

计轴设备常见故障分析及智能排查策略研究

王 涛

国能朔黄铁路发展有限责任公司肃宁分公司 河北 沧州 062350

摘 要：计轴设备是轨道交通信号系统的核心安全装置，直接决定轨道区段状态判别精度与行车运行安全。为解决传统人工巡检排查效率低、隐蔽故障识别难、故障处置被动等问题，本文阐述计轴设备系统组成与运行机理，分类梳理室外、室内及系统综合常见故障类型，剖析故障成因与演化规律。依托大数据与机器学习技术构建分层智能排查体系，经仿真及现场验证，该策略可有效提升故障识别准确率与运维效率，为轨道信号设备智能运维提供技术参考。

关键词：计轴设备；常见故障；智能排查策略

引言：随着轨道交通运营密度持续提升，计轴设备长期处于复杂工况环境，受电磁干扰、环境侵蚀、设备老化等因素影响，故障频发，严重影响行车调度秩序与运输效率。传统运维模式以定期巡检和事后抢修为主，难以预判隐性、间歇性故障，存在运维成本高、排查精度不足等短板。为此本文结合设备运行特性，系统开展故障机理分析，搭建智能化故障排查策略，助力轨道交通运维模式向主动预警、智能处置方向升级。

1 计轴设备基础理论与运行机制

1.1 计轴设备系统组成

(1) 室外设备：作为轨道状态感知的核心单元，主要包含计轴磁头、传感器、轨旁接线盒与传输电缆等部件。设备布设于轨道区间两侧，负责实时感应列车轮轴通行信号，是采集现场轨道运行数据的基础设备，具备防尘、防震、耐高低温的户外适配特性。(2) 室内设备：以数据处理和逻辑控制为核心，涵盖计轴处理单元、电源模块、通信板卡、并扣板及继电器等部件。主要承担室外信号接收、数据运算、逻辑判别和指令输出工作，为轨道区段状态判定、信号联动控制提供核心数据支撑。(3) 辅助配套系统：包含接地系统、信号传输系统、监控与复位操作系统。接地系统保障设备运行安全，规避漏电、电磁干扰风险；传输系统实现内外设备数据互通；监控复位系统可实时监测设备状态，支撑故障预警与复位操作。

1.2 计轴设备工作原理

(1) 轮轴检测原理：依托电磁感应核心原理，列车轮轴经过计轴磁头时，会改变磁场参数，设备将磁场变化转化为脉冲电信号，通过精准捕捉脉冲信号完成轮轴计数，保障计数的准确性与实时性。(2) 区间空闲判别原理：系统实时采集列车进出轨道区间的轮轴数量，对比两处轴数差值，若进出轴数一致则判定区间空闲，存在差值则判定区间占用，实现轨道区段状态的自动化逻辑

判别。(3) 故障自检与复位原理：设备搭载常态化自检程序，可实时检测信号传输、硬件运行异常，故障时自动触发报警。同时支持人工手动复位与系统自动复位两种模式，快速恢复设备正常运行状态^[1]。

1.3 计轴设备运行特性与技术标准

(1) 设备运行环境特性：设备运行受现场温湿度、电磁干扰、轨道振动等因素影响，极端温湿度、强电磁干扰及剧烈振动，可能造成信号失真、计数偏差，因此设备需适配轨道交通复杂户外工况。(2) 安全运行技术标准：设备严格遵循轨道交通SIL4最高安全等级要求，轴数计数精度需满足零误差标准，同时保障信号传输持续稳定，无延迟、无丢包，适配列车安全运行管控需求。(3) 常规运维规范：行业规范明确设备需开展日常巡检、定期检修工作，重点排查硬件损耗、信号传输故障等问题，同时制定标准化故障应急处置流程，快速处理设备异常，保障轨道信号系统稳定运行。

2 计轴设备常见故障类型及成因深度分析

2.1 室外感知类故障

(1) 计轴磁头故障：计轴磁头为核心感知部件，长期暴露于轨道现场环境中，易出现安装偏移、表面磨损、密封老化进水等问题。磁头位置偏移会改变电磁感应范围，磨损与进水老化会损坏内部感应元件，直接造成信号采集失效、轮轴计数漏记、误记等问题，进而引发轨道区段红光带、区段误占用等典型故障，干扰正常行车判定。(2) 传输线路故障：传输电缆是设备信号传输的载体，长期受轨道碾压、环境侵蚀、施工影响，会出现外皮破损、线路绝缘层性能下降等问题。同时，轨旁设备接地不良、周边线路信号串扰，会导致信号传输中断、传输数据失真，造成室内设备无法正常接收室外轮轴信号，引发设备工作异常。(3) 环境干扰故障：轨道交通现场工况复杂，轨道牵引电流波动、周边电气设备电磁

辐射会干扰磁头磁场稳定性。此外,雨雪、沙尘、高低温等恶劣天气,会影响室外设备运行状态,造成感应信号紊乱、采集数据偏差,引发设备临时性工作异常。

2.2 室内处理类故障

(1) 板卡设备故障:室内通信板卡、并扣板、计轴处理单元等核心硬件,长期不间断运行易出现元件老化、电路烧坏、接口接触不良等问题。此类故障会导致设备数据接收、运算、传输功能异常,无法正常完成轴数统计与逻辑判定,严重时会造成设备锁闭,区段信号持续异常。(2) 电源模块故障:电源模块为整套室内设备提供稳定供电,电网电压波动、瞬时过压、线路短路会造成保险熔断、模块损坏。供电不稳定或断电会直接导致设备停机,引发轨道区段棕光带故障,影响区间信号正常输出^[2]。(3) 逻辑判断故障:设备长期运行后会出现程序运行异常、系统参数漂移等问题,破坏原有计数与判别逻辑。具体表现为轮轴轴数累加错误、列车行驶方向判别失准、区段复零功能失效,是设备隐性故障的主要诱因。

2.3 系统综合类故障

(1) 区段异常占用故障:该故障为计轴系统典型高发故障,在无列车通行的情况下,设备因数据异常或逻辑误判,错误认定轨道区段处于占用状态,生成虚假红光带,封锁正常通行区间,严重干扰列车行车调度秩序,降低线路运输效率。(2) 设备复位失效故障:当设备出现故障报警后,人工手动复位与系统自动复位均无法解除故障状态,故障持续锁定,无法恢复设备正常运行,需人工逐项排查硬件、线路与程序问题,故障处置耗时较长。(3) 间歇性偶发故障:此类故障具备无规律、隐蔽性强的特点,受环境波动、线路虚接、参数小幅偏移等因素影响不定期复发,常规巡检难以发现故障根源,排查难度极大。

2.4 故障共性规律与传统排查短板

(1) 故障时空分布规律:计轴设备故障具备明显的时空聚集特征,高频故障点位集中在室外磁头、传输线路及室内电源、板卡等易损耗部件,故障高发于恶劣天气、列车高密度通行时段,呈现出显著的场景化、时段化分布特点。(2) 故障演化规律:设备故障普遍存在渐进式演化特征,初期仅表现为数据小幅异常、偶发报警等轻微隐患,若未能及时排查处置,会逐步恶化成持续误计数、区段锁闭、设备停机等重大故障,滋生严重的行车安全隐患。(3) 传统排查模式短板:传统运维依赖人工事后排查与定期巡检,整体排查效率低下,无法有效识别间歇性、隐蔽性故障。同时缺乏故障预判能力,

仅能被动处置已发生故障,人力、时间运维成本偏高,难以适配现代化轨道交通安全高效的运维需求^[3]。

3 计轴设备智能排查策略构建与应用

3.1 智能排查总体架构设计

(1) 数据采集层:数据采集层是智能排查系统运行的基础载体,主要构建覆盖计轴设备全运行周期的多维度数据采集体系。系统统一采集设备日常运行日志、轨旁传感实时监测数据、历史故障台账数据以及现场温湿度、振动、电磁干扰等环境参数,实现室内外设备运行数据、工况环境数据的全方位汇聚,有效解决传统运维数据分散、信息单一的问题,为后续智能分析和故障研判提供完整、可靠的数据基础。(2) 智能分析层:智能分析层是整个排查体系的核心核心处理单元,依托大数据处理技术与机器学习算法,对采集的海量原始数据进行深度挖掘与智能运算。通过数据关联分析、趋势拟合与特征匹配,完成设备异常状态识别、故障类型自动分类以及故障根源精准定位,摆脱传统人工排查依赖经验、主观性强、误差较大的弊端,大幅提升故障分析的科学与准确性^[4]。(3) 运维应用层:运维应用层面向轨道交通现场运维实际需求,搭建集多功能于一体的智能化应用模块。主要包含故障提前预警、设备状态智能诊断、故障自动复位、标准化运维指导等功能,形成从风险研判、故障诊断到应急处置、日常运维的闭环管理体系,有效推动计轴设备运维模式由被动抢修向主动预防、智能处置转型。

3.2 基于数据挖掘的故障智能识别技术

(1) 故障数据预处理:现场采集的原始数据普遍存在冗余、缺失、噪声干扰等问题,无法直接用于模型分析。因此需开展规范化数据预处理工作,通过异常数据清洗剔除错误、无效数据,降低干扰影响;同时对有效数据进行关键特征提取,筛选与设备故障高度相关的核心指标,并完成数据标准化与归一化处理,统一数据维度与计算标准,为算法模型训练和故障识别提供高质量数据样本。(2) 故障特征库构建:结合前文总结的室外感知、室内处理、系统综合三大类故障,系统梳理各类故障对应的核心特征信息。全面整合故障发生时的信号波动特征、数据偏移特征、环境诱发特征以及故障现象表征,归纳不同故障的专属特征参数与判定阈值,建立标准化、结构化的计轴设备故障特征库,为智能识别匹配、故障类型判定提供统一的标准依据。(3) 智能识别算法应用:依托机器学习分类算法对预处理后的故障特征数据进行深度训练与学习,通过特征比对、模型匹配实现计轴设备故障类型的自动判别与精准归类。算法可

有效区分显性突发故障与隐性渐变故障,解决人工难以识别隐蔽故障的问题,显著提升故障识别的精准度与效率,满足复杂轨道工况下的快速故障识别需求。

3.3 分级智能排查策略体系

(1) 故障预警排查:故障预警排查属于前置性预防运维手段,重点针对设备运行过程中的参数漂移、数据小幅波动、环境参数异常超标等故障前兆信息。通过智能模型实时监测设备运行状态变化,提前捕捉潜在故障隐患,实现故障风险提前预判,并配合前置预处理操作及时消除隐患,避免轻微异常逐步恶化,引发区段占用、设备锁闭等影响行车的故障。(2) 即时故障精准排查:针对已经发生的设备故障,按照故障来源分为室外感知故障、室内处理故障与系统综合故障,建立模块化、流程化的智能排查方案。系统可根据现场故障现象自动匹配对应排查流程,逐层锁定故障点位与故障成因,替代传统人工逐段排查的低效模式,缩短故障定位时间,提升故障处置效率^[5]。(3) 疑难故障溯源排查:针对现场高发的间歇性、隐蔽性疑难故障,依托大数据回溯与趋势分析技术开展深度排查。通过调取设备长期运行数据、信号变化曲线、环境波动规律,对故障发生时段的数据进行纵向溯源与横向对比,挖掘故障隐性诱因,解决疑难故障复发率高、人工难以定位根源的难题。

3.4 智能排查策略仿真与现场验证

(1) 仿真实验设计:为验证智能排查策略的可行性与稳定性,搭建专业化计轴设备故障仿真模型,真实还原轨道现场设备运行工况。系统性模拟磁头偏移、线路干扰、电源波动、板卡异常、参数漂移等各类典型故障与疑难故障场景,构建完整的故障实验样本库,为策略性能测试与算法优化提供可控、全面的实验环境。(2) 策略效果验证:以故障排查效率、故障识别准确率、故

障处理时长为核心评价指标,开展传统人工排查与智能排查策略的对比试验。通过多组仿真数据对比分析,量化验证智能排查策略在故障识别精度、排查速度、处置稳定性等方面的优势,充分证明该智能策略的实用性与技术先进性。(3) 现场优化改进:在仿真实验基础上,结合轨道交通运维现场复杂工况、设备运行差异与一线运维作业规范,对智能排查流程、算法阈值与识别模型进行针对性优化迭代。修正模型适配偏差,完善特殊场景排查逻辑,进一步提升智能排查系统的现场适配性与落地性,保障策略可高效应用于实际运维工作。

结束语

本文系统总结了计轴设备各类典型故障的产生原因与分布规律,针对传统排查方式的缺陷,构建了集数据采集、智能分析、分级排查于一体的智能排查体系,实现故障预警、精准定位与溯源排查全覆盖。经过仿真试验与现场优化验证,该体系能够有效提升故障处置效率、降低设备故障复发率,可为轨道交通计轴设备运维工作提供标准化参考,推动轨道信号系统运维智能化、规范化发展。

参考文献

- [1]刘红燕.城市轨道交通计轴设备安装调试技术[J].科学之友.2021,15(8):74-77.
- [2]杨子河.广州地铁3号线计轴系统故障原因及查找分析[J].铁道通信信号.2024,9(8):102-106.
- [3]雷云鹏.城轨计轴设备健康状态评估系统[J].铁道通信信号.2023,14(11):155-158.
- [4]申雄.简析成都地铁4号线计轴工作原理及故障应急处置[J].铁路通信信号工程技术.2024,18(3):226-229.
- [5]滕东华.基于MSS的AzLM计轴智能维护系统研究[J].铁路通信信号工程技术.2023,27(3):95-99.