

数字孪生技术在教学场景中的创新应用研究

李琪

北京信息职业技术学院，北京 100015

DOI: 10.61369/ETR.2025380017

摘要：在“智能制造”战略深化推进与职业教育“双高计划”提质建设的双重背景下，高职院校机电一体化专业面临实训设备更新滞后、实操训练风险偏高、教学反馈效率低下等现实难题。本文以西门子工业软件生态为核心，构建融合 NX2312 三维建模、TIA Portal V16 编程与 PLCSIM Advanced V4.0 虚拟仿真技术的数字孪生教学平台，创新提出“虚实融合、任务驱动、数据闭环”的教学新模式，并在北京信息职业技术学院 2023 级机电一体化技术专业开展为期一学期的教学对照实验。实验结果显示，采用该教学模式的实验班学生，平均成绩较传统教学的对照班提升 16.4%，系统调试效率提升 57.1%，故障诊断准确率提升 34.5%，教学满意度达 94.2%。本研究不仅为高职机电一体化专业破解教学困境提供了切实可行的解决方案，更为智能制造类专业的数字化教学转型提供了可复制、可推广的实践范式，对推动职业教育与产业需求精准对接具有重要意义。

关键词：数字孪生；机电一体化；高职教育；教学创新

Research on Innovative Application of Digital Twin Technology in Teaching Scenarios

Li Qi

Beijing Information Technology College, Beijing 100015

Abstract : Against the dual background of deepening the "Intelligent Manufacturing" strategy and improving the quality of vocational education through the "Double High Plan", the electromechanical integration major in vocational colleges is facing practical problems such as outdated training equipment, high risks in practical training, and low teaching feedback efficiency. This article focuses on the Siemens industrial software ecosystem and constructs a digital twin teaching platform that integrates NX2312 3D modeling, TIA Portal V16 programming, and PLCSIM Advanced V4.0 virtual simulation technology. It innovatively proposes a new teaching model of "virtual real integration, task driven, and data closed-loop", and conducts a one semester teaching comparative experiment in the 2023 Mechanical and Electrical Integration Technology major at Beijing Information Vocational and Technical College. The experimental results showed that the students in the experimental class who adopted this teaching mode had an average score improvement of 16.4% compared to the control class who received traditional teaching. The system debugging efficiency improved by 57.1%, the fault diagnosis accuracy improved by 34.5%, and the teaching satisfaction reached 94.2%. This study not only provides practical and feasible solutions for solving the teaching dilemma of mechatronics integration majors in higher vocational education, but also provides replicable and promotable practical paradigms for the digital teaching transformation of intelligent manufacturing majors, which is of great significance for promoting the precise docking of vocational education and industry demand.

Keywords : digital twin; mechatronics; higher vocational education; teaching innovation

引言

“中国制造 2025”推动智能制造，对高职机电人才提“即战力”要求，而机电一体化专业陷三大困境：实训产线贵，学校难升级；学生误操作风险高，教师教学受限；结果式评价缺过程数据，反馈滞后。数字孪生以“虚拟复刻 + 实时交互”破解，软件镜像设备，学生可无限试错，平台采数据助精准指导。

本研究依托西门子三款软件建高职数字孪生平台，开发“课前虚拟演练、课中虚实对照、课后数据画像”的“任务驱动—数据闭环”教学流程。理论上提“虚实融合”职教模型，补研究空白；实践上平台成本不足实体十分之一，可完成全技能训练，形成可复制实训方案；产业上 1:1 还原企业场景，学生入学即“入职”，毕业能上岗，缩短企业培训周期，为智能制造输高配度人才。

一、数字孪生技术在教育领域概述

(一) 数字孪生技术在教育领域的应用现状

数字孪生正从产业向教育渗透。国外，德国弗劳恩霍夫“虚拟工厂”让学生零成本完成产线设计调试；普渡大学“智能维护实验室”借企业数据远程练故障诊断，破时空限制。

国内亦有进展：蒋志超将企业任务映射为教学项目，实现课堂与岗位衔接；姚柳用数控孪生机让学生虚拟试切，编程精度升30%；王宏伟引入AI分析孪生数据，推个性化训练。

这些路径共同指向“低成本、高仿真、可评价”实训新范式，为后续研究提供可复制技术框架与评价指标。

(二) 现有研究存在的不足

现有数字孪生教育研究呈“三缺”：缺对象——聚焦本科或单课，高职机电场景无专属方案；缺协同——止步三维仿真，与PLC编程、系统调试割裂，难成综合实训；缺闭环——虚拟实操后无数据采集与精准评价，教学流程断档。本研究锁定高职机电一体化，以NX2312+TIA Portal+PLCSIM Advanced协同构建设备建模—控制编程—在线调试一体平台，并嵌入“任务发布—虚拟实操—数据追踪—即时反馈”完整链条，补对象、技术与模式之空缺，为智能制造现场工程师培养提供可复制的范式。

二、数字孪生教学平台构建与技术路线

(一) 平台总体架构设计

为满足高职机电一体化专业“设备认知—编程设计—虚拟调试—虚实联调—故障诊断”的全流程教学需求，本研究构建了“三层两域”的数字孪生教学平台架构，具体架构设计如下表所示：

表 -1

层级	组成部分	核心功能
物理层	真实 PLC (S7-1200)、传感器、执行器、分拣机构、数据采集模块	1. 提供真实设备操作场景；2. 采集运行数据供对比分析；3. 接收控制指令实现虚实联调。
虚拟层	NX2312、TIA Portal V16、PLCSIM Advanced V4.0	1. NX2312：建物理设备三维虚拟模型，模拟运动与特性；2. TIA Portal V16：支持 PLC 编程，含多种方式；3. PLCSIM Advanced V4.0：模拟 PLC 环境，助调试与故障注入。
接口层	OPC UA 协议、以太网通信模块、数据转换接口	1. OPC UA 协议实现虚实层实时交互，延迟 < 100ms；2. 以太网模块连平台组件保传输稳；3. 数据转换接口统一格式促互通。

“两域”即教学域与仿真域，其中教学域主要面向教师与学生，提供教学任务发布、学习资源获取、实训操作、数据查看等功能；仿真域主要面向平台管理与维护，负责保障虚拟仿真的稳定性、数据存储的安全性，同时对平台运行状态进行实时监控，确保教学活动顺利开展。

(二) 平台核心软件协同机制

数字孪生教学平台的高效运行，依赖于NX2312、TIA Portal V16、PLCSIM Advanced V4.0三款核心软件的协同工作，各软件通过接口层实现数据互通与功能联动，形成完整的教学支撑体系，具体协同机制如下：

1. NX2312：三维建模与运动仿真

NX2312作为平台的三维建模与运动仿真工具，主要负责构建虚拟实训场景，其核心功能与在教学中的应用方式如下：

- 刚体与碰撞体：模拟真实物理属性；
- 运动副与驱动器：定义旋转、滑动等运动形式；
- 传感器信号：输出布尔量、模拟量至 PLC。

2. TIA Portal V16：PLC 程序开发与调试

TIA Portal V16作为西门子推出的PLC编程软件，是学生开展编程学习与实训的核心工具，其在平台中的应用主要包括以下方面：

- 编写颜色识别、气缸控制、计数统计等程序；
- 使用 Trace 功能监控变量变化；
- 利用模块化编程培养工程思维。

3. PLCSIM Advanced V4.0：虚拟 PLC 仿真与故障注入

PLCSIM Advanced V4.0作为虚拟PLC仿真工具，能够模拟真实PLC的运行环境，为学生提供无风险的程序调试与故障诊断训练环境，其核心功能如下：

- 无需真实 PLC 即可运行程序；
- 支持故障注入（如传感器失效、执行器卡滞）；
- 提供 Web Server 接口，实现远程监控。

4. 多软件协同流程

数字孪生教学平台中，NX2312、TIA Portal V16、PLCSIM Advanced V4.0通过OPC UA协议实现数据实时交互，形成完整的协同流程：

- NX 作为 OPC UA Server，PLCSIM 作为 Client；
- 实现 <100ms 的实时数据交互；
- 支持变量订阅、事件触发、数据记录。

三、数字孪生教学场景设计与实施

(一) 课程融合路径：“三阶六步”教学法

为充分发挥数字孪生教学平台的优势，本研究结合高职机电一体化专业的课程特点（如《PLC 应用技术》《机电一体化系统设计》），设计了“三阶六步”教学法，将数字孪生技术深度融入教学全流程，实现“理论学习—虚拟实训—实战应用”的递进式教学。“三阶六步”教学法的具体内容如下表所示：

表 -2

教学阶段	教师任务	学生活动	数字孪生支撑
任务导入	引入真实案例	观看视频、分析问题	NX 展示三维模型
系统设计	发布设计任务	分组完成机构与控制系统设计	NX 建模 + TIA 编程

虚拟调试	提供调试指导	在 PLCSIM 中运行程序	实时观察变量变化
虚实联调	连接真实设备	对比虚实结果	OPC UA 数据同步
故障诊断	注入虚拟故障	定位并排除故障	Trace+ 波形分析
评价反馈	生成学习报告	反思与改进	平台记录操作轨迹

(二) 教学案例：自动分拣系统虚实融合实训

为验证“三阶六步”教学法与数字孪生教学平台的实际应用效果，本研究以高职机电一体化专业《机电一体化系统设计》课程中的“自动分拣系统设计与调试”任务为例，开展教学实践。该任务要求学生设计一套能够识别红、蓝、绿三种颜色物料，并将不同颜色物料分拣至对应料箱的自动化系统，具体实施过程如下：

(1) 任务描述

设计一套可识别红、蓝、绿三种物料并完成分拣的自动化系统。

Step 1: NX 建模

构建传送带、颜色传感器、推料气缸的三维模型，定义运动副与信号接口。

Step 2: TIA 编程

编写 PLC 程序，实现：

- 颜色识别（使用 IF 语句判断传感器状态）
- 气缸控制（置位 / 复位指令）
- 计数统计（使用 CTU 计数器）

Step 3: PLCSIM 仿真

运行虚拟 PLC，观察气缸动作是否与预期一致。

Step 4: 虚实联调

连接真实 PLC 与实训装置，对比虚实结果，调整参数。

Step 5: 故障诊断（15分钟）

教师注入“颜色传感器失效”故障，学生通过 Trace 功能定位问题。

(2) 教学成效

学生可在1学时内完成3轮“设计—仿真—优化”循环；

调试时间从传统42分钟缩短至18分钟；

错误率下降62%，课堂参与度提升显著。

四、教学成效分析

(一) 实验设计

为科学评估数字孪生教学平台与“三阶六步”教学法的应用效果，本研究以北京信息职业技术学院2023级机电一体化专业的2个平行班（共56名学生）为研究对象，开展为期16周（每周4学时）的教学对照实验。

对象：北京信息职业技术学院高职院校2024级机电一体化专业2个平行班（n=56）

分组：实验班（数字孪生教学）vs 对照班（传统实训）

周期：16周，每周4学时
评价指标：技能测试、调试效率、故障诊断准确率、教学满意度

(二) 实验数据结果

经过16周的教学实验，本研究对实验班与对照班的评价指标数据进行了收集与统计，结果如下表所示：

表 -3

评价指标	实验班	对照班	提升幅度（实验班相较于对照班）
期末技能测试平均成绩（分）	86.4	74.2	16.4% ((86.4-74.2)/74.2 × 100%)
自动分拣系统调试时间（min）	18	42	57.1% ((42-18)/42 × 100%)
故障诊断准确率（%）	82.5	61.3	34.5% ((82.5-61.3)/61.3 × 100%)
教学满意度平均得分（分）	96.4	78.6	22.6% ((96.4-78.6)/78.6 × 100%)

从数据结果可以看出，实验班在各项评价指标上均显著优于对照班。

(三) 学生访谈结果

研究随机访谈实验班10名学生，了解其对数字孪生教学模式的感受。学生称虚拟环境可大胆试错、Trace 功能助直观调试，普遍认可该模式降风险、提效率、缩适应周期，也提了优化建议，为平台后续完善指明方向。

五、挑战与展望

(一) 现存问题与解决思路

尽管数字孪生教学平台在高职机电一体化专业教学中取得了良好的应用效果，但在实践过程中，仍面临一些亟待解决的问题，具体问题与解决思路如下表所示：

表 -4

问题	具体表现	解决思路
建模门槛高	NX MCD 模块学习曲线陡峭	开发低代码模块库
硬件依赖未根除	虚实联调仍需真实 PLC	引入云 PLC+ 虚拟 I/O
课程资源匮乏	缺乏系统集成案例	建设开放共享资源库

(二) 未来发展方向

面向“智能制造”升级需求，数字孪生教学平台下一步将以“AI 赋能、工厂级集成、资源标准化”三线并进，打造职教新范式。

其一，AI + 数字孪生促个性化培养：采集中学生学习数据，建动态能力画像定位薄弱点，推差异化资源并预警错误，实现“千人千面”实训与“零事故”环境。

其二，建数字工厂全景场景：在设备级孪生基础上接入工业系统，让学生以“生产经理”角色完成全流程任务，培养系统集成能力与全局视野。

其三，推进资源标准化：联合院校企业定标准、建开放仓

储，支持模型“即插即用”，借共享云整合资源，降成本、缩区域差异，提职教质量与产业适配度。

六、结论

本研究针对高职机电一体化专业教学“实训设备不足、风险高、反馈慢”问题，以西门子工业软件（NX2312、TIA Portal V16、PLCSIM Advanced V4.0）为核心，构建“三层两域”数字孪生教学平台，创新提出“三阶六步”教学法，并通过对照实验证有效性。

实验显示，实验班在知识掌握（平均成绩升 16.4%）、技能

水平（调试效率升 57.1%、故障诊断准确率升 34.5%）、教学满意度（升 22.6%）上均显著优于对照班；学生访谈也证实平台能降风险、提兴趣、缩岗位适应周期，获广泛认可。

研究创新点：一是实现三款软件协同，建全流程数字孪生教学平台；二是设计“理论认知—拟实训—实战应用”的“三阶六步”教学法，形成“任务驱动、数据闭环”流程，填补多技术协同不足、教学模式不完善的空白。

该平台与模式为高职机电一体化专业破教学困境提供方案，也为智能制造类专业数字化教学转型提供可复制范式。未来融入 AI、云技术后，数字孪生教学将向个性化、智能化发展，助力职教高质量发展，为智能制造产业育高素质人才。

参考文献

- [1] 崔永青,赵亮.数字孪生技术在高职“智能生产线安装与调试”课程中的应用[J].科技风,2025,(26):127-129.DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.202526042.
- [2] 季付涛.基于数字孪生技术的高职机电类课程教学模式改革研究[J].家电维修,2025,(08):61-63.
- [3] 胡玲玲,李敏.基于数字孪生的物料输送分拣单元虚拟调试平台设计[J].农机使用与维修,2025,(07):47-51.DOI:10.14031/j.cnki.njwx.2025.07.010.
- [4] 任晓丽,张澳,刘鹏,等.基于数字孪生的运动控制实验教学方案[J].实验室科学,2025,28(02):133-136+140.
- [5] 李钰龙,张红梅,陈普银,等.数字孪生技术在智能制造实训中的应用研究[J].南方农机,2025,56(07):156-159+171.
- [6] 赵征.基于数字孪生的轨道物流智能调度系统设计[D].电子科技大学,2025.DOI:10.27005/d.cnki.gdzku.2025.004468.
- [7] 代凤辉.数字孪生技术在机电一体化实训平台的应用[J].智慧中国,2025,(03):46-47.
- [8] 王苗苗,蒋燕,林伊婷,等.数字孪生技术在“PLC 技术及应用”课程中的应用研究[J].安徽电子信息职业技术学院学报,2024,23(04):54-58.
- [9] 骆雪汇.基于数字孪生的机电一体化系统课程教学设计[J].科学咨询,2024,(14):132-135.
- [10] 杜玉雪,朱国良.数字孪生技术人才培养探索[J].中国仪器仪表,2024,(01):21-25.