



# 虚拟仿真在海洋调查实验教学中的 研究与应用

刘子洲<sup>1,2</sup>, 翟方国<sup>1,2</sup>, 陈旭<sup>1,2\*</sup>, 孟静<sup>1,2</sup>, 郭心顺<sup>1,2</sup>

(1. 中国海洋大学 海洋与大气学院, 青岛 266100; 2. 中国海洋大学 海洋学国家级实验教学示范中心, 青岛 266100)

**摘要:** 海洋调查实验教学是海洋科学人才培养的重要环节, 受限于实验条件, 仅靠海上实践不能完全满足教学要求, 需要引入新的教学手段。该文首先介绍了在虚拟仿真技术迅速发展的背景下, 中国海洋大学海洋调查虚拟仿真实验教学的建设思路及不同阶段的表现形式; 然后结合目前应用于本科教学的“近海物理海洋综合调查虚拟仿真实验”, 系统阐述了实验模块、实验步骤及实现的主要功能; 最后对海洋调查虚拟仿真教学的教学效果及未来发展进行了总结展望。

**关键词:** 海洋调查; 虚拟仿真; 实验教学; 教学平台建设

中图分类号: G642.0

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20220278

## Research and Application of Virtual Simulation in Oceanographic Survey Experiment Teaching

LIU Zizhou<sup>1,2</sup>, ZHAI Fangguo<sup>1,2</sup>, CHEN Xu<sup>1,2\*</sup>, MENG Jing<sup>1,2</sup>, GUO Xinshun<sup>1,2</sup>

(1. College of Oceanic and Atmospheric Science, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2. National Oceanography Experimental Teaching Demonstration Center, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Oceanographic survey experiment teaching is an important part of marine science talent cultivation. Limited by experimental conditions, it cannot fully meet the teaching requirements by relying solely on the marine practice. New teaching methods need to be introduced. Firstly, this paper introduces the construction ideas of virtual simulation in the oceanographic survey experiment teaching and the different forms at different stages, under the background of the rapid development of the virtual simulation technology. Then, combined with the “virtual simulation experiment of offshore physical ocean comprehensive survey”, which is currently used in the undergraduate teaching, this paper systematically expounds the experimental module, experimental steps and main functions. Finally, a summary is made on the teaching effectiveness and the future development of oceanographic survey virtual simulation teaching is prospected.

**Key words:** oceanographic survey; virtual simulation; experimental teaching; teaching platform construction

海洋科学以观测和实验为基础, 是一门实践性很强的学科, 海洋调查在其教学体系中占有非常重要的位置。海洋调查是用各种仪器、仪表对海洋中各特征要素进行观测和研究的科学<sup>[1]</sup>, 其教学目标是通过课程学习, 令学生掌握主要海洋观测仪器的操作、熟悉海洋调查的流程、明确调查过程中的主要注意事项。传统的课堂教学无法满足培养学生的要求, 需要学生通过实验教学进行实践与练习<sup>[2]</sup>。

为满足实践教学要求, 诸多具备实验实践条件的高校纷纷开设海洋调查实验课程。以中国海

洋大学为例, 其开设的海洋调查实验课程包括以“东方红 2 号”海洋科学调查船为依托的海洋调查综合实习<sup>[3-4]</sup>, 与厦门大学、浙江海洋大学等共同组织实施的长江口及邻近海域海洋生物与生态野外实践实习<sup>[5]</sup>, 以及极具特色、面向近海的胶州湾海洋调查专业实习<sup>[6]</sup>。这些实习均依托调查船展开, 采用实战实训的教学模式, 极大开阔了学生们的视野, 令学生在调查实践中掌握了海洋调查相关知识。

但海洋调查实验教学有其特殊性, 仅靠海上实践教学面临以下诸多问题。

收稿日期: 2022-05-09; 修回日期: 2023-10-12

基金项目: 山东省本科教学改革研究重点项目(Z2023082)。

作者简介: 刘子洲(1987-), 男, 硕士, 高级实验师, 主要从事海洋调查与观测方面的教学与研究。

\*通信作者: 陈旭(1978-), 男, 博士, 教授, 主要从事物理海洋实验与海洋内波方面的教学与研究。E-mail:

chenxu001@ouc.edu.cn

1) 海洋调查仪器费用昂贵, 如一台用于海流观测的声学多普勒流速剖面仪(ADCP)市场价达 20~30 万元人民币, 难以大量采购, 而近几年参与海洋调查实验课程的学生普遍超过 100 人/学期, 有限的调查仪器难以满足教学的需要。

2) 海洋调查仪器较为精密, 海上使用环境较为恶劣, 学生操作不当极易造成损坏, 给实验教学工作带来极大的困难。

3) 海洋调查的实验场所是大海, 易受到天气、船时等因素的制约, 学生无法自由选择时间、地点进行实验, 学习与环境受到极大限制, 获得的实践锻炼非常有限。

自 20 世纪 90 年代后期起, 多媒体、数据库及虚拟现实等技术开始在教育领域应用<sup>[7]</sup>, 其中虚拟仿真实验教学是多年来高等教育信息化建设和实验教学示范中心建设的重要内容。虚拟仿真利用虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库等信息化技术构建高度仿真的虚拟实验环境和对象, 主要针对高危极端环境, 不可及或不可逆操作, 高成本、高消耗训练等情况<sup>[8-9]</sup>。虚拟仿真技术还具有低成本、可重复性和可视化的特征, 非常适用于涉海专业的实验教学, 可解决涉海实验教学中仪器不足、出海成本高、存在安全隐患和易受天气影响等问题。

目前, 虚拟仿真已在海底探测、船舶航海等涉海专业展开教学应用<sup>[10-11]</sup>, 部分涉海高校也已开始探索在海洋调查实验教学中引入虚拟仿真技术<sup>[12-13]</sup>。本文结合海洋调查实验教学特点, 研究了中国海洋大学海洋调查虚拟仿真实验教学平台的建设过程, 在此基础上分析虚拟仿真教学实例, 探讨虚拟仿真技术如何在海洋调查实验教学中发挥作用, 以期促进海洋调查实验教学的发展与进步, 为虚拟仿真技术在海洋科学专业的应用提供参考。

## 1 虚拟仿真教学平台建设过程

### 1.1 多媒体演示阶段

2010 年, 中国海洋大学海洋与大气学院开始依托海洋学国家级实验教学示范中心, 结合开设的海洋调查实习实验课程, 进行信息化教学的初步探索。探索中首先尝试建立了海洋调查教学平台来辅助实践教学, 平台包含了实验室简介、仪器设备、仪器教学、教学视频 4 个模块, 如图 1 所示。学生通过该平台可以学习重要调查仪器的

功能和主要操作过程, 了解海洋调查实习的主要实验步骤, 这为海上实践教学提供了有效补充。但经过教学应用, 发现该平台存在以下两个主要缺陷:

1) 仍以 PPT、视频演示介绍为主, 缺乏感知性和交互性, 学生难以获得沉浸式学习体验;

2) 平台教学素材较为分散, 未以海洋调查实习教学大纲为指导来设计平台实验内容, 学生不易进行系统的自主学习。



图 1 多媒体演示阶段教学平台主界面

严格意义上讲, 该平台并不符合当下对虚拟仿真实验教学平台的基本要求, 很多虚拟仿真主流应用如人机交互、虚拟现实等信息技术并未得到体现<sup>[14]</sup>。

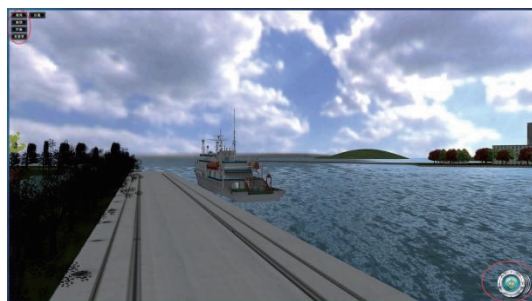
### 1.2 单机虚拟仿真实验阶段

2011 年之后, 虚拟仿真技术有了质的飞跃, 可视交互仿真、虚拟环境与虚拟现实仿真等一系列新的仿真思想和虚拟技术先后出现, 在交互性、生动性、直观性上都取得了显著进步<sup>[15]</sup>。在该背景下, 学院开始探索建设海洋调查虚拟仿真实验教学系统, 基于 B/S 结构, 让学生通过网站下载软件, 在本地电脑进行虚拟仿真训练。学生可在虚拟的调查环境中漫游, 可进行水温观测仪器温盐深仪 (conductivity temperature depth, CTD) 和海流观测仪器多普勒声学流速剖面仪 (acoustic doppler current profile, ADCP) 的设置、安装和布放, 还可根据出现的报错提示更正自己的操作, 虚拟仿真操作界面如图 2 所示。

作为单机虚拟仿真教学资源, 海洋调查虚拟仿真实验教学系统在交互性、沉浸感等方面均有显著进步, 可以帮助学生实现自学自训及重复练习, 成为海洋调查实践课程的重要辅助, 也助力中国海洋大学海洋学虚拟仿真实验教学中心于 2015 年入选国家级虚拟仿真实验教学中心。但由于虚拟仿真实验教学管理平台建设不完善, 系统的开放共享程度不够, 且缺乏对实验过程的监控

与指导, 教师无法看到学生实验操作的结果, 对学生的虚拟仿真实验效果无法进行评判, 也无法给出相关成绩, 这令虚拟仿真实验教学难以纳入

正规的实验教学体系中, 也不完全符合虚拟仿真实验教学资源加强开放共享、完善评价机制的发展要求<sup>[16-17]</sup>。



(a) 调查环境仿真实验



(b) 水温调查仿真实验

图 2 操作界面

### 1.3 共享虚拟仿真实验阶段

2017 年教育部办公厅颁布《关于 2017—2020 年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知》, 通知中明确推进现代化信息技术融入实验教学项目, 提出虚拟仿真实验教学“稳定安全的开放运行模式”“持续改进的实验评价体系”<sup>[18]</sup>, 即在前期虚拟仿真建设的基础上, 进一步强调实验的开放共享性及完善的实验评价机制。2018 年, 教育部开放了“实验空间”——国家虚拟仿真实验教学项目共享平台, 该平台是国家虚拟仿真实验教学项目共享服务体系支撑平台, 访问者可进入空间对平台上的各项虚拟仿真实验进行浏览、学习、测试、评价等。

以“实验空间”为依托, 学院开始建设新的虚拟仿真项目“近海物理海洋综合调查虚拟仿真实验”。在之前建设经验与基础上, 进一步扩展实验内容、完善评价体系, 并在“实验空间”上实现实验的开放共享。

1) 首先, 将实验内容拓展为 4 个实验模块, 包括基础知识学习模块、海洋大面站观测实验模块、海洋连续站观测实验模块和海洋浮标观测实验模块, 同时明确 30 个交互性操作步骤, 如图 3 所示。

2) 其次, 实验采用操作成绩进行评价, 百分制积分, 以便在其他相关课程评价中占据部分比例。对于各交互操作步骤都设置得分点, 对学生需要掌握的实验重难点以隐藏得分的形式进行考核。实验分为练习模式和考核模式, 练习模式下操作失误会有提示, 但完成实验后不记录得分; 考核模式下不提示错误, 完成实验后记录得分, 全部实验内容结束后还可提交生成实验报告。实

验得分及实验报告生成能令教师准确评估学生对相关知识的掌握情况, 学生对扣分的实验操作印象也更加深刻和具象化。

3) 最后, 借助校内共享平台和“实验空间”平台, 实现了虚拟仿真实验的开放共享。上线首学期, 即有超过 1000 人次学生浏览与学习, 包括了地质大学(武汉)、广东海洋大学等高校学生。

## 2 海洋调查虚拟仿真教学应用

“近海物理海洋综合调查虚拟仿真实验”目前已正式纳入海洋调查实验教学体系, 与课堂教学及现场实习互补, 形成“课堂教学—虚拟仿真实验(预习)—现场实习—虚拟仿真实验(巩固)”的教学模式。下面分实验模块介绍海洋调查虚拟仿真的教学应用。

### 2.1 基础知识学习

基础知识学习模块包含的主要功能包括仪器查看、船体漫游、调查基本知识学习等。学生可通过该模块了解船体及主要调查仪器, 学习海洋调查基本知识, 了解调查人员结构及职能。模块有 2 个主要交互步骤, 其中海洋调查仪器认知为核心交互步骤, 交互后学生会了解仪器的主要功能及结构, 如图 4 所示, 交互仪器包括 CTD、ADCP、安德拉海流计、波浪浮标等实习中使用的海洋调查设备。

### 2.2 海洋大面站观测实验

海洋大面站观测实验以“观测青岛外海的温盐分布、表层流分布”为调查内容进行展开, 涵盖了海洋大面站观测的全部调查流程。主要功能包括仪器选择、航线与站位规划, 如图 5 所示, 主要观测项目的仪器设置、布放、回收、观测数



据导出等。

本模块共包含了 11 个交互步骤, 其中核心交互步骤为学生根据实验要求选取合适的仪器进行观测, 操作内容包括基本要素调查、温盐调查、

表层流调查。实验设置了 A1~A8 共 8 个站点, 在 A1 站操作完成后前往后续站点, 后续站点工作内容与 A1 站点一致, 具体操作内容可跳过, 重点让学生认识大面站观测的时空变化。

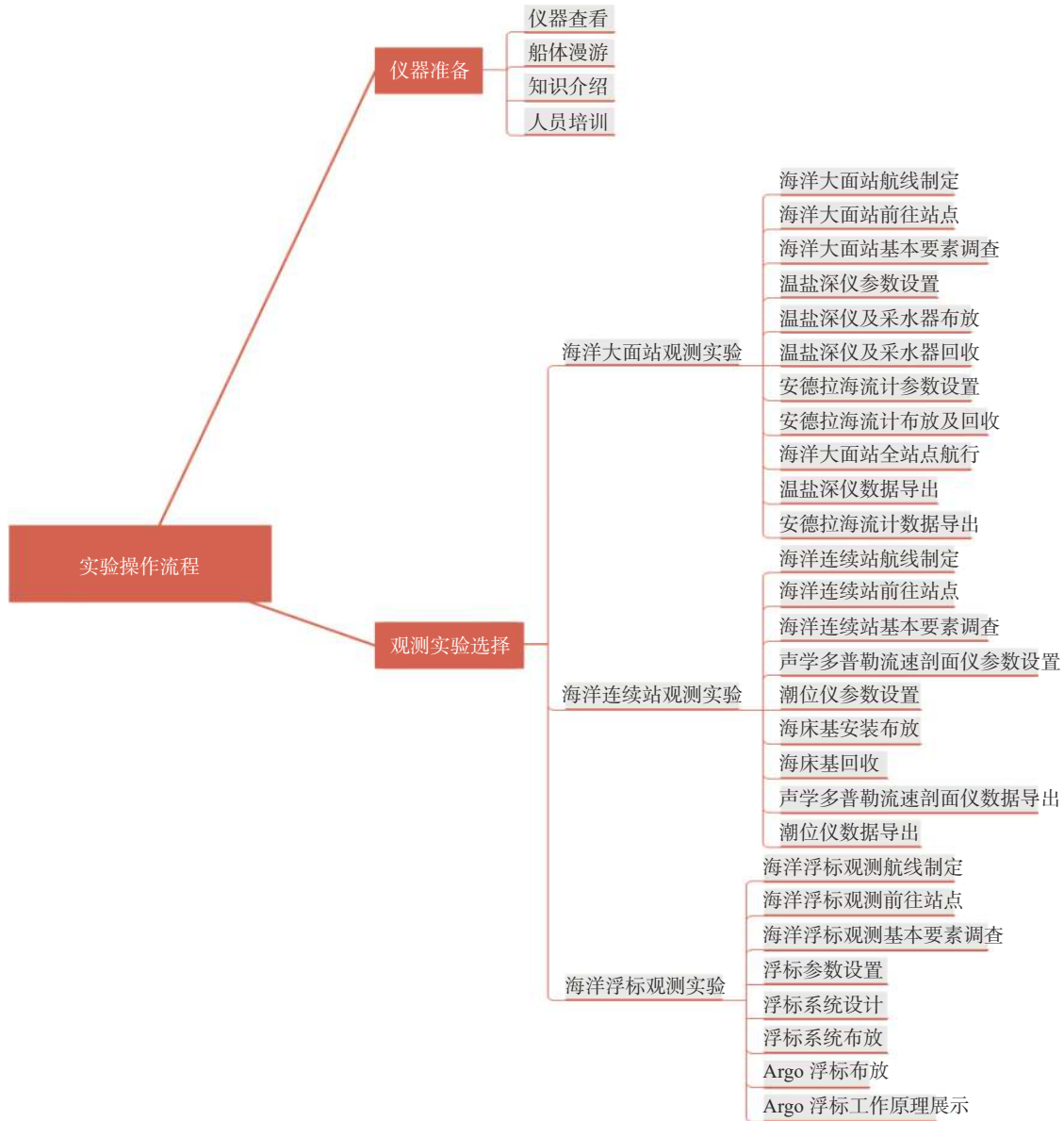


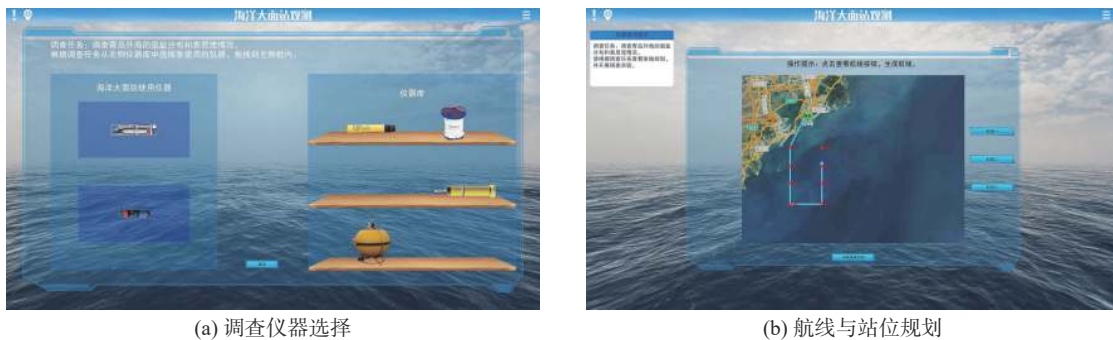
图 3 “近海物理海洋综合调查虚拟仿真实验” 流程结构图



图 4 海洋调查仪器认知

### 2.2.1 基本要素调查

基本要素调查主要包括风速、风向、水色、透明度的调查。学生通过观察三杯风速仪示数, 读取风速、风向数值并写入系统观测记录表中; 通过拖动透明度盘来模拟下放效果, 对照水色计完成水色及透明度的观测, 读取数据并填入观测记录表中, 如图 6 所示。若数据填写错误, 系统会对学生进行报错或扣分处理。



(a) 调查仪器选择

(b) 航线与站位规划

图 5 海洋大面站更观测实验



图 6 基本要素调查

### 2.2.2 温盐调查

温盐调查为操作 CTD 完成温盐剖面的观测。温度与盐度是海水海洋物理性质中最基本的要素，温盐调查在海洋调查中最为基础与重要。CTD 是当前温盐调查的核心仪器，高精度 CTD 配合葵花采水器已成为当前海洋综合科考船的基本配置<sup>[19]</sup>，但其布放需借助大型专用绞车，之前的实习教学很难让学生操作与练习。借助虚拟仿真手段，学生可根据提示，完整参与温盐调查的全过程：

- 1) 进行 CTD 软件学习，完成 CTD 参数设置等操作；
- 2) 完成采水瓶的打开、气孔打开、出水口关闭、仪器送出、仪器感温等布放准备操作，如图 7 所示；



图 7 温盐调查—仪器送出

- 3) 完成仪器布放与水深 15、10、2 m 的水样采集操作，并在完成后回收仪器进行仪器冲水和取水操作；

- 4) 通过软件完成数据导出与转化等操作。

### 2.2.3 表层流调查

表层流调查为操作安德拉海流计完成表层海水流速流向的观测。安德拉海流计是重要的单点海流调查仪器，除常规调查外，还广泛应用于潜标等海洋观测系统<sup>[20]</sup>。学生可根据提示，完整参与表层流调查的全过程：

- 1) 仪器拆卸与参数设置；
- 2) 仪器安装、下放及数据采集等操作；
- 3) 表层取样结束后，回收仪器并进行仪器冲水等操作；
- 4) 取出仪器内置数据存储卡完成数据导出操作。

### 2.3 海洋连续站观测实验

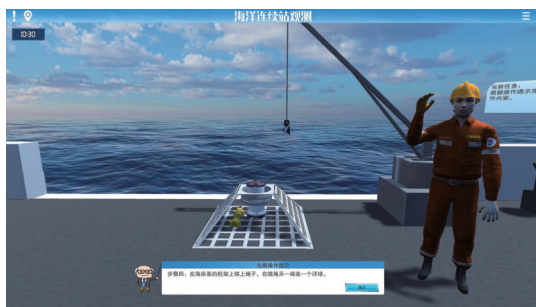
海洋连续站观测实验以“布放海床基，观测青岛外海的潮位变化，垂向的流速变化序列”为调查内容展开。与大面站观测注重调查时空变化特征不同，连续站观测重点关注调查的时间连续性，在一个站点的观测时间要持续 25 h 以上<sup>[1]</sup>。海床基作为一种长期、连续的海底观测平台<sup>[21]</sup>，十分适宜连续站观测。受实验时间、布放环境等因素所限，传统实验教学中很难向所有学生展示海床基的结构、组装、布放的细节。

本模块包含了 9 个交互步骤，学生可以在连续观测站点进行海床基布放的全过程操作。海床基搭载的为海洋调查常用的 ADCP 和潮位仪，交互操作的重点为海床基安装、布放及回收过程。如正确将仪器固定于海床基上、打捞浮球完成海床基回收等操作细节，都可通过实验生动地展示及学习，如图 8 所示。

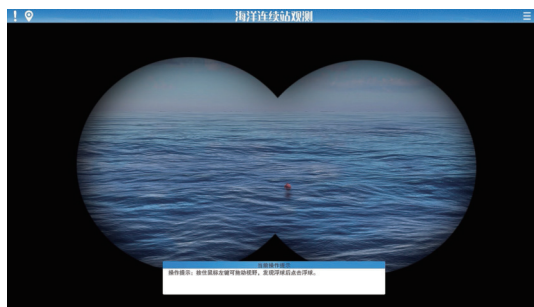
## 2.4 海洋浮标观测实验

浮标观测实验模块以“前往青岛外海目标站点布放波浪浮标及 Argo 浮标”为调查内容进行开展。浮标是一种海洋环境自动观测平台,是现代海洋环境立体监测系统的重要组成部分<sup>[22]</sup>,实验

选取的是需要锚系观测的波浪浮标以及自主升降观测的 Argo 浮标。学生在观测站点进行波浪浮标的组装、布放,学习 Argo 浮标的工作原理、观测过程并进行布放,如图 9 所示。通过实验对比,学生还可深刻理解两种浮标工作的异同。



(a) 海床基安装



(b) 海床基回收

图 8 海洋连续站观测实验



(a) 波浪浮标布放



(b) Argo 浮标检查

图 9 浮标观测实验

### 2.4.1 波浪浮标

波浪浮标实验交互操作的重点为浮标的设计、组装与布放。在实验中根据任务提示并参考波浪浮标组装示意图在每个深度位置选择正确的浮标组件,组装完成后根据操作提示逐步完成浮标、浮球浮筒、抓地锚的依次下放,将原本难以在传统实验教学中实现的复杂实验操作直观呈现出来,便于学生了解波浪浮标布放的完整过程。

### 2.4.2 Argo 浮标

Argo 浮标实验交互操作的重点为浮标前期检测与工作原理学习。在实验中根据提示完成气囊充气等检查工作,释放 Argo 浮标。在模拟布放过程中,还可实时查看 Argo 浮标的工作原理及姿态。Argo 浮标为大洋浮标,工作深度达 2000 m,在传统的实验教学中很难带领学生布放与操作,通过虚拟仿真实验则可向学生生动展示。

## 3 教学总结与展望

### 3.1 总结

海洋调查虚拟仿真教学的设计和建设都按照海洋科学本科实践实验教学的目标来进行,不脱离教学大纲的框架和要求。仿真系统的开发就是为了结合已有的理论与实践课程,搭建完善的海洋调查实验教学体系,实现高水平人才培养的目标。在实际教学中,完成了以下 3 个方面的工作。

1) 在海洋科学实践类教学大纲中加入虚拟仿真教学相关内容,保证虚拟仿真教学在大纲要求的范围内进行。对虚拟仿真教学的教学目的进行了明确的定位:海洋调查虚拟仿真教学是理论及实验教学的重要补充,它不脱离实际教学单独存在,重点着眼于仪器认知、船上操作和调查流程的学习,优势在于可以全天候不限次数地反复训练。



2) 合理安排虚拟仿真教学时间, 将其安排在海洋调查理论授课之后、海上实践教学之前, 必要时与实验室教学共同开展。在这个时间段, 学生对海洋调查理论知识已有基本了解, 但缺乏直观认识与实践基础。虚拟仿真教学中的重复互动操作及生动细节, 可引导学生从被动学习到主动认知, 从理论理解到直观感受, 最终初步具备规范进行海洋调查实习的能力。能力的提升又为海上实践打好基础, 避免出现学生上船实习时茫然无知, 浪费实践教学资源的情况发生。

3) 利用虚拟仿真但不拘泥于虚拟仿真, 虚拟仿真教学并不意味着抛弃实物演示、实践操作等其他实验教学方式, 而是要秉承“虚实结合”的原则。以温盐调查实验为例, 虚拟仿真解决的是海上实践教学 CTD 仪器数量有限、价格昂贵, 学生难以充分操作、反复训练的问题, 但并不意味可以完全取代真实的海上实践教学。两者互相对比、互相补充, 共同提升实验教学水平。

对近两年的教学情况进行总结, 发现学生对虚拟仿真实验兴趣很高, “实验空间”平台反馈的学习数据显示, 在 2022 年秋季学期开设的虚拟仿真实验课程中, 超过 90% 的学生登录并进行实验 4 次以上, 超过 15% 的学生登录并进行实验 10 次以上, 最终实验成绩优秀的学生占总学生数的 75%。这说明大多数同学完成了“练习模式”的学习, 并通过多次、重复的训练, 最终在“考核模式”中取得了理想的成绩。学生对虚拟仿真的教学形式与教学效果也普遍认可, 在 2022 年秋季学期结束后的课程反馈中, 94 名参与调查的学生有接近 96% 认为虚拟仿真教学系统对其认识和了解海洋调查知识有帮助, 如图 10 所示。学生提交的实习心得中, 感受最深的是, 能够通过操作步骤的引导与讲解实现反复练习, 能够不出海就完成各类海洋仪器的操作, 甚至有同学通过虚拟仿真操作练习, 已经开始憧憬下一学期的海洋调查海上实习工作, 这有效证明了海洋调查虚拟仿真实验教学已成为海洋调查实验的重要一环。

### 3.2 展望

海洋调查虚拟仿真教学的发展并不是一蹴而就的, 在虚拟仿真技术不断发展的背景下, 虚拟仿真教学水平也在不断提升。在目前教学工作的基础上, 对未来虚拟仿真教学的发展提出 4 点展望。

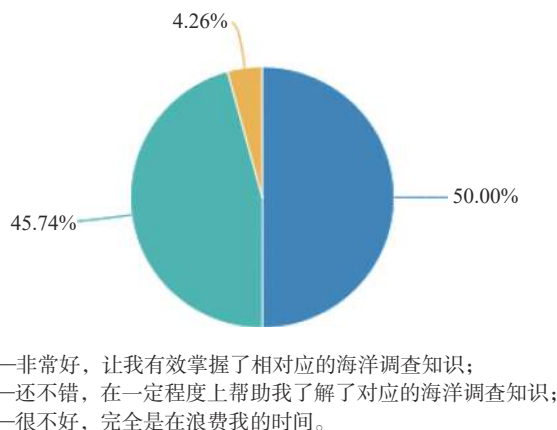


图 10 海洋调查虚拟仿真实验教学效果反馈示意图

1) 丰富教学内容。海洋调查仪器众多, 海洋观测技术日新月异、发展迅速, 虚拟仿真教学内容也应与时俱进。在温盐、海流观测的基础上, 可以逐步增加海浪、潮汐、生化等要素的虚拟仿真实验; 在海床基、浮标观测的基础上, 可逐步增加潜标、水下滑翔机、水下机器人等现代观测设备的虚拟仿真模拟, 令平台的教学内容更加完善与先进。

2) 多种教学方式紧密结合。形成“理论学习—实验室演示观摩—虚拟仿真互动实验—海上实践实验”的完整海洋调查教学链条, 令虚拟仿真教学平台发挥最大的作用。

3) 凝练完善实验采分点。学生通过实验报告可清晰了解实验操作中的关键点和错误细节, 注重考练结合, 达到虚拟仿真教学的最佳效果。

4) 注重调查数据库的建设和更新。海洋调查的最终目的是正确处理获得的调查数据并将其应用于科学研究, 数据的数量和质量一定程度决定了虚拟仿真教学的丰富度和质量, 错误的数据极易对学生的学习和认知产生误导。数据库的建设是一个长期复杂的过程, 需要不断地积累和长期的观测。

## 4 结束语

海洋调查虚拟仿真教学的探索与应用一直立足于海洋科学类本科人才培养的要求, 将其纳入海洋调查课程体系对本科实践教学具有重要的意义。虚拟仿真实验教学不能完全替代真实的海上调查实践训练, 但是对海洋调查教学的重要补充。未来, 随着技术的发展, 海洋调查虚拟仿真教学系统的内容将更加完善与充实, 为最终实现“船岸一体、虚实结合”的海洋调查教学目标而更好地服务。

## 参考文献

- [1] 侍茂崇,李培良.海洋调查方法[M].北京:海洋出版社,2018.
- [2] 鲍献文,高郭平,郭佩芳,等.关于《海洋调查方法》课程的建设[J].青岛海洋大学学报(社会科学版),2001(z1):62-64.
- [3] 赵忠生,黄磊,范洪涛.建立海洋学创新实践教学模式的构想[J].实验技术与管理,2005,22(9):18-20.
- [4] 杨世民,张彦臣.海洋学教学实习方式的思考与探索[J].中国轻工教育,2004(4):51-52.
- [5] 王健鑫,郑爱榕,吴克俭,等.长江口及邻近海域海洋生物与生态野外实践基地建设的创新与实践[J].高等理科教育,2017(5):110-115.
- [6] 赵建中.近海调查实践实习指导书[M].青岛:中国海洋大学出版社,2013.
- [7] 贺占魁,黄涛.虚拟仿真实验教学项目建设探索[J].实验技术与管理,2018,35(2):108-111.
- [8] 王卫国.虚拟仿真实验教学中心建设思考与建议[J].实验室研究与探索,2013,32(12):5-8.
- [9] 李平,毛昌杰,徐进.开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设,提高高校实验教学信息化水平[J].实验室研究与探索,2013,32(11):5-8.
- [10] 姜胜辉,韩宗珠,林霖.虚拟仿真技术在海底探测教学中的应用[J].实验科学与技术,2015,13(5):46-48.
- [11] 冯峰,孙聪,曲先强.船海虚拟仿真实验教学中心的建设与发展[J].实验技术与管理,2014,31(1):11-14.
- [12] 杨婧灵,白鹏,张书文,等.海上综合调查虚拟仿真教学系统建设及教学改革初探[J].科技视界,2018(18):56-58.
- [13] 魏永亮,胡松,于潭,等.海洋水文气象调查与观测虚拟仿真建设及思考[J].教育教学论坛,2020(37):87-88.
- [14] 王卫国,胡今鸿,刘一宏.国外高校虚拟仿真实验教学现状与发展[J].实验室研究与探索,2015,34(5):214-219.
- [15] 董桂伟,赵国群,王桂龙.我国虚拟仿真实验教学的发展与趋势研究:基于近十年中国知网文献的知识图谱分析[J].中国大学教学,2021(7):85-92.
- [16] 徐进.2013年国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作小结及2014年申报建议[J].实验室研究与探索,2014,33(8):1-5.
- [17] 胡今鸿,李鸿飞,黄涛.高校虚拟仿真实验教学资源开放共享机制探究[J].实验室研究与探索,2015,34(2):140-144.
- [18] 教育部.关于2017—2020年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知:教高厅〔2017〕4号[Z].2017.
- [19] 吴刚.海洋综合科考船的船型特征及发展综述[J].船舶,2017,28(S1):7-15.
- [20] 李飞权,张选明,张鹏,等.海洋潜标系统的设计和应用[J].海洋技术,2004(1):17-21.
- [21] 胡展铭,史文奇,陈伟斌,等.海底观测平台:海床基结构设计研究进展[J].海洋技术学报,2014,33(6):123-130.
- [22] 赵聪蛟,周燕.国内海洋浮标监测系统研究概况[J].海洋开发与管理,2013,30(11):13-18.

编辑 钟晓

编辑 葛晋

(上接第43页)

- [3] 阎群,李擎,崔家瑞,等.OBE准则下CDIO在实验室建设中的探索[J].实验技术与管理,2017,34(8):231-234.
- [4] 罗晓东,尹立孟,王青峡,等.基于虚拟仿真技术的实验教学平台设计[J].实验室研究与探索,2016,35(4):104-107.
- [5] 郑超,宋立彬,王新洪,等.材料成型及控制工程专业虚拟仿真实验室的建设与实践[J].实验技术与管理,2019,36(3):261-265.
- [6] 冯翠云.智能制造虚拟仿真实验实训平台建设[J].中国冶金教育,2021(3):71-74.
- [7] 雷振伍,吴秀冰,孙德辉,等.基于PCS7和Simulink的过程控制虚拟仿真实验平台开发[J].实验技术与管理,2016,33(1):135-139.
- [8] 危双丰,庞帆,刘振彬,等.基于SIMIT和MCD的并联机器人数字孪生实验系统设计[J].实验技术与管理,2023,40(6):135-141.
- [9] 张华健,钱钧.基Simulink和Labview的脉冲电源虚拟仿真实验平台[J].实验技术与管理,2019,36(1):138-142.
- [10] 全鸿伟,胡华丽,陈韶光,等.基于S7-PLCSIM Adv的工业机器人集成系统仿真技术的创新应用[J].装备制造技术,2022(6):143-147.
- [11] 王景良,徐海黎,朱天成.轮转胶印机张力控制系统设计[J].机械设计与制造工程,2023,52(8):30-34.
- [12] 赵芸,赵敏.基于PID的造纸机收卷部恒张力稳定性自动化控制方法[J].造纸科学与技术,2022,41(4):47-51.
- [13] 刘伟,胡昂,何勇.基于PLC的恒张力恒速度卷绕控制系统设计[J].工业控制计算机,2022,35(4):117-118.
- [14] 张飞.造纸机恒张力控制系统研究[D].长沙:中南大学,2012.
- [15] 石析.API接口自动化测试平台的设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2021.
- [16] 高兴泉,肖新宇,王子硕,等.基于WinCC的水箱液位控制系统实时仿真平台开发[J].实验技术与管理,2022,39(1):93-97.