

# 铁路接触网故障维护措施研究分析

丁慧奇

国能包神铁路有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘要：**铁路接触网作为电气化铁路的核心供电设施，其稳定运行关乎列车安全与运输效率。本文概述了接触网系统的组成、工作原理，接着分析常见故障类型及成因，包括机械类、电气类、环境与外部因素导致的故障及多因素关联性。探讨了现有维护模式的问题，最后提出优化维护模式、应用先进技术、强化管理体系、完善应急机制等提升措施。研究旨在为提高接触网故障维护效率与质量提供参考，保障电气化铁路安全稳定运行。

**关键词：**铁路接触网；故障类型及成因；存在问题；维护措施

引言：铁路接触网易受机械磨损、电气故障、环境因素等影响，现有“定期检修+故障修”模式存在过度维护、响应滞后等问题。随着铁路事业发展，对接触网故障维护提出更高要求。本文通过分析接触网系统、故障类型及维护现状，研究切实可行的维护措施，以提升维护水平，满足铁路运输需求。

## 1 铁路接触网系统概述

铁路接触网是电气化铁路的核心供电设施，通过与列车受电弓的动态接触，为高速行驶的列车持续输送电能。接触网的组成与功能呈现高度协同性。支柱作为支撑基础，通过混凝土或钢质结构将整个接触网系统固定在铁道两侧或上方，承受垂直与水平方向的载荷；腕臂装置连接支柱与接触悬挂系统，可通过调节角度与高度适应不同线路条件；接触线是直接受电弓接触的关键部件，通常采用铜合金或高强度材料制成，需具备良好的导电性与耐磨性；承力索则通过吊弦悬挂接触线，承担部分张力以维持接触线的几何形状，减少因列车振动导致的接触线晃动。补偿装置、定位器等辅助部件共同构成完整体系，确保接触网在复杂工况下的稳定性。

其工作原理建立在动态耦合与电流传输的双重机制上。当列车行驶时，受电弓滑板与接触线保持滑动接触，二者形成动态耦合关系——接触线通过张力维持自身刚度，受电弓则通过弹簧装置自适应调整压力，确保接触压力稳定在8-12N的最佳范围，避免出现脱弓或过度磨损。电流传输过程中，电能从牵引变电所经馈电线送至接触网，通过接触线与受电弓的机械接触导入列车牵引电机，最终经钢轨回流形成闭合回路，实现能量的高效传递<sup>[1]</sup>。

## 2 铁路接触网常见故障类型及成因

### 2.1 机械类故障

机械类故障源于接触网结构部件的物理状态异常。

接触线磨损多因材质疲劳、张力失衡或与受电弓接触压力异常，导致局部截面持续缩减；断线则可能由磨损超标、焊接缺陷或瞬时过载引发。零部件松动与脱落常与安装工艺缺陷、振动疲劳相关，长期高频振动会使紧固件预紧力衰减，尤其在腕臂、定位器等动态受力部位更易发生。支柱倾斜主要受基础沉降、侧向载荷超限影响，土壤固结不均或强风冲击可能改变支柱垂直度，进而破坏整体结构稳定性。

### 2.2 电气类故障

电气类故障与电流传输及绝缘性能密切相关。弓网电弧由接触线与受电弓瞬时分离产生，当接触压力不足或接触线出现硬点时，气隙击穿形成电弧，造成接触面灼伤。绝缘闪络因绝缘部件表面污秽、受潮或老化，导致绝缘强度下降，在过电压作用下出现放电现象。接地故障可分为永久性与瞬时性，前者多由绝缘件击穿、导线断线接地引起，后者常与大气过电压或异物短接相关，均会导致牵引变电所跳闸。

### 2.3 环境与外部因素导致的故障

环境与外部因素通过直接作用或间接影响引发故障。覆冰会增加接触网载荷，改变接触线弹性特性，同时可能导致导线跳槽或断线。雷击主要通过直击或感应方式破坏设备，雷电流侵入可能烧毁绝缘子或击穿绝缘部件。异物入侵包括塑料薄膜、树枝等悬挂接触网，可能造成短路或机械卡阻，而鸟类筑巢、人为抛物等也会干扰系统正常运行。

### 2.4 故障成因的关联性分析

单一故障常由多因素叠加诱发。机械磨损积累会降低接触线导电截面，加剧电气发热；而电弧灼伤又会加速接触线机械性能劣化，形成恶性循环。环境因素可能放大设备缺陷，如高温环境会降低绝缘材料耐受能力，此时若存在污秽积累，极易引发闪络。外部冲击与结构

缺陷结合时,如强风作用于松动的腕臂,可能导致部件脱落并进一步引发接地故障。不同类型因素的耦合作用,往往使故障发生概率上升,且增加故障定位与溯源难度<sup>[2]</sup>。

### 3 铁路接触网现有维护模式及存在的问题

#### 3.1 传统维护模式概述

当前铁路接触网维护以“定期检修+故障修”为核心模式。定期检修依据预设周期开展,涵盖部件外观检查、参数测量与预防性更换,例如每12个月进行一次接触线磨耗检测,每6个月开展腕臂结构紧固性检查,流程上遵循“计划制定—天窗点申请—现场作业—结果记录”的固定步骤,强调按规程标准化操作。故障修则以突发故障为触发点,接到报警后启动抢修流程,通过人工排查定位故障点,再实施针对性修复,特点是被动响应、聚焦即时恢复功能。

#### 3.2 现有模式的局限性

现有模式存在显著矛盾,一是定期检修基于平均寿命设定周期,对状态良好的设备造成过度维护,增加人力与物料浪费;二是对早期劣化或突发损伤的设备难以覆盖,导致维护不足,埋下故障隐患。响应滞后问题突出,故障修中人工排查耗时较长,尤其在复杂区段可能延误抢修时机;定期检修的固定周期无法适应环境变化带来的加速老化,如暴雨后接触网零部件腐蚀速率上升,却需等待下次检修窗口。

#### 3.3 维护管理体系中的短板

人员技能存在断层,传统维护依赖老师傅的经验判断,但年轻技术人员对复杂故障的分析能力不足,且新兴检测设备的操作熟练度欠缺。设备监测技术滞后,现有工具多为便携式仪表,难以实现全域、实时数据采集,缺乏对弓网动态耦合、接触线温度变化等关键参数的持续监测。管理机制存在壁垒,检修计划与列车调度的协同性不足,天窗点利用率低;数据共享不畅,不同区段的故障记录、维护方案难以形成标准化数据库,导致经验难以复制推广。

### 4 提升铁路接触网故障维护的措施

#### 4.1 优化维护模式

建立基于设备实际状态的动态维护机制,具体措施如下:(1)对接触网系统划分关键度等级。支柱、接触线、承力索等列为一级关键部件,腕臂、定位器等列为二级,其他辅助部件为三级。一级部件实时采集数据,二级按小时级,三级按天级,采集参数包括磨耗量、张力值、温度变化、振动频率等。结合设备投用时间、历史故障记录,运用统计分析构建老化趋势模型,生成个

性化维护周期,替代传统固定周期。(2)针对不同区段环境特点,设计环境适应性维护方案。高雷暴区增加避雷装置检查频次,强化绝缘部件防污闪处理;高寒区重点监测接触线覆冰厚度与支柱防冻胀;沿海地区加强金属部件防腐蚀检测;重污区采取防污措施,加强绝缘子清扫频次。将环境参数纳入维护决策系统,环境异常波动时自动触发专项检查,确保维护与环境变化同步。

(3)整合检修资源,推行“天窗点集约化”管理。建立天窗点统筹调度平台,按区域相邻、任务类型关联原则组合优化检修需求,减少天窗点数量。建立维护任务优先级评估机制,依据故障风险等级、设备重要程度、运输影响范围等量化评分排序,优先处理高分任务。(4)完善预防性维护流程。扩大检查范围。日常巡检增加腕臂底座锈蚀、吊弦连接强度、补偿装置制动性能等隐蔽部位检查。对接触线与承力索连接点、锚段关节导流部位,采用超声波探伤、磁粉检测等定期检测,周期根据运行时间和负荷动态调整。

#### 4.2 应用先进技术

应用先进技术措施如下:(1)推广物联网监测技术,构建全域感知网络。接触网关键部位安装智能传感器,支柱装倾角与振动传感器,接触线装磨耗与温度传感器,承力索装张力传感器,腕臂装位移传感器,绝缘部件装泄漏电流传感器。数据经无线传输模块上传至平台,正常状态分钟级传输,异常时秒级传输。(2)部署红外热像仪与激光雷达系统,实现非接触式监测。沿线间隔设置红外热像仪,监测接触线、承力索及连接部位温度,生成热力图识别异常高温区。检测列车安装激光雷达,扫描接触网几何参数,获取高度、拉出值、跨距等数据,与标准对比识别超标区域。(3)引入大数据分析技术,提升故障预测能力。构建故障预测模型,以历史故障数据为样本,纳入设备参数、运行时间、环境条件、维护记录等因素,用回归、时间序列等算法训练,实现接触线断线、绝缘闪络等故障提前预警。定期校验模型精度,用新故障数据优化参数。(4)搭建数字孪生系统,实现虚拟仿真优化。基于接触网三维模型与参数构建数字孪生体,映射物联网实时数据,实现物理与虚拟同步。模拟列车高速通过、强风、覆冰等工况下的受力状态,分析应力集中区域与疲劳寿命。通过虚拟仿真测试不同维护方案效果,如调整接触线张力对磨耗的影响,为制定最优策略提供支持。

(5)升级检测设备,提高现场效率。配备便携式智能终端,集成多参数检测功能,同步检测接触线磨耗、张力、温度等,数据实时显示存储,支持离线分析与导出,内置标准数据库,自动对比生成报告并标记异常。推广多旋翼

无人机巡检,搭载高清摄像头、红外热像仪等,针对桥梁、隧道等难巡检区段按预设航线飞行,数据实时传回地面,通过图像识别自动识别部件缺损、异物悬挂,减少人工判读时间。

#### 4.3 强化维护管理体系

强化维护管理体系,应采取以下措施:(1)加强维护人员专业化培训,构建分层体系。初级工培训基础操作,包括部件识别、工具使用、简单缺陷处理,周期不少于3个月,考核合格上岗。中级工强化故障分析,学习接触网原理、诊断方法、设备操作,通过案例与模拟提升能力,周期不少于6个月,考核通过授中级证书。高级工聚焦综合研判与应急处置,学习先进技术、复杂故障处理,导师带徒结合项目实践,周期不少于1年,考核通过授高级证书。(2)定期开展技术比武与案例研讨。每季度组织比武,设故障排查、检修、应急处置等项目,以赛促练。每月召开研讨会,分析典型故障,总结经验形成标准化方案。建立技能认证机制,结果与岗位资格、薪酬挂钩,定期复核确保技能达标。(3)完善备品备件管理,优化库存布局。基于历史数据统计部件故障概率,结合设备分布,在公司、站区、班组设三级备件库:公司级储大型与稀缺部件,站区级储常用部件,班组级储易损部件。高雷暴、高寒等特殊区段车间库增加针对性储备。运用库存算法,根据消耗速率、采购周期、故障概率动态计算最佳储备量,低于预警值自动补货,实现供需平衡。(4)建立备件全生命周期追溯机制,每个备件赋唯一标识,记录采购、质检、存储、出入库、使用等数据,形成追溯链。定期抽检备件质量,对存放久的部件测试性能,确保质量可控。(5)健全数据管理机制,统一维护标准。制定采集规范,明确数据格式、精度、存储周期,确保一致性。整合巡检、故障、设备、计划等信息,建全域共享数据库,实现一次采集、多方共享。开发维护管理系统,具备任务派发、进度跟踪等功能,管理人员实时掌握进展,自动生成报表。

#### 4.4 完善应急抢修机制

完善应急抢修机制,应从以下方面着手:(1)构建专业化抢修队伍。按区域组建快速反应小组,配置组长、技术骨干、作业人员,明确职责。配备专用车辆,

装载发电机、液压设备、检测仪器、备件等,装GPS与通讯设备待命。制定标准化流程,分响应、排查、处理、验收四阶段,明确各阶段规范、时限、标准:响应阶段15分钟内出发,排查阶段明确方法要点,处理阶段定标准化步骤,验收阶段定检测项目与标准。(2)定期组织实战化演练,每季度至少一次综合演练,模拟接触线断线、支柱倾倒等场景,检验反应、协同、处理能力。演练后复盘,查漏洞不足,优化方案。(3)优化故障定位技术,整合GIS即地理信息系统(Geographic Information System)与实时监测数据建快速定位平台,接入接触网、列车、调度数据,故障时自动分析特征,结合GIS定位坐标,误差 $\leq 50$ 米。为抢修组配便携式检测仪,测电压、电流等参数,内置算法现场判断故障类型原因,缩短排查时间。(4)建立抢修资源智能调度系统。录入队伍、车辆、备件等信息,故障时依位置、类型、严重程度匹配最优方案,推荐最近队伍、所需资源,生成指令通知相关单位,提高调配效率。(5)加强跨部门协同,建立与调度、行车、供电等部门的应急沟通机制,明确联系方式、内容、时限。设应急指挥中心,统一协调行动,确保信息畅通。制定抢修时行车方案,明确临时限速、封锁、绕行等流程与权限,减少对运输的影响<sup>[3]</sup>。

结束语:本文系统探讨了铁路接触网故障维护相关内容。明确了接触网系统特性与故障成因,指出了现有维护模式的不足,并提出针对性提升措施。通过优化模式、应用技术、强化管理和完善应急机制,可有效提高故障维护效能。未来需持续关注技术发展,进一步完善措施,推动接触网维护向更智能、高效方向发展,为电气化铁路的安全高效运营提供坚实保障。

#### 参考文献

- [1]李俊波,包云,史维峰,江珂.铁路接触网覆冰分析及防治措施[J].中国铁路,2025(1):134-139.
- [2]陈新方.重载铁路接触网故障分析及防护措施[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(2):0115-0118.
- [3]李越.普速铁路接触网故障的类型及预防策略探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(5):089-092.