

2025 年度光伏电站质量白皮书 暨多场景组件选型参考

碳索研究院

索比光伏网

众森检测

前言

当前，中国光伏产业正经历一场深刻的历史性转型。在经历多年的高速规模扩张后，行业部分环节出现的“内卷式”竞争与低价低质乱象，不仅侵蚀了企业合理的利润与研发空间，更对行业的可持续发展和国际竞争力构成了潜在威胁。

国家高度重视光伏产业的健康发展。在 2025 年底召开的全国工业和信息化工作会议上，深入整治“内卷式”竞争、坚决遏制低价低质量竞争被列为重点任务，标志着 2026 年光伏行业治理进入“攻坚期”。国家能源局也明确，实现“双碳”目标必须坚持以高质量发展为关键路径。这一系列政策的核心，是引导产业从“成本与规模驱动”的旧循环，全面转向“技术创新与卓越质量驱动”的新阶段，以标准和质量为准绳，重塑行业竞争生态。

在此背景下，聚焦光伏电站全生命周期的质量与可靠性，比以往任何时候都更为迫切。光伏电站作为能源转换的核心载体，其长期安全稳定运行直接关系到能源供给可靠性、资产投资回报率及行业可持续发展。然而，在长期运行过程中，电站受设备老化、环境侵蚀、运维不当、技术迭代等多重因素影响，各类质量问题频发。从组件隐裂、逆变器故障等设备缺陷，到接地电阻超标、并网性能异常等系统问题，不仅显著影响发电效率，更可能引发安全风险，制约行业高质量发展。

尽管行业技术标准日益完善，但在实际电站检测评估与运维工作中，仍普遍存在“问题识别不全面、故障定位不精准、整改方案不规范”等痛点。行业亟需更多基于实证的场景化数据与系统性分析，为各类应用提供参考。

为回应这一需求，我们基于大量实地检测数据、典型案例与行业调研，整理形成本报告——《光伏电站质量白皮书暨多场景组件选型参考》。本报告以“实操性、针对性、全面性”为核心原则，聚焦光伏电站的核心结果分析环节，涵盖电站设备质量结果分析、电站发电性能结果分析、电站结构安全分析、电站电气安全结果分析、电站施工质量分析等五大模块，系统梳理了百余份检测结果。每项问题均从“问题现象、产生原因、结果分析方法、整改措施、预防建议”五个维度展开，同时融入大量现场实测案例及数据支撑，确保内容的专业性与可操作性。旨在通过真实场景下的性能表现与质量案例，为光伏电站的设备选型、系统设计与运行评估提供数据支撑和场景化参考。报告以“实证性、场景化、前瞻性”为原则，围绕组件低辐照性能、功率衰减、双面增益、环境适应性等关键维度，结合沙漠、山地、水面、分布式屋顶等六大典型场景，呈现不同技术路线在实际运行中的表现差异，供行业同仁在决策中参考。

我们希望，这份基于真实运行数据的整理与总结，能够为电站投资者、设计方、建设与运维人员提供一份有价值的参考资料，助力行业在追求高质量可持续发展的道路上，更理性、更科学地做出技术选择。

在本报告编写过程中，我们参考了国内外多项行业标准、技术文献及公开数据，也得到了多位行业专家与一线技术人员的支持与建议，在此一并致以诚挚感谢。由于光伏技术迭代迅速、应用场景复杂多样，本报告内容仅为特定阶段与样本的总结，难免存在局限与不足，仅供行业参考。我们也期待与业界继续交流，共同推动光伏电站质量评估体系的完善与提升。

目 录

第一部分 光伏电站质量白皮书

本部分聚焦光伏电站核心部件、施工建设、运维管理三大关键环节，通过系统梳理与深度剖析，为行业提供电站全生命周期质量的判定标准与分析依据。

一、电站设备质量评价	1
1.1 光伏组件	1
1.1.1 光伏组件外观质量评价	1
1.1.2 光伏组件电性能测试质量评价	2
1.1.3 光伏组件 EL 质量评价	11
1.1.4 光伏组件红外质量评价	14
1.2 光伏逆变器	16
1.2.1 光伏逆变器外观	16
1.2.2 光伏逆变器效率分析	17
1.2.3 光伏逆变器电能质量分析	18
1.2.4 光伏逆变器进出电缆红外分析	19
1.3 光伏汇流箱	19
1.3.1 光伏汇流箱外观	19
1.3.2 光伏汇流箱进出电缆红外分析	19
1.3.3 光伏汇流箱组串开压一致性核查	20
1.4 变压器	21
1.5 开关设备、SVG 设备	23
二、电站发电性能质量评价	24
2.1 电站系统效率分析	24
2.2 影响电站效率因素	24
2.2.1 遮挡损失	25
2.2.2 串并联适配损失	25
2.2.3 交直流线损	27
2.2.4 电站设备故障	28
三、电站结构安全分析	29
3.1 基础结构安全分析	29
3.1.1 基础类型针对性核查	29

3.1.2 基础周边环境分析	30
3.2 支架系统安全分析	30
3.2.1 支架材质与外观	30
3.2.2 组件安装结构安全分析	31
3.2.3 结构安全辅助分析	31
四、电站电气安全质量评价	32
4.1 接地电阻质量评价	32
4.1.1 判定标准	32
4.1.2 结果分析要点	33
4.2 接地连续性质量评价	33
4.2.1 判定标准	34
4.2.2 结果分析要点	34
4.3 绝缘电阻质量评价	34
4.3.1 判定标准	35
4.3.2 结果分析要点	35
五、电站施工质量评价	36
5.1 支架施工质量	36
5.2 组件施工质量	36
5.3 汇流箱施工质量	37
5.4 逆变器施工质量	38
5.5 接地扁铁施工质量	39
六、典型案例	40
6.1 集中式地面光伏电站	40
6.1.1 沙漠光伏电站	40
6.1.2 戈壁滩光伏电站	42
6.1.3 山地光伏电站	43
6.1.4 水面光伏电站	45
6.2 工商业光伏电站	46
6.3 户用光伏电站	51

6.4 交通光伏电站	53
第二部分光伏多应用场景组件选型参考	
本部分立足典型光伏应用场景特性，依托实际运行数据表现，重点分析不同场景下组件核心指标的适配需求，明确各场景下的关键关注数据，最终形成针对性的组件选型建议，为项目选品提供科学参考。	
七、不同场景光伏组件选型指南	55
7.1 沙戈荒电站场景选型分析	55
7.1.1 场景核心考验	55
7.1.2 对组件的核心要求	56
7.1.3 核心性能数据表现	57
7.1.4 建议优选产品	57
7.2 山地与丘陵电站场景选型分析	57
7.2.1 场景核心考验	57
7.2.2 对组件的核心要求	58
7.2.3 核心性能数据表现	58
7.2.4 建议优选产品	59
7.3 水面（渔光互补、海上光伏）电站场景选型分析	59
7.3.1 场景核心考验	59
7.3.2 对组件的核心要求	59
7.3.3 核心性能数据表现	60
7.3.4 建议优选产品	60
7.4 屋顶分布式电站场景选型分析	60
7.4.1 场景核心考验	60
7.4.2 对组件的核心要求	61
7.4.3 核心性能数据表现	61
7.4.4 建议优选产品	61
附录 1、2025 年度光伏组件单项冠军评测结果公示	62
一、评测背景	62
二、评测方案	62
三、评测结果公示	62
3.1 光伏组件弱光响应性能冠军	62
3.2 800W/m ² 辐照度下光伏组件效率冠军	63

3.3 光伏组件双面率冠军	64
3.4 光伏组件综合功率性能冠军	65
附录 2、2025 年前三季度光伏组件出货量排名	67

第一部分 光伏电站质量白皮书

本部分聚焦光伏电站核心部件、施工建设、运维管理三大关键环节，通过系统梳理与深度剖析，为行业提供电站全生命周期质量的判定标准与分析依据。

一、电站设备质量评价

电站结果分析的前提是设备一致性核查，需确保现场使用的组件、逆变器、汇流箱等核心设备，与采购文件、设备台账在型号规格、技术参数、生产厂家等方面保持一致，这是保障结果分析结果准确性、整改措施针对性的基础前提，也是当前结果分析工作中易被忽视的关键环节。

1.1 光伏组件

1.1.1 光伏组件外观质量评价

光伏组件外观可直接反映出组件的可视缺陷，组件玻璃面应无裂纹、破损、划痕等明显缺陷，边框应无变形、扭曲、凹陷、锈蚀、磕碰痕迹、紧固，无松动或缺失；接线盒应安装可靠，无缺失、破损、脱落等缺陷；背板应平整，无鼓包、气泡、开裂、脱层、划伤、磨损、变色等现象；电池片应完整，无明显色差、缺角、划痕等缺陷；铭牌应完整、清晰、可靠，信息应与设计文件及出厂资料一致。

光伏组件外观检查能够帮助识别组件表面的物理损坏，如裂纹、划伤和污染等，这些问题比较容易被忽视。同时，外观检查还能帮助检测生产过程中的工艺缺陷，如焊接不良、封装不当等。

电站检测中的案列：

	
光伏组件表面完整	光伏组件背面完整

	
光伏组件表面玻璃破损	光伏组件正面玻璃划痕

1.1.2 光伏组件电性能测试质量评价

光伏组件电性能测试（即光伏组件 IV 特性测试）是评估组件发电性能的核心方法，通过测定组件在不同辐照度下的电流与电压关系，绘制出 IV 曲线，并提取关键参数来判断组件的功率输出、衰减程度。

1.1.2.1 光伏组件功率衰减测试质量评价

根据中国光伏行业协会（CPIA）数据，2024 年全球 N 型组件出货占比已超 60%。高效组件虽能提升初始发电量，但衰减率直接决定全生命周期收益：以 1GW 电站为例，若年均衰减率从 0.7% 升至 1.0%，25 年累计发电量将减少 6.25 亿度，损失收益超 2.5 亿元。当前行业标准对 N 型组件衰减要求为 “首年 $\leq 2.0\%$ ，后续年均 $\leq 0.6\%$ ”。

然而，很多组件企业自信的宣传组件功率衰减“首年 $\leq 1.0\%$ ，后续年均 $\leq 0.4\%$ ”。但实际应用中，BC 组件的背接触结构、HJT 的低温银浆工艺、TOPCon 的钝化层，均可能成为衰减风险点。此前实验室测试多基于“标准环境”，无法模拟户外高温、高湿、强紫外等复杂工况，导致实验室数据与实际运行数据偏差较大。

电站检测中的案例

类型	运行时长 (天)	组件	Date	Pmax	Isc	Voc	Ipm	Vpm	FF	T _{Object}	衰减
TVC	525	控制	2024/3/12 16:43	574.66	13.38	53.12	12.62	43.53	80.83	25.15	
			2025/8/19 15:52	573.56	13.38	53.10	12.64	43.37	80.70	24.58	-0.19%
		实证	2024/3/12 16:31	576.72	13.40	53.18	12.64	43.61	80.92	25.38	
			2025/8/19 16:00	571.34	13.38	53.16	12.57	43.47	80.93	25.06	-0.90%
TOPCon	455	控制	2024/3/23 17:02	706.30	17.96	48.09	17.08	41.34	80.73	25.73	
			2025/8/21 9:50	707.28	18.02	48.63	17.07	41.44	80.71	25.10	-0.17%
		实证	2024/3/23 17:23	706.33	17.99	48.09	17.09	41.33	80.62	25.02	
			2025/8/21 10:03	692.80	17.89	48.23	16.91	40.88	80.26	24.99	-1.92%
TOPCon	551	控制	2023/11/9 17:08	575.35	13.50	52.08	12.84	44.81	81.85	24.78	
			2025/8/21 11:18	570.33	13.52	51.98	12.83	44.44	81.14	23.99	-0.87%
		实证	2023/11/9 17:31	575.72	13.49	51.98	12.87	44.73	87.11	25.00	
			2025/8/21 11:36	550.05	13.35	50.82	12.71	43.20	81.07	24.18	-4.46%
TOPCon	449	控制	2024/3/29 11:47	606.24	15.47	48.44	14.79	40.99	80.88	23.50	
			2025/8/21 11:43	607.61	15.34	48.40	14.77	41.15	80.78	23.91	-0.63%
		实证	2024/3/29 14:04	607.50	15.48	48.43	14.87	40.98	80.97	23.33	
			2025/8/21 15:47	594.19	15.40	47.92	14.65	40.58	80.19	24.04	-2.19%
TOPCon	419	控制	2024/3/29 14:03	427.89	10.26	51.54	9.78	43.82	80.80	25.45	
			2025/8/21 16:48	423.10	10.22	51.51	9.69	43.68	80.39	24.92	-0.93%
		实证	2024/3/29 14:03	427.52	10.29	51.53	9.80	43.64	80.61	24.43	
			2025/8/21 16:48	421.08	10.11	51.32	9.66	43.57	81.12	24.78	-1.51%
TOPCon	420	控制	2024/6/21 11:23	569.06	13.49	52.83	12.76	44.60	79.66	25.30	
			2025/8/21 16:01	568.64	13.59	52.91	12.81	44.38	79.07	23.50	-0.07%
		实证	2024/6/21 11:39	567.44	13.50	52.91	12.73	44.56	79.43	25.30	
			2025/8/21 16:13	558.95	13.45	52.61	12.67	44.10	78.97	24.25	-1.50%

类型	运行时长 (天)	组件	Date	Pmax	Isc	Voc	Ipm	Vpm	FF	T _{Object}	衰减
TOPCon	169	控制	2024/3/18 8:59	574.27	13.50	52.35	12.79	44.28	81.28	24.20	
			2024/9/3 11:04	575.18	13.60	52.38	12.93	44.48	80.97	24.05	-0.13%
		实证	2024/3/18 9:08	576.78	13.51	52.40	12.83	44.50	81.50	24.15	
			2024/9/3 11:13	570.83	13.56	51.98	12.82	44.51	80.99	24.50	-1.03%
TOPCon	389	控制	2023/8/31 9:46	581.83	13.60	52.42	12.93	44.98	82.83	24.85	
			2024/9/3 11:44	578.93	13.63	52.38	12.95	44.72	81.27	23.83	-0.80%
		实证	2023/8/31 10:05	582.67	13.60	52.49	12.93	44.98	82.83	24.85	
			2024/9/3 11:52	574.83	13.55	52.06	12.88	44.56	81.18	24.10	-1.48%
TOPCon	109	控制	2024/5/17 13:24	696.31	17.97	48.29	17.01	40.26	80.26	24.57	
			2024/9/3 14:43	700.13	18.16	48.26	17.17	40.77	79.89	23.95	-0.63%
		实证	2024/5/17 13:32	686.07	17.99	48.27	17.04	40.96	79.03	24.48	
			2024/9/3 14:50	682.49	18.01	48.13	16.96	40.23	78.71	24.48	-0.62%
BC	391	控制	2023/8/9 22:40	597.05	13.85	53.51	13.09	45.71	80.80	24.07	
			2024/9/3 11:28	598.24	13.94	53.40	13.09	45.71	80.34	24.33	-0.20%
		实证	2023/8/9 22:35	599.75	13.88	53.57	13.13	45.67	81.11	24.50	
			2024/9/3 11:36	583.47	13.83	52.86	12.94	45.24	79.96	24.38	-1.83%
BC	308	控制	2023/10/11 15:31	587.77	13.78	52.77	13.07	44.98	80.84	25.28	
			2024/9/3 13:56	586.80	13.90	52.64	13.19	44.48	80.16	23.80	-0.60%
		实证	2023/10/11 11:20	588.47	13.79	52.74	13.09	44.98	80.93	25.30	
			2024/9/3 14:06	575.10	13.74	52.24	13.03	44.13	79.91	21.68	-3.27%
HJT	317	控制	2023/10/12 17:06	684.75	17.02	49.55	16.88	40.81	80.81	24.50	
			2024/9/3 14:15	680.15	17.06	49.33	16.26	41.83	80.49	23.70	-0.67%
		实证	2023/10/12 16:48	685.95	17.06	49.53	16.85	40.92	80.81	24.40	
			2024/9/3 14:24	656.46	16.77	48.18	15.80	41.55	79.59	23.90	-4.30%
HJT	168	控制	2024/3/18 16:19	782.79	17.32	48.48	16.50	36.54	81.98	25.70	
			2024/9/3 15:03	699.81	17.40	49.50	16.72	41.84	81.23	24.08	-0.42%
		实证	2024/3/18 16:38	785.46	17.34	49.55	16.57	36.64	82.44	25.83	
			2024/9/3 15:31	679.99	17.27	49.41	16.43	41.34	79.70	25.10	-4.02%

类型	运行时长 (天)	组件	Date	Pmax	Isc	Voc	Ipm	Vpm	FF	衰减
BC600	350	控制	2024/9/3 11:28	598.24	13.94	53.40	13.09	45.71	80.34	
			2025/8/19 16:13	597.40	13.87	53.44	12.96	46.11	80.61	-0.14%
		实证	2024/9/3 11:36	585.47	13.85	52.86	12.94	45.24	79.96	
			2025/8/19 16:26	577.61	13.78	52.56	12.87	44.88	79.77	-1.34%
BC455	566	控制	2024/2/2 11:08	443.24	13.70	40.24	12.97	34.93	82.18	
			2025/8/21 16:32	452.67	13.68	40.25	12.93	35.00	82.19	-0.13%
		实证	2024/2/2 10:58	454.37	13.72	40.27	12.99	34.99	82.23	
			2025/8/21 16:48	437.68	13.60	39.75	12.81	34.17	80.97	-3.67%

通过不同厂家，不同型号的各种技术路线的组件功率衰减测评，我们发现即

使在”内卷”的时代，质量并不是同质化的，有低于 1%的衰减率的组件，也有高于 4%衰减率的组件，这给光伏发电和投资带来了极大的不确定性，也搅乱了市场秩序，导致劣币驱良币，严重影响了行业的健康发展。

1.1.2.2 光伏组件低辐照度测试质量评价

简单来讲，当光照强度增强时，太阳能电池板接收到的能量增加，产生的电流和电压也随之增大，输出功率增大。光伏电池的发电能力在标准测试条件下，一般以光强为 1000 W/m^2 进行测量，这也是实验室中模拟晴天光照的标准值。然而在实际的户外条件下，光伏组件往往工作在低于 1000 W 的弱光情况下，大多数时候的光强在晴朗天气下，白天约 $200\text{--}800 \text{ W/m}^2$ ；若包含阴天或多云天气，可能降至 $50\text{--}600 \text{ W/m}^2$ 。

因为对于固定安装的光伏电站，一天中的光照强度是不断变化的。清晨，太阳缓缓升起，光照强度逐步增加，到了中午时分，光照强度达到最高值；下午随着太阳逐渐西沉，光照强度又逐渐减弱，直至日落完全消失。这种光照强度的日变化，使得太阳能电池在一天内的发电量也随之波动。在光照强度高的时段，发电量明显增加，而光照强度低时，发电量则大幅减少。

低辐照损失率计算公式： $L = (1 - \frac{P_x}{P_0} * \frac{I_0}{I_x}) * 100\%$

其中：L 为低辐照损失率，单位%；

P_x 为不同辐照度条件下实测的组件最大功率，单位 W；

P_0 为 STC 条件下实测的组件最大功率，单位 W；

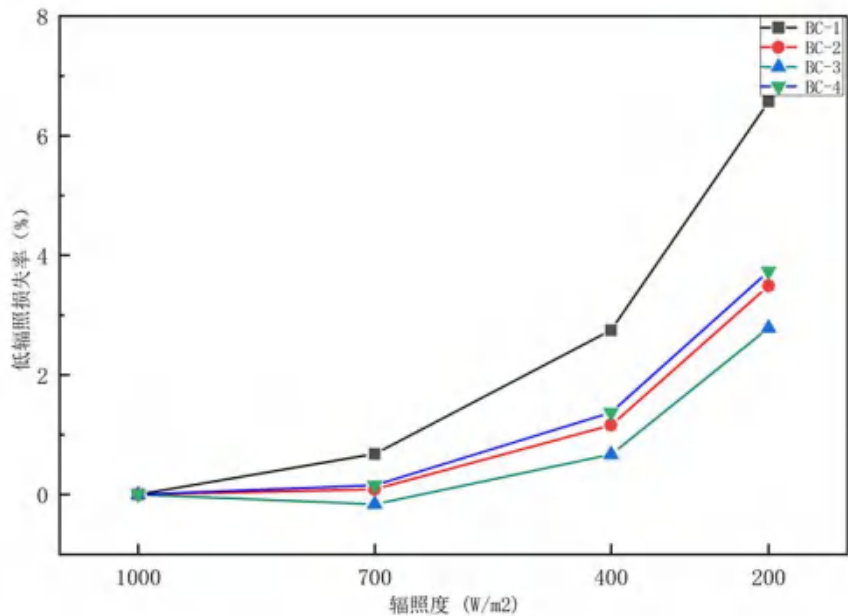
I_0 为 STC 条件下的辐照度值 1000，单位 W/m^2 ；

I_x 为不同的测试辐照度值，单位 W/m^2 。

电站检测中的案例

BC 光伏组件低辐照性能测试结果：

编号	组件型号	辐照度 I_x (W/m ²)	最大功率 P_x (W)	P_x/P_0	低辐照损失率 L (%)
BC-1	BC	1000	593.8	1.000	0
		700	412.8	0.695	0.68
		400	231.0	0.389	2.75
		200	111.0	0.187	6.57
BC-2	BC	1000	579.4	1.000	0
		700	405.2	0.699	0.09
		400	229.1	0.395	1.16
		200	111.8	0.193	3.49
BC-3	BC	1000	581.7	1.000	0
		700	407.9	0.701	-0.16
		400	231.1	0.397	0.67
		200	113.1	0.194	2.78
BC-4	BC	1000	577.3	1.000	0
		700	403.5	0.699	0.16
		400	227.8	0.395	1.37
		200	111.1	0.193	3.73



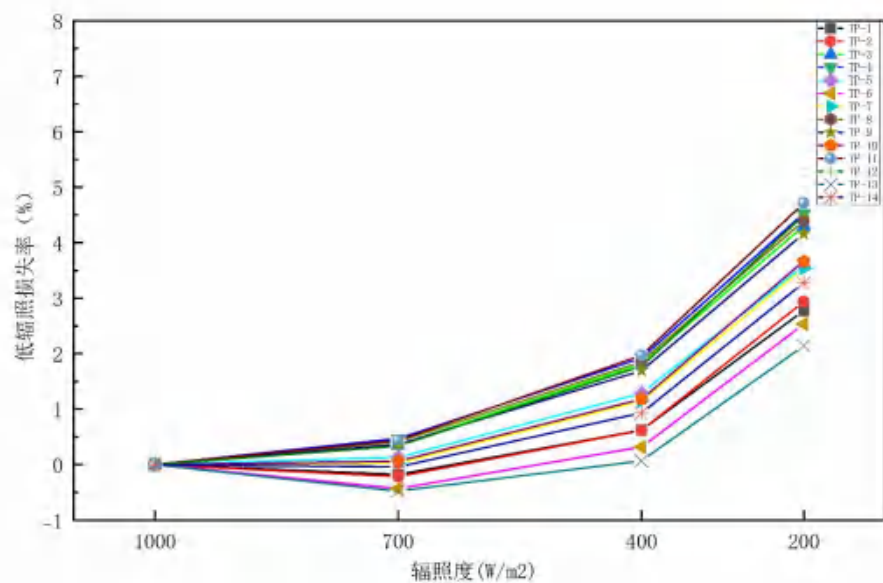
从上面的测试结果可以看出，同为 BC 组件的 4 款样品，在低辐照性能上表现出了较大的差异，BC-1 样品相较于其他三个样品，低辐照损失率明显较高，在 200 W/m² 的辐照度下，低辐照度损失率 6.57%，相比于 BC-3 样品的 2.78%，高出了 1 倍以上。同时，从折线图可以看出，随着辐照度的降低，组件的低辐照

损失率逐步增大，辐照度越低，不同组件的差异也越发明显。

TOPCon 光伏组件低辐照性能测试结果

编号	组件型号	辐照度 I _x (W/m ²)	最大功率 P _x (W)	P _x /P ₀	低辐照损失率 L (%)
TP-1	TOPCon	1000	570.9	1.000	0
		700	400.3	0.701	-0.18
		400	226.9	0.398	0.62
		200	111.0	0.194	2.77
TP -2	TOPCon	1000	567.7	1.000	0
		700	398.2	0.702	-0.22
		400	225.7	0.398	0.62
		200	110.2	0.194	2.94
TP -3	TOPCon	1000	562.2	1.000	0
		700	392.1	0.698	0.36
		400	220.8	0.393	1.82
		200	107.6	0.191	4.30
TP -4	TOPCon	1000	581.7	1.000	0
		700	405.3	0.697	0.47
		400	228.2	0.392	1.92
		200	111.1	0.191	4.53
TP-5	TOPCon	1000	565.9	1.000	0
		700	395.6	0.699	0.13
		400	223.4	0.395	1.29
		200	109.1	0.193	3.58
TP -6	TOPCon	1000	542.2	1.000	0
		700	381.2	0.703	-0.43
		400	216.2	0.399	0.37
		200	105.7	0.195	3.58
TP -7	TOPCon	1000	567.3	1.000	0
		700	397.0	0.700	0.03
		400	224.3	0.395	1.15
		200	109.4	0.193	3.54
TP -8	TOPCon	1000	569.2	1.000	0
		700	396.8	0.697	0.41
		400	223.4	0.393	1.86
		200	108.8	0.191	3.54
TP-9	TOPCon	1000	576.6	1.000	0
		700	402.2	0.697	0.37
		400	226.7	0.393	1.70

编号	组件型号	辐照度 I_x (W/m ²)	最大功率 P_x (W)	P_x/P_0	低辐照损失率 L (%)
		200	110.5	0.192	4.16
TP -10	TOPCon	1000	426.4	1.000	0
		700	298.3	0.700	0.06
		400	168.5	0.395	1.18
		200	82.2	0.193	3.66
TP -11	TOPCon	1000	421.7	1.000	0
		700	293.9	0.697	0.44
		400	165.4	0.392	1.97
		200	80.4	0.191	4.72
TP -12	TOPCon	1000	435.5	1.000	0
		700	303.8	0.698	0.34
		400	171.1	0.393	1.77
		200	83.2	0.191	4.49
TP-13	TOPCon	1000	688.1	1.000	0
		700	483.9	0.703	-0.48
		400	275.0	0.400	0.07
		200	134.7	0.196	2.14
TP -14	TOPCon	1000	704.1	1.000	0
		700	493.1	0.700	-0.04
		400	279.0	0.396	0.93
		200	136.2	0.193	3.28

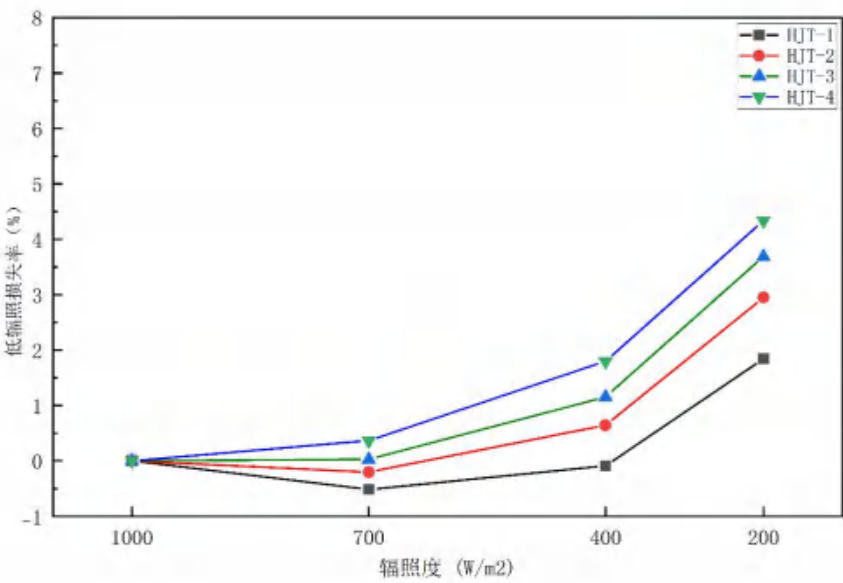


可以看出，不同的 TOPCon 组件的低辐照性能也存在明显的差异。例如：200

W/m² 的辐照度下，低辐照度损失率最小为 2.14%，最大为 4.72%。这些样品在 200 W/m² 的辐照度下的平均低辐照损失率达到了 3.65%，有 5 个样品更是达到了 4%以上。

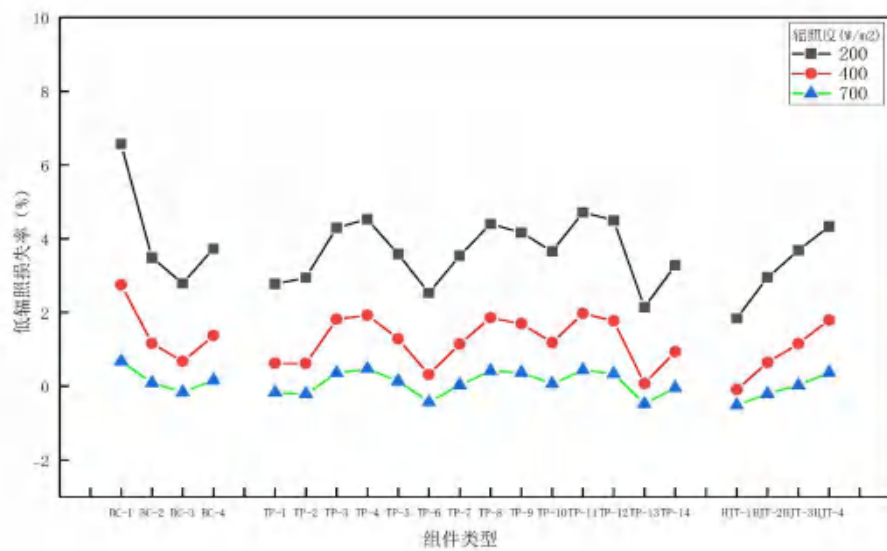
HJT 光伏组件低辐照性能测试结果：

编号	组件型号	辐照度 I _x (W/m ²)	最大功率 P _x (W)	P _x /P ₀	低辐照损失率 L (%)
HJT-1	HJT	1000	695.1	1.000	0
		700	489.1	0.704	-0.52
		400	278.3	0.400	-0.09
		200	136.5	0.196	1.84
HJT -2	HJT	1000	700.9	1.000	0
		700	491.6	0.701	-0.20
		400	278.5	0.397	0.64
		200	136.0	0.194	2.95
HJT -3	HJT	1000	695.5	1.000	0
		700	486.7	0.700	0.03
		400	275.0	0.395	1.16
		200	134.0	0.193	3.69
HJT -4	HJT	1000	708.4	1.000	0
		700	494.1	0.697	0.37
		400	278.3	0.393	1.80
		200	135.5	0.191	4.34



4 个 HJT 组件样品在低辐照度条件下的整体表现略优于 TOPCon 组件，但也存在像 HJT-4 这种低辐照损失率较大的产品。而 HJT-1 样品在 700 W/m²，400 W/m² 的辐照度条件下，功率损失率为负数，只是在 200 W/m² 的辐照度下，有较小的功率损失，表现出了较好的低辐照性能。

最后，我们把 BC、TOPCon 和 HJT 放在一起进行低辐照度损失率的比较。可以看出，所有样品在 700 W/m² 的辐照度下，不同组件之间的低辐照损失率差别不大，均在 1% 以内，而随着辐照度的降低，组件之间的差异愈发明显，可见不同厂家的产品在低辐照性能上的表现存在较大的差别。



1.1.2.3 光伏组件双面率测试质量评价

光伏组件双面率是评估双面光伏组件性能的核心指标之一，其定义为在标准测试条件下（STC）组件背面最大输出功率与正面最大输出功率的比值（通常以百分比表示）。综合功率是指双面光伏组件正反面同时受到光照时的输出功率。双面率的高低直接影响双面组件的实际发电增益和应用价值。

电站测试检测中的案例

类型	尺寸	辐照 (W)	Pmax	双面率	Isc	Voc	Ipm	Vpm
BC	2278x1134x30mm	1000 (正面)	570.09	57.65%	13.44	52.66	12.84	44.19
		1000 (背面)	328.67		7.92	51.79	7.35	44.72
TOPCON	2278x1134x30mm	1000 (正面)	566.44	81.08%	13.26	53.24	12.55	45.13
		1000 (背面)	459.27		10.90	52.91	10.02	45.82
TOPCON	2278x1134x30 mm	1000 (正面)	562.67	85.73%	13.46	52.99	12.70	44.16
		1000 (背面)	482.45		11.48	52.72	10.90	44.27
TOPCON	2278x1134x35 mm	1000 (正面)	555.47	78.15%	13.42	51.57	12.76	43.82
		1000 (背面)	437.41		10.46	51.12	9.43	44.27
TOPCON	2278x1134x50 mm	1000 (正面)	573.03	77.46%	13.51	52.47	12.90	44.73
		1000 (背面)	344.64		10.70	52.06	9.86	45.66
TOPCON	2278x1134x50 mm	1000 (正面)	560.34	77.56%	13.43	52.06	12.78	43.83
		1000 (背面)	434.46		10.51	51.81	9.80	44.32
TOPCON	2285x1134x30 mm	1000 (正面)	535.73	75.32%	13.53	51.30	12.40	42.85
		1000 (背面)	403.50		10.31	50.79	9.32	43.18
TOPCON	2278x1133x30mm	1000 (正面)	558.36	78.54%	13.53	52.64	12.60	44.33
		1000 (背面)	438.54		10.62	52.28	9.75	44.98
TOPCON	2278x1134x30mm	1000 (正面)	561.05	75.96%	13.45	51.99	12.76	43.97
		1000 (背面)	426.20		10.34	51.56	9.56	44.59
TOPCON	2278x1134x30 mm	1000 (正面)	568.13	77.37%	13.43	52.34	12.80	44.40
		1000 (背面)	439.53		10.60	52.02	9.76	45.04
TOPCON	1762x1134x30 mm	1000 (正面)	421.29	80.48%	10.25	52.08	9.68	42.53
		1000 (背面)	339.05		8.42	51.72	7.70	41.04
TOPCON	1762x1134x30 mm	1000 (正面)	417.79	76.87%	10.18	51.55	9.63	41.40
		1000 (背面)	328.26		8.21	51.14	7.46	41.01
TOPCON	2384x1303x33mm	1000 (正面)	675.59	79.69%	17.99	48.26	16.75	40.37
		1000 (背面)	536.39		14.29	47.91	13.35	40.34
TOPCON	2384X1303X33mm	1000 (正面)	691.53	80.12%	17.57	48.63	16.89	40.94
		1000 (背面)	554.04		14.44	48.32	13.39	41.35
HJT	2384x1303x33mm	1000 (正面)	680.25	88.38%	17.21	49.60	16.40	41.47
		1000 (背面)	601.18		15.00	49.42	14.31	42.01
HJT	2384x1303x35mm	1000 (正面)	687.66	87.67%	17.24	49.74	16.40	41.84
		1000 (背面)	602.89		15.03	49.56	14.23	42.38
HJT	2384x1303x33mm	1000 (正面)	684.61	89.47%	17.18	49.61	16.32	41.56
		1000 (背面)	612.49		15.36	49.44	14.30	42.25

组件的双面率为在标准测试条件下（STC）组件背面最大输出功率与正面最大输出功率的比值（通常以百分比表示）。通过测试可以看出在各种技术路线中，HJT 的双面率最高，4 款 HJT 组件都超过了 85%，最高达到了 89.47%；TOPCon 的双面率次之，范围从 75%-85.74%，BC 组件双面率最低，只有 57.65%。

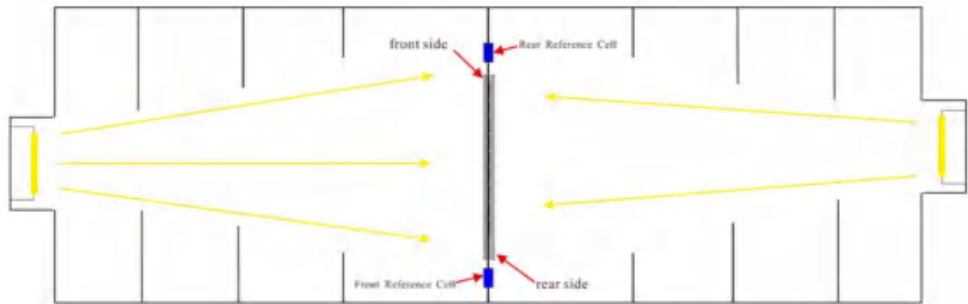
不同光伏场景的反射条件差异极大，高双面率组件能更好地适配多样化场景，减少 “场景限制” 带来的性能损失。光伏组件双面率的重要性贯穿于项目全生命周期：从前期选型阶段的收益测算，到中期建设中的场景适配，再到长期运营中的发电稳定性，其高低直接影响项目的经济性、竞争力和可持续性。

1.1.2.4 光伏组件双面综合功率测试质量评价

光伏组件双面综合功率，通常称为 “双面发电增益”或”双面系数(Bifaciality)” 导致的功率提升，指的是双面光伏组件除了正面接收太阳光直接发电外，其背面也能接收来自地面、周围环境的反射光和散射光进行发电，从而使组件的实际总输出功率超过其正面标称功率的现象。

光伏组件双面综合功率测试依据国际标准 IEC TS 60904-1-2 ED2（双面光伏组

件电流电压特性测试) 和中国光伏行业协会标准 T/CPIA 0019.1—2020 (双面发电光伏组件电参数测试方法-双面同步光照法)。



电站测试检测中的案例：

类型	尺寸	正面1000 (W)	双面率	背面200 (W)	正+背	正背同时闪光测试	增益率
BC	2278x1134x30mm	570.09	57.65%	64.82	635.02	633.58	0.11
TOPCON	2278x1133x30mm	558.35	78.54%	86.14	644.5	641.29	0.15
TOPCON	1762x1134x30mm	417.79	78.57%	64.08	481.87	480.98	0.15
HJT	2334x1303x33mm	680.25	88.38%	120.18	800.43	781.59	0.15
HJT	2334x1303x35mm	687.66	87.67%	119.1	806.76	797.93	0.16

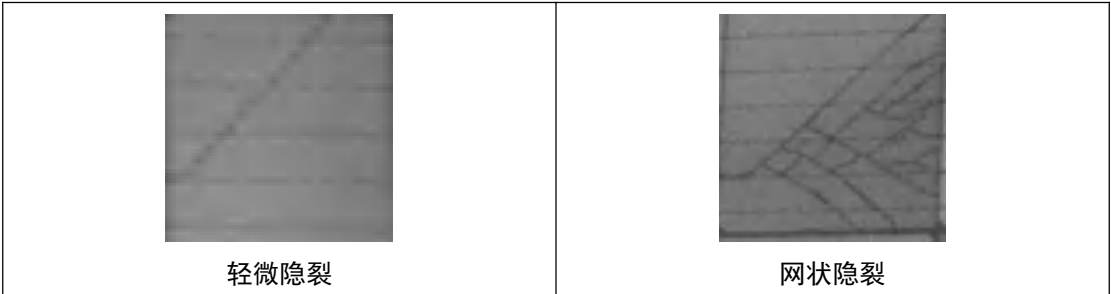
因此，要准确评估双面组件的综合功率，需要对组件正反面同时闪光测试，才能更真实的贴近组件现场实际应用场景。

1.1.3 光伏组件 EL 质量评价

光伏组件的 EL（电致发光）检测是通过对组件施加反向偏压，使电池片激发近红外光，再利用专用相机捕捉成像，以此识别电池片及内部封装的隐性缺陷的核心技术，常见缺陷类型及 EL 图像分析：

1. 电池片隐裂

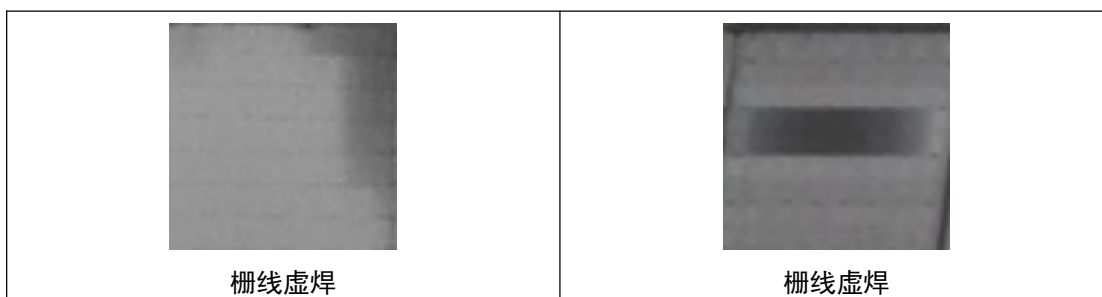
图像特征：最典型的缺陷，表现为不规则的黑色线条、分叉线或网状裂纹，裂纹处无发光；轻微隐裂为单条细黑线，严重时裂纹贯穿整片电池，呈蜘蛛网状。



2. 虚焊

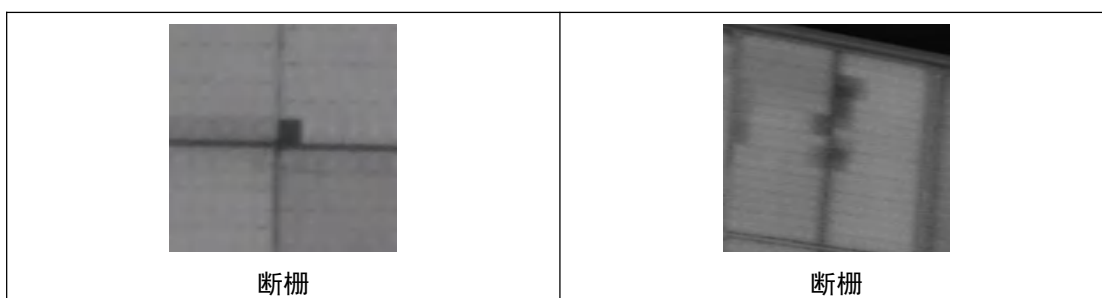
图像特征：分为栅线虚焊和主栅虚焊两类，栅线虚焊：电池表面细栅线断续、发黑、不连续，部分栅线无发光，呈 ”断线状”；主栅虚焊：主栅线（粗线）

局部或整体发黑，与汇流条连接部位出现明显暗区或间隙，电流无法有效传导。



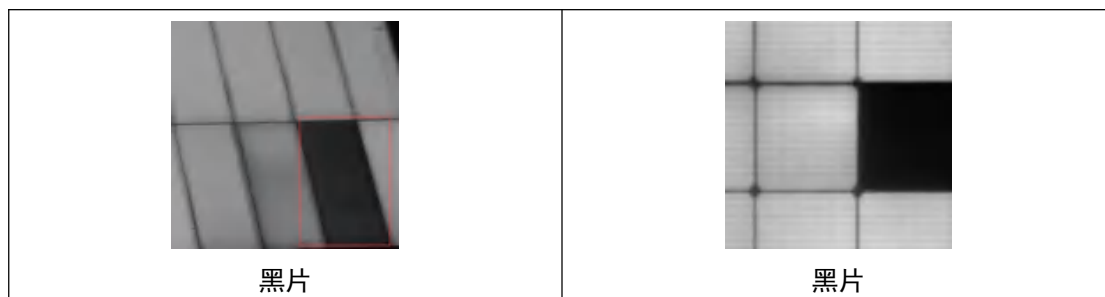
3. 断栅

图像特征：细栅线部分或全部消失，对应区域发光不均匀，但无明显裂纹；断栅区域边界较清晰。



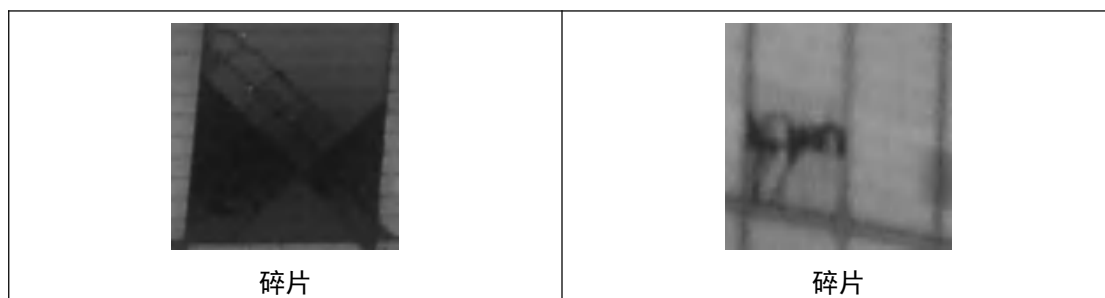
4. 黑片

图像特征：整片或半片电池呈现大面积暗区，几乎不发光，与周围正常电池片亮度差异显著。

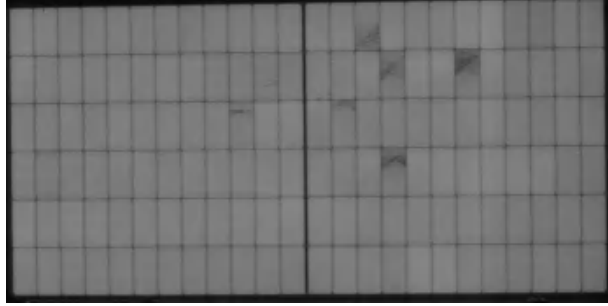


5. 碎片

图像特征：表现为不规则暗区、密集裂纹，碎片区域完全不发光，与正常区域界限清晰；严重时电池片碎裂成多块，暗区呈分散状。



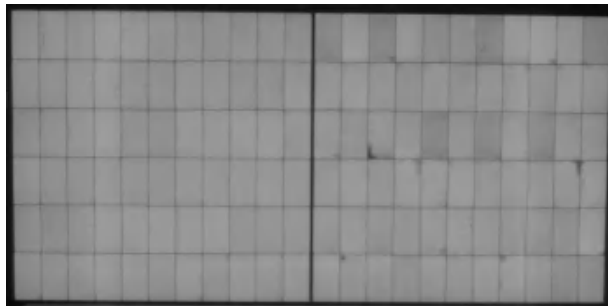
电站测试过程中遇到的组件 EL 问题：



隐裂



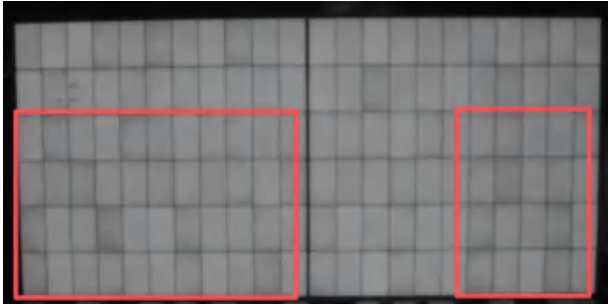
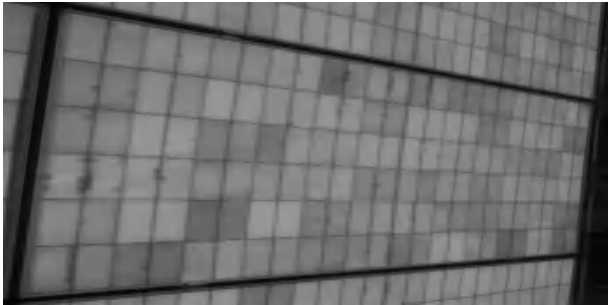
黑片、混档



虚焊



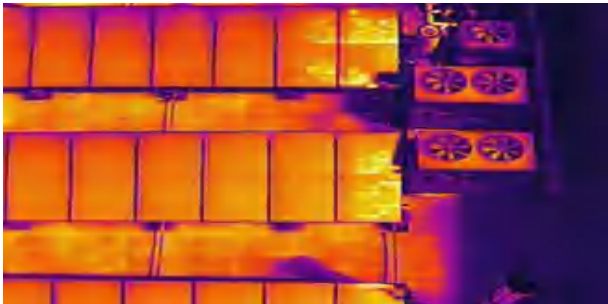
短路

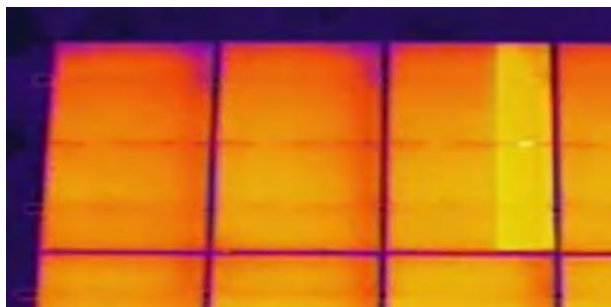

同心圆

断栅

1.1.4 光伏组件红外质量评价

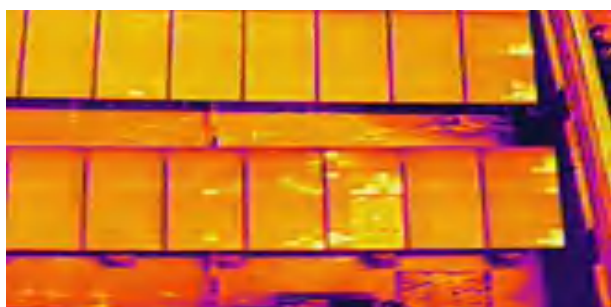
光伏组件红外结果分析主要通过红外热成像技术对光伏组件表面温度分布进行检测，以识别潜在故障和性能问题。

常见的有：遮挡、二极管问题、组件破碎、组串开路、同一 MPPT 的组串组件数量不一致等问题导致的组件红外异常现象。

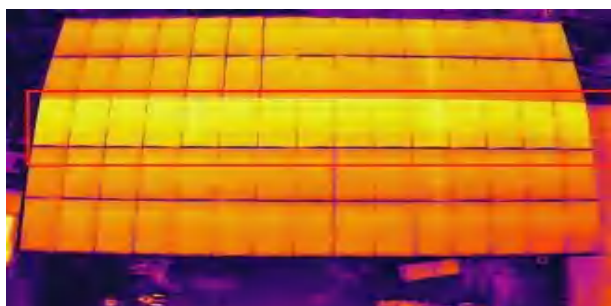
	
遮挡	



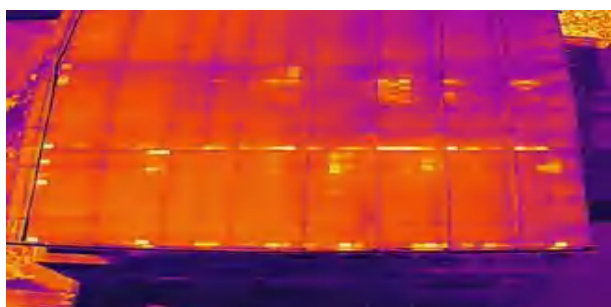
二极管问题



组件破碎



组串开路



同一 MPPT 的组串组件数量不一致

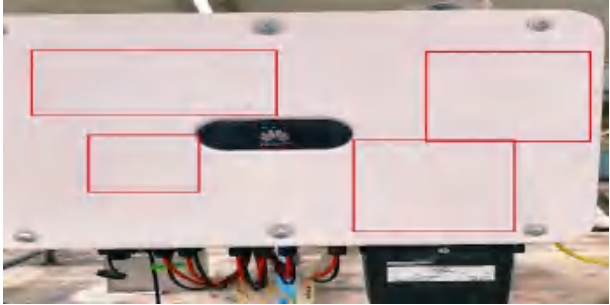
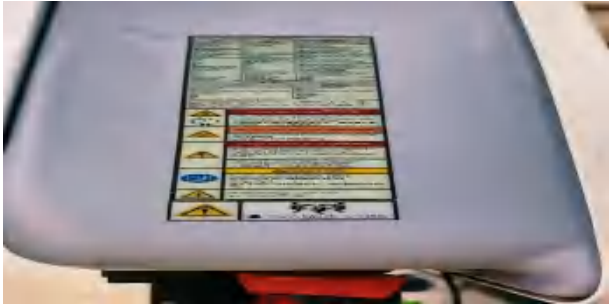
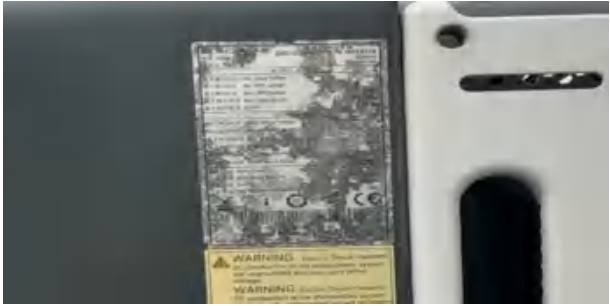
1.2 光伏逆变器

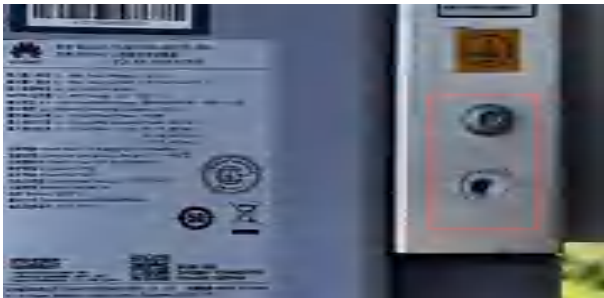
1.2.1 光伏逆变器外观

光伏逆变器外观可直接反映出光伏逆变器的可视缺陷。

光伏逆变器外包装木箱或纸箱应无变形、破损、撕裂、受潮或水渍；外包装箱上的设备型号、编号、功率是否与订单一致；检查警示标识（向上、易碎、防雨等）是否清晰；如条件允许，可称重核对，与产品手册重量对比，判断内部附件是否齐全。

电站检测中的案例：

	
逆变器外观正常	逆变器外观划伤
	
逆变器铭牌完整	逆变器铭牌污染
	
交流侧电缆表面出现磨损、刮破、挤压变形痕迹	逆变器交流侧端子烧蚀

	
逆变器接地线未做	逆变器接地线断裂

运维阶段的外观巡检要点：定期检查柜体锈蚀情况，沿海 / 高湿度地区每季度巡检 1 次，及时补漆防锈；清理散热风道灰尘，避免堵塞；检查风扇转动状态，有异响及时更换；核查接线端子螺丝紧固性，防止振动松动，每年用扭力扳手复紧 1 次。

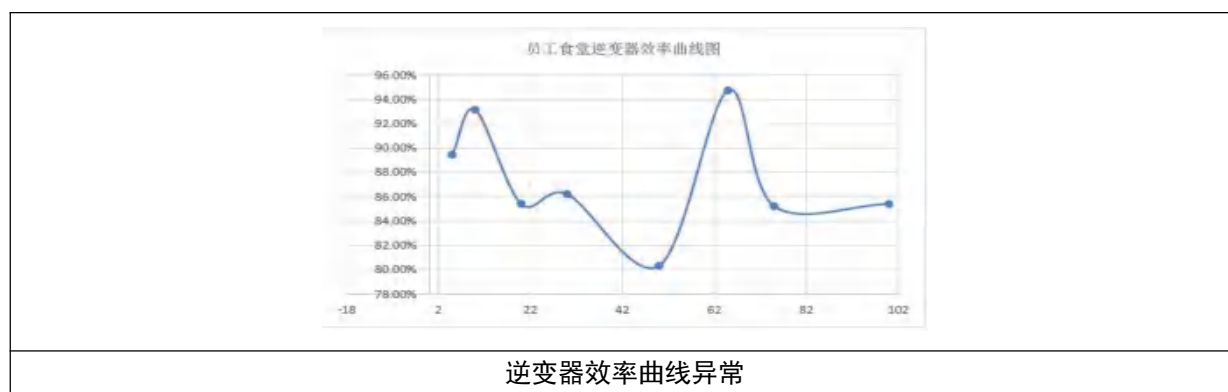
1.2.2 光伏逆变器效率分析

光伏逆变器效率分析是评估光伏系统性能和投资收益的核心环节。它不仅仅是看一个”峰值效率”数字，而是理解不同条件下的能量转换损失。

逆变器效率(η)的定义：

$$\eta = \frac{\text{交流输出功率 (AC Power)}}{\text{直流输入功率 (DC Power)}} \times 100\%$$

电站检测中的案例：



逆变器效率损失主要来自以下部分：

- (1) 导通损耗：电流流过功率器件、电感、变压器绕组、连接端子等内部阻抗时，以发热形式产生的损耗，这部分损耗与负载电流的平方成正比 (I^2R)；
- (2) MPPT 跟踪损耗：MPPT 算法无法 100%精确、实时地追踪到组件最大功率点，或因多路 MPPT 输入间电压不匹配造成的损失；
- (3) 散热损耗：上述所有损耗最终都转化为热量，需要通过风扇或散热片

散发到环境中。风扇本身也耗电；

（4）直流输入电压不匹配造成的损耗：直流输入需在逆变器 MPPT 电压范围内。电压过高或过低都会导致效率下降，甚至启动不了；

（5）不合理的容配比：逆变器容配比应依据逆变器手册和按照当地光资源进行优化，避免不合理的容配比造成逆变器功率效率下降。

1.2.3 光伏逆变器电能质量分析

光伏逆变器的电能质量是指逆变器输出的电流是否符合电网标准，是逆变器的核心指标，对电网稳定性和电站并网安全性有较大的影响。

电能质量的评价围绕电压、电流、频率、谐波四个方面进行的，其中谐波畸变、电压偏差是光伏逆变器的重点考核项，具体指标及标准要求如下：

指标名称	定义	国标 / 国际标准要求（GB/T 14549-2008、IEC 61727）	逆变器典型表现
总谐波电流畸变率（THDi）	电流中各次谐波有效值的平方和的平方根，与基波电流有效值的比值	并网电压 $\leq 35\text{kV}$ 时， $\text{THDi} \leq 5\%$ ； 各次谐波电流含有率需符合限值（如 3 次 $\leq 2\%$ 、5 次 $\leq 1\%$ ）	组串式逆变器 $\text{THDi} \leq 3\%$ ； 集中式逆变器 $\text{THDi} \leq 4\%$
电压偏差	逆变器输出电压与电网额定电压的差值百分比	380V 电网：偏差 $\leq \pm 7\%$ ； 10kV 电网：偏差 $\leq \pm 5\%$	正常工况下偏差 $\leq \pm 2\%$ ，电压波动时需通过稳压控制调节
频率偏差	输出交流电频率与电网额定频率的差值	工频 50Hz：偏差 $\leq \pm 0.2\text{Hz}$	逆变器频率跟踪精度高，偏差 $\leq \pm 0.05\text{Hz}$
功率因数（PF）	有功功率与视在功率的比值，反映电流与电压的相位匹配度	并网逆变器需满足 0.95（超前）~0.95（滞后）	额定负载下 $\text{PF} \geq 0.98$ ，轻载时可通过无功补偿调节
电压波动与闪变	电压快速波动导致的灯光闪烁现象	公共连接点（PCC）闪变值 $P_{\text{st}} \leq 1.0$	光伏出力波动时，逆变器需抑制电压波动，闪变值 ≤ 0.5

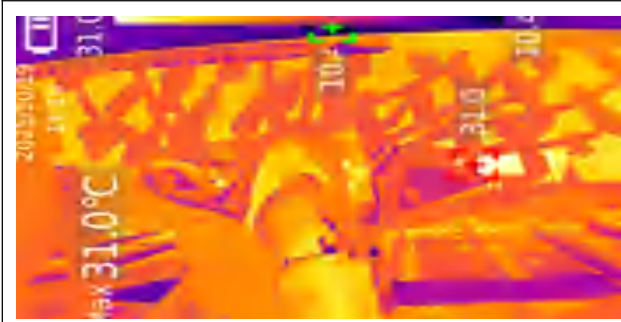
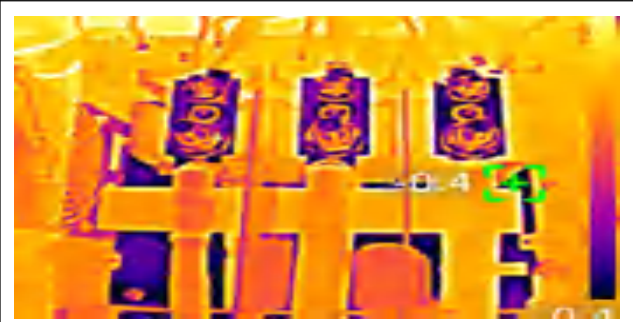
总谐波电流畸变率是核心指标，谐波过大会污染电网，导致变压器、断路器等设备发热、损耗增加，甚至触发电网保护装置跳闸。

电站检测的测试案例：

测试参数	测试结果	判定标准
A 相电压偏差 (%)	105.33	合格
B 相电压偏差 (%)	105.32	
C 相电压偏差 (%)	105.4	
平均电压偏差 (%)	105.32	$85\% \leq V \leq 110\%$
A 相频率偏差 (Hz)	0.00	合格
B 相频率偏差 (Hz)	0.00	
C 相频率偏差 (Hz)	0.00	
平均频率偏差 (Hz)	0.00	$\pm 0.5 \text{ Hz}$
A 相电流总谐波 (%)	1.22	合格
B 相电流总谐波 (%)	1.23	
C 相电流总谐波 (%)	1.25	
平均电流总谐波 (%)	1.23	总谐波电流应小于逆变器额定输出的 5%
三相电压不平衡度 (%)	0.33	公共连接点的负序电压不平衡度应不超过 2%， 短时不超过 4%。
直流量 (%)	0.22	$\leq 0.5\%$

1.2.4 光伏逆变器进出电缆红外分析

光伏逆变器进出电缆接头红外结果分析，主要通过红外热成像技术对电缆接头表面温度进行检测，以识别潜在虚接问题。

	
逆变器直流进线端口红外正常	逆变器交流出线端口红外正常

1.3 光伏汇流箱

1.3.1 光伏汇流箱外观

光伏汇流箱是光伏发电系统中用于汇集和分配直流电能的设备，外观因型号、功能和制造商而异，但通常外观设计以简洁、实用、耐用为原则，兼顾防护性能、安装便利性和标识清晰性，以适用于光伏发电系统的运行需求。

1.3.2 光伏汇流箱进出电缆红外分析

对光伏汇流箱进出电缆开展红外分析，是一种通过红外热成像技术对电缆运行状态进行检测和评估的方法，主要用于发现潜在的故障隐患和异常发热问题。

1.分析目的：检测电缆接头有无虚接导致电流通过时产生额外热量引起设备故障；电缆是否存在过载运行，因电阻损耗而发热，避免因过热引发绝缘损坏或火灾；电缆绝缘层破损、内部导体断裂或短路等问题，可能在故障点附近产生局部发热，从而通过红外分析来辅助定位故障位置；评估电缆老化程度，通过红外分析对比不同电缆或同一电缆不同时期的温度数据，可评估其老化程度。

2.分析方法：使用专业的红外热像仪，建议在光伏系统满负荷运行时检测，此时电缆发热最明显，便于发现潜在问题。需对电缆的进出线端、接头处、弯曲部位及本体进行全面扫面，确保覆盖所有可能的故障点。

注：红外分析只能发现温度异常，无法直接确定故障原因，对于疑似故障点，需结合电气测试（如绝缘测试、接地电阻测试等）、外观检查等方法进一步诊断。

定期进行红外分析，建立电缆温度数据库，通过历史数据对比分析电缆老化趋势和故障发展规律，为预防性维护提供依据。

1.3.3 光伏汇流箱组串开压一致性核查

光伏组串开路电压（Voc）一致性核查是保障光伏电站发电效率、排查组串故障的关键运维环节，核心目标是确认同一片区、同规格组件的组串开路电压偏差在合理范围内，避免因组件衰减、接线故障、遮挡等问题导致的发电损失。

1.核查需在同一辐照度且辐照度稳定时段、同一环境温度下进行，避免因辐照度、温度等波动下造成电压偏差；待核查组串的组件需为同一品牌、同一型号、同一批次；使用设备为高精度万用表。

2.核查时确保测试组串处于开路状态，防止短路或触电；测量需逐一对同一逆变器或同一汇流箱下的所有组串进行测量，测量顺序保持一致，减少环境因素的渐变影响，记录测试时的环境温度和辐照强度（如有辐照仪），便于后续偏差修正。

3.一致性判定标准

常规合格标准：

○ 对于同规格、同批次组件的组串，开路电压偏差率应 $\leq \pm 2\%$ ；

部分高标准电站会要求 $\leq \pm 1\%$ 。

○ 单串电压不得低于该型号组件标称开路电压的 90%（排除组件严重衰减或故障）。

异常判定情形：

○ 某一串电压显著低于平均值（偏差率 $> 2\%$ ）：可能存在组件

隐裂、衰减、接线端子接触不良、二极管损坏等问题。

○某一串电压显著高于平均值：大概率是测试误差（如未完全断电、组件受光不均），需重新核查。

○多串电压普遍偏低：需对比组件标称值，排查是否为批次性衰减或环境因素影响。

1.4 变压器

变压器的外观可直接反映出变压器的可视缺陷，是设备投运前、运行中及检修后的一项重要工作，主要目的是通过目视和简单工具发现外部异常、损伤或隐患，确保设备安全稳定运行。

外观检查分为常规整体检查和重点部件检查。

常规整体检查为：铭牌清晰，参数（容量、电压、电流、接线组别等）与运行要求相符；绕组接线标识清晰、正确；油位计、温度计等表计标识清晰；接地、警告等安全标识齐全、完好；外壳无严重锈蚀、变形、破损或油漆剥落。箱体密封良好，无渗漏油迹象（特别是焊缝、密封接口处）；安装基础牢固，无下沉、倾斜等。

重点部件检查为：绝缘套管清洁，无裂纹、破损、放电痕迹（发黑、爬电）、闪络或严重污秽，端子连接牢固，无过热变色（发黑、镀层脱落），接触面平整；冷却装置无变形、堵塞，表面清洁。连接阀门与管路位置正确（打开或关闭），无渗漏油。油枕的油位计油位清晰可见，指示在与环境温度对应的正常范围内。呼吸器的硅胶颜色正常（蓝色或白色，受潮后变为粉红色），变色不超过 2/3。油封杯内油量适中、清洁，呼吸畅通等。

电站检测中的案例：

	
箱变熔断器损坏	箱逆变通讯故障



监控后台各种数据无法显示



变压器温度表异常



变压器呼吸器硅胶变色



变压器套管漏油



变压器接地线面积不足



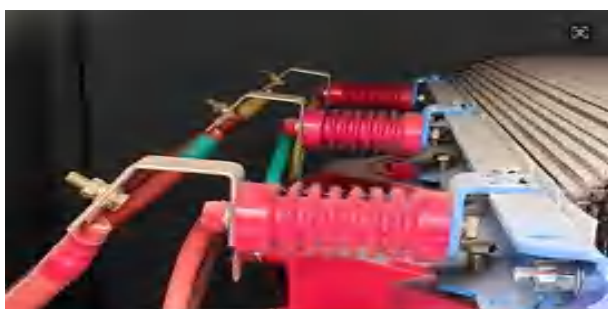
箱变表计超期未检定



箱变低压侧电缆缺失标牌



箱变低压侧电缆地线一点多线



变压器内部粉尘、脏污多	箱变低压侧绝缘护套开裂
-------------	-------------

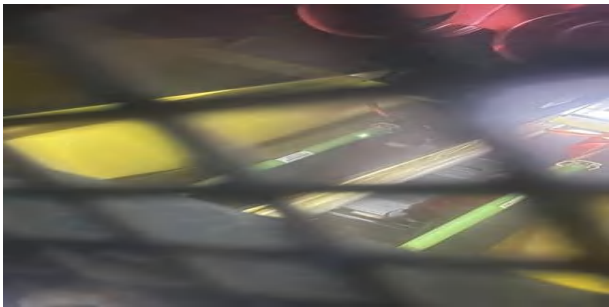
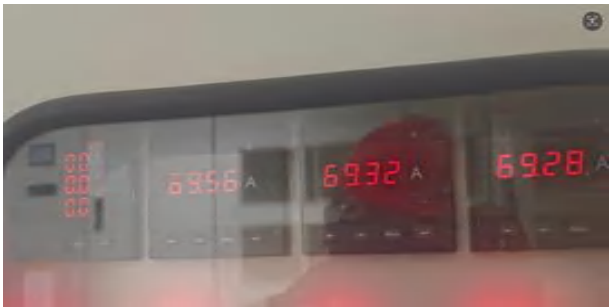
1.5 开关设备、SVG 设备

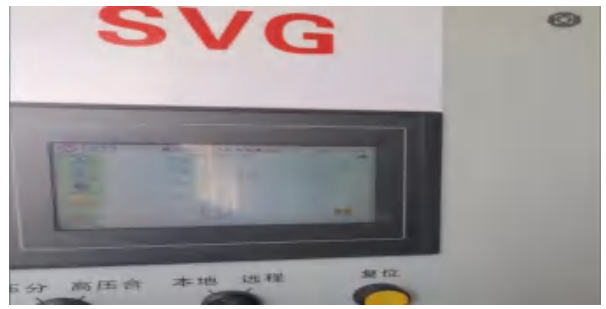
开关设备作为电力系统中控制、保护、隔离电路的核心设备，其运行状态直接关系到电力系统的安全性、可靠性和经济性。

SVG（静止无功发生器）作为电力系统中动态无功补偿与谐波治理的核心电力电子设备，其运行性能直接影响电网的电压稳定性、功率因数及电能质量。

开关设备、常见问题：母线 PT 高压熔丝损坏、并网开关柜设备双重名称不完善、并网开关柜电气指示错误、并网开关柜表计显示错误、并网开关柜二次接线未完成且无防护、并网开关柜互感器发热、烧毁、并网开关柜 UPS 超温报警、并网开关柜电缆室凝露较多、SVG 冷却风机损坏、SVG 触摸屏通讯异常等问题。

电站检测中的案例：

	
母线 PT 高压熔丝损坏	并网开关柜设备双重名称不完善
	
并网开关柜电气指示错误	并网开关柜表计显示错误
	
并网开关柜二次接线未完成且无防护	并网开关柜互感器发热、烧毁

	
并网开关柜 UPS 超温报警	并网开关柜电缆室凝露较多
	
SVG 冷却风机损坏	触摸屏无数据显示或显示滞后

二、电站发电性能质量评价

2.1 电站系统效率分析

光伏电站系统发电效率是评估一个光伏电站综合质量的一个重要参数。目前，设计优良、运维良好的大型地面电站全年系统效率通常在 **78%-85%** 之间。

光伏电站系统效率 PR 测试期间，需尽量保持光伏电站全容量上网，辐照度的采集器需同光伏组件的方位角、安装角度保持一致。

电站检测的测试案例：

表 20 电站系统能效 PR 测试结果				
日期	装机容量 (kWp)	发电量(kwh)	辐射量 (kwh/m2)	系统效率 PR
10 月 29 日~10 月 31 日	210.18	902.34	6.34	67.74%
注：测试期间，雨水棚 PV2 组发生故障。				
某分布式光伏电站 PR 异常				
表 19 电站系统能效 PR 测试结果				
日期	装机容量 (kWp)	发电量(kwh)	辐射量 (kwh/m2)	系统效率 PR
6 月 27 日~7 月 1 日	365.8	6897.6	23.55	80.06%
某分布式光伏电站 PR 正常				

2.2 影响电站效率因素

影响光伏发电效率因素主要可以分为三大部分，一是环境因素，二是设备自

身损耗，三是线路损耗。

（1）环境因素：这一部分损耗主要包括灰尘遮挡、建筑物遮挡、鸟粪遮挡、树木遮挡、方阵前后间距遮挡、山体遮挡等。具体分析 2.2.1，这类损耗在光伏电站实际运行过程中对发电量的影响是比较大的。

（2）设备自身损耗：这一部分损耗主要包括故障损耗、失配损耗以及设备自身损耗，失配损耗主要表现为组件间的串并联失配，具体分析见 2.2.2，设备自身损耗主要表现为主要设备的转换效率。失配损耗及设备自身损耗在光伏电站实际运行过程中对发电量的影响一般来说是比较小的。

（3）线路损耗：是指交直流线缆导致的损耗，主要与电缆规格和路径有关。具体分析见 2.2.3。这类损耗在光伏电站实际运行过程对发电量的影响是有限的。

2.2.1 遮挡损失

遮挡损失主要为灰尘、落叶等，以及阴影遮挡（建筑、树木、鸟粪）等。详见下图：



2.2.2 串并联适配损失

在光伏电站中，大量光伏组件通过串联提升电压形成光伏组串，再通过并联提升电流接入汇流箱或逆变器进行逆变。

其中，串联失配的主要原因（影响同一组串内组件）可以分为以下几部分：

（1）光伏组件制造工艺：尽管组件标称功率相同（例如 630Wp），但因制造工艺，其实际功率、工作电流 I_{mp} 存在 $\pm 1-3\%$ 的偏差。

（2）光伏组件初始衰减：组件在投入运行前期的初始光致衰减率不一致。

（3）光伏组件运行环境：局部阴影遮挡（鸟粪、积尘、落叶）、部分组件污浊（清洗不彻底）、朝向/倾角微小差异（安装误差）、热斑效应/电池片局部过热（电池片损坏或因遮挡导致局部过热，进而造成光伏组件性能下降）。

（4）性能衰退：组件在长期运行中，因老化、隐裂、PID 等问题，性能衰退速度不一致。

同理，造成并联失配的原因（影响并联的不同组串）也可从上述四部分进行分析：

（1）光伏组件制造工艺：在光伏电站前期的安装过程中，不同组串的组件功率档位混用，或整串功率混装。

（2）光伏组件初始衰减：不同批次、不同型号的组件并联，其 IV 曲线形状、温度系数等固有参数不同、

（3）光伏组件运行环境：辐照度差异；针对山地电站，不同方阵接收的辐照度不同；温度差异：不同安装位置导致组串工作温度不同。

（4）性能衰退：同一电站中，不同区域的组串因环境应力（如盐碱、氨气）导致衰退程度不同。

串并联失配损失是一种系统性损耗，贯穿电站全生命周期。其管理核心在于项目建设前期通过设计选型和规范安装预防，如采购时要求更严格的功率公差（如 $0+3W$ ），或进行电流分档，确保同一组串内组件电流特性尽可能一致；避免将不同朝向、倾角或可能受阴影影响的组件串联在同一组串中；合理设计方阵间距，减少阴影遮挡；在项目建设前期严格管理安装流程，确保同一组串内不使用不同品牌、型号、批次的组件，规范施工，避免安装过程造成组件隐裂。后期通过数据监控和定期检测发现并干预，如每日监控组串电流离散率，对长期离散率高的组串安排现场检查；定期清洁与巡检，制定科学的清洗计划，减少因污浊不均造成的失配；定期进行红外检测，及时发现热斑等故障组件；及时更换故障组件，对确认为性能严重衰减退化的组件，进行更换，恢复组串一致性；使用支

持多路 MPPT 的逆变器，在复杂地形或有多朝向的屋顶项目中，尽可能将不同条件的组串接入逆变器不同的 MPPT 通道，减少并联失配。

2.2.3 交直流线损

线损指的是电能从产生点（光伏组件）到并网点（电网）的传输过程中，由于导线电阻、连接点阻抗等因素造成的功率损失。

根据电流类型和系统部位，主要分为直流侧线损和交流侧线损。

关于直流线损的分析如下：

由于组件串联后电流不变，而电流是损耗的平方因子，因此直流电流的大小对线损影响极大；组件之间的 MC4 接头、汇流箱内的端子等，接触电阻会产生热损耗；劣质或老化的接头损耗尤为明显；组件旁路二极管、防反二极管在导通时会有固定的正向压降（约 0.5-0.7V），产生损耗；线缆对地漏电流损耗极小，通常在绝缘良好时可忽略。

建议尽量使用组串电缆长度等长，避免因阻抗不匹配导致“木桶效应”，组件到汇流箱、汇流箱到逆变器的路径应最短化，铜芯电缆优于铝芯电缆（电阻率低）。

关于交流线损的分析如下：

- ①交流损耗主要为电缆电阻损耗；
- ②变压器损耗（如有升压变压器）；
- ③无功功率引起的损耗；
- ④谐波电流引起的损耗；
- ⑤接触点与开关器件损耗。

建议交流侧电压通常更高（如 400V，10kV，35kV），传输相同功率时电流更小，有利于远距离输电；要求逆变器在额定功率下运行于单位功率因数（如 $PF=0.99$ ），以减少无功环流带来的线损；在升压站有时需额外配置无功补偿装置；选用高品质、低 THDi（总谐波失真）的逆变器；优先选用低损耗变压器（如 SCB18/20 型干变或 S20 型油变），使其运行在高效负载区间（通常 60%-80% 额定负载）

2.2.4 电站设备故障

光伏电站的设备故障主要光伏组件、直流电缆、连接器、汇流箱等，具体见下表：

直流侧设备故障

设备	常见故障	主要原因	影响与现象	预防与维护
光伏组件	热斑效应	电池片损坏、被遮挡，导致该片成为负载发热。	局部高温烧毁，功率下降，长期可引发火灾。	定期对光伏组件进行红外热成像检测。
	外观破碎	在安装过程中由于不规范安装造成或遭其他外力撞击。	导致电池片破碎，进而影响组件发电性能。	在安装时规范操作，定期对光伏场区巡检。
	接线盒故障	二极管烧毁、焊点虚焊，密封不好进水。	组件断路或输出异常，红外下显示温度异常。	选择优质接线盒，安装时检查密封性。
直流电缆与连接器	接头烧毁	安装不规范、接触电阻大，发热氧化至烧熔。	轻则支路断电，重则引发火灾。	在安装过程中使用专业工具安装，定期红外测温。
	绝缘破损	机械损伤、老化、鼠害等	对地绝缘阻抗下降，报绝缘故障，甚至触电，火灾。	使用防鼠蚁电缆、套管保护，定期检查。
汇流箱	保险丝/断路器熔断	支路断路、电流过载、器件劣化。	该支路所有组串停止发电。	分析熔断原因（是偶发还是永久故障），定期检查器件状态。
	防雷器失效	雷击浪涌或寿命到期。	失去防雷保护，通常有故障指示。	雷雨季节前后重点检查，及时更换。
	监测模块故障	电路板受潮、损坏。	监控系统失去该汇流箱数据。	选择 IP 等级高的产品，安装在阴凉干燥处。

逆变器故障

常见故障	主要原因	影响与现象	预防与维护
绝缘阻抗过低	直流侧（组件、电缆）对地绝缘破损、潮湿、灰尘导电。	频发报警。逆变器保护性关机，无法启动。	使用摇表分段排查直流侧，保持设备清洁干燥。
直流过压/电网过压	组串开路电压在低温下超出逆变器范围；电网电压偏高。	逆变器限发或关机。	设计时考虑极端温度电压，与电网公司协调。
风扇故障/过热	风扇积灰损坏、风道堵塞、环境温度过高。	逆变器降额运行或过热保护关机。	定期清灰！**确保通风良好，检查风扇状态。
交流侧故障（如漏电流、电网频率异常）	电网本身质量问题或接入点异常。	逆变器脱网停机。	检查电网参数，必要时加装治理设备。

内部器件损坏 (IGBT、电容等)	雷击、过电流、过温、器件老化。	逆变器彻底损坏，无输出，可能伴有异响或烧焦味。	做好防雷接地，避免长期过载运行。 关注厂商质保。
----------------------	-----------------	-------------------------	-----------------------------

交流升压及并网设备故障

设备	常见故障	主要原因	影响与现象	预防与维护
箱变/变压器	温升过高	过载、冷却系统（风扇、油泵）故障、内部接触不良。	轻则报警，重则跳闸，绝缘老化加速。	定期巡检油温/绕组温度，清理散热片，检查冷却系统。
	声音异常	内部紧固件松动、铁芯问题、绕组变形。	有异常振动或噪音。	定期进行听声、振动检测。
	渗漏油	密封件老化、焊缝开裂。	影响绝缘和散热，存在安全隐患。	定期巡视，及时处理。
开关柜/断路器	机械故障	机构卡涩、变形。	无法正常分合闸。	定期进行机械特性测试和操作试验。
	绝缘故障	受潮、积灰、绝缘件老化。	放电、闪络，甚至相间短路。	保持柜体清洁干燥，定期做预防性试验（耐压等）。
SVG/SVC	模块故障	IGBT 等功率模块损坏。	无功补偿能力下降，可能报故障停机。	控制室内环境温度，定期检查。
	控制板故障	电路板问题。	设备失控。	保持设备清洁，电压稳定。

三、电站结构安全分析

3.1 基础结构安全分析

光伏电站支架基础是将安装光伏组件的支架结构所承受的各种作用力传递到地基上的结构组成部分，与建筑结构的基础相比，光伏电站支架基础所承受的荷载相对较小，设计、施工难度不大，但数量庞大，其安全性、经济性对整个工程的影响很大。支架基础的选型与设计需综合考虑现场实际条件、上部支架结构类型、荷载条件、施工工艺，并结合工期要求和地方经验进行优化和调整。

3.1.1 基础类型针对性核查

支架基础是承载整个光伏系统荷载的关键，不同安装场景（地面、屋顶、水面）的基础类型差异较大。地面、有水的地方及部分水泥屋面电站根据承载力或设计要求选择独立桩基、条形基础、灌注桩基础等，水泥基础需满足相关设计要求（如配重、强度等）。彩钢屋面多采用各式夹具来固定（角驰夹具、直立锁边夹具等）。

 水泥墩	 立柱桩
 角驰夹具	 直立锁边夹具

3.1.2 基础周边环境分析

光伏电站须保障周边设施稳定、环境安全及人员通行安全。电站周围建设围墙或围栏应坚固稳定，高度应不低于 **1.8M**，围栏需能防止人员或动物穿越，避免出现安全隐患。电站周边的供水、排水、燃气、电力、通信等线路需定期巡检，避免出现管道泄漏、线缆裸漏、井盖缺失/破损等问题；燃气管道周边严禁堆放易燃易爆物品。电站里外各区域需做好安全警告标识，提醒非本站人员或非专业人员请勿乱动。对于电站周边树木需定期修剪，避免树枝触碰高压线或遮挡标识，枯萎、倾斜的树木需及时清理，防止倒伏伤人。针对火灾、积水、电气故障等突发情况制定应急处置方案，并定期组织演练。

3.2 支架系统安全分析

3.2.1 支架材质与外观

支架材料的性能直接决定结构可靠性，根据设计标准及现场实际选用合适的材料，光伏支架是支撑光伏组件的核心结构件，其材质性能决定支架的承载能力与耐腐蚀性，外观质量直接反映加工与安装工艺水平，二者共同影响电站的结构安全和使用寿命。材料进场需核查外观、规格、防腐层及材质证明，杜绝不合格材料入场。主流分为铝合金、钢结构、不锈钢三类。

1. 铝合金支架（轻量化主流选型）

适用于：屋顶分布式电站、地面中低荷载电站、对屋面荷载敏感的场景

2. 钢结构支架（高荷载核心选型）

适用于：地面集中式电站、高风荷载 / 雪荷载区域、大跨度支架、山地斜坡电站

3. 不锈钢支架（恶劣环境专用选型）

适用于：沿海高盐雾地区、化工园区、高湿度腐蚀环境

3.2.2 组件安装结构安全分析

光伏组件安装结构是支撑光伏阵列的核心载体，其安全性直接决定电站的稳定运行与使用寿命。常见的大致可分为三种：

1. 屋顶安装

坡屋顶：采用夹具安装时，需确保夹具固定牢固，防水处理到位，组件倾角与屋面坡度匹配，分布式载荷不超过屋面承载能力。

平屋顶：压载式或支架式安装需计算压载重量，确保防滑和抗风性能，同时预留维护消防通道。

2. 地面安装

固定式支架系统：需根据地质条件选择合适的桩基类型和深度，确保地基稳定，支架倾角优化以提高发电效率，阵列间距需避免组件相互遮挡。

跟踪系统：单轴或跟踪支架需具备高精度控制和抗风策略，确保在大风时能自动调整角度，减少风阻，避免大面积损坏。

3. 水面安装

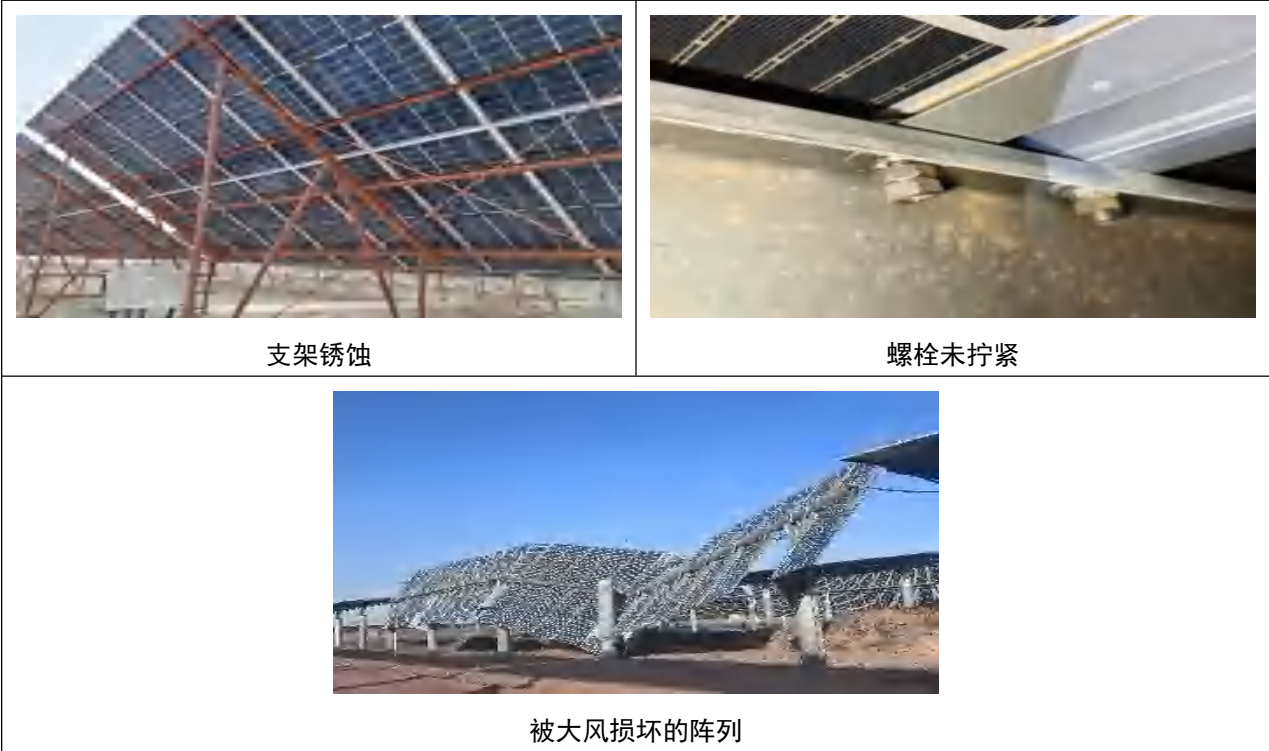
浮筒式系统：浮筒的浮力和连接件的强度需满足组件重量和波浪式冲击要求，防腐蚀和防生物附着措施至关重要。

桩基式系统：需考虑水深、冲刷层和防生物附着问题，电气设备需具备防水和防潮性能。

3.2.3 结构安全辅助分析

光伏电站安装完成后，需对全站进行各方面专业性检查，确保现场施工符合设计要求，对于大型项目，可安装智能监测系统，实时监测应力、变形等参数。

定期检查组件、支架、连接件的状况，及时发现并处理松动、腐蚀、损坏等问题。在极端天气后（如台风、暴雪），需加强检查和维护。针对基础结构、支撑框架可进行荷载试验，使用有限元仿真进行支架、基础的应力、变形、稳定性计算；用流体动力学模拟光伏阵列的风场分布，优化阵列排布，降低风载荷影响。电站建成后也可使用超声波探伤、扭矩扳手、全站仪等方式对现场结构、基础等进行检测，验证结构安全性。



四、电站电气安全质量评价

4.1 接地电阻质量评价

光伏电站接地系统涵盖光伏方阵、逆变器、汇流箱、配电室设备及防雷系统等多个单元，接地电阻检测核心是验证各单元接地系统泄放雷电电流、故障电流的能力，需结合光伏电站专属接地类型匹配行业标准限值，精准判断实测数据合规性及潜在隐患。

4.1.1 判定标准

接地类型	适用设备/系统	合格电阻限值	参考标准
光伏方阵联合接地	光伏组件金属边框、 支架、汇流箱外壳	$\leq 4\Omega$	NB/T 32004-2018《光伏发电站施工规范》

光伏方阵独立接地	偏远区域独立光伏方阵（未接入全站接地网）	$\leq 10\Omega$	NB/T 32004-2018
逆变器/汇流箱防雷接地	逆变器外壳、汇流箱内部防雷模块、直流侧防雷装置	与全站接地网共用时 $\leq 4\Omega$ ；独立防雷接地 $\leq 10\Omega$	GB 50057-2010《建筑物防雷设计规范》
全站总接地网	配电室设备、主变压器、交流配电系统	对于 1000V 以下中性点不接地系统 $\leq 4\Omega$ ；若重复接地场景下，按 GB/T 50065-2011 细化执行	GB/T 50065-2011《交流电气装置的接地设计规范》

4.1.2 结果分析要点

1. 达标情况：实测值 $\leq$ 对应限值，且同一方阵内各组件支架、汇流箱接地电阻差值 $\leq 4\Omega$ → 接地系统泄流能力可靠，符合光伏电站安全运行要求。需重点关注季节影响：雨季土壤湿度大，电阻值偏低；旱季（尤其荒漠、戈壁光伏电站）土壤干燥，电阻值易升高，建议旱季每月复测 1 次。

2. 超标情况：实测值 $>$ 限值，或方阵内接地电阻差值过大 → 存在重大安全隐患，需针对性排查根源：

a、环境因素：光伏电站多建于荒漠、山地等区域，土壤电阻率高（沙土、岩石层），且降水稀少，土壤干燥导致接地体与土壤接触不良；沿海光伏电站可能因盐雾腐蚀影响接地效果。

b、接地体缺陷：光伏支架接地端子腐蚀、断裂；接地极（角钢、铜棒）埋深不足（未达冻土层以下）；方阵接地网覆盖面积过小，接地极数量不足。

c、施工问题：组件支架与接地支线焊接不牢固、未做防腐处理（刷沥青漆、热镀锌）；接地引下线与汇流箱、逆变器接地端子连接松动；不同材质接地体（钢、铜）混用未做过渡处理，导致接触电阻增大。

d、外部干扰：光伏方阵周边施工（如电缆敷设、道路修建）破坏接地网；方阵内杂草、植被遮挡接地极区域，导致土壤板结干燥。

4.2 接地连续性质量评价

光伏电站接地连续性是指光伏组件边框、支架、汇流箱、逆变器、配电室金属构件等与接地系统之间的导通性，核心要求是导通电阻足够小，确保故障电流、漏电电流能快速导入大地，避免金属构件带电引发安全事故，同时保障方阵均压

效果。

4.2.1 判定标准

1. 光伏组件边框与支架之间、支架与接地支线之间的导通电阻 $\leq 0.1\Omega$ ；
2. 汇流箱、逆变器外壳与接地干线之间的导通电阻 $\leq 0.1\Omega$ ；
3. 光伏方阵内相邻支架之间的导通电阻 $\leq 0.5\Omega$ （确保方阵整体均压，避免电位差电击）；

参考标准：NB/T 32004-2018《光伏发电站施工规范》、GB 50169-2016《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》。

4.2.2 结果分析要点

1. 合格情况：各连接点导通电阻 $\leq$ 对应限值，且方阵内无导通断点 → 接地连续性良好，故障电流泄放路径可靠，方阵均压效果达标。

2. 不合格情况：导通电阻 $>$ 限值或出现断路 → 接地连续性失效，需重点排查：

a、机械连接问题：组件边框与支架连接螺栓松动、缺失；汇流箱、逆变器接地端子氧化、锈蚀，导致接触电阻增大；接地支线与干线连接螺栓未紧固。

b、导体缺陷：接地引下线断裂、截面积不足（光伏方阵接地支线建议 $\geq 16\text{mm}^2$ 铜芯线）；组件支架跨接处未加装导通件（如铜编织带），因支架拼接间隙导致导通不良。

c、施工疏漏：组件安装时未将边框接地端子与支架可靠连接；汇流箱、逆变器安装后遗漏接地支线接入；配电室金属桥架、电缆沟支架未做跨接导通处理。

d、运维损伤：运维人员巡检时碰撞导致接地连接松动；方阵区域大风、沙尘暴天气导致支架变形，破坏接地导通路径。

4.3 绝缘电阻质量评价

光伏电站绝缘电阻检测覆盖直流侧（光伏组件、直流电缆、汇流箱、逆变器直流端）和交流侧（逆变器交流端、交流电缆、配电室配电设备），核心是衡量绝缘层耐受电压能力，判断绝缘层是否存在老化、受潮、破损等问题，避免发生漏电、短路故障，保障交直流系统安全隔离。

4.3.1 判定标准

测试方法	系统电压 (V)	测试电压 (V)	绝缘电阻最小限值 (MΩ)	参考标准
方法一： 光伏方阵正负极分别 对地	<120	250	0.5	CNCA/CTS0016-2015 并网光伏电站性能检测与质量评估技术规范
	120-500	500	1.0	
	>500	1000	1.0	
方法二： 光伏方阵正负极短路 后对地	<120	250	0.5	
	120-500	500	1.0	
	>500	1000	1.0	

4.3.2 结果分析要点

1. 合格情况：实测值 $\geq$ 对应限值，且同一批次组件、同一段电缆的绝缘电阻差值 $\leq 30\%$ → 绝缘性能良好，无受潮、老化、破损现象，交直流系统隔离可靠，可正常运行。

2. 不合格情况：实测值 $<$ 限值，或同一批次组件、同一段电缆绝缘电阻差值过大 → 绝缘性能劣化，需针对性分析原因：

a、环境因素：光伏组件长期户外运行，受雨雪、凝露、盐雾（沿海电站）、沙尘（荒漠电站）影响，绝缘层受潮、附着污染物，导致绝缘电阻降低；配电室、汇流箱内湿度超标，引发内部元件绝缘劣化。

b、绝缘老化与破损：组件封装胶膜（EVA）长期紫外线照射老化、开裂，导致组件内部绝缘不良；直流电缆敷设时受机械损伤（碾压、穿刺），绝缘层破损；汇流箱、逆变器内部线路老化、绝缘件碳化。

c、设备缺陷：组件生产工艺瑕疵，存在隐裂、虚封问题；逆变器内部直流侧滤波电容老化，导致绝缘性能下降；汇流箱内熔断器、端子排绝缘基座损坏。

d、运维不当：运维人员清洁组件时使用腐蚀性清洁剂，损坏组件表面绝缘层；检修汇流箱、逆变器时，遗留工具或杂物导致绝缘遮挡不良。

五、电站施工质量评价

5.1 支架施工质量

光伏支架作为光伏发电系统的核心承重结构，直接影响电站的安全性、稳定性、和发电效率，施工质​​量管控需贯穿基础、材料、安装、防腐全流程，严格遵循现行国家标准、行业标准要求，重点防控沉降、变形、锈蚀等风险，保障电站长期稳定运行。

现场安装需规避强行敲打、气割扩孔等违规操作。支架安装应根据设计图纸进行定位放线（部分水泥基础需提前放线做好定位），先安装立柱，再安装斜梁、横梁等部件。安装过程中若需焊接连接应做好防护措施，焊缝宽度、高度应符合设计要求，不能虚焊且焊接完成后应做好防腐措施；使用螺栓连接的地方，螺栓和螺母的连接和紧固、平垫片和弹簧垫片的安装均应按照厂家说明和设计文件要求的数目、顺序和方向穿放。风力较大的地方应给支架增加抗风拉杆或拉索等措施，增强支架抗风能力。



焊接连接



螺栓连接



抗风拉杆

5.2 组件施工质量

光伏组件的施工质量直接影响系统的发电效率、安全稳定性和使用寿命。

1.组件安装前应进行目视化检查，以确保包装完好，组件外观、玻璃有无崩

边、裂纹等缺陷，MC4 接头及附件有无损坏。组件安装前建议委托第三方前往现场进行组件电致发光检测和组件 IV 检测，也可送往相关实验室，以确保质量。

2.组件安装倾斜角度和间距应符合设计要求，整体安装平整，接线盒统一朝向，便于后期接线和维护；边框应按厂家要求可靠接地；MC4 连接需压接可靠，避免插针虚接发热引起火灾，整串连接好后做好线号，测试开路电压和电流，确保连接可靠。组件安装应避免被建筑凸起、相邻方阵组件遮挡。



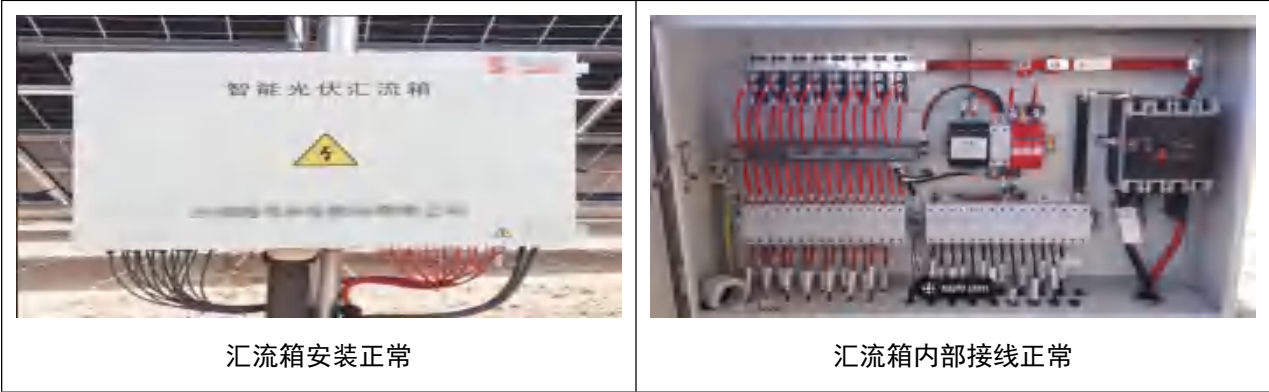
5.3 汇流箱施工质量

汇流箱是光伏电站的中间汇流单元，作用是将多串光伏组件的直流电汇总后，通过直流断路器接入逆变器，同时具备过流保护、防雷、监测等功能。其施工质量直接关系到直流侧电路的安全稳定，若存在缺陷易引发直流拉弧、组件烧毁、发电效率下降等问题。

1.安装前应检查外包装及外壳是否完好，产品合格证、技术文件及钥匙等是否齐全，规格型号、防护等级、元器件型号是否符合设计要求。安装位置应便于开关门及后期维护，户外安装时箱体需满足防水、防腐、防尘和绝缘要求，避免阳光直射或环境温度过高的场所，周围应无易燃、易爆或潜在危险品。（禁止汇流箱倒置安装）

2.汇流箱箱体框架及所有不载流金属物体应与接地母线可靠连接，接地

电阻应不大于 4Ω ；输入与输出确保极性和相序正确；电缆应采用阻燃电缆，汇流箱内应排列整齐美观，且端子排应有隔板、标号线套和编号，便于维修。安装完成后需对汇流箱进、出线端与接地端进行绝缘测试，绝缘电阻值应符合设计要求，验收时需提交现场试验记录，确保设备运行正常。



5.4 逆变器施工质量

逆变器是光伏电站的“能量中枢”，负责将组件产生的直流电转换为符合电网要求的交流电，其施工质量直接影响电站的发电效率、并网稳定性和设备使用寿命。

1.逆变器应安装在通风良好的位置，避免空气不流通影响其散热功能，需加装遮阳棚或雨遮，安装时应确保载体的承重能力大于逆变器重量的 4 倍，确保能长期稳定支撑逆变器，不可倾斜或水平安装，逆变器四周应留有足够的空间便于后期维护或更换。

2.逆变器的电气连接：接地端子必须可靠接地且小于 4Ω ；直流侧连接时，需确认组串极性与逆变器端子匹配，每组 MPPT 所有组串每串的组件数量应一致，避免接错影响整体发电量；交流侧连接时确保相续正确。安装完成后做好相应标识。



5.5 接地扁铁施工质量

接地扁铁（或称接地扁钢）是电力、建筑、防雷等工程中接地系统的关键导体，其施工质量直接关系到整个接地网的有效性、可靠性和使用寿命。施工质量不佳会导致接地电阻过高、散流不畅、易腐蚀等问题，严重时可能引发电气事故或雷击损害。接地扁铁施工的终极目标是：构建一个电气连接可靠、机械强度稳固、耐腐蚀性强、接地电阻符合设计要求且长期稳定的接地网络。

1. 进场材料验收：核对扁铁宽度、厚度、材质、镀锌层质量（表面均匀光滑、无漏镀、起皮、毛刺、锌瘤、锈蚀。镀锌层厚度应符合现行国家标准），外观应平直，无明显弯曲变形，产品合格证及质量检验报告齐全；

2.施工过程质量控制点：

（1）敷设安装：敷设路径与深度必须按设计图纸施工，路径尽量短直。埋设深度应符合设计要求，再沟槽内应尽量平整敷设，与土壤紧密接触，避免悬空或翘起；

（2）连接工艺：连接点的质量是接地网的生命线，此项应该完全符合现行相关国标。分以下连接工艺：

序号	连接工艺	要求
1	焊接连接（首选和主要方式）	搭接长度：必须满足要求，至少为扁铁宽度 2 倍，且至少焊接三个棱边 焊接质量：焊缝饱满、平整、无夹渣、无气泡、无咬边。焊后彻底清除焊渣。 防腐处理：焊接完成后，必须对焊缝及热影响区（镀锌层被破坏的区域）进行严格的防腐处理。先涂刷富锌底漆，再涂刷沥青漆或环氧树脂漆，涂刷范围应超出焊缝两侧各 10-20mm，涂层厚度均匀。
2	放热焊接	若设计要求或重要节点，应采用放热焊接（火泥熔接）。 质量要求：接头无气孔、表面光滑、连接牢固，截面应大于导体本身。
3	螺栓连接（用于可拆卸点）	接触面应打磨平整、去除氧化层、涂抹电力复合脂。 使用防松垫圈或防松螺母，螺栓紧固力矩应符合要求

3.施工后检验与测试

检查接地扁铁埋深、平整度、回填土（应使用细软土），检查标志桩/带是否按要求设置；测试接地系统的接地电阻值，测试结果必须小于等于设计要求的电阻值（如 1Ω 、 4Ω 、 10Ω 等）；防腐层检测，对于焊点防腐层进行附着力和厚度抽查。

	
接地扁铁安装正常	接地扁铁搭接正常
	
接地扁铁搭接不符合	接地扁铁未刷保护层及标识

六、典型案例

光伏电站依据不同的应用场景分为集中式地面光伏电站、工商业分布式、户用分布式及交通分布式。经过对不同场景下多个光伏电站的检测，汇总罗列出以下问题。

6.1 集中式地面光伏电站

6.1.1 沙漠光伏电站

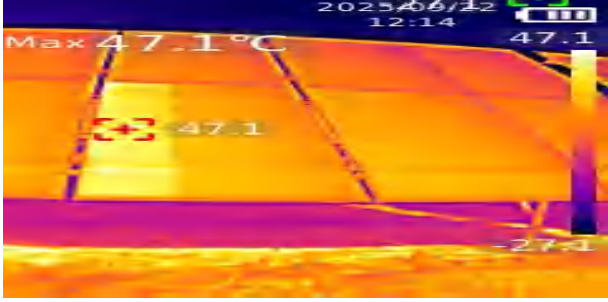
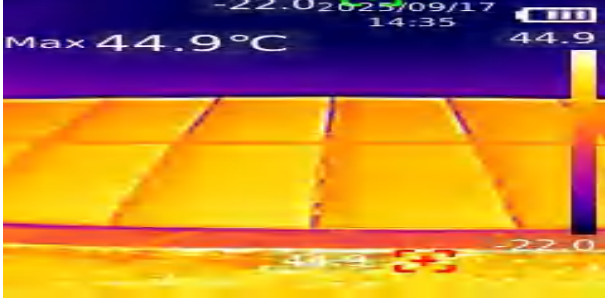
沙漠光伏电站是集中式光伏发展的一个重要方向。沙漠光伏电站太阳能资源极其丰富，土地资源广阔且成本低，在生态脆弱的沙漠地区科学建设光伏电站，可以固定流沙、减少蒸发、降低风速，为下方植被恢复创造”小气候”，实现生态修复。超大规模连片开发便于统一规划、设计、建设和运维，能有效降低单位千瓦的造价。

除以上优点外，但也存在一些挑战与痛点。极端环境如风沙侵蚀、高温、昼夜温差大、沙尘暴等气候特点，对光伏组件、光伏支架、逆变器及电气设备严酷考验。

电站检测检测案例：

序号	委托检测项目	抽检单位	抽检数量	依据标准	备注
1	外观检查	块	500	IEC 61215-1 : 2021 MQT 01	到货检
2	光伏组件 1-V 测试	块	500	IEC61215-2 : 2021 MQT 02	
3	光伏组件 EL 检测	块	500	T/CPIA 0009-2019	
4	组件发货数量核查	/	全检	/	
5	组件外包装检查	/	全检	/	
6	设备数量和容量核查	/	全站	/	安装检
7	安装质量检查	/	全站	/	
8	一致性评估	/	全站	/	
9	光伏组件 EL 检测	块	500	T/CPIA 0009-2019	
10	光伏组件 1-V 测试	块	500	IEC61215-2 : 2021 MQT 02	
11	逆变器效率测试	台	5	CNCA/CTS 0016-2015 9.11	
12	逆变器电能质量测试	台	5	/	
13	绝缘测试	/	5个逆变单元	IEC 61215-1: 2021 MQT03	
14	保护性接地和/ 或等电位连接 导体的连续性	/	5个逆变单元	IEC62446-1:2016 6.1	
15	光伏阵列红外热成像扫描检测	/	1项(全检)	IEC62446-1:2016 7.3	
16	逆变器红外测试	/	1项(全检)	/	
17	串联失配损失测试	串	5	CNCA/CTS 0016-2015 9.7	
18	并联失配损失测试	/	5个逆变单元	CNCA/CTS 0016-2015 9.7	
19	交直流线损测试	/	5个逆变单元	/	
20	系统能效 PR	/	7天	5.3 GB/T 39857-2021 5.3	

电站检测过程中的问题：

	
某沙漠光伏电站	光伏板脱落
	
横梁弯曲	支架脱落
	
光伏组件红外异常	光伏组件红外正常

由于强风沙会严重磨损光伏组件玻璃表面并影响支架结构的稳定性,建议不定期检查光伏组件红外热成像扫描、光伏等电位连接线、支架结构安全、电气系统散热部件的检查、光伏组件 EL 测试等,确保光伏组件及系统质量和安全。

6.1.2 戈壁滩光伏电站

戈壁滩光伏电站是利用戈壁荒漠地区建设的大型光伏发电设施,戈壁滩地广人稀,土地成本低廉,适合建设超大规模光伏电站。多数戈壁地区日照时间长,太阳辐射强(如中国西北、蒙古、中亚等地),发电效率高。可与荒漠治理结合:光伏板遮挡减少水分蒸发,有利于板下植被恢复,可发展”光伏+牧业” ”光伏+农业”,实现土地复合利用。中国”沙戈荒”基地被列入国家规划(如库布齐、腾格里等基地),享受政策倾斜。

戈壁滩光伏电站与沙漠光伏电站一样存在恶劣自然环境,比如风沙大、昼夜

温差大、冬季低温、并网与消纳等难题。

戈壁滩光伏电站问题同沙漠光伏电站。

6.1.3 山地光伏电站

山地光伏电站是指在地形起伏、坡度较大的丘陵或山地地区建设的光伏发电系统。与平坦的戈壁滩或平原电站相比，它有一系列独特的特点和挑战。

山地光伏电站因地制宜，提高土地利用效率，可根据不同坡向、坡度进行差异化布置，形成立体化的光伏阵列。山地本身的坡度可能更接近当地最佳发电倾角，减少支架用钢量。合理利用地形高差，可以自然增加组件之间的间距，在某些情况下减少前后排遮挡，提高整体日照时长。海拔较高、通风条件好，有助于降低光伏组件工作温度，温度每降低 1°C ，发电效率可提升约 $0.3\%\sim 0.5\%$ 。可在相对平缓的坡地发展“林光互补”、“茶光互补”、“药光互补”等，板上发电，板下种植喜阴经济作物，提高土地综合收益。中国中东部地区山地较多，在此建设电站可就近消纳，减少长距离输电损耗和压力，并网条件有时相对较好。

但也存在一定的挑战与难点，实际复杂，工程难度大。依据地形测绘对每个阵列区进行个性化设计，几乎没有完全相同的子阵。场地平整、道路开挖、基础施工（如钻孔灌注桩）难度和成本远高于平地，需大量处理边坡和防洪排水。初始投资成本高，施工机械、人工费用、电缆用量相对较高。后期运维因地形复杂，人工巡检耗时长、强度大、危险系数高。需重点防范山体滑坡、泥石流等地质灾害，对支架和基础的稳定性要求极高。

山地光伏是光伏发电从“规模化”走向“精细化”、“因地制宜”发展的重要方向。它虽面临成本和技术挑战，但在土地资源紧张、电力需求旺盛的地区，是极具价值的清洁能源开发模式。随着数字化设计、智能运维和柔性组件技术的发展，其经济性和可靠性正在不断提升。

电站检测检测案例：

测试要求				
项目阶段	委托检测项目	抽样比例	抽检数量	备注
到货检测	外观检查	0.3%	623	
到货检测	光伏组件 EL 测试*	0.3%	623	
到货检测	光伏组件 I-V 测试*	0.3%	623	
安装后检测	外观检查	0.3%		分3次进行,在建组件数量达20%、50%、100%时进场检测
安装后检测	光伏组件 EL 测试*	0.3%		
安装后检测	组串安装规范性核查	10个组串/方阵	300串	

电站检测过程中的问题:

	
某山地光伏	光伏逆变器安装正常
	
直流电缆未穿保护套管	直流电缆未做防火封堵
	
光伏组件背板划伤	接地铜棒未刷标识色

由于山地光伏地形复杂，组件安装难度大，建议对光伏组件进行外观检查。光伏组件 EL 检测、电气安全检测等。

6.1.4 水面光伏电站

水面光伏电站，也称为”漂浮式光伏”或”水上光伏”，是指在水库、湖泊、池塘、河流沿岸、沿海海域等水体表面建立光伏发电系统。光伏组件通过特殊的浮体和锚固系统漂浮在水面上。

水面光伏电站节约土地资源，是其最大优势之一。水体的自然冷却作用可以降低光伏板的工作温度。光伏板温度每降低 1℃，其发电效率通常可提升 0.3%-0.5%。夏季高温时优势尤为明显。同时具有协同效应，”水光互补”和”渔光互补”。

水面光伏电站的浮体、专用电缆、锚固系统以及更复杂的安装和运维成本，通常高于同等规模的陆地光伏电站。对电站使用材料需满足特定的耐候性、抗风浪、冰载等特性。对水生生态的影响需经过科学评估和监测。同时电站的审批流程涉及水利、环保、航道、渔业等多个管理部门，比陆地项目复杂。

水面光伏是一种创新性的可再生能源解决方案，它巧妙地将”光伏+”与水资源利用相结合。虽然在成本和技术上面临挑战，但其在节约土地、提升发电量、保护水资源方面的巨大优势，使其在特定地区具有不可替代的价值。

电站检测检测案例：

项目名称	[REDACTED] 渔光互补项目扩容 17.86083MWP 光伏项目				
检测地点	[REDACTED]				
建设容量	/	装机容量	/		
组件品牌	/	组件规格型号	/		
项目其他信息	/				
要求进场时间	2025.7.15	电站联系人/电话	[REDACTED] [REDACTED]		
测试要求	检测类别	委托检测项目	抽检数量	依据标准	备注
		外观检查	20	IEC 61215-1 : 2021 MQT 01	到货
		光伏组件 EL 测试	20	T/CPIA 0009-2019	
		光伏组串 I-V 曲线测试	20	IEC62446-1:2016 7.2	
		外观检查	50	IEC 61215-1 : 2021 MQT 01	安装
		光伏组件 EL 测试	50	T/CPIA 0009-2019	
	委托单位提供文件资料：共 / 页				

场景实例：

	
某渔光互补光伏电站	某渔光互补光伏电站

由于渔光互补项目长期处于潮湿环境，尤其在夏季属于高温高湿环境，容易导致光伏组件出现 PID 现象，建议不定期测试光伏组件 EL、光伏组件功率衰减、光伏组件支架焊接点、光伏系统安规检测等。

6.2 工商业光伏电站

工商业屋顶光伏是指在工业厂房、商业建筑（如商场、超市、物流中心、数据中心、学校、医院等）的屋顶上建设的光伏发电系统。它是最主要的分布式光

伏应用形式之一，特点鲜明，与大型地面电站截然不同。

工商业屋顶光伏电站所发电量优先供给屋顶下方的企业或商户自身使用，用不完的电再卖给电网。这直接降低了企业的用电成本（电价通常比光伏上网电价高），是其主要盈利模式。将原本无收益的屋顶空间转化为产生稳定现金流的资产，同时也节省了电费，规避时长电价波动的风险，使用绿色电力，有助于企业实现碳中和目标，塑造负责任的品牌形象。

由于屋顶条件复杂多样，必须精确评估屋顶结构（彩钢瓦、混凝土）的承载能力、防水、预留通道等问题，特别是老旧厂房。需严格防雷、防火、防电气事故，特别是对化工、粉尘等特殊行业。由于屋顶分散，巡检和清洗需要专业攀爬或吊装设备，人工成本较高。

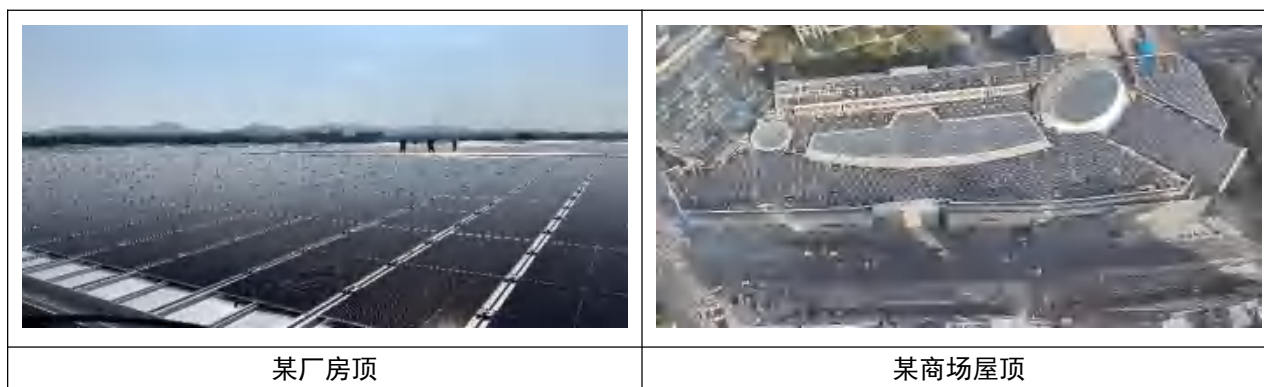
工商业屋顶光伏是连接光伏产业与实体经济最紧密的桥梁，是实现“双碳”目标在企业层面的关键抓手。它不仅是能源项目，更是一项投资+管理工程。成功的核心在于：精准评估屋顶条件和业主资质，设计安全可靠的系统，并建立清晰、共赢的合作模式。随着电力市场改革和碳交易体系的完善，其经济价值和战略意义将愈发凸显。

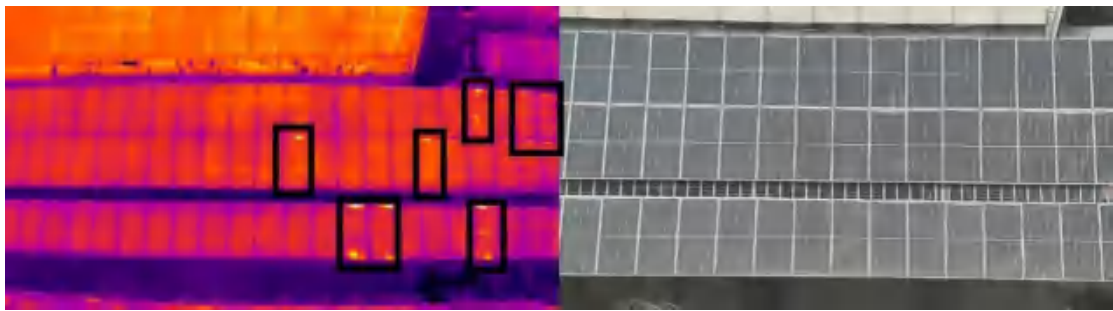
电站检测检测案例：

测试要求	检测类别	委托检测项目	抽检数量	依据标准	备注
	1	审核文件资料的关键数据和完整性	100%	/	
	2	环境风险评估	100%	/	
	3	屋面质量评估、荷载证明复核	100%	/	
	4	消防设备检查、火灾隐患排查	100%	/	
	5	光伏支架可靠性检查	100%	/	
	6	应急体系评估	100%	/	
	7	防误操作装置检查	100%	/	
	8	高空作业防护检查	100%	/	
	9	视频监控系统检查	100%	/	
	10	外观检查	10%	IEC 61215-2: 2021 MQT 01	
	11	全场遮挡检查	100%	/	
	12	组件表面清洁度检查	10%	/	
	13	逆变器外观检查	100%	/	
	14	电缆及其配件外观检查	(60* 组串接 线端 +14 台	/	

		逆变器 接线 端)		
15	支架外观检查	100%	/	
16	电站容量核查	100%	/	
17	设计符合性确认	100%	/	
18	设备电气参数符合性确认	100%	/	
19	设备安装质量核查	100%	/	
20	设备故障统计分析	100%	/	
21	检修通道检查	100%	/	
22	围栏检查	100%	/	
23	防雷接地系统检查	100%	/	
24	接地电阻测试	挑选 8 个接地点	/	
25	保护性接地和/ 或等电位连接 导体的连续性	60*组 串连接处	IEC62446-1:2016 6.1	
26	光伏阵列绝缘 电阻测试	2 台逆变器连接的所有组串	IEC62446-1:2016 6.7	
27	噪音测试	100%	/	
28	光伏组串 I-V 曲线测试	10 串	IEC62446-1:2016 7.2	
29	光伏阵列红外 热成像扫描检测	10%	IEC62446-1:2016 7.3	
30	线缆连接红外测试	60*组 串接线端+14 台逆变器接线端	/	
31	逆变器红外测试	100%	/	
32	箱变并网柜红外测试	100%	/	
33	光伏组件 EL 测试	5%	T/CPIA 0009-2019	
委托单位提供文件资料：共 / 页				
报告要求	【报告名称】 ☒ 中文 ☐ 英文			

检测案例：





光伏组件热斑



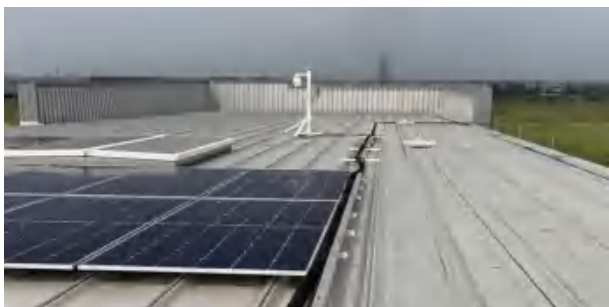
光伏组件积灰严重



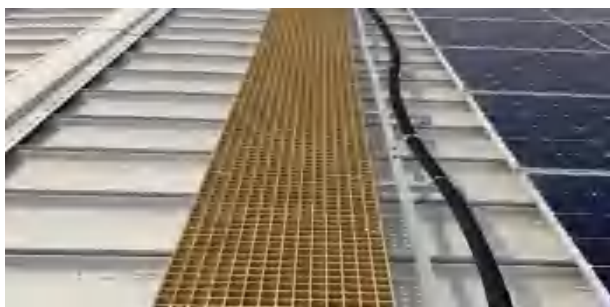
光伏组件部分被遮挡



通风口遮挡光伏板



屋面光伏监控



检修通道



应急响应预案通知流程图

	
线缆桥架变形	地面至屋顶楼梯
	
安全绳防护	爬梯入口围栏

由于工商业光伏项目位置特殊，对于其安全性应加倍关注，建议进行设计符合性确认，光伏组件红外热成像扫描，光伏组件 EL 测试，电气安规测试，应急体系评估，高空作业防护检查等检测。

6.3 户用光伏电站

户用光伏电站，即安装在城乡居民（主要是农村自建房、城市别墅、多层住宅平顶等）住宅屋顶或院落的小型光伏发电系统。它是分布式光伏最贴近民生的一种形式，在中国”整县推进”等政策推动下，近年来发展迅猛。

户用光伏电站投资门槛低，安装灵活。与工商业类似，所发电量优先供家庭自己使用，用不完的卖给电网。余电上网部分，电网公司按当地燃煤标杆电价收购，形成长期现金流。光伏板可有效降低屋顶温度，减少夏季空调能耗，实现二次节能。新型光伏瓦、与建筑风格协调的组件，能提升建筑外观。家庭使用清洁电力，减少碳排放，提升居民的绿色能源参与感和荣誉感。

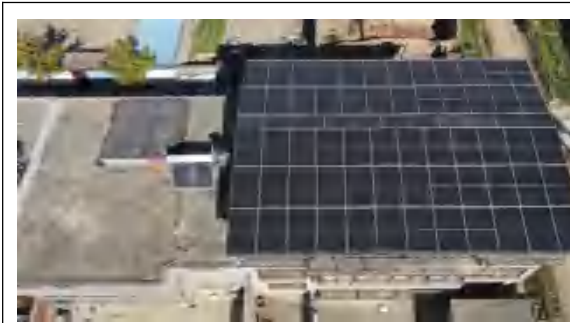
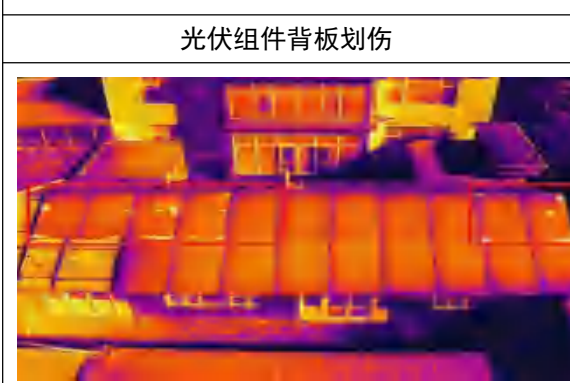
屋顶安装条件需专业评估，产权问题复杂。设备质量参差不齐、虚假宣传，”光伏贷”套路等市场乱象，导致项目推进困难。农户缺乏专业清洁和检查知识，发电效率下降、电气安全问题不易察觉。

在屋顶条件合适、选择正规渠道的前提下，户用光伏仍是一项稳健的长期投资，是乡村振兴和共同富裕的有效助力。

电站检测检测案例：

序号	委托检测项目	抽检单位	抽检数量	依据标准	备注
1	交直流线损	处	10	CNCA/CTS 0016-2015	
2	方阵绝缘	处	20	IEC62446-1:2016 6.7	
3	接地电阻	处	20	/	
4	IR 红外	全站	10	IEC62446-1:2016 7.3	
5	IV 功率	块	20	IEC61215-2 : 2021 MQT 02	
6	EL 隐裂	块	20	T/CPIA 0009-2019	
7	灰尘遮挡损失	项	10	CNCA/CTS 0016-2015 9.3	
8	逆变器电能质量	小时	10	CNCA/CTS 0016-2015	

检测案例：

	
某户用光伏电站	光伏组件被电线遮挡
	
光伏组件背板划伤	逆变器安装方式
	
某户用光伏电站组件热斑	户用接地扁铁安装方式

户用光伏由于农户缺乏专业电气知识，建议定期检测光伏组件红外热成像，光伏组件 EL、光伏组件功率、光伏系统安规检测。确保光伏系统健康安全运行。

6.4 交通光伏电站

交通光伏电站是一个综合性概念，特指将光伏发电系统与各类交通基础设施相结合，实现“交通+能源”的融合创新。它不仅生产绿色电力，还能直接服务于交通系统本身，是未来智慧交通和绿色交通的重要组成部分。

交通光伏充分利用公路、铁路、机场、车站、停车场等交通基础设施的“线性”或“平面”空间（如路面、边坡、隔离带、屋顶、停车场顶棚），不额外占用土地。所发电量可优先供给服务区、收费站、车站、充电桩、隧道照明、信号系统等，实现“自发自用”，降低交通运营的用电成本。

交通光伏需在不中断交通或利用短暂窗口期施工，组织难度大。需抵御台风、暴雨、暴雪、地震等极端天气，尤其在边坡和车棚应用上。靠近人流车流，绝缘、防触电、防火等级要求更高。由于其分散、线性分布，运维巡检和清洗成本高。

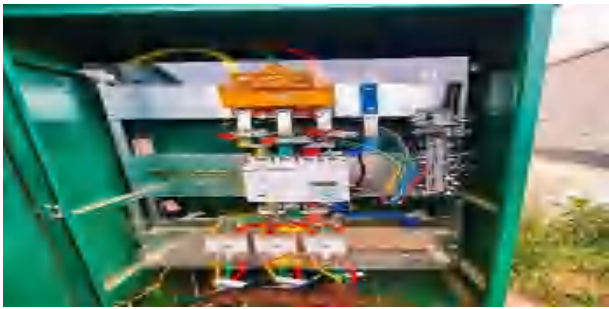
交通光伏电站是“交通强国”与“能源革命”两大国家战略的完美交汇点。它超越了单纯发电的范畴，演变为一种“生产型、服务型基础设施”。交通光伏不仅是能源项目，更是交通系统“绿色化、智能化、融合化”升级的关键载体，同时助力交通领域碳中和，是实现交通强国和“双碳”目标的关键路径。

电站检测检测案例：

附件					
序号	委托检测项目	抽检单位	抽检数量	依据标准	备注
1	容量核查	/	100%	/	不足1MW项目按照1MW抽样比例进行,低于100kW电站不进行逆变器效率及电能质量测试。
2	设备一致性审核	/	10%	/	
3	外观检查	/	10%	IEC 61215-1:2021 MQT 01	
4	逆变器质量检查	/	100%	/	
5	线缆质量检查	/		/	
6	电器元件安装质量检查	/	100%	/	
7	接地系统质量检查	/		/	
8	检修通道检查	/	100%	/	
9	消防系统检查	/	100%	/	
10	监控系统检查	/	100%	/	
11	光伏组件 EL 测试	/	30 块/MW	T/CPIA 0009-2019	
12	光伏阵列红外热成像扫描检测	/	100 块/MW	IEC62446-1:2016 7.3	
13	逆变器红外测试	/	1 台/MW	/	
14	保护性接地和/或等电位连接导体的连续性	/	支架对接地点 5 处/MW 组件对接地点 5 处/MW 逆变器对接地点 5 处/MW	IEC62446-1:2016 6.1	
15	光伏阵列绝缘电阻测试	/	10 处/MW	IEC62446-1:2016 6.7	
16	组串功率曲线测试	/	5 串/MW	/	
17	光伏组串开路电压测试	/	5 串/MW	IEC62446-1:2016 6.4	
18	光伏组串电流 测试	/	5 串 MW	IEC62446-1:2016 6.5	
19	直流线损测试	/	5 串/MW	/	
20	交流线损测试	/	1 台/MW	/	
21	逆变器电能质量	/	1 台	/	
22	逆变器效率	/	1 台	CNCA/CTS 0016-2015 9.11	
23	系统能效 PR	/	3 天	5.3 GB/T 39857-2021 5.3	
24	施工质量缺陷整改分析及建议		100%	/	

检测案例：

	
某高速匝道圈光伏	某服务区车棚光伏

	
某高速收费站组件等电位连接	某高速收费站逆变器安装方式
	
某高速收费站并网柜安装方式	某收费站屋顶接地扁铁连接方式

由于交通光伏的所处位置特殊，建议定期检测光伏组件红外热成像，光伏组件 EL、光伏组件功率、光伏系统安规检测，确保光伏系统健康安全运行。定期查看相关消防设施及视频监控系统是否能达到应急要求。

第二部分 光伏多应用场景组件选型参考

本部分立足典型光伏应用场景特性，依托实际运行数据表现，重点分析不同场景下组件核心指标的适配需求，明确各场景下的关键关注数据，最终形成针对性的组件选型建议，为项目选品提供科学参考。

七、不同场景光伏组件选型指南

7.1 沙戈荒电站场景选型分析

7.1.1 场景核心考验

沙戈荒地区特指沙漠、戈壁和荒漠区域，此类场景具有极为严苛的自然环境，给光伏组件运行带来多重极端考验：一是强风沙侵蚀，该区域常出现 8 级以上伴

随沙尘的大风，沙尘颗粒高速冲击易造成组件表面磨损、边框损坏，同时沙尘堆积会遮挡组件采光面，引发热斑问题并降低发电效率；二是极端温湿度与高紫外辐射，夏季地表平均温度可达 70℃，冬季低温可至-40℃，剧烈温差产生的热应力易导致组件边框腐蚀、胶膜开裂，而长期强紫外辐射会加速封装材料老化、降低电池效率；三是高地表反射率特性，沙戈荒地表反射率通常高达 25%—30%，这一特性既为双面组件背面发电提供了增益空间，也对组件综合发电效率评价提出了更高要求；四是运维条件恶劣，区域内植被稀疏、交通不便，组件清洗和故障检修难度大、成本高，对组件的自清洁能力和长期可靠性提出了严苛要求。

7.1.2 对组件的核心要求

基于上述核心考验，沙戈荒大基地场景对光伏组件提出了“高可靠、高效率、易运维、强适配”的核心要求：

抗风沙与机械载荷能力：组件需具备优异的抗风沙冲击性能，在沙尘浓度 5g/m³、风速>20m/s 的环境下持续运行后，外观无磨损、电池片无隐裂，功率衰减控制在合理范围；同时需强化机械载荷承受能力，正面至少能承受 6000Pa、背面 4000Pa 的载荷，应对强风带来的压力冲击。

- 耐极端环境稳定性：组件需具备优良的耐高低温循环性能，选用-40℃耐低温胶膜和抗腐蚀边框材料（如锌铝镁镀层），避免温变引发的结构损坏；封装材料需具备强紫外耐受度，通过优化电池钝化层结构和封装材料配比，降低紫外辐射导致的衰减。

- 高综合发电效率：适配沙戈荒高地表反射率特性，优先采用高双面率组件，充分利用背面反射光提升发电量；考虑到沙戈荒地区纬度较高，需要考虑入射角对发电效率的影响；同时需具备优异的低辐照性能，在晨昏时段、沙尘天气等弱光条件下仍能保持稳定发电输出，以匹配电力市场化交易中高电价时段的收益需求。

- 易运维与长寿命：组件需具备自清洁能力，通过采用自清洁玻璃、纳米结构涂层等技术，减少沙尘附着，延长清洁周期；产品质保需满足材料质保 15 年、线性功率质保 30 年的行业高标准，降低长期运维成本。

7.1.3 核心性能数据表现

(1) 双面率表现：测试数据显示，不同技术路线双面率差异显著，直接影响背面发电增益潜力。HJT（异质结）组件表现最优，双面率普遍超过 85%，最高可达 89.47%；TOPCon（隧穿氧化层钝化接触）组件次之，范围在 75%-85.74%；BC（背接触）组件双面率则相对较低，约 57.65%。

(2) 入射角响应表现：沙戈荒地区低角度光照（清晨、傍晚）占比较高。组件在低辐照度（200-400W/m²）下的性能可作为入射角响应的关键参考。实测表明，不同组件在弱光下表现分化明显，部分 HJT 与 TOPCon 样品在 200W/m² 辐照下，低辐照损失率可控制在 3%以内，表现出更好的低光发电能力。

7.1.4 建议优选产品

在沙戈荒场景中，HJT 与 TOPCon 是更适配的选择。HJT 在双面率和低辐照性能上综合优势明显；TOPCon 在双面率、耐候性及成本平衡上具备竞争力。若选用双面组件，必须配套高效的自动清洁方案以维持背面发电效能。

7.2 山地与丘陵电站场景选型分析

7.2.1 场景核心考验

山地、丘陵场景地形地貌复杂，自然环境呈现显著的碎片化、多样化特征，给光伏组件的选型、安装及长期运行带来多重独特考验：一是地形起伏大且坡度多变，部分区域存在陡峭边坡，导致组件安装空间受限、排布难度大，同时坡面承重能力有限，对组件及支架的轻量化要求极高；二是遮挡问题突出，山间树木、灌木丛生，山体自身阴影随太阳高度角变化易形成动态遮挡，叠加云层遮挡频繁的特点，组件易出现局部遮光，引发热斑效应，严重影响发电效率和组件寿命；三是温湿度与降水条件复杂，多数山地、丘陵区域海拔较高，且降水充沛、空气湿度大，部分区域还存在酸雨、冻雨等恶劣天气，易导致组件边框腐蚀、胶膜水解、玻璃起雾；四是运输与运维难度大，区域内道路狭窄、弯道多、坡度陡，大型组件运输成本高、风险大，同时植被茂密、地形崎岖，组件清洗、故障检修的可达性差，运维周期长、成本高；五是局部强对流天气频发，山间易形成局地强风、雷暴，组件面临瞬时强风载荷冲击和雷击风险。

7.2.2 对组件的核心要求

基于上述核心考验，山地、丘陵场景对光伏组件提出了“轻量化、强抗遮挡、耐湿热腐蚀、易运输安装、高可靠性”的核心要求：

轻量化与易安装适配性：组件需严格控制重量，结合 182*210、210*210 主流版型特性，单块组件重量建议不超过 33kg，优先采用薄型玻璃、轻质边框等轻量化设计，降低坡面承重压力和运输安装难度；同时组件尺寸需灵活适配碎片化安装空间，支持多种安装角度调节，提升地形适配性。

强抗遮挡与热斑抑制能力：组件需具备优异的弱光响应性能，在云层遮挡、树荫遮挡等低辐照条件下仍能保持稳定发电输出；采用高效热斑抑制技术，如优化电池片串并联结构、配置旁路二极管，减少局部遮挡导致的功率损失和组件损坏。

耐湿热腐蚀与环境稳定性：组件需选用耐湿热封装材料（如 POE 胶膜、抗水解 EVA 胶膜），避免高湿度环境下胶膜水解、脱层；边框优先采用锌铝镁镀层、不锈钢等抗腐蚀材料，应对酸雨、高湿度带来的腐蚀风险；同时需具备良好的耐高低温循环性能，抵御昼夜剧烈温差产生的热应力。

高可靠性与抗极端天气能力：组件需强化机械载荷承受能力，正面至少能承受 5400Pa、背面 3600Pa 的载荷，应对山间局地强风冲击；具备完善的防雷击设计，减少雷暴天气带来的故障风险；产品质保需满足材料质保 15 年、线性功率质保 30 年要求，降低长期运维成本。

适配双面发电增益：山地、丘陵区域坡面反射光（如草地、岩石反射）和散射光丰富，组件需具备较高双面率，充分利用背面采光提升综合发电效率，弥补地形遮挡带来的发电损失。

7.2.3 核心性能数据表现

（1）低辐照与入射角响应表现：此为该场景首要指标。在 200W/m²辐照度下，不同组件低辐照损失率差距悬殊（2.14%至 6.57%不等）。数据显示，部分 HJT 与 TOPCon 组件在此条件下表现稳定，损失率可低于 3%，能更有效地捕获散射光和低角度直射光。

（2）抗失配表现：组件的功率公差与电流分档精度是关键。应选用功率正公差、且同一项目内电流档位一致的组件，以最小化报告所指出的“串并联适配

损失”。

7.2.4 建议优选产品

结合山地、丘陵场景”地形复杂、遮挡多、运输安装难、湿度大”的核心特点，以”地形适配性最优、运维成本最低、全生命周期收益最大化”为目标，推荐将中小版型 TOPCon 高双面率组件作为山地、丘陵场景的首选，单块重量 $\leq 33\text{kg}$ 、双面率 $\geq 80\%$ 、采用 POE 胶膜+铝镁边框设计，降低运输安装的难度和坡面承重压力，最大程度减少地形对项目建设的限制，提高对山间反射光的利用。

在西南、东南等高湿度（年均相对湿度 $\geq 80\%$ ）、多阴雨的山地细分区域，可差异化选用 HJT 组件，需提前评估组件溢价对项目收益的影响。

7.3 水面（渔光互补、海上光伏）电站场景选型分析

7.3.1 场景核心考验

水面光伏以水体为安装载体，核心分为两大细分场景：一是渔光互补场景，依托湖泊、池塘、水库等淡水水体建设，兼具光伏发电与水产养殖功能，环境以高湿、淡水水汽侵蚀为核心特征；二是海上光伏场景，部署于近海或远海海水环境，面临高盐雾、强风浪等极端严苛条件。两类场景的共性在于水面反射率较低，组件背面发电增益有限，发电效益主要依赖正面效率，因此对组件正面转换效率提出更高要求，高正面效率组件可减少单位发电量所需的组件数量与安装面积，助力降低系统成本；差异则体现在腐蚀介质、气象强度、运维条件等方面，且需特别注意的是，海上光伏桩基础投资远高于陆地光伏，降低 BOS 成本的需求更为迫切，这一需求进一步强化了对高正面效率组件的选型偏好。

7.3.2 对组件的核心要求

强抗腐蚀能力：边框优先采用 316L 不锈钢、高耐腐铝镁镀层等材料，玻璃配备防盐雾/防霉菌涂层，封装胶膜选用高耐水解 POE/EVA，接线盒采用 IP68 级密封防腐设计，抵御高湿/盐雾侵蚀。

高机械可靠性：强化结构设计，渔光互补场景需满足正面 6000Pa、背面 4000Pa 机械载荷，海上场景提升至正面 7000Pa、背面 5000Pa 以上，同时具备优异的抗振动、抗冲击性能。

高正面效率与抗遮挡：适配水面低反射率、背面增益有限的特性，需优先保

障组件高正面转换效率，这不仅能提升核心发电效益，更可减少单位发电量所需的组件数量，降低安装面积占用，契合海上光伏降 BOS 成本的核心需求；同时需优化旁路二极管布局与电池片结构，提升抗遮挡能力与弱光响应性能（弱光响应系数 ≥ 0.98 ），应对光强波动与局部遮挡。

易运维与长寿命：具备自清洁性能，减少污染物附着，延长清洗周期；产品质保满足材料质保 15 年、线性功率质保 30 年要求，降低长期运维成本。

此外，对于海上光伏场景：需通过 1000 小时中性盐雾测试、500 小时酸性盐雾测试；采用抗紫外老化增强型封装材料。

7.3.3 核心性能数据表现

（1）正面实测功率：最好达到 23.8%及以上，摊薄桩基础、施工、运维等成本。

（2）耐候性表现：要求出示严苛环境下的可靠性数据。组件必须提供通过“双 85”加偏压（如 85° C，85%湿度，-1500V）PID 测试的完整报告，并且接线盒防水等级应达 IP68 或以上。

7.3.4 建议优选产品

BC 组件的高正面效率完美契合海上光伏降 BOS 成本、适配低反射率场景的核心需求。当前 BC 组件已实现规模化量产，其全背面电极设计减少金属暴露面积达 90%以上，从根源提升抗盐雾腐蚀能力，实验室数据显示模拟海洋环境下运行 30 年功率衰减率低于 8%，显著优于传统组件；同时单位面积功率密度高，可减少 15%的支架与桩基数量，大幅降低配套成本。需选用封装优化的量产型号，确保通过 1000 小时中性盐雾测试；搭配抗风浪浮台系统，选择具备海上运维能力的厂商保障售后响应。

此外，一些正面效率超过 23.8%的高效 TOPCon、HJT 产品也可作为重要选项。

7.4 屋顶分布式电站场景选型分析

7.4.1 场景核心考验

屋顶分布式光伏以建筑物屋顶为安装载体，核心分为两大细分场景：一是紧贴屋顶安装场景（含彩钢瓦屋顶、混凝土平屋顶、琉璃瓦屋顶等），组件平铺或低角度安装，核心诉求是最大化利用屋顶有限空间、适配屋面形态、减少对屋顶

承重与原有功能的影响；二是阳光棚光伏场景（含住宅露台阳光棚、工商业厂房通道阳光棚等），组件通过架空支架安装，兼顾光伏发电与遮阳、通行、储物等附属功能，核心诉求是平衡发电效率、结构安全性与使用功能兼容性。

在紧贴屋顶安装时，屋顶周边可能存在女儿墙、通风口、烟囱、管道等遮挡物，易形成局部阴影，引发热斑效应，影响发电效率与组件寿命；部分屋面（如琉璃瓦）自身凹凸不平，也可能造成组件局部遮光。此外，彩钢瓦屋顶的承重能力，也会对组件选型提出要求。

在架空安装时，组件与支架系统需共同承受风载荷、雪载荷（北方地区），对组件机械可靠性与支架适配性要求高，需避免大风导致结构晃动或坍塌。

7.4.2 对组件的核心要求

需要：高转换效率与高功率密度，在有限面积内最大化装机容量；良好的弱光发电能力，以应对局部遮挡和城市光照环境；最高的安全等级（防火、防触电）；与建筑外观的协调性。

7.4.3 核心性能数据表现

（1）低辐照性能表现：对于存在遮挡或非最优角度的屋顶，组件在400-800W/m²常见辐照区间的输出能力比峰值功率更重要。应关注组件在该区间的效率曲线是否平缓。

（2）安全与可靠性表现：需核查组件是否获得针对分布式场景的更高防火等级认证。对于彩钢瓦屋顶，还需评估组件在金属屋面环境下的抗腐蚀能力。

7.4.4 建议优选产品

对于紧贴屋顶安装的场景，无需考虑背面发电，优先考虑转换效率更高的BC组件，充分利用有限的屋顶面积。

对于架空安装的场景，需要在考虑背面发电的同时，综合考虑度电成本，优先选择更具性价比的 TOPCon 组件。

附录 1、2025 年度光伏组件单项冠军评测结果公示

一、评测背景

2025 年度光伏组件单项冠军赛，旨在终结行业的“参数内卷”。碳索研究院、索比光伏网联合权威第三方检测机构众森检测，在逼近真实的严苛环境下，对参评组件进行“单点极限性能”的横向测评。我们通过活动寻找在弱光响应、双面率、高温发电、机械载荷等每一个细分维度上做到极致的“单项王者”，以期该组件可以在其擅长的环境中发挥到发电极致。这犹如为行业树立起一座座清晰的灯塔，为终端业主在复杂场景下的科学选型提供至关重要的数据导航。

二、评测方案

本次评测主要聚焦国内主流组件企业，覆盖当前市场 TOPCon、HJT、BC 等主流技术路线的量产主力产品。通过各种形式的抽样及送样，经实验室检测数据确定结论。评测分室内测试和户外实证两部分。室内测试部分主要检测弱光响应、双面率、800W/m² 光强效率、综合功率四个项目。户外实证部分测试周期为一年，目前还在测试中。

三、评测结果公示

3.1 光伏组件弱光响应性能冠军

3.1.1 测试目的

全面评估光伏组件在真实环境下，尤其是在光照不足条件下的发电性能，为组件设计、系统设计和投资回报测算提供关键数据。

3.1.2 测试方法

在标准测试条件（STC 条件下，辐照度 1000W/m²，温度 25°C，AM1.5G）及低辐照度条件（LIC 条件下，辐照度 200W/m²，温度 25°C，AM1.5G）测试光伏组件功率。

3.1.3 奖项价值点

此项荣誉表彰的是光伏组件在弱光环境下的卓越性能。具备顶尖弱光响应能力的产品，能够高效捕捉黎明与黄昏时分的稀缺光能，显著延长每日有效发电时长，为电站带来实实在在的发电量提升。它标志着光伏技术已从追求实验室标准测试条件下的峰值功率，迈向对真实发电场景中全时段能量捕获的精益求精，是降低系统全生命周期度电成本（LCOE）的关键创新之一。

3.1.4 获奖企业

天合光能

3.1.5 评测数据

200W弱光排名													
Date	厂家	组件型号	ID	200W弱光	组件尺寸 (m²)	Pmax [W]	Isc [A]	Voc [V]	Ipm [A]	Vpm [V]	FF [%]	T_Object [°C]	弱光性能
2023-11-19 11:51	天合	TSM-710NEG1C20	A1225000100800-L200	L200	3.106	129.04	3.61	46.67	3.42	40.61	82.53	24.1	0.1964 99.13%
2023-11-19 11:48	天合	TSM-710NEG1C20	A1225000100800-L200	L200	3.106	129.09	3.61	46.66	3.43	40.61	82.50	24.0	0.1963 99.14%
				L200	3.106	127.98	3.61	43.11	3.44	37.17	82.14	22.6	0.1956 98.82%
				L200	2.703	121.87	3.12	46.64	3.09	40.56	83.40	24.1	0.1962 98.88%
				L200	2.703	121.49	3.12	46.62	3.09	40.55	83.50	24.1	0.1961 98.83%
				L200	2.793	123.92	2.76	54.90	2.62	47.36	81.71	22.3	0.1961 98.63%
				L200	2.793	122.62	2.73	54.79	2.59	47.43	81.86	23.8	0.1956 97.82%
				L200	2.793	122.93	2.75	53.68	2.60	47.25	81.80	20.6	0.1952 97.59%
				L200	3.106	127.46	3.62	46.25	3.44	38.93	82.04	19.5	0.1951 97.57%
				L200	2.793	122.51	2.73	54.59	2.60	47.21	82.09	21.0	0.1946 97.28%
				L200	2.701	122.34	3.13	46.85	3.02	40.57	83.72	24.0	0.1938 96.90%
				L200	2.701	122.22	3.13	46.65	3.01	40.56	83.83	23.8	0.1917 96.83%
				L200	3.106	127.07	3.60	46.21	3.43	38.94	82.44	20.6	0.1915 96.73%
				L200	2.793	121.43	2.72	54.40	2.58	47.04	81.99	20.1	0.1934 96.78%
				L200	2.793	125.68	2.82	53.59	2.62	48.01	80.13	20.4	0.1915 95.73%
				L200	2.701	121.28	3.15	46.42	3.02	40.18	82.87	24.1	0.1914 95.71%
				L200	2.701	121.12	3.15	46.43	3.01	40.25	82.87	24.1	0.1911 95.57%
				L200	2.701	121.15	3.15	46.43	3.01	40.23	82.71	24.2	0.1909 95.43%
				L200	2.701	120.86	3.16	46.41	3.01	40.16	82.44	23.9	0.1908 95.41%

3.2 800W/m² 辐照度下光伏组件效率冠军

3.2.1 测试目的

评估组件在一种常见的中等光照强度下的真实性能，将组件的性能评估从一个理想的“实验室顶点”拉回到更常见的“现实高峰”。

3.2.2 测试方法

在辐照度 800W/m2，温度 25℃，AM1.5G 条件下，测试光伏组件正面效率。

3.2.3 奖项价值点

此项荣誉表彰的是光伏组件在 800W/m²辐照度条件下的顶尖效率表现。它不仅代表着在接近真实电站常见光照强度下的性能巅峰，更意味着组件能够在全天多个光照区间保持高效、稳定的功率输出，从而精准匹配不同地域与场景的多元化发电需求。

3.2.4 获奖企业

协鑫集成

3.2.5 评测数据

100W/m²效率排名													
Date	厂家	组件型号	ID	规格	组件尺寸 (mm)	Pmax [W]	Isc [A]	Voc [V]	Ipm [A]	Vpm [V]	FF [%]	光电转换 效率	
2025-12-27 18:12	协鑫	GCL-5TCE-660HP02	502010112200072900	2300	2300	506.35	12.90	48.47	12.02	42.18	82.91	24.1	0.25493
2025-12-27 18:27	协鑫	GCL-5TCE-660HP02	502010112200082000	2300	2300	505.85	12.93	48.50	12.00	42.17	83.11	24.2	0.25413
2025-12-27 18:28	协鑫	GCL-5TCE-660HP02	502010112200082000	2300	2300	505.87	12.93	48.48	12.03	42.18	83.89	24.1	0.25410
2025-12-27 17:30	协鑫	GCL-5TCE-660HP02	502010112200082000	2300	2300	505.89	12.97	48.54	12.03	42.02	82.88	24.3	0.25401
				2300	2300	505.13	12.94	48.74	11.97	42.18	82.68	24.8	0.25375
				2300	2300	504.99	12.97	48.66	11.97	42.19	82.93	24.7	0.25369
				2300	2300	499.90	12.85	48.63	11.96	42.13	82.15	24.2	0.25365
				2300	2300	497.18	12.89	48.73	11.94	42.84	81.78	23.9	0.25357
				2300	2300	496.84	14.37	48.30	12.69	41.40	81.68	20.6	0.25310
				2300	2300	505.93	14.44	48.89	12.72	41.23	80.50	23.0	0.25293
				2300	2300	502.38	14.44	48.32	12.69	41.31	81.02	22.8	0.25290
				2300	2300	505.06	14.44	48.66	12.71	41.23	80.53	24.3	0.25288
				2300	2300	507.88	11.91	51.83	10.81	48.72	80.23	22.5	0.25286
				2300	2300	505.75	10.84	57.14	10.81	48.62	80.91	20.4	0.25266
				2300	2300	504.78	10.91	57.14	10.55	48.72	80.93	21.2	0.25271
				2300	2300	503.89	10.91	57.31	10.35	48.63	80.43	23.7	0.25287
				2300	2300	492.83	10.93	56.97	10.39	48.63	81.49	20.9	0.25285
				2300	2300	500.93	14.54	43.44	12.70	48.04	79.70	22.1	0.25282

3.3 光伏组件双面率冠军

3.3.1 测试目的

精确测量组件固有的背面发电能力，并将其量化为一个可与正面功率比较的单一指标（双面率）。这个指标是双面技术从“概念”走向“商业化”的基石，它为组件买卖、系统设计、发电量预测和财务分析提供了不可或缺的关键数据。

3.3.2 测试方法

在标准测试条件下（STC 条件下，辐照度 1000W/m2，温度 25℃，AM1.5G），分别测试组件正面和背面的电性能参数，计算组件的双面率（功率双面率、电流双面率等）。

3.3.3 奖项价值点

此项荣誉聚焦于光伏组件双面发电能力的极致水平。更高的双面率意味着组件能更高效地利用地面反射光与散射光，尤其在沙戈荒等高反射环境中，可为电站创造可观的额外发电收益。它代表了光伏价值评估从单一正面功率转向系统发电增益的深刻变革，体现了产品与特定应用场景的精准适配能力，是驱动光伏电站投资回报率提升的核心技术要素。

3.3.4 获奖企业

天合光能

3.3.5 评测数据

双面率排名												
Date	厂家	组件型号	ID	背面辐照	组件尺寸 (m²)	Pmax [W]	Isc [A]	Voc [V]	Ipm [A]	Vpm [V]	FF [%]	T_Object [°C]
2023/11/19 14:17	天能	TSM-63SNEG198C.20	A12251000000903-B1000	B1000	2.701	534.70	13.13	48.77	12.85	43.37	85.64	24.7
2023/11/19 14:04	天能	TSM-63SNEG198C.20	A12251000000906-B1000	B1000	2.701	534.78	13.13	48.76	12.86	43.23	85.54	24.9
2023/11/19 14:39	天能	TSM-63SNEG198C.20	A12251000000902-B1000	B1000	3.106	579.65	14.87	48.65	13.81	41.61	79.83	24.1
2023/11/19 14:31	天能	TSM-63SNEG198C.20	A12251000000900-B1000	B1000	3.106	574.18	14.96	48.76	13.73	41.88	78.72	24.3
				B1000	2.702	598.22	13.18	48.70	11.87	42.30	81.33	24.7
				B1000	3.106	575.31	14.87	48.59	13.78	41.74	79.93	17.6
				B1000	2.701	513.7	13.18	48.56	12.64	42.31	80.25	24.3
				B1000	2.701	511.7	13.18	48.54	12.10	42.30	78.92	24.3
				B1000	2.701	500.25	13.68	48.68	11.39	43.43	83.14	24.6
				B1000	2.701	506.2	13.13	48.54	13.02	41.30	78.90	23.8
				B1000	2.701	504.0	13.16	48.40	11.95	42.18	79.10	23.9
				B1000	2.705	483.33	10.76	57.04	10.07	48.07	80.36	17.4
				B1000	3.106	513.07	14.27	48.26	13.38	41.40	80.81	17.2
				B1000	2.702	484.50	10.60	57.18	10.03	48.28	81.32	17.0
				B1000	2.702	482.47	10.89	57.25	9.90	49.34	78.98	18.9
				B1000	2.702	488.74	10.61	57.10	9.85	49.22	80.82	17.7
				B1000	2.705	442.73	10.37	57.06	9.31	49.19	81.56	18.7
				B1000	2.705	443.37	10.11	57.81	9.34	49.40	82.86	19.7

3.4 光伏组件综合功率性能冠军

3.4.1 测试目的

是从“实验室功率”转向“现场功率”，从“标称价值”转向“实际价值”。使得组件的性能评估更贴近实际，极大地降低了投资的不确定性。

3.4.2 测试方法

光伏组件正面在标准测试条件（STC 条件下，辐照度 1000W/m2，温度 25℃，AM1.5G）下；光伏组件背面分别在辐照度 200W/m2/300W/m2/400W/m2 条件下，分别同时闪光测试光伏组件的功率。

3.4.3 奖项价值点

此项荣誉聚焦于光伏组件在综合功率维度上的顶尖表现。它标志着产品不仅在标准测试条件下达到性能巅峰，更能在电站实际运行的全场景中，提供持续稳定的高功率输出，精准适配不同环境与项目的多元化需求。

3.4.4 获奖企业

创维光伏

3.4.5 评测数据

综合功率增益 (1000~200)													
Date	厂家	器件型号	ID	不同频率	器件尺寸 (mm ²)	P _{max} [W]	I _{ac} [A]	V _{ce} [V]	q _{gm} [A]	V _{gm} [V]	FE [%]	T _{Device} [°C]	相对50°C下最大效率比例
2023-12-15 14:22	英飞凌	QREH11ED2430-78	GALACTAS97200229485736-1000-H200	21000~H200	2.795	730.27	25.71	57.66	14.64	-48.49	83.36	23.7	1.1628
				21000~H200	2.789	731.27	25.86	57.73	15.06	-45.81	79.83	23.9	1.1611
				21000~H200	2.791	732.78	26.17	58.16	15.17	-47.93	81.29	23.9	1.1612
				21000~H200	3.108	822.17	29.90	63.83	19.66	-43.41	81.37	30.7	1.1607
				21000~H200	2.793	733.18	25.99	58.12	15.13	-48.46	79.84	22.7	1.1602
				21000~H200	2.793	727.12	25.86	58.69	15.01	-48.46	78.93	23.7	1.1602
				21000~H200	2.781	732.17	26.22	59.16	17.17	-42.33	81.71	24.2	1.1601
				21000~H200	2.785	739.68	25.89	57.88	15.04	-48.51	79.46	23.8	1.1581
				21000~H200	2.783	714.66	24.93	59.27	17.19	-41.57	82.76	23.8	1.1579
				21000~H200	2.783	713.69	25.05	59.27	17.29	-41.61	80.41	24.3	1.1218
				21000~H200	5.106	806.34	29.94	69.23	19.33	-47.57	78.21	24.8	1.1369
				21000~H200	5.106	804.71	29.90	69.24	19.59	-49.26	78.18	24.3	1.1380
				21000~H200	2.799	731.18	26.10	58.47	15.11	-48.52	79.80	23.7	1.1484

附录 2、2025 年前三季度光伏组件出货量排名

近日，经过多轮沟通、交流、调研走访，索比光伏网&索比咨询联合发布了这份覆盖 29 家企业的光伏组件出货量排名，供大家参考：

中国光伏企业2025年前三季度组件出货量排名			
数据来源：索比光伏网&索比咨询			
序号	企业	前三季度出货 (GW)	全年出货量目标 (GW)
1	晶科能源	61.5~64.5	85~100
2	隆基绿能	≈60	80~90
3	天合光能	50+	70~75
3	晶澳科技	50+	
5	通威太阳能	≈34	
6	正泰新能	27.3	40
7	阿特斯	19.8~20.1	25~27
8	协鑫集成	≈19	
8	一道新能	≈19	25~26
10	横店东磁	16	23
10	英利能源	16	
12	爱旭股份	11~12.5	
13	东方日升	≈10	
13	TCL Solar	≈10	
15	华耀光电	6.7	10
16	润马光能	4.55	
17	赛拉弗	4.26	6~8
18	红太阳新能源	4.115	
19	弘元绿能	4.1	7~8
20	欧达光电	3.65	6
20	海泰新能	3.65	
22	新霖飞	3.45	
23	旭合科技	3.437	5
24	润阳光伏	3.4	
25	中节能（镇江）	2.8~3	4
26	正信光电	2.632	
27	阳光能源	2.56	
28	昱辉光能	2.388	
29	汉伏能源	2.34	3.5

说明：

1. 统计数据均为索比光伏网&索比咨询通过电话访谈、供应链走访、官方正式渠道、协会公开新闻、公告、现场盘点、招投标信息、供应链调研汇总得出，转载请标注出处。

2. 统计口径为品牌出货量，不包含自有品牌代工组件，亦不包含其他品牌代工生产的组件。

3. 该数据不作为投资、贸易依据。如与企业实际出货量不符，请以上市公司公告为准。

晶科能源、隆基绿能、天合光能、晶澳科技四家企业继续稳居 TOP4 地位，市场份额合计超过 48.5%，接近一半，与之前基本一致。作为行业”第一梯队”，它们的核心优势在于”全球化布局+供应链管控”。从我们获取到的数据看，龙头企业海外出货占比普遍超过 50%，无论在传统热门市场还是新兴市场都拥有广泛布局，通过海外市场开拓抵消国内需求波动，还可以通过海外产能建设抵御贸易壁垒风险；另一方面，凭借更高的产能规模，他们在面对供应商时话语权更强，可以做到更低的采购成本、更长的账期，让自己立于不败之地。

如果将目光扩大到 TOP10 范围（含并列），其市场份额之和已经超过 81%。这部分企业虽然没有 TOP4 那般稳定，但各有”生存利器”，无论是”开发+制造”全面发展，还是积极参与各大央企国企招标，都取得了较好效果，在中标名单中经常看到他们的身影，获取订单的机会较大。

相比之下，排名在 15 之后的企业，他们的市场份额之和仅有 10.34%，比上半年的 11.2%更少。我们注意到，这些企业中，很多企业三季度单季出货不足 1GW，经营状况存在不确定性。



索比光伏网