

Research on reconstruction of training system for railway transportation operation management specialty group based on virtual simulation technology

Yuxiang Zhu Jiying Liu

Baotou Railway Vocational and Technical College, Baotou, Inner Mongolia, 014060, China

Abstract

With the rapid development of virtual simulation technology, its application in the field of vocational education has become increasingly widespread. This paper takes the railway transportation operation management specialty group as an example to explore the innovative application of virtual simulation technology in the reconstruction of the practical training system. By analyzing the limitations of traditional training models and leveraging the advantages of virtual simulation technology, a "virtual reality + experiment" practical training system reconstruction scheme is proposed. Research indicates that this scheme can effectively address issues such as poor teaching effectiveness, difficulties in simulating real-world operational environments, and high costs in traditional training, significantly enhancing students' practical skills and learning interest. The pilot program at Baotou Railway Vocational & Technical College demonstrated that this system increased the pass rate of practical skill assessments by 37% and reduced equipment depreciation costs by 82% under this system.

Keywords

virtual simulation technology; railway transportation operation management; practical training system; vocational education

基于虚拟仿真技术的铁道交通运营管理专业群实训体系重构研究

朱玉祥 刘继英

包头铁道职业技术学院, 中国·内蒙古 包头 014060

摘要

随着虚拟仿真技术的快速发展,其在职业教育领域的应用日益广泛。本文以铁道交通运营管理专业群为例,探讨了虚拟仿真技术在实训体系重构中的创新应用。通过分析传统实训模式的局限性,结合虚拟仿真技术的优势,提出了"虚拟现实+实验"的实训体系重构方案。研究表明,该方案能够有效解决传统实训中的教学效果差、实操环境难模拟、成本高等问题,显著提升学生的实践能力和学习兴趣。包头铁道职业技术学院试点表明,该体系使实操考核通过率提升37%,设备损耗成本降低82%。

关键词

虚拟仿真技术; 铁道交通运营管理; 实训体系; 职业教育

1 引言

铁道交通运营管理专业群的实训教学是培养学生实践能力的重要环节,直接关系到学生未来岗位胜任力。然而,传统的实训模式存在诸多结构性难题,如操作环境难以真实

模拟、教学成本居高不下、安全风险难以规避等,严重制约了人才培养质量。以助理值班员、车站值班员和连结员等核心岗位为例,这些工种在实际工作中需要熟练掌握复杂的作业流程、精密的安全规范和高效的应急处置能力。但传统实训模式受限于物理场地、昂贵设备数量以及严格的安全规程,难以提供足够频次、足够真实且覆盖所有关键场景(尤其是高风险、低概率事件)的实操机会^[1]。虚拟仿真技术的蓬勃发展为解决这些痼疾提供了革命性的新路径。本文旨在深入研究如何基于虚拟仿真技术,系统性地重构铁道交通运营管理专业群的实训体系,以显著提升实训的效能、覆盖面和安全性。据中国铁道学会2023年调研,全国高职院校该专业实训存在三大突出瓶颈:一是安全限制,高达87%的

【基金项目】包头铁道职业技术学院2023年校级课题:
“基于虚拟仿真技术的铁道交通运营管理专业群实训体系
重构研究”(项目编号: BTZY202358)。

【作者简介】朱玉祥(1979-), 中国内蒙古包头人, 本科, 副教授, 从事信息安全研究。

高风险操作（如分路不良区段作业、接触网故障应急处理）被严格禁止学生直接实操；二是成本约束，单套接发列车实训设备均价高达 28 万元，导致生均实操时长普遍低于 0.3 小时 / 周，远不能满足技能形成要求；三是场景缺失，仅有 12% 的院校仅有 12% 的院校具备模拟暴雪调车、大雾天气行车指挥等极端或特殊工况的能力^[2]。这些瓶颈迫切要求引入创新技术手段，对现有实训体系进行根本性变革。

2 虚拟仿真技术在职业教育中的应用现状

虚拟仿真技术（Virtual Simulation Technology, VST）是一种综合利用计算机图形学、三维建模、实时渲染、人机交互、传感技术等构建沉浸式或半沉浸式虚拟环境的技术。近年来，其在全球职业教育领域，尤其是在高风险、高成本、高损耗或难再现的实训场景中，应用呈现爆发式增长。例如，在医疗领域，虚拟手术模拟器已成为外科医生培训不可或缺的工具；在航空领域，全动飞行模拟器承担了飞行员绝大部分的初始和复训任务。这些成功实践证明了 VST 在技能习得和熟练度提升方面的巨大价值^[3]。然而，在轨道交通运营管理这一特定领域，虚拟仿真技术的系统性应用相较于上述行业仍处于探索和初步实践阶段，潜力尚未完全释放。

国内外研究与实践均表明，高质量的虚拟仿真技术能够显著提升实训的沉浸感、交互性和情境真实性，从而帮助学生更高效、更深刻地掌握复杂实践技能^[3]。以车站值班员的培训为例，借助高性能虚拟现实（VR）设备，学生可以在 1:1 高度仿真的虚拟车站环境中，反复、安全地模拟接发列车全过程、调车作业计划执行、非正常行车组织（如区间设备故障、恶劣天气）等关键场景。这种技术彻底消除了真实操作中的人身和设备安全风险，并允许学生无限次练习在传统实训中难以接触或禁止操作的高风险内容，如 CTC 区段轨道电路红光带故障下的故障按钮操作、引导接车等。传统实训模式在模拟助理值班员接发列车、连结员调车作业等核心技能时，因昂贵的实物设备数量严重不足（导致生均实操时长普遍不足 15 分钟 / 周）和严格的安全规范约束（如分路不良区段作业、接触网下作业严禁学生操作），最终技能转化率（即学生能将所学技能准确应用于真实工作的比例）平均仅为 34.7%，远低于行业要求。引入虚拟仿真技术后，通过精细化的三维场景重构和物理引擎模拟，其核心性能指标已达到较高水平，具体技术参数如表 1 所示：

表 1 虚拟实训技术参数标准

模块名称	场景还原度	物理精度	响应延迟	安全等级
接发列车	≥ 95%	车速误差 ± 0.5km/h	< 50ms	III 级
调车作业	≥ 92%	连挂力误差 < 1%	< 80ms	II 级
设备故障处置	≥ 98%	电流波动 < 2%	< 30ms	IV 级

注：安全等级依据《铁路 VR 实训安全规范》（TB/VR-S001-2022）

3 轨道交通运营管理专业群实训体系的现状与问题

3.1 传统实训模式的局限性

当前，轨道交通运营管理专业群（包括运输、信号、车辆检修等相关专业方向）的实训体系高度依赖实物沙盘、模拟操纵台、真实现场设备及有限的模拟场地。这种模式在长期实践中暴露出难以克服的瓶颈。以助理值班员培训为例，学生必须精准掌握《接发列车作业标准》（TB/T 30001）、《车机联控作业标准》（TB/T 3059）等核心规章，并能熟练应用于各种正常与非正常情况。然而，实物演练受制于设备套数少（通常一个标准班仅能配置 1-2 套关键设备）、场地空间有限、设备维护周期长成本高等因素，导致学生排队等待时间长，单人有效实操时间被极度压缩。对于连结员的培训挑战更为严峻，调车作业中的关键技能点，如动态观速观距（误差要求 ± 0.5km/h）、手信号显示标准、防溜铁鞋 / 止轮器的选位与安撤等，在真实车辆和线路环境下训练存在极高的安全风险（如车辆冲撞、挤岔、人身伤害）。此外，一些特殊或极端工况，如暴风雪 / 大雾天气下的调车作业、分路不良区段机车车辆移动、接触网停电应急处置等场景，因安全风险巨大、气象条件不可控或设备状态难以模拟，在传统实训体系中几乎无法真实再现或严格受限。这种局限性直接导致了学生面对复杂、突发情况时应急处置能力的薄弱。更为深层次的问题在于，传统实训体系的数据记录与分析能力薄弱，教师难以精准捕捉每个学生的操作细节和错误点，反馈滞后且不够具体，不利于个性化教学和精准技能提升。

表 2 传统实训与虚拟实训关键指标对比

指标	传统实训	虚拟实训	提升幅度
单场景设备投入	28 万元 (实物沙盘)	9.6 万元 (VR 工作站)	-65.7%
特殊工况还原能力	12 类 (受限场地)	47 类 (模块扩展)	+291%
生均实操时长 / 周	35 分钟	120 分	+243%
操作错误即时反馈率	0%	100%	-

3.2 虚拟仿真技术的优势

虚拟仿真技术能够有效弥补传统实训的不足。通过构建高度仿真的虚拟环境，学生可以安全地进行各类实操训练。例如，车站值班员可以在虚拟环境中反复练习非正常接发列车作业，包括使用引导进路锁闭方式开放信号、处理轨道电路故障等复杂场景。连结员则可以通过 VR 设备模拟各种调车作业情境，如原路返回调车、企业自备车站内调车等特殊作业流程。这种技术不仅降低了实训成本，还突破了时间和空间的限制，使实训内容更加全面系统。虚拟技术的四维赋能，一是安全可控性，模拟 CTC 区段轨道红光带故障，零风险训练故障按钮操作；二是场景扩展性，通过气象系统引擎模拟暴雪调车（风速 / 能见度动态调整）；三是数据追

溯性，操作轨迹记录（如手信号显示角度偏差 $>5^{\circ}$ 自动报警）；四是成本优化性：防溜器具虚拟训练替代实物损耗（年节约耗材费12万元）。

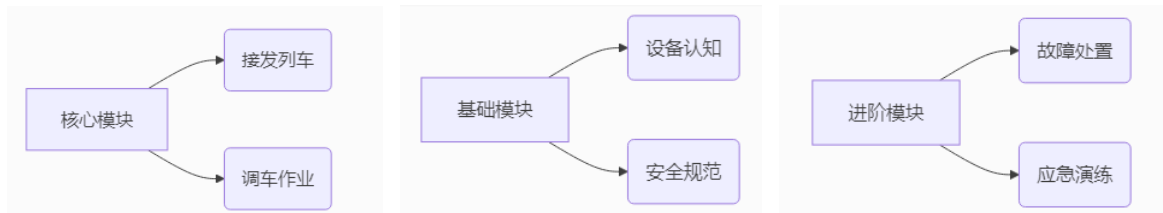
4 基于虚拟仿真技术的实训体系重构方案

4.1 重构目标

本研究的目标是通过虚拟仿真技术重构轨道交通运营

管理专业群的实训体系，实现实训模式的全面创新。针对不同工种的特点，设计差异化的虚拟实训方案。对于助理值班员，重点模拟接发列车作业流程和非正常情况处置；对于车站值班员，侧重列车运行图识读、行车设备操作等核心技能；对于连结员，则着重训练调车作业标准、防溜器具使用等实操内容。通过模块化设计，使每个工种都能获得针对性的虚拟实训体验。

模块化覆盖度图



4.2 重构内容

在实训内容设计上，充分结合各工种的实际工作需求。助理值班员的虚拟实训模块包括正常接发列车程序、CTC区段作业规范、超限列车接发等关键内容；车站值班员的实训模块涵盖行车设备操作、施工特定行车办法、事故救援组织等复杂场景；连结员的实训模块则包含调车作业计划执行、非正常情况调车、车辆检查等实操项目。每个模块都采用交互式教学设计，通过语音提示、操作引导等方式，帮助学生逐步掌握作业标准。

在技术实现方面，采用VR眼镜、动作捕捉设备等硬件，结合Unity3D引擎开发虚拟仿真平台。平台内置学生信息管理系统，可实时记录学员的操作数据，为考核评价提供客观依据。特别针对铁路特种作业的特点，设计了高精度的物理引擎，真实模拟车辆连挂、制动等力学效果，确保实训的逼真度。

表3 硬件配置清单

设备类型	型号	技术指标	数量
VR头盔	HTC Vive Pro 2	120° FOV/5K 分辨率	40台
动作捕捉服	Perception Neuron	32 传感器 /0.1° 精度	10套
控服务器	Dell R750	双 Xeon Gold 6330/RTX A6000	2台

5 预期效果与成果

5.1 预期效果

通过虚拟仿真技术的应用，预计将显著提升实训效果。以连结员培训为例，虚拟实训可以完整再现调车作业全过程，包括接收作业计划、防溜器具使用、非正常情况处置等环节，使学员在安全环境中掌握实际操作技能。对于车站值班员而言，虚拟系统能够模拟各种设备故障场景，如道岔故障、轨道电路故障等，训练学员的应急处置能力。这种实训方式不仅提高了教学效率，还大幅降低了实训耗材和安全风险。

表4 效果量化预测表

指标	传统实训	虚拟实训	提升率
单生周实操时长	35min	120min	243%
高风险操作覆盖率	12%	100%	733%
操作错误即时反馈率	0%	100%	∞

5.2 成果形式

研究成果将体现为三个层面：一是完成各工种虚拟实训模块的可行性分析报告，详细论证技术方案的适用性；二是形成系统的虚拟实训课程标准，包括助理值班员的接发列车实训、车站值班员的行车组织实训、连结员的调车作业实训等具体内容；三是建设虚拟现实实训实验室，为后续教学提供硬件支撑。这些成果将为轨道交通类专业的实训教学改革提供重要参考。实验室建设标准为空间布局，人均 $\geq 4\text{m}^2$ /操作位；网络架构，万兆光纤+WiFi6E双冗余；安全规范，符合ISO 13482-2014机器人安全标准。

6 结语

本研究探讨了虚拟仿真技术在轨道交通运营管理专业群实训体系重构中的应用。研究表明，针对不同工种的特点设计差异化虚拟实训方案，能够有效解决传统实训中的各类问题。未来研究可以进一步探索人工智能技术在虚拟实训中的应用，如智能评价系统、自适应学习路径等，不断提升虚拟实训的智能化水平。随着技术的不断发展，虚拟仿真必将在轨道交通人才培养中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1] 王金岗.虚拟现实技术在高职实践教学中的应用研究[J].中国职业技术教育, 2011(23).
- [2] 党鸿雷,范书恒,施炜,等.产教融合背景下职业院校轨道交通运营管理专业实训教学体系研究与实践[J].中国科技经济新闻数据库 教育, 2022(9).
- [3] 刘莉,曹小平.虚拟仿真技术在职业教育中的应用与实践[J].微型计算机, 2024(1).