

# 基于高海拔山地特性的光伏微孔灌注桩施工 要点及管控措施

施兴成 尚钰鸿 刘继锋 叶 萌

中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610000

**摘 要:** 随着全球能源结构的转型和可再生能源的快速发展,山地光伏作为一种重要的清洁能源形式,正受到越来越多的关注。微孔灌注桩作为山地光伏的基础形式,其施工质量直接关系到整个光伏区的安全性和稳定性。本文基于甘孜理塘奔戈光伏发电项目的实践经验,详细探讨了高海拔山地光伏微孔灌注桩的施工要点、质量控制、安全管理及进度管控措施,旨在为类似工程提供参考和借鉴。

**关键词:** 高海拔山地光伏;微孔灌注桩;施工要点;质量控制;安全管理;进度管控

## 1 引言

在全球能源危机和环境污染日益严重的背景下,可再生能源的开发与利用已成为世界各国能源战略的重要组成部分。光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式,因其具有无污染、分布广、维护简单等优点,得到了广泛的应用和推广。特别是在地形复杂、光照资源丰富的山地地区,山地光伏的建设显得尤为重要。微孔灌注桩作为一种常见的基础形式,因其施工灵活、适应性强、承载力高等特点,在山地光伏中得到了广泛应用。然而,高海拔山地环境给施工带来多重挑战:海拔4000m以上区域氧含量仅为平原地区的60%-70%,不仅影响施工人员体能,还导致内燃机功率下降30%以上;昼夜温差可达25℃,冬季极端低温至-30℃,对混凝土凝结硬化及设备运行构成严峻考验;坡度普遍超过25°的地形增加了机械作业风险与材料运输难度。本文基于甘孜理塘奔戈光伏发电项目(393.546MWp)的26.448万根微孔灌注桩施工实践,系统总结高海拔山地特有的施工技术要点与管控措施,对于确保工程质量、提高施工效率具有重要意义。

## 2 工程概况

甘孜理塘奔戈光伏发电项目位于四川省甘孜州理塘县奔戈乡、曲登乡交接位置,项目总装机容量为393.546MWp,占地约8km<sup>2</sup>,共计26.448万根微孔灌注桩。项目地处高原山地,地形起伏大,海拔在4500m至4900m之间,气候条件恶劣,冬季漫长且寒冷,夏季短暂且温差大,对微孔灌注桩的施工带来了极大的挑战。项目采用微孔灌注桩作为光伏阵列的基础形式,桩直径为200mm混凝土灌注桩,钻孔深度为1700mm,桩顶为地面标高300mm,桩身混凝土C30F100。地质条件复杂,包括粉土层、碎石层等多种地层,对成孔和混凝土浇筑提出

了更高要求。

## 3 微孔灌注桩施工要点

### 3.1 施工准备

施工准备是确保微孔灌注桩施工质量的基础,涵盖了技术、材料和机械设备等多个方面。在技术准备阶段,需组织设计、施工、监理等单位对施工图纸进行会审,重点审查桩位布置、桩径、桩长及地质条件是否匹配,确保图纸的准确性和完整性<sup>[1]</sup>。同时,对施工人员进行详细的技术交底,明确施工工艺、质量标准和安全措施,确保每位施工人员熟悉施工流程和要求。测量放样是施工准备的关键环节,需根据设计图纸使用RTK进行精确测量放样,确定桩位中心点,确保桩位准确无误。

材料准备方面,需选用符合设计要求的HPB300级钢筋、HRB400级钢筋、Q355B热镀锌钢管(锌层厚度 $\geq 85\mu\text{m}$ )焊接加工为钢管桩。混凝土配合比根据设计强度等级C30F100和地质条件确定,掺入高效减水剂和防冻剂,提高混凝土的流动性和抗冻性能,并进行试配验证。此外,还需准备足够的钢夹具、橡胶垫、漏斗等辅助材料,确保施工顺利进行。

机械设备准备方面,需选用适合山地作业的履带式潜孔钻机、空压机、在坡度较大区域需配备卷扬机,确保其能在复杂地形中稳定安全作业。同时,配备地泵、小型装载机、无人机用于混凝土输送,以及履带式爬山虎、溜槽等辅助设备,用于材料运输等工作。

### 3.2 施工工艺流程

微孔灌注桩的施工工艺流程包括测量放样、桩位复核、钻机就位与成孔、清孔、钢管桩安装、混凝土浇筑等步骤。每个步骤都需严格按照规范要求进行操作,确保施工质量。如表1

表1 关键指标控制标准

控制项目	允许偏差	检测频率	检测方法
桩位偏差	≤ 20mm	100%	全站仪、华测GPS
垂直度	≤ 0.3%	100%	测斜仪
孔深	0—100mm	100%	测绳+重锤、卷尺
桩顶标高	±10mm	100%	水准仪、卷尺

### 3.3 施工要点

#### 3.3.1 测量放样与桩位复核

依据现场提供测量控制网和设计桩位图,用GPS测量仪对桩位进行放点,在测定的桩位中心处打入筷子(端头红色涂料)作为标志,桩位测量误差控制在±20mm。桩位测放后报请现场监理工程师及相关人员进行复核,以确保桩位放样准确,避免因桩位放样错误导致桩位偏移<sup>[2]</sup>。现场采用华测GPS内置的山地光伏专用放样软件进行桩位放样,首先输入头桩坐标,然后根据组串方向、山地坡度以及设计的前后排桩水平间距和同排桩斜距进行放样。确定点位后用筷子(端头红色涂料)进行标记,放样完成后,按要求进行复核。

#### 3.3.2 钻机就位与成孔

根据本工程施工场地特点,采用履带式液压潜孔钻机进行施工。钻机应放置平稳、坚实,并应用自动微调或线锤调整挺杆,使之保持垂直,垂直度偏差不超过0.5%。钻孔前须进行准确定位,施工中钻机必须保证稳固、可靠、安全,确保施工中不发生偏移、移动等。按放样桩位,先进行桩机对中就位,然后采用数显水平尺进行垂直度校正,调整垂直后,再检查对中情况,反复进行调整,确保钻孔孔位准确无误。钻孔的速度根据钻机性能和实际地层情况严格控制,防止钻孔扭曲和变径,造成后期桩体安装困难。钻孔完成后,应将钻杆及钻头全部提升至孔外,先清除钻杆上的泥土,再将钻头按下接触地面,各部制动住,操纵杆放到空档位置。成孔后,采用拉线、尺量等方式对桩位、孔深、孔径进行复测,并报监理验收并注意对桩孔进行保护。

#### 3.3.3 清孔

桩孔钻至设计深度后停钻,必须在孔底处进行空转清土,然后停止转动,提钻杆,不得旋转钻杆。孔底的虚土厚度超过质量标准(≤ 30mm)时,采取人工淘渣、抽筒清孔、清孔钻头清孔等方法进行处理。

#### 3.3.4 钢管桩安装

清孔完毕后,保证孔径和垂直度符合设计要求,钢管桩按照设计标高、居中进行安装,并用钢夹具固定,下沉有阻力时应查明原因,严禁蛮力插入钢管桩。

#### 3.3.5 混凝土浇筑

浇筑前,在每个组串前后桩孔上方各拉一条直线,保证同组桩基之间成直线排列。浇筑过程中应将钢管桩垂直居中放正,在钢桩外部套一个同孔径喇叭型漏斗,混凝土从钢管桩侧面灌入,保证不把孔周围浮土带入孔内,浇筑时混凝土应连续灌注,不得中断,确保桩身完整性,每次向桩管内灌注混凝土时应尽量多灌注,一次性灌注孔口,以防断桩或“缩颈”事故。当混凝土面接近自然地面时,应徐徐灌注入混凝土,以减小混凝土的冲击力。混凝土浇筑后使用插入式振捣棒快插慢拔振捣,以避免产生气泡或不均匀现象。

#### 3.3.6 回填夯实

混凝土浇筑完成后,检查混凝土浇筑至地面以下50-200mm范围内,保证其桩身完整性,并报监理验收后,方可采用回填土或清孔残渣进行回填压实,施工完成后,及时清理现场,恢复周边环境。

### 4 高海拔山地光伏微孔灌注桩施工管控措施

#### 4.1 质量管控措施

##### 4.1.1 建立质量管理体系与制度

首先,要建立完善的质量管理体系,成立专门的质量管理小组,明确项目经理、技术负责人、质检员等各级管理人员和施工人员的质量职责。通过签订质量责任书等方式,将质量责任落实到每个岗位和个人,形成全员参与、层层把关的质量管理氛围<sup>[3]</sup>。同时,制定详细的质量管理制度和流程,包括实测实量制度、原材料检验制度、工序交接制度、隐蔽工程验收制度等,确保质量管理工作的规范化和标准化,使每一个施工环节都有章可循、有据可依。

##### 4.1.2 加强原材料控制

原材料的质量是保证微孔灌注桩施工质量的基础。对进场的钢筋、混凝土等主要原材料,必须进行严格检验和试验。钢筋应按照每60吨、热镀锌钢管按5000根为一批次,进行力学性能试验,检查其屈服强度、抗拉强度、伸长率等指标是否符合设计要求;混凝土则每个浇筑批次或100m<sup>3</sup>混凝土预留4组试块,进行强度检验,确保混凝土强度达到设计标准。只有原材料检验合格后,方可投入使用,从源头上杜绝质量隐患。

##### 4.1.3 强化关键工序过程控制

成孔、清孔、钢管桩安装、混凝土浇筑等关键工序直接影响微孔灌注桩的施工质量,必须进行旁站监督。在成孔过程中,要严格控制孔径、孔深和垂直度,确保孔的各项参数符合设计要求;清孔时,要彻底清除孔内的杂物和泥浆,保证孔底清洁;钢管桩安装要保证其位置准确、固定牢固,防止在混凝土浇筑过程中发生位

移；混凝土浇筑要连续进行，避免出现施工缝，同时要控制好浇筑速度和振捣质量，确保混凝土密实。质检员应全程跟踪检查这些关键工序，及时纠正违规操作行为，确保施工过程严格符合规范要求。

#### 4.1.4 做好成品保护

对已完成的桩基要进行有效的成品保护，避免后续施工对其造成破坏。在桩基周围设置明显的警示标志，禁止车辆和机械靠近，防止碰撞桩身。同时，合理安排施工顺序，避免在桩基附近进行大型机械作业或堆放钢管桩，确保桩基的完整性和稳定性。

#### 4.1.5 严格质量检查与验收

质量检查与验收是确保工程质量的最后一道防线。要对钢管桩安装、混凝土浇筑等隐蔽工程进行严格验收，验收内容包括钢筋的规格、间距、焊接质量、热镀锌管钢管镀锌厚度以及混凝土的浇筑质量等，确保隐蔽工程质量完全符合设计要求，验收合格后方可进行下一道工序施工。对成孔、清孔、钢管桩安装、混凝土浇筑等分项工程也要逐一进行验收，只有各分项工程质量达标后，方可进行分部工程验收。在桩基施工完成后，要进行整体工程验收，验收内容包括桩位偏差、桩径、桩长、混凝土强度等关键指标，确保桩基工程质量全面符合设计要求和相关标准。

### 4.2 安全管控措施

#### 4.2.1 开展安全教育培训

对所有施工人员进行全面的入场安全教育培训，提高施工人员的安全意识和自我保护能力。培训内容应涵盖安全操作规程、应急预案、事故案例分析等方面，通过理论讲解、案例分析、现场演示等多种方式，使施工人员深刻认识到安全施工的重要性，熟悉各类施工设备的安全操作方法，掌握应对突发安全事故的应急处理技能。同时，定期组织安全应急演练，每季度至少组织一次应急演练，确保施工人员熟悉应急流程，在遇到紧急情况时能够迅速、有效地进行应对，最大限度地减少事故损失。

#### 4.2.2 进行安全技术交底

在施工前，要对施工人员进行详细的安全技术交底，明确施工过程中的安全风险点和防范措施。交底内容应包括高海拔施工作业安全、机械操作安全、用电安全等各个方面，针对每个施工环节可能存在的安全隐患，提出具体的预防措施和注意事项。施工人员应认真听取交底内容，并签字确认，确保交底到位，使每一位施工人员都清楚了解施工过程中的安全要求，做到心中有数、操作规范。

#### 4.2.3 加强现场安全管理

设立明显的安全警示标志和完善的防护设施，为施工人员创造一个安全的施工环境。在桩孔周围设置警示带，防止非施工人员进入施工区域，避免发生意外事故。加强现场安全巡查和监督，安全员应每日进行安全巡查，填写详细的安全日志，记录巡查情况，及时发现和消除安全隐患。对违规操作行为要严厉处罚，对违反安全规定的人员进行罚款、停工等处罚，情节严重的依法追究刑事责任，通过严格的处罚措施，确保施工现场的安全秩序，使施工人员自觉遵守安全规定。

### 4.3 进度管控措施

(1) 根据合同工期和现场实际情况，编制详细的施工进度计划，明确各阶段的目标和任务。进度计划要充分考虑高海拔区域天气、地质条件等不确定因素，留有一定的余地，以应对出现的突发情况。将进度计划细化到每个施工班组和每一天的工作任务，施工人员清楚了解自己的工作目标和时间节点，便于开展施工工作。

(2) 在进度实施过程中，要编制四级进度计划，设置关键线路控制点，滞后超3%时启动预警机制，加强进度监控，定期召开进度会议，分析进度偏差原因。通过对比实际进度与计划进度，找出影响进度的关键因素，如天气恶劣、设备故障、材料供应不及时等。针对不同的原因，采取有效措施进行调整。(3) 为确保进度计划的顺利执行，建立进度激励机制至关重要。对按时完成或提前完成任务的施工队伍给予奖励，奖励形式可以包括物质奖励和荣誉表彰等，激发施工人员的工作积极性和主动性；对延误进度的施工队伍进行处罚，通过经济处罚等手段，促使施工队伍重视进度管理，合理安排施工资源，加快施工进度。通过激励机制的引导，形成你追我赶的良好施工氛围，确保工程按时完成。

### 结语

高海拔山地光伏微孔灌注桩的施工质量直接关系到整个光伏场区的安全性和稳定性。本文基于甘孜理塘奔戈光伏发电项目的实践经验，详细探讨了高海拔山地光伏微孔灌注桩的施工要点及管控措施。通过加强施工准备、优化施工工艺、强化质量管控和安全管控等措施，可以有效提高微孔灌注桩的施工质量，确保工程顺利进行。同时，本文的研究成果也可为类似工程提供参考和借鉴，推动高海拔山地光伏建设技术的不断发展和完善。

### 参考文献

- [1]李贝.高海拔山地光伏微孔灌注桩施工质量控制与优化[J].中国科技信息,2025,(12):50-52.
- [2]郭敏敏,蒋昊楠.山地光伏微孔灌注桩基础质量控制技术研究[J].红水河,2024,43(04):86-89.