

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2021.01.018

欢迎按以下格式引用:李军,李晓东,崔祎菲,等.服务土木工程三层次课程体系的虚拟仿真实验教学资源建设[J].高等建筑教育,2021,30(1):130-136.

服务土木工程三层次课程体系的 虚拟仿真实验教学资源建设

李 军,李晓东,崔祎菲,张 鹏,曲成平

(青岛理工大学 土木工程学院,山东 青岛 266033)

摘要:为了培养学生的专业兴趣,以及应用创新能力和解决复杂工程问题实践能力,提出服务于土木工程三层次专业课程体系,即土木工程“核心—方向—拓展”课程体系的虚拟仿真实验教学资源的建设与应用思路。三层次课程体系具有将实验教学与理论教学、实践教学与工程实际有机结合的特点。新开设具有“虚实结合”特点的土木工程综合实验(含虚拟仿真)课程,包含土木工程专业急需的实验教学内容,以适应大学生成长的新特点和信息化时代教育教学的新规律。依托国家级实验教学示范中心、国家级虚拟仿真实验教学项目和多项教研教改课题,以虚拟仿真“金课”标准建成服务于三层次课程体系的虚拟仿真实验资源库,并结合虚拟仿真项目、课程建设及教材建设,构建立体化教学资源。

关键词:土木工程;虚拟仿真实验;实验教学资源;核心-方向-拓展;课程体系

中图分类号:G642.423;TU-4 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2021)01-0130-07

随着新时代城镇化进程的不断深入和经济建设的快速发展,特别是互联网+、智能建造等新技术的不断涌现,我国土木工程行业发展面临重大转型^[1],亟需多学科多方向交叉融合的创新型复合技术人才。针对这一需求,青岛理工大学构建了土木工程“核心—方向—拓展”三层次专业课程体系(以下简称三层次课程体系),即以专业基础课为核心,以建筑工程、岩土与地下工程、道路桥梁工程为专业方向,以科研成果与工程前沿为拓展的课程体系。三层次课程体系与“培养学生专业兴趣,提高学生应用创新能力以及解决复杂工程问题能力”人才培养目标密切相关。为了突出能力培养,需充分认识与高度重视实验教学无可替代的作用^[2]。土木工程类专业实验存在综合性强、设备

修回日期:2020-04-12

基金项目:山东省本科教研教改重点项目(Z2018X075);山东省研究生导师指导能力提升项目(SDY18099);青岛理工大学本科教学建设与改革项目(F2018-089、F2020-058);青岛理工大学新工科研究与实践项目(F2018-120)

作者简介:李军(1966—),女,青岛理工大学土木工程学院副教授,博士,主要从事钢结构方向的教学与科研,以及虚拟仿真实验教学中心的管理工作,(E-mail)1375726792@qq.com。

体量大、实验环境恶劣、资源消耗大和耗时长等问题,近年来,“立足教学、教研融合、面向工程、开放共享”^[3]的虚拟仿真实验教学理念已渗透到很多院校的土木工程专业教学中。普遍认同的做法是:将科研成果反哺实验教学,将重大工程实践转化为实验教学内容,通过虚拟仿真实验教学管理平台,实现教学资源与仿真实验的开放与共享^[4-5]。

由于各院校人才培养的侧重点、学科特点和实验教学环境有所不同,开发的虚拟仿真实验教学资源也会各具特色^[6-8]。青岛理工大学土木工程学院以2007年获批国家级特色专业为契机,提出知识和能力提升为培养特色的人才培养理念,围绕解决“人才培养定位”“知识与能力”提升的关键问题,开展了人才培养模式的教育目标研究,以及课堂内外的教学改革与实践,逐步形成了以知识与能力提升为培养特色的土木工程创新人才培养模式,所提出的土木工程“核心—方向—拓展”多层次课程体系,要求实验教学与理论教学、实践教学与工程实际有机结合。由于既往的实验课程不能充分支撑这一新要求,于是新开设了土木工程综合实验(含虚拟仿真)课程,并构建了立足土建、交叉融合相关专业、共同提升的虚拟仿真实验教学资源开放共享模式,在虚拟仿真实验教学资源建设中积累了一些经验。

一、服务土木工程多层次课程体系的实验教学

(一) 构建多层次课程体系,深化国家级实验教学示范中心内涵

构建特色专业课程体系是深化示范中心内涵的首要工作^[9]。青岛理工大学土建工程实验教学示范中心自2014年获批国家级实验教学示范中心以来,注重强化示范中心的内涵建设,以促进学生应用创新能力和解决复杂工程问题实践能力的提高。在国家级特色专业建设背景下,依据以知识和能力提升为培养特色的人才培养理念,构建强化学生综合素质和综合能力的专业知识系统,提出多层次课程体系的概念。该课程体系设置的土木工程专业核心课程包括理论力学、材料力学、结构力学、土力学、基础工程、钢结构基本原理、混凝土结构设计原理、土木工程施工;主要实践性教学环节包括实验、实习设计、社会实践和科研训练等,其中实验包括基础实验、专业基础实验、专业实验和科技研究性实验。

为了实现多层次实践教学与课程模块的有机衔接,使选择不同专业方向的学生专业知识和能力得以拓展,青岛理工大学依托国家级实验教学示范中心,先后成立了本科教学创新实践中心、BIM实验教学中心和虚拟仿真实验教学中心。

(二) 虚实结合的土木工程综合实验

为了适应人才培养的新要求,结合大学生成长的新特点以及信息化时代教育教学的新规律,虚拟仿真实验教学中心以土木工程专业急需的实验教学内容为指向,以完整的实验教学项目为基础,综合应用多媒体、大数据、3D建模、虚拟现实等网络化、数字化、智能化技术手段,整合建设了以钢结构基本原理、混凝土结构设计原理、土木工程材料等专业课程为核心,涵盖建筑工程、岩土与地下工程、道路桥梁工程等方向专业课程的虚拟仿真实验项目群,结合教学科研成果与土木工程发展前沿,形成虚实结合、理论与实践互补的实验教学体系,以解决土木工程专业实验环境恶劣、资源消耗大、耗时长等,难以让本科生广泛、深入参与的实验教学难题。

土木工程综合实验(含虚拟仿真)课程在青岛理工大学土木工程专业课程体系改革与虚拟仿真实验教学资源建设中得以完善。该课程包含表1所示实验,既包含传统的实体实验,也包括一些校

企合作开发的具有原创性、示范性的虚拟仿真实验。

表1 土木工程综合实验(含虚拟仿真)课程

所辐射课程	建筑工程方向	道路桥梁工程方向	岩土与地下工程方向	备注
<ul style="list-style-type: none"> • 土木工程材料 • 建筑材料 • 混凝土结构耐久性 	<ul style="list-style-type: none"> • 多种环境下混凝土材料性能虚拟仿真实验(国家级虚拟仿真实验项目) 			特征: <ul style="list-style-type: none"> • 属于“金课” • 服务包括核心课程在内的课程,供三个方向的学生选择; • 由多个子实验构成,包含多种形式实验属性,包括专业基础实验、专业实验和科技研究性实验; • 与科研成果相结合,具有拓展性
<ul style="list-style-type: none"> • 土木工程材料 • 材料力学 • 结构力学 • 混凝土结构设计原理 • 钢结构基本原理 • 土力学 • 钢结构设计 • 桥梁工程 • 桥梁实验 • 路基路面工程 • 桥梁检测与维修加固 • 路基路面检测技术 • 工程地质学 • 岩土工程勘察 	<ul style="list-style-type: none"> • 无损检测混凝土抗压强度实验(回弹法) • 桥路连接与应变片灵敏度系数的测定 	<ul style="list-style-type: none"> • 轻钢厂房雪灾事故分析虚拟仿真实验 • 钢结构梁柱连接节点破坏虚拟仿真实验(虚实结合) • 钢筋混凝土筒子楼支梁抗弯性能试验(试验结合) • 钢筋混凝土简支梁抗剪性能试验(虚实结合) • 钢梁整体失稳试验(虚实结合) • 钢结构轴心受压柱失稳试验(虚实结合) • 钢网架静载试验 • 悬臂钢梁动力特性试验 • 钢结构焊缝质量评定(超声波) • 筒子楼支钢梁模态实验 	<ul style="list-style-type: none"> • 标准贯入虚拟仿真实验 • 十字板剪切虚拟仿真实验 • 桩基静载虚拟仿真实验 • 现场直剪虚拟仿真实验 • 三轴剪切实验(虚实结合) • 地质构造及识别虚拟仿真实验 • 土压和孔隙水压力传感器测试与应用 • 桩基础供应变完整性测试 • 测定岩石的点荷载强度 • 测斜仪原理与测试 	说明: <ul style="list-style-type: none"> • 左侧为“金课”以外的“三方向”实验; • 黑体字的为虚拟仿真实验或虚实结合实验; • 服务包括核心课程在内的课程(在此不具体表述对应某个实验的相关课程); • 实验属性多样,包括专业基础实验、专业实验和科技研究性实验; • 部分实验与科研成果或工程实际相结合,具有拓展性

注:粗体字的为核心课程

二、国家级虚拟仿真实验“金课”的培育

(一)以“金课”标准构建特色虚拟仿真实验项目

国家虚拟仿真实验教学项目是教育部推出的5类国家“金课”之一,对实验内容、实验构思、实验技术、实验做法、实验评价、展现方式和拓展程度等均有一定要求^[10]。“多种环境下混凝土材料性能虚拟仿真实验”是青岛理工大学近年建设的优质虚拟仿真实验教学资源之一,被认定为2018年国家虚拟仿真实验教学项目。该项目依托入选国家“111计划”的“海洋环境混凝土技术”创新引智基地科研成果,拓展学生知识结构,启发学生科学思维,强化创新意识,以影响混凝土材料服役性能的腐蚀、冻融及高温环境实验为背景,设计包含五个子实验的综合性虚拟仿真实验。

该项目结合专业特色和学科研究成果,采用现代信息技术,研发原理准确、内容紧凑、时长合理、难度适宜,体现了基础与前沿的有机结合。重点突出了“海洋环境下的混凝土耐久性”的教学内容,借助虚拟仿真技术高度仿真中子成像、海水侵蚀及冻融、火灾等传统试验难以实现的实验条件,

虚拟再现了多种环境下混凝土材料劣化过程。适用面较广,可用于土木工程专业、材料科学与工程专业,以及工程管理专业、建筑学专业、城市地下空间工程专业等的学习;除适用于土木工程材料、混凝土结构耐久性、材料测试与分析技术、建筑结构实验、混凝土基本原理等课程外,还适用于新型建筑材料、桥梁工程、工程结构鉴定与加固、城市地下工程等课程。

(二)以学生为中心的个性化学习方案设计

“多种环境下混凝土材料性能虚拟仿真实验”为学生提供了有机联系的五个子实验,根据学生实际学习情况和兴趣方向设定了四个学习目标。目标一为理解和掌握我国沿海环境下混凝土工程的劣化基础知识及其原理;目标二为理解和掌握我国北方地区混凝土材料的冻融破坏过程及其机理;目标三为理解和掌握由海水侵蚀引起的材料性能劣化现象;目标四为理解和掌握“冰火(水火)”环境下混凝土材料的抗压强度的变化规律。按照上述学习目标指导学生进行个性化选择,实验指导书为学生提供以下几种学习方案:

- (1)基于目标一选做“混凝土材料水分传输子实验+混凝土抗海水侵蚀性能子实验”;
- (2)基于目标二选做“混凝土材料水分传输子实验+抗冻融循环性能子实验”;
- (3)基于目标三选做“混凝土抗海水侵蚀性能子实验+海水锈蚀钢筋与混凝土粘接性能子实验”;
- (4)基于目标四选做“抗冻融循环性能(或混凝土抗海水侵蚀性能)子实验+高温环境混凝土受压性能子实验”。

前三种方案是针对单一环境下的实验,第四种方案则可体现耦合环境,学生以此为拓展可以设计多种耦合实验,旨在最大程度地提高学生创新实验能力。

自加入国家虚拟仿真实验教学项目共享平台(<http://www.ilab-x.com/>)以来,“多种环境下混凝土材料性能虚拟仿真实验”面向全社会进行教学资源共享,截止到2019年9月,实验浏览量达到15 847人次,共有4 134人次利用该平台进行虚拟仿真实验并进行评价,综合评价得分4.8分(满分5分),用户满意度和认可度较高。

三、基于优质虚拟仿真实验的立体化教学资源建设

(一)服务多层次课程体系的优质虚拟仿真实验

青岛理工大学以国家虚拟仿真实验教学项目为示范,通过整合优化钢结构基本原理、混凝土结构设计原理、土木工程材料、土力学与基础工程等专业核心课程的虚拟仿真实验项目,针对建筑工程、岩土与地下工程、道路与桥梁工程等专业方向,创建了丰富的虚拟仿真实验资源系统。其中,多种环境下混凝土材料性能虚拟仿真系统、轻钢厂房雪灾事故分析虚拟仿真实验软件、工程地质构造虚拟仿真系统、质量调谐阻尼器振动控制原理虚拟仿真系统、标准贯入虚拟仿真系统、事故现场还原——三丰百货大楼虚拟仿真系统等30多项虚拟仿真实验获得软件著作权。本文选择代表性实验资源简要介绍其特点,如表2所示。这些实验资源特色鲜明,原创性强,既注重强化学生基础知识在实验中的运用,还力求通过与科研成果和工程前沿的结合,拓展学生专业视野,激发学生专业兴趣。

表2 代表性实验资源简介

资源名称	实验知识点	技能培养侧重点	实验教学内容特点	软著编号
多种环境下混凝土材料性能虚拟仿真系统	混凝土材料水分传输;混凝土抗海水侵蚀性能;混凝土抗冻融循环性能;海水锈蚀钢筋与混凝土粘结性能;高温环境混凝土材料受压性能	培养学生的专业兴趣;培养学生动手操作能力和创新精神	重点突出“海洋环境下的混凝土耐久性”的教学内容,着力解决混凝土材料受海水侵蚀、冻融以及高温条件不具备实验或实际实验耗时长等问题	[MECMP] V1.0
轻钢厂房雪灾事故分析虚拟仿真实验软件	轻钢厂房倒塌;局部破坏形态;钢梁受弯失稳原理;轴心受压钢构失稳原理	培养学生的专业兴趣,提高学生动手操作能力和解决复杂工程问题的能力	解决整体结构的受灾坍塌难以在实验室重现问题,以某轻钢厂房雪灾事故为载体,引导学生结合模拟实验结果剖析破坏原因,学习钢构件失稳实验方法,并进行稳定性原理探究	[LSWSAAS] V1.0
工程地质构造虚拟仿真系统	倾向构造、褶皱构造、断裂构造的形成及特征;地质构造的地层出露规律;地质图的判读	培养学生的专业兴趣,提高学生分析复杂工程资料、解决复杂工程问题的能力	直观展现地质体,使学生掌握各种地质构造的形成、组成要素、形态分类等;学习各种地质构造类型岩层出露规律,掌握在地质图上判读地质构造的方法	[EGSVSS] V1.0
质量调谐阻尼器振动控制原理虚拟仿真系统	质量调谐阻尼器的组成、工作原理及其最优参数;质量调谐阻尼器在人行桥减震控制中的应用	培养学生的专业兴趣,围绕质量调谐阻尼器的学习难点,对学生进行专业认知能力训练	直观呈现TMD系统在实际工程中的应用效果,使学生通过质量调谐阻尼器工作原理的动态仿真进行学习	[MTDVCP] V1.0
标准贯入虚拟仿真系统	标准贯入试验原理;试验过程;标准贯入试验的工程应用	增加现场沉浸感,提高学生专业学习的兴趣,提高解决实际操作中的问题意识和创新能力	让学生切身体验现场原位测试原理、操作和实验过程,熟悉标准贯入试验设备组成、工作原理、性能特点、配套关系等	[SPTVSS] V1.0
事故现场还原——三丰百货大楼虚拟仿真系统	事故调查分析的手段;诱发事故的原因	提高安全意识、责任意识,具备合格工程人员的能力和素质	直观呈现工程事故带来的损害,通过角色设定使学生从事故调查者角度知晓事故调查手段、常见事故原因;从事故现场人员角度知道如何逃生;从事故救援人员角度知道如何救助	[ASRDS] V1.0

图1表示三个专业方向共同虚拟仿真实验和分别开设的虚拟仿真实验。除了上述获得软件著作权的虚拟仿真实验外,还包括正在开发的部分实验。其中,各专业方向的共同实验含施工类、工程材料类和测量类的虚拟仿真实验,多数来源于工程实践或科研成果,具有综合性和拓展性。

(二) 立体化实验教学资源建设

为了在新形态教材、多媒体课件、虚拟仿真实验教学平台和实体实验教学平台中分别发挥虚拟仿真实验的作用,青岛理工大学土建虚拟仿真实验教学中心提出立体化实验教学资源的建设思路。以下以“轻钢厂房雪灾事故分析虚拟仿真实验”为例进

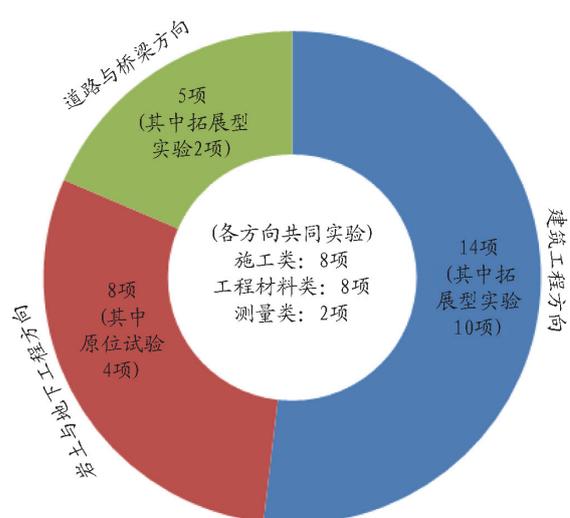


图1 各专业方向的虚拟仿真实验项目

行说明。

1. 实验内容

该虚拟仿真实验包括“导言”“事故还原仿真”“原理探究”和“知识扩展”四个环节,以受灾轻钢厂房事故为载体,借助虚拟现实技术还原轻钢厂房受灾倒塌过程,引导学生结合模拟实验结果剖析失稳破坏原因,通过自主学习掌握钢构件失稳实验方法,并进行稳定性原理探究。实验课“导言”环节引导学生了解轻钢厂房在特大雪灾时的破坏情况;“事故还原仿真”环节包括事故调查、事故还原;“原理探究”环节包括破坏要因分析、钢梁失稳虚拟仿真实验和轴压柱失稳虚拟仿真实验,有学习和考核模式,要求学生完成上述学习后撰写实验报告;“知识扩展”环节要求学生查阅文献完成研究报告。

“轻钢厂房雪灾事故分析虚拟仿真实验”包含钢梁整体失稳和轴压柱整体失稳虚拟仿真实验,是土木工程综合实验(含虚拟仿真)课程中的实验项目。要求学生在预习环节完成该虚拟仿真实验,然后分组进行实体实验,以实现“虚实结合”。

2. 基于虚拟仿真的教学资源建设

《钢结构基本原理》教材在青岛理工大学作为新形态特色教材立项。教材编写时,在构件稳定原理部分采用由“轻钢厂房雪灾事故分析虚拟仿真实验”资源分解出的若干视频学习资料,通过二维码形式置于与教学内容相对应的位置,以便学生课上、课下随时调阅学习,增强教材的趣味性,更好地发挥教材的作用。

钢结构设计课程中包含“轻钢厂房设计”内容,将“轻钢厂房雪灾事故分析虚拟仿真实验”所仿真还原的轻钢厂房漫游视频置入教学课件中,让学生及时认知轻钢厂房的空间结构组成,克服教学过程中无法随时去现场实习的问题。将仿真的厂房倒塌过程放在钢结构基本原理课程教学课件中,使学生直观认知各种构件的失稳特征,有利于原理课程的探究与学习。

综上所述,随着优质虚拟仿真实验资源的不断完善,结合虚拟仿真项目、课程建设以及教材建设开展立体化教学资源建设,以丰富土木工程专业教学手段,切实发挥虚拟仿真实验教学成果在土木工程专业课程教学中的关键性、多样性作用,提高教学实效。

四、结语

本文依托青岛理工大学土木工程学院国家级实验教学示范中心、国家级虚拟仿真实验教学项目和多项教研教改课题,阐述土木工程专业人才培养的三层次课程体系的概念和内涵,介绍了服务土木工程三层次课程体系的实验教学思路和虚拟仿真实验教学资源库的建设成果。

所提出的三层次课程体系要求实验教学与理论教学、实践教学与工程实际有机衔接,为提高学生综合素质和综合能力,以及帮助学生掌握专业系统知识提供有力支撑。在三层次课程体系虚拟仿真实验资源建设中,土木工程综合实验(含虚拟仿真)课程的建立起着重要的助推作用。以“金课”标准构建的虚拟仿真实验教学资源,坚持以理论和实践教学中的问题为导向,培养学生的专业学习兴趣,提高学生的知识应用和创新能力,以及解决复杂工程问题的实践能力。根据教学需要,在部分虚拟仿真实验资源的建设与应用中,结合虚拟仿真项目、课程建设及教材建设,打造立体化教学资源,丰富土木工

程专业教学手段,切实发挥虚拟仿真实验教学成果在土木工程专业课程教学中的关键性、多样性作用。

参考文献:

- [1] 武鹤,孙绪杰,魏建军. 面向新工科的土木工程专业改造升级路径探索与实践[J]. 高等建筑教育,2018,28(6):12-16.
- [2] 吴超凡,陈秀香,梁俊平,刘明松,罗涛. 转型背景下土木工程专业人才培养模式的改革与实践[J]. 河北民族师范学院学报,2019,39(4):85-90.
- [3] 胡振华,王颖,王崇革,李朋. 土木工程虚拟仿真实验教学中心建设与思考[J]. 实验技术与管理,2019,36(10):218-220.
- [4] 徐明,刘艳,陆金钰,徐照,熊宏齐,吴刚. 土木工程虚拟仿真实验教学资源建设[J]. 实验技术与研究,2015,32(12):116-119.
- [5] 李彬彬,苏明周. 土木工程虚拟仿真实验教学体系探索与实践[J]. 西安建筑科技大学学报(社会科学版),2015,34(2):96-100.
- [6] 魏婧,马小莉,师丽,李玉根. 土木工程虚拟仿真实验教学资源的探索与构建[J]. 榆林学院学报,2016,26(4):83-86.
- [7] 王淑婧,贺行洋,邹贻权,张晋,石峻峰. 土建类虚拟仿真实验教学资源持续建设与实践[J]. 高等建筑教育,2018,27(5):159-165.
- [8] 徐明,熊宏齐,吴刚,宗周红,汪丰,舒贻平. 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.
- [9] 廖庆敏. 深化示范中心内涵建设 不断提高学生实践与创新能力[J]. 实验技术与管理,2014,31(2):107-109.
- [10] 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.

Virtual simulation construction of experimental teaching resources for triple-leveled civil engineering curriculum system

LI Jun, LI Xiaodong, CUI Yifei, ZHANG Peng, QU Chengping

(School of Civil Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, P. R. China)

Abstract: In order to strengthen the cultivation of students' professional interest, application and innovation ability, and practical ability to solve complex engineering problems, the ideas of the construction and application of virtual simulation experimental teaching resources serving the triple-leveled professional curriculum system namely the "core-direction-expansion" curriculum system of civil engineering are proposed. The three-level curriculum system has the characteristics of connecting theoretical teaching with practical teaching, and engineering practice with experimental teaching. The course of comprehensive experiment of civil engineering (including virtual simulation) with the characteristics of virtual-real combination is newly established which contains the experimental teaching content urgently needed by civil engineering majors and adapts to the new characteristics of college students' growth and new laws of education and teaching in the information age. Relying on the national-level experimental teaching demonstration center, the national-level virtual simulation experimental teaching project, and a number of teaching research and teaching reform subjects, the virtual simulation experimental resource library serving the triple-leveled curriculum system is built with the "golden course" standard of virtual simulation, and the three-dimensional teaching resources are constructed combined with virtual simulation projects, courses construction, and teaching material construction.

Key words: civil engineering; virtual simulation experiment; experimental teaching resources; core-direction-expansion; curriculum system

(责任编辑 王 宣)