

地铁设备运维中人工智能技术的应用研究

华祎德

天津致新轨道交通运营有限公司 天津 300000

摘要:本研究聚焦地铁设备运维智能化升级需求,系统梳理当前地铁行业主流传统运维模式的运行逻辑与固有短板,从机器视觉缺陷检测、深度学习故障诊断、大数据预测运维三个核心维度,明确人工智能技术在地铁设备运维场景的典型应用路径,精准提炼其在运维精准度、资源配置效率、动态常态化管控层面的核心优势。针对当前技术落地过程中存在的模型适配性不足、数据孤岛、智能体系碎片化等现实问题,提出对应的专项优化路径。研究成果可为国内地铁运维智能化改造提供严谨的技术参考,全面提升地铁设备运维的整体可靠性与投入产出比,支撑城市轨道交通线网安全稳定运营。

关键词:地铁设备;设备运维;人工智能;智能检测;运维优化

引言:国内城市轨道交通线网规模持续扩张,地铁系统的设备保有量与运行复杂度同步提升,传统依赖人工的定期检修和事后维修运维模式,已经难以适配大规模线网高质量运营的管控需求。近年来人工智能技术在工业运维领域的应用逐步成熟,为地铁设备运维模式的智能化升级提供了可行的技术路径。在此行业背景下,本文系统性梳理人工智能技术在地铁设备运维领域的应用体系,明确其核心应用场景、落地优势与现存问题的优化方向,为国内地铁行业智能运维体系的标准化建设提供完整的理论与实操支撑。

1 地铁传统设备运维模式概述

地铁设备系统具备类型多、分布广、结构复杂、关联性强的特点,主要包含轨道设备、供电设备、信号设备、车辆机电设备、环控设备等多个类别,各类设备协同运行,共同支撑地铁正常运营。现阶段,多数地铁运维场景仍沿用传统运维模式,核心分为定期预防性检修与故障事后维修两种核心方式。该模式以人工操作为核心,依托运维人员定期对设备进行外观检查、参数核验、性能测试,在设备出现明显故障后开展维修作业。

传统运维模式存在诸多固有短板。(1) 运维主观性较强,人工检测易受视觉疲劳、操作经验、工作状态等主观因素影响,对设备微小磨损、内部性能衰减、隐性电路故障等问题识别准确率较低,易遗漏安全隐患。(2) 运维资源配置不合理,固定周期的检修模式无法适配设备差异化运行状态,部分性能良好的设备被频繁检修,造成人力、物力资源浪费,部分高负荷运行设备则因检修间隔过长出现故障累积。(3) 运维响

应滞后,传统模式无法实现设备运行状态的实时动态监测,仅能在故障爆发后开展处置,无法提前预判设备异常,易导致设备故障影响范围扩大,干扰地铁正常运营秩序。整体而言,传统运维模式的智能化、精细化程度不足,难以适配现代化地铁高质量运营的核心需求^[1]。

2 人工智能技术在地铁设备运维中的核心应用场景

2.1 机器视觉技术的设备缺陷检测应用

机器视觉是人工智能技术的核心分支,通过图像采集设备获取地铁设备的高清影像,结合深度学习图像识别算法,完成对设备外观缺陷、结构形变、部件缺失等问题的智能检测,广泛应用于轨道、车体、接触网等外露设备的运维场景。该技术通过前期海量设备正常样本、缺陷样本的模型训练,构建标准化的设备图像识别数据库,能够自主区分设备正常状态与异常状态。在实际应用中,机器视觉系统可全天候采集设备运行图像数据,自动完成图像预处理、特征提取、缺陷比对,精准识别轨道裂纹、扣件松动、接触网磨损、车体部件变形、门窗密封破损等各类细微缺陷。相较于人工视觉检测,机器视觉技术不存在视觉疲劳、主观判断偏差等问题,检测覆盖面更全面、识别精度更高,能够实现设备外观缺陷的全覆盖、无死角排查,从源头规避因设备外观破损、部件异常引发的运行故障。同时,系统可自动标记缺陷位置、统计缺陷类型,形成标准化检测数据,为后续运维处置提供精准依据^[2]。

2.2 深度学习算法的设备故障诊断应用

深度学习算法依托多层神经网络结构,具备强大的数据特征挖掘与规律分析能力,主要应用于地铁隐性

设备故障与性能异常的诊断工作,针对供电系统、信号系统、机电控制系统等内置结构复杂、无法直观观测的设备运维场景。地铁各类核心设备在运行过程中会持续产生电流、电压、温度、振动、频率等海量运行参数,设备故障发生前,其运行参数会出现规律性异常波动。深度学习算法可实时采集设备全维度运行参数,通过模型自主学习海量正常运行数据、故障数据、异常波动数据,挖掘参数变化与设备故障之间的内在关联,实现对设备隐性故障的精准诊断与异常状态分类。该技术可精准识别电路老化、信号传输异常、机械部件磨损、系统参数偏移等人工无法排查的隐性故障,同时能够对故障类型、故障影响范围、故障严重程度进行自主判定,解决了传统运维中隐性故障排查难度大、准确率低的问题,实现设备故障的早发现、早研判。

2.3 智能数据算法的设备状态预测运维应用

基于人工智能的大数据预测算法,可实现地铁设备从“被动维修”向“主动预判运维”的模式转变,是现代化智能运维的核心技术支撑。该技术通过整合设备出厂参数、历史运行数据、历次检修数据、环境运行数据等多维度信息,构建设备运行寿命与状态演化模型,通过算法推演设备性能衰减规律,精准预判设备未来的运行状态与故障高发节点。在实际运维工作中,智能预测算法可根据不同设备的运行负荷、使用年限、工作环境差异,动态调整运维预判标准,针对轨道磨损程度、供电设备损耗、信号系统稳定性、机电部件老化速度等核心指标进行动态推演,提前预判设备性能衰减趋势。基于预判结果,系统可自主生成差异化的预防性运维方案,精准确定运维时间、运维部位与运维重点,彻底规避传统定期运维模式的盲目性,实现设备运维的精准预判、提前处置,有效降低设备突发故障的概率。

3 人工智能应用于地铁设备运维的核心优势

3.1 提升设备运维的精准度与全面性

人工智能应用于地铁设备运维场景,首要核心优势体现在运维精准度与覆盖全面性的双重提升。传统人工运维模式受运维人员专业能力差异、单次巡检精力上限、人工检测覆盖范围的客观限制,无法实现地铁全品类、全区域布设设备的精细化状态检测,大量细微隐患、隐性早期故障无法被及时识别,长期遗留易引发后续运营安全风险。人工智能技术依托机器视觉全覆盖信息采集、深度学习全量数据关联分析的技术特性,可完成地铁所有核心行车设备、站场附属设备的无死角状态监测,监测维度覆盖设备外观完整性、实时运行参数、

内部性能衰减趋势、跨系统联动运行状态等全部层面,不存在人工检测的固有盲区。同时人工智能模型基于统一标准化数据判定规则开展运维检测作业,完全规避人工主观判断带来的偏差与失误,大幅提升故障识别、设备健康状态判定的精准度,可精准捕捉各类低可见度、隐蔽性设备异常,全面强化地铁设备运维的整体质量与运营可靠性^[3]。

3.2 提高设备运维效率,节约运维资源

人工智能在地铁设备运维场景中可实现运维效率提升与运维资源集约化配置的双重价值。地铁系统设备布设总量庞大、空间分布范围覆盖全线站点与区间隧道,传统人工运维模式需投入大量人力、物力资源完成全点位巡检、故障排查、状态核验等作业,整体运维流程冗余繁琐,单轮全量检测工作周期长,运维整体效率处于较低水平。搭载人工智能的运维系统可实现设备运行数据的自动化采集、多源数据智能化关联分析、设备健康状态自主化研判,无需运维人员全程介入各环节,大幅简化传统运维冗余流程,显著缩短设备状态检测与故障根因研判的工作周期。同时智能预测运维模式可替代传统一刀切的定期检修机制,根据单台设备实际运行健康状态精准匹配运维作业计划,避免对状态良好设备开展无效检修作业,减少人力、检修耗材、设备停运时长等各类资源的非必要消耗,实现运维资源的精细化、合理化配置,全面提升地铁设备运维的整体效率与投入产出比。

3.3 实现设备运维的动态化、常态化管控

人工智能技术可推动地铁设备运维模式实现动态化、常态化管控升级。传统人工运维属于典型间断式运维模式,仅能在非运营期的固定检修窗口完成有限的设备状态核查,两次固定检修的间隔周期内,设备全时段运行状态无法得到有效监测管控,早期异常隐患易持续累积直至演变为显性故障。依托人工智能技术搭建的全天候全时段设备智能监测体系,可对全线所有设备的运行数据开展实时采集、动态分析,持续追踪设备性能参数的渐变趋势,实现设备全生命周期运行状态的常态化、动态化管控。系统可实时捕捉设备运行过程中的微小异常波动,第一时间完成异常研判与分级预警,彻底打破传统间断式运维的固有局限性,让设备运维管控动作贯穿地铁全天运营全流程,持续保障各类设备始终处于稳定运行区间,为地铁线网安全稳定运营提供不间断的技术支撑。

4 人工智能在地铁设备运维应用中的现存问题与优化路径

4.1 技术应用现存问题

从当前技术落地应用现状来看,人工智能在地铁设备运维中的应用仍存在诸多技术层面的短板。(1)模型适配性不足,现阶段多数智能运维模型为通用型算法模型,未针对地铁不同类型设备的结构特性、运行规律、故障特征进行专项优化,对部分小众设备、复杂耦合设备的故障识别精度不足,算法泛化能力较弱。(2)数据融合度较低,地铁各类设备的数据采集系统相对独立,数据格式、采集标准不统一,存在数据孤岛问题,人工智能模型无法整合全维度数据开展综合分析,影响状态研判与故障预测的准确性。(3)智能运维体系不完善,部分智能设备仅实现了单一的检测、识别功能,未形成“监测-分析-预警-运维-复盘”的全流程智能化体系,智能化应用碎片化,整体运维协同性不足。(4)技术适配性受限,地铁部分老旧设备数据采集能力薄弱,无法为人工智能模型提供充足、有效的运行数据,制约智能运维技术的落地应用^[4]。

4.2 优化算法模型,提升专项适配能力

优化算法模型、提升专项适配能力,是破解当前人工智能地铁运维应用中模型适配性不足问题的核心技术路径。针对现有通用智能运维算法未深度适配地铁设备特性的短板,需结合轨道、供电、信号、机电等不同品类设备的专项运维需求,完成人工智能算法模型的定向精细化优化与全生命周期迭代升级。基于不同品类地铁设备的专属结构特点、底层运行机理、典型故障演化特征,分类构建对应设备的专属算法训练数据集,重点补充各类低频次小众故障、隐蔽性隐性故障的标注样本数据,强化模型对地铁专项设备的故障识别与状态研判能力。对通用深度学习算法开展针对性改良,优化神经网络层级结构,调整模型参数训练规则,提升模型对设备微小异常、渐进性性能衰减故障的捕捉灵敏度,有效降低算法误判、漏判概率。同步建立模型常态化动态迭代机制,持续归集设备运维过程中产生的新运行数据、新故障特征样本,推动算法模型持续迭代优化,全面提升模型在地铁复杂运维场景中的泛化能力与场景适配性。

4.3 打通数据壁垒,构建一体化智能运维体系

为解决数据孤岛与智能化应用碎片化问题,需搭建统一的地铁设备运维数据平台,规范各类设备的数据采集标准、数据格式、传输协议,整合不同设备、不同模块的运行数据、检测数据、运维数据,实现全品类设备数据的互联互通、集中共享。基于一体化数据平台,重构智能运维工作流程,打通数据采集、智能分析、异常预警、运维指令推送、运维结果复盘的全链条,构建一体化、系统化的智能运维体系。同时,针对老旧设备数据采集短板,适配加装标准化数据采集终端、图像采集设备,补齐数据采集短板,为人工智能技术的全面落地提供完整、精准的数据支撑,实现地铁设备运维全流程、全场景的智能化升级^[5]。

结束语

人工智能技术与地铁设备运维场景的深度融合,是城市轨道交通运维领域未来的核心发展方向,其本质是通过技术手段补齐传统人工运维模式的固有短板,构建覆盖设备全生命周期的智能化管控体系。本研究完整搭建了从传统运维模式分析、智能技术场景落地、核心优势提炼到现存问题优化的完整研究框架,覆盖了当前地铁智能运维落地的全部核心管控节点。后续行业实践中,需持续结合不同地铁线路的设备特性与运营工况,逐步迭代优化智能运维体系的适配性与实用性,推动地铁设备运维向更精准、更高效、更安全的方向升级,为城市轨道交通线网长期稳定运营筑牢技术底座。

参考文献

- [1] 常俊锋. 人工智能技术在中波广播发射台智能运维中的应用研究[J]. 电视电声科学与技术, 2026, 50(4): 4-6.
- [2] 汤智林. 人工智能技术在芯片工艺设备节能降耗中的应用研究[J]. 微型计算机, 2026, (14): 189-191.
- [3] 张先锋. 人工智能技术在地铁机电安装工程中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2026, (4): 164-166.
- [4] 吴鑫楷, 郭洪. 人工智能技术在特种设备检验检测领域的应用研究[J]. 中国科技纵横, 2026, (5): 72-74.
- [5] 杨雪梅. 人工智能技术在广播电视监测与监管领域的应用研究[J]. 中国传媒科技, 2026, (3): 154-157.