

声诱饵仿真试验系统

苑秉成 陈 喜 周徐昌 张振山

(海军工程大学兵器系 武汉 430033)

2002 年 4 月 16 日收到

摘要 文章介绍了声诱饵仿真试验系统中的有关问题, 包括: 系统的组成、工作原理、对接装置结构等。建立了对接装置声耦合状态下的数学模型, 对近场声压分布进行了仿真计算, 得出了匹配材料厚度、发射和接收换能器的选取原则。

关键词 仿真试验, 声对接装置, 匹配材料

A simulating test system for acoustic decoy

YUAN Bingcheng CHEN Xi ZHOU Xuchang ZHANG Zhenshan

(Dept of Weaponry Eng, Naval Univ of Engineering, Wuhan 430033)

Abstract In this paper, a simulating test system for acoustic decoy is presented, the hardware composition, principle, and structure of the sound coupler are described, and it is proposed how to establish a model of the sound coupler for calculating the acoustic pressure distribution along its acoustic axis. Finally, the thickness of the coupling layer, the method of selecting the transducer are discussed.

Key words Simulating test, Acoustic coupler, Coupling material

1 引言

声诱饵是电子战水下对抗中的重要武器装备, 是对抗敌潜艇声纳和声自导鱼雷行之有效的装备之一, 它对有效地保护自己 and 消灭敌人发挥重要作用。现代声纳和鱼雷声自导系统的发展, 使声诱饵日趋复杂, 给研制、生产、试验、验收和技术准备带来更大的难度。同时, 由于声波传播的介质海水与空气中的声阻抗率 ρc 差别很大, 而声诱饵的很多相关试验测量需在水中进行, 这样就加大了研制试验、验收和技术准备的难度, 增加了人力、物力和财力的投入。基于上述原因提出的声诱饵仿真试验系

统, 在陆上实验室或检修车间为声诱饵提供一个半物理仿真试验平台, 这一试验平台可减少大量的水池测量试验和湖海实航、实雷对抗试验。

2 系统功能

系统实现的主要功能如下:

(1) 在计算机控制下, 通过专用接口实现对声诱饵工作参数的予置, 并控制系统工作的启动与停止。

(2) 通过专用接口检测诱饵声学系统工作时各电路测试点的特征值。

(3) 以声对接方式向声诱饵提供多种声纳、鱼雷的主动探测脉冲和背景干扰声信号,用于检测声诱饵的应答功能、应答信号的脉冲宽度、频率和声源级等系统参数。

(4) 对声诱饵产生的模拟噪声信号进行谱分析,并计算噪声信号的带内能量。

(5) 所测数据和频谱分布均可实时在计算机屏幕显示和打印输出。

3 系统组成及工作原理

3.1 系统组成

主要包括:计算机系统、数字信号源、数字衰减电路、背景噪声产生电路、信号与噪声混合电路、功放及匹配电路、予处理电路和声对接发射接收装置等。

计算机采用研华工业控制计算机,包括:计算机主板(Pentium III.700 CPU, 128 M 内存)、显示器、键盘、硬盘、软驱、I/O 板、计时计数板和 1 MHz A/D 采集板。

3.2 工作原理

计算机系统主要完成声诱饵仿真测试全过程的实时管理、信号采集、数字信号源的参数控制、数字衰减电路参数控制、各种测量信号的分析处理、人机界面的交互等。

数字信号源由计算机通过 I/O 板控制,产生声诱饵工作过程所需的各种信号,即具有一定重复周期、一定脉冲宽度和一定填充频率的 FM 或 CW 信号、脉冲编码信号,或连续的 FM、CW 信号。信号产生范围 100 Hz~60 kHz,频率控制精度小于 1 Hz;脉冲宽度范围 1 ms~255 ms 控制精度 1 ms;重复周期可控。由于采用了数字控制,上述参数可通过软件实时可调,大大增强了信号源的使用灵活性,提高了系统的性能和稳定性。数字信号源的输出送入数字衰减电路。

数字衰减电路主要是在计算机 I/O 板的控制下,完成信号的强度控制,模拟实现潜艇声纳或声制导鱼雷在与声诱饵不同距离上的

声传播衰减,以对声诱饵的接收处理能力定量试验测量。信号强度控制范围为 -40 dB/V ~ -120 dB/V ,控制步距 1 dB。信号强度控制电路采用美国 AD 公司产品 AD7110 数字衰减器,由 AD7110 的 D_0 ~ D_5 6 位输入码控制,实现 0~88.5 dB 的信号强度控制范围(本电路中进行了电路补偿,实现 1 dB 的控制精度)。数字衰减器的输出信号与背景噪声产生器产生的噪声混合后送至功率放大器和匹配网络。

匹配网络经馈线传输后送至与声诱饵共形的声对接装置,安装在声对接装置上的发射换能器把来自匹配网络的电信号转换为声信号,通过匹配材料传给声诱饵的接收换能器,实现声诱饵在水中工作时对声纳或声自导鱼雷发射信号的接收。

予处理电路主要是对声诱饵发射的声纳应答信号或声自导鱼雷应答信号通带外的干扰进行抑制,提高信噪比,保证计算机 A/D 采集数据的有效性。声诱饵发射的高频段声信号经匹配材料传给声对接装置的接收换能器,接收换能器把声信号转换为电信号送入予处理电路。

声对接装置由三部分见图 1,即 1 为高频

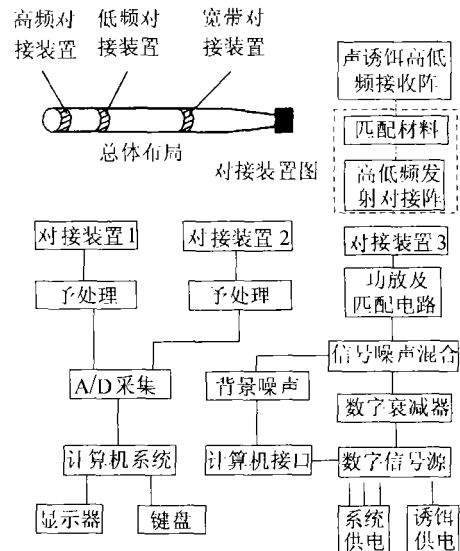


图1 声诱饵仿真试验系统框图

声接收装置、2 为低频声接收装置、3 为宽带声发射装置。声接收装置分别接收声诱饵发射的高低频声信号，同时作为声诱饵发射换能器的声负载。声发射装置给声诱饵提供声信号，模拟在水中声诱饵接收水听器的实际接收情况。

整个系统实现了声诱饵声学系统在水中工作时的半物理仿真，同时也实现了一些在水中不能直接做到的系统参数测试。

4 系统的几个关键技术

4.1 声对接装置

系统中各对接装置结构形式相同见图 2，都由固定安装架、匹配材料和多个换能器阵元组成。主要作用是通过固定安装架把匹配材料、换能器阵元固定在诱饵壳体各换能阵元位置处。通过固定安装架的夹紧装置和对接换能器阵元的加压力矩调节装置，能够使匹配材料、对接换能器阵元与诱饵壳体上的换能器准确定位，并保证三者达到良好的声耦合。

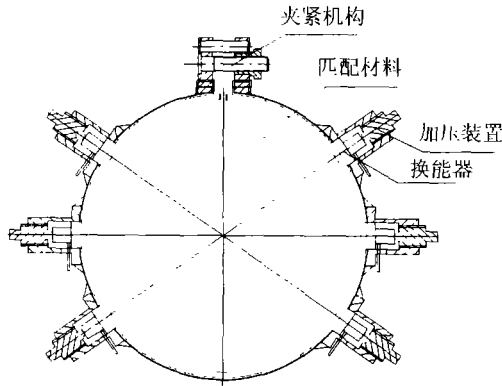


图 2 对接装置结构图

4.2 匹配材料

匹配材料模拟海水的声阻抗特性，提供诱饵换能器基阵与对接装置换能器基阵的接收发射匹配。形状为与诱饵换能器阵处横截面外沿共形的开口环形。

匹配材料的选取涉及主要因素有：匹配材

料的特性阻抗 ρc 、匹配材料的厚度等因素。

(1) 匹配材料特性阻抗

由声学理论，耦合界面两边的介质其特性阻抗不同，将引起入射声的反射和折射。因此要求匹配材料的阻抗特性应满足对接装置的要求。匹配材料内部应均匀，无气泡、杂质，表面平整光滑。

(2) 匹配材料厚度

图 3 中，换能器阵元的辐射面中心置于坐标原点 o 。匹配材料的厚度方向为 z 轴，厚度为 b 。换能器阵元接收面置于 b 点，计算 b 点处环形面元 ds 作用下的声压为

$$dp = j \frac{k \rho_0 c_0}{2\pi h} u_a ds e^{j(\omega t - kh)}$$

式中 $ds = 2\pi l dl$ 为辐射面上 dl 微小宽度下的环形面积，则 b 点的总声压为许多 ds 作用之和，即：

$$p = j k \rho_0 c_0 u_a e^{j\omega t} \int_0^a \frac{e^{-jkh}}{2\pi h} 2\pi l dl$$

对固定的 z 值，有 $2l dl = 2h dh$

$$\begin{aligned} p &= j k \rho_0 c_0 u_a e^{j\omega t} \int_z^d e^{-jkh} dh \\ &= 2\rho_0 c_0 u_a \sin \frac{k}{2}(d-z) e^{j[\omega t - \frac{k}{2}(d+z) + \frac{\pi}{2}]} \end{aligned}$$

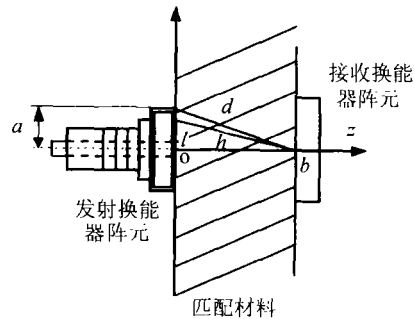


图 3 物理模型

其中 $d = \sqrt{a^2 + z^2}$ ，则 $\sin \frac{k}{2}(d-z)$ 描述了声压振幅沿 z 轴的变化，当 z 较大， $z > 2a$ 时，即匹配材料的厚度 $b > 2a$ ，下式可简化为

$$\sin \frac{k}{2}(d-z) \approx \sin \frac{ka^2}{4z} = \sin \frac{\pi}{2} \frac{z_g}{z}$$

其中 $z_g = \frac{a^2}{\lambda}$, 图 4 给出了 $\sin \frac{\pi}{2} \frac{z_g}{z}$ 计算曲线。由图中可以看出要使辐射面法线上的声压振幅满足远场条件, 随距离 z 反比衰减, 要使 $\frac{z}{z_g} > 1$, 则必需 $z > \frac{a^2}{\lambda}$, 即匹配材料的厚度 $b > \frac{z_g a^2}{\lambda}$ 。

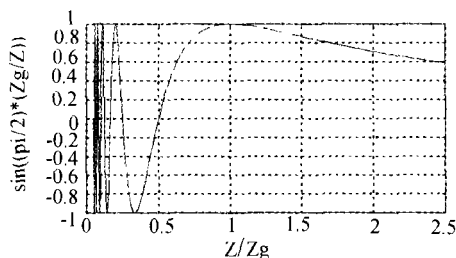


图 4 发射阵元近场声压振幅曲线

当匹配材料的厚度一定时, 对接装置中换能器阵元的半径 a 越小, 越利于满足远场条件。同时匹配材料的厚度还要满足换能器发射时的声能量吸收和对接装置加压时对诱饵壳体的换能器阵的缓冲保护作用。

4.3 换能器阵元

声对接装置上安装的换能器阵元有两种: 一种为发射型用于发射信号, 模拟潜艇声纳或鱼雷发射寻的声脉冲; 另一种为接收型用于接收诱饵发射的诱骗潜艇声纳的低频声脉冲信号或低频噪声信号, 用于接收诱饵发射的诱骗声自导鱼雷的高频声脉冲或高频噪声信号。

(1) 发射换能器阵元

发射换能器阵元的数量与诱饵上接收换能器阵元的数量相对应, 辐射面应与接收换能器的接收面共形。接收面与辐射面之间的距离 z , 即匹配材料的厚度 b 应满足 $b > \frac{a^2}{\lambda}$ 的远场条件。同时辐射面的半径 a 不能选择过大, 由于匹配层声扩散和接收换能器周围硬边界的作用, 对辐射面发射的声脉冲产生反射形成驻波。设入射波为 $p_i = p_{im} e^{j(\omega t - kx)}$, 反射波为 $p_r = p_{rm} e^{j(\omega t + kx)}$, 有反射时合成声场的声压为:

$$p = p_i + p_r$$

$$= 2p_{rm} \cos kx e^{j\omega t} + (p_{im} - p_{rm}) e^{j(\omega t - kx)}$$

式中前一项为驻波场, 后一项为 x 方向行进的行波场, 可以看出当有反射波存在时就破坏了声传播规律, 接收换能器接收到的声信号发生干涉起伏, 影响系统工作。

(2) 换能器频率特性

由于对接装置的发射换能器既要满足声纳频段工作, 又要满足鱼雷声自导频段工作, 要求换能器要有近 40 kHz 发射带宽。因为本系统采用小信号发射, 发射换能器谐振频率 f_0 选在整个频段的中间, 对高频段和低频段采取软件调节加在发射换能器上的电信号强度进行补偿, 较好地解决了这一关键技术。图 5 为发射换能器和接收换能器的频率响应曲线。

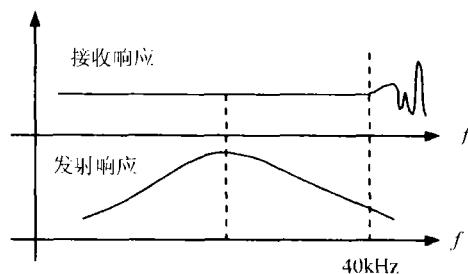


图 5 发射接收换能器频响曲线

5 系统软件

系统软件程序在 Windows 98 操作系统下使用 Visual C++ 编制, 充分利用 Windows 系统的图形化界面和友好交互功能。由于 Win98 是支持多进程和多线程的, 所以可以方便地实现多线程检测。

系统通过主菜单进入五个界面, 即“系统自检”、“自动检测”、“手动检测”、“频谱分析”、“数据存档检索”。完成人机交互操作。

系统软件按功能实现了模块化, 主要软件模块如下:

- (1) 自检模块;
- (2) 诱饵工作予置模块;

(下转第 39 页)

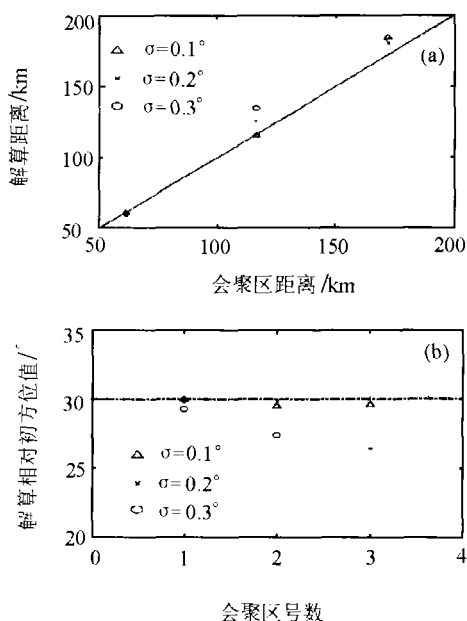


图 3 解算结果

(a) 解算的目标距离 (b) 解算的目标相对初方位值

初方位的估计结果, 其中方位均方误差分别为 0.1° 、 0.2° 、 0.3° , 各会聚区宽度由图 1 给出。当目标处于 4, 5, 6 会聚区时, 因其方位变化量太小, 进行方位滤波时不收敛, 因此表 1 和图

(上接第 34 页)

- (3) 发射信号产生模块;
- (4) 回波、噪声信号采集处理模块;
- (5) 频谱分析模块;
- (6) 操作界面显示模块。

6 结论

声诱饵仿真试验系统经实际使用测试证明, 系统达到设计要求, 能够满足诱饵声学系统的系统功能检查、参数测试要求。本系统主要解决了系统的总体构成、对接装置的结构、

应用声学

3 中没有给出计算结果。

6 结论

利用会聚区宽度和距离, 可以实现对穿越会聚区的运动声源参数进行估计, 且不需要基阵平台机动。在方位偏差较小时, 具有一定的估计精度; 对距离大于第三会聚区的运动声源, 由于方位变化量小, 方位滤波不收敛, 不能对其运动参数进行估计。

参 考 文 献

- 1 董志荣. 舰艇指控系统的理论基础. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- 2 Nardone S C, Lindgren A G, Gong K F. *IEEE Transaction on Automatic Control*, 1984, **29**(9): 775-787.
- 3 Fawcett J A. *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, Speech and Signal Processing*, 1988, **36**(8): 1193-1199.
- 4 Becker K. *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, 1996, **32**(1): 487-494.
- 5 杜选民, 姚蓝. 声学学报, 1999, **24**(6): 604-610.
- 6 王燕等. 声学学报, 2001, **26**(5): 405-409.
- 7 张仁和. 声学学报, 1980, **5**(1): 28-41.
- 8 张仁和. 声学学报, 1982, **7**(2): 75-87.
- 9 张仁和, 刘红, 何怡. 声学学报, 1994, **19**(6): 408-417.
- 10 张仁和, 何怡, 刘红. 声学学报, 1994, **19**(1): 1-12.

加压方式等问题。给出了发射换能器、匹配材料和接收换能器耦合状态下的数学模型, 匹配材料的厚度选取原则, 较好地解决了使用单一换能器小信号状态下覆盖声纳和鱼雷声自导频段宽频带发射声信号问题。

参 考 文 献

- 1 苑秉成, 陈喜. 水声自导原理基础 [M]. 北京: 海潮出版社, 1992. 99-102.
- 2 冯若, 姚锦钟, 吴立勋. 声学手册 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1999. 150-166.
- 3 苑秉成, 周徐昌, 陈喜等. 声诱饵仿真试验系统 [R]. 武汉: 科技报告, 2000. 18-36.