

基于数字孪生技术的工程训练教学模式探索

袁嘉欣¹, 朱雪明^{2*}

¹江汉大学智能制造学院, 湖北 武汉

²江汉大学工程训练中心, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年12月20日; 录用日期: 2026年1月16日; 发布日期: 2026年1月26日

摘要

为应对传统工程训练教学模式在智能制造人才培养中的挑战, 本文提出了一种以数字孪生技术为核心驱动的创新教学方法。该方法通过构建高度仿真的数字化工厂环境, 使学生能在安全可控的虚拟空间中自主完成智能产线全链路实践操作。遵循“理论引导 - 闯关实践 - 全链路仿真”的递进式教学路径, 并融入面向机械、计算机、文科、艺术等不同专业类别的定制化教学内容设计, 有效解决了传统教学中学生主体性缺失、实践技能习得不足及认知深度局限等核心问题。教学效果表明, 该模式显著提升了学生的学习动机、实践能力、创新思维及跨学科协作能力, 培养了适应国家智能制造需求的高素质人才。本研究为工程教育的数字化转型提供了可复制、可推广的新范式。

关键词

数字孪生, 工程训练, 教学创新

An Exploration of Engineering Training Teaching Model Based on Digital Twin Technology

Jiaxin Yuan¹, Xueming Zhu^{2*}

¹School of Intelligent Manufacturing, Jianghan University, Wuhan Hubei

²Engineering Training Center, Jianghan University, Wuhan Hubei

Received: December 20, 2025; accepted: January 16, 2026; published: January 26, 2026

Abstract

To address the challenges faced by traditional engineering training teaching models in intelligent

*通讯作者。

manufacturing talent cultivation, this paper proposes an innovative teaching method driven by digital twin technology. This method constructs a highly simulated digital factory environment, enabling students to independently complete full-lifecycle practical operations of intelligent production lines in a safe and controllable virtual space. Following a progressive teaching path of “theoretical guidance - challenge-based practice - full-chain simulation”, and integrating customized teaching content designed for different professional categories such as mechanical engineering, computer science, liberal arts, and arts, it effectively resolves core issues in traditional teaching, such as the lack of student agency, insufficient practical skill acquisition, and limited cognitive depth. Teaching effectiveness demonstrates that this model significantly enhances students’ learning motivation, practical abilities, innovative thinking, and interdisciplinary collaboration skills, cultivating high-caliber talents suited to the national intelligent manufacturing demands. This research provides a replicable and scalable new paradigm for the digital transformation of engineering education.

Keywords

Digital Twin, Engineering Training, Pedagogical Innovation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在国家大力发展战略制造、推动产业升级的战略背景下，对高素质、复合型智能制造人才的需求日益迫切。为此，通过深化产教融合、重构实践教学体系以培育高素质、复合型工程人才显得尤为关键[1]。正是在这一关键时期，数字孪生技术的兴起与应用，恰好响应了国家关于深化产教融合、推进工程教育数字化的战略号召，为工程训练教学带来了一次彻底的革新[2]。

数字孪生技术巧妙融合了先进的虚拟仿真技术，为智能制造人才培养构建了一个高度逼真、零风险的数字工厂环境。这项技术能够在确保学生操作安全的前提下，使学生仅需通过电脑，就能独立完成从智能制造产线的程序编写、设备调试、参数优化到全程仿真所涉及的所有环节[3]。这真正实现了对真实产线各个流程的沉浸式、全链路体验，极大地提升了学生的实践积极性与主动学习能力。同时，数字孪生技术也让学生们能够在安全可控的环境中，深度探索并掌握智能制造的核心技术与复杂的系统操作方法[4]，为国家培养具备创新精神和实践能力的新一代智能制造人才奠定了坚实基础。

2. 工程训练实践教学模式

当前的工程训练实践教学，尽管在努力为学生提供实操机会，但其主流模式仍是以教师为主导的“讲解 + 演示”模式。在这种模式下，教师通常会详细阐述操作原理、步骤，并亲身示范机床的运行过程，学生则在旁观摩学习[5]。这种教学模式的形成，是综合考虑了多方面复杂因素的现实选择。

2.1. 传统实训教学模式的局限

2.1.1. 实践操作的高风险性与安全保障的严峻挑战

工程训练中的实训设备，尤其是工业级大型或高精密度机床，本质上携带着一定的固有风险。例如，高速旋转的主轴和刀具、运动中的工作台、高压切削液的喷溅以及加工过程中可能产生的尖锐切屑，都对操作者构成了潜在威胁。一旦学生在实践操作过程中出现误判、操作不当或安全意识薄弱，极易引发

严重的人身伤害事故, 如肢体被旋转部件卷入、眼睛被高速飞溅的切屑或冷却液击伤, 甚至由于违规操作导致设备本身发生故障或损坏[6]。

为了最大限度地保障学生的人身安全和昂贵实训设备完好无损, 教学管理部门和实训教师往往不得不采取最为审慎的策略——即严格限制学生的直接上手操作。这种“宁可不练, 也要安全”的理念, 虽然是出于对学生福祉的高度负责, 却也无形中成为阻碍学生进行深度实践、培养实际操作技能的一道高墙, 使得“纸上谈兵”的教学模式难以避免。

2.1.2. 现代机床操作的复杂性与学生技能习得的认知鸿沟

现代工业生产所使用的机床设备, 特别是数控机床, 其自动化、智能化程度高, 但其操作界面、控制系统、编程指令体系及工艺参数设定等均呈现出高度的专业性和复杂性[7]。例如, 一台典型的数控铣床, 其编程不仅涉及基础的 G 代码、M 代码, 还需掌握坐标系的选择、刀具半径补偿、刀具长度补偿以及宏程序调用等高级功能。

对于初次接触或学习时间有限的学生而言, 要在短时间内全面、深入地理解并熟练运用这些复杂的指令和操作流程, 无疑是一个巨大的挑战。若在未充分掌握理论知识和模拟训练的情况下, 贸然让学生直接上手真实机床, 极易因对复杂操作流程理解不透彻、指令输入错误或参数设置不当而引发严重的误操作, 进而影响加工质量, 甚至损坏工件或机床。这种从理论知识到实践操作之间的认知鸿沟, 是传统教学模式中学生难以跨越的障碍。

2.1.3. 机床状态复原的难度与教学资源维护的巨大成本

精密机床的正常运行和加工精度, 高度依赖于其初始状态的准确设置和精细调整。这包括一系列关键步骤, 例如刀具的精确对刀(确定刀具长度和半径补偿值)、工件的准确找正与装夹、数控程序参数的合理设定(如切削速度、进给量、切削深度等)[8]。这些操作通常需要专业的知识、熟练的技巧和细致的耐心。

如果学生在操作过程中未能严格按照规范进行, 或者在操作结束后未能正确地将机床恢复到初始安全或标准设置状态, 可能会带来一系列负面影响: 轻则影响后续教学任务的顺利开展, 导致下一个班级的学生需要重新进行耗时的调校; 重则可能导致机床的加工精度受损、关键部件磨损加剧, 甚至引发设备故障。一旦出现这种情况, 往往需要经验丰富的技术人员耗费大量时间和精力进行诊断、调试和维修, 这无疑会大幅增加教学机构的运行成本、设备维护费用, 并降低实训设备的使用效率, 形成资源浪费。因此, 为了规避这种“难以复原”的风险, 限制学生直接操作也成为传统教学模式的无奈之举。

2.2. 传统实训教学模式带来的核心问题与挑战

2.2.1. 学生主体性缺失: 被动学习与实践兴趣消减

在传统的“讲解 + 演示”模式下, 学生往往被置于一个旁观者的角色。由于鲜有机会亲自动手操作真实的机床设备, 他们只能被动地接收教师所传授的知识和展示的操作流程, 缺乏直接的、深度的感官体验和互动反馈。这种长期处于“看”而非“做”的学习状态, 极大地压抑了学生的主动探索欲望和创新精神, 容易导致他们对枯燥的理论讲解和单一的演示过程产生倦怠, 从而使对工程实践的兴趣逐渐消减[9]。更为重要的是, 这种被动式的学习方式难以真正激发学生内源性的求知欲和解决问题的动力, 从而阻碍了他们独立思考能力和批判性思维的培养。

2.2.2. 实践技能习得不足: “知”与“行”严重脱节

机械操作技能的习得, 本质上是一种高度强调“做中学”的过程。它不仅仅是对理论知识的记忆, 更是对手、眼、脑协调配合、反复练习形成的肌肉记忆和操作直觉的培养。单纯地通过观察教师的演示

和记忆操作步骤，学生很难真正内化和掌握复杂机床的操作要领、精度控制技巧以及严格的安全规范。当他们在未来的职业生涯中，真正需要独立面对实际的工程操作任务时，往往会因为缺乏亲身实践的经验积累而感到力不从心、无所适从，甚至由于技能生疏和经验不足而导致操作失误，轻则影响产品质量，重则可能造成设备或人身安全事故[10]。这种“知易行难”、“眼高手低”的现象，是传统模式下实践教学效果大打折扣的显著表现。

2.2.3. 认知深度局限：对复杂原理与内在逻辑理解不足

现代工业机床的操作，特别是数控加工，涉及一系列高度抽象和复杂的工程概念。例如，多轴联动加工中的空间轨迹规划、G 代码和 M 代码的编程逻辑以及刀具路径优化等。这些概念并非仅凭教师的口头讲解或简单的屏幕演示就能完全被学生直观理解和深刻领会。由于缺乏亲手设置参数、编写程序并观察机床实际响应的机会[11]，学生很难将这些抽象的理论知识与实际的机械运动、加工效果建立起直接且稳固的联系。这导致他们对操作背后的物理原理、工艺逻辑和潜在风险缺乏深层次的理解，停留在表面化的认知层面，难以形成系统性的知识体系和解决问题的策略。

3. 数字孪生技术驱动的教学方法

为充分发挥数字孪生技术在智能制造实践教学中的革新作用，本改革项目设计了一套“理论引导 - 闯关实践 - 全链路仿真”的递进式分阶段教学实践方法。

3.1. 理论初识与基础构建阶段

学校通过与领先的数字孪生技术企业建立深度合作关系，成功引入了先进的数字孪生软件线上学习平台。在这一阶段，课程教师将结合传统的教学优势，以系统讲解的方式引导学生初步认识智能制造产线的整体构成与工作原理。通过详尽的案例分析和理论阐释，学生能够对产线的各个功能模块(如 CNC 加工、PLC 虚拟仿真、AGV 协作机器人等)形成全面而深入的理解，为后续的实践操作奠定坚实的理论基础，阶段一教学流程如图 1。

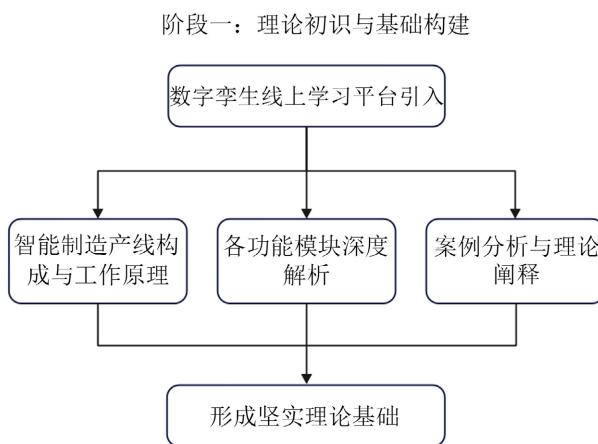


Figure 1. Schematic diagram of teaching process in stage 1
图 1. 阶段一教学流程示意图

3.2. 软件操作与任务闯关实践阶段

学生在教学平台上，按照已经设计好的学习路径，自主学习并掌握相关数字孪生软件的操作技能。平台提供丰富的模块化任务和闯关挑战，学生需逐级完成数控编程、PLC 逻辑控制、AGV 点位示教等一

系列具体任务。每个任务都设置明确的达标标准, 学生需通过反复练习和调试, 确保对软件功能和产线模块操作达到熟练掌握的水平, 阶段二教学流程如图 2。这种“任务驱动、闯关升级”的模式, 有效激发了学生的学习积极性, 将抽象的理论知识转化为具象的实践能力。

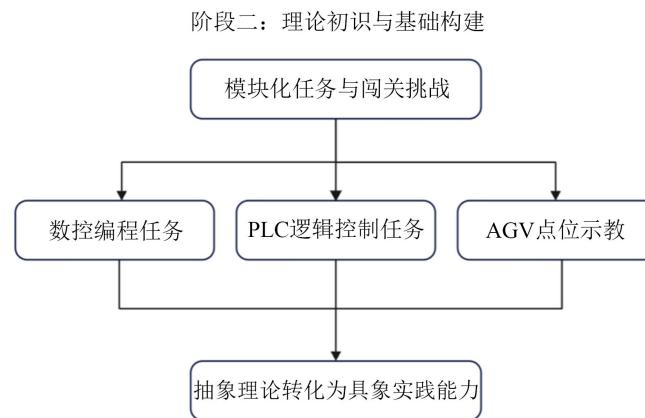


Figure 2. Schematic diagram of teaching process in stage 2
图 2. 阶段二教学流程示意图

3.3. 全产线模拟仿真与综合应用阶段

在学生熟练掌握各模块操作技能后, 教学将引导学生进入更高阶的全产线数字孪生模拟仿真环节。学生将被赋予产线设计与搭建、产线调试以及产线优化一条完整智能制造产线的任务。他们将综合运用所学知识和软件技能, 在虚拟环境中进行产品生产任务的全流程仿真, 包括从原材料入库到成品出库的整个生产周期, 并解决过程中可能出现的各种工程问题。通过对产线的反复调试与优化, 学生能够最大限度地体验真实生产流程, “知”、“行”结合, 使得学生们能够真正内化和掌握复杂机床的操作要领、精度控制技巧以及严格的安全规范, 阶段三教学流程如图 3。

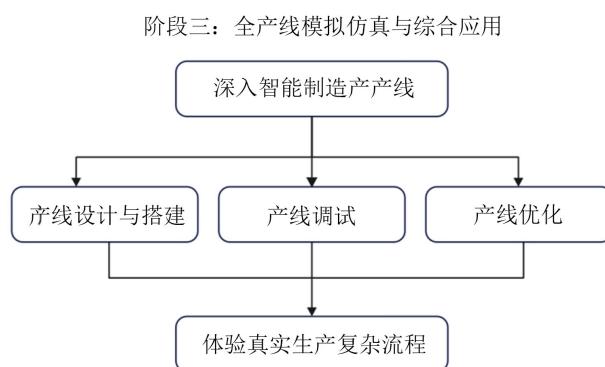


Figure 3. Schematic diagram of teaching process in stage 3
图 3. 阶段三教学流程示意图

4. 针对不同专业类别的学生的定制化教学内容设计

数字孪生技术凭借其高度的灵活性和可配置性, 为构建多层次、个性化的教学体系提供了坚实基础。通过精准对接不同类型专业学生的知识背景和培养目标, 我们能够设计出专属的教学内容与实践任务, 确保每一位学生都能在数字孪生平台上高效学习, 并将其所学知识与自身专业领域深度融合, 从而最大

化地提升学习的针对性和有效性。在教学内容的安排上，我们把学生专业分为四个大类——即机械类、计算机类、文科类、艺术类。其中，所有专业学生都将参与理论初识与基础构建阶段，掌握智能制造基础理论和数字孪生技术的通用概念，为后续专业化学习打下共同的知识背景。文科和艺术类学生在此阶段更侧重于理解宏观概念、技术趋势和应用前景。

4.1. 机械类专业：聚焦设备本体与系统集成

对于机械工程、智能制造工程等专业学生，数字孪生教学将深入到智能制造产线的核心设备原理与系统集成。他们将不仅学习 CNC 机床、工业机器人、PLC 等物理设备的精确建模与运行机制，更将通过平台进行复杂的数控编程、机器人路径规划、PLC 逻辑控制以及设备间的通信协议设计，他们需要参与到教学的各个阶段的各个流程中。最终，学生需在虚拟环境中完成高效、稳定的产线选型、布局与控制系统集成，旨在培养其构建和优化物理 - 信息融合制造系统的核心能力。

4.2. 计算机科学类专业：侧重数据处理与智能决策

计算机科学、软件工程等专业的学生主要学习第三阶段的产线优化部分。他们将深入参与平台 API 调用、数据接口开发、虚拟传感器部署以及智能算法实现等核心任务。在此过程中，学生们将系统学习如何进行虚拟传感器数据采集、数据清洗与管理。基于这些数据，他们将开发大数据分析和机器学习驱动的生产调度优化算法以及设备预测性维护模型。此外，他们还将实践平台二次开发与企业信息系统的接口集成，通过调试，旨在找到产线运行排产的“最优解”。培养学生利用信息技术和人工智能赋能智能制造，成为构建产线“智能大脑”的复合型人才。

4.3. 文科类专业：洞察产业变革与社会影响

文科类专业的学生将主要参与第二阶段的学产线调试学习。针对这些专业，我们会提供已经搭建好的产线，学生们将利用数字孪生技术，从宏观层面深入洞察智能制造对经济、社会和文化产生的深远影响。他们将基于虚拟产线运行数据和模拟场景，分析技术进步带来的经济效益、劳动力市场结构变化、就业模式转型，以及可能衍生的社会伦理和政策问题。本阶段教学旨在培养学生利用跨学科视角，对智能制造的社会价值、挑战及传播策略进行深入研究和批判性思考。

4.4. 艺术类专业：探索虚拟现实与创新表达

艺术类专业(如数字媒体艺术、工业设计、建筑学等)的学生将主要参与产线设计与搭建部分的学习。他们将充分利用数字孪生强大的三维可视化和虚拟交互能力，探索工业产品与环境的创意设计和数字艺术表达。在此阶段，学生们将学习产品虚拟原型设计、人机交互界面(HMI)的艺术化呈现、以及虚拟工厂的沉浸式漫游体验构建。同时，他们还将创作基于智能制造主题的数字动画或互动装置艺术。本阶段旨在培养学生将技术与美学深度融合，运用数字孪生技术进行创新性表达和用户体验设计的专业能力。

5. 教学效果

依托“理论引导 - 阖关实践 - 全链路仿真”的递进式路径与面向专业的定制化任务，过程性评价、学习分析与企业导师反馈表明：学生学习动机与参与度显著提升，实践能力由点状技能向系统能力跃迁。机械类学生能独立完成设备选型、产线布局及 PLC/机器人集成，并实现仿真方案向实操的平滑迁移，显著降低调试风险与时间成本；计算机与软件类学生构建数据管道与算法原型，完成预测性维护、调度优化；文科学生形成面向产业与社会的研究报告、政策评估与科技传播作品，强化伦理与公共沟通能力；艺术类学生产出 VR/AR 虚拟漫游、HMI 原型与可视化作品，显著提升用户体验与叙事设计力。整体上，

跨学科协作更紧密，虚拟上机时长与设备利用效率提高，安全风险有效降低，学生沉淀面向就业的项目作品集与可迁移成果。

6. 结语

以数字孪生为引擎的实训体系，打通了“讲解 - 演示 - 实践”之间的断点，构建了安全、低成本、高保真、可个性化推进的学习闭环，实现了以学为中心、以任务为牵引、以数据为驱动的培养模式，并在产教融合与多学科协同中展现出良好的可复制与可扩展性。后续将持续对接真实产线数据，扩充场景与模型库，完善学习画像与能力认证，推进校企共建的证书与标准，同时面向文科与艺术等非工科群体深化开放共享与跨界应用，形成虚实融合、持续迭代的高质量工程实践教学新范式。

基金项目

湖北省大学生创新创业训练计划项目“基于多模态数据融合的 AI 助农机械狗研究及设计”(项目编号：S202511072094)。

参考文献

- [1] Fan, T.H. (2025) Research on the Practice and Mechanism of Mutual Hiring and Co-Cultivation of “Dual-Qualified” Teaching Teams by Enterprises and Schools under the Drive of “Nengjiang Workshop”—An Exploration of Industry-Education Integration in Vocational Undergraduate Smart Manufacturing. *Vocational Education*, **14**, 209-215.
- [2] 毛辉. 数字技术赋能高职院校产教融合的价值意蕴、现实困境与创新路径[J]. 教育理论与实践, 2025, 45(33): 15-19.
- [3] 李卫锋. 基于数字孪生技术的智能制造虚拟仿真实训基地建设探索[J]. 中国机械, 2023(11): 113-116.
- [4] 王兴华, 张珂, 唐玉婷, 等. 智能制造《数字孪生装配工艺规划与仿真技术》在线教学研究[J]. 现代教育前沿, 2025, 6(1): 17.
- [5] 曾安蓉, 汪扬涛, 曾安然, 等. 基于项目化的“理论-实操-虚拟仿真”一体化课程改革实践——以《高分子化学》课程教学为例[J]. 高分子通报, 2024, 37(3): 413-418.
- [6] 黄鹏举, 陈建平. 浅析新形势下高校金工实习安全管理[J]. 教育研究, 2020, 3(8): 94-96.
- [7] Ding, R.F. (2024) Research and Practice on the Teaching Reform of the Basic Course of Intelligent Manufacturing Technology. *Creative Education Studies*, **12**, 675-681.
- [8] 杨维忠. 数控机床加工工艺参数优化及试验[J]. 农机使用与维修, 2023(10): 56-59.
- [9] 秦卫红, 陆金钰, 吴京, 等. 学习金字塔理论的工程结构设计原理教学实践[J]. 高等建筑教育, 2020, 29(1): 51-59.
- [10] 周长勇, 宋建东, 李晓康. 数控加工实训教学的现状及革新建议探究[J]. 机械与电子控制工程, 2022, 4(3): 182-184.
- [11] 王雨虹, 高艺濛, 苑佳宇. 数控技术教学中虚拟仿真应用的要点分析[J]. 教学方法创新与实践, 2021, 4(6): 82.