

数字孪生技术驱动下应用型本科新工科实训教学体系的构建与实践

成本茂 刘晨 李明

无锡太湖学院, 中国·江苏 无锡 214063

摘要: 为应对新工科背景下实训教学存在的场景固化、资源滞后、产教融合浅层化等问题, 本研究以数字孪生技术为核心驱动, 构建了“基础层—资源层—应用层”三层架构的虚实融合实训教学体系。该体系通过高精度建模、实时数据感知与动态映射, 打造产业级实验实训环境; 依托校企协同机制, 开发项目化、模块化、多模态的数字教学资源, 打破“专业孤岛”; 并在此基础上推行数据驱动的“全过程”教学模式。实践表明, 该体系可有效提升教师教学能力、激发学生学习主动性, 为应用型高校实训教学改革提供可行路径, 具有重要的实践意义和推广价值。

关键词: 数字孪生; 实训体系; 教学改革; 应用型高校; 专业群建设

Digital Twin-Driven Restructuring and Practice of the New Engineering Practical Teaching System in Application-Oriented Universities

Cheng Benmao, Liu Chen, Li Ming

Wuxi Taihu University, China Jiangsu Wuxi 214063

Abstract: In response to the challenges of scenario rigidity, outdated resources, and superficial industry-education integration in practical training under the background of emerging engineering education, this study adopts digital twin technology as the core driver to construct a virtual-real integrated practical teaching system with a "foundation layer - resource layer - application layer" three-tier architecture. The system creates an industrial-grade experimental and practical training environment through high-fidelity modeling, real-time data perception, and dynamic mapping. Leveraging industry-academia collaboration as a mechanism, it develops project-based, modular, and multi-modal digital teaching resources to break down "professional silos". Furthermore, it implements a data-driven "whole-process" teaching model. Practice has shown that this system effectively enhances teachers' instructional capabilities and stimulates students' learning initiative, providing a viable pathway for practical teaching reform in application-oriented universities, with significant practical implications and promotional value.

Keywords: Digital twin; Practical training system; Teaching reform; Application-oriented universities; Professional cluster construction

0 引言

当前, 全球产业格局正经历一场以智能制造、工业互联网为核心动力的深刻变革。为应对这一变革, 我国高等教育领域积极推进以“新工科”建设为代表的人才培养战略升级, 其核心目标是培养能够适应并引领未来产业发展、具备扎实理论基础、卓越工程实践能力、跨学科知识整合能力与创新精神的高素质应用型与复合型人才^[1]。应用型本科高校作为实现这一战略目标的主力军, 其人才培养质量, 尤其是实践能力的培养, 直接关系到国家创新体系与产业竞争力的构建。

实训教学是衔接理论认知与工程实践、培养学生专业

核心能力与职业素养的关键环节。然而, 当前多数应用型本科高校的实训教学体系仍面临严峻挑战: 其一, 实训环境的真实性与先进性不足。建设与真实产业环境同步的物理实训室投入巨大、更新迟缓, 导致教学场景往往滞后于快速演进的技术与产业形态, 陷入“建成即落后”的困境, 学生所练非所用, 形成“场景固化”现象^[2]。其二, 教学资源的整合度与前瞻性不够。实训项目多以单一课程或单一技能点为单元进行设计, 资源分散, 缺乏以真实产业问题为牵引的综合性、跨学科项目资源库, “专业孤岛”效应明显, 难以培养学生解决复杂工程问题的能力。其三, 教学模式的互动性与反馈性薄弱。传统的“教师演示、学生

模仿”的操作模式,难以激发学生的主动探索精神,学习过程缺乏深度沉浸感与即时有效的反馈机制,制约了高阶思维与创新能力的培养。

数字孪生技术的成熟与普及,为系统性破解上述难题提供了强大的技术赋能与范式创新的可能。数字孪生是通过集成几何、物理、行为等多维度模型,并利用物联网、大数据、人工智能等技术,实现物理实体在虚拟空间中全生命周期、高保真、实时互动的数字化映射体^[5]。它超越了传统虚拟仿真的单向、预设特性,实现了物理世界与虚拟空间的双向数据流动与闭环优化。将数字孪生技术引入应用型本科的实训教学,其核心价值在于能够以可控的成本,构建与真实产业环境高度一致的动态、可交互、可溯源的“孪生场景”,将前沿的产业元素、技术流程与工作模式“高保真”地引入课堂,从而为构建一个响应产业需求、支撑能力进阶、激发学习创新的新一代实训教学体系奠定了坚实的技术基石^[6]。

本文基于我校国家级“ICT产教融合创新基地”的长期实践探索,聚焦于应用型本科教育的内涵要求,旨在系统探讨如何利用数字孪生技术,从理念、架构、路径三个层面,重构一个虚实融合、开放生态、数据智能的新一代实训教学体系。本文不仅关注技术平台的搭建,更着重于探讨该体系如何引发教学资源形态、教与学行为、教学评价模式等一系列的深层变革,以期为同类院校推进深层次教学改革、实现数字化转型提供理论参考与实践框架。

1 数字孪生技术在教育领域的应用现状与发展趋势

数字孪生的思想雏形可追溯至 Michael Grieves 教授于 2003 年提出的“信息镜像模型”,其后在美国国家航空航天局(NASA)的飞行器健康管理项目中得到概念深化与早期实践^[5]。近十年来,随着物联网传感技术、云计算能力、高精度建模与人工智能算法的突破性进展,数字孪生技术迅速从概念走向成熟,其应用范围从航空航天、高端制造等工业核心领域,快速扩展至智慧城市、精准医疗、现代农业等社会经济各个层面。西门子、达索系统、通用电气等工业巨头已将其作为数字化战略的核心,实现了从产品设计、生产规划到制造执行、运维服务的全流程数字孪生,深刻改变了工业生产的范式^[6]。

在我国,学术界与产业界对数字孪生的关注度持续升温。北京航空航天大学陶飞教授团队于 2017 年系统提出了“数字孪生车间”的理论体系,被广泛认为是该技术在国内制造业信息化领域研究的里程碑^[7]。随之,相关研究与

实践呈现爆发式增长,涵盖了机械工程、自动化、土木工程、计算机科学等诸多学科。与此同时,数字孪生技术的教育应用潜力开始被广泛认知,其价值主要体现在以下几个维度:

(1) 实现场景的高保真再现与沉浸式认知:数字孪生能够基于真实数据 1:1 构建复杂的工业系统或城市系统,通过虚拟现实(VR)或增强现实(AR)设备,为学生提供极具临场感的认知环境,突破时间、空间、成本与安全限制,实现“将工厂搬进教室”^[8]。

(2) 驱动过程的可视化与机理的透明化:通过物联网传感器实时采集物理实体的运行数据(如温度、压力、振动、图像),并同步驱动虚拟模型,使设备内部状态、物料流动、能量传递、控制逻辑等原本不可见的动态过程得以直观呈现,极大降低了复杂系统原理的认知门槛^[9]。

(3) 支持安全的模拟操作与无限的试错学习:学生可以在虚拟副本上对如设备故障设置与排查、系统参数优化、极端工况测试等这样的昂贵、高危或不可逆的操作流程进行反复练习与探索,在零风险、零损耗的环境中积累宝贵的“实战”经验,深化对知识应用的理解。

(4) 赋能系统的预测推演与创新性设计:基于历史数据与内置的物理或数据模型,数字孪生体能够对系统的未来状态进行预测,并支持“What-If”分析,即对不同决策方案下的系统行为进行仿真推演,从而引导学生进行优化设计、策略评估与创新性解决方案的探索,培养其系统思维与前瞻性决策能力^[10]。

从全球教育发展态势看,数字孪生正与人工智能、5G/6G 通信、边缘计算、教育元宇宙等前沿技术加速融合,共同推动教育环境、资源与模式向更加智能化、个性化、泛在化的方向演进。我国政策层面也给予了积极引导,例如《上海教育数字化改造实施方案(2021-2023 年)》明确将“探索数字孪生学校建设”列为重点任务^[11]。这表明,数字孪生已不再仅仅是工业技术,而是被视为推动教育体系结构性改革的战略性技术。因此,在应用型本科教育领域深入开展基于数字孪生的教学体系重构研究,不仅是应对当前教学困境的务实之举,更是面向未来、抢占教育数字化发展制高点的前瞻性布局。

2 基于数字孪生的实训教学体系理论框架构建

面向应用型本科高校的人才培养目标,本文构建的新一代实训教学体系,旨在实现从“技能训练场”到“创新实践生态”的转变。其理论框架由相互关联、层层递进的

三个核心层次构成：基础层（虚实融合的产业级场景）、资源层（项目化与模块化的数字资源）和应用层（数据驱动的全过程教学模式）。

2.1 基础层：构建虚实融合的“产业级”实验实训环境

基础层作为体系运行的核心载体，聚焦“实训环境与产业同步”目标，通过三大技术路径实现高保真、可交互的虚实融合场景构建^[12]：

一是多维度高精度建模。综合运用三维几何建模、物理引擎与行为建模技术，对智能工厂、智慧交通、云计算数据中心等典型产业场景进行多尺度、高保真的数字化重建，确保虚拟模型在几何形状、物理特性与行为逻辑上与物理实体高度一致。

二是实时数据感知与融合。依托工业物联网技术，在物理设备、实验装置或合作企业的真实产线上部署各类传感器与数据采集模块，通过 5G、时间敏感网络（TSN）等高速、低延时网络，构建稳定可靠的数据管道，实现物理世界多源、异构数据的实时汇聚与上传。

三是动态映射与闭环交互。在数字孪生平台中，建立虚拟模型与物理实体之间稳定、安全的数据绑定与指令通道。不仅实现物理状态的变化实时、精确地驱动虚拟模型更新，更能将学生在虚拟环境中进行的参数调整、逻辑编程、流程控制等操作指令，经平台验证与解释后，安全地反馈至物理设备执行，形成“状态感知 - 虚拟仿真 - 决策优化 - 实体控制”的完整闭环^[13]。

2.2 资源层：推动产业资源转化，建设项目化与模块化数字资源

资源层作为体系的知识核心，以“产业智慧转化为教学资源”为目标，通过“校企二元主导、师生协同参与”机制，打造项目化、模块化、多模态的数字资源体系。

一是交互式认知资源。开发 3D/VR/AR 设备拆解、原理演示资源，将抽象理论转化为直观体验。

二是情景化综合项目库。基于企业真实的项目生命周期，设计包含需求分析、方案设计、开发实施、测试验证、部署运维全过程的综合性项目包。每个项目配备完整的项目背景、任务书、数据集、技术标准与评价准则。

三是微课群与智能导学系统。针对项目中的关键技术难点、核心算法、常见陷阱，制作系列化的精炼微视频与交互式教程。平台集成智能导学智能体，能够基于学生的学习行为数据，主动推送相关知识提示、解题策略与拓展阅读材料。

四是虚拟角色与任务驱动系统。模拟真实企业中的岗位设置，为学生分配如“系统架构师”“前端开发工程师”“数据分析师”“运维工程师”等虚拟角色，并在数字孪生场景中发布与角色职责相匹配的序列化任务，营造真实的职业情境与协作压力。

五是跨专业整合逻辑。彻底摒弃按学科知识逻辑线性组织资源的传统方式，转而以“解决复杂产业问题”为牵引，进行资源的模块化设计与整合。将一个综合性项目分解为多个相对独立又相互关联的功能模块，每个模块天然地融合了来自不同学科的知识与技能要求。通过这种“项目引领、模块支撑”的方式，在资源层面实现跨专业知识的有机串联，有效破除“专业孤岛”，促进学生构建跨学科的、网状的知识体系与解决复杂工程问题的能力。

2.3 应用层：探索数据驱动的“全过程”数字化教学模式

应用层是体系价值最终落地、作用于师生教与学行为的实践层面，旨在重构教学实施、管理与评价的全过程，形成以数据为支撑的教学新范式。

一是“学与训”的范式变革。学生的学习范式从被动的知识接收转变为主动的、具身的、社会性的知识建构。他们以“虚拟工程师”的身份进入孪生场景，通过分析平台提供的实时/历史数据、申领并完成具体任务、与团队成员协同制定方案、在虚拟环境中执行操作并即时观察反馈效果，完整地经历“发现问题 - 分析问题 - 解决问题 - 评估效果”的工程实践全过程。这种深度沉浸的“做中学”模式，极大地增强了学习的主动性、情境性与反思性。

二是“教与管”的角色升级。教师的角色从知识的单向传授者，转型为学习环境的设计师、项目探究的教练、学习过程的引导者与支持者。教学管理则从传统的经验式、粗放式管理，升级为基于数据的精细化、可视化治理。管理者可以通过集控驾驶舱，实时洞察各项目的整体进展、各团队的协作效率、每个学生的参与度与任务完成质量图谱，从而实现精准的教学干预与资源调配。

三是“测、考与评”的系统革新。构建一个贯穿课前、课中、课后，融合过程性与成果性评价的多元化、数据驱动的综合评价体系。

四是全过程学习行为数据采集。平台自动、无感知地记录学生在虚拟环境中的全部操作日志、决策路径、交流内容、任务耗时、错误尝试等全维度行为数据，形成个性化的学习数字画像。

五是多维度能力素养评价。综合评估项目最终成果的

技术可行性、创新性、经济性及文档规范性；引入基于角色贡献度的同伴互评、企业导师评价等多元评价主体。

六是数据智能分析与精准反馈。利用学习分析与教育数据挖掘技术，对采集的海量过程数据进行深度分析，自动识别学生的知识薄弱点、技能短板、思维模式特征及协作能力水平，并生成个性化的学情诊断报告与学习改进建议。这为实现“因材施教”、教师的精准辅导与教学策略的持续优化提供了科学依据，形成了“教学 - 评价 - 反馈 - 改进”的闭环质量提升机制。

3 实践成效

本实训体系依托无锡太湖学院国家级“ICT 产教融合创新基地”，经过三年的探索与实践，在学生培养、专业建设、师资发展与社会推广四方面取得显著成效，整体发展质量持续提升。学生培养质量显著增强，近三年来斩获国家级学科竞赛奖项 63 项、省级奖项 120 项，尤其在“中国国际互联网 + 大学生创新创业大赛”、“全国大学生服务外包大赛”等高水平赛事中，基于数字孪生平台完成的项目占比超 70%，充分彰显了学生解决复杂问题的综合能力；就业质量同步稳步提高，信息类专业毕业生平均就业率达 96.45%，专业对口率 85%，用人单位满意度更是高达 95%。专业与课程建设成果丰硕，已构建起以国家级一流本科专业“物联网工程”为核心的高水平专业群，其电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术均为省级一流专业，同时成功获批 3 门国家级和省级一流课程。师资队伍水平实现跨越发展，打造了一支“教师 + 工程师”混编的双师型教学团队，教师通过深度参与平台建设和企业项目，工程实践能力与教学创新能力得到双重提升，其中 1 人获评江苏省教学名师，2 人斩获江苏省教师教学创新大赛一等奖。社会服务与示范效应愈发凸显，相关成果模式已被青岛黄海学院、湛江科技学院、浙江财经大学东方学院等 20 余所院校借鉴应用，学校“ICT 产教融合创新基地”还入选教育部优秀案例，并获“学习强国”等权威媒体平台报道，形成了良好的社会声誉和强劲的示范引领效应。

4 结语

数字孪生技术正深刻地重塑应用型本科实训教学的理念、环境、内容与评价。随着数字孪生技术与人工智能大模型、扩展现实（XR）、区块链等技术的进一步融合，以及教育元宇宙概念的逐步清晰，基于数字孪生的实训体系必将向更加智能化、个性化、社交化与可信化的方向演进。它有望从当前的实训环节，扩展至整个专业教育链条，

成为构建面向未来的、更加开放、灵活、智慧的高等教育新生态的核心基础设施之一，为支撑我国制造业转型升级与创新型国家建设提供源源不断的人才动力。

参考文献：

- [1] 易招娣. 再谈新时代高等工程教育改革——以颠覆性技术为视角[J]. 高等工程教育研究, 2024(4):111-116.
 - [2] 荣冬松, 方海林, 周临震等. 数新工科背景下应用型高校实践教学体系研究[J]. 教育教学论坛, 2025(9):97-100.
 - [3] 陶飞, 刘蔚然, 刘检华等. 数字孪生及其应用探索[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(1):1-18.
 - [4] Tao F, Zhang M, Liu A, et al. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019, 15(4): 2405-2415.
 - [5] Grieves M, Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems[C]. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2017: 4582-4587.
 - [6] 西门子（中国）有限公司. 数字孪生——通往智能制造的钥匙[R]. 北京：西门子（中国）有限公司, 2020.
 - [7] 陶飞, 张萌, 程江峰等. 数字孪生车间——一种未来车间运行新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(1):1-9.
 - [8] 王晨, 刘洋. 数字孪生赋能 STEM 教育发展的理论模型与实践应用[J]. 中国医学教育技术, 2025, 39(1):45-51.
 - [9] 王武英, 魏霖静. 基于数字孪生的智慧农业环境监测系统设计与实现[J]. 智能计算机与应用, 2023, 13(4):181-185.
 - [10] 王印军, 陈鹏, 杜彦斌等. 数字孪生智能产线的实践教学研究[J]. 科技风, 2024, 33(9):129-131.
 - [11] 上海市教育委员会. 上海市教育数字化转型实施方案（2021-2023）[Z]. 2021.
 - [12] 陈炳伟, 莫琦, 纪国剑等. 基于产教融合背景下的数字孪生实验室建设与实践[J]. 实验技术与管理, 2025, 42(8):278-285.
 - [13] 陶飞, 张贺, 戚庆林等. 数字孪生模型构建理论及应用[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(1):1-15.
- 基金项目：江苏省高等教育教学改革研究课题《基于数字孪生技术的新一代实训体系教改研究》（2023JSJG781）。