

山地地形条件下光伏组件安装施工质量控制要点

姚龙喜

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 山地光伏施工存在地形复杂、地质不稳、作业条件受限等难题,质量受自然环境、工程设计、施工人员及材料设备多重因素影响。本文立足山地施工特性,遵循因地制宜、全过程管控等原则,从施工准备、基础、支架、组件安装关键工序梳理质控要点,剖析常见质量隐患并制定防控措施,搭建全过程动态管控体系,明确竣工验收标准,为山地光伏工程施工质量管控提供实操参考。

关键词: 山地地形条件;光伏组件;安装施工;质量控制要点

引言: 随着山地光伏项目规模化推进,复杂地形地质给组件安装施工带来诸多质控难题。山地起伏落差大、土体松散、运输作业难度高,易引发基础沉降、支架偏移、组件遮挡等质量问题,直接影响光伏电站结构安全与发电效益。为规范山地光伏施工流程,规避各类质量隐患,本文结合山地施工核心特点,系统性梳理各工序质量控制要点,构建完善质控与验收体系,保障工程施工质量达标、长效稳定运行。

1 山地光伏施工特点及质量控制影响因素

1.1 山地光伏施工核心特点

(1) 地形地貌复杂,坡面坡度不均、地形起伏大,施工作业面受限。山地光伏场区多位于丘陵、陡坡地段,地表高差变化频繁,机械施工难以展开,支架基础及组件安装需频繁切换作业方式,对施工机械适配性和人员操作灵活性提出更高要求。(2) 地质条件不稳定,土体松散、易发生水土流失、边坡滑移等问题。表层覆土多为风化残积物,结构疏松,遇强降雨易引发局部坍塌,不仅影响施工进度,还可能对已完工基础造成破坏,施工期间需动态关注地质变化。(3) 施工条件受限,材料运输困难、施工设备进场受限、高空坡面作业风险高。场内道路弯多坡陡,大型运输车辆通行困难,组件、支架等材料常需二次转运;坡面作业人员站立不稳,高空安装及焊接操作难度大,安全防护投入显著增加。

1.2 施工质量核心影响因素

(1) 自然环境因素,山体遮挡、风雨侵蚀、温差变化、山地水文条件的影响。日照时长与阴影遮挡直接影响发电效率,强风及冻融循环易造成支架松动、基础开裂,地表径流冲刷可能导致基础外露或沉降不均。

(2) 工程设计因素,阵列排布、支架选型、基础设计适配性不足的质量隐患。设计阶段若未充分结合地形实测数据进行优化布置,易导致组件间距不合理、支架受力

不均,基础形式选择不当则难以适应局部地质变化,埋下结构安全风险。(3) 施工人为因素,施工工艺不规范、人员专业度不足、质量管控意识薄弱。部分施工队伍缺乏山地作业经验,测量放线偏差大、混凝土浇筑振捣不密实、螺栓紧固力矩不达标等操作问题频发,直接影响工程实体质量^[1]。(4) 材料设备因素,光伏组件、支架、紧固件等原材料质量及适配性问题。山地运输及搬运过程中组件易产生隐裂,支架镀锌层厚度不足易锈蚀,紧固件防松性能不佳会导致长期运行中结构连接松动,降低系统可靠性。

1.3 山地光伏质量控制基本原则

(1) 因地制宜原则,结合山地地形、地质条件制定差异化施工质控方案。针对不同坡向、坡度及岩土类型,分类确定基础开挖方式、支架安装工艺及排水防护措施,确保施工方法贴合实际工况。(2) 全过程管控原则,覆盖施工准备、现场安装、竣工验收全流程质量把控。从材料进场检验、工序交接验收到隐蔽工程影像留存,实行分层分级检查签认制度,做到每个环节有记录、可追溯。(3) 安全与质量协同原则,兼顾山地施工安全与工程质量双重标准。在陡坡作业、起重吊装等高风险环节,同步落实安全防护设施与质量保证措施,实现安全保障与质量达标的有机统一。

2 山地地形条件下光伏组件安装关键工序施工质量控制要点

2.1 施工准备阶段质量控制

(1) 现场勘测复核,精准核查山体坡度、地质承载力、阴影遮挡范围,优化施工方案。对场区内不同坡向、坡度及高程点进行全面复测,绘制精细地形图,校核阴影时变规律,调整阵列间距及排布角度,确保设计图纸与现场实际工况吻合,避免因勘测偏差导致安装返工。(2) 原材料进场检验,严格筛查光伏组件、支架、

螺栓、紧固件等材料的规格、质量、防腐性能。逐批次核对出厂合格证及检测报告,对组件进行EL隐裂抽检,对支架镀锌层厚度进行现场实测,并抽样送检力学性能及耐腐蚀指标,不合格材料坚决退场。(3)施工设备与场地准备,适配山地作业设备调试、临时作业面平整、安全防护设施布设。选用轻型化、可拆装的小型机械设备进行材料转运及基础施工,合理规划场内临时堆场及运输便道,沿陡坡边缘设置安全护栏及防溜滑措施,同步配置应急救援物资,为后续安装创造安全作业条件。

2.2 光伏基础施工质量控制

(1)桩基/混凝土基础施工,把控基坑开挖深度、地基夯实、混凝土配比与浇筑养护质量。严格按照设计图纸放线开挖,在松散土体区域适当加深嵌固深度并增加扩底措施,浇筑前对基底进行压实处理,混凝土严格按配合比拌制,振捣密实后覆膜保湿养护,强度未达要求前不得进行上部安装作业。(2)基础定位放线控制,保障阵列间距、基础标高、排布精度,规避山体地形偏差影响。采用全站仪或GPS-RTK进行逐桩放样,对坡面起伏较大部位增设过渡基础,调整前后排基础标高差,确保组件安装后阵列平整、朝向一致,避免因地形起伏导致相邻基础高差超标^[2]。(3)边坡防护与水土保持,防止基础施工引发边坡坍塌、土体流失,保障基础稳定性。在基础开挖前于坡顶设置截水沟,坡脚布设挡土设施,施工过程中尽量减少大面积土方扰动,开挖土方及时回填或外运,遇强降雨天气暂停作业并覆盖防雨布,确保基础周边土体稳固。

2.3 支架系统安装质量控制

(1)支架构件拼装管控,规范立柱、横梁、导轨拼装流程,杜绝构件错位、漏装问题。拼装前核对构件型号及数量,按照先立柱后横梁再导轨的顺序进行组装,每完成一道工序由质检人员确认无误后方可进入下一道工序,对连接节点进行逐一检查,确保构件匹配到位、无缺失。(2)螺栓紧固质量控制,采用扭矩扳手规范施工,统一紧固力矩,杜绝松动、垫圈缺失隐患。所有螺栓连接均使用标定合格的扭矩扳手按设计扭矩值拧紧,紧固完成后在螺栓头及螺母处做出防松标记,对高强螺栓连接副进行扭矩抽查复验,确保紧固力均匀、可靠。(3)支架平整度与倾角调控,适配山地坡面调整安装倾角,保证组件安装平整度、阵列统一性。安装过程中采用水平尺及倾角仪逐榀检测支架横向水平度及纵向倾角偏差,当基础存在高差时通过立柱调节孔进行微调,使相邻支架顶面高差控制在规范允许范围内,确保后续组件安装后整体平顺^[3]。

2.4 光伏组件安装质量控制

(1)组件搬运与防护,杜绝踩踏、划伤组件玻璃与背板,避免运输安装过程破损。组件装卸应采用专用吊具或人工传递方式,搬运时两人协同持握边框,严禁直接拉扯线缆或挤压面板,施工现场铺设软垫作为临时放置平台,安装前逐块进行外观及EL检测,剔除隐裂、碎片等不合格品。(2)组件固定安装管控,保证组件贴合支架、固定牢固,控制相邻组件高差偏差在规范范围内。组件就位后使用专用压块或不锈钢螺栓与导轨锁紧,压块与组件边框接触部位加设橡胶垫片,安装过程中拉线控制组件平面一致性,相邻组件间高差及缝隙宽度偏差严格满足规范要求,避免产生台阶差影响发电效率及排水^[4]。(3)组件接线施工质量,规范串并联接线工艺,严禁雨中作业,做好接头防护与绝缘处理。连接器插接前清理端子杂物并确认极性正确,插入后听到“咔嚓”锁定声即为到位,电缆敷设绑扎牢固、走向规整,接头处缠绕防水绝缘自粘带并设置防松扎带,接线完成后使用万用表检测开路电压及极性,确认无误后方可进行后续电气试验。

3 山地地形条件下光伏施工质量隐患防控与验收管控

3.1 常见施工质量隐患及防控措施

(1)基础沉降、边坡滑移隐患,优化地基处理工艺,增设加固与排水防护措施。针对山地土层薄、基岩起伏大的特点,风化破碎岩层采用扩底锚杆基础,松散填土区域换填级配碎石并分层碾压密实。施工前坡顶设截水沟,坡面布设纵横向排水盲沟,坡脚砌筑石笼挡墙,减少雨水下渗冲刷。基础浇筑后及时回填夯实,周围设置散水坡防止积水浸泡,同步建立沉降观测点,每周监测数据变化,发现异常沉降立即注浆加固。(2)支架松动、阵列偏移隐患,严格把控螺栓扭矩,定期复核支架安装精度,适配山地侧向风环境。螺栓紧固使用经标定的扭矩扳手,按设计值分初紧和终紧两次完成,终紧后螺栓头与螺母划标记线备查。安装完成后抽检10%螺栓连接点,不合格则扩大至100%检查。山地峡谷侧向风频繁,支架增设剪刀撑及斜拉杆增强抗风能力。每月使用全站仪复核支架轴线及标高,偏差超标时立即纠偏调整^[5]。(3)组件遮挡、安装偏差隐患,优化排布方案,精准把控安装标高与间距,消除山体遮挡影响。施工前采用光伏仿真软件模拟全年阴影分布,对山脊、山坳等特殊地形部位的阵列间距差异化调整,必要时减少局部排数或抬高后排支架。安装时每排组件拉设通长基准线,控制标高及倾角偏差在 $\pm 2^\circ$ 以内,相邻组件高差不超过2mm,缝隙均匀一致。安装完成后使用日照仪复核遮

挡情况,对存在阴影遮挡的部位及时调整布局或增设功率优化器,最大限度减少发电效率损失。

3.2 施工全过程质量动态管控体系

(1)建立分级质量责任制,明确施工、监理、管理人员质控职责。项目部设置质量总监、专业质检员和班组兼职质检员三级质量管控岗位,编制岗位职责清单及质量责任追究办法,将质量目标逐层分解至各施工班组和作业人员,每季度进行质量履职考核,考核结果与绩效奖惩直接挂钩,确保责任落实到人。(2)落实工序交接检验制度,上道工序验收合格后方可开展下道工序施工。制定桩基开挖、钢筋绑扎、模板支设、混凝土浇筑、支架安装、组件安装、电气接线等关键工序交接验收记录表,逐项明确验收标准和检测方法,交接双方及监理共同签字确认。隐蔽工程如基础钢筋、接地扁铁埋设等须留存影像资料归档备查,未经交接验收或验收不合格的工序严禁进入下一作业环节。(3)强化现场巡检与动态整改,针对山地施工特殊问题实时排查、闭环整改。组建由监理、施工技术员、安全员组成的联合巡检小组,每日上下午各进行一次全作业面巡查,重点监控陡坡基础开挖质量、混凝土养护条件、支架螺栓紧固状态及组件成品保护情况。巡查发现的质量问题实行编号登记,当日下午下达整改通知单,明确整改标准、责任人和完成时限,整改完成后由质检员现场复验合格后签字销号,确保所有质量问题实现发现、整改、复查、归档的闭环管理。

3.3 竣工验收与质量评定标准

(1)分项工程质量验收,涵盖基础、支架、组件安装各分项指标核查。对照《光伏发电工程验收规范》及设计文件,逐项检查基础混凝土强度检测报告、桩基承载力试验数据、支架安装垂直度及倾角偏差记录、组件连接牢固度抽检结果、电气接线绝缘电阻测试报告等,各分项工程检验批验收资料齐全完整,主控项目合格率达到100%,一般项目合格率达到90%以上方可评定为合格。(2)整体工程性能检测,检测组件发电性能、阵列稳定性、绝缘安全性能。在晴朗天气条件下使用便携式

IV测试仪对各组件串进行功率输出测试,实测功率不低于标称值的98%;采用绝缘电阻测试仪测量直流侧正负极对地绝缘电阻,阻值不低于10M Ω ;对接地系统进行接地电阻测试,阻值满足设计要求。同时采用拉力计对支架系统进行抽样载荷检测,验证抗风稳定性是否满足山地特殊气象条件要求。(3)质量问题整改与竣工归档,对验收缺陷整改复核,完善施工质量资料归档。对竣工验收各方提出的质量问题逐项建立整改台账,由责任班组限期整改完成后报监理及业主单位复查签认,整改不到位的不予通过验收。竣工资料按照档案管理要求分类组卷,内容涵盖施工组织设计、技术交底记录、材料进场检验报告、工序验收记录、隐蔽工程影像、设计变更通知单、检测试验报告及竣工图纸等,确保资料完整真实、可追溯,为工程移交运维提供可靠依据。

结束语

山地光伏组件安装施工质量控制贯穿工程建设全流程,核心在于适配山地特殊工况落实精细化管控。通过严控各关键工序施工质量、针对性防控地质与气象引发的质量隐患,完善动态巡检、工序交接及分级责任管控机制,可有效解决山地施工各类质量难题。严格落实各项质控要点与验收标准,能切实提升光伏工程施工质量,保障电站结构安全、发电高效,助力山地光伏工程高质量建设落地。

参考文献

- [1]王岷.山地光伏支架基础施工异常情况处理[J].水利水电快报,2022,16(S2):55-58.
- [2]李磊,张军,刘阳.复杂山地光伏电站组件安装施工质量控制技术[J].能源与环保,2023,45(08):211-216.
- [3]陈刚,周博文.山地丘陵地区光伏工程施工质量通病及防控对策[J].工程质量,2024,32(03):68-72.
- [4]赵鑫,吴浩.陡坡山地光伏模块化施工与质量控制研究[J].电力科技与环保,2024,40(05):76-81.
- [5]黄凯.复杂地质山地光伏电站施工关键技术及质量管控[J].可再生能源,2025,43(02):92-97.