

地铁供电接触网常见缺陷检修工艺研究

王利明 刘 莉 汤 旖

成都地铁运营有限公司 四川 成都 610051

【摘 要】：地铁供电接触网是列车行驶的动力传导路线，长期处在恶劣环境、动态负荷的环境下工作，容易出现各种缺陷，从而影响到供电的稳定和行车的安全。对各种缺陷的形成原因和演变过程进行系统的梳理，有针对性地改进检修工艺，对提高设备的运维质量、减少故障的发生有重要的工程意义。因此，本文就地铁供电接触网常见缺陷检修工艺进行了研究，供参考。

【关键词】：地铁供电接触网；常见缺陷；检修工艺；研究

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.078

引言

接触网缺陷的准确识别和及时修理，是保证地铁正常运行的重要部分。目前检修工艺对于缺陷的定位精度、作业效率以及施工标准化还存在着提高的空间。对常用缺陷检测方法、修复技术进行研究，进而改进工艺参数、操作规程，提高地铁供电系统检修工作精细化、智能化水平。

1 地铁供电接触网缺陷检修的必要性

地铁供电接触网是列车获得牵引电能的唯一直接途径，接触网运行状况的好坏直接影响到供电系统能否连续、稳定、安全地给列车提供电力。接触网设备长期处于露天环境中，受到列车受电弓持续滑动摩擦、动态冲击、风、雨、雪、温度变化等各种自然因素的影响，很容易出现磨损、断股、腐蚀、绝缘劣化、几何参数超限等各类缺陷。这些缺陷如果不能及时发现并修复，随着运行时间的增加，缺陷程度会逐渐加重，轻则造成弓网接触不良、拉弧放电，加快受电弓和接触线的非正常磨损；重则造成接触线断线、绝缘子闪络击穿甚至短路跳闸，引起供电中断，影响列车正常运行，严重时会造成大面积停电，危及运营安全。另外，地铁线路大多在地下隧道或者高架区间运行，检修天窗时间短，故障处置窗口非常小，如果缺陷检修工艺不合理、不及时，就会造成无法在短时间内进行准确的修复工作。因此，对接触网常见缺陷的形成机理及发展规律进行系统的研究，改进检修工艺，实现对缺陷的早期发现、准确找到并及时修理，是保证地铁供电系统正常运行、减少运营成本、延长设备使用寿命的重要措施，有着十分重要的工程实践意义和安全保障价值。

2 地铁供电接触网常见缺陷

2.1 机械缺陷类型

机械缺陷指的是接触网设备在长时间使用过程中，由于受到力的作用、磨损、疲劳等造成物理结构的损坏。接触线磨损是接触线最常见的机械缺陷，列车受电弓滑板与接触线不断摩

擦，使接触线工作面慢慢变薄，局部磨损严重时会造成沟槽状凹陷，降低载流能力并加大断线危险。吊弦松脱或者断裂也经常发生，吊弦是悬挂接触线的重要部件，它承受着振动和张力的作用，长时间使用造成金属丝折断或者线夹松动，使接触线的弛度发生变化，弓网接触压力不均匀。定位器偏移或者磨损也属于常见问题，定位器在受电弓通过时受到横向冲击，长时间的作用会造成定位线夹松动、定位管弯曲变形，从而影响接触线拉出值的准确性。

2.2 电气缺陷表现

电气缺陷主要是指接触网设备在载流、绝缘和电气连接等各方面出现的性能下降情况。弓网拉弧是最直接的电气缺陷，接触线磨损严重或者受电弓离线时，弓网之间产生电弧，高温电弧烧蚀接触线表面和受电弓滑板，造成麻点状凹坑，加剧弓网接触不良，形成恶性循环。绝缘子闪络属于高发电气缺陷，绝缘子表面由于粉尘、油污或者潮湿环境形成导电通道，在电压的作用下发生沿面放电甚至闪络击穿，严重的时候会造成供电跳闸。电连接器烧蚀也不能忽略，隔离开关触头、分段绝缘器接头等电连接部位由于接触电阻增大、过负荷或者电弧烧伤，造成接触面氧化、熔融，局部过热甚至烧毁，威胁到电气通路的连续性。

2.3 环境因素导致的缺陷

环境因素造成的缺陷主要是由于接触网设备所处的外部条件发生变化而产生的，具有季节性、区域性、突发性等特点。隧道渗漏水属于地下段的常见环境问题，地下水经由结构裂缝渗透到接触网设备区，长时间的潮湿环境加快了金属部件的锈蚀速度，使钩头螺栓、底座以及锚固件的强度降低，而且降低了绝缘子表面的绝缘电阻，加大了闪络的风险。高架区段的风振效应不能忽略，强风会使接触线产生横向摆动和上下振动，加大定位器和吊弦的疲劳损伤，严重时会造成接触线脱槽或者受电弓脱网。

3 地铁供电接触网常见缺陷检修工艺研究

3.1 机械缺陷的检修方法

机械缺陷检修要针对不同的缺陷类型选择不同的工艺方法。对接触线的磨耗用在线检测车或者手持式磨耗测量仪进行准确测量,当磨耗量达到更换标准时,采用冷压接或者热熔焊工艺进行接头连接,更换新线,施工过程中严格控制接头平顺度和张力的一致性。吊弦松脱或者断裂的修复,首先要确定缺陷的位置,用专用工具拆卸掉旧的吊弦,再安装上新的吊弦,安装过程中要准确调节长度,保证接触线的弛度符合设计要求,螺栓紧固扭矩要用扭矩扳手按照规范来执行。定位器偏移或者磨损的检修,先松开定位线夹螺栓,用激光测量仪调整定位器的角度和拉出值,使接触线处于受电弓滑板的工作范围内,更换磨损严重的定位器时要同时检查定位管的状态。补偿装置卡滞的排除,需要检查补偿滑轮转动是否灵活,清除滑轮槽内异物,润滑,调节坠砣离地高度在标准范围内,保证线索张力自动补偿功能正常。

3.2 电气缺陷的修复流程

电气缺陷修复要按照检测定位、隔离处理、修复验证的标准化程序来操作,保证修复质量,防止缺陷复发或者引起次生故障。首先是对缺陷进行检测定位,在线监测系统、红外热成像仪、紫外成像仪等设备上对缺陷进行准确的定位以及性质判断,确定出缺陷的种类、严重程度和影响范围,为之后的处理提供依据。其次为隔离处理环节,必须严格按照停电、验电、接地、挂牌等安全措施执行,把缺陷设备和运行系统可靠地隔离起来,保证作业人员的安全,防止对相邻线路或者设备产生影响。最后就是修复验证环节,修复完成后需要做绝缘电阻试验、耐压试验、接触电阻测量等检验手段,保证设备性能达到合格标准后才能申请送电。对于弓网拉弧缺陷的修复,先用弓网动态监测系统或者红外热成像仪确定拉弧严重区段,用高清摄像回放分析拉弧形态和频次,判断是接触线问题还是受电弓问题。随后对接触线表面的烧蚀情况进行检查,对轻微烧蚀点用专用打磨工具进行修磨,去除氧化层和麻点,恢复接触线表面的光滑度,打磨后清理金属粉尘,防止二次污染;对严重烧蚀段,已经不能通过修磨恢复接触线的有效截面,需要更换新线,换线时同时检查该区段相邻吊弦、定位线夹等零部件的状态,保证整个接触网参数符合要求。

3.3 环境缺陷的防护措施

环境缺陷的防护要从源头治理和过程维护两方面来考虑。对于隧道渗漏水问题,要加大土建结构堵漏治理力度,在接触网设备安装区域加装防水挡板或者引流槽,使用耐腐蚀性更好的金属材料对易锈蚀部件进行热浸镀锌或者涂覆防锈涂层,并且定期检查涂层是否完整,发现问题及时修补。高架区段风振

防护,在关键锚段加装防风拉线或者减振装置,改善吊弦和定位器的布置密度,提升系统抗风稳定程度,依靠风速监测系统联动调度,在强风预警时主动降速运行,削减弓网动态冲击。对化学腐蚀,用耐腐蚀的铜合金接触线代替普通的铜接触线,对承力索和金属构件涂刷防腐涂料,在重污染区段缩短清洗周期,利用绝缘子带电水冲洗装置定期清除表面污秽。温度变化防护上要定时测量并调节线索弛度,夏季高温时增大张力,冬季低温时减小张力,保证弛度一直处在安全运行区间内。

4 地铁供电接触网检修管理策略

4.1 检修计划制定

检修计划的制定是接触网系统安全运行的基础,它要达成由“周期修”向“状态修”的转变,还要顾及多线路共网运营时的天窗时间协调。计划的制定不能只依靠固定的周期,应该根据设备的健康状况评价结果、以往的故障记录、运行环境的变化和当日的运力需求来统筹安排。在制定过程中要建立分级分类的检修策略,根据设备的重要程度、历史故障率和目前的状态把设备分成不同的等级,对应不同的检修周期和检修深度。对跨线联络区段、大客流路线、转换轨等重要节点,应尽量保证它们的检修频率或检修范围越高越好。多线路共网运营时,检修计划要和各个线路的行车计划、供电方式变更方案进行耦合,防止因为检修作业而造成相邻线路供电能力不足。计划要确定清楚的窗口期管理规则,用综合调度平台完成检修时间、作业范围、停电影响区段的自动冲突检测和优化调整,保证检修计划既符合设备维护需求,又不会给运营安全和效率带来太大影响。

4.2 检修人员管理

检修人员管理是保证接触网维护质量、安全的重要环节,核心就是创建一支“技能复合、资质过硬、响应快速”的专业队伍。管理策略应该由原来的单一技能考核,变成以岗位胜任力模型为基础的全过程管理。首先要建立明确的岗位技能等级体系,把接触网检修工人的理论水平、实操经验、应急处置能力分成不同的层次,每一个层次对应不同的作业授权(独立作业、带班作业、监护作业)。另外,由于多线路共网运行,检修人员要对本线路设备特性以及跨线联络区段、不同供电分区之间的特殊结构和技术标准有所了解,从而达到“一专多能”的复合型人才储备。培训体系要加入仿真模拟平台,对常见的故障种类、极端天气作业、夜间天窗作业等开展常态化的演练工作,从而加强人员应对各种复杂情况的能力。另外,管理还要加强“人因风险”的控制,创建作业人员健康档案、心理状况追踪体系、作业前安全技术交底和风险告知流程,保证人员处在最好的工作状况之中,从根源上削减人为失误的风险。

4.3 检修物资管理

检修物资管理是保证接触网检修作业顺利进行、缩短停电时间的重要支撑,其关键就是做到精准储备、敏捷供应、全程追溯的智慧化管理。对于接触网设备种类繁多、专用性强、备件周期长的状况,管理策略应该由原来的“堆库存、等申请”模式,转变为以“需求预测和风险分级”为基础的物资保障体系。首先要对全线路网接触网物资进行统一定义和编码,建立统一的物资数据库,与设备台账、检修计划、历史消耗记录相联系。使用大数据分析技术可以对不同的设备周期(磨损件、易损件、周期性更换件)的消耗进行预测,进而自动生成补库建议。物资管理要采取分级储备的方式,对关键、长周期、高价值的物资(分段绝缘器、隔离开关、电缆附件等)实行集中储备和共享,通用、易耗、低价值的物资分散在各个工区,保证现场快速取用。另外采用智能仓储技术,利用RFID标签、自动化货柜来达到物资进出库自动登记、库存随时查核、效期警报的目的。因此需要对物资的整个生命周期进行管理,即从物资的采购、入库、领用、使用直至废旧回收的过程之中实现全过程可追溯,保证每一个物资的来源可以被清楚地追溯出来,从而避免出现由于物资使用不当或者过期等原因造成的设备隐患。

4.4 检修安全管理

检修安全管理是接触网运维工作的重要保证,它所创建的是一种“全员参与、过程受控、预防为主”的纵深防御体系。

安全管理不能只停留在制度上,应该成为可以执行的标准作业程序和风险预控体系。首先必须严格执行停电、验电、接地、挂牌四项基本安全措施,不能有越雷池一步之嫌。作业前要召开作业安全分析会,对当次作业的环境(高架段、隧道段、跨线区等)、设备状况、天气情况等进行风险辨识,制定出个性化的风险控制措施清单。其次实行作业许可和双确认制度,调度中心和现场作业负责人要对停电范围、接地线装设位置和作业边界进行双向确认后才能开始工作。过程当中要采用移动式安全监护加视频远程监控的模式,对拆装、高空作业等重要环节实施全程跟踪,及时察觉并阻止违章操作。除此之外,还要创建起“险兆事件”报告和共享机制,促使员工积极上报未遂事件和安全隐患,组织剖析它们的根源,制订纠正办法,从而形成起“发现、剖析、执行、检验”的闭环管理。最后要定时开展应急演练,模拟出设备出现故障、天气情况变坏、有人发生事故等情况,检查应急预案是否可行,提升团队在紧急状况下协同处置、自我保护的能力,不断加固安全防线。

5 结语

地铁供电接触网常见缺陷检修工艺的改进要从检测手段、修复工具和施工规范这三个方面一起推进。使用高精度在线检测和模块化修复技术,缺陷处理速度快、工艺质量好。未来要继续推进检修数据同运行状况相联结的分析工作,创建起依照缺陷发展规律的预测性检修体系,给接触网的全部寿命周期管理赋予技术支持。

参考文献:

- [1] 陈楷旭.地铁供电系统 AC25kV 交流刚性接触网常见故障和防范对策探究[J].人民公交,2026,(4):69-71.
- [2] 王琦.地铁供电系统刚性接触网与接触轨全寿命周期经济效益对比研究[J].运输经理世界,2026,(6):1-3.
- [3] 王哲.地铁供电系统中刚性接触网常见故障和防范措施[J].人民公交,2026,(2):133-135.
- [4] 罗京.地铁接触网供电安全隐患排查与改进[A]新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(二)[C].《中国招标》期刊有限公司,《中国招标》期刊有限公司,2025:2.
- [5] 王博,彭永红.地铁直流牵引供电系统接触网短路故障测距的应用[J].通讯世界,2024,31(11):127-129.