



虚拟仿真在扫描电镜开放实验教学中的应用研究

暴丽霞¹, 张 妞¹, 邵瑞文², 高培峰^{1*}, 彭绍春¹

(1. 北京理工大学 分析测试中心, 北京 102488; 2. 北京理工大学 医学技术学院, 北京 100081)

摘要: 为充分发挥扫描电镜(SEM)在创新型人才培养中的作用, 在扫描电子显微镜下的微观世界实验室开放课程中引入虚拟仿真系统, 解决了传统开放实验教学中存在的问题。虚拟仿真系统的强大功能和趣味性, 调动了学生学习的主动性和积极性。学生通过完成“自主学习—掌握知识—设计实践内容—完成实验探究”难度递增的教学过程, 主动构建相关知识体系, 激发了学生的创新意识, 提高了学生的科研创新能力, 形成了“先虚后实、以虚辅实、虚实结合”的多层次教学模式, 拓展了开放实验教学的广度和深度, 取得了良好的教学实践效果。

关键词: 虚拟仿真; 开放实验教学; 人才培养; 创新实践

中图分类号: TP391.9; G434

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20240207

Research on the Application of Virtual Simulation in Open Experimental Teaching of SEM

BAO Lixia¹, ZHANG Niu¹, SHAO Ruiwen², GAO Peifeng^{1*}, PENG Shaochun¹

(1. Analysis & Testing Center, Beijing Institute of Technology, Beijing 102488, China;

2. School of Medical Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: To fully leverage the role of scanning electron microscopy (SEM) in the cultivation of innovative talents, a virtual simulation system has been introduced into the open experimental course of Micro World under Scanning Electron Microscopy, which solves the problems existing in the traditional open experimental teaching. The powerful functionality and interest of the virtual simulation system can effectively mobilize student's initiative and enthusiasm for learning. By navigating through the increasingly challenging teaching-learning process of “independent learning—mastering knowledge—designing practical content—completing experimental inquiry”, students will actively construct relevant knowledge systems, stimulate innovation awareness, and improve scientific research innovation abilities. In this way, a multi-level experimental teaching mode of “irtualization first, reality second, supplementing reality with virtualization, and combination of virtualization and reality” is thus formed, which broadens and deepens the scope of open experimental teaching, showing excellent teaching practice results.

Key words: virtual simulation; open experimental teaching; talent cultivation; innovation practice

推动创新人才培养, 促进科教融合进程, 提升学生的科研实践水平与创新创业本领, 是人才培养的终极追求, 而其核心在于本科教育。大型仪器设备作为重要的科研、教育和学习工具^[1], 是培养学生创新理念和科研水平, 增强学生综合素养的关键基础条件。提升本科生创新能力最直

接、最有效的途径就是参与高水平的科学研究^[2], 这个过程离不开大型仪器设备提供必不可少的技术支持^[3]。对大型仪器设备的学习和使用, 可以逐步培养学生的科研兴趣, 进而引导学生参与科研。因此, 如何有效地将大型仪器设备应用于本科生培养中, 既是学科发展前沿对人才培养的要

收稿日期: 2024-04-17

基金项目: 北京理工大学教育教学改革重点项目(2020CGJG034); 北京理工大学研究生教育教学改革重点项目(2023ZDJG017); 北京理工大学实验室研究项目(2021BITSYC11, 2021BITSYA38, 2019BITSYB14)。

作者简介: 暴丽霞, 硕士, 工程师, 主要从事大型仪器设备管理及实验教学和开发方面的研究。E-mail: baolixia0228@126.com

* 通信作者: 高培峰, 硕士, 助理研究员, 主要从事实验室与设备管理方面的研究。E-mail: sscgpf@bit.edu.cn

求,也是全面提高实验教学质量和学生综合素质的有效方法。

扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM),简称扫描电镜,是观测与表征材料表面形貌信息、成分信息的重要仪器^[4],广泛应用于材料学、物理学、化学、化工、生命科学、医学等领域^[5-9]。作为大型精密仪器设备,扫描电镜主要用于服务科研工作,人们的关注点多集中在学术成果产出方面^[10],于实验教学领域,特别是针对本科生的实验教学方面,其应用相对稀缺。究其原因,一方面是扫描电镜价格昂贵,配置数量少,且科研需求量大,机时比较紧张,不易协调出足够的机时供本科教学使用^[11];另一方面是扫描电镜为封闭式构造,内部结构精密且不易观察,传统授课模式不利于学生对扫描电镜工作原理和操作技术的快速掌握^[12]。由于缺少系统、科学的学习和训练,学生很难熟练地掌握扫描电镜的操作,而不规范的操作可能对仪器的状态与性能产生极大影响,严重时会造成设备损坏。

包括扫描电镜在内的大型仪器设备,若能在本科实验教学方面发挥积极作用,会大大提升这些优质办学资源的利用率和综合效益,助力创新型人才培养^[13]。近年来,随着信息技术的飞速发展,沉浸式、交互式的虚拟仿真技术被大量引入实验教学中,迅速成为重要的辅助教学模式。北京理工大学分析测试中心在面向本科生的实验室

开放教学课程中引入了虚拟仿真系统,采用虚实结合的教学模式,鼓励学生围绕扫描电镜在材料表征中的应用进行实验方案设计与验证,很好地解决了理论知识接受度差、仪器设备机时紧张、教学周期长、上机操作试错成本高等问题,同时进一步增强了学生参与实验学习的踊跃性与自觉性,收获了优良的教学成效。

1 传统授课模式的制约

1.1 传统扫描电镜实验室开放课程设计

为了充分发挥扫描电镜在创新型人才培养过程中的积极作用,全方位提升本科生实验教学的水准,分析测试中心以唤起学生的科研兴致与探究理念为目标,设计了扫描电子显微镜下的微观世界实验室开放课程,将生活中常见的物质“搬”到扫描电镜下进行观察。希望通过课程的学习,学生可以获得以下3种能力:1)掌握扫描电镜成像的基本原理;2)掌握扫描电镜和能谱仪的基本构造、工作原理及操作技能;3)提升学生利用大型仪器进行实验探究的意识和能力。

该实验室开放课程的教学设计如图1所示。课程内容分为理论学习和上机实践两部分。理论学习主要结合讲义和PPT,使学生掌握扫描电镜的基本原理;上机实践结合具体的实验,通过演示和分组上机操作的方式,让学生掌握扫描电镜的基本操作,并学会利用扫描电镜解决科研中的问题。

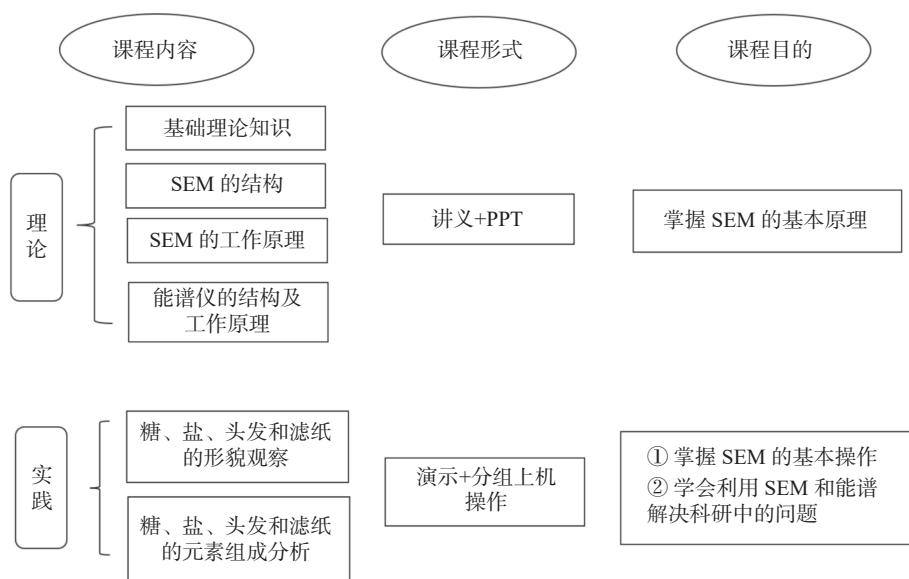


图1 传统实验室开放课程授课模式结构图

1.2 传统授课模式存在的问题

在扫描电子显微镜下的微观世界这门实验室开放课程的教学实践中，凸显了传统授课模式主要存在的以下 3 方面问题。

1) 理论讲解环节枯燥，学生接受度较差

商品化的扫描电镜是高度集成化和自动化的仪器设备，其内部结构，尤其是最为核心的电子光学系统，被保护在严密的外壳之中，从外部无法观察。传统教学通常采用讲义和 PPT 结合的方式^[14]，依靠图片、文字和语言描述为学生讲解扫描电镜的结构和工作原理，这种方式比较抽象和晦涩，学生不容易理解和接受。

2) 教师演示操作多，学生动手操作少

扫描电镜在科研中的需求量极大，教学机时不易协调，为了更加清晰和详尽地讲解上机操作中的技术要点和注意事项，教师往往会进行大量的操作演示，留给学生的自主上机时间比较少。另外，扫描电镜本身的价格和维修保养费用都比较高，学生在上机操作过程中容易畏手畏脚，不敢大胆尝试，往往应付式地走完教学流程。这两方面的原因导致学生的动手操作能力没有得到很好地锻炼。

3) 上机操作程序化，创新思维发散不足

传统授课模式中，为避免仪器设备损坏，教师会为上机学生规定好仪器设备的固定参数，不允许学生自行修改，使得学生不能真正掌握仪器设备的工作原理，也不能提高根据问题导向来设定设备参数以达到最佳测试效果的能力，对提升学生的科研水平与创新能力不利。

2 引入虚拟仿真技术的课程模式构建与效果评价

2.1 虚拟仿真平台介绍

虚拟仿真是信息时代中现代教育技术的崭新呈现形态。凭借虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库以及网络通信等技术手段，打造出高度仿真的虚拟实验情境与实验对象。学生在虚拟情境里开展实验操作，达成教学任务、实现教学目标，教学质量得到提升^[15]。

本课程中采用的虚拟仿真系统是真实扫描电镜(JEOL 7500F 型)和能谱仪(Oxford)的仿真模拟，可视化和模拟仿真程度极高，虚拟仿真真实的 3D 环境如图 2 所示，其操作步骤与真实仪器操作高度一致。使用透视效果对仪器的构造及工作原理部分进行模拟，以第一视角的形式借助 3D 动画展现了真空系统的工作原理以及电子束在扫描电镜内的路径及其与样品作用所产生的信号，如图 3 所示，形象直观的动画与图像能够辅助学生领会扫描电镜的构造及工作流程。利用虚拟仿真系统，可为学生后续的理论知识学习和实际上机操作奠定良好的基础。



图 2 虚拟仿真真实的 3D 环境图

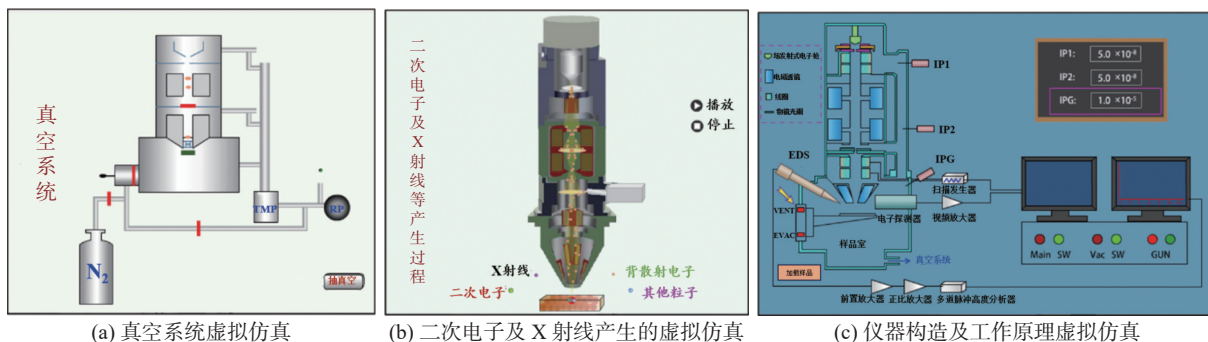


图 3 仪器构造及工作原理虚拟仿真动画图

虚拟仿真系统分为操作前、操作中和操作后 3 个部分，由原理、控件、样品制备、扫描电镜基本操作、能谱基本操作、数据分析与处理、考核

评价 7 个模块组成，如图 4 所示。考核评价模块可以督促学生反复练习仪器的操作步骤，更好地熟悉并掌握仪器的操作步骤和注意事项，减少实

际上机的误操作, 降低损坏仪器的风险。

2.2 虚实结合教学模式的构建

虚拟仿真平台功能强大、趣味性强, 将其引入到扫描电镜实验室开放课程的教学实践中, 探索虚拟仿真技术、扫描电镜操作使用和学生创新能力培养的有机融合模式, 有助于全面激发学生

积极动脑思考的主动性, 锻炼学生的实践操作能力, 切实消除畏难情绪, 对培育本科生的创新思维和科研素质有着重要作用。结合扫描电子显微镜下的微观世界实验室开放课程的教学大纲设计, 按照实验前、实验中和实验后 3 个阶段构建了新的教学模式, 如图 5 所示。

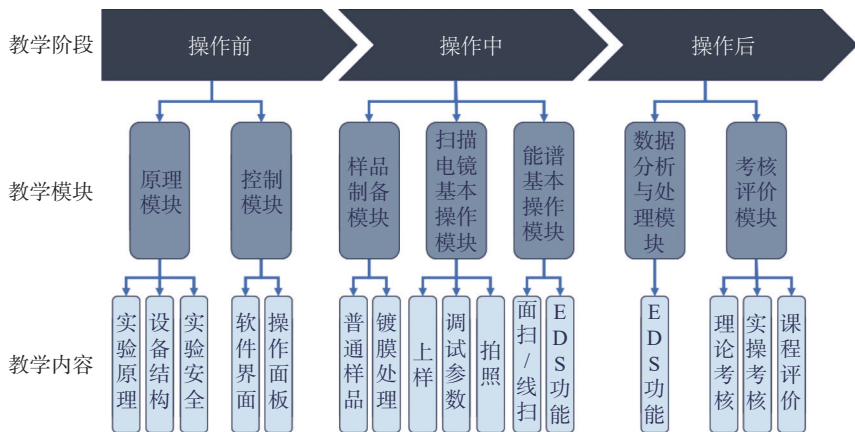


图 4 虚拟仿真平台的模块示意图

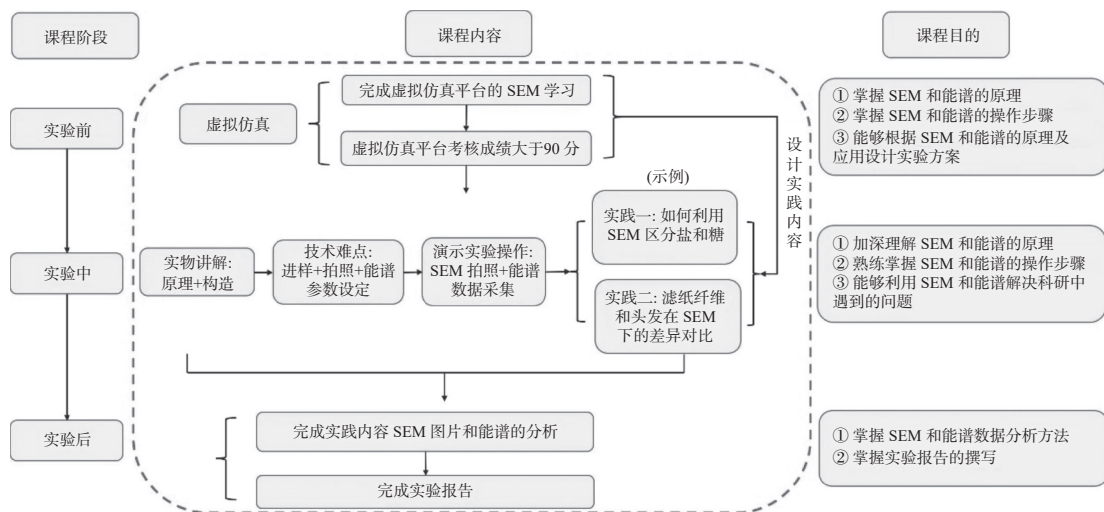


图 5 虚拟仿真扫描电镜实验室开放课程设计结构图

在实验开始前, 学生首先要完成虚拟仿真系统中的学习。在虚拟仿真系统中, 利用生动形象的动画或动图演示方式, 帮助学生快速理解并掌握扫描电镜和能谱仪的结构、工作原理与参数设置方法。完成学习后, 学生必须参加虚拟仿真系统中的操作考核, 成绩大于 90 分的才有资格进行实际上机操作。利用虚拟仿真软件, 学生可以多次对扫描电镜和能谱的操作流程加以练习, 熟稔仪器的操作流程与注意要点, 从而节省实际操作时间, 提高效率, 并显著降低实际上机操作的失

误。同时, 引导学生结合生活中的常见物质, 自选实验目标物, 围绕目标物的表面形貌表征, 分组讨论并设计实践探索方案。在该过程中需凸显学生的主体地位, 激励其积极学习并把握相关知识架构, 实现手脑协同, 推动理论和实践相结合^[16]; 要突出研究型与探索性, 鼓励学生认真思考表面形貌分析在材料科学研究中的重要性, 培养其创新意识和实践能力。

在实验过程中, 结合实体扫描电镜再针对仪器的结构、工作原理和操作流程展开现场讲解与

操作展示, 强化学生对所学理论知识以及操作技术的领会。前期通过虚拟仿真软件的学习, 学生更容易在实际仪器设备上手并快速掌握扫描电镜操作过程的技术难点, 包括进样、扫描电镜像散的调节、扫描电镜测试参数的设定、拍照及能谱参数的设定等。与此同时, 授课教师依据虚拟仿真软件后台所留存的实验记录, 能够明确学生易于出现错误操作的部位, 于课堂中有针对性地展开重点阐释与提示, 可以进一步降低学生上机操作的失误率, 从而有效保护仪器设备。学生掌握扫描电镜的实际操作技术后, 就可以利用仪器设备完成前期制定的实践探索方案。

实验结束后, 学生需进行数据分析和撰写实验报告, 培养其利用扫描电镜解决科研中实际问题和论文撰写的能力。分析测试中心鼓励对扫描电镜的操作与应用有浓厚兴趣的学生进入中心, 并跟随专业技术教师进行更加深入地学习和实践探索, 掌握更高水平的仪器设备操作与应用能力, 同时学生利用测试平台资源条件积极开展创新创业实践活动。

2.3 课程效果评价

引入虚拟仿真软件的扫描电镜实验室开放课程, 于教学理念、课程规划、教学模式等层面, 进一步凸显了学生的主体作用, 唤起了学生积极学习与探索的热忱, 解决了传统授课模式中理论讲解枯燥、学生上机操作少、上机操作程序化、创新思维不足的缺点, 收获了颇为良好的教学成效。

1) 构建了“先虚后实、以虚辅实、虚实结合”的多层次教学模式

在进行上机实操之前, 先利用虚拟仿真系统进行学习和训练, 其逼真的实验场景和仪器原理的动画展示, 将枯燥的理论知识变得通俗易懂, 提高学生自主学习的兴趣。通过“虚”和“实”的多层次结合与深度融合, 帮助学生从抽象的理论知识产生具体、直观的认知并加深理解, 改善了学生对于枯燥的理论学习理解和接受度差的情况。同时, 将传统开放实验教学中的被动接受转化为主动学习, 促进学生主动构建相关知识体系和开展自主探索的积极性。

2) 提高了学习效率, 降低了仪器设备运行风险
在虚拟仿真系统中, 学生可以反复练习和纠错, 为学生创造了自主性高、探索式学习环境^[17],

也有助于快速掌握仪器设备的操作步骤和技术难点, 为实际上机奠定良好的基础, 有效降低发生误操作的概率。同时, 虚拟仿真系统也可以让教师准确掌握学生操作过程中的难点及易错点, 在讲解时更有针对性。自从将虚拟仿真课程引入到本科生实验教学后, 教师从后台时刻关注学生易出错的操作, 及时进行重点讲解, 使学生达到独立操作扫描电镜的时间, 由原来的 8 学时减少为 5 学时, 大幅提高学习效率, 同时, 操作过程中的故障率也由原来的 70% 降低为 30%。

3) 拓展了实验教学的广度和深度, 提升了实验教学质量

国家虚拟仿真实验教学项目一直着眼于信息化时代环境中学生自身的需求, 着重开展以问题、案例为基础的互动型和研讨型教学, 鼓励自主型、合作型和探究型学习^[18]。虚拟仿真系统能够让学生在反复的模拟训练中不断加深对扫描电镜功能和应用的理解, 使学生在制定实践探索方案时, 能够充分发散思维, 不拘泥于固定的方法与思路, 从而有效提升学生自主性、合作性和探究性解决实际问题的能力, 有助于提升实验教学质量和学生的综合科研素养。

3 结束语

虚拟仿真系统与扫描电镜等大型仪器设备相结合的开放实验教学模式, 能够使抽象难懂的理论知识变得更为具象化, 增添实验操作的趣味性。学生由被动接纳知识转为主动地构建知识架构, 其实践能力、创造性和综合素养得以培养和提升, 此为大型仪器实验教学改革的一种趋向。但是, 大型仪器虚拟仿真系统是基于具体的仪器型号建立的, 同类但不同型号的仪器, 其在构造和细节上存在差异, 会导致虚拟仿真系统中的仪器的操作不尽相同; 同时, 虚拟仿真系统制作中的缺陷会导致某些操作不太方便, 这些是限制大型仪器虚拟仿真系统在实验教学中广泛应用的重要原因。未来虚拟仿真平台的建设如果能克服这些不足, 将会在实验教学中发挥更大的作用。

参考文献

- [1] 王晓岗, 陈云, 李明芳, 等. 以大型仪器为抓手的创新人才培养模式研究与实践[J]. 实验室科学, 2024, 27(1): 237-240.

- [2] 陈韶云, 刘奔, 张行颖, 等. 以大型仪器为依托构建本科科研素质培养的新模式[J]. 高分子通报, 2020(4): 64-70.
- [3] 何亚群, 刘怀宇, 谢卫宁, 等. 探索大型仪器开放共享对提高理工科大学生创新能力的新途径[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(8): 261-265.
- [4] 郭素枝. 扫描电镜技术及其应用[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2006.
- [5] 吉钰纯, 王吉林, 罗志虹. 碳纳米管负载铂金颗粒的微观形貌表征[J]. 中国粉体技术, 2021, 27(4): 63-69.
- [6] 李桂英, 李建开, 刘政鹏. 扫描电镜在钢铁质量控制方面的应用[J]. 山东冶金, 2021, 43(4): 37-39.
- [7] 焦淑静, 薛东川, 周晓峰, 等. 页岩有机碳含量的扫描电镜估算方法[J]. 电子显微学报, 2021, 40(4): 406-413.
- [8] 于川茗, 李林, 蔡毅超. 扫描电镜在电池材料领域的应用[J]. 电子显微学报, 2021, 40(3): 339-347.
- [9] 杨梅花, 郑新开, 刘升学, 等. 4种睡莲花粉形态的扫描电镜观察[J]. 电子显微学报, 2022, 41(1): 61-65.
- [10] 辛良, 陈义林, 吴刚, 等. 大型仪器面向本科生开放提高学生创新实践能力[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(11): 294-298.
- [11] 柴占丽, 白风华, 张兵兵. 大型仪器分析实验中虚实结合教学模式改革的探索与实践: 以透射电子显微镜实验为例[J]. 大学化学, 2021, 36(9): 137-140.
- [12] 张万群, 邵伟, 柯玉萍. 大型仪器分析实验教学多层次培训体系的建立与实践[J]. 化学教育(中英文), 2018, 39(10): 24-28.
- [13] 汤海峰, 刘艳, 闫国栋, 等. 开展线上线下混合式教学助推大型仪器面向本科生开放[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(11): 174-177.
- [14] 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.
- [15] 刘子洲, 翟方国, 陈旭, 等. 虚拟仿真在海洋调查实验教学中的研究与应用[J]. 实验科学与技术, 2024, 22(1): 44-51.
- [16] 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[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(5): 1-4.
- [17] 焦健, 律涛, 穆玉理, 等. “虚拟仿真+试误教学法”实验教学模式的探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(2): 203-206.
- [18] 熊宏齐. 国家虚拟仿真实验教学项目的新时代教学特征[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(9): 1-4.

编辑 葛晋

(上接第 116 页)

- [11] STRINGER J, MARSHALL M B. High speed wear testing of an abradable coating[J]. Wear, 2012, 294: 257-263.
- [12] BECKER S, POPP U, GREINER C. A reciprocating optical in situ tribometer with high-speed data acquisition[J]. Review of Scientific Instruments, 2016, 87(8): 085101.
- [13] 李红, 马壮, 石素君, 等. 金丝球焊引线键合虚拟仿真实验的设计与实践[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(S1): 1-5.
- [14] 谭彩铭, 张成, 陈旭, 等. 虚实结合的低成本开源机器人实验教学平台[J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(7): 118-123.
- [15] 王琳, 贾国良, 李怡欣, 等. 单缸内燃机拆装与机械结构分析虚拟仿真实验开发和教学设计[J]. 实验科学与技术, 2023, 21(2): 39-43.
- [16] 姚鹏, 杨卫军, 任静, 等. 基于虚仿实验的模电理论教学与实验教学融合[J]. 实验室科学, 2023, 26(4): 128-131.

编辑 葛晋