

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2020.01.021

欢迎按以下格式引用:王培涛,任奋华,蔡美峰.基于虚拟现实和3D打印技术的“虚实结合”教学模式在岩土工程课程中的应用探索[J].高等建筑教育,2020,29(1):156-161.

# 基于虚拟现实和3D打印技术的 “虚实结合”教学模式在岩土 工程课程中的应用探索

王培涛,任奋华,蔡美峰

(北京科技大学 土木与资源工程学院,北京 100083)

**摘要:**岩土工程课程是一门理论与实践紧密结合的课程,教学内容涉及边坡工程、地下工程、工程岩体等复杂“立体式”结构,传统“平面式”教学的效果往往不佳,学生难以具体且形象地掌握边坡或地下等复杂工程的结构特征。针对这一难题,探索结合虚拟场景和3D打印技术的“虚实结合”教学模式和平台建设,并在课程教学中结合岩土工程实例进行实践应用。实践表明:学生在虚拟场景学习岩土工程的复杂结构,有效解决了学生现场考察面临的成本高、周期长、潜在风险高等不利问题,也更能激发学生的学习兴趣。通过3D打印技术,将虚拟场景和数字模型实体化,能培养学生的实际动手能力和创新思维,提高岩土工程类课程的教学质量。在新工科建设要求背景下,也为学生课外创新性试验等活动提供了平台,有利于教研相长和师生的良性互动。

**关键词:**岩土工程;虚拟现实;3D打印;立体教学;“虚实结合”教学

**中图分类号:**G642.0;TU45

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2020)01-0156-06

岩土工程是理论和实践结合得非常紧密的一门学科,其知识覆盖面广,涵盖大坝、边坡、隧道工程及岩土结构与力学等内容。岩土工程课程的实践性较强,但该课程传统教学方式多局限于教材和多媒体的“平面式”讲授方式,学生往往处于被动接收的状态,学习主动性不强,教学效果不理想。此外,组织学生进行现场认识、生产实习,又存在成本高和潜在风险大等不利因素<sup>[1]</sup>。因此,大力推进岩土工程课程教学改革,探索岩土工程空间立体式教学模式具有重要的现实意义。

传统岩土工程专业实践教学模式难以满足专业学习需求的问题已引起众多学者的关注和重视<sup>[2-4]</sup>。古德生院士<sup>[5]</sup>指出,创新岩土工程课程教学方法,协调课程与实践环节,实现教学计划和教

修回日期:2019-04-10

基金项目:北京科技大学2017年度教育教学改革与研究项目(JG2017M03),国家自然科学基金青年基金项目(51604017)

作者简介:王培涛(1987—),男,北京科技大学土木与资源工程学院副教授,博士,主要从事岩土工程稳定性与控制方面的教学与研究,(E-mail) wangpeitao@ustb.edu.cn.

师知识体系的有机交融,这为岩土工程课程教学模式的探索指明了思路和方向,同时也为目前新工科建设和创新人才培养模式提供了方法和方案。

随着计算机建模和仿真技术的发展,虚拟现实技术(Virtual Reality)逐渐成熟,由于其能达到真实的感官效果,成本又大大降低,因此在教学中被广泛应用<sup>[6-11]</sup>。虚拟现实技术,即将实际工程勘测素材融合于计算机建模中,最终进行计算机演示的技术。近年相关学者对虚拟现实技术在课程教学中的应用做了大量探索性研究,李连崇等<sup>[1]</sup>建立了虚拟现实与数值模拟技术结合的教学平台,在课程学习中学生能够体验深部井巷模型,并动手建立岩体力学模型,以提高学生处理真实环境中实际工程问题的能力。顾晓薇等<sup>[12]</sup>在采矿工程课程教学中,探索采用虚拟现实仿真系统开展边坡境界优化设计教学,引导学生通过操作用户友好交互界面开展边坡设计,包括开采、推进计划、长期规划和境界优化等,提高了学生的学习兴趣,同时也为学生课程考核提供了一项重要指标。杨建华等<sup>[13]</sup>基于“科教融合”虚拟仿真教学理念,采用虚拟仿真技术,将工程实践和科研成果转化为水利工程专业的教学内容,引导学生自主动手配置、调用虚拟设备,模拟土石开挖、大坝浇注,虚拟操作电厂设备,强化了学生对理论知识的理解,大大提高了学生的实践创新能力。虚拟现实技术为岩土工程学科的教育教学提供了有效的方法和平台,同时也对教学工作者提出了更高的要求。教师需要更加熟练地应用虚拟仿真平台,并具有大量的现场工作经验,掌握大量的科研素材,这是将虚拟技术应用到实践教学的前提。

虚拟现实技术能够为岩土工程专业教学提供虚拟的平台,而3D打印(3D printing)技术能够将数字仿真模型实体化,为课堂教学直接提供丰富和直观的辅助教学模型,在科研和教学中倍受学者关注<sup>[14-20]</sup>。李阳等<sup>[21]</sup>探索将3D打印技术应用到采矿工程课程教学中,将传统的二维采矿剖面模型转化为三维立体模型,并通过打印制备可自由组装的3D实体打印模型,加深学生对矿山模型结构、原理的理解,为三维空间想象能力较差的学生提供直观认识。谭跃刚等<sup>[22]</sup>主要研究3D打印技术在创新教学模式中的应用,认为3D打印模式构建了知识与技能、理论与实践之间的桥梁,采用该技术能够使学生更快更准确地掌握专业知识,并锻炼学生的创新思维,提升学生的独立思考能力。目前3D打印技术在我国迅速发展,很多桌面级打印设备价格相对低廉,为在课堂教学应用和未来普及提供了可能。此外,采用虚拟现实技术和3D打印模型相结合的教学方式,将平面数字模型转化为立体实体模型,能够让学生更加直观地了解岩土工程的复杂结构,了解现实中不可视的应力场、渗流场、位移场等信息,极大地促进了学生对知识的吸收和消化,最终达到岩土工程课程教学目的。目前,3D打印技术在机械工业、医疗、食品、建筑等各个领域都有所应用,在岩土工程课程教学中的应用及其经验还不多,如何将复杂的岩土勘察和科研成果与课堂教学有机结合,切实培养学生的动手实践能力,亟待科研工作者进一步的探索研究。

立足“培养基础扎实、专业面宽、具有实践能力和创新精神的应用研究型工程技术人才”这一专业定位,本文从岩土工程课程特点出发,探讨将虚拟现实(VR)技术和3D打印技术引入实践教学的必要性和可行性,重点介绍北京科技大学岩体工程专业“虚实结合”的新型教学模式,旨在提高学生课堂学习的主动性,激发学生课程学习的兴趣,提高课程教学效果。

## 一、岩土工程学科特色与内容

北京科技大学1952年由清华大学、天津大学(原北洋大学)等6所国内著名大学的矿冶系组建而成,是首批进入国家“211工程”建设高校和“985工程”优势学科创新平台建设项目试点高校,也是以工为主,工、理、管、文、经、法等多学科协调发展的教育部直属全国重点大学。

北京科技大学岩土工程专业依托土木工程一级学科,师资力量主要由原岩石力学教研室、工程力学教研室、爆破工程教研室、采矿工程教研室和矿物材料研究室部分教师组成,教学内容具有鲜明的矿业特色。学校开设的岩土工程课程是综合性强的专业选修课程,教学内容涵盖面广,学生需要学习了解岩石力学、土力学、地质学、地下工程和边坡工程等各方面的内容,因此,开展岩土工程课程教学需要教师具有大量相关方面的研究基础。笔者长期从事矿山岩体工程稳定性方面的研究工作,先后参与多项岩土工程相关研究课题,建立了大量的岩土工程虚拟现实素材模型,能直接与岩土工程课程教学有机交融,为学生提供更加直观、立体的教学内容。

## 二、“虚实结合”教学模式案例与评价

在岩土工程课程教学中,采用虚拟现实技术和3D打印技术,分别建立岩土工程的“虚”“实”模型。虚拟现实模型可以展现复杂的工程场景,提供虚拟漫游,使学生对岩土工程领域的复杂结构有宏观认识。同时通过3D实体打印,能让学生直接触摸复杂结构模型,全方位了解和认识复杂岩土对象,提升学生对现场复杂地质结构的直观认知,最终实现以“虚”为主、“虚实”相辅相成的岩土工程课程教学。在实际教学中,主要采用教师引导、学生主动参与的教学模式。教学过程主要包括4个模块:复杂岩土地质勘察;计算机数字模型建模和虚拟现实场景构建;3D模型优化及打印;学生与教师之间的互动。

### (一) 节理岩体结构面分布课程内容

现场勘察结果发现,工程岩体中地质构造分布非常复杂(图1),结构面的几何形态丰富多样,大到褶皱<sup>[23]</sup>、断层,小到层理<sup>[24]</sup>、节理、裂隙<sup>[25]</sup>,岩体构造是岩土工程课程中非常重要的内容。在向学生讲授相关知识时,仅借助“平面式”的课本或PPT,学生难以形成空间立体概念,对场景也难以认知。同时,由于该课程教学对象是本科学生,许多学生尚未接触岩石力学、水文地质等方面课程,对岩土工程的一些基本概念缺乏认识。

由于现场岩体结构复杂,高陡边坡、开挖巷道等存在安全风险,往往难以大规模组织学生深入边坡现场勘察岩体结构面分布。尽管有学生完成了地质认识实习课程的学习,由于缺乏全面性和针对性,仅对表面揭露局部或者节理表面迹线有所了解,学生还是难以准确把握结构面类型、形态和空间展布等相关知识。

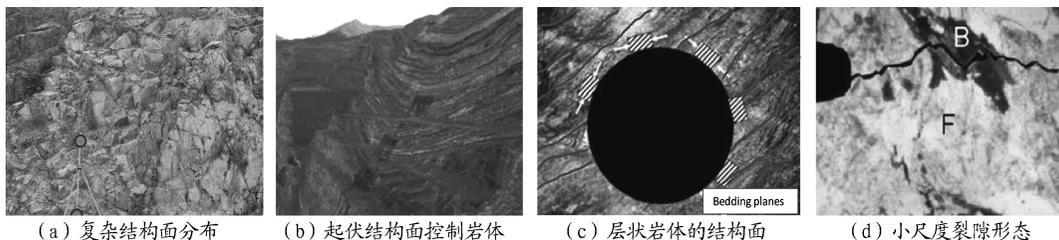


图1 实际现场中粗糙的结构面分布形态

采用虚拟数字模型和3D打印结构面网络“虚实结合”的课堂演示教学,可以有效解决这一难题。图2为岩土工程中复杂结构面分布的虚拟场景演示案例。在岩土工程课程教学中,认识岩体结构面几何产状是一项重要的教学内容。图2(a)为天然岩体中结构面的分布形态,图2(b)为传统教学中对结构面分布的描述。传统教学的描述虽然简洁,能够对结构面组别、迹线长度、倾角等几何信息进行直观介绍,但是缺乏立体感。而虚拟现实模型和3D打印技术相结合,可以在课堂直接将现场结构面进行直观、立体的展示,有利于更形象地讲授岩体结构面的复杂空间分布和几何特征。图2(c)为结构面三维空间展布形态,通过虚拟场景的演示,学生不仅可以认识揭露表面的结构

面分布特征,而且还能够对内部结构面的空间展布特征有所了解。如图2(d)为基于3D打印技术得到的结构面网络实体模型,学生可以通过直接观察了解多组结构面展布特征,以及倾角、迹长等产状信息。实践表明:在岩土工程课程教学过程中,通过“虚实结合”的授课方式能够帮助学生更好地了解 and 掌握相关教学内容,实现课程教学目的。

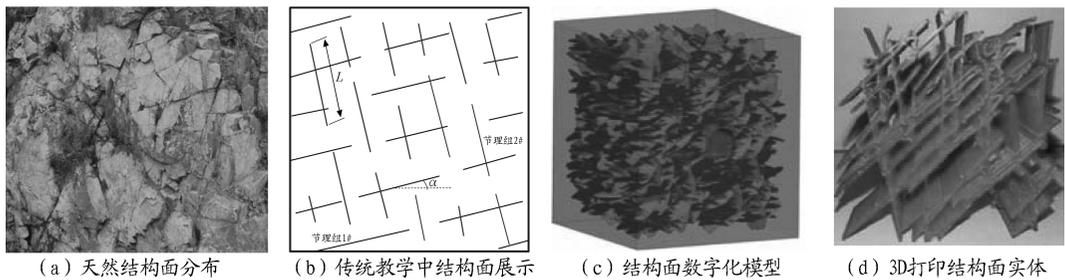


图2 基于“虚实结合”的岩体结构面分布教学案例

## (二) Barton 曲线模型案例

节理的几何和力学特征是岩土工程或岩石力学类课程的重要内容之一,其中 Barton 等<sup>[26]</sup>提到的10条粗糙度 JRC (joint roughness coefficient) 曲线是知识重点。传统课程教学往往基于图3(a)平面曲线进行讲授,学生无法形成形象认识,对 JRC 的重要性和差异性难以理解,尤其对其力学特性不能直观认识。

借助虚拟现实技术,可以将平面式图像进行立体式建模,并通过三维可视化平台进行展示。如图3(b),通过进行三维空间旋转和结构面表面漫游,帮助学生认识不同 JRC 结构面;同时借助3D打印技术将不同 JRC 模型实体化(如图3c),通过观察对比,学生可以从平面知识面直接了解岩体结构面粗糙起伏的形态,进而加深对该知识点的理解。

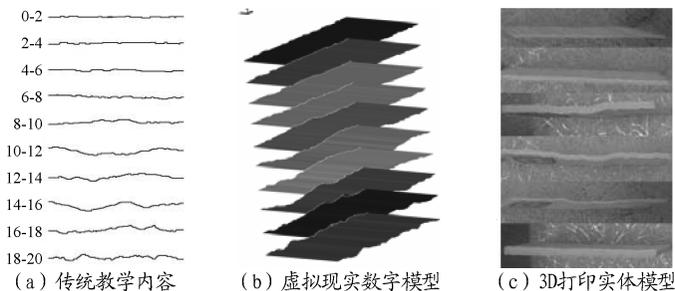


图3 不同粗糙度 JRC 的节理 Barton 曲线几何形态

## (三) 岩土工程三维漫游教学案例

岩土工程专业本科学生尚未进行地质认识实习,对岩土工程中典型的背景工程,如边坡、隧道、大坝等缺乏直观认识,仅仅依靠教材或多媒体投映的“平面式”教授方式,学生难以具体、形象地掌握边坡、地下等复杂工程的结构特征。加上岩土工程一线现场又存在安全风险,学生也无法到现场观摩学习,因此学生感到课程学习难度较大。为此,结合虚拟现实技术,笔者探索了一种将复杂工程进行空间“立体式”展示的教学模式。

首先进行岩土工程类模型的场景建模。模型中既包含“可视”元素,如表面地层、结构等信息,又包含“不可视”元素,如岩体应力场、位移场等信息,以直观、形象、全方位地为学生提供岩土工程课程教学数字化虚拟模型。如图4(a)所示为建立的虚拟现实模型。在开展边坡工程授课时,可直接基于三维模型进行介绍,模型可以实现实体查询、三维漫游和关键知识点展示等功能,学生能够身临其境地学习相关知识,更好地理解学习内容。图4(b)为隧道工程模型,学生同样可以通过三维

漫游在隧道中行走。由于隧道模型基于激光扫描点云构建二次,表面均采用实际照片素材进行贴图,因此能最大限度地还原真实现场的情况,学生能够更加真切地感受地下隧道的复杂围岩表面形态和节理裂隙分布形态。

需要指出的是,建立虚拟场景时,应尽可能多地包含现场勘察素材,以及岩体表面贴图、结构面调查、结构面钻孔测试结果等,使同一虚拟场景包含大量的岩土工程信息,为知识传授提供更方便的平台。

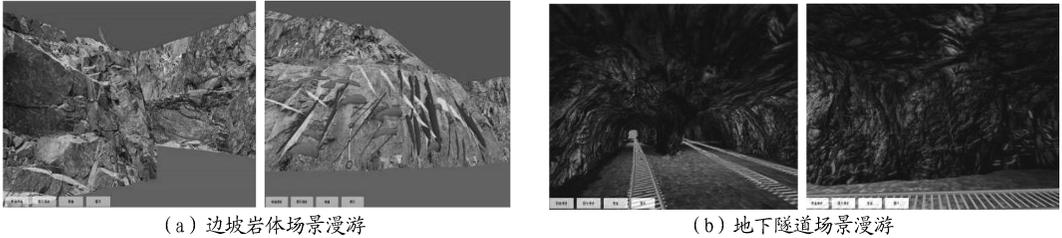


图4 岩体结构面分布虚拟场景

#### (四) 教学效果与评价

采用虚拟场景和3D打印技术,可以将教师科研过程中的岩土工程现场素材与教学内容紧密结合,让学生掌握最前沿的科研手段和信息,以激发学生的学习兴趣。通过3D打印技术将虚拟场景和数字模型实体化,培养学生的实践动手能力和创新思维,大大增强了学生学习的主动性,对岩土工程课程教学的顺利开展起到了极大的推动作用。目前,笔者带领学生开展基于3D打印技术的创新创业训练项目,学生采用建模和打印技术制备桥梁实体模型,开展承载力特性研究,为学生未来的专业工作或科学研究奠定基础。

### 三、结语

为增强岩土工程课程教学的趣味性和实践性,提升学生实践动手能力,进一步提高岩土工程课程教学和人才培养质量,本文基于虚拟现实和3D打印技术,探索空间“立体式”教学方法,创建岩土工程课程“虚实结合”教学新模式。实践表明:采用“虚实结合”的岩土工程课程教学新模式,强化了学生对复杂地质工程的空间认知,提高了学生的创新实践能力。这种教学模式还能为学生创新性试验等活动提供平台,非常有利于学生专业综合素质的培养。

#### 参考文献:

- [1] 李连崇, 梁正召, 夏英杰, 等. 虚拟现实与数值模拟相结合的教学平台建设[J]. 高等建筑教育, 2014, 23(6): 138-141.
- [2] 陈永贵, 王桂尧, 黄生文, 等. 土木工程专业岩土工程实践性教学改革思考[J]. 高等建筑教育, 2009, 18(3): 104-107.
- [3] 张金松, 卜宜顺, 邓雷, 等. 岩土工程方向实践教学环节创新性改革研究[J]. 科技视界, 2017(30): 52-53.
- [4] 邓华锋, 李建林, 刘大翔, 等. 地方高校岩土与地下工程专业的建设 with 思考[J]. 教育教学论坛, 2017(36): 249-251.
- [5] 古德生, 吴超. 采矿与岩土工程复合型高级人才的培养模式实践[J]. 现代大学教育, 2004(3): 102-104.
- [6] 王卫国. 虚拟仿真实验教学中心建设思考与建议[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(12): 5-8.
- [7] 马文顶, 吴作武, 万志军, 等. 采矿工程虚拟仿真实验教学体系建设与实践[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(9): 14-18.
- [8] 王春霞, 姜艳丽, 李义兵, 等. 冶金工程的虚拟仿真实验教学平台系统的研究与实践[J]. 广东化工, 2016, 43(4): 147-148.
- [9] 尹红霞, 王一新, 简新平. 虚拟仿真系统在水电站教学中的应用研究[J]. 高等建筑教育, 2016, 25(2): 171-173.
- [10] 李江, 卢艳丽, 王永欣. 虚拟仿真技术在材料学科实验教学中的应用探索[J]. 教育教学论坛, 2017(27): 267-268.
- [11] 吕文玉, 曾佑富. 虚拟仿真技术在采矿学课程教学中的应用初探[J]. 教育教学论坛, 2018(1): 147-148.
- [12] 顾晓薇, 王青, 杨天鸿, 等. 东北大学采矿工程国家级虚拟仿真实验教学中心建设与实践[J]. 教育教学论坛,

2016(10): 141-143.

- [13] 杨建华,姚池,刘成林,等. 水利工程虚拟仿真实践教学探索[J]. 高等建筑教育, 2017, 26(5): 134-137.
- [14] 田威,裴志茹,韩女. 基于CT扫描与3D打印技术的岩体三维重构及力学特性初探[J]. 岩土力学, 2017, 38(8): 2297-2305.
- [15] 江权,宋磊博. 3D打印技术在岩体物理模型力学试验研究中的应用研究与展望[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(1): 23-37.
- [16] 王培涛,刘雨,章亮,等. 基于3D打印技术的裂隙岩体单轴压缩特性试验初探[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(2): 364-373.
- [17] 杨三艳,李艳. 浅谈3D打印技术在机械类课程教学中的应用[J]. 职业教育研究, 2014(10): 166-168.
- [18] 吴军,于之靖,王涛,等. 基于3D打印技术的机械类课程教学改革[J]. 实验室科学, 2017, 20(5): 72-74.
- [19] 李文雅. 浅析3D打印技术在选矿机械中的应用[J]. 价值工程, 2017, 36(22): 185-186.
- [20] 潘爱琼,张辉,张建强,等. 浅谈3D打印技术在实践教学中的应用[J]. 中国教育技术装备, 2015(14): 58-60.
- [21] 李阳,柳小波,刘芹,等. 浅谈3D打印技术在采矿工程教学中的应用与研究[J]. 教育教学论坛, 2016(31): 256-257.
- [22] 谭跃刚,陈章念,张帆,等. 3D打印创新教学实验室及其应用[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(9): 246-249.
- [23] Stead D, Wolter A. A critical review of rock slope failure mechanisms: The importance of structural geology[J]. Journal of Structural Geology, 2015, 74: 1-23.
- [24] Tien Y M, Kuo M C, Juang C H. An experimental investigation of the failure mechanism of simulated transversely isotropic rocks[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2006, 43(8): 1163-1181.
- [25] Nasser M H B, Grasselli G, Mohanty B. Fracture toughness and fracture roughness in anisotropic granitic rocks[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2010, 43(4): 403-415.
- [26] Barton N, Choubey V. The shear strength of rock joints in theory and practice[J]. Rock Mechanics Felsmechanik mCanique Des Roches, 1977, 10(1/2): 1-54.

## Application of a “virtuality-reality” teaching approach in geotechnical engineering based on the visual reality and 3D printing technology

WANG Peitao, REN Fenhua, CAI Meifeng

(School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, P. R. China)

**Abstract:** Geotechnical engineering (GE) is a discipline with a tight combination of theory and practice. It involves many complex stereometric aspects, such as slope engineering, underground engineering, engineering rock mass. Traditional two-dimensional teaching could not give an efficient introduction. The mentioned contents cannot be easily accepted by the students. To solve the problem, a “virtuality-reality” teaching approach and platform combining the virtual reality and 3D printing technique is proposed and practiced. It is found that the proposed teaching method could stimulate the learning interest of students. Students could learn about the complex structures about GE in an easy and safe circumstance, which solves the negative issues such as high cost, long period and potential danger. By using the 3D printing technique, the teaching quality of GE is effectively improved and the practical ability and innovative thinking of students are also cultivated. The proposed teaching approach can also provide a platform for extra-curricular innovative activities with the requirement of new engineering construction, which makes a better collaboration of teaching and scientific research.

**Key words:** geotechnical engineering; virtual reality; 3D printing; stereo teaching; “virtuality-reality” teaching

(责任编辑 王 宣)