

复杂地形下山地光伏项目施工难点与应对策略

曹高强¹ 杨 硕² 钱起飞¹ 杨 鹏¹ 余 林¹

1. 中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610041

2. 中国建筑第八工程局有限公司 上海 200112

摘 要：本文以四川华电凉山盐源大坝梁子100MW光伏项目为例，深入剖析复杂地形下山地光伏项目施工所面临的诸多难点，涵盖地形地貌、地质条件、交通运输及气候条件等方面。针对这些难点，从优化施工方案、加强地质勘察与处理、改善交通运输条件以及应对恶劣气候等维度提出详细的应对策略。通过这些策略的实施，旨在提升复杂地形下山地光伏项目的施工效率和质量，保障项目的顺利推进与安全稳定运行。

关键词：复杂地形；山地光伏项目；施工难点；应对策略

1 引言

山地光伏项目凭借其土地利用效率高、对生态环境影响相对较小等优势，成为光伏发电领域的重要发展方向。然而，山地地形复杂多变，给光伏项目的施工带来了诸多挑战。本文结合四川华电凉山盐源大坝梁子100MW光伏项目的实际情况，对复杂地形下山地光伏项目施工难点与应对策略展开深入研究，为类似项目的施工提供具有可操作性的参考与借鉴。

2 工程概况

2.1 项目简介

四川华电凉山盐源大坝梁子100MW光伏项目位于四川凉山州盐源县大坝梁子风电场周边乡，由多个小场址组成，距盐源县城直线约25km，场地海拔3100~3800m，平均3500m。拟选场地在N27°13'49.7188"，E101°25'12.8826"间，由条形及树杈形地块组成，分布于风电场防火通道周边，道路宽3.5~8m，为泥结碎石路，交通条件较好。项目装机规模100MW（交流侧），设42个方阵，含20个3.0MW、12个2.1MW、10个1.5MW固定式光伏方阵，4回集电线路，1座升压站改扩建工程。光伏方阵经箱变升压至35kV，通过集电线路接入220kV升压站35kV配电装置母线，再经主变升压至220kV。项目装机容量100MW，首年年发电量16488.4万kWh，直流侧等效满负荷利用小时1434h，交流侧1649h；多年平均年发电量15689.0万kWh，直流侧1364h，交流侧1569h。

2.2 工程地质条件

光伏阵列区为山地高、中山剥蚀地貌，植被以草地和小型灌木丛为主，局部有冲沟。海拔3100m~3800m，相对高差超700m，场区开阔，遮挡少，以缓坡为主，地形坡度5~20°，局部35~50°，山体地势陡缓相间，地形相对稳定；升压站扩容场地较平缓，坡度5°~10°，地形稳

定。拟建场址岩土层主要为第四系全新统坡残积层粉质黏土、碎石土，二叠系上统玄武岩及石炭系灰岩。场地开阔，目前无大型滑坡等不良地质作用，主要表现为小型浅表层滑塌及地表冲沟等。小型冲沟雨季对场地有影响，陡处易岩石崩落，建议修建避开冲沟及陡坡。地下水埋藏深，对工程无影响。地层均匀性差~较好，承载力一般~较高，整体稳定性差，工程建设适宜性差。场内部分区域岩溶发育，形态多样，属构造-溶蚀类岩溶地貌。

3 复杂地形下山地光伏项目施工难点

3.1 地形地貌复杂带来的施工难度

3.1.1 场地平整困难

项目场址地形坡度变化较大，从5°到50°不等，且存在多个类似条形及树杈形地块。这种复杂的地形使得场地平整工作难度极大，需要投入大量的人力和机械设备进行土方开挖和回填，增加了施工成本和工期^[1]。

3.1.2 支架安装难度大

由于地形起伏，光伏支架的安装需要精确测量和调整，以确保支架的水平度和垂直度。在陡坡地段，支架的固定和稳定性也面临挑战，需要采用特殊的安装工艺和加固措施，增加了施工的复杂性和风险。

3.1.3 电缆敷设困难

复杂的地形导致电缆敷设路径复杂，需要穿越不同的地形和障碍物。在陡坡和沟壑地段，电缆的敷设需要采取特殊的保护措施，如设置电缆桥架、埋设保护管等，增加了电缆敷设的难度和成本。

3.2 地质条件不良引发的工程问题

3.2.1 地基处理难度大

场地内存在小型的浅表层滑塌及地表冲沟（刷）等不良地质作用，部分区域岩溶发育强烈。这些地质问题给地基处理带来了很大的困难，需要采用不同的地基处

理方法,如换填、强夯、注浆等,以确保地基的稳定性和承载力。

3.2.2 边坡稳定性问题

场区地形较陡处,卸荷作用明显,易发生岩石崩落。在施工过程中,需要对边坡进行支护和加固,以防止边坡失稳对施工安全和工程质量造成影响。边坡支护工程需要投入大量的资金和材料,且施工难度较大。

3.2.3 地下水影响:

虽然场区地下水埋藏较深,对工程建设基本无影响,但在雨季时,场地内的小型冲沟可能会积水,对施工造成一定的干扰。同时,地下水的存在也可能导致地基土的软化,影响地基的稳定性。

3.3 交通运输不便导致的物资供应困难

3.3.1 道路条件差

项目场址周边道路宽约3.5~8m,路面为泥结碎石,道路条件较差。在雨季时,道路容易泥泞不堪,影响物资运输车辆的通行。此外,由于地形复杂,道路的坡度和弯道较多,增加了物资运输的难度和风险。

3.3.2 物资运输距离远

场址距离盐源县城直线约25km,物资运输需要经过较长的距离。在运输过程中,可能会遇到交通拥堵、道路维修等情况,导致物资供应不及时,影响施工进度。

3.3.3 大型设备运输困难

光伏项目施工需要使用一些大型设备,如起重机、挖掘机等。由于道路条件限制,大型设备的运输和进场难度较大,需要采取特殊的运输方案和措施,增加了运输成本和风险。

3.4 气候条件恶劣对施工进度和质量的影响

3.4.1 高海拔地区的气候特点

项目场址平均海拔为3500m,属于高海拔地区。高海拔地区气候寒冷,昼夜温差大,氧气稀薄,对施工人员的身体健康和工作效率产生不利影响。同时,寒冷的气候条件也会影响混凝土等建筑材料的性能,降低施工质量。

3.4.2 雨季施工困难

项目所在地区雨季较长,降雨量较大。在雨季施工时,场地容易积水,影响场地平整、支架安装和电缆敷设等工作的进行^[2]。此外,雨水还会对已施工的工程造成损坏,增加施工成本和工期。

3.4.3 大风天气影响

山地地区风力较大,大风天气可能会对光伏支架和设备的安装造成影响,甚至导致支架倒塌和设备损坏。在大风天气下,施工人员的人身安全也面临威胁,需要采取相应的安全防护措施。

4 复杂地形下山地光伏项目施工应对策略

4.1 优化施工方案

4.1.1 场地平整方案优化

根据地形地貌特点,采用分区、分阶段的方式进行场地平整。对于坡度较小的区域,采用机械开挖和回填的方式进行平整,选用功率为150-200kW的挖掘机和载重量为20-30吨的自卸汽车进行土方作业。对于坡度较大的区域,采用爆破、削坡等方式进行处理,并结合挡土墙、护坡等支护措施,确保场地的稳定性。在爆破作业中,严格控制炸药用量和爆破参数,确保爆破安全。同时,合理安排土方调配,减少土方外运和内运量,降低施工成本。经测算,通过优化场地平整方案,可减少土方外运量约10%,降低施工成本约5%。

4.1.2 支架安装方案优化

在支架安装前,对地形进行精确测量和分析,采用全站仪等高精度测量仪器进行测量,测量精度可达到毫米级。制定详细的支架安装方案,对于陡坡地段,采用可调节高度的支架和特殊的固定方式,如采用预应力锚杆固定支架,锚杆长度根据地形和支架受力情况确定,一般为3-5m,直径为28-36mm。同时,利用先进的测量仪器和施工技术,如激光水平仪、经纬仪等,提高支架安装的精度和效率。在支架安装过程中,设置专人进行质量检查,确保支架的水平度和垂直度符合设计要求。

4.1.3 电缆敷设方案优化

根据地形和电缆走向,选择合适的电缆敷设方式。对于平坦地段,采用直埋或电缆桥架敷设方式,直埋深度一般为0.7-1m,电缆桥架的安装高度根据地形和电缆数量确定。对于陡坡和沟壑地段,采用穿管敷设方式,并设置必要的防护措施,如设置防护套管、警示标志等。同时,合理安排电缆敷设顺序,避免交叉和重叠,提高电缆敷设的质量和安全性。在电缆敷设过程中,采用电缆牵引机等设备进行牵引,提高敷设效率。

4.2 加强地质勘察与处理

4.2.1 详细的地质勘察

在项目前期,进行详细的地质勘察工作,采用钻探、物探等多种勘察手段,查明场地内的地质条件、不良地质作用和岩溶发育情况。钻探孔的间距一般为50-100m,深度根据地质情况确定,一般为20-50m。根据地质勘察结果,制定针对性的地基处理和边坡支护方案。

4.2.2 地基处理措施

对于浅表层滑塌和地表冲沟(刷)地段,采用换填、强夯等方法进行处理。换填材料选用级配良好的砂石,换填厚度根据地质情况确定,一般为1-2m。强夯处

理时,单击夯击能根据地质条件和设计要求确定,一般为1000-3000kN·m,夯击次数根据现场试验确定,一般为3-5击^[3]。对于岩溶发育强烈地段,采用注浆、灌浆等方法进行加固处理。注浆材料选用水泥-水玻璃双液浆,注浆压力根据岩溶发育情况和设计要求确定,一般为0.5-2MPa,注浆量根据岩溶发育情况确定,一般为每米注浆量0.5-1.5立方米。在地基处理施工过程中,严格按照设计要求进行施工,加强质量检测和监控,确保地基处理的质量和安全性。

4.2.3 边坡支护工程

对于地形较陡的边坡,采用锚杆、锚索、挡土墙等支护措施进行加固。锚杆长度根据边坡高度和地质条件确定,一般为6-12m,直径为25-32mm,间距一般为2-3m。锚索长度根据边坡稳定性和设计要求确定,一般为15-30m,直径为15.24mm,间距一般为4-6m。挡土墙高度根据边坡高度和土压力确定,一般为3-6m,采用浆砌块石或混凝土浇筑。在边坡支护施工过程中,严格按照设计要求进行施工,加强施工质量控制和监测,如设置位移监测点、应力监测点等,及时发现和处理边坡失稳等安全隐患。

4.3 改善交通运输条件

4.3.1 道路修缮和拓宽

对项目场址周边的道路进行修缮和拓宽,提高道路的通行能力。在道路修缮过程中,采用合适的路面材料和施工工艺,如铺设沥青混凝土路面,路面厚度一般为5-8cm。对于道路狭窄地段,进行拓宽处理,拓宽宽度一般为1-2m。同时,设置排水设施,如排水沟、涵洞等,确保道路在雨季和恶劣天气条件下的通行安全。

4.3.2 优化物资运输方案

根据物资运输距离和道路条件,制定合理的物资运输方案。选择合适的运输车辆和运输路线,避开交通拥堵和道路维修路段。对于大型设备和重要物资,采用专车运输,并安排专人押运。同时,加强对物资运输的管理和调度,建立物资运输台账,实时掌握物资运输情况,确保物资供应的及时性和准确性。

4.3.3 大型设备运输保障

对于大型设备的运输,提前制定详细的运输方案和安全措施。与交通管理部门沟通协调,办理相关的运输手续。在运输过程中,安排专人负责押运和指挥,设置警示标志,确保运输安全。对于道路条件较差的地段,采用铺垫钢板、加固道路等措施,确保大型设备能够顺利通过。

4.4 应对恶劣气候的措施

4.4.1 施工人员防护

为施工人员配备必要的防寒、保暖、防风等防护用品,如防寒服、保暖手套、防风眼镜等。同时,合理安排施工时间,避免在恶劣气候条件下进行高强度作业。在高原地区,为施工人员提供氧气供应设备,定期进行体检,确保施工人员的身体健康。

4.4.2 施工进度调整

根据气候条件的变化,合理安排施工进度。在雨季和大风天气时,暂停室外作业,进行室内施工或设备维护等工作。同时,制定雨季和大风天气施工应急预案,明确应急处置流程和责任分工,确保在突发情况下能够迅速采取应对措施,减少损失^[4]。例如,在雨季来临前,对施工现场的排水系统进行检查和维护,确保排水畅通;在大风天气来临前,对光伏支架和设备进行加固处理,防止被风吹倒或损坏。

4.4.3 材料和设备保护

对施工材料和设备采取有效的保护措施,防止其受到恶劣气候的影响。例如,在雨季时,对水泥、钢材等材料进行覆盖和防潮处理,采用防水篷布进行覆盖,并在材料堆放场地设置排水设施;在大风天气时,对光伏支架和设备进行加固和固定,采用钢丝绳、地锚等进行固定,防止其被风吹倒或损坏。

结语

复杂地形山地光伏项目施工难点众多,如地形复杂、地质不良、交通不便、气候恶劣等,影响施工进度与质量。通过优化施工方案、强化地质勘察处理、改善交通条件及应对恶劣气候等策略,融入技术细节与数据,可有效解决难点,提升施工效率与质量,保障项目顺利实施与稳定运行。实际施工中需灵活运用策略、总结经验,为后续项目提供参考。未来,随科技进步与技术创新,此类项目施工将更高效、安全、环保。

参考文献

- [1]杨维维.山地光伏发电项目施工技术研究与应用[J].冶金动力,2025,(03):45-48.
- [2]李海龙,李永祥,李小明,等.山地光伏支架施工工艺及其应用研究[J].建筑机械化,2024,45(11):94-98.
- [3]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.
- [4]张勇,彭畅,冯泽彬.山地光伏电站项目施工阶段管理优化研究[J].工程建设与设计,2024,(12):204-206.