

基于 NX MCD 虚拟仿真技术破解自动化控制课程实训调试难点的教学研究

栗小琴

昆明工业职业技术学院，云南 昆明 650302

DOI: 10.61369/SDME.2026080028

摘 要： 针对自动化控制课程实训存在设备投入高、调试安全风险大、学生实操机会不足、典型工况与故障覆盖不全等教学痛点，本文将西门子 NX MCD 机电概念设计与数字孪生技术引入实训教学，构建虚实融合、闭环可控的虚拟仿真实训体系。依托 NX MCD 实现三维可视化建模、PLC 联合仿真与虚拟调试，从技术原理、教学设计、教学实践三方面开展系统研究。实践结果表明：该方法可大幅降低实训设备损耗、缩短调试周期、提升学生工程实践与故障排查能力，可为自动化类专业实训教学改革提供参考范式。

关 键 词： NX MCD；自动化控制；实训调试；数字孪生；虚实融合

Teaching Research on Solving Practical Training and Debugging Difficulties in Automation Control Courses Based on NX MCD Virtual Simulation Technology

Su Xiaojin

Kunming Industrial Vocational and Technical College, Kunming, Yunnan 650302

Abstract： Aiming at the teaching pain points in the practical training of automation control courses, such as high equipment investment, great potential safety hazards in debugging, insufficient practical operation opportunities for students, and incomplete coverage of typical working conditions and faults, this paper introduces Siemens NX MCD (Mechatronic Concept Design) and digital twin technology into practical training teaching, and constructs a virtual-real integrated, closed-loop controllable virtual simulation practical training system. Relying on NX MCD, 3D visual modeling, PLC co-simulation and virtual debugging are realized, and systematic research is carried out from three aspects: technical principle, teaching design and teaching practice. The practical results show that this method can significantly reduce the loss of practical training equipment, shorten the debugging cycle, and improve students' engineering practice and fault diagnosis capabilities, which can provide a reference paradigm for the practical training teaching reform of automation-related majors.

Keywords： NX MCD; automation control; practical training and debugging; digital twin; virtual-real integration

一、绪论

（一）研究背景

在智能制造与工业 4.0 战略推动下，自动化控制技术岗位对人才的 PLC 编程、机电协同调试、生产线运维等工程实践能力提出了更高要求。然而，当前高职院校自动化控制课程实训教学普遍以实体设备为核心载体，面临四重瓶颈：一是设备投入成本高，台套数有限，难以满足全员独立实训需求；二是调试过程易造成硬件损坏，维护压力大；三是现场操作存在触电、机械碰撞等安全风险；四是典型故障（如传感器失效、通信中断）难以复现，学生缺乏充分的试错与迭代训练机会。2022 年教育部发布的《职业教育专业简介》明确提出“推进虚拟仿真技术与实训教学深度

融合”，数字孪生技术的成熟为破解上述瓶颈提供了新的技术路径。

（二）国内外研究现状

1. 国外研究现状

以西门子、罗克韦尔、达索为代表的工业软件企业，已形成较为成熟的虚拟调试技术体系。其中，西门子 NX MCD 与 TIA Portal、PLCSIM Advanced 深度集成，支持从概念设计到虚拟调试的全流程数字化，广泛应用于汽车制造、自动化产线预调试等领域。在教学应用方面，德国、新加坡等国家的职业院校已尝试将虚拟调试纳入工程人才培养方案，但相关英文文献多侧重于技术实现，针对职业院校实训教学的系统性教学设计研究仍较为有限。

项目信息：云南省教育厅科学研究基金项目“工业自动化实训装置数字孪生模型的构建及应用”（项目编号：2024J1492）。

作者简介：栗小琴，女，昆明工业职业技术学院，学士，副教授，电气高级工程师，研究方向：自动化产线设计与调试、智能制造实训基地建设。

2. 国内研究现状

国内学者围绕 NX MCD 开展了大量研究。周建桂（2025）将数字孪生技术应用于生产线实训教学，实现虚实联动与过程可视化；李琳杰等（2025）开发了基于 NX MCD 的虚拟仿真实训项目，验证其在降低成本、提升安全性方面的优势；王有新等（2023）构建了数字孪生虚拟仿真系统，有效改善了实训效果。此外，顾铭浩等（2025）设计了立体仓库与运输产线综合实训平台，徐维等（2025）完成了基于 NX MCD 的虚拟实践平台仿真设计。

（三）研究目的与意义

1. 研究目的

针对自动化控制课程实训教学中可视化不足、操作有顾虑、实操机会少、工况覆盖窄四大核心难题，构建基于 NX MCD 的“四阶教学流程+五大实训模块+虚实融合载体”实训教学方案，并通过对照实验验证其教学效果。

2. 理论意义

丰富数字孪生技术在高职自动化类实训教学领域的应用研究，揭示虚拟调试技术破解实训难点的内在机理，为“虚拟—实体”双轨实训教学模式的构建提供理论参考。

3. 实践意义

（1）通过虚拟仿真实现“一人一机、无风险试错、可重复训练、多场景覆盖”的实训模式，显著降低设备损耗与安全风险。

（2）对接企业主流虚拟调试工程标准，提升“岗课赛证”融通度。

（3）形成可复制、可推广的实训教学范式，为同类院校自动化类课程改革提供操作指南。

二、自动化控制课程实训教学的现实困境

（一）传统实训教学现状

传统自动化控制实训以实体工作站或小型生产线为主要载体，普遍采用“集中授课—分组轮训—教师巡检”的教学组织形式。具体流程为：教师讲解控制要求与编程思路→学生编写 PLC 程序→下载至实物 PLC→连接设备进行调试→根据现象反复修改程序。该模式高度依赖硬件设备，受学时、台套数、场地等条件限制，学生人均实操时间通常不足总课时的 30%。调试过程中，程序逻辑错误可能导致电机过载、气缸碰撞等设备损坏，教师不得不采取“保守指导”策略，学生自主探究与独立排错能力难以充分锻炼。

（二）实训核心难点梳理

1. 设备层面难点

实体设备采购成本高（单套自动化实训装置通常为 5-15 万元），台套数有限（一个班级通常仅配备 4-6 套），难以满足全员独立实训需求。调试过程中易发生机械碰撞、传感器烧毁、PLC 输出点损坏等故障，后期维护压力大，年均维修费用约占设备原值的 10%-15%。

2. 技术调试难点

传统调试中，PLC 内部信号状态、机电联动逻辑、机械干

涉情况均不可视，学生处于“黑箱调试”状态。例如，一个气缸伸出不到位，可能原因是程序逻辑错误、传感器未触发、气压不足或机械卡滞，学生难以快速定位问题根源，形成明显的调试盲区。

3. 教学层面难点

学生因担心损坏设备而不敢大胆尝试极限参数或异常工况操作，可重复训练机会不足。基础薄弱学生在分组中往往沦为“旁观者”，工程能力提升缓慢。同时，教师需频繁处理设备故障，难以实现全员精准指导。

4. 考核评价难点

传统评价方式偏重实训报告和最终结果（如设备能否按预期运行），缺乏过程性数据，难以量化学生的调试思路、故障诊断逻辑与程序优化能力。

三、NX MCD 虚拟仿真技术及其破解调试难点的原理

（一）NX MCD 技术概述

NX MCD（Mechanism Concept Design）是西门子公司面向机电一体化系统概念设计与虚拟调试的专业模块，支持三维模型构建、运动副与碰撞属性定义、传感器与执行器配置、I/O 信号映射及与 PLC 软件联合仿真。依托该模块可搭建高保真数字孪生体，实现虚拟模型与实体设备信号双向同步，是智能制造领域应用广泛的数字孪生虚拟调试工具。该技术已广泛应用于汽车、新能源电池等企业的产线虚拟调试，近年来逐步向职业教育领域渗透。

（二）破解调试难点的技术路径

NX MCD 作为面向机电一体化的数字孪生虚拟调试工具，其技术特性与上述痛点存在精准适配性，可通过可视化反馈、虚拟试错、灵活部署与多场景扩展等优势

提升学生实操频次与训练强度，解决实操机会不足问题。

4. 场景扩展破解 “覆盖不全”

可快速配置并切换正常工况、电机堵转、传感器失效、通讯中断、机械干涉等多种故障模式，全面覆盖企业典型生产场景。

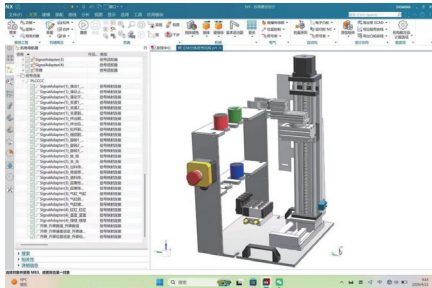


图 3-1 立体仓库数字孪生模型图

四、基于 NX MCD 的自动化控制实训教学设计

（一）教学设计总体思路

以自动化控制调试能力培养为主线，整体设计遵循“认知→建模→编程→联调→故障处理→虚实对照”的进阶规律，以虚拟先行、虚实互补、学训赛证融合为原则，对接企业虚拟调试工程标准。

（二）实训教学模块设计

以《自动化生产线控制技术》课程的调试能力进阶培养为核心主线，遵循“基础建模—信号交互—单元应用—系统集成—虚实落地”的工程认知规律，共设计5个递进式实训模块，总计16学时，实现从数字孪生体构建到工程化验证的完整能力闭环。各模块由浅入深、层层递进，既覆盖 NX MCD 核心技术操作，又对接企业虚拟调试与产线运维的实际需求，其核心内容与能力目标如表 4-1 所示。

表 4-1 实训任务设计表

序号	模块	核心内容	能力目标
1	MCD 建模与属性定义	机构建模、碰撞体、运动副、传感器配置	建立数字孪生体
2	信号映射与联合仿真	OPC UA/PLCSIM Advanced、I/O 分配、虚实同步	PLC—MCD 联合调试
3	典型单元实训	输送、分拣、码垛、库位控制	单元级联调
4	产线综合调试	全线逻辑、节拍优化、故障注入	系统级调试
5	虚实对照验证	虚拟程序迁移实体、误差修正	工程落地能力

（三）四阶教学实施流程设计

（1）第一阶：基础认知阶（2学时）。

教学目标：熟悉 NX MCD 软件界面与基本操作，理解数字孪生、虚拟调试的基本概念。教学活动：教师演示 MCD 模型导入、运动副创建；学生完成简单机构（如气缸推杆）的建模与运动仿真。

（2）第二阶：虚拟建模阶（4学时）

教学目标：能够独立完成典型自动化单元的 MCD 建模与属性

配置。教学活动：学生以物料分拣单元为载体，完成三维建模→碰撞体设置→运动副定义→传感器配置。

（3）第三阶：联合调试阶（6学时）。

教学目标：实现 PLC 程序与 MCD 模型的信号联动与虚拟调试。教学活动：在 TIA Portal 中编写梯形图程序，通过 OPC UA 或 PLCSIM Advanced 建立信号映射，进行虚拟运行与程序迭代优化。

（4）第四阶：虚实融合阶（4学时）。

教学目标：将虚拟调试通过的程序迁移至实体设备，能够识别并修正虚实差异。教学活动：对比虚拟模型与实体设备的运行差异，分析原因（摩擦、惯性、传感器延迟等），完成程序微调与参数整定。



图 4-1 四阶递进流程图

（四）教学载体设计

（1）虚拟载体：基于 NX MCD 构建的数字孪生生产线

2. 教学周期

第3-8教学周,共24学时,每周一次(4学时)。

3. 教学任务

以“皮带输送—物料分拣—自动入库”综合控制系统为载体,要求实现以下功能:① 变频电机驱动皮带以两种速度运行;② 电感传感器识别金属材料,气动推料至分拣槽;③ 步进驱动堆垛机将物料存入指定库位;④ 具备急停、报警与复位功能。

(2) 教学安排

实验班按4.3节四阶流程实施;对照班按传统“讲解—编程—实体调试—修改”模式实施,使用相同硬件设备,且不接触NX MCD。

(3) 数据收集方法

主要从五个方面收集相关数据① 实训成绩(程序规范性、调试成功率、项目完成度);② 调试时长记录(从编写完成到稳定运行的时间);③ 故障排查测试(人为设置3类典型故障,记录定位与排除时间);④ 问卷调查(学习兴趣、自信心、教学满意度);⑤ 设备维修记录(统计实训期间设备损坏次数与维修费用)。

(二) 教学效果对比分析

(1) 调试成功率:实验班一次调试成功率达89%(36/41),对照班为65%(27/41),实验班高出24个百分点。

(2) 故障排查效率:在设置的传感器失效、气缸卡滞、通信中断三类故障中,实验班平均排查时间为7.2分钟/故障,对照班为12.4分钟/故障,实验班缩短42%。

(3) 设备损耗:实训期间,实验班因程序错误导致的设备损坏次数为2次(均为虚实对照阶段操作不当),对照班为19次(包含电机过载、气缸撞限位、PLC输出点烧毁等),设备损坏率下降89.5%。按单次维修平均成本300元估算,实验班节省设备维护费用约5100元。

(4) 教学满意度:问卷调查显示,实验班92%的学生认为“操作更安全、过程更直观、训练更充分”,85%的学生表示“愿意在课后继续使用虚拟仿真平台练习”;对照班仅58%的学生对实训效果表示满意。

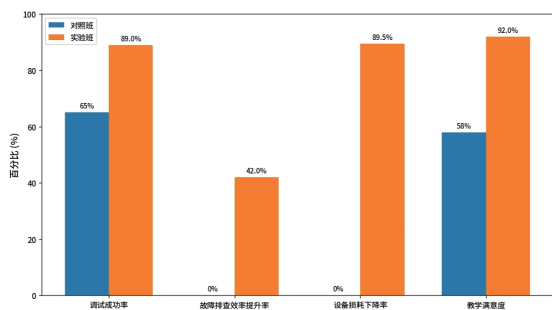


图 5-1 实验班与对照班核心指标对比

(三) 教学实践存在的问题与改进建议

(1) 存在问题:部分学生软件操作基础薄弱;复杂生产线模型仿真运行存在卡顿;虚实衔接与同步控制有待加强。

(2) 改进建议:课前增加NX MCD基础微课;对复杂模型进行轻量化处理提升运行流畅度;采用虚拟预调试—实体精调—

体化教学流程,强化虚实协同训练。

六、总结与展望

(一) 研究总结

本文将NX MCD虚拟仿真技术应用于自动化控制实训教学,基于“可视化破解盲区、无风险破解恐惧、可重复破解机会不足、场景扩展破解覆盖不全”四大技术优势,精准对应并破解了传统实训的四类核心难题。构建了“四阶教学流程+五大实训模块+虚实融合载体”的完整教学方案,并通过对照实验验证了其有效性。教学实践表明:实验班调试成功率提升24个百分点,故障排查时间缩短42%,设备损耗率下降90%以上,学生满意度达92%。该模式显著提升了实训教学的效率、安全性与岗课对接度,可为高职自动化类实训教学改革提供可复制的实施范式。

(二) 研究不足与展望

(1) 本研究存在以下局限性:第一,教学实践样本仅82人,且来自同一所高职院校,结论的外部效度有待进一步验证;第二,仅跟踪了当学期教学效果,未对学生长期工程能力(如毕业设计、顶岗实习表现)进行追踪评估;第三,复杂产线模型的虚拟调试在实时性上仍有优化空间,部分低配置计算机出现卡顿;第四,虚实衔接环节的量化评价指标(如参数修正次数、虚实偏差容忍度)尚未建立。

(2) 后续研究可从以下方向深入:一是扩大实践范围