

风电与光伏新能源工程电气施工中的接地技术研究

慕宏波

中国水利水电第十六工程局有限公司 福建 福州 350003

摘要：本文深入探讨了风电与光伏新能源工程电气施工中的接地技术，概述了接地技术基础，详细分析了风电场和光伏电站的接地技术要求、施工工艺难点及运行维护重点。风电场着重于塔架、叶片的接地处理及完善的防雷系统建设，而光伏电站则重点关注光伏组件、支架以及逆变器的可靠接地等方面。文章还对比了两者的异同，并提出了优化设计方案、加强质量控制与应用智能监测技术等策略。这些措施旨在提升风电与光伏新能源工程接地系统的安全性和可靠性。

关键词：风电；光伏；新能源工程；接地技术；电气施工

1 风电与光伏新能源工程电气施工接地技术基础

1.1 接地技术的基本概念

接地技术是指将电气设备的某一部分通过导体与大地紧密连接，从而实现电荷的释放、电位的稳定以及故障电流的疏导等功能。其核心目的包括保障人员安全，当电气设备发生漏电时，接地可将电流引入大地，避免人员触电；保护设备，防止过电压、过电流等对设备造成损坏；提高系统稳定性，保证电气系统的正常运行和测量精度等。接地系统通常由接地体、接地线和接地极三部分组成。接地体是与大地直接接触的金属导体或导体群，其作用是将电流导入大地；接地线是连接电气设备与接地体的导体，用于传递电流；接地极则是接地体和接地线的总称，是接地系统的核心组成部分。

1.2 接地电阻及其影响因素

接地电阻是指接地体与大地之间的电阻，它是衡量接地系统性能的重要指标。接地电阻越小，接地效果越好，能够更快速、有效地将电流导入大地。接地电阻的计算公式为： $R = \rho L / A$ （其中， R 为接地电阻， ρ 为土壤电阻率， L 为接地体长度， A 为接地体横截面积）。土壤电阻率是影响接地电阻的关键因素，不同类型的土壤其电阻率差异较大，如砂土的电阻率较高，而黏土的电阻率相对较低。土壤的湿度也会对电阻率产生显著影响，一般来说，土壤湿度越大，电阻率越小。另外，温度也是一个重要因素，在低温环境下，土壤可能会冻结，导致电阻率急剧增大。接地体的尺寸和形状也会影响接地电阻。增大接地体的长度和横截面积，可增加其与大地的接触面积，从而降低接地电阻^[1]。接地体的布置方式同样会对电阻产生影响，采用多根接地体并联或网状布置，能够有效减小接地电阻；接地材料的选择也不容忽视，不同材料的导电性能和耐腐蚀性能不同。铜、铝等

金属材料导电性能良好，但铜的成本较高，铝的耐腐蚀性能较差；镀锌钢材则在成本和性能之间取得了较好的平衡，被广泛应用于接地系统。

2 接地技术在风电与光伏新能源工程中的实际应用

2.1 风电场的接地技术

2.1.1 分析风电场接地系统的设计要求

风电场接地系统的设计需满足安全性、可靠性和经济性等要求。首先，接地电阻应符合相关标准，一般要求风电场接地网的工频接地电阻不大于 4Ω 。对于高土壤电阻率地区，可采取降阻措施，但需保证接地系统的稳定性；其次，接地系统应具备良好的均压和分流能力，避免在故障情况下出现过高的接触电压和跨步电压，保障人员和设备安全。同时，接地系统还应考虑防雷要求，能够有效疏导雷电流，减少雷击对风电机组和输电线路的损害；另外，风电场接地系统的设计还需结合场地的地质条件、气候环境以及风电机组的布置等因素，进行合理规划和布局。在设计过程中，应对土壤电阻率进行详细测量和分析，为接地体的选型和布置提供依据。

2.1.2 探讨风电塔架、叶片等关键部件的接地处理方法

风电塔架是风电机组的重要支撑结构，其接地处理至关重要。通常采用塔架基础作为自然接地体，通过将塔架与基础中的钢筋可靠连接，实现接地。对于钢结构塔架，可利用其自身作为接地线，但需保证塔架各段之间的电气连接良好，避免出现接触不良的情况。叶片是风电机组中最易遭受雷击的部件之一，其接地处理尤为关键。叶片内部通常设置有避雷导线，避雷导线一端与叶片尖端的接闪器相连，另一端与轮毂或塔架连接，将雷电流导入大地。在安装过程中，需确保避雷导线的连接牢固、导电性能良好，同时对叶片表面的防雷涂层进行定期检查和维修；轮毂和机舱的接地也不容忽视，轮

毂通过主轴与塔架连接,实现接地;机舱内的电气设备应通过接地线与塔架可靠连接,确保设备的安全运行。

2.1.3 介绍风电场避雷针及防雷系统的接地技术

风电场的避雷针通常设置在风电机组的顶部或附近的制高点,以保护风电机组和周边设备免受雷击。避雷针的接地应独立设置,接地电阻一般要求不大于 10Ω 。避雷针的接地体可采用垂直接地极与水平接地体相结合的方式,垂直接地极可选用角钢或钢管,水平接地体可选用扁钢,两者通过焊接可靠连接。风电场的防雷系统还包括输电线路的防雷接地,架空输电线路的杆塔应设置接地装置,接地电阻根据杆塔类型和土壤条件而定,一般要求不大于 30Ω 。电缆线路的终端头和中间接头也应进行可靠接地,以防止过电压损坏电缆^[2]。另外,风电场的集电线路、升压站等区域也需设置完善的防雷接地系统,形成一个整体的防雷网络,提高风电场的防雷能力。

2.2 光伏电站的接地技术

2.2.1 阐述光伏组件、支架及逆变器的接地要求

光伏组件的接地主要是为了防止组件漏电对人员造成伤害,同时减少电磁干扰。带有金属边框的光伏组件,其边框必须可靠接地,可通过接地线将边框与支架连接,再由支架与接地系统相连。对于不带金属边框的光伏组件,其内部的电路应通过接地线与接地系统连接。光伏支架的接地不仅能够保障人员安全,还能起到防雷的作用。支架之间应采用可靠的电气连接,形成一个整体的接地网络,支架与接地体之间通过接地线连接,接地电阻一般要求不大于 4Ω 。逆变器是光伏电站的核心设备之一,其接地要求较高。逆变器的外壳应可靠接地,内部的电路接地应符合设备说明书的要求。逆变器的接地系统应与光伏组件和支架的接地系统相互独立,避免相互干扰。

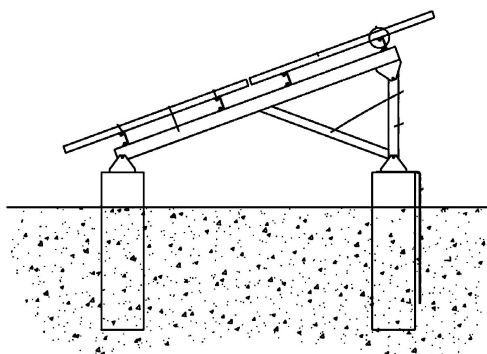


图1 光伏接地示意图

2.2.2 分析光伏电站升压站、集电线路等区域的接地技术

光伏电站升压站的接地系统与常规变电站的接地系

统类似,要求具有较低的接地电阻和良好的均压效果。升压站的接地网通常采用水平接地体与垂直接地极相结合的方式,水平接地体可采用扁钢或圆钢,敷设在地下 $0.6-0.8\text{m}$ 深处,垂直接地极可选用角钢或钢管,布置在接地网的交叉点处。升压站的接地电阻一般要求不大于 0.5Ω ,对于高土壤电阻率地区,可采用换土、降阻剂等措施降低接地电阻。集电线路的接地包括架空线路和电缆线路的接地,架空集电线路的杆塔接地要求与风电场输电线路的杆塔接地类似,接地电阻一般不大于 30Ω ;电缆集电线路的接地与光伏电站内的电缆线路接地要求相同,终端头和中间接头需可靠接地。此外,光伏电站的控制室、配电室等区域也需设置接地系统,确保控制设备和通信设备的正常运行。

2.2.3 探讨光伏电站的防雷与防静电接地技术

光伏电站的防雷接地应贯穿整个电站的设计、施工和运行过程。除了光伏组件和支架的防雷接地外,还应在电站的周边设置避雷针或避雷带,防止直击雷的侵害。避雷针和避雷带的接地要求与风电场的避雷针接地相同。防静电接地主要针对电站内的易燃、易爆场所和设备,如燃油储罐、蓄电池室等。这些场所的设备和管道应进行可靠接地,接地电阻一般要求不大于 10Ω ,以防止静电积累引发火灾或爆炸事故。在光伏电站的电气施工中,应确保防雷与防静电接地系统的独立性和可靠性,定期对其进行检查和测试,保证其性能符合要求。

3 风电与光伏接地技术对比分析

3.1 接地技术要求的异同

风电与光伏新能源工程的接地技术在保障人员安全、设备正常运行和防雷等基本要求的上是相同的,都需要通过合理的接地设计和施工,实现电荷的释放和电位的稳定。两者的不同之处主要体现在接地电阻的要求上。风电场的接地电阻要求相对较低,一般风电场接地网的工频接地电阻不大于 4Ω ,避雷针接地电阻不大于 10Ω ;而光伏电站升压站的接地电阻要求更为严格,一般不大于 0.5Ω ,光伏组件和支架的接地电阻不大于 4Ω 。在防雷要求方面,风电场由于风电机组较高,更容易遭受雷击,因此对防雷接地的要求更高,需要设置更为完善的防雷网络;光伏电站虽然也需要防雷,但由于其设备相对较低,防雷措施相对简单一些。

3.2 施工工艺与难点对比

风电接地施工的难点主要体现在风电机组的高空作业和复杂地质条件下的接地处理。风电机组的塔架较高,叶片和轮毂的接地处理需要在高空进行,施工难度较大,对施工人员的技能和安全防护要求较高^[3]。此外,

风电场往往建在山区、丘陵等地质条件复杂的地区，土壤电阻率较高，接地体的布置和降阻措施的实施难度较大。光伏接地施工的难点主要在于大面积接地网的敷设和光伏组件的接地连接，光伏电站的占地面积较大，接地网的敷设需要大量的人力和物力，且在施工过程中需要避免对光伏组件造成损坏。光伏组件的数量众多，其接地连接的质量直接影响整个电站的接地效果，施工过程中需要严格控制连接质量。在施工工艺方面，两者都需要保证接地体的焊接质量和接地电阻的测试精度。风电场的接地体焊接通常采用电弧焊，要求焊接牢固、无虚焊；光伏电站的接地体焊接可采用电弧焊或压接，同样需要保证连接的可靠性。

3.3 运行维护的区别与重点

风电接地系统的运行维护重点在于风电机组关键部件的接地状态检查和防雷系统的性能测试。由于风电机组长期处于户外恶劣环境中，叶片、塔架等部件的接地连接容易受到腐蚀和振动的影响，需要定期进行检查和维护，确保其连接牢固、导电性能良好。同时，要定期对避雷针和防雷系统进行测试，评估其防雷效果；光伏接地系统的运行维护重点在于光伏组件和支架的接地连接检查以及接地电阻的定期测试。光伏组件的边框和支架容易受到腐蚀，需要定期进行防腐处理；接地电阻的测试应定期进行，特别是在土壤湿度发生较大变化的季节，以确保接地系统的性能稳定。另外，两者都需要建立完善的运行维护档案，记录接地系统的设计、施工和测试数据，为后续的维护和改造提供依据。

4 接地技术优化策略与新技术应用

4.1 优化接地设计方案

在接地设计过程中，应充分考虑场地的地质条件和气候环境，采用先进的设计软件进行模拟和计算，优化接地体的选型和布置。对于高土壤电阻率地区，可采用换土、降阻剂、深井接地等措施降低接地电阻。例如，在风电场的高土壤电阻率区域，可采用深井接地结合降阻剂的方式，提高接地效果；在光伏电站，可通过优化接地网的布局，增加接地体的数量和长度，降低接地电阻。同时，应注重接地系统的均压设计，在接地网中设置均压带，减少接触电压和跨步电压，提高接地系统的安全性。

4.2 加强施工质量控制与管理

施工质量是保证接地系统性能的关键，应加强对施工过程的质量控制。在施工前，应对施工人员进行技术培训和交底，使其熟悉施工工艺和质量要求；在施工过程中，应严格按照设计方案和施工规范进行操作，加强对焊接质量、接地体埋深等关键环节的检查和验收；施工完成后，应进行接地电阻的测试，确保其符合设计要求。还应建立完善的施工质量管理体系，对施工材料、设备和工序进行严格的质量控制，确保接地系统的施工质量。

4.3 应用智能监测与维护技术

随着智能化技术的发展，智能监测与维护技术在接地系统中的应用越来越广泛。可采用传感器对接地电阻、土壤湿度等参数进行实时监测，通过数据传输网络将监测数据发送至监控中心，实现对接地系统运行状态的远程监控。当监测数据出现异常时，监控中心可及时发出预警信号，提醒工作人员进行处理。在维护方面，可利用无人机等设备对风电场和光伏电站的接地系统进行巡检，提高巡检效率和质量。同时，结合大数据分析技术，对监测数据进行分析 and 挖掘，预测接地系统的故障趋势，制定合理的维护计划，提高接地系统的可靠性和使用寿命。

结束语

综上所述，接地技术在风电与光伏新能源工程的电气施工中起着至关重要的作用。合理的接地设计、严格的施工质量控制以及先进的智能监测与维护技术的应用，是保障新能源工程安全、稳定运行的关键。随着新能源产业的不断发展，对接地技术的要求也将越来越高。未来，需要继续加强对接地技术的研究和创新，不断提升接地系统的性能，为新能源产业的发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]胡海伟.新能源发电系统中混合储能系统电路建模及其控制技术[J].科技创新与应用,2024,14(09):61-64.
- [2]陈文静.新能源风力发电系统中自适应控制技术的应用及未来前景[J].电子测试,2022,(16):104-106.
- [3]金阳.探讨新能源电力系统中的储能技术研究[J].低碳世界,2023(11):49-51.