

仿真技术在电气控制与 PLC 课程中的应用研究 ——基于 S7-1200 PLC 与 NX MCD 的虚实 一体化教学模式构建

恽中华, 杨璐

盐城农业科技职业学院, 江苏 盐城 224000

DOI: 10.61369/TACS.2025100046

摘 要 : 针对高职院校《电气控制与 PLC》课程在教学中面临的硬件设备局限、教学情境与工业实际脱节、学生系统集成能力培养不足等核心问题, 本研究提出并实践了一种深度融合虚拟仿真与实物操作的“虚实一体化”教学模式。该模式以西门子 S7-1200 可编程控制器 (PLC) 为控制核心, 以 NX 2212 软件的机电一体化概念设计 (MCD) 模块为高保真虚拟仿真平台, 构建了从机械系统建模、控制逻辑验证到机电协同调试的完整数字化教学闭环。通过以“智能供料单元”为典型教学案例, 详细阐述了如何利用 NX MCD 创建具备物理属性的三维模型, 并与 TIA Portal 中的 S7-1200 PLC 程序通过 OPC UA 协议进行实时数据交互, 实现“数字孪生”式的虚拟调试。教学实践表明, 该模式能有效突破传统实训对昂贵实体设备的依赖, 将抽象的控制逻辑转化为直观的机械运动, 显著提升了学生的三维空间理解能力、多软件协同工程实践能力及系统调试思维, 为培养符合智能制造需求的高素质技术技能人才提供了有效路径。

关 键 词 : 仿真技术; NX MCD; S7-1200 PLC; 数字孪生; 虚拟调试; 教学改革

Research on the Application of Simulation Technology in the Course of Electrical Control and PLC — Construction of a Virtual-Real Integration Teaching Mode Based on S7-1200 PLC and NX MCD

Yun Zhonghua, Yang Lu

Yancheng Vocational College of Agricultural Science and Technology, Yancheng, Jiangsu 224000

Abstract : In view of the core problems faced by the "Electrical Control and PLC" course in higher vocational colleges, such as limitations of hardware equipment in teaching, disconnection between teaching scenarios and industrial reality, and insufficient cultivation of students' system integration ability, this study proposes and practices a "virtual-real integration" teaching mode that deeply integrates virtual simulation and physical operation. This mode takes the Siemens S7-1200 programmable logic controller (PLC) as the control core, and the Mechatronics Concept Design (MCD) module of the NX 2212 software as a high-fidelity virtual simulation platform, constructing a complete digital teaching loop from mechanical system modeling, control logic verification to mechatronic collaborative debugging. Taking the "intelligent feeding unit" as a typical teaching case, it elaborates in detail how to use NX MCD to create a three-dimensional model with physical properties, and conduct real-time data interaction with the S7-1200 PLC program in TIA Portal through the OPC UA protocol to achieve "digital twin"-style virtual debugging. Teaching practice shows that this mode can effectively break through the dependence of traditional training on expensive physical equipment, transform abstract control logic into intuitive mechanical movements, significantly improve students' three-dimensional space understanding ability, multi-software collaborative engineering practice ability and system debugging thinking, providing an effective path for cultivating high-quality technical and skilled talents to meet the needs of intelligent manufacturing.

Keywords : simulation technology; NX MCD; S7-1200 PLC; digital twin; virtual commissioning; teaching reform

引言

《电气控制与 PLC》是高职机电一体化专业承前启后的核心课程, 其教学目标在于使学生掌握现代工业自动化系统的设计、编程

与调试能力。然而，传统“理论讲授+实验箱验证”的教学模式日益凸显其局限性：实训设备更新换代成本高、台套数不足导致学生实操机会有限；实验项目多为功能孤立的验证性实验，缺乏对完整工业流程的模拟，难以培养学生解决复杂工程问题的系统思维；涉及气动、伺服驱动等环节时存在安全风险，制约了教学深度。

虚拟仿真技术的引入为破解上述困境提供了关键工具。当前教学中的仿真应用多集中于 PLC 逻辑仿真（如 TIA Portal 的 S7-PLCSIM）或简单的二维动画联动，虽能解决部分问题，但仿真环境与被控对象之间缺乏高保真的物理交互，存在“控”与“机”脱节的“半虚拟化”问题，学生难以建立对机械、电气、控制三者协同工作的完整认知。

为此，本研究构建了一种以“数字孪生”为核心理念的“虚实一体化”深度仿真教学模式。其核心创新在于，将西门子 S7-1200 PLC 的工业级控制生态与 NX 2212 软件的 MCD 模块所提供的高精度机电系统仿真能力进行深度融合。一方面，S7-1200 PLC 及其 PLCSIM Advanced 高级仿真器提供了稳定可靠的控制逻辑与通信协议仿真；另一方面，NX MCD 能够构建包含刚体动力学、碰撞检测、运动副约束的真实物理行为模型。二者通过工业标准接口（如 OPC UA）连接，形成一个从控制信号到物理响应完全闭环的虚拟调试环境。学生在此环境中，可安全、自由地完成从机械对象认知、传感器/执行器信号定义、PLC 编程到系统联调的全流程项目化学习，实现知识构建与技能训练的无缝衔接。

一、基于 S7-1200 与 NX MCD 的“虚实一体化”教学模式

（一）教学模式框架

该模式遵循“以实定虚、以虚验程、以程控实”的循环递进原则，其教学流程框架如下图所示：

整个过程以具体的工程项目（如智能供料单元）驱动，理论知识学习为其服务。核心的虚拟仿真阶段是本模式的枢纽，它允许学生在无实物风险的情况下进行全面的系统设计与验证。最后，将虚拟调试成功的程序迁移至实物 PLC，完成从数字世界到物理世界的跨越，并解决现场接线、信号干扰等实际问题。

（二）核心工具链：S7-1200 PLC 与 NX MCD

控制与编程平台（西门子 TIA Portal）：作为工业标准软件，用于对 S7-1200 PLC 进行硬件组态、编程（支持 LAD、SCL、GRAPH 等）、人机界面（HMI）设计以及网络配置。其内置的 PLCSIM Advanced 仿真器可以虚拟运行完整的 PLC，包括工艺对象（运动控制），并开放真实的以太网接口，是实现与外部高级仿真软件通信的基础。

机械系统仿真平台（NX 2212 MCD 模块）：这是本模式区别于传统仿真的关键。NX MCD 允许学生在三维空间中构建详细的机械模型，并为其定义物理属性（质量、惯性）、运动学关系（滑动副、旋转副等）、传感器（proximity sensor, limit switch）和执行器（线性气缸、旋转电机）。这些虚拟元件可被赋予与实物 PLC 对应的 I/O 变量，从而使模型能够根据 PLC 程序做出符合真实物理规律的反应。

通信桥梁（OPC UA）：作为连接 TIA Portal（控制域）与 NX MCD（机械域）的标准化协议。PLC 仿真器作为 OPC UA 服务器提供数据，NX MCD 作为客户端订阅和写入数据，实现控制信号与机械状态的高效、实时、可靠交换。

二、教学实施案例：智能供料单元的虚拟仿真与调试

为具体阐释该模式，本文以 2023 年全国职业院校技能大赛

“工业网络智能控制与维护”赛项赛题 A 中“钢珠罐装生产线”的供料 A 单元为蓝本，设计教学案例。

（一）项目描述与理论准备

任务：设计并实现一个智能供料单元。初始状态，料仓中存放有 4 个待处理的瓶体。系统启动后，需按订单要求，将瓶体逐一、稳定地推出至输送线，并确保推出到位。涉及气缸控制、位置传感器反馈及与下游工序的联动信号。

理论要点：在虚拟仿真前，引导学生学习 S7-1200 PLC 的数字量输入/输出（DI/DO）原理、气动电磁阀控制逻辑、到位与原点传感器的信号特征，以及顺序控制编程方法。

（二）虚拟仿真环境构建与调试（核心环节）

此环节是培养学生系统集成能力的关键，分为以下步骤：

第一步：在 NX MCD 中构建供料单元数字化模型

学生根据赛题提供的机械布局，在 NX 中建立供料仓、推料气缸、导向机构及瓶体的三维模型。随后进入 MCD 模块，进行关键定义：

1. 定义刚体与碰撞体：为气缸活塞杆、瓶体等运动部件分配“刚体”属性，并为料仓内壁、导向槽等定义“碰撞体”，以模拟真实的阻挡与约束。

2. 创建运动副：为推料气缸定义为“滑动副”，限制其仅沿推出方向做直线运动，并设置其行程范围。

3. 添加传感器与执行器：在气缸推出端极限位置添加一个“传感器”（模拟到位检测开关）。

在气缸缩回端极限位置添加一个“传感器”（模拟原点检测开关）。

将气缸的“滑动副”定义为“执行器”，接收外部信号控制其运动。

4. 信号映射：将上述传感器映射为 BOOL 型输入信号（TRUE 为推出，FALSE 为缩回）。

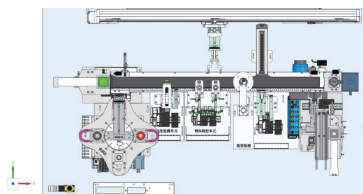


图1 MCD 图示例

第二步：在 TIA Portal 中设计 PLC 控制程序

硬件组态与变量定义：创建 S7-1200 项目，添加 CPU（如 1215C）。在 PLC 变量表中创建与 NX MCD 模型对应的变量：

编程实现顺序控制：使用梯形图语言编写单次供料控制程序。基本流程为：接收到启动命令后，置位气缸推出，直到反馈信号为 1（到位），延时确保稳定后复位气缸缩回信号，直到回原点信号为 1，一个循环结束，等待下一次启动。

第三步：OPC UA 联调，构建供料单元“数字孪生”

配置通信：启动 TIA Portal 中的 PLCSIM Advanced，将程序下载至虚拟 PLC。在 PLCSIM Advanced 中激活 OPC UA 服务器功能。

联合运行与调试：同时运行 NX MCD 仿真和 TIA Portal 的在线监控。从而触发程序下一步。学生可在此过程中随时修改程序参数（如推出速度、延时时间），并即时观察虚拟模型的动作变化，高效完成逻辑验证与参数整定。

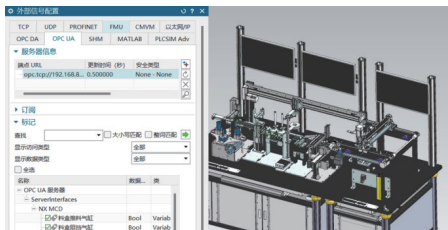


图2 OPCUA示意图

第四步：虚拟 HMI 集成与监控

在 TIA Portal 中组态一个精简的触摸屏画面，放置“启动”、“停止”、“气缸状态”、“传感器状态”等元素，并与 PLC 变量关联。通过 TIA Portal 的 HMI 仿真功能，学生可以操作虚拟按钮控制整个虚拟供料流程，实现人机交互的闭环验证。

（三）实物迁移与举一反三

虚拟调试成功后，学生将程序下载至实训室的真实 S7-1200 PLC，连接真实的气缸、磁性开关进行验证。由于控制逻辑和信号接口已在虚拟环境中充分验证，实物调试的重点转向电气接线工艺、传感器位置微调等现场工程问题，成功率大幅提高，设备损耗降低。此案例可进一步扩展，引导学生参照赛题，依次完成后续的“高度检测”、“视觉分拣”、“称重搬运”等单元的虚拟仿真，最终在 NX 中拼接成完整的生产线数字孪生模型，进行系

统级联调。

三、教学成效与反思

通过在笔者所在院校机电一体化专业两届学生中实施本模式，并与传统教学模式班级对比，取得显著成效：

学生工程能力显著增强：实验班学生在完成诸如“智能供料单元”这类综合性项目时，表现出更强的系统规划能力和问题诊断速度。他们能清晰地描述从信号流到机械动作的完整因果链。

教学资源与安全边界拓展：虚拟仿真承担了约 70% 的调试工作量，使有限的实体设备能用于更深化的工艺优化和故障排查训练。同时，NX MCD 中可模拟传感器失效、气缸卡滞等故障场景，供学生安全地进行排故练习，这是实物实训难以实现的。

学习主动性与兴趣提升：三维可视化、即时反馈和游戏化的调试过程，极大激发了学生的学习内驱力。他们更愿意尝试复杂的控制算法和优化方案。

实施中的挑战与对策：首先，对教师提出了更高的跨学科能力要求，需同时熟悉机械建模、电气控制和虚拟调试。建议通过校企合作、专项培训提升师资水平。其次，初期软件环境搭建需要投入。院校可采取分阶段建设策略，先从核心的 S7-1200 和 NX MCD 基础模块入手，再逐步扩充高级功能库。

四、结论

将基于 S7-1200 PLC 与 NX MCD 的深度虚拟仿真技术系统化融入《电气控制与 PLC》课程教学，构建“虚实一体化”教学模式，是响应职业教育数字化改革、对接先进制造业人才需求的必然选择。该模式不仅解决了硬件条件制约与教学安全风险，更重要的是通过构建高度逼真的“数字孪生”环境，为学生搭建了一个无缝连接控制理论与机电一体化工程实践的桥梁。它有效培育了学生的数字化设计、虚拟调试和跨域协同能力，这些能力正是智能制造背景下技术技能人才的核心素养。未来，本模式可进一步与工业物联网、云平台等前沿技术结合，持续深化课程改革，提升人才培养质量。

参考文献

[1] 刘起汉. 基于仿真技术的电气控制与 PLC 技术教学研究 [J]. 木工机床, 2023, (04): 37-39+48.
[2] 佟欣, 熊焱. 仿真技术在电气控制与 PLC 课程中的应用 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(12): 82-83. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.12.030.
[3] 张万青, 姜雪菲. 职业院校电气控制与 PLC 课程教学的探究与实践 [J]. 现代农机, 2021, (04): 76-77.
[4] 韦红美, 潘思妍. 仿真软件在机床电气控制技术课程中的应用探究 [J]. 企业科技与发展, 2019, (04): 121-122.
[5] 宋清龙. 浅谈电气控制与 PLC 技术教学改革 [J]. 电子世界, 2018, (15): 107. DOI: 10.19353/j.cnki.dzsj.2018.15.060.