

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2022.03.026

欢迎按以下格式引用:陈伟,叶继红,张营营,等.融合虚拟技术的建筑结构抗火实验教学平台建设与教学探索[J].高等建筑教育,2022,31(3):198-203.

融合虚拟技术的建筑结构抗火实验教学平台建设与教学探索

陈伟^{a,b},叶继红^{a,b},张营营^b,龙帮云^b,姜健^{a,b}

(中国矿业大学 a.徐州市工程结构火安全重点实验室;b.力学与土木工程学院,江苏徐州 221000)

摘要:当前,建筑结构抗火实验教学逐渐成为土木工程防灾与减灾课程的一项重要授课内容。然而,国内仅有少数高校拥有建筑结构抗火实验实体平台,并且由于抗火实验的特殊性,相关教学资源非常有限。鉴于此,依托多媒体、网络通信和虚拟仿真等现代技术,先后建设了实体实验平台、虚拟仿真平台、虚拟教具、微试验以及 MOOC 等现代教学资源,构建了建筑结构抗火实验教学系统性教学资源与平台。利用该平台,突破传统实验教学模式,以趣为核探索虚实结合的施教方案,实现实验教学与理论教学的高度融合。建立了过程与结果并重的实验教学评价体系,并注重持续改进。强调学习的自主性与创新性,鼓励学生大胆尝试,增强学习的主观能动性,提升行业竞争能力。

关键词:结构抗火;虚拟仿真;微试验;虚拟教具;实验教学平台;教学创新

中图分类号:G642.423

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2022)03-0198-06

土木工程防灾与减灾是土木工程本科专业的主干课程。该课程的教学目标是通过专业知识的学习使学生掌握工程结构的防灾减灾理论和常用设计方法,了解防灾减灾学科的研究动向,培养学生的创新意识和解决工程问题的能力^[1]。在各类灾害中,建筑火灾发生最为频繁,极具毁灭性。据《中国消防年鉴》统计,2013—2017年,我国共发生火灾事故181万起,死亡9502人,直接财产损失超过220亿人民币。因此,建筑火灾已成为威胁公众安全、危害人民生命财产安全的重要灾害^[2],建筑结构抗火设计已成为土木工程防灾与减灾课程的重点授课内容。

与此同时,新颖的建筑结构体系不断涌现,常常超出了我国现行抗火设计规范的适用范围^[3],通常需要通过开展建筑结构抗火试验,论证建筑抗火设计方案。开展建筑结构抗火实验教学,不仅有利于帮助学生理解结构抗火基本原理,而且已成为建筑结构抗火设计与研究的一项重要手段。当前,国内仅有少数高校拥有建筑结构抗火实验实体平台,且大型建筑结构抗火实验普遍存在潜在

修回日期:2020-09-15

基金项目:中国矿业大学教学研究项目(2020YB04);徐州市科技计划(KC20175);江苏省自然科学基金面上项目(BK20201347)

作者简介:陈伟(1985—),男,中国矿业大学力学与土木工程学院副教授,博士,主要从事结构抗火研究,(E-mail) chenweiseu@163.com。

安全风险,耗时长、费用高,学生很难有机会现场观摩,缺乏直观认识。与此同时,由于抗火实验的特殊性,实验过程中很难捕捉并获得重要实验现象的视频资料;因此,通过少量实验照片展示实验过程的传统教学手段不利于学生理解结构抗火设计理论,不利于学生创新性能力与综合素质的提高,制约了我国工程防灾减灾专业技术人员的培养。

虚拟技术与网络技术为上述问题提供了理想的解决方案,已成为提升我国土木工程专业教育质量,助推高等教育教学变轨超车的重要手段^[4-8]。鉴于此,中国矿业大学先后建设了实验平台、虚拟仿真平台、虚拟教具,以及 MOOC 等现代教学资源,搭建了高度仿真的建筑结构抗火实验教学平台。依托该平台,突破传统实验教学模式,实现了微实验虚拟教学和实体实验教学的相互补充,并将其服务于土木工程防灾与减灾专业课程实践教学,取得了良好的应用效果。

一、建筑结构抗火教学资源与平台建设

为了克服建筑结构抗火实验资源有限且传统实体教学手段单一等问题,近年来学校先后建设了建筑结构抗火实验实体平台、虚拟仿真平台、虚拟教具、MOOC 等连贯且系统的教学资源及实验教学平台。

(一) 建筑结构抗火实验实体平台

先进的实验实体平台与丰富的科研成果是高仿真度地建设建筑结构抗火虚拟实验的必要条件。中国矿业大学于 2017—2019 年建设完成了工程结构火安全实验室,目前已成长为徐州市重点实验室,拥有从材料高温性能到建筑结构抗火性能研究的系列试验设备(图 1),成为国内建筑结构抗火试验能力突出的科研实验平台,先后完成了同济大学、天津大学等知名高校委托的实验项目,其实验与研究水平在结构抗火领域获得广泛认可。

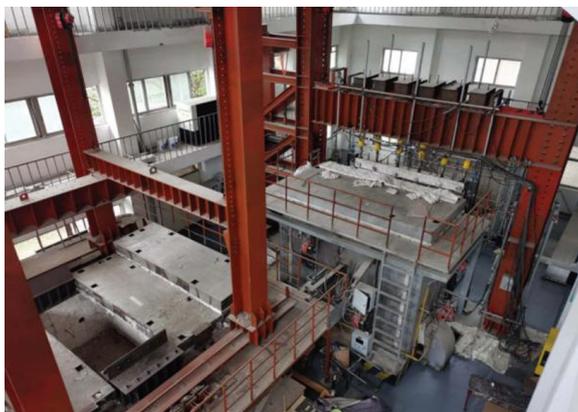
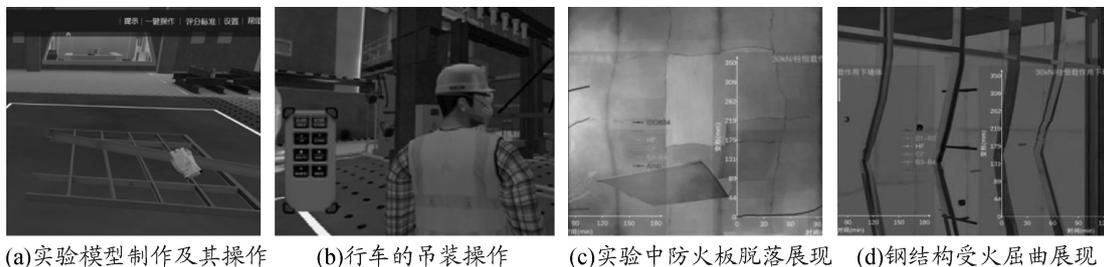


图 1 中国矿业大学大型多用途建筑结构抗火试验系统

(二) 建筑结构抗火实验虚拟仿真平台

不同于土木工程抗震、抗风实验,火灾实验一般处于 1 000℃ 以上的高温环境,火灾实验监测技术直至近两年才在美国 NIST 以及国内重点企业中取得突破;因此,生动还原抽象的火灾实验现象是火灾虚拟仿真实验的难点与痛点。依托中国矿业大学建筑结构抗火实体平台拥有的先进监测技术,将最新科研成果(如防火板开裂与脱落判定、混凝土及钢结构抗火性能提高措施等)作为项目的底层数据支撑^[9-10],通过“虚拟展现现实”再现了建筑结构抗火的科学问题。学生在虚拟环境中,亲

手完成实验模型的制作与安装,操作大型抗火实验设备完成抗火实验。实验过程中,通过沉浸式的火灾实验现象(图2)使学生了解建筑结构构件如何通过改变防火构造提高其耐火性能,从而加深对结构抗火基本原理的正确理解。

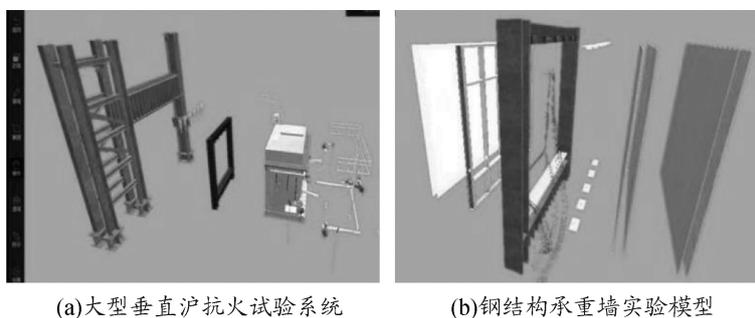


(a)实验模型制作及其操作 (b)行车的吊装操作 (c)实验中防火板脱落展现 (d)钢结构受火屈曲展现

图2 建筑结构抗火虚拟仿真平台部分展示

(三) 建筑结构抗火实验虚拟教具

在传统实验教学过程中,多通过平面或者三维图(照片)的方式进行辅助教学(图3)。然而,这并不利于学生很好地理解教学对象的内部结构。虚拟教具作为计算机模拟教具,不同于一般的以静态单向传递信息为主的课件,它不仅具有传统教具的功能,而且还具有交互性、动态性和可视化的特点,是一类全新的教学辅助手段。将建筑结构抗火实验的实验模型及实验设备制作成虚拟教具,学生在手机端下载虚拟教具应用程序,通过屏幕操作实现教具对象的放大、缩小、旋转、拆分、透视等功能,不仅使教学过程更加直观、生动,而且使学生更加专注于学习,学习效果更佳。



(a)大型垂直沪抗火试验系统

(b)钢结构承重墙实验模型

图3 建筑结构抗火实验部分虚拟教具展示

(四) 土木工程防灾与减灾 MOOC

笔者团队于2019年建设了土木工程防灾与减灾在线开放课程(图4),制作了约800分钟的在线课程视频。其中,建筑结构抗火相关教学内容时长约占在线开放课程视频总时长的25%。目前,该在线开放课程已在中国大学MOOC完成了两期上线运行。此外,笔者还于2020年新制作建筑结构抗火微试验课程视频5讲,既作为独立的虚拟仿真实验教学课程,亦可作为土木工程防灾与减灾MOOC的补充。

(五) 建筑结构抗火教学平台主页

建设了建筑结构抗火教学平台主页,将建筑结构抗火虚拟仿真平台、微试验与虚拟教具、土木工程防灾与减灾在线课程以单独完整页面呈现,既体现了各部分教学资源的功能独立,又突出了相互之间的联系,这样更有利于学生进行连贯性学习与体验。

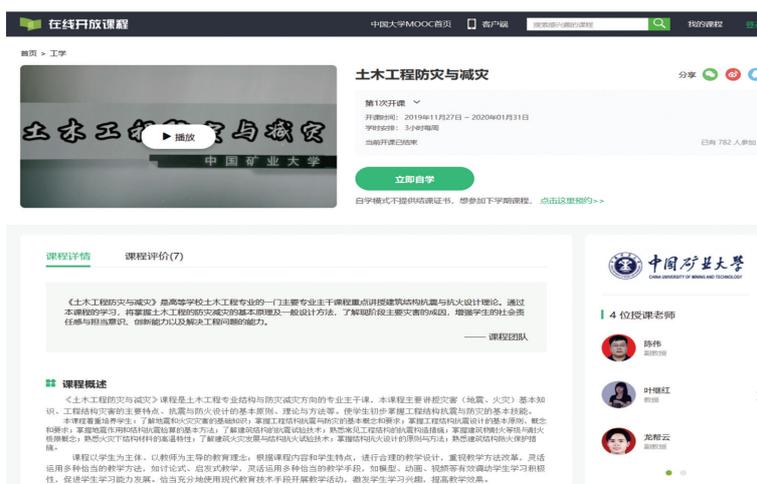


图4 土木工程防灾与减灾 MOOC 展示

二、实验教学方法创新

依托建筑结构抗火实验教学平台,提高虚拟仿真实验的利用率,改进传统实验教学高消耗、实验周期长、实验参数单一、实验参与度低等不足,实现了多参数、多次重复,以及全过程参与。基于基础-综合-创新应用的递进关系,在满足教学大纲任务的前提下,将原来的验证型实验拓展为综合设计型实验和创新型实验,努力做到基础模块全员化、综合模块菜单化、创新模块自主化,加强土木工程专业人才创新能力和综合素质的培养,提升学生的行业竞争能力。

(1) 充实完善教学培养方案,推进实验实践教学改革。明确提出虚实结合的实验教学大纲,分别设置了常规实验项目、自主试验、试验技术研究等不同类型的实验项目,结合现有实体实验室的科研项目,提出基于虚实结合的多阶段、多层次实验的教学方案,强化不同类型课程及其综合实践环节的知识体系串联。

(2) 强调学习自主性,“预习、学习、练习、考核”四位一体,鼓励学生全方位、全过程参与并探索实验。学生充分利用上述连贯而系统的建筑结构抗火教学资源,可实现自主性学习,即通过土木工程防灾与减灾 MOOC 学习理论知识,通过建筑结构抗火微试验和虚拟教具进行虚拟实验实践,结合实验室参观加深理解,再利用建筑结构抗火虚拟仿真平台,亲自动手完成实验任务。此外,充分体现“能实不虚、虚实结合”的教学理念,将学生原来只能参与部分环节的实验教学内容扩展到全方位与全过程,进一步强化学生实体实验的学习效果。学生可将探究科学原理的思想反映到实验设计和过程中,将原来的“验证型实验”演变为“综合设计型实验”和“创新型实验”。

(3) 以趣为核,探索虚实结合的施教方案,实现实验实践教学与理论教学的高度融合。通过虚拟教具和虚拟仿真平台,让学生在学的过程中体验良好的交互性,有自由发挥的空间实现趣味性与严谨性、游戏与学习的完美结合。例如:通过沉浸式的火灾实验使学生了解到混凝土结构如何通过改变截面尺寸、保护层厚度等方式提高耐火性能,钢结构构件如何通过改变防火构造提高耐火性能,从而加深对结构抗火基本原理的理解等。

(4) 融入工程技术和科学研究最新成果,以通俗易懂的方式进行教学。开展“科研试验进课堂,趣味游戏进教学”等教学改革尝试,完善工程实践、科学研究实验教学方法及手段。围绕教学团队

承担的纵横向科研项目,配合课程改革、教学手段和教学方式创新,进一步依托科研优势进行教学软件资源开发,丰富虚拟资源。

(5)线上与线下教学双轨并行,电脑网页版和手机版双终端共同支持,鼓励学生自由开展课后实践活动。考虑到课堂教学的时间有限,结合学生的日常学习和生活习惯,通过手机客户端可以实时开展课后创新实践活动,能够自主使用虚拟仿真实验完成命题式作业,随时随地可以学习专业知识,并进行实时模拟考核,反复操作,做到及时查漏补缺,更有针对性地提高学生知识吸收效果和创新能力。

(6)践行“课程思政”育人理念,突出增强学生的社会责任感与担当意识。将安全教育融入学习的全过程,强化学生的安全与防护意识。通过高仿真度的虚拟呈现,让学生身临其境地去理解工程火安全,以及火灾对社会、对人民造成的巨大伤害,从而促使学生自觉担当起对社会的一份责任感。

三、评价体系创新

针对建筑结构虚拟仿真实验教学,坚持完善多维度综合评价体系。

(1)对于学生,强调“过程与结果并重”。改革实践环节评分考核模式,注重对学生利用仿真平台进行自主实验以及互动交流过程考查,强化对学生实验操作能力和结果分析能力的考评。课程理论学习部分设置答题形式的知识点考核,操作过程部分设置操作步骤考核,实验报告部分需要结合试验图片完成现象描述记录,并要求学习者根据实验曲线自主判定与输入实验结果。设立“命题式考核模式”,注重创新能力培养。命题随机出现,学生有自由发挥空间,鼓励学生反复试验并且大胆尝试,以牢固掌握知识、激发创新欲望作为第一目标。

(2)对于教学团队,以培养立德树人的德智体美劳全面发展的人才为宗旨,牢固树立学生反馈即为学生需求的教學理念。注重社会效应、实验信息与课后评价的实时反馈,以及持续改进。学生在完成实验后可依据自身体验进行打分并反馈意见或建议。教学团队全体成员(包括技术支持成员)定期展开研究与讨论,及时总结教学经验,并针对教学过程中的问题和难点开展有针对性的教学方法改革和虚拟仿真实验技术攻关,持续改进和完善实验教学内容和教学方式方法,提高教学能力和学术水平,进一步提升教学效果。

四、结语

依托多媒体、网络通信和虚拟仿真等现代技术,搭建了拥有实体实验平台、虚拟仿真平台、虚拟教具、微试验及MOOC等系统连贯的建筑结构抗火实验教学平台和现代教学资源。改进实验教学方法,实现虚拟仿真教学和实体实验教学的相互补充,实现多参数、多次重复以及全过程参与实验,将原来的“验证型实验”拓展为“综合设计型实验”和“创新型实验”,做到趣味性与严谨性相结合,促使学生个性化发展。改进了实验教学评价体系,强调过程与结果并重,并注重持续改进和社会效应,鼓励学生大胆尝试,增强学习的主观能动性。平台使理论教学、实验实践教学及科研创新有机结合,使虚拟仿真教学成为新型实验实践教学方式下的重要手段。

参考文献:

- [1]叶继红. 土木工程防灾[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2018.

- [2] 李国强, 韩林海, 楼国彪, 等. 钢结构及钢—混凝土组合结构抗火设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB51249 建筑钢结构防火技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- [4] 汪洋, 吴世勇, 杨睿, 等. 土木工程教学资源中虚拟仿真技术开发[J]. 安徽建筑, 2020, 130-131.
- [5] 刘娟, 白雪卫. 虚拟现实技术在土木工程专业实习中的应用探索研究[J]. 大学教育, 2017(6): 27-28.
- [6] 李炎锋, 杜修力, 纪金豹, 等. 土木类专业建设虚拟仿真实验教学中心的探索与实践[J]. 中国大学教学, 2014(9): 82-85.
- [7] 陈剑为, 田君华, 陈曦, 等. 土力学虚拟仿真实验模块的开发与建设[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(6): 155-160.
- [8] 戴晓燕, 刘超. 基于BIM技术的建筑工程虚拟仿真实训中心的建设研究[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(12): 237-240.
- [9] Wei Chen, Jihong Ye, QingyangZhao, et al. Mid-scale and full-scale experiments of cavity-insulated gypsum and calcium-silicate sheathed CFS walls under different fire exposures [J]. Thin-Walled Structures, 2020 (155): 106928.
- [10] Wei Chen, Jihong Ye, QingyangZhao, et al. Full scale experiments of gypsum-sheathed cavity-insulated cold-formed steel walls under different fire conditions [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2020(164): 105809.

Teaching innovation and construction of fire resistance experiment teaching platform of building structure based on virtual technology

CHEN Wei^{a,b}, YE Jihong^{a,b}, ZHANG Yingying^b, LONG Bangyun^b, JIANG Jian^{a,b}

(a. Xuzhou Key Laboratory for Fire Safety of Engineering Structures; b. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221000, P. R. China)

Abstract: At present, the fire resistance experiment teaching of building structure has gradually become an important teaching element of the course of civil engineering disaster prevention and mitigation. However, only a few universities in China have the physical platform of building structure fire resistance experiment. Meanwhile, due to the particularity of fire resistance experiment, the related teaching resources are very limited. Based on the modern technologies of multimedia, network communication and virtual simulation, a series of teaching resources and platforms of building structure fire resistance experiment teaching have been constructed, including physical experiment platform, virtual simulation platform, virtual teaching aids, micro experiment and MOOC. Using the platforms, the traditional experimental teaching mode is broken through. Taking interest as the core, this paper explores a virtual-actual combination teaching scheme, and the integration of experimental teaching and theoretical teaching is realized. The evaluation system of experiment teaching is established, which emphasizes both process and result, and pays attention to continuous improvement. In addition, it emphasizes the autonomy and innovation of learning, encourages students to try boldly, and enhances their subjective initiative and professional competitiveness.

Key words: structure fire resistance; virtual simulation; micro experiment; virtual teaching aids; experimental teaching platform; teaching innovation

(责任编辑 梁远华)