

输电线路覆冰的形成、危害及防治

黄 卉

深圳市达能电力技术有限公司 广东 深圳 518000

摘 要：输电线路覆冰涉及气象、地形和线路特性等因素，形成过程复杂。覆冰会导致闪络、负荷过重、舞动危害及不均匀覆冰等问题，严重影响电力系统稳定。防治方法包括电磁力法、过电流法、机械除冰、热力除冰、憎水材料防冰和采用低居里点铁磁材料等。每种方法都有其优缺点，需根据具体情况选择。实际应用中需综合考虑成本、安全、效率和效果，加强监测和维护，确保输电线路安全运行。

关键词：输电线路；覆冰形成；危害；防治

引言

输电线路覆冰是一个复杂且严重的问题，其形成受到多种因素的影响。覆冰现象不仅可能引发线路故障和事故，更会对电力系统的稳定运行构成重大威胁。鉴于覆冰问题的严重性和复杂性，对其形成机理和防治方法进行深入研究显得尤为重要。本文旨在全面探讨输电线路覆冰的成因、可能带来的危害，以及当前存在的多种防治策略，旨在为相关领域的实践提供有价值的参考，以期为保障电力系统的安全稳定运行贡献力量。

1 输电线路覆冰的形成

输电线路覆冰的形成是一个极为复杂的物理过程，它涉及了气象条件、地形地貌以及线路特性等多个关键因素。当天空中飘落的冷雨滴接触到温度低于冰点的物体表面时，这些雨滴会迅速凝结成冰，形成所谓的雨凇。当这一凝结现象发生在输电线上时，电线就会因此覆上一层冰层。线路覆冰现象往往发生在特定的气候条件下，即冻雨期。这一时期，低海拔地区尤其容易受到覆冰的影响。覆冰的持续时间虽然通常较短，但在这段时间内，环境温度往往接近冰点，同时风力较大，这些条件共同促进了覆冰的形成。积冰在导线上呈现出透明的形态，其粘合力极强，密度也相对较高。这使得覆冰对输电线路构成了不小的威胁。根据形成条件的不同，覆冰可以分为多种类型，包括雨凇覆冰、混合凇、软雾凇、白霜和干雪等。雨凇覆冰是混合凇覆冰的初级阶段，它的密度较低，但随着时间的推移，会逐渐转变为密度更高、生长速度更快的混合凇。混合凇覆冰对导线的危害尤为严重，因为它不仅增加了导线的重量，还可能改变导线的形状，从而影响其电气性能。相比之下，软雾凇在极低温度和风速较小的情况下形成，其密度较小，附着力也相对较弱。因此，软雾凇对导线一般不构成太大的威胁。而白霜和干雪则更难粘结到导线表面，

除非空气中的雪为“湿雪”，否则导线一般不会出现积雪现象。

2 输电线路覆冰的危害

2.1 覆冰闪络

覆冰闪络是输电线路覆冰危害中最为直接且严重的一种。当绝缘子串表面被冰雪覆盖后，其绝缘性能会大幅下降^[1]。冰雪中的杂质、水分以及融化的冰水都会显著降低绝缘子串的泄漏电阻，导致电压分布不均，某些区域的电位梯度异常升高。随着覆冰厚度的增加，这些高电位梯度区域会首先出现辉光放电现象，这是覆冰闪络的初步阶段。辉光放电伴随着少量融化水的渗出，这些水分在绝缘子串表面形成导电通道，加剧了放电过程。若泄漏电流持续增大，辉光放电将逐渐演变为更为强烈的白色弧光放电。此时，融化水沿着绝缘子串表面大范围扩展，形成连续的导电通道，导致局部放电迅速蔓延至整个绝缘子串，最终引发全串闪络事故。覆冰闪络一旦发生，将直接导致线路接地跳闸，严重影响电力系统的稳定运行。此外，闪络过程中产生的电弧还可能对绝缘子串造成物理损伤，降低其使用寿命。因此，覆冰闪络是输电线路覆冰危害中必须高度重视的问题。

2.2 负荷过重

输电线路的承重能力是有限的，而覆冰的存在会显著增加电线、绝缘子串以及杆塔等部件所承受的额外负荷。覆冰本身具有相当重量，特别是在严重覆冰情况下，其重量可能远超设计时的安全裕量。此外，覆冰后的电线受风面积增大，导致风压也随之增加，进一步加剧了线路的受力情况。当冰、风综合荷载超出这些部件的承载能力时，便可能导致严重的后果。电线可能因承受不住过大的拉力而断裂，绝缘子串可能因挤压而破损，杆塔则可能因倾斜甚至倒塌而失去支撑作用。这些后果都将对电力系统的安全运行构成严重威胁。

2.3 覆冰导线舞动危害

覆冰导线舞动是一种由覆冰不均匀性和风力共同作用引发的特殊物理现象。在风力作用下,覆冰导线会产生复杂的振动和舞动,其幅度和频率往往远高于正常情况下的风振。这种舞动不仅会对导线本身造成机械损伤,如磨损、断裂等,还可能引发更为严重的后果^[2]。舞动过程中,导线与相邻物体(如树木、建筑物等)的碰撞可能导致绝缘间隙击穿,进而引发短路或接地故障。此外,舞动还可能破坏线路的金具和附件,如线夹、防震锤等。这些金具和附件在电力系统中起着至关重要的作用,它们的损坏将直接影响线路的稳定性和安全性。

2.4 不均匀覆冰

不均匀覆冰是输电线路覆冰问题中的一个重要方面。受地形、地物、风向和风力等多种因素的影响,线路杆塔两侧的电线覆冰情况往往存在差异。这种不均匀覆冰会导致电线在脱冰过程中产生不平衡张力。当气温回升或风力变化导致冰雪开始融化时,由于两侧脱冰时间和速度的不同,电线会受到不同方向的拉力作用。这种不平衡张力可能导致电线在线夹处出现断股甚至被拉断的现象。此外,不均匀覆冰还可能改变导线的电阻和电感等参数,进而影响电力系统的稳定性和安全性。不均匀覆冰问题不仅难以预测和控制,而且其影响范围广泛,从单个杆塔到整个线路系统都可能受到波及。因此,对于不均匀覆冰问题应给予足够的重视和关注,采取有效的监测和防治措施。

3 输电线路覆冰的防治

3.1 电磁力法

电磁力法,作为一种创新的输电线路覆冰防治手段,其核心理念在于利用电磁力原理实现覆冰的融化。该方法通过在导线周围巧妙地设置电磁线圈,当电流流经这些线圈时,会生成强大的磁场。这一磁场进而在导线表面诱导出涡流,涡流与磁场之间的相互作用便产生了热量,从而有效地融化了覆盖在导线上的冰层。然而,尽管电磁力法在理论上展现出了其独特的优势,但在实际应用中却面临着一系列挑战。首要问题便是能耗巨大,这一方法需要消耗大量的电能来产生足够的热量以融化覆冰,这无疑加重了电力系统的负担。此外,电磁线圈的安装和维护成本也相当高昂,且对导线的绝缘性能有着严格的要求,这无疑增加了实施的难度。更为关键的是,电磁力法的融冰效果并非万能。它受到导线材质、直径以及覆冰厚度等多种因素的影响,难以在所有情况下都保证有效的融冰效果^[3]。因此,在实际应用中,电磁力法往往需要与其他方法相结合,或者仅在特

定条件下使用。

3.2 过电流法

过电流法是通过增大线路中的电流来产生热量,从而融化覆冰。这种方法包括直流电流融冰技术、交流短路电流融冰技术和增大负荷电流融冰等几种方式。直流电流融冰技术需要加装直流换流调压装置,通过调节直流电流的大小和持续时间来控制融冰效果。该方法适用于电压较低的小导线线路,具有融冰速度快、效果好等优点。然而,直流换流调压装置的成本较高,且需要专业的维护和操作技术。交流短路电流融冰技术主要在低压线路上使用。该方法通过在线路两端施加短路电流,使导线发热融化覆冰。然而,交流短路电流融冰需要停电操作,对电力系统的正常运行造成一定影响。此外,短路电流的大小和持续时间需要精确控制,以避免对线路和设备造成损坏。增大负荷电流融冰则是利用电阻发热的原理进行融冰。该方法通过增加线路的负荷电流,使导线发热融化覆冰。然而,增大负荷电流会对电力系统的稳定运行造成一定影响,且需要考虑到线路的承载能力和安全裕度。过电流法在实际应用中需要根据线路的具体情况和融冰需求选择合适的融冰方式。同时,需要加强对线路和设备的监测和维护,确保融冰过程的安全性和可靠性。

3.3 机械除冰

机械除冰是通过机械装置对导线进行敲击或振动,使覆冰脱落。这种方法具有操作简便、成本较低等优点,适用于覆冰厚度较小、线路较短的情况。机械除冰常用的装置包括滑车式除冰器和榔头敲击等。滑车式除冰器通过滑车在导线上滑动并敲击导线表面,使覆冰脱落。该方法适用于覆冰厚度较薄、线路较直的情况。榔头敲击则是通过人工使用榔头敲击导线表面来去除覆冰,适用于覆冰厚度较小、线路较短且易于接近的情况。然而,机械除冰需要人工操作,且在高空作业中存在一定的安全风险。此外,机械除冰的效率较低,对于覆冰厚度较大或线路较长的情况,需要消耗大量的时间和人力。因此,在实际应用中需要综合考虑安全、效率和成本等因素,选择合适的机械除冰方式。为了确保机械除冰的安全性和有效性,需要加强对操作人员的培训 and 安全教育,提高他们的安全意识和操作技能。同时,需要定期对机械装置进行检查和维护,确保其处于良好的工作状态。

3.4 热力除冰方法

热力除冰是通过加热导线或绝缘子串来融化覆冰。这种方法包括热水冲洗、热风加热等几种方式。热水冲洗是

通过向导线或绝缘子串喷洒热水来融化覆冰。该方法具有融冰速度快、效果好等优点,但需要消耗大量的水资源和热能。此外,热水冲洗需要专业的设备和操作人员,且在高空作业中存在一定的安全风险。热风加热则是通过向导线或绝缘子串吹送热风来融化覆冰。该方法适用于覆冰厚度较小、线路较短的情况^[4]。然而,热风加热需要消耗大量的电能或燃料,且加热效果受到风速、温度等环境因素的影响。热力除冰方法在实际应用中需要根据线路的具体情况和融冰需求选择合适的加热方式。同时,需要加强对设备和操作人员的监测和维护,确保加热过程的安全性和可靠性。此外,还需要考虑到环保和节能的问题,避免对环境造成污染和浪费资源。

3.5 憎水材料防冰

憎水材料防冰是通过在导线表面涂刷憎水材料来防止电缆结冰。憎水材料具有憎水性,能够阻止水滴在导线表面凝结成冰。这种方法具有成本低、操作简便等优点,适用于覆冰较轻、线路较长的情况。憎水材料的选择和涂刷工艺对防冰效果具有重要影响。优质的憎水材料应具有良好的憎水性、耐久性和附着力,能够在恶劣的气候条件下保持稳定的性能。涂刷工艺则需要确保憎水材料均匀、牢固地附着在导线表面,形成有效的防冰层。然而,憎水材料防冰的效果受到多种因素的影响。首先,憎水材料的性能受到温度、湿度等环境因素的影响,需要在适宜的气候条件下使用。其次,涂刷工艺的质量和均匀性对防冰效果具有重要影响,需要加强对涂刷过程的控制和监测。此外,憎水材料防冰的持久性有限,需要定期进行检查和维护,及时更换老化和损坏的防冰层。为了提高憎水材料防冰的效果和持久性,可以加强对憎水材料的研究和开发,提高其性能和耐久性。同时,可以优化涂刷工艺和质量控制方法,确保憎水材料均匀、牢固地附着在导线表面。此外,还可以加强对线路和设备的监测和维护,及时发现和处理潜在的结冰风险。

3.6 采用低居里点铁磁材料

低居里点铁磁材料是一种在磁场作用下会产生热量的材料。当导线中安装有这种材料时,在覆冰情况下可以通过施加磁场使其产生热量,从而融化覆冰。这种

方法具有能耗低、效果好等优点,适用于覆冰较严重、线路较长的情况。低居里点铁磁材料的选择和安装对融冰效果具有重要影响。优质的材料应具有良好的磁性能和热性能,能够在磁场作用下产生足够的热量来融化覆冰。安装过程则需要确保材料牢固地附着在导线表面,且不影响线路的正常运行。然而,低居里点铁磁材料在实际应用中需要考虑到材料的成本和加工难度等问题。此外,施加磁场需要专业的设备和操作人员,且在高空作业中存在一定的安全风险。因此,在实际应用中需要综合考虑成本、安全、效率和效果等因素,选择合适的材料和安装方式。为了提高低居里点铁磁材料融冰的效果和可靠性,可以加强对材料的研究和开发,提高其性能和降低成本。同时,可以优化安装工艺和质量控制方法,确保材料牢固地附着在导线表面^[5]。此外,还可以加强对线路和设备的监测和维护,及时发现和处理潜在的融冰问题。

结束语

综上所述,输电线路覆冰的防治不仅是技术层面的挑战,更是确保电力系统稳定运行和满足人们用电需求的重要保障。面对复杂多变的覆冰问题,我们必须深入剖析其成因,准确把握其危害,并积极采取有效的防治策略。通过不断的研究和实践,优化防治方法,加强线路的监测和维护,我们能够有效抵御覆冰带来的风险,确保电力系统的安全、稳定运行。

参考文献

- [1]郑三毛,周海波.基于超声波的输电线路覆冰厚度监测预警和防除冰技术分析[J].通讯世界,2021,28(6):2.
- [2]蒋明,赵汉棣,马小强.高压输电线路覆冰及防冰,除冰技术综述[J].电力安全技术,2020,22(4):7.
- [3]庄红军,彭赤,陈友坤,等.高压输电线主动防冰/除冰机器人控制系统设计[J].电力大数据,2021,24(3):8.
- [4]郑爽.输电线路覆冰分析及防治措施[J].百科论坛电子杂志,2018(10):349.
- [5]刘春城,李宏男,刘佼.高压输电线路抗冰灾的研究现状与发展趋势[J].自然灾害学报,2019(1):155-162.