

清洁生产与工业水处理课程的混合式教学改革与实践 ——以“一带一路 - 造纸废水处理”案例为驱动

郭琼, 万俊峰, 赵楠*, 张杰, 李海松

郑州大学生态与环境学院, 河南郑州 450001

DOI: 10.61369/SSSD.2025200019

摘要 : 本研究针对《清洁生产与工业水处理》课程存在的理论抽象、学用分离及思政教育不足等问题, 以“一带一路 - 造纸废水处理”案例为驱动, 构建了“案例贯穿、虚实融合、价值引领”的混合式教学模式。课程采用双主线设计, 既系统整合清洁生产知识体系, 又围绕中巴经济走廊造纸废水处理项目, 通过云平台与机器学习实现虚实结合教学。教学方法上融合线上线下资源, 运用多元互动方式促进技术、经济与伦理的多维融合, 并建立三维思政资源库强化价值引领。通过引入动态评价机制, 学生解决复杂工程问题的能力显著提升, 产生了专利等创新成果, 并辐射至新工科课程建设, 为环境类专业教学改革提供了示范。

关键词 : 清洁生产; 工业水处理; 混合式教学; 思政

Mixed Teaching Reform and Practice of Clean Production and Industrial Water Treatment Courses: A Case Study Driven by the Belt and Road Initiative - Papermaking Wastewater Treatment

Guo Qiong, Wan Junfeng, Zhao Nan*, Zhang Jie, Li Haisong

College of Ecology and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001

Abstract : This study addresses the issues of abstract theoretical content, disconnection between learning and practice, and insufficient ideological and political education in the "Cleaner Production and Industrial Water Treatment" course. By adopting the "Belt and Road - Paper Wastewater Treatment" case as a driving example, it establishes a blended teaching model characterized by "case integration, virtual-real fusion, and value guidance." The course employs a dual-track design, systematically integrating the knowledge system of cleaner production while relying on the paper wastewater treatment project under the China-Pakistan Economic Corridor. Virtual-real integrated teaching is realized through cloud platforms and machine learning. The teaching methodology combines online and offline resources, utilizes diverse interactive approaches to foster multidimensional integration of technology, economics, and ethics, and establishes a three-dimensional ideological and political education resource library to strengthen value guidance. By introducing a dynamic evaluation mechanism, students' ability to solve complex engineering problems has significantly improved, resulting in innovative outcomes such as patents. The reform has also extended to the development of emerging engineering courses, serving as a model for the reform of environmental engineering education.

Keywords : cleaner production; industrial water treatment; blended teaching; ideological and political education

随着新工科建设的深入推进及“双碳”战略对环境工程人才培养提出的新要求, 传统《清洁生产与工业水处理》课程在教学实践中面临着理论教学抽象、工程实践能力培养不足、课程思政融合生硬等现实挑战^[1]。这些痛点导致学生难以将理论知识转化为解决复杂工程问题的综合能力, 同时也制约了其生态文明素养与国际视野的协同发展^[2]。为破解上述困境, 本研究以“一带一路”倡议为宏观背景, 选取“中巴经济走廊造纸废水处理”这一典型工程案例作为核心驱动力, 旨在构建一个以“案例贯穿、虚实融合、价值引领”为特征的混合式教学新范式。本报告将系统阐述如何通过“理论 - 案例”双主线课程重构、多维互动教学方法创新、体系化思政资源库建设以及动态评价机制引入, 全面推动课程的教学改革与实践, 以期为学生高阶能力的培养和环境类专业教学创新提供可资借鉴的路径与范式。

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目 (24B610012); 国家自然科学基金青年项目 (52400063)。

作者简介:

郭琼, 博士, 副研究员;

赵楠, 博士, 教授, 博士生导师, E-mail: nan.zhaoca@outlook.com。

一、教学改革背景

《清洁生产与工业水处理》作为环境工程、化学工程、能源与动力工程等相关专业的专业拓展课。旨在培养学生解决复杂环境问题的系统思维与工程能力。然而，其传统教学模式面临知识体系割裂、理论教学与工程实践脱节等内在挑战，难以有效培养学生将清洁生产原则创新性地应用于具体工业场景的能力，这成为推动其教学改革的内在动因。与此同时，国家“双碳”战略与“一带一路”倡议对高素质绿色工程人才提出了迫切需求，构成了课程改革的外部驱动力。为回应这些挑战与机遇，本文聚焦于该课程的混合式教学改革，特别引入“一带一路-造纸废水处理”这一典型案例作为驱动，旨在通过重构教学内容与教学模式，探索一条强化工程实践、对接国家战略的创新教学路径。

郑州大学环境类专业多年致力于水、气、固废处理领域应用型人才培养，已形成了具有自身特色的人才培养模式与培养体系^[3-8]。通过任课教师自我反思，学生课程评价及课程报告评阅等途径总结出本课程在的授课和教学中存在如下问题（图1）。

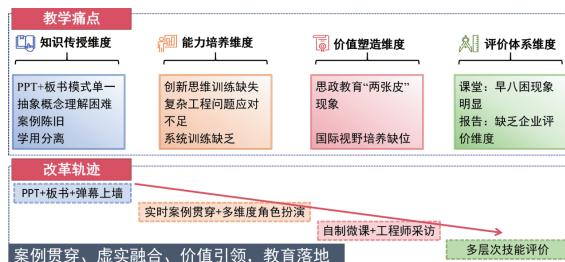


图1 教学痛点与改革轨迹初设

（一）知识传授维度

传统课堂采用“PPT+板书”单向灌输，学生对“清洁生产指标体系”“水处理工艺耦合”等抽象概念理解困难。调查显示，83%学生认为“生命周期分析”章节存在理解障碍；教材案例陈旧，如仍采用2005年《制浆造纸工业水污染物排放标准》，未能体现酶法脱墨、臭氧催化氧化等新技术。

《清洁生产与工业水处理》课程与企业关联紧密，学校的工程造作类实验课仅局限于验证型项目（如混凝沉淀实验，通过添加混凝剂观察悬浮物投加量与浊度的去除率关系；活性炭吸附实验，通过活性炭对染料或有机物的吸附等温线，验证吸附动力学理论）但实际场景更加复杂，需要考虑的因素更多。某造纸企业反馈，在岗前培训后，毕业生需6个月的适应期才能独立设计处理方案。

（二）能力培养维度

创新思维训练缺失，复杂工程问题应对不足。课程设计多采用给定参数的模板化作业，如“某造纸厂日处理量5000 m³废水处理工艺设计”，限制创新空间，学生选择毕设时缺乏竞争力，很难诞生优秀作品。行业竞赛参与率不足15%，且作品多停留在文献综述层面。对废水处理中的多目标优化（如COD去除率、运行成本、二次污染控制）缺乏系统训练，考虑问题过于单一，系统训练效果不突出。企业提供的真实案例显示，学生方案的平均综合评分仅为62.3分。

（三）价值塑造维度

工科类课程教学过程中，思政教育“两张皮”现象，国际视野培养缺位情况时有发生^[9]。现有思政元素多采用“概念嫁接”方式，如简单讲解“绿水青山就是金山银山”未能与专业技术深度融合；调查显示，仅29%学生能够准确阐述清洁生产与“双碳”战略的关联。教材案例集中于国内企业，视野较为局限，尤其缺乏与我国发展密切相关的国际大事件的关注，例如对“一带一路”沿线国家特殊需求涉及不足，热带气候对处理工艺的影响。调研发现学生对某些海外工程所涉及的棕榈纤维废水特性认知空白率高于50%。

（四）评价体系维度

现有评价体系为30%平时分+70%报告。近两年授课情况和报告评阅结果显示，学生课堂积极性不高，通过沟通发现学生普遍认为课本内容单元，案例较为“落伍”不能体现社会热点；学生的报告缺乏企业评价维度，常常出现“技术先进但经济性不合理，企业接受度低”的缺陷。基于上述问题，本改革以“一带一路中造纸废水处理”为切入点，构建“案例贯穿、虚实融合、价值引领”的教学新生态，助力实现教育落地的初心。

二、课程重构：双主线设计与四新融合

（一）“理论-案例”双主线架构

按“理念知识→工具方法→技术应用”逻辑重组教学内容，如表1所示。

表1 教学内容示例

模块	知识点	对应案例
清洁生产原理	可持续发展理论、循环经济3R原则	某纸业集团通过黑液资源化年增收2.3亿元
分析工具	生命周期评价(LCA)、物质流分析	比较传统VS酶法脱墨工艺的碳足迹
关键技术	厌氧-好氧耦合、膜分离技术	马来西亚某厂采用MBR工艺实现回用率85%

模拟开发“中巴经济走廊造纸厂废水处理”全流程项目：阶段1：问题诊断。提供工厂基础数据（日排水量12000 m³, COD 3500 mg/L），要求学生使用 Simapro 软件进行生命周期评价，识别主要环境负荷。阶段2：工艺设计。结合当地棕榈纤维特性（高硅含量导致结垢），设计“混凝沉淀-IC 厌氧-MBR-臭氧催化”组合工艺。

（二）“四新”建设深度融合

采用新方法、新材料，针对东南亚地区高纤维废水特性，开发基于壳聚糖改性混凝剂的处理方案。通过 Materials Studio 软件模拟分子结构，指导学生优化投加量（从200 mg/L 降至150 mg/L），COD去除率提高12%。借助新技术，通过云平台，学生可远程查看pH、DO等实时数据，并引导学生利用机器学习预测污泥膨胀风险。

三、教学方法：混合式矩阵与多维互动的深度实践

(一) 线上线下混合式教学矩阵

全过程混合式教学突破了传统课堂教学的局限性，以线上与线下相结合的方式贯穿教学与学习的全生命周期，为学生提供多层次的学习体验^[10]。课前知识测评，通过“雨课堂”推送预习测试，例如“比较 UASB 与 IC 反应器的适用场景”，“比较线性经济与传统经济的差异”，即时生成错误知识点图谱。课中、课后拓展阶段，通过“雨课堂”与“随手写”等形式提交课后工艺设计方案，从技术可行性（权重 40%）、经济性（30%）和环保性（30%）三个维度打分。

(二) 沉浸式互动设计

组织“技术优先 VS 成本优先”主题辩论，设计典型辩题：“某造纸厂预算有限，应优先采购进口膜组件（单价高但寿命长）还是国产设备（成本低但更换频繁）”，使用 Mentimeter 实时投票，数据显示支持“国产替代”的比例从课前 32% 升至课后 67%，反映学生深化了对供应链安全的认识。通过采用“Mentimeter+ 腾讯文档”双平台支持：辩手在腾讯文档同步撰写论点提纲，观众实时标注疑问点；通过 Mentimeter 收集观众立场迁移数据（支持率变化曲线投射于大屏）；在总结环节，系统自动生成论点热力图，标识未被有效回应的技术争议点，例如“国产膜材料寿命”问题被标注 20 余次。

模拟“污水处理项目评审会”，学生分别扮演工程师、环保局官员、社区居民等角色。其中工程师从技术成熟度、设备兼容性、操作难度等方面评价技术可行性；环保官员从污染物减排、碳足迹和资源循环型等角度评价环境可行性、社区居民从社区接受度，企业从法规符合性和政策支持度等方面辩论制度可行性。学生可自主学习使用 STELLA 软件演示工艺改造对当地水系的影响，提高项目支持率。具体演绎如下：

表2 四类角色数据库

角色类型	数据支持	决策目标
工程师	工艺方案技术参数库	通过环评且投资回收期≤5 年
环保局官员	地方排放标准与生态红线数据	确保流域水质达标
社区居民	噪声、气味敏感点分布	生活质量不受明显影响
投资方代表	行业基准收益率、风险评估、减免税政策	IRR ≥ 8% 且风险等级≤中等

动态博弈机制设计：在 STELLA 系统构建因果关系模型，学生决策实时触发参数变化，若选项“增加深度处理单元”，COD 去除率提升但运营成本增加 5%，触发投资方反对概率上升；若采用“分期建设方案”，前期投资降低 30% 但面临技术升级风险，需工程师团队提供升级路径可行性证明。

四、教学环境：思政资源库的体系化建设

开发“技术 – 伦理 – 价值”三维映射模型（图2），例如，

技术维度：臭氧催化氧化技术→伦理维度：副产物溴酸盐控制→价值维度：人民健康至上。技术维度：碱回收系统→伦理维度：资源循环利用→价值维度：生态文明建设。

臭氧催化氧化技术

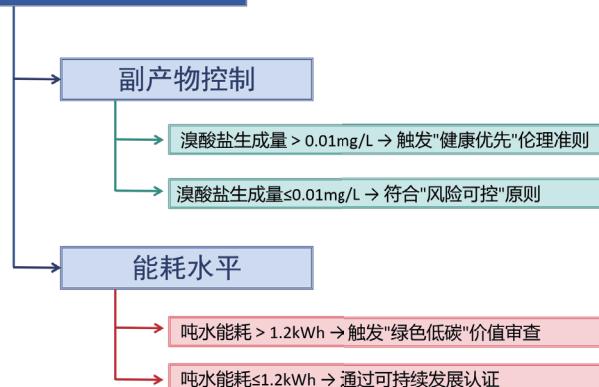


图2 “技术 – 伦理 – 价值”思政图谱示例

通过“技术突破→伦理审视→价值凝练”链条，形成 24 个思政教学节点。

随着短视频和自媒体的兴起，鼓励学生自主开发微课资源，制作“生态兴则文明兴”系列微课。初步拟定《黑液重生记》跟踪拍摄某企业碱回收系统改造，通过数据可视化展现年减排 CO₂ 4.5 万吨的生态效益，拟定《一带一路绿色使者》访谈海外项目工程师，已经与国家电网驻菲律宾宿务某项目工程师对接，计划讲述中国技术助力菲律宾发电厂实现近零排放的故事。

综合上述课程重构、教学方法改进提升以及教学环境优化，逐渐形成“思政引领”“沉浸式互动”“软件实操”与“虚实案例”相结合的四维联动数字化课程资源（图3），为“新工科”混合式教学提供数智化资源载体，有效解决教学痛点。



图3 “四维联动”混合式教学模式

五、教学评价：动态反馈机制的闭环优化

过程性考核更加明确，例如在“长江雨课堂”课前问卷环节，记录填写问卷次数、重视答卷的逻辑性与创新性。根据“Padlet”实时弹幕，结合课堂总结反馈明确过程考核得分。终结性考核以应用为导向，采用“案例分析+方案设计”题型，例如“针对菲律宾某厂高盐废水，设计零排放工艺并计算投资回收期”。综合生成个人能力图谱，涵盖“工艺设计”“成本分析”“伦理决策”“方针政策”等维度。

六、实施成效与示范辐射

学生高阶能力提升，主要体现在复杂工程解决能力的提升，

基于“雨课堂”课前背调与课后选择，对比学生个人能力发展看板，分析学生在应对复杂工程问题的思维方式由线条型发展为层次状、多维度思考模式。以课程的思维与教学模式为基本雏形，新开设《未来水工程：数智赋能与低碳发展》课程，紧跟新工科教育的方向，强调智能化技术和低碳理念在水工程领域的应用。

这门课程旨在培养学生掌握未来水工程领域的最新发展，包括智能化技术和低碳发展策略。课程内容可能包括数智化技术的快速发展和应用，如何逐步重塑经济社会发展模式，促进产业结构优化升级，提高资源能源利用效率，降低生态环境负面影响。

参考文献

- [1] 高俊敏, 陈献鹏, 王峰文, 等. 思想政治教育与创新能力培养耦合的研究生课程教学改革与探索——以“现代环境分析”课程为例 [J]. 黑龙江教育(理论与实践), 2025, (11): 43–46.
- [2] 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): 1–6.
- [3] 李海松, 万俊锋. 新时期《水污染控制工程》课程教学改革与工程实践探索 [J]. 广东化工, 2022, 49(03): 207–208+224.
- [4] 朱仁成, 李顺义, 金博强, 等. 基于实践能力培养的《大气污染控制工程》教学改革探析 [J]. 广东化工, 2019, 46(17): 186–187.
- [5] 朱仁成, 梅慧, 李顺义, 等. 基于虚拟仿真技术的“大气污染控制工程”教学改革探析 [J]. 现代盐化工, 2021, 48(01): 140–142.
- [6] 贾胜勇, 张伟, 马晓力. 高校环境类学科可持续创新创业活动方法研究 [J]. 科教导刊, 2022, (33): 23–26.
- [7] 李海松, 万俊锋, 阎阳. 浅谈基于卓越计划下环境工程专业“应用研究型”研究生的培养 [J]. 广东化工, 2014, 41(03): 131+133.
- [8] 李瑞琦, 黄婧菲, 王若聪, 等.“双碳”“双控”背景下的电石产业发展路径研究 [J]. 煤化工, 2023, 51(03): 6–11.
- [9] 于金林. 工程教育专业认证背景下地方大学工科专业课程改革研究 [D]. 东北石油大学, 2021.
- [10] 李婧男, 汪群慧, 马梦莹, 等. 数智技术赋能环境化学课程全过程混合式教学改革与实践 [J/OL]. 大学化学, 1–7[2025–11–27].