

10 千伏及以下配电线路防雷措施优化研究

郭超军

杭州大有供电服务有限公司桐庐白云源分公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17131

[摘要] 本文聚焦10千伏及以下配电线路防雷措施优化。先阐述直击雷、感应雷、反击雷故障模式及特点,分析自然、线路、运行等因素对雷害事故的影响。进而提出避雷器选型安装、接地装置改进、智能监测技术应用等优化策略。最后探讨防雷措施优化趋势,包括新材料应用、数字化防雷、主动防御技术,旨在提升线路防雷能力,保障配网供电可靠性。

[关键词] 配电线路; 防雷措施; 雷击故障

中图分类号: TM863 **文献标识码:** A

Research on Lightning Protection Measures Optimization for 10kV and Below Distribution Lines

Chaojun Guo

Hangzhou Dayou Power Supply Service Co., Ltd., Tonglu Baiyunyuan Branch

[Abstract] This paper focuses on the optimization of lightning protection measures for 10kV and below distribution lines. It first elaborates on the fault modes and characteristics of direct lightning strikes, induced lightning, and backflashover, analyzing the influence of natural factors, line conditions, and operational factors on lightning-related accidents. Optimization strategies are then proposed, including the selection and installation of surge arresters, improvement of grounding devices, and the application of intelligent monitoring technologies. Finally, trends in lightning protection measures optimization are discussed, covering the application of new materials, digital lightning protection, and active defense technologies, aiming to enhance the lightning protection capability of distribution lines and ensure the reliability of power supply in distribution networks.

[Key words] Distribution Lines; Lightning Protection Measures; Lightning Strike Faults

引言

10千伏及以下配电线路分布广泛,对供电可靠性至关重要。然而,雷击故障频发,严重影响线路正常运行。雷击故障模式多样,直击雷、感应雷、反击雷各有特点,且受自然、线路、运行等多因素影响。传统防雷措施存在局限,难以满足需求。因此,开展10千伏及以下配电线路防雷措施优化研究,对降低雷害风险、提升供电质量意义重大。

1 10千伏及以下配电线路雷击故障雷击故障模式分类

1.1 直击雷故障

直击雷故障是指雷电直接击中10千伏及以下配电线路的导线、电杆、绝缘子等关键部件引发的故障。雷电击中导线时,强大的雷电流会瞬间产生极高过电压,远超线路绝缘耐受水平,导致绝缘子闪络、导线烧断等严重问题,故障点通常伴有明显的烧蚀痕迹。击中电杆时,雷电流通过电杆传导至接地装置,若接地电阻过大,会使电杆电位急剧升高,引发绝缘子沿面闪络^[1]。此

类故障多发生在空旷区域的线路、山顶线路以及无遮挡的平原线路段,夏季雷暴高发期尤为频繁。故障发生后,不仅会造成线路瞬时跳闸,还可能因导线断裂、电杆倒塌等引发后续安全事故,对配网供电可靠性造成直接且严重的影响。

1.2 感应雷故障

感应雷故障由雷电放电过程中产生的电磁感应效应引发,虽未直接击中线路,但危害同样显著。雷电击中线路附近地面或物体时,会在周围形成强交变电磁场,线路导线作为导体,会感应出大量电荷并形成感应过电压。10千伏及以下配电线路绝缘水平相对较低,这种感应过电压极易突破绝缘子绝缘强度,导致闪络放电,进而引发线路跳闸。感应雷故障的影响范围较广,即使雷暴发生在线路数公里外,仍可能通过感应作用引发故障。故障多表现为绝缘子表面出现轻微放电痕迹,跳闸后重合闸成功率相对较高,但频繁发生会加速绝缘子老化,降低线路绝缘性能。在多雷地区的架空线路中,感应雷故障发生概率仅次于直击雷故障。

1.3 反击雷故障

反击雷故障是雷电流经接地装置泄放时,因接地电阻超标或接地系统存在缺陷,导致接地体与线路设备间产生电位差而引发的故障。当雷电击中线路杆塔、避雷线等防雷构件时,雷电流通过杆塔导入接地装置,若接地电阻过大,泄放速度减慢,杆塔及与之相连的金属构件电位急剧升高。此时,杆塔与导线之间的电位差超过绝缘子绝缘耐受值,就会发生绝缘子闪络,形成反击故障。此类故障常见于接地装置年久失修、腐蚀严重的线路段,或土壤电阻率高且未采取有效降阻措施的区域。反击雷故障易被误判为直击雷或感应雷故障,需通过检测接地电阻、检查接地体腐蚀情况等方式精准识别,其发生会加剧绝缘子损坏,还可能损坏线路上的配电设备。

2 10千伏及以下配电线路雷害事故影响因素

2.1 自然因素

自然因素是影响10千伏及以下配电线路雷害事故的基础因素,主要包括雷电活动强度、地形地貌及气象条件。不同区域雷电活动频次差异显著,雷暴日数多的地区,线路遭遇雷击的概率大幅增加,年平均雷暴日超过40天的地区属于雷害高发区域。地形地貌对雷害分布影响明显,山地、丘陵地区因地形抬升作用易形成局部强对流天气,雷电活动更频繁,且山谷、沟谷地带易形成雷电通道,增加线路被击中概率;空旷平原、河流附近线路也因缺乏遮挡,易成为雷电打击目标。气象条件中,强降雨、冰雹等恶劣天气会降低空气绝缘强度,加速雷电流放电过程,同时雨水附着在绝缘子表面会降低其绝缘性能,使原本不会引发故障的感应过电压也可能导致闪络^[2]。

2.2 线路因素

线路自身结构及设备性能是决定雷害事故发生的关键因素,主要体现在绝缘水平、导线布置方式及杆塔结构三个方面。10千伏及以下配电线路绝缘子多采用瓷质或玻璃绝缘子,部分老旧线路绝缘子存在老化、裂纹等缺陷,绝缘电阻下降,耐受过电压能力不足,易在雷击时发生闪络。导线布置方式不合理会增加雷击风险,未架设避雷线的裸导线线路,缺乏有效直击雷防护,被直击雷击中概率远高于架设避雷线的线路;导线间距过小会在雷击时引发相间闪络。杆塔结构也会影响雷害发生,木质杆塔绝缘性能较好,但易受腐蚀、虫蛀影响,机械强度下降,遭遇雷击时易倒塌;钢筋混凝土杆塔导电性强,若接地处理不当,易引发反击故障;杆塔高度过高且未采取加强防雷措施时,会增加引雷概率。

2.3 运行因素

运行维护质量直接影响线路抵御雷害的能力,主要包括设备运维、接地系统维护及线路巡检三个方面。设备运维不到位会加剧雷害风险,绝缘子长期运行后表面会积累污垢,形成污秽层,在潮湿环境下绝缘性能大幅下降,雷击时极易闪络,而未定期开展绝缘子清扫、检测工作会使这种风险持续累积;线路上的避雷器、放电间隙等防雷设备若未定期校验,会因性能失效无法发挥防雷作用。接地系统维护缺失是重要隐患,接地体长期埋

于地下易受土壤腐蚀,导致接地电阻升高,雷电流无法快速泄放,增加反击故障概率,且未定期检测接地电阻会使隐患无法及时发现。线路巡检不全面会遗漏安全隐患,如杆塔倾斜、导线松弛等问题未及时处理,会改变线路受力状态,雷击时易引发导线振动、杆塔倒塌等次生事故。

3 10千伏及以下配电线路防雷措施优化策略

3.1 避雷器选型与安装

避雷器选型与安装的优化,无疑是提升10千伏及以下配电线路防雷能力的核心举措,必须紧密结合线路的实际运行环境以及雷害的独特特点来精准实施。在避雷器选型环节,应优先考虑金属氧化物避雷器。它具备诸多显著优势,响应速度极为迅速,能在雷电过电压产生的瞬间迅速动作;通流能力强大,可承受较大电流的冲击;并且无续流,能有效避免后续电流带来的不良影响,从而精准且高效地限制雷击过电压。对于雷暴日数超过40天的高雷区线路,为应对频繁且强烈的雷击,应选用通流容量不低于20千安的避雷器,以确保其能承受高强度雷电流。而在多污秽区域线路,污秽会影响避雷器性能,需选用防污秽型避雷器,增强其表面耐污性能。安装位置上,要重点覆盖关键节点。直线杆塔每间隔3-5基安装一组,耐张杆塔、分支杆塔则必须安装,以此确保雷电过电压能被快速抑制。安装过程中,要严格保证接触良好,避雷器与导线、接地装置的连接电阻不超过0.1欧姆。同时,要定期开展预防性试验,每年检测一次避雷器的直流参考电压和泄漏电流,及时更换性能劣化的设备,保障避雷器始终处于良好工作状态。

3.2 接地装置改进

接地装置改进的核心目标在于降低接地电阻,进而提升雷电流的泄放效率,而要达成这一目标,需根据土壤电阻率的差异采取具有针对性的措施。对于土壤电阻率较低的平原区域,采用水平接地体与垂直接地体组合的方式是较为合适的选择。水平接地体可选用40毫米×4毫米的镀锌扁钢,其长度不小于60米,以确保有足够的接触面积来泄放电流;垂直接地体选用直径50毫米、长度2.5米的镀锌钢管,每基杆塔设置3-4根,增强电流向地下的传导能力^[3]。对于土壤电阻率较高的山地、岩石区域,情况则更为复杂。可采用换土法与降阻剂结合的方式,将杆塔周围1米范围内的土壤更换为电阻率低于100欧姆·米的细土,同时在接地体周围敷设高效降阻剂,形成降阻层,降低土壤电阻。也可采用深井接地方式,钻孔深度不小于15米,将接地体垂直植入井中,增强雷电流泄放能力。改进后需确保杆塔接地电阻不超过10欧姆,高雷区不超过5欧姆,且每两年开展一次接地电阻检测,对腐蚀严重的接地体及时更换,保证接地装置的长期有效性。

3.3 智能监测技术应用

智能监测技术的应用,为10千伏及以下配电线路的防雷工作带来了革命性的变化,能够实现雷害风险的实时预警和故障的快速定位,极大提升了防雷工作的精准性。在高雷区线路杆塔上安装雷电监测传感器,犹如为线路配备了敏锐的“眼睛”。它

能实时采集雷电发生的时间、位置、雷电流幅值等关键参数,这些数据通过无线通信模块迅速传输至配网调度中心。系统依据历史数据和实时参数,运用先进的算法对线路遭遇雷击的风险进行分级预警。调度人员可根据预警信息,提前采取临时供电调整措施,避免或减少雷击对供电的影响。在避雷器、绝缘子等关键设备上安装状态监测装置,则如同为设备安装了“健康监测仪”。它能实时监测设备的泄漏电流、温度等参数,当参数超过设定的阈值时,自动发出告警,运维人员可及时开展检修,防止设备故障进一步恶化。利用故障录波装置,在雷击故障发生后能快速记录故障时的电压、电流波形,结合GPS定位技术,可实现故障点的精准定位,将故障排查时间从传统的数小时大幅缩短至10分钟以内,大幅提升故障抢修效率,保障线路的快速恢复供电。

4 防雷措施优化趋势

4.1 新材料应用

新材料应用是10千伏及以下配电线路防雷措施优化的重要趋势,能从根本上提升线路设备的防雷性能和耐用性。在绝缘子领域,复合绝缘子正逐步替代传统瓷质绝缘子,其采用环氧树脂玻璃纤维棒作为芯棒,硅橡胶作为伞裙,具有重量轻、强度高、耐污秽、耐老化等优势,表面憎水性强,即使在潮湿环境下也能保持良好绝缘性能,雷击时闪络概率大幅降低。在接地材料方面,纳米碳复合接地材料逐渐推广应用,其导电性能优异,且耐腐蚀性远优于传统镀锌钢材,在土壤中使用寿命可达30年以上,无需频繁更换,尤其适用于沿海、盐碱地等腐蚀性强的区域。在导线防护方面,绝缘导线采用交联聚乙烯绝缘材料,表面加装硅橡胶绝缘护套,不仅能抵御感应雷过电压,还能防止直击雷造成的导线烧断,提升线路运行安全性。

4.2 数字化防雷

数字化防雷作为当下防雷领域的创新实践,通过深度整合数据采集、分析建模以及智能决策技术,为防雷工作带来了精准化与智能化的全新变革。构建配网防雷数字化平台是关键一步。该平台全面整合雷电监测、设备状态监测、气象预警等多源数据,形成一个庞大而有序的数据资源库。借助先进的大数据分析技术,深入挖掘雷电活动规律与线路故障之间的内在关联关系,进而建立科学合理的雷害风险评估模型。基于此模型,能够精准预测不同线路段、不同季节的雷害风险等级,为后续防雷措施的优化提供坚实可靠的数据支撑。采用数字孪生技术构建线路虚

拟仿真模型,更是为防雷工作增添了前瞻性。该模型可以模拟不同雷击场景下线路的电压、电流变化以及设备响应情况,提前发现防雷的薄弱环节。依据模拟结果,能够针对性地制定优化方案,防患于未然^[4]。另外,数字化平台与配网调度系统实现联动。当监测到雷电活动时,系统自动生成科学合理的调度策略,及时调整线路运行方式,有效降低雷害对线路的影响,推动防雷工作从传统的被动抢修模式向主动防控模式转变,全方位提升配网防雷的能力与水平。

4.3 主动防御技术

主动防御技术突破传统被动防雷的局限,通过主动干预雷电形成和传播过程,从源头降低雷害风险,是未来防雷技术的核心发展方向。线路主动引雷技术逐渐进入实用阶段,在高雷区线路关键杆塔上安装主动引雷装置,通过发射等离子体或高压脉冲,改变雷电放电通道,引导雷电击中指定接闪体,避免击中导线或绝缘子,目前该技术在山区线路试点应用中,雷击故障发生率下降60%以上。智能消雷技术也在快速发展,利用安装在杆塔上的消雷装置,通过尖端放电释放空气中的电荷,降低局部空间电场强度,抑制雷电形成,尤其适用于雷暴频发但强度较低的区域。基于人工智能的自适应防雷技术,可根据实时雷电监测数据和线路运行状态,自动调整避雷器动作参数、接地装置泄放效率,实现防雷措施与雷害风险的动态匹配。

5 结束语

10千伏及以下配电线路防雷措施优化研究意义深远。通过深入剖析雷击故障模式与影响因素,针对性提出优化策略,并探讨新材料、数字化、主动防御等发展趋势,为提升线路防雷能力提供了系统方案。未来,随着技术进步,防雷措施将不断完善,更好地保障配网安全稳定运行,为经济社会发展提供可靠的电力支撑。

[参考文献]

- [1]陶然.配电线路防雷措施的数据化研究与实践[J].消费电子,2025(2):194-196.
- [2]聂敬玉.10kV配电线路防雷措施研究[J].科学与信息化,2020(13):99,101.
- [3]吴龙伟.配电线路防雷措施及保护效果分析[J].电力设备管理,2022(21):33-34,37.
- [4]王万臣.农村电网输电线路防雷措施[J].探索科学,2021(12):11-12.