

光伏设备

2026年01月26日

太空光伏深度报告：光伏向空，志在星海

——行业深度报告

投资评级：看好（维持）

殷晟路（分析师）

周航（联系人）

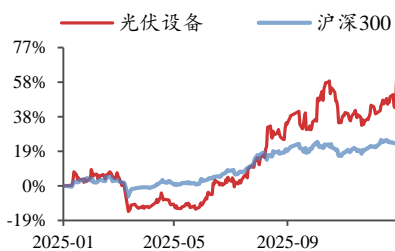
yinshenglu@kysec.cn

zhouhang1@kysec.cn

证书编号：S0790522080001

证书编号：S0790125050020

行业走势图



数据来源：聚源

相关研究报告

《光伏出口退税将全面取消，倒逼行业高质量发展——行业点评报告》

-2026.1.11

《光伏反内卷深度：反内卷持续深化，关注贝塔修复——行业深度报告》

-2025.9.3

《光伏技术深度系列（一）：BC 盈利拐点率先而至，“反内卷”时代未来可期——行业深度报告》

-2025.7.28

● 太空迈入晶硅时代

太空高能宇宙辐射、 $\pm 150^{\circ}\text{C}$ 极端温差循环、高真空散热受限等极端环境，对光伏电池的转换效率、寿命及材料结构提出严苛要求。现阶段 III-V 族多结光伏电池凭借高转换效率、优异抗辐射性与稳定性，成为卫星及空间站能源供给主流选择，但其依赖 MOCVD 设备与稀缺金属镓，成本高达 20 万-30 万元/ m^2 ；而 SpaceX 开创性采用硅基 PERC 光伏电池，依托地面成熟供应链实现成本大幅下探，尽管硅基电池抗辐射性和转换效率低于 III-V 族电池，但其衰减周期与卫星设计寿命匹配，适配高频次卫星替换的运营模式，推动低轨卫星大规模部署。

● p 型 HJT 及钙钛矿叠层适配太空场景

p 型硅基电池抗辐射性能显著优于 n 型，而 HJT 电池具备薄片化、低银耗、低衰减及低温度系数等优势，因此 p 型 HJT 电池成为当前最适配太空场景的晶硅光伏技术路线。薄片化方面，当前头部企业已实现 50-70 μm p 型超薄 HJT 电池交付，薄片化设计可降低发射载荷、适配卷迭式太阳翼，同时减少辐射衰减；低银耗方面，HJT 依托低温工艺实现银包铜技术规模化应用，银耗降至 5mg/W，在银价高企背景下具备显著成本优势；此外，HJT 的衰减表现与温度系数均优于 PERC、TOPCon 等晶硅电池技术路线。

晶硅钙钛矿叠层电池技术，破解了太空光伏“效率-成本-抗辐射性”不可能三角。晶硅钙钛矿叠层电池通过光谱分治突破晶硅效率极限，理论极限超 43%；钙钛矿比功率远超其他电池技术，且抗辐射性能优异，电子辐射下性能降幅低于砷化镓及晶硅电池，具自修复能力，叠层结构兼顾抗辐射与长寿命优势；当前钙钛矿技术已实现 GW 级产线落地，产业化路径清晰，有望成为太空光伏终极方案。

● 太空算力空间星辰大海

马斯克计划通过 SpaceX、Tesla 和 xAI 三方协同，构建基于 Starlinkv3 卫星的轨道数据中心，规划 5 年内内部署 100GW 太阳能 AI 卫星，2026 年其推进建设 100GW 美国本土光伏产能也印证了这一规划。

不同于地面光伏的极致成本竞争，太空光伏以供电可靠性为第一优先级，高试错成本与长在轨测试周期抬高行业门槛，核心壁垒在于商业资源对接能力、品牌认可度、技术研发与工程化落地能力等维度。伴随百 GW 级太空算力市场释放，叠加太空光伏电池高单位价值量，将为光伏行业开辟全新增长空间。

● 受益标的

行业头部设备厂商：迈为股份、捷佳伟创、拉普拉斯、奥特维、连城数控、帝尔激光、双良节能、高测股份、宇晶股份。深度布局太空光伏技术的电池厂商：东方日升、钧达股份、天合光能、晶科能源。

● **风险提示**：政策推进不及预期风险、行业竞争格局变化风险、技术迭代不及预期风险。

目 录

1、 从平行到交汇，太空迈入晶硅时代	5
1.1、 光伏是航天器最重要的能源供应	5
1.2、 降本增效是光伏技术迭代的驱动力	5
1.2.1、 地面光伏：逼向晶硅效率极限	5
1.2.2、 太空光伏：降本推动转向晶硅	9
1.3、 太空场景 p 型 HJT 具备比较优势	13
1.3.1、 p 型硅片更适合太空场景	13
1.3.2、 HJT 技术比较优势明显	15
1.4、 晶硅钙钛矿叠层有望成为最终方案	17
1.4.1、 晶硅钙钛矿叠层突破晶硅极限	17
1.4.2、 晶硅钙钛矿叠层产业化加速	19
2、 太空竞赛启幕，光伏开辟全新蓝海	20
2.1、 低轨通信卫星推动放量	20
2.1.1、 低地球轨道具备大规模部署卫星的需求	20
2.1.2、 低轨通讯卫星推动太空晶硅规模化量产	22
2.2、 太空算力空间星辰大海	23
2.2.1、 低地轨道具备充足卫星容量	23
2.2.2、 太空算力带来广阔空间	24
2.2.3、 太空光伏的核心通胀逻辑	25
3、 放量前夜布局，设备厂商抢占先机	26
3.1、 迈为股份	26
3.2、 捷佳伟创	27
3.3、 拉普拉斯	27
3.4、 奥特维	28
3.5、 连城数控	29
3.6、 帝尔激光	30
3.7、 双良节能	30
3.8、 高测股份	31
3.9、 宇晶股份	32
4、 群雄竞逐赛道，头部厂商蓝海掘金	32
4.1、 东方日升	32
4.2、 钧达股份	33
4.3、 天合光能	34
4.4、 晶科能源	35
5、 风险提示	37

图表目录

图 1： 光伏电池转换效率持续突破	6
图 2： BSF 电池结构图	6
图 3： PERC 电池结构图	7
图 4： 全球 TOPCon 电池产能规模领先（单位：GW）	7

图 5: TOPCon 电池结构图	8
图 6: HJT 电池结构图	8
图 7: IBC 电池结构及电极布局示意图	8
图 8: 有效面积为 1 cm ² 的晶硅/钙钛矿叠层电池结构示意图与横截面 SEM 图像	8
图 9: 光谱分布的改变会导致电池整体转换效率下降	9
图 10: 低中轨道的高辐射对光伏电池功率影响很大	9
图 11: 极端的太空环境对光伏电池的应用构成挑战	10
图 12: 降本诉求推动太空光伏技术逐渐往晶硅方向演进	10
图 13: 先锋一号是首个搭载硅基太阳能电池的卫星	11
图 14: III-V 族化合物光伏电池效率优势明显	11
图 15: Starlink 卫星太阳翼采用硅基太阳能电池	12
图 16: 通过采用 PERC 电池可大幅降低太阳翼成本	12
图 17: PERC、n 型 TOPCon、p 型 TOPCon 电池结构	13
图 18: 太空辐射会导致光伏电池衰减 (左图 1MeV 电子, 右图 10MeV 质子)	14
图 19: 光伏电池随着辐照通量的提升逐渐失效	14
图 20: 随着辐照通量的提升, p 型电池最大功率点的衰减量较 n 型电池更慢	15
图 21: 超薄 HJT 电池具备优良的柔韧性	16
图 22: 2025 年下半年以来白银价格持续上涨	16
图 23: 晶硅/钙钛矿叠层电池光谱吸收示意图	18
图 24: Si 和 PSCs(钙钛矿电池)被不同能量的质子辐照后的相对质子诱导量子效率	18
图 25: 钙钛矿叠层电池能有效解决太空场景的“效率-成本-抗辐射性”不可能三角	19
图 26: 低地球轨道(LEO)/中地球轨道(MEO)	20
图 27: 地球同步轨道(GSO)与地球静止轨道(GEO)	20
图 28: 极地轨道/太阳同步轨道(SSO)	20
图 29: HEO 轨道	20
图 30: 近轨卫星数量远超其他轨道卫星	22
图 31: Starlink v3 太阳翼面积预计是 v2 mini 的 4 倍	23
图 32: 可容忍的卫星故障率越高, 轨道容量越大	24
图 33: SpaceX 将通过 v3 卫星构建太空算力	25
图 34: SpaceX 计划在太空建立 100GW/年算力	25
图 35: 迈为股份 PECVD 镀膜设备示意图	26
图 36: 捷佳伟创出货首条量产商业化柔性钙钛矿产线核心设备	27
图 37: 拉普拉斯低压化学气相沉积镀膜设备 LPCVD	28
图 38: 奥特维多主栅光伏划焊联体串焊机	29
图 39: 连城数控 TOPCon 湿法制绒设备	29
图 40: 帝尔激光诱导烧结设备示意图	30
图 41: 双良换热器示意图	31
图 42: 高测股份 GC-800XC 金刚线晶硅切片机	31
图 43: 宇晶股份切割设备	32
图 44: 东方日升 HJT 电池具备超薄、低银含优势	33
图 45: 钧达股份与尚翼光电签署战略合作	34
图 46: 天合光能 p-型 HJT 底电池的 210 半片钙钛矿叠层电池	35
图 47: 晶科能源与晶泰控股签署战略合作	35
表 1: 光伏目前是航天器最适合的能源供应方式	5

表 2: 多结电池抗辐射能力最优	11
表 3: 硅基光伏电池的低成本及高效率更适合大规模商业化	13
表 4: HJT 在多项指标上具备比较优势	17
表 5: 近地轨道更适合采用晶硅电池太阳翼	21
表 6: 中国 20 万颗新增卫星申请加速商业航天发展	22
表 7: 星链卫星太阳翼面积持续扩大	23
表 8: 太空算力具备成本优势	24
表 9: 太空光伏市场空间广阔 (单位: 亿元)	25
表 10: 受益标的盈利预测与估值	36

1、从平行到交汇，太空迈入晶硅时代

1.1、光伏是航天器最重要的能源供应

光伏是太阳系航天器最可靠、经济且可持续的电力来源，自 1958 年 Vanguard 1 卫星首次使用以来，“光伏+储能”已成为航天电力系统的标配。

(1) 能源供给稳定：太空环境中无大气吸收、云层遮挡，且不受昼夜、季节变化影响，太阳光可实现近乎无限的稳定供给。光伏电池将太阳能转化为电能，并通过电池进行存储，即使航天器进入阴影区，也能通过电池继续供电，确保任务的持续进行。

(2) 成本与续航优势：太空燃料运输成本高，传统燃料供电模式会严重限制航天器的续航能力和任务持续时间；而光伏系统无需依赖燃料补给，可支撑航天器长期稳定运行，如哈勃空间望远镜已经在轨道上运行 30 余年。

(3) 轻量化易部署：光伏电池的重量较轻，且可以设计为柔性可折叠的形态，便于在航天器中安装和部署。航天器可以通过对太阳能电池板的布置和角度调整，最大化阳光吸收量。

(4) 低维护要求：光伏电池的结构简单，维护要求较低。航天器在执行长时间任务时，可以减少对能源系统的维护和替换工作，极大地降低了任务中的潜在风险和成本。

表1：光伏目前是航天器最适合的能源供应方式

方式	优势	劣势	任务类型
光伏系统	可独立发电、可再生可持续能源、成本低、续航时间长	需配备储能系统、占用空间大	各类任务
燃料电池	比质量低、寿命长、重量轻	成本高、技术不成熟、存在安全问题	短期任务
核动力系统	能源成本低、不受外界条件影响	不可再生、构成安全问题、安全设备成本高	长期任务

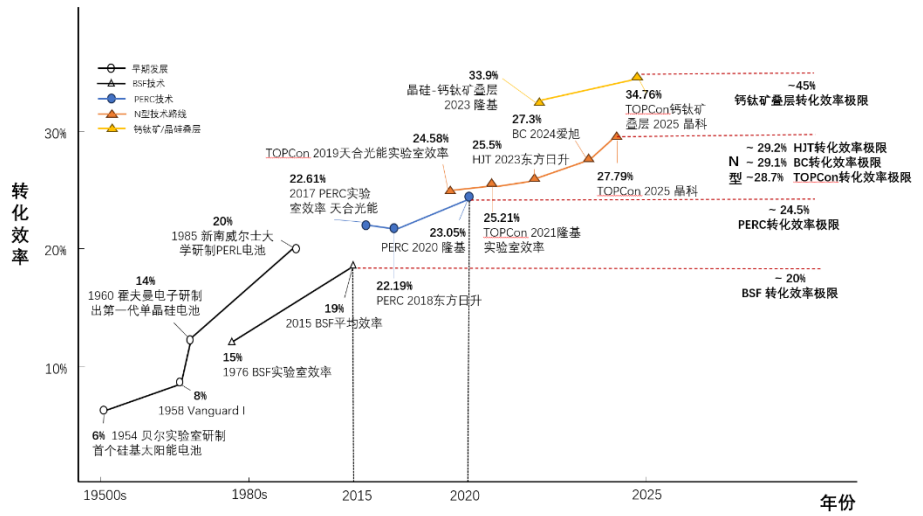
资料来源：开源证券研究所

1.2、降本增效是光伏技术迭代的驱动力

1.2.1、地面光伏：逼向晶硅效率极限

地面光伏技术的演进可以划分为四个阶段：早期萌芽探索阶段、以 BSF 为主的工业化起点阶段、以 PERC 为主的规模化扩张阶段、以 n 型电池引领的技术快速迭代阶段。

图1：光伏电池转换效率持续突破

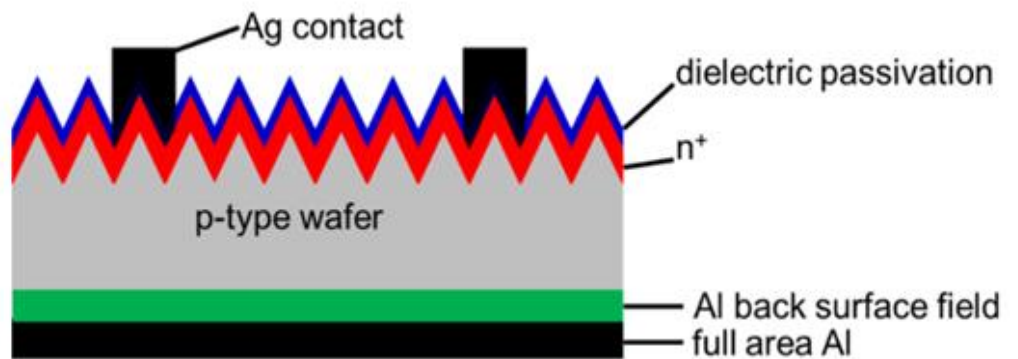


资料来源：《Operation of Solar Cells in a Space Environment》Sheila Bailey、Solar energy world、SEIA、Life by Numbers、世纪能源、Maysunsolar、索比光伏网、国际太阳能光伏网、中国能源报、东方日升公告、爱旭股份公告、晶科能源公告、开源证券研究所

第一阶段是光伏技术的探索阶段。1954年，贝尔实验室首次研制出基于单晶硅太阳能电池，转化效率约为6%，尽管效率低，但首次验证了硅材料在光电转换领域的可行性。1958年“先锋一号”卫星所搭载的硅电池效率提升至约9%，到1960年前后，霍夫曼电子研制的第一代商用单晶硅电池效率已达到14%，地面光伏技术从实验实迈入工程化阶段。

第二阶段以BSF为主的工业化起点阶段。自20世纪末至2015年前后，BSF电池长期占据地面光伏市场主流。该技术通过在硅片背面形成铝背场结构，提高开路电压并改善背面接触特性，1976年采用铝背场结构的晶硅电池实验室效率首次达到约15%。因其技术工艺流程简单，成本低廉，迅速成为产业界的主流选择，并在随后数十年中支撑了地面光伏的规模化扩张。随着材料纯度提升和前端工艺优化，到2015年左右，BSF电池的量产平均效率已接近19%，且由于背面整面金属接触导致高复合损失，BSF的理论效率上限被普遍认为在20%左右。

图2：BSF 电池结构图

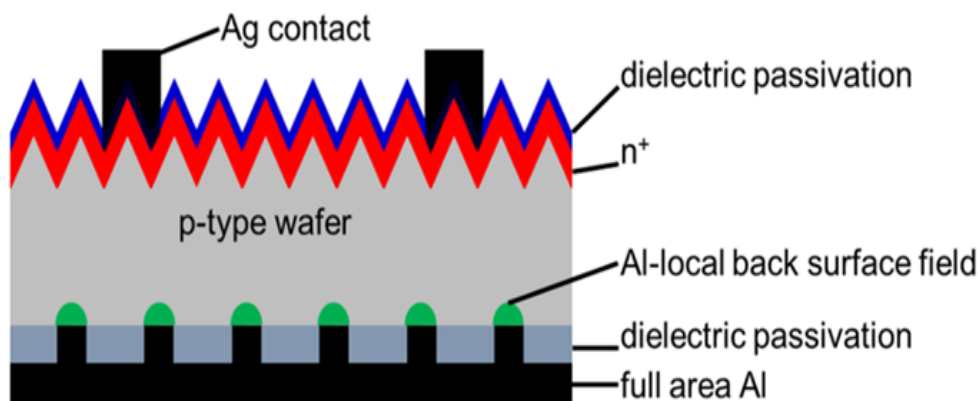


资料来源：Pv-manufacturing

第三阶段是以PERC为主的规模化扩张阶段。2017年前BSF电池占主流，2019

年底单晶 PERC 电池（钝化发射极与背面电池）市占率达到 60%左右，反超 BSF 电池成为主流，其核心改进在于引入背面钝化层并采用局部开孔接触结构，从根本上降低了背面复合损失。2016 年，天合光能创下 22.61%最高 PERC 电池效率记录，此后数年，PERC 技术快速放量。2018 年，东方日升 PERC 量产效率 22.19%，到 2020 年，隆基进一步将 PERC 转化效率提升至 23.05%，但随着光生载流子在正面与体内损失占比上升，PERC 的理论效率极限普遍被认为在 24.5%左右。

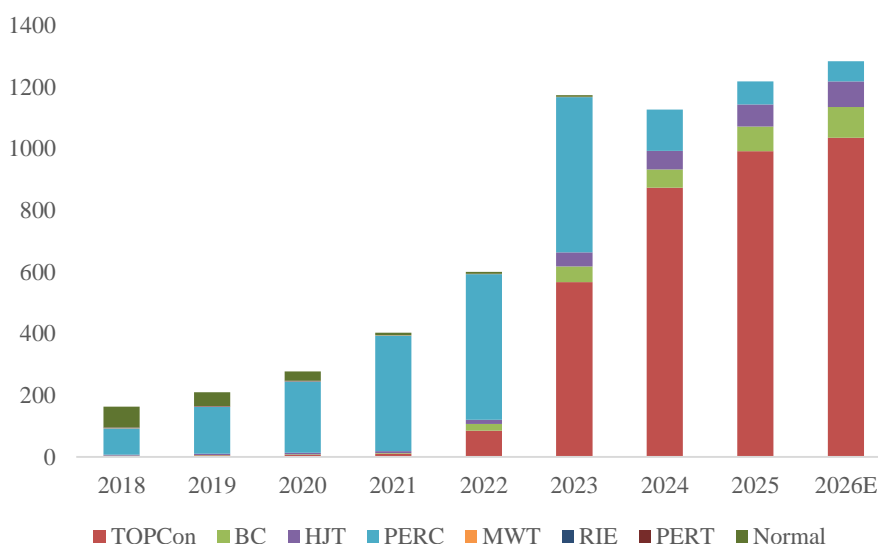
图3: PERC 电池结构图



资料来源: Pv-manufacturing

第四阶段是以 n 型电池引领的技术快速迭代阶段。随着 PERC 电池转换效率逼近理论极限，其技术潜力基本见顶，地面光伏由此开启向 n 型技术路线的全面转型，包括 TOPCon、HJT 及 BC 等，其中 TOPCon 电池产能规模领先，截至 2025 年底，全球 TOPCon 电池产能已接近 1000GW。

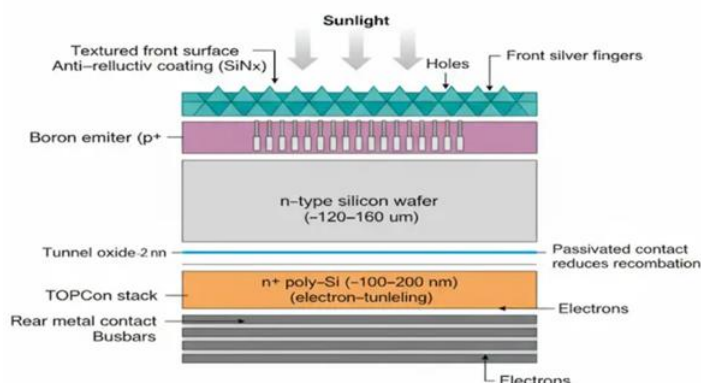
图4: 全球 TOPCon 电池产能规模领先 (单位: GW)



数据来源: infoLink、开源证券研究所

2019 年，天合光能 TOPCon 电池实验室效率达到 24.58%；2021 年，隆基绿能 TOPCon 电池实验室效率提升至 25.21%；2025 年底，晶科能源通过导入新型钝化接触技术、超低光学寄生吸收技术、新型金属化方案等技术，将 TOPCon 电池转换效率推升至 27.79%。

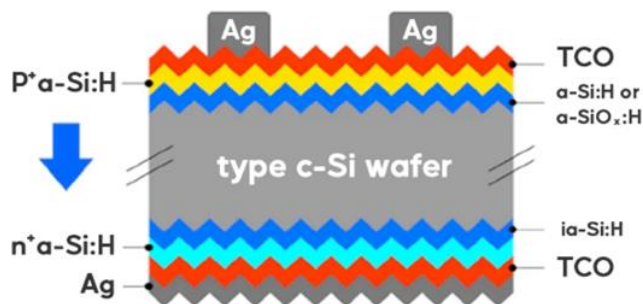
图5: TOPCon 电池结构图



资料来源: Eco Energy Tips

HJT 技术结合晶体硅和非晶硅薄膜技术, 在异质界面插入本征非晶硅薄层, 钝化正背表面, 具备效率高、低衰减、温度系数低、双面率高、工艺简单、薄片化等诸多优势。

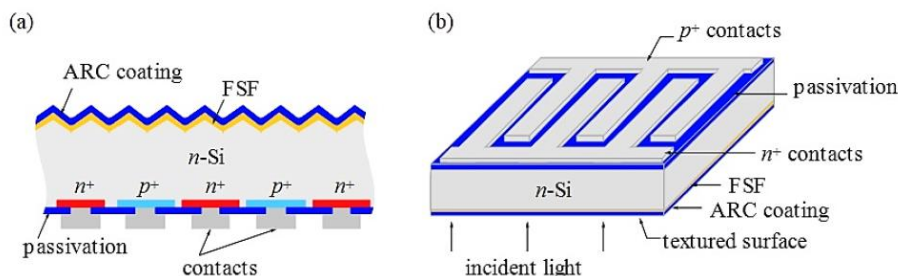
图6: HJT 电池结构图



资料来源: MaySunsolar

BC 技术与高效钝化结构深度融合, 通过将正负电极完全转移至背面, 进一步消除正面遮光损失。BC 电池正面无栅线遮挡, 外形美观, 尤其适用于分布式场景。

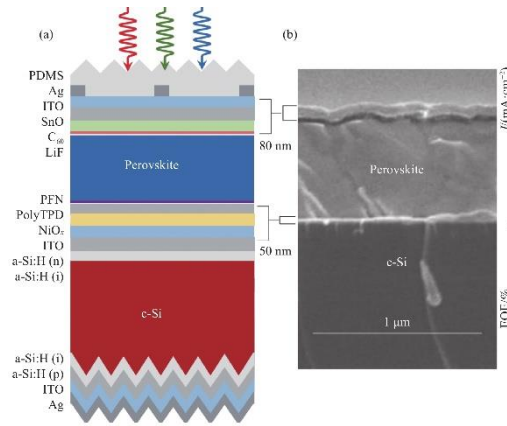
图7: IBC 电池结构及电极布局示意图



资料来源: ITRI

当前前沿研究主要通过叠层电池来进一步提升转换效率。晶硅-钙钛矿叠层技术通过在晶硅电池之上叠加宽带隙钙钛矿吸收层, 叠层结构可以更充分利用太阳光谱, 突破晶硅电池的理论效率极限。

图8: 有效面积为 1 cm² 的晶硅/钙钛矿叠层电池结构示意图与横截面 SEM 图像



资料来源：《高效率双结钙钛矿叠层太阳能电池研究进展》张美荣等

1.2.2、太空光伏：降本推动转向晶硅

太空环境与地面存在本质性差异，对光伏电池的应用构成多重极端挑战，包括高能宇宙辐射、极端温差循环、高真空、与微重力环境等。

(1) 高能宇宙辐射：太空中没有空气阻力或大气散射，光伏电池可以直接接收全谱太阳辐射（AM0 光谱，强度约 1367 W/m^2 ），但也暴露在 高能粒子辐射中。一方面，光谱分布的改变通常会导致电池的整体转换效率下降，另一方面辐射对光伏电池材料的电子结构产生影响，导致转换效率下降，并影响电池寿命，特别是在低轨道和深空任务中。

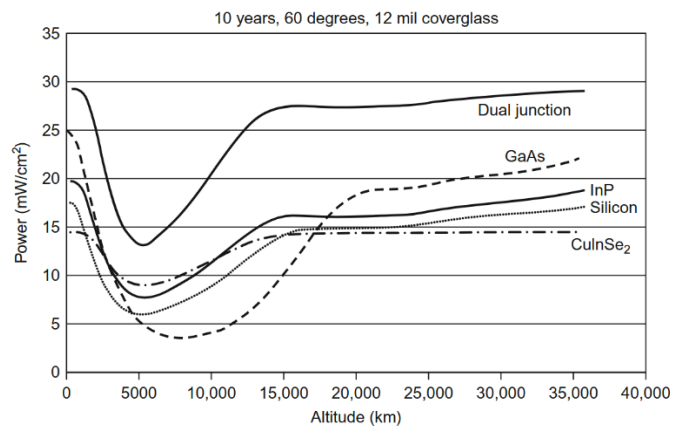
图9：光谱分布的改变会导致电池整体转换效率下降

Cells	Efficiency (%)		Radio AM0/AM1.5	Area (cm ²)	Manufacturer
	Global AM1.5	Efficiency (%) AM0			
c-Si	22.3	21.1	0.95	21.45	Sunpower [15]
Poly-Si	18.6	17.1*	0.92	1.0	Georgia Tech/HEM[16]
c-Si film	16.6	14.8*	0.89	0.98	Astropower [17]
GaAs	25.1	22.1*	0.88	3.91	Kopin [17]
InP	21.9	19.3*	0.88	4.02	Spire [17]
GaInP(1.88ev)	14.7	13.5	0.92	1.0	ISE [18]
GaInP/GaAs/Ge	31.0	29.3	0.95	0.25	Spectrolab [18]
Cu(Ga,In)Se ₂	18.8	16.4*	0.87	1.04	NREL [15]
CdTe	16.4	14.7*	0.90	1.131	NREL [15]
a-Si/a-Si/a-SiGe	13.5	12.0	0.89	0.27	USSC [15]
Dye-sensitized	10.6	9.8*	0.92	0.25	EPFL [15]

*These are based on cells measured under standard conditions, courtesy of Keith Emery, NREL. The calculated efficiency uses the ASTM E490-2000 reference spectrum and assumes that the fill factor does not change for the increased photocurrent. Quantum efficiencies corresponding to the table entries were used in the calculations.

资料来源：《Operation of Solar Cells in a Space Environment》Sheila Bailey 等

图10：低中轨道的高辐射对光伏电池功率影响很大

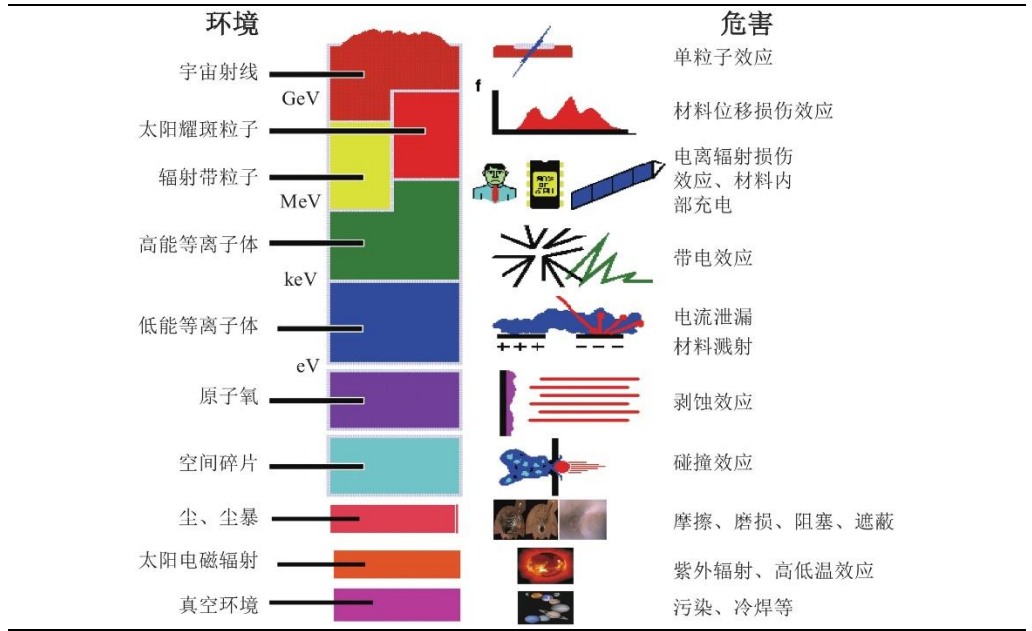


资料来源：《Operation of Solar Cells in a Space Environment》Sheila Bailey 等

(2) 极端温差循环：太空中的温差极大。在阳光照射下，温度可以达到 $+150 \text{ }^\circ\text{C}$ ，进入阴影后，温度可以降低到 $-150 \text{ }^\circ\text{C}$ 。热循环会引起热应力和材料疲劳，要求光伏电池的材料和结构提出了高要求。

(3) 高真空环境：太空是完全的真空环境，缺乏空气中的自然冷却作用。在太空环境下工作的光伏电池，热量散发方式不同于地面条件，必须依赖辐射散热而非对流散热。

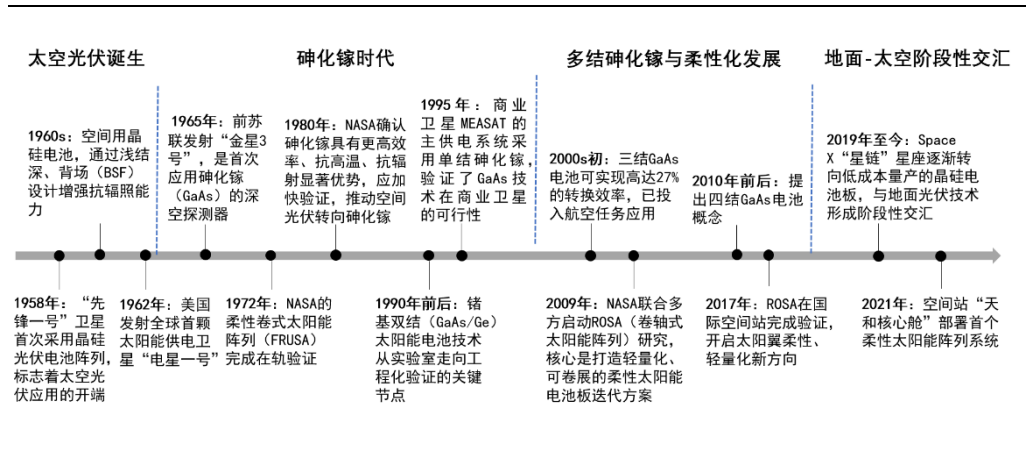
图11: 极端的太空环境对光伏电池的应用构成挑战



资料来源:《低地球轨道空间环境与效应集成化监测装置设计》向树红等

太空光伏技术的发展始终围绕高效率、高功率密度与长期辐照稳定性展开,其技术路线与地面光伏自早期便出现分化。

图12: 降本诉求推动太空光伏技术逐渐往晶硅方向演进



资料来源: NASA、科普中国、武威市科技馆公众号、Semantic Scholar、Starlink、开源证券研究所

1958年3月17日,美国成功发射了首颗采用太阳能供电的卫星——“先锋1号”。该卫星搭载8块小型光伏板,每块光伏板由6片p型衬底n型发射极(P-on-N)硅太阳能电池串联而成,电池单片尺寸为2cm×0.4cm。每块光伏板的输出功率约为50mW,转换效率约为8%。

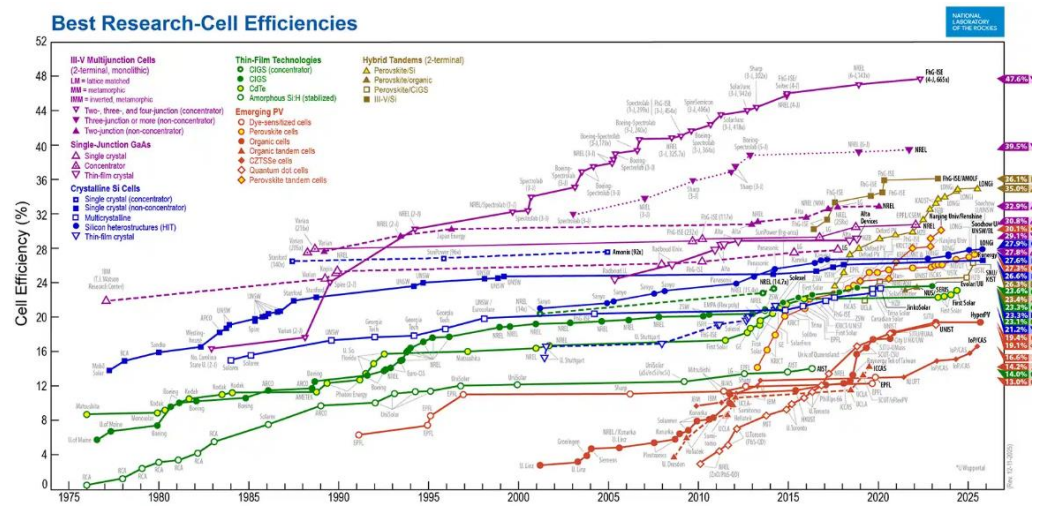
图13: 先锋一号是首个搭载硅基太阳能电池的卫星



资料来源: NRL

1960年代,硅基BSF电池成为航天器主要电源方案,但其在辐照衰减和功率密度方面的局限逐步显现,促使航天光伏技术开始向新材料体系转移。1973年,NASA启动航天太阳能阵列系统研究计划,系统评估III-V族化合物半导体在太空环境中的应用潜力。早期砷化镓(GaAs)电池以单结砷化镓结构为主,通过在PN结设计和外延生长工艺上的优化,显著提升了在高温、强辐照条件下的效率稳定性。相较晶硅,砷化镓具备直接带隙、更高的吸收系数和更优异的抗辐照性能,在单位厚度、单位面积功率输出方面具有天然优势。至1980年前后,NASA确认了单结砷化镓在太空环境的可靠性,1980年代起砷化镓逐步替代硅电池,支撑同步轨道卫星、深空探测器等长期任务,成为多数太空任务的主流配置。1995年,MEASAT商业通信卫星采用单结砷化镓电池实现长期在轨运行。1998年大规模太阳能阵列系统进一步验证了砷化镓在复杂航天任务中的可靠性。2000年后,三结砷化镓电池实现量产,三结砷化镓电池凭借其超高的效率和优异的抗辐照、耐温差性能,在卫星电源分系统的电池环节逐渐占据主导地位。

图14: III-V族化合物光伏电池效率优势明显



资料来源: NREL

表2: 多结电池抗辐射能力最优

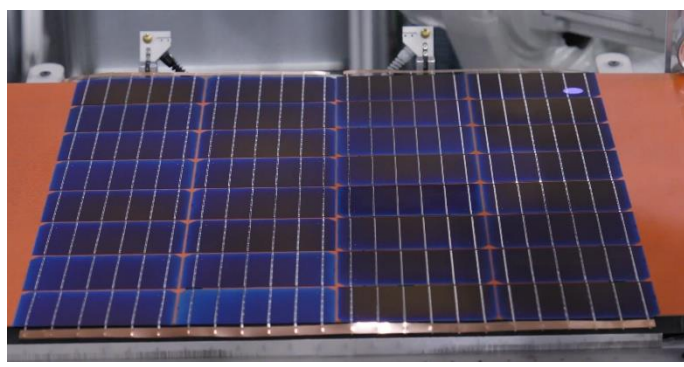
请务必参阅正文后面的信息披露和法律声明

电池类型	技术路线	能量	剂量 (粒子/cm ²)	初始转换效率 (%)	最终转换效率 (%)	效率保留比例 (%)
多结	AlInGaP/InGaP/AlInGaAs/InGaAs/Ge	1 MeV (电子)	10 ¹⁵	31.8	28.7	90.3%
			10 ¹⁶	31.8	20.1	63.2%
	InGaP/GaAs/Ge	1 MeV (电子)	10 ¹⁴	29.0	28.2	97.2%
			10 ¹⁵	29.0	24.4	84.1%
晶硅	Si	1 MeV (电子)	10 ¹⁵	16.9	12.5	74.0%
			3 × 10 ¹⁵	16.9	10.8	63.9%
薄膜	Cu(In,Ga)Se ₂	3 MeV (电子)	10 ¹⁸	15.5	3.1	20.0%
		4 MeV (质子)	10 ¹⁴	15.5	7.75	50.0%
钙钛矿	MA _{0.7} FA _{0.3} PbI ₃	1 MeV (电子)	10 ¹⁵	19.2	3.4	17.7%
	MAPbI ₃	68 MeV (电子)	10 ¹³	12.1	4.84	40.0%
	Cs _{0.05} MA _{0.17} FA _{0.83} Pb(I _{0.83} Br _{0.17}) ₃	68 MeV (电子)	10 ¹²	18.8	17.86	95.0%
	CIGS//Cs _{0.05} (MA _{0.17} FA _{0.83}) _{0.95} Pb(I _{0.83} Br _{0.17}) ₃	68 MeV (电子)	2 × 10 ¹²	18.0	14.9	82.8%
	Si//Cs _{0.05} (MA _{0.17} FA _{0.83}) _{0.95} Pb(I _{0.83} Br _{0.17}) ₃	68 MeV (电子)	2 × 10 ¹²	21.1	0.18	0.9%

数据来源：《Solar Energy in Space Applications: Review and Technology Perspectives》Rosaria Verduci 等、开源证券研究所

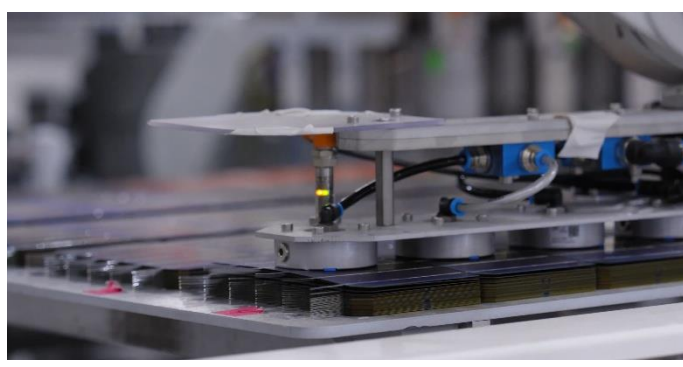
不同于 NASA、ESA 等传统航天机构采用砷化镓光伏电池的技术路线，SpaceX 旗下 Starlink 开创性地采用硅基 PERC 光伏电池实现了成本革命，推动卫星互联网的低价普及。主要原因是 Starlink 星座具有低轨部署（轨道高度 550km）、超高密度组网（规划 4.2 万颗卫星）、成本敏感的属性。尽管硅基电池在空间辐照环境下光电转换效率远低于砷化镓电池 30% 以上的效率水平，且在低地球轨道（LEO）环境下辐射降解更快，但硅基电池依托成熟的地面光伏供应链，可实现成本的大幅下探，另外其衰减周期与卫星设计寿命高度匹配，契合 SpaceX 通过高频次卫星替换维持星座整体性能运营模式。

图15: Starlink 卫星太阳翼采用硅基太阳能电池



资料来源：Starlink

图16: 通过采用 PERC 电池可大幅降低太阳翼成本



资料来源：Starlink

综合来看，III-V 族多结光伏电池是现阶段太空应用技术成熟度与综合性能最优的光伏技术路线。其凭借高光电转换效率、优异抗辐射性能与可靠稳定性，已成为卫星及空间站能源供给的主流选择。但其制备高度依赖 MOCVD 设备与稀缺金属镓，导致成本极高，当前商业化 III-V 族砷化镓多结电池报价区间为 20 万-30 万元/平方米，折算单位功率成本超过 1000 元/W。

硅基光伏电池则具备显著成本优势，地面主流晶硅电池单位功率售价普遍低于0.5元/W，即便适配太空应用场景需开展抗辐照、轻量化等特殊工艺改造，其综合成本仍远低于III-V族砷化镓电池，更契合大规模星座的商业化部署需求。但硅基电池抗辐射性相对较差，限制了其在高辐射强度轨道的应用。

表3：硅基光伏电池的低成本及高效率更适合大规模商业化

技术路线	III-V族多结	晶硅	薄膜电池（CIGS）	钙钛矿
转换效率	高	中	中	中
实验室效率纪录	47.60%	27.90%	23.60%	27.30%
太空商业化效率	32%	17%	-	-
抗辐射能力	高	中	极高	高
比功率	低中	低	中	高
柔韧性	低	低	高	高

资料来源：《Solar Energy in Space Applications: Review and Technology Perspectives》Rosaria Verduci等、开源证券研究所

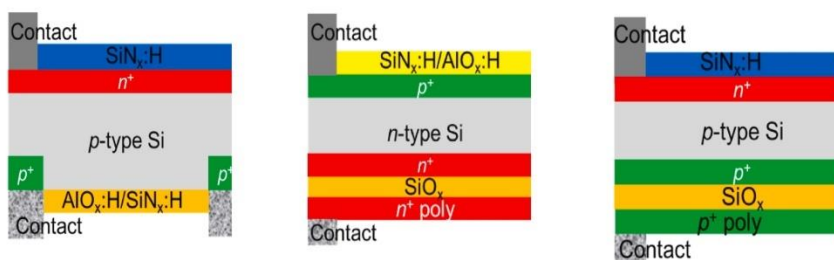
1.3、太空场景 p 型 HJT 具备比较优势

1.3.1、p 型硅片更适合太空场景

p 型电池是以硼掺杂的 p 型硅片作为基底的太阳能电池（n/p 结构），其主要优势在于对辐射环境的出色耐受性。

n 型电池是以磷掺杂的 n 型硅片作为基底的太阳能电池（p/n 结构），其主要优势是初始转换效率较高且无光诱导降解。

图17：PERC、n 型 TOPCon、p 型 TOPCon 电池结构

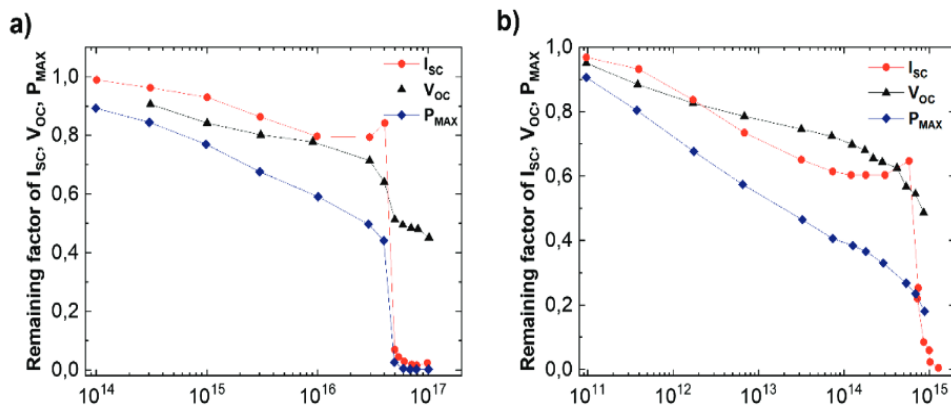


资料来源：《Comparative analysis of radiation-induced effects on the performance of p-type PERC and TOPCon solar cells for space applications》Fa-Jun Ma 等

太空中的高能电子与质子会通过原子位移作用和电离作用导致光伏电池性能衰减。高能电子与质子通过与电池材料中的电子发生相互作用，会产生位移缺陷，从而影响少子寿命。电离辐射同样会对电池性能产生不利影响：（1）电离作用会形成色心，导致覆盖在电池表面的玻璃盖板透光率下降；（2）辐射产生的电离电子会被氧化物形态的杂质原子捕获，形成稳定的缺陷复合体；（3）电离效应会在二氧化硅钝化层中产生俘获电荷，进而增大电池的漏电流；（4）电离辐射还会改变太阳翼中有机材料的光学、电学及力学性能。

下图展示了BSF硅基光伏电池在1MeV电子（左图）、10MeV质子（右图）不同通量辐照下，短路电流（Isc）、开路电压（Voc）及最大输出功率（Pmax）剩余因子的测试结果。

图18：太空辐射会导致光伏电池衰减（左图1MeV电子，右图10MeV质子）



资料来源：《Solar Energy in Space Applications: Review and Technology Perspectives》Rosaria Verduci 等

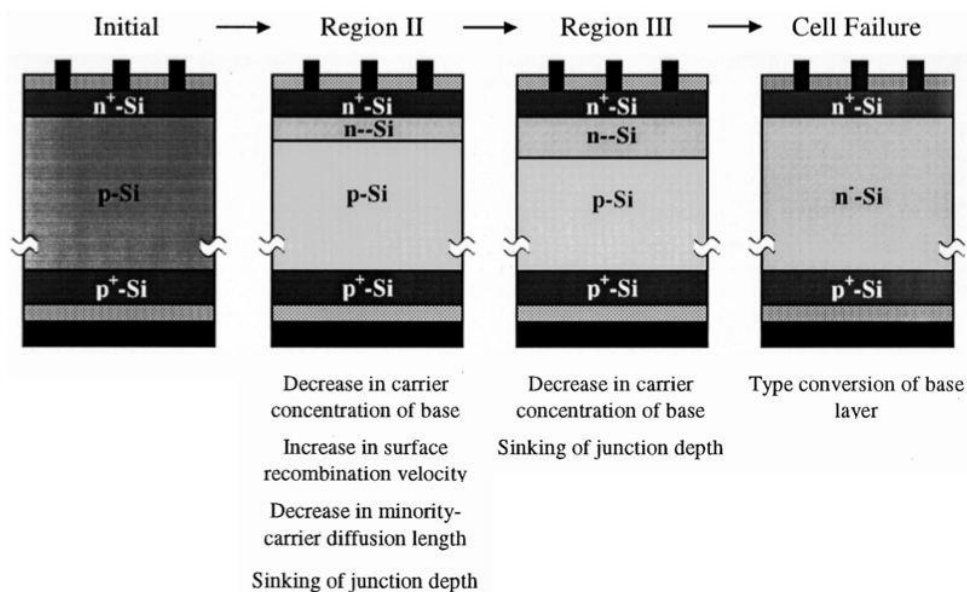
在1MeV电子辐照下，电池的短路电流呈现三个阶段的特点：

(1) 阶段I：辐照通量 $< 1 \times 10^{16}$ 电子/cm²，电池短路电流呈平稳下降趋势。辐照诱导的复合中心导致少子扩散长度缩短，影响少子寿命。

(2) 阶段II： 1×10^{16} 电子/cm² $<$ 辐照通量 $< 5 \times 10^{16}$ 电子/cm²，短路电流出现反常升高现象，反型层效应致使耗尽层宽度拓宽、电阻率上升，进而使光生电流贡献占比提升。

(3) 阶段III：辐照通量 $> 5 \times 10^{16}$ 电子/cm²，短路电流急剧下降。p型基区的载流子浓度下降、电阻率上升，最终造成短路电流骤降，电池失效。

图19：光伏电池随着辐照通量的提升逐渐失效

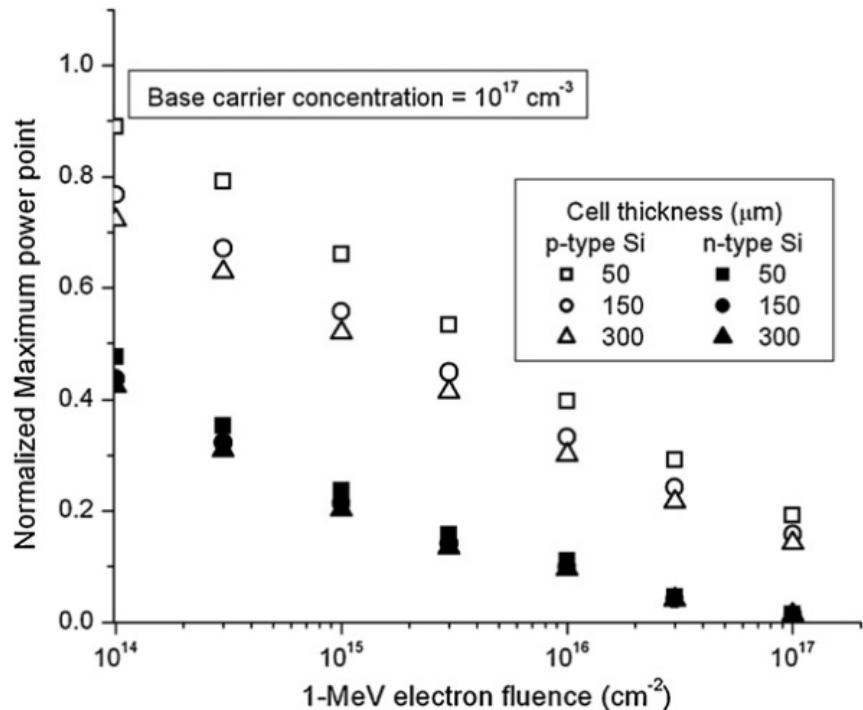


资料来源：《Photovoltaics for space》Alex Fedoseev

NASA 早期研究中指出, p 型硅基电池在强辐射环境下相对 n 型硅基电池具备性能优势, 经测试 p 型硅基电池耐受 1MeV 电子辐照的能力, 最高可达 n 型硅基电池的 10 倍; 其对质子辐照的敏感度, 也较 n 型硅基电池低 3-8 倍。

M A Cappelletti 等人通过仿真分析了在 AM0 光谱条件下, 经 1MeV 电子辐照的 p 型与 n 型太阳能电池性能, 并发现 p 型光伏电池的抗辐射性能明显优于 n 型电池。下图展示了基区载流子浓度为 10^{17}cm^{-3} 、硅片厚度为 50-300 μm 的 p 型与 n 型晶硅光伏电池, 其最大功率点随 1MeV 电子辐照注量的变化关系。从图中可明确看出, p 型硅基电池的抗辐射性能显著优于 n 型硅基电池, 同时表明硅片厚度更小的电池具备更优异的抗辐射性。

图20: 随着辐照通量的提升, p 型电池最大功率点的衰减量较 n 型电池更慢



资料来源:《Theoretical study of the maximum power point of n-type and p-type crystalline silicon space solar cells》M A Cappelletti

1.3.2、HJT 技术比较优势明显

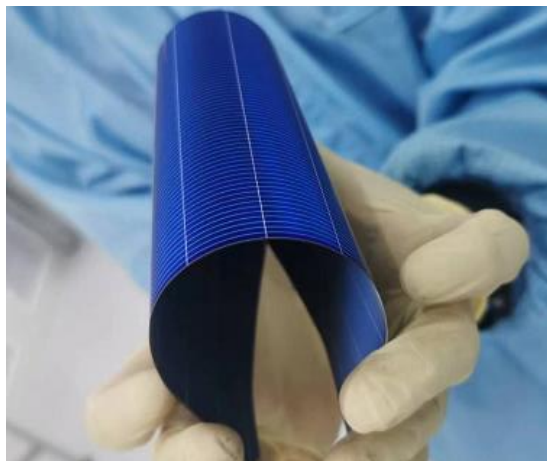
太空对光伏电池的轻量化、抗辐射、极端温差及经济性有着严苛要求, 而 HJT 电池凭借薄片化、低银耗、低衰减、低温度系数等核心优势, 成为当前最适配太空场景的晶硅光伏技术路线。

(1) 薄片化

对比其他电池技术路线, 异质结结构的电池具有双面全钝化的对称结构, 采用低温工艺, 在薄片化适配度上有明显优势。当前 PERC、TOPCon、BC 电池, 的主流硅片厚度约 130 μm , 根据东方日升 2025 年 12 月 28 日发布的投资者关系管理信息表, 公司对外交付的 p 型超薄 HJT 电池厚度仅为 50-70 μm 。2026 年 1 月 23 日弘元绿能已实现 40 μm 超薄硅片下线, 可高效适配柔性电池的超薄硅片需求。

在低轨卫星等对成本敏感度高、服役周期相对较短的应用场景中，电池薄片化可有效降低发射载荷，大幅节省火箭燃料成本。与此同时，超薄化的结构设计赋予电池优良的柔韧性，使其可适配卷迭式太阳翼结构，提升卫星内部空间利用率。此外，更薄的电池片也有助于减少辐射导致的性能衰减，从而在整体上提高电池在轨运行的效能与经济性。

图21：超薄 HJT 电池具备优良的柔韧性



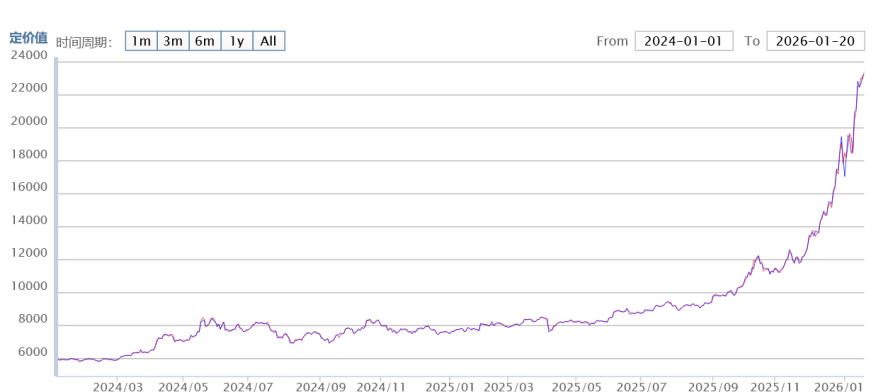
资料来源：天合光能太空光伏演讲报告

(2) 低银耗

HJT 电池的低银耗优势，是其在当前银价高企背景下的核心竞争力，既贴合成本控制需求，又具备成熟技术支撑。银作为光伏电池金属化浆料的核心成分，属于储量稀缺的贵金属，2022 年《中国矿产资源报告》显示我国银矿储量仅 71783.66 吨，相对于铜、铝、锌、镍金属储量比较少，价格易受期货市场波动影响。2025 年四季度以来银价持续上涨，当前已突破 2.2 万/公斤，按电池单瓦 10mg 银耗测算，相较 2025 年初单瓦成本抬高超 0.13 元，严重挤压行业利润空间，因此低银化、无银化成为光伏降本之必由之路。

HJT 凭借低温工艺特性，成为最早切入银包铜替代技术的晶硅电池路线，且技术已实现规模化成熟应用，如东方日升通过银包铜技术降低银耗，当前纯银耗量已大幅降至 5mg/W，即便叠加 TCO 等其他成本，HJT 仍具备成本优势。

图22：2025 年下半年以来白银价格持续上涨



资料来源：上海黄金交易所

(3) 低衰减及低温度系数

HJT 电池采用晶体硅基底与非晶硅薄膜复合的结构，其中非晶硅层兼具钝化膜功能，可有效降低硅片表面载流子复合速率，保障电子传输的稳定性，进而实现电池衰减率的显著优化，同时提升功率输出对温度波动的耐受性。

当前主流 HJT 组件首年衰减率仅为 1%，全生命周期线性衰减率低于 0.3%/年，综合衰减表现优于 PERC、TOPCon 等其他晶硅电池技术路线。在温度系数方面，主流 HJT 组件温度系数低至 $-0.22\%/^{\circ}\text{C}$ ，相较 PERC ($-0.34\%/^{\circ}\text{C}$)、TOPCon ($-0.26\%/^{\circ}\text{C}$) 及 BC 电池 ($-0.26\%/^{\circ}\text{C}$) 具备比较优势，更适合太空环境。

表4: HJT 在多项指标上具备比较优势

指标	HJT	PERC	TOPCon	BC
量产组件效率	23.50%	21.70%	23.70%	24.80%
温度系数	$-0.22\%/^{\circ}\text{C}$	$-0.34\%/^{\circ}\text{C}$	$-0.26\%/^{\circ}\text{C}$	$-0.26\%/^{\circ}\text{C}$
双面率	90% \pm 5%	70% \pm 5%	85% \pm 5%	80% \pm 5%
首年衰减	1%	2%	1%	1%
线性衰减	0.30%/年	0.45%/年	0.35%/年	0.35%/年
主流硅片厚度	$<100\mu\text{m}$	130 μm	130 μm	130 μm
行业平均银耗	6.39mg/W	6.85mg/W	9mg/W	11.92mg/W

资料来源: TaiyangNews、东方日升官网、晶科能源官网、爱旭股份官网、英利官网、SMM、diamonds4if、开源证券研究所

1.4、晶硅钙钛矿叠层有望成为最终方案

1.4.1、晶硅钙钛矿叠层突破晶硅极限

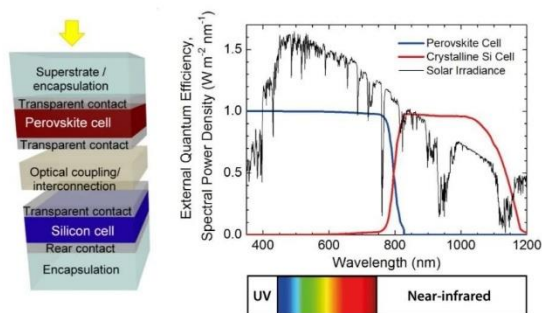
晶硅钙钛矿叠层电池技术，从根本上解决了传统光伏技术在太空应用场景下的“效率-成本-抗辐射性”的不可能三角。

(1) 转换效率高

在 AM1.5 光谱下，晶硅钙钛矿叠层电池实验室最高效率已超 34%，转换效率突破晶硅电池极限。

钙钛矿材料具有高吸收系数和可调带隙，与晶硅组合可将有效光谱响应范围扩大，极大减少光谱失配损失。晶硅/钙钛矿叠层电池采用“光谱分治”，顶部的钙钛矿电池吸收高能紫外及部分可见光 (300-800nm)，而底部的晶硅电池则吸收透过钙钛矿层的低能红外光 (600-1100nm)，两者通过中间层实现电学串联，电压近似相加，从而突破单结电池的肖克利-奎伊瑟理论效率极限。目前，晶硅/钙钛矿叠层电池理论效率极限可达 43% 以上，远超传统晶硅材料 30% 的理论极限效率。

图23: 晶硅/钙钛矿叠层电池光谱吸收示意图



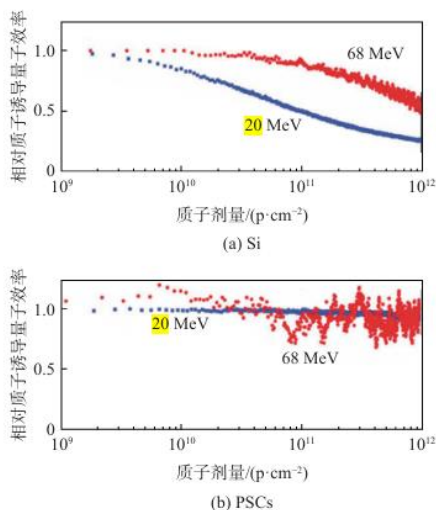
资料来源:《Investigating Current Matching and Hysteresis in Perovskite-Silicon Tandem Solar Cells with Drift-Diffusion Simulations》Fluxim

(2) 抗辐射能力强

在太空高能粒子辐射环境下，晶硅钙钛矿叠层电池展现出独特的抗辐射优势。根据周斌等人的研究，钙钛矿电池在 1MeV、剂量高达 10^{16} p/cm² 的电子辐射下，性能仅下降约 10%，而同等条件下 GaAs 电池下降约 40%，硅电池下降更显著。此外，钙钛矿材料中的离子晶体结构和软晶格特性使其具有一定的自修复能力，可通过热退火或光照恢复部分辐射损伤。

晶硅钙钛矿叠层电池的耐质子辐射能力同样突出，钙钛矿层可吸收并耐受大部分高能粒子辐射，减少辐射对底层硅电池的直接影响。在 68MeV 质子辐射（剂量 10^{17} p/cm²）下，钙钛矿电池性能下降幅度远低于硅电池，耐受性高出 3 个数量级。

图24: Si 和 PSCs(钙钛矿电池)被不同能量的质子辐照后的相对质子诱导量子效率



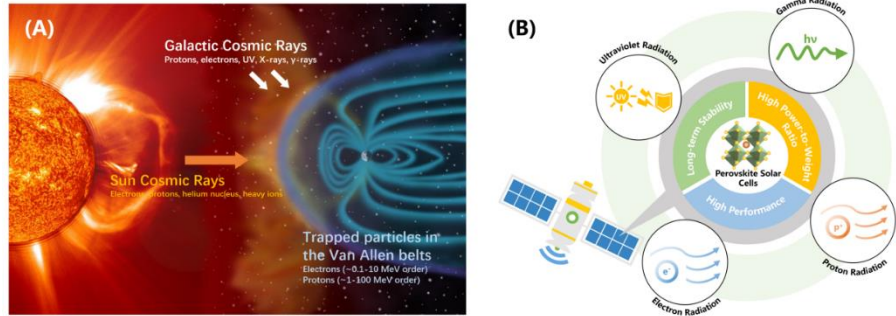
资料来源:《面向空间应用的先进钙钛矿光伏技术》周斌等

硅电池在长期稳定性方面表现优异（寿命 > 20 年），但抗辐射能力较弱，钙钛矿电池抗辐射强但长期稳定性仍在提升。叠层结构可结合两者优势，钙钛矿承担辐射防护功能，硅电池提供长期稳定输出，且辐射能量在叠层中被分散吸收，降低单一电池层的损伤集中度，提升整体器件的辐射耐受性。

2026 年 1 月，Singfilm Solar 宣布全球首批自主研发制造的 Zenith 系列柔性超薄钙钛矿光伏组件交付落地。该组件电池基底厚度仅 50 微米，兼具超轻、可弯折、高比功率三大核心优势，计划于 2026 年第四季度搭载 SpaceX 猎鹰火箭发射升空，开

展为期一年的太空在轨验证。在轨期间，组件将直面轨道真空、极端温度交变等复杂工况，并将重点验证其对于低轨原子氧腐蚀以及紫外线、质子与电子辐照等综合空间辐射效应的抵御能力。此次任务所采集的在轨数据将为钙钛矿光伏在空间场景的规模化应用提供重要支撑，也将进一步推动新型柔性光伏技术迈向工程化与商业化。

图25：钙钛矿叠层电池能有效解决太空场景的“效率-成本-抗辐射性”不可能三角



资料来源：《Advancements in radiation resistance and reinforcement strategies of perovskite solar cells in space applications》Zhenghao Huan 等

(3) 具备成本优势

相较于当前航天任务中主流的砷化镓电池，钙钛矿的原材料以铅、碘等常见化学品为主，低温溶液工艺能耗低。此外，钙钛矿的轻量化特性，又会进一步降低综合成本。根据 Rosaria Verduci 等人研究，钙钛矿电池的比功率达 23W/g，远超砷化镓多结电池 (3.8W/g)、薄膜电池 (3 W/g) 和硅基电池 (<1W/g)，可使太阳翼减重，极大降低单星发射成本。

1.4.2、晶硅钙钛矿叠层产业化加速

晶硅/钙钛矿叠层电池成本优势明显，国内头部光伏企业已在晶硅钙钛矿叠层技术上取得突破性进展，产业化前景清晰。

2025 年 6 月，隆基绿能经 NREL 认证，其晶硅/钙钛矿叠层电池转换效率达 33%；2025 年 8 月，安徽华晟的晶硅异质结/钙钛矿叠层电池效率突破 34.02%，产线级效率达到 29.01%；2025 年 11 月，晶科能源经 NPVM 认证，其 n 型 TOPCon 钙钛矿叠层电池转化效率突破 34.76%；2026 年 1 月，天合光能以 886 W 的成绩刷新了 3.1 平方米大面积晶硅/钙钛矿叠层组件功率世界纪录。

晶硅/钙钛矿叠层电池的产业化落地亦有突破性进展。2025 年，极电光能与一道新能联合推出的钙钛矿/TOPCon 四端叠层巨幕组件功率达 755W，已成功应用于三峡能源 50MW 光伏先进技术示范基地；协鑫光电的 1GW 钙钛矿-硅叠层组件工厂已启动商业化生产，是全球首个达到 GW 规模的钙钛矿/硅叠层技术基地；晶科能源与晶泰科技合作开发“AI+机器人”研发平台，预计未来三年左右实现钙钛矿叠层电池规模化量产。

钙钛矿叠层电池当前已实现 GW 级产线落地，地面产业化路径清晰，为太空任务中的大规模应用奠定产业化基础。凭借高效率、低成本、抗辐射能力强等优势，未来有望成为太空应用中的最终方案。

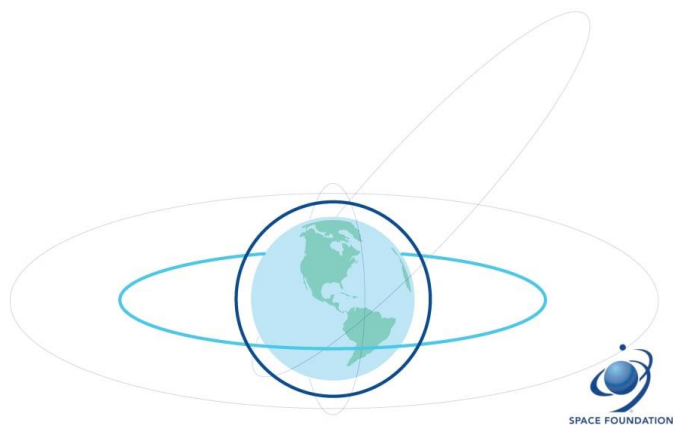
2、太空竞赛启幕，光伏开辟全新蓝海

2.1、低轨通信卫星推动放量

2.1.1、低地球轨道具备大规模部署卫星的需求

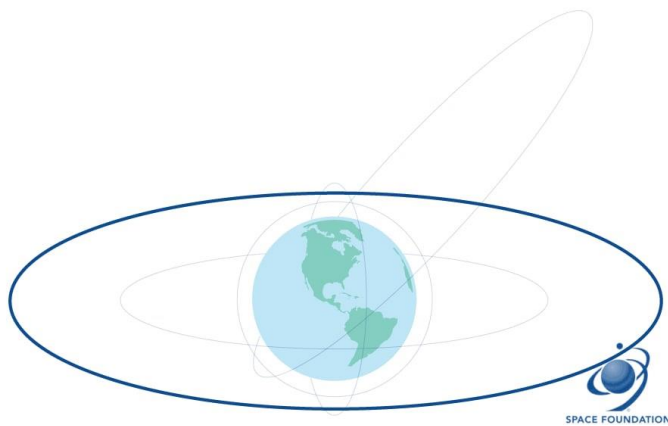
卫星轨道指人造地球卫星在地球引力作用下绕地球运行的闭合轨迹，依据轨道高度、倾角、运行周期及相对运动关系，可分为多种类型，各类轨道凭借独特的运行特性，适配不同的航天任务需求。

图26：低地球轨道(LEO)/中地球轨道(MEO)



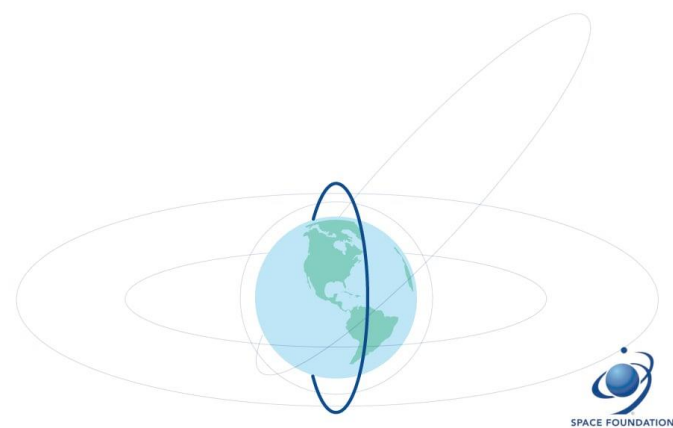
资料来源：Space Foundation

图27：地球同步轨道(GSO)与地球静止轨道(GEO)



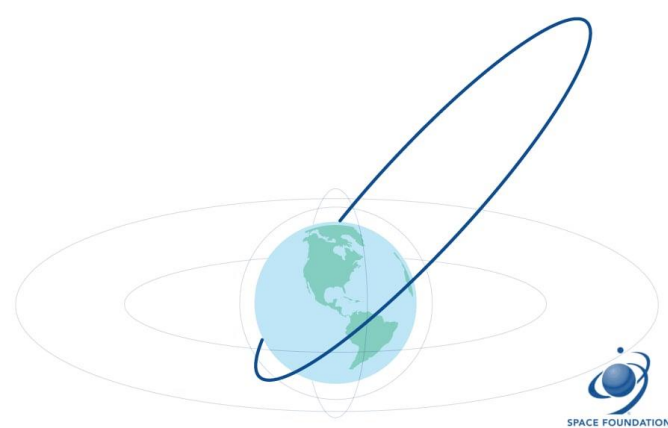
资料来源：Space Foundation

图28：极地轨道/太阳同步轨道(SSO)



资料来源：Space Foundation

图29：HEO 轨道



资料来源：Space Foundation

(1) 低地球轨道 (LEO)

轨道高度通常在 160 公里至 2000 公里之间，是距离地球表面最近的一类实用轨道。此类轨道上的卫星运行速度极快，运行周期约 90 至 120 分钟，能快速绕地球周转。得益于近地优势，LEO 卫星可获取高分辨率地面影像，且信号传输延迟极低，广泛应用于低轨通信星座、遥感卫星系统，国际空间站 (ISS)、哈勃太空望远镜也运行在这类轨道。

(2) 中地球轨道 (MEO)

轨道高度介于 2000 公里至 35786 公里之间，兼顾覆盖范围与运行稳定性。相较

于 LEO, MEO 卫星的单星覆盖区域更广, 通信效率更高, 且受大气阻力影响极小, 轨道维持成本更低, 是全球导航卫星系统的核心轨道。例如, GPS、北斗等导航系统的主力卫星均部署在 MEO 轨道, 可实现对全球范围的连续导航定位服务。

(3) 地球同步轨道 (GSO) 与地球静止轨道 (GEO)

GSO 卫星的运行周期与地球自转周期完全一致, 轨道平面与地球赤道平面的倾角可任意设定, 卫星会在天球上形成固定的运行轨迹。GEO 是 GSO 的特殊形式, 特指轨道倾角为 0° 、高度约 35786 公里的赤道上空轨道, 此类卫星相对地球表面保持固定位置, 从地面观测呈静止状态。GSO 与 GEO 轨道覆盖范围广 (单颗 GEO 卫星可覆盖地球约 1/3 区域), 光照条件稳定, 广泛用于通信卫星、气象卫星、广播电视卫星等对轨道稳定性要求极高的任务。

(4) 其他特殊轨道

极地轨道: 轨道倾角接近 90° , 轨道平面穿过地球南北两极, 能实现对全球所有区域的覆盖, 无观测盲区。此类轨道多为低轨高度, 常用于侦察卫星、气象卫星、大气探测卫星及长期地球观测任务, 可精准捕捉南北极及高纬度地区的地理、气象信息。

太阳同步轨道 (SSO): 属于特殊倾角的极地轨道 (倾角约 $97^\circ-100^\circ$), 其轨道平面与太阳光线的夹角始终保持恒定, 使卫星每天能在同一地方时、同一太阳高度角下经过地球同一区域。这一特性确保了对地观测时光照条件一致, 大幅提升影像数据的可比性, 广泛应用于遥感测绘、资源勘探、环境监测等卫星任务。

高椭圆轨道 (HEO): 轨道呈椭圆形, 近地点距离地球较近 (多为低轨高度), 远地点距离地球较远, 部分远地点可延伸至 GEO 轨道高度附近。卫星在近地点运行速度快, 可快速完成低轨区域的观测或通信任务; 在远地点运行速度慢, 能长时间覆盖高纬度地区。此类轨道适用于高纬度地区通信、卫星无线电、深空探测中继及特定遥感任务。

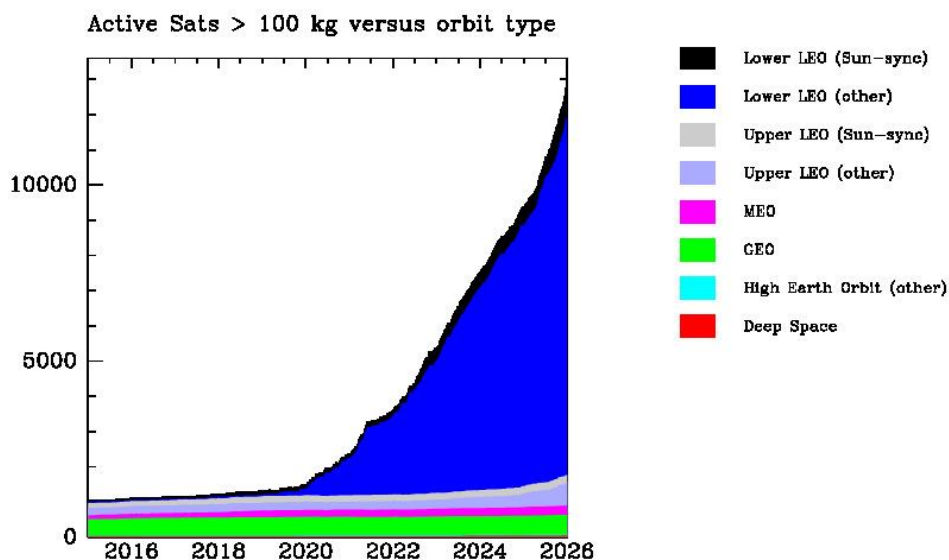
表5: 近地轨道更适合采用晶硅电池太阳翼

轨道类型	LEO(低地球轨道)	MEO(中地球轨道)	GEO(地球同步轨道)
海拔高度(km)	160-2,000	2,000-35,786	35,786
轨道周期	90-120 分钟	2-24 小时	24 小时
延迟(ms,通信)	40-70	120-150	~600
辐照特征	原子氧+中等电子辐照	强电子辐照	较高电子辐照、强质子辐照
温度波动	-150 $^\circ\text{C}$ 至 +150 $^\circ\text{C}$	-145 $^\circ\text{C}$ 至 +60 $^\circ\text{C}$	-196 $^\circ\text{C}$ 至 +128 $^\circ\text{C}$
主要应用场景	通信、遥感	导航(GPS/北斗)	通信、广播、气象
当前主流太空光伏产品	p 型 PERC III-V 族	III-V 族	III-V 族
优势	低延迟、高分辨率观测、低发射成本、快速迭代	平衡覆盖及延迟、燃料消耗低、全球覆盖需较少卫星	固定位置覆盖(一颗覆盖 1/3 地球)、连续观测、无需跟踪
劣势	大气阻力导致轨道衰减、寿命短 (5-7 年)、覆盖需多卫星	高辐射风险增加屏蔽成本、发射燃料需求高于 LEO	高延迟、高发射成本、高辐射事件、无法覆盖极地

资料来源: spectrum control、NASA、IAFI、天合光能、开源证券研究所

低轨卫星具有迭代周期短、需求量大及服役寿命短的特性，不仅是当前市场规模最大的卫星轨道类型，同时也是最适配晶硅太阳翼的应用场景。截至2026年1月22日，全球活跃卫星合计1.44万颗，其中低轨卫星（LEO+SSO）1.35万颗，其中SpaceX星链卫星以9542颗的规模占据70%的主导地位。

图30：近轨卫星数量远超其他轨道卫星



资料来源：Jonathan's Space Pages

2.1.2、低轨通讯卫星推动太空晶硅规模化量产

鉴于国际电信联盟（ITU）遵循“先登先占”的资源分配规则，低地球轨道资源的争夺日趋激烈，商业航天有望迎来快速发展。SpaceX星链卫星总部署目标高达4.2万颗，近期已获批新增部署7500颗二代星链卫星；国内低轨卫星组网节奏同步提速，2025年12月国内相关主体向ITU提交新增20.3万颗卫星的频率与轨道资源申请，凸显国内对低轨太空资源的战略布局决心。

表6：中国20万颗新增卫星申请加速商业航天发展

星座名称	申报数量 (颗)	2025年底活跃数 (颗)	首颗卫星	10%部署	50%部署	100%部署
国网 (GW)	12,992	136	已部署	2029年前	2032年前	2034年前
千帆 (G60)	15,000	108	已部署	2032年8月前	2035年8月前	2036年8月前
鸿鹄-3	10,000	-	2031年5月前	2033年5月前	2036年5月前	2038年5月前
CTC	193,428	-	2032年12月前	2034年12月前	2037年12月前	2039年12月前

资料来源：ITU、人民网、格隆汇、上海证券报、开源证券研究所

当前星链卫星的主力型号为 v2 mini，该型号卫星采用双太阳翼结构，单翼尺寸为 12.8m×4.1m，太阳翼总面积达 105m²。假设在 AM0（空间标准太阳辐照条件）下电池转换效率为 25%，估算单颗 v2 mini 卫星的太阳翼输出功率约 35kW。

截至 2026 年 1 月 22 日，SpaceX 已累计发射 v2 mini 卫星 6257 颗，占其卫星发射总量的 56.9%；按单星功率换算，该型号卫星已发射的总功率规模已接近 200MW。

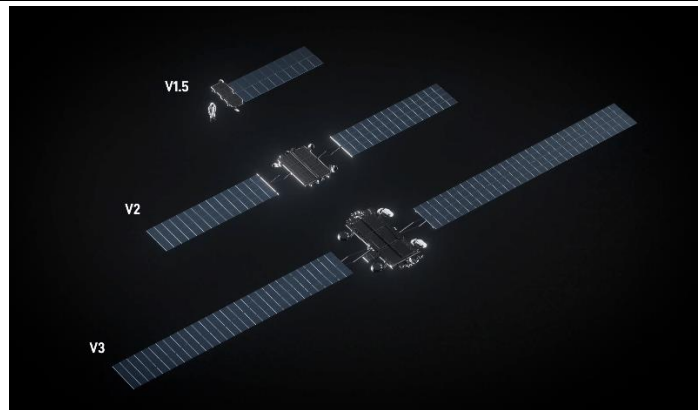
表7：星链卫星太阳翼面积持续扩大

型号	单个太阳翼长度(m)	单个太阳翼宽度(m)	太阳翼数量(个)	太阳翼面积(m ²)	累计发射数(颗)
V1.5	8.1	2.8	1	22.7	2,987
v2 mini	12.8	4.1	2	105.0	6,257
v2	20.2	6.36	2	256.9	38

数据来源：Jonathan's Space Pages、开源证券研究所

星链 v3 卫星的太阳翼面积规划扩容至 400 平方米以上，发电功率相较 v2mini 提升 4 倍以上，预计达 150kW。马斯克表示 v3 卫星预计于 2026 年第一季度启动小批量测试性发射任务，并将于 2026 年第四季度前后正式进入规模化发射阶段。

图31：Starlink v3 太阳翼面积预计是 v2 mini 的 4 倍



资料来源：PCMag

从市场空间测算看，若星链最终规划的 4.2 万颗卫星全部为 v3 型号，按单星 150kW 的发电功率计算，将对应合计 6.3GW 的太空光伏装机规模空间；参考卫星平均 5 年的服役寿命，其年均新增装机需求可达 1.26GW。即便考虑到全球低轨通讯卫星的组网需求，预计年均新增装机需求也不足 10GW，与地面光伏的年新增装机规模存在显著量级差距。

低轨通信卫星的意义并不在于装机规模，而在于推动晶硅电池在太空场景的规模化量产，并为后续太空算力的建设提供低成本的能源解决方案。

2.2、太空算力空间星辰大海

2.2.1、低地轨道具备充足卫星容量

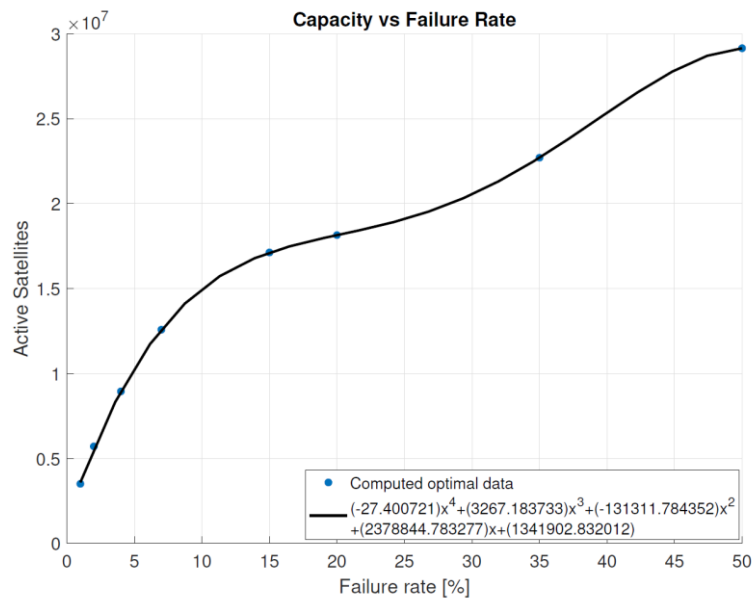
近年来，全球多国主体纷纷推进巨型星座部署计划，这类星座多由数千乃至数万颗卫星组成，且集中部署于低地球轨道。海外的 SpaceX、Amazon、Astra Space 等企业率先布局，国内的 CTC、国网、千帆等星座也在积极推进。由于在轨卫星持

续扩容与空间碎片总量攀升，卫星运营商将面临更密集、更复杂的在轨运行环境，卫星碰撞概率提升，且对空间环境容易引发连锁影响。

据 Andrea D'Ambrosio 团队研究结论，在兼顾空间环境长期稳定性的前提下，当卫星故障率取 7% 时，低地球轨道的最大承载容量约 1260 万颗卫星，与之匹配的最优年发射规模为 270 万颗卫星。能够容忍的故障率越高，轨道可承载的在轨卫星数量越多，即轨道容量越大。

若按单颗卫星平均发电功率 100kW 测算，上述最大容量对应的低轨轨道总装机功率规模可达 1260GW，年均新增装机空间高达 270GW。

图32：可容忍的卫星故障率越高，轨道容量越大



资料来源：《The Capacity of Low Earth Orbit Computed using Source-sink Modeling》Andrea D'Ambrosio

2.2.2、太空算力带来广阔空间

马斯克计划通过 SpaceX、Tesla 和 xAI 协同，构建基于 Starlink v3 卫星的轨道数据中心，利用太阳同步轨道（SSO）7×24 小时连续太阳能和真空辐射冷却，解决地球电力与基础设施瓶颈。

表8：太空算力具备成本优势

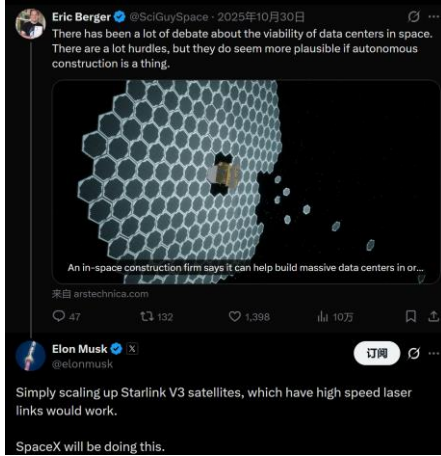
内容	地面算力	太空算力
电力	受电网限制，需搭配备用电源	7×24 小时连续阳光
冷却	冷却系统占据大量空间	真空辐射散热，简化设计
成本	高（土地、维护、电力）	低
风险	政治/环境限制	辐射/碎片

资料来源：开源证券研究所

2025 年 11 月，马斯克公开提出，未来 5 年内搭载太阳能的 AI 卫星有望成为成本最优的 AI 算力供给方案，并规划未来在低轨每年部署 100GW 的太阳能 AI 卫星。结合前文测算，低轨轨道可承载的年均新增规模达 270GW 以上，若全部采用 v3 构型则上限提升至 405GW，完全能够覆盖每年 100GW 的 AI 卫星部署目标的需求。

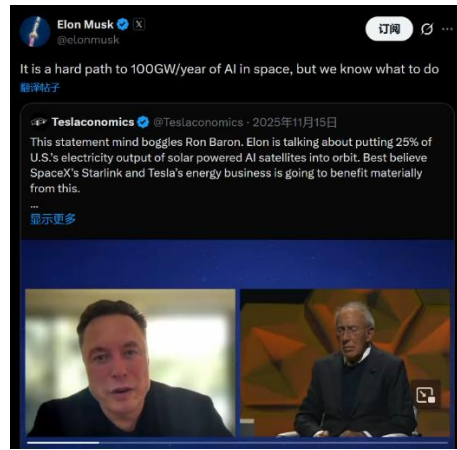
2026年1月，马斯克在达沃斯论坛表示 SpaceX 和 Tesla 正在推进 3 年内在美国建设 100GW 光伏制造产能，进一步印证了其庞大的太空光伏规划。

图33: SpaceX 将通过 v3 卫星构建太空算力



资料来源: Elon Musk X 账号

图34: SpaceX 规划在太空建立 100GW/年算力



资料来源: Elon Musk X 账号

2.2.3、太空光伏的核心通胀逻辑

地面光伏赛道早已步入极致成本竞争的红海阶段，而太空光伏的商业逻辑与地面场景存在本质差异。太空光伏的终端载体为卫星，其核心诉求是供电系统的可靠性，而非单纯的成本压降。以晶硅电池替代砷化镓电池可大幅降低太阳翼的硬件成本，但并非意味着价格越低越优，因为一旦因电池产品可靠性不足引发卫星供电安全故障，将直接导致整星报废，由此造成的资产损失将远超电池本身的采购成本。因此太空光伏从根源上摒弃了“低价优先”的竞争模式，安全性与稳定性是第一优先级。

此外，卫星太阳翼需通过严苛的在轨性能验证，且在轨测试周期普遍较长，这进一步抬高了行业的准入门槛。太空光伏是典型的高试错成本赛道，对产品可靠性、企业技术积淀及品牌公信力的要求极为严苛，这决定了行业难以走向同质化的低成本竞争格局。未来行业的核心竞争壁垒，将集中于商业资源对接能力、品牌认可度、技术研发与工程化落地能力等核心维度。

在此背景下，伴随未来每年 100GW+太空算力市场的释放，叠加太空光伏电池更高的单位价值量，有望为光伏行业开辟全新的增长空间，打开远超地面场景的市场空间。

表9: 太空光伏市场空间广阔 (单位: 亿元)

电池片价格		年部署规模				
		通讯卫星放量→AI 卫星放量				
		10GW	50GW	100GW	300GW	500GW
砷化镓价	100 元/W	10,000	50,000	100,000	300,000	500,000
格的 10%	50 元/W	5,000	25,000	50,000	150,000	250,000
↓	30 元/W	3,000	15,000	30,000	90,000	150,000
砷化镓价	20 元/W	2,000	10,000	20,000	60,000	100,000
格的 1%	10 元/W	1,000	5,000	10,000	30,000	50,000

数据来源: 开源证券研究所

3、放量前夜布局，设备厂商抢占先机

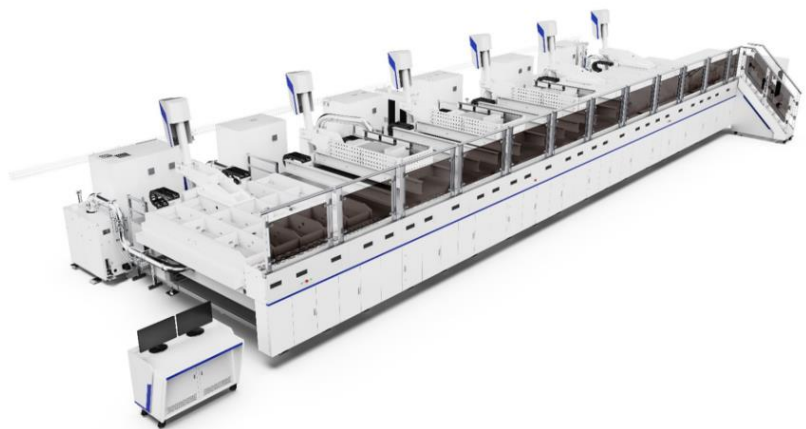
3.1、迈为股份

迈为股份作为 HJT 电池整线设备龙头企业，凭借深厚的技术积淀与全链条布局，在 HJT 与钙钛矿两大前沿光伏技术赛道构筑了显著竞争优势，为未来高效率、轻量化、空间适用型光伏电池开发提供了关键设备支撑。

在 HJT 设备领域，迈为股份实现了从核心单机到整线供应的全维度突破。依托原有丝网印刷设备的技术根基，公司通过自主研发攻克非晶硅薄膜沉积（PECVD 设备）、TCO 膜沉积（PVD 设备）等核心工艺瓶颈，形成覆盖 HJT 电池生产四道工序的完整整线供应能力，打破了核心设备依赖外部供给的局限，为客户提供一体化解决方案，大幅提升产线兼容性与运维效率。2025 年推出的产线升级技术进一步强化了竞争壁垒：光子烧结技术通过将硅片与浆料温差提升 100℃，实现线电阻降低 30%，助力细线印刷工艺优化；硅片边缘钝化优化则有效降低背面收集损失，两项技术叠加可使组件功率提升 15-18W。同时，公司背抛试验线在电池背面大绒面钝化与接触性能上实现突破，可额外带来 10W 的功率增益，持续刷新 HJT 电池效率上限。

在钙钛矿叠层电池设备领域，迈为股份依托 HJT 技术平台实现高效协同布局，构建“技术研发-中试转化-量产落地”的完整能力。公司基于现有 HJT 平台开发的钙钛矿叠层电池中试线，已实现大尺寸电池转化效率超 29%，预计短期内将突破 30%，展现出强劲的技术迭代能力。核心优势在于设备与工艺的平台化复用，将 HJT 领域成熟的 PECVD/PVD 真空镀膜技术、印刷工艺体系延伸至钙钛矿设备，凭借七年板式真空设备量产经验及累计超 3000 个交付腔体的实践积累，保障钙钛矿电池生产的稳定性与均匀性，降低产线碎片率与宕机风险。同时，公司集成喷墨打印、板式时间型 ALD 真空镀膜等自主核心技术，实现高材料利用率（超 95%）与高生产节拍的平衡，兼顾量产经济性与效率提升，其开发的整线方案可灵活适配不同规格的实验线、中试线及量产线需求，精准匹配行业不同发展阶段的客户需求，为钙钛矿叠层电池从技术攻坚迈向规模化量产提供坚实设备支撑。

图35：迈为股份 PECVD 镀膜设备示意图



资料来源：迈为股份官网

3.2、捷佳伟创

作为全球光伏电池设备领军企业，捷佳伟创凭借全技术路线覆盖能力、整线交付实力及深厚的技术积淀，在 TOPCon 与 钙钛矿 两大核心赛道构筑了坚实竞争壁垒，深度契合光伏产业高效化、规模化、全球化的发展趋势，为行业技术迭代与产业化落地提供核心支撑。

在 TOPCon 设备领域，公司 PECVD 等核心设备市占率行业领先。设备全面兼容 G12 大尺寸硅片生产，可助力客户实现量产转化效率与良率双领先，搭配全技术路线覆盖能力，能提供一站式“交钥匙”整线解决方案，大幅降低客户多供应商协调成本与项目落地风险，适配新建产线与大规模扩产需求。公司持续高比例研发投入推动工艺迭代，关键零部件国产化率处于行业领先，结合规模化量产形成的成本摊薄效应，设备性价比优势突出，在保障供应链自主可控的同时，助力客户降本增效，进一步巩固市场主导地位。

在钙钛矿设备领域，捷佳伟创以技术自主化、布局全链条化及商业化快速落地为核心优势，领跑行业产业化进程，是全球唯一实现钙钛矿整线设备交付的企业。技术层面，构建了从核心单机到整线供应的完整能力，自主研发的磁控溅射设备（PVD）拥有全部知识产权，在成膜致密性、均匀性及工艺稳定性上表现卓越；RPD 设备搭载高精控制技术，工业级压电喷墨打印设备更以纳米级精度与高材料利用率，解决叠层电池量产核心难题。当前公司已向日本客户交付叠层工艺整线，覆盖清洗、涂布、真空镀膜等关键设备。同时，通过零部件国产化迭代、单台产能提升及多设备集成，持续降低设备成本。

图36：捷佳伟创出货首条量产商业化柔性钙钛矿产线核心设备



资料来源：捷佳伟创公众号

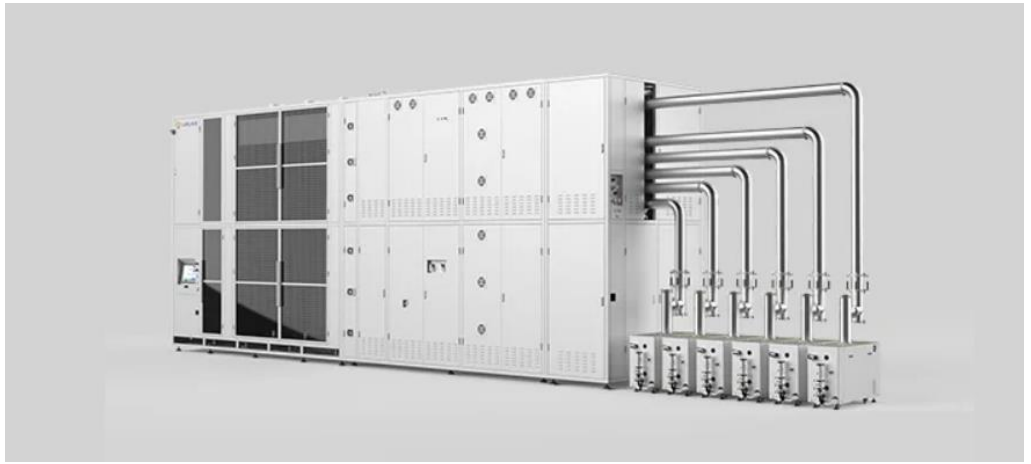
3.3、拉普拉斯

公司全球领先的高效光伏电池片核心工艺设备及解决方案提供商，主营业务为光伏电池片制造所需高性能热制程、镀膜及配套自动化设备等的研发、生产与销售，并可为客户提供半导体分立器件设备、设备的配套零部件及服务。公司热制程设备主要包括硼扩散、磷扩散、氧化及退火设备等，镀膜设备主要包括低压化学气相沉积（LPCVD）设备、等离子体增强化学气相沉积（PECVD）设备、原子层沉积（ALD）设备、原子层边缘钝化沉积（EPD）设备等，自动化设备为可以有效提升工艺设备

生产效率的配套上下料设备；除此之外，公司还可提供激光设备、电池间隙贴膜机等其他光伏设备。

公司紧跟行业趋势，聚焦以 TOPCon、XBC 为代表的 N 型电池技术设备的研发升级，通过“产品迭代+解决方案定制”助力客户降本增效，积极推动硼扩散、磷扩散、氧化退火、LPCVD、PECVD 等设备技术的优化和升级，持续推进 ALD 设备、EPD 设备、激光设备等一系列新产品在客户端的应用，助力 TOPCon、XBC 等电池技术进一步升级迭代。在深入覆盖了 TOPCon、XBC 等技术路线的各类热制程、镀膜及配套自动化设备的基础上，公司在 EPD 设备、激光 Poly 减薄设备等关键设备技术上取得良好进展，并持续推动对激光设备、磁控溅射物理气相沉积平台、新一代核心 CVD 工艺设备、钙钛矿核心真空工艺设备、新型金属化设备等领域的前瞻研究和技术探索，持续丰富公司的产品及技术储备，为未来业务拓展奠定坚实基础，构筑关键技术护城河。

图37：拉普拉斯低压化学气相沉积镀膜设备 LPCVD



资料来源：拉普拉斯官网

3.4、奥特维

奥特维作为光伏设备领域的龙头企业，布局 HJT 与钙钛矿设备领域。截至 2025 年 6 月 30 日，奥特维为全球超过 600 个生产基地提供了串焊机，市场占有率超过 60%，其中全球光伏组件前十的供应商均为公司客户。此外，公司持续优化激光辅助烧结等增效工艺，该技术可广泛适配 HJT 电池的低温工艺需求，为 HJT 电池的高效、低银耗制造提供关键设备支撑。

在钙钛矿设备领域，奥特维已完成磁控溅射 (PVD)、蒸镀、原子层沉积 (ALD) 三款核心设备的研发，预计 2026 年发往客户端进行验证。这些设备主要用于钙钛矿薄膜沉积及界面修饰，是叠层电池量产的关键装备。此外，公司作为组件设备商，覆盖钙钛矿组件的真空与封装工艺，可提供从薄膜沉积到组件封装的部分环节解决方案。奥特维凭借其设备技术与太空光伏对轻量化、柔性化需求的高度匹配，以及在叠层电池产业化中的潜力，成为钙钛矿太空光伏领域的重点关注对象。

图38：奥特维多主栅光伏划焊联体串焊机


资料来源：奥特维官网

3.5、连城数控

连城数控是光伏与半导体装备领域全产业链布局的领军企业。公司凭借深厚的技术积淀、全维度产品矩阵及全球化研产体系，构建了“技术自主化+产品集成化+服务全球化”的核心竞争壁垒，从单一设备供应商向整线交付方案服务商转型。公司拥有国家级高新技术企业资质、省级技术研究中心及实验室的科研平台、大连—无锡—美国—越南四大研发生产基地等核心资源，以及数百项专利技术等软实力，为全球光伏企业及半导体材料制造商提供高精度、高效率的设备及整线交付解决方案。

连城数控以核心技术突破打破进口依赖，筑牢竞争根基。公司成立之初便自主研发国际领先的多线切割机，率先推出金刚线切片机，为光伏产业单晶替代多晶的变革提供关键支撑；2013年并购美国斯必克旗下凯克斯单晶炉事业部，获得全部知识产权与18项专利技术，实现硅单晶生长装备技术完全国产化，并持续引领大直径、高拉速技术升级。

当前公司产品主要包括硅、锗、碳化硅和蓝宝石等晶体生长、晶体加工设备，光伏电池清洗、制绒、刻蚀设备，原子层沉积镀膜设备，光伏组件串焊机 etc 自动化设备，以及硅料微波破碎设备等。

图39：连城数控 TOPCon 湿法制绒设备


资料来源：连城数控官网

3.6、帝尔激光

帝尔激光针对钙钛矿电池生产制程，开发了覆盖 TCO 层、氧化物层、电极层的激光刻划系列设备，可精确控制划线精度，并最小化死区面积，有效提升大尺寸玻璃衬底电池的转换效率，技术成熟度领先行业，为钙钛矿电池在太空场景的规模化应用提供关键加工能力。

帝尔激光的激光诱导退火设备（LIA）可有效降低 HJT 电池暗衰减，提升转换效率。该技术通过优化硅片界面态，增强电池在太空极端环境下的稳定性，间接支持 HJT 电池在低轨卫星等短周期任务中的应用。此外，帝尔激光全球首创激光转印技术的新型非接触式表面金属化工艺，适用于 TOPCon、HJT、BC 等高效太阳能电池生产，能有效节约浆料耗量、提升印刷一致性、降低栅线遮光面积和破片率及其他损耗，具有显著的降本增效优势和广阔的应用前景。

图40：帝尔激光诱导烧结设备示意图

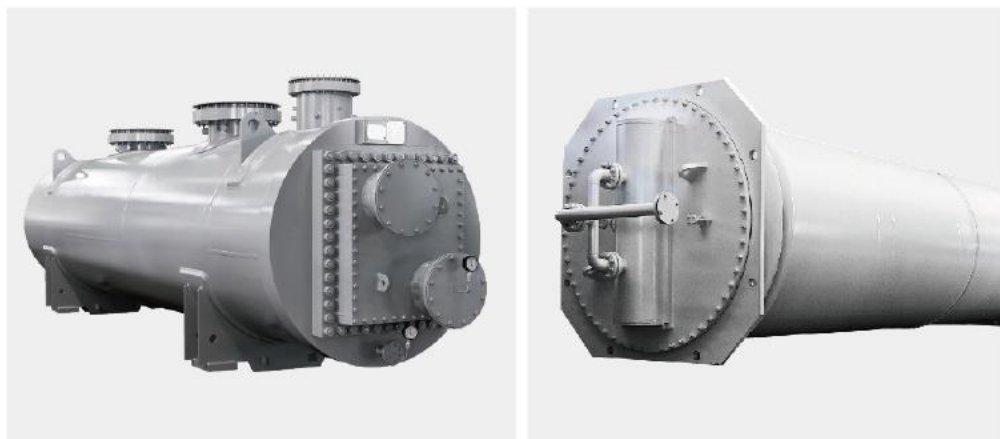


资料来源：帝尔激光官网

3.7、双良节能

双良在节能节水装备领域深耕多年，核心产品包括空气冷却器、换热设备及其零配件等。公司已向 SpaceX 基地发射塔台交付换热器，用于发射塔低温推进剂加注及热管理系统。该类换热器具备耐低温、高可靠性等特性，可提升推进剂密度并减少贮箱体积，是商业航天发射基础设施的关键组件。

公司当前已形成多晶硅核心装备、单晶硅材料、电池组件的完整光伏产业链。在太空光伏领域，随着 p 型 HJT 电池在太空应用场景的持续渗透，硅片作为核心材料需求凸显。

图41：双良换热器示意图


资料来源：双良节能官网

3.8、高测股份

高测股份作为切片设备龙头，深耕光伏硅片切割领域，通过自研切片机、超细金刚石线、实现切割良率与效率双提升，支撑超薄硅片和钨丝金刚线等前沿技术的量产落地。

在切片设备领域，高测股份持续升级 GC-800X 系列金刚线切片机，适配半片切割、更高线速与更细金刚线技术，同步兼容 HJT 和 TOPCon 等新型电池的大尺寸、薄片化、半片、矩形片发展需求，产品竞争力位居行业前列。在切割耗材端，公司引领行业加速钨丝金刚线对碳丝金刚线的替代，已批量供应 $24\mu\text{m}$ 、 $22\mu\text{m}$ 、 $21\mu\text{m}$ 线型，并成功推出 $18\mu\text{m}$ 线型，持续储备更细线型研发。2025 年上半年，公司钨丝金刚线出货量达 2,342 万千米，占金刚线总销量（含自用）的 77.29%，成为硅片环节主流切割工具。

在硅片切割端，公司实现超薄硅片量产，2022 年首发 $80\mu\text{m}$ 超薄硅片，2023 年突破 $60\mu\text{m}$ ，2026 年 1 月宜宾基地下线 $50\mu\text{m}$ 超薄硅片，核心质量指标达领先水平，适配柔性 HJT 电池需求。

图42：高测股份 GC-800XC 金刚线晶硅切片机


资料来源：高测股份官网

3.9、宇晶股份

宇晶股份以高精密数控切、磨、抛设备制造、配套核心耗材为主营业务，目前已形成“设备+耗材+加工服务”协同发展的产业布局，主要产品及服务为高精密数控切、磨、抛设备、金刚石线耗材、硅片及切片加工服务、热场系统系列产品、光伏电站五大类，产品主要服务于消费电子、光伏、半导体、磁性材料等行业。

在光伏超薄硅片加工设备领域，公司自主研发的“超精密热稳定切割技术”表现突出，配套定制化专用多线切割机与切割冷却液，成功实现 45 μm 超薄半片硅片试切，凭借微米级轴距精度与卓越动态稳定性，达成 180° 弯曲无崩边、柔性承压 30 分钟无隐裂的优异性能，为 HJT 等高效电池技术落地提供关键支撑。

公司构建“设备+耗材+工艺”三位一体全链路协同体系，形成独特竞争壁垒。设备端与自研耗材深度适配，自研钨丝金刚线线径突破 $\Phi 15\mu\text{m}$ ，搭配优化配方的冷却液，在提升出片率与良率的同时显著降低断线率；工艺端以智能算法与自动化控制贯穿全流程，实现从上料到分选的高度自动化作业，减少人工干预的同时降低硅料损耗与综合加工成本，进一步强化设备在精度、效率与成本控制上的综合优势，夯实高端精密加工设备国产化领先地位。

图43：宇晶股份切割设备



资料来源：宇晶股份官网

4、群雄竞逐赛道，头部厂商蓝海掘金

4.1、东方日升

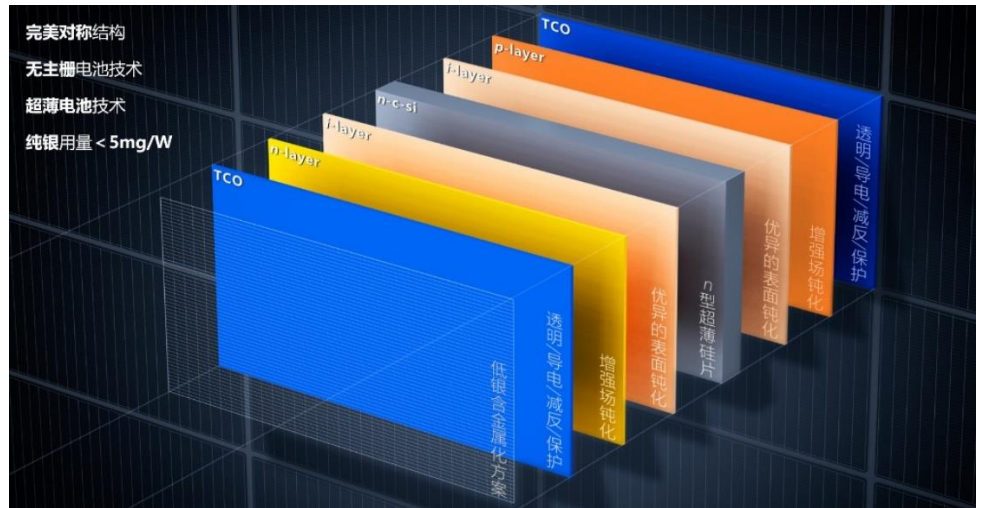
作为国内最早且持续深耕 HJT 技术研发与量产的领军企业，东方日升以系统性创新夯实技术根基，在 HJT 赛道构建了覆盖性能、成本、市场、场景的全维度竞争壁垒，深度契合光伏产业高效化、低碳化、场景多元化的发展趋势，并前瞻性开拓太空光伏新赛道，为 HJT 技术产业化落地与场景延伸提供核心支撑。

公司基于自主创新 n 型 HJT 技术平台开发的伏羲 pro 组件，以 740Wp 量产功率、23.8% 组件转换效率，位列 Taiyang News 全球组件量产效率榜单前三。依托 HJT 电池天然结构优势，产品具备 90% \pm 5% 的行业最高双面率及 -0.24%/ $^{\circ}\text{C}$ 的超低功率温度系数，在相同应用环境下可实现更高发电量增益，显著提升电站全生命周期回报与风险抵御能力。公司凭借自主研发的低银含量金属化浆料与 OBB 无主栅技术，当前

纯银耗量已大幅降至 5mg/W，即便计入 TCO 膜层等相关成本，整体金属化总成本仍低于 TOPCon、BC 等主流技术路线，在贵金属涨价周期中凸显成本韧性。

公司以超薄 HJT 技术开拓太空光伏新赛道，构筑高壁垒差异化优势。公司掌握 50-70μm 极薄 P 型 HJT 电池核心工艺，产品极致轻薄、抗辐照性能优异，可适配卷迭式太阳翼结构，完美匹配低轨卫星轻量化、高稳定性能源需求，自 2023 年起累计向欧美客户交付数万片。同时公司布局 HJT/钙钛矿叠层技术，实验室效率达 30.99%，为太空光伏效率迭代预留空间。

图44：东方日升 HJT 电池具备超薄、低银含优势



资料来源：东方日升官网

4.2、钧达股份

钧达股份是国内最早专注于光伏电池领域的企业之一，持续深耕下一代钙钛矿技术领域。2025 年 11 月，公司完成首片产业化 n 型+钙钛矿叠层电池下线，攻克底电池结构优化、高效介质钝化膜沉积等核心技术，具备独立开展叠层工艺研发与小规模生产的能力，标志着其在钙钛矿电池的产业化方面取得关键进展。目前已建成小型叠层电池产线，其地面光伏产品转化效率可达 33% 以上，居于行业领先水平。

公司前瞻布局太空能源领域，于 2025 年 12 月与尚翼光电签署战略合作协议并拟实施股权投资，双方将聚焦钙钛矿电池技术在太空场景的应用开发。尚翼光电核心技术源自中科院上海光机所，深耕柔性钙钛矿光伏技术的太空场景适配研发，已形成针对太空极端环境的专用配方，同时在太空柔性衬底材料、温控技术领域具备显著优势。此外，公司拥有稀缺的激光驱动粒子源平台，完成太空环境下钙钛矿材料的第一性原理验证，在商业航天加速发展的背景下，有望率先实现产品商业化及上星验证，抢占先发优势。

2026 年 1 月 13 日，公司与上海星翼芯能相关方签署《增资协议》及《股东协议》，以 3000 万元现金出资认购星翼芯能 46.1539 万元新增注册资本，持股比例达 16.6667%，成为其第二大股东。星翼芯能由尚翼光电创始团队及股东新设，将承接尚翼光电全部资产、人员及业务，后续尚翼光电将整合至目标公司旗下。双方将成立合资企业，聚焦 CPI 膜、CPI 膜-晶硅电池复合产品的生产制造，并建立双向排他合作关系，进一步夯实公司在太空光伏产业链的布局深度。

图45：钧达股份与尚翼光电签署战略合作

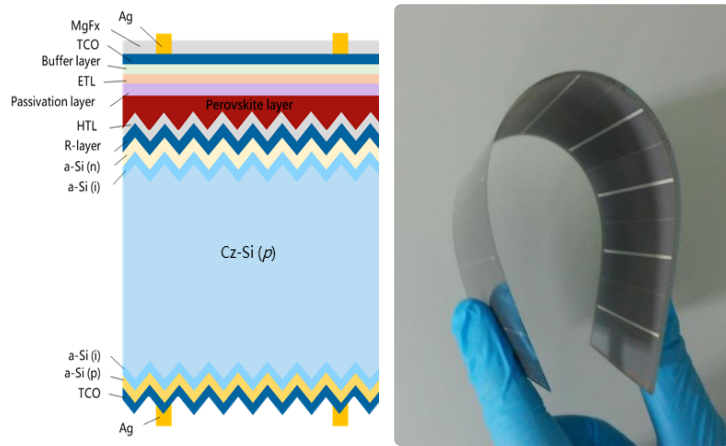

资料来源：JTPV 捷泰科技公众号

4.3、天合光能

天合光能作为拥有光伏科学与技术全国重点实验室的行业领先企业，在太空光伏相关的晶体硅电池（HJT 等）、钙钛矿叠层电池、III-V 族砷化镓多结电池三大方向已经进行了长期完整布局，并且取得了领先性的研发成果。公司基于领先成果与国内航天院所及企业密切合作，与海外领先航天航空机构合作，积累了大量空间太阳能方向的实践经验。

HJT 方面，公司布局有 HJT 电池和钙钛矿电池的研发实验室及中试线，HJT 电池技术持续保持大面积效率达 27.08% 的世界纪录；钙钛矿/晶体硅叠层电池方面，2026 年 1 月公司开发出基于 p-型 HJT 底电池的 210 半片叠层电池，效率达到 31.5%，为全行业首片大面积 p-型晶硅/钙硅叠层叠层电池。公司与全球钙钛矿太阳能电池领域领先企业牛津光伏达成专利技术合作，获得其钙钛矿核心专利技术中国区独家授权，通过“自主创新+开放合作”双轮驱动，公司已初步构建起覆盖全面、层次清晰、具有高防御力的钙钛矿专利“护城河”，天合的钙钛矿专利申请量超过日本和英国的企业，位居全球第一。III-V 族砷化镓多结电池方面，公司 2024 年牵头承担国家重点研发计划：III-V 族薄膜电池及与晶硅的叠层电池低成本制备关键技术，公司的光伏科学与技术全国重点实验室与复旦大学及共建企业一起在高效砷化镓技术方面取得新进展，产品已经实现在中国星网的互联网卫星等多个航天航空装备上应用并持续扩大应用规模。

图46: 天合光能 p-型 HJT 底电池的 210 半片钙钛矿叠层电池



资料来源: 天合光能太空光伏演讲报告

4.4、晶科能源

晶科能源作为光伏行业龙头，提出“Solar All Universe”长远目标，明确表示布局低轨卫星供电、轨道太阳能电站及 2035 年后 GW 级太空数据中心领域，并看好光伏尤其是钙钛矿和 TOPCon/钙钛矿叠层电池未来在太空环境的应用前景，将钙钛矿叠层电池作为下一代技术核心，其轻量化、高效率特性使其在航天器供电、空间太阳能电站、定向输电等场景具备不可替代性。

晶科能源表示未来 20 年将集齐实现太空光伏所有关键要素，钙钛矿/TOPCon 叠层技术+工程能力+规模化生产+无人工厂+机器人组件安装，明确 2027-2028 年实现钙钛矿叠层组件量产。为此，晶科能源与晶泰科技签署战略合作协议，双方将共同成立合资公司，共建全球首个“AI 决策-机器人执行-数据反馈”全闭环晶硅/钙钛矿叠层实验线。晶科近年累计研发投入超 200 亿元，持有专利超 5500 件，n 型 TOPCon 的钙钛矿叠层电池转换效率经国家光伏产业计量测试中心认证达 34.76%，刷新全球纪录，有利于后续向空间能源场景扩展。晶泰科技作为 AI+材料科学领域的创新者，在量子物理算法、AI 预测模型与大规模机器人自动化实验等前沿领域的独特优势，助力晶科能源向“AI+光伏”方向发展。

图47: 晶科能源与晶泰控股签署战略合作



资料来源: 晶科能源公众号

表10：受益标的盈利预测与估值

公司代码	公司名称	评级	市值(亿元)	归母净利润(亿元)				PE	
			2026/1/23	2025E	2026E	2027E	2025E	2026E	2027E
300751.SZ	迈为股份	买入	906.28	8.49	9.70	11.48	106.8	93.4	78.9
300724.SZ	捷佳伟创	未评级	467.06	28.63	15.88	14.48	16.3	29.4	32.3
688726.SH	拉普拉斯	未评级	225.12	7.78	8.41	9.48	28.9	26.8	23.7
688516.SH	奥特维	未评级	283.73	5.01	6.92	7.94	56.6	41.0	35.7
920368.BJ	连城数控	未评级	110.72	1.17	2.17	3.16	94.6	51.0	35.0
300776.SZ	帝尔激光	未评级	252.58	6.67	7.58	8.97	37.9	33.3	28.2
600481.SH	双良节能	买入	147.09	-9.20	5.41	10.23	-	27.2	14.4
688556.SH	高测股份	买入	148.21	0.00	1.45	2.86	45885.5	102.5	51.8
002943.SZ	宇晶股份	未评级	136.24	0.24	2.23	3.26	556.2	61.1	41.8
300118.SZ	东方日升	买入	236.67	-8.32	4.34	11.99	-	54.5	19.7
002865.SZ	钧达股份	未评级	250.05	-13.50	6.50	11.51	-	38.5	21.7
688599.SH	天合光能	未评级	489.36	-70.00	16.50	33.78	-	29.7	14.5
688223.SH	晶科能源	未评级	690.36	-64.00	20.43	37.67	-	33.8	18.3

数据来源：Wind、开源证券研究所（表中公司盈利预测来自Wind一致预期，其中奥特维、双良节能、钧达股份、天合光能、晶科能源盈利预测来自公司业绩预告归母净利润区间中值）

5、风险提示

(1) 政策推进不及预期风险：国内外商业卫星、太空资源开发等领域的政策与监管框架仍处于完善阶段，若未来相关政策出现重大调整或落地节奏放缓，将对太空光伏行业的商业化进程及市场空间拓展形成制约。

(2) 行业竞争格局变化风险：太空光伏赛道目前处于技术探索期，市场规模扩容速度、产业化落地节奏均存在较强不确定性，行业竞争格局尚未固化。若潜在竞争对手率先完成技术突破并实现规模化应用，将对标的公司的先发优势及市场地位构成挑战。

(3) 技术迭代不及预期风险：尽管 P 型 HJT、钙钛矿等光伏技术在轻量化、低成本、高抗辐照性等方面具备潜在优势，但在太空极端环境下的长期可靠性、量产一致性及综合成本效益仍有待充分验证，能否实现对现有主流技术路线的替代尚存在不确定性。

特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于2017年7月1日起正式实施。根据上述规定，开源证券评定此研报的风险等级为R3（中风险），因此通过公共平台推送的研报其适用的投资者类别仅限定为专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者。若您并非专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研报中的任何信息。因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

分析师承诺

负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映分析人员的个人观点。负责准备本报告的分析师获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户的反馈、竞争性因素以及开源证券股份有限公司的整体收益。所有研究分析师或工作人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

股票投资评级说明

	评级	说明
证券评级	买入（Buy）	预计相对强于市场表现 20% 以上；
	增持（outperform）	预计相对强于市场表现 5%~20%；
	中性（Neutral）	预计相对市场表现在 -5%~+5% 之间波动；
	减持（underperform）	预计相对弱于市场表现 5% 以下。
行业评级	看好（overweight）	预计行业超越整体市场表现；
	中性（Neutral）	预计行业与整体市场表现基本持平；
	看淡（underperform）	预计行业弱于整体市场表现。

备注：评级标准为以报告日后的 6~12 个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅表现，其中 A 股基准指数为沪深 300 指数、港股基准指数为恒生指数、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）、美股基准指数为标普 500 或纳斯达克综合指数。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取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

法律声明

开源证券股份有限公司是经中国证监会批准设立的证券经营机构，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告仅供开源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告是发送给开源证券客户的，属于商业秘密材料，只有开源证券客户才能参考或使用，如接收人并非开源证券客户，请及时退回并删除。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他金融工具的邀请或向人做出邀请。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。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。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。本公司建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。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。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。若本报告的接收人非本公司的客户，应在基于本报告做出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。投资者应自主作出投资决策并自行承担投资风险，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。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的开源证券网站以外的地址或超级链接，开源证券不对其内容负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

开源证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。开源证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

开源证券研究所

上海

地址：上海市浦东新区世纪大道1788号陆家嘴金控广场1号楼3层
邮编：200120
邮箱：research@kysec.cn

北京

地址：北京市西城区西直门外大街18号金贸大厦C2座9层
邮编：100044
邮箱：research@kysec.cn

深圳

地址：深圳市福田区金田路2030号卓越世纪中心1号楼45层
邮编：518000
邮箱：research@kysec.cn

西安

地址：西安市高新区锦业路1号都市之门B座5层
邮编：710065
邮箱：research@kysec.cn