

光伏工程微孔灌注桩基础质量控制技术分析

唐 杨 刘继峰 袁栋梁 王 涛 李 伟

中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610000

摘 要: 随着全球能源需求的增长和能源结构的转型,光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式,得到了广泛关注和应用。在光伏工程中,微孔灌注桩作为支架基础,其施工质量直接影响光伏系统的稳定性和安全性。本文结合凉山德昌永郎光伏发电项目的实际案例,深入分析了微孔灌注桩基础施工过程中的质量控制技术,涵盖施工准备、施工工艺、关键质量控制点、常见问题解决方案及创新技术应用等方面,旨在为光伏工程微孔灌注桩基础施工提供理论依据和实践指导。

关键词: 光伏工程;微孔灌注桩;基础施工;质量控制

1 引言

随着全球能源危机的加剧和环境保护意识的提升,光伏发电因其清洁、可再生的特性,在全球范围内得到了迅猛发展。在光伏工程中,支架基础的稳定性是保障光伏组件长期高效运行的关键。微孔灌注桩作为一种经济、高效的支架基础形式,因其施工灵活、承载力高、对环境影响小等优点,被广泛应用于各类光伏项目中。然而,微孔灌注桩的施工质量受地质条件、施工工艺、材料质量等多种因素影响,任何一个环节的失控都可能导致基础质量不达标,进而影响整个光伏系统的稳定性和安全性。因此,研究光伏工程微孔灌注桩基础的质量控制技术具有重要的理论和实际意义。

2 工程概况与地质条件分析

2.1 工程概况

凉山德昌永郎光伏发电项目位于四川省凉山彝族自治州德昌县永郎镇,项目规划标称容量220MW,占地5856亩,是当地重要的清洁能源项目之一。项目主要工程内容包括光伏场区主体工程施工(涵盖道路、光伏支架基础、支架组件、逆变器、箱变、直流电缆、交流电缆安装等)、集电线路施工等。其中,光伏支架基础采用微孔灌注桩,共计单桩微孔灌注桩32802根、双桩微孔灌注桩75600根、箱变基础微孔灌注桩402根,施工任务繁重且技术要求高。

2.2 地质条件分析

项目所在地地形复杂多变,海拔高程一般在2250~3700m之间,属于典型的山地光伏项目。场地内地层岩性复杂,覆盖层为第四系残坡积黏性土、碎石土,下伏基岩为元古界、震旦系上统、三叠系、侏罗系的白云岩、砂泥岩、板岩及喜山期花岗岩等。这种复杂的地质条件对微孔灌注桩基础施工提出了较高要求,需要针

对不同地质条件制定相应的施工方案和质量控制措施。

3 施工准备阶段的质量控制

3.1 施工队伍与设备准备

3.1.1 施工队伍组建

施工队伍应具备丰富的微孔灌注桩基础施工经验,所有施工人员需经过专业培训并考核合格后方可上岗^[1]。项目部应组织施工人员进行技术交底和安全教育培训,确保施工人员熟悉施工图纸、技术规范和安全操作规程。

3.1.2 施工设备选型与调试

施工设备包括履带式潜孔钻机、手持式潜孔钻机(小蜜蜂钻孔机)、混凝土搅拌运输车、插入式振捣棒等。项目部应根据工程特点和地质条件选择合适的设备型号,并提前进行调试和保养,确保设备性能良好、运行稳定。同时,应准备充足的易损件和备用设备,以应对施工过程中可能出现的设备故障。

3.2 材料质量控制

3.2.1 混凝土质量控制

混凝土是微孔灌注桩的主要材料,其质量直接影响桩基的承载力和耐久性。项目部应严格按照设计要求和相关标准选购混凝土原材料,确保水泥、砂、石等原材料的质量符合要求。同时,应控制混凝土的配合比和坍落度,确保混凝土的强度和流动性满足施工要求。在混凝土搅拌过程中,应采用自动化计量设备,确保各种原材料的称量准确无误。

3.2.2 钢筋与预埋套筒质量控制

钢筋和预埋套筒是微孔灌注桩的重要组成部分,其质量直接影响桩基的承载力和稳定性。项目部应选购具有出厂合格证和复试报告的钢筋材料,确保钢筋的强度和延性满足设计要求。预埋套筒的材质和尺寸应符合设计要求,表面应光滑无裂纹,与钢筋的连接应牢固可

靠。在材料进场前,应进行严格的检验和验收,确保不合格材料不进入施工现场。

3.3 测量放样与定位

3.3.1 测量控制网建立

项目部应根据设计图纸和现场实际情况建立测量控制网,确保控制点的稳定性和精度。控制网应包括基准点、方向点和检查点等,形成完整的测量体系^[2]。在测量过程中,应采用高精度测量仪器和方法,确保测量数据的准确性和可靠性。

3.3.2 桩位放样与复核

依据现场提供测量控制网和设计桩位图,使用GPS测量仪进行桩位放样,误差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内。桩位测放后需报请现场监理工程师及相关人员复核,确保桩位准确无误。在复核过程中,应采用全站仪等高精度测量仪器进行二次复核,确保桩位的精度满足设计要求。同时,应做好桩位标记和保护工作,防止桩位在施工过程中被破坏或移动。

4 施工工艺流程及操作要点

4.1 施工工艺流程

微孔灌注桩基础施工工艺流程主要包括测量定位、钻机引孔、清孔、钢筋笼及预埋套筒安装、混凝土浇筑、养护等环节。每个环节都需严格按照设计要求和相关标准进行操作,确保施工质量。

4.2 操作要点

4.2.1 钻机引孔

根据地形坡度选择合适的钻机类型,坡度小于 35° 时采用履带式潜孔钻机,坡度大于 35° 时采用手持式潜孔钻机。钻机布置应合理,确保钻机稳固可靠,便于操作和维护。钻孔前需进行准确定位,确保钻机对准桩位中心。钻孔过程中需严格控制钻孔速度和垂直度,防止钻孔扭曲和变径。同时,应实时监测钻杆倾斜率,超过 0.8% 时及时纠偏。钻孔至设计深度后停钻,进行清孔作业。

4.2.2 清孔

钻孔至设计深度后停钻,利用空压机高压循环将岩粉、残渣排出,直至孔内沉渣厚度小于 10mm 。清孔完毕后需及时封堵孔口,防止杂物坠入。

4.2.3 钢筋笼及预埋套筒安装

钢筋笼制作前需进行钢筋除锈、整直,主筋不得有局部弯曲。钢筋笼安装时需保持居中,下沉有阻力时应查明原因,严禁蛮力插入^[3]。预埋套筒需牢固固定在钢筋笼上,其桩位和垂直度偏差需满足设计要求。

4.2.4 混凝土浇筑

根据工程要求和地质条件,进行混凝土配合比设

计。混凝土应具有良好的和易性、流动性和强度,以满足微孔灌注桩的施工要求。在配合比设计过程中,要充分考虑水泥品种、砂石级配、外加剂等因素对混凝土性能的影响,并通过试验确定最佳配合比。采用导管法进行混凝土浇筑,导管应具有良好的密封性和足够的强度,内径一般为 $200\text{--}300\text{mm}$ 。在浇筑前,要对导管进行水密试验和抗压试验,确保导管无渗漏现象。混凝土浇筑时,要先在导管内放入隔水栓,然后向导管内灌注混凝土,当混凝土充满导管后,再缓慢提升导管,使混凝土在孔内自然下沉并填充桩孔。在浇筑过程中,要控制好混凝土的浇筑速度和高度,避免混凝土产生离析现象。同时,要连续浇筑混凝土,不得中断,以确保桩身的完整性。混凝土浇筑高度应高出设计桩顶标高一定距离,一般为 $0.5\text{--}1.0\text{m}$,以保证桩顶混凝土质量。在浇筑完成后,要及时清除桩顶多余的混凝土,并进行抹平处理。

5 关键质量控制点及常见问题解决方案

5.1 关键质量控制点

5.1.1 桩位偏差控制

桩位偏差是影响微孔灌注桩基础质量的重要因素之一。在施工过程中,要严格控制测量放样的精度,确保桩位准确无误。在钻机引孔、钢筋笼安装等环节,要再次对桩位进行复核,及时发现和纠正桩位偏差。

5.1.2 桩身垂直度控制

桩身垂直度直接影响桩的承载能力和稳定性。在钻机引孔过程中,要实时监测钻杆垂直度,采取有效的纠偏措施,确保桩身垂直度符合设计要求。

5.1.3 混凝土强度控制

混凝土强度是衡量桩身质量的重要指标。要严格控制混凝土的原材料质量、配合比设计和浇筑养护等环节,确保混凝土强度达到设计要求。定期对混凝土进行试块制作和强度试验,及时掌握混凝土强度发展情况。

5.2 常见问题及解决方案

5.2.1 孔壁坍塌

孔壁坍塌是微孔灌注桩施工中常见的问题之一,主要原因是地质条件差、泥浆性能不佳或钻孔速度过快等^[4]。解决方案包括:根据地质条件选择合适的泥浆配方,提高泥浆的粘度和比重,增强泥浆的护壁作用;控制钻孔速度,避免在软土层或砂层中长时间停钻;对于已发生坍塌的孔壁,可采用投放粘土球或水泥砂浆等方法进行修复。

5.2.2 钢筋笼上浮

钢筋笼上浮会影响桩的承载能力,主要原因是在混凝土浇筑过程中,混凝土上升对钢筋笼产生的向上的浮

力大于钢筋笼的自重。解决方案包括：在钢筋笼顶部设置压重物，如钢筋等，增加钢筋笼的自重；控制混凝土的浇筑速度和高度，避免混凝土上升过快产生过大的浮力；在钢筋笼与护筒或桩架之间设置固定装置，防止钢筋笼上浮。

5.2.3 桩身夹泥

桩身夹泥会降低桩的强度和耐久性，主要原因是清孔不彻底或混凝土浇筑过程中发生塌孔等。解决方案包括：加强清孔工作，确保孔底沉渣厚度符合设计要求；在混凝土浇筑过程中，要连续浇筑，避免中断，防止塌孔现象发生；对于已出现桩身夹泥的桩，可采用钻孔取芯等方法进行检测，并根据检测结果采取相应的处理措施，如注浆加固等。

6 创新技术应用

6.1 半露式微孔灌注桩一体化浇筑模板装置

在山地光伏发电工程中，为节省钢材用量和有效保证钢支架不受地表汇集雨露水腐蚀，多设计采用半露式微孔灌注桩作为光伏支架的支撑基础。然而，传统施工方法存在孔口塌陷、混凝土浆液渗出、预埋套筒桩位和垂直度偏差大等问题。为此，本项目引入了半露式微孔灌注桩一体化浇筑模板装置，有效解决了上述问题。

6.1.1 装置组成

一体化浇筑模板装置由孔口半圆形环状防护底座装置、定制弧形PVC塑料模板装置、弧形预埋套筒固定夹装置三部分组成。

孔口半圆形环状防护底座装置：采用钢板拼接与螺纹杆制作而成，下部为弧形护孔钢套筒，上部为塑料模板承托钢板，设计有橡胶垫片，防止混凝土渗出。

定制弧形PVC塑料模板：单个弧形PVC塑料模板弧度为180°，两个组成一套，形成封闭密实的浇筑仓。

弧形预埋套筒固定夹：由Q235B钢板和光圆杆件制作而成，包括带弧形板固定杆、承托横杆、带螺纹上支撑杆和环状固定板，牢固固定预埋套筒。

6.1.2 装置原理

将传统模板优化为栅格式定制弧形PVC塑料模板，并在模板底部增设环筒状孔口护孔底座，形成封闭密实的一体化微孔灌注桩浇筑仓。同时，以螺杆为受力构件设计框架结构的附着式弧形预埋套筒固定夹，牢固固定预埋套筒，防止浇筑过程中产生桩位和垂直度偏差。

6.1.3 装置使用效果

通过实际应用，该装置有效隔断了混凝土浆液渗出路径，提高了微孔灌注桩的浇筑成型质量。同时，预埋

套筒的桩位和垂直度偏差得到了有效控制，减少了人工调整的工作量，提高了施工效率。

6.2 溜槽施工技术

在坡度较大的区域，混凝土运输机械难以直达，本项目借鉴了溜槽施工技术，沿陡坡布设溜槽，大大提高了混凝土浇筑速率。

6.2.1 施工原理

利用dn200波纹管沿纵向加工而成半圆形溜槽，混凝土由罐车倾倒至坡顶上部或开台处布置的集料斗，溜槽接入坡顶上部集料斗与缓冲平台，在溜槽两侧设置构建进行固定，由人工控制混凝土下落速率，防止混凝土离析。

6.2.2 施工流程

安装溜槽于安装区域上方，确保安装平整、紧密。在坡面顶部平整处安装集料斗，通过溜槽将混凝土输送至缓冲平台，再由人工运料、浇筑。每个缓冲平台可辐射半径50m的浇筑范围，大大提高了施工效率。

结语

本文结合凉山德昌永郎光伏发电项目的实际案例，深入分析了微孔灌注桩基础施工过程中的质量控制技术。通过加强施工准备阶段的质量控制、优化施工工艺流程及操作要点、把握关键质量控制点及解决方案等措施，有效提升了微孔灌注桩基础的施工质量。同时，创新应用了半露式微孔灌注桩一体化浇筑模板装置，进一步提高了施工效率和浇筑质量。未来，随着光伏发电技术的不断发展和应用领域的不断拓展，微孔灌注桩基础施工质量控制技术将面临更多挑战和机遇。一方面，需要继续加强施工技术和设备的研发与创新，提高施工效率和浇筑质量；另一方面，需要加强施工过程中的质量监控和管理，确保每个环节都符合设计要求和相关标准。同时，还需要加强与相关领域的合作与交流，共同推动光伏工程微孔灌注桩基础施工质量控制技术的发展与进步。

参考文献

- [1]李贝.山地光伏电站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.
- [3]钱羿臻.高海拔地区光伏支架微孔灌注桩基础快速施工工艺研究[J].江西建材,2024,(06):200-202.
- [4]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.