

电力输电线路的防雷技术分析

杨 春¹ 宁 凡² 吴 昊¹

1. 陕西华云防雷技术有限公司 陕西 西安 710016

2. 陕西省突发事件预警信息发布中心 陕西 西安 710014

摘 要: 电力输电线路易受雷击影响, 导致绝缘损坏、跳闸甚至设备损毁, 威胁电网运行安全。本文从雷击的成因与危害入手, 系统分析了直击雷、感应雷等不同类型的雷电作用机制, 并介绍了避雷线、避雷器、接地系统及绝缘强化等主要防雷技术。结合电压等级与地理环境差异, 探讨了各类技术的适配性应用。同时指出未来防雷技术应朝系统协同、状态监测与技术升级方向发展, 以提升整体防护水平, 保障输电线路在复杂自然条件下的稳定运行。

关键词: 雷击危害; 避雷器; 接地技术; 线路绝缘; 防雷措施

引言: 电力输电线路是电力传输的关键通道, 其安全稳定运行关乎整个电力系统的正常运转。然而, 雷电活动频繁, 输电线路常遭受雷击, 导致线路故障、设备损坏, 甚至引发大面积停电, 给社会生产生活带来严重影响。深入分析输电线路雷击成因与危害, 探究有效的防雷技术并推动其优化发展, 具有重要的现实意义。

1 电力输电线路雷击的成因与危害

1.1 雷击成因

输电线路的雷击事件与所处环境存在密切关联。高山地区地势突出, 线路往往架设在海拔较高处, 更容易成为雷云放电的目标。旷野地带缺乏高大建筑物遮挡, 线路直接暴露在开阔空间中, 与雷云之间的空气间隙更易被击穿^[1]。多雷区因大气环流活跃, 雷云生成频率较高, 线路遭遇雷击的可能性自然增加。雷云的形成源于大气中水汽的上升运动, 水汽在高空凝结成水滴或冰晶, 过程中因碰撞摩擦产生电荷分离, 正电荷聚集在雷云上部, 负电荷积累在下部。当电荷积累到一定程度, 雷云与地面之间的电场强度超过空气击穿强度时, 便会发生放电现象。输电线路由金属导体构成, 属于地面上的突出导体, 会使周围电场发生畸变, 吸引雷云向其放电。地形起伏会改变局部电场分布, 陡峭山坡处的线路受电场集中效应影响, 雷击概率显著上升。气象条件同样发挥作用, 暴雨、强风等天气会加速雷云电荷积累, 缩短放电间隔, 进一步提高线路被雷击的可能性。

1.2 雷击危害

雷击产生的过电压具有极强的破坏性, 会瞬间击穿线路绝缘设施。绝缘子作为线路绝缘的关键部件, 在过电压冲击下可能发生闪络, 导致线路与杆塔之间形成导电通道, 造成接地故障。导线在雷击时会承受巨大的电流冲击, 高温可能使导线局部熔化, 甚至出现断股或烧

断现象, 直接破坏线路的导电能力。线路跳闸是雷击后的常见后果, 继电保护系统检测到故障电流后会迅速动作, 切断线路供电, 导致电力传输中断。断路器、变压器等设备在承受过电压时, 内部绝缘结构可能受损, 缩短设备使用寿命, 严重时会引起设备报废。长期遭受雷击冲击, 线路金属部件会因电动力作用出现疲劳损伤, 连接部位松动或断裂的风险增加, 线路整体的稳定性逐渐下降。停电故障会对电力用户造成多方面影响。工业生产因突然断电可能导致生产线停工, 造成物料浪费和生产计划延误。居民生活中, 家用电器可能因电压波动受损, 日常用电需求无法得到满足。公共设施如医院、交通枢纽等若遭遇停电, 可能影响医疗设备运行和交通信号系统, 带来间接的安全隐患。

2 电力输电线路防雷技术的分类

2.1 直击雷防护技术

直击雷防护技术通过特定装置直接与雷电放电通道接触, 将雷电流引导至大地, 从而避免线路导体直接受雷击。避雷针凭借高于线路的安装高度, 利用尖端放电效应吸引雷电, 使雷电流经自身杆塔传入大地。其防护范围呈锥形分布, 高度越高, 保护半径越大, 适用于变电站、杆塔顶部等关键节点, 可减少这些部位被直接雷击的风险。避雷线通常架设在导线上方, 与杆塔相连形成保护屏障, 借助自身对雷电的拦截作用, 为下方导线提供防护。避雷线的保护范围与线径、架设高度相关, 线径较粗、架设位置更优时, 防护范围更宽, 适合在旷野、高山等易受直击雷的线路区段使用。不同装置的组合应用能扩大防护覆盖面, 在复杂地形中, 避雷针与避雷线配合使用, 可形成多层次防护体系, 提升线路整体抵御直击雷的能力。

2.2 感应雷防护技术

感应雷防护技术针对雷电击中线路附近物体时产生的感应过电压发挥作用。当雷电击中地面或杆塔时,强大的电磁场会在线路导体内感应出过高电压,可能击穿绝缘设施。安装避雷器是抑制感应过电压的主要措施,避雷器内部的非线性电阻元件在电压超过阈值时迅速导通,将过电压引入大地,待电压恢复正常后自动断开,确保线路正常运行^[2]。避雷器的密封性能需适应潮湿环境,防止内部元件受潮影响导通精度。避雷器的安装位置需靠近易受感应影响的设备,如绝缘子、断路器等,可快速分流过电压,减少对设备绝缘的冲击。在多雷区或线路分支处,密集布置避雷器能形成连续防护,避免感应过电压在局部积累。这种技术通过限制过电压幅值,为线路绝缘提供缓冲,降低因感应电压导致的绝缘损坏概率,保障线路在间接雷击情况下的稳定运行。对于长距离线路,避雷器的布置间距需结合线路阻抗特性调整,确保过电压在传播过程中被有效抑制。

2.3 接地技术

接地技术通过优化接地装置的设计与布置,加速雷电流向大地泄放,降低地电位升高带来的危害。接地装置由接地体和接地线组成,接地体埋入地下,与土壤紧密接触,接地线则连接接地体与线路杆塔或设备,形成雷电流的泄放通道。降低接地电阻是接地技术的核心目标,电阻越小,雷电流泄放速度越快,地电位升高幅度越小,可减少线路设备绝缘的反向击穿风险。接地体与接地线的连接部位需进行防腐处理,避免氧化导致接触电阻增大。接地体的布置方式影响防雷效果,采用水平与垂直接地体组合的方式,能增加与土壤的接触面积,提高导电性能。在土壤电阻率较高的地区,选用降阻剂或换土处理,可改善接地体周围土壤的导电特性,有效降低接地电阻。材料选择上,耐腐蚀的金属材料如镀锌钢材、铜材等,能延长接地装置的使用寿命,确保长期稳定的接地效果,为雷电流泄放提供可靠保障。在冻土区,接地体需深埋于冻土层以下,避免冬季土壤冻结影响导电性能。

2.4 线路绝缘强化技术

线路绝缘强化技术通过提升线路自身的绝缘水平,增强抵御雷击过电压的能力。绝缘子的耐雷水平是关键指标,选用耐冲击性能更强的绝缘子类型,如复合绝缘子,其材质能承受更高的电压冲击,减少闪络现象的发生。增加绝缘子片数可延长放电路径,提高整体绝缘强度,在高海拔地区或多雷区,适当增加绝缘子串的长度,能有效提升线路的抗雷击能力。扩大绝缘间距也是强化绝缘的重要手段,增加导线与杆塔之间、导线与导

线之间的距离,可降低空气间隙被击穿的概率。在线路设计中,根据不同区段的雷电活动强度,调整绝缘间距参数,使绝缘水平与雷电过电压的幅值相匹配。这种技术通过增强线路自身的耐受能力,减少外部防雷措施的压力,与其他防雷技术配合使用,形成内外结合的防护体系,进一步提升线路的防雷可靠性。

3 防雷技术的应用与适配性分析

3.1 不同电压等级线路的防雷技术选择

高压输电线路绝缘水平相对较低,传输容量适中,防雷技术选择侧重基础防护。这类线路多采用避雷线作为主要直击雷防护手段,结合常规接地装置降低接地电阻,选用耐雷性能适配的绝缘子,平衡防护效果与成本^[3]。超高压输电线路绝缘水平更高,传输容量大,雷击造成的损失更严重,需强化防雷措施。除架设双避雷线扩大防护范围外,会密集布置避雷器抑制感应过电压,采用复合接地体降低接地电阻,绝缘子则选用耐冲击电压更高的类型,通过多重技术叠加提升防雷可靠性。适配性选择的依据源于电压等级对应的绝缘耐受能力与潜在风险。高压线路因绝缘限制,难以承受过高的防雷成本投入,技术组合以经济实用为原则;超高压线路对供电稳定性要求严格,需通过更全面的技术配置抵御雷击,即使成本增加也需保障线路安全运行,形成与电压等级相匹配的防雷体系。

3.2 不同环境下的防雷技术组合

高山峡谷地区地势复杂,直击雷概率高且土壤电阻率大,防雷技术组合需强化直击雷拦截与接地效果。架设高杆塔避雷线扩大防护范围,采用水平与垂直接地体组合并配合降阻剂处理降低接地电阻,增加绝缘子片数提升绝缘水平,形成拦截、泄放、耐受三位一体的防护方案。多雷平原地区开阔无遮挡,感应雷影响突出,技术组合侧重感应过电压抑制。在线路杆塔上普遍安装避雷器,配合常规避雷线防护直击雷,接地装置选用耐腐蚀材料适应平原土壤特性,通过快速分流与持续防护减少雷击跳闸。沿海潮湿地区盐雾易侵蚀设备绝缘,防雷技术需兼顾防护与防腐。采用复合绝缘子抵抗盐雾腐蚀,架设避雷线防护直击雷,接地体选用铜材等耐腐蚀性材料避免因腐蚀导致接地性能下降,通过防护与设备耐用性的结合,适应潮湿多盐雾环境的防雷需求。

4 电力输电线路防雷技术的优化方向

4.1 技术升级

新型避雷器在材料与结构上不断革新,采用更优的非线性电阻材料,响应速度更快,能在更短时间内抑制过电压,同时耐受更大的雷电流冲击,对线路绝缘的

保护更精准。智能接地监测装置可实时感知接地电阻变化,通过内置传感器捕捉土壤湿度、温度等环境参数,间接反映接地体的运行状态,及时发现接地性能下降的迹象^[4]。技术创新的潜力体现在多方面。新型避雷线采用复合材料制成,兼具高强度与耐腐蚀性,可减少维护频率;自适应防雷装置能根据雷电活动强度自动调整防护模式,在多雷时段增强拦截能力,常态下降低能耗。更前沿的探索中,基于雷电定位系统的预警技术开始融入防雷体系,通过提前捕捉雷云移动轨迹,可对线路特定区段进行临时防雷强化,如远程激活附加避雷装置。这些技术升级不仅提升单一装置的防雷效果,更推动防雷手段从被动应对向主动预防转变,为线路提供更全面的保护。

4.2 系统协同

线路防雷并非孤立存在,需与变电站防雷形成联动。变电站作为电力系统的枢纽,其防雷装置如避雷针、避雷器的布置需与线路防雷措施相匹配,避免因变电站侧防护不足导致线路雷击后故障蔓延。当线路遭遇雷击时,变电站的继电保护系统应与线路防雷装置协同动作,快速切断故障电流,减少故障影响范围。整个电力系统防雷体系的协同配合更为关键。输电线路、变电站、配电网的防雷参数需统一规划,确保各环节的防雷水平相互适配。通过建立系统级的防雷模型,分析不同区域雷电活动特征,统筹安排各类防雷资源,使线路防雷与系统整体防护形成合力。在跨区域线路中,相邻区段的防雷装置需实现动作逻辑协调,避免因单侧保护动作引发的电流分布异常。这种整体防护模式能弥补局部防雷的短板,提升系统应对大规模雷电灾害的能力,减少因单点故障引发的系统性停电。

4.3 状态监测

在线监测设备的应用使防雷装置运行状态可视化。安装在避雷线上的传感器可监测其表面损伤与张力变化,避雷器上的监测模块能记录动作次数与残压值,接

地装置连接的监测终端则持续跟踪接地电阻与电流泄放情况。这些数据通过通信网络传输至后台系统,形成实时监测画面。及时发现隐患并维护可显著提升防雷可靠性。当监测到避雷线出现断股风险时,运维人员可提前更换;避雷器动作次数异常增多时,可排查是否存在过电压频繁出现的原因;接地电阻突然升高时,能及时采取降阻措施。通过这种预防性维护,避免防雷装置在关键时刻失效,使线路在雷电多发期保持稳定的防雷性能,减少因装置老化或故障导致的雷击事故。状态监测还能为防雷技术优化提供依据。通过分析长期积累的监测数据,可掌握不同环境下防雷装置的损耗规律,为技术升级与选型提供参考,使防雷措施更贴合线路实际运行需求。监测系统还可与气象数据联动,统计不同天气条件下防雷装置的运行表现,为特定气候区域定制防雷方案提供实证支持,让每一项防雷措施都能精准对接实际环境挑战。

结束语

电力输电线路防雷是保障电力系统安全稳定运行的关键环节。通过全面分析雷击成因与危害,合理运用各类防雷技术,并根据不同电压等级和环境进行适配性选择,可有效降低雷击风险。未来,随着技术升级、系统协同和状态监测的推进,防雷技术将不断完善,为输电线路提供更可靠的防护,确保电力持续稳定供应。

参考文献

- [1]李义,李佳营,邵璞,等.电力输电线路的防雷技术分析[J].灯与照明,2025,49(1):215-217.
- [2]薛涵拓,李曼.电力系统输电线路防雷保护技术分析[J].科技资讯,2025,23(2):94-96.
- [3]杨永.电力输电线路的防雷击技术分析[J].电力系统装备,2024(1):58-59,154.
- [4]鲁洋.输电线路的运行检修和防雷技术分析[J].模型世界,2024(5):133-135.