

城市 10kV 铜芯架空绝缘导线断线防范措施

Preventive Measures for Breakage of 10kV Copper Core Aerial Insulated Conductors in Cities

王伟

Wei Wang

国网上海市北供电公司 中国·上海 200000

State Grid Shanghai North Power Supply Company, Shanghai, 200000, China

摘要: 绝缘导线因其出色的绝缘性能和安全性,在电力设备中得到了广泛的应用。然而,随着 10kV 架空配电线路绝缘化程度的不断提升,雷击断线故障成为日益突出的问题,严重影响了电力设备的安全稳定运行。论文结合一起 10kV 绝缘架空导线雷击断线故障进行了深入分析,并针对现有的配网防雷技术,提出了相应的防雷治理建议。

Abstract: Insulated wire is widely used in electric power equipment because of its excellent insulation performance and safety. However, with the continuous improvement of the insulation degree of 10kV overhead distribution line, the lightning breaking line fault has become an increasingly prominent problem, which seriously affects the safe and stable operation of power equipment. In this paper, the lightning breaking fault of 10kV insulated overhead wire is analyzed in depth, and the corresponding lightning protection management suggestions are put forward for the existing lightning protection technology of distribution network.

关键词: 10kV 架空配电线路; 绝缘导线; 雷击; 断线

Keywords: 10kV overhead distribution line; insulated wire; lightning strike; broken line

DOI: 10.12346/etr.v6i3.9200

1 引言

导线断线导致电力供应中断,影响城市居民、企业和公共机构的正常生产和生活。导致居民生活不便,企业生产停滞,给城市发展带来巨大的经济损失,尤其是在关键行业如医疗、通信、制造业和交通中,电力中断更可能带来灾难性后果。导线断线会导致电线、电缆或设备的过载,这极易引发火灾或其他安全风险,威胁人员和财产安全^[1]。此外,断线还会导致电弧放电,存在引发火灾和爆炸的风险。在发生了导线断线以后,进行修复断线所需的维修和维护费用需要划分大量的人力和物力。此外,电力中断会导致企业的生产停滞和损失,影响城市的经济发展。

2 10kV 架空绝缘线路雷击断线机理

2.1 10kV 架空绝缘线路断线的主要原因

2.1.1 短路故障

短路故障是由于电力系统的相关接线接触不好,导致线

路连接出现问题,无法使电流顺利流通。具体来说,单相短路、双相短路、三相短路、双相接地短路等都可能引发线路断线。这类故障的主要特点是线路中温度异常升高,绝缘体受到损坏,严重时导体发红并开始熔化,可能会导致火灾和爆炸等安全隐患^[2]。

2.1.2 环境因素

环境因素这包括自然环境和物理环境。比如,在春季大风可能造成 10kV 架空线路之间短路放电或绝缘子闪络将导线烧断。在夏季,大量雨水冲刷和浸泡可能形成电杆倾斜或倒塌事故。而在雷雨季节,雷电较多,线路易受雷击,造成绝缘闪络、断线或避雷器爆裂、变台被烧,引起线路故障。冬季则因为气候寒冷、风力较大,易发生倒杆断线事故和绝缘闪络故障。

在城市 10kV 架空绝缘导线断线故障当中,根据中国电力相关部门的统计数据结果,在实际运行中,配网架空线路感应雷过电压引起的配网故障占比超过 80%。因此,在论

【作者简介】王伟(1989-),男,中国上海人,本科,工程师,从事电力线路防雷技术研究。

文对城市 10kV 架空绝缘导线断线故障的研究当中，主要以雷击导致的断线故障作为研究对象。

2.2 雷击导致架空线路断线机理分析

雷电是大气中电荷分离和积累的结果。通常，在雷电产生前，云层内部会发生电荷分离，使云底部带有负电荷，而云顶则带有正电荷。这种电荷分离通常发生在云内的水滴和冰粒之间的碰撞中。

而在电力架空线路通常安装了引雷器，其目的是吸引雷电放电并将电流引导到地面，以减少对电力设备的影响。引雷器通常是由金属构成，它们在电力线路上起到了引导电流的作用。一旦雷电放电进入引雷器，电流会沿着引雷器、架空线路和支架等导体传导。这个过程会导致强烈的电流通过线路，产生高温和电磁力。雷电产生的电流通常非常强大，会导致线路上的部分区域变得异常炽热^[3]。这些高温极易引起导线或支架的部分熔化或燃烧，从而导致断线。

3 典型绝缘导线断线故障分析

3.1 故障概况

2022 年 1 月 21 日 17 时 57 分，某县城的供电局所辖 110kV 甲变电站的 10kV 乙线 045 断路器在发生过流 I 段保护动作后跳闸，成功进行了重合闸操作。然而，部分居民反映他们的用电恢复尚未正常。

进一步调查发现，2022 年 1 月 21 日 20 时 10 分，电力维护人员在 10kV 乙线的 A 支线上的第 8 号电杆上发现了问题。该电杆上的大号侧的三相导线出现了断线并脱落的情况。这个断线部位的导线断口表现出较为平齐的特征。另外与这个断线情况相关的是电杆上的针式绝缘子。

2022 年 1 月 21 日 17 时 56 分，查询了配电网雷电监测系统，发现在距离 10kV 乙线 A 支线半径 1km 范围内的区域内，当时发生了一次雷电活动。这次雷电活动的最近杆塔位于 10kV 乙线 A 支线上的 1 号电杆，距离该电杆的距离为 176.87 米。雷电的电流幅值为 -39.4 千安培。

综合考虑 10kV 乙线 045 断路器故障跳闸时间、配电网雷电监测系统监测到的雷电时间、雷击点与线路距离以及断线导线的表象特征，可以合理判断 10kV 乙线 A 支线 8 号杆绝缘导线的三相断线很可能是由雷击造成的。

根据断路器的故障跳闸时间和供电局的记录，该线路于 2022 年 1 月 21 日 17 时 57 分发生了断路器跳闸事件。同时，配电网雷电监测系统在同一时间范围内监测到了雷电活动，具体是一次雷电事件，该事件发生在距离 10 kV 乙线 A 支线 8 号杆 176.87m 处。此雷电事件的电流幅值为 -39.4 千安培。

考虑到雷击点与线路距离相对较近以及断线导线的表象特征，如断口平齐，这些特点与雷电造成的损坏相符。因此，可以合理判断该 10 kV 乙线 A 支线 8 号杆的绝缘导线三相断线是由上述雷电事件引发的。

3.2 故障分析

一般情况下，架空配电路雷电感过电压可以使用以下公式进行计算：

$$U_g = k_1 I_L \ln \left[\frac{H_d}{S} + \sqrt{\left(\frac{H_d}{S} \right)^2 + 1} \right] \quad (1)$$

当 $S \geq 65m$, $S \gg H_d$, 公式可以进行简化, 如下式所示。

$$U_g = k_1 \frac{I_L H_d}{S} \quad (2)$$

其中, U_g 为导线上的感应雷过电压最大值, kV; k_1 为感应过电压系数, 中国标准一般取 $k_1=25\Omega$; I_L 为雷电流幅值, m; H_d 为导线悬挂的平均高度, m; S 为雷击点与导线的距离, m。

本次雷电流幅值为 -39.4kA, 导线悬挂的平均高度 H_d 为 10m, 雷击点与导线的距离 S 为约 76.9m, 代入上式计算, 得出导线上的感应雷过电压约为 128kV。

10kV 乙线 A 支线 8 号杆采用针式绝缘子型号为 P-15 针式绝缘子, 型号参数如表 1 所示。

表 1 P-15T (M) 绝缘子参数

型号	公称爬电距离/mm	最小去破坏负荷/kN	雷电冲击耐受电压峰值/kV	工频湿耐受有效值/kV	绝缘配合比
P-15T (M)	260	13.7	90	45	1.5

综合以上信息，我们可以得出本次雷击断线故障的主要原因如下：

① 10kV 乙线 A 支线的绝缘水平较低。所使用的 P-15 针式绝缘子的雷电冲击耐受电压为 90kV，然而，根据我们的计算，导线上的感应雷过电压高达 128kV，这远超过绝缘子的承受能力。这种过电压使得绝缘子不可避免地发生了闪络和击穿，导致绝缘子的失效。

② 该支线没有足够的防雷设施，如线路避雷器和架空地线等防雷措施。由于缺乏这些保护措施，感应雷过电压和雷电流未能得到限制和泄放。在绝缘相对较低的 10 kV 乙线 A 支线 8 号杆绝缘子处，三相闪络和击穿事件发生，最终导致绝缘导线的断线。

综合这两个因素，可以得出本次故障的原因是绝缘子承受不住超过其耐受能力的雷电过电压，并且缺乏足够的防雷设施导致了线路的防雷能力不足。这一情况引发了绝缘子的失效和绝缘导线的断线。为提高系统的稳定性和可靠性，可能需要考虑加强绝缘子的选择和添加额外的防雷措施。

4 防雷击断线措施及建议

4.1 技术防护措施

现有防雷技术和装置分为两种方式：堵塞式和疏导式。堵塞式以限制雷电过电压、降低雷击闪络概率或者阻止雷击闪络后工频续流建弧为目的，主要包括加强线路绝缘、安装避雷器、装设架空地线，改善接地。疏导式主要实现改变雷

击闪络路径、并对后续工频电弧进行疏导、防止工频电弧烧损绝缘子及烧断导线，包括安装并联放电间隙。根据 10kV 线路断线的根本原因，综合考虑装置成本，线路防雷击断线措施以堵塞式为主，疏导式为辅。

4.1.1 提高线路绝缘水平

提高线路的绝缘水平可以有效地防止雷电对线路的损害。以下是几种具体的方法：

将易受雷击的线路段原来使用的普通针式陶瓷绝缘子更换为瓷柱式绝缘子或复合绝缘子，这样可以增加绝缘的强度，提高线路的防雷能力。

增加耐张杆悬式绝缘子的片数，以此提高线路绝缘强度。

增大导线与横担的距离，从而减少闪络的发生。对于极易被雷电击中的线路，可以考虑更换瓷横担或复合横担来进一步加强绝缘，同时需要注意机械强度和线路档距的限制。

4.1.2 增加线路避雷器和改善接地

增加易受雷击的线路段的避雷器布点并改善接地设施，可以提高整体的防雷性能。对于极易受雷击的线路，可以考虑架设架空地线，以提高线路的防雷能力。同时注意线路绝缘升级和线路避雷器的合理组合，以最大程度地提高线路的防雷效果。

4.1.3 使用放电间隙

在导线和接地端分别安装放电间隙两极，形成一个空气间隙。当过电压超过一定数值时，空气间隙会被击穿，形成短路通道，从而泄放过电压的能量。这种防雷装置依赖自然灭弧不能确保在线路保护动作前将电弧熄灭，有可能引起线路跳闸。

4.1.4 使用多腔室吹弧式保护装置

易受雷击的线路或线路区段可以与绝缘子并联安装，利用多个小灭弧室将大电弧分解为小电弧，并将其吹至周围空气中，从而把电弧熄灭。这种装置的优势在于其保护范围广、寿命长和高灭弧能力。不过需要注意其相对较高的价格。

综上所述，根据实际情况综合考虑采取上述技术措施中的一种或多种，以提高线路的防雷性能降低断线的风险。这些措施需要综合考虑成本、线路类型和环境条件以选择最合适的防雷方案。

4.2 电力数字化管理

电力数字化管理是一项关键的举措，可用于加强雷电灾害系统的建设和应用，以提高电力系统的抗雷电能力、故障诊断和抢修效率。通过数字化和信息化手段，我们可以实现智能诊断、灾害抢修辅助决策，并提供即时的雷电故障预警，从而更好地保障电力供应的稳定性。

4.2.1 数字化建模和高发区分析

在雷电灾害高发区，我们可以开展数字化建模，以精确模拟易雷击区域和地理信息特征。这包括考虑地形、气象条件和历史雷电数据等因素，以确定雷电高风险区域。这有助于及早识别潜在的雷电威胁，减少雷电对电力系统的不利

影响。

4.2.2 数据整合和智能决策

通过建立数据中台，我们可以整合不同系统中的数据，包括配电网运行管理、GIS（地理信息系统）和灾害系统信息。这些数据可以包括气象信息、雷电参数、雷击地理位置、停电线路杆塔坐标等等。将这些数据相互关联，结合历史数据统计分析，可以实现智能的决策支持系统。系统可以根据即时数据，推送雷电故障预警，提供有关停电区域的信息，以协助运维人员快速响应和定位故障点。

4.2.3 移动应用和智能巡检

为了更好地应对雷电现象，建立数字化移动巡检终端是一项关键举措。这些移动终端可以用于信息采集、填报和现场巡视管理。巡检人员可以使用这些终端快速记录雷电相关信息，包括雷击情况、绝缘子状态等，然后将这些信息与中央服务器联动。这使得信息的实时汇总和分析成为可能，有助于智能辅助决策。

4.2.4 故障诊断和抢修效率提升

通过数字化管理，我们能够更准确地诊断电力系统中的故障，尤其是与雷电有关的故障。及时的故障诊断可以使抢修人员更快速地定位和解决问题，从而减少供电中断的时间，提高用户满意度。此外，数字化管理还可以帮助制定更有效的抢修策略，提高抢修效率。

总之，电力数字化管理是一种综合性的解决方案，可以有效应对雷电对电力系统的影响。它整合了数据、智能决策和移动应用，提高了系统的抗雷电能力、故障诊断和抢修效率，确保电力供应的稳定性和可靠性。这些措施有助于减少雷电灾害对电力系统的不利影响，提高了电力系统的应急响应能力。

5 结语

在城市的日常运行当中，10kV 铜芯架空绝缘导线断线是一种严重的电力故障，会对城市的电力供应和社会生活造成不便。因此，为了有效预防和减少这种故障的发生，论文针对 10kV 铜芯架空绝缘导线断线常出现的雷击导致断线进行了具体的分析，并且从技术防护措施和电力数字化管理两个方面提出了一系列防范措施建议，以期可以为配点网的安全稳定运行提供参考，更好地为终端用户提供优质的供电服务。

参考文献

- [1] 龙岳希,许畅,舒建芳,等.配电网架空绝缘导线断线夜间识别工艺改进[J].电力设备管理,2021(13):67-68.
- [2] 张涛,高云鹏,公维炜,等.配电网10kV架空绝缘导线频繁断线原因分析[J].内蒙古电力技术,2021,39(5):69-72.
- [3] 张健琦,张德凯,邓洪洲.大跨越输电塔线体系断线响应分析[J].山东电力技术,2021,48(6):7.