

太空光伏：地外可靠能源，前景星辰大海

电新首席证券分析师：曾朵红
执业证书编号：S0600516080001
联系邮箱：zengdh@dwzq.com.cn

证券分析师：郭亚男
执业证书：S0600523070003
guoyn@dwzq.com.cn

证券分析师：徐铨嵘
执业证书：S0600524080007
xucr@dwzq.com.cn

2026年1月6日

- ◆ **科技竞争前沿，商业航天冉冉升起。** 随着可回收火箭技术的成熟，航天发射成本大幅下降，逐步打破进入太空的经济壁垒。卫星频谱资源的稀缺性推动各国加速抢占战略资源，全球航天器发射量持续高增。近10年来全球航天器发射数自2016年237颗增长至2025年超4300颗，CAGR达34%；25年同增超50%。全球卫星在轨工作数已超万颗，备案数量超10万颗，后续发射数有望进一步井喷。
- ◆ **光伏是卫星唯一高效、长期稳定的能源形式，随功耗增长太阳翼用量提升。** 卫星电源系统在整星制造成本中约20-30%，其中太阳翼是航天器在轨运行的能量心脏，材料特殊、可靠性要求极高，约占60%+价值量，当前主流砷化镓对应约20-30万/平。伴随低轨星座向多功能、重型化演进，卫星单星功率逐步拔升，SpaceX星链V3卫星的太阳翼面积较早期版本增长10倍+。载荷升级推动太阳翼用量扩张，大面积、高效率的太阳翼将成商业航天竞备的关键。
- ◆ **技术路线尚未收敛，有望持续优化。砷化镓为国内主流技术，效率高、抗辐照具备明显优势；** 组件效率可达30%+，但成本高昂、达20-40万元/平，测算约1000+元+/w；其高成本+有限供应或制约大规模卫星星座放量。国外如SPACE X火箭运力成本更低，**晶硅虽能质比低重量大，但单星成本更优、因此可选低成本P型晶硅路线。钙钛矿电池在轻量化与高能质比、低成本、稳定性等方面具备优势，潜力十足、有望成为太空供电更优方案。**
- ◆ **低轨卫星锤炼技术+太空算力需求潜力大，太空光伏前景广阔。** 全球低轨卫星部署进入爆发期，在ITU“先登先占”规则驱动下，各国密集申报星座以锁定稀缺轨道与频谱资源。截至25年底全球已备案超10万颗，其中美国以Starlink为主导（约4.2万颗），中国通过GW、千帆等计划申报超5.1万颗；**假设年发射1万颗卫星有望带来近2000亿太阳翼市场空间。** AI算力需求激增推动算力向太空迁移，依托近地轨道太阳能辐照优势+太空散热环境，太空算力可实现高功率、低延迟运行。北京“辰光一号”、之江实验室三体计算星座等已启动技术验证，目标构建GW级天基算力。**若后续构建10 GW太空算力系统，太阳翼市场规模或达数万亿元。**
- ◆ **投资建议：** 商业航天+低轨卫星加速发展背景下，太空光伏供能最优，或有望迎来高速发展。地面高效钙钛矿/晶硅叠层技术是关键支撑。推荐钧达股份（合作尚翼布局卫星钙钛矿），明阳智能（子公司布局钙钛矿及HJT技术、集团子公司布局砷化镓）；建议关注东方日升、协鑫科技、上海港湾等HJT/钙钛矿电池厂商；关注迈为股份、捷佳伟创、京山轻机等核心设备商；关注高效换热器供应商双良节能、布局商业航天公司股权的金风科技。
- ◆ **风险提示：** 1) 商业航天进展不及预期；2) 钙钛矿应用阶段组件效率、寿命不及预期等



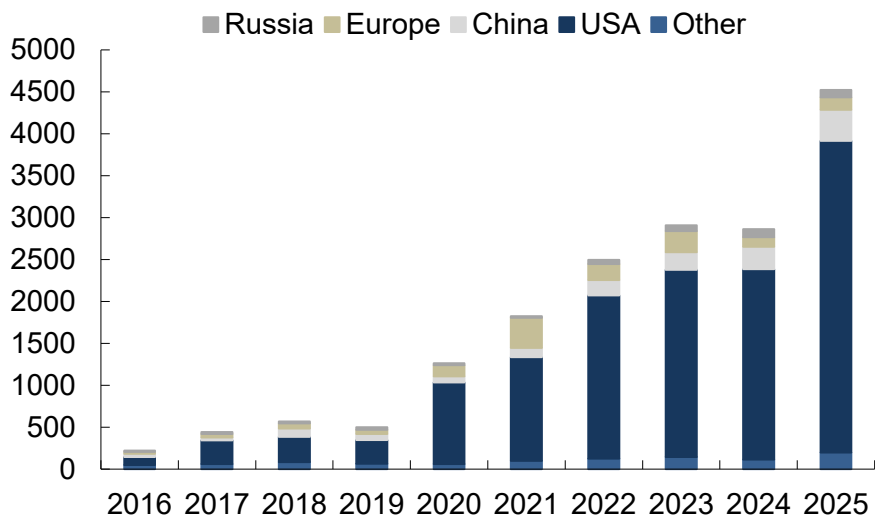
- Part1:商业航天冉冉升起，太空光伏供能最优
- Part2:技术路线尚未收敛，有望持续优化
- Part3:低轨卫星锤炼技术，太空算力前景广阔
- Part4:投资建议和风险提示

PART1 商业航天冉冉升起，太空光伏供能最优

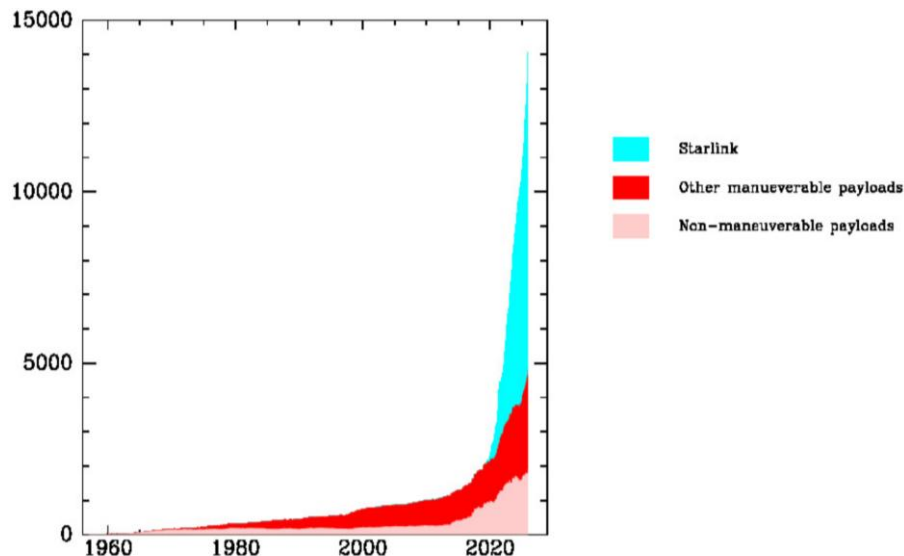
1 发展太空大势所趋，航天发射有望迎来历史级增长

◆ 太空已成为大国战略博弈的新战场，卫星部署规模呈爆发式增长，抢占轨道资源迫在眉睫。全球航天发射活动进入“指数级”增长周期，美国凭借商业航天优势，在发射数量与在轨存量上占据绝对主导，单年入轨载荷已突破2000颗量级；与此同时，中国正加速追赶，发射频次稳步提升。鉴于低轨频段与轨道位置具有“不可再生”属性，进军太空不仅是物理空间的争夺，更是抢占未来空天信息主权与国防安全的制高点。在这场“手慢无”的圈地运动中，加速构建自主可控的空间基础设施已成为国家战略的必选项，2025年全球航天器发射超4300颗，同比增长超50%。

图表：2016-2025年全球航天器发射数（颗）



图表：1956-2025年全球在轨工作卫星数（颗）



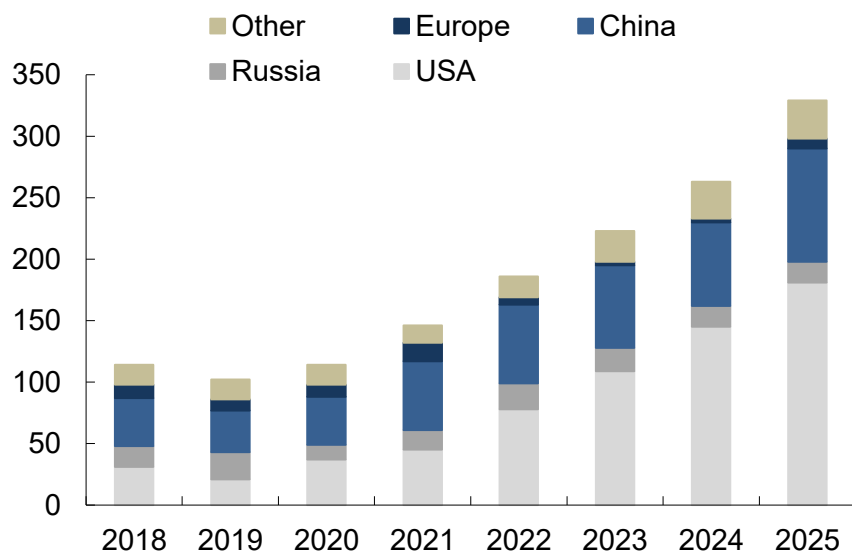
2 运载成本下降，商业航天有望高速发展

◆ **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。

图表：航天器发射成本显著下降（单位：美元/kg）



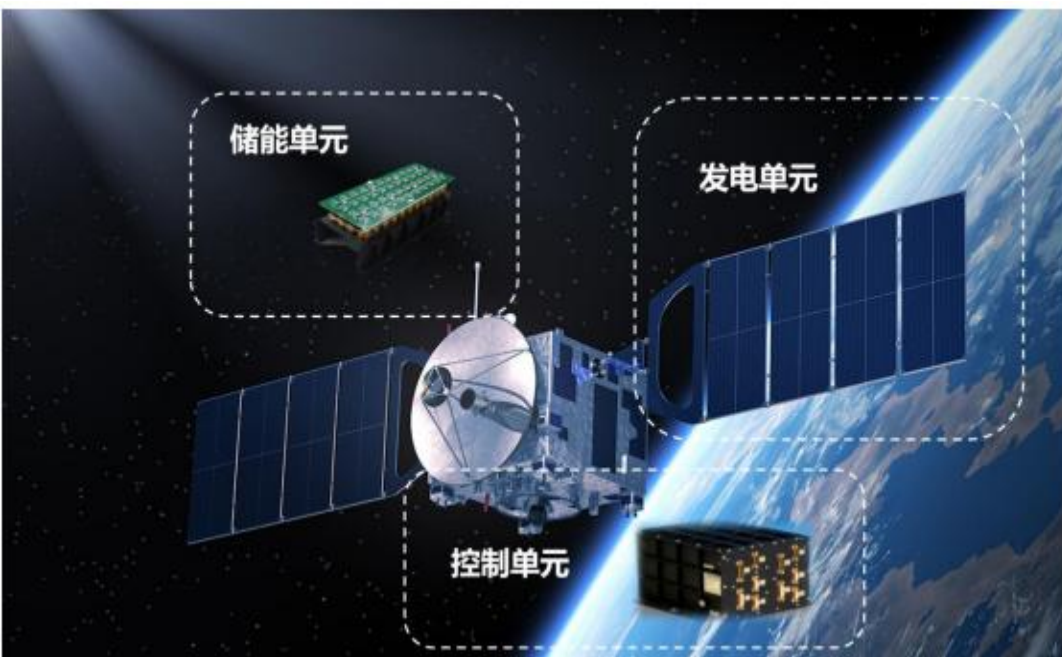
图表：2018-2025年全球航天器发射次数（次）



3 光伏：太空环境唯一可靠能源，前景星辰大海

- ◆ 太阳能是太空唯一高效、长期的能源供给方式，而太阳能电池是供电能力关键。电源分系统是航天器的“心脏”，可为航天器中的用电设备提供电能，目前绝大部分航天器及临近空间飞行器的自主活动都需要宇航电源系统的支持，例如卫星变轨、通讯等。一般采用太阳电池阵—蓄电池组联合电源模式，由空间太阳电池阵（太阳翼）、空间锂离子电池组、电源控制设备等三类单机构成，太阳翼利用光伏效应发电为用电设备提供电能，是卫星系统的动力来源。

图表：卫星电源分系统构成



图表：卫星太阳翼示意图



4 卫星能源系统成本占比较高，主要为光伏电池

◆ 电源系统是卫星在轨行动的能量来源，其重量占比可达卫星总重量的30%，成本占比约22%，其中光伏电池占比超50%，决定供电能力及功率。太阳翼是航天器的发电站，在能源系统中价值量占比高。空间太阳电池阵（太阳翼）是由许多太阳电池组成的阵列，可以将空间轨道的太阳光能转化为电能，以供航天器使用，是航天器电源分系统的主电源。在卫星电源系统中，太阳翼通常价值占比为60%-80%，价值量远高于空间锂离子电池组、电源控制设备。

图表：卫星系统成本拆分

图表：不同类型卫星及其重量、造价

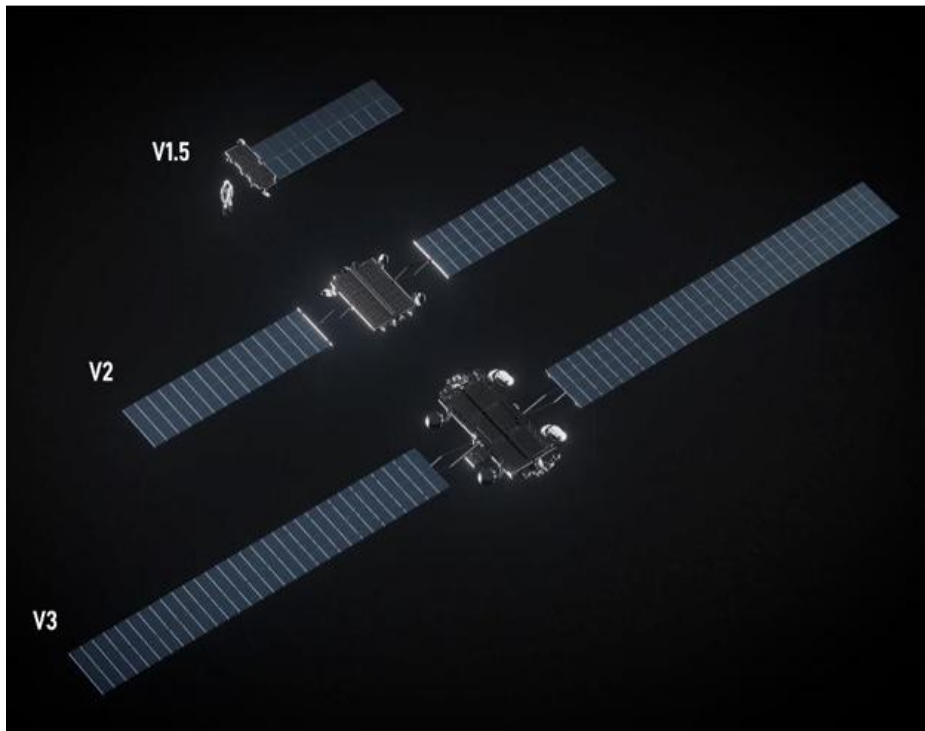
卫星组成	重量占比	成本占比	作用	
有效载荷	30%-50%	/	实现通信功能，如天线分系统负责发送和接收通信及测控信号，通信分系统对信号进行变频、放大和转发等处理	
卫星平台	结构与结构分系统	10%-20%	~12%	为卫星提供支撑和保护，确保卫星在发射和在轨运行过程中的结构完整性。
	电源分系统（太阳翼）	20%-30%	~22%	采用太阳能电池板和蓄电池组成的电源系统为卫星上的各种设备提供电力（电池占比50%）
	热控分系统	5%-10%	~7%	通过被动热控和主动热控技术，控制卫星的温度确保卫星上的设备在适宜的温度范围内工作
	姿轨控分系统	10%-20%	~40%	负责控制卫星的姿态和轨道，使卫星的天线、太阳能电池板等设备始终对准目标方向，并保持在预定的轨道上运行
	测控与数传分系统	5%-10%	~19%	用于与地面测控站进行通信，实现对卫星的遥测、遥控和跟踪，并将卫星获取的数据或转发的通信数据传输到地面

卫星类别	质量范围	典型造价（元）	说明
立方星 / 微纳卫星 (CubeSat)	1-10 kg	10万 - 200万元	多用于科研、教育；如清华“天格”、北航学生卫星
小型商业遥感/通信卫星	50-200 kg	500万 - 3000万元	如长光卫星“吉林一号”系列（约1000万元/颗）
中型低轨通信卫星（如星链类）	250-600 kg	800万 - 1500万元	SpaceX 星链 V2 Mini 成本约 30-50万美元（≈220-360万元），但含规模化摊薄；中国同类商业星约 1000-1500万元
大型高轨通信卫星 (GEO)	3-6 吨	5亿 - 15亿元	如“中星”系列，含高功率转发器、15年寿命、高可靠设计
高分辨率光学遥感卫星	1-3 吨	3亿 - 10亿元	如“高分”系列、“四维高景”三号，含亚米级相机、精密姿态控制
导航卫星（如北斗三号）	~1 吨	2亿 - 5亿元	含原子钟、抗干扰载荷、长寿命平台

5 卫星载荷提升，有望带动太阳翼量价齐升

- ◆ 航天器的功率需求在稳步提高，对能源系统的功率要求不断提升、太阳翼面积持续变大。随着星链卫星质量与功率逐代提升，其太阳翼面积已从V1.5版本的22.68平方米演进至v3版本的256.94平方米，实现了数量级的增长。载荷升级推动太空光伏产业从单纯的组件制造迈向“量价齐升”的广阔蓝海，超大面积、高转换效率的太阳翼将成为未来商业航天竞备的核心资源。

图表：SpaceX 各版本卫星对比



图表：SpaceX 卫星太阳翼参数对比

卫星型号		Starlink v1.5	Starlink v2.0 mini	Starlink v3
FCC备案代号		Gen2 F9-1	Gen2 F9-2	Gen2 starship
卫星总质量		303kg	800kg	2000kg
卫星主体	尺寸 (长*宽) (m)	2.8*1.3	4.1*2.7	6.4*2.7
	面积 (m ²)	3.64	11.07	17.28
太阳翼	尺寸 (长*宽) (m)	8.1*2.8	12.8*4.1	20.2*6.36
	面积 (m ²)	22.68	104.96	256.94
	数量	1	2	2
首飞时间		2021.9	2023.2	预计2026

6 卫星载荷提升，有望带动太阳翼量价齐升

- ◆ **卫星太阳翼成本中，电池片占比较高。**以柔性砷化镓太阳翼为例，参考市场价格情况，我们测算维持功率为1kw的卫星正常在轨运转所需太阳翼面积约为2.37m²，所需BOM和制造成本总计约125万元，对应单瓦卫星太阳翼成本1200+元。

图表：单w柔性砷化镓太阳翼成本测算

项目	单位	数量
卫星功率	w	1000
光电转换效率	-	31%
太阳常数	w/m ²	1360
1kw卫星所需太阳翼面积	m ²	2.37

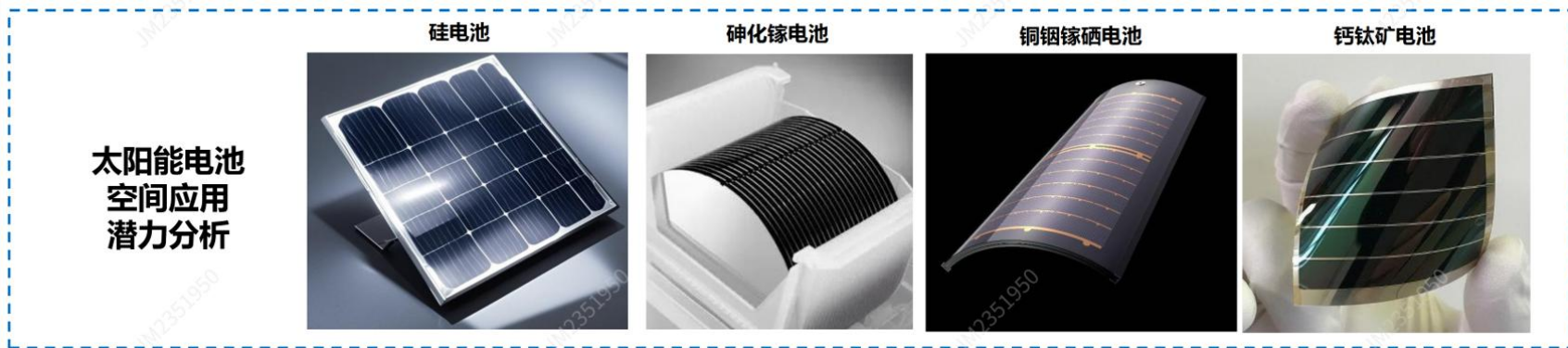
成本细分		数量	单价	总价 (万元)	成本占比	说明
BOM	砷化镓电池片	1050w	0.06万元/w	63	50%	考虑5%的冗余配置
	柔性基板	2.37m ²	6万元/m ²	14.22	11%	聚酰亚胺复合材料
	展开机构	1套	10万元/套	10	8%	铰链、驱动电机等
	碳纤维框架	1套	8万元/套	8	6%	支撑柔性阵列
	防护涂层/胶粘剂	2.37m ²	1.5万元/m ²	3.6	3%	空间级防原子氧图层，导热胶等
	互联片与焊接材料	1套	2万元/套	2	2%	含柔性铜箔，焊接，保护胶
制造成本	人工组装	30工时	0.3万元/工时	9	7%	人工贴片/焊接
	测试	-	-	15	12%	航天级测试周期长
1kw卫星对应太阳翼总成本		-	-	125	100%	-
对应单w成本 (元)		-	-	1248	-	-

PART2 技术路线尚未收敛，有望持续优化

1 技术：砷化镓为国内主流，效率高、抗辐照具备明显优势

◆ **砷化镓电池是当前的主流空间电池，低成本新材料持续发展。**与地面光伏电池追求规模制造和低成本不同的是，空间太阳电池的核心价值在于极致的性能与可靠性，是卫星、空间站和深空探测器等各类航天器的生命线。在宇航电源发展史上，作为主电源的太阳电池阵经历了硅太阳电池——单结砷化镓太阳电池——多结砷化镓太阳电池——薄膜砷化镓太阳电池的四次革新。

图表：太空光伏电池技术分析



图表：太空光伏电池技术演变

20世纪80年代以前

航天器主要采用硅太阳电池作为太阳电池阵的发电单元，它具有工艺成熟、生产成本低、机械强度高优点，通过工艺改进，空间用硅太阳电池的光电转化效率从早期的12.3%提升到15%以上。

20世纪90年代

单结砷化镓电池开始取代硅电池作为航天器的基本发电单元。相较于硅材料，砷化镓的带隙宽度为1.42eV，与太阳光谱的匹配程度高，单结砷化镓电池光电效率可达25%，具有耐高温、耐辐照性能更佳、光电转化效率更高等特点。

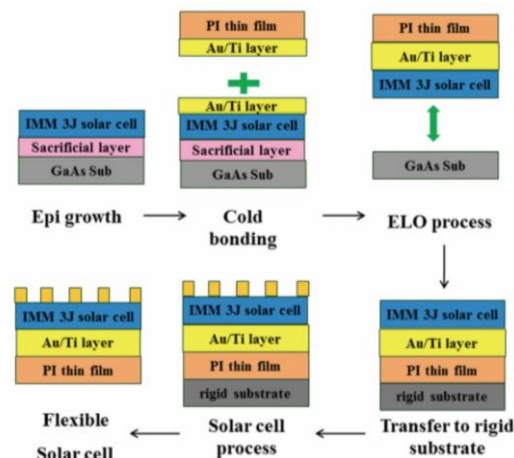
21世纪以来

随着金属有机化合物化学气相沉积（MOCVD）、隧穿结串联等技术的发展，三结砷化镓太阳电池实现工程化量产和空间应用。相比于单结砷化镓电池，三结砷化镓电池具有光电转化效率高、空间环境适应性好、不同于电池层晶格匹配性强等特点。

2 砷化镓：效率高+可靠性高，适配于高端应用场景

◆ 砷化镓电池高效率与可靠性适配于高端应用场景。1) 砷化镓带隙(1.42ev)位于理论最优范围，且多结电池由GaInP、GaAs、Ge多层组成，分别吸收高、中、低能量光子，极大拓宽光谱利用范围；2) 强抗辐射性及优秀的高温稳定性，更使其完美契合高端/长寿命任务的核心需求，性能优势足以抵消高昂成本。3) 对于大规模星座所追求的成本与规模，砷化镓的高成本和有限产能则成为主要障碍，这为钙钛矿等低成本技术提供了竞争空间。

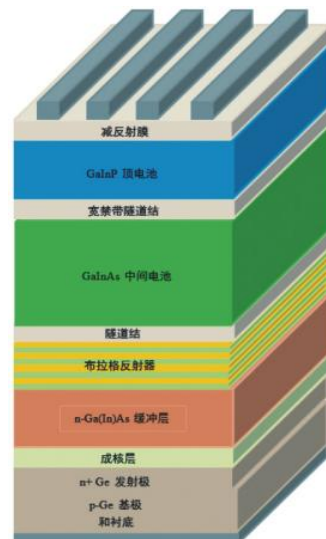
图表：柔性GaAs叠层太阳电池工艺流程图



图表：砷化镓太阳电池优劣势及适配性分析

	高端/长寿命任务场景	大规模/低成本任务场景
典型应用	深空探测器（如火星车）、高轨通信卫星、载人空间站、高价值军用卫星等	近地轨道巨型通信星座（如星链）、对地观测星座、短期技术验证卫星等
核心需求	<ul style="list-style-type: none"> 极致可靠与高效：任务不可修复，需15年以上超长寿命 能源绝对安全 效率最大化以节省平台资源 	<ul style="list-style-type: none"> 成本与规模优先：对单星成本极度敏感，星座需快速部署 寿命要求适中（5-7年） 功率需求可适度妥协
GaAs匹配性	完美匹配： <ul style="list-style-type: none"> 高效率 (>30%) 提供最大电力。 强抗辐射性及优秀的高温性能，保障长期运行可靠性。 技术成熟，在轨验证时间长 	存在错配： <ul style="list-style-type: none"> 复杂工艺&材料稀缺→高昂成本 有限的全球产能，难以支撑数万颗卫星的爆发需求
竞争技术	目前无实质替代者，硅电池等效率与可靠性均无法满足此类任务	柔性晶硅电池/钙钛矿电池：成本优势较大，功率重量比在提升

图表：采用柔性衬底的薄膜GaAs太阳电池结构图



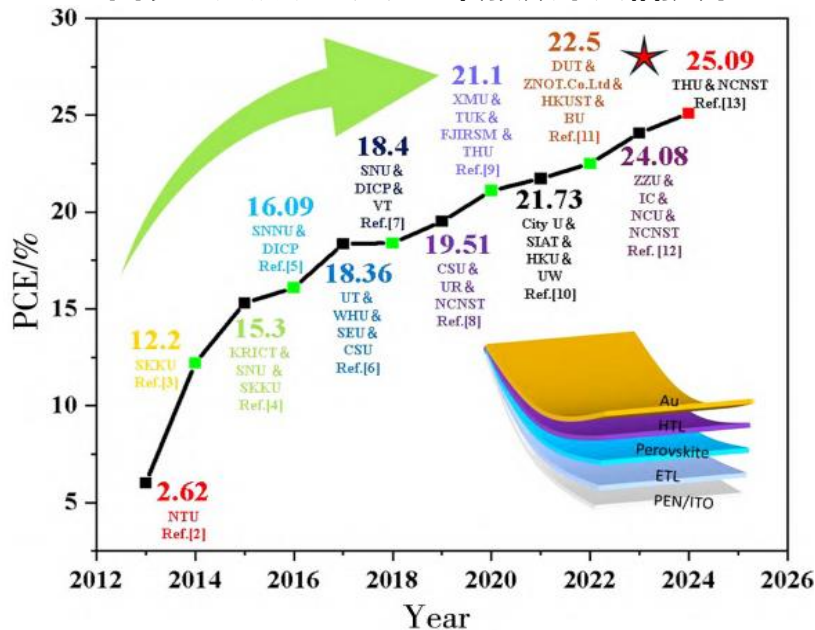
3 钙钛矿：下一代太空光伏材料候选者

- ◆ **钙钛矿技术实现极致降本与效率跃升的双重突破。** 1) 不同于传统晶硅与砷化镓电池的制备路径，钙钛矿采用150°C低温涂布印刷工艺，所有工艺流程都可以在同一个工厂完成，大幅降低了对制造设备的资本开支要求，并且原材料本身来源丰富、成本低，且材料配方可调、比例选择空间大，因此钙钛矿技术路线具备数量级的降本潜力；2) 钙钛矿具有极高的光吸收系数，仅仅 300-500nm的厚度就足以吸收大部分可见光，减轻了发电材料的重量；3) 从性能维度看，其转换效率在短短十余年间即从 2.62% 飞跃至25%以上，且多结钙钛矿可以通过不同带隙的组合，覆盖更宽的太阳光谱范围，实现对不同波长光子的分段吸收，进一步提升光谱利用率。

图表：钙钛矿电池成本优势来源



图表：钙钛矿电池光电转换效率大幅提升



4 钙钛矿：潜力十足，后续有望低成本替代

- ◆ 钙钛矿电池在轻量化与高能质比、低成本、稳定性等方面具备优势，有望成为太空供电终极解决方案。但当前仍面临难点，地面光伏用钙钛矿电池太空环境适应性差：空间环境相较地面恶劣，高低温冲击、高能粒子辐照、紫外光、原子氧等对钙钛矿电池中材料选择、电池结构选择、封装材料选择等提出了极高的要求。

图表：太空光伏电池技术分析

太阳翼电池价格	万元/平	元/W	效率	能质比 (w/g)	单平瓦数
柔性砷化镓	40	1115	31%	0.36	359
刚性砷化镓	25	697	31%	0.36	359
晶硅	5	216	20%	0.07	231
钙钛矿	10	432	20%	30	231

太阳能电池	能质比 (w/g)	抗辐射	AM0实测效率 (%)	温度系数	温度冲击	折叠性	制备成本
硅电池	较低 (0.07)	较弱	16-20	较差	较强	较弱	低
砷化镓电池	一般 (0.36)	强	30-40	强	强	一般	高
铜铟镓硒电池	较高 (2)	较强	18-20	较强	较强	一般	中等
钙钛矿电池	高 (30)	较强	20-25	较强	较强	优	低

5 晶硅：海外运力成本更低，可选择低成本晶硅路线

◆ 运力成本高低影响技术路线选择。SpaceX因发射成本低（约1,500美元/公斤），可选用低成本晶硅电池，通过增大面积弥补效率；而中国因发射成本高，仍倾向高能质比但昂贵的砷化镓电池。

图表：国内外火箭运力成本对比（上表）与星链计划在轨卫星能源供应情况（下表）

项目	SpaceX	中国商业火箭（主力）
主力火箭	猎鹰9号 (Falcon 9)	长征系列（一次性）、朱雀二号、力箭一号等
近地轨道 (LEO)	22.8 吨 (回收状态)	4-6 吨 (如朱雀二号: 4 吨; 力箭一号: 2 吨)
单次发射报价	≈ 6200 万美元 (≈4.5 亿元人民币)	通常 3-6 亿元人民币 (视载荷而定)
单位成本 (每公斤)	1,400-1,800 美元/公斤	6,000-10,000 美元/公斤
	(≈1.0-1.3 万元人民币/公斤)	(≈4.3-7.2 万元人民币/公斤)
是否可回收	一级火箭常规回收复用 (超300次成功)	绝大多数仍为一次性使用 (朱雀三号、天龙三号等处于试飞阶段)

版本	是否在轨	是否仍在发射	关键特性	太阳翼技术	备注
V0.9	否	否	验证星，无激光链路	硅基太阳能电池 (地面级加固型)	成本优先，仅60颗，已退役
V1.0	是 (少量)	否	依赖地面站	硅基太阳能电池 (改进型抗辐射封装)	未使用砷化镓，多家信源确认
V1.5	是 (大量)	否	首配激光星间链路	早期批次：可能试用砷化镓； 主流批次：硅基电池 + 聚酰亚胺基板	激光链路增加功耗，部分高功率型号或采用GaAs，但主体仍为硅
V2.0 Mini	是 (主力)	是	4倍容量，支持手机直连	大规模采用硅基太阳能电池 (效率约18-20%，面积更大，配合PI膜与特种封装材料)	成本控制核心
V2.0 (完整)	否	否	与星舰设计 (1250kg)	未实际部署，原计划或评估砷化镓+高效多结电池 原型星可能测试新型技术：	已取消，无实机数据
V3.0	极少量 (测试)	否 (暂未量产)	1Tbps单星容量	• 高效三结砷化镓 • 或钙钛矿-硅叠层电池 (实验性)	尚未定型；若未来需更高功率密度，可能回归GaAs

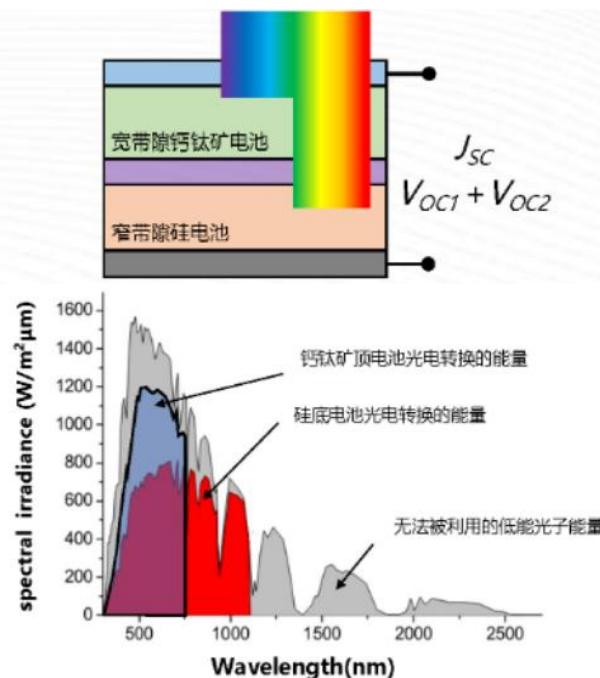
6 晶硅-钙钛矿叠层技术大有可为

◆ **晶硅电池光电转换效率的持续改善，与钙钛矿叠层技术实现颠覆性突破。**以TOPCon、异质结及XBC为代表的n型晶硅电池技术，正推动光伏电池转换效率向27%以上的理论高位稳步逼近，但单结材料的物理瓶颈已日益显现。在此背景下，晶硅-钙钛矿叠层技术为突破肖克利-奎伊瑟极限提供了全新的技术范式：通过构建钙钛矿顶电池与晶硅底电池的串联结构，该技术实现了对太阳光谱的精准分级利用——顶层高效吸收高能短波辐射，底层兜底捕获低能长波光子。这种光谱互补机制大幅提升了全谱段光子利用率，提升光电转换效率，有望成为太空光伏电池的过渡技术路线。

图表：晶硅电池转换效率逐年提升

分类		2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2030年
p型单晶	PERC p型单晶电池	23.5%	23.6%	23.7%	23.7%	23.7%	23.7%
	TOPCon单晶电池	25.4%	25.7%	26.0%	26.2%	26.4%	26.6%
n型单晶	异质结电池	25.6%	25.9%	26.2%	26.5%	26.7%	26.9%
	XBC电池	26.0%	26.3%	26.6%	26.9%	27.2%	27.4%

图表：钙钛矿-晶硅叠层技术提升转换效率

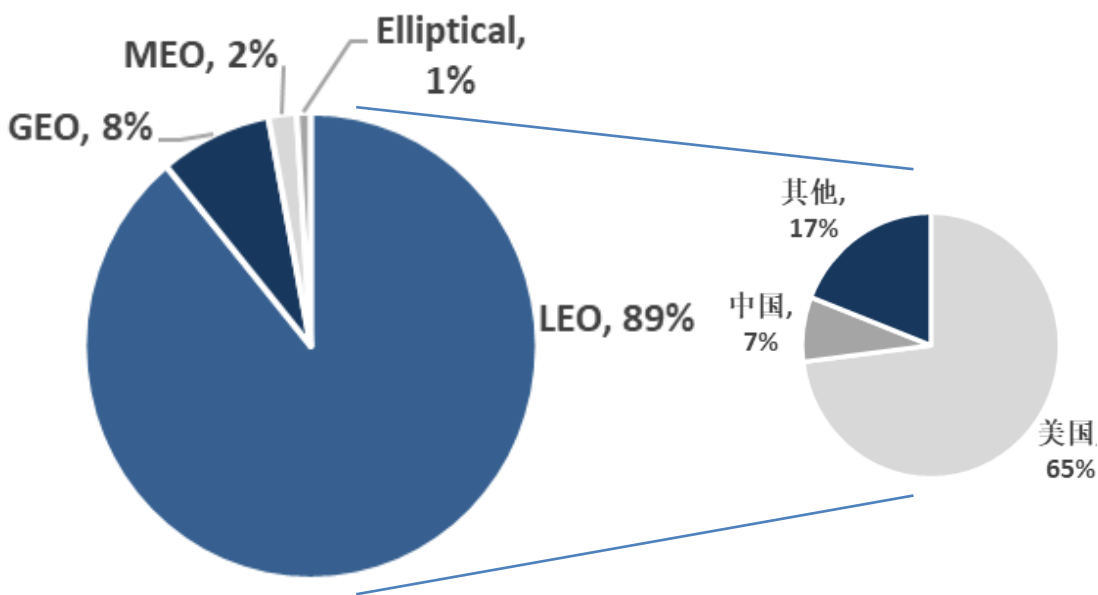


PART3 低轨卫星锤炼技术，太空算力前景广阔

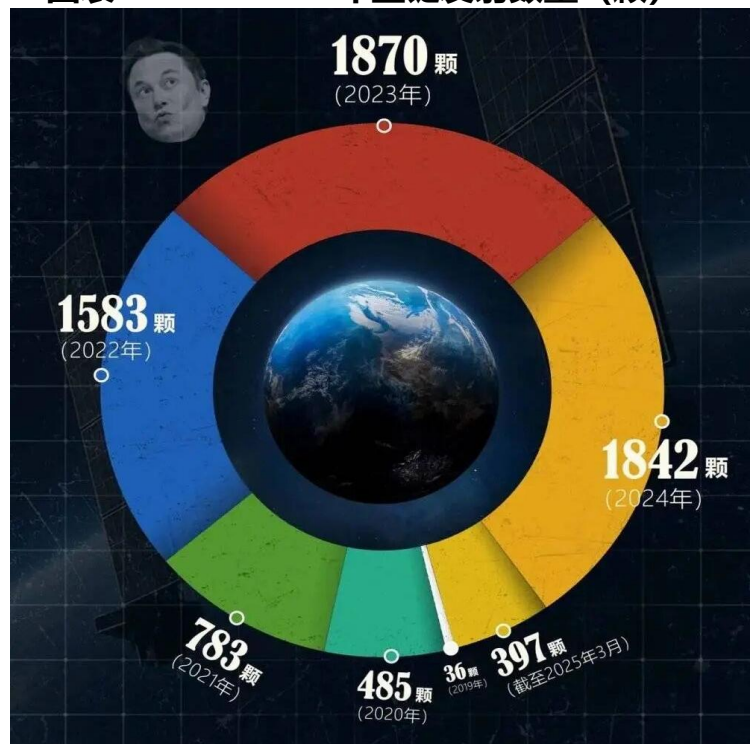
1 低轨卫星：科技竞备磨练技术，太空轨道先占先得

◆ **轨道资源有限，面临占频保轨压力，中国星座建设有望进入快车道。** 太空近地轨道空间能够容纳的卫星数量有限，国际上对近地轨道空间的使用权采用的是“先登先占”的规则，频段资源需要先行申报，并且ITU要求申请了频率和轨位以后，7年内必须发射第一颗星、9年内必须发射总数达到10%、12年内发射总数需要达到50%、14年内整个星座必须完成发射。星链凭借先发优势，已经占据了Ku、Ka、E在内的无线电黄金频段，随着发射成本逐步降低，中国星座建设有望加速追赶。

图表：全球在轨卫星及低轨卫星份额（截至23年5月）



图表：2020-2025年星链发射数量（颗）



2 低轨卫星：科技竞备磨练技术，太空轨道先占先得

◆ **全球低轨卫星加速部署，卫星光伏弹性空间大。** 目前各国向国际电信联盟ITU提交的星座计划总规模极为庞大，全球已申报低轨卫星总数超10w颗，其中美国约4.5w颗，SpaceX规划4.2万颗领跑；中国约5.3w颗，规模靠前的有千帆、GW（国网）、鸿鹄三号、吉利未来出行等星座。当前近地轨道在轨活跃卫星仅1.2-1.3w颗，根据高盛预测，未来五年全球或将有超过7万颗低轨卫星发射升空，数万颗规模的星座申报及发射入轨将直接转化为对高性能光伏电池的刚性需求，未来空间可观。

图表：全球主要低轨通信星座发射计划

星座名称	公司	总规划数	发射计划	在轨卫星数
国网	中国星网集团	约1.3万	GW-A59: 6080 GW-2: 6912	136
千帆 (G60)	上海垣信卫星科技有限公司	超1.4万	2027: 1296颗 2030: 1.2万颗	108
HONGHU-3	蓝箭鸿擎科技集团公司	1万	2024提交申请	0
吉利未来出行	吉利	6012	第一阶段72颗 第二阶段264颗 第三阶段5,676颗	64
Starlink	SpaceX	4.2万	—	约9400
Amazon Leo	亚马逊	授权3236	2026.7: 约1600颗 2029.7: 完成其余	180
Outernet	Rivada Networks	约600	2027年底部署完成	0
Telesat Lightspeed	Telesat	198	2026中期开始发射	0

图表：低轨卫星光伏市场空间测算

低轨卫星光伏空间弹性空间测算					
卫星发射数量(万颗/年)	0.1	0.3	0.5	0.8	1
单星功率(kw)	35				
卫星总功率 (GW)	0.035	0.105	0.175	0.28	0.35
预计太阳翼单价(元/W)	1200	960	768	691	622
市场空间 (亿元)	420	1008	1344	1935	2177

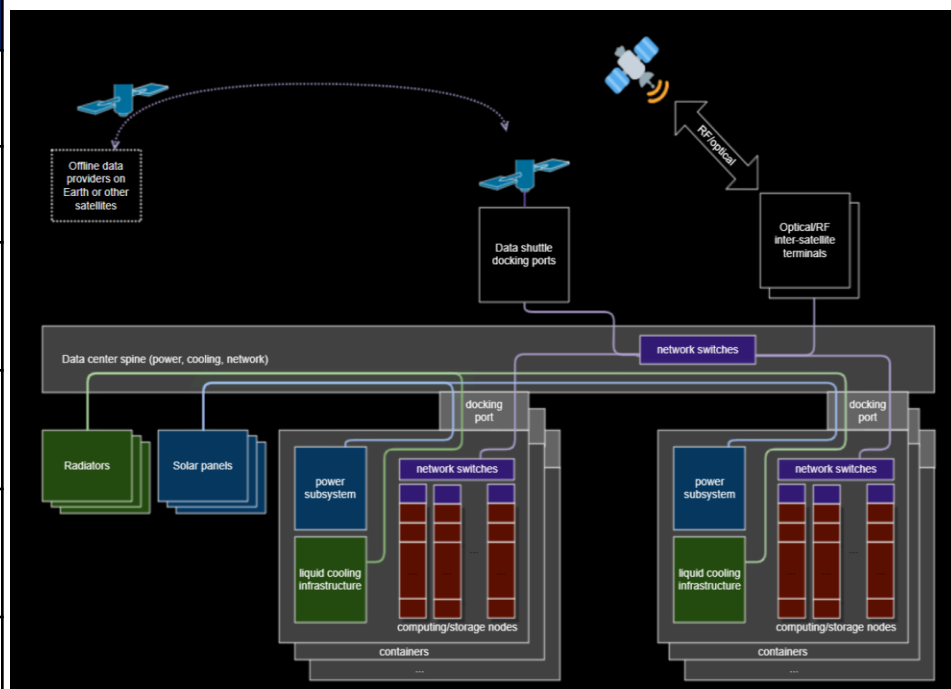
3 太空算力：太空数据中心建设加速，太空光伏打开想象空间

◆ 地面能源供给瓶颈与AI计算需求的日益凸显，构建太空算力基础设施已提上日程。太空算力在特定场景下具备显著优势：可利用太空近乎无限的太阳能实现高效供电，借助深空超低温环境实现自然冷却以降低能耗，同时实现遥感数据的“天感天算”，大幅降低回传延迟。当前，全球主要经济体已竞相启动实质性布局，国内之江实验室的“三体计算星座”与国星宇航的“星算计划”已率先完成首批算力卫星发射；海外Starcloud与欧盟Google也分别提出了建设太空算力的宏伟蓝图，太空算力网络正加速从概念构想迈向规模化部署的新阶段。

图表：全球太空算力中心建设规划

算力计划	公司/机构	规划	目前进展
星算计划	国星宇航	建成由2800颗计算卫星组成的超级太空计算中心	01星座已于25年5月发射并交付，成为全球首个太空计算星座
天算计划	中科天算	2030年前建成天基万卡级超算与数据中心	2024年发射的极光1000·慧眼，更是完成了天基大模型在轨推理
三体计算星座	之江实验室	建成总算力达1000P的太空计算基础设施	首批发射12颗卫星，单星最高算力达744TOPS，整体具备5POPS在轨计算能力和30TB存储容量
琶洲太空智算中心	佳都科技	打造规模达500P的太空算力集群，其中第一阶段建成100P规模算力集群。	
-	Starcloud	建造一个5千兆瓦、跨度约4km的轨道数据中心，包括一个4km的太阳能电池阵列托架	25年11月成功发射搭载英伟达H100芯片与谷歌Gemini大模型的技术试验星，进行遥感数据处理
捕日计划	Google	27年与Planet Labs合作发射两颗原型卫星，每颗携带4个TPU	

图表：Starcloud太空数据中心构造



4 太空算力：数据中心能耗大幅提升，太空光伏市场空间可观

◆ 太空算力是 AI 算力体系从地面向轨道空间延伸的全新范式。太空算力是在地球低轨或中轨卫星中部署的具备推理与训练能力的模块化服务器节点，形成“轨道数据中心”，可执行大规模AI运算，协同完成数据处理任务，超越传统卫星“感知+回传”的功能，具备自治智能、实时响应、分布式协作等特性。太空数据中心建设有望打开太空光伏远期想象空间。

图表：Starcloud 5GW 轨道数据中心构想



图表：马斯克关于太空算力的看法（上表）及太空光伏空间测算（下表）

马斯克的原话或核心表述	出处/背景
“先进AI的能源和散热需求较大。在太空中，你拥有无限的太阳能，并可通过辐射实现完美的散热——这是理想环境。” (“The energy and cooling requirements for advanced AI are enormous. In space, you have unlimited solar energy and perfect heat rejection via radiation. It's the ideal environment.”)	2023年4月，X平台帖子
“我们正在为人类未来的智能构建基础设施——它将在轨道上，由数吉瓦的太阳能驱动。” (“We're building the infrastructure for humanity's future intelligence — and that will be in orbit, powered by gigawatts of solar energy.”)	2024–2025年，SpaceX内部会议（经Ars Technica等报道）
“借助星舰，我们每年可部署兆瓦级——最终吉瓦级——的计算能力。” (“With Starship, we can deploy megawatts — eventually gigawatts — of compute per year.”)	2025年初，特斯拉与SpaceX联合技术日（现场记录）
“这些卫星不是简单的转发器，而是配备了强大处理器的飞行计算机……本质上是一个分布式的轨道计算网络。”	2024年，星链V2 Mini发布说明
“Starship will enable gigawatt-scale infrastructure in orbit.” (“星舰将实现在轨吉瓦级基础设施。”)	2025年9月，X平台

太空算力光伏空间弹性空间测算					
太空算力市场空间 (GW)	1	5	10	30	50
预计太阳翼单价 (元/W)	600	420	294	206	144
市场空间 (亿元)	6000	21000	29400	61740	72030

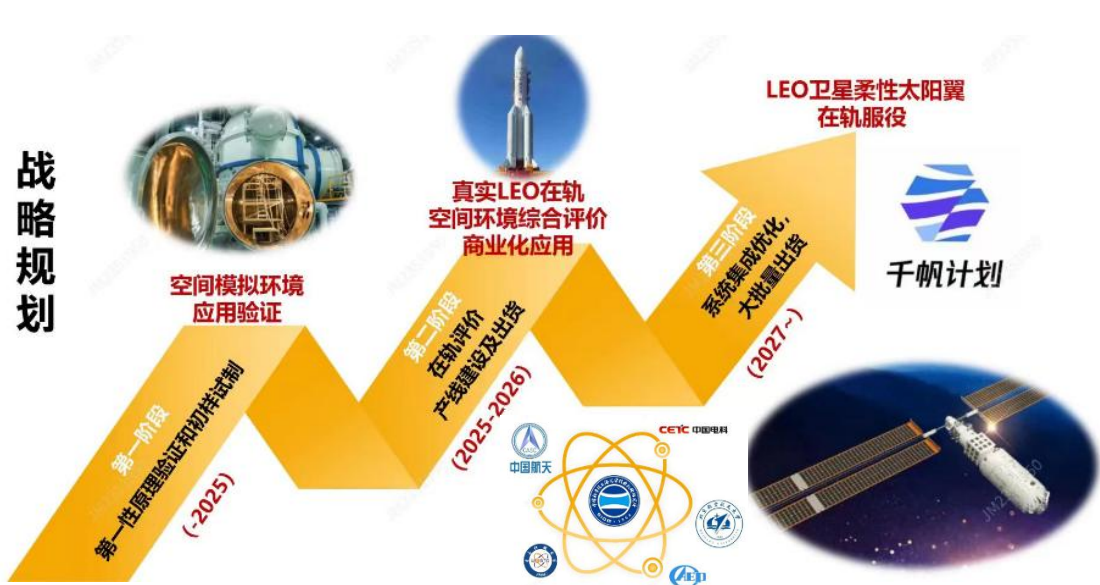
1 钧达股份：携手尚翼光电，钙钛矿叠层技术领跑赛道

- ◆ **前瞻布局太空能源，通过股权投资切入高壁垒航天赛道。** 公司精准卡位低轨卫星与太空算力对高性能电源的爆发式需求，2025年12月正式宣布与尚翼光电达成战略合作，通过股权投资的方式深度绑定这家拥有中科院上海光机所技术背景的企业。尚翼光电在航天抗辐照电源领域拥有深厚的技术积累，此次战略合作，标志着钧达股份正式从地面光伏龙头向太空能源供应商转型。
- ◆ **钙钛矿叠层电池效率突破，首款产业化产品已成功下线。** 作为N型电池技术的领军者，公司在钙钛矿-晶硅叠层技术上取得重大突破，目前实验室转换效率已达32.08%；首片产业化N型+钙钛矿叠层电池已于25年11月顺利下线，预计26年上半年完成量产线建设，具备批量供应能力。

图表：钧达股份与尚翼光电达成战略合作



图表：尚翼光电背景及战略规划



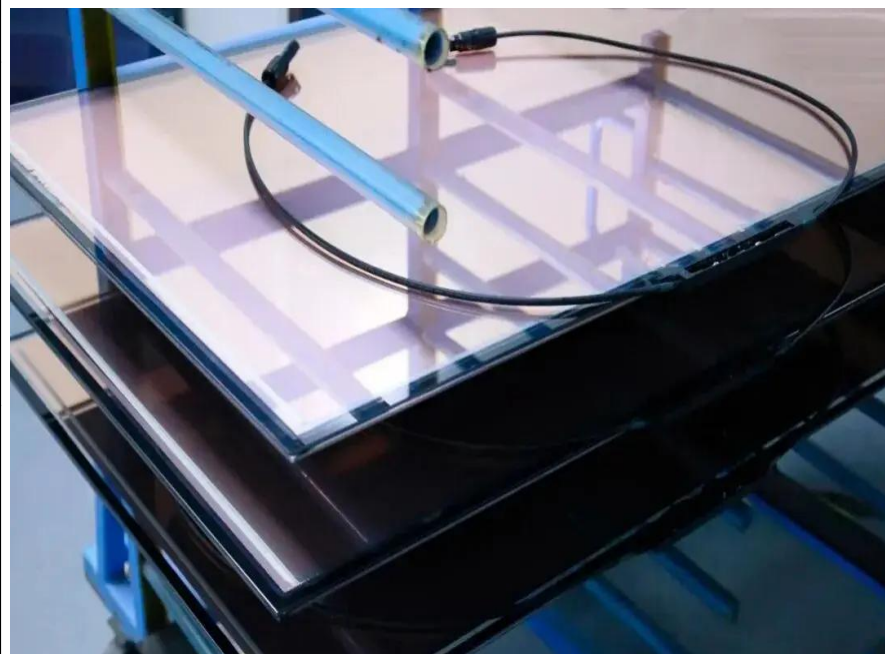
2 明阳智能：多种技术全面布局，前瞻抢占太空市场

◆ **双子公司实施差异化布局，有望抢占未来太空光伏市场。** 集团控股的中山德华芯片公司专注于商业卫星太阳翼市场，已成功将转换效率达33.5%、单星价值量300-500万元的全柔性砷化镓太阳翼应用于星网等星座，凭借全产业链自主可控能力实现显著成本优势；同时，其子公司明阳薄膜科技则深耕远期钙钛矿组件市场，已建成中试线并实现第三方认证效率22.41%，致力于攻克其在太空环境下的稳定性难题，为下一代颠覆性技术储备解决方案。

图表：明阳智能子公司布局及发展状况

子公司	核心技术/产品	关键性能数据	当前进展与市场目标
中山德华芯片	三结砷化镓/全柔性太阳翼	<ul style="list-style-type: none"> 高转换效率：在轨验证中，空间转换效率达33.5%，位居行业顶尖。 轻量高收纳：采用超弹性记忆复合材料与柔性薄膜电池，实现业内“重量最轻、收拢体积最小”之一。 成本优势：通过全产业链自主可控（从外延、芯片到结构机构）和创新工艺控制成本。 	<ul style="list-style-type: none"> 已获应用：已成功为国内商业卫星互联网技术试验卫星供电电源系统。 市场定位：凭借高性能、轻量化和成本控制，瞄准大规模部署的低轨商业卫星市场（如星网、千帆）。
明阳薄膜科技	钙钛矿及叠层电池	<ul style="list-style-type: none"> 高实验室效率：1.2*0.6m²组件获第三方认证效率22.41%；实验室效率达31.12%。 产业化探索：中试线已搭建运营，进行工艺和稳定性攻关。 产线建设：已启动200MW钙钛矿/硅叠层电池中试线建设。 	<ul style="list-style-type: none"> 技术储备：目前存在太空温度稳定性与粒子辐射耐受性等关键挑战。 远期规划：作为远（预计2028年后）颠覆性技术储备，目标是实现更高的比功率（单位重量功率）。

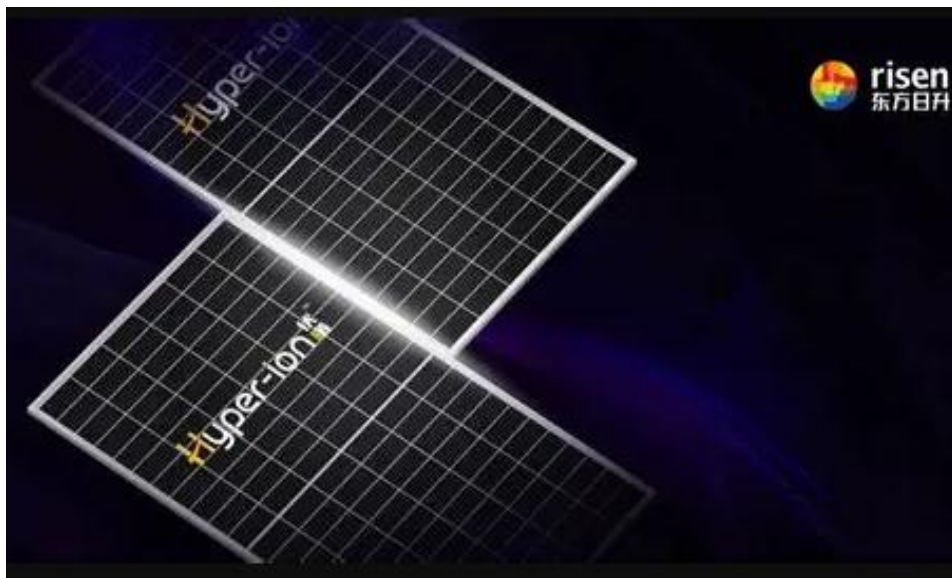
图表：明阳薄膜科技钙钛矿产品



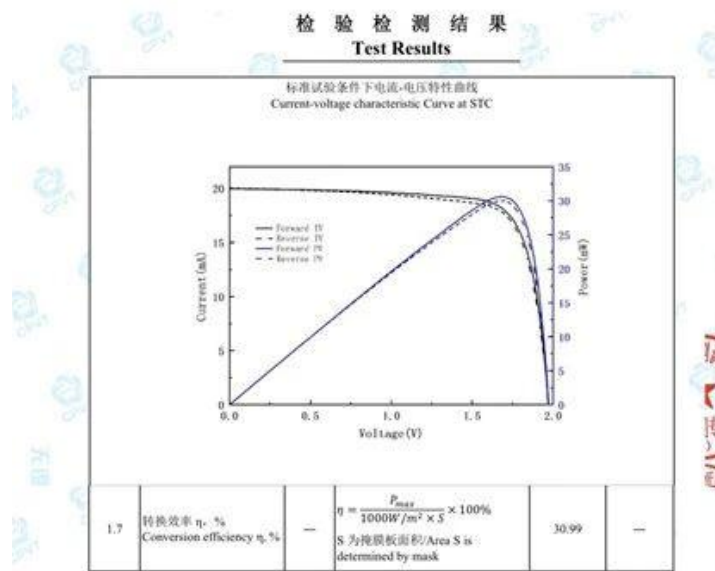
3 东方日升：切入太空P型HJT，巩固太空能源技术护城河

- ◆ **HJT技术储备充分，产品完美适配太空环境。** 公司自主研发的50μm超薄p型HJT电池，凭借轻量化、强抗辐照的卓越性能，以及与柔性太阳翼的高适配特性，完美适配卫星长期运行需求，成功在商业航天领域构筑起差异化竞争壁垒；量产异质结伏曦pro组件平均功率突破740Wp，电池量产效率已突破26.61%，单片功率达5W，同时较传统PERC电池减重60%以上。
- ◆ **钙钛矿产品突破，打造下一代太空能源技术护城河。** 异质结的“TCO膜+对称结构+低温工艺”特性，使其天然具备钙钛矿叠层升级潜力，经国家太阳能光伏产品质量检验检测中心权威认证，公司研发的钙钛矿/晶硅异质结叠层电池成功实现30.99%的转化效率，并计划在27年推出功率达850W以上的钙钛矿叠层电池，有望深度享受商业航天时代红利。

图表：东方日升“伏曦”系列HJT组件产品



图表：东方日升钙钛矿叠层电池实现30.99%转换效率



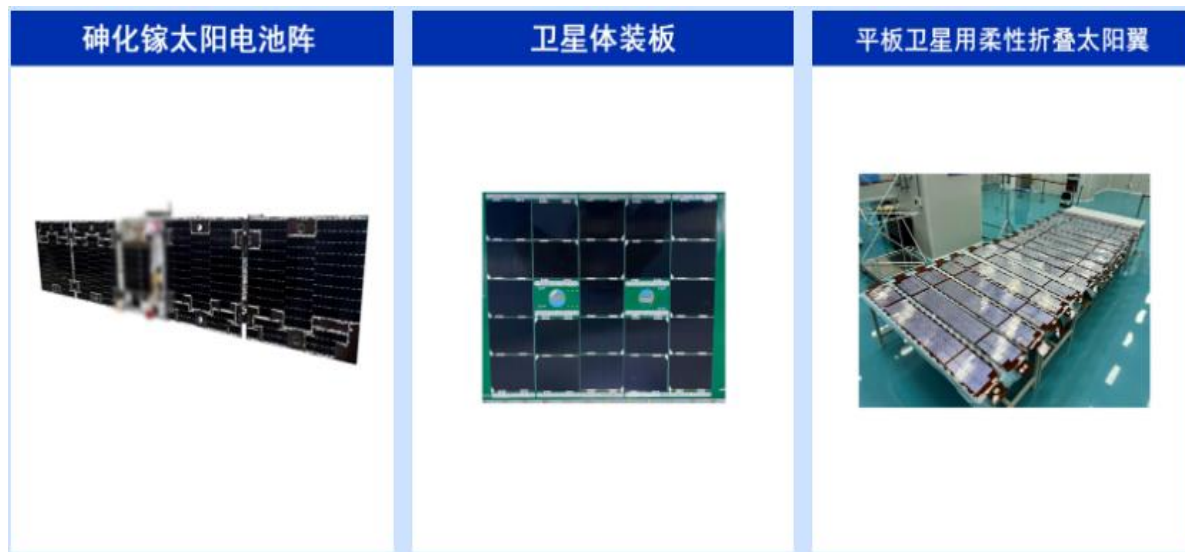
4 上海港湾：控股伏曦炘空，跨界布局商业航天赛道

- ◆ **基建龙头跨界布局航天，开辟第二增长曲线。** 2023年公司成立上海伏曦炘空，持股80%，汇聚了航天院所、中科院及高校精英，专注于为卫星、探测器等空间飞行器提供低成本高性能的能源系统，开发了砷化镓太阳能电池阵、钙钛矿太阳能电池阵、电源控制单元及锂电池组等多项核心产品，累计保障18颗卫星发射，49套卫星电源系统、太阳帆板及结构机构持续在轨稳定运行。
- ◆ **伏曦炘空产品陆续发射入轨，技术领先行业。** 25年5月，搭载公司太阳能电池阵列的西光壹号02星法和升空；25年9月，谷神星一号（遥十五）“鹊桥仙”发射，公司为其提供了能源系统（含太阳能电池阵）与测控数传系统；截至25年11月，公司钧天一号03星钙钛矿电池在轨一年试载正常。公司多项产品陆续发射入轨，随着商业航天发射进入高速增长阶段，公司有望持续受益。

图表：伏曦炘空获评独角兽企业



图表：伏曦炘空部分太阳能电池产品



5 迈为股份：光伏设备龙头，有望受益于太空光伏需求扩容

- ◆ **异质结设备龙头强者恒强。** 公司陆续突破了 HJT 电池核心工艺环节中的PECVD、PVD等设备，并通过参股公司吸收引进日本 YAC 的制绒清洗技术，实现了 HJT 电池设备的整线供应能力，公司采用自主研发的可量产设备和工艺研制的N型晶硅异质结电池，其转换效率已达26.8%。
- ◆ **钙钛矿设备订单落地，太空光伏需求带来新增量。** 公司在原有异质结工艺的PECVD、丝网印刷等设备基础上，新增喷墨打印设、真空干燥机、蒸镀机等钙钛矿叠层技术电池设备，前瞻卡位钙钛矿赛道，近日公司已正式签订钙钛矿/硅异质结叠层电池整线供应合同，成功取得公司在叠层电池领域的首个商业化整线订单，随着商业航天进入快车道，太空光伏需求有望为公司带来业绩新增量。

图表：迈为股份异质结电池设备项目投产

图表：迈为股份钙钛矿叠层电池产线设备



迈为股份钙钛矿/异质结叠层电池整线解决方案

整线主要优势：

- **200MW** 单线年产能；
- **> 30%** 电池转换效率(添加减反层)；
- **100%** 设备（包含核心设备和自动化设备）均自主研发。



依托迈为股份叠层电池整线解决方案，客户不仅能快速具备钙钛矿-异质结叠层电池的领先研发实力，更能率先获取全产业链核心Know-how，进行前瞻性专利布局，强化市场竞争力。



6 乾照光电：砷化镓赛道核心龙头，深度受益于商业航天发展

- ◆ **砷化镓太阳能电池外延片国内市占率第一，产品已应用于商业航天。**砷化镓太阳能电池外延片作为公司战略布局的重要方向，在商业航天高速发展的带动下实现销量大幅增长，出货量稳居国内市场第一。公司产品可覆盖“空天地”全场景，既满足地面电站稳定供电需求，又适配低空设备续航、航天卫星抗极端环境的严苛标准，场景兼容性强，公司砷化镓电池产品已批量应用于国内在轨运行的大型商业航天星座组网卫星（如G60千帆星座等）；柔性薄膜电池外延片产品已实现大批量交付；聚光带隙匹配三结电池已在客户的聚光光伏新能源项目中使用，进一步拓宽了砷化镓太阳能电池的应用范围和市场空间。

图表：太阳能电池外延片是公司核心业务



图表：乾照光电砷化镓电池外延片产品



PART4 投资建议

- ◆ **投资建议：**商业航天+低轨卫星加速发展背景下，太空光伏供能最优，或有望迎来高速发展。地面高效钙钛矿/晶硅叠层技术是关键支撑。推荐钧达股份（合作尚翼布局卫星钙钛矿），明阳智能（子公司布局钙钛矿及HJT技术、集团子公司布局砷化镓）；建议关注东方日升、协鑫科技、上海港湾等HJT/钙钛矿电池厂商；关注迈为股份、捷佳伟创、京山轻机等核心设备商；关注高效换热器供应商双良节能、关注布局商业航天公司股权的金风科技。

图表：太空光伏产业标的估值表（截至2026年1月5日）

环节	证券代码	名称	总市值 (亿元)	股价 (元)	归母净利润 (亿元)			PE			来源
					2025E	2026E	2027E	2025E	2026E	2027E	
太空电 池	002865.SZ	钧达股份	154	53	-5	7	13	-30	24	12	东吴证券研究所
	601615.SH	明阳智能	333	15	12	24	34	28	14	10	东吴证券研究所
	300118.SZ	东方日升	165	14	-8	4	12	-20	38	14	Wind一致预期
	605598.SH	上海港湾	161	66	1	2	2	114	87	71	Wind一致预期
	3800.HK	协鑫科技	375	1	-10	15	27	-37	26	14	Wind一致预期
设备	300751.SZ	迈为股份	542	194	8	9	11	71	62	49	东吴证券研究所
	300724.SZ	捷佳伟创	335	96	29	16	14	12	21	23	Wind一致预期
	000821.SZ	京山轻机	83	13	3	4	5	28	21	17	Wind一致预期

- ◆ **1) 商业航天进展不及预期。**商业航天相关技术标准尚未统一技术路线体制尚未完全实现收敛，相关监管政策、生产设备、应用软硬件尚处于持续完善或开发过程中，产品形式形态尚未完全固化，若相关技术发展不及预期将影响商业航天的产业化应用推广及商业化运营。
- ◆ **2) 钙钛矿应用阶段组件效率、寿命不及预期。**多家钙钛矿组件厂商通过IEC 61215 双85测试，但尚未实现大量出货，未有大规模实际应用，应用阶段组件效率、寿命或不及预期。
- ◆ **3) 产品销量低于预期。**我们认为钙钛矿前期主要市场为BIPV、CIPV 薄膜电池领域，如在这两个领域销量不达预期，钙钛矿电池或面临扩产速度减缓。

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。

东吴证券财富家园