

专业学位研究生课程案例式教学探索与实践 ——以“绿色化学化工”课程为例

杨恒权, 王永钊, 张变香*

山西大学化学化工学院, 太原 030006

摘要: 随着专业学位研究生教育规模的扩大和社会对应用型人才需求的增大, 培养具有扎实理论基础且能适应实际工作需要的应用型人才是高等教育的一项重要任务。针对当前课程教学中存在的问题, 介绍了山西大学“绿色化学化工”课程教学中教学模式及教学方法的改革, 通过“案例式”的教学实践, 将绿色化学化工课程的理论与实践有机结合, 在实践能力和创新能力培养的方法和措施上进行探索和实践, 取得了一定的效果。

关键词: 绿色化学化工; 案例式; 教学模式; 二氧化碳

中图分类号: G64; O6

Exploration and Practice of Case-based Teaching in Professional Degree Postgraduate Courses: A Case Study of “Green Chemistry and Chemical Engineering”

Hengquan Yang, Yongzhao Wang, Bianxiang Zhang *

School of Chemistry and Chemical Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006, China.

Abstract: With the expansion of professional degree graduate education scale and the growing social demand for applied talents, training professionals with a solid theoretical foundation who can meet practical work requirements has become a critical task for higher. This paper addresses the challenges in current course teaching and introduces reforms in the teaching methods and approaches of the “Green Chemistry and Chemical Engineering” course at Shanxi University. By integrating theory and practice through case-based teaching, the course aims to enhance practical and innovation abilities in students. This exploration and practice have yielded positive results, offering valuable insights for talent cultivation in related fields and improving the quality of professional degree graduate education.

Key Words: Green chemistry and chemical engineering; Case type; Teaching mode; Carbon dioxide

国家在2035年远景目标中指出“展望2035年, 我国将基本实现社会主义现代化, 建成文化强国、教育强国、人才强国、健康中国, 广泛形成绿色生产、生活方式, 碳排放达峰后稳中有降, 生态环境根本好转”, “建立高水平现代教师教育体系, 提升教师教书育人能力素质, 注重学生爱国情怀、创新精神和健康人格培养”^[1,2]。因此, 随着专业学位研究生教育规模的扩大和社会对应用型人才需求的增大, 全国高校对硕士研究生的教育越来越重视, 明确强调要加强案例教学、改革教学方法, 培养具有扎实理论基础、适应行业或职业实际工作需要的应用型人才^[3-6]。“绿色化学化工”作为一门多学科交叉渗透的课程, 涉及知识面广, 在化学类等理工科研究生培养过程中起着至关重要的作

收稿: 2024-04-07; 录用: 2024-05-28; 网络发表: 2024-09-27

*通讯作者, Email: zbxthh@sxu.edu.cn

基金资助: 山西省研究生教育教学改革课题(2023JG024)

用,是化学、化工、医药类专门人才拓宽知识面的重要课程,在本校现为化学类研究生的专业选修课程。现阶段传统的授课方式无法满足当今应用型、创新性人才培养的要求,如何提高“绿色化学化工”课程的教育教学质量,我们在借鉴其他课程的基础上对该课程的教学做了探索和实践^[7-9]。

1 学情分析

虽然全日制专业学位研究生人数扩招缓解了本科生就业压力,能为社会提供更高层次的专业人才,但也发现在专业学位硕士教学过程中存在许多问题,特别是地方性高校的理工科专业尤为突出。

(1) 专业硕士培养模式单一,教学方式传统且封闭。

专业学位教育在我国的发展历史并不长,学校的培养模式大多照搬传统的学术型学位研究生的培养模式,课程设置上基本雷同,教学内容局限于书本知识,教学空间封闭于教室。特别是对于地方性院校来说,理工科专硕教育的生源相对短缺,学生有些是跨专业的,专业基础知识相对薄弱,在教学方法、培养方案、课程改革、论文写作等培养质量方面有待提高。

(2) 实践教学环节薄弱,落实不到位。

专业学位教育的核心是培养学生的实践能力,关键环节是实践教学。然而,在实际培养过程中实践教学并没有被重视,学生实践能力的培养常流于形式。特别是近三年来,受新冠疫情影响,专业学位研究生表现出缺乏工作经验、实践能力不强的现状。

针对上述全日制专业学位硕士培养中普遍存在的问题,拓展课堂空间、改进教学内容及方式、注重理论教学和实践教学的平衡尤为重要。“绿色化学化工”作为多学科交叉渗透的课程,与社会发展、行业生产、日常生活等联系密切,能够充分体现出理论教学和实践教学的桥梁作用。因此,本文对课程的教学方案、教学方法及课程改革等提出了新的挑战。

2 教学方式

近年来,绿色化学发展迅速,新的理论、方法、技术和工艺不断被开发和应用。本课程的目标是通过学习,使学生掌握绿色化学的基本概念、基本原理,明确原子经济性的重要性及绿色化学的十二条原则,了解化学、化工生产中资源和能源的合理利用及与生态环境可持续性发展之间的关系。“绿色化学化工”课程与经典的专业课程不同,适合“模块式”“案例式”“项目式”教学,教师的教授和学生的学习能够以相对独立的知识内容、相对完整的案例为单元进行。为此,我们尝试“案例式”和“现场情景式”的教学方式。首先,以“问题”为导向,通过观看化工生产的视频、参观本校省级重点实验室的绿色催化合成工艺、阅读相关文献以及分析具体案例,围绕“现场”会出现什么问题、问题会出现于什么“现场”两种模式,激发学生的积极参与,实现教师知识内容的传授迁移和学生知识及技能的掌握,达到课程的理论实践化与实践理论化的有机结合(图1),使教师获得育人成就感,使学生获得知识、能力及社会责任感。

3 具体实施案例

案例教学法首创于20世纪初美国哈佛大学,教师营造一个包含传授知识在内的具体案例情景,并对情景进行描述,然后与学生一起讨论,具有理论与实践紧密结合的特性。多学科交叉渗透的“绿色化学化工”课程主要以提出问题并解决问题为最终目标,其中包含多个学科的课程元素,在引导学生学习、掌握绿色化工理论知识和技术应用的基础上,能够实现学生多学科知识及综合能力的共同发展,其过程具有综合性和明确性。下面列举其中的五个案例。

3.1 以美国绿色化学挑战奖为例,捕捉其中的绿色信息

在学生了解掌握了绿色化学十二条原则后,将美国绿色化学挑战奖中的“绿色合成路径奖”以项目化的形式引入课堂。以1,3-丁二醇的合成为例:

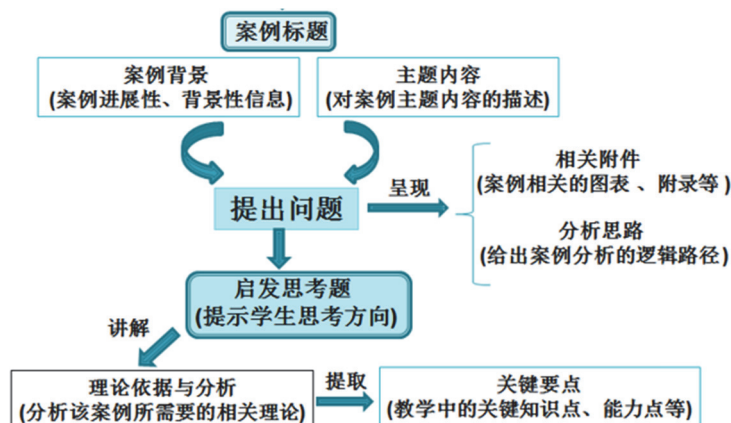


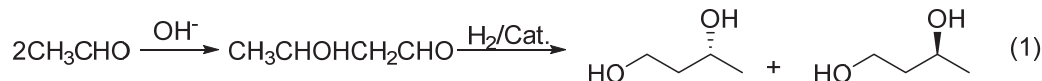
图1 案例式教学模式

项目名称：1,3-丁二醇的绿色合成

研究背景及意义：1,3-丁二醇是合成增塑剂、聚酯树脂等重要化工产品的原料，存在对映异构体。其中无色、无味、低毒的1,3-丁二醇(1,3-BG)，可作为保湿剂应用于乳液、牙膏等日化产品中。另一个具有臭味的对映异构体则是副产物。

研究现状：主要的生产合成方法有乙醛缩合加氢法、生物发酵法。

传统合成法：以乙醛为原料，在碱性条件下缩合生成3-羟基丁醛，然后加氢而制成^[10]。合成中使用了不可再生的原料及对环境有害且容易中毒重金属的催化剂，后处理步骤多，产物是R, S构型的混合物(式(1))，存在对映异构体有效分离的问题。



获奖合成法：美国Genomatica公司利用大肠杆菌，将由淀粉水解产生的可再生糖生物发酵后，一步转化为1,3-丁二醇，而且产物为纯度较高的单一R构型。该工艺解决了传统化学合成中需要使用重金属和乙醛等化石原料的问题，获得2020年美国绿色化学挑战奖中的“绿色合成路径奖”及美国农业部100%生物质基产品认证^[11]。

通过不同合成法的对比，使学生接触到新颖、实用的绿色化学反应，了解“现有技术→逐步改进→技术创新”的研究进程，引导学生从中提取绿色化学信息，明确今后化学化工的持续发展方向。

3.2 以苯酚的合成法为例，剖析绿色化工的重要性

针对化工重要原料苯酚合成中的问题，将现有的五种合成法进行逐一对比讲解。在此基础上，引导学生从绿色化学的角度分析每种方法的利弊，进而推广绿色生产工艺(表1)。

目前，异丙苯法是世界上最主要的合成法，约占总生产能力的92%。存在的缺点是：原子利用率较低；生产过程中的副产物丙酮易挥发；中间产物过氧化异丙苯不稳定，遇热、酸、碱甚至铁锈均能使之分解，会放出大量热而引起爆炸；分离苯酚和未反应的苯、丙烯困难。面对这些化工生产中的实际问题，作为将来从事化学化工类工作的专业人才，必须考虑无废、少废、原子利用率高的苯酚合成工艺，例如将苯的C-H键直接催化活化生成羟基的合成工艺(如表1，方法6)。通过对比、总结、归纳，引导学生得出：当今在节能减排及“双碳”背景下，不能忽视在生产过程中产生的废物，如二氧化碳(表1，方法4)；同时，提升对一个化学反应的评价标准，精准分析有多少反应物的原子转变到目标物中，充分彰显绿色化学化工的重要性，培养学生分析、总结及解决问题的综合能力。

3.3 以CO₂的资源化利用为例，展示绿色化工的未来前景

反应惰性的二氧化碳(CO₂)是典型的温室气体，又是重要的可再生碳资源，实现CO₂的资源化利用是国际研究的前沿和热点。针对不同浓度、不同来源的CO₂，选择有代表性的案例进行解读分析，

使学生明确在全球“双碳”背景下，攻克CO₂转化利用的高效技术需要通过化学、化工等多学科、多领域的交叉和有机结合来实现，是一个包括CO₂的产生、排放、捕集、转化、再利用的整个生态产业链，不仅要考虑其活化断键的难题，还要考虑其经济性及规模性问题。因此，用绿色化学的理念开发源头性创新技术具有重大而深远的意义。

(1) CO₂的捕集。

大气中的CO₂主要来源于大型发电厂、钢铁厂、化工厂等排出的烟气中，低成本、可操作的捕获技术是关键瓶颈^[12]。通过列举当前不同的捕获技术，激励学生进一步了解新技术、新材料(表2)。

表1 苯酚合成法的对比及评价

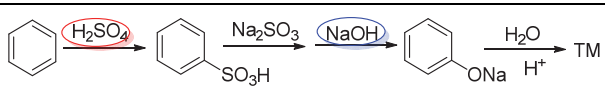
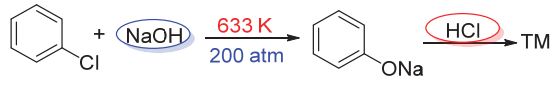
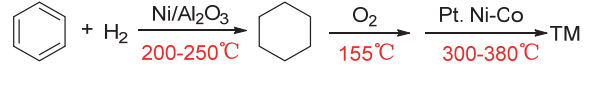
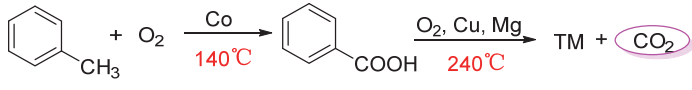
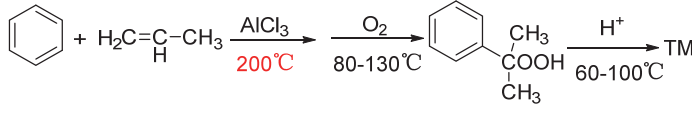
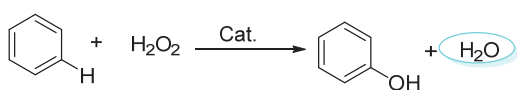
合成方法	化学反应方程式及工艺	评价(原子利用率%)
(1) 苯磺化法		反应复杂，需要大量的强酸和碱，设备腐蚀严重，维修费用大(36.7%)
(2) 氯苯水解法		反应在高温、高压下进行，消耗大量的强酸和碱，对设备腐蚀严重，苯酚收率不高(61.6%)
(3) 环己酮-环己醇法		环己烷转化率太低3%~5%，能耗高，三废问题严重(87.0%)
(4) 甲苯-苯甲酸法		甲苯的转化率低，苯甲酸氧化较为困难，且催化剂容易失活(60.2%)
(5) 异丙苯法		副产物多，分离难；中间产物过氧化异丙苯遇热、酸、碱甚至铁锈均能使之分解，放出大量热量易引起爆炸(61.8%)
(6) 苯直接氧化法		辅助物料少，反应条件温和，无污染，有望作为一种清洁生产方法取代当前的异丙苯法(83.9%)

表2 二氧化碳捕集技术及评价

方式	技术	原理	评价及应用
燃烧前捕集	煤气化循环发电	先将煤气化，煤气化后主要产生的是氢气、一氧化碳等，氢气燃烧就不会产生二氧化碳	新建火力发电厂可以采用该技术，广东东莞在建的一个火力发电厂整体采用了煤气化循环发电技术
富氧燃烧	将生物质与煤混合燃烧	煤炭跟生物质混合燃烧后，CO ₂ 的排放可以降低10%~20%	短期内最直接、最迅速的途径，最适合中国国情。美国很多新建的火力发电厂都采用
燃烧后捕集	有机氨技术	有机胺溶液与CO ₂ 反应生成氨基甲酸盐	该技术较成熟，捕捉效率有90%，但耗能较高。美国有1100多家火力发电厂采用燃后处理技术
	氨水吸收技术	二氧化碳被氨水吸收后变成小氮肥，可作为肥料用于农业生产	受到了数量的限制，否则会生产出大量小氮肥

(2) CO₂的转化。

现阶段CO₂的转化主要有热化学、电催化和生物催化等方法，可将CO₂羰基化制备成碳酸酯、电催化还原生成CO、生物转化合成甲醇等。三类转化中要想实现反应条件温和、能耗低且收率高的关键是高效的反应介质/催化剂。通过列举当前最新的研究成果，使学生明确哪类技术更持久、更绿色。比如华南理工大学团队联合多个高校、科研单位开发一种利用自然阳光驱动水蒸汽和CO₂转化的光热催化技术^[13]。在一种菲涅尔透镜辅助聚光太阳能装置利用系统作用下，使双单原子催化剂的表现温度高达323 °C，增强光热催化CO₂和H₂O还原为CO、CH₄和CH₃OH等产物，并保持很好的产物产率(图2)。

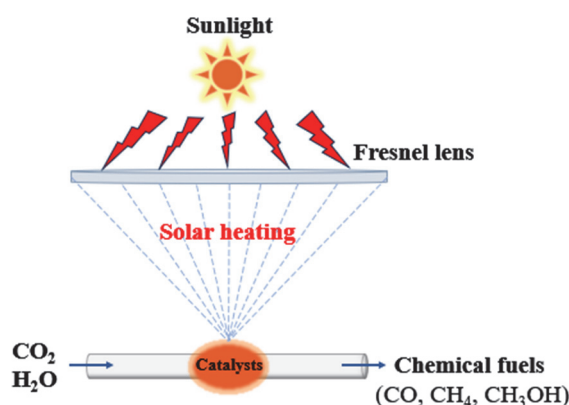


图2 利用自然阳光驱动水蒸汽和CO₂转化

(3) CO₂的应用。

超临界CO₂作为一种绿色、环保的溶剂体系，具有很高的传递速度及可压缩性，其溶解度、粘度和密度等性能均可由压力和温度的变化来调节，能够替代易挥发的有机溶剂，可应用于喷漆技术、聚苯乙烯泡沫塑料等绿色生产技术，以及医药、食品、香料工业中有效成分的提取、分离和精制中(图3)。例如郑州大学许群课题组利用超临界CO₂作为调控溶剂实现了对碳材料的修饰，将剥离层状材料转变为二维形貌。



图3 超临界CO₂的应用示意图

3.4 以对映异构体的分离为例，进行显性教育和隐性熏陶

许多药物存在对映异构体，其生理作用有所不同，化合物的分离、纯化成为医药、化工生产中的重要环节。随着科技的发展，绿色的吸附分离手段将会逐渐替代传统高耗能的热驱分离方式。因而，研发高效的多孔材料成为吸附分离的核心技术。例如北京理工大学王博团队利用调节超微孔 Metal-Organic Frameworks (MOF)材料高效分离了丁烯异构体(图4)^[14]。众所周知的“反应停事件”就是药物中的异构体没有充分拆分所致的，两个对映异构体中一个有镇静作用，而另一个有强烈的

致畸作用。课堂上告诫学生，作为将来化工、医药类的专业人员，实验室的一个小小错误、一个实验数据的四舍五入、一个实验现象的隐瞒，将会给人类和社会带来巨大的危害，以此培养学生良好的实验素养和职业道德。

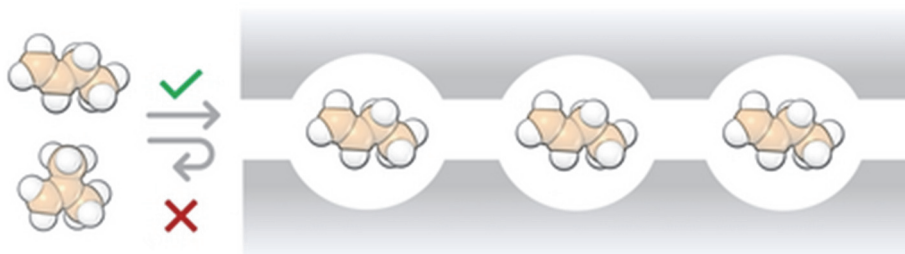


图4 超微孔MOF材料分离对映异构体示意图

3.5 以虚拟仿真实验为例，缩短理论与实践教学间的差距

课前教师收集大量国内外有关化学化工领域的虚拟仿真实验视频，经分析、归类及总结后编制成教学案例。例如盐城工学院的“水泥窑预分解工艺优化与节能虚拟仿真实验”，通过视频的观看及相关文献的阅读，使学生了解大数据虚拟及软件模拟材料的复杂制备过程及影响因素，可以直观形象地理解生产工艺流程以及系统工艺参数的调整可以改变系统的电耗和煤耗的技术，进一步提升节能环保的意识。同时，能够有效突破理论教学空间的局限性(图5)，提升学生的实践能力。



图5 虚拟仿真实验案例

4 教学实施效果

在课程教学中，我们精选具有绿色化学化工教学特质的案例，实现案例的正效应和高效作用，初步达到“绿色化学”知识的应用、迁移及碎片化知识的整合。案例式教学不再受到以往单一专业课程的限制，最大限度地接近真实现场情况。同时，帮助学生从大量的案例材料中选择有价值的论点进行分析、整理，促进了对学生自身斟酌与决策能力的培养。① 通过平时考查、师生座谈及问卷调查，结果表明本课程的教学效果明显提高，学生对课程的满意度和对任课教师的评价由86.5分提升到95.6分；② 从课堂上的活跃程度看，学生由“默默无闻”转变成“有声有色”，师生一问一答，相互讨论，课堂教学效果提升明显，学生深切关注案例中的亮点是否和自己的科研课题关联；③ 从学生科研能力来看，对研究课题的选择、实施方法和关键技术的斟酌思考能力有所提升，导师们普遍反映学生的科研报告质量提升，且研究的创新性符合当今科学前沿研究热点，同时能够较快地融入后期的论文写作工作中；④ 针对化工相关实践能力和创新能力的培养有所提升，不仅得到学生的认可，还得到校外实践基地及其相关用人单位的认可。随着专业硕士研究生人数的增加，该课程实施的影响范围及受益面将会逐渐增加。

5 结语

专业硕士研究生的培养任重道远，需要从具体的学科出发，从每一门课程出发，尽可能缩短理论知识与实践场景之间的距离，帮助学生将理论知识在有限的教学时间内转化成相应的实践能力。今后我们将积极进取，与时俱进，引导学生用“绿色化学”的思维方式认识问题、解决问题，继续推进教学改革，创建更有利于研究生素质教育和创新能力培养的教学模式。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要. [2024-02-08].
https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm
- [2] 洪大用. 学位与研究生教育, **2023**, No. 9, 1.
- [3] 王战军, 张微. 中国高等教育, **2023**, No. 1, 30.
- [4] 李锋亮, 周京博. 研究生教育研究, **2024**, 79 (2), 1.
- [5] 高培虎, 郭永春, 杨忠, 梁艳峰, 郭巧琴, 夏峰. 铸造技术, **2020**, 41 (1), 91.
- [6] 邵艳秋, 贾林艳, 付大同. **2023**, 17 (4), 77.
- [7] 姚忠平, 丛培琳, 郝素娥, 姜兆华, 黄玉东. 大学化学, **2020**, 35 (10), 146.
- [8] 胡晨光, 蔡艳青, 许莹. 高教学刊, **2022**, 8 (3), 90.
- [9] 别福升, 曹晗, 丛兴顺. 河南化工, **2023**, 40 (11), 58.
- [10] 崔宝玉, 陈建滨, 刘喆, 阚侃, 刘玉. 化学工程师, **2010**, 24 (5), 50.
- [11] Information about the Green Chemistry Challenge. [2024-02-06].
<https://www.epa.gov/greenchemistry/information-about-green-chemistry-challenge>
- [12] Datta, S.; Khumnoon, C.; Lee, Z.; Yoon, K. *Science* **2015**, 350 (6258), 302.
- [13] Mo, S.; Zhao, X.; Li, S.; Huang, L.; Zhao, X.; Ren, Q.; Zhang, M.; Peng, R.; Zhang, Y.; Zhou, X. *et al. Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, 62, e202313868.
- [14] Huang, X.; Jiang, S.; Ma, D.; Xie, J.; Feng, X.; Wang, B. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, 62, e202302036.