

“学 - 用 - 思 - 创”进阶式案例教学的探索与实践

——以《化学反应工程分析》为例

曲虹霞^{*#}, 谢慧芳, 丁杰, 张舒乐, 钟秦

南京理工大学化学与化工学院, 江苏南京

收稿日期: 2025年3月18日; 录用日期: 2025年4月18日; 发布日期: 2025年4月28日

摘要

面对培养具有“强工程实践和创新能力”的专业学位研究生的新要求, 提出了“学 - 用 - 思 - 创”进阶案例教学模式, 以化学工程专业基础课《化学反应工程分析》为例, 通过知识点案例、思辨型案例和应用、创新型案例等不同案例模块架起理论和实践之桥, 结合多样化教学方式, 实现“学用相承、思创交融”, 为提升“厚基础、强实践、勇创新”的专业学位研究生培养提供了一种有效范式。

关键词

化学反应工程分析, 案例教学, 专业学位, 课程改革

Exploration and Practice of “Learning-Application-Thinking-Innovation” Progressive Case Teaching

—With the “Chemical Reaction Engineering Analysis” Course
as an Example

Hongxia Qu^{*#}, Huifang Xie, Jie Ding, Shule Zhang, Qin Zhong

School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology,
Nanjing Jiangsu

Received: Mar. 18th, 2025; accepted: Apr. 18th, 2025; published: Apr. 28th, 2025

^{*}第一作者。

[#]通讯作者。

Abstract

In the face of the requirement of professional degree postgraduate education with “strong engineering practice and innovation ability”, a progressive case-based teaching model consisting “learning - application - thinking - creation” is proposed. With the “Chemical Reaction Engineering Analysis” course as an example, different types of cases, such as knowledge point cases, speculative cases, applications and innovative cases, build a bridge between theory and practice to realize the interconnection of learning and application, and integration of thinking and innovation. This work provides an effective paradigm for cultivating innovative talents with “profound foundation, strong practice ability and brave innovation ability”.

Keywords

Chemical Reaction Engineering, Case-Based Teaching, Professional Degree Postgraduate Education, Curriculum Reform

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在新技术、新业态、新产业为特点的经济发展形势下，培养具备“强工程实践和创新能力”的高级工程技术人才，对高校专业学位研究生培养模式提出了新的要求[1]-[4]。研究生课程体系的建设是深化研究生教育改革的重要内容[5]，而构建优质课程、实施高效课堂教学无疑是课程改革成功的基石。

《化学反应工程分析》是化学工程专业学位研究生的必修基础课程，以反应过程中的工程原理为基础，从微观、介观、宏观、宇观[6]多个尺度研究现代化工过程，是本科生课程《反应工程》的进阶学习，侧重于实际操作下的流动、混合、以及反应器从稳态到非稳态、从等温到非等温以及环境、经济、安全视角下设备设计及工艺优化和开发，培养学生运用多学科知识解决复杂工程问题的高级思维和创新能力。建立与研究生课程教学目标相匹配的工程/科研案例和相应教学方式具有重要意义。

针对《化学反应工程分析》课程强的复杂性和交叉性特点，我们立足于课堂教学，构建了“学-用-思-创”进阶案例引领式教学方法，以实际案例为桥梁，理论教学和实践有机融合，精心设计每一堂课，以线上、线下、设计、研讨等多种教学方式，形成“厚学理论→应用实践→问题思辩→提出创新”进阶式教学进程，有效激发了学生学习主动性，使学生学透每个知识点，并在多交叉学科网络中，强化“从理论来到实践去，又在实践中发现问题、积极创新”的逻辑思维能力和思辨意识，达到“学-用相承、思-创交融”的课程目标。

2. 案例引领，构建学生为中心的“学-用-思-创”教学模式

将实际案例有效融入教学，促进理论和实践的结合，是增强学生工程实践和创新能力的有效方法[7]-[9]。国外针对工程硕士培养的教学案例库建设较早，很多知名大学都对工程、管理、法学等学科进行了相关资源库建设，我国在20世纪80年代初开始推行案例教学法，建立一种高效的案例引领式教学模式的架构方法具有重要意义[10] [11]。我们提出了基于知识点网络、通过不同类型的典型工程/科研案例架构理论和实际之桥，构建以学生为中心、学-用-思-创进阶教学模式。我们首先对知识点进行分类，

然后精心选择配套典型案例，将理论知识和工程应用、思辨和创新进行有机融合，构建了知识、能力、创新的多维度知识点网络；最后采用研讨、问题导向等多形式课堂教学模式，将不同模块有机联系起来，形成以学生为中心，“厚学理论→应用实践→问题思辨→提出创新”的进阶式教学模式。在案例引领下，通过“学-用-思-创”的多维度学习和训练，有效提升学生解决复杂工程问题的综合能力和创新思维能力。

在典型案例的构建和教学方法的使用上，特别注意教学案例选用应紧密联系学科前沿和实践，具有强典型性。以“非均相催化”为例，设计了如图1所示的案例引领的课堂教学过程。对于基础理论知识，如活性位、缺陷、扩散、反应器设计等，以学为主，采用“温故引新”式案例教学为主，引入典型的吸附案例，将新旧知识以及理论和实际联系起来，通过研讨式教学方法，达到温故引新并提高学生的主动性目的。在催化剂设计和宏观反应动力学的学习中，采用了具有多方案性的思辨型案例，通过讨论式教学方法翻转课堂，让学生经过讨论、分析和思考做出合理的选择，强化思辨意识和高级思维能力，学要深，思要远。最后通过一个反应器设计案例，将知识点有机融合，并且真正从工程的观点出发思考和解决问题。课后，结合后续学位论文学习的需要，有针对性地提出科学问题，如如何解决反应物氨气和烟气的混合、如何减少扩散影响、如何降低催化剂的失活，引导学生通过查阅文献等主动学习思考，提出解决问题的方法，了解相关技术发展前沿，进一步提高学生创新能力，并为后续研究工作奠定基础。

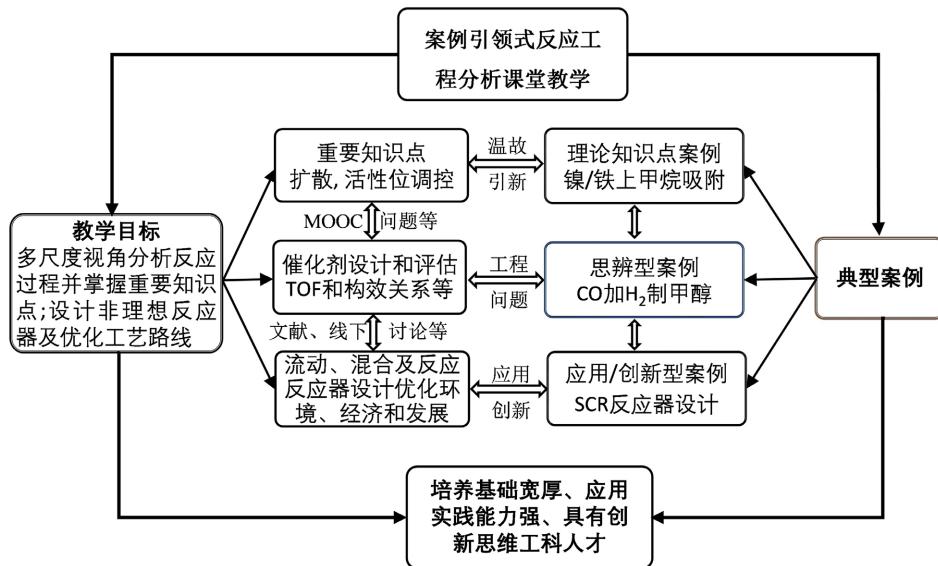


Figure 1. Teaching design for heterogeneous reaction kinetics in classroom instruction
图1. 非均相反应动力学课堂教学设计

3. 构建多类型案例，助力理论结合实践，提高工程及创新能力

案例教学强调互动性和应用性，能够有效调动学生主动性，理论联系实际，特别是从案例中提出问题、深入思考、到实际问题的解决，学生在从学到用、从思辨到创新的递进学习过程中，能够快速有效地将理论用于实践，并在实践中提出新见解、新方法。显然，案例的选用和组织发挥着至关重要的作用。

典型课堂教学案例能够启发学生从多种维度思考和分析理论或者实际工程问题，培养创新性思维和思辨能力[12]。我们根据化学反应工程分析课程内容特点，将案例分为理论知识点、思辨型案例、应用/创新型案例三种类型。基础理论案例主旨是深入理解和掌握相关知识点，案例内容以简精为主，知识点不宜交叉过多。例如对于非均相反应过程的重要知识点——吸附，选用了科研案例——CO 在镍基和铁基

催化剂上吸附的研究[12][13]，镍基催化剂上 CO 以分子形式存在并占据一个活性位，而在铁基催化剂上 CO 则发生解离占据了两个活性位，C-O 键长和吸附能出现明显差异。通过该案例的分析学习，生动而深入地让学生理解并掌握两种类型吸附的本质、特点及其等温线方程等知识点。

思辨型案例主旨是提高学生的思辨能力，即“学习 - 质疑 - 创新”逻辑思维能力，达到“思要远，行出新”。以 CO 加氢制备甲醇案例[14][15]为例，在研究生教学中，从基本知识点回顾，问题引伸和总结创新三个层面设计了“CO 加氢反应”案例：基本知识点如吸附类型、等温线方程建立等主要采取预习和 MOOC 方式由学生自主学习，课堂教学重点从三个问题引导学生自主查阅文献、解决问题和培养深度思考思辨能力：1) 从 CO 在两种不同催化剂上的反应过程，你认为哪种更好？2) 活性位与选择性及转化率的构效关系？3) 如果你设计催化剂，有哪些策略可以提高反应速率？其基本原理？此外更进一步提出 TOF、反应速率和活性组分负载量关系、催化剂的环境风险和经济性等等问题。这样通过合理设计案例，将理论和实践有机联系，培养学生不仅具备扎实的理论基础，还能从实际出发思考、辨别和创新能力。

应用/创新型案例主旨是培养知识综合运用能力以及主动创新能力，案例内容以科研实际工程案例为主，如反应器设计、工艺优化等，由于涉及反应工程、传递工程、工艺学等多交叉学科知识点，因此对于该类型案例，需针对课堂教学目标精心选取，宜针对性强，小而精，此外可设计开放性问题引导学生提出自己观点和方法，提升创新能力。例如对于非均相反应器设计教学内容，选用科研工程案例——V₂O₅/TiO₂ 催化剂上选择性催化还原法高效脱除火电厂烟气中氮氧化物。该案例以固定床反应器设计为目标，首先引导学生建立包括 SCR 反应动力学、摩尔衡算、热量衡算和计量学等的知识图谱，得到相应算图进行计算，该过程是对已学知识点的进一步回顾、梳理和认识；此外提出三个工程性问题：一是解决氨气与烟气混合和反应器内分布问题，二是如何提高催化剂率及解决烟尘堵塞引起的催化剂失活，三是反应热量的回收和利用。此外，该案例所选催化剂从实验室纳米粉体到工业整体蜂窝式，研究尺度从纳米金属氧化物颗粒到团簇再到原子尺度的活性位如孤立铜离子，我们在课堂上对学生提出问题：随着研究尺度变化，系统的流动/扩散/混合有何变化？宏观反应器受传质传热影响，对于微纳反应空间内进行反应如多孔材料的超笼，此时反应动力学和传递过程与宏观的异同性？活性组分的尺度与结构特性如单原子/簇赋予高催化活性的本质？还可以引导学生深度思考目前非常活跃的单原子催化，是否对所有反应都是正向积极的？通过上述综合性案例，引导学生从不同视角思考化学过程及工程性问题，深入理解其本质和研究方法，而开放性问题的设立进一步促进了主动思考积极性和创新思维能力的培养。

4. 多样化的课堂教学，促进了“强工程实践和创新能力”人才的培养

课堂教学是课程实施的重要环节，设计好每一堂课、讲透每个知识点、映射好多交叉学科网络，对培养具有厚基础、强实践、勇创新的专业学位研究生具有重要意义。有效的教学方式方法是实现学生、教师和知识之间有机联系的纽带。

“以学生为中心”针对不同的模块，实施了多样化的课堂教学方式。对于基础性知识点，采用线上自学、翻转课堂教学方式[16]，温故而引新；对于实践性强的教学内容，如非稳态非等温反应器设计，则采用开篇综合应用案例法，提出需要解决的科学和工程问题，采用预习、课堂讨论和设计作业等教学方法，引导学生设计和解决工程问题；对于以多学科交叉理论知识点为特色教学内容，如催化反应和催化剂，则引入设计创新型案例，采用问题导向和翻转课堂等形式，让学生思考面对能源、环境等问题，如何进行反应工艺、催化剂结构等的优化和创新，提出新观点、新方法、新理论。通过对学生访谈、研究生导师反馈和问卷调查，普遍反映知识点映射下案例教学很好地将理论知识和工程应用、思辨和创新有机融合，学生在科研过程中能够从工程视角思考、设计实验方案和技术路线，并快速运用理论解决实际问题，思辨和综合案例对促进思辨和创新能力提高起到了积极作用。

5. 结语

为应对培养具备“强工程和创新能力”的专业学位研究生新要求，充分发挥案例式教学在架构理论联系实践之桥方面的优势，结合《化学反应工程分析》专业学位研究生课程的特点，构建了以学生为中心、“学-用-思-创”进阶式案例教学模式，创建了理论知识点型、思辨型、应用/创新型案例库，结合多样化的课堂教学形式，引领学生将理论和实践紧密联系，并在解决实际问题中思考和创新。课堂教学实践表明这种“学-用-思-创”进阶式案例教学模式，对提升研究生课程教学质量和人才培养质量起着积极作用。

基金项目

南京理工大学研究生教育教学改革项目(KT2023A002)；江苏高等教育质量保障与评价研究课题(2023-C33)。

参考文献

- [1] 马永红, 张飞龙. 专业学位研究生教育发展国际趋势及启示[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版), 2021, 34(3): 142-150.
- [2] 杨斌. 专业学位教育的再认识与再进军[J]. 中国高等教育, 2017(2): 25-28.
- [3] 易天立, 曾露, 黄元景, 等. 加强化学工程专业硕士培养的建议与对策[J]. 化工高等教育, 2023, 40(6): 78-82.
- [4] 胡茂从, 姚振华. 中美化工博士研究生培养的比较与启示[J]. 化工高等教育, 2023, 40(2): 9-14, 87.
- [5] 李锋亮, 孟雅琴. 建设高质量的专业学位研究生教育体系[J]. 研究生教育研究, 2003, 74(2): 2-6.
- [6] 金涌, 程易, 颜彬航. 化学反应工程的前世、今生与未来[J]. 化工学报, 2013, 34(1): 34-43.
- [7] 王义明, 李莉, 郭旭虹. 案例教学法在界面与胶体化学课程中的实践与探索[J]. 化工高等教育, 2023, 40(6): 144-150.
- [8] 李同杰, 宛传平, 李忠芳, 等. 工程案例式教学法在基础力学教学中的应用[J]. 教育进展, 2018, 8(5): 573-578.
- [9] 颜鲁婷, 韩永生, 戴春爱, 等. 引入科研创新案例促进无机化学混合式教学[J]. 化工高等教育, 2023, 40(2): 101-107.
- [10] 王少非. 案例法的历史及其对教学案例开发的启示[J]. 教育发展研究, 2000, 20(10): 42-45.
- [11] Igou, A. and Coe, M. (2016) Vistabeans Coffee Shop Data Analytics Teaching Case. *Journal of Accounting Education*, **36**, 75-86. <https://doi.org/10.1016/j.jacedu.2016.05.004>
- [12] Wang, K., Li, K. and Wang, F. (2023) Study on the Adsorption Properties and Mechanisms of CO on Nickel Surfaces Based on Density Functional Theory. *Energies*, **16**, Article 525. <https://doi.org/10.3390/en16010525>
- [13] Wang, T., Tian, X., Li, Y., Wang, J., Beller, M. and Jiao, H. (2014) Coverage-Dependent CO Adsorption and Dissociation Mechanisms on Iron Surfaces from DFT Computations. *ACS Catalysis*, **4**, 1991-2005. <https://doi.org/10.1021/cs500287r>
- [14] Ponec, V. (1992) Active Centres for Synthesis Gas Reactions. *Catalysis Today*, **12**, 227-254. [https://doi.org/10.1016/0920-5861\(92\)85043-1](https://doi.org/10.1016/0920-5861(92)85043-1)
- [15] Yao, Y., Yu, F., Li, J., Li, J., Li, Y., Wang, Z., et al. (2019) Two-Dimensional Nial Layered Double Oxides as Non-Noble Metal Catalysts for Enhanced CO Methanation Performance at Low Temperature. *Fuel*, **255**, Article ID: 115770. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115770>
- [16] 梁天, 张露萍, 赵媛, 等. 新时代下翻转课堂教学模式的设计与实践[J]. 教育进展, 2025, 15(1): 1283-1289.