

•化学实验•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202305005

www.dxhx.pku.edu.cn

化学实验室安全教育虚拟仿真实验教学设计与探索

柳荫*, 陆慧丽, 张玮玮, 柴成文, 袁文霞, 常璐璐, 郭丽芳

北京科技大学自然科学基础实验中心, 北京 100083

摘要: 高校化学实验室事故种类繁多, 已引起了社会的广泛关注, 对学生的安全教育刻不容缓。利用三维可视化、网络通信、多媒体、人机交互等技术, 构建了化学实验室安全教育虚拟仿真教学系统。该系统把化学实验室(无机化学实验室、有机化学实验室、分析化学实验室、物理化学实验室)涉及到的“典型事故案例”“隐患排查”“事故急救与逃生”等内容制作成可交互的虚拟仿真实验, 为学生提供了高度仿真的虚拟实验环境, 使学生“身临其境”学习如何解决火灾、药品灼伤、气瓶泄漏、触电等安全事故。这种虚实结合的教学方式, 增强了学生的学习兴趣, 避免了演练实操的不安全和高成本问题, 提高了学生的安全技能和解决问题的能力, 达到了安全教育的目的, 推进了三全育人的教育方针。

关键词: 安全教育; 虚拟仿真; 化学实验室; 人机交互

中图分类号: G64; O6

Design and Exploration of Virtual Simulation for Safety Education in Chemical Laboratory Teaching

Yin Liu*, Huili Lu, Weiwei Zhang, Chengwen Chai, Wenxia Yuan, Lulu Chang, Lifang Guo

Basic Experimental Center for Natural Science, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China.

Abstract: The occurrence of accidents in college and university chemical laboratories has raised significant concerns in society, emphasizing the need for effective safety education for students. In response, a virtual simulation teaching system for safety education in chemical laboratories has been developed, incorporating 3D visualization, network communication, multimedia, and human-computer interaction. This system transforms “typical accident cases”, “hidden trouble investigations”, and “accident response and evacuation” scenarios in different chemistry laboratory settings (including inorganic chemistry, organic chemistry, analytical chemistry, and physical chemistry) into interactive virtual simulation experiments. These simulations provide students with a highly realistic virtual experimental environment, enabling them to effectively learn how to respond to safety incidents such as fires, chemical burns, gas leaks, and electric shocks. By combining virtual and real knowledge, this teaching approach enhances students’ engagement, eliminates the risks and costs associated with practical training, and improves their safety skills and problem-solving abilities. Ultimately, this course achieves the objectives of safety education and aligns with the educational policy of “three complete education”.

Key Words: Safety education; Virtual simulation; Chemistry laboratory; Human-computer interaction

收稿: 2023-05-08; 录用: 2023-07-12; 网络发表: 2023-08-08

*通讯作者, Email: B1921041@ustb.edu.cn

基金资助: 支撑双一流学科高水平人才培养的基础实验教学新体系的探索与实践(JG2021Z07); 北京科技大学本科教育教学改革项目(JG2022M52)

实验室安全是教育事业不断发展、学生成长成才的基本保障^[1,2]。2019年教育部印发的《关于加强高校实验室安全工作的意见》(教技函〔2019〕36号)指出,高校实验室是开展科研和教学的重要场所,体量大、类型繁多、安全隐患分布广,包括危险化学品、易制毒易制爆材料、生物污染、辐射、机械、电器、特种设备等。其次,实验室中重大危险源相对集中,教育教学内容和项目变化快,接触和操作人员不固定,这使得安全风险具有累加效应^[3]。近年来,高校实验室安全事故时有发生,因此,进一步加强学生实验室安全教育、规范学生实验操作迫在眉睫,是立德树人的基本要求,也是“三全育人”教育体系的重要组成部分^[4-8]。

1 课程建设目的及目标

我校设有专门的实验基地,承担化学、物理、电工电子、力学、数学等多个学科的实验教学工作,其中化学因其学科特性可能会引起多种事故,包括火灾爆炸、触电、机伤、腐蚀、辐射、中毒、感染等,向来是安全教育的重中之重。

《教育部办公厅关于开展加强高校实验室安全专项行动的通知》(教技函〔2021〕38号)要求,高校要建设实验室安全教育体系,把实验室安全教育纳入学生的培养环节中,明确涉及实验风险的各级各类学生的培养要求,建立实验人员安全准入制度,要求进入实验室的师生必须先进行实验室安全知识、安全技能和操作规范培训的必修课课程或培训并进行考核,未取得相应学分或未通过考核的人员不得进入实验室进行实验操作^[9]。

为提高师生安全意识、加强安全操作技能及应急处理方法培训,落实实验室安全准入制度,规范实验室管理,我校在现有安全教育理论课程的基础之上,借助虚拟仿真技术手段,开展实验室安全教育虚拟仿真实验教学课程建设^[10-12],建设一个融合实验室安全教育与考核于一体的,具有“基础性、综合性、引导性和开放性”的虚拟仿真实验教学综合管理系统,做到从实验学生、任课教师、实验室负责人多方面抓取实验室安全工作,进一步完善实验室安全教育教学工作。师生通过该安全教育虚拟仿真系统学习安全知识、掌握必备实验技能后必须通过实验室安全考试才能进入实验室学习,有效地提升师生实验室安全意识、培养师生实验安全素养,落实实验室安全准入制度。

2 化学实验室安全虚拟仿真实验教学系统构建关键技术

基于动态过程仿真平台(Dynamic Process Simulation Platform, DPSP)开发的化学实验室安全教育虚拟仿真培训系统是一款集资源浏览、仿真操作、在线学习、考核于一体的信息化网络仿真培训学习管理平台,利用三维可视化、网络通信、多媒体、人机交互等技术,把化学实验室涉及到的“典型事故案例”“隐患排查”“事故急救与逃生”等内容制作成可体验或可交互的虚拟仿真实验,并放到虚拟仿真平台上,以实现典型事故案例学习形象化、仿真考核网络化、隐患排查和事故处置三维可视化,从而使实验室安全教学工作网络化、信息化。软件为Web端版本程序,教学系统软件不需在电脑端安装,软件的维护、更新和升级均在服务器。系统整体结构采用B/S架构,服务器采用多层结构方式开发,实现虚拟仿真场景培训。3D虚拟仿真场景采用unity3D引擎和c#语言开发,使用PBR次时代流程进行三维建模、真实1:1还原设备的尺寸,准确度在90%以上,基于机理模型可实现巡检管理、隐患排查、设备管理、事故进展推演、应急处理(图1)。

3 虚拟仿真实验内容设计

我校为本科生开设四门化学实验课程:无机化学、有机化学、分析化学、物理化学,均有相对应的实验室。以现有的实验室为模型,利用虚拟仿真技术一一还原,使师生尽可能地熟悉实验室环境,避免进入真实的实验室时产生陌生感。实验室安全教育虚拟仿真教学系统包括四大部分:理论知识学习、仿真训练(包含5个模块,即楼宇环境模块、无机化学实验室模块、有机化学实验室模块、分析化学实验室模块、物理化学实验室模块)、考试系统和教师管理系统(图2)。

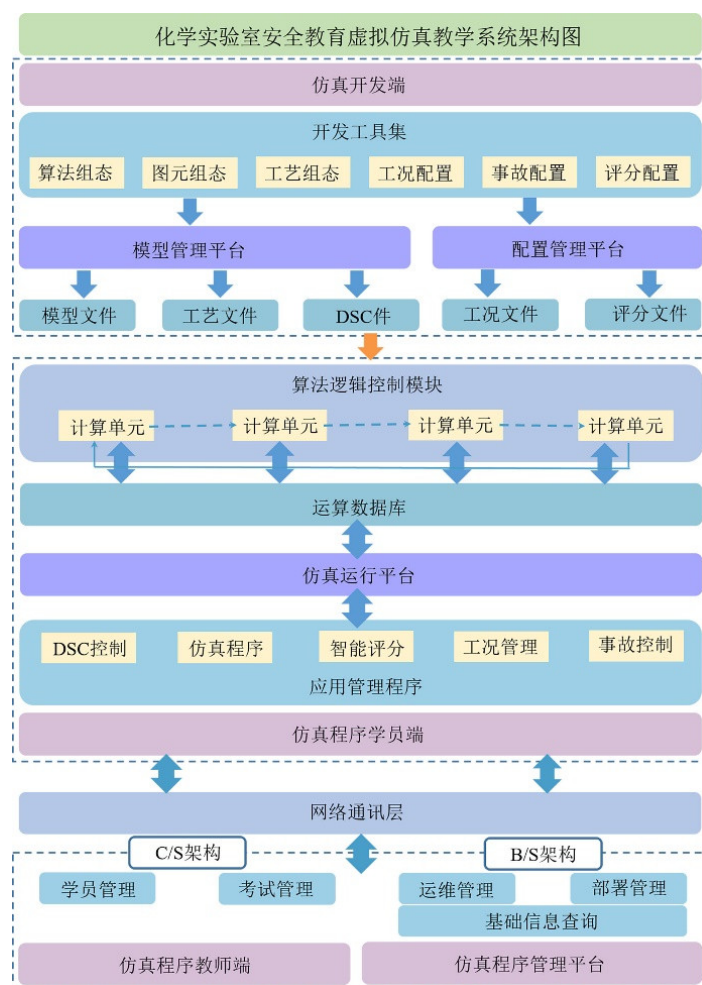


图1 虚拟仿真教学系统架构图

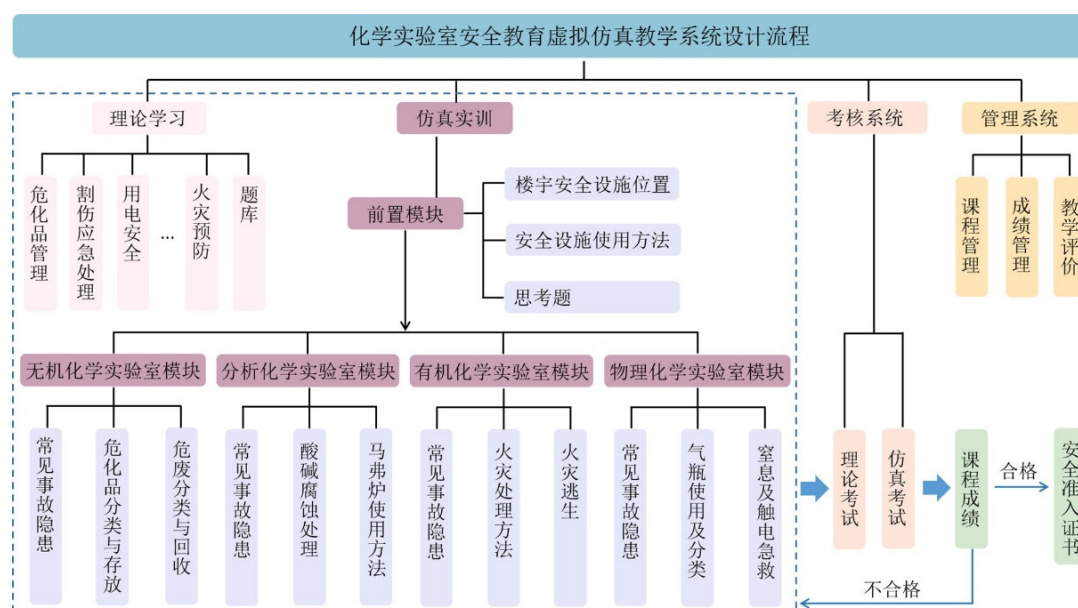


图2 虚拟仿真教学系统设计流程图

3.1 理论知识学习模块

系统提供了丰富的知识点资源,包括视频学习、习题练习、拓展学习三部分内容。该系统提供了35个可在线安全知识播放动画,内容涵盖:

(1) 人身防护及应急处理(包含实验室安全、紧急喷淋洗眼器、AED使用方法等9个flash,每个flash视频展示时长不少于1 min);

(2) 消防安全(包含灭火器分类及使用、火灾分类、预防火灾的措施、消防栓分类及使用等8个flash);

(3) 实验室应急伤害处理(包含化学烧伤及处理、割伤的紧急处理、盐酸倾洒处理等5个flash)等安全知识的使用培训。

系统中设有题库(超过2000个题目),教师可随时上传知识点视频资源和关联习题,并对知识点进行更新,为学生提供更全面的安全教育。学生在线上观看视频资源,进行题库练习,能有效地提高学习效率,加深对安全知识的理解。

3.2 仿真训练模块

仿真训练设有楼宇环境模块、无机化学实验室模块、有机化学实验室模块、分析化学实验室模块、物理化学实验室模块5个模块。其中,楼宇环境模块详细介绍了楼宇安全装置设施的位置及逃生路线,是其余所有模块的安全前置内容。其他4个模块根据四大化学的特点详细列举了各类实验室常见的安全隐患,包括人身防护及应急处理、消防安全、法规及制度、试剂安全、用电安全、化学实验室基本安全操作、压力容器安全、辐射安全与防护等40多个典型事故案例,并演示必要的安全技能操作和逃生技能。学生在学习安全知识的同时要实际进行规范的安全技能操作,使学生学以致用,避免纸上谈兵。

3.2.1 楼宇环境模块

该模块旨在使学生了解楼内安全设施的位置,包括楼梯、电梯位置,灭火器、消防栓、消防设备箱、急救箱,紧急喷淋、洗眼器等的位置,以及紧急逃生路线等。在熟悉楼内环境后,学生需要完成安全设施位置对应思考题,确保掌握后才能进入无机化学、有机化学、分析化学、物理化学实验室模块进行学习(图3)。

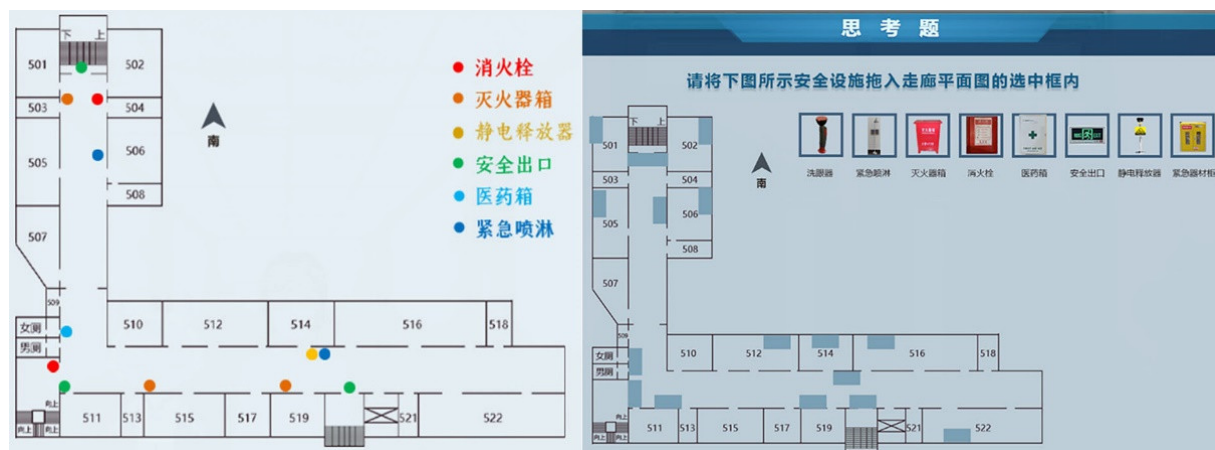


图3 楼宇安全设施位置图和思考题

3.2.2 无机化学实验室模块

无机化学实验室药品种类较多,实验时会使用酒精灯、电热板等小型仪器。该模块列举了无机化学实验室常见的安全隐患,如实验室内吃喝、不穿实验服、加热后取样不戴线手套、加热溶解样品时不开通风等。学生需要在实验室内找到设置的安全隐患,找到后系统会讲解相对应的处理方案,若学生未找到隐患,则系统会呈现隐患可能造成的安全事故,使学生全方位地了解不良的实验操作带来的严重后果(图4)。



图4 无机化学实验室安全隐患、危化品分类和危废分类

该模块还讲授了危险化学品的分类与存放,设置约30种常用危险化学品,含易燃、易制爆、腐蚀、易制毒、氧化剂、活泼金属等(图4)。系统模拟了化学品安全技术说明书(Material Safety Data Sheet, MSDS)的查阅方法,学生需查找MSDS,确认分类。学生完成危险化学品的分类后,系统会根据学生的作答情况提供讲解并演示分类错误可能造成的事故。危险废弃物分类与回收处理也是学生的必备技能。系统设置了常见的危险废弃物分类,如无机废液、有机废液、实验垃圾、玻璃废弃物、普通垃圾等,学生需完成危险废弃物分类并学习理论知识(图4)。

3.2.3 有机化学实验室模块

有机化学实验室分类存放了大量有机物,易燃易爆,学生在实验室内进行多种有机合成实验,设置的安全隐患主要包括有机合成装置的错误安装、水银温度计摔碎后的处理、有机试剂的存储、有机物的加热方法等。该模块重点展示了不同规模化学火灾的处理方法及火势失控后的逃生方法。学生需掌握3种中小型火灾的救火方式,如酒精灯着火、试剂柜着火等,根据火势的大小选择不同的灭火方法:酒精灯着火只需使用灭火毯,燃烧的试剂量较大时需使用消防沙,但当试剂柜着火时火势较大需使用灭火器(图5)。系统设置了两种火势失控后逃生现场:实验室有大量浓烟时通过逃生通道逃生(图6);在逃生通道被火焰、浓烟封闭时,操作缓降逃生绳索脱离危险。学生需在系统指引下完成火灾急救和逃生,并学习相关理论知识掌握实验室火灾灭火的方法和注意事项。

3.2.4 分析化学实验室模块

分析化学实验室主要进行滴定实验,涉及大量强酸强碱。该模块设置多处安全隐患,如错误操作滴定管、用明火电炉加热丁二酮肟酒精溶液、砂轮磨样品不戴手套等。学生还将在分析化学实

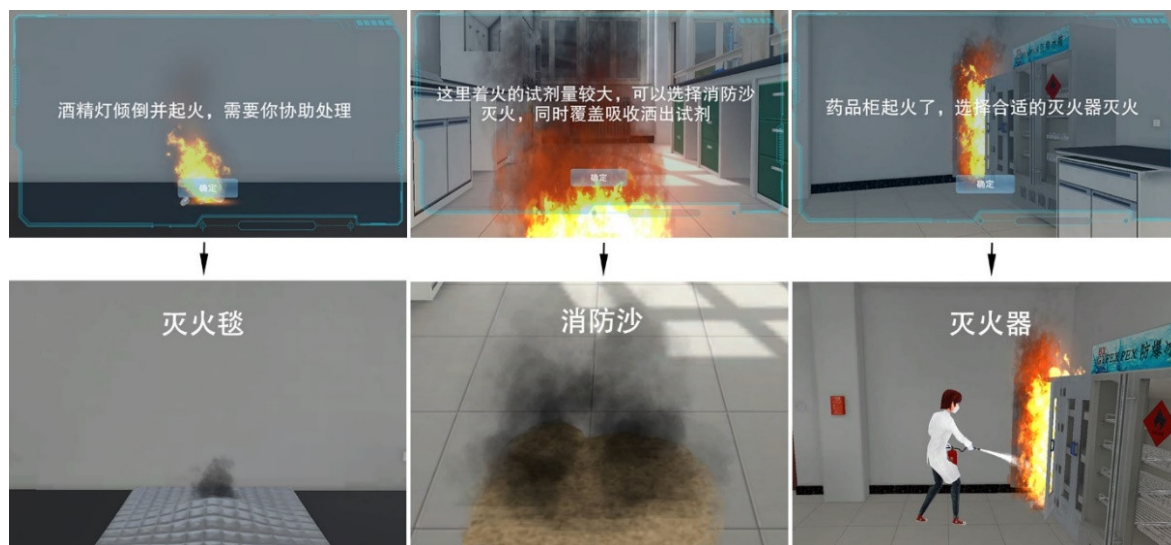


图5 不同火势现场的灭火方法



图6 火势失控后逃生方法

验室学习如何处理酸碱灼伤后的伤口, 系统重现了盐酸、硫酸和氢氧化钠倾洒的过程及对人体造成的伤口情况, 并带领学生逐步处理伤口及事故现场。此外, 分析化学实验常使用马弗炉, 系统讲述了马弗炉的使用方法, 并模拟了错误使用马弗炉后样品冒烟导致烟感报警的事故现场, 指导学生快速处理, 减少损失(图7)。

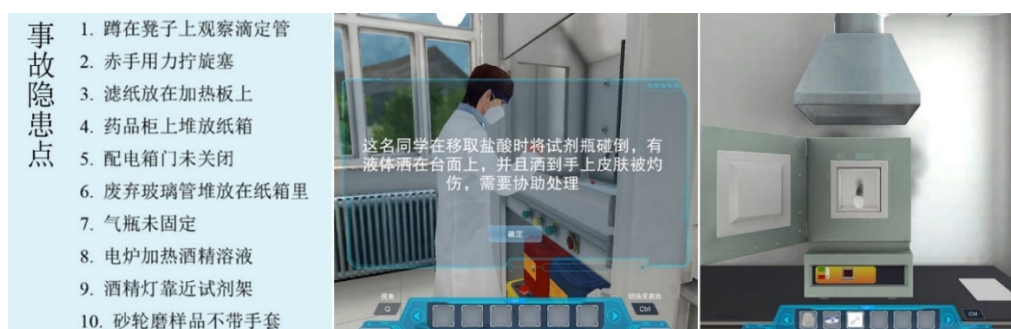


图7 分析化学实验室安全隐患、酸碱灼伤处理和马弗炉使用方法

3.2.5 物理化学实验室模块

物理化学实验室设备和气瓶多, 常发生电气类事故, 安全隐患主要设置在插线板、管式炉、高压气瓶等处。该模块要求学生掌握高压气瓶的分类及正确使用方法, 以及对气瓶泄漏后窒息人员的救助。该模块还演示了出现触电事故后的紧急处理及如何实施急救心肺复苏。学生需在操作指引下掌握触电事故和气瓶泄漏后的处理方法(图8)。



图8 物理化学实验室安全隐患、气瓶分类和心肺复苏

3.3 考试系统

学生完成上述5个模块的学习后需在平台上参与在线考试。考试系统包含理论知识点考试和仿真考试两部分。理论知识点考试分值为40分, 从系统设有的题库中随机抽取, 学生可以在考试前在线查看题库集和题目详情, 进行在线题库练习, 做好考前准备。仿真考试分值为60分, 教师从虚拟场景中抽取2-3个场景进行在线仿真考试。

考试结束后,系统自动评判给出成绩,两部分成绩的总和为最终考试成绩,80分及以上为合格,系统自动生成化学安全准入证书表示完成实验室安全教育课程,学生凭借此证书可进入校内线下化学实验室学习(图9)。安全教育虚拟仿真教学系统以本校现有的化学实验室为模型,涉及的安全教育知识只针对化学实验室,学生获得的安全准入证书也只可进入化学实验室。



图9 安全准入证书

4 虚拟仿真平台教学实践成效

化学实验室安全教育虚拟仿真实验教学系统已作为我校材料、化学、能源、冶金等专业的学生进行化学实验课程学习之前的安全准入课程开放使用。平台已完整开设4学期,取得了积极的教学效果。

安全教育虚拟仿真的建设,突破了传统安全教育方法的局限性,解决了现场演练危险系数大、成本高、见效差的问题,能显著提高教学效果。在教学过程中,学生通过自行操作安全教育软件,学习了相关安全知识点、实验室常见的安全隐患、绿色化学理念以及火灾、触电、气瓶泄漏等事故的急救和逃生手段。目前,在实验室出现小型事故(如玻璃碎片割伤、酸碱倾洒、酒精灯倾洒等)时,学生都能有条不紊地处理,并未出现慌张情绪导致事故范围扩散。课程完成后对超过500名学生做了问卷调查,超过80%的学生表示课程内容设置全面合理,难度适中,通过认真学习能有效掌握安全知识;超过70%的学生认为学习过程体验较好,实验场景真实,弥补了知识盲区。借助此虚拟仿真平台的建设和设计经验,未来将继续构建更全面的安全教育课程,并在其他高校和科研院所推广。

5 结语

本文设计并建设了化学实验室安全教育虚拟仿真教学系统,采用具有引导性和开放性的教学方式,将线上虚拟仿真实验与线下理论课程结合,以三维交互技术为核心,通过逼真的三维实验操作结合二维动画、视频、图片、文字等多媒体学习资源达到实训的效果,并以科学完善的考试系统评价学习效果,是一种全新的教学方式。该教学系统的推广和使用为学生提供了安全、高效、形象的学习环境,不仅降低了安全教育的成本与风险,还极大地提高了以化学为基础学科的相关专业学生的学习兴趣,增强了学生对于安全知识的理解,提高了学习效率,丰富了教学模式,达到教学计划要求的授课效果。

该系统已获得计算机软件著作权登记证书,提供单机版和网页版两种使用方式。目前,已有超过1500名本科学生通过该系统完成了化学实验室安全教育课程,获得实验室准入证书。化学实验室安全教育虚拟化满足当代本科生教育教学方式改革,落实了高校教学实验室安全工作,对提高国民安全意识、强化安全技能具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 黄柑童, 陈芬, 劳燕玲, 许素芬. 科技视界, **2021**, 25 (70), 209.
- [2] 孙敏, 翟林峰, 杨保俊. 化工管理, **2018**, No. 19, 18.
- [3] 教育部. 关于加强高校实验室安全工作的意见(教技函〔2019〕36号). [2022-10-25].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3336/201905/t20190531_383962.html?eqid=c374bf6e0002b7c8000000006643f9ad0
- [4] 李育佳, 徐铮, 章福平, 唐赓庚. 实验室科学, **2021**, 24 (3), 215.
- [5] 武晓峰, 闻星火. 实验室研究与探索, **2012**, 31 (8), 81.
- [6] 吕明泉, 徐烜峰, 李佳轶, 王岩, 高杨, 王能东. 实验室研究与探索, **2022**, 41 (6), 306.
- [7] 冯建跃. 高校实验室安全工作参考手册. 北京: 中国轻工业出版社, 2020: 55-103.
- [8] 邴杰, 宋宏涛, 李森. 实验室研究与探索, **2021**, 40 (11), 286.
- [9] 教育部. 教育部办公厅关于开展加强高校实验室安全专项行动的通知(教技函〔2021〕38号). [2023-03-25].
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/04/content_5666309.htm
- [10] 教育部. 教育部办公厅关于2017-2020年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知. [2021-12-31].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/t20170721_309819.html
- [11] 熊宏齐. 实验技术与管理, **2020**, 37 (5), 16.
- [12] 刘琼, 何洁凝, 关冠恒, 付裕, 龙天澄. 中国教育学刊, **2015**, No. S2, 318.