

输电线路防冰防雷一体化解决方案研究

张军胜

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司昆明局 云南 昆明 650000

摘要: 随着全球气候变化, 极端天气事件增多, 输电线路的冰害与雷害问题愈发严峻。本文聚焦输电线路的冰灾与雷灾问题, 先是详细阐述了冰灾和雷灾给输电线路带来的诸多危害, 接着梳理了现有防冰防雷技术。在此基础上, 提出输电线路防冰防雷一体化解决方案策略, 涵盖防冰的路径优化、采用相关技术等策略以及防雷的安装避雷装置、提高绝缘水平等策略, 旨在为保障输电线路安全稳定运行, 减少冰灾、雷灾影响提供综合性参考。

关键词: 输电线路; 防冰防雷; 一体化; 解决方案; 研究

引言: 输电线路作为电力输送的关键纽带, 其安全稳定运行至关重要。然而, 冰灾和雷灾时常对输电线路构成严重威胁, 冰灾可引发过负载、电气事故等不良后果, 雷灾也会致使反击耐雷水平降低、出现雷电绕击导线等情况, 影响输电正常进行。当下虽有各类防冰防雷技术, 但为更高效应对这些灾害, 一体化解决方案的研究显得尤为必要, 下文将对此展开深入探讨。

1 输电线路冰灾与雷灾的危害

1.1 冰灾危害

1.1.1 过负载危害

输电线路覆冰后, 冰层的重量会使导线承受巨大的额外负荷。随着覆冰厚度增加, 导线所受拉力急剧上升, 可能远超其设计承载能力, 导致导线拉长、变形甚至断裂。这种过负载情况不仅直接破坏输电线路的物理结构, 还可能引发杆塔倾斜、倒塌等连锁反应, 使大片区域供电中断, 严重影响电力传输的稳定性与可靠性, 给社会生产生活带来极大不便与经济损失。

1.1.2 电气事故

冰灾引发的电气事故不容忽视。覆冰会改变导线的形状与间距, 使线路的电容、电感等电气参数发生变化, 进而影响线路的电场分布与绝缘性能。当电场强度超过空气击穿阈值时, 就容易产生放电现象, 可能引发闪络事故, 造成线路跳闸。而且, 覆冰融化时产生的水可能会在绝缘子表面形成导电通道, 降低绝缘子的绝缘电阻, 同样增加了闪络的风险, 威胁输电线路的安全运行, 甚至可能引发火灾等严重后果。

1.2 雷灾危害

1.2.1 反击耐雷水平降低

雷灾对输电线路危害严重, 其中反击耐雷水平降低是关键问题。当雷电击中杆塔或避雷线时, 雷电流会沿着杆塔流入大地。由于雷电流幅值巨大, 在杆塔接地电

阻上会产生极高的电位降。若此电位降过大, 可能使杆塔与导线之间的绝缘发生击穿, 形成反击。这会导致线路跳闸, 中断供电, 影响电力系统的正常运行。尤其在土壤电阻率较高地区, 杆塔接地电阻难以有效降低, 反击现象更易发生, 严重威胁输电线路的防雷安全。

1.2.2 雷电绕击导线

雷电绕击导线也是输电线路雷灾的常见危害形式。在某些地形地貌或气象条件下, 雷电可能绕过避雷线直接击中导线。一旦发生绕击, 雷电流会直接作用于导线, 瞬间产生极高的过电压, 极易引发线路绝缘闪络, 导致跳闸事故。山区、峡谷等地形复杂区域, 因地形对电场分布的影响, 雷电绕击导线的概率相对较高, 对这些地区输电线路的安全稳定运行构成极大挑战, 需要针对性的防雷措施加以防范^[1]。

2 现有防冰防雷技术

2.1 防冰技术

2.1.1 热力抗冰除冰法

热力抗冰除冰法是利用热量来防止或去除输电线路覆冰的技术。主要通过给导线施加电流, 使导线发热, 从而提升导线温度, 使冰层融化。例如, 采用交流或直流融冰装置, 根据线路参数和覆冰情况调整电流大小, 以达到融冰效果。这种方法融冰效率较高, 能快速清除线路上的冰层, 适用于覆冰严重的情况。但它需要额外的能源供应, 设备成本和运行成本较高, 且在操作过程中需精确控制电流, 以免对导线造成损伤或影响电力系统正常运行。

2.1.2 机械除冰法

机械除冰法是借助外力作用去除输电线路覆冰的手段。常见的有滑轮铲刮式除冰器, 通过在导线上安装可移动的滑轮装置, 利用其铲刮作用去除冰层; 还有敲打式除冰工具, 人工或借助机械臂对导线进行敲打, 使

冰层脱落。机械除冰法的优点在于不需要额外的能源输入,设备相对简单,成本较低。然而,其除冰过程可能会对导线表面造成一定程度的磨损,影响导线的使用寿命,而且除冰效率相对热力法较低,对于较厚、较硬的覆冰处理效果欠佳,操作时也需要人工辅助,劳动强度较大。

2.1.3 自然被动除冰法

自然被动除冰法主要依靠自然力和导线自身特性来实现除冰。如采用具有特殊涂层或形状的导线,利用风的作用或导线在风中的舞动使冰层脱落。一些憎水性涂层可使冰层不易附着,在风的吹拂下更容易滑落。还有采用预扭式导线,通过其特殊的结构在风振等作用下促使冰层开裂掉落。这种方法无需额外设备和能源投入,成本低且对导线损伤小。但它受自然条件限制较大,除冰效果不稳定,在无风或风力较小、气温较低等不利条件下,除冰效果可能不明显,难以应对严重覆冰情况。

2.2 防雷技术

2.2.1 降低杆塔接地电阻

降低杆塔接地电阻是提高输电线路防雷性能的重要举措。通过增大接地极的表面积、增加接地极数量或采用降阻剂等方法,减小杆塔接地电阻。当地雷击中杆塔时,较低的接地电阻可使雷电流迅速泄入大地,降低杆塔顶部电位,减少反击发生的可能性。例如,在土壤电阻率较高地区,采用深井接地或敷设外延接地网等方式。但该方法在一些特殊地质条件下实施难度较大,如岩石地区,降阻效果有限,且可能涉及土地占用等问题,成本也会相应增加,需要综合考虑地质、环境和成本等多方面因素来实施。

2.2.2 安装避雷线

安装避雷线是输电线路防雷的常用手段。避雷线架设在导线上方,其主要作用是将雷电吸引到自身,通过自身良好的导电性将雷电流引入大地,从而保护导线免受直击雷。它能有效降低雷电直击导线的概率,对线路防雷起到屏蔽作用。在设计安装时,需根据线路电压等级、地形地貌等确定避雷线的高度、数量和间距等参数。不过,避雷线在一些复杂地形或强雷电活动区域,可能无法完全避免雷电绕击导线的情况发生,且避雷线自身也可能在遭受雷击时产生感应过电压,对线路绝缘产生影响。

2.2.3 采用线路避雷器

采用线路避雷器可增强输电线路的防雷能力。线路避雷器并联在导线与杆塔之间,当雷电过电压超过避雷器的动作阈值时,避雷器迅速导通,将雷电流泄放,

限制导线与杆塔之间的电位差,防止绝缘子发生闪络。它具有响应速度快、保护好等优点,尤其适用于雷电活动频繁、地形复杂的区域。但线路避雷器的成本较高,需要定期进行检测和维护,以确保其性能良好。而且在一些高污染、高湿度环境中,避雷器的绝缘性能可能会受到影响,降低其防雷效果,因此对安装环境有一定要求^[2]。

3 输电线路防冰防雷一体化解决方案策略

3.1 防冰策略

3.1.1 路径优化

路径优化是输电线路防冰的重要策略之一。在规划输电线路路径时,应充分考虑冰灾风险因素。尽量避开易形成重冰区的微地形、微气象区域,如山谷风口、高海拔寒冷且湿度大的地段等。借助地理信息系统(GIS)和气象数据,对沿线地形地貌、气候条件进行详细分析评估,选择覆冰可能性较小的路线。例如,优先选择阳坡或海拔相对较低、气流较为顺畅的区域架设线路。这样可从源头上减少输电线路遭遇冰灾的概率,降低建设与运维成本,提高输电线路的安全性和可靠性。同时,合理的路径规划还能兼顾防雷需求,避开雷电活动频繁的区域或采取相应的防雷措施,实现防冰防雷的协同规划。

3.1.2 增强日常保护

增强输电线路的日常保护对于防冰工作意义重大。定期开展线路巡检,安排专业人员徒步或借助无人机等设备对线路进行细致检查,及时发现导线、绝缘子等部件的微小损伤或隐患,并进行修复处理。加强对线路周边环境的监测与管理,清理线路通道内的树木、杂物等,防止因异物触碰导线引发事故或影响线路散热导致覆冰加剧。在易覆冰季节来临前,对杆塔基础、拉线等进行加固维护,确保其在覆冰负载下的稳定性。此外,建立完善的线路监测系统,实时监测线路的运行状态、气象条件等信息,以便提前预警冰灾风险,为采取相应的防冰措施争取时间,保障输电线路的安全稳定运行。

3.1.3 采用防覆冰导线

采用防覆冰导线是一种有效的防冰策略。防覆冰导线主要通过特殊的结构设计或表面处理来减少冰的附着。例如,采用具有憎水性或低表面能涂层的导线,使水滴难以在其表面凝结成冰,即使有少量冰层形成,也容易在风或导线自身振动作用下脱落。还有一种螺旋形结构的防覆冰导线,其特殊形状可破坏冰层的完整性,阻止冰层连续积累。这种导线在一定程度上能够降低覆冰对输电线路的危害,减少除冰作业的频率和难度。不过,防覆冰导线的制造成本相对较高,在大规模应用时

需要综合考虑经济效益和防冰效果的平衡,同时也要关注其长期运行性能和与其他线路部件的兼容性^[3]。

3.1.4 应用防冰技术

应用多种防冰技术可应对不同程度的输电线路覆冰情况。热力抗冰除冰法在严重覆冰时可发挥关键作用,如采用直流融冰技术,根据线路参数精确计算融冰电流,通过在变电站或线路上设置融冰装置,使导线发热融冰。机械除冰法可作为辅助手段,在覆冰厚度较薄或局部覆冰时使用,如利用智能除冰机器人,它能够在导线上自主移动,通过机械刮削或振动等方式去除冰层,提高除冰效率并降低人工劳动强度。自然被动除冰法可长期应用,通过在导线表面涂覆特殊材料或采用特殊结构导线,利用自然环境因素实现一定程度的防冰除冰效果。综合运用这些防冰技术,能够根据实际情况灵活采取措施,最大程度保障输电线路在冰灾期间的正常运行。

3.2 防雷策略

3.2.1 安装避雷针或避雷器

安装避雷针或避雷器是输电线路防雷的关键举措。避雷针通过高耸的针尖将雷电吸引过来,引导雷电流安全地泄入大地,从而保护其下方一定范围内的输电线路免受直击雷侵害。其安装位置与高度需依据线路周边地形、杆塔高度等因素精确计算确定,以确保有效保护范围覆盖线路关键部位。而线路避雷器则并联于导线与杆塔之间,当雷电过电压袭来且超过其动作阈值时,迅速导通将雷电流分流泄放,限制导线与杆塔间电位差,防止绝缘子闪络。对于雷电活动频繁且地势复杂区域,避雷器的快速响应特性尤为重要。

3.2.2 架设避雷线

避雷线通常架设在输电导线上方,凭借其良好的导电性与较高的位置优势,优先将雷电吸引至自身,然后将雷电流传导至杆塔并最终泄入大地,有效降低了雷电直击导线的概率,起到了屏蔽保护作用。在避雷线的架设过程中,需综合考量线路电压等级、所在地区雷电活动强度以及地形地貌等因素,科学合理地确定避雷线的数量、高度、弧垂以及与导线之间的距离等参数。例如,在高电压等级线路或雷电高发山区,可采用双避雷线甚至多避雷线设计以增强防雷效果。但避雷线在防雷过程中可能会因电磁感应产生感应过电压,所以需配合其他防雷措施共同使用,以确保输电线路整体防雷性能的优化。

3.2.3 提高绝缘水平

提高绝缘水平是增强输电线路防雷能力的重要手

段。一方面,可以选用绝缘性能更好的绝缘子,如复合绝缘子,其具有耐污闪性能强、重量轻等优点,相比传统瓷绝缘子能更好地适应复杂环境,有效提高线路绝缘耐受电压。另一方面,合理增加绝缘子串的片数或长度,能够提升线路的绝缘强度,增强对雷电过电压的抵御能力,注重绝缘子的日常清洁与维护工作,及时清除其表面的灰尘、污垢等污染物,防止因污秽导致绝缘性能下降。在一些特殊污秽地区,还可采用防污闪涂料对绝缘子进行处理,进一步提高其抗污闪和防雷能力,保障输电线路在雷电天气及日常运行中的绝缘可靠性,减少因绝缘击穿引发的跳闸事故。

3.2.4 接地装置

接地装置对于输电线路防雷起着不可或缺的作用。良好的接地装置能够在雷电流击中杆塔或避雷线时,迅速将雷电流导入大地,降低杆塔顶部电位,有效防止反击现象的发生。接地装置的设计与安装需充分考虑土壤电阻率、接地电阻要求以及当地气候条件等因素。常见的接地方式有水平接地、垂直接地以及复合接地等,通过合理布置接地极的数量、形状、深度等参数,以达到降低接地电阻的目的。例如,在土壤电阻率较高地区,可采用换土、添加降阻剂或深井接地等方法来改善接地效果^[4]。

结束语

输电线路的安全稳定运行关系到整个电力系统的可靠性,防冰防雷一体化解决方案的研究与实施至关重要。通过深入剖析冰灾和雷灾危害,梳理现有技术,并提出针对性的一体化策略,为输电线路防护提供了全面思路。未来,需进一步加强技术创新,提高防冰防雷措施的有效性与经济性,注重日常运维管理,建立完善的监测预警体系,及时发现并处理潜在风险。相信随着技术的进步与管理的优化,输电线路将能更好地抵御冰灾与雷灾,为社会发展持续输送稳定电能。

参考文献

- [1]郑江,林苗.输电线路防冰防雷一体化解决方案研究[J].广西电力,2019,29(4):73-75.
- [2]刘尧兵,邓连勇,郑江.输电线路防冰防雷一体化解决方案研究[J].贵州电力技术,2019,11(7):121-123
- [3]吴桂芳,陈巧勇,蓝磊,文习山.输电线路防冰防雷一体化解决方案研究[J].电瓷避雷器,2019(2):40-43
- [4]张彩友,丁一岷,冯华.关于开展变电设备运维一体化的认识与思考[J].浙江电力,2011(03).