

# 山地光伏项目多工区并行施工质量管理研究 ——以凉山州美姑县 940MW 光伏电站 EPC 工程为例

魏海洋 刘继峰 朱瑞卿 薛兵 张源  
中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 615500

**摘要:** 随着我国光伏发电装机规模的持续扩大,山地光伏项目因其地形复杂、作业面分散、施工条件恶劣等特点,给质量管理带来严峻挑战。本文以凉山州美姑县940MW光伏电站EPC总承包Ⅲ标段工程为依托,系统分析高海拔山地环境下多工区并行施工的质量管理难点,构建“网格化+流程化+数字化”三位一体的质量管理体系,从组织保障、过程控制、技术创新三个维度提出具体管控措施。研究表明,通过科学划分工区、建立分级管控机制、强化关键工序质量控制、运用信息化手段,可有效应对山地光伏施工的质量风险,实现工程建设质量目标。

**关键词:** 山地光伏;多工区并行施工;质量管理;高原施工;EPC总承包

## 引言

在“双碳”目标驱动下,我国光伏装机持续增长,截至2025年底已超8亿千瓦。山地光伏因不占耕地、光照资源优,成为西部清洁能源开发重点,但面临地形陡峭、气候多变、作业面分散、组织复杂等挑战,尤其在多工区并行施工中如何保障质量备受关注。凉山州美姑县940MW光伏电站Ⅲ标段位于海拔3563-4071米的高原山地,直流侧容量376.75MW<sub>p</sub>,交流侧323.1MW,划分为6个工区、101个子方阵,含13条集电线路,具有规模大、条件复杂、质量目标高(争创鲁班奖)等特点。本文以该项目为案例,系统探索山地光伏多工区并行施工的质量管理路径,旨在为同类工程提供实践参考。

## 1 山地光伏项目质量管理的特殊性分析

### 1.1 环境条件的制约性

以美姑县项目为例,地形坡度多在10°-30°,局部超40°,70%以上区域坡度超20°,导致施工机械难作业,桩基定位与支架安装精度要求高(桩位偏差 $\leq \pm 30\text{mm}$ ,垂直度偏差 $\leq$ 桩长 $\pm 2\%$ )。气候条件严苛,年均温仅11.4℃,极端低温-10.7℃、最大风速19m/s、积雪深达20cm,雨季集中于6-9月,影响混凝土强度发展及户外作业安全<sup>[1]</sup>。生态约束突出,项目位于防火重点区,防火期长达6个月,动火作业受限,需采取集中加工、设防火隔离带等措施。

### 1.2 施工组织的复杂性

项目划分为6个工区、数十个子方阵,高峰期人员超600人、设备数百台,带来三大质量管理难点:一是质量信息分散,传统记录方式难以及时汇总;二是各工区对标准理解不一,易造成支架垂直度、螺栓力矩等执行偏

差;三是工序交叉频繁,桩基、支架、组件、电缆等环节衔接复杂,任一质量问题均可能连锁影响整体。

### 1.3 质量风险的多样性

山地光伏项目的质量风险贯穿施工全过程——桩基阶段易因陡坡致钻机失稳、孔位偏移;支架安装受地形起伏影响高程控制;组件安装易受大风干扰;且项目与既有风电集电线路交叉,地下管线不清或保护不足可能引发重大事故。此外,高海拔低温干燥环境对混凝土强度发展构成独特风险,区别于平原项目。

## 2 多工区并行施工的质量管理体系构建

### 2.1 网格化组织架构

美姑县山地光伏项目针对作业面分散,构建“项目部—工区—施工队—作业班组”四级网格化质量管理体系。项目部设质量管理领导小组,由项目经理负总责,下设技术质量部;各工区配专职质量工程师,负责巡查、验收与整改;施工队和班组通过“自检、互检、专检”落实责任。关键在于“责任到格”:101个子方阵全部编码,质量责任明确至工区长、技术员和班组长,形成可追溯链条。同时推行“一沉一浮”机制——管理人员下沉一线,重大风险上浮至项目班子直管。如35kV地理集电线路与风电场交叉段,由项目经理亲自监督,确保关键节点质量受控。

### 2.2 流程化过程控制

质量管理的核心在于过程控制。项目建立了覆盖“事前—事中—事后”的全流程管控机制:

#### 2.2.1 事前控制以“样板引路”为抓手

每道工序施工前,先制作样板段,组织施工班组观摩学习,明确操作标准和验收要求。美姑县项目共设置

桩基施工、支架安装、组件安装等样板工序6项,通过样板验收后方可大面积施工。如桩基施工样板重点控制孔位偏差、垂直度、桩顶标高三个关键指标,为后续施工提供直观参照。

### 2.2.2 事中控制依托“三检制”和旁站监督

每道工序完成后,先由班组自检,再由工区互检,最后由项目部专检。对于灌注桩混凝土浇筑、箱变吊装等重要工序,实施管理人员旁站监督,现场填写记录,发现问题即时整改<sup>[2]</sup>。2025年7月至10月桩基施工高峰期,项目累计完成专检95020根桩基,整改质量缺陷200余处,确保了基础施工质量。

### 2.2.3 事后控制强调实测实量和闭环消缺

项目配备专职测量人员,采用GPS、全站仪等设备对桩位、支架平整度等进行复核,实测数据与设计值对比分析,偏差超标者立即返工。组件安装完成后,组织联合检查组逐行、逐列检查螺栓紧固力矩,建立“发现问题—明确责任—限期整改—复核确认”的闭环消缺流程。

## 2.3 数字化技术应用

为应对山地光伏项目点多面广、信息分散的挑战,美姑县项目广泛应用数字化技术提升质量管理效能:一是采用GPS定位放样,结合山地专用软件,根据头桩坐标和地形坡度自动计算桩位,放样精度达厘米级,效率提升30%以上;二是引入无人机航拍,获取正射影像并与设计图叠加,快速识别桩位偏差、支架不平整等问题,借鉴宁夏中卫项目经验,可降低施工偏差率25%;三是推行二维码质量追溯系统,为每组支架赋予专属二维码,扫码即可查看安装参数、施工人员及验收记录,实现全过程可追溯,并为后期运维提供数据支持。三项技术有效提升了山地光伏施工的精准性、效率与可追溯性。

## 3 关键工序质量控制措施

### 3.1 陡坡地段桩基施工质量控制

桩基是光伏阵列的根基,其施工质量直接影响上部结构安全。美姑县项目桩基总量达95020根,主要采用微型灌注桩,桩径0.3m,入土深度约1.8m。针对陡坡地形成孔难度大、混凝土浇筑易离析等问题,采取以下控制措施:(1)孔位精准定位,采用RTK测量仪进行逐桩放样,放样完成后拉线复核同排桩位是否在同一直线上,确保桩位偏差控制在 $\pm 30\text{mm}$ 以内。(2)垂直度动态监测,钻孔过程中使用数显水平尺实时监测钻杆垂直度,成孔后采用线锤复测,垂直度偏差控制在桩长的 $\pm 2\%$ 以内。对于超过允许偏差的桩孔,及时回填后重新钻孔。(3)混凝土浇筑质量控制,针对高海拔地区混凝土强度发展慢的特点,优化配合比设计,添加适量减水剂和早强剂。混凝土运

输采用小型罐车配合人工转运,陡坡地段设置溜槽辅助入仓,控制溜槽坡度不大于 $30^\circ$ ,末端加装串筒防止离析。浇筑过程中加强振捣,确保桩身密实。(4)成品保护,混凝土浇筑完成后及时覆盖保温,防止低温冻害。桩顶预埋件位置、高程在混凝土初凝前再次校核,确保满足支架安装要求。

### 3.2 光伏支架与组件安装精度控制

光伏支架安装的核心是保证立柱垂直度、横梁水平度和整体平整度,偏差过大将影响组件受力甚至导致结构失稳。美姑县项目共安装支架约23755组、组件617630块,控制措施包括:(1)立柱垂直度控制,立柱安装后采用经纬仪或水平尺逐根校正,垂直度公差控制在 $\pm 1^\circ$ 以内。调整完成后紧固地脚螺栓,防止后续工序扰动。(2)平整度双重控制,先通过拉线粗调,使同组支架立柱顶面基本平齐;再以放线绳为基准细调横梁,确保上翼缘组件连接孔在同一直线上,偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内<sup>[3]</sup>。(3)螺栓紧固管理,支架连接采用8.8级热浸镀锌螺栓,安装时严格按顺序穿放,使用扭矩扳手检查紧固力矩,确保弹垫、平垫齐全有效。组件安装完成后,逐块检查压块螺栓紧固情况,防止大风天气松脱。(4)防大风措施,施工期间密切关注天气预报,风速超过6级时暂停吊装和高处作业。已安装完成的组件及时检查加固,2025年9月至11月组件安装高峰期,项目累计应对多次大风天气,未发生组件松动或损坏。

### 3.3 集电线路交叉施工质量管控

本项目35kV集电线路与既有风电场线路存在多处交叉,地下管线摸排不清将导致严重的质量安全事故。项目采取“探测先行、标识明确、全程旁站”的管控策略:(1)探测与标识,施工前采用管线探测仪探明既有线路走向和埋深,结合人工探孔复核,形成地下管线分布图。在交叉区域设置警示标识,标明管线类型、走向和保护要求。(2)施工方案优化,与风电场运营单位沟通协调,确定交叉区域施工时间和工艺。电缆沟开挖采用人工配合机械方式,距既有管线50cm范围内禁止机械作业。电缆敷设完成后及时回填,埋设警示带和标识桩。(3)过程旁站监督,交叉区域施工时,工区长、安全员全程旁站,监督保护措施落实情况。涉及动土作业时,提前通知风电场人员到场确认,确保施工安全。

### 3.4 高海拔特殊环境质量控制

海拔3500米以上施工环境对混凝土质量、人员作业效率、材料储存均有特殊影响,项目采取针对性措施:(1)混凝土冬期施工,当环境温度低于 $5^\circ\text{C}$ 时,采取热水拌和、添加防冻剂、覆盖保温等措施,确保混凝土入模

温度不低于5℃。浇筑后及时覆盖塑料薄膜和保温被,必要时搭设暖棚养护。(2)紫外线防护,组织管理人员和作业人员学习高原防护知识,配备防晒霜、遮阳帽等劳保用品。对户外存放的电缆、橡胶制品采取遮阳措施,防止老化加速<sup>[4]</sup>。(3)材料储存管理,水泥、外加剂等物资入库储存,露天堆放材料下垫上盖,防止雨雪侵蚀。光伏组件存放场地平整夯实,码放高度不超过2层,避免底部组件受压破损。

#### 4 质量管理保障机制

##### 4.1 材料源头管控

美姑县项目在业主指定主要设备品牌基础上,强化进场验收:一是驻厂监造,对箱变、灌注桩预埋件等关键设备派专人驻厂,全程跟踪原材料、生产及出厂试验,每日记录并反馈问题;二是进场联合验收,由物资、技术、质量及监理单位共同核验规格型号、外观质量及合格证明,光伏组件逐块检查玻璃崩边、裂纹及接线盒松动等问题;三是见证取样送检,钢筋、水泥、混凝土等材料由监理见证取样,送资质机构检测,合格后方可使用。2025年3月至9月,累计完成材料复试300余组,合格率达98.5%。

##### 4.2 人员培训与激励

美姑县项目通过系统培训与激励提升全员质量意识与技能:一是分层培训,管理人员聚焦质量策划与验收标准,作业人员侧重操作规程与常见问题防治;借鉴榆次100兆瓦项目经验,常态化培训可使质量问题响应时效缩短至4小时内。二是开展“工匠之星”评选,每月表彰质量表现突出的班组和个人,激发荣誉感,营造比学赶超氛围。三是实行质量例会制度,每周通报检查结果、分析问题并制定整改措施;对反复出现的问题召开专题会,深挖根源,优化管控。三项举措有效提升了施工质量执行力与持续改进能力。

##### 4.3 检查验收闭环

美姑县项目构建“工序验收—定期检查—专项验收”三级闭环体系:一是工序验收,每道工序完工后由工区自

检,合格后报项目部专检;隐蔽工程(如灌注桩成孔、接地网敷设)须经监理验收方可隐蔽。二是定期检查,项目部每周开展全覆盖质量大检查,每月组织综合检查并排名通报,问题纳入整改清单,明确责任人与时限。三是专项验收,分项工程(如支架安装、组件安装、接地系统)完工后,由设计、监理、施工等单位联合验收,合格后方可进入下道工序,确保质量全过程受控。

#### 5 结语

凉山州美姑县940MW光伏电站III标段实践表明,山地光伏多工区并行施工需构建“网格化+流程化+数字化”质量管控体系:通过科学划分工区、明确责任网格强化组织保障;依托样板引路、三检制和旁站监督实现过程受控;借助GPS定位、无人机测量和二维码追溯提升技术赋能。具体控制要点包括:陡坡桩基注重精准定位与垂直度,支架组件关注平整度与紧固力矩,集电线路交叉作业强调探测保护与旁站监督,高海拔施工则需重视材料适应性与管理措施。上述综合举措为项目“创鲁班奖”目标奠定基础。质量管理永无止境,随着光伏建设向西部高海拔、大温差、多风沙等极端环境转移,工程质量保障仍需持续探索。本文经验可为同类山地光伏项目提供有益参考。

#### 参考文献

- [1]中国电建贵阳院·中建八局西南建设.凉山州美姑县940MW光伏电站EPC总承包III标段施工组织总设计[R].2025.
- [2]朔州市能源局.怀仁市48兆瓦山地光伏项目实现并网发电[EB/OL].(2025-05-12).[http://mtj.shuozhou.gov.cn/ywpd/xny/202505/t20250512\\_728309.html](http://mtj.shuozhou.gov.cn/ywpd/xny/202505/t20250512_728309.html).
- [3]中国能源建设股份有限公司.山海交响绿能生金[EB/OL].(2025-04-11).[https://www.ceec.net.cn/art/2025/4/11/art\\_52770\\_2534959.html](https://www.ceec.net.cn/art/2025/4/11/art_52770_2534959.html).
- [4]中国电力建设集团.工人日报:在“沙戈荒”布下光伏矩阵[EB/OL].(2025-11-05).[https://www.powerchina.cn/col/col7460/art/2025/art\\_1499112560.html](https://www.powerchina.cn/col/col7460/art/2025/art_1499112560.html).