

国家级一流课程膜分离基础的建设与改革探索^{*}

郑文姬¹, 李祥村², 吴雪梅^{1,2}, 焉晓明¹, 姜晓滨², 贺高红^{1,2}

(1. 大连理工大学 化工学院盘锦分院, 辽宁 盘锦 124221;

2. 大连理工大学 化工学院, 辽宁 大连 116024)

[摘要] 为培养知识、能力和素质全面发展的科技创新人才, 膜分离基础课程教学团队以科研成果和学科发展前沿为导向, 通过科教融合设计模块化课程内容, 增加课程的基础性、创新性和实效性; 建设工程化科研成果案例、先进性教材, 实现课程资源的开放共享; 建设国际化师资, 采用两层次、多维度的教学方法, 提高课堂教学效果和课程学习的挑战度; 实施多元化过程考核方式, 完善课程评价体系, 注重学习全过程监管。膜分离基础课程形成了“立德树人、科研引导、创新思维”的特色教学模式。

[关键词] 能源化工; 科教融合; 创新人才培养

Exploration of Construction and Reformation for the National First-class Course of Membrane Separation Basis

Zheng Wenji¹, Li Xiangcun², Wu Xuemei^{1,2}, Yan Xiaoming¹,
Jiang Xiaobin², He Gaohong^{1,2}

(1. School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Panjin 124221, Liaoning, China; 2. School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China)

Abstract: To cultivate scientific and technological innovation talents with comprehensive development of knowledge, abilities and qualities, guided by scientific research results and disciplinary development frontier, the modular course content of membrane separation basis has been designed by the integration of science and education, which increases the foundation, innovation and effectiveness of the course. The cases of engineering scientific research achievements and advanced teaching materials have been constructed to achieve the opening and sharing of curriculum resources. The international teachers, two-level and multi-dimensional teaching methods have been established to improve the effect of classroom

[作者简介] 郑文姬(1982-), 女, 副教授, 博士。

[通信作者] 贺高红, E-mail: hgao hong@dlut.edu.cn。

^{*} 基金项目: 辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目; 国家本科教学工程项目; 大连理工大学教育教学改革项目。

teaching and the challenges of course learning. Diversified process assessment has been established, which improves the evaluation system of this course, and monitors the entire learning process. As a result, the characteristic teaching model of "foster character and civic virtue, scientific guidance, and innovative thinking" has been formed.

Key words: Energy and chemical engineering; Integration of science and education; Innovative talent training

化学化工领域会产生较多的有害物质,这对生态环境危害较大。绿色化工技术是一种全面融合节能环保理念,能最大化降低化学化工行业对环境污染的现代化技术^[1]。其中,膜分离技术是一种新型的绿色化工分离单元操作,与传统化工分离技术相比,具有无相变、易耦合和环境友好等优势,是实现节能环保的一种重要绿色分离技术,广泛应用在化工、能源、资源、环境等国家重大需求领域^[2]。膜分离技术具有典型的多学科交叉特征,从膜材料、分离膜、膜分离器到膜分离过程,涉及的学科有高等数学、高分子化学、无机化学、物理化学、分离工程、化工设计等^[3]。

膜分离基础课程是面向化学工程与工艺、能源化工、应用化学、化学工程与工业生物工程、资源循环科学与工程等化工类专业开设的专业课程,主要讲授以膜为核心的新型化工单元操作。该课程的教学目标是使学生掌握膜材料、膜结构、膜制备及表征方法,掌握典型膜过程的基本原理及设备知识、典型工业化膜过程的基本计算和优化,了解膜分离技术在化工、能源、资源、环境等国家重大需求领域的广泛应用和国际前沿进展^[4],具备解决膜分离领域复杂工程问题的能力,进而成长为具有国际化视野、社会责任感、自主学习能力和工程创新能力且能适应现代化工发展的新工科人才。但是,当前的膜分离基础课程教学仍存在以下问题:1. 课程理论教学与研究前沿、工业需求脱节,不能适应现代化工发展的需求;2. 教学方式单一,注重知识传授而忽视能力培养;3. 优质科研资源的利用率低,没有将其充分转化为课程教学资源,因而不能充分激发学生的学习兴趣和创新意识。

大连理工大学着眼于膜分离技术发展前沿,

于1996年在国内率先开设本科生膜分离基础课程,并编写了国内第一本《膜分离基础》讲义。经过多年的建设,该课程获批国家级一流本科课程和辽宁省研究生精品课程。在达成基本教学目标的同时,课程教学团队通过“重视基础、注重前沿、应用工程案例、将科研成果融入教学、加强课程思政”五位一体的模块化课程内容设计,将知识、能力和素质培养相结合,保证课程教学的基础性、创新性和前沿性;同时,实施科研引导式教学模式,实现了课程教学的研究性。目前,该课程采用中文教学和双语教学两种授课模式,对学生进行个性化培养;建设了丰富的多媒体教学资源,增强课上和课下教学的联动性;开展综述论文撰写、课堂答辩、实验等教学活动,完善课程评价和人才培养体系;促进优质课程资源开放共享,提升课程的影响力。经过20余年的建设,该课程形成了国际化的教学团队、体现科教融合的教学内容、多元化的授课模式和多维度的教学方法,构建了“立德树人、科研引导、创新思维”的特色教学模式,注重学生工程创新能力、社会责任感和国际化视野的培养,着力造就适应现代化工发展的新工科人才。

一、以成果导向、科教协同为核心开展课程建设

根据国内各高校的办学定位和人才培养目标,不同学校的膜分离基础课程形成了不同的教学特色。南京工业大学的膜分离基础课程结合学校科研方向,着重讲授无机膜的专业知识以及包陶瓷膜、石膜等在水处理领域的应用。天津大学的膜分离基础课程注重讲授膜材料的工艺性、工程性和先进性。天津工业大学的膜分离基础课程注重使学生掌握中空纤维膜方面的基本思想和工程方法,同时加强学生工程观念的培养。我校的膜分离基础

课程以科研成果和学科发展前沿为导向,将科研融于教学,始终坚持以知识、能力和素质综合培养为目标,通过科教协同解决理论与前沿应用脱节、科教融合资源建设及教学需提质增效的问题,致力于

培养理论知识基础扎实、具有解决实际工程问题能力和创新思维的学生。教学团队从课程内容、课程资源、教学方法和考核方式四个方面对膜分离基础课程进行全方位的建设,如图 1 所示。

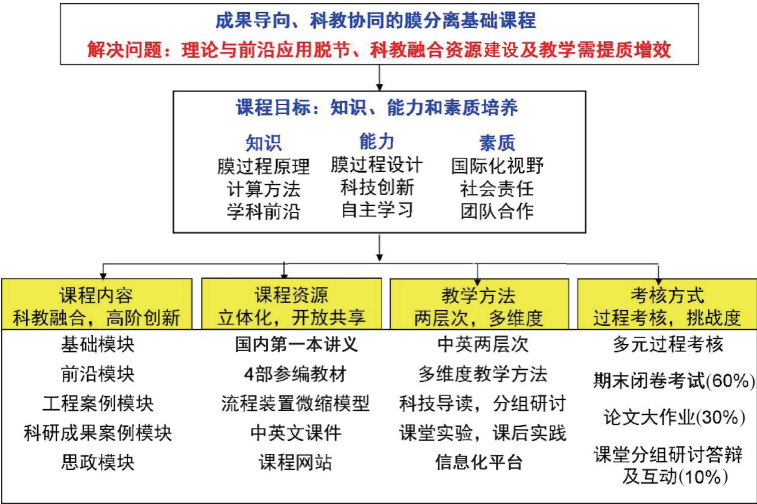


图 1 膜分离基础课程的建设思路

二、设置科教融合的多元化教学模块,实现课程的高阶创新

膜分离基础课程教学团队以知识、能力和素质培养为目标,依托学校膜科学与技术学科优势,突出膜分离技术在国家重大需求领域中的重要作用,围绕工程设计和前沿创新设置了多元化教学模块,将最新科研成果、工业化应用案例等引入教学中,保证课程的基础性,并在此基础上提高课程的创新性和实效性,实现课程的高阶创新。基础模块讲授核心理论,包括膜材料与制备、膜分离器、反渗透、纳滤、超滤、微滤、气体膜分离、渗透蒸发、透析、电渗析、膜结晶、膜蒸馏、膜吸收、膜反应器、膜在能源中的应用、膜在生物医药工程中的应用等 16 个典型膜过程的基本原理和过程设计优化方法。前沿模块介绍膜材料及膜过程的国内外发展现状,并结合国家实现“碳中和”目标的重大战略需求,增加有关电化学氢泵、液流电池、太阳能电池、锂电池等新能源膜材料及其发展过程的内容,注重膜分离技术与材料、能源、环境等学科知识的交叉融合。工程案例模块以 16 个典型膜过程的实际工业应用案例为主要内容,通过理论联系实际,培养学生的理论学习兴趣 and 工程设计

能力。科研成果案例模块针对 16 个膜过程,将膜材料与膜过程的国内外最新研究成果转化为教学案例,以此激发学生的创新思维,鼓励学生通过自主查阅文献来了解最新的研究进展。思政模块依据课程知识的特征,从政治认同、家国情怀、科学精神、工程伦理、法规制度、职业操守、文化自信和全球视野等 8 个维度渗透思政元素,在传授理论知识的同时塑造学生的价值观,培养学生科技报国的家国情怀和使命担当^[5],落实立德树人的根本任务。根据学生的兴趣,教学团队会适时调整不同模块的内容。

三、建设立体化、开放共享的优质课程资源

膜分离基础课程教学团队秉承科教融合的教学理念,推进科研成果进课堂,将高效膜分离科技部创新团队和国家创新群体获得两次国家奖的氢气和 VOCs 分离膜耦合流程转化项目作为工程案例引入教学,将设计投产的工业示范装置、锂电池驱动的 LED 校标和平板膜小试装置、中空纤维膜中试装置等制作成教学微缩模型(见图 2),并录制相关讲解视频,实现课程资源的立体化。通过开放共享的课程资源,学生能够了解各个装置的基本原理以及工业应用中存在的问题,进而对

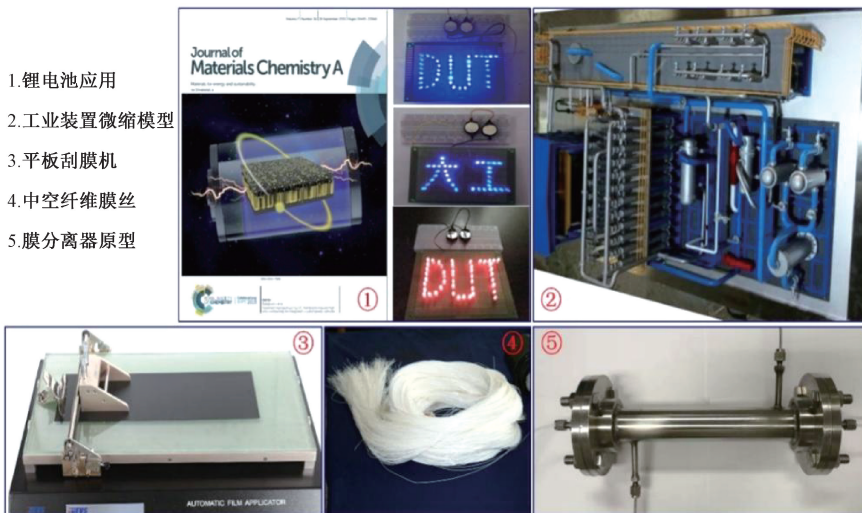


图2 教学微缩模型

科研产生兴趣。

燃料电池是一种清洁高效的发电装置,其核心部件是具有选择透过性的高分子膜。国内燃料电池的发展可以追溯到20世纪80年代,当时中国科学院化学研究所开始研究燃料电池技术。经过多年的努力,我国于2006年自主研制出第一台燃料电池汽车,这标志着中国燃料电池技术进入工业应用阶段。因此,教学团队在2006年的膜分离基础课程教学中,及时增加了燃料电池膜过程的相关内容,重点介绍燃料电池中膜的材料、结构、制备、性能表征以及实际应用,保证课程内容与时俱进。随着科技的发展,膜分离技术也飞速发展,并渗透到生活和生产的各个领域。一系列新的膜分离过程相继出现,如膜结晶、电化学氢泵、液流电池、太阳能电池、锂电池等。教学团队在2012年的膜分离基础课程教学中,又增加了前沿模块,介绍新的膜分离过程以及最新科研成果、工业化应用案例。

课程思政作为一种教育理念,是指将思想政治教育融入高校课程教学和改革的各个环节,不断提高学生的思想水平、政治觉悟、道德品质、文化素养,让学生成长为德才兼备、全面发展的人才。从2018年开始,各高校在习近平新时代中国特色社会主义思想的指导下,积极实施课程思政教育,落实立德树人根本任务,着力实现“三全育人”。教学团队也于2018年积极开设思政模块,

将思政元素融入教学,促进学生的全面发展。

四、建设国际化师资队伍

教师是科学文化知识的传播者,必须具有良好的文化素质、较强的教学能力、较高的职业道德以及敏锐的时代意识,这些都是教师的基本素养。在膜分离基础课程中,科教融合理念的融入和五位一体教学模块的实施对教师提出了新要求。膜分离基础课程教师不仅需要具有教学的基本素养,还需要具有国际化视野、工程背景和家国情怀。基础模块的教学要求教师具备扎实的理论基础;前沿模块和科研成果案例模块的教学要求教师具有科研经历和学科前瞻性,了解国际上最新的研究成果和研究动态;工程案例模块的教学要求教师具有丰富的工业化项目经验。膜分离基础课程的校内团队成员均具有海外留学经历,了解膜科学的国内外研究前沿。同时,我们还聘请膜领域国际知名学者介绍膜过程的研究前沿,或担任“海天学者”,每年承担2~4学时的课堂教学。膜分离基础课程教学团队中有省级教学名师1人、石油和化工教育教学名师1人、宝钢奖获得者1人、青年长江学者1人、校青年教师讲课竞赛获奖者1人。教学团队获批科技部重点领域创新团队和国家自然科学基金委创新群体。

五、编写精品教材,建设课程网站

1996年编写的国内第一本《膜分离基础》讲

义,一直作为学校膜分离基础课程教学用书,该书内容涵盖了膜材料与表征、膜制备、膜分离器以及16个膜分离过程。随着膜材料和膜过程的发展,教学团队基于《膜分离基础》,对各章内容进行补充和重构,主编了新工科系列教材《膜分离基础》(正在准备出版)。该教材中增加了自聚微孔聚合物、有机框架聚合物等新的膜材料,热重排、界面聚合等新的膜制备方法,正电子湮灭、XPS 等新的膜结构表征方法,液流电池、电化学氢泵、锂电池等新能源膜过程。同时,教学团队主编了“十三五”国家重点出版物《分离过程耦合强化》。该书从化工分离过程原理入手,对耦合强化理论与方法进行梳理,将膜分离过程与其他化工分离过程耦合来解决 VOCs、CO₂ 等气体的捕集与回收问题,通过典型化工过程耦合强化原理的阐述和应用案例分析,揭示化学工业中过程耦合强化的双重内涵(分离-分离过程耦合强化、分离-反应过程耦合强化)。此外,教学团队还参编了膜领域高水平专著《膜技术手册》中液膜和新能源膜章节,并将该书作为参考教材。

教学团队建立了课程网站,实现了优质课程资源开放共享,提升了我校膜分离基础课程的影响力。网站于2015年建成,提供中英文课件、教学视频、工程案例库、习题和试题等。

六、采用多层次、多维度教学方法,提高课程的挑战度

膜分离基础课程教学团队采用中文教学和双语教学两种模式,对学生进行个性化培养。双语教学班面向英语基础好的学生,要求学生阅读一定量的英文文献,围绕膜制备、设备和过程等方向撰写科研进展报告。教学团队还邀请国外膜领域

知名教授为双语教学班讲授部分章节,以开阔学生的国际化视野。中文教学班面向化工类各专业学生,以工程教育专业认证为标准,通过典型工程案例和最新科研成果的介绍,培养学生的科研兴趣,强化学生应用基础理论知识分析和解决复杂工程问题的能力,使课程教学能够支撑专业认证标准中的相关毕业要求。

膜分离基础课程教学团队以学生为中心进行课堂教学,通过加强师生互动,提高教学效果。教学团队积极尝试案例教学法^[6],通过剖析相关科研成果,衔接理论基础与工业应用,针对所讲授的内容,介绍最新科研进展或提出典型案例(如煤化工废水的膜法处理全过程、工业 VOCs 处理的全流程技术等),以调动学生的学习兴趣,引发学生的深度思考,提高学生的工程设计能力。2018年,在学校教学改革项目的支持下,教学团队实施了以科研为基础的教学模式,将教学与科研融合起来,开展科研案例导读教学(见图3)^[7]。主讲教师选取国内膜科学领域的最新研究成果作为导读案例^[8],引导学生通过阅读文献资料,了解膜科学的发展前沿,拓展国际视野和创新思维,进而保证课程的高阶性。同时,教师要求学生进行分组讨论,并完成综述小论文的撰写,以模拟科研创新过程。在课堂互动环节,教师在课堂上演示膜制备过程,结合学生关心的热点问题进行治疗,如带领学生分析微滤和超滤的分离机制,引导学生分析口罩的过滤原理等。课后,教师布置案例及文献分析、课上分组研讨、PPT 汇报、论文大作业等任务,以提高课程的挑战度。此外,教师还利用QQ群、微信群和腾讯课堂等多种信息化平台助力课堂教学。

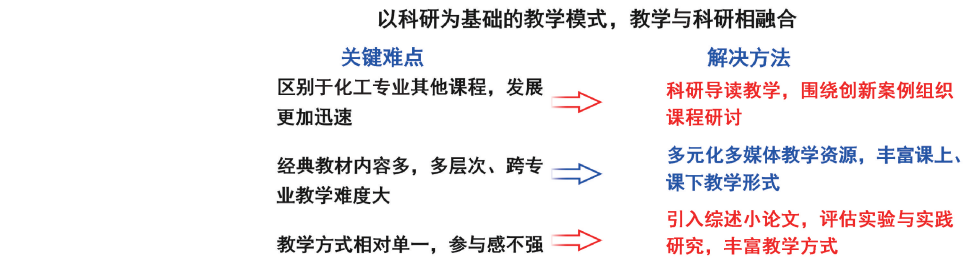


图3 膜分离基础课程的科研导读教学

- [8] 塔金星. 浅谈麦克斯韦热学关系式的记忆与应用[J]. 物理与工程, 2006, 16(6): 56-58.
- [9] 傅献彩, 沈文霞, 姚天扬, 等. 物理化学(上册)[M]. 5版. 北京: 高等教育出版社, 2005: 456-457.
- [10] 吴新明, 焦稚文. 物理化学中十九个基本热力学函数关系式的记忆方法[J]. 湖北教育学院学报, 2001, 18(5): 29-30.
- [11] 陈家玮, 杨忠芳, 张德会. 由“一句话”巧记热力学函数关系式[J]. 中国地质教育, 2005, 14(4): 110-112.
- [12] 陈世平, 朱必学. 《物理化学》教学研讨——热力学基本方程记忆法[J]. 遵义师范学院学报, 2010, 12(2): 89-91.
- [13] 宋刘斌, 彭三军. 关于物理化学教学中公式记忆法的探讨[J]. 科教文汇, 2007(8): 90.

(上接第 26 页)

七、实施多元化过程考核, 注重学习全过程监管

膜分离基础课程教学团队摒弃了传统的“期末考试+平时作业”的单一考核模式, 采用多元化过程考核方式, 细化平时成绩, 注重对学生学习全过程的监管和考核。课程成绩由期末考试成绩和平时成绩构成。其中, 期末考试成绩为闭卷考试成绩, 占 60%; 平时成绩占 40%, 包括论文大作业成绩(30%)和平时课堂分组研讨答辩及互动成绩(10%)。

八、结语

膜分离基础课程深受学生喜爱, 每年的选课人数超过 200 人, 学生每年的评教分数都接近满分。成果导向、科教融合的膜分离基础课程教学显著提高了学生的创新能力, 培养了知识、能力和素质全面发展的创新性人才。近 5 年, 选课学生在膜领域重要期刊发表 SCI 学术论文 13 篇, 申请专利 8 项(授权 1 项), 开展膜分离相关国家级大学生创新项目 7 项。许多修读本课程的学生将膜分离作为其进一步的研究方向或就业方向, 一些优秀毕业生已成长为优秀的企业职工或科研工作者, 为我国膜科学与技术事业的发展贡献力量。

(责任编辑: 李丽妍)

参考文献:

- [1] 李辉. 化学工程工艺中绿色化工技术的应用[J]. 化工管理, 2023(6): 151-154.
- [2] 刘江超, 王丹. 膜分离技术综述[J]. 当代化工研究, 2023(3): 16-18.
- [3] 葛倩倩, 苗继斌, 汪耀明, 等. 面向产业需求的《膜分离技术》课程的设置与实践[J]. 高分子通报, 2022(12): 203-207.
- [4] 刘通, 王瑶. 《膜分离技术及应用》课程的教学实践与教学体会[J]. 广东化工, 2017, 44(9): 267, 261.
- [5] 金天翔. “高分子分离膜材料”思政示范课教学案例设计[J]. 化学教育(中英文), 2020, 41(22): 21-24.
- [6] 闫鹏, 程易. 化学反应工程课程案例教学之膜反应器基本原理及应用[J]. 化工高等教育, 2022, 39(3): 151-156.
- [7] 成忠, 诸爱士, 刘宝鉴, 等. 面向新工科建设的化工原理课程教学改革与实践[J]. 化工高等教育, 2021, 38(2): 40-46.
- [8] 夏陆岳, 王海宁, 潘海天. 化工过程优化研究生课程教学改革的探索与实践[J]. 化工高等教育, 2017, 34(4): 68-71.