

人工智能驱动下地铁运营运维安全保障体系构建

孙小驰

天津轨道交通运营集团有限公司 天津 300000

摘要: 为解决传统地铁运营运维安全管控预判能力弱、数据融合不足、处置效率偏低等痛点,本文依托人工智能、大数据及物联网技术,结合地铁安全运维与全生命周期管理理论,剖析传统运维体系的现存问题及成因。从数据采集、智能分析、管控执行、管理监督四层架构,搭建AI驱动的全闭环安全保障体系,设计核心功能模块并提出落地保障对策。研究旨在推动地铁安全管控从被动处置转向主动防控,提升地铁运营运维的智能化与精细化安全管控水平。

关键词: 人工智能驱动;地铁运营;运维安全保障;体系构建

引言: 城市地铁作为公共交通核心载体,运营运维安全直接关乎民众出行安全与城市运转秩序。当前地铁运维多依赖人工经验与定期检修模式,存在风险预警滞后、管控效率有限、数据协同不足等诸多短板,难以适配线网规模化、运营高密度化的发展趋势。人工智能技术的快速发展为地铁安全管控升级提供了全新路径。本文立足地铁运维实际场景,依托智能技术构建系统化安全保障体系,助力破解传统运维瓶颈,筑牢地铁运营安全防线。

1 相关理论与技术基础

1.1 地铁运营运维安全相关理论

(1) 地铁运营运维安全内涵:涵盖行车调度、设备维护、客流管控及环境安防四大领域,核心目标是通过系统管控确保持续稳定运行,重点防范设备异常、人员违规、环境突变及大客流冲击等关键风险。(2) 地铁安全风险管控理论:围绕运营全生命周期,将风险分为设备故障、人为操作、环境突发及客流拥堵四类,遵循风险识别、实时预警、快速处置、复盘优化的闭环逻辑,构建动态管理机制,实现从被动应对向主动预防转变。(3) 全生命周期运维理论:以设备从投用、保养、维修至报废的全过程为主线,强调数据驱动的状态监测与预测性维护,通过智能化手段优化维修时机与资源配置,延长设备健康周期,提升运维经济性与安全性。

1.2 核心人工智能技术概述

(1) 机器视觉技术:该技术通过高清摄像与图像识别算法,实现对地铁站台区域、轨道区间、设备外观及人员操作行为的自动感知与分析。其优势在于高分辨率、实时性强,可精准抓拍异物入侵、设备表面损伤及

人员违规操作,并即时触发告警。(2) 机器学习与大数据分析技术:基于海量历史运维数据与实时运营参数,利用分类、回归、聚类及深度学习等算法构建预测模型。该技术可识别设备退化趋势、预判故障发生概率,并对车站客流密度与变化趋势进行动态推演,为决策提供数据支撑^[1]。(3) 智能传感与物联网融合技术:通过部署振动、温度、电流、位移等多维传感器,结合物联网通信架构,构建覆盖车辆、轨道、供电及环境参数的立体感知网络。该体系为人工智能平台提供持续、精准的数据输入,奠定智能分析的基础设施层。

1.3 人工智能与地铁运维安全的适配性分析

(1) 场景适配性:人工智能技术可针对地铁设备运维、运营调度、安全监管、应急指挥等典型业务场景,提供差异化、定制化的智能解决方案。无论是设备异常识别、行车环境监测,还是突发事件的辅助决策,均能实现技术的精准落地。(2) 效率适配性:相比传统以人工巡检和经验判断为主的管理模式,人工智能可实现全天候不间断智能监控,自动完成信息采集、异常检测与初步诊断。该特性显著缩短风险发现与响应时间,全面提高安全管控的时效性与覆盖面。(3) 体系适配性:人工智能技术具备贯穿“数据采集—智能分析—风险预警—处置执行—效果评估与模型迭代”全链条的能力。其系统化特性有助于构建标准化、闭环式的安全管理新体系,推动地铁运营安全从单点防控向全局协同优化升级。

2 传统地铁运营运维安全现状及问题分析

2.1 地铁运营运维安全发展现状

(1) 安全管控模式现状:当前地铁运营普遍采用“人

工巡检+定期检修+事后处置”的传统管控模式,以固定周期巡检与计划性维修为主体手段,基础安全保障体系虽已初步建立并维持了基本运营安全水平,但整体管控模式仍以被动响应为主要特征。(2)智能化应用现状:部分地铁线路已引入视频监控系统、环境传感器及基础数据统计工具,信息化基础设施逐步完善。然而现有智能化设备多为单点部署,各系统间缺乏互联互通,数据仅停留于采集展示层面,尚未形成涵盖感知—分析—预警—处置的系统化智能闭环管控体系。(3)安全管理机制现状:各运营企业已构建较为完善的安全管理制度体系与标准化操作规程,安全管理框架基本健全。但实际执行中管控流程呈现碎片化特征,大量环节依赖人工判断与手动流转,跨部门协同效率不高,精细化、数字化管控水平仍有较大提升空间。

2.2 传统运营运维安全体系存在的核心问题

(1) 风险预判能力薄弱:安全风险识别主要依靠运维人员主观经验与例行检查,缺少数据驱动的预测性分析手段。对设备渐进性故障、突发性客流高峰及环境异常变化缺乏提前预警能力,大量风险隐患在事故发生后才能被识别,事前防控机制严重缺失^[2]。(2) 运维管控效率偏低:人工巡检受制于时间、空间及人员精力限制,覆盖范围有限且难以实现全天候持续监控,同时巡检结果受个体经验差异影响,误判漏判率较高。定期维修模式导致部分设备过度检修造成资源浪费,而关键设备因维修周期不合理存在漏检盲区,资源配置缺乏科学依据。(3) 数据融合应用不足:设备状态、行车调度、客流信息、安防监控等多源数据分散独立部署,数据标准不统一,信息壁垒严重。各业务部门数据无法实现跨系统关联分析,难以形成系统化数据资产为安全决策提供有效支撑。(4) 应急处置智能化不足:面对设备突发故障、大客流积压等紧急事件,应急处置高度依赖调度人员个人经验与静态预设预案。响应速度受信息传递链条制约,处置方案缺乏针对实际场景的动态调整能力,缺乏基于实时数据融合的智能辅助决策手段。

2.3 问题成因分析

(1) 技术层面:智能化技术在轨道交通领域应用处于碎片化探索阶段。各类智能设备虽逐步部署,但核心AI算法应用深度不足,缺乏从数据采集、融合分析到智能决策的完整技术架构规划。各系统接口标准不统一,集成难度大,阻碍一体化智能管控平台构建。(2) 管理层:安全管理模式仍延续传统经验驱动方式,尚未建立数据驱动、智能赋能的现代管理理念。业务流程以人工操作为核心,未将智能化手段嵌入标准化作业流

程,导致信息孤岛与效率瓶颈长期存在,跨部门协同机制不完善。(3) 人才层面:兼具地铁运维专业知识与AI技术应用能力的复合型人才严重匮乏。多数运维人员对新兴智能技术缺乏系统认知,技术团队在算法建模、数据分析等核心能力方面储备不足,导致智能化系统从建设到落地运营的全链条人才支撑薄弱,直接影响智能化转型推进速度与实施效果。

3 人工智能驱动下地铁运营运维安全保障体系构建

3.1 体系构建总体思路与原则

(1) 总体思路:以人工智能技术为核心驱动力,以大数据平台与物联网感知体系为底层支撑,构建覆盖“数据采集—智能研判—风险预警—智能处置—复盘优化”全流程闭环的地铁运营运维安全保障体系。通过AI技术深度嵌入安全管理全链条,驱动安全管控模式从传统的被动事后处置向主动预判、精准干预方向全面转型,实现安全防控关口前移与管理效能整体跃升。(2) 构建原则:一是安全性优先原则,始终坚守地铁运营安全底线,任何智能化改造不得降低既有安全保障水平,技术应用须以可靠性为前提;二是智能化赋能原则,依托AI技术在感知、分析、决策各环节赋能增效,以智能化手段替代或辅助人工重复性、高强度工作,优化管控流程;三是系统性统筹原则,打破业务条块分割,对多场景、多维度安全资源进行统一规划、协调联动,避免碎片化建设;四是实用性落地原则,技术方案须紧密贴合地铁实际运营场景与作业流程,确保体系建得成、用得上、效果好,切实解决一线安全管控痛点^[3]。

3.2 体系整体架构设计

(1) 数据采集层:统一规划部署覆盖全线网的多源数据采集体系,全面接入设备运行状态数据(含车辆、供电、信号、通信等核心系统)、环境监测数据(温度、湿度、振动、有害气体等)、客流感知数据(闸机计数、区域密度、进出站流量)、安防视频数据及运维检修历史数据,实现跨业务、全场景安全数据的标准化汇聚与实时传输。(2) 智能分析层:构建统一AI智能分析中台,集成机器学习、深度视觉、自然语言处理等核心算法,部署设备故障预测模型、客流态势研判模型、环境风险识别模型及人员行为分析模型,对海量多源数据进行关联挖掘与智能研判,输出精准的风险等级与预警信号^[4]。(3) 管控执行层:设置智能设备运维、智能客流管控、智能安防监管、智能应急处置四大核心功能模块,依据AI分析结果自动生成管控指令或辅助决策建议,通过智能调度系统、自动巡检系统、应急指挥系统等执行终端落地具体管控动作。(4) 管理监督层:

建立体系运行状态监督机制,实现从数据采集到处置执行的全链条溯源与过程留痕;配套制定效果评估指标体系和动态优化流程,定期对模型准确率、响应时效、处置成效进行量化考核,驱动管控策略持续迭代,保障体系长效稳定运行。

3.3 体系核心模块功能设计

(1) 智能设备运维模块:依托振动、温度、电流等多维传感数据,融合机器学习回归预测与故障模式识别算法,实现对轨道几何状态、走行部健康度、供电稳定性及信号可靠性的实时监测与退化趋势预测。具备早期预警、故障精准定位及最优维修策略自动推荐功能,推动状态修替代定期修,降低运维成本与非计划停运风险。(2) 智能安全预警模块:构建覆盖设备故障、客流拥挤、异物侵入、违规作业、极端气象等多元风险的多级预警体系。基于 AI 研判将风险划分为蓝、黄、橙、红四等级,明确各等级触发阈值、响应时限与处置流程,通过移动终端、调度大屏等渠道即时推送预警信息,实现安全隐患早发现、早介入、早消除。(3) 智能应急处置模块:面向列车故障、大客流积压、设备损毁、自然灾害等典型场景,运用深度强化学习与多目标优化构建动态决策模型。事件发生时自动采集现场数据,综合研判影响范围与严重程度,秒级生成涵盖人员疏散路径、行车调整方案、抢修资源调配的最优处置预案,以结构化指令推送至相关岗位,辅助高效决策^[5]。(4) 智能复盘优化模块:建立安全事件与运维作业全过程数字档案,自动归集处置记录、检修日志、预警触发数据等多维信息。通过 AI 深度复盘历史数据,识别管控流程薄弱环节与模型偏差,生成可视化分析报告,为风险模型参数校正、预警阈值优化及处置方案迭代提供量化依据,形成“实战—复盘—改进”的螺旋式能力提升机制。

3.4 体系落地实施保障对策

(1) 技术保障:加大 AI 核心算法、物联感知设备及一体化数据平台等关键技术研发与落地投入力度。建设统一数据中台,制定标准数据接口规范,打通各业务系统间数据壁垒;针对地铁复杂运行环境持续优化算法模型适配性,确保智能分析精度满足现场安全管控要求。(2) 制度保障:修订完善与智能化体系相适应的

运维安全管理制度体系,明确数据管理、模型运维、预警处置、系统操作等各环节的职责分工、标准流程与考核指标体系。建立体系运行巡检与合规审计制度,以制度化手段规范体系运行,确保各项智能化管控措施严格执行不走样。(3) 人才保障:制定复合型人才引进与培养专项计划,重点引进具备轨道交通专业背景且熟悉人工智能技术的高层次人才。搭建分层分类培训体系,面向管理层开展数字化认知培训,面向技术骨干开展算法建模与系统运维专项培训,面向一线操作人员强化智能终端操作与异常处置实操演练,全面提升队伍智能化素养。(4) 运维保障:建立体系常态化运维保障机制,组建专职运维团队,制定智能硬件设备、算法模型、数据平台及网络安全的定期巡检、校准升级与容灾备份计划。设立体系运行状态监控看板,实现运维保障工作的可视化、可度量,确保体系全天候稳定可靠运行。

结束语

本文结合相关理论与智能技术优势,完成人工智能驱动下地铁运营运维安全保障体系的架构设计与模块搭建,针对性解决了传统运维模式的核心痛点。通过技术、制度、人才、运维多维度保障策略,可为体系落地提供全面支撑。该体系实现了地铁安全管控全流程智能化闭环升级,有效提升安全防控质量与运维效率,可为城市地铁智能化安全运维建设提供参考与借鉴。

参考文献

- [1] 雷云鹏.城市轨道交通跨专业智能运维系统设计及应用[J].城市轨道交通研究,2022,25(11):140-147.
- [2] 张鑫,赵伟辉,王小晨.人工智能赋能城市轨道交通智能运维平台构建与安全应用[J].城市轨道交通研究,2024,27(08):186-190.
- [3] 王大为,李悦,陈曦.基于深度学习的地铁运营安全风险智能预警模型研究[J].铁道运输与经济,2023,45(06):112-118.
- [4] 刘勇,周志勇.城市轨道交通智慧运维安全管控体系及关键技术[J].铁道标准设计,2023,67(09):156-161.
- [5] 蔡宇晶,高凡,孟宇坤.城市轨道交通设备智能运维系统设计及关键技术研究[J].铁路计算机应用,2023,32(07):79-83.