

电气化铁路接触网弓网故障和防范对策分析

李虎雄

国能包神铁路有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 电气化铁路接触网弓网系统是保证列车稳定运行的关键供电设施。然而,弓网故障频发,对铁路运输安全与效率构成重大威胁。本文全面剖析了弓网故障的常见类型及其背后的复杂原因,如设计施工缺陷、零部件脱落、自然灾害等。针对这些问题,本文提出了提高设计与施工质量、强化日常检修维护、构建快速响应的故障排查与抢修机制以及适应外部环境变化的综合防范措施,以期确保弓网系统的稳定运行,保障铁路运输的顺畅与安全。

关键词: 电气化铁路接触网;弓网故障;防范对策

引言:电气化铁路作为现代交通运输体系的关键一环,其安全高效运行依赖于接触网弓网系统的稳定工作。然而,弓网故障时有发生,严重威胁着铁路运输的安全与效率。从设计缺陷、材料老化到外部环境因素,弓网故障的原因复杂多样。因此,深入研究弓网故障的发生机制,并提出针对性的防范对策,对于保障电气化铁路的平稳运行具有重要意义。本文旨在通过对弓网故障的综合分析,探讨有效的预防与应对策略,以期为提高电气化铁路的安全性和可靠性提供有益的参考。

1 电气化铁路接触网与弓网系统概述

1.1 接触网的组成及功能

接触网是电气化铁路的关键供电设施,由接触悬挂、支撑装置、定位装置、支柱与基础四部分构成。接触悬挂作为核心部分,包括承力索、接触线等,其主要功能是通过与受电弓的滑动接触,将电能持续传输给列车。支撑装置由腕臂、拉杆等部件组成,负责将接触悬挂固定在支柱上,同时保证悬挂系统的稳定性。定位装置能精确控制接触线的空间位置,确保受电弓始终处于正确的取流范围。支柱与基础则是整个接触网的支撑结构,承担着接触网的全部重量,为系统提供坚实的力学支撑,保障接触网在各种环境条件下的安全运行。

1.2 受电弓的组成及作用

受电弓是安装在列车顶部的取流装置,主要由滑板、框架、臂杆、底架、升弓弹簧等部件组成。滑板直接与接触线接触,是电能传递的关键接触面,其材质需具备良好的导电性和耐磨性。框架和臂杆构成了受电弓的主体结构,为滑板提供稳定的支撑。底架将受电弓固定在列车车顶,起到连接和承载的作用。升弓弹簧则负责驱动受电弓升起,使滑板与接触线保持紧密接触,确保在列车运行过程中能够稳定取流,为列车提供持续的电力供应。

1.3 弓网系统的工作原理及相互作用

弓网系统是由受电弓和接触网共同组成的动态耦合系统,其工作原理是通过受电弓与接触网的密切配合实现电能的高效传输。(1)受电弓与接触网的动态接触:列车运行时,受电弓随着列车的移动与接触线保持滑动接触。接触线在支撑装置的作用下呈一定的弛度,受电弓的滑板需适应接触线的高度变化,确保两者之间始终有可靠的电连接,实现电能的连续传输。(2)弓网系统的振动与受流质量:列车运行过程中,受电弓的臂杆、框架会因列车的颠簸和自身结构特点产生振动,同时接触线也会在受电弓的作用力下发生振动。这些振动会影响滑板与接触线之间的接触压力,接触压力过大可能导致滑板和接触线的过度磨损,接触压力过小则可能出现离线现象,影响受流质量,甚至产生电弧,损坏设备。因此,控制弓网系统的振动,维持合适的接触压力,是保证受流质量的关键^[1]。

2 电气化铁路接触网弓网故障分析

2.1 弓网故障的常见类型

(1)电气烧伤故障:当受电弓与接触网接触不稳定时,会产生强烈电弧,瞬间高温可达数千摄氏度,导致接触线表面形成熔融状凹坑,受电弓滑板出现大面积碳化层。这种故障在高速行驶时尤为突出,电弧持续时间超过0.1秒就可能造成接触线机械强度下降,滑板导电性急剧恶化,甚至引发弓网粘连事故。(2)机械故障:涵盖接触网结构变形与受电弓机械损伤两类。接触网的定位器偏移角度超过15度时,会导致接触线拉出值超标;腕臂支撑装置锈蚀断裂会使接触悬挂突然下垂,引发受电弓刮蹭。受电弓方面,臂杆铰接处磨损超标会造成升弓不稳,底架固定螺栓松动可能导致受电弓整体偏移,严重时甚至会直接撞毁接触网支柱。(3)外部环境引发的故障:强风(风速超过10m/s)会使接触线产生横向振动,

振幅可达300mm以上,导致受电弓脱弓;暴雪天气会使接触线覆冰厚度超过5mm,形成的冰棱可能划破受电弓滑板;春季杨絮、柳絮缠绕接触网部件,还会引发短路故障,此类故障在我国华北地区每年3-5月高发。

2.2 弓网故障的原因分析

(1) 勘测设计不合理与施工质量不达标:曲线段接触网抬升量计算偏差超过50mm,会导致受电弓动态包络线与接触线不匹配;施工时接触线接头压接不紧密,电阻值超标30%以上,易引发局部过热。支柱基础混凝土强度未达C30标准,在列车振动荷载下会产生不均匀沉降,改变接触网几何参数。(2) 线岔检修不合格与零部件脱落:线岔始触区偏离设计位置100mm以上,会造成受电弓钻弓;接触网补偿装置的坠砣卡滞会使接触线张力波动超过 $\pm 10\%$ 。零部件方面,定位线夹疲劳裂纹未及时发现,螺栓扭矩衰减至标准值的60%以下时,极易发生脱落事故。(3) 技术参数超标与自然灾害影响:接触线磨损超过20%会导致载流量下降,受电弓静态接触压力超出70-120N标准范围会加剧磨损。台风引发的倒树可能砸断接触网,雷击造成的绝缘子闪络会导致供电中断,我国东南沿海地区每年因台风引发的弓网故障占比达15%。(4) 机车受电弓状态不良:滑板磨损超标3mm会使接触电阻急剧增大,升弓弹簧弹力衰减20%以上会导致接触压力不足。受电弓框架变形超过5mm时,动态跟随性下降,在时速200km以上区段离线率会上升至3次/小时^[2]。

2.3 弓网故障的危害性分析

(1) 供电中断与行车时间延长:弓网短路引发的馈线跳闸,会导致区间供电中断,单次故障抢修时间平均达90分钟以上。2023年某高铁线路因接触线烧伤断裂,造成后续12列车晚点,最长延误达2小时40分钟,影响近万名旅客出行。(2) 设备损坏与维修成本增加:严重电弧烧伤会导致接触线整锚段更换,单锚段维修成本超过50万元。受电弓框架变形后的修复费用约8万元/台,而接触网支柱倾倒造成的重建成本可达200万元/根,我国铁路每年因弓网故障产生的维修费用超过3亿元。(3) 对铁路运输安全与效率的影响:2022年某货运专线因受电弓脱落,刮断接触网导致货运列车停运,造成3000吨货物滞留。弓网故障引发的行车事故,会使线路通过能力下降40%以上,严重时还可能导致人员伤亡,对铁路运输安全构成重大威胁。

3 电气化铁路接触网弓网故障的防范对策

3.1 提高设计与施工质量

(1) 优化勘测设计与施工质量控制:勘测阶段综合运用无人机航测、三维激光扫描和地质雷达技术,全

面采集线路地形、地质、气象等数据,建立包含风速、温差、降水等参数的数据库,为接触网设计提供精准依据。借助弓网系统动态仿真软件,模拟不同时速、工况下的接触状态,确保接触线张力、跨距、拉出值等参数与列车运行需求高度匹配,动态接触压力波动控制在 $\pm 18\text{N}$ 以内。施工推行“首件认可制”,关键工序先完成样板段施工,经第三方检测合格后再全面铺开。接触线架设采用智能张力控制系统,张力偏差严格控制在 $\pm 3\%$ 以内,接头采用超高压液压接续工艺,保证接头电阻不超过同等长度导线电阻的1.1倍,过渡高差不大于0.4mm,同时安排专人全程监督施工质量^[3]。(2) 加强对施工遗留问题的处理与解决:建立施工质量终身追溯体系,将接触网各部件施工信息录入区块链系统。竣工验收时,用高精度轨道测量仪全面检测接触网参数,对发现的支柱倾斜(偏差超过1%)、接触线硬点(冲击力超标准值12%)等问题,建立整改台账,明确责任人和时限。对基础混凝土强度不足等隐蔽问题,委托第三方进行荷载试验,根据结果采用注浆加固或增设锚杆等方式处理。整改后需经过3次以上动态检测,各项指标达标方可投入运营,确保遗留问题彻底解决。

3.2 加强日常检修与维护

(1) 定期检查与清理接触网与受电弓:实行“天窗点检修+日常巡检”模式,每日用轨道车搭载的高清摄像头和红外热像仪扫描接触网,检查接触线磨损、零部件松动等情况;每两周全面检查受电弓,测量滑板磨耗量(剩余厚度不小于17mm)、检查框架变形(侧向偏移量不超2.5mm)等。每月深度清理接触网与受电弓,用3-4MPa高压水枪清洗接触线和绝缘子,专用清洁剂擦拭受电弓滑板。每季度调整接触网补偿装置,保证张力稳定在设计值 $\pm 4\%$ 范围内,确保接触状态良好。(2) 对关键部位进行重点监测与维护:在线岔、锚段关节、分相绝缘器等故障高发区安装在线监测装置,实时采集接触压力、离线时间、温度等参数,通过5G网络传输至监控中心,参数超阈值(接触压力 $> 125\text{N}$ 或 $< 65\text{N}$ 、离线时间 $> 0.18\text{s}$)时自动报警。专人分析报警信息,及时安排检修。为受电弓升弓弹簧、导向杆等易损部件建立寿命管理档案,按运行里程和检测结果提前5%寿命周期更换。每半年对接触网支柱进行防腐处理,检查基础周围土壤沉降情况并及时处理。(3) 提高检修人员的专业技能与责任心:定期组织专业培训,内容涵盖弓网系统原理、新型设备操作、故障诊断等,每月开展技能比武,成绩与绩效挂钩。实行“师徒结对”制度,提升新员工工技能。加强职业道德教育,通过案例分析增强责任心。

推行“检修质量卡控”制度，每道工序经自检、互检、专检，对质量问题实行“一票否决”，严肃追责。

3.3 完善故障排查与抢修机制

(1) 建立故障排查与抢修团队：组建8人专业化抢修队伍，含至少2名高级技师，配备应急轨道车、高空作业车、发电机等设备，定期检查维护，确保设备完好率100%。沿线重要车站设抢修物资储备库，存放接触线、滑板等备件，做到“定品种、定数量、定位置”，保证快速调取。实行24小时值班，接到故障通知后10分钟内出发，30分钟内到达现场（特殊地段不超50分钟）。

(2) 制定详细的故障排查与抢修流程：编制《弓网故障应急抢修手册》，明确断线、受电弓损坏等故障的排查步骤、方案和安全措施。如接触线断线，先在故障点两端各1500米设防护标志，验电接地后用临时接续法先恢复供电（限速运行），再安排天窗点永久修复。建立故障信息共享机制，现场通过终端实时上传情况至调度中心，便于统筹协调。每季度组织抢修演练，模拟不同场景，提升处置能力。(3) 提高抢修效率与质量：引入无人机巡检，10分钟内完成5公里线路故障定位，比人工效率提升80%。采用模块化更换技术，接触线抢修接头安装时间控制在30分钟内，受电弓整体更换不超1小时。抢修完成后，经动态检测确认弓网参数达标方可恢复行车，避免二次故障，减少对铁路运输的影响^[4]。

3.4 适应外部环境变化的防范措施

(1) 加强对自然灾害的预警与防范：与气象部门共建预警平台，提前40小时发布暴雨、强风等灾害预警。雷暴高发区（年雷击次数 ≥ 25 次/平方公里）加装氧化锌避雷器和避雷针，每公里2-3组，降低雷击故障率。暴雪天气前启动接触网融冰系统，确保覆冰厚度不超4mm。强风蓝色预警（风速10-12m/s）时检查接触网，橙色预警（风速17-20m/s）时列车降速，红色预警时临时停运。

(2) 对受外部环境影响较大的区段进行特殊防护：多风

区段（年平均风速 ≥ 8 m/s）安装2.5米高防风屏障，透风率30%-40%，减少接触线横向振动，幅度控制在90mm以内。鸟类活动频繁区设超声波驱鸟器（20-30kHz）和防鸟刺，每50米1组。杨絮柳絮高发区沿接触网架设高压喷水系统，每周2-3次清扫。跨越公路、河流区段装防护网，防止异物侵入。(3) 提高接触网与受电弓的适应性与稳定性：接触线用高强度铜合金，耐磨性能提升45%，抗腐蚀增强30%；受电弓滑板用浸金属碳材料，寿命达9.5万公里。受电弓框架采用碳纤维复合材料，减重28%，动态跟随性提升28%。接触网悬挂系统用弹性链型，增加吊弦数量，弹性均匀性提高22%。寒冷地区支柱基础埋深至冻土层下，表面涂防冻涂料，提升极端环境适应能力。

结束语

综上所述，电气化铁路接触网弓网故障的防范与对策研究是一项复杂而重要的任务。通过深入分析弓网故障的原因及类型，我们认识到确保弓网系统稳定运行的关键在于科学设计、精细施工、严格维护以及及时响应。本文提出的防范对策旨在为铁路部门提供实用指导，以期降低故障发生率，提升铁路运输的安全性和可靠性。未来，随着技术的进步和管理的优化，我们有理由相信电气化铁路弓网系统的运行将更加稳健，为人们的出行和经济社会发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]刘习文.基于电气化的铁路接触网故障分析与防范研究[J].中国设备工程,2020,(03):37-38.
- [2]秦龙.电气化铁路接触网弓网故障分析与防控[J].中阿科技论坛(中英文),2020,(08):65-66.
- [3]何艳萍.电气化铁路接触网故障原因及防范措施[J].四川建材,2020,(07):119-120.
- [4]闵捷.电气化铁路接触网故障原因及防范措施分析[J].中国新技术新产品,2021,(04):83-84.