

# 架空输电线路的防风与防冰技术研究进展

韩佳岐

中国能源建设集团黑龙江省电力设计院有限公司 黑龙江 哈尔滨 151100

**摘要:** 本文深入剖析了架空输电线路在风灾与冰灾影响下所面临的严峻挑战,详细阐述了风灾与冰灾对线路造成的具体危害。全面且细致地介绍了当前防风技术与防冰技术的研究进展,涵盖防风方面从线路设计优化的诸多细节、新型防风装置的研发与应用到智能监测预警系统的构建与功能;防冰方面包括主动防冰技术与被动防冰技术的多种手段及其原理。旨在为提高架空输电线路在恶劣环境下的安全稳定运行提供全面的理论参考与实践指导。

**关键词:** 架空输电线路;防风技术;防冰技术;研究进展

## 1 引言

架空输电线路是电力系统的“血管”,负责电能输送,其安全稳定运行对社会经济和人民生活用电至关重要。但在自然环境中,线路常受自然灾害威胁,风灾与冰灾尤为突出。强风会导致导线舞动、杆塔倾斜或倒塌,覆冰则使导线增重、弧垂增大,引发闪络、断线等事故,影响电力系统可靠性。故深入探究防风与防冰技术、提升线路抗灾能力,是电力领域亟待解决的关键问题。

## 2 风灾与冰灾对架空输电线路的危害

### 2.1 风灾危害

风灾对架空输电线路危害严重。当特定速度和角度的风吹向导线,会形成不稳定空气涡流,引发导线低频、大振幅自激振动即导线舞动,使导线间距减小,易致相间短路,还会给杆塔带来巨大动态荷载,可能损坏杆塔构件或致其倾斜。强风下,杆塔承受较大水平风荷载,设计强度不足或基础不牢时,易倾斜、倒塌,山区、沿海等风大区风险更高。此外,风力会使绝缘子串偏移、改变受力状态,导致其断裂或金具损坏,降低线路绝缘性能,增加闪络事故概率。

### 2.2 冰灾危害

冰灾对架空输电线路危害极大。导线覆冰后重量显著增加,弧垂随之增大,使导线对地距离变小,易引发接地故障,且弧垂过大还可能致导线与周边物体间距不足,造成相间短路。若导线覆冰不均匀,会形成不平衡张力,使导线在档距中间或耐张段内断裂,引发严重停电事故。此外,绝缘子串覆冰后,冰凌会在表面形成导电通道,降低绝缘强度,气温回升或降雨时冰凌融化形成水膜,会导致绝缘子串闪络,致使线路跳闸。

## 3 架空输电线路防风技术研究进展

### 3.1 线路设计优化

#### 3.1.1 路径选择与气象条件评估

在输电线路设计阶段,充分考虑气象条件是确保线路安全运行的关键。设计人员会对沿线地区的气象数据进行详细分析,包括历史风速记录、风向分布、极端天气情况等。通过专业的气象模型和软件,确定合理的风速设计值,为杆塔和导线的选型提供科学依据<sup>[1]</sup>。例如,在山区线路设计中,会避开风口和峡谷等风力较大的区域,选择山脊或山坡的背风面作为线路路径。同时,还会考虑地形对风速的影响,对不同地形条件下的风速进行修正,以提高设计的准确性。

#### 3.1.2 杆塔结构优化

为了提高杆塔的抗风能力,采用了多种新型杆塔结构。增加杆塔的开孔和埋深是常见的措施之一,这可以有效提高杆塔的稳定性和抗风能力。例如,在一些沿海地区,由于风力较大,采用了加大开孔的钢管塔,其开孔比传统杆塔增大了 20% - 30%,显著增强了杆塔抵抗水平风荷载的能力。此外,还采用了钢管塔或组合角钢塔等强度较高的杆塔形式。钢管塔具有截面惯性矩大、抗弯能力强等优点,适用于大跨越和风力较大的地区;组合角钢塔则通过合理的结构设计和连接方式,提高了杆塔的整体承载能力。同时,对杆塔的关键部位进行加强设计,如横担、塔身连接处等,采用高强度钢材和先进的连接工艺,以提高杆塔的整体抗风性能。

#### 3.1.3 导线选型与张力调整

选择具有较高抗风能力的导线是提高线路抗风性能的重要环节。钢芯铝绞线由于其良好的机械性能和电气性能,被广泛应用于架空输电线路中。根据线路的设计风速和地形条件,合理调整导线的张力,使导线在风力作用下能够保持相对稳定的状态。例如,在风力较大的地区,会适当增大导线的初始张力,以减少导线在风力作用下的振动幅度。同时,还会考虑导线的弧垂变化,确保导线在各种气象条件下都能满足安全运行的要求。

### 3.2 新型防风装置研发

#### 3.2.1 防舞动装置

目前,常用的防舞动装置包括失谐摆、间隔棒、线夹回转式间隔棒等。失谐摆通过改变导线的振动频率,避免导线发生共振舞动。其工作原理是在导线上安装一定质量的摆锤,当导线发生振动时,摆锤的惯性会使导线的振动频率发生偏移,从而破坏共振条件。间隔棒能够限制导线之间的相对运动,减少舞动的幅度。它通常安装在导线的档距中间,将多根导线分隔开来,防止导线相互碰撞和缠绕<sup>[2]</sup>。线夹回转式间隔棒则允许导线在一定范围内自由转动,释放导线舞动产生的能量,从而抑制舞动。这种间隔棒通过特殊的线夹结构,使导线在受到风力作用时能够发生一定角度的转动,减小了导线所受的应力。

#### 3.2.2 阻尼器

阻尼器是一种通过消耗能量来抑制振动的装置。在架空输电线路中,常用的阻尼器有油压阻尼器、摩擦阻尼器等。油压阻尼器利用油液的粘性阻力来消耗导线舞动的能量。它由活塞、油缸和油液组成,当导线振动时,活塞在油缸内往复运动,油液通过活塞上的小孔产生粘性阻力,从而消耗能量。摩擦阻尼器则通过摩擦面的相对滑动来消耗能量。它通常由两个摩擦块和调节装置组成,通过调节摩擦块之间的压力来改变摩擦力的大小。阻尼器一般安装在杆塔或导线上,能够有效降低导线的振动幅度,提高线路的抗风能力。

#### 3.2.3 新型导线固定装置

研发新型的导线固定装置,如自锁式线夹等。自锁式线夹能够在导线受到风力作用时,自动调整对导线的握力,防止导线滑移。它采用了特殊的机械结构和弹簧装置,当导线张力增大时,弹簧会被压缩,线夹对导线的握力也会相应增大;当导线张力减小时,弹簧会恢复原状,线夹对导线的握力也会适当减小。这种自锁式线夹保证了导线的稳定运行,减少了因导线滑移而导致的安全事故。

## 4 架空输电线路防冰技术研究进展

### 4.1 主动防冰技术

#### 4.1.1 热力防冰法

电流融冰:通过增大线路的电流,使导线发热,从而达到融冰的目的。电流融冰可以分为直流融冰和交流融冰两种方式。直流融冰具有融冰速度快、效率高的优点,但需要专门的直流融冰装置,投资较大。直流融冰装置通常由整流变压器、整流器、平波电抗器等组成,能够将交流电转换为直流电,并施加到需要融冰的线路上。在融冰过

程中,通过控制直流电流的大小和时间,可以实现对融冰速度和效果的精确控制。交流融冰则可以利用线路本身的变压器等设备,成本相对较低,但融冰速度较慢。交流融冰是通过改变线路的运行方式,使线路产生较大的交流电流,利用电流的热效应融冰。然而,交流融冰可能会对电网的运行产生一定的影响,如引起电压波动、功率因数变化等,需要在合适的时机进行。

短路融冰:将线路的一端三相短路,另一端施加电压,使线路产生短路电流,利用短路电流的热量融冰。短路融冰操作相对简单,不需要额外的融冰设备,但会对电网的运行产生一定的影响。在进行短路融冰时,需要合理安排电网的运行方式,确保融冰过程中电网的安全稳定运行。同时,要严格控制短路电流的大小和时间,避免对线路和设备造成损坏。

介质加热防冰:在导线内部或表面设置介质加热装置,如电热丝、碳纤维加热带等,通过通电产生热量来防止导线覆冰。介质加热防冰具有加热均匀、效果好的优点,但会增加导线的重量和成本,且需要解决加热装置的供电和绝缘问题<sup>[3]</sup>。电热丝通常采用高电阻率的合金材料制成,通过将其缠绕在导线表面或嵌入导线内部,通电后产生热量。碳纤维加热带则具有重量轻、柔韧性好等优点,可以根据导线的形状进行弯曲和安装。为了确保加热装置的供电安全,需要采用特殊的绝缘材料和连接方式,防止漏电和短路事故的发生。

#### 4.1.2 机械除冰法

滑轮铲刮法:利用滑轮在导线上滑动,带动铲刮装置将导线上的覆冰刮除。滑轮铲刮法操作简单,成本较低,但需要人工操作,效率较低,且在高空作业时存在一定的安全风险。在进行滑轮铲刮作业时,工作人员需要攀爬到杆塔上,将滑轮和铲刮装置安装到导线上,然后通过拉动绳索使滑轮在导线上滑动,铲刮装置将覆冰刮除。由于作业环境复杂,工作人员需要具备较高的操作技能和安全意识,同时要采取必要的安全防护措施。

机器人除冰:研发专门的除冰机器人,机器人可以在导线上自主行走,利用机械臂、铲刀等装置将覆冰清除。机器人除冰具有自动化程度高、效率高的优点,但机器人的研发和制造成本较高,且需要解决机器人在复杂环境下的行走和作业问题。除冰机器人通常采用轮式或履带式行走机构,能够在导线上稳定行走。其机械臂和铲刀可以根据覆冰的情况进行调整,实现对不同形状和厚度的覆冰的有效清除。为了提高机器人的适应性和可靠性,需要采用先进的传感器技术和控制算法,使机器人能够自动识别导线的位置和覆冰的情况,并做出相

应的动作。

**振动除冰：**通过在导线上施加振动，使覆冰与导线之间的粘结力破坏，从而达到除冰的目的。振动除冰可以采用电磁振动、机械振动等方式。电磁振动除冰是利用电磁力使导线产生振动，通常在导线上安装电磁线圈，通过通入交变电流产生交变磁场，使导线受到电磁力的作用而振动。机械振动除冰则是通过安装在杆塔上的振动装置使导线振动，振动装置可以采用电机带动偏心轮的方式产生振动。振动除冰对导线的损伤较小，但除冰效果受振动频率和振幅的影响较大，需要根据实际情况进行优化调整。

## 4.2 被动防冰技术

### 4.2.1 改变导线表面特性

**憎水性涂层：**在导线表面涂覆憎水性材料，使覆冰难以在导线上附着。憎水性涂层具有施工简单、成本较低的优点，但涂层的耐久性较差，需要定期重新涂覆。憎水性材料通常具有较低的表面能，能够使水滴在导线表面形成球状，不易铺展和结冰。常用的憎水性材料有硅橡胶、氟碳涂料等<sup>[4]</sup>。在涂覆憎水性涂层时，需要严格控制涂层的厚度和均匀性，以确保其防冰效果。

**粗糙表面处理：**通过机械加工或化学处理等方法，使导线表面变得粗糙，增加覆冰与导线之间的摩擦力，减少覆冰的积累。粗糙表面处理可以在一定程度上提高导线的防冰性能，但可能会影响导线的电气性能。机械加工方法包括喷砂、滚花等，化学处理方法则是通过在导线表面进行化学反应，形成微小的凸起和凹陷。在进行粗糙表面处理时，需要综合考虑防冰效果和电气性能的影响，选择合适的处理方法和参数。

### 4.2.2 防冰闪绝缘子

**大伞裙绝缘子：**采用具有较大伞裙的绝缘子，增加绝缘子串的爬电距离，防止覆冰时发生闪络。大伞裙绝缘子能够有效提高绝缘子的防冰闪性能，但会增加绝缘子串的重量和长度。大伞裙的设计可以阻止冰凌在绝缘子表面形成连续的导电通道，增加冰凌之间的空气间隙，从而提高绝缘子的绝缘强度。在选择大伞裙绝缘子时，需要根据线路的电压等级和气象条件进行合理选型，确保其能够满足防冰闪的要求。

**复合绝缘子：**复合绝缘子具有良好的憎水性和耐污闪性能，在覆冰条件下也能保持较好的绝缘性能。复合绝缘子的重量轻、强度高，但价格相对较高。复合绝

缘子通常由芯棒、伞裙和金具组成，芯棒采用玻璃纤维增强树脂棒，具有高强度和良好的绝缘性能；伞裙采用硅橡胶材料制成，具有优异的憎水性和耐候性。在覆冰时，硅橡胶伞裙表面的憎水性能够防止冰凌形成连续的水膜，减少闪络的发生概率。

### 4.2.3 合理设计线路参数

**增大导线间距：**适当增大导线之间的间距，减少覆冰时导线之间的闪络概率。增大导线间距需要在设计阶段进行综合考虑，避免因间距过大而增加线路的建设成本。在设计过程中，会根据线路的电压等级、气象条件和地形特点等因素，确定合理的导线间距。例如，在覆冰严重的地区，导线间距可能会比一般地区增大 10% - 20%。

**优化绝缘子串布置：**根据线路的气象条件和地形特点，合理布置绝缘子串，如采用 V 型串、倒 V 型串等布置方式，提高绝缘子串的防冰闪能力。V 型串和倒 V 型串可以改变绝缘子串的受力状态，减少冰凌在绝缘子表面的积累，同时增加冰凌之间的空气间隙，提高绝缘子的绝缘强度。在进行绝缘子串布置时，需要结合杆塔的结构和受力情况，进行详细的力学计算和分析，确保布置方案的可行性和安全性。

## 结语

架空输电线路防风与防冰技术研究持续发展完善。虽已有一定成果，但实际应用仍有挑战。通过优化线路设计、研发新型装置，可提升线路抗灾力。不过各项技术均有优劣，需依实际情况选用。未来，随智能化、自动化及新材料新工艺发展，该技术将更高效、可靠、环保，保障电力系统稳定运行。同时，加强区域协同与信息共享，能提升防灾能力，为经济可持续发展提供电力支撑。

## 参考文献

- [1]徐晖.输电架空线路防风加固技术策略分析[J].农村电气化,2023,(05):14-16.
- [2]董绍春,石海峰.大跨越输电线路防风振方案辅助设计技术探析[J].电力设备管理,2024,(18):14-16.
- [3]沈锋,艾永俊,周朝荣,等.输电线路防冰及除冰技术研究现状[J].云南电力技术,2023,51(01):18-22+26.
- [4]李旭,谭新玉.输电线路防冰/除冰涂层技术发展与创新综述[J].三峡大学学报(自然科学版),2023,45(05):142-152.