电力技术

配网线路设备运维中故障预防与排查技术的应用研究

周俊言　蒋红艳　王璐瑶　王岩松　孟磊
国网天津市电力公司武清供电分公司　天津　301700

【摘　要】配网线路设备长期暴露于户外环境，受气象条件、外力破坏、设备老化等多重因素影响，故障发生率居高不下。在此背景下，本文先简单介绍配网线路设备运维现存的挑战，并进一步深入探究基于配网线路设备运维的故障预防与排查技术应用要点，具体涉及状态监测与预警技术的应用、故障快速定位技术的应用、带电检测与主动检修技术的应用等内容。

【关键词】配网线路；设备运维；故障预防

Application research on fault prevention and troubleshooting techniques in the operation and maintenance of distribution network line equipment

Zhou Junyan　Jiang Hongyan　Wang Luyao　Wang Yansong　Meng Lei
State Grid Tianjin Electric Power Company Wuqing Power Supply Branch Tianjin　301700

【Abstract】Distribution network line equipment is exposed to outdoor environments for a long time, and is affected by multiple factors such as meteorological conditions, external damage, and equipment aging, resulting in a high failure rate. In this context, this article first briefly introduces the existing challenges in the operation and maintenance of distribution network line equipment, and further explores the key application points of fault prevention and troubleshooting technology based on distribution network line equipment operation and maintenance. Specifically, it involves the application of state monitoring and early warning technology, the application of fault rapid positioning technology, and the application of live detection and active maintenance technology.

【Key words】distribution network lines; Equipment operation and maintenance; Fault prevention

引言：

配网运维是一项系统复杂的工程，电网经过长时间的运转，往往容易受到多种因素的影响而出现各式各样的故障问题。在配网设备故障处理过程中，既要引入先进的排查技术，做好故障的预防，又要对可能出现的故障问题进行方案策划，避免安全问题以及影响电力的正常输送。当前配网设备逐步向着智能化、先进化、自动化的方向发展，只有不断对故障处理技术和排查技术进行创新，才能避免相关的故障。由此可见，进行相关研究具有较强的现实意义。

1.配网线路设备运维现存的挑战

1.1 设备老化严重，健康状态劣化趋势明显

配网覆盖的线路设备数量多、范围广，有些早年建成的线路运行时长已经超过 15 至 20 年，老化情况比较严重，架空导线常年受到风力晃动、温度反复变化的影响，容易出现断股、散股的问题；绝缘子表面积污加上受潮，闪络电压会出现明显下降，在污秽等级达到Ⅲ级及以上的区域，爬电比距不达标的绝缘子容易发生污闪事故；配电变压器常年处于满载或过载运行状态，绕组绝缘老化速度加快，油浸式变压器顶层油温持续超过 85℃时，绝缘寿命会大幅缩短；电缆终端头和中间接头如果存在制作工艺缺陷或密封失效的问题，一旦进水受潮，就很容易发生击穿故障。设备台账信息存在偏差、缺陷记录不够完整，让运维人员没法准确掌握设备的健康状况，制定的检修方案也缺乏针对性。

1.2 外部环境复杂，故障诱因多元且随机性强

配网线路大多沿道路架设，或是穿越人口密集的居民聚居区，不同路段的外部环境复杂多变，给线路运行带来的影响因素数量比较大。一是气象灾害带来的干扰，台风、雷暴、覆冰、大风等恶劣天气很容易造成倒杆断线事故，雷电活动频繁的区域，架空线路每年遭雷击的次数能达到数十次，未加装避雷线的 10kV 架空线路，雷击跳闸率始终处于较高水平；二是外力破坏问题比较突出，施工机械挖断地下电缆、车辆碰撞电杆、超高车辆刮碰导线、风筝或飘挂物造成短路等情况，都属于外力破坏类故障，这类故障占配网故障总量的 30%以上；三是树线矛盾持续存在，线路通道范围内的树木长高后会触及导线，遇上大风、降雨天气时，很容易引发单相接地或相间短路故障。这些外部诱因带有随机性和突发性，给配网故障预防工作带来了比较大的难度[1]。

1.3 监测手段落后，故障排查效率低下

多数地区目前的配网运维工作，主要还是采取固定周期的人工巡检方式，巡检间隔从一个月到一个季度不等，没法及时发现设备的动态缺陷。配网运维数据采集方式比较落后，配电自动化终端覆盖范围不够大，部分线路故障信息靠用户报修获取，处理速度跟不上。故障出现后，因没有好用的故障区段定位方法，抢修人员需沿线路逐根电杆排查，

10kV 线路故障平均排查时间 2 到 4 小时，山区、丘陵等复杂地形区域耗时更长。单相接地故障解析定位难度比较大，传统拉路试停操作会造成非故障线路用户误停电，长时间接地运行产生的过电压易导致相间短路和设备损坏。配网运维数据分散在调度自动化、配网自动化、生产管理等不同系统，数据壁垒使得故障研判缺少全面信息支持。

2.基于配网线路设备运维的故障预防与排查技术应用要点

2.1 状态监测与预警技术的应用

检测装置，如图 1 所示。

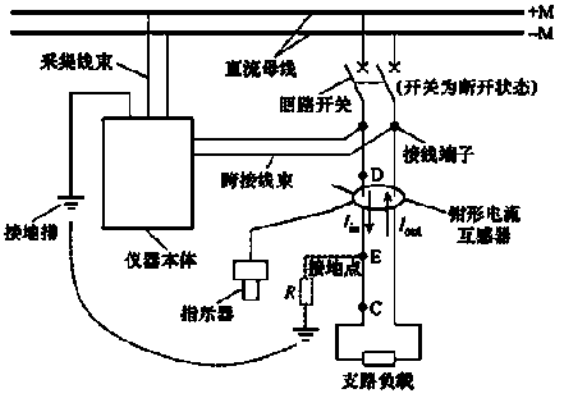


图 1　直流绝缘诊断装置工作电路

2.1.1 红外测温与在线监测技术应用要点

要找出设备的过热缺陷，红外测温是重要方式，实际用的时候得严格把控好测温的时间点和判定的临界值，测温时得选负荷率不低于 30%的高峰时段，还要挑晴朗天气，防止阳光直射带来误差。判断设备是否存在过热缺陷采用相对温差法，设备同类部件温差 $\Delta t \geq 15K$ 且相对温差 $\delta \geq 80\%$ 的属于严重缺陷，需安排带电检修，$\Delta t \geq 30K$ 的必须立即安排停电处理。针对配电变压器，需重点监测本体、套管、接线端子部位，油浸式变压器的顶层油温报警值定为 85℃，绕组温度一旦超过 105℃，必须立即降载。针对柱上开关与隔离刀闸，需重点监测触头部位，温度超过 70℃或是三相温差超过 15K 的，都归为危急缺陷。做在线监测时，要给重载配电变压器加装油温油位在线监测装置，采样周期设为 5 分钟，采集到的数据通过无线公网或配电通信网上传到主站。给电缆终端头、中间接头加装分布式光纤测温装置（DTS），该装置测温范围在–20℃到 150℃之间，定位精度 1 米，温度分辨率 0.5℃，可提前发现电缆通道的火情[2]。

2.1.2 智能故障指示器与可视化监测装置应用要点

架空线路需分段加装智能故障指示器，常规路段安装间隔设为 3 到 5 个耐张段，对应距离约 2 至 3 公里，重载或故障频发的线路，安装间隔要缩小到 1 至 2 公里。智能故障指示器要能同时检测短路故障和单相接地故障，短路故障的判定依据为电流突变量启动，即 $\Delta I \geq 200A$ 且电流突变率超过设定值，接地故障则通过零序电流突变（≥5A）结合首半波法来检测。该装置采用感应取电模式，电流启动阈值设定为 5A，休眠状态下电流控制在 0.5mA 以内，配套蓄电池要能在无光照的环境下持续工作 30 天以上，装置通信选用 4G 或 LoRa 模式，故障信息上传的时间延迟不能超过 1 分钟。故障多发、树线矛盾突出的区段，要加装可视化监控装置，装置配备功率不低于 30W 的太阳能供电系统和 300 万像素以上的摄像头，内置 AI 识别算法，可自动识别并抓拍告警山火、烟雾、吊车施工、导线异物等各类隐患，识别准确率需达到 90%以上，告警信息会经主站推送给运维人员的移动终端，实现隐患的超前处置[3]。

2.1.3 防雷与接地改造技术应用要点

处理雷击故障时，防雷改造要遵循分区、分级、差异化原则推进，地闪密度≥2.8 次/平方公里·年的山区多雷区段，需给架空线路加装架空地线，保护角控制在 25° 以内；雷击跳闸率高的线路，要在杆塔顶部安装线路型避雷器，其额定电压取系统最高运行电压的 1.1 倍，10kV 线路匹配 17/45kV 规格的避雷器；配电变压器的高低压侧都要装设金属氧化物避雷器，接地引下线截面不小于 35mm²，还要和变压器低压侧中性点、外壳共用接地装置；接地电阻要严格符合规程规定的限值，容量 100kVA 及以上的变压器，接地电阻不超过 4Ω，100kVA 以下的不超过 10Ω；杆塔避雷器的接地电阻不超过 10Ω，土壤电阻率高于 2000Ω·m 的困难地区可放宽至 30Ω；每年雷雨季节到来前，需完成接地电阻普测，实测值超出限值 110%以上的，要及时整改。

2.2 故障快速定位技术的应用

2.2.1 配电自动化馈线故障定位应用要点

本文提出加快扩大配电自动化终端的覆盖范围，为联络开关、分段开关加装“三遥”终端（FTU/DTU），通信优先采用光纤方式，传输速率不低于 2Mbps，没有光纤覆盖的区域则选用无线专网或 4G 无线通信。故障定位采用基于开关状态的矩阵算法，故障发生后，主站调取各分段开关处 FTU 上传的过流信息，结合网络拓扑模型，1 分钟内自动确定故障区段，通过遥控操作让故障区段两侧开关分闸隔离，同时恢复非故障区段的供电。馈线自动化的动作整定要与变电站出线保护配合，出线保护过流Ⅰ段定值按躲过线路最大负荷电流整定，动作时限设为 0 秒，分段开关保护时限级差设置为 0.3 至 0.5 秒，防止越级跳闸。“三遥”终端的遥测精度不低于 0.5 级，遥控正确动作率需达到 99.9%以上[4]。

2.2.2 单相接地故障精准定位应用要点

小电流接地系统存在单相接地故障定位难的问题，笔者建议推广“选线+选段+定点”三级定位体系，变电站环节需安装基于暂态波形分析的智能接地选线装置，借助故障暂态零序电流首半波特征或谐波比幅比相法完成选线，要求选线正确率不低于 95%，动作时长设置不超过 60 秒，防止系统长期处于接地运行状态。线路部分，工作人员可依托接地故障指示器检测零序电流突变及接地暂态特征，完成故障区段的判定，开展定点排查时，再使用便携式接地故障巡测仪，沿线路采用谐波电流法或音频信号注入法检测。注入信号要

选 220Hz 至 10kHz 的非工频频段，避开负荷电流的干扰，信号发生器输出功率得在 500W 以上，检测人员手持信号接收器沿故障区段逐杆探测，定位误差可控制在 10 米以内，实现故障点直接定位，把单相接地故障查找时间从数小时压缩到 30 分钟以内。

2.2.3 电缆故障精确定位应用要点

声测定点仪需设定 35kV 以内的冲击电压，储能电容容量不低于 8μF，能以微秒级精度测量放电磁场信号与声波信号的时间差，定点误差不得超过 0.2 米；直埋电缆外护套破损点用跨步电压法完成定位，跨步电压表的灵敏度需达到 0.5mV 及以上，具体见表 1。

表 1　电缆故障检测设备参数表

设备	关键技术参数
声测定点仪	1.冲击电压：≤35kV； 2.储能电容：≥8μF； 3.时间测量精度：微秒级（测电磁场、声波信号时间差）； 4.定点误差：≤0.2m
跨步电压法（直埋电缆外护套破损定位）	跨步电压表灵敏度：≥0.5mV

2.3 带电检测与主动检修技术的应用

2.3.1 带电检测技术应用要点

带电检测无需停电就能掌握设备内部运行状态，需将其列为日常运维的常规工作，局部放电检测时，开关柜、环网柜需同时采用特高频（UHF，检测频带 300MHz 至 1.5GHz）与超声波（检测频带 20kHz 至 200kHz）两种方法。若 UHF 信号幅值超过-20dBm，或是超声波信号比背景值高 10dB，就判定设备存在异常，需重新检测确认，还要跟进后续的发展变化；电缆终端和中间接头的局部放电检测，用高频脉冲电流法（检测频带 0.5MHz 至 30MHz）完成，若放电量超过 500pC，需制定专门的检修计划。油浸设备的油样色谱分析有固定周期，新投运的设备需在投运后 1 个月内完成首次检测，正常运行的设备每 2 到 3 年检测一次，各项指标的注意值按照规程要求执行（氢气 150μL/L、乙炔 5μL/L、总烃 150μL/L），如果乙炔含量超出注意值，就判定设备存在放电性故障，需立即安排停电检查。氧化锌避雷器每 3 年开展一次带电测试，测试时若阻性电流基波分量超过 0.3mA（峰值 0.5mA），或是较设备初始值增大 50%以上，可判定为避雷器受潮或阀片劣化，需及时更换[5]。

2.3.2 “一停多用”综合检修与隐患闭环治理应用要点

故障预防要统筹检修计划，推行“一停多用”模式：将设备预试定检、缺陷消除、技改大修、业扩接入、市政配合等各类作业需求全部纳入月度停电计划，综合平衡各项需求后统一安排，单次停电完成多项作业，年度重复停电次数同比下降 30%以上。停电检修期间，本文同步完成绝缘子清扫与零值检测（每 2 至 3 年普测一次），复核导线弧垂与对地距离（交叉跨越距离须满足规程最小值，如 10kV 线路在居民区的对地最小距离为 6.5m），紧固金具螺栓，检测接地装置，完成所有例行作业项目。建立隐患排查“建档—评估—治理—销号”闭环机制：巡视发现设备缺陷后，按危急（24 小时内处理）、严重（7 日内处理）、一般（3 个月内处理）三级时限管控，对通道隐患实行台账管理，修剪树障隐患后留足安全距离（10kV 导线与树木最大弧垂时水平距离不小于 3m），通过签订护线协议、现场监护、加装警示标识等方式管控施工外力隐患，实现隐患动态清零。

3.结束语

配网线路设备的故障预防与排查是一项系统性工作，要遵循“预防为主、防修结合”的原则，借助状态监测预警技术提前找出潜在隐患，利用自动化定位与带电检测技术快速排查故障并精准处置，依托智能运维平台完成数据融合与闭环管控。实际作业中要严格落实红外测温阈值、接地电阻限值、保护整定级差、局放检测判据等关键技术参数，将技术手段与管理机制深度融合，持续推动配网运维向数字化、智能化、精益化方向转型，提升供电可靠性与优质服务水平，为新型电力系统建设筑牢末端网架基础。

参考文献

[1]倪宇璇. 配网线路运维隐患风险识别与评估技术[J].电力设备管理,2026,(10):43-45.
[2]侯一博,石福雪. 故障预防与排查技术在配网线路设备运维中的应用[J].电力设备管理,2025,(24):64-66.
[3]樊家信,吴剑龙. 声波传感技术在配网线路故障精准定位中的应用[J].电声技术,2025,49(11):117-119.
[4]李源泽,李钊逸. 配网自动化技术在 10 kV 线路故障处理中的应用研究[J].仪器仪表用户,2025,32(11):28-29+32.
[5]陈松,陈顺,刘勇锋. 配网自动化开关的线路故障定位技术分析[J].通讯世界,2025,32(9):91-93.
作者简介：周俊言（2000.1），男，汉族，天津人，助理工程师职称，大学本科，研究方向为配电运维和安全管理。