

科教融汇与产教融合驱动的《化工分离技术》课程设计与实践

王涛, 冯英楠, 邱丽莉*

北京理工大学化学与化工学院 北京

【摘要】为响应新工科建设与国家“双碳”战略对高层次应用型人才培养的新要求,并解决传统课程在内容前沿性、实践深度与考核方式等方面的不足,本研究面向专业型硕士研究生,对《化工分离技术》课程进行了系统性改革。课程构建了“基础理论-前沿技术-工程实践”三层递进、模块化的教学体系,深度融合分离科学前沿与产业实际需求,并将价值引领与思政元素有机融入教学全过程。教学上,创新采用了真实项目驱动、虚实结合实验与翻转课堂相结合的多元化模式。考核上,建立了过程性评价与成果性评价并重、教师-企业-学生多元主体参与的综合体系。教学实践表明,该改革有效提升了学生的工程实践能力、创新思维和综合职业素养,实现了知识、能力与价值塑造的有机统一,为同类工程专业课程建设提供了可借鉴的范式。

【关键词】化工分离技术;科教融汇;产教融合;工程实践;教学探索

【收稿日期】2026 年 3 月 16 日

【出刊日期】2026 年 4 月 20 日

【DOI】10.12208/j.ije.20260052

Curriculum design and practice of *Chemical Separation Technology* driven by the integration of science-education and industry-education

Tao Wang, Yingnan Feng, Lili Qiu*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing

【Abstract】In response to the new requirements for cultivating high-level application-oriented talents under the national initiatives of emerging engineering education and the dual-carbon strategy, and to address the deficiencies of traditional courses in terms of content frontier, practical depth, and assessment methods, this study conducted a systematic reform of the *Chemical Separation Technology* course for professional master's degree students. The course established a three-tiered, progressive, and modular teaching system encompassing "fundamental theory - advanced technology - engineering practice." This framework deeply integrates the forefront of separation science with actual industrial needs, while organically incorporating value guidance and elements of ideological and political education throughout the entire teaching process. In terms of pedagogy, innovative and diversified models were adopted, combining real project-driven learning, virtual-physical integrated experiments, and flipped classrooms. Regarding assessment, a comprehensive system was established that emphasizes both formative and summative evaluation, with multi-stakeholder participation from instructors, industry representatives, and students. Teaching practice demonstrates that this reform has effectively enhanced students' engineering practical ability, innovative thinking, and comprehensive professional competencies, achieving an organic unity of knowledge acquisition, skill development, and value shaping. It provides a referential model for the development of similar engineering courses.

【Keywords】*Chemical Separation Technology*; Integration of science and education; Integration of industry and education; Engineering practice; Teaching exploration

引言

化工分离技术是化学工业的基石,其发展水平直接关系到能源利用效率、资源可持续性 & 环境保护^[1,2]。

随着全球产业变革的深化与我国“双碳”目标的推进,化工过程正朝着绿色、低碳、智能、高效的方向加速转型,精馏、吸附、膜分离、耦合集成等传统与新兴分离

第一作者简介:王涛(1986-)男,副教授,博士,主要从事膜分离及化工过程强化研究;

*通讯作者:邱丽莉(1982-)女,副教授,博士,主要从事化工过程强化及先进分析检测技术研究。

技术的重要性日益凸显^[3-5]。这一趋势对化工领域高层次、应用型创新人才的培养提出了更紧迫、更精准的要求^[6,7]。专业学位硕士研究生的培养,其定位在于服务产业需求、强调工程实践与职业胜任力^[8,9]。然而,传统的化工分离课程教学普遍存在教学内容更新滞后,与前沿技术(如高性能膜材料、AI辅助过程设计、反应-分离耦合等)脱节严重;教学方式仍以理论讲授为主,与复杂工程实际结合不够紧密,学生工程实践与创新能力的培养不足;考核方式偏重单一期末理论考试,难以全面、动态地评价学生的知识应用、工程设计与创新潜质^[10]。此外,课程思政内容未能与专业知识形成有机整体。上述问题制约了专业硕士培养质量的提升,难以满足国家战略和产业升级对高素质工程人才的需求^[11]。

针对上述困境,科教融汇与产教融合已成为新时代工程教育改革的关键路径。科教融汇旨在将科学研究的前沿思想、创新成果与方法范式转化为优质教学

资源,培养学生的科学素养与探索精神;产教融合则强调将真实的产业技术需求、工程案例与实践环境引入教学过程,锤炼学生的工程思维与解决实际问题的能力^[12,13]。二者协同驱动,为破解理论教学与实践应用脱节、学校培养与企业需求错位等长期存在的难题提供了有效解决方案。

基于上述认识,本研究以我校面向材料与化工、化学工程、制药工程、环境工程、储能技术等多个工程类硕士专业开设的《化工分离技术》领域实践课为载体,深入开展以科教融汇与产教融合为双轮驱动的课程教学改革探索。课程设计与实践思路如图1所示,通过重构课程体系、创新教学模式、整合教学资源、重塑评价机制,系统构建符合新时代工程教育理念、契合专业学位研究生培养特点的高质量课程体系,旨在为实现产学研用深度融合的高层次工程人才培养提供可借鉴、可推广的实践范式。

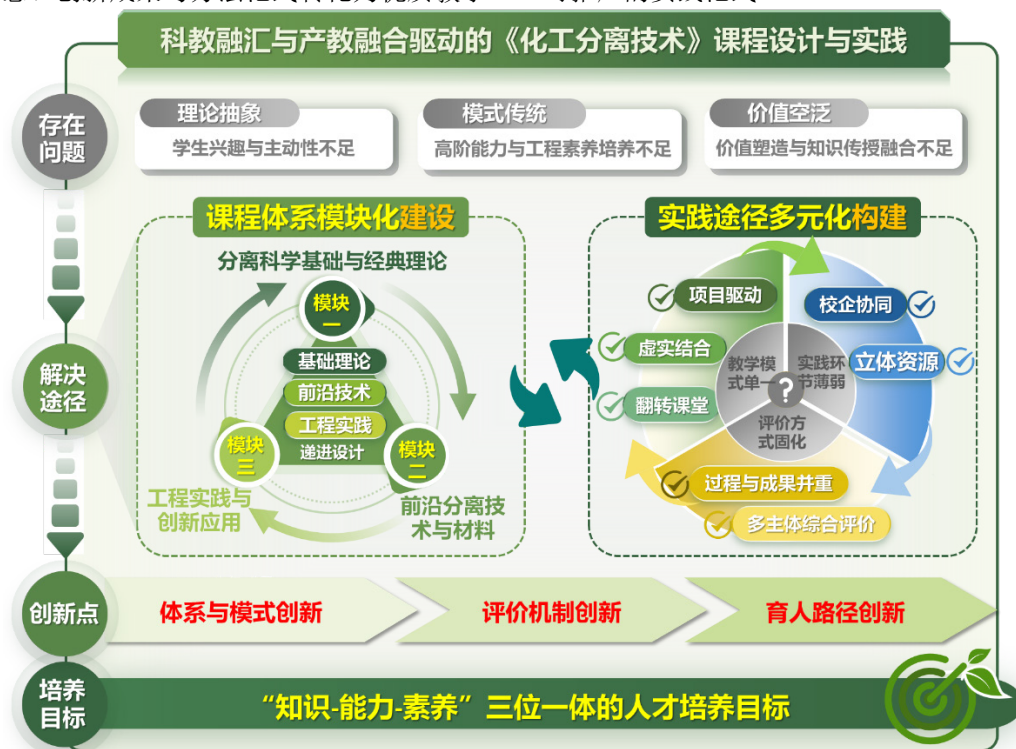


图1 课程设计与实践思路整体框架

1 解决的关键教学问题

首先《化工分离技术》课程内容理论性强、知识体系庞杂,依托传统课堂讲授方式开展知识传授,学生学习难度大、主动性不足。该课程教学内容涵盖相平衡、分离过程原理、热力学与动力学分析、传热传质等多重理论基础,并延伸至各类典型分离技术(如精馏、吸收、

萃取、膜分离)的基本理论、操作特性、计算方法以及过程优化等知识,涉及大量抽象概念、复杂物理量及繁复的数学公式与推导过程。若采用罗列式讲授方式,易使学生陷入具体细节而难以把握分离工程的科学本质与技术核心,导致学习负担沉重、重点模糊,严重削弱了学生的学习兴趣、深入探究的动力;其次,教学模式

传统、实践环节薄弱,学生高阶能力与工程素养培养不足。以课件和板书为主要手段的教学模式,学生参与度低,缺乏充分的互动、研讨与批判性思维训练,难以调动其学习主动性与创造性。更为关键的是,课程与实践结合不紧,缺乏与前沿科研项目、典型工程案例或复杂工程场景深度关联的实践训练环节。学生对知识的理解多停留在书本与理论层面,创新思维与实践能力培养不足,难以满足产业对研究生应具备的扎实工程实践能力与创新潜质的现实需求;此外,在授课过程中,专业知识的传授与价值塑造未能实现有机融合。课程蕴含的工程伦理、环保与安全意识、可持续发展理念、工匠精神、家国情怀等丰富的思政元素未能被系统性地挖掘与整合,导致“全员、全过程、全方位”育人格局难以在本课程中有效形成,不利于培养既掌握先进工程技术,又具备高度社会责任感、良好职业道德和追求卓越工匠精神的新时代卓越工程人才。

综上所述,为解决上述在教学内容、方法模式、实践训练等方面暴露出的关键问题,推动课程教学从知识灌输向能力与素养综合培育转型,亟需从课程体系系统性重构、教学模式创新设计、实践教学环节强化、价值引领等方面,对本课程进行全面的改革与实践探索。

2 课程的设计理念与培养目标

2.1 课程设计理念

本课程改革的关键设计理念在于“双融驱动,价值引领”。首先,以科教融汇为引擎,将授课教师及学科团队在精馏、吸附、膜分离等方向的前沿科研成果,系统地转化为教学案例、虚拟仿真实验项目或专题研讨内容,确保课程内容始终立于学科发展潮头;其次,以产教融合为基石,与化工领域重点化工、新能源、环保企业共建实践基地与教学案例库,聘请企业专家为导师,将“二氧化碳高效捕集”、“海水淡化”、“市政污水高品质回用”等真实工程问题作为课程项目来源,使学习情境高度实战化;最后,将课程思政有机贯穿于全程,通过挖掘分离技术发展史、国家重大战略需求(如“双碳”)、工程伦理、技术经济分析及国际竞争等蕴含的思政元素,自然融入知识传授与能力培养中,实现对学生科学精神、工匠精神、家国情怀与社会责任感的塑造。

课程设计的创新性主要体现在:

(1) 体系与模式创新:构建了“基础理论-前沿技术-工程实践”三层递进、科教与产教双融驱动的模式

课程体系,并创新采用“真实项目驱动、虚实结合实验、翻转课堂”三位一体的教学模式,实现了学习内容与产业前沿对接、学习过程与工程实践深度融合。

(2) 评价机制创新:建立了“过程与成果并重、教师-企业-学生多元主体参与”的综合评价体系,特别是引入企业导师共同评定项目成果,使考核标准与产业需求直接挂钩,破解了传统评价与应用能力脱节的难题。

(3) 育人路径创新:将价值塑造有机融入专业教学全过程,通过工程案例、国家战略等自然渗透思政元素,实现了知识传授、能力培养与科学精神、工匠精神、家国情怀培育的有机统一,达成润物无声的育人效果。

2.2 课程培养目标

基于对专业型硕士的培养定位,本课程确立了“知识-能力-素养”三位一体的培养目标体系,确保课程改革的目标导向。

首先,在知识维度方面,培养学生系统掌握化工分离技术的基本原理、数学模型与经典计算方法;深入了解膜分离、耦合/集成过程等新兴/强化分离技术的基本原理、特点与发展趋势;熟悉绿色化工分离、过程节能优化等前沿理念与技术。

其次,在能力维度方面,重点培养学生的工程设计与应用能力,能够针对具体分离任务进行初步的流程设计、设备选型与工艺计算;强化实践与创新潜能,通过虚实结合的实验与项目实践,提升动手操作、数据分析、方案优化及解决复杂工程问题的能力;锻炼团队协作与沟通表达能力,通过小组项目、课程设计汇报等方式,提升在跨学科团队中的协作素养。

再者,在素养维度方面,着力塑造学生的科学精神与创新意识,培养严谨求实、探索未知的科研态度;树立工匠精神与工程伦理观念,在方案设计中综合考虑技术可行性、经济性、安全性与环境友好性;强化家国情怀与社会使命感,引导学生认识到先进分离技术对国家能源安全、环境保护、产业升级的重要性,激发其科技报国的志向。

3 课程设计与实践途径

3.1 课程体系模块化建设

课程体系设计打破原有按章节平铺直叙的线性结构,采用“基础理论-前沿技术-工程实践”三层递进的模块化设计,使课程结构更清晰、内容更灵活、与实践结合更紧密。课程体系模块化建设框架与内容如图2所示。

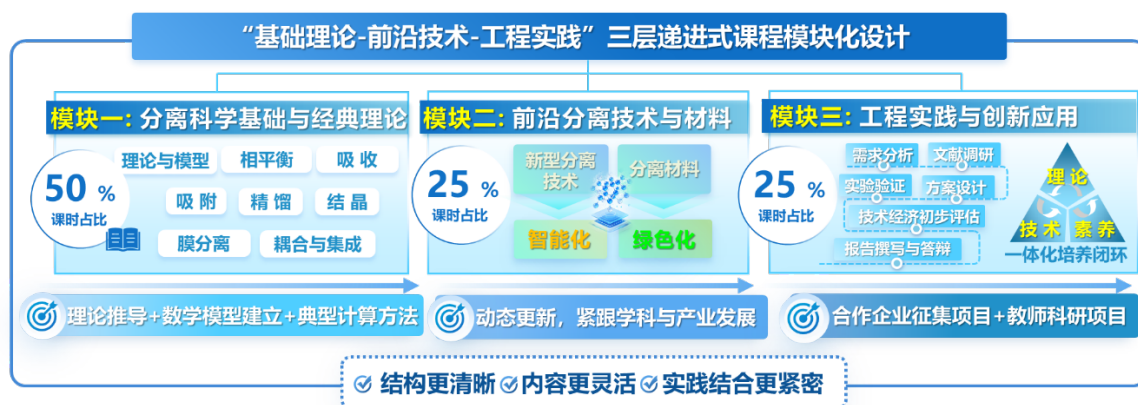


图2 课程体系模块化建设框架与内容

模块一：分离科学基础与经典理论（课时占比50%）。本模块旨在夯实专业基础，内容包括边界层理论与传质模型、多组分相平衡、多组分精馏与吸收过程的简捷计算与模型、吸附平衡理论、膜分离材料及其膜过程、结晶过程、耦合与集成技术等内容。教学侧重理论推导、数学模型建立与典型计算方法的掌握，为后续前沿技术与工程应用提供坚实的原理支撑。例如，在讲解多组分精馏时，不仅讲授 Fenske-Underwood-Gilliland 等简捷法，也引入过程模拟软件（如 Aspen Plus）进行对比演示，体现计算工具对工程设计的赋能。

模块二：前沿分离技术与材料（课时占比25%）。本模块动态更新，紧跟学科与产业发展前沿。例如，在新型分离技术方面，重点剖析膜分离（反渗透、纳滤、渗透汽化、膜蒸馏等）的工作原理、浓差极化现象及膜污染控制策略，结合 Science、Nature 等顶级期刊研究工作，系统阐述前沿材料进展；在分离材料方面，深入讲解吸附分离中 MOFs、分子筛等高性能吸附剂，以及高分子分离膜、无机分离膜、以及混合基质膜；在耦合/集成过程方面，探讨反应-精馏、吸附-精馏、膜-精馏等耦合工艺的协同强化机制与设计原则，以及基于“双碳”目标的分离过程节能优化技术；在智能化与绿色化方面，介绍人工智能、大数据手段在分离材料开发及其过程优化与控制中的应用，如 AI 赋能膜材料、吸附材料高效设计与开发，大数据提供膜生物反应器污水处理智能化膜污染管控。

模块三：工程实践与创新应用（课时占比25%）。采用合作企业征集项目或教师科研项目设定 4-6 个典型工程案例，覆盖化工、制药、环保、新能源等多个领域。学生组成 4-6 人项目小组，在校内导师与企业导师共同指导下，完成从“需求分析-文献调研-方案设计-实

验验证-技术经济初步评估-报告撰写与答辩的全流程训练。例如，针对“海水淡化”项目，学生需对当前海水淡化技术需求进行综合调研分析，聚焦渗透汽化脱盐膜技术开展膜材料设计、实验室小试与中试制备，并对生产成本、设备投资与运行能耗进行分析评估，撰写工艺方案说明书并进行小组答辩。同时，引入我国海水淡化技术的发展历程和科学家、工程师的奋斗故事，如反渗透膜等核心材料的国产化攻关，融入工匠精神（对工艺参数的极致优化）、攻坚克难精神（突破“卡脖子”技术）和为民情怀（保障民生与战略资源安全）。又如“二氧化碳高效捕集”实践项目，学生在对吸附法工艺进行工艺设计和经济性评估时，引导其深入思考该技术对于实现国家“碳中和、碳达峰”战略目标的重大意义，将技术问题与工程伦理（设计中权衡成本、效率与环境效益）、社会责任（化工行业绿色转型的担当）和家国情怀（技术创新服务国家重大战略需求）相融合。通过上述工程实践项目，学生对国家重大战略的理解从抽象概念转化为具体的技术责任和时代使命，强力打通了“理论-技术-应用-素养”的一体化培养闭环。

3.2 教学多元化实践途径的构建

为支撑上述模块化课程内容的有效实施，并着力解决教学模式单一、实践环节薄弱、评价方式固化等关键问题，课程构建的多元化教学实践途径如图3所示。

（1）构建“项目驱动-虚实结合-翻转课堂”三位一体教学模式

首先，以项目驱动贯穿始终，以模块三的工程实践项目为主线，将模块一、二的知识点有机串联，使理论学习具有明确的问题导向和应用场景，激发学生主动探究的内生动力。

其次，构建“虚拟仿真-实体实验”递进式实践链，

利用我校建设的校级虚拟仿真实验室,让学生在安全、低成本环境下进行复杂工艺模拟、参数优化与故障诊断;线下在实验室或实践基地开展“精馏塔操作优化”、“分离膜性能测试”等实体实验,强化动手能力与数据分析能力,实现虚实互补、以虚强实。

另外,推行“线上自学-线下高阶研讨”的翻转课堂,将基础理论与知识要点录制成微课视频、制作成学习资料包,要求学生课前线上自主学习。线下课堂时间则主要用于项目研讨、案例深度分析、方案辩论与教师针对性答疑,推动教学从知识传授向能力培养与思维训练转变。

(2) 建设“校企协同-立体资源”支撑平台

深化校企协同育人机制,与合作企业共建实践教学基地与联合实验室,聘请企业专家作为指导教师参与课程设计、案例教学、项目指导与成果评审,确保教

学内容与产业需求同频共振。同时,建设立体化教学资源库,开发模块化课程配套讲义、企业真实案例集、虚拟仿真实验库,构建线上线下融合的自主学习环境。

(3) 形成“过程性与成果性并重、多主体参与”的综合评价体系

变革一考定成绩的传统考核方式,建立覆盖全学习过程的综合性评价体系,总成绩由过程性评价(50%)和成果性评价(50%)构成。过程性评价关注课堂参与(20%)、线上学习(10%)、平时作业与实验报告(20%);成果性评价则以课程设计成果(由校企双导师从技术创新性、工程可行性、经济合理性、报告与答辩质量等维度共同评定)为核心(30%),辅以期末综合能力考核(20%)。同时,引入学生自评、小组互评,构建“教师-企业导师-同伴-自我”四元评价主体,实现评价的全面性、发展性与激励性。



图3 课程多元化实践途径

4 改革成效

经过三轮教学实践,本课程改革已取得显著成效,具体体现在学生学习成效、教学创新成果、育人效果等多个方面,形成了可观察、可评估的积极产出。

(1) 学生综合能力与高阶思维显著提升

项目驱动与翻转课堂教学模式有效激发了学生的内驱力与主动性,其综合能力在项目全流程中得到系统性锤炼与提升。其中“海水淡化”课程设计项目中,学生团队完成的“光热渗透汽化膜及其海水淡化应用”的设计方案因技术创新性与经济性评估详实,获得了中国国际大学生创新大赛三等奖。超过90%的学生在课程总结中反馈,在文献调研与综述、复杂流程模拟、技术经济分析、团队协作与公开答辩等方面的自信心与实操能力得到明显提升。

(2) 校企协同育人机制形成良性循环与实质成果

校企协同已超越单向的企业提供案例,发展为“共建、共教、共评”的深度合作。企业专家不仅参与项目选题与评审,更将学生优秀方案纳入其内部技术储备库。同时,学校教师通过承接合作企业的横向课题,将真实的产业技术难题反哺为新的教学案例,实现了教学与科研、产业的动态循环与相互促进。

(3) 课程思政实现“润物无声”的育人效果

通过将“双碳”目标、核心技术攻关(如膜材料国产化)、科学家事迹(如攻坚克难精神)与工程伦理案例有机嵌入具体项目,价值引领实现了从外在灌输到内生认同的转变,学生对化工从业者的价值认同度高达95%。

展望未来,课程改革仍将持续推进,重点包括进一步拓展与深化校企合作网络、加强基于实证数据的教学研究,以及探索人工智能支持下的个性化学习与评

价, 以不断优化育人成效。

5 结语

面向专业硕士人才培养的《化工分离技术》课程改革, 是一项以学生发展为中心、以产出为导向的系统工程。通过构建并实施科教融汇与产教融合“双轮驱动”的育人机制, 围绕课程目标、内容体系、教学方法与评价机制进行了系统化、深层次的重构与创新。实践证明, 该改革有效衔接了高校人才培养与产业发展需求, 显著增强了学生的工程实践能力、创新思维和综合职业素养。本课程的设计理念与实践路径, 不仅为化工分离技术课程建设提供了可行方案, 也为同类工程专业硕士课程的教学改革与质量提升, 提供了具有一定普适意义的参考范式。

参考文献

- [1] 李雪莲, 潘文群. 化工分离技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2024.
- [2] Ignacz G, Beke A K, Toth V, et al. A hybrid modelling approach to compare chemical separation technologies in terms of energy consumption and carbon dioxide emissions[J]. *Nature Energy*, 2025, 10(3): 308-317.
- [3] 王芳, 许晨, 李小松. 期待化学工程范式变革的中国答卷[N]. *中国石油报*, 2025-07-21(002).
- [4] 周君, 尚名. 化工行业“双碳”目标下的清洁生产路径探索[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2026, 46(02): 87-89.
- [5] Asghari M, Dashti A, Rezakazemi M, et al. Application of neural networks in membrane separation[J]. *Reviews in Chemical Engineering*, 2020, 36(2): 265-310.
- [6] 钱光付, 陈昌洲, 陆敏生, 等. “双碳”背景下应用型轻化工程人才培养模式探究[J]. *纸和造纸*, 2026, 45(01): 31-35.
- [7] 刘振, 宋亚坤, 勾明雷. “双碳”目标下“化工分离工程”教学改革探讨[J]. *化学工程与装备*, 2024, (01): 157-158.
- [8] 谭梦茜, 李亚馨, 何春雨, 等. 专业学位研究生培养模式改革研究与实践——以材料与化工专业硕士培养为例[J]. *大学化学*, 2025, 40(11): 11-17.
- [9] 张兵, 吴永红, 肖永厚, 等. 浅析化学工程领域专业学位硕士研究生实践创新能力的培养[J]. *化工高等教育*, 2024, 41(05): 83-87+150.
- [10] 王乃鑫, 李杰, 宋芄, 等. “双碳”背景下“化工分离技术”课程的教学探索[J]. *当代化工研究*, 2025, (16): 136-138.
- [11] 宋应华, 张杰, 谷德银, 等. “化工分离”课程思政教学探索与实践[J]. *化工时刊*, 2023, 37(06): 103-105.
- [12] 杨莲红, 杨明, 陈莉, 等. 项目引导式教学: 科教融汇与产教融合的创新路径研究[J]. *科技风*, 2026, (05): 130-132.
- [13] 陈先华, 陈泽军, 王敬丰, 等. “产教融合科教融汇”双擎驱动的材料类研究生培养模式与实践[J]. *中国冶金教育*, 2025, (05): 1-5.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS