

150MW级山地柔性光伏支架和组件安装施工技术研究

郑 哲

中国能源集团浙江火电建设有限公司 浙江宁波 315700

摘 要：进行150MW级山地柔性光伏支架和组件安装施工技术研究，通过资料搜集、案例分析法，阐述建德大洋150MW农光互补光伏项目基本概况，提出项目施工特点与难点，围绕施工准备技术、桩基钻孔施工技术、钢筋笼制作与安装技术、光伏组件安装技术、生态种植技术展开具体化研究，给出具体施工成效。得出结论：按照固定规范探索了柔性光伏支架和组件安装施工技术，取得了相对较好的成果，提升了支架、组件安装质量，满足了项目可持续运行需求。

关键词：150MW级山地柔性光伏项目；支架；组件；安装施工；技术

引言

太阳能发电因其在实际应用中的环保性、发展性等优势而得到更多的关注，在市场上所占比例持续提升，但目前所流行的刚性光伏支架安装技术，占地面积大、施工标准高，使得其在特殊场地布置受限。据此，开发出柔性光伏支架技术，使其不但适用于山地、海边等特殊场地，并在农光互补、渔光互补等方面发挥作用，对其展开深入探究，总结施工经验，完善施工体系，并与其他相关研究提供可靠参考资料。

一、150MW级山地柔性光伏项目案例分析

结合建德大洋150MW农光互补光伏项目展开具体化研究，本工程属于浙江省重点工程，位于浙江省杭州市建德市大洋镇境内，海拔高程约300m。项目所处的区域属于亚热带季风气候区，场址区太阳能资源丰富。本项目光伏区建设可利用地约1800亩，采用组串式逆变，就地升压、集中并网的方案，总装机容量约为155.4MW_p，采用570及以上的双玻光伏组件，共设置382台逆变器和45台箱式变压器，分8个集电线路。项目建成后，年平均发电量可达14.91万MW时，每年可节约标准煤约4.86万t，相对应减少二氧化碳排放约11.78万t、二氧化硫排放约856t、氮氧化物排放量约1285t，并减少灰渣、烟尘、废水等排放，节能减排效益显著，助力地方经济发展和“双碳”目标。

二、150MW级山地柔性光伏支架和组件安装施工特点与难点分析

分析150MW级山地柔性光伏支架和组件安装施工特

点与难点，主要集中在：施工难度高，目前光伏发电项目以排架结构为主，较少采取柔性光伏支架结构，特别是装机规模、容量达到150MW的更是少见，因此不具备较多的参考资料，需在实际安装施工时参考当地政策、地形地貌、天气状况等要素持续完善安装施工方案，保证安装施工稳定展开。面临较多阻碍，本项目位于海拔300m的山区，地形地貌复杂，有较多沟谷、陡坡，虽然建设可利用地达到1800亩，但在后续发展中也可能面临土地生态恢复、农牧用地等方面的压力，并在项目功能完善、拓展进程中出现用地面积紧缺等问题，因此必须通过优化设计方案、灵活选用施工技术等方式提升土地利用效率。环保要求高，在设计和施工各环节中，强调环保意识，重视环境保护和水土流失防治，尽可能不破坏原有的地表植被和土壤，以免造成土壤与植被的大面积破坏。

三、150MW级山地柔性光伏支架和组件安装施工技术

（一）施工准备技术

（1）技术准备：组织施工建设方、设计方、施工方、监理方等进行图纸会审，增进施工方对设计图纸、设计要求的了解，把握项目特点、设计意图等，判断设计方案是否满足当地施工标准，检验地质勘探资料、设计方案是否完整。由监理方协同设计方，进行实地勘察，搜集地形地貌、气象资料等相关信息，更新施工方案，减少施工变更。

（2）现场准备：场地平整，确定平整标准：要求平整度误差 $\leq \pm 100\text{mm}$ ，场地坡度 $\leq 15^\circ$ ，压实度 $> 95\%$ 。

划定项目施工界线，修建临时道路、临时排水管道等；现场测量控制点交接，检验、校正测量仪器；清理场地内的石块、树木、杂草等，采取挖掘路基、填筑路基、填筑土方等方法进行土地平整。

(3) 其他：检查柔性光伏支架、组件质量，抽检20%，质量不合格，严禁进入施工现场；进行柔性支架安装技术标准、工艺严格交底。

(二) 桩基钻孔施工技术

(1) 施工参数设置：柔性支架中部、端部支架基础选择钻孔机械成孔方式，桩身选择C30混凝土，设置钻孔灌注桩直径300mm，承台端桩径500mm。中部支架桩基础结合地层结构灵活设置桩长，其中地层是白云岩、灰岩的区域，桩长设置为2m，地层是黏土的区域，桩长设置为3m；端部支架桩地层是白云岩、灰岩时，桩长设置为2m，地层是黏土的区域，桩长设置为4m。结合施工现场实际，控制桩顶高出地面高度 ≥ 500 mm。

(2) 施工要点把握：定位、标记，结合设计图纸坐标放样，引入“木桩+红漆”标注法，在各桩位处设置十字控制线；山地斜坡位置布置防位移装置，预埋 $\phi 300$ mm钢管，紧固钻孔轴线。钻孔作业，土层通过螺旋钻连续成孔，控制泥浆比重在1.15—1.25g/cm³区间内，岩石层选择牙轮钻头分级扩孔方式，设置钻进速度 ≤ 1.2 m/h。清孔，采取气举反循环法清除孔内积水、沉渣等，保证沉渣厚度 ≤ 50 cm，在孔内布置临时护筒，避免孔壁坍塌。

(三) 钢筋笼制作与安装技术

(1) 机械设备配置：主要包括：切断设备，如钢筋切割机、切断机；弯曲设备，选用钢筋弯曲机；连接设备，选择冷挤压连接设备、电弧焊机、对焊机等；运输设备，如钢筋骨架运输车、平板车等；吊装设备，如吊装平台、吊具、卷扬机、吊车等。

(2) 钢筋笼制作：进行钢筋检查、除锈、调直、下料，在专用台架上连接主筋、箍筋，检查钢筋笼形状、尺寸达标。将箍筋套入主筋，保持垂直，点焊、绑扎，将缠筋绕在钢筋笼上，用细铁丝绑扎，再在钢筋笼外侧焊接保护层垫块（厚度6—8cm），最后平稳放在地面，避免变形。

(3) 钢筋笼安装：再次清理孔底沉渣，检测孔深是否达标，达到设计深度标准时，再安装钢筋笼。选择双吊点法吊装钢筋笼，保持匀速、平稳，控制垂直度偏差 $\leq 1/150$ 。

(4) 混凝土灌注：选择导管法，连续浇筑完成，在初次浇筑时，保持导管埋深 ≥ 1.5 m，整体灌注流程埋深在2—6m区间内；设置超灌高度 ≥ 0.8 m，辅以插入式振捣器完成桩头振捣。

(四) 钢支架安装施工技术

150MW级山地柔性光伏支架项目中，钢支架主要用于将柔性钢绞线承担的荷载传递到地面组成部分。

(1) 安装准备：结合设计图纸，对齐预埋件、钢柱底座上螺栓孔，螺栓上套螺帽，立柱间安装角钢支架；角钢支架上安装前、后固定块。

(2) 支架前、后基础梁安装：角钢支架上安装前、后横梁，用固定块、螺栓连接，用水平仪调平前、后横梁，拧紧各个螺钉。

(3) 组件安装：考虑到组件安装较难，由不低于两个人协同作业，在托架上放置组件，1人稳固组件，另外1人用螺帽将组件固定在支架上，在未拧紧支架螺钉前，调整对方阵外形，严控各组件间隔。

(4) 钢支架安装：先安装柔性钢绞线，空载状态下铺设时，确定1个可张拉固定单元（150m），确定各单元螺杆、柔性钢绞线组合尺寸，规范施工进度，具体包括：在单个固定单元柔性钢绞线铺设完后，再铺设下一个单元。安装连杆、缆风绳，调节缓冲弹簧张紧力（1kN），保证缆风绳紧绷，使得光伏组件在承受外力时不会轻易摆动。完成以上安装工作后，保证各跨钢绞线下挠值 ≤ 50 mm，每排光伏组件上两条柔性钢绞线挠度值一致，单块组件所处平面两条柔性钢绞线间距 ≤ 1400 mm，钢支架端部螺杆两侧伸出长度 ≤ 50 mm。为降低钢支架顶端平面外侧拉力，要求钢支架顶端在承载张拉力时，立柱单向受力 ≤ 6.9 kN，在不能确定受力值时，通过轴力计检测

(五) 光伏组件安装技术

(1) 组件检查：光伏组件从生产、运输到安装，可能会出现各类质量问题，且山地安装对于组件的质量标准更高，需对其加以细致化检查，保证其达到安装标准。具体检查内容包括：检查光伏组件外表面，确保无划痕、裂痕、损坏、变形、变色等问题；将光伏组件置于光照环境下，检测其开路电压，保证光伏组件标识、输出端正负吻合，组件正面玻璃不存在损伤、裂纹，背面不存在毛刺、划痕等。

(2) 组件安装与调整：选择15°平铺安装法，保证最低点、最高点与地面间距分别为1m、2.2m，组件在

±5° 角度内可即时调节,并为山区植被种植、恢复提供便利;25°-35° 陡峭地区,引入预应力钢绞线,支持10—30m大跨度跨越施工。引入挠度容许值L/30-L/15的柔性支架系统,适应山体微变形、基础沉降,控制钢绞线抗拉强度≥1770MPa,按需加装碳纤维加固节点,提升承载力。此外还需关注其他要点:表面处理,配置传感器、高清摄像装置,监测支架拉力变化、电气连接点温度等,保证支架达到相关验收标准;进行首末两端光伏组件固定杆位置调整、紧固,将放线绳系在固定杆上、下端,拉紧;以放线绳为基准,调节其他组件固定杆,维持在一个平面;预紧所有螺栓。

(3) 组件连线:结合建德大洋150MW农光互补光伏项目设计方案选定组件连接模式,主要连接装置为多股铜芯线,对芯线的线头搪锡处理;接线时正确接正负极,检查各光伏组件安装情况,判定组件串开路电压正确性,保证各连接点无误,断开其中一组光伏组件连线。

(4) 光伏方阵测试:参考《太阳能电池组件参数测量方法(地面用)》《地面用硅太阳能电池电性能测试方法》等标准,选择晴天、辐照不稳定度<1%的环境加以测试,设置方阵开路电压,保持方阵实测最大输出功率<60%组件最大输出功率总和,方阵支撑结构、输出端之间电阻≥50MΩ

(5) 光伏组件敷设:至少两人负责光伏组件敷设,连接固定压块、光伏组件,在柔性钢绞线上安装光伏组件,拧紧固定压块,保持各接触点受力均匀,横向上光伏组件、钢绞线平行,两块光伏组件东西间距100mm、南北间距200mm,连接杆间距120mm,并可结合地形灵活调整;光伏组件每跨下挠度≤150mm;保持光伏组件固定压块紧固,在螺丝一侧布置弹性衬垫短棒并压实;完成安装后,光伏组件边框无裂缝、变形等问题。

(六) 生态种植技术

(1) 植被选种:结合光伏阵列区气候特征、光伏遮阴率等,选择沙棘、柠条、冰草、紫花苜蓿等植被,提升植被覆盖率,在光伏组件间隔区种植金丝皇菊、三七等耐阴药用植物。

(2) 气候调控:按照双玻组件30° 倾角设计方式,装载V型导水槽,汇集雨水,导入蓄水池,构建局部湿润地带,铺设5—8cm厚可降解秸秆,减少地表水分蒸发。

(3) 动态监测:配置土壤温湿度传感器、高清摄像头、多光谱无人机等,监控植物种植状况,提升种

植效果。

四、150MW级山地柔性光伏支架和组件安装施工成效

总结150MW级山地柔性光伏支架和组件安装施工成效,主要包括:其一,已完成约0.1MW的柔性支架光伏组件示范区安装,通过长达2个多月观察,光伏组件下方农作物和植被能正常生长,基本实现农光互补的目标。其二,已完成约8MW柔性支架的安装,现场农作物和植被保存相对完整,有利于水土保持。其三,作为浙江省重点工程,已被多家媒体采访、宣传,有效地提高项目的知名度和柔性支架技术的推广度。

结语

综上,文章就150MW级山地柔性光伏支架和组件安装施工技术展开深入探究,以上提出的各类技术是在文献搜集、案例分析、相关策略创新性应用基础上得来,因此具备较高可行性,其在一定程度上更新了安装体系,提升了安装效率。在下一阶段安装施工技术探究中,应正视山地柔性光伏支架和组件安装的现实需求,结合项目特征,需选择性引入各类先进理念、技术等,为安装过程赋能,体现安装施工先进性,如此才能克服安装施工中的难题,提升安装质量。

参考文献

- [1]张东栋,范信凌,张斌,等.山地柔性光伏支架设计方案与施工工艺[J].中国建筑金属结构,2023(10):22-24.
- [2]徐磊.柔性支架钢索安装技术在柔性光伏支架安装工程中的应用[J].中国地名,2024(5):214-216.
- [3]曾鹏.柔性光伏支架基础设计与分析[J].低温建筑技术,2024(3):160-163.
- [4]魏高帅,赵阳.山地陡坡柔性光伏支架组件滑移安装方法研究[J].工程技术研究,2024(24):106-108.
- [5]李文清.柔性支架光伏安装施工工序及实施研究——以X光伏发电项目为例[J].中国战略新兴产业,2024(30):82-84.
- [6]方靖梁.柔性光伏支架系统构造设计与工程应用分析[J].门窗,2025(1):106-108.
- [7]王文帅,李金伟.柔性光伏支架在渔光互补工程的应用[J].红水河,2024(2):69-74.