

# 钙钛矿——下一代太空光伏的重要选择

分析师：贺朝晖 S0910525030003

周涛 S0910523050001

2026年3月14日

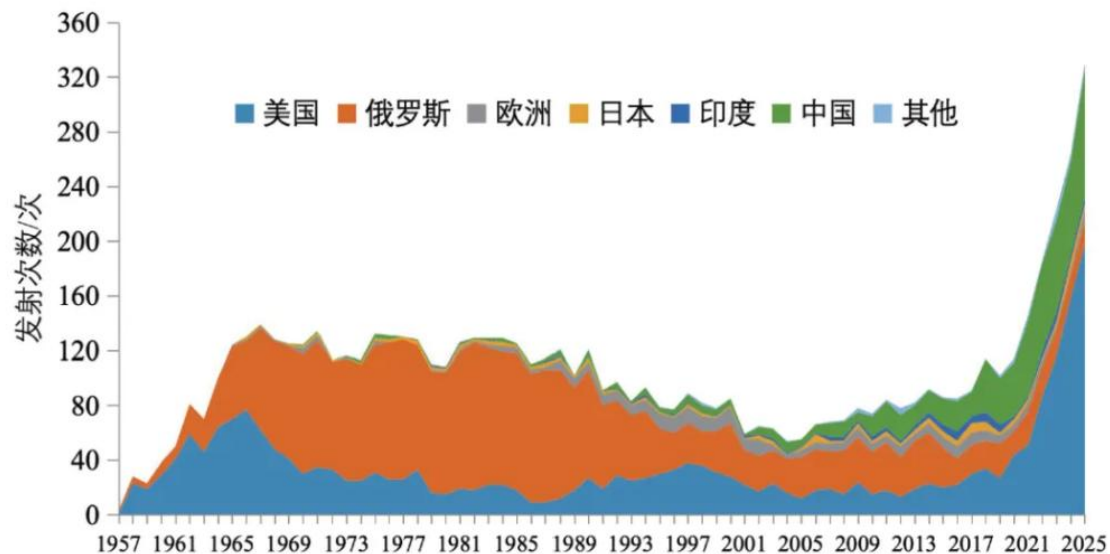
- ◆ **商业航天产业趋势已来，关注太空光伏新技术方向。**商业航天从技术验证迈入规模化应用，低轨卫星与太空算力中心建设推动太空光伏成为主力赛道。作为航天器核心能源供应方案，太空光伏凭借持续光照、高能量密度等优势，成为商业航天不可或缺的配套领域，而技术路线迭代与成本优化是行业突围的关键。
- ◆ **砷化镓主导，HJT为过渡，钙钛矿是下一代核心选择。**当前太空光伏市场由砷化镓电池主导，但高成本、刚性结构等短板难以满足批量化与低成本需求；P型HJT电池通过薄片化与铜代银技术，实现成本降低60%以上，成为中期过渡方案；钙钛矿电池的固有特性与商业航天高度契合，凭借1/10成本、50%减重及柔性优势，有望成为下一代太空光伏核心选择。
- ◆ **钙钛矿商业化进程加速，市场空间广阔。**目前我国已形成完整创新链条，正加速迈向GW级量产和商业化应用；NASA、ESA及国内企业的在轨验证验证了太空环境适配性；高通量研发进一步缩短技术迭代周期。据高盛预测，未来五年全球将发射超7万颗低轨卫星，为太空光伏打开巨大需求空间。
- ◆ **投资建议：**建议跟踪新技术落地与场景绑定的标的，关注协鑫科技、钧达股份、东方日升、航天宏图、拓日新能，以及叠层整线设备龙头迈为股份、捷佳伟创、京山轻机，关键材料供应商隆华科技等。
- ◆ **风险提示：**技术研发不及预期；行业竞争加剧；产业化进度放缓。

- 01 商业航天产业趋势已来，关注太空光伏新技术方向
- 02 太空光伏技术路径选择：晶硅、砷化镓、P型HJT电池、钙钛矿
- 03 钙钛矿：下一代太空光伏材料候选者
- 04 钙钛矿在太空光伏领域验证情况
- 05 投资建议
- 06 风险提示

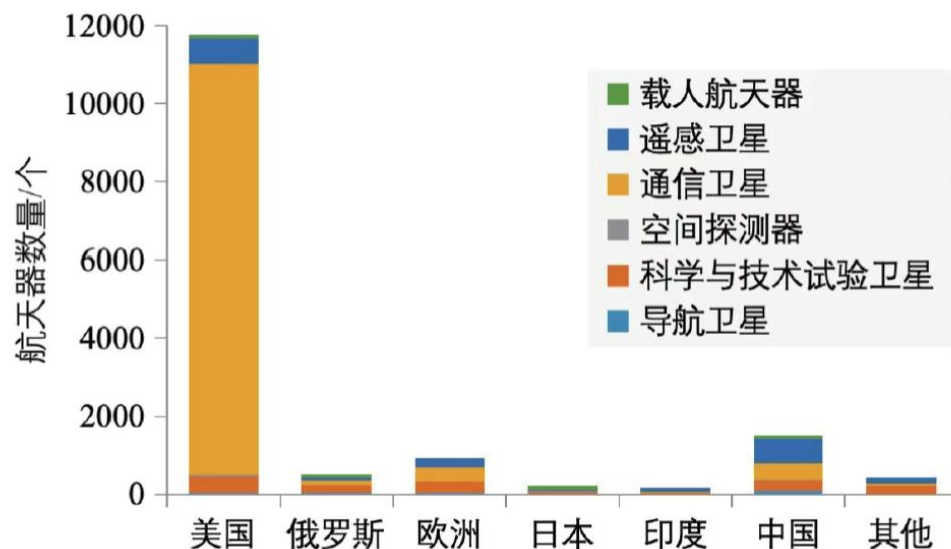
# 1.1 前瞻布局+市场需求拓展航天新业态

- ◆ **低轨轨道与频谱作为不可再生的稀缺战略资源，已成为全球航天竞争的焦点。**据《VLEO星座构型与低轨空间可容纳卫星数量分析》研究，高度300-2000 km组成的低地球轨道空间可容纳17.5万颗卫星，而目前全球各国向ITU申报的卫星总量已远超这一上限。
- ◆ **商业航天发展进入快车道。**商业航天作为以市场为主导、具备商业盈利模式的航天活动，涵盖卫星制造、火箭发射、卫星应用及太空旅游等多个领域。2025年，中国航天全年发射次数达到92次，创历史新高。其中，商业航天全年完成发射50次，占比我国全年宇航发射总数约54%。全年入轨商业卫星311颗，占比我国全年入轨卫星总数84%。

世界航天历年发射次数



2025年底各国/地区在轨航天器数量



# 1.1 前瞻布局+市场需求拓展航天新业态

- ◆ **商业航天的发展依赖于“硬件”与“软件”协同支撑。**“硬件”包括卫星、运载火箭、发射测控、地面终端；“软件”包括频轨资源、经营许可、应用服务、组织协调。近年来，各领域均取得积极进展：低轨星座组网累计发射超200颗卫星；多型可重复使用火箭研制稳步推进；地面终端向小型化、低成本持续演进。与此同时，频轨资源保障能力提升，应用场景加快向民生延伸，全流程管理日益顺畅。
- ◆ **作为商业航天的重要配套，太空光伏技术优势凸显。**太空太阳能发电通过卫星在太空聚集太阳能，以微波或激光形式传输至地面。地球同步轨道可实现99%时间持续光照，发电效率较地表提升2-3倍。目前已在卫星供电中得到广泛应用。

商业航天主要分类

分类	范围	阶段
运载火箭	火箭研制、火箭发射、过程测控、保险发射	已进入商业运营阶段，是当前产业核心环节之一，民营火箭公司是重要力量
人造卫星	遥感卫星、通信卫星、导航卫星、科研卫星	商业化程度最高的领域，占据航天产业主要收入，产业主体包括国家队和众多民营卫星公司
载人航天	低轨道载人飞船、低轨道运输系统、太空旅游	处于萌芽与探索阶段，由美国公司率先开展亚轨道旅游，国内尚在起步
深空探测	行星探测器、太空采矿	处于早期构想与试验阶段，商业化模式有待探索
空间站	太空居住、太空城市	处于萌芽阶段，国际空间站已开展相关实验，中国空间站未来可能开放商业合作

太空光伏产业链



## 1.2 商业航天获得政策和资本响应

- ◆ **政策方面**，已有20多个省区市出台40多项涉及商业航天发展的产业政策。京津冀、长三角、珠三角三大商业航天产业集聚区初步形成。位于北京亦庄的火箭大街，集聚180余家企业，其中商业火箭企业集聚度占全国75%。
- ◆ **融资方面**，2025年行业融资总额达186亿元，同比增长32%。2025年12月，国内首支商业航天社会化专项基金“领创商业航天联盟科创基金”成立，定位“耐心资本”。蓝箭航天等至少5家主营运载火箭的商业航天公司已进入上市进程。

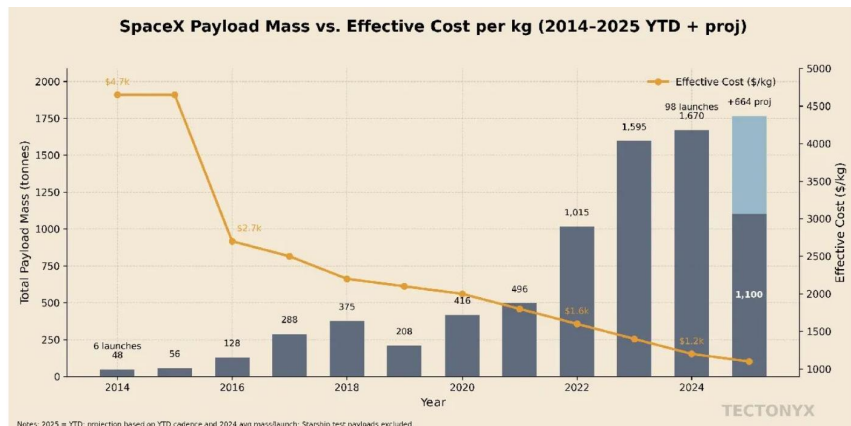
近期商业航天关键政策梳理（截止202503）

发布时间	发布部门	政策名称	重点内容解读
2025年3月	国家国防科工局	《关于促进商业航天测控规范有序发展的通知》	规范商业航天测控站网建设、技术标准和安全管理，要求测控主体定期报告资源状态，强化在轨安全责任，支持航天测控资源开放共享
2025年3月	国家航天局	《国家空间科学中长期发展规划（2024-2050年）》	提出“构建全域覆盖、泛在互联的航天测控体系”，明确商业航天在空间科学、技术应用中的战略地位，鼓励社会资本参与航天基础设施建设
2025年3月	国务院	2025年政府工作报告	进一步强化商业航天政策支持，提出“开展新技术新产品新场景大规模应用示范行动”，推动商业航天与低空经济、6G等未来产业协同发展
2024年12月	国家发展改革委、商务部	《关于支持海南自由贸易港建设放宽市场准入若干特别措施的意见》（深化版）	优化海南商业航天市场准入环境，推动卫星遥感、北斗导航、运载火箭等产业链落地，支持海南开展北斗国际应用示范。2024年海南商业航天发射场完成常态化发射，年发射能力提升至20次
2024年12月	国家国防科工局	《关于促进商业航天测控规范有序发展的通知》	规范商业航天测控站网建设、技术标准和安全管理，要求测控主体定期报告资源状态，强化在轨安全责任，支持航天测控资源开放共享。2024年新增商业测控站12个，覆盖亚太、非洲等区域

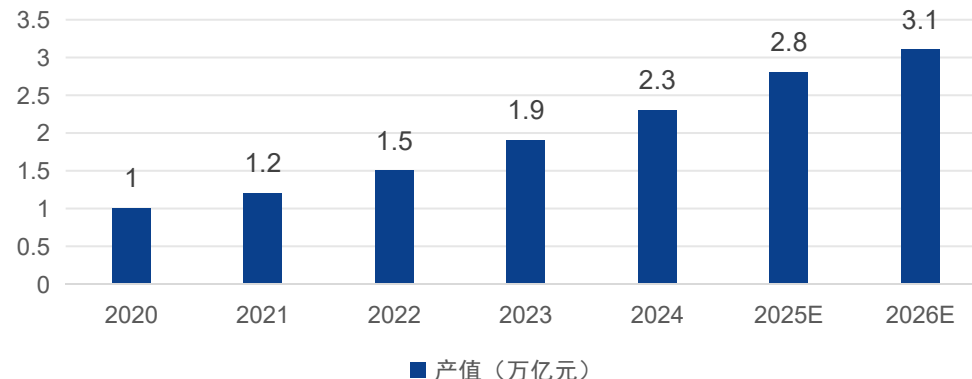
# 1.3 太空光伏：航天器的重要能源供应

- ◆ 商业航天对于太空光伏需求的驱动，体现在以下几个方面：
  - ◆ (1) **规模驱动**：ITU“先占先得”的规则和严格的部署时限，将这场“圈地运动”迅速转化为实实在在的产业压力。未来十年，卫星制造与发射必须实现工业化量产，而为每一颗卫星配备的“太阳翼”（太空光伏阵列）也随之成为确定性的、海量的基础需求。
  - ◆ (2) **经济驱动**：当前太空光伏面临“运力焦虑”，即使造出了好电池，高昂的发射成本也会扼杀其商业价值。因此，商业航天自身在发射环节的降本竞赛，是打开太空光伏市场空间的最关键钥匙。
  - ◆ (3) **技术驱动**：地面光伏的“内卷”技术（如HJT薄片化）意外契合太空对“轻量化”与“抗辐射”的需求，成为理想过渡方案。而钙钛矿凭借理论效率高、重量极轻、可柔性制备等颠覆性优势，被普遍视为未来主流。技术路线竞争的实质，是在可靠性、功率质量比与成本之间寻求最优商业解。
  - ◆ (4) **应用驱动**：太空数据中心（AI算力）等新场景构想，将从百千瓦级需求跃升至百吉瓦级，为太空光伏打开数量级增长的想象空间。

### 载荷质量激增，成本曲线陡降——「SpaceX曲线」升级



### 2020-2026中国商业航天产值预测趋势图

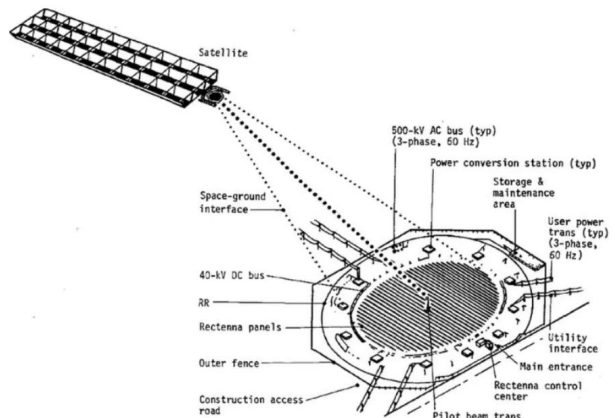


# 1.3 太空光伏：航天器的重要能源供应

- ◆ 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Vanguard1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：近地轨道卫星日照时间占比60%-70%、年利用小时数5000-6000小时（为地面2倍），同步轨道年利用小时数超8000小时。地面光伏会受到以下因素影响：昼夜变化、云层遮挡、季节变化。而轨道上的太阳能电站可以实现接近24小时持续发电。
- ◆ (2) 成本与续航优势：太空光伏耐辐射性突出，在轨运行十五年后，国际空间站电池板效率仍保持88%。
- ◆ (3) 更高的太阳辐照强度：在大气层外，太阳辐射强度约为1361 W/m<sup>2</sup>，相比地面光伏系统，太空光伏可获得约30% - 40%更高的有效辐照能量。
- ◆ (4) 全球能源覆盖能力：太空光伏电站通过微波或激光无线输电，可以把电力输送到：沙漠地区、海洋、极地、偏远地区。甚至可以为：月球基地、深空探测任务、提供能源支持。因此，很多科学家将太空光伏称为：“终极可再生能源解决方案”。

- ◆ 一个完整的太空太阳能电站通常由四个关键系统组成：
- ◆ 太阳能发电系统
- ◆ 电力管理系统
- ◆ 无线输电系统
- ◆ 地面接收系统

太空光伏SBSP系统结构图



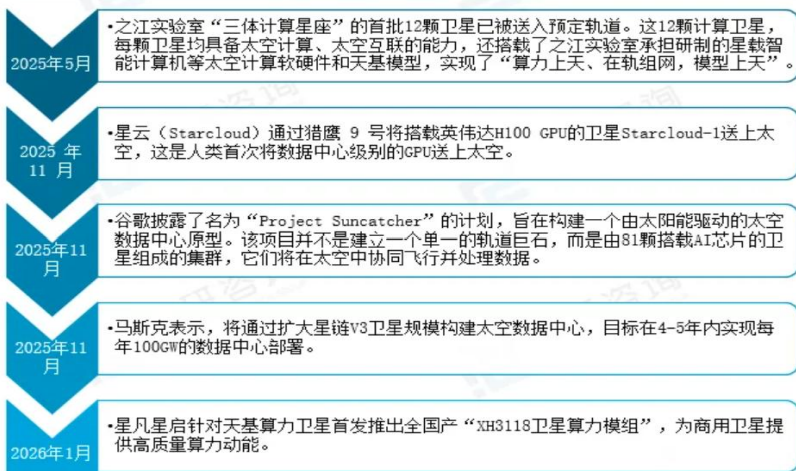
# 1.3 太空光伏：航天器的重要能源供应

- ◆ 2025年以来，太空算力与太空光伏领域迎来多项里程碑式进展。2025年5月，中国将全球首个太空计算星座送入轨道；12月，SpaceX把英伟达H100 GPU送入太空。马斯克披露计划：每年向轨道送入100吉瓦太阳能驱动的AI卫星。北京同步提出在700—800公里晨昏轨道建设超千兆瓦功率的太空数据中心，明确2025—2035年“三步走”战略，将概念升级为长期规划。贝佐斯预测未来10—20年将建成千兆瓦级太空数据中心。
- ◆ 马斯克宣布大规模光伏建设计划，支撑地面与太空算力需求。2026年1月22日达沃斯论坛上，马斯克宣布特斯拉与SpaceX计划未来3年在美国建设总计200GW光伏产能（各100GW），分别用于地面数据中心与太空AI卫星供电。
- ◆ “星算·智联”太空算力研讨会成功召开。1月26日举行的2026“星算·智联”太空算力研讨会上，中国信通院联合产业界发布“算力星网”太空算力合作推进倡议，并发布《太空算力发展前瞻研究报告（2026年）》。

中国“三体计算星座”组网示意图



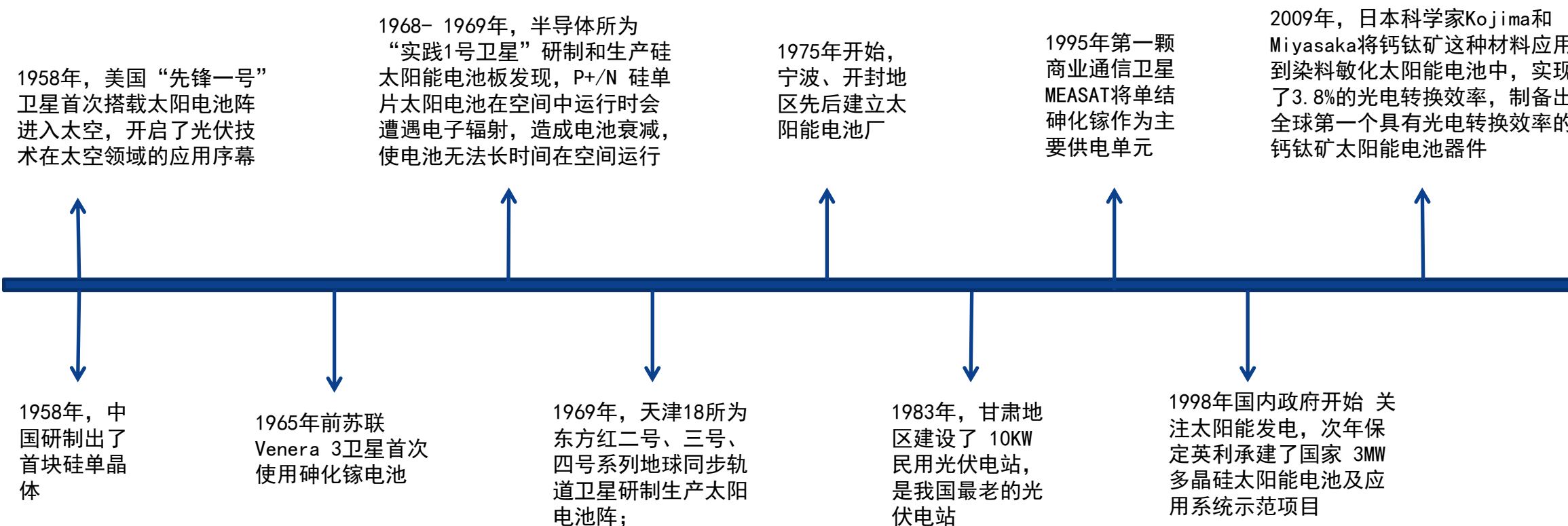
全球太空算力布局动态



- 01 商业航天产业趋势已来，关注太空光伏新技术方向
- 02 太空光伏技术路径选择：晶硅、砷化镓、P型HJT电池、钙钛矿
- 03 钙钛矿：下一代太空光伏材料候选者
- 04 钙钛矿在太空光伏领域验证情况
- 05 投资建议
- 06 风险提示

## 2.1 太空光伏主流技术选择演变

- ◆ 太空光伏的历史可追溯至半个多世纪前，其发展始终与航天事业的进步深度绑定。1958年，美国“先锋一号”卫星首次搭载太阳能电池阵进入太空，开启了光伏技术在太空领域的应用序幕。20世纪80年代，中国东方红四号卫星采用典型的刚性太阳能电池阵列，完成了国内太空光伏的早期实践。在技术路线的早期探索中，1965年前苏联Venera 3卫星首次使用砷化镓电池，1995年第一颗商业通信卫星MEASAT将单结砷化镓作为主要供电单元，奠定了砷化镓电池在太空领域的早期主导地位。经过数十年积淀，太空光伏已形成砷化镓、晶硅电池和钙钛矿三大技术路线并行竞争的格局，为后续的商业化爆发奠定了技术基础。



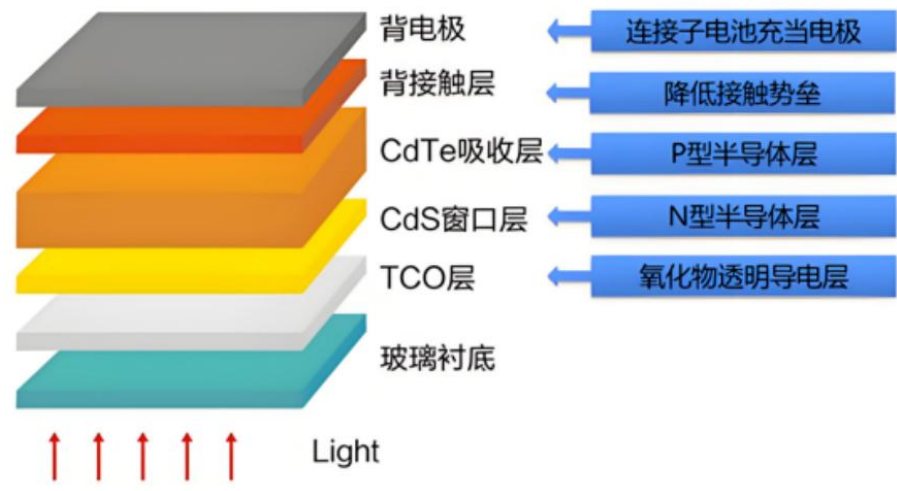
## 2.2 短期选择：砷化镓

- ◆ **砷化镓电池市场高度集中于航空航天领域，未来规模稳步增长。**其应用高度集中于航空航天，占比超90%。2024年全球市场规模达4.25亿美元，据QYR（恒州博智）统计，预计2031年增至5.9亿美元，CAGR4.3%。中国市场2022年规模约50亿元，2025年有望突破120亿元。
- ◆ **结构上三结电池占据主导地位，转换效率持续突破。**按连接类型划分，砷化镓电池分为单结、双结、三结和四结类型，其中三结太阳能电池占据90%以上市场份额。在转换效率方面，美国国家可再生能源实验室研发的六结叠层电池在聚光条件下已实现47.1%的转换效率。
- ◆ **技术进步推动成本下降，有望拓展新应用场景。**随着技术迭代，制造成本正逐步降低。例如，美国国家可再生能源实验室的动态氢化物气相磊晶法，有望将三五族太阳能电池成本拉低至每瓦0.2—0.8美元区间。未来，砷化镓电池有望凭借性能优势与成本优化，向更多新兴领域拓展。

砷化镓电池结构

- ◆ 电池由三层 GaAs 组成：
- ◆ 上层：掺入少量“n 型”杂质，多余电子，带负电
- ◆ 下层：掺入“p 型”杂质，缺电子，形成带正电的“空穴”
- ◆ 中间：极薄的“p-n 结”，两者相遇时，电子与空穴互相扩散，留下一个内建电场，方向从 p 指向 n，像一道“单向门”

砷化镓电池核心原理：光生伏打效应



## 2.2 短期选择：砷化镓

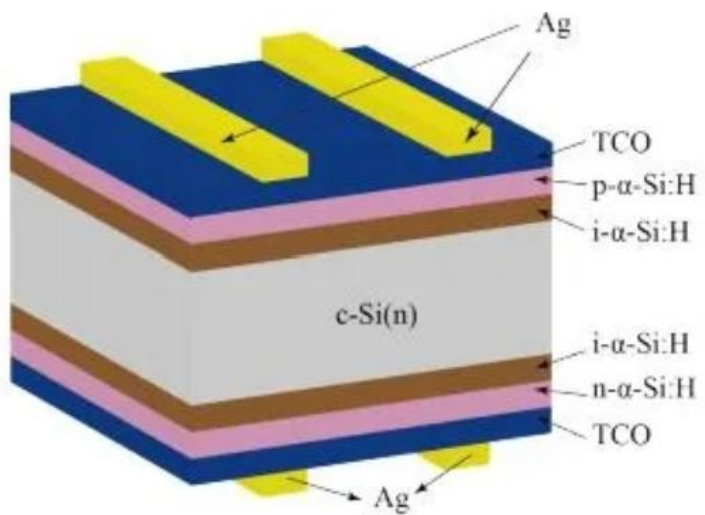
- ◆ **砷化镓电池仍是航天能源主流，但面临增长瓶颈。**根据共研产业研究院，全球砷化镓太阳能电池市场规模从2018年的2.13亿美元增至2023年的4.07亿美元，年复合增长率13.8%。然而，成本居高不下，加之以军用为主导的技术路线难以满足商业航天的规模化需求，预计未来五年增速将明显放缓。寻找性能更优、成本更低的替代技术，已成为行业突围的关键。
- ◆ **两大核心矛盾制约其商业应用。**当前全球航天器太阳能电池市场由砷化镓技术主导，但面临两大挑战：一是成本高昂，占卫星制造成本15%—20%，商业级电池组报价达200—300美元/瓦；二是应用局限，刚性基板限制轻量化与曲面设计，比功率仅300W/kg。

优势	不足
<b>高光电转换效率：</b> 单结砷化镓电池理论效率达27%，实验室最高效率已突破29.1%；多结叠层电池通过叠加不同带隙材料，理论效率可超50%，实验室最高效率已达47.2%（聚光条件下）	<b>成本高昂：</b> 商业级砷化镓电池组报价 200-300 美元 / W，占卫星制造成本 15%-20%
<b>宽光谱吸收能力：</b> 多结砷化镓电池可覆盖紫外线、可见光到红外光的宽光谱范围，能吸收不同波长的光子，光谱利用率远高于仅适配有限波段的硅电池，即使在弱光环境下也能保持高效发电	<b>应用局限：</b> 刚性基板使比功率定格在 300W/kg，且无法适配曲面、折叠式太阳翼
<b>低温度系数与高温稳定性：</b> 砷化镓电池的温度系数仅为-0.05%/°C，远低于硅电池的-0.3%~-0.5%/°C。这意味着高温环境下，砷化镓电池的效率衰减极小，其在250°C时仍可正常工作，而硅电池在200°C时已无法稳定运行	<b>材料稀缺：</b> 镓为稀土元素，全球储量有限；砷为有毒元素，生产需严格控污，回收体系不完善
<b>优异抗辐射性能：</b> 砷化镓电池对太空辐射的耐受性更强，在辐射环境中的性能衰减率比硅电池低5倍以上，能在长期太空任务中保持稳定发电，是航天器能源系统的核心选择	<b>增长瓶颈显现：</b> 全球砷化镓航天电池市场规模从2018年2.13亿美元增至2023年4.07亿美元（CAGR13.8%），但行业预测未来5年增速将降至5%以下，核心症结在于成本无法支撑千颗级卫星部署

## 2.3 中期选择：P型HJT

- ◆ (1) 超高双面率，发电增益显著：HJT电池具备天然对称结构，双面率最高达95%，每瓦发电量较PERC电池高出3%-6%。在海南定安户外实证中，HJT组件发电量增益最高达10.2%。
- ◆ (2) 低温系数，高温表现更稳定：HJT电池温度系数仅为 $-0.26\%/^{\circ}\text{C}$ ，在高温环境下发电性能更稳定，比PERC电池发电量最多高出3.9%。
- ◆ (3) 铜替代银，电极材料革命：HJT电池正积极推进银铜浆料、纯铜电极等技术的应用，逐步降低银含量。
- ◆ (4) 低碳排放，绿色制造领先：据KPMG建模分析，HJT组件碳排放为 $284\text{gCO}_2\text{ eq/W}$ ，显著低于PERC的 $570\text{gCO}_2\text{ eq/W}$ 。若全行业采用HJT，每年可减少碳排放4.3亿吨。

HJT电池结构图



2025年下半年以来伦敦银现货收盘价（人民币）

现货收盘价:伦敦银(人民币):月:平均值

— 现货收盘价:伦敦银(人民币):月:平均值  
元/千克



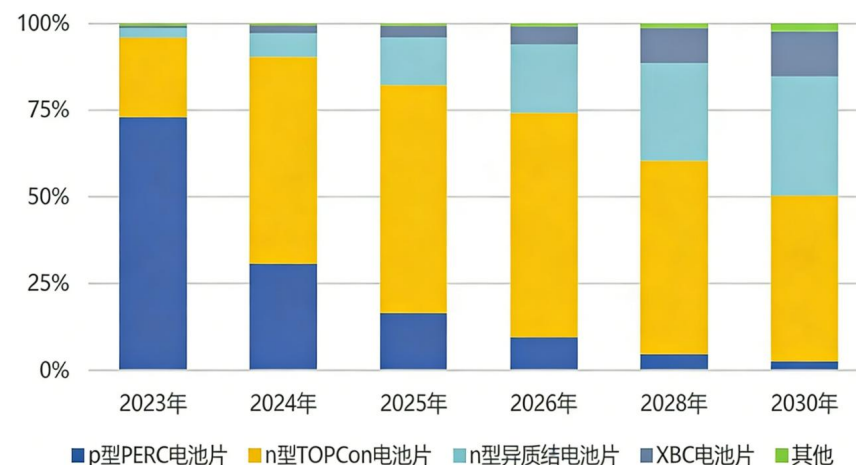
数据来源：同花顺iFinD

## 2.3 中期选择：P型HJT

- ◆ 电池薄片化技术在低轨卫星等对成本敏感、寿命较短的应用场景中应用广泛。P型电池抗辐射能力优于n型；相较于PERC电池，P型超薄HJT更适配薄片化与柔性结构，可降低发射成本、提升空间利用率。
- ◆ P型超薄HJT技术持续突破。目前的主流PERC电池厚度约为130  $\mu\text{m}$ ，东方日升交付的P型超薄HJT电池厚度约为50-70  $\mu\text{m}$ ，且仍具备进一步减薄潜力。截至目前，东方日升P型超薄异质结产品已有3年出货历史，累计出货数万片。客户分布于欧美地区。公司实现批量交付的特种产品均采用晶硅异质结技术。公司已积极开展叠层电池技术的研发储备，目前公司全球光伏研究院研发的钙钛矿/晶硅异质结叠层太阳能电池实现30.99%的转化效率。公司正与领先的钙钛矿企业推进钙钛矿/晶硅异质结叠层电池的技术合作，布局下一代高效电池技术。

项目	P型规格	P型检测方法	N型规格	N型检测方法
电阻率	0.4-1.1 $\Omega \cdot \text{cm}$	硅片自动检测设备	0.4-1.6 $\Omega \cdot \text{cm}$	硅片自动检测设备
少子寿命	$\geq 70 \mu\text{s}$	准稳态光电导衰减法/瞬态光电导衰减法 注入水平: $1\text{E}15 \text{ cm}^{-3}$ (Sinton BCT-400)	$\geq 1000 / \mu\text{s}$	瞬态光电导衰减法 注入水平: $5\text{E}14 \text{ cm}^{-3}$ (Sinton BCT-400)
氧含量	$\leq 7.5\text{E}+17 \text{ at}/\text{cm}^3$	傅里叶变换红外光谱仪	$\leq 6\text{E}+17 \text{ at}/\text{cm}^3$	傅里叶变换红外光谱仪
碳含量	$\leq 5\text{E}+16 \text{ at}/\text{cm}^3$	傅里叶变换红外光谱仪	$\leq 5\text{E}+16 \text{ at}/\text{cm}^3$	傅里叶变换红外光谱仪

2023-2030 年不同电池技术路线市场占比变化趋势



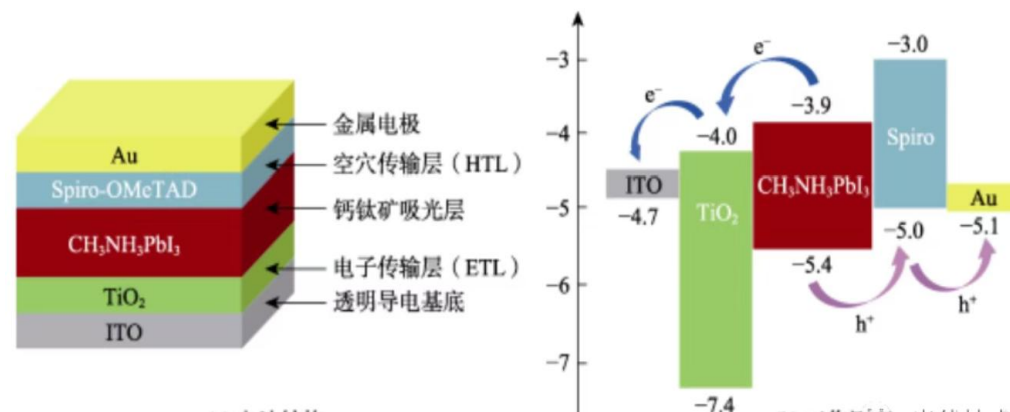
## 2.4 长期选择：钙钛矿

- ◆ 钙钛矿电池凭借轻量、高效、抗辐射等性能优势，正成为适配太空算力需求的核心能源方案。其轻量化与高效率特性尤为突出，柔性形态可制备“可展开式太阳能阵列”，大幅降低航天器发射成本。目前，钙钛矿单结电池效率已超25%，全钙钛矿串联结构在 $10^{12}$ 质子/cm<sup>2</sup>剂量的太空辐射下，效率衰减仅10%，抗辐射性能优于传统III-V族多结电池。
- ◆ 国内研发与产业化进程同步加速，多条GW级产线已落地。中科院半导体研究所已研发出光电转换效率27.2%的钙钛矿电池原型器件，并同步提升了稳定性。产业端，协鑫光电昆山GW级产线于10月29日下线大尺寸组件；极电光能全球首条GW级产线已投产；纤纳光电发布2.88m<sup>2</sup>、509.21W认证组件，标志着技术向大规模商业化迈进。2026年，仁烁光能、宁德时代等企业也将跟进GW级产线投产。

砷化镓&钙钛矿电池航天适配性对比

性能指标	砷化镓电池	钙钛矿电池	颠覆性优势
比功率	300W/kg	800-1000W/kg	减重50%+, 显著降低发射成本
弱光发电能力	衰减率>30%	<5% (200lux照度下)	深空任务/轨道阴影区供电保障
柔性化	不可弯曲	曲率半径≤5cm	适配曲面卫星结构、太阳帆
抗辐射性	耐 $1e16$ 粒子/cm <sup>2</sup>	耐 $5e16$ 粒子/cm <sup>2</sup>	同步轨道寿命延长至15年+

钙钛矿电池结构与工作原理示意图



## 2.4 长期选择：钙钛矿

- ◆ **钙钛矿电池行业发展政策频出。**钙钛矿技术自2021年起连续被纳入《“十四五”能源领域科技创新规划》《“十四五”可再生能源发展规划》等顶层设计文件，明确将其列为“新一代高效低成本光伏电池”重点发展方向。2023年，国家能源局将钙钛矿列入可再生能源试点示范工程，工信部将其纳入智能光伏试点示范优先支持方向。2025年，工业和信息化部办公厅发布《关于进一步加快制造业中试平台体系化布局和高水平建设的通知》，将钙钛矿光伏电池、叠层光伏电池等先进光伏技术纳入中试平台建设重点方向。

### 钙钛矿电池行业发展政策

发布时间	政策名称	主要内容
2025年11月	《关于进一步加快制造业中试平台体系化布局和高水平建设的通知》	聚焦钙钛矿光伏电池、叠层光伏电池等先进光伏技术，高安全新型储能技术、开展共性关键技术攻关、测试验证评价，中试试制和成果孵化等服务，联合产业链上下游优势资源，推动关键制造工艺验证及改进提升，提高先进光伏电池转化效率。
2025年9月	《关于推进能源装备高质量发展的指导意见》	突破高效晶硅—钙钛矿叠层及异质结、背接触等光伏组件技术，研制高效光伏系统、高压组串式逆变器等关键装备，满足新型电力系统下光伏系统安全高效发电需求。
2024年3月	《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》	持续推进超低能耗建筑构配件、高防火性能外墙保温系统、高效节能低碳设备系统、建筑运行调适等关键技术研究，支持钙钛矿、碲化镉等薄膜电池技术装备在建筑领域应用，推动可靠技术工艺及产品设备集成应用。
2023年11月	《关于开展第四批智能光伏试点示范活动的通知》	优先考虑方向包括高效晶硅太阳能电池（转换效率在25%以上）、钙钛矿及叠层太阳能电池、先进薄膜太阳能电池，以及相关产业链配套高质量、高可靠、低成本设备及材料等方向。
2023年9月	《关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知》	主要支持高效光伏电池、钙钛矿及叠层太阳能电池、新型柔性太阳能电池及组件等新型、先进、高效光伏电池技术应用，以规模化促进前沿技术和装备进入应用市场，持续推进光伏发电技术进步、产业升级。
2023年8月	《新产业标准化领航工程实施方案（2023—2035年）》	研制TOPCon、异质结、钙钛矿等新型高效电池和组件以及光储部件等标准。
2023年1月	《关于推动能源电子产业发展的指导意见》	发展先进高效的光伏产品及技术，发展高纯硅料、大尺寸硅片技术，支持高效低成本晶硅电池生产，推动型高效电池、柔性薄膜电池、钙钛矿及叠层电池等先进技术的研发应用，提升规模化量产能力。

- 01 商业航天产业趋势已来，关注太空光伏新技术方向
- 02 太空光伏技术路径选择：晶硅、砷化镓、P型HJT电池、钙钛矿
- 03 钙钛矿：下一代太空光伏材料候选者
- 04 钙钛矿在太空光伏领域验证情况
- 05 投资建议
- 06 风险提示

### 3.1 中国钙钛矿行业发展历程：从技术突破到产业化落地

- ◆ 中国钙钛矿行业经历了从技术追赶到全球引领的跨越式发展：2013-2016年技术探索期，2017-2020年快速突破期，2021年进入产业化冲刺阶段，2023年组件成本降至0.5元/W，2025年5月中国团队攻克钙钛矿规模化生产技术难题。目前中国已形成完整创新链条，建成7条百MW级产线，正加速迈向GW级量产和商业化应用。

年份	事件
2013年	华中科技大学韩宏伟团队首次报道全印刷介观钙钛矿太阳能电池（《Nature》）
2015年	中科院物理所孟庆波团队实现15%效率突破
2016年	协鑫集团设立国内首个钙钛矿光伏研发中心
2018年	南京工业大学黄维院士团队创造17.3%的柔性器件效率记录
2019年	杭州纤纳光电建成首条10MW试产线
2020年	上海交通大学韩礼元团队实现23.7%认证效率
2021年	极电光能发布156mm <sup>2</sup> 组件20.5%效率世界纪录
2022年	协鑫光电建成100MW量产线（全球首条）
2023年	万度光能宣布钙钛矿组件成本降至0.5元/W
2024年	纤纳光电实现18.6%的商用组件效率认证
2025年	杭州纤纳光电科技以独立第一作者单位在《Science》发文系统阐释产业化路径，其3D层流风场技术（LAD技术）使组件良率超98.5%，达商业化应用标准。

## 3.2 钙钛矿在商业航空航天领域的市场展望

- ◆ 钙钛矿正以三重优势催生新赛道。契合商业航天“批量化、低成本、高适配”的核心诉求，钙钛矿凭借“1/10成本+50%减重+柔性适配”的三重优势，叠加12个月在轨验证背书，正在重塑航天能源竞争格局。
- ◆ 钙钛矿成本优势显著。商业级砷化镓电池组报价 200-300美元/W，占卫星制造成本15%-20%。以星链单星5万美元能源预算计算，砷化镓方案占比超60%；中国G60千帆星座单星能源成本若采用砷化镓，将超出预算40%。SpaceX星链2024年部署超4000颗卫星，单星能源成本需压降至5万美元内（钙钛矿方案仅3.2万）
- ◆ 砷化镓存在设计限制。砷化镓刚性基板使比功率定格在300W/kg，且无法适配曲面、折叠式太阳翼。而太空数据中心等新场景，对电池的柔性、轻量化、弱光发电能力提出更高要求，砷化镓的刚性短板愈发凸显。钙钛矿可完成柔性适配。

经济性测算（以500kg级LEO卫星为例）

能源系统	电池成本	发射减重收益	总成本
砷化镓方案	86万美元	—	86万美元
钙钛矿方案	60万美元	节省26万美元	34万美元

太空航天器样图



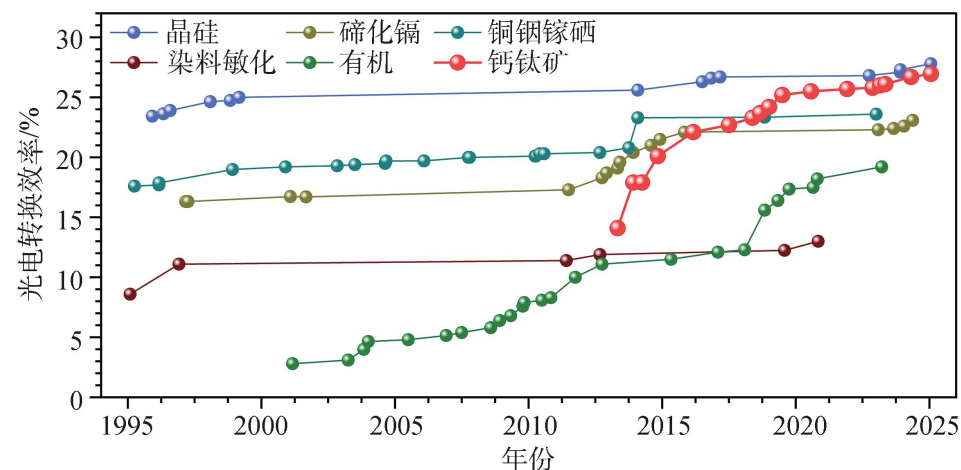
## 3.2 钙钛矿在商业航空航天领域的市场展望

- ◆ 全球商业航天市场持续扩容，能源系统正迎来结构性变革。根据美国卫星产业协会数据，2024年，全球卫星产业的总收入约为2930亿美元，同比增长约3%。尽管2023年全球砷化镓航天电池市场规模达4.07亿美元（CAGR 13.8%），但商业航天的爆发式增长正倒逼能源系统变革，钙钛矿凭借30%的成本优势与性能突破提供了新方案。
- ◆ 钙钛矿电池的固有特性与商业航天高度契合。其理论转换效率可达36%–38%，远超传统晶硅电池，且具备轻薄、柔性的物理特性——航天器可以在有限载荷下搭载更大功率的能源系统，或通过曲面、折叠设计适配多样化的航天器结构。成本上，相较于砷化镓电池的精密制造工艺，钙钛矿可通过溶液印刷等低成本工艺量产，原材料成本仅为传统光伏材料的1/10。此外，钙钛矿在弱光条件下的发电效率表现优异，更适应深空探测等复杂光照环境。

全球卫星产业收入情况



不同种类太阳能电池效率进展图



### 3.3 国内钙钛矿在商业航空航天领域的技术优势

- ◆ **多因素驱动国内钙钛矿落地。**一是数量维度，我国千帆星座、国网星座及 SpaceX 星链等单个星座规划均达万颗级别，凸显钙钛矿成本优势。二是质量维度，太空算力、相控阵天线等设备的普及，使单颗卫星功耗大幅提升，钙钛矿叠层电池的高功率输出能力恰好匹配这一需求。三是技术迭代维度，太空环境对光伏材料的极端要求更需要钙钛矿的定制化开发能力。
- ◆ **国内在技术上保持多项世界最高纪录，产业化成果显著，设备及材料国产化成效显著。**产能不断扩大。极电光能的全球首条GW级产线投产运行；协鑫光电大面积GW量产线已部分启用；杭州纤纳、仁烁光能等企业正在筹备GW级产线建设。钙钛矿镀膜设备、涂布设备、激光设备实现技术突破，TCO玻璃和靶材国产化率提升。

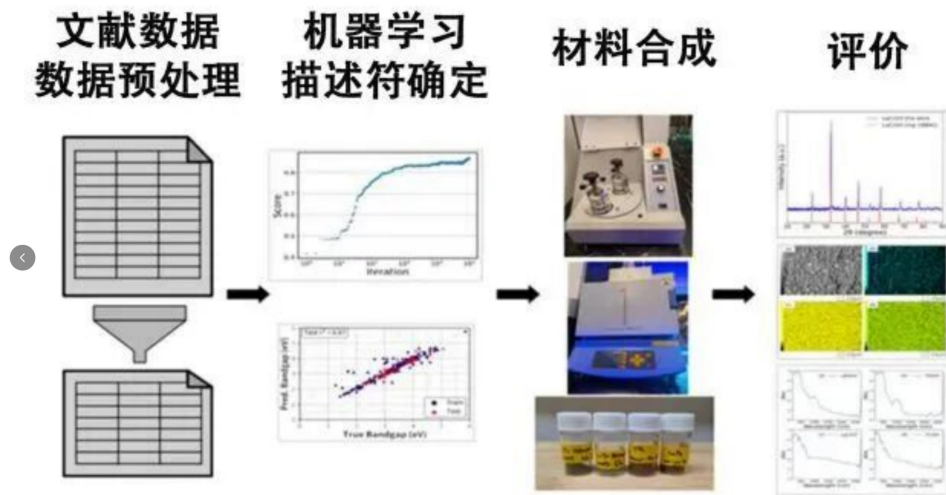
2024年全球钙钛矿记录保持（部分）

电池结构	研究机构	效率(%)	面积(cm <sup>2</sup> )	日期	数据来源
钙钛矿/晶硅	隆基绿能科技股份有限公司	34.6	1.004	2024年4月	NREL
	隆基绿能科技股份有限公司	30.1	212.1	2023年5月	Martin Green
钙钛矿/钙钛矿	南京大学/仁烁光能	30.1	0.0493	2023年10月	Martin Green
		28.2	1.038	2022年12月	Martin Green
		24.8	64.98	2023年12月	Martin Green
钙钛矿/CIGS	德国柏林亥姆霍兹	24.2	1.045	2020年1月	NREL

### 3.4 AI双通道驱动钙钛矿光伏应用

- ◆ AI在推高需求及产业研发双通道驱动钙钛矿太空光伏走向商业化。由于数据处理和模型训练所需的算力呈指数级增长，光伏技术大幅放量，钙钛矿光伏技术表现出显著优势，国际能源署（IEA）预测，到2030年，钙钛矿技术在全球新增光伏市场份额中将占据30%以上，钙钛矿技术全面替代传统晶硅光伏是必然趋势。
- ◆ 高通量钙钛矿研发加速催化技术发展。高通量研发是“AI+自动化设备+大数据”的协同研发范式。1. 缩短产业化周期：从材料配方到器件工艺的优化，由1-2年的研发缩短至数月；2. 提升产品稳定性：大量数据训练的AI模型更精准地控制工艺误差，让钙钛矿组件的良率、稳定性更接近商用标准；3. 降低研发成本：机器人替代人工、数据复用减少重复实验，让中小企业也能参与钙钛矿创新。

AI高通量研发过程



### 3.5 新增卫星市场为钙钛矿市场空间扩容

- ◆ 我国低轨卫星频轨储备量跃居全球第一，为太空光伏打开巨大需求空间。2025年12月，我国向国际电信联盟（ITU）提交超20万颗卫星的频轨申请，叠加此前已备案的5.13万颗低轨卫星，国内低轨卫星频轨储备总量已超25万颗，位居全球首位。
- ◆ 卫星数量激增有望推动太空光伏需求放量，钙钛矿凭借综合优势成为长期最优解。目前国内太空光伏以砷化镓为主（效率30%以上、抗辐照性强），但其高达1000元/W的成本制约了大规模星座部署。相比之下，钙钛矿凭借“高效、轻质、柔性”特性脱颖而出——太空无水分、氧气的环境恰好规避了其在地面应用中的衰减痛点，叠层钙钛矿效率有望媲美砷化镓，且成本更低、适配卷绕式太阳翼设计，成为支撑未来巨型星座的长期能源方案。

e-Submission of Satellite Network Filings			
Home	As-Received	Published in BR IFIC	Help
CHN2025-79441			Details   Frequencies
Notice ID	Administration / Network Org.	Satellite Name	
125520195	CHN	CTC-1	
Submission Reference Number	Act. Code	Type of Submission	
CHN2025-79441	A	Coordination Request	
Provision	Orbital Position	Reference Body	
9.6	NGSO	T	
Number of Planes	BR registry date	Date of Receipt	
3660	29.12.2025	29.12.2025	
Total number of satellites			
96714			
Operating Agency	New operating agency		

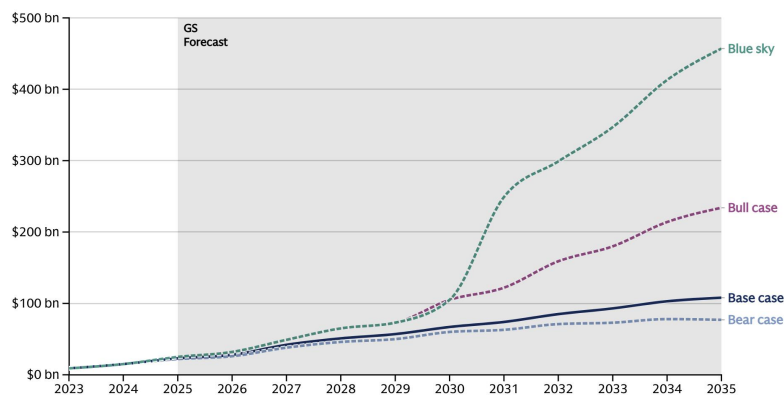
e-Submission of Satellite Network Filings			
Home	As-Received	Published in BR IFIC	Help
CHN2025-79398			Details   Frequencies
Notice ID	Administration / Network Org.	Satellite Name	
125545445	CHN	CTC-2	
Submission Reference Number	Act. Code	Type of Submission	
CHN2025-79398	A	Advance publication information	
Provision	Orbital Position	Reference Body	
9.1/A	NGSO	T	
Number of Planes	BR registry date	Date of Receipt	
3660	29.12.2025	29.12.2025	
Total number of satellites			
96714			
Operating Agency	New operating agency		

本次卫星频轨申请

## 3.5 钙钛矿市场空间扩容

- ◆ **低轨卫星爆发式增长助力钙钛矿市场扩容。**据高盛预测，未来五年全球将发射超7万颗低轨卫星，卫星市场到2035年将增长至1080亿美元，高于目前的150亿美元。在最乐观的情况下，市场在同一时期可能增长至4570亿美元。从发射趋势看，2014—2024年全球航天发射数量增长近10倍，为太空光伏需求放量奠定基础。
- ◆ **天基太阳能市场近年来快速增长，其规模预计将从2025年的17.1亿美元增长至2026年的18.9亿美元，复合年增长率达10.7%。**将在2030年达到28亿美元，复合年增长率为10.4%。预测期间的增长可以归因于对空间基础设施的投资增加，对持续清洁能源发电的需求增加，国际空间能源合作的扩大，对能源安全的日益关注，以及激光和微波传输效率的提高。预测期内的主要趋势包括大规模轨道太阳能阵列的日益发展，无线输电技术投资的增加，对天基能源可靠性的日益关注，政府资助的示范项目的扩大，先进控制系统的增强集成。

Market projections for low earth orbit satellites



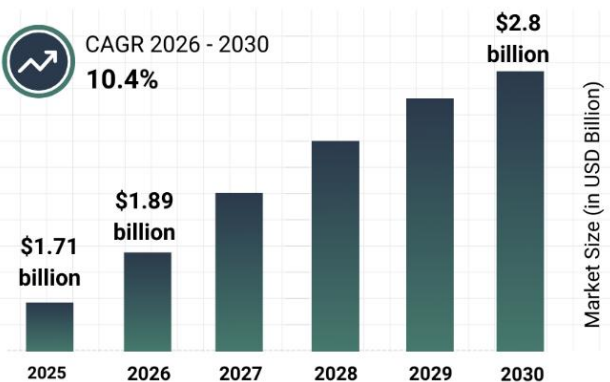
Source: Company data, Goldman Sachs Research  
Bear case: subscription growth 20% lower than base case; Bull case: subscription growth 20% higher than base case; Blue sky: subscription growth 20% higher than base case in 2023-30 and growth at the same rate as 5G smartphone Y2-Y6 in 2031-35.

低轨卫星市场预测

Space-Based Solar Power Market Report  
2026



CAGR 2026 - 2030  
10.4%



天基太阳能市场空间预测

### 3.6 中国钙钛矿行业产业链

◆ 钙钛矿行业已形成较为完整的产业链，涵盖上游原材料与设备、中游电池/组件制造及下游应用场景。其中，产业链上游涵盖TCO导电玻璃、靶材、POE胶膜、丁基胶等辅材及镀膜、涂布、激光、封装等设备供应，中游由协鑫光电、纤纳光电、极电光能等专业企业及隆基绿能、晶科能源等传统光伏企业主导钙钛矿电池及组件制造，下游聚焦光伏建筑一体化、车载光伏、室内光伏及便携式电子设备等多元化应用场景，推动行业技术创新与商业化进程。

中国钙钛矿行业产业链图谱

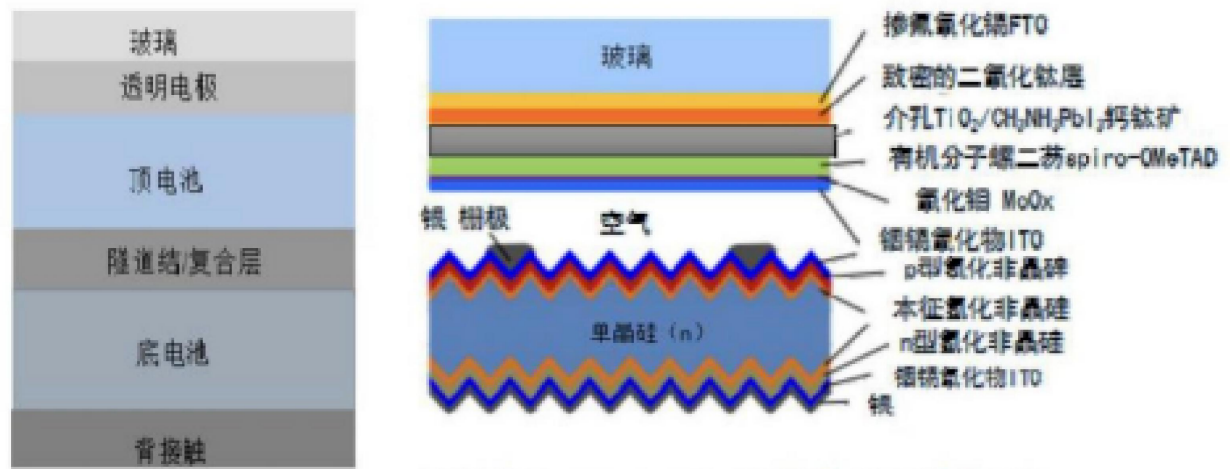


- 01 商业航天产业趋势已来，关注太空光伏新技术方向
- 02 太空光伏技术路径选择：晶硅、砷化镓、P型HJT电池、钙钛矿
- 03 钙钛矿：下一代太空光伏材料候选者
- 04 钙钛矿在太空光伏领域验证情况
- 05 投资建议
- 06 风险提示

# 4.1 钙钛矿实际应用仍存在问题

- ◆ **稳定性为钙钛矿的核心问题。**“世界太阳能之父”马丁·格林提出目前没有任何一种钙钛矿配方能满足大规模应用的长期稳定性要求，与晶硅的稳定性匹配度极差。解决方法可能永远找不到。在稳定性解决前，无法给出GW级量产的负责任时间表。
- ◆ **钙钛矿“叠层”成为解决策略。**业内形成普遍共识：单结钙钛矿难以与成熟的晶硅技术抗衡，叠层化是其实现价值的必经之路。通过钙钛矿/BC电池四端堆叠生长及缺陷控制技术研究及验证，单独制备顶电池和底电池，使宽带隙的钙钛矿电池为顶电池，窄带隙的晶硅电池为底电池，然后把钙钛矿电池直接堆叠在晶硅BC电池上面，该技术不仅可以灵活的选择禁带宽度，分配光吸收，而且不需要电流匹配，可降低器件工艺成本。

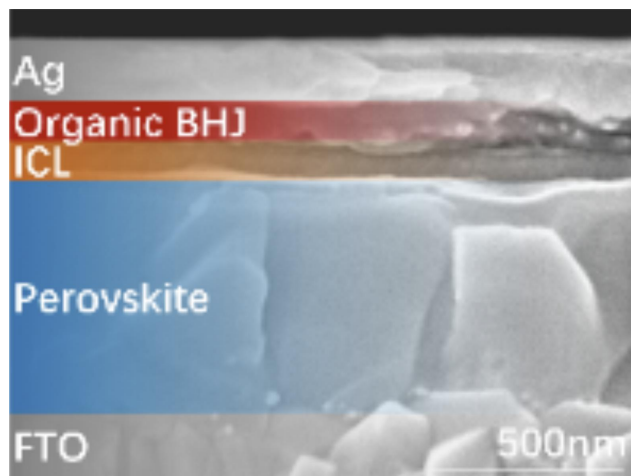
叠层太阳能电池四端堆叠生长技术示意图



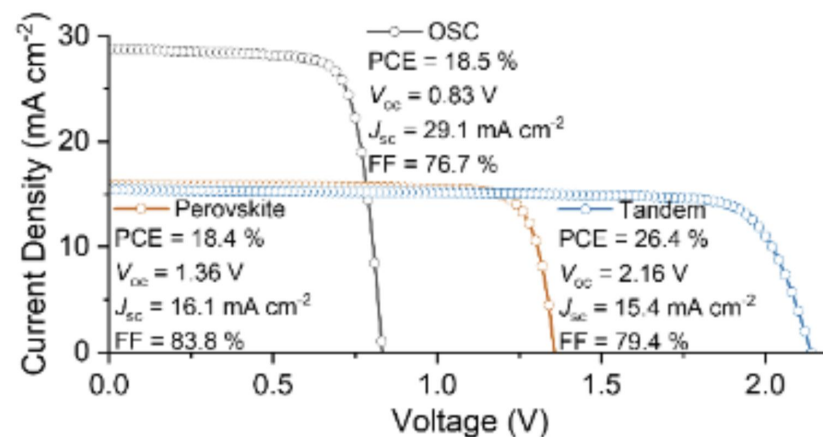
## 4.2 钙钛矿未来方向：叠层电池

- ◆ **叠层电池是突破单结电池效率极限的重要方法。**在钙钛矿/有机叠层太阳能电池中，采用宽带隙钙钛矿材料作为顶电池吸收短波长太阳光，采用窄带隙有机活性层作为底电池吸收近红外长波长太阳光，大幅拓宽可利用太阳光谱范围并降低能量损失。异质结钙钛矿叠层电池，尤其是钙钛矿-晶硅叠层成为当前备受瞩目的解决方案之一。硅带隙为1.1eV，非常适合作为叠层电池底电池，顶电池则为宽带隙钙钛矿电池。
- ◆ **叠层优势原理。**钙钛矿子电池可以过滤高能量光子以保护有机活性层、防止其光降解；有机子电池可以作为封装层隔绝水氧，提升环境稳定性，同时叠层太阳能电池的中间透明电极层还可以缓解钙钛矿顶电池负极处离子扩散等问题，从而使钙钛矿-有机叠层太阳能电池的稳定性优于单结钙钛矿和单结有机太阳能电池。

钙钛矿-有机叠层太阳能电池结构示意图



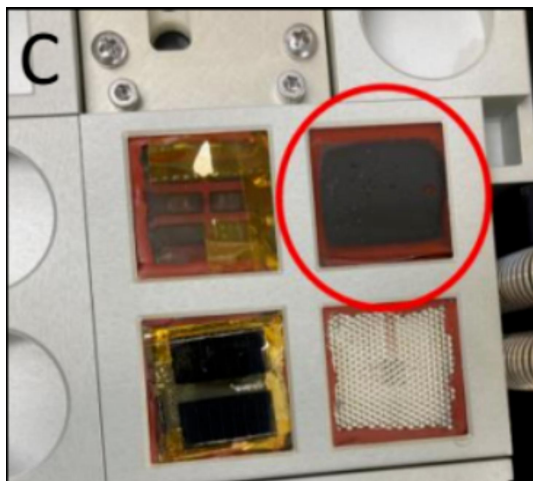
太阳能电池的电流密度-电压曲线



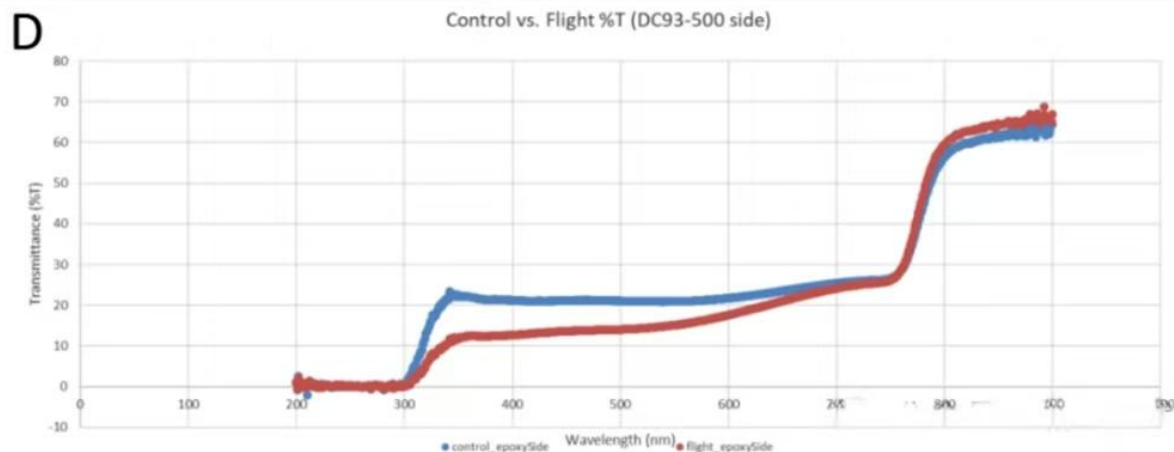
## 4.3 钙钛矿高度适配太空环境

- ◆ **钙钛矿高度适配太空环境。**美国国家航空航天局（NASA）对钙钛矿薄膜进行在轨测试，让其在真空、极端温差、宇宙辐射和光压力源的多重考验下暴露10个月。其光吸收效率仍处于峰值，太空缺乏水分和氧气的环境，恰好规避了钙钛矿在地球环境中面临的稳定性难题，无需重大改进就能适配太空应用。
- ◆ **钙钛矿太空应用链路已打通。**2024年7月，全球首个钙钛矿串联太阳能电池，搭乘欧洲航天局（ESA）的阿莉亚娜六号火箭成功进入太空，开启了极端环境下的性能实测。这款串联电池采用创新叠层设计，将吸收蓝绿光的钙钛矿材料与吸收红外光的铜铟镓硒材料相结合，初步反馈已证明其有潜力可在卫星和太空任务中提供稳定能源。

安装在国际空间站实验装置的MAPbI<sub>3</sub>薄膜样品



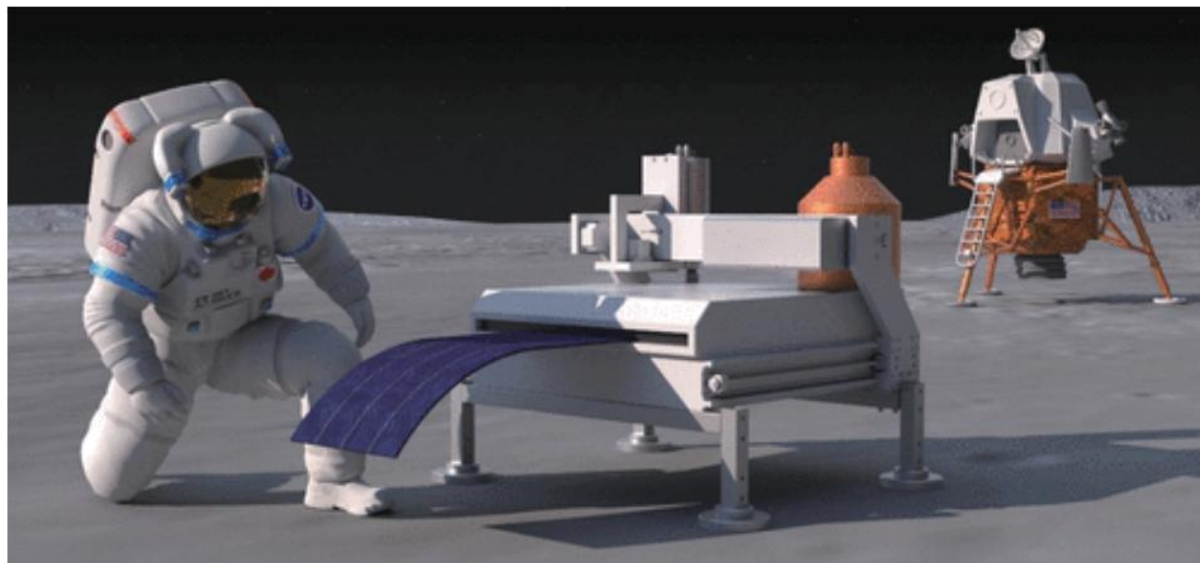
在地球低轨道飞行10个月的MAPbI<sub>3</sub>薄膜样品的透射谱（红色）与对比样品（蓝）



## 4.3 钙钛矿高度适配太空环境

- ◆ 钙钛矿太阳能电池在成本、比功率和运输等方面具有显著优势。太阳能资源是可再生和无限丰富的能源，因此当光伏作为航天器的能源时，其成本仅取决于生产太阳能电池板的初始投资。航天器的运输成本随着物体的质量而迅速增加，这代表了超薄太阳能电池潜在优势的关键。比功率是评估太空任务光伏技术的重要指标之一，而钙钛矿太阳能电池（PSCs）的比功率预计可达 $23\text{W/g}$ ，它们可从厚度小于 $1\ \mu\text{m}$ 的吸光层中高效地收集太阳光，这比常规任务所需的比功率值高出10倍或20倍以上。另外，它们可使用低温印刷沉积技术制备PSCs，因此可以很容易地实施PSCs原位生产（在轨道内、轨道外或在外行星上）或成卷运输。

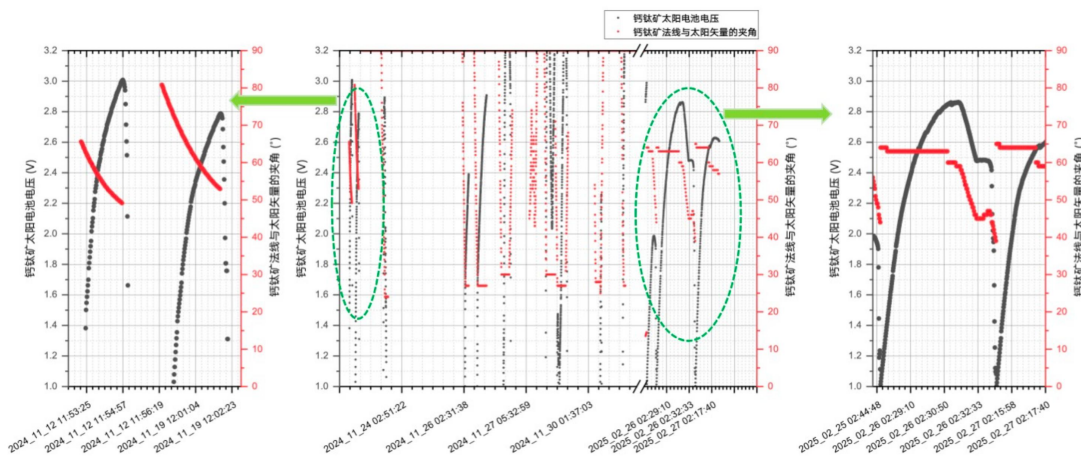
月球基地原位制造PSCs的艺术渲染图



## 4.3 钙钛矿高度适配太空环境

- ◆ 国内在轨实验依次推进。协鑫集团联合鸿擎科技开展的全球首次钙钛矿组件空间搭载试验于2023年正式启动。2024年11月，由钧天航宇自主研发的天雁24星（钧天一号03星）在酒泉卫星发射中心成功发射。至2025年2月，该电池在轨稳定运行超过三个月，输出电压保持在2.8V-3.0V之间，性能参数正常，几乎无衰减。
- ◆ 钙钛矿电池在空间应用领域的工程化能力已取得实质性突破。2025年3月，晶皓新能源表示公司钙钛矿组件成功完成在轨测试，并在超过三个月的在轨运行后，展现出卓越的环境适应性和长期可靠性，本次在轨测试的钙钛矿组件初始光电转换效率超过20%，标志着钙钛矿电池在空间应用领域的工程化能力取得实质性突破，为后续大规模商业化部署奠定坚实基础。

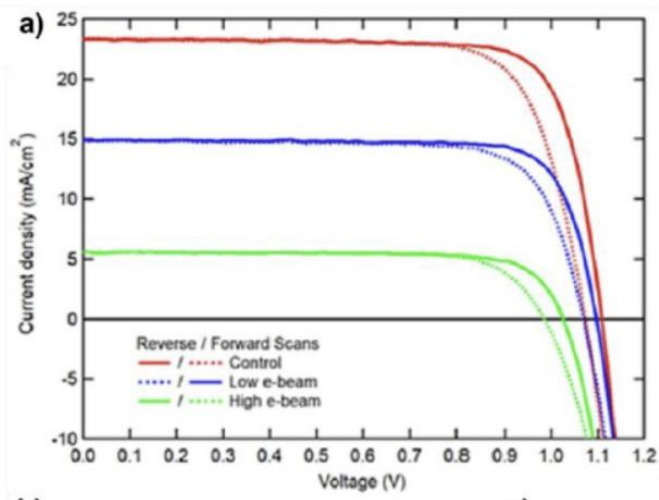
晶皓新能源在轨测试数据



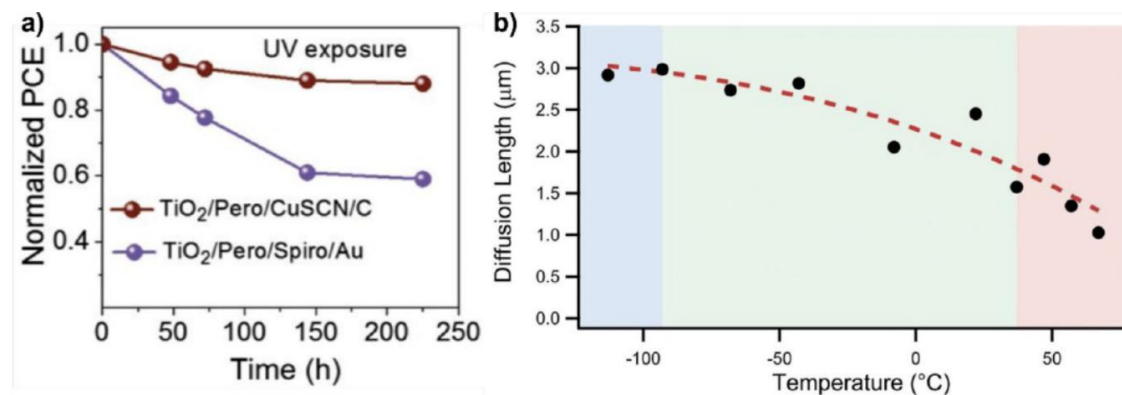
## 4.4 钙钛矿在太空环境中的挑战

- ◆ 在太空应用中，传统光伏技术存在重量大、成本高、抗辐射性有限等问题。国际空间站的硅基太阳能电池阵虽能输出120kW功率，但单位重量功率仅0.38W/g，且在电子辐射下效率衰减明显（初期PCE16.9%→末期12.5%）而钙钛矿太阳能电池的单位重量功率可达23W/g，且柔性特性适合制备“可展开式太阳能阵列”，大幅降低发射成本。
- ◆ 太空环境中的极端热循环、高能粒子辐射等会严重损害其性能与寿命。太空辐射包括质子、电子、中子、 $\gamma$ 射线等，对钙钛矿的损伤机制如下：质子与电子（直接电离辐射）：高能粒子撞击导致晶格原子位移，形成空位、间隙等缺陷，引发电荷复合加剧。温度循环：太空温度范围为 $-150\sim+180^{\circ}\text{C}$ ，钙钛矿可能发生相变（如MAPbI3在 $-113^{\circ}\text{C}$ 以下从四方相转为正交相），导致载流子扩散长度下降。

太空辐射导致PCE骤降



载流子扩散长度随温度循环下降



## 4.4 钙钛矿在太空环境中的挑战

- ◆ 为应对上述挑战而发展出三大核心策略：具有自修复能力的钙钛矿材料、用于管理热机械应力的梯度缓冲层，以及提供多重防护的先进封装技术。
- ◆ 自修复钙钛矿材料：辐射或应力产生的缺陷（如卤素空位）在光照或温和加热下，可通过离子迁移实现部分可逆的修复。局限与平衡：自修复能力存在饱和极限，极端辐照下可能失效。需在修复能力与结构鲁棒性间取得平衡。
- ◆ 梯度缓冲层工程：在刚性层（如金属氧化物传输层）与柔性层（如钙钛矿、聚合物）之间，插入CTE呈梯度过渡的中间层（如特定氧化物、有机-无机杂化材料），平滑应力分布。用于缓解因热膨胀系数失配引起的界面机械应力，防止分层与开裂：关键考量：缓冲层需兼顾电学功能（如辅助电荷提取）与机械性能，避免引入额外的串联电阻。
- ◆ 先进多功能封装技术：阻隔真空放气、屏蔽紫外及部分粒子辐射、耗散静电、耐受热机械应力。技术方案：超薄致密涂层：采用原子层沉积技术制备纳米级 $\text{Al}_2\text{O}_3$  或 $\text{SiO}_2$  层，有效阻隔水氧并抑制组分升华。柔性复合屏障：将上述无机涂层与柔性高分子薄膜（如聚酰亚胺）结合，形成兼具低渗透率和良好机械性的混合封装。功能化封装材料：研发含辐射防护填料（如氢-rich聚合物）或静电耗散层的透明封装材料。

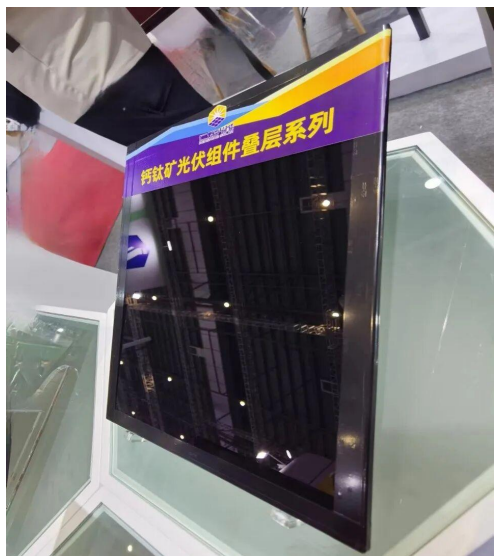
# 4.5 钙钛矿加速产业化

- ◆ 25年以来，钙钛矿光伏技术逐步走向产业化落地。京山轻机日前宣布钙钛矿光伏设备实现批量交付，为国内首批。与此同时，多条百兆瓦级生产线陆续建成并进入调试或投运阶段，钙钛矿电站项目实现兆瓦级持续运行，部分示范电站已稳定发电接近两年。
- ◆ 钙钛矿开始进入地面应用验证阶段。钙钛矿技术走向产业化核心体现在设备供给能力的形成、百兆瓦级生产线陆续投运以及兆瓦级电站持续验证三方面，极电光能150兆瓦中试线自2022年底建成以来，已连续运行近三年，产品良率稳定在95%左右。近期华能集团投运5兆瓦地面电站，是目前国内最大的全钙钛矿地面电站项目。预计明年将出现单体10兆瓦级电站。

协鑫光电商业化组件实现技术突破



大面积钙钛矿叠层组件



## 4.6 钙钛矿商业化前景广大

- ◆ 在电价波动下，度电成本是光伏组件第一竞争力。因此，成本优势是钙钛矿光伏技术的核心优势。i 原材料层面，钙钛矿组件原材料用量少，廉价易得，纯度要求低，材料成本优势明显。ii 生产环节，钙钛矿组件制备流程简化，在单一工厂45分钟就能完成从原材料到组件的生产，而晶硅电池则需在四个工厂依次加工，流程耗时数日。iii 钙钛矿制备工艺温度不超过150度，相比晶硅1000度以上高温工艺，能耗成本大幅降低。极电光能预测，随着技术进步与规模化生产，钙钛矿组件全成本有望降至0.5元/W以下，而当前晶硅组件现金成本就已经达到0.69元/W，钙钛矿单瓦成本前景优势明显。
- ◆ 钙钛矿电池光电转换效率表现较好。钙钛矿太阳能电池因其易于低成本印刷制备且具有高光电转换效率的优势，经过十六年的快速发展，其光电转换效率已从最初的3.8%提升至超过26%，逼近单晶硅太阳能电池的水平。

钙钛矿-钙钛矿叠层电池效率预测

钙钛矿-钙钛矿叠层太阳能电池转换效率(%)	2025年	2026年	2028年	2030年	2032年	2035年
微型电池实验室最高转换效率 ( $\leq 10\text{cm}^2$ )	30.1%	30.8%	32.0%	33.0%	34.0%	35.0%
小组件最高转换效率 ( $> 10\text{cm}^2$ )	26.2%	27.2%	28.8%	29.8%	30.6%	31.5%

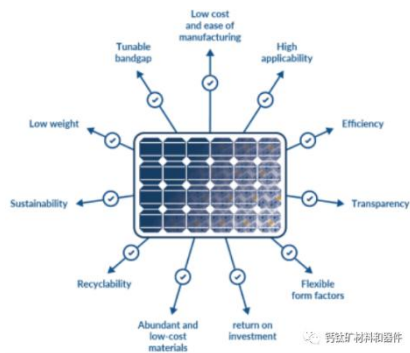
钙钛矿-晶硅叠层电池转换效率预测

钙钛矿-晶硅叠层太阳能电池转换效率(%)	2025年	2026年	2028年	2030年	2032年	2035年
小型电池实验室最高转换效率 ( $1\leq S < 165\text{cm}^2$ )	35.0%	35.5%	36.5%	37.3%	37.7%	38.0%
硅片级电池实验室最高转换效率 ( $165\leq S < 441\text{cm}^2$ )	33.0%	34.0%	35.0%	36.0%	36.5%	37.0%
中试叠层组件最高转换效率 ( $441\leq S < 6500\text{cm}^2$ , 硅片级子电池数量 $\geq 4$ 片)	30.6%	31.0%	31.6%	32.1%	32.6%	33.0%
叠层量产组件实验室最高转换效率 ( $\geq 6500\text{cm}^2$ )	29.1%	29.7%	30.5%	31.1%	31.5%	32.0%

# 4.6 钙钛矿商业化前景广大

- ◆ **钙钛矿组件性能十分优异。** i 吸光性能上，仅百纳米级膜层厚度即可高效光电转换，晶硅硅片则需130-150 μm厚度，钙钛矿组件原材料消耗大幅降低。 ii 温度特性方面，钙钛矿组件功率温度系数远低于晶硅组件，第三方实证电站测试也表明，在高温高辐照环境中，钙钛矿组件发电稳定，单瓦发电量和系统效率均优于晶硅。 iii 弱光环境下，钙钛矿组件发电效率不降反升，发电量比晶硅组件更高。
- ◆ **低碳优势显著，绿证增收。** 生命周期评价数据显示，晶硅组件碳足迹约400-500克/W，钙钛矿组件仅为100-200克/W，碳排放明显更低。
- ◆ **应用场景多元，空间无限。** 钙钛矿组件凭借美观/颜色透光度可调/可柔性化优势在BIPV领域潜力巨大。与BIPV领域主流的传统薄膜电池相比，钙钛矿组件度电成本的优势将更有助于BIPV市场规模的扩大。此外，在航空航天、户外用品、汽车、日用消费品等领域，钙钛矿也有广泛的应用前景。

钙钛矿技术优势



- 01 商业航天产业趋势已来，关注太空光伏新技术方向
- 02 太空光伏技术路径选择：晶硅、砷化镓、P型HJT电池、钙钛矿
- 03 钙钛矿：下一代太空光伏材料候选者
- 04 钙钛矿在太空光伏领域验证情况
- 05 投资建议
- 06 风险提示

- ◆ **商业航天产业趋势已来，关注太空光伏新技术方向。**商业航天从技术验证迈入规模化应用，低轨卫星与太空算力中心建设推动太空光伏成为主力赛道。作为航天器核心能源供应方案，太空光伏凭借持续光照、高能量密度等优势，成为商业航天不可或缺的配套领域，而技术路线迭代与成本优化是行业突围的关键。
- ◆ **商业航天从技术验证迈入规模化应用，低轨卫星与太空算力中心建设驱动太空光伏需求爆发。**钙钛矿凭借成本、减重及柔性适配的颠覆性优势，有望成为下一代太空光伏的核心选择，技术迭代与产业落地的节奏，是影响赛道成长空间的关键因素。
- ◆ **建议跟踪新技术落地与场景绑定的标的，**关注协鑫科技、钧达股份、东方日升、航天宏图、拓日新能，以及叠层整线设备龙头迈为股份、捷佳伟创、京山轻机，关键材料供应商隆华科技等。

- 01 商业航天产业趋势已来，关注太空光伏新技术方向
- 02 太空光伏技术路径选择：晶硅、砷化镓、P型HJT 电池、钙钛矿
- 03 钙钛矿：下一代太空光伏材料候选者
- 04 钙钛矿在太空光伏领域验证情况
- 05 投资建议
- 06 风险提示

- ◆ **技术研发不及预期风险：**钙钛矿电池在太空应用场景下，长期运行稳定性、抗空间辐射能力以及耐受极端温度环境等关键性能指标仍存在显著挑战。材料体系优化、封装防护工艺升级及空间环境适配性等核心技术方向的突破，是其性能达到航天应用严苛标准的关键，直接决定在轨验证进程与商业化落地节奏。
- ◆ **行业竞争加剧风险：**当前太空光伏赛道中，砷化镓电池凭借成熟度占据主导，P型HJT等技术路线也在加速降本迭代。若这些传统及过渡技术路线的成本下降与性能提升速度超预期，将对钙钛矿的市场渗透形成挤压，或导致行业竞争格局恶化，压缩企业盈利空间。
- ◆ **产业化进度放缓风险：**钙钛矿GW级产线的良率爬坡、成本下降高度依赖设备与工艺的持续优化。核心设备国产化不及预期、量产良率提升遇瓶颈，或上游关键材料供应出现波动，可能导致产业化进程放缓，难以匹配商业航天规模化放量的需求节奏。

## 公司投资评级：

- 买入 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅大于15%；
- 增持 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在5%至15%之间；
- 中性 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在-5%至5%之间；
- 减持 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数跌幅在5%至15%之间；
- 卖出 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数跌幅大于15%。

## 行业投资评级：

- 领先大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数领先10%以上；
- 同步大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨跌幅介于-10%至10%；
- 落后大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数落后10%以上。

## 基准指数说明：

A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准，美股市场以标普500指数为基准。

## 分析师声明

贺朝晖、周涛声明，本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责，保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据，特此声明。

## 本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

华金证券股份有限公司（以下简称“本公司”）经中国证券监督管理委员会核准，取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告，是证券投资咨询业务的一种基本形式，本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向本公司的客户发布。

## 免责声明：

本报告仅供华金证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期，本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。同时，本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准。

在法律许可的情况下，本公司及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或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务，提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，无论是否已经明示或暗示，本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下，本公司亦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。

本报告版权仅为本公司所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发、篡改或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华金证券股份有限公司研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

华金证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

## 风险提示:

报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价或询价。投资者对其投资行为负完全责任，我公司及其雇员对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。

华金证券股份有限公司

办公地址:

上海市浦东新区杨高南路759号陆家嘴世纪金融广场30层

北京市朝阳区建国路108号横琴人寿大厦17层

深圳市福田区益田路6001号太平金融大厦10楼05单元

电话: 021-20655588

网址: [www.huajinsec.com](http://www.huajinsec.com)