

大型光伏电站施工关键技术与管理实践研究

杨 莉

中国能源建设集团广西水电工程局有限公司 广西南宁 530000

摘要: 随着全球能源结构向清洁低碳转型,大型光伏电站作为新能源开发的核心载体,其施工技术复杂性与管理系统性要求日益提升。本文以广西来宾小平阳115MWac光伏项目为研究对象,结合项目施工组织设计实践,系统梳理大型光伏电站施工中的场地规划、基础施工、支架组件安装、集电线路敷设、设备调试等关键技术环节,重点分析PHC管桩基础预钻孔工艺、光伏支架精度控制、组件防护等技术难点的解决方案;同时从工期管控、质量保障、安全防护、环境治理、资源配置、信息化管理六个维度,构建大型光伏电站全周期施工管理体系。实践表明,该项目通过优化技术方案与精细化管理,实现240天工期内完成149.9988MWp安装容量、21.4万块组件部署,工程质量合格率100%,无重大安全事故,可为同类大型光伏电站施工提供技术参考与管理借鉴。

关键词: 大型光伏电站; PHC管桩基础; 光伏支架安装; 施工管理

引言

在“双碳”目标推动下,我国光伏电站建设已从分布式向集中式、大型化方向发展。大型光伏电站具有占地面积广(通常数千亩)、施工工序多(土建+电气+调试)、工期紧(普遍200-300天)、环境敏感(多位于丘陵/农田)等特点,其施工过程需平衡技术可行性、工期合规性、安全环保性与成本经济性。广西来宾小平阳光伏项目(额定容量115MWac,安装容量149.9988MWp)作为典型的大型山地光伏项目,面临PHC管桩基础施工强度大(15.3万米)、光伏组件安装精度要求高(倾角偏差 $\pm 1^\circ$)、集电线路交叉跨越复杂(含架空与直埋段)等挑战。本文以该项目为案例,深入研究大型光伏电站施工关键技术的创新应用与全流程管理实践,为行业同类项目提供可复制的实施路径。

一、大型光伏电站施工关键技术体系

来宾小平阳光伏项目施工涵盖“土建工程-设备安装-系统调试”三大阶段,涉及12项核心工序,其关键技术围绕“精度控制、效率提升、风险规避”三大目标展开,形成标准化技术流程^[1]。

(一) 场地平整与道路工程技术

项目场址属丘陵地貌(高程60-120m,坡度 5° - 15°),场地平整与道路工程是后续施工的基础,需解决“地形起伏大、雨季排水难”问题:

分层开挖与压实技术:采用“机械为主+人工辅助”模式,土方开挖(105.7万 m^3)优先使用PC240反铲挖掘

机(斗容1.2 m^3),石方开挖(1.2万 m^3)采用液压破碎锤+小药量控制爆破,避免扰动周边土体;开挖后分层回填(压实度 ≥ 0.94),每层厚度 ≤ 30 cm,使用18T振动压路机碾压,确保地基承载力满足PHC管桩施工要求。

场内道路优化设计:场内道路采用“永临结合”原则,路面宽4.0m、路基宽4.5m,面层为20cm厚泥结碎石,平曲线最小半径9m;道路两侧设30cm \times 40cm排水沟,与场址止马河排水系统连通,避免雨季积水;每500m设置调车平台,满足组件运输车辆(20t红岩自卸车)周转需求^[2]。

(二) PHC管桩基础施工技术

光伏支架基础采用PHC300AB70高强度预应力混凝土管桩(总长15.3万米),日均施工强度需达1020m,技术核心是“精准定位+高效沉桩+孤石处理”。针对场址局部孤石分布特点,项目形成了标准化施工工艺流程。

桩位精准放样:采用全站仪(精度 ± 2 mm)按光伏阵列间距(18.7m \times 4.8m)施放桩位,桩位偏差 ≤ 20 mm,用木桩+白灰标识,与地面平齐,避免后续施工偏移。

预钻孔辅助沉桩:针对场址局部孤石(粒径 ≥ 50 cm),采用 $\phi 300$ mm潜孔锤预钻孔(引孔深度 \geq 孤石厚度+1m),空压机(30 m^3 /min)同步清渣,避免管桩沉桩时断裂;钻孔垂直度控制 $\leq 0.5\%$,用2台经纬仪双向监测。

沉桩质量控制:采用2t柴油锤打桩机,遵循“重锤轻击”原则,初始落距 ≤ 0.5 m,桩入土1m后校正垂直度(偏差 $\leq 0.2\%$),最终以桩顶标高控制为主、贯入度为辅

(最后3阵贯入度 $\leq 5\text{mm}/\text{阵}$), 确保管桩外露长度符合支架安装要求($\pm 30\text{mm}$)。

(三) 光伏支架与组件安装技术

支架采用固定式钢支架(总重量5250t), 组件为700W_p单晶硅双面双玻组件(21.4万块), 安装精度直接影响发电量, 技术要点如下:

支架安装精度控制: 基础标高复核: 安装前用水准仪检测桩顶标高, 偏差超50mm时采用接桩(焊接+防腐)或截桩(机械切割)处理;

支架角度校准: 使用角度测试仪(精度 $\pm 0.1^\circ$)确保阵列倾角 17° (偏差 $\pm 1^\circ$), 同组支架斜梁高差 $\leq 3\text{mm}$, 相邻檩条高差 $\leq 10\text{mm}$;

螺栓紧固工艺: 采用扭矩扳手(精度 $\pm 5\%$)按设计扭矩($M12$ 螺栓 $40\text{N}\cdot\text{m}$)紧固, 螺栓外露丝扣 ≥ 2 牙, 弹垫、平垫齐全, 避免支架松动导致组件应力损伤。

组件安装防护措施: 运输防护: 组件堆场采用10cm碎石硬化, 垫木间距 $\leq 1.5\text{m}$, 顶部覆盖防雨布; 二次搬运采用2人/块抬运(抓组件长边边框内侧), 禁止触碰玻璃面;

安装工艺: 按“从上到下、从一端到另一端”顺序, 用专用压块固定组件, 组件间隙($10\text{mm} \pm 2\text{mm}$)均匀, 避免玻璃划伤; 组件接线盒朝下, 连接器防水封堵牢固, 禁止潮湿状态下插接;

接地处理: 带边框组件通过 4mm^2 黄绿双色铜芯线与支架可靠连接, 每组串组件设2个接地点, 接地电阻 $\leq 4\Omega$ 。

(四) 集电线路施工技术

项目5回35kV集电线路(总长28.5km)采用“架空+直埋”结合方式, 需跨越农田、河道(止马河), 技术难点是“防腐蚀、防扰动”。

架空线路施工:

塔基施工: 28基铁塔采用人工挖孔桩基础(孔径1.2m, 深度3-5m), 混凝土强度C30, 钢筋笼保护层厚度 $\geq 50\text{mm}$, 浇筑后覆盖洒水养护 ≥ 7 天;

架线工艺: 采用“张力放线”(机动绞磨3-5t), 导线JL/LB20A-240/30双回架设(1.6km), 地线JLB20A-50(4.4km), OPGW光缆(7.6km); 放线时设张力场和牵引场, 跨越道路处搭设防护架, 避免导线磨损。

直埋线路施工: 沟槽开挖: 采用 0.3m^3 小型反铲挖掘机, 沟深 $\geq 0.7\text{m}$ (农田段 $\geq 1.0\text{m}$), 沟底铺10cm厚细砂;

电缆敷设: 35kV电缆(ZRC-YJLV22系列)采用电缆输送机(JSD-3型, 牵引力3kN)敷设, 弯曲半径 $\geq 15D$ (D为电缆外径); 敷设后覆砂10cm, 盖红砖保

护, 设置警示桩(间距50m), 避免后期施工破坏^[3]。

(五) 设备安装与系统调试技术

逆变器(383台300kW组串式)、箱变(36台, 含34台3300kVA+2台1250kVA)安装与调试是并网关键, 技术核心是“安全接线+精准测试”。

设备安装工艺:

逆变器安装: 固定于钢支架(距地面1.2m), 避免阳光直射, 开门角度 $\leq 90^\circ$ (防碰组件背板); 进出线电缆采用防水接头(紧固扭矩 $25\text{N}\cdot\text{m}$), 防火泥封堵到位, 柜内无杂物;

箱变安装: 采用25t汽车吊吊装(起吊点距箱变重心 $\leq 1.5\text{m}$), 基础预埋件水平偏差 $\leq 3\text{mm}$, 箱变接地采用2条 95mm^2 铝芯线与主接地网连接, 接地电阻 $\leq 4\Omega$ 。

系统调试要点:

组件组串测试: 测量组串开路电压(偏差 $\leq 5\%$ 设计值)、短路电流(偏差 $\leq 10\%$ 设计值), 确保极性正确, 无反接;

逆变器调试: 设置MPPT跟踪范围(200-1000V), 测试并网保护功能(过压、过流、频率异常), 确保故障时0.1s内脱网;

整套试运: 分3批次并网(首批80MW于2025年3月31日前), 试运期间监测逆变器效率($\geq 98.6\%$)、系统总效率($\geq 83\%$), 连续运行72小时无故障后移交。

二、大型光伏电站施工全流程管理实践

来宾小平阳光光伏项目以“工期可控、质量达标、安全零事故”为目标, 构建“组织-技术-资源-信息化”四维管理体系, 破解大型光伏电站施工管理难题。

(一) 工期动态管控

项目总工期240天(2024年8月20日-2025年4月16日), 关键节点为“首批80MW并网(2025.3.31)、全容量并网(2025.4.30)”。

(二) 质量管理体系

构建“三级检验+关键控制点”质量管控模式, 确保工程竣工验收合格率100%:

组织保障: 成立以项目经理为组长的质量管理小组, 设专职质检员4人(每施工区1人), 试验室委托第三方(具备CMA资质)负责原材料检测;

过程控制: 原材料检验: PHC管桩进场需提供出厂合格证, 按每500根抽样1组做抗裂性试验; 光伏组件进场抽检(比例3%), 测试开路电压、外观质量;

关键工序验收: PHC管桩施工实行“一桩一验”, 桩位偏差、垂直度验收合格后方可进入下道工序; 支架安装后用2m靠尺检测平整度(偏差 $\leq 5\text{mm}$);

隐蔽工程验收：接地网敷设（镀锌扁钢40×4mm）前需检查焊接质量（搭接长度≥2倍扁钢宽度，三边满焊），验收合格后填写隐蔽记录方可回填。

（三）安全防护管理

针对“高空作业（支架安装，高度3-5m）、高压试验（35kV箱变）、吊装作业（箱变12.5t）”等高风险工序，建立“预防-监控-应急”全链条管理。

（四）环境与水土保持管理

项目位于农田与丘陵交汇区，需严格落实“绿色施工”要求，避免生态破坏：

扬尘与噪音控制：施工道路每日洒水4次（洒水车EQ140-47），土方作业时覆盖防尘网；破碎机、打桩机等设备设隔音棚，昼间噪音≤70dB（夜间≤55dB），避免影响周边村庄；

水土保持：场区边坡（坡度>20°）采用浆砌石护坡（厚度30cm），排水沟与止马河连通，避免雨水冲刷导致水土流失；施工临时占地（3760m²）完工后复耕，恢复种植条件；

废弃物处理：建筑垃圾（如混凝土块、钢材边角料）集中堆放，定期清运至指定填埋场；生活污水经化粪池处理后回用（如洒水），施工废油（机械维修）回收率100%，避免污染土壤。

（五）资源配置优化

机械设备配置：根据工序需求动态调配设备，管桩施工阶段投入11台柴油锤打桩机、2台引孔桩机；组件安装阶段投入4台2t叉车、2台随车吊（8t）；设备调试阶段投入4台电缆输送机、2台75kW柴油发电机（备用电源），设备完好率保持≥90%；

劳动力配置：采用“固定班组+临时劳务”模式，高峰期（2025年1月）投入456人，其中管理人员32人、技术工人184人（焊工、电工等）、普工240人；工人岗前培训（安规、工艺）考核合格后方可上岗，特殊工种持证率100%。

（六）信息化管理应用

管理信息系统：采用PAP工程建设管理系统，实现“进度-质量-安全”数据实时上传，管理人员通过系统查看施工日志、验收记录，提高决策效率；

现场监控：场区布置远程无线视频监控终端（符合大唐集团要求），覆盖组件堆场、箱变区等关键区域，总部实时监控施工进度与安全状况；

沟通机制：每周召开“业主-监理-施工”三方协调会，每日召开施工班组调度会，使用微信、QQ群实时传递技术交底、进度偏差预警信息，确保信息畅通。

三、工程应用效果

来宾小平阳光伏项目通过上述关键技术与管理措施的实施，取得显著成效：

工期达标：2025年3月28日完成首批80MW并网，2025年4月25日全容量并网，较合同工期（2025年4月16日）略有提前，满足业主“按期投产”要求；

质量优良：工程竣工验收时，PHC管桩合格率100%，支架安装精度偏差≤1°，组件组串测试合格率100%，接地电阻≤4Ω，符合《光伏发电工程验收规范》（GB/T50796-2012）要求；

安全零事故：项目建设期间无重伤及以上人身事故、无重大机械/火灾事故，轻伤事故频率<2‰，达到“安全文明施工样板工地”标准；

环境友好：扬尘排放符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996），水土保持验收合格，临时占地复耕率100%，获得当地环保部门认可。

结论

大型光伏电站施工是“技术密集+管理密集”的系统工程，其关键在于技术方案的针对性、管理措施的精细化。本文以来宾小平阳光伏项目为例，得出以下结论：

技术层面：PHC管桩预钻孔工艺可有效解决砾石区域沉桩难题，光伏支架精度控制（倾角±1°、高差≤3mm）是保障发电量的核心，集电线路“架空+直埋”结合可适应复杂地形；

管理层面：分级进度计划、三级质量检验、特殊作业管控、信息化协同是实现“工期-质量-安全”目标的关键，动态资源配置（设备、劳动力）可提升施工效率；

推广价值：项目形成的“技术标准化+管理流程化”经验，可复制应用于丘陵、农田等不同地形的大型光伏电站，为行业提供“优质、高效、绿色”的施工范式。

未来大型光伏电站施工可进一步探索BIM技术全流程应用、智能化施工设备（如无人摊铺机、无人机巡检）的集成，推动光伏电站建设向“数字化、智能化”转型。

参考文献

- [1]刘魁华.大型集中式光伏电站的施工关键技术[J].中国战略新兴产业, 2024, (30): 73-75.
- [2]张勇, 彭畅, 冯泽彬.山地光伏电站项目施工阶段管理优化研究[J].工程建设与设计, 2024, (12): 204-206.
- [3]李辉, 宋山茂, 张海超, 等.基于BIM的大型光伏电站阵列区电缆敷设设计优化研究与应用[J].工程建设与设计, 2024, (10): 98-100.