

基于行为安全模型的地铁车场组人员风险防控体系构建

伍 龙

成都成资轨道交通有限公司 四川资阳 641300

摘 要: 本文旨在构建基于行为安全模型的地铁车场组人员风险防控体系,以降低人员行为导致的事故率,提升地铁运营安全水平。通过深入分析地铁车场组功能定位与安全风险的强关联性,结合行为安全模型理论,聚焦人因对事故的贡献率,提出针对性防控措施。研究采用文献分析法、案例研究法、行为安全观察法(BBS)、层次分析法(AHP)等,设计“理论—实践”双驱动的防控体系,并以XX地铁车场组为例进行实证研究,验证体系的有效性。研究结果表明,该体系能够显著降低违章率,缩短应急响应时间,提升安全文化感知度,为地铁车场组安全管理提供科学依据和实践指导。

关键词: 行为安全模型; 地铁车场组; 风险防控体系; 人因事故; 实证研究

引言

(1) 研究背景与意义

地铁车场组作为车辆停放、检修、调度的核心枢纽,其安全运营直接关系到整个地铁系统的稳定运行和乘客的生命财产安全。然而,由于地铁车场组作业环境复杂、人员密集、设备众多,安全风险不容忽视。据统计,地铁运营事故中,人为因素所致高达70%以上,如调度失误、违规操作等案例屡见不鲜。因此,构建基于行为安全模型的地铁车场组人员风险防控体系,降低人员行为导致的事故率,具有重要的现实意义。

行为安全模型(Behavior-Based Safety, BBS)是一种聚焦于人的行为的安全管理方法,通过观察和纠正不安全行为,预防事故的发生。该模型在轨道交通领域具有广泛的适用性,能够有效地识别和分析人因对事故的贡献率,为制定针对性的防控措施提供科学依据。

(2) 研究目标

本研究旨在构建“理论—实践”双驱动的地铁车场组人员风险防控体系,以降低人员行为导致的事故率,提升地铁运营整体安全水平。具体目标包括理论目标和实践目标。其中理论目标是指解析行为安全模型理论,结合地铁车场组实际,提出适用于地铁场景的行为安全模型修正方案。实践目标是指设计基于行为安全模型的防控体系框架,开发实践工具,如行为观察法、风险量化评估工具等,并在某地铁车场组进行实证研究,验证体系的有效性。

(3) 研究方法与技术路线

本研究采用文献分析法、案例研究法、行为安全观察法(BBS)、层次分析法(AHP)等方法,按照以下技术路线展开。文献分析法主要梳理行为安全模型理论及其在轨道交通领域的应用案例,总结国内外研究与实践进展。案例研究法

是选取地铁车场组人员风险防控的典型案列,如调度失误、违规操作等,进行深入剖析。行为安全观察法(BBS)是指地铁车场组开展行为安全观察,记录和分析人员的不安全行为。层次分析法(AHP)是指构建风险评估指标体系,对地铁车场组的安全风险进行量化评估。最终将构建的防控体系应用于地铁车场组,通过短期成效和长期影响的对比分析,验证体系的有效性。

1. 理论基础与文献综述

1.1 行为安全模型理论解析

行为安全模型(BBS)以人的行为管控为核心,通过“观察—分析—干预—反馈”四环节构建管理闭环。该模型系统记录不安全行为,深挖行为致因链,采用培训、激励等手段纠正行为偏差,并持续反馈改进效果。

行为安全“2-4”模型是一种较为完善的行为安全模型,它将事故原因分为外部与内部原因,外部原因主要是政治、文化、法律环境等,内部原因按阶段分为指导行为、运行行为、习惯性行为、一次性行为和物态四个阶段,详细划分了不安全动作、心理和物态。

1.2 国内外研究与实践进展

英国地铁行为安全管理体系以法律法规为基石,融合

员工培训、公众参与、技术创新及文化培育，构建起多层次综合安全网络。法律层面，《铁路法》《铁路安全法规》等明确责任划分，技术标准如《Yellow Book》覆盖全生命周期安全。员工培训上，政府立法保障培训权利，伦敦地铁公司推行能力管理系统，动态优化员工安全表现。技术创新方面，智能监控与AI算法实时捕捉风险，技术规范灵活更新以适应新技术。公众参与上，“See It, Say It, Sorted”倡议通过多渠道推广，强化安全文化，鼓励乘客主动报告隐患。体系内嵌PDCA循环逻辑，从法规修订、技术部署到活动落地，再到监控反馈与优化策略，形成持续改进闭环。此模式不仅提升硬件安全性，更通过文化渗透与行为引导，塑造全民参与的安全生态。

上海地铁风险分级管控办法研究现状表明，其体系已深度融合法规标准与技术工具。基于《上海市轨道交通运营安全管理办法》及交通运输部相关规范，上海地铁明确了五大风险类别与四级分级标准，并采用WBS-RBS法、故障树分析等技术进行量化评估。同时通过公众意识活动，成功构建乘客参与的安全文化，形成“技术监测-公众报告-应急响应”的闭环机制。实践数据显示，该办法有效降低了运营事故率，提升了公众满意度。未来，上海地铁将持续优化技术工具，如深化TVRA模型在恐怖袭击风险评估中的应用，并探索物联网与AI算法在实时风险感知中的集成，进一步巩固安全韧性城市的建设成果。

1.3 地铁车场组风险防控研究缺口

尽管国内外在行为安全模型的研究和实践方面取得了一定成果，但针对地铁车场组人员风险防控的研究仍存在以下缺口：

1、动态监测与干预不足：现有体系对人员行为的动态监测和实时干预能力有限，难以及时发现和处理不安全行为。

2、数字化工具应用不足：缺乏智能化的行为安全观察和分析工具，难以对大量数据进行分析和处理。

3、个性化防控策略缺失：现有防控策略多为通用性措施，缺乏针对地铁车场组特定场景和人员的个性化防控方案。

2. 地铁车场组人员风险行为特征与致因分析

2.1 风险行为场景分类

地铁车场组人员风险行为场景可归纳为三类：操作类、应急类及惯性违章。操作类风险主要表现为关键岗位人员的

误操作，如信号楼值班员错误操作联锁设备、车场调度错误处理调度命令、人工进路办理失误及接触网停电操作不规范等，直接影响行车安全。应急类风险则体现在应急处置环节的失效，包括处置能力不足导致的响应延迟、预案执行偏差等，可能放大事故后果。惯性违章行为则反映安全习惯的缺失，如未执行双人确认制度、擅自简化作业流程等，长期积累将削弱安全防线。这三类风险场景相互关联，操作失误可能触发应急响应，而惯性违章则是前两类风险的深层诱因，需通过强化技能培训、完善应急预案及培育合规文化进行综合治理。

2.2 致因机制深度剖析

地铁车场组人员的风险行为致因机制呈现多维度交互特征，其核心根源在于个体认知局限、组织支持不足与环境条件缺陷的三重叠加效应。

在个体层面，安全知识匮乏与技能短板直接削弱风险辨识能力，侥幸心理引发的风险低估和长期疲劳导致的注意力涣散，形成行为失范的内在诱因。组织层面安全文化建设的滞后性尤为突出，当安全价值未内化为群体共识时，形式化培训难以提升安全素养，而激励体系的缺位进一步消解了主动防护动机。环境维度的高噪声干扰、照明不足及人机工效缺陷，不仅加剧生理负荷，更迫使作业人员突破安全规程采取补偿性行为。

值得关注的是，这三个维度并非独立作用，而是形成闭环式影响链条：环境劣化增加操作难度，组织支持不足放大个体缺陷，认知偏差又反向制约安全文化培育。要破解这一系统性难题，需构建“人-机-环-管”协同治理框架，通过知识赋能提升风险应对力、文化培育强化安全自觉、环境优化降低客观风险载荷，形成全链条风险防控网络。

3. 基于行为安全模型的防控体系构建

3.1 体系框架设计

基于行为安全模型构建的地铁车场组人员风险防控体系，涵盖感知、分析、干预、优化四个层级。感知层通过智能监控设备和行为观察卡实时采集人员操作数据，为风险识别提供基础。分析层运用AHP-模糊综合评价法，对采集数据中的行为模式进行量化评估，精准划分风险等级。干预层则依据评估结果实施动态纠偏，如高风险行为触发实时预警，并通过VR模拟训练强化安全技能。优化层引入PDCA循环，持续收集事故案例与行为数据，反馈至制度修订和技

术升级,形成“监测-评估-干预-改进”的闭环管理。该体系通过数据驱动与主动干预的结合,有效减少人为失误,提升车场作业安全水平。

3.2 核心模块实施路径

为系统防控地铁车场组人员风险,需构建“识别-干预-工具支撑”的闭环体系。在风险识别环节,建立“风险行为数据库”,对各类不安全行为进行编码分类,并记录发生频率及潜在后果等级,实现风险量化管理。干预策略分为双向机制:正向强化通过安全积分、星级评选等方式激励安全行为,负向约束则将违章行为与绩效考核、责任追溯挂钩,形成有效威慑。数字化工具深度嵌入管理链条,智慧工牌集成定位与行为记录功能,实现作业过程全留痕;AI行为分析平台运用动作识别、疲劳监测算法,实时捕捉异常行为并预警,形成“人防+技防”融合的智能监控网络。该体系通过数据驱动精准干预,推动安全管理从被动应对向主动防控转型。

4. 实证研究

4.1 案例背景与数据采集

本研究选取了某地铁车场组作为实证研究案例,该车场组规模较大、人员结构复杂、历史事故统计较为完善。通过智能监控、BBS观察卡等方式,采集人员行为数据,建立风险行为数据库。

4.2 防控体系应用效果

实施风险防控措施后,短期成效显著:人员违章率因正向激励与负向约束的双重作用而大幅下降,同时VR模拟训练有效缩短了应急响应时间,提升了应急处置效率。长期来看,安全文化感知度调查显示,员工对安全文化的认同感和参与度明显增强,安全理念逐渐内化。行为模式分析进一步证实,员工安全意识显著提升,操作规范性更高,逐步形成了从“被动遵守”到“主动预防”的行为习惯转变,为构建长效安全机制奠定基础。

4.3 挑战与优化建议

在实证研究中,AI误报率与隐私保护争议是主要挑战。为提升AI算法准确性,需优化模型并扩充训练数据,以减少误报。同时,员工隐私保护需严格遵守法规,采取匿名化处理等技术手段,确保数据采集与使用合规。此外,应建立反馈机制,持续监测算法性能与员工反馈,形成“技术优化-

隐私保护-反馈改进”的闭环管理,平衡研究需求与员工权益,推动实证研究可持续发展。

5. 结论与展望

5.1 研究成果总结

本研究构建了基于行为安全模型的地铁车场组人员风险防控体系,通过实证研究验证了体系的有效性。研究结果表明,该体系能够显著降低违章率,缩短应急响应时间,提升安全文化感知度,为地铁车场组安全管理提供科学依据和实践指导。

5.2 理论贡献与实践价值

本研究针对地铁车场组安全需求,对行为安全模型进行地铁场景适配性修正,提出定制化模型方案,深化了行为安全理论在轨道交通领域的应用。同时,创新开发基于该模型的防控体系框架及实践工具,形成涵盖风险识别、量化评估、动态干预、持续优化全流程的实操方案,为地铁车场安全管理提供系统性解决方案。研究不仅完善了行为安全理论框架,更通过工具创新提升了管理效能,兼具理论拓展与实践指导双重价值。

5.3 未来研究方向

未来研究的方向将会是探索多模态数据融合技术,将生理指标与行为数据结合分析,提高风险预测精准度与实时性。同时,依托5G网络的高速率、低延迟优势,开发远程行为监控及AR辅助干预系统,实现智能化管理升级。通过生理-行为联动分析与5G+AR技术集成,推动风险防控向动态化、智能化方向迈进。

参考文献:

- [1] 傅贵,陆柏,陈秀珍.基于行为科学的组织安全管理方案模型[J].中国安全科学学报,2005,(09):21-27.
- [2] 傅贵,张苏,董继业,等.行为安全的理论实质与效果讨论[J].中国安全科学学报,2013,23(03):150-154.
- [3] 黄建明.FS市城市轨道交通运营管理优化研究[D].广东财经大学,2023.
- [4] 周庆瑞.新版GB 50157—2013《地铁设计规范》获国家批准[J].都市快轨交通,2013,26(05):29.
- [5] 韩佳,贾波,李学盛,等.“2-4”行为安全模型下有限空间事故风险分析及防控对策[J].现代职业安全,2025,(03):59-63.