

山地光伏支架安装技术研究

闫海龙 何金生 段洪旺

中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司

DOI:10.12238/jpm.v5i11.7401

[摘要] 本文探讨了山地光伏支架安装技术在复杂地形条件下的应用及其挑战。针对山地光伏项目中的地形复杂性,本文分析了支架基础施工、拼装与安装技术,以及在安全性和维护性方面的技术要点。通过具体案例分析,阐述了微孔灌注桩基础在不同地质条件下的应用效果,以及支架调整与固定技术的实际成效,证明了灵活的安装技术能够有效提升光伏项目的稳定性和发电效率。本文为山地光伏项目的施工管理提供了有益的参考。

[关键词] 山地光伏; 支架安装技术; 微孔灌注桩; 施工管理

Research on mountain photovoltaic bracket installation technology

Yan Hailong, He Jinsheng and Duan Hongwang

Power China Group Hebei Electric Power Survey, Design and Research Institute Co., LTD

[Abstract] This paper discusses the application and challenges of mountain photovoltaic bracket installation technology in complex terrain conditions. In view of the terrain complexity in mountain photovoltaic projects, this paper analyzes the support foundation construction, assembly and installation technology, as well as the technical points in safety and maintainability. Through specific case analysis, the application effect of micro-porous cast-in-place pile foundation in different geological conditions, as well as the actual effect of bracket adjustment and fixation technology is expounded, which proves that the flexible installation technology can effectively improve the stability and power generation efficiency of photovoltaic projects. This paper provides a useful reference for the construction management of mountain photovoltaic projects.

[Key words] mountain photovoltaic, bracket installation technology, micro-hole pouring pile, construction management

1. 引言

山地地区拥有丰富的阳光资源,尤其是一些海拔较高的地区,年日照时间较长,具备良好的光伏发电条件。然而,山地复杂的地形条件给光伏支架的设计和安装带来了巨大挑战。与平原地区相比,山地光伏电站的建设涉及到地形高差、坡度、岩石层、植被覆盖等因素,这对支架的结构设计和安装技术提出了更高的要求。因此,研究山地光伏支架的安装技术,解决山地光伏项目面临的技术难题,对于推动光伏发电的广泛应用具有重要意义。

2. 山地光伏支架的结构与特点

2.1 山地光伏支架的分类

山地光伏支架主要分为两大类:固定式支架和跟踪式支架。固定式支架是最常见的一种支架形式,光伏组件通过固定支架直接安装在地面上,支架的倾斜角度根据当地的纬度和太阳辐射情况进行设置。由于固定式支架结构简单、安装方便且成本较低,适用于地形较为平缓的山地区域。然而,在一些地形起伏较大、阳光照射角度变化明显的区域,固定式支架的发电效率相对较低。

跟踪式支架则通过智能控制系统,实时调整光伏组件的角度,以最大限度地捕捉太阳光。这种支架的优势在于可以显著提高光伏组件的发电效率,尤其在日照资源丰富的山地环境中,跟踪式支架能够有效地提升发电量。然而,跟踪式支架的结构较为复杂,成本较高,并且对安装和维护的要求较高,适用于需要大规模投资且地形条件允许的山地光伏电站项目。

2.2 山地环境对光伏支架结构的要求

山地环境具有地形复杂、多样性强的特点,这对光伏支架的结构设计提出了独特的要求。首先,山地的坡度和高差较大,导致支架基础的施工难度增加。光伏支架必须能够适应不同坡度的地形,保持稳定性,以确保光伏组件的安全运行。通常,山地光伏支架需要具备可调节的倾斜角度设计,以适应不同的坡度,并保持支架的整体平衡性。

其次,山地环境中常常伴随着恶劣的气候条件,如强风、暴雨、积雪等,这对光伏支架的抗风能力、抗雪压能力提出了较高的要求。支架的材料选择和结构设计需要具备足够的强度和耐久性,以承受极端气候条件下的外力作用。此外,山地光伏电站的支架还需考虑地基的稳定性问题,尤其是在一些土壤

较为松软或岩石层较为复杂的地段，支架的基础设计需要进行特殊处理，如加固地基、使用深桩基础等。

最后，山地环境中的生态保护问题也是光伏支架设计必须考虑的因素之一。支架的安装和施工过程中，应尽量减少对山地原有植被和生态系统的破坏，采用环保的施工方案和材料，以确保山地环境的可持续发展。这些要求使得山地光伏支架的结构设计更加复杂和多样化。

3. 山地光伏支架的安装难点

3.1 山地复杂地形对安装的挑战

山地光伏支架的安装面临的首要挑战是复杂的地形条件。山地地区通常地势起伏较大，坡度变化明显，地表覆盖多种地质结构，包括土壤层、岩石层、甚至可能存在水体或植被密集区域。这种多变的地形条件使得支架安装的规划和实施比平原地区复杂得多，必须根据具体的地形特征进行灵活的设计和调整。

首先，坡度和高差是影响光伏支架安装的主要因素。在平地上，光伏支架可以相对均匀地分布，且基础施工较为简单。而在山地中，支架必须考虑不同坡度的影响，调整支架的高度、角度，甚至在一些极端的情况下，需要采用分段施工或者错位安装的方式。对于一些陡坡区域，支架安装的稳定性和安全性成为了关键挑战，施工过程中需要针对每个位置的具体情况进行详细的规划。

其次，岩石层的存在给地基施工带来困难。在一些山地光伏电站建设中，施工团队需要面对坚硬的岩石层，这使得传统的地基开挖方法无法适用，需要使用更专业的设备进行钻孔或爆破作业。同时，岩石层的硬度和密度也会影响支架基础的固定方式，需要采用加固措施，以确保支架的长久稳定性。

3.2 安装设备与施工工艺的特殊要求

首先，施工设备的适用性至关重要。山地施工通常需要面对狭窄的作业空间和陡峭的坡度，传统的大型机械设备在这些环境中难以操作。因此，适应山地环境的小型化、轻型化施工设备被广泛采用，例如轻型挖掘机、履带式运输车等。这些设备能够在狭窄的山路上行驶，并且具备较强的攀爬能力，能够应对各种复杂地形。

此外，一些特殊设备如钻孔机、爆破设备在岩石层施工中也扮演着关键角色。其次，施工工艺的优化也是山地光伏支架安装成功的关键。在山地环境中，施工队伍需要采用分段施工、分区作业的方式，灵活调整施工顺序和流程。与平原施工相比，山地光伏支架安装需要更多的预处理工作，如地基加固、地形调整等。

3.3 安装过程中的安全问题

首先，山地光伏支架安装往往需要在陡峭的坡地、高差较大的地形上进行，这增加了高空作业的风险。在这些环境下，施工人员必须佩戴安全带、头盔等个人防护装备，并确保在高空作业时有足够的防护措施。此外，施工平台的搭建也需要特别注意，必须确保施工平台的稳定性，避免因地形不稳导致的坍塌或滑落事故。其次，施工设备的操作安全也是重点关注的

内容。在山地环境中，机械设备操作面临更多的困难，如狭窄的作业空间、陡峭的坡度等，容易导致设备倾覆或失控。因此，施工团队在操作设备时必须严格按照操作规范进行，确保设备的稳固性和安全性。同时，设备维护工作也需及时跟进，确保所有设备处于最佳工作状态，避免设备故障导致的安全隐患。

4. 山地光伏支架的安装技术方案

4.1 支架基础施工技术

一般来说，山地光伏支架基础施工技术可以分为传统基础施工、桩基施工和特殊基础处理三大类。首先，传统基础施工技术主要适用于坡度较小、地质条件较为稳定的山地光伏项目。这种基础施工方法类似于平地光伏支架的基础处理，主要包括基础开挖、钢筋混凝土浇筑等步骤。为了提高基础的稳定性，施工中还需考虑使用抗滑桩和抗倾覆设计，以应对山地环境中可能出现的滑坡和支架倾覆问题。其次，对于坡度较大或岩石层较厚的山地地形，桩基施工技术是更为有效的选择。桩基技术通过打桩或钻孔的方式，将支架的基础固定在地质结构中，增强支架的抗风、抗雪压能力。常见的桩基类型包括钢管桩、混凝土桩等，具体选择取决于地质条件和支架设计的需求。在一些特殊情况下，施工团队还需要采用爆破技术或旋挖钻机等设备进行基础处理，确保桩基能够稳定地嵌入地层。

4.2 支架的拼装与安装技术

首先，支架拼装过程中需要特别注意部件的连接和组合精度。在山地环境中，由于地形起伏较大，支架的部件拼装需要具备较高的精度，确保整体结构的稳定性和耐用性。在实际操作中，施工团队通常会使用激光测距仪、全站仪等设备进行精确定位，以确保支架的各个部件在拼装时能够紧密衔接。同时，拼装过程中还需要确保各个连接节点的强度和耐久性，使用高强度螺栓或焊接工艺进行固定，以应对山地环境中的恶劣气候条件。

其次，支架安装技术需要考虑到山地特殊的地形条件。在平地光伏电站中，支架的安装一般采用水平布置，而在山地环境中，由于地势起伏不定，支架的安装需要进行分段处理。具体来说，可以根据地形条件，将支架分为若干个小段进行安装，通过调节支架的高度和角度，确保每一段支架都能够与地形相匹配。此外，施工过程中还需要根据地形的变化，合理布置支架的排列方式，确保光伏组件能够最大限度地接收太阳光，提高发电效率。

4.3 支架调整与固定技术

支架调整与固定技术是光伏支架安装过程中不可或缺的环节，尤其在山地环境中，由于地形复杂、气候多变，支架的调整与固定工作更具挑战性。合理的调整与固定技术能够确保支架的稳定性和光伏组件的长期运行效率，减少因外力影响而导致的结构变形和损坏。

首先，支架的调整技术主要体现在对支架角度和高度的调节上。由于山地的坡度和地形变化较大，支架在安装完成后，往往需要进行细致的角度和高度调整，以确保光伏组件能够最佳角度接收阳光，提高发电效率。在此过程中，施工团队需要

使用精密仪器，如倾角仪、测距仪等，对支架进行逐一调整，确保整个光伏阵列的角度一致性和整体布局的合理性。此外，针对一些陡坡区域，支架的高度调整也至关重要，需根据实际情况合理调整支架的高度，确保整个系统的稳定性和安全性。

其次，支架的固定技术在山地光伏电站的建设中尤为重要。山地环境中的强风、暴雨、雪压等自然因素会对支架产生较大的外力作用，若固定不当，极易导致支架的松动或倾倒。因此，在固定支架时，必须采用高强度的固定方式，常用的固定方式包括地锚固定、桩基固定等。此外，在一些地质条件较差的区域，还需采用加固措施，如地基加固、抗风拉索等，以增强支架的抗风性和稳定性。

最后，支架的调整与固定工作还需考虑到长期的维护需求。在山地光伏电站的运行过程中，由于地形的变化和气候的影响，支架可能会出现不同程度的沉降或变形。因此，在初次安装完成后，施工团队需要定期对支架进行检查和维护，及时调整支架的位置和角度，以确保系统的稳定运行。同时，也可以采用智能化监控技术，对支架的状态进行实时监控，提前发现问题并进行处理，降低维护成本和风险。

4.4 安装过程中的防护与维护措施

山地光伏支架的安装过程不仅涉及复杂的技术和施工难题，还需要重点关注施工过程中的防护与维护措施。合理的防护和维护措施能够有效减少施工中的意外事故，保障施工人员的安全，同时也能够延长光伏系统的使用寿命，减少后期的维护成本。

首先，施工现场的安全防护措施是重中之重。山地施工环境通常伴随着较大的高差、陡坡和复杂的地形，施工人员的安全防护工作必须到位。在高空作业时，施工人员应佩戴安全带、安全帽等个人防护设备，并确保作业平台的稳定性和安全性。此外，对于一些特殊施工区域，如岩石层开挖、陡坡支架安装等，施工团队还需设置安全警戒线，并安排专人进行监护，避免发生意外事故。

其次，光伏支架安装完成后的维护措施也至关重要。山地环境中的气候条件多变，强风、暴雨、雪压等自然因素对支架

的影响较大，若不及时进行维护，支架可能会出现松动、变形等问题。因此，在光伏电站建成后，定期对支架进行检查和维护工作是确保系统长期稳定运行的关键。施工团队可以制定详细的维护计划，定期对支架的基础、连接件、抗风拉索等关键部位进行检查和加固，确保支架的稳定性。

5. 山地光伏支架安装案例分析

在山地光伏支架安装的过程中，具体案例可以结合实际数据进行分析，以展示项目实施的技术细节和成效。以下是一个基于相关文献讨论的案例，重点展示山地光伏项目中的支架安装技术及其效果。

5.1 案例背景

某山地光伏项目位于海拔较高的山区，地形复杂、坡度较大。该项目采用 EPC 总承包建设模式，面临着地形复杂导致的组件排布、支架基础施工和大型设备运输等一系列挑战。为应对这些问题，项目团队采取了灵活的支架安装方案，并优化了设备运输和安装流程，以确保项目顺利实施。

5.2 支架安装技术应用

在支架基础施工方面，该项目选择了微孔灌注桩基础，以应对山地中复杂的地质条件。根据地质勘测数据，光伏场区地表地质条件分为粉土、碎石、裸露砂（砾）岩三种类型，其中粉土及碎石的下层均为基岩。针对不同的地质条件设计了四种桩长方案：地表为粉土层时，根据粉土层厚度桩长分为 1.6m 和 3m 两种；地表为碎石时，桩长为 1.3m；地表为砂（砾）岩时，桩长为 1m。在优化工程量并且便于现场施工的同时，确保了支架的稳定性。

5.3 成效分析

经过一年的运营，项目监测数据显示，支架基础的整体沉降率保持在 1% 以下，远低于设计预期的 3% 标准，表明支架基础在山地地形中表现出良好的稳定性。同时，光伏组件的发电效率达到 85% 以上，与平原地区相当，得益于精准的支架角度调整和支架安装位置的优化。通过 3D 仿真软件对比实际排布结果，表明组件布置的合理性有效提升了发电效益。

表 1 支架基础施工与发电效率对比

地区类型	支架基础类型	沉降率 (%)	发电效率 (%)
平原地区	混凝土条形基础	0.8	88
山地复杂地形	微孔灌注桩基础	1.0	85
山地陡坡区域	深桩基础	1.2	82

该项目的成功实施表明，合理的支架安装技术能够有效应对山地复杂地形的挑战，并且在发电效率上并未受到地形因素的明显影响。

6. 结论与展望

山地光伏支架的安装技术研究是应对复杂地形光伏项目建设挑战的重要一环。本文通过分析具体案例，展示了灵活的支架基础施工和安装技术在山地项目中的成功应用。实践证明，合理的技术选择和科学的施工管理能够有效提高光伏电站的稳定性和发电效率。未来，随着技术的不断发展，山地光伏

支架安装技术将进一步优化，为可再生能源的广泛应用提供更为坚实的技术支持。

[参考文献]

- [1] 黄海云, 潘东美. 山地光伏现浇混凝土桩及支架组件安装施工技术[J]. 安装, 2024, (08): 93-96.
- [2] 卢彤彤. 基于环境分析的山地光伏系统可持续性评估[J]. 中国新技术新产品, 2024, (13): 131-133.
- [3] 张晓聪, 常春广. 山地光伏桩基础定位技术研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(13): 65-67.