doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2021.06.023

欢迎按以下格式引用:黎桉君,汪时机,李贤.多元混合式土力学实验教学改革研究[J].高等建筑教育,2021,30(6):159-167.

多元混合式土力学实验教学改革研究

黎桉君,汪时机,李　贤
(西南大学 工程技术学院,重庆　400715)

摘要:土力学实验是土力学课程体系的重要组成部分,在加深理论理解、锻炼实验能力、激发创新精神和培养工程意识等方面有不可替代的作用。通过对多所高校土力学实验教学现状的调研分析,系统性地提出线上线下混合,课前课后多阶段贯穿,虚拟仿真、数值模拟与实验教学深度融合的多元混合式土力学实验教学改革方案,详细阐述改革措施,构建"五位一体"土力学实验课程体系。依托 MOOC、实验空间、PFC 等信息教学手段打造线上线下双通道、多维度学习空间,开发设计性、创新性实验项目,制定"量""效"并行的考核机制,充分激发学生学习兴趣,挖掘科研潜力,提高工程能力,教学满意度显著提高。以此推动西南大学土力学建设国家级一流课程的进程,为土力学实验教学改革与创新提供参考。

关键词:土力学实验;教学改革;多元混合式;课程体系;考核机制

中图分类号:G642.42;TU43　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1005-2909(2021)06-0159-09

土力学是研究土的渗透特性、应力应变和强度规律,以解决土体变形和稳定等问题的学科,也是指导土木、交通、水利、地质、采矿等诸多领域开展科学研究和工程设计的重要理论依据[1],兼具综合性、广泛性、理论性和实践性的特点[2],是土木工程专业非常重要的专业核心课程。土是由矿物或岩石碎屑构成的松软聚集体,工程特性复杂多变[3],给土力学课程教学提出了较大难度与更高标准,但同时也使其具备整合新兴技术的能力和开展教学技术改革的条件。为达到掌握岩土体理论知识、分析方法和实验能力的培养目标[4],土力学课程一般分为理论教学与实验教学两个环节,二者相辅相成、有机融合。其中,实验课作为课程教学体系的重要组成部分,在加深理论理解、锻炼实验能力、激发创新精神、培养工程意识及提高学术素养方面有着不可替代的作用[5]。

修回日期:2021-08-18

基金项目:国家自然科学基金项目(11972311);中央高校基本科研业务费基金面上项目(XDJK2020C028);西南大学实验技术项目(SYJ2020027);西南大学教育教学改革研究项目(2021JY017)

作者简介:黎桉君(1992—),男,西南大学工程技术学院实验师,博士生,主要从事农业建筑环境与水土工程研究,(E-mail)lianjun1992@163.com;(通信作者)汪时机(1977—),男,西南大学工程技术学院教授,博士,主要从事农业水土工程与岩土力学研究,(E-mail)shjwang@swu.edu.cn。

教育部于 2018 年提出打造具有高阶性、创新性、挑战度的“金课”,指出要充分重视课堂教学这一主阵地,合理应用信息化教学手段,积极开展线上线下混合式教学[6]。为贯彻落实“金课”建设要求,致力于培养卓越工程人才,国内土木院校开展了一系列基于混合式教学方法的研究与实践。其中,部分高校在土力学教学改革中取得了一定成效。例如,河海大学建立了土力学在线开放课程资源,形成了“线上+线下”结合的混合式教学体系[1];湖南工程学院开展了以“学生热点关注”为教学理念的土力学与地基基础线上线下混合式教学改革[7]。但涉及混合式教学模式改革的研究与实践大多关注理论教学环节,对实验教学的阐述较少,聚焦于混合式土力学实验教学模式的研究更鲜有报道。目前,土力学实验教学改革主要体现在实验项目开发与方法创新方面,樊猛[4]通过离散元软件 PFC 中的 fish 语言编制了完整的三轴试验程序,实现了固结不排水试验和固结排水试验的加载条件控制;沈扬[8]自主研发了可视化演示模型实验系统,可直观展现土压力破坏、振动液化、毛细作用、渗透破坏及电渗固结的产生过程;张艳美[9]提出了以学生为主体、以能力培养目标达成为导向的土力学综合性实验设计,探索了能力培养目标达成的过程;刘艳[10]基于虚拟仿真平台 LabVIEW,从实验手段、实验形式等方面提出了土力学实验教学的改革方法。

总体而言,已有土力学实验教学改革多集中于实验内容、形式及方法等单一层面的创新,线上实验还处于探索阶段,尚未形成系统、全面的线上线下深度融合、多平台互为补充的混合式实验教学体系。实验课程精品化程度低,课程建设思路不清晰,混合式教学手段缺乏,改革成效与理论教学相比仍有较大差距。对国内多所高校的土力学实验教学现状和存在问题进行深入分析,在现有混合式教学模式的基础上,系统性地提出线上线下混合,课前课后多阶段贯穿,虚拟仿真、数值模拟与实验教学深度融合的“多元混合式”土力学实验课程改革方案,取得了很好的初期效果。

一、土力学实验教学现状及主要问题

土力学实验是开展岩土工程勘察的工作内容之一,实验所测定的土体物理力学性质参数是岩土工程设计与施工的基本技术指标,具有很强的工程实践性,给实验教学带来了较大困难。从大多数高校土力学课程发展现状来看,实验教学在整个课程体系建设中仍处于比较薄弱的环节。

(一)土力学实验教学内容

土力学实验内容以《土工试验技术手册》[11]为指导,与土力学理论知识体系相对应,设置密度试验、含水率试验、颗粒分析试验、液塑限试验、渗透试验、压缩试验、击实试验和三轴试验等。对国内 13 所高校的土力学课程实验内容进行调研,具体开设实验项目情况如表 1 所示。

根据调研结果,以上高校开设的土力学课程实验均以室内土工试验为主,课内学时数大多为 8~12 学时,涉及强度、变形试验的开设率最高,击实试验和渗透试验在较多学校未开设,模型试验、原位试验、虚拟仿真试验和数值试验的开设相对较少。其中,清华大学进行了静力触探、动力触探、十字板剪切、旁压试验的原位试验演示;西南交通大学分专业模块开设了地基压板试验和静力触探试验,并建立了依托虚拟仿真技术的三轴试验;河海大学开设了模型槽试验、室内渗透试验等模型试验;福州大学开设了包括渗流、压缩、剪切在内的有限元仿真试验,均取得了良好的教学效果。

表 1　国内高校土力学课程实验开设情况

学校名称	密度试验	含水率试验	颗粒分析试验	液塑限试验	渗透试验	压缩试验	直剪试验	三轴试验	击实试验
清华大学	√	√	√	√		√	√	√	
重庆大学	√	√	√	√		√	√	√	√
同济大学	√	√	√	√		√	√	√	
哈尔滨工业大学				√	√	√		√	
河海大学			√	√	√	√	√		
西安建筑科技大学						√	√	√	
广西科技大学	√	√		√		√	√	√	
长安大学				√		√	√		√
天津城建大学		√		√		√	√	√	√
内蒙古工业大学			√	√		√	√		√
福州大学				√		√	√	√	
中国矿业大学	√	√	√		√	√	√	√	
西南交通大学	√	√	√	√	√	√	√	√	

(二)土力学实验性质

从实验性质角度,可将实验项目分为验证性、综合性、设计性和创新性实验,其中教育部将后三类简称为“三性”实验。验证性实验主要以培养学生的土工实验仪器操作技能、加深对已知原理的认知为目的[9]。而综合性实验通常由几个独立的相关实验组成,更有利于学生串联各部分理论知识和实验方法,以提高解决实际问题和科学研究的能力[12]。设计性实验和创新性实验则对学生提出了更高的要求,设计性实验旨在培养学生根据实验目标自行设计实验和分析处理实验结果的能力,创新性实验则注重对问题的深入探索,更强调创新能力和科研意识的培养。

随着教育部对“三性” 实验课程建设的推动,土力学实验已基本完成了由验证性向综合性的转变,而设计性和创新性实验建设还需进一步加强。目前开设的实验项目中,液塑限试验、压缩试验、直剪试验、三轴试验、击实试验均属于综合性实验,占比达到 70%以上。设计性实验和创新性实验的开设率相对较低,主要以课内选做或课外开放性实验的形式开展,如中国矿业大学、河海大学等。

(三)土力学实验现存的主要问题

随着土力学实验教学改革与实践的深入,实验室条件落后、实验师资力量薄弱[10]的问题已经得到明显改善,矛盾由初级向更深层次转变,仍待解决的问题主要有以下几个方面。

1.“以产出为导向,以学生为中心”的教学理念贯彻不充分

所开设的实验项目难以有效提高学生解决实际工程问题的能力,不利于学生工程能力的培养,“以产出为导向”的培养目标未得到充分体现。同时,实验教学仍停留在注重“教师的教”而非“学生的学”,导致教师教得费力而没有成效,学生学得被动且收获甚微。由于实验条件的限制,学生进行土力学实验时通常以小组为单位进行(每组约 3~5 人),难以做到人人动手、步步深入,实验主要以教师演示、学生模仿的形式展开,学生缺乏思考,整个教学过程缺乏“以学生为中心”的理念。

2. 工程实践性欠缺

实验项目往往缺乏工程背景的引导,学生不清楚实验成果的工程意义,不理解该实验能解决何

种工程问题,具有较强工程实践性的模型试验、原位试验开设较少。其中,原位试验易受场地、设备和安全等诸多因素的限制,而模型试验可以将实际工程按科学方法进行缩尺研究,以便于在实验室内开展,使所受约束减小。模型试验通常依托于教学人员自行设计的具有特定功能的实验装置,兼具“三性”特点,难度更大、耗时更长,对实验教师提出了更高要求,从而导致开设率较低,制约了学生工程能力的提升。

3. 实验教学时间不足

由于土力学实验的复杂性,课程时间不足一直是较为突出的问题。随着“三性”实验的增多,学习难度随之增加,原有教学学时数更难以保证实验的开展。为在规定时间内完成实验,指导教师常常跳过实验原理只讲授操作步骤,学生机械式操作仪器,缺乏对研究问题的思考,从而导致实验效果大打折扣,“三性”目标形同虚设。由于总学时数的限制,直接增加课内实验学时数难度较大,需要探索新的方式以实现对实验时间的拓展。

4. 实验教学形式与手段单一

目前土力学实验授课方式主要为传统讲述式和演示式,缺乏对多元化教学资源的利用和教学形式的探索,虽然微课、慕课、翻转课堂等新兴教学模式,以及 3D 网络环境、虚拟仿真、人工智能等多种信息化教学资源发展迅速,但在实验教学中的应用尚未广泛、深入。已有部分高校建立土力学实验虚拟仿真平台,但技术方大多不具备专业背景,且建设经费有限,导致虚拟实验中人机交互能力不足,且不具备分析和计算能力,只是加强版演示动画,难以真正达到加强理论学习和工程实践能力的目标。

5. 实验考核评定体系不健全

现行的实验考核评定体系无法真实量化学生知识掌握与能力提升的过程。土力学实验一般根据实验操作和实验报告来评定成绩,实验操作通常分组开展,难以完全判断学生的个体表现,且实验报告同质化严重,无法真实反映学生处理数据和分析问题的情况,该部分评分受教师主观判断影响较大。该实验考核体系导致成绩评定的偏差,难以激发学生的学习激情与投入度,从而制约学生创新思维的形成。

二、多元混合式土力学实验课程改革

学校土力学课程已经建成西南大学精品在线课程和重庆市线上线下混合式一流课程,在教学方法改革、混合式教学设计、课程资源建设与应用方面奠定了良好基础。教学团队将在此基础上,加大推进土力学实验课程的改革与创新。

(一)健全实验课程体系

打造线上线下双通道学习渠道,多维度扩展学生实验学习场所与时间,构建思政引领—理论引入—实验主导—实践拓展—科研引申的“五位一体”土力学实验课程体系,实现实验教学目标全面化、实验项目综合化、教学资源多元化以及课堂实验教学设计化、课后实践工程化、创新科研个性化的课程改革目标,其课程体系示意图如图 1 所示。

开展实验教学同样应注重“坚持把立德树人作为中心环节,把思想政治工作贯穿教育教学全过程,实现全程育人、全方位育人”[13]的教学理念。将家国情怀、工匠精神、求真务实的科学态度、追求创新的学术品质以及灾害防治与环境保护意识等思政元素充分融入实验教学的全过程,发挥思想引领作用。

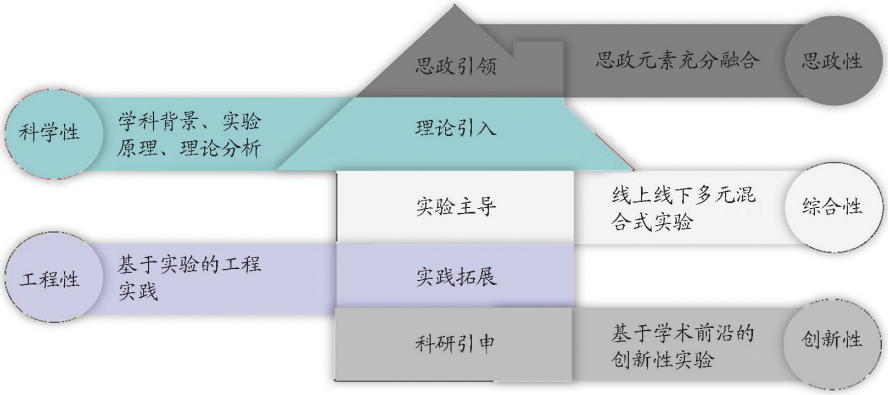

图 1　“五位一体”土力学实验课程体系

(二)创新实验教学形式与手段

建立土力学实验的 MOOC 教学资源,由线下实验转向线上线下混合式教学模式。延伸课内实验,构建课前预实验段、课内主实验段、课后拓展实验段多阶段贯穿的全学习周期。将虚拟仿真、数值模拟与实验教学深度融合,形成多元化、信息化的教学手段,从而使土力学实验课程由室内实验单点式教学模式向多维度、全方位教学模式转变。

除线下常规实验教学外,再创建 3 个教学版块:基于动画与录像的常规实验、基于 VR 的虚拟仿真实验和基于 PFC 的数值模拟实验,学习难度由浅入深,逐级递进。建立超星 MOOC 平台的土力学实验动画与录像资源库,主要用于学生提前在线上进行土力学实验原理的学习,并熟悉各个实验项目的方法和流程,起到预习作用。建立直剪试验、固结试验和三轴试验的虚拟仿真实验资源库,学生可提前在虚拟仿真平台进行学习和操作,全面掌握实验方法和步骤。

目前,学院已建立工程技术智慧教育环境平台,具有虚拟全息 3D 实习实训系统、CAVE 系统、VR 实训实验系统等先进硬件设备,具备成熟完备的技术支撑,其内部环境如图 2 所示。以上两个版块与线下实验充分结合,激发学生的实验兴趣,提升学习效果。

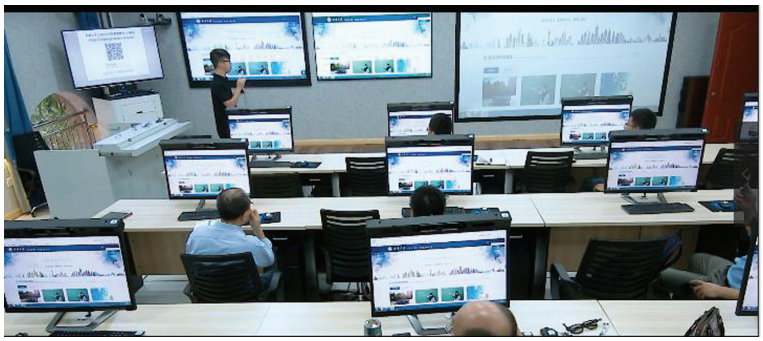

图 2　工程技术智慧教育环境平台

数值模拟实验是一种进阶式训练,即在充分掌握土力学基础理论、实验原理和实验方法的基础上,利用 PFC 中的 fish 语言编制实验程序,最终实现实验的模拟与计算。PFC 是利用显式差分算法和离散元理论开发的力学程序,可从细观结构角度揭示土体的力学特性和行为[14],具有三维可视化功能,从而增加学生做实验的兴趣,并深入认识土体发生变形破坏的内在机理,利用 PFC 构建的土样数值模型[15]如图 3 所示。

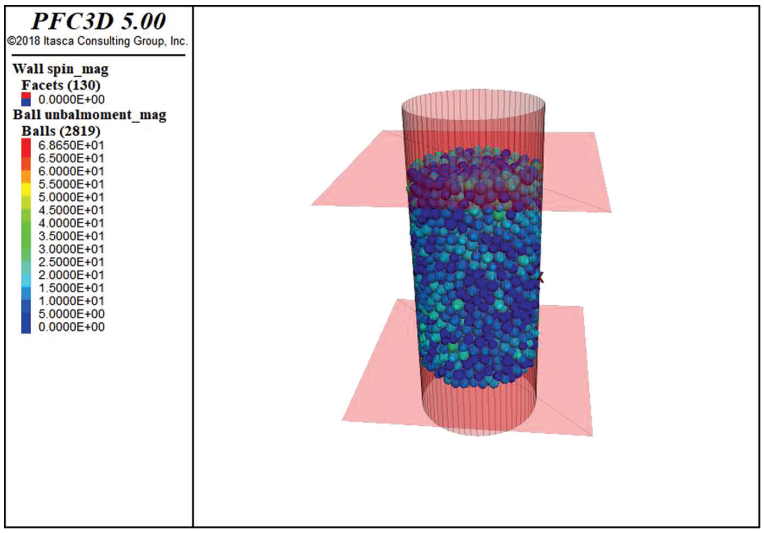

图 3 PFC 数值模型

(三)完善实验项目设计

充分考虑实验内容质量与学时数要求,对原有实验项目进行整合与创新,建立特色实验课程体系。新增了 2 项设计性实验和 2 项创新性实验,使实验课程的“三性”率达到 100%,具体内容如表 2 所示。其中,土的基本物理性质试验将并入综合性实验(实验 3~实验 5),土的渗透试验在创新实验(实验 9)中开展,均不单独开设。实验 6 和实验 7 任选其一在课内完成,实验 8~实验 10 作为拓展实验供学生在课后选修。同时分实验项目进行了多种教学形式的融合,以此充分调动学生的积极性,挖掘科研潜力,全面提高综合素质。

表 2 土力学实验项目与信息

编号	实验名称	实验性质	教学形式	实验要求
1	颗粒分析试验	综合	线下实验+MOOC	必做
2	液塑限试验	综合	线下实验+MOOC	必做
3	压缩试验	综合	线下实验+MOOC+虚拟仿真	必做
4	直剪试验	综合	线下实验+MOOC+虚拟仿真	必做
5	三轴试验	综合	线下实验+MOOC+虚拟仿真	必做
6	轻型圆锥动力触探试验	综合	线下实验+MOOC	课内选做
7	基于 PFC 的常规三轴压缩试验	设计	数值模拟	课内选做
8	基于 PFC 的边坡稳定性分析	设计	数值模拟	课后选做
9	紫色土干湿循环下的性能试验	创新	线下实验	课后选做
10	紫色土边坡降雨侵蚀模型试验	创新	线下实验	课后选做

(四)优化实验考核机制

对学生实验成绩进行合理评价是整个课程体系能否顺利运行的重要因素。从线上学习、实验操作、实验报告、拓展实验 4 个方面出发,考虑“量”和“效”两个维度,制定全面合理的实验考核机制,避免主观性、片面性的成绩评价。MOOC 和 VR 实验为线上学习,占比 10%,根据学习时长和预习报告进行成绩评定。实验操作和实验报告为线下课程学习,占比 75%,根据实验参与度、操作表现、实验完成效果、实验数据及处理等多方面进行评价。拓展实验成绩根据完成情况评分,各部分分数占比如图 4 所示。

三、课程改革成效

(一)课程资源建设

为弥补传统实验教学的不足,从思政性、科学性、工程性、前沿性等方面重构课程,实现了课程内容的改革与创新。在此基础上已建成超星 MOOC 平台和学银在线“土力学”线上教学资源,丰富了教学大纲、教学课件、实验指导书、工程案例等,形成了完整的网上教学资源库,其中包括学生自主学习讲授视频 40 个,总时长 513 min,非视频资源 90 个,含多个实验教学资源。同时,开发了具有综合性、设计性和创新性的土力学实验项目 4 项,锻炼学生的实验操作能力、创新能力和工程能力。

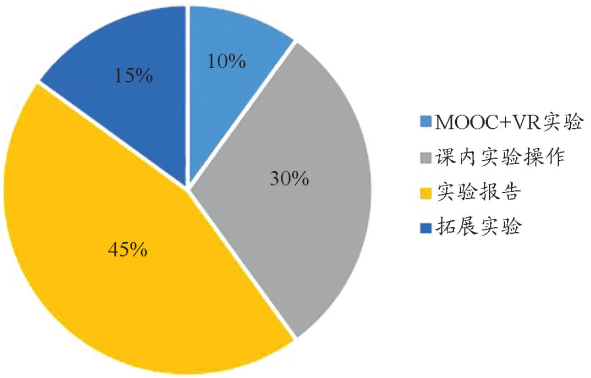

图 4　土力学实验成绩占比

(二)课程成绩

为验证课程改革效果,在 2018 级土木工程专业选择了部分班级进行课程改革试点。改革实践说明,线上学习有效弥补了线下课时的不足,通过线上实验学习和讨论,激发了学生的学习兴趣,学生积极性显著提高,线下实验课堂氛围明显改善,学习效果提升。对比 2017 级与 2018 级土力学课程成绩(图 5),课程改革后的平均实验分数稍有降低,主要原因是新的实验课程体系在高阶性、创新性、挑战度等方面都明显提高,学习难度显著增大,加之考核机制的调整,学生获得较高成绩的难度相应提高。试点班级的平均实验分数仍保持在较高水平,学生的实际实验能力有所提高。土力学总成绩较课程改革前提升了 12.8%,说明改革后的实验教学模式激发了学生对整个土力学知识体系的学习兴趣,对学习能力的提升效果明显。

(三)学生评价

改革后的土力学实验课程得到了学生的广泛认可,评教满意度达到 93.9 分。多元化的教学模式给学生创造了更为灵活自主的学习环境和沉浸式的学习体验,不仅可增强学习积极性,还可充分满足学习需求,增强师生互动,全面提升学生综合实验能力。

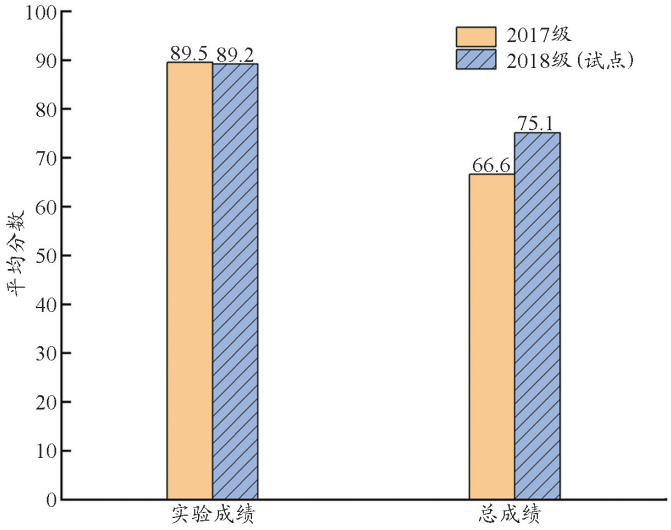

图 5　土力学课程成绩

四、结语

土力学实验在土力学课程体系中占据重要地位,在加深理论理解、锻炼实验能力、激发创新精神和培养工程意识等方面有不可替代的作用。通过线上线下混合,课前课后多阶段贯穿,数值模拟、虚拟仿真与实验教学深度融合的多元混合式土力学实验课程建设方案,系统性地对实验课程体系和教学模式进行改革和创新,切实提高了实验教学效果,充分扩展学生的学科视野,激发学生的工程实践兴趣,提升学生的创新能力。但目前的改革实践仍不够全面和彻底,还需进一步推动课程建设,形成独立、完善的土力学线上实验教学资源和线下创新实验平台,加强配套实验教材建设,以适应课程内容更新和行业发展的新需求,逐步加强课程改革成果在其他高校的推广和应用,从而为培养多元化、创新型土木工程人才提供有力保障。

参考文献:

[1]沈扬,吴佳伟,芮笑曦. 基于“金课”建设的河海大学土力学在线开放课程建设实践与思考[J]. 高等建筑教育,2020,29(1):24-30.

[2]张晓德,王述红,郝玉玲,等. 土力学课程实验教学改革与实践[J]. 实验室科学,2020,23(3):133-135.

[3]赵明华. 土力学与基础工程[M]. 4 版. 武汉:武汉理工大学出版社,2014.

[4]樊猛,丁点点,王芳. PFC 在土力学三轴试验教学中的应用探索[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版),2020,20(1):26-30.

[5]唐波,黄力,袁发庭,等. 新工科建设下的专业课程实验教学模式改革[J]. 实验技术与管理,2019,36(5):235-238.

[6]新时代高等教育的变革与创新——专访教育部高教司司长吴岩[J]. 中国新闻传播研究,2019(1):67-75.

[7]梁桥,邹洪波,刘杰. 线上线下混合式教学改革实践——以“土力学与地基基础”课程为例[J]. 教育教学论坛,2021(11):69-72.

[8]沈扬,葛冬冬,陶明安,等. 土力学原理可视化演示模型实验系统的研究[J]. 力学与实践,2014,36(5):663-666.

[9]张艳美,栾雅琳,王斌. 基于能力培养的土力学综合性实验设计与实践[J]. 实验技术与管理,2018,35(3):206-208,212.

[10]刘艳,郭恒宁,徐明,等.基于虚拟仿真等方法的土力学实验教学改革[J].实验室科学,2017,20(3):105-107.

[11]南京水利科学研究院土工研究所.土工试验技术手册[M].北京:人民交通出版社,2003.

[12]曾召田,牟春梅,朱银红,等.工程教育专业认证背景下土木工程专业岩土实验教学新体系构建的必要性分析[J].教育教学论坛,2019(14):129-130.

[13]李慧,施珺,陈艳艳,等.线上线下混合式一流课程建设的探索与实践[J].计算机教育,2021(7):183-187.

[14]孟陆波,陈海清,李天斌,等.PFC数值模拟方法在岩石力学实验教学中的应用[J].实验技术与管理,2018,35(7):178-180,220.

[15]石崇等.颗粒流(PFC5.0)数值模拟技术及应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.

Research on teaching reform of soil mechanics experiment with multi-element mixed mode

LI Anjun, WANG Shiji, LI Xian

(*College of Engineering and Technology*, *Southwest University*, *Chongqing 400715*, *P. R. China*)

Abstract: Soil mechanics experiment is an important part of soil mechanics curriculum system, and it plays a unique role in deepening theoretical understanding, training ability of experimental, stimulating innovation ability and cultivating engineering consciousness. Based on the investigation and in-depth analysis of the current situation and existing problems of soil mechanics experiment teaching in many colleges, the paper systematically proposes the teaching reform scheme of soil mechanics experiment including the combination of online and offline, multi-stage before and after classes, and a deep integration of virtual simulation, numerical simulation and experimental teaching. The reform plan for experimental teaching of soil mechanics is elaborated in detail: the construction of a "five-in-one" soil mechanics experimental curriculum system, relying on MOOC, experimental space, PFC and other information teaching methods to create online and offline dual-channel, multi-dimensional learning space, develop design and innovative experimental projects, formulate "quantity" and "efficiency" parallel assessment mechanism, fully stimulate students' learning interest, tap scientific research potential, improve engineering ability, and significantly improve teaching satisfaction. In this way, the process of building a national first-class curriculum of soil mechanics in Southwest University will be promoted, and it will provide reference for the reform and innovation of the teaching of soil mechanics experimental.

Key words: soil mechanics experiment; teaching reform; multi-element mixed mode; course system; assessment mechanism

(责任编辑　周　沫)