

生态赋能下城市河道水质治理与综合评价虚拟仿真实验教学改革

陈雪松*, 柯 薇

浙江树人学院生物与环境工程学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2025年2月5日; 录用日期: 2025年3月6日; 发布日期: 2025年3月13日

摘 要

城市河道水质治理与综合评价虚拟仿真实验是在生态修复赋能下的虚拟仿真实验系统。该实验系统有效融入专业核心课程“水污染控制工程”的教学过程,是助力环境工程专业实践提升的重要措施,也为课程解决了实践成本和场景的实际困难。本文结合虚拟仿真实验平台进行了教学改革研究,通过分析该课程的教学现状及问题,确定了基于OBE理念的教学目标,以学生为主体的实践内容与过程,为CDIO工程教育模式的考核体系。以城市河道水质治理与综合评价为例,构建了虚拟仿真实验系统和实施过程,并在虚拟仿真平台上进行了教学应用。本文旨在通过数字化的实践系统,虚实结合,试错式实践的多方式,加强学生对水和废水的处理技能的理解与应用,以结果为导向,更好地培养学生解决复杂水污染控制工程能力。

关键词

生态赋能, 城市河道水质治理, 虚拟仿真, 实验教学

Virtual Simulation Experimental Teaching Reform for Urban River Water Quality Management and Comprehensive Evaluation under Ecological Empowerment

Xuesong Chen*, Wei Ke

College of Biological and Environmental Engineering, Zhejiang Shuren University, Hangzhou Zhejiang

Received: Feb. 5th, 2025; accepted: Mar. 6th, 2025; published: Mar. 13th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 陈雪松, 柯薇. 生态赋能下城市河道水质治理与综合评价虚拟仿真实验教学改革[J]. 教育进展, 2025, 15(3): 331-339. DOI: 10.12677/ae.2025.153406

Abstract

The virtual simulation experiment of urban river water quality management and comprehensive evaluation is a virtual simulation experimental system empowered by ecological restoration. This experimental system is effectively integrated into the teaching process of the professional core course “Water Pollution Control Engineering”, serving as an important measure to enhance practical capabilities in environmental engineering and address the practical difficulties of cost and scenario in the curriculum. This paper conducts a teaching reform study in conjunction with the virtual simulation experimental platform, analyzing the current teaching status and issues of the course to establish teaching objectives based on the OBE (Outcomes-Based Education) philosophy, with student-centered practical content and processes, aligning with the assessment system of the CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate) engineering education model. Taking urban river water quality management and comprehensive evaluation as an example, this paper constructs a virtual simulation experimental system and implementation process, which has been applied in the virtual simulation platform. The aim of this paper is to strengthen students’ understanding and application of water and wastewater treatment skills through a digital practice system that combines virtual and real practices, and employs multiple methods of trial-and-error practices, thereby better cultivating students’ abilities to solve complex water pollution control engineering challenges with a results-oriented approach.

Keywords

Ecological Empowerment, Urban River Water Quality Management, Virtual Simulation, Experimental Teaching

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

为了推动我国生态文明建设,对环保工作者提出更高的要求,同时也带来更多机遇和挑战[1][2]。国家重大环保策略不断出台,营造好的生态环境,迫切需要社会各界合力来破解城市无源之水的困境。

黑臭水体作为一种极端的水体污染现象,不但影响城市景观和生态环境,还对居民健康和生活质量造成了严重影响[3]。随着小而隐蔽的黑臭水体问题日益突出,对其进行排查和治理显得非常重要。

“城市河道黑臭水体的治理”是本环境工程专业必修课“水处理技术实验”和环境生态工程专业的“生态检测及评价课程设计”实践环节的实验内容,同时汇集应用探索性实践环节“工程创新实训”中的相关内容。因此,构建“城市河道水质治理与管理虚拟仿真综合实验”,主要培养学生河道治理集成技术和工程应用能力。由于传统的实体实验无法实现城市河道中黑臭水体的复杂性及其整治技术的综合性,工程应用能力的偏差会影响解决复杂工程问题能力。传统实验由于受工程场景施工条件、多种治理手段等技术和设备限制,即使采用实验室小试设备模拟,仅限于简单单元操作的完成,难以直观、准确、完整地实现真实河道治理工程各种生态修复技术实施过程和评价。城市河道污染治理,工程创新实训中涉及到面源控制、内源治理技术、生态修复技术等具有工程量大,实施难点大,存在二次污染的风险,实验室无法完成和难以复制[4]-[6]。城市河道治理工程大型综合训练与教学环节严重脱节,不利于数字化背景下学生对复杂工程问题的综合性思考、解决和探索的高阶思维。需要通过城市河道水质治理与

管理虚拟仿真综合实验系统把河道治理和评价过程融合为一体, 弥补教学环节和工程实践脱节严重的现象, 有利于对学生解决复杂工程问题能力培养。

本文结合虚拟仿真实验突出环境生态价值, 并以生态文明建设的时代背景, 城市河道治理融入“美丽河湖”的评价体系和要求[7], 精心设计城市河道和周围环境的污染源调查、河道污染异常情况判断、治理方案设计和技术模拟实施、效果评价系统联动在虚拟仿真实验中来, 并在有限的实验课时内, 有效地训练学生采用不同工艺流程来治理城市河道的系统思维, 具有较强的前沿性。

2. 虚拟仿真实验系统设计

该项目在课程团队连续5年带领学生暑期社会实践活动, 对浙江省内城市河湖的现状调研后[8], 与企业产教融合项目及在原有实验条件基础上, 本着“能实不虚、虚实结合、以虚补实”的原则, “以学生需求为主体, 聚焦应用为导向”的理念开发了城市河道治理与管理评价虚拟仿真平台项目(见图1)。



Figure 1. Virtual simulation experimental environment for urban river management and comprehensive evaluation
图1. 城市河道治理和综合评价虚拟仿真实验环境

基于生态修复技术在城市河道治理和综合评价的应用, 按照污染源调查、方案的设计和和实施、效果综合评价这三个主要任务, 以模块的方式逐渐递减, 将实践过程和理论教学有机结合, 从不同角度体现河道现状的关键指标及其治理优化方案, 根据真实工程项目的做法, 对河道指标体系进行仿真模拟处理和综合评价。该虚拟实验从认知阶段-进阶阶段-高阶阶段的循序渐进, 循序渐进, 逐步提升, 由基础学习到提高实验, 再到应用拓展, 最后实体实验来进行工程创新。河道治理综合整治环节进行反复的实操练习试错, 由浅入深, 可以很好达到训练效果(见图2)。

2.1. 模块一：基础知识认知阶段——学习和周围环境调查

该模块完成概念性认知为核心, 场景体验式实验方式为辅助。掌握城市河道治理过程的主要流程、治理技术工作原理、工艺流程设计原则、综合评价方法等, 并布置周围环境调查。

2.2. 模块二：进阶阶段——治理方案设计和实施

该模块主要完成三部分的内容, 也是虚拟软件的主要核心部分。城市河道治理工作内容包括一系列的排异择优对策实施, 在河道及周边环境调查的基础上, 判断不同河流的污染或待整治类型, 在河道出现异常情况下, 采用生态修复和污染治理等过程实施, 进行城市河道长效管理与发展的河道生态综合评价。① 周围环境调查和异常问题分析; ② 治理方案设计; ③ 城市河道综合治理方案实施自主搭建和运行参数优化。

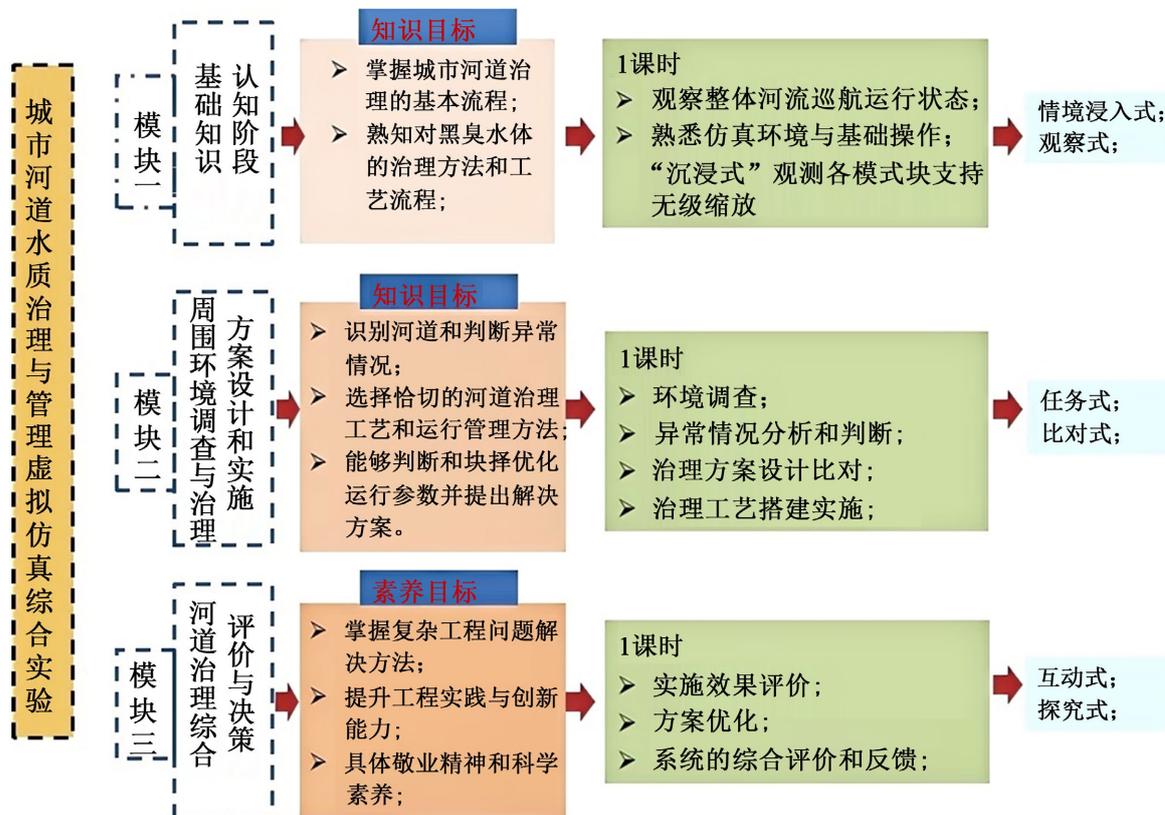


Figure 2. Composition of the virtual simulation experimental system
图 2. 虚拟仿真实验系统构成

2.3. 模块三：高阶阶段——河道治理综合评价与决策

城市河道治理综合评价是河道管理中重要的环节，通过综合评价能够发现河道所存在的问题，为河道管理提供方向和指导，从而实现提升工程实践与创新能力。城市河道治理的目标是在改善河道水质，保护和恢复生态系统，提升人民生活品质，即达到城镇美丽河道的评价目标《DB33/T1188-2020》。

3. 虚拟仿真实验教学内容

实验前，学生登录门户网站查看实验教学目标、实验原理、实验教学过程与方法、实验步骤等基本描述信息，进行实验认知测试。实验认知测试合格，学生方可进入实验主体模块，依次开展“环境调研和排异、治理方案设计和实施、效果综合评价”三层递进模块的仿真训练。实验以科研成果和实际工程问题为导向，基于虚拟仿真技术，真实运行学生自主对河道环境调研，通过污染源和周围环境模拟调查后进行排异选择，并进行治理方案设计，仿真模拟治理技术实施，评价治理方案，并判断是否达到“美丽河流”的指标作为结果判定。

3.1. 实验中河道和周围环境调查的关键指标数据和模型来源于真实工程

河道水质和周围背景调查的关键指标和数据参考真实河道数据，仿真度为 96.7%。仿真模拟水质检测替代了实验室常规检测，大大节约了时间和实验用品的费用。尤其是对河道中水生生物比较难测定的指标，更直观反映检测效果。各类监测指标的布点采样、检测分析、结果计算模型完全来自于真实项目的测试方法和结果处理，如水体环境质量污染源调查流程(见图 3)。

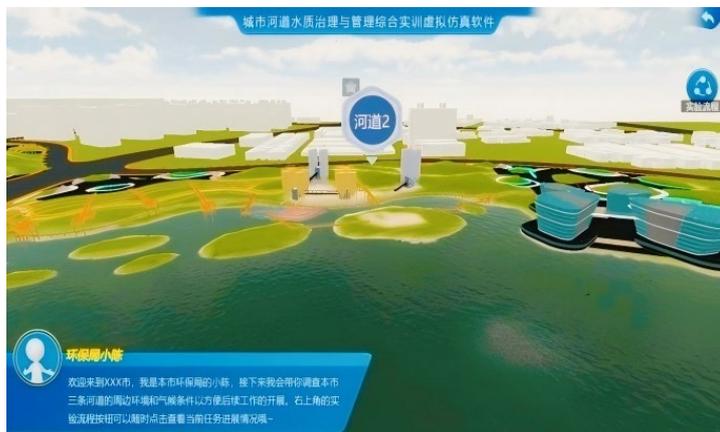


Figure 3. Virtual simulation of river surrounding environment information survey
图 3. 河道周围环境信息调查虚拟仿真模拟

3.2. 城市河道认知及操作

主要完成线上知识库板块的学习, 线下做实体植物对河水修复小试实验后, 并开始进行河道巡航漫游。以工程师小陈的视角“进入虚拟河道”, 全景式观看虚拟 3D 动画城市河道, 通过鼠标滚动滑轮放大查看城市河道的细节, 更真实体验在河流漫游现场。当鼠标通过单击实验流程了解软件的整体流程结构, 也可以了解当前的操作情况, 点击知识点图标可以随时查看软件涉及的知识点(见图 4)。



Figure 4. Modules of cognition and operation
图 4. 认知及操作模块

3.3. 城市河道治理方案设计和实施

1) 周围环境调查和异常问题分析: 基本知识的学习后, 对整个河道进行周围环境的调研, 检测和分析城市河道中污染物的种类、各类污染物的浓度及变化趋势, 评价水质状况的过程。根据调查结果判断每条河道是否有异常情况, 水体是否受到污染(见图 5)。

2) 治理方案设计: 针对模块一中出现的河道异常情况的事件处理方法, 包括沟渠化严重、容纳大量生活污水和面源污染的黑臭河道, 也有水质状况相对较好, 但水生生物多样性单一, 抗污染能力较差的河道。对于不同污染类型的城市河道, 其生态治理的技术诉求也是不尽相同的, 因此在具体的生态治理技术与方法上, 需要因地制宜地对这些河道采用不同的应用模式, 自主设计(见图 6)。

3) 城市河道综合治理方案实施自主搭建和运行参数优化: 按照优化的方案进行自主工艺搭建, 优化运行参数, 城市河道综合治理实施自主搭建和运行参数优化(见图 7)。城市河道治理过程工艺与评价方面的工程经验, 通过河道和周边环境中各指标参数和内嵌复杂特性的虚拟对象设计来实现。解决了实际河

道治理周期长、场面大和难在实验室重现等复杂工程问题, 形成支持多种策略的开放性教学资源, 实现了产教融合成果与教学资源建设的有机融合。

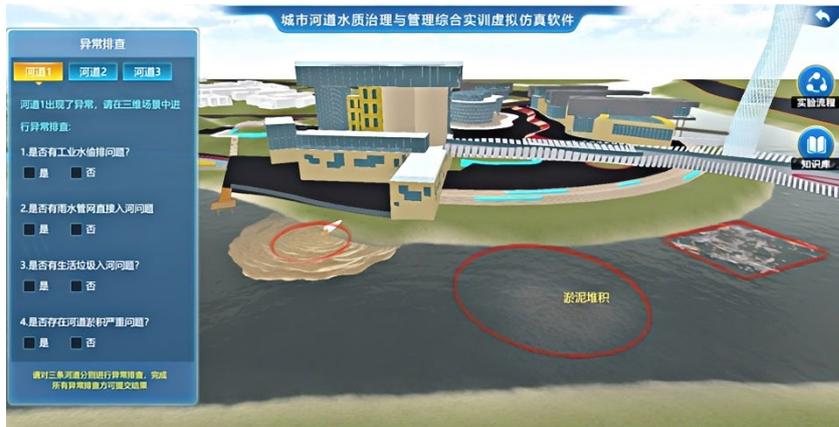


Figure 5. Simulation of river anomaly conditions
图 5. 河道异常情况模拟



Figure 6. Design and confirmation of the management plan
图 6. 治理方案设计和确认

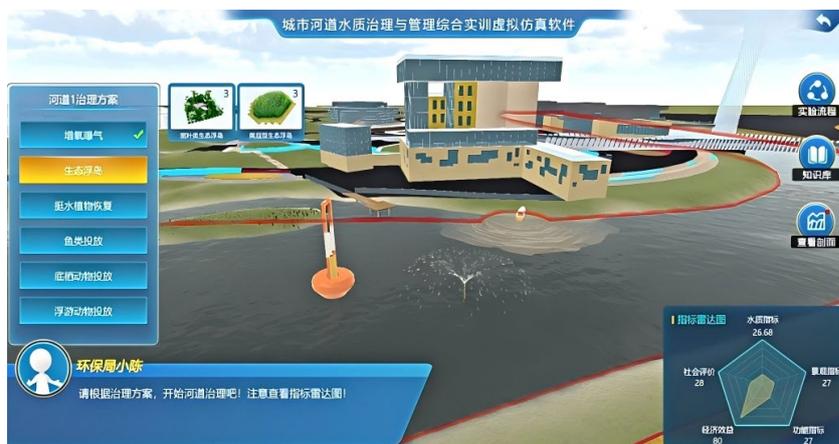


Figure 7. Simulation of urban river management process
图 7. 城市河道治理过程模拟

3.4. 河道治理综合评价与决策

城市河道综合治理完成后, 对治理效果进行治理评价体系和评价方法的学习以及对各个评价指标的达标情况的查看。评价体系包括水质评价、景观评价、功能评价、社会评价。每个评价体系对应有不同的治理指标和等级, 以及指标所占权重(见图 8)。



Figure 8. Simulation of urban river evaluation system

图 8. 模拟城市河道评价体系

4. 实验评价体系

该虚拟仿真实验根据初阶、进阶、高阶的实验内容设计了基于 CDIO 工程教育模式“构思、设计、实施、操作”等模块评价表现形式。实验按照三个阶段进行评价, 分别是实验基础阶段占比 30%, 实验进阶阶段(设计和实施)占比 45%, 实验高阶阶段(操作和评价)占比 25%。

整个过程性考核表现为:

实验知识点准备: 满分 100 分。考核答题包括 30 个单选题选 10 题回答。单选题每题 1 分, 正确得 10 分, 错误不得分; 得 80 分可进入下一步实验流程。此过程不计入总分。城市河道治理和评价综合实验可以分为实验准备阶段、实验设计和操作阶段、实验效果评价阶段三个递进阶段。

实验前, 学生登录门户网站进行实验内容的准备预习, 进行实验认知测试, 预习成绩不计入总成绩; 实验过程又分为环境调查与分析、河道治理和工艺搭建、实施效果评价和考核三个实操模块, 成绩占比分别为 30%、45%和 15%; 实验结束后的理论测试成绩占 10%。整个实验的成绩构成如表 1 所示。

Table 1. Experimental scoring methods and standards

表 1. 实验评分方法和标准

考核项目	考核内容	考核方式	权重(%)	
模块一 (基础认知阶段)	实验预习	基本概念和基本原理	得分 80 分方可进入下一步实验	0
	过程考核	河道水体和周围环境布点采样、检测分析	按完成过程和正确性来自动计分。对每条河道进行水质分析, 共 5 类指标。每测定一个指标得 2 分	24
		河道异常现象分析	能否得出结论。少判或错误不得分	6

续表

模块二 (操作实施进阶阶段)	过程考核	方案设计	如方案设计不能针对异常问题进行设计, 则不及格。具体将根据下面各步骤完成的综合结果, 按目标达成离散度评分	14	45
		人工湿地构建	若不能完成操作则为不及格。具体将根据下面各步骤完成的综合结果, 按目标达成离散度评分	3	
		工艺搭建和实施	处理异常点, 1 个 1 分; 对选择的治理技术参数进行调试, 每选择调试 1 个参数加 2 分, 最多得 6 分	28	
模块三 (综合评价拓展高阶阶段)	过程考核	对实施效果通过水质评价、景观评价、功能评价、社会评价四个指标进行评价	评估学生设计方案的治理效果, 进行综合评价; 最终给出相应分数。 若治理方案实施完成度=100%, 则赋分模型: 水质评价 * 0.3 + 景观评价 * 0.4 + 功能评价 * 0.25 + 社会评价 * 0.15	15	15
	结果考核	考题考核	考核答题包括 10 个单选题, 每题 1 分, 正确得 2 分, 错误不得分	10	10

本虚拟仿真实验软件以建设“美丽河流”为目标, 对某个城市河流进行建模仿真, 基于动态过程仿真软件运行平台开发, 利用基于虚拟仿真、多媒体、人机交互、数据库和网络通讯等技术手段, 以城市河道周围环境和具体治理工艺为仿真对象, 通过二维、三维人机交互, 构建城市河道治理和管理评价过程模拟, 处理过程灵活多变, 满足美丽河道评价指标和《水体环境质量标准》等最新或自定义更严格环境排放标准。

5. 结语

“城市河道治理与综合评价虚拟仿真实验”体现为实现生态文明建设目标的应用需求。在本实验中能完全呈现出对实现环境可持续发展的目标支撑, 通过对城市河道的治理, 实现美丽河流的目标, 同时为生态文明建设添砖加瓦。

本虚拟仿真实验设计了一套完整的又可自主组合的城市河道治理和综合评价系统, 可以自主设计和搭建, 系统联动, 又能实时反馈。实验项目运用真实的城市河道数据和模型, 设计一套完整的河道治理和综合评价的仿真系统, 为学生以后从事相关工作的工程项目等工作打下扎实工程基础。

实现城市河道治理工艺自由搭建和综合评价的运用形成试错型实践。学生通过自由搭建各种处理工艺, 进行模拟实施和效果评价, 排异反复试错, 进行实操降低成本和运行风险, 非常有助于促进学生的探索和创新。

目前虚拟仿真资源已经在“国家虚拟仿真实验教学课程共享平台(<https://www.ilab.com>)”面向全社会开放, 可为有环境工程及相关专业的高校及其他兄弟院校免费提供教学资源及远程指导, 全面收集虚拟仿真软件优化意见, 进行模块改进。在环境生态治理行业提供河道修复虚拟仿真实验项目, 作为新入职员工的岗前培训及设计专业培训资料, 也可为运河博物馆等社会公益机构的大众化科普提供实践平台。为培养解决复杂工程问题能力和创新能力提供虚拟实训[9]。

基金项目

浙江省普通本科高校“十四五”第一批教学改革项目(jg20220472); 浙江树人学院 2024 年“四新”研究与实践项目; 浙江树人学院核心课程; 2024 教育部产学合作协同育人项目(231006021124131)。

参考文献

- [1] 于佳秋. “两山”理念引领浙江生态文明建设的经验与启示[J]. 湖州职业技术学院学报, 2021, 19(1): 81-84.
- [2] 张宁, 等. 智慧治水、公众参与对水环境治理影响研究——基于浙江“五水共治”的调查[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(9): 2011-2021.
- [3] 傲德姆, 孙菲, 冯庆标, 等. 广州市双岗涌黑臭水体整治案例分析[J]. 环境工程技术学报, 2020, 10(5): 719-725.
- [4] 张晓晓. 城镇河道水质分析及治理措施[J]. 科技与创新, 2021(14): 60-61.
- [5] 邱佩璜. 杭州市城市河道生态治理模式与河道评价体系研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [6] 陈松, 闭祖良, 国洪梅, 等. 城镇河道综合整治的几种措施[J]. 中国农村水利水电, 2010(8): 34-37.
- [7] 韩黎. 生态河道治理模式及其评价方法研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [8] 朱凌峰, 等. “后五水共治时期”环境治理长效机制研究——以浙江省浦江县为例[J]. 山西财经, 2019(7): 97-99.
- [9] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 16.