

【国信通信·行业专题】

卫星互联网开始加速，关注低轨卫星产业链机会

行业研究 · 深度研究
通 信 · 通信设备
投资评级：超配（维持评级）

证券分析师：马成龙
021-60933150
machenglong@guosen.com.cn
S0980518100002

联系人：袁文翀
021-60375411
yuanwenchong@guosen.com.cn

关键结论与投资建议

- 1、近地轨道位置及频谱资源有限、竞争激烈，星网公司自去年成立以来，先后研制先导测试星和批量采购2种型号通信卫星，我国低轨卫星星座建设正步入加速发展期。除此以外，低轨卫星发展的驱动力还包括政策支持、技术成熟带动成本降低及商业航天的快速发展。卫星互联网发展趋势包括与地面网络（5G/6G）融合、通导遥一体化及构建星间链路等。
- 2、需求侧，低轨卫星通信前景广阔，发展低轨卫星具有内在需求逻辑。一方面，卫星宽带通信与地面网实现互补，推动偏远地区、船舶飞机、应急救援等场景的宽带连接；另一方面，低轨窄带通信是解决物联网传输层覆盖瓶颈的有效手段。我国宽带通信速率正通过千兆升级加速提升，村村通宽带已建设完成，根据十四五规划，卫星宽带通信在我国边疆地区的电信普及服务方面具有重要作用。
- 3、产业链方面，低轨卫星产业链主要分为上游卫星制造与卫星发射，中游地面设备制造与卫星运营，下游为各类应用场景。随着低轨卫星星座建设拉开序幕，产业链上游将率先受益，其中T/R环节的确定性和成长性较强：
 - **卫星制造：**对比卫星平台及卫星载荷其他零组件，T/R环节具有 1) 批量卫星建设成本节约主要在卫星平台侧；2) T/R组件是低轨通信卫星载荷的关键必备零部件，价值占比高；3) 通信卫星功能增强，实际单星T/R组件用量和总价值量提升等特点，**因此载荷侧T/R环节的受益确定性和成长性更为显著。**建议关注当前具备Ku/Ka等低轨通信卫星常用频段的T/R组件或射频芯片/模块积累的公司。除此以外，卫星平台、星载转发器等相关分系统、零组件供应商亦有望直接受益于低轨卫星制造需求的快速增长。
 - **卫星发射：**当前我国面临火箭运力不足、发射成本较高等问题，传统国家队外，相关民营运载火箭及发射服务公司正逐步发展。
 - **终端与运营：**低轨卫星建设仍处于早期阶段，终端与运营侧实际应用较少。随着星座建设成熟，后续终端与运营环节将成为产业链价值重心所在。
- 4、基于产业链发展程度及不同环节的受益确定性和成长性，**建议关注卫星通信载荷关键部件T/R组件环节如国博电子等。**

风险提示：低轨卫星星座建设进度不及预期；技术发展不及预期，成本过高影响建设进程；空间轨道资源和频谱资源被大量占用

- [01] 空间信息产业加速发展，低轨卫星通信蓄势待发
- [02] 产业价值：卫星通信是地面通信的重要补充
- [03] 产业链：通信载荷是通信卫星关键，关注T/R环节
- [04] Starlink（星链）：低轨卫星互联网领先者
- [05] 投资建议

一、空间信息产业加速发展，低轨卫星通信蓄势待发

空天地一体化网络是信息产业的下一个大趋势

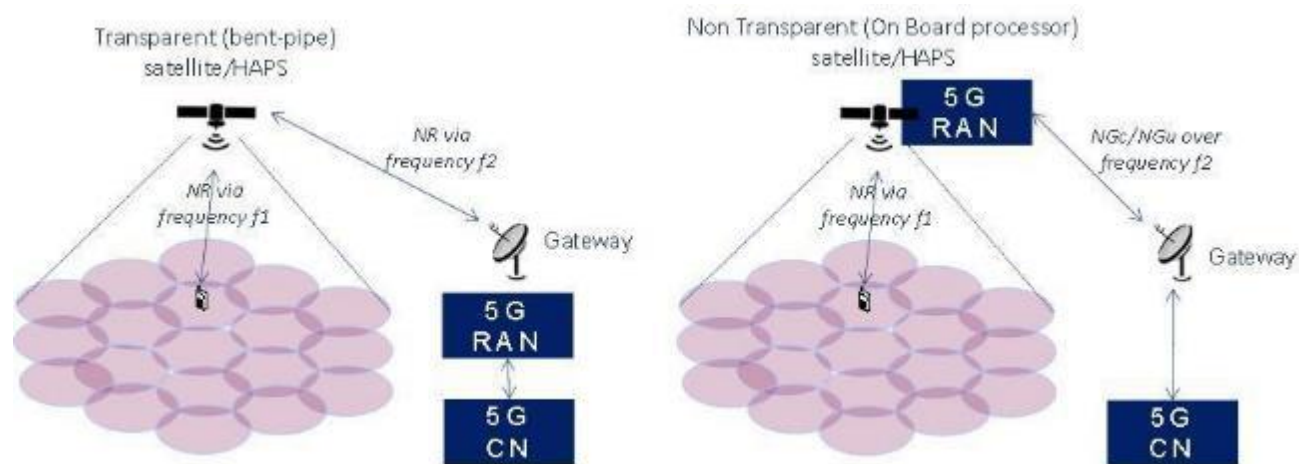
- ◆ 发展空天地一体化信息网络已成为6G的共识。空天地一体网络架构是6G的核心方向之一，被ITU列为七大关键网络需求之一。6G的空天地一体网络架构将以地面蜂窝移动网络为基础，结合宽带卫星通信的广覆盖、灵活部署、高效广播的特点，通过多种异构网络的深度融合来实现海陆空全覆盖，将为海洋、机载、跨国、天地融合等市场带来新的机遇。
- ◆ 5G已开始实践非地面网络（NTN）应用。2022年6月冻结的5G R17标准的一项新增特性为支持非地面网络（Non-Terrestrial Networks, NTN）。具体来说，R17定义NTN整体架构，包括定时和同步机制，非连续覆盖的辅助消息、移动管理、馈线链路切换等。通过卫星上的网络节点和通过馈线链路互连的NTN网关，可以为NB-IoT/eMTC节点提供非地面接入，相关终端通过服务链路能够访问NTN网络服务。

图 1：6G实现空天地全覆盖



资料来源：大唐移动《6G愿景与技术趋势白皮书》，国信证券经济研究所整理

图 2：5G多种NTN接入网络的典型波束覆盖



资料来源：3GPP，国信证券经济研究所整理

空间卫星三大体系：通信、遥感与导航

- ◆ 以具体用途类型划分，应用卫星最主要可分为——通信卫星、遥感卫星和导航卫星，本文主要聚焦通信卫星领域，尤其是当前快速发展的低轨卫星互联网：
- 卫星通信：以卫星为中继站进行数据通信，可用于传输电话、电报、传真、数据和电视等信息。具体分为卫星广播业务（BSS）、卫星固定业务（FSS）和卫星移动业务（MSS）。国内已应用的代表卫星如中星系列（广播业务）、天通卫星（移动业务）等。

➢ 卫星遥感：从高空通过传感器（光学/雷达）探测及接收来自目标物体所辐射及反射的电磁波信息，从而识别物体的属性及其空间分布等特征，应用于国防、自然资源、交通、气象、海洋、环保、应急等领域。国内已应用的代表卫星如遥感系列、吉林一号等。

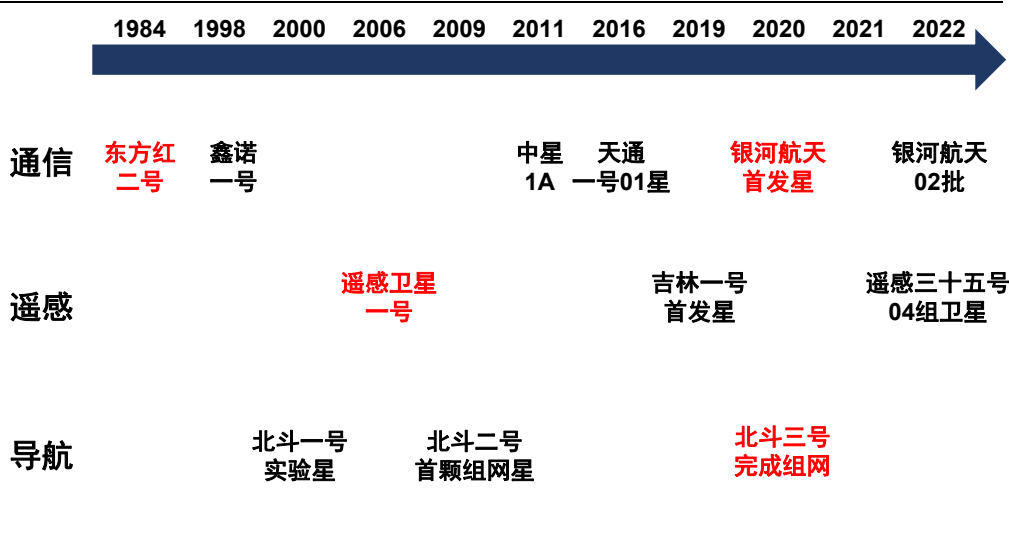
➢ 卫星导航：提供基于全球卫星导航系统的导航、定位、授时等基础信息服务以及相关的行业应用服务。目前全球主要四大卫星导航系统包括GPS、北斗、伽利略、格洛纳斯。
- ◆ 从国内建设进展来看，导航完成，遥感稳步建设，低轨通信卫星建设蓄势待发。北三组网完成标志我国全球导航卫星系统已完成建设；遥感卫星方面，遥感系列截至目前已发射36颗卫星，持续稳步建设中；通信卫星方面，目前主要以高轨广播或移动通信卫星为主，低轨卫星星座建设蓄势待发。

表 1：卫星依用途分类

| 卫星分类 | 通信 | 遥感 | 导航 |
|----------|---|--|---|
| 简介 | 以卫星为中继站进行数据通信 | 从高空通过传感器（光学/雷达）探测及接收来自目标物体所辐射及反射的电磁波信息，从而识别物体的属性及其空间分布等特征 | 提供基于全球卫星导航系统提供导航、定位、授时等基础信息服务以及相关的行业应用服务 |
| 应用 | 用于传输电话、电报、传真、数据和电视等信息 | 应用于国防、自然资源、交通、气象、海洋、环保、应急等领域 | 大众市场、行业市场、特种市场 |
| 国内部分代表型号 | 中星系列（广播服务） 天通卫星（移动业务） | 遥感系列、 吉林一号等 | 北斗 |
| 图例 |  |  |  |

资料来源：中国卫通，北斗卫星导航系统官网，中新网，国信证券经济研究所整理

图 3：国内卫星建设进展



资料来源：央视网，国信证券经济研究所整理

- ◆ 低轨卫星主要指运行在低地球轨道（距离地面500–2000km，LEO）的卫星。对比高轨（地球静止轨道，GEO）卫星，在通信应用中，低轨具有距离近、传输时延小、链路损耗低、发射灵活、应用场景丰富、整体制造成本低等优势。低轨卫星单个卫星的覆盖范围一般在几百公里到上千公里直径的面积，低轨卫星一般通过南北方向旋转结合地球自转，通过多个卫星实现全球覆盖。
- ◆ 因此，低轨卫星是下一代空间信息基础设施发展趋势。低轨卫星已成为当前卫星互联网建设最契合的卫星类型。但不局限于通信，例如在导航方面，低轨卫星也是进一步提升卫星导航性能的潜在技术途径，助力我国下一代综合定位导航授时体系的建设。因此，低轨卫星已成为下一代空间信息基础设施建设的发展趋势。

表 2：卫星轨道细分类

| 卫星轨道类型 | 轨道高度 | 卫星用途 |
|----------------|--------------|----------------|
| LEO（低地球轨道） | 500–2000km | 对地观测、测地、通信、导航等 |
| MEO（中地球轨道） | 2000–35786km | 导航 |
| GEO（地球静止轨道） | 35786km | 通信、导航、气象观测等 |
| SSO（太阳同步轨道） | <6000km | 观测等 |
| IGSO（倾斜地球同步轨道） | 35786km | 导航 |

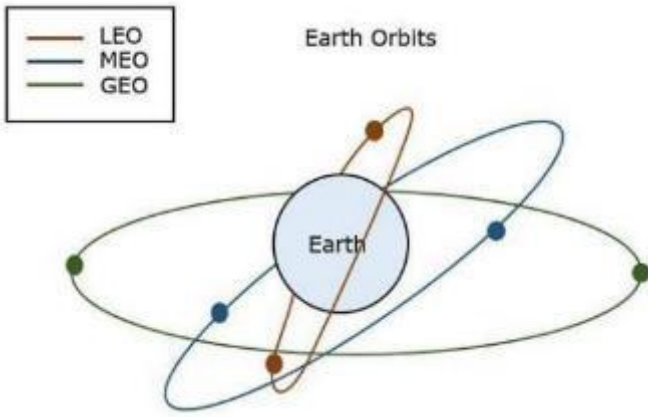
资料来源：赛迪顾问，ITU，国信证券经济研究所整理

图 4：不同轨道在轨卫星数量（截至2021年5月1日）



资料来源：Secure World Foundation，国信证券经济研究所整理

图 5：对比高轨卫星，低轨卫星距离近，传输时延小，信号衰减小



| | 高轨卫星 | 低轨卫星 |
|-------|--------|-----------|
| 传输距离 | 远 | 近 |
| 时延 | 大 | 小 |
| 信号衰减 | 大 | 小 |
| 单卫星覆盖 | 覆盖广 | 几百到上千公里直径 |
| 卫星体积 | 几吨到几十吨 | <几百公斤 |
| 研发成本 | 几亿到几十亿 | 10–20万/公斤 |
| 研制周期 | 5–10年 | 1–3年 |
| 生命周期 | 15–20年 | 1–5年 |
| 单星容量 | 大 | 小，系统容量大 |
| 典型卫星 | 中星16 | Starlink |

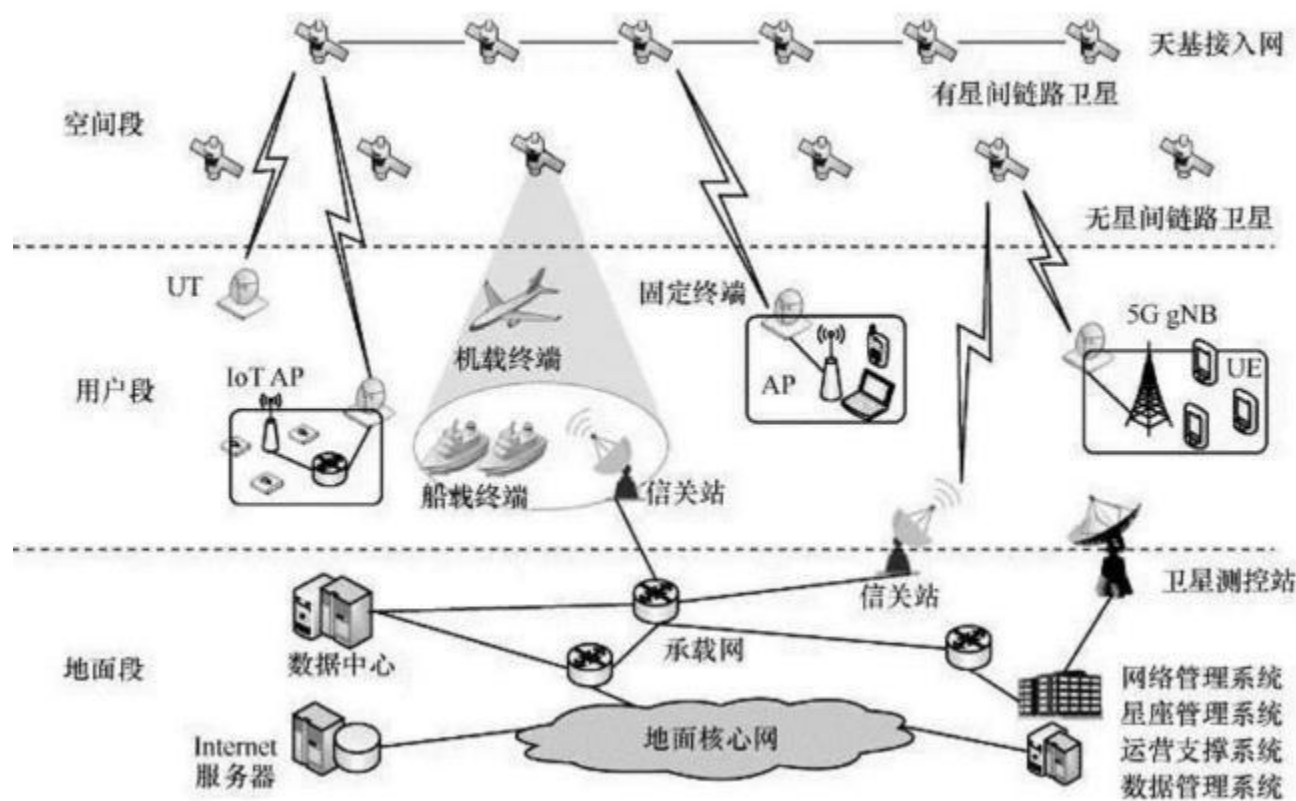
资料来源：鹏鹄物宇，孙晨华等《高低轨宽带卫星通信系统特点对比分析》[J]，国信证券经济研究所整理

低轨卫星系统：基本构成与原理

◆ 典型的低轨星座系统包括空间段、用户段和地面段3个部分：

- 空间段由低轨卫星和星间链路组成，形成空间传输主干网络。卫星在空间中均匀排布，普遍采用均匀对称的星座构型。卫星作为空间网络的接入节点，起到天基移动基站的功能。卫星间可建立微波或激光星间链路，实现数据包中继转发。
- 用户段包括各类用户终端、综合信息服务平台以及业务支撑系统等。由于功率限制，目前低轨宽带通信必须采用固定终端（如Starlink地面天线+路由器）的形式建立局域网络以用于家庭接入；移动卫星终端主要用于卫星通话，远期集成于消费端应用或成为趋势。根据上述终端形态的不同与应用场景的差异，卫星通信也大体分为卫星固定业务与卫星移动业务。
- 地面段包括信关站、综合运控管理系统以及连接地面核心网的基础设施。信关站起到连接卫星网络和地面网络的网关功能。综合运控管理系统包括网络、星座、数据、运营、数据等管理系统以及卫星测控站等，对全网进行综合管理和监控。

图 6：新型低轨星座网络总体架构



资料来源：陈全、杨磊等《低轨巨型星座网络：组网技术与研究现状》[J]，国信证券经济研究所整理

- ◆ 从带宽角度，卫星通信可分为卫星宽带通信和卫星窄带通信：
- **卫星宽带通信：**主要用于没有地面网覆盖区域用户的高速传输需求。卫星宽带通信工作频段较高（C、Ku、Ka等），带宽较大，传输速率较高，主要用于没有地面网覆盖区域用户的高速传输需求，例如邮轮、科考站、航空、偏远地区上网（国外）等。低轨宽带卫星建设是当前最受关注的领域，代表运营商包括Starlink、OneWeb、星网等。
 - **卫星窄带通信：**卫星物联网应用，主要用于没有地面网覆盖区域的数据采集、远程控制等业务。卫星窄带通信工作频段较低（UHF/VHF、L、S），带宽一般不超过1MHz，传输速率在几kbps。因此卫星窄带通信主要用于卫星物联网应用，覆盖没有地面网区域的数据采集、远程控制等业务，代表运营商如铱星二代，Orbcomm等。

表 3：卫星宽带通信vs卫星窄带通信

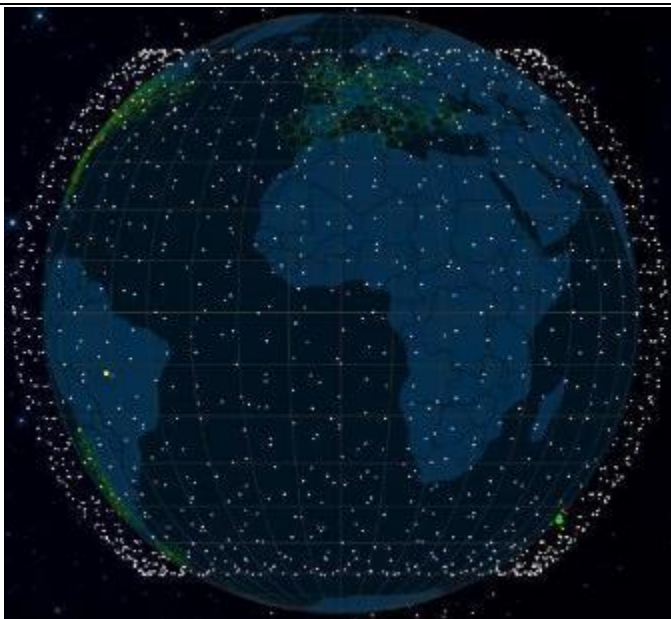
| | 卫星宽带通信 | 卫星窄带通信 |
|-------|--|---|
| 工作频段 | C频段(5GHz)、Ku频段(12-18GHz)、Ka频段(20-30GHz)及以上 | UHF/VHF频段（200-400MHz）、L频段（1.5GHz）、S频段（2GHz） |
| 带宽 | 一般在几十到几百MHz | 一般不超过1MHz |
| 传输速率高 | 几百Mbps到Gbps | 一般在几kbps |
| 终端体积 | 较大，一般是0.5米到1米直径的天线 | 一般要求使用小型化天线，10-20cm |
| 终端功耗 | 较大，一般功耗在100-200W | 一般要求小于10w |
| 终端成本 | 较大，一般在20万到100多万 | 一般在几千元 |
| 应用领域 | 没有地面网覆盖区域用户的高速传输需求，例如邮轮、科考站、航空、偏远地区上网（国外）等 | 没有地面网覆盖区域的数据采集、远程控制等业务 |
| 代表运营商 | Starlink、OneWeb、星网等 | 铱星二代、Orbcomm、行云计划等 |

资料来源：鹏鹄物宇，国信证券经济研究所整理

卫星互联网已纳入新基建，低轨卫星完美契合

- ◆ 卫星互联网是基于卫星通信的互联网，通过发射一定数量的卫星形成规模组网，从而辐射全球，构建具备实时信息处理的大卫星系统，是一种能够完成向地面和空中终端提供宽带互联网接入等通信服务的新型网络，具有广覆盖、低延时、宽带化、低成本等特点。卫星互联网是继有线互联、无线互联之后的第三代互联网基础设施革命，已被纳入我国新基建的范畴。
- ◆ 低轨卫星通信网络契合卫星互联网建设。卫星通信是卫星互联网建设的基础，而低轨卫星由于轨道低，具备传输延时小、链路损耗低、发射灵活、应用场景丰富、制造成本低等优点，且可通过增加卫星数量提高系统容量，适合应用于卫星互联网。目前，低轨卫星通信网络在全球通信和互联网接入、5G、物联网、太空军事能力应用等方面极具潜力，是商业航天技术和主要大国太空战略博弈的必争之地。

图 7：低轨卫星通信网络Stralink在轨卫星



资料来源：satellitemap，国信证券经济研究所整理

图 8：低轨卫星网络工作示意图

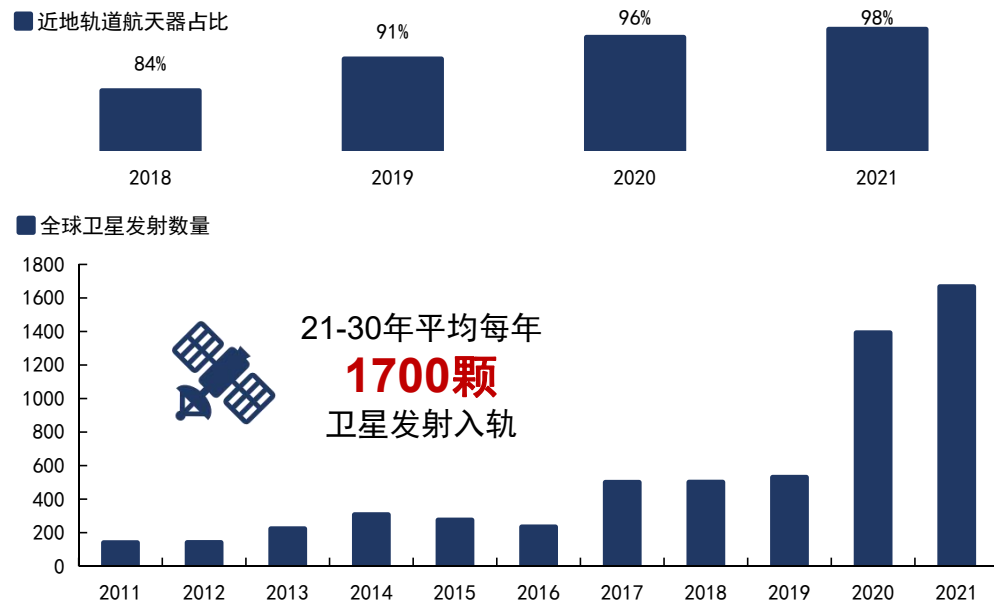


资料来源：臻镭科技招股说明书，国信证券经济研究所整理

低轨卫星市场：空间巨大，全球市场加速发展

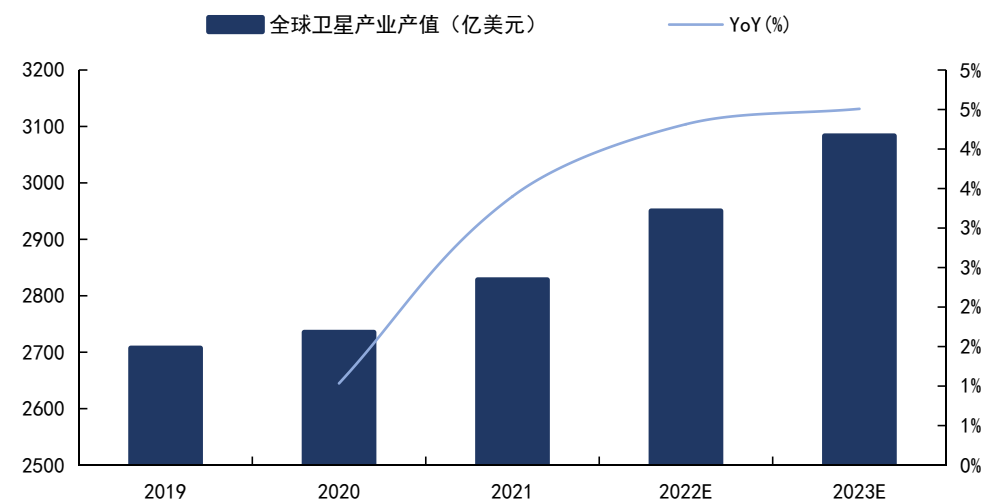
- ◆ 低轨卫星已成为全球最主要的入轨航天器。由于近地轨道建设的卫星星座数量呈爆发式增长，2018年以来，近地轨道入轨航天器比例从未低于80%——以2021年为例，全球144次航天发射活动送入的1816个航天器，1777个运行于近地轨道，占比近98%。
- ◆ 低轨卫星建设仍将加速，推动全球卫星产值增长。展望未来，更多低轨卫星星座计划建设已提上日程。受此推动，据Euroconsult预测，2021-2030年将年均发射1700颗卫星，比过去十年增加了4倍。据SIA和TrendForce数据，2021年，全球卫星产业市场规模达到2828亿美元，预计2023年将突破3000亿美元。

图 9：近地轨道航天器占比及全球卫星发射数量



资料来源：太空与网络，Euroconsult，国信证券经济研究所整理

图 10：全球卫星产值（亿美元）及同比增速



资料来源：SIA，TrendForce，国信证券经济研究所整理

产业驱动力一：纳入新基建，顶层设计给予支持



- ◆ **空间信息基础设施已纳入新基建范畴。**2020年4月，卫星互联网首次纳入“新基建”范围，社会资本助推中国航天进入商业时代，全面开启空天轨道资源的战略布局。卫星互联网建设已经上升为国家战略性工程，同遥感工程和导航工程成为我国天地一体化信息系统的重要组成部分。
- ◆ **具体来看，从顶层规划层面，**《“十四五”信息通信行业发展规划》明确提出推动高轨卫星与中低轨卫星协调发展，构建覆盖全球、天地一体的信息网络；**多项“十四五”规划亦支持空间信息基础设施的创新发展。****从地方政策方面，**西安、北京、上海、湖北等多地结合各省市发展特点推出政策支持，涵盖了火箭运载、卫星、载荷、原材料、制造、芯片等各个产业方向。

表 4：空间信息基础设施纳入新基建，政策支持加大

| 时间 | 政策 | 部门/地方 | 相关内容 |
|----------|-------------------------------|---------------|---|
| 2015年10月 | 国家民用空间基础设施中长期发展规划（2015-2025年） | 发改委、财政部、国防科工局 | 探索国家民用空间基础设施市场化、商业化发展新机制，支持和引导社会资本参与国家民用空间基础设施建设和应用开发，积极开展区域、产业化、国际化及科技发展等多层面的遥感、通信、导航综合应用示范，加强跨领域资源共享与信息综合服务能力，加速与物联网、云计算、大数据及其他新技术、新应用的融合，促进卫星应用产业可持续发展，提升我国空间基础设施全面支撑经济社会发展的水平和能力。 |
| 2020年4月 | 发改委4月份例行新闻发布会 | 发改委 | 新型基础设施包括以5G、物联网、工业互联网、 卫星互联网 为代表的通信网络基础设施， |
| 2021年11月 | “十四五”信息通信行业发展规划 | 工信部 | 加强卫星通信顶层设计和统筹布局，推动高轨卫星与中低轨卫星协调发展。推进卫星通信系统与地面信息通信系统深度融合，初步形成覆盖全球、天地一体的信息网络，为陆海空天各类用户提供全球信息网络服务。积极参与卫星通信国际标准制定。鼓励卫星通信应用创新，促进北斗卫星导航系统在信息通信领域规模化应用，在航空、航海、公共安全和应急、交通能源等领域推广应用。 |
| 2021年12月 | “十四五”国家信息化规划 | 网信办 | 探索建设前沿信息基础设施。加快布局卫星通信网络等面向全球覆盖的新型网络，实施北斗产业化重大工程，建设应用示范和开放实验室。加快北斗系统、卫星通信网络、地表低空感知等空天网络基础设施的商业应用融合创新。 |
| 2022年1月 | “十四五”数字经济发展规划 | 国务院 | 加速空间信息基础设施升级。提升卫星通信、卫星遥感、卫星导航定位系统的支撑能力，构建全球覆盖、高效运行的通信、遥感、导航空间基础设施体系。 |
| 2020年4月 | 西安国家民用航天产业基地支持商业航天产业发展的扶持办法 | 西安 | 在商业航天火箭研制与发射，卫星制造、测控、数据应用等重点领域引进培育一批掌握核心关键技术，有引领带动作用的企业。对成立时间不超过三年的企业，经评审，给予最高100万元的启动资金支持。 |
| 2021年1月 | 北京市支持卫星网络产业发展的若干措施 | 北京 | 构建具有引领性的卫星网络星座和运营平台，形成卫星网络标准体系，拓展一批卫星网络重大应用场景，打造覆盖火箭、卫星、地面终端、运营服务及核心软硬件、系统运控的卫星网络全产业链，培育北斗创新及融合应用的产业生态 |
| 2022年2月 | 关于本市推进空间信息产业高质量发展的实施意见 | 上海 | 到2025年，以构建通导遥一体化空间信息系统为导向，形成数字赋能的空间信息技术创新体系和产业融合发展新格局，打造全球空间信息领域科技创新策源地、数智制造新高地、优势企业集聚地、应用服务输出地。 |
| 2022年3月 | 关于加快推进我市航天产业发展的实施意见 | 武汉 | 推动火箭、卫星和空间飞行器制造，鼓励卫星互联网、天基物联网等发展。对于本地配套率30%以上的高轨卫星、低轨卫星以及空间飞行器，按照不超过项目实际投入的20%分别给予最高5000万元资金支持。 |

资料来源：发改委、工信部、国务院等官网，国信证券经济研究所整理

产业驱动力一：纳入新基建，顶层设计给予支持

◆ 星网的成立是国家顶层设计支持卫星互联网的核心体现。中国卫星网络集团有限公司（星网公司）2021年4月26日成立，新组建的中国卫星网络集团有限公司由国务院国有资产监督管理委员会代表国务院履行出资人职责，列入国务院国有资产监督管理委员会履行出资人职责的企业名单。星网公司由中国电子信息产业集团、中国航天科工集团等牵头成立，后续将负责整合并统筹我国原先的低轨卫星星座计划，定位上接近目前的三大运营商，而其央企定位也彰显我国对于卫星互联网建设的重视。

图 11：2021年4月星网公司成立



资料来源：国资委官网，国信证券经济研究所整理

表 5：星网公司部分现任领导简历

| 职务 | 姓名 | 简历 |
|-----------|-----|---|
| 党组书记、董事长 | 张冬辰 | 历任电子工业部第五十四研究所助理工程师、工程师、室主任、所长助理；1998年12月，任中华人民共和国信息产业部第五十四研究所副所长；2004年03月，任中国电子科技集团公司第五十四研究所所长、党委委员；2008年03月，历任中国电子科技集团有限公司副总经理、党组成员，中国电子信息产业集团有限公司党组副书记、副总经理；2018年02月，任中国电子信息产业集团有限公司总经理、党组副书记。现任中国卫星网络集团党组书记、董事长。 |
| 党组副书记、总经理 | 杨保华 | 1988年03月-2000年02月，任航天工业部、航空航天工业部、中国航天工业总公司、中国航天科技集团公司第五研究院502所设计员、研究室副主任、所长助理，第五研究院质量技术部副部长、502所副所长；2000年02月-2007年12月，任第五研究院院长助理、副院长；2007年12月-2014年08月，任第五研究院院长兼党委副书记；2014年8月-，任中国航天科技集团公司副总经理、党组成员。现任中国卫星网络集团有限公司党组副书记、董事、总经理。 |

资料来源：中国青年报，京报网，中国航天报，国信证券经济研究所整理

产业驱动力二：频谱与轨位资源有限，太空“圈地运动”提速

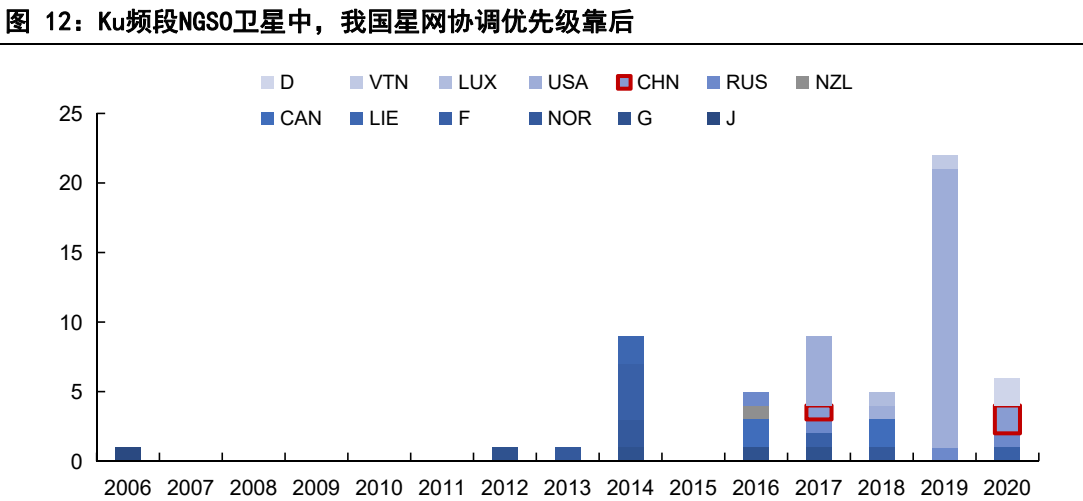


- ◆ 近地轨道位置和频谱资源均为有限资源，先到先得模式下，太空“圈地运动”提速。空间轨道和频段作为能够满足通信卫星正常运行的先决条件，已成为低轨卫星发展必备的战略资源。“先占先得”特征，推动我国低轨卫星建设加速：
 - 频率方面，先申请者享有优先使用地位，申报时间越早，协调优先级越高。卫星频率的使用需要向国际电信联盟（ITU）进行申报，通常需经历提前公布阶段（A阶段）、协调阶段（C阶段）和通知阶段（N阶段）。频率申报和协调的基本规则是先申报者有优先的使用地位，后申报者需要证明自己频率的使用不影响先申报者、并获得先申报使用该频率用户的同意。以我国星网为例，目前“GW-2”及“GW-A59”均处于协调阶段，在Ku等频段协调优先级较为靠后。同时，ITU对申报后建设时间也有硬性规定——运营商向国际电信联盟申请一个低轨星座和通信频段后需在7年内发射一颗卫星并正常运行90天，然后在两年内发射卫星总量的10%，5年内发射50%，7年后将申请的卫星数量全部发射完毕。
 - 频率的落地使用具有国界之分。虽然频率申报具有一定“先占先得”特征，但由于频率管理是国家的基本主权内容，频率的落地使用是具有国界之分的。例如星链未在中国申请频率申报，也未在中国申请信号落地，相关频率的使用不受我国保护。

表 6：主要卫星频段划分情况

| 频段 | 范围（GHz） | 下行频率（GHz） | 应用领域 |
|----|-------------|-----------|--------------------------|
| L | 1-2 GHz | 1.5 GHz | 卫星电话、天文无线电、航空通信、数字声音广播 |
| S | 2-4 GHz | 3 GHz | 宇航通信、卫星电话、声音广播/转播 |
| C | 4-8 GHz | 4 GHz | 声音广播、电视广播、声音/电视转播 |
| X | 8-12 GHz | | 军用通信 |
| Ku | 12-18 GHz | 12 GHz | 声音、电视广播、声音/电视转播、互联网 |
| Ka | 26.5-40 GHz | 20 GHz | 卫星电话、声音/电视广播，声音/电视转播，互联网 |
| Q | 33-50 GHz | 40-50 GHz | 卫星通信，地面微波通信 |
| V | 40-75 GHz | 40-50 GHz | 卫星通信，地面毫米波通信 |

资料来源：C114通信网，国信证券经济研究所整理

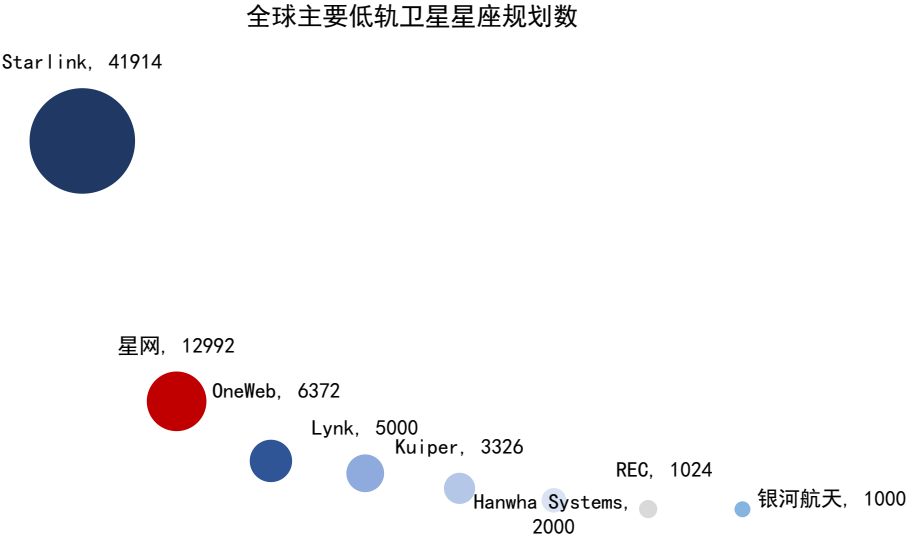


资料来源：ITU，杨文翰等《星链计划卫星网络资料申报情况分析》[J]，国信证券经济研究所整理

产业驱动力二：频谱与轨位资源有限，太空“圈地运动”提速

- 轨道位置同样具有排他性和稀缺性。一方面，在卫星网络资料申报也需要提交相关轨道信息，包括卫星的轨道参数、每个轨道上卫星的数量、卫星间的相位关系等。另一方面，由于为了保证卫星运行的安全，卫星在空间运行需要安全距离间隔，因此近地轨道可容纳的卫星数量本身是有限的，根据上海航天技术研究院产业发展部副部长介绍，地球近地轨道只能容纳约6万颗卫星。因此，先行发射的卫星能够占据更理想的轨道平面，同样具有“先占先得”的属性。

图 13：低轨频率和轨道资源有限，太空“圈地运动”提速



资料来源：Secure World Foundation，国信证券经济研究所整理

表 7：星网卫星网络资料申报情况

| 卫星网络 | 接收日期 | 卫星总数 | 轨道面数量 | 每轨卫星数 | 轨道高度(km) | 轨道倾角(deg) | 频段 | 申报阶段 |
|--------|--------------|------|-------|-------|----------|-----------|-----------------|------|
| GW-2 | 2020. 09. 11 | 6912 | 36 | 48 | 1145 | 30 | L/S/C/X/Ku/Ka/Q | C阶段 |
| | | | 36 | 48 | 1145 | 40 | | |
| | | | 36 | 48 | 1145 | 50 | | |
| | | | 36 | 48 | 1145 | 60 | | |
| GW-A59 | 2020. 09. 11 | 6080 | 16 | 30 | 590 | 85 | L/S/C/X/Ku/Ka/Q | C阶段 |
| | | | 40 | 50 | 600 | 50 | | |
| | | | 60 | 60 | 508 | 55 | | |

资料来源：ITU，国信证券经济研究所整理

产业驱动力二：频谱与轨位资源有限，太空“圈地运动”提速



- ◆ 具体来看全球主要低轨卫星星座建设规划：
- 海外方面，SpaceX于2015年推出StarLink计划，根据规划，其三阶段低轨星座合计建设规模将超4.3万个；英国通信公司Oneweb推出Oneweb星座计划，初始星座将由648颗Ku波段卫星组成，第二、三阶段将发射2000颗V波段卫星；亚马逊Kuiper计划5年内进行83次发射，将3226颗卫星送入近地轨道。
 - 国内方面，2021年，中国卫星网络集团（“星网”）成立，将整合统筹国有的低轨卫星互联网建设计划，根据其向ITU提交的卫星星座计划，组网卫星规模接近1.3万颗；民营企业方面，银河航天提出的“银河Galaxy”卫星星座计划到2025年前发射约1000颗卫星；时空道宇主要定位高精度定位导航，预计到2025年底将拥有72颗卫星，2030年底将拥有168颗卫星。

表 8：各国主要卫星互联网星座部署计划

| 国家 | 公司 | 星座名称 | 数量（颗） | 频段 | 用途 |
|-----|--------------|-------------------------|-------|----------------|--------|
| 美国 | Space X | StarLink | 41914 | Ku, Ka, Q/V, E | 宽带 |
| 英国 | OneWeb | OneWeb | 6372 | Ku, Ka, V, E | 宽带 |
| 美国 | 铱星公司 | 第二代铱星 | 75 | - | 宽带、STL |
| 美国 | 波音 | 波音 | 2956 | V | 宽带 |
| 美国 | 亚马逊 | Kuiper | 3236 | Ka | 宽带 |
| 美国 | Facebook | Facebook Athena Project | 77 | - | - |
| 加拿大 | Telesat | Telesat | 298 | Ka | 宽带 |
| 加拿大 | AAC Clyde | Kepler | 140 | Ku/Ka | 物联网 |
| 印度 | Astrome | Space Net | 150 | 毫米波 | 宽带 |
| 俄罗斯 | Yaliny | Yaliny | 135 | - | 宽带 |
| 德国 | KLEO Connect | KLEO | 624 | Ka | 工业物联网 |
| 韩国 | 三星 | 三星 | 4600 | - | 宽带 |

资料来源：铖昌科技招股说明书，国信证券经济研究所整理

表 9：国内主要低轨卫星星座计划

| 属性 | 星座名称 | 运营方 | 数量（颗） | 用途 |
|----|-----------|----------------|-------|---------|
| 国有 | 星网 | 中国卫星网络集团有限公司 | 12992 | 卫星互联网 |
| | 鸿雁星座 | 东方红卫星移动通信有限公司 | 324 | 宽带 |
| | 虹云工程 | 中国航天科工集团有限公司 | 156 | 宽带 |
| | 天地一体化信息网络 | 中国电科某所 | 100 | 宽带 |
| | 天基互联星座 | 上海蔚星数据科技有限公司 | 186 | 宽带 |
| | 行云工程 | 航天行云科技有限公司 | 80 | 窄带（物联网） |
| | “瓢虫系列” | 西安中科天塔科技股份有限公司 | 72 | 宽带 |
| 民企 | 银河 | 银河航天（北京）科技有限公司 | 1000 | 宽带 |
| | 天启 | 北京国电高科科技有限公司 | 36 | 宽带 |
| | | 浙江时空道宇科技有限公司 | 168 | 导航增强 |
| | 灵鹊 | 北京零重空间技术有限公司 | 378 | 遥感 |
| | 吉林一号 | 长光卫星技术有限公司 | 138 | 遥感 |

资料来源：铖昌科技招股说明书，C114通信网，国信证券经济研究所整理

产业驱动力三：星网第一批集采落地，行业步入加速发展期



◆ 星网近期完成规模集采，本次招标两种型号通信卫星：

- 通信卫星01中标结果：第一中标人为中国空间技术研究院、第二中标人为上海微小卫星工程中心和中国电子科技集团公司第五十四研究所联合体。
- 通信卫星02中标结果：第一中标人为中国空间技术研究院、第二中标人为上海微小卫星工程中心、第三中标人银河航天（西安）科技有限公司。

图 14：中国星网卫星01/02招标公示

| | | | | | | | |
|-----------------|----------------|------------|---------|-----------------|-----------|------|----|
| 中国星网网络系统研究院有限公司 | | | | | | | |
| 招标公示 | | | | | | | |
| 序号 | 项目名称 | 发布日期 | 信息类型 | 招标单位 | 中标单位 | 中标金额 | 内容 |
| 1 | 通信卫星01中标公告 | 2022-10-18 | 中标结果 中标 | 中国星网网络系统研究院有限公司 | 中国空间技术研究院 | - | 详情 |
| 2 | 通信卫星02中标公告 | 2022-10-18 | 中标结果 中标 | 中国星网网络系统研究院有限公司 | 中国空间技术研究院 | - | 详情 |
| 3 | 通信卫星01招标公告 | 2022-10-18 | 招标公告 公告 | 中国星网网络系统研究院有限公司 | 中国空间技术研究院 | - | 详情 |
| 4 | 通信卫星02招标公告 | 2022-10-18 | 招标公告 公告 | 中国星网网络系统研究院有限公司 | 中国空间技术研究院 | - | 详情 |
| 5 | 通信卫星02-中标候选人公示 | 2022-10-13 | 中标候选人公示 | 中国星网网络系统研究院有限公司 | 中国空间技术研究院 | - | 详情 |
| 6 | 通信卫星01-中标候选人公示 | 2022-10-13 | 中标候选人公示 | 中国星网网络系统研究院有限公司 | 中国空间技术研究院 | - | 详情 |

资料来源：企查查，国信证券经济研究所整理

表 10：中国星网网络系统研究院有限公司招标结果

| | |
|----------|---------------------------------|
| 中标单位 | |
| 通信卫星01结果 | |
| 第一中标人 | 中国空间技术研究院 |
| 第二中标人 | 上海微小卫星工程中心和中国电子科技集团公司第五十四研究所联合体 |
| 通信卫星02结果 | |
| 第一中标人 | 中国空间技术研究院 |
| 第二中标人 | 上海微小卫星工程中心 |
| 第三中标人 | 银河航天科技有限公司 |

资料来源：企查查，国信证券经济研究所整理

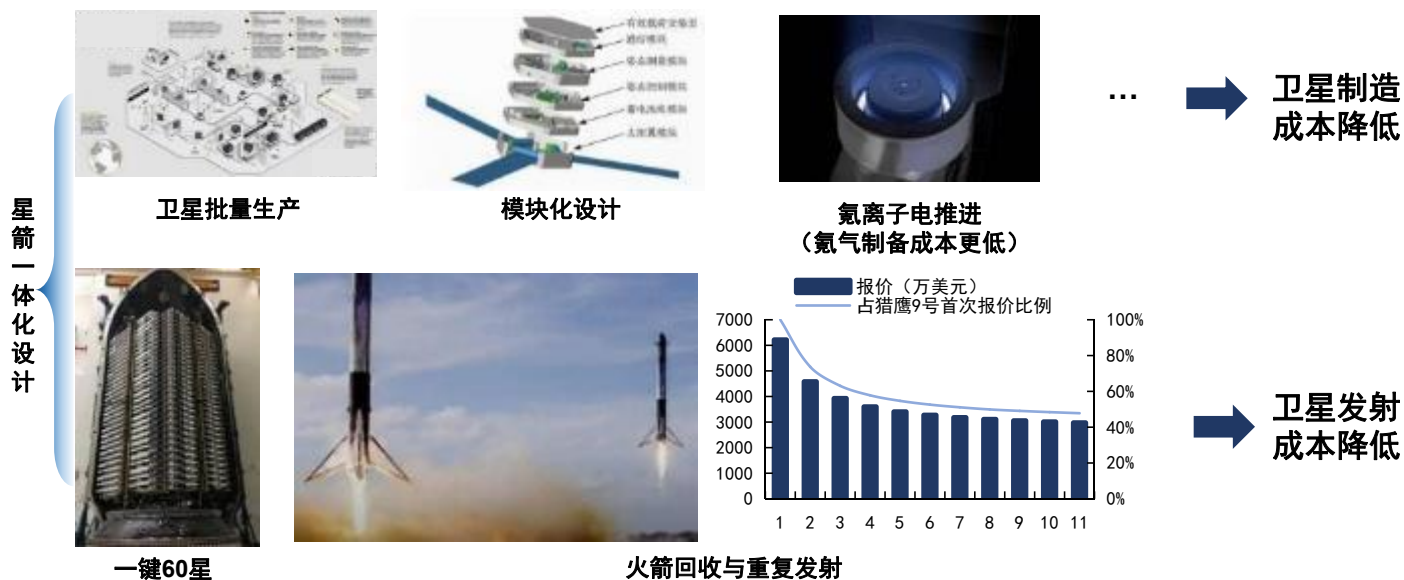
产业驱动力四：技术发展日益成熟，成本不断降低

- ◆ **第一次低轨卫星通信发展受制于技术和成本劣势。**铱星、全球星等低轨卫星系统在上世纪90年代便已推出，但技术不成熟和高昂的成本使应用难以推广。以初代铱星系统为例，该系统由摩托罗拉于1987年提出，至1998年完成66颗低轨道卫星布星任务，并于同年开通全球业务。但铱星系统总耗资近50亿美元，终端价格、业务收费等方面远超2G等地面通信系统；并且技术上存在缺陷，系统切换掉话率高达15%，严重影响通话质量。
- ◆ **技术改进成熟、成本降低，低轨卫星星座建设可行性大幅提升。**进入21世纪后，计算机、微机电、先进制造等行业的快速发展推动了通信技术和微小卫星技术升级换代，进而使得卫星通信成本的下降，低轨卫星通信星座凸显出广泛的应用前景。以Starlink为例，从卫星制造到运载均实现了成本的显著降低，单颗卫星的研制成本和发射成本已降低到低于50万美元。

图 15：铱星星座三维构型示意图（66 颗工作星）



图 16：Starlink 的卫星制造与卫星发射成本大幅降低



资料来源：Bluecosmo，国信证券经济研究所整理

资料来源：SpaceX，小火箭，国信证券经济研究所整理

产业驱动力四：技术发展日益成熟，成本不断降低

◆ 我国也正在重点突破卫星批量制造、一箭多星等降低成本关键技术。卫星制造方面，由中国航天科工集团研制、生产及安装的中国首条卫星智能生产线在武汉试运行，可实现年产240颗以上小卫星的设计产能目标；银河航天南通卫星超级工厂设计具备日均生产一颗以上卫星产能。卫星发射方面，2022年2月27日长征八号实现一箭22星。政策亦持续聚焦相关关键技术突破，如上海市《关于本市推进空间信息产业高质量发展的实施意见》提出突破商业卫星批量设计制造等关键技术、开发垂直起降可重复使用火箭、建设低成本商业卫星批量研产线与火箭脉动式总装线等。

图 17：我国首条卫星智能生产线，可年产240颗以上小卫星



资料来源：湖北日报，国信证券经济研究所整理

图 18：长征八号实现一箭22星



资料来源：新华社，国信证券经济研究所整理

图 19：上海市推进卫星制造、发射降本关键技术突破

- 突破商业卫星批量设计制造等关键技术
- 开发垂直起降可重复使用火箭
- 打造高层级航天器研发平台
- 建设低成本商业卫星批量研产线、火箭脉动式总装线

资料来源：《关于本市推进空间信息产业高质量发展的实施意见》，国信证券经济研究所整理

◆ 商业航天领域投融资活跃，推动民营企业发展。2015年中国商业航天起步发展，在国家政策的大力推动和支持下，民间资本开始涌入商业航天赛道，据企查查，2021年我国商业航天项目融资事件共35起，披露融资金额达64.5亿元。其中，火箭、卫星的研发企业如九州云箭、中科宇航、东方空间、天链测控、火箭派、星际开发、微纳星空等公司受青睐。民营力量参与火箭制造和卫星制造，有助于增强火箭运力和卫星制造能力，推动低轨卫星星座建设。

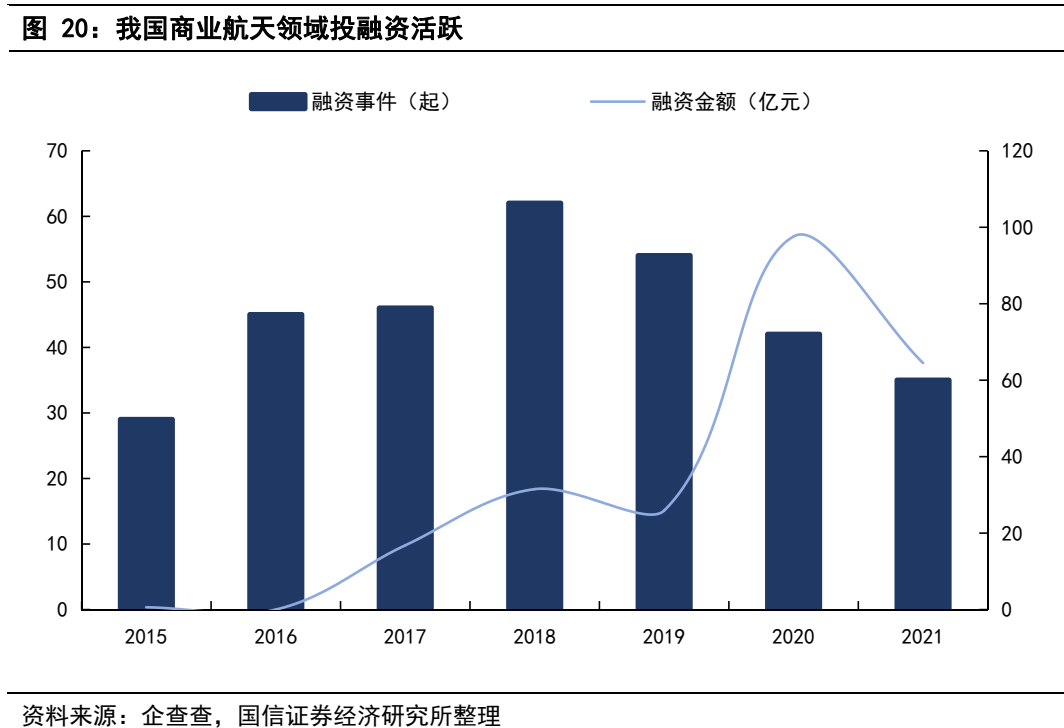


表 11：火箭及卫星研发制造企业获青睐（2021）

| 公司名称 | 业务 | 融资日期 | 融资轮次 | 融资金额 |
|-------|--------------|------------|--------|----------|
| 九州云箭 | 液体火箭发动机等 | 2021-01-20 | A轮 | 过亿人民币 |
| 九天微星 | 商业微小卫星定制等 | 2021-02-03 | 战略投资 | 亿级人民币 |
| 千乘探索 | 卫星研制等 | 2021-03-05 | A轮 | 过亿人民币 |
| 航升卫星 | 微小卫星研发及空间部件等 | 2021-04-01 | Pre-A轮 | 3000万人民币 |
| 宇航推进 | 商业航天火箭发动机 | 2021-04-08 | Pre-A轮 | 亿级人民币 |
| 中科宇航 | 火箭研发制造 | 2021-05-06 | B+轮 | 近2亿人民币 |
| 东方空间 | 火箭研发制造 | 2021-06-09 | 天使轮 | 4亿人民币 |
| 火箭派 | 火箭研发制造 | 2021-07-03 | 天使轮 | 数千万人民币 |
| 微纳星空 | 微小卫星研发设计制造 | 2021-08-19 | Pre-B轮 | 3亿人民币 |
| 天兵科技 | 宇航推进系统 | 2021-08-04 | 战略融资 | 未披露 |
| 星空动力 | 霍尔推进器 | 2021-10-20 | 天使轮 | 千万元人民币 |
| 天仪研究院 | 遥感SAR星座建设和服务 | 2021-11-19 | 战略融资 | 未披露 |
| 火箭派 | 火箭研发制造 | 2021-12-12 | 天使+轮 | 数千万人民币 |

资料来源：企查查，国信证券经济研究所整理

行业发展瓶颈一：通信协议融合标准尚未完善

- ◆ 卫星互联网和5G网络本相互独立，天地一体化网络是终极目标。当前，卫星通信主要使用星上透明转发的“弯管”模式，是独立网络架构，与地面网络并无融合。进入到融合阶段后，两种体系互补，卫星通信系统可借鉴地面完整网络架构在不同网络层面实现数据传输，将有利推动卫星通信快速发展和应用。
- ◆ 国内外卫星公司均在积极研究卫星通信与5G融合，以实现更大的卫星通信传输带宽和覆盖能力。2019年底我国“银河航天”宣布通信能力可达到10Gbps的5G低轨宽带卫星正式出厂，并于2020年发射。美国SpaceX公司的星链V2.0版本与T-Mobile公司的地面网络互通，利用星链卫星星座和T-Mobile的无线网络，为客户提供遍布美国大陆、夏威夷、阿拉斯加、波多黎各等地区和领海的文本消息通信服务。
- ◆ 网络融合将分步骤分阶段进行。最顶层按照承载网融合、核心网融合、接入网融合的网络融合步骤研究，逐步实现更深层次的融合，最终形成资源共享、随遇接入的一体化网络。

图 21：卫星透明转发示意和星载gNB基站DU

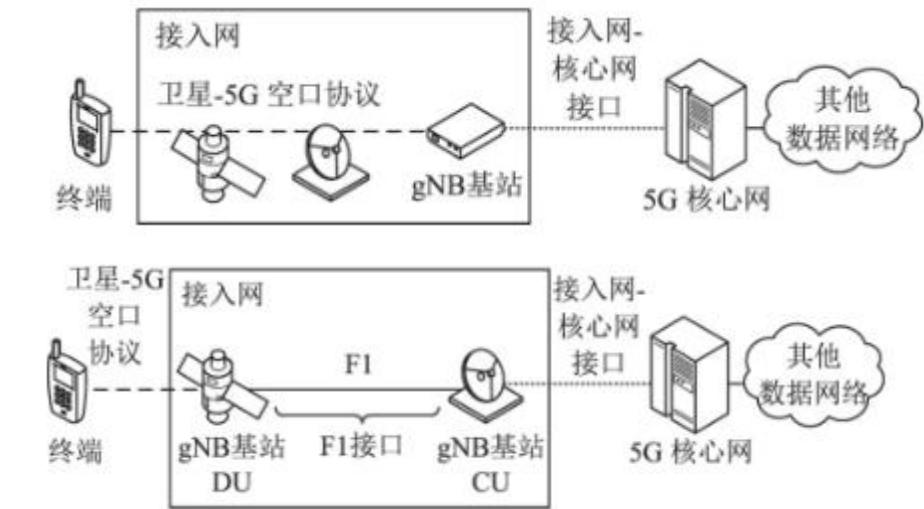


表 12：3种融合网络对比

| 类型 | 融合内涵 | 难易程度 | 面临挑战 |
|-------|--|----------------------|---------------------------------------|
| 承载网融合 | 卫星通信网络作为承载网，实现5G基站的回传，基站可以根据需求在地面承载网与卫星承载网间进行切换 | 较易，是卫星通信与地面5G融合的初级形态 | 卫星链路难以满足地面5G对承载网大容量、低时延的需求 |
| 核心网融合 | 卫星通信终端与地面移动通信终端统一编址、认证、计费、管理，网络按需选择利用卫星或者地面网络，接入网保留各自的空口协议 | 较难，是卫星通信与地面5G融合的进阶心跳 | 移动性管理问题突出，包括位置更新、切换等 |
| 接入网融合 | 卫星网络与地面网络采用相同的架构、传输和交换技术，星地构成一个整体，为用户提供一致的服务质量及星地无缝的漫游 | 最难，是卫星通信与地面5G融合的终极形态 | 星地链路特性带来的多普勒频移、频率管理与干扰，以及功率受限于定时提前等问题 |

资料来源：郑重等《卫星通信与地面5G融合发展路线探讨》【J】，国信证券经济研究所整理

资料来源：郑重等《卫星通信与地面5G融合发展路线探讨》【J】，国信证券经济研究所整理

行业发展瓶颈二：我国当前卫星制造成本有待进一步降低

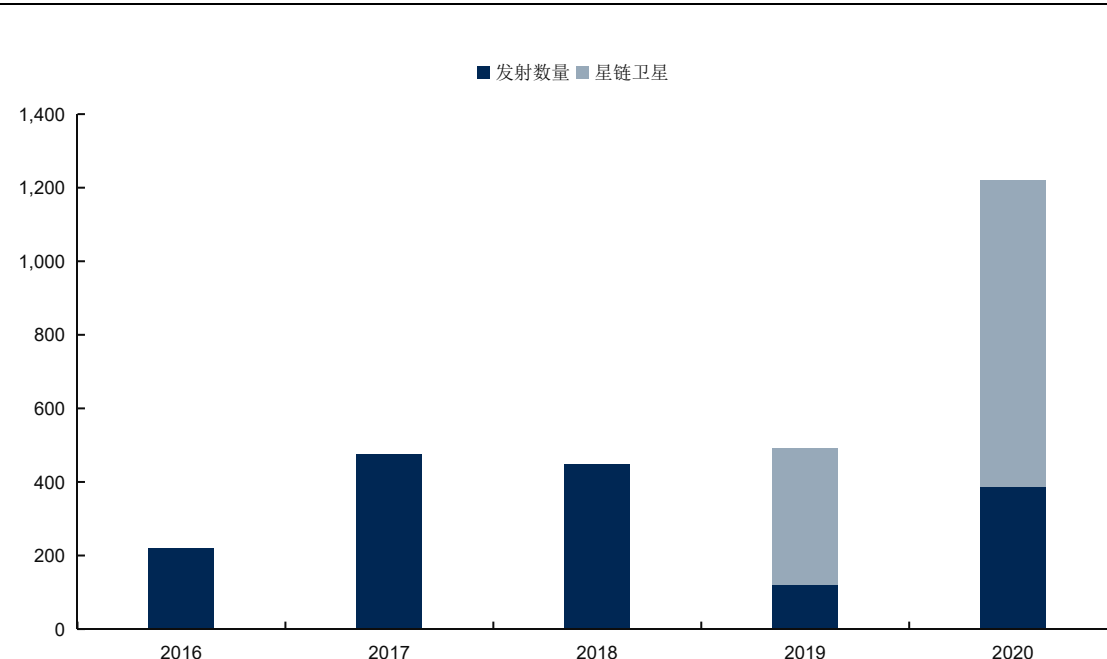
- ◆ 目前我国卫星研制成本约20万/公斤。长光卫星党委书记、副总经理贾宏光在发射“吉林一号”高分03星时表示，传统的“平台载荷”设计，载荷和平台界限分明，载荷要根据平台的设计调整，卫星的重量、体积难以灵活安排。而星载一体化技术增加了载荷设计的灵活性，重量、体积可通过设计进一步下降。“同样一个亚米级卫星，我们把重量控制到400多公斤，卫星研制成本大约在8000万元。”
- ◆ SpaceX星链研制成本约0.2万美元/公斤。星链卫星目前的v1.0型重260千克，根据马斯克介绍，卫星成本约50万美元，即0.2万美元/公斤（约等于1.4万人民币/公斤，加速人民币兑美元汇率为1:7）。
- ◆ 全球卫星制造成本降低，发射数量大幅提升。Starlink和OneWeb大幅降低了卫星制造成本，2020年全球卫星发射数量增值1281颗，比2019年的508增加1.5倍，这主要源自于成本降低后，Starlink和OneWeb的巨型低轨宽带卫星星座建设速度加快。

图 22：“吉林一号”高分03星批量化出厂



资料来源：长光卫星，国信证券经济研究所整理

图 23：2016-2020 年全球卫星发射（单位：颗）



资料来源：《卫星及应用产业发展白皮书》，国信证券经济研究所整理

行业发展瓶颈三：发射成本较高，新建发射基地正在推进

- ◆ 全球火箭发射成本普遍较高，“猎鹰”系列可回收方式成本优势明显。一般将运载火箭单位载荷发射服务价格作为表征运载火箭性价比的首选指标。美国主力一次性运载火箭“宇宙神”5、“德尔他”4H火箭执行LEO轨道单位载荷发射价格分别约合人民币5.6万元/千克和8万元/千克。“猎鹰”9火箭凭借重复使用技术，在LEO轨道和GTO轨道发射服务公开报价约合人民币2.6万元/千克和7.8万元/千克。
- ◆ 我国“长征”系列火箭低轨发射成本水平与“猎鹰”9火箭相当。“长征”二号C/D、“猎鹰”9、“长征”五号B、“长征”七号、“长征”八号等火箭处于第一梯队；“宇宙神”5、“联盟”2、“德尔他”4H火箭处于第二梯队，发射服务价格均高于5万元/千克。
- ◆ 首个商业航天发射场在文昌开工，为民营航天公司搭建“起飞平台”。2022年7月，海南商业航天发射场在海南文昌开工建设，成为我国第一个商业航天发射场。

表 13：国外主流运载货架发射服务价格

| 国家 | 运载火箭 | 运载能力/kg | 发射价格/万美元 |
|-----|-------------|--------------------------|----------|
| 美国 | “猎鹰”9 | LEO: 16500 GTO: 5500 | 6700 |
| 美国 | “猎鹰”9 重型 | LEO: 63800 GTO: 8000 | 62565 |
| 美国 | “宇宙神”5 | LEO: 19000 GTO: 8800 | 16400 |
| 美国 | “德尔塔”4 | LEO: 28000 GTO: 14000 | 35000 |
| 俄罗斯 | “质子”M | GTO: 6270 | 6500 |
| 俄罗斯 | “联盟”2 | LEO: 8200 GTO: 3250 | 8000 |
| 欧洲 | “阿里安”5ECA | GTO: 10500 | 13700 |
| 欧洲 | “织女星”VEGA-C | SSO: 2200 | 4000 |

资料来源：《中国航天》202208期【J】，国信证券经济研究所整理

表 14：国内外运载火箭发射价格对比

| 运载类型 | | 价格 |
|---------|------------------------------------|-----------|
| LEO第一梯队 | “长征”二号、“猎鹰”9、“长征”五号B、“长征”七号、“长征”八号 | 大于5万/公斤 |
| LEO第二梯队 | “宇宙神”5、“联盟”2、“德尔他”4H | 大于5万/公斤 |
| GTO第一梯队 | “长征”三号B、“长征”五号 | 6~10万/公斤 |
| GTO第二梯队 | “质子”M、“猎鹰”重型、“猎鹰”9、“阿里安”5 | 6~10万/公斤 |
| GTO第三梯队 | “宇宙神”5、“联盟”2、“德尔他”4H | 12~16万/公斤 |

资料来源：《中国航天》202208期【J】，国信证券经济研究所整理

图 24：在建海南商业航天发射场



资料来源：文昌重兴网，国信证券经济研究所整理

卫星通信发展趋势一：构建星间链路，激光通信应用于太空

- ◆ 卫星网络的工作模式包括天星地网、天基网络与天网地网，星间链路构建成为趋势。传统卫星通信如OneWeb一期一般采用天星地网，即卫星间无星间链路，仅作为地面网络的延伸。通过卫星间搭载星间链路，可减少地面网络设施的参与。具体来说，完全排除地面网络设施即为天基网络，而卫星间由星间链路连接，地面信关站通过地面网络连接的方式称为天网地网。天网地网模式充分利用了卫星的广域覆盖优势和地面网络的容量、资源优势，实现了天地融合和优势互补，成为未来低轨卫星网络的发展趋势。
- ◆ 激光通信将加速太空应用。星间链路激光通信有望大幅提升空天与地面数据传输速率，如Starlink部署以激光为特色的新型卫星，实现星间链路传输数据，扩大覆盖范围；索尼亦于近期成立太空通信公司，主营太空光通信。激光通信也是太空通信应用前沿技术，从近地轨道到深空通信均有应用前景。

图 25：星链使用激光通信构建星间链路



资料来源：Starlink，国信证券经济研究所整理

图 26：光通信太空应用



资料来源：OFC 2022，国信证券经济研究所整理

◆ 低轨卫星通导遥融合应用成为趋势：

- **通信+导航：**低轨导航增强系统是国家综合PNT体系的重要组成部分，通导融合有助于突破PNT性能瓶颈。低轨导航建设方式分为低轨导航专用星座和低轨通信星座搭载导航载荷，后者通过与低轨互联网星座计划的共建贡献，降低了低轨导航增强建设成本，有助于突破PNT服务性能瓶颈——例如鸿雁首发星的导航增强系统在1天内的平均几何精度因子(GDOP)相对于单北斗星座下降了9.9%，能够有效提升导航系统的可用性和定位精度。
- **通信+遥感：**低轨卫星系统的遥感和通信融合大势所趋。现有遥感系统采用周期性、批处理的运行方式，存在卫星过顶时间短、地面接收资源不足、各处理环节相对独立烦杂等问题，难以满足大量、低时延的遥感信息获取需求。通过在低轨卫星上同时搭载通信与遥感载荷，并借助在轨任务调度与信息智能分发、高速综合信号处理、地面站网资源融合管控等关键技术，有助于提升遥感数据分发速率和遥感任务实时响应能力。

图 27：低轨全球导航增强体制

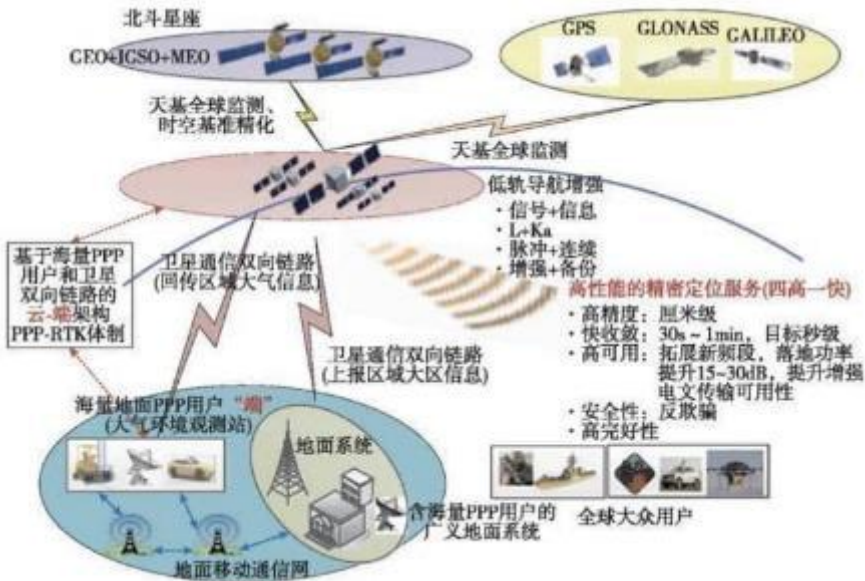
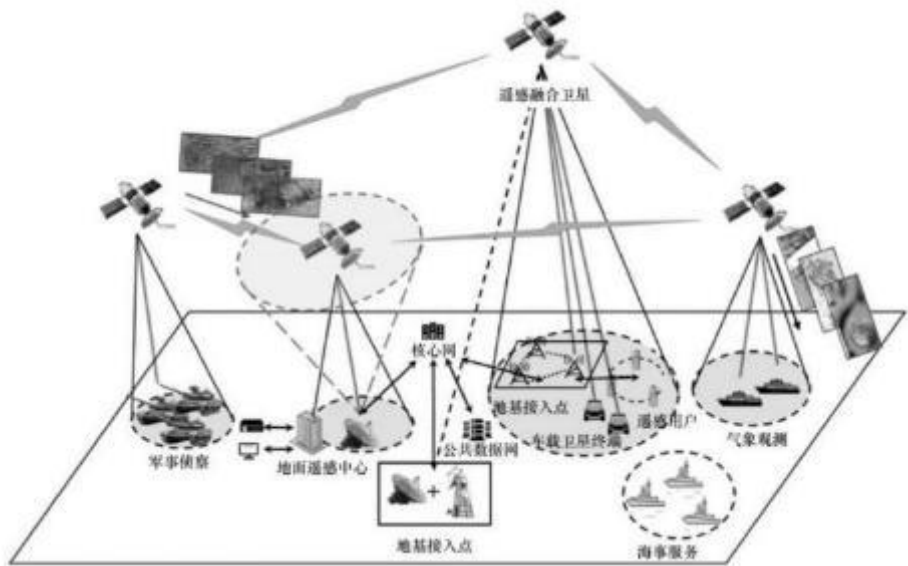


图 28：低轨卫星通信遥感融合系统体系架构



资料来源：蒙艳松等《基于低轨互联网星座的全球导航增强——机遇与挑战》[J]，国信证券经济研究所整理

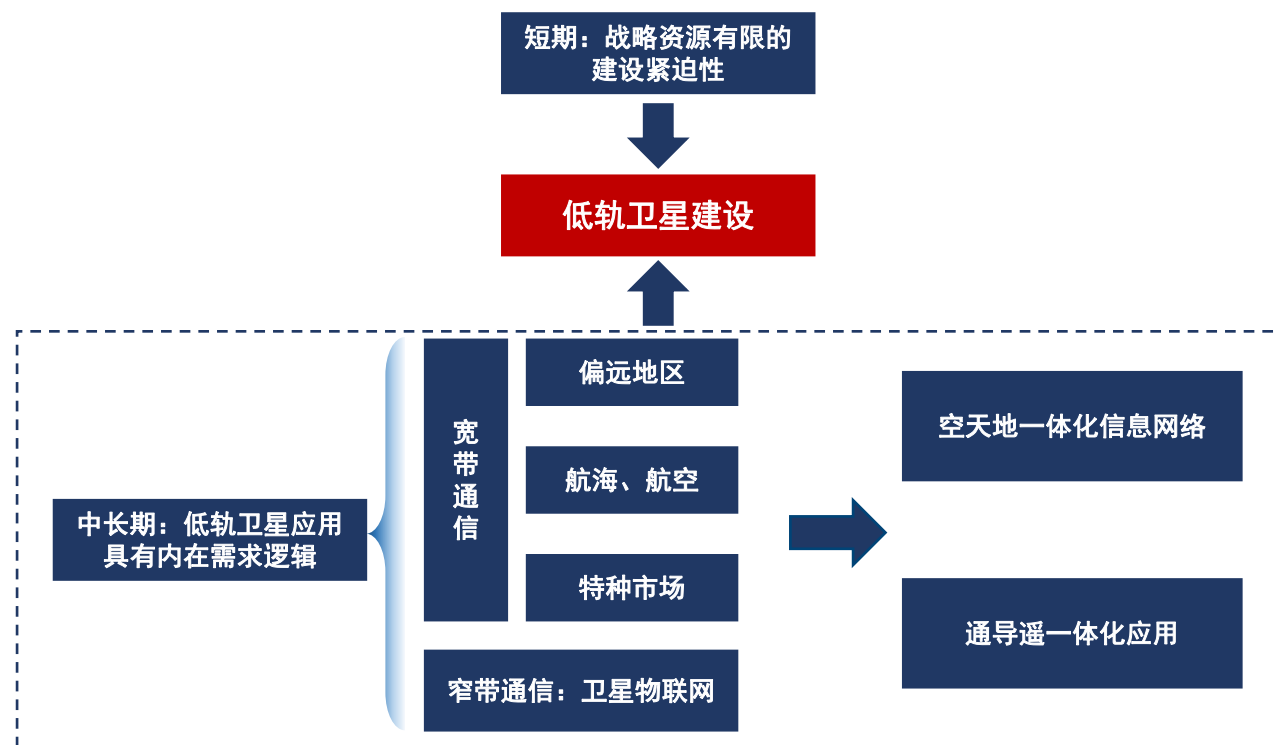
资料来源：彭木根等《低轨卫星通信遥感融合：架构、技术与试验》[J]，国信证券经济研究所整理

二、产业价值：卫星通信是地面通信的重要补充

低轨卫星通信：发展具有内在需求逻辑

- ◆ 低轨卫星通信是当前低轨卫星应用的焦点，其建设紧迫性短期内主要来自于频谱与轨道战略资源的争夺，但中长期来看低轨卫星应用具有自身内在需求逻辑。当前，国内低轨卫星建设主要受抢占频谱和轨道等战略资源驱动，但事实上，长期来看低轨卫星建设具有自身内在的需求逻辑——低轨卫星宽带通信为偏远地区通信、海上平台、航空及灾备等领域提供高速通信能力，卫星物联网的建设则进一步推进万物互联的实现；远期来看，作为空天地一体化信息网络，低轨卫星在通导遥一体化应用趋势下，将发挥更重要的作用。

图 29：低轨卫星应用具有内在需求逻辑

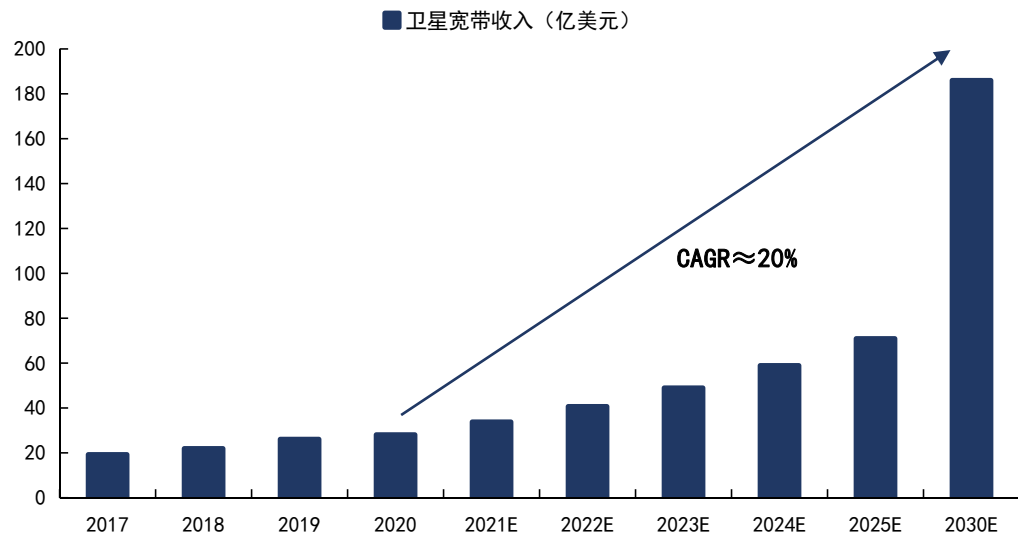


资料来源：《“新基建”之中国卫星互联网产业发展白皮书》，国信证券经济研究所整理

卫星通信场景一：偏远地区宽带连接

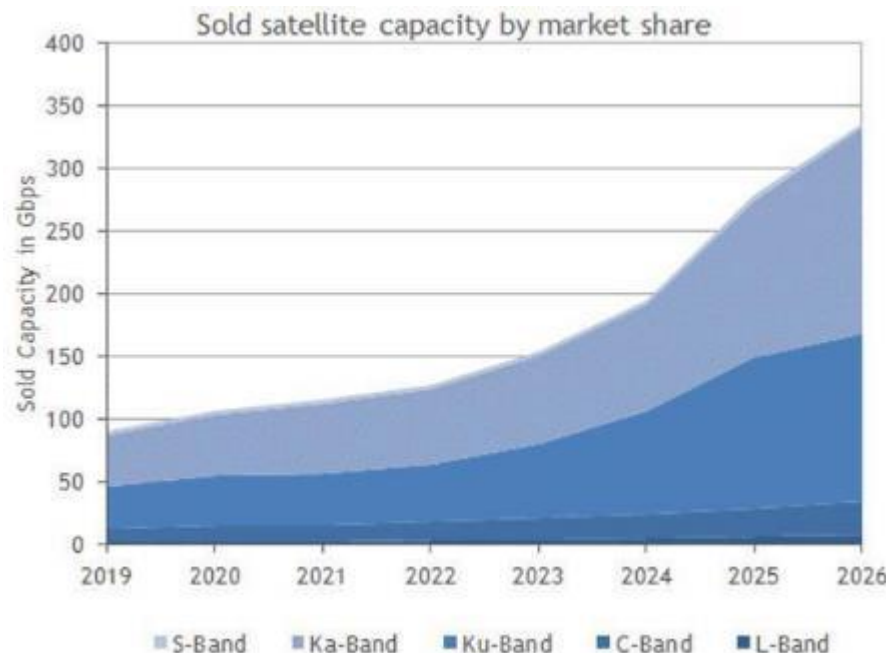
- ◆ 从前文对国内及海外地区宽带应用情况分析来看，卫星宽带通信在实现偏远地区的宽带连接均有较大应用空间。总体来说，根据ITU数据，全球互联网用户规模约49亿人，仍有20多亿人尚未接入互联网；从地理覆盖来看，由于地面网络的在偏远地区高昂的建设和运维成本，超70%的地理空间未实现互联网覆盖。因此，低轨卫星互联网与地面网络互补，为难以建设地面网络的偏远地区提供宽带接入。
- ◆ 当前低轨宽带星座的高速建设正推动市场规模快速发展。从市场规模来看，据SIA数据，2020年全球卫星宽带收入约28亿美元，同比+7.7%，预计未来十年CAGR将超20%；从容量来看，IDC预测亚太地区带宽容量将从2022年的127.2Gbps增长到2026年的335.6 Gbps，复合年增长率为23.9%，主要受益于Ku-Band（27.1%）和Ka-Band（24.1%）的增长。

图 30：全球卫星宽带收入（亿美元）



资料来源：SIA, Market research future, 国信证券经济研究所整理

图 31：亚太地区卫星带宽容量（Gbps）

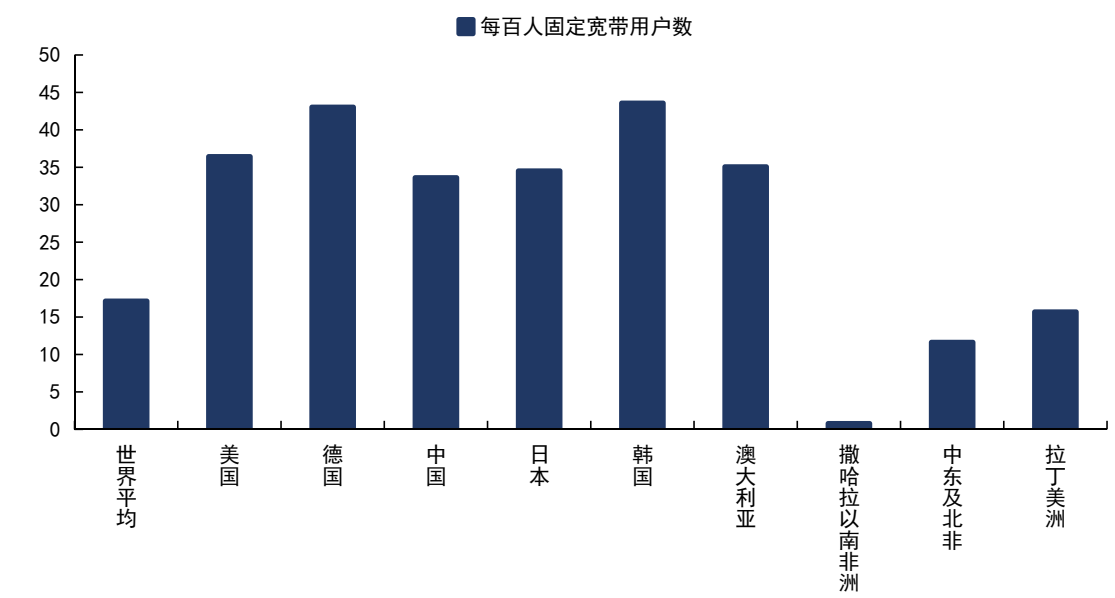


资料来源：IDC, 国信证券经济研究所整理

全球宽带应用：宽带覆盖差异广泛存在

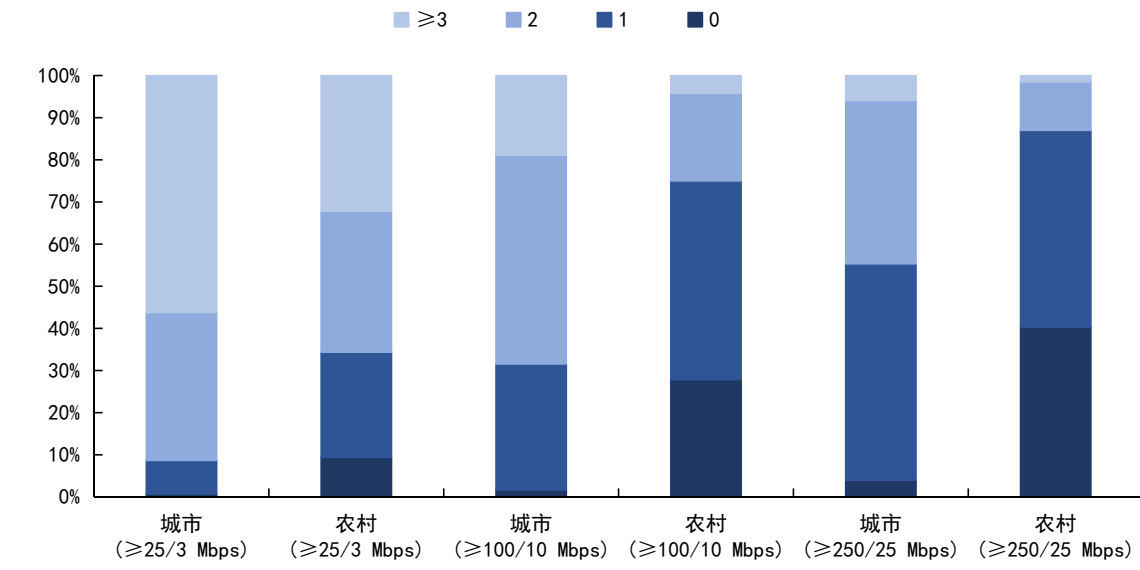
- ◆ 从全球范围来看，发展中国家与发达国家宽带覆盖差异显著。全球范围内发达国家宽带普及率显著高于发展中国家，据ITU数据，2021年全球平均每百人固定宽带用户数为17人，而如非洲地区仅为0.6人，宽带覆盖差异显著。
- ◆ 多数国家内部，农村、偏远地区及城市宽带覆盖率亦有显著差异。即便在欧美等发达国家地区，农村区域的宽带覆盖水平远低于城市。以美国为例，据FCC数据，在不考虑卫星宽带供应商的情况下，近9.5%的农村居民没有能提供超过25Mbps下行速率和3Mbps上行速率的宽带供应商，远高于城市地区的0.7%；速率进一步提升的情况下，农村地区宽带覆盖情况较城市差异越发显著。

图 32：部分国家、地区及世界平均每百人固网用户数情况（2020）



资料来源：ITU，国信证券经济研究所整理

图 33：美国不同地区居民宽带供应商数量情况（2020.12版本）



资料来源：FCC，国信证券经济研究所整理；
注：≥25/3 Mbps指下行速率大于25Mbps，上行速率大于3Mbps的宽带，后同。

- ◆ 从电信普遍服务建设角度来看，我国宽带“村村通”工程已建设完成。据工信部，通过先后部署七批电信普遍服务建设任务，截至2021年11月，我国现有行政村已全面实现“村村通宽带”，累计支持全国13万个行政村光纤网络建设和6万个农村4G基站建设，其中三分之一的任务部署在贫困地区，推动农村光纤平均下载速率超过100Mbps。
- ◆ 卫星宽带通信亦将助力我国电信普及服务。据《“十四五”信息通信行业发展规划》， “十四五”期间要加大对农村及边疆、民族、脱贫地区及革命老区等宽带网络升级改造支持力度，面向有条件有需求的农村及偏远地区推动千兆网络建设。其中，面对边疆地区，《规划》提出补齐边疆地区通信网络设施短板，综合运用卫星通信等多种接入手段为用户提供宽带网络接入服务。

图 34：我国已实现宽带村村通



资料来源：人民网，国信证券经济研究所整理

图 35：卫星宽带通信亦将助力我国电信普及服务

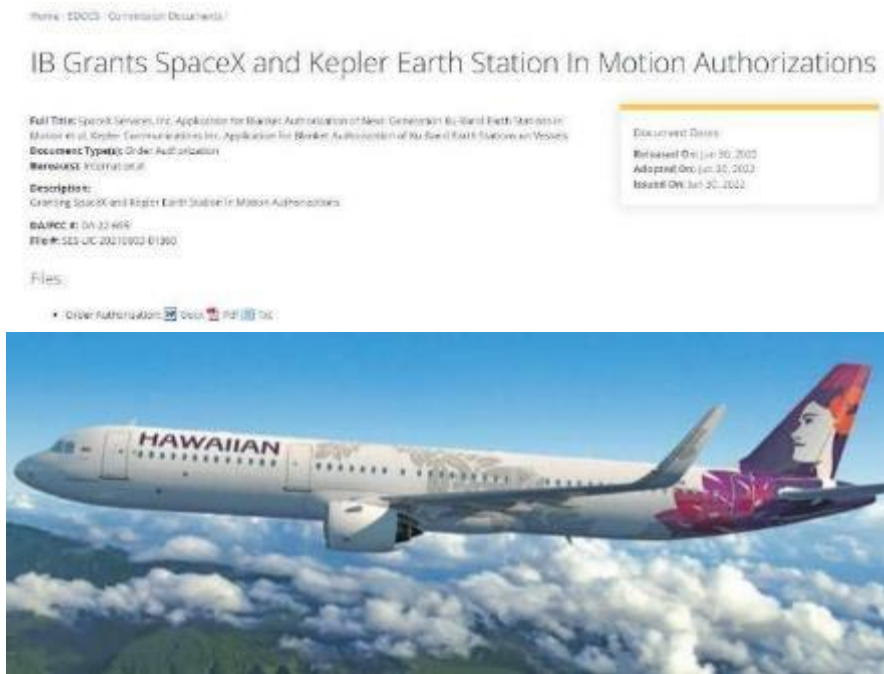
持续提升农村通信网络设施水平。实施新一轮电信普遍服务工程，加大对农村及革命老区、民族地区、边疆地区、脱贫地区特别是国家乡村振兴重点帮扶县宽带网络升级改造支持力度，推动农村光纤和4G网络广度和深度覆盖。面向有条件、有需求的农村及偏远地区，逐步推动千兆光纤网络建设，加快使用低频开展农村5G网络覆盖。补齐边疆地区通信网络设施短板，综合运用卫星通信等多种接入手段为用户提供宽带网络接入服务。积极推进农村地区移动物联网覆盖，加大农业生产场景NB-IoT部署。加强农村通信网络日常运行维护，继续面向脱贫户和防返贫监测户开展精准降费。

资料来源：《“十四五”信息通信行业发展规划》，国信证券经济研究所整理

卫星通信场景二：海上与航空宽带连接

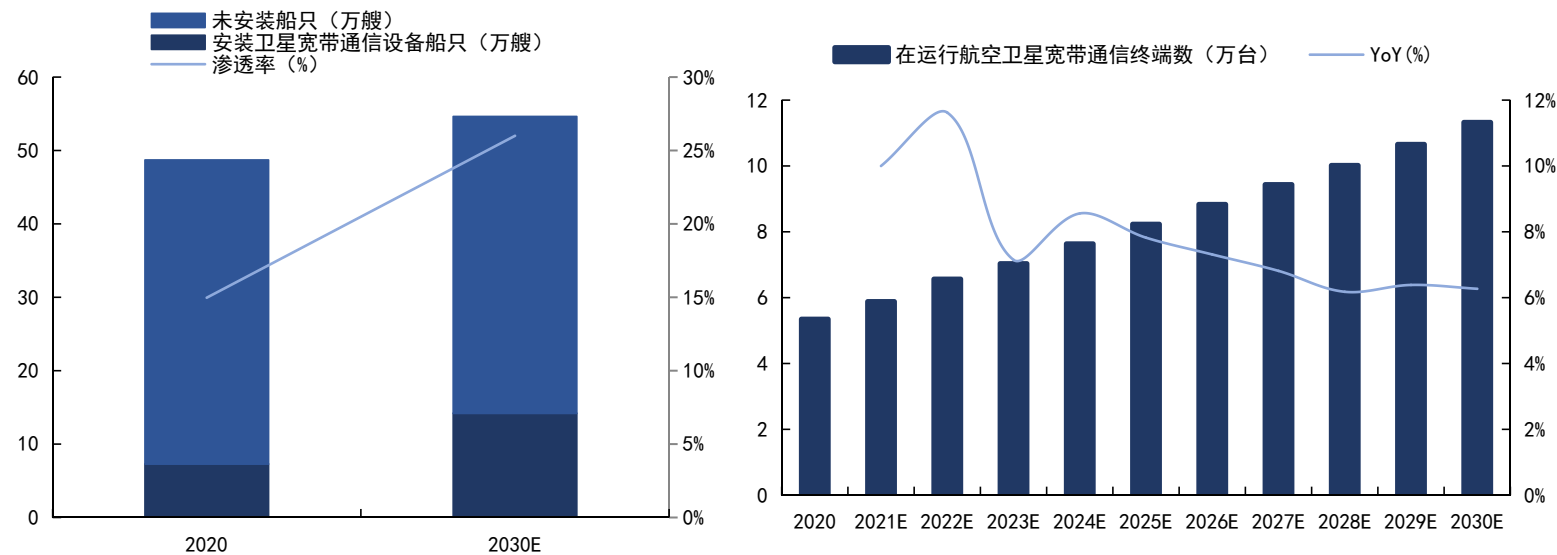
- ◆ 低轨宽带通信有望应用于海上及航空宽带连接。海上及航空场景通过可船载/机载卫星设备终端，实现船只、飞机等与地面通信网络的互联互。目前，低轨卫星宽带通信主要应用在固定场景接入，但随着Starlink取得FCC在包含飞机、火车、汽车等移动运输产业的部署许可，未来海上及航空卫星宽带连接有望加速应用。
- ◆ 从市场规模来看，据NSR数据，2020年全球有超7万艘船只安装有卫星宽带通信设备，至2030年有望提升至14.2万艘，普及率超过26%；预计到2030年，航空卫星市场收入将达到388亿美元，数据容量需求将达到924Gb。

图 36：FCC允许Starlink在移动运输产业部署，此前已与夏威夷航空签订合作



资料来源：FCC，CNBC，国信证券经济研究所整理

图 37：搭载宽带卫星终端的船舶及飞机数量



资料来源：NSR，国信证券经济研究所整理

卫星通信场景三：政府应急通信及特种需求

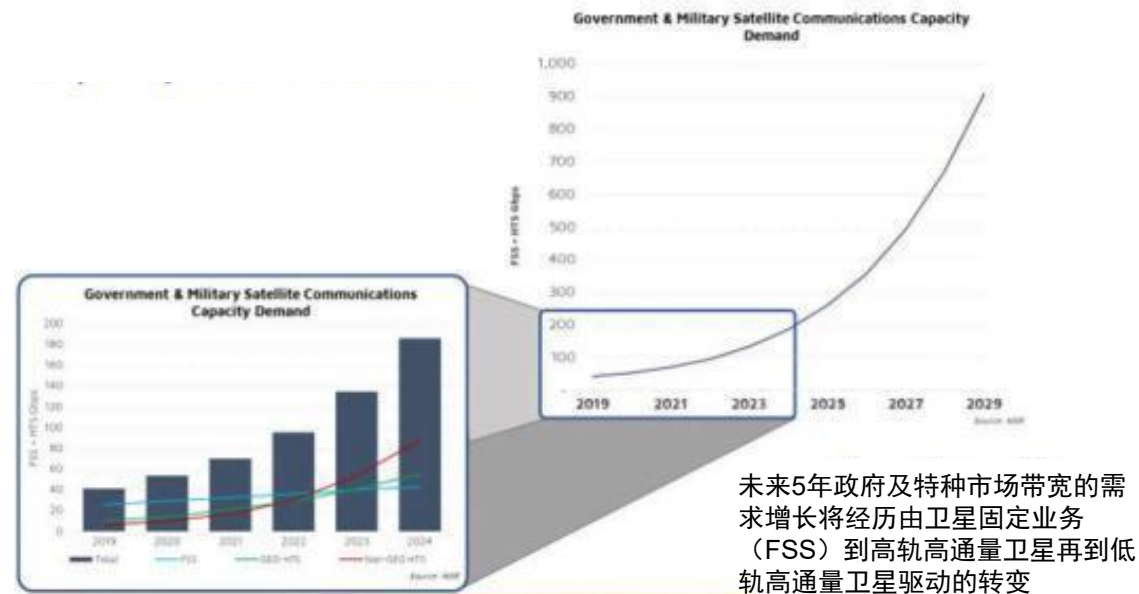
- ◆ 在灾难应急通信等特种领域，卫星宽带通信提供了互联网接入能力。在灾难应急通信应用方面，低轨宽带卫星可用于恢复网络环境，例如22年1月汤加火山爆发海底电缆导致“失联”，Starlink捐赠50个卫星终端用于协助恢复汤加对外通信。
- ◆ 市场规模方面，据NSR预测，未来五年特种市场的卫星通信将经历由卫星固定业务（FSS）到高轨高通量卫星再到低轨高通量卫星驱动的转变，预计到2029年，特种市场卫星宽带需求将超过900Gb，市场规模有望突破110亿美元。

图 38：Starlink协助汤加恢复通信



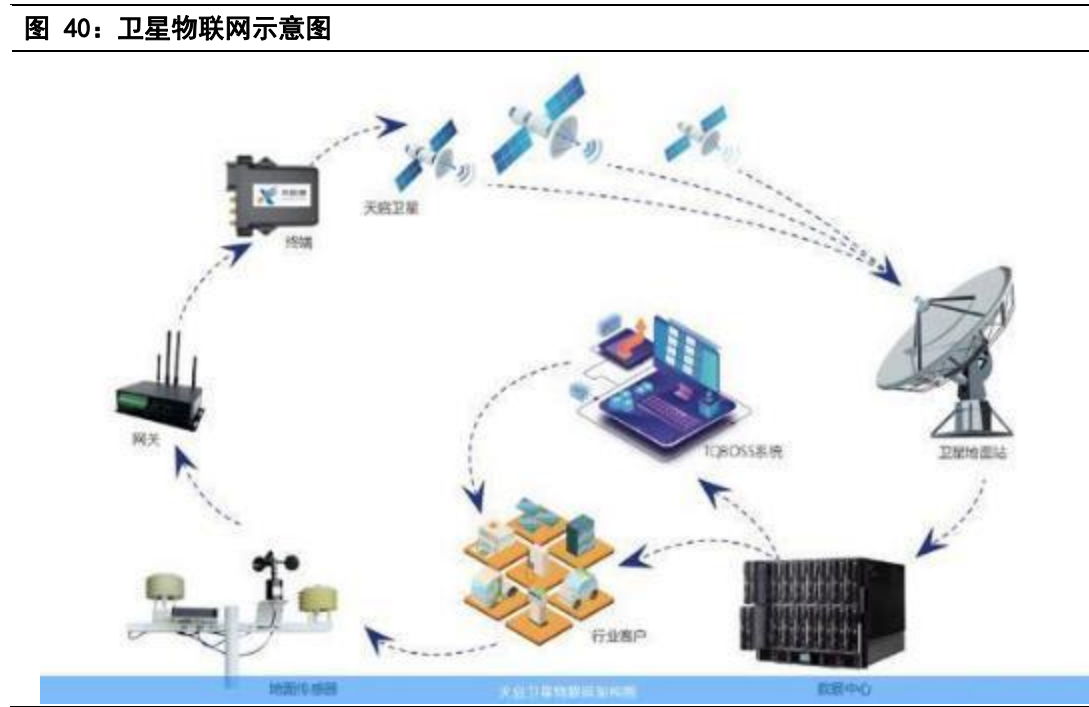
资料来源：Reuters，国信证券经济研究所整理

图 39：2019-2029年政府及特种市场卫星通信带宽需求

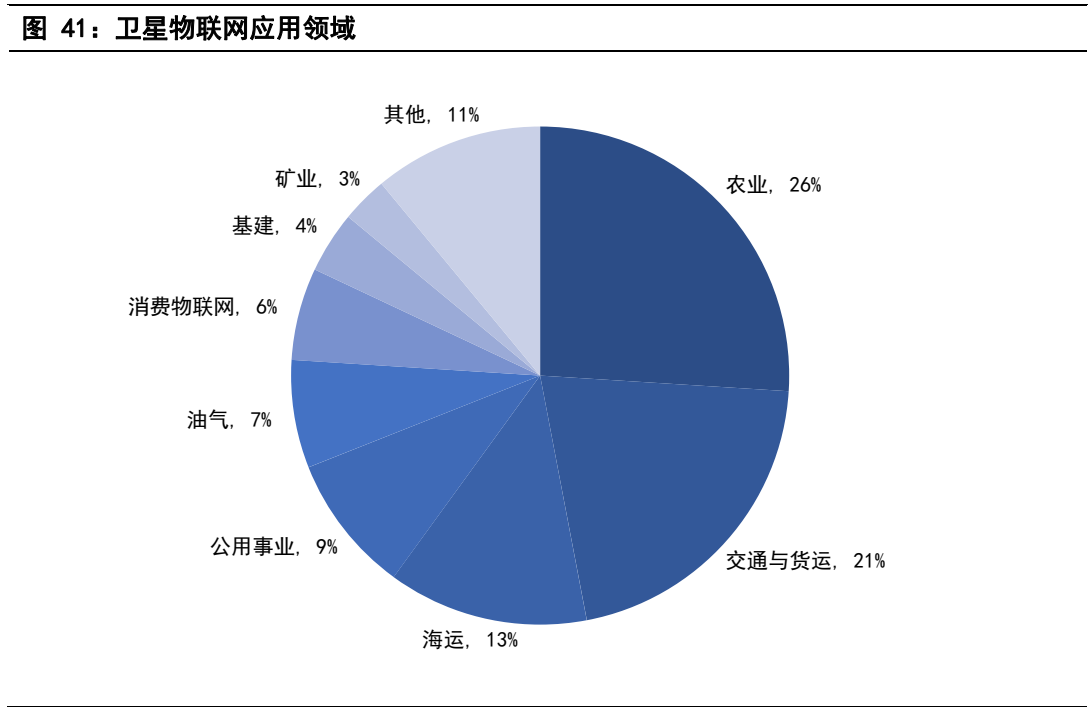


资料来源：NSR，《卫星及应用产业发展白皮书》（2021），国信证券经济研究所整理

- ◆ 卫星物联网是解决物联网传输层覆盖瓶颈的有效手段，加速向低轨、低频和窄带发展。目前，广域物联网主要以蜂窝物联网为主，由于依赖地面蜂窝网络运行，城市外围的物联网场景仍是无人区，需要通过卫星物联网加以覆盖。而具备低功耗、小型化、低成本、低频段等优势的低轨卫星成为发展卫星物联网的不二选择；为了增强信号穿透力，卫星物联网亦向低频方向发展。
- ◆ 从应用领域来看，目前卫星物联网前五大应用领域为农业、交通与货运、海运、公用事业及油气，亦广泛应用于消费物联网、基建、矿业等场景。



资料来源：天启卫星物联网系统，国信证券经济研究所整理



资料来源：《卫星及应用产业发展白皮书》（2021），国信证券经济研究所整理

- ◆ 目前卫星物联网应用较为成熟的Iridium（铱星）与Orbcomm，主要客户面向重型设备制造商、海事、油气、农业、车队管理、科研及政府部门等。其价值主要体现在：（1）未覆盖区域设备的跟踪、控制与管理。对于施工场地的重型工程设备、远洋船舶、海上油井以及跨国集团的全球供应链管理等场景，相关设备的实时监控、管理对于保障设备安全生产、运营优化等具有重要意义。而上述场景多数面临蜂窝网络难以覆盖的问题，依赖卫星网络实现全球覆盖。（2）蜂窝物联网冗余系统。典型如车队管理应用，目前多采用蜂窝网络连接，但车队运输过程中由于网络覆盖、天气变化、网络干扰等问题可能会出现蜂窝网络断连的问题。卫星物联网可以作为蜂窝物联网冗余，在蜂窝信号丢失时保证关键数据流的持续传递。

图 42：神钢与铱星合作用于跟踪、管理及优化其工程机械设备使用



资料来源：Iridium，国信证券经济研究所整理

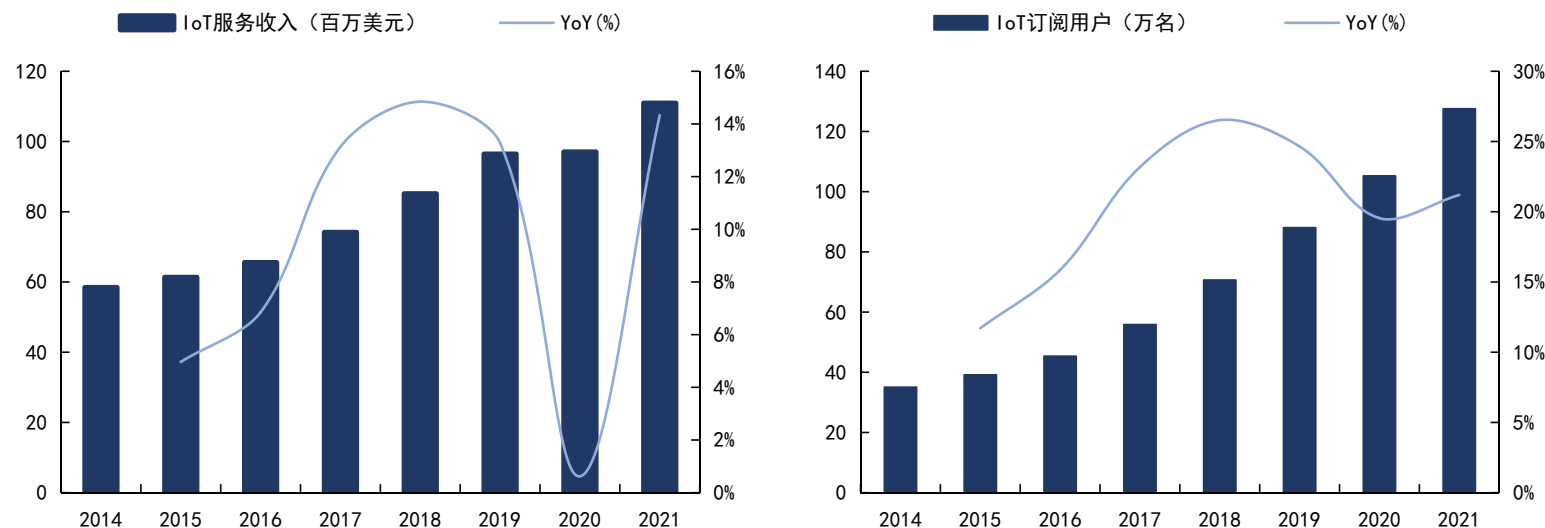
图 43：皇后运输与Orbcomm合作进行车队管理



资料来源：Orbcomm，国信证券经济研究所整理

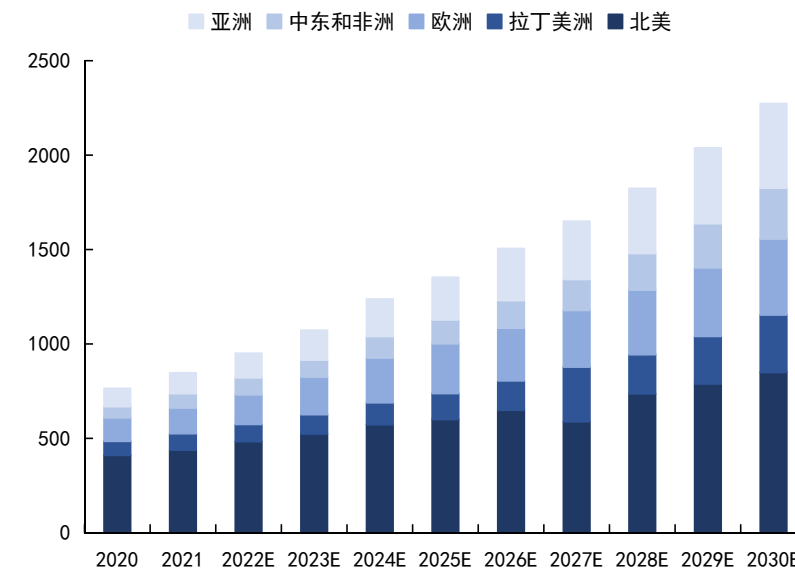
◆ **卫星物联网市场稳健增长。**近年来传统卫星物联网运营商增长稳定，以Iridium（铱星）IoT服务为例，其面向商业客户的IoT服务收入实现持续增长，15-21年CAGR达10.4%；IoT订阅用户数快速增长，随着ARPU降低应用有望加速推广。而在**低轨星座趋势建设下，卫星物联网市场规模有望突破20亿美元**。据NSR数据，预计2030年全球卫星物联网市场规模可达22.7亿美元，21-30年复合增速达11.6%。

图 44：Iridium（铱星）卫星物联网业务情况（百万美元，万名，%）



资料来源：Iridium公告，国信证券经济研究所整理

图 45：卫星物联网市场规模（百万美元）

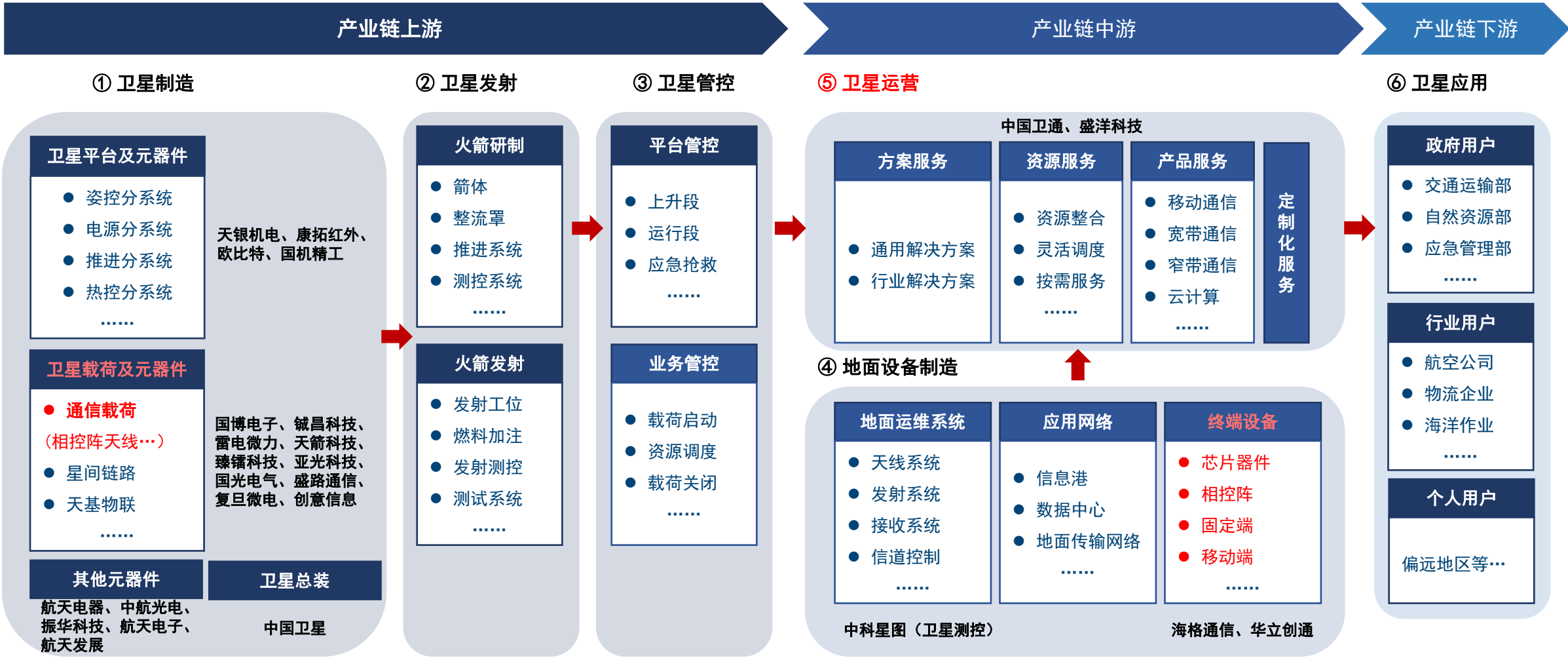


资料来源：NSR，国信证券经济研究所整理

三、产业链：通信载荷是通信卫星关键，关注T/R环节

◆ 卫星通信产业链上游主要为卫星制造、运载及管控；中游产业链为卫星运营及地面设备制造；下游为卫星应用。

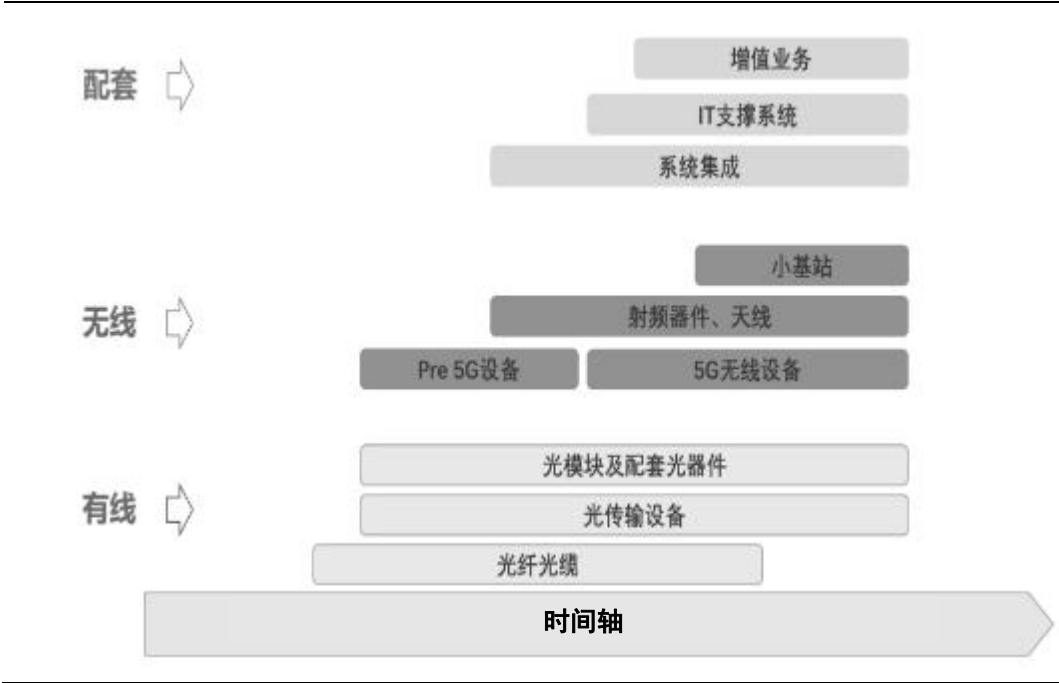
图 46：低轨卫星互联网产业链一览及部分上市公司



资料来源：太空与网络，各公司公告，国信证券经济研究所整理

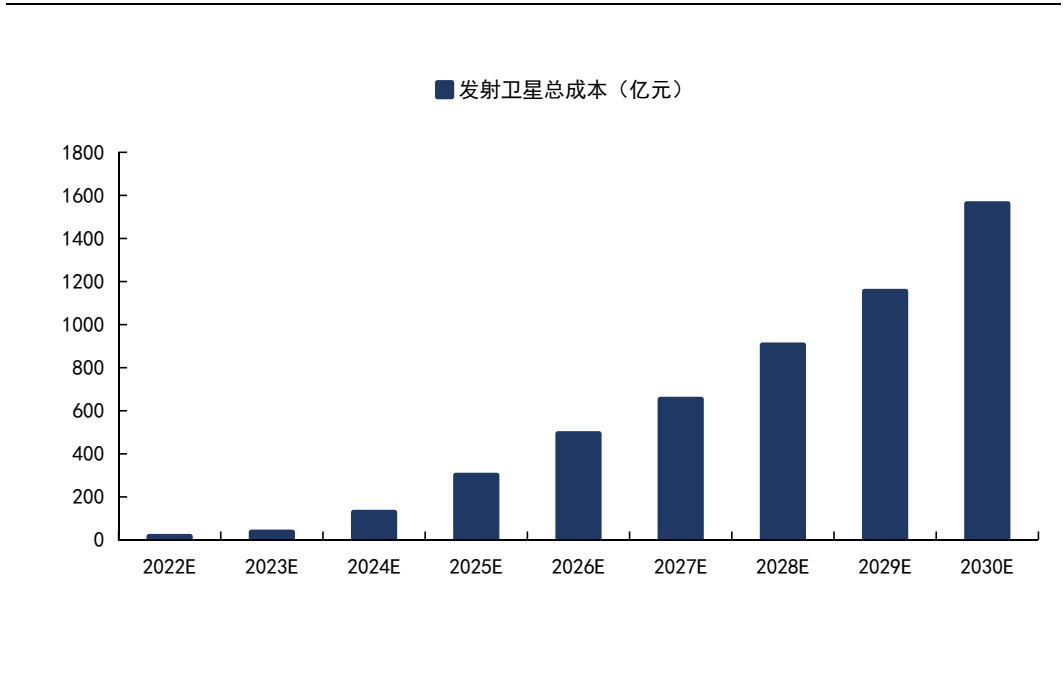
- ◆ 从产业链发展先后顺序来看，上游卫星制造率先受益。类似5G产业链的发展顺序，产业受益性从制造端逐步发展到运营端。因此，随着“星网”等国内低轨卫星星座逐渐拉开建设帷幕，卫星制造将率先受益。远期来看，随着后续星座建设逐步完善，产业链价值重心将逐渐向终端及运营服务转移。
- ◆ 从卫星制造产业本身来看，一方面LEO卫星星座规模庞大，卫星制造总市场空间规模可观；另一方面，低轨卫星寿命周期相对较短，组网完成后，仍存在较为稳定的折旧替换需求。

图 47：5G产业链建设中，产业链上游率先受益



资料来源：赛迪顾问，国信证券经济研究所整理

图 48：我国低轨卫星对应卫星制造市场规模预测（亿元）

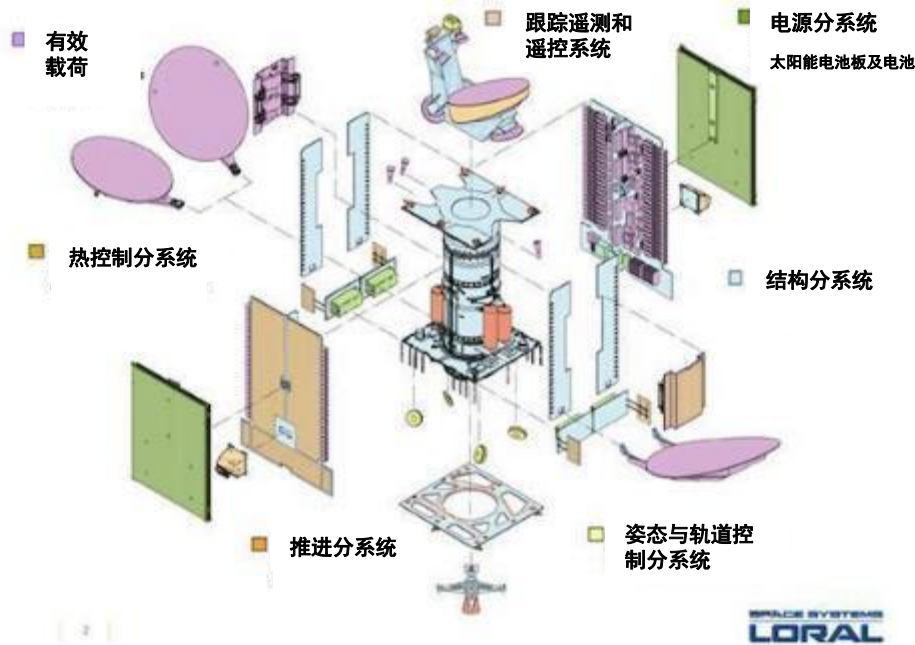


资料来源：ITU，国信证券经济研究所整理及预测；
注：每年发射卫星数、单颗卫星成本等假设详见后文

卫星制造：主要由平台与载荷构成

- ◆ 卫星的生产制造模式由设计、生产、测试、总装组成。
- ◆ 其中，卫星本体一般可分为卫星平台和有效载荷两部分：
 - 卫星平台是由卫星本体和服务（保障）系统组成，可以支持一种或几种有效载荷的组合体。按卫星系统物理组成和服务功能不同，卫星平台可分为结构、热控、控制、推进、电源、综合电子学等分系统。
 - 卫星有效载荷用于直接完成特定的航天任务。例如通信载荷主要包括转发器系统及天线系统，完成通信信号的中继转发。

图 49：卫星平台示例——劳拉系统公司SSL-1300



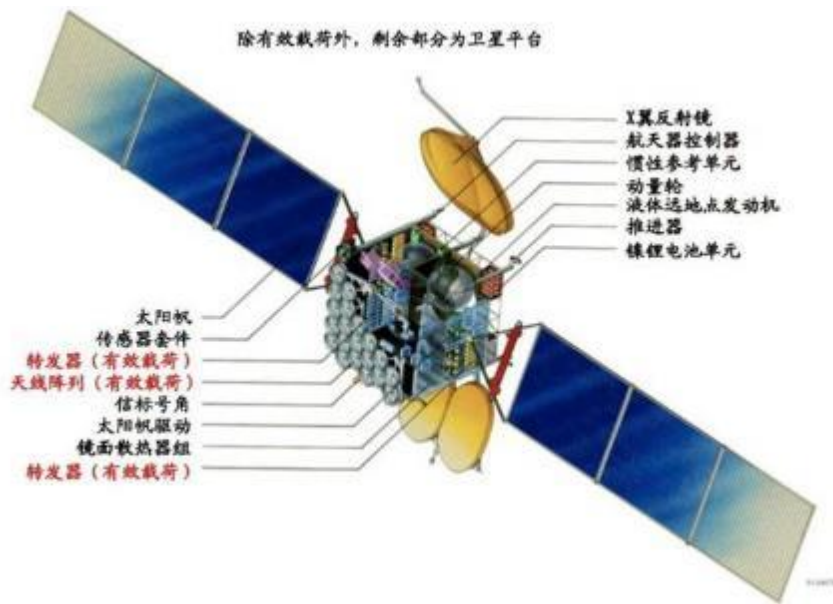
资料来源：高端装备产业研究中心，国信证券经济研究所整理

表 15：常见卫星有效载荷

| 卫星种类 | 有效载荷 |
|--------|--|
| 通信卫星 | 转发器、天线，完成通信信号的中继转发 |
| 地球资源卫星 | 各类遥感器（多光谱类、成像光谱仪类、高空间分辨率类和合成孔径雷达类）以及遥感传输设备 |
| 气象卫星 | 星上用于气象信息获取、处理、存储及发送的设备。主要包括：遥感器、实时信息处理器、大容量数据记录器及发射机等 |
| 海洋卫星 | 不同种类的光学遥感器和微波遥感器 |
| 导航卫星 | 卫星时钟、导航数据存储器和数据注入接收机等 |
| 侦察卫星 | 可见光胶片型相机、可见光CCD相机、雷达信息信号接收机（信道化接收机、测向接收机）和天线阵及大幅面测量相机等 |
| 科学卫星 | 空间带电粒子探测器、空间辐射效应探测器、太阳辐射探测器等 |

资料来源：开运联合，《空间飞行器总体设计》，国信证券经济研究所整理

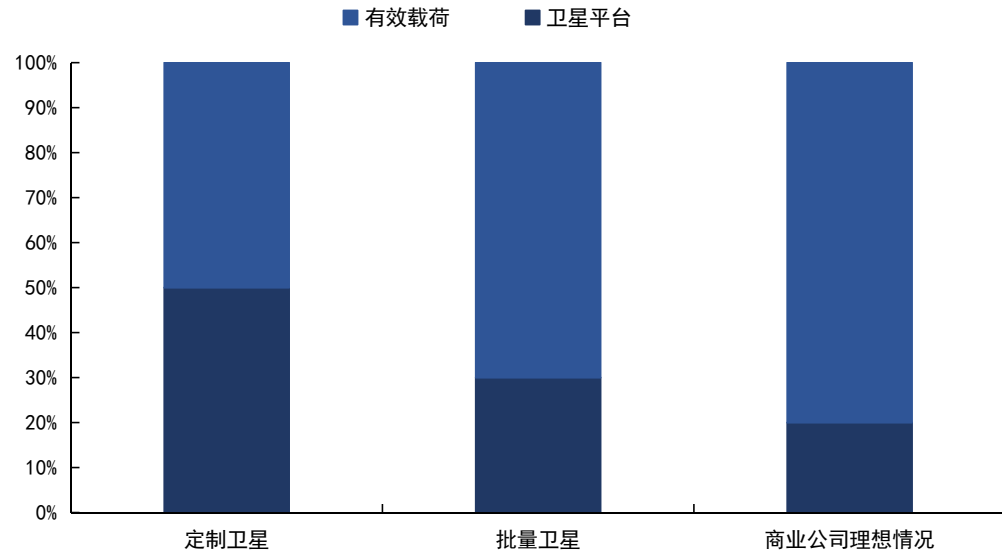
图 50：卫星通信载荷示例



资料来源：Boeing，国信证券经济研究所整理

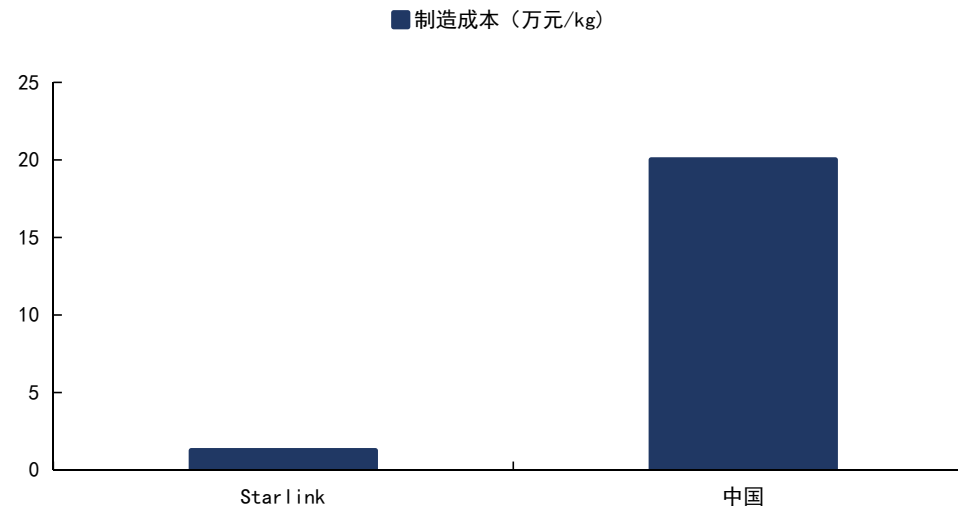
- ◆ 从成本构成来看，载荷部分为卫星发挥实际功能的核心，会根据不同卫星的功能进行调整，相对来看其成本占比变化范围较大。据艾瑞咨询，一般情况定制卫星平台和载荷成本占比约为1:1，批量卫星中平台成本占比下降到接近30%；而在商业航天公司理想情况下，卫星平台占比在20%-30%左右。
- ◆ 考虑到我国卫星制造成本仍然较高，据鹏鹄物宇，目前我国每公斤卫星的制造成本约10-20万元，作为对比2020年星链卫星制造成本已低于50万美元，彼时采用的v1.0版卫星重260kg，对应每公斤卫星成本仅1.25万元。因此，我国卫星制造成本削减任重道远，而卫星平台侧将成为未来成本控制的主要方向。

图 51：卫星平台与有效载荷之间的成本占比



资料来源：艾瑞咨询，国信证券经济研究所整理

图 52：中美卫星制造成本对比



资料来源：艾瑞咨询，国信证券经济研究所整理；注：汇率取6.5:1

卫星平台：姿轨控与电源为核心，市场规模达百亿级



- ◆ 具体来看，卫星平台的核心作用是为卫星提供机动能力和电力，相关分系统的成本占比也最大。根据艾瑞咨询数据，卫星平台成本结构中，姿控系统（含推进系统）成本占比达到40%，电源系统成本占比达到22%，两者合计超过60%，是卫星平台中成本占比最大的分系统。
- ◆ 基于相关假设，预计2025年我国低轨卫星星座对应卫星平台的市场规模可达百亿元。我国规划卫星发射卫星数量15377枚，预计将在2035年完成；目前我国卫星成本约每公斤20万元，卫星发射成本将逐步降低；随着发射成本的逐渐优化以及星载功能逐步提升，单颗卫星重量将逐步提升，当前阶段假设为350kg，远期参考Starlink 2.0卫星；卫星平台预计占卫星总成本的1/3。基于此，预计2025年我国低轨卫星对应卫星平台市场规模可接近50亿元，其中姿控分系统市场规模达18亿元、电源分系统市场规模达10亿元。

图 53：卫星平台成本构成

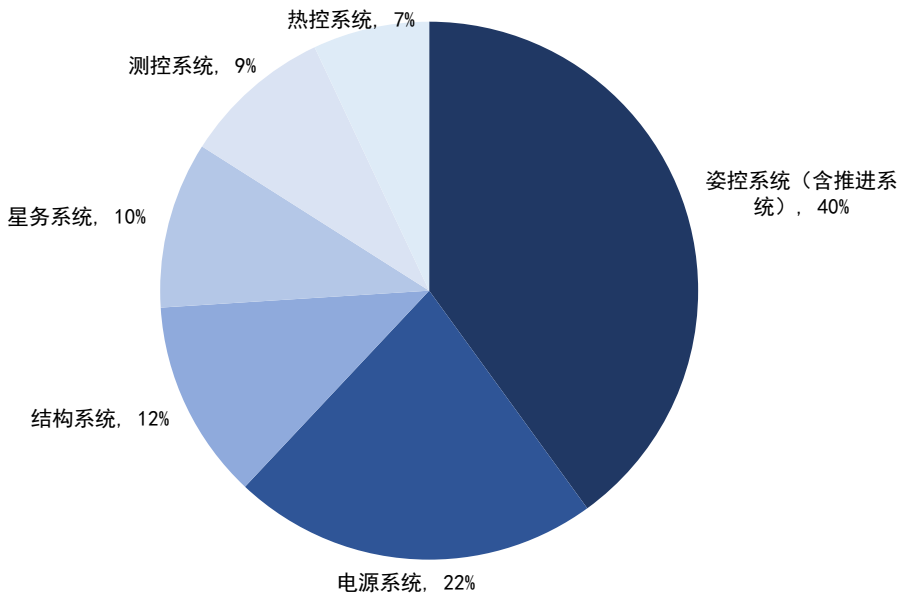


表 16：我国低轨卫星星座对应卫星平台市场规模测算

| | 2022E | 2023E | 2024E | 2025E | 2026E | 2027E | 2028E | 2029E | 2030E |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 卫星发射数（颗） | 5 | 30 | 70 | 110 | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| 单颗卫星成本（万元/kg） | 20 | 20 | 18 | 18 | 15 | 15 | 15 | 13 | 13 |
| 单星重量（kg） | 500 | 500 | 700 | 700 | 800 | 800 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 新发射卫星总成本（亿元） | 5.0 | 30.0 | 88.2 | 138.6 | 60.0 | 120.0 | 300.0 | 390.0 | 520.0 |
| 其中： | | | | | | | | | |
| 卫星平台成本占比（%） | 33% | | | | | | | | |
| 卫星平台成本（亿元） | 1.7 | 10.0 | 29.4 | 46.2 | 20.0 | 40.0 | 100.0 | 130.0 | 173.3 |
| 姿轨控分系统 | 0.7 | 4.0 | 11.8 | 18.5 | 8.0 | 16.0 | 40.0 | 52.0 | 69.3 |
| 电源分系统 | 0.4 | 2.2 | 6.5 | 10.2 | 4.4 | 8.8 | 22.0 | 28.6 | 38.1 |
| 结构分系统 | 0.2 | 1.2 | 3.5 | 5.5 | 2.4 | 4.8 | 12.0 | 15.6 | 20.8 |
| 星务分系统 | 0.2 | 1.0 | 2.9 | 4.6 | 2.0 | 4.0 | 10.0 | 13.0 | 17.3 |
| 测控分系统 | 0.2 | 0.9 | 2.6 | 4.2 | 1.8 | 3.6 | 9.0 | 11.7 | 15.6 |
| 热控分系统 | 0.1 | 0.7 | 2.1 | 3.2 | 1.4 | 2.8 | 7.0 | 9.1 | 12.1 |

资料来源：铖昌科技招股说明书，艾瑞咨询，国信证券经济研究所整理及预测

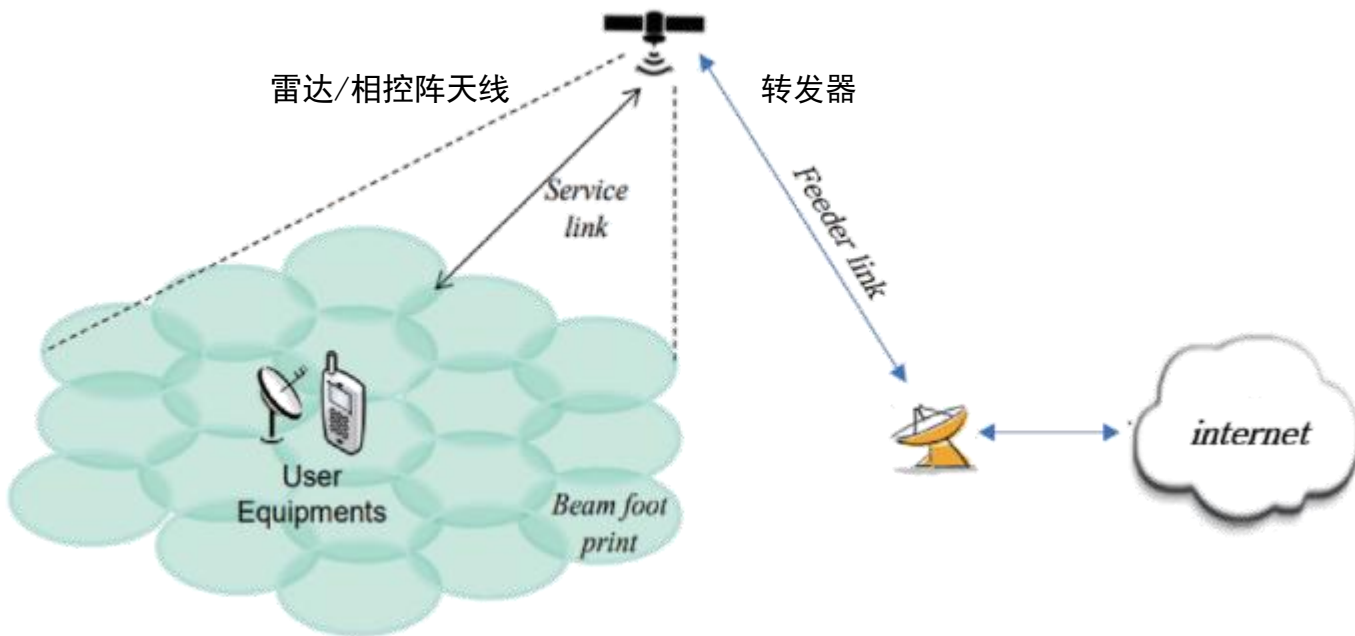
资料来源：艾瑞咨询，国信证券经济研究所整理

通信载荷：通信卫星的核心组件

◆ 通信载荷是用于通信卫星通信功能的部件，是通信卫星的核心组件。传统通信载荷主要包括相控阵天线和转发器，卫星互联网在传统通信载荷基础上增加了星间链路：

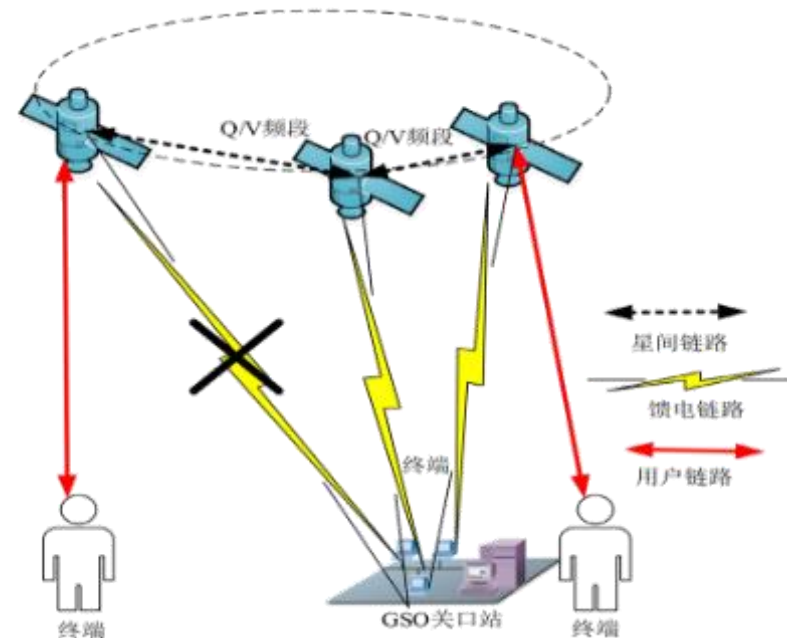
- 星载天线是卫星系统的“眼睛”和“耳朵”，负责实现空间电磁波信号与卫星输出/接收信号的转换。星载天线分系统是卫星上装载的将输出信号转换成空间电磁波或者将空间电磁波转换成接收信号的装置。
- 星载转发器负责完成信号的中继转发。星载转发器将地面站发送的上行信号经输入滤波，经过接收机中的低噪声放大器进行宽带放大，利用接收机中的变频器将信号频率转变为下行信号，完成信号的中继转发任务。转发器包括模拟电路和数字处理芯片。
- 星间激光通信是搭建星间链路的核心。星间激光通信终端是一种光机电综合系统，星间激光建链主要依赖捕获、跟踪和瞄准三个步骤。

图 54：传统卫星通信载荷中天线和转发器功能示意



资料来源：创智联衡，国信证券经济研究所整理

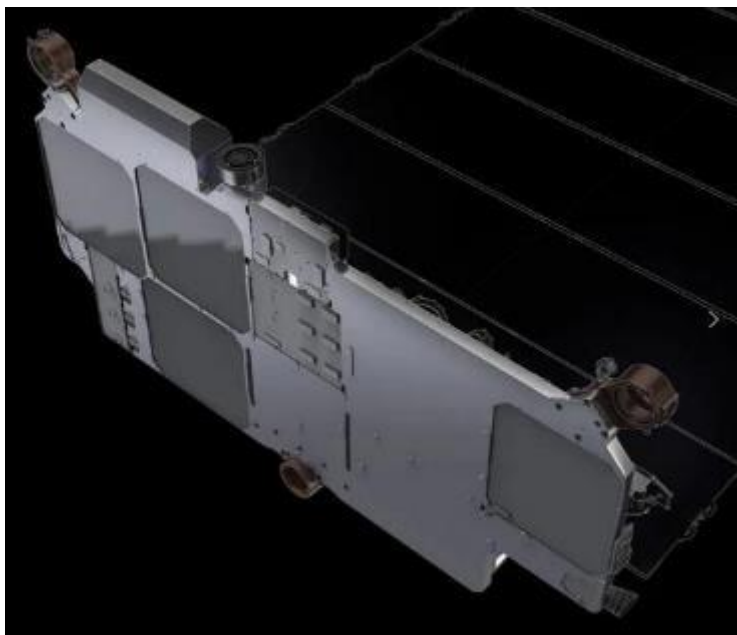
图 55：通信卫星互联网组网示意图



资料来源：严康等《Ka以上频段星间链路的频率使用现状及展望》【J】，国信证券经济研究所整理

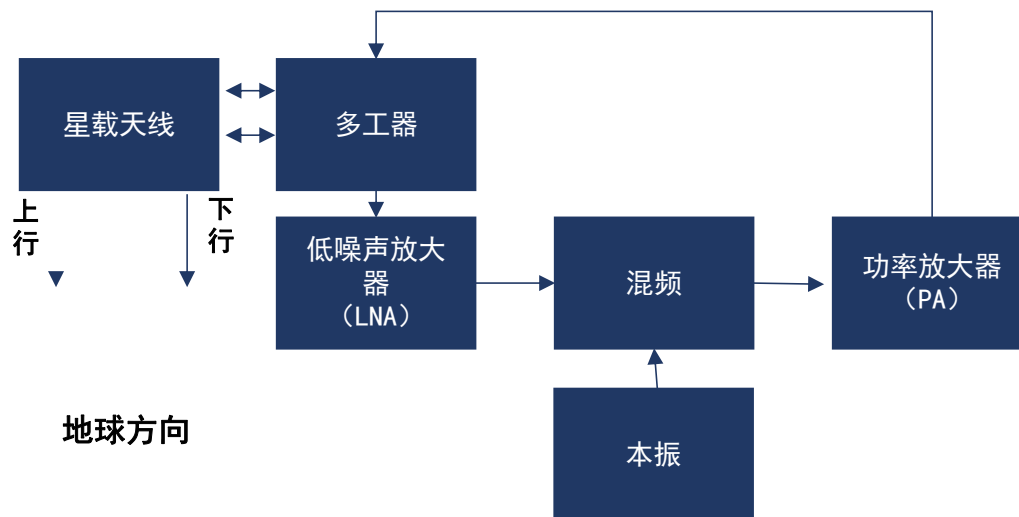
- ◆ 不同卫星通信载荷功能不同，量产数量不同，其元器件占整体占比有所不同，通信卫星的通信载荷中成本占比由大到小依次为相控阵天线、转发器、星间激光通信等。

图 56: Starlink 星载相控阵天线



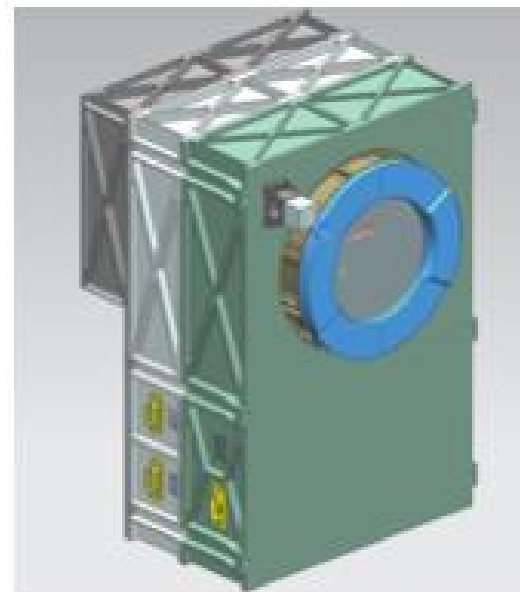
资料来源：SpaceX，国信证券经济研究所整理

图 57: 星载转发器（一次变频）示意图



资料来源：李静《Ku, Ka波段卫星转发器》，国信证券经济研究所整理

图 58: LaserFleet 星间激光通信机




资料来源：LaserFleet，国信证券经济研究所整理及预测

(1) 相控阵天线：有望成为低轨通信卫星标配

- ◆ 随着卫星通信容量快速增长及多目标区通信的发展需求，多波束天线开始应用，主要可分为反射面多波束天线、透镜式多波束天线及相控阵多波束天线。
- ◆ 相控阵天线低轨应用优势显著，有望成为低轨通信卫星标配。低轨卫星所处轨道低，星地传输距离短，自由空间损耗小，要求天线具备较大扫描角；且大规模星座建设对发射亦有较高要求。而相控阵天线具有宽扫描角、低轮廓、低功耗、重量轻，可实现灵活的多波束、波束调整重构，以及波束凝视、等通量覆盖等优点，在低轨卫星应用优势显著。

表 18：三种多波束天线比较

| | 图示 | 优点 | 缺点 |
|----------|---|---|---------------------------------|
| 反射面多波束天线 |  | 重量轻、结构简单、设计技术成熟、性能优良等 | 宽角扫描性能劣于相控阵天线；需采用偏置结构以避免馈源阵的阻挡 |
| 透镜式多波束天线 |  | 相比反射面天线，有更大的设计自由度，具有很好的旋转对称性，保留了良好的光学特性，无口径遮挡 | 在低频段具有重量大，损耗大等致命缺点，导致其在星上应用严重受限 |
| 相控阵多波束天线 |  | 宽扫描角、低轮廓、低功耗、重量轻，可实现灵活的多波束、波束调整重构，以及波束凝视、等通量覆盖等 | 存在馈电网络损耗、频带窄、结构复杂、成本高等缺点 |

资料来源：陈修继、万继响《通信卫星多波束天线的发展现状及建议》[J]，KA-SAT，国信证券经济研究所整理

表 19：相控阵有望成为LEO通信卫星标配

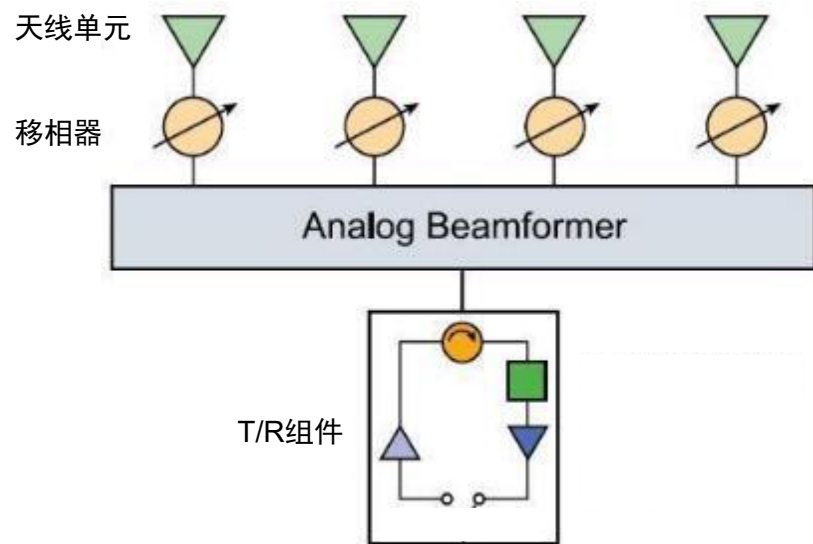
| 卫星轨道 | 卫星星座 | 天线 |
|------|--|---------------|
| IGEO | Inmarsat-4 /-5 (星座)、MUOS (星座)、Thuraya-2/-3、DBSD-G1、SkyTerra-1 /-2、Alphasat-1-XL、TeereStar-1 /-2、MEXSAT-1 /-2 /-3 | 单口径大型展开式反射面天线 |
| GE0 | DireCTV-14 /-15、EUTELSAT-65 West A、ABS-2/-3A、Eutelsat-3B、AsiaSat-6 /-8、MEXSAT-3b、Express-AM5 /-AM7、Amos-3 /-4、Intelsat-19 /-22、SATMEX-7、Astra-2E/-5B、YahSat-1A/-1B | 多口径反射面天线 |
| GE0 | WINDS、WGS (星座)、AEHF (星座)、Spaceway3 | 相控阵天线 |
| ME0 | 03b (星座)、IC0 (星座) | 反射面天线 |
| LE0 | Iridium-NEXT (星座)、Globalstar-1 /-2 (星座)、Orbcomm2 (星座)、“灵巧”通信试验卫星、Starlink (星座)、虹云计划、银河 Galaxy | 相控阵天线 |

资料来源：陈修继、万继响《通信卫星多波束天线的发展现状及建议》[J]，国信证券经济研究所整理

相控阵天线：原理、分类及主要供应商

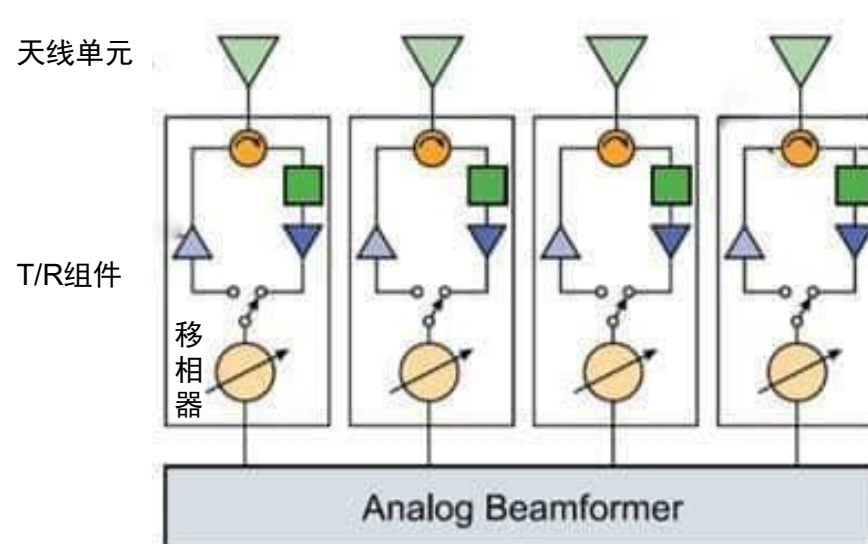
- ◆ 相控阵即相位补偿(或延时补偿)基阵，其特点是可通过计算机控制各辐射单元的相位。相控阵天线每个辐射单元的馈电相位和幅度都可以灵活控制，能够通过控制辐射单元个数从而控制天线增益，通过控制各个辐射单元的相位实现波束的电控扫描。
- ◆ 相控阵可分为有源相控阵（AESA）和无源相控阵（PESA）。PESA仅有一个中央发射机和一个接收机，发射机产生的高频能量，经计算机主动分配给天线阵的各个单元，目标反射信号也是经各个天线单元送达接收机统一放大；AESA的每个天线单元都配装有一个发射/接收组件（T/R组件），每一个T/R组件都能自己发射和接收电磁波。AESA在频宽、功率、效率以及冗余度设计方面均比PESA有巨大优势，由于具有故障弱化的特点，可靠性大大提高，非常适合星载应用。
- ◆ 国内相控阵天线供应商包括中电科集团相关科研院所、航天科工集团相关科研院所、民营银河航天、广州程星等公司。

图 59：无源相控阵——多个阵元公用一个T/R组件



资料来源：上海墨石，国信证券经济研究所整理

图 60：有源相控阵——每个阵元采用独立T/R组件

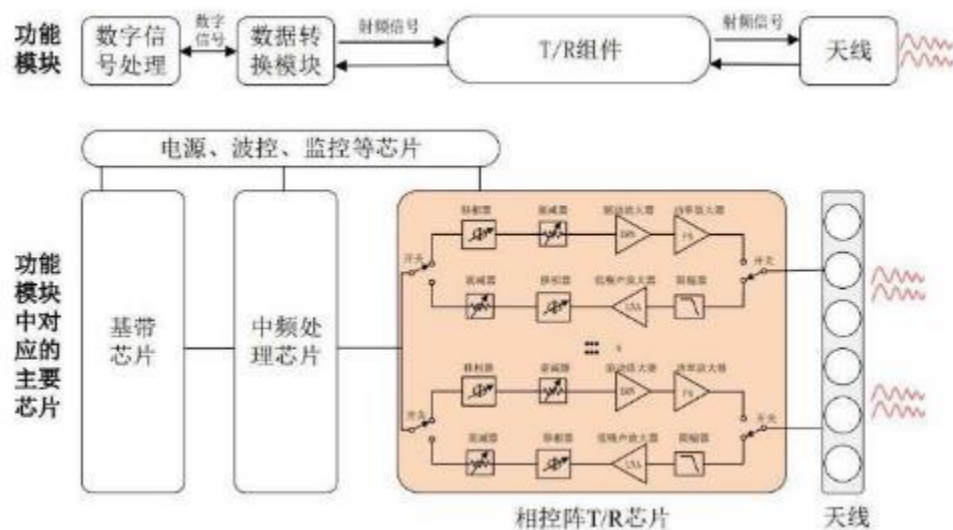


资料来源：上海墨石，国信证券经济研究所整理

相控阵天线：T/R组件为有源相控阵天线系统核心

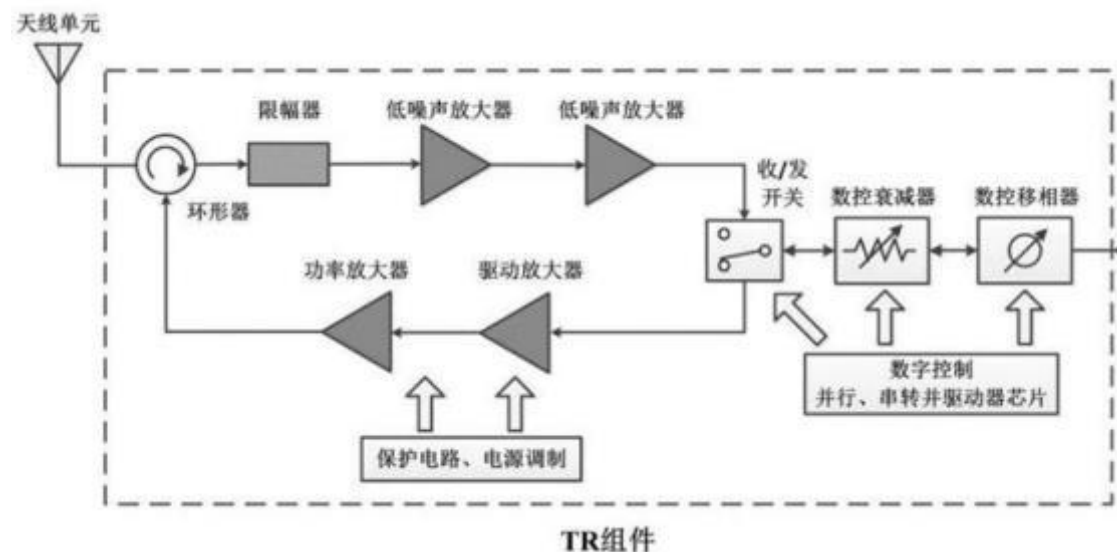
- ◆ T/R组件是有源相控阵天线的核心。T/R组件负责信号的发射和接收并控制信号的幅度和相位，从而完成波束赋形和波束扫描，其指标直接影响天线的指标，对性能其至关重要的作用；此外，相控阵雷达的探测能力与T/R组件数量也密切相关。根据《低成本有源相控阵天线研究》（图63）数据，T/R组件成本可以占据有源相控阵天线模块成本的50-60%。
- ◆ 根据雷达的不同工作环境和不同的性能要求，有源相控阵T/R组件的构成形式不尽相同，但其基本结构一致，主要由数控移相器、数控衰减器、功率放大器、低噪声放大器、限幅器、环形器以及相应的控制电路、电源调制电路组成。
- ◆ 国内T/R组件和T/R芯片供应商：主要中电科集团相关科研院所、国博电子、铖昌科技等；

图 61：相控阵系统示意图



资料来源：铖昌科技招股说明书，国信证券经济研究所整理

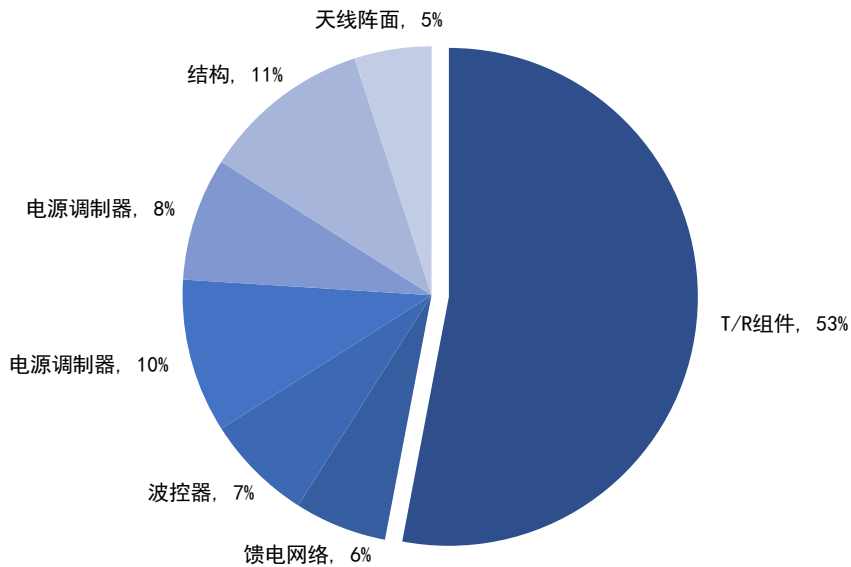
图 62：典型有源相控阵T/R组件工作原理示意图



资料来源：国博电子招股说明书，国信证券经济研究所整理

◆ 低轨卫星T/R组件市场规模将超百亿元。其中，卫星发射数量、卫星重量、单价假设及卫星载荷成本占比参考前文卫星平台市场规模测算；其中，T/R组件占天线系统成本的50-60%，另据国博电子招股说明书，有源相控阵天线系统约占相控阵雷达成本的70-80%。基于此，假设T/R组件占通信载荷成本的45%，对应2025年国内低轨卫星T/R组件市场规模超40亿元，22-25年CAGR超200%。

图 63：有源相控阵天线成本构成



资料来源：《低成本有源相控阵天线研究》，《卫星互联网产业发展白皮书》，铖昌科技招股说明书，国信证券经济研究所整理

表 20：我国低轨卫星星座对应T/R组件市场规模测算

| | 2022E | 2023E | 2024E | 2025E | 2026E | 2027E | 2028E | 2029E | 2030E |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 卫星发射数（颗） | 5 | 30 | 70 | 110 | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| 单颗卫星成本（万元/kg） | 20 | 20 | 18 | 18 | 15 | 15 | 15 | 13 | 13 |
| 单星重量（kg） | 500 | 500 | 700 | 700 | 800 | 800 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 新发射卫星总成本（亿元） | 5.0 | 30.0 | 88.2 | 138.6 | 60.0 | 120.0 | 300.0 | 390.0 | 520.0 |
| 其中： | | | | | | | | | |
| 卫星载荷成本占比（%） | 67% | | | | | | | | |
| 卫星载荷市场规模（亿元） | 3.3 | 20.0 | 58.8 | 92.4 | 40.0 | 80.0 | 200.0 | 260.0 | 346.7 |
| T/R组件占载荷成本（%） | 45% | | | | | | | | |
| T/R组件市场规模（亿元） | 1.5 | 9.0 | 26.5 | 41.6 | 18.0 | 36.0 | 90.0 | 117.0 | 156.0 |

资料来源：铖昌科技、国博电子招股说明书，艾瑞咨询，国信证券经济研究所整理及预测

- ◆ 整体来看，目前我国T/R组件市场主要参与者包括国博电子、中电科集团、臻镭科技、雷电微力等，其余相关T/R组件产业链环节相关供应商包括T/R芯片厂商如铖昌科技、相控阵天线厂商如火箭科技等。
- ◆ 我国目前低轨卫星规模不大，过往几年发射规模为双位数，行业发展仍然处在起步阶段，当前具备Ku/Ka等低轨通信卫星常用频段的T/R组件或射频芯片/模块积累的公司或将具有先发部署优势。

表 21：T/R组件主要供应商及相关产品定位

| T/R组件相关公司 | 相关产品 | 覆盖频段 | 21年T/R相关产品收入 |
|----------------------|-----------------------------|------------------------|--------------|
| 国博电子 (688375. SH) | 有源相控阵T/R完整组件 | 盖X、Ku、Ka等频段（12-40GHz） | 16.9亿元 |
| 中电科某所 | 有源相控阵T/R完整组件 | 覆盖C、S、L等频段（1-8GHz） | - |
| 铖昌科技 (001270. SZ) | 射频放大类芯片、低噪声放大器芯片、射频幅相控制芯片 | 覆盖K、Ka频段（18-40GHz） | 1.9亿元 |
| 雷电微力 (301050. SZ) | 有源相控阵微系统 | 覆盖X-W频段（8-100GHz） | 7.2亿元 |
| 火箭科技 (002977. SZ) | 固态发射机、有源相控阵天线 | 覆盖Ku频段（12-18GHz） | 2.8亿元 |
| 臻镭科技 (688270. SH) | 终端射频T/R微系统与模组；射频收发芯片、电源管理芯片 | 覆盖X、Ku、Ka等频段（12-40GHz） | 1.6亿元 |

资料来源：Wind，国博电子、铖昌科技、雷电微力、火箭科技、臻镭科技招股说明书，国信证券经济研究所整理

(2) 星载转发器：系统架构与分类

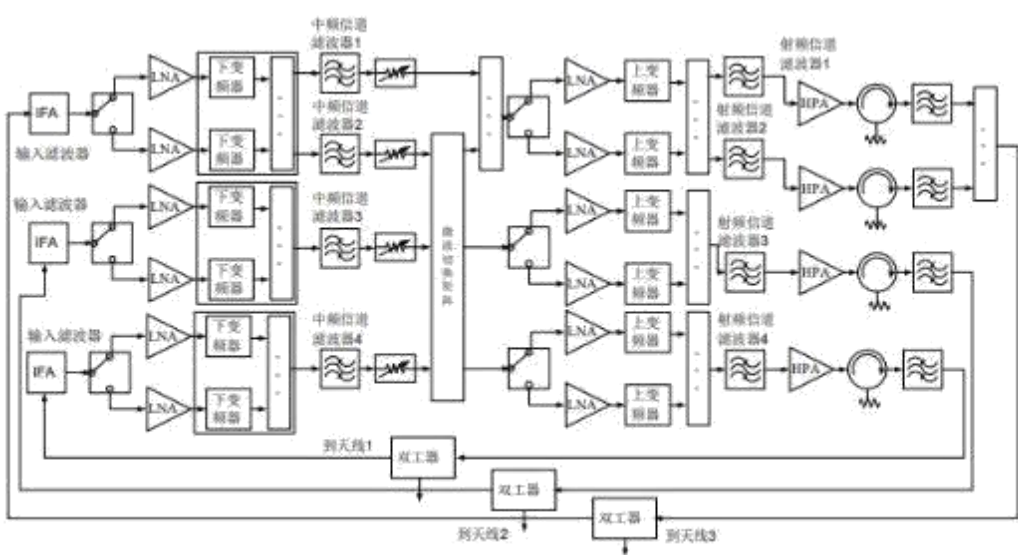
- ◆ 依据是否对信号进行处理，转发器分为透明转发器和处理转发器。**透明转发器**收到地面发来的信号，除进行低噪声放大、变频及功率放大外不作任何加工处理，只单纯完成转发任务，所有交换和协议处理都在地面完成；**处理转发器**（又称再生式转发器）除了进行转发信号外，还具有信号处理功能。星上的信号处理，主要包括对信号进行解调再生和其它的信号变换和处理。因此，对于构建星间链路的低轨卫星星座系统，处理转发器是大势所趋。
- ◆ 转发器系统可分为接收端、发射端及信号处理装置（处理转发器）。系统关键部件包括低噪声接收机、PA、输入多工器、输出多工器等。低噪声接收机由LNA、变频器（含混频器和本振）、驱动放大器组成，LNA为关键。
- ◆ 转发器信号处理部分已有国产供应商逐步崭露头角。

表 16：透明转发器对比处理转发器

| 分类 | 简介 |
|-------|---|
| 透明转发器 | 单变频 把接收到的上行信号，经过放大，直接变为下行频率，在经功率放大后通过天线发回地面 |
| | 双变频 先把接收到的上行信号经下变频为中频，经放大、限幅后再上变频为下行信号，再进行功放和发射 |
| 处理转发器 | 载波处理转发器 卫星以载波为单位直接对RF（射频）信号进行处理，而不对信号进行解调/再调制和其他基带处理 |
| | 比特流处理转发器 将RF信号变换为IF（中频）信号，然后对已调信号进行解调，从而得到数字比特流，之后，再把解调的比特流重新调制到一个IF或RF载波上 |
| | 全基带处理转发器 不仅具有星上处理再生能力，而且还具有星上基带信号处理和交换能力。全基带处理转发器至少具有解调、译码、存储、交换、重组帧、重编码和重调制等功能。 |

资料来源：《卫星交换与组网关键技术研究》，国信证券经济研究所整理

图 64：Ka波段卫星通信转发器设计框图

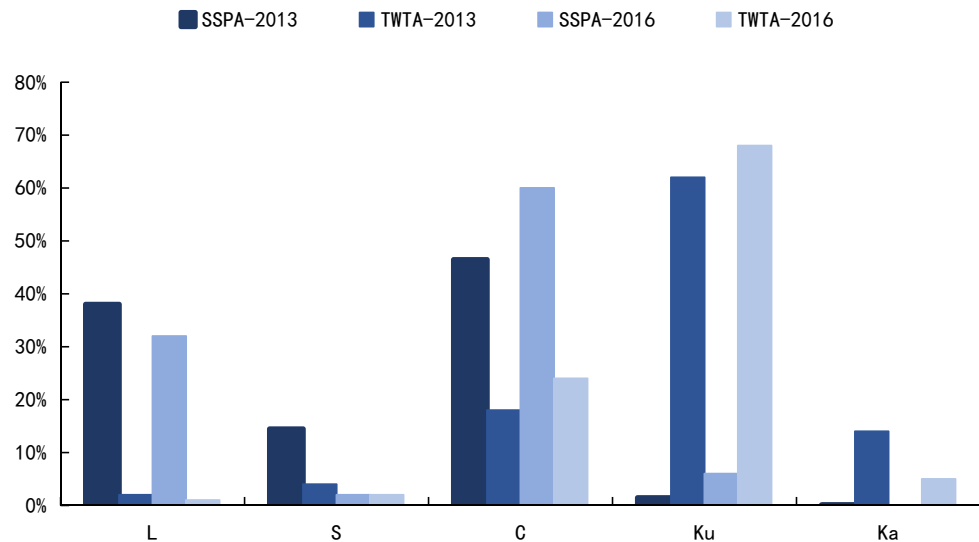


资料来源：王培章等《Ka 波段卫星通信转发器总体设计与仿真》[J]，国信证券经济研究所整理

星载转发器：功率放大器为转发器核心之一，行波管放大器具优势

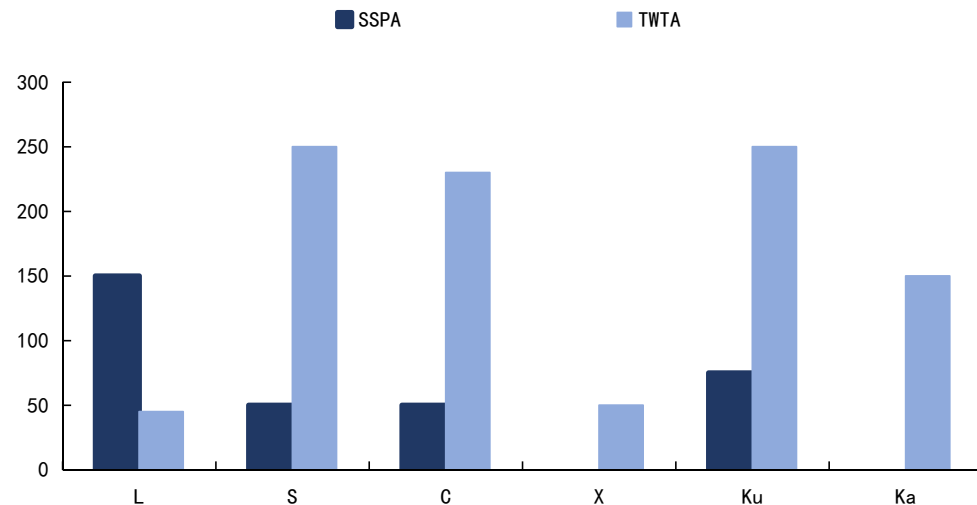
- ◆ 功率放大器是星载转发器的关键部件之一。功率放大器不仅是星载转发器的必备器件，其能量转化效率也直接影响星上热处理和有效载荷容量，最终影响飞行器的重量和体积，是重要的星上关键设备。
- ◆ 行波管放大器（TWTA）和固体功率放大器（SSPA）是星上主要使用的两种放大器。过去星上微波功率发射器多用TWTA，从80年代开始，SSPA开始在低频低功率的应用中取代TWTA。发展至今，在低频率、低功率领域，SSPA已占据优势；在低频率、中等功率（几十瓦）领域内，TWTA和SSPA均为可选技术；而在高频率（Ku、Ka、Q/V）、大功率等领域，TWTA使用仍具有优势。卫星通信主要运行在Ku、Ka及Q/V等高频领域，行波管放大器具有应用优势。

图 65：TWTA主要应用于高频（Ku、Ka）领域



资料来源：冯西贤等《星载功率放大器：TWTA和SSPA的过去、现状与未来》[J]，国信证券经济研究所整理

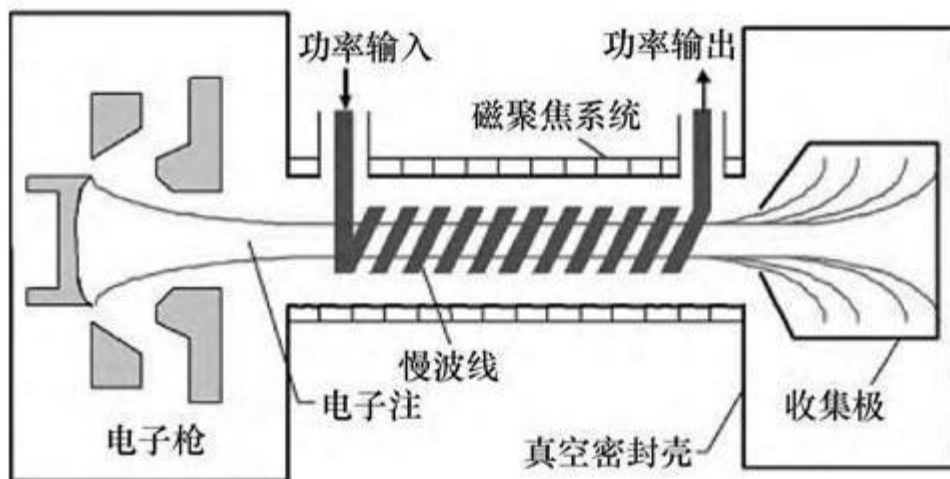
图 66：TWTA在大功率端领域应用较多



资料来源：冯西贤等《星载功率放大器：TWTA和SSPA的过去、现状与未来》[J]，国信证券经济研究所整理

- ◆ 行波管是靠调制电子注的速度来实现放大功能的微波电子管，作用在于将微波信号放大。其工作原理为，待放大的微波信号经输入能量耦合器进入慢波电路、并沿慢波电路行进，电子与行进的微波场进行能量交换、使微波信号得到放大。行波管的特点是工作在真空环境，这意味着电子运动过程中，不与半导体晶格发生碰撞并产生热量；并且行波管可以使用“多级降压收集极”部件，获取互作用后电子的剩余能量，将其回收，进一步提升放大器总效率。

图 67：行波管工作原理图



资料来源：国光电气招股说明书，国信证券经济研究所整理

图 68：国光电气行波管产品图示



资料来源：国光电气招股说明书，国信证券经济研究所整理

- ◆ 基于以下假设，预计我国低轨卫星行波管市场规模有望突破5亿元：
 - 随着通信载荷功能提升，单颗卫星行波管使用量增加；
 - 假设2021年行波管单价为50万元，随后随着发射量增加逐年下降。
- ◆ 我国具备行波管等微波电真空器件生产、科研能力的主要是国家重点研究院所。上市公司中，国光电气在连续波行波管（主要用于电子对抗）、捷变频磁控管、充气微波开关管方面有技术优势。

| 表 22：我国低轨卫星星座对应行波管市场规模测算 | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2022E | 2023E | 2024E | 2025E | 2026E | 2027E | 2028E | 2029E | 2030E |
| 卫星发射数（颗） | 5 | 30 | 70 | 110 | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| 行波管用量（个/颗） | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| 行波管单价（万元/个） | 45.0 | 42.8 | 40.6 | 36.6 | 32.9 | 29.6 | 26.6 | 24.0 | 21.6 |
| 行波管市场规模（亿元） | 0.1 | 0.4 | 1.1 | 1.6 | 0.8 | 1.5 | 3.2 | 4.3 | 5.2 |

资料来源：国光电气招股说明书，国信证券经济研究所整理及预测

(3) 星间链路：激光技术或用于卫星间通信

- ◆ 星间链路通过激光实现。激光通信承载星间传输的优势主要有：卫星激光通信具有频率更高且方向性更强的特点，可以实现快速和高体量的数据传输；星间激光通信不需要向国际电联申请特定频段，使得频道使用更加便捷；激光通信终端体积、重量和功耗优势，符合当今卫星平台有效载荷要求；
- ◆ 美国、欧洲和日本等国家对卫星激光通信的研究起步较早，技术发展较为全面及成熟。
- ◆ 国内卫星激光通信研究起步较晚。2020年，“行云”系列卫星搭载了由 LaserFleet 公司开发的激光通信载荷，并于2020年发射成功，是我国第一次进行低轨卫星星间激光链路技术试验，该激光通信载荷的通信距离大于 3000km，通信速率可以达到100Mbps。

图 69：LaserFleet 星间链路示意



资料来源：2018全球航天年中报告，LaserFleet，国信证券经济研究所整理

表 23：美国、欧洲和日本卫星激光典型研究计划

| 国家 | 系统 | 年份 | 通信链路 | 通信波长/nm | 通信速率 |
|----|----------|------|----------|----------------------|---|
| 美国 | LLCD | 2013 | 月一地 | 1550（下行） 1558（上行） | 622.000 Mbit/s@PPM（下行） 20.000 Mbit/s@PPM（上行） |
| | OPALS | 2014 | 空间站一地 | 1550（下行） | 30~50.000 Mbit/s@IM/DD |
| | LCRD | 2020 | 高一地 | 1550 | 2.880 Gbit/s@DPSK 622.000 Mbit/s@PPM |
| | ILLUMA-T | 2022 | 低一高 | 1550 | 1.244 Gbit/s@DPSK（上行） 51.000 Mbit/s（下行） |
| | TBIRD | 2022 | 低一地 | 1550（下行） | 200.000 Gbit/s（下行） 5.000 Kbit/s@PPM（上行） |
| | DSOC | 2022 | 火一地 | 1550（下行） 1060（上行） | 264.000 Mbit/s@PPM（下行） 2.000 Kbit/s（上行） |
| | LOCNESS | 2025 | 高一高/地/低/ | | 100.000Gbit/s（高轨-高轨/地面） 10.000Gbit/s（离轨-低轨） |
| 欧洲 | EDRS-A | 2016 | 高一高/低 | 1064 | 1.800 Gbit/s@BPSK |
| | EDRS-C | 2019 | 高一高 | 1064 | 1.800 Gbit/s@BPSK |
| | EDRS-D | 2025 | 高一高 | 1064/1550 | 3.600-10.000 Gbit/s@BPSK |
| | HydRON | 2025 | 高一低/地 | 1064/1550 | 100.000 Gbit/s |
| | SOTA | 2014 | 低一地 | 980/1 550 | 1.000-10.000 Mbit/s@OOK |
| 日本 | JDRS | 2020 | 高一低 | 1540（上行） 1560（下行） | 1.8.000 Gbit/s@RZ-DPSK（上行） 50.000 Mbit/s@IM/DD（下行） |
| | HICALI | 2021 | 高一地 | 1500（下行） | 10.000 Gbit/s@DPSK（下行） |

资料来源：张德鹏等《卫星激光网络应用技术研究》【J】，国信证券经济研究所整理及预测

卫星总装：国家队为主，民营快速发展

◆ 目前，国内卫星总装单位以国家队为主，民营力量快速发展中：

- 国家队：主要包括航天科技集团、航天科工集团、中科院系统等。
- 商业卫星公司：包括银河航天、时空道宇、长光卫星、微纳星空等。民营企业近期正在快速发展，包括银河航天、时空道宇等已有批产卫星入轨。例如20年1月银河航天首颗低轨宽带通信卫星成功发射，2022年3月银河航天首次批量研制的6颗低轨宽带通信卫星送入预定轨道；2022年6月时空道宇首轨九星在西昌卫星发射中心以一箭九星方式成功发射，卫星顺利进入预定轨道。

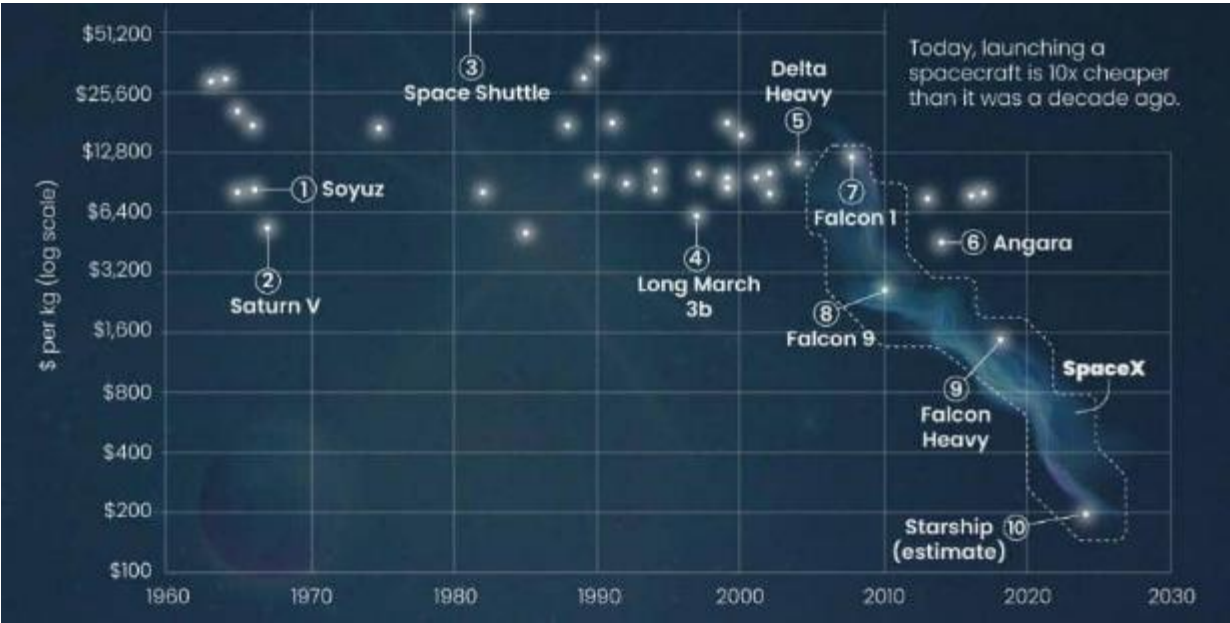
表 24：我国卫星部分总装单位

| 公司名称 | 成立 | 简介 |
|--------------|----------------------|---|
| 航天科技集团 | 五院 | - 中国空间技术研究院是我国最早从事卫星研制的高科技单位，通信卫星事业部成立于2008年7月18日，是中国空间技术研究院为实现通信卫星领域研制能力跨越式发展而新组建的科研单位，主要负责通信卫星领域的业务发展规划，各类通信卫星的研发、总体设计及系统集成。 |
| | 中国卫星 (600118. SH) | - 五院子公司，在小卫星及微小卫星研制方面，已成功开发了以CAST968 (CAST1000) 平台为代表的多个系列小卫星和微小卫星公用平台。研制的典型通信卫星包括嫦娥四号中继星“鹊桥”、“鸿雁”全球卫星星座通信系统首发星等。 |
| | 八院 | - 上海航天技术研究院，在应用卫星领域，抓总研制了以风云系列气象卫星为代表的卫星，部分卫星技术水平领跑或并跑世界一流，有力支撑了国家空间基础设施建设提出虹云工程、行云工程两项低轨窄带、宽带通信星座计划，已成功发射天鲲一号卫星、首颗低轨宽带互联网卫星（虹云工程首颗星）、行云二号01/02星并实现在轨稳定运行 |
| | 航天科工集团 | - 主要从事小卫星、微、纳、皮卫星及相关技术的科学研究、技术开发和科学实验，是我国科学卫星领域的主力军、应用卫星领域的方面军，已成功发射包括北斗三号组网卫星、暗物质粒子探测卫星、量子科学实验卫星、天宫二号伴随卫星、太极一号卫星等82颗卫星。，设立通信卫星总体研究所开展通信卫星总体设计研究。 |
| 中科院微小卫星创新研究院 | 银河航天 | - 2022年3月5日，银河航天02批6颗低轨宽带通信卫星成功送入预定轨道，与银河航天首发星共同组成我国首个低轨宽带通信试验星座。银河航天02批卫星单星设计通信容量超过40吉比特每秒，卫星平均重量约为190千克。 |
| | 时空道宇 | - 台州卫星工厂具备10公斤-3000公斤的卫星批量化制造能力，年产能可达500颗。2022年6月首轨九星成功发射送入预定轨道。 |
| | 长光卫星 | - 中科院长光所背景，我国第一家商业遥感卫星公司。目前，公司成功通过16次发射将54颗“吉林一号”卫星送入太空，建成了我国目前最大的商业遥感卫星星座。 |
| | 微纳星空 | - 主要从事卫星星座系统及卫星整星的研发制造业务并提供卫星在轨交付服务，已成功完成14颗卫星的研制和发射任务。 |
| | 九天微星 | - 2018年实现民营百公斤级卫星的设计研制和在轨验证，迄今已发射共计9颗卫星。2019年起，公司参与国家卫星互联网新型基础设施建设；2021年，首个由发改委核准建设的民营卫星工厂完成一期工程建设，工厂投产后，将具备年产100颗卫星的能力。 |
| | 零重空间 | - 灵鹊星座计划是由灵鹊一号、灵鹊二号、灵鹊三号组成160多颗卫星混合组网遥感星座。目前，公司已经成功将10颗卫星送入太空，预计23年将完成一期共48颗卫星组网 |

资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理及预测

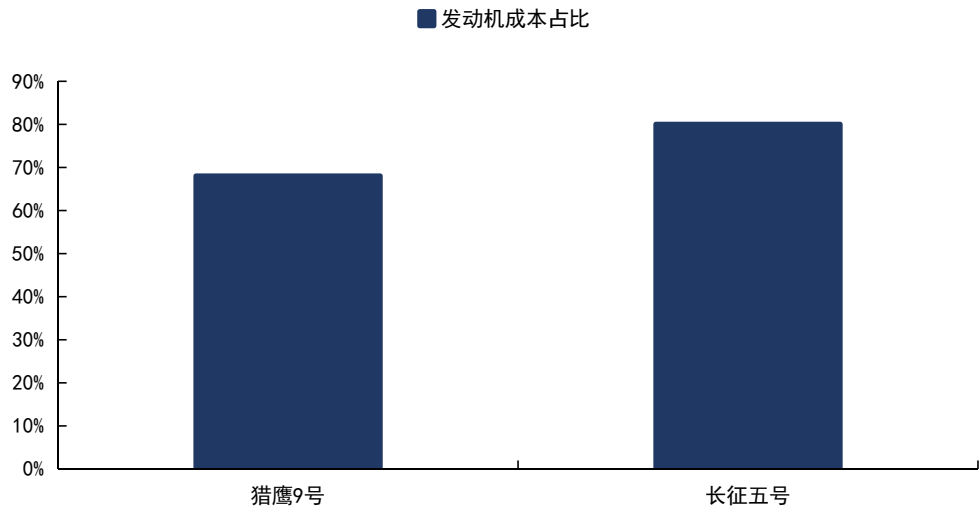
- ◆ 成本侧，我国商业航天火箭发射成本高于SpaceX。据Visual Capitalist数据，SpaceX成本最高的猎鹰9号发射费用不到3000美元/kg，若实现全箭回收（星舰）则可降低到200美元/kg。作为对比，国家队方面，长征11号的商业发射单价为每公斤1万美元，航天科技集团17年提出未来低轨发射成本降低到5000美元/kg左右的目标。
- ◆ 火箭回收是降低成本的关键举措。动力系统占全箭成本的70-80%，而火箭的动力系统随着火箭发射任务的结束，再不对一级火箭进行回收的情况下，动力系统将被一次性消耗。因此，火箭回收技术是降低发射成本的关键。

图 70：火箭发射成本对比（美元/kg）



资料来源：Visual Capitalist，国信证券经济研究所整理

图 71：动力系统成本占比高

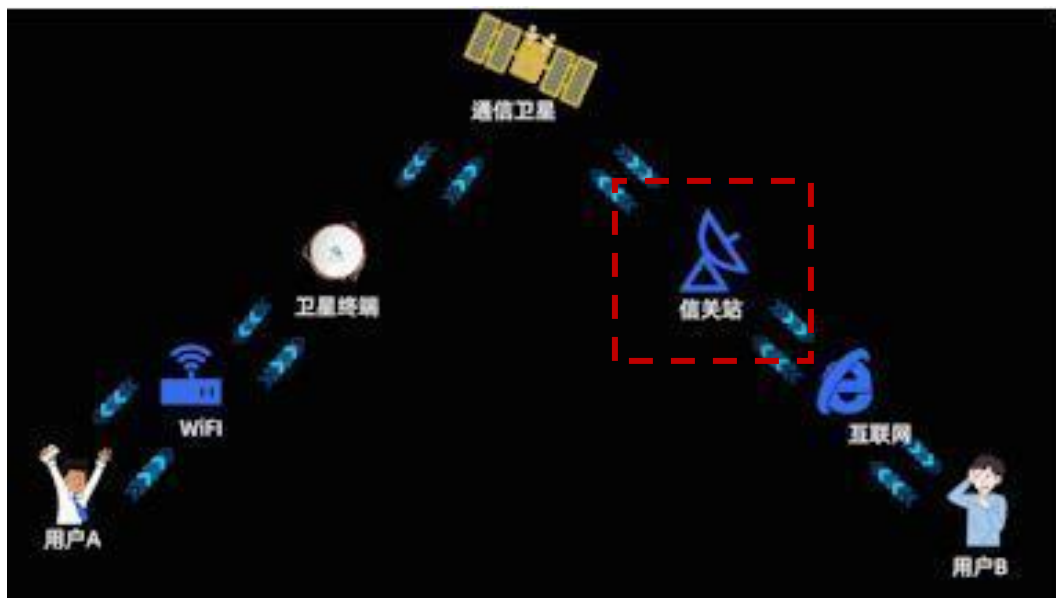


资料来源：艾瑞咨询，国信证券经济研究所整理

地面站：信关站所需数量相对有限

- ◆ 地面站主要指信关站，作为卫星通信星地系统的数据中心节点，负责卫星通信业务数据的分发与收集。信关站可完成卫星通信网络内部数据的交换和对外网络的数据路由；同时具备网络管理和运行控制功能，负责完成全网资源调度、系统设备管理和用户服务管理。用户想成功使用卫星上网，除了要使用卫星终端连上卫星，还需要信关站中转这颗卫星的数据到地面公共网络。
- ◆ 信关站所需数量有限。一方面，据鹏鹄物宇，最少只需要三个地面站即可以实现国内全覆盖；另一方面，未来星间激光链路的构建趋势也减少了地面信关站的设置数量。

图 72：信关站在卫星通信中的应用



资料来源：银河航天，国信证券经济研究所整理

图 73：最少仅需3个地面站可实现全国覆盖



资料来源：鹏鹄物宇，国信证券经济研究所整理

地面站：天线阵列微系统成为发展趋势

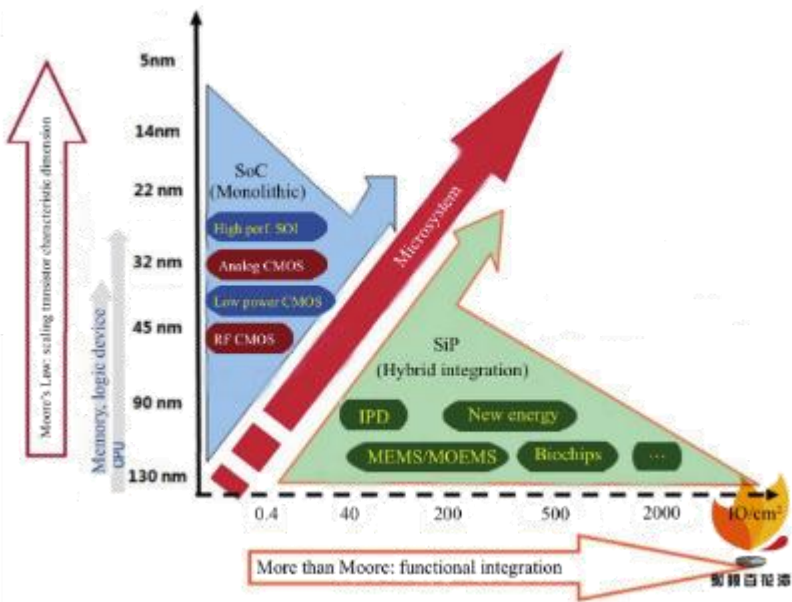
- ◆ 天线阵列微系统是有源阵列天线发展趋势。传统的有源阵列天线是砖块式结构，是由无源天线阵面、多种功能模块与无源天线集成在一起，天线阵列微系统采用多芯片组装和先进3D封装技术，将功放、低噪放、移相衰减器、ADC/DAC 等器件与电源管理芯片、基带处理等芯片进行异构集成。
- ◆ 微系统未来可广泛应用于星载、机载、舰载、车载等载荷系统中，微系统高集成度的优势，未来有望在地面雷达、终端等方面广泛使用。
- ◆ 天线阵列微系统通常是基于三维异构混合集成技术，系统级封装（SiP）技术较为典型。芯片和可能的无源元件构成的高性能系统集成于一个封装内，形成一个功能性器件。SiP 能够在集成电路和封装中，提供最优化的功能、尺寸、价格，缩短市场周期。

图 74：微系统在地面雷达使用示例



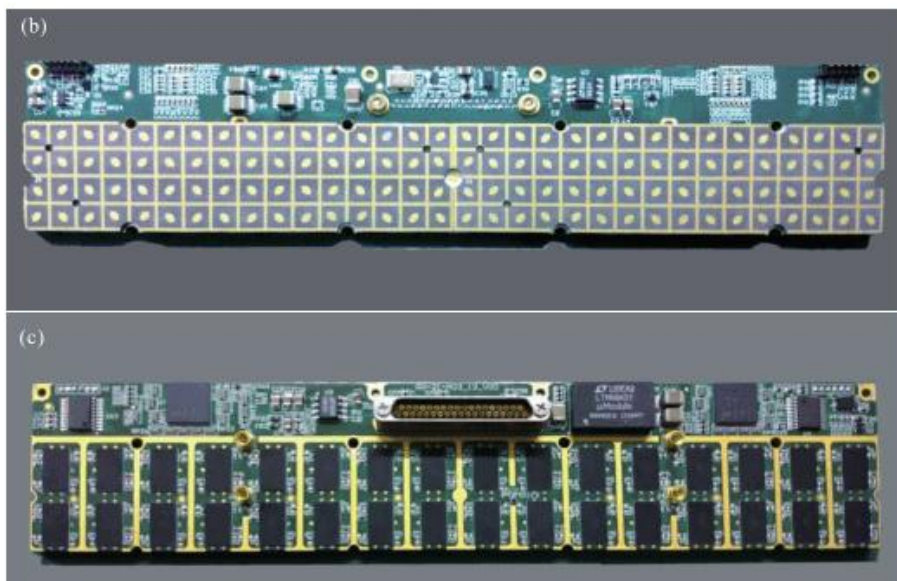
资料来源：臻镭科技，国信证券经济研究所整理

图 75：混合集成与单片集成关系示意图



资料来源：射频百花潭，国信证券经济研究所整理

图 76：微系统辐射面与背面图示



资料来源：射频百花潭，国信证券经济研究所整理

- ◆ 地面基础设施除信关站外，还需要测控站。测运控是保障卫星在轨正常运行的关键因素，尤其是寿命相对更有限的低轨卫星，需要通过高可靠的测控管理实现卫星在轨安全运行并稳定开展业务，最大限度延长卫星使用时间，实现卫星价值的高效利用。
- ◆ 第三方商业测控公司有望受益低轨卫星星座建设。一方面，随着低轨卫星建设启动，迅速增加的在轨卫星数量释放更多的测控需求；另一方面，自建测控站的初期投入、运营费用等是较大的成本压力，尤其对于一些民营商业卫星公司。相关厂商包括中科星图（688568.SH）、航天驭星、天链测控、寰宇卫星、中科天塔、宇航智科、屹信航天等。

图 77：不同类型的测控地面站



多功能一体化卫星地面站



UHF/VHF遥测遥控地面站



机动式地面站



车载地面站

资料来源：航天驭星官网，国信证券经济研究所整理

图 78：航天驭星商业卫星测控网



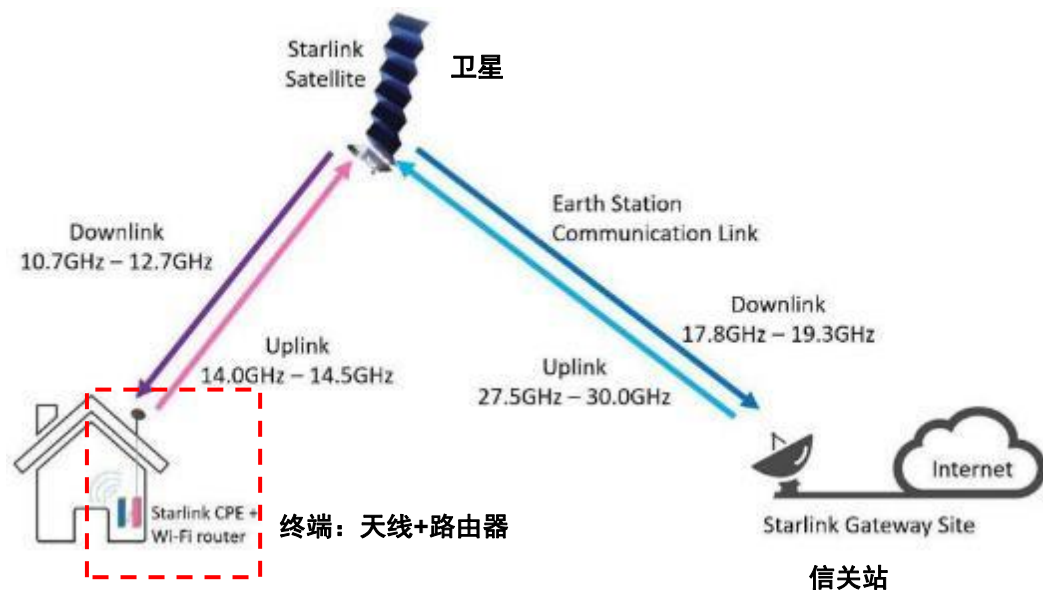
资料来源：航天驭星官网，国信证券经济研究所整理

卫星终端：终端形态各异，远期市场空间广阔

◆ 从形态来看，卫星宽带通信目前主要以固定业务为主，终端形态与移动卫星终端有较大差异。由于功率限制，在低轨宽带通信应用中，目前用户需要使用接收天线连上卫星，并通过路由器构建家庭局域网络。以Starlink为例，其用户需要购买Starlink Dish用于使用星链服务，完整的硬件设备目前售价599美元。作为对比，典型的移动卫星通信如卫星电话，终端形态差异较大。

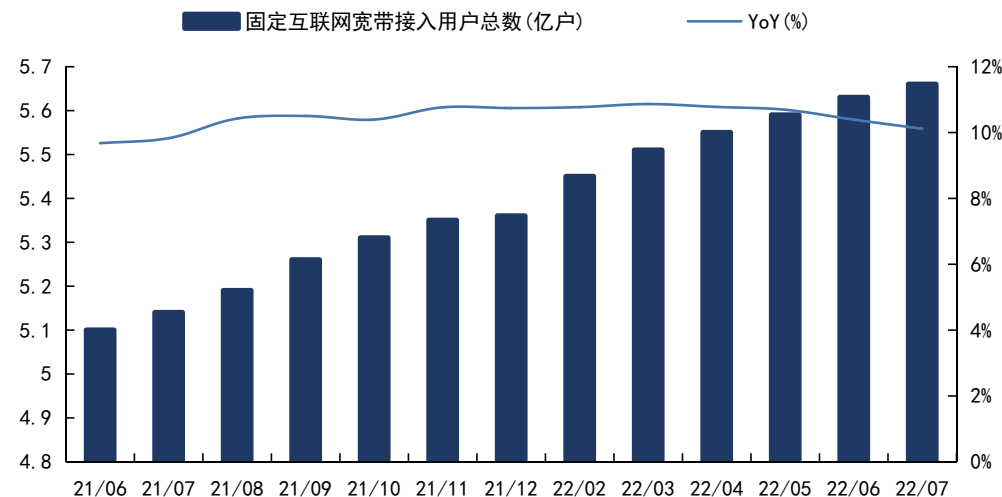
◆ 长远来看，随着我国低轨卫星建设逐步推进，产业链价值重心将逐步向卫星终端与运营应用环节转移，终端侧前景广阔。2021年MWC上，马斯克曾透露目前星链终端成本在1000美元以上，远期来看，其希望终端价格能降低到250-300美元。基于上述价格，目前星链40万用户对应实际终端市场空间已达4亿美元；远期来看，目前国内宽带用户约5.7亿户，以6亿户、5%渗透率估算，对应国内低轨宽带卫星用户数达到3000万人，卫星终端市场规模可达约75亿美元（ASP 250美元）。

图 79：Starlink网络架构示意图



资料来源：FCC，国信证券经济研究所整理

图 80：国内固网用户数（亿户）及同比增速



资料来源：工信部，国信证券经济研究所整理

卫星终端：卫星宽带通信终端采用相控阵天线

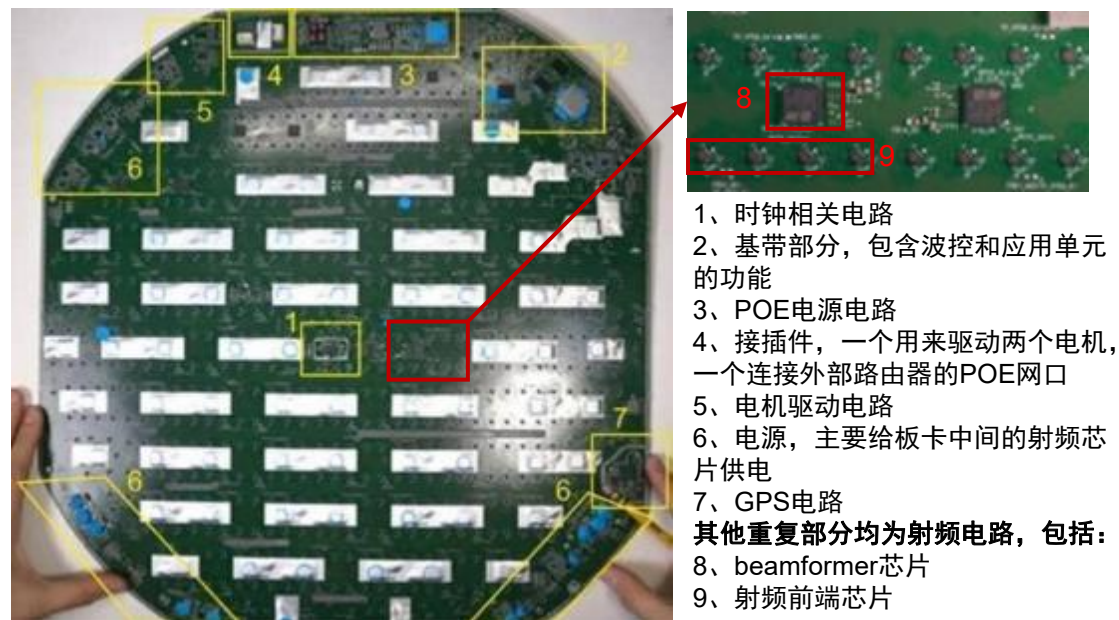
- ◆ 在用户侧卫星终端中，相控阵天线亦有应用。据天锐星通依托Ken Keiter的Starlink dish拆机视频的分析，Starlink Dish相控阵天线单元阵元数量为1264，射频电路包括79颗多通道beamformer芯片和632颗射频前端芯片，即1个射频通道对应2个天线辐射单元。
- ◆ 后续随着星座建设推进及用户段应用落地，对比卫星应用，终端侧射频电路要求降低，相关T/R芯片及组件厂商亦有望受益用户侧终端需求。

图 81：Starlink Dish实际应用示意



资料来源：Starlink，国信证券经济研究所整理

图 82：Starlink Dish内部相控阵天线芯片侧布局



资料来源：天锐星通，国信证券经济研究所整理

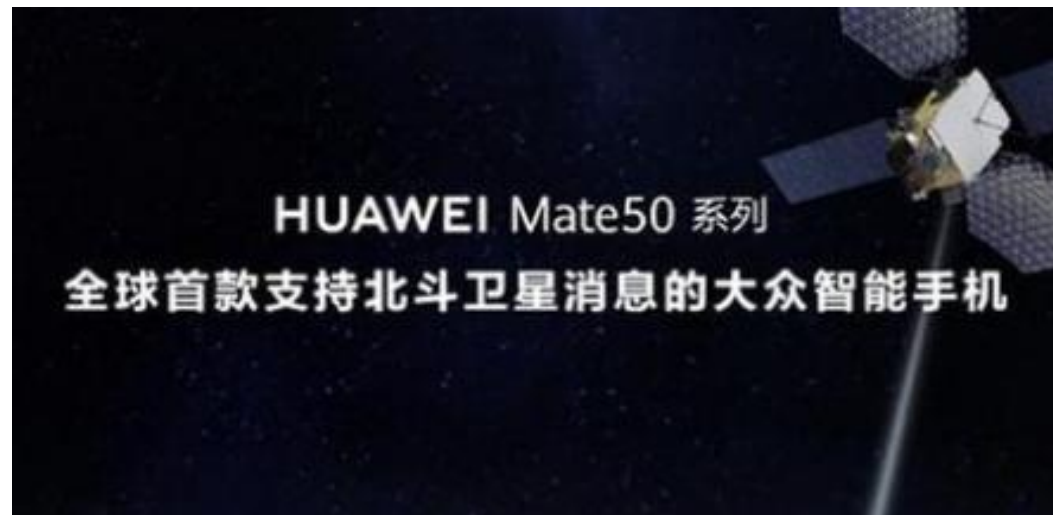
- ◆ 目前，卫星通信移动终端产品主要用于应急等场景。例如我国天通卫星移动通信系统，是我国军民融合的卫星移动通信系统，采用 GEO 卫星，多波束覆盖，提供话音、传真、数据和图像等业务，在保证军事应用的同时，为民用提供应急通信和边远、海洋等地区通信。2018 年天通一号 1740 号段正式推出，天通一号系统正式商用。其用户通用业务终端包括卫星手持终端、双网手持终端、应急手持终端、宽带便携通信终端、移动车载通信终端等，相关终端制造厂商包括海格通信、华力创通、盛洋科技等。
- ◆ 消费电子产品卫星通信功能已逐步开始落地，短期内主要为应急通信服务。例如，华为 Mate 50 将搭载北斗短报文应用；SpaceX 与 T-Mobile 在美国计划使用配备大型天线阵列的第二代星链（Starlink）卫星为手机提供基础服务，以基本消除全美各地的盲区。

图 83：天通卫星通用业务终端



资料来源：天通卫星行业应用，国信证券经济研究所整理

图 84：华为Mate 50将搭载北斗短报文功能

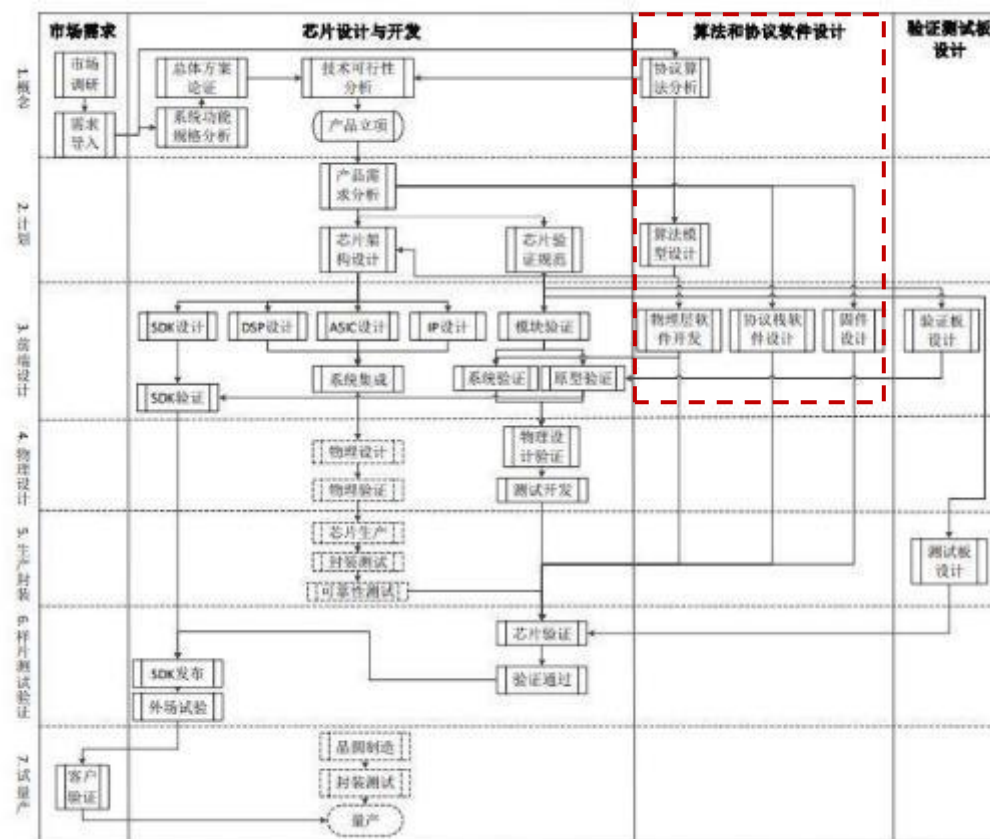


资料来源：华为终端，国信证券经济研究所整理

卫星终端：现有卫星通信芯片供应商或有望受益

- ◆ 除射频部分外，卫星基带芯片部分由于需要通信算法和协议栈的积累，现有供应商有望延续优势，或受益于后续大规模应用。卫星通信芯片主要用于卫星信号的调制解调和协议栈的处理工作，因此一般需要熟悉通信算法和协议栈的单位才有能力研制。目前具备相应卫星通信芯片技术能力的供应商包括华力创通、海格通信、中国电科、中科晶上以及紫光展锐、海思等，

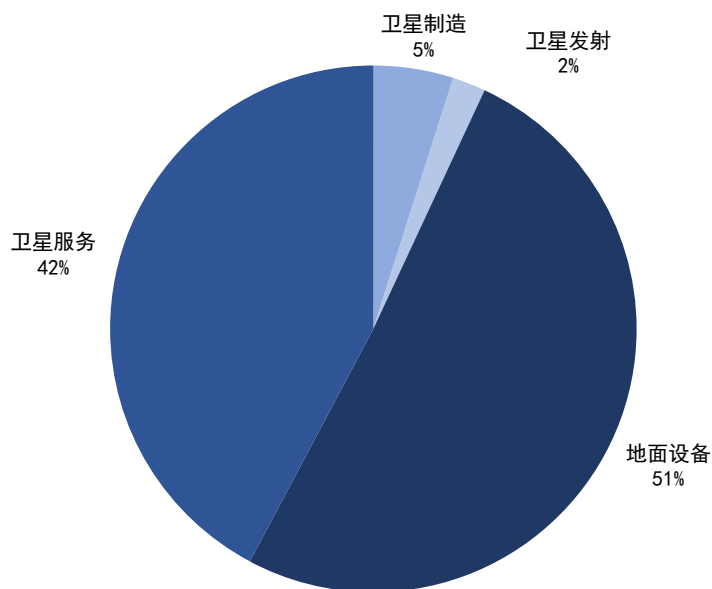
图 85：卫星通信芯片研发流程



资料来源：中科晶上招股说明书，国信证券经济研究所整理

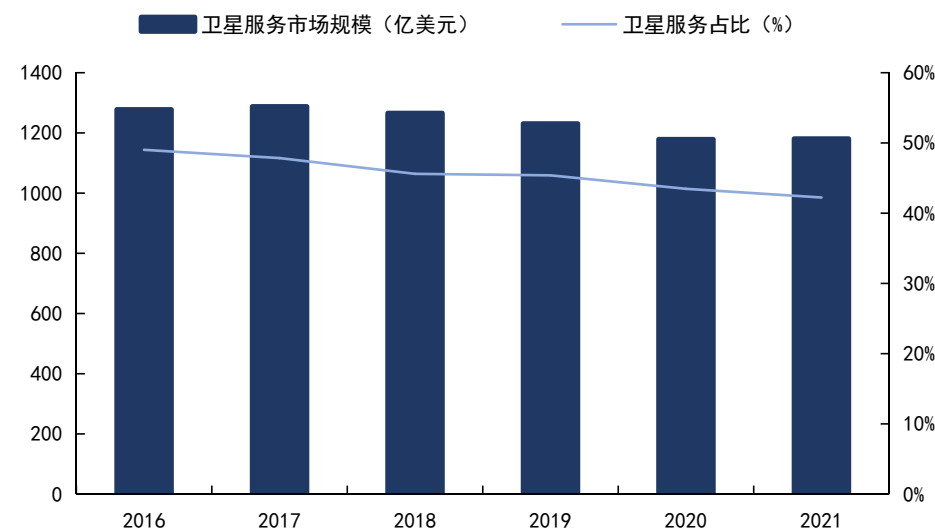
- ◆ 卫星产业成熟的情况下，运营服务将是产业价值链的另一大重心。根据SIA数据，与用户侧相关的地面制造（终端）、卫星服务等为卫星产业的重心所在，2021年卫星服务实现收入1180亿美元，占卫星产业的比重达到42.3%。因此，随着星座建设逐步完成，产业链重心将逐渐由上游的卫星制造、卫星发射环节向中下游的地面设备及运营服务转移。
- ◆ 目前，我国卫星通信运营商包括中国星网、中国卫通、中交通信（盛洋科技拟收购）、中国电信、中国联通、亚太星通等。

图 86：2021年全球卫星产业价值分布



资料来源：SIA，国信证券经济研究所整理

图 87：全球卫星服务市场规模（亿美元）及价值占比



资料来源：SIA，国信证券经济研究所整理

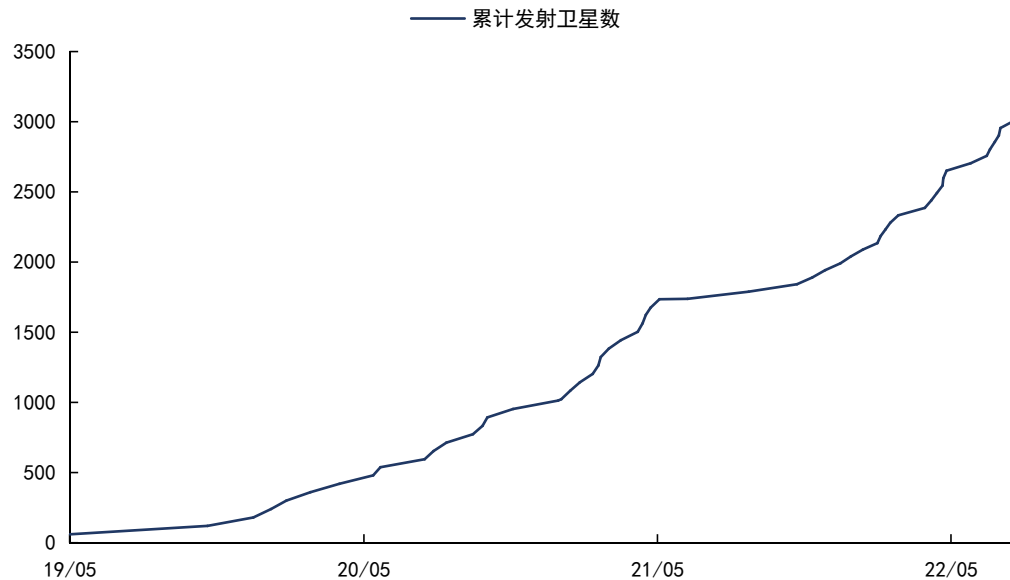
小结：卫星制造率先受益，建议关注T/R组件环节

- ◆ 随着我国低轨卫星建设帷幕逐渐拉开，卫星制造作为上游产业链将率先受益。其中重点关注通信载荷中T/R组件环节，主要因素包括：
 - （1）批量卫星制造的成本节约将主要在卫星平台侧，卫星载荷的成长空间和确定性更高。卫星载荷与卫星功能稳定性与任务息息相关，因此批量卫星成本节约将主要集中在卫星平台侧，根据艾瑞咨询，理想状态下，卫星平台的成本占比在20%-30%之间，理论上比现在可以节约全星的四分之一成本。因此，平台侧供应商虽然也受益于卫星制造放量，但相对来说长期增长的空间和确定性较载荷侧有限。
 - （2）T/R组件是低轨通信卫星载荷中相控阵天线的关键、必备零部件，是卫星载荷中价值占比最高的组件环节。通信卫星载荷主要分为天线和转发器两大分系统，其中，低轨卫星将主要采用相控阵天线系统，其占载荷的价值占比可以达到70-80%；而T/R组件是相控阵天线的核心零部件，T/R组件成本可以占据有源相控阵天线模块成本的50-60%，价值占比超过行波管等其他载荷组件。
 - （3）未来来看，随着通信卫星功能增强，实际单星T/R组件用量和总价值量有望提升。虽然随着大规模建设启动，T/R组件价格将随之下降；但低轨通信卫星功能将逐渐增强，单星T/R组件用量将提升，抵抗价格降低。
- ◆ 目前低轨卫星建设处于起步阶段，当前具备Ku/Ka等低轨通信卫星常用频段的T/R组件或射频芯片/模块积累的公司将具有先发优势。

四、Starlink（星链）：低轨卫星互联网领先者

- ◆ Starlink（星链）是SpaceX推出的一项通过近地轨道卫星群，提供覆盖全球的高速互联网接入服务。星链属于卫星固定业务，不同于铱星等移动通信卫星系统，需要安装天线终端接入互联网。“星链”虽然不是最早进入近地轨道宽带互联网领域，但却是迄今为止成功发射卫星最多最快、获得落地批准国家最多、用户数量规模最大、全球影响力最高的卫星星座。
- ◆ 从发展历史来看，2015年，SpaceX提出了大规模巨型星座计划，目标是为美国以及全球的消费者提供高速、低时延宽带接入服务。2018年星链2颗原型实验星送入预定轨道，同年3月、11月，星链第一代LEO星座计划和VLEO星座计划先后获得美国FCC批准。2019年，星链第一批v0.9卫星发射进入预定轨道，开启星座建设；2020年开始于北美启动公测服务。截止2022年5月底，SpaceX公司对外宣称已在全球36个国家/地区可以实现业务落地，提供互联网接入服务，并计划2023年将服务扩展到亚洲、非洲和中东地区。

图 88：Starlink累计发射卫星数量（截止2022年8月12日）



资料来源：Jonathan's Space Report，国信证券经济研究所整理

图 89：Starlink服务范围



资料来源：Starlink官网，国信证券经济研究所整理

业务模式：提供四大业务类型，月租费为主要商业模式



- ◆ 星链最主要为如偏远地区等无法接入高速互联网的用户提供宽带接入服务，目前共提供四大类业务，除硬件终端一次性收费外，每月网络服务费为主要盈利模式：
 - （1）住宅版（Resident）：星链最基本的服务类型，在2022年调价后，目前终端硬件费用为599美元，用户月租费用为110美元，预计下行速率在50-200Mbps，预计上行速率在10-20Mbps。
 - （2）商用版（Starlink Business）：2022年2月首次推出，为高级版本，为小型商业用户和超级用户提供更加坚固耐用且性能更好的终端设备，包括更大尺寸的矩形天线以及升级版路由器，同时承诺提供全天候优先服务，可享受宽带接入服务。终端应届费用为2500美元，用户月租费用为500美元，预计下行速率在100-350Mbps，预计上行速率在10-40Mbps。
 - （3）房车版（Starlink for RVs）：2022年5月推出，面向房车等专为喜欢公路旅行或露营的用户。终端费用与普通版一致，月租费用为135美元。不过房车版优先级较低，在高峰时段将有明显的速率下降（预计下行速率从50-200Mbps下降至5-100Mbps，上行速率从10-20Mbps下降至1-10Mbps）。
 - （4）海事版（Starlink Maritime）：2022年7月推出，月租费为5000美元，配套两套终端设备，终端硬件费用为10000美元，预计下行速度为100-350Mbps，预计上行速度为20-40Mbps，但该服务的网络延迟较普通星链服务高，为<99毫秒。

表 25：Starlink提供的宽带接入服务

| 服务类型 | | 简介 | 延迟（ms） | 预计下行速率（Mbps） | 预计上行速率（Mbps） | 定价 （美国地区，美元） |
|----------------------------|---|----|--------|----------------|--------------|------------------------|
| 住宅版 （Resident） | 普通版本 | | 20-40 | 50-200 | 10-20 | 终端：599 |
| | | | | | | 运费和手续费：50 月租费：110 |
| 商用版 （Starlink Business） | 为小型商业用户和超级用户提供包括更大尺寸的天线以及升级版路由器，同时承诺提供全天候优先服务 | | 20-40 | 100-350 | 10-40 | 终端：2500 |
| | | | | | | 运费和手续费：50 月租费：500 |
| 房车版 （Starlink for RVs） | 面向房车应用，允许用户支付更多费用跳过候补名单以在没有固定地址的情况下连接到其宽带卫星 | | 20-40 | 50-200; 5-100* | 10-20; 1-10* | 终端：599 |
| | | | | | | 运费和手续费：50 月租费：135 |
| 海事版 （Starlink Maritime） | 海上应用 | | <99 | 100-350 | 20-40 | 终端*2: 10000 |
| | | | | | | 运费和手续费：100 月租费：5000 |

资料来源：Starlink官网，国信证券经济研究所整理

◆ 目前星链计划的规划低轨卫星数量为全球第一，实际在轨运行低轨卫星数量也为全球第一：

- 从规划来看，根据Starlink向FCC提交的规划，第一代星链星座（Starlink Gen1）在经过3次修订后，LEO总规划卫星数量4408颗，VLEO总规划卫星数7518颗；第二代星链星座（Starlink Gen2）规划卫星数量近3万颗。
- 在轨运行数量方面，Starlink自2019年5月首次发射以来（不含TinTin实验星），已发射超3000颗卫星；据Jonathan’s Space Report数据，目前Gen1已累计发射2993颗卫星，目前实际在轨卫星数量为2792颗。

表 26：Starlink星座计划及发射情况

| 类别 | 轨道高度（km） | 轨道倾角（°） | 计划总卫星数量（颗） | 发射卫星数量（颗） | 实际在轨卫星数量（颗） |
|---------------------|----------|---------|------------|-----------|-------------|
| Starlink Gen 1-LEO | | | | | |
| Group 1 | 550 | 53.0 | 1584 | 1665 | 1523 |
| Group 2 | 570 | 70.0 | 720 | 51 | 51 |
| Group 3 | 560 | 97.6 | 348 | 151 | 141 |
| Group 4 | 540 | 53.2 | 1584 | 1126 | 1077 |
| Group 5 | 560 | 97.6 | 172 | 0 | 0 |
| 小计 | | | 4408 | 2993 | 2792 |
| Starlink Gen 1-VLEO | | | | | |
| 1 | 335.9 | 42.0 | 2493 | | |
| 2 | 340.8 | 48.0 | 2478 | | |
| 3 | 345.6 | 53.0 | 2547 | | |
| 小计 | | | 7518 | | |
| Starlink Gen 2 | | | | | |
| 1 | 340 | 53.0 | 5280 | | |
| 2 | 345 | 46.0 | 5280 | | |
| 3 | 350 | 38.0 | 5280 | | |
| 4 | 360 | 96.9 | 3600 | | |
| 5 | 525 | 53.0 | 3360 | | |
| 6 | 530 | 43.0 | 3360 | | |
| 7 | 535 | 33.0 | 3360 | | |
| 8 | 604 | 148.0 | 144 | | |
| 9 | 614 | 115.7 | 324 | | |
| 小计 | | | 29988 | | |
| 合计 | | | 41914 | | |

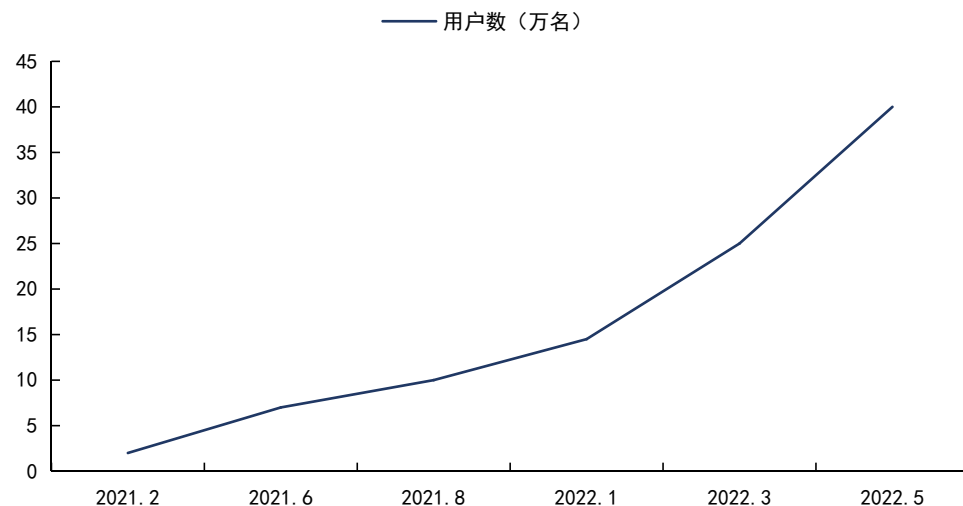
资料来源：FCC，Jonathan’s Space Report，国信证券经济研究所整理；注：发射卫星数不超过3000颗系未涵盖首次发射的60颗v0.9卫星

卫星规划与部署情况：全球最大低轨卫星星座计划（2）

◆ 从用户和地面信关站的情况来看：

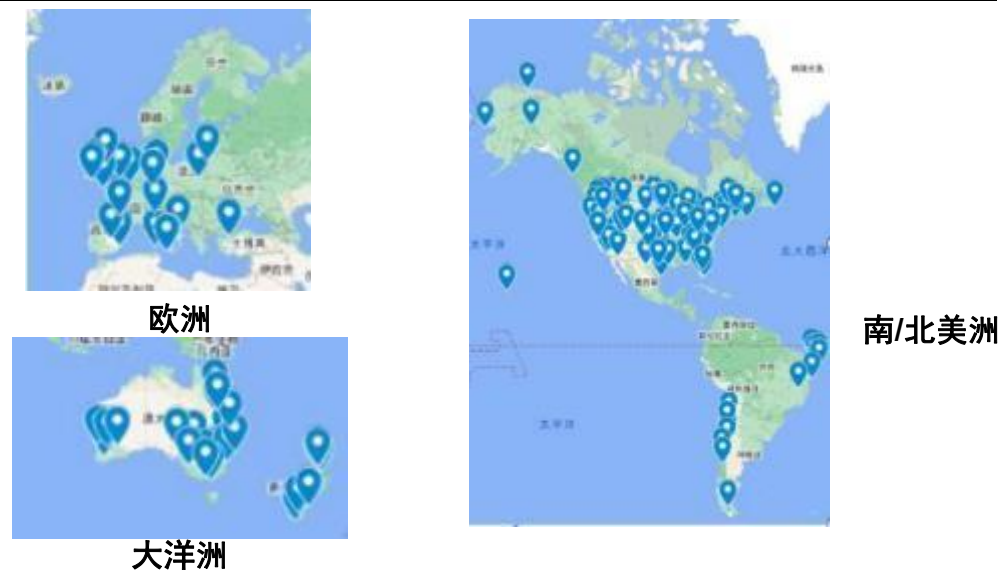
- **用户规模：**Starlink用户规模快速增长，根据SpaceX于2022年5月向FCC提交的一份文件显示，Starlink用户数已突破40万，对比上年初14.5万呈现快速增长态势。Starlink已在全球36个国家/地区可以实现业务落地，提供互联网接入服务，并计划2023年将服务扩展到亚洲、非洲和中东地区。
- **信关站：**由于目前v1.0星链卫星仍广泛使用，在v1.5 Starlink卫星星间链路激活之前，Starlink对外提供服务的区域主要与地面关口站部署位置有关——地面终端必须与地面关口站同时位于Starlink卫星覆盖范围内才能实现卫星互联网接入。据Satellitemap统计，Starlink目前信关站布局已突破100个，主要位于欧洲、北美、南美及大洋洲。

图 90：Starlink用户数



资料来源：FCC，Starlink，国信证券经济研究所整理

图 91：Starlink部分信关站分布



资料来源：FCC，Satellitemap，国信证券经济研究所整理

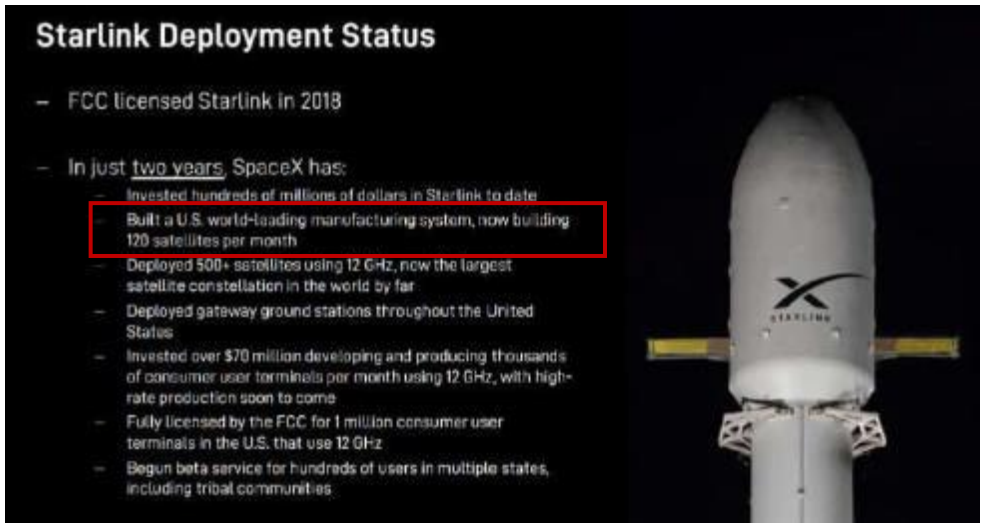
- ◆ Starlink在卫星研发设计制造、发射模式等方面的创新大幅削减卫星制造和发射的成本，使低轨卫星大规模部署成为可能：
- 卫星方面，Starlink采用了如1) 平板式设计；2) 氦离子电推进器；3) 单面太阳能电池板等设计用于降低卫星成本。Starlink抛弃了实验星的箱式设计，在v0.9及随后的卫星版本中采用平板式设计增加单次发射卫星数量，使“猎鹰-9”号运载火箭一次可发射60枚1.0版本卫星或53颗1.5版本卫星，大大降低了生产与发射成本。Starlink创新性采用氦气作为霍尔推进器的助推剂，如前文所述，价格低廉的氦气价格进一步削减成本；采用单面太阳能电池板的设计也有助于减少机械组件数量。
 - 高度自研，持续迭代。除此以外，Starlink坚持独立研发路线，涵盖硬件侧的PCB、FPGA到平台、载荷子系统以及配套软件等环节；且持续迭代，从实验星至v1.5，Starlink已完成四个版本的卫星迭代，2.0版本正在研发中。
 - 制造上，星链实现批量生产卫星，2020年即达到了每月制造120颗“星链”卫星的速度。

表 27：Starlink卫星迭代

| 版本 | 演进 | 设计 | 重量(kg) | 首次发射时间 |
|----------|--|---------|--------|---------|
| TinTin | 原型试验卫星，配置了Ku频段相控阵天线载荷，支持开展星地宽带体制的测试 | 箱体设计 | 400 | 2018.2 |
| v0.9 | 搭载1副太阳能电池阵列、4副相控阵天线、霍尔推力器、星敏感器和自主避撞系统，仅支持Ku频段通信 | 平板式结构设计 | 227 | 2019.5 |
| v1.0 | 增加Ka频段，后期加装遮阳板、深色涂层；再入大气层可完全烧蚀 | 平板式结构设计 | 260 | 2019.11 |
| v1.5 | 增加星间激光链路载荷；不再使用此前加装、影响激光通信的星载遮阳板，但仍采用改进涂层以降低其可见度 | 平板式结构设计 | 295 | 2021.9 |
| v2.0（计划） | 通信能力较v1.0高出10倍 | 平板式结构设计 | 1250 | |

资料来源：Starlink，国信证券经济研究所整理

图 92：2020年Starlink实现每月制造120颗卫星



资料来源：Starlink，CNBC，国信证券经济研究所整理

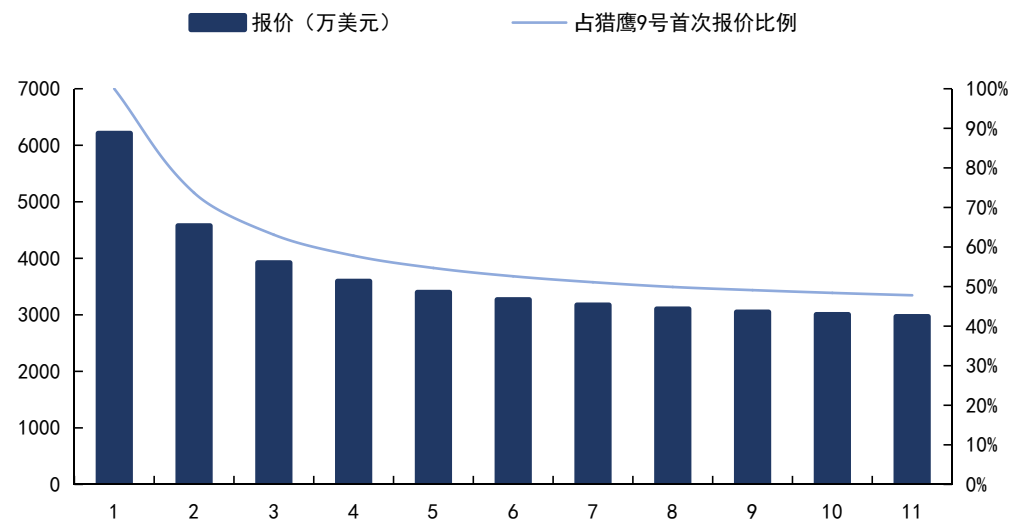
- 发射模式方面，星箭一体化与火箭回收大幅降低卫星发射成本：星箭一体化设计可以最大程度综合利用整流罩包络空间、火箭运载能力，使单发火箭可以发射更多的卫星；而火箭回收技术是降低发射成本的关键，猎鹰9号火箭充分复用后，每批星链卫星发射费用在3000万美元以下，平摊到每颗卫星，发射费用在50万美元以内，对应每公斤发射成本仅为0.19万美元（v1.0卫星）。

图 93：星箭一体化设计实现一箭60星



资料来源：Starlink, CNBC, 国信证券经济研究所整理

图 94：火箭重复发射降低发射费用



资料来源：小火箭, 国信证券经济研究所整理

质疑一：空间安全与天文观测污染

- ◆ Starlink面临的一大质疑点是空间安全与对天文观测的污染：
 - 空间安全方面，低轨卫星的大量部署加大了航天器的碰撞风险，例如Starlink卫星曾两次危险接近中国空间站，NASA也对Starlink卫星对国际空间站的安全威胁表达担忧。
 - 天文观测污染方面，根据《Science》的报告，一方面，Starlink卫星的光反射对光学和红外天文台产生负面影响；另一方面，通信卫星的无线电信号也会对射电望远镜产生干扰。SpaceX在尝试解决这一问题，例如降低卫星反光等。

图 95：中国就星链卫星两次险些撞上中国空间站，向联合国提交的文件



资料来源：联合国，国信证券经济研究所整理

图 96：在对金星和昴星团的观测中出现了明显的星链卫星轨迹

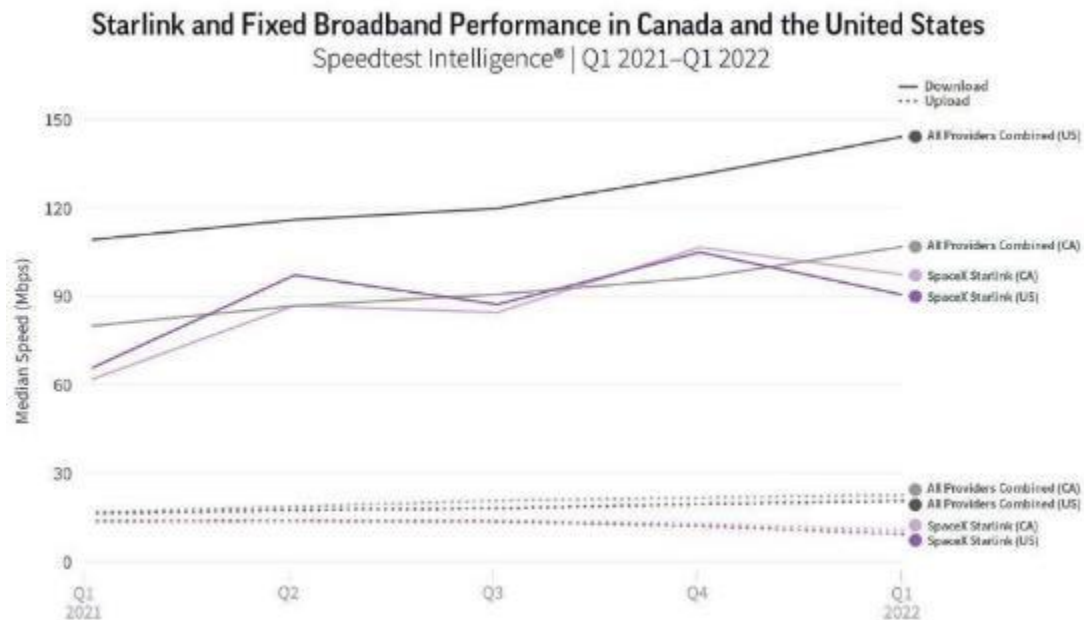


资料来源：American Astronomical Society，国信证券经济研究所整理

质疑二：收费高与速率下降

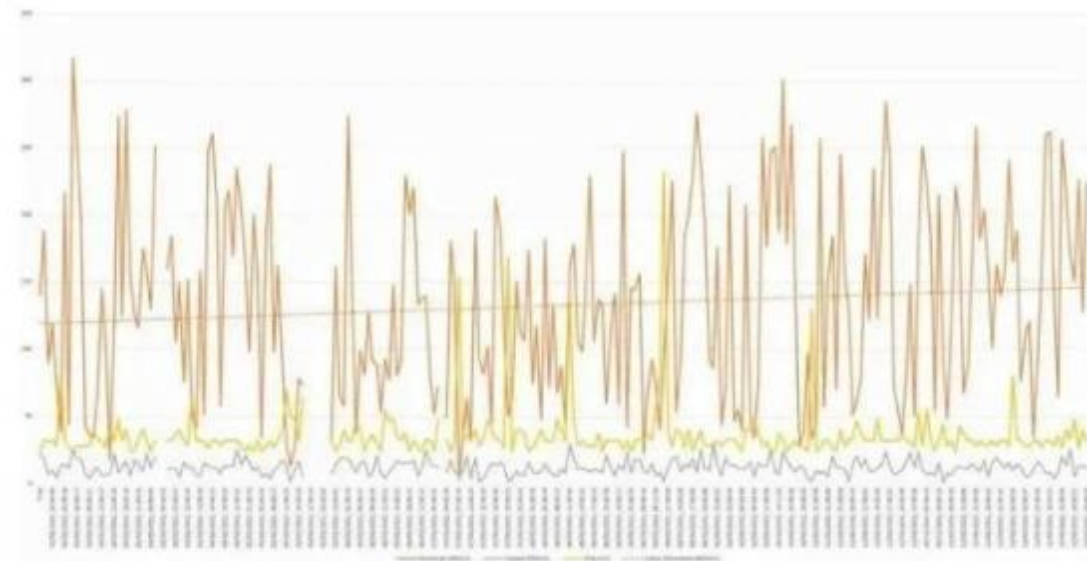
◆ FCC取消Starlink美国农村数字机会基金项目（RDOF）的支持是一大体现。美国、澳大利亚等农村地区是Starlink目前最主要的用户群体。美国农村数字机会基金项目（RDOF）是2020年美国联邦通信委员会投票通过的一个重磅项目，该基金共计204亿美元，旨在确保美国农村地区的居民能够接入宽带互联网。而在今年的RDOF竞标中，星链并未取得基金支持，FCC主席提出了对星链速率和价格的质疑——一方面由于用户增加，星链出现性能下降，且星链的连接速率波动较大，Ookla的数据显示Starlink在美国的平均上行速率在22Q1已降低到9.3Mbps，平均下行速率也环比下降到90.55Mbps；另一方面，涨价后，599美元的终端费用和110美元的月费，价格高昂。

图 97：22Q1 Starlink在美国和加拿大的平均下行/上行速率明显下降



资料来源：Ookla，国信证券经济研究所整理

图 98：Starlink宽带连接的速率波动明显



资料来源：太空与网络，国信证券经济研究所整理

五、投资建议

- ◆ 我国低轨卫星建设蓄势待发，上游卫星制造环节率先受益。其中，T/R组件环节具有 1) 批量卫星建设成本节约主要在卫星平台侧，载荷成本占比有望提升；2) T/R组件是低轨通信卫星载荷中相控阵天线的关键必备零部件，价值占比高；3) 通信卫星功能增强，实际单星T/R组件用量和总价值量提升等特点。
- ◆ 因此载荷侧T/R组件环节的受益确定性和成长性更为显著，建议关注T/R组件相关产业环节如国博电子等。

表 28：重点公司盈利预测及估值

| 代码 | 简称 | 投资评级 | 股价 (10月11日) | EPS（元） | | | 2021 | PE | | PB (LF) | 总市值 (亿元) |
|------------|------|------|----------------|--------|-------|-------|------|-------|-------|---------|-------------|
| | | | | 2021 | 2022E | 2023E | | 2022E | 2023E | | |
| 688375. SH | 国博电子 | 增持 | 90.90 | 1.02 | 1.33 | 1.93 | — | 80.6 | 55.4 | 8.2 | 454 |

资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理和预测

- ◆ 国内稀缺有源相控阵收发（T/R）组件和射频集成电路供应商，已深耕行业20多年。T/R组件是相控阵雷达核心元器件。公司拥有完整的T/R组件各模块产研技术，该产品经营规模大幅领先同行业上市公司；其射频集成电路已进入通信设备龙头企业供应链，与国际大厂同台竞争。公司继承了中电科55所核心技术和客户资源，正受益军用雷达、卫星、移动通信等行业景气发展。
- ◆ 公司产品在军用与民用市场规模超百亿元，卫星市场增速快。根据我们测算，1）军用雷达：有源相控阵T/R组件在军用雷达市场25年规模约140亿元，供应商主要以国博电子（中电科55所）和中电科某所为主。2）低轨卫星：25年有源相控阵T/R组件市场规模超60亿元。目前行业正在起步阶段，军工企业为主要上游供应商，鲜有民营企业布局。3）移动通信：25年5G基站和毫米波基站射频器件全球市场规模近200亿元。基站射频元器件供应商主要是国际大厂，公司基站射频模块全球市占率约4%，国产自主可控发展机遇较大。
- ◆ 竞争优势：产品具有稀缺性、工艺领先，芯片自主可控，股东55所实力雄厚。1）稀缺高频、完整T/R组件供应商。公司Ku/Ka高频产品差异化定位，设计与生产工艺领先，产品性能好、单品价值高。2）上游芯片自主可控且产能有保障。公司目前自研芯片（Fabless模式），新基地投产后可自主组装芯片，产能将大幅扩充。3）创新力强，定型批产型号多，下游应用广。公司不断迭代和突破新技术，新品与下游需求高度耦合，研制了数百款产品。4）背靠55所，在客户、技术等方面形成协同，在执行订单50亿元。
- ◆ 成长性：卫星通信快速增长、基站和终端射频芯片受益国产替代。低轨卫星频段与轨道是不可再生资源，全球竞争激烈；我国正突破核心技术，加速发展低轨卫星行业。公司生产的Ku/Ka频段T/R组件是卫星通信载荷重要元器件，卫星制造企业航天科工、航天科技等企业是公司主要下游客户，公司有望受益行业发展。公司自2G时代开始与国产头部通信设备商合作，是通信基站射频模块/芯片自主可控主要供应商。公司积极布局射频芯片在终端、车载等领域应用，已有产品获得认证并取得批量订单。公司新基地将大幅扩充GaN等芯片产能，受益国产替代，民用射频芯片市场有望打开。
- ◆ 盈利预测：预计公司22-24年收入分别为35.6/48.6/64.6亿元，归母净利润分别为5.3/7.3/9.7亿元，维持“增持”评级。

- ◆ 低轨卫星星座建设进度不及预期
- ◆ 一箭多星、火箭回收等技术发展不及预期，成本过高影响建设进程
- ◆ 空间轨道资源和频谱资源被大量占用

免责声明

| 国信证券投资评级 | | |
|----------|----|----------------------------|
| 类别 | 级别 | 定义 |
| 股票投资评级 | 买入 | 预计6个月内，股价表现优于市场指数20%以上 |
| | 增持 | 预计6个月内，股价表现优于市场指数10%-20%之间 |
| | 中性 | 预计6个月内，股价表现介于市场指数±10%之间 |
| | 卖出 | 预计6个月内，股价表现弱于市场指数10%以上 |
| 行业投资评级 | 超配 | 预计6个月内，行业指数表现优于市场指数10%以上 |
| | 中性 | 预计6个月内，行业指数表现介于市场指数±10%之间 |
| | 低配 | 预计6个月内，行业指数表现弱于市场指数10%以上 |

分析师承诺

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。 ， 本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。 未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。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，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我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。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。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。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构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，并向客户发布的行为。



国信证券
GUOSEN SECURITIES

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路125号国信金融大厦36层

邮编：518046 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路1199弄证大五道口广场1号楼12楼

邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街6号国信证券9层

邮编：100032