

电力配电线路故障原因分析及处理

陈 杰

国网建始县供电公司 湖北 武汉 445300

摘 要：文章深入分析电力配电线路故障原因及处理措施。阐述线路组成与运行特点，剖析短路、断路、接地及过负荷等常见故障类型的成因与危害，提出故障处理方法，并从自然因素、外力破坏、设备老化、运行管理等方面制定预防策略。旨在为保障电力配电线路安全稳定运行，降低故障发生率，提升供电可靠性提供理论与实践参考。

关键词：电力配电线路；故障原因；处理措施；预防策略

1 电力配电线路概述

1.1 电力配电线路的组成

电力配电线路作为电能输送的关键通道，将输电网络的电能分配至各类用户，其各组成部分协同运作，保障供电安全稳定。导线是电能传输的核心载体，分为裸导线与绝缘导线。裸导线如钢芯铝绞线，内部钢芯抗拉强度超1200MPa，外部铝线导电性能良好，适用于户外架空线路；绝缘导线凭借外层绝缘材料，可降低触电风险，广泛应用于人员密集区域。杆塔负责支撑导线，按功能分为直线、耐张、转角和终端杆塔^[1]。直线杆塔承受导线垂直与水平荷载；耐张杆塔能限制断线故障范围；转角杆塔应对线路转向张力；终端杆塔承受末端导线全部张力。绝缘子保障线路绝缘，瓷质绝缘子性能稳定，玻璃绝缘子便于维护，复合绝缘子防污闪能力强。金具连接各部件，影响线路性能；接地装置将故障电流引入大地，10kV线路接地电阻通常不超4Ω；开关设备则实现线路通断控制与故障隔离。

1.2 电力配电线路的运行特点

电力配电线路运行特性复杂，给运维工作带来诸多挑战。其覆盖范围广，从城市到乡村、从沿海到内陆，需适应不同地理与气候条件，加大了管理难度。线路结构形式多样，架空线路与地下电缆并存。架空线路成本低、检修方便，但易受台风、暴雪等自然因素及外力破坏影响；地下电缆隐蔽美观、抗干扰强，却存在建设成本高、故障排查修复困难的问题。运行环境复杂多变，工业污染会加速设备腐蚀，鸟类活动可能引发短路。随着经济发展，电力需求激增，夏季空调、冬季取暖等导致用电高峰负荷剧增，配电线路常超负荷运行，加速设备老化。此外，大量非线性负荷接入产生谐波，影响电能质量，进一步增加了线路故障风险。

2 电力配电线路常见故障类型

2.1 短路故障

短路故障是配电线路中危害极大的故障类型，一旦发生，会瞬间改变电路状态。根据短路形式不同，可分为三相短路、两相短路、两相接地短路和单相接地短路。三相短路发生概率虽低，但短路电流可达正常电流数十倍甚至上百倍，强大的电动力会使导线变形、设备损毁，引发火灾爆炸等严重事故。曾有某工业园区发生三相短路，瞬间产生的高温将变压器油箱熔化，造成园区大面积停电，直接经济损失超百万元。两相短路和两相接地短路同样会对线路设备造成巨大冲击，引起保护装置动作跳闸，导致局部区域供电中断。单相接地短路最为常见，约占配电线路故障的70%以上。在中性点直接接地系统中，短路电流大，保护装置迅速动作切除故障线路；而在中性点不接地或经消弧线圈接地系统中，接地电流较小，故障线路可暂时维持运行，但长时间运行会使非故障相电压升高至线电压，威胁其他设备绝缘。若不及时处理，可能发展为相间短路，扩大故障范围。

2.2 断路故障

断路故障会使配电线路无法正常传输电能，其成因多样。机械损伤是常见原因，如台风将树木吹倒砸断导线，施工过程中挖掘机误挖电缆等。在山区，雷击产生的强大电流会熔断导线；在城市道路改造中，因施工不当造成电缆断路的情况也时有发生。导线疲劳不容忽视，长期的风力振动、热胀冷缩会使导线内部金属产生疲劳裂纹。某跨江输电线路，由于档距较大，导线在强风作用下频繁振动，运行10年后，多处出现疲劳断裂。连接不良也是断路故障的重要诱因，接线端子压接不紧、螺栓松动会导致接触电阻增大，连接点发热，最终烧断导线。人为操作失误，如操作人员在倒闸操作时误拉隔离开关，同样会造成线路断路。断路故障发生后，会导致用户停电，影响生产生活，对医院、数据中心等重要场所，还可能造成严重后果。

2.3 接地故障

接地故障指线路带电部分与大地非正常连接,分为金属性接地和非金属性接地。金属性接地时接地电阻几乎为零,接地电流大;非金属性接地则接地电阻较大,接地电流相对较小。导线绝缘老化破损、绝缘子击穿、设备外壳接地不良是接地故障的主要原因。随着线路运行年限增加,绝缘层会因环境因素老化开裂,当与接地物体接触时引发接地故障。绝缘子在污秽、潮湿环境中,绝缘性能下降,易被过电压击穿。某变电站因绝缘子积污严重,在暴雨天气下发生闪络击穿,导致接地故障。设备外壳接地不良时,如接地装置锈蚀、断裂,设备漏电无法及时导入大地,也会引发接地故障。接地故障发生后,在中性点直接接地系统中,大电流会使保护装置迅速动作跳闸;在中性点不接地或经消弧线圈接地系统中,虽能维持运行,但故障点电弧可能引发弧光接地过电压,损坏设备绝缘,还可能引发火灾。同时接地故障产生的跨步电压和接触电压,会对人员和动物安全构成威胁^[2]。

2.4 过负荷故障

过负荷故障是线路实际电流超过额定电流且持续运行导致的故障。用电负荷不合理增长是主因,城市新建大型商业综合体、工业园区,若配电线路未及时升级改造,易出现过负荷。季节性用电高峰时,夏季空调、冬季取暖设备集中使用,使线路负荷剧增。如某城市居民小区,夏季用电高峰时,变压器负载率长期超过90%,导致线路过热。三相负荷不平衡也会引发过负荷故障。在三相四线制系统中,若某相接入过多用电设备,会使该相电流过大,而其他相电流较小。这种不平衡不仅会使过负荷相线路设备过热,还会增加线路损耗,影响电能质量,导致三相电压不平衡,使三相电机等设备运行异常。过负荷故障会加速线路设备绝缘老化,严重时引发短路、火灾等事故,还会降低用户端电压,影响设备正常运行。

3 电力配电线路故障处理措施

3.1 短路故障处理

短路故障发生后,线路保护装置迅速切断故障线路,这是保障系统安全的第一道防线。断路器、熔断器等保护装置在检测到短路电流超过整定值时,会在数十毫秒内动作,隔离故障线路,防止故障扩大。故障查找和定位是关键环节。巡线法适用于故障点明显的情况,如导线断裂、设备烧毁等肉眼可见的故障,但效率低、劳动强度大。仪器检测法凭借先进设备,能快速精准定位故障点。短路故障指示器可实时监测线路电流,故障发生时发出声光信号;电缆故障测试仪利用行波原理,

通过分析故障点反射波,能将故障定位误差控制在数米范围内。修复故障需根据具体情况而定。导线轻微绝缘破损,可采用耐高温、绝缘性能好的胶带包扎修复;严重断裂则需更换新导线,更换时要严格按照工艺标准进行压接或焊接。设备短路损坏时,如断路器触头烧蚀、变压器绕组短路,需更换同型号设备,并进行耐压试验、绝缘电阻测试等检测,确保设备性能达标。修复后,还需对线路进行全面检查测试,确认无隐患后恢复供电。

3.2 断路故障处理

断路故障发生后,先通过保护装置切断线路,避免故障扩大。故障查找时,除巡线和仪器检测外,可用万用表测量线路电阻,判断连接点是否正常。对于连接不良导致的断路,需重新处理连接点,去除氧化层,采用合适的接线端子压接或螺栓紧固,并涂抹导电膏降低接触电阻^[3]。导线断裂时,切除损坏部分,使用接续金具连接新导线。不同类型导线连接方法不同,铝绞线可采用钳压管连接,铜导线可采用焊接或螺栓连接,连接后需进行拉力试验和电气测试,确保连接牢固、导电良好。修复后,对线路进行导通试验、绝缘电阻测试,确保线路恢复正常运行,并分析断路原因,采取预防措施。

3.3 接地故障处理

中性点直接接地系统发生接地故障时,保护装置迅速跳闸,需尽快查找修复故障。中性点不接地或经消弧线圈接地系统中,可通过绝缘监察装置、小电流接地选线装置确定故障线路。故障查找可采用巡线法和仪器检测法。绝缘子击穿导致的接地故障,更换绝缘子时要选择与原型号参数一致的产品,并进行耐压试验。导线绝缘损坏接地,可根据损坏程度进行绝缘修复或更换导线。设备外壳接地不良,需重新安装或修复接地装置,降低接地电阻,确保接地电阻符合要求。处理接地故障时,工作人员要穿戴绝缘靴、绝缘手套等防护用具,防止跨步电压和接触电压触电。故障排除前,加强对线路监测,防止故障恶化。

3.4 过负荷故障处理

过负荷故障处理首先要降低线路负荷。通过调整负荷分配,将部分负荷转移到其他线路或设备上。对于三相负荷不平衡,可通过调整三相用电设备接入相别,使三相电流趋于平衡,一般要求三相电流不平衡度不超过10%。若因负荷增长过快导致过负荷,需对线路升级改造。更换大截面导线,如将50mm²导线更换为70mm²或95mm²,可提高线路载流量;增加配电变压器容量,满足用电需求;优化配电网络结构,采用环网供电、双电源

供电等方式,提高供电可靠性。安装智能配电设备可实现负荷实时监测与控制。智能电表能实时采集线路电流、电压等数据,智能断路器可根据负荷情况自动调整保护定值,当出现过负荷趋势时,自动切除非重要负荷,保障重要负荷供电。加强用户用电管理,通过宣传引导用户错峰用电,推广节能设备,降低用电高峰负荷。

4 电力配电线路故障预防策略

4.1 针对自然因素的预防措施

在配电线路设计建设阶段,充分考虑自然因素至关重要。在雷击高发区,合理布置避雷装置,如在杆塔顶部安装避雷针,其保护范围可根据滚球法计算确定;在电缆进出线处安装避雷器,限制过电压幅值。定期对避雷装置进行检测,测试其接地电阻、泄漏电流等参数,确保性能良好。易受大风、冰雪影响地区,选用高强度杆塔材料,如钢管塔、角钢塔,其抗风等级可达12级以上;采用大截面、高强度导线,提高抗冰能力。安装防冰环可改变导线覆冰形状,减少覆冰重量;采用直流融冰技术,在覆冰严重时通过通入直流电流融化冰层。高温严寒地区,设计时合理预留导线弧垂,夏季避免导线过热松弛,冬季防止过紧断线。选用耐高温、耐低温绝缘材料,如硅橡胶绝缘材料可在-60℃至200℃环境下稳定运行。加强设备散热保温,如为变压器安装散热风扇,在寒冷地区为户外开关设备加装保温箱。

4.2 防止外力破坏的措施

加强宣传教育是防止外力破坏的重要手段。通过社区宣传、学校讲座、媒体报道等方式,普及电力设施保护知识和法律法规,提高公众保护意识。如开展“电力设施保护宣传月”活动,通过案例讲解让群众了解破坏电力设施的危害和法律后果。加强线路巡视与监控,建立常态化巡视制度,对重要线路、易受外力破坏区域增加巡视频次。利用无人机巡检技术,可快速巡视山区、跨河等人工难以到达区域,及时发现隐患。安装在线监测装置,实时监测线路周围环境,如通过视频监控系统监测施工区域,当发现机械靠近线路时及时预警。与相关部门建立联动机制,加强对市政施工、园林绿化等可能影响线路安全的作业管理。在施工前,电力部门与施工单位沟通协调,制定保护方案,对施工人员进行安全交底;施工过程中,安排专人现场监护,确保施工安全。

4.3 应对设备老化的措施

建立设备状态评估体系,定期对配电线路设备进行检测评估。通过红外测温检测设备接头温度,判断接触是否良好;采用超声波局放检测技术,发现设备内部局部放电隐患。根据评估结果,制定设备更换改造计划,优先更换老化严重、存在安全隐患的设备^[4]。推广应用新技术、新材料设备。如采用非晶合金变压器,其空载损耗比传统硅钢变压器降低70%-80%,节能效果显著;使用长寿命绝缘子,如复合绝缘子的使用寿命可达20年以上,减少更换频率。加强设备维护保养,定期对设备进行清扫、润滑、紧固,延长设备使用寿命。

4.4 优化运行管理的措施

完善运行管理制度,制定科学合理的操作规程、巡视制度、检修制度等。建立设备台账,详细记录设备型号、安装时间、运行状况等信息,实现设备全生命周期管理。加强人员培训,提高运维人员专业技能和安全意识,定期组织技能竞赛、应急演练,提升应急处理能力。利用大数据、人工智能等技术,构建智能配电管理系统。该系统可整合线路运行数据、气象数据、设备状态数据等,通过数据分析预测故障发生概率,提前采取预防措施。如通过分析历史负荷数据和气象数据,预测用电高峰,优化负荷分配;利用人工智能算法对设备检测数据进行分析,及时发现潜在故障隐患。

结束语

综上所述,全面分析电力配电线路故障原因并采取有效处理与预防措施,对保障电力供应意义重大。本文系统梳理故障类型、处理方法及预防策略,有助于提升运维水平。随着电力技术发展,应持续关注新技术应用,优化管理模式,不断提升配电线路运行可靠性,为社会经济发展和人民生活提供坚实电力保障。

参考文献

- [1]丁岩松.1~0kV配电线路常见故障分析及预防措施[J].电工技术,2021(2):83-84.
- [2]冉川.电力配电线路故障原因分析及处理[J].工程建设与设计,2022(22):23-25.
- [3]刘昕.电力配电线路故障原因分析及处理[J].无线互联科技,2020,17(24):81-82.
- [4]廉玉杰.电力配电线路故障原因分析及处理[J].文渊(高中版),2022(11):94-96.