

高原山地光伏单晶硅双面电池组件受损特点与应对措施分析

叶家君

雅砻江新能源雅江项目部 四川 成都 610000

摘要:在全球“零碳”目标下,太阳能光伏发电成为重要途径。中国大力发展战略性新兴产业,光伏行业迈入新时代。高原山地太阳能资源丰富,利于光伏电站开发。本文以柯拉一期光伏电站为例,分析高原山地光伏单晶硅双面电池组件受损特点,发现组件受损类型主要有玻璃盖板破损、边框变形或断裂等,受损环节集中在安装环节。受损原因包括运输地形路况制约、仓储环境管理缺陷、安装环境与操作影响、组件与辅材质量缺陷等。针对这些问题,提出优化运输方案、规范仓储管理、改进安装工艺、强化质量管控等应对措施。

关键词:高原山地;光伏;电池组件受损;特点应对措施

1 光伏电站项目概述

1.1 光伏项目现状

全球对环境保护的重视程度日益提高,传统化石能源(如煤、石油等)已不能满足全球气候需求;随着多个国家提出“零碳”或“碳中和”的气候目标,清洁低碳、安全高效的能源需求便呈现出爆发式增长,而太阳能具有储量丰富、清洁无污染、安全可靠、分布广泛等特性,其光伏发电已成为各国实现碳中和目标的重要途径。

中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和。在“十四五”规划乃至更长时期内,大力发展战略性新兴产业,光伏行业迈入新时代。2025年1月17日,国家能源局关于印发《分布式光伏发电开发建设管理办法》的通知,促进分布式光伏发电实现“量”的增长和“质”的提升,适应新形势、新要求,更标志着光伏行业迈入2.0新时代。

1.2 高原山地光伏项目特点

高原山地太阳能资源丰富,日照时间长和总辐射量强,有利于光伏电站的开发。高原山地地貌,四周无遮

挡,较多区域为荒草地,人烟稀少,一般无自然保护区、无重要矿产区、无文物古迹等;其气候干燥,雨雪偏少,光照充足,辐射强烈,同时利于光伏电站项目施工^[1]。尤其我国西藏、青海、新疆、甘肃、宁夏、内蒙古高原的总辐射量和日照时数均为全国最高,属世界太阳能资源丰富地区之一。

2 高原山地光伏电池组件受损特点

2.1 柯拉一期光伏电站概况

两河口水电站水光互补一期项目水光牧互补光伏电站(柯拉一期100万kw光伏电站),场址位于雅江县西部柯拉乡境内,海拔高程4000m-4600m,场址为高原山地地貌,四周无遮挡。柯拉一期光伏电站项目规模1000MW,总共包含312个光伏方阵,采用约214.3万块540Wp/545Wp单晶硅双面电池组件,共分为5个设计施工总承包标段。

2.2 柯拉一期光伏电站组件损坏情况

柯拉一期光伏电站电池组设计用量约214.3万片,实际用量约219.9万片,现场损耗量超5.59万片,损耗率达2.61%。常规光伏电站电池组件安装损坏率控制在3‰-5‰以内,而柯拉一期光伏电站组件损坏量远远超过正常损耗范围,不仅造成项目成本的增加,更对项目整个运营造成较大负面影响。

柯拉一期光伏电站电池组件用量统计表

序号	标段	电池组件设计用量 (片)	电池组件使用量 (片)	超耗量 (片)	损耗率	备注
1	I标	702087	719836	17749	2.53%	组件运输以公路为主,部分路段路况较差
2	II标	502096	513096	11000	2.19%	采用了临时仓储棚,仓储条件相对较好
3	III标	280786	287786	7000	2.49%	施工高峰期恰逢冬季,低温大风天气较多
4	IV标	283842	291742	7900	2.78%	施工人员经验不足,操作规范性较差

续表:

序号	标段	电池组件设计用量 (片)	电池组件使用量 (片)	超耗量 (片)	损耗率	备注
5	V标	374244	386544	12300	3.29%	场址坡度较大(部分区域达25°), 安装难度高
	合计	2143055	2199004	55949	2.61%	

从各标段损耗率来看, V标损耗率最高(3.29%), II标损耗率最低(2.19%), 这种差异与各标段的运输条件、仓储管理、施工环境、人员操作水平等因素密切相关, 也为后续分析组件受损原因提供了关键线索。

2.3 组件受损类型与分布特点

通过对柯拉一期光伏电站受损组件的现场排查与分类, 发现组件受损类型主要集中在以下几类: 一是玻璃盖板破损。这类损坏占总受损量的65%左右, 表现为组件玻璃表面出现裂纹、崩边或破碎。受损组件中, 裂纹多呈不规则状, 部分从组件边缘延伸至内部, 严重影响组件的透光性; 崩边主要集中在组件的四个角部, 多因外力撞击导致。从分布来看, 玻璃盖板破损在运输环节和安装环节均有发生, 其中运输环节占比约40%, 安装环节占比约60%。二是边框变形或断裂。这类损坏占总受损量的20%, 主要表现为组件铝合金边框出现弯曲、凹陷或断裂, 部分边框与玻璃盖板的密封胶条脱落, 导致组件密封性下降, 易受外界水汽、灰尘侵入。边框变形或断裂多发生在组件搬运和安装过程中, 尤其是在坡度较大的区域, 组件搬运时易发生碰撞, 导致边框损坏^[2]。三是电池片隐裂或破碎。这类损坏占总受损量的10%, 隐裂需通过EL检测仪才能发现, 表现为电池片内部出现细微裂纹, 虽短期内不影响组件发电, 但长期使用中会导致组件功率衰减加快; 破碎则表现为电池片直接断裂, 导致组件局部失效。电池片隐裂或破碎主要因组件受到剧烈震动(如运输过程中车辆颠簸)或安装时受力不均(如扳手敲击组件表面)导致。四是接线盒损坏。这类损坏占总受损量的5%, 表现为接线盒外壳破裂、内部端子松动或烧毁, 主要因接线盒质量缺陷或安装时接线操作不当导致, 虽占比较低, 但会直接导致组件无法正常并网发电。从受损环节分布来看, 运输环节导致的组件损坏占总受损量的35%, 仓储环节占10%, 安装环节占55%, 安装环节是组件损坏的主要环节, 需重点关注。

3 高原山地光伏组件受损原因分析

3.1 运输环节: 地形与路况制约

高原山地地区的运输条件是导致组件受损的重要因素。柯拉一期光伏电站的组件主要通过公路从外地运往场址, 运输路线中约30%为山区盘山公路, 部分路段路面狭窄、坡度较大, 且存在较多坑洼和急转弯。在运输

过程中, 车辆行驶速度难以稳定, 频繁的加速、减速和转弯易导致车厢内组件发生晃动、碰撞。虽然组件在运输前会采用纸箱包装, 并在箱内放置泡沫缓冲材料, 但高原山地运输距离长(部分组件运输距离超1000km), 长时间的颠簸会使缓冲材料逐渐失效, 组件之间的碰撞力度增大, 最终导致玻璃盖板破损或电池片隐裂。另外, 高原地区昼夜温差大(部分区域昼夜温差达20°C以上), 运输过程中车厢内温度变化剧烈, 组件包装材料(如纸箱)易因温度变化出现受潮、变形, 进一步降低对组件的保护能力, 增加组件受损风险。

3.2 仓储环节: 环境与管理缺陷

高原山地光伏电站场址多位于偏远地区, 仓储设施建设相对滞后。柯拉一期光伏电站部分标段因工期紧张, 未建设标准化的仓储棚, 仅在露天场地铺设防水布作为临时仓储点, 组件长期暴露在室外环境中。高原地区紫外线辐射强, 长时间暴晒会导致组件表面玻璃盖板老化, 降低玻璃的机械强度; 同时, 该地区多风沙天气, 风沙颗粒易对组件玻璃表面造成磨损, 影响组件透光性。部分标段虽建设了临时仓储棚, 但棚内通风条件差, 组件堆放高度过高(部分堆垛达15层), 下层组件承受的压力超过设计承受值, 导致边框变形或玻璃盖板破损。另外, 仓储管理流程不规范也加剧了组件损坏。部分标段未建立完善的组件入库、出库登记制度, 组件堆放混乱, 不同批次的组件混放, 出库时需频繁挪动组件, 增加了组件碰撞、摩擦的概率; 同时, 仓储管理人员缺乏专业培训, 对组件的保护要求不了解, 在搬运组件时操作不当, 进一步导致组件受损。

3.3 安装环节: 环境与操作影响

安装环节是组件受损最集中的阶段, 受环境与操作双重影响。环境方面, 柯拉一期光伏电站海拔高, 空气稀薄, 年均风速3-5m/s, 部分时段阵风超10m/s, 未固定组件易被风吹动碰撞, 致玻璃盖板破损; 施工高峰期在冬季, 场址最低温达-15°C以下, 组件玻璃低温脆性增加、机械强度下降, 轻微碰撞或敲击就易破损; 场址部分区域坡度大, 如V标部分区域坡度达25°, 组件在倾斜支架上定位难, 易滑落碰撞受损。操作方面, 部分施工单位为赶工期招大量临时人员, 他们缺乏专业培训, 不了解组件脆弱部位, 存在不规范操作, 如直接搬边缘致

边框变形、敲击表面致电池片隐裂、未调支架平整度致边框弯曲等；部分吸盘规格不符，吊起时玻璃局部受力大出现裂纹；部分工具无防护，操作易刮擦组件致玻璃磨损^[3]。

3.4 质量环节：组件与辅材缺陷

组件与辅材的质量缺陷，给柯拉一期光伏电站增加了组件受损风险。电站采用的单晶硅双面电池组件虽整体符合国标，但部分批次存在出厂缺陷。高原山地施工环境恶劣，放大了这些问题，提高了组件受损几率。比如，某批次组件玻璃盖板厚度偏差超0.2mm，运输时轻微碰撞就致玻璃破损；部分组件边框焊接点强度不够，安装受力过大时边框断裂。此外，辅材质量缺陷也间接造成组件受损。部分标段组件固定螺栓材质不达标、强度不足，安装时需用力拧紧，致使组件边框变形；部分标段密封胶条弹性与密封性欠佳，安装后无法有效缓冲外力冲击，进一步加大了组件受损的可能性，给电站建设与运行带来不利影响。

4 高原山地光伏组件受损应对措施

4.1 优化运输方案：提升防护与稳定性

运输环节易致组件受损，需从包装、路线、监管三方面优化。包装上，采用“纸箱+木质托盘+缓冲泡沫+缠绕膜”多层方案，内部加高密度泡沫隔板分隔组件，托盘底部装防滑垫。路线方面，提前勘察选平整、弯少、坡小路线，山区路段与交管部门沟通修补坑洼、设警示标志，合理规划避开夜间和恶劣天气运输。监管上，建立全程跟踪制度，安装GPS和温湿度传感器，司机每2小时检查包装，到场后专业人员开箱检查，登记受损组件并沟通退换货。

4.2 规范仓储管理：完善设施与流程

仓储环节问题需从设施建设与管理流程改进。设施上，建标准化仓储棚，具备防风、雨、晒、通风功能，地面硬化并铺防潮层，设货架分层放组件，每层不超8层；工期紧时用可移动钢结构临时棚，棚内装温湿度计和紫外线监测仪，紫外线强时开遮阳帘。管理流程上，建立制度明确操作规范，入库时专业人员检查登记、按批次分类堆放；出库“先进先出”；配备专业人员并定期培训，提升专业素养，确保操作规范。

4.3 改进安装工艺：适应环境与规范操作

安装环节问题从环境适应、人员培训、工具升级解决。环境适应上，依高原山地气候，避开冬季低温和大风天施工，冬季施工预热组件至5℃以上，大风天（风速超5m/s）停止作业并固定已吊装组件。坡度大区域采用“分段安装、专人防护”，支架装临时防护栏，安装位置下方铺缓冲垫防组件滑落受损。同时，加强人员培训，使其熟悉安装规范与安全要点；升级安装工具，提高安装效率与精准度，保障组件安装质量^[4]。

4.4 强化质量管控：从源头降低风险

强化质量管控是降低高原山地光伏组件受损风险的关键。从源头抓起，严格筛选供应商，确保其资质与信誉良好，提供的组件质量可靠。在组件生产过程中，加强监督抽检，对原材料、生产工艺等环节严格把关，防止不合格产品流入。运输、仓储、安装各环节，制定详细质量标准与检验流程，安排专业人员严格检查，记录组件状态。建立质量追溯体系，一旦发现问题，能快速定位原因、明确责任，及时采取措施，最大限度减少损失，保障光伏项目顺利推进与稳定运行。

结束语

高原山地光伏单晶硅双面电池组件受损问题，受运输、仓储、安装及质量等多环节因素影响，给项目成本与运营带来负面影响。通过优化运输方案、规范仓储管理、改进安装工艺以及强化质量管控等应对措施，能够有效降低组件受损风险，保障光伏项目的顺利推进与稳定运行。未来，随着技术的不断进步和管理经验的持续积累，高原山地光伏项目有望实现更高效、更可靠的发展，为清洁能源的广泛应用和碳中和目标的达成贡献更大力量。

参考文献

- [1]叶升鹏,张新,白梁儒,等.高原山地光伏发电跟踪系统优化应用研究[J].国企业管理,2024,(S1):790-797.
- [2]王豹,张跃君,王立平,等.浅谈高原山地光伏项目中微孔灌注桩的施工及质量控制[J].安装,2023,(S2):169-171.
- [3]陈庆文,喻凯,田莉莎,等.光伏电站光伏组件串联数的优化设计研究[J].太阳能,2022(12):72-77.
- [4]吴建鹏尹杰.山地光伏电站大尺寸光伏组件应用难点及控制措施[J].新能源科技,2022(05):21-23.