

海上光伏支架结构建造技术

葛海洋

中国电建集团河南电力器材有限公司 河南 漯河 461300

摘要：海洋复杂水文与气象工况，对光伏支架建造精度、结构强度和防护性能提出严苛标准。现有陆上施工工艺难以适配海上特殊环境，存在腐蚀风险高、装配误差大、施工难度突出等问题。本文结合海上光伏工程施工特征，梳理四大核心施工技术体系，整合材料改性处理、陆上预制装配、海上精准布设及现场调试收尾等关键工艺。细化各工序标准化施工要点，攻克海洋腐蚀、风浪扰动等施工难题，可有效提升支架装配精度与结构稳定性，为近海光伏支架标准化施工提供完善的工艺参考。

关键词：海上光伏；支架建造；预制装配；海上施工；防腐防护

引言：海洋闲置水域的开发利用，推动海上光伏成为新能源产业升级的重要方向，有效弥补陆上光伏占地受限、资源紧缺的发展短板。支架作为光伏系统的核心承重结构，施工品质直接决定工程建设质量与长期运行安全性。海洋高盐雾、多风浪、水文多变的复杂工况，对支架材料性能、预制精度、安装工艺及防腐体系提出更高要求。依托各类专项施工技术优化建造流程，搭建全链条标准化施工体系，可切实提升海上光伏工程的施工规范化水平。

1 海上光伏支架结构材料制备与处理技术

1.1 主结构型材冷弯成型技术

主结构型材承担海上光伏支架的全部荷载，型材成型质量是保障支架整体结构稳定的基础。冷弯成型技术依托多道连续辊压设备，对金属基材进行渐进式弯折塑形，全程无需高温热处理，可完整保留金属基材原生力学性能，彻底规避高温加工工艺易引发的材质变形、力学性能衰减等质量问题。该技术可根据支架设计规范灵活调整工艺参数，适配不同成型弧度与截面规格，可定制加工适配海上架设场景的异形承重型材。成型成品截面规整平整、壁厚分布均匀，能够有效适配海洋复杂受力工况，满足支架长期稳定承载的服役要求^[1]。

1.2 表面防腐层热浸镀处理技术

海洋区域常年存在高盐雾、高湿度的环境特点，会持续腐蚀金属材质的光伏支架，防腐处理是延长支架使用年限的重要工序。热浸镀处理将镀层金属加热至450℃-460℃熔融状态，让金属镀层充分附着在基材表面，形成致密稳固的合金结合层。整套工艺经过高温浸润、自然冷却固化的完整流程，填补基材表面的细微孔洞。有效阻隔海水、盐雾对金属基材的侵蚀。镀层整体厚度可达85-120μm，附着紧密稳固，不会轻易起皮、脱落，可持

续抵御海洋环境的腐蚀破坏，有效提升支架结构的耐久能力。

1.3 配套连接件精密冲压成型技术

各类连接件负责支架构件之间的拼接与固定，加工精度直接决定现场装配效果和整体结构稳固程度。精密冲压成型搭配专用定制模具，对金属板材完成精准裁切、冲孔、弯折等成型工序。整套加工流程精度稳定，能统一各类螺栓孔、连接卡槽、拼接端面的尺寸标准。成型后的连接件尺寸误差严格控制在±0.3mm以内，构件匹配度更高。可以有效规避现场装配中因尺寸偏差带来的松动、错位问题，保证光伏支架整体装配规整、结构严密。

1.4 密封与防护构件一体注塑技术

海上光伏支架的构件衔接缝隙，容易渗入水汽和盐分，进而造成内部构件锈蚀、老化损坏。一体注塑技术选用高性能高分子原材料，经过180℃-220℃熔融注塑、模压定型、快速冷却等工序，直接加工成型密封垫片、防护护套、端口封堵等各类防护构件。这种整体成型方式，替代传统分体加工后拼接的模式，构件整体无拼接缝隙，密封防护效果更好。成型后的防护构件具备良好韧性，可耐受-20℃至60℃的高低温交替变化，能够长期适应海上露天作业环境，为支架衔接位置提供可靠的防护保障。

2 海上光伏支架陆上预制与组装技术

2.1 预制场地模块化布设技术

海上光伏支架的现场安装质量，高度依赖陆上预制作业的标准化、规范化程度。预制场地模块化布设技术以整体预制工序逻辑为核心，对施工场地进行科学分区、合理布局，依次划分原料堆放、构件精加工、单元组装、成品存放等专属功能区域，优化物料转运路线与施工流转顺

序。清晰的场地分区可有效减少构件二次搬运产生的磕碰、磨损问题,保障各预制工序有序衔接、高效推进。同时,结合支架构件规格特点与批量生产需求,配套专用作业设备与工装平台,单区块预制作业面积统一规划为 $600\sim 800\text{m}^2$,搭建标准化陆上预制作业场地,为支架构件批量、高精度加工提供稳定的作业条件^[2]。

2.2 单元支架螺栓锁合拼接技术

单元支架是构成光伏整体支撑体系的基础单元,螺栓锁合拼接是陆上预制组装的核心工艺。该工艺采用标准螺栓紧固件完成型材与连接件的精准拼接固定,替代传统现场焊接施工模式,有效规避焊接变形、防腐层破损等弊端。作业人员严格按照标准化组装顺序对齐构件端口,分步完成螺栓穿装与分级紧固作业,保证各连接点位紧固力度均匀、受力均衡,杜绝应力集中引发的杆件扭曲、形变问题。每完成一组单元支架拼接后,安排专人对所有螺栓连接点位逐一复核检查,并做好质量溯源记录。该工艺施工流程简便可控、作业容错性强,可稳定保障单元支架的结构完整性,为后续海上吊装就位提供合格的单体结构。

2.3 支架整体对位预装配技术

海上施工现场风浪干扰大、作业空间受限、施工窗口期短,大规模现场装配作业难度高、精度难把控。支架整体对位预装配技术可在陆上预制场地完成支架单元的整体试装与精细调校,施工过程中精准微调杆件安装角度、杆件间距及框架整体位置,修正前期构件拼接产生的细微尺寸偏差。同时,全面排查构件干涉、间距超标、角度偏移等常见装配缺陷,所有质量问题均在陆上预制阶段完成整改消缺,从源头降低海上现场安装的施工难度,压缩海上高空、水上作业时长,显著提升整套支架结构的装配精度与现场适配性。

2.4 预制单元形位公差初检技术

形位公差是评判预制构件加工与组装质量的核心指标,直接影响支架现场安装精度与整体结构稳定性。预制单元形位公差初检技术依托专业精密检测工具,对组装完成的支架单元开展全方位尺寸核验,重点检测框架平整度、杆件直线度、结构平行度等关键参数,核对整体框架成型尺寸。施工中严格将框架整体平整度偏差控制在 1.5mm 以内,精准排查构件弯曲、形变、尺寸超差等质量缺陷,对不合格构件及时开展返工修整。严谨的前置初检工序可严格把控陆上预制成品质量,确保所有外运预制单元均满足海上安装标准,保障现场施工高效、顺畅推进。

3 海上光伏支架现场布设与安装技术

3.1 水下基础声呐定位布设技术

海上水域能见度低、水下地形复杂多变,传统人工勘测布设方式精度差、效率低、盲区多。水下基础声呐定位布设技术依托专业声呐探测设备,对施工水域的水下地形、土层分布及水下障碍物进行全方位扫描与数据采集,获取高清、精准的水下地形数据。技术人员基于探测数据科学规划基础布设点位,精准标定各桩基的埋设坐标与埋设深度,有效规避水下凸起地形、暗障及薄弱土层等不良工况。该技术可将点位定位误差控制在 $\pm 5\text{cm}$ 以内,大幅提升水下基础布设精度,杜绝点位偏移问题,保障水下基础排布规整、受力均匀,为上部支架结构搭建提供稳定可靠的点位支撑^[3]。

3.2 支架单元浮托水上转运技术

陆上预制完成的支架单元整体尺寸大、框架跨度广,采用常规船舶吊装转运易出现结构晃动、构件磕碰、涂层破损及杆件变形等问题。支架单元浮托水上转运技术采用专用浮托载体承载支架单元,借助水体浮力分担结构自重,大幅降低转运过程中支架承受的机械应力,从源头规避结构形变、防腐层破损等质量缺陷。专用浮托载体可适配不同规格的支架单元,实现整体平稳承载。转运过程中采用低速匀速行进模式,可有效抵御水面轻微风浪引发的颠簸扰动,保障支架单元从预制码头安全、平稳输送至海上施工点位。

3.3 支架与水下基础法兰锁固技术

法兰连接是海上上部支架与水下基础衔接的核心节点,其连接牢固度直接决定整体结构的抗倾覆、抗扰动能力。支架与水下基础法兰锁固技术施工前,先对上下法兰端面进行彻底清洁,去除水渍、海泥、杂质等污染物,保证端面贴合紧密。随后精准调整支架单元的整体高度与水平倾角,实现上下法兰孔位精准对位,再依次完成紧固件穿装与分级对称紧固作业,均衡把控各点位压紧力度,彻底消除法兰衔接缝隙,弱化结构受力形变空间。规范的法兰锁固工序可强化基础与上部支架的整体连贯性,提升结构整体刚度,有效适配海上复杂水域工况。

3.4 阵列间索体张紧衔接安装技术

规模化海上光伏工程由多组独立支架阵列组成,阵列之间通过索体结构实现整体联动与约束限位,保障整片阵列的协同受力。阵列间索体张紧衔接安装技术首先完成索体两端固定端头的对接安装,确保端头连接点位牢固可靠;再通过专用张紧设备逐级调节索体松紧度,精准控制索体拉伸量,抵消风浪、水流冲击带来的结构晃动余量,平衡各组支架阵列的受力状态。该工艺可有效避免单组阵

列受力集中引发的偏移、形变及节点损伤问题,使整片光伏支架阵列形成完整、稳定的整体受力体系,显著提升海面支架布局规整度与整体结构稳定性。

4 海上光伏支架现场调试与收尾

4.1 支架水平度液压调整技术

海上光伏支架安装完成后,受水下地形不均、基础微小沉降、水域外力扰动等多重因素影响,整体框架易出现倾斜、高低不平等问题,无法满足光伏组件铺设的平整性要求。支架水平度液压调整技术依托便携式高精度液压调节设备,对支架各支撑点位开展精细化调平作业。设备输出的顶推力稳定可控,可作用于支架底部支撑结构,缓慢、精准修正框架倾角与高度偏差。调节过程可根据各点位实测高差数据针对性微调,逐步校准整体支架水平状态。该调平方式受力均匀、无冲击,不会对支架型材及连接构件造成挤压损伤,可保障整片支架框架平整统一,完全满足光伏组件的安装铺设标准^[4]。

4.2 连接部位扭矩定标紧固技术

支架各类螺栓、法兰连接点位,经过海上吊装、就位安装及风浪扰动后,普遍存在紧固力度不均、预紧力不足等问题,长期服役易出现节点松动、间隙扩大等隐患,影响整体结构稳定性。连接部位扭矩定标紧固技术采用专业定标扭矩工具,对所有关键连接节点开展全覆盖复检与二次紧固作业。施工前提前设定标准扭矩参数,逐点完成螺栓复核与精准加固,统一各连接点位的紧固力度,消除人工紧固的力度偏差。既可规避紧固过松导致的松动失效风险,也可避免过度紧固引发的螺纹损伤、构件形变等质量问题,全面保障所有连接节点的施工质量达标。

4.3 外围防浪构件加装固定技术

海面风浪冲击、潮汐往复水流会持续冲刷光伏支架阵列外侧结构,长期交变荷载易导致边缘支架受力过载、结构磨损老化,影响整片阵列的运行安全。外围防浪构件加装固定技术针对支架阵列外围区域,匹配对应规格的防浪挡板、防护围挡等防护构件,按照预设安装点位完成精准对位装配,并采用专用紧固配件实现牢靠

固定。防护构件贴合阵列外围轮廓形成封闭式防护屏障,可有效削弱风浪、水流的正面冲击强度,阻挡水面漂浮杂物、海浪涌流对主体支架的直接磕碰与冲刷,降低外侧支架结构的附加荷载,全面提升整片光伏阵列的海洋环境耐受能力。

4.4 水下遗留构件潜水清理技术

海上支架施工全过程会在水下残留废弃绑丝、多余管材、施工残渣、临时固定配件等杂物构件。此类水下遗留物长期堆积,易缠绕支架基础、堵塞构件缝隙,加速金属结构锈蚀老化,威胁支架长期运行安全。水下遗留构件潜水清理技术由专业潜水作业人员下水排查,全面清扫支架基础周边、构件衔接缝隙等隐蔽区域,对各类遗留构件、施工废料进行分类拆除与打捞清运,彻底净化支架水下作业区域。该工序可保持水下结构干净整洁,杜绝杂物堆积引发的结构腐蚀、缠绕形变等问题,为支架长期稳定运行营造良好的水下服役环境。

结束语

通过梳理海上光伏支架从材料加工、陆上预制、海上安装到现场调试收尾的全流程工艺,形成一套适配海洋复杂工况的标准化建造体系。各施工环节紧密衔接、相辅相成,有效改善传统施工模式中精度不足、防护薄弱、施工难度大等工程痛点。成套规范化施工工艺,能够切实提升光伏支架的装配品质与结构耐久性能,增强结构对海洋恶劣环境的适配能力,可为近海光伏工程支架施工提供成熟且实用的技术工艺支撑。

参考文献

- [1]付红星,黄文琪,杨磊,等.海上光伏支架结构建造技术[J].浙江建筑,2025,42(4):77-80.
- [2]刘秉文,张金福.海上光伏支架基础结构分析与选型探讨[J].电力设备管理,2025(5):175-178.
- [3]符嘉,杨永华.固定式大跨度海上光伏支架结构方案比选[J].建筑技术,2025,56(z1):50-52.
- [4]左刚,张艳,胡瑶,等.锌铝镁单一镀层防腐体系在海上光伏支架中的耐蚀性能研究与应用[J].西北水电,2025(4):31-35.