

铁路货车车辆故障诊断技术和维修保养探讨

吴尚禹

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: 随着铁路运输的蓬勃发展, [摘要]铁路货车车辆的安全运行至关重要。本文聚焦铁路货车车辆故障诊断技术与维修保养。首先阐述铁路货车常见的车轮、轴承、转向架、制动等系统故障类型;接着分析车辆滚动轴承故障轨边声学诊断系统(TADS)、车辆运行品质轨边动态监测系统(TPDS)等多种故障诊断技术;最后探讨分级维修制度优化、智能监测系统应用、新材料与新工艺应用等维修保养策略。旨在通过系统研究,为提升铁路货车故障诊断准确性与维修保养质量提供理论支持,保障铁路运输安全与高效运行。

关键词: 铁路货车; 故障诊断技术; 维修保养策略

引言: 铁路货运在我国交通运输体系中占据关键地位, 铁路货车作为货物运输的主要载体, 其运行状态直接关系到运输安全与效率。然而, 在长期运行过程中, 铁路货车车辆难免会出现各类故障, 影响运输秩序与安全。准确及时的故障诊断是保障车辆正常运行的前提, 科学合理的维修保养则是延长车辆使用寿命、降低运营成本的关键。因此, 深入研究铁路货车车辆故障诊断技术, 并探讨有效的维修保养策略, 对于提升铁路货运整体水平、推动铁路行业可持续发展具有重要意义。

1 铁路货车车辆故障类型

1.1 车轮系统故障

车轮是铁路货车行驶的关键部件。常见故障有踏面擦伤、剥离与磨损。踏面擦伤多因制动过猛或空转导致, 会使车辆运行时产生冲击和振动, 影响行车平稳性。踏面剥离是材料疲劳或异物侵入造成, 会降低车轮强度。而踏面过度磨损会改变轮轨接触关系, 增加轮轨相互作用力, 不仅加速轨道磨损, 还可能引发车辆脱轨事故, 威胁行车安全。

1.2 轴承系统故障

轴承系统对货车平稳运行至关重要。常见故障包括保持架损坏、滚子或滚道疲劳剥落、润滑不良等。保持架损坏会使滚子运动失常, 产生异常振动和噪声; 滚子或滚道疲劳剥落会导致运转不平稳, 增加摩擦和发热。润滑不良则会使轴承磨损加剧, 温度升高, 严重时引发轴承卡死, 造成车辆运行故障, 影响运输效率和安全^[1]。

1.3 转向架系统故障

转向架是货车承载与导向的核心部件。其故障涵盖构架裂纹、弹簧失效、心盘磨耗等。构架裂纹可能因长期承受复杂载荷产生, 会降低结构强度, 危及行车安全。弹簧失效会影响车辆减震性能, 使货物受到过大冲击。

心盘磨耗会导致车辆运行不稳定, 出现蛇行运动等现象, 不仅影响乘坐舒适性, 还会加剧其他部件的磨损, 缩短车辆使用寿命。

1.4 制动系统故障

制动系统是保障货车安全停车的关键。常见故障有制动梁脱落、制动缸活塞行程异常、制动阀故障等。制动梁脱落会直接导致制动失效, 引发严重安全事故。制动缸活塞行程异常会影响制动力大小, 使制动效果不佳或过猛。制动阀故障会造成制动系统压力不稳定, 导致制动失灵或缓解不良, 严重影响货车运行的制动性能和行车安全。

2 铁路货车车辆故障诊断技术分析

2.1 车辆滚动轴承故障轨边声学诊断系统(TADS)

车辆滚动轴承故障轨边声学诊断系统(TADS)是铁路货车安全监测的核心技术之一, 通过声学信号分析与智能诊断实现轴承早期故障预警。该系统采用轨边布置的高灵敏度麦克风阵列, 实时采集列车通过时轴承运转产生的振动噪声信号, 利用滤波降噪技术提取特征频率, 结合机器学习模型匹配故障模式库, 精准识别轴承内圈、外圈、滚子等部位的裂纹、剥离、磨损等早期损伤。其技术优势在于非接触式在线检测, 可在轴承尚未出现热轴或明显温度异常时提前数周至数月发现故障隐患, 有效防范切轴、脱轨等重大事故。系统通过多级联网架构实现全路数据共享, 支持故障轴承的全程跟踪与趋势分析, 为状态修提供科学依据。

2.2 车辆运行品质轨边动态监测系统(TPDS)

车辆运行品质轨边动态监测系统(TPDS)是铁路货车安全监测的核心技术之一, 通过轨边安装的轨道测试平台与传感器阵列, 实时采集列车通过时的轮轨垂直力、横向力及振动数据。该系统采用高平顺性混凝土轨枕框

架结构, 配备自主研发的板式双向压力传感器与不打孔轨腰剪力传感器, 可连续测量轮轨相互作用力, 精准识别车辆蛇行失稳、脱轨系数超限等动力学隐患。系统具备多重监测功能: 一是通过轮轨力波形分析捕捉转向架横向失稳特征, 防范脱轨风险; 二是动态监测车辆总重、轴重及超偏载状态, 避免因装载失衡导致的结构损伤; 三是检测车轮踏面擦伤、剥离等损伤, 量化损伤程度并生成预警。TPDS采用四级联网架构, 实现探测站、基层汇聚节点、铁路局监控中心与铁道部查询中心的数据实时共享, 支持全路车辆运行状态追踪与综合评判, 为状态修提供科学依据, 显著提升铁路货车运行安全性与经济性。

2.3 铁路货车故障轨边图像检测系统 (TFDS)

铁路货车故障轨边图像检测系统 (TFDS) 是依托高速摄像与智能图像识别技术构建的轨边自动化检测装置, 通过多组高清工业相机阵列与补偿光源, 对运行中的货车底部及侧部关键部件进行高速动态成像。系统采用线阵扫描与面阵捕捉相结合的拍摄模式, 在列车通过时以毫秒级精度完成制动装置、转向架、钩缓装置等16类核心部件的图像采集, 并运用边缘计算技术实现图像预处理与特征增强。其核心功能包括: 通过深度学习算法识别车体裂纹、部件缺失、螺栓松动等典型故障; 利用三维重构技术量化钩舌间隙、闸瓦厚度等关键参数; 支持多角度图像关联分析以排除干扰因素。TFDS采用分布式架构, 探测站设备完成图像采集与初级诊断后, 数据通过光纤网络实时传输至分析中心进行二次复核, 最终形成包含故障位置、类型及严重程度的诊断报告^[2]。

2.4 红外线轴温探测系统 (THDS)

红外线轴温探测系统 (THDS) 是铁路货车安全监测的核心设备, 采用非接触式红外辐射探测技术, 实时监测列车轴承温度以预防热切轴事故。该系统通过轨边红外探头捕捉轴承运转时产生的红外辐射, 将其转换为电压信号并分析处理, 可精准识别微热、强热、激热三级轴温异常。系统具备360公里/小时高速适应能力, 支持轴距自适应判断与车号智能识别, 每30公里设置探测站点, 全国安装量超3600套。THDS采用三级联网架构, 实现热轴跟踪与分级预警, 配套XC系列设备支持数据共享。系统配备防尘抗震设计, 适应-40°C至70°C极端环境, 集成大风量除雪装置保障稳定运行。通过远程控制单元, 用户可实时操作设备, 结合视频监控功能提升管理效率。该系统有效弥补了传统检测方式的不足, 显著提升了铁路货车运行的安全性。

2.5 便携式检测设备应用

便携式检测设备在铁路货车故障诊断中发挥着灵活、高效的补充作用, 可针对轨边固定监测系统的盲区或特定部件进行精准检测。这类设备涵盖振动分析仪、红外测温仪、内窥镜、超声波探伤仪及电磁感应检测仪等, 具备轻量化、易操作的特点。振动分析仪通过采集轴承、齿轮等部件的振动频谱, 可识别早期微弱故障; 红外测温仪能快速定位过热点, 辅助判断制动系统、轴承的异常温升; 内窥镜可深入车体内部或狭窄空间, 检查钩缓装置、转向架焊缝等隐蔽部位的裂纹或腐蚀; 超声波探伤仪利用声波反射原理, 精准检测车轴、车轮的内部缺陷; 电磁感应检测仪则适用于检测电气连接部件的松动或氧化问题。便携式设备支持现场即时分析, 数据可通过蓝牙或4G网络上传至管理系统, 与轨边监测数据形成互补。其应用显著提升了故障诊断的全面性和时效性, 尤其适用于应急抢修、专项检查及偏远线路的维护场景。

3 铁路货车车辆维修保养策略探讨

3.1 分级维修制度优化

分级维修制度优化是提升铁路货车维修效率与质量的关键举措。当前制度多按运行里程或时间划分维修等级, 但存在过度维修与漏检风险。优化方向包括: 一是构建动态分级模型, 结合TFDS、TADS等监测数据, 根据部件实际状态调整维修周期, 例如对状态良好的轴承延长检修间隔, 对高频故障部件缩短检修周期; 二是细化维修等级, 在原有大修、中修、小修基础上增设状态修、专项修等级, 针对特定故障模式实施精准维修; 三是建立维修决策支持系统, 通过大数据分析预测部件剩余寿命, 为分级提供量化依据。同时, 需完善配套管理机制, 明确各级维修标准与责任界定, 加强过程质量管控。优化后的分级制度可实现“预防性维修”向“预测性维修”转变, 降低全生命周期成本, 提升车辆运用效率。

3.2 智能监测系统应用

智能监测系统应用是铁路货车维修保养向智能化转型的核心路径。通过集成物联网、大数据与人工智能技术, 可构建覆盖车辆全生命周期的监测网络。在运用环节, TPDS、TADS、THDS等轨边系统实时采集轮轨力、轴承声学、轴温等数据, 结合车载传感器获取的振动、压力信号, 形成多维度状态参数库; 在检修环节, 智能诊断平台利用机器学习算法对历史故障数据进行训练, 建立部件劣化趋势预测模型, 实现故障早期预警与维修决策支持。同时, 5G通信技术支撑数据高速传输, 云平台实现全路监测数据共享与协同分析。智能监测系统的应用使维修模式从“计划修”向“状态修”转变, 减少了过度维修与突发故障, 配合移动终端的故障定位与维

修指导功能,显著提升了检修效率与准确性,为铁路货车安全运行提供了技术保障^[3]。

3.3 新材料与新工艺应用

新材料与新工艺的应用是提升铁路货车维修保养质量、延长使用寿命的重要手段。在新材料方面,高强度轻量化材料如铝合金、复合材料逐步替代传统钢材,用于车体、转向架等部件制造,既减轻了车辆自重、提升运输效率,又增强了抗腐蚀性 with 结构强度;新型耐磨材料应用于车轮踏面、制动摩擦片等部位,显著提高了耐磨性能,减少了更换频率;而高性能密封材料的使用,有效防止了雨水、灰尘侵入关键部件,降低了故障发生率。新工艺层面,激光焊接、搅拌摩擦焊等先进焊接技术提升了部件连接强度与质量稳定性;3D打印技术可快速制造复杂结构零件,满足个性化维修需求;表面强化工艺如喷丸强化、激光淬火等,增强了部件表面硬度与抗疲劳性能。

3.4 维修流程标准化

维修流程标准化是保障铁路货车维修质量、提升作业效率的关键举措。需构建覆盖全维修环节的标准化体系,首先应制定详细的作业指导书,明确从故障诊断、配件拆卸、检修处理到组装调试的每一步操作规范与技术要求,例如规定轴承清洗的溶剂配比、压力参数及时间标准;其次要建立统一的维修质量验收标准,对关键部件的尺寸公差、性能指标等设定量化阈值,利用专用检测工具进行严格校验;同时需规范维修记录管理,要求完整填写故障现象、处理措施、更换配件等信息,实现维修过程可追溯。此外,应定期开展标准化培训与考核,确保维修人员熟练掌握流程要点。

3.5 维修人员培训

维修人员培训是提升铁路货车维修质量与效率的核心环节。需构建系统化、多层次的培训体系,首先应强化基础理论培训,涵盖车辆构造、故障机理、新材料特性等内容,通过三维模型、虚拟仿真等技术提升教学直观性;其次要侧重实操技能训练,在标准化维修车间开展部件拆装、故障诊断、精密测量等专项练习,结合TFDS、TADS等设备模拟真实故障场景,培养学员的应急处理能力;同时需引入智能化培训手段,利用AR技术

展示复杂部件内部结构,通过AI诊断系统辅助学员分析故障数据。此外,应建立定期考核与技能认证机制,将培训成绩与岗位晋升、绩效奖励挂钩,激发学员主动性。

3.6 维修外包模式探索

铁路货车维修外包模式是提升检修效率、降低运营成本的重要方向。传统检修模式依赖内部团队,存在设备更新滞后、技术覆盖面有限等问题,而外包模式可借助专业服务商的先进设备与技术人才,实现快速精准维修。例如,专业维修企业通常配备声学诊断、红外测温等智能监测设备,能高效识别轴承故障、轴温异常等隐患,并通过规模效应降低单次维修成本。实施外包需严格筛选服务商,核查其资质证书、技术团队及过往案例,确保其具备覆盖转向架检修、制动系统维护等全链条服务能力。同时,需签订详细合同,明确服务范围、响应时间及质量标准,并建立定期评估机制,淘汰不合格服务商^[4]。

结束语

铁路货车车辆故障诊断技术与维修保养的持续创新,是保障铁路运输安全、提升运营效率的核心支撑。从TFDS、THDS等智能监测系统的广泛应用,到新材料、新工艺的深度融合,再到维修流程标准化与人员培训体系的完善,技术进步正推动铁路货车检修向智能化、精准化方向迈进。未来,随着物联网、大数据等技术的进一步渗透,故障预测与健康管理(PHM)将成为主流,而维修外包等模式也将优化资源配置。唯有坚持技术创新与管理升级并重,才能构建更高效、可靠的铁路货车运维体系,为铁路货运高质量发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]韩海龙,梁佳,李勇.铁路机车车辆技术运用的可靠性分析[J].科技风,2021(22):244-245.
- [2]姜彧.铁路机车车辆运行故障诊断诊断技术的研究与应用[J].电子世界,2022(11):188-189.
- [3]郭喜春.铁路机车车辆运行故障诊断诊断技术的研究与应用[J].中国新技术新产品,2022.167.
- [4]黄志武,宋莉莎.基于铁路机车车辆技术运用的可靠性分析[J].化工管理,2021(17):142.