



商业航天行业研究系列 7

买入（维持评级）

行业深度研究

证券研究报告

电子组

分析师：陈矣骄（执业 S1130525100001） 分析师：樊志远（执业 S1130518070003）
chenyj@gjzq.com.cn fanzhiyuan@gjzq.com.cn

垂直整合背后的隐形工业巨网

SpaceX 供应链与 BOM 全景拆解-卫星篇

行业观点

- SpaceX 在全球商业航天领域的统治地位，当然与其所推崇的垂直整合战略息息相关。马斯克及其团队在内部完成了 80%+ 的火箭端硬件制造——这一比例与传统航空航天主承包商依赖层层分包的模式形成了鲜明对比。然而，如果我们仅仅停留在【SpaceX 什么都自己做】这一认知上，可能会错过供应链投资机会。
- SpaceX 在全球商业航天领域的统治地位，不仅建立在其卓越的内部研发能力上，更构建于一张庞大、精密且高度专业化的外部供应链巨网之上。通过对星链卫星的 BOM 与底层供应链的拆解，我们总结出以下三大核心卫星产业链趋势：
- 泛工业化与 COTS（商用现成组件）替代成为降本核心驱动力：SpaceX 彻底打破了传统航天业依赖昂贵、定制化、抗辐射级元器件的壁垒。无论是将数万美元的太空级砷化镓太阳能电池替换为经过太空级改造的商用硅基电池，还是在电源管理与测控系统中大量采用汽车级或工业级芯片（如 STM、TI 等产品），SpaceX 均通过系统级的冗余设计与物理防护，用架构容错替代了单体抗造。这一逻辑将单星成本呈指数级压缩。
- 规模效应驱动卫星 BOM 结构反转，价值量重心向有效载荷倾斜：随着星链步入批量化生产时代（当前工厂产能已达每周约 70 颗/每天 10 颗），卫星平台的固定成本被大幅摊薄。在较为理想的商业模型中，卫星平台占总成本的比例有望压缩至 30%（而目前卫星平台占总成本比例还在 50% 左右），而决定卫星核心通信功能的有效载荷成本占比将提升至 70% 左右。这意味着，未来的卫星产业链的高价值投资机会将主要集中在通信载荷相关领域。
- 跨越原材料产能天花板，用第一性原理重构供应链安全：为了满足数万颗卫星的组网需求，SpaceX 在关键材料上进行了大胆的底层替换。例如，将推进器工质从昂贵且全球产量极有限的氟气，切换为极其丰富且廉价的氟气。这种用廉价资源（电能）置换昂贵资源（氟气）的做法，不仅消除了 BOM 成本压力，更扫清了大规模扩产的供应链障碍。

投资建议

- 基于上述产业逻辑，我们建议关注能够深度融入 SpaceX 卫星体系、具备大批量制造能力、且在细分赛道具有技术垄断优势的泛电子/工业制造企业。
- 主线一：深度绑定 SpaceX 卫星体系的纯正核心（Tier-1）供应商。这类企业直接受益于星链星座的加速部署，业绩弹性极大。如：Filtronic (LSE:FTC)、意法半导体 (STM) 等
- 主线二：解决某些卫星相关技术，如高频通信痛点的隐形冠军。如：昇达科 (UMT) 等
- 主线三：打破传统航天溢价的工业级/商业级替代巨头。如：台湾地区太阳能 (TSEC)、林德集团 (Linde) 等

风险提示

大客户依赖与内部化反噬风险，地缘政治与供应链转移风险，技术迭代极速带来的路线踏空风险



内容目录

第 1 章 卫星制造：规模化生产的挑战-卫星核心 BOM 拆解.....	5
第 2 章 星链卫星自有工厂解读.....	8
第 3 章 电推进系统：从氦气到氙气的跃迁.....	9
3.1 霍尔推进器.....	9
3.1.1 SpaceX 自研自产.....	9
3.1.2 霍尔推进器国际三巨头拆解.....	10
3.2 SpaceX 工业气体供应商：氦气、液氧等.....	11
第 4 章 通信载荷：E-band 技术突破与三大核心供应商深度解析.....	12
4.1 Filtronic：SpaceX 御用 E-band 放大器专家.....	13
4.2 STM 意法半导体：十年合作，Starlink 卫星供应链全家桶地位.....	15
4.3 UMT 昇达科技：通信链路的交通警察.....	16
第 5 章 电源系统：内部自研与底层器件外部依赖.....	18
5.1 太阳能电池阵列.....	18
5.1.1 砷化镓到硅基的转变.....	18
5.1.2 台湾地区最大的光伏制造商：TSEC.....	21
5.2 电源管理芯片与半导体器件.....	22
第 6 章 姿控系统：垂直整合下的技术革命与 Stargaze 空间态势感知新范式.....	24
6.1 核心姿控组件自产自研.....	24
6.1.1 星敏感器.....	24
6.1.2 动量轮/反应轮.....	25
6.2 底层元器件与芯片供应商.....	25
6.2.1 STM 意法半导体.....	26
6.2.2 Safran（原 Sensoror）.....	26
第 7 章 结构热控与测控电子系统.....	26
7.1 结构与热控.....	26
7.2 测控电子系统.....	28
第 8 章 卫星制造产业链标的梳理.....	28
8.1 卫星平台与制造.....	28
8.2 太空防护材料.....	29
8.3 卫星热管理.....	29
8.4 卫星姿态控制与星载计算机.....	30
8.5 核心通信载荷.....	31
8.6 下游应用及数据变现.....	32



第 9 章 风险提示..... 32

图表目录

图表 1: 卫星载荷成本与卫星平台占比 5

图表 2: 卫星制造产业链: 上游 7 大分系统+下游总体设计与测试 5

图表 3: 卫星平台-细节拆分展示 6

图表 4: 卫星子系统价值量拆解 7

图表 5: SpaceX 雷德蒙德自有工厂内部照片 8

图表 6: 雷德蒙德工厂核心参数一览表 8

图表 7: 氦气 vs 氙气: 五大维度对比 9

图表 8: Starlink 霍尔推进器代际演变表 10

图表 9: 霍尔推进器国际三巨头拆解 11

图表 10: 全球寡头格局的氦气供应商三巨头 12

图表 11: Starlink 全频谱分布表 12

图表 12: Cerus 各型号参数信息 13

图表 13: Cerus 32 固态功率放大器示意图 13

图表 14: SpaceX 与 Filtronic 签署的认股权证细节 14

图表 15: SpaceX 与 Filtronic 签署的供货协议细节 14

图表 16: Filtronic 收入持续增长 14

图表 17: SpaceX 的营收占比达到 80%+ 14

图表 18: Sedgefield 工厂产线 15

图表 19: 意法半导体-SpaceX 实现产能规模化、满足全球星链互联需求增长的关键支撑 15

图表 20: STM 在 LEO 市场拥有领导地位 16

图表 21: STM 在 LEO 宽带市场的机遇 16

图表 22: 昇达科技高频微波无源器件介绍 17

图表 23: 昇达科技收入占比: 低轨卫星占比高 17

图表 24: 双太阳能阵列示意 18

图表 25: 硅基太阳能电池与砷化镓太阳能电池多维度对比 19

图表 26: V1.5 和 V2 卫星在运行轨道上的对比 19

图表 27: 从卫星视角拍摄的星链 V2 Mini 在轨运行照片 19

图表 28: V1.5 和 V2 卫星比例对比 20

图表 29: V1.5 与 V2 Mini 太阳能阵列对比 20

图表 30: SpaceX 在巴斯特罗普的太阳能电池工厂正在建设 21

图表 31: TSEC 在 2021 年投产的新太阳能电池和组件生产线上投资了 9 亿台币 21

图表 32: REV3 用户终端的电源架构图 22



图表 33: 电源管理芯片与半导体器件常见供应商	23
图表 34: 三重模冗余框图	23
图表 35: 官网星敏感器示意图	24
图表 36: 官网反应轮示意图	24
图表 37: Stargaze 识别轨道上的其他物体并计算其轨道的示意图	25
图表 38: STIM 系列主要产品重要参数	26
图表 39: Starlink 堆叠式结构示意图	27
图表 40: 热控系统可能的外部供应商	28
图表 41: 卫星平台与制造相关标的	28
图表 42: 太空防护材料相关标的	29
图表 43: 热控相关标的	29
图表 44: 高功率载荷热管理与电子元器件相关标的	30
图表 45: 星载计算机芯片相关标的	30
图表 46: 敏感器与 MEMS 相关标的	31
图表 47: 反作用飞轮与姿控机构相关标的	31
图表 48: 核心通信载荷相关标的	32
图表 49: 下游应用相关标的	32

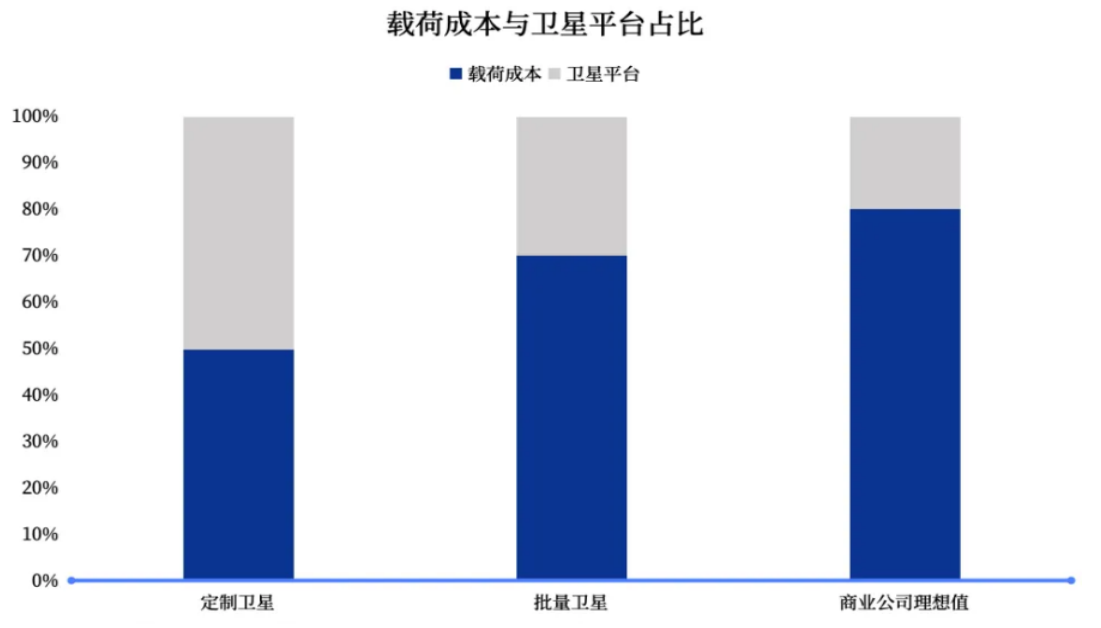


第1章 卫星制造：规模化生产的挑战-卫星核心 BOM 拆解

我们通常将卫星拆解为两大核心部分：卫星平台和有效载荷。如果将卫星想象成一辆送货的卡车：

- 卫星平台就是卡车底盘和车头，负责把货物运送到目的地，并提供供电、温控、行驶等基础保障。
- 有效载荷就是卡车里装的货物，如卫星上的摄像机、通信天线，直接决定了这颗卫星是用来拍照的-遥感卫星；还是用来打电话的-通信卫星。

图表1：卫星载荷成本与卫星平台占比



来源：国金证券研究所，你好太空微信公众号

图表2：卫星制造产业链：上游7大分系统+下游总体设计与测试



来源：国金证券研究所，你好太空微信公众号

通信卫星成本结构演进：规模化+标准化驱动平台成本持续优化

- 传统定制化阶段（成本均势期）：过去，在高度定制化的生产模式下，有效载荷与卫星平台在占比呈现 50:50 结构。这一阶段由于缺乏规模效应，平台端研发与制造成本较高。



- 规模化量产阶段（成本摊薄期）：随着卫星互联网等星座计划的推进，行业步入批量化生产时代。规模经济效应使得卫星平台固定成本大幅摊薄，其占总成本的比例有望优化至 30%左右，成本重心向核心载荷倾斜。
- 商业化理想阶段（利润释放期）：将卫星平台成本占比进一步压缩至 20%的基准线，是较为理想的 BOM 模型。

图表3：卫星平台-细节拆分展示

➢ 功能：整星的“骨骼”与“铠甲”，主要负责承载、精密安装所有星上设备，并保护内部系统抵御剧烈的火箭发射冲击与极端的太空环境。

➢ 相关企业：如航天环宇（卫星结构件）

➢ 功能：提供推力以实现轨道维持、姿态调整、轨道转移、入轨/离轨以及避障等，确保卫星长期稳定运行并完成任务。

➢ 相关企业：如航天智造（卫星推进核心部件供应商）

➢ 功能：在太空极寒与暴晒（-150°C至+150°C）的极端交替环境下，通过散热、保温和温度调节，确保卫星内部所有电子仪器和载荷始终处于安全的正常工作温度范围内。

➢ 相关企业：如航天环宇（热控系统）、中石科技（导热界面材料）

➢ 功能：负责接收并执行地面指令、处理海量星上数据、自主计算控制卫星的飞行轨道与姿态，并全面统筹调度平台与有效载荷的健康运行。

➢ 相关企业：如航天电子（测控数传与星务管理系统）、复旦微电（FPGA芯片领军者）

➢ 功能：负责在太空中通过太阳翼持续发电、利用蓄电池储能，并为卫星上的所有平台设备和高功耗有效载荷提供稳定、不间断的电力保障。

➢ 相关企业：如航天机电（太阳翼）、乾照光电（高效率砷化镓太阳能电池）、臻镭科技（宇航级电源管理芯片）、瑞华泰（航天级PI薄膜）

➢ 功能：实时测量卫星当前姿态（确定），并通过执行机构产生控制力矩，使卫星姿态稳定、对地/对日定向、完成轨道机动、侧摆指向或偏流角补偿等，从而保障有效载荷正常工作、太阳翼跟踪、通信天线对准和整星安全。

➢ 相关企业：如天银机电（星敏感器）、航天智装（反作用轮）


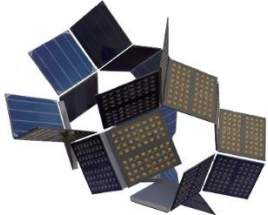
➢ 功能：实现卫星与地面站、卫星之间（星间链路）或用户终端之间的数据传输、指令上行、遥测下行、业务载荷数据回传以及星座组网互联，确保卫星在轨实时控制、数据交换和任务执行。

➢ 相关企业：如中国卫通（高轨资源市占率超80%）、铖昌科技（T/R组件）

来源：国金证券研究所， YouTube@TheEfficientEngineer



图表4: 卫星子系统价值量拆解

子系统	核心零部件	价值量占比 (估算)	性能介绍	图片
有效载荷		~60%	整星最昂贵的部分→决定卫星功能的设备	
天线系统	相控阵天线 (T/R组件)	占整星15%-20%	通信卫星的核心。T/R组件 (发射/接收模块) 数量巨大, 单星可能成百上千个。	
转发器系统	行波管放大器、变频器	占整星10%-15%	负责信号的放大和变频, 类似于信号中继站。	
星间链路	激光通信终端	占整星10%-15%	让卫星之间通过激光互相传输数据, 无需经过地面站, 技术壁垒极高。	
处理系统	星载计算机、模数/数模转换器	占整星5%-10%	卫星大脑, 负责数据处理, 趋势是从“弯管透传”转向“星上处理”。	
卫星平台		~40%	通用性强, 标准化程度高→保障卫星生存的设备	
姿轨控系统	霍尔推进器、动量轮、星敏感器	占整星10%-15%	卫星的方向盘和引擎, 霍尔电推进是目前的主流产品, 用于卫星入轨后的变轨和避障。	
电源系统	太阳能电池阵、锂离子蓄电池、柔性太阳翼 & BAPTA	占整星5%-10%	卫星的能源心脏, 目前趋势是使用柔性太阳翼, 转换效率和折叠比要求极高, BAPTA (驱动机构) 负责让帆板始终对准太阳, 同时传输高达数千瓦的电力。	
热控系统	热管、多层隔热材料	占整星3%-5%	确保卫星在太空骤冷骤热环境下的性能。	
结构与机构	碳纤维机身、展开机构、平板堆叠结构	占整星3%-5%	卫星骨架。要求极轻且极其坚固。趋势是从“立方体”变为“平板式”, 发射时像千层饼一样堆叠, 取消昂贵的分配器, 最大化利用火箭整流罩空间。	
测控	测控应答机、测控天线	占整星2%-4%	地面控制卫星的风筝线: 遥测、跟踪、遥控。是卫星最后的保底通信手段。	

来源: 国金证券研究所, Stellant Systems 官网, mynarc 官网



第2章 星链卫星自有工厂解读

SpaceX 在华盛顿州雷德蒙德 (Redmond) 拥有自己的卫星研发与制造工厂, 采用高度自动化的汽车式流水线生产模式。目前该工厂产能已达到每周约 70 颗卫星 (约每天 10 颗, 相当于每年约 3,640 颗), 较早期实现大幅提升。

图表5: SpaceX 雷德蒙德自有工厂内部照片



来源: 国金证券研究所, X@Starlink

截至 2026 年 5 月上旬, 在轨运行的 Starlink 卫星已超过 10374 颗 (其中约 10358 颗处于工作状态), 总发射量已超过 11955 颗。目前主力部署型号仍为 V2 Mini, 新一代 V3 卫星 (体积更大、性能显著提升, 单星带宽预计提升数倍至十倍) 已进入最终测试与准备阶段, 预计将于 2026 年下半年开始规模化发射, 主要依赖 Starship 运载火箭实现高密度部署。

图表6: 雷德蒙德工厂核心参数一览表

类别	参数/细节	备注
地理位置	Redmond Ridge Corporate Center, WA	包含多个建筑群 (研发、制造、测试)
设施面积	约 150,000+ 平方英尺 (约1.4万平方米)	且仍在持续扩展中
主要产品	Starlink V2 Mini 卫星	扁平堆叠式设计, 便于火箭整流罩装载
产能 (估算)	约10颗/天	远超传统卫星厂商 (传统为数月一颗), 全球产量最高的卫星工厂
制造模式	垂直整合	绝大多数零部件 (PCB、天线、推进器) 自研自产
员工数量	2000+人	包含航天工程师、软件专家及装配技师

来源: 国金证券研究所, Starlink 官网, GeekWire, Times of India



第3章 电推进系统：从氪气到氙气的跃迁

星链卫星使用霍尔推进器进行轨道维持和离轨。在 V2 Mini 卫星中，SpaceX 进行了一次重大的技术升级，将推进剂从较昂贵的氪气-Krypton 切换为价格相对低廉的氙气-Argon。这个转变我们能看出，**SpaceX 供应链选择贯穿始终的原则：工业化最优。**

- **确保供应链安全：**氙气全球年产量非常有限。对于需要部署数万颗卫星的 Starlink 星座来说，如果继续使用稀有气体，SpaceX 一家公司的需求量就会超过全球供给总和，导致价格指数级暴涨甚至断供。切换到氙气帮助 SpaceX 摆脱原材料产能天花板限制，为每年发射数千颗乃至上万颗卫星扫清供应链障碍。
- **用廉价电能弥补物理缺陷：**氙气作为推进剂的效率（推功比）不如氪气和氙气，需要消耗更多电力才能产生同等推力。但 Starlink V2 Mini 卫星搭载更大太阳能帆板，保障电力相对充裕，克服氙气难电离、推力小的弱点。用【廉价资源-电能】置换【昂贵资源-氙气】
- **善用规模经济：**对于单颗科学卫星，推进剂成本占比小，性能是第一位的。但对于规划中将拥有 4.2 万颗卫星的星座，每颗卫星节省几万美元的推进剂成本，乘以规模就是数十亿美元的净利润差异。氙气推力器虽然开发大，但一旦研发成功，其极低可变成成本将构成难以被竞争对手复制的成本护城河。

图表7：氪气 vs 氙气：五大维度对比

维度	指标	氪气	氙气	分析
经济性	单位成本	较高 ~\$千/kg	极低 <\$10-\$15/kg	氙气成本很低，消除了推进剂带来的BOM成本压力。
供应链	产量与可得性	稀缺 空气中含量~1ppm 约 110 - 150 吨/年	极其丰富 空气中含量~1% 约 700,000 - 800,000 吨/年	氙气是液氧生产副产品，产量有限。若Starlink大规模扩产，有可能买空全球产能并推高价格；氪气则完全无此瓶颈。
物理特性	原子质量	83.8u(较重)	39.9u(很轻)	较轻的原子意味着在相同电压下能获得更高的喷气速度，但产生相同推力所需的功率更大。
	电离能	14.0eV	15.8eV	氙气更难被电离成等离子体，这意味着电源效率会下降，需要更先进的阴极技术和更高的点火电压。
推进性能	推功比	较高	较低	单位功率下，氙气产生的推力较小。SpaceX通过大幅提升输入功率（V2mini推力器功率达4.2kW）来弥补这一物理劣势。
	比冲	中等(~1500-2000s)	极高(~2500s)	氙气因质量轻，喷射速度更快。高比冲意味着节省携带燃料的重量，延长卫星寿命。
工程代价	存储密度	中等	低	氙气密度低，需要更大的高压储罐或更高的存储压力，增加了卫星结构重量和体积的挑战。

来源：国金证券研究所，Wikipedia，SETS 官网

3.1 霍尔推进器

3.1.1 SpaceX 自研自产

Starlink V2 及 V2 Mini 卫星上使用的氙气霍尔推进器，由 SpaceX 内部团队独立研发制造。

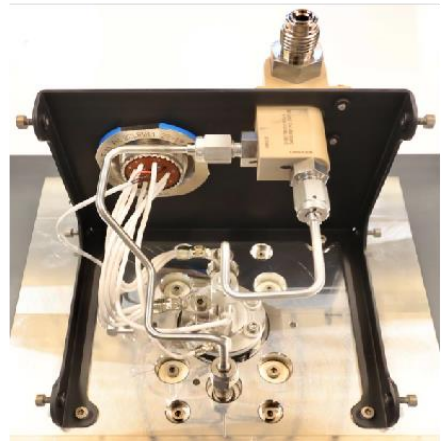
这是人类历史上第一款在该量级成功入轨运行的氙气霍尔推进器。在它之前，工业界普遍认为氙气太难电离，不适合做工质。SpaceX 的推进团队攻克了这一物理难题。其主要制造地位于美国华盛顿州的 Redmond 工厂-Starlink 总部，是世界上第一款量产的氙气电推引擎，推力达到 170mN，比冲 2500 秒，成本仅为传统氙气/氪气的一小部分。



图表8: Starlink 霍尔推进器代际演变表

维度	第一代	第二代
搭载卫星	Starlink V1.0/V1.5	Starlink V2 Mini/V2/V3
服役时间	2019年-2023年初	2023年2月至今
推进器	氦气	氙气
推力	~68mN(毫牛)	170mN(毫牛)
比冲	~1,600s	2,500s
功率	中等功率	高功率(需~4.2kW级供电)
性能提升	基准	推力提升2.4倍, 比冲提升1.5倍
成本逻辑	比传统的氦气便宜, 但在大规模量产下依然是一笔可观的开支。	成本几乎可以忽略不计。解决每年数千颗卫星的燃料账单问题。
历史地位	全球首款大规模在轨运行的氦气霍尔推力器。	人类首款在轨运行的氙气霍尔推力器。

示意图



来源: 国金证券研究所, Wikimedia

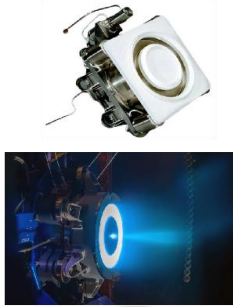
3.1.2 霍尔推进器国际三巨头拆解

除去 SpaceX 的垂直自研体系外, 全球第三方商业霍尔推进器市场呈现高度集中的寡头垄断格局, 主要为美欧传统军工巨头。这些企业代表了高可靠性、长寿命技术的最高水平, 普遍沿用氦气/氙气路线, 追求极致可靠性, 这与 SpaceX Starlink 的氦气/低成本路线形成鲜明剪刀差。

建议关注国内产业链中, 既能对标 L3Harris 满足国家队高轨需求, 又能通过工艺改进切入类 Starlink 低轨星座供应链的双击型标的。



图表9：霍尔推进器国际三巨头拆解

公司	行业地位	核心产品	产品示意图	应用场景	分析
L3Harris Technologies (NYSE:LHX)	全球绝对龙头 -2023年收购Aerojet Rocketdyne, 整合了美国最强动力资产	XR-5: 行业标杆, GEO 卫星的标准配置。 AEPS: 12kW级大功率推进器, 用于NASA月球门户空间站。		高轨、深空探测 (GEO、Deep Space) 极高可靠性和长寿命	代表了电推进技术的性能天花板。深空探测、高轨大卫星主要供应商。
赛峰集团 Safran (Euronext:SAF)	欧洲航天动力一哥 -法国老牌航空航天巨头	PPS-1350: 经典产品, 被大量欧洲商业及政府卫星采用, 飞行验证记录多。		商业、政府卫星 (GEO、LEO) 兼顾性能与成熟度	传统航天中最早实现电推商业化交付的公司。
诺斯罗普·格鲁曼 (NYSE:NOC)	系统集成与服务商 -强大自研能力, 主要服务于自家系统	MEV(任务延寿飞行器): 利用电推进系统靠近并接管老旧卫星的姿态控制, 为其延长使用寿命。		在轨服务 卫星延寿、轨道维持	不单卖推进器, 卖基于电推的服务。

来源：国金证券研究所，L3Harris Technologies 官网，赛峰集团官网，SEC 官网

3.2 SpaceX 工业气体供应商：氦气、液氧等

氦气本身为大宗工业商品，SpaceX 并不生产氦气，而是从工业气体供应商那里进行大宗采购。虽然 SpaceX 并未公开每采购合同细节，但从公开的战略合作和基础设施建设来看，我们预计林德集团-Linde 有可能是目前 SpaceX 最关键的合作伙伴（仅为分析师推测），其他巨头如空气化工-Air Products 也可能参与供应。全球工业气体市场是一个高度集中的寡头垄断市场。氦气作为空气分离的大宗副产品，其产能基本上掌握在三巨头手中。

林德为主要供应商的推测依据（仅为推测）：

基建部局：2025 年，林德集团宣布在德克萨斯州的布朗斯维尔投资 1 亿美元建设一个新的空气分离工厂。

- 地理位置：这个工厂距离 SpaceX 的星港仅几英里，我们预计其可能的目的就是管道或短途运输，直接向 SpaceX 提供液氧、液氮和氦气。
- 供应逻辑：SpaceX 购买氦气的方式和买液氧一样，属于大宗原材料采购。因为氦气是液氧生产过程中的副产品，空气分离时：氧气、氮气、氦气会一起出来，所以 SpaceX 的液氧供应商通常也就是其氦气供应商。

其他潜在供应商推测（仅为推测）：

在佛罗里达州（肯尼迪航天中心）和加利福尼亚州（范登堡基地），SpaceX 可能会根据当地的液氧合约，从 Air Products 或 Air Liquide 采购氦气。这些公司在主要发射场周边都有完善的气体供应网络。



图表10: 全球寡头格局的氦气供应商三巨头

公司	总部	市场地位	制造工厂
林德集团-Linde plc (NYSE:LIN)	英国/美国/德国	由美国的Praxair和德国的Linde合并而成。预计为SpaceX核心盟友之一，技术实力强。	
液化空气集团-Air Liquide (Euronext:AI)	法国	技术积累深厚，在航天领域拥有根基：如为阿丽亚娜火箭提供燃料，在全球电子特种气体领域也很强。	
空气化工-Air Products (NYSE:APD)	美国	在氦气/氧气方面稍逊于前两家，但在氢能源和煤化工领域非常强势，预计也是也是NASA和SpaceX的长期供应商（尤其在佛罗里达发射场）。	

来源：国金证券研究所，公司官网

第4章 通信载荷：E-band 技术突破与三大核心供应商深度解析

为了提高网关与卫星之间的回传带宽，SpaceX引入了E-band 频谱。E-band 是一段频率极高的无线电频谱（实际上包含了两个连续的波段，71-76GHz 和 81-86GHz），属于毫米波的高频段。其优点是带宽极宽，可以承载更大数据吞吐量。缺点是容易受雨雾天气影响，信号衰减快，提升了对收发设备的功率要求。

Starlink 核心分为两类链路：

- 用户链路：手机/接收盘↔卫星。目前主要用 Ku/Ka 波段。
- 馈电链路/回传链路：卫星↔地面信关站。E-band 核心发挥作用的地方。

频率越高，物理特性越差：绕射能力弱、雨衰大；但带宽越宽：携带数据量大；对硬件要求也越高。

图表11: Starlink 全频谱分布表

频段	频率范围	典型场景	核心技术	分析
L-band (SpaceX拿下的其中的PCS频段)	1.9GHz附近	手机直连卫星：与T-Mobile等运营商合作，普通手机无需改装直接发短信/打电话。	卫星端超大折叠天线：卫星需搭载巨大的相控阵天线来捕捉微弱的手机信号。	新增量市场：利用存量手机市场，是Starlink新的收入增长点。
Ku-band	10.7-14.5GHz	标准版用户终端：主要用于标准版接收盘与卫星之间的通信。	相控阵天线：技术成熟，成本较低。一般的相控阵芯片（硅基）便能使用。	现金牛业务：目前数百万用户的宽带费都依靠该频段为主。仍是主力。
Ka-band	17.8-30.0GHz	1、网关回传：卫星连地面站。 2、高端用户：商业版/海事版用户终端。	双抛物面/平板天线：需要更高的指向精度。雨衰影响比Ku大。	随着用户激增，Ka波段的带宽快不够用了，迫使SpaceX向更高频的E-band迁移。
V-band	37.5-51.4GHz	未来扩容：用于下一代用户终端和部分网关，旨在分流拥堵的Ku/Ka频段。	Q/V波段芯片：技术难度开始增加，对射频器件的工艺要求接近E-band。	战略储备：SpaceX已申请了大量V波段执照，目前尚未大规模商用。
E-band	71-76GHz(下行) 81-86GHz(上行)	超高速网关回传：卫星把汇聚的海量数据，传输给给地面关口站。	SSPA-固态功放：需要Filtronic提供的特殊功放。雨衰严重，必须用大功率。	带宽是Ka波段4倍。目前主要用于卫星↔地面信关站。
Laser	193THz(红外光) (1550nm波长)	星间链路：卫星与卫星之间手拉手传输，不经过地面。	FSO-自由空间光通信：激光器、精密光学跟踪系统。	摆脱地面站限制，降低时延。

来源：国金证券研究所，FCC 申频文件，Wikipedia



4.1 Filtronic: SpaceX 御用 E-band 放大器专家

Filtronic (LSE:FTC) 为英国老牌射频公司，是 SpaceX 在 E-band 固态功率放大器和收发器领域的关键供应商。

Filtronic 解决了一个核心痛点：如何用固态技术替代传统的行波管：

- 在 E-band 这种超高频段，传统航天业习惯使用行波管放大器，体积大、电压高、重。
- Filtronic 的核心产品是它的 Cerus 32 固态功率放大器 (SSPA)，其使用化合物半导体 (GaAs/GaN) 芯片，相比传统行波管更轻、更小、更可靠，而且无需预热，非常适合批量制造的低轨卫星和密集部署的地面站。

图表12: Cerus 各型号参数信息

型号	Cerus 1	Cerus 4	Cerus 8	Cerus 32
发射频率	71-76GHz	71-76GHz	71-76GHz	71-76GHz
接收频率	81-86GHz	81-86GHz	81-86GHz	81-86GHz
饱和输出功率	28dBm	33dBm	36dBm	43dBm
调制支持	最高可达512QAM	最高可达512QAM	最高可达512QAM	最高可达512QAM
OIP3	34-36dBm@20dBm	36.5-37dBm@26dBm	39.5dBm@29dBm	47-48dBm@37dBm
工作温度	-33°C到+70°C	-33°C到+70°C	-33°C到+70°C	-33°C到+70°C
平均故障前时间	>1,000,000小时	>1,000,000小时	>1,000,000小时	>1,000,000小时

来源：国金证券研究所，Filtronic 官网

图表13: Cerus 32 固态功率放大器示意图



来源：国金证券研究所，Filtronic 官网

与 SpaceX 的绑定关系：2024 年，SpaceX 在与 Filtronic 签署供货协议的同时，还获得了一份认股权证：SpaceX 有权在未来几年内，以固定价格 33 便士购买 Filtronic 最多 10% 的股份。我们认为，SpaceX 有望深度介入 Filtronic 长期发展。



图表14: SpaceX 与 Filtronic 签署的认股权证细节

3) The strike price for the warrant **33 pence**, being the closing mid-market price of Filtronic's ordinary shares of 0.1p each on 23 April 2024, being the last business day before the Strategic Partnership contract was executed.

来源: 国金证券研究所, 英国公告资讯网

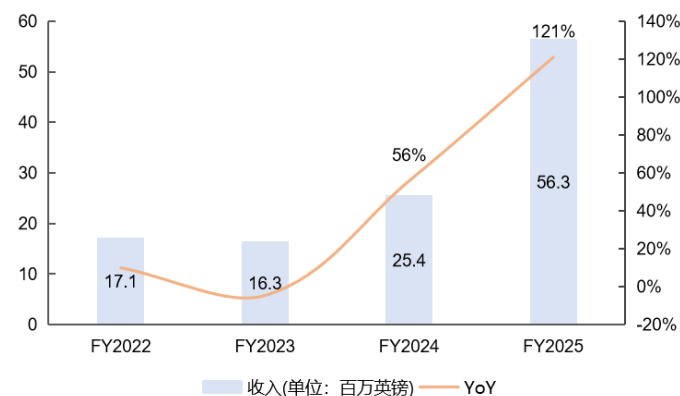
图表15: SpaceX 与 Filtronic 签署的供货协议细节

The Strategic Partnership contract was executed with an initial irrevocable purchase order of **\$19.7m (£15.8m)** to supply **E-band SSPA modules** scheduled for delivery in FY2025, with further order flow expected to continue thereafter to support the ongoing deployment of SpaceX's Starlink constellation, which provides high-speed, low-latency high-speed internet to users all around the world.

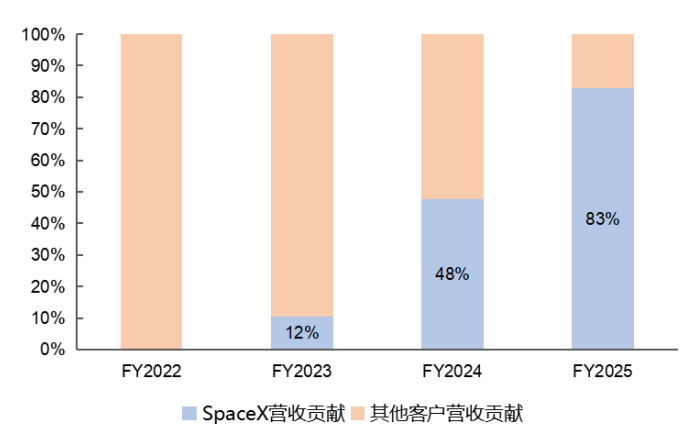
来源: 国金证券研究所, 英国公告资讯网

高度业务依赖: 2024 年, Filtronic 宣布与 SpaceX 签署了价值 4730 万英镑的合同, 并指出 SpaceX 已成为其最大客户, 贡献了 83% 的年度营收。这使得 Filtronic 成为了目前市场上对 SpaceX 敞口最大的纯正标的。我们预计, 随着 Starlink 卫星组网进程的持续加速以及地面站拓张, Filtronic 的业绩有望爆发式增长。但同时需要提示的是, 过高的大客户业务占比也带来一定的收入依存度高风险。

图表16: Filtronic 收入持续增长



图表17: SpaceX 的营收占比达到 80%+



来源: 国金证券研究所, Filtronic 公司财报

来源: 国金证券研究所, Filtronic 公司财报

产能扩充: 为了满足 Starlink 快速增长的需求, Filtronic 正在英国 Sedgefield 工厂进行大规模扩产, 并专门开设了针对 SpaceX 订单的快速生产线。



图表18: Sedgefield 工厂产线



来源：国金证券研究所，ADS Advance

4.2 STM 意法半导体：十年合作，Starlink 卫星供应链全家桶地位

市场对意法半导体在 Starlink 供应链中的认知，多局限于地面用户终端的芯片供应。然而，随着 2025 年 12 月双方合作十周年的官方披露，基本可以认定，**STM 确立了其作为 Starlink 卫星本体+地面用户终端第一大半导体供应商的地位。**

STM 不仅通过了 SpaceX 严格的低成本、高可靠的筛选，更实现了从核心射频、通用控制到安全加密的全家桶式覆盖。Starlink 星座的每一次扩容，都有可能转化为 STM 的订单→收入→利润。

根据 2025 年 12 月 STM 与 SpaceX 联合发布的信息，其在 SpaceX 供应链的地位由以下核心数据支撑：

- 装机规模：过去十年间，双方联合研发的产品不仅广泛应用于【数百万台星链用户终端】，还搭载于【超过 10000 颗星链卫星】，其中包括最新的第三代星链卫星——该卫星的前向传输吞吐量超 1Tbps。
- 出货量级：累计交付超 50 亿颗射频天线芯片，未来两年内，双方合作框架下的芯片交付量有望实现翻倍。
- 产能对应：意法半导体的面板级封装业务已实现日产能超 500 万颗芯片的交付规模，可充分匹配星链业务的快速扩张需求。

图表19: 意法半导体-SpaceX 实现产能规模化、满足全球星链互联需求增长的关键支撑

<p>“STMicroelectronics has been instrumental in enabling the scale, performance, and reliability of Starlink. We are excited to continue this journey with ST to deliver the next-generation of connectivity solutions”</p> <p style="text-align: right; margin-top: 0;">SpaceX</p>	<p>“Through co-designing key chips, providing engineering services and delivering high-volume manufacturing, we demonstrate the exceptional value of ST’s innovation and manufacturing capabilities (...) instrumental in realizing SpaceX’s vision and meeting their very ambitious mission”</p> <p style="text-align: right; margin-top: 0;">STMicroelectronics</p>
---	---

- SpaceX表示：“意法半导体为星链实现规模化部署、高性能运营及高可靠性提供了关键支撑。我们十分期待与意法半导体继续携手前行，打造新一代互联解决方案。”
- 意法半导体指出：“通过联合设计核心芯片、提供工程技术服务及保障大规模量产交付，我们充分展现了自身在创新研发与制造领域的卓越价值——这也是助力太空探索技术公司实现愿景、达成宏伟大使命的核心要素。”

来源：国金证券研究所，STM 官方新闻稿，路透社报道



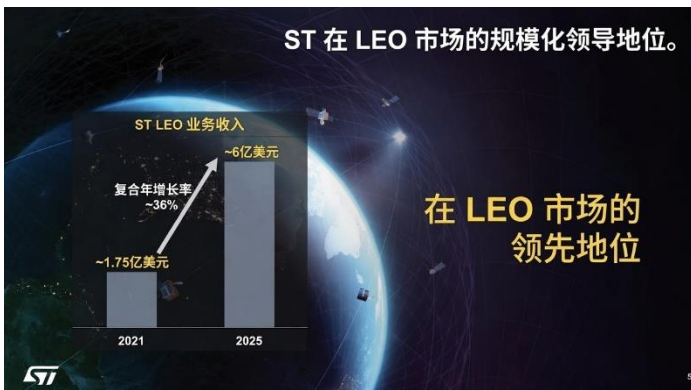
STM 在单颗 Starlink 卫星上的占比很高，主要分布在四大子系统：

- **核心处理系统（星载计算机）：**Starlink 卫星并未采用传统航天器中昂贵且笨重的单一集中式抗辐射计算机，而是采用了分布式计算架构。在整个卫星的各个控制节点中（如管理星间链路、控制天线指向、健康状态监测等），大量使用了 STM 的 STM32 系列微控制器（MCU，基于 ARM Cortex-M 架构）。
- **姿轨控系统：**卫星在轨道上需要极其精准的指向，才能保证相控阵天线对准地面用户，星间激光对准数千公里外的另一颗卫星。STM 是全球 MEMS 市场巨头，其工业级传感器（陀螺仪、加速度计）被集成在 Starlink 的惯性测量单元（IMU）中。配合星敏仪，STM 的 MEMS 传感器为卫星提供高频的角速度变化数据，直接驱动霍尔推力器和反作用轮。
- **通信有效荷载系统：**星链卫星最核心、成本最高的系统（包含 Ku/Ka 频段相控阵天线及星间激光链路）。虽然核心的波束成形 ASIC（T/R 芯片）多由 SpaceX 自研或深度定制，但 STM 提供了其外围的电源偏置、时钟分配和逻辑电平转换芯片。
- **电源与热控系统：**STM 的电源管理 IC、DC-DC 转换器、电压监督器、温度传感器/监测电路，用于高效电源分配、电池管理及分布式温度监控，支持被动+主动热控策略。

意法半导体去年在 LEO 终端 BOM 业务上收入 6 亿美元，而这一数字在 2021 年还是 1.75 亿美元，年增长率为 36%，随着星链用户数量的快速增长，作为芯片供应商的意法半导体也获得了可观的收入增长。

意法半导体自己的业务预计 2025 年时 LEO 终端数量会大于 1 亿台，这包括了星链、OneWeb、Kuiper 以及中国的星座，届时收入会增长到约 20 亿美元。到 2030 年时 LEO 终端数量会大于 2 亿台，这包括了蓝源的 TeraWave 星座、Lightspeed 星座、欧洲的 IRIS2 星座，收入会增长到 29 亿美元。

图表20：STM 在 LEO 市场拥有领导地位



来源：国金证券研究所，STM 官网

图表21：STM 在 LEO 宽带市场的机遇



来源：国金证券研究所，STM 官网

4.3 UMT 昇达科技：通信链路的交通警察

UMT 最初为 SpaceX 地面站提供关键的微波/毫米波被动组件，随后扩展到卫星通信有效载荷、卫星控制、卫星间链路以及直连手机等卫星端应用，被业界称为“台湾地区最纯正的 SpaceX 供应商”之一。

SpaceX 团队曾低调访台，重点拜访昇达科以扩大下单，凸显其在供应链中的战略地位。

昇达科技的核心竞争力在于高频微波无源（被动）器件的设计与制造，包括矩形波导、滤波器、正交模转换器、耦合器以及天线馈源等。这些产品覆盖 L 频段至 E 频段，具备低传输损耗、高功率承受能力和高可靠性等特性，广泛应用于卫星通信酬载、地面站及用户终端。



图表22: 昇达科技高频微波无源器件介绍

产品名称	产品示意图	功能描述	在卫星通信中的具体应用
多工器与滤波器		用于筛选特定频率的信号，允许有用信号通过并滤除杂波和干扰信号。	卫星载荷的核心组件，确保不同频段（如Ku/Ka/E-band）信号互不干扰，提升通信质量。
正交模变换器组件		用于分离或合并两个相互垂直的正交偏振信号。	能够使单根天线同时处理两种偏振信号，从而在不增加天线数量的情况下使通信容量翻倍。
环形器与隔离器		确保信号只能单向传输。隔离器保护敏感的发射机免受反射信号的损害。	保护卫星内部的高功率放大器，防止信号反射导致硬件烧毁，维持系统稳定性。
精密加工组件		采用高精度CNC加工或3D金属打印制造的复杂金属结构件/外壳。	为射频模块提供散热支撑、电磁屏蔽以及结构保护，是卫星载荷轻量化的关键。
波导组件		用于引导高频电磁波的空心金属管道，传输损耗极低。	相比普通电缆，能以更低损耗传输毫米波信号，广泛用于卫星内部的信号馈送系统。
5G干扰滤波器		专门设计用于滤除地面5G基站产生的信号干扰。	主要用于地面站。防止地面5G信号（尤其是C频段）干扰卫星接收机，确保卫星信号接收的纯净度。

来源：国金证券研究所，昇达科技官网

不同于主动元件供应商，昇达科专注被动元件领域，与其他厂商形成互补关系，已成为SpaceX和Kuiper等低轨卫星运营商的一级或策略供应商，部分关键元件甚至具备独家或难以取代地位。

Starlink卫星利用高频段（Ku频段、Ka频段，以及未来V频段、E频段）进行通信。在这些极高频段下，电磁波信号极易相互干扰、产生串扰或反射损耗。UMT提供的微波无源器件在此扮演交通警察角色：通过精密的滤波、分离和引导功能，精准过滤非期望频率、分离正交极化信号、降低传输损耗，并确保信号在卫星内部高效、无干扰地路由至不同天线或处理单元，从而保障整体通信链路的稳定性和高吞吐量。

图表23: 昇达科技收入占比：低轨卫星占比高

	2024	2025	10月 2025	11月 2025	12月 2025
营收	23.35億	24.52億	2.3億	2.85億	3.21億
5G/4G 回傳	24.8%	15.9%	14%	17.2%	14.9%
低軌衛星	42.8%	59%	69.7%	65.7%	73.8%
射頻天線	25.4%	21.6%	16.3%	17.1%	11.3%
電信網路	7.6%	3.5%	0	0	0

電信網路產品自2025 6月起已不計入營收

2025 低軌營收占比 59%，YoY ↑ 45%

12

昇達科 (3491)

来源：国金证券研究所，公司公告

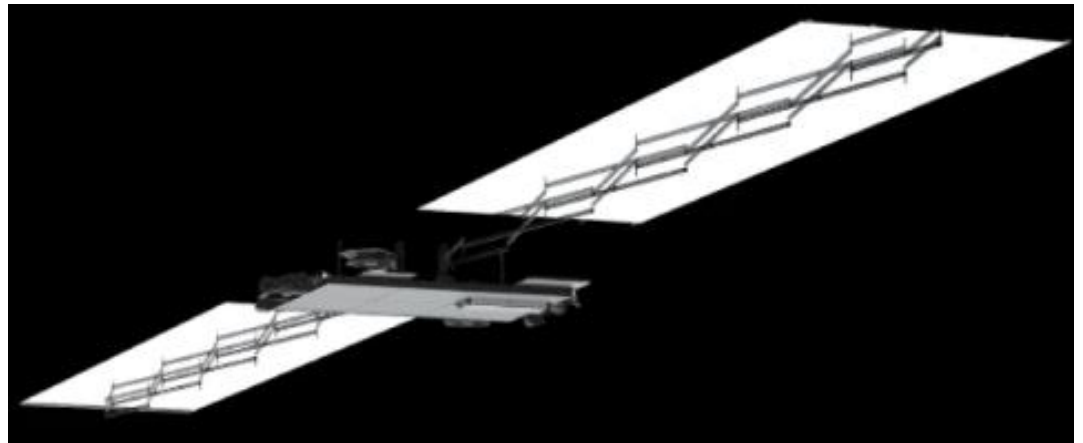


第5章 电源系统：内部自研与底层器件外部依赖

Starlink 所有版本卫星 (V1/V1.5、V2 Mini、V2、V3) 均采用太阳能阵列+大容量电池配置，为有效载荷 (相控阵天线、激光链路、推进器、星载计算机等) 供电。

- 日照期 (LEO 轨道约 60% 时间)：太阳能阵列发电+为电池充电。
- 阴影期 (每 90 分钟轨道约 30-40 分钟地球遮挡)：电池供电，确保连续运行。

图表24：双太阳能阵列示意



来源：国金证券研究所，Starlink 官网

SpaceX 卫星端的电源系统 (包括太阳能阵列的设计、展开机构、电源控制与分配单元) 绝大部分是由 SpaceX 内部自主研发和制造的，而不是像传统航天企业那样将整个电源系统外包。尽管如此，SpaceX 在底层元器件、电池电芯、电源管理芯片等领域依然依赖外部供应商。

5.1 太阳能电池阵列

太阳能电池阵列的自主整合，是整个星链计划能够实现成本颠覆的核心关键之一。传统航天领域的太阳能板极其昂贵且制造缓慢，SpaceX 为了满足每年制造数千颗卫星的需求，彻底重构了这一供应链。

5.1.1 砷化镓到硅基的转变

在早期的龙飞船以及部分非星链任务中，SpaceX 与传统航天企业一样，采用的是太空级三结砷化镓太阳能电池。砷化镓多结 III-V 族太阳能电池效率极高 (约 30%)，且具有极强的抗辐射能力。然而，其成本高达 200 美元/瓦以上，全球产能仅为个位数兆瓦/年，且中国控制着全球约 98% 的原生镓供应，因此这项技术根本无法满足吉瓦到太瓦级的规模需求。此外，成本控制的空间也已所剩无几——砷化镓的生产工艺已接近极限。

SpaceX 多年前就打破了传统的太阳能电池板设计，在其星链卫星项目中放弃了砷化镓 (GaAs) 太阳能电池，改为从市场上采购基础的高效率商用硅基或改进型薄膜太阳能电池片 (裸片)，然后在自己的工厂内部完成所有的串联、封装、铰链设计和阵列组装。



图表25: 硅基太阳能电池与砷化镓太阳能电池多维度对比

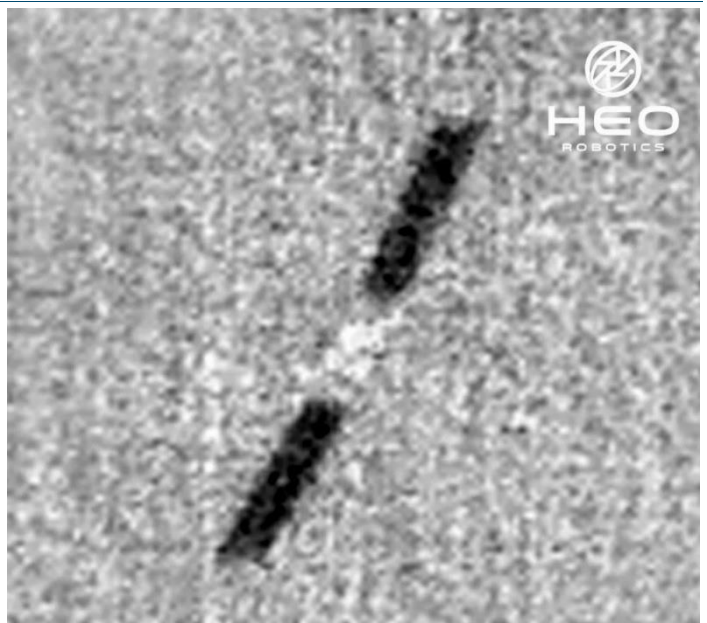
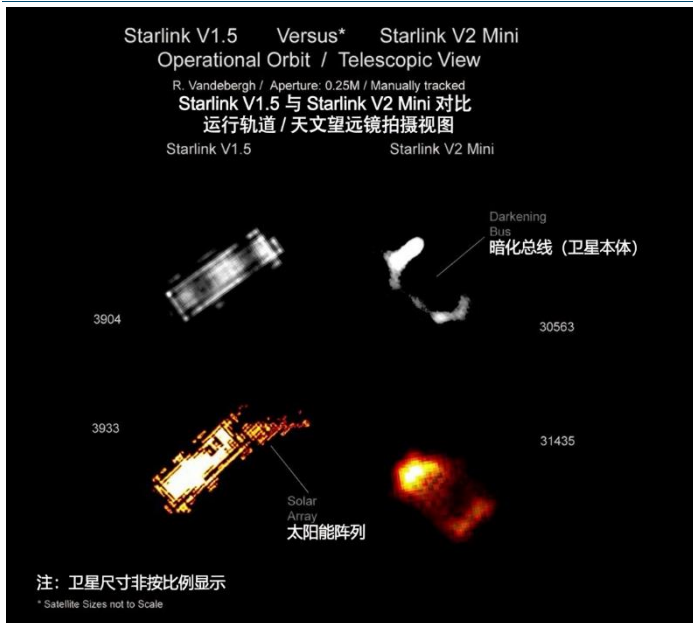
对比维度	硅基太阳能电池 (Silicon/Si)	砷化镓太阳能电池 (GaAs / 通常为三结)
光电转换效率	中等 (20%-25%) 目前商用极限在25%左右, 受限于单一材料的吸收光谱。	极高 (28%-32%及以上) 航天用的通常是“三结 (Triple-junction)”结构, 能分层吸收不同波长的光, 效率远超硅基。
制造成本	极低 (\$0.1-\$0.3/瓦) 硅是地球上第二丰富的元素, 且依托全球庞大的地面光伏产业链, 规模化效应发挥到极致。	极高 (数百至上千美元/瓦) 镓是稀有金属; 制造需使用昂贵的MOCVD (金属有机化学气相沉积) 设备一层层“生长”, 速度慢、良率低。
抗辐射能力	较弱 太空中的高能粒子 (质子、电子) 容易破坏硅的晶格结构, 导致发电效率在太空中快速衰减。	极强 材料结构非常稳定, 极耐太空辐射 (抗单粒子穿透), 在太空中运行15年以上仍能保持高功率。
温度特性	较差 温度升高时, 发电效率下降明显 (温度系数约为-0.3%至-0.4%/°C)。	优异 耐高温性能好, 温度升高时功率衰减很小, 非常适合太空无对流散热的极端暴晒环境。
重量与柔性	较重、偏硬 传统晶硅易碎, 需玻璃或厚基板保护。虽然现在能做薄膜硅, 但为了保证吸光效率, 依然有一定厚度。	极轻、可高度弯曲 只需几微米厚即可, 可附着在超薄聚酰亚胺薄膜上, 实现类似“卷轴”的极度卷曲和超高功质比 (W/kg)。
制造工艺复杂度	低/中等 拉晶、切片、掺杂、丝网印刷, 高度自动化流水线。	极高 外延生长、多层晶格匹配、极高的洁净度要求, 类似高端芯片的制造过程。

来源: 国金证券研究所, Wikipedia

SpaceX 在设计星链时, 采用了完全不同的第一性原理商业逻辑, 通过强大的内部工程能力, 将地面廉价的硅基/薄膜太阳能技术进行太空级改造 (加盖特种防护玻璃/涂层、优化封装), 以牺牲一定的转换效率和寿命为代价, 换取了成本下降成百上千倍的惊人成果。

图表26: V1.5 和 V2 卫星在运行轨道上的对比

图表27: 从卫星视角拍摄的星链 V2 Mini 在轨运行照片



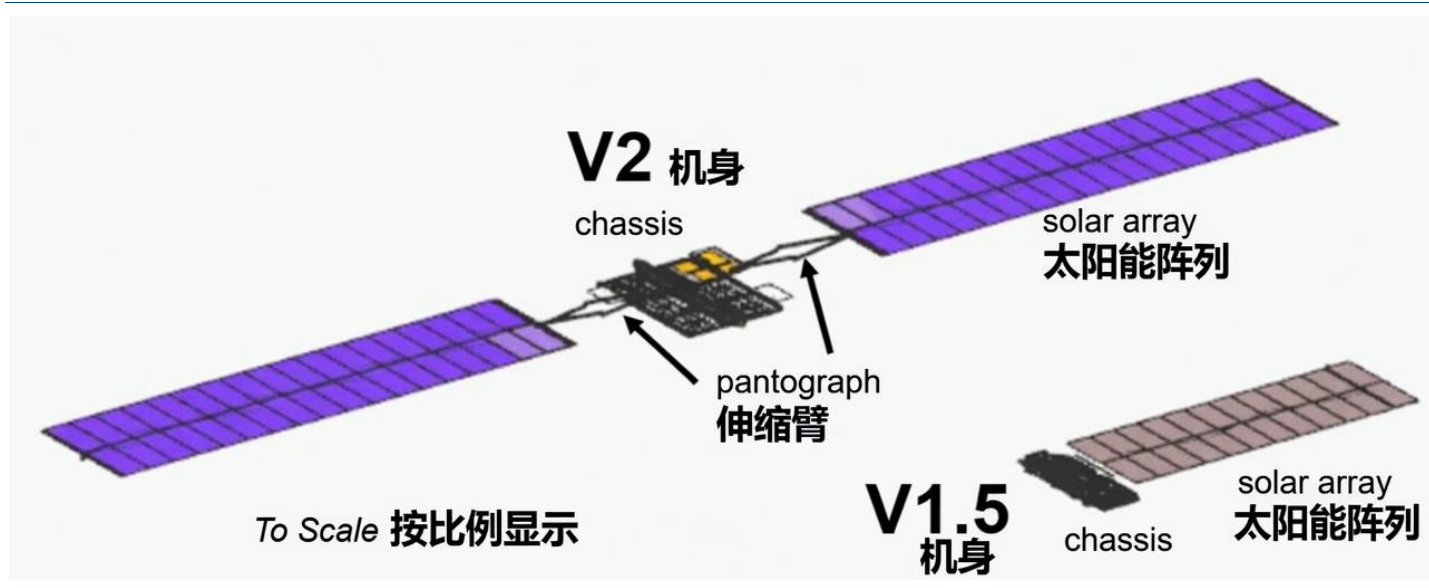
来源: 国金证券研究所, X@ralfvandebergh

来源: 国金证券研究所, X@heospace

Starlink V2 Mini 卫星开始采用双太阳能阵列, 设计为空气动力中性, 既满足发电需求, 又降低 LEO 大气阻力并提升轨道机动能力。SpaceX 在 Redmond 卫星工厂完成太阳能阵列的完整制造流程: 单个太阳能电池自动串联成串、铺设至大型复合材料面板、真空层压形成刚性阵列, 并采用单翼折叠设计紧贴卫星本体, 实现火箭整流罩内的高密度包装。



图表28: V1.5 和 V2 卫星比例对比



来源：国金证券研究所，arXiv

图表29: V1.5 与 V2 Mini 太阳能阵列对比

型号	V1.5	V2 Mini
阵列数量	单翼	双翼
展开后长度	约11米端到端	约30米翼展
太阳能阵列表面积	约25-30m ² （早期估算）	约116m ² （总表面面积，含天线面板约11m ² + 双太阳能翼约105m ² ）
功率输出估算	约7-8kW级	约20-30kW级
材料与技术	早期部分使用传统砷化镓（GaAs），后期转向硅基	商用硅基为主+太空级改造（防护玻璃/涂层）
设计特点	较小面积，刚性阵列，单翼折叠	空气动力中性设计，大型刚性/半刚性面板，双翼折叠
部署与包装	单翼，包装密度较低	双翼单侧折叠设计，紧贴本体，高密度包装
制造方式	较多依赖外部供应商	SpaceX Redmond工厂高度自主整合

来源：国金证券研究所，Spaceflight Now 报道，arXiv

这种垂直整合策略显著降低了成本并提升了生产速率，目前可达每周数十颗卫星，充分体现了 SpaceX 的制造优势。

SpaceX 正在德州 Bastrop 建设内部 Solar Cell Factory，招聘约 16 个专业岗位：冶金工程师、湿法工艺工程师、电池纹理化工艺控制专家等。目标是自主生产太阳能电池，彻底摆脱对海外供应商的依赖，并为未来百万颗轨道数据中心卫星提供 GW/TW 级太阳能产能。同时探索 HJT（异质结）、钙钛矿等新一代技术（功率重量比远超硅基）。



图表30: SpaceX 在巴斯特罗普的太阳能电池工厂正在建设



来源: 国金证券研究所, X@SERobinsonJr

5.1.2 台湾地区最大的光伏制造商: TSEC

SpaceX 的硅基太阳能电池主要依赖外部供应商+内部自产结合, 目前确认的主要外部供应商是台湾地区的 TSEC (台湾地区太阳能能源股份有限公司), 它是台湾地区最大的光伏制造商, 同时也是 Tesla 太阳能屋顶瓦的主要供应商。

TSEC 成立于 2010 年, 总部位于台湾地区, 公司专注于单晶硅与多晶硅太阳能电池及组件的生产, 拥有高度自动化的先进工厂, 在台湾地区太阳能产业中长期位居龙头地位, 以高性价比的产品和稳定的品质著称。

TSEC 与 SpaceX 的合作自 2021 年前后逐步深化, 为 Starlink 卫星提供商用高效率硅基太阳能电池裸片。SpaceX 在 Redmond 工厂负责后续串联、真空层压、特种防护玻璃覆盖、涂层处理及阵列最终组装。这种电池片外部采购+太空级改造内部完成的模式, 完美平衡了成本与可靠性。

图表31: TSEC 在 2021 年投产的新太阳能电池和组件生产线上投资了 9 亿台币



来源: 国金证券研究所, 太阳新闻网

TSEC 的核心优势:

- **完整自有供应链:** 地缘政治风险较低, 且供应链稳定。
- **太空应用验证:** 是少数具备卫星级太阳能供应经验的台湾地区企业, 已通过 Starlink



在轨长期验证。

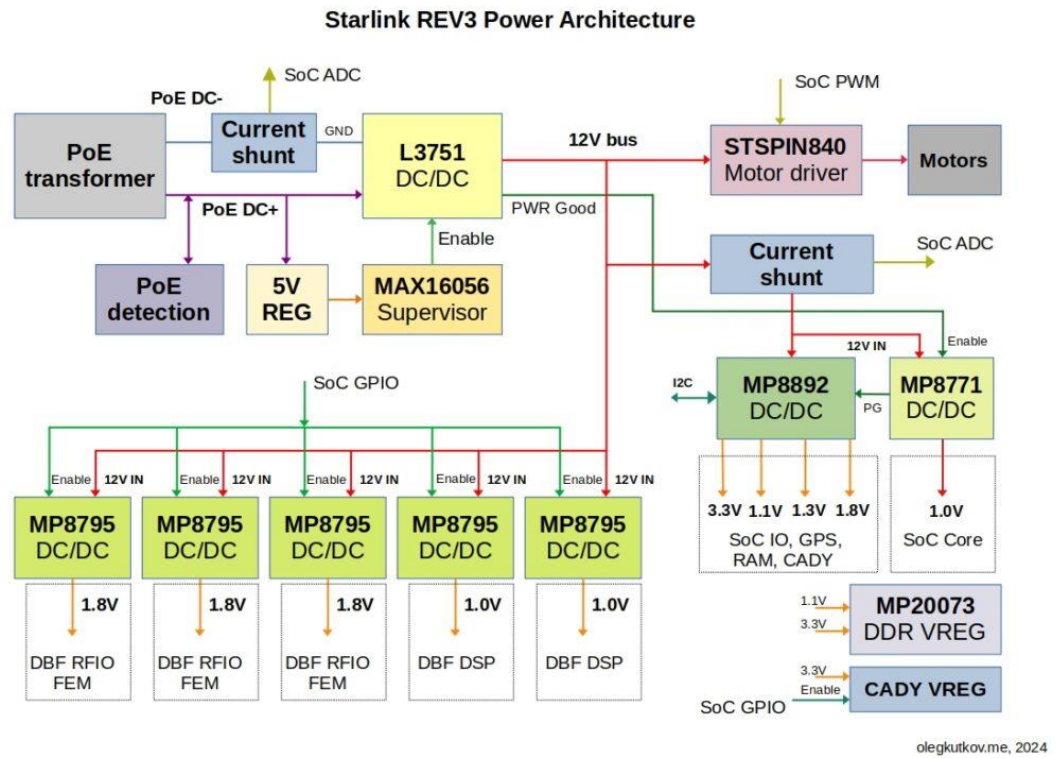
- **技术前瞻性：**积极布局 N-Type TOPCon、HJT 异质结以及钙钛矿+TOPCon 叠层电池，计划 2028 年实现量产。这与 SpaceX 未来更高功率需求高度匹配，能显著提升转换效率和功率重量比。

2024 年底，SpaceX 曾要求部分台湾地区供应商将制造产能转移至海外（东南亚等地），以分散地缘政治风险。TSEC 作为关键合作伙伴，可能也参与了相关产能布局调整。

5.2 电源管理芯片与半导体器件

为了精确控制太阳能阵列的发电、电池的充放电管理，以及为卫星上功耗巨大的相控阵天线、激光链路、推进器等有效载荷供电，Starlink 卫星需要大量高效、可靠的电源管理半导体器件（PMIC、DC-DC 转换器、负载开关、电池管理系统等）。

图表32: REV3 用户终端的电源架构图



来源：国金证券研究所，Oleg Kutkov 个人博客

SpaceX 打破了传统航天企业长期依赖昂贵抗辐射级芯片的惯例，大量采用汽车级或工业级商用现成芯片。这一策略大幅降低了单星成本，并显著加快了迭代速度，适应每年数千颗卫星的规模化生产需求。



图表33: 电源管理芯片与半导体器件常见供应商

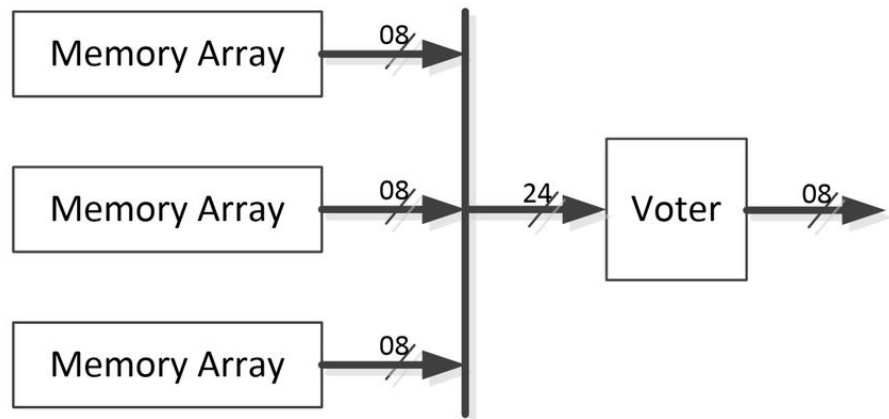
器件类型	主要作用	在Starlink卫星中的典型应用	常见供应商
PMIC电源管理芯片	集成多个电源功能, 包括电压转换、电源排序、监控、保护和系统级电源管理。通常包含多个DC-DC、LDO和控制接口。	整体电源协调、多种电压轨生成、电源上电时序控制、故障监控。	    Texas Instruments (TI)、Monolithic Power Systems (MPS)、STMicroelectronics、Analog Devices
DC-DC转换器	将一种直流电压高效转换为另一种电压(升压、降压或升降压), 提供高效率电源转换。	太阳能阵列输出到母线电压转换、母线到各负载的点-of-load (POL) 供电、电池充放电电压匹配。	    Texas Instruments (TI)、Infineon、Renesas、Vishay
Load Switch负载开关	控制特定负载的电源通断、提供过流/短路保护、软启动和低功耗开关功能。	按需控制相控阵天线、激光链路、推进器等高功耗模块的电源, 节省功耗并实现电源域隔离。	    Texas Instruments (TI)、Monolithic Power Systems (MPS)、Analog Devices、Infineon
BMS电池管理芯片	监控电池电压、电流、温度, 进行充放电控制、电池均衡、SOC/SOH估算及多重保护(过充、过放、过温、短路等)。	大容量电池组的充放电管理、阴影期电池供电安全保障、延长电池寿命。	    Analog Devices、Infineon、Renesas、ST Microelectronics

来源: 国金证券研究所, 公司官网

传统航天电源管理系统通常选用经过严格筛选和辐射加固的专用芯片, 单颗芯片价格可能是商用级的数十甚至上百倍, 且性能滞后, 制程老旧。SpaceX 则采用第一性原理方法, 优先选用成熟的商用电源管理芯片(如 TI、STM、MPS、Renesas 等供应商的产品), 通过以下手段保障在 LEO 轨道下的长期可靠性:

- **系统级冗余设计:** 关键电源通路采用三模冗余或多路并行架构, 即使单个芯片发生单粒子翻转或锁定, 系统仍能正常工作。
- **物理防护与屏蔽:** 增加局部铝屏蔽、钽屏蔽或优化卫星结构布局, 降低辐射剂量。
- **软件与架构容错:** 配合看门狗定时器、纠错码、周期性重启机制和电源域隔离设计, 实现快速故障恢复。
- **严格的地面测试与筛选:** 在地面进行高能质子/重离子辐射测试, 筛选出适合 LEO 环境的商用器件批次。

图表34: 三重模冗余框图



来源: 国金证券研究所, ResearchGate

这种混合策略在保证可靠性的同时, 将电源系统的单星成本控制在传统方案的几分之一, 完美匹配 Starlink 高产量、低成本、快速迭代的商业模式。



第6章 姿控系统：垂直整合下的技术革命与 Stargaze 空间态势感知新范式

SpaceX 在 Starlink 卫星姿态控制系统的设计上，依旧秉持高度垂直整合与成本优化的理念，核心组件实现自产自研。这一策略不仅大幅降低了单星制造成本，还提升了系统可靠性和再入大气时的消融性，体现了 SpaceX 在规模化 LEO 卫星制造中的独特工程哲学。

6.1 核心姿控组件自产自研

Starlink 姿控系统体现了硬件简单、软件智能的理念：通过高性能星敏感器网络+冗余反应轮+电推进+磁控，实现低成本、高可靠、全自主运行。整个系统支持卫星在轨的精确对地指向、太阳帆板定向、避碰机动以及再入姿态控制，为全球低延迟互联网服务提供了坚实基础。

图表35：官网星敏感器示意图



图表36：官网反应轮示意图



来源：国金证券研究所，Starlink 官网

来源：国金证券研究所，Starlink 官网

6.1.1 星敏感器

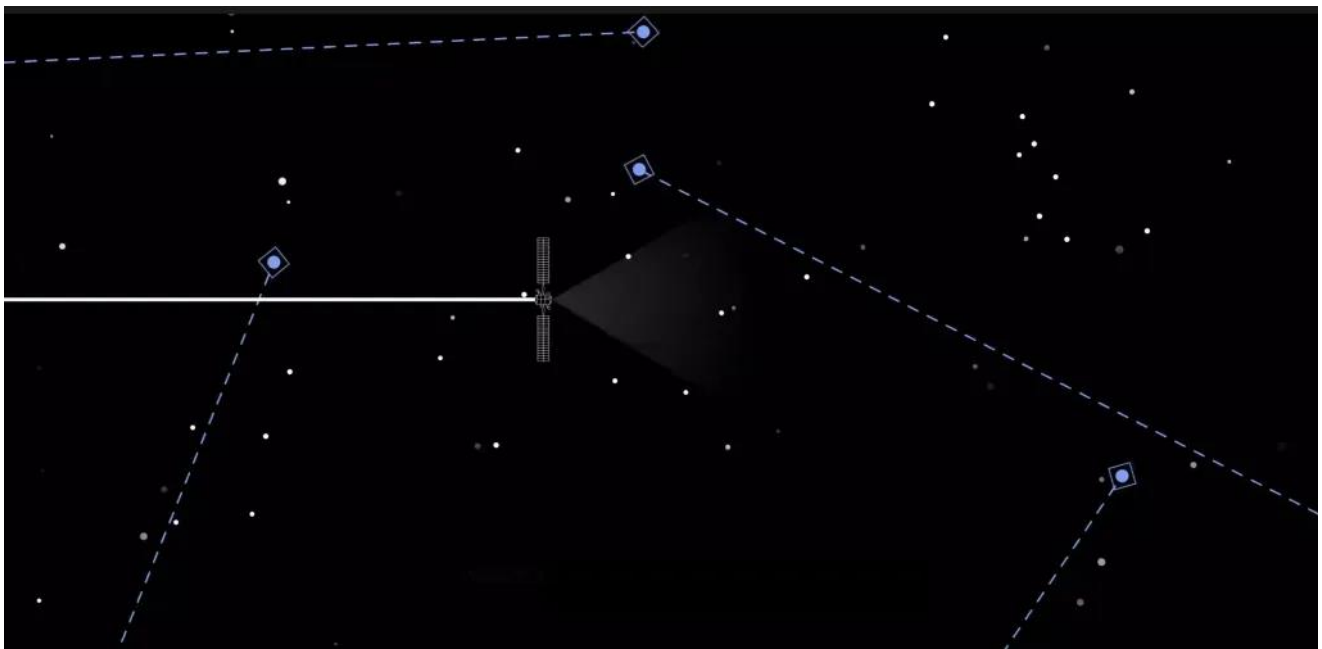
星敏感器是卫星姿态确定的核心传感器，其作用是通过捕捉星空图像、匹配星图数据库，实现高精度姿态测量，同时辅助轨道确定。传统商用星敏感器单价往往高达数十万美元，严重制约大规模星座部署。SpaceX 采用商用现货图像传感器结合自研图像处理 and 姿态确定算法，将成本控制在极低水平，同时维持甚至超越传统高端产品的性能。

Starlink 卫星搭载的自定义星敏感器能够实时观测星空背景，精确确定每颗卫星的位置、姿态和轨道参数。这些传感器原本主要服务于卫星自身导航，但在 2026 年 1 月 SpaceX 正式推出的 **Stargaze 空间态势感知 (SSA) 系统** 中，其功能得到极大拓展。

Stargaze 系统利用 Starlink 星座上已部署的数万个星敏感器（当前近 10,000 颗卫星对应近 30,000 个传感器），将星座转变为一个分布式空间传感器网络。除了自身姿态确定外，这些传感器持续观测周边轨道物体，生成近实时碰撞预警数据。该系统显著提升了近地轨道运行的安全性和可持续性。



图表37: Stargaze 识别轨道上的其他物体并计算其轨道的示意图



来源：国金证券研究所，SpaceX 官网

关键技术优势：

- 观测密度提升：每天可探测约 3,000 万次凌星现象，远超传统地基雷达系统（传统系统通常每天仅对目标进行有限次数观测）。
- 实时性：能在数分钟内提供交会筛查结果，而行业标准往往需要数小时。
- 轨道估计精度：自动汇总观测数据，生成准确的轨道估计、位置和速度预测，并整合至空间交通管理平台，识别潜在近距离交会并生成交会数据消息。
- 开放共享：SpaceX 承诺将筛查数据免费提供给更广泛的卫星运营商，以推动全行业空间交通协调。鼓励运营商共享轨道预测，减少因火箭箭体残留、不协调机动或反卫星试验导致的碰撞风险。

Stargaze 已进入实际应用阶段，包括封闭 beta 测试，并计划逐步向 API 用户推送基于其观测的交会数据。该系统有效缓解了空间天气、多目标不确定性等问题，为 LEO 可持续利用提供了新范式。

6.1.2 动量轮/反应轮

姿态控制执行机构方面，Starlink 卫星采用 4 个反作用飞轮实现三轴敏捷姿态控制。这种配置提供冗余，其中一个备用轮可即时接管，确保单点故障不影响整体运行，高可靠性满足星座长期在轨需求。

- 材料优化：早期设计可能包含钢制部件，后期迭代全面转向铝制材料。铝制飞轮在再入大气层时可完全消融，显著降低轨道碎片风险，符合 SpaceX 的可消融性设计理念。
- 辅助去饱和：配合磁力矩杆进行动量卸载，避免长期积累外部干扰（如大气拖曳、太阳辐射压力）导致飞轮饱和。离子推力器则主要用于轨道维持和主动避碰机动。

反应轮与星敏感器紧密配合，形成闭环姿态确定与控制系统，实现高精度指向（支持相控阵天线对地通信）。这一组合加上推进系统，使单星具备快速机动能力，能够高效响应碰撞预警或轨道调整需求。

6.2 底层元器件与芯片供应商

SpaceX 对 Starlink 卫星供应链并未公开详细 BOM。本节供应商信息主要基于用户终端拆解报告、航天工业 COTS 器件使用惯例、NASA/行业参考案例，以及 SpaceX 公开招聘需求和技术论文间接推断得出。

Starlink 姿控系统强调低成本、高可靠性和大规模制造兼容性，因此优先选用经过空间验证的成熟 MEMS 器件，并结合自研算法实现性能优化。



6.2.1 STM 意法半导体

STM 是 SpaceX 长期战略合作伙伴，已经合作超过十年，该合作不仅覆盖数百万的用户终端，还延伸至卫星平台姿控系统：

- **STM32 系列微控制器**：广泛用于 Starlink 卫星的星载电子系统，包括姿态控制算法的实时处理、传感器数据融合、执行机构控制（如反应轮驱动、磁力矩杆协调）以及整体卫星总线管理。STM32 提供高计算性能、丰富外设接口和实时性，适合处理星敏感器数据、IMU 速率测量与 Kalman 滤波等姿控核心任务。
- **STM32V8 (18nm FD-SOI 工艺)**：SpaceX 专门选用该款高性能 MCU 用于 Starlink 卫星的小型激光通信系统。激光链路对指向精度要求极高，依赖精密姿态控制实现快速捕获、跟踪与对焦。STM32V8 的高计算性能、大嵌入式内存和抗辐射/LEO 环境鲁棒性是关键保障，支持实时处理激光指向控制，这与姿控系统紧密耦合。
- **其他 ST 产品**：包括安全元件、GNSS 模块等，辅助卫星的轨道/姿态确定和整体可靠性。这些组件覆盖 Starlink 宽带卫星星座（含最新 V3 卫星）。

STM 的 BiCMOS 等工艺技术特别适用于 Starlink 相控阵天线的波束成形与姿态联动控制，确保天线精确指向地面蜂窝区。未来，随着卫星产量持续提升，STM 在姿控相关 MCU 和接口芯片上的份额有望进一步扩大。

6.2.2 Safran (原 Sensoror)

Starlink 卫星需要极高的姿态控制精度，以支持相控阵天线对地指向（指向精度通常需达到 0.1°级或更高）和星间激光链路的精准对焦。Safran (Sensoror) 的 STIM 系列 MEMS 惯性传感器是 LEO 卫星姿态确定与控制系统的成熟商用选择，已被广泛验证为高性价比替代传统 FOG（光纤陀螺）的方案。

图表38: STIM 系列主要产品重要参数

型号	STIM210	STIM300	STIM377H
产品示意图			
类型	1-3轴陀螺仪	3轴IMU	3轴Hermetic密封IMU
陀螺偏置不稳定性	0.3°/h	0.3°/h	0.3°/h
角度随机游走 (ARW)	0.15°/√h	0.15°/√h	0.15°/√h
角速率范围	±400°/s	±400°/s	±400°/s
加速度计偏置不稳定性	-	0.05mg	≈0.04mg
尺寸	33×43×22mm	44.8×38.6×21.5mm	44.8×38.6×21.5mm
重量	≈52g	<55g	<55g
功耗	1.3-1.5W	1.5-2.0W	1.5-2.0W
封装	标准	标准	气密玻璃-金属密封
突出优势	低功耗、小体积	性价比高	最佳空间长期可靠性

来源：国金证券研究所，Safran 官网

第 7 章 结构热控与测控电子系统

7.1 结构与热控

Starlink 卫星采用高度集成、扁平化平板式设计，这一创新架构是实现大规模生产、低成



本发射和密集堆叠部署的核心。结构主要功能包括：支撑相控阵天线、电子设备、推进系统、太阳翼及激光通信终端，同时提供足够的机械强度以承受发射载荷，并在轨运行中维持结构完整性。

主要结构特点：

- **轻质夹层结构：**采用碳纤维复合材料面板 + 铝蜂窝芯，兼具高强度-重量比、良好平整度和热传导性能。
- **高度集成：**电子设备直接安装在结构底盘上，结构本身兼作散热基板，实现结构-热控一体化。
- **材料选择：**优先铝合金和可完全消融材料，降低再入碎片风险。

堆叠与释放机制：采用高效堆叠方案，支持单次发射高密度部署。卫星通过定位点嵌合 + 张力杆压缩，释放时依靠火箭二级自旋产生的离心力自然分离，机制简单可靠、易于自动化装配。

图表39: Starlink 堆叠式结构示意图



来源：国金证券研究所，Starlink 官网

Starlink 卫星热控系统以被动热控为主，主动部件最小化，高度集成到卫星结构中，适应高产量、低成本制造需求。主要挑战是相控阵天线和功率放大器产生的高局部热流，以及LEO轨道真空环境仅能通过辐射散热。

核心设计理念：

- **结构热控一体化：**卫星底盘集成嵌入式两相热管，热量从发热器件直接传导至大面积辐射表面。
- **被动热控组件：**表面高发射率/低吸收率涂层+多层隔热材料+热管热扩散。
- **主动辅助：**少量电阻加热器，由星载计算机智能控制。

SpaceX 整体策略为高度自研+垂直整合，结构底盘与热管集成主要在自家工厂完成，外部主要采购辅助材料。



图表40：热控系统可能的外部供应商

公司英文名	总部地点	市场地位与关键产品	与Starlink相关性
Beyond Gravity (博越引力)	瑞士苏黎世	全球领先卫星结构与热控供应商，为800+颗卫星提供MLI隔热材料和热控解决方案	最高 (MLI多层隔热材料主要供应商)
Advanced Cooling Technologies (先进冷却技术公司)	美国宾夕法尼亚州	航天热管领域领先企业，擅长嵌入式热管	高 (嵌入式两相热管高度匹配Starlink结构-热控一体化设计)
AZ Technology (AZ科技)	美国阿拉巴马州亨茨维尔	航天热控涂层专业厂商，AZ-93等白漆为行业标杆	高 (热控涂层/光学太阳反射器)
Socomore (索科莫尔)	法国	欧洲领先航空航天功能涂层供应商，提供热控与热保护涂层	中 (热控涂层、热阻涂层)
Carbice (碳冰)	美国佐治亚州亚特兰大	碳纳米管热界面材料 (TIM) 领先创新企业	中 (高性能热界面材料，提升接触导热)

来源：国金证券研究所，公司官网

7.2 测控电子系统

Starlink 卫星的测控电子系统负责卫星与地面站之间的遥测数据下传、轨道跟踪以及指令上行，是保障卫星在轨健康管理、自主运行和紧急干预的核心子系统。SpaceX 采用高度自主 + 有限地面干预的混合架构：卫星日常运行高度依赖星载自主控制（姿控、轨道维持、避碰），而测控电子系统主要用于批量状态监控、健康诊断、软件更新以及应急安全模式切换。

主要功能模块：

- **遥测**：采集卫星平台（电源、温度、姿态、推进剂、反应轮状态等）和有效载荷（相控阵功放、激光终端）数据，通过高带宽下行链路批量传输。Starlink 强调大容量遥测，支持传输海量在轨数据。
- **跟踪**：结合星载 GNSS、星敏感器和地面测角/测距，实现精密轨道确定。Stargaze 系统进一步利用星敏感器网络提供分布式空间态势感知。
- **指令**：地面上行控制指令，包括姿态调整、轨道机动、软件加载和安全模式进入。采用加密协议确保安全性。

第 8 章 卫星制造产业链标的梳理

8.1 卫星平台与制造

低轨卫星寿命较短，这意味着更高的补网频率。卫星变成了类似手机的快消品，利好卫星制造商，应该寻找具备大规模、流水线化生产能力的卫星总装企业。

- **中国卫星**：航天五院旗下小卫星龙头。作为国家队卫星总装平台，构建覆盖卫星平台研制、总装集成到地面应用与数据运营的“天地一体化”产业链，在北斗终端与遥感数据领域具备较强工程与资质壁垒。

图表41：卫星平台与制造相关标的

代码	名称	核心业务标签	核心看点
600118.SH	中国卫星	小卫星总装平台、天地一体化布局、北斗终端与遥感数据	国家队小卫星总装平台。航天五院旗下企业，构建覆盖卫星平台标签、总装集成地面应用与数据运营的天地一体化产业链，在北斗终端与遥感数据领域具备工程能力与资质壁垒。

来源：国金证券研究所，中国卫星官网



8.2 太空防护材料

A股核心链主企业随着国内千帆星座、GW星座等巨型低轨网络进入密集发射期，卫星太阳能电池阵列全面向轻量化的柔性太阳翼迭代。这要求基底薄膜不仅要极度轻薄，还必须具备极强的抗AO侵蚀能力。目前，A股多家企业已在此领域实现了关键的身位领先：

- 瑞华泰(688323.SH)，航天级PI薄膜龙头。瑞华泰是国内高性能PI薄膜领军者。在商业航天领域，公司是国内头部商业航天企业认证的无色聚酰亚胺CPI薄膜供应商。公司目前正积极开展耐原子氧PI薄膜的定向研发，旨在从材料基底层面提升低轨卫星及飞行器的耐受冲击能力。
- 沃格光电(603773.SH)，掌握制膜+防护镀膜全链条工艺。区别于单纯的材料供应商，沃格光电成功打通了CPI浆料→制膜→镀膜的全产业链条。其自主研发的特种防护镀膜，不仅能抵御高能粒子辐射和极紫外线照射，更在原子氧防护镀膜技术上取得了实质性突破。公司的CPI膜材搭配特种抗AO防护镀膜，目前已携手头部商业航天客户，成功实现了卫星柔性太阳翼的在轨应用，完成了从技术验证到商业交付的闭环。
- 国风新材(000859.SZ)：作为国内PI薄膜产能的另一大主力，随着航天级PI/CPI薄膜因抗AO需求爆发而出现供需缺口，公司具备凭借庞大产能切入商业航天供应链、享受行业Beta红利的潜力。

图表42：太空防护材料相关标的

代码	名称	核心业务标签	核心看点
688323.SH	瑞华泰	航天级PI薄膜、CPI材料、耐原子氧材料研发	航天级PI薄膜国产替代核心标的。国内高性能PI薄膜领军者，是头部商业航天企业认证的无色聚酰亚胺(CPI)薄膜供应商，并积极推进耐原子PI薄膜定向研发。
603773.SH	沃格光电	CPI制膜、特种防护膜、原子氧防护技术	制膜+镀膜一体化布局的航天防护材料厂商。打通CPI浆料至镀膜全链条，在抗辐射与航天子氧(AO)防护技术上已实现突破，产品实现卫星柔性太阳翼在轨应用。
000859.SZ	国风新材	PI薄膜产能、商业航天潜在供应商	具备承接航天级PI/CPI放量需求的产能平台。作为国内PI薄膜重要产能方，在子氧(AO)带动需求趋紧的背景下，有望凭借规模优势切入商业航天供应链，享受行业贝塔红利

来源：国金证券研究所，瑞华泰&沃格光电&国风新材官网，财联社等

8.3 卫星热管理

根据在卫星热控产业链中的价值量分布与核心壁垒，A股市场的核心标的可划分为以下三大板块：

1、热控系统设计及结构件总装—Tier1系统级供应商

这类企业具备星箭一体化的设计与制造能力，直接对接卫星总体单位，受益于整星批产带来的规模效应。

- 航天环宇(688523.SH)：公司业务深度覆盖卫星结构与热控系统，能够为卫星提供热控设计、热控部件等全套产品和服务。目前，公司已深度参与了多个商业卫星和国家重点卫星项目的热控系统建设。在卫星轻量化趋势下，其结构与热控一体化制造能力构筑了较高的竞争壁垒。

图表43：热控相关标的

代码	名称	核心业务标签	核心看点
688523.SH	航天环宇	卫星结构件、热控系统、结构热控一体化	卫星结构与热控一体化核心供应商。深度覆盖热控设计与热控部件制造，参与卫星商业及国家重点卫星项目，在卫星轻量化趋势下形成结构+热控和谐制造壁垒。

来源：国金证券研究所，航天环宇官网



2、高功率载荷热管理与电子元器件——细分卡脖子环节

聚焦于卫星内部发热量最大的通信载荷与微波组件，解决其局部的热-功率耦合问题。

- 国光电气(688776.SH)：在热控领域的行波管等空间微波电真空产品方面具有技术优势。在卫星复杂的电磁与热环境下，其产品可应用于卫星热控系统和通信系统的功率放大等高发热核心环节，是保障载荷在极端热循环下稳定功率输出的关键。
- 中石科技(300684.SZ)：国内导热界面材料龙头。在卫星中，芯片与冷板之间的微观缝隙可能需要极高可靠性的导热垫片、导热凝胶或高定向石墨膜来填充，公司在此领域具备国产替代逻辑。

图表44：高功率载荷热管理与电子元器件相关标的

代码	名称	核心业务标签	核心看点
688776.SH	国光电气	行波管、空间微波电真空器件	空间微波电真空核心器件供应商。公司在行波管等产品上具备技术优势，可实现卫星热控与通信系统功率放大，是保障VLEO卫星在复杂电磁与热环境下稳定输出的关键。
300684.SZ	中石科技	导热界面材料、导热垫片/电流、高电位诱导膜	热管理材料国产替代受益标的。作为国内导热界面材料龙头，对VLEO卫星中功率器件与冷板之间提供高可靠性导热方案，在高功率密度解决方案下具备国产替代逻辑。

来源：国金证券研究所，国光电气&中石科技官网等

8.4 卫星姿态控制与星载计算机

在低轨星座大规模组网的催化下，卫星姿态控制系统及底层的星载计算机正经历从宇航级向工业级/车规级的范式转换。掌握核心抗辐照芯片设计、MEMS高精度封装以及微型执行机构量产能力的企业，将享有产业Beta溢价。

1、决策层：星载计算机芯片

低轨卫星面临较复杂的非线性气动扰动，传统静态算法往往失效。为引入自适应或AI神经网络算法以实现动态平衡，卫星对边缘算力：高算力SoC、可编程FPGA的需求有望爆发。

- 航宇微(300053.SZ)：国内星载SoC与AI芯片的领军企业。公司聚焦星载计算与控制解决方案，其核心产品：星载处理器、AI加速芯片通过抗辐照设计与宇航级验证。填补了国内商用星载算力芯片缺口，广泛服务于国内通信及遥感卫星项目。
- 复旦微电(688385.SH)：国内高端FPGA技术龙头。FPGA作为一种硬件可重构芯片，具备高灵活性、高并行和低延时的物理特质。在低轨卫星通信及复杂的姿态控制等需要频繁迭代升级、且对延时要求极高的场景中，其亿门级抗辐照FPGA是国内商业航天重要底层算力底座。

图表45：星载计算机芯片相关标的

代码	名称	核心业务标签	核心看点
300053.SZ	航宇微	星载SoC、AI加速芯片、抗辐射照设计	国内星载算力芯片核心厂商。聚焦星载计算与控制解决方案，星载处理器与AI芯片通过抗辐射照设计及宇航等级验证，解决星载算力缺口，服务通信与遥感卫星项目。
688385.SH	复旦微电	抗辐射照FPGA、可重构芯片、低轨卫星算力底座	国内抗辐射照FPGA龙头。依托亿门级抗辐射照FPGA产品，在低轨卫星通信与姿态控制等高实时性场景中提供可重构算力底座，是商业航天关键基础芯片供应商。

来源：国金证券研究所，航宇微&复旦微电官网

2、感知层：传感器与MEMS惯导



- 天银机电(300342.SZ)：商业星敏感器核心龙头。其控股子公司天银星际是专业研发生产恒星敏感器的商业公司。凭借精度高、交期短、可靠性强的优势，公司深度参与了国内重大星座工程，2024年度千帆星座批产发射的卫星均应用了其星敏感器产品。目前该核心部件已具备年产 2000 台/套的批量化生产能力，构筑了高产能与工艺壁垒。
- 芯动联科(688582.SH)：高性能 MEMS 惯性传感器稀缺标的。公司的核心产品：高性能 MEMS 陀螺仪和加速度计主要技术指标与国际主流厂商处于同一梯队，性能已达到导航级精度。填补了国内高性能硅基 MEMS 在商业航天姿态控制与轨道确定领域的空白。

图表46：敏感器与 MEMS 相关标的

代码	名称	核心业务标签	核心看点
300342.SZ	天银机电	星敏感器、商业星座配套、批量化产能	商业星敏感器核心供应商。子公司天银星际敏感器研发制造，产品具备台与高可靠性，深度涉及重大星座工程，已形成约2000/套年产能，构筑批量生产与工艺壁垒。
688582.SH	芯动联科	MEMS陀螺仪、MEMS转速计	高性能MEMS惯性传感器稀缺标的。核心MEMS陀螺仪转速与技术指标对标国际主流厂商梯队，性能达到导航级精度，弥补国内在商业航天姿态控制与轨道确定领域的空白。

来源：国金证券研究所，天银机电&芯动联科官网等

3、执行层：微型反作用飞轮与姿控机构

- 航天智装(300455.SZ)：背靠中国航天五院 502 所（北京控制工程研究所，中国航天姿轨控系统国家队）。在微型反作用飞轮、控制力矩陀螺等高精度姿控执行机构方面拥有较深技术积累，是商业微小卫星执行机构潜在受益者。

图表47：反作用飞轮与姿控机构相关标的

代码	名称	核心业务标签	核心看点
300455.SZ	- 航天智装	姿态控制执行机构、微型反作用飞轮、控制力矩陀螺	航天姿轨控执行机构国家队背景标的。依托航天五院502所技术积累，在微型反作用飞轮、控制力矩陀螺等高精度姿控执行机构领域具备深厚基础，有望受益商业微小卫星放量，切入执行机构国产化供应链。

来源：国金证券研究所，航天智装官网，国家航天局等

8.5 核心通信载荷

- 价值链重构：低轨通信卫星时代，卫星平台标准化、货架化，成本大幅下降；而为了实现高通量和多波束跳变，载荷（天线、转发器、星上处理）复杂度和成本占比逆势上升，目前已接近整星 BOM 成本的 50%。投资载荷，就是投资卫星价值量最大的部分。
- 技术要求：低轨卫星相对地面高速运动，传统机械天线无法满足快速波束切换的需求。有源相控阵天线是较优解。
- 量价齐升：量→随着千帆星座进入二期组网，单星波束数量要求从早期的个位数增加到几十甚至上百个，直接带动 T/R 组件（收发通道）数量指数级增长。价→虽然单通道价格在降，但对抗辐照、高频段（Ku/Ka/Q/V 频段）芯片的性能要求在提升，具备宇航级射频芯片设计能力的企业拥有较强的定价权。
- G60/GW 组网：从打样转入批产，载荷厂商的业绩将不再依赖单一研发合同，而是有望呈现类似消费电子供应链的线性出货特征。



图表48: 核心通信载荷相关标的

代码	名称	核心业务标签	核心看点
300762.SZ	上海瀚讯	宽带载荷、G60主力	G60星座核心供应商。深度参与千帆星座建设，研制并供给卫星通信载荷、信关站、终端等关键设备。随着千帆星座有望进入密集组网期，业绩有望从研发样机转向批量交付，确定性高。
688270.SS	臻镭科技	抗辐照芯片、电源	相控阵雷达与电源管理的底层基石。低轨卫星对电源管理芯片和射频收发芯片的抗辐照要求极高，公司在宇航级芯片领域具备稀缺性，受益于单星电子元器件价值量占比提升。

来源：国金证券研究所，上海瀚讯&臻镭科技官网，同花顺

8.6 下游应用及数据变现

随着产业由建设期迈入运营期，运营、测控、核心网与关键器件环节的商业价值将同步释放。

图表49: 下游应用相关标的

代码	名称	核心业务标签	核心看点
601698.SH	中国卫通	卫星运营服务	卫星通信运营主平台。国内唯一基础电信卫星运营商，拥有通信广播卫星资源与频轨优势，直接受益于低轨卫星互联网建设与手机直连卫星应用放量，是商业航天应用端最核心的流量入口与资源平台。
920116.BJ	星图测控	航天测控软件	商业测控稀缺标的。布局全产业链，受益于星座组网带来的太空交通管理、测控数传等需求。
688418.SS	震有科技	卫星核心网	卫星互联网的大脑。受益于手机直连卫星技术有望普及及卫星地面站/信关站建设，是5GNTN架构落地的软件核心。获得中国电信天通一号卫星通信核心网扩容项目，支撑500万用户，具备2G/3G/4G/5G全系列核心网能力，受益于卫星通信用户规模放大。
301306.SZ	西测测试	第三方检测	商业航天的卖水人。拥有全套军用/航天级测试资质，产能释放恰逢商业卫星批产大年，承接商业航天外包测试需求。
301517.SZ	陕西华达	高频连接器	火箭通用的血管接口。高可靠性射频连接器广泛应用于卫星传输和火箭分离机构，国产替代份额稳固。配套星网、千帆星座等国家重点航天项目。
688568.SH	中科星图	空天信息服务、数字地球与测控平台	数字地球领军者。公司以GEOVIS数字地球平台为基础，覆盖卫星测控、遥感数据处理和空间资产管理，能够为VLEO星座运营提供高频次运行监控和数据服务支持。

来源：国金证券研究所，中国卫通&星图测控&震有科技&西测测试&陕西华达&中科星图官网等

第9章 风险提示

大客户依赖与内部化反噬风险：推崇极致的垂直整合。随着其内部工厂（如德州Bastrop的Solar Cell Factory）产能释放，部分依赖性强的供应商面临被SpaceX自研自产替代的风险。

地缘政治与供应链转移风险：SpaceX出于供应链安全考量，已开始要求部分台湾地区供应商（如TSEC可能涉及的调整）将制造产能转移至海外（如东南亚等地）。这可能会导致供应商短期资本开支增加或订单波动。

技术迭代极速带来的路线踏空风险：商业航天技术迭代远快于传统航天，如推进剂从氦气向氩气的突变。未能跟上SpaceX下一代卫星（如V3、V-band应用）降本增效要求的供应商可能随时被淘汰。



行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；

中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；

减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。



特别声明：

国金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。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员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。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级（含C3级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海	北京	深圳
电话：021-80234211	电话：010-85950438	电话：0755-86695353
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：201204	邮编：100005	邮编：518000
地址：上海浦东新区芳甸路1088号 紫竹国际大厦5楼	地址：北京市东城区建国内大街26号 新闻大厦8层南侧	地址：深圳市福田区金田路2028号皇岗商务中心 18楼1806



【小程序】
国金证券研究服务



【公众号】
国金证券研究