

Research on the Teaching of Organic Chemistry Theory Course Based on "Reverse Synthesis Mechanism Double Diagram" Training

Xin Fu

College of Chemistry and Chemical Engineering Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang, 830017, China

Abstract

This paper addresses the prevalent issue in organic chemistry theory courses, where the emphasis is often placed on knowledge transmission rather than cultivating students' thinking abilities. It has been observed that students often resort to "memorising mechanisms" and encounter difficulties with "mechanism generation". In order to address this issue, a pedagogical restructuring scheme centred on "Retrosynthesis-Mechanism Dual-Diagram" training is proposed. This approach is designed to guide students in the concurrent construction of retrosynthetic analysis diagrams and reaction mechanism derivation diagrams, thereby fostering an organic integration of synthesis design and mechanistic reasoning. The programme has been developed to systematically instruct students in the process of backward deduction from target molecules to the subsequent forward inference of reaction pathways. The teaching methodology incorporates a variety of strategies, including case-based guidance, collaborative learning, visualization tools, and tiered projects. Moreover, a multi-dimensional evaluation system has been instituted, with a focus on process-oriented diagrammatic assignments, synthesis design reports, and mechanism defence presentations. Empirical evidence has demonstrated the efficacy of this model in facilitating a transition among students from a passive approach to memorisation to an active process of knowledge construction. This approach has been shown to significantly enhance students' in-depth understanding of complex organic reactions, logical reasoning skills, and comprehensive design competence. This approach provides a viable path for curriculum reform aimed at achieving the integration of "learning with thinking" and the unity of "knowledge and practice."

Keywords

Retrosynthetic analysis; Reaction mechanism; Organic chemistry; Visualization of thinking

基于“逆合成-机理双图”训练的有机化学理论课教学研究

付鑫

新疆师范大学化学化工学院, 中国·新疆 乌鲁木齐 830017

摘要

本文针对有机化学理论课“重知识传授、轻思维培养”，学生惯于“机理背诵”而难以实现“机理生成”的问题，提出以“逆合成-机理双图”训练为核心的教学重构方案。该方案引导学生同步绘制逆合成分析图与反应机理推导图，促进合成设计与机理推演的有机融合，贯穿从目标分子逆向推导至反应过程正向推演的逻辑训练。教学中采用案例导引、协作学习、可视化工具与分阶项目等多种方式，并构建以过程性图谱作业、合成设计报告和机理答辩为核心的多元评价体系。实践表明，该模式有效推动了学生从被动记忆向主动构建的转变，增强了其对复杂有机反应的理解深度、逻辑推理能力与综合设计素养，为实现“学思结合、知行统一”的课程改革提供了可行路径。

关键词

逆合成分析；反应机理；有机化学；思维可视化

1 引言

有机化学是化学、药学、材料及生命科学相关专业的核心基础课，其理论教学不仅关乎知识积累，更承载着培养学生逻辑推理、空间想象与创新设计能力的重要使命。在有机化学的知识体系中，反应机理作为理解有机反应本质、预

测反应产物与设计合成路线的关键^[1]，历来是教学的重点与难点。然而，长期以来，在高校有机化学理论课的教学实践中，学生对机理的学习普遍陷入一种困境：面对教材中纷繁复杂的反应，往往采取“机械背诵”策略，记忆特定的“箭头画法”和“中间体结构”，以应付标准化考试。这种学习方式导致知识呈现碎片化状态，学生难以洞察不同机理之间的内在联系与共同原理，更无法在面临陌生反应或复杂合成任务时，灵活调用机理知识进行合理分析与推理，表现出明显的“知识迁移无力症”^[2]。

【作者简介】付鑫（1992-），男，中国安徽太和人，博士，讲师，从事有机合成研究。

这一困境源于多重因素：教学内容常按官能团或反应类型线性展开，缺乏跨章节整合，使学生难以把握活性中间体与物理有机原理的普遍规律^[3]；教学方法仍以教师讲授为主，学生被动接收，缺乏对机理生成与变式的深度思维训练；考核评价多侧重于复现经典机理，未能有效引导和评估学生的分析、设计与推理能力。

与此同时，有机合成的核心思维方法——逆合成分析，在教学中的潜能尚未被充分利用以促进机理理解^[4]。传统教学中“合成”与“机理”往往被割裂讲授，导致学生在学习合成时对机理依据模糊，在学习机理时又缺乏在复杂合成背景下的应用体验。

为突破上述局限，推动学生从“机理背诵”向“机理生成”跃迁，并贯通合成设计与机理认知，本研究提出“逆合成-机理双图”训练模式。该模式要求学生在面对目标分子时，同步绘制“逆合成分析图”与“反应机理推导图”，通过逆向规划合成路径、正向论证每一步反应的电子过程，实现合成逻辑与机理本质的深度融合。本文旨在系统阐述该模式的设计理念、实施路径、方法创新与评价体系重构，以期为有机化学理论课教学改革提供新范式。

2 有机化学理论课教学现状与问题剖析

要构建有效的改革方案，必须首先对传统教学模式下存在的深层问题进行系统梳理与诊断。当前有机化学理论课的机理教学，主要存在以下四个维度的突出问题，它们相互关联，共同阻碍了学生机理生成能力的培养。

2.1 教学内容碎片化与知识结构扁平化

目前教学体系多按官能团或反应类型组织内容，例如在“烯烃化学”中集中介绍亲电加成、自由基加成等反应，在“羰基化学”部分则聚焦亲核加成等。这种安排虽逻辑清晰、便于入门，却易使学生将不同章节知识视为孤立事件——他们可能熟记马氏与反马氏规则的机理区别，却难以理解其本质源于碳正离子与自由基的稳定性差异；可能分别记住醛酮与酯的活性高低，却未必能从电子云密度与空间位阻的角度统一解释^[5]。知识因此沦为散落的记忆点，而非有机联系的网络。这种碎片化结构，严重制约了学生对复杂反应的融会贯通与综合分析能力。

2.2 机理讲授抽象化，学生参与度浅

机理教学多依赖于教师板演静态电子转移箭头，学生被动观看与记忆。对于反应的选择性、区域化学、立体化学等关键问题的理解停留于结论性知识，对其背后的电子效应、空间效应等动态竞争过程缺乏深度探究与推演训练。这种抽象、单向的传授方式使得机理学习变得枯燥，学生难以内化为分析工具。

2.3 能力评价单一化，思维过程隐形化

考核长期侧重于对反应产物、反应条件及经典机理步骤的记忆性考查。即便有合成题，也常是围绕单一章节知识的直接应用。这种评价方式无法有效衡量学生的逆向分析能力、多步骤路线设计中的逻辑决策过程以及面对非常见反应

时的机理推演能力，学生的思维过程成为“黑箱”。

2.4 理论实践分离化，应用场景缺失

有机化学理论课通常与实验课分离。在理论课上，所有的反应和机理都停留在纸面、黑板或屏幕上。学生没有机会亲眼看到反应的发生、没有亲手处理过反应原料与产物、没有亲身感受过温度、溶剂、催化剂等条件对反应的巨大影响。这种与真实化学世界的隔离，使得机理学习变得抽象甚至虚幻。学生可能会在试卷上完美画出羰基亲核加成的机理，却对实际实验室中如何操作才能促进该反应一无所知。当面对一个真实的合成任务时，他们设计的路线可能在纸面上每一个箭头都正确，但一旦考虑实际可行性（如反应收率、后处理难度、副反应等），往往漏洞百出。理论知识的应用因缺乏与实践的桥梁而流于表面。

上述问题共同导致了学生“学不致用”的困境。因此，教学重构的核心在于打破章节壁垒、贯通知识与思维、使学习过程可视可评，从而引导学生在主动构建中掌握机理生成的真谛。

3 “逆合成-机理双图”训练模式的理论框架与核心设计

本方案以“学生为中心、产出为导向、思维为主线”，将“逆合成-机理双图”训练作为贯穿课程的核心教学活动，系统设计教学目标、内容、方法与评价。

3.1 明确核心教学目标（学习成果）

通过本课程学习，学生应能：

成果1（整合与辨析）：系统整合不同官能团的主要反应机理，辨析其共性（如碳正离子稳定性规律）与个性（如特定官能团的定位效应）。

成果2（逆向分析）：对给定中等复杂度的有机分子（含多官能团），能运用逆合成分析原理，提出至少两种不同的、合理的逆向切断策略，并绘制清晰的逆合成分析树状图。

成果3（机理生成）：能为逆合成分析中设定的任意一步关键转化，独立推导出完整、规范、合理的电子推动机理图，准确标出所有中间体、过渡态（若涉及）及电子流向。

成果4（条件关联）：深刻阐述所选反应条件（试剂、催化剂、溶剂、温度、pH等）对该步反应机理路径及最终产物选择性的决定性影响。

成果5（综合决策）：能比较针对同一目标分子的不同逆合成路线，从步骤经济性、原料可得性、反应选择性、机理可靠性及潜在副反应等多角度进行综合评价，并选择或优化出更优方案。

成果6（规范表达与协作）：使用规范的化学语言、符号和图表（如ChemDraw软件）清晰呈现“双图”及分析过程，并能在小组讨论中有效沟通、协作完成任务。

3.2 构建“双图”融合的教学内容主线

打破完全按官能团编排的线性顺序，在讲授每一类重要反应（如烯烃加成、羰基亲核加成、芳香亲电取代等）时，同步引入其在逆合成分析中的“合成子”角色。设计渐进式

的“双图”训练专题:

初级阶段:针对单一转换。给定一个简单目标分子和起始原料,绘制单步逆合成切断图,并绘制对应的详细反应机理图。

中级阶段:涉及官能团转化与保护。给定含多官能团的中等复杂度分子,设计3-4步合成路线,完成整体逆合成分析图,并为关键步骤绘制机理图。

高级阶段:综合设计与推演。给定一个天然产物或药物分子的简化结构,进行小组项目式研究,完成完整逆合成路线图,并对路线中每一步及可能涉及的区域/立体选择性进行机理层面的深入分析与图示论证。

3.3 创新教学方法与实施过程

案例引导与双图示范:每章以一个有意义的分子(如药物、香料)的合成作为引例,教师演示如何从该分子出发进行逆合成分析,并聚焦到本章核心反应,详解其机理,展示“双图”的绘制过程与关联逻辑。

课内即时训练与小组协作:在讲解新反应后,随即给出小练习,要求学生当堂或分组绘制简单“双图”。鼓励使用不同颜色、符号区分电子流向、合成子等价物等,促进思维可视化。

可视化工具辅助:鼓励学生使用化学绘图软件(如ChemDraw)或平板电脑进行双图绘制,使作品清晰、规范,便于分享与评议。

“翻转课堂”研讨:将部分经典反应机理的深度学习设置为课前视频学习任务,课堂时间用于围绕一个综合性的逆合成问题,进行小组讨论、双图绘制与汇报答辩,教师进行点评与提升。

项目式学习:在课程中后期,布置综合设计项目。学生小组需完成从文献调研、路线设计与评估、双图绘制到制作报告与口头答辩的全过程。

3.4 构建聚焦思维过程的多元化评价体系

评价贯穿教学过程,重点考查思维过程与能力生成。

3.4.1 形成性评价(60%):

日常双图作业(25%):定期布置分级的双图绘制作业,评价其逆合成切断的合理性、机理绘制的正确性与规范性、以及两者关联的逻辑性。

小组项目(25%):评价项目报告与答辩。报告侧重路线设计的创新性、可行性与双图论证的深度;答辩考查协作能力与逻辑表达能力。

课堂表现与研讨(10%):记录学生在案例讨论、小组活动中的参与度与思维贡献。

3.4.2 终结性评价(40%):

期末考试(40%):减少纯记忆性题目,大幅增加需要进行分析、设计与机理推演的综合性试题。例如,提供一个新反应现象或一个陌生结构片段,要求推测机理或设计合成路径并图示关键步骤。

4 教学实施的关键支撑与路径

4.1 教师角色转型与团队建设

教师需从“知识传授者”转变为“思维训练的设计者与引导者”。需加强自身对有机合成化学的深刻理解与前沿把握。通过集体备课,统一对“双图”训练标准与评价尺度的认识,共同开发典型案例库与项目库。

4.2 教学资源开发与平台建设

建设“双图”案例库:收集整理从基础到综合的各级“逆合成-机理双图”示范案例及学生优秀作品。

开发微课视频:针对重难点反应,制作短小精悍的机理动画与逆合成分析微视频。

利用在线平台:利用课程平台发布任务、收集作业、开展同伴互评、进行异步讨论,拓展教学空间。

4.3 与实验、科研环节联动

将理论课中的优秀合成设计项目,延伸至开放性实验或大学生创新实验中进行尝试与验证。邀请科研团队教师介绍其研究中的合成挑战与机理研究手段,让学生感受理论知识的实际应用场景。

5 结论与展望

5.1 结论

将“逆合成-机理双图”训练有机融入有机化学理论课教学,是对传统教学模式的一次深刻重构。本模式通过思维可视化与项目驱动的学习方式,有效连接了合成设计与反应机理,促使学生从被动接受走向主动构建,从记忆知识点走向生成解决方案。初步教学实践表明,该模式能显著提升学生的学习兴趣、逻辑严谨性和解决复杂化学问题的自信心。

5.2 展望

未来,该改革可在以下方面持续深化:一是开发智能辅助系统,对学生的“双图”作品进行初步分析与反馈;二是进一步拓展跨学科项目,如与药物化学、材料化学结合的设计课题;三是加强课程思政的隐性融入,通过讲述合成大师的故事、强调绿色合成理念,培养学生的科学精神与社会责任。总之,从“机理背诵”到“机理生成”的转变,不仅是教学方法的更新,更是教育理念的升华,对于培养适应未来科技产业发展的创新型化学人才具有重要意义。

参考文献

- [1] 王新新.有机化学反应机理的情境化与可视化教学研究[J].化学教与学,2025(15):16-21.
- [2] 樊彦青,曾竟,李李佳,等.“互联网+”时代地方高校一流“有机化学”课程建设[J].化学教育(中英文),2025,46(18):23-29.
- [3] 辛炳炜,张存兰.强化“官能团-取代基”模式引导学生主动学习[J].德州学院学报,2017,33(6):102-105.
- [4] 韩峰燕.逆向合成分析法在有机化学教学中的应用[J].广东化工,2013,40(13):250-251.
- [5] 苏瀛鹏,贾晓东,赵小龙.电荷、形式电荷及其相关的有机化学问题[J].化学教育(中英文),2025,46(6):102-110.