

基于潜标的海洋环境噪声测量系统^①吕云飞^② 张殿伦 邹吉武 兰华林 孙大军

(哈尔滨工程大学水声工程学院 哈尔滨 150001)

摘 要 对海洋环境噪声测量系统技术进行了研究,设计和实现了一种基于潜标的海洋环境噪声测量系统,并进行了海上试验。该系统采用潜标的布放方式,利用矢量水听器测量浅海海洋环境噪声场的低频噪声。矢量水听器同步测量声场空间一点处的声压和质点振速三个正交分量,测量信号经预处理后,对信号进行数模变换,得到的噪声数据可以在潜标中自记录或通过水面浮标传输到岸站存储。对噪声测量方法进行的分析和海上试验的结果表明,该系统稳定可靠,能正确地拾取海洋环境噪声。

关键词 海洋环境噪声,矢量水听器,潜标

0 引 言

海洋环境噪声也称自然噪声,是除去海洋中那些单个可辨别的噪声源后剩下的噪声背景,是水声信道中的一种干扰背景场,它的存在降低了声纳的检测能力^[1,2]。在声纳作用距离预报或信号处理方案设计中,需对海洋环境噪声场的时空统计特性进行研究。传统的环境噪声测量多使用单只声压水听器或者多只声压水听器构成的水听器阵列^[3],为了获得空间增益,所使用的声压水听器阵列一般都很庞大,尤其是在低频段。矢量水听器为解决这一问题提供了新的思路。矢量水听器由声压水听器和振速水听器复合而成,可以共点、同步、独立地测量声场空间一点处的声压和质点振速的各个正交分量^[4]。

潜标是获取海洋环境噪声信息的重要技术装备。潜标装置能携带多种测量和探测仪器,在恶劣海况条件下相对隐蔽地进行长期、定点、连续、多层面同步测量,所以潜标装置在海洋科学调查研究、海洋军事侦察等方面得到了广泛的应用^[5]。目前,国内外潜标装置观测数据和信息存储在测量设备或潜标专用记录仪中。人们要想获取这些资料,多通过读取回收的潜标的信息,这种潜标最大的缺陷是测量数据的连续性、实效性不强,一旦潜标丢失或回收失败,就将一无所获,给海洋科研造成较大的困难和不便。针对这种情况,本文中设计了基于潜标的海洋环境噪声采集系统。

1 噪声测量原理

在各向同性、均匀无限大、理想流体的介质中,对于单频声波,矢量水听器测量的是声压和质点振速的三个正交分量。声压和质点振速可以分别表示为

$$p(r, t) = A(r) \exp[-i[\omega t - \varphi(r)]] \quad (1)$$

$$v(r, t) = \frac{1}{\rho_0(r)\omega} \left[\nabla \varphi(r) - i \frac{\nabla A(r)}{A(r)} \right] p(r, t) \quad (2)$$

在此基础上,复声强定义为^[6]

$$I_c(r, \omega) = p(r, \omega) v^*(r, \omega) \quad (3)$$

式中:符号 ω 表示频率,上标 * 表示复共轭。 $p(r, \omega)$ 和 $v(r, \omega)$ 分别是 $p(r, t)$ 和 $v(r, t)$ 的 Fourier 变换。复声强定义在频域上,复声强还可以表示为有功声强和无功声强的形式:

$$I_c(r, \omega) = I_a(r, \omega) + iI_r(r, \omega) \quad (4)$$

式中: $I_a(r, \omega)$ 称为有功声强,表示向远处传播的声能; $I_r(r, \omega)$ 称为无功声强,表示不传播的声能。

噪声场一般由各向同性和各向异性分量构成的。在各向同性噪声场中,由于各个方向上的噪声有功声强相互抵消,因此矢量水听器的空间增益^[4]

$$G \rightarrow \infty \quad (5)$$

在各向异性噪声场中,有功声强的空间增益受到噪声场各向异性分量的制约,若各向异性分量越小,则各向同性分量越大,有功声强的增益越大。研究表明^[7],在深海中有功声强的空间增益 G 为 20dB ~

① 863 计划(2006AA090200)资助项目。

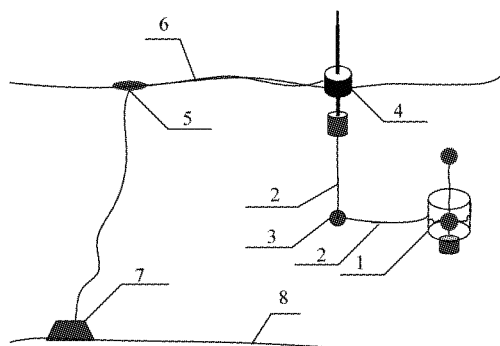
② 男,1977 年生,博士生,讲师;研究方向:矢量水听器和噪声测量;联系人:E-mail:lvyunfei166@sohu.com
(收稿日期:2008-09-01)

30dB。

2 噪声测量系统设计

为研究浅海低频海洋环境噪声,我们设计了海洋环境噪声测量系统。该系统采用潜标方式,利用矢量水听器拾取浅海海洋环境噪声,噪声数据可以在潜标的存储卡(CF)中自记录或通过水面浮标的无线网桥随时传输到岸站存储。

为减少海面波浪对矢量水听器测量的影响,采用潜标的方式进行噪声的测量。噪声测量系统如图1所示,整个潜标通过配重在海水中呈中性浮力,工作时潜标处于悬浮状态,矢量水听器在水中呈自由状态,确保矢量水听器发挥最佳性能。为减少水面浮标晃动对测量系统的影响,在浮标和铅鱼、铅鱼和潜标间安装了减震器,以去除外界环境对矢量水听器的干扰。



1-潜标;2-减震器;3-铅鱼;4-浮标;5-浮子;6-海面;7-锚;8-海底

图1 潜标系统工作状态示意图

噪声测量系统由水面浮标和水下潜标组成,浮标中包括扩频通讯电台和控制电路,潜标中包括矢量水听器、放大滤波电路、信号处理板、数据存储和传输电路。如图2所示,数字信号处理器(DSP)通过复杂可编程逻辑器件(CPLD),与闪存存储卡(CF)

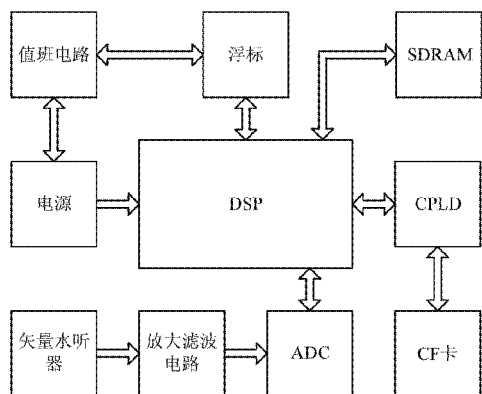


图2 海洋环境噪声测量系统组成框图

相连。矢量水听器输出信号经前级处理电路后,经模数转换器(ADC)采样后,送入DSP进行后续处理。DSP另外接同步动态随机存储器(SDRAM),以方便数据处理。

2.1 低噪声放大滤波电路的设计

矢量水听器的输出信号包括1路声压和3路矢量信号,放大滤波电路完成对4路信号的放大和滤波。根据矢量水听器的声压和矢量通道输出阻抗的不同,放大电路的输入端阻抗应与矢量水听器的输出端阻抗相匹配,以更好地完成对信号的放大和降低系统噪声。声压放大电路采用高阻抗输入电路,矢量放大电路采用底阻输入电路。放大电路的前端器件采用低噪声、低功耗运算放大器,它的等效输入噪声电压谱密度为 $7.9\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。为降低系统噪声,在放大电路加入了带通滤波器以滤除带外干扰,滤波电路采用8阶Butterworth有源RC滤波器。滤波电路的器件片内集成4个运放,适合低功耗的电路应用。在放大电路的输出端,为起到缓冲、前后隔离以及提高带负载能力设计了跟随器电路。在完成电路的调试后,对电路的等效输入噪声进行了测试。如图3所示,测试时,放大电路的输入端对地短路,采集放大电路的输出噪声,根据电路的放大量将噪声归算到前端。等效输入噪声电压谱密度在系统的工作带宽内均小于 $0.07\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

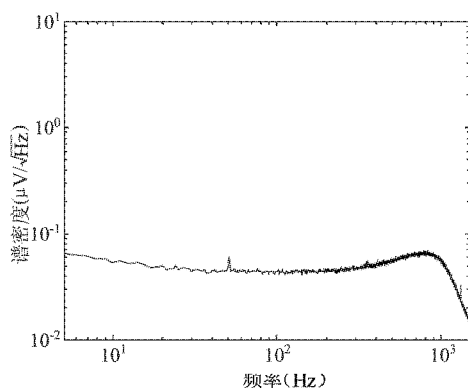


图3 电路等效输入噪声电压谱密度图

2.2 信号处理电路的设计

信号处理电路是潜标的主要功能模块。它完成对一路声压信号和三路矢量信号的同步采集和实时的处理。

信号处理电路的数字信号处理器(DSP)采用TMS320VC5509A,其具有很强的处理能力和外设选择空间,同时具有低功耗处理能力,这些特点正符合

潜标系统的低功耗等要求,为开发潜标系统带来许多方便。模数转换器(ADC)采用 ADS8361,具有双 A/D 变换器和四路模拟信号输入,能够完成对声压和矢量信号的采集,采样精度为 16bit,功耗 150mW。ADC 通过同步串行接口将采集数据传递到 DSP。DSP 可以根据指令将采集数据缓存到 SDRAM,以便进行后续的处理和存储。

为保证能够有效地取得海洋环境噪声数据,对采集的噪声数据可同时进行实时存储和向岸站传输。在潜标中,噪声数据的存储采用兼容 IDE/ATA 接口协议的 CF 卡作为存储介质。为满足大量原始数据存储的要求,易于管理这些原始数据,方便潜标回收后的数据处理,采用 Windows 操作系统支持的文件分配表(file allocation table, FAT)32 文件系统的大容量 CF 卡。在进行数据存储时, DSP 对 CF 卡简单读写后,将采集的噪声数据按照 Windows 标准文件格式写入 CF 卡。在潜标完成数据采集工作回收后,通过通用串行接口(USB)的读卡器可以将写入 CF 卡的数据以标准文件形式读出,方便进行后续处理。

在进行数据存储的同时, DSP 可以根据岸站的命令随时将采集的数据传输到岸站。数据传输单元的主要部分是采用直接序列扩频技术的无线网桥。无线网桥采用了无须专门申请的 ISM 开放频段, 2.4GHz 频段,数据速率高达 11Mbps,覆盖范围最远为 50km,与任何标准以太网交换机及路由器兼容。在海上试验时,由于受到浮标天线高度的限制,数据速率为 4Mbps,覆盖范围为 7km。数据上传时, DSP 发出的数据通过串口网口转换器到无线网桥,传输到岸站进行存储。

2.3 噪声测量系统的低功耗设计

噪声测量系统工作与水下,系统的电源全部由电池提供,因此电路的功耗决定了系统的水下工作时间。

在潜标系统设计时,电路中的器件全部采用低功耗器件,以降低系统的功耗。潜标系统工作时,放大滤波电路的功耗为 40mW,信号处理和数据存储电路的功耗为 0.96W。为进一步降低系统的功耗,在潜标中设计了值班电路,值班电路采用低功耗 MCU MSP430F1611。当潜标进行噪声数据的采集或传输时,值班电路为系统上电。当潜标处于空闲状态时,值班电路可以根据岸站的指令对潜标中的其它电路断电。断电之前,值班电路通过串口发送指令给 DSP, DSP 保存当前的状态参数在 CF 卡中以备重新上电时调用。值班电路在值班状态下功耗为

25mW,这很大程度上降低了系统的功耗,延长了噪声测量系统的水下工作时间。

3 海上试验结果

测量系统在中国南海进行了海试。试验海域选择在近岸海域,水深 49m 左右,测量系统的潜标布放在水下 30m。图 4 中给出的是利用矢量水听器测量得到的浅海海洋环境噪声的相对谱级。横轴为频率,纵轴为相对谱级,分析时间长度为 60s,实线表示声压的谱级,虚线表示振速的谱级,点划线表示有功声强的谱级。从图 4 中可以看出,在 10Hz ~ 1000Hz 范围内振速的谱级和有功声强的谱级基本一致,二者谱级较声压的谱级低 5dB ~ 9dB。图 5 中给出了有功声强的角度谱,横轴为频率,纵轴为水平面内有功声强相对于正北的指向,分析时间长度为 60s。在 10Hz ~ 180Hz 内能量转移的方向变化大,在 180Hz ~ 1000Hz 内存在着明显的能量转移。图 4 与图 5 中得

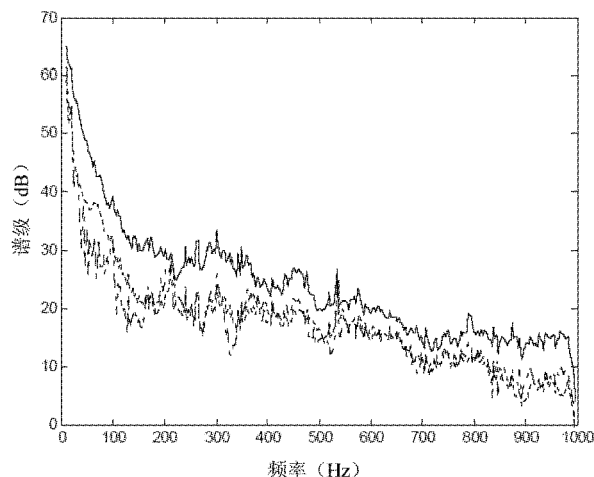


图 4 量水听器测得的环境噪声谱级

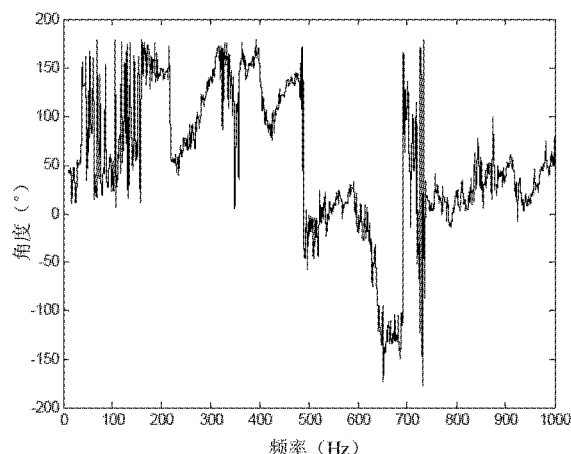


图 5 水平有功声强的角度谱

到的结果与深海得到的结果^[6,7]相比,由于浅海的声传播条件复杂,海底和海面对声场的影响很大,有功声强的增益较深海低 10dB ~ 20dB,有功声强的指向性与深海的存在明显差别。

4 结 论

本文对海洋环境噪声测量的原理进行了分析,设计和实现了海洋环境噪声的矢量测量系统,并进行了海上试验。采用潜标的布放方式,使矢量水听器在一定深度上保持漂浮状态,减小了外界干扰对测量结果的影响;矢量水听器可以同时拾取声场中的声场中 10Hz ~ 1000Hz 的声压和三个正交的质点振速信息;低噪声放大电路的实现,提高了采集信号的信噪比;采集的噪声数据可根据需要上传至岸站或在潜标内进行存储。对海上试验取得的数据进行了初步的分析。海上试验取得的数据表明,系统工作稳定可靠,可以正确的拾取海洋环境噪声。海洋

环境噪声的获取有助于浅海矢量声场模型的建立,进而更可靠的进行声场预报和目标探测。

参考文献

- [1] 郭业才,赵俊渭. 海洋环境噪声预报建模与算法研究. 舰船科学技术, 2004, 26(40): 26-30
- [2] 黄益旺,杨士莪. 海洋环境噪声的一般模型及声压空间相关系数. 声学技术, 2007, 26(5): 1004-1005
- [3] Urlick 著,洪申译. 水声原理. 哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院出版社, 1990
- [4] 孙贵青, 杨德森. 矢量水听器在水下目标低频辐射噪声测量中的应用. 哈尔滨工程大学学报, 2001, 22(5): 5-19
- [5] 李飞权, 张选明, 张鹏等. 海洋潜标系统的设计和应用. 海洋技术, 2004, 23(1): 17-21
- [6] Gordienko V A. Vector-Phase Methods in Acoustics. Moscow: Nauka Press, 1989
- [7] G' Spain G L, Hodgkiss W S, Edmonds G L. Energetic of the deep ocean's infrasonic sound field. *J Acoust Soc Am*, 1991, 89(3): 1134-1157

A system for ocean ambient noise measurement based on subsurface buoy

Lv Yunfei, Zhang Dianlun, Zou Jiwu, Lan Hualin, Sun Dajun

(College of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

Abstract

This paper aims to design the system of ocean ambient noise measurement, the system is deployed with subsurface buoy, low frequency ambient noise of shallow water is measured by vector hydrophone. Vector hydrophone measures pressure and all three orthogonal components of particle velocity at a single point in space, the measured signal is preprocessed and sampled, the sampled data can be self-stored in subsurface buoy or transmitted to shore station by buoy. The method of noise measurement is discussed, the results of the sea trials show that the system is feasible and reliable.

Key words: ocean ambient noise, vector hydrophone, subsurface buoy