

山地地形条件下光伏支架基础选型与施工适应性分析

刘译夫

中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司 北京 100020

【摘要】：山地地形对光伏支架基础的选择和施工提出了特殊要求。由于山地地形复杂，基础结构的稳定性和施工的可行性常常受到限制。本文通过分析不同类型的光伏支架基础在山地地形下的适应性，探讨了各类基础形式的优缺点及其施工难度。通过理论分析与案例研究，结合山地地形特征，提出了最适宜的支架基础选型方案，并总结了在实际施工过程中应注意的关键技术问题，为未来光伏项目在山地地区的应用提供了技术参考和实践指导。

【关键词】：山地地形；光伏支架；基础选型；施工适应性；技术分析

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.077

引言

山地地形因其地貌复杂性和施工环境的特殊性，成为光伏项目建设中的一大挑战。与平坦地区相比，山地地形的施工难度和基础选型要求更高，尤其在光伏支架基础的设计与施工过程中，如何确保稳定性和高效施工成为亟待解决的问题。为了满足光伏发电的稳定性需求，必须对支架基础类型进行针对性选择，并优化施工方案。这不仅关乎光伏电站的长期运行效果，也直接影响到项目的投资成本和施工周期。因此，探索适合山地地形的光伏支架基础解决方案，对于推动光伏行业在复杂地形中的应用具有重要意义。

1 山地地形对光伏支架基础的影响

1.1 山地地形特征分析

山地地形具有高度变化大、坡度陡峭、土壤松散等特点，这些特性在光伏支架基础的设计与施工过程中带来多重挑战。山地的地质结构复杂，岩石、土壤的分布不均，使得基础的选型变得更加困难。在高山和山区，坡度较大的地方更容易遭受滑坡、泥石流等自然灾害的影响，基础的稳定性问题尤为突出。山地的土壤类型多变，含水量较高的地方可能导致基础沉降问题，而干旱区域则可能出现基础材料风化的现象。光伏支架基础的设计必须综合考虑山地地形的具体特点，以确保支架的稳定性和耐久性。

1.2 山地地形对基础稳定性的影响

山地环境的变化直接影响基础的稳定性。高坡度地区常常面临严重的滑坡和土壤流失风险，这些地质因素会对光伏支架基础的稳固性产生显著影响。支架基础在山地中的设计需特别考虑土壤的承载能力和稳定性，尤其是在坡度超过一定角度的山地，支撑结构的设计必须增强抗倾斜能力^[1]。在强风、暴雨等极端天气条件下，山地的基础更容易受到冲击，造成基础不稳定，甚至导致支架倒塌。山地的岩土层情况复杂，不同地质条件下，基础的安装方法和结构形式也会有所不同。稳定性设计应考虑到不同地形和气候条件对支架结构的长期影响。

1.3 山地环境中的施工挑战

在山地地形中进行光伏支架基础施工时，面临的最大挑战是施工现场的高难度作业。坡度较大的区域不适合重型施工机械作业，施工人员和设备的进场困难，施工过程中需要特殊的运输与安装手段。在某些地区，需利用绳索、滑轮等工具进行设备和材料的吊运，或者采用小型机械以适应复杂的地形环境。山地的气候条件往往较为恶劣，尤其是在高海拔地区，寒冷天气和高风速可能影响施工进度。施工过程中，需要特别关注基础开挖时可能引发的滑坡或塌方风险，对施工人员的安全防护提出了更高的要求。因此，山地环境中的施工挑战不仅体现在技术层面，还包括了对施工设备与人员的严格要求。

2 光伏支架基础的选型方案

2.1 不同类型基础的适应性分析

光伏支架基础的选型需要根据山地地形的不同特点选择合适的基礎形式。常见的基礎类型包括桩基、条形基础、独立基础等。桩基适用于土壤较为松软或不稳定的山地，能够通过深入地下的支撑力抵抗地震、滑坡等自然灾害的影响。桩基的安装不需要大规模的开挖，能够有效减少对地形的破坏，适合在坡度较大的地方使用。条形基础则通常用于较为平缓的山地，能够提供较好的稳定性，但对于土壤较为松散的地区，其承载能力可能不足。独立基础则适用于基础较为坚硬的地面，常用于岩石较多的地区，可以通过局部的加固来提升基础的稳定性。在选择光伏支架基础类型时，必须根据具体的地质和土壤条件，结合不同基础形式的适应性，确定最合适的选型方案。

2.2 基础结构选择的影响因素

基础结构的选择不仅与地形和地质条件密切相关，还受到项目成本、施工难度和长期使用效益等多方面因素的影响。地形的坡度、土壤的湿度、岩石的分布和深度是影响基础结构选择的关键因素。在坡度较大的地区，支架的基础必须具备更强的抗滑能力，以防止支架因山体滑坡等原因失稳。土壤的类型和承载能力是选择基础形式时的重要依据，在松软土壤区域，桩基或者深基础更加适用^[2]。气候条件也是基础选择中的一个

不可忽视的因素，极端气候会影响基础结构的长期稳定性，必须选用耐腐蚀、耐高温等特性的材料。项目的投资预算也会对基础的选择产生重要影响，一些成本较高的基础形式可能会在预算有限的情况下被排除。综合这些影响因素，光伏支架基础的选择需要在保证支撑效果的前提下，找到性价比最优的方案。

2.3 选择方案的可行性评估

光伏支架基础的选型方案需要进行全面的可行性评估，以确保施工过程的顺利进行和长期运行的稳定性。可行性评估应考虑多个方面的因素，包括技术可行性、经济可行性和施工可行性。技术可行性主要分析基础结构在特定地质和气候条件下的适应性，以及基础的承载能力和抗力。对于山地地区来说，支架基础的抗风、抗震和抗滑坡能力是评估技术可行性的核心内容。经济可行性则是评估不同选型方案的成本效益，包括材料、人工、运输、设备等各项费用。选择低成本且高效的方案能够显著降低项目的总体成本。施工可行性评估则侧重于施工现场的实际情况，如山地环境对施工人员和机械的限制，施工周期的长短以及可能出现的安全风险。在可行性评估中，应结合项目需求，制定出最合适的基础选型方案，并考虑后期维护和技术升级的需求，确保基础选型方案的长期可行性。

3 山地光伏支架基础施工技术

3.1 施工工艺与技术难点

山地光伏支架基础施工在工艺上具有复杂性，主要体现在施工环境的复杂性及施工技术的要求上。山地地形的起伏不平、坡度较大，增加了施工的难度，需要针对不同地质条件采用不同的支架基础设计和施工方法。在施工过程中，基础的稳定性尤为重要，这就要求施工人员根据地质勘探报告进行精准的土方工程处理和支架的预埋操作。土壤的松散程度、含水量及承载力等因素都会影响基础的施工质量，要求施工人员实时监测，调整施工方案。技术难点还体现在光伏支架与地面基础的连接方式上，要求连接可靠，避免因震动、风力等因素导致支架移位或倾斜。在施工时采用了专业的设备如液压打桩机、吊装机等，确保基础安装的精确度，防止因技术不足导致结构不稳定。

3.2 山地施工环境的特殊需求

山地光伏项目的施工环境具有很强的特殊性，地形复杂、气候条件变化多端，且施工时间受限。山地通常存在石质、松土等不稳定因素，施工过程中容易受到地质变化的影响，造成土体沉降或滑坡现象，因此要求对施工环境进行详细勘察，提前评估各类潜在风险^[3]。由于山地施工时通常交通不便，运输设备和物料的投入成为一大难题。在这些环境下，施工车辆的通行能力受到地形的限制，需要采用专用的运输工具或进行特殊的路面改造。山地环境的气候波动较大，雨雪天气可能会导

致施工过程中的滑坡、泥石流等灾害发生。施工过程中需要实时监控天气变化，并采取应急措施，如加固支架基础，确保工程的安全性。

3.3 施工技术的优化与改进

山地光伏支架基础施工的技术优化与改进，主要体现在施工工艺的精准控制和设备的高效使用上。为应对复杂的地形条件，采用了多种创新技术手段，如地形测量技术和3D建模技术，在施工前进行精准的地形分析与规划，确保支架基础位置的合理性和稳定性。在施工过程中，基于现代化施工设备的引进，提升了施工效率和精度，利用自动化打桩机、钻孔机等设备，减少了人力投入，同时提高了施工精度。在支架基础的设计上，通过合理的结构优化，采用更为坚固、耐用的材料，增强基础的抗压能力，保证光伏支架在不同山地环境下都能稳定运行。施工人员也根据经验和实际反馈不断调整施工方案，优化施工步骤，提升了整体工程的进度和质量。

4 山地光伏支架基础应用

4.1 典型山地光伏项目分析

中广核滦平县100MW光伏农业综合示范项目EPC总承包工程是典型山地光伏项目，其建设单位为中广核新能源滦平县有限公司，建设地点位于河北省承德市滦平县大屯镇。该工程总装机容量100.6MWp，光伏场区总面积约3000亩，场区为山区且分为南北两区，地势起伏大，山体平均坡度20-35度，少部分超40°，地表被灌木覆盖且有部分裸露岩石。项目新建110KV升压站及15MW/30MWh磷酸铁锂电池储能系统，光伏区采用分块发电、集中并网模式，结合固定倾角与柔性支架安装，通过4回35kV集电线路汇集至升压站，运营期25年年均发电量14027万kWh，平均年利用小时数1402h。

4.2 实际施工中的技术问题

在实际的山地光伏支架基础施工中，技术问题主要集中在地形适应性与设备的精准操作上^[4]。山地环境中复杂的地形变化常常使得施工难度增加，尤其在打桩与基础支撑的过程中，经常出现施工设备无法精准定位，影响了基础的稳定性。土壤不均匀、岩石分布不规则等因素导致支撑结构的偏移，给后期支架安装带来了隐患。由于一些区域的交通限制，部分重型施工机械无法顺利进入施工现场，这直接影响了施工效率。针对这些问题，项目团队采用了小型化施工设备以及更为灵活的施工工艺，通过分段施工和技术调整，逐步解决了这些难题。

4.3 案例总结与经验教训

在山地光伏支架基础施工过程中，经验教训表明，精确的地质勘察与施工设计是保证工程质量的关键。在某些项目中，忽视了复杂地形的细节分析，导致基础设计不符合实际需求，造成后期支架安装不稳定的情况。通过对这些案例的总结，发现加强施工前期的地形和土壤研究是防范问题发生的有效手

段。施工人员的专业素养与应变能力对工程进度也有很大影响，现场应对突发情况的能力直接关系到施工质量。在后期优化施工技术方面，增加设备的多样性与灵活性，提高施工效率，尤其是提高运输和设备调度的能力，显著减少了施工延误和质量问题。

5 山地光伏支架基础的未来发展方向

5.1 新型基础技术的探索

新型基础技术在山地光伏支架基础的应用中具有广阔前景，尤其是在高坡度和复杂地形的环境下。针对传统基础施工技术的局限性，近年来，采用新型复合材料和智能化技术进行基础设计成为一大趋势。基于轻质高强材料的支架基础，不仅能有效降低整体重量，还能提高抗风能力和稳定性。通过优化基础结构形状，减少地面破坏并增强土壤的承载力，项目能更好适应多变的地质条件。基于3D打印技术的支架基础逐渐进入实验阶段，这项技术不仅可以大大缩短施工周期，还能够根据具体的地形和气候条件，量身定制每一部分支架结构，提升基础的整体适应性和工程质量。

5.2 智能化施工与技术应用

智能化施工技术在山地光伏支架基础建设中逐渐发挥重要作用。通过引入无人机、机器人、自动化机械设备等新兴技术，施工过程中的精准度和效率得到了显著提升。无人机可以进行实时的地形勘察与数据采集，帮助项目团队掌握施工现场的变化情况，并及时调整施工方案^[5]。机器人可以替代人工进

行高风险的施工任务，减少人员的安全隐患，同时提高施工的精确度。在施工过程中，结合物联网技术，实时监控施工进度、设备运行状态和环境变化，确保施工的高效与安全。智能化设备还可以优化资源调配，提升施工现场的管理水平，有效避免人为失误带来的工程风险。

5.3 山地光伏工程的可持续发展

山地光伏工程的可持续发展不仅体现在技术创新上，还涉及到环境保护与资源合理利用。为了最大程度地减少对自然环境的干扰，未来光伏支架基础的设计将更加强调绿色环保，采取低碳、可回收材料，减少施工过程中对土地和植被的破坏。光伏支架的安装方式逐渐朝着无土壤破坏、低影响的方向发展，通过调整支架角度与配置，优化光伏板的能源转化效率。施工过程中的废弃物也将进行有效回收与处理，力求实现资源的循环利用。在可持续性发展理念的推动下，光伏支架基础不仅要满足当下的能源需求，更要为未来的绿色能源发展提供强有力的支持。

6 结语

在山地地形条件下，光伏支架基础的选型与施工是影响项目成功的关键因素。考虑到地形、气候和技术的复杂性，选择合适的基础形式和优化施工工艺至关重要。未来，随着新型材料与智能化技术的发展，山地光伏支架基础施工将更具效率与稳定性，为推动绿色能源在复杂地形中的广泛应用提供有力支撑。

参考文献：

- [1] 黄莺,宋紫妍,朱彦飞,等.复杂山地地形光伏场区域风特性数值模拟[J].太阳能学报,2025,46(10):220-226.
- [2] 傅昌勇.山地柔性支架光伏发电项目施工中的技术难题与解决方案[J].低碳世界,2025,15(08):121-123.
- [3] 王尚钦,洪彰华,孙昊.云南山地光伏电站建设关键技术问题及解决方案[J].四川水力发电,2025,44(04):76-82.
- [4] 侯伟.山地光伏组件固定支架的选型及应用[J].发电设备,2024,38(02):94-98.
- [5] 杨欣,江赛雄.山地光伏电站项目光伏支架结构设计研究[J].武汉大学学报(工学版),2023,56(S1):157-162.