

10 千伏配电网线路接地故障及预防措施

于忆珩 李国红 刘广胜

国网乌鲁木齐供电公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 10 千伏 (kV) 配电网作为连接输电网与广大电力用户的“最后一公里”，其安全、稳定、可靠运行直接关系到社会民生和经济发展。在各类配电网故障中，接地故障因其发生频率高、危害隐蔽性强、定位困难等特点，成为影响配电网可靠性的主要因素。本文旨在系统性地探讨 10kV 配电网线路接地故障的相关问题。首先，文章详细阐述了 10kV 配电网的典型结构与中性点接地方式，并深入分析了单相接地故障的基本原理、特征及其对系统造成的危害。其次，针对架空线路和电缆线路两种主要载体，全面梳理了引发接地故障的各类原因，包括绝缘劣化、外力破坏、设备缺陷、环境因素及人为因素等。最后，文章从规划设计、运维管理、技术改造和智能化建设等多个维度，提出了系统性的预防与治理措施，以期提升 10kV 配电网的供电可靠性提供理论参考和实践指导。

关键词: 10kV 配电网；接地故障；单相接地；故障选线；预防措施

引言: 随着我国城市化进程的加速和乡村振兴战略的深入实施，社会对电力供应的依赖程度日益加深，用户对供电可靠性和电能质量的要求也不断提高。10kV 配电网作为电力系统中直接面向终端用户的关键环节，其网络结构复杂、覆盖范围广、运行环境多样，长期暴露于各种自然和人为干扰之中，故障率相对较高。据统计，在 10kV 配电网的所有故障类型中，单相接地故障占比高达 70% 至 80%，是影响配电网安全稳定运行的首要问题。单相接地故障虽在小电流接地系统（中性点不接地或经消弧线圈接地）中允许短时带故障运行（通常为 1-2 小时），但这段时间内非故障相的对地电压会升高至线电压水平，极易诱发相间短路或两点接地等更为严重的故障，从而导致大面积停电。此外，接地点产生的电弧还可能引燃周边可燃物，造成火灾事故，严重威胁人身和设备安全。因此，深入研究 10kV 配电网接地故障的成因、特征、检测定位方法，并制定科学有效的预防与治理策略，对于保障电网安全、提升供电服务质量具有极其重要的现实意义。

1 10kV 配电网接地系统概述

1.1 中性点不接地系统

这是最简单的接地方式。在这种系统中，变压器的 10kV 侧中性点不与大地连接。在正常运行状态下，三相电压对称，各相对地电容电流大小相等、相位互差 120 度，其向量和为零，因此没有电流流过大地。当发生单相（假设为 A 相）金属性接地故障时，A 相对地电压降为零，而 B、C 两相对地电压则升高至线电压（即原来

的 $\sqrt{3}$ 倍）。此时，系统通过健全相（B、C 相）的对地电容形成容性电流回路。流过接地点的电流为 B、C 两相电容电流的向量和，其有效值约为正常运行时一相对地电容电流的 3 倍。由于该电流数值较小（通常只有几安到几十安），不足以维持稳定的电弧，因此系统可以在短时间内继续运行，为查找和隔离故障赢得了宝贵时间。然而，这种系统的主要缺点是，当电容电流较大时，接地点的电弧可能无法自熄，产生间歇性电弧，从而引发谐振过电压，其幅值可达相电压的数倍，对系统绝缘构成严重威胁。

1.2 中性点经消弧线圈接地系统

为了克服中性点不接地系统在电容电流较大时易产生持续电弧和谐振过电压的缺点，当系统单相接地电容电流超过一定阈值（例如，架空线路超过 30A，电缆线路超过 10A）时，通常采用中性点经消弧线圈接地的方式。消弧线圈是一个带有铁芯的可调电感线圈，接在变压器中性点与大地之间。其工作原理是利用电感电流与电容电流相位相反的特点，在发生单相接地故障时，通过调节消弧线圈的电感值，使其产生的感性电流几乎完全补偿掉流过接地点的容性电流，从而使接地点的残余电流（即失谐度）变得非常小（通常小于 5A-10A）。这样，接地电弧就能迅速熄灭，有效地防止了电弧重燃和由此引发的过电压，大大提高了系统的供电可靠性。这两种接地方式各有优劣^[1]。中性点不接地系统结构简单、投资少，但适用范围受限于电容电流的大小；而经消弧线圈接地系统虽然增加了设备成本和维护复杂性，但能有效处理更大规模的配电网，是目前城市和大型工

矿企业 10kV 配电网的主流选择。

2 10kV 线路接地故障的原因分析

接地故障的发生往往是多种因素共同作用的结果。根据线路类型的不同,其主要原因可归纳如下:

2.1 架空线路接地故障原因

架空线路的接地故障多源于其长期暴露于复杂户外环境。绝缘子性能的持续劣化是最为常见的诱因,它在日晒、雨淋、风沙及工业污秽的长期侵蚀下,表面会积聚大量污垢,一旦遭遇潮湿天气,污层受潮导致绝缘性能骤降,极易发生沿面闪络。导线本身也可能因雷击、大风舞动、覆冰过载、腐蚀老化或施工质量问题而发生断线落地,形成直接的金属性接地;或者因对地安全距离不足,在外力作用下对树木、建筑物等放电。此外,避雷器在多次动作后内部阀片老化、受潮乃至炸裂,会丧失绝缘性能而形成接地通路。杆塔本体若出现倾斜、横担歪斜或拉线断裂,以及金具锈蚀、松动脱落等问题,均会导致导线位置偏移或下垂,进而引发接地。不容忽视的是,外力破坏如车辆撞杆、工程施工误碰、盗窃电力设施以及放风筝或无人机缠绕导线等行为,常常直接造成线路接地。动物活动,特别是鸟类筑巢或鼠蛇等小动物攀爬带电设备,也是不可小觑的故障源。

2.2 电缆线路接地故障原因

相较于架空线,电缆线路的故障更多地与其本体及附件的内在状态相关。电缆绝缘材料在长期承受电、热、机械及环境应力的综合作用下,会发生不可逆的老化过程,表现为绝缘电阻下降、介质损耗增加和局部放电加剧,最终导致绝缘击穿。外力损伤则是另一大主因,在市政施工、道路开挖等作业中,若地下管线资料不清或现场监护缺位,极易造成电缆被挖伤、压伤或割断,破坏其绝缘层。电缆的接头与终端头作为整个线路中最薄弱的环节,其制作工艺的任何瑕疵,如存在气隙、杂质、半导电层处理不当,或是密封不严导致水分侵入,都可能在运行中率先发生局部放电并发展为贯穿性击穿^[2]。系统操作过电压或雷电侵入波的陡峭波前,也可能在电缆绝缘的薄弱处造成集中应力,引发绝缘击穿。此外,电缆本体在生产过程中若存在绝缘偏心、杂质、微孔等固有制造缺陷,这些隐患在长期运行电压的作用下也会逐渐演变成故障点。

2.3 共性原因

除了上述线路特有的原因外,一些共性因素同样对两类线路构成威胁。恶劣天气,如雷暴、台风、暴雨、冰雪等极端气候条件,是诱发接地故障的重要外部催化

剂。线路通道内的树障问题,在城乡结合部和农村地区尤为突出,生长过高的树木在风雨中与导线接触放电,成为常见故障源。此外,使用不符合标准的劣质设备或材料,其自身可靠性就存在先天不足,也为故障埋下了伏笔。

3 接地故障的危害

尽管小电流接地系统允许带故障运行,但接地故障的存在绝非无害,其潜在危害不容忽视。单相接地后,健全相的对地电压会升高至线电压,这种持续的过电压会加速系统中所有电气设备,尤其是绝缘水平较弱设备的绝缘老化进程,显著增加发生相间短路或多点接地的风险。更为危险的是,当接地电弧不稳定时,会反复点燃和熄灭,形成间歇性电弧,这种电弧的频繁通断会在系统电感与对地电容之间激发铁磁谐振或串联谐振,产生幅值极高的过电压,足以击穿设备绝缘,造成灾难性后果。接地点周围形成的跨步电压和接触电压对附近人员和牲畜构成直接的电击威胁,同时,持续的电弧高温不仅可能熔断导线、烧毁设备,甚至可能引燃周边易燃物,酿成火灾。从供电可靠性的角度看,故障的存在本身就是一种重大隐患,若未能及时发现和处理,极易演变为永久性短路故障,导致变电站出线开关跳闸,造成用户停电,而漫长的故障巡线过程本身也会耗费大量资源并延长停电时间。此外,接地故障还会引起系统电压不平衡,导致电能质量恶化,影响敏感用电设备的正常工作。

4 接地故障的预防与治理措施

预防胜于治疗。针对接地故障的成因,应采取系统性的、全过程的预防与治理措施。

4.1 规划设计阶段

在规划设计源头上防控风险至关重要。应根据配电网的规模、电缆化率及电容电流大小等具体参数,科学合理地选择中性点不接地或经消弧线圈接地方式,对于电容电流较大的区域,优先考虑采用自动跟踪补偿的消弧线圈。在设备选型上,应提升标准,选用防污闪性能优良的复合绝缘子或防污型瓷绝缘子,在树障严重区域大力推广使用架空绝缘导线,并确保电缆及附件的高品质与长寿命^[3]。同时,在规划线路路径与走廊时,应尽量避开地质灾害区、采矿塌陷区、重型车辆频繁通行区等高风险地带,并严格保证线路与建筑物、树木及其他管线之间的安全距离,为线路的长期安全运行奠定坚实基础。

4.2 运维管理阶段

精细化的运维管理是消除故障隐患的核心。必须加强状态检修与预防性试验工作,定期开展绝缘子清扫与污秽度测试,对避雷器进行带电检测或预防性试验,并对电缆线路实施主绝缘电阻、外护套绝缘电阻、交叉互联箱检查及局部放电检测等,以便及时发现潜伏性缺陷。强化通道清理与防护同样关键,需建立常态化的树障清理机制,严格执行《电力设施保护条例》,及时修剪或砍伐危及线路安全的树木,并在易受外力破坏区域设置醒目的警示标志,必要时安排专人值守。完善的防雷措施也不可或缺,在雷害多发区应适当增加线路避雷器的安装密度,特别是在关键节点,并确保杆塔接地电阻符合规程要求,定期进行测试和改造。此外,必须规范外部施工与内部验收流程,加强对市政施工、用户业扩工程等的管理和协调,建立完善的管线交底和现场监护制度,并严格把好新投运线路的验收关,确保施工工艺和质量全面达标。

4.3 技术改造与智能化建设

积极拥抱新技术是提升故障应对能力的根本途径。应推广应用具备通信功能的智能故障指示器,使其能够自动识别并指示接地故障区段,将信息远传至主站,从而极大缩小巡线范围,提高定位效率。大力推进配电自动化系统(FA)建设,通过部署智能终端(DTU/FTU)和可靠的通信网络,实现接地故障的快速隔离与非故障区域的自动恢复供电。广泛应用在线监测技术,如电缆分布式光纤测温、架空线路视频监控、杆塔倾斜监测等,实现对线路运行状态的实时感知和预警^[4]。未来,更应引入人工智能与大数据分析,利用历史故障数据、气象数据、设备台账等多源信息,构建接地故障风险预测模型,从而实现从被动抢修向主动预防的转变,实现运维资源的精准投放。

4.4 管理制度与人员培训

健全的制度和高素质的人才是一切技术措施得以有

效执行的保障。必须建立健全相关规章制度,制定和完善接地故障处理应急预案、标准化作业指导书等,明确各部门、各岗位的职责和 workflows。同时,要持续加强人员培训,定期组织运维人员深入学习接地故障的原理、特征、查找方法以及新型仪器的操作使用,不断提升其专业技能和应急处置能力,打造一支技术过硬、反应迅速的运维队伍。

5 结语

10kV 配电网接地故障是一个复杂的系统性问题,其成因多样、危害深远。解决这一难题,不能寄希望于单一的技术或手段,而必须采取“以防为主、防治结合、综合治理”的策略。一方面,要从源头抓起,在规划设计阶段就充分考虑各种风险因素,选用高质量的设备和材料;另一方面,要在运维管理上下足功夫,通过精细化的状态检修、通道维护和防雷措施,消除故障隐患。同时,积极拥抱新技术,大力推进配电网的自动化、智能化建设,利用智能终端、在线监测和大数据分析等手段,实现对接地故障的快速感知、精准定位和高效处置。唯有如此,才能从根本上提升 10kV 配电网的健康水平和供电可靠性,为经济社会的高质量发展提供坚强的电力保障。未来,随着新材料、新工艺、人工智能等技术的不断进步,10kV 配电网接地故障的预防与治理水平必将迈上新的台阶。

参考文献

- [1] 周晓宇.10 kV 配电网线路接地故障的治理与预防[J]. 周口师范学院学报,2025,42(02):21-25.
- [2] 夏阳,陆尧.10 kV 配电网接地故障原因与处理措施[J]. 光源与照明,2023,(07):105-107.
- [3] 张新亮,马永旺,梁少辉,等.10 kV 配电网小电阻接地故障分析与诊断方法研究[J]. 国外电子测量技术,2025,44(06):243-248.
- [4] 王文利,张富贺,付晓勇,等.10kV 电缆配电网接地故障检测定位方法研究[J]. 电力设备管理,2025,(18):60-62.