

虚拟仿真与AI融合助力催化裂化实训教学改革实践

魏伯峰*, 张伟, 王绍艳, 朱亚明, 郝晓亮, 张丽

辽宁科技大学化学工程学院, 辽宁 鞍山

收稿日期: 2025年7月21日; 录用日期: 2025年8月20日; 发布日期: 2025年8月28日

摘要

针对化学工程专业催化裂化实训教学中存在的实物设备成本高、安全风险大、场地受限以及学生实操机会少等问题, 半实物实训工艺装置借助虚拟仿真与AI技术构建起催化裂化虚拟仿真系统, 打造新模式下的实训环境。该系统整合数字化教学资源与AI系统, 融合实景仿真、流程模拟技术与工艺实践, 依托AI伴学系统助力教学, 并对系统功能和教学效果进行评测。通过这些举措, 助力学生掌握催化裂化知识技能, 激发学习兴趣, 提升综合实践能力与安全意识。此融合模式打破传统教学的局限, 为化工实训教学模式提供了更高效的实践案例, 在一定程度上缓解了学生催化裂化实践的现实问题。

关键词

虚拟仿真, AI技术, 催化裂化, 教学改革

Integration of Virtual Simulation and AI to Assist in the Reform and Practice of Catalytic Cracking Training and Teaching

Bofeng Wei*, Wei Zhang, Shaoyan Wang, Yaming Zhu, Xiaoliang Hao, Li Zhang

College of Chemical Engineering, Liaoning University of Science and Technology, Anshan Liaoning

Received: Jul. 21st, 2025; accepted: Aug. 20th, 2025; published: Aug. 28th, 2025

Abstract

In response to the problems of high cost of physical equipment, high safety risks, limited space, and few practical opportunities for students in catalytic cracking training teaching for chemical

*通讯作者。

文章引用: 魏伯峰, 张伟, 王绍艳, 朱亚明, 郝晓亮, 张丽. 虚拟仿真与AI融合助力催化裂化实训教学改革实践[J]. 教育进展, 2025, 15(8): 1688-1694. DOI: 10.12677/ae.2025.1581630

engineering majors, a semi physical training process device has been constructed using virtual simulation and AI technology to create a catalytic cracking virtual simulation system and create a new training environment under a new mode. This system integrates digital teaching resources with AI systems, integrates real-life simulation, process simulation technology, and process practice, relies on AI companion learning systems to assist teaching, and evaluates system functions and teaching effectiveness. Through these measures, we aim to assist students in mastering knowledge and skills related to catalytic cracking, stimulate their interest in learning, and enhance their comprehensive practical abilities and safety awareness. This fusion mode breaks the limitations of traditional teaching and provides a more efficient practical case for chemical engineering training teaching mode, alleviating the practical problems of students' catalytic cracking practice to a certain extent.

Keywords

Virtual Simulation, AI Technology, Catalytic Cracking, Teaching Reform

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在化学工程专业教育体系里，实训教学作为理论知识与实际应用相连接的关键环节，对培养学生的实践操作能力、创新思维和解决复杂工程问题的能力起着不可替代的作用[1]-[3]。

近年来，虚拟仿真技术在化工实训领域的应用逐步深化。早期研究多聚焦于单一设备或局部流程的模拟，如马超等(2018)构建的化工原理虚拟实验平台，验证了虚拟仿真在降低设备成本与安全风险方面的可行性，但该平台仅覆盖基础单元操作，未涉及催化裂化这类复杂工艺的全流程模拟[1]；许书瑞等(2020)针对催化裂化开车过程开发了仿真系统，实现了关键操作步骤的交互模拟，但缺乏对学生个性化学习需求的动态响应机制[3]。与此同时，AI 技术在教育领域的应用呈现从理论探索向实践落地的趋势：别敦荣(2024)从理论层面阐释了 AI 对个性化教学的支撑逻辑，提出通过数据分析优化学习路径的核心思路[4]。

综合来看，当前研究存在两方面显著不足：一是化工虚拟仿真系统多侧重流程可视化或操作模拟，与 AI 技术的融合停留在表层，缺乏对学生操作数据的实时分析与动态指导；二是针对催化裂化这类高温高压、参数耦合性强的工艺，现有系统在实景沉浸感、参数交互深度及 AI 驱动的个性化伴学方面仍有提升空间，难以满足复杂工程实践能力培养的需求。

传统的催化裂化实训严重依赖实物装置，从成本角度来看，实物装置的采购、维护和更新需要大量资金投入。例如，一套完整的催化裂化实训设备价格可能高达数百万甚至上千万元，后续每年的维护费用也颇为可观，这对许多高校的教学经费造成了巨大压力[1]。在安全方面，催化裂化涉及高温、高压以及易燃易爆、有毒有害的化学物质，学生在操作过程中一旦出现失误，极易引发安全事故，威胁学生的生命安全和身体健康[2]。场地方面，实物装置体积庞大，占据大量教学空间，使得同一时间能够参与实训的学生数量受限，导致学生实际动手操作的机会稀少，远远无法满足实践教学的要求[3]。此外，传统实训教学模式较为单一，多为教师示范后学生模仿操作，难以充分调动学生的学习积极性和主动性，不利于培养学生的创新思维和独立解决问题的能力。

本研究在上述成果基础上，通过深度融合虚拟仿真与 AI 技术，构建了面向催化裂化实训的一体化教

学系统,其核心创新点包括:一是将 3D 实景建模与高精度流程模拟相结合,实现从装置结构认知到工艺参数耦合规律探究的递进式学习;二是通过 AI 算法对学生操作行为进行多维度分析,构建“实时监测-智能诊断-精准推送”的伴学机制,形成个性化学习闭环;三是建立涵盖操作规范性、问题解决能力及安全意识的综合评测体系,为复杂化工工艺实训教学提供可复制的改革路径。

将虚拟仿真与 AI 技术引入化工实训课程,可以有效解决传统实训教学中成本高、风险大、场地受限的问题,还能够在安全的虚拟环境中进行催化裂化实训,无需担忧设备损坏和安全事故,同时降低了教学成本,突破了场地限制,让更多学生能够获得充足的实践机会[1]-[3]。另一方面,这种融合模式为学生带来了更丰富、生动且个性化的学习体验。AI 伴学系统实时陪伴学生学习,依据学生的学习进度和操作情况给予及时指导和反馈,帮助学生纠正错误、优化操作流程[4]-[7]。虚拟仿真系统中的数字化教学资源,如动画、视频、虚拟模型等,将抽象的化工知识直观呈现,激发学生的学习兴趣,提升学习效果。此外,通过分析虚拟仿真系统和 AI 伴学系统产生的大量数据,教师能够全面了解学生的学习过程和效果,从而更好地调整教学内容和方法,实现精准教学[5] [7]。

综上所述,借助虚拟仿真与 AI 技术推进化工实训教学改革,是提升化学工程专业教学质量、培养适应时代需求的化工人才的重要探索。在当前教育信息化快速发展的背景下,积极探索和应用这两项技术,对推动化工实训教学的创新发展具有重要的现实意义。

2. AI 助力催化裂化虚拟仿真系统设计

2.1. 数字化教学资源与 AI 系统相结合

构建丰富的数字化教学资源库,是 AI 助力催化裂化虚拟仿真系统的重要基础。在催化裂化领域,其知识涵盖反应原理、工艺流程、设备操作规范、安全注意事项等多个方面。我们广泛收集这些知识,并将它们制作成多样化的数字化资源,如高清 3D 设备模型、生动的动画演示、详细的操作视频以及图文并茂的电子文档等。

如图 1 所示,这些数字化教学资源并非独立存在,而是要与 AI 系统进行深度融合。借助 AI 的智能检索和推荐算法,能够实现教学资源的精准推送。以学生在虚拟仿真平台的学习过程为例,当学生进行某一操作步骤时,AI 系统会根据其操作行为和当前学习进度,自动推送与之相关的教学资料,像该操作步骤的原理讲解视频、类似操作的案例分析等。

不仅如此, AI 系统还能依据学生对知识的掌握程度,为他们规划个性化的学习路径,引导学生逐步深入学习催化裂化知识。对于基础较为薄弱的学生, AI 系统会优先推送基础知识讲解资源,帮助他们夯实基础;而对于学习能力较强的学生, AI 系统则会推送拓展性的研究成果和前沿技术资料,满足他们更高层次的学习需求。

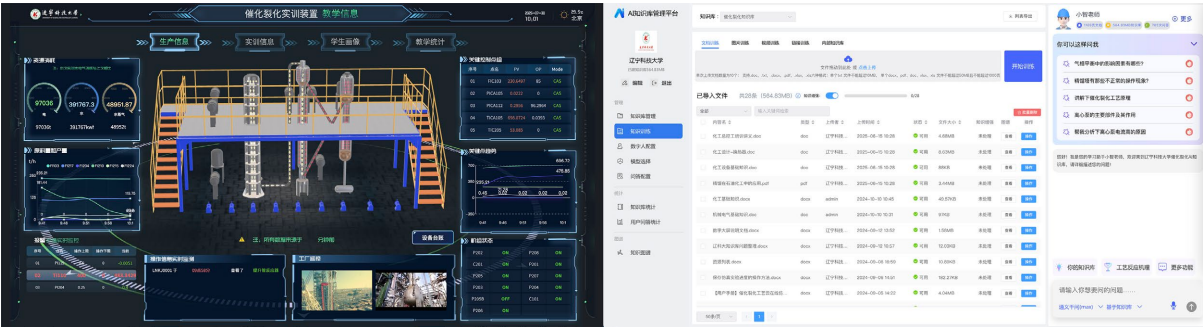


Figure 1. Digital kanban based on catalytic cracking training and professional knowledge based on AI model
图 1. 基于催化裂化实训的数字看板与基于 AI 模型的专业知识库

2.2. 实景仿真技术、流程模拟技术与工艺实践相结合

在催化裂化实训教学中，先进的实景仿真技术发挥着关键作用。通过该技术，我们能够高度还原催化裂化装置的真实场景，从装置的整体布局，到每个零部件的细微之处，都尽可能做到与实际生产装置毫无二致。这一过程借助了 3D 建模和虚拟现实(VR)技术，为学生营造出沉浸式的学习环境。在这个虚拟场景里，学生仿佛置身于真实的工厂，可自由穿梭其中，全方位、多角度地观察和了解装置的结构与运行情况。

仅有实景仿真还不够，流程模拟技术的融入进一步深化了学生对催化裂化工艺的理解。我们通过建立准确的数学模型，对催化裂化的工艺流程进行精确模拟。这个模型能够细致地展现原料在装置中的反应过程、产物的生成和分离过程，以及各种工艺参数，如温度、压力、流量等，对反应和分离效果的具体影响。在虚拟仿真系统中，学生拥有自主探索的空间，他们可以自由调整这些工艺参数，实时观察模拟结果的动态变化，从而更加深入地理解催化裂化的工艺原理。

如图 2 所示，为了让学生更好地将理论知识转化为实践能力，我们将实景仿真、流程模拟与工艺实践紧密结合，精心设计了一系列具有针对性的实践任务。例如，设置装置开车、停车、正常运行调节以及故障诊断与处理等实践场景，让学生在虚拟环境中严格按照实际生产的操作规范和流程进行操作练习。在学生实践过程中，系统会实时监测其操作步骤和参数设置。一旦发现错误操作，系统会立即给予提示和纠正，并详细解释错误原因。通过这种方式，帮助学生及时发现并改正问题，规范操作流程，切实提高实践能力。

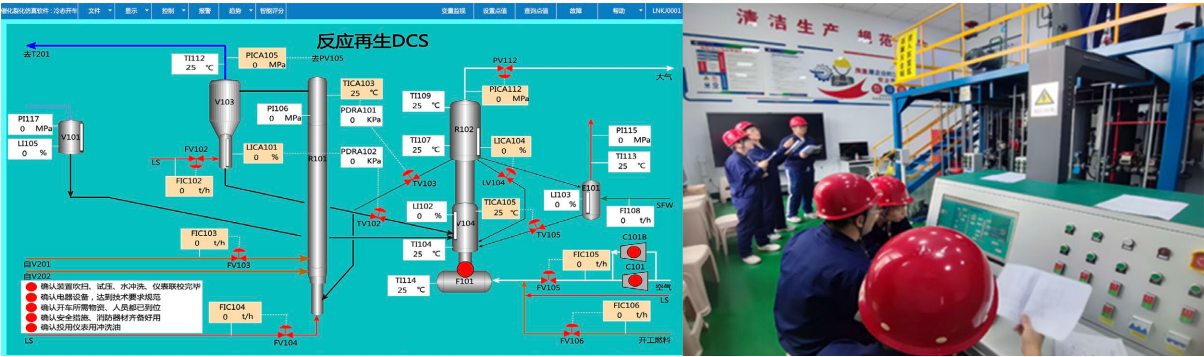


Figure 2. Simulation process combined with semi physical device
图 2. 结合半实物装置的仿真流程

2.3. AI 伴学系统助力实训教学

为学生们提供全方位、个性化的学习支持，专门开发的 AI 伴学系统在实训教学中发挥着关键作用。该系统拥有强大的智能答疑功能，是学生学习路上的“智慧助手”(图 3)。在学习和实践过程中，学生一旦遇到问题，随时都能向 AI 伴学系统提问。系统运用先进的自然语言处理技术，能够精准理解学生问题的含义，接着通过对知识图谱的快速检索与推理，给出既详细又准确的解答。

例如，当学生对某一阀门的操作方法存在疑问时，AI 伴学系统的回答不仅涵盖具体操作步骤，还会深入解释该阀门在整个工艺流程中的作用，以及操作不当可能引发的后果。这让学生不仅知其然，还知其所以然，更全面地掌握知识。

AI 伴学系统的优势不止于此，它还能像一位尽职的学习管家，实时监测学生的学习状态和操作行为。通过收集和分析学生的操作数据、学习时长、答题情况等多维度信息，系统可以精准评估每个学生的学习进度和知识掌握程度。

基于这些评估结果，AI 伴学系统会为每位学生“量身定制”个性化的学习计划和辅导方案。对于学习进度较慢的学生，系统会有针对性地增加基础知识的复习和巩固练习，帮助他们夯实基础；而对于学习进度较快的学生，系统则会提供具有挑战性的拓展任务，比如让学生尝试优化工艺参数以提高产品质量，充分激发他们的学习潜力。

此外，AI 伴学系统还模拟真实教师的教学风格和方法，与学生积极互动交流。在学生取得进步时给予鼓励，在遇到困难时给予引导，以此增强学生的学习动力，帮助学生树立自信心，让学生在学习过程中感受到陪伴与支持，更积极主动地投入到实训学习中。



Figure 3. AI assistant education platform based on catalytic cracking training
图 3. 基于催化裂化实训的 AI 助手助学平台

2.4. 系统功能与教学效果的评测

为全面评估虚拟仿真系统的运行状况和教学成效，建立一套科学合理的系统功能与教学效果评测体系至关重要。这一体系从系统功能和教学效果两个关键维度展开评测，以实现对教学过程和成果的深度剖析。

在系统功能评测方面，着重考察系统的稳定性、兼容性、界面友好性以及操作便捷性等核心指标。系统的稳定性是保障教学顺利开展的基础，兼容性确保其能与多种设备和软件协同工作，界面友好性和操作便捷性则直接影响用户体验。通过收集学生和教师在使用过程中的反馈意见，能及时发现系统存在的问题。例如，若有学生反馈系统在特定操作下出现卡顿，或教师反映与某教学软件不兼容，就可针对这些问题进行优化。持续的优化有助于系统保持稳定、高效运行，为教学活动提供坚实的技术支撑。

教学效果评测则采用多元化的评价方式，突破了传统仅依赖考试成绩的单一模式。除了关注学生的考试成绩，还将重点放在学生在虚拟仿真平台上的操作表现上，包括操作的准确性、规范性和熟练程度等方面。例如，在模拟化工设备操作时，学生对各类阀门、仪表的操作是否精准规范，能否快速且熟练地完成一系列操作流程，都是评价的要点。同时，学生完成实践任务的质量也是重要的评价依据，涵盖任务完成的时间、解决问题的能力等。如果学生能在更短时间内高质量完成任务，且在遇到突发问题时展现出较强的解决能力，说明其对知识和技能的掌握程度较高。此外，学生在学习过程中的创新思维和

团队协作能力也纳入评价范围。

为深入了解学生的学习过程和特点,借助大数据分析技术挖掘和分析学生在虚拟仿真系统和 AI 伴学系统中产生的大量学习数据。比如,通过分析学生不同知识点上的学习时间和答题准确率,能够精准找出学生的学习难点和薄弱环节。若发现学生在催化裂化反应原理知识点上花费大量时间但答题准确率较低,教师就可据此调整教学内容和方法,如增加相关案例分析、强化重点讲解等,提高教学的针对性和有效性。

最后,依据评测结果对表现优秀的学生进行表彰和奖励。这种激励机制能够激发学生的学习积极性,让更多学生主动参与学习和实践,形成良好的学习氛围,进一步推动教学质量的提升。

3. AI 助力虚拟仿真实践成效

3.1. 提高了学生学习积极性

在引入虚拟仿真与 AI 技术之前,催化裂化实训教学形式较为单一,学生对课程的学习兴趣普遍不高。虚拟仿真与 AI 融合的教学模式为学生带来了全新的学习体验,极大地激发了学生的学习积极性。丰富多样的数字化教学资源,如生动形象的动画演示、逼真的虚拟场景,使抽象的催化裂化知识变得直观易懂,吸引了学生的注意力。AI 伴学系统的个性化学习支持,满足了不同学生的学习需求,让每个学生都能在学习中获得成就感。例如,AI 伴学系统根据学生的学习进度和表现给予及时鼓励和反馈,增强了学生的学习自信心。据调查,采用新的教学模式后,学生主动参与课外学习的比例从之前的 25% 提升至 65%,对催化裂化课程的满意度也从 55% 提高到 85%。

3.2. 改善了学生动手实践能力

传统实训教学受设备和场地的限制,学生动手实践机会有限,导致实践操作能力难以有效提升。虚拟仿真系统为学生提供了大量的实践机会,学生可在虚拟环境中反复进行操作练习,无需担心操作失误带来的损失。AI 伴学系统的实时指导和反馈,帮助学生及时纠正错误,规范操作流程,不断提高操作技能。通过一系列的实践任务,学生在装置启动、运行调节、故障排除等方面的能力得到了显著提升。在实际操作考核中,采用新教学模式的学生在操作的准确性和熟练程度上,比传统教学模式下的学生提高了 40% 以上,解决实际问题的能力也明显增强。

3.3. 提升了学生安全意识

化工生产存在较高的安全风险,培养学生的安全意识至关重要。虚拟仿真系统通过模拟各种安全事故场景,如火灾、爆炸、泄漏等,让学生直观感受安全事故的严重性和危害。在虚拟环境中,学生学习预防安全事故的方法,掌握正确的应急处理措施。AI 伴学系统在学生操作过程中,实时提醒安全事项,规范操作行为,避免因操作不当引发虚拟安全事故。通过这种方式,学生的安全意识得到了极大提升。调查显示,采用新教学模式后,学生在安全知识考核中的平均成绩比之前提高了 25 分,在模拟安全事故场景中的应急处理能力也显著提高。

4. 讨论与局限性

本研究通过整合虚拟仿真与 AI 技术构建催化裂化实训系统,在优化教学流程与提升学生综合能力方面取得一定成效,但仍存在以下局限性需客观审视:

从研究样本来看,当前教学效果数据主要来源于辽宁科技大学化学工程专业的学生(样本量约 200 人),仅覆盖单一院校且规模有限,可能受地域教学特色与学生基础差异影响,研究结论的普适性需多院

校、大样本数据进一步验证。同时,虚拟仿真系统虽能高精度模拟工艺参数变化,但难以完全复现真实操作中的物理反馈——如设备运行时的振动触感、高温部件的热辐射效应、物料流动的声学特征等,这种多感官体验的缺失可能弱化学生对操作强度与环境风险的直观认知。

从技术应用层面分析,AI 伴学系统的知识库主要依赖现有教材与文献构建,对工业生产中罕见的复杂故障案例(如多参数耦合失效)覆盖不足,导致非常规问题的指导精度有限;且系统算法基于标准化操作数据训练,对学生的创新性操作(如非标准流程的优化尝试)的识别与反馈能力仍待提升。

潜在负面影响方面,需警惕三重风险:一是技能迁移偏差,虚拟环境中操作的低物理阻力与即时反馈,可能使学生在接触真实设备时出现操作节奏把控失当或对设备损耗顾虑不足的问题;二是过度依赖倾向,约 15% 的学生在无 AI 辅助的模拟考核中,故障诊断耗时增加 30% 以上,反映出部分学生自主分析能力弱化;三是场景简化导致的认知偏差,系统对原料纯度波动、设备轻微泄漏等干扰因素的模拟较简化,可能使学生对实际生产中“多变量耦合”特性的理解不够深入。

需强调的是,本研究成果是特定教学场景下的阶段性探索,其效果受院校教学资源配置、教师引导方式等多重因素影响,无法直接推广至所有化工实训场景。虚拟仿真与 AI 技术始终是教学的辅助工具,其价值实现需依托教师对教学目标的精准把控与学生的主动探究,而非替代传统实践教学的核心地位。

5. 结束语

虚拟仿真与 AI 技术的融合为化学工程专业催化裂化实训教学带来了创新性变革,在一定程度上缓解了传统实训教学中存在的诸多问题,显著提升了教学质量和学生的综合素质。通过构建 AI 助力的催化裂化虚拟仿真系统,学生的学习积极性得到极大激发,动手实践能力和安全意识显著增强。然而,教学改革是一个持续的过程,随着技术的不断进步和教育理念的更新,需要进一步优化和完善虚拟仿真与 AI 融合的教学模式。未来,可以进一步加强虚拟仿真系统与实际生产的对接,引入更多真实的生产案例和数据,使学生更好地了解行业实际需求;持续提升 AI 伴学系统的智能化水平,提供更精准、高效的学习支持;同时,加强对教学效果的长期跟踪和评估,不断改进教学方法和教学内容,以培养出更多适应时代发展需求的高素质化工人才。

基金项目

辽宁科技大学教育科学研究项目催化裂化半实物实训平台融合虚拟仿真与 AI 的教学优化实践(GJ25YB17); 辽宁科技大学教育科学研究项目人工智能技术与《化工原理》课程融合模式探索与实践研究(GJ25YB05); 辽宁省教育科学十四五规划课题(JG24DB269); 辽宁科技大学本科教学改革项目(XJGKC202403)。

参考文献

- [1] 马超,曹森,杜超,等. 基于虚拟仿真技术的化工原理实验改革初探[J]. 广州化工, 2018, 46 (3): 171-172.
- [2] 晏佳莹,张诺诺. 基于虚拟仿真和项目教学的化工工艺学教学实践改革[J]. 山东化工, 2019, 48 (2): 159-160.
- [3] 许书瑞,傅小波,钟国玉,等. 虚拟仿真在化学工程专业实训中的应用——以催化裂化开车为例[J]. 山东化工, 2020, 49(2): 179-180+182.
- [4] 别敦荣. AI 技术应用于大学教育教学的理论阐释[J]. 中国大学教学, 2024 (5): 4-9.
- [5] 崔勇,宋一恒,胡庆雷,等. 基于虚拟现实技术的智能车数字化实验教学平台设计及应用[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44 (3): 67-71+82.
- [6] 郭渝慧,罗允龙. 基于教学场景的书刊印刷工业虚拟仿真系统设计研究[J]. 印刷与数字媒体技术研究, 2024(4): 27-36.
- [7] 苏宁,张翼飞,李赵辉,等. 基于通用大模型的“机械基础”课程 AI 教学助手设计与开发研究[J]. 中国信息技术教育, 2025(7): 102-106.