

风力发电机组防雷接地装置的安装与维护技术研究

朱容光 陈跃

华电滕州新源热电有限公司，山东滕州，277500；

摘要：本文深入研究风力发电机组防雷接地装置的安装与维护技术。阐述了防雷接地对于保障风力发电机组安全稳定运行的重要性，详细分析安装过程中接地系统设计、材料选择与安装要点，以及维护阶段的检测方法、故障诊断与修复策略等内容。旨在为提高风力发电机组防雷能力、降低雷击事故风险提供理论支持与实践指导，助力风力发电产业的可持续发展。

关键词：风力发电机组；防雷接地；安装；维护

DOI：10.69979/3029-2727.24.12.013

引言

随着风力发电在能源领域占比逐渐增大，风力发电机组的稳定运行至关重要。然而，由于风电机组多处于空旷或地势较高区域，极易遭受雷击。雷击可能导致机组部件损坏、停机甚至引发安全事故，造成巨大经济损失。因此，研究风力发电机组防雷接地装置的安装与维护技术，对于保障机组正常运行、提高发电效率和降低运营成本具有重要现实意义。

1 风力发电机组防雷接地概述

1.1 雷电对风力发电机组的危害形式与原理

雷电对风力发电机组的危害主要分为直击雷和感应雷。直击雷时，强大的雷电流瞬间释放巨大能量，直接击中叶片时可使其出现炸裂、折断，击中机舱会损坏内部设备，甚至引起着火爆燃。感应雷则通过电磁感应，在机组电气系统的线路中产生瞬时过电压，干扰电气设备正常运行，损坏发电机、变压器、变频器等^[1]。雷电电磁脉冲还会干扰机组控制系统，通过电磁耦合进入控制线路，改变控制信号，使系统误动作，严重时导致控制系统瘫痪，影响风力发电机组安全稳定运行。

1.2 防雷接地的重要性及作用机制

防雷接地是保障风力发电机组安全运行的关键防线。当雷电发生时，防雷接地装置能将雷电流快速引入大地，避免机组设备承受过高的电压和电流冲击。其作用机制在于，通过良好的接地系统，为雷电流提供低电阻的泄放通道，使雷电流在瞬间被分散到大地中，从而降低设备被雷击损坏的风险，保障机组各部件的安全，减少因雷击导致的停机时间，提高发电效率，降低运营成本，对风力发电产业的稳定发展意义重大。

1.3 国内外相关研究现状与发展趋势

目前，国内外在风力发电机组防雷接地方面已取得众多成果。在材料上，研发出新型耐腐蚀、导电性能好的接地材料；在技术上，不断优化接地系统设计以降低接地电阻。如德国采用的特殊接地网格设计，有效提高了防雷效果。随着风力发电向海上、高海拔等复杂环境发展，现有技术面临挑战。开发智能化监测系统，实时监测接地状态，已然成为未来趋势；同时，探索新型防雷技术，如采用纳米材料提升接地性能，以及利用人工智能分析雷电数据，提前预警并优化防雷策略。

2 防雷接地装置安装前的准备

2.1 风力发电机组运行环境评估

借助专业气象监测设备和历史气象数据，详细分析机组所在区域的雷电活动规律，明确雷电的年平均发生次数、强度等级分布以及季节性变化特点，以此判断雷电活动的频繁程度和潜在危害程度。同时，深入研究地形地貌对雷电的影响，如在山地，雷电易沿山体传导且易在山顶等突出位置发生雷击；在平原地区，开阔地形会使机组更易暴露在雷电威胁下^[2]。土壤特性同样不容忽视，土壤电阻率直接关系到接地电阻的大小，高电阻率土壤会增加接地难度，需提前考虑采取降阻措施，像添加降阻剂、换土等，确保接地系统能有效工作，为后续防雷接地装置的科学设计与安装提供坚实依据。

2.2 安装材料与工具的选择和准备

根据防雷接地的技术要求，合理选择安装材料与工具。选择依据主要是材料的电气性能、机械强度以及耐腐蚀能力，确保在长期使用过程中能稳定发挥接地作用。接地材料方面，镀锌钢因其成本较低、抗腐蚀性能较好，成为较为常用的材料，适用于一般环境下的接地极、接

地干线等。在有更高导电性和耐腐蚀性要求的特殊环境,如海边高盐雾环境,铜材则是更优选择^[3]。安装工具必不可少,电焊机用于接地材料的焊接连接,保证连接部位的导电性和机械强度;接地电阻测试仪用于检测接地电阻,判断接地系统是否符合标准要求;冲击钻、铁锹等工具用于接地极的埋设施工,为接地装置的安装提供必要的施工条件,确保安装工作顺利进行。

2.3 施工方案的制定与规划

施工流程应清晰规划,前期场地清理和平整开始,接地极的定位与埋设,接地干线的敷设、引下线与接闪器的安装,贯穿接地网络施工全过程的质量监督等,每个环节都要有明确的先后顺序和操作规范^[4]。进度计划要充分考虑天气、施工人员调配等因素,合理安排各阶段施工时间,避免因天气不佳或人员不足导致工期延误。施工过程中的安全注意事项必须明确,如防止触电、高处坠落等,施工人员需配备齐全的安全防护装备。质量控制要点包括对接地电阻的严格检测,确保其符合设计标准;对接地网焊接质量进行外观和无损检测,满足焊接工艺及防腐要求,保证连接可靠,保障整个防雷接地装置的施工质量。

3 防雷接地装置的安装技术

3.1 接地系统设计与布局

常见的环形接地系统,通过围绕风力发电机组形成闭合环形接地体,使雷电流能均匀分散,适用于地形相对平坦、土壤电阻率差异较小的区域,能有效降低接地电阻,提供稳定的防雷保护。复合接地系统则更为灵活,结合垂直接地极与水平接地体,可应对复杂地形和不同土壤特性。在土壤电阻率高的区域,增加垂直接地极深度,利用深层土壤较低的电阻率,增强接地效果;水平接地体则起到连接和辅助散流作用。接地体间距需根据土壤电阻率确定,一般垂直接地极间距不小于其长度的2倍,以避免屏蔽效应,确保接地系统整体效能最大化,保障机组在雷电环境下的安全^[5]。

3.2 接地材料的安装要点与工艺

接地材料的安装质量直接影响防雷效果,接地极埋设时,要保证垂直插入地下,深度严格按照设计要求,确保与大地充分接触。周围土壤需分层夯实,减少接地极与土壤间的接触电阻。焊接是常用的接地连接工艺,焊接长度和焊缝质量至关重要。例如扁钢与扁钢焊接,搭接长度不小于扁钢宽度的2倍,且三边施焊,保证焊接牢固、导电良好。对于腐蚀性较强的环境,焊接后需

进行防腐处理,如涂刷多层防腐漆,隔绝空气和水分,防止接地材料被腐蚀而降低接地性能。若采用螺栓连接,要确保接触面平整、清洁,使用弹簧垫圈等防松措施,定期检查紧固情况,保证连接长期可靠。

3.3 引下线与接闪器的安装技术

引下线负责将接闪器捕获的雷电流快速导入接地系统,敷设时应选取最短路径,减少弯曲,降低电感对雷电流泄放的阻碍。每隔一定距离使用专用支架固定引下线,防止其晃动、脱落,确保在雷电冲击下的稳定性。接闪器安装在机组的最高位置,安装高度依据机组高度和周边环境精确计算,确保能有效拦截雷电^[6]。接闪器与引下线的连接要牢固可靠,采用焊接或专用连接件,保证雷电流传输顺畅。安装完成后,检查接闪器的安装角度和位置,避免因安装不当导致防雷保护范围出现盲区,保障接闪器在雷电防护中的关键作用。

4 防雷接地装置的维护技术

4.1 定期检测的项目与方法

接地电阻至少每年检测一次,使用专业接地电阻测试仪,测量值应符合设计标准,否则会影响雷电流泄放效果,增加风电机组雷击损坏隐患。接地连接部位需定期检查,查看是否有松动、锈蚀,可通过外观观察和扳手紧固测试,确保连接紧密。接闪器检查其是否有损坏、变形,利用望远镜或登高设备进行细致观察。

4.2 维护过程中的常见问题及解决策略

风力发电机组防雷接地装置的维护过程中,常见问题主要集中在接地电阻超标、接地体腐蚀、连接点松动、材料老化及环境适应性不足等方面。接地电阻超标通常由土壤电阻率变化、接地体表面积减少或降阻材料失效引起,需定期使用专业接地电阻测试仪进行全面检测,对阻值超标的区域应重新开挖检查,必要时增加垂直接地极或更换长效降阻剂以改善导电性能。接地体腐蚀问题多发生在潮湿或盐碱环境中,需采用热镀锌角钢、铜包钢等耐腐蚀性材料,并定期对接地网进行防腐涂层维护,严重锈蚀的接地体需及时更换^[7]。连接点松动常因机组振动导致螺栓松弛或焊接部位开焊,维护时需采用扭矩扳手按规范力矩紧固,并使用防松胶或双螺母增强稳定性;对开焊部位重新牢固焊接,并采取消除受应力措施;关键连接点可采用热熔焊接工艺降低接触电阻。材料老化问题主要表现为接地网络严重锈蚀、风化或接地模块粉化,对老化部件进行批次更换,并优先选用耐紫外线、抗老化的新型复合材料。此外,极端天气(如

强风、暴雨)可能导致接地体移位或土壤流失,需在维护中加强地网周边环境巡查,增设排水沟或挡土墙防止水土流失,并建立动态监测系统实时反馈接地参数变化。针对上述问题,需建立标准化维护流程,结合在线监测与人工巡检,制定差异化维护周期(如高雷区缩短检测间隔),同时做好维护记录的数字化管理,通过大数据分析预测潜在故障,确保防雷接地系统长期可靠运行。

4.3 智能化监测与维护技术的应用

智能化监测与维护技术为防雷接地装置管理带来变革。基于物联网、传感器技术的监测系统,可实时采集接地电阻、雷电流、环境湿度等参数。传感器将数据传输至监测中心,通过数据分析实现实时预警。当接地电阻异常升高或雷电流超过阈值,系统自动发出警报,通知运维人员。利用大数据和人工智能算法,还能对设备运行状态进行分析,预测潜在故障,实现故障精准诊断,快速定位故障点,指导运维人员针对性维护,提高维护效率,降低运维成本,保障风力发电机组防雷接地系统的可靠运行^[8]。

5 防雷接地装置的修复策略

5.1 故障诊断技术与方法

在风力发电机组防雷接地装置的故障诊断中,电气参数分析法是常用手段。通过高精度监测设备,持续跟踪接地电阻、泄漏电流等关键参数。正常运行时,接地电阻稳定在一定范围内,若数值突然大幅上升,有可能是接地体严重腐蚀、连接部位松动,或者土壤特性因干旱、地质变化等因素改变,导致接地性能下降^[9]。泄漏电流异常增大,则暗示绝缘层可能出现破损,电流发生泄漏。利用局部放电检测装置,捕获因接触不良、绝缘老化引发的局部放电信号,其独特的脉冲特征能反映故障程度和位置。电磁干扰信号监测设备可识别引下线断裂、接地系统开路等故障产生的异常电磁信号,通过分析信号的频率、强度和传播方向,精准定位故障点。

5.2 不同故障类型的修复措施

针对接地电阻超标的问题,若经检测是接地体腐蚀所致,需先确定腐蚀范围和程度。对于轻微腐蚀,可清理腐蚀物后涂抹防腐涂层;腐蚀严重时,则需挖出受损接地体,更换为耐腐蚀性能更强的材料,如镀锌钢或铜材,重新按照标准深度和间距埋设,并确保接地电阻达到设计要求。若是土壤问题导致电阻超标,可向土壤中添加长效降阻剂,改善土壤导电性能;或采用换土方式,将低电阻率的土壤替换原土壤,降低接地电阻^[10]。当引

下线发生断裂,在断裂处进行修复时,首先要清理接口表面杂质,确保连接面清洁。采用焊接修复时,严格控制焊接工艺参数,保证焊缝强度和导电性,焊接完成后进行探伤检测,确保无虚焊、裂缝等缺陷。若使用专用连接件,要选择适配的型号,安装时保证连接牢固,防止松动。修复后,需对引下线整体进行强度测试和防腐处理,如涂刷防锈漆,最后使用接地电阻测试仪、绝缘电阻测试仪等设备全面检测,各项参数达标且经专业人员验收合格后,防雷接地装置方可重新投入使用。

6 结语

综上所述,风力发电机组防雷接地装置的安装与维护技术是保障风力发电安全稳定运行的重要环节。通过科学合理的安装和有效的维护,可以提高机组的防雷能力,降低雷击事故风险。未来,应进一步加强防雷技术研究和创新,推动智能化监测与维护技术的广泛应用,不断提升风力发电机组防雷接地的技术水平,为风力发电产业的健康发展提供有力保障。

参考文献

- [1]夏保付.更新防雷系统在风力叶片当中的应用[J].冶金管理,2021,(17):70-71.
- [2]潘仕虎,肖文娟.山区风力发电场的综合防雷技术分析[J].集成电路应用,2021,38(05):158-159.
- [3]许成.风力发电机组防雷接地装置施工的质量控制[J].气象科技进展,2021,11(02):134-135.
- [4]王艳金,林锋,李萍,郑松.高山风电场升压站防雷接地降阻探讨[J].江西建材,2021,(01):124-125+127.
- [5]王理.风力发电场防雷接地研究及其在天塘山风电场的应用[D].湖南大学,2020.
- [6]李阳.风力发电厂防雷技术研究[J].自动化应用,2020,(04):101-102+105.
- [7]王岩,袁璇,梁鹏程,肖琼,冯学斌,侯彬彬.风力发电系统防雷设计研究[J].科技创新与应用,2019,(35):76-78.
- [8]曾勇,李丽丽,曹水.山地风力发电机雷击风险与防雷接地分析[J].现代建筑电气,2019,10(06):45-48+52.
- [9]姚丙义.永磁直驱风力发电机组的防雷接地保护探讨[J].现代商贸工业,2019,40(13):180-181.
- [10]杨松.风力发电机组防雷接地的探讨[J].中国设备工程,2019,(03):206-207.