

高海拔地区光伏储能工程建设管理关键技术研究

袁世君

华电（海西）新能源有限公司 青海 德令哈 817000

摘要：高海拔地区光照资源丰富，是发展光伏发电的理想区域，但低温、强辐射、高风速、复杂地形等特殊环境条件，给光伏储能工程的建设与管理带来巨大挑战。本研究针对高海拔地区光伏储能工程，深入剖析工程建设管理中的关键技术问题。通过对光伏组件选型与优化布局、储能系统适应性设计、复杂地形施工技术、设备抗恶劣环境防护技术以及智能运维管理体系构建等方面展开系统研究，提出一系列具有针对性和实用性的技术解决方案。研究成果可有效提升高海拔地区光伏储能工程的建设质量与运行效率，降低工程全生命周期成本，为推动高海拔地区清洁能源开发利用提供重要的技术支撑。

关键词：高海拔地区；光伏储能工程；建设管理；关键技术；智能运维

引言：随着全球对清洁能源需求的不断增长，光伏发电作为一种清洁、可再生能源，在能源结构转型中发挥着越来越重要的作用。高海拔地区因日照时间长、太阳辐射强度大，拥有得天独厚的光伏发电条件，成为国内外新能源开发的重点区域。然而，高海拔地区普遍存在低温严寒、昼夜温差大、紫外线辐射强、风沙侵蚀严重、地形地貌复杂等特点，给光伏储能工程的建设与管理带来诸多难题。例如，极端低温会影响光伏组件和储能电池的性能与寿命；强紫外线辐射易加速设备材料的老化；复杂地形增加了工程施工难度与建设成本；恶劣环境还对设备的可靠性和稳定性提出了更高要求。

1 光伏储能工程在可再生能源发展中的重要地位

在全球能源结构加速向绿色低碳转型的当下，光伏储能工程作为可再生能源领域的核心组成部分，发挥着不可替代的关键作用。光伏发电可将太阳能直接转化为电能，是取之不尽、用之不竭的清洁能源；储能系统则能有效解决光伏发电间歇性、波动性的问题，实现电能的灵活存储与释放，保障电力供应的稳定性和可靠性。二者协同，不仅能提高可再生能源的消纳能力，降低对传统化石能源的依赖，还能优化电力资源配置，推动智能电网建设。此外，光伏储能工程的广泛应用，有助于减少碳排放，缓解环境压力，助力实现“双碳”目标，是推动能源可持续发展、构建新型电力系统的重要支撑。

2 高海拔地区光伏储能工程建设特点与挑战

2.1 高海拔地区环境特征

高海拔地区独特的环境特征对光伏储能工程建设影响深远。气候上，低温严寒是显著特点，平均气温比低海拔地区低 10°C – 15°C ，极端低温可达 -40°C ，这会导致

光伏组件的光电转换效率下降，储能电池的充放电性能衰减，甚至引发电解液凝固、电池鼓包等问题，大幅缩短设备使用寿命。同时，低气压环境使得空气绝缘性能降低，增加电气设备发生故障的风险；强紫外线辐射会加速光伏组件背板、电缆等材料的老化，造成保护层剥落、绝缘性能下降；年均风速超 6m/s 的大风天气，可能引发光伏支架晃动、组件破损。地形地貌方面，高海拔地区多为山地、高原，地势起伏大、坡度陡峭，不仅增加了光伏电站选址难度，也使得光伏阵列难以实现标准化布局，影响发电效率；复杂地形还导致施工机械难以进入，增加了施工成本与工期。

2.2 工程建设面临的挑战

（1）施工难度与安全风险

高海拔地区恶劣的施工条件严重阻碍工程建设进程。交通不便导致大型施工设备和材料运输困难，往往需开辟临时道路，增加运输成本与时间；氧气稀薄（含氧量仅为平原地区的 60% – 70% ）易引发施工人员高原反应，导致身体机能下降、工作效率降低，甚至威胁生命安全。此外，低温环境使混凝土凝固时间延长、施工机械燃油效率降低、润滑油粘度增加，影响设备正常运转；复杂地形导致基础施工难度剧增，如在陡坡、岩石地带建设光伏支架基础，需采用特殊的锚固技术，增加施工技术难度与安全风险。

（2）运维管理难题

高海拔地区的地理环境与气候条件给光伏储能工程运维管理带来诸多挑战。设备一旦出现故障，由于路途遥远、交通不便，维修人员与备件难以快速抵达现场，导致故障修复周期长，影响电站发电效率。同时，低温、强风等恶劣天气会干扰通信设备正常运行，降低远

程监控系统的稳定性,使得设备运行状态数据传输延迟或丢失,难以实现精准故障诊断与预警。此外,高海拔地区自然环境复杂,常规的运维技术与设备难以适应,需研发专用的运维工具和技术,增加了运维管理的技术难度与成本投入。

3 高海拔地区光伏储能工程建设管理关键技术

3.1 项目规划与设计技术

(1) 选址与布局优化

高海拔地区光伏电站选址需综合考量光照资源、地形地貌、交通条件及电网接入可行性。光照资源评估可借助卫星遥感数据与气象观测资料,筛选年日照时数超2000小时的区域;地形方面,优先选择坡度小于25°、地势相对平缓的开阔地带,规避风口、阴影遮挡区。地理信息系统(GIS)在此过程中发挥核心作用,通过叠加分析高程、坡度、坡向等数据,模拟不同选址方案下的太阳辐射量与阵列布局,优化光伏组件倾斜角和间距,减少阵列间阴影遮挡,提高发电效率。同时,结合三维建模技术,可直观呈现电站建设对生态环境的影响,助力实现科学选址与生态保护的平衡。

(2) 系统容量配置技术

系统容量配置需以高海拔地区光照资源特性与负荷需求为依据。通过建立包含光伏组件转换效率、储能电池充放电效率、负载曲线等参数的容量配置模型,采用蒙特卡洛模拟等方法,模拟不同容量组合下的系统运行场景。例如,在光照资源丰富但负荷波动大的区域,适当增大储能容量比例,确保电力供应稳定;在负荷相对平稳地区,优化光伏与储能容量配比,降低建设成本。此外,考虑到高海拔地区极端天气对系统性能的影响,模型需引入环境参数修正因子,保障容量配置方案在实际运行中的可靠性与经济性。

(3) 电气设计与安全防护

高海拔地区气压低、空气稀薄,电气设备的绝缘性能会显著下降,因此电气设计需遵循特殊规范。设备绝缘距离需比平原地区增加10%~15%,并选用高海拔专用绝缘材料;接地系统设计时,采用复合式接地网,增加垂直接地极深度与水平接地极长度,降低接地电阻。同时,针对强紫外线、风沙等环境因素,电气设备需具备良好的防护等级,采用防紫外线外壳、防尘密封设计。为保障系统安全运行,还需设置过电压、过电流保护装置,以及智能监测系统,实时监控电气设备运行状态,及时预警潜在安全隐患。

3.2 设备选型与采购技术

(1) 设备性能评估与选型标准

构建高海拔地区光伏储能设备性能评估指标体系,涵盖环境适应性、电气性能、可靠性等维度。光伏组件需通过-40℃低温环境下的功率衰减测试,且抗风压能力不低于12级;储能电池要求在-30℃时放电效率不低于常温的80%,循环寿命超5000次;逆变器需具备宽电压输入范围和低启动电压特性,适应高海拔地区电网波动。制定选型标准时,引入模糊综合评价法,对设备性能、成本、售后服务等因素进行量化评估,优先选择通过高海拔专项认证、在同类项目中运行稳定的设备,确保设备与环境的高度适配。

(2) 供应商管理与采购策略

建立供应商评价模型,从技术实力、生产能力、质量体系、售后服务等方面对供应商进行分级管理。优先选择具备高海拔设备研发经验、拥有完善质保体系的供应商,签订长期战略合作协议,保障设备供应稳定性。采购策略上,采用集中采购与分批交付相结合的方式,降低运输成本;针对关键设备,提前储备备件,应对高海拔地区维修周期长的问题。同时,加强供应商生产过程监督,通过驻场监造、出厂检验等环节,确保设备质量符合设计要求。

3.3 施工组织与管理技术

(1) 施工进度计划与控制

基于高海拔地区施工特点,制定详细的施工进度计划。采用关键路径法(CPM),识别基础施工、设备安装、系统调试等关键工序,合理安排工期。考虑到低温、缺氧对施工效率的影响,预留20%~30%的工期缓冲时间;优化施工顺序,如在夏季气温较高时进行混凝土浇筑,冬季开展设备安装。运用BIM技术进行施工模拟,提前发现工序冲突,动态调整进度计划。通过进度跟踪看板、定期召开协调会等方式,实时监控施工进度,及时解决影响工期的问题。

(2) 施工质量管理与控制

建立涵盖材料进场检验、工序验收、成品保护的全流程质量管理体系。制定严格的质量控制标准,如光伏支架基础混凝土强度需达到设计要求的110%,组件安装误差不超过 $\pm 2\text{mm}$ 。采用无人机巡检、三维激光扫描等技术,对施工过程进行数字化监控,及时发现质量缺陷。设置质量控制点,对隐蔽工程、关键工序进行旁站监督,留存影像资料。定期开展质量培训与考核,提高施工人员质量意识,确保工程质量达到设计标准。

(3) 施工安全管理与风险防控

针对高海拔地区施工安全风险,制定专项安全管理制度。为施工人员配备制氧机、防寒服、防紫外线护具

等装备,定期进行高原体检;建立高原病应急救援体系,在施工现场设置急救站,与就近医院建立绿色通道。对大型施工机械进行适应性改造,安装防滑链、低温启动装置;在陡坡、悬崖等危险区域设置防护栏与警示标识。开展全员安全培训,重点讲解高原施工安全知识与应急逃生技能,定期组织安全演练,提升施工人员应对突发事件的能力。

3.4 运维管理与故障诊断技术

(1) 运维管理模式与策略

推行“无人值守+定期巡检+远程运维”的管理模式,减少人工驻场成本。制定差异化运维策略,对关键设备(如逆变器、储能电池组)增加巡检频次;利用物联网技术,实现设备状态实时监测与数据自动采集。建立运维知识库,汇总高海拔地区设备常见故障案例与解决方案,提高运维人员故障处理效率。同时,与设备供应商建立联合运维机制,借助其技术支持,快速解决复杂技术问题,提升运维管理水平。

(2) 远程监控与数据采集技术

远程监控系统由数据采集终端、通信网络、监控中心组成。数据采集终端部署于光伏电站各设备,实时采集电压、电流、温度等运行数据;采用5G、北斗卫星通信等多通道冗余通信技术,确保数据稳定传输;监控中心运用大数据分析平台,对采集数据进行清洗、存储与可视化处理。通过建立设备运行参数阈值模型,实现异常数据自动报警,运维人员可通过手机APP或电脑终端远程查看设备状态,远程控制设备启停,提升监控效率与响应速度。

(3) 故障诊断与预测技术

基于机器学习算法,构建光伏储能设备故障诊断模型。利用历史运行数据训练模型,识别设备性能退化特征,实现故障早期预警。例如,通过分析储能电池电压、内阻变化趋势,预测电池容量衰减程度;基于光伏组件功率波动数据,诊断组件热斑、隐裂等故障。结合红外热成像、超声波检测等无损检测技术,提高故障诊断准确性。采用预测性维护策略,根据设备健康状态制定维修计划,提前更换易损部件,减少突发故障,降低运维成本。

4 高海拔地区光伏储能工程建设管理质量控制体系

4.1 质量控制目标与原则

高海拔地区光伏储能工程质量控制以保障工程全生命周期稳定运行为核心目标,要求工程质量严格符合国

家及行业相关标准规范,确保光伏组件25年衰减率低于20%,储能系统循环寿命超5000次,提升设备在极端环境下的可靠性与耐久性。同时,致力于降低运维成本,实现工程经济效益与环境效益的统一。质量控制遵循“质量第一、预防为主、全员参与、持续改进”原则:将质量置于工程建设首位,通过制定标准化流程和技术规范规避质量隐患;强调全员参与质量管控,从设计、施工到运维各环节人员均承担质量责任;依托数据分析与经验总结,持续优化质量控制措施,推动工程质量不断提升。

4.2 质量控制流程与方法

质量控制贯穿项目全周期。规划阶段,基于高海拔环境特征,严格审核选址报告与容量配置方案,确保设计参数满足实际需求;设计阶段,对电气系统、结构布局等进行多轮评审,重点验证设备选型的环境适应性;施工阶段,从材料进场检验到隐蔽工程验收,实施全过程旁站监督与抽样检测;验收阶段,依据性能测试与运行数据,综合评估工程质量。质量控制采用多元化方法:通过质量检验对原材料、半成品及成品进行物理化学性能检测;运用质量统计分析施工数据,识别质量波动规律;开展质量审核检查管理体系有效性,三者协同作用,保障工程质量可控。

结语

高海拔地区光伏储能工程建设管理关键技术研究,聚焦特殊环境下工程面临的挑战,通过对项目规划设计、设备选型采购、施工组织管理及运维故障诊断等多维度关键技术的深入探索,提出了系统性解决方案。质量控制体系的构建,进一步为工程全生命周期的稳定运行提供保障。这些成果有效克服了低温、强辐射、复杂地形等环境制约,提升了工程建设质量与运行效率,对推动高海拔地区清洁能源开发、优化能源结构具有重要现实意义。

参考文献

- [1]孙雅琪.高海拔光伏储能工程建设风险评估与应对策略[J].能源工程,2024(2):56-62.
- [2]李思琪.高海拔地区光伏储能系统选型与匹配技术研究[J].电力建设,2023(12):45-52.
- [3]赵晨阳.高海拔地区光伏储能项目运维管理创新模式研究[J].可再生能源,2023(10):98-104.
- [4]周明远.高海拔地区光伏储能工程环境适应性技术研究[J].电源技术,2023(11):135-140.