

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2021.03.022

欢迎按以下格式引用:宋晓滨,张伟平,黄庆华,等.混凝土构件受力性能虚拟实验教学平台建设[J].高等建筑教育,2021,30(3):158-164.

混凝土构件受力性能虚拟 实验教学平台建设

宋晓滨,张伟平,黄庆华,任晓丹,朱鹏,陈宝

(同济大学 土木工程学院,上海 200092)

摘要:为响应教育部关于深入推进信息技术与高等教育实验教学的深度融合,不断加强高等教育实验教学优质资源建设与应用,着力提高高等教育实验教学质量和实践育人水平的号召,同济大学土木工程学院在国家级实验教学示范中心土木工程实验教学中心平台支撑下,建设了混凝土构件受力性能虚拟实验教学平台。平台围绕混凝土构件的测试过程,包括实验设计、试件制作和准备、实验加载、实验量测、实验分析等环节,与混凝土结构基本原理课程虚实结合,以虚补实,实现对实体实验的补充、扩展和提高。同时,平台以智能导学、智能助学,引导学生对理论知识拓展应用、预测和验证,激发学生探索兴趣。

关键词:混凝土构件;受力性能;虚拟实验;教学平台

中图分类号:G642.423;TU-4

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2021)03-0158-07

2018年5月,教育部发布了《关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设的通知》(教高函〔2018〕5号),深化和拓展示范性虚拟仿真实验教学项目建设及开展国家虚拟仿真实验教学项目建设工作内容^[1]。国家虚拟仿真实验教学项目是高等教育在人才培养领域推进“智能+教育”的积极探索,将成为形成高水平人才培养体系的关键一环,是推动人才培养质量提升的新兴生产力。

作为混凝土结构基本原理的实验实践课,同济大学已开展混凝土构件力学性能实验教学10余年,是国内的先行者。实验教学平台作为同济大学国家级实验教学示范中心,是土木工程实验教学中心的重要组成部分,每年受教的土木工程专业本科生约500名。同济大学土木工程学院教学实验系统克服了传统混凝土结构教学实验加载场地承载能力要求高、混凝土裂缝肉眼观察存在危险,以及实验参与人数有限等局限,在试验加载系统、数据采集和处理系统,以及实验现象与实验数据处理演示系统方面做了改进,通过采用自平衡试验加载系统降低了对实验室地面承载能力的要求,使

修回日期:2020-05-08

基金项目:同济大学土木工程学院2019-2020学年教学改革项目

作者简介:宋晓滨,(1977—),男,同济大学土木工程学院建筑工程系,教授博士,主要从事混凝土和木结构抗震性能研究,(E-mail)

xiaobins@tongji.edu.cn

得在普通实验室开展教学试验加载成为可能。此外,实验室数据采集和处理系统采用英国 solartron 公司生产的数据采集仪产品,并配备相应的工控机、通讯卡、显示屏、数据采集器和数据处理软件,该系统可以实时处理数据并在显示器上图形显示。同时,同济大学混凝土结构基本原理教学实验创新性地将医用微创手术摄像机用于结构教学,便于观察试件微小裂缝的形成和发展,极大地改善了学生实验学习的效果。

根据工科科研教学特点和混凝土结构基本原理教学大纲要求,该教学实验共设计了 9 个试验项目,包括钢筋混凝土适筋梁、少筋梁和超筋梁正截面受弯破坏试验;梁耕截面剪压、钢筋混凝土梁受剪斜压、斜拉和剪压破坏试验;钢筋混凝土柱大偏心和小偏心受压破坏试验和钢筋混凝土梁受扭试验。学生通过实验认知教学了解实验要求,并通过观看实验录像提前了解相关实验内容,以小组为单位协作完成实验项目方案和试验加载过程。此外,通过教师讲解、学生参观等方式完成陈列架试件的教学,完善实验教学内容并提高教学效果。学生通过参与混凝土实体构件破坏全过程演示实验,进一步认识混凝土基本构件的力学性能和破坏机理,将基本原理应用于实验过程和结果的解释分析,以进一步掌握基本理论知识教学。

近年来,随着计算机技术的高速发展,虚拟仿真逐渐成为提升学生实物认知的重要手段^[3-7],建设与混凝土实体构件实验相配套的虚拟实验教学平台,可弥补传统实体构件力学性能实验的不足,对培养土木工程专业本科生具有重要的现实意义。

一、虚拟实验教学平台创新性

(一) 实验方案设计思路

混凝土实体构件破坏全过程演示实验有助于学生进一步认识混凝土基本构件的力学性能和破坏机理,并且看得见摸得着,破坏过程真实,具有很好的教学演示效果。但考虑到实体实验参与度较低,加上课时有限,学生难以参与实验方案设计、试件制作和安装、材性实验等实验相关的全过程。另外,学生对基本原理知识掌握程度不一,一定程度上限制了实体构件力学性能实验课作用的发挥。

通过建设与混凝土实体构件实验相配套的虚拟实验平台,可弥补传统实体构件力学性能实验的不足,可实现每个学生独立完成若干构件实验;通过设置方案设计、试件制作和安装、实验量测、材性实验、试验加载、实验数据整理等虚拟实验过程环节,使学生了解混凝土基本构件各环节之间的关系,整体把握构件实验的全过程;开发知识点“学习—应用—考核—导学”功能,实现针对每个学生学习基础和学习兴趣的智能导学、智能助学。虚拟实验还可通过改变截面尺寸、配筋等参数,拓展学生的知识深度,培养其科学素养。

(二) 教学方法创新

本科生在进行混凝土实体构件实验前,优先利用虚拟实验教学平台进行学习和虚拟实验,通过虚拟教学实验对相关的理论知识点进行复习及实验方法的验证,学生可参与 1~2 种混凝土构件的实体实验。学生根据自己的兴趣,利用虚拟实验平台进行对实体实验课外的混凝土构件进行学习实验。学有余力的学生还可通过该平台,进行变参数分析虚拟实验,分析实验结果的规律。

(三) 评价体系创新

虚拟教学平台中,在每个模块的主要知识点学习后都会设置考核模块,在考核模块中了解学生对知识的掌握程度和二次理解能力。通过对实验理论知识的应用,考核学生对知识的实际应用能力,最终要求学生根据实验结果,分析实验中的数据和图表,考核其综合应用和知识分析能力。将各部分的当年考核分和历年学分排名作为学生自我考核和教师综合考核成绩的重要依据。

(四) 对传统教学的延伸与拓展

虚拟实验平台本质上是实体实验平台的延伸,是虚实结合的综合实验平台。该平台为实体实验提供了理论复习和实验方法预习条件,平台的特色复习和预习内容具有针对性。针对实验相关内容,复习和预习模块具有实时考核功能,确保学生在实验前掌握必要的知识点,提高学生学习的效率。虚拟平台对知识点的应用情况进行实时评价,确保学生正确应用理论知识。虚拟平台为学生提供了专享实验,每个实验可以独立进行,不受同时进行实验的人数限制,为每个学生提供了丰富的实验项目。此外,虚拟平台为学生提供了个性化学习内容,除了必修知识点外,其它知识点可根据个人兴趣选择,学习内容具有弹性。平台提供的变参数实验,也扩展了实体实验内容,为优秀学生的科学素养提高提供了平台。虚拟实验中的互动环节、评分环节降低学生学习中知识点的掌握难度,同时大大提高了学习的趣味性。

二、虚拟实验教学平台的开发和功能架构

本实验教学项目使用 B/S 架构开发,具有灵活的定置扩展功能,让用户在使用的过程中只需要点击鼠标就可以完成多数工作,实现工作流的顺利完成。系统采用 nodejs 和 webstorm 开发工具,基于 javascript 语言,并采用了 mongodb 数据库结构,单场景模型总面数 179583,贴图分辨率 512~1024,每帧渲染次数 60FPS,实时动作反馈时间,显示刷新率 60 赫兹,分辨率 1920 * 1080。系统架构如图 1 所示。

本虚拟仿真实验平台的用户界面基于虚拟的实验空间,实验空间包括先修区、虚拟实验区和拓展区。先修区为学生提供相关知识学习和测试;虚拟实验区选择具体混凝土构件虚拟实验项目,进入后进行相应的预习、实操、考核环节。最后选择进入拓展区,通过进行改变截面尺寸、配筋等变参数分析实验,进行相应的实验报告撰写分析和考核。

本虚拟实验平台的模块用户(学员)通过 web 页面登录后,可调用插件启动模块应用程序 exe,同时与后台 Web 服务器交互,进行模块应用程序 exe 版本检查、模块实验任务的授权检查、模块应用程序操作数据/成绩同步、模块正常关闭同步等操作。此外,平台对不同人员设置了差异化的管理权限,以提高系统的稳定性。例如,对于平台管理员,在登录后可导入学员账户/教师账户,并进行信息管理系统增删查改基本操作、添加新模块/更新模块(应用程序)版本及文件等。而对模块应用管理者(教师),在登录后页面会自动跳转至课程管理中

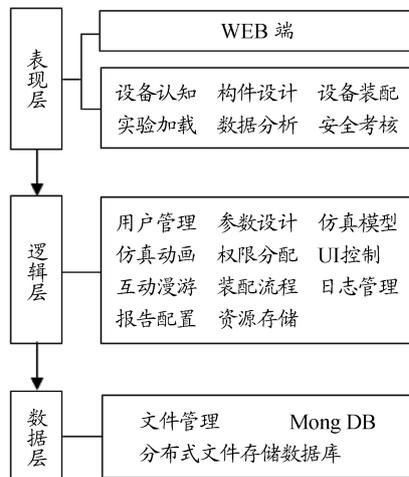


图1 虚拟仿真实验教学平台系统架构

心,可看到所有可管理的课程(模块)信息,可进行学生管理(添加学生/课程有效时间/查看学习状态等),也可进行任务管理(考试时间/分值权重等)。此外,对于模块用户(学员),登录后页面会自动跳转至课程学习中心,可看到所有可学习的课程(模块)信息,开始学习前必须先点击下载安装“启动器”及“课程模块”,点击“开始实验”进入课程学习界面。

本系统根据各模块内的实验任务进行交互操作,相关技术参数如下:单场景模型总面数 179583,贴图分辨率 512~1024,每帧渲染次数 30,动作反馈时间 30 毫秒以下,显示刷新率 60 赫兹,分辨率为 1920 * 1080。

三、虚拟实验教学平台实验项目和教学演示

本虚拟仿真实验平台围绕混凝土构件的破坏过程,针对钢筋混凝土受弯(包括少筋、适筋和超筋等 3 类构件)、受剪(包括斜压、剪压和斜拉破坏等 3 类构件)、偏心受压构件(包括大偏压、小偏压)和受扭(包括部分超筋和适筋等 2 类构件)的受力全过程,以钢筋混凝土构件受力性能为内核,以图形显示为表现手段,具体教学内容包括实验设计、试件制作和准备、实验加载、实验量测、实验分析等环节,与混凝土结构基本原理课程的混凝土构件实体实验相结合,实现对实体实验的补充、扩展和提高。

本虚拟仿真实验平台采用模块化设计,不同实验项目共用教学考核和图形演示模块。故此,下文以钢筋混凝土受弯构件为例,简要介绍系统主要教学考核手段和演示内容。

(一) 先修学习

先修学习包含安全教育、基础知识、仪器设备三个模块。学生必须完成此三个模块的学习并考核通过后,才可进入虚拟实验。进入主漫游场景后,学生可以任意在场景中漫游。其中,安全教育(图 2a)中包含进入实验室中需要注意及遵守的安全规范,重在提高学生实验安全的意识。通过填空题的形式强化重要知识点,引导学生完成考核,考核通过后反馈证书结果。基础知识(图 2b)主要介绍基本原理内容,并通过打开外部链接的方式,跳转到同济大学混凝土结构基本原理慕课的在线学习资料。

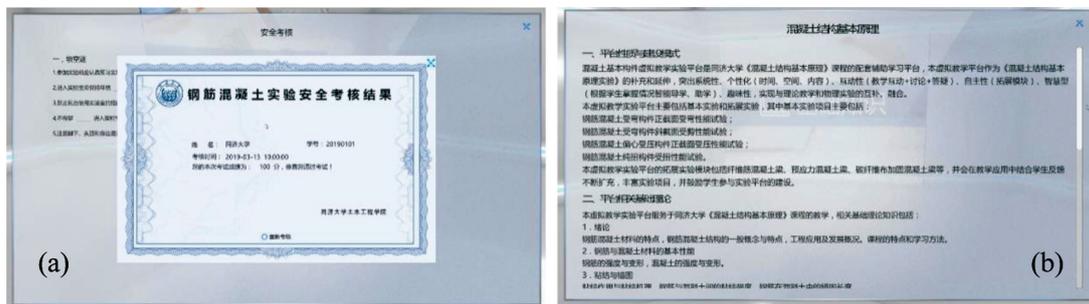


图 2 虚拟仿真教学平台先修学习模块

仪器设备介绍了混凝土构件实验中一些常用的实验仪器或设备,如位移计、倾角仪、钢筋拉伸试验机等。软件界面的介绍面板左侧为功能区,右侧为演示区,如图 3 所示。

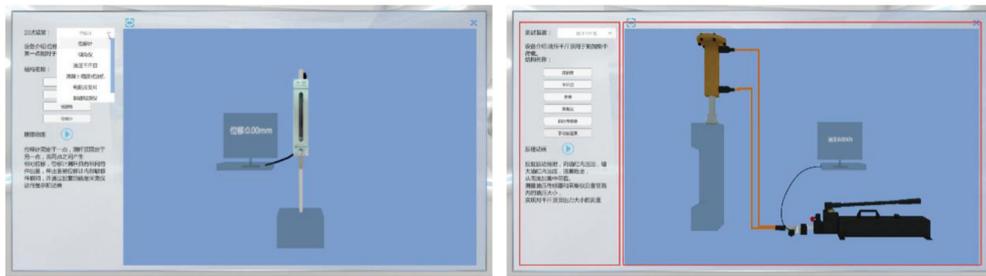


图3 虚拟仿真教学平台先修学习模块仪器设备子模块

(二) 实验操作和展示

在实验模块可通过窗口选择学习内容(图4a)。进入实验场景后,左侧为功能菜单,右侧为显示区域(图4b)。功能菜单从上到下依次分五个菜单项,包括预习(包含实验目的、试件设计、结果预测、加载方案、量测方案)、实操(包含试件制作、设备安装、材性分析、实验加载、数据分析)、考核(成绩查看,教师账号增加批阅、导出功能)、设置(设置场景相机、移动速度、语音控制等功能)和返回(即返回主漫游场景)。

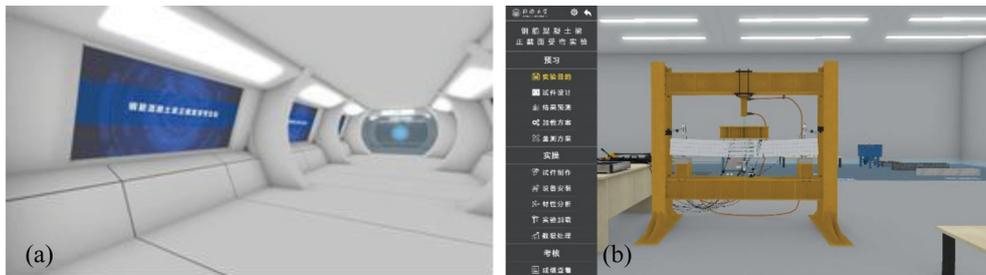


图4 虚拟仿真教学平台主漫游模块和实验学习模块

预习部分主要使学生了解实验目的,并对相关内容进行考核。通过引导性学习,让学生了解建筑梁的设计过程,复习荷载预估方法和设计计算过程。在加载方案模块,学生可以学习加载装置、加载机制;在量测方案模块,学生可以学习混凝土平均应变、纵向受拉钢筋应变、挠度、裂缝测量等知识内容。



图5 虚拟仿真教学平台虚拟实验整体操作流程及操作说明

实操部分包含虚拟实验整体操作流程(图5a),按照实验步骤分为试件制作、设备安装、材性分析、实验加载等过程。试件制作包含了混凝土试件制作的全过程,分为钢筋下料成形、绑扎、混凝土浇筑、划线等步骤。软件界面面板左侧显示操作步骤及该步骤相关说明,面板下部功能区控制步骤的切换及重置当前操作回到原始状态(图5b)。

设备安装包含千斤顶的安装、油泵的连接、支座铰支座及位移计等的安装过程。材性分析主要包含了实验加载过程中所涉及到的理论知识及相关参数计算,在实验加载前对实验钢筋的强度及力学性能参数进行分析。实验加载分为手动加载和自动加载两种模式(图 6a),手动加载模式下,可以自主选择加载荷载值,自动加载采用分级加载制度,不同加载阶段最大荷载值不同。加载页面左侧面板包含荷载输入功能及数据显示功能,数据分析主要让用户学习如何整理实验数据,绘制数据曲线(图 6b)。

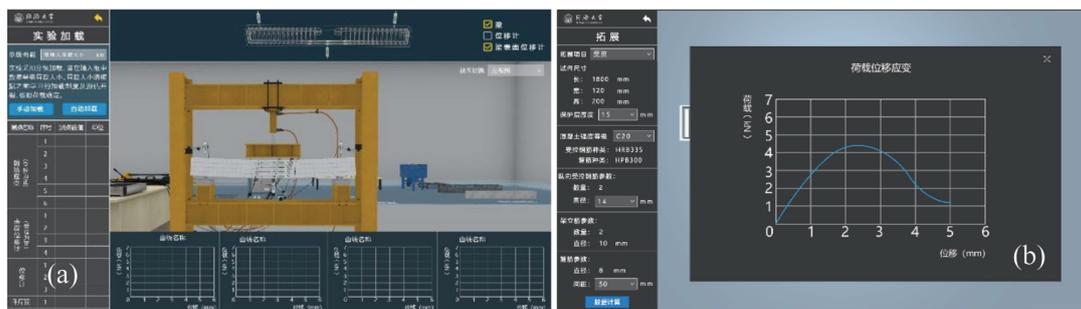


图 6 虚拟仿真教学平台虚拟实验加载模式和数据显示

四、虚拟实验教学平台应用情况及效果分析

本虚拟仿真实验平台自建设以来,最初通过配合同济大学混凝土结构基本原理课程教学实验模块,虚实结合,极大地提升了教学实验授课能力和教学效率,累计完成了 441 位学生的教学和考核工作,并得到了学生认可。此外,平台针对系统使用流畅度、功能模型人性化等方面的学生反馈意见,逐步完善优化,目前已将服务对象由校内学生为主逐步扩展到校外学生,并获批了 2019 年度上海市虚拟仿真实验教学项目。

虚拟教学实验平台可通过个性化学习,智能导学、智能助学,提高了学生学习效率和教师的授课积极性;通过自主拓展模块,引导学生对理论知识进行拓展应用、预测和验证,拓展学生知识深度,体会研究的乐趣;通过个性化考核确保学生掌握先导知识,并可实时展示学生本人及他人的学习掌握情况。因此,虚拟教学实验平台以个性化和趣味化提高了学生学习效率和学习效果,实现拓展学习激发学有余力的学生的探索兴趣,真正做到因材施教。

参考文献:

- [1] 教育部办公厅. 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(教高厅[2017]4 号)[EB/OL]. (2017-07-21)[2019-09-08]. <http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201707/t20170721309819.html>.
- [2] 徐明,刘艳,陆金钰,等. 土木工程虚拟仿真实验教学资源建设[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(12):116-119.
- [3] 徐明,熊宏齐,吴刚,等. 土木工程虚拟仿真实验教学中心建设[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(2):139-142.
- [4] 祖强,魏永军. 国家级虚拟仿真实验教学中心建设现状探析[J]. 实验技术与管理, 2015(11):156-158.
- [5] 徐明,刘艳,陆金钰,等. 土木工程虚拟仿真实验教学资源建设[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(12):116-119.
- [6] 徐伟杰,徐明,郭彤,等. “金课”背景下土木类虚拟仿真实验教学发展趋势——基于 2018 年国家虚拟仿真实验教学项目共享平台公示数据[J]. 高等建筑教育, 2020, 29(1):74-85.

Development of virtual experimental teaching platform for mechanical behavior of reinforced concrete members

SONG Xiaobin, ZHANG Weiping, HUANG Qinghua, REN Xiaodan, ZHU Peng, CHEN Bao

(*College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China*)

Abstract: In response to the Ministry of Education's call to further promote the deep integration of information technology and experimental teaching of higher education, to continuously strengthen the development and application of high-quality resources for experimental teaching in higher education, and to substantially improve the quality of experimental teaching and practice of talent education in higher education, the College of Civil Engineering of Tongji University, supported by the platform of the Civil Engineering Experimental Teaching Center of the National Experimental Teaching Demonstration Center, has developed a virtual experimental teaching platform for the mechanical behavior of reinforced concrete members. The platform focuses on the entire testing process of concrete members, including experimental design, specimen preparation, loading, measuring and data analysis, combined with the course "basic principles of concrete structures" as to achieve a mutual supplement between virtual and physical testing. It is expected that the physical experiments can be then complemented, expanded and improved. Meanwhile, the platform guides students, via intelligent guidance and assistance, to expand the application, prediction and verification of theoretical knowledge and to stimulate students' interest in further exploring.

Key words: reinforced concrete members; mechanical behavior; virtual experiments; teaching platform

(责任编辑 崔守奎)