

“学生中心,双融双驱”教学模式提升研究生综合素质与创新能力 ——以“化学反应动力学”课程为例

王旭珍*, 王新葵, 田东旭, 刘炜
大连理工大学化学学院, 辽宁 大连 116024

摘要: 在研究生基础课“化学反应动力学”教学中,秉持“以学生的学习和发展为中心”的教育理念,将课程内容与课程思政和学科前沿紧密融合,并交替采用问题驱动学习(PBL)和基于研究学习(RBL)的教学模式,带动研究生发挥学习主体的能动性,促进夯实基础知识,形成科学的理性思维及创新能力,提升综合分析-解决问题能力,为研究生后续取得科研创新成果打下坚实基础。

关键词: 研究生基础课; 化学反应动力学; 教学模式; 创新能力; 高阶素质
中图分类号: G64; O6

Enhancing the Comprehensive Quality and Innovation Abilities of Graduate Students through a “Student-Centered, Dual Integration and Dual Drive” Teaching Model: A Case Study in the Course of Chemical Reaction Kinetics

Xuzhen Wang*, Xinkui Wang, Dongxu Tian, Wei Liu
School of Chemistry, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning Province, China.

Abstract: In the foundational graduate course “Chemical Reaction Kinetics”, we adhere to an educational philosophy centered on students’ learning and development. The curriculum is tightly integrated with both ideological and political education and cutting-edge disciplinary content. We employ alternating teaching models including problem-based learning (PBL) and research-based learning (RBL) to engage students actively as learners. This approach helps consolidate fundamental knowledge, develop scientific rational thinking, and enhance innovative capabilities. It also builds comprehensive analytical and problem-solving abilities, laying a solid foundation for students’ future achievements in scientific research.

Key Words: Foundational graduate course; Chemical reaction kinetics; Teaching model; Innovation ability; Advanced quality

加强研究生创新能力培养,提高研究生培养质量,是我国研究生教育战线共同的重要任务。在研究生培养过程中,夯实学生基础理论的课程教学是保障培养质量的重要环节。教育部在《关于改进和加强研究生课程建设的意见》中明确指出:“重视课程学习,加强课程建设,提高课程质量。”“以研究生成长成才为中心,注重培养独立思考能力和批判性思维,全面提升创新能力和发展能力。”“促进学生、教师之间的良性互动,促进课程学习中的教学互动;及时调整和凝练课程内容,注重

收稿: 2024-01-26; 录用: 2024-03-11; 网络发表: 2024-04-18

*通讯作者, Email: xzwang@dlut.edu.cn

基金资助: 大连理工大学研究生教改基金资助(JG-2021013)

前沿引领和方法传授”^[1]。因此，研究生基础理论课程必须围绕为我国现代化建设培养高素质、高层次创新型人才的重要目标，积极开展教育研究、深化教学改革，把培养研究生的坚实基础理论、系统专门知识、创新精神和创新能力作为重点^[2]，与时俱进，转变教育理念、更新教学内容、重构教学生态，不断提升研究生课程建设水平，从而提高研究生培养质量。

化学反应动力学是物理化学重要的分支学科，在化学/化工及相关领域人才培养体系中起着重要作用。它系统研究化学变化过程进行的速率规律和反应机理，指导人们深入了解并最终控制化学反应，为科学研究和国民生产服务。该课程理论性强，内容丰富，涵盖面广，与现实应用联系紧密，发展更新快。因此，我校为化学一级学科硕士/博士研究生设置“化学反应动力学”专业选修课，授课32学时(2学分)。近年来，拔尖创新人才和交叉复合型人才的培养需求，又使本课程吸引了跨院系研究生选课，涉及专业不仅有四大化学二级学科，而且有化学工程与工艺、能源动力与环境类等，学生的知识背景差异较大。如何使不同专业的每一位研究生都能学有所获，是本课程教学团队首要思考解决的核心问题。多年来，教学团队密切关注国家和教育部对研究生人才培养质量的要求，积极进取，加强教育教学理念转变、课程教学内容更新、教学方法模式改革等，并历经五轮教学实践不断完善，形成了“学生中心，双融双驱”教学范式，对新时代研究生综合素质培养与创新能力提升体现出一定成效。

1 “学生中心”理念引领课程教学改革

“以学生为中心”的教育理念起源于建构主义理论，强调以学生的“学习”和“发展”为中心，实现从“以教为中心”向“以学为中心”的转变、从“教师主导传授”向“学生主导学习”模式的转变^[3]，化学生被动接受知识为主动探究，注重学生的收获与体验，从而有利于提高学生的学习质量，并全面提升学生的知识、能力和综合素质。研究生教育肩负着高层次人才培养和创新创造的重要使命，是国家发展、社会进步的重要基石^[4]。学术型研究生培养应突出教育教学的理论前沿性，厚植理论基础，拓宽学术视野，强化科学方法训练以及学术素养提升，鼓励学科交叉、学术研讨交流，提升科学求真的原始创新能力^[2]。显然，这些培养目标的达成，需要研究生基础课教学与科研工作各阶段联合发力，重视“以学生为中心”理念指引，扎实推进课程改革与人才培养模式建设。

化学反应动力学课程团队立足“以学生的学习和发展为中心”开展课程教学改革与实践。针对选课研究生专业多、学科跨度大的现状，从教学内容拓展更新与深化建设出发，采取灵活多样的教学手段和方法，构建师生、生生互动课堂，激发研究生学习的积极性和主动性。借助超星MOOC平台、“学习通”智慧教学软件、QQ课程社群等现代信息技术手段，融合互动学习、探究学习模式，营造多元化学习生态圈，引导研究生自主学习、独立思考、合作讨论，获得学习经验、提升综合能力。教学实践表明，教师通过精心设计、组织实施不同形式的“学为中心”教学活动，可为研究生创造更多参与教学过程、建构知识网络的机会，课堂氛围活泼、学习高效；同时也为研究生质疑、沟通、合作提供了交流平台，有利于促进高阶性思维和创新能力的培养，让课堂成为研究生自主学习、自我发展的重要阵地。

2 双融合教学内容促进学生创新能力

创新意识、创新思维和创新能力的培养是发展研究生教育的最重要目标^[1,2]，应贯通于研究生培养的各个过程。其中，研一年级的基础理论课程学习无疑是关键环节。常言道“师傅领进门，修行在个人”。如果各门专业课程都能为启迪学生创新思维和能力多贡献一点，那所有课程汇聚的力量将成为研究生成长成才的强大推动力。因此，化学反应动力学课程积极进行改革实践，以学校“双一流”高素质、创新型研究生人才培养目标为导向，通过“双融合”策略对教学内容进行持续更新，形成了内容前沿、内涵丰富的课程教学体系，以实现研究生“知识-能力-价值观”全方位培养。具体体现在：

一方面,注重课程内容与学科前沿新知相融合,保持教学内容的先进性,培养研究生的高阶思维与创新思维。化学反应动力学课程的主要内容可划分为五大模块,即化学动力学基础、气相反应动力学、液相反应动力学、复相反应动力学及催化反应动力学,涵盖从宏观、介观到微观三个层次的知识。课程内容理论性强,课程教学目标定位于“夯实基础,突出方法论,强化能力培养”。目前,有关反应动力学的研究涉猎面广、发展迅速,而相关教材内容却相对滞后^[5,6]。因此,必须在课堂教学中及时引进充分反映化学动力学学科领域的最新知识及科研进展,开阔研究生的知识视野、启发学术创新思维。例如,在气相反应动力学中引入我国科学家张东辉院士在多原子($n = 3-6$)反应动力学方面的创新性研究^[7],将传统的单分子反应、双分子反应机理研究予以扩展;在催化反应动力学中引进张涛院士等引领国际研究热潮的单原子催化^[8]及其在光、电催化领域的新发展等。教学中通过对新研究体系中关键问题的分析、突出基础理论对前沿研究的支撑作用,来夯实研究生的学科基础知识,提升思考问题的系统思维和科学思维能力,强化研究生对科研创新过程的认知和理解,提高分析解决问题能力和创新潜质。

另一方面,注重课程思政的有机融入,赋能课程育人^[9],培养研究生拥有正确的价值观和未来科学工作者的优秀品质。化学反应动力学是研究化学变化过程的速率和机理的科学,课程内容天然蕴含着辩证唯物主义世界观、系统的科学观和科学的方法论(实验方法、理论方法)等思政元素。因此我们深入挖掘知识脉络中蕴藏的科学发现过程、科学思维方法、科学发展历程及科学家贡献,与教学内容相匹配,融入我国近现代的重大科技进展及科学家学术贡献与情怀,编制课程思政案例12个。在教学过程中,结合学生的知识经验,根据思政案例的不同风格,采用不同的教学策略,构建师生学习共同体,给研究生创造感悟科学思想、领悟科学方法、陶冶家国情怀、激励社会责任感的时空环境。例如,在学习固体表面吸附动力学时,引进辛勤研究员开发原位红外光谱、原位紫外拉曼光谱等重大学术贡献;在多相催化动力学,重温我校张大煜教授开创工业催化的艰辛与孜孜以求“表面键”理论的执着,以及他急国家所需,先后在大连、兰州、太原创建研究所、培养无数科研人员的伟业^[10],均由学生分组调研、合作学习后、抽签课堂汇报,其他小组点评补充,教师总结升华,引导学生关注社会进步与科技创新,提升解决复杂问题的思路和能力,激发科学报国的使命担当。又如利用身边教师的杰出工作,如本学院石川教授团队在碳化钨催化剂领域^[11,12]取得的创新成果等,由学习小组进行解读、教师剖析,潜移默化地培养研究生探索未知、勇攀科学高峰的创新精神。

3 双驱动教学模式提升学生综合能力

与“学生中心”理念相呼应,课程教学团队以培养研究生“知识-能力-价值观”三位一体的学科素养为导向,开展了研究性教学,将问题驱动学习(Problem-based Learning, PBL)^[13]和基于研究学习(Research-based Learning, RBL)^[14]两种先进教学模式融入课堂教学实践中,注重教与学的相互促进,创设多种教学组织形式,调动研究生参与教学过程。如图1所示:课前——教师以教学目标牵引,学生有的放矢准备;课中——教师用问题驱动讨论,激发学生思考、建构新知;课后——高阶任务挑战,促使学生知识内化、能力提升,从而培养研究生自主学习、独立思考、文献调研、分析批判、成果表达、团结协作等能力,促进形成正确的科研思维、提高科研综合素质。

对化学反应动力学的基础理论内容,采用PBL教学模式。以复相反应动力学模块中“吸附过程动力学”和“表面反应动力学”为例,如图2所示,设计“知识线”和“能力线”双线推进,教师以引导问题和探究问题为主导,通过层层深入抛出问题(见图2),驱动学生思考、激活思维,研究生通过超星“学习通”互动问答(全员参与)或课堂回答(交流后推选代表),教师根据学生参与度、回答问题质量给分。研究生在思考和回答问题过程中,逐步理解问题、组织信息、构建个人知识脉络;再通过联系解决实际问题,强化从基础知识到综合应用的深度学习。同时,教师注重凝练基本理论中蕴含的科学思维(如归纳、演绎、理想化模型)和科学方法(如线性化表达、校正的思想等),给研究生点透,促进他们在学习过程中真正领悟、有意识地使思维方式向高阶转变。配合课后开放性作业“如

何确定固体催化剂表面的化学吸附物种？”“改进工业合成氨(或水煤气合成)生产效率的关键何在？”，促使研究生进一步应用新知、解决问题，以筑牢基础、推动“知识-能力-素质”由点到面提升。

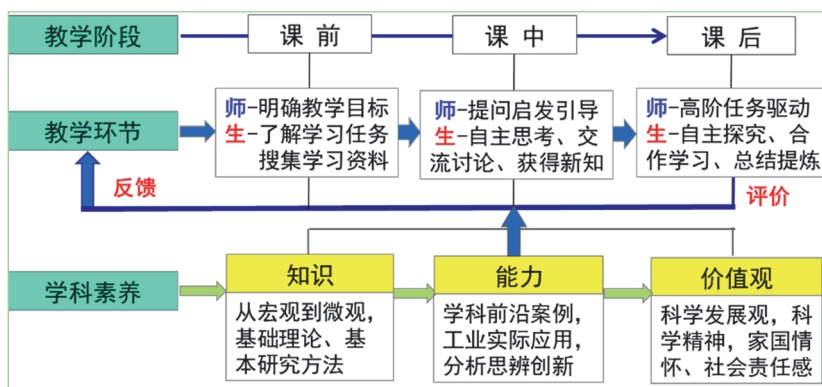


图1 化学反应动力学课程的研究性教学体系

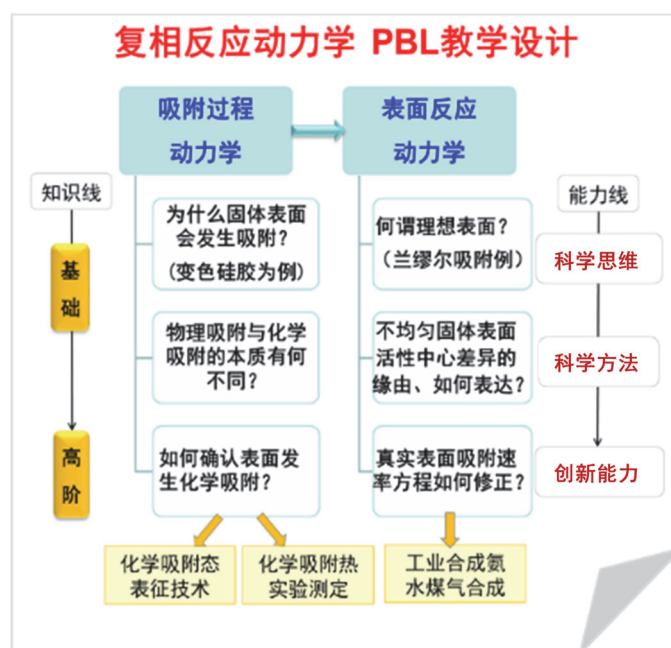


图2 复相反应动力学PBL教学设计

对本课程中引进的扩展性、与学科前沿交叉的教学内容，则采用RBL教学模式^[14]。以科研思维和能力提升为导向，本课程主要围绕研究与应用较广的两个知识单元模块设计有一定挑战度的课外专题任务，驱动研究生自由组合(2-3人/组)进行为期2-4周的探究式学习，探索在气相反应动力学和多相催化反应动力学领域，涉及大气环保、生产安全、碳减排等方面有哪些科学问题亟待解决，用什么研究思路和方法来解决，如何做出创新性的研究成果等。学习小组自主选题、自行挖掘文献资源，通过“组员独立自学-组内互动协作-共享成果汇总-小组专题汇报-他组自由质询-组内自评/组间互评”6个环节完成交流讨论；教师则在研究生准备过程中及时答疑、课堂汇报交流中分析点评并对重难点解析，确保学生的研究性学习质量，由此锻炼研究生查阅文献、思考总结、汇报交流、团队协作等科研必需能力。如物化专业谭同学组汇报了NH₃-SCR脱除NO_x化学反应动力学研究、王同

学组评述了二氧化碳加氢制甲醇催化剂, 有机化学专业邵同学组研究了CO/CH₄链式爆炸反应机理; 能动学院李同学组探讨了固体催化剂表面CH₄和CO₂吸附研究, 化工学院陈同学组介绍了碳纳米管/活性炭和沸石捕集CO₂的研究等, 各组汇报PPT制作精美、内容丰富、讲解深入, 反映出研究生们认真对待拓展任务, 愿意下功夫学习、提高自己各方面的能力。

4 课程考核评价与教学实践效果

与“双驱动”教学模式相适应, 化学反应动力学课程的考核形式也是立足“学生中心”、采用过程性评价方式, 全面考核研究生的学习与发展过程。依托超星平台建立了“课堂讨论-分组学习-课后作业-单元检测-期末测试”等多元教学环节, 对产出结果及时评价, 按照10:20:20:20:30构成总评成绩。具体包括利用超星学习通开展的平时课堂讨论、结合文献调研的分组学习报告、平时课后作业、单元模块测试、期末综合测试五部分。其中, PBL引导的课堂讨论和期末综合测试, 侧重于对基础理论知识和思维方法进行训练和考核; 课后作业、单元测试与RBL分组学习内容则开放性较强, 侧重引导研究生主动探索, 对解决复杂问题的综合能力、交流表达和创新能力进行考核。

教学团队历经五年的课程教学改革实践表明, 采用“学生中心、双融双驱”的教学模式, 整体思路完善, 能够达成课程教学目标: (1) 夯实化学反应动力学基础理论和基本方法; (2) 发展动力学观点的科学思维, 培养担当创新的科学精神; (3) 提升科学分析、解决动力学相关问题的综合能力。选课研究生对本课程评价满意度高, 历年平均90分, 达优秀水平。结课后进行调查反馈, 研究生们认为“课程内容丰富、学习过程有动力”“问题驱动+合作学习, 有收获; 理论方法+实例研究, 有指导”。研究生们纷纷表示“针对老师提出的问题, 组员通过查阅文献、独立思考以及相互讨论, 提高了我们对问题的思考和解决能力。”“PBL法提高了学习积极性, 能够活跃思维, 提高学习效率”“RBL模式对自主探索、系统归纳、合理利用文献资源等能力有促进”“…收获了合作的力量”“构建合理的动力学模型, 以及对已有的动力学模型通过经验进行修正得相应的经验模型, 这些知识对认识一个化学反应意义重大。…在我如今的科研学习中, 有很深的指导意义。”可见, 本教学模式强化了研究生自我发展和终身学习的观念与能力。

5 结语

总之, 从满足不同专业背景研究生学习化学反应动力学理论课的内在需要出发, 构建了“学生中心, 双融双驱”教学模式, 增强了教学内容的针对性, 提高了教与学的实效性。教学过程中注重提升研究生的参与度和学习主动性, 强化了研究生的基础理论素养、科研思维能力、主动创新意识和探究实践能力。本课程建设成果荣获校研究生类优秀教学成果二等奖, 课程改革实施五年来, 团队教师获校级及以上教学奖励6人次。特别令人欣喜的是, 据近三年科研实践反馈, 我院化学专业选修过本课程的高年级研究生更加勇于接受挑战, 将化学反应动力学知识和处理问题的方法应用到硕士/博士研究课题, 取得多项瞩目的学术成果, 在国际重要学术期刊发表十余篇创新研究成果, 实现了课堂教学获得的知识与能力向科研成果的有效转化。由此激励我们继续坚持可持续发展观, 立足学生中心, 保持课程建设活力, 培育更多优秀研究生人才。

致谢: 感谢历届选修“化学反应动力学”课程的研究生同学们对本课程教学改革的大力支持!

参 考 文 献

- [1] 教育部. 《关于改进和加强研究生课程建设的意见》(教研〔2014〕5号). [2023-12-05]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/s7065/201412/t20141205_182992.html
- [2] 教育部. 《关于深入推进学术学位与专业学位研究生教育分类发展的意见》(教研〔2023〕2号). [2023-12-30].

http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/moe_826/202312/t20231218_1095043.html

- [3] 李志义. 中国高等教育, **2014**, *21*, 19.
- [4] 教育部, 国家发展改革委, 财政部. 《关于加快新时代研究生教育改革发展的意见》(教研〔2020〕9号). [2023-11-21].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/s7065/202009/t20200921_489271.html
- [5] 许越. 化学反应动力学. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [6] 陈诵英, 陈平, 李永旺, 王建国. 催化反应动力学. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [7] Chen, Z.; Chen, J.; Chen, R.; Xie, T.; Wang, X.; Liu, S.; Wu, G.; Dai, D.; Yang, X.; Zhang, D. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* **2020**, *117*, 9202.
- [8] Qiao, B.; Wang, A.; Yang, X.; Allard, L. F.; Zheng, J.; Cui, Y.; Liu, J.; Li, J.; Zhang, T. *Nat. Chem.* **2011**, *3*, 634.
- [9] 教育部. 关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知(教高〔2020〕3号). [2023-12-10].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603_462437.html?eqid=a2f7c9f80002888f0000000364269908
- [10] 张大煜: 谋篇布局“化”神奇. [2024-04-16]. https://www.cas.cn/xzfc/201909/t20190925_4717602.shtml
- [11] Yao, S.; Zhang, X.; Zhou, W.; Gao, R.; Xu, W.; Ye, Y.; Lin, L.; Wen, X.; Liu, P.; Chen, B.; *et al. Science* **2017**, *357*, 389.
- [12] Lin, L.; Zhou, W.; Gao, R.; Yao, S.; Zhang, X.; Xu, W.; Zheng, S.; Jiang, Z.; Yu, Q.; Li, Y. W.; *et al. Nature* **2017**, *544*, 80.
- [13] 谭德新, 梁家仪, 宁明月, 王艳丽. 大学化学, **2021**, *36*, 2010026.
- [14] 陈博韬, 徐平平. 电气电子教学学报, **2018**, *40*, 54.