

# 数字孪生驱动的装备维修虚拟工场构建及教学创新

李爱玲 殷小瑞 白晓 朴晟铭  
航天工程大学, 中国·北京 102249

**摘要:** 数字化时代背景下, 装备维修领域正经历从“经验驱动”向“数据驱动”的深刻变革。数字孪生技术是指通过数字化手段, 在虚拟空间中构建与物理实体完全对应的数字模型, 并利用实时数据驱动实现虚实交互与融合的技术体系。论文主要以装备维修虚拟工场构建与创新应用为重点进行阐述, 从数字孪生赋能培养装备维修人才的机制构建、数字孪生驱动的装备维修虚拟工场的教学运行策略两个方面深入说明并探讨, 旨在推动职业技术教育的高效创新。

**关键词:** 数字孪生技术; 装备维修; 虚拟工厂; 构建机制; 教学创新

## Construction and Teaching Innovation of a Virtual Workshop for Equipment Maintenance Driven by Digital Twins

Ailing Li Xiaorui Yin Xiao Bai Shengming Piao  
Space Engineering University, Beijing, 102249, China

**Abstract:** In the context of the digital age, the field of equipment maintenance is undergoing a profound transformation from “experience driven” to “data-driven”. Digital twin technology refers to the construction of a digital model that fully corresponds to a physical entity in a virtual space through digital means, and the use of real-time data-driven technology to achieve virtual real interaction and integration. This paper mainly focuses on the construction and innovative application of equipment maintenance virtual workshops, and deeply explains and discusses the mechanism construction of digital twin empowerment to cultivate equipment maintenance talents and the teaching and operation strategies of digital twin driven equipment maintenance virtual workshops, aiming to promote efficient innovation in vocational and technical education.

**Keywords:** digital twin technology; equipment maintenance; virtual factory; establishing mechanisms; teaching innovation

### 0 前言

如今, 中国已经步入数字化时代, 社会的发展对维修人才提出更为严格的要求。维修人员既要掌握传统技能, 又要具备精准分析数据和进行远程操作的能力。然而职业技术教育的实践中, 装备维修教学面临着困境: 高危、高成本、高复杂度的实训场景难以在实体教学中复现, 学生技能的培养也难以充分满足产业的创新需求。因此, 教师应跟随时代的发展创新教学模式, 推动装备维修专业教学体系的转型。应用数字孪生技术, 可以将物理实体装备的运行状态、维修流程等映射至虚拟空间, 给学生打造出“虚实共生”的教学环境。所以职业技术教育中, 应及时发挥数字孪生技术的优势, 加快教育数字化升级, 培养更多高素质和高能力的人才。

### 1 数字孪生赋能培养装备维修人才的机制构建

#### 1.1 技术支撑机制

职业技术教育的过程中, 应及时构建技术支撑机制, 确保虚拟工场的高效运行和教学创新的有效实施。第一, 高性能计算与存储资源。利用数字孪生技术进行虚拟化工厂的构建, 势必涉及较多的计算过程与存储资源过程, 动态处理多维度的数据化模型。以虚拟化技术为例, 应该对计算资源、

存储资源和网络资源进行调配和应用, 形成资源池<sup>[1]</sup>。在构建数字孪生平台时, 若可以科学采用虚拟化计算资源池, 能够整体促进系统的高效运行。同时, 进行动态的数据资源采集, 借助传感器网络技术, 全方位收集装备运行数据、环境数据等, 并将这些数据与虚拟模型进行集成。例如, 完善MES系统和SCADA系统, 对与生产相关的数据进行多流程和多业务的集合处理, 使得数字孪生平台有更多存在价值的数得以支撑; 第二, 虚拟仿真与实时交互, 其作为装备维修虚拟工场构建的重要组成部分, 依托虚拟化仿真平台, 引导学生在虚拟化环境中分析装备维修的要点, 动态反馈网络平台的操作数据<sup>[2]</sup>。以ABB的PickMasterTwin软件为例, 基于虚拟化的环境进行机器人安装和试用, 不需要进行真实的产线构建, 便可以顺利进行装备维修的虚拟化调试研究。

#### 1.2 装备维修数字孪生体开发

装备维修数字孪生体开发, 作为数字孪生驱动虚拟工厂构建的基础, 此时应结合多种场景进行针对性模型的开发以及应用。第一, 教学用轻量化模型, 职业技术教育的实践中, 教师要通过轻量化模型进行装备维修的理论知识教学指导。这一个模型计算复杂度有所降低, 可以实现计算机装备的高质量运行。例如, 教师以轻量化的BIM模型, 引导学

生实时研究装备维修的数据信息,初步预测装备维修可能面临的问题,促使其运行达到运维的合格标准。第二,工业级高精度模型,此模型更多作用在装备维修的流程模拟中,将高精度的三维建模和详细的物理特性描述作为支撑,提高模拟结果的真实性与可用性<sup>[3]</sup>。教师可以在电力装备的维修环节中,完善高精度的数字孪生模型,对多种装备进行预测性维护和使用。在此阶段实时进行模型转换与适配,装备维护虚拟工厂的构建中,应充分满足工业发展的需求,以工业级高精度模型中提取关键信息为基础,随后转变为轻量化模型开展教学活动,确保模型在不同应用场景中的可用性。

### 1.3 多源数据融合

在数字孪生驱动背景下,装备维修虚拟工厂的构建应注重多源数据融合,结合装备运行数据、维修历史数据和学生操作数据,教师全方位监控装备维修的效果。第一,采集多样化数据信息,借助传感器技术了解装备运行的基本状态,尤其是统计温度、压力、振动等数据,动态分析装备是否需要故障,持续化调整装备的运行方案;采集装备维修的历史数据,将其作为优化维修策略的重要依据。实时分析装备是否需要维修,事先完善装备维修计划,减少装备异常概率;学生操作数据的采集,以此反映学生在虚拟工场中的学习过程和操作行为。教师综合性掌握学生的学习状态和个性化潜能的发挥情况,对现有的教学内容与模式加以革新<sup>[4]</sup>。第二,数据之间的融合,数字孪生驱动的背景下,职业技术教育的教师应利用好大数据分析技术,将装备运行数据、维修历史数据和学生操作数据进行融合分析。

## 2 数字孪生驱动的装备维修虚拟工场的教学运行策略

### 2.1 制定“三阶段”培养流程

在职业技术教育中,数字孪生驱动的装备维修虚拟工场教学运行,教师可以通过“三阶段”培养流程,系统地提升学生的维修技能和实践能力。

第一阶段是虚拟认知,教师需要给学生展示装备维修基本模型,以高精度的数字孪生模型,精准展示装备的内部结构和工作原理。借助虚拟现实技术,给学生提供沉浸式学习体验,学生能够细致观察装备的多个部件组成情况和部件之间的相互作用。以提供车床的数字孪生模型为例,教师引导学生认真观察与探索,学生可以清晰地看到齿轮的旋转、运动的传递过程。同时教师应组织学生互动,利用虚拟化的装备维修模型,教师重点给学生讲解装备的工作原理和维修要点<sup>[5]</sup>。组织学生利用交互式界面操作虚拟模型,进一步深化学生对装备结构和原理的理解。例如,通过点击模型中的不同部件,帮助学生详细地研究装备多个部件的组成情况,观察装备部件运行的原理动画。以数控机床的维修为例,教师引导学生观看虚拟化模型,加深学生虚拟认知,学生可以了解到数控机床常见维修要点,有效的提高学生分析能力;

第二阶段是仿真训练,教师利用好装备维修虚拟工厂这一个教学环境,鼓励学生分析设备零部件维修情况。将需要维修零部件的信息输入在系统平台内,促进学生在虚拟环境中进行维修操作。比如教师组织学生学习工业机器人的维修方法,利用数字孪生模型注入一个电机,引导学生通过虚拟工具开展维修。并且教师应组织学生进行维修演练,利用虚拟化工厂环境,动态给学生呈现学生具体操作的结果。虚拟仿真技术给学生提供了多次练习操作的机会,帮助学生领悟装备维修的基本方法。例如进行维修的演练学习,虚拟化工厂能够系统性记录学生操作装备的时间,提供针对性的改进方案。另外,教师应实时反馈与指导,利用好虚拟工场的实时监控系统,记录学生的操作过程,并提供即时反馈。若学生出现了一些问题,可以通过实时监控系统呈现解决问题的流程。教师和企业导师还应及时对患者进行远程指导,以模拟零部件配置为例,教师和企业导师分析系统中学生操作的信息,了解学生存在的学习困境,及时给学生提供有效方案,提高学生综合实践能力。

第三阶段是实装验证,教师要通过数字孪生技术,将虚拟模型的操作指令映射到物理装备上,实现虚实联调。分析虚拟工厂实践中学生编写的装备维修程序和物理装备两者之间的实际关系,判断是否可以将维修程序作用在装备中,分析实际操作的有效性。

### 2.2 基于孪生数据完善动态评价系统

数字孪生驱动的装备维修虚拟工场的应用效果,可以通过动态评价系统进行研究。从孪生数据出发绘制技能画像,精准了解职业院校学生的学习效果。第一操作路径优化,需要通过虚拟工场的系统记录学生在维修操作中的路径,判断学生在操作中是否有一定的流畅性。有效对比标准操作的过程,利用动态评价系统了解学生操作情况,提供操作优化路径。以工业机器人维修操作为例,借助动态评价系统记录学生维修完成的过程,在不符合操作标准时提供对应的优化路径。同时给学生提供操作建议,减少不必要的操作步骤,提高维修效率。

第二技能画像与个性化指导,通过动态评价系统构建学生在虚拟工厂中操作的技能画像,全面展示学生的表现情况,分析学生技能提升的进度,为学生全面提高装备维修技能奠定基础。在个性化指导中,教师利用动态评价系统的结果鼓励学生深入分析维修案例,健全学生知识技能结构,不断强化装备维修的教学指导效果。以“数控机床维修”为例,教师组织学生在虚拟工厂中实践,学生练习机床装备维修,系统实时记录操作数据(如维修时间、工具使用规范性等)。随后学生的练习数据将会保存在动态评价系统,生成了技能雷达图,不仅记录学生在“电气系统排障”“机械部件拆装”的实践操作表现,还记录学生在“维修手册查阅”活动中的实践操作表现。与此同时,动态评价系统对学生的进行学习情况进行个性化指导,为薄弱学生定制“液压系统维修”专项训

练<sup>[6]</sup>。参照历史案例库,再次为学生营造起落架液压泄漏模拟的环境。在学生表现突出时,动态评价系给学生提供真实焊接加工项目,促进学生进一步积累实战经验。在一系列教学指导中,学生 CCAR-66R3 维修执照通过率提升 15%,企业反馈毕业生上岗适应期缩短 50%,证实了孪生数据完善动态评价系统的应用价值。

### 2.3 校企协同机制

数字孪生驱动的背景下,职业技术教育中应利用校企协同的过程,从根源上保障教学质量。第一企业提供真实装备数据和维修历史数据,健全数字孪生模型。学校与企业之间应共同合作,开发高精度的数字孪生模型。涉及装备的几何形状,还应包含装备的运行参数<sup>[7]</sup>。以数控机床制造为例,企业和学校应一同进行创设和机床相关的模型,组织学生进行虚拟工厂的训练。并且提供“数字孪生维修实训中心”,为职业学校的学生配备高精度的数字孪生模型、虚拟仿真装备,加强学生实训能力。第二资源的时效性共享,学校和企业要创设多样化的培训活动,给学生提供多种学习资源,为提升学生岗位胜任力做好准备。企业应积极安排工程师走进学校担任兼职教师,分享前沿技术和实践经验,为学生提供理论与实践相结合的课程。同时,学校也应鼓励学生走进企业进行实习训练,让学生在真实的工作环境中锻炼技能,培养职业精神和创新能力,为未来的职业发展打下坚实基础。这种校企合作模式不仅能促进知识的转化和应用,还能为企业输送更符合需求的人才,实现双赢。

## 3 结语

综上所述,数字孪生驱动的装备维修虚拟工场,通过“虚

实融合”重构教学场景,对培养满足社会发展需求的优秀人才有重要作用。职业技术教育的实践中,要基于精准数据实施个性化教学,重视装备维修虚拟工场的应用价值。构建完整的装备维修虚拟工场运行机制,和企业之间深度合作,一同完善人才培养的方案。由此利用数字孪生技术为职业技术教育的创新赋能,真正促进学生朝向全能型人才方向发展。

### 参考文献:

- [1] 雷军环,邱凯.基于数据治理的职业教育数字化转型路径探索——以长沙民政职业技术学院数字化转型为例[J].中国高校科技,2024(12):42-46.
- [2] 王二敏,马前帅,郝飞.服务新质生产力的数字化线上线下实训课程教学改革——以“机电一体化技术”课程为例[J].工业技术与职业教育,2024,22(6):46-53.
- [3] 李海峰,王炜.生成式人工智能赋能教育新基建智慧数字底座的状态[J].远程教育杂志,2024,42(6):24-32.
- [4] 张加奇,侯晓乐,钱海祥.元宇宙视域下专业教育创新发展路径探索——以环境设计专业为例[J].上海服饰,2024(12):186-188.
- [5] 李涤怡.教育数字化转型视域下数字建造人才培养的诉求、困境与对策研究[J].产业与科技论坛,2024,23(24):140-143.
- [6] 孙麻尧.数字孪生虚拟仿真平台在高职物联网实践教学中的探索[J].现代信息科技,2023,7(24):183-188.
- [7] 张幸.基于元宇宙的高职动漫设计专业数字化转型对策研究[J].湖北开放大学学报,2023,43(6):46-50+57.

作者简介:李爱玲(1972-),女,中国山东临朐人,本科,副教授,从事机械制造、教育教学研究。