

收获更多阳光

晶澳太阳能科技股份有限公司

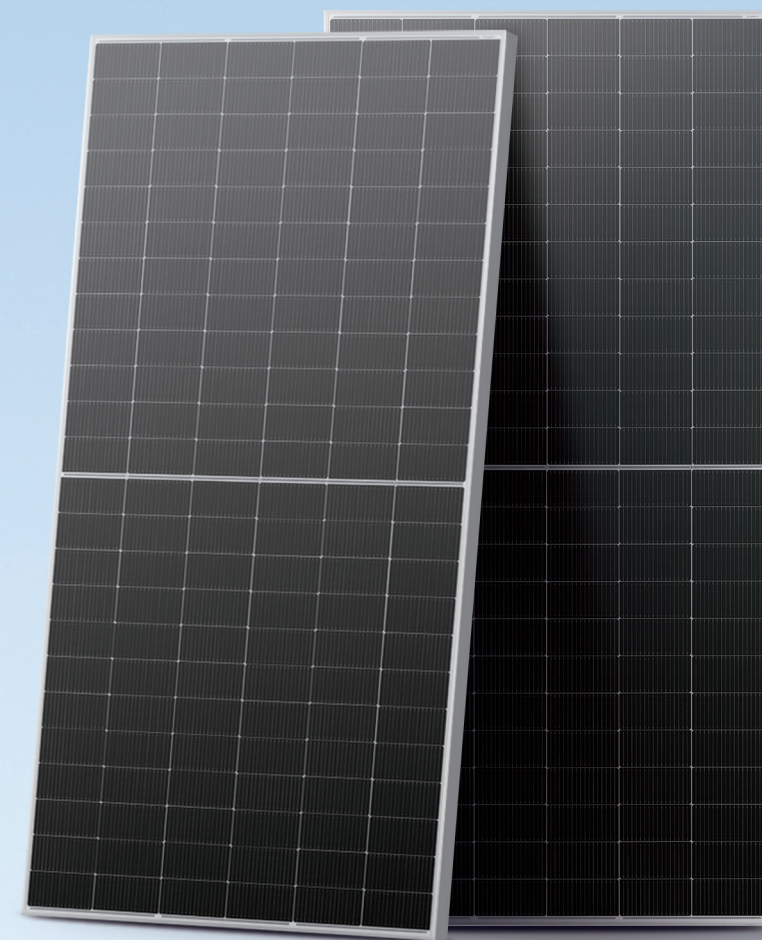
地址：北京市丰台区汽车博物馆东路1号院诺德中心8号楼
总机：+86 10 6361 1888 传真：+86 10 6361 1999
邮箱：sales@jasolar.com marketing@jasolar.com
邮编：100160
JA-20240603

JA SOLAR
晶 澳 太 阳 能

DEEP BLUE 4.0 Pro

DeepBlue 4.0 Pro

产品技术白皮书



www.jasolar.com

CONTENTS

02	01 / 背景介绍
03	02 / 核心技术
05	03 / 产品优势
07	04 / 优异的可靠性
07	05 / 产品参数与应用场景
08	06 / 客户价值
12	结语

01 / 背景介绍

1.1 光伏组件发展路线

当前，低碳转型、绿色发展已成全球共识，以光伏为代表的新能源迎来了更好的发展时机。光伏行业作为一个技术驱动和价值驱动的行业，光伏产品的发展过程本质上是提质增效的过程，提质增效是产品性能提升的两个方面，提质与增效这两者相互影响，密不可分。光伏组件并不是传统意义的电子消费品，其使用寿命需要达到25年甚至更长时间，其核心评估标准是如何确保光伏组件在整个生命周期内持续可靠稳定高效发电，通常可以通过LCOE (度电成本) 来衡量，这也是客户价值的核心体现。

质量保证方面，随着光伏产品标准体系的日益完善，光伏组件所涉及的性能测试和可靠性测试项目变得越来越全面和严格，尤其对于一些涉及到可靠性能的加严老化测试，为了满足各类新增和修改的测试标准，光伏电池与组件企业就需要不断地进行新技术的研发以及新材料、新工艺、新产品的导入。同时，光伏组件还需要进行各种气候条件下户外实证项目的验证，从而评估产品实际应用过程中的可靠性、稳定性以及整体发电性能。

效率和功率提升方面，主要通过电池效率提升、组件高效封装以及硅片尺寸和组件尺寸的增大实现，具体提效路径如图1所示。2016年以后，随着PERC电池技术大规模导入量产，结合半片技术、MBB/SMBB技术、SE技术以及各种高效BOM材料，电池效率快速提升到23%左右，尤其2022年起，当PERC电池逐渐达到量产极限效率时，TOPCon电池和HJT电池捧起了接力棒，其中TOPCon电池由于制备工艺与PERC电池产线兼容性高，较低的设备投资成本以及相对成熟的制备工艺和原材料，率先实现了大规模量产，电池平均量产效率已经达到25%以上，随着市场对于高效率大功率组件需求的增加，各类高效组件技术和组件材料快速导入，包括双层镀膜玻璃、瓷白玻璃、高反背板以及高密度组件封装技术等，同时，硅片尺寸的增大也加速了组件功率的快速提升，从方片发展到主流的矩形片182* (182+x)，目前组件的量产效率达到22%以上，基于182mm矩形片组件功率超过600W。

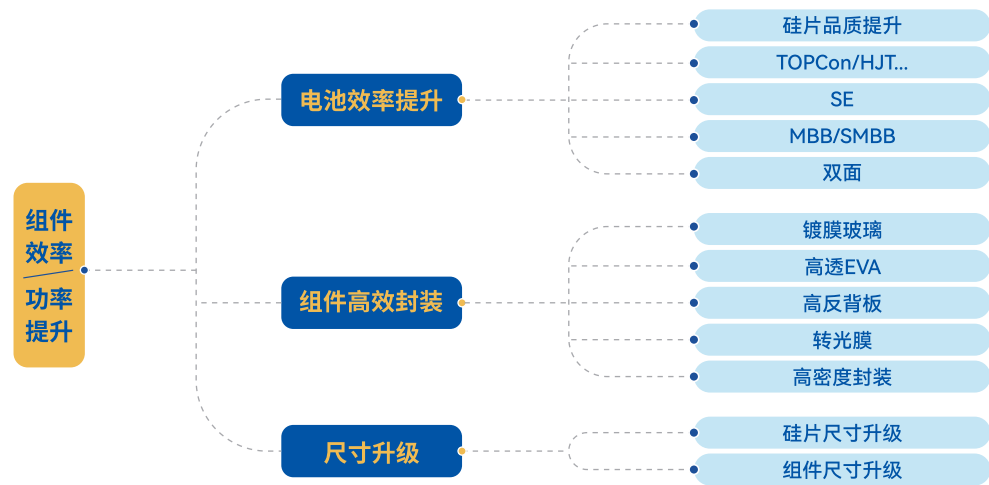


图1 光伏组件效率提升主要路径

1.2 晶澳DeepBlue系列产品理念

晶澳科技始终关注客户价值，持续加强技术创新，尤其进入2020年以来，进一步加大了产品研发投入，率先向市场推出了基于182mm*182mm (M10) 硅片、Percium+电池技术的DeepBlue 3.0系列高效组件，得到了全球市场的一致认可和好评。基于“量产一代、储备一代、研发一代”的产品策略，鉴于p型电池逐渐接近量产极限效率的现状，综合考虑效率、成本、良率、量产可行性以及产品性能，经过反复验证，顺应市场需求，于2022年5月发布了第一代n型组件DeepBlue 4.0 X。此后，晶澳科技进一步提升客户价值，综合考虑产业链协同性，对n型产品进行全面升级，并于2023年5月发布了新一代n型组件DeepBlue 4.0 Pro。

2021年9月，晶澳科技、晶科能源、隆基绿能联合发布M10系列组件标准尺寸，包含54/72/78三种版型，其中78版型2465mm*1134mm的尺寸组件作为行业高功率产品的重要选择之一，广泛应用于各类应用场景，尽显可观客户价值，但该版型的热斑问题一直是行业比较关注的焦点，同时由于所封装的电池片数量较多，组件开路电压较高，系统端单个组串所接入的组件数量相对较小，一定程度上增加了BOS成本。DeepBlue 4.0 Pro组件基于2465mm*1134mm这一行业标准的大版型组件尺寸，采用72片电池片，继承了其高功率高效率特性的同时，既降低了组件的热斑风险，又降低了系统BOS成本（组件开路电压降低了7.6%左右）。DeepBlue 4.0 Pro将延续DeepBlue系列产品“深蓝，为客户价值而生”这一核心产品设计理念，持续提升产品质量与性能，为客户带来更低的度电成本，更高的产品价值和更佳的客户体验。

02 / 核心技术

DeepBlue 4.0 Pro组件主要采用了Bycium+高效电池技术、高效&高可靠性封装技术、高密度封装技术以及矩形硅片技术。

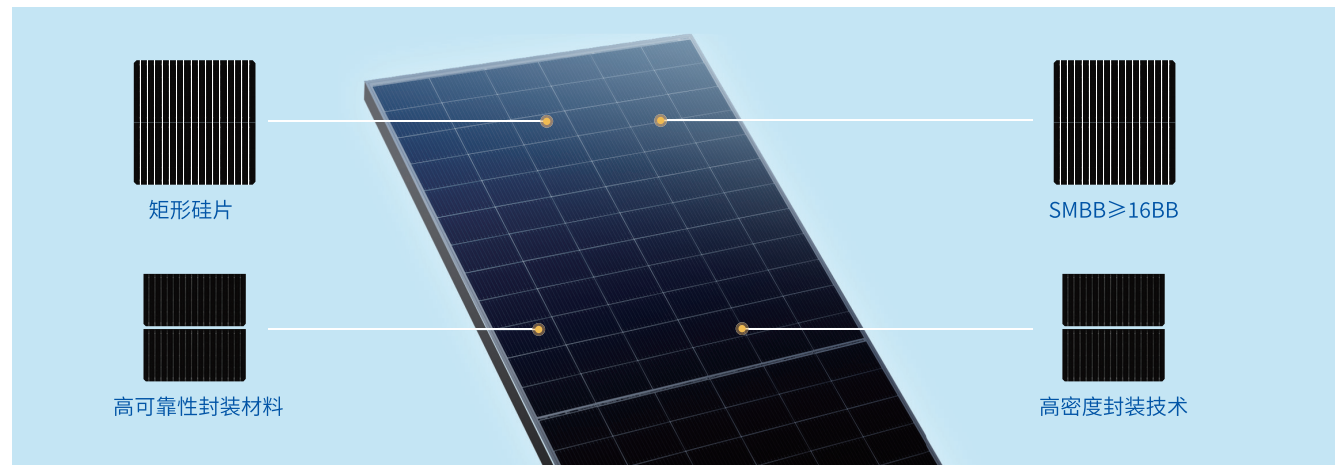


图2 DeepBlue 4.0 Pro组件采用多项提质增效技术

2.1 Bycium+高效电池技术

Bycium+ (“倍秀”) 电池是晶澳自主研发的高效n型钝化接触电池，叠加毫秒级低氧n型硅片、优异的表面钝化和钝化接触技术、激光诱导烧结技术以及双面减反膜等技术，电池开路电压 (Voc) 达到740mV，电池量产最高转换效率达到26.5%。其结构示意图如图3所示。

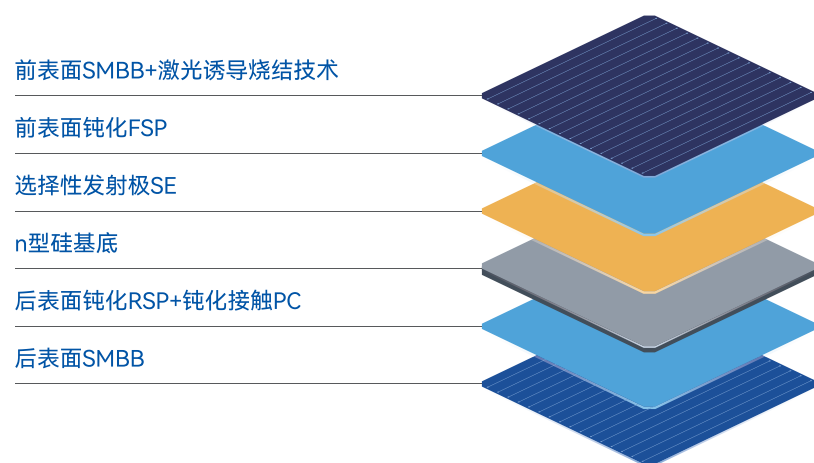


图3 Bycium+电池结构示意图

2.2 高效&高可靠性封装技术

除了电池效率的提升外，高效、高可靠性封装技术对组件效率的提升和品质保证也非常关键。超多主栅 (SMBB) 技术可以同时提高光的利用率与电流的收集能力，从而提高电池转换效率与组件功率，晶澳采用行业主流的圆形焊带，综合考虑组件功率和焊接可靠性能，半片电池组件的主栅根数 ≥ 16 。在组件BOM材料方面，根据组件的性能特点，也进行了相应的优化，为了进一步提高产品机械性能，DeepBlue 4.0 Pro在采用无损切割、SMBB等改善可靠性的技术基础上，通过改良边框铝型材料，优化边框截面设计，增大型腔等方式来加强机械强度。另外，通过采用增强型的封装胶膜，进一步提升了组件的抗PID性能。

2.3 高密度封装技术

高密度封装技术是指在单位组件面积条件下，通过提升封装的电池片总面积来提高组件的功率和效率，主要包括叠瓦、叠焊、零间距和小间距等。DeepBlue 4.0 Pro产品采用了小间距技术，相比于其它几种高密度封装技术，小间距技术兼顾了成本、功率提升、制程良率以及产品可靠性多方面的影响，逐步成为行业主流的高密度封装技术，也将成为高效组件的标配技术。

03 / 产品优势

DeepBlue 4.0 Pro组件继承了DeepBlue 4.0 X组件的性能优势和特点，具备非常出色的发电能力，包括更低衰减、更优高温发电性能、更高双面增益以及更好弱光性能。

3.1 更低衰减

在功率衰减性能方面，DeepBlue 4.0 Pro组件采用n型硅片，具备天然的优势（无B-O复合体），首年衰减不超过1%，年度线性衰减不超过0.4%，而常规p型组件首年衰减不超过2%，年度线性衰减不超过0.45%，如图4所示。经过测算，因首年功率衰减更低，DeepBlue 4.0 Pro组件带来的发电增益为1%左右，而在30年的寿命周期内，由功率衰减优势（首年衰减+年度线性衰减），DeepBlue 4.0 Pro组件带来发电量增益可达到1.8%左右。

晶澳科技联合TÜV北德在CPVT银川国家光伏户外实证基地一年期（2021年2月-2022年2月）的户外实证项目显示，采用Bycium+电池的n型组件首年功率衰减仅为0.15%，性能十分优异。

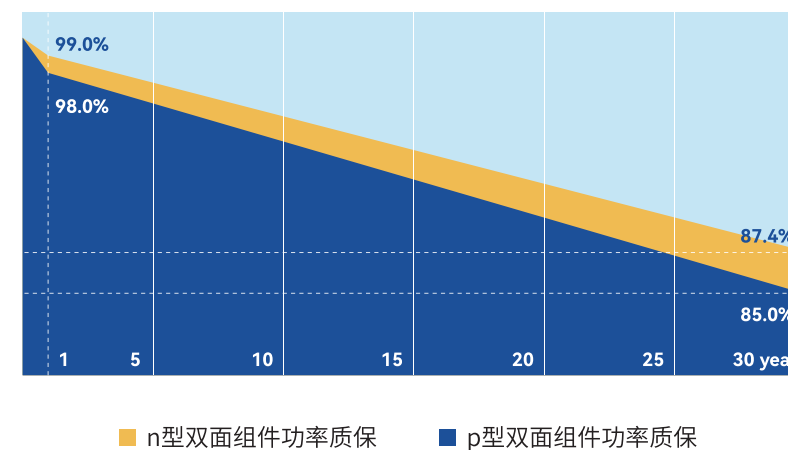


图4 双面光伏组件30年功率质保对比

3.2 更优高温发电性能

在高温发电性能方面，与组件温度系数和组件工作温度密切相关，从机理上讲，电池开路电压越高，温度系数也就越优，Bycium+电池开路电压可达到740mV左右，DeepBlue 4.0 Pro组件功率温度系数为-0.29%/°C，而常规p型组件功率温度系数为

-0.35%/°C, 假设组件运行工作温度55°C左右(环境温度30°C左右), 在高温情况下, DeepBlue 4.0 Pro组件的功率损失比p型组件低1%-1.8%左右, 且随着组件运行温度的进一步提升, DeepBlue 4.0 Pro组件高温发电性优势将会更加突出。

同时, DeepBlue 4.0 Pro组件由于更高的转换效率, 相应降低了所吸收光能的热转换, 从而降低了组件的工作温度, 晶澳科技联合TÜV北德在CPVT银川国家光伏户外实证基地一年期(2021年2月-2022年2月)的户外实证项目结果也充分的证实了这一点, 采用Bycium+电池的n型组件比p型组件平均工作温度低约1°C左右, 具体如图5所示。综合考虑温度系数和工作温度的影响, 在高温情况下, n型组件发电量比p型组件高1.5%-2%左右。

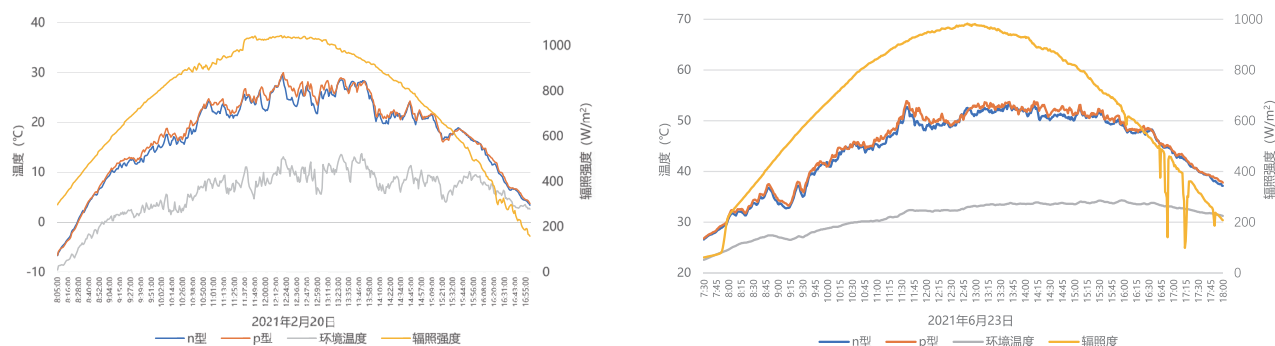


图5 n型组件和p型组件工作温度对比数据

3.3 更高双面收益

在双面发电性能方面, DeepBlue 4.0 Pro组件双面率为80%左右, 常规p型组件双面率为70%左右, 假定组件背面辐照强度为100-150W/m², 那么双面率差异(10%)带来的组件发电量增益在1%-1.5%之间。当在不同的地面环境下(反射率在20%-30%时), 结合不同的阵列高度、前后排间距、背面有无遮挡安装等条件, 通过PVsyst模拟, DeepBlue 4.0 Pro组件发电量增益在0.8%-1.2%之间。

3.4 更好弱光性能

在低辐照发电性能方面, 从机理上讲, 与少子寿命、开路电压、并联电阻密切相关, 由于Bycium+电池具备更为优异的内阻设计, 更高的少子寿命和开路电压, 所以电池的弱光性能更为优异。在辐照度600 W/m²或以下时, 如清晨或傍晚条件下, 经测算, DeepBlue 4.0 Pro组件弱光发电综合增益为0.2%左右, 不同辐照强度发电增益数据如图6所示。

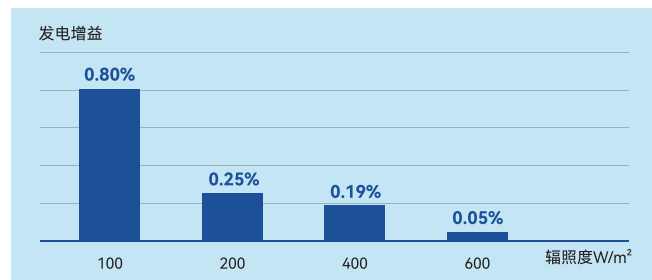


图6 DeepBlue 4.0 Pro组件弱光发电增益

04 / 优异的可靠性

组件可靠性是其发电性能的根本保证, 通常情况下, 组件的可靠性可以通过实验室标准老化测试和加速老化测试进行验证, DeepBlue 4.0 Pro组件传承了深蓝系列组件产品优异的可靠性能, 通过标准老化测试和加严老化测试, 各项测试结果均满足IEC标准要求, 并顺利通过行业多家权威机构的测试认证, 该款组件在多种应用场景下的发电性能、安全性能以及可靠性得到了充分的认可。

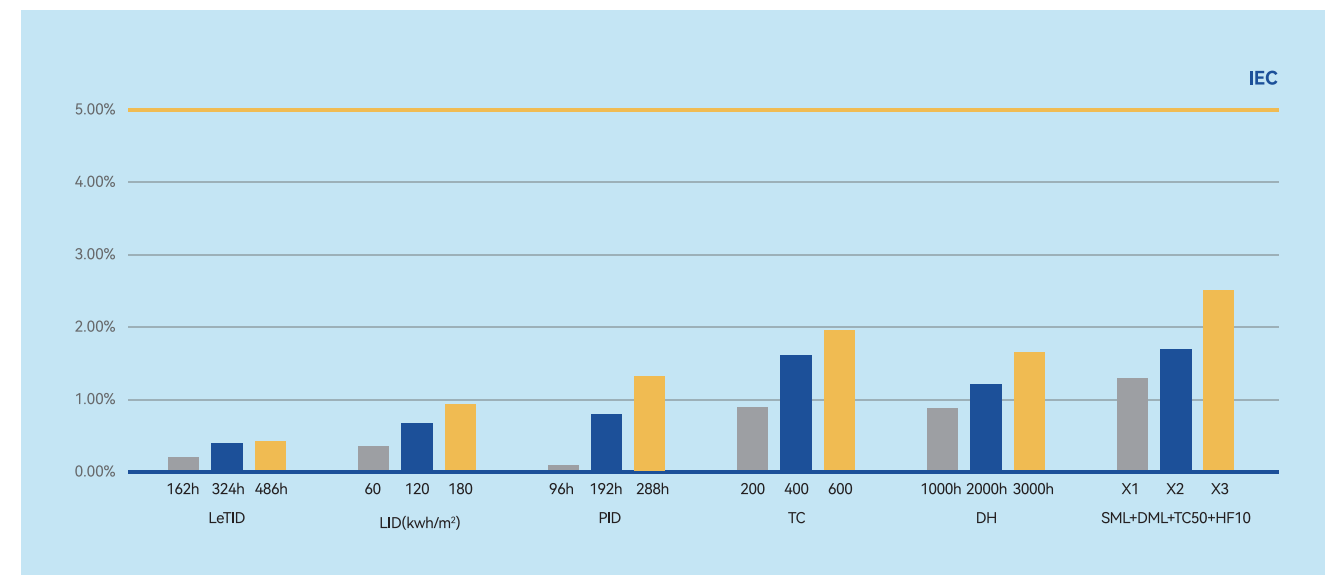


图7 DeepBlue 4.0 Pro组件可靠性测试结果

05 / 产品参数与应用场景

DeepBlue 4.0 Pro组件主要包括四种版型设计: 54-cell (1762mm)、72cell (2278mm)、66-cell (2382mm)、72-cell (2465mm), 关键参数如表1所示。不同的版型设计, 适应不同的应用场景, 54版型尺寸更为灵活, 主要用于欧美市场户用屋顶项目, 其他三个版型主要用于全球工商业屋顶和大型地面电站项目, 根据国内分布式项目的商业模式和特点, 72版型组件(2465mm*1134mm)作为DeepBlue 4.0 Pro系列中的一款高功率旗舰产品, 将会成为分布式项目极具竞争力的解决方案, 同样也是一款全场景应用产品解决方案。

表1 DeepBlue 4.0 Pro组件相关技术参数

型号/电参	JAM54D40-460/LB	JAM72D40-595/MB	JAM66D45-620/LB	JAM72D42-640/LB
最大功率(Pmax)[W]	460	595	620	640
最大功率点电压(Vmp)[V]	33.17	44.64	40.21	44.29
最大功率点电流(Imp)[A]	13.87	13.33	15.42	14.45
开路电压(Voc)[V]	39.70	52.58	48.50	52.87
短路电流(Isc)[A]	14.64	13.99	16.13	15.31
组件效率	23.0%	23.0%	23.0%	22.9%
短路电流温度系数(α_{Isc})	+0.045%/°C			
开路电压温度系数(β_{Voc})	-0.250%/°C			
最大功率温度系数(γ_{Pmp})	-0.290%/°C			
组件尺寸(长*宽*高)	1762*1134*30(mm)	2278*1134*30(mm)	2382*1134*30(mm)	2465*1134*30(mm)
重量	22.0kg	31.8kg	33.1kg	34.6kg
质保	首年衰减1%，30年内线性衰减0.4%/年			

06 / 客户价值

LCOE是衡量客户价值的核心指标，高功率、高效率、高发电能力和高可靠性的组件能为客户带来更大的价值，提升客户的整体收益。

6.1 实证表现-高发电能力

实证项目作为评估和验证光伏组件以及光伏系统的重要手段，晶澳科技所有新产品在推出之前都会经过各类气候条件下实证电站的运行监控，确保为客户提供最可靠最高效的组件方案。在干热气候条件下，晶澳科技联合TÜV北德在CPVT银川国家光伏户外实证基地一年期（2021年2月-2022年2月）的户外实证项目结果显示，采用Bycium+电池的n型组件比p型组件单瓦发电量高3.9%左右，具体数据如图8所示。在湿热气候条件下，晶澳科技与TÜV莱茵合作，在位于海南琼海的国家级光伏产品户外实证基地开展了为

期一年的户外实证项目（2023年2月-2024年1月），结果显示采用Bycium+电池的n型组件比p型组件单瓦发电量高3.5%左右，具体数据如图9所示。此外，为应对各类气候条件以及严苛应用环境的考验，晶澳科技也开展了海上以及极寒气候条件下的户外实证测试，进一步验证产品的综合发电性能。

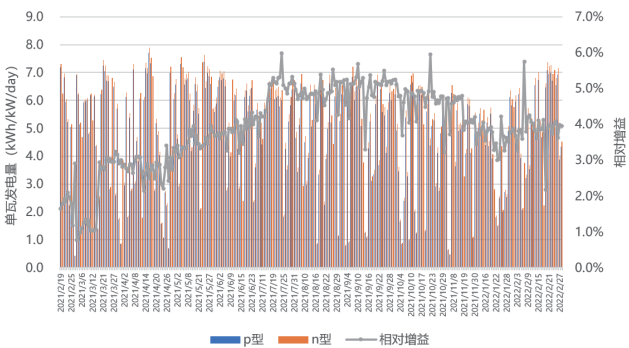


图8 银川实证项目n型组件和p型组件单瓦发电量对比数据

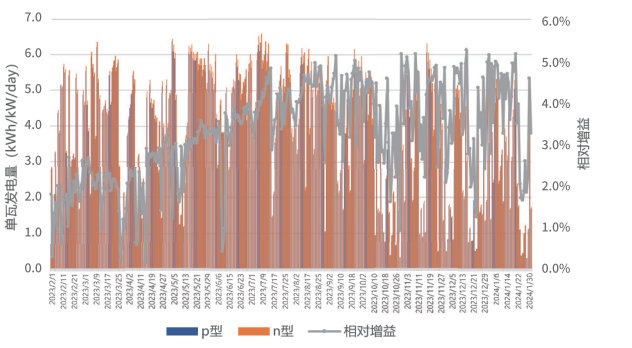


图9 海南实证项目n型组件和p型组件单瓦发电量对比数据

以上数据表明，在不同气候条件、不同天气情况、不同项目类型、不同地面环境下，n型组件相比p型组件的发电增益也不尽相同。在一个完整年测试周期内，结果显示银川和海南两地实证项目的n型组件单瓦日平均发电量为5.03kWh/kW和3.92kWh/kW，银川项目比海南项目发电量高28%左右，这主要是不同地点辐照资源的差异带来的影响。为验证辐照差异对n型组件增益带来的影响，在海南实证项目分别选取了一个高辐照强度日（7月13日）和一个低辐照强度日（4月12日）的发电数据进行对比分析。如图10所示，根据组件实验室实测功率对瞬时功率进行归一化处理，可以明显看出，1) 当辐照强度较高时，n型组件发电增益相对较大，7月13日为4.06%；2) 当辐照强度较低时，n型组件发电增益相对较小，4月12日为1.32%。上述数据说明，当辐照度较高时，排除其它因素的影响，n型组件的发电增益较大，银川实证和海南实证在地面反射率、阵列高度等条件基本相同的前提下，发电增益的差异主要取决于辐照强度，可以看出这两个项目的对比数据进一步证明了n型组件在不同应用环境下优异的发电性能。

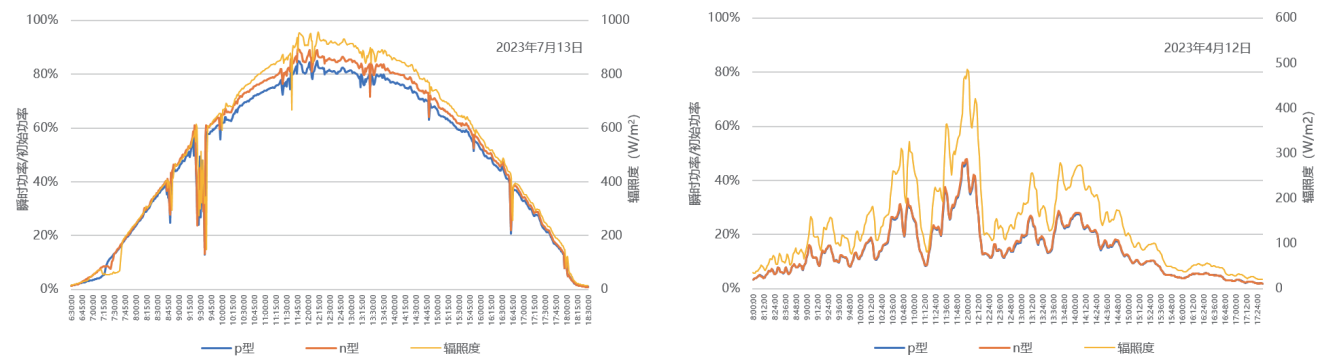
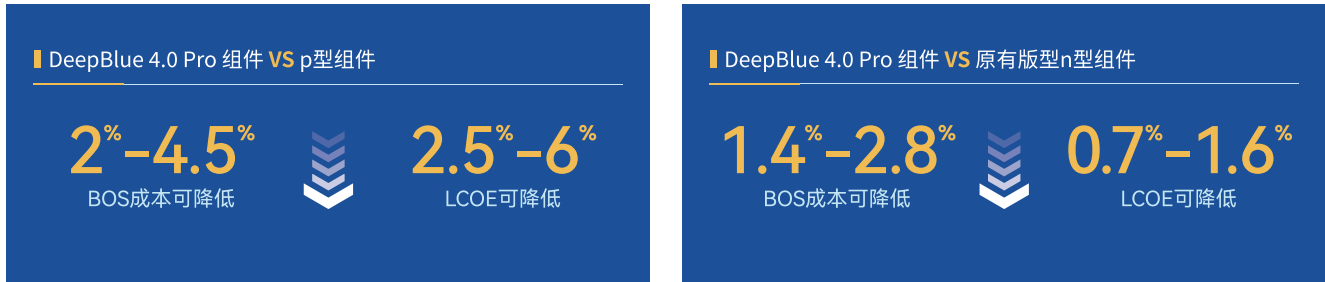


图10 海南实证项目不同辐照度下n型组件发电增益数据

6.2 系统测算-更低BOS成本和LCOE

在BOS成本和LCOE方面，经测算，在不同应用场景、不同项目类型、不同安装方式下，综合考虑支架成本、基础成本、电缆成本、安装费用和占地面积等因素，相比于p型组件，DeepBlue 4.0 Pro组件BOS成本可降低2%-4.5%左右，LCOE可降低2.5%-6%左右，相比于原有版型n型组件，DeepBlue 4.0 Pro组件BOS成本可降低1.4%-2.8%左右，LCOE可降低0.7%-1.6%左右。

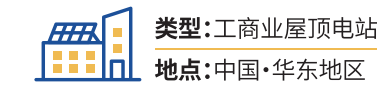


同时，对几款主流n型高功率组件在不同应用场景下也进行了系统端综合对比分析，具体数据如下表所示。相比于原有版型182n-72c组件（功率590W），其它两款600W+组件在BOS成本和LCOE方面都具有一定的优势，尤其JAM72D42/LB 这款2465mm*1134mm版型组件，作为DeepBlue 4.0 Pro系列中的高功率旗舰产品，在地面电站、工商业屋顶和户用屋顶电站都具备较强的优势，是一款出色的全场景应用组件。

表2 DeepBlue 4.0 Pro组件不同应用场景系统测算数据



项目	182-72n-2278	182-66n-2382	JAM72D42/LB
组件功率(Wp)	590	620	640
组件尺寸(长*宽*高)(mm)	2278x1134x30	2382x1134x30	2465x1134x30
项目装机容量(MWp)	100.0168	100.02832	100.03968
支架类型	2P固定, 38°	2P固定, 38°	2P固定, 38°
单组支架安装组串数量(串)	2	2	2
项目组件数量(块)	169520	161336	156312
BOS成本	baseline	↓ 1.17%	↓ 1.42%
LCOE	baseline	↓ 0.54%	↓ 0.64%



项目	182-72n-2278mm	182-n-2382mm	JAM72D42/LB
组件功率(Wp)	590	620	640
组件尺寸(长*宽*高)(mm)	2278x1134x30	2382x1134x30	2465x1134x30
项目装机容量(MWp)	6.17848	6.2496	6.28992
支架类型	铝合金导轨, 平铺	铝合金导轨, 平铺	铝合金导轨, 平铺
组件数量/串(块)	28	30	28
项目组件数量(块)	10472	10080	9828
BOS成本	baseline	↓ 1.10%	↓ 2.73%
LCOE	baseline	↓ 0.79%	↓ 1.74%



项目	182-72n-2278	182-66n-2382	JAM72D42/LB
组件功率(Wp)	590	620	640
组件尺寸(长*宽*高)(mm)	2278x1134x30	2382x1134x30	2465x1134x30
项目装机容量(kWp)	20.06	21.08	21.76
支架类型	铝合金导轨, 平铺	铝合金导轨, 平铺	铝合金导轨, 平铺
项目组件数量(块)	34	34	34
BOS成本	baseline	↓ 4.83%	↓ 7.81%
LCOE	baseline	↓ 3.32%	↓ 5.35%

结 语

LCOE是衡量光伏项目的核心指标,与终端客户关注的核心价值紧密相关。直接影响LCOE的因素中,同组件相关的因素主要包括:组件的功率、效率、发电能力和长期应用的可靠性能。具体而言,高功率和高效率可以有效降低BOS成本,发电能力和长期应用的可靠性能有助于生命周期内产品高效稳定发电。晶澳DeepBlue 4.0 Pro系列组件作为集高功率、高效率、高发电能力和高可靠性能为一体的新一代n型光伏产品,可完美应用于各种应用场景,为客户带来更高价值,真正诠释了“为客户价值而生”的产品设计理念。