

风电场集电线路施工技术及防雷保护措施研究

杨 春¹ 宁 凡² 梁 鑫¹ 吴 昊¹

1. 陕西华云防雷技术有限公司 陕西 西安 710016

2. 陕西省突发事件预警信息发布中心 陕西 西安 710014

摘 要：风电场集电线路承担风电电能汇集与输送工作，线路施工质量、防雷防护效果会直接影响场站整体运行稳定程度，本文结合山地、野外风电场复杂作业环境，梳理线路主要施工操作要点，分析雷击故障形成原因和设备受损规律，完善适配的防雷防护方案，明确施工、防护阶段管控要点，给线路工程提质、减少雷击故障、拉长设备使用年限提供技术借鉴。

关键词：风电场；集电线路；施工技术；雷击机理；防雷保护

引言：新能源风电产业规模化发展进程中，风电场建设场景逐步向旷野、山地、沿海等复杂区域延伸，这类区域雷电活动频繁、气象条件复杂，对集电线路施工质量与防护性能提出更高要求。集电线路承担着单台风机电能汇总输送的关键作用，长期暴露在自然环境中，易受环境侵蚀、雷击冲击等因素影响出现设备故障。基于风电场运维与工程建设实际，精准把控线路施工核心技术，构建系统化防雷保护体系，是保障风电场持续稳定运行的核心环节。

1 风电场集电线路基础施工技术

风电场集电线路基础施工是后续线路架设、设备安装的前置核心工序，施工质量直接决定线路整体架构的稳定性与抗环境干扰能力，适配复杂场址工况是施工技术的核心原则。风电场多选址于地形起伏较大、土质条件复杂的区域，基础施工需结合场址地形地貌、土层结构、水文条件开展精细化施工管控，规避基础沉降、偏移等结构性缺陷。基础开挖阶段，摒弃粗放式开挖模式，依托场地勘测数据精准划定开挖范围与深度，控制边坡坡度适配土质稳定性，避免土体坍塌、基底扰动等问题。针对山地风电场岩石质地基，采用分层破碎施工方式，保护基底原生土体结构，保障基础承载性能。基底处理完成后，开展垫层浇筑与基底夯实作业，提升基底平整度与密实度，为后续混凝土浇筑奠定基础。钢筋绑扎环节严格把控间距、搭接长度与固定精度，保障钢筋骨架的整体性与受力均匀性。混凝土浇筑采用分层振捣、连续施工工艺，规避蜂窝、麻面、空洞等质量缺陷，浇筑完成后落实常态化养护管控，根据环境温度、湿度调整养护周期，杜绝混凝土开裂、强度不足等问题，从根源上保障集电线路基础的承载能力与结构稳定性^[1]。

2 风电场集电线路主体施工关键技术

2.1 杆塔架设施工技术

杆塔是支撑集电线路的主要构件，安装的精准程度、牢固程度会左右线路整体排布与抗风承重效果，施工前期要逐一检查杆塔配件品质，重点查看构件弯曲、焊缝缺损、防腐表层脱落等缺陷，不让破损构件进场施工，吊装方案要匹配风场场地条件，结合杆塔尺寸、重量划分作业范围，规范起重器械摆放位置，降低地势带来的吊装错位问题，吊装操作保持缓慢抬升、精准对齐，严格把控杆体垂直度与中心偏移量，防止硬对接产生构件受力损坏，杆塔安放到位后立刻拧紧地脚螺栓、锁牢拼接部件，维持整体结构完整，山地高低落差明显的杆位可调整施工手法，修正倾斜补偿数值，抵消地势与风力造成的结构偏移，施工结束后做静态检测，复核杆体垂直度、杆距、标高各项参数，让全部数值符合工程规范，维持杆塔长期承重稳定。

2.2 线缆敷设施工技术

集电线路线缆敷设需兼顾线缆防护、输电稳定性与环境适配性，核心管控重点为线缆张力控制、敷设路径优化与外皮防护。风电场户外线缆长期暴露在强风、紫外线、温差交变环境中，敷设施工需规避线缆过度拉伸、弯折、磨损等问题。敷设前期结合风机点位、地形走势优化敷设路径，避开山体迎风极值区域、易积水沉降区域，减少线缆长期受力与环境侵蚀损耗。线缆展放采用张力可控的敷设工艺，全程实时监测线缆张力数值，杜绝超标准张拉导致的线缆内部导体损伤、绝缘层开裂问题。针对跨山谷、跨道路等特殊敷设段落，增设防护支撑结构，控制线缆弧垂数值，规避弧垂过大引

发的风摆碰撞、间距不足隐患,同时避免弧垂过小造成的线缆长期应力疲劳。线缆对接施工严格遵循标准化工艺,做好接头剥线、对位、压接、密封全流程管控,保障接头导电性能稳定、密封防护完好,杜绝接头受潮、氧化引发的输电故障。敷设完成后对全线路开展外观排查与参数核验,确保线缆敷设平整、受力均匀、防护完整^[2]。

2.3 线路附件安装技术

线路附件包含绝缘子、金具、防震装置、密封防护构件等,是保障集电线路绝缘性能、抗震性能、结构稳定性的关键配套构件,安装质量直接影响线路运行安全性。绝缘子安装前需开展外观与绝缘性能检测,筛选杜绝裂纹、破损、绝缘电阻不达标构件,安装过程严控安装垂直度与间距,保障绝缘子受力均匀,避免偏载引发的破损失效。金具安装需保证贴合紧密、锁定牢固,规范螺栓紧固力矩,杜绝虚接、松动、错位问题,同时保障金具排列规整,减少局部电场集中现象。针对风电场强风天气频发的特点,重点优化防震锤、阻尼线等防震附件的安装位置与间距,精准匹配线路风振频率,有效削弱强风引发的线路振动、摆动损耗。户外外露附件需同步完善防腐、防水防护处理,填补安装缝隙,规避雨水、粉尘侵入造成的构件锈蚀、绝缘失效。附件安装完成后开展全线复核校验,排查松动、偏移、防护缺失等隐患,保障附件与线路主体协同适配,全面提升线路整体运行可靠性。

2.4 施工质量闭环管控

集电线路施工全过程需建立精细化质量闭环管控体系,依托工序化管控模式落实各环节质量把控,规避施工隐患遗留。施工前期结合风电场场址工况、线路设计标准制定专项施工技术方案,明确各工序技术参数、施工标准与管控重点,针对复杂地形、恶劣气象条件制定适配性施工预案。施工过程执行工序交接检验制度,上一工序核验合格后方可开展下一工序施工,重点管控基础施工精度、杆塔架设偏差、线缆敷设张力、附件安装精度等核心指标,及时整改施工偏差与质量缺陷。施工后期开展全方位竣工验收,结合目视排查、参数检测、性能核验等方式,全面排查线路结构、绝缘性能、防护性能等关键指标,梳理施工隐患并完成闭环整改,确保集电线路施工成型质量完全适配长期运行工况需求。

3 风电场集电线路防雷保护措施体系构建

3.1 直击雷防护优化技术

直击雷容易损毁集电线路主体构件与外部配套设

备,防护结构的改良工作也是整套防雷方案里的基础环节,现阶段场内线路普遍依靠架设避雷线、搭配避雷针完成直击雷阻隔,防护布设方案要依照线路走向、场地地势做出调整,以此拓宽防护覆盖区域,提升防护精准程度,山地场内线路走线高低起伏,不能套用统一的架设标准,避雷线的架设高度、弯曲弧度、布设间距都要结合杆塔高度、线路跨距分开设置,让整条线路都落在避雷保护范围内,消除防护空白区域,山顶、山脊这类易遭雷击位置的杆塔,可加装专用避雷针,补强局部防雷能力,弥补避雷线存在的防护短板,避雷线和杆塔的衔接位置要加固固定结构,改善导电性能,让雷电流顺畅导入接地装置,防止衔接松动带来雷电滞留、线路反击等风险,避雷线拉力数值也要定期调整,减少大风、温度变化造成的线材偏移、防护范围缩小等状况,维持整套直击雷防护设施长期稳定运行^[3]。

3.2 接地系统改造与优化

接地系统是雷电泄放的核心通道,接地性能的优劣直接决定防雷保护的最终效果,是抑制雷击过电压、规避雷电反击的关键环节。风电场部分场址存在土壤电阻率高、土质干燥、岩层坚硬等问题,原生接地体泄流效率差,极易造成雷电电流淤积,引发线路过电压击穿故障。针对此类工况,需开展接地系统专项优化改造,通过降阻处理提升接地体泄流能力。常用优化方式包含土壤置换、降阻剂施加、接地网外延拓展等,针对高阻土壤区域,置换低电阻导电土壤,在接地体周边均匀施加长效降阻剂,降低土壤与接地体的接触电阻,提升雷电泄放速率。同时优化接地网布局,延长接地极敷设长度,扩大接地散流范围,规避单点接地电流集中问题。接地施工过程严格把控接地体焊接质量,保障焊接点位饱满、无虚焊、无夹渣,做好焊接点位防腐防护,避免长期土壤侵蚀导致的接地体锈蚀断裂。常态化监测接地电阻数值,根据季节湿度、土壤形变情况及时开展维护优化,确保接地电阻始终维持在合规区间,保障雷电泄放通道持续通畅。

3.3 线路绝缘强化防护技术

线路绝缘性能是抵御雷击过电压、规避绝缘击穿故障的核心屏障,强化绝缘适配性可有效提升线路耐雷冲击能力。风电场集电线路长期在户外复杂环境运行,绝缘子易受紫外线老化、粉尘附着、雨露侵蚀等影响,出现绝缘性能衰减、表面闪络阈值降低等问题,雷击工况下极易发生闪络、击穿故障。因此需针对性开展绝缘强化管控,优先选用适配户外复杂工况、耐污、耐雷击的高强度复合绝缘子,替代传统瓷质、玻璃绝缘子,提

升绝缘子抗老化、抗冲击性能。同时建立绝缘子差异化运维机制,针对山脊、迎风、潮湿等重污染、高雷击区域,缩短检测维护周期,及时清理绝缘子表面粉尘、污秽、水渍,杜绝污秽堆积引发的表面漏电、闪络隐患。对于运行年限较长、出现绝缘衰减、表面开裂的绝缘子,及时完成更换升级,保障全线绝缘性能均匀稳定。此外,可通过增设绝缘防护护套、优化绝缘子排布方式,降低雷电感应过电压对线路绝缘层的冲击损伤,全方位强化线路绝缘防护体系^[4]。

3.4 雷击过电压抑制防护措施

除直击雷外,雷电感应产生的过电压是引发集电线路高频故障的重要因素,感应过电压幅值高、扩散范围广,易造成线路设备隐性损伤,需通过专项装置实现过电压快速抑制与泄放。在集电线路杆塔关键点位、线路进出口、设备对接端适配安装氧化锌避雷器,利用其优异的非线性导电特性,实现雷击过电压瞬时泄放,将线路电压钳位在安全阈值内,避免过电压击穿绝缘、损坏电力设备。避雷器安装需严格把控对位精度与密封性能,保障装置与线路贴合紧密、导电通畅,同时做好户外防水、防腐防护,适配复杂运行工况。结合风电场雷击分布特征,在雷电高发区段加密避雷器布设密度,提升局部过电压抑制能力。同时常态化监测避雷器运行状态,排查老化、失效、受潮隐患,及时更换性能衰减的装置,确保过电压抑制系统持续有效运行,规避感应雷击与操作过电压叠加引发的线路故障。

3.5 防雷系统常态化运维管控

风电场集电线路防雷保护体系的长效有效性,离不开系统化、常态化的运维管控,环境老化、构件损耗、参数偏移均会逐步降低防雷防护性能,需建立全周期运

维管控机制。结合风电场季节气象特征,制定差异化运维计划,雷雨季节前开展全线防雷设施专项排查,重点检测避雷线、避雷针、接地装置、避雷器的运行状态,核验接地电阻、绝缘性能、装置紧固性等核心参数,整改防护缺陷与参数偏移问题。日常运维中重点关注山地、山脊、迎风等雷击高危区段,加大巡检频次,及时清理线路周边超高植被、漂浮杂物,规避雷电引流、线路短路隐患。同步建立防雷设备运行台账,记录设备更换、参数检测、隐患整改数据,依托运行数据梳理防雷薄弱区段,针对性优化防护方案,实现防雷体系的动态优化升级,持续提升集电线路抗雷击风险能力^[5]。

结束语:文中整理风电场集电线路各类关键施工工艺,针对基础、杆塔、线缆及配件各道工序划定细致管控标准,结合线路遭雷击损坏的内在规律搭建全方位防雷防护方案,工艺改良与防雷措施升级能够缓解复杂环境下线路施工瑕疵、雷击频发等问题,增强线路运转可靠程度,给风电线路建造及日常管护提供实用技术依据。

参考文献

- [1] 李康. 风电场集电线路施工技术 & 防雷保护措施研究 [J]. 消费电子, 2025(23):182-184.
- [2] 朱春雨, 阳明辉. 风电场集电线路防雷检测技术与关键措施探讨 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2026(1):032-035.
- [3] 张书哈, 赵赫, 盛轲焱. 风电场 35 kV 集电线路不同避雷器布置策略仿真研究 [J]. 电工技术, 2026(2):55-59+65.
- [4] 刘建伟, 牛东洋, 陈刚. 山地风电场 35 kV 集电线路新型防雷装置研制及应用 [J]. 水电与新能源, 2026, 40(5):18-21+25.
- [5] 石利国. 集电线路防雷接地技术在风电场施工中的应用 [J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(9):159-162.