

基于人—机—环—管体系的铁路调车作业 安全风险分析与防控策略研究

梁锁柱

国能朔黄铁路机辆分公司

摘 要：铁路调车作业是铁路运输组织中的核心环节，其安全性直接关系到列车运行秩序与运输效率。随着铁路运输现代化与智能化水平的不断提升，调车作业风险呈现出多源耦合、动态演化的特征，传统以经验为主的安全管理模式已难以适应新形势下的安全需求。为此，本文以人—机—环—管体系为理论框架，从系统论与风险管理的视角出发，对铁路调车作业全过程的安全风险进行系统识别与定量分析。研究首先从“人、机、环、管”四个维度构建了调车作业安全风险的系统结构模型，梳理了人员操作失误、设备性能退化、环境条件恶化及管理制度缺陷等主要风险源。其次，结合现场调研与事故案例，对各维度风险的成因机理进行了深入剖析，提出了基于行为安全分析、设备状态监测、环境风险预警及信息化管理的综合防控路径。研究还引入数字孪生与大数据技术，构建调车作业虚拟仿真平台，实现对高危工况的动态模拟与提前干预。结果表明，人—机—环—管体系能够有效揭示铁路调车作业中多要素相互作用的规律，为识别潜在风险链条提供了科学依据。通过系统性防控与智能化决策支持，作业风险水平显著降低，人员误操作率和设备故障率得到明显改善。本文的研究对于建立铁路调车安全风险长效防控机制具有重要理论价值和现实意义，可为铁路企业构建科学、智能、协同的安全管理体系提供实践参考，也为今后铁路运输安全治理体系与治理能力现代化提供了可推广的范式。

关键词：铁路调车作业；人—机—环—管体系；安全风险分析；系统防控；智能管理

铁路调车作业是铁路运输系统中极为重要的基础环节，其安全性直接关系到列车运行的准点率与整体运输组织效率。随着铁路运输规模不断扩大、车站作业强度持续攀升，调车作业安全风险呈现出系统化、动态化和复杂化特征。传统安全管理往往聚焦于单一要素，如作业人员培训、设备检修或操作规范，而忽视了人、机、环境与管理之间的耦合关系，难以全面识别与防控风险。

近年来，“人—机—环—管”系统理论逐渐成为铁路运输安全管理研究的重要框架。该体系认为，调车安全是由作业人员（人）、设备设施（机）、作业环境（环）与组织管理（管）四个子系统共同构成的复杂动态系统。各要素之间相互作用、相互制约，任何环节的失效都可能引发连锁反应。因此，构建以系统论为指导、以风险防控为核心的人—机—环—管安全管理体系，对提升铁路调车作业安全水平具有重要意义。

本文在梳理铁路调车作业安全风险特征的基础上，运用人—机—环—管体系对调车作业全过程进行系统性分析，从人因失误、设备隐患、环境因素及管理缺陷四个维度识别风险源，并提出有针对性的防控策略，以期为铁路企业构建科学化、智能化、体系化的安全风险防控机制提供理论参考与实践路径。

1 铁路调车作业安全风险的系统特征分析

1.1 调车作业系统的复杂性与高风险性

铁路调车是车站运输组织中最复杂的作业环节之一，涉及列车编组、解体、摘挂、进路设置、信号转换等多个子过程，且多在露天或夜间条件下进行。作业空间狭窄、人员密度大、车辆移动频繁，使得操作人员长期处于高噪声、高强度的作业环境中，安全风险极高。调车作业中的安全事故通常呈现“高频、隐性、连锁”特点，一旦发生失误，极易造成列车冲突、车辆脱轨、人员伤亡等严重后果。

在作业组织方面，调车作业往往存在多工种协同，如调车长、信号员、司机、连挂工等，信息传递链条较长。若指令传递出现延迟或误解，就可能引发操作错误。此外，随着自动化设备和智能调度系统的引入，虽然作业效率得到提升，但人机界面的复杂性增加，也带来了新的潜在风险，如操作界面误判、系统延迟响应或人机信任失衡等。

1.2 人—机—环—管系统失衡的安全隐患

在人—机—环—管体系中，四个子系统并非独立存在，而是通过信息、能量与管理机制相互耦合。当系统某一环节失衡时，可能导致整个安全链条的脆弱化。例如，人因失误可能源自操作疲劳、心理紧张或培训不足；设备故障可能由维护不当或设计缺陷引发；

作业环境的不良条件,如照明不足、气候恶劣或线路复杂,也会放大风险;而管理层的制度缺陷、监督不足与安全文化缺失,则可能导致风险持续积累。

从系统角度看,调车作业安全问题本质上是一个多因素耦合的系统性风险问题,任何单一环节的优化都不足以彻底消除隐患。唯有通过系统工程方法对人、机、环、管进行整体协调与动态调控,才能实现安全风险的源头治理与过程控制。

2 基于“人”因素的调车作业安全风险分析

2.1 人员素质与行为风险

调车人员是安全作业的直接执行者,其专业技能、心理状态与安全意识直接影响作业结果。调查显示,铁路调车事故中约 60% 以上与人因失误相关。主要表现为操作指令误读、违规作业、注意力分散及经验依赖等问题。部分调车员对新型信号系统、无线调车通信设备掌握不熟,导致误操作频发;个别职工存在侥幸心理,违反规程抢作业、漏汇报现象较普遍。此外,夜班作业、噪声干扰与高强度劳动易引发生理疲劳,影响判断与反应速度。心理学研究表明,长期处于单调高压环境中的作业者,警觉度会显著下降,风险识别能力随之减弱。这类人因问题往往隐蔽且随机性强,成为事故防控中的薄弱环节。

2.2 培训体系与作业规范缺陷

尽管铁路企业普遍建立了岗前培训、技能考核与安全教育制度,但在实际执行中仍存在形式化、周期性不足和针对性不强的问题。部分调车员缺乏系统的情景化应急训练,对非常规情况的应变能力较弱。培训内容多侧重理论灌输,缺乏基于仿真系统的实操演练,导致知识与技能脱节。

在作业规范方面,部分站段的作业标准更新滞后于技术发展,尤其在引入自动化联锁与无线调车系统后,尚未形成与新设备相匹配的安全操作细则。这种制度性空白使得员工在遇到新型风险情境时缺乏标准参考,容易产生随意操作现象。

3 基于“机—环—管”维度的系统风险识别与防控策略

3.1 设备设施(机)风险分析与防控

铁路调车设备包括机车、信号系统、制动装置、无线调车通信系统等。随着自动化与信息化程度提升,设备间的耦合性增强,一旦某环节失效,极易造成系统连锁反应。常见风险包括制动性能衰减、信号系统延迟、车载设备电磁干扰等。针对这些问题,应采取以下防控措施。

第一,建立全寿命周期设备管理机制,利用物联网与传感技术实现关键设备的状态监测与预警,定期

进行健康诊断分析;第二,推行设备智能检修模式,通过 AI 算法识别潜在故障趋势,减少人工检修盲区;第三,优化设备接口兼容性设计,防止多系统协同时出现信号冲突。此外,应完善设备档案与故障追踪系统,确保每一次设备异常都能追溯至责任环节与管理流程,为后续风险防控提供依据。

3.2 作业环境(环)风险与治理路径

调车作业环境具有开放性与多变性特征,气候变化、地形条件、光照状况等都会影响安全。尤其在冬季冰雪天气或雨雾条件下,钢轨附着系数降低、视线受阻,极易造成制动距离不足或信号误判。噪声污染与照明不足也会导致作业人员疲劳加剧。

防控策略应从工程防护与环境优化两方面入手。一是完善站场照明系统与地面防滑设施,配置夜间高亮度信号装置与防滑道岔;二是运用气象数据与 AI 识别技术,建立动态环境风险预警系统,实现气候异常提前提示;三是推行绿色安全作业理念,通过环境治理、噪声控制与生态修复改善作业舒适度,从根本上降低环境致险因素。

3.3 管理体系(管)缺陷与制度创新

在调车安全管理中,制度缺陷与监管盲区是风险持续存在的重要原因。部分基层单位存在“重生产、轻安全”的思想,安全检查流于形式,隐患整改缺乏闭环机制。信息管理系统之间数据孤立,导致风险信息共享滞后。

为破解管理瓶颈,应构建智能化安全管理体系:一是建立基于大数据的风险分级管控平台,对各类作业风险进行实时识别、动态预警与趋势分析;二是推行“双重预防机制”,强化安全风险分级管控与隐患排查治理;三是建立岗位责任制与奖惩联动机制,将安全绩效纳入干部考核,形成自上而下的责任闭环;四是推动安全文化建设,通过典型案例警示教育与岗位风险自查,增强员工主动防控意识。

3.4 人—机—环—管系统协同防控机制构建

要实现系统性防控,需从整体上构建人—机—环—管一体化安全管理架构。首先,应建立系统动态反馈机制,将作业数据、设备状态、人员行为与环境参数统一纳入综合数据库,实现多源数据融合分析。其次,依托人工智能与数字孪生技术,构建铁路调车作业虚拟仿真平台,对复杂作业过程进行场景化演练与风险预测。再次,形成以“事前预防—事中监控—事后改进”为核心的闭环管理流程,确保风险防控全过程可控可追踪。

在组织层面,应设立安全决策支持中心,通过模

型分析与应急模拟为调度决策提供科学依据,实现管理层的精准干预。

4 结论与展望

铁路调车作业安全事关铁路运输系统的稳定运行与公共安全。本文基于人—机—环—管体系,从人员、设备、环境与管理四个维度系统分析了调车作业的主要风险源,并提出了相应的防控策略。研究表明,调车作业安全风险具有高度复杂性和系统耦合性,仅依靠单一要素优化无法根治安全隐患。构建以数据驱动、智能预警、协同管理为特征的人—机—环—管体系,是未来铁路调车安全治理的必然方向。

在实际推进中,应重点完善三方面内容:其一,建立面向岗位的动态培训与心理干预机制,全面提升人员安全素质;其二,强化设备智能监测与全生命周期管理,实现故障早识别、早处置;其三,深化安全文化建设与信息化监管体系融合,推动管理决策科学化、精细化。未来,随着人工智能、物联网与数字孪生技术的深入应用,铁路调车作业安全管理将从经验型向智能型转变,形成以风险感知、系统响应与持续

改进为核心的长效机制,为我国铁路运输事业的高质量与高安全发展提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 李消.铁路机车乘务员调车作业人因失误安全评价与风险管控 [D]. 华东交通大学,2023.
- [2] 卢建平.株洲北站铁路专用线调车安全风险研判及防控对策分析 [J]. 铁道货运,2018,36(10):37-40.
- [3] 余为红.铁路调车作业安全风险控制问题对策 [J]. 铁道运营技术,2020,26(03):14-15.
- [4] 杜勇.铁路调车工作安全系统分析及评价 [D]. 西南交通大学,2018.
- [5] 李畅.安全风险在铁路车务行车工作中的应用研究 [D]. 中国铁道科学研究院,2022.
- [6] 杨英杰.基于事故树的铁路调车作业安全风险程度研究 [J]. 上海铁道科技,2015,(04):102-104.
- [7] 杨超,肖华.电厂铁路调车作业安全风险防范与应对措施 [J]. 企业改革与管理,2018,(03):210-212.
- [8] 陈扬.长沙北站调车作业智能化安全卡控体系研究 [D]. 中国铁道科学研究院,2024.