

基于虚拟仿真技术的混合式教学模式构建与实践

——以《现代仪器分析及应用》课程为例

卓启明, 解维伟, 黄 根, 孙美洁, 皇甫泽超, 周玲妹

中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京

收稿日期: 2026年8月3日; 录用日期: 2026年9月2日; 发布日期: 2026年9月9日

摘 要

针对《现代仪器分析及应用》课程理论与实践脱节、教学资源紧张、评价维度单一等瓶颈, 构建了虚拟仿真技术支撑的“五位一体”混合式教学模式。遵循布鲁姆认知分类体系, 将教学过程重构为“线上自主学习 - 虚拟仿真预演 - 线下翻转课堂 - 真实实验操作 - 综合评估拓展”五个递进环节, 以透射电子显微镜教学开展实证研究。结果表明, 虚实融合有效缓解了精密仪器机时稀缺与高危实验受限的约束, 通过多源数据采集建立了全过程学业评价机制, 学生知识内化深度、操作规范性及问题解决能力显著提升。

关键词

虚拟仿真, 混合式教学, 五位一体, 实验教学改革

Construction and Practice of a Blended Teaching Model Based on Virtual Simulation Technology

—A Case Study of the Course *Modern Instrumental Analysis and Applications*

Qiming Zhuo, Weiwei Xie, Gen Huang, Meijie Sun, Zechao Huangfu, Lingmei Zhou

School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing

文章引用: 卓启明, 解维伟, 黄根, 孙美洁, 皇甫泽超, 周玲妹. 基于虚拟仿真技术的混合式教学模式构建与实践[J]. 教育进展, 2026, 16(9): 577-585. DOI: 10.12677/ae.2026.1691936

Abstract

A five-phase blended learning model was designed to tackle three long-standing constraints in *Modern Instrumental Analysis and Applications*: the theory-practice divide, chronic shortages of instrument time, and assessment practices that rest on single-point examinations. Drawing on Bloom's taxonomy, instruction unfolds through five stages—online self-paced learning, virtual pre-lab rehearsal using simulation, flipped classroom debriefing, hands-on bench work, and capstone assessment with open-ended extension. The model was field-tested with transmission electron microscopy (TEM) training as the focal content. Data show that coupling virtual and physical modalities eased pressure on scarce TEM hours and removed safety barriers otherwise associated with high-risk specimen preparation. Learning analytics drawn from multiple platforms allowed us to track student progress continuously rather than relying solely on end-of-term exams. Students in the experimental cohort showed deeper conceptual uptake, fewer procedural errors during live instrument sessions, and more self-directed troubleshooting when faced with ambiguous results.

Keywords

Virtual Simulation, Blended Teaching, Five-in-One, Experimental Teaching Reform

Copyright © 2026 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

《现代仪器分析及应用》是化学、材料等理工科专业的核心课程，其教学目标是使学生掌握仪器构造原理与操作技能，培养数据分析与解决复杂问题的能力。然而，传统实验教学面临三重制约：大型仪器购置与维护成本高昂，高校配备数量有限，机时不足，学生动手机会受限；课程以验证性实验为主，难以进行涉及危化品或复杂样品的探究性实验[1][2]；仪器工作原理仅凭课堂讲授与静态图，学生不易形成清晰的空间认知[3][4]。因此，引入虚拟仿真技术突破上述制约，是推进教学改革、提升人才培养质量的有效途径。

虚拟仿真实验教学在全球高等教育中的使用日趋普遍。国外相关研究开展较早，在医学、工程等领域重点关注沉浸感与真实学习体验的营造[5][6]。国内研究经历平台建设与技术开发阶段后，开始关注教学模式创新及基于学习过程的效果评估[7][8]。在分析化学与仪器分析领域，虚拟仿真目前主要辅助具体仪器的教学，例如光谱仪原理演示和色谱仪操作训练，实践表明其对激发学生学习兴趣具有积极作用[9]。但现有应用也存在一些突出问题：现有开发多针对单台仪器，缺少课程层面的整体规划[10]；技术与教学方法结合不够紧密，案例教学、项目式学习等理念未能深度融入教学实践[11]；评价手段较为单一，主要依赖问卷调查与终结性考核，平台积累的过程性数据未能得到充分利用，既无法追踪学生能力的动态发展，也难以以为教学策略调整提供及时依据[12]。

针对前述教学困境，本研究以《现代仪器分析及应用》课程为对象，探索基于虚拟仿真技术的教学改革。研究首先通过文献梳理与现状调查明确教学需求；进而以能力达成为目标，构建线上线下相结合

的混合式教学模式，将虚拟仿真实验与真实仪器操作有机整合；据此开发虚拟仿真实验项目并设计相应的线下教学活动；同时建立过程性评价体系，综合实验操作记录、课堂互动表现与实验报告等对学生学习进行持续评估；最后采用对照实验设计验证该模式的有效性，考察其在促进学生知识理解、操作技能与高阶思维发展方面的作用，为同类课程的改革提供实证依据。

2. 《现代仪器分析及应用》课程教学的现实困境与转型需求

2.1. 课程定位、改革实践与核心挑战

《现代仪器分析及应用》是基础化学理论通向现代科研实践的桥梁，在培养学生仪器应用能力与解决问题能力方面发挥着重要作用。然而，传统教学模式以知识单向灌输为主，与课程所具有的强实践性、快技术迭代及深学科交叉属性不相适应，学生虽能掌握基础理论，却难以形成面向复杂科研情境的综合分析与创新能力。当前教学虽已在案例教学、设计性实验及课程思政等方面取得了一定进展，但改革仍呈碎片化，尚未破解传统教学模式的困境，课程内容滞后于技术发展、实验资源受限、评价方式单一、理论讲授与实操训练脱节，这些深层矛盾共同制约了人才培养质量的实质性提升[13]。

2.2. 传统教学模式存在的主要问题

理论与实践脱节。理论教学多集中于如电子跃迁机制、光谱产生原理等抽象概念，学生仅凭课堂讲授难以建立直观认知。实验环节以验证性项目为主，学生按既定规程操作以获得预期结果，这种“食谱式”实验使学生对仪器的内部构造缺乏深入理解，停留在“黑箱”操作层面。遇到参数设置问题时，学生往往说不出设计依据，出现异常数据时，也缺乏排查的思路。结果造成学生能复现标准操作，但面对未知样品或非理想条件时，分析方案的设计能力明显薄弱，理论储备难以转化为实际问题的解决能力。

仪器设备购置成本高、维护费用大，实验室设备普遍不足，学生分组轮流操作导致人均机时压缩，且仪器的高价值使学生操作时顾虑较多，一定程度上抑制了自主探究的意愿。加之涉及危化品或高耗材成本的实验，受安全规范与经费限制，难以充分开展。此外，仪器设备迭代迅速，而教材出版周期长，部分授课内容已落后行业实际。教师如未能将如联用技术、原位表征等前沿方法融入教学，学生所学知识与产业需求之间会形成落差，毕业后需要较长时间适应岗位需求。

课程评价以期末闭卷考试为主，偏重理论知识的记忆，难以评估学生的实验操作技能、数据处理能力、方案设计能力及科学思维等高阶目标。预习准备、实验操作、小组协作、报告撰写等未被纳入评价维度，既无法为教学提供即时反馈，也容易将学习动机引向应试取向，削弱学生的探究兴趣与创新动机。

3. 基于虚拟仿真的混合式教学模式

针对理论与实践脱节、资源不足及评价方式单一等问题，本研究提出一种包含五个环节的混合式教学框架，即线上自主学习、虚拟仿真预习、线下翻转课堂、真实实验操作与综合评估拓展。该框架将信息技术与实验教学融合，学生通过在线平台学习理论知识，借助虚拟仿真熟悉仪器操作，并在线下课堂研讨，进入实验室完成真实操作，最后接受综合评估。这一教学设计缓解了设备不足和高危实验难以开展等困难，同时扩展了学生技能训练空间。整个过程中，学生经历了从理论认知到虚拟训练、再到实践应用与反思提升的渐进式学习。这种虚实结合的模式，为实验教学从知识传授转向能力培养提供了一种可行方案。

3.1. 核心理念和设计原则

本研究提出的混合式教学框架将学生置于学习中心，线上环节让学生按自己的节奏完成理论学习和虚拟操作，虚拟仿真环节的反馈帮助学生发现学习漏洞，教师通过平台数据追踪学生进展，据此调整线

下课堂重点。线下阶段学生已在课前已完成知识接收，课堂时间用于讨论和解决问题，随后进入实验室完成真实操作，最后接受涵盖知识、技能和思维多个方面的综合评估。

五个环节的安排参照了认知发展规律，任务难度逐层递增。初期的线上学习侧重于知识的掌握(对应布鲁姆分类学的记忆与理解层级)，虚拟仿真中的操作训练帮助学生将知识转化为技能(应用层级)，线下研讨和实验分析要求学生解释数据、评估实验方案(分析、评价层级)，最后的综合评估则涉及开放性的方案设计(创造层级)。

3.2. 教学模式的五阶段教学框架

(1) 线上自主学习阶段

线上自主学习阶段以理论为核心，学生通过学习平台，按照各自的节奏学习实验原理和操作步骤。平台提供多种多媒体资源，包括原理动画、操作视频和自测题，支持不同学习风格的学生。学生完成线上学习后，平台记录其学习时长、各知识节点的停留时间以及自测成绩，教师据此了解学生的准备情况，识别普遍存在的理解难点，从而在课堂中针对性地调整讨论重点。

教师课前依托平台发布学习资源包，学生按指引完成视频观看、文献研读与在线测验，可以在讨论区提交疑问并归类整理。教师基于平台数据(视频完播率、测验得分、提问频次)明确认知盲区，据此校准线下课堂的重点。该过程对应布鲁姆认知分类的“识记”与“理解”层级。学生通过概念阐释与对比，掌握仪器原理及操作规范，建立知识间的逻辑关联。

(2) 虚拟仿真预演阶段

本阶段对应布鲁姆认知目标分类学的“应用”层级，学生在虚拟情境中经由试错与反思，将实践经验逐步转化为程序性知识。相较于实体实验，虚拟环境在认知层面呈现三重优势：风险可控性使高危、不可逆实验的安全预演成为可能；迭代开放性支持针对技能薄弱环节的重复训练，避免实体资源的消耗；情境可塑性则可构建极端参数条件下的实验场景，突破物理环境的现实限制。

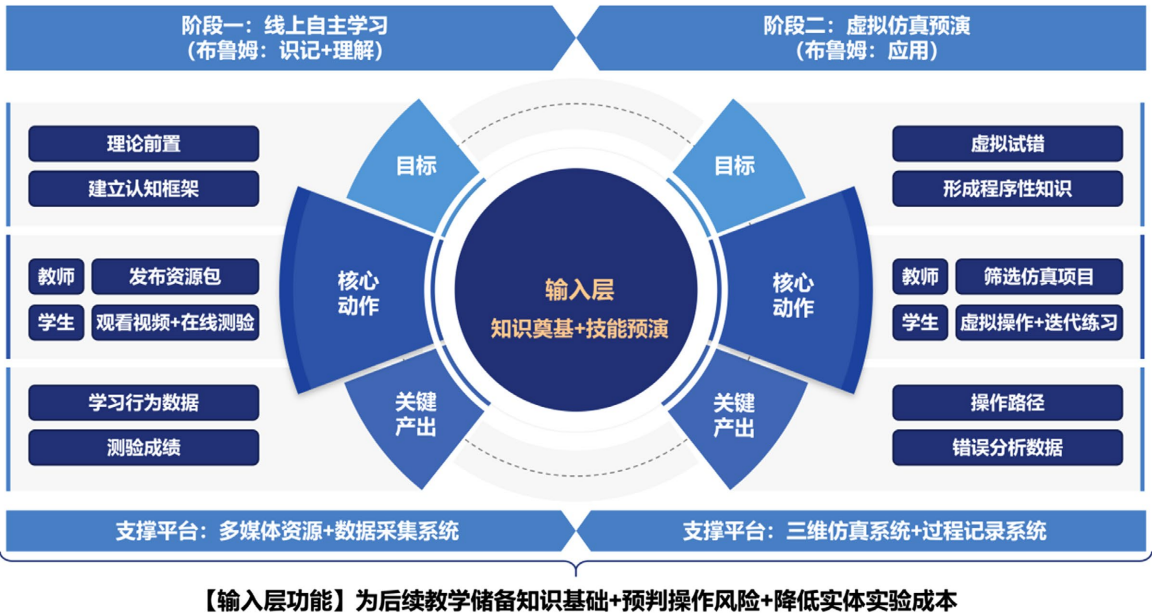


Figure 1. Input-layer architecture of the blended teaching model: a dual-stage design of online self-directed learning and virtual simulation rehearsal

图 1. 混合式教学模式输入层架构：线上自主学习与虚拟仿真预演双阶段设计

虚拟仿真预习阶段的核心目标是让学生在实验前熟悉仪器界面和操作步骤。教师先根据教学目标选择合适的仿真项目，确保虚拟操作与实体操作的逻辑一致。学生在虚拟环境中按步骤完成操作演练，平台自动记录操作顺序、出错次数和完成时间。当学生操作错误时，系统给出即时反馈；当学生在某个步骤停留过久时，系统提供分步提示。学生根据反馈反复练习，直到能够顺利完成整个流程。仿真平台须具备三维可视化界面和交互操作功能，采集的数据除正确率外，还包括学生在各步骤的停留时间、出错位置及修正行为。教师查看这些数据后，可了解哪些步骤学生普遍遇到困难，哪些错误反复出现，从而在翻转课堂中展开集中讨论，输入层架构如图 1 所示。

(3) 线下翻转课堂阶段

线下环节用于深化学生对实验原理的理解，解决预习中的问题。课前，教师查看平台记录的学生操作数据，找出多数人遇到的困难，据此设计讨论主题。课上，学生分组讨论虚拟操作中的疑难，比较不同实验方案的优劣，分析异常数据的可能原因，教师对学生普遍存在的困惑进行集中讲解。课末，教师总结讨论中的关键问题，明确操作规范，并布置下一阶段的实验任务。这一阶段的任务对应布鲁姆分类学中“分析”和“评价”层级，学生需要拆解实验设计的逻辑，评估不同条件下数据的有效性，并在小组中解决问题，转化层架构如图 2 所示。

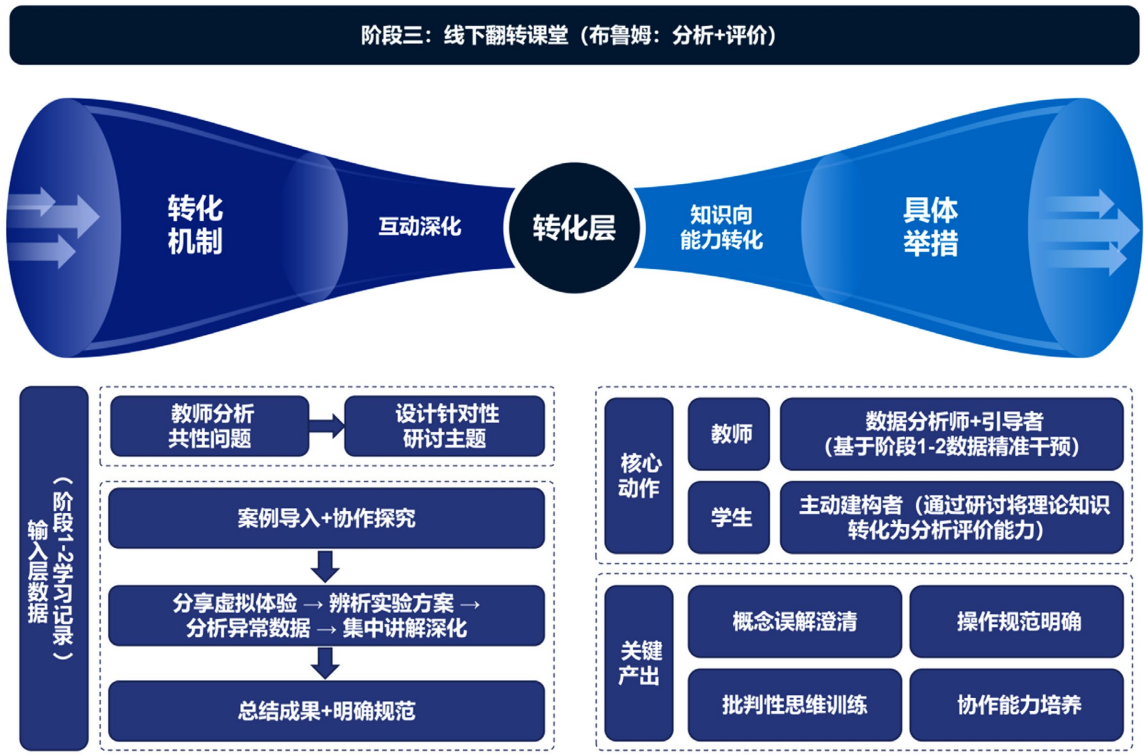


Figure 2. Transformation-layer architecture: deepened interaction and knowledge-to-competence conversion in the offline flipped classroom

图 2. 转化层架构：线下翻转课堂的互动深化与知识能力转化

(4) 真实实验操作阶段

真实实验操作是整个教学过程的核心，学生在实验室中独立完成仪器操作，把之前在虚拟环境中练习过的步骤付诸实践。实验前，学生需回顾实验原理和操作步骤，了解安全注意事项。教师检查学生的预习情况，确保实验条件符合安全要求。实验过程中，学生在教师现场指导下按规范步骤操作，观察现

象并记录数据,教师在实验室中纠正学生的不当操作、回答疑问、处理突发状况。实验结束后,学生整理数据并撰写实验报告,说明实验过程和分析结果,随后清理实验台并将仪器归位。

(5) 综合评估拓展阶段

最后一个环节是综合评估,教师汇总学生在前四个阶段的学习记录,包括在线学习时长、虚拟仿真中的出错位置、课堂讨论参与情况和实验报告质量,进而评定学生的总体表现,并指出需要改进的具体方面。教师最后布置一项设计性任务,要求学生在新的实验情境中运用所学知识解决问题。评价体系不再以期末考试为主,而是将线上学习行为、虚拟操作轨迹、课堂参与质量、实验操作规范和报告撰写水平全部纳入评定依据,输出层架构如图3所示。

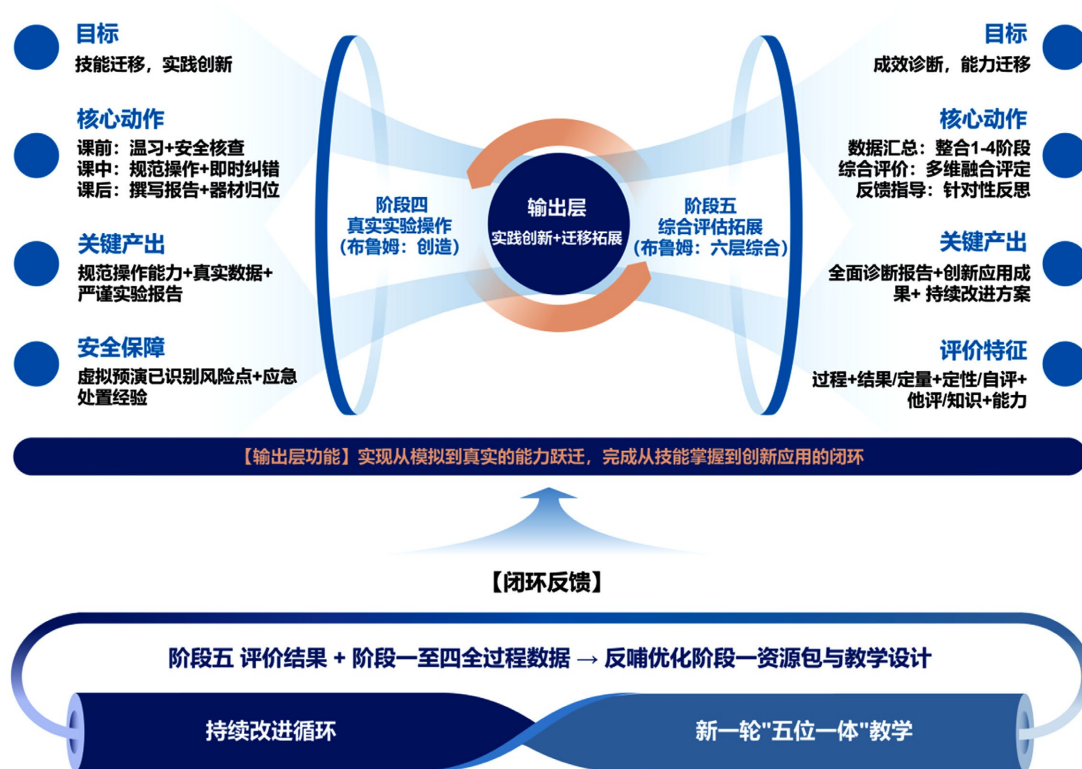


Figure 3. Output-layer “practical innovation + transfer extension” dual-stage: closed-loop construction from authentic scenario operation to comprehensive competence evaluation

图3. 输出层“实践创新 + 迁移拓展”双阶段:从真实情境操作到综合能力评价的闭环建构

4. 透射电镜教学案例展示

为阐释“五位一体”混合式教学模式在《现代仪器分析及应用》课程中的实效,本文选取透射电子显微镜(TEM)教学单元,依托欧贝尔平台虚拟仿真软件展示教学实践。

4.1. 案例背景

TEM是材料科学与纳米科技领域获取原子尺度晶体结构、形貌及成分信息的关键工具,但传统教学模式存在多重局限:理论教学中,学生难以将电子衍射机理、衬度理论与实际图像的颗粒形貌、明暗特征建立有效关联;实验环节受限于设备购置与运维成本,生均实操时长严重不足,难以独立完成从合轴、聚焦到图像采集的完整流程;定量分析技能训练亦因机时有限而受阻,粒径统计等涉及大量图像测量与

数据处理的操作无法系统开展,造成数据采集与解析能力脱节;更有学生将 TEM 简化为成像工具,忽视电子与物质相互作用的物理本质,形成重操作轻机理的片面认知。

4.2. 虚拟仿真平台的功能支撑

TEM 虚拟仿真软件基于欧贝尔平台开发,提供三维虚拟实验室环境,学生以操作者视角在虚拟场景中移动和交互。软件中的操作步骤参照真实 TEM 设备设定,包括开机前的循环水、气压和真空状态检查,高压启动,液氮加注,样品制备与装载,以及消像散和光阑对中等光学校正操作。操作过程中,界面会给出提示说明各步骤背后的原理,例如调节亮度时说明其与电子束流的关系,校正光学时展示光斑的变化。如果学生操作顺序错误或参数设置不当,系统会立即提示并阻止错误继续;同时,平台自动记录学生的操作路径、关键步骤的完成情况和用时。

4.3. 教学模式在 TEM 表征案例中的实施

教学开始前,教师在学习管理系统中发布任务,学生安装欧贝尔 TEM 虚拟仿真软件并试用。这一环节让学生先熟悉设备的外观和主要部件,对标准操作流程有大致了解。随后,学生通过课程平台观看 TEM 核心原理的微课视频,内容包括电子衍射基础、明场像衬度成因以及样品制备要求;同时阅读仿真软件的操作说明,并在讨论区中就疑难问题发帖交流。

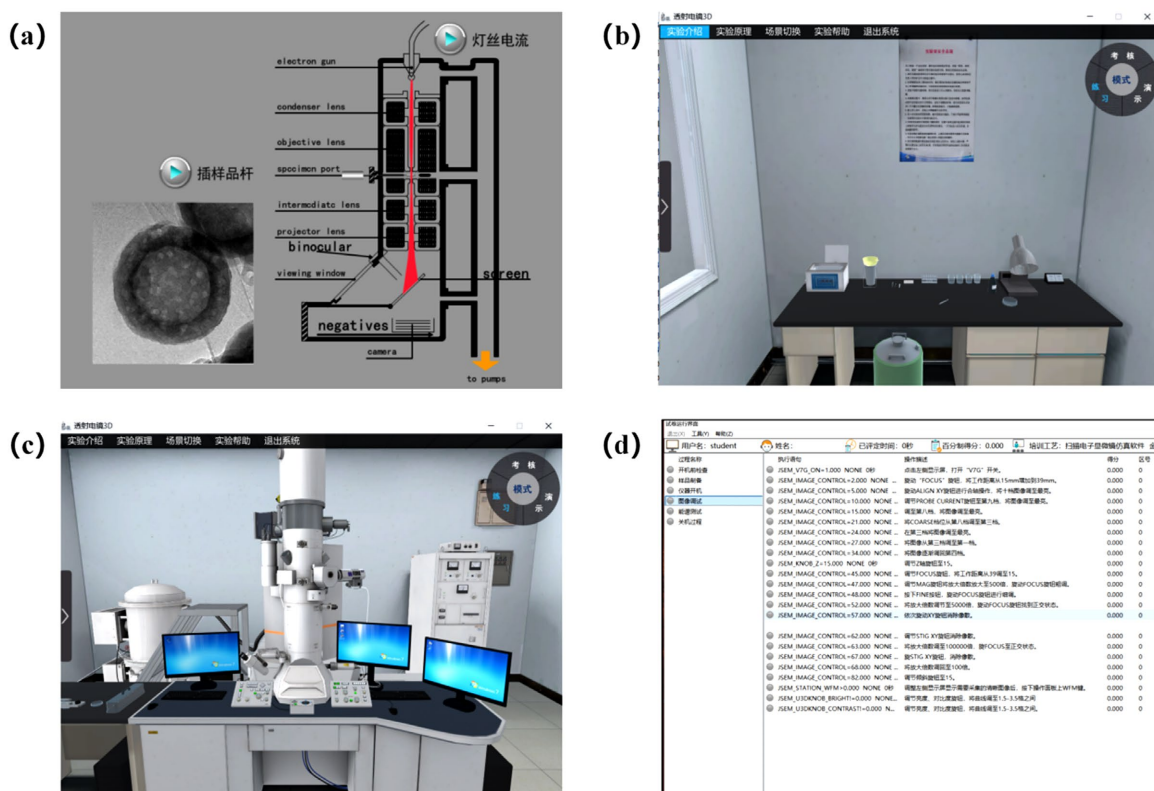


Figure 4. Process demonstration of the virtual simulation stage: (a) animated principle learning; (b) sample preparation simulation; (c) operation simulation; (d) standard procedure prompts and recording

图 4. 虚拟仿真阶段过程展示(a) 原理动画学习; (b) 样品制备仿真; (c) 操作仿真; (d) 标准流程提示和记录

翻转课堂环节依托平台数据追踪,识别学生操作中的共性问题,如像散校正不充分、样品定位精度不足等,教师据此集中解析原理,组织学生围绕液氮添加的必要性、图像正焦状态的判定标准、多倍数

观察策略等议题展开研讨,促进理论认知的内化。进入实验室后,教师先行演示关键操作步骤,引导学生对比虚拟仿真图像与实机成像的差异,在此基础上指导学生完成样品台移动、焦距微调等基础操作,借助设备的反馈强化操作技能的效果。

课程考核采用多元评价机制,涵盖知识掌握、操作能力、过程参与与综合分析四个维度。具体权重分配为:线上理论测验占 20%、虚拟仿真操作占 30%、课堂参与表现占 10%、综合实验报告占 40%。学生需整合虚实两类实验数据撰写分析报告,并可选做拓展性研究任务,以此强化学习成效并培养自主探究能力,虚拟仿真阶段过程展示如图 4 所示。

该教学模式借助虚拟仿真突破了实体设备与场地的限制,以可重复、无风险的数字化训练降低了教学成本与实验安全隐患;依托平台实现了考核标准的一致性与评价数据的全程记录,使学习过程有据可查;灵活的时间安排延长了学生的有效学习时长,前置性虚拟操作也为后续实机上手提供了技能储备。

5. 结论

针对《现代仪器分析及应用》课程面临的高成本、高风险及难实施等现实制约,本研究构建了虚拟仿真技术支撑的“五位一体”混合式教学模式,并以透射电镜教学单元验证其实际成效。该模式基于布鲁姆认知目标分类学,将教学过程重组为五个递进环节,既通过虚拟环境的沉浸式预演缓解了精密仪器课时不足与高危实验受限的资源瓶颈,又借助虚实衔接弥合了操作技能与物理机制认知之间的脱节,实现了从知识传授向能力培养的教学转型。TEM 教学实践表明,前置虚拟训练有效延长了学习时长并降低了操作风险,而后续真实情境的迁移应用则弥补了虚拟环境在触觉反馈与故障处置方面的局限;贯穿全程的过程性数据采集更突破了传统终结性评价的单一维度,形成了基于证据的教学诊断与反馈机制。该模式不仅为本课程提供了系统性解决方案,其能力导向、虚实协同的设计理念亦可迁移至设备昂贵、耗材高危的同类理工科实验课程,具有较好的适用性。

基金项目

中国矿业大学(北京)本科教育教学改革与研究资助项目 J240306;北京市高等教育本科教学改革创新项目(基于四位一体的“科技矿场”拔尖创新人才培养模式改革与实践研究)。

参考文献

- [1] 董桂伟,赵国群,王桂龙.我国虚拟仿真实验教学的发展与趋势研究:基于近十年中国知网文献的知识图谱分析[J].中国大学教学,2021(7):85-92,96.
- [2] 张慧琴,李中凯.近十年我国高校虚拟仿真实验教学研究发展述评[J].实验室研究与探索,2024,43(8):77-82,137.
- [3] 王京,丁飞,邱晓航.虚拟仿真技术在 ICP-OES 实验教学中的应用[J].实验技术与管理,2021,38(5):145-148.
- [4] 平贵臣,许辉,史安全,等.混合式教学模式构建现代仪器分析实验课程探讨[J].广州化工,2021,49(1):122-124.
- [5] 李澜,王吉.高等学校虚拟仿真实验教学现状及趋势研究[J].中国教育技术装备,2022(19):18-21+25.
- [6] 王振慧,杨宏业.虚拟仿真技术在口腔医学教育中的应用[J].口腔医学研究,2022,38(9):811-814.
- [7] 吴继魁,周冬香,毛芳.仪器分析课程的教学改革与探索[J].大学化学,2013,28(3):28-30.
- [8] 张敏,刘俊波.对高校虚拟仿真实验教学项目建设的若干思考[J].中国现代教育装备,2020(1):10-13.
- [9] 王恩强,刘伟,童凤军,等.病原生物学实验教学中虚拟仿真方法的应用研究[J].中国病原生物学杂志,2022,17(8):991-992,F0003.
- [10] 刘为浒,李刚华,汪欢欢.虚拟仿真实验“金课”建设的探索与实践[J].大学教育,2022(5):86-89.
- [11] 周晶,罗文,徐晖.“岗课赛证”融合育人视野下的“仪器分析”教学改革探究[J].科技与创新,2024(14):69-72.

- [12] 邹桂征, 孙树喆, 徐晓文, 等. 仪器分析课程教学内容和教学方式改革的几点思考[J]. 大学化学, 2022, 37(4): 51-57.
- [13] 马达, 朱勇, 张宇, 等. 新工科背景下《现代仪器分析》课程教学改革与实践——以暨南大学为例[J]. 包装工程, 2021, 42(S1): 202-205.