

电力输电线路故障排除

李 博 毛文泽

内蒙古电力(集团)有限责任公司呼和浩特供电分公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要: 电力输电线路是电网输电的核心载体,易受自然环境、设备老化及人为因素影响产生各类故障。本文先划分永久性、瞬时性、隐性三类线路故障,剖析故障成因与运行危害,再对比传统与智能故障检测诊断技术,梳理标准化故障排除流程与针对性处置方案,最后提出运维优化与前置预防策略,为输电线路稳定运维、降低故障风险提供可靠技术参考。

关键词: 电力输电线路;故障排除;运维优化策略

引言:电力输电线路横跨各类复杂环境,长期持续运行,是电力系统最易发生故障的关键环节。线路故障不仅会造成供电中断、影响用电可靠性,严重时还会引发电网连锁事故,威胁电力系统安全稳定运行。为高效处置线路故障、提升运维水平,本文系统梳理输电线路常见故障类型、成因及危害,详解故障检测诊断技术与排除方案,助力实现故障精准处置与长效预防。

1 电力输电线路常见故障类型及成因分析

1.1 输电线路故障基本分类

(1) 永久性故障:主要包括短路故障(单相接地、两相短路、三相短路)、断线故障(一相或两相断线)及绝缘破损故障。此类故障表现为绝缘介质击穿或导体连续性破坏,故障点电弧难以自行熄灭,需人工检修干预方可恢复送电,对电网稳定运行威胁最大。(2) 瞬时性故障:主要包括雷击闪络(雷电过电压引起绝缘子表面击穿)、瞬时触碰(树枝、风筝线等异物短暂接触导线)及天气干扰(大风引起导线摆动碰线、污秽引起绝缘子表面闪络)。此类故障在故障原因消失后绝缘性能可自行恢复,重合闸成功率较高。(3) 隐性故障:主要包括设备老化(绝缘材料劣化、导体蠕变)、参数偏移(阻抗、导纳参数偏离设计值)及接触不良(接头松动、氧化)。此类故障初期不改变系统运行状态,常规保护难以察觉,具有潜伏性和渐进性特征。

1.2 典型故障成因深度剖析

(1) 自然环境因素:雷击是造成跳闸的首要原因,雷电流直击或感应过电压导致绝缘击穿;覆冰增加导线载荷并降低绝缘间隙,易引发冰闪或断线事故;大风造成导线风偏、舞动及异物撞击;暴雨引发山体滑坡导致杆塔倾斜或基础冲刷,均为不可控的外部诱因。(2) 设备自身因素:线路长期运行导致绝缘老化击穿电压下降;绝缘子因表面积污受潮发生沿面放电;金具锈蚀降

低机械强度,在张力作用下易发生断裂脱落;导线接头压接不良引起接触电阻增大,长时间过流发热加速老化,形成设备本体缺陷^[1]。(3) 人为与外部因素:工程施工中挖掘机、吊车等大型机械碰触导线;风筝线、塑料大棚薄膜、广告布等轻质物飘挂导线引起相间短路;违规在电力设施保护区内堆放物品或违章作业,均属可预防的外部人为故障。

1.3 不同故障的运行特征与危害

(1) 接地故障、短路故障的电气运行特征:接地故障表现为故障点对地电压趋近于零,零序电压、零序电流显著增大;短路故障时电流急剧上升可达额定值数倍至数十倍,母线电压骤降,负序分量增加,电气量变化剧烈,继电保护装置迅速动作。(2) 断线、过载故障对线路及电网的危害:断线造成非全相运行,产生负序及零序电流,影响邻近线路保护和发电机安全;过载使导线温度升高、弧垂增大、线损增加,长期过载加速绝缘老化甚至熔断,严重时引发连锁跳闸,导致大面积停电。(3) 隐性故障的渐进性危害及诱发风险:隐性故障潜伏期内持续削弱设备绝缘强度和机械性能,运行参数缓慢偏移使保护定值失配。当遭遇雷击、操作冲击等外部扰动时,隐性故障可能突然激化为永久性故障,诱发保护拒动或误动,扩大事故范围,是电网安全运行的重大隐患。

2 电力输电线路故障检测与诊断技术

2.1 传统故障检测技术

(1) 人工巡检排查法的操作流程与适用场景:人工巡检以运行人员沿线路逐基杆塔巡查为主要方式,流程涵盖巡检计划编制、现场徒步或驱车逐塔检查、缺陷影像记录及上报、异常复核确认等环节。重点观察绝缘子破损、导线断股、金具松动及通道隐患。该方法适用于地形平坦的城区及近郊线路,尤其在跳闸后对保护测距

区间进行精细化复查时,人工经验对目视可见缺陷的判别仍不可替代。(2)继电保护故障判别技术的应用原理:继电保护装置持续采集电流互感器和电压互感器的电气量信号,故障时电气量幅值相位发生突变,装置将实时值与整定值比较,基于过流、距离、差动等判据快速识别故障类型,满足动作条件后立即向断路器发出跳闸指令,在数十毫秒内完成故障隔离,是电网安全稳定运行的首道防线。(3)传统检测技术的优势与局限性分析:传统技术优势在于原理成熟可靠、设备成本较低、运行经验丰富,继电保护动作速度快,人工巡检对典型机械性缺陷判别准确。

2.2 现代智能故障诊断技术

(1)行波故障定位技术的原理与应用优势:故障瞬间产生向两端传播的暂态行波,定位装置高速捕捉行波到达两端监测点的时间差,依据波速计算故障点距离。定位误差通常在百米以内,不受故障类型和过渡电阻影响,特别适用于超高压长距离线路的精确定位,可大幅压缩人工排查范围。(2)大数据与AI故障识别技术的应用逻辑:对历史故障录波数据、设备台账及气象数据进行清洗、特征提取和标注,构建训练样本库,基于深度卷积神经网络或梯度提升决策树等算法训练识别模型。实时运行时在线监测数据经预处理后输入模型,自动输出故障类型、置信度及严重等级,并可对绝缘劣化、异常负荷等趋势提前预警^[2]。(3)无人机、在线监测设备的故障检测应用:无人机搭载高清相机、红外热像仪和紫外成像仪,对绝缘子、导线接头等关键部位进行近距离检测,自动识别发热点和电晕放电。在线监测设备涵盖分布式光纤测温、泄漏电流监测、杆塔倾斜及覆冰监测等装置。两者协同构建“空中巡检+地面监测”的立体感知网络,大幅提升故障发现的及时性和覆盖面。

2.3 故障诊断流程与数据研判方法

(1)故障信号采集、筛选与预处理流程:故障触发后同步采集线路两端及中间节点的电压、电流行波和稳态录波数据,经硬件滤波与数字去噪剔除电磁干扰,随后进行时间同步校准、异常值剔除和归一化处理,确保各源数据时序一致、质量可靠。(2)多维度故障数据对比分析与类型判定:将预处理后的数据导入分析系统,提取电流幅值变化率、谐波含量、序分量、阻抗轨迹等关键特征量,通过与历史案例库进行相似度匹配和模式识别,结合负荷水平、气象条件等外部信息,综合判定故障具体类别。(3)复杂故障的综合研判与精准定位方法:针对多点故障、转换性故障及高阻接地等复杂场景,采用行波测距与故障分析相互印证的双重定位策

略,将双端行波结果与保护动作逻辑、分布式监测数据进行交叉验证,同步叠加GIS地理信息进行空间拓扑匹配,最终输出包含故障类型、精确位置和处理建议的一体化诊断报告^[3]。

3 电力输电线路故障排除方案与运维优化策略

3.1 故障排除基本原则与标准流程

(1)安全优先、快速处置、精准修复的处置原则:故障处置须将人身安全置于首位,严格执行停电、验电、挂接地线等安全措施,确保抢修人员作业安全。在此基础上遵循快速处置原则,抢修队伍第一时间赶赴现场,最大限度压缩停电时长;同时坚持精准修复,准确查明故障根本原因,避免治标不治本的临时处置引发重复故障,确保修复质量一次达标。(2)故障上报、现场核查、方案制定、闭环修复全流程:故障发生后,运行值班人员立即向上级调度及管理部门报告故障跳闸信息;随后组织巡检人员赴现场进行实地勘查,确认故障点位置及损坏情况;根据现场信息制定针对性抢修方案,明确所需物资、人员和作业步骤;经审批后实施修复作业,完成后进行质量验收,最终由调度确认恢复送电,形成故障处置的完整闭环^[4]。(3)不同等级故障的处置优先级划分标准:依据故障影响范围、停电用户数量及重要程度、设备损坏严重性等维度,将故障划分为特急、紧急、一般三个等级。特急故障(如重要用户停电、大范围停电)需在30分钟内响应并优先调配全部资源;紧急故障(如分支线路跳闸、局部设备损坏)在2小时内响应处置;一般故障(如单台设备缺陷、非关键线路异常)按计划安排检修窗口处理,科学分级确保抢修资源合理配置。

3.2 典型故障针对性排除方案

(1)短路、接地故障的快速隔离与修复技术:短路故障发生后,继电保护已自动切除故障区段,运维人员依据保护动作信息和故障测距结果迅速赶赴现场。对确认的短路点,采用分段隔离法将故障点从线路中分离,更换烧毁导线或修复绝缘破损部位;对接地故障,使用接地故障探测仪精准查找接地位置,检查绝缘子是否击穿、导线是否碰触杆塔,完成修复后进行绝缘电阻测试,确认合格后恢复送电。(2)线路覆冰、雷击故障的应急处置方案:覆冰故障采用直流融冰装置对覆冰线路施加直流电流,利用导线发热融化冰层,同时调整运行方式转移负荷;雷击故障首先检查绝缘子串是否击穿或破裂,更换受损绝缘子,并校核避雷线和接地装置完好性,必要时补装线路避雷器,修复后测试接地电阻满足规程要求方可投运。(3)设备老化、破损故障的更换与

整改措施：对老化绝缘子、锈蚀金具及断股导线，严格执行“以旧换新”更换标准，选用同规格或更高性能等级的合格产品。更换前对同批次在运设备扩大排查范围，发现共性隐患一并整改。更换完毕后做好新设备参数登记及影像资料留存，对更换下的旧设备进行失效分析，为后续选型和运维提供技术参考依据。

3.3 故障排除后的校验与恢复运行

(1) 线路绝缘、通电性能检测校验方法：修复完成后，使用2500V及以上兆欧表对线路进行绝缘电阻测试，确认各相对地及相间绝缘电阻值不低于规程规定限值；对重要线路还需进行交流耐压试验，检验绝缘强度是否满足运行要求。同时检查各连接部位接触电阻是否合格，确保通电性能良好。(2) 电网负荷调试与线路稳定运行测试：恢复送电后，调度部门逐步增加线路负荷，观察电压、电流及功率因数等运行参数是否正常，监测线路各监测点的温度、弧垂变化情况。安排24小时运行观察期，确认保护装置、重合闸及通信通道工作状态完好，线路在额定负荷下运行稳定后方可转入正常运维序列。(3) 故障处置台账记录与问题复盘总结：完整记录故障发生时间、故障现象、保护动作情况、现场检查结果、处置过程和修复措施等信息，建立故障档案台账。组织相关部门开展故障复盘分析，从设计选型、施工质量、运行维护、外部环境等方面深入剖析故障根本原因，形成整改措施清单并落实责任人限期整改，防止同类故障重复发生^[5]。

3.4 线路运维优化与故障预防策略

(1) 常态化巡检机制优化与隐患提前排查：建立“定期巡检+特殊巡检+状态巡检”相结合的差异化巡检机制，根据线路重要程度、运行年限和环境特点科学制定巡检周期。在雷雨季节、迎峰度夏等关键时段加密巡检频次，运用红外测温、超声波局部放电检测等手段提前发现发热、放电等早期隐患，将故障消除在萌芽状态。

(2) 线路设备升级改造与抗灾能力提升：对运行年限较长、故障频发的线路区段实施整体改造，更换新型复合绝缘子、耐热导线及防振金具，提高设备可靠性；对雷害频繁区段增设线路避雷器和加强接地装置；对易覆冰区段采用防冰导线或安装融冰装置，差异化提升线路抗灾水平。(3) 智能运维体系搭建与故障预警机制完善：构建以在线监测为核心、无人机巡检为辅助、人工巡检为补充的智能运维体系，部署分布式故障监测、导线测温、绝缘子污秽监测等传感设备，实现线路状态实时感知。建立基于大数据分析的故障预警模型，对异常数据进行趋势研判并自动推送预警信息，提前制定应对预案，实现线路运维从“事后抢修”向“事前预防”的根本转变。

结束语

综上所述，输电线路故障类型多样、成因复杂，隐性故障、极端环境故障处置难度较高。依托传统技术与智能技术的融合应用，可实现故障精准检测、快速排查与高效修复。常态化优化运维模式、搭建智能预警体系，能从源头降低故障发生率。后续需持续深化智能技术落地，完善运维管控机制，全面提升输电线路抗风险能力与安全运行水平。

参考文献

- [1]高振,史志远,倪天一.输电线路故障查线方法探讨[J].农村电气化,2024,12(04):86-88.
- [2]倪永胜.电力系统高压输电线路故障诊断分析[J].电力设备管理,2022,7(11):35-37.
- [3]王凯.高压输电线路常见故障排查及检修技术研究[J].电工技术,2023,35(18):142-144.
- [4]李磊.基于行波原理的输电线路故障精准定位与排除技术[J].电力技术,2023,32(06):72-76.
- [5]张宇.智能检测技术在输电线路故障排查中的应用研究[J].电气应用,2024,43(07):91-96.