

风电场雷击防护与接地技术研究

张记文

河北新天科创新能源技术有限公司 河北 张家口 075000

摘要: 随着可再生能源的快速发展,风力发电作为清洁、可再生的能源形式,在全球能源结构中占据越来越重要的地位。然而,风电场通常位于开阔地带,易受雷击影响,对风电设备的安全运行构成严重威胁。本文旨在探讨风电场雷击防护与接地技术的最新研究进展,分析雷击对风电场的影响,并提出有效的防护措施和接地设计方案,以保障风电场的安全运行。

关键词: 风电场;雷击防护;接地技术

引言

风力发电场通常位于山区、海边等开阔地带,这些区域雷电活动频繁,风电设备因高度较高而成为雷击的主要目标。雷击不仅会导致风电设备的直接损坏,还可能引发火灾、控制系统失灵等严重后果,影响风电场的正常运营。因此,研究风电场雷击防护与接地技术,对于保障风电场的安全运行具有重要意义。

1 雷击对风电场的影响

1.1 雷击类型及危害

雷击作为自然界中常见的灾害现象,对风电场的安全运行构成了严重威胁。根据雷击的作用方式和影响范围,可以将其主要分为直击雷、雷电感应和雷电波侵入三种类型。直击雷是指雷电直接击中风电设备的现象。当雷电云层与地面之间的电位差达到一定程度时,会发生强烈的放电现象,产生巨大的雷电流和机械力。这种直接的雷击会导致风电设备的严重损坏,如叶片破裂、机舱变形、塔架倒塌等,同时还会引发火灾等次生灾害。雷电感应则是由于雷电放电时产生的强大电磁场,在风电设备周围产生感应电动势。这种感应电动势可能引发过电压和过电流,对风电设备内部的电子元件造成损坏。特别是对于控制系统、通讯设备等敏感部件,雷电感应的影响尤为显著,可能导致设备失灵、数据丢失等严重后果。雷电波侵入则是通过输电线路等路径进入风电场的雷电波。当雷电波沿着输电线路传播时,会对风电场的控制系统和电气设备造成干扰和破坏。这种干扰可能导致设备误动作、控制系统失灵等,严重影响风电场的正常运行。

1.2 雷击对风电设备的损坏机制

雷击对风电设备的损坏机制复杂多样,主要包括热效应、机械效应和电磁效应。热效应是指雷击产生的强大电流通过设备时,由于电阻的存在,会产生大量的热

量。这种热量可能导致设备内部金属部件熔化、绝缘材料烧焦等,造成设备的永久性损坏。特别是对于电缆、变压器等易受热影响的部件,热效应的危害尤为严重。机械效应则是由于雷击产生的巨大机械力对设备造成的损坏。当雷电直接击中设备时,会产生强烈的冲击波和振动,导致设备结构变形、破裂等。这种机械损坏不仅影响设备的正常运行,还可能引发次生灾害,如设备倒塌、碎片飞溅等^[1]。电磁效应则是由于雷击产生的强大电磁场对设备造成的干扰和破坏。这种干扰可能导致设备内部电子元件失灵、控制系统紊乱等,严重影响设备的正常运行。特别是对于高精度、高灵敏度的设备,电磁效应的影响尤为显著。

2 风电场雷击防护技术

2.1 外部系统防雷

外部系统防雷是风电场雷击防护的第一道防线,主要依赖于叶片、机舱、塔架以及接地网技术的综合运用。叶片作为风电机器的关键部件,其顶端通常设置有接闪器或特殊的排水孔设计。接闪器能够优先引导雷电优先击中自身,然后通过导线接入的引下线迅速传导至大地,从而降低雷击直接击中叶片的概率。同时,排水孔设计也有助于减少叶片表面积水,降低因积水导致的雷击风险。机舱是风电机器的核心部分,其顶端通常安装有接闪杆。接闪杆是一种尖端的金属导体,能够优先引导雷电击中,然后通过机舱内部的引下线和接地系统,将雷电流迅速、安全地引入大地,从而保护机舱内的设备和人员安全。塔架是支撑风电机器的主要结构,其防雷主要依靠良好的接地系统。通过确保塔架与接地网之间的可靠连接,可以将雷电流安全地导入大地,避免塔架本身成为雷电传导的路径,从而保护塔架和风电机的安全。此外,风电场还会设置完善的接地网技术。接地网是由多个接地体组成的网状结构,能够确保雷电流在大

地中均匀分布,降低地电位反击的风险。同时,接地网还能够提高风电场的整体防雷水平,为外部系统防雷提供有力的支持。

2.2 内部系统防雷

内部系统防雷是风电场雷击防护的重要组成部分,主要包括等电位连接、屏蔽隔离和过电压保护等措施。等电位连接是指将风电场内部设备的金属外壳、构架等外部金属部件与接地系统相连,形成一个等电位体。这样,在雷击发生时,能够迅速平衡设备之间的电位差,避免雷电反击和跨步电压等危险情况的发生。同时,等电位连接还能够提高设备的耐雷水平,保护设备的正常运行。屏蔽隔离是采用屏蔽电缆和金属柜体等措施,将风电场内部设备与外部雷电环境隔离开来。屏蔽电缆能够减少雷电电磁脉冲对设备的干扰和破坏,而金属柜体则能够提供额外的物理保护,防止设备受到直接雷击或雷电电磁脉冲的冲击^[2]。过电压保护是在风电场的电源和控制回路中安装电涌保护器(SPD)等装置。电涌保护器能够抑制过电压的形成和传播,将雷电过电压限制在设备能够承受的范围内,从而保护设备的正常运行和延长使用寿命。同时,过电压保护还能够提高风电场的整体防雷水平,为内部系统防雷提供有力的保障。

3 风电场接地技术研究

3.1 垂直接地极技术

垂直接地极作为风电场防雷接地系统的重要组成部分,其设计和安装均需严格遵循相关标准和规范。该接地极主要由钢管或钢筋混凝土等材料浇筑而成,具有高强度和耐腐蚀性能,确保在恶劣环境下仍能保持稳定的工作状态。在尺寸规格上,垂直接地极的长度通常控制在2-5米之间,直径则为50-100毫米,这样的设计既保证了接地极与大地之间的充分接触,又便于施工和安装。接地极的顶端通常设有连接端子,便于与接地导线进行可靠连接,确保雷电流能够顺畅导入大地。安装过程中,垂直接地极需被直接埋入地下,其埋设深度需根据土壤电阻率、接地电阻要求等因素进行确定。为确保接地极与大地之间形成良好的电气连接,通常会在接地极周围填充低电阻率的土壤或降阻剂,以降低接地电阻,提高接地效果。垂直接地极在风电场中的应用十分广泛,它适用于风电场内部各类设备和系统,如变压器、发电机、控制系统等。通过将这些设备与垂直接地极相连,能够形成一个完整的接地系统,确保在雷击发生时,雷电流能够迅速、安全地导入大地,从而降低雷电对设备的影响,保护设备的正常运行和延长使用寿命。此外,垂直接地极还需定期进行维护和检查,确保

其处于良好的工作状态。如发现接地极出现腐蚀、断裂等情况,应及时进行更换或修复,以确保接地系统的完整性和可靠性。

3.2 水平接地极技术

水平接地极技术作为风电场接地系统的另一重要组成部分,主要分为水平网格接地和水平接地母线两种类型。水平网格接地是通过将一系列长度为1.5-3米的金属杆件(如铜棒、镀锌钢管等)按照预定的网格布局埋入地下。这些杆件之间通过扁平铜触引进行搭接,形成一个连续的水平接地网格。这种接地方式能够有效分散雷电流,降低接地电阻,提高接地效果。水平网格接地特别适用于风电场内的建筑物、构筑物或其他外立面的设备,如避雷针、避雷带等,为这些设施提供可靠的接地保护。水平接地母线则是一种更为简单直接的水平接地方式。它通常采用一根导电性能良好的金属母线(如铜排、铝排等),将其埋入地下并与大地形成良好的接触^[3]。水平接地母线具有安装简便、成本低廉等优点,同时能够满足风电场内部设备和系统的接地需求。在设计和安装时,需根据风电场的实际情况和接地电阻要求,确定母线的规格、长度和埋设深度,以确保其接地效果。无论是水平网格接地还是水平接地母线,都需要定期进行维护和检查。这包括对接地极的腐蚀情况、连接是否牢固、接地电阻是否满足要求等进行检查,并根据检查结果进行必要的修复或更换。此外,在风电场运行过程中,还需注意对接地系统的监测和记录,以便及时发现并处理潜在的安全隐患。

3.3 构筑物接地技术

构筑物接地技术是风电场接地系统中的关键环节,它旨在将风电场内的各种设备、构筑物以及机房等设施相互连接起来,形成一个统一、完整的接地系统。这种接地方式主要应用于室内设备和机房等需要特殊保护的区域。在构筑物接地系统中,通常会利用建筑物的基础、钢筋网、金属构架等作为自然接地体,通过焊接、螺栓连接等方式将其与接地导线相连,形成一个连续的接地网络。此外,还会在构筑物的关键部位(如设备基础、机房地面等)设置专门的接地端子,以便与设备的接地导线进行可靠连接。构筑物接地的核心目标是确保风电场内各设备之间的电位一致,从而避免因电位差而引发的雷电危害。当雷击发生时,构筑物接地系统能够将雷电流迅速、均匀地分散到大地中,降低设备遭受雷电冲击的风险。同时,构筑物接地还能够提高设备的耐雷水平,保护设备的正常运行和延长使用寿命。在设计和实施构筑物接地时,需要充分考虑风电场的实际情况

和接地电阻要求。通过合理的布局 and 连接方式,确保接地系统的完整性和可靠性。此外,还需要定期对构筑物接地系统进行检查和维护,及时发现并处理潜在的安全隐患,确保风电场的安全稳定运行。

3.4 环形接地带技术

环形接地带技术是一种高效的风电场接地解决方案,特别适用于围绕风电场周边或关键设备进行布置。该技术通过选用高质量的接地材料,如铜带、扁钢等,将其埋入地下并形成一个闭合的环形接地网络。这一设计旨在提供更均匀、更稳定的接地电位分布,从而显著提升风电场的防雷效果。环形接地带的埋设深度需根据土壤电阻率、接地电阻要求及风电场的具体地形地貌来确定。在埋设过程中,应确保接地材料与土壤之间形成良好的电气接触,以降低接地电阻,提高接地效果。同时,环形接地带还需与风电场内的其他接地系统(如垂直接地极、水平接地极等)进行可靠连接,以形成一个完整、统一的接地网络。环形接地带的主要优势在于其能够减小雷击时产生的电位差。当雷击发生时,环形接地带能够迅速将雷电流分散到大地中,避免雷电流在风电场内局部聚集,从而降低设备遭受雷电冲击的风险。此外,环形接地带还能够提高设备的耐雷水平,保护设备的正常运行,并有助于延长设备的使用寿命^[4]。在风电场的实际运行中,环形接地带还需定期进行维护和检查。这包括对接地材料的腐蚀情况、连接是否牢固、接地电阻是否满足要求等进行全面检查,并根据检查结果进行必要的修复或更换。通过定期的维护和检查,可以确保环形接地带始终处于良好的工作状态,为风电场的安全稳定运行提供有力保障。

3.5 接地电阻降阻技术

接地电阻降阻技术是风电场接地系统优化中的重要环节,旨在通过一系列措施降低接地电阻,提高接地效果。该技术主要包括使用降阻剂、换土法以及深埋接地极等方法。降阻剂是一种能够改善土壤电阻率的化学物质,通过将其均匀施加在接地体周围,可以有效降低土

壤电阻率,从而提高接地效果。降阻剂的选择应基于土壤性质、接地电阻要求以及环境因素进行综合考虑,以确保其降阻效果和环保性能。换土法是通过更换接地体周围的土壤来降低接地电阻的方法。通常选择电阻率较低的土壤(如粘土、黑土等)替换原有土壤,以增加接地体与土壤的接触面积,降低接地电阻。换土法的实施需考虑土壤来源、运输成本以及环境影响等因素。深埋接地极是将接地极埋设到更深层次的土壤中,以利用深层土壤较低的电阻率来降低接地电阻。深埋接地极的长度和埋设深度需根据土壤电阻率分布、接地电阻要求以及施工条件进行确定。这些接地电阻降阻技术适用于各种土壤条件和接地要求的风电场。在设计和实施过程中,应充分考虑风电场的实际情况和接地电阻要求,选择合适的降阻方法并进行优化组合。通过合理的布局 and 连接方式,确保接地电阻值符合规范要求,为风电场的安全稳定运行提供有力保障。

结语

风电场雷击防护与接地技术是保障风电场安全运行的重要手段。通过采用有效的外部系统防雷、内部系统防雷措施和接地设计方案,可以显著降低雷击对风电场的影响,提高风电设备的可靠性和使用寿命。未来,随着技术的不断进步和创新,风电场雷击防护与接地技术将更加完善,为风力发电的可持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1]许继强.风电场雷云特点及风电机组防雷措施[C]/中国农业机械工业协会风力机械分会.第十届中国风电后市场交流合作大会论文集.中广核新能源福建分公司,2023:8.
- [2]范昭胜.高山风电场雷击分析与接地整改防护[J].湖南电力,2020,40(04):63-67.
- [3]胡伦善,江一涛,王思娜,等.沿海地区风电场防雷接地技术设计研究[J].农业灾害研究,2024,14(08):305-307.
- [4]彭伟林.山地风电场防雷接地降阻设计与研究[J].电子元件与信息技术,2023,7(09):245-249.