

复杂地质条件下光伏电站支架基础加固技术研究

刘秀坤

浙江正泰智维能源服务有限公司 浙江杭州 310000

摘要: 在我国大力发展清洁能源的背景下,光伏电站在全国范围内迅速建设。然而,由于我国地质环境复杂多样,光伏电站常常选址于地质条件差异显著的地区,如山地、丘陵、软弱土层及风积沙区等,这些复杂地质条件对支架基础的稳定性提出了更高要求。为确保光伏电站的结构安全与运行效率,研究复杂地质条件下的支架基础加固技术具有重要的现实意义。本文通过对复杂地质条件的类型与特征进行系统分析,结合典型工程案例,总结常见地质问题对支架基础造成的不良影响,并在此基础上探讨针对性的加固技术措施,包括桩基加固、地基处理、预应力支护等方法。研究表明,因地制宜选择科学合理的加固方案,能够有效提升光伏电站支架基础的稳定性和使用寿命,为类似工程提供技术支持与理论依据。

关键词: 复杂地质;光伏电站;支架基础;加固技术

序言

随着全球能源结构向绿色低碳方向转型,光伏发电作为可再生能源的重要组成部分,在我国能源体系中占据着越来越重要的地位。然而,光伏电站建设通常面临着地形复杂、土质多变、地质构造活跃等问题,尤其是在西部、山区和荒漠等地区,复杂地质条件对支架基础的稳定性、安全性及施工难度提出了严峻挑战。传统基础设计方法在这些区域往往难以适应,容易导致支架倾斜、沉降不均甚至结构失稳,严重影响电站长期运行效果。因此,深入研究复杂地质条件下的基础响应机制与加固技术,不仅能够优化设计与施工方案,还具有提升工程经济性和安全性的综合价值。本文通过地质问题识别、工程表现分析与加固技术对比,提出具有适应性的支架基础加固策略,对于光伏电站在复杂地质区的可持续发展具有一定的参考价值。

一、复杂地质条件分析

复杂地质条件对光伏电站支架基础的稳定性和安全性产生显著影响,包括软土层、膨胀土、风化岩及断层破碎带等,这些地质体具有承载力低、变形大、易沉降等特点,直接影响支架基础的承载性能。同时,地下水

位高且变化频繁时,容易引发基坑涌水或土体液化,进而导致基础失稳或沉降不均匀,地质条件的复杂性增加了施工难度,施工过程中容易出现塌方、陷落等安全隐患,进而会影响工程进度和质量。

(一) 复杂地质条件的定义与分类

复杂地质条件是指在工程建设中,对结构稳定性、施工安全性和后期运营产生不利影响的各种地质因素的统称,这些条件通常表现为地质结构破碎、地形起伏大、土体性质差异显著、地下水活动强烈等,具有不确定性强、变化性大和处理难度高等特点^[1]。从分类角度来看,复杂地质条件可大致分为以下几类:第一类为不良地质体,如软弱土层、湿陷性黄土、膨胀土、松散砂土等,这些地基承载力低、易发生沉降与变形^[2]。第二类为复杂地质构造,如断层、褶皱、滑坡体等,存在剪切破坏与地表变形风险^[3]。第三类为特殊地质水文条件,如高地下水位区、强风化岩层区及地震活动频繁区域等,这些条件往往以多种形式叠加存在,进而增加了基础设计与施工的难度^[4]。在光伏电站工程中,尤其是在地质环境多变的地区,必须充分识别和评估这些复杂地质条件,才能制定有效的加固策略,从而确保了基础稳定性与工程安全性^[5]。

(二) 典型地质特征及对基础稳定性的影响

在光伏电站选址过程中,常见的典型地质特征包括软弱土层分布广泛、地表起伏不平、风化岩层厚度不均、地下水活动频繁等,这些因素会直接影响支架基础的承

作者简介: 刘秀坤(1987.2-),男,汉族,山东德州人,学历:本科,单位:浙江正泰智维能源服务有限公司,研究方向为建筑结构。

载能力与变形性能。软弱土层，如粉质粘土、淤泥质土，容易在荷载作用下产生较大沉降，导致支架不均匀沉降甚至倾斜；强风化岩层在雨水渗透或震动扰动下易被破坏，降低支撑能力；而断裂带或滑坡体区域，地基可能存在潜在的整体滑移或剪切破坏风险。此外，高地下水位会削弱土体的有效应力，引发地基承载力下降及渗透破坏；若处于地震带内，还需考虑地震诱发液化、地面裂缝等次生灾害，这些不利地质因素不仅对施工带来困难，还可能在电站运行期内造成结构疲劳、基础变形或功能退化。

（三）工程实例中常见的地质问题及其工程表现

在众多光伏电站的建设与运行实践中，常常遇到因地质条件复杂引发的一系列工程问题。例如，在某西北荒漠地区的光伏项目中，风积沙厚度超过十米，地基极其松散，导致支架基础出现大范围沉降和倾斜，严重影响光伏板的朝向和发电效率；又如某南方丘陵地带，由于软弱夹层与间歇性滑坡体交错分布，部分支架基础在汛期后出现滑移和开裂现象，必须进行二次加固处理；而在地震带附近的一个高原项目中，支架在地震后虽未倒塌，但由于基础沉陷不均，整列组件需重排调整，造成经济损失和运维难度增加。这些工程实例表明，地质问题常以不同形式干扰支架基础的性能，其工程表现包括基础开裂、支架偏位、组件损坏、排水不畅等，不仅增加了施工与维护成本，也对电站的稳定运营造成威胁。

二、光伏支架基础常用结构形式与适用性分析

光伏支架基础作为光伏电站的关键承载结构，其稳定性和安全性直接影响整个电站的运行效果。在复杂地质条件下，地质环境多变，土壤承载力不均匀，传统基础结构难以满足承载及变形要求，因此明确各类基础结构的特点及适用范围，是选择合理加固方案的基础。

（一）光伏支架荷载特征分析

光伏支架作为支撑光伏组件的重要结构，其荷载特征直接影响基础设计与稳定性，光伏支架所受荷载主要包括自重荷载、风荷载、雪荷载、地震荷载等多种形式。其中，自重荷载较小，主要由支架本身及组件构成，但在大规模集中布设的电站中，其总重量亦不容忽视。风荷载是影响光伏支架设计的关键因素，尤其在高风速区域，风压不仅对支架产生推力，还可能引起振动和倾覆风险，因此需在设计中给予重点考虑。雪荷载则在寒冷地区尤为重要，厚重积雪会对组件和支架形成附加垂直压力，对支撑稳定性提出更高要求。地震荷载虽为偶发

性荷载，但在地震活动频繁区域，其影响亦不可忽视，须通过抗震设计提高结构整体抗倒塌能力。此外，由于光伏电站通常分布在空旷、地形起伏较大或地质复杂的区域，局部不均匀沉降也会引起支架偏移或结构受力异常，进一步加剧基础承载要求。在复杂地质条件下，必须综合考虑荷载类型、方向和作用机制，通过荷载组合分析和数值模拟手段，确保基础设计具备足够的稳定性与可靠性，从而保障整个光伏电站的长期安全运行。

（二）基础形式简述

在光伏电站工程中，支架基础形式多样，常见的包括预制混凝土基础、现浇混凝土基础、螺旋桩基础、打桩式钢管桩基础以及膨胀螺栓基础等。预制混凝土基础施工便捷、成本较低，适用于地质条件较好、承载力适中的场地；现浇混凝土基础则更适用于场地起伏大、需满足更高结构强度和耐久性的区域，但施工周期长、对养护条件要求高。螺旋桩基础施工灵活、适应性强，特别适用于浅层土体软弱、常规基础难以施工的地区，如部分山区、滩涂地带等。钢管桩基础通过打入方式深入承载层，适用于地下土层分布复杂或存在承载力不均的场地，可有效控制沉降与倾斜。此外，对于岩石覆盖层或硬质地基区域，还可采用膨胀螺栓基础将结构锚固在基岩上。不同基础形式各有其特点和局限性，选择时需综合考虑地质条件、荷载特征、施工条件与经济性等因素，以实现支架结构的稳定性与持久性。

（三）不同基础形式的优缺点及适用地质条件对比分析

不同基础形式在性能、施工难易度和适用性方面存在显著差异。在承载力高、地质均匀的区域，预制或现浇混凝土基础具备良好的稳定性和耐久性，但对施工场地的平整度、运输条件和混凝土质量控制要求较高，且在软弱地基上易发生沉降。螺旋桩基础则具有快速安装、扰动小、适应性强的优势，适用于软土、湿地等难施工区域，但在岩石或密实砂层中安装困难，易受扭矩限制。打入式钢管桩基础可穿透上部软弱土层，深入稳定承载层，抗拔性能优良，适用于风荷载较大的高风速区或地震带，但施工噪音大，设备要求高，成本相对较高。膨胀螺栓基础主要适用于基岩裸露或覆盖层极薄的地带，锚固性能强、变形小，但需机械钻孔，施工复杂度高、成本高昂。在复杂地质条件下，往往需结合地勘数据进行基础形式优化选择，甚至采取混合基础形式或辅以加固技术，以提高整体支架系统的稳定性和耐久性。

三、支架基础加固技术研究

(一) 常用加固方法介绍

在复杂地质条件下,光伏电站支架基础常面临承载力不足、沉降不均或地基滑移等问题,因此必须采用有效的加固技术以确保结构稳定与长期运行安全。常用的加固方法主要包括水泥石土搅拌桩法、旋喷注浆法、预应力锚杆法、复合地基法以及微型桩法等。其中,水泥石土搅拌桩法是通过将水泥浆与原土体搅拌混合,形成加固体,适用于饱和软土等低强度地层。旋喷注浆法则是将高压浆液注入地基,通过土体改性提升其强度,适合地下水位较高或易液化地层。预应力锚杆法利用锚杆向岩土施加预应力,改善其整体稳定性,常用于边坡或基坑支护。复合地基法通过桩土协同作用,提升地基整体承载力,广泛应用于软弱地基区域。微型桩则适用于空间受限、施工环境复杂的区域,其具有加固精度高,以及施工灵活的特点。以上加固方法各有特点,需根据不同地质条件、工程特点及经济性要求综合选取最优方案。

(二) 技术适用性对比分析

不同加固技术在复杂地质条件下的适用性存在显著差异,应结合地层性质、水文条件、施工环境及成本等因素进行综合评价。水泥石土搅拌桩施工工艺成熟,适用于软土及饱和地层,但在碎石层或含卵石地层中搅拌效果差,适用性有限;旋喷注浆法适用于地下水丰富或松散砂土地层,其加固范围灵活,但施工精度要求高,且成本较高;预应力锚杆法主要用于稳定边坡或防止基底滑移,适用于岩质边坡或浅层岩体,对土质地基作用有限;复合地基适用范围广,特别是在软弱地基中能有效提高承载力,但对桩体布置及施工质量要求高;微型桩具有适应性强、扰动小等优点,适用于局部加固或受限区域,但施工速度慢、成本高。因此,在光伏电站项目中,需结合实际地质勘察结果,对比各技术在承载性能、施工可行性、经济成本及长期稳定性等方面的表现,合理选择加固技术,确保工程质量与经济效益的平衡。

(三) 施工关键技术及注意事项

支架基础加固施工过程需充分考虑地质复杂性、施工环境限制及后期运行稳定性,采取科学的施工技术与管控措施。第一,在施工前必须开展详尽的地质勘

察,明确土层分布、地下水位及潜在风险,为加固设计提供依据。第二,施工过程需严格控制加固材料质量与配比,如水泥搅拌桩中水灰比、注浆材料粘度等参数对加固效果影响显著。旋喷注浆施工应控制注浆压力与速率,防止浆液失控引发地层扰动。第三,需强化施工设备管理与操作规范,确保搅拌、钻进、注浆等过程连续稳定,避免桩体偏位或断桩等质量问题。第四,应设置现场监测系统,对沉降、位移、承载力等关键指标进行动态监控,及时调整施工参数。第五,还应重视环境保护与安全管理,防止浆液泄漏、地表塌陷或人员伤害等问题发生。

结语

综上所述,在光伏电站持续向西部高原、荒漠丘陵等复杂地质区域推进的背景下,支架基础的稳定性成为保障工程质量与发电效能的关键环节。本文通过分析复杂地质条件的类型与特征,识别典型地质问题的工程表现,系统梳理了多种基础形式的适用性及常见加固技术的对比特征,进而提出了因地制宜、组合优化的加固策略。通过科学选型与精细施工相结合,不仅能提升支架基础的承载能力和抗变形能力,还能显著延长其服役寿命,进而为光伏电站在复杂地质环境下的可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 廖敬文.山地光伏电站项目施工管理对策研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(20):4-6.
- [2] 吴建鹏,尹杰.山地光伏电站大尺寸光伏组件应用难点及控制措施[J].新能源科技,2022(05):21-23.
- [3] 明小燕,奚泉,周毅.锚杆灌注桩基础在山地光伏电站光伏支架基础中的应用研究[J].太阳能,2021(01):73-77.
- [4] 李飞,孟中强.复杂地形下光伏电站间距、倾角和方位角的研究[J].电子测试,2020(01):57-58.
- [5] 李珍,李玉婕.复合灌浆技术在长江上游巨型电站群基础处理中的研究与应用[J].长江技术经济,2023,7(5):71-84.