高精度声学模拟系统简介

刘宏伟　郝隆盛　雷良颖　张仁和

(中科院声学所声场声信息国家重点实验室　北京 100080)

1999 年 9 月 15 日收到

摘要　介绍了一套声学模拟系统。系统采用计算机控制，主要由高精度定位子系统、信号收发子系统、环境与目标模拟子系统以及配套软件组成，初步具备开展水声学模拟实验和超声实验的能力。

关键词　声学模拟，十一轴精密数控工作台，消声水槽

A high precision acoustic simulation system

Liu Hongwei　Hao Longsheng　Lei Liangying　Zhang Renhe

(National Key Lab of Acoustics, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract　An acoustic simulation system is presented. Controlled by computer, the system is composed mainly of highly precise localization sub-system, signal emitting/receiving sub-system, and environment and object simulation sub-system. The system possesses capability to perform underwater acoustic or supersonic experiments.

Key words　Acoustic simulation, Eleven-axis digital controlled table of high precision, Anechoic tank

1　引言

声学模拟实验室是中国科学院声学研究所声场声信息国家重点实验室的下属研究室，主要工作是在实验室条件下采用超声频段的波研究水声学问题。实验室在原有基础上经过一年来的建设，已初步具备了承担水声学模拟实验的能力。实验室主要设备为一套新近建成的声学模拟系统，其系统结构如图 1 所示。可见，该系统主要由高精度定位子系统、信号收发子系统、环境与目标模拟子系统、中央计算机控制和数据采集以及配套软件组成。下面分别予以介绍。

2　高精度定位子系统

十一轴精密数控工作台是定位子系统设备的主体，包括机械主机 (发射平台、接收平台) 和底层控制平台 (底层微机控制、电器控制柜、位置检测单元、手工控制盒) 两部分。实验人员既可以通过计算机及专用软件控制发射平台、接收平台的运动，完成定位操作，又可以通过手工控制盒方便地调整各个部件的位置关系，同时部件运动后的位置信息将实时返回计算机。每个平台的运动自由度包含三维平动 (X,Y,Z) 和二维转动 (A,B)。发射平台还包含一维微调

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

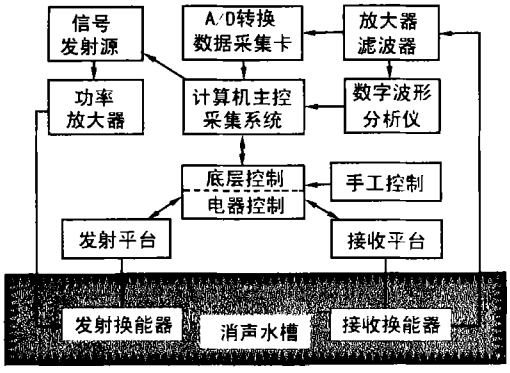

图 1　声学模拟系统示意图

平动 (C)。两个平台共计十一个坐标轴。各个轴的运动区间为:

X，　0–1000mm；
Y，　0–400mm；
Z，　0–350mm；
A，　B，　-160°–160°；
C，　0–140mm

由于采用了精密光栅、专用计数器、智能倍频数据采集卡和计算机实时控制以及精密加工的机械主机和传动系统等技术和设备，工作台具有高精度定位的特点。SGC 系列光栅尺的分辨率是 0.02mm；经过五倍频电路和以四倍频方式计数的专用计数器后，单轴平动分辨率为 0.001mm。直线运动由步进电机通过柔性连轴器与滚珠丝杠相联，驱动部件在直线滚动导轨上移动；水平回转运动由步进电机通过两极减速齿轮组与涡杆涡轮相联，驱动转盘旋转；水下仰俯运动由步进电机通过谐波减速器与磁性连轴器相联 (密封防水性能较好)，驱动标准六面体仰俯旋转。设备安装后经过航空航天工业部二院长度计量专业组的测试 [1]，各个轴的重复定位精度为:

平动轴，　±0.010mm
转动轴，　±0.010°

工作台以上特点可以实现声源和水听器的高精度走位，为实验结果的准确性奠定基础。例如在测量水中声速时，联合利用系统的高精度和宽量程，可以获得具有六位有效数字的声速值。在实验中配以作为目标定位基准的声信标，可以实现声源、目标和水听器的空间精确定位。

3　环境和目标模拟子系统

3.1　消声水槽

与工作台配套的长方体水槽尺寸为 3260mm×980mm×960mm，有效容积 $3m^3$。水槽材质为硬质聚氯乙烯，其内壁及底面均铺设吸声橡胶尖劈板，另备有橡胶尖劈和闭孔泡沫塑料板粘贴而成的上盖板。对于 35kHz 以上频率的声波，单组橡胶尖劈的声压反射系数小于 0.1，吸声系数 [2] 如图 2 所示。其中，30kHz–65kHz 的结果为在声管中测量所得；100kHz–1MHz 的结果为采用对比法在水槽中测量所得。

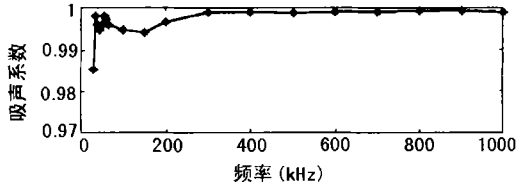

图 2　橡胶尖劈的吸声系数

3.2　海底模拟

实验室具备制作多层人工海底的经验，曾合作完成七层人工海底试样。通过选择不同的基料和填料以及配比，控制每一层的密度、纵波波速和横波波速等声学参数。其海底模型支持了有关单位的研究工作 [3]。

3.3　目标模拟

实验室现有的目标模型为一系列不同长度和不同结构的不锈钢柱壳模型，具体包括：15mm 和 50mm 实心圆柱体、15mm 带球冠圆柱体、15mm 和 50mm 圆柱壳、15mm 加肋圆柱壳、15mm 加肋双层圆柱壳等，半径均为 5mm。以上模型可用于柱壳目标散射特性的

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

模拟研究。此外，还配备有作为刚性边界使用的钢板 (5mm 、 10mm 厚) 和不锈钢板 (6mm 厚)，以及空气腔反声障板等。

4 信号收发子系统

4.1 发射和接收声换能器

声学模拟主要采用超声波，考虑到水槽的规格尺寸，实验室配备了中心频率分别为 50kHz 、 100kHz 、 200kHz 、 500kHz 、 1MHz 的声波发射和接收换能器。按 6dB 带宽计算，几乎覆盖了 35kHz-1.4MHz 的频率范围。图 3 给出了中心频率为 1MHz 的一组收发兼用换

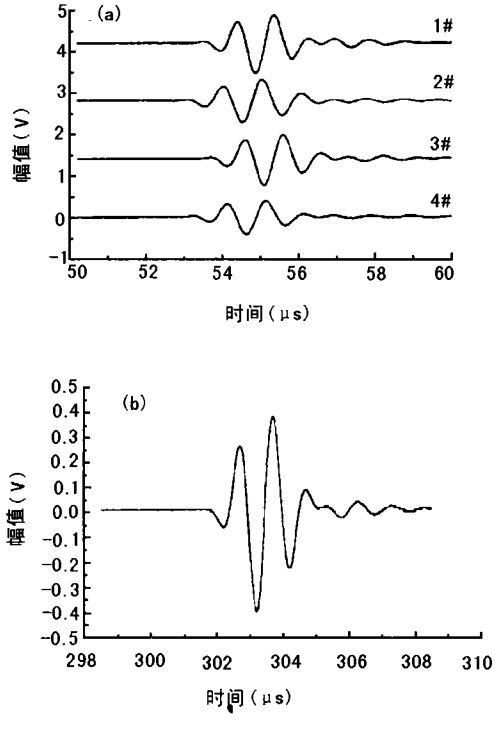

图 3 换能器的波形

(a) 自发自收波形 (b) 一发一收波形

能器的接收信号波形，其换能器编号分别为：1# 、 2# 、 3 # 、 4#(为使图示清晰， 3# 、 2# 、 1# 的接收信号波形分别加入了 1.4V 、 2.8V 、 4.2V 的直流成份) 。换能器的带宽 (6dB) ： 0.5-1.4MHz ；波束角宽度 (6dB) ： 9° ；发射灵敏度 [4] ： ~104dB ；接收灵敏度： ~ -196dB ；阻抗： ~(52-j90)Ω 。其中，发射换能器受到的激励为 17V 矩形电脉冲，脉宽 0.5μs 。自发自发自收时，换能器发射面与反射面距离 ~3.6cm ；一发一收时 (1# 发， 2# 收)，换能器间距 ~45cm 。

4.2 信号发生器和接收器

现有信号发生器满足声换能器的工作频率需求，既可以发射常规的连续波 (RSG-10 Signal Generator)，又可以发射任意波形的填充脉冲 (Polynomial Waveform Synthesizers 2020)，还可以发射尖锐脉冲信号 (Pulse Amplifier/ receiver 5800PR) 。发射用功率放大器 (Power Amplifier 75A220) 增益为 28dB- 48dB 。前置放大器 (Pre-amplifier 5600) 增益为 40dB 或 60dB 。接收设备主要为脉冲接收机 (Pulse Amplifier/receiver 5800PR，兼有滤波和放大功能) 和 100MHz 数字示波器 (TDS220 ，有数据采集功能) 。

5 计算机控制和数据采集

声学模拟系统的大多数模块可以通过计算机控制，完成相应操作。如：通过人机对话，控制发射平台、接收平台的运动，完成定位操作；利用 RS232 接口或 GPIB 卡可以实现对现有信号源以及信号接收设备的状态控制，并向计算机传递数据。一套由微机控制实现机械定位和信号自动收发功能的“声学模拟实验系统综合控制软件”正处于调试阶段，即将投入使用。该软件按照“适宜进行声学测量、便于进行后处理”的原则设计，能提供进行声学测量的典型工作模式；能连续、自动地进行平台定位、信号收发和格式化数据输出。

6 小结

本文介绍的高精度的工作平台、消声水槽和声信号发射接收设备组成的声学模拟系统，

(下转第 13 页)

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

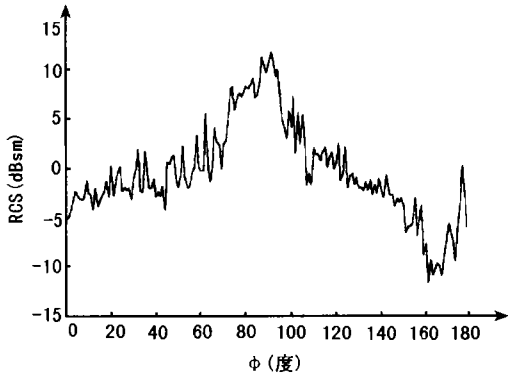

图 3　超声水池测量的飞机 RCS 曲线 (频率 1.04MHz)

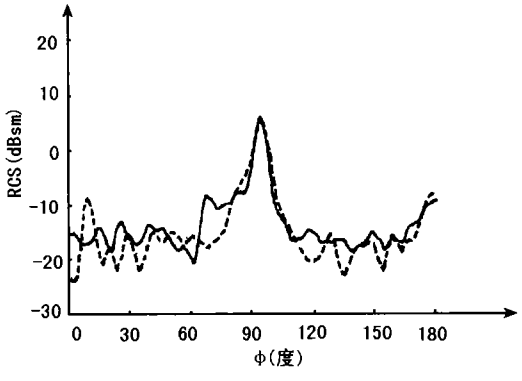

图 4　微波暗室测量的飞机 RCS 曲线 (频率 888MHz)
实线 — 垂直极化　虚线 — 水平极化

范围内所造成的测量误差。但对于较为复杂的大型目标，小于远场条件的测试距离对于 RCS 测量的主要影响是方向图的波瓣和零点略有变化，但对感兴趣目标的 RCS 最大峰值分布的影响却很小。水池的超声模拟测量虽然还没有达到实用阶段，但测量结果仍然具有重要的参考价值。在今后的工作中，我们将采用抛物面反射器或超声透镜等紧缩场测量技术来改进实验系统，使之能够达到工程实用的阶段。

5　结论

通过理论分析和实验验证说明，采用水池中超声模拟测量的方法是可以用来得到目标的电磁散射特性的。由于在声波在水中的波长很短，声波的模拟测量可以在较低的频率上进行。通过时间门的选取可以比较容易地消除背景反射噪声的影响。只要适当地选用制做模型的材料，误差是可以减小到能够容忍的范围的。所以说用水池超声侧量模拟目标电磁散射特性是可行的.

参　考　文　献

1　沈杰罗夫著，何祚镛译．水声学波动问题．北京：国防工业出版社，　1983．1–11.

2　尤立克著 R J，洪申译．水声原理．第三版．哈尔滨：哈尔滨船舶工程学院出版社，　1990．231–257.

3　克拉特著 E F，阮颖铮译．雷达散射截面—预估、测量、减缩．北京：电子工业出版杜，　1988．156–187.

4　赵俊渭，丁纬，阎宣生等．声学学报，　1997，**22**(2)：123–131.

(上接第 3 页)

适合于水声问题的超声模拟实验研究，也可用于一般超声问题的研究。该系统已经用于合成孔径声纳的原理性试验研究，现正在进行柱壳目标散射特性的模拟实验研究，并准备陆续开展多层海底反射、不平海底混响模拟以及海底反演等方面的工作。依据实验室计划，本实验系统将向国内同行开放。

致谢　本文有关“声波发射和接收换能器”的内容，得到清华大学物理系傅德永老师的帮助，特此表示感谢。

参　考　文　献

1　“十一座标轴精密数控工作台”测试报告．中国科学院自动化研究所，中国科学院声学研究所，航空航天工业部二院，　1997 年 10 月.

2　王荣津等．水声材料手册．北京：科学出版社，　1983.

3　李迎春，王仁乾．全国声学学术会议论文集．　1998，成都：　75–76.

4　邓明晰，林靖波，水永安．应用声学，　1994，**13**(6)：21–25.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net