

Aspen软件与虚拟仿真融合的“分层递进式”实验教学改革研究

——以《化工原理》课程为例

庞邦辉, 王磊*

杭州师范大学材料与化学化工学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2025年9月5日; 录用日期: 2025年10月4日; 发布日期: 2025年10月13日

摘要

为应对《化工原理》课程传统实验教学中设备成本高、安全风险大及学生实践机会有限等挑战, 本研究将Aspen Plus流程模拟软件与虚拟仿真技术深度融合, 聚焦于“分层递进式”虚拟仿真实验项目的设计、实施与评估。通过构建包含基础验证、综合设计与创新研究三个层次的实验体系, 并详细阐述其在《化工原理》核心单元操作(如精馏)中的具体应用, 本文为同类课程的教学改革提供一套可操作、可复现的参考范式。初步实践表明, 该模式不仅显著提升了学生的学习兴趣与学业成绩, 更在培养其工程思维、系统设计与创新能力方面取得了良好成效。未来, 该模式可进一步引入人工智能算法, 并推广至《化工热力学》《反应工程》等更多课程及企业培训领域。

关键词

Aspen Plus, 虚拟仿真, 化工原理, 教学改革, 分层递进式实验设计

Research on a “Layered and Progressive” Experimental Teaching Reform Integrating Aspen Software with Virtual Simulation

—A Case Study of the “Principles of Chemical Engineering” Course

Banghui Pang, Lei Wang*

School of Materials Science and Chemistry, Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

Received: September 5, 2025; accepted: October 4, 2025; published: October 13, 2025

*通讯作者。

文章引用: 庞邦辉, 王磊. Aspen 软件与虚拟仿真融合的“分层递进式”实验教学改革研究[J]. 教育进展, 2025, 15(10): 415-422. DOI: 10.12677/ae.2025.15101851

Abstract

To address the challenges of traditional laboratory teaching in the “Principles of Chemical Engineering” course, such as high equipment costs, significant safety risks, and limited student practical opportunities, this study deeply integrates Aspen Plus process simulation software with virtual simulation technology, focusing on the design, implementation, and evaluation of “layered and progressive” virtual simulation experimental projects. By constructing an experimental system encompassing three levels: basic verification, integrated design, and innovative research, and elaborating on its specific application in core unit operations in “Principles of Chemical Engineering” (e.g., distillation), this paper provides a practical and reproducible reference model for teaching reform in similar courses. Preliminary results indicate that this model not only significantly enhances students’ learning interest and academic performance, but also achieves positive results in cultivating their engineering thinking, system design, and innovation capabilities. In the future, this model could be further integrated with artificial intelligence algorithms and extended to more courses such as “Chemical Thermodynamics” and “Reaction Engineering”, as well as corporate training.

Keywords

Aspen Plus, Virtual Simulation, Chemical Engineering Principles, Teaching Reform, Hierarchical Progressive Experimental Design

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

1.1. 教育背景阐述

在当今科技快速发展的时代，化工教育领域正面临前所未有的挑战与机遇。一方面，化工产业的迅速升级对专业人才的知识结构与实践能力提出了更高要求；另一方面，信息技术与虚拟仿真技术的进步为化工教学提供了全新的工具与手段。《化工原理》作为连接化工基础理论与工程实践的核心课程，其教学效果直接影响学生工程素养的形成。传统的化工课程往往受限于设备、场地和安全等因素，难以满足学生对于复杂化工过程的理解与操作需求。在此背景下，教学改革成为培养适应时代需求人才的关键环节。通过引入 Aspen Plus 模拟软件和虚拟仿真实验技术，不仅可以弥补传统教学的不足，还能有效提升学生的工程意识与实践能力，为化工教育注入新的活力。

1.2. 研究目的与意义

本研究探索 Aspen 软件与虚拟仿真实验课程相结合的《化工原理》教学改革路径，以解决传统化工实验课程中存在的问题，并显著提升教学质量与学生的实践能力。传统化工实验课程因设备成本高、安全风险大以及实践机会有限等问题，制约了学生对化工过程的深入理解与操作能力的培养。而 Aspen 软件凭借其强大的化工过程模拟功能，能够直观展示工艺流程并辅助工艺设计，虚拟仿真实验则以其可重复性与沉浸感为学生提供了安全且灵活的实验环境[1]。两者的结合不仅有助于优化现有课程体系，还能构建并实践一套“分层递进式”的虚拟仿真实验教学体系，匹配学生认知能力的发展规律，从而更好地满足行业对高素质应用型人才的需求。

2. 传统化工实验课程存在的问题

2.1. 设备相关难题

在传统化工实验课程中, 实验设备的高成本与维护难度成为制约教学发展的重要因素。化工类实验设备通常具有体积大、结构复杂、物料用量大的特点, 其购置费用高昂, 且日常维护需要专业技术支持, 导致大部分高校因经费有限而难以满足设备更新的需求[2]。此外, 部分设备由于技术更新换代较慢, 无法及时反映现代化工工业的最新发展, 这不仅影响了实验内容的先进性, 也限制了学生对前沿技术的了解与实践能力的培养。因此, 设备相关难题直接阻碍了化工实验课程的有效开展, 亟需通过教学改革加以解决。

2.2. 安全风险隐患

化工实验中涉及的安全问题同样不容忽视。许多实验需要使用易爆、易燃、有毒及强腐蚀性物质, 同时反应条件往往要求高温高压环境, 这些因素极大地增加了实验操作的安全风险。出于对学生安全的考虑, 部分高危实验项目难以在常规教学环境中实施, 从而削弱了学生对于实际化工生产安全问题的认知与应对能力。这种安全风险的存在不仅限制了实验内容的多样性, 也使得学生无法全面掌握化工生产中的潜在危险及其防范措施, 进而影响其工程实践能力的培养。

2.3. 学生实践局限

实验场地和时间的限制进一步加剧了学生在化工实验课程中的实践局限性。由于化工实验设备体积庞大、操作流程复杂, 高校实验室的空间往往难以容纳足够数量的设备, 导致学生实践操作机会有限。此外, 实验课程的时间安排通常较为紧凑, 学生难以在有限的时间内充分理解并掌握实验内容, 更难以深入探究化工过程的本质。这种实践局限性不仅限制了学生对理论知识的实际应用能力, 也使其难以形成系统的工程思维, 最终影响其综合素质的提升。

3. Aspen 软件功能特点及应用优势

3.1. Aspen 软件功能介绍

Aspen 软件作为化工流程模拟的权威工具, 具备强大的化工过程模拟与物性数据计算功能。在化工过程模拟方面, 它能够对复杂的化工流程进行精确建模, 涵盖从单元操作到整个生产系统的全面模拟。例如, 在萃取精馏分离乙酸乙酯-甲醇-水工艺中, 通过 Aspen Plus 流程模拟软件搭建四塔萃取精馏过程模型, 实现了对三元共沸混合物的高效分离[3]。此外, Aspen 软件还拥有丰富的物性数据库, 可以准确计算各种物质的物理化学性质, 为工艺设计提供可靠的基础数据支持。这些功能使得 Aspen 软件成为化工领域不可或缺的工具, 广泛应用于工艺开发、优化及教学实践中。

3.2. 在化工领域应用优势

Aspen 软件在化工领域的应用具有显著优势, 其能够直观展示化工流程, 辅助工艺设计与优化, 从而提高工程决策的科学性。通过图形化界面, 用户可以清晰地观察到物料流动路径、设备运行状态以及关键参数的变化情况, 这有助于深入理解复杂的化工过程。例如, 在精馏的严格计算与分离工艺的节能优化中, 教师可以利用 Aspen Plus 模拟软件结合具体工程案例进行讲解, 将复杂问题简单化, 帮助学生更容易掌握相关知识点[4]。同时, Aspen 软件还能通过多目标优化算法对工艺进行优化, 以经济和安全性能为目标函数, 分析分离工艺的变化规律, 为实际生产提供科学依据[5]。这种基于模拟的优化方法不仅提高了工艺设计的效率, 还显著降低了实验成本与风险, 为化工行业的可持续发展提供了有力支持。

4. 虚拟仿真实验课程特性分析

4.1. 可重复性与灵活性

虚拟仿真实验课程以其独特的可重复性和灵活性, 为化工教育带来了显著的优势。在传统实验课程中, 由于设备、材料和时间等资源的限制, 学生往往只能进行一次或少数几次实验, 难以深入探究不同实验条件对结果的影响。而虚拟仿真实验则打破了这一局限, 学生可以根据需要随时重复实验操作, 无需担心资源消耗或设备损坏的问题。此外, 虚拟仿真实验还允许学生灵活调整实验条件, 例如温度、压力、流量等参数, 从而观察和分析这些变化对实验结果的具体影响。这种灵活性不仅有助于学生深入理解化工过程的原理, 还能培养其科学探究能力和创新思维。通过反复尝试不同的实验方案, 学生能够在实践中积累经验, 提高解决问题的能力。

4.2. 场景模拟与沉浸感

虚拟仿真技术的另一大特点是其能够高度还原真实的化工场景, 为学生提供强烈的沉浸感和体验感。在传统实验课程中, 由于实验场地的限制以及部分实验设备的大型化、复杂化, 学生往往难以全面了解化工生产的实际环境和操作流程。而虚拟仿真实验通过三维建模和交互式设计, 可以逼真地模拟化工工厂的布局、设备的运行状态以及工艺过程的具体细节。学生在虚拟环境中进行操作时, 仿佛置身于真实的化工厂中, 能够直观地观察到管道、阀门、仪表等设备的运行状态, 并通过交互式操作完成实验任务。这种沉浸式的学习体验不仅增强了学生的学习兴趣, 还帮助他们更好地理解化工生产的基本原理和实际操作技能。同时, 虚拟仿真实验还能模拟一些在现实中难以实现或存在安全风险的场景, 例如高温高压条件下的化学反应过程, 使学生能够在安全的环境中接触到更多的实际案例, 进一步提升其工程实践能力。

5. Aspen 软件与虚拟仿真实验课程的结合方式

5.1. 搭建虚拟实验平台

在化工教育领域, 虚拟实验平台的构建为理论与实践的结合提供了全新的可能性。通过引入 Aspen 软件, 可以有效地模拟复杂的化工过程, 从而为学生提供一个沉浸式的实验环境。Aspen 软件以其强大的流程模拟功能为核心, 能够实现对中试放大和工业化生产条件的精确计算, 这不仅有助于学生理解实验、中试和生产三个阶段的区别, 还能够显著提升其工程意识。此外, 虚拟实验平台的搭建需要整合多方面的资源, 包括硬件设备、软件工具以及教学内容的设计。教师在教学改革中需注重将 Aspen 软件的应用与化工专业知识有机结合, 以确保学生能够从理论学习自然过渡到实际操作。通过这种方式, 虚拟实验平台不仅能够弥补传统实验设备成本高、维护困难的不足, 还可以突破时间和空间的限制, 为学生提供更为灵活的学习体验。

在具体实施过程中, 虚拟实验平台的建设还需考虑与其他教学资源的协同作用。例如, 可以将 Aspen 软件与虚拟仿真技术相结合, 利用后者在场景模拟方面的优势, 进一步增强学生的实验参与感。同时, 平台的开放性设计也至关重要, 它应支持多用户同时操作, 并允许教师根据教学目标动态调整实验参数。这种高度可定制的特性使得虚拟实验平台能够满足不同层次学生的学习需求, 从而最大限度地发挥其教学价值。总之, 通过合理整合 Aspen 软件的功能与虚拟仿真技术, 所构建的虚拟实验平台不仅能够提升教学质量, 还能为学生提供更加丰富的实践机会。

5.2. 设计虚拟仿真实验项目

基于 Aspen 软件的虚拟仿真实验项目设计是教学改革中的重要环节, 其核心在于将复杂的化工过程以直观且可操作的形式呈现给学生。以精馏和吸收为例, 这些典型的化工单元操作在工业生产中具有广

泛的应用, 但其实验过程往往受到设备规模和安全条件的限制。通过 Aspen 软件的 RateFrac 模块, 可以快速搭建精馏塔或吸收塔的模型, 并对关键参数进行优化分析[6]。例如, 在水吸收 CO₂ 的实验中, 学生可以通过模拟分析温度、压力对吸收效率的影响, 进而掌握强化吸收过程的主要措施。这种基于实际案例的实验设计不仅能够加深学生对理论知识的理解, 还能培养其解决复杂工程问题的能力。

此外, 虚拟仿真实验项目的设计还需注重层次性和综合性。以《化工原理》中的核心单元操作——乙醇-水连续精馏为例, 设计了三个层次的实验项目(表 1):

Table 1. Experimental items
表 1. 实验项目

层次	教学目标	任务描述	学生活动	考核重点
基础验证层	理解精馏原理, 掌握软件基础操作。	给定一套简化的精馏塔参数(N = 15, R = 2.5, F = 100 kmol/h), 学生在 Aspen 中搭建模型, 模拟并观察结果。	在虚拟工厂中熟悉塔结构, 在 Aspen 中完成基础建模和运行, 对比理论与模拟结果。	模型搭建的正确性、对回流比等基本参数的理解。
综合设计层	培养工程设计与优化能力。	目标是生产 95% 的乙醇产品, 成本最低。学生需综合调整理论塔板数(N)、回流比(R)、进料位置(F)等参数。	设计正交实验, 利用“参数扫描”功能分析不同参数对能耗、产量、成本的影响, 并提交优化报告。	设计方案的合理性、优化思路的逻辑性、成本-效益分析。
创新研究层	激发科研兴趣, 培养创新能力。	引入热泵精馏或隔壁塔(DWC)等节能工艺, 与常规精馏进行技术经济和环保(CO ₂ 排放)对比。	查阅文献, 构建创新模型, 利用虚拟平台的高级分析工具进行评估, 并以小论文形式提交成果。	问题定义、文献综述、模型创新性、研究报告的规范性。

这一案例充分体现了虚拟仿真实验项目在融合多学科知识方面的优势, 学生能够在实践中综合运用化工热力学、化工原理等专业知识, 探索从微观相平衡到宏观过程模拟的完整流程。同时, 项目的设计还应考虑学生的实际水平, 通过设置不同难度的任务, 逐步引导其掌握 Aspen 软件的高级功能。例如, 可以从简单的流程模拟入手, 逐步过渡到涉及多目标优化的复杂问题求解[7]。通过这种循序渐进的方式, 学生不仅能够熟练掌握 Aspen 软件的操作技巧, 还能够在实践中提升自身的工程思维能力和创新能力。

6. 结合过程中面临的困难与挑战

6.1. 教师技术掌握问题

在将 Aspen 软件与虚拟仿真实验课程相结合的过程中, 教师对这两项技术的掌握程度参差不齐成为影响教学效果的重要因素。Aspen 软件作为一款功能强大的化工过程模拟工具, 其操作复杂且涉及多学科知识, 部分教师可能仅具备基础的软件应用能力, 难以灵活运用该软件解决复杂的实际工程问题。此外, 虚拟仿真技术本身也具有较高的技术门槛, 包括场景建模、交互设计等方面的专业知识, 这对教师的综合素质提出了更高的要求。如果教师无法熟练掌握这些技术, 可能会导致教学内容单一、学生参与度低等问题, 从而削弱教学改革的实际成效。因此, 提升教师的技术水平是推动这一结合的关键环节。

6.2. 课程体系融合难题

将 Aspen 软件与虚拟仿真实验课程融入现有课程体系需要重新规划, 这一过程面临诸多挑战, 尤其是在课程衔接和课时分配方面。首先, Aspen 软件的学习需要以扎实的化工专业知识为基础, 而虚拟仿真实验则强调实践操作能力的培养, 如何在不同课程之间建立有机联系是一个亟待解决的问题。其次, 由于化工专业课程内容繁多, 受学时限制, 如何在有限的课时内合理安排 Aspen 软件与虚拟仿真实验的教

学内容也是一大难题。例如, 热力学方法的合理选择对 Aspen Plus 模拟结果的准确性至关重要, 但若在教学过程中未能充分讲解相关理论知识, 则会影响学生对软件的理解与应用。因此, 优化课程体系设计, 确保各门课程之间的无缝衔接, 是实现教学改革目标的重要保障。

7. 困难与挑战的解决方案

7.1. 教师培训提升

为解决教师对 Aspen 软件和虚拟仿真技术掌握程度参差不齐的问题, 开展针对性培训是提升教师技术应用能力的有效途径。学校可邀请 Aspen 软件的技术专家或虚拟仿真领域的资深学者, 定期组织专题讲座与工作坊, 系统讲解软件的核心功能、操作技巧及虚拟仿真实验的设计方法。此外, 鼓励教师参与企业实践活动, 深入了解化工行业的实际需求与应用场景, 从而更好地将理论知识与实践技能相结合。通过建立教师学习共同体, 促进教师之间的经验交流与资源共享, 进一步提升其技术应用水平。这种多层次、多形式的培训机制, 不仅能够提高教师的技术素养, 还能增强其对新兴教学工具的信心与接受度, 为教学改革奠定坚实基础。

7.2. 课程体系优化

将 Aspen 软件与虚拟仿真实验课程融入现有课程体系, 需要重新规划课程结构以实现无缝衔接。首先, 应根据化工专业人才培养目标, 明确 Aspen 软件与虚拟仿真实验在课程体系中的定位与作用, 避免与其他课程内容重复或脱节。其次, 合理调整课程设置, 优化课程衔接与课时安排, 确保教学连贯性。例如, 在基础课程阶段引入 Aspen 软件的基本操作, 而在专业课程中则注重其高级应用与虚拟仿真实验项目的开发。同时, 充分利用线上教学平台, 将部分理论教学内容移至线上, 释放线下课时用于实践操作与案例分析, 从而提高教学效率。此外, 通过制定详细的课程大纲与教学计划, 明确各阶段的教学目标与考核标准, 确保学生能够循序渐进地掌握相关技能, 实现知识体系与实践能力的全面提升。

8. 结合后的教学效果分析

8.1. 学生学习兴趣与成绩提升

将 Aspen 软件与虚拟仿真实验课程相结合的《化工原理》教学改革实践, 显著提升了学生的学习兴趣与学业成绩。以某应用型本科院校的化工课程为例, 通过引入 Aspen Plus 模拟软件, 学生能够在虚拟环境中完成从中试放大到工业化生产的全过程计算, 这种沉浸式学习体验极大地激发了学生的好奇心与探索欲。同时, 在“化工热力学”课程中, 学生通过使用 Aspen Plus 软件进行状态方程、焓熵性质计算等实际操作, 不仅加深了对理论知识的理解, 还提高了其解决复杂工程问题的能力。结合 Aspen 软件与虚拟仿真实验的教学方式, 能够有效提升学生的学习积极性与学术表现。

此外, 基于 Aspen Plus 的开放探索式多热源-多热力循环虚拟仿真系统也为学生提供了丰富的学习资源。学生可以在该系统内自主设计余热回收系统, 并进行热力性能模拟及热经济性分析。这种互动性强、灵活性高的学习模式, 使得学生对化工过程节能原理与技术有了更深入的理解, 从而进一步提升了其学习兴趣与成绩。通过模拟真实工业场景, 学生能够更好地将理论知识应用于实际问题的解决, 这种理论与实践相结合的教学方法得到了广泛认可。

8.2. 实践能力培养成效

Aspen 软件与虚拟仿真实验课程的结合, 在培养学生化工设计、操作等方面的实践能力方面取得了显著成效。以水吸收 CO₂ 实验为例, 通过将 Aspen Plus 软件与实验教学相结合, 学生能够利用 RateFrac

模块中的 ABSBR1 模型绘制吸收流程图, 并模拟分析不同操作条件下的吸收效率。这种基于仿真的教学设计, 不仅帮助学生掌握了强化吸收过程的主要措施, 还提高了其使用工程工具解决实际问题的能力。实验结果显示, 模拟计算得出的 CO₂ 吸收率与实验结果高度吻合, 这为学生验证实验计算结果提供了可靠依据。

与此同时, 虚拟仿真实验课程的可重复性与灵活性为学生提供了更多实践机会。例如, 在多热源-多热力循环虚拟仿真系统中, 学生可以自主选择单螺杆膨胀机、换热器、泵等关键设备, 并研究装置运行参数对余热回收系统节能特性的影响。这种开放性实验设计, 有助于学生深入理解化工单元过程的节能技术, 并培养其创新能力与工程思维。此外, 通过 Aspen Plus 软件对精馏、吸收等典型化工过程的模拟, 学生能够直观了解工艺设计与优化的具体步骤, 从而为其未来的职业发展奠定坚实基础。综上所述, Aspen 软件与虚拟仿真实验课程的结合, 显著提升了学生的实践能力, 为其成为一名合格的化工工程师提供了有力支持。

9. 未来发展方向展望

9.1. 与新兴技术融合

随着人工智能、大数据等新兴技术的快速发展, 其在教育领域的应用潜力日益凸显。将 Aspen 软件与虚拟仿真实验课程相结合的教学模式, 可以进一步通过与这些新兴技术的深度融合, 拓展其教学功能与应用场景。例如, 人工智能技术可以通过对大量化工实验数据的分析, 为学生提供个性化的学习路径和建议, 从而提升学习效率。此外, 基于大数据的技术手段能够实时采集和解析学生在虚拟仿真实验中的操作数据, 帮助教师精准评估学生的学习效果, 并及时调整教学策略。这种智能化的教学辅助系统不仅能有效弥补传统实验课程中的不足, 还能为学生提供更加丰富和高效的学习体验。同时, 通过引入虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术, 可以进一步增强虚拟仿真实验的沉浸感与交互性, 使学生在更真实的场景中掌握化工过程的核心技能。因此, 未来的教学改革应积极探索如何将 these 新兴技术与现有的 Aspen 软件和虚拟仿真平台有机结合, 以构建更加智能化、多元化的教学环境。

9.2. 应用领域拓展

除了在化工教育领域的广泛应用, Aspen 软件与虚拟仿真实验课程的结合还具有在化工科研和企业培训等领域进一步推广的潜力。在科研方面, 虚拟仿真技术可以为科研人员提供低成本、高效率的实验平台, 用于验证新工艺流程的可行性和优化设计方案。特别是在涉及复杂反应体系或高风险实验条件的研究中, 虚拟仿真技术能够有效降低实验风险, 同时提高研究效率。在企业培训领域, 这种结合模式同样具有显著优势。通过构建与实际生产场景高度一致的虚拟仿真培训系统, 企业可以为新员工提供安全、高效的岗前培训, 帮助他们快速掌握化工生产的基本技能和操作规程。此外, 针对在职员工的继续教育, 虚拟仿真平台还可以用于模拟复杂工艺条件下的故障诊断与应急处理, 从而提升员工的专业素养和应对突发事件的能力。因此, 未来的发展应注重将这一教学模式向更多领域延伸, 通过不断优化和完善, 进一步提升其在化工行业中的影响力与应用价值。

基金项目

教育部产学合作协同育人项目, 项目编号 231107558222345。

参考文献

- [1] 于永生, 蔡静静, 王莎莎, 井强山. 运用虚拟仿真模拟强化化工原理课程教学[J]. 高教学刊, 2024, 10(19): 92-95.

- [2] 景晓华, 王晓瑾, 李泽浩, 陈玉菲. 化工原理实验课及课程实践中的虚拟仿真教学与思考[J]. 山东化工, 2021, 50(17): 249-251.
- [3] 刘焕荣, 韩东敏. 乙酸乙酯-异丙醇-水三元共沸物的 Aspen Plus 分离模拟[J]. 中国石油大学胜利学院学报, 2021, 35(4): 89-94.
- [4] 佟瑶, 王开, 魏莉, 郝敬爱, 刘娜. 应用型人才培养模式下化工传质与分离过程课程教改探索[J]. 广州化工, 2022, 50(22): 172-173.
- [5] 王磊, 孙燕. Aspen Plus 模拟软件融入化工课程设计教学[J]. 教育进展, 2023, 13(3): 968-972.
- [6] 董新艳, 张艳, 桑佳荣. “化工过程模拟-Aspen Plus 软件及应用”课程教学改革探索与实践[J]. 化工时刊, 2023, 37(5): 107-109.
- [7] 杨傲, 王文和, 米红甫, 朱承志, 冯泽民, 申威峰. 基于 Aspen Plus 的化工过程安全仿真实训课程设计与探索[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(9): 150-156.