

·教育与教学·

## 化纤生产实训课程虚拟仿真教学的构建与实践 ——以河南工程学院高分子材料与工程专业为例

秦爱文<sup>1,2</sup> 李俊<sup>1</sup> 王利娜<sup>1</sup> 辛长征<sup>1,2\*</sup>

(河南工程学院<sup>1</sup>材料工程学院<sup>2</sup>河南省纤维制备与改性工程技术研究中心 郑州 450007)

**摘要:** 为破解传统化纤生产实训教学面临的成本高昂、风险大、深度不足及创新培养受限等难题,以河南工程学院高分子材料与工程专业“化纤生产实训”课程为例,构建并实践了一套“虚实结合、以虚助实”的虚拟仿真教学体系。该体系以课程目标为导向,开发了涵盖“认知—操作—评估”3个层次、7大核心模块的高度保真虚拟仿真系统,精确复现了熔体纺丝与湿法纺丝的核心工艺流程与设备结构。教学实践采用“课前虚拟预习、课中虚实对比、课后虚拟拓展”的3步法模式,将虚拟仿真深度融入教学全过程。教学效果的量化评估与课程目标达成度分析表明:新模式显著提升了学生的工程设计与创新实践能力(目标达成度均值>0.81),尤其在解决复杂工程问题和数据分析等高阶能力培养上效果显著。研究证实,该“目标导向—虚实融合—闭环评估”的虚拟仿真教学体系,是对传统工科实践教学范式的一次系统性重构,为解决同类专业普遍存在的实践教学难题,提供了一套可复制、可推广的有效方案。

**关键词:** 化学纤维;虚拟仿真;实训教学;教学改革;虚实结合

## Construction and Practice of Virtual Simulation Teaching for Chemical Fiber Production Training

—Polymer Materials and Engineering Majors at Henan University of Engineering

QIN Ai-wen<sup>1,2</sup>, LI Jun<sup>1</sup>, WANG Li-na<sup>1</sup>, XIN Chang-zheng<sup>1,2\*</sup>

(<sup>1</sup>School of Materials Engineering, <sup>2</sup>Henan Provincial Engineering Research Center for Fiber Preparation and Modification, Henan University of Engineering, Zhengzhou 450007)

**Abstract:** To address the challenges in traditional chemical fiber production training—such as high costs, high risks, insufficient depth, and limited innovation cultivation—this study takes the “Chemical Fiber Production Training” course for Polymer Materials and Engineering at Henan University of Engineering as a case study to construct and implement a “virtual-real integration, virtual-assisted real” virtual simulation teaching system. Guided by course objectives, the system features a high-fidelity virtual simulation platform covering three levels (“cognition-operation-evaluation”) and seven core modules. It accurately replicates the core processes and equipment structures of melt and wet spinning. The pedagogical approach employs a three-step model: “pre-class virtual preview, in-class virtual-real comparison, and post-class virtual expansion”, which deeply integrates virtual simulation into the entire teaching process. Quantitative evaluation of teaching effectiveness and analysis of course objective attainment showed that the new model significantly enhanced students’ engineering design and innovative practice capabilities (mean achievement of course

2025-10-16 收稿, 2026-01-02 录用, 2026-03-06 网络出版

基金项目: 河南工程学院产教融合示范学院项目(项目号 2024XSF02)、产教融合品牌项目(项目号 2024XPP24) 和教育教学改革研究项目(项目号 2024JYZDX013)

\* 通信联系人: 辛长征, E-mail: xcz691122@163.com

doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.25.301

objectives>0.81). It is particularly effective in cultivating higher-order skills, such as solving complex engineering problems and data analysis. This study confirms that the “objective-oriented, virtual-real fusion, closed-loop evaluation” teaching system represents a systematic reconstruction of traditional engineering practice paradigms. It provides a replicable and scalable solution for addressing common practical teaching challenges in similar fields.

**Keywords:** Chemical fiber; Virtual simulation; Practical training teaching; Teaching reform; Virtual-real combination

引用: 秦爱文, 李俊, 王利娜, 辛长征. 化纤生产实训课程虚拟仿真教学的构建与实践: 以河南工程学院高分子材料与工程专业为例. 高分子通报, 2026, 39(4), 675–682.

**Citation:** Qin, A. W.; Li, J.; Wang, L. N.; Xin, C. Z. Construction and practice of virtual simulation teaching for chemical fiber production training—Polymer materials and engineering majors at Henan university of engineering. *Polym. Bull. (in Chinese)*, 2026, 39(4), 675–682.

作为我国国民经济的关键支柱产业及材料科学与工程的重要分支, 化学纤维工业的生产过程高度集成了化学、物理、机械、自动化等多学科理论。其工艺的复杂性对从业人员的工程实践与创新能力提出了严苛要求<sup>[1~3]</sup>。因此, 实践教学环节, 尤其是高度模拟工业一线的生产实训, 在应用型人才的培养体系中占据着核心地位<sup>[4~6]</sup>。在我校高分子材料与工程专业的课程体系, “化纤生产实训”被设置为第6学期的必修实践教育课程。该课程作为“高分子物理”“高分子材料加工原理”等先导理论课程的实践延伸, 其核心教学任务在于引导学生巩固化学纤维成型的基本理论, 掌握熔体纺丝和溶液纺丝的核心工艺流程与操作技能, 并初步建立独立承担产品设计、工艺优化及质量控制的能力。

然而, 传统的实训教学模式在培养新时代人才方面, 普遍面临4大核心制约<sup>[7,8]</sup>。首先, 高昂的成本与巨大的消耗是主要障碍之一。化纤生产设备不仅单台投资巨大, 后期维护成本也十分高昂, 同时实训过程需消耗大量聚合物切片、化学试剂及能源, 给教学预算带来显著压力, 从而限制了学生的独立操作时长与重复训练机会。其次, 生产流程伴随的高安全风险与环保压力也不容忽视。过程中涉及的高温(熔体纺丝200~300 °C)、高压及腐蚀性化学品对学生安全构成潜在威胁, 而溶剂挥发与废液处置也带来环境问题。再次, 出于安全与成本的双重考量, 学生的操作机会与教学深度受到限制。其参与多停留在观察或辅助层面, 难以获得独立、完整的动手训练, 特别是对于精密组装和复杂故障处理

等高阶技能的接触机会甚少, 导致教学内容固化且不完整。最后, 这种侧重于复现标准操作流程的模式, 导致了学生在创新与分析能力培养上的不足。尤其是在工艺参数优化、新材料体系设计及实验数据深度挖掘等方面的能力明显滞后<sup>[9]</sup>。

当前, 虽已有部分研究探索了虚拟仿真技术在化工、材料等领域的应用<sup>[10,11]</sup>, 但大多研究侧重于单一的仿真软件功能介绍或初步应用效果展示。普遍存在“为仿真而仿真”的现象, 即技术与教学目标融合不深、评价体系与课程目标脱节、未能形成一套完整的“虚实结合”教学设计与评价闭环<sup>[12,13]</sup>。尤其是在工艺流程复杂、对高阶能力要求严苛的化纤生产领域, 如何构建一套能够靶向提升学生设计创新与复杂问题解决能力的系统性虚拟仿真教学方案, 仍是当前亟待破解的难题。

虚拟仿真技术凭借高保真、强交互、高安全及低成本等特性, 为破解传统实训难题提供了理想方案<sup>[14,15]</sup>。该技术通过在虚拟空间内构建高度逼真的设备模型与工艺环境, 使学生能够在“零风险、零消耗”的条件下开展沉浸式学习与无限次重复训练。然而, 必须强调的是, 虚拟仿真无法完全复刻真实操作中的感官反馈, 如熔体粘稠度、丝线张力等物理特性的直观触感, 以及设备振动和物料形态演变的实时体验。因此, 虚拟仿真与实体实训二者相辅相成、缺一不可。基于此, 本研究结合“化纤生产实训”课程的教学目标与实践数据, 系统性地阐述一套“虚实结合”的虚拟仿真教学体系的构建框架, 并分享其在提升学生

工程实践与创新能力方面的应用成效与思考。

## 1 课程目标导向下的虚拟仿真教学需求分析

构建一套行之有效的虚拟仿真教学系统,其首要前提在于精准对接课程既定教学目标,并针对传统教学模式中的“痛点”进行靶向性设计。基于2022版教学大纲所明确的4项核心课程目标,本系统以超越浅层设备认知和流程模拟为核

心导向,致力于构建一个开放的、可探究的“虚拟实验室”,旨在靶向弥补学生创新与优化能力短板;通过提供强大的数据生成与分析平台,强化学生对“工艺—结构—性能”内在科学逻辑的深度理解;同时融入安全、环保、成本等多维度评价体系,全面培养综合工程素养;并模拟真实生产中的复杂与极端工况,显著提升学生解决复杂工程问题的实战能力。课程目标对应的能力、面临的问题及仿真需求详见表1。

表1 “化纤生产实训”课程目标导向下的虚拟仿真教学需求分析

Table 1 Requirements analysis of virtual simulation teaching for “Chemical Fiber Production Practical Training” guided by course objectives

课程目标	对应能力	面临的问题	仿真需求
课程目标1:能够基于社会、健康、安全、法律、文化、环境等因素设计纺丝流体体系和加工工艺,并结合新材料和新工艺需要,对设计方案进行创新、优化和完善。	设计与创新能力	缺乏一个允许试错与探索的实践平台,不知道从什么样的角度去进行优化、精进、创新。	提供一个开放性的探究环境,允许自主调控各类工艺参数(如温度、压力、速度、浓度)。系统能即时、可视化地反馈这些参数变更对纺丝过程稳定性及最终产品性能的影响,从而系统性地培养其工艺优化与创新设计的思维模式。
课程目标2:能够基于实验产品结构 and 性能测试的数据,对实验结果进行对比和分析,并通过分析影响产品性能的因素得到合理有效的结论。	研究与数据分析能力	由于时间和成本限制,所能获得的有效实验数据组数极为有限,难以支撑学生进行深入的规律性分析。学生“对于结构和性能测试数据与性能之间的关系的分析太浅显。	能够快速生成大量、多维度且无实验误差干扰的数据。学生可通过控制单一变量进行多次虚拟实验,精确绘制出“工艺—结构—性能”关系曲线,从而深刻洞悉其内在的科学逻辑。
课程目标3:能够基于实验原料的物性和方案,从环保和可持续性发展角度评价纤维生产和应用周期中可能对人类和环境造成的损害和隐患。	环境与可持续发展意识	主要依赖于教师的口头讲解和学生在报告中的文字论述,学生普遍缺乏直观的体验与深刻的认知。	将整个生产流程的能耗、水耗、溶剂回收率、废料产生量等关键环保指标进行量化呈现。通过对不同工艺方案的环保数据进行对比分析,学生能够更直观地理解可持续发展的具体内涵。
课程目标4:能够承担团队成员和负责人的角色,合作共事,解决纤维生产实训过程中遇到的问题。	个人与团队协作能力	学生对任务拆解、进度把控等缺乏经验:要么过度集权,导致成员参与感低;要么放任自由,导致团队松散。	通过设定需要多人协同操作的复杂任务(如一人在中央控制台调整参数,另一人在现场设备端执行相应操作),可有效锻炼学生在应急状况下的沟通、协作与快速决策能力。

## 2 化纤生产实训虚拟仿真教学系统的构建

遵循上述设计原则与需求导向,我们与武汉纺友技术有限公司合作,开发了一套涵盖“认知—操作—评估”3个层次、并支持虚实联动的虚拟仿真教学系统。该系统以我校“河南省纤维制备与改性工程技术研究中心”的现有设备为物理蓝本进行三维建模,从而确保虚拟环境的高度保真性。

### 2.1 总体设计原则

为保障虚拟仿真教学系统能够精准服务于课程教学目标,确立了教学性优先、高保真性、强交互性、模块化与可扩展性4大核心设计原则,具体

内涵、体现及目的见表2。

### 2.2 技术细节说明

三维建模工具采用 Autodesk 3ds Max 2024 与 Blender 4.0 联合开发。其中,3ds Max 2024 用于核心生产设备(如螺杆挤出机、喷丝头、卷绕机等)的高精度几何建模,建模精度达0.1 mm,与真实的熔体纺丝机和湿法纺丝机1:1匹配;Blender 4.0用于设备内部流道结构建模及材质渲染,通过PBR(Physically Based Rendering,基于物理的渲染)技术还原设备金属质感、熔体流动光泽等视觉特征。

实时反馈算法核心参数如下:工艺参数响应算法采用有限体积法,时间步长 $1 \times 10^{-4}$  s,空间离散网格尺寸 $\leq 2$  mm,温度误差 $\leq \pm 2$  °C,压力

表2 “化纤生产实训”课程虚拟仿真教学系统设计原则

Table 2 Design principles of the virtual simulation teaching system for the “Chemical Fiber Production Practical Training” course

设计原则	核心内涵	具体体现	设计目的
教学性优先	以课程大纲为核心, 深度融合理论与实践	知识点覆盖: 如熔纺原理、湿纺双扩散过程 能力点训练: 如工艺参数设定、性能测试、故障排除 功能布局: 所有模块与交互均围绕教学目标和内容设计	确保虚拟学习直接服务于教学目标, 实现“学以致用”
高保真性	虚拟环境与真实物理场景的高度一致性	视觉真实: 设备外观与内部可剖分结构精细还原 逻辑真实: 温度、压力等参数的动态响应符合物理规律	保障在虚拟环境中习得的知识与技能能够迁移至实操
强交互性	提供“所做即所得”的沉浸式操作体验	多设备支持: 可通过鼠标、键盘或VR手柄进行操作 自由操作: 如设置温度、调节转速、启闭阀门等 实时反馈: 操作可立即引发可视化的工艺变化与结果	变被动学习为主动探索, 深化理解, 培养实操能力
模块化与可扩展性	系统由独立模块灵活构成, 易于更新迭代	模块化设计: 熔纺、湿纺、性能测试等独立模块 灵活组合: 教师可根据教学进度自由选择与组合模块 预留接口: 为未来新增技术或设备升级提供扩展能力	延长系统生命周期, 适应教学改革与技术发展

注: 表中设计原则基于工程教育专业认证标准<sup>[16]</sup>与理工类学院专业实训教学规范制定

误差 $\leq\pm 0.05$  MPa; 纤维性能预测采用BP (Back Propagation, 反向传播)神经网络模型, 经100组真实实验数据训练, 拟合优度 $R^2\geq 0.96$ , 纤度预测误差 $\leq\pm 0.1$  dtex; 交互反馈延迟 $\leq 50$  ms(基于Unity 2023.1引擎多线程渲染技术)。

校企合作分工如下: 在虚拟仿真教学系统开发与应用全过程中, 校企双方明确职责、协同发力。河南工程学院作为教学主导方, 主要负责提供课程目标、教学内容及真实设备技术参数, 设计“认知—操作—评估”全流程教学逻辑, 组织开展

教学实践与效果评估工作, 并提出系统迭代优化需求; 合作技术公司作为技术支撑方, 承担三维建模、物理引擎开发及核心算法编程任务, 实现PC端、VR端等多终端适配, 负责系统部署实施与日常运维, 并响应学校需求完成系统功能迭代优化。

### 2.3 系统架构与核心模块

本虚拟仿真教学系统由认知层、操作层和评估层构成, 包含7大核心模块, 见表3。搭建的湿法纺丝与溶体纺丝虚拟仿真实验平台分别如图1和图2所示。

表3 虚拟仿真教学系统核心模块的功能对照表

Table 3 Functional mapping table of core modules in the virtual simulation teaching system

层次	模块名称	核心功能与特点	解决的教学痛点
认知层	三维设备博物馆	提供熔体纺丝机的螺杆挤出机、计量泵、纺丝组件(含过滤网、分配板、喷丝板)、冷却风箱、上油装置、卷绕机等设备的3D模型; 以及湿法纺丝机的纺丝原液釜、过滤器、计量泵、凝固浴槽、牵伸辊、干燥箱等设备的3D模型, 支持360°旋转、缩放、爆炸分解与剖面观察	传统图纸和视频无法直观展示设备内部结构和工作原理
	工艺流程全景漫游	构建第一人称虚拟车间, 完整呈现从原料干燥、输送、熔融/溶解、纺丝成形到后处理、成品检验包装的完整生产布局与工艺流向	学生难以建立对现代化生产线的宏观、整体认知
操作层	熔融纺丝仿真(PP)	模拟标准作业程序(原料准备→纺丝组件的规范组装→设备开机预热及各区域温度的精确设定→螺杆转速与计量泵转速的协同设定→牵伸与卷绕速度的匹配设定)操作, 内置动态模型, 实时反馈工艺指标(熔体黏度、纺丝压力、纤维条干均匀度等), 模拟生产异常(断丝、毛丝等)	操作抽象, 参数设置复杂, 实验风险高, 成本较高
	湿法纺丝仿真(PAN)	模拟从纺丝原液的制备、过滤、脱泡到纺丝、凝固、拉伸、后处理的全过程。可视化双扩散抽象过程, 参数(凝固浴浓度、温度及拉伸倍数等)调整实时影响纤维结构形貌(圆形或哑铃形截面形貌、皮芯结构及内部空洞等)	凝固成形过程不可见, 理论知识难以理解
	故障诊断与处理	预设十余种故障场景(如喷丝孔堵塞导致压力骤升、卷绕张力不当引发的丝饼成型不良、冷却不均造成的纤维性能波动等), 训练学生分析数据、排查根源并处置的能力	真实教学中难以创设故障, 学生应急处置能力培养短板
评估层	自动评分与数据记录	实时追踪操作, 从操作顺序的正确性、参数设置的合理性、任务完成的时间效率、故障处理的准确性等多维度生成量化评估报告	过程性考核缺乏客观、量化的数据支持
	数据分析与反馈	汇集学习数据, 生成学习者档案和共性问题报告, 助力精准教学	教学改进缺乏数据依据和支撑, 难以进行个性化辅导

注: 模块功能设计基于“化纤生产实训”课程核心知识点与技能点, 解决的教学痛点来源于传统教学实践总结



图1 湿法纺丝虚拟仿真实验平台

Figure 1 Wet spinning virtual simulation experimental platform

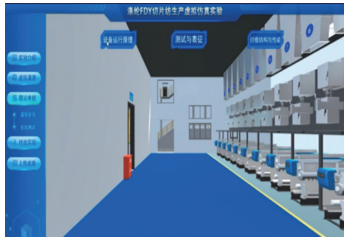


图2 熔体纺丝虚拟仿真实验平台

Figure 2 Melt spinning virtual simulation experimental platform

### 3 教学模式实践

为确保虚拟仿真实验的操作规范性与考核科学性,以湿法纺丝为例制定了精细化的交互性操作步骤及与之对应的目标达成度赋分标准见表4。该标准涵盖了设备认知、理论掌握、工艺操作、性能测试及报告撰写等实训全流程。这不仅为虚拟仿真环境下的过程性考核提供了客观量化

的依据,也确保了虚拟操作能够精准导向学生工程实践能力的培养。

第一步:课前虚拟预习与认知。在学生进入实验室之前(约占总学时10%),须在电脑上提前完成虚拟仿真系统中“认知层”“操作层”模块的学习任务。此环节直接对应课程考核中的“线上预习”部分(占总成绩10%)。学生可以不受时空限制,反复拆解与组装虚拟设备,熟悉每一个按钮和阀门的功能;可以预演完整的开停机流程直至熟练;亦可在零风险的环境下故意进行错误操作以观察其后果,从而深刻理解安全规程的必要性。这一阶段的学习为后续的真实操作奠定了坚实的认知与技能基础,有效缩短了学生在实体设备上的适应期,显著提升了整体实训效率。

第二步:课中虚实对比与深化。学生带着在虚拟环境中建立的扎实认知,进入为期2周的核心实体实训环节(约占总学时80%)。在教师的现场指导下,亲手触摸并操作真实的设备,切身感受熔体的黏稠、丝线的张力、设备的振动与噪音,以及物料的真实形态。具体而言,实体实训设置分组任务:每组学生轮流承担“设备调试、工艺执行、故障排查”角色,例如,在熔体纺丝实训中,一名学生负责喷丝头组装与精度校准,另一名学生调控螺杆转速与温度,团队协作完成从原料到

表4 湿法纺丝时学生交互性操作步骤及与之对应的目标达成度赋分标准

Table 4 Interactive operation steps and corresponding scoring criteria for course objective attainment in wet spinning

序号	步骤目标要求	目标达成度赋分模型	步骤满分值
1	认识生产设备结构组成及其原理	每学习一台设备得1分	10
2	掌握基本的理论知识	每道题答题正确得1分,答题错误不得分	10
3	开机流程	3次及以内操作正确得满分;4-6次操作正确扣1分;7-9次操作正确扣2分;9次操作不正确扣4分。	5
4	溶液配制	溶液颜色、均匀性、有无气泡、是否溶解彻底。分值分为3个区间,在最优区间内得满分;次优区间扣3分,第3档区间扣6分。	10
5	纺丝工艺参数的调节: 1 计量泵; 2 组件; 3 凝固浴	分值分为3个区间,在最优区间内得满分;次优区间扣4分;第3档区间扣8分。	15
6	卷绕成型: 1 拉伸; 2 热定型; 3 卷绕	分值分为3个区间,在最优区间内得满分;次优区间扣2分;第3档区间扣4分。	10
7	组件拆解与清洗	正确得满分,错误0分	5
8	溶液黏度测试方法	学习原理,通过测试得满分;测试成绩低于70得1分;低于50不得分。	5
9	纤维力学性能测试方法	学习原理,通过测试得满分;测试成绩低于70得1分;低于50不得分。	5
10	纤维干热收缩率测试方法	学习原理,通过测试得满分;测试成绩低于70得2分;低于50不得分。	5
11	纤维纤度测试方法	学习原理,通过测试得满分;测试成绩低于70得1分;低于50不得分。	5
12	纤维性能评价指标	本步骤按照评判标准,各分4个区间;实验结果在最优区间得满分;在次优区间扣2分;在第3档区间扣4分;在第四档区间扣8分。	10
13	提交实验报告,撰写实验心得	有心得体会得5分	5

注:赋分模型基于课程目标达成度要求制定,满分100分,与实训报告成绩挂钩

成品全流程操作。这种虚拟与现实之间的强烈对比和相互印证,极大地加深了学生对知识的理解与感性认识。此环节的综合表现构成了“方案设计”“课程讨论”和“实验表现”等过程性考核的主要依据(合计占总成绩40%)。

第三步:课后虚拟拓展与考核。实体实训结束后(约占总学时10%),学生再次返回虚拟仿真系统,进行更高阶的、拓展性的训练。此阶段的重点在于完成在真实环境中因安全、成本或时间限制而无法或不允许进行的任务。具体包括:(1)创新性工艺探索。挑战极限工艺参数,观察其对产品性能的临界影响,并结合理论分析其背后的科学原理,直接锻炼创新优化能力;(2)复杂故障处理。反复练习“故障诊断与处理模块”,培养系统性的工程思维和应急处置能力。最终的“实训报告”(占总成绩50%),不仅要求包含真实实验的数据与分析,还鼓励学生纳入虚拟拓展实验的结果与讨论,从而更全面地评价其综合能力与创新潜质。

## 4 教学效果分析与讨论

### 4.1 学习兴趣与参与度的提升

问卷调查结果显示95.2%的学生认为,沉浸式的虚拟仿真学习方式,相较于传统的阅读实验指导书和旁站式观察,具有无可比拟的吸引力。学生普遍反馈,“虚拟仿真就像一个可以无限次尝试的真实工厂”“在处理虚拟故障时非常有成就感”。这种高昂的学习兴趣直接转化为积极的学习投入,许多学生在课后主动投入额外时间在虚拟系统中进行自主练习,成功实现了从“要我学”到“我要学”的认知与行为转变。

### 4.2 课程目标达成情况评价的靶向提升

新的教学模式不仅全面提升了整体教学效果,更针对传统教学的固有短板实现了精准强化。2024~2025学年第2学期高分子材料与工程专业2022级126名学生的课程目标达成情况评价价值均值如图3所示,考核成绩由线上预习(10%)、方案设计(20%)、课堂讨论(10%)、实验表现(10%)及实训报告(50%)加权计算得出。统计结果显示,课程4个目标的达成情况评价价值分别为0.818、0.813、0.818和0.855,均显著超过学院设定的0.65阈值,整体教学效果达标。其中,课程目标4(个人与团队协作能力)的评价价值最高,反映出学生具备较强的团队协作解决问题能力。在126名参训学生中,

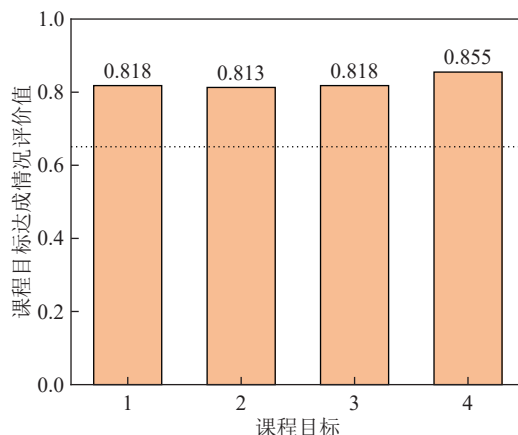


图3 2024~2025学年第2学期“化纤生产实训”课程目标达成情况评价价值均值对比

Figure 3 Comparison of mean evaluation values for course objective attainment in the “Chemical Fiber Production Practical Training” course (second semester, 2024–2025 academic year)

绝大部分圆满达成了全部课程目标,仅在课程目标2与课程目标3中存在极少数未达标个体(详见图4),这进一步印证了该教学体系在质量保障上的稳定性。

进一步深入分析发现,课程目标2(研究与数据分析能力)和课程目标3(环境与可持续发展意识)的达成度相对略低,反映出学生在处理多变量耦合实验及内化环保准则方面仍有提升空间。针对课程目标2达成度受限于学生理论基础差异、训练模块侧重单一变量及评价方法不够科学等问题,本研究计划增设“多变量耦合实验模块”,并引入正交实验设计及Origin数据拟合任务。针对课程目标3因学生认知局限、环保模块与工艺设计脱节及行业案例匮乏导致的成效波动,后续将强化环保指标与工艺设计的硬性联动,通过设置“环保约束条件”并融入如溶剂回收系统改造等真实工程案例,引导学生将可持续发展理念内化为设计准则。此外,通过增设“数据分析方法”专题课时及引入行业专家讲座,将全方位强化学生的高阶工程思维与社会责任意识。

### 4.3 与传统教学班的对比分析

为验证虚拟仿真教学模式的有效性,并客观评价该教学体系的实际应用成效,对比分析了2023~2024学年传统教学班(对照组)与2024~2025学年虚拟仿真教学班(实验组)的实践数据。其中,对照组(2021级)沿用“教师演示—学生观

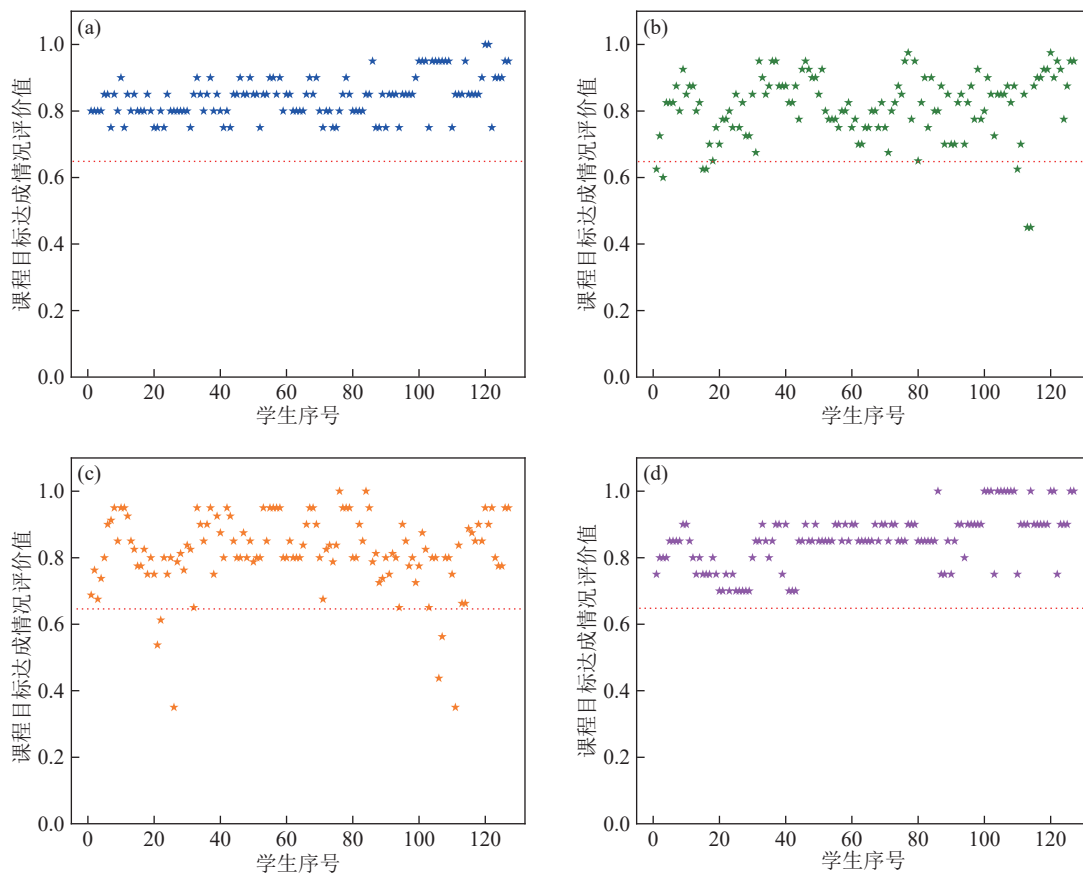


图4 高分子材料与工程专业2022级学生个体课程目标达成情况评价价值分布(数据来源同表3): (a)课程目标1, (b)课程目标2, (c)课程目标3, (d)课程目标4

Figure 4 Distribution of individual course objective attainment evaluation values for grade 2022 students in polymer materials and engineering (data source same as Table 3): (a) objective 1, (b) objective 2, (c) objective 3, (d) objective 4

摩—有限操作”的传统实训模式;实验组(2022级)则全面实施“目标导向—虚实融合—闭环评估”的虚拟仿真教学体系。两组学生均采用相同的考核指标体系与评估标准,数据来源涵盖了近2学年的“化纤生产实训”课程考核记录及匿名问卷调查。

数据对比如表5所示,引入虚拟仿真环节后,学生在复杂工程问题解决能力及整体达成度上均实现了显著提升。具体而言,实验组的课程目标达成度均值达到0.826,较对照组的0.683提升了

20.9%。同时,得益于虚拟仿真系统打破了实体设备套数与实验机时的物理限制,学生人均有效实操时长由8.5 h增至12.8 h,提升幅度达50.6%。这一改进彻底解决了传统教学中“观摩多、动手少”的难题,不仅从量化层面验证了新模式的卓越成效,也为该教学范式的系统性推广提供了坚实的数据支撑。

#### 4.4 教学效率与资源利用率的提高

虚拟仿真系统支持多人同时在线学习,彻底打破了实体设备数量和机时对教学规模的限制,

表5 虚拟仿真教学班与传统教学班教学效果对比

Table 5 Comparison of teaching effectiveness between the virtual simulation teaching class and the traditional teaching class

对比指标	虚拟仿真教学班数据(2022级, n=126)	传统教学班数据(2021级, n=122)	提升幅度(%)
课程目标达成度均值	0.826	0.683	20.9
复杂工程问题解决能力评分(满分100)	83.7	70.3	19.1
学习兴趣满意度(%)	95.2	72.9	22.3
人均实训设备占用时长(h)	12.8	8.5	50.6

注:传统教学班采用“教师演示—学生观摩—有限操作”的传统模式,考核指标与虚拟仿真教学班一致,数据来源于2023~2024学年“化纤生产实训”课程考核记录与问卷调查结果

实现了优质教学资源的普惠共享<sup>[17]</sup>。教师也因此从繁琐、重复且伴有安全风险的基础操作指导工作中解放出来,能够将更多精力投入到更高层次的、启发式的教学活动之中,最终实现了教学效率与教学质量的双重提升。

## 5 结论

针对传统化纤生产实训中高成本、高风险、教学深度不足及创新能力培养受限等共性难题,本研究构建并实践了“目标导向-虚实融合-闭环评估”的虚拟仿真教学体系。首先,依托Autodesk 3ds Max与Blender平台,本研究开发了涵盖“认知-操作-评估”3个维度及7大核心模块的高保真虚拟仿真系统,实现了熔体纺丝与湿法纺丝工艺流程及设备结构的精准复现。在教学实施层面,通过推行“课前虚拟预习-课中虚实对比-课后虚拟拓展”的3步教学模式,深度融合了虚拟仿真的试错探索优势与实体实训的工程感官反馈价值,形成了虚为实奠基、实为虚验证的协同效应。量化评估结果表明,该模式显著提升了学生解决复杂工程问题的能力,课程目标达成度均值突破0.81,较传统教学模式提升20.9%。

本研究的创新点在于超越了虚拟仿真技术的工具化传统认知,将其定义为重构实践教学场的关键要素。通过创设支持深度探究的虚拟环境,引导学生从被动知识接收向主动意义建构转变。研究同时指出,虚拟仿真无法完全复刻熔体黏度、丝线张力等关键物理特性的感官反馈,故必须坚持“虚实融合”而非“以虚代实”的核心导向。展望未来,研究将聚焦于2大维度:一是深化技术集成,引入AR与IoT技术实现物理实体与虚拟数据的实时映射;二是推进精准教学,集成AI算法打造智能学习助手,以实现定制化教学资源的自适应推送。本研究构建的教学范式具有较强的可复制性,为新工科背景下材料类专业高素质创新人才的培养提供了可借鉴的实践路径。

## 参考文献

- 1 靳昕怡,袁野,杨菲菲,张冬霞,端小平.可持续发展的化纤工业.中国纺织,2024,(11),132-135.
- 2 同黎娜.中国化学纤维工业协会会长陈新伟:把握方向推动行业高质量发展.中国纺织报,2024-08-12(003).
- 3 常亮.中国式现代化背景下推进高分子材料产业高质量发展的路径探析.塑料科技,2023,51(4),125-128.
- 4 邓吨英,谢炜,林美超.材料科学与工程专业实践教学探索与实践.科技风,2025,(26),13-15.
- 5 杨威,孙钟,于海辉,何爱民,程欣,王楠,贾若琨.构建虚拟仿真技术平台实践教学体系的研究与实践.造纸技术与应用,2025,53(4),52-54.
- 6 傅华,陈晓霞.虚拟仿真技术在化工专业实践教学中的应用研究.现代盐化工,2023,50(3),116-118.
- 7 杨晓娜,黄贞益,龙红明,张龙,章小峰,谢玲玲,谢谦.传统工科专业实践教学基地建设模式研究:校政企共建视角.安徽工业大学学报(社会科学版),2022,39(4),106-108.
- 8 张春晓,彭必雨,程海明,祝蔚,但年华.高校传统工科专业实验实践教学改革模式探索:提升学生工程和创新能力的轻化工程专业实验实践教学体系的构建与实践.皮革科学与工程,2023,33(1),97-103.
- 9 徐源廷,赵伟锋,木肖玉,魏强,刘晓玲,钱祉祺,冉蓉,赵长生.新工科背景下高分子材料类人才创新创业能力培养的改革与实践.高分子通报,2022,35(4),89-93.
- 10 段兴旺,郑晓华,齐会萍.虚拟仿真技术与实验教学深度融合的探究.中国现代教育装备,2025,(17),14-16.
- 11 庄启昕,余砚,于惠梅,顾金楼,滕鑫.基于虚拟仿真教学的高分子材料专业实习新模式探究.实验科学与技术,2025,23(5),60-66.
- 12 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.
- 13 何田,施汀瑜,尹守春.苯乙烯阴离子聚合虚拟仿真实验的设计与建设.高分子通报,2024,37(8),1133-1139.
- 14 熊宏齐.虚拟仿真实验教学助推理论教学与实验教学的融合改革与创新.实验技术与管理,2020,37(5),1-4.
- 15 柳洪洁,宋月鹏,马兰婷,张观山,张智龙,王征.国内外虚拟仿真教学的发展现状.教育教学论坛,2020(17),124-126.
- 16 中国工程教育专业认证协会.工程教育认证标准(2024版).北京:2024.
- 17 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.