

低压配电系统接触不良故障的快速识别与处理方法

彭煜

国能黄金埠发电有限公司, 江西省上饶市, 334000;

摘要: 低压配电系统中导体连接节点因氧化腐蚀、机械振动及热应力引发的接触接触不良故障具有高发性, 在电气故障中占据较高比例。本文首先阐述低压配电系统接触不良故障的具体危害, 随后概括基于直接观察法、仪器检测法、动态监测法的快速识别体系, 以及重点提出分级响应处置策略, 包括在执行应急管理机制基础上进行基础设备处理、部件更换、系统优化, 为提升配电系统运行稳定性与全生命周期经济性提供技术路径。

关键词: 低压配电系统; 接触不良; 故障识别

DOI: 10.64216/3104-9702.25.05.033

引言

低压配电系统主要指在电压等级低于 1kV 下(查询后是 1000 伏以下的电压)的直接向终端用户供电的电力系统, 涵盖配电变压器、开关设备、电缆线路及保护装置等组件, 在电力网络末端承担电能传输、分配、控制的关键职能^[1]。目前, 此项系统广泛应用于工业、商业及民用领域, 是保障社会生产生活正常运转的基础支撑。然而, 在长期运行过程中, 系统设备连接节点受环境侵蚀、机械振动、负载波动等多重因素影响, 易出现导体接触面氧化、紧固件松动、绝缘劣化等接触不良现象。此类故障初期特征隐蔽性强, 常规巡检难以有效辨识。传统故障排查方式依赖人工经验与定期维护, 存在响应滞后、定位低效等问题, 无法满足现代电力系统对故障快速处置的需求。因此, 构建基于多维度快速识别体系, 结合分级处理策略实现精准干预, 成为提升运维管理效能的关键路径。

1 低压配电系统接触不良故障危害

1.1 低压配电系统运行稳定性下降

低压配电系统接触不良故障会直接破坏电力传输的稳定性与连续性。当导体连接处因为氧化、松动或者机械形变导致接触电阻异常升高时, 故障点将产生持续性焦耳热, 引发局部温度梯度突变。这种温升效应在加速绝缘材料热老化的同时, 还会改变导体材料的导电特性, 进一步加剧电阻升高与温升之间的恶性循环, 最终造成接触面烧蚀甚至熔断^[2]。在动态负载条件下, 接触电阻的波动还将造成线路压降的增大, 表现为终端设备供电电压偏离额定范围, 直接影响整个电力系统(这里直接用这三种来表示是否不妥)的正常运行。而发生在三相配电系统中的单相接触不良则可引发三相电流失

衡, 导致中性点电位偏移, 进而加剧线路损耗并降低变压器出力效率。对于采用电子电力器件的现代负载设备, 接触不良引起的瞬时电压跌落或谐波含量超标可能导致设备保护装置误动作, 甚至触发级联断电事故。

1.2 运维成本与安全隐患明显上升

低压配电系统接触不良故障的隐蔽性与扩散性同时会引发整体运维成本的提高。接触不良早期故障普遍没有显著特征, 导致其在常规巡检中被忽视, 多数故障需经历较长的潜伏期后才被识别。在此期间, 故障点处的持续劣化可能波及相邻设备, 例如过热引发的绝缘碳化会降低周边线路的耐压水平, 松动连接产生的机械振动可能传导至其他紧固节点。这种故障扩散效应迫使运维部门不得不扩大检修范围, 增加备件更换频率与人工排查时长。更为严重的是, 接触不良诱发的非计划性停电将直接造成生产线停滞和数据丢失等经济损失。在安全层面, 局部过热可能引燃绝缘材料或者积聚可燃气体, 形成电气火灾隐患, 而接触面电弧放电不仅会瞬间损毁设备, 其产生的高温金属飞溅物还可引燃周边可燃物^[3]。对于存在爆炸性环境的特殊场所, 此类放电能量更可能触发严重安全事故。

2 低压配电系统接触不良故障识别方法

2.1 直观观察法

直观观察法作为低压配电系统接触不良故障的基础识别手段, 主要依托运维人员的感官判断与经验积累, 通过设备表面状态分析实现初步筛查。其中以观察导体连接部位的物理形变特征为重点, 包括是否存在铜铝导体氧化层、螺栓紧固点锈蚀、绝缘护套碳化变色等典型现象。例如, 铜铝导体氧化层的累积会形成高电阻屏障, 其色泽通常会由金属本色渐变为灰黑或蓝绿色, 而绝缘

材料受热劣化则表现为表面龟裂或焦化斑点。对于动态运行中的设备,还可结合触觉感知进行辅助判断,例如通过非接触式红外测温仪或者在确保安全距离下的手掌背侧快速轻触法检测异常温升区域,接触不良点温度较正常部位升高 10°C 以上。直观观察法中的听觉辨识在接触不良故障带电检测中具有独特价值,当接触面存在间歇性放电时,可捕捉到细微的“滋滋”“高频声响”,其声强与放电能量呈正相关,在伴随机械松动则可能产生周期性振动异音。最后,还可通过嗅觉辅助辨识绝缘材料过热释放的刺激性气味,发现隐蔽性早期故障。

2.2 仪器检测法

仪器检测法是目目前低压配电系统接触不良故障识别中最主要也最准确的方法,核心思想是通过专业设备量化分析电气参数与物理信号,优势在于突破人工感官局限,实现接触不良故障的精准定位与程度评估。红外热成像技术作为其中应用最广方法之一,利用故障点温升特性,通过非接触扫描获取配电柜整体热分布图谱,结合图像处理软件识别温度异常区域,其热像特征表现为以接触点为中心的辐射状高温梯度带,但在检测时需注意环境温度补偿与发射率参数校准。回路电阻测试仪则采用四线法测量连接点接触电阻值,在施加恒流源情况下并计算压降,实测值超过同类型新装设备基准值20%时即判定为异常,适用于开关触头等关键节点的接触状态评估^[4]。超声波检测装置原理基于捕捉低压配电系统局部放电产生的高频声波信号,利用外差降频技术将其转换为人耳可辨范围,配合定向探头可精确定位放电点位置,其信号强度与脉冲频率能有效区分电晕放电等不同接触故障模式。对于隐蔽性较强的接触不良故障,则需综合应用多种仪器进行交叉验证,例如结合红外热成像定位过热区域后,采用微欧计进行接触电阻复测。

2.3 动态监测法

随着监测技术发展,通过部署传感器网络对配电系统关键参数进行持续跟踪与数据分析的动态监测法,也能够实现接触不良故障的早期预警与趋势预判。其中的温度监测主要采用分布式光纤测温或者无线温度传感器阵列,实时采集母线接头、断路器触头等易损部位的温度变化曲线,结合环境温度与负载电流建立动态热平衡模型,当监测点温升速率超过预设阈值或出现昼夜周期性异常波动时,可判定存在接触电阻增大隐患。电流谐波监测系统通过高精度互感器捕捉线路谐波分量,利用快速傅里叶变换分析频谱特征,其中因接触不良引发的非线性阻抗变化通常表现为3次、5次奇次谐波含量

异常升高,且谐波畸变率与负载电流幅值呈现非对称性关联^[5]。振动加速度监测则是将传感器安装在开关柜框架或电缆桥架上,以此分析时域信号并使用小波包分解技术提取机械振动特征频率,将接触点松动导致的机械共振频率偏移或宽频带能量突增可作为故障判据。上述方法突破传统检测手段的时空局限性,适用于负荷波动频繁或环境复杂的运行场景,为接触不良故障的主动防御提供技术支撑。

3 低压配电系统接触不良故障处理方法

3.1 应急管理机制

接触不良故障发生后需要通过系统的应急管理机制进行快速响应与影响控制,并以标准化流程最大限度减少停电损失。建立分级响应预案是核心环节,根据故障严重程度划分为故障预警、局部处置、系统隔离三级响应模式,包括预警级针对温升异常但未影响供电的情况,启动特巡并缩短监测周期;局部处置级对已引发电压波动的故障点,采用带电作业工具进行临时紧固或分流处理;系统隔离级则对存在起火风险的故障回路执行断电操作,并启动备用电源投切程序。(局部处置级对已引发电压波动的故障点这句话需要修改未体现之前写的系统隔离级内容,故障预警、局部处置、系统隔离三级响应模式应具体描述)在此基础上,还需遵循最小化原则进行故障区域隔离,利用智能断路器与分段开关的联动控制,精准切除故障区段而非整体断电,同时通过馈线自动化系统实现非故障区域快速复电。与此同时,配合预设多套执行路径的临时供电方案,包括接入移动式发电车、转移相邻变压器负荷以及敷设临时电缆等,保障关键负荷不间断运行。最后,在故障事后复盘环节构建闭环管理机制,使用故障录波数据与现场处置记录还原事件全过程,识别运维流程薄弱点并修订应急预案。此外,建立跨部门协同响应平台,整合调度、检修、安监等多方资源,可实现故障信息实时共享与处置指令高效传达,并定期进行应急演练。

3.2 基础设备处理

针对低压配电系统接触不良故障处理最简单直接的处理方法就是对导致的轻度故障的基础设备进行维护,以此实现早期干预与功能恢复,核心在于采取标准化操作消除物理性缺陷,避免故障进一步恶化。对于氧化或者污染的接触面,采用专用研磨工具清除氧化层与碳化沉积物,同时使用无水乙醇清洗以恢复金属表面导电特性,操作完成后涂抹导电膏形成抗氧化保护膜,降低接触电阻并抑制二次氧化。紧固件松动处理则需依据

设备制造商提供的扭矩标准,使用校准型力矩扳手逐级调整至规定值,对于其中承受机械应力的连接点还应加装弹簧垫片或防松螺母以增强结构稳定性。针对因绝缘材料局部碳化或者龟裂导致的接触不良障碍,需要根据损伤深度选择修复工艺,即在切除深层缺陷中的劣化段后使用同规格材料进行热缩套管包覆或环氧树脂浇注。导体搭接工艺优化涵盖接触面积提升与压力均衡控制,例如将螺栓连接改为液压压接以增大有效接触面,或在母排搭接处增设波纹结构以补偿热胀冷缩形变。此类措施的实施需结合设备运行状态与维护周期动态调整,通过预防性维护降低故障复发概率。

3.3 部件更换策略

当低压配电系统接触不良故障导致导体烧蚀、绝缘碳化或机械结构永久性损伤时,则需执行部件更换的处理策略。对于烧蚀严重的母线连接点实施模块化更换方案,切除受损段后安装预制式绝缘母线单元,以及在新单元中选用镀银铜排或铜铝复合过渡接头,保证接触面导电性能优于原设计标准。断路器触头组更换基于同步检测灭弧室与操作机构状态,进行整体式触头组件替换,并在安装时通过压力传感器验证触头接触压力,确定其值处于使用说明规定范围以增强稳定性。针对接触不良故障的电缆接头更换,具体依据载流量衰减曲线,截除烧损部位两端至少 1.5 倍集肤效应影响区段,同步配合恒压液压钳控制压缩比以压接新接头,并填充抗氧化复合胶密封防潮。对于密集型母线槽等集成化设备,优先采用单元化插拔式替换模式,以及在断电隔离故障单元后,通过导轨定位系统快速安装新单元,最大限度缩短停电时长。部件更换处理过程中的要点是实施三级质量控制,预更换阶段通过微欧计检测新部件接触电阻,安装阶段使用红外热像仪监控温升,投运后 72 小时内进行动态负荷测试并记录谐波畸变率。

3.4 系统优化方案

针对引发区域性供电中断或多节点连锁失效接触不良故障,需要实施系统级优化重构。网络拓扑重构阶段,采用双电源环网供电模式切除故障段,通过智能断路器与自动投切装置联动,在 200ms 内完成备用回路切换,以便一级负荷不间断运行。在接地系统改造中,则需针对故障暴露的阻抗失衡问题,重新计算接地网导体截面积与埋设深度,增设垂直接地极降低跨步电压,并在变压器中性点加装动态接地电阻箱,实现接地阻抗随故障电流自适应调整^[6]。保护系统方面,通过替换传统

熔断器为电子式塑壳断路器,设置短延时脱扣特性匹配电弧能量释放曲线进行整体升级,配合加装电弧光保护装置,通过紫外传感器与电流突变判据联动,在 5ms 内切断故障回路。对于因接触不良导致谐波放大的系统,在配电房母联柜加装三相四线制有源滤波器,利用瞬时无功理论实时补偿谐波电流,将总谐波畸变率控制在 5%以内。该方案实施后需进行全负荷冲击试验,模拟 125%额定电流持续 2 小时运行,验证系统抗过载能力与连接点热稳定性。

4 结语

低压配电系统接触不良故障的全流程管控需融合多维度检测技术与分级处理策略,具体是在使用仪器检测法等(前说仪器检测法是目前低压配电系统接触不良故障识别中最主要也最准确的方法)对故障进行识别后进行故障分类,针对性采取处理措施,进而实现故障早期预警与精准干预。展望未来,聚焦于智能化检测工具与规范化运维体系的协同优化,例如开发多传感器融合的便携式诊断终端,行业则需加速推广基于 NFC 技术的电子化巡检流程,强化运维人员对智能诊断工具的应用能力,同时建立覆盖故障案例库、应急处置预案与仿真培训平台的三维能力提升体系,系统提升配电网的可靠性与全生命周期经济性。

参考文献

- [1]施志伟,沈忠,邱雨,等.开关柜内部母排接触不良故障下外壳振动特性仿真分析[J].湖南电力,2024,44(03):3-8.
- [2]钱晓仲.基于小波包分析的低压配电系统接地故障诊断[J].电工技术,2024,(03):42-44+48.
- [3]陈涛涛.中低压配电线路的维护与故障识别技术研究[J].设备管理与维修,2023,(16):32-34.
- [4]张子峰.高低压配电设备常见故障与处理[J].河南水利与南水北调,2020,49(09):82-83.
- [5]王瑞明.电气设备接触不良故障的分析与处理研究[J].中外企业家,2020,(21):225.
- [6]季升.配电网单相接地故障原因分析及处理[J].家电维修,2024(7):101-103.

作者简介:彭煜,1995.06.23,男,汉,国能黄金埠发电有限公司,籍贯:江西鹰潭,助理工程师,学士学位,电气专业。