

输电线路架空输电线路防雷设计

吴 华

湖北省电力规划设计研究院有限公司 湖北 武汉 430040

摘要: 随着电力系统向高电压、大容量方向发展, 架空输电线路作为电力输送的核心载体, 其防雷性能直接决定电网安全稳定运行。本文聚焦输电线路中架空输电线路的防雷设计。首先阐述防雷设计基础理论, 包括雷电活动规律、过电压产生机理及线路耐雷水平与雷击跳闸率等。接着探讨关键技术, 涉及避雷线架设、接地装置优化、绝缘配合及线路避雷器安装设计。最后提出优化策略, 如采用不平衡绝缘、安装自动重合闸装置、利用雷电定位系统、加强线路巡视维护以及合理选择线路路径等, 旨在提升架空输电线路防雷能力, 保障电力系统安全稳定运行。

关键词: 架空输电线路; 防雷设计; 防雷优化

引言: 在电力系统中, 架空输电线路作为电能传输的关键通道, 其安全稳定运行至关重要。然而, 雷电作为自然界中一种极具破坏力的现象, 对架空输电线路构成了严重威胁。雷电袭击可能导致线路绝缘子闪络、导线断线, 甚至引发整个电网的故障, 造成巨大的经济损失和社会影响。随着电网规模的不断扩大和电压等级的逐步提高, 架空输电线路遭受雷击的概率也日益增加。因此, 深入研究架空输电线路的防雷设计, 采取有效的防雷措施, 降低雷击对线路的危害, 成为保障电力系统安全可靠运行的迫切需求。

1 架空输电线路防雷设计基础理论

1.1 雷电活动规律

雷电活动具有显著的时空分布特征。从时间维度看, 雷电活动呈现季节性变化, 全球范围内北半球夏季(7月)雷电活动最为频繁, 冬季(1月)则显著减少; 南半球相反, 12月为雷电活动高峰期, 7月为低谷期。空间分布上, 雷电活动与地理环境密切相关, 湿润多雨地区雷电密度高于干旱少雨地区, 山地地区雷电活动强于平原地区, 沿海地区雷电活动多于内陆地区。此外, 雷电活动还存在日变化规律, 陆地地区雷电多集中于午后至傍晚时段, 这与大气对流活动的日变化密切相关; 海洋地区雷电活动日变化相对较小。这些规律为架空输电线路防雷设计提供了重要的地理和时间参考依据。

1.2 雷电过电压产生机理

雷电过电压是雷云放电引发的瞬态电压升高现象, 其产生机理主要包括直击雷过电压和感应雷过电压。直击雷过电压由雷电直接击中导线、杆塔或避雷线产生, 雷电流通过被击物入地时, 在入地点形成高电位差, 导致附近导线产生过电压。感应雷过电压则由雷击附近物体时电磁感应引发, 分为静电感应和电磁感应两种形

式: 静电感应过电压因雷云电荷消失导致导线束缚电荷自由流动形成; 电磁感应过电压因雷电流变化磁场在导体中感应电动势产生。雷电过电压具有幅值高、持续时间短、脉冲冲击特性强的特点, 对架空输电线路绝缘构成严重威胁。

1.3 线路耐雷水平与雷击跳闸率

线路耐雷水平是衡量线路抗雷击能力的重要指标, 指线路绝缘不发生闪络的最大雷电流幅值, 单位为kA。耐雷水平越高, 线路耐受雷击的能力越强, 其与绝缘子串片数、绝缘子类型、杆塔接地电阻等因素密切相关。雷击跳闸率则反映线路防雷保护效果, 指每100公里线路每年因雷击引起的跳闸次数, 单位为次/百公里·年。雷击跳闸率越低, 说明线路防雷措施越有效。实际工程中, 需通过优化绝缘配合、降低接地电阻、安装避雷器等措施提高耐雷水平, 进而降低雷击跳闸率, 保障线路安全稳定运行^[1]。

2 架空输电线路防雷设计关键技术

2.1 避雷线架设设计

避雷线是架空输电线路防雷的首道防线, 其架设设计需综合考虑多方面因素。(1)要合理确定避雷线的保护范围。根据线路电压等级、杆塔高度及地形条件, 精确计算避雷线的保护角, 确保导线处于避雷线的有效保护范围内。一般而言, 电压等级越高, 保护角应越小, 以增强对导线的屏蔽效果, 减少绕击雷的概率。(2)需科学选择避雷线的材质与规格。通常选用镀锌钢绞线等导电性能良好、机械强度高的材料, 并根据线路的雷电活动强度、电流承载能力等因素, 确定合适的导线截面积, 以保障在遭受雷击时能够安全导流雷电流。(3)要注重避雷线的架设方式。对于单回路线路, 多采用单根避雷线架设于杆塔顶部; 对于双回路或多回路线路, 则可根据实际情况采用双根避雷

线架设,进一步提高防雷效果。同时,要确保避雷线与杆塔的连接牢固可靠,采用合适的连接金具,并定期进行检查维护,防止因连接松动导致接触电阻增大,影响避雷线的导流性能,从而有效降低线路遭受雷击的风险,保障输电线路的安全稳定运行。

2.2 接地装置优化设计

接地装置是架空输电线路防雷体系的关键环节,其优化设计对降低雷击危害至关重要。(1)要合理选择接地材料。应根据土壤电阻率、腐蚀性等环境条件,选用导电性能优良且耐腐蚀的材料,如镀锌圆钢、铜包钢等。在土壤电阻率较低的区域,可优先采用镀锌圆钢,其成本较低且能满足导流需求;而在土壤腐蚀性较强或电阻率较高的地区,则宜选用铜包钢,其耐腐蚀性和导电性更优,可有效延长接地装置的使用寿命,确保长期稳定的导流性能。(2)需优化接地体布置形式。可采用水平接地体与垂直接地体相结合的方式,增大接地体与土壤的接触面积,降低接地电阻。水平接地体可沿杆塔四周敷设,形成闭合环路;垂直接地体则垂直打入地下,增加散流深度。同时,要根据杆塔所在位置的地形地貌,合理调整接地体的长度和间距,避免出现接地盲区。(3)要重视接地装置的连接工艺。确保各接地体之间的连接牢固可靠,采用焊接或压接等方式,并做好防腐处理,防止因连接不良导致接触电阻增大,影响接地效果。此外,还应定期对接地装置进行检测和维护,及时发现并处理接地电阻超标等问题。

2.3 绝缘配合设计

绝缘配合设计是架空输电线路防雷设计的重要组成部分,其核心在于合理确定线路绝缘水平,确保在雷电过电压等作用下,绝缘子串及空气间隙能有效抵御电气应力,避免发生闪络或击穿。(1)要依据线路电压等级和运行环境确定基本绝缘水平。不同电压等级的线路,其绝缘子串片数、绝缘子类型以及空气间隙距离均有明确规范。例如,高压线路需采用更多片数的绝缘子以提升绝缘强度,而超高压、特高压线路则需综合考虑操作过电压、雷电过电压等多种因素,通过精确计算确定绝缘子串的配置,保证在各种工况下绝缘子均能可靠工作。(2)需考虑雷电过电压对绝缘的影响。雷电活动会产生直击雷过电压和感应雷过电压,可能导致绝缘子闪络。因此,要根据当地雷电活动强度,合理调整绝缘子串的耐雷水平,可通过增加绝缘子片数、采用耐雷性能更好的绝缘子类型等方式,提高线路的耐雷能力。(3)要注重绝缘子串与空气间隙的协调配合。空气间隙的放电电压与绝缘子串的放电电压需相互匹配,避免出现因空气间隙

过小导致先于绝缘子串放电的情况。同时,要考虑线路运行中的动态因素,如风偏、覆冰等,确保在最不利条件下,绝缘配合仍能满足防雷要求。

2.4 线路避雷器安装设计

线路避雷器是架空输电线路防雷的重要设备,合理安装设计能有效限制雷电过电压,保护线路安全运行。

(1)要精准选定安装位置。通常将线路避雷器安装在雷击频繁、易发生闪络的杆塔或线段上,比如山区、河流交叉口、大跨越档距等雷电活动强烈区域,以及曾因雷击出现过故障的线路位置。同时,对于同杆架设的多回路线路,要考虑各回路之间的相互影响,在合适位置安装避雷器,确保各回路都能得到有效的防雷保护。(2)需合理选择避雷器类型。根据线路的电压等级、运行环境以及防雷要求,挑选合适的线路避雷器。常见的有氧化锌避雷器,它具有非线性伏安特性好、通流容量大、残压低等优点,能更好地限制过电压。并且要确保所选避雷器的参数,如额定电压、持续运行电压、雷电冲击残压等,满足线路的实际需求。(3)要规范安装工艺。安装时要保证避雷器与导线连接牢固,接触良好,减少接触电阻。同时,要注意避雷器的接地引下线应短而直,接地电阻符合设计要求,以确保雷电流能迅速、安全地泄入大地,充分发挥线路避雷器的防雷作用,提高架空输电线路的防雷可靠性^[2]。

3 架空输电线路防雷设计优化策略

3.1 采用不平衡绝缘方式

在架空输电线路防雷设计中,采用不平衡绝缘方式是一种有效降低多回线路同时雷击跳闸概率的优化策略。该方式的核心原理是让同杆架设的多回线路中,各回线路的绝缘子串片数存在差异。通常,将靠近杆塔顶部的线路设计为绝缘子串片数较少,而下方线路的绝缘子串片数较多。当线路遭受雷击时,由于上方线路绝缘水平相对较低,会优先发生闪络。闪络后,该线路相当于形成了一条接地引线,为雷电流提供了额外的泄放通道,从而分流了部分雷电流,使得下方绝缘水平较高的线路所承受的过电压降低,避免了其同时发生闪络。这种方式尤其适用于同杆架设的双回或多回线路,能有效提高线路的供电可靠性。

3.2 安装自动重合闸装置

在架空输电线路防雷体系里,安装自动重合闸装置是提升线路供电可靠性的关键优化策略。雷电击中线路时,强大的雷电流可能导致绝缘子闪络,引发线路跳闸停电。但多数情况下,雷击造成的闪络只是暂时性的,当雷电流消失后,空气绝缘强度能够迅速恢复。自动重

合闸装置正是利用这一特性,在检测到线路跳闸后,按预设程序自动将断路器重新合闸。若故障是暂时性的,如雷击闪络,重合闸成功后线路可快速恢复正常供电,大幅减少停电时间和范围。该装置能有效弥补单纯防雷措施的不足,降低雷击对供电连续性的影响。不过,为确保其可靠运行,需合理设置重合闸的动作时限和次数。动作时限要兼顾故障点灭弧时间和系统稳定性,次数设置则要防止多次重合对设备造成损坏。

3.3 利用雷电定位系统

在架空输电线路防雷设计优化中,利用雷电定位系统能显著提升防雷工作的精准性与实效性。雷电定位系统借助先进的传感器和通信技术,可实时、准确地监测雷电活动的发生时间、位置、强度及回击次数等关键参数。通过对这些数据的分析,能清晰掌握线路所处区域的雷电活动规律与分布特征,为防雷设计提供科学依据。一方面,依据雷电定位系统提供的信息,可精准识别出雷击高发区段,在这些区域有针对性地加强防雷措施,如增加避雷线根数、优化接地装置、安装线路避雷器等,提高局部防雷能力。另一方面,当线路发生雷击跳闸故障时,系统能快速定位雷击点,帮助运维人员迅速到达故障现场进行检修,缩短故障排查和修复时间,减少停电损失。

3.4 加强线路巡视与维护

加强线路巡视与维护是架空输电线路防雷设计优化不可或缺的环节,对保障线路防雷性能稳定起着关键作用。定期开展全面巡视,能及时发现线路存在的防雷隐患。巡视人员要仔细检查避雷线的连接是否牢固、有无断股或损伤情况,确保其能正常发挥屏蔽和导流作用;查看接地装置是否完好,接地电阻是否符合设计要求,防止因接地不良导致雷电流无法有效泄放。同时,检查绝缘子有无裂纹、脏污或老化现象,避免因绝缘性能下降引发雷击闪络。除了常规巡视,在雷雨季节等特殊时期要增加巡视次数,重点关注易遭受雷击的杆塔和线段。一旦发现防雷设施出现问题,应立即安排维修或更换。此外,还要建立完善的维护档案,记录每次巡视和维修的情况,为后续的防雷工作提供参考。

3.5 合理选择线路路径

合理规划架空输电线路路径,是优化防雷设计、降低雷击风险的关键举措。首先,要深入研究当地的气象与地理特征。雷电活动受地形、气候影响显著,应优先避开雷电高发区,如山脉的迎风坡、水汽充沛的河谷地带等,这些区域空气对流活跃,易形成雷暴云,增加线路遭雷击的几率。其次,考虑土壤电阻率分布。土壤电阻率高的区域,接地效果差,雷电流难以快速泄放,会使线路更易受雷害影响。因此,路径选择应尽量避免高电阻率土壤集中区,或提前规划好有效的接地改造方案。再者,要兼顾线路走向与周边环境的协调性。避免线路经过大片树林、高大建筑物等易引发雷电的物体附近,减少感应雷和直击雷的威胁。同时,结合城市规划、交通布局等因素,在满足供电需求和施工便利性的基础上,选定最优路径,保障架空输电线路长期安全稳定运行^[1]。

结束语

输电线路,尤其是架空输电线路,作为电力传输的关键通道,其防雷设计至关重要,关乎电力系统的安全稳定运行。文章围绕架空输电线路防雷设计展开探讨,从接地装置优化、绝缘配合设计,到线路避雷器安装、不平衡绝缘方式应用,再到自动重合闸装置配备、雷电定位系统利用以及线路巡视维护和路径合理选择等方面,提出了一系列防雷设计优化策略。这些策略相互配合、协同作用,能够有效降低线路雷击故障发生率,提高供电可靠性。未来,随着技术的不断进步,还需持续探索创新防雷方法,以更好地应对复杂多变的雷电环境,为电力系统的稳定运行筑牢坚实防线。

参考文献

- [1]张海虎.架空输电线路防雷与接地的设计分析[J].电气技术与经济,2021(04):69-71.
- [2]李兆春.110kV及以上高压架空输电线路防雷分析[J].通信电源技术,2020,37(12):230-232.
- [3]刘艳,姚剑平.一种山地风电场35kV集电线路防雷技术的应用[J].云南电力技术,2020,48(02):116-