

·教育与教学·

## 面向资源约束的聚合物合成工艺学 AI 赋能教学改革

袁文津<sup>1\*</sup> 李婧<sup>1</sup> 张磊<sup>1</sup> 睢颖<sup>1</sup> 刘洪丽<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 天津城建大学材料科学与工程学院 天津 300384)

(<sup>2</sup> 中国民航大学航空工程学院 天津 300300)

**摘要:** 针对普通高校“聚合物合成工艺学”课程面临的实践及虚拟仿真教学资源匮乏所导致的能力培养困局, 构建了“教师主导-学生主体-AI赋能”三元协同教学模式框架, 通过课程内容重构、AI赋能教学全过程及混合实践模式三大改革, 形成了以人工智能技术为核心支撑的教学新范式。实践结果表明, 改革后学生课堂积极性提高, 教师教学效果与效率均实现显著提升。本改革为有限资源条件下开展教学活动、培养工程实践与创新型人才提供了可复制、可推广的方案。

**关键词:** 聚合物合成工艺学; AI赋能; 混合实践; 教学改革

## Artificial Intelligence Empowered Teaching Reform for Resource-constrained “Polymer Synthesis Technology” Course

YUAN Wen-jin<sup>1\*</sup>, LI Jing<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, SUI Ying<sup>1</sup>, LIU Hong-li<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> School of Materials Science and Engineering, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384)

(<sup>2</sup> College of Aeronautical Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300)

**Abstract:** The capability development challenges arising from the shortage of practical and virtual simulation teaching resources for the course “Polymer Synthesis Technology” in higher education institutions are addressed in this study. A tripartite collaborative teaching model framework centered on “teacher-led, student-centered, AI-empowered” was constructed. Meanwhile, a new teaching paradigm centered on artificial intelligence technology was established through curriculum restructuring, AI-empowered whole teaching processes, and mixed practices. Practical results demonstrate that the implementation of these reforms has significantly enhanced students’ classroom engagement, while markedly improving both teaching effectiveness and efficiency. This reform offers a replicable and scalable solution for conducting teaching activities and cultivating engineering practitioners and innovative talent under limited resource conditions.

**Keywords:** Polymer synthesis technology; AI-empowered; Mixed practice; Teaching reform

**引用:** 袁文津, 李婧, 张磊, 睢颖, 刘洪丽. 面向资源约束的聚合物合成工艺学 AI 赋能教学改革. 高分子通报, doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.26.029

**Citation:** Yuan, W. J.; Li, J.; Zhang, L.; Sui, Y.; Liu, H. L. Artificial intelligence empowered teaching reform for resource-constrained “polymer synthesis technology” course. *Polym. Bull.* (in Chinese), doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.26.029

2026-02-25 收稿, 2026-04-03 录用

基金项目: 天津市劳动教育教学研究中心 2025 年度“人工智能赋能劳动教育”专项课题(项目号 25GXZD06), 天津城建大学本科教育教学改革与研究(项目号 JG-ZD-25023, JG-YB-25093)

\* 通信联系人: 袁文津, E-mail: ywj407024846@126.com

doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.26.029

随着高分子材料产业向绿色化、智能化、高端化方向转型升级,产业界对具备工程实践能力和创新思维的复合型人才需求日益迫切,传统教学模式已难以适应新时代工程技术人才的培养需求<sup>[1]</sup>。各高校越来越注重对学生工程意识和应用能力的培养,根据学生基础和需求,提供进阶式学习路径,培养学生解决复杂工程问题的能力。人工智能技术的迅猛发展为教育教学改革提供了新的技术支撑,知识处理、个性化学习和智能交互等AI能力的突破,正在推动教育理念与教学模式的深刻变革<sup>[2]</sup>。目前诸多AI大模型已在多个学科领域展现出强大的知识处理和个性化教学能力。丁海等梳理了人工智能与教育场景的融合方式,探讨了人工智能在“高分子材料”课程中的应用方式及方法,丰富了“人工智能+”教育的相关理论<sup>[3]</sup>。邓萌等基于智慧教学系统,创新实施“6I混合教学模式”,通过引入AI助教,实现个性化学习支持与动态学情反馈,显著提升了教学精准度与学生参与度<sup>[4]</sup>。卞军等聚焦AI驱动的高分子材料专业核心课程教育范式重构,将AI算法融入高分子“材料设计-合成-表征”课程教学过程,为“新工科”高分子材料专业课程改革提供借鉴和示范<sup>[5]</sup>。这些实践表明,AI技术在教育领域的应用正从辅助工具向核心支撑转变<sup>[6,7]</sup>。

在此背景下,本研究提出“教师主导—学生主体—AI赋能”三元协同教学改革路径,旨在破解资源约束条件下聚合物合成工艺学课程的教学困境,培养适应产业发展需求的高素质工程技术人才。通过构建智能化教学平台、重塑课程体系、创新教学方法,旨在摆脱传统教学困境,培养适应产业发展需求的高素质工程技术人才。本研究不仅具有理论创新价值,也为资源受限的普通高校提供了切实可行的教改方案,对推动工程教育数字化转型具有重要实践意义。

## 1 聚合物合成工艺学课程教学现状

聚合物合成工艺学是高分子材料与工程专业的核心课程,承担着培养学生从分子设计到工业放大的全链条工程能力的重要使命<sup>[8]</sup>。然而,在当前的教学实践中,该课程面临多重挑战。

### 1.1 资源约束问题突出

普通高校往往缺乏足够的经费投入,无法购置昂贵的3D虚拟仿真平台,实践教学条件无法满

足高危、高成本合成工艺的训练需求,课程内容与产业实际存在脱节现象,导致学生难以直观理解聚合反应工业装置的复杂结构、操作流程及实际应用。

### 1.2 传统教学模式局限性明显

在教学内容方面,知识模块割裂,未能建立“反应原理—工艺设计—创新应用”逻辑链,导致学生难以系统掌握从分子设计到工业放大的全流程知识。同时教学案例较为陈旧,与产业前沿脱节,学生知识结构无法满足产业升级需求<sup>[9]</sup>。

在教学模式方面,传统教学模式知识传授方式单一,以教师讲授为主,学生被动接受。这种“灌输式”教学难以激发学生的学习兴趣,更无法培养工程思维 and 创新能力。如何将学生从知识的被动接收者变成主动的探索者值得每位高校教师深思<sup>[10]</sup>。

在教学评价方面,传统教学过于注重理论知识的考核,忽视过程性评价与创新能力考核,无法全面反映学生工程实践能力。

## 2 “教师主导—学生主体—AI赋能”三元协同教学机制

针对上述问题,本研究构建了“教师主导—学生主体—AI赋能”三元协同教学模式框架,其核心在于通过人工智能技术弥补硬件资源不足,重塑教学流程,实现“以智补缺、以虚扩实”的教学创新。集成了课程内容重构、AI赋能教学全过程、混合实践模式三大要素,形成了相互支撑的有机整体,全景如图1所示。

### 2.1 课程内容体系重构

根据聚合物合成的基本原理将章节内容分为自由基聚合、离子与配位聚合、缩合聚合和逐步加成聚合4个内容模块,每一部分以“聚合反应原理→工艺设计方法→工业应用场景”为主线,建“知识链—能力链—应用链”的系统化知识架构(图2)。表1以自由基悬浮聚合生产聚氯乙烯(PVC)为例,详细阐述了“教学内容主线”与“培养目标链条”之间的直接对应关系。利用超星在线平台完善知识图谱构建(图3),形成可视化、可交互的知识网络,为学生自主探究学习提供结构化支撑,实现课前图谱导航,建立全景认知;课中智能辅助,定位知识坐标;课后精准诊断,生成个人图谱的教学全过程辅助。



图1 “聚合物合成工艺学”课程AI赋能改革全景图

Figure 1 A panoramic view of the AI-empowered reform of the “Polymer Synthesis Technology” course

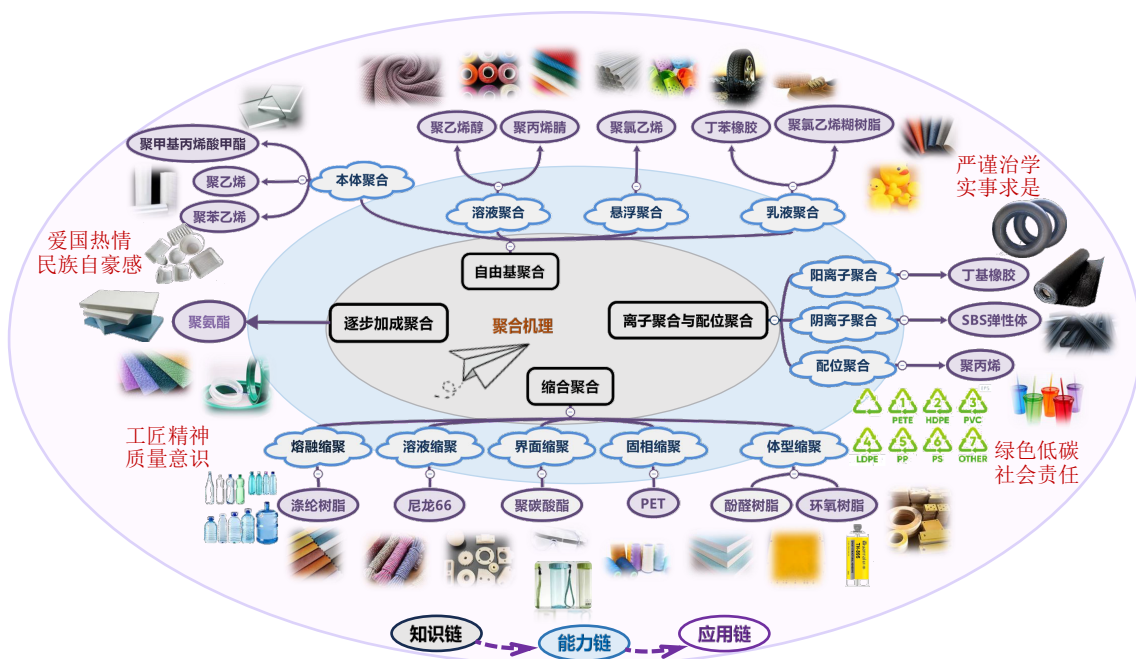


图2 “原理—工艺—应用”模块化知识体系示意图

Figure 2 Schematic diagram of the “principle–process–application” modular knowledge system

融入前沿研究成果，如绿色合成技术、可控聚合、智能制造等前沿技术，通过AI文献分析工具智能推送最新顶刊论文、行业技术快讯，引导学生关注学科前沿，培养创新思维，更好地满足行业需求及学生职业发展的需要。

丰富思政元素，如在讲述聚合物合成工艺流程时，强调工艺参数控制的严谨性和精确性，培养学生的工匠精神和质量意识。通过介绍我国的自主研发及技术突破，如国产化高性能聚丙烯腈

纤维与碳纤维的生产、突破及应用，激发学生的民族自豪感与自信心。通过分析传统聚合物合成工艺对环境的影响，引入绿色化学理念，引导学生思考如何在工艺设计中减少污染、提高资源利用率，增强环保意识和社会责任感。

## 2.2 AI赋能教学全过程

### 2.2.1 辅助教研备课

在每章备课前，教师通过教学平台的AI学情分析系统，调取上一学年学生的历史数据(如视频

表1 自由基悬浮聚合生产PVC模块架构

Table 1 Module architecture for free radical suspension polymerization to produce PVC

教学阶段(主线)	核心教学内容	培养链条	具体内涵与教学产出
聚合反应原理	(1) 氯乙烯自由基聚合机理(引发、增长、终止、链转移) (2) 悬浮聚合传质传热与成粒机理(液滴分散与聚并的动态平衡) (3) 聚合温度对PVC分子量及其分布的控制规律 (4) 链转移反应导致的PVC结构缺陷及其对热稳定性的影响	知识链	目标: 建立“反应机理→工艺参数→分子结构”的因果认知框架, 理解聚合过程的内在科学规律 产出: 学生能够绘制反应机理图, 解释温度升高聚合物分子量急剧下降原因, 为何PVC树脂需要设计疏松型结构。形成完整的理论认知网络
工艺设计方法	(1) 悬浮聚合配方设计(单体、水、分散剂、引发剂、助剂的作用、选择、质量份数范围及调整依据) (2) 聚合工艺流程与核心设备(反应釜结构、汽提塔原理) (3) 工艺控制要点(温度压力变化规律、反应终点判断)	能力链	目标: 建立“配方-流程-设备-控制”的工程认知框架, 理解工艺设计的基本逻辑, 训练将原理知识转化为解决工程问题的核心能力 产出: 能够绘制工艺流程图, 识别与分析影响产物颗粒形态的关键工艺因素(分散剂类型、搅拌速率、转化率等), 具备工程设计与优化能力
工业应用场景	(1) 树脂型号与下游性能关联(SG-5型树脂的分子量范围、孔隙率对塑化性能的影响) (2) 面向应用需求的逆向思考(以“高抗冲给水管材”为目标, 倒推所需的树脂分子特征与工艺调整方向) (3) 工艺-结构-性能三者关系的综合案例分析 (4) 绿色化工与安全环保理念(单体回收、能耗控制、安全生产)	应用链	目标: 建立“市场需求→产品性能→树脂结构→工艺参数”的逆向工程思维, 培养初步的系统工程意识 产出: 学生能够完成课堂思考讨论(如“想要获得疏松型PVC树脂, 需要控制哪些关键因素”), 能够针对给定应用场景(如硬质管材versus软质薄膜)提出合理的树脂类型建议及大致工艺方向

观看完成度、作业正确率、互动讨论热点、测验错题分布), 生成学情诊断报告, 精准定位普遍性教学难点, 为教师提供“以学定教”的科学依据。利用AI工具(如Deepseek、文心一言)分析历年学情数据, 智能生成差异化备课方案和教学策略建议以及针对性练习题库。

### 2.2.2 助力授课过程

在讲解原理及工艺部分时, 采用了“问题导向+AI解析”的教学方法。如在讲解本体聚合合成低密度聚乙烯工艺时, 教师不再直接呈现合成步骤, 而是发布任务: 请与AI助教讨论“如何通过控制反应条件调节聚乙烯分子量分布”。学生通过AI助教的交互对话, 自主探索温度、引发剂浓度等因素对聚合反应的影响规律, 并总结归纳出自己的观点。此外可以利用AI大模型生成反应历程动画和分子链生长模拟, 将抽象机理可视化, 帮助学生建立分子层面的认知。

### 2.2.3 赋能辅导答疑

基于超星平台AI助教, 注入“聚合物合成工艺学”的专业术语、公式、原理和课程特有内容进行训练, 形成课程专属AI助教, 提供7×24 h在线答疑、概念解释、作业提醒等服务, 并自动归纳高频问题反馈给教师。

### 2.2.4 驱动学情分析

利用超星平台的功能, 全面动态采集学生在

所有学习环节的行为数据(视频观看时长与停顿点、平台登录频次)、作业数据(客观题正误、主观题得分点、提交时间)、互动数据(讨论区发帖质量), 生成个性化学习报告和预警干预建议, 同时自动为其推送个性化学习补给包, 如相关知识点微课视频、关联的基础概念复习资料、练习题以及相关的工业案例等, 真正实现因材施教。

### 2.2.5 课堂教学智能评测

对于线下课堂, 利用“雨课堂”或“学习通”进行随堂测验, 系统即时完成客观题批改并生成可视化成绩分布图, 可当场了解全班掌握情况, 动态调整教学节奏。对于期中测试, 利用AI自动组卷并进行辅助批改, 对客观题实现自动批改。对简答题、论述题、计算题等主观题, AI进行初筛批改, 识别答案中的关键词、核心公式、逻辑结构, 并给出语法和规范性的修改建议。考试结束后, 系统自动生成试卷分析报告, 包括每题的正确率、区分度、各选项选择人数, 并自动归因错题所对应的薄弱知识点。教师可据此精准讲评试卷, 并针对班级共性弱点设计专题复习课。

### 2.2.6 AI幻觉有效规避

在教学全过程中, 如何恰当评判AI生成内容的正确性并有效规避“AI幻觉”, 是确保人工智能赋能教学可靠性的关键。本课程从教师与学生两个层面构建了系统化的评判与规避机制。

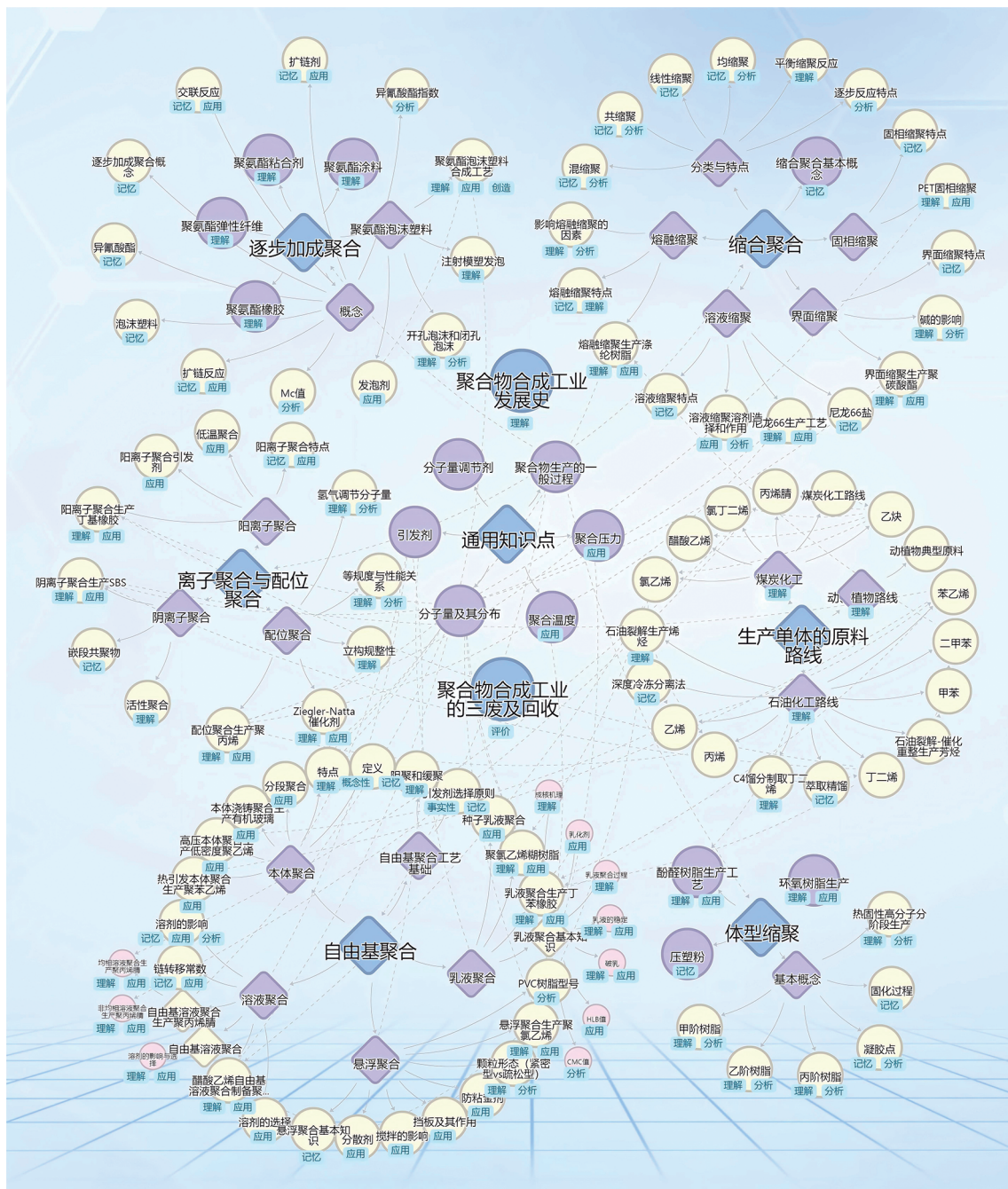


图3 “聚合物合成工艺学”课程知识图谱

Figure 3 Knowledge graph of the “Polymer Synthesis Technology” course

在教师层面，教师依托专业知识储备、教材教案、历年教学经验、课堂观察及学生访谈等多源信息，对AI输出内容进行综合甄别，形成第一道专业把关。

在师生互动环节，教师指导学生规范与AI的交互方式：提问需包含准确的情境设定(如“我是一名高分子材料与工程专业的学生，正在进行丙烯配位聚合工艺探索”)、清晰的边界(如“请

基于Ziegler-Natta催化剂体系说明氢气对产物聚丙烯分子量的影响”)以及具体的输出格式要求(如“请列出所述内容的参考资料来源”)，从源头降低幻觉风险。学生在课堂分享与AI的互动结果，教师现场点评、追问、纠正和补充，将零散信息整合为系统认知。学期末统计典型AI幻觉案例，形成数据积累，为课程持续改进提供依据。

在学生层面，基于超星平台的AI助教采用检

索增强生成架构,强制优先引用课程专属知识库(教材、课件、案例等经审核资源),并标注信息来源(如“参考教材第五章”)。当提问超出预设范围时,AI主动提示“此为课程外内容,建议参考拓展文献”,避免无中生有。每个AI回答下方设有评价入口,学生可实时反馈答案质量。教师端定期接收高频问题与疑似错误报告,人工修正后更新知识库,形成“使用—反馈—优化”的迭代闭环。

学期初通过AI助教公告发布使用须知,明确“AI是学习伙伴而非权威答案生成器”,培养学生批判性思维与信息甄别能力。

### 2.3 “数字情景模拟+实景验证”混合实践模式

在虚拟仿真平台资源有限的条件下,我们创新性地采用了“数字模拟为主,实景验证为辅”的低成本实践方案。

利用过程工程模拟软件 Aspen Plus 进行工艺设计。该软件内置了完备的物性数据库、丰富的单元操作模块以及先进的收敛算法,能够对稳态工艺流程进行严格的质量平衡、能量平衡和相平衡计算。支持自由基聚合、Ziegler-Natta 催化聚合等多种聚合反应,能够对聚合工艺进行物料衡算、能量衡算和产物性质预测<sup>[11,12]</sup>。

学生首先通过AI教学助手了解工艺背景和关键技术参数,然后使用 Aspen Plus 流程模拟软件进行工艺流程设计、聚合过程参数设定(如反应温度、反应压力、各股进料流量等),运行模拟程序后可以得到一系列关键聚合数据(如聚合物的聚合度、分子量,玻璃化转变温度、熔融温度等)。也可以通过灵敏度设置模拟反应温度、压力及物料配比对聚合过程和结果的影响,指导工艺参数优化。例如,通过对聚丙烯合成工艺进行流程模拟,分析不同操作条件对产物性能的影响。图4为利用 Aspen Plus 构建的聚丙烯合成工艺流程界面(图4a)、运行后得到的数均分子量分布图(图4b)和聚合温度与聚合压力对聚丙烯分子量影响的3D曲面图(图4c)。这一数字模拟环节将教材中的工艺流程图转化为可动态运行调试的模拟界面,不仅降低了实验成本,还允许学生尝试多种设计方案,培养其工程优化思维。学生在课程中建立的工艺认知和软件基础,在“高分子建筑材料”课程设计等后续实践环节中可以得到深化应用。

实景验证主要通过收集和整理来自合作企业

及科普视频中的实际生产线视频,形成线上实景资源库,帮助学生建立工艺设备的尺度感和现实感。

## 3 改革成效与应用效果

### 3.1 学生学习效果提升

为科学评估教学改革效果,本研究采用纵向对比方法,将今年实施改革班级与同专业去年未实施改革班级进行对比分析。通过一学年的教学实践与数据收集,发现在多个维度上取得了显著成效。

学生课堂积极性实现质的飞跃。改革后班级的课堂表现数据显示:学生平均主动提问次数从每节课0.8次提升至2.5次;小组讨论参与度从65%提升至92%;课堂互动频次提升240%。这些数据充分证明了AI赋能的教学模式有效激发了学生的学习兴趣 and 主动性。具体而言,在“水性聚氨酯合成工艺设计”项目中,改革后班级的学生自发组成6个研究小组,利用课余时间通过AI助手进行文献调研和方案优化。依托三链融合知识体系,按照“分子设计—工艺设计—工业应用”逻辑,完成了12套完整的树脂合成创新配方设计,其中“高硬度快干型水性木器漆用聚氨酯分散体开发”等3个方案具有实际应用价值,被推荐给合作企业进行评估。

评价满意度显著提升。课程结束后的学生评教问卷调查显示,改革后学生对课程的综合满意度在全学院课程中排名达到39/121(全院2025年度共开设121门课,聚合物合成工艺学课程评价排名39),较改革前的53/95有显著提升。学生评教留言中多次提到“教学方法很吸引人”“教师认真负责”“教学质量高”“有实际应用价值”等评价,印证了AI赋能教学的尝试取得了预期效果。

### 3.2 教师教学效能改善

AI助手有效减轻教学负担:通过将部分答疑、作业初审等任务分流给AI助手,教师用于重复性工作的时间减少了约40%,从而能将更多精力投入到对学生的个性化深度指导和教学研究上。

教学资源建设的成本降低:利用过程工程模拟软件进行工艺设计,结合可视化材料,相比购买商业虚拟仿真软件或开发定制化平台,成本低,且内容可根据教学需求灵活调整,实现了“低投入、高适配”。

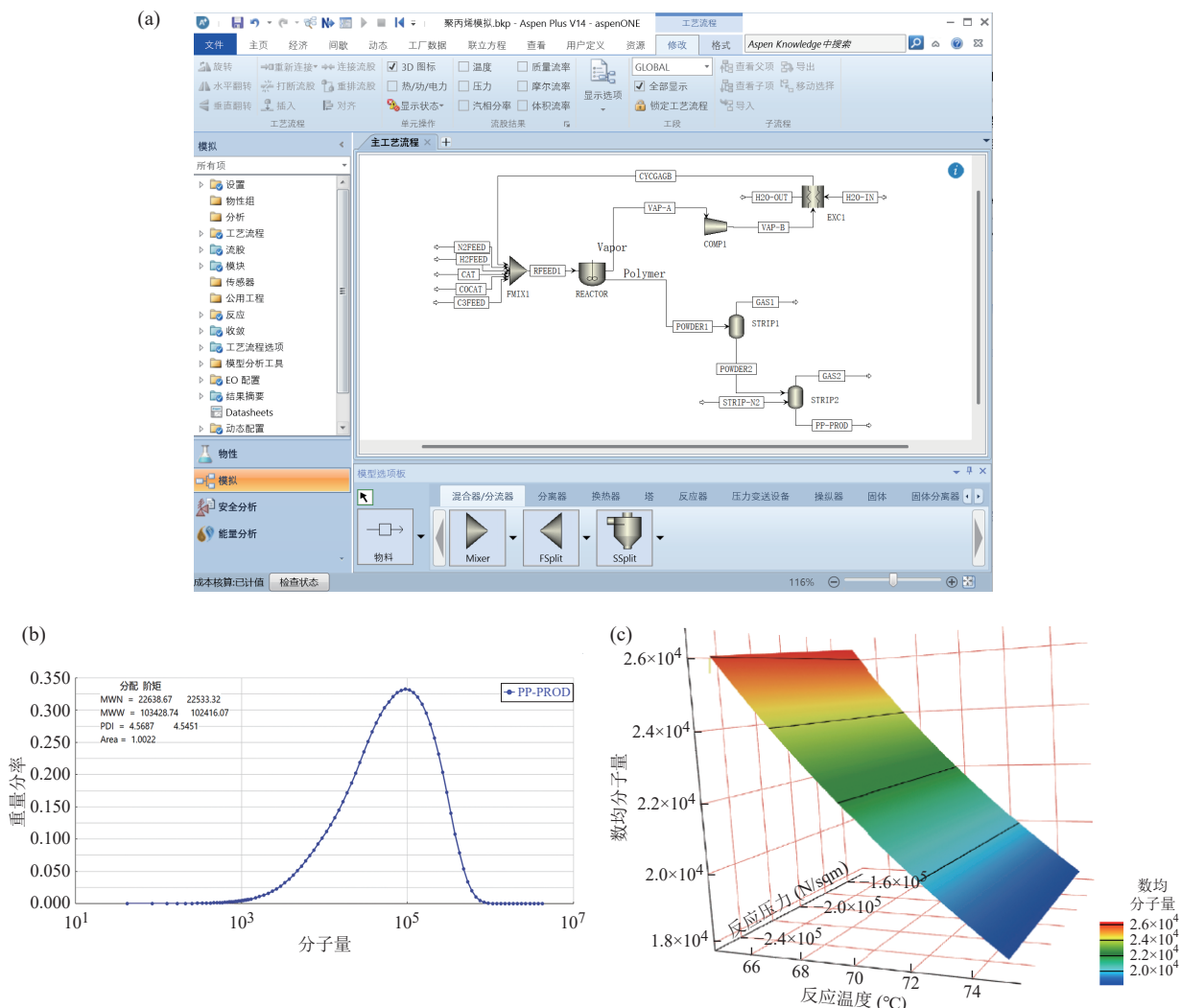


图4 (a) Aspen Plus构建聚丙烯合成工艺流程界面;(b)模型运行后得到的聚丙烯数均分子量分布图;(c)聚合温度与聚合压力改变对聚丙烯分子量影响的3D曲面图

**Figure 4** (a) Schematic diagram of the polypropylene synthesis flow constructed by Aspen Plus, (b) Molecular weight distribution chart of polypropylene obtained from the model operation, (c) A 3D surface plot of the influence of polymerization temperature and pressure on the molecular weight of polypropylene

## 4 结论

针对资源约束条件下聚合物合成工艺学课程的教学困境,构建了“教师主导—学生主体—AI赋能”三元协同教学机制,充分利用AI在教学中的赋能作用,实现了规模化因材施教。实践证明,在不依赖大规模硬件投入的前提下,通过智能利用现有的AI技术和优化教学设计,同样可以显著提升学生的工程能力培养质量。AI不再是可有可无的点缀,而是深度嵌入“教、学、练、评”各个环节的关键赋能工具。这种“以智补缺、以虚扩实”的改革路径,不仅适用于高分子材料专业,也为其他工程类专业的教学改革提供了有益参考。然

而,AI技术融入教学的过程并非一蹴而就,在实践中仍需直面若干深层挑战。如何防止学生对AI过度依赖而弱化自主思考能力,如何厘清AI的能力边界与角色定位,如何提升师生在智能教育环境中的数字素养,都是需要持续探索的重要课题。未来,应更加注重学生批判性思维与工程判断力的培养,明确人机协同的角色分工,构建开放包容的智能教育生态,使技术真正服务于人的全面发展。唯有在拥抱技术的同时保持清醒审视,方能在变革中行稳致远。

## 参考文献

- 1 陈志华,苑宏英,高聪,赵国敏.“智能+”的新工科建

- 设:本科教学管理与创新思考.中国建设教育,2023,(3),13-14.
- 2 王犁.《中国智慧教育白皮书》正式发布.科教文汇,2025,(10),1.
- 3 丁海,和淑文,王利丹,李发闯,闵志宇,曹伟.人工智能技术在《高分子材料》课程中的教学应用与探索.高分子通报,2025,38(10),1567-1575.
- 4 邓萌,夏衍,郭正虹,闫红强,方征平.工程应用型大学“高分子物理”课程数智化教学初探.高分子通报,2026,39(1),178-184.
- 5 卞军,蔺海兰,王正云,何汇川,郭彪,陈代强,蔡旭光.AI赋能“高分子材料科学基础”一流课程教学新范式的理论探索与实践.塑料工业,2025,53(11),172-173.
- 6 黄孝华,刘婵娟,臧利敏,周立.大数据时代“聚合物合成工艺学”课程实践教学改革探析.太原城市职业技术学院学报,2025,(9),146-148.
- 7 宋欣蔚,谭志,郭蓉.人工智能背景下跨学科课程的教学模式探索:以“建筑智能化系统”为例.中国建设教育,2024,(2),103-106.
- 8 杜隆超,杨捷.《聚合物合成工艺学》的课堂教学改革与实践初探.高分子通报,2021,(2),88-90.
- 9 张高文,赵西坡,胡涛,龙世军.基于成果导向的《聚合物合成工艺学》课程教学设计与实践.高分子通报,2019,(3),79-82.
- 10 邓洁,邓丹凤,王泽锋.融合教育实践的“聚合物合成原理及工艺学”课程教学改革探究.西部素质教育,2024,10(9),169-172.
- 11 雷玉龙.基于Aspen的丙烯聚合过程模拟.中国海洋大学硕士学位论文,2013.
- 12 卢昶,宫翠平,杨彩娟.聚丙烯装置Aspen Plus软件建模及应用.齐鲁石油化工,2015,43(3),189-193.