

AI 数字分身与数字孪生赋能实验教学新范式研究

姬颖, 苑思博, 师臣薪, 张楠, 李佳浓, 谢静超

北京工业大学建筑工程学院, 北京 100124

DOI: 10.61369/SDME.2026100025

摘 要 : 本科生实验教学是高等工程教育的重要环节。本研究锚定高校建环专业“数智化绿色化双化协同能力的高素质创新型人才”培养目标, 紧扣“绿色低碳供暖, 数智赋能转型”核心理念, 打造“生活场景洞察、科研成果反哺、理论基础筑牢、数智技术赋能”的教学特色, 构建独具创新性的“双核四翼”实验教学模式, 实现教学、科研、实践和社会服务的有机结合。在人机协同视域下, 充分发挥生成式 AI 数字分身与数字孪生技术, 探索了面向新工科的本科实践教学重构方法与路径, 形成了“实体实验操作—孪生虚拟仿真—数字微课交互”闭环的多模态融合实验教学方法。有助于全面培育具备绿色理念与数智素养的新时代工程人才。

关 键 词 : 数字分身, 数字孪生, 实验教学, 建环专业, 供热工程

Research on the New Paradigm of Experimental Teaching Empowered by AI Digital Avatar and Digital Twin

Ji Ying, Yuan Sibao, Shi Chenxin, Zhang Nan, Li Jianong, Xie Jingchao

College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124

Abstract : Undergraduate experimental teaching is an essential component of higher engineering education. Centering on the training objective of high-quality innovative talents with coordinated digital-intelligent and green capabilities for the building environment and energy engineering discipline in universities, and adhering to the core concept of "green and low-carbon heating and digital intelligent empowerment transformation", this study constructs an innovative "dual-core and four-wing" experimental teaching model with distinctive teaching characteristics including life scenario insight, research achievement feedback, solid theoretical foundation and digital intelligent technology empowerment. The model realizes the organic integration of teaching, scientific research, practical training and social services. From the perspective of human-machine collaboration, this study gives full play to generative AI digital avatar and digital twin technologies, explores the reconstruction methods and paths of undergraduate practical teaching oriented to emerging engineering education, and forms a closed-loop multi-modal integrated experimental teaching method covering physical experimental operation, twin virtual simulation and digital micro-lesson interaction. The research findings help comprehensively cultivate new-era engineering talents with green concepts and digital literacy.

Keywords : digital avatar; digital twin; experimental teaching; building environment and energy engineering; heating engineering

一、背景与意义

供热工程是建筑环境与能源应用工程专业的核心专业课程, 理论与工程实践结合紧密。其相关实验, 是对理论教学的重要支撑和补充验证。供热行业减碳任务艰巨^[1]。在节能减排的巨大挑战下, 智慧供热已成必然^[2,3], 也是提高集中供热安全性、可靠性、舒适性与高效性的有效手段^[4]。

本科教育已步入“零零后”新纪元, 学生成长于电子设备普及和网络信息爆炸的时代, 手机、平板依赖性强, 接受碎片化知识的能力较强, 但这对需要高注意力、系统性学习的内容是不利的。扬长避短, 可以充分利用线上平台, 对教学内容进行片段化

设计和逻辑性衔接, 层层递进, 将上述阻力转化为教学助力。供热工程的实践性较强, 局限于教材内容和采用传统授课方式不足以保证学生的学习效果^[5]。需要充分发挥实验教学的主动作用, 改善提升实验教学条件是必要的。

教育专家对各种教学模式进行了深入研究^[6], 其中案例教学是一种广泛应用的教学方法^[7]。工科学生在本科教育阶段存在工程实践活动机会少的问题。因此以研究实际问题为中心引入案例教学法综合运用所学的多学科知识去分析和解决问题, 有利于培养学生的实践性和综合性^[8]。然而, 尚缺乏有效拉近实践案例与学生距离的工科案例构建机制的研究。同时, 为实现创新人才培养质量, 多数高校都提出了“融研入教、以研助教”的培养理念, 以

项目为导向构建了教研相融的人才培养模式^[9]。教师从科研项目中选取合适的题材，进行设计，转换成实践课程，让学生选择、参与或独立解决^[10]。实践教学如何提升效果和效率，AI 技术的发展提供了一大助力——AI 数字分身微课。据微软《2025 年 AI 在教育领域的应用研究报告》显示，86% 的教育机构已开始使用生成式 AI 制作教学资源。此时的数字分身微课主要解决“规模化生产”问题，但多为单向传输，交互性较弱。研究焦点需要转向“互动式 AI”，数字分身不再仅是主播，而是具备感知、记忆、规划和执行能力的独立智能体。

综上所述，抓取生活场景中的实际问题，引导学生关注现实需求；将科研成果融入教学内容，拓宽学生视野；强化理论知识体系，筑牢专业基础；利用数字化和智能化技术提升实验教学效果，培养学生的创新能力和实践能力。在人机协同视域下，充分发挥生成式 AI 数字分身与数字孪生技术，探索面向新工科的本科实践教学重构方法与路径是十分有必要的。

二、教学模式构建

以高校本科生供热工程课程为蓝本，为实现“实体实验操作—孪生虚拟仿真—数字微课交互”于一体的成长型教学，提高学生的学习兴趣和教学效果；拓展课程的深度和广度，培养和提升学生将理论知识向工程实践的迁移能力和创新能力。本研究探索了一种面向新工科的本科实践教学重构方法与实践路径。

（一）构建“双核四翼”教学模式

锚定“数智化绿色化双化协同能力的高素质创新型人才”培养目标，紧扣“绿色低碳供暖，数智赋能转型”核心理念，打造“生活场景洞察、科研成果反哺、理论基础筑牢、数智技术赋能”的教学特色，构建独具创新性的“双核四翼”教学模式，实现教学、科研、实践和社会服务的有机结合。通过抓取生活场景中的实际问题，引导学生关注现实需求；将科研成果融入教学内容，拓宽学生视野；强化理论知识体系，筑牢专业基础；利用数字化和智能化技术提升实验教学效果，培养学生的创新能力和实践能力。

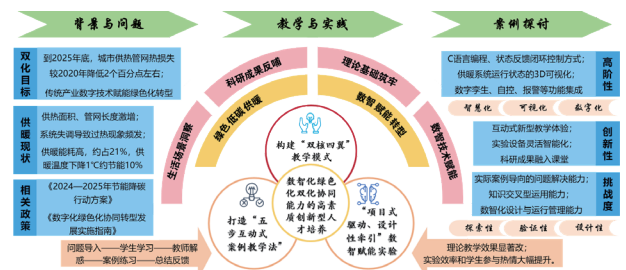


图1 “双核四翼”教学模式架构图

（二）科教融合点的挖掘和设计

结合授课教师及所在团队的科研成果，节选建筑围护结构热工设计、设计参数、供暖负荷计算方法及影响因素、热力站负荷预测及运行调节等成果融入重要教学章节。筛选其它科研成果，如长江流域供暖技术等成果融入教学。确保科研成果融入的难度适合、方法恰当，并实现与教学案例的有机结合。

（三）打造“五步互动式案例教学法”

以“供热管网水力工况及智能控制实验”为例：

（1）问题导入：从北方冬季供暖房间“穿着轻薄”现象导入“供暖过热”问题，激发学生探究欲望。

（2）学生分组学习：教师给定案例，学生根据素材，并辅助网络资源，尝试挖掘“过热现象—原因溯源—解决方法—知识依托—效果改善”的知识脉络。

（3）教师讲授解惑：管网水力计算及水压图的讲解，分析水力失调、热力失调产生原因，并以实际供热管网为案例进行演示。

（4）考察学习效果：改变设计参数等，布置练习，包括课堂理论计算和实验操作练习。

（5）总结与反馈。

（四）建设 AI 数字分身微课

根据“供热管网水力工况及智能控制实验”，首先建设1:1还原的3D 数字化实验台，实现虚实结合的实验效果；然后制作 AI 数字分身教学资源，便于学生反复观摩和学习。

（1）架构搭建与基本定义

根据学科特点设计老师形象，定义其交互方式；构建脚本与知识图谱；整理课程相关的教材、实验手册、常见故障案例，形成向量数据库，供 AI 分身检索调用。

（2）工具选择与模型训练

筛选合适的 AI 工具和大语言模型，输入文本 / 音频生成高保真视频；利用前1-2轮的真实实验场景，捕捉优质的教学对话数据对模型进行调整改善。

（3）内容生成与模态融合

利用数字孪生开发实验场景，虚实结合。当分身讲解原理时，同步触发3D 动画（如水流流动、热量传递可视化）。

三、架构设计与实施方法

遵循“问题导向、理念引领、技术赋能、闭环迭代”的总体思路，紧扣新工科建设对“数智化与绿色化”复合型人才的需求，以重构本科实验教学范式为核心，具体开展分为以下四个阶段。

（一）架构设计阶段：构建“双核四翼”理论框架

针对工科学生工程经验缺失、传统教具成本高及科研成果转化难等痛点，本研究首先确立“绿色低碳供暖，数智赋能转型”的核心理念。通过深入调研行业实际工程案例与前沿科研动态，梳理出“生活场景洞察、科研成果反哺、理论基础筑牢、数智技术赋能”四大教学要素。在此基础上，构建“双核四翼”实验教学模式理论框架，明确“实体实验—孪生平台—数字微课”三者之间的逻辑关系与功能定位，制定适应不同学生认知水平的分层教学目标，为后续资源建设提供理论指引。

（二）资源重构阶段：打造多模态融合实验资源库

这是本研究的核心实施环节。

（1）案例数字化

选取典型真实工程案例，利用数字孪生技术进行高保真3D 重

构，搭建低成本、可交互的虚拟仿真实验环境。

（2）自适应科研转化机制

建立科研成果的“难度分级图谱”，利用生成式 AI 大模型将复杂的前沿科研内容自动拆解、降维，转化为适合不同层次学生的微课脚本。

（3）AI 数字分身微课开发

基于 RAG 技术，训练具备专业知识的 AI 数字分身。开发集“讲解、演示、交互”于一体的多模态微课，“智能学伴”嵌入孪生实验场景，实现从“单向视频”向“人机协同”的跨越。

（三）教学实施阶段：探索“伴随式”实践教学新路径

将构建好的资源库应用于实际教学，开展“实体操作 + 虚拟仿真 + AI 导学”的多模态融合教学实践。验证该模式在提升学生工程迁移能力、创新思维及科学素养方面的有效性。

（四）评价反馈与持续迭代阶段：建立数据驱动的成长型生态

依托平台采集的实际数据（如操作、对话、微课观看等），构建多维度的教学效果评价指标。利用大数据分析教学痛点与学生认知盲区，反向优化数字分身微课。通过“实践—评价—反馈—优化”的螺旋式上升机制，不断完善“双核四翼”教学模式。

四、结论

高校工科学生尚未离开校门无实际工程经验，他们对于各行业领域实际工程案例的背景并不熟悉，由于课程内容导致教具制作难度大，成本高。本研究提出将学校真实工程案例建设成为 3D

数字化教学案例；同时，构建 AI 数字分身微课，如何在控制成本的条件下选取最适当的 AI 工具和生成式手段，呈现最好的数字化效果。一流学科的学生培养需要有一定的高阶性、创新性和挑战度，本研究在工程实践为依托的基础上融入前沿科研成果，以保证所培养的学生适应当下时代的需求。但是，学生的水平有差异，如何保证所选科研成果的难易程度适应教学的需求，并以恰当方式融入教学。以上均是需要解决的问题。

本研究成果侧重于“教学模式的重构”和“资源生成的机制”。

针对工科学生缺乏工程背景、实体教具成本高且难以复现复杂场景的痛点，本项目首创“双核四翼”实验教学模式，构建“实体操作—孪生仿真—数字分身交互”融合的实验教学新资源范式。利用数字孪生技术将真实工程案例低成本转化为高保真 3D 数字化教学场景，解决“进不去、看不见、动不了”的难题；引入生成式 AI 数字分身作为“数字资源”，在无人场景中提供伴随式指导，填补学生从校门到工程现场的“经验鸿沟”。

针对一流学科建设中科研成果融入教学难、难易度难以把控的痛点，本研究提出了一套基于 AI 驱动的科研资源自适应转化机制，利用 AI 模型的语义理解与生成能力，建立科研成果的“难度分级图谱”。创新性地利用生成式 AI 数字分身技术，构建了低成本、高效率的微课资源。通过将抽象的科研数据自动转化为“可视化的 3D 场景 + 拟人化的专家讲解 + 交互式的探究任务”，在保证数字化呈现效果最优的同时，大幅降低了高质量教学资源的制作门槛和时间成本，可实现优质科研资源的快速反哺与规模化应用。

参考文献

- [1] Ryland M, He W. Heating economics evaluated against emissions: An analysis of low-carbon heating systems with spatiotemporal and dwelling variations[J]. Energy & Building. 2022(277):1-15.
- [2] 钟巍, 陈烁玮, 刘荣. 智慧供热的理念、技术与价值 [J]. 区域供热, 2018(02):1-5.
- [3] Razmjoo A, Gandomi A H, et al. The key role of clean energy and technology in smart cities development[J]. Energy Strategy Reviews, 2022(44):1-8.
- [4] Taherahmadi Y P M, Toward comprehensive zero energy building definitions: a literature review and recommendations, International journal of sustainable energy, 2020(40):120-148.
- [5] 虞婷婷, 高威锋. “三结合”教学法在供热工程教学中的应用 [J]. 河北联合大学学报(社会科学版), 2016(3):54-60.
- [6] 王梅, 康美玲. 案例教学研究现状综述 [J]. 科教导刊, 2021(34):9-11.
- [7] 王秀芝. 案例教学中需要研究的几个问题 [J]. 中国高等教育, 2006(12):44-45.
- [8] 朱高峰. 关于工程教育和一般教育问题的再思考 [J]. 高等工程教育研究, 2021(1):1-9.
- [9] 李树深, 王艳芬. 科教融合培养新时代创新创业人才 [J]. 大学与学科. 2020, 1(01): 128-137.
- [10] 楼京京, 郑鹏飞, 冯向荣. 校企共同体复合型人才培养体系的构建 [J]. 高等工程教育研究. 2022, (05): 106-110.