高 分 子 通 报
POLYMER BULLETIN

教育与教学 / Education DOI: 10.11687/j.issn1003-3726.2026.26214

数字化教学在“高分子化学”课程教学中的实施策略探索

袁奇娟[1] 彭 娅[1] 党 宁[1] 王正云[1] 顾志鹏[2*]

([1]西华大学材料科学与工程学院 成都 610039)
([2]四川大学高分子科学与工程学院 高分子材料工程国家重点实验室 成都 610065)

摘 要 “高分子化学”课程教学过程中存在学时有限，知识点理论性强且难度大等问题，最终导致学生学习兴趣的减退和学习效果不尽如人意。在数字化教育发展趋势的引领下，本研究深入剖析高分子化学教学与数字化教育的融合点，提出了一系列创新的教学策略和方法。通过构建知识图谱、运用动画和虚拟现实技术，以及开发在线学习平台，旨在打造一个全面、高效的个性化教学系统。该系统不仅能够激发学生的学习热情，提升学习成效，还能为教育者提供实时的学习数据分析，从而为教学方法的持续优化提供实证支持。通过这些措施，高分子化学的教学将能够实现持续的创新和发展，更好地适应数字化时代的教育需求。

关键词 "高分子化学"课程；数字化教学；知识图谱；虚拟现实；在线学习平台

Exploration of Implementation Strategies of Digital Education in “Polymer Chemistry” Teaching

Qi-juan Yuan[1], Ya Peng[1], Ning Dang[1], Zheng-yun Wang[1], Zhi-peng Gu[2*]

([1] *School of Materials Science and Engineering, Xihua University, Chengdu 610039*)
([2] *College of Polymer Science and Engineering, State Key Laboratory of Polymer Materials and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065*)

Abstract In “Polymer Chemistry” instruction, prevalent issues, including insufficient classroom teaching hours, overly abstract theories, and obscure knowledge points, tend to dampen students’ learning motivation and result in suboptimal academic performance. Aligned with the prevailing trend of digital education development, this study systematically explores the feasible integration pathways between polymer chemistry teaching and digital educational technologies and proposes a set of innovative teaching strategies and practical approaches. Through constructing disciplinary knowledge graphs, adopting animated demonstrations and virtual reality technologies, and developing dedicated online learning platforms, this study strives to establish an integrated, efficient, and personalized teaching framework. This framework can effectively boost students’ learning initiative and enhance learning efficiency. Meanwhile, it enables instructors to conduct real-time analysis of students’ learning data, thereby furnishing practical evidence for the iterative improvement of teaching modes. The proposed measures are conducive to facilitating the sustainable reform and innovative development of polymer chemistry teaching to better adapt to the educational demands in the digital age.

Keywords “Polymer Chemistry” course; Digital teaching; Knowledge graph; Virtual reality; Online learning platform

2026-04-28 收稿, 2026-06-15 录用

基金项目: 四川省高等教育人才培养质量和教学改革项目(项目号 JG2024-0794); 四川省普通本科高等学校材料类专业教学指导委员会教育教学改革研究与实践项目(项目号 2025CLJZW06); 西华大学校级实验教学和教学实验室建设研究项目(教学引导式材料类实验教学数字化开发与应用研究); 产教融合视阈下材料与化工专业研究生培养模式的探索与实践(项目号 YJG202532)

* 通信联系人: 顾志鹏, E-mail: guzhipeng2019@scu.edu.cn

引用: 袁奇娟, 彭娅, 党宁, 王正云, 顾志鹏. 数字化教学在“高分子化学”课程教学中的实施策略探索. 高分子通报, doi: 10.11687/j.issn1003-3726.2026.26214
Citation: Yuan, Q. J.; Peng, Y.; Dang, N.; Wang, Z. Y.; Gu, Z. P. Exploration of implementation strategies of digital education in “Polymer Chemistry” teaching. *Polymer Bulletin* (in Chinese), doi: 10.11687/j.issn1003-3726.2026.26214

1 高分子化学教学背景

在“新工科”建设与高端制造业升级背景下，材料学科至关重要，其布局直接对接航空航天、电子信息等关键产业需求，是培养创新人才的重要领域。材料科学作为交叉学科，涵盖金属、无机非金属、高分子等基础分支，其中高分子材料占据重要比重。高分子化学作为高分子材料方向的核心课程[1]，是支撑材料学科人才培养的关键，但材料学科课程体系综合性强、内容繁杂，需兼顾多门基础课与核心课，普遍存在学时受限、学生学业负荷较重的问题，给高分子化学的教学实施带来挑战。受限学时安排与课程特性存在突出矛盾：一方面，课程涉及自由基聚合等复杂机理，需依托化学–数学相结合的理论深度解析，对学生思维要求高；另一方面，压缩后的学时仅能完成知识点框架讲授，无法细致拆解推导与剖析案例。此矛盾直接导致教学效果不佳：学生对“聚合反应动力学推导”等核心知识点掌握率不足60%，存在概念混淆问题；且”高分子化学”作为前置核心课程，其知识掌握程度既影响后续课程学习，又制约学生就业竞争力(如高分子研发领域)与深造基础(如相关方向研究生报考)。因此，高分子化学数字化教学尤为重要[2~4]，可有效破解学时与课程深度的矛盾，简化复杂机理解析，丰富案例呈现，帮助学生掌握核心知识，提升学习效率，保障材料学科人才培养质量，助力对接产业人才需求。

2 数字化教学改革思路

为摆脱上述困境，在有限的约束下最大化提升教学效果，需从“教学方法优化”与“数字化工具引入”双维度发力：前者聚焦讲授逻辑的改进，而高分子化学数字化教学主要包括数字化资源、虚拟仿真实验、在线教学平台、混合式教学模式与智能化辅助手段[5~7]，旨在突破学时限制、强化抽象机理解析、提升教学效率与学习效果。结合“新工科”建设要求与材料学科人才培养目标，针对高分子化学教学学时受限、抽象机理难理解、教学效果不佳等痛点，立足数字化优势，构建“资源数字化、实验虚拟化、模式混合化、考核过程化、辅助智能化”“五位一体”改革思路，助力培养适配高端制造业的高分子材料类创新人才(图1)。

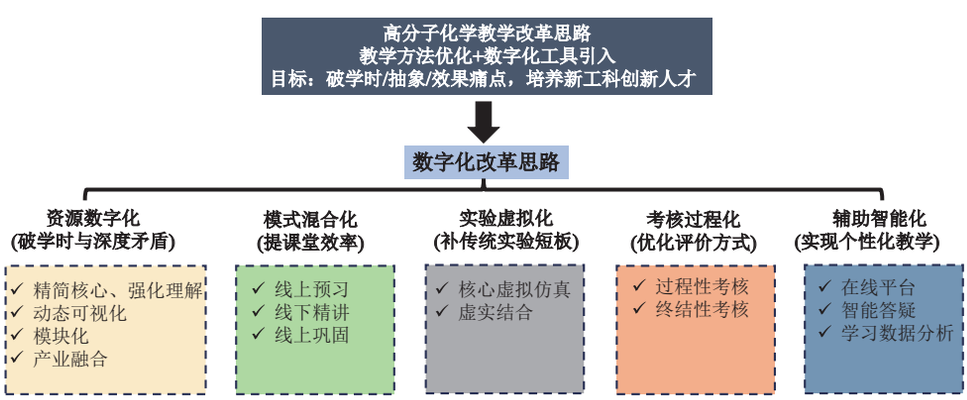


图 1 高分子化学数字化教学改革思路

Fig. 1 Ideas for the digital education reform of polymer chemistry

2.1 构建数字化教学资源体系

以“精简核心、强化理解”为原则，整合数字化教学资源，破解学时与教学深度的矛盾。一是提炼聚合反应机理等核心知识点，制作动态动画、轻量化微课视频，让抽象知识直观化；二是搭建模块化在线资源库，按知识点分类包含课件、题库、案例等，方便学生课余自主补学，实现线下精讲与线上补学的衔接；三是联动企业，引入生产场景数字化视频，让教学贴合产业实际。

2.2 开发创新混合式教学模式

依托在线平台，创新“线上预习—线下精讲—线上巩固—课堂互动”混合式教学模式。线上发布预习任务，教师依据数据精准把握学生薄弱点；线下聚焦重难点，采用数字化演示、小组讨论等方式破解难

点；线上发布习题、开通答疑通道，跟踪学习进度，实现个性化指导。

2.3 推进虚拟仿真实验教学改革

针对高分子化学实验耗时久、有安全风险且学时不足的问题，推进虚拟仿真实验改革。一是搭建虚拟仿真平台，涵盖自由基聚合等核心实验，模拟全流程操作，规避风险、节省成本；二是融合虚拟与线下实验，线下强化基础操作，线上完成复杂危险实验，保障实验教学完整性；三是建立虚拟实验考核标准，强化学生实验素养。

2.4 完善过程化数字化考核体系

摒弃“一考定终身”模式，构建以终结性评价为主、过程性评价为辅的数字化考核体系。过程性考核(30%~40%)整合线上学习数据、虚拟实验成绩等，实现数据化可追溯；终结性考核(60%~70%)侧重应用能力考察。

2.5 强化智能化教学辅助

依托信息化技术搭建智能化辅助体系，实现因材施教。引入机理模拟、分子可视化工具，培养学生抽象思维；利用AI答疑工具推送个性化学习内容；建立学生学习档案，为教学调整和个性化学习提供数据支撑。

3 数字化教学改革的具体措施与方法

3.1 构建知识图谱

为帮助学生建立高分子化学知识的系统化框架、深化知识点间的关联认知，可依托超星数字平台或Neo4j图数据库工具，通过“数据采集—知识抽取—信息融合”三步流程，构建覆盖“高分子基本概念—聚合反应机理—聚合实施方法—聚合热力学—聚合动力学”五大核心模块的课程知识图谱(图2)，重点厘清各模块内部及模块间的逻辑关联[8]，解决学习中的概念混淆与知识碎片化问题。

3.1.1 筑牢高分子概念图谱基础

高分子化学的核心基本概念是知识图谱的构建起点，涵盖高分子化合物、黏弹性、重复单元、结构单元、单体单元、聚合物分类、聚合度、相对分子质量、多分散性(及分散指数)，以及逐步聚合、自由基聚合、离子型聚合等关键术语。这些概念不仅是课程学习的基础，其内涵的准确性与关联的清晰度，直接影响后续知识点的理解深度。例如，若学生混淆“重复单元”与“结构单元”的定义，将导致后续“聚合度计算”“相对分子质量与分散指数关联分析”等内容的学习障碍；而对“逐步聚合”与“连锁聚合”概念的模糊认知，会进一步引发“凝胶点”与“自加速过程”的机理混淆，无法准确区分两类聚合反应的核心特征。

3.1.2 构建聚合反应知识网络

在逐步聚合知识图谱构建中，需重点关联“反应机理—动力学参数—计算方法—质量控制”四大节点：其一，明确线型缩聚反应中“平衡常数—反应程度—聚合度”的定量关系，标注不同反应条件(如封闭

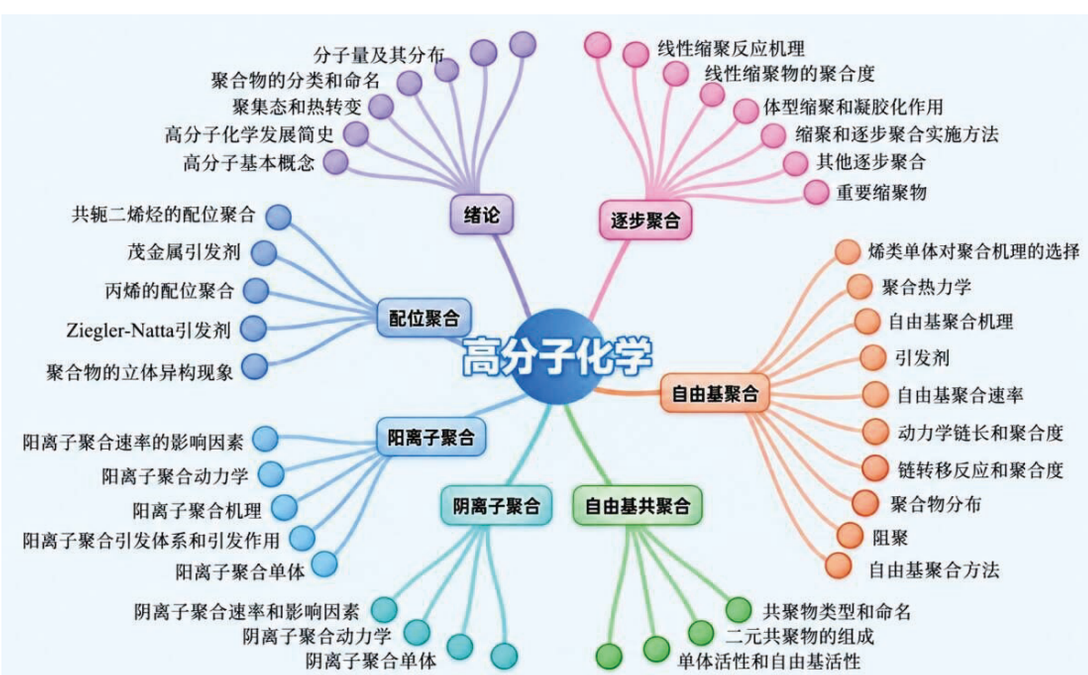


图 2 高分子化学知识图谱

Fig. 2 Knowledge graph of polymer chemistry

/开放体系)对聚合度计算的影响，避免学生因机理理解不深导致的公式误用(如忽略反应条件差异套用统一计算模型)；其二，突出体型缩聚中“平均官能度—凝胶点”的因果关联，强调“平均官能度定义”的核心地位，明确其对凝胶点计算的决定性作用；其三，补充“缩聚副反应—相对分子质量控制”的关联路径，通过机理分析说明副反应(如链降解)的影响机制，引导学生摆脱死记硬背，从机理层面掌握相对分子质量的调控方法。

自由基聚合作为连锁聚合的典型代表，其知识图谱需聚焦“机理差异—过程特征—速率参数”的独特性：首先，明确自由基聚合与逐步聚合的核心区别——前者反应体系仅含单体与聚合物，反应初期即生成高聚物，随反应时间延长高聚物含量增加；后者则需至反应后期才形成高分子量聚合物，前期仅产生低分子量同系物，据此在图谱中标注2类聚合的“转化率–反应时间曲线”“相对分子质量–转化率曲线”的差异趋势。其次，细化自由基聚合“链引发—链增长—链终止”的速率定义，区分“单体自由基产生速率”“单体消耗速率”“自由基消耗速率”与传统化学反应速率的不同，避免概念混淆。最后，构建“转化率—黏度—双基终止速率—自由基浓度—聚合速率—体系温度—引发速率”的关联网络，明确各参数的前后影响关系，揭示其作为“自加速过程认知”与“相对分子质量控制”的理论依据，进而关联“乳液聚合为何能同步实现高反应速率与高分子量”的应用逻辑。

离子型聚合模块的图谱需新增“分子结构—聚合机理—聚合物性能”的关联节点：一方面，标注取代基的电子效应(吸电子/供电子)与位阻效应对聚合机理选择(阳离子/阴离子聚合)、链引发过程的影响；另一方面，关联聚合反应影响因素(如引发剂类型、反应温度)与聚合物结构规整性的关系，为后续“材料性能调控”知识点埋下衔接伏笔。

3.1.3 拓展图谱跨学科衔接

知识图谱的价值不仅限于课程内部知识整合，还可通过节点延伸，建立“高分子化学—材料科学基础—高分子物理—有机化学”等课程间的关联桥梁(如将“聚合度”节点与高分子物理中的“材料力学性能”关联)，甚至拓展至“材料工程—化学工程”等跨学科领域，帮助学生从专业整体视角理解课程定位，最终实现“碎片化知识系统化、孤立概念关联化、课程学习全局化”的目标，显著提升学习效率与知识应用能力。

3.2 动画仿真实现概念可视化

针对高分子化学理论知识中较为抽象的核心概念，包括结构单元、重复单元、3种平均相对分子质量、反应程度与转化率、官能度与平均官能度、动力学链长、竞聚率、恒比点、配位聚合与定向聚合等，本研究借助数字化技术手段，以差异化的图像设计与色彩表征进行生动呈现，从而帮助学生直观理解各概念的内涵及其相互区别(表1)。逐步聚合中的凝胶化现象与自由基聚合的自加速过程均为多因素影响的复杂动态演变，传统教材多基于概率统计或特定反应节点的现象进行描述，仅能粗略推演体系随时间和条件的变化趋势，对学生的空间想象与逻辑推理能力提出较高要求。具体而言，Carothers对逐步缩聚反应凝胶点的预测，依据的是凝胶化瞬间体系形成三维网状结构且分子量趋于无穷大的特点，通过反应程度与聚合度之间的数学关系进行计算；而Flory则采用统计学方法，通过凝胶化临界支化概率的表达式推导得出凝胶点。这2种方法均建立在理想化假设基础上，未能充分考虑凝胶化阶段反应体系已显著偏离常规聚合反应机理所设定的条件，因此计算结果与实际情况存在偏差，且推导过程尤其是Flory的统计方法较为繁复，难以理解。为此，本研究通过动画模拟将上述复杂过程进行动态可视化展示，清晰呈现反应体系随时间的结构演变与关键

表 1 动画及虚拟现实技术在高分子化学教学中的适用范围

Table 1 Application scope of animation and virtual reality technologies in polymer chemistry teaching

辅助教学方式	教学难点	所属聚合反应类型
动画	凝胶化现象	逐步聚合
	自加速过程	自由基聚合
	链引发、链增长、链终止、链转移	自由基聚合、离子型聚合
	分子量随反应时间的演变过程	逐步聚合、自由基聚合、离子型聚合
	引发剂浓度对聚合反应速率和聚合度的影响	自由基聚合
虚拟现实	熔融缩聚、溶液缩聚、界面缩聚、固相缩聚	逐步聚合
	本体聚合、溶液聚合、悬浮聚合、乳液聚合	自由基聚合

参数变化，从而促进学生形成系统而直观的认知，有效提升学习效率与探究兴趣。

高分子化学实验教学是衔接理论与实践、强化学生专业实践能力的重要环节。但受课时紧张制约，传统实验包含预习、准备、实操、报告等多个流程，耗时久，效率低，课程仅能开展少量实验项目。学生无法完整参与实验过程，难以吃透实验操作与反应原理，理论和实践脱节问题突出，实践育人效果有限。为此，依托虚拟仿真实验教学平台搭建聚合反应虚拟实验体系，引入虚拟现实教学模式。学生可自主线上完成模拟操作，系统学习聚合反应机理、完整工艺流程与参数控制，有效打破传统实验时空限制，补齐实操训练短板，以实践巩固理论认知，切实提升学生动手能力与知识应用水平。平台可实时追踪记录学生的整个实验操作过程，同步生成详尽的操作分析报告与综合评价结果，这些数据不仅能够帮助教师精准掌握学生的学习进度、实操薄弱点，还可作为课程形成性评价的重要组成部分，为教学效果的精准评估提供量化支撑。此外，教师可基于平台反馈的个性化数据，针对性地指导学生优化实验操作技巧、规范操作细节，实现“精准教学、个性化提升”的教学目标。在虚拟仿真实验平台的具体构建中，我们重点涵盖了2类核心聚合反应实施方法：一是逐步聚合实施方法，包含熔融缩聚、溶液缩聚、界面缩聚及固相缩聚4个典型项目；二是自由基聚合实施方法，涵盖本体聚合、溶液聚合、悬浮聚合及乳液聚合4个典型项目。通过线上沉浸式实操训练，有效提升学生对聚合反应理论知识的掌握程度，强化学生分析并解决高分子材料生产过程中实际问题的能力，为学生后续从事高分子材料相关科研与生产工作奠定坚实基础。

3.3 利用学习通建设在线学习平台

在线学习平台的构建是现代高等教育教学改革的重要创新举措[9]，其不仅有效强化了师生间的多元互动效能，更突破了传统课堂教学在时间与空间上的局限，为高分子化学课程的学习者提供了更为灵活、个性化的自主学习路径与体验。依托学习通在线教学平台，授课教师可便捷上传高分子化学课程相关教学资源，涵盖课件(PPT)、教学视频、重难点解析文档等，尤其包含前期为提升课程重难点知识(如聚合反应机理、高分子结构与性能关系等)的可视化程度而制作的动画演示、分子结构示意图等数字化教学资源。此类数字化资源具备易存储、易管理、易共享的显著优势，可实现教学资源的高效复用与精准传递；同时，教师通过平台发布课后作业、在线测试等任务，能够实时追踪学生的学习进度，精准定位知识薄弱点，进而引导学生巩固所学知识、深化对课程核心内容的理解与应用。

学习通平台内置的讨论区与在线问答功能，为高分子化学课程的学习者搭建了开放化、多元化的学术交流空间，有效促进了学生之间的思维碰撞、知识共享与协同学习。学生可借助该功能针对课程学习中的疑点、难点主动提问，分享自身的学习心得与探究成果，显著提升学习参与度与自主探究兴趣；教师可通过平台“讨论”模块对交流内容进行实时监控与科学管理，及时引导讨论方向、规范交流秩序，确保学术交流的针对性与实效性。例如，针对高分子化学课程核心知识点，学生可围绕“线型平衡缩聚反应的反应条件对其平衡常数的影响机制”“各类副反应对线型缩聚产物相对分子质量及分子质量分布的调控作用”“自由基聚合反应中引发剂的选择原则及适配性分析”“单体与自由基活性的核心决定因素及不同活性单体均聚速率常数的对比研究”“自由基聚合、阴离子聚合与阳离子聚合反应的鉴别方法与关键判据”等问题展开深入探讨，深化对课程核心知识的理解。

此外，高分子化学包含聚合机理、链结构特征、反应动力学等大量抽象晦涩、关联性强的核心知识点，传统固定时空的课堂教学模式，难以满足学生反复复盘重难点、查漏补缺的学习需求。学习通平台具备良好的移动端兼容性，支持学生借助手机、平板等设备开展随时随地的自主学习，有效突破传统教学的时空限制。学生可充分利用碎片化时间，针对性复盘自由基聚合、缩聚、共聚合等课程难点，回看高分子结构演变、聚合反应过程等课件与视频，及时弥补课堂学习疏漏，强化对专业理论知识的理解与掌握，大幅提升高分子化学学习的灵活性与便捷性。个性化教学是学习通适配高分子化学分层教学的突出优势。平台依托大数据技术，采集分析学生课程视频学习、课件浏览、章节测验、课堂互动等学习数据，精准研判学生在高分子结构、聚合反应原理、分子量调控等核心内容上的掌握情况与知识短板，据此推送适配不同学情与学习风格的定制化资源和个性化学习路径。该个性化模式贴合高分子化学课程特点，有效落实因材施教的教改目标。针对逻辑推理能力较强的学生，平台可推送聚合机理推导、动力学公式推演、反应影响因素分析等深度理论资料，助力其夯实理论基础；针对视觉型学习者，可推送高分子链段运动、聚合过程动态模拟等动画资源，帮助其直观理解

微观抽象机理。同时，平台可结合学生随堂练习与章节测验数据，精准定位自由基聚合终止机制、离子聚合特征等高频易错知识点，定向推送专项习题与重难点解析，助力学生精准补齐知识短板。该模式可帮助不同层次学生构建系统化的高分子化学知识体系，在提升课程学习效率的同时，有效培养学生的自主学习与专项探究能力。

综上，在线学习平台(学习通)的建设与应用为高分子化学课程教学改革带来了革命性突破，不仅有效提升了课堂教学效率与教学质量，更丰富了学生的学习体验、强化了学生的自主学习能力与探究能力。随着教育信息化技术的不断迭代升级，未来可进一步优化在线平台的功能设计，推动平台向智能化、精准化、个性化方向发展，使其更好地适配高分子化学课程的教学特点与学生的学习需求，为高等院校高分子化学课程教学改革提供更有力的支撑。

3.4 收集分析学生学习数据

知识图谱的绘制、动画及虚拟现实技术的引入，结合在线学习平台的建立，是提升学生高分子化学课程学习兴趣与学习效果的重要手段。这些创新教学工具与方法，不仅丰富了教学内容，更显著优化了学生的学习体验。为确保此类教学方法充分发挥效能，实时跟踪与把控学生学习效果至关重要，这就要求授课教师系统收集并深度分析学生学习过程中产生的各类数据，为精准教学提供支撑。这些学习数据包括但不限于学生考勤记录、随堂测试成绩、虚拟仿真实验操作表现、线下实验完成情况、平时作业提交质量及期中和期末考试成绩等。通过对上述线上线下学习数据的统计学分析，授课教师可精准掌握学生的学习难点、学习偏好及学习特征，并基于此开展诊断性评价，对学生进行科学分类。例如，部分学生理论学习表现优异，但实践操作能力不足；另有部分学生对特定课程主题兴趣浓厚，而在其他领域表现平平。明确学生的学习差异后，授课教师可开展针对性学习引导，为不同类型学生提供个性化学习建议与适配资源。此外，学生学习数据的收集与分析，还能为授课教师提供宝贵的教学反馈，助力其优化升级数字化教学方式，使其更贴合高分子化学课程学生的实际学习需求与习惯。例如，若发现学生对某一知识点掌握普遍较差，可及时调整教学计划，增加该知识点的讲解与练习，或引入更多互动实践环节辅助学生理解掌握。这种方式不仅能提升学生当前学习效果，还能为其长期学习发展奠定坚实基础，而学生获得的正面反馈与成功体验，也将进一步激发其学习兴趣与动力，促使其持续精进。

4 结语

在高分子化学课程的教学过程中存在学习时间不足、课程难度大、学生对知识的接受程度低、学习兴趣不充足等问题。为了解决目前存在的诸多问题，我们通过知识图谱的绘制建立知识点间的相互关系，提高学生对课程的整体把握；通过可视化的示意图和动画来形象的展示易混淆概念和过程，降低知识点的理解难度；通过建立在线学习平台，利用碎片化的时间加强学生与教师、学生与学生之间的互动，为学生提供海量的学习资源，提高学生的学习主动性；通过实时收集分析学生学习数据，掌握学生学情，及时对教学方式做调整，引导学生有效学习。总之，知识图谱、动画、虚拟现实技术和在线学习平台的建立，以及对学生学习数据的实时收集和分析，共同构成了一个全面、高效、个性化的教学体系。这个体系不仅能够提高学生的学习兴趣和效果，还能够为教育者提供持续改进教学方法的依据，从而实现教育的持续创新和发展。

高分子化学数字化教学体系可有效改善传统教学学时有限、理论抽象、学生兴趣不足等问题，但仍存在一定局限：现有资源与工业场景衔接不足、学情分析智能化程度偏低，且存在校际资源壁垒，共享性较差。未来将进一步深化数字化教学改革，引入AI助教实现精准化、个性化教学，提升因材施教效果；搭建跨校资源共享平台，盘活优质教学资源。同时深化数字化产教融合，融入行业前沿实训场景。通过智能化、共享化与产业化赋能，持续优化教学模式，适配高等教育数字化转型需求，助力高分子专业创新应用型人才培养。

参 考 文 献

1 冯新德. 21世纪的高分子化学展望. 高分子通报, **1999**, (3), 1-9.
2 刘畅, 钱正婧, 孟梨萍. 高校数字化转型能力评价模型研究. 现代教育技术, **2024**, 34(3), 39−51.
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**, 37(3), 413−418.
4 谢丹, 陈风青, 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.
5 杨文阳. 高校数字化转型下教师开展数字化教学活动评价. 数字教育, **2024**, 10(2), 40−46.
6 尹婵娟, 沈清明, 郭盛. 数字化赋能高校虚拟仿真实验教学共享平台构建与实践. 实验科学与技术, **2025**, 23(1), 137−143.
7 张焱. 数字化时代高校如何培养人才:以南京航空航天大学为例. 现代教育技术, **2024**, 34(7), 61−69.
8 黄恒琪, 于娟, 廖晓, 席运江. 知识图谱研究综述. 计算机系统应用, **2019**, 28(6), 1−12.
9 马超, 曾红, 王宏祥. 线上线下混合实验教学模式研究. 实验室研究与探索, **2019**, 38(5), 185−189.