

高原（4500–4800米）光伏项目安全管理研究

叶萌 张文涛 张兴旭 李广耀 李享

中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610000

摘要：在全球能源结构向清洁能源转型的大趋势下，高海拔地区光伏项目开发正逐步扩大规模。4500至4800米的高原区域太阳能资源得天独厚，但该区域独特的自然环境、复杂的地质条件以及频发的极端天气，给光伏项目安全管理工作带来了不少现实难题。本文结合高原环境实际特征，从人员安全保障、设备安全防护、施工安全管控、运营安全维护四个核心维度，深入剖析高原光伏项目安全管理的突出难点，进而提出切实可行的针对性管理措施，以期高原光伏项目的安全有序推进提供兼具理论价值与实践意义的参考依据。

关键词：光伏项目；高原；安全管理；应急防护

引言

我国青藏高原及周边高海拔地区太阳能资源丰富，年日照时数可达2500–3500小时，具备大规模开发光伏项目的潜力。然而，4500–4800米的高原区域海拔高、气压低、氧气稀薄、昼夜温差大，且多伴随强紫外线、大风、冰雪等极端天气，给光伏项目的规划、施工、运营全流程带来了严峻的安全挑战。高原光伏项目的安全管理不仅关系到项目的顺利推进和经济效益，更直接影响施工人员和运营人员的生命安全。目前，针对低海拔地区的光伏项目安全管理已有成熟体系，但高海拔环境下的特殊安全问题尚未形成系统的管理模式。因此，研究4500–4800米高原光伏项目的安全管理，对保障项目安全、提高开发效率具有重要的现实意义。

1 高原（4500–4800米）环境对光伏项目的安全影响

1.1 低气压与缺氧

在4500m–4800m的海拔区间内气压仅为平原地区的50%–60%，氧气含量为平原地区的60%。这种环境下缺氧会导致人体生理机能下降，引发一系列的高原反应（如头痛、呼吸困难、肺水肿等），严重威胁施工及运营人员的生命健康；同时，低气压可能影响设备的密封性能和运行效率，如光伏组件的散热效率降低、电气设备绝缘性能下降等。

1.2 极端气候

一是强紫外线：该区域紫外线强度是平原地区的2–3倍，长期照射会加速光伏组件盖板、电缆绝缘层的老化，降低设备使用寿命；同时对人体皮肤和眼睛造成损伤。二是昼夜温差大：昼夜温差可达20–30℃，材料因热胀冷缩易产生应力疲劳，导致光伏支架变形、组件边框开裂等问题^[1]。三是大风与冰雪：年平均风速可达3–8m/s，强风可能导致支架倾倒、组件移位；冬季积雪深度可达数

十厘米，积雪覆盖会降低光伏板发电效率，融雪结冰还可能引发支架承重过载。

1.3 地质与生态脆弱性

高原区域多为冻土层或风化岩层，地质结构不稳定，易发生滑坡、坍塌等地质灾害；同时，该区域生态环境脆弱，施工过程中若管理不当，可能破坏地表植被，引发水土流失，间接影响项目周边安全（如泥石流风险增加）。

2 高原光伏项目安全管理的核心难点

2.1 人员安全管理难度大

2.1.1 高原适应能力差异

施工人员来自不同地区，对高原环境的适应能力存在显著个体差异，部分人员可能在短时间内出现急性高原反应，且对高原反应应对措施不熟悉，急切心理可能加剧高原反应，增加现场急救压力。

2.1.2 作业效率与安全平衡

缺氧环境下，人体体力和注意力下降，现场施工功效降低，若强行加快施工进度，易导致操作失误，引发安全事故。

2.1.3 心理因素影响

长期在高海拔、偏远地区作业，作业人员易产生焦虑、疲劳等情绪，降低安全意识，工作中突出侥幸、麻痹、惰性、逆反等不利心理，也易造成安全生产事故。

2.2 设备安全保障复杂

2.2.1 设备选型限制

普通光伏组件、逆变器等设备在低气压、强紫外线环境下易出现性能衰减或故障，需选用高海拔专用设备，增加成本的同时，也对设备质量验收提出更高要求。

2.2.2 安装与维护难度

高原地形复杂（如坡度较大的山地、不同冻胀深度的沼泽），光伏支架安装需兼顾稳定性、抗风能力和抗拔

能力；设备维护时，人员需在缺氧环境下进行高空作业（如组件清洗、线路检修），安全风险较高^[2]。

2.2.3 极端天气应对

强风可能导致组件阵列偏移，积雪可能压垮支架，需制定针对性的设备防护措施，但高原地区交通不便，应急物资运输和设备抢修难度大。

2.3 施工安全管控风险高

2.3.1 施工环境恶劣

高原地区施工周期受季节影响显著（如冬季无法施工），为赶工期可能压缩现场施工时间，极端天气下（如短时间内强降雪）道路冰雪覆盖，且施工现场基本处于高海拔，存在高边坡、临崖、临河路段，交通风险较大；高海拔地区夏季易产生雷暴天气，室外作业面积广，现场避雷点设置有限，作业人员躲避不及时易出现雷击伤人事故；同时，施工场地多位于偏远地区，医疗救援点距离远，事故应急响应时间长。

2.3.2 交叉作业安全

光伏项目施工涉及土建（支架基础浇筑）、电气（电缆铺设）、设备安装等多环节交叉作业，若协调不当，可能出现陡坡机械倾覆、机械碰撞、触电、物体打击等安全生产事故。

2.3.3 生态保护与施工安全冲突

为保护脆弱生态，施工需限制场地开挖范围，导致现场混凝土浇筑、材料转运方式十分受限，且材料堆放空间不足、施工通道狭窄，增加物料运输和人员辅助作业的安全风险。

2.4 运营安全管理周期长

2.4.1 设备长期运行损耗

强紫外线、温差大等因素会加速设备老化，需定期检测组件功率衰减、线路绝缘性等指标，但高原地区人力成本高，检测频率易受资金和人员限制。

2.4.2 自然灾害应急

夏季暴雨可能引发山洪，冬季暴雪可能导致设备损坏，运营期间需建立长期的灾害监测和应急处置机制，但高原地区气象监测设施相对薄弱，预警精度有限^[3]。

2.4.3 电网接入安全

高原光伏项目接入当地的电网一般比较薄弱，电网稳定性差，易出现电压波动，可能导致逆变器过压保护、设备停机，甚至引发电网故障反作用于光伏系统，导致系统损坏。

3 高原光伏项目安全管理策略

3.1 人员安全管理策略

3.1.1 建立高原适应管理体系

（1）岗前筛选与分级适应：对施工和运营人员进行高原专项体检，筛选出高血压、心肺功能不适合高原环境的人员；采用“阶梯式适应”模式，先在3000-4000米地区适应3-5天，再进入4500米以上区域，降低突发急性高原反应的风险。（2）现场医疗保障：在项目营地设立医疗点，配备氧气瓶、高原病急救药物（如红景天、硝苯地平），联合属地乡村配备专兼职医护人员，营地和现场设置高微压氧仓，并与附近县城医院、地市医院签订分级医疗救助协议，建立绿色就医通道，确保重症人员救助及时。

3.1.2 优化作业流程与安全培训

（1）合理安排作业时间：避开正午紫外线最强和夜间低温时段，每天作业不超过6小时，避免人员过度疲劳。（2）针对性安全培训：培训内容增加高原反应识别、急救措施、极端天气防护、交通等知识，采用案例教学（如过往高原项目安全事故分析、交通事故案例、车辆检查及保养要点等）强化安全意识。

3.1.3 心理与后勤保障

（1）定期心理疏导：通过视频通话、轮休制度缓解人员思乡情绪；设置娱乐设施（如书籍、棋牌、乒乓球羽毛球等运动场所）丰富业余生活，减少焦虑感^[4]。（2）改善生活条件：营地配备制氧设备或弥漫式供氧系统、供暖设施，提供高热量、易消化的饮食（如牛羊肉、谷物），增强人员身体素质。

3.2 设备安全管理策略

3.2.1 高海拔专用设备选型与验收

（1）组件与逆变器：选用抗紫外线老化的光伏组件（如增加盖板厚度、采用耐候性封装材料），逆变器需满足海拔4000米以上的绝缘等级要求（如IP65防护、散热设计优化）。（2）支架与基础：采用热浸镀锌钢支架提高抗腐蚀能力；基础形式根据地质条件选择（如冻土层区域采用螺旋桩基础，减少对冻土的扰动），并通过抗风载、抗雪载验算。（3）验收标准：制定高于行业标准的设备进场验收流程，对组件进行功率衰减测试、支架进行力学性能检测，对重要部位、结构部件进行抽检，确保设备适应高原环境。

3.2.2 精细化安装与维护方案

（1）安装规范：支架安装时严格控制垂直度和间距，采用防风固定件（如高强度螺栓）；电缆采用铠装电缆，铺设时避开冻土区和低洼地带，穿管保护以防紫外线老化。（2）维护计划：每季度进行组件清洗（采用高压水枪，避免划伤盖板），每半年检测线路绝缘电阻和逆变器运行参数；冬季前清理积雪，检查支架承重性能。

3.2.3 极端天气应急防护

(1) 防风措施: 在项目周边设置防风障(如铁丝网), 组件阵列加装侧挡板; 台风预警前, 临时加固松动的支架连接点。(2) 防雪与融雪: 采用倾斜角度更大的组件安装方式(如 35° – 40°), 加速积雪滑落; 在支架底部安装电加热带(仅冬季启用), 防止融雪结冰损坏设备。

3.3 施工安全管控策略

3.3.1 施工前期准备

(1) 环境与风险评估: 施工前邀请地质、气象专家对项目区域进行评估, 划定滑坡、山洪等危险区域, 制定绕行方案; 编制《高原施工安全手册》, 明确各环节风险点及应对措施^[5]。(2) 资源配置: 配备适合高原的施工机械(如低气压适应性挖掘机、履带式混凝土、支架运输机械), 现场储备足够的防寒服、保温毯、氧气瓶、药品、食物、水等应急物资。

3.3.2 现场作业管控

(1) 交叉作业协调: 建立日生产例会制度, 明确第二天各承包单位、施工班组的作业区域和时间, 设置隔离带(如陡坡垂直交叉防护网、警戒线)防止交叉干扰; 电气作业必须执行“停电、验电、挂牌”流程, 专人监护。(2) 安全监督: 配备专职安全员, 采用无人机巡检和视频监控相结合的方式, 实时监督违规操作(如高处作业未系挂安全带、现场违规动火、厂区内车辆超速行驶、工程车辆违规载人等), 发现问题立即整改, 对违章人员进行专项教育。

3.3.3 生态与施工协同安全

(1) 最小化场地扰动: 采用模块化施工方式, 减少开挖面积; 材料堆放集中在临时场地, 避免占用植被区; 施工结束后及时恢复地表植被, 降低水土流失风险^[6]。(2) 环保安全培训: 对施工人员进行生态保护培训, 禁止随意丢弃垃圾、破坏植被, 避免因生态破坏引发地质灾害(如滑坡)影响施工安全。

3.4 运营安全管理策略

3.4.1 设备全生命周期监测

(1) 智能化监测系统: 安装光伏组件功率监测仪、逆变器状态传感器和环境监测设备(风速、温度、紫外线强度), 数据实时传输至中控室, 异常情况自动报警。(2) 定期检测与评估: 每年委托第三方机构对设备进行全面检测, 评估老化程度, 及时更换接近报废期的组件和线路; 建立设备台账, 记录维护历史和故障处理情况。

3.4.2 自然灾害预警与应对

(1) 监测网络建设: 与当地气象部门合作或者项目自采购, 在场区内增设气象监测站, 提高暴雨、暴雪、雷电

等灾害的预警精度; 在山坡区域安装滑坡监测仪, 实时监测位移变化。(2) 应急演练: 每半年组织一次自然灾害应急演练(如山洪撤离、设备抢修、消防、有限空间、高处坠落等应急演练), 明确各岗位职责, 制作专项应急处置卡发放给工人, 确保相关人员熟练掌握逃生路线和应急处置流程。

3.4.3 电网协同安全

(1) 并网调试: 并网前进行多次模拟试验, 确保光伏系统与电网的电压、频率匹配; 安装无功补偿装置, 稳定输出电压, 减少对电网的冲击; 加强对带电调试人员的教育交底、调试作业必须必须作业票。(2) 调度沟通: 与当地电网调度中心建立实时通讯机制, 根据电网负荷变化调整光伏出力; 电网故障时, 系统自动切换至离网模式(若配备储能设备), 避免设备损坏。

4 结语

4500–4800米高原光伏项目的安全管理, 需充分考量低气压、强紫外线、极端气候等特殊环境, 从人员、设备、施工、运营四个核心环节构建全流程闭环管理体系。实践表明, 建立科学高原适应保障机制、选用专用设备、优化施工流程、落地智能化监测等针对性举措, 可有效规避安全风险, 保障项目平稳推进。展望未来, 随着技术迭代升级, 高原光伏项目安全管理将迈向更智能、精细的阶段, 借助AI算法预判设备老化、无人机与机器人提升运维效率、基因检测技术强化人员防护等创新手段, 将提升管理精准度与实效性。同时, 行业应加快完善安全标准体系, 形成统一规范准则, 为高海拔地区清洁能源规模化、安全化开发筑牢根基。

参考文献

- [1]蒋梅笑.风电与光伏新能源项目安全管理研究——以关键因素分析与优化策略为例[J].中国科技投资,2024,(22):11–13.
- [2]潘凯,虎久栋.青藏高原地区输电线路边坡安全管理措施[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2017(12)[2017–12–16].
- [3]杨新昌.高原地区施工机械设备安全管理问题原因分析及采取措施[J].江西建材,2014,(9):271–271.
- [4]周浩.新能源光伏电站安全管理技术研析[J].电力设备管理,2025,(6):242–244.
- [5]张巍.浅析某山地光伏电站施工安全管理难点与管理措施[J/OL].中国科技期刊数据库工业A,2025(1)[2025–01–01].
- [6]冯晋哲.光伏电站工程施工危险源辨识及施工安全管理要点研究[J].中国设备工程,2022,(20):19–21.