

数字孪生技术在生产线课程教学中的实践应用

潘若芊

青岛工程职业学院智能制造学院

摘要: 目前制造业对智能生产线技术人才的需求日益增长,但传统职业院校智能生产线课程教学普遍存在设备昂贵、操作风险高、实操机会不均等问题。本研究创新性地将数字孪生技术引入智能生产线技术课程教学,通过 Factory IO 软件搭建虚拟生产线模型,结合 PLC 程序设计实现生产线的联合仿真与优化调试,并通过实训设备验证仿真效果。实践表明,该虚实结合的教学模式能达成“一人一机”实践目标,既降低实训成本,提高教学效率,又缩短了学生从课堂到岗位的适应周期,为课程教学改革提供了新思路,对培养工业 4.0 时代高素质职业技术人才也具有重要意义。

关键词: 智能生产线; 数字孪生; 虚拟仿真; 课程教学改革

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2025.10.143

引言

随着《中国制造 2025》战略规划的顺利推进,我国制造业发展快速,传统制造业正向智能化、网络化、敏捷化方向转型,汽车、电子、航空航天等行业对智能生产线技术技能人才的需求激增。为应对产业人才需求的结构性变革,越来越多的专业增设智能生产线相关课程,通过该课程,学生可以了解智能生产线的组成部分、基本原理,掌握自动化生产线的模型构建、控制系统设计、编程与调试相关的理论知识和技术。当前职业院校在智能生产线相关课程的教学,普遍依赖物理实体生产线设备开展实习实训,然而,这种传统模式普遍存在设备价格昂贵、更新迭代滞后、操作复杂危险性高、学生实操机会不均等问题,例如,实操设备数量有限导致学生分组实训时多数人处于“游离”状态,难以实现“一人一机”的实践目标^[1],这种情况严重制约教学效果,无法满足学生实习实训的实际需求,难以培养解决复杂工程问题的能力,因此采用数字孪生技术进行虚拟仿真是实现智能生产线技术课程教学的新的方向。

一、数字孪生技术的背景意义

数字孪生(Digital Twin)技术这一概念最早可追溯至 2003 年^[2],由美国密歇根大学教授 Grieves 在其开设的产品全生命周期管理(PLM)课程中首次提出,后来,美国空军实验室(AFRL)于 2009 年将其引入航空航天领域从而被大众广泛了解,其目的是通过数字孪生技术实现虚拟模型实时同步数据以便于工程师远程诊断,解决飞机的故障和寿命预测问题^[3],经过多年发展,数字孪生技术逐渐扩展到多个行业,尤其在智能制造领域的研

发、生产、运维等环节得到了广泛应用,2017 年,陶飞等^[4]基于数字孪生技术提出了数字孪生车间这一新概念,探索并梳理了数字孪生车间的运行机制和核心技术,并提出了车间中的物理实体与数字信息模型的双向映射共融理论及应用路径,数字孪生在制造业的应用已逐渐涵盖车间布局、柔性生产、设备监测、工艺优化等领域,目前,数字孪生的准确表达还在逐渐演变,但其在智能制造行业的含义已达成了基本共识,即物理实体(设备、车间等)在数字空间的虚拟模型和动态仿真^[5],而目前职业教育领域对数字孪生的教学融合仍处于探索阶段,课程内容与产业技术需求存在脱节,亟需构建适应智能制造人才培养的新型教学模式。

二、数字孪生智能生产线课程的建设

(一) 教学内容

智能生产线技术课程作为一门具有重要意义和价值的综合性学科,广泛整合了工业自动化、人工智能(AI)及先进制造技术等多个核心知识领域,为学生构建起一个全面且多元的知识体系。该课程目标明确,一方面是学生系统掌握智能生产线的组成结构、运行原理及技术特性等理论知识,加强学生对智能生产线的认知,另一方面,同时培养其在自动化产线建模、控制系统设计、程序开发与调试等方面的专业技术能力,训练学生的电气控制技能、机器人操作维护能力以及产线装配调试技术,将理论知识转换为实践能力,最终通过课程培养具备跨学科整合能力、能够解决生产现场实际问题、拥有工程实践与技术创新意识的高素质复合型人才。

在理论教学上,智能生产线技术课程整合了可编程

控制器技术、智能传感器与检测技术、工业通信网络、智能设备运行与维护等多门专业相关课程的关键知识点，这些知识模块彼此关联，一同构建起智能制造领域的理论根基。实践教学内容的构建紧密依托上述理论知识，在课程中融入合作企业的真实生产线案例，设置多个实践项目，学生要运用理论学习阶段掌握的基础知识，挑选合适的设备模型，搭建一条完整的虚拟仿真智能生产线并且要依据生产线的控制要求设计对应的 PLC 程序，从而实现对各设备的自动化控制，在此基础上进行现场调试优化以保证生产线稳定、高效运行，以此提升学生的编程实践能力和解决实际问题的能力。

（二）教学过程

融合数字孪生技术的智能生产线课程的教学实践过程包括五步：

1. 实际生产场景与需求分析：在智能生产线课程教学中，将引入合作智能制造企业的真实生产场景作为教学蓝本，这种沉浸式教学模式将工业环境中的复杂生产流程、设备运行逻辑以及实际生产线案例以真实可感的形式呈现在学生面前，学生不再是被动接受抽象的理论知识，而是置身于模拟的工业场景中，同时教师需要结合课程教学目标和学生的实际情况，深入研究课程教学目标，明确在数字孪生模型中需要模拟和实现的具体功能、流程和性能指标，以便学生能够在虚拟环境中进行针对性的学习和实践，提升教学效果。

2. 仿真模型定义与搭建：Factory io 是一款专业的工业自动化和机器人仿真软件，该软件有着极其丰富的模型库，包括传送带、传感器、机械臂、机床等多种生产线设备，除此以外它具有高度还原实际生产线生产过程的仿真功能，为智能生产线教学提供了一个理想的平台，通过该软件，学生可以根据设计需求发挥自己的创造力和想象力选择对应的模型自由搭建虚拟的生产线场景，对每一个设备的参数和状态进行调试以模拟生产线的实际的运行过程，深入学习和掌握智能生产线的相关知识和技能，这种虚实结合的方式既保留了工业场景的真实性，又为教学实验提供了安全可控的实践环境^[6]。

3. 控制信号定义与 PLC 程序设计：控制信号是生产线自动化运行的关键要素，它包含电机启动停止信号，输送带、机械臂等智能制造装备的速度调节信号，物料位置检测传感器的反馈信号以及故障报警信号等，在仿

真模型构建过程中，学生需要明确定义生产线各个设备控制信号的类型、格式和传输方式，以保证信号能在虚拟模型间准确传输。PLC（可编程逻辑控制器）是专为智能制造工业环境设计的一种数字运算操作电子系统，在智能生产线技术课程教学中，学生需要学习 PLC 的编程原理与方法，并依据控制信号的定义，基于生产线工艺流程、设备逻辑关系和安全性等多种因素编写对应的 PLC 程序，确保控制逻辑的准确性与可靠性。

4. 联合仿真：联合仿真环节在生产线课程教学中扮演了重要的角色，通过该环节，虚拟模型与控制程序能够实现动态交互以验证二者的正确性与有效性，从功能上看，观察虚拟仿真模型在控制程序作用下的运行情况可以判断虚拟模型是否搭建正确、控制程序是能否精准实现预期的生产功能，从性能上看，联合仿真可以模拟不同生产工况以分析生产线各项性能指标。另一方面，联合仿真构建了一个高度真实的生产线实践环境，支持学生在多种复杂生产线模拟场景中进行调试与故障排查，这种虚实结合的训练方式不仅可以显著增强学生的故障排查和程序设计能力，还有效提升了对生产线优化与异常处理的综合应对能力。

5. 实际产线调试与实操：在实际产线调试与实操教学阶段可以将这些知识点迁移到实际生产线实训设备中，实现从虚拟到现实、从理论到实践的跨越，实际的生产线面临着更加复杂多变的生产环境，原材料的质量波动、设备的磨损老化、工作人员的操作失误等都会对实际生产线的运行造成影响，因此，学生需要将在联合仿真中学到的知识进行灵活运用和调整，通过这一阶段最终能培养学生的实际应用能力和创新能力，使学生成为适应现代制造业发展需求的高素质人才。

三、数字孪生技术在智能生产线课程教学中的应用效果

（一）提升学生实践操作能力和学习兴趣

数字孪生技术在智能生产线技术课程中的应用打破了传统实践中资源匮乏的限制，真正实现了“一人一机”的实践模式。在虚拟仿真环境里，学生摆脱了生产线实训设备数量不足、操作失误可能导致设备损坏等困扰，能够以零成本、高自由度的方式对智能生产线进行反复调试操作。这种动态交互模式增强了学生对智能生产线控制逻辑的理解，培养了工业生产现场所

需的综合应用能力。同时该技术具备虚实结合的沉浸式体验最大程度地激发了学生的学习兴趣,这种授课模式打破了传统课堂的单向传授模式,充分调动学生的主观能动性,显著增强学生的参与感和学习兴趣。

(二) 降低实训成本和提高教学效率

通过数字孪生技术构建智能生产线虚拟模型,突破了生产线实体实训设备数量有限、实训场地空间不足等传统限制,学生可在虚拟环境中进行产线搭建与布局设计、PLC程序编写、产线设备仿真调试等操作,精准还原与实践每一个生产环节,同时数字孪生技术不仅解决了设备和场地的限制问题,还最大程度地降低包括设备采购,材料消耗和维护费用在内的实训成本。另一方面,借助数字孪生技术,能够模拟智能生产线在不同工况下的运行状态,包括正常生产、设备故障、工艺参数调整等各种场景,学生得以在零风险的环境中大胆“试错”,既保障了学习效果,又避免了实际生产设备因频繁操作或失误导致的损耗,有效延长了设备的使用寿命,从而提高教学效率。

(三) 支撑校企合作与创新人才培养

数字孪生技术的教学实践推动校企合作向深度发展,通过将合作企业的真实生产线场景转化为教学案例并融入课程教学,不仅可以使学生掌握前沿技术工具,提高学生的动手能力和创新意识,促进理论与实践的深度融合,还能帮助学生理解智能制造的核心流程,实现从学校到企业的无缝对接,培养符合产业需求的高素质新质生产力人才,同时,教师可依托数字孪生平台开展技术研发工作,形成“教学-科研-生产”的协同生态,校企双方聚焦生产线的关键问题和共性技术,共同开展科研攻关,实现优势互补、资源共享,推动数字孪生技术在生产线优化和仿真研究中的应用。

结语

数字孪生在智能生产线技术课程教学中的实践与应用是一种创新性的教学模式,通过虚实结合的教学方式构建了高度仿真的工业实践环境使学生在沉浸式体验中掌握智能生产线的运行原理与控制方法,显著提升了学生的工程实践能力和问题解决能力,为工业自动化教学改革开辟新的技术路径,有效培养符合工业4.0需求的高素质专业人才。然而当前数字孪生技术在生产线课程

教学中的应用仍处于发展完善阶段,技术层面难以精准模拟复杂且具有高度不确定性的生产过程;教学资源建设层次缺乏分层次分专业的个性化案例库和课程体系;师资建设层面需要提升教师的技术素养和教学方法,未来,智能生产线课程的研发仍然需要教师、企业技术人员和科研人员等多方协作持续完善教学体系,提高教学效果和应用水平,为智能制造领域培养掌握数字孪生应用能力的复合型人才。

参考文献

- [1] 杨斌,俞齐鑫,张丹.基于数字孪生技术的智能产线虚拟仿真实训教学研究[J].科教导刊,2023.
- [2] APRISO. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication[EB/OL].2014-05-06.
- [3] Glaessgen E, Stargel D. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles[C]. Structures, Structural Dynamics & Materials Conference, 2012.
- [4] 陶飞,张萌,程江峰,等.数字孪生车间——一种未来车间运行新模式[J].计算机集成制造系统,2017,23(01):
- [5] 郑浩,王娟,王书瑶,等.认知数字孪生体教育应用:内涵、困境与对策[J].现代远距离教育,2021,(01):13-23.
- [6] 郝明,孙凯明,张建平,等.基于FACTORY IO的工业场景仿真虚拟调试[J].自动化技术与应用,2023,42(12):139-142.
- [7] 吴姝.虚拟仿真技术在物流技术课程中的应用[J].物流工程与管理,2023,45(10):151-154.
- [8] 乔海玉,刘亚运,陈峰,等.基于数字孪生技术的智能制造专业教学模式探索[J].模具制造,2024,24(04):81-84.
- [9] 刘永刚,姚立权,朱虹.数字孪生虚拟仿真在智能制造生产线技术课程中的实践[J].科技资讯,2023,21(04):203-207.
- [10] 尤向阳.虚拟仿真软件 Factory IO 在 PLC 实践教学中的应用[J].安徽电子信息职业技术学院学报,2022,21(06):52-56.