

大坡度山地光伏支架基础施工工艺优化研究

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：山地光伏建设逐步向复杂陡坡场地拓展，常规平地施工工艺难以适配特殊地形与地质条件。传统施工模式在场地处理、基础浇筑、构件安装等环节存在较多适配问题，容易造成施工精度不足、基础稳定性偏弱等各类施工隐患。本文结合山地陡坡独有的施工工况，系统梳理传统工艺存在的各类短板，提出多维度的工艺改良与流程优化方案，搭建适配山地施工的配套保障体系。可有效提升陡坡光伏基础施工质量，规范现场施工流程，推动山地光伏施工技术的规范化发展。

关键词：山地陡坡；光伏支架基础；施工工艺；工艺优化；施工保障

引言：新能源行业持续发展，山地光伏成为盘活山地闲置资源、拓展光伏发电建设空间的重要建设形式。陡坡地形地质结构复杂、作业空间受限、施工干扰因素多，整体建设难度远高于常规平地光伏项目。传统施工体系成型于平整场地作业环境，工艺模式固化、适配性较弱，应用于山地陡坡场景会暴露诸多施工缺陷。针对陡坡施工工况开展工艺优化研究，能够破解特殊场地的施工难题，提升光伏支架基础的施工质量与结构稳定性，为山地光伏工程建设提供技术参考。

1 山地陡坡光伏施工工况与工艺适配特性

1.1 大坡度山地施工场地的环境特征

大坡度山地普遍存在地形起伏剧烈、坡面倾角较大的特点，地表形态高低错落、规整度偏低。区域岩土构造复杂多变，覆土厚度分布不均，岩体裸露、土层松散等问题交替出现，地质均匀性较差。山地自然水系分布零散，降雨过后易形成坡面径流，持续冲刷表层土体，改变地表原有结构^[1]。场地内部通行条件较差，大型施工设备难以自由进场与灵活调转。可利用的平整作业区域十分有限，物料堆放、设备布设、工序开展都需要依托坡面现有空间灵活排布，整体作业环境具备较强的特殊性与复杂性。

1.2 山地特殊工况对光伏支架基础施工的制约条件

山地陡坡的特殊工况，从作业操作、基础成型、现场排布等多个方面对光伏支架基础施工形成约束。坡面倾斜的结构改变常规施工的水平受力状态，颠覆平地施工的标准化操作模式。成孔作业、混凝土浇筑、基础定位等核心工序操作难度大幅提升，施工精度难以稳定把控。松散的表层土体容易造成孔壁坍塌、基底松动等问题，破坏基础结构的完整性。复杂的地形条件增加物料转运难度，作业流程推进节奏受阻，各类固有工况问题

都会对光伏基础施工开展形成硬性约束。

1.3 传统施工工艺在山地陡坡场景的适配局限

传统光伏支架基础施工工艺依托平地施工场景迭代形成，整套操作流程、施工参数、布设方式都围绕平整场地构建。移植到山地陡坡施工场景中，整套工艺体系会暴露出明显的适配短板。传统成孔工艺无法适配多变的坡面地质结构，成孔成型质量不稳定，容易出现孔径偏差、孔体歪斜等问题。固化的施工流程缺乏灵活调整空间，无法适配山地零散、狭小的作业空间。标准化的施工排布模式难以适配不规则坡面地形，整体工艺体系难以满足陡坡光伏基础施工的建设标准。

2 大坡度山地光伏支架基础传统施工工艺现存问题

2.1 场地修整工艺的适配缺陷

传统光伏工程场地修整以大面积土方平整、全域地表清理为核心手段，追求作业场地的整体规整性，适配地势平缓、地形均匀的施工环境。大坡度山地地形起伏无序，坡面高低错落，岩土分布杂乱无章，并不适合大范围统一平整的处理方式。盲目开展大规模土方开挖与回填作业，会直接扰动坡面原有土体结构，破坏土层自然固结状态，提升坡面土体松动、边坡失稳的可能性。对坡面地形进行过度修整，还会改变山体原有排水路径，让雨水径流集中冲刷坡面表层土体，加剧水土流失^[2]。针对坡面局部微小高差与不规则地形，传统修整工艺缺乏精细化处理手段，残留的地形偏差会改变后续基础布设的基准条件，给成孔、浇筑、支架安装等后续施工环节埋下质量隐患。

2.2 基础成孔与浇筑工艺的适配短板

基础成孔与混凝土浇筑是决定光伏支架基础结构稳定性的关键工序，传统工艺的操作规范、设备布设方式均适配水平施工基面。山地陡坡存在固定倾斜角度，

施工设备难以保持水平放置状态,设备摆放角度偏差会直接引发孔位偏移、孔壁凹凸不平、孔体倾斜等施工问题。山地地层结构复杂,软硬土层交替、岩土混杂的地质情况较为普遍,常规匀速成孔方式无法适配多变的地层条件,容易出现钻进卡顿、孔壁坍塌、孔底沉渣堆积等施工病害。混凝土浇筑施工环节,传统竖向下料、整体振捣的作业模式适配水平基面施工,倾斜坡面会造成混凝土浆料流动不均,振捣作业难以均匀覆盖成型区域,容易产生内部空隙、局部密实度不足、基础外观成型杂乱等问题,削弱基础整体结构强度。

2.3 支架安装施工工艺的适配不足

传统支架安装依托标准化放线定位、水平校准、批量拼装的作业模式,对施工基面的平整度与规整度有着较高要求。山地陡坡缺少统一的水平作业基准,坡面高低起伏会让常规放线定位产生累计偏差,支架基础点位排布精度难以保障。现有安装流程多为固定化拼装步骤,没有针对坡面倾角、地形落差设计对应的调整方式,支架构件对接拼接的精准度无法把控。陡坡场地可用作业空间分散且狭小,标准化批量拼装的施工模式难以落地,多处区域会出现施工操作空间不足的情况。粗放的安装作业模式,会造成支架整体排布规整度不足,构件拼接缝隙不均,支架整体受力结构失衡,弱化光伏支架体系的承载与抗变形能力。

2.4 施工全过程工序衔接的协调问题

平地光伏施工已经形成固定且成熟的工序链条,各施工环节衔接顺序固定、作业节奏稳定。山地陡坡施工存在场地多变、作业受限、物料转运困难等诸多不确定因素,固化的工序流程难以适配动态变化的施工条件。场地修整、基础成孔、混凝土浇筑、支架安装等核心工序,缺乏灵活的衔接调整机制。前序施工完成后形成的场地状态,无法完全匹配后序施工的作业需求,需要额外投入人力物力进行场地整改与条件梳理,占用大量施工工期。各施工环节独立开展作业,工序之间缺少统筹协调的排布方式,作业节奏搭配混乱,整体施工流程连贯性较差,大幅降低山地光伏支架基础施工的整体作业效率。

3 大坡度山地光伏支架基础施工工艺优化路径

3.1 山地陡坡场地精细化整理工艺优化

摒弃传统大面积统一平整的粗放处理模式,建立适配山地陡坡地形的精细化场地整理工艺。依据坡面原始地形走势划分施工单元,依托基础点位布设范围开展局部定点修整,减少大范围土方开挖作业,最大程度保留原始山体土体结构^[3]。针对坡面松散覆土、裸露碎石进

行分层清理,加固表层土体结构,降低坡面土体松动脱落的概率。结合坡面自然排水走向微调局部地形,搭建适配陡坡场景的散水排水结构,缓解雨水径流对坡面的冲刷作用。对基础点位周边的微小高差做精细化找平处理,统一各施工点位的作业基准,消除地形偏差对后续成孔、浇筑和安装工序造成的干扰,为后续施工提供稳定规整的作业条件。

3.2 适配陡坡地形的基础成孔与浇筑工艺改良

针对陡坡坡面倾斜、地质复杂的施工特点,对基础成孔与混凝土浇筑工艺进行系统性改良。调整施工设备布设方式,通过可调式设备支座校正机具水平度,抵消坡面倾角带来的设备偏移问题,保障成孔垂直度与孔位精准度。结合地层岩土交替变化的特征,采用分段变速钻进模式,根据土层软硬程度调整钻进速率与钻进力度,减少孔壁坍塌、沉渣堆积等施工病害。成孔完成后及时开展孔壁清理与孔底夯实作业,维持孔体结构完整。浇筑环节优化下料方式与振捣流程,采用分层下料、分区振捣的作业模式,适配坡面非水平施工环境,让混凝土浆料均匀填充成型空间,提升基础整体密实度与结构整体性,有效规避基础成型缺陷。

3.3 光伏支架模块化安装工艺升级

立足山地陡坡作业空间零散、基准面不规整的特点,升级传统整体拼装模式,推行支架模块化安装工艺。提前在平整临时作业区域完成支架构件的预组装、试拼接与尺寸校正,减少坡面高空拼装的作业时长,降低现场拼接偏差。优化放线定位工艺,依托坡面地形建立分区定位体系,结合各区块坡面倾角微调安装基准,适配起伏地形的布设需求。细化模块化拼装流程,规范构件对接、紧固、校准的操作步骤,适配狭小零散的坡面作业空间。通过标准化模块拼装替代粗放式现场安装,提升支架排布规整度,均衡支架整体受力状态,强化支架体系的整体承载性能与结构稳定性。

3.4 多工序交叉施工流程的统筹优化

打破传统固定单一的施工工序链条,重构适配山地陡坡复杂工况的交叉施工统筹模式。结合山地场地作业分散、施工条件多变的特征,重新梳理各施工环节的先后逻辑与作业边界。划分独立施工区块,推行分区并行作业方式,在不同坡面区块错开开展场地整理、基础施工与支架安装作业,压缩整体施工周期。梳理各工序的衔接要点,在前序施工收尾阶段启动后序工序的前期准备工作,填补工序空档。建立现场工序动态调配模式,根据场地通行条件、物料转运状态与地质施工难度,灵活调整各区块施工节奏。消除工序衔接断层问题,提升

整体施工流程的紧凑性与连贯性,改善山地光伏基础设施的整体作业效率。

4 大坡度山地光伏施工工艺优化的配套保障体系

4.1 适配山地工况的施工资源配置优化

山地陡坡施工环境区别于常规平地场景,施工设备、物料、人力等资源的配置方式需要针对性调整。结合陡坡作业空间狭小、场地通行不便、地形起伏较大的现实条件,筛选体型灵活、移动便捷、适配坡面作业的小型施工设备,替代大型固定式机具,降低设备布设与调转难度。结合各施工区块的作业进度与施工难度,合理规划物料堆放点位,就近布设临时物料存放区域,减少长距离转运产生的作业阻力与工期消耗^[4]。根据山地施工工序特点匹配对应作业人员,明确不同岗位的作业内容与操作范围。通过资源配置模式的整体优化,让各类施工资源适配山地动态变化的作业工况,为新工艺落地提供基础支撑。

4.2 现场施工流程的标准化管控体系构建

山地施工的不确定性较强,非标准化的作业行为容易引发施工偏差与质量隐患。结合优化后的场地整理、成孔浇筑、模块安装、工序统筹等工艺内容,搭建适配陡坡场景的标准化管控体系。梳理各施工环节的操作规范、作业要点与质量标准,形成完整的现场施工管控依据。针对坡面施工容易出现的孔位偏差、基础成型不平整、支架对接误差等问题,设置专项管控节点,强化关键工序的过程把控。落实全流程管控思路,从前期场地处理到后期支架成型,逐步规范作业行为、统一施工标准。标准化管控模式能够约束现场作业行为,减少人为操作带来的施工偏差,维持新工艺应用的稳定性。

4.3 山地施工专项作业能力建设

优化工艺的落地效果,依托现场作业人员的专业能力与山地施工经验。常规平地施工的作业经验难以应对陡坡复杂工况,需要针对性开展山地专项作业能力建设。围绕陡坡精细化场地修整、倾斜坡面成孔浇筑、模块化支架安装、交叉工序统筹等新工艺内容,开展专项作业培训,帮助施工人员熟悉山地施工的操作逻辑与技术要点。强化作业人员对山地地形、复杂地质条件的判断能力,提升现场应对特殊施工状况的处置水平。积累

陡坡施工实操经验,培养适配山地光伏建设的专业化作业队伍,让施工人员可以熟练运用优化工艺完成各环节作业内容,提升整体施工专业化程度。

4.4 施工过程地形适应性防护体系完善

大坡度山地地形稳定性偏弱,施工过程中的土体扰动、雨水冲刷、外力扰动都会影响坡面与基础结构稳定。完善地形适应性防护体系,可以为工艺优化落地提供稳定的场地环境支撑。结合坡面地形走势与土体特性,布设针对性的坡面防护结构,抑制土体松散、滑移等问题的出现。优化施工现场排水防护设计,疏导坡面积水,减少水体滞留对基础结构与坡面土体的侵蚀作用。针对施工全过程制定动态防护机制,根据施工推进节奏调整防护范围与防护方式,降低施工活动对山体结构的扰动^[5]。全方位的地形防护工作,可以维持施工场地整体稳定,为各类优化工艺的有序实施提供良好的场地条件。

结束语

山地陡坡光伏支架基础施工的核心难点,集中于地形地质条件与传统施工工艺的适配性矛盾。通过对场地修整、基础浇筑、支架安装及工序统筹等核心工艺的系统性优化,搭配全方位的施工保障体系,能够有效解决陡坡施工中的各类质量与效率问题。整套优化工艺贴合山地复杂施工场景的作业需求,可显著改善基础施工成型质量,均衡支架结构受力状态,为同类山地光伏工程施工建设提供成熟的技术参考与实践借鉴。

参考文献

- [1]赵玉鄂,王凯,戴桂兴,等.大坡度山地双立柱光伏支架安装技术探讨[J].红水河,2024,43(4):106-109,122.
- [2]田成,李伟,林军才.大坡度复杂地形柔性光伏支架施工方法研究[J].红水河,2024,43(4):110-114.
- [3]侯伟.大坡度山地光伏电站的支架选型分析[J].节能与环保,2025(4):48-55.
- [4]李海龙,李永祥,李明阳,等.山地光伏支架施工工艺及其应用研究[J].建筑机械化,2024,45(11):94-98.
- [5]王凯,邓艳军,戴桂兴,等.山地光伏电站方阵支架及基础设计与施工[J].红水河,2024,43(4):98-101,105.