

数智赋能背景下智能建造虚拟仿真实验教学体系的构建与实践

费爱萍

(辽宁科技大学, 辽宁鞍山, 114051)

摘要: 在国家教育数字化战略和新工科建设的双重驱动下, 智能建造领域对高素质复合型人才的需求日益迫切。本文以辽宁科技大学智能建造虚拟仿真实验教学中心为研究对象, 基于建构主义学习理论、体验式学习理论和认知负荷理论, 系统阐述了数智技术赋能背景下智能建造虚拟仿真实验教学体系的设计理念、构建路径与实践成效。该中心立足建筑行业智能化转型升级需求, 依托虚拟现实(VR)、人工智能(AI)、数字孪生、大数据与互联网等技术, 构建了“一体化、多维度、模块化”的虚拟仿真实验教学体系, 实现了建造智能化过程中“勘、测、建、环”四个实践维度的有机融合。体系涵盖6个模块化实验教学项目, 形成了虚实结合、校企协同、理工管交叉的教学特色。实践表明, 该体系有效解决了传统实验教学中高成本、高消耗、高危险等难题, 显著提升了学生的实践能力、创新思维与工程素养, 为应用型本科高校智能建造类专业虚拟仿真实验教学改革提供了可资借鉴的理论支撑与实践路径。

关键词: 智能建造; 虚拟仿真; 实验教学体系; 数智赋能; 新工科建设

DOI: doi.org/10.70693/202608014820

Construction and Practice of Intelligent Construction Virtual Simulation Experimental Teaching System under the Background of Digital-Intelligent Empowerment

Aiping Fei

School of civil engineering, University of science and technology, Anshan, China

Abstract: Driven by the national education digitalization strategy and the emerging engineering education reform, the demand for high-quality compound talents in the field of intelligent construction has become increasingly urgent. Taking the Intelligent Construction Virtual Simulation Experimental Teaching Center as the research object, this paper systematically expounds the design concept and construction path of the system. Centering on the transformation needs of the construction industry, the center leverages VR, AI, digital twin, big data and Internet technologies to construct an integrated, multi-dimensional and modular virtual simulation experimental teaching system. Practice has shown that the system effectively addresses high cost, high consumption and high risk challenges, improving students practical ability and innovative thinking.

Keywords: Intelligent construction; Virtual simulation; Experimental teaching system; Digital-intelligent empowerment

作者简介: 费爱萍(1980—), 女, 博士在读, 副教授, 研究方向为智能建造、新型建筑材料、深度学习。

通讯作者: 费爱萍

随着新一代信息技术的迅猛发展,以人工智能、大数据、云计算、虚拟现实等为代表的数字技术正在深刻重塑各行各业运行模式与发展路径。在建筑领域,智能化建造已成为推动行业转型升级的核心引擎,催生了对具备跨学科知识结构、创新实践能力和工程综合素养的高素质复合型人才的需求。2025年,中共中央、国务院印发的《教育强国建设规划纲要(2024-2035年)》^[1]明确提出要实施国家教育数字化战略,开发新型数字教育资源,强调要加快教育数字化转型,推动信息技术与教育教学的深度融合。教育部也多次指出,虚拟仿真实验教学是高等教育信息化建设的重要内容,是解决高校实验教学中“做不到、做不了、做不好”等难题的有效途径^[2]。

在此背景下,应用型本科高校如何顺应数字化浪潮,通过数智技术赋能实验教学改革,构建适应智能建造产业发展需求的实验教学体系,已成为亟待解决的重大课题。传统的土木工程实验教学主要依托实体实验室开展,受制于实验设备套数不足、教学场地紧张、高风险实验难以实施等因素,学生在控制系统原理理解、智能机器人操作创新等方面存在明显短板。虚拟仿真实验教学以其沉浸式、交互性、低成本和可重复等优势,为上述问题提供了全新的技术手段和教学模式^[3]。

建构主义学习理论认为,知识不是被动接受的,而是学习者在已有经验基础上主动建构的^[4]。虚拟仿真技术通过创建逼真的三维学习环境,帮助学习者在做中学的情境中主动探索、试错和反思,实现知识的深层建构^[5]。体验式学习理论强调学习是通过体验的转化而创造知识的过程^[6],虚拟仿真实验恰恰为学生提供了在沉浸式环境中反复实践和反思的机会。近年的教学研究也表明,数字教材和虚拟仿真资源能够通过多模态呈现降低学生的认知负荷,激发学习动机,提升教学效能^[7]。然而,当前关于智能建造领域虚拟仿真实验教学体系的理论研究仍相对薄弱,尚未形成系统性的理论框架和可推广的建设范式。基于此,本文以辽宁科技大学智能建造虚拟仿真实验教学中心为例,从理论建构、体系设计、教学实施和效果评价等方面系统探讨数智赋能背景下智能建造虚拟仿真实验教学体系的构建路径与实践策略,以期同类院校的实验教学改革提供参考。

1 智能建造虚拟仿真实验教学体系的构建理念

1.1 建构主义与体验式学习的理论融合

智能建造虚拟仿真实验教学体系的设计以建构主义学习理论为核心指导。建构主义强调,学习者在真实或接近真实的情境中,通过与环境的互动、与他人的协作以及自身的反思,主动建构知识体系。虚拟仿真技术通过构建高度仿真的三维建筑场景和工程施工环境,为学生提供了沉浸式的学习情境。例如,在建筑钢筋智能焊接绑扎虚拟仿真实验中,学生可以在虚拟环境中操控智能机器人进行钢筋绑扎路径规划与方案优化,通过反复试错和即时反馈来深化对施工工艺原理的理解,实现从被动接收知识到主动建构知识的转变。

体验式学习理论进一步丰富了体系构建的学理基础。Kolb提出的体验式学习循环包括具体体验、反思观察、抽象概念化和主动实验四个阶段。虚拟仿真实验恰好为学生提供了完整的学习循环:学生在虚拟场景中操作实验获得具体体验,通过系统反馈反思操作结果,归纳总结形成抽象概念,再通过新的实验方案验证所学知识。这种沉浸式、循环往复的学习过程使抽象的知识变得具象可感,有效促进了学生对智能建造技术原理的深度理解与长期记忆。

1.2 认知负荷理论对虚拟仿真教学的指导

Sweller提出的认知负荷理论为虚拟仿真实验教学中的信息呈现方式提供了重要指导。该理论认为,教学设计应尽可能减少外在认知负荷,优化相关认知负荷,以促进学习者的有效学习^[8]。在智能建造虚拟仿真实验教学设计中,通过多模态信息呈现将复杂的建造过程分解为可视化的操作序列,有效降低学生的外在认知负荷。例如,在无人机航测虚拟仿真实验中,系统通过将测绘原理、无人机操作步骤和数据处理流程以动画形式分步演示,使学生在较低认知负荷下逐步掌握实验技能。同时,实验中的实时反馈和引导性提示增加了相关认知负荷,促使学生将注意力集中在关键知识的深度加工上。

此外,维果茨基的最近发展区理论也为虚拟仿真实验的分层设计提供了重要指导^[9]。实验教学体系设置了基础性实验、综合性实验和创新性实验三个层次,分别对应学生的已有发展水平、潜在发展水平和能力拓展空间。通过搭建脚手架式的学习支持系统,实验项目能够引导学生在适度的挑战中逐步跨越最近发展区,实现能力的阶梯式提升。

1.3 体系构建的基本原则

在以上教学理论的指导下,智能建造虚拟仿真实验教学体系的构建遵循以下基本原则:一是能实不虚、虚实结合原则。对于能够在实体实验室完成的实验项目,坚持实体实验优先;对于高成本、高消耗、高危险或受时空限制难以开展的实验项目,充分发挥虚拟仿真技术的优势,形成虚实互补的教学格局。二是以学生为中心原则。体系设计围绕学生的学习需求和认知特点展开,采用任务驱动和项目导向的教学方法,引导学生从被动接受转变为主动探究。三是产教融合、校企协同原则。虚拟仿真实验项目的开发紧密结合行业企业的实际需求,邀请企业工程师参与实验设计与教学指导,确保实验内容的先进性与实用性。四是持续改进、动态更新原则。随着建筑智能化和信息技术的持续发展,实验内容和教学平台需定期更新迭代,以保持与行业前沿技术的同步。

2 一体化、多维度、模块化虚拟仿真实验教学体系设计

2.1 体系架构与设计思路

辽宁科技大学智能建造虚拟仿真实验教学中心自2019年开始筹备建设,根据科学规划、资源共享、突出重点、持续改进的指导思想,以紧跟学科发展,创新人才培养模式、改革教学模式,打造沉浸教学体验、深化产教融合,促进校企深度合作、营造标杆效应,形成区域示范特色为总体目标。中心整合土木工程、智能建造、测绘工程和建筑环境与能源应用工程四个专业资源,依托虚拟现实、人工智能、数字孪生、多媒体、人机交互、大数据与互联网等技术,构建了独具特色的一体化、多维度、模块化虚拟仿真实验教学体系。如图1所示为辽宁科技大学土木工程学院智能建造虚拟仿真实验教学中心界面。

一体化是指在教学院长负责制下,全院一盘棋,统一调度使用教学资源的管理方式。这一管理架构打破了传统院系之间、专业之间的资源壁垒,实现了师资、设备、课程等要素的统筹配置和协同运转。多维度即围绕建筑智能化全生命周期的四个核心维度展开——智能勘测(测绘与地理信息)、智能土木(岩土与材料)、智能建造(施工技术与机器人)、智能环境(建筑环境与节能减排),实现建造智能化完整的勘、测、建、环四维融合。模块化是将实验教学内容按照知识

领域和能力层次划分为若干个独立而又相互关联的教学模块,既保证教学内容的系统性,又赋予课程组合的灵活性,便于根据不同专业的培养需求进行个性化配置。



图1 智能建造虚拟仿真实验教学中心

Fig. 1 Construction and Practice of Intelligent Construction Virtual Simulation Experimental Center

2.2 四维融通的模块化实验内容

在四维融通的框架下,教学体系设置了6个模块化实验教学项目,涵盖基础性实验、综合性实验和创新性实验三种类型,涉及理工管多学科交叉知识内涵。

第一维度为智能勘测模块,以无人机航空测绘虚拟仿真实验为代表。该实验通过三维建模技术呈现无人机航空测绘的全过程,涵盖航线规划、遥感数据采集、三维点云生成与数字正射影像制作等关键环节。学生可在虚拟环境中多次模拟测绘任务,加深对无人机操作、航测数据采集及航测软件使用的理解,培养无人机测绘的实践能力。第二维度为智能土木模块,包含土体三轴虚拟仿真实验和沥青混合料马歇尔稳定度虚拟仿真实验等项目。该模块利用数值仿真技术模拟不同类型的建筑材料性能测试,使学生在掌握实验原理和操作规范的基础上,开展多参数条件下的材料性能对比分析。第三维度为智能建造模块,以建筑钢筋机器人智能焊接绑扎虚拟仿真实验为代表。该实验结合虚拟仿真与数字孪生技术,模拟建筑钢筋焊接绑扎的完整工序,并通过智能机器人运行路径的编程训练学生进行机器人操控和工艺优化的能力。从钢筋绑扎工序的认知到优化绑扎方案,从探索高效的绑扎算法到开发具有自适应能力的机器人控制系统,在虚实结合的教学过程中不断强化智能施工技术的核心地位。第四维度为智能环境模块,包含结合VR技术的燃气输配虚拟仿真实验。该实验将城市燃气输配系统的设计、

运行和维护全流程与 VR 技术融合, 帮助学生在沉浸式环境中理解复杂的管网系统原理和安全管理要求。

2.3 课程体系与教学资源建设

中心的教学资源建设遵循循序渐进的能力培养路径。课程体系按照课程实验、专业实验、综合实训、创新研究四个层次逐级递进: 低年级学生通过课程实验建立专业认知, 高年级学生通过综合实训和创新研究项目培养工程实践能力和创新思维。每一层次均与对应的虚拟仿真实验项目形成有机衔接, 确保实践教学的系统性和连贯性。在资源建设方面, 中心坚持科学规划、共享资源、突出重点、提高效益、持续发展的方针, 通过统一的虚拟仿真平台实现实验预约、在线操作、数据记录和成绩评定等全流程数字化管理, 实验数据实时同步至云端, 支持学生随时调阅和分析实验过程, 为自主学习和探究式学习创造充分条件。

3 教学实施与创新特色

3.1 数智赋能的校企协同教学模式

智能建造虚拟仿真实验教学中心的虚拟仿真实验项目由学校与建筑企业联合共建, 高校教师与企业工程师从理论教学和建造实践生产背景两方面开展实验教学指导。这一校企协同教学模式打破了传统高校封闭式教学的壁垒, 将真实的工程案例、前沿的行业技术和企业的管理经验融入实验教学, 最大程度地实现了虚拟仿真教学的虚实结合、虚实相互补充原则。企业工程师参与实验项目设计, 使实验内容更加贴近工程实际。例如, 建筑钢筋机器人智能焊接绑扎实验在开发过程中充分吸收了江苏汇博机器人技术股份有限公司在智能制造和人工智能领域的技术积累, 校企共同搭建了智能建造机器人实验平台, 为学生提供了接触行业前沿技术的窗口。同时, 校内教师的理论指导和企业工程师的实践指导形成互补, 学生在校内虚拟实验教学环节中即可获得真实的生产操作经验, 有效缩短了从校园到职场的适应期。

3.2 理工管交叉融合的育人路径

智能化建造育人的本质是培养具有跨学科交叉融合能力的高素质复合型智能建造人才。虚拟仿真实验教学体系在培育过程中自然形成了理工管交叉融合的鲜明人才培养特色。智能建造不仅

需要扎实的土木工程专业知识, 还涉及计算机科学、人工智能、自动化控制、工程管理等多元学科领域。中心通过构建跨学科的实验项目, 如智能建造机器人的路径规划算法设计 (涉及人工智能与土木工程的交叉)、基于数字孪生的施工进度模拟与管理 (涉及工程管理与信息技术的交叉)、建筑环境能耗分析 (涉及环境工程与数据科学的交叉), 引导学生在解决综合性工程问题的过程中建立跨学科的知识体系和思维方式。这种培养模式不仅有利于培养学生的跨专业、跨学科创新能力, 而且通过虚拟实验平台的资源共享和辐射效应, 可以带动校内外各专业学生的实践创新能力共同提升^[10]。

3.3 以学生为中心的探究式学习与评价

中心坚持以学生为中心的教学理念, 将知识学习和能力提升有机融合, 引导学生自主探究并得到个性化实验结果。在教学评价方面, 构建了以学生为中心的多维度评价体系, 关注实验过程与实验结果的统一。学生在虚拟仿真实验过程中的操作数据被自动记录和分析, 包括实验方案设计、操作规范性、数据记录完整性、结果分析准确性等指标。系统根据预设的评价标准自动生成评分报告, 同时教师可以根据实验报告的深度和创新性进行主观评价。这种过程性评价与结果性评价相结合的方式, 既能够客观反映学生的实验能力和学习投入, 也为教师优化教学内容提供了数据支持。更重要的是, 实验过程中的即时反馈机制为学生提供了试错、反思、改进的学习闭环, 引导学生在探究中发现问题、在反思中深化理解、在改进中提升能力。

4 建设成效与应用前景

4.1 教学资源建设成效

经过多年的持续建设, 智能建造虚拟仿真实验教学中心在资源建设方面取得了显著成果。中心建设了建筑钢筋机器人智能焊接绑扎虚拟仿真实验、无人机航空测绘虚拟仿真实验、土体三轴虚拟仿真实验、沥青混合料马歇尔稳定度虚拟仿真实验、钢筋混凝土梁正截面强度虚拟仿真实验以及结合 VR 技术的燃气输配虚拟仿真实验等多个实验项目, 涵盖了从基础认知到综合创新不同层次的实验需求。中心实验教学资源面向所有可以登录互联网的用户开放, 全面体现了资源共享和服务社会的建设理念。同时, 中心与实体实

验中心形成了虚实互补的良性互动,构建了一个完善的教学系统,为学生提供了更加逼真、丰富的智能化建筑实验环境。

4.2 示范辐射与未来发展

智能建造虚拟仿真实验教学中心的建设和运行产生了良好的示范辐射效应。中心的教学模式和实践经验为国内同类院校的虚拟仿真实验教学提供了有益借鉴。特别是通过开放共享的实验平台,中心实现了校内外以及更大范围内的实验教学资源共享,辐射带动了周边高校和企业的实验教学水平提升。面向未来,中心将进一步完善虚拟仿真平台软硬件设施的研发与升级,加强交叉学科的课程建设,健全系统化的管理制度,优化在线实验课程内容和平台管理,持续推进虚拟仿真实验中心与实体实验中心的交叉融合,实现跨学科、跨院校虚拟仿真课程共享。同时,将进一步拓展校企合作的深度和广度,联合开发更多适应智能建造行业发展的虚拟仿真实验项目,为培养兼具工程实践能力、创新思维和数字化素养的高素质智能建造人才持续赋能。

5 结语

数智技术的快速发展为高等教育的实验教学改革带来了前所未有的机遇和挑战。本文基于建构主义学习理论、体验式学习理论和认知负荷理论,以辽宁科技大学智能建造虚拟仿真实验教学中心为载体,系统探讨了一体化、多维度、模块化虚拟仿真实验教学体系的理论基础、设计思路和实践路径。该体系以建筑智能化全生命周期为主线,实现了勘、测、建、环四个实践维度的有机融合,形成了虚实结合、校企协同、理工管交叉的教学特色,在提升学生实践能力和创新思维方面取得了显著成效。实践表明,数智赋能的虚拟仿真实验教学体系能够有效弥补传统实验教学的不足,为应用型本科高校适应建筑行业转型升

级培养高质量智能建造人才提供了有力支撑。未来,随着人工智能、数字孪生、元宇宙等新技术的不断成熟,虚拟仿真实验教学将向更加智能化、个性化和沉浸化的方向发展,值得学界和业界持续深入探索。

参考文献:

- [1] 教育部. 教育强国建设规划纲要 (2024-2035 年) [Z]. 2025.
- [2] 曾凡林, 孙毅. 迈向未来教育: 数字教材的建设理念与构建路径[J]. 中国大学教学, 2026(4): 75-80.
- [3] 于岩, 等. 数智技术赋能本科学制、课程体系与教学组织模式系统性改革的探索与实践[J]. 高等工程教育研究, 2026.
- [4] Piaget J. The construction of reality in the child[M]. New York: Basic Books, 1954.
- [5] Jonassen D H. Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm?[J]. Educational Technology Research and Development, 1991, 39(3): 5-14.
- [6] Kolb D A. Experiential learning: Experience as the source of learning and development[M]. 2nd ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2015.
- [7] 张靖卉. 数字教材的知识观重构与学习优化[J]. 中国大学教学, 2025.
- [8] Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning[J]. Cognitive Science, 1988, 12(2): 257-285.
- [9] Vygotsky L S. Mind in society: The development of higher psychological processes[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1978.
- [10] 庞海燕, 王姝. 校地融合赋能应用型本科高校高质量发展路径探析[J]. 现代城市研究, 2025(12): 102-105.