

·教育与教学·

## 基于知识图谱与 AI 赋能高分子化学的数智化教学思考

谢丹 陈凤青 姜柏羽 肖友华 刘丽娜 戴进峰\*

(浙江农林大学化学与材料工程学院, 杭州 311300)

**摘要:** 随着人工智能(AI)技术的发展和深入应用,探索人工智能支持教学和专业发展的需求日益迫切,深入实施AI赋能教育已成为教育数智化改革的一个重要方向。高分子化学课程作为高分子材料与工程专业的核心课程,利用知识图谱以智能化和数字化的方式展开教学,能够弥补传统授课模式中存在的因特教学缺失、理论和实践脱节、教学方式及评价体系单一等不足,对促进高分子化学课程的教学改革和进一步提升培养人才的质量具有积极的意义。

**关键词:** 人工智能(AI); 知识图谱; 智能化; 数字化; 高分子化学

### Reflections on the Teaching Reform of Polymer Chemistry: Towards Intelligent and Data-driven Approaches

XIE Dan, CHEN Feng-qing, JIANG Bai-yu, XIAO You-hua, LIU Li-na, DAI Jin-feng\*

(School of Chemical and Materials Engineering, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

**Abstract:** With the development and deeper application of artificial intelligence (AI) technology, there is an increasing demand to explore AI-supported teaching and professional development. The in-depth implementation of AI-enabled education has become an important direction in the digital and intelligent transformation of education. As a core course in polymer materials and engineering, polymer chemistry can benefit from the use of knowledge graphs to teach intelligently and digitally. This approach addresses shortcomings of traditional teaching models, such as insufficient interactive teaching, a disconnect between theory and practice, and a limited variety of teaching methods and evaluation systems. This holds significant value for promoting the reform of polymer chemistry teaching and further enhancing the quality of talent cultivation.

**Keywords:** Artificial intelligence (AI); Knowledge graph; Intelligent; Digitization; Polymer chemistry

**引用:** 谢丹, 陈凤青, 姜柏羽, 肖友华, 刘丽娜, 戴进峰. 基于知识图谱与AI赋能高分子化学的数智化教学思考. 高分子通报, 2025, 38(5), 837-843.

**Citation:** Xie, D.; Chen, F. Q.; Jiang, B. Y.; Xiao, Y. H.; Liu, L. N.; Dai, J. F. Reflections on the teaching reform of polymer chemistry: towards intelligent and data-driven approaches. *Polym. Bull.* (in Chinese), 2025, 38(5), 837-843.

“高分子化学”是讲授高分子材料的合成原理、反应机理以及材料结构与性能之间关系的一门学科,作为高分子材料与工程专业的核心课程,提升该课程教学设计的质量,对帮助学生更好地理解课程内容并用于解决复杂工程问题至关重要。

要。高分子化学还具有很强的应用性,以其为基础制备的高分子材料应用领域广泛,涵盖塑料与橡胶工业、纺织工业、航空航天、电子电气工业、环保与能源领域等诸多方面。而本课程的目标则不仅要培养学生掌握高分子聚合物合成-结构-性

2024-10-17 收稿, 2025-02-08 录用, 2025-03-07 网络出版

基金项目: 浙江农林大学校级专项教学改革项目(项目号 JG2024119, JG2019021, JG2022021, JG2024014)

\* 通信联系人: 戴进峰, E-mail: jin Feng dai0601@zafu.edu.cn

doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2025.24.315

能的基本理论知识,而且还应具备设计高分子材料和应用的能力<sup>[1,2]</sup>。因此,在教学过程中加强课程的理论与实践相结合,有助于学生深入掌握知识点,激发学生对该课程的学习热情。然而,传统的授课模式存在着一些不足,例如:因特教学的缺失导致教学资源的利用不够充分;理论和实践脱节,学生难以将所学知识应用到实际中,缺乏应用能力;教学方式及评价体系单一,无法满足学生多样化的学习需求<sup>[3-7]</sup>。在信息技术高度发展的当今时代,如何将高分子化学课程的授课模式与大数据、人工智能相结合,以更生动、智能、便捷的方式传授知识,推动高分子化学教学的创新发展,是一个值得深入研究与思考的问题。

知识图谱是随着信息技术快速发展产生的一种大规模语义网络,可作为一种新兴的知识管理与教学辅助工具,通过将复杂的信息以图形化、结构化、关联化的方式体现出来,为因特教学、理论和实践紧密结合、教学方式及评价体系多样的教学改革和创新带来新的机遇<sup>[8-10]</sup>。

在教育知识图谱中,通过构建实体(学生、知识点、事件等)及其间的关系,可以形成一种类似于网络的结构(见图1),不仅能够帮助学生系统地掌握理论知识和实践技能,还能促进个性化学习、动态反馈和跨学科应用,全面提升教学评价的质量和效果。本文将重点探讨将知识图谱应用到高分子化学授课中的改革思路和显著优势<sup>[11-14]</sup>。

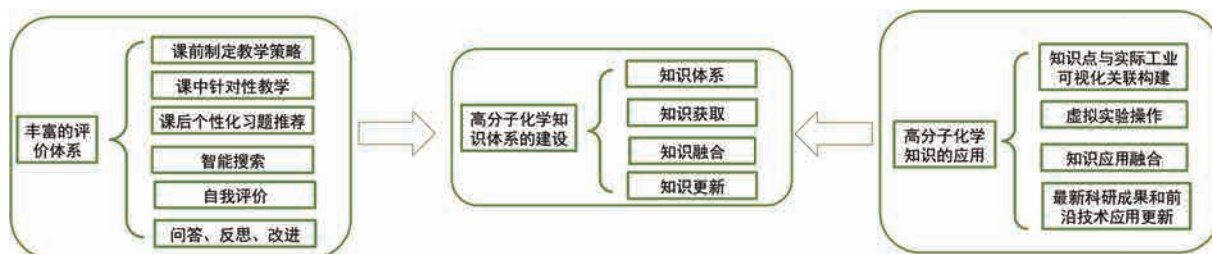


图1 构建知识图谱与AI赋能高分子化学的数智化教学

Figure 1 Constructing a knowledge graph and AI-empowered digital-intelligent teaching for polymer chemistry

## 1 展示结构化知识体系及分析个性化化学情

帮助学生建立个性化化学情,规划学习路径,是目前教学模式下的痛点,尤其是对于高分子化学教学中涉及的知识点平行且繁多,而学生来源于不同地区,学习能力及认知情况也参差不齐。知识图谱能高效且巧妙地整合网络教学资源,通过在知识图谱上创建节点覆盖全体学生,实现在课堂互动、课程作业及课业进展中精准生成学生画像,能够给老师备课和学生带来双重便利。首先,在构建课程体系时,知识图谱借助教师提供的课程知识点的重要性和难易程度,快速精准地帮助教师明确课程的知识点及其相互之间的逻辑关系,在备课时实现将抽象的知识点形成可视化的知识结构,辅助学生更深化地理解课程内容并掌握。构建的知识图谱将高分子化学课程知识点之间的关联及每个知识点的要点进行系统化处理,为教学提供了清晰的结构化框架,形成了全面的知识网络(如图2所示)。以自由基聚合反应这一章节为例,按照“实体映

射”-“关系建模”-“属性关联”三大模块进行构建知识图谱,具体以自由基聚合中的知识点(如单体、引发剂、聚合物)为实体,实体间的关系映射为边,通过多种因素和反应机理进行关系建模,详细理解对应其实体、性能、机理间的属性关系,从而实现属性关联,为后续的虚拟设计方案的实施进行数据库录入,通过进一步分析自由基聚合反应的属性关系能够支持聚合物设计,使得聚合反应机理和控制之间的内在联系一目了然(见图3)。

知识图谱除了使课程知识点间的关联一目了然之外,还可通过智能记录学生课堂互动、课程作业及课业进展的完成情况,建立知识点与学生之间的关联,让教师客观且直观地考察学生的学习过程并进行多维度分析,有利于全面了解每位学生的学习速度、学习偏好、认知水平等,从而获得个性化、客观化的分析结果。根据以上收集的客观个性化结果,教师可进一步针对性地为不同学生推荐相关学习内容以及学习策略,合理引导学生规划学习路径,稳步提升学生对课程知识的掌握程度。因此,知识图谱通过智能化构建知识

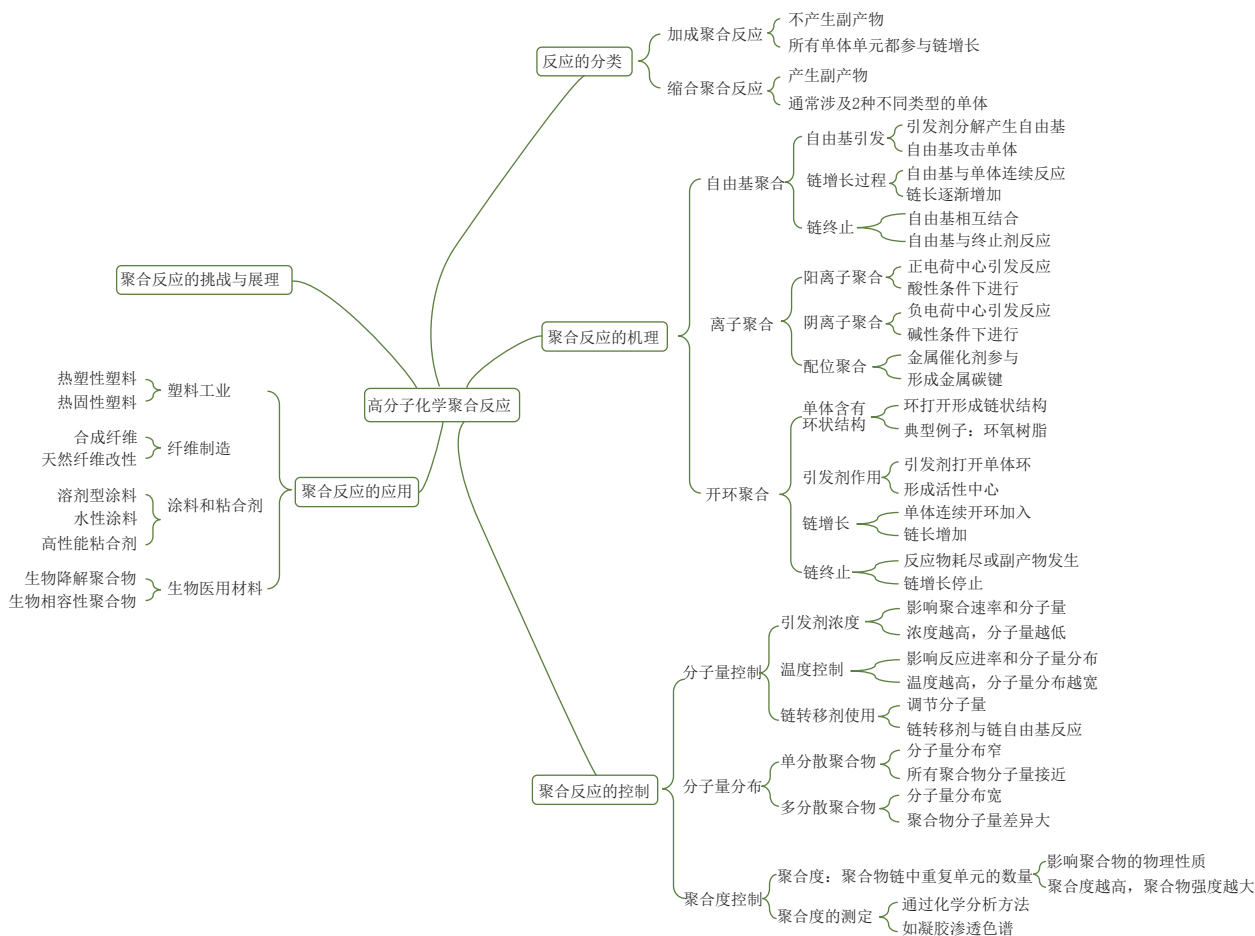


图 2 基于知识图谱智能化建立高分子化学知识体系

Figure 2 Intelligently establishing a polymer chemistry knowledge system based on a knowledge graph

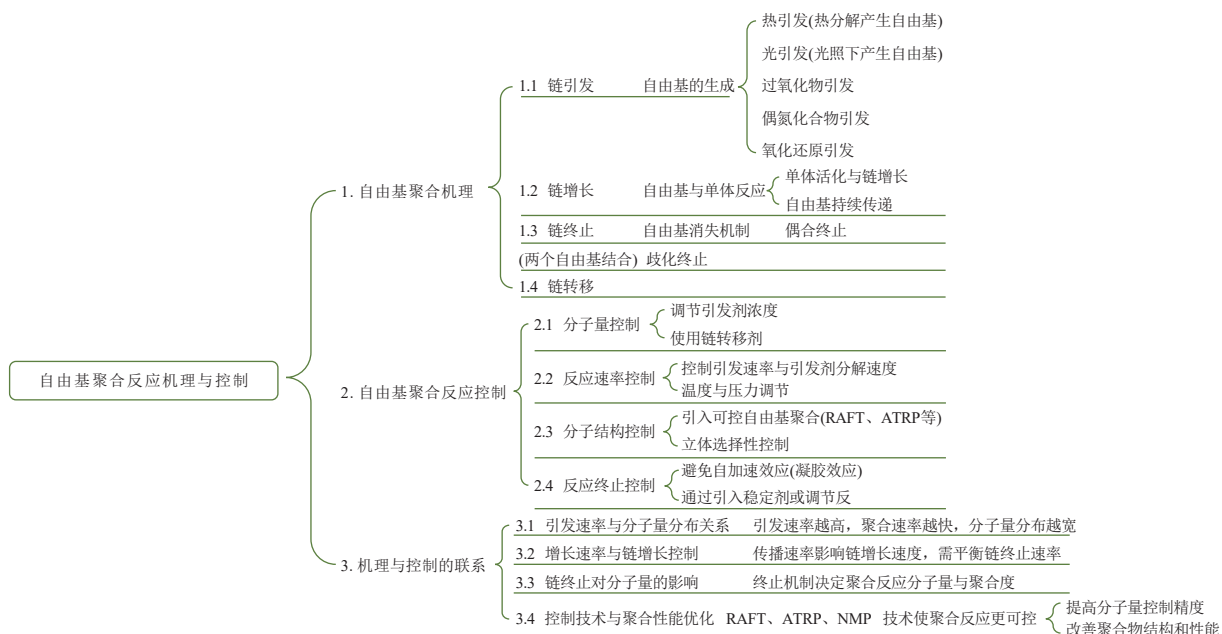


图 3 知识图谱展现自由基聚合反应机理和控制之间的内在联系

Figure 3 The knowledge graph reveals the intrinsic relationship between the mechanism of free radical polymerization and its control

体系并采集学生的个性化学情,能够提升高分子化学的教学质量并更高效地因材施教。

## 2 促进理论与实践融合

传统教学框架下的理论知识与实践应用往往如藕断丝连,难以紧密结合。将理论知识与实践应

用相结合是贯穿高分子化学教学过程中的一大难点。知识图谱则通过分层,将不同层次(如基础理论、实验方法、应用领域)的高分子化学知识点与实际工业应用穿针引线地编织在一起,帮助学生从多角度可视化地将抽象理论知识嵌入到鲜活的高分子材料制备与工业应用实践中(见图4)。

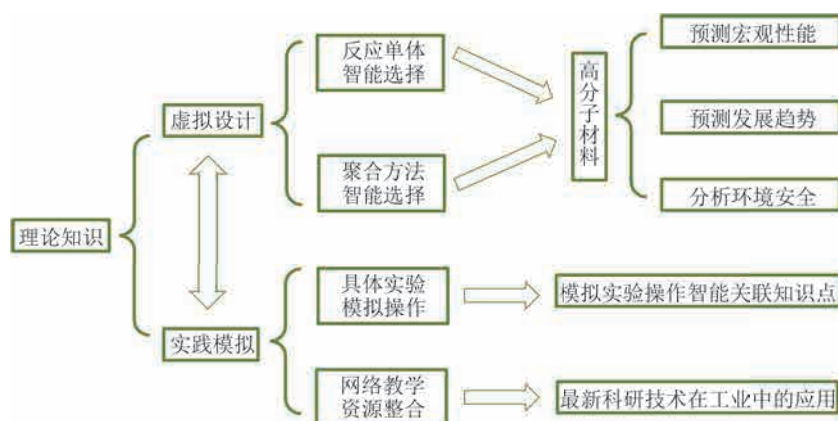


图4 基于知识图谱建立高分子化学知识点和实践之间的关联

Figure 4 Establishing the connection between key concepts and practices in polymer chemistry based on knowledge graphs

一方面,教师利用动态知识图谱工具将实际生产中的高分子材料制备案例设计其中,并使其与相应的合成原理、反应机理等理论知识一一对应。在学生点击理论知识时,动态知识图谱将生动地显示相关的实验制备及操作过程,直观地找到抽象理论如何在现实工业中应用,进而高效地增强学生的学习体验和理解深度。另一方面,教师可以设计基于知识图谱的教学活动(实践模拟),针对某一高分子化学反应(如自由基聚合、缩聚反应)的关键步骤,让学生在虚拟环境中进行高分子材料设计与制备过程模拟操作。通过学生自行有目的地选择不同单体和聚合反应方法,设计高分子材料的分子结构,进而获得高分子聚合物,并通过相关模拟预测该高分子材料的宏观性能。虚拟设计与高分子材料性能预测的结合是材料科学、工程技术和计算模拟领域的重要研究方向。将虚拟设计方案应用于高分子材料性能预测,不仅能够提高设计的效率,还能为高分子材料的创新与优化提供有力的理论支持和实验指导。虚拟设计方式如何在材料性能预测中实施操作是整个知识图谱针对性提高学生解决复杂工程能力的关键,同时也可作为高分子材料的创新与优化提供有力的理论支持和实验指导。这里以缩聚反应制备聚氨酯为例展示AI辅助材料设计和性

能预测(见图5)。首先,利用AI助教收集聚氨酯的特性和应用领域,通过AI辅助构建的包含聚合物性能、化学键特性、化合物物性、反应机理、反应影响因素等大数据库筛选目标产物(性能)所需的反应原料、各组分配比、反应条件、反应工艺等实验方案;其次,利用构建的虚拟仿真实验进行实践,通过虚拟仿真确立目标产物的最优设计配方和实验工艺;再次,通过执行实验进行验证目标产物的制备方案及性能,将获得产物的性能与预设产物的性能及市场现有产品性能进行比较;最后,通过知识图谱将该反应特点、机理与实验现象及产物性能进行总结和梳理,并反馈给AI助教。虚拟设计的合理性依据主要通过基于机器学习(AI)的大数据库给出,目前高分子结构与性能关联数据库(如Polymer Property Database, Cambridge Structural Database (CSD), Polymer Database (Polymer Databank等),在诸多科学研究性文章中被报道<sup>[15-17]</sup>,并被用于设计和加速新材料的开发。因此,采用虚拟设计方案指导实践模拟最终通过实验进行验证,能增强学生的学习体验和理解深度,提高学生解决复杂工程问题的能力。

通过基于知识图谱设计的教学活动,将理论知识与实践应用形象直接地结合在一起,引领学生深刻地掌握高分子化学的核心知识,深入理解高

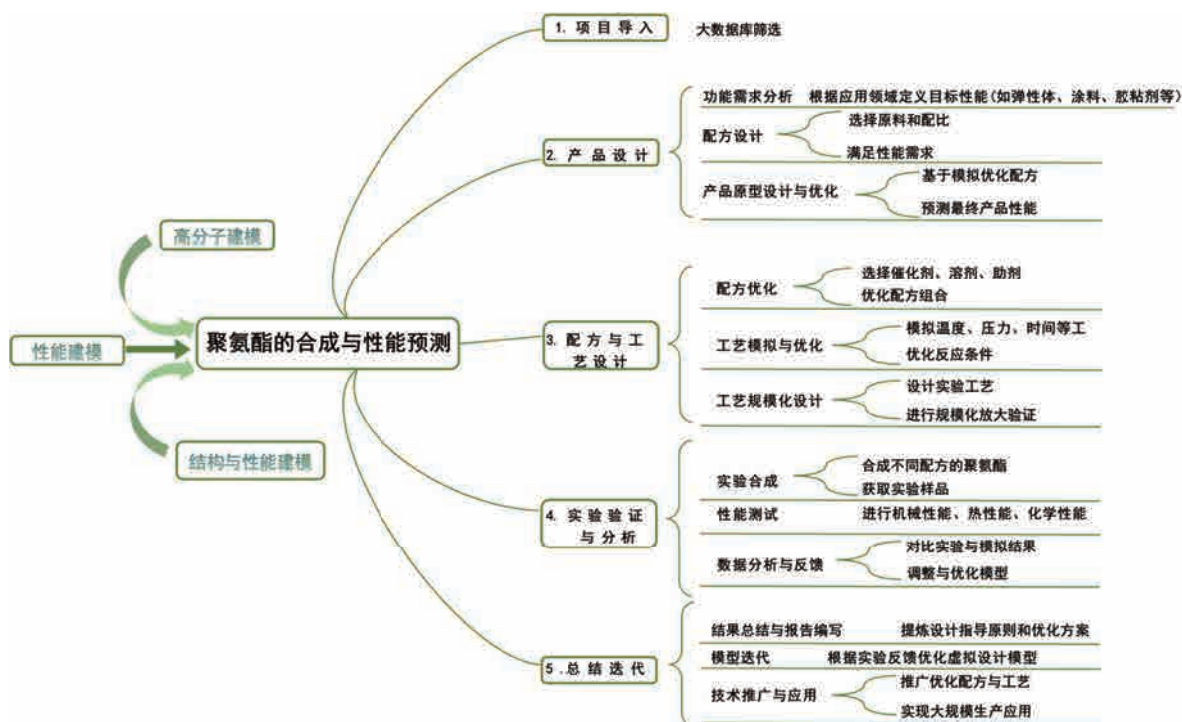


图5 虚拟设计在高性能材料性能预测中的应用

Figure 5 The application of virtual design in the prediction of polymer material properties

分子化学的内涵本质,提高解决复杂工程问题的实践能力,为未来投身科研与实践奠定坚实的基础。此外,还可以通过整合网络教学资源,在知识图谱网络框架中,添加该知识点的最新科研成果和前沿技术及在工业中的应用成果,帮助学生了解高分子材料的发展方向和高分子化学的局限性,激发学生的创新能力和深度思维能力,更好地理解 and 适应新技术变革。

### 3 丰富评价体系多样化

传统的教学方式和课程评价体系较单一,缺乏活力和多元化,难以满足学生日益多样化、个性化的学习需求。利用知识图谱设计多维度教学过程和多样化评价工具,将知识点与学生学习情况相互关联,针对具体学生,进行智能化的课前、课中及课后知识点的预习与巩固的推送,实时性将教师和学生在学习过程中的行为和结果数据化,帮助教师和学生不断检验和改进自己的知识传授方式和掌握情况。预习知识的推送可以分为个性化推送和动态推送。通过资料点击率,再结合预习作业的完成情况,AI助教按照在线作业测验(40%)、学习行为数据(30%)、自我评估(30%)进行综合筛选和过滤,从而反馈出学生基础概念

掌握能力、知识理解分析能力以及知识应用能力,按照能力不同将学生分为A、B、C 3组,因此教师能够按照AI助教给出的建议提前精准掌握学生预习情况。在课中教学和课后作业中,凭借对学生在知识图谱中学习路径和行为数据的精准分析,将学习情况类似的学生再次进行组队(异质小组、兴趣小组和同质小组),开展分组讨论和针对性强的练习题目和相关学习资料动态推送,帮助学生构建对知识点的分级掌握和应用,培养学生的团队合作能力和批判性思维能力,实现教学过程的数据化。其中学习路径和行为数据主要通过在线学习预测、学习行为数据和自我评估机制实现。最后通过反馈机制进一步完善数智化教学,达到教学效果(图6)。

其次,知识图谱能全方位、多角度地实现评价多元化。教师不仅仅只局限于传统的课程考试这单一维度,还可以利用课前活动、课中课堂讨论和案例分析、课后作业及课程拓展等教学过程,全方位地捕捉学生在知识图谱中的学习时长、参与讨论的活跃度、完成项目的质量与效率等多维度数据。基于前期的学情分析,在授课过程中老师就可以依靠图谱对学生进行分类,从而在授课过程中智能分组与讨论,使得学生取长补短,提

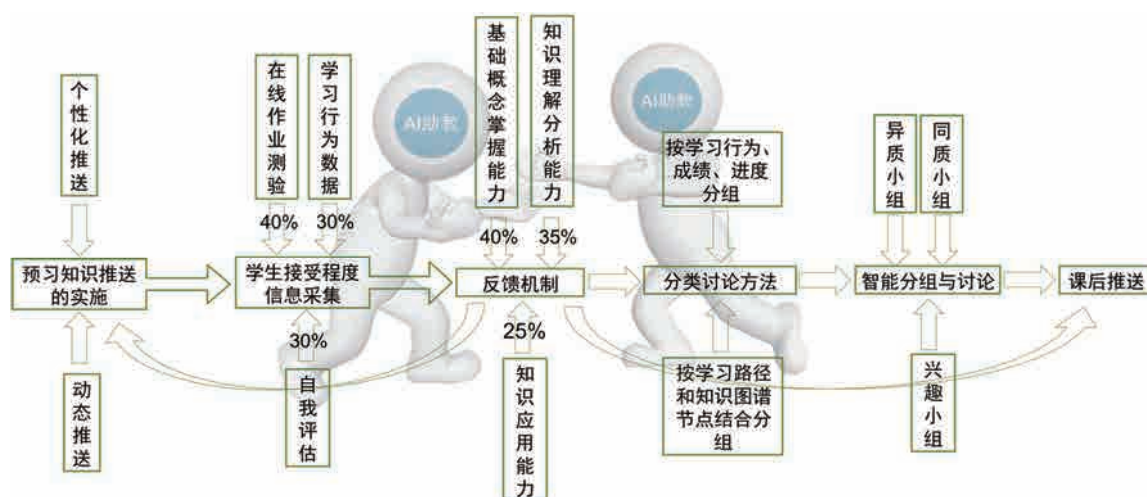


图6 基于知识图谱实现课前知识推送和授课方式智能化

Figure 6 Achieving intelligent pre-class knowledge delivery and teaching methods based on knowledge graphs

升学习效率。通过对这些数据化和智能化设计模块的深度挖掘与综合分析,实现对学生的全员、全过程、全方位的客观且精准的综合评价。这种基于知识图谱的高分子化学教学评价体系将为教学改进提供科学、准确且极具价值的依据,为教学的优化提供重要基础(见图7)。

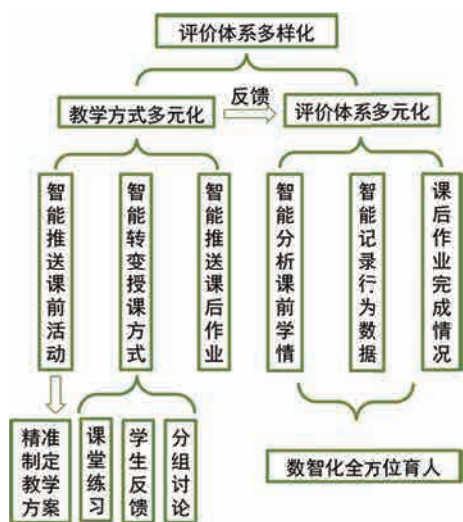


图7 基于知识图谱丰富评价体系多样化

Figure 7 Enriching the diversity of the evaluation system based on knowledge graphs

## 4 课程改革效果

本课程经过“知识图谱与AI赋能”数智化改革后,对学生的学习驱动力、研究性思维和信息整合分析能力等方面取得了较好效果,详见表1。

表1 高分子化学教改效果

Table 1 Effects of polymer chemistry teaching reform

项目	教改前	教改后
学科竞赛参与度(%)	36.7	65.1
科创训练参与度(%)	4.2	11.6
理论考试优良率(%)	35.8	48.5
实验设计与技能(%)	67.4	77.8
课堂参与度(%)	82.4	93.6

(课前、课中、课后)

### 4.1 提升学生的学习驱动力

智能化教学能够帮助学生高效补齐学习过程中的知识点短板并加深学习知识点的理解应用,结合虚实平台互补,进一步提升了学生对理论知识和实验设计与技能的掌握,有助于学生获得解决复杂工程问题能力,直观的效果表现在理论考试优良率、实验设计与技能、课堂参与度也分别提升12.7%、10.4%和11.2%。

### 4.2 提升学生研究性思维和信息整合分析能力

通过构建该平台,学生带着知识目标走进课堂。借助知识图谱,他们对众多知识点进行梳理、筛选与分析,从而能够较好地理清并把握课程的主线与逻辑关系。尤其在面对复杂的高分子化学数据(如分子模拟、实验数据等)时,学生能够借助图谱进行系统整合,提高在大量信息中的快速筛选与整合的能力,更好地应对复杂的学术研究和工程问题,结合高分子化学课程独特的应用性,能够很好地提升学生学习兴趣和自主探索精

神, 学科竞赛参与度以及科创训练参与度分别有 28.4% 和 7.4% 的提升。

## 5 结语

综上所述, 将知识图谱应用于高分子化学课程的教学改革中, 通过建立可视化、智能化的知识体系, 拓展与知识点相关的应用实例和实践模拟, 构建多元化教学方式和多样化评价体系, 引导学生个性化规划学习, 调动学生的实践能力和解决复杂工程问题能力, 让学生更好地理解新知识、适应新技术变革, 实现了教学过程的智能化和数据化, 达到了学生的全员、全过程、全方位的教学和评价目的。然而, 全面推进教学智能化和数据化改革是一项长期、复杂的任务。首先, 高分子化学专业术语繁多、反应机理和化学结构复杂。将这些信息转换为知识图谱形式需要高度精准的数据处理和专业知识, 因此对系统的可扩展性和灵活性需求很高。其次, 化学领域的知识更新速度快, 知识图谱必须具备良好的迭代机制, 能够及时更新最新的研究成果和理论。最后, 不断增加知识图谱的教学适配性, 提升工具的易用性对于助力教师备课和学生学习十分重要。尽管知识图谱应用于高分子化学的授课面临一定的技术和应用挑战, 但其前景广阔, 能够通过直观化、系统化的方式提升学生的学习体验, 助力未来高分子化学教学的发展。

## 参考文献

- 1 何海峰, 白瑞钦, 刘蕾, 李廷希. 高分子化学教学改革探索. 高分子通报, **2018**(12), 82–86.
- 2 张夏兰, 吕秋丰, 靳艳巧, 林起浪. 虚实结合的高分子化学实验课程教学改革探索. 化工高等教育, **2024**, 41(4), 142–149.
- 3 曾安蓉, 汪扬涛, 曾安然, 李云龙. 基于项目化的“理论-实操-虚拟仿真”一体化课程改革实践: 以《高分子化学》课程教学为例. 高分子通报, **2024**, (3), 413–418.
- 4 高冬梅, 靳淼. “互联网+”背景下高分子化学课程实践教学改革的探索. 化工设计通讯, **2023**, 49(5), 98–100.
- 5 付慧坛, 夏绍灵, 王仁杰, 彭进, 徐三魁. 工程教育认证背景下的《高分子化学》教学改革探索. 山东化工, **2019**, 48(13), 183–184.
- 6 于建香, 戴玉华, 高大海, 师奇松. 以学生为中心的高分子化学实验教学模式探索. 高分子通报, **2022**, (11), 128–131.
- 7 陈学刚, 华静. 高分子化学课程教学改革与实践. 化工高等教育, **2024**, 41(2), 83–89.
- 8 丁丹. 基于知识图谱的专业知识体系可视化系统设计与实现. 硕士学位论文, 武汉: 华中科技大学, **2021**.
- 9 李惠乾, 钟柏昌. 教育知识图谱: 研究进展与未来发展: 基于 2013—2023 年中文核心期刊载文的分析. 计算机工程, **2024**, 50(7), 1–12.
- 10 李晓华, 孔祥丹. 中国近代教科书研究的可视化计量分析与展望: 基于 CiteSpace 知识图谱. 西北师大学报(社会科学版), **2024**, 61(6), 100–108.
- 11 陆泉, 陈静宇, 陈帅朴, 姚苏梅, 陈静. 场景化知识图谱及构建方法. 情报科学, **2024**, 42(3): 1–9, 32.
- 12 李志强, 张雨薇, 白楚云, 崔睿. “学为中心”的数智教学体系构建. 中国高校科技, **2024**, (9), 88–92.
- 13 曲克晨, 李锦昌, 黄德铭, 宋佳. 基于知识图谱的学习系统设计对在线学习效果的影响研究. 华东师范大学学报(自然科学版), **2024**, (5), 70–80.
- 14 王鑫, 汤庸, 王昊奋, 李博涵, Li, J. X. 知识图谱赋能的知识工程: 理论与技术专题序言. 计算机科学, **2023**, 50(3), 1–2.
- 15 Tao, L.; Byrnes, J.; Varshney, V.; Li, Y. Machine learning strategies for the structure-property relationship of copolymers. *iScience*, **2022**, 25(7), 104585.
- 16 Kang, J. W.; Choi, K.; Jo, W. H.; Hsu, S. L. Structure-property relationships of polyimides: a molecular simulation approach. *Polymer*, **1998**, 39(26), 7079–7087.
- 17 Cencer, M. M.; Moore, J. S.; Assary, R. S. Machine learning for polymeric materials: an introduction. *Polym. Int.*, **2022**, 71(5), 537–542.