

“双碳”战略背景下三元融合教学模式构建与实践研究 —以沈阳工业大学环境与化学工程学院为例

毕东方*

(沈阳工业大学, 辽宁 沈阳 110870)

摘要: 面对国家“碳达峰、碳中和”战略对高素质环境与化学工程人才提出的新要求, 沈阳工业大学环境与化学工程学院发现传统的教学模式中存在理论、实验与实践环节衔接不够紧密的问题。为此, 本研究开展了一项教学改革研究, 构建并实施了“三元深度融合”教学模式。这一模式以成果导向(OBE)为指导, 通过重新整合课程体系、创新教学方法、优化评价机制, 努力将知识传授、能力培养和价值塑造三者有机结合起来。经过两年的教学实践, 参与该模式的实验班学生在多项关键能力指标上均表现出色, 明显优于传统教学班级。同时, 毕业生的就业质量和深造率也取得了显著提升。本研究为地方工科院校推进新工科建设提供了一个可行且易于推广的教学改革示范, 对培养适应“双碳”目标的高素质复合型工程技术人才, 具有一定的参考价值。

关键词: 双碳战略; 三元融合; 教学改革; OBE理念

一、引言

全球气候变化问题越来越严重, 我国提出的“碳达峰、碳中和”战略目标, 正在深刻影响国民经济与社会发展的各个领域。环境科学与工程是直接服务于污染治理、清洁能源、碳减排技术的核心学科, 该学科的人才培养质量, 直接关系到“双碳”目标的实现进度。在新工科建设和工程教育专业认证的背景下, 传统以知识传授为主、理论与实践割裂的教学模式, 已经难以满足培养能解决复杂环境-能源系统问题的高素质创新人才的需求。

沈阳工业大学环境与化学工程学院(以下简称“该学院”)是辽宁省重要的环境与化工类人才培养基地。该学院以解决国家和辽宁省重大环境保护、能源化工及行业区域相关问题为导向, 围绕环境污染物检测与控制、智能环保设备、化工过程强化理论与技术、绿色化工与工程化、功能材料设计开发与应用、新能源存储转化理论与技术等方向, 开展创新性研究和创新型特色人才培养。该学院开设环境工程、能源化学工程专业, 课程体系涵盖《环境化学》《大气污染控制工程》《水污染控制工程》《能源化工工艺学》《CO₂综合利用技术》等理论课程^[1], 以及对应的实验与实践环节。但在传统教学也存在着明显短板, 如理论教学更偏向于原理传授, 而忽视实际工程应用; 实验教学多为验证性实验项目; 课程设计与毕业设计脱离实际工程背景等。这种模式导致学生的知识整合能力较差、工程实践能力不足、创新思维欠缺, 难以应对目前的“双碳”背景下, 多学科交叉的复杂工程挑战。

在国内, 许多高校已围绕上述问题展开了一系列教学改革的探索。例如, 梁吉艳和吕丹提出了“成果导向、两合三融”的教学理念, 突出以学习成果为目标来推动教学变革^[2]。陈薇薇等人则从环境化学实验课入手, 探讨了创新教学体系的构建路径^[3]。这些研究为我们提供了重要的理论参考, 但仔细研究会发现, 其大多侧重于某一门具体课程或某个教学环节, 较少有人从专业人才整体培养的视角出发, 对理论、实验与项目实践进行系统化的融合设计与长期实践。

结合该学院实际情况, 本研究以成果导向(OBE)为指导, 提出并推行了“理论—实验—项目”三元融合教学模式。该模式致力于打破传统课程之间的界限, 围绕“双碳”目标中真实、复杂的工程问题, 将理论教学、实验训练和项目实践贯穿于人才培养的全过程。通过阐述该模式的构建思路、具体实施方法以及教学实验与数据对比, 客观验证其实际效果, 以期为同类院校相关专业

基金项目: 辽宁省科技计划联合计划(自然科学基金一面上项目). 2025-MSLH-548

作者简介: 毕东方(1996-), 女, 助理实验师, 硕士研究生, 研究方向为水污染治理、环境保护研究。

通讯作者: 毕东方

的教学改革提供可借鉴的实践依据。

二、传统教学模式的问题诊断与分析

本研究选择 2021 级（改革前）环境工程与能源化学工程专业共计 180 名学生，作为实验组，进行全面调研。通过问卷调查、深度访谈、成绩分析及毕业生反馈等多种渠道收集相关数据，发现传统教学模式主要存在以下几点问题：

（一）课程体系结构失衡，理论与实践脱节

该学院按“公共基础课-专业基础课-专业课”的经典模式，设置了完整的课程体系。但各类课程关联度不强，有明显“条块分割”的特点。理论课教师与实验员沟通不足，导致实验内容严重滞后于理论进展，甚至出现未开设相关实验课程的情况。比如，《环境催化与材料》作为环境工程专业的专业课，并未设置配套实验课程。同时，占总学分约 25%的集中实践环节（课程设计、生产实习、毕业设计），往往安排在高年级集中进行，与前期理论、实验教学在时间与内容上脱节。学生难以运用前期所学知识，解决实践中的复杂问题。

（二）教学内容更新缓慢，与产业前沿脱轨

目前该学院使用的教材和实验指导书更新周期长，实际教学内容难以跟上相关领域发展的步伐。尤其在“双碳”背景下，关于碳足迹核算、生命周期评估（LCA）、CCUS（碳捕集、利用与封存）技术、智慧环保等多种前沿知识，在教学中仅以简介形式出现，甚至一笔带过，没有介绍。导致学生对行业最新技术标准、政策导向认知模糊，毕业后需要企业进行长时间的再培训，才能具备上岗实操的能力。

（三）教学方法以教师为中心，学生主动性受抑

理论课教学仍以“教师讲、学生听”的灌输式教学方式为主，课堂互动较少。实验课普遍采用“食谱式”教学，学生按照实验指导书给的既定步骤进行操作，在实验设计原理、方案优化、异常数据处理等关键能力的训练上存在明显不足。问卷调查结果显示，超过 65%的学生认为实验课“缺乏挑战性”，72%的学生从未在实验过程中主动提出过改进方案或其他创新性想法。这种被动的学习模式，严重禁锢了学生的创新思维与解决问题能力的培养。

（四）评价方式单一，难以衡量综合能力

目前，学生学习好坏与否，主要取决于学生期末考试分数的高低，以及实验报告撰写的优良决定，这种评价方式对于工程设计与优化能力、沟通表达能力和创新思维能力等高阶能力，缺乏有效的判断。更重要的是，这种“重结果、轻过程”，“重知识、轻能力”的评价导向，不仅无法准确反映学生的真实能力，还反向强化了学生的应试水平，与国家工程教育专业认证所强调的“毕业要求达成度”评价理念不一致。

以上四个方面的问题共同导致了人才培养出现“供需错配”：一方面，毕业生数量充足且逐年上升；另一方面，用人单位普遍反映学生工程实践能力弱、知识迁移能力不足、无法解决复杂工程问题。因此，进行深入且彻底的教学模式改革势在必行。

三、三元融合教学模式的构建

基于 OBE 成果导向，本研究提出了以“学生中心、产出导向、持续改进”为核心理念的三元融合教学模式，如图 3.1 所示。这种模式将原有独立的理论课、实验课和项目实践（含课程设计、科研训练、学科竞赛、毕业设计）三大块进行深度融合与系统重组，形成了以解决复杂工程问题为驱动，以阶梯式能力培养为主线的闭环教学系统。做到学生能够将学习到的书本知识，在实验教学中得到验证，在项目实践中得到应用，真正的做到活学活用。



图 3.1 三元融合教学模式架构图

Fig. 3.1 Architecture Diagram of Tripartite Integrated Teaching Model

（一）课程体系的重构：打造“纵向贯通、横向关联”的课程群

打破原有按学期和课程独立设置的教学计划，围绕“减污降碳协同增效”这一“双碳”核心主题，组建了若干跨学期、跨课程的“课程群模块”。

（1）“大气环境与碳管理”模块：关联《大气污染控制工程》、《环境化学》、《CO₂综合利用技术》、《环境评价课程设计》等课程。以“典型工业园区的PM_{2.5}与温室气体协同控制方案设计”为主线项目，将相关理论知识点、实验技能（如烟气成分分析、催化剂性能测试）和设计任务有机串联。

（2）“水系统与资源能源回收”模块：关联《水处理工程》、《环境工程微生物学》、《能源化工工艺学》、《专业仿真实训》等课程。以“城市污水处理厂提标改造”为主线项目，将生物处理、高级氧化、厌氧产沼、工艺仿真等知识内容进行整合教学。

每个模块由一名资深教授负责整体规划，理论课教师、实验员教师、企业导师共同参与设计教学大纲，确保各环节的教学内容均围绕主线项目开展，且在难度等级上做到层层递进、相互支撑。

（二）教学内容的更新与项目化设计

1. 理论教学内容的的项目化重构

理论课教学不再单纯按教材章节推进，而是围绕课程群的主线项目，拆解出若干“知识单元”。例如，在《CO₂综合利用技术》课程中，针对主线项目中的“碳捕集”环节，将教学内容重组为“吸收法单元”、“吸附法单元”、“膜分离法单元”等。每个单元的教学，以该技术在项目中的应用场景和待解决问题导入，引导学生带着问题学习理论，最终目标是为项目方案提供理论选型依据。

2. 实验教学的层次化与探究性改造

将实验教学分为以下三个层次：

（1）基础验证层：保留必要的经典实验，确保学生能够掌握标准化操作步骤（如酸碱中和滴定、离子交换实验等）。

（2）综合设计层：该层次直接服务于主线项目所衍生的综合性实验。如在“大气模块”中，开设“工业VOCs废气吸附-催化氧化一体化处理综合实验”，学生需自行选择吸附材料、设计催化床层、优化工艺参数，使学生们能够在实验过程中提高创新能力与发散思维。

（3）研究创新层：该层次不设定具体的实验内容，完全开放，其意义在于与教师的科研课题、大学生创新创业训练计划、“挑战杯”竞赛等相结合。学生可根据自身竞赛项目的实际内容自主设计实验，在实验过程中锻炼其团队领导力，提高科研竞争力。

3. 项目实践的全程化与真实化

此次教学改革将项目实践贯穿大学四年全过程。低年级阶段开展课程级小项目（如校园雨水水质调查），中高年级则进入科研实验室或合作企业，参与真实的研发或工程课题，并直接作为其毕业设计题目。学院与沈阳环境科学研究院、辽宁省环保集团、莱特莱德环境工程有限公司等多家单位共建实践基地，确保项目来源的真实性与前沿性。

（三）教学方法的融合创新

推行“课堂讲授+软件模拟+实验探究+项目研讨”的混合式教学方法。理论课引入案例教学法，通过大量使用工程实例和项目情境，让学生在听课的同时，对该知识点的实际应用做到心中有数。利用一些仿真软件和实验环境，让学生在安全、低成本条件下进行工艺设计和危险操作演练，虚实结合，弥补实体实验的不足^[4]。实验课倡导开放式学习，教师只提出目标和要求，将实验方案设计、步骤制定、分工协作等工作均交给学生团队完成。定期组织项目报告会，各小组汇报项目进展，师生共同质疑、辩论、优化方案，培养学生的工程思维与沟通能力，同时能够让本科生提前感受研究生的科研日常，从而更好的决定未来的就业路径。

（四）“五维一体”全过程考核评价体系改革

建立以能力达成为核心的“五维一体”全过程考核评价体系，该体系做到了知识、技能、素质全覆盖，如图3.2所示。体系包括以下几个方面：

（1）理论知识维度（20%）：通过阶段性测试、研究报告、口头答辩等形式，考查学生对核

心概念和原理的理解与应用。

(2) 实验技能维度 (25%)：采用过程性考核，根据实验预习、操作规范、数据处理、异常情况应对、实验报告质量等多个维度进行综合评定。

(3) 项目实践维度 (30%)：依据项目方案的创新性、可行性、技术经济分析情况、团队协作效率、最终成果（报告、模型、原型机等）质量等进行评价，并在此处引入企业导师评分，使得评价指标更加贴近实际。

(4) 创新思维维度 (15%)：鼓励并额外加分奖励学生在学习、实验、项目中提出的合理化改进建议、批判性思考和有价值的探索性尝试。

(5) 职业素养维度 (10%)：考查学生的工程伦理、安全环保意识、责任心和学术规范，确保学生端正学术心理。



图 3.2 “五维一体”全过程考核评价体系架构图

Fig. 3.2 Architecture Diagram of the “Five - in - One” Whole - process Assessment and Evaluation System

该评价体系通过学习成果达成度评价表进行量化，在每学期期末进行课程目标达成情况分析，形成反馈报告，用于指导下一轮教学的持续改进。

四、教学改革实践与数据化成效评估

(一) 研究设计与实施

为科学评估改革效果，本研究采用更贴近自然的准实验研究设计（在无随机地安排被试时，运用原始群体，在较为自然的情况下进行实验处理的研究方法。）。选取我院 2023 级环境工程专业两个自然班（共计 90 人）作为实验班，实施三元融合教学模式；2021 级同专业两个班（共计 88 人）作为对照班，沿用传统教学模式。两组学生在入学高考成绩、男女比例上无显著差异（ $p>0.05$ ），具有可比性。改革实践周期为两年（2023 年 9 月至 2025 年 7 月）。

分析两大类数据进行分析比较：一是客观学业数据（如学生成绩、项目成果、竞赛获奖、论文专利等）；二是主观感知数据，通过李克特五级量表问卷调查和结构化访谈，测量学生的学习投入度、能力自我认知、课程满意度等。

(二) 改革成效的数据对比分析

1. 学生综合能力显著提升

在完成《大气污染控制工程及实验》和《能源化工工艺学及设计》两门课程的学习后，对两组学生进行综合能力测评（包括笔试、实验操作、项目方案设计答辩等）。如表 4.1 所示，实验班学生在各维度上的优良率均显著高于对照班。

表 4.1 学生综合能力测评结果对比（优良率%）

Table4.1 Comparison of Students' Comprehensive Ability Assessment Results (Excellent & Good Rate %)

测评维度	实验班 (N=90)	对照班 (N=90)	提升幅度
理论知识应用	88.9	70.5	+18.4%
实验设计与操作	85.6	62.5	+23.1%
复杂工程问题解决	82.2	58.0	+24.2%
团队协作与沟通	90.0	65.9	+24.1%
综合成绩优良率	86.7	65.2	+21.5%

2. 科研与创新实践成果丰硕

此次改革极大地激发了学生的科研兴趣和创新潜能。如表 4.2 所示，实验班学生在各类科研实践活动中的参与度和成果产出量均远超对照班。

表 4.2 学生科研与创新实践成果对比（大二至大三期间）

Table4.2 Comparison of Students' Scientific Research and Innovation Practice Achievements (During the Sophomore to Junior Year Period)

成果类别	实验班 (N=90)	对照班 (N=90)	增长率
参与教师科研项目	78.3%	35.6%	+119.9%
主持/参与大创项目	65.6%	23.9%	+174.5%
学科竞赛省级以上获奖	42.1%	18.9%	+122.8%
发表学术论文/申请专利	16 项	4 项	+300.0%

3. 学习行为与态度积极转变

问卷调查结果显示，实验班学生的学习投入度和课程满意度明显提高。超过 85% 的实验班学生认为“三元融合教学模式使学习目标更明确，知识更有用”；78% 的学生表示“在项目挑战中获得了成就感，学习动力更足”。访谈中，学生普遍反映“学会了如何像工程师一样思考问题”、“团队合作解决实际困难的能力得到了极大锻炼”。

4. 毕业出口质量持续优化

虽然 2023 级实验班尚未毕业，但改革模式已在高年级初步推广。2024 届毕业生（部分参与前期试点）的数据显示：平均就业率达 98.5%，专业对口率增长至 87%；升学深造率创新高，达到 39.2%，多名学生被中国石油大学、大连理工大学、长安大学等知名学府录取。用人单位对毕业生“快速上手能力”、“综合解决问题能力”和“创新意识”的满意度评价同比上升 25%。

五、结语

本研究构建的三元融合教学模式能取得显著成效，是多方因素综合作用的结果。该教学模式真正做到了以学生为中心、以能力培养为导向的教学转型。整个学习过程由真实、复杂的“双碳”工程问题为指导，促使学生从以往被动接受知识的角色，转变为主动探索者、团队合作者和实际问题解决者。这一转变，也与布鲁姆认知目标所强调的高阶思维能力培养高度吻合。系统性的教学重构也为改革成功奠定了坚实基础。本研究并未局限于某一门课程的局部调整，而是从专业人才培养的整体目标出发，对课程体系、教学内容、教学方法及评价机制进行了统筹设计与有机整合。这种系统性的改革，使理论教学、实验训练与项目实践三个环节相互支撑、协同推进，形成了育人合力。此外，产教深度融合为教学注入了持续发展的活力。通过引入真实的企业课题和行业导师，不仅让教学内容与前沿技术、实际需求紧密接轨，更让学生在实战环境中，切身理解了工程师所应承担的社会责任，从而潜移默化地实现了价值塑造与人格培育的育人功能。

与此同时，这项研究和实践也遇到了一些挑战：一是对教师队伍要求更高，需要教师具备深厚的工程背景和跨学科整合能力；二是教学管理需要变得更加灵活，以支持跨课程、长周期的项目式学习；三是初期投入较大，需要学校在实验室开放、企业合作等方面给予持续支持。本研究的实践，为地方工科院校在新工科背景下进行专业改造升级、培养适应未来产业变革的卓越工程

人才, 提供了具有借鉴意义的“沈工大方案”。

参考文献:

- [1] 沈阳工业大学环境与化学工程学院. 课程总览 [EB/OL]. <http://sut1.fanya.chaoxing.com/portal/schoolCourseInfo/department?departmentId=12751294>.
- [2] 梁吉艳, 吕丹. “成果导向、两合三融”——“双碳”背景下有机化学课程的教学改革与实践[J]. 科教导刊(电子版), 2024(20):209-211.
- [3] 陈薇薇, 康春莉, 杨平. 环境化学实验创新教学体系的改革探索[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2025, 46(02):91-96. DOI:10.19789/j.1004-9398.2025.02.014.
- [4] Handbook of Research on Educational Communications and Technology (AECT Series)[M]. 2007.

Research on the Construction and Practice of the Ternary Integration Teaching Model Under the Background of the "Dual Carbon" Strategy —— A Case Study of the School of Environmental and Chemical Engineering, Shenyang University of Technology

BI Dongfang*

(School of Environmental and Chemical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: Faced with the new requirements for high-caliber talents in environmental and chemical engineering set forth by the national "carbon peaking and carbon neutrality" strategy, the School of Environmental and Chemical Engineering, Shenyang University of Technology, identified a critical flaw in the traditional teaching mode—the disjointed connection between theoretical teaching, experimental sessions and practical training. To address this issue, we launched a teaching reform research project, and constructed as well as implemented the "Triple-element Deep Integration" teaching mode. Guided by the concept of Outcome-Based Education (OBE), this mode strives to organically integrate knowledge imparting, competence development and value shaping through reorganizing the curriculum system, innovating teaching methodologies and optimizing assessment mechanisms. After two years of teaching practice, students in the experimental classes adopting this mode have demonstrated outstanding performance in multiple key competence indicators, significantly outperforming their counterparts in the classes following the traditional teaching approach. Meanwhile, notable improvements have been achieved in the employment quality and further education rate of graduates. This research provides a feasible and scalable teaching reform model for local engineering universities to advance the development of emerging engineering education. It also offers certain reference value for cultivating high-quality interdisciplinary engineering and technical talents who can meet the demands of the "dual carbon" goals.

Key words: Dual carbon strategy; Ternary integration; Teaching reform; OBE concept