

高压输电线路防雷浅析

袁俊仕

湖北恒信电力设计有限公司 湖北 武汉 430080

摘要:在现代电力系统中,高压输电线路起着至关重要的桥梁作用,将电能高效地输送至各个地区。本文围绕高压输电线路防雷问题展开深入探讨。首先阐述了高压输电线路遭受雷击所带来的绝缘闪络、线路跳闸以及设备损坏等危害,接着分析影响雷击跳闸率的多方面因素,涵盖杆塔高度、避雷线保护角等。重点介绍了常用的防雷措施,像架设避雷线、安装避雷器等各措施的原理、效果及局限。通过实际案例分析展现综合防雷措施应用成效,强调要综合运用并重视运维管理以提升防雷水平,保障电力系统可靠供电,为相关工作提供参考借鉴。

关键词: 高压; 输电线路; 防雷浅析

引言:随着电力系统不断发展,高压输电线路作为电能输送关键纽带,其安全稳定运行至关重要。然而,高压输电线路多处于野外,易遭雷击,雷击引发的故障在输电线路故障中占比较大,严重影响供电连续性与可靠性。鉴于此,深入研究高压输电线路防雷问题,剖析雷击危害、跳闸影响因素以及常用防雷措施等,对于减少雷击事故、保障电力系统正常运行有着重大现实意义,本文就此展开详细分析。

1 高压输电线路遭受雷击的危害

1.1 绝缘闪络

绝缘闪络是高压输电线路遭受雷击后极易出现的危害情况。当雷电击中输电线路时,会瞬间产生幅值极高的雷电过电压,其数值往往远超线路绝缘子正常运行时所能承受的电压范围。在这样强大的过电压作用下,绝缘子两端的电场强度急剧增大,致使绝缘子表面及周围的空气被击穿,形成导电通道,这就是绝缘闪络现象。一旦发生绝缘闪络,线路原本良好的绝缘性能就会遭到破坏,导致线路的绝缘电阻大幅下降,使得线路不再具备可靠的绝缘防护能力,进而容易引发接地故障,电能的正常传输也会因此受到阻断,后续还需要投入大量的人力、物力和时间去修复受损的绝缘子以及排查线路潜在的其他问题,严重影响输电线路的正常运行^[1]。

1.2 线路跳闸

线路跳闸是高压输电线路遭雷击后带来的又一严重危害。雷击产生的高幅值雷电过电压引发绝缘闪络后,若闪络情况未能及时恢复,就会触发继电保护装置的动作机制,进而导致线路跳闸。线路跳闸的后果十分严重,一方面,它会直接中断对用户的电力供应,无论是居民的日常生活用电,还是工业生产、商业运营等领域的用电都会受到极大影响,给人们的生活和生产带来诸

多不便;另一方面,对于医院、交通枢纽、通信基站等对供电可靠性要求极高的关键场所,线路跳闸可能导致医疗设备无法正常运行、交通陷入混乱、通信中断等情况,不仅会造成巨大的经济损失,甚至还可能危及生命安全,后续恢复供电也需要复杂的操作流程和一定时间。

1.3 设备损坏

高压输电线路遭受雷击时,强大的雷电流以及高能量冲击除了导致绝缘闪络、线路跳闸外,还会对线路上的各类设备造成不同程度的损坏。例如,杆塔上的金具在雷击冲击下,可能会出现变形、扭曲甚至断裂的情况,使其无法正常发挥连接、固定等作用,影响杆塔结构的稳定性;绝缘子串中的一些附件,如金属连接件等,可能会因雷击产生的过电流而发生过热、烧蚀现象,导致其电气性能劣化,降低整个绝缘子串的绝缘和机械性能;此外,线路上的一些附属电气设备,如互感器、耦合电容器等,也可能因雷击过电压而出现内部元件损坏、短路等故障。设备损坏不仅会使输电线路当下的运行受到阻碍,还需要花费高昂的费用进行维修或更换,增加了运维成本,同时也进一步削弱了线路整体的可靠性和安全性。

2 影响高压输电线路雷击跳闸率的因素

2.1 杆塔高度

杆塔高度是影响高压输电线路雷击跳闸率的重要因素之一。杆塔越高,其在空间中暴露于雷电活动范围内的面积相对更大,也就更容易成为雷电击中的目标,使得遭受雷击的概率显著增加。而且,较高的杆塔会拉大线路与大地之间的距离,当雷电过电压沿着线路传播至杆塔接地部分时,绝缘子串两端更容易出现较大的电压差,一旦该电压差超出绝缘子的闪络电压,就会引发闪络并最终导致线路跳闸。例如在山区的一些高塔位输电

线路,对比平原地区相对低矮的杆塔线路,由于其所处地势及自身高度原因,常常面临更高的雷击跳闸风险,可见杆塔高度对雷击跳闸率有着不容忽视的影响^[2]。

2.2 避雷线保护角

避雷线保护角在高压输电线路防雷方面起着关键作用,直接关系到线路遭受雷击的概率及雷击跳闸率。保护角越小,避雷线对输电线路的屏蔽效果就越强,能更有效地阻挡雷电直击线路,让大部分雷电击中避雷线后通过杆塔接地装置泄入大地。相反,若保护角过大,会有更多雷电有可能绕过避雷线直击到输电线路,大大增加了线路遭受雷击的风险,进而提高雷击跳闸率。不同的线路设计和运行环境下,合理优化避雷线保护角能显著改变线路的防雷状况,所以它是影响雷击跳闸率不容忽视的因素。

2.3 杆塔接地电阻

杆塔接地电阻的大小对高压输电线路雷击跳闸率有着实质性影响。接地电阻是衡量杆塔接地性能好坏的关键指标,当接地电阻较小时,一旦雷电击中杆塔,雷电流能够较为顺畅地通过接地装置流入大地,这样可以有效控制杆塔顶部的电位升高幅度,从而减小绝缘子串两端所承受的雷电过电压,降低闪络和跳闸的可能性。反之,若杆塔接地电阻过大,雷电流就难以快速泄入大地,会致使杆塔电位大幅升高,使绝缘子串承受过高的过电压,极易引发绝缘闪络,进而导致线路跳闸。在实际中,像一些老旧杆塔或处于高土壤电阻率地区的杆塔,接地不良就容易造成雷击跳闸事故频发。

2.4 线路绝缘水平

线路绝缘水平是关乎高压输电线路雷击跳闸率的核心要素之一。它主要由线路绝缘子的绝缘性能以及绝缘子串的长度等因素所决定。绝缘子的质量、耐压等级等体现其绝缘性能,若绝缘子具备更好的耐压强度、抗老化以及耐污秽能力,就能耐受更高幅值的雷电过电压。同时,合理增加绝缘子串的片数,可增大线路的绝缘距离,让雷电过电压更难击穿绝缘子串形成导电通道。在雷电活动频繁的区域或者高电压等级的输电线路中,较高的绝缘水平能够有效抵御雷电过电压的冲击,减少闪络现象的发生,进而降低雷击跳闸率,保障线路稳定运行。

2.5 地形地貌和雷电活动强度

地形地貌和雷电活动强度共同影响着高压输电线路的雷击跳闸率。不同的地形地貌条件下,雷电活动的频率与特性存在明显差异。例如山区,由于地势起伏大、地形复杂,雷电更容易在此聚集和放电,而且雷电的发展路径也更为复杂多变,输电线路在这样的区域遭受雷

击的概率会大大增加。河边、空旷平原等区域同样是雷电活动相对频繁的地带。再者,雷电活动强度本身就是关键因素,在雷电活动高发地区,输电线路面临的雷击威胁极大,雷击跳闸率自然就高。即使线路自身防雷措施到位,但处于强雷电活动环境中,依然面临较高的跳闸风险,所以这两者对雷击跳闸率影响显著。

3 高压输电线路常用防雷措施

3.1 架设避雷线

架设避雷线是高压输电线路防雷的一项基础性且极为重要的措施。其原理在于,避雷线通常架设在输电线路的上方,凭借自身良好的导电性以及相对高耸的位置,能够主动吸引雷电,将大部分雷电引导至自身之上。当雷电击中避雷线后,避雷线会通过杆塔之间稳固的电气连接,借助杆塔的接地装置,让雷电流顺畅地泄入大地之中,从而对下方的输电线路起到有效的屏蔽保护作用,极大地减少了雷电直击线路的可能性。在实际应用中,避雷线的广泛架设取得了显著的防雷效果。大量的高压输电线路运行数据表明,有避雷线保护的线路,相较于未架设避雷线的线路,其遭受雷击跳闸的次数明显降低,有力保障了电能稳定输送。然而,避雷线也存在一定的局限性。尽管它能大幅降低直击雷的危害,但无法完全杜绝雷电击中输电线路的情况,尤其是在地形复杂、雷电活动异常强烈或者避雷线保护角偏大等情况下,仍会有部分雷电绕过避雷线直击线路^[3]。

3.2 安装避雷器

安装避雷器是高压输电线路常用且有效的防雷手段之一。其工作原理基于自身独特的非线性电阻特性,在正常运行电压下,避雷器呈现高阻状态,如同开路一般,对线路的正常运行几乎没有影响。而当输电线路遭遇雷电过电压侵袭时,避雷器能够迅速做出反应,其电阻急剧减小,即刻转变为低阻导通状态,就像为雷电流开辟了一条快速流入大地的通道,从而有效限制了线路上的过电压幅值,避免过高的电压施加在绝缘子等线路设备上,起到保护线路绝缘、防止闪络的关键作用,待雷电过电压消失后,它又能自动恢复到高阻状态。在实际应用效果方面,在那些雷电活动频繁、雷电过电压幅值较高的线路关键部位,比如线路进出线段、杆塔顶部等位置安装避雷器后,能显著降低因过电压引发的绝缘闪络以及跳闸事故的发生率,对避雷线等常规防雷措施形成有力补充,增强了线路整体防雷的可靠性。不过,避雷器也存在局限性。其性能和使用寿命容易受环境因素干扰,像在潮湿、污秽的环境中,外绝缘性能可能下降,影响正常工作。

3.3 降低杆塔接地电阻

降低杆塔接地电阻是提升高压输电线路防雷能力的关键举措。其原理在于,当雷电击中杆塔时,较小的接地电阻能够为雷电流提供一条更为顺畅的泄放通道,使其可以快速、高效地通过接地装置流入大地。如此一来,就能有效控制杆塔顶部电位的升高幅度,避免因电位过高而致使绝缘子串两端承受过大的雷电过电压,进而减少绝缘子闪络以及线路跳闸的风险,保障输电线路的安全稳定运行。在实际应用中,对于那些原本接地电阻较高的老旧杆塔,或是处于高土壤电阻率地区的杆塔而言,通过采取诸如增加接地极数量、扩大接地网面积、合理使用降阻剂等综合降阻措施,往往能收获显著的效果。许多实际案例显示,在完成接地电阻降低改造后,相关杆塔所在线路的雷击跳闸率得到了有效控制,线路运行的稳定性大幅提升。然而,这一措施也存在一定局限性。一方面,部分降阻措施受场地条件限制较大,比如在山区岩石地带,扩大接地网面积施工难度颇高且成本昂贵;另一方面,降阻剂虽能降阻,但质量和长效性需严格把控,若把控不佳,不仅可能随时间失去降阻效果,还可能对土壤环境造成污染。

3.4 提高线路绝缘水平

从原理来讲,一方面可挑选高品质绝缘子,像特高压绝缘子,其耐压强度高、耐污秽及抗老化性能佳,能在遭遇雷电过电压时,凭借自身优势稳固线路绝缘防线。另一方面,合理增加绝缘子串片数,比如将部分线路的绝缘子串片数适当增多,可有效拉长绝缘距离,让雷电过电压难以突破形成导电通道,极大增强线路防雷能力。在实际应用方面,在那些雷电活动频繁且电压等级重要输电线路运用该措施,成效显著。例如某长距离超高压输电线路,提高绝缘水平后,雷击闪络次数大幅减少,保障了供电稳定性。然而,此措施也有局限性。成本方面,不仅绝缘子采购成本会提高,安装时涉及的人力、物力成本以及可能需对杆塔结构加固等都会使费用增加。而且对于已投运的线路,受杆塔现有结构和空间限制,增加绝缘子串片数等操作实施起来较为棘手,必须充分考量线路实际状况与经济效益,谨慎抉择实施与否。

3.5 优化线路走廊选择

在规划之初,工作人员会借助专业的雷电监测数据、地理信息系统等,深度调研沿线地形与雷电活动规律,精准识别如山谷风口、空旷高地等雷击高发区,进而将线路规划至雷电相对少、地形更平稳之处,比如选择远离高大山脉且地势开阔的平原地带铺设线路,从根源上减少雷击隐患。实际应用中,科学的线路走廊选择能有效降低后续运维时防雷的难度与成本。以某新建的高压输电线路工程为例,前期通过细致的走廊优化,其运行多年来,雷击跳闸次数明显低于未做优化的同类线路,大大节省了故障排查及修复等相关成本。然而,该措施受限颇多。一方面,城市的扩张、既有土地的规划用途等,使得线路可选择的空间有限,有时不得不穿越雷电活跃区域。另一方面,雷电活动本身受气候等多种因素影响,具有动态变化性,即便前期依据历史数据选定了相对安全的走廊,后续也可能因雷电分布变化而面临更多雷击风险,导致实际防雷效果打折扣^[4]。

结束语

总之,高压输电线路防雷是保障电力系统稳定运行的关键环节。通过深入了解雷击危害、影响跳闸率因素,以及合理运用如架设避雷线、安装避雷器等多种防雷措施,能有效降低雷击风险。但鉴于实际情况复杂多变,防雷工作需持续优化与完善,综合考虑线路特点、环境等因素,不断探索新技术、新方法,加强运维管理,提高防雷水平,确保高压输电线路在面对雷电威胁时,依然能可靠地输送电能,满足社会发展对电力的需求。

参考文献

- [1]舒雅平.高压输电线路防雷中存在的问题及对策[J].中国新技术新产品,2019(21):143-144.
- [2]马捍超,徐路强,高宝琪,刘刚,苑龙祥.不同地形地貌对超特高压输电线路防雷性能影响分析研究[J].电测与仪表,2019,56(23):37-42.
- [3]樊志超,赵瑞东.220kV高压输电线路防雷接地技术的相关研究[J].通信电源技术,2018,35(10):53-54.
- [4]徐薇,陈华.高压输电线路综合防雷措施的研究与应用[J].西藏科技,2019(04):67-68.