

面向智能制造的虚拟仿真实训平台构建与应用研究

任建民¹ 王鹏程¹ 吴珍祥²

(1. 杭州洛根智能技术有限公司, 浙江 杭州 310000

2. 亚龙智能装备集团股份有限公司, 浙江 温州 325000)

摘要: 智能制造是新一轮科技革命的核心, 对人才培养提出了新的要求。虚拟仿真技术以其可视化、沉浸式、低成本、低风险等优势, 为智能制造人才实训提供了新的路径。文章面向智能制造应用需求, 探索虚拟仿真实训平台的构建策略与应用模式, 重点阐述平台的总体设计、工业仿真模型开发、实训教学应用等内容, 以期为新工科人才培养改革提供借鉴。

关键词: 智能制造; 虚拟仿真; 实训平台; 人才培养

引言: 制造业是国民经济的主体, 是立国之本、兴国之器、强国之基。当前, 新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起, 智能制造成为全球制造业发展的主旋律。面对智能制造对制造业人才的新需求, 高等院校亟须创新人才培养模式, 深化产教融合、校企合作, 加快建设高水平专业化产教融合实践育人平台。虚拟仿真技术以其独特优势在智能制造人才培养中得到广泛应用, 但仍面临仿真资源匮乏、平台建设碎片化、实训教学针对性不强等问题。因此, 亟需聚焦智能制造应用场景, 科学规划虚拟仿真实训平台, 丰富虚拟仿真实训项目, 创新实训教学模式, 破解智能制造卓越工程师培养难题。

一、面向智能制造的虚拟仿真实训平台的总体设计与架构

(一) 平台功能模块划分与系统集成方案

虚拟仿真实训平台应围绕智能制造关键技术, 设计实训教学情境, 开发虚拟仿真软件, 搭建实训教学平台。平台架构可分为四层: 感知层、网络层、平台层和应用层。感知层通过虚拟传感器、虚拟执行器等建立起虚实映射, 将物理世界的设备映射到虚拟世界。网络层基于工业以太网、5G 等通信协议, 实现数据的低时延、高可靠传输 [1]。平台层整合建模仿真、工艺优化、虚拟调试、远程监控等工具, 支撑工业仿真软件的开发。应用层面向智能制造关键工艺, 开发机器人虚拟编程、CNC 加工仿真、柔性生产线虚拟调试等实训项目。学生通过虚拟现实、大屏触控等人机交互界面, 参与工业生产全流程仿真。平台应用微服务架构实现各系统的解耦集成, 支持分布式部署、弹性扩容, 既能高效集成商用仿真软件, 也能灵活对接专用硬件系统。

(二) 智能制造数字孪生技术的应用设计

数字孪生是智能制造的核心支撑技术之一。运用数字孪生可构建智能车间、智能工厂的虚拟仿真系统, 实现对物理实体的数字化映射与实时交互。在虚拟仿真实训平台构建中, 可基于数字孪生方法学, 实现对制造全生命周期的高保真仿真。如在产品设计阶段, 学生利用仿真优化工具验证产品性能, 缩短设计周期。在生产制造阶段, 学生通过虚拟装配、虚拟调试, 掌握智能制造单元的部署集成 [2]。在运维服务阶段, 通过设备运行监测、故障智能诊断等, 学生掌握智能设备管理与维护技能。通过对智能制造全流程的沉浸式体验, 学生将专业知识内化为工程实践能力。数字孪生系统应采用模块化设计, 包括三维可视化建模、实时数据采集、物理属性动态映射、人机交互渲染等功能模块, 满足不同工况的仿真需求。同时, 预留标准化接口, 对接企业生产管理系统、设备物联平台, 及时获取工业数据, 提高仿真精度。

(三) 虚拟仿真环境的交互体验优化

沉浸感与交互性是虚拟仿真教学的关键要素, 虚拟仿真环境设计应突出学生体验。构建逼真的工业场景, 充分运用三维建模、材质纹理映射等计算机图形学技术, 高保真还原车间厂房、生产设备等, 营造身临其境的感官体验。设计自然的人机交互, 学生通过体感设备、语音识别、眼动追踪等多通道人机交互, 与虚拟

设备进行实时互动。还可结合 AR/MR 头盔, 实现虚实叠加, 获得更自然的交互感受。提供个性化、开放式的操作界面。充分考虑学生的认知特点, 开发直观友好的人机界面, 支持自定义布局、快捷操作等。同时, 开放二次开发接口, 鼓励学生自主开发交互组件, 满足个性化学习需求。优化视觉引导和反馈, 虚拟环境应模拟物理世界的视觉提示, 如危险警示标识、安全操作提示等, 引导学生规范作业。出现危险或错误操作时, 给予醒目的视觉反馈, 加深安全意识。

(四) 多用户协同训练机制的构建

现代制造业的复杂性需要多专业团队通力合作。实训平台应支持多用户远程协同, 让学生体验跨专业协同的工作方式。利用云计算、5G 等技术构建云端虚拟仿真实训室, 学生可随时随地通过网页或 APP 访问平台, 开展异地协同训练。平台应支持不同角色的用户分工协作, 如在虚拟车间调试项目中, 自动化专业学生负责生产线控制逻辑设计, 机械专业学生负责工装夹具设计, 电气专业学生负责传感器布局等 [3]。平台记录各环节的操作过程, 支持学生相互点评, 教师及时指导。要建立完善的评价机制, 从设计思路、技术路线选择、团队协作等方面多维度考核学生能力, 引导学生提升协同创新能力。平台要预置丰富的协同实训项目, 开发柔性制造生产线虚拟调试、数字化车间虚拟运营等项目, 让学生在跨专业协同中强化复合应用能力。

二、基于工业场景的仿真模型开发

(一) 典型智能制造设备的建模与仿真

智能制造装备是开展虚拟仿真实训的基础, 应重点建模数控机床、工业机器人、自动化生产线等设备。建模过程中, 要充分借鉴工业设计思路, 对智能设备的结构、运动、物性等进行参数化描述, 支持学生灵活调整设计参数、优化设计方案。如在五轴数控加工仿真项目中, 通过可配置的刀具参数、进给速度、切削用量等, 学生可方便地评估加工精度和效率。在工业机器人调试仿真中, 学生通过调整关节、连杆的尺寸和运动范围, 掌握机器人结构设计要领。通过参数化建模, 学生可快速对设备进行结构优化、性能评估, 培养工程优化能力。同时, 设备模型还应具备业务逻辑接口, 支持控制程序的集成仿真。如数控设备模型可与 CAM 软件无缝集成, 直接导入 G 代码, 进行图形化仿真加工 [4]。

(二) 生产线工艺流程的虚拟重构

离散制造的柔性化、智能化转型对生产组织管理提出了更高要求, 需要学生全面掌握产品设计、工艺规划、生产调度、质量管控等业务流程。利用虚拟仿真技术可高度还原智能车间的生产组织全过程, 让学生在虚拟场景中领悟精益生产、敏捷制造的精髓。如在汽车焊装生产线虚拟仿真项目中, 学生根据产品订单灵活配置机器人工作站, 优化产线平衡, 缩短产品交付周期。生产线的构建要综合考虑设计、工艺、物流、供应链等要素。通过可视化建模工具, 学生自主规划车间布局, 配置物流输送线, 构建离散事件仿真模型。在三维可视化环境中, 学生沉浸式体验产品从投

放到产出的全流程,优化生产组织管理,强化综合实践能力。同时,工艺流程仿真环境要支持学生的创新性思维,鼓励学生创新工艺路线、突破常规约束,孵化创新性生产组织方案。

(三) 设备故障诊断与维护训练模块

工业设备因其复杂性和高度自动化而存在一定故障风险,需要学生具备敏锐的故障发现和诊断能力。虚拟仿真实训平台要加强对设备故障的建模仿真,设计形式多样的设备故障诊断与维护训练项目。以数控机床为例,通过设置主轴振动、刀具磨损、热变形等多种故障模式,学生在虚拟数控机床上实时监测设备状态,分析振动频谱、主轴电流等信号,及时发现设备故障征兆,评估故障严重程度。项目难度应由易到难分层设置,循序渐进地提高学生的故障发现、定位、隔离、排除等能力。高阶项目中,可设置多故障耦合情景,锻炼学生举一反三的能力。学生在虚拟环境中可反复试错,通过对故障的反思和总结,掌握复杂设备故障诊断的系统思维。平台还应提供丰富的在线知识库、维修案例库等学习资源,支持学生自主学习,拓展设备维护专业视野。

(四) 生产数据采集与可视化实现

数据驱动是智能制造的显著特征,学生需要掌握海量生产数据的分析应用能力。虚拟仿真平台应支持对生产设备和产品的多源异构数据采集,让学生在虚拟场景中学习数据挖掘分析方法。在数控加工仿真项目中,可通过虚拟传感器采集主轴转速、进给速率、切削力等加工参数。学生分析多参数之间的关联规律,优化切削参数,实现加工效率和成品率的提升[5]。在产品装配仿真中,学生通过实时采集装配误差、偏移量等数据,开展装配质量的统计过程控制,掌握智能质量管理方法。平台应内置数据分析工具包,涵盖数据清洗、特征提取、统计建模、机器学习等常用算法,便于学生开展数据分析。通过图表、报表等可视化工具呈现分析结果,锻炼学生的数据洞察能力。平台还应聚合跨专业数据,探索设计、工艺、制造、物流等业务数据的协同分析,培养学生全局优化的数字化管理能力。

三、面向智能制造的虚拟仿真实训平台应用效果评估与优化

(一) 实训教学效果的量化评价指标

针对智能制造技术技能要求,构建涵盖专业知识、工程实践、创新创业等维度的量化评价指标,评估学生在虚拟仿真环境中的学习效果。如在专业知识维度上,细化智能传感、机器视觉、运动控制等领域的考核要点,重点考查学生对智能制造共性技术的掌握程度。在工程实践维度,通过对虚拟仿真训练全过程数据的挖掘分析,多角度评估学生的实操水平,涉及设备操作规范性、故障诊断准确性、安全防护意识等。在创新创业维度,关注学生在开放式虚拟项目中表现出的创造力,涵盖新工艺方案、新产品开发等。评价指标的设定要坚持以学习产出为导向,能客观反映学生的职业能力素养。同时,搭建学情数据分析模型,实现学生能力发展的跟踪评估,为个性化教学提供参考。建立基于区块链的学习成果认证机制,客观记录学生的学习经历与能力水平,与企业用人标准有效衔接。

(二) 学生技能掌握度分析与评测

虚拟仿真实训的根本目标是提升学生的实践技能。要运用教育数据挖掘、学习分析等方法,深入剖析学生在虚拟仿真环境中的学习行为和um能力发展轨迹。可采用可视化分析工具,多维度展现学生在虚拟项目中的操作动线、完成质量、所需时长等信息,发现学生在操作技能掌握上的薄弱环节。通过对海量训练日志数据的机器学习建模,刻画不同层次学生的能力画像,推荐匹配的训练项目,实现因材施教。鼓励学生在虚拟环境中创新实践,挖掘制造业创新人才。可设置创新挑战项目,学生自主策划实施,系统客观评估其创新思维能力。要引入企业评价,邀请企业专家点评指导。学生在真实工程情境中强化动手能力和创新能力,企业帮助学校对接行业人才需求,平台建设与企业用人实现良性互

动。高质量的实训项目成果可在企业推广应用,让学生成长为智能制造领域的“明日之星”。

(三) 平台可靠性与稳定性测试

大规模工程仿真对平台性能提出了很高要求,平台开发应遵循工业级软件工程规范,采用敏捷开发和持续集成方法,保障平台的稳定性和可靠性。对平台进行严格的性能测试和压力测试,评估平台在高并发、大流量下的响应速度和负载能力。虚拟仿真实训对实时交互提出了苛刻要求,要优化核心算法提升渲染效率,保障平台的流畅度。建设智能运维平台,监测系统的CPU占用率、内存使用率等,实现故障的实时预警和自动定位。构建柔性的云端架构,支持资源的弹性伸缩,保障平台的高可用。针对安全性要求,严格进行等保测评,配备数据备份、容灾等手段,保障平台的数据安全和业务连续性。平台应定期进行渗透测试和代码审计,及时修复潜在的安全漏洞。平台的质量管理要全员参与,建立试点用户反馈机制,教师反馈平台建设需求,学生反馈对交互体验的建议。高质量、高可用的实训平台是智能制造人才培养的坚实载体。

(四) 教学反馈与持续改进机制

平台建设要以需求为牵引,建立敏捷的需求响应机制。要定期开展师生座谈,了解不同专业、不同学习阶段的个性化需求。综合考虑智能制造产业发展趋势,平台应快速迭代更新,为教学注入新动能。及时将行业前沿、生产一线案例引入教学,使虚拟项目紧跟智能制造发展脉搏。要建立常态化的教学质量反馈渠道,鼓励学生对平台功能、课程内容、教学组织等进行评价,帮助教师诊断教学效果,为课程持续改进提供参考。运用教学行为分析,挖掘学生的个性化学习特征,精准画像学生画像,变革智能制造人才培养模式。教学组织应从“教师讲授”为主向“学生主动学习”为主转变,学生在开放的虚拟环境中自主探究、协作攻关。教学评价应从“关注结果”向“关注过程”转变,充分利用虚拟仿真实训过程数据,客观呈现学生能力变化轨迹。依托虚拟仿真实训平台,打造智能制造特色专业课程群,创新项目式、情境式的教学模式,将智能制造前沿技术与传统制造专业教学深度融合,助力新工科建设。

结语:

智能制造是制造强国建设的主攻方向,对高素质工程技术人员提出了新的更高要求。职业院校要主动顺应智能制造发展趋势,深化复合型技术技能人才培养改革,大力推进虚拟仿真实训平台建设。聚焦智能制造关键技术,开发交互友好、沉浸感强的虚拟仿真项目,为学生提供开放的实践创新空间。秉承产教融合理念,虚拟仿真平台建设要主动对接行业企业需求,让智能制造生产场景和工程案例走进校园。

参考文献

- [1] 罗邦芬,童洲,龙勇坤,韩伟,卢健能.新工科时代智能制造虚拟仿真平台建设探索[J].机械管理开发,2024,39(1):90-92.
- [2] 李宇廷,刘江,史东丽,许爱华,石坤举,王秋红.基于虚拟仿真的高职本科智能制造工程技术实训体系构建[J].模具制造,2024,24(6):50-52.
- [3] 刁培培,何娜敏.基于MR技术的智能配送中心虚拟仿真实训平台教学实践研究[J].湖北开放职业学院学报,2024,37(8):144-146.
- [4] 叶玮渊.基于智能制造的虚拟仿真实训中心建设研究与实践[J].装备制造技术,2024(8):101-103+128.
- [5] 冯翠云.智能制造虚拟仿真实验实训平台建设[J].中国冶金教育,2021(3):71-74.

作者简介:姓名:任建民(1989年1月),性别:男,民族:汉,籍贯:文成,单位:杭州洛根智能技术有限公司,职称/职务:副总经理,研究方向:机电一体化,31000。