

AI赋能研究生安全教育的实践与探索

姚文瑞, 孙策, 陈百灵, 苗媛媛, 梁大鑫, 谭海彦, 郑丁源*, 张彦华*

东北林业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150040

摘要: 实验室安全教育是研究生培养的重要环节, 对高校教学与科研环境的安全至关重要。论文基于东北林业大学材料学院林业工程专业研究生课程, 探讨了AI赋能的实验室安全教育体系。针对传统模式理论与实践脱节、教学方式单一等问题, 构建了理论学习、虚拟仿真与实践演练三大模块。AI技术不仅提供沉浸式安全培训, 还通过智能考核和个性化反馈优化学习效果。实践演练强化应急处理能力, 提高实验安全素养。该体系显著提升学生安全意识, 降低事故风险, 为高校实验室安全教育的优化和推广提供了重要参考。

关键词: AI赋能; 虚拟仿真; 课程改革; 安全工程

中图分类号: G64; O6

Practical Exploration of AI Empowerment in Graduate Safety Education

Wenrui Yao, Ce Sun, Bailing Chen, Yuanyuan Miao, Daxin Liang, Haiyan Tan, Dingyuan Zheng*, Yanhua Zhang*

School of Materials Science and Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China.

Abstract: Laboratory safety education constitutes a critical element in graduate training, playing a pivotal role in maintaining a secure academic and research environment. This study investigates an AI-enhanced laboratory safety education system implemented within the Forestry Engineering graduate program at the School of Materials Science, Northeast Forestry University. To address prevalent issues such as the disconnection between theoretical knowledge and practical application, as well as the limitations inherent in conventional teaching methodologies, the proposed system incorporates three integrated modules: theoretical instruction, virtual simulation, and practical training. The integration of AI technology facilitates immersive safety training experiences, enables intelligent assessment mechanisms, and provides personalized feedback, thereby optimizing the learning process. Furthermore, the practical training component enhances emergency response capabilities and elevates laboratory safety competencies. The implementation of this system has demonstrated significant improvements in students' safety awareness and a reduction in laboratory incidents, offering valuable insights for the optimization and dissemination of laboratory safety education in higher education institutions.

Key Words: AI empowerment; Virtual simulation; Curriculum reform; Safety engineering

1 引言

作为研究生教育大国, 中国高等教育体系培养了大批创新型高层次人才。然而, 化学及相关实

收稿: 2024-12-31; 录用: 2025-03-10; 网络发表: 2025-06-17

*通讯作者, Emails: zhangyanhua@nefu.edu.cn (张彦华); zhengdingyuan@nefu.edu.cn (郑丁源)

基金资助: 本科高校教育教学改革研究一般项目(SJGY20220142); 黑龙江省高等教育教学改革项目(实验室安全演练的实践与应用); 教育部产学合作协同育人项目(220605940201025)

实验室作为高校科研与教学的重要组成部分,由于涉及气体、易燃易爆试剂、有毒有害药品等危险源,面临较高的安全风险^[1]。近年来,高校实验室安全事故频发,例如,2018年某高校实验室爆炸、2019年某高校实验室着火、2021年某研究所高压反应釜爆炸以及某大学金属粉爆炸事件。这些事故不仅严重干扰了高校正常的教学与科研活动,也对师生的生命安全造成了重大威胁^[2,3]。随着实验室规模的扩大和研究内容的复杂化,高校化学实验室安全问题愈发引起各级管理部门的高度关注。如何完善实验室安全管理体系,减少安全隐患,已成为高校实验室管理的核心议题之一。加强实验室安全建设,不仅是保障高校教学和科研环境的重要手段,也是实现学生安全教育与实践融合的基础保障。

近年来,高校实验室安全问题受到广泛关注,相关研究主要集中在实验室危险源管理、本科生安全教育以及实验室安全管理体系建设三个方面。实验室危险源管理主要围绕化学、生物、物理及设备安全展开,研究重点在于危险源识别、分类与预防^[4,5]。然而,现有研究多集中在本科实验室或大型研究平台,对研究生独立实验中的高风险操作关注较少,未能充分考虑导师责任制在实验室危险源管控中的作用。本科生实验室安全教育通常采用规章制度讲解+基础实验训练的模式^[6,7]。然而,这些研究主要围绕本科生的基础安全培训,缺乏针对研究生的高阶安全教育,如复杂实验方案的安全评估、实验突发状况的决策能力培养等。此外,现有研究较少探讨导师在研究生安全教育中的主导作用,未能有效结合“导师第一责任人”制度进行安全管理创新。实验室安全管理体系的研究涉及制度建设、信息化管理与责任分工。然而,这些研究在AI技术应用上仍存在局限性,多数研究仅停留在信息化、网络化层面,对AI智能分析、个性化学习路径优化及实验风险预测的探索较少,未能充分发挥AI技术的优势^[8]。

论文以东北林业大学林业工程专业研究生“安全工程”课程建设为基础,针对研究生实验自主性强、实验复杂度高、潜在风险大的特点,探索AI赋能的安全教育体系。课程体系的结构示意图如图1所示,为培养研究生树立安全意识、提高综合素质和应急能力,本项目提出融合AI技术的全新实验室安全教育模式。通过引入虚拟仿真训练、理论课程学习和安全实践演练等环节,构建线上线下相结合的教学体系。AI赋能的虚拟仿真技术能够模拟实验室火灾、化学品泄漏等真实场景,为学生提供“沉浸式”学习体验,还通过机器学习算法实时分析学生操作行为,动态评估学习效果,生成个性化反馈建议。理论课程环节系统讲授实验室安全知识,并结合导师责任制强化实验方案审核和风险评估,确保研究生在开展高危实验前具备充分的安全预案。安全实践演练环节组织学生进行灭火器操作、酸碱中和处理和个人防护设备正确使用等实操训练,并结合AI技术动态监测学生的操作规范性,实时推送改进建议。在AI技术支持下,教学系统能够实时分析学生的学习表现,识别潜在风险,并结合导师考核确保学生具备安全操作能力。通过该模式,不仅能够最大限度地降低实验室事故风险,还为“安全文明校园”建设提供了坚实基础,同时也为其他高校推广安全教育体系提供了可行范例。

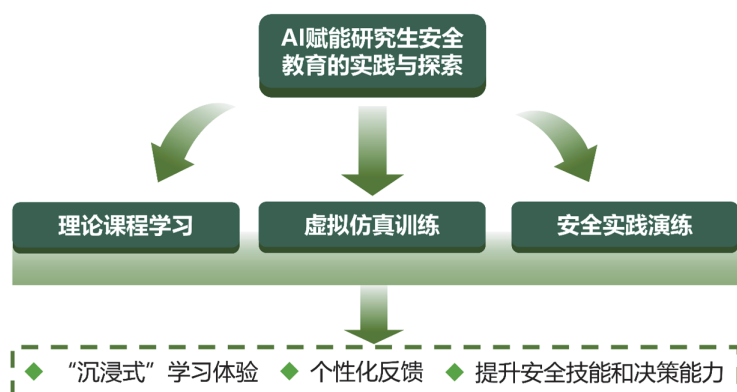


图1 AI赋能研究生安全教育的实践与探索课程体系的结构示意图

2 AI赋能研究生安全教育体系建设

2.1 理论学习：实验室安全知识的系统构建与基础夯实

理论学习是实验室安全课程体系建设的基础环节，旨在通过系统化、规范化的知识传授，让学生全面了解实验室安全的核心内容和操作规范，并针对高风险实验特点进行强化培训^[9]。理论学习课程架构及主要内容如图2所示，本课程分为六大模块，包括绪论、规章制度、水电与特种设备、个人防护与实验室设施、危险化学品管理以及实验废弃物处理。通过绪论部分，学生能够认识到实验室安全工作的重要性，并对常见问题及安全警示标识有清晰的理解；规章制度模块帮助学生熟悉从国家政策到学校、学院管理制度的全方位要求^[10,11]，并强调研究生实验方案安全审核与导师责任制，确保研究生在导师的指导下开展高危实验前具备充分的安全预案；水电与特种设备部分则重点教授实验室常见设备的安全使用与管理知识；个人防护模块引导学生掌握科学的防护方法并认识不良实验习惯的风险；危险化学品管理模块从定义到全生命周期管理进行详细讲解；实验废弃物处理模块则覆盖了废弃物的分类、包装、收集与处理方法。通过这一系列的理论学习，研究生不仅能够系统掌握实验室安全知识，还能结合AI技术进行个性化风险评估，提升实验安全意识，为后续的闯关式安全考核、虚拟仿真和实践演练提供重要支撑。



图2 理论学习课程架构及主要内容

2.2 虚拟仿真：AI赋能的沉浸式实验室安全隐患识别与应对训练

虚拟仿真是实验室安全课程体系的核心环节，通过引入AI技术，为实验室安全教育提供了智能化、交互式的学习平台。借助虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术，学生可以在高度仿真的虚拟实验室环境中进行操作，系统涵盖从安全隐患查找到专业技能训练的多模块内容^[12]。例如图3所展示的虚拟仿真主要练习场景，针对化学药品、气瓶、三废处理、仪器设备、安全设施以及水电安全等隐患的查找，AI技术可实时监测学生的操作行为，动态评估学习效果，提供个性化反馈建议并生成“个性化改进报告”，确保研究生能够掌握高风险实验的安全防范措施。虚拟仿真进一步融入实验室基础安全、化学安全、生物安全以及特种仪器设备安全的场景化训练，使学生能够直观了解危险源的表现形式与应对方法。在智能化消防安全模块中，AI驱动的模式系统可生成多种火灾场景，实时引导学生匹配正确灭火器、规划最佳逃生路线，并进行实战演练，强化应急处理能力。AI技术的引入不仅提升了虚拟仿真训练的智能化水平，还结合数据分析精准定位学生的薄弱环节，并自动调整学习

路径, 提供个性化优化方案。同时, 新增闯关式安全考核模块, 要求学生在通过逐级挑战后, 才能解锁更高级别的实验操作权限, 确保他们具备足够的安全知识与应急能力。相较于传统教学模式, AI赋能的虚拟仿真训练更加高效、安全、针对性强, 不仅降低了实验室安全事故风险, 还为研究生进入实际实验环境奠定坚实基础, 推动高校实验室安全教育向智能化、精准化发展^[13]。

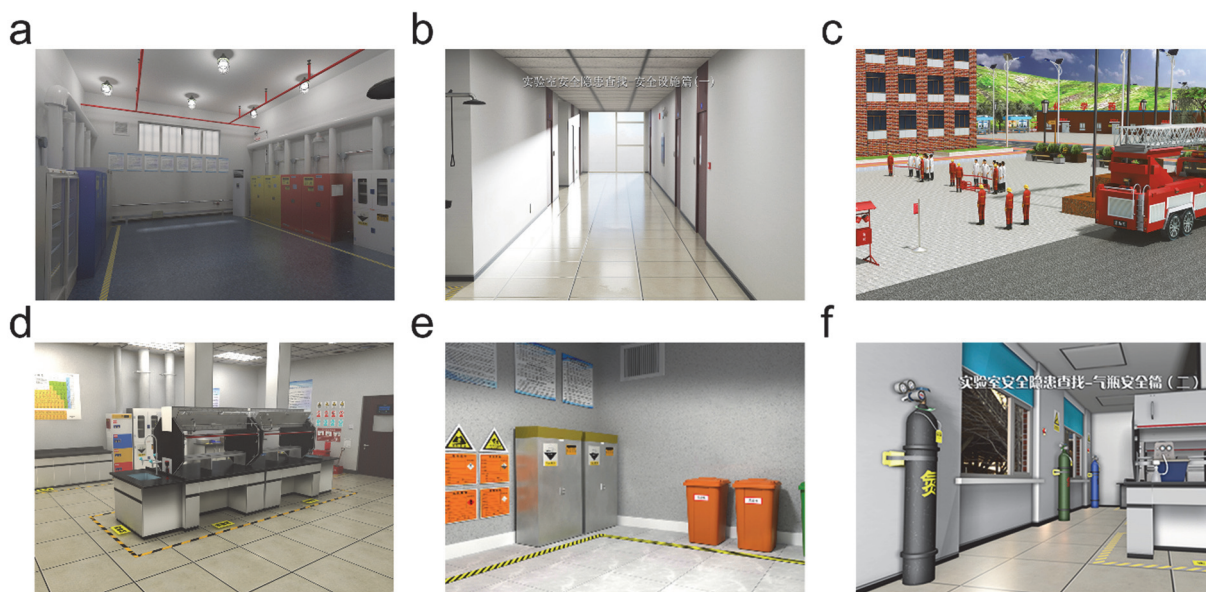


图3 虚拟仿真主要练习场景

(a) 化学药品安全隐患查找; (b) 逃生训练与实训; (c) 消防演习; (d) 特种仪器设备安全;
(e) 实验室废物处置; (f) 实验室气瓶安全隐患查找

2.3 安全实践：模拟真实场景的应急能力提升与安全技能强化

安全实践是实验室安全课程体系的重要环节, 该环节通过真实场景的模拟演练, 让学生掌握实验室突发事件的处理技能并提升应急能力, 图4展示了研究生参加安全实践演练考核现场图片。内容涵盖隐患查找、灭火器使用、急救设备操作、化学泄露处理以及酸碱灼伤应急演练等方面。学生需按照规范查找实验室内的安全隐患, 如化学药品存放、气瓶管理及废弃物处理等问题, AI系统实时分析并提供改进建议。在灭火器使用演练中, 学生在模拟火灾场景下操作干粉灭火器, 完成从拔掉保险销到灭火的全流程, 强化正确操作的记忆。急救设备操作模块则重点教授洗眼器、喷淋装置及急救箱的使用规范, 同时引导学生熟悉护目镜、防护服等个人防护用品的选择与佩戴方法。此外, 通过模拟水银、盐酸、甲醛泄露等化学品事故和酸碱灼伤的情景演练, 学生将学习快速控制危险源、科学清洗和处理伤口的的方法。结合AI技术的动态反馈与评估, 安全实践环节不仅提升了学生的安全技能, 还引入了闯关式应急考核机制, 要求学生通过各项实操测试后方可获得实验许可, 从而确保他们在真实实验环境中具备足够的安全意识和应急能力。这一模式进一步优化了实验室安全管理体系, 为高校培养高安全素养的研究生提供了有力保障。

3 对安全工程课程体系改革方向的思考

实验室安全教育不仅是保障研究生安全的重要手段, 更是培养其综合素质、责任意识和科学精神的关键环节^[14]。基于AI技术赋能的实验室安全课程体系为传统安全教育带来了新思路, 但未来的改革仍需从以下几个方面进一步优化: (1) 深化跨学科融合。将实验室安全教育与专业课程深度融合, 构建涵盖化学、物理、生物、材料等多领域的安全教育模块, 使安全教育更具针对性和实效性。



图4 安全实践现场图片

(a) 灭火器使用的示范与演练; (b) 危化品泄露处置; (c) 消防逃生演练; (d) 实验室安全隐患查找

(2) 拓展教育对象范围。在现有研究生教育的基础上, 扩大课程体系的覆盖范围, 面向本科生、实验室管理人员以及技术支持人员, 形成全员参与的安全文化氛围。(3) 强化智能技术的应用。持续引入最新的人工智能技术, 如自然语言处理和计算机视觉, 用于事故数据分析、实验室动态风险评估和自动化反馈, 提升课程的智能化水平和教学效果。(4) 加强国际合作与经验交流。借鉴国际领先高校的实验室安全教育经验, 结合本地高校的实际需求, 构建适合中国高校的实验室安全教育体系, 推动实验室管理与教育的国际化发展。

4 结语

随着实验室规模的扩大和研究内容的复杂化, 实验室安全已成为高等教育管理的重要议题。本研究结合AI技术, 探索了研究生实验室安全教育课程体系的构建与实践, 通过理论学习、虚拟仿真和实践演练相结合的方式, 形成了智能化、精细化的教育模式。通过对象创新, 首次针对研究生群体的高风险实验场景设计安全教育内容, 突出自主科研中的风险预判与应急决策能力培养。技术创新突破虚拟仿真的技术边界, 实现AI驱动的动态风险评估、个性化学习路径规划与闯关式考核机制。机制创新构建了“AI数据分析-导师责任干预”双核驱动的安全教育闭环, 为高校实验室安全管理提供新范式。这一模式不仅提升了学生的安全意识与应急能力, 还为高校实验室安全教育提供了可推广的范例。未来, 将持续优化课程内容与教学方式, 为构建“安全文明校园”贡献力量, 同时助力培养兼具科学素养和社会责任感的高层次创新型人才。

参 考 文 献

- [1] 王若韫. 实验与分析, 2023, 1 (2), 87.
- [2] 宗思淼. 中国报业, 2023, No. 22, 120.

- [3] 贺蕾, 廖婵娟, 卢丽丽, 苏龙, 杨建. 中国公共安全(学术版), **2017**, No. 2, 49.
- [4] 李召虎, 王为东, 刘宇昊, 韩明哲, 魏灵灵, 焦桓. 大学化学, **2024**, *39* (10), 128.
- [5] 张冠鹏, 姚成顺, 刘毓明, 殷佳悦. 实验室科学, **2024**, *27* (6), 180.
- [6] 秦川丽, 范乃英, 王岩, 王彬, 张国, 郑冰, 屈宜春, 孙治尧, 安光辉. 大学化学, **2024**, *39* (2), 234.
- [7] 陈佳琪, 陈树伟, 任所财, 孙玥, 栾春晖, 吴旭. 大学化学, **2024**, *39* (7), 264.
- [8] 田培培, 彭涛, 李云峰, 刘伟. 实验室研究与探索, **2024**, *43* (8), 220.
- [9] 李冰洋, 黄开胜, 艾德生. 实验技术与管理, **2019**, *36* (11), 248.
- [10] 许书烟. 高校实验室管理与安全. 厦门: 厦门大学出版社, 2016.
- [11] 冯建跃, 闻星火, 郑春龙, 高惠玲, 朱育红, 张银珠. 高等学校实验室安全制度选编. 杭州: 浙江大学出版社, 2016.
- [12] 王满意, 渠晖, 张锐, 宁信, 杨晓峰, 高振元, 虞俊超. 实验技术与管理, **2022**, *39* (8), 205.
- [13] 梁晗妮, 晏锦, 胡鑫杰, 黄诚, 崔思颖. 实验室检测, **2024**, *2* (9), 63.
- [14] 张东霞, 郝思佳, 王嘉瑞, 王继伟, 董小刚, 焦亮. 大学化学, **2024**, *39* (10), 229.