

山地光伏发电场光伏组件安装技术分析

蔺敬军¹ 刘海成¹ 何瑞睿² 王兴浩¹ 王鹏太¹ 柳智文¹ 鲁华彪¹

1. 中国水利水电第一工程局有限公司 吉林长春 130000

2. 中国华能集团有限公司 北京 100031

【摘要】随着可再生能源战略地位的提升,山地光伏发电场建设日益受到关注。本文深入分析了山地光伏发电场光伏组件安装技术,详细阐述了安装流程、支架选型与安装、组件安装以及方阵布线等关键环节。通过系统性地探讨各环节的技术要点和创新方法,为提高山地光伏发电场的建设质量和运行效率提供了实践指导。文章还结合吉林某山地光伏项目案例,展示了创新技术的应用成效,包括预制安装技术提升效率30%,智能运维系统实现实时监测等。研究表明,精细化的安装技术和智能化的运维管理对于克服山地环境挑战、提升光伏电站性能具有重要意义。

【关键词】山地光伏; 组件安装; 支架选型; 方阵布线; 智能运维

引言:

在全球能源转型的大背景下,光伏发电以其清洁、高效的特点成为可再生能源的重要组成部分。随着平原地区可利用土地资源日益稀缺,山地光伏发电场建设逐渐成为行业发展的新趋势。然而,山地环境的复杂性给光伏组件安装带来了诸多挑战,如何在确保安全性和可靠性的前提下,高效完成组件安装成为急需解决的技术难题。本文旨在系统探讨山地光伏发电场光伏组件安装技术,为相关工程实践提供参考和指导。

1 山地光伏发电场发电光伏组件安装整体流程

首先,进行前期准备工作,包括详细的地形勘察、选择合适的安装地点以及准备必要的材料和工具。地形勘察主要关注山地坡度、土壤类型和地质结构等因素,为后续工作奠定基础。其次,进行基础设计与施工。根据勘察结果设计支架基础,确保其稳定性和承重能力。基础施工包括基坑挖掘和混凝土浇筑等工作,需要特别注意基础成型后的垂直度控制。接下来是支架安装环节。根据地形条件和风力因素选择适当的支架类型和材料,按照设计图纸进行组装和安装,确保支架的稳固性以及水平度和垂直度符合要求。在支架安装完成后,进入光伏组件安装阶段。首先对组件进行严格检查,确保无破损或变形。然后将组件放置在支架上,使用连接件和螺栓固定,注意安装角度和间距要符合设计要求。最后是系统调试与运行。完成光伏组件之间的电缆连接,确保连接牢固可靠。对整个光伏系统进行全面调试,检查各组件运行状态,并调整安装角度以

获得最佳发电效率。

2 光伏组件具体安装技术详解

2.1 支架选型与安装技术

2.1.1 支架选型依据

山地光伏发电场支架选型需要综合考虑多方面因素。地形条件是首要考虑的要素,山地地形复杂多变,坡度变化大,土壤稳定性差异显著。根据国家能源局发布的《光伏发电工程设计规范》(GB 50797-2012),山地光伏电站的支架设计应充分考虑地形特点,在坡度大于15°的地区,宜采用单立柱或双立柱结构支架。土壤稳定性直接影响支架基础的设计,对于松软土质,可能需要采用桩基础或混凝土基础来增强稳定性。风力因素同样至关重要,尤其是在山地地区,风速和风向变化更为剧烈。根据中国气象局风力资源评估中心的数据,我国山地地区平均风速可达5-7m/s,个别地区甚至超过8m/s。因此,支架必须具备足够的抗风能力。通常,在风速超过6m/s的地区,应选用抗风性能更好的加强型支架,如三角支架或A型支架,这些支架具有更高的结构稳定性和抗风能力^[1]。此外,还需考虑支架材料的耐腐蚀性、热膨胀系数等特性,以适应山地环境的温差变化和潮湿条件。

2.1.2 支架安装技术

固定支架底座是第一步,需要确保底座与混凝土基础稳固连接。根据《光伏电站支架安装技术规程》(GB/T 51595-2021),底座与基础之间的连接强度不应小于设计荷载的1.5倍。使用水平仪和经纬仪调整底座水平度和垂直

度,误差应控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。后立柱与斜撑的组装是支架结构的核心,需严格按照设计要求进行。螺栓紧固力矩的控制尤为重要,通常采用扭力扳手进行精确控制,力矩值应符合设计规定,一般在 $80\sim 120\text{N}\cdot\text{m}$ 之间。横梁安装是支架安装的最后一步,横梁间距直接影响光伏组件的排布和发电效率。根据国家能源局统计,合理的横梁间距可以提高光伏组件发电效率3~5%。安装时需要使用激光测距仪确保横梁间距精确,误差应控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。同时,要注意横梁的水平度和平行度,以确保后续光伏组件安装的一致性。在山地环境中,还需特别注意支架的抗腐蚀处理,通常采用热浸镀锌或阳极氧化等工艺,延长支架使用寿命,降低后期维护成本。

2.2 光伏组件安装

2.2.1 组件检查与预处理

组件检查是安装前的关键步骤,需要对每块组件进行严格的外观检查。根据IEC 61215标准,组件外观不应存在任何可见的裂纹、破损或划痕。特别注意电池片边缘和汇流条接头处,这些区域容易出现微裂纹。使用EL测试仪进行电致发光检测,可以发现肉眼难以察觉的隐裂,提高检测准确性。性能测试是确保组件质量的重要环节,使用I-V曲线测试仪测量组件的开路电压、短路电流等关键参数。根据国家光伏产品质量监督检验中心的数据,合格光伏组件的实际功率应不低于标称功率的97%。清洁与保护是预处理的最后步骤,使用无尘布蘸取异丙醇溶液清洁组件表面,去除灰尘和指纹。清洁后立即覆盖保护膜,防止运输和安装过程中的划伤。

2.2.2 组件安装与固定

安装顺序的确定需要考虑山地地形特点和阳光照射角度^[2]。通常采用“由下而上、由左至右”的安装顺序,这样可以减少安装过程中对已安装组件的干扰。根据美国国家可再生能源实验室的研究,合理的安装顺序可以提高工作效率15~20%。安装角度调整是提高发电效率的关键。使用倾角仪精确调整组件倾角,山地光伏电站的最佳倾角通常比平地电站大3~5度,以充分利用山地地形优势。紧固与连接环节要特别注意力矩控制,过大的力矩会导致组件玻璃破裂,过小则可能造成后期松动。根据《光伏组件安装技术规程》(JGJ/T 452-2018),组件固定螺栓的紧固力矩应控制在 $8\sim 12\text{N}\cdot\text{m}$ 之间。使用扭力扳手进行精确控制,确保每个连接点力矩一致。在山地环境中,还需考虑组件的抗

风设计,通常在组件四角增加加固件,提高整体结构的稳定性。

2.3 方阵布线

2.3.1 电缆选择与敷设

电缆选型需综合考虑电压等级、电流大小和敷设环境。根据《光伏发电站设计规范》(GB 50797-2012),光伏方阵直流侧电缆应选用双层绝缘、抗紫外线、阻燃型光伏专用电缆。导体截面积的选择应基于电流密度和压降计算,通常控制在 $1.5\sim 6\text{mm}^2$ 之间。中国电力联合会数据显显示,合理的电缆选型可降低系统损耗0.5~1%。电缆敷设是一项技术性较强的工作,需严格遵循电气工程规范。在山地光伏电站中,电缆路径规划尤为重要,应避免急转弯和交叉敷设,减少电缆损伤和电磁干扰。采用专用电缆桥架或穿管保护是常用的敷设方式,可有效防止电缆受到机械损伤和紫外线辐射。根据国家电网公司的统计,合理的电缆敷设可以延长电缆使用寿命20~30%,显著降低后期维护成本^[3]。在山地环境中,还需特别注意防水和防雷设计,通常采用带有排水孔的封闭式桥架,并在关键节点设置防雷器,提高系统的抗干扰能力和安全性。

2.3.2 接线与测试

接线操作需严格按照设计图纸和接线图进行,确保正负极不反接,串并联关系正确。使用专业的压线钳进行端子压接,压接后应进行拉力测试,确保接头牢固可靠。根据国家能源局发布的《光伏发电工程验收规范》(NB/T 32004-2013),接头拉力应不小于导线拉力的60%。特别注意接头的清洁和防水处理,在山地环境中,湿气和灰尘容易导致接触不良或短路。采用热缩管或冷缩管对接头进行封装,提高绝缘性能和防水效果。系统测试是确保光伏方阵正常运行的关键步骤。首先进行绝缘电阻测试,使用兆欧表测量各回路对地绝缘电阻,应不低于 $0.5\text{M}\Omega$ 。电压电流测试使用数字万用表或专用光伏测试仪,测量各串的开路电压和短路电流,数值应在设计值的 $\pm 5\%$ 范围内。根据中国电科院的研究数据,完善的系统测试可以提前发现90%以上的潜在故障,大幅提高系统的可靠性和发电效率。在山地光伏电站中,还应特别注意雷电防护测试,确保防雷接地电阻符合设计要求,通常应小于 4Ω ^[4]。

2.4 辅助设施安装

2.4.1 支架加固与防护

增设支撑结构是提高支架稳定性的有效方法,特别是在

坡度较大或风力较强的区域。根据中国工程建设标准化协会发布的《光伏支架设计标准》(T/CECS 564-2018),当风速超过25m/s或坡度大于20°时,应增设斜撑或横向连接件。这些额外的支撑结构可以显著提高支架的抗倾覆能力和整体刚度。研究表明,合理的加固措施可以使支架的抗风能力提高30-50%。防腐与防锈处理是延长支架使用寿命的关键。山地环境湿度大、温差大,对材料的腐蚀性强。通常采用热浸镀锌工艺进行表面处理,镀层厚度应不小于60 μm。对于沿海或高盐雾地区,可采用双层防腐处理,即在热镀锌基础上再涂覆环氧树脂涂层。国家金属腐蚀控制中心的数据显示,合理的防腐处理可将支架使用寿命延长2-3倍,大幅降低后期维护成本。此外,还需注意支架与地面的接触点防护,通常采用橡胶垫或防腐涂料进行隔离,防止电化学腐蚀。

2.4.2 监控与运维系统安装

监控与运维系统是现代光伏电站的“神经中枢”,对于提高电站运行效率和降低维护成本至关重要。监控系统部署首先要选择合适的监测点,通常包括关键节点的电压、电流、功率等参数^[5]。根据国家能源局发布的《光伏电站运行规范》(NB/T 32011-2013),监测点密度应不低于1个/MW。环境监测传感器的安装同样重要,包括辐照度、温度、风速等参数。这些数据对于评估电站性能和预测发电量至关重要。组件状态监测器可实时监控组件温度和输出特性,有助于及时发现热斑、隐裂等问题。研究表明,完善的监控系统可以提高电站整体发电效率3-5%,并将故障响应时间缩短50%以上。运维通道设置是确保电站长期稳定运行的基础。在山地光伏电站中,运维通道的规划尤为重要,需考虑地形特点和设备布局。通常采用“主干道+支路”的设计模式,主干道宽度不小于3m,支路宽度不小于1.5m。坡度较大的区域可设置阶梯或爬梯,确保运维人员安全通行。根据国家电网公司的统计,合理的运维通道设计可以将日常维护效率提高20-30%,显著降低运维成本。此外,还需考虑应急救援通道的设置,确保在紧急情况下能快速到达事故现场。建议在关键节点设置标识牌和安全警示标志,提高运维工作的安全性和效率。

3 案例分析

吉林省某水利水电工程公司于2023年承建了一处山地光伏发电场项目,项目位于长白山的南麓,该项目总装机

容量为50MW,占地面积约100公顷,地形以山地为主,平均海拔1200米,坡度在15°-30°之间。地形勘察阶段,项目团队采用无人机航测技术结合实地勘测,绘制了高精度地形图。基于勘察结果,设计团队选择了混凝土灌注桩基础方案,以应对复杂的地质条件。基础施工过程中,遇到了岩石层分布不均的问题,通过采用不同钻进工艺,成功解决了这一难题。支架选型考虑到当地风速较大的特点,采用了抗风性能更佳的A型钢架结构。安装过程中,使用全站仪进行精确定位,将支架水平度误差控制在±2mm以内,显著提高了安装效率和质量。光伏组件安装环节,项目团队创新性地采用了预制安装技术,在地面完成组件与支架的预组装,再整体吊装到位。这一方法将安装效率提高了30%,同时降低了高空作业风险。组件倾角根据太阳能资源评估结果设定为32°,较常规安装角度增加5°,预计可提升3.5%的年发电量。系统调试阶段,采用了智能I-V曲线诊断技术,快速发现并解决了部分组串存在的隐性故障。通过优化汇流箱负载均衡,系统整体效率提升2.8%。项目创新性地采用了基于物联网的智能运维系统,实现了设备状态实时监测和故障预警。

结束语

山地光伏发电场光伏组件的安装技术涉及多个方面,需要综合考虑地形、气候、材料等多方面因素。本文通过整体流程介绍、具体安装技术详解及案例分析,全面阐述了山地光伏发电场光伏组件的安装技术要点。未来,随着新材料、新工艺的不断涌现,山地光伏发电场的建设技术将不断优化,为我国清洁能源发展贡献更大力量。

参考文献:

- [1] 肖运启,张美玲,郭治昌,等.山地光伏电站固定式组件安装角度优化方法[J].太阳能学报,2020,41(5):7.
- [2] 赵海军.山地农光互补光伏发电安装工程施工技术研究[J].山西建筑,2021(015):047.
- [3] 冯敏添,林子斌,冯伟,等.太阳能光伏发电系统设计与安装技术[J].安装,2023(8):56-59.
- [4] 曹德政,程港,钱志博.有限屋顶面积下光伏组件安装倾角对项目收益的影响[J].智能建筑电气技术,2023,17(05):102-104.
- [5] 魏晨晨,王超,李想,等.光伏组件发电效率影响因素分析[J].建设科技,2023(01):79-81.