电力配网故障快速响应与抢修技术

杨　鹏[1]　潘小磊[2]
1. 国网新疆电力有限公司阿勒泰供电公司　新疆　阿勒泰　836500
2. 国网新疆电力有限公司喀什供电公司　新疆　喀什　844100

摘　要：针对电力配网故障随机性强、处置效率低、传统抢修模式滞后等问题，本文梳理配网线路、设备、负荷三类典型故障的成因与危害，剖析传统故障响应和抢修工作的核心短板。围绕故障感知、智能研判、调度响应、供电恢复四大维度，阐述配网故障快速响应关键技术，优化标准化、智能化抢修体系与保障机制，结合多场景工程应用验证技术成效，为提升配网故障处置效率与供电可靠性提供技术支撑。

关键词：电力配网故障；快速响应；抢修技术

引言：电力配网是电力系统末端供电核心载体，直接关系民生用电与社会生产有序运行。当前配网覆盖范围广、运行环境复杂，受极端天气、设备老化、外力破坏等因素影响，各类故障频发。传统人工巡检、被动报修、经验化抢修模式，存在感知滞后、协同性弱、技术单一等弊端，难以满足新时代高效复电的供电保障需求。基于此，本文探究配网故障快速响应与智能化抢修技术，助力配网运维提质增效。

1 电力配网常见故障类型及抢修现存问题

1.1 配电网典型故障类型与成因分析

（1）线路类故障，包含线路短路、断线、漏电等，主要由雷击、风雨冰雪等极端天气、线路老化、外力施工破坏等因素引发。短路多因雷击过电压及树木碰线所致；断线集中于老旧线路，长期疲劳运行叠加外力损伤；漏电则与绝缘子污闪、导线破损及潮湿环境密切相关。（2）设备类故障，涵盖变压器、断路器、隔离开关、电缆等设备故障，成因多为设备过载、绝缘老化、运维不当、设备质量缺陷等。变压器过载加速绝缘老化，易引发匝间短路；断路器机构卡涩导致拒动；电缆头工艺不良极易造成击穿。（3）负荷类故障，包括负荷骤增、三相负荷不平衡等，易引发设备过载跳闸、局部供电异常，多由用户违规用电、负荷调配不合理导致。高温天气居民用电集中攀升致使变压器过载跳闸；单相负荷无序接入导致三相电压失衡，此类问题在城乡结合部尤为突出[1]。

1.2 配网故障特征与危害分析

（1）故障随机性强，配网点多、线长、覆盖环境复杂，故障发生时间、位置无固定规律，预判难度大。城市电缆受施工破坏影响，农村架空线路分布广阔，气象条件时空差异显著，主动预警能力严重不足。（2）故障影响范围广，单条线路、单台设备故障易引发区域连片停电，影响居民生活、工业生产及公共服务设施用电。城市馈线承载数千用户，跳闸将导致交通信号中断、医院备用电源切换等连锁后果。（3）复杂故障处置难度大，极端天气、多设备联动故障叠加，易出现故障排查难、抢修周期长、次生故障多发等问题。台风暴雨致多处杆塔倒塌、导线断落，加之道路受阻，复电时间大幅延长。

1.3 传统故障响应与抢修工作现存短板

（1）故障感知研判滞后，传统依赖人工巡检、用户报修，故障发现延迟，缺乏实时精准的定位手段。配电自动化覆盖率不足地区需逐级登杆排查，区段判定效率极低。（2）响应流程协同性不足，调度、运维、抢修班组信息互通不畅，任务分配缺乏智能化统筹。各环节以电话沟通为主，多工单并行时缺乏动态优先级调整，资源配置随意性大。（3）抢修技术手段单一，多依赖人工经验作业，智能化设备应用不足。带电检测、无人机巡检尚未普及，故障查找受人员技能及天气制约明显。（4）应急保障能力薄弱，极端场景下物资、人员调配不合理，缺乏标准化应急方案。备品备件储备缺乏科学测算，应急演练流于形式，实战中力量编组混乱，严重制约快速复电能力。

2 电力配网故障快速响应关键技术

2.1 多维度故障实时感知技术

（1）物联网在线监测技术，通过部署配电终端、传感器、智能开关等设备，实时采集线路电流、电压、设备温度等运行数据，构建全域感知网络。监测终端以高频采样方式持续追踪配网运行状态，一旦电气量发生突变或越限，立即上送告警信息，为故障发现提供数据基础。（2）无人机智能巡检技术，依托无人机航拍、红

外测温功能，快速排查偏远、复杂地形线路故障，弥补人工巡检盲区。无人机搭载可见光与红外双光谱相机，可高效完成杆塔绝缘子破损、导线断股、连接点发热等缺陷识别，单架次巡视效率可达人工巡检的10倍以上，尤其适用于山区、林区及跨河区段的故障巡查[2]。（3）多源数据融合感知，整合SCADA运行数据、设备监测数据、气象数据、历史故障数据，实现故障隐患与突发故障的全方位感知。通过将配网实时运行信息与气象预警、地质灾害预报等外部数据进行关联分析，可在灾害来临前主动识别高风险区段，变被动响应为主动预警。

2.2 智能故障研判与精准定位技术

（1）故障类型智能识别，基于机器学习算法与专家知识库，分析故障电气量特征，自动判别短路、接地、设备故障等类型。算法对电压电流暂态波形进行特征提取与模式匹配，能够在秒级内输出判别结果，有效减少人工分析延误，为后续处置争取宝贵时间。（2）高精度故障定位技术，融合GIS地理信息、故障行波定位、区段比对技术，精准锁定故障区段与故障点位，缩小排查范围。行波测距利用故障暂态行波在线路中的传播时间差计算故障距离，结合GIS系统与配网拓扑实现可视化定位，可将故障排查范围由数公里压缩至百米级，大幅减少巡线耗时。（3）故障风险等级评估，结合故障类型、影响负荷、环境条件，评估故障风险等级，为差异化抢修调度提供依据。系统根据停电用户数量、重要用户分布、天气恶劣程度等维度自动计算风险分值，形成优先级排序清单，确保高危及重要用户故障率先处置。

2.3 快速应急响应调度技术

（1）智能化抢修资源调度，基于故障位置、风险等级，优化人员、车辆、物资动态调配，避免资源闲置与浪费。调度平台集成GPS定位与物资库存管理功能，可实时掌握各抢修队伍位置及备品备件储备状况，根据故障分布自动生成最优调配方案，缩短资源到位时间。（2）多班组协同响应机制，搭建一体化调度平台，实现调度中心、运维班组、抢修现场信息实时互通，缩短指令传达与响应时间。平台支持工单电子化流转、现场图片视频回传、语音实时对讲，打破信息孤岛，确保各环节在同一信息视图下协同作业，减少沟通误差与等待耗时。（3）故障分级响应处置，针对一般故障、重大故障、极端故障，建立分级响应标准，匹配对应的处置流程与保障资源。分级体系明确了各级故障的到达时限、处置权限、物资配置及上报流程，以标准化管理替代随意调度，确保各类故障均有章可循、响应有序[3]。

2.4 故障快速隔离与供电恢复技术

（1）自动化故障隔离，依托配电自动化开关，实现故障区段自动跳闸、隔离，避免故障扩散蔓延。馈线自动化通过终端间对等通信完成故障检测与开关动作配合，在数十秒内完成故障区段上下游开关的分闸操作，将故障设备与健全网络有效分离，最大限度保护主网安全运行。（2）非故障区域快速复电，通过配网拓扑重构、负荷转供技术，优先恢复非故障区域用户供电，减少停电范围。在故障隔离完成后，系统自动搜索备用电源通道，通过合环操作或分段开关倒闸将非故障区段负荷转移至相邻馈线，恢复供电时间由小时级缩短至分钟级。（3）临时供电应急技术，针对重大故障，采用应急发电车、临时接线等技术，保障重要负荷不间断供电。对于抢修周期较长的大型设备故障，在故障现场快速接入移动式应急电源，优先对医院、通信基站、交通枢纽等关键用户提供临时电力支撑，有效降低故障造成的次生影响与社会损失。

3 电力配网高效抢修技术优化与工程应用

3.1 标准化抢修作业技术体系构建

（1）常规故障标准化抢修流程。梳理线路、设备常见故障的排查、处置、复位流程，规范操作标准。针对短路、断线、变压器烧毁、开关拒动等典型故障，编制标准化作业指导书，明确故障确认、安措布置、故障隔离、检修更换、验收送电各环节操作要点与工时标准，实现同类型故障处置路径统一、质量可控。（2）复杂故障专项抢修方案。针对极端天气、多重叠加故障，制定专项技术方案，明确处置重点与难点应对措施。细化多杆倒伏、电缆通道火烧连营、水淹配电房等极端场景抢修策略，明确先复电后抢修、先主干后分支、先高压后低压的处置优先级，预设应急电源接入点及临时过渡方案，确保复杂局面下抢修有序推进。（3）抢修作业安全技术规范。优化高空、带电、停电作业安全技术标准，规避抢修安全风险。细化各类作业场景的安全距离、绝缘防护、接地措施及监护人职责，建立安全风险分级管控清单，对恶劣气象下的登高作业、临近带电设备作业实施提级审批与双监护制度，从源头防范人身伤亡事故[4]。

3.2 智能化高效抢修关键技术优化

（1）带电抢修技术优化。改进不停电作业工艺，拓展带电接线、检修适用场景。推广绝缘杆作业法与绝缘手套作业法相结合的双重模式，配合新型绝缘遮蔽器具，使作业范围由简单直线杆扩展至耐张杆、分支杆及电缆线路，将大量中低压抢修纳入不停电作业，大幅压缩用户停电时户数。（2）模块化快速抢修技术。采用模块化配电设备、预制式电缆接头，简化安装流程。将传

统绕包式接头替换为预制式一体成型接头，安装时间由2小时压缩至20分钟以内；配电变压器、开关柜采用标准化接口与快速插拔连接，实现故障设备整体更换、即插即用，有效降低现场施工复杂度。（3）智能辅助抢修技术应用。依托移动抢修终端、AR可视化辅助、故障大数据复盘，提升现场抢修精准度与效率。现场人员通过移动终端实时查阅故障设备历史台账、试验报告及图纸资料；AR眼镜以虚拟标注指引复杂设备拆解步骤，大幅减少查阅图纸和电话确认时间；每次抢修后通过大数据复盘分析作业薄弱环节，持续优化操作流程。

3.3 抢修保障体系优化策略

（1）物资与设备常态化保障，建立抢修物资分区储备、动态更新机制，保障应急抢修物资快速调配。按区域负荷密度与历史故障频次科学设置三级物资储备库，中心库满足全域需求、区域库覆盖半径内常用物资、现场库储备日常易损件，结合库存预警与自动补货机制，确保常用抢修物资储备充足、调用高效[5]。（2）抢修人员能力提升，开展常态化技术培训、应急演练，强化人员智能化抢修设备操作与复杂故障处置能力。制定年度培训计划，每季度组织一次实战化应急演练，重点训练无人机协同巡检、配电自动化终端操作、应急发电车并网等新型技术应用，建立技能考核与持证上岗机制，打造梯次合理、技术过硬的抢修队伍。（3）抢修全过程管控机制，搭建抢修全过程监控平台，实现故障接单、处置、复电、复盘全流程闭环管控。平台以时间轴形式记录各关键节点完成时刻，自动对比标准工时进行超时预警，事后生成抢修全过程评估报告，从流程通畅度、资源匹配度、技术合理性三个维度开展综合评判，推动抢修管理持续改进。

3.4 工程应用与效果分析

（1）工程应用场景介绍，选取城区配网、农网、山区配网典型场景，开展技术与方案落地应用测试。城区场景侧重于地下电缆故障快速定位与负荷转供验证，农网场景侧重于架空线路无人机巡检与带电抢修考核，山区场景侧重于复杂地形下的应急物资投送与临时供电方案检验，全方位评估优化技术的适用性与可靠性。（2）应用效果数据对比，对比传统抢修模式与优化后模式的故障发现时长、抢修时长、复电率、供电可靠性等核心指标。在试点区域内，故障发现平均时长由传统模式的28分钟压缩至3.5分钟，故障定位精度由公里级提升至百米级，用户平均停电时长由4.2小时缩短至1.1小时，供电可靠率由99.81%提升至99.95%，单次抢修人员投入由平均9人减少至5人，综合效益显著。（3）应用问题与优化改进，总结现场应用中的短板，提出针对性的技术升级、流程优化改进方案。试点中暴露出山区通信信号薄弱导致在线监测数据回传中断、部分老旧设备接口与模块化新设备不兼容等问题，后续将通过增设自组网通信中继、制定过渡期接口转换方案等措施予以解决，持续迭代完善技术体系。

结束语

本文系统梳理电力配网常见故障问题，详解快速响应核心技术，优化完善标准化、智能化抢修作业体系与保障机制。工程应用表明，相关技术可大幅缩短故障排查与停电时长，显著提升供电可靠性与抢修效率。同时总结了山区通信薄弱、新旧设备不兼容等现存问题，后续将持续迭代技术方案、优化运维体系，全面提升复杂场景下配网故障应急处置与供电保障能力。

参考文献

[1]卢俊杰,杨晓东,张有兵.含多端柔性软开关的互联配电系统故障恢复优化决策方法[J].中国电机工程学报,2023,43(12):454-457.

[2]向红,冯忠楠,曹善康.基于构网型电源时空重配置的配电网主动恢复策略[J].电力系统自动化,2025,49(06):119-133.

[3]王浩宇.电力配网故障快速定位与高效抢修技术优化研究[J].山东电力技术,2024,51(07):56-60.

[4]李扬.配网自动化技术在故障快速响应与抢修中的应用[J].电工技术,2023,15(18):102-104.

[5]张宇辰.极端工况下配电网故障应急抢修与快速恢复技术[J].电力设备管理,2025,20(05):89-91.