地铁信号系统运营安全风险辨识及防控策略研究

李宇航
徐州地铁运营有限公司　江苏　徐州　221100

摘　要：地铁信号系统是轨道交通行车安全与稳定运营的关键设施，运营过程易受多重因素影响产生安全隐患。本文从设备、人员、环境、管理四个维度解析风险形成机理，对车载、地面、传输链路及人机协同场景风险开展系统性辨识，搭建多维度安全防控体系，结合现场运营痛点从运维模式、人员能力、风险预判及岗位协同层面优化管控路径，有效提升地铁信号系统安全运营水平。

关键词：地铁信号系统；运营安全；风险辨识；防控体系；运营优化

引言：城市轨道交通运营规模持续扩增，信号系统的运行状态直接决定轨道交通行车秩序与安全品质。系统长期连续运行、复杂多变的运营环境以及人工作业的不确定性，都会催生各类隐性安全风险。完善风险识别方式，搭建适配动态运营场景的安全防控模式，优化现有安全管控体系，是保障轨道交通持续稳定、安全运行的重要支撑。

1 地铁信号系统运营风险形成机理

1.1 设备维度风险产生逻辑

地铁信号系统硬件设施长期不间断投入运营，精密电子元器件会在长期通电和反复启停中产生自然损耗。车载控制器、轨道电路、地面应答器等关键设备，长期承受列车震动与电气负荷，元器件性能会逐步衰退。传输线路表层磨损、内部芯体老化，会破坏信号传输的稳定状态。设备固定构件松动、接口氧化，会造成信号收发不稳定、指令响应不及时。内置存储模块运行紊乱，会打乱系统指令输出节奏，引发列车信号显示异常[1]。隐蔽性设备缺陷会在长期运行中不断发酵，逐步干扰正常运营秩序。运维人员要逐项核查设备运行状态，彻底切断隐患滋生渠道。

1.2 人员维度风险诱发逻辑

地铁信号运维与值守工作具备极强的专业性和规范性，对岗位人员作业状态有着严苛标准。长期从事重复性标准化工作，人员容易产生思维惰性，出现巡查敷衍、操作随意等问题。部分人员对新式信号设备的运行原理和异常特征掌握不透彻，难以分辨细微故障征兆。作业期间擅自删减操作步骤、更改既定流程，会直接打破系统运行平衡。故障处置时判断失误、操作错位，会加重设备异常带来的安全隐患。日常值守巡查流于形式，会让初期微小隐患持续累积扩张。一线岗位要严守作业标准，以严谨操作把控每一处作业细节。

1.3 环境维度风险衍生逻辑

地铁运营覆盖封闭隧道、露天高架等多样场景，各类场景环境都会对信号设备产生持续影响。隧道内部空间密闭、空气流通缓慢，常年积聚的水汽和粉尘会持续侵蚀设备外壳与内部元件。户外高架路段直面昼夜温差、雨雪风霜，温度湿度的剧烈变化会改变设备运行工况，干扰信号传输精度。隧道通风不良形成的凝露，会诱发设备触点氧化、线路接触不良等问题。周边电气设备工作产生的电磁辐射，会干扰信号传输频段，造成信号错乱、指令失效。外界环境带来的持续侵蚀与干扰，会不断削弱设备运行稳定性。现场作业要依据场景差异，针对性布设设备防护措施。

1.4 管理维度风险传导逻辑

地铁信号系统整套运营管控体系存在的漏洞，会逐级下沉影响设备运维与现场作业。现有运维规章细化程度不足，无法全方位覆盖全部作业环节与岗位行为。岗位权责划分不够清晰，部分运维工序会出现管控缺位、责任无人落实的情况。日常巡检管控力度偏弱，各类细微设备异常无法得到及时捕捉与处理。现场作业监督机制不够健全，不规范的操作行为无法得到有效约束。管理层面的缺陷不会直接触发安全事故，却能持续削弱整体安全防护水平。管理人员要细化管控条款，落实各岗位的安全管控职责。

2 地铁信号系统运营安全风险分类辨识

2.1 车载信号系统运行风险辨识

车载信号系统是把控列车运行状态的核心载体，直接决定列车行驶的安全性与稳定性。车载信号主机长期处于列车震动环境中，内部板卡易出现接触不良、性能衰减等问题。测速模块长期高频工作，采集的数据容易出现偏差，误导列车速度调控逻辑。车载显示终端出现卡顿、黑屏故障，会导致司机无法精准读取行车信号与

调度指令。紧急制动对接模块出现故障，会弱化系统应急防护能力，无法及时干预异常行车状态。各类车载设备的隐性故障会持续干扰列车自主控车逻辑[2]。工作人员需常态化开展车载设备单机校验，稳固列车运行安全基础。

2.2 地面信号系统运行风险辨识

地面信号系统承担线路信号输出、行车状态监测的核心功能，覆盖轨道电路、信号机、应答器等设施。轨道电路出现断轨、短路或道床漏电问题，会造成区段占用检测判定失误。轨旁应答器安装偏移、标识磨损，无法精准传递线路参数与位置信息。室外信号机灯具老化、光源故障，会造成信号显示缺失、灯光色别错乱。轨旁设备接线端子锈蚀、线路老化，会引发信号输出中断、状态切换异常。设备长期暴露在运营线路环境中，故障隐患具备极强的隐蔽性。作业人员要分段开展轨旁设备排查，清除线路节点潜在隐患。

2.3 信号传输链路运行风险辨识

信号传输链路承载车地数据交互、调度指令传递的核心任务，是信号系统协同运行的纽带。传输光缆长期受压、弯折或磨损，会降低数据传输的通畅度，引发数据丢包问题。网络交换设备端口积尘、老化，会造成链路端口接触不稳，影响数据交互效率。传输协议适配异常，会造成数据解析错乱，导致车地信息交互出现偏差。链路路由配置紊乱，会阻碍调度指令、行车数据的正常传输流转。链路任意节点出现故障，都会直接影响整套信号系统的运行联动。运维团队要定期梳理传输链路节点，完成全线链路检测校准。

2.4 人机协同操作运行风险辨识

地铁信号运营依托设备运行与人工操作相互配合，人机协同状态直接影响运营安全。操作人员对信号系统界面、操作流程掌握不熟，会出现指令录入、参数设置失误。系统界面信息更新滞后，会造成人员依托滞后数据开展行车操作。人工干预信号系统的操作权限把控不严，易出现误操作、越权操作等违规行为。人机交互过程中操作节奏把控不当，会打乱系统固有运行逻辑。人工判断与系统反馈出现偏差，会诱发各类运营安全隐患。现场岗位要规范人机交互流程，严格把控每一次系统操作行为。

3 地铁信号系统运营安全防控体系构建

3.1 设备全周期运维防控体系构建

设备稳定运行是地铁信号系统安全运营的核心支撑，需覆盖设备从投用到淘汰的完整运行阶段。依据不同信号设备的材质属性与运行负荷，制定差异化的养护周期与检修标准。针对车载、地面、传输类设备的故障高发特性，划分专项检修模块，细化检修重点与操作标准。对老旧设备、性能衰减设备建立单独台账，记录运行状态与检修记录。依托设备运行状态变化动态调整检修方案，杜绝固化运维模式带来的防控漏洞[3]。从源头管控设备故障隐患，降低硬件故障引发的运营风险。工作人员需落实分阶段、分类别运维制度，筑牢设备安全运行根基。

3.2 人员作业行为规范防控体系构建

人工作业规范性直接决定信号系统运营的安全底线，需全方位约束岗位人员作业行为。结合信号运维、值守、故障处置等不同岗位工作内容，细化专属作业标准与操作细则。搭建常态化技能培育模式，聚焦实操能力与安全认知，补齐岗位人员作业短板。建立作业行为监督约束模式，对现场操作全过程进行规范管控。针对不规范作业行为设立整改机制，及时纠正各类违规操作行为。持续规整岗位作业风气，减少人为因素衍生的安全隐患。岗位班组要落实常态化作业督查，规范全线信号岗位操作行为。

3.3 运营环境动态适配防控体系构建

地铁复杂运营环境对信号设备的干扰具备持续性，需搭建适配不同场景的防控模式。针对隧道潮湿、粉尘聚集的环境特点，布设防潮、防尘的防护装置，隔离外界环境侵蚀。依据露天路段气候变化规律，提前做好设备防护、线路加固等前置工作。定期清理设备表面积尘、凝露，排查环境因素引发的设备接触不良问题。对电磁干扰较强的区域，增设信号屏蔽防护设施，保障信号传输稳定。适配各类场景环境变化，弱化外界因素对信号系统的负面影响。现场运维要根据场景工况变化，灵活调整设备防护手段。

3.4 运营流程闭环管控防控体系构建

完善的流程管控能够补齐运营管理漏洞，实现信号系统安全风险的全方位管控。梳理信号运维、故障上报、隐患整改、复盘核查的全链条工作流程，补齐流程空白节点。明确各流程环节的岗位责任，界定工作衔接标准，杜绝管控缺位问题。建立隐患从发现到整改、复核的完整工作链路，杜绝隐患遗留问题。优化流程管控细节，规避流程疏漏带来的安全防控短板。持续提升运营管理的严谨性与系统性，强化整体安全防控能力。管理端要细化全流程管控细则，实现运营风险全程可控可防。

4 地铁信号系统运营安全防控优化路径

4.1 信号系统运维模式优化

地铁信号系统传统运维模式普遍采用固定周期检修

模式，整体运作较为被动，无法适配设备动态运行的真实状态。常规检修工作侧重排查显性故障，忽视元器件缓慢老化、性能衰减等隐性问题，微小隐患会长期留存于设备内部。检修标准统一固化，未区分新装设备、中期服役设备与老旧设备的运行差异，检修工作缺乏针对性。运维工作重心偏向故障修复，前置预防的工作占比偏低，难以从源头遏制风险滋生[4]。运维记录多简单登记故障现象与处置方式，缺少对设备性能变化、故障诱因的深度梳理，无法支撑运维工作迭代升级。转变运维工作核心思路，推行状态导向的精细化运维模式。结合设备服役时长、运行负荷、故障发生频次，划分不同设备的运维等级。针对性调整检修周期与作业内容，对老旧薄弱设备加大检修力度，对新装设备简化冗余流程。细化运维台账记录内容，重点标注设备性能波动、异常前兆与养护细节。

4.2 岗位作业能力提升优化

地铁信号系统一线作业质量，直接取决于人员专业储备、实操功底与现场处置思维。现有岗位培训体系存在明显短板，理论授课占比偏高，现场实操训练内容较为单薄。培训形式常年保持单一模式，无法匹配不同岗位、不同能力层级人员的提升需求。部分作业人员仅能熟练完成标准化流程操作，面对线路异动、设备突发异常等特殊工况，会出现判断迟缓、操作生疏等问题。日常考核体系侧重基础理论考核，未将现场实操细节、故障研判精度、应急处置效率纳入核心考核范围，难以推动人员专业能力持续精进。重构分层分类的岗位培育体系，结合运维、值守、故障抢修岗位的工作特性，定制专属提升内容。增设真实场景模拟训练、故障复盘实训等实操课程，补齐现场作业短板。更新岗位考核体系，以实操成果、隐患识别能力、应急处置效果作为核心考核依据。

4.3 风险动态预判机制优化

地铁信号系统运营环境与设备状态始终处于动态变化之中，传统静态排查模式存在明显滞后弊端。传统风险管控工作以事后整改为核心，侧重处理已经爆发的故障问题，对萌芽状态的隐患缺乏识别手段。风险排查时段、排查内容固定固化，难以覆盖运营过程中随机滋生的各类隐性风险。隐患管控缺乏闭环思维，零散排查出的问题未做持续跟踪，轻微隐患会逐步累积形成重大安全隐患。优化现有风险管控逻辑，构建全时段、动态化的风险预判体系。结合设备运行损耗规律、现场环境变化、人员作业特点，梳理各类风险的滋生规律。细化不同运营场景的排查重点，针对性捕捉设备性能波动、环境干扰、作业偏差带来的隐患苗头。建立隐患跟踪管控台账，全程记录隐患排查、整改落实、复核核验全过程。

4.4 跨岗位协同防控机制优化

地铁信号安全防控涉及多类岗位作业内容，各岗位独立作业的模式容易形成作业壁垒与管控盲区。各岗位作业标准独立制定，环节衔接缺少统一规范，信息传递容易出现断层与偏差。岗位之间缺乏稳定的沟通对接渠道，复杂故障发生后，各岗位作业推进节奏混乱，拖慢整体处置进度。联动作业的权责边界划分模糊，衔接环节出现问题后，难以落实整改责任，容易形成管控漏洞。打破单一岗位的独立作业模式，搭建一体化跨岗位协同作业体系。制定统一的岗位对接标准与信息传输规范，规整各环节信息流转方式[5]。搭建常态化岗位对接机制，明确日常报备、异常联动、故障协同的工作流程。细化联动作业权责清单，清晰界定各岗位在协同防控中的工作职责。

结束语

地铁信号系统运营风险具备动态性、隐蔽性与耦合性特征，各类隐患的产生与积累贯穿系统运营全过程。从风险机理剖析、精准风险辨识、防控体系搭建、管控路径优化等层面完善安全管控举措，可有效化解各类安全隐患，持续强化信号系统运行稳定性，为城市轨道交通常态化安全运营提供坚实保障。

参考文献

[1]张浩.全自动运行地铁环线信号系统风险辨识与防控研究[J].现代城市轨道交通,2026(6):84-90.

[2]庄桐创.地铁信号系统整体网络架构及安全防御技术[J].电子产品世界,2025,32(8):80-84.

[3]邓瑛,孙毅.地铁信号数据传输系统改造工程的风险管控[J].网络安全技术与应用,2022(1):110-111.

[4]夏建勇.地铁信号系统信息安全防御技术研究[J].电气化铁道,2024,35(3):82-85,89.

[5]刘翔宇.基于智能运维系统的地铁信号设备维护管理探究[J].人民公交,2026(8):95-97.