

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.16.008

工业废水污染防治人才培养体系的构建与实践

刘佳, 彭开铭, 徐竞成, 郑雄, 王巧英, 孙婧, 蔡辰,
黄翔峰

(同济大学环境科学与工程学院 环境科学与工程国家级实验教学示范中心,
上海 200092)

摘要: 工业结构转型升级使得我国工业废水污染防治难度增加,这对工业废水污染防治人才的培养提出了更高要求。课程教学团队基于“以学习为中心”“以效果为导向”“以问题解决为目标”的教学理念,建立了理论教学-实验教学-实践教学联动的优质教学资源;通过慕课、讨论课、读书报告等多种教学方式将课堂学习延伸至多维学习环境。多维联动的教学模式和多层次考核评价方法提高了学生的自主学习能力、协作能力、思辨能力。建立的工业废水污染防治人才培养体系和优质教学资源,为我国一流工业废水污染防治人才的培养提供了支撑。

关键词: 工业废水; 教学改革; 合作式教学; 学习为中心

中图分类号: TU99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)16-0046-05

Construction and Practice of Talent Training System for Industrial Wastewater Pollution Prevention and Control

LIU Jia, PENG Kai-ming, XU Jing-cheng, ZHENG Xiong, WANG Qiao-ying,
SUN Jing, CAI Chen, HUANG Xiang-feng

(Demonstration Center for Experimental < Environmental Science and Engineering > Education,
School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The prevention and control of industrial wastewater pollution have become more arduous and complex with the upgrading of industrial structure in China, which puts forward higher requirements for training talents for industrial wastewater treatments. Taking three theories of learning-centered, outcome-based, and problem-solving, the talent training system of industrial wastewater pollution prevention and control was constructed by our teaching team. A variety of teaching resources were developed, including theoretical teaching, experimental teaching and practical teaching. Traditional classroom learning was extended to a multi-dimensional learning environment through various teaching methods such as MOOCs, discussion classes and reading reports, etc. The multi-dimensional linkage teaching mode and multi-level evaluation method improved students' autonomous learning, cooperation and critical thinking ability. The established talent training system and high-quality teaching resources

基金项目: 同济大学2022年课程思政示范课程建设项目; 上海市教委重点课程建设项目(0400104152); 2022年同济大学党建研究课题(TJDJ20220227); 2022年同济大学研究生教育研究与改革重点项目(2022ZD02); 2022年高等教育科学研究规划课题

通信作者: 黄翔峰 E-mail: hxf@tongji.edu.cn

provided support for cultivation of top talents in the area of industrial wastewater treatment in China.

Key words: industrial wastewater; teaching reform; cooperative teaching; learning-centered

针对工业废水治理行业发展的需求,我国多所高校相继开展了工业废水治理课程。在教学内容上,天津工业大学^[1]、北京建筑大学^[2]、安徽工程大学^[3]等学校主要开展了“工业废水处理常用方法”和“典型行业废水处理”两部分内容;西安科技大学在讲授工业废水的基础上,将“特种废水处理工程”作为选修课^[4]。在教学形式和教学方法上,河海大学等建立了“教师授课引导,学生汇报讨论为主线”的教学方法^[5];华南农业大学在“工业废水处理”课程中提出了“主动型”教学模式,要求学生能够主动收集资料和分析推导^[6]。重庆大学在开设的“工业废水处理技术”课程中提出了“校企合作发展”提高学生对工业废水处理工艺的理解^[7]。由上述分析可知,大多数高校偏重于从末端治理技术的角度介绍工业废水现状及处理方法,从教学形式上已逐渐开始引入以学生为主的教学方式,但尚未形成工业废水污染防治人才培养体系。同济大学“工业废水污染防治”课程教学团队通过十多年的持续教学改革与实践,基于构建主义提出了“以学习为中心(learning-centered)”“以效果为导向(outcome based education, OBE)”“以问题解决为目标”三个模式对人才培养体系进行设计与重建。

1 工业废水污染防治人才培养体系构建

工业废水污染防治课程建设体系见图1。

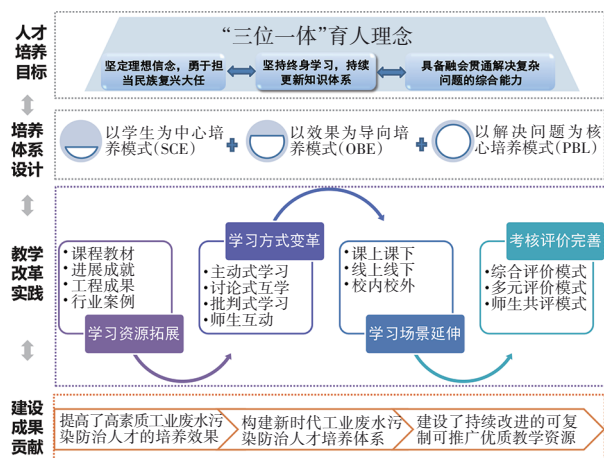


图1 工业废水污染防治课程建设体系

Fig.1 Curriculum construction system of industrial wastewater pollution prevention and control

① 以教材为基础拓展多种教学资源:通过开展“科教融合”教学改革,将工业废水污染新技术、工业废水处理工程实践成果转化为教学资源;将现代污染物新兴分析技术、信息化教学技术等传统教学转化为可复制可共享的公开课、虚拟仿真课;进一步通过建立校企、校校合作,将长江三角洲地区工业废水处理场站实践资源以及上海市环境与生态IV类高峰学科协作高校教学资源进行融合。

② 将被动学习转变为主动学习方式:传统课堂教学以专业知识教学为主,通过“讨论课教学”“读书报告教学”,建立小组合作式学习方式和组间竞争式学习方式,激发了学生的学习主动性和批判能力;建立线上线下、课堂内外、校内校外的学习条件,增加了教学环节,增强了师生互动效果,促进了教学相长。

③ 将课堂学习延伸至多维学习环境:传统知识的学习仅以课堂为主,通过制作工业废水污染防治视频公开课和虚拟仿真实验课,为学生提供时时可学的线上学习环境;通过引入“讨论课教学”“读书报告教学”,将课堂内容延伸至课下自主学习、自主讨论;通过引入“实践教学”“竞赛教学”,让学生走出校园,走进上海市其他高校、长江三角洲污染防治一线了解行业最新进展,参与区域环境问题的解决与竞争。

④ 将传统考试改进为综合评价体系:传统教学中多采用“一卷考试”确定成绩,以理论知识考察为主,缺少对解决问题的综合能力考察。建立了包含“线上学习-线下考试-读书报告”个人成绩叠加“讨论课”小组成绩的综合评分体系;在分数评定上,引入教师评分、同学评分、校外专家评分的多元评价模式;通过师生互评增强了师生互动和学生学习的积极性。

2 新时代工业废水防治人才培养举措

2.1 科教融合,构建线上线下混合教学体系

经过多年的课程教学实践,教学团队持续对教学大纲进行修订,阐明了课程的立德树人内涵,贯穿了OBE理念的教学支撑体系,融入了“读书报告”教学单元,新编了专题讨论课的教学大纲;将重大

研究项目和国内外最新研究成果融合到教学中,并利用互联网技术制作了在线课程(MOOC),通过在爱课程网上共享构建了线上线下混合教学模式。将翻转课堂引入教学过程,学生利用慕课资源学习基本知识,在课堂中设置专题讨论、读书报告分享等环节,通过分角色扮演、合作式学习等方式加深学生对工业废水污染防治知识的综合运用。

2.2 接轨行业前沿,打造辩证学习的专题讨论课

面向解决我国复杂工业废水污染防治问题的实际需求,建立接轨新时代工业废水管理模式与前沿防治技术的专题库;创建以学生为中心、以教师为引导的讨论课实施模式,强调辩证学习,通过同学自由组队选题、自主调研分析、汇报展示、交流辩论等环节实现学生职业素养与综合能力的同步提升;结合指导教师评价、学生自评与互评、行业专家评价,建立具有讨论课特色的多元化、全过程、多角

色动态评价机制。

已建的讨论课专题包含前沿水处理技术、热点行业废水治理及环境政策与管理等,如表1所示。以“工业废水第三方治理:机遇还是挑战?”这一讨论议题为例,选择该题目的4组学生(每组3~4人)首先通过“角色扮演”进行任务分工,可以选择“政府部门”“排污企业”“环保企业”“公众”等,然后基于各自角色利用4周时间独立进行调研、讨论与学习,最后4个小组进行成果汇报交流,并根据各角色关注焦点进行深入辨析讨论。指导教师通过定期与各小组学生面对面地交流最新政策法规、前沿技术发展等内容,达到启发学生思路、设计讨论点的目的;而学生通过自主学习、合作学习、展示和交流,达到自主学习、探究式学习的效果。专题讨论课为学生们提供了开放、自由的学术氛围,以及交流、分享研究成果的展示平台。

表1 专题讨论课可选主题

Tab.1 Optional topics for workshop

序号	主题	讨论议题
1	新概念污水处理厂-清洁生产	①未来污水厂的工艺设计流程及运行模式;②未来污水厂的生命周期评价;③可以应用的污水处理厂的新工艺、新技术及其优缺点
2	煤化工高盐废水“零排放”:理想与现实究竟有多远	①从清洁生产的视角分析煤化工高盐废水的控制策略;②结合发展趋势,提出合理的煤化工高盐废水处理流程与处理单元;③讨论煤化工高盐废水“零排放”的必要性与面临的挑战
3	现代化工园区污水处理技术及废水再生回用探讨	①从企业、园区、环保部门等多角度出发,优化园区运行管理模式;②结合典型化工园区污水水质特性,比选园区污水处理技术及工艺流程;③从清洁生产及资源回收利用的角度提出化工园区废水再生回用路线
4	苏南某日用化工厂废水污染防治	①从清洁生产和末端治理两个方面提出污染控制策略;②评估实施清洁生产后,废水水质与水量变化;③论证废水处理工艺各单元的主要设计参数,并评估出水水质
5	海水淡化技术:反渗透能否技压群雄	①从清洁生产的角度分析反渗透海水淡化技术的利与弊;②结合国内外发展趋势,提出你认为最有前景和可行性的处理工艺流程;③从资源/能源回收与末端治理的角度,分析各处理单元选择的理由
6	应对“重金属之殇”:以铅锌矿冶炼厂为例讨论有色金属冶炼行业废水处理工艺设计	①讨论清洁生产在铅锌矿冶炼过程中的应用;②考察冶金废水中重金属污染物的主要处理工艺并讨论其优缺点;③根据铅锌矿冶炼工艺各个环节的废水特点,设计一套铅锌矿冶炼厂废水处理工艺流程(要求从节能减排、经济性和能源回收等方面进行考虑)
7	工业废水第三方治理:机遇还是挑战?	①调研国内外工业废水采用第三方治理的现状及存在问题分析;②从环境立法、环境政策、金融市场角度,讨论如何从政府管理层面上保证“第三方治理”模式的推广;③从企业清洁生产与环保公司末端治理技术发展角度,讨论我国不同类型工业废水推行第三方治理的发展之路
8	从排污费到环保税	①了解排污费和环保税设置的差异及背景;②环保税实施推广的方案及可能存在的难点;③如何从环境管理层面加强污染排放控制

2.3 鼓励主动学习,追踪学科最新发展读书报告

我国各行各业产生的工业废水种类多且水质水量差异较大,仅依靠课堂讲解难以覆盖所有行业

的工业废水处理知识。结合工业废水污染防治的发展趋势,建立动态更新读书报告主题库,追踪学科最新发展;创建“自主撰写-同学互评-修改反馈”

交互式读书报告教学模式,鼓励主动学习,强化培养学生思辨能力与批判精神;通过“汇报交流”“择优发表”两种途径共享读书报告教学成果,锻炼学生自我展示和沟通交流的能力。根据近年来工业发展状况,针对主要行业和热点行业工业废水治理技术应用与研究进展情况,确定了10个相关主题报告学习内容供学生选择,如表2所示。

表2 读书报告可选主题

Tab.2 Optional topics of report

序号	读书报告主题
1	印染工业清洁生产与废水末端治理技术研究进展
2	制浆造纸工业清洁生产与废水末端治理技术研究进展
3	制革工业清洁生产及废水循环利用技术综述
4	焦化废水清洁生产与废水末端治理技术研究进展
5	有色金属清洁生产与废水末端治理技术研究进展
6	偶氮染料废水处理技术现状与研究进展
7	有机磷农药废水处理技术现状与研究进展
8	煤化工废水深度处理及回用技术综述
9	芬顿氧化在工业废水处理中的应用研究进展
10	高级氧化在制药废水中的应用及研究进展

2.4 强化动手操作能力,建立实验课程教学

基于“工业废水污染防治”课程的应用性建设需求,建立了与之匹配的“现代水处理实验技术”的专业实验课程,该课程的内容设置以工业废水处理领域近年来关注较多的污染物和处理技术为核心,通过设计新型实验项目、开发实验教学设备、创新教学方式使学生能够更为深刻地了解先进的水处理技术、前沿的学科动态和试验方法,培养学生将专业知识技能与实际生产和科研活动相结合的能力。目前已开设的实验项目包括:活性炭催化臭氧降解染料废水、化学氧化、高级氧化等,实验课采用Jigsaw教学法进行理论知识学习与拓展^[8],实验操作条件和参数通过小组讨论进行自主设计,评价方式通过小组讨论表现+个人实验报告撰写+实验结果展示等。实验课的同步开展将课堂上的理论知识认知与操作观察认知相结合,强化了学生对关键知识点的掌握和应用。

2.5 强化团队协作,拓展校内外互补的实践创新

课程教学团队与中国海诚工程科技股份有限公司、上海同济科蓝环保工程有限公司、上海达源环境科技有限公司、上海泓济环境工程有限公司等环保公司签订合作协议,开展校企联合课程、毕业设计指导、专业知识讲座等多种形式的校企合作教

学。2020年暑假期间,面向全国环境学子开出了全国环境学科“校-企-协”云端学习实践课程,设立了包含工业废水污染防治在内的10个专题。通过直播连线、视频展示等方式让学生走进污染防治攻坚战的第一线,促使学生树立为环保事业奋斗终身的理想。

3 教学实践效果

3.1 提升了工业废水污染防治人才培养效果

经过10余年的探索和实践,“工业废水污染防治”教学团队顺应时代发展要求,创新人才培养体系,不断改进教学模式,培养的环境人才的政治素质、职业素养、专业知识、思辨能力、创新实践能力、协作竞争力以及终身学习能力等都得到了显著提高。大学生在各种课外科技和社会实践活动中,获国际竞赛奖项13项、国家级奖项4项、市级奖项7项,直接培养本科生发表的论文25篇。部分优秀毕业生在电镀废水、煤化工废水以及现代化工园区污水管理等相关行业或部门担任中高层领导职位,也有部分学生选择创业,投身工业废水处理行业,为我国环保事业贡献力量。

3.2 构建了工业废水污染防治人才培养体系

教学团队构建了新时代工业废水污染防治人才培养体系,打造了“理论授课教学”“慕课教学”“专题讨论课教学”“读书报告教学”“实践教学”“竞赛教学”多维混合教学模式。本课程先后入选/获得上海市级教学成果一等奖、同济大学本科卓越课程、同济大学教学成果奖二等奖及特等奖各1次、上海市教委重点课程及上海高校本科市级精品课程称号等各类教学成果奖12项。教学团队承担了“工业废水污染防治”校企合作教学模式研究、工业废水设计性实验项目建设、环境科学与工程学院教学研究及建设项目、校企合作深度融合的工程专业实践教学体系研究、环境工程专业核心(基础)课专题讨论“课程群”建设、强化工程能力培养的环境工程类课堂教学改革与实践等校级教改项目14项,发表教学相关论文16篇,教学成果于2018年在澳大利亚墨尔本举办的“第六届世界课程大会”上作了报告,受到了与会代表的高度关注和好评。

3.3 建设了可复制可推广的优质教学资源

在理论教学中,基于国内外现代工业废水处理新技术的充分调研,不断更新“工业废水污染与防

治”课程教学内容。对课程多媒体课件进行了多次全面的更新,并收集了课程相关图像资料等、增加案例分析,用于编写多媒体教学演示软件;在“讨论课教学”中,基于新时代工业废水管理模式与前沿防治技术,建立讨论课专题库,构建了以学生为中心、教师为引导的讨论课实施模式,形成了多元化、全过程、多角色动态评价机制,并在学院专业核心课中推广应用。开设“工业废水污染防治”MOOC,实现线上线下教学资源融合共享,吸引了复旦大学、井冈山大学、新疆大学、上海电力大学等众多院校学生学习。

4 结语

同济大学开设的“工业废水污染防治”课程,建立产学研跨界的教学团队,通过理论实践结合、科产教融合,建立了现代信息与教学技术支撑的优质共享教学资源,打造了多维联动的教学模式和多层次考核评价方法,拓展了新时代工业废水污染防治课程育人新途径。通过信息化数字化教学技术的使用,促进了我国东西部高校工业废水污染防治教学水平的共同提高,支撑了一流工业污染防治人才的培养。

参考文献:

- [1] 吴云,王捷. “工业废水处理”课程教学体会[J]. 科技咨询, 2011(10): 196.
WU Yun, WANG Jie. Teaching experience of “industrial wastewater treatment” [J]. Science & Technology Information, 2011(10): 196(in Chinese).
- [2] 任相浩. 环境工程专业中“工业废水处理”课程的开设及特色[J]. 新课程研究(中旬刊), 2015(7): 73-74.
REN Xianghao. Setup and characteristics of “industrial wastewater treatment” course in Environmental Engineering[J]. New Curriculum Research, 2015(7): 73-74(in Chinese).
- [3] 宋珍霞,唐海,徐大勇,等. 基于“卓越计划”的工业废水处理技术课程体系改革[J]. 高师理科学刊, 2017, 37(11): 94-97.
SONG Zhenxia, TANG Hai, XU Dayong, et al. The teaching reform of industrial wastewater treatment technology based on the excellent engineer plan [J]. Journal of Science of Teachers' College and University, 2017, 37(11): 94-97(in Chinese).
- [4] 路程,柴蓓蓓.《特种废水处理工程》教学改革探讨[J]. 新西部(中旬刊), 2015(14): 154,165.
LU Cheng, CHAI Beibei. Discussion on teaching reform of special wastewater treatment engineering [J]. New West, 2015(14): 154,165 (in Chinese).
- [5] 郑晓英,陈卫,林涛,等.《工业废水处理》双语课程创新型教学模式探索与实践[J]. 教育教学论坛, 2017(42): 138-140.
ZHENG Xiaoying, CHEN Wei, LIN Tao, et al. The practice and research on the innovative bilingual teaching method of industrial wastewater treatment [J]. Education Teaching Forum, 2017 (42): 138-140 (in Chinese).
- [6] 余光伟,仲海涛,种云霄. 广东高校《工业废水处理》教学模式优化探讨[J]. 广东化工, 2016, 43(5): 192-193.
YU Guangwei, ZHONG Haitao, ZHONG Yunxiao. Discussion on teaching model optimization of “industry wastewater treatment” in guangdong institutes [J]. Guangdong Chemical Industry, 2016, 43(5): 192-193 (in Chinese).
- [7] 张小妮,王文东,孟靖华,等. 卓越工程师培养理念下的《工业水处理》教学模式探索[J]. 产业与科技论坛, 2017, 16(14): 161-162.
ZHANG Xiaoni, WANG Wendong, MENG Jinghua, et al. Exploration on teaching mode of “industrial water treatment” under the concept of excellent engineer training [J]. Industrial & Science Tribune, 2017, 16 (14): 161-162(in Chinese).
- [8] 任露. 建构主义视野下大学课堂拼图式教学的问题调查与改进策略[J]. 华中师范大学研究生学报, 2015(1): 144-148.
REN Lu. The survey and improved strategies about jigsaw teaching in college class under the view of constructivism [J]. Central China Normal University Journal of Postgraduates, 2015 (1): 144-148 (in Chinese).

作者简介:刘佳(1982-),女,黑龙江齐齐哈尔人,博士,教授级高级工程师,同济大学环境科学与工程国家级实验教学示范中心副主任,主要从事工业污染减排方向的教学科研工作。

E-mail:liujia@tongji.edu.cn

收稿日期:2020-11-18

修回日期:2020-11-20

(编辑:丁彩娟)