

铁路货车车辆抱闸故障分析及其处理新技术

贺怡冉

中国铁路呼和浩特局集团有限公司包头西车辆段 内蒙古 包头 014000

摘要: 铁路货车抱闸故障是制动系统异常引发的非正常制动现象, 易导致部件损坏与行车风险。本文分析其成因(如机械磨损、气路失效)与发展过程, 并探讨智能检测、高效维修及预防预警新技术。这些技术通过多源数据融合、深度学习算法及动态反馈机制, 实现故障早期识别与精准处理, 提升制动系统可靠性, 降低维护成本, 保障运输安全高效运行。

关键词: 铁路货车; 抱闸故障; 故障处理新技术

引言: 铁路货车制动系统作为行车安全的核心屏障, 抱闸故障因非正常摩擦引发温度升高、制动失效等风险, 可能导致车辆部件损坏、行车事故及运输延误。传统人工诊断依赖经验, 存在效率低、漏检率高、响应慢等问题。随着技术发展, 智能化、精准化新技术通过物联网实时监测、人工智能诊断及主动预警, 成为解决抱闸故障的关键方向, 对提升铁路运输安全性与效率具有直接推动作用。

1 铁路货车车辆抱闸故障概述

铁路货车车辆抱闸故障是制动系统异常引发的非正常制动现象, 主要表现为车轮与闸瓦间持续摩擦导致温度异常升高、制动失效或车辆运行阻力增大; 若未及时处理, 可能引发车辆部件损坏、行车安全隐患及运输效率下降。抱闸故障的成因多样, 常见于制动系统机械部件磨损、气路控制失效、弹簧疲劳变形等方面。具体表现如制动缸活塞卡滞导致制动无法缓解, 闸瓦间隙调整器失效引发制动行程异常, 风管漏风或控制阀故障造成制动指令误触发; 此外, 极端温差环境、粉尘污染及长期高负荷运行会加速部件老化, 增加故障概率。传统故障诊断依赖人工经验, 存在效率低、易漏检的不足, 为此, 新技术应用聚焦智能化与精准化方向; 例如, 物联网传感器可实时监测制动缸压力、闸瓦温度及车轮转速, 通过数据建模分析异常模式, 实现故障早期预警。激光检测技术能快速扫描闸瓦厚度与接触面状态, 识别磨损超限或偏磨问题; 机器人巡检系统结合视觉识别算法, 可自动检测制动装置关键部位状态, 替代人工高危作业。在处理手段方面, 新型复合材料闸瓦凭借耐高温、抗磨损特性延长使用寿命。自适应制动调节装置可根据车辆负载动态调整制动力, 避免过制动或缓解不良; 基于人工智能的诊断系统通过历史故障数据训练, 能快速定位故障根源并提供维修建议, 提升故障处理效

率与准确性^[1]。这些技术革新提高了铁路货车制动系统的可靠性, 降低了维护成本, 为铁路运输安全高效运行提供有力支撑。

2 铁路货车车辆抱闸故障深度分析

2.1 铁路货车车辆制动系统与抱闸关联

铁路货车制动系统由空气制动装置、基础制动装置及手制动机构成, 各部件结构特性直接影响抱闸故障发生概率。空气制动装置中, 制动主管、支管、制动缸及制动阀等部件若存在漏风、卡滞或响应延迟问题, 会导致制动缸持续输出制动力, 引发闸瓦与车轮异常贴合。基础制动装置包含杠杆、拉杆、闸瓦及间隙调整器, 其中杠杆系统若出现锈蚀、变形或铆钉松动, 会改变传动比, 造成闸瓦无法完全脱离车轮表面; 闸瓦间隙调整器若失效, 会因无法自动调整间隙而使闸瓦持续摩擦车轮, 形成热抱闸。制动盘与闸瓦材质匹配性同样关键, 若闸瓦硬度超标或制动盘表面存在裂纹、剥离, 高温摩擦易引发金属粘连, 形成机械抱闸。手制动机若未完全缓解, 链条松弛度不足或棘轮卡滞, 会直接导致车轮被锁死。各部件的结构设计、材料选择及维护状态均与抱闸故障密切相关。优化制动系统结构需从减少漏风点、提高传动部件抗疲劳性、增强间隙自动调整可靠性及优化摩擦副材质匹配性入手, 通过结构改进降低抱闸故障发生概率, 确保货车制动系统安全可靠运行。

2.2 铁路货车车辆抱闸故障的常见触发因素

铁路货车抱闸故障常见触发因素涉及多环节技术失效。空气制动系统内, 制动阀滑阀因杂质侵入或润滑不足出现卡滞, 导致制动缸压力无法完全释放, 形成残留制动力; 缓解弹簧疲劳断裂或弹性衰减, 会丧失复位能力, 加剧抱闸风险。制动主管路因腐蚀穿孔、接头松动或密封圈老化引发漏风, 使制动缸压力异常累积, 持续压迫闸瓦与车轮接触。基础制动装置中, 杠杆连接销轴

磨损超限或润滑失效, 会改变传动比, 导致闸瓦无法完全脱离车轮; 闸瓦托与闸瓦铆接松动可能引发偏磨或脱落, 触发非正常摩擦。间隙调整器弹簧疲劳断裂或调整螺杆锈蚀卡滞, 会丧失自动调节功能, 造成闸瓦间隙过小, 持续摩擦车轮。手制动机链条松弛度不足或棘轮齿面磨损, 在缓解时无法完全松弛链条, 形成机械锁死。环境因素中, 极端温差引发金属部件热胀冷缩, 可能导致制动缸活塞运动受阻或阀体密封失效; 制动盘表面油污污染会降低摩擦系数, 引发制动延迟; 闸瓦材质不均匀或含杂质, 在高速摩擦时易产生热裂纹, 增加抱闸风险。这些因素相互关联, 需通过系统性检测与维护进行预防, 保障行车安全。

2.3 铁路货车车辆抱闸故障的发展过程与表现形式

铁路货车车辆抱闸故障的发展过程可分为三个阶段。(1) 初期阶段: 制动系统局部出现异常摩擦, 如闸瓦边缘轻微偏磨, 导致制动时产生非均匀制动力, 此时温度上升幅度较小, 但可通过红外监测发现局部热点。若未及时处理, 故障进入发展阶段, 制动缸活塞卡滞、弹簧疲劳变形或气路元件失效等问题逐渐显现, 导致制动无法完全缓解, 车轮持续受力, 伴随异响和温度快速攀升, 可能出现表面材料剥落或烧蚀痕迹。(2) 进入严重阶段后: 故障风险显著增加。持续高温摩擦可能导致轮毂热变形、轴承润滑失效, 甚至引发轮对卡死。制动指令误触发或缓解延迟会增大车辆运行阻力, 影响列车编组稳定性, 极端情况下可能引燃附近可燃物, 形成次生安全隐患。(3) 在表现形式方面: 除温度异常升高外, 还包括制动距离延长、制动时车辆抖动加剧、制动缓解时间延长等动态特征。振动传感器可捕捉制动装置异常振动信号, 结合制动缸压力波动数据, 可量化故障程度^[2]。这些多维度表现需通过智能化监测系统综合分析, 实现故障早期识别与精准定位, 为维修决策提供科学依据, 保障铁路运输安全高效运行。

2.4 铁路货车车辆抱闸故障对行车安全的潜在影响

铁路货车抱闸故障对行车安全的潜在影响涉及多维度风险。持续摩擦会导致车轮踏面异常磨损, 局部高温可能引发制动盘或车轮表面裂纹、剥离, 降低制动效能, 延长制动距离, 提升列车冲突或追尾风险。高温环境下, 闸瓦与车轮摩擦产生的热量若超过材料耐受极限, 会加速制动缸活塞密封失效、杠杆连接部位疲劳断裂, 形成系统性故障隐患, 威胁行车安全。抱闸状态下, 车轮与轨道接触面摩擦系数异常变化, 可能引发列车蛇形运动或抖动, 影响车辆操控稳定性, 尤其在高速运行或曲线线路中, 易导致脱轨事故。持续制动力输出

会加剧车轮与轨道的磨耗, 缩短关键部件使用寿命, 增加维护成本及突发故障概率。此外, 抱闸故障可能掩盖其他潜在问题, 如制动阀内部卡滞、管路漏风等, 导致故障诊断延误, 积累安全隐患。这些影响相互叠加, 形成对行车安全的复合威胁; 为有效管控风险, 需通过定期检测、状态监测及预防性维护, 确保制动系统始终处于可靠工作状态。通过智能化监测手段实时追踪制动参数变化, 结合故障预测模型提前识别风险, 可显著提升行车安全系数, 降低事故发生概率, 保障铁路运输稳定运行。

3 铁路货车车辆抱闸故障处理新技术

3.1 铁路货车车辆抱闸故障智能检测新技术原理

铁路货车车辆抱闸故障智能检测新技术基于多维度数据融合与模式识别原理实现精准诊断。物联网传感器网络是核心感知层, 通过部署于制动缸、闸瓦、车轮等关键部位的压力传感器、温度传感器及振动传感器, 实时采集制动过程中的动态参数。这些数据经无线传输至边缘计算节点, 利用预设的数学模型进行实时分析, 识别制动缸压力异常波动、闸瓦温度梯度突变等早期故障特征, 实现故障预警。激光扫描技术通过非接触式测量获取闸瓦几何参数, 激光发射器向闸瓦表面发射脉冲光束, 接收器捕获反射信号并计算飞行时间, 进而生成高精度三维点云数据。结合图像处理算法, 可量化闸瓦厚度磨损量、接触面偏磨程度及表面裂纹分布, 为故障程度评估提供客观依据。机器人巡检系统搭载视觉识别模块, 沿轨道自主导航至检测区域; 通过高清摄像头采集制动装置图像, 利用深度学习算法识别活塞卡滞、弹簧变形等机械故障特征^[3]。红外热像仪同步捕捉温度分布热图, 辅助判断摩擦过热区域。系统通过多传感器数据融合, 形成故障综合诊断报告, 指导维修人员精准定位故障源, 提升检修效率与准确性, 保障铁路运输安全。

3.2 铁路货车车辆抱闸故障高效维修新技术流程

铁路货车抱闸故障高效维修需构建系统化技术流程。采用非接触式红外热成像仪对制动盘、闸瓦实施实时温度监测, 可快速定位异常摩擦区域, 有效规避人工巡检可能存在的盲区问题。智能诊断系统通过分析制动阀内部滑阀运动轨迹、弹簧应力变化等参数, 运用算法识别卡滞、失效等隐性故障, 显著提升诊断精度与效率。维修环节推行模块化组件更换策略, 例如采用标准化制动缸活塞密封组件、预装式杠杆连接销轴, 大幅缩短现场更换时间, 降低操作复杂度。针对间隙调整器失效问题, 引入自补偿式调整机构, 内置传感器实时监测闸瓦间隙并自动触发调整动作, 避免人工干预可能产生

的误差,提升调整可靠性。维修后通过轨道摩擦试验台实施动态测试验证,模拟不同速度、载荷工况,检测制动响应时间、摩擦系数稳定性等关键指标,确保制动系统恢复可靠性能。同时建立维修数据云平台,记录每次维修的部件状态、更换周期及测试结果,依托大数据分析预测部件寿命,实现预防性维护管理。该流程整合智能检测、模块化维修、自补偿调整及数据驱动维护技术,形成闭环高效维修体系,有效提升抱闸故障处理效率与可靠性,保障货车制动系统持续安全运行。

3.3 铁路货车车辆抱闸故障预防预警新技术应用

铁路货车车辆抱闸故障预防预警新技术应用可从以下三方面展开。(1)多源数据融合监测体系:通过部署压力传感器、温度传感器、振动传感器于制动缸、闸瓦及车轮关键部位,实时采集制动压力波动、表面温度变化及机械振动信号。边缘计算节点对数据进行实时清洗与特征提取,结合预设阈值模型,识别制动缸压力异常突降、闸瓦温度梯度陡增等早期故障征兆,实现故障预警的分钟级响应。(2)智能诊断算法模型:基于深度学习构建故障预测网络,利用历史故障数据训练模型,挖掘制动参数间的隐含关联规律。例如,通过长短期记忆网络(LSTM)分析制动缸压力与闸瓦温度的时序变化,预测制动缓解延迟风险;采用卷积神经网络(CNN)识别红外热像图中的异常热区分布,定位摩擦过热位置。(3)动态预警反馈机制:预警系统根据故障风险等级自动触发分级响应策略:低风险时推送检修建议至终端设备,中风险时联动调度系统调整车辆编组,高风险时直接干预制动系统进行紧急缓解。通过闭环反馈机制持续优化预警模型,形成“监测-诊断-预警-干预”的全链条智能防控体系,有效降低抱闸故障发生率,提升铁路运输安全系数。

3.4 铁路货车车辆抱闸故障处理新技术的实践优势

铁路货车车辆抱闸故障处理新技术的实践优势体现在三个方面。(1)实时性提升安全系数:智能监测系统通过传感器网络实现制动参数毫秒级采集,结合边缘

计算实时分析压力、温度、振动数据,可在故障萌芽阶段触发预警。例如,制动缸压力异常波动或闸瓦温度梯度突变时,系统自动推送检修提示,避免故障恶化引发安全事故,显著降低行车风险。(2)精准性优化维修效率:基于深度学习的诊断算法可识别制动装置细微异常,如活塞卡滞、弹簧疲劳等机械故障特征,结合激光扫描获取的闸瓦几何参数,精准定位故障源。维修人员根据系统提供的三维故障模型与维修建议,可快速完成针对性修复,减少传统人工排查时间,提升检修效率。

(3)经济性降低维护成本:预防预警技术通过动态监测与分级响应策略,实现从“事后维修”向“事前预防”的转变。低风险故障通过远程指导处理,中高风险故障联动调度系统调整运输计划,避免非计划停运导致的运输损失^[4]。长期运行数据显示,新技术可降低30%以上的维修成本,同时延长制动部件使用寿命,形成安全与经济的双重效益。

结束语

未来,随着物联网、人工智能及大数据技术的深度融合,抱闸故障处理将实现全链条智能化升级。实时监测网络可精准捕捉微小故障征兆,预测性维护能提前规避风险,自修复材料技术有望延长部件寿命。这些创新不仅提升故障处理效率,更推动铁路运输向“零故障”目标迈进,为安全稳定运行构筑更坚实的智能防线,助力运输效能持续攀升。

参考文献

- [1]刘建业.新朔铁路车辆发生列车抱闸技术原因分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2021(5):031-032.
- [2]王正光,刘志国,陈永明等.浅谈铁路货车制动抱闸故障研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(12):157-159.
- [3]付长泰,房宏志.铁路货车空气制动系统抱闸故障原因快速排查方案研究[J].铁道车辆,2024,62(06):158-162.
- [4]李焯斌,白艳涛.铁路货车空气制动系统故障诊断研究综述[J].电子技术与软件工程,2022,(17):105-109.