# 风电与光伏新能源工程电气施工中的接地技术研究

胡彦儒
宁夏电投宁东新能源有限公司　宁夏　银川　750411

**摘　要：**风电与光伏新能源工程多处于野外复杂工况环境，电气设备易受雷击、静电干扰，接地施工是保障系统安全稳定运行的核心工序。本文结合风电、光伏工程电气施工特点，分析接地技术的应用难点与核心要求，探讨常规接地、防雷接地、防静电接地的施工工艺，梳理施工中的常见问题，提出针对性的优化施工策略与质量管控方案，旨在提升新能源工程电气接地施工质量，规避电气安全隐患，为同类工程施工提供技术参考。

**关键词：**风电与光伏新能源工程；电气施工；接地技术

引言：双碳目标推动下，风电、光伏新能源产业规模化发展，新能源电站电气系统的安全运行备受关注。接地系统作为电气设备防护的关键载体，可有效规避雷击、漏电、电磁干扰引发的设备损坏与安全事故。风电光伏工程场地环境复杂、设备布局分散，传统接地施工技术难以适配工程特殊需求。为解决施工中接地电阻不达标、工艺不规范等问题，本文针对性研究适配新能源工程的电气接地施工技术，优化施工流程，强化施工可靠性。

## 1 风电与光伏工程电气接地系统基础理论与特性

### 1.1 电气接地系统核心理论

（1）接地技术基本原理包含三个层面：电位平衡原理通过等电位连接降低设备间电位差，避免电击风险；故障电流泄放原理为短路或接地故障提供低阻抗通路，确保保护装置可靠动作；雷击过电压防护原理将雷电流迅速导入大地，限制设备过电压幅值。（2）接地系统按功能分为四类：工作接地为电力系统正常运行提供参考电位；保护接地保障设备金属外壳在绝缘损坏时处于安全电位；防雷接地用于泄放雷电流、抑制雷击过电压；防静电接地消除设备表面静电积聚，适用于易燃易爆场所。（3）接地性能核心指标中，接地电阻反映接地极散流能力，大中型接地网通常要求小于0.5Ω；接地散流面积决定电流扩散效率，需根据土壤电阻率合理设计；土壤电阻率受含水量、温度及土质成分影响，是决定接地施工方案的基础参数。

### 1.2 风电工程电气接地系统特性

（1）风电机组接地特点显著：塔筒高耸结构增加直击雷概率，机舱集中布置敏感电气设备，接地系统需满足150kA雷电流快速泄放要求，同时控制冲击接地电阻在10Ω以内。（2）风电场施工环境复杂：山地岩石层高、土壤电阻率大，需采用深井爆破或换土降阻；沿海滩涂腐蚀性强，须选用镀铜或纯铜接地材料；荒野冻土季节变化影响接地电阻稳定性。（3）风电接地系统要求塔筒接地、机舱电气接地与箱变接地实现电阻匹配和等电位联结，确保雷击或故障状态下各接地子系统协同泄流，避免反击过电压[1]。

### 1.3 光伏工程电气接地系统特性

（1）光伏电站接地面临组件阵列分散、直流侧电压高、布线范围广等挑战，易出现绝缘破损导致漏电、组件表面静电堆积，接地系统需兼顾直流故障电流泄放与静电消除功能。（2）不同光伏电站接地差异明显：地面集中式宜采用环形接地网；屋顶分布式受空间限制，需结合建筑原有接地体系；山地光伏随地势布置，接地干线需随支架走向灵活敷设。（3）光伏接地核心管控要点在于组件支架、逆变器、汇流箱三者接地的一体化施工，保证接地连续性，防止因连接松动产生电弧风险，同时满足交流侧与直流侧接地分离要求。

### 1.4 风电与光伏接地系统异同对比分析

（1）共性方面，风电和光伏均须满足防雷保护、漏电防护及设备安全运行的基本接地要求，严格遵循《电气装置安装工程接地施工及验收规范》等统一技术标准，确保接地系统的可靠性和长期稳定性。（2）差异性方面，风电以集中式大型机组为主，接地需重点应对塔筒高耸结构和高频雷击风险，单机散流面积要求大，常采用深井接地与放射形接地极相结合的方式；光伏以分散式组件阵列为特征，重点在于防止直流侧绝缘故障和静电危害，因占地面积广、设备密度高，接地材料用量大且需确保各阵列接地点电位均衡。接地电阻控制上，风电单机冲击接地电阻一般小于10Ω，光伏电站整体接地电阻通常小于4Ω。此外，风电多建于山地、沿海等强腐蚀环境，对材料耐腐蚀性要求更高；光伏更注重组件支架与逆变器接地的等电位连接可靠性。上述差异要求两

类工程在接地设计阶段分别制定针对性施工方案。

## 2 风电与光伏新能源工程电气施工中接地关键技术

### 2.1 接地前期勘测与参数优化技术

（1）施工现场土壤电阻率勘测中，四线法等间距布设四个辅助电极，极距按2m、5m、10m、20m逐档变换，每测点重复三次取均值，经季节修正系数校准至标准含水率并消除引线互感误差。摇表检测法以120r/min匀速摇动，读数乘以倍率系数，经标准电阻箱比对及辅助极补偿分布电容，取多点几何平均值作为设计依据。（2）场地地质评估：盐碱地须制定镀铜钢或纯铜防腐方案，明确涂层破损修补工艺；山地岩石层浅，需通过地质雷达查明基岩埋深，规划深孔钻孔或微爆破路径穿透高阻层至含水层；冻土区须春融和严冬两季实测电阻率（差异可达5倍），埋深置于永冻层以下至少0.5m，选用抗冻胀垂直接地极[2]。（3）接地参数预设优化：依据分层土壤模型，ρ ≤ 300Ω·m时选用角钢或圆钢，ρ > 300Ω·m时采用镀铜钢棒或柔性石墨体；接地网按地形采用不等间距网格，边缘加密。风机冲击电阻 ≤ 10Ω，光伏场区工频电阻 ≤ 4Ω，并通过仿真校验跨步电压和接触电势。

### 2.2 风电工程核心接地施工技术

（1）风机塔筒接地施工工艺：基础接地网沿环形基础内外圈敷设-50×5热镀锌扁钢形成闭合环，垂直接地极按8~12m间距均布并与环网双面焊接，搭接长度不小于扁钢宽度的2倍；塔筒竖向接地采用同规格扁钢从基础预埋板引至机舱，法兰连接处增设软铜绞线跨接；焊缝防腐涂刷冷镀锌漆，干膜厚度不低于80μm，逐道进行外观检查与锤击判定。（2）风电场箱变及集电线路接地技术中，箱变基础设独立环形接地装置，设备接地端子采用 ≥ 25mm²铜绞线接至接地排，引出线不少于两根；集电线路每基杆塔设独立垂直接地装置（工频电阻 ≤ 30Ω），沿电缆沟全线敷设-40×4镀锌扁钢作为贯通干线，埋深 ≥ 0.7m，穿越道路时加装钢管保护。（3）沿海、山地复杂风电场接地改良技术中，降阻剂包裹接地体厚度30~50mm，回填养护不少于7天；深井接地孔径120~150mm、深度30~60m，内置镀铜钢棒并灌注膨润土基浆料；外延接地网沿沟谷等低阻区辐射延伸，使等效散流面积扩大1.5~2倍。

### 2.3 光伏工程核心接地施工技术

（1）光伏组件支架接地施工中，相邻支架立柱采用-40×4镀锌扁钢或BVR-16mm²铜绞线跨接，焊接搭接长度 ≥ 80mm且双面满焊，螺栓连接加设弹簧垫圈；各阵列经主干线连通形成网格状接地网，每30m设引出点与主地网焊接，杜绝单点失效导致整排支架接地丧失。（2）光伏电气设备接地施工中，逆变器接地端子采用 ≥ 16mm²铜芯线单独接至接地排，端头压接铜鼻子并涂抹电力复合脂；汇流箱外壳以 ≥ 6mm²软铜线与支架接地连接；配电柜基础槽钢与主地网双点焊接，柜内N排和PE排按TN-S系统独立分开，固定采用双螺母锁紧[3]。（3）分布式光伏专项接地技术中，屋顶光伏采用专用夹具固定扁钢，禁止打孔穿透防水卷材，穿越处加设耐候密封胶圈；轻量化接地沿檩条敷设-25×4镀锌扁钢或6mm²铜绞线减少附加荷载；通过等电位端子箱与原防雷系统连接，导通电阻实测不大于0.2Ω。

### 2.4 新型接地材料与智能化施工技术应用

（1）新型接地材料应用中，镀铜钢以电镀工艺在钢芯覆铜 ≥ 0.25mm，适用于沿海强腐蚀环境；柔性石墨接地体由膨胀石墨编织成型，柔韧耐弯折、接触电阻低且耐酸碱腐蚀，适合山地岩石区沿地表浅沟敷设，无需大型开挖机械；长效降阻材料吸水保水并缓慢释放导电离子，可将接地电阻长期稳定在初始值的1.3倍以内。（2）智能化施工与检测技术中，接地电阻智能检测采用无线远传型终端，施工中实时上传数据至云平台并与设计值比对，超限即时报警；接地网无损探伤运用电磁感应法精确定位断点、腐蚀段及焊接缺陷；施工全过程数字化管控通过BIM模型关联勘测数据、施工影像和检测记录，实现隐蔽工程可视化追溯与资料自动归档，有效提升质量管理效率[4]。

## 3 工程施工常见问题及质量管控优化措施

### 3.1 风电与光伏接地施工常见质量问题

（1）接地电阻不达标主要表现为高土壤电阻率区域未进行有效换土或降阻处理，接地网铺设面积小于设计值导致散流通道不足，高腐蚀环境中选用普通镀锌钢材引发接地体导电性能劣化，实测工频电阻或冲击电阻超出规程限值，直接影响防雷保护和故障电流泄放效果。（2）施工工艺不规范体现在接地连接点螺栓未按规定扭矩紧固导致接触电阻过大，焊接接头搭接长度不足或单面施焊导致机械强度不达标，防腐涂层漏刷或厚度不足引起早期锈蚀，组件阵列间跨接接地线遗漏造成多点接地孤岛，接地干线埋深不一致且走向随意，整体施工粗糙严重影响系统长期可靠性。（3）后期运维失效反映为沿海盐雾和土壤酸碱环境下接地体腐蚀减薄甚至断裂，施工机械或农业耕作外力破坏导致接地网局部断路，暴雨引发基础冲刷及回填土沉降使接地极外露散流面积缩减，接地系统性能逐年衰减且缺乏有效监测预警手段，一旦发生雷击或短路故障将无法发挥正常保护功能。

### 3.2 问题成因深度分析

（1）人员层面，一线施工人员对风电塔筒高落差竖向接地与光伏阵列分散接地在工艺要求上的差异掌握不清，对镀铜钢、柔性石墨等新型材料的安装方法未经系统培训，凭经验施工导致连接质量偏差，质量意识淡薄。（2）工艺层面，传统降阻工艺在山地岩石、季节性冻土等复杂地质条件下缺乏针对性调整，沿海腐蚀防护仍沿用普通热镀锌工艺难以满足设计寿命要求，光伏分散式设备接地路径过长且未设置中间电位均衡点，工艺方案与现场实际条件脱节。（3）管控层面，施工过程隐蔽工程未留存完整影像记录，验收多采用抽检方式覆盖面不足，接地电阻仅在竣工时单次检测缺乏过程数据支撑，后期运维巡检周期过长且排查手段单一，无法及时发现性能衰减趋势并采取预防措施。

3.3 施工质量优化与技术改进措施

（1）标准化施工体系搭建包括编制风电专项接地工艺卡（覆盖基础环网焊接、塔壁引下线安装、机舱跨接全流程）和光伏专项接地工艺卡（覆盖支架跨接、设备接地、阵列连通全链路），明确焊接参数、防腐要求、检测频次等量化指标，实现工艺标准统一和施工行为规范化。（2）针对性技术优化方面，高阻区采用深井接地与长效降阻剂联合工艺降低散流电阻，沿海区域接地体选用镀铜钢且防腐涂层厚度提升至120μm以上，光伏分散设备增设等电位均衡环并加密中间接地引出点以缩短单路接地路径，确保各接地点电位均衡。（3）施工人员专项技能培训采取理论与实操结合方式，重点强化风电与光伏差异化施工标准识别、新型材料安装工艺、接地电阻智能检测仪器操作等核心技能，建立考核档案实行持证上岗制度，定期组织复训更新技术知识[5]。

3.4 接地工程验收与运维保障体系构建

（1）阶段性验收管控划分为材料进场验收（核查接地材料规格型号与防腐检测报告）、施工过程验收（焊接质量、埋深尺寸、防腐层厚度实时检验并留存影像）、完工性能验收（接地电阻、电气导通电阻、跨步电压全面测试），实现全流程闭环管控并确保每道工序合格后方可进入下一环节。（2）常态化运维机制包含每半年一次接地电阻检测并建立变化趋势台账，每年一次接地体腐蚀抽样排查，发现问题纳入整改闭环管理流程（发现-评估-整改-复核-销号），形成故障预警与快速响应体系，确保接地系统全生命周期性能稳定。（3）应急保障措施针对雷雨季节前开展接地系统专项巡检，设备故障或遭受雷击后4小时内启动紧急检测，配套建设接地材料应急储备库以便快速修复，编制接地故障应急预案并每年组织演练验证有效性，全面提升突发情况下的应急处突能力。

**结束语**

本文系统研究了风电与光伏新能源工程电气施工接地技术，明确了不同场景下接地施工的工艺要点与管控重点，解决了野外复杂环境下接地施工的常见质量问题。科学规范的接地施工技术，可有效提升新能源电站电气系统的安全性与稳定性，降低设备故障与安全事故发生率。未来需结合新能源工程智能化发展趋势，持续优化接地施工工艺，探索新型接地材料与技术，助力新能源工程高质量建设发展。

**参考文献**

[1]王浩,李军,张宇.风电场与光伏电站接地系统施工关键技术及降阻优化[J].电力工程技术,2023,42(04):136-142.

[2]刘雪松,杨明.新能源电站电气防雷接地施工工艺与质量控制研究[J].电瓷避雷器,2024,22(02):89-95.

[3]张伟,赵建军.复杂地质条件下风电光伏接地网改造与施工技术[J].电力系统保护与控制,2022,50(18):178-184.

[4]陈亮,王佳.柔性石墨接地技术在新能源工程中的应用及施工要点[J].高压电器,2023,59(07):201-207.

[5]黄诚.风电与光伏新能源工程电气接地施工技术优化[J].电工技术,2025,18(09):124-126.