

2026年度光伏设备行业策略报告： 光伏设备商基本面筑底， 看好太空算力应用场景打开&海外地面需求增长

首席证券分析师：周尔双

执业证书编号：S0600515110002

zhouersh@dwzq.com.cn 13915521100

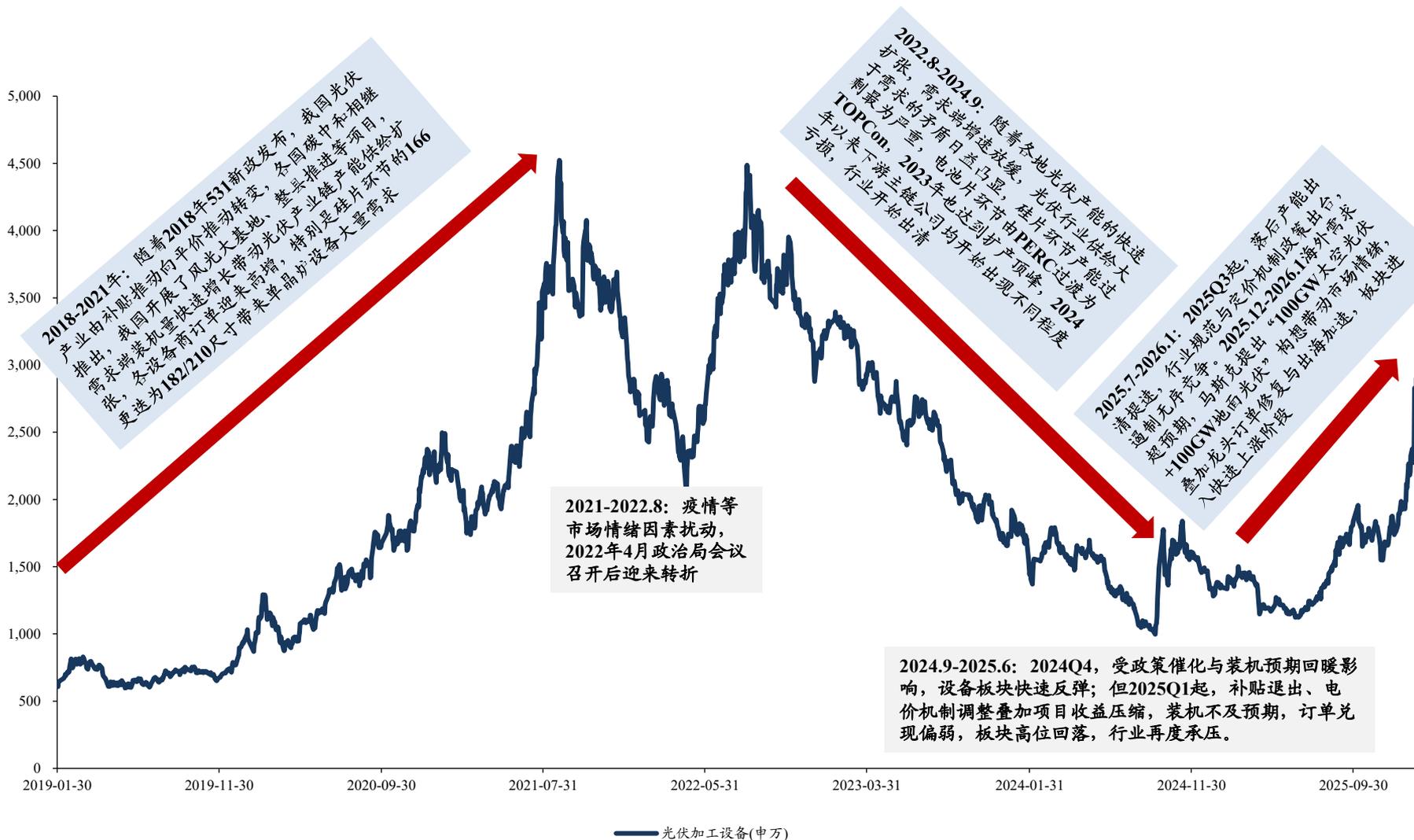
证券分析师：李文意

执业证书编号：S0600524080005

liwenyi@dwzq.com.cn 18867136239

2026年2月24日

供给、需求及技术因素共振，光伏设备具备成长和周期双重属性



注：光伏加工设备指数（申万）十大权重股为晶盛机电、捷佳伟创、迈为股份、帝尔激光、奥特维、京山轻机、高测股份、微导纳米、金辰股份、拉普拉斯

供给出清、海外扩张与太空算力共振，2026年光伏设备迎来修复与成长双主线

- **2025年基本面已充分出清，2026年设备订单有望进入修复通道。**2025年行业深度调整，主链亏损加剧、扩产放缓，光伏设备新签订单阶段性承压，但龙头设备商凭借“3421/3601”等收款模式强化现金流管理，应收账款结构集中于头部客户，信用减值充分计提，经营风险基本释放。随着落后产能出清提速、行业规范与定价机制逐步优化，供给侧结构改善信号明确，我们预计2026年在海外需求释放与国内市场化出清完成的背景下，设备订单有望进入修复通道，板块具备明显的周期修复弹性。
- **太空算力应用场景加速落地，光伏从地面能源走向轨道能源体系，打开远期成长空间。**商业航天运载成本持续下降，中美均规划百GW级太空算力部署能力，太空数据中心对能源系统高度依赖光伏供电，光伏成为轨道算力体系的核心基础设施。在规模化阶段，能源系统将由高成本砷化镓逐步转向更具成本优势与可扩展性的硅基技术，HJT薄片化与柔性化特性在减重与卷展式阵列适配方面具备潜在优势。我们认为，太空算力为光伏设备行业引入“类半导体设备”的长周期成长逻辑。
- **海外地面需求成为2026年现实增量来源，美国与中东等地共振驱动扩产。**美国新增装机保持高景气，本土制造政策强化供应链安全与成本可控，特斯拉规划100GW地面光伏产能以匹配AI算力电力需求。在高人工、高水电成本背景下，HJT凭借低工序、低用电、低水耗、低人工优势更契合美国制造环境，且不存在TOPCon在美国面临的专利风险，中长期具备竞争优势。与此同时，中东资源禀赋优势突出，装机规划持续上调，中资主链企业加速本土建厂，国产设备“借船出海”逻辑强化，海外收入占比提升趋势明确。
- **行业供需失衡背景下，新一轮技术迭代成为产能重置关键变量。**TOPCon价格持续回落压缩盈利空间，倒逼新技术导入。工信部提高效率、水耗与资本金门槛，引导先进产能替代落后产能，政策方向利好高效率与低能耗路线。HJT量产效率持续突破、银耗快速下降，叠加0BB与银包铜技术应用，在银价中枢上行背景下成本优势进一步放大。我们判断，2026年将进入“技术升级驱动的新一轮结构性扩产窗口”。
- **投资建议：**在周期修复与技术升级双主线下，重点推荐HJT整线龙头迈为股份，低氧单晶炉龙头晶盛机电，组件自动化及0BB设备龙头奥特维，以及超薄硅片切片设备龙头高测股份。
- **风险提示：**行业供需修复不及预期风险，海外政策及贸易环境不确定性风险，新技术及新应用产业化节奏不及预期风险。

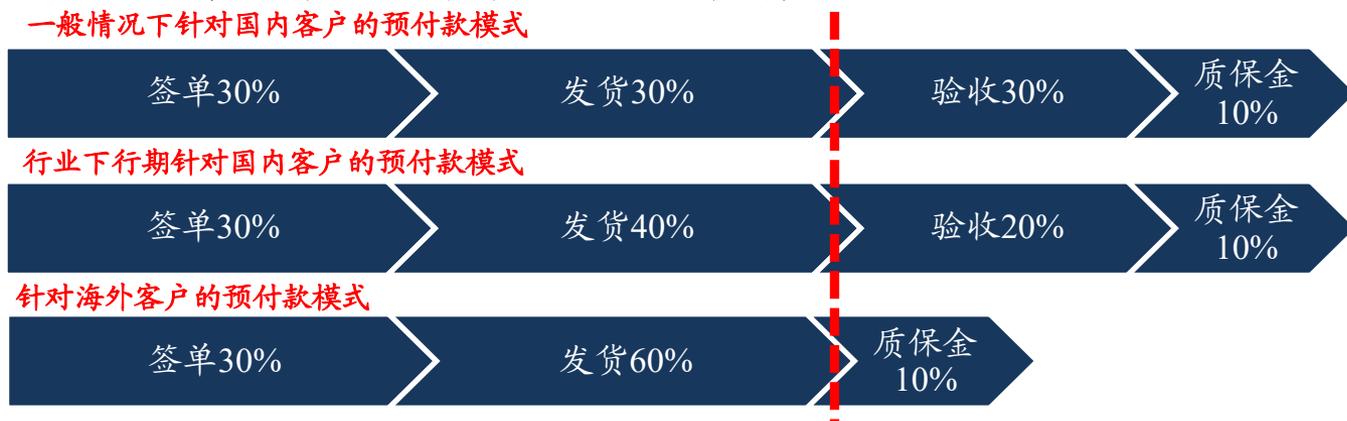


- 一、2025年光伏设备商基本面见底，2026年看好太空算力应用场景打开&海外地面需求增长
- 二、太空算力应用场景打开，光伏设备走向星辰大海
- 三、海外地面需求持续增长，重视美国等地市场机遇
- 四、关注国内政策变化&新技术持续迭代
- 五、投资建议与风险提示

1.1 头部设备商及时调整收款方式，风险控制能力强

- 通过及时调整收款模式，头部设备商能够保证设备发货时收回成本，风险控制能力强。一般情况下设备商针对客户的预付款模式为“3331”，即签单收取30%款项、发货收取30%款项、验收收取30%款项、质保收取10%款项，在行业下行期，头部设备商及时调整收款方式，国内采取“3421”的方式，海外采取“3601”的方式，考虑到设备商的毛利率一般为30-40%，故发货时即可实现成本的覆盖，控制风险。

◆ 图：不同情况下针对不同客户采取不同的收款模式来控制风险



◆ 表：迈为股份重大合同回款进度梳理（截至2025H1）

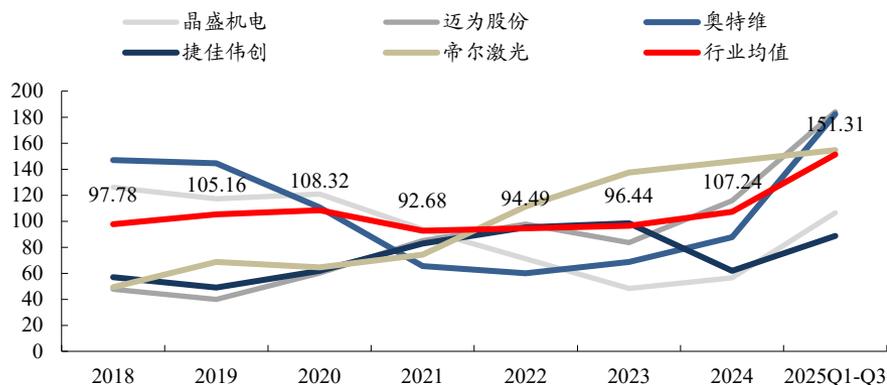
成本回收线

合同订立公司方名称	合同订立对方名称	合同履行的进度	累计确认的销售收入金额（万元）	应收账款回款情况
新加坡迈为	Reliance Industries Limited	全部出货完成	53,636.36	已收到90%应收账款
迈为股份	大理华晟新能源科技有限公司、宣城华晟光伏科技有限公司	全部出货并验收	212,553.98	已收到77%应收账款
迈为股份	次昊新能源电力（甘肃）有限责任公司、民生金融租赁股份有限公司	已出货3条，剩余5条未出货	63,716.81	已收到51%应收账款
迈为股份	合肥华晟光伏科技有限公司、宣城华晟光伏科技有限公司	已出货10条，剩余3条未出货	161,938.05	已收到65%应收账款

1.2 头部设备商应收账款前五大客户相对集中，长尾风险小

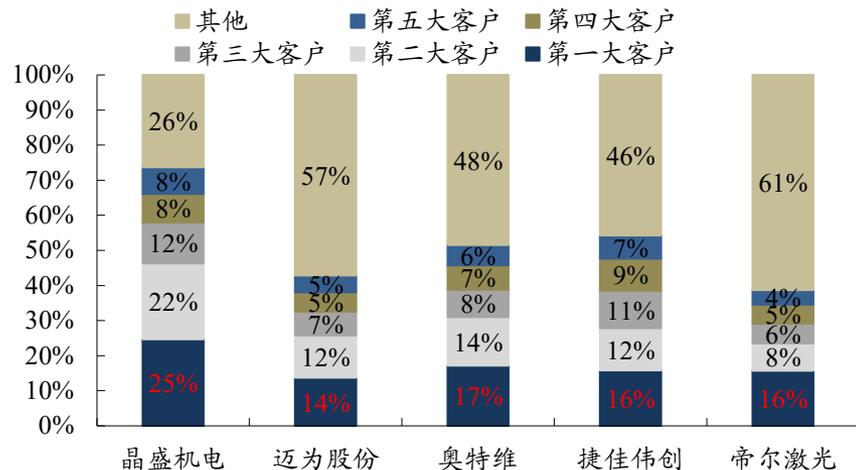
- 从龙头设备商应收账款和现金流来看，收款虽有所放缓（周转天数有所增加）；但截止2025H1末，应收的前五大客户占比较高尤其晶盛占比高达70%以上，表明客户多为下游头部企业，长尾风险小，同时经营性现金流未出现连续几个季度为负的情况，多数企业2025Q3情况均有所改善。

◆ 图：受下游确收放缓光伏设备应收账款周转天数有所增加

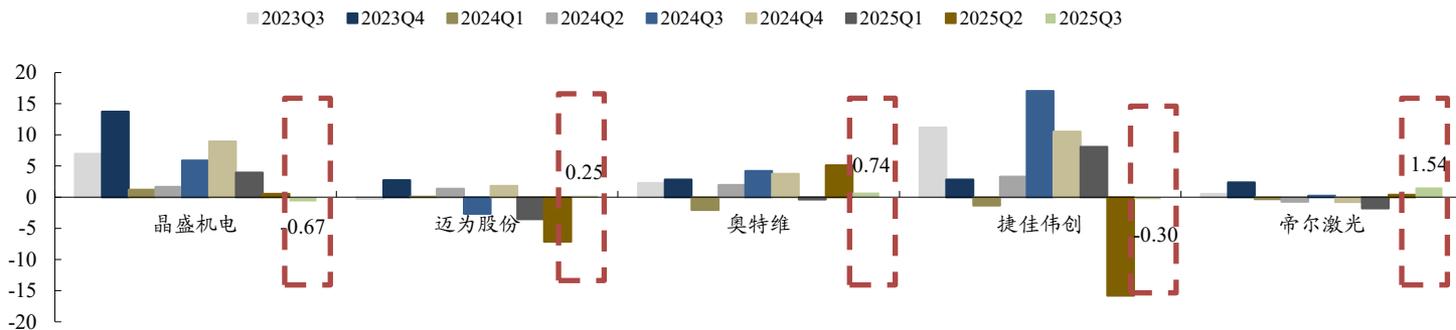


注：行业均值选取了晶盛机电、迈为股份、奥特维、高测股份、捷佳伟创、连城数控、帝尔激光、金辰股份、拉普拉斯、ST京机

◆ 图：头部光伏设备商应收账款前五大客户占比（2025H1末）



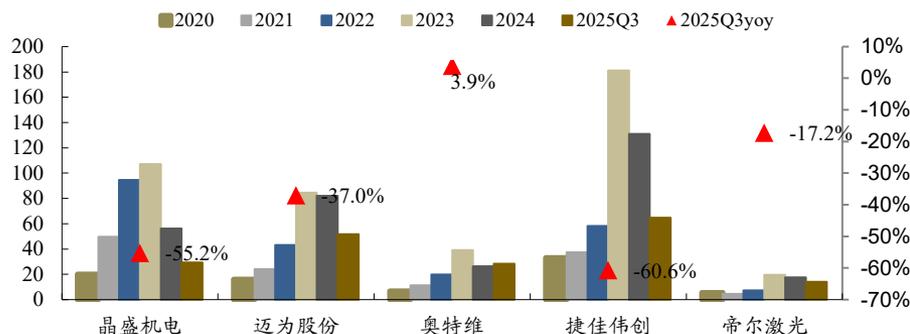
◆ 图：2025年以来光伏设备商现金流显著改善（亿元）



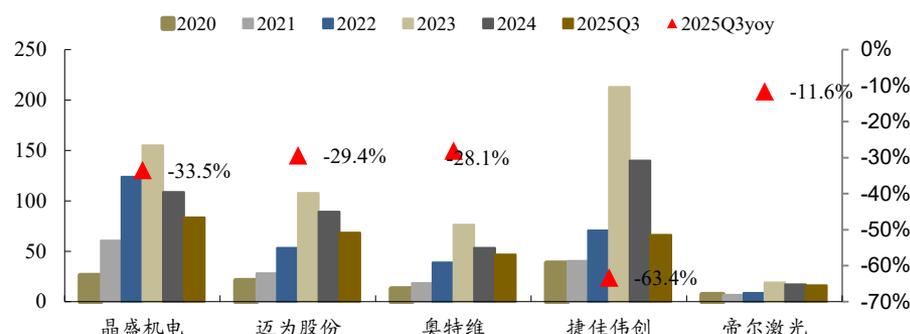
1.3 头部设备商合同负债&存货有所下滑，反映新签订单承压

- 截止2025Q3末光伏设备龙头企业合同负债&存货同比有所下滑，新签订单承压。受光伏产业链供需影响，主链公司出现亏损，硅片、电池片、组件环节的产能扩张速度均有所放缓，反映到设备商端，光伏设备龙头企业合同负债&存货同比均出现不同程度的下滑，我们预计随着2026年海外新需求&国内陆续市场化出清，行业新签订单有望显著改善。

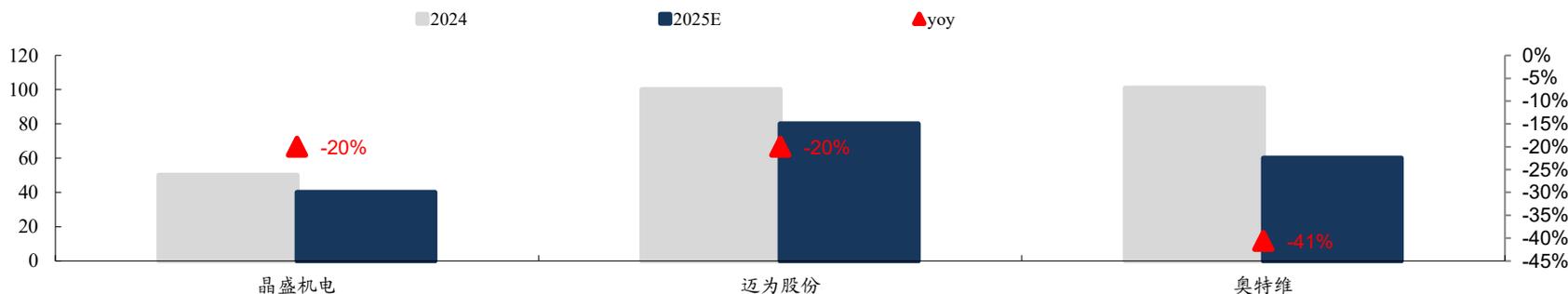
◆ 图：截至2025Q3末龙头设备商合同负债同比下降（亿元）



◆ 图：截至2025Q3末龙头设备商存货同比持平或下降（亿元）



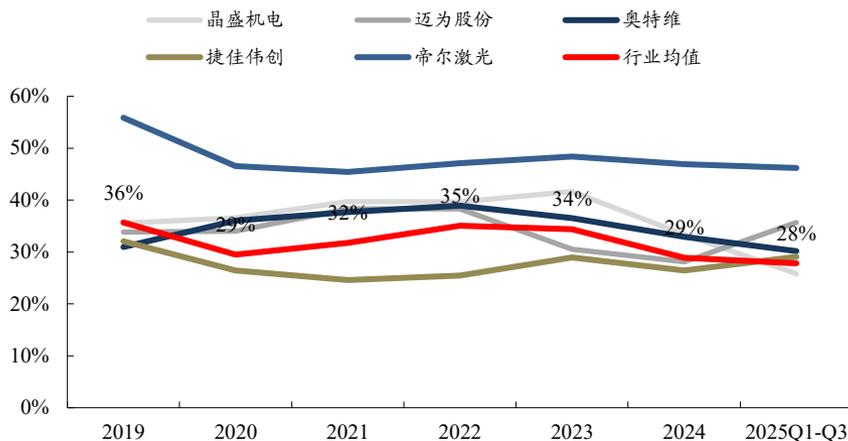
◆ 图：受下游需求影响，我们预计2025年光伏设备龙头企业新签订单均有不同程度的下滑（亿元）



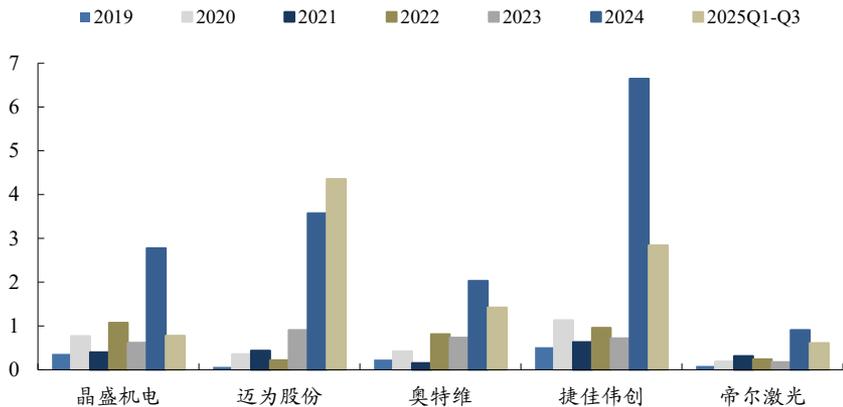
1.4 头部设备商盈利能力短期承压，仍高于行业平均水平

- ◆ 受行业下行期影响，头部设备商盈利能力均有所下滑，但仍高于行业平均水平。从毛利率来看，2025Q1-Q3行业平均毛利率约为28%，龙头设备商均能保持30%+的毛利率；行业归母净利率主要受存货跌价损失和信用减值损失计提影响，2025Q1-Q3行业均值约为11%，头部设备商基本都能保持在10-25%左右的净利率。
- ◆ 值得关注的是信用减值损失：2024年龙头企业信用减值损失出现数倍增长，且2025年Q1-Q3多数企业信用减值损失仍维持同比上升趋势。

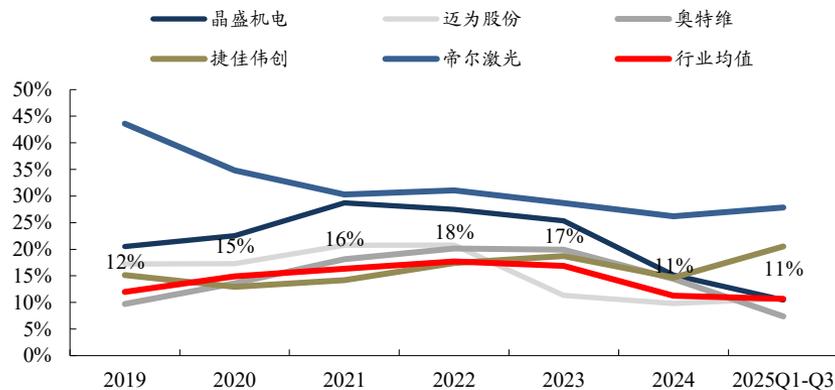
◆ 图：2025Q1-Q3龙头企业毛利率有所下降但高于行业平均水平



◆ 图：2025Q1-Q3行业龙头企业充分计提了信用减值（亿元）



◆ 图：2025Q1-Q3龙头企业净利率受信用减值及存货跌价损失影响下滑，仍高于行业平均水平



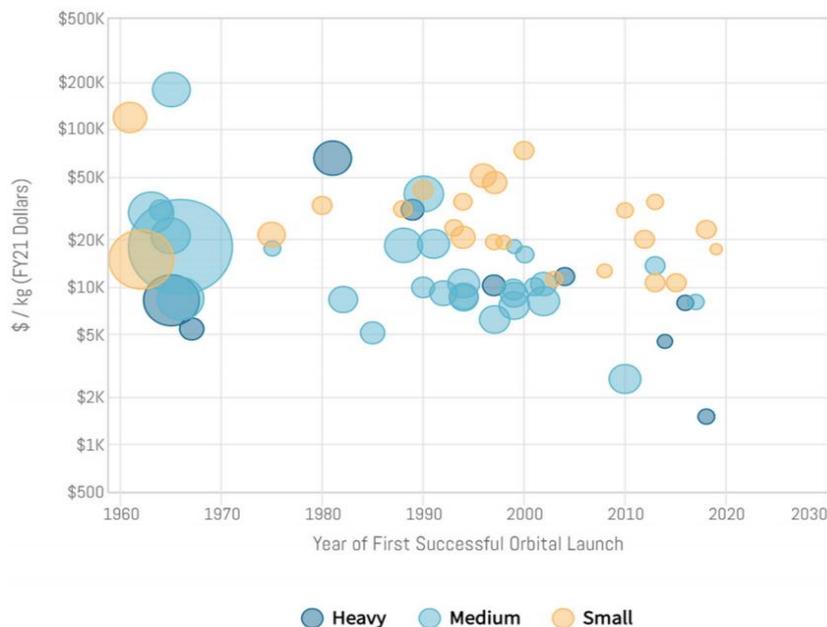


- 一、2025年光伏设备商基本面见底，2026年看好太空算力应用场景打开&海外地面需求增长
- 二、太空算力应用场景打开，光伏设备走向星辰大海
- 三、海外地面需求持续增长，重视美国等地市场机遇
- 四、关注国内政策变化&新技术持续迭代
- 五、投资建议与风险提示

2.1 太空算力：光伏应用走向星辰大海

- **运载成本呈指数级下降，商业航天迎来“摩尔定律”时刻。**可重复使用火箭技术的成熟，推动航天器入轨成本断崖式下跌，彻底打破了进入太空的经济壁垒，高频次、大规模的发射有望成为行业确定性趋势，2025年全球航天器发射超300次，相比2021年已经翻倍；同时，太空经济场景增加重塑太空产业边界，太空经济向算力与制造延伸，低轨资源开发正从通信星座向更多元化的高价值场景演进，利用太空天然的低温散热优势，太空数据中心等新型基础设施正从概念走向现实，极大拓展了人类开发太空的商业版图。
- **太空算力跟随运载成本放量，太空光伏需求将充分放量。**太空算力是人工智能算力体系由地表向轨道空间拓展所衍生的新范式，其核心在于将具备训练与推理能力的模块化服务器节点部署于低轨或中轨卫星平台，进而构建“轨道数据中心”。

图：航天器发射成本显著下降（单位：美元/kg）



图：太空算力新应用，打开太空想象空间



2.1 中美欧太空算力中心规划宏大，目前处于初期验证阶段

- 中美欧在太空算力均有布局，规划规模超百GW。①中国：国星宇航计划远期做到2800颗算力卫星升空；中科院计划达成单节点POPS级。②美国：SpaceX计划每年升空100GW太空算力卫星；StarCloud一期计划实现400颗5G卫星。
- 中美两国现已完成验证星发射。①中国：国星宇航已入轨12颗星算卫星，稳定运行超200天；中科院“极光1000”32 TOPS星已稳态运行超1000天。②美国：SpaceX星舰首次成功入轨8颗模拟星；StarCloud已发射1颗搭载4×H100的试验星，目前正在轨运行。

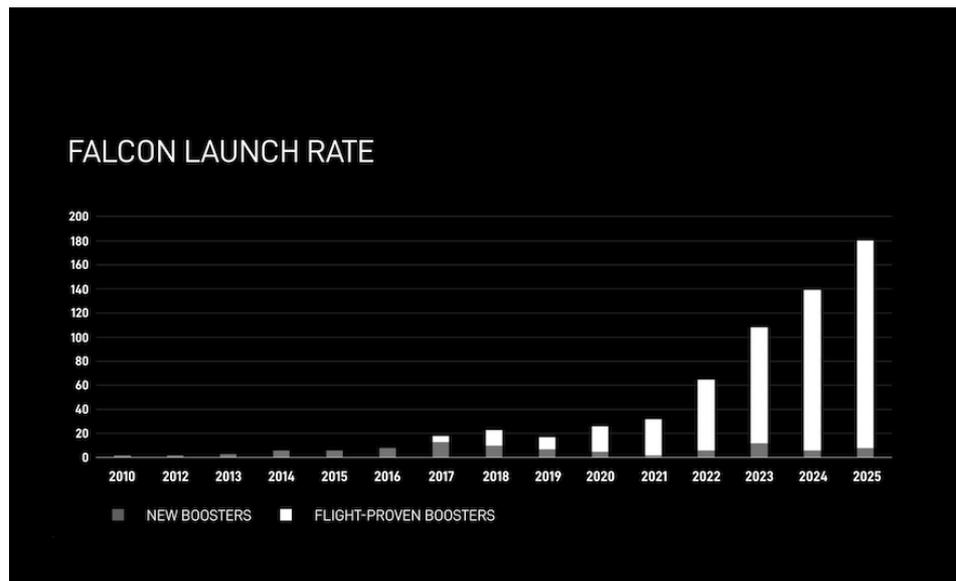
表：中美欧均布局太空算力，中美落地进度最快

国家/地区	运营/牵头主体	项目名称	目标规模	首星/首栈节点	状态/后续节点
中国	之江实验室+国星宇航	星算星座→三体计算星座	2027百星，2030千星，远期2800颗	2025-05-14一箭12星已入轨运行>200天	2026-27扩至百星；2030千星
中国	中科院计算所	极光1000	单节点POPS级	2022“极光1000”32 TOPS星已稳态>1000天	2025完成下一代POPS级星载机
中国	星空院等	北京“太空数据中心”行动方案	>1 GW集中式（百万卡级）	2025-11-27发布方案，试验星2025-27	2028-30在轨组装；2031-35批量生产
美国	SpaceX	星链V3算力版+星舰部署	100 GW/年→1 TW/年	2025-08 星舰首次抛放8颗模拟星	2026起每年60-100发星舰，单发60颗V3算力卫星运力
美国	Google	Project Suncatcher	615 GW（2029）	2027-Q1 发射2颗TPU-Trillium原型星	2029百星分布式集群
美国	StarCloud（初创，英伟达投资）	StarCloud-1	5 GW（400颗）	2025-11-02 已发1颗4×H100试验星在轨运行	2027推出“太空GPU云”
欧盟	ESA	太空数据中心计划	GW级低碳集群	尚未发射	2028前发射2颗技术验证星
中东	Madari Space	Madari-8000	8000节点（2028）	2026-Q4首发1颗试验数据中心星	2028完成8000颗遥感边缘算力节点

2.1 SpaceX进展最快，预计2030年前完成百GW的布局，自建100GW光伏产能

- 星舰运载能力将在2029年达到百万吨/年，2030年前完成太空算力100GW/年部署能力。①发射能力：马斯克于2025年1月15日宣布，星舰将在2029年底前实现每小时1次以上的高频发射能力。按此频率计算，星舰每年发射次数将接近1万次；结合其100吨的近地轨道有效载荷能力，年总运力可达100万吨。②太空算力：根据马斯克2025年末公布的计划，SpaceX将依托星舰在2029年前达到100GW/年的太空数据中心部署能力。
- 美国电网错配问题显著，特斯拉和SpaceX分别规划100GW光伏产能，预计2029年前全部落地。1月22日，马斯克于达沃斯世界经济论坛（WEF）发言，特斯拉地面光伏和SpaceX太空光伏将分别建设100GW产能，预计2028年底前完成。

图：SpaceX发射频率显著提升，百吨运力星舰将大幅提升运载能力



图：马斯克预计星舰未来每年可投送300-500GW算力卫星



Starship should be able to deliver around 300 GW per year of solar-powered AI satellites to orbit, maybe 500 GW. The “per year” part is what makes this such a big deal.

Average US electricity consumption is around 500 GW, so at 300 GW/year, AI in space would exceed the entire US economy just in intelligence processing every 2 years.

2.1 SpaceX 申请部署100万颗新型卫星星座，收购 xAI 构建产业链闭环

- 当地时间2月2日，SpaceX官宣收购xAI，形成“火箭发射+太空算力+AI大模型”的完整闭环。合并后的实体估值达1.25万亿美元，其中对SpaceX的估值为1万亿美元，对xAI的估值为2500亿美元，覆盖从地面到太空的完整技术链条。xAI与SpaceX的合并意味着前者将拥有稳定的发射能力，而后者则可拿到长期的卫星发射订单，从而形成“火箭发射+太空算力+AI大模型”的完整闭环。
- Space申请发射超100万颗卫星，位于德州的星际工厂正式投入运营。当地时间1月30日，SpaceX向美国联邦通信委员会提交申请，计划发射超100万颗卫星，构建全球首个“轨道数据中心”（ODC）系统。按照单星100kW计算，100万颗AI卫星部署正好对应100GW算力。2024年10月，SpaceX位于德克萨斯州博卡奇卡的“星际工厂”已正式投入运营。未来十年内，SpaceX将通过星际工厂每年生产超过1000艘星际飞船，以满足火星移民的需求。目前，星际工厂的年产量预计可达到100枚火箭，相当于每三天即可完成一枚火箭的制造，这一速度堪称惊人。

图：SpaceX太空数据中心轨道关键参数

轨道高度 (千米)	轨道倾角	运行周期 (秒)	技术特性 (根据申请文件)
500	97.4° (SSO)	5677	极地覆盖，利用高频次日照实现高效计算
1000	99.5° (SSO)	6307	平衡覆盖范围与延迟，支持大规模数据并行处理
2000	104.9° (SSO)	7632	追求最高日照时长（可达99%以上），支撑极高强度负载

图：SpaceX星际工厂圆满落成，每年生产超过1000艘星际飞船



2.1 谷歌计划2027年初发射2颗算力卫星，目标2030年建设GW级太空数据中心

- 谷歌计划2027年初与Planet卫星公司合作，发射 2 颗原型卫星。谷歌捕日者计划 (Project Suncatcher) 于2025年11月正式公布，计划2027年初与Planet卫星公司合作，发射 2 颗原型卫星，测试TPU太空可靠性、星间光链路与分布式ML任务性能；目标2029年实现615MW算力，2030年建设GW级太空数据中心。谷歌透露在轨道上光伏电池的发电效率最高可达地面的8倍，几乎可以不间断地发电。将发射多颗把光伏电池和TPU结合起来的小型人造卫星，并把这些卫星群当作数据中心来使用。
- 谷歌与芬兰卫星企业ReOrbit合作推出太空云计划。2月7日，芬兰软件定义卫星创新企业 ReOrbit 宣布与 Google Cloud (谷歌云) 达成战略合作，正式推出 “Space Cloud (太空云)” 计划。“Space Cloud” 采用了双轨 (Bifurcated) 架构，分别服务于公共和私营客户，这包括一个用于国家安全数据的主权云，以及一个用于地球观测数据和商业边缘计算的商业云。 ReOrbit 将在4月于拉斯维加斯举行的谷歌云Next会议上公布完整的技术细节和项目路线图。

图：谷歌发表论文阐述在太空部署AI计算系统的构想

图：谷歌云联手ReOrbit打造太空云，欧洲版轨道数据中心

Towards a future space-based, highly scalable AI infrastructure system design

Blaise Agüera y Arcas¹, Travis Beals¹, Maria Biggs¹, Jessica V. Bloom¹, Thomas Fischbacher¹, Konstantin Gromov¹, Urs Köster¹, Rishiraj Pravahan¹ and James Manyika¹
¹Equal contributions, ¹Google

If AI is a foundational general-purpose technology, we should anticipate that demand for AI compute — and energy — will continue to grow. The Sun is by far the largest energy source in our solar system, and thus it warrants consideration how future AI infrastructure could most efficiently tap into that power. This work explores a scalable compute system for machine learning in space, using fleets of satellites equipped with solar arrays, inter-satellite links using free-space optics, and Google tensor processing unit (TPU) accelerator chips. To facilitate high-bandwidth, low-latency inter-satellite communication, the satellites would be flown in close proximity. We illustrate the basic approach to formation flight via a 81-satellite cluster of 1 km radius, and describe an approach for using high-precision ML-based models to control large-scale constellations. Trillion TPU are radiation tested. They survive a total ionizing dose equivalent to a 5 year mission life without permanent failures, and are characterized for bit-flip errors. Launch costs are a critical part of overall system cost; a learning curve analysis suggests launch to low-Earth orbit (LEO) may reach \leq \$200/kg by the mid-2030s.



2.2 能源成本：是发展太空算力中心的核心因素

- **太空数据中心的全生命周期成本显著低于地面设施。**以 40 MW 集群运行 10 年为例，地面方案的总运营成本约为 1.67 亿美元，而采用太空算力仅需约 820 万美元，10 年可节省约 1.59 亿美元。① **能源支出是成本下降的核心驱动：**地面数据中心 10 年能耗费用高达 1.4 亿美元；相比之下，太空数据中心仅需一次性投入约 200 万美元部署光伏组件，能源环节即可减少 1.38 亿美元支出。② **冷却与用水成本：**地面算力中心全生命周期需要约 700 万美元冷却费用，同时消耗 170 万吨水（按 0.5 L/kWh 计算）。太空则利用近 -270℃ 的太空极低温环境，可大幅降低散热需求，仅需配置液冷回路将舱内热量导出，即可满足冷却要求，从而几乎免去用水及冷却塔的持续开销。

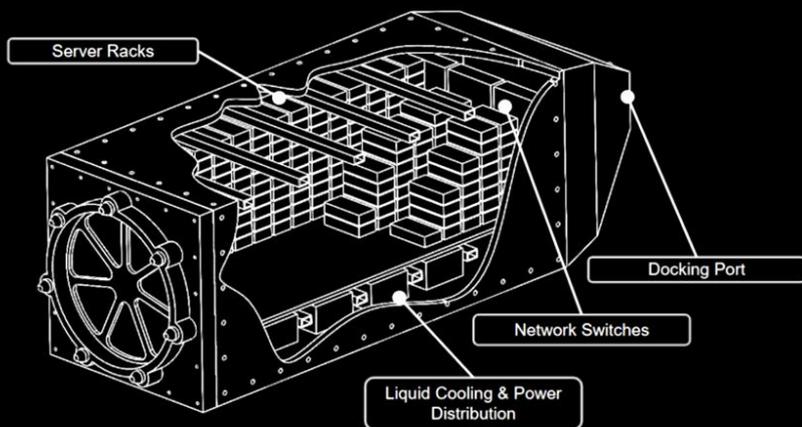
表：太空数据中心相较于地面数据中心有显著的成本优势

成本项	地面数据中心	太空数据中心（Starcloud 测算）	成本差异	太空数据中心（东吴机械 测算）	成本差异
能源（10年）	1.4亿美元（按0.04美元/千瓦时）	200万美元（太阳能电池阵成本）	-13800美元	600万美元（太阳能电池阵成本，美国HJT\$0.09/w）	-13400美元
发射费用	无	500万美元（计算模块、太阳翼、散热舱单次发射）	+500万美元	7500万美元（计算模块、太阳翼、散热舱单次发射；当前Falcon9 \$1500/kg）	+7500万美元
冷却（冷水机能耗）	700万美元（占总能耗5%）	太空温差大，冷却架构更高效，能耗极低	能耗更低	太空温差大，冷却架构更高效，能耗极低	能耗更低
用水	170万吨（0.5升/千瓦时）	无需用水	无需用水	无需用水	无需用水
外壳/结构	建筑物成本	卫星平台成本	成本大致相当	卫星平台成本	成本大致相当
备用电源	2000万美元（商业级UPS）	无需备用电源	无需备用电源	无需备用电源	无需备用电源
其他硬件（服务器、网络等）	二者大致相当	二者大致相当	-	二者大致相当	-
辐射屏蔽	无需	120万美元（每kW计算功率需1 kg屏蔽，按30美元/kg发射价）	+120万美元	120万美元（每kW计算功率需1 kg屏蔽，按30美元/kg发射价）	+120万美元
总成本	1.67亿美元	820万美元	-15880万美元	8220万美元	-8480万美元

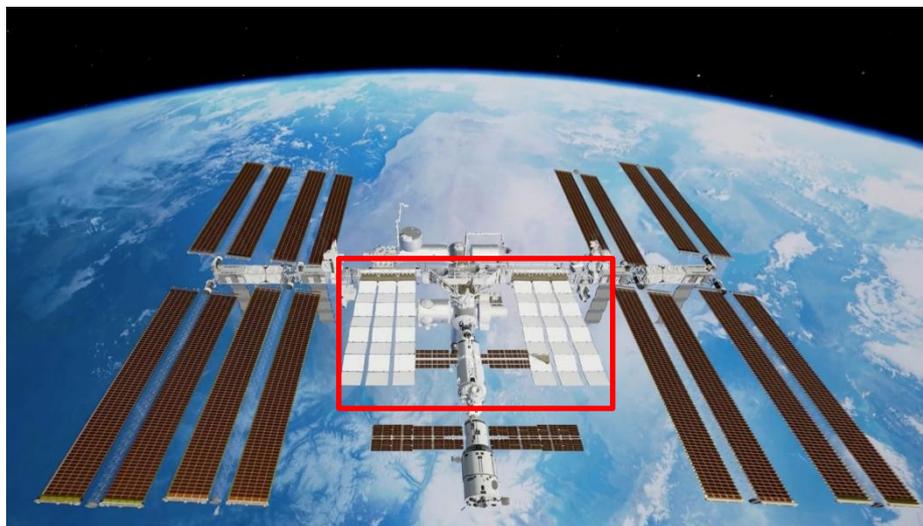
2.2 散热成本：太空低温特性能够显著降低散热费用

- 太空中宇宙背景温度约为 -270°C ，为散热提供了天然的极端低温环境。与地面相比，太空散热具有显著的成本优势；地面数据中心冷却能耗通常占总能耗的30%-40%，而太空可通过被动辐射散热将综合能源成本降至地面的十分之一。
- 太空为真空环境，缺乏热传导和对流所需的介质，将采用辐射散热方案。散热主要分为柜内和卫星散热两步：
 - ① **柜内**：通过液冷或气冷方式将芯片产生的热量收集并传输至卫星外部的散热模组。这一步类似于地面数据中心的初级散热，但目的不是将热量排放到大气中，而是输送至太空辐射散热器。
 - ② **卫星**：全卫星的热量最终被收集到热-辐射交换器，由散热翼（Radiator Panels）将热能以红外辐射形式散发至宇宙深空。现代卫星散热翼主要采用高发射率涂层配合铝蜂窝或复合材料基板制造，主要材料为碳纤维、铝、石墨，整体成本可控。

图：单个算力模块采用地面类似的Tray设计，计划使用液冷作为算力模块热交换系统



图：热能最终集中至热能-辐射转换器，由该系统将热能转换为辐射释放到太空 -270°C 环境中



2.3 光伏是当前卫星的唯一可再生能源，技术路径多样

- 光伏系统是太空算力中心的唯一主能源，其电池技术路线选择需综合权衡发射成本（组件面密度）、太空环境适应性、光电转换效率与全生命周期成本四大维度。远期钙钛矿&硅基叠层性能最优，短期硅基技术凭借显著的成本优势将成为主流技术路径，砷化镓仅保留于高功率密度或严苛轨道等特殊场景。
- 当前MW级以性能最优的砷化镓技术为主。MW级卫星以砷化镓（GaAs）三结技术为主。砷化镓组件量产效率 $\approx 30\%$ ，面密度400W/kg，20年轨内辐射功率衰减 $\leq 15\%$ ，寿命 ≥ 20 年，性能指标最优；但组件采购价约12亿美元/GW，难以支撑GW级扩建。
- 后续规模化应用需采用成本&性能均衡的硅基技术，远期转向硅基+钙钛矿叠层。硅基组件成本2-3.5亿美元/GW，量产效率22-25%，面密度280-340W/kg，15年辐射衰减25-30%，寿命10-15年。虽然单瓦质量与效率略低，但可通过增大阵列面积补偿，且成本仅为GaAs的1/6-1/3，能够满足大规模应用，远期转向钙钛矿+硅基叠层电池。

表：砷化镓性能指标最优，短期大规模应用需采用成本&性能更均衡的硅基技术

技术	量产效率 (%)	面密度 (w/kg, 含基板)	辐射功率损耗 (%)	在轨寿命 EOL	组件成本 (亿美元/GW, 美国成本, Infolink)	太空算力适配结论
TOPCon	22%	280	30%	10-12年	2	备选方案
HJT	24%	320	25%	15年	2.6	备选方案
BC	25%	340	26%	15年	3.5	备选方案
砷化镓 GaAs 三结	30%	400	15%	20年	12	当前主流, MW级首选
碲化镉 CdTe	14%	500	60%	<5年	1.8	寿命短板, 只能当补充翼
钙钛矿	31-33% (硅基叠层, 量产效率)	600-800	10-15%	20-25年 (理论)	-	未来方案, 技术尚未成熟

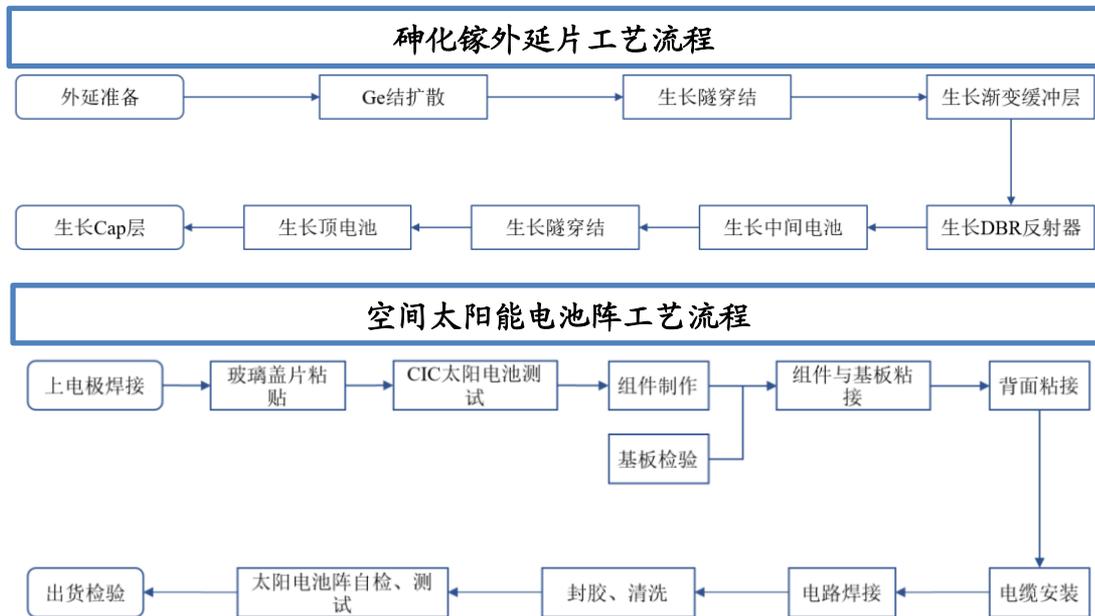
2.3 三结砷化镓电池性能最优，但工艺&成本限制大规模应用

- **三结砷化镓多层串联结构实现宽光谱高效吸收。** 三结GaAs电池由三层不同带隙材料上下串联而成，依次吸收短波到长波太阳光，提升整体转换效率。结构上从上至下依次为：高带隙GaInP（吸收紫外）、中带隙GaAs（吸收可见光）、低带隙Ge（吸收近红外）。层间通过隧穿结导通电流，实现多结高效协同。该结构设计兼顾能量利用率与器件稳定性，适配复杂太空辐照环境。
- **成本高、产能低，限制三结砷化镓电池大规模应用。** 三结砷化镓需依赖高精度MOCVD设备与复杂沉积工艺，且材料中关键元素如镓、砷受制于中国稀土出口管制，导致成本持续高企。2025年单瓦成本约60-70美元，是硅基电池的3-4倍；尽管全球年产能已提升至100-150MW，仍难以支撑低轨星座等批量化部署需求。

图： GaInP/GaAs/Ge三结太阳能电池结构模型

Au	负极		
N-Al _{0.25} In _{0.5} Ga _{0.25} P	窗口层	0.03 μm	顶电池 GaInP $E_g > 1.85$ eV
N-In _{0.5} Ga _{0.5} P	发射区	0.1 μm	
P-In _{0.5} Ga _{0.5} P	基区	0.58 μm	
P-In _{0.5} Ga _{0.5} P	背面场	0.03 μm	隧穿结
P-GaAs	隧穿结	0.03 μm	
N-GaAs	隧穿结	0.03 μm	中电池 GaAs 1.85 eV > $E_g > 1.43$ eV
N-In _{0.5} Ga _{0.5} P	窗口层	0.03 μm	
N-GaAs	发射区	0.1 μm	
P-GaAs	基区	2.5 μm	隧穿结
P-In _{0.5} Ga _{0.5} P	背面场	0.03 μm	
P-GaAs	隧穿结	0.03 μm	底电池 Ge 1.43 eV > $E_g > 0.67$ eV
N-GaAs	隧穿结	0.03 μm	
N-In _{0.5} Ga _{0.5} P	窗口层	0.01 μm	
N-Ge	发射区	0.05 μm	
P-Ge	衬底	50 μm	
Au	正极		

图： 砷化镓外延片、空间太阳能电池阵工艺流程



2.3 大规模算力中心光伏技术将采用更具成本优势的硅基技术

- 硅基HJT、铜铟镓硒薄膜、钙钛矿都是太空光伏替代高价砷化镓的潜在技术，硅基HJT短期产业化潜力最大。

Table 3. Overview of conventional and emerging solar cell architectures for space applications

Technology, processing	Architectures	Qualities	Disadvantages
III-V MJ, ⁷⁹⁻⁸¹ MOVPE, sometimes referred as MOCVD (metal-organic CVD)	lattice matched (LM) →InGaP/(In)GaAs/Ge (3J): CESI, Rocket Lab, AZUR Space, SPECTROLAB	<ul style="list-style-type: none"> ● mature, well-understood technology ● proven spaceflight heritage ● high reliability 	<ul style="list-style-type: none"> ● the Ge substrate adds weight, compromising high specific power values ● limited flexibility ● efficiency constrained by lattice-matching
	inverted metamorphic (IMM) →InGaP/GaAs/InGaAs (3J): Rocket Lab-SolAero, MicroLink, SHARP →InGaP/GaAs/GaInAs/InGaAs (4J): Rocket Lab	<ul style="list-style-type: none"> ● potential higher efficiencies above 33% BOL ● high specific power ● lightweight due to substrate removal by ELO process ● potential integration in flexible array designs ● better current matching than LM ● reduced cost if the substrates can be used several times using ELO 	<ul style="list-style-type: none"> ● complex fabrication process; long production time ● substrate removal required ● limited handling for very thin devices (<50 μm)
	upright metamorphic (UMM) →AllnGaP/AllnGaAs/InGaAs/Ge (4J): AZUR Space	<ul style="list-style-type: none"> ● potential higher efficiencies above 32% BOL ● compatible with existing LM fabrication processes 	<ul style="list-style-type: none"> ● requires high-quality buffer layers ● strain management challenges ● expensive and slow processing
Emerging technologies			
Silicon, ^{82,83} PECVD (plasma-enhanced CVD)	heterojunction (HTJ) →a-Si:H(n)/a-Si:H(i)/c-Si(p)/Si:H(i)/Si:H(p)←: Solectial	<ul style="list-style-type: none"> ● enhanced radiation hardness than bulk silicon solar cells ● suitable for thin, lightweight substrates ● self-healing solar cell ● cost-effective devices ● high flexible solar assembly 	<ul style="list-style-type: none"> ● lower efficiencies compared with III-V technologies ● low reliability for deep-space applications
CIGS, ^{84,85} thermal evaporation, electrochemical and ion-beam deposition, nanoparticle printing	monolithic-single p-n junction →ZnO/CdS/CIGS/Mo: Ascent Solar	<ul style="list-style-type: none"> ● high compatibility with flexible substrates ● low processing temperatures ● high flexibility, better suited to micrometeoroid damage or vibration ● potential high specific power 	<ul style="list-style-type: none"> ● lower efficiencies compared with III-V and silicon technologies ● less proven reliability compared with Si or III-V devices ● needs robust encapsulation for space
Hybrid perovskite, ^{18,19,37,86} roll-to-roll and blade coating, inkjet printing, thermal evaporation, pulsed laser deposition	monolithic-single p-i-n junction →PEDOT:PSS/ C ₈ O _{0.05} FA _{0.81} MA _{0.14} Pb _{2.55} Br _{0.45} /PCBM/PEIE →PEDOT:PSS/BA ₂ MA ₃ Pb ₄ I ₁₃ /PCBM/PEIE: CSIRO	<ul style="list-style-type: none"> ● low production cost ● low processing temperatures ● different options of processing ● high compatibility with flexible substrates ● potential large production scale ● high specific power and potential hard radiation architecture ● high integration in tandem devices with other technologies 	<ul style="list-style-type: none"> ● less mature technology for space applications ● very sensitive material under different ambient stressors ● robust encapsulation is needed to ensure its reliability in space

2.3 光伏系统重量大，柔性电池是减重的关键

- **发射成本&卫星制造成本是太空算力卫星的最大成本项，减重是大规模产业化的核心。** 根据初创太空算力公司 Starcloud 测算，规模化后的40MW算力集群的发射成本在500万美元，是太空算力成本模型的最大新增单项费用。根据SpaceX最新报价，Falcon9和Falcon Heavy的每kg近地轨道（LEO）发射价格分别为3000、1500美元，算力卫星&其光伏能源系统的减重成为关键。
- **电源系统占比高，是卫星减重提效的关键环节。** 在卫星平台各系统中，电源分系统（主要为太阳翼）重量占比高达20-30%，成本占比约22%，是最重、最贵的子系统之一。考虑到当前发射价格按重量计费大规模部署下，太阳能系统的减重直接关系到整星成本控制与发射经济性，也是未来航天电池产业化突破的重点方向。

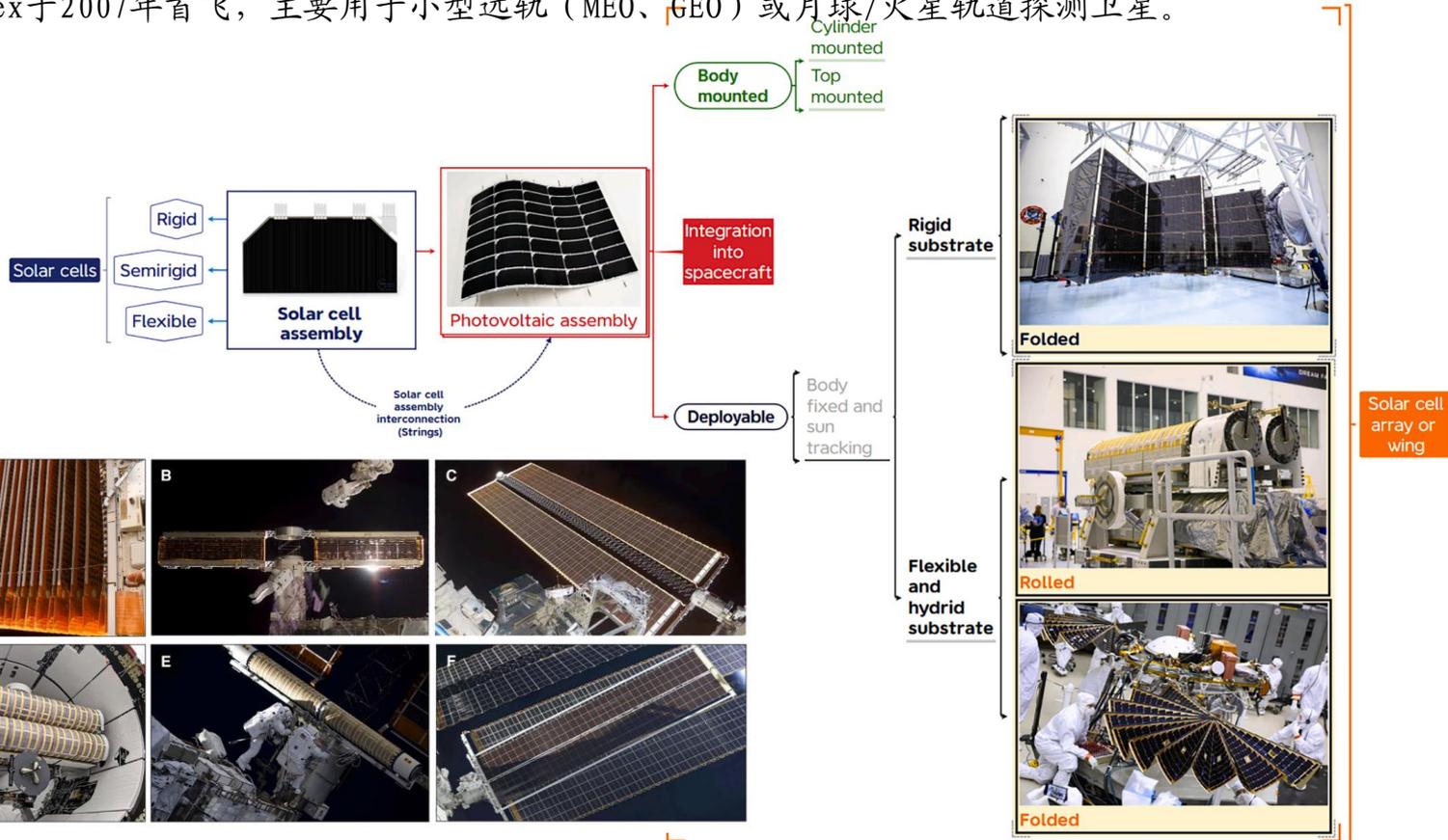
图：电源系统是卫星中重量与成本占比最高的核心单元之一



卫星组成	重量占比	成本占比	作用说明	
有效载荷	30%-50%	/	实现通信功能，如天线系统负责发送和接收通信及测控信号，通信分系统对信号进行变频、放大和转发等处理	
卫星平台	结构与结构分系统	10%-20%	~12%	为卫星提供支撑和保护，确保卫星在发射和在轨运行过程中的结构完整性
	电源分系统（太阳翼）	20%-30%	~22%	采用太阳能电池板和蓄电池组成的电源系统，为卫星各系统设备供电（电池占比达50%）
	热控分系统	5%-10%	~7%	通过被动热控和主动热控技术，控制卫星温度，确保设备在适宜温度范围内工作
	姿轨控分系统	10%-20%	~40%	控制卫星的姿态和轨道，使卫星天线、太阳能电池板等设备对准目标方向，并保持预定轨道运行
	测控与数传分系统	5%-10%	~19%	用于地面测控站进行通信、遥测、遥控，并将卫星获取的遥感数据或转发的数据传输到地面

2.3 卷展式光伏阵列最适配近地轨道，仅能搭载柔性电池

- 当前主流太空光伏阵列按电池刚性适配度分为三类：Z形折叠式（Folded）、卷展式（Rolled）和扇形/UltraFlex翼[®]。刚性较高的光伏电池必须采用Z形折叠，以避免卷绕或扇形折叠时造成电池损伤。
- 卷展式最早商业化应用，有望跟随柔性光伏电池发展再次成为主流。卷展式是最早实现规模化应用的阵列方案；然而，由于早期柔性电池转换效率和寿命偏低，国际空间站ISS于2000年12月通过STS-97任务部署了质量更大、机械结构更复杂的Z形折叠阵列。近年来，随着柔性光伏电池性能突破，卷展式阵列技术再次成为主流选择。扇形UltraFlex于2007年首飞，主要用于小型远轨（MEO、GEO）或月球/火星轨道探测卫星。



2000年
ISS

2021年
ISS

2.3 卷展式光伏阵列最适配近地轨道，仅能搭载柔性电池

- 卫星受发射成本与在轨寿命双重约束，卫星光伏阵列设计必须在功率质量比 (W/kg)、总重量、覆盖面积和机械稳定性之间取得最优平衡。近年来，星链、太空算力等大规模近地轨道应用场景涌现，对制造成本也提出更严苛要求。
- 当前主流的Z型折叠式 (Folded)、卷展式 (Rolled) 和扇形/UltraFlex翼®各有优劣；卷展式被普遍视为下一代低轨卫星的最优方案。
 - ① Z型折叠式：现主要用于中国天宫空间站和国际空间站。铰链与收放机构复杂，导致造价和重量显著增加；天宫空间站功率比 ≈ 40 W/kg，ISS Legacy翼仅约 20 W/kg。
 - ② 卷展式：采用卷绕收纳，省去了Z形折叠的大量铰链，机械结构简化带动成本更低、可靠性更高，且重量大幅减轻。ISS iROSA实测功率比 > 100 W/kg，是同级别最高纪录。
 - ③ 扇形/UltraFlex：功率比在三种设计中最高，地面验证平台MegaFlex功率比达 250w/kg。但扇形展开方式限制面积，仅适合小型阵列，Phoenix火星探测器翼面积仅 6.9 m²，典型应用于小型远轨或深空探测器。

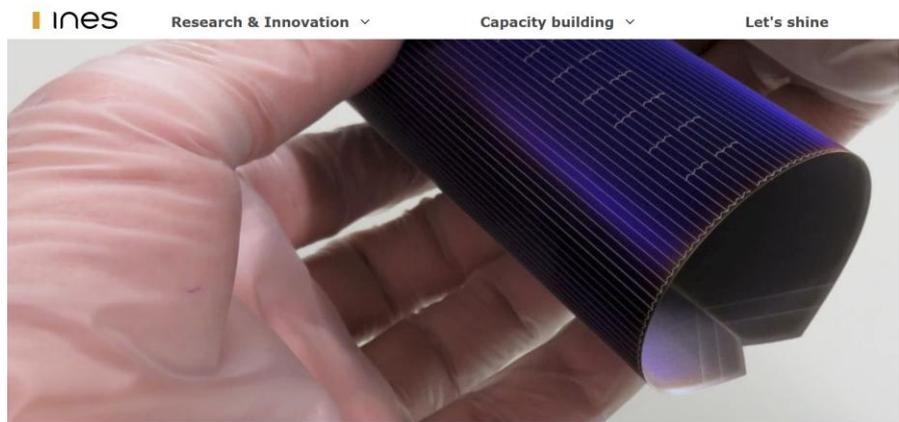
图：三种主流光伏阵列技术各有优势，卷展式是大面积近地轨道的最优解

构型	名称	研制方	面积 (m ²)	质量 (kg)	功率输出 (kW)	面密度 (kg/m ²)	面功率 (W/m ²)	功率质量比 (W/kg)
Z-折叠	ISS SAW	Boeing/SPECTROLAB	~420	~1 100	~31	2.93	~45.2-61.2	~15.5-20.9
Z-折叠	天宫	CMSA (中国载人航天工程办公室)	138	N/A	~18	N/A	~130.43	>40
卷展	iROSA	DSS (现为 Redwire)	119	~200	>20	~1.68	>169.5	>100
圆形/扇形	Ultraflex (Phoenix 着陆器)	AEC-Able Engineering (后并入 Northrop Grumman)	6.9	62	0.25	~8.99	~36.2	~112
圆形/扇形	MegaFlex	ATK (现为 Northrop Grumman)	32	~100	25	~3.13	~781.3	~250

2.4 HJT薄片化兼具减重与柔性设计，适配下一代能源系统异形结构

- HJT可以薄片化生产，不仅减重也能适配卷展式光伏阵列的柔性设计。HJT电池可制备成超薄硅片（如60 μm、80-110 μm规格），仅为传统硅基电池厚度的几分之一，不仅能大幅降低卫星载荷重量，还可实现柔性设计，适配曲面卫星等特殊结构。例如德国NexWafe开发的70 μm超薄 HJT电池，在保证性能的同时显著提升功率重量比，已获得250MW的超薄电池太空相关合同，用于近地轨道卫星供电。同时，美国太空光伏公司Solestial也已实现60 μm HJT电池连续化生产，且后续可以加装钙钛矿叠层电池达到30%+转换效率。

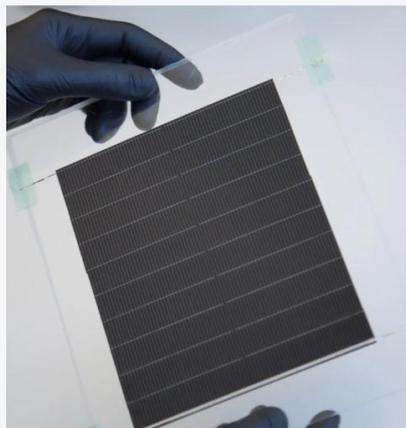
图：法国国家太阳能研究所已研发出60 μm柔性太空用HJT电池可实现柔性设计，满足特殊卫星结构



Home / Latest news / Ultra-thin heterojunction photovoltaic cells for space

Ultra-thin heterojunction photovoltaic cells for space

图：德国Nexwafe可以量产50-150 μm HJT电池硅片，其超薄HJT电池已获得250MW太空用途订单

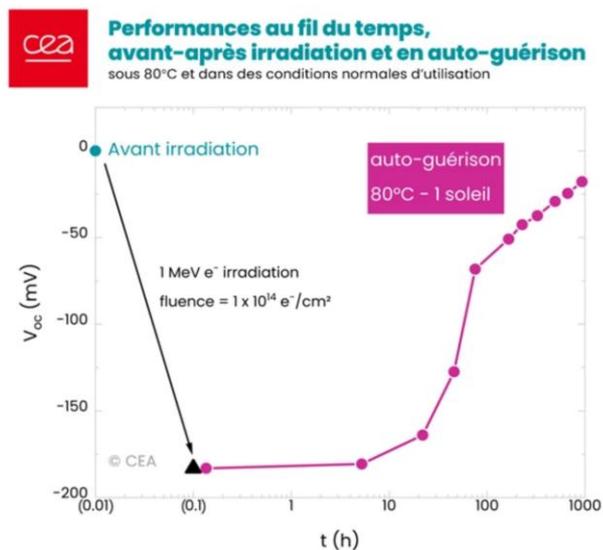


- Thin & Ultra-Thin Wafers:** Available in thicknesses from 150 μm down to 50 μm
 - Exceptional uniformity for ultra-thin wafers for space and aerospace applications
 - Tunable surface morphology for superior flatness/topology
- Low Oxygen Content:** Up to 40x lower than CZ wafers
 - Enhances thermal stability during processing
 - Reduces efficiency loss in emitter formation
 - Eliminates the root cause of light-induced degradation (LID)
- Precision Process Control:**
 - Enables engineered dopant profiles for optimized junctions

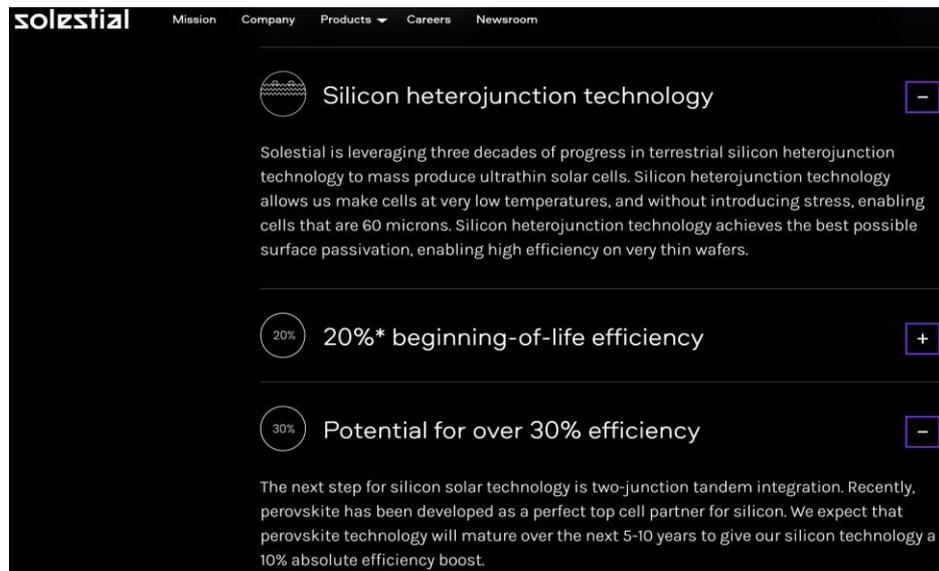
2.4 HJT更适配钙钛矿叠层，是终局太空光伏的最优底电池

- **HJT电池实现抗辐照后自我修复，适配低轨短期任务。** 法国国家太阳能研究所（INES）与CEA联合发布超薄HJT电池自愈技术突破，在1MeV电子辐照后，于80° C/标准日照条件下能恢复97%以上初始性能。该类电池具备成本低、辐射损伤恢复能力强、厚度薄（60–110 μm）等优势，适用于低轨通信、纳米星等成本敏感、功率需求中小型（<10kW）任务，有望成为太空硅基电池的主力候选。
- **HJT电池与钙钛矿叠层兼容性优于TOPCon。** ①**低温适配性：**由于HJT全程采用低温沉积工艺，生产端更加适配钙钛矿的热敏特性。②**HJT-钙钛矿叠层工艺更短：**HJT表面覆盖的透明导电氧化物（如TCO/ITO）可直接作为钙钛矿底部电极及复合导通层，无须额外开孔或掺杂工艺。而TOPCon结构前表面为绝缘氧化层（如SiOx/Al₂O₃），必须经过激光开孔等复杂图案化处理，存在额外界面复合与均匀性控制难题，制约其与钙钛矿高效耦合。

图：法国国家太阳能研究所已研发出60 μm柔性太空用HJT电池可实现柔性设计，满足特殊卫星结构



图：美国太空光伏公司Solestial的太空用HJT电池可加装钙钛矿叠层



Solestial Mission Company Products Careers Newsroom

Silicon heterojunction technology

Solestial is leveraging three decades of progress in terrestrial silicon heterojunction technology to mass produce ultrathin solar cells. Silicon heterojunction technology allows us make cells at very low temperatures, and without introducing stress, enabling cells that are 60 microns. Silicon heterojunction technology achieves the best possible surface passivation, enabling high efficiency on very thin wafers.

- 20%* beginning-of-life efficiency
- Potential for over 30% efficiency

The next step for silicon solar technology is two-junction tandem integration. Recently, perovskite has been developed as a perfect top cell partner for silicon. We expect that perovskite technology will mature over the next 5-10 years to give our silicon technology a 10% absolute efficiency boost.

2.4 受益于较短工艺流程，硅基HJT电池最适合在美生产

- 中美光伏制造最大区别是成本要素不同，美国光伏生产成本结构与中国存在显著差异。中国的主要成本为设备CAPEX，美国则更加注重OPEX与设施成本。主要系：（1）美国单GW工厂（greenfield，即在未开发土地上新建）的投资额高达8000万美元，是中国工厂的8至10倍，且建设周期更长，通常需要1至2年时间才能完成建设；（2）美国污水处理成本高昂；（3）美国人工成本较高，招聘困难，尤其是工厂通常位于乡村地区，这进一步增加了劳动力成本和招聘难度。
- HJT凭借其更少的水电与人力需求，成为最适合美国本土扩产的光伏技术。相比较TOPcon，HJT可降低20%的碳排放（全流程低温工艺）、节约70%的用电量（工序少&低温工艺）、节约60%的人工数量（仅4道工序）、节约20%-60%的用水量，因此是最适合美国本土扩产的光伏技术路线。

◆ 图：HJT在人力、厂房水电用量上均有较高成本优势



2.4 美国专利保护机制完善，TOPCon与BC有较大专利风险

- 随着海外产能的陆续布局和出货，2023年以来海外开启大量光伏专利诉讼，主要涉及TOPCon与BC专利；HJT海外生产没有专利风险。
- (1) TOPCon相关诉讼主要由美国公司First Solar、Maxeon和韩华Q Cells等发起，First Solar的TOPCon相关专利主要来自2013年收购的TetraSun公司，Maxeon和韩华Q Cells也拥有大量TOPCon专利，一方面三者在美国就TOPCon专利存在纷争，如Maxeon2024年4月就TOPCon专利问题起诉韩华Q Cells，另一方面First Solar也向中国的阿特斯、晶澳、隆基、晶科和天合发起TOPCon专利诉讼。
- (2) BC相关诉讼主要由TCL中环的子公司Maxeon提起，Maxeon是BC技术的开创者，全球布局了超过百项BC相关专利，同时Maxeon也拥有其前母公司SunPower的部分TOPCon专利。
- 相较于TOPCon和XBC，HJT技术没有专利风险。HJT技术最早由日本三洋公司1987年研发取得专利后并于1997年开始商业化生产，松下收购三洋后继续推进该技术方向并进行HJT+IBC（Interdigitated Back Contact）叠加工艺的研发。2015年随着松下的HJT技术专利保护期结束，更多的光伏企业进入到该技术领域的研发序列。故目前HJT电池无专利风险，相比于TOPCON电池也是一大优势。

◆表：2023年底以来出现大量BC及TOPCon专利诉讼

日期	相关技术	起诉方	被诉方	受理法院	涉及专利
2023/11	xBC	Maxeon	爱旭股份	德国地方法院、荷兰海牙地方法院	EP2297788B1
2024/03	TOPCon	Maxeon	Canadian Solar（阿特斯子公司）	美国得克萨斯州东区联邦法院	US8222516、US8878053、US11251315
2024/04	TOPCon	Maxeon	韩华Q Cells	美国得克萨斯州东区联邦法院	TOPCon 电池技术相关专利
2024/05	TOPCon	天合光能	润阳新能源	美国特拉华州地方法院	US9722104、US10230009
2024/09	TOPCon	晶澳科技	正泰新能	慕尼黑法院	EP2787541B1
2024/09	TOPCon	天合光能	润阳新能源	加州中区地方法院	US9722104、US10230009
2024/09	TOPCon	天合光能	润阳新能源、印度Adani集团	美国ITC	US9722104、US10230009
2024/10	TOPCon	天合光能	阿特斯	美国特拉华州地方法院	US9722104、US10230009
2024/10	TOPCon	First Solar	阿特斯、晶澳科技、隆基绿能、晶科能源、天合光能	法律团队致函	TOPCon 晶体硅光伏技术专利
2025/1	TOPCon	韩华Q Cells	“几家全球光伏制造商”	发起知识产权纠纷中	TOPCon LECO技术专利

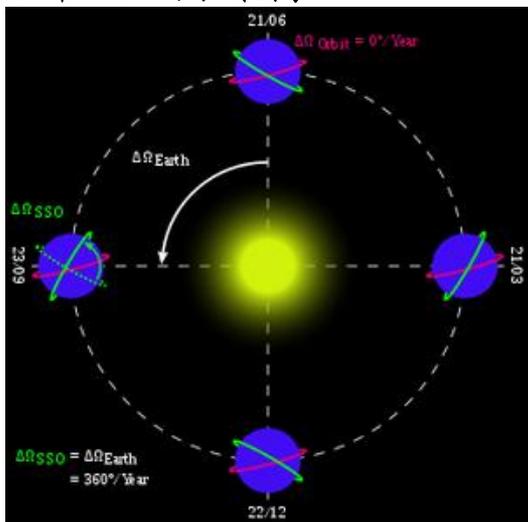
2.5 高质量轨道空间有限，未来将走向大型单星或多星集群

- 日照时间最长、光照稳定性最佳的太阳同步轨道（SSO）是部署算力卫星的首选轨道。该轨道位于600-800km高空、96-99° 倾角区间，轨道面与地球自转节律形成太阳同步关系，每天几乎在相同地方同一时刻穿越赤道，具备极高的光照角度稳定性与最小阴影时长，全年日照时间可超过8300小时。其特性适用于地观遥感、雷达探测等传统业务场景，也尤为适配需持续供能、稳定运行的在轨AI算力中心。当前主流的卫星算力方案，如谷歌Suncatcher、Starcloud，均计划大规模部署在此轨道区域。
- 按50km/30km间隔部署，当前SSO轨道仍有约3662/9617颗卫星空间，形成大规模AI算力集群的资源基础。目前约780颗卫星在此轨道运行，仍剩余大量轨位空间。若每颗卫星按Starcloud方案搭载5GW等级算力芯片，潜在空间约可容纳 $5GW \times 3662 \approx 18.31TW$ 的太空算力，具备支持超大规模模型推理、数据处理与空间原生AI网络训练的能力。若进一步压缩星间间距至30km，则空间可扩展至9617颗卫星，总轨道容量逼近48.08TW，是AI卫星集群中长期规划的核心算力基座。

◆ 表：最优部署轨道-太阳同步轨道在50KM间距和30KM间距下仍有3662/9617颗卫星空间

卫星间距50KM			卫星间距30KM		
高度 (KM, 对应倾角 96-99°)	半径R (KM, R=地球平均半径+轨道高度)	周长C (KM, C = 2πR)	高度 (KM, 对应倾角 96-99°)	半径R (KM, R=地球平均半径+轨道高度)	周长C (KM, C = 2πR)
600	6971	43800	630	7001	44000
650	7021	44110	660	7031	44190
700	7071	44420	690	7061	44380
750	7121	44730	720	7091	44570
800	7171	45040	750	7121	44730
			780	7151	44920
			810	7181	45110
总轨道长度 (KM, =区间轨道周长总和) ①		222100	总轨道长度 (KM, =区间轨道周长总和) ①		311900
对应卫星数量 (个, 间距50KM) ②=①/50km		4442	对应卫星数量 (个, 间距30KM) ②=①/30km		10396.7
现在轨卫星数量 (个) ③		780	现在轨卫星数量 (个) ③		780
剩余卫星空间 (个) ④=②-③		3662	剩余卫星空间 (个) ④=②-③		9616.7

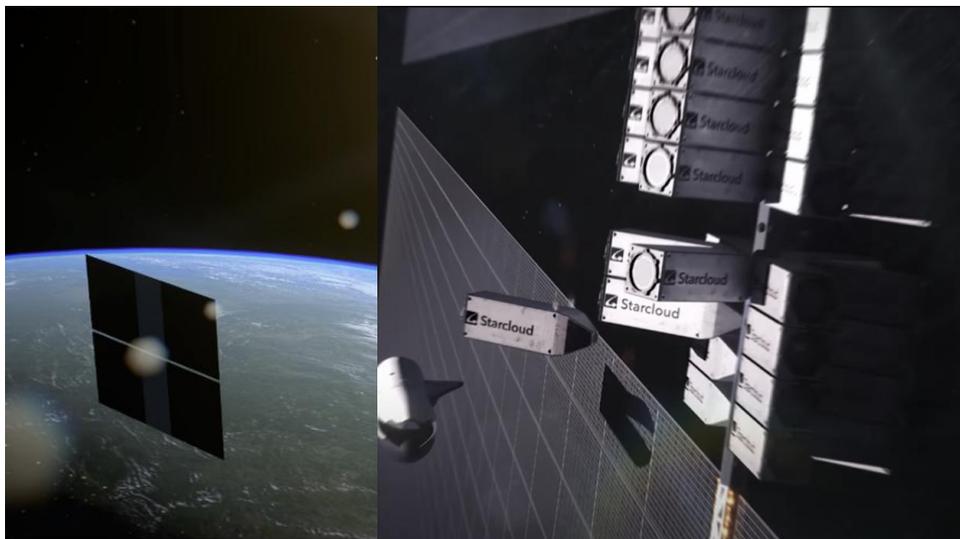
◆ 图：SSO轨道不覆盖地球阴影面，全年日照时长最高



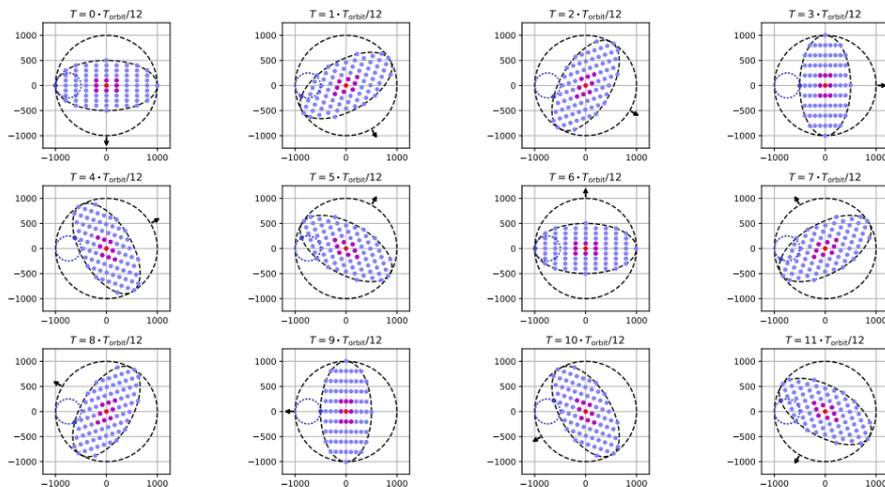
2.5 高质量轨道空间有限，未来将走向大型单星或多星集群

- 太空算力卫星后续将向大型化、平台化方向演进。美国初创企业StarCloud计划构建配备大型光伏能源系统的高功率母舰平台，将多个标准化算力模块集中部署于同一航天器，以替代现有分散部署的小卫星或空间站方案。
- ①Starcloud: 在 SS0 轨道部署 4 km×4 km 光伏阵列母舰，算力模块通过标准接口对接母舰，该系统能够形成 5 GW 级算力集群。该架构具备多种优势。①轨道资源优化: 同一轨道面内可高密度排列算力模块，无需为多个传统小卫星保留安全间隔，显著节省有限的太阳同步轨道资源。②运维成本降低: 母舰统一供电、统一运维，显著减少运维成本。③模块化设计: 算力模块寿命到期或出现故障时，可通过服务飞船整体回收，或指令其离轨再入大气层焚毁，降低系统级报废成本与空间碎片风险。
- ②谷歌Suncatcher: 在同一轨道位置用自主动力控制 81 颗卫星组成椭圆编队，只占一条轨道席位即可把算力放大 81 倍; 技术成熟后可扩展至 324 星，按单星 100 kW (当前中大型卫星主流功率) 估算，整簇功率 32.4 MW。

◆ 图: Starcloud 16万 m²光伏母舰可搭载多个算力模块



◆ 图: 谷歌通过卫星编队来节省轨道空间，初期方案计划81颗星椭圆编队



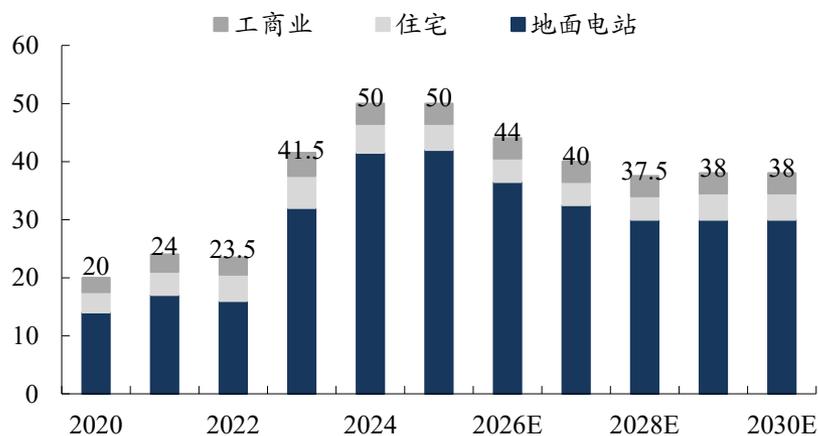


- 一、2025年光伏设备商基本面见底，2026年看好太空算力应用场景打开&海外地面需求增长
- 二、太空算力应用场景打开，光伏设备走向星辰大海
- 三、海外地面需求持续增长，重视美国等地市场机遇
- 四、关注国内政策变化&新技术持续迭代
- 五、投资建议与风险提示

3.1 美国：本土加快自建光伏产能，制造端政策偏向“本土优先”

- ◆ **美国本土制造业加速自建光伏产能。**经济性叠加补贴政策双轮驱动，美国光伏市场成长空间明确。HJT美国光伏是经济性驱动市场，同时具备ITC（投资税收减免）等政策支持。根据SEIA数据，2024年美国新增光伏装机达50GW，同比增长20.5%，且地面电站占比80%以上，同比增长30%。美国光伏市场是一个高溢价的优质市场，且美国设备订单通常伴随着长期服务收入。
- ◆ **联邦太阳能投资税收抵免（ITC）大幅退坡，而本土制造补贴仍在继续。**美国户用光伏30% ITC 于2025年提早取消，住宅与商业安装补贴提前终止，显著削弱了对新增装机的支持。在维持先进生产制造税抵免的同时，美国政府通过外资限制与贸易保护等措施，在制造端政策方面鼓励本土制造与生产链本土化。

图：2020-2030E年美国本土新增光伏装机需求（GW） 表：美国光伏政策变化与方向时间表



时间	政策/措施	装机端 (Installation)	制造端 / 产业
2025 初	特朗普就职及行政基调	政策方向转向中性/传统能源	开启产业扶持逻辑
2025 5 月	众议院通过美丽大法案草案	30% ITC 等装机补贴提早取消	—
2025 7 月	美丽大法案法案生效	居民与商业光伏抵免退场	抵免条件收紧 (FEOC)
2025 下半年	参议院预算提案	提议 2028 前 ITC 归零	对本土制造更严格补贴条件
2024-25 贸易措施	高额反倾销税	提高进口成本影响本地厂商	贸易保护导向

3.1 美国：特斯拉100GW地面光伏规划加速推进，AI驱动能源自供与制造本土化布局

- ◆ **100GW规划本质是为AI算力扩张构建长期可控的电力基础设施。**在AI数据中心负荷持续提升背景下，电力正成为核心生产要素。特斯拉规划至2028年前布局约100GW地面光伏装机，目标在于为未来大规模AIDC提供稳定、可预测的清洁电力来源。以单个超大型数据中心500MW-1GW负荷测算，该规模具备支撑百级算力节点的能力，体现公司在能源侧的前瞻性战略布局。
- ◆ **推动硅片至组件全环节一体化生产，核心在于规避高关税并提升成本可控性。**当前美国对硅片、电池片及组件征收约50%的Section 301关税，部分企业叠加AD/CVD税率，显著抬升进口成本。本土化布局有助于降低关税叠加风险、缩短供应链周期并增强成本透明度，在AI时代能源安全与制造自主并重的背景下强化长期竞争力。

◆ 表：关税壁垒持续存在，本土化布局强化成本可控与供应链安全

产品类别	关税项目	税率 / 区间	备注
硅片 (solar wafer)	Section 301	50%	自 2025-01-01 起针对中国来源硅片征收
多晶硅 (polysilicon)	Section 301	50%	与硅片同类能源资源征税
电池片 (solar cell, 无论是否组装成组件)	Section 301	50-60%	管理层先将其从25%提高至50%，部分资料认为可达60% (能源资源定义下)
	AD/CVD (反倾销/反补贴)	约 9% - 30%+ (单独税率企业); 最高 AD 238.95% + CVD 117.41% (China-wide entity)	各企业裁定不同; 具体按产品/厂商裁定税率执行
组件 (module)	Section 301	50%	301 适用于“含电池的组件”; 根据调整从25%提升至50%
	AD/CVD (反倾销/反补贴)	与电池片相同区间	与 Section 301 叠加, 对出口到美国产品依具体企业裁定
生产设备 (光伏制造设备)	Section 301	0-豁免/部分征税	2024 系列豁免清单对 14 类设备豁免; 部分组件制造设备豁免申请被驳回

3.1 美国：AIDC自建电力路径多元化，光储一体化更契合特斯拉产业优势

◆ 在多种自建电力路径中，光储一体化更具落地效率与产业协同优势。光储系统建设周期相对较短，具备模块化扩展能力，在成本与推进节奏上具备现实可行性。与此同时，特斯拉已在光伏组件与Megapack储能领域形成成熟产品体系，并持续加大能源业务投入，使光储方案在技术能力与资源匹配度上更为契合，我们判断其有望成为AIDC电力布局的重要方向。

◆ 表：多元自建电力路径并行，光储一体化在建设效率与扩展弹性等方面具备综合优势

技术路线	设备采购成本 (美元/kW)	度电成本 (美元/度)	建设周期	寿命	商业化进程	启停性能	功率规模	供电可靠性 (年可用率)	排放特性	运维难度	AIDC核心适配场景
燃气轮机	800-1200 (单循环) 1200-1800 (联合循环)	0.06-0.08 (单循环) 0.04-0.05 (联合循环)	3-6个月/6-12个月 (单/联合循环) 未考虑审批时间	20年	成熟	单循环: 10-30分钟满负荷 联合循环: 1-2小时满负荷	单台: 5-500MW 模块化组合: 无上限	99.8%-99.9% (单循环) 99.9%+ (联合循环)	低氮氧化物 < 25ppm	中 (需专业团队, 美国本土服务网络完善)	基荷型可调度电源, 适合承担长期稳定负荷
燃气内燃机	600-900	0.07-0.09	2-4周	10-20年	成熟	5-10分钟满负荷	单台: 0.1-20MW 模块化组合: ≤100MW	99.7%-99.8%	低氮氧化物 < 50ppm	低 (运维简单, 备件易获取)	分布式可调度电源, 适合阶段性扩容与区域调峰
SOFC	2500-4000	0.08-0.10 (纯发电) 0.05-0.07 (热电联供)	1-3个月	10年	规模化商业化初期	常温款: < 30分钟满负荷 高温款: 1-2小时满负荷	单台: 0.1-2MW 模块化组合: ≤50MW	99.9%+	近零排放	中高 (核心部件需原厂维保, 美国本土维保网点有限)	高端低碳主供 (加州/纽约等环保严格州 AIDC), 分布式热电联供补充
风光储	1200-1800 (含储能配套, 储能占比40%)	0.03-0.05 (资源优区) 0.06-0.08 (资源一般区)	6-12个月 (光伏+储能) 12-24个月 (风电+储能)	20-30年	成熟	风光: 随资源波动; 储能: 毫秒级响应调峰	光伏: 单站1-1000MW 风电: 单站10-500MW 储能: 模块化适配, 无上限	70%-85%, 储能配套后提升至90%-95%	零碳排放	低 (光伏/风电运维简单, 储能需定期检测)	快速落地的清洁电源与调峰支撑电源, 适合阶段性扩展与绿电占比提升
核能/地热	核能: 6000-8000 地热: 3000-5000	核能: 0.04-0.06 地热: 0.05-0.07	核能: 8-12年 地热: 3-5年	40-50年	核能: 成熟 地热: 区域化成熟	核能: 数天至数周启停 (无调峰能力); 地热: 24小时连续运行 (无启停概念)	核能: 单站1000-3000MW 地热: 单站10-100MW	99.9%+ (核能, 基荷电源) 99.8%+ (地热, 区域基荷)	零碳排放	核能: 高 地热: 中	长期稳定低碳基荷电源, 适合超大型园区
柴发	500-800	待机成本: < 0.01 (仅待机维护) 应急运行成本: 0.12-0.15 (全负荷运行)	1-2周 (模块化并联, 即装即用)	10-20年	成熟	秒级启动, 1分钟内满负荷 (AIDC应急核心要求)	单台: 0.5-5MW 模块化并联: ≤1000MW (无单点故障)	99.999%+ (应急启动成功率100%, 热备用状态)	中高氮氧化物, 碳排放约500g/kWh	低 (美国本土备件/服务网络全覆盖, 24小时维保)	高可靠应急保障电源, 用于主电源故障兜底

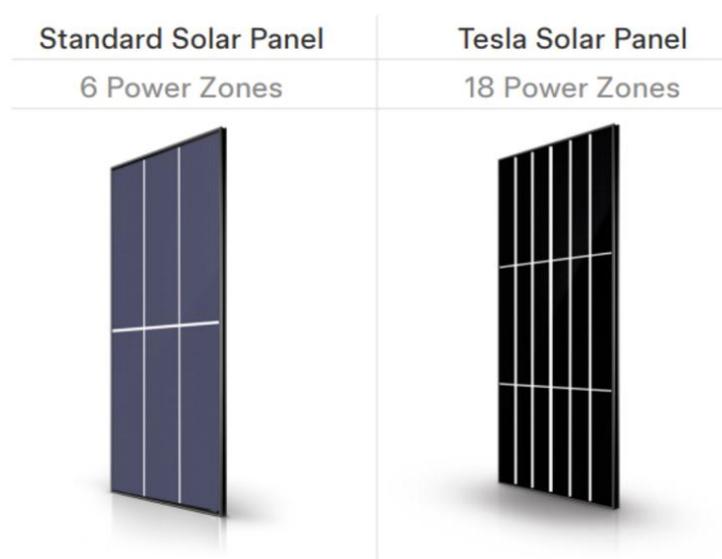
3.1 美国：特斯拉布法罗工厂恢复光伏生产，多处新工厂厂址考察中

- ◆ 特斯拉在美国启动光伏产能扩张，布法罗工厂改造与多州新建工厂规划并行推进。（1）纽约布法罗工厂改造：特斯拉计划对位于纽约州布法罗的原有工厂（原SolarCity产能基地）进行大规模改造，目标2026年内产能达到300MW，最终产能目标为10GW。该工厂将成为特斯拉地面光伏产能的重要基础，目标是成为美国本土最大的太阳能组件生产基地之一。（2）多州新建工厂规划：特斯拉正在美国多个州考察新建工厂的选址，重点关注亚利桑那州、爱达荷州、德克萨斯州等地，计划建设多个大型光伏工厂，每座很可能达到多吉瓦级别，甚至超过10GW。这些新工厂将结合当地充足的日照资源和政策优势（如符合IRA法案的补贴条件），进一步扩大特斯拉在美国的光伏制造产能。

◆ 图：特斯拉启动美国太阳能电池超级工厂选址

地点	当前进展	产能目标
纽约州布法罗	已恢复光伏组件生产，开始生产自家太阳能板	2026年内至300MW，最终目标10GW
纽约州（新址）	考察中	待定
亚利桑那州	考察中	待定
爱达荷州	考察中	待定

◆ 图：2025年纽约布法罗工厂重启太阳能组件生产，预计2026Q1发布新品



3.1 美国：HJT综合生产成本更低，是最适合美国生产的电池技术

- **HJT在美国的成本优势主要得益于其生产工艺相对简单，流程较TOPCon显著缩短。** HJT生产只需要4大类设备，分别是制绒清洗设备、非晶硅沉积设备、透明导电薄膜设备和印刷设备，相比于PERC/TOPCon电池少了扩散、激光和刻蚀等步骤。
- **受益于较短的工艺流程，HJT相比TOPCon具备较低的人力、厂房投资、水电耗量和维护成本。** 考虑到美国更高的人力与资源成本，降本优势更具迫切性。

◆表：HJT生产工序仅需四步

工艺环节	对应设备	主要厂商
清洗制绒	清洗制绒设备	捷佳伟创、启威星（迈为股份参股30%）、京山轻机、YAC
非晶硅薄膜沉积	PECVD设备	迈为股份、金辰股份、捷佳伟创、理想万里晖、钧石能源
TCO膜沉积	PVD设备	迈为股份、钧石能源、捷佳伟创
	RPD设备	捷佳伟创、日本住友、精耀科技
电极设备	丝网印刷设备	迈为股份、金辰股份、捷佳伟创

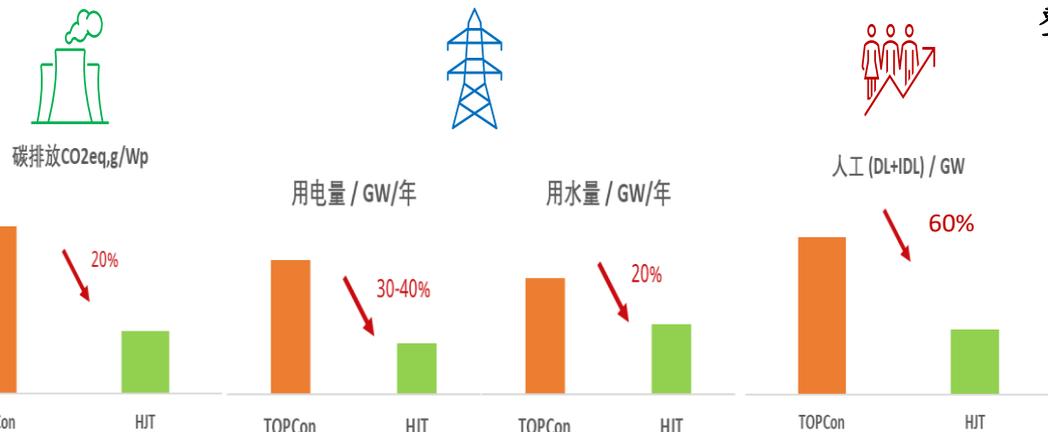
◆表：TOPCon生产工序繁杂

工艺环节	对应设备	主要厂商
清洗制绒	清洗制绒设备	捷佳伟创、尚德、聚晶
硼扩	扩散炉	拉普拉斯、捷佳伟创、赛瑞达、北方华创
刻蚀	刻蚀机	捷佳伟创、北方华创
SiO ₂ /Poly-Si LP/PE/PVD	LPCVD	拉普拉斯、红太阳、赛瑞达
	PECVD	捷佳伟创、金辰股份、红太阳、理想
	PVD	江苏杰太
	PEALD	江苏微导
磷掺杂	扩散炉	捷佳伟创、红太阳、丰盛、拉普拉斯、北方华创
	离子注入机	凯世通、Intevac、日本真空
退火	退火炉	捷佳伟创、江苏微导
清洗	湿法设备	捷佳伟创、北方华创、丰盛装备
正面Al ₂ O ₃	ALD	江苏微导、理想
正反面SiN _x 膜	PECVD	捷佳伟创、北方华创、丰盛装备
印刷烧结	丝网印刷	迈为股份、东莞科隆威

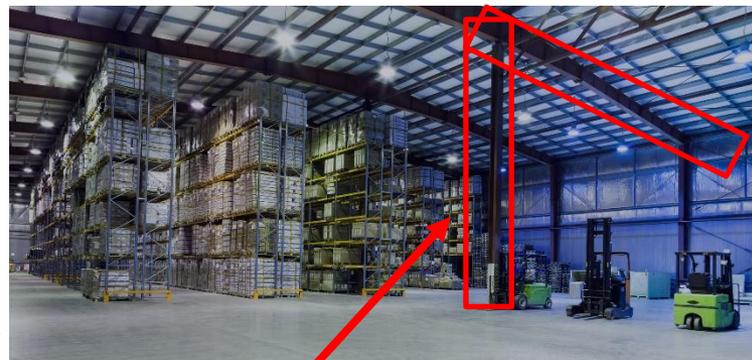
3.1美国：HJT综合生产成本更低，是最适合美国生产的电池技术

- ◆ 中美光伏制造最大区别是成本要素不同，中国光伏制造环节pk的是渠道销售&成本控制&规模效应&政府关系，然而美国生产成本中人工成本是中国的15倍左右（同时考虑工人工资&生产效率），因此美国电池片厂商最重视的是低人工&小厂房&低运营成本。
- ◆ 相比较TOPcon，HJT可节约60%的人工数量（仅4道工序）、节约30-40%的用电量（工序少&低温工艺&洁净厂房需求少2/3）、节约20%的用水量、降低20%的碳排放（全流程低温工艺），因此是最适合美国本土扩产的光伏技术路线。同时，迈为股份自动化程度高的HJT整线设备有望抵消美国工人人效低的困境。此外TOPCon在美国面临专利问题，近期美国太阳能电池板制造商First Solar表示自身拥TOPCon晶体硅技术专利，并正在调查竞争对手的侵权行为，且这些专利的有效期限将延续至2030年，在此期间，任何未经授权使用该技术的行为都可能构成侵权。

图：相较于TOPCon，HJT可降低20%的碳排放、节约30-40%的用电量、节约60%的人工数量、节约20%的用水量



图：美国多数厂房不适合光伏生产。HJT产线改造成本较低，只需加固两端，而TOPCon需加固整个厂房，HJT能节省3000万美元/GW改造费用



仓储厂房结构无法支撑电池片产线所需设备

3.1美国：HJT综合生产成本更低，是最适合美国生产的电池技术

- HJT在美国的OPEX水平为0.05美元/w，比TOPCon有0.02美元/W的优势。HJT电池生产的opex主要有人力、设备折旧和水电支出四个方面，根据测算，HJT在美国的生产OPEX水平为0.05美元/w，相比TOPCon的0.07美元/w具备0.02美元/w OPEX优势。

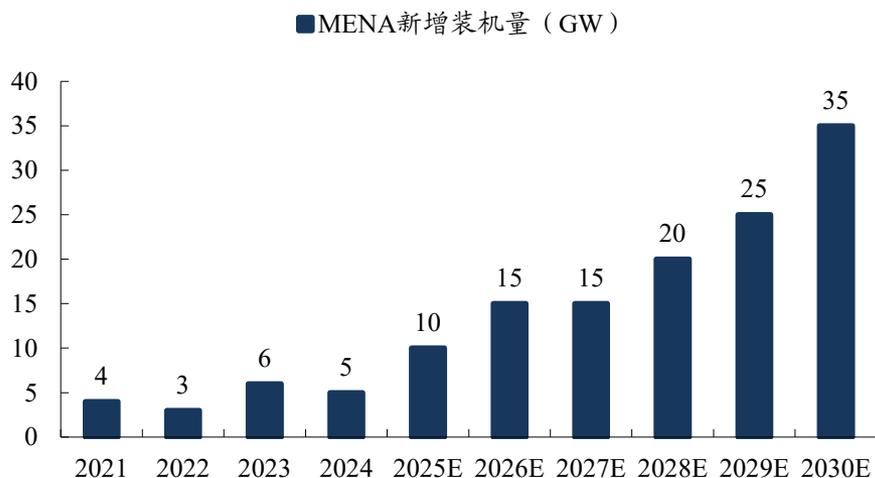
◆ 图：HJT与TOPCon在美国OPEX水平测算

	HJT	TOPCon
美国生产工人时薪(美元/小时) (1)	70.0	70.0
生产工人每天工作时间 (小时) (2)	6.0	6.0
每天轮动班次(3)	4.0	4.0
每班次生产工人数量 (个) (4)	20.0	40.0
每年生产工人薪酬支出 (万美元/GW) (5)=(1)*(2)*(3)*(4)/10000*365	1226.4	2452.8
每年管理人员薪酬支出 (万美元/GW) (6)	1226.4	1226.4
每年人员薪酬支出 (万美元/GW) (7)=(5)+(6)	2452.8	3679.2
设备支出 (万美元/GW) (8)	6600.0	3500.0
厂房等基础设施支出 (万美元/GW) (9)	6000.0	10000.0
设备+厂房合计支出 (万美元/GW) (10)=(8)+(9)	12600.0	13500.0
折旧年限 (年) (11)	5.0	5.0
每年设备+厂房折旧支出 (万美元/GW) (12)=(10)/(11)	2520.0	2700.0
美国水费 (美元/立方米) (13)	3.3	3.3
每MW水耗 (吨) (14)	220.0	600.0
每年水费支出 (万美元/GW) (15)=(13)*(14)	71.9	196.2
美国电费 (美元/KWH) (16)	0.05	0.05
每GW电耗 (GWH) (17)	80.2	123.3
每年电费支出 (万美元/GW) (18)=(16)*(17)	400.8	616.3
总OPEX (万美元/GW) (19)	5445.5	7191.7
总OPEX (美元/W)(20)	0.05	0.07

3.2 中东资源禀赋优势突出，中资主链企业加速布局本土化产能

- ◆ 中东资源禀赋优势显著，是光伏装机的天然沃土。中东地区日照时间长、太阳辐射强度高，且沙漠面积大、用地成本相对低廉，使得中东发展光伏具有先天优势。例如沙特的年均光照强度高达2200-2400kWh/m²，约为我国大部分地区光照强度的1.5倍。中长期内中东地区的光伏装机增长将保持强劲。在沙特、阿联酋、阿曼等国家提出的截至2030-2050年不等的能源转型规划下，MESIA预测MENA（中东及北非地区）的光伏新增装机量将从2024年的5GW逐年提升到2030年的35GW。
- ◆ 国内中资光伏及新能源产业链龙头企业正加速布局中东，依托当地资源禀赋与政策红利，积极推进本土化产能建设。以晶科能源、TCL中环为代表，多企业已落地或规划了光伏硅片、电池组件等多元化产能项目，相关项目预计于2026年前后集中投产或全面建成运营，形成覆盖制造、绿色能源生产的综合布局，深度赋能中东地区能源转型。

图：2021-2030E MENA新增光伏装机需求（GW）



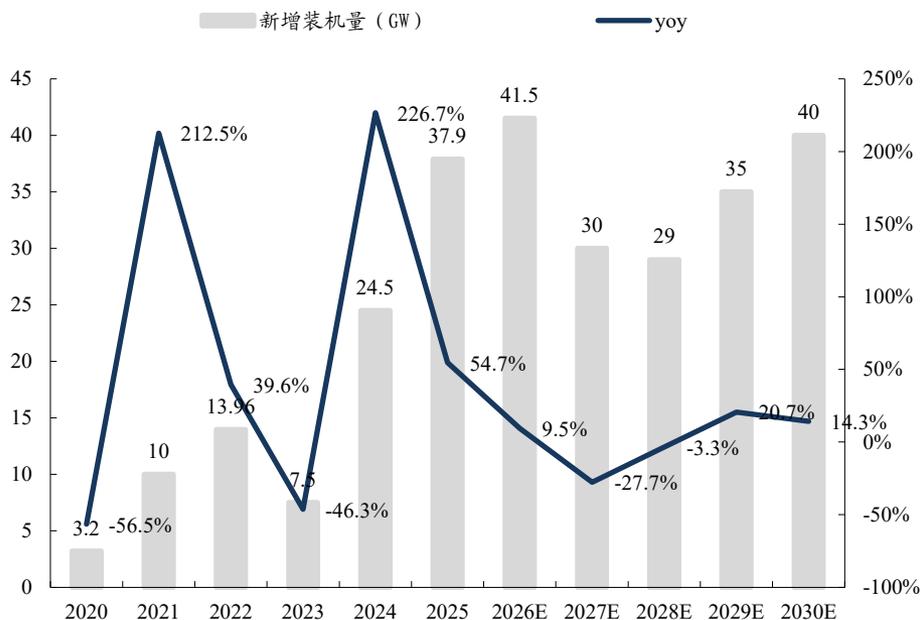
图：国内中资主链企业加速中东产能布局

公司	建设地点	产能建设	规划情况
晶科能源	沙特	高效光伏电池及组件制造基地 10GW/年产能	预计2026年初投产
TCL中环	沙特	沙特光伏晶体晶片生产工厂 20GW/年产能	预计2026年投产
天合光能	沙特吉达	跟踪支架制造基地 3GW/年产能	2025年Q1已投产
捷泰科技	阿曼	TOPCon电池基地 10GW/年产能	2025年Q4已投产
博达新能	埃及	光伏电池片&光伏组件 4GW/年 产能	预计2026年投产

3.3 中国光伏企业在东南亚全面布局

- 印度扩大光伏自建产能，2023-2025年新增装机量持续上升，未来预计装机量持续增长。2025年2月，印度光伏累计总装机容量正式突破100 GW，当年新增装机达37.9 GW，同比增长54.7%。印度预计2026年新增装机量将达到41.5 GW，同比增长9.5%，并计划在2030年实现光伏总装机容量280–320 GW的目标。
- 2025-2027年期间，预计中国光伏企业在东南亚新增组件产能11.5GWp，电池产能15.5GWp，硅片新建产能6.5GWp。隆基绿能、晶科能源、晶澳科技、天合光能、正泰新能、东方日升、腾晖光伏等中国企业均已在东南亚地区推进产能布局。

◆图：2023年后印度年度新增装机量持续上升



◆图：中国光伏企业在东南亚地区全面推进产能布局

企业名称	东南亚布局国家	产能环节	2024 产能 (GWp)	2027 产能 (GWp)
隆基绿能 (Longi)	马来西亚	组件	2.8+0.6	8.8+0.6
	越南	硅片	-	6.5
晶澳科技 (JA Solar)	越南	电池	3.5	8.5
东方日升 (New East Solar/ZNShine)	印度尼西亚	组件	2.5	8
	印度尼西亚	电池	2.5	8
腾晖光伏 (Solarspace)	老挝	电池	-	5
2025-2027组件新增产能 (GWp)			11.5	
2025-2027电池新增产能 (GWp)			15.5	
2025-2027硅片新增产能 (GWp)			6.5	

3.4 随海外光伏装机需求释放，国产设备商迎出海机遇

- ◆ 随着海外装机需求释放以及我国光伏产业链海外布局兴起，国产设备商迎出海机遇。
- ◆ 电建与阿吉班光伏项目控股有限公司签订的1.5GW光伏电站EPC项目。一方面海外光伏企业推动本土产能建设，这种情况下，国产设备商可直接受益于海外光伏企业的设备招标采购，也可间接受益于中国EPC企业为海外客户从事光伏电站总包下的国产组件出口。
- ◆ 另一方面国内光伏企业为了应对贸易摩擦也在加速海外一体化产能建设，例如中环依托全球领先的G12硅片的技术优势、黑灯工厂制造优势与工业4.0柔性制造能力建设目前海外最大规模的晶体晶片工厂，晶科的沙特工厂为中国光伏电池和组件行业海外最大的制造基地，国产光伏设备商将直接受益于“借船出海”。
- ◆ 我们认为，不论是海外光伏企业本土建厂，还是国内光伏企业出海建设产能，选择中国设备商都是必然的，核心逻辑在于国产设备商竞争优势明显——技术水平高且迭代快、性价比高、交付能力强、售后响应速度快。

图：中国光伏设备商受益于海外光伏产能扩张的几种模式



国产光伏设备商能够充分受益的底层逻辑：技术水平高且迭代快、性价比高、交付能力强、售后响应速度快、出口关税豁免

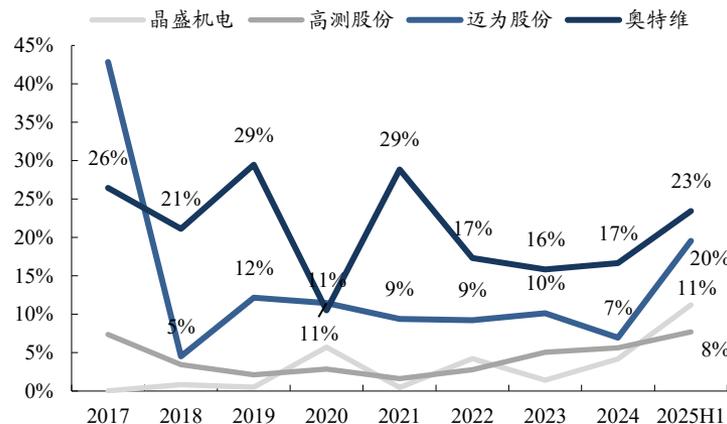
3.4 随海外光伏装机需求释放，国产设备商迎出海机遇

- ◆ 在中国光伏企业出海建厂+海外企业自建产能背景下，中国光伏设备商正逐步走向全球。2019年以来，我国多家光伏企业加速在东南亚等地区建设一体化产能，同时美欧印等海外国家/地区纷纷重视自建产能，并开启了新一轮扩产潮，我国光伏设备制造企业获得大量海外订单，中国光伏设备在跟随国内光伏客户出海的同时，也在向欧美印等自建产能的国际客户销售设备，出海经验已十分丰富。
- ◆ 未来中国光伏设备商海外收入占比提升空间较多。从中国四大光伏设备商的海外收入占比来看，目前奥特维和迈为股份的出海步伐相对较快，2025H1的海外收入占比分别为23%和20%，晶盛机电和高测股份海外收入占比分别为11%和8%。我们认为随着中东等地区的光伏产能快速扩张，未来国产设备商海外收入占比提升空间较大。

图：2016-2023年中国四大光伏设备商的海外订单梳理

时间	设备商	客户	设备类型	订单金额(万元)	设备实际使用地区
2016年	晶盛机电	/	单晶炉	17,600	/
2016年	晶盛机电	/	单晶炉	17,280	/
2017年	奥特维	越南光伏	串焊机	1,549.61	美国
2018年	奥特维	晶科能源	串焊机	3974.23	马来西亚
2019年	奥特维	越南光伏	/	9,266.41	/
2019年	奥特维	晶科能源	/	2,645.10	马来西亚
2019年	奥特维	晶科能源	/	1,330.40	美国
2019年	奥特维	天合光能	/	1,421.52	泰国
2020年	晶盛机电	Kalyon集团	500MW光伏全产业链EPC项目设备	/	土耳其
2021年	高测股份	晶科能源	切片机	9,100	越南
2021年12月	迈为股份	REC集团	400MW HJT整线设备	/	/
2022年	松瓷机电(奥特维)	Adani	SC-1600直拉式单晶炉	/	印度
2022年6月	迈为股份	印度信实工业	4.8GW HJT整线设备	/	印度
2022年	高测股份	Adani	磨抛机和切片机	6,000	印度
2022年8月	晶盛机电	Adani Solar	2GW单晶炉及加工设备，并助其建成印度首个单晶硅片工厂	/	印度

图：2017-2025H1中国四大光伏设备商海外收入占比



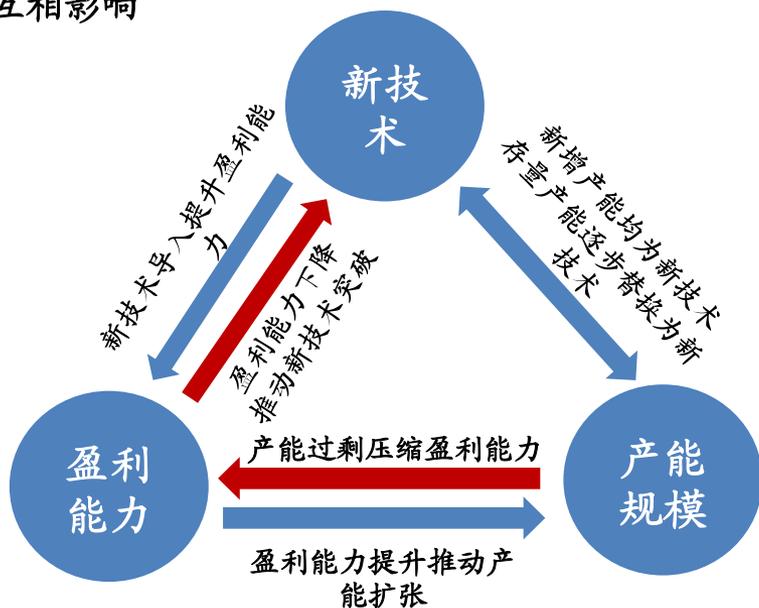


- 一、2025年光伏设备商基本面见底，2026年看好太空算力应用场景打开&海外地面需求增长
- 二、太空算力应用场景打开，光伏设备走向星辰大海
- 三、海外地面需求持续增长，重视美国市场机遇
- 四、关注国内政策变化&新技术持续迭代
- 五、投资建议与风险提示

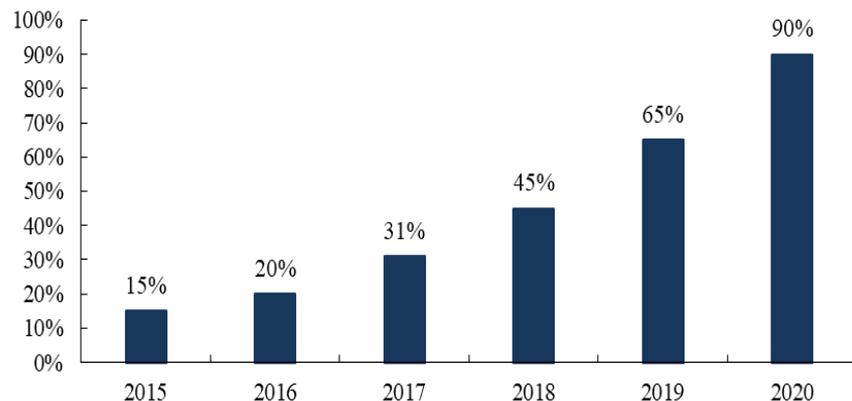
4.1 历史上领跑者计划引导转向效率更高、成本更低的单晶路线

- 复盘光伏行业的每一轮周期，核心驱动力都是技术迭代。新技术能够进行差异化竞争，盈利能力好，驱动行业进入大规模扩产阶段，随着产能集中落地，技术逐步进入同质化竞争阶段，行业出现产能过剩，使得盈利能力下降，行业进入产能出清阶段，倒逼新技术的突破，实现降本增效，打开新一轮周期。
- 光伏技术迭代的本质是上一代技术效率达到极限时会追求下一代更高效率和更低成本的技术。以单晶替代多晶的技术迭代为例，过去市场上主流的技术路线是多晶硅，隆基作为后来者选择单晶硅路线，**(1) 单晶效率更高、成本下降空间大**：二者成本的差距可以通过技术改进来抹平，单晶杂质含量少，转化效率高，但缺点是生产成本较高，技术难度大，多晶虽然杂质多、转化效率低，但技术成熟、成本低；**(2) 光伏平价上网的需求**：2015年光伏领跑者计划的推出引导下游电站转向效率更高、度电成本更低的单晶路线。

◆ 图：光伏行业新技术、盈利能力、产能规模三者互相影响



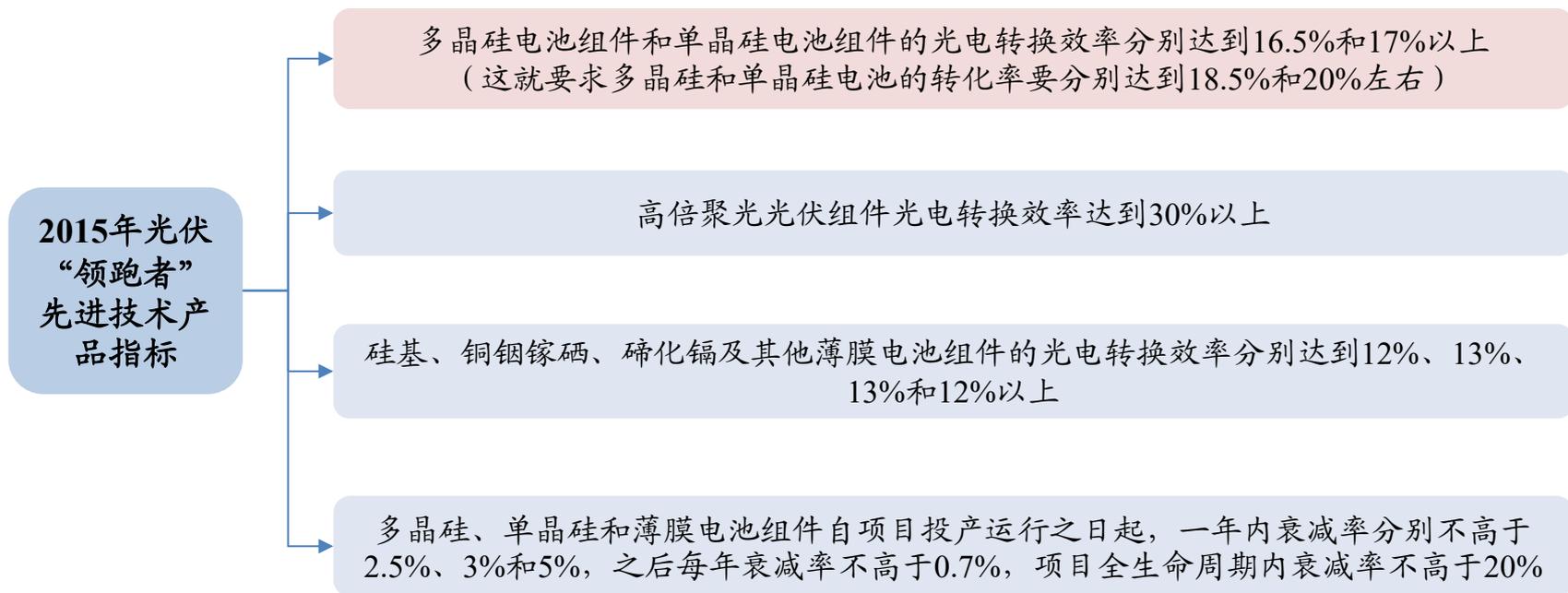
◆ 图：2015-2020年中国单晶硅市场占比变化情况 (%)



4.1 历史上领跑者计划引导转向效率更高、成本更低的单晶路线

- 2015年，国家能源局推行光伏“领跑者”专项扶持计划，通过建设先进技术光伏发电示范基地、新技术应用示范工程等方式实施。根据2015年1月8日发改委等八部门发布的《能效领跑者制度实施方案》，所谓“能效领跑者”是指同类可比范围内能源利用效率最高的产品、企业或单位。发改委会同有关部门制定激励政策，鼓励能效“领跑者”产品的技术研发、宣传和推广。
- 具体到“领跑者”先进技术产品应达到以下指标：单晶硅光伏电池组件转换效率达到17%以上，多晶硅光伏电池组件转换效率达到16.5%以上。这就要求单晶硅和多晶硅电池的转化率要分别达到20%和18.5%左右，对于大多数企业而言都有很大挑战。

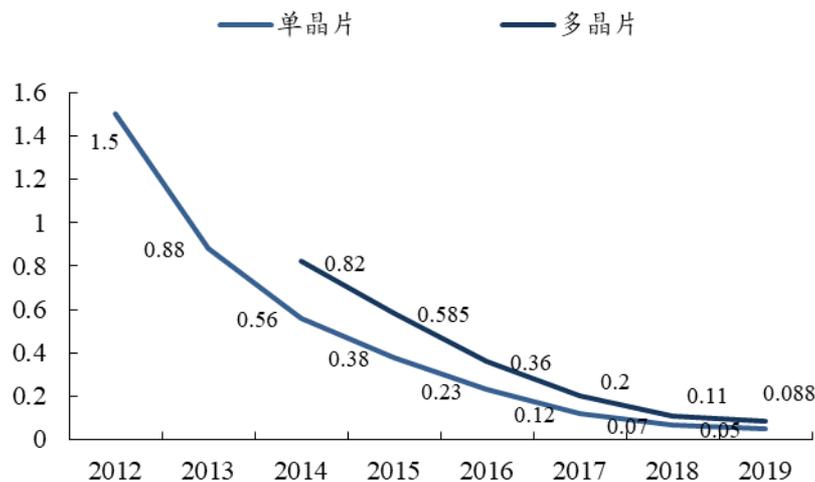
◆ 图：2015年光伏“领跑者”先进技术产品指标



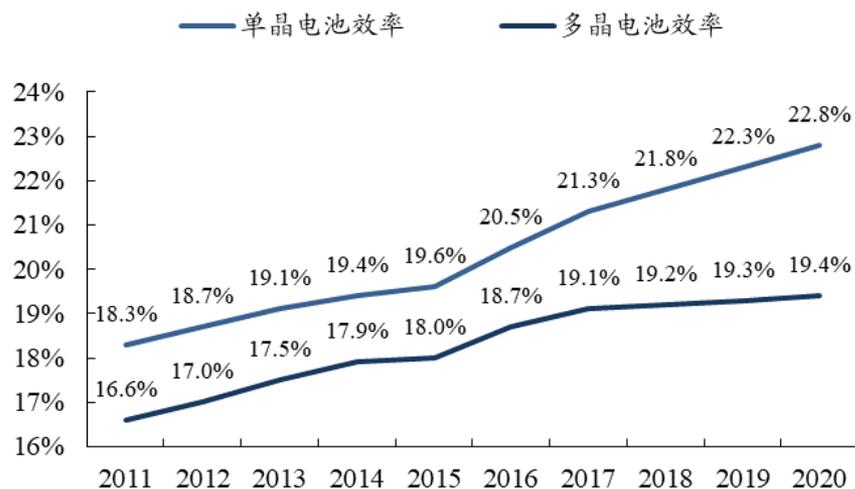
4.1 历史上领跑者计划引导转向效率更高、成本更低的单晶路线

- **隆基单晶路线的胜出依靠金刚线切割技术突破+PERC电池技术路线配合。**
 - (1) 金刚线切割技术突破:** 传统砂浆切割速度慢、出片率低、对硅料的损耗较大，金刚线切割速度是砂浆切割的4-5倍，出片率高出15%~20%，而由于晶体结构差异，金刚线切割只适用于单晶，不适用于多晶，但这项技术一度被日本“卡脖子”，隆基联合供应商攻克技术难关。
 - (2) PERC电池技术路线:** 2014年隆基收购乐叶光伏，向中游电池片、组件环节延伸，并采用了当时最先进的PERC技术路线，对单晶更为友好，用在单晶电池上可提效0.8%-1.0%，而用在多晶上只能提效0.6%-0.8%。金刚线和PERC技术的成本优势叠加使得单晶路线胜出。

◆ 图：金刚线切割成本不断下降（元/片）



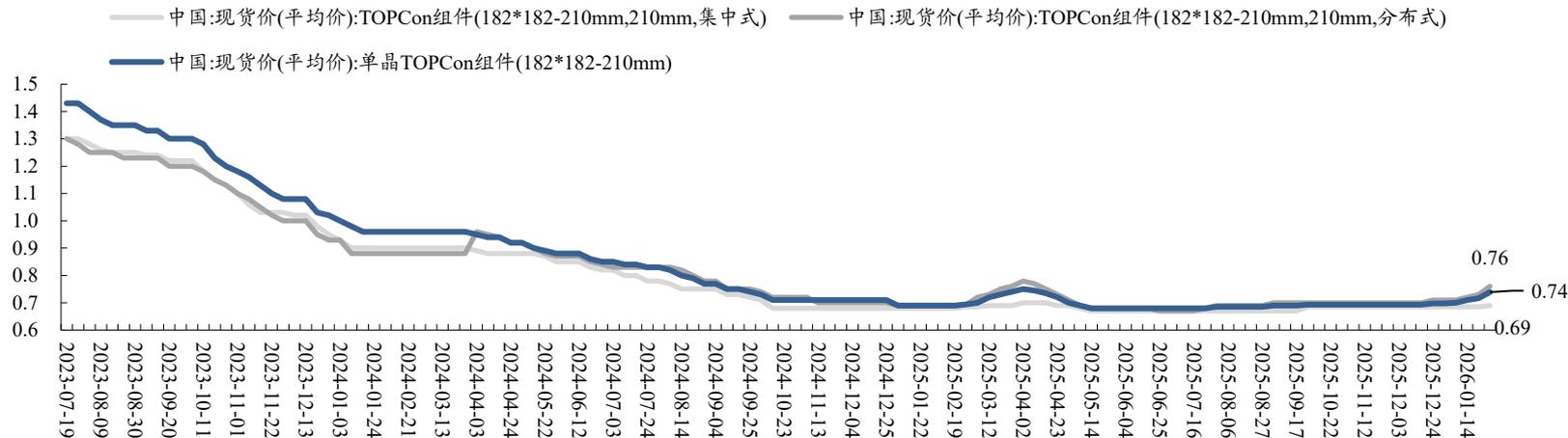
◆ 图：单晶电池 vs 多晶电池效率



4.2 行业供需失衡背景下，亟需新一轮技术迭代推动产能重置

- **TOPCon扩产高峰下行业供需失衡，亟需切入下一代新技术进行差异化竞争，推动产能重置。**目前单晶TOPCon组件的均价已从2023年7月的1.43元/W下滑至2026年1月的0.74元/W，TOPCon组件的盈利能力显著降低，从而加速行业产能出清，推动新技术导入使盈利能力得到修复。
- **禁止唯低价论&供给侧改革淘汰落后产能，利好先进产能龙头设备商。**截至2026年1月，CPIA最新测算显示，当前光伏组件最低现金成本仍在0.68-0.70元/W区间（含税、不含折旧），低于该成本水平投标中标仍存在合规风险；在行业深度调整背景下，供给侧结构优化预期持续推进，高能耗环节如硅料、落后电池及组件产能有望通过能耗约束、行业自律等方式加速出清。随着低效产能逐步退出，一方面产业链盈利有望修复、支撑新技术持续投入，另一方面企业对先进产能与效率优势的重视程度提升，利好具备技术壁垒的新技术龙头设备商。从光伏各环节看，硅片端技术重点仍在低氧单晶炉与薄片化；电池片端以TOPCon量产优化为主，HJT、BC及钙钛矿-晶硅叠层等高效路线加速推进；组件端新技术方向集中在0BB、叠栅及高功率封装方案。

◆ 图：2023年下半年以来TOPCon组件价格快速下降（单位：元/W）



4.2行业供需失衡背景下，亟需新一轮技术迭代推动产能重置

- 尽管长期需求仍向好，但短期内光伏行业面临“需求放缓 vs 产能过剩”的核心矛盾。当前全球组件产能远超未来几年新增装机需求，产能过剩问题依然严峻，行业正经历从“高速扩张”向“高质量竞争”的转型阵痛。
(1) 中国市场：据中国光伏行业协会预测，“十五五”期间（2026-2030年），中国年均新增光伏装机将达238-287GW。2026年预计为180GW（中性预测），首次出现同比下降趋势，主要受政策转向、市场饱和及新兴市场增长乏力影响。
(2) 全球市场：GlobalData数据显示，到2035年全球累计太阳能装机将达7.6TW，但短期扩张动能已趋弱。2026年全球预计新增装机500GW（中性预测），而存量产能已超过1000GW，呈现过剩局面。中国作为制造业核心，2024年生产组件627GW，占全球总量的86%。

◆图：中国光伏新增装机量预计在2026年首次下行，政策转向及市场饱和是装机下降主要原因



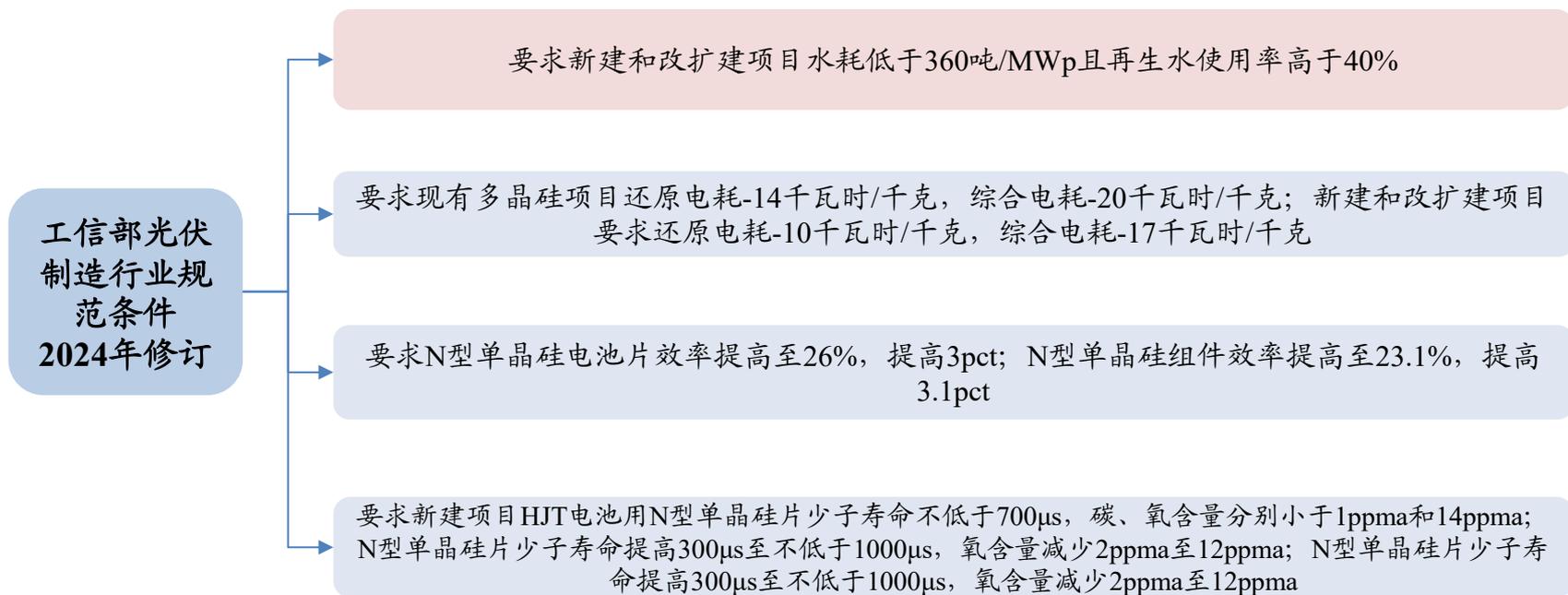
◆图：全球2026年新增装机量中性预测500GW，较2025年下滑，乐观预测667GW



4.3 工信部加强行业产能规范引导，利好先进产能&先进技术

- 2024年11月，工信部对《光伏制造行业规范条件》及《光伏制造行业规范公告管理暂行办法》进行了修订，旨在加强光伏行业的产能规范引导；从技术&产能&能耗等角度进行规范，引导行业健康发展。该项政策能够优先支持先进产能&先进技术，避免行业低水平盲目扩张，我们认为是对供给侧倡导性的政策，虽然没有强势约束力，但会鼓励行业健康发展。
- 工信部具体修订了以下指标：**1)** 要求新建和改扩建项目水耗低于360吨/MWp且再生水使用率高于40%、**2)** 现有多晶硅项目还原电耗-14千瓦时/千克，综合电耗-20千瓦时/千克；新建和改扩建项目要求还原电耗-10千瓦时/千克，综合电耗-17千瓦时/千克、**3)** N型单晶硅电池片效率提高至26%，提高3pct；N型单晶硅组件效率提高至23.1%，提高3.1pct、**4)** 提高硅片品质要求，要求N型单晶硅片少子寿命不低于1000 μ s，氧含量小于12ppma；HJT电池用N型单晶硅片少子寿命不低于700 μ s，碳、氧含量分别小于1ppma和14ppma、**5)** 新建项目最低资本金比例由20%提高至30%。

◆ 图：2024年11月工信部光伏制造行业规范引导指标



4.3 工信部加强行业产能规范引导，利好先进产能&先进技术

- **增加新建项目水耗要求，利好低水耗的HJT。**此次特别增加了新建和改扩建项目水耗低于360吨/MWp且再生水使用率高于40%，由于HJT工序很短仅有4道，而TOPCon、BC等为十几道工序，所以HJT水耗显著低于其它技术路线，故未来新建项目会倾向于低水耗的HJT方向。
- **新建项目的电池片&组件效率要求分别提高3pct和3.1pct。**过去新建项目的N型单晶硅电池片效率要求为23%，此次N型单晶硅电池片效率要求为26%，提高3pct；过去新建项目的N型单晶硅组件效率要求为20%，此次N型单晶硅组件效率要求为23.1%，提高3.1pct。TOPCon的许多高效组件效率略超过23.1%，而HJT组件效率多在24%以上，故我们认为该项政策利好HJT等更高效率的新技术新产能。

◆ 表：工信部光伏制造行业规范2024vs2021版本（电池/组件端摘要）

项目	2024版要求	2024年版(征求意见稿) 资源综合利用及能耗	2021年版要求	变化
晶硅电池	现有P型晶硅电池项目水耗低于 400吨/MWp ，N型晶硅电池项目水耗低于 600吨/MWp ； 新建和改扩建项目水耗低于 360吨/MWp ，且再生水使用率高于40%	P型晶硅电池项目水耗低于400吨/MWp，N型晶硅电池项目水耗低于600吨/MWp	P型晶硅电池项目水耗低于750吨/MWp，N型晶硅电池项目水耗低于900吨/MWp	要求提高： P型晶硅电池项目水耗-350吨/MWp，N型晶硅电池项目水耗-300吨/MWp； 新增： 新建和改扩建项目水耗低于360吨/MWp且再生水使用率高于40%
新建及改扩建企业及项目产品				
晶硅电池	多晶硅电池、 P型单晶硅电池 和 N型单晶硅电池 （双面电池按正面效率计算）的平均光电转换效率分别不低于 21.7%、23.7%和26%	多晶硅电池、 P型单晶硅电池 和 N型单晶硅电池 （双面电池按正面效率计算）的平均光电转换效率分别不低于 21.7%、23.7%和26%	多晶硅电池和单晶硅电池（双面电池按正面效率计算）的平均光电转换效率分别不低手20.5%和23%	要求提高： 多晶硅电池平均光电转换效率+1.2%；细分单晶硅电池要求：P型单晶硅电池+0.7%，N型单晶硅电池+3%
晶硅组件	多晶硅组件、 P型单晶硅组件 和 N型单晶硅组件 （双面组件按正面效率计算）的平均光电转换效率分别不低于 19.7%、21.8%和23.1%	多晶硅组件、 P型单晶硅组件 和 N型单晶硅组件 （双面组件按正面效率计算）的平均光电转换效率分别不低于 19.7%、21.8%和23.1% 。	多晶硅组件和单晶硅组件（双面组件按正面效率计算）的平均光电转换效率分别不低于18.4%和20%。	要求提高： 多晶硅组件平均光电转换效率+1.3%；细分单晶硅组件要求：P型单晶硅组件+1.8%，N型单晶硅组件+3.1%

4.4 看好国内供需改善后技术迭代持续，电池片环节关注HJT路线

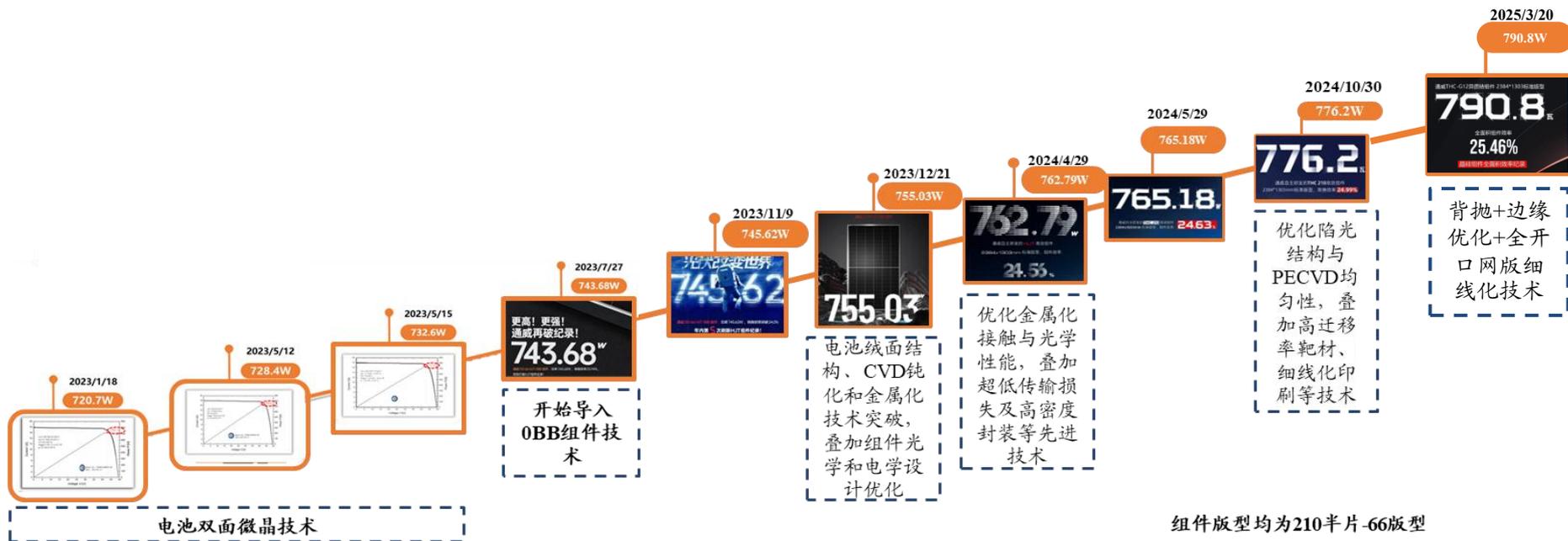
● 2026年HJT多维降本增效技术集中进入量产

技术/指标	行业进展		技术迭代所需设备/材料及对应标的
	2025年底	2026年底预测	
硅片薄片化	100μm薄片开始导入	100μm薄片全面导入	(钨丝) 金刚线、切片机-高测股份
双面微晶	全面导入量产	全面导入量产	PECVD-迈为股份
0BB	开始导入量产	全面导入量产	0BB串焊机-奥特维
银包铜	浆料用量将低于8mg/w，银含量将接近30%	20%银含量的浆料导入量产	光伏低温银浆-聚和材料、帝科股份
电镀铜	中试效率和良率进一步优化	中试效率和良率进一步优化	电镀铜设备-太阳井、迈为股份(在研)
光转胶膜	价格进一步下降，全面导入量产	价格进一步下降，全面导入量产	光转胶膜-福斯特
背抛	试产结果良好，预计提效0.2%	部分导入量产	背抛设备-迈为股份
靶材少钨/无钨	钨用量低于1mg/w，可能出现完全无钨的HJT电池	50%钨叠层靶材全面应用，PED导入降钨提效	PED设备-迈为股份
全开口网版	部分企业应用	全面导入量产	钢网/镍网印刷线-迈为股份
HJT组件平均功率(210/66片规格，以通威1GW中试线为例)	770+W	780-790W	
HJT电池量产效率	26%	26.5%	
HJT电池非硅成本	0.17-0.18元/W(0BB+30%银包铜)	0.15-0.16元/W(0BB+20%银包铜+全开口网版)	
HJT电池生产成本	0.30元/W(0BB+30%银包铜)	0.28元/W(0BB+20%银包铜+全开口网版)	

4.4 看好国内供需改善后技术迭代持续，电池片环节关注HJT路线

- ◆ 通威HJT组件在中试线的功率记录已突破790W，预计未来还有10W的提升空间。截止2025年3月底，通威已将最新产品送入中试线测试，组件最高功率达790.8W，效率达25.5%；预计2026年通威HJT量产效率将突破26%。此外，公司小尺寸钙钛矿/HJT叠层电池效率达34.94%，钙钛矿与HJT叠层电池未来可期。

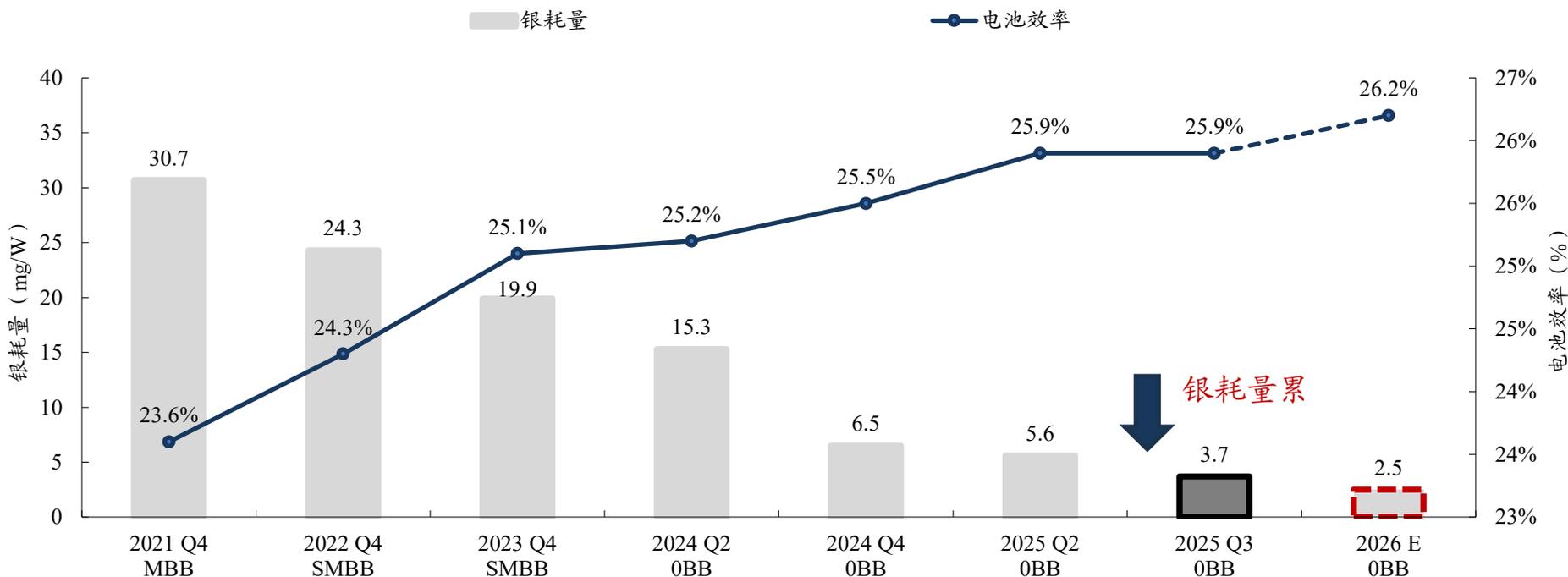
图：通威THC210型HJT组件研发端最高功率突破790W



4.4 看好国内供需改善后技术迭代持续，电池片环节关注HJT路线

- **通威HJT银耗不断降低。**截至2025年三季度，通威在HJT电池银耗降至3.7 mg/W，显著优于2024年中期15.3 mg/W的水平，持续巩固其在高效N型电池领域的技术领先地位。预计到2026年，公司电池效率有望进一步提升至26.2%，银耗控制在2.5mg/W以内。
- **银价维持高位，HJT有望加速产业化。**在当前银价中枢持续上行（2025年12月30日银价已达约2445美元/公斤）的背景下，HJT电池银耗持续下降，0BB等先进组件技术加速应用，预计非硅成本有望与TOPCon持平，甚至更具优势。随着HJT非硅成本持续下降、电池效率持续提升，产业化进程有望加快。

图：截至2025年Q3，通威股份通过银包铜技术实现银耗量4mg/W以下；2026年预计银耗降低至2.5mg/W



4.4 看好国内供需改善后技术迭代持续，组件环节关注0BB路线

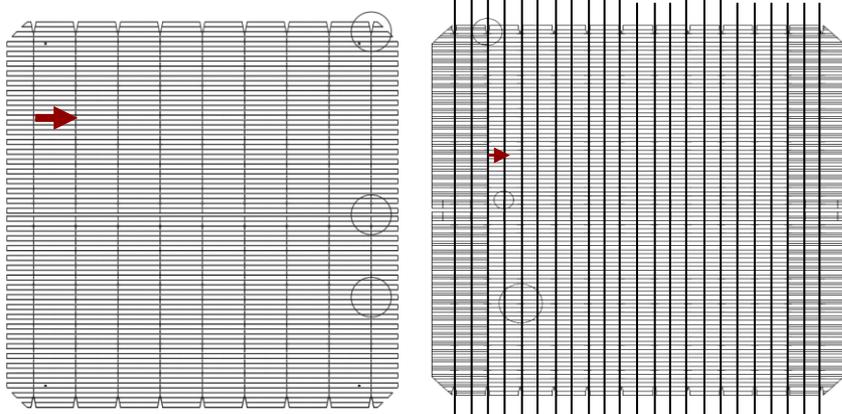
- **提效：**作为一项平台型技术，0BB能够减小遮光面积&缩短电流传输距离，提高组件功率。0BB通过更细、更多的焊带降低了遮光面积和电流从副栅到主栅的运输距离，理论上能够提高组件功率。
- **降本：**0BB能够带来更低的单瓦耗银、更少的焊带用量和更低的胶膜克重，降低组件成本。特别是在HJT领域，0BB搭配银包铜浆料或电镀铜技术均可显著降低HJT成本。
- **0BB改造市场空间超60亿元，2026年改造需求有望继续释放。**目前0BB的工艺类别在减少，特别是TOPCon领域正向焊接+印胶和印胶+焊接两种高温工艺路线趋同。而目前存量市场有4000+台TOPCon SMBB/MBB串焊机，按照150万元/台的改造价格估算，未来0BB的改造市场空间至少60亿元。我们认为随着技术路线趋同、银价提高以及组件价格修复，2026年有望迎来0BB改造需求的快速释放。

◆ 图：0BB能够减小遮光面积&缩短电流传输距离，提高组件功率

◆ 图：0BB能够带来更低的单瓦耗银、更少的焊带用量和更低的胶膜克重，从而降低组件成本

SMBB-12根主栅

0BB-24根焊带



功率损耗 ↓

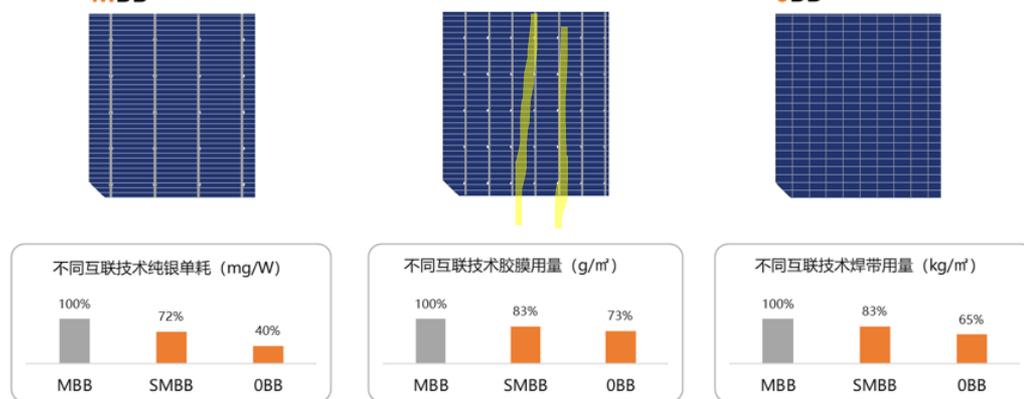
$$P_{rf} = \frac{1}{m} B^2 \rho_{amf} \frac{J_{mp}}{V_{mp}} \cdot \frac{S}{W_F}$$

副栅线距
(载流子的运输距离)

MBB

SMBB

0BB



注：A、B分别为单个电池的长度和宽度；J、V为最大功率点对应的电流密度和电压；m为常数；ρ为栅线金属层电阻，S为细栅线距；W为栅线宽度

4.4 看好国内供需改善后技术迭代持续，组件环节关注0BB路线

● 近日银价创下历史新高。我们考虑了白银价格从14000元/KG上升至26000元/KG时，对不同浆料的售价影响，关键变量为银含量与加工费。

● (2) HJT优势：我们测算得到白银价格每上涨2000元，0BB+30%银包铜的HJT可多节约3厘/W。与TOPCon技术不同，HJT的低温优势使其能够使用银包铜浆料，而TOPCon只能应用纯银浆料。目前HJT的30%银包铜已基本实现产业化，我们测算得到若白银价格由14000元/KG涨价至26000元/KG，HJT通过应用0BB+30%银包铜，成本节约可由0.1元/W放大至0.2元/W。

◆ 近期白银期货价格已经突破27513元/KG（截止2026年1月26日收盘价）



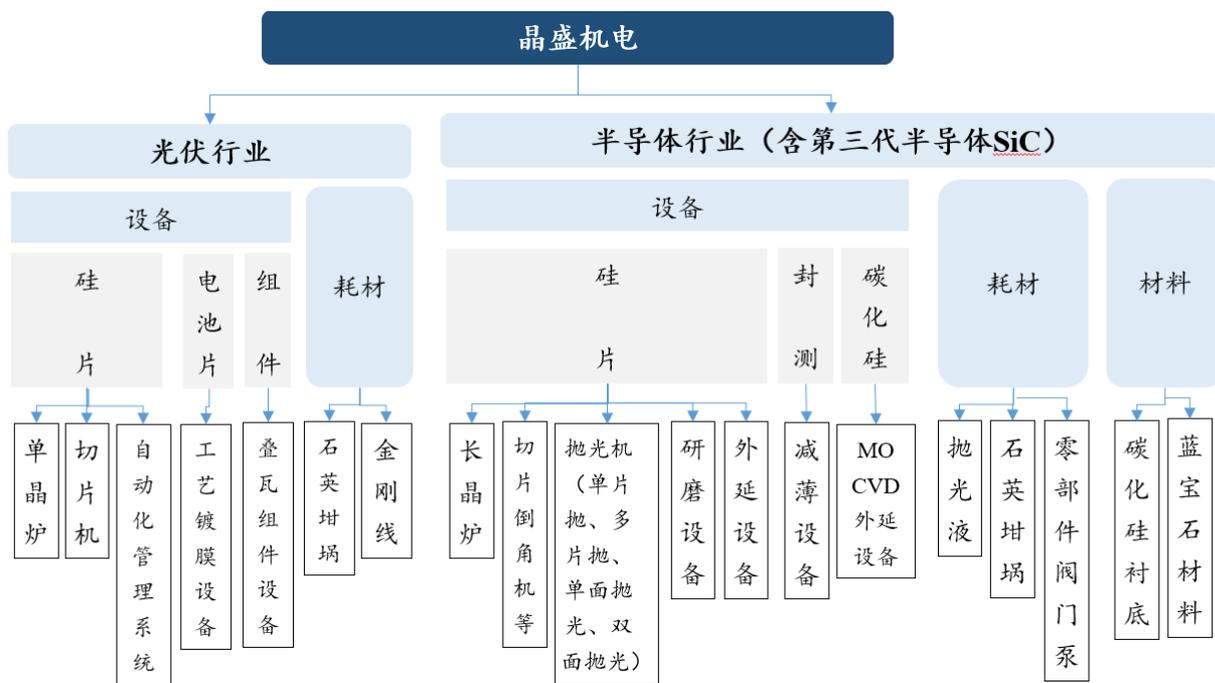
单W浆料成本(元)	白银价格(元/KG)	14000	16000	18000	20000	22000	24000	26000
HJT (210尺寸, 10.8W/片)	20BB+纯银浆料(1)	0.138	0.156	0.174	0.193	0.211	0.229	0.248
	0BB+纯银浆料(2)	0.088	0.099	0.111	0.123	0.134	0.146	0.158
	0BB成本节约(3)=(2)-(1)	-0.050	-0.057	-0.063	-0.070	-0.077	-0.083	-0.090
	20BB+50%银包铜浆料(4)	0.084	0.094	0.104	0.114	0.124	0.134	0.145
	0BB+50%银包铜浆料(5)	0.053	0.060	0.066	0.073	0.079	0.086	0.092
	0BB成本节约(6)=(5)-(4)	-0.030	-0.034	-0.038	-0.041	-0.045	-0.049	-0.053
	50%银包铜成本节约(7)=(5)-(2)	-0.034	-0.040	-0.045	-0.050	-0.055	-0.060	-0.065
	20BB+30%银包铜浆料(8)	0.058	0.064	0.070	0.076	0.083	0.089	0.095
	0BB+30%银包铜浆料(9)	0.037	0.041	0.045	0.049	0.053	0.056	0.060
	0BB成本节约(10)=(9)-(8)	-0.021	-0.023	-0.026	-0.028	-0.030	-0.032	-0.034
30%银包铜成本节约(11)=(9)-(5)	-0.016	-0.019	-0.021	-0.024	-0.027	-0.029	-0.032	
TOPCon (182尺寸, 8.2W/片)	16BB+纯银浆料(12)	0.164	0.187	0.209	0.231	0.254	0.276	0.299
	0BB+纯银浆料(13)	0.138	0.157	0.176	0.195	0.214	0.233	0.252
	0BB成本节约(14)=(13)-(12)	-0.026	-0.029	-0.033	-0.036	-0.040	-0.043	-0.047
HJT与TOPCon成本差距	0BB纯银比较(15)=(2)-(13)	-0.051	-0.058	-0.065	-0.073	-0.080	-0.087	-0.094
	0BB+50%银包铜比较(16)=(5)-(13)	-0.085	-0.098	-0.110	-0.122	-0.135	-0.147	-0.160
	0BB+30%银包铜比较(11)=(9)-(13)	-0.101	-0.116	-0.131	-0.146	-0.161	-0.176	-0.191



- 一、2025年光伏设备商基本面见底，2026年看好太空算力应用场景打开&海外地面需求增长
- 二、太空算力应用场景打开，光伏设备走向星辰大海
- 三、海外地面需求持续增长，重视美国等地市场机遇
- 四、关注国内政策变化&新技术持续迭代
- 五、投资建议与风险提示

5.1 晶盛机电：光伏&半导体、设备&耗材多领域布局

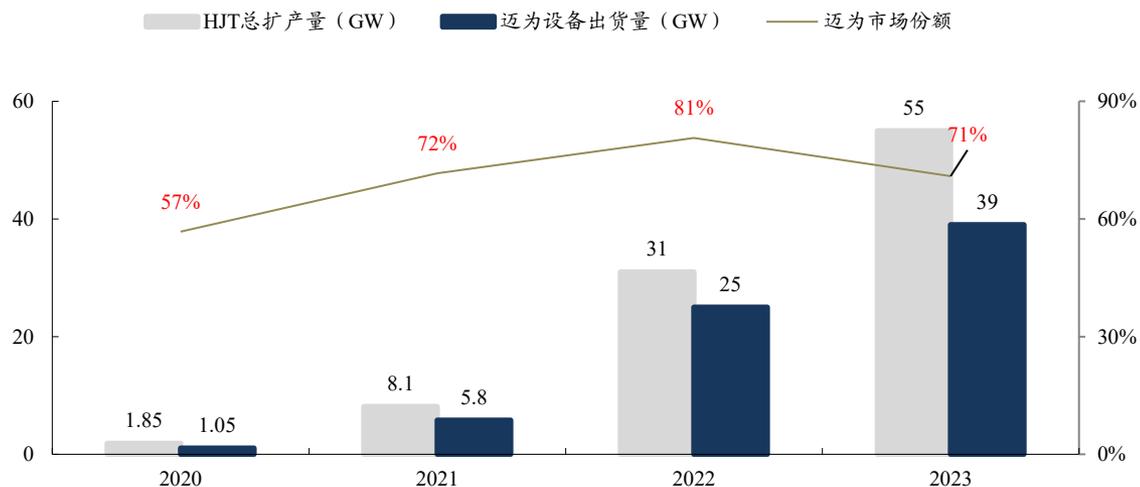
- 光伏&半导体、设备&耗材多领域布局。（1）光伏设备实现硅片、电池、组件设备全覆盖：硅片端推出超导磁场第五代低氧单晶炉，电池片端开发了兼容BC和TOPCon工艺的管式PECVD、LPCVD、扩散、退火、单腔室多舟ALD和舟干清洗等设备，组件端推出叠栅设备。（2）半导体设备定位大硅片、先进封装、先进制程、碳化硅：晶盛能够提供长晶、切片、研磨、抛光整体解决方案，先进封装已布局晶圆减薄机，先进制程开发了8-12英寸减压硅外延设备、LPCVD以及ALD等设备，碳化硅推出了外延设备、离子注入设备等。（3）材料布局碳化硅衬底&石英坩埚&金刚线：8英寸碳化硅衬底片已实现批量生产和销售，持续研发高品质超级坩埚，金刚线一期量产项目投产并实现批量销售，推动二期扩产项目快速提升钨丝金刚线产能。
- 风险提示：碳化硅下游应用拓展不及预期，技术研发不及预期。



5.2 迈为股份：HJT整线龙头先发优势显著，有望充分受益于太空&地面新需求

- 迈为行业龙头地位稳固，HJT设备市场占有率超70%，先发优势显著。2020年市场约1.85GW订单，公司中标量1.05GW，市占率57%；2021年市场约8.1GW订单，公司中标量为5.8GW，市占率72%；2022年市场31GW订单，公司中标量25GW，市占率81%；2023年国内市场招标量55GW，迈为股份中标量达39GW，市占率71%。
- （1）量产经验充足，设备在客户端持续得到反馈并加以改进。迈为客户主要包括通威、华晟、REC、金刚玻璃、日升等HJT电池龙头企业。公司通过客户反馈以及产线数据不断积累经验，加速技术改进，形成专利壁垒。
- （2）迈为积极推进设备迭代优化。清洗制绒环节推出背抛技术，CVD环节推出1GW大产能的设备，PVD环节推出RPD+PVD结合的PED设备，丝网印刷环节推出钢网印刷，并持续迭代至第三代。
- 风险提示：太空光伏产业化进展不及预期，技术研发不及预期等风险。

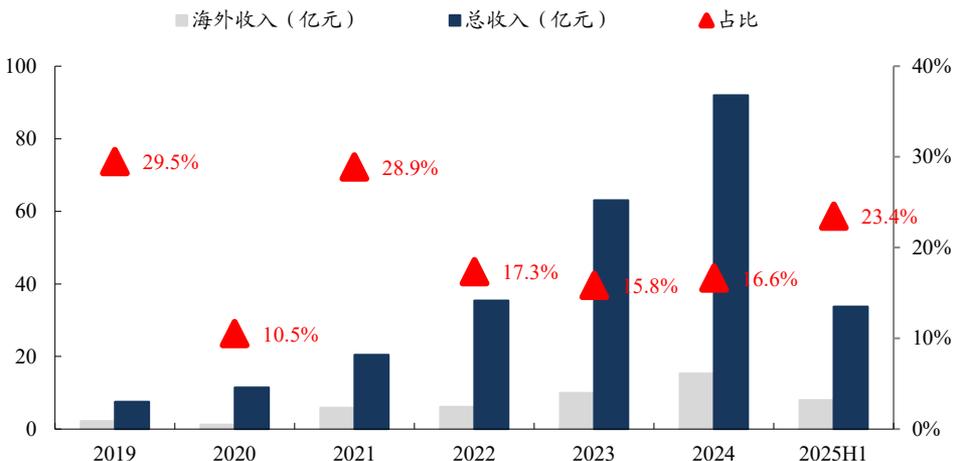
◆ 图：迈为股份HJT电池设备市占率超七成



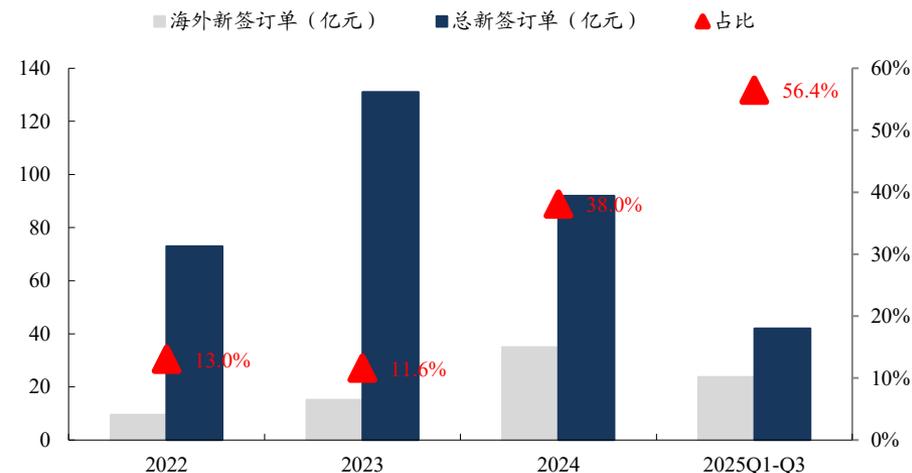
5.3 奥特维全球化布局，有望充分受益于美国本土扩产

- 奥特维系光伏组件设备串焊机的第一大龙头，2024年全球市占率超70%，有望充分受益于美国扩产。原行业龙头美国Komax，日本NPC、Toyama，德国帝目等因同级别串焊机价格在奥特维四倍以上，已失去竞争能力，彻底停止串焊机业务或退出中国串焊机市场。
- 公司深度布局海外市场，海外营收占比长期超15%。2025H1公司海外营收7.9亿元，占总收入23.4%，同比+7.2pct；2025Q1-Q3海外新签订单23.7亿元，占新签订单56.4%。
- 在马来西亚建设生产基地，加速全球化战略布局。与TTVHB合作，是公司全球化战略布局的重要环节，在马来西亚建立生产基地，有助于提升公司的产品竞争力，更加靠近客户、满足客户需求；同时也能有效降低中美贸易摩擦风险。
- 风险提示：下游扩产不及预期，技术推广不及预期。

图：奥特维深度布局海外市场，营收占比长期保持超15%+



图：2025Q1-Q3公司海外新签订单23.7亿元，占总订单56.4%



- 重点推荐HJT整线设备龙头【迈为股份】，低氧全自动化单晶炉龙头【晶盛机电】，超薄OBB串焊机龙头【奥特维】，超薄硅片切片设备龙头【高测股份】。

◆表：光伏设备行业重点公司估值表（截至2026.2.13收盘价）

	股票代码	公司	市值	股价	归母净利润（亿元）				PE			
			（亿元）	（元）	2024	2025E	2026E	2027E	2024	2025E	2026E	2027E
光伏设备	300751.SZ	迈为股份	795	284.47	9.3	7.6	8.8	11.0	86	104	90	72
	300316.SZ	晶盛机电	669	51.11	25.1	10.1	12.5	15.4	27	66	54	44
	300724.SZ	捷佳伟创	427	122.70	27.6	30.4	15.1	11.3	15	14	28	38
	688516.SH	奥特维	318	100.88	12.7	6.8	6.1	6.4	25	47	52	50
	688726.SH	拉普拉斯	318	78.57	7.3	7.8	8.4	9.5	44	41	38	34
	300776.SZ	帝尔激光	244	88.88	5.3	6.4	7.2	7.6	46	38	34	32
	920368.BJ	连城数控	160	68.00	3.4	1.2	2.2	3.2	47	136	74	51
	688556.SH	高测股份	121	14.62	-0.4	-0.4	1.3	2.4	-275	-302	95	50
	603396.SH	金辰股份	58	41.58	0.6	0.7	0.7	0.9	90	81	79	66
			平均							12	25	60

注：晶盛机电、迈为股份、捷佳伟创、奥特维、帝尔激光、高测股份盈利预测来自东吴证券研究所内部预测，其余均为wind一致预期，截至2026.2.13。

- 1. 行业供需修复不及预期风险。**当前全球光伏制造产能仍阶段性高于新增装机需求，若落后产能出清节奏偏慢或海外新增装机释放不及预期，主链盈利修复或延后，从而影响设备订单回暖节奏与板块估值修复弹性。
- 2. 海外政策及贸易环境不确定性风险。**美国及其他地区强化本土制造与贸易保护政策，关税、补贴规则及原产地要求存在变化风险，可能影响中资企业海外建厂节奏及设备出口进度；同时，新兴市场亦可能受地缘政治与融资环境波动影响。
- 3. 新技术及新应用产业化节奏不及预期风险。**HJT、0BB及钙钛矿叠层等技术仍处于降本与规模化推进阶段，量产进度受设备成熟度、良率爬坡及客户验证节奏影响；同时，太空算力等新应用场景尚处早期验证阶段，若规模化部署进度放缓，相关远期需求释放可能低于预期。

免责声明

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

东吴证券投资评级标准

投资评级基于分析师对报告发布日后6至12个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（A股市场基准为沪深300指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普500指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的），北交所基准指数为北证50指数），具体如下：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于基准5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对基准-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于基准5%以上。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议。投资者买入或者卖出证券的决定应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

东吴证券研究所
苏州工业园区星阳街5号
邮政编码：215021

传真：（0512）62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

东吴证券 财富家园