

高原山地光伏组件抗风揭安装施工技术研究

赵林涛

华电金藏物资成都有限公司

摘 要：高原山地拥有丰富太阳能资源，但强风频发、海拔高温差大、地质复杂等环境特点，对光伏组件安装稳定性提出高要求，易因抗风揭性能不足引发组件损坏与安全事故。本文分析高原山地环境对光伏安装的影响，从风荷载计算、支架结构优化、基础施工、组件安装及后期验收维护等方面，研究抗风揭安装关键技术，以提升光伏系统运行稳定性，为高原山地光伏项目建设提供技术参考。

关键词：高原山地；光伏组件；抗风揭安装；施工技术

引言

高原山地地区太阳辐射强、年日照时间长，其拥有丰富的太阳能资源，能够满足光伏开发需求。然而高原山地地区风速大、强风天气频发、环境恶劣且持续时间较长，这对光伏组件安装稳定性有更高要求^[1]。光伏组件如果抗风揭性能较差，在受到强风作用下容易出现光伏组件的脱落、位移、损坏等导致光伏电站无法正常运行，也会造成一系列安全事故。因此，深入分析高原山地光伏组件抗风揭安装施工技术，能够提升光伏系统运行水平。

1 高原山地环境特点

1.1 强风频发且风速大

高原山地主要特点是地势起伏变化大、地形开阔、空气阻力小，这就导致强风天气发生率较高。很多高原山地区域的风速达到 3~6m/s，而有些山口、峡谷等地带风速甚至达到 20m/s 以上，远超平原地区。强风天气主要集中在冬春两季且持续时间较长，单次持续时间达到 12~24h。同时，高原山地地形条件比较复杂造成湍流现象存在，这就引起风向多变导致局部乱流，进而导致风环境恶劣更加严重。由于高原山地地区风速高、频次高且风向不稳定，对光伏组件以及支撑结构的抗风性能要求更高。

1.2 海拔高、气压低、温差大

高原山地区域海拔普遍在 1500m 以上，有些区域海拔达到 4km，而海拔升高情况下气压逐步降低，空气密度只为平原地区的 60%~80%。高原山地的气压低导致氧气含量降低，人员作业时容易引发高原反应。同时，高原山地地带昼夜温差大、季节温差大，昼夜温差达 15℃~25℃，冬季温度普遍在 -30℃ 以下，夏季正午高温达到 30℃ 以上。由于高原山地地带太阳辐射大、低气压持续作用，导致地表温度变化剧烈，白

天光伏组件表面温度升高，夜晚光伏组件温度急剧下降而对组件稳定性造成较大影响。

1.3 地质条件复杂

高原山地以丘陵、山地、峡谷等地形条件为主，很多地区坡度为 15°~45°，地形起伏变化较大，甚至有些地区存在陡坡、悬崖等。由于高原山地的地质条件多样，存在裸露的石灰岩、花岗岩等岩层，也有厚度 0.5m 以下的浅薄土层，还存在湿陷性黄土、软土等不良地基条件。此外，有些高原山地区域存在季节性冻土或地下水位较高，由此产生的冻融反应会造成地基变形。高原山地地质条件恶劣导致场地平整性不足，有些光伏支架基础施工要求高、选型难度高，需要采取措施以解决稳定性不足、承载力差等问题^[2]。

2 高原山地对光伏组件安装的影响

2.1 风荷载作用显著

高原山地强风所产生风荷载较大，这对光伏系统影响极为严重。一方面，高风速使光伏组件面临巨大水平推力产生侧向弯曲变形，一旦光伏组件刚度不足容易造成倾斜；另一方面，高原山地区域气流经过光伏组件时形成负压，进而产生向上拔力导致光伏组件和支架连接松动引起脱落。此外，高原山地风向多变使风荷载作用在光伏组件上方向不稳定，导致光伏组件受力复杂性高容易出现组件的断裂或损坏。

2.2 施工难度增加

高原山地地区氧气含量低、气压低，长期作业下造成工作人员出现乏力、头晕等症状导致工作效率降低，也会造成支架安装等高空作业风险升高。高原山地地形条件复杂，使起重机、挖掘机等设备无法快速移动，需要建设临时变道导致工期延长、成本升高。此外，高原山地的温差较大，冬季低温导致混凝土凝结缓慢需采取保温措施；夏季高温则造成密封胶、涂

作者简介：赵林涛（1989—），男，本科，中级工程师，研究方向为热能与动力工程（水动方向）。

料等材料性能下降。高原山地地区地质条件极为恶劣,如软土地基需要进行加固与换填处理、岩石地区钻孔作业难度升高。

2.3 材料性能受影响

高原山地温差较大造成光伏组件存在热胀冷缩反应,持续作用下使光伏组件边框和支架连接位置存在缝隙导致密封性下降,也会引发光伏组件疲劳开裂、缩短使用寿命。而高原山地紫外线辐射强度高,导致光伏组件封装膜老化、透光率下降而引发发电效率降低,也会造成光伏组件表面防腐涂层破坏,铝合金氧化、钢材锈蚀造成光伏组件结构损坏。此外,高原山地季节性冻土存在冻融反应,使光伏组件基础材料出现冻胀裂缝造成基础承载力不足,进而影响光伏组件稳定。

3 光伏组件抗风揭安装关键技术原理

3.1 风荷载计算与分析

高原山地光伏组件抗风揭设计前需要掌握当地气象资料,结合《建筑结构荷载规范》的标准确定风荷载。风荷载设计中需要从基本风压、地形修正系数、风振等参数进行,一般基本风压按照当地50年一遇最大风速确定;地形修正系数考虑到峡谷、山地、陡坡等高原山地地形特征进行基本风压调整;风振系数需要分析风荷载动力效应,考虑到光伏组件以及支架柔性结构在强风作用下形成的振动,通过风振系数放大风荷载以保证光伏组件结构的安全性^[3]。

3.2 光伏支架结构优化设计

高原山地光伏组件作为主要支撑结构部件,其抗风揭性能对光伏系统运行可靠性、稳定性存在直接影响。基于此,高原山地光伏支架结构优化设计从下述几点出发:

3.2.1 支架材质选择

高原山地光伏组件在支架材料选择中,需要达到耐腐蚀、强度高、耐久性要求以满足恶劣高原天气要求,一般选择Q235B、Q355B等优质钢材或铝合金钢材制作。钢材采用防腐涂料、喷涂热镀锌等方式增强防腐性能,确保材料防腐效果合格;铝合金型材的特点是耐腐蚀、质量轻,一般在质量要求较高的场景下具备较高使用价值。

3.2.2 支架结构形式

根据地形条件和安装角度要求选择合适的支架结构形式,如地面固定式支架、跟踪式支架等。高原山地光伏组件设计需要考虑到地形条件、安装角度等,确定适宜支架结构形式,采用跟踪式支架、地面固定式支架等方式满足光伏系统运行需求。跟踪式支架能

够和太阳位置调整光伏组件角度以提高发电效率,然而其结构设计复杂且抗风揭设计难度高;地面固定式支架成本低、结构简单,在地形平坦区域内具备较高使用价值。高原山地由于风强度高,所以在光伏组件设计中立柱、横梁等关键部件需要提高刚度性能,进而能够提高光伏系统运行水平。

3.2.3 节点连接设计

高原山地光伏组件节点连接需要保证强度、可靠性合格,一般选择焊接、螺栓等连接方式。焊接连接需要选择适宜焊接工艺参数确定适宜焊接长度、焊接高度,并进行探伤检测以提高焊接质量。螺栓连接需要选择高强度螺栓,采用双螺母防松方式避免出现松动现象^[4]。

3.3 基础施工

3.3.1 测量放线

高原山地光伏组件设计需要进行水准仪、全站仪等设备进行测量放线,进而明确光伏组件的标高、基础位置、尺寸等,并做好现场标记。测量放线时保证安装精度达到要求,防止对后续光伏系统运行造成不利影响。

3.3.2 基础开挖

高原山地光伏组件基础开挖采用挖掘机联合人工方式进行,并且按照设计方案进行开挖深度、宽度设计。基础开挖需要明确开挖速度、开挖施工质量控制措施,防止造成地基扰动造成不利影响。针对软土地基采用换填砂石、灰土挤压等方式提高基础承载力,而灌注桩、预制桩等桩基础形式需要选择适宜施工方法以及质量控制措施,进而提高光伏组件基础施工质量。

3.3.3 钢筋绑扎与预埋件安装

高原山地光伏组件基础开挖结束,且检验达到工程要求即可按照工艺方案进行钢筋绑扎与预埋件安装。钢筋绑扎执行设计方案确定钢筋规格、数量、间距、绑扎质量等,而预埋件则确定预埋钢板与预埋螺栓的安装位置、标高以及垂直度,并使用定位支架固定以防混凝土浇筑施工中引发基础位移。预埋件安装结束后需要进行复核检测,保证各项指标合格再开展现场施工^[5]。

3.3.4 混凝土浇筑与养护

钢筋绑扎、预埋件安装完成且验收合格后开展混凝土浇筑作业,选用商品混凝土或现场搅拌方式保证混凝土质量达到要求。混凝土生产制作阶段需要落实配合比、塌落度检测,从而保证混凝土基础结构性能合格。混凝土施工采用分层浇筑、振捣密实等方式,防止在混凝土施工结束后存在蜂窝、麻面、露筋等缺

陷。混凝土浇筑结束后覆盖养护时间 14 天，表面湿润度合格以防水分流失严重造成混凝土结构发生裂缝。针对高原山地的干燥、低温等条件，采用覆盖保温被、洒水养护、涂刷养护剂等方式以增强混凝土结构养护效果。

3.4 支架安装

高原山地光伏组件安装施工需要落实清点作业，对光伏组件进行检验和清点以保证组件外观质量、尺寸偏差、防护层厚度合格。针对光伏组件存在损坏、变形、防腐层脱落等部件，需要及时修复或更换，再次检验合格后继续施工。

3.4.1 立柱安装

光伏组件立柱安装需要保证支架立柱和基础预埋件稳定连接，并且正确拧紧螺栓以保证光伏组件连接的稳定性达到要求。光伏组件立柱安装使用定位与水准仪检测标高与垂直度，确保立柱垂直度偏差 1/1000 以内、标高符合设计标准。而在光伏组件立柱安装结束后检测螺栓拧紧力矩，确保螺栓拧紧力矩符合设计标准。

3.4.2 横梁与斜撑安装

光伏组件立柱安装完成且验收达到工程要求，即可进行横梁与斜撑安装作业。横梁安装需要保证横梁和立柱采用螺栓连接牢固，并按设计方案调整横梁水平度确保横梁间距符合设计标准。立柱与横梁之间安装斜撑以增强支架稳定性，确保斜撑和立柱、横梁之间连接可靠、螺栓拧紧力矩合格。光伏组件支架安装环节需要保证支架垂直度、平整度达到技术标准，一旦偏差需要及时调整。

3.5 光伏组件安装

3.5.1 组件定位与固定

光伏组件安装在支架横梁上时，确定具体安装位置并做好标记以增强安装的精度。光伏组件标注结束后，将其放入支架横梁上并调整光伏组件安装位置，使组件边缘和标记线对齐，确保组件之间间距均匀。光伏组件定位结束后使用压块或螺栓直接将组件固定在支架横梁上，且光伏组件固定力度均匀，防止力度过大造成光伏组件变形或损坏。如果光伏组件采用螺栓连接固定方式，需要保证螺栓拧紧力矩达到要求，并采用双螺母方式防松；如果光伏组件采用压块固定方式，需要保证压块压紧边框，防止强风作用下导致组件位移。

3.5.2 组件接线

光伏组件固定结束后需要进行组件之间接线连接，按照设计方案中电气接线图，使相邻组件接线盒通过连接线连接形成串联。光伏组件接线连接需要保证正负极接线正确，防止接反而影响正常运行。光伏

组件连接线接头位置使用专用连接器连接，保证连接线连接达到牢固性、可靠性要求以防发生接触不良。光伏组件接线完成后进行组件串联的开路电压检测，保证接线正确无误。

3.6 施工后期验收与维护

3.6.1 施工质量验收

光伏组件安装结束后按照设计标准进行质量检查验收，重点从安装质量、基础施工质量、光伏组件安装质量以及抗风揭性能检测。抗风揭性能检测采用数值模拟或风载试验等方式进行光伏组件检验，在设计风荷载条件下检测光伏组件稳定性，经过验收结束没有任何问题后再投入使用，针对存在的质量问题需要及时组织施工人员进行整改。

3.6.2 后期维护

光伏电站建成投入运行后，需要重点进行光伏组件以及抗风揭安装结构维护保养，确保其长期稳定运行。光伏组件维护保养内容如下：定期检查光伏组件表面是否存在污垢、灰尘、积雪等进行清理；光伏组件运行时没有腐蚀、变形、螺栓松动等情况，及时矫正光伏组件变形，光伏组件松动螺栓及时拧紧；光伏组件基础开裂、沉降等需要进行加固处理；定期检测光伏组件的电性能参数，及时将损坏、性能下降等部件更换。此外，对于暴雨、强风、暴雪等恶劣天气过后需要检测光伏组件运行状态，及时排查安全隐患。

4 结语

高原山地光伏组件抗风揭安装技术能够提高光伏电站运行稳定性、可靠性，通过该技术解决以往光伏电站建设施工存在问题以促进光伏领域发展。未来先进光伏材料、智能监测技术应用到实践中，能够提高高原山地光伏组件抗风揭安装施工水平，为现代高原山地光伏产业建设和发展做出贡献。

参考文献：

- [1] 戈鹏. 光伏组件加工工艺与质量控制 [J]. 机械管理开发, 2022, 37(1): 271-273.
- [2] 唐鑫. 光伏组件安装施工质量控制研究 [J]. 光源与照明, 2023(6): 148-150.
- [3] 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(8): 93-96.
- [4] 栗世伟, 卜兆阳, 孟召虎, 等. 荒漠化地区光伏电站项目设计与施工关键技术研究 [J]. 施工技术 (中英文), 2024, 53(22): 141-146.
- [5] 于若甫, 张焱, 王二磊. 恶劣基建环境中 BIPV 光伏组件安装工艺的研究 [J]. 设备监理, 2024(2): 55-57+65.