虚拟仿真技术在水声工程国防特色专业中的应用

——以复杂海洋环境中的声呐被动探测性能分析实验为例

殷敬伟[1,2]　生雪莉[1,2]　高明生[1,2]　周　天[1,2]　郭龙祥[1,2]　韩　笑[1,2]　朱广平[1,2]　陈文剑[1,2]

1.哈尔滨工程大学水声工程国家级实验教学示范中心 黑龙江哈尔滨 150001

2.哈尔滨工程大学水声工程学院 黑龙江哈尔滨 150001

摘　要：复杂海洋环境中的声呐被动探测性能分析实验是国防特色专业水声工程人才培养中的重要一环，通过虚拟仿真实验教学平台对声呐探测性能进行实验，可培训学生掌握开展水声技术研究所需的理论与技能，实现虚拟实验资源的共享。该虚拟仿真实验教学平台实现了人才培养与科学研究的紧密结合，进而推动水声技术的发展。

关键词：虚拟仿真技术；国防特色专业；声呐被动探测性能

教育部自2013年起，分批建设了多个具有引领示范作用的虚拟仿真实验教学中心[1]，并于2018年1月公布了首批建设的105门国家虚拟仿真实验教学项目，标志着虚拟仿真技术在国内实验教学应用的大幕正式开启。

复杂海洋环境中的声呐被动探测性能分析实验是国防特色专业水声工程人才培养中的重要教学内容，它对学生创新思维、创新能力的培养与激发起着非常重要的作用。但由于现实条件制约，学校无法保证为每位学生都提供亲临各个海域进行声呐设备实验的条件。

1　传统实验教学方式中存在的不足

1.1　受实验仪器设备等条件的影响

水声工程是一个实践性较强，且具有很强的国防特色的工科专业。国防特色属性，注定了它在学生实践能力培养方面对所需仪器设备性能指标要求的高标准和高要求，间接造成国防特色专业实验成本较普通专业偏高，无法保证学生在进行实验教学活动中每人有一套设备。

1.2　受实验环境的影响

水声工程专业是一个研究声波在水中传播特性的科学，因此本专业人才培养离不开到海区进行海况的实验。由于我国海岸线较长、海域辽阔、海况复杂，所以不可能保证每位学生都有对所有海况进行实验的机会。

1.3　受实验教师人数的影响

由于实验教师在职称评定、工资待遇方面不受重视，导致实验教师队伍人数偏少，同时随着高校本科人才培养规模的不断扩大，实验指导教师相较于日益增长的学生而言相对短缺，无法实现小班上课或使用研讨式、探究式授课。

2　复杂海洋环境中声呐探测性能分析虚拟实验设计思路

2.1　虚拟实验需求背景及设计思路

2.1.1　需求背景

声呐设备是利用声波进行水下通信、探测的船舶电子设备之一，为船舶安全航行和信息获取提供技术保障。传统声呐技术相关课程教学多以理论推导、图片与视频介绍为主，难以动态展示声呐工作过程和性能，更无法直观讲解声呐与海洋环境间的博弈关系。此外，现场实验运行成本高、重复性差[2]的情况也限制了参与各种海况实验的人数和次数。

2.1.2　设计思路

依托水声特色，实验围绕海洋水声设备设计中的科学问题，服务于海洋科学研究、海洋资源勘探与开发、海军作战等应用需求。

实验通过对虚拟海洋环境中虚拟声呐设备的探测性能进行仿真实验，为水声工程专业的师生提供水中目标、复杂环境、声呐系统相结合的实验教学平台，全景、动态地反映目标、海洋与声呐的相互作用关系。

通过虚拟实验建设，一方面有效地提高专业实验课程建设的系统性和完备性；另一方面培训学生掌握开展水声技术研究所必需的基本理论和基本技能，进而形成系统的声呐研究科学思维模式和良好科研习惯，从而培养学生的实验观察能力和运用实验手段学习水声技术相关基本理论以及解决水声实际问题的综合能力，并实现虚拟实验资源的共享[3]。

2.2 虚拟实验仪器设备配置

复杂海洋环境中声呐探测性能分析实验装置的计算服务和管理上采用多级分层、流程化布局。包括三级管理和服务节点。

2.2.1 复杂海洋环境与声呐处理性能计算服务器

该节点是底层计算服务器，负责对接收到的目标态势、声呐配置参数、声场环境信息进行计算响应，实现复杂动态海洋环境传播特性模拟、声呐信号生成、多域复杂声呐信号处理，并将声呐输出反馈到结果管理服务器。该节点设置在哈尔滨工程大学水声工程学院电子信息中心。

2.2.2 声呐仿真信息管理服务器

该节点作为底层服务器的上级，负责对用户进行消息响应，将之分解为计算参数。接收计算服务器节点反馈数据，在本地进行授权用户管理，进行虚拟仿真实验的运维管理。该节点依托哈尔滨工程大学本科生院虚拟课程公共管理服务器运行。

2.2.3 实验效果评估反馈管理服务器

该节点是复杂环境下的声呐探测性能分析虚拟实验装置的顶层管理节点，负责对运行效果统计评估、学生实验效果(打分)管理、实验部件动态调整，并接收外部评测。该节点根据要求在x-lab“双创”教育平台上进行公共开发和测评。

与多层级化、流程化、精密化的课程管理服务相对的是用户客户端访问的最大化、灵活性、便利性。用户可以选择多种方式进行实验，可以在实验室局部进行课上实验；可以通过教育网内部局域网进行共享实验；也可以通过互联网，根据授权账户和密码访问进行完整实验；同时系统还为普通用户访问进行科普级实验提供支持，从而最大限度地保证虚拟教学仿真用户普惠受众，如图1所示。

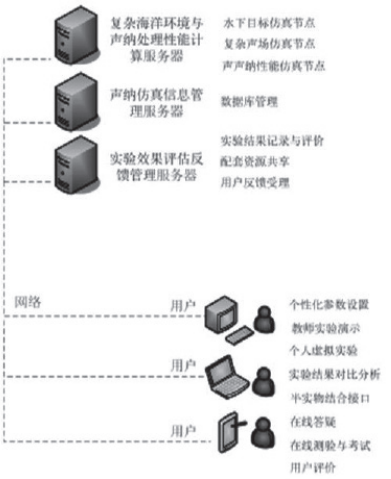

图1 复杂海洋环境中声呐探测性能分析虚拟实验系统

2.3 虚拟实验教学方法

2.3.1 采用现代化的网络手段提升授课效果

利用网络预习系统让学生进行网上预习，其目的：一是了解实验的基本原理；二是了解实验的基本过程；三是熟悉实验的基本步骤。例如，被动声呐工作原理预习演示，学生在网上可直观看到被动声呐的工作过程，以及被动声呐信号处理结果的实装显示形式，这为课堂的实际讲解分析奠定了基础，使学生有的放矢，这样的预习对于后续的实验帮助很大，课堂效果良好。另外，通过规范化的基本操作演示能够规范实验基本操作，统一教学的基本要求。例如，复杂海洋环境特性观察与分析实验，不仅能够给学生提供对海洋环境声传输特性的直观认识，甚至能够直接参与虚拟的声传播测试，这对于学生的课堂分析和处理十分有利，课堂效果显著。

2.3.2 探究式授课方式革除传统教学中学生被动接受的弊端

引入启发式、研讨式、问题探究式等多种新的教学方法，将实验教学由机械式的操作过程转变为探究式的学习过程，将实验教学作为学生学习知识和技能的一种手段，而不只是理论的验证过程。例如，使用本实验中的被动声呐工作原理演示时，在启发式教学中引导学生认知声呐工作环境、过程、特点；通过对舰船、潜器等多型声呐搭载平台自噪声观测与特性分析，开展研讨式教学，让学生充分领会噪声来源及抑制途径。

2.3.3 将传统与现代化的教学手段相结合 形成虚实结合和反差强烈的实验教学方法

依托水声工程学院雄厚的科研实力，提供国内领先的海洋环境模拟、观测与分析功能，学生可以根据

需要任意调整环境、声呐参数，通过互动式虚拟实验总结归纳海洋环境对声呐影响的规律，同时在线上、线下与教师探讨相关科学问题。

以上的实验教学方法，摆脱了实验教学与复杂海洋实际情况脱节的窘境，打破了海洋与声呐难以进入课堂的教学瓶颈，打造出虚实结合、直观生动的学习课堂。在保证实验分析与理论结果的科学性的同时，也让学生认识到理论知识的局限性、声呐设备的应用条件，同时也让学生感受到现实中科学问题的难点和创新方向，这对于提高学生的创新意识，特别是创新能力意义非凡。

3　虚拟实验项目内容架构及训练要求

3.1　虚拟实验项目内容架构

3.1.1　被动声呐工作原理演示

通过虚拟仿真实验示范演示，使学生全面了解被动声呐工作场景、工作过程、主要功能、声呐显控平台功能等特点，如图2所示。

图2　实验登录界面

3.1.2　被动目标信号特性观察与分析

通过对被动目标辐射噪声参数的设置，被动目标信号的观测及处理，使学生充分掌握水声中随机信号特性及分析方法，如图3、图4所示。

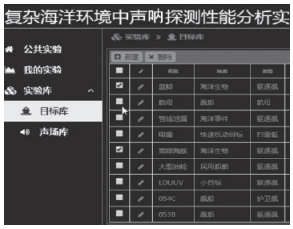

图3　目标库

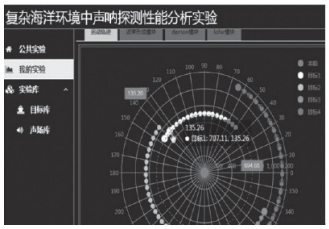

图4　目标轨迹设置

3.1.3　复杂海洋环境特性观察与分析

通过对虚拟声场环境要素的设置及调整，观测不同海洋环境声传播物理特性，能量传播损失规律、声场分布特点、相干多途滤波特性、随机时变滤波特性等，总结海洋环境参数对声传播的影响，探索复杂海洋环境给声呐设备带来的可能性制约因素，如图5、图6所示。

图5　复杂海洋环境参数选取

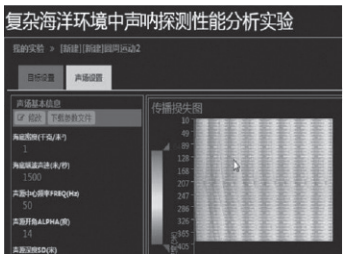

图6　复杂海洋环境特性观察与分析(局部)

3.1.4　被动声呐搭载平台自噪声观测与分析

通过对虚拟声呐设备搭载平台的设置及调整，观测声呐设备搭载平台噪声影响规律及特性，总结平台噪声对被动声呐性能的影响，探索被动声呐克服平台噪声干扰的可能途径，如图7所示。

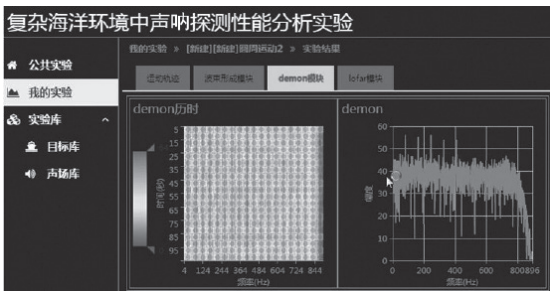

图7　平台自噪声动态观测

3.1.5　被动声呐处理性能观察与分析

通过对被动声呐水下探测态势、信号处理工作参数的设置及调整，观察被动声呐空域滤波的指向性、空间增益、目标方位估计、空时处理的增益、目标跟踪性能、环境适配性能等特性，配合多维度声呐输出显示，分析环境变化对被动声呐信号处理的影响，如图8所示。

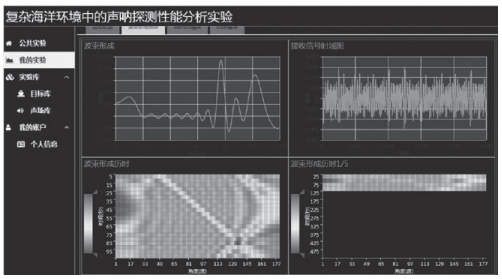

图8　声呐处理性能观测(局部)

3.2 虚拟实验项目结果与结论要求

(1)是否记录每步实验结果：是；否。

(2)实验结果与结论要求：实验报告；心得体会；学生提问；用户意见。

(3)其他描述。

①给出虚拟实验中通过观察学到的被动声呐工作原理基本概念和基本规律，并与理论对比，写出自己的认识。

②给出通过观察、分析学到的被动目标信号特性观察与分析结果，并与随机信号分析课程的理论对比，写出自己的认识。

③给出通过观察、分析学到的复杂海洋环境特性，并与水声学、水下声信道课程的理论对比，写出自己的认识。

④给出通过观察、分析学到的被动声呐搭载平台自噪声特点，写出自己对环境制约设备性能的认识。

⑤给出通过观察、分析学到的被动声呐信号处理性能，并与声呐技术理论对比，写出自己的认识。

⑥对于概念和规律要得出明确结论，并与教材统一(包括正确性)。

⑦对于对比的实验结果，鼓励得出开放式和自我定义式的结论。

家重大需求、服务国防建设的总体目标。在实验项目设置方面选择一些经典或真实实验无法观测的目标，如海洋环境、声呐设备耦合作用机理等问题，通过虚拟仿真、动画演示的方式进行实验，达到虚实结合、优势互补的目的。

4.2 科研反哺教学

将水声工程学科海洋信息技术、深远海信息现代化及海洋资源调查等方面的最新科技成果，应用到虚拟项目中，从科研项目和解决工程问题的角度出发，丰富实验教学内容[4]，由此突破了本科生无法接触到学科前沿技术和热点问题的桎梏，实现了人才培养与科学研究的紧密结合。

5 结语

本研究通过虚拟海洋环境中的声呐被动探测性能分析实验项目建设，为水声工程领域广大学生和科技一线技术人员提供多种海况实验条件，为水声技术实验积累经验，为推进水声技术的发展贡献力量。