

DOI:10.19479/j.2095-719x.2401072

## 融合虚拟仿真与物理模型的虚实结合型实验教学模式

蒋学炼<sup>a</sup>, 费翔<sup>b</sup>, 庄茜<sup>a</sup>, 杨德健<sup>a</sup>

(天津城建大学 a. 土木工程学院; b. 计算机与信息工程学院, 天津 300384)

**摘要:**秉承“以工程能力和创新意识培养为主线”的人才培养理念,针对专业知识点分散、实验教学效果不佳的问题,有机融合虚拟仿真实验技术和实体模型实验技术,构建了虚实结合型的综合性实验项目;串联不同学习阶段各专业课程的知识主线,通过系统化的工程训练提升学生对复杂工程问题及其逻辑联系的认识与理解。分析了现有实验教学模式存在的问题,介绍了虚拟仿真实验与实体模型实验的融合思路和建设路径,为实验教学模式的研究和实践提供了一种崭新的思路。

**关键词:**虚拟仿真实验; 物理模型实验; 实验教学; 工程能力; 创新意识

中图分类号:G642.423

文献标志码:A

文章编号:2095-719X(2024)01-0072-05

### Experimental Teaching Mode Integrating Virtual Simulation and Physical Model

JIANG Xuelian<sup>a</sup>, FEI Xiang<sup>b</sup>, ZHUANG Qian<sup>a</sup>, YANG Dejian<sup>a</sup>

(a. School of Civil Engineering; b. School of Computer and Information Engineering, TCU, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** Adhering to the concept of "cultivating engineering capabilities and innovation awareness", a comprehensive experimental project organically integrating virtual simulation and physical model experiments is built to connect the knowledge points of core courses set in different learning stages. This comprehensive experimental project is a systematic engineering training that is able to enhance students' cognition and understanding of complex engineering problems as well as their logical connections. This paper analyzes the deficiency of the existing experimental teaching mode and introduces the integration ideas as well as construction paths of virtual simulation and physical model experiments. As a result, this paper proposes a new concept for the research and practice of experimental teaching mode.

**Key words:** virtual simulation experiment; physical model experiments; experimental teaching; engineering capabilities; innovation awareness

新工科建设的内涵在于适应国家和产业的发展需求,以“与未来合作”为核心理念,将工程教育从学科导向转向产业需求导向、从专业分割转向跨界交叉融合,将现代信息技术引入教学过程,实现探究式、讨论式、参与式学习的教育新范式<sup>[1]</sup>。

随着社会经济的发展,工程建设的难度不断提高,行业对工程专业人才的工程能力和创新意识的要求越来越高<sup>[2]</sup>。为了适应这一新需求,高校的实验教学必须坚持一切从促进学生的发展出发,推进现代信息技术与实验教学项目的深度融合,并注重对学生实践能力和创新精神的综合培养。这也是现阶段高校实验教学模式改革的方向<sup>[3-4]</sup>。

在传统教学模式中,各专业教学实验往往隶属于不同学期的专业课程,相互割裂,未能良好结合以实现专业为知识点的串联<sup>[5]</sup>。为此,本课程团队在《港口水工建筑物》的教学改革与研究过程中,有机融合前置的虚拟仿真实验与后置的实体模型实验,构建了虚实结合型的综合性工程实训项目,突出了对专业知识和应用技能的系统训练,从而有效提升了学生应用理论知识和技能工具创新解决复杂工程问题的能力。

### 1 现有实验教学模式存在的问题

《港口水工建筑物》是港口航道与海岸工程专业的

收稿日期:2022-02-23; 修订日期:2022-05-10

基金项目:天津市普通高等学校本科教学改革与质量建设研究计划项目(B201079204);天津城建大学本科教育教学改革与研究项目(JG-ZD-22007, JG-YB-22082, JG-YB-22079);天津城建大学本科课程思政示范课建设项目(JG-KS-2105)

作者简介:蒋学炼(1975—),男,湖南桃源人,天津城建大学教授,博士。

压轴核心课程,教学内容包括“防波堤断面水力模型实验”。在传统的教学方式中,指导教师会提前布置好实验装置和设施,下发实验指导书,进行一定程度的讲解,学生在教师的指导下按照要求完成实验过程,并观察实验现象、记录实验数据和撰写实验报告。这一教学流程存在一个致命缺陷,即学生“知其然不知其所以然”,只是机械地完成了实验任务,对于实验的工程意义充满困惑。

在港口工程中,防波堤的主要功能是减弱波浪对港内水域的冲击。因此,“防波堤断面水力模型实验”的设置目的是让学生了解不同水力条件下防波堤的自身稳定性及其对港内泊稳的影响,其实验条件的确定涉及到港区规划、波浪传播变形、水文统计分析和港内水域平稳度等知识点。然而,在港口航道与海岸工程专业的课程体系中,这些知识点分别属于“海岸动力学”“工程水文学”“港口规划与平面布置”等多门专业课程。由于开设于不同的学期,学生难以将之与“防波堤断面水力模型实验”串联起来,也就难以从工程角度理解实验设置的目的和实验条件的来源。

针对这一难点,在深入理解专业框架体系和实验教学特点的基础上,创设新的实验教学模式以串联不同专业课程的知识点,激发学生的学习兴趣和实践潜能,培养团队合作和独立思辨精神,从而有效提升实验教学效果,是课程改革亟需解决的问题。

## 2 虚拟仿真实验与实体模型实验的融合思路

按照“先基础、后综合、再创新”的人才培养规律,课程团队创造性地提出有机融合前置的虚拟仿真实验与后置的实体模型实验,构建虚实结合型的综合性实验项目。其技术架构(见图1),包括“虚拟仿真实验系统”和“通用型组装式实体模型系统”两个部分,前者又可分解为数据层、逻辑层、表现层三个功能模块,后者由造波系统、水槽系统、量测系统、建筑模块四个子系统构成。虚拟仿真实验和实体模型实验结合形成的系统化工程训练,有利于从整体和局部两个角度促进学生对复杂工程问题及其逻辑联系的认知与理解。

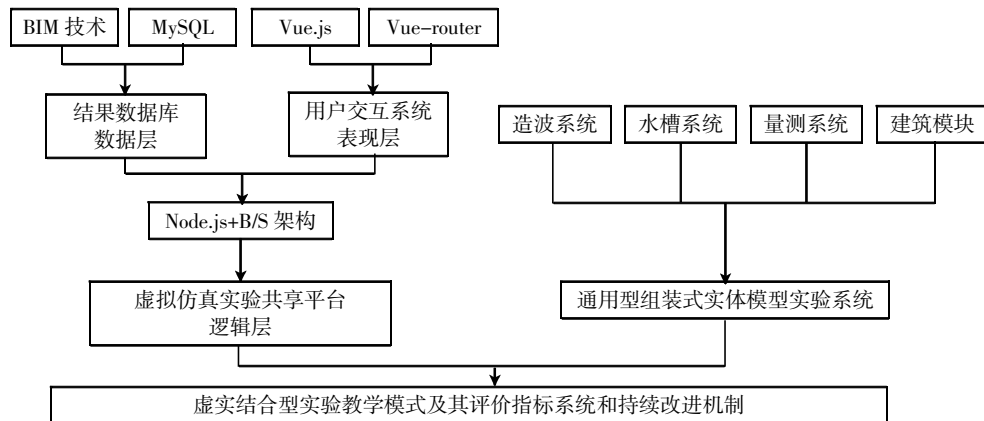


图1 虚实结合型实验模式的技术架构

这一教学模式适用于采用任务驱动型的教学方法<sup>[6]</sup>,在教师的指导下,通过分阶段任务“理论知识预备→三维虚拟仿真实验→二维实体模型实验”促使学生小组逐步递进地协作完成实验流程,如图2所示。

(1)理论知识预备。回顾学习实验过程涉及的“海岸动力学”“港航水文学”“港口规划与平面布置”“港口水工建筑物”“港航工程模型实验”等专业课程的相关知识点,如波浪传播变形、水文统计、港内泊稳、水力性能分析、比尺换算等,为执行实验做好必要的知识储备。

(2)执行三维仿真实验。通过在线交互式仿真过程浏览港区三维信息模型,熟悉港口的构成、各货种

的装卸工艺以及港口作业对泊稳条件的要求;选择设计水位、波浪来向、外堤布置,形成不同的工况组合,观测波浪传播变形和港内水域的波动现象;逐点观察港内和港外各测点的水面波动过程和波浪要素,提取测点数据进行水文统计分析,获取各测点的设计波浪要素,为实体模型提供实验条件。

(3)执行二维模型实验。依据三维仿真实验的设计波浪要素和“吸收式双向波流水槽”的设施条件设计二维断面模型实验,学会建筑模块组装、量测系统安设、造波系统运行等操作,近距离观察波浪对港口水工建筑物工作性能的影响,分析其反射、透射、越浪、波压等水力性能。

(4)撰写综合实验报告。各学生小组以报告的形

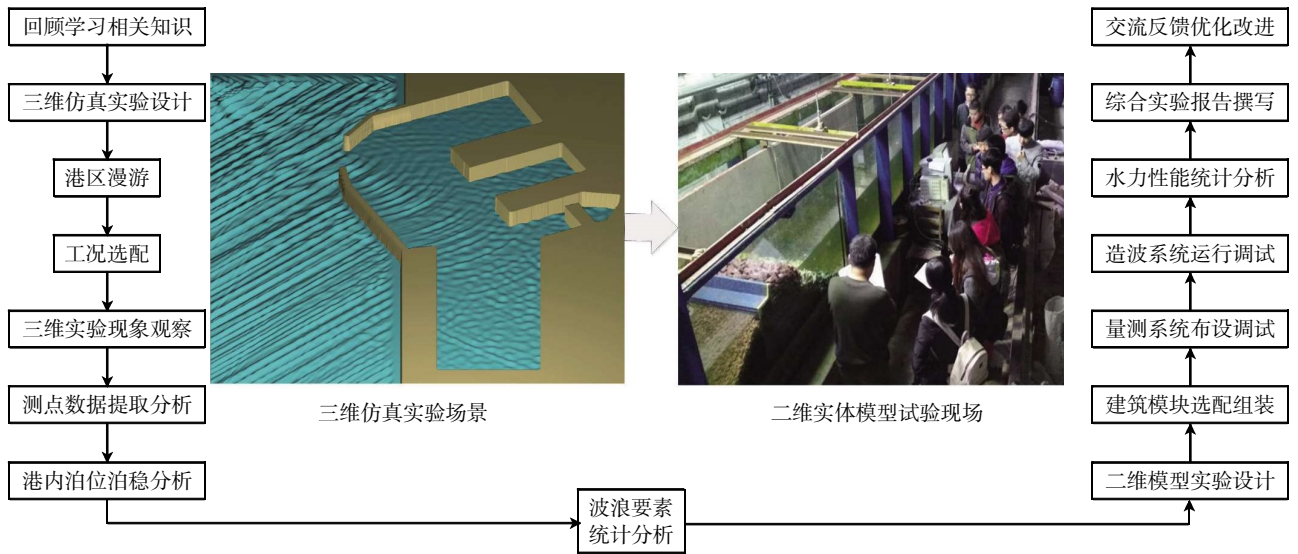


图 2 虚实结合型实验教学模式的流程设计

式归纳总结三维虚拟仿真实验和二维实体模型实验的执行过程、数据采集、结果分析、心得体会等,形成全面的理论认知和实操能力,并对实验教学提出反馈意见,以促进这一教学模式的持续改进。

### 3 虚拟仿真实验系统的建设

适于串联波浪传播变形、水文统计分析和港内水域平稳度等知识点的是“波浪三维整体物理模型

实验”,但其建设成本和运维费用高昂,国内只有极少数高等院校和大型科研机构具备这一实验能力。而虚拟仿真实验是化解三维物理模型实验高昂成本的利器,一次建设长期循环使用,且具有可视化、实操性等特点,有利于激发学生的学习兴趣。课程团队以典型水运工程为实验背景,借助数值技术、仿真技术、网页技术等建设了“水运工程仿真实验系统”,为学生提供了简洁实用的在线虚拟仿真实验环境,如图 3 所示。

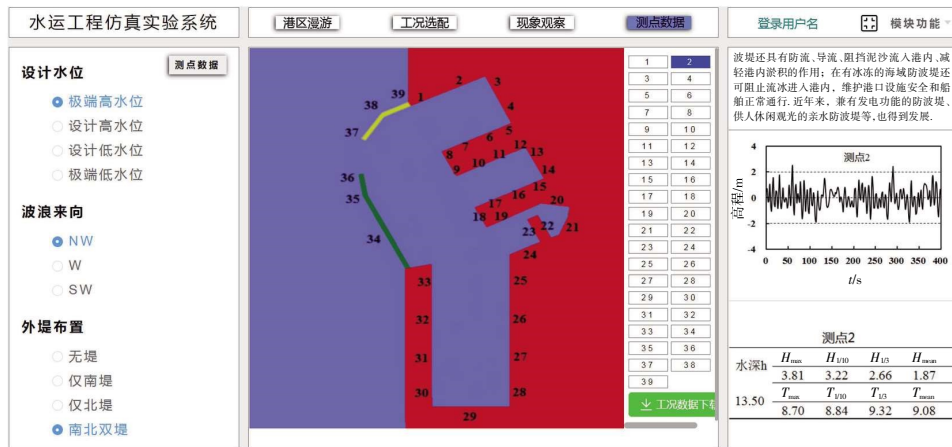


图 3 水运工程仿真实验系统

“水运工程仿真实验系统”包括三个功能模块,即数据层、逻辑层、表现层,其建设方法分述如下。

(1)数据层. 选定港口布局方案,采用 BIM 技术建立港区三维信息模型;制定工况组合,采用三维数值波浪水池获取大范围波浪传播变形数据,将上述结果存入 MySQL 数据库,由逻辑层调用。

(2)表现层. 采用 Vue.js、Vue-router 等技术开发了

用户交互系统(见图 3),实现了港区漫游、工况选配、现象观察、数据分析等过程的可视化。

(3)逻辑层:基于 Node.js + MySQL 的技术架构和 B/S 结构系统搭建了虚拟仿真平台,用于管理数据层和表现层的连接,实现了仿真实验系统的远程登录、数据传递、在线操作、学情分析、线上反馈等功能。

三维虚拟仿真实验展现的是大尺度的波浪传播

变形现象,其后的二维实体模型实验呈现的是小尺度的波浪与建筑物相互作用问题,两者尺度不同,因此,虚拟仿真实验和实体模型实验的比尺衔接是本项目面临的一个难点.为此,课程团队采用了反向设计的方法:首先根据本校实训中心的“吸收式双向波流水槽”的设施条件选定二维实体模型实验的工况;再根据仿真实验所选择的典型水运工程原型尺度确定换算比尺,进而得到三维虚拟仿真实验的工况组合.

#### 4 通用型组装式实体模型系统的建设

通用型组装式实体模型系统由造波系统、水槽系统、量测系统、建筑模块四个子系统构成,其技术指标如下.

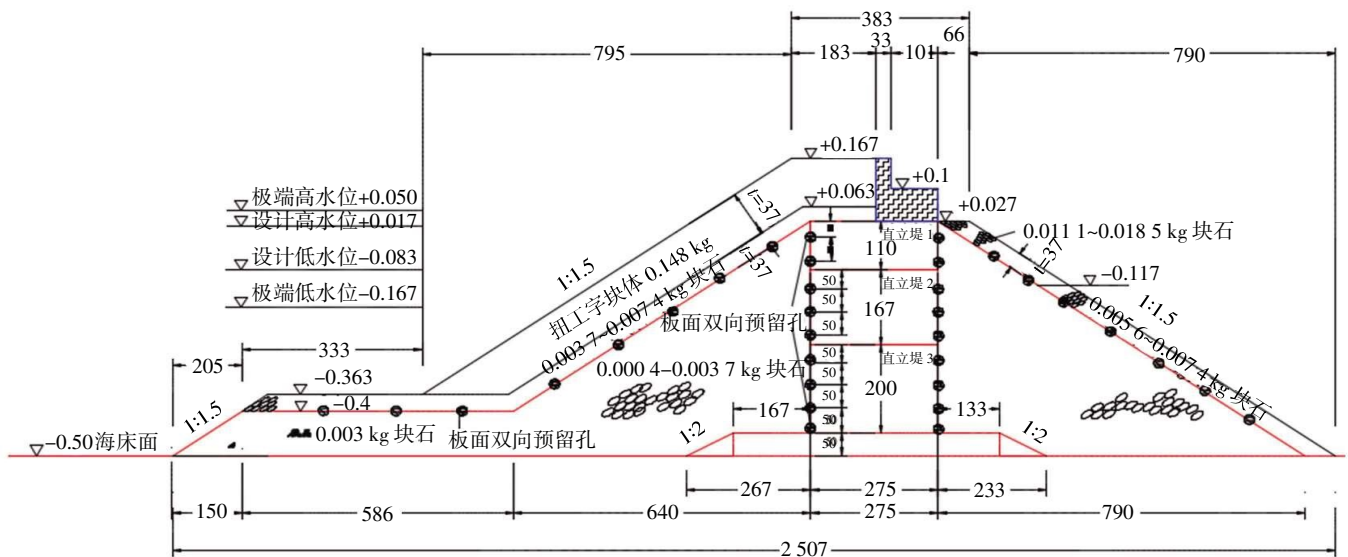
(1)造波系统.采用吸收式不规则波造波机,具备无反射控制功能,最大工作水深 1.0 m,工作周期 0.5~5.0 s,波高范围 0.02~0.35 m,可以模拟规则波、椭圆余弦波、叠加破碎波、不规则波(包括 P-M 谱、MPM 谱、B

谱、J 谱、海港水文规范谱及自定义波谱)等波形.

(2)水槽系统.长×宽×高为 40 m×1.0 m×1.2 m,上部为玻璃围挡,方便观测实验现象,末端设置消浪装置以减弱波浪二次反射.配备了双向流场模拟系统,流量为 0.6 m<sup>3</sup>/s,功率为 45 kW,最大流速为 0.6 m/s,可模拟顺流和逆流工况.

(3)量测系统.包括水工试验数据采集系统、多点压力采集仪及压力传感器、多点波高采集仪及浪高传感器、多普勒流速仪、激光测距仪等,并预留了安放粒子图像测速装置(PIV)等的地下仪器室,可量测流速、波形、波压、波高、地形变化等水力数据.

(4)建筑模块.为了匹配三维虚拟仿真实验的工况和吸收式双向波流水槽的尺度,设计和制作了组装式海岸建筑物通用模块(见图 4),可用于斜坡堤、直立堤、护岸、围堰等海岸工程的模型试验,兼顾通用性和便利性.其中,建筑模块的基床、堤身、垫层、护底、上部结构等采用 PP 板分别制作成便于现场拼装的组件,板面纵横双向留孔,中心距 50 mm,便于安设实验量测系统.



(a) 建筑模块设计(高程:m)



(b) 建筑模块实物照片

图 4 通用型组装式实体模型系统的建筑模块

## 5 测试效果评价

在校内进行了上述实验体系的初步测试,从反馈信息看,预期可达到以下三个实验教学目的。

(1)使学生在感性认识港口构成、装卸工艺、泊稳要求等运营概念以及波浪的浅水效应、折射、绕射、反射、破碎等动力过程的基础上,串联起分散于各专业课程中的知识点,促进专业课程教学内容的融会贯通。

(2)使学生熟悉物理模型试验和数值模拟实验的基本理论,认识实验设备和测量仪器,掌握实验设计、模型制作、测点布设、数据采集等操作方法,从工程角度理解各教学实验的设置目的。

(3)在撰写实验报告的过程中,使学生掌握数据可靠性检查、相关性检验、港内波高等值图绘制,概率分布拟合、统计参数估计、谱分析、设计波浪推算、水力参数计算等实验数据的后处理方法。

此外,上述实验体系具有良好的开放性、扩展性、兼容性、前瞻性,教师可根据教学需要或结合自身的科研生产项目通过后台管理系统开发新的实验项目,学生可结合参与的水利创新设计大赛、大学生创新创业训练计划项目等设计新的实验内容。

## 6 结 语

虚实结合型的实验教学模式借助信息技术改变工程实践环境,合理链接了虚拟仿真实验和实体模型实验两种不同的实验教学方式,形成了一种系统化的工程训练,不但可以有效串联不同专业课程的知识点主线,有效解决专业知识点分散、实验教学效果不佳的不足之处,还可以激发学习兴趣和实践潜能,增强

学生综合应用所学知识、技能来解决复杂工程问题的能力,实现了“分层次、交互式、重探索、实务性”的教育范式,为实验教学的研究和实践提供了一种崭新的思路。

作为一种新的实验教学模式,如何保证其评价体系 and 评价指标的科学性、可操作性和可比性是教学效果评价的难点之一<sup>[7-8]</sup>。因此,课程团队拟从实验资源、管理制度、开放机制、管理队伍、教学效果这五个方面构建科学合理的虚实结合型实验教学评价和持续改进机制。

### 参考文献:

- [1] 刘 坤,陈 通.新工科专业供给侧结构性改革的路径和机制[J].高等工程教育研究,2020(3): 55-73.
- [2] 蒋学炼,杨 天,史艳娇.工程类本科专业教育框架体系的实证研究[J].天津城建大学学报,2017,23(4): 306-310.
- [3] 王卫国,胡今鸿,刘 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.
- [4] 宁 曦,陈省平,谢晓倩,等.虚拟仿真实验在海洋科学实验教学中的应用[J].教育现代化,2018,5(14): 160-163.
- [5] 杨建华,姚 池,刘成林,等.水利工程虚拟仿真实验教学中心的建设[J].实验技术与管理,2018,35(1): 245-248, 265.
- [6] 蒋学炼,臧学平,庄 茜,等.嵌入微课程的工科任务驱动型教学模式重构[J].天津城建大学学报,2019,25(5): 375-379.
- [7] 毛桂芸.“双一流”建设背景下高等学校国家级实验教学示范中心建设与管理研究[J].中国现代教育装备,2020(15): 31-33.
- [8] 吴 琛,麻胜兰,詹金武,等.新工科背景下国家级虚拟仿真实验教学中心的新挑战与教学改革实践探索[J].高等建筑教育,2020,29(6): 22-29.