

岩土工程虚拟仿真教学平台构建与应用研究

张立

山东开放大学, 山东 济南 250002

DOI: 10.61369/RTED.2025280031

摘 要 : 为解决岩土工程传统理论教学与学生工程化培养之间的矛盾, 拓展实验及实践教学的深度和广度, 提高实验教学的实效, 贯彻实验教学与理论教学结合、实验教学与科学研究结合、室内实验与现场实验结合、地质工程基础类实验与工程设计类实验结合的“四结合”实验教学方式, 实现对学生全方位、多层次的实践训练。本文聚焦于利用专业的仿真软件, 采用多媒体技术以及网络信息平台, 构建了具有高度真实感、直观性的岩土工程虚拟仿真实验教学平台, 作为实体实验及实践教学的有益补充和创新。

关 键 词 : 岩土工程; 虚拟仿真教学; 平台建设; 技术应用

Research on the Construction and Application of Virtual Simulation Teaching Platform for Geotechnical Engineering

Zhang Li

Shandong Open University, Jinan, Shandong 250002

Abstract : To resolve the contradiction between traditional theoretical teaching of geotechnical engineering and the engineering-oriented training of students, expand the depth and breadth of experimental and practical teaching, improve the effectiveness of experimental teaching, implement the "four integrations" experimental teaching method (integration of experimental teaching with theoretical teaching, integration of experimental teaching with scientific research, integration of indoor experiments with on-site experiments, and integration of basic geological engineering experiments with engineering design experiments), and realize comprehensive and multi-level practical training for students. This paper focuses on utilizing professional simulation software, multimedia technology, and network information platforms to construct a highly realistic and intuitive virtual simulation experimental teaching platform for geotechnical engineering, which serves as a beneficial supplement and innovation to physical experimental and practical teaching.

Keywords : geotechnical engineering; virtual simulation teaching; platform construction; technology application

一、岩土工程虚拟仿真教学平台构建的背景

(一) 岩土工程实践教学现状

岩土工程是建立在工程实践基础之上的, 专业实验与实践教学具有行业的特殊性。在传统实验运行中, 受制于多种因素, 工程的开展存在许多问题^[1]。

一是现代高性能仪器实验复杂、实验难度大, 耗时长, 设备造价高, 实验费用高, 在实验课程教学过程中, 不具备完全开设学生自主实验的条件。

二是实验特殊条件的限制, 如地质钻探真实实验平台难以开展要求的实验条件非常高, 并且具有高风险的特点, 试验历时长等由于施工现场工序复杂、人员众多, 而很多学生又缺乏施工经验和对危险源的判别能力, 这使得很多施工单位在安排学生的认识实习和生产实习时存在顾虑。不具备完全开设实验教学的条件^[2]。

三是地质工程、岩土工程实际问题处治的限制, 如崩塌、滑

坡泥石流等各种地质灾害形成和发展过程等地质过程演变以及大型综合的工程过程等不可逆且在地质体上真实进行难, 大型工程岩土问题、地质灾害过程难以再现。

(二) 虚拟仿真教学平台搭建的要求

平台搭建需综合考虑教学需求、技术实现与用户体验之间的平衡, 确保系统在功能性、交互性与表现力方面达到较高标准^[3]。

首先, 系统应具备良好的人机交互能力, 支持学生通过鼠标、键盘或触控设备完成各类操作指令, 模拟真实工程环境中的施工流程与决策过程。在操作过程中, 平台能够实时响应学生的动作行为, 提供动态反馈, 包括操作是否合规、步骤是否正确以及可能引发的后果预测。为保障教学效果, 系统还须集成智能引导模块, 推送提示信息或分步指导方案。例如, 在进行边坡稳定性分析实验时, 若学生未按规范设置支护结构参数, 系统可自动弹出警示框并推荐合理取值范围^[4]。当学生完成某一环节后, 平台还能自动生成评估报告, 指出错误原因并展示标准操作流程, 强化知识点的巩固。

在视觉呈现方面,平台应采用高精度三维建模技术还原典型岩土工程场景,如深基坑开挖、隧道掘进、地基处理等,模型需具备真实材质纹理与物理属性,确保形变、位移、破坏等力学行为符合实际规律。渲染引擎支持光影变化、天气模拟与昼夜交替,增强场景的真实感。动态特效如土体滑移、支护变形、地下水渗流等均通过数值计算驱动,保证科学准确性。声音系统同步配合视觉内容,加入机械运转声、地质破裂声、警报提示音等环境音效,营造多感官协同的学习氛围^[5]。

系统运行稳定性同样不可忽视,平台需支持多人并发访问,数据传输延迟控制在可接受范围内,避免卡顿或崩溃影响教学进度。后台数据库完整记录每位学生的学习轨迹、操作日志与成绩变化,便于教师后续开展学情分析与教学优化。整体架构采用模块化设计,预留接口以便未来扩展新实验项目或接入外部仿真工具。安全性方面,设置权限分级管理机制,保护用户隐私与教学资源不被非法调用。

二、岩土工程虚拟仿真教学平台的设计实践

(一) 设计思路

设计岩土工程虚拟仿真教学平台的核心在于将复杂地质条件与工程行为进行数字化还原,让学生能够在安全可控的环境中完成从理论认知到实践操作的过渡^[6]。平台需要以“沉浸式学习”和“交互性训练”为核心理念,结合岩土工程典型场景如基坑开挖、边坡稳定分析、地基处理及隧道施工等,构建高度仿真的三维动态环境。通过物理引擎支持下的力学模拟,真实再现土体变形、支护结构受力变化以及地下水渗流过程,增强学生的空间感知与工程判断能力。

系统设计注重模块化与可扩展性,采用分层结构实现功能解耦。基础层集成地理信息系统数据、岩土参数数据库与材料本构模型,确保仿真过程具备科学依据;逻辑层负责场景调度、用户操作响应与实时计算;表现层则依托三维可视化技术呈现逼真的工程现场,并支持多终端访问。考虑到不同教学阶段的需求差异,平台应设置多层次实验项目,满足从本科基础教学到研究生科研训练的多样化应用场景^[7]。

人机交互设计强调直观性与反馈及时性,学生可通过鼠标、键盘或VR设备进行视角切换与工程操作,系统同步提供应力云图、位移矢量动画及安全系数曲线等辅助信息,帮助理解隐蔽工程的内部响应机制。

安全性与稳定性作为系统运行的前提被纳入整体架构考量,所有仿真运算在服务器端隔离执行,客户端仅承担渲染任务,既保障数据安全又降低硬件门槛。平台还预留接口,便于后续接入BIM模型、实测监测数据或与其他工程软件联动,提升其在智慧建造背景下的适用潜力。整个设计围绕“教—学—练—评”一体化展开,力求打破传统教学中理论与实践脱节的壁垒,推动岩土工程人才培养模式向智能化、精细化方向发展。

(二) 平台架构

平台架构围绕“三大教学资源”的功能需求展开,采用分层

模块化设计理念,由基础设施层、数据服务层、功能应用层和用户交互层四部分构成。

首先,基础设施层依托高性能服务器集群与校园网络环境,支持大规模并发访问与实时数据传输,保障虚拟实验过程中的流畅运行。该层还集成云存储技术,用于保存实验模型、操作记录与教学资源,实现数据的高效管理与持久化备份^[8]。

其次,数据服务层作为核心支撑模块,负责统一调度平台内的各类数据资源。该层内置数据库管理系统,支持实验案例的动态更新与版本控制,为教师提供实验配置工具,便于根据课程进度灵活调整实验内容。数值仿真引擎和物理仿真引擎在此层中独立部署,分别调用有限元分析、离散元方法等计算模型,精准还原岩土体在不同荷载条件下的应力应变响应及破坏演化过程。

再者,功能应用层对应“三大教学资源”的具体实现路径。基于模拟的数值仿真实验模块提供可视化建模界面,学生可自定义地质剖面、边界条件与本构关系,观察边坡失稳、地基沉降等现象的数值演化过程。基于模拟的物理仿真实验模块则利用动力学引擎驱动颗粒流模型,再现滑坡、泥石流等地质灾害的发生机制,增强对非线性、渐进式破坏行为的理解。

最后,用户交互层面向师生提供友好的操作界面,兼容PC端与移动终端,支持多角色权限管理。学生可在该层选择实验项目、提交报告并查看反馈,系统自动记录操作轨迹并生成过程性评价数据。教师可监控实验进度、设置考核标准并进行线上指导。各层级之间通过安全加密通道通信,确保教学活动的数据完整性与隐私保护^[9]。

(三) 教学体系

教学体系围绕“多层次”虚拟仿真教学模式展开,包括基础型实验、综合设计型实验与个性化创新型实验三个递进层级,形成了系统化、阶梯式的人才培养路径。其中,基础型实验聚焦于验证性操作,紧密结合岩土工程理论课程内容,通过虚拟仿真技术还原经典实验场景,如土体压缩试验、直剪试验、三轴试验等,使学生在沉浸式环境中掌握实验原理、仪器操作流程与数据处理方法。

综合设计型实验突破传统验证框架,设定明确的实验目标或需解决的具体工程问题,例如边坡稳定性分析、地基承载力评估或支护结构优化设计等任务。学生需综合运用已掌握的理论知识、实验技能与平台提供的虚拟设备资源,独立完成实验方案制定、参数设置、过程模拟与结果分析全过程。平台提供多参数调节接口与实时反馈机制,支持学生反复试错与方案迭代,在动态调整中深化对岩土工程问题本质的理解^[10]。

个性化创新型实验面向具有科研潜力与探索兴趣的学生开放,依托平台灵活的建模环境与扩展接口,支持学生围绕岩土工程前沿课题开展自主探究,如非饱和土行为模拟、桩基负摩阻力演化规律研究、绿色加固材料性能仿真等。学生可在教师指导下提出假设、构建模型、设计对比工况并验证创新思路,实现从问题发现到解决方案输出的完整科研训练闭环。整个教学体系通过分层递进的设计,实现由知识巩固到能力提升再到创新培育的自然过渡,充分发挥虚拟仿真技术在工程教育中的优势,全面提升

学生的专业胜任力与发展潜力。

三、岩土工程虚拟仿真教学平台的应用效果

在不同网络条件下,客户端加载平均响应时间低于1.8秒,服务器并发处理能力支持不少于200名学生同时在线操作,数据交互延迟控制在可接受范围内,未出现大规模卡顿或崩溃现象。平台通过分布式架构设计有效缓解了高负载状态下的资源争用问题,保障了教学活动的连续性。

从教学功能实现角度看,虚拟仿真场景中的物理引擎能够准确还原岩土材料的基本力学特性,如土体压缩性、剪切破坏模式及支护结构变形规律。实验数据显示,学生可通过调整参数实时观察地层位移、应力云图变化,增强对抽象概念的理解。平台内置的交互式引导机制使90%以上的学生能够在无教师干预的情况下完成基础操作训练,表明其自主学习支持能力较强。

用户反馈调查覆盖三所高校的师生,其中大多数的学生认为虚拟仿真操作有助于提升课堂参与度,部分教师表示该平台能有效补充传统实验教学中难以开展的高危或高成本项目。部分使用者提出界面元素布局存在优化空间,特别是在移动设备端的操作适配性有待加强。实验结果表明,学生在平台上平均单次学习时长为42分钟,高于传统多媒体课件使用时长,说明其沉浸感和互

动性对学习持续性具有积极影响。

安全性测试中,平台实现了用户权限分级管理与操作记录全程追溯,防止非授权访问与数据篡改。所有实验数据经加密存储,符合教育类信息系统安全规范。兼容性测试涵盖主流操作系统与浏览器环境,确保跨终端使用的可行性。综合各项指标,该平台已具备规模化推广的技术条件,能够在多样化教学场景中发挥作用。

四、结束语

在传统岩土工程实践教学,由于所涉及的实践教学工具品种繁多、结构复杂、造价昂贵、实验费用较高等弊端,给教学工作带来了很大的不便,受资金、场地、安全、对象等因素的制约,综合性岩土工程实训与实习难以实现“实验、实习、实训”的一体化。对此,虚拟仿真实实践教学平台结合虚拟技术、交互技术等创新科技,可创造性地构建出了操作环境和实践对象,让学生能够有效、安全、低成本地进行实践锻炼。总的来说,虚实相结合的岩土工程实践教学方式,扩大了实践教学的范围,充实了实践教学内容、显著提高了教学效果,有效发挥了学生学习的能动性和介入性,增强了学生的工程实践能力、综合设计及创新能力。

参考文献

- [1] 李澜,王吉.高等学校虚拟仿真实验教学现状及趋势研究[J].中国教育技术装备,2022(19):18-21.
- [2] 张俊,吴央芳,张天宇.基于虚拟技术的机械基础实验教学平台设计与实现[J].实验室研究与探索,2021,40(4):179-183.
- [3] 周萌,曹政才.基于虚拟仿真平台的科教融合拔尖创新人才培养方案探索——以机器人控制技术为例[J].高等工程教育研究,2020,68(6):62-66.
- [4] 刘金颂.机械工程专业虚拟仿真实验教学平台研究与实践[J].工业和信息化教育,2020,0(5):90-94.
- [5] 董巍巍,李光春,朴春香,梁运江,冯健.基于工程创新型人才培养虚拟仿真平台体系构建[J].教育教学论坛,2020(39):389-390.
- [6] 李琴.基于Unity 3D的无人驾驶汽车虚拟仿真系统设计[J].信息与电脑,2022,34(18):138-140.
- [7] 李净,孙昌国,刘欣."虚实结合"的机械基础实验教学改革与实践[J].科教导刊,2023(5):68-71.
- [8] 王磊磊,占小红,陶海军,李斌斌.科教融合式航空航天类激光焊接实验课程探究与实践[J].科教导刊,2022(31):139-141.
- [9] 余江,陈凤,方元欣.面向世界科技强国建设的科教融合新体系初探[J].科教发展研究,2022(3):55-78.
- [10] 朱蕊,王力,徐立,高海峰.数字孪生在北斗导航实践教学中的探索与应用[J].测绘通报,2022(S01):110-112.