-198.7
工作频段(Hz)		20—1000	1—10000	1—3500	10—2000
频段内起伏(dB)		<1.2	<1.5	-----	0.6
加速度灵敏度(dB)		-70	-60	-50	-81
静态电容(pF)		5900	3500	2900	6520
外型尺寸(cm)	(值径/长度)	2.7/3.5	2.54/3.30	3.30/6.0	2.9/3.4

4 结束语

本文讨论了降低拖曳线列阵压电陶瓷型水听器加速度灵敏度的设计思路,提出了把理论设计、结构设计和工艺设计有机结合起来优化设计方案,研制的水听器不仅加速度灵敏度较低,接近于 PVDF 薄膜水听器水平,而且接收灵敏度较高,性能稳定可靠,成品率高,适合于拖曳线列阵工程应用。

致谢 水听器样品的接收灵敏度和加速度灵敏度数据是由国防科工委水声计量一级站薛跃泉等同志测试提供的,特此感谢!

参 考 文 献

- [1] 曹荣、郑震宇, 声学及电子工程, 1991, (1):7—13.
- [2] Langevin, RA. J. Acous. Soc. Am, 1954, 26(3).
- [3] 薛耀泉、袁文俊, 声学及电子工程, 1993, 14—20.
- [4] 栾桂东, 黄进来、顾海仁, 声学及电子工程, 1992, (1): 14—22.

(上接第 28 页)

的加速度大约为重力加速度的 1200 倍, 显然这种超声效应比重力分离法能更快地使松香脂液细微杂质粒子沉淀。

5 实验结果

松香脂液采用超声波处理, 一方面使松香脂液里的细微杂质微粒受到超声波作用而加速杂质粒子的沉淀速率, 实验表明, 超声波处理脂液与洗涤水 7 分钟后, 静置澄清 10—15 分钟, 就很容易把洗涤水、中间层和脂液分离, 且脂液含水量一般仅达 1.0—1.4%。另一方面, 松香脂液经超声处理, 使水溶性的草酸盐和低分子酸等杂质清除干净, 降低了脂液中的

酸值, 经气相色谱测定, 其枞酸($C_{20}H_{30}O_2$ 松香酸)由原来 40.32%—43.64%降至 36.95%—39.24%, 采用罗维邦比色杯测定; 一般可降低色号 0.2—0.3。从而提高了松香的特级率。福建省三明地区六个林产化工厂的特级松香率平均为 39.46%, 宁化林产化工厂在松香生产中采用“松香脂液超声水洗”工艺, 其松香的特级率达 94.2%。由此可见, 松香生产的压滤超声水洗工艺流程简单、操作方便、投资省、见效快, 有较好的社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] 冯 若, 李化茂, 声化学及其应用, 安徽科学技术出版社, 1990. 23—25.