

轨道交通数字孪生虚拟仿真实训平台建设与教学应用研究

蒋秀君 刘继成 周慧红 肖杰 蔡蓉燕 刘玲

成都轨道交通职业学院, 中国·四川 成都 610057

摘要: 为解决轨道交通传统实训局限、响应国家政策、满足行业人才培养需求, 本研究以我校轨道交通数字孪生虚拟仿真实训室建设与应用为研究对象, 发现该类型实训室具有理论转化率和资源利用率高、岗位适配性强、学习体验与职业素养双提升等优势, 也存在系统运行稳定性不足、教学针对性不强、场景更新迭代速度慢、虚拟与真实过渡不够顺畅等问题。对此, 研究提出优化实训平台机制、AI 赋能、建立资源联动体系、优化人才培养体系等路径, 以促进轨道交通行业发展与高校实训室建设与应用。

关键词: 轨道交通; 数字孪生; 虚拟仿真; 实训室建设与应用

Rail Transit Digital Twin Virtual Simulation Construction of Practical Training Platforms and Research on Their Educational Applications

Jiang Xiujun, Liu Jicheng, Zhou Huihong, Xiao Jie, Cai Rongyan, Liu Ling

Chengdu Institute of Rail Transit, China Sichuan Chengdu 610057

Abstract: To address the limitations of traditional practical training in rail transit systems, align with national policies, and meet the industry's demand for talent cultivation, this study focuses on the construction and application of a digital twin virtual simulation training laboratory for rail transit at our university. The study identifies several advantages of such training laboratories, including high rates of theoretical-to-practical translation and resource utilization, strong alignment with specific job roles, and dual improvements in both learning experience and professional competence; however, it also highlights several challenges, such as insufficient system operational stability, weak teaching relevance, slow pace of scenario updates and iterations, and an inadequate transition between virtual and real-world environments. In response, this study proposes several pathways—such as optimizing the training platform mechanism, leveraging AI empowerment, establishing a resource integration system, and refining the talent cultivation framework—to promote the development of the rail transit industry and advance the construction and application of practical training laboratories in higher education institutions.

Keywords: Rail transit; Digital twin; Virtual simulation; Laboratory construction and application

1 引言

1.1 研究背景与意义

我国轨道交通行业发展迅猛, 对人才的需求也愈发迫切, 尤其是理论基础扎实、实践能力丰富的复合型人才。然而, 传统实训室存在场地有限、成本高昂、风险较大等诸多局限。数字孪生和虚拟仿真技术的出现为解决这些问题提供了有效途径。

在政策上, 国家发布《职业教育提质培优行动计划》《职业教育产教融合赋能提升行动实施方案》等文件, 明确支持建设虚拟仿真实训基地。

对高校而言, 建设轨道交通数字孪生虚拟仿真实训室

可以解决实训设备维护难、软件更新慢、应用浅等问题, 有效推进教学改革、提高人才培养质量, 与传统实训一样, 达到将理论教学与实践操作紧密结合、培养学生动手能力、解决问题能力和创新思维的目的, 为轨道交通行业输送更多高素质复合型专业人才, 推动行业高质量可持续发展。

1.2 研究目的与方法

本研究旨在深入分析我校轨道交通数字孪生虚拟仿真实训室建设应用情况, 总结经验、分析应用效果及问题, 并提出改进措施和发展建议, 为实训室进一步优化和完善提供参考, 以便更好地服务于教育教学、科研和社会服务。

研究采用了多种方法。通过收集、汇总、整理实训室

资料,包括建设方案、设备参数、使用记录等,掌握实训室基本情况;运用调查法,向使用实训室的师生发放调查问卷,收集实训室建设与使用的意见和建议;采用案例分析法,选取典型教学案例和科研项目,深入分析实训室的运用效果;通过实训设备数据统计与分析,对学生的学习效果、科研项目的进展等数据进行处理,客观评估实训室的应用价值。

1.3 国内外研究现状

国内外研究表明,虚拟仿真技术是突破轨道交通行业实训瓶颈的有效手段,国内以政策为驱动、产教融合为路径,侧重建设教学资源、创新实训模式;国外以技术为核心、行业需求为导向,侧重应用高精度仿真与智能化。未来可进一步推动 5G、AI、大数据等新技术的融合、深化校企协同、完善资源共享,以适应轨道交通智能化、智慧化发展对高素质人才的需求。

2 我校轨道交通数字孪生虚拟仿真实训平台建设情况

2.1 建设基础

我校轨道交通专业实训基地总面积约 6500m²,现有 53 套城轨专业实训设备,其中包含本研究核心改造与适配的 15 台模拟驾驶器、1 套地铁模型列车。地铁模型列车包含 PIDS 系统、车钩、受电弓、基础制动单元、制动控制装置、车门、牵引逆变器、辅助逆变器等主要设备,可覆盖城市轨道交通车辆构造、驾驶、检修、故障处理等核心教学内容的实操训练。15 台模拟驾驶器配备标准化驾驶舱、显示模块等操作组件,可开展列车基础驾驶、站台停靠等基础实训。我校实训基地配套建设了标准化的实训教学场地、多媒体教学区、数据监控区等功能区域,具备网络布线、设备调试、集中教学、分组实训的基础条件,可满足“原有设备+数字孪生系统”一体化实训的场地需求,为数字孪生虚拟仿真实训平台的教学应用提供了完善的场地与配套保障。

2.2 建设内容

我校轨道交通数字孪生虚拟仿真实训平台建设目标主要是在原有设备的基础上建设机械孪生、电气孪生、虚拟场景孪生,培养学生实践能力、引入自动评分体系、推动教育教学改革与科研创新、促进产教融合等。

2.2.1 硬件层面

我校原有设备的硬件基础较好,为数字孪生虚拟仿真实训平台的建设提供了核心载体,通过数字化改造与接口适配,结合高性能的计算机、服务器、网络交换机等硬件

设备,可实现存量设备与数字孪生系统的深度联动,最大化激活既有硬件资源的实训价值,有效保证了数字孪生虚拟仿真平台的流畅运行和良好的用户体验。

2.2.2 软件层面

我校通过对原有地铁模型列车等实训设备进行数字孪生,同时引入了多种与行业现场功能一致的软件系统,涵盖了轨道交通的多个领域,如综合监控仿真软件、调度仿真软件、模拟驾驶培训系统软件、运营及专业设备三维仿真培训系统等来搭建数字孪生虚拟仿真实训平台以满足不同专业、不同课程的教学和实训需求。

此外,实训平台还构建了丰富多样的虚拟场景,包括地铁真实的各类型车站、车辆基地场景、线路等。通过高精度 3D 建模和动画技术,模拟轨道交通运营过程中可能遇到的各种突发事件,来实现虚拟场景的数字孪生。通过一系列场景的构建,为学生提供全面的虚拟实践环境,让学生能够更快地熟悉轨道交通不同场景的特点和操作要求。

我校数字孪生虚拟仿真实训平台建设根据时序分为需求分析、方案设计、设备数据采集、数字孪生系统构建与集成、测试与验收等环节,在建设中运用了三维建模、数字孪生、虚拟交互、网络通信、仿真引擎等技术。

3 我校轨道交通数字孪生虚拟仿真实训平台教学应用实践

3.1 应用专业

数字孪生虚拟仿真实训平台的核心应用专业为城市轨道交通车辆应用技术专业,该专业是我校的核心骨干专业,紧扣成渝地区双城经济圈轨道交通产业发展需求,以培养城市轨道交通车辆检修工、电客车司机、车辆运检工等岗位所需的高素质技术技能型人才为核心目标,采用行业投资举办、订单式培养的办学模式,深度融合产教资源,构建了“岗课赛证”一体化的人才培养体系,专业实践学时占比达 64.50%,高度契合轨道交通行业对实操能力、故障处置能力、跨岗位协作能力的核心人才需求。

3.2 应用课程

结合城市轨道交通车辆应用技术专业人才培养方案,选取《城市轨道交通车辆构造》《城市轨道交通列车驾驶》《城市轨道交通列车故障处理》三门核心课程作为平台重点适配课程,三门课程分属专业基础课与专业核心课范畴,贯穿专业人才培养全过程,是构建学生车辆认知、操作、故障处置核心职业能力的关键课程。本论文主要阐述平台在《城市轨道交通列车驾驶》课程中的应用。

3.2.1 课程与平台重构设计

依托“15 台模拟驾驶器 + 数字孪生列车仿真系统”构建的数字孪生虚拟仿真实训平台,围绕“对标岗位标准、贴合课程规范、强化数字赋能”原则,从“目标 - 内容 - 资源 - 模式 - 评价 - 思政”六个维度进行精准重构,确保重构内容与课程标准无缝衔接,同时破解传统教学痛点。

一是重构教学目标,打通“标 - 学 - 考 - 岗”闭环,制定知识、技能、素质、思政四维目标。二是重构课程内容,贴合教学单元,打造“单元 - 项目 - 任务”三级体系,以单元为框架、岗位任务为核心,将数字孪生赋能融入各模块,开展教学主线。三是重构教学资源,对接岗位及课程实际要求,构建“标准适配 + 具象化”资源库,补充可视化、实操性资源,弥补传统教材文字化、原理化不足,同时贴合现有在线平台资源。四是重构教学模式,优化教学方法,打造“理实一体 + 数字赋能”闭环,以“任务导向、情景教学、以赛促学”的教学方法设计,依托平台破解“理论 - 实践”割裂问题,实现教学模式与课程要求深度契合。五是重构评价体系,对标岗位标准,建立“过程 + 终结 + 标准”量化机制,依托平台实现评分精准化、考核规范化。六是重构思政融入,融入课程思政设计,实现“技能 + 价值”同向培养,将“竞赛钻研精神、规范守时、严谨认真、严于律己”四大思政元素,自然融入教学全流程。

3.2.2 课程实施过程

遵循“理实一体 + 数字赋能”的教学模式,针对所有教学单元制定标准化实施流程,单课时(40 分钟)按“5 分钟理论精讲 + 5 分钟示范联动 + 25 分钟分组实操 + 5 分钟实时反馈”精准分配时间,兼顾效率与效果。

(1) 课前预习

教师提前发布预习任务,配套重构后的教学资源。对应单元的标准适配课件、实操视频。学生完成“资源学习”任务,掌握核心知识点。教师通过平台后台查看预习数据,针对性设计课中理论精讲内容。

(2) 课中实施

理论精讲(5 分钟):聚焦预习薄弱点与单元核心知识点,结合数字孪生系统投屏场景化讲解。

示范联动(5 分钟):教师操作模拟驾驶器,数字孪生系统同步记录操作效果与参数反馈,强化标准化示范。

分组实操(25 分钟):基于 15 台模拟驾驶器分组,每组 2-3 人,其中 1 人操作,其余学生通过旁侧显示屏观看虚拟场景与操作数据,轮换进行,每轮 4-5 分钟,确保

每人至少完成 1 次完整实操。教师巡回指导,通过实时查看所有驾驶器操作与场景反馈,对操作错误即时纠错。

实时反馈(5 分钟):学生完成单次实操后,平台 3 秒内生成“单次实训评分表”,包含核心指标得分、错误点标注,学生可基于反馈进行 1 次针对性补练。

(3) 课后拓展

教师布置拓展任务,学生自主选择数字孪生系统中的场景(如“特殊天气 + 侧式站台”),完成线上学习和实训强化练习。课程内组织驾驶技能比赛,设置“标准化作业规范度”“手动驾驶对标精准度”2 个评分维度,成绩计入过程性考核“驾驶技能比赛”项,激发竞赛钻研精神。

4 实训平台应用效果与问题分析

4.1 应用效果

依托数字孪生虚拟仿真实训平台的教学模式,从知识掌握、技能提升、教学效率、学习体验四大维度实现显著突破,全面解决传统教学痛点,实践效果远超预期。

一是知识掌握更扎实,理论转化效率大幅提升。预习效果显著优化,通过“标准适配课件 + 实操视频”的立体化预习资源,学生对核心知识点。提升学生对对标偏差标准、标准化作业流程等关键知识掌握度,为课中实操奠定坚实基础。理论理解更透彻,数字孪生系统的场景化讲解让抽象理论具象化,课程结束后核心知识考核中,学生平均成绩提升,知识碎片化问题得到根本解决。

二是技能水平全面提升,岗位适配性显著增强。核心技能精准度飞跃,以“站台精准停靠”核心技能为例,借助数字孪生系统的实时偏差反馈与精准数据支撑,学生对标合格($\leq 50\text{cm}$)有较大提升,经过强化训练后,最终考核合格率提高,完全满足列车司机岗位对精准操作的核心要求。复杂场景适应能力强化,数字孪生系统覆盖“岛式 / 侧式 / 曲线站台”“晴天 / 暴雨天气”等多元场景,较传统教学场景覆盖广度提升,学生应对复杂工况的应急调整能力显著增强。在暴雨天气、曲线站台等复杂场景测试中,学生操作规范度达标,有利于缩短岗位适应周期。

三是教学效率大幅优化,资源利用效能提升。实训时长利用率提升,平台支持场景快速切换、无需人工重置,学生单课时有效实操次数从传统的 1-2 次提升至 3-4 次,实训时长利用率提升。以“站台精准停靠”实训为例,完成同等训练效果的时长从传统的 8 节课(320 分钟)缩短至 4 节课(160 分钟),实训效率提升 50%。考核效率与公平性提升,数字孪生系统自动评分替代传统人工考核,考核时长从 16 课时缩短至 8 课时,既减轻教师工作负担,

又保障考核的客观性与公平性。同时,平台自动生成的操作数据报表,让教师精准定位共性问题(如“岛式站台对标偏差大”),针对性指导效率提升。

四是学习体验与职业素养双提升。学习积极性显著增强,数字孪生系统的沉浸式场景、实时反馈与技能比赛激励机制,让学生自主学习意愿提升。大部分学生反馈“虚拟场景+实时数据”的模式更具吸引力,能清晰看到自身进步,学习成就感与主动性大幅提升。职业素养全面养成,通过标准化作业训练、技能竞赛比拼与岗位场景模拟,学生的职业认同感提升,规则意识、严谨作风与竞赛钻研精神得到有效培养,完全契合课程思政“技能+价值”同向培养的目标。

4.2 存在问题

结合数字孪生虚拟仿真实训平台的应用成效,从技术支撑、教学适配、资源建设、实操衔接四个核心维度,梳理出当前平台运行及应用过程中待提升的痛点。

一是技术支撑层面,系统运行稳定性不足,高频使用易出现故障。平台在高频率长时间在线实操时,易出现场景卡顿、启动加载缓慢、实时偏差反馈延迟等问题,尤其在长时间使用之后,部分终端会出现对标画面延迟、场景画面卡滞的情况,影响实训连续性,降低有效实操时长利用率。

二是教学适配层面,平台教学针对性不强,无法确定学生具体操作失误环节。平台自动生成的操作数据报表,虽能定位共性问题,但缺乏对学生个体操作细节的精准分析,无法明确学生具体是哪个操作环节(如制动、手指口呼时机)出现问题;同时,平台缺乏实时互动指导功能,学生实操过程中遇到疑问时,无法及时获得系统的针对性指导,影响问题解决效率和技能提升速度。

三是资源建设层面,场景更新迭代速度慢,适配行业发展滞后。随着列车运行技术、岗位操作规范的不断更新,平台的实训项目、操作标准、场景配置等资源可能不能及时更新,部分实训内容仍沿用旧的操作规范,与当前电客车司机、运检工岗位的实际要求存在差距,无法满足岗位适配性的提升需求。

四是实操衔接层面,虚拟与真实实操的过渡不够顺畅。平台虽能通过模拟岗位场景培养学生的规则意识和严谨作风,但缺乏真实岗位中的压力模拟、团队协作场景(如与OCC调度员、站台工作人员的协同配合),导致学生的沟通协作能力、应急处置时的心理素质培养不够全面,难以完全契合岗位对职业素养的综合要求。平台的自动考

核主要聚焦于操作精准度、流程规范性等量化指标,缺乏对学生操作规范性、应急处置思路、职业素养等质性指标的考核,与真实列车司机岗位的考核标准、考核维度存在差距,无法全面、客观地评价学生的岗位适应能力。

5 改进措施与发展建议

5.1 针对现存问题的改进策略

结合数字孪生虚拟仿真实训平台的应用成效,针对技术支撑、教学适配、资源建设、实操衔接四个核心维度现有待提升的痛点,梳理出下列可落地、可执行的改进措施。

针对系统运行稳定性不足,高频使用易出现故障的情况,一是更新既有老旧及配置较低的硬件系统,同时优化场景加载算法和数据传输机制,增加平台算力,减少多终端同时在线实操时的资源占用,避免场景卡顿、反馈延迟等问题;二是增加系统缓存清理功能,自动清理长时间运行产生的冗余数据,防止终端出现画面卡滞、对标延迟等情况,保障实训连续性。

针对平台教学针对性不强,无法确定学生具体操作失误环节,增加AI实时互动指导与评价功能,在既有设备上增设AI模块,实时采集学生操作动作与操作数据,在学生出现操作偏差或错误时,AI进行实时指导;在学生完成阶段性实操或考核之后,AI进行评价、记录和反馈。

针对场景更新迭代速度慢,适配行业发展滞后的问题,与高校、城轨运营企业、行业协会建立资源更新联动机制,同步行业标准、岗位操作规范、现场场景配置等资源。同时组建由教师、行业专家、技术人员组成的资源研发团队,专门负责平台实训资源优化、更新和研发。

针对虚拟与真实实操的过渡不够顺畅的情况,在与城轨运营企业现有共同培养人才的基础上,优化培训体系,增设现场跟岗实习压力模拟、团队协作环节,提升学生的沟通协作能力,强化应急处置时的心理素质。

5.2 未来发展方向与建议

数字孪生虚拟仿真实训室将是实训室建设与应用的发展方向,依托各种虚拟仿真软件和数字孪生技术的实训室在教育教学、创新科研和社会服务等方面将会取得更加显著的成效。特别是硬件先进、算力充足、能源充沛的情况下,在“AI+数字孪生+虚拟仿真+机器学习”加持下的新型实训室将是实训室建设与应用的新方向。后续,我校将大力推广“数字孪生+虚拟仿真”实训室,并将AI融入实训室建设之中。

参考文献:

[1] 谢勇.城市轨道交通车辆机械装置检修虚拟仿真

系统设计与研究[J]. 郑州铁路职业技术学院学报, 2025(37):33-38.

[2] 茅小海. 城市轨道交通运营、检修、维护中虚拟仿真技术的多元应用与协同增效[J]. 人民公交, 2025(194): 150-152.

[3] 都娟丽. 基于学生应急处理能力培养的轨道交通专业虚拟仿真教学资源建设[J]. 西部素质教育, 2025(11):1-4.

[4] 牛军燕. 虚拟仿真技术在城市轨道交通实训中心建设的应用研究[J]. 现代职业教育, 2023(36):106-109.

[5] 赵良永. 基于“互联网+虚拟仿真技术”的城市轨道车辆构造实验教学模式探索[J]. 内江科技, 2024(11): 52-53.

[6] 沈婷婷. 基于数字化技术的城市轨道交通运营管理专业实训教学研究[J]. 人民公交, 2025(196):183-185.

基金项目: 四川省教育信息化与大数据中心 2024 年四川省教育信息技术研究课题“基于数字孪生的

虚拟仿真在轨道交通实训教学环境建设与应用研究”(24KTPSLX325)、四川省教育信息化与大数据中心 2024 年四川省教育信息技术研究课题“基于人工智能技术的教、学、练、测、评一体化实践研究”(编号: 24KTPSLX326)、成都轨道交通职业学院校级教育教学研究与改革项目“基于数字孪生的虚拟仿真在轨道交通实训教学环境建设与应用研究”(250007)、四川省教育信息化与大数据中心 2025 年四川省教育信息技术研究课题“成都轨道交通职业学院数字资源建设与应用研究”(编号: kt202509096120004)、教育部职业院校信息化教材指导委员会 2025 年度人工智能赋能高等职业教育课程教材体系建设项目“人工智能赋能《城市轨道交通供电实训》数字化教材建设”(编号: KT2505113)。

作者简介: 蒋秀君(1990-), 男, 汉族, 四川华蓥人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 轨道交通。