

新型钝化接触 (TOPCon) 技术

Tiger Neo 3.0 商业方案白皮书

TOPCon

晶科能源

目录

01	引言	
	1.1 光伏行业发展趋势	01
	1.2 TOPCon技术产业背景	02
02	TOPCon技术工艺深度解析	
	2.1 TOPCon技术原理	03
	2.2 TOPCon电池的制备工艺	03
	2.3 TOPCon技术优势	04
03	TOPCon组件核心优势	
	3.1 高效TOPCon电池	05
	3.2 TOPCon组件的高双面率	06
	3.3 TOPCon组件弱光响应	07
	3.4 TOPCon组件抗紫外衰减性能	07
04	TOPCon可靠性测试	
	4.1 三倍可靠性测试	09
	4.2 PQP测试	09
	4.3 组件全场景应用	10
05	TOPCon实证测试	
	5.1 Tiger Neo 全球实证电站	13
	5.2 实证电站测试报告	15
06	TOPCon技术远期可持续性	
	6.1 隐形栅线技术	27
	6.2 低温电池技术	27
	6.3 叠层电池	28
07	Tiger Neo 3.0	
	7.1 TOPCon应用价值	29
	7.2 Tiger Neo三代产品发展历程及出货情况	33
	7.3 不同功率挡位的可交付周期及指导价	34
08	碳足迹与可持续发展认证	
	8.1 碳足迹表现	37
	8.2 组件回收项目	38

01 | 引言

1.1 光伏行业发展趋势

能源革命的本质是经济性革命。当全球能源体系加速向低碳化、零碳化转型，“清洁”与“非清洁”的二元对立正在被更具现实意义的竞争维度取代——何种技术能够突破能源“可及性”的边界，以更低的全生命周期成本 (LCOE) 重构能源经济性的坐标系，已成为光伏产业发展的核心命题。

当前，光伏行业正经历从“补贴驱动”到“技术驱动”的战略转折。随着 PERC 电池效率逼近理论极限，以 TOPCon 为代表的 N 型技术凭借更高的效率天花板、更优的温度系数与更低的衰减率，正在开启光伏产业新一轮代际跃迁。这一技术变革浪潮的背后，是光伏产业竞争逻辑的根本性升级：从单纯追求组件单瓦成本下降，转向以系统思维优化能源全生命周期的度电成本。

在成本竞争力维度，全球光伏供应链已形成多中心、区域化发展的新格局。头部企业通过技术创新实现硅片减薄、银浆耗量降低等工艺突破，叠加全球化制造的产能布局与本地化供应链建设，显著提升了技术渗透效率与成本控制韧性。以晶科能源 Tiger Neo3.0 为代表的 TOPCon 产品，依托垂直一体化优势与智能制造体系，正在重新定义 N 型技术的规模化成本边界。

在 LCOE 竞争力维度，技术迭代的方向已从“降本”的单轮驱动转向“降本+提效”的双轮协同。TOPCon 技术 25.8% 以上的量产效率、双面率突破 85% 的性能优势，结合更低的年衰减率 (<1%)，使得电站系统在全生命周期内可提升约 3%-5% 的发电收益。这意味着即使组件初始投资略高，其带来的发电增益与运维成本节约仍能显著摊薄度电成本，为投资方创造更优的 IRR 模型。

这一趋势正在重塑全球能源投资决策的底层逻辑：当光伏电站从“成本敏感型”资产进化为“价值创造型”资产，技术选型的标准必然向全生命周期价值最大化迁移。本白皮书将深入解析 TOPCon 技术如何通过效率提升、发电增益、系统适配性突破构建新型度电成本竞争力，并揭示晶科能源 Tiger Neo3.0 在全球化能源应用场景中创造的商业价值范式。在这轮由 N 型技术主导的产业变革中，技术创新者正在书写光伏平价时代的下一个价值增长方程式。

1.2 TOPCon技术产业背景

在清洁能源的浪潮中，光伏电池技术作为能源转型的核心驱动力，经历了从单晶硅到多晶硅、PERC、TOPCon 及叠层技术的多次革新。这些技术的进步不仅显著提升了光电转换效率，还大幅降低了光伏发电的成本，使其在全球范围内逐步成为主流能源形式。

单晶硅电池凭借其高纯度晶体和优异的光电性能，最早奠定了光伏产业的基础。然而，高昂的生产成本限制了其大规模应用，促使行业转向多晶硅电池的研发与推广。多晶硅电池通过降低材料成本，在一定时期内主导了全球光伏市场。尽管其光电转换效率略逊于单晶硅，但更低的制造成本使其迅速普及，为光伏产业的规模化发展奠定了坚实基础。

随着 PERC 技术的问世，光伏电池效率迈入了新的台阶。PERC 技术通过在电池背面增加钝化层和局部金属接触，有效减少了光生载流子的复合损失，同时提升了背反射效果。这一技术革新标志着高效电池时代的开启，其效率较传统铝背场电池提升了约 0.5%-1%。PERC 电池的广泛应用，进一步推动了光伏发电成本的下降，使其在全球范围内具备更强的竞争力。

随后，TOPCon 技术以其独特的隧穿氧化层和掺杂多晶硅层设计，实现了更高效的载流子传输和表面钝化。相比 PERC，TOPCon 技术在开路电压、填充因子等方面表现出显著优势，效率提升幅度可达 0.5%-1%。此外，TOPCon 电池还具备更好的温度系数和双面发电性能，使其在高温环境和复杂光照条件下的表现更加优异。这一技术的出现，根本性变革了电池基本结构和工作原理，为光伏电池效率的进一步提升提供了可能。在同一时期，BC (Back Contact, 背接触) 作为工艺层面的一种补充，为现有 TOPCon 技术框架内的优化提供了新的思路，其主要通过将 TOPCon 正面电极移至背面来减少遮光面积，在一定程度上改善电池外观和部分电池效率等性能指标，BC 的不断发展将助力 TOPCon 进行更深层次的技术迭代。

进入叠层时代后，光伏电池技术迈向了更高维度的发展阶段。通过结合不同带隙材料的互补特性，叠层结构能够充分利用太阳光谱的不同波段，理论上可将光电转换效率提升至 30% 以上。这种突破性的设计，不仅拓展了光伏电池的应用场景，还为未来超高效率电池的发展指明了方向。

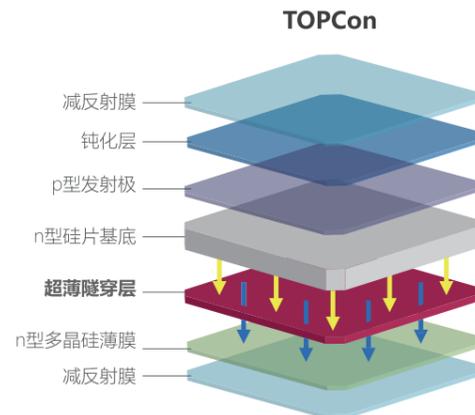
综上所述，TOPCon 技术凭借其独特的结构设计和卓越的性能表现，自推出以来已快速获得全球市场的普遍认可，市占率超过 70% 并仍在快速增长，已成为推动光伏产业迈向更高效率的关键力量。



02 | TOPCon技术工艺深度解析

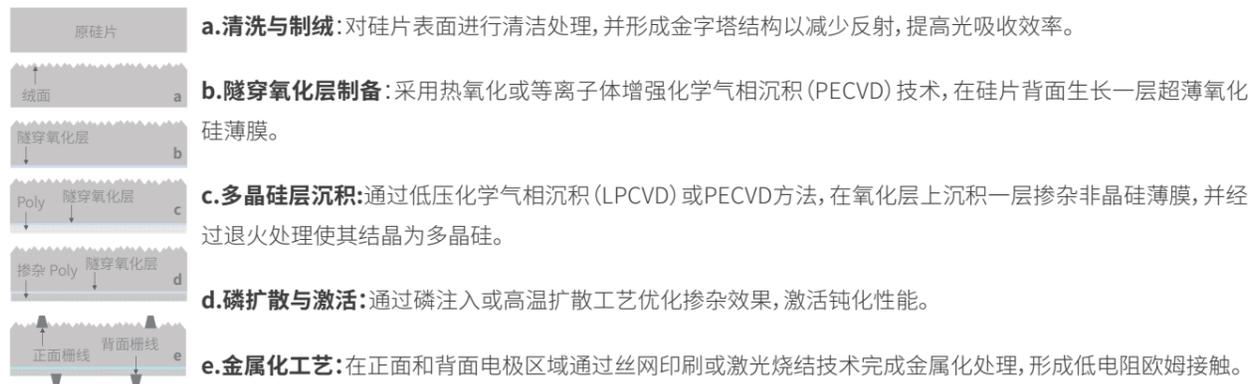
2.1. TOPCon技术原理

TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact, 隧穿氧化层钝化接触) 是一种先进的光伏电池技术。其核心在于通过在硅片表面形成超薄氧化硅层 (厚度约为 1-2 nm) 与掺杂多晶硅层的组合结构, 实现载流子的选择性传输和表面钝化。该结构允许少数载流子通过量子隧穿效应穿过氧化层, 同时阻挡多数载流子, 从而显著降低表面复合速率, 提升开路电压和光电转换效率。



2.2. TOPCon电池的制备工艺

TOPCon 电池的制备工艺主要包括以下几个关键步骤:



通过制绒工艺形成的金字塔结构能够有效降低光的反射率, 使更多的光子进入硅片内部被吸收, 从而提升光生载流子的数量。电学上, TOPCon 电池的核心在于其独特的隧穿氧化层和多晶硅层结构。超薄的隧穿氧化层能够提供优异的表面钝化效果, 减少载流子在界面处的复合损失, 而多晶硅层则作为高效的载流子传输通道, 进一步提高了载流子的收集效率。这种结合使得 TOPCon 电池在开路电压和填充因子方面表现优异, 最终实现了更高的光电转换效率。

2.3. TOPCon技术优势

2.3.1 TOPCon 相较 PERC 技术的优势

与上一代 PERC 技术相比, TOPCon 在多个方面展现了显著的优势。首先, 在效率方面, TOPCon 通过引入隧穿氧化层和多晶硅层结构, 极大地提升了表面钝化质量和载流子传输效率, 使其光电转换效率较 PERC 电池高出约 1% 至 2%。其次, TOPCon 具备更高的双面率, 通常可达 80% 以上, 这意味着它可以在背面捕捉更多的反射光, 进一步增加发电量。此外, TOPCon 还表现出更低的光致衰减 (LID) 和电势诱导衰减 (PID), 这不仅提高了电池的长期稳定性, 也增强了投资者对电站收益的信心。

再者, TOPCon 具有较低的温度系数, 相较于 PERC, 其功率损失在高温环境下更小。这一特性对于在炎热地区安装的光伏系统尤为重要, 因为更低的温度系数意味着即使在高温条件下, TOPCon 也能维持较高的输出功率, 从而提升整体系统的发电性能和经济效益。综上所述, 基于 PERC 技术的进一步发展, TOPCon 在高效率、高双面率、低衰减以及低温度系数等方面均展现出明显的技术优势, 为光伏产业带来了新的增长动力和发展方向。

2.3.2 TOPCon 相较 BC 技术的优势

TOPCon 相较于 BC 产品的优势主要体现在工艺流程、成本及可靠性三方面, TOPCon 通过更简单的工艺流程、更低的产线投资, 使制造成本较 BC 低 0.08-0.1 元 /W; TOPCon 电池正面保留金属栅线 (主栅和细栅), 背面通过隧穿氧化层和掺杂多晶硅层实现钝化接触, 这种对称结构使其在机械强度上优于 BC 组件; TOPCon 电池采用正背接触结构, 正面保留扩散结, 扩散结的存在增强了电池表面对紫外线的抗性, 减缓了钝化层的退化速度, BC 电池载流子横向传输导致局部电阻发热, 高温下易形成热斑 (热斑温度 > 100°C), 加速封装材料老化 (如 EVA 黄变), 并且通过实证, TOPCon 组件 UV60 衰减 1.23%, BC 组件 UV60 衰减 2.20%。

2.3.2.1 工艺流程

TOPCon 仅需在焊带上涂覆助焊剂, 通过红外加热与电池片焊接成串, BC 电池串焊前需增加电池印刷工艺 (绝缘胶印刷和锡膏印刷), 印刷良率 (缺印、漏印) 影响串焊工艺 (串返 2%-4%), 碎片率较 TOPCon 高 0.1~0.2%; TOPCon 主栅线间距 8~11mm, 且焊带分布在电池正背面, 具有载流和应力对称分布的优势, 工艺更简单, 良率 > 99.7%, BC 电池单面焊接, 因焊带和硅基材热收缩率不同, 焊接后电池片翘曲, 导致层压后容易破片, 印刷良率 (缺印、漏印) 易导致短路不良, 整体良率偏低 (99%-99.5%);



2.3.2.2 成本

a. 投资: TOPCon 初期投资新建产能成本 1.6-1.7 亿元 /GW, 且可通过现有 PERC 产线升级 (改造成本约 3000-5000 万元 /GW) 快速释放产能, BC 初期投资新建产能成本 2.5-3 亿元 /GW;

b. 成本: TOPCon 组件成本比 BC 组件成本低 0.08-0.1 元 /W, 主要在非硅物料成本、良率、设备折旧等方面 TOPCon 组件更优, BC 组件还需依赖规模化生产和技术突破降低成本;



BC焊接后结构图

TOPCon焊接后结构图

2.3.2.3 可靠性

a. 机械强度: TOPCon 组件在载荷性能 (如机械强度、抗隐裂能力) 上优于 BC 组件。TOPCon 电池正面保留金属栅线 (主栅和细栅), 背面通过隧穿氧化层和掺杂多晶硅层实现钝化接触, 这种结构相对对称, 且电极分布在正反两面, 整体应力分布更均匀, 分散机械载荷 (如风压、雪载) 产生的应力, 降低局部应力集中风险; TOPCon 电池电极通过丝网印刷完成, 较 BC 更少的激光开槽或刻蚀步骤, 工艺成熟且对硅片损伤较小, 增强了硅片结构稳定性;

b. 抗 UV 衰减: TOPCon 组件抗 UV 衰减性能优于 BC 组件。(实证数据, TOPCon 组件 UV60 衰减 1.23%, BC 组件 UV60 衰减 2.20%)

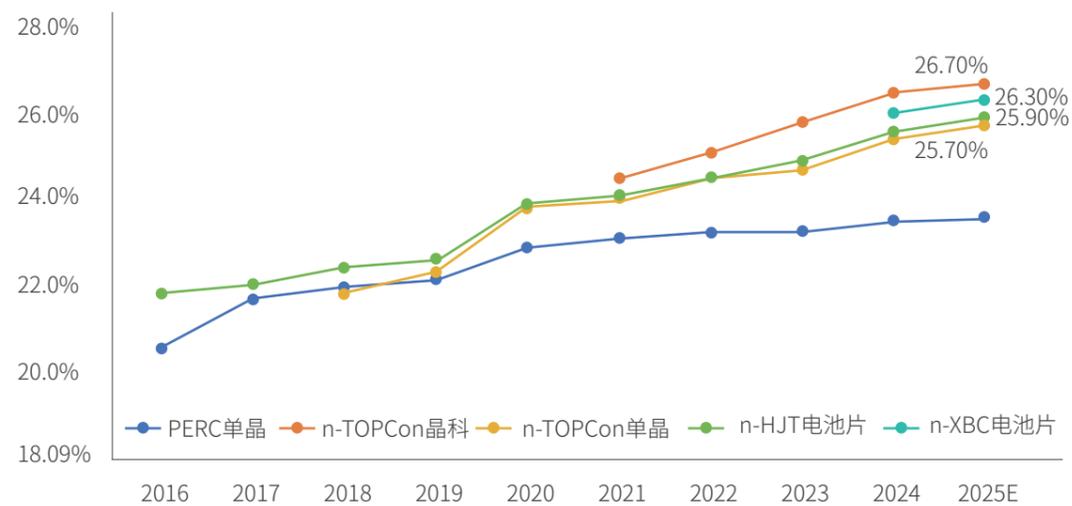
03 | TOPCon组件核心优势

3.1 高效TOPCon电池

TOPCon 电池从 2022 年的 25.1%，到 2023 年的 25.8%，再到 2024 年的 26.5%，晶科能源凭借深厚的技术积累和强大的研发实力，持续突破量产效率上限。这些数据不仅是技术进步的有力证明，更是晶科在光伏领域多年深耕的成果，其量产效率始终高于行业平均水平，彰显了晶科在光伏产业中的领军地位。

预计 2025 年晶科量产效率有望达到 26.7% 至 27%，进一步巩固其领先地位。而到了 2026 年，晶硅电池技术将逐渐逼近材料物理学意义上的效率极限。在此背景下，晶科积极探索 TOPCon 技术与钙钛矿技术的融合，形成叠层电池。这一创新方案的理论效率可高达 32.5% 以上，为光伏技术发展开辟新的方向。晶科提前布局，深入研究 TOPCon 与钙钛矿的叠层技术，不仅展现出其在技术创新方面的前瞻性，更凸显了 TOPCon 技术的高延展性。

2016~2025年国内电池片量产转换效率发展趋势



* 数据来源：CPIA《中国光伏产业发展路线图 2024-2025 年》、公司年报

3.2 TOPCon组件的高双面率

TOPCon 组件在综合功率和效率上也远领先于 BC 技术组件，基于当前当前双面组件测试方法简化公式：正面功率 + 正面功率 * 双面率 * 背面进光量，TOPCon 双面率主流为 80%+，BC 组件主流双面率为 70%+。

具体差异见右图：

 水面 反射率：2~5%	TOPCon 综合功率 = $660+660*80%*5%$ =686.4w	TOPCon 高 3.3w
	BC 综合功率 = $660+660*70%*5%$ =683.1w	
 草地 反射率：10~20%	TOPCon 综合功率 = $660+660*80%*6%$ =765.6w	TOPCon 高 3.96w
	BC 综合功率 = $660+660*70%*6%$ =752.4w	
 沙地 反射率：22~25%	TOPCon 综合功率 = $660+660*80%*10%$ =792w	TOPCon 高 6.6w
	BC 综合功率 = $660+660*70%*10%$ =775.5w	
 水泥 反射率：30~33%	TOPCon 综合功率 = $660+660*80%*10%$ =834.24w	TOPCon 高 6.6w
	BC 综合功率 = $660+660*70%*10%$ =812.46w	
 白漆 反射率：80~85%	TOPCon 综合功率 = $660+660*80%*15%$ =1108.8w	TOPCon 高 9.9w
	BC 综合功率 = $660+660*70%*15%$ =1052.7w	

综上，同版型下，单因更高的双面率，TOPCon组件在全应用场景下，都可以带来更高的综合功率，高于BC组件平均约1%。

03 | TOPCon组件核心优势

3.3 TOPCon组件弱光响应

TOPCon 的弱光响应更好,因为其电池结构可减少漏电路径,采用隧穿氧化层结构与并联电阻优化设计,能够有效降低能量流失,提高弱光转化效率。具体低辐照性能数据见下表:

类型	辐照度 (W/m ²)	Pmpp	Uoc	Isc	FF	低辐照性能
TOPCon	1000	610.2	53.35	13.86	82.53%	96.77%
	200	118.1	50.70	3.00	77.72%	
BC-友商A	1000	650.0	53.62	14.84	81.67%	94.28%
	200	122.6	51.02	3.14	76.49%	
BC-友商B	1000	627.1	53.33	14.63	80.66%	94.51%
	200	118.5	50.49	3.12	75.55%	

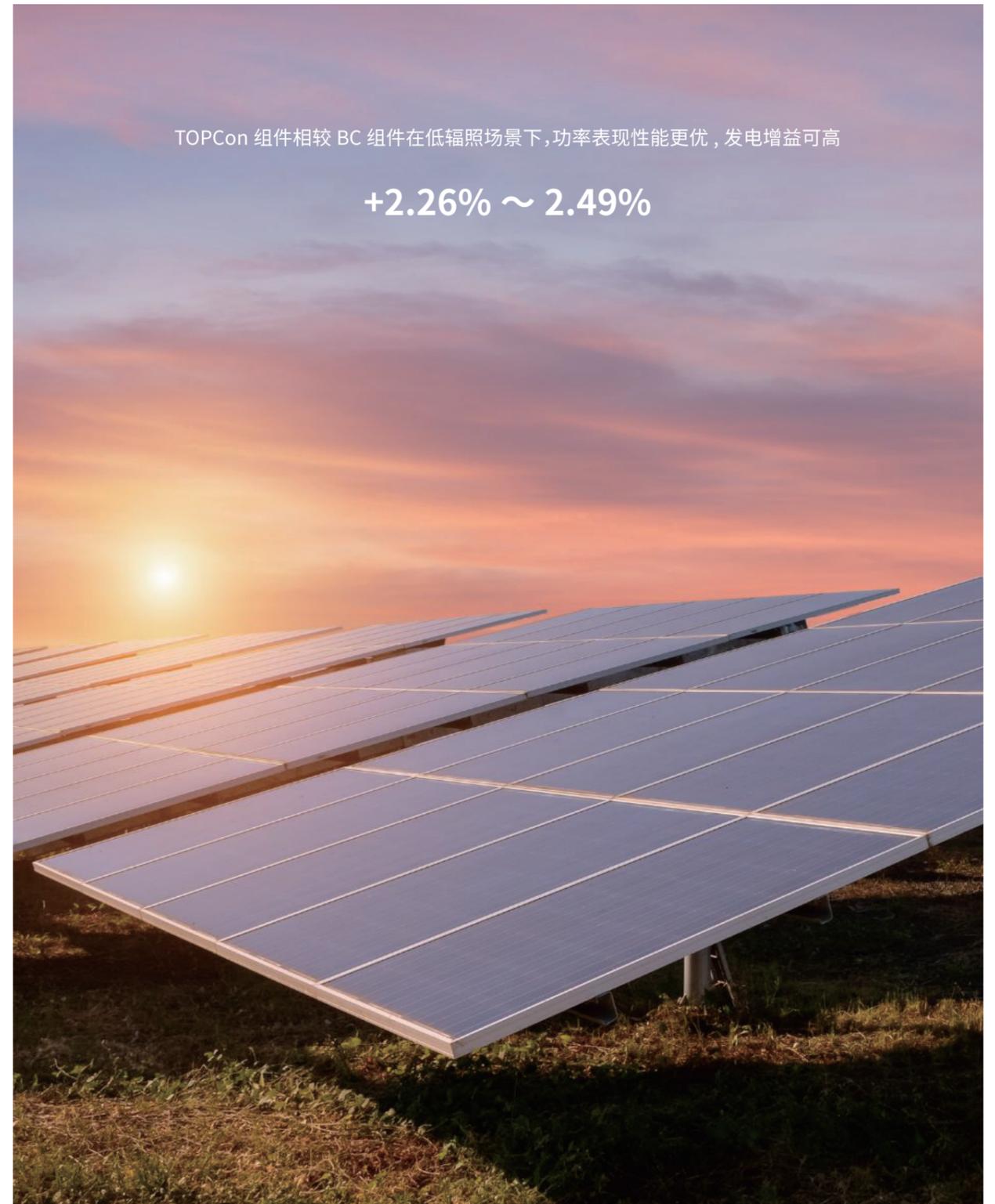
根据 IEC 61215-2:2021 测试方法,计算得出,TOPCon 组件相比于 BC 在低辐照情况下,功率表现性能更优(多 2.26% ~ 2.49%),这也意味着 TOPCon 组件可充分利用早晚阳光资源,提升高电价时段的发电量,实现收益最大化。

3.4 TOPCon组件抗紫外衰减性能

TOPCon 电池工艺中,采用优化的电池钝化层设计,例如增加 AlO 膜的厚度和均匀性、调整 SiNx 的折射率;以及加强对薄膜沉积过程的过程控制,例如标准化对 AlO 薄膜厚度和均匀性的监测方法、增加检测频率;同步的,增加光伏电池的紫外监测,例如将对组件紫外的监测频率提高 3 倍。

与此同时,TOPCon 组件采用更优异的封装材料。因此产品在 UVID 测试中表现更优,在高紫外线地区(云南、青海、沿海地区、中东非等)相比其他技术,表现数据更佳。

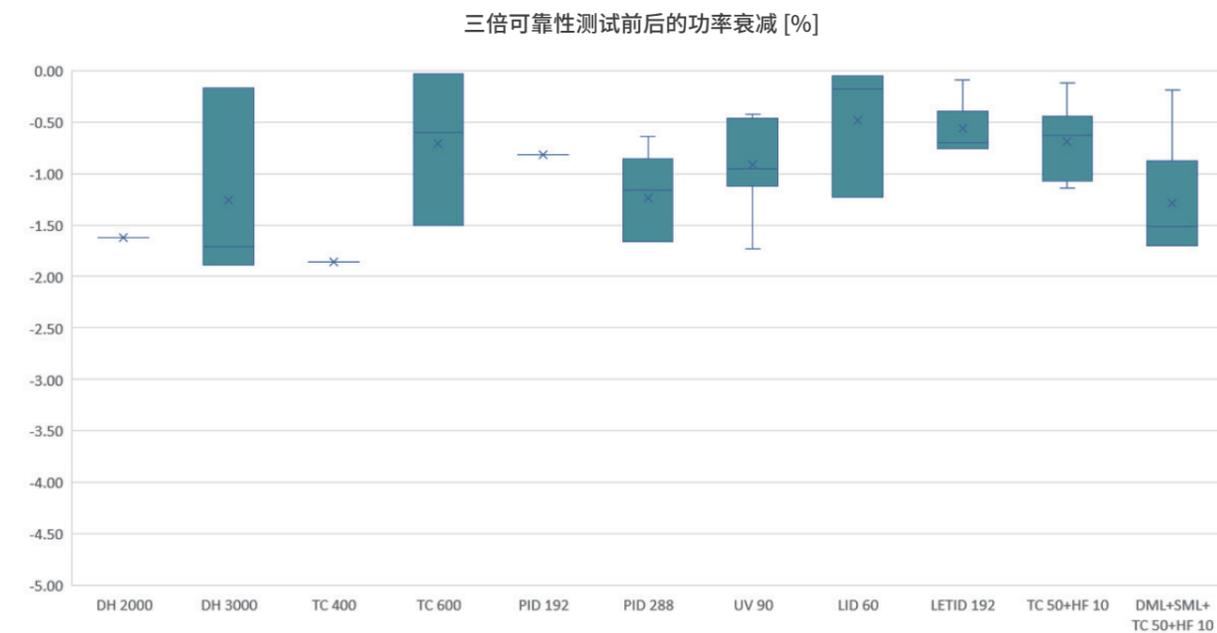
在 UV 测试后,所有类型的组件都会有相似的 UVID 现象,但 TOPCon 技术组件,其衰减率表现最佳,远低于其他技术的衰减数值(参考下一章节可靠性测试数据)。



04 | TOPCon可靠性测试

4.1 三倍可靠性测试

光伏组件的 IEC 三倍可靠性测试 (3x IEC Reliability Testing) 是一种针对光伏组件在极端环境条件下的强化测试方法，旨在验证其长期可靠性和耐久性。该测试基于国际电工委员会 (IEC) 的标准 (例：IEC 61215、IEC 61730)，但通过增加测试强度或重复次数 (通常为标准的 3 倍)，模拟组件在更严苛环境中的性能表现，从而确保其在实际应用中的高可靠性。TUV NORD 北德权威第三方机构的三倍可靠性测试数据为晶科 TOPCon 技术组件全生命周期更稳定发电性能及安全可靠性提供实验室验证支撑，权威测试数据如下表：



总的来说，三倍 IEC 可靠性测试是光伏行业对产品质量的更高追求，尤其在极端环境应用中具有重要意义。晶科三倍 IEC 系列测试的高水平成功通过，是对其产品品质和可靠性的有力证明，也进一步提升了其在全球光伏市场的竞争力和影响力。

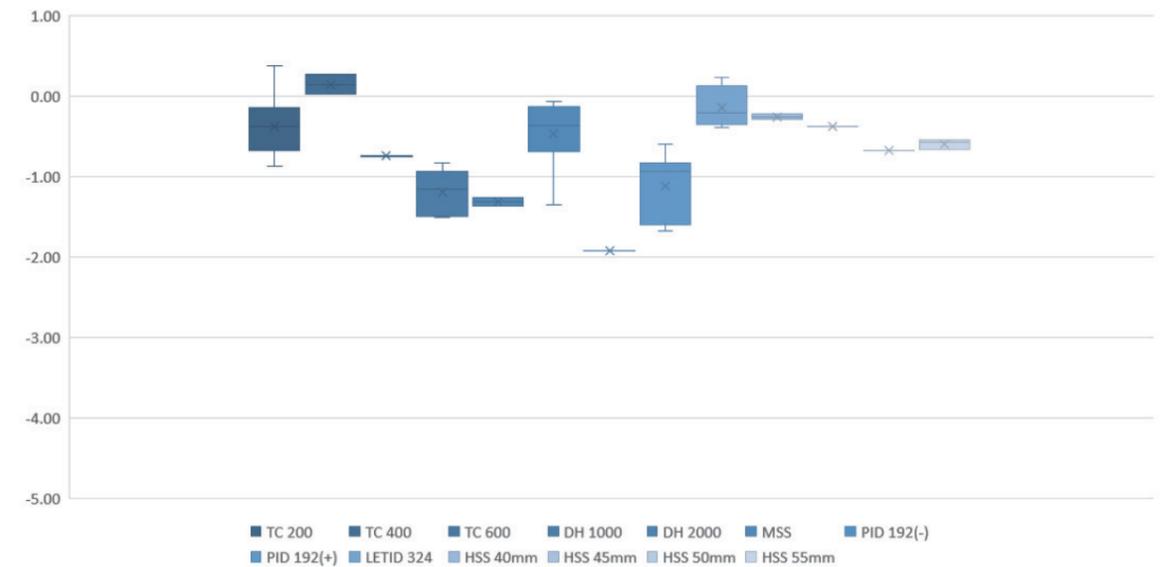
4.2 PQP测试

PQP 测试是一种全面而严格的光伏组件质量认证，旨在确保光伏组件在各种环境条件下都能保持优异的可靠性，涵盖了 TC (热循环)、DH (湿热循环)、MSS (机械载荷)、PID (电势差诱导衰减)、LID+LETID (光衰 + 热辅助光致衰减)、PAN (发电性能测试)、紫外老化测试等可靠性加严测试项目。

晶科能源在 Kiwa PVEL 发布的 2025 年光伏组件可靠性记分卡报告中斩获“表现最佳”荣誉。2025 年是 Kiwa PVEL 第十一次发布光伏组件可靠性记分卡报告。该报告旨在表彰在产品质量测试组合 (PQP) 中表现优异的领先组件制造商。晶科能源是全球连续十一次报告中获得“表现最佳”荣誉的制造商之一，验证了晶科能源 TOPCon 组件在严苛气候条件下，仍然具备高水准的可靠性和发电能力的优良性能。



PQP可靠性测试前后的功率衰减 [%]



在美国可再生能源测试中心 (“RETC”) 发布的 2025 年度“光伏组件指数报告” (“PVMIR”) 中，晶科能源连续第六年获得“杰出成就奖”。“杰出成就奖”用以表彰在可靠性、性能和质量三个维度的指标中均表现出众的制造商，是该项目授出的最高荣誉。该项目为项目所有人、保险公司、投资方和工程师提供保障，确保大规模生产的光伏组件在商业运营中表现可靠。

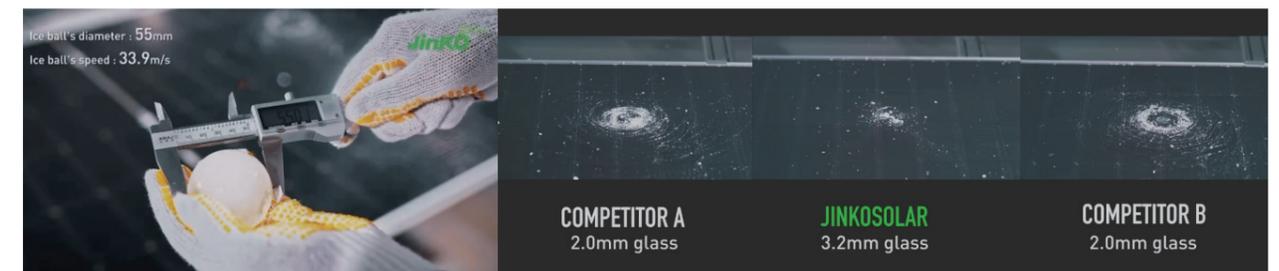


4.3 组件全场景应用

晶科能源始终致力于探索光伏组件新的应用场景，以契合产业、社会发展的需求。随着沙漠、戈壁、荒漠、采煤沉陷区、盐碱滩涂、山地、海上等场景越来越多样化，晶科能源在兼顾高效与可靠性的基础上，提出了全场景光伏解决方案。

4.3.1 “三优” 组件

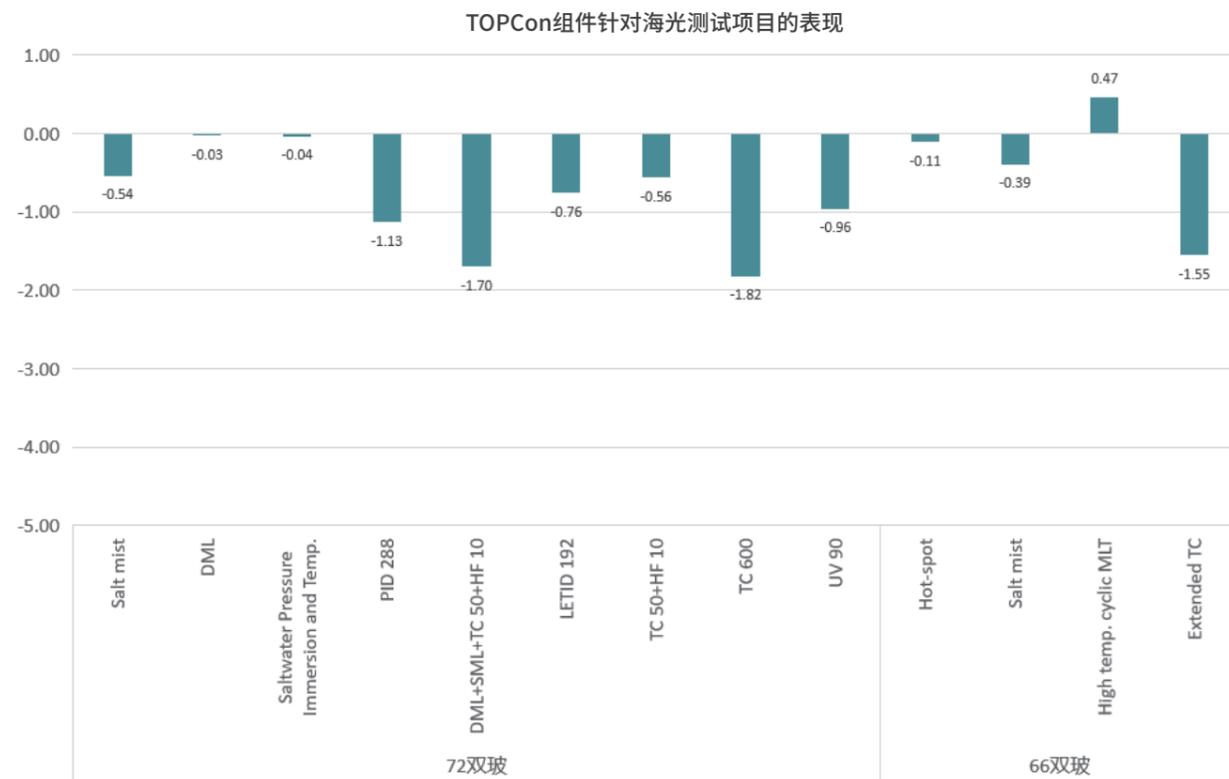
晶科能源“三优”组件针对冰雹、飓风等极端气候场景设计，具备“高抗冰雹、高抗风载、高防火等级”的性能。该产品已经成功通过了 TÜV SUD 南德、RETC 权威第三方机构的 55mm 冰雹测试，常规安装方式 4000Pa/ 特殊安装方式 5400Pa 的背面最大静态负载测试，同时具备 IEC 防火 Class A 以及 UL 防火 Type 30 等级。



04 | TOPCon可靠性测试

4.3.2 “海上光伏” 组件

晶科能源“海上光伏”组件针对海上“三高两强”（高温、高湿、高盐雾、强风和强浪）的特殊环境设计。通过采用AA20高强边框、双层镀膜玻璃和双面POE封装技术，该组件能够有效隔绝水汽和抵御盐雾腐蚀，成功通过了权威的第三方检测。



晶科能源成功将海光项目从理论转化为现实，助力众多海洋光伏项目顺利落地。其中，国内首个远海海域漂浮式海上光伏项目——中集海上半潜漂浮式光伏实证平台，已经历了一年半的可靠性实证。该项目对组件进行了功率、EL、绝缘、静态机械载荷等多方面的性能测试。测试结果显示，晶科海上光伏组件性能卓越，不仅成功通过所有测试，更展现出优异的机械载荷性能。在电性能方面，其衰减率更低，与常规组件相比，晶科 N 型 TOPCon 海上光伏组件的衰减率减少了近 20%，以高可靠性和高稳定性完美契合海上光伏项目的需求。

海上环境特点	针对海上环境测试项目	针对海上环境测试方法	常规测试方法	测试目的	参考标准
强腐蚀性	交变盐雾试验	PH=3.5, 5%NaCl	无需盐雾测试	评估组件在高盐雾环境下的可靠性	IEC 60068-2-52 Test Method 8
	PID测试	PH=3.5, 96h*3cycle	PH=7, 96h*3cycle	评估组件材料、零部件的盐雾腐蚀及PID性能	IEC TS 62804-1:2015, method a
高温	高温测试	-40-110°C*392cycle	40-85°C 200cycle	评估组件高温运行时海水降温，频繁温度变化性能	IEC 62892
	热斑测试	盐雾后未清洗状态 70°C (level2)	无盐雾 50°C	评估组件盐雾后未清洗状态进行热斑测试	IEC 61215-2
高湿度	湿热+紫外线测试	(UV 180W/m ² +DH)1000h 同时进行	DH 1000h	UV&DH复合老化测试，更严苛的耐水汽侵入评估	IEC 61215-2 IEC TR 63279
强紫外线			UV 15W/m ²		
高风载	动载测试	±1000Pa*1000cycle	无需动载测试	评估组件在海上大风天气下的机械性能及功率衰减	IEC 61215-2 IEC TS 62782
	风洞测试	60m/s*10mins	无需风洞测试	评估安装在浮体或桩基上的组件的整体抗风性能	DIN 1055-4

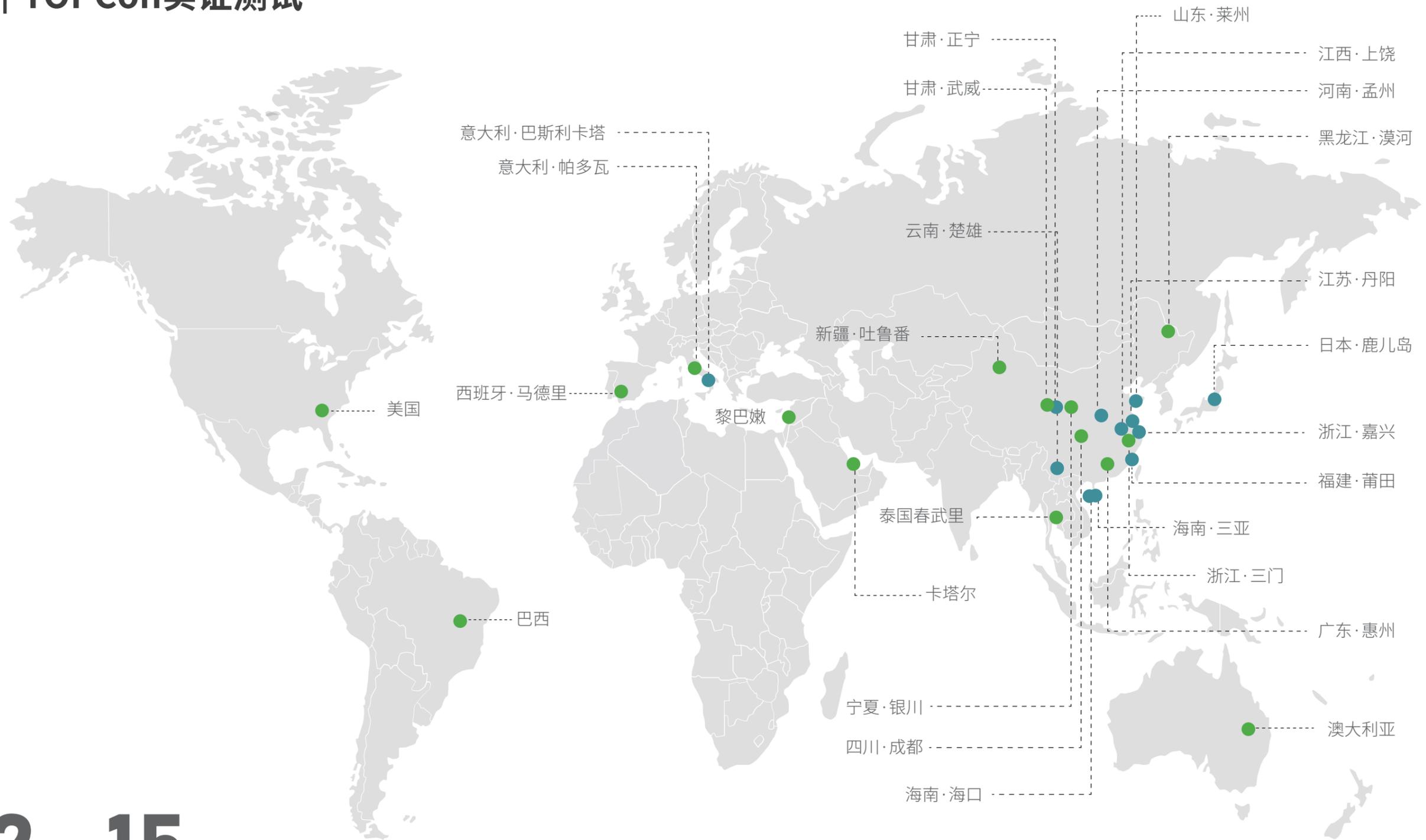
4.3.3 “防积灰” 组件

晶科能源“防积灰”组件的主要应用场景为屋面坡度小、组件积灰大、清洗频次低、清洗难度高但需要高效发电的工商业、户用场景。该产品边框采用创新设计，通过边框短边无 A 面的结构设计，使边框和组件玻璃面高度持平。这一创新设计使得雨水能够自然顺畅地沿边框流下，有效减少了灰尘在组件正面的滞留和堆积，从而显著提升了发电效率，平均发电增益提升 3% 以上，也降低了项目后期运维成本。除此之外，该组件还通过了最高 45mm 的抗冰雹测试，以及最高 6000/3000 Pa 的静载测试（晶科安装方式），为组件的可靠性提供有力支撑。

4.3.4 “沙漠” 组件

当前晶科能源已规划针对沙漠“高紫外、高载荷、大温差、多沙尘”特殊环境的“沙漠组件”，该组件将具备耐高温、抗沙尘、耐紫外线、高可靠性等性能，可以完美适应沙漠恶劣的自然环境，确保长期稳定运行，减少后期维护成本。同时，将具备超高的转换效率，能够在沙漠地区强烈的光照条件下，将更多的阳光转化为电能，大幅提升发电量。

05 | TOPCon实证测试



12 15

● 已建成 ● 规划中

地面-草地	地面-荒地	地面-混凝土	工商业-彩钢瓦	工商业-水泥地	户用屋顶	沙漠光伏	水上光伏	海上光伏
巴西	澳大利亚	美国	浙江嘉兴	甘肃正宁	江苏丹阳	甘肃武威	浙江三门	福建莆田
海南三亚	宁夏银川	日本鹿儿岛	江西上饶	广东惠州	山东莱州	卡塔尔		
意大利巴斯利卡塔	河南孟州	西班牙马德里	云南楚雄	海南海口		黎巴嫩		
	黑龙江漠河			四川成都		新疆吐鲁番		
	泰国春武里							
	意大利帕多瓦							

*以上实证电站对比设定为晶科TOPCon组件与BC组件，涵盖第三方测试场地与客户实证场地



海南海口实证

TOPCon技术综合发电效能显著领先N型BC组件 **5.11%**

项目地点: 海南省海口市 (北纬 19°31'32", 东经 110°07'22")

选址原因: 海口市位于海南岛北部, 地处低纬度热带北缘, 属于热带季风气候, 冬无严寒, 夏无酷暑, 四季常青, 温暖舒适。全年日照时间长, 辐射能量大, 年平均总辐照量达 2043.8 kWh/m², 年平均温度为 25.2 °C, 平均风速 2.9 m/s, 相对湿度达到 89.3 %RH。

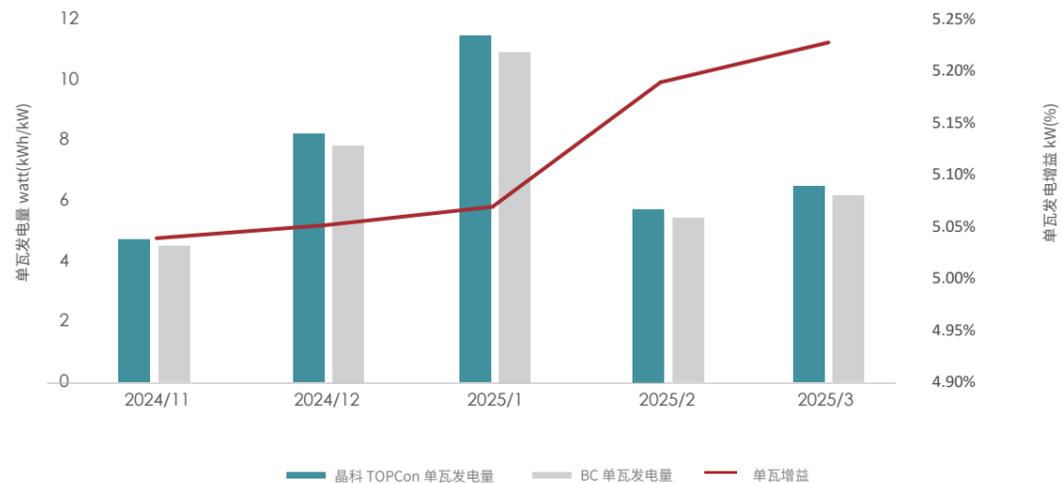
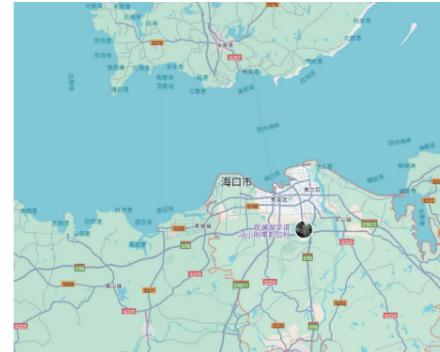
项目简介: 本次实证选用的两种组件: 晶科被测 N 型 TOPCon 组件, 平均双面率 83.0%, 和另一厂商被测的 N 型 BC 版本组件, 平均双面率 68.7%。每种组件各有 10 块。采用固定支架 (≈20°) 安装在屋顶上, 组件最低点距离地面 0.5m, 地面条件为混凝土。所有组件均配备高精度传感器, 以实时监测发电数据, 确保测试结果的准确性和可信度。

样品类型	JKM575-72HL4-8DV	BC 组件
型号	TOPCon	BC
规格	2278X1134X30mm	
数量	10	10
(W)	575	575
屋面	工厂屋顶, 固定支架 (0°)	
组件离地间距	0.5m	
开始采集时间	2024-11-14	

测试结果: 该报告对比分析, 晶科 N 型 TOPCon 组件、N 型 BC 组件的发电性能、温度变化。为期一个季度 (2024 年 11 月 15 日到 2025 年 03 月 31 日) 的测试结果如下:

1) 根据晶科 TOPCon 组件和 N 型 BC 组件发电性能数据对比, 可得结论: 晶科 TOPCon 组件的发电性能优于 N 型 BC 组件, 晶科 TOPCon 组件的发电性能比 N 型 BC 组件高 5.11%。

2) 晶科 TOPCon 组件 PR 值为 95.48%, BC 组件 PR 值为 90.89%, 晶科 TOPCon 组件的 PR 值显著高于本次实证所用的 N 型 BC 组件, 表明其在实际运行中的综合损耗 (包括温度损耗、线损、灰尘遮挡等) 更低, 系统效率更优。



河南孟州实证

TOPCon对比P型BC组件, 月发电增益最高达 **4.71%**

项目地点: 河南省孟州市 (北纬 34°50', 东经 112°33')

选址原因: 此项目为业主实地发电项目, 测试的结果反应了组件实际应用的表现, 河南孟州为暖温带大陆性季风气候, 雨热同季。测试期间经历了冬季, 受太阳倾角影响对组件的双面发电性能的考验尤为关键

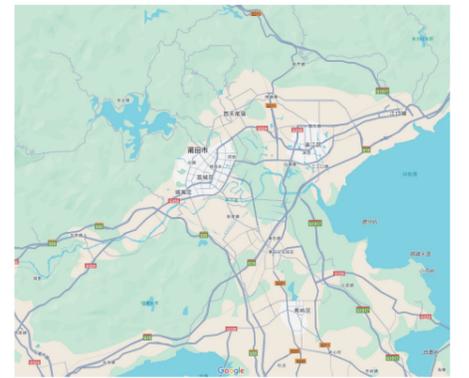
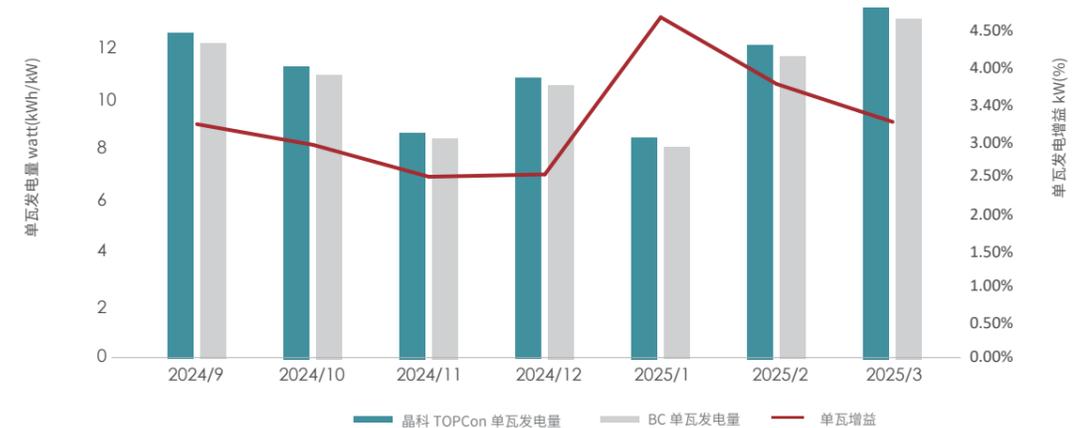
项目简介: 本次实证选用的两种组件: 铭牌功率为 575W 的 N 型 TOPCon 组件和另一厂商 575Wp 的 P 型 BC 组件, 每种组件各有 18 块。采用固定支架安装, 倾角设置为 35°。所有组件均配备高精度传感器, 以实时监测发电数据, 确保测试结果的准确性和可信度。

样品类型	JKM575-72HL4-8DV	BC 组件
型号	TOPCon	BC
规格	2278X1134X30mm	
数量	18	18
(W)	575	575
屋面	民房屋顶, 固定支架 (20°)	
组件离地间距	1.5m	
开始采集时间	2024-8-14	

测试结果: 通过对 2024 年 9 月至 2025 年 3 月的发电性能分析, 晶科能源的 TOPCon 组件展现出卓越的发电能力, 其平均单瓦发电量较 P 型 BC 组件高出 3.27%。特别是在 1 月光照条件较弱的时期, TOPCon 组件凭借超过 80% 的双面率, 能够高效利用地面反射光, 进一步提升发电效率, 单瓦发电量较 P 型 BC 组件高出 4.71%, 充分彰显了高双面率的优势。

在测试期间, TOPCon 组件运行温度始终低于 P 型 BC 组件, BC 组件的散热问题主要体现在由于背接触设计, 热量容易在背面积聚, 导致组件温度升高, 从而引发发电效率下降。而在 P 型 BC 双面组件中, 散热问题可能会更严重, 因为双面设计的组件两面均有玻璃, 加上背接触设计会导致更高的温度积聚, 从而进一步加剧效率下降和组件老化的风险。

TOPCon 双面率为 75-85%, 远大于 P 型 BC 的 55-65%。在孟州, 双面率的提升显得尤为重要, 因为高反射率的沙地能够有效地将额外的光线反射到组件的背面。高双面率意味着组件能捕捉更多的反射光, 从而显著提高发电量。





日本鹿儿岛实证

TOPCon对比N型BC组件的长期发电增益高 7.1%

项目地点: 日本鹿儿岛 (北纬 32°3'57", 东经 130°19'53")

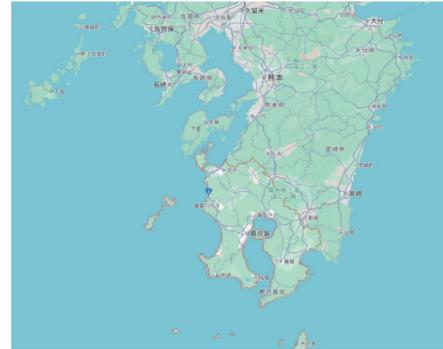
选址原因: 鹿儿岛临近海岸, 具有典型的亚热带海洋性气候, 其高湿度、高盐雾环境以及四季分明的气候特点, 为光伏组件的耐腐蚀性、耐久性测试及不同气候条件下的性能验证提供了理想场所, 同时便于开展近海及海上光伏应用的探索。

项目简介: 现场安装了两种技术类型的组件: N型 TOPCon 组件及 N型 BC 组件。测试设置为每家厂商的 2 块组件, 安装在距地面 1.2 米高、倾角为 32°的固定支架上。组件的初始功率采用瞬态模拟器 SAT 方法且光谱修正未被考虑在测试结果, 发电量是通过高精度 CR1000X 采集系统对单块组件的直流发电量进行采集的数据, 采样间隔时间为 1 分钟。同时针对电站的组件面辐照度、组件背板温度、环境温度和湿度、大气压等信息均进行了采集和记录, 采样间隔时间为 1 分钟。

电池片技术	组件尺寸 (mm)	组件类型
N 型 TOPCon	2278x1134x30	双玻组件
N 型 BC	2278x1134x30	单玻组件

测试结果: 2024 年 10 月至 2025 年 3 月, 现场对两种不同技术类型的组件性能进行了详尽的测试。结果显示, TOPCon 组件的六个月归一化发电量达到了 495.36 kWh/kW, 而 N 型 BC 组件归一化发电量为 462.54kWh/kW。相较而言, TOPCon 组件的平均单瓦长期发电增益达到了 7.1%。综合分析结果显示:

- 2024 年 10 月至 2024 年 12 月, 鹿儿岛阴雨天数多, 晴朗的天气寥寥无几。此低辐照占比较高的天气条件, 格外凸显了 TOPCon 组件优异的弱光表现。以 10 月 15 日到 10 月 29 日长达 15 天的阴雨天为例, 平均每日单瓦增益达到了 9.13%!
- 在天气晴朗时, TOPCon 组件凭借可达 80%+ 的高双面率进一步提升发电量。鹿儿岛地区, 高双面率的优势尤为突出。当地多为砂石, 砂石地面反射率高, 能够将更多光线反射至组件背面。高双面率意味着 TOPCon 组件可以更加有效地捕捉这些反射光, 进而大幅提升发电量。
- 本次实证项目位于距海边 2km 的海岛上, 组件经受高湿度、高盐雾侵蚀的考验, 组件可靠性尤为重要。TOPCon 组件已证明其在近海及海上场景中的高可靠性与耐久性, 在严苛环境下仍能保持高效发电, 显著延长系统使用寿命。



山东莱州实证

TOPCon对比P型BC组件单月最高发电增益 4.77%

项目地点: 山东省莱州市 (北纬 34°50', 东经 112°33')

选址原因: 莱州这一阳光充沛且具有海洋气候的沿海城市, 相关组件正进行试点项目, 以评估其在不同环境条件下的表现。本案例在实际的户用光伏电站场景中, 对比了 TOPCon 与 P 型 BC 组件之间的发电情况。

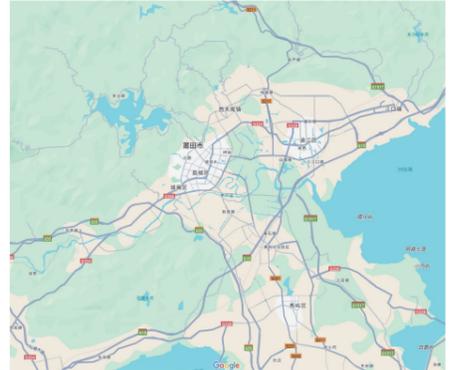
项目简介: 本项目为户用式光伏项目, 项目地点位于山东省莱州市距离海岸线 2 公里, 现场安装了两种类型的光伏组件: 晶科的 N 型 TOPCon 组件 (额定功率 575W) 和 P 型 BC 组件 (额定功率 580W)。组件朝向为正南, 安装倾角为 20°。两类组件均为 15 块组件 / 串, 使用的逆变器为同一厂家型号的逆变器, 组件安装位置距离屋顶约 10cm, 测试现场无遮挡。

	JKM575-72HL4-BDV	P 型 BC 组件
型号	TOPCon	BC
规格	2278X1134X30mm	
数量	15 pcs	15 pcs
[W]	575	580
屋面	民房屋顶, 固定支架 (20°)	
开始采集时间	2024-6-23	

测试结果: 在 2024 年 7 月 -2025 年 3 月测试期间, 晶科 N 型 TOPCon 组件日平均发电 4.27kWh/kW, P 型 BC 组件日平均发电 4.13kWh/kW, 发电增益为 3.31%。在低光照条件下, TOPCon 组件表现尤为突出。根据 10 月和 11 月份晴好天气条件下, 上午 7:00~9:00 和下午 15:00~17:00 的数据对比, TOPCon 组件相较于 P 型 BC 组件发电量高出 8.29%。综合分析结果显示:

- 在山东 7-9 月的高温环境下, 晶科 TOPCon 凭借优异的散热性能, 使得在屋顶安装场景中其功率衰减远低于 P 型 BC 组件。高温条件下, 晶科 TOPCon 能有效降低温度对发电效率的负面影响, 从而提升整体系统的年发电量。
- 在低辐照环境下, 如早晨 7:00-9:00 和下午 15:00-17:00 时, 晶科 TOPCon 的发电量较 P 型 BC 组件高出 8%。这表明, 晶科 TOPCon 在弱光条件下表现更为出色, 尤其是在阴天或光照较弱的时段, 能够提供稳定且较高的能量输出。

3. 通过多项实证研究及海上光伏项目验证, 晶科 TOPCon 已证明其在近海及海上场景中的高可靠性与耐久性。即使在高湿度与盐雾侵蚀等严苛环境下, 晶科 TOPCon 仍能保持高效发电, 显著延长系统使用寿命。





意大利实证

Tiger Neo比N型BC组件平均发电增益高 **2.04%**

项目地点: 意大利南部 Basilicata 地区 (北纬 40.42°, 东经 16.16°)

选址原因: 该区域兼具地中海气候特征与典型欧洲电站环境参数, 年均辐照量达 1800kWh/m², 夏季极端温度突破 45°C, 冬季湿度波动显著, 可有效验证组件在高温高湿、辐照波动等复合应力下的长期可靠性。

项目简介: 欧洲光伏市场需求占全球光伏市场需求的 15-20% 之间, 位居全球第二大光伏市场。该区域兼具地中海气候特征与典型欧洲电站环境参数, 年均辐照量达 1800kWh/m², 夏季极端温度突破 45°C, 冬季湿度波动显著, 可有效验证组件在高温高湿、辐照波动等复合应力下的长期可靠性。

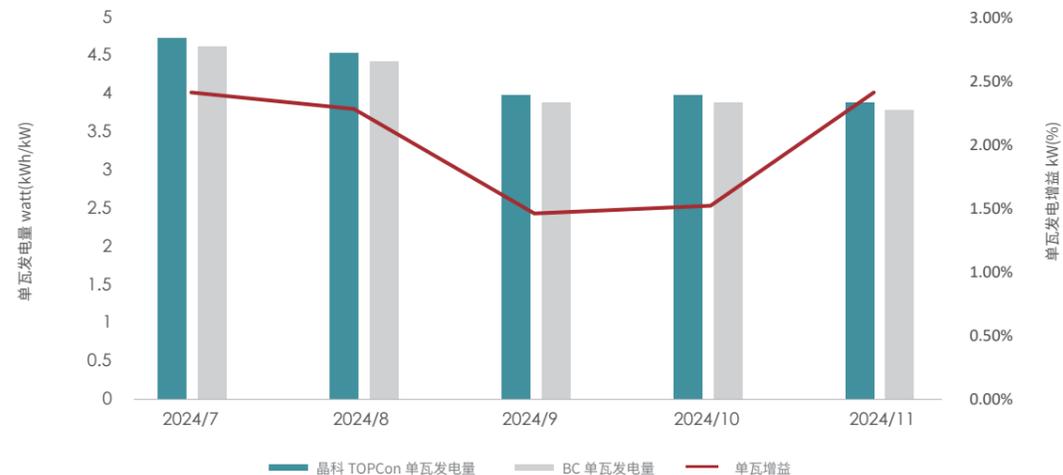
对比组的每个组串均为 16 块双面组件, 对比电站安装角度为 33°, 地面类型为草地, 组件底部离地距离 1m。



组件技术	组件功率 /W	组件尺寸(mm)	组件类型
晶科TOPCon	605	2278x1134	双面双玻
N型BC	610	2278x1134	双面双玻

测试结果: 数据显示, 在 2024 年 7 月 -11 月测试期间, Tiger Neo 组件日平均发电 4.21kWh/kW, N 型 BC 组件日平均发电 4.13kWh/kW, 发电量增益为 2.04%。

月份	Tiger Neo 日单瓦发电量 kWh/kW	N型BC 组件 日单瓦发电量 kWh/kW	单瓦增益
7月	4.75	4.64	2.37%
8月	4.52	4.42	2.26%
9月	3.98	3.92	1.53%
10月	3.94	3.88	1.55%
11月	3.86	3.77	2.39%
总计	4.21	4.13	2.04%



福建莆田实证

TOPCon相较P型BC组件单月最高发电增益 **2.65%**

项目地点: 福建莆田的滩涂地区 (北纬 24°59', 东经 118°27')

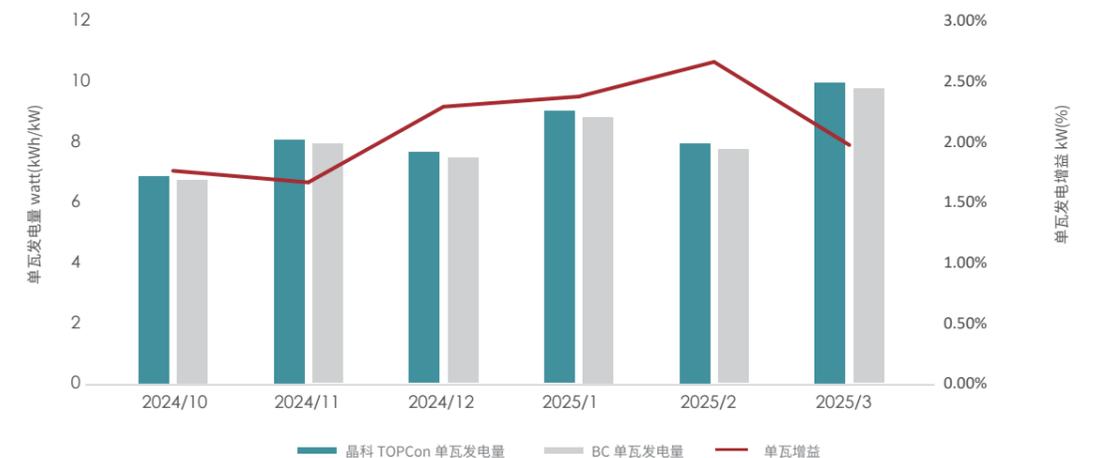
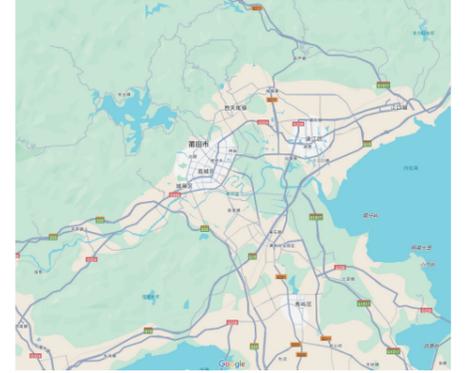
选址原因: 在全球光伏装机量持续快速增长的背景下, 海上光伏作为一种创新的能源利用方式和资源开发模式, 以其发电量大和土地占用少的显著特点, 为解决陆地资源日益紧张的问题提供了有效的解决方案。然而, 要在海洋环境中稳定运行, 光伏组件必须能够经受住强风、极端温度、海水浸没、海水腐蚀以及海洋生物附着等特殊环境特征的考验。

项目简介: 福建莆田的滩涂地区, 以其独特的海洋气候特征, 包括潮汐、水汽和盐雾等复杂环境条件, 为光伏组件的性能评估提供了一个理想的测试平台。在本试验中, 共部署了 26 块晶科 N 型 TOPCon 双面组件和 26 块某厂家的 P 型 BC 双面组件。这些组件部署在距离海岸线约 100 米的滩涂地带, 采用固定式支架, 并以 20° 的角度倾斜安装, 离地面高度为 5 米。

组件型号	组件功率	组件尺寸(mm)	组件类型	组件数量
N型TOPCon	575W	2278x1134	双面双玻	26块
P型BC	580W	2278x1134	双面双玻	26块

测试结果: 在 2024 年 10 月至 2025 年 3 月的测试期间, 晶科 N 型 TOPCon 组件的总发电量达到 492.81kWh/kW, 而 P 型 BC 组件的总发电量为 482.60kWh/kW, 晶科 TOPCon 组件的单瓦发电增益达到 2.12%。其中, 2 月份仅有 6 个晴天, 在光照条件极为有限的情况下, 晶科 TOPCon 组件凭借其卓越的弱光性能, 单瓦发电量较 P 型 BC 组件高出 2.65%。即便在其他阴天环境下, 晶科 TOPCon 组件的平均发电增益也始终保持在 2% 以上。综合分析结果显示:

1. 在海上安装场景中, 海面高辐射可使组件温度达到 50° C, 极易导致高温下功率衰减。晶科 TOPCon 凭借出色的散热性能, 其运行温度低于 P 型 BC 组件, 从而显著降低了因高温导致的功率衰减。
2. 在海光场景中, 早晨的雾霾、傍晚的微光或偶尔的云层遮挡常常导致光照强度降低。此时, 光伏组件的弱光发电能力尤为重要。TOPCon 在弱光条件下的优势, 尤其适用于海光场景, 特别是在阴雨或多云天气下, 相较 P 型 BC 组件, TOPCon 的发电增益可超过 2%。



甘肃正宁实证

TOPCon较P型BC组件月最高发电增益2.06%

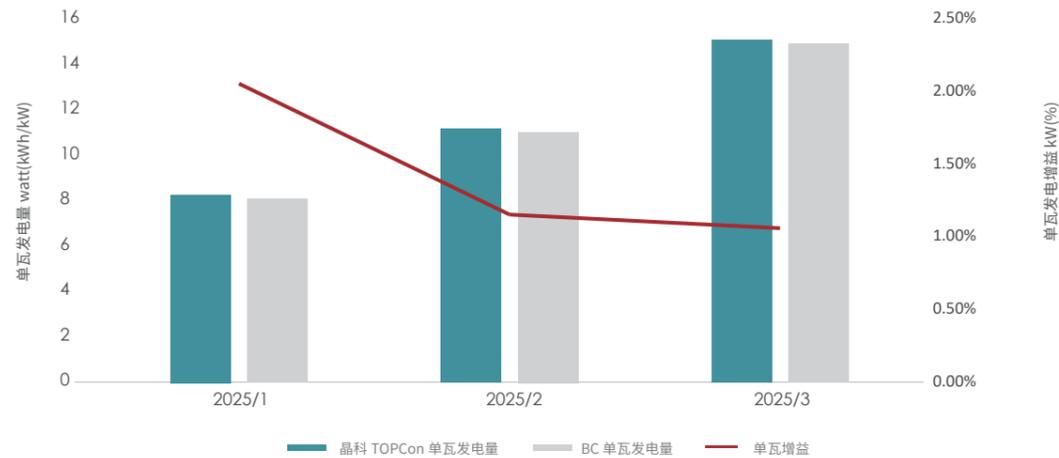
项目地点: 甘肃省庆阳市(北纬 35°14'40", 东经 107°57'38")

选址原因: 庆阳市位于甘南地区, 属于温带大陆性季风湿润半湿润气候, 四级分明, 冬季寒冷干燥, 夏季湿润温和, 春秋冷热交替, 年平均温度为 8.7°C, 年平均降水量为 616 毫米, 年平均日照小时数超过 2400 小时。该实证电站的设立, 对于西北地区工商业项目研究光伏发电的综合性能具有重要意义。

项目简介: 本次实证涵盖 TOPCon 组件与某厂商生产的 BC 组件。所有组件均安装于当地小学的屋顶, 并放置于同一倾角, 以确保测量数据的准确性和一致性。其核心目标是深入分析这两种组件在实际应用中的发电性能表现, 为客户提供高效且可靠的光伏解决方案。本次测试设计两种组件: 铭牌功率 575W 的 N 型 TOPCon 组件和某厂商的 580W 的 BC 组件。每周组件各 18 块。采用固定支架安装方式, 倾角设置为 20°。所有组件均配备高精度传感器, 以实时监测发电数据, 确保测试结果的准确性和可信度。

	JKM575-72HL4-BDV	P 型 BC 组件
型号	TOPCon	BC
规格	2278X1134X30mm	
数量	18 pcs	18 pcs
(W)	575	580
屋面	学校屋顶, 固定支架 (20°)	
开始采集时间	2024-12-24	

测试结果: 在 2024 年 12 月至 2025 年 3 月中, 我们观察到一些显著的气候和性能变化。以 2025 年 2 月份为例, 2 月记录到该电站的日间平均温度为 2°C-4°C, 2 月份总辐照量为 329.3MJ/m², 由于冬季受到日照时间缩短和太阳高度角的影响, 所以光伏组件基本处于低辐照的状态。在低辐照的条件下, TOPCon 组件的发电量比 BC 组件单瓦发电量高 1.33%, 这是由于 TOPCon 组件优异的弱光响应性能, 使得在低辐照条件下能够更好地发挥卓越的发电性能。由于甘肃地区早晚温差较大且风沙较多, 这也体现 TOPCon 组件在复杂的气候环境下, 能够相比同尺寸的 BC 组件更能稳定输出发电能力。



云南楚雄实证

TOPCon较N型BC组件平均发电增益超7.65%

项目地点: 云南省楚雄市(北纬 25°2', 东经 101°32')

选址原因: 云南楚雄为亚热带季风气候区, 测试期覆盖干湿两季交替, 包含连续阴雨 (11 月平均雨日 15 天)、多云 (12 月平均日照 4.2h)、晴朗 (1 月平均日照 7.8h) 三种典型天气模式, 年均太阳辐射量达 5800MJ/m², 紫外线强度超平原地区 30%, 对于研究不同光伏技术产品的综合发电性能, 尤其是在弱光性能、衰减情况等方面具有显著代表意义。

项目简介: 本次实证选用的两种组件: 铭牌功率均为 610W 的 N 型 TOPCon 组件和另一厂商的 N 型 BC 组件, 每种组件各有 26 块。采用固定支架安装在土地上, 架高 4.5m, 地面反射率约 20%, 离地 3.8m, 倾角设置为 10°。所有组件均配备高精度传感器, 以实时监测发电数据, 确保测试结果的准确性和可信度。

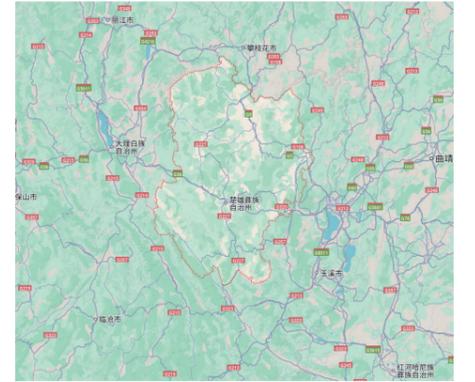
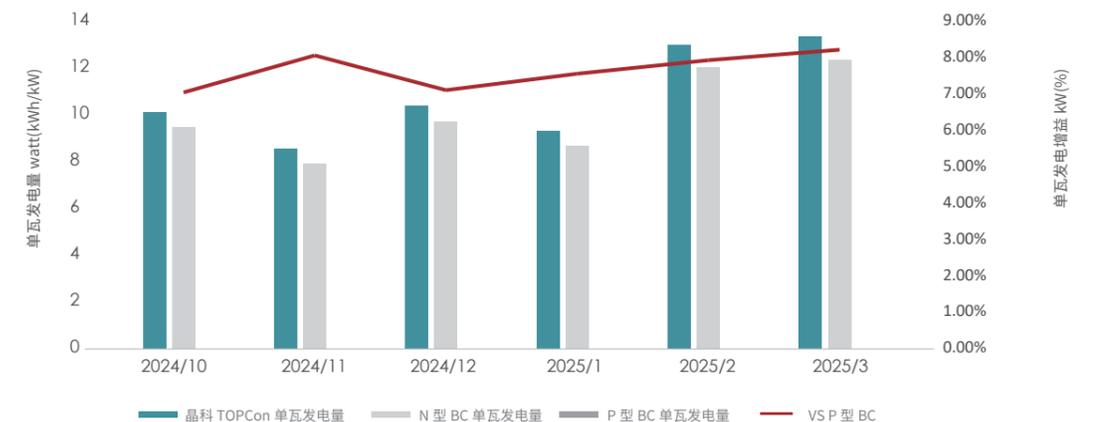
	晶科 TOPCon 组件	N 型 BC 组件
型号	TOPCon	BC
规格	2278X1134X30mm	
数量	26 pcs	26 pcs
(W)	610	610
屋面	工厂屋顶, 固定支架 (<10°)	
开始采集时间	2024-9-14	

测试结果: 本次实证研究结果表明, 在 2024 年 10 月 -2025 年 3 月测试期间, 晶科 N 型 TOPCon 组件在云南楚雄地区的综合发电性能显著优于 N 型 BC 组件, 平均发电增益高出 7.65%。得益于更高的双面率、优异的弱光性能以及卓越的抗紫外衰减能力这些优势, 使得 TOPCon3.0 组件在实际应用中能够为用户带来更高的发电量和更稳定的性能表现。

1、TOPCon 高双面率优势: 本次实证进一步凸显了高双面率在地面电站综合发电中的关键作用。晶科 TOPCon 双玻组件的双面率高达 85%, 相较于双面率仅为 65% 左右的 BC 组件, 其双面率优势高达 15%~25%。在综合考虑架高、安装角度和地面条件等因素后, 其额外发电量增益可达 3.28% 左右。

2、TOPCon 优异的弱光性能: 晶科 TOPCon 组件在弱光条件下的表现尤为出色, 在多云和阴雨天气中, TOPCon 组件的日发电量比 BC 组件高出约 7% 至 9%。特别是在 11 月连续阴雨的天气期间, TOPCon 组件的发电量始终保持在较高水平, 单日发电量可超 BC 9%。

3、优异的抗紫外衰减能力: 在 UVID90 kWh/m² (相当于 6 倍 IEC61215 UV15kWh/m²) 测试中, 晶科 TOPCon 组件展现了卓越的抗紫外衰减性能 (2% 以内)。对于紫外线辐射强度较高的云南省而言, 这一性能为光伏电站的长期高效运行提供了有力保障, 确保了组件在复杂气候条件下的稳定发电能力。



TOPCon VS BC发电增益1.43%! 2024国电投大庆基地实证数据权威发布

近日，国家光伏、储能实证实验平台（大庆基地）2024 年度数据成果在北京发布，作为国家能源局批准的首个国家级光伏储能实证实验平台，大庆基地以“组件种类齐全、安装环境丰富、数据维度全面”成为业内权威。该项目由国家电投集团黄河上游水电开发有限责任公司负责建设运营，规划布置实证实验方案 640 种，规模约 105 万千瓦。大庆基地于 2021 年 11 月启动运行，2022 年 1 月正式开展实证实验工作，目前已完成前三期项目建设，总装机容量增加至 50 万千瓦，实证实验方案达到 389 种，服务中国乃至全球光伏、储能产业健康高质量发展的作用进一步增强。

组件对比区逆变器采用集成式逆变升压平台，支架采用固定支架，且支架距地高度一致，设计间距确保冬至日上午 9 点下午 3 点不遮挡，布置方式均为四排横向布置。对比区除组件外，其余设备选型和设计方案边界条件一致。根据对比分析内容，组件实证实验对比区实时在线测试设备，包括辐照计、在线 IV 测试仪、组件背板温度传感器等，用于分析组件的温度、辐照、衰减率等参数。

组件实证报告结论显示：2024 年发电量与往年同期相比趋势基本一致，均为 TOPCon 技术类型组件发电量最高，较 PERC、IBC 组件分别高 2.02%、1.43%。N 型 TOPCon 组件较 PERC 组件发电量差异逐年增大，主要是 N 型组件的衰减特性优于 PERC 组件。

基地一期不同技术类型组件发电量统计表

技术类型	双面率	发电量				差异			
		2022年	2023年	2024年	平均	2022年	2023年	2024年	平均
N型TOPCon	80%	182.33	173.85	163.18	173.12	1.79%	2.02%	2.28%	2.02%
N型IBC	58%	179.77	170.66	161.62	170.68	0.36%	0.15%	1.31%	0.59%
PERC	63%	179.13	170.40	159.54	169.69	--	--	--	--
N型HJT	84%	176.91	164.15	/	/	-1.24%	-3.67%	/	/

原因分析：

1. TOPCon 双面率优势显著

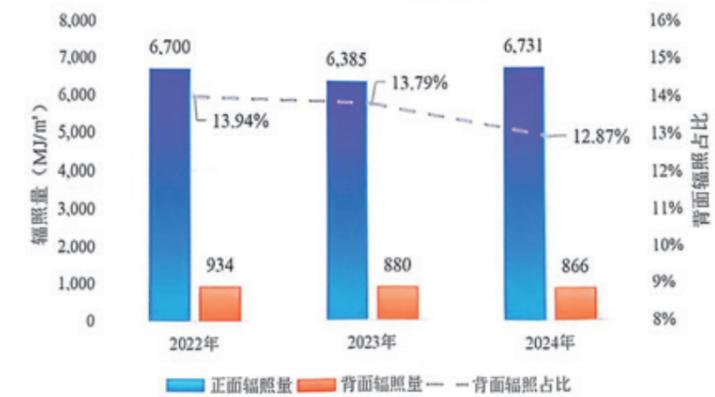
根据大庆实证基地 2024 年气象环境实测数据显示，自 2022 年 -2024 年，倾斜面三年平均背面辐照占比为 13.5%，2024 年全年倾斜面背面辐照占比达 12.87%，这意味着组件双面率对发电量增益的重要性。

全年地面介质情况为：1-3 月为雪地、4 月为土地、5-6 月为矮草地，7-11 月份为高草地，12 月为雪地。对比分析不同地面介质水平面背面辐照占比，可以得出以下结论：

- (1) 2022-2024 年不同地面介质（除雪地外）背面辐照占比趋势相对一致，地面介质为雪地时，各年水平面背面辐照占比差异较大。
- (2) 2022 - 2024 年地面介质为雪地时，水平面背面辐照占比比较高，薄雪地的水平面背面辐照占比在 20%-40% 之间，雪地的水平面背面辐照占比在 50% -70% 之间，整体变化趋势受雪地覆盖度（完全覆盖、非完全覆盖）及雪地厚度决定。
- (3) 地面介质为草地和土地介质时，水平面背面辐照占比差异较小，其中土地和草地为 15% 左右，高草地为 10% 左右。

大庆基地实证数据显示，TOPCon、PERC 和 IBC 组件户外实测双面率分别为 79.09%、69.72% 和 58.89%。**相较于 IBC 和 PERC 组件，TOPCon 组件在双面率上具备 10-20% 的显著优势**，这使其在各类地面条件下均能展现发电优势，且地面反射率越高，优势越明显。分析不同场景下组件发电特性，TOPCon 组件在反射率较大的场景下发电量优势更加显著，尤其在雪天较 PERC 组件发电量大 6.55%。

2022-2024年倾斜面(45°)背面辐照占比对比图



组件计算双面率统计表

组件类型	IBC	PERC	TOPCon	
实验室实测双面率	58%	70%	79%	
计算双面率	平均值	58.89%	69.72%	79.09%
	中位值	60.49%	70.99%	80.12%

2. TOPCon低辐照性能优异

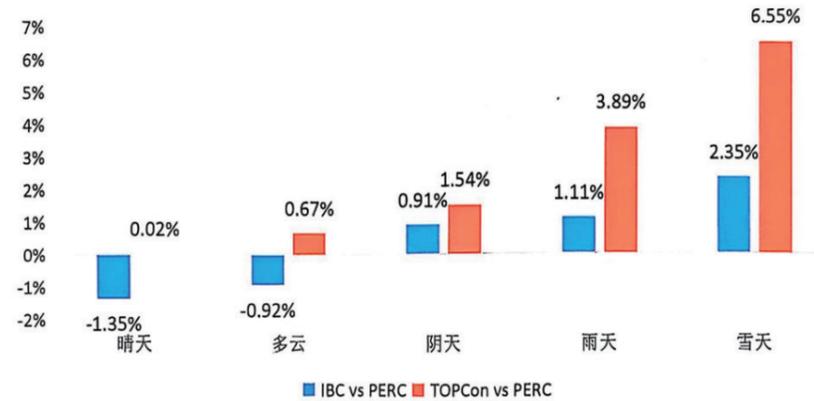
实证数据显示，不同技术类型组件较 PERC 组件发电增益在不同典型天气下差异较大，TOPCon 组件在阴天、雨天和雪天条件下发电增益较高；受环境温度影响，TOPCon 组件在冬季晴天条件下较 PERC 组件增益降低。

年份	晴天	多云	阴天	雪天	雨天			
					天数	实测降雨量 (mm)	多年平均降雨量 (mm)	累计
2022	97	165	34	19	50	144.8	427.5	365
2023	98	188	30	15	34	346.2		365
2024	97	166	39	12	52	250.6		366

TOPCon VS BC发电增益1.43%! 2024国电投大庆基地实证数据权威发布

- (1) 2022-2024 年基地天气以多云天为主, 占全年天气的 47.3%, 然后依次是晴天 26.7%, 雨天 12.4%, 阴天 9.4%, 雪天 4.2%。
- (2) 2024 年基地多云天最多, 共计 166 天, 其余天气为: 晴天 97 天, 雨天 52 天, 阴天 39 天, 雪天 12 天。
- (3) 2024 年晴天基本与 2022 年和 2023 年持平; 多云天较 2022 年多 1 天, 较 2023 年少 22 天; 阴天较 2022 年和 2023 年分别多 5 天和 9 天; 雨天较 2022 年和 2023 年分别多 2 天和 18 天; 雪天较 2022 年和 2023 年分别少 7 天和 3 天。

TOPCon和IBC组件与PERC组件在不同典型天气下的发电量差异



3. TOPCon 衰减性能稳定

电流变化: 不同技术路线组件 2022 年 -2023 年同样边界条件下电流呈现下降趋势, 其中 HJT 组件下降程度最大, 达到 -2.21%, PERC、IBC、TOPCon 组件分别是 -0.88%、-0.77%、-0.67%。

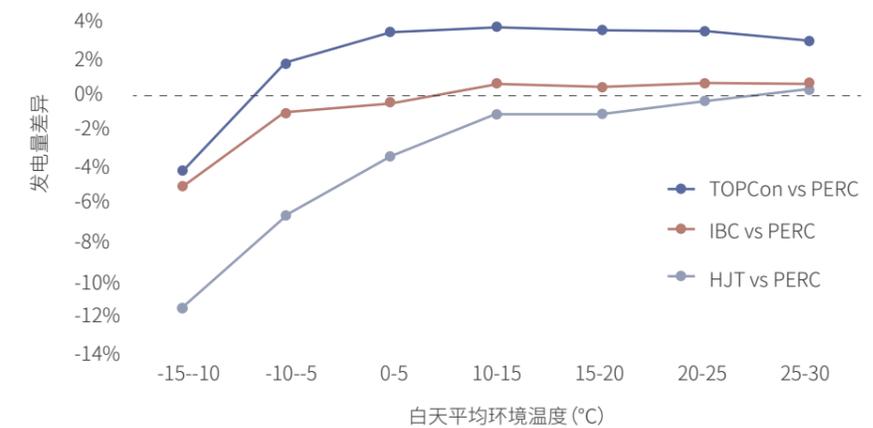
电压变化: HJT 组件运行电压呈现下降趋势, IBC、PERC 和 TOPCon 组件运行电压基本未发现明显变化。

大部分厂家实测衰减率满足厂家承诺值, 但存在部分厂家衰减率较大; 相同技术不同厂家衰减率存在差异, 最大差异达到 2% 以上; 二期组件转化效率有所提升, 单位兆瓦发电量高于一期 0.6% 左右。

寒温带气候下组件运行工况处在温度较低的水平, 组件运行温度低于 25°C 运行时长占比为 68.09%。温度对组件发电量影响较大, 环境温度 > -10°C, TOPcon 技术组件发电量高于 PERC, 曲线图可以阐述在多个气候带设立实证实验项目的意义, 研究不同典型气候区域气象特征对光伏产品、系统的影响。

环境温度在低于 0°C 以下时, TOPCon 组件发电较优, 较 PERC 组件和 IBC 组件分别高 0.23%、3.29%; 而在环境温度高于 25°C 时, 高效组件具有更低的温度系数发电明显更优, IBC、TOPCon 组件较 PERC 组件累计单位 MWp 发电量分别高 5.67% 和 4.15%。

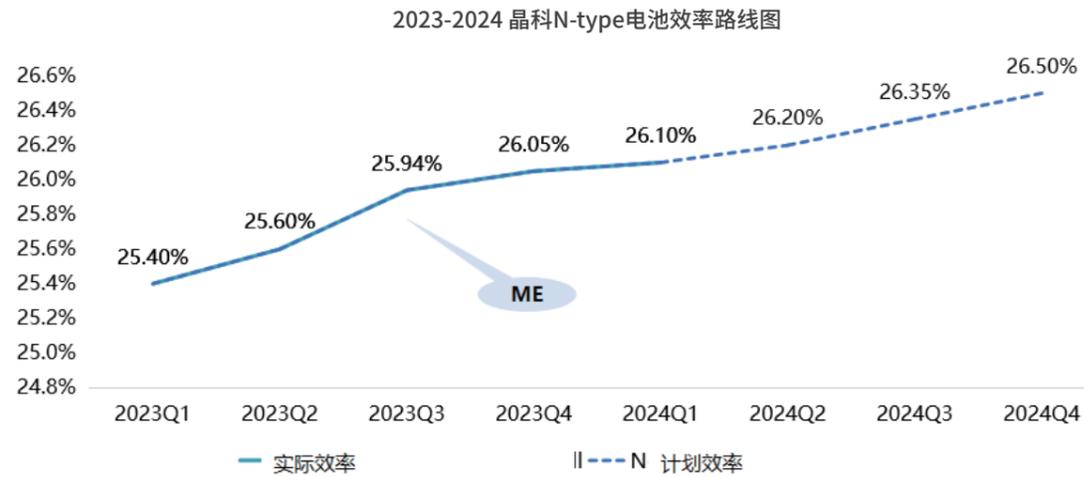
不同技术类型组件在不同环境温度下的发电量差异



* 以上内容节选自 2024 国家光伏、储能实证实验平台发布报告

06 | TOPCon技术远期可持续性

TOPCon电池当前仍有巨大的提效空间,通过双面poly结构设计、隐形栅线、低温电池技术,未来3-5年仍可以保持很高的效率增长速率。同时与钙钛矿结合,形成叠层电池结构,可以突破晶硅电池效率极限。

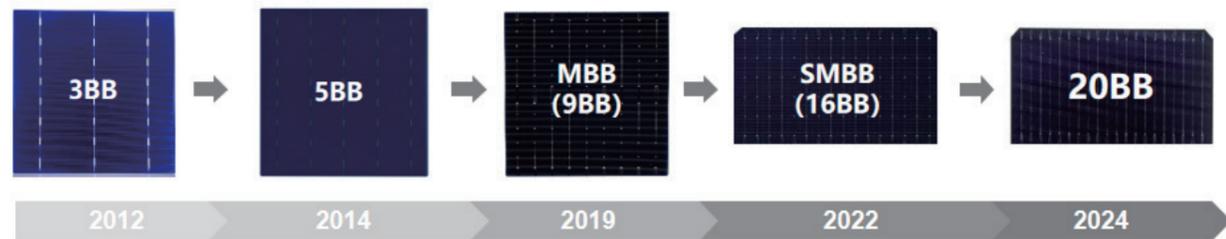


6.1 隐形栅线技术

隐形栅线技术通过大幅减少正面电极对光的遮挡面积,增加了TOPCon电池有效光照区域,从而提升短路电流密度和整体光电转换效率。一般而言,该技术可使电池效率提升约0.3%-0.5%。

可靠性问题:

机械强度:由于减少了金属栅线覆盖面积,电极附着力及电极电池在弯曲或热应力下的机械性能可能受到一定影响。



6.2 低温电池技术

低温电池其实是低温钝化技术,通过低温沉积工艺提升硅片表面及体钝化水平,提升电池Voc和FF,预期效率提升0.2%。

可靠性问题:

沉积均匀性:低温条件下,薄膜沉积的均匀性和致密性可能难以完全满足要求,进而影响电池性能。

6.3 叠层电池

TOPCon作为晶硅衬底与钙钛矿电池顶部结合形成的两端叠层电池充分利用太阳光谱的不同波段,显著提升光电转换效率。理论上,双结叠层电池的极限效率可超过现有单结电池理论极限10%以上。

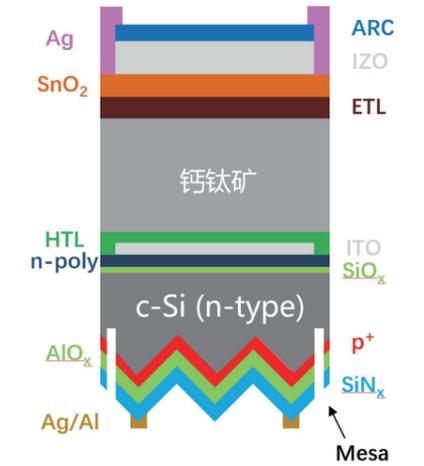
可靠性问题:

界面匹配:各子电池间的光学和电学匹配是关键挑战,任何不匹配都会导致效率损失。

钙钛矿稳定性:叠层电池采用钙钛矿技术与TOPCon晶硅电池技术结合,钙钛矿电池在不同环境影响因素下的稳定性需进一步提升,包括水汽、氧、光和热的影响。

目前,N型单晶硅时代光伏电池逐步接近29.4%的SQ效率理论极限,而叠层电池理论效率可达43%。

预期2026年后出现叠层电池产品。



晶科钙钛矿/TOPCon叠层电池结构



07 | Tiger Neo 3.0

7.1 TOPCon组件的应用价值

在全球能源转型与碳中和目标推动下,光伏发电的经济性成为行业发展的核心考量。平准化度电成本(LCOE)作为衡量光伏项目全生命周期经济性的关键指标,直接决定了光伏电力的市场竞争力。本章基于国际可再生能源署(IRENA)标准,系统分析 TOPCon 组件如何通过降低初始投资成本、提升发电量等途径优化项目 LCOE。本章见,首先阐释 LCOE 的定义与计算公式,随后详细剖析 TOPCon 技术对电站建设成本的影响机制,特别是对 BOS(Balance of System)成本的降低作用;进而在四个典型地区,采用 PVsyst 光伏系统仿真软件精细化仿真量化 TOPCon 相较其他技术的发电量增益;最后综合评估 TOPCon 组件对项目 LCOE 的整体优化效果,为光伏电站投资决策提供技术经济依据。

7.1.1 LCOE的定义与核心计算公式

平准化度电成本(Levelized Cost of Electricity, LCOE)是评估光伏项目全生命周期经济性的“黄金标准”,其定义为项目总成本现值与总发电量现值的比值。根据国际可再生能源署(IRENA)发布的标准化计算方法,LCOE 的公式可表示为:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

- I_t : 第 n 年的投资成本(包括组件、逆变器、支架系统、施工等)
 - M_t : 第 n 年的运营维护成本
 - F_t : 第 n 年的燃料成本(光伏项目通常为 0)
 - E_t : 第 n 年的发电量
 -r: 折现率
 -N: 项目运行年限

这一公式的核心逻辑在于: LCOE 的高低取决于两大变量——全生命周期总成本(分子)和全生命周期总发电量(分母)。因此,降低 LCOE 的本质在于“开源节流”:要么通过技术创新和规模效应降低建设和运维成本,要么通过提升组件效率和系统可靠性增加电力能持续产出。

在光伏技术迭代升级进程中,N 型 TOPCon 凭借其高效率、高双面率、低衰减率、优异的温度系数和长期的可靠性,已经成为降低 LCOE 的主要关键技术路径。

7.1.2 TOPCon组件对电站建设成本的优化效应

光伏电站的初始建设成本是影响 LCOE 的决定性因素,通常占据全生命周期总成本的 70%+,这一部分成本又可细分为组件成本和 BOS 成本。其中 BOS 成本涵盖组件以外的全部硬件设备和施工费用,主要包含结构系统、线缆、逆变器、安装费、运维成本、间接成本、以及其他等。

光伏电站的初始建设成本是影响 LCOE 的决定性因素,通常占据全生命周期总成本的 70%+,这一部分成本又可细分为组件成本和 BOS 成本。其中 BOS 成本涵盖组件以外的全部硬件设备和施工费用,主要包含结构系统、线缆、逆变器、安装费、运维成本、间接成本、以及其他等。

TOPCon 组件,相比于 BC 技术组件,在同版型下,可降低单瓦 BOS 成本最高约 2.39%,这主要得益于其采用高效 TOPCon 电池技术和最佳电池尺寸,其有着更优异的效率优势,以及更佳的结构系统(支架)和电气系统(逆变器)的适配性。

选取全球部分典型气候及安装应用场景下,应用 TOPCon 组件和 BC 组件进行投资成本对比,使用 TOPCon 技术组件最多可节约 BOS 成本 0.048 元/瓦,具体见下表:

Tiger Neo 3.0 组件对大型地面电站建设成本的优化效应

场景		高海拔	高温高湿	高温高辐照	温带				
项目地	单位	中国青海 固定支架 2P	中国海南 固定支架 2P	沙特阿拉伯 跟踪支架 1P	意大利 跟踪支架 1P				
项目容量		同容量 100MWp							
产品类型		Tiger Neo3.0	BC	Tiger Neo3.0	BC	Tiger Neo3.0	BC	Tiger Neo3.0	BC
产品功率	Wp	660	660	660	660	660	660	660	660
组件价格差异		同价							
BOS 差异	元/Wp	-0.0101	基准	-0.0085	基准	-0.04816	基准	-0.03984	基准

Tiger Neo 3.0 组件对分布式电站建设成本的优化效应

场景		高温高湿	高温高辐照	温带气候	地中海气候				
项目地	单位	中国,海南 分布式	中东非,沙特阿拉伯 分布式	北亚,日本 分布式	欧洲,法国 分布式				
项目容量		同容量 10MWp							
产品类型		Tiger Neo 3.0	Tiger Neo 2.0	Tiger Neo 3.0	Tiger Neo 2.0	Tiger Neo 3.0	Tiger Neo 2.0	Tiger Neo 3.0	Tiger Neo 2.0
产品功率	Wp	660	620	660	620	660	620	660	620
组件价格差异		同价							
BOS 差异	元/Wp	-0.0261	基准	-0.0382	基准	-0.0648	基准	-0.0634	基准

* 分布式屋顶项目,发电量基于 PVsyst 仿真模拟,采用 Albedo=0

07 | Tiger Neo 3.0

7.1.3 TOPCon组件在全球典型地区的发电量增益表现

发电量增益是降低 LCOE 的另一核心路径。TOPCon 组件凭借其卓越的发电性能和长期可靠性,在全球不同气候区均展现出显著的发电优势。本部分将采用 PVsyst 仿真模拟的发电量,分析 TOPCon 组件在典型环境下以及不同安装方式下的发电性能表现,具体见下表:

Tiger Neo 3.0 组件在全球大型地面电站典型地区的发电量增益表现

场景	高海拔		高温高湿		高温高辐照		温带	
项目地	中国青海		中国海南		沙特阿拉伯		意大利	
支架系统	固定支架2P		固定支架2P		跟踪支架1P		跟踪支架1P	
项目容量	*同容量 100MWp							
产品类型	TigerNeo3.0	BC	TigerNeo3.0	BC	TigerNeo3.0	BC	TigerNeo3.0	BC
首年发电量增益	+0.65%	基准	+0.94%	基准	+1.19%	基准	+0.91%	基准

Tiger Neo 3.0 组件在全球分布式电站典型地区的发电量增益表现

场景	高温高湿		高温高辐照		温带气候		地中海气候	
项目地	单位	中国,海南	中东非,沙特阿拉伯	北亚,日本	欧洲,法国			
		分布式	分布式	分布式	分布式			
项目容量	同容量 10MWp							
产品类型		Tiger Neo 3.0	Tiger Neo 2.0	Tiger Neo 3.0	Tiger Neo 2.0	Tiger Neo 3.0	Tiger Neo 2.0	Tiger Neo 3.0
产品功率	Wp	660	620	660	620	660	620	660
组件价格差异	同价							
首年发电量增益		+3.70%	基准	+2.92%	基准	+2.67%	基准	+3.2%

在全球不同气候以及各类复杂的环境类型下, TOPCon 组件凭借其高双面率、低辐照表现优异、可靠性强等优势,可比 BC 产品单瓦发电能力提升 **0.65 ~ 1.19%**。

* 考虑到市场上绝大多数是以固定的容量进行招标定项,故此假设为同容量下的发电量对比。

7.1.4 TOPCon组件对项目LCOE的综合优化效果

降低 LCOE 是光伏技术发展的核心目标,需要从成本结构和发电性能两方面协同优化。TOPCon 组件通过 "降本 + 增效" 的双重机制,为光伏项目提供了显著的经济性提升。本节将综合前文分析,量化 TOPCon 技术组件对项目 LCOE 的整体影响,同步结合实证发电量数据,在典型项目案例中,展示其应用效果,为投资决策提供数据支撑。

Tiger Neo 3.0 组件对全球典型地区的大型地面电站项目 LCOE 综合优化效果

场景	高海拔		高温高湿		高温高辐照		温带	
项目地	中国青海		中国海南		沙特阿拉伯		意大利	
支架系统	固定支架2P		固定支架2P		跟踪支架1P		跟踪支架1P	
项目容量	*同容量 100MWp							
产品类型	TigerNeo3.0	BC	TigerNeo3.0	BC	TigerNeo3.0	BC	TigerNeo3.0	BC
LCOE ¹	降低 0.5%	基准	降低 0.78%	基准	降低 1.9%	基准	降低 1.5%	基准
使 LCOE 一致的 TOPCon 组件溢价 ²	可多卖 1.6 分 / 瓦	基准	可多卖 2.2 分 / 瓦	基准	可多卖 7.4 分 / 瓦	基准	可多卖 5.6 分 / 瓦	基准
LCOE ³	/		降低 4.73%	基准	/		降低 2.62%	基准
使 LCOE 一致的 TOPCon 组件溢价 ⁴	/		可多卖 13.78 分 / 瓦	基准	/		可多卖 9.68 分 / 瓦	基准

备注

1: 基于 PVsyst 仿真模拟的单瓦发电量差异,计算所得 LCOE 值; 3: 基于实证项目的单瓦发电量差异,计算所得 LCOE 值

2、4 溢价: 基于各技术组件 BOS 成本保持不变,TigerNeo3.0 组件需要比 BC 组件单价更贵,才能得到一样的 LCOE 结果。

07 | Tiger Neo 3.0

Tiger Neo 3.0 组件对全球典型地区的分布式电站项目 LCOE 综合优化效果

场景		高温高湿		高温高辐照		温带气候		地中海气候	
项目地	单位	中国, 海南		中东非, 沙特阿拉伯		北亚, 日本		欧洲, 法国	
		分布式		分布式		分布式		分布式	
项目容量	同容量 10MWp								
产品类型		Tiger Neo 3.0	Tiger Neo 2.0						
产品功率	Wp	660	620	660	620	660	620	660	620
LCOE ¹		降低 4.93%	基准	降低 4.36%	基准	降低 4.52%	基准	降低 5.14%	基准
使 LCOE 一致的 TOPCon 组件溢价 ²		可多卖 13.68 分/W	基准	可多卖 15.12 分/W	基准	可多卖 19.30 分/W	基准	可多卖 19.8 分/W	基准

备注

1: 基于 PVsyst 仿真模拟的单瓦发电量差异, 计算所得 LCOE 值;

2 溢价: 基于各技术组件 BOS 成本保持不变, Tiger Neo3.0 组件需要比 Tiger Neo2.0 常规组件单价更贵, 才能得到一样的 LCOE 结果

综上, 在等 LCOE 数值下, TOPCon 产品在全球市场具有 1.6 ~ 7.4 分 / 瓦的基础溢价能力, 若结合实证而言, 则该溢价会更高可达 13.78 分 / 瓦。因此 TOPCon 组件, 无论在过去的几年里, 以及未来都会市场的主流选择, 且可以得到广泛应用。

7.2 Tiger Neo三代产品发展历程及出货情况

	发布时间	转换效率	功率	出货
第一代	2021 年	22.3%	620W	160GW
第二代	2022 年	23.23%	635W	
第三代	2024 年	24.8%	670W	

* 截至 2025 年 4 月底

7.3 不同功率挡位的可交付周期及指导价

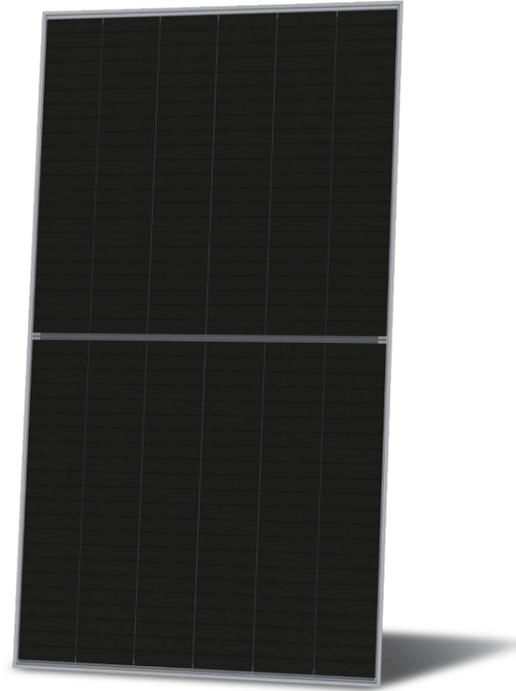
型号	Tiger Neo 2.0		Tiger Neo 3.0		
功率	...	640W	650W	660W	670W
交付周期	...	2025/04/01	2025/06/01	2025/09/01	2025/12/01
指导价	10%溢价		
产能 2025 年底	40-50GW+				



TIGER Neo

66QL6-BDV 650-670 W (预览版)

高效单晶硅双面半片太阳能组件



N 型技术

使用Tunnel Oxide Passivating Contacts (TOPCon)技术的N型组件具有更低的LID/LeTID衰减, 以及更优的弱光表现。



双面发电

双面发电增益随背面受光增加, 显著降低LCOE。



多主栅技术

更优的光线利用率和电流收集能力, 有效提升产品功率输出和可靠性。



Tiger Neo 3.0 系列

全新的晶科Tiger Neo 3.0系列N型组件 (搭载多分片技术) 具有更佳的可靠性及发电效率。



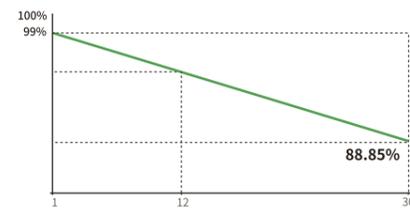
载荷能力

整体组件通过 5400Pa 的正面最大测试静态载荷及 2400Pa 的背面最大测试静态载荷认证。



抗 PID 保证

通过电池生产技术优化及材料管控将 PID 现象造成的衰减几率降至最小。



12年 材料工艺质保 | **30年** 年线性质保 | **1%** 首年功率衰减 | **0.35%** 线性功率衰减

- IEC61215:2021 / IEC61730:2023
- IEC61701 / IEC62716 / IEC60068 / IEC62804
- ISO9001:2015: 质量管理体系
- ISO14001:2015: 环境管理体系
- ISO45001:2018: 职业健康安全管理体系



JKM650-670N-66QL6-BDV-Preliminary

66QL6-BDV 650-670 W (预览版)

新型钝化接触 (TOPCon) 技术
Tiger Neo 3.0 商业方案白皮书

Tiger Neo 3.0

结构参数

电池片类型	N型单晶硅电池片
电池片数目	264 (66×4)
组件尺寸	2382×1134×30 mm
组件重量	32.4 kg
上表面玻璃材质	2.0 mm, 高透镀膜玻璃
下表面玻璃材质	2.0 mm, 半钢化玻璃
边框	阳极氧化铝合金
接线盒	防护等级IP68
安全防护等级	Class II
IEC 组件防火等级	Class C
连接器类型	JK03M / JK03M2 / 其他*
输出导线(包含连接器)	4.0mm ² 导线长度: (+): 400 mm, (-): 200 mm; 或定制化

*MC4 和 MC4-EVO2 可按要求提供, 但需视供应情况而定。

包装标准

每托尺寸	2396×1110×1251 mm
包装信息	13米平板车: 36 块/托, 20 托/车, 720 块/车 17.5米平板车: 36 块/托, 25 托/车, 900 块/车

电性能参数 (STC)

最大功率 Pmax [W]	650	655	660	665	670
最佳工作电压 Vmp [V]	42.57	42.70	42.83	42.96	43.09
最佳工作电流 Imp [A]	15.27	15.34	15.41	15.48	15.55
开路电压 Voc [V]	50.26	50.44	50.62	50.80	50.98
短路电流 Isc [A]	15.98	16.04	16.10	16.16	16.22
组件效率 [%]	24.06	24.25	24.43	24.62	24.80
输出功率公差	0 ~ +3%				
最大功率的温度系数 Pmax	-0.26%/°C				
开路电压的温度系数 Voc	-0.21%/°C				
短路电流的温度系数 Isc	0.034%/°C				

标准测试条件(STC): 光照强度1000W/m², 电池温度25°C, 大气质量1.5

电性能参数 (BNPI)

最大功率 Pmax [W]	724	729	735	741	746
最佳工作电压 Vmp [V]	42.52	42.69	42.86	43.03	43.20
最佳工作电流 Imp [A]	17.04	17.10	17.17	17.23	17.30
开路电压 Voc [V]	50.38	50.56	50.74	50.92	51.10
短路电流 Isc [A]	17.80	17.87	17.94	18.00	18.07

双面测试条件(BNPI): 光照强度: 正面1000W/m², 背面135W/m², 环境温度25°C, 大气质量1.5

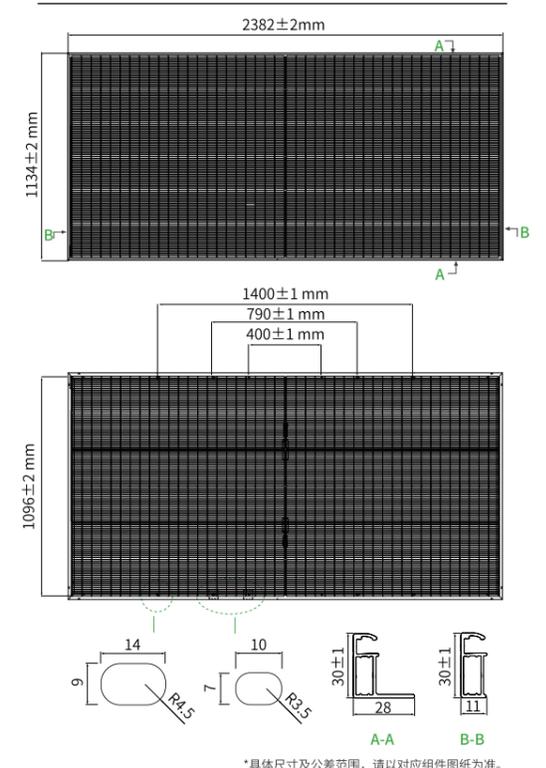
应用条件

工作温度范围	-40°C ~ +70°C
最大系统电压	1500VDC (IEC)
最大额定熔丝电流	35 A
双面系数	φVoc: 98±5%, φIsc: 85±5%, φPmax: 85±5%



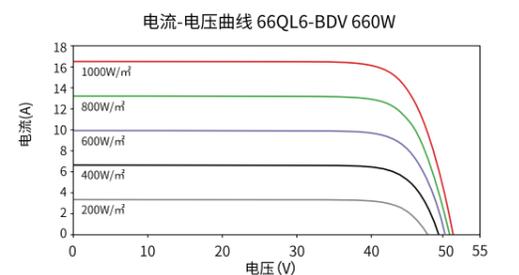
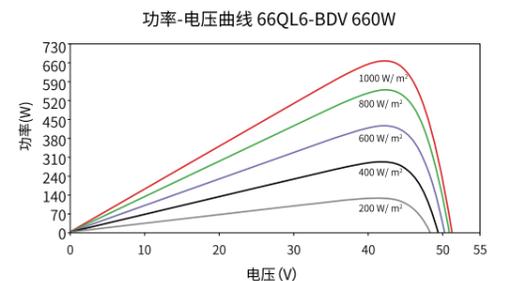
© 2025 Jinko Solar Co., Ltd. 版权所有

注意: 在使用产品之前, 请阅读安全和安装说明。
本公司保留最终解释权, 本数据表中的规格如有变化, 另行通知。



*具体尺寸及公差范围, 请以对应组件图纸为准。

曲线图



JKM650-670N-66QL6-BDV-Preliminary

www.jinkosolar.com

08 | 碳足迹与可持续发展认证

当今全球范围内,许多国家都有明确的碳减排目标。自 2020 年《巴黎协定》进入全面实施阶段以来,光伏产业正加速以技术创新驱动绿色革命,为人类可持续发展提供零碳解决方案。随着光伏行业的快速发展,光伏产业链全生命周期碳排放正在成为全球各国政府、企业和机构关注的重点。部分国家正在以 LCA、碳足迹为基础建立国际绿色贸易壁垒,在此背景下,光伏产品的碳足迹表现已从技术指标升维为企业核心战略竞争力之一,成为打开国际高端市场的金钥匙。

8.1 碳足迹表现

晶科能源积极投身于碳管理系统的建设与升级工作,晶科碳管理系统通过德国莱茵 TÜV 集团的符合性认证,表明系统与国际温室气体核算标准高度契合。通过智能算法,满足企业碳认证需求,确保碳排放数据的科学性和一致性;通过架构设计能够对采集的数据进行深度挖掘和分析,帮助晶科精准识别节能潜力,助力实现可持续发展目标。

为进一步实现自身运营脱碳降碳,晶科能源积极推进“零碳工厂”建设。截至目前,累计共有“零碳工厂”9 家,公司投产基地 100% 完成 ISO 14064 温室气体核查。截至 2024 年末,意大利环保产品声明(EPD)认证产品累计 9 款,含在售产品 3 款;法国产品碳足迹认证产品累计 44 款,含在售产品 11 款;ISO 14067 认证光伏及储能产品共 7 款。晶科能源在进一步扩大碳的国际影响力,持续扩大 EPD 证书范围,覆盖了挪威、瑞典 EPD 认证,法碳排放值可达 300kgCO2/MW。

此外,晶科能源已于 2023 年 12 月成功通过科学碳目标倡议组织 (Science Based Target initiative, 简称 SBTi) 的目标审验,成为全球首家同时完成 SBTi 全部 (近期、长期、净零) 目标审验的光伏企业。

8.2 组件回收项目

晶科能源在产品全生命周期管理过程中积极践行循环经济理念,提高产品材料可回收性,扎实推进并成功达成光伏产品可回收技术储备,为后续可持续发展筑牢根基。

环节	理念	循环效益
产品设计及研发	使用国际标准的设计与连接方式,优化组件结构与产品使用模块化设计,简化拆卸过程,提高回收效率。	通过分段式、一体式边框产品设计,实现铝边框100%可拆解供回收;通过分拆熔化与再加工等方式,回收利用生产环节产生的铝边框等废弃物。
原料采购及使用	在新材料导入前期,针对材料的可靠性、成本、制造性与可回收性等,开展考量评估。	在保障产品质量的前提下,积极识别并推进可回收或可再生原材料导入,如导入可回收铝边框、玻璃、纸质包材、颗粒硅等。
包材循环及减量	减少冗余材料用量,导入纸箱、木托盘、可降解珍珠棉等可循环包材;落地电池片包材和硅片木制托盘回收再利用项目	硅片托盘回收再利用率达76.7%;开展电池片包材回收再利用项目,实现回收包材可用率达92%。
产品回收再用	持续创新完善回收技术与流程,不断提升组件回收利用率;积极布局资源回收渠道,并根据客户需求提供定制化的回收服务,包含“再利用”与“再循环”等多种模式。	通过PV CYCLE LEED认证,标志所有光伏产品达到100%回收标准;客户回收需求响应率、回收渠道区域覆盖率、废旧组件处理合规率均可达100%;钢化玻璃、铝边框等通过物理法回收可超98%,硅、银与铜通过化学法回收率可超95%。

作为 PV Cycle 等国际回收机构的全球会员单位,公司严格遵循欧盟《废弃电子电气设备 (WEEE) 指令》相关法规要求,积极履行生产者责任延伸 (EPR) 义务,承担光伏组件在生命周期结束时的回收、再利用以及废弃物管理责任。

此外,公司积极投身产品回收相关标准制定,如《晶体硅光伏组件回收处理方法》等。公司还参与《退役光伏组件梯次利用通用规范(草稿版)》《废光伏设备回收处理污染控制技术规范(征求意见稿)》等行业规范制定。作为中国绿色供应链联盟光伏专委会 (ECOVPV)、中国光伏行业协会光伏组件回收工作组以及风光设备循环利用专委会的主要成员单位,公司亦积极参与专委会多项回收标准及政策制定。



* 晶科能源拥有多条 (组件 - 电池 - 晶圆) 全部获得 TUV 莱茵的零碳工厂证书的产业链,在光伏行业处于领先地位。

08 | 碳足迹与可持续发展认证

8.2 组件回收项目

在法国负责光伏组件回收的核心机构 SORÉN (Société de la filière de l'Énergie Solaire et de l'Éolien) 是法国落实欧盟 WEEE (废弃电子电气设备指令) 的核心载体, 是法国政府批准的唯一光伏专属回收机构。Soren 成立了“Eco-design”工作组, 颁布了组件回收标准 (Eco-Modulated Criteria) 和门槛, 并制定了以下四个执行标准:

- a) PPE2 V1 ≤ 450 or PPE2 V2 ≤ 630;
- b) Silver ≤ 14 mg/W cell;
- c) Recycled content rate ≥ 3% with the established calculation method;
- d) Lead content < 0.1% by weight.

晶科能源在 2025 年 Q1 完成 Soren (Eco-design) 项目, 满足 Eco-design(Soren) 的三个标准并且实现最低的组件回收价格, 在行业内处于领先地位。该举措预计将在 2025 年, 为客户法国地区的组件回收节约共计约 100 万欧元的费用。

PV.1 – Modules photovoltaïques mono et poly cristallins (cSi)						
Module avec cadre en aluminium						
Tranche de poids	Référence	Contribution standard € HT / module	Référence	2 critères de modulation s'appliquent € HT / module	Référence	Au moins 3 critères de modulations s'appliquent € HT / module
Moins de 1kg exclu	PV.11101	0,14€	PV.111011	0,11€	PV.111012	0,02€
De 1 kg à 10 kg exclu	PV.11102	0,22€	PV.111021	0,18€	PV.111022	0,02€
De 10 kg à 20 kg exclu	PV.11103	0,44€	PV.111031	0,36€	PV.111032	0,04€
De 20 kg à 30 kg exclu	PV.11104	0,69€	PV.111041	0,55€	PV.111042	0,06€
De 30 kg à 40 kg exclu	PV.11105	0,97€	PV.111051	0,77€	PV.111052	0,08€
De 40 kg à 50 kg exclu	PV.11106	1,24€	PV.111061	0,99€	PV.111062	0,10€
Par tranche de 10 kg supplémentaire entamée		0,22€		0,18€		0,02€
Tranche de poids	Référence	Contribution standard € HT / module	Référence	2 critères de modulation s'appliquent € HT / module	Référence	Au moins 3 critères de modulations s'appliquent € HT / module
Moins de 1kg exclu	PV.11201	0,11€	PV.112011	0,13€	PV.112012	0,02€
De 1 kg à 10 kg exclu	PV.11202	0,21€	PV.112021	0,21€	PV.112022	0,03€
De 10 kg à 20 kg exclu	PV.11203	0,41€	PV.112031	0,41€	PV.112032	0,05€
De 20 kg à 30 kg exclu	PV.11204	0,64€	PV.112041	0,64€	PV.112042	0,07€
De 30 kg à 40 kg exclu	PV.11205	1,11€	PV.112051	0,89€	PV.112052	0,09€
De 40 kg à 50 kg exclu	PV.11206	1,43€	PV.112061	1,14€	PV.112062	0,12€
Par tranche de 10 kg supplémentaire entamée		0,26€		0,21€		0,03€

In this example, the same panel can have an eco-contribution of **€0.69, €0.55, or €0.06**, depending on whether it meets **none, two, or at least three** eco-design criteria.

