

浅谈山地光伏灌注桩基础施工质量控制

陈曦明

中国水利水电第一工程局有限公司 吉林长春 130000

【摘要】山地光伏电站建设面临复杂环境和高成本的挑战,灌注桩基础作为支撑光伏阵列的关键部分,其施工质量直接影响电站的稳定性、可靠性和使用寿命。本文从确保光伏电站稳定可靠、延长使用寿命、节约建设和运维成本三个方面阐述了山地光伏灌注桩基础施工质量控制的重要性。针对山地光伏灌注桩基础施工流程,本文提出了测量放样、钻孔成孔、清孔换浆、钢筋笼制作和吊装、灌注成桩五个关键环节。为保障施工质量,本文提出优化设计方案、加强材料质量管理、规范施工操作、建立质量检测体系四项控制措施,以期对山地光伏电站建设提供参考,促进光伏产业的可持续发展。

【关键词】山地光伏;灌注桩;基础施工;质量控制

引言:

随着全球能源转型和碳中和目标的提出,光伏发电作为清洁、低碳的可再生能源形式,在全球范围内得到了快速发展。山地丰富的光照资源为光伏电站建设提供了良好的条件,但同时也面临着地形复杂、地质条件多变等挑战。在山地光伏电站建设中,灌注桩基础是最常采用的基础形式之一。灌注桩基础施工质量的好坏,直接关系到光伏电站的安全稳定运行和投资效益。因此,如何在山地复杂环境下实现灌注桩基础的高质量施工,成为业内关注的重点问题之一。

一、山地光伏灌注桩基础施工质量控制的重要性

山地光伏电站建设面临复杂的环境条件和较高的施工难度,灌注桩基础作为支撑光伏阵列的关键部分,其施工质量直接关系到电站的稳定性、可靠性和使用寿命。严格控制灌注桩基础施工质量,可以有效防止因基础不均匀沉降、倾斜等问题导致的光伏支架变形,保障电站的长期稳定运行。同时,高质量的灌注桩基础还能增强抵御风沙、降雨等外界不利因素的能力,延缓基础老化和损坏的进程,从而延长光伏电站的使用寿命,提高投资回报率。此外,山地光伏电站施工难度大,建设成本较高,通过加强灌注桩基础施工质量控制,可以避免返工、维修等额外支出,节约建设成本。优质的基础还能减少运营期间的维护频次和费用,有利于控制光伏电站的整体成本。

二、山地光伏灌注桩基础施工流程

(一) 测量放样

在山地光伏电站建设过程中,灌注桩基础的测量放样是确保施工质量和精度的首要环节。由于山地地形复杂多变,对测量放样的精度要求极高。通常采用全站仪、RTK等高精度

测量设备,根据设计图纸中的坐标数据,精确测设每个桩位的中心点。测量放样的平面位置偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内,高程偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内,这对测量人员的技术水平和经验提出了较高要求。桩位测设完成后,需用木桩或钢筋进行标记,并在桩位旁设置明显的标识牌,标注桩号、孔径、孔深等关键信息,为后续施工提供明确的参考。同时,为确保测量放样结果的准确性,还需对测量数据进行复核和验算,确保无误后方可进行下一步施工。精准的测量放样不仅是保障后续钻孔、吊装、灌注等施工环节顺利进行的基础,也是实现灌注桩位置精度控制的关键。一旦测量放样出现偏差,将会导致桩位偏移,影响光伏支架的安装和受力,甚至引发结构安全问题。

(二) 钻孔成孔

钻孔成孔是山地光伏灌注桩基础施工的关键环节之一。针对山地复杂地形条件,通常采用履带式钻机进行钻孔作业(如图1所示),其可适应 30° 以上的坡度,具有较强的爬坡能力和机动性。钻孔直径根据设计要求确定,一般为 $500\text{mm}\sim 1200\text{mm}$,孔深通常在 $5\text{m}\sim 30\text{m}$ 之间。为保证灌注桩的施工质量,钻孔过程中应实时监测孔位偏差和垂直度。控制孔位偏差在 20mm 以内,垂直度偏差不得超过 0.5% ,可有效避免桩身倾斜或位置偏移等问题。同时,还需严格控制钻孔速度,一般为 $10\text{m/h}\sim 30\text{m/h}$,避免速度过快导致孔壁坍塌或缩颈现象发生。当遇到较硬岩层时,可采用风动潜孔锤、牙轮钻头等辅助设备,提高钻进效率。风动潜孔锤的打击频率可达 $20\text{Hz}\sim 40\text{Hz}$,有效提高岩层的破碎效果。而牙轮钻头的切削力可达 30kN 以上,适用于硬度较高的岩层钻进。此外,还需注意钻孔过程中的岩屑清理和泥浆护壁等问题。及时将岩屑排出孔外,并采用优质泥浆护壁,可有

效防止孔壁坍塌和缩径，为后续施工创造有利条件。钻孔成孔质量的优劣直接影响灌注桩的成桩效果，需严格控制各项施工参数和工艺流程，确保钻孔质量满足设计和规范要求。



图1：履带式钻机

（三）清孔换浆

钻孔完成后，及时进行清孔换浆是确保灌注桩施工质量的重要措施。首先采用高压空气或清水对孔内进行清理，一般采用48MPa的压力，以150~300m³/h的流量对孔壁进行360°全方位冲洗，直至返出液体澄清，固相颗粒含量低于1%，确保孔壁洁净无杂质。清孔时间一般控制在20~40min，避免过度冲刷导致孔壁坍塌。清孔完成后，及时将孔内泥浆全部换为新拌制的水泥浆液。水泥浆液采用普通硅酸盐水泥，水灰比控制在0.45~0.55之间，泌水率不超过2%，体积膨胀率不低于3%，坍落度为160~220mm。换浆应自孔底向上分层进行，每层高度为23m，确保浆液均匀充盈孔隙，形成完整护壁^[1]。换浆过程中，应实时监测浆液密度和流量，控制泵压在0.5~1.0MPa之间，泵量为20~50L/

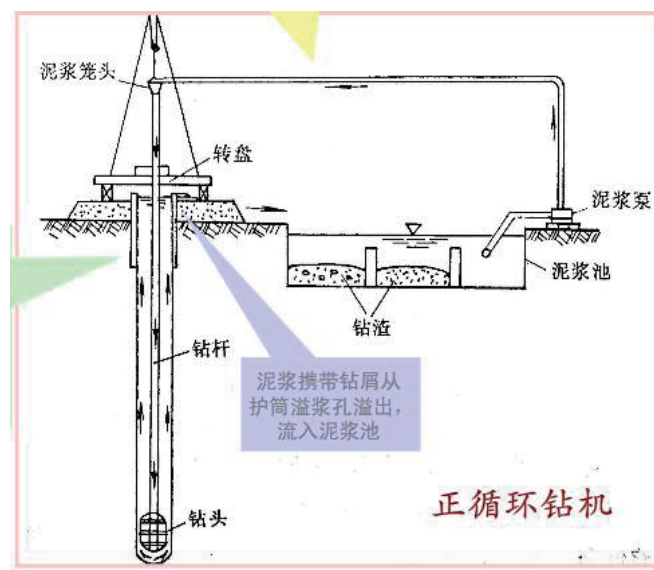


图2：泥浆护壁灌注成孔

min，避免过高压力和流量导致孔壁坍塌或缩颈。换浆完成后，需对护壁质量进行检查，尤其是孔壁粗糙度值要满足设计要求，一般不低于2.5mm。高质量的清孔换浆可显著提高桩身与土层的握裹力，研究表明，桩侧摩阻力可提高20%~50%，极大改善桩基承载性能，如图2所示。因此，严格控制清孔换浆施工质量，对于保障山地光伏灌注桩的安全可靠至关重要。

（四）钢筋笼制作和吊装

在灌注桩基础施工中，钢筋笼的制作和吊装是确保桩身结构强度和稳定性的关键步骤。根据工程力学计算和地质条件分析，设计团队会确定钢筋笼的规格，包括主筋直径、箍筋间距及笼体的整体尺寸。例如，对于一个承受较大负荷的山地光伏电站，可能会采用主筋直径为32mm，箍筋间距保持在150mm以内，以保证足够的抗压和抗弯性能。在制作过程中，施工人员需按照设计图纸精确下料，并严格控制钢筋的弯曲半径和绑扎质量。一般情况下，钢筋的绑扎点应均匀分布，绑扎间隔不超过200mm，以确保钢筋笼的整体性和避免移位。此外，保护层厚度的设置也非常关键，通常设计为50mm以上，这可以通过使用定位块或塑料保护层垫块来保证，旨在防止钢筋因碳化或氯离子侵蚀而降低其耐久性。吊装钢筋笼时，必须使用合适的起重设备，如吊车，其选型需考虑到钢筋笼的重量和尺寸^[2]。例如，一个重量超过1吨的大型钢筋笼可能需要使用额定起吊能力不低于1.5吨的吊车。在吊装过程中，技术人员会使用铅垂线和水平仪不断校准钢筋笼的垂直度，确保其放置误差不得超过桩孔深度的0.5%，避免未来桩身受力不均的问题。整个吊装过程要缓慢进行，同时由信号员指挥，确保所有操作人员的安全。一旦钢筋笼准确到位，应使用定位架或临时固定措施保持稳定，待混凝土浇筑前进行全面检查，确保各项参数符合设计要求。

（五）灌注成桩

在灌注桩施工阶段，使用高性能商品混凝土是确保桩身质量的关键。例如，采用强度等级为C30的商品混凝土，其7天抗压强度应达到设计强度的80%以上，28天抗压强度应满足设计要求，这确保了成桩后的承载能力和耐久性。混凝土的坍落度控制在180±20mm，以便于泵送和减少气泡产生。在灌注过程中，采用泵送或卸斗方式将混凝土注入事先准备好的孔中，直至达到设计的桩顶高度。这一过程中，要严格控制灌注速度，通常不超过每小时6米，以防因快速灌注导致的空气隔离、蜂窝或断桩现象。同时，施工中实行分层振捣，每层厚度约为0.5米，采用外部振动器进行振捣，确保

每层混凝土充分密实^[3]。振捣时间根据混凝土的流动性和所用的振捣设备调整,一般不少于20秒,直到表面不再有气泡产生。混凝土终凝后,通常在浇注完成后24小时内进行桩头处理工作,切除多余的混凝土,使桩头平整并符合设计标高要求,为后续的桩帽或基础施工做好准备。此时,非破坏检测如超声波检测可能被用来评估桩身的完整性,确保没有内部缺陷。通过上述精确的操作过程和严格的质量控制措施,可以有效地提升灌注桩的质量,避免未来可能出现的结构缺陷,从而保障山地光伏电站的稳定运行和长期耐用性。

三、山地光伏灌注桩基础施工质量控制措施

(一) 优化设计方案

山地光伏电站建设面临复杂多变的地质条件,因此灌注桩基础的设计方案需因地制宜,进行针对性优化。设计人员应综合考虑山地的地形、地质、水文等因素,结合光伏支架的荷载特点,合理确定灌注桩的桩径、桩长、配筋等关键参数。桩径选择需兼顾承载能力和成本因素,一般采用500mm~1200mm;桩长需满足嵌岩深度要求,通常为5m~30m;配筋率应满足内力和变形的控制需求,一般为0.25%~1.00%。对于地质条件复杂、光伏支架荷载大的区域,有必要开展详细的地质勘探和现场试桩,获取可靠的地质参数和桩基性能数据,为优化设计提供科学依据。通过方案优化,既可确保灌注桩基础的安全可靠,又能避免过度设计,节约不必要的投资。

(二) 加强材料质量管理

灌注桩基础施工所用材料的质量是保障工程质量的基础。施工单位应建立完善的质量管理体系,严把材料采购、进场验收、使用等环节的质量关。钢筋材料应选用HRB400及以上等级,屈服强度 $\geq 400\text{MPa}$,延伸率 $\geq 12\%$;水泥应采用普通硅酸盐水泥,强度等级 $\geq 42.5\text{MPa}$,凝结时间 $\geq 45\text{min}$;砂石骨料应洁净、级配良好,粗骨料最大粒径 $\leq 40\text{mm}$,泥块含量 $\leq 1\%$;外加剂应选用高效减水剂,掺量宜为1%~2%。材料进场时,应查验出厂合格证、质保单等文件,并按规范要求抽样检测,对强度、含水率、级配等关键指标进行验证,不合格材料严禁入场。同时,还应做好材料的分类存放和防护,避免受潮、污染等损害其质量。只有从源头把好材料质量

(三) 规范施工操作

灌注桩基础施工涉及钻孔、清孔、吊装、灌注等多个工序,每个环节都关系到桩基的最终质量。为实现规范化施工,确保一次成桩,必须编制详细的施工方案和作业指导书,明确各工序的技术要求、操作规程、质量标准等。例如,钻孔施工要严格控制垂直度,偏差 $\leq 0.5\%$;清孔换浆要

彻底清除孔内杂质,护壁浆液的密度、黏度等应满足要求;钢筋笼吊装就位后,保护层厚度偏差应 $\leq 5\text{mm}$;混凝土灌注应连续进行,每层厚度控制在2m~3m,采用插入式振捣器分层振实,振捣时间20s~30s。同时,要加强对操作人员的技术培训 and 安全教育,明确责任制,确保每个施工细节都能严格执行。通过规范操作,能够最大限度地消除人为因素引起的质量隐患,提高灌注桩的成桩质量。

(四) 建立质量检测体系

全面的质量检测是验证灌注桩基础施工质量的重要手段。施工单位应制定完善的质量检测计划,明确各项项目的检测内容、频率、方法和验收标准等。常规检测项目包括:桩位偏差,限值 $\leq 50\text{mm}$;桩身完整性,采用低应变反射波法或声波透射法检测,完整性指标 $\geq 80\%$;混凝土强度,现场随机取样,检测合格率100%。此外,还应结合工程规模和重要性,开展静载试验、桩身应力测试等专项检测,综合评价灌注桩的承载性能和受力特点。检测过程中如发现质量缺陷,应及时反馈,采取补桩、桩头加固等措施进行处理,并对原因进行分析,制定防范对策。与此同时,要做好施工过程的影像资料采集和归档工作,通过图像、视频等方式记录关键部位和关键工序,确保质量可追溯,便于后期核查。健全的质量检测体系是保障山地光伏灌注桩基础施工质量的有力支撑,对于提高光伏电站的安全可靠性具有重要意义。

结束语

山地光伏灌注桩基础施工质量控制是一项系统工程,需从设计、材料、施工、检测等多个环节入手,全面提升施工质量管理水平。随着光伏行业的不断发展,灌注桩基础施工技术也在不断创新和进步。未来,建议加强山地光伏灌注桩基础施工的信息化管理,利用物联网、大数据等技术手段,实现施工过程的实时监控和质量追溯。同时,加强施工团队的培训和技能提升,提高施工人员的专业素质和责任意识。此外,加强行业交流与合作,借鉴国内外先进经验,不断优化施工工艺和质量控制方法,为推动光伏产业高质量发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 王豹, 张跃君, 王立平, 等. 浅谈高原山地光伏项目中微孔灌注桩的施工及质量控制[J]. 安装, 2023(S2): 169-171.
- [2] 曾启洪. 建筑工程灌注桩施工质量控制措施研究[J]. 砖瓦, 2023(11): 128-130.
- [3] 曾庆贺, 彭帅. 浅谈山地光伏灌注桩基础施工质量控制[J]. 湖南水利水电, 2022(02): 5-9.