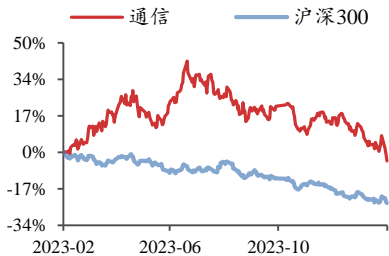


## 通信

2024年02月01日

投资评级：看好（维持）

行业走势图



数据来源：聚源

### 相关研究报告

《央企宝信软件、运营商迎新机遇，光模块龙头中际旭创业绩表现亮眼—行业周报》-2024.1.28

《央企市值管理或将纳入业绩考核，宝信软件、运营商有望受益—行业点评报告》-2024.1.24

《持续看好国产高端自动化、光模块、卫星互联网等板块—行业周报》-2024.1.21

# 大国重器，我国卫星互联网迎“破茧成蝶”成长期

——行业深度报告

蒋颖（分析师）

jiangying@kysec.cn

证书编号：S0790523120003

## ● 卫星互联网迎密集催化，迈入“破茧成蝶”成长期

卫星互联网是基于卫星通信的互联网，欧美领跑，我国于2020年将卫星互联网首次纳入新基建范畴，上升为国家战略性工程。从产业链结构来看，卫星互联网主要由基础设施建设、卫星互联网运营以及终端用户三大部分组成，其中最为核心的为卫星制造、卫星发射、地面设备、卫星运营及服务四大环节。近期产业发展如火如荼，如我国试验卫星陆续发射、多地出台产业支持政策、终端应用不断普及、海外星链发展日益壮大等，我们认为卫星互联网有望迎来市场“破茧”和产业链“成蝶”的重要历史发展机遇期。

## ● 四大因素齐驱动，卫星互联网发展势在必行

卫星互联网行业前期的发展主要受益于技术的成熟、各国对稀缺频轨资源的竞争、军事价值等，后期的发展主要受益于商业价值潜力：1、技术逐步成熟：低轨卫星星座相关技术、“一箭多星”和“可回收发射”的火箭发射技术不断发展成熟，有效降低卫星互联网建设成本；2、频轨资源稀缺：由于国际电信联盟（ITU）规定轨道和频段资源获取遵循“先到先得”原则，低轨卫星所主要采用的Ku及Ka通信频段资源也逐渐趋于饱和状态，太空资源的争夺具有迫切性；3、军事意义重大：低轨互联网卫星系统得益于其全球化高带宽的波束覆盖，有望增强军队的信息化能力，具有重要军用价值；4、商业价值潜力：卫星互联网作为地面通信系统的有效补充和未来6G的重要组成部分，下游应用市场广阔，具有较大的商业潜力和前景。

## ● 国内产业突破在即，产业链各环节均有望受益

我国高度重视卫星互联网建设，多因素助力产业发展：1、政策端：卫星互联网纳入“新基建”，政策持续力推；2、技术端：我国技术储备基本完备；3、资本端：民间资本助力卫星互联网发展，市场融资集中卫星制造领域；4、产业链端：我国卫星互联网产业发展已经较为完善。展望产业链各环节，我们认为受益情况各有不同：（1）卫星制造环节：优先受益于卫星发射增量需求，建议关注卫星载荷供应商、卫星平台零部件供应商；（2）卫星发射环节：建议关注发射资源分配、发射节奏及技术发展带来的产业催化；（3）地面设备环节：建议关注高价值量核心网建设各环节，以及终端市场；（4）卫星运营环节：星网、垣信分别牵头星网、G60，双线共进，有望快速构建卫星网络。

● **受益标的：**海格通信、铖昌科技、臻镭科技、盛路通信、航天环宇、信科移动-U、创意信息、佳缘科技、天银机电、航天电子、光库科技、西测测试、震有科技、华力创通、盟升电子、上海瀚讯、信维通信、中国卫星等。

● **风险提示：**组网建设进度及投资规模低于预期；卫星频率和轨道资源竞争风险；各环节技术发展及降本不及预期风险；中美贸易摩擦加剧。

## 目录

1、卫星互联网迎密集催化，产业发展如火如荼	4
1.1、产业事件不断催化，卫星互联网渐行渐近	4
1.2、迈入高速率宽带互联网时期，有望成为 6G 主流通信方式之一	6
1.3、卫星产业链各环节有望充分受益于卫星互联网发展	10
2、低轨化、宽带化、星间组网、星地一体等技术持续升级	13
2.1、低轨卫星星座加速发展，重视相控阵技术的应用	13
2.2、大带宽频轨资源需求旺盛，各国竞争布局高频段频谱	16
2.3、星间组网逐渐普及，激光通信前景可期	18
2.4、星地一体，卫星互联网与 5G/6G 加速融合	20
3、全球视野，欧美代表星座领跑行业	23
3.1、全球代表星座 Starlink：目标部署超万颗的低轨卫星	23
3.1.1、Starlink 基础设施建设	23
3.1.2、Starlink 商业运营	26
3.1.3、Starlink 军事应用潜力	26
3.2、其他国外代表星座简介	28
4、卫星互联网发展势在必行，国内产业突破在即	30
4.1、为什么要发展卫星互联网？	30
4.2、我国卫星互联网产业链完备，各环节均有望受益	36
5、受益标的介绍	41
6、风险提示	49

## 图表目录

图 1：卫星互联网近期产业催化不断	5
图 2：卫星系统分类	6
图 3：卫星互联网一般组成	7
图 4：卫星互联网的组网方式	8
图 5：卫星互联网历史沿革	9
图 6：卫星互联网产业链	10
图 7：卫星制造环节	10
图 8：卫星发射环节	11
图 9：卫星互联地面设备环节	11
图 10：卫星互联网运营及服务环节	12
图 11：卫星互联网技术成熟度与关注度示意图	12
图 12：全球通信卫星发射统计（2001—2020 年）	14
图 13：全球 LEO 在轨卫星用途分类（截至 2021 年 12 月）	14
图 14：通信卫星结构	18
图 15：天地一体网络的系统结构示意图	21
图 16：6G 卫星通信网络三阶段演进路线	22
图 17：Starlink 发展历程	23
图 18：Starlink 卫星迭代演进过程	24
图 19：Starlink 卫星各版本设计	24
图 20：猎鹰 9 号火箭	25
图 21：猎鹰火箭回收示意图	25
图 22：Starlink 地面终端外形图	25
图 23：Starlink 地面关口站	25
图 24：OneWeb 卫星布局示意图	28
图 25：O3b 卫星系统	28
图 26：Kuiper 计划	29
图 27：2029 年全球近地轨道卫星布局及占比预测	30
图 28：我国卫星互联网行业融资情况(单位:亿元, 起)	34
图 29：我国卫星互联网行业投融资轮次情况(单位:起)	34
图 30：我国卫星互联网行业融资产品变化(单位:%)	35

图 31: 我国卫星互联网市场规模预测(单位:亿元).....	36
图 32: 2019 年全球卫星产业细分结构图.....	36
图 33: Starlink 单星及相控阵平板示意图 .....	37
图 34: 2021 年我国航天发射次数居世界第一 .....	37
图 35: 卫星互联网核心应用场景 .....	38
图 36: 中国星网落户雄安 .....	39
图 37: 中国国内卫星互联网相关公司 .....	41
表 1: 卫星互联网优点 .....	7
表 2: 卫星轨道分类 .....	13
表 3: 不同卫星波束参数对比 .....	14
表 4: 近年来不同轨道通信卫星采用的多波束天线配置.....	15
表 5: 高低轨卫星应用系统优缺点对比 .....	15
表 6: 卫星通信使用无线电频率概况 .....	16
表 7: 典型卫星互联网使用频率 .....	17
表 8: 星间链路基本概况 .....	19
表 9: Starlink 星座参数.....	24
表 10: Starlink 产品服务.....	26
表 11: 我国卫星互联网部分相关政策.....	31
表 12: 我国部分关键技术积累 .....	32
表 13: 我国部分低轨卫星星座 .....	33
表 14: 卫星通信产业链主要环节 .....	36

## 1、卫星互联网迎密集催化，产业发展如火如荼

### 1.1、产业事件不断催化，卫星互联网渐行渐近

**我国卫星互联网试验卫星陆续发射。**2023年7月9日，我国在酒泉卫星发射中心使用长征二号丙运载火箭，成功将卫星互联网技术试验卫星发射升空；11月23日，我国在西昌卫星发射中心使用长征二号丁运载火箭及远征三号上面级成功将卫星互联网技术试验卫星发射升空，本次试验卫星由中国科学院微小卫星创新研究院（上海微小卫星工程中心）抓总研制；12月30日，我国在酒泉卫星发射中心使用长征二号丙运载火箭，成功将卫星互联网技术试验卫星发射升空。

**我国多地支持卫星互联网发展，产业政策不断完善。**2023年9月15日，上海市政府印发了《上海市进一步推进新型基础设施建设行动方案（2023—2026年）》，提出布局“天地一体”的卫星互联网；10月7日，工信部发布《关于创新信息通信行业管理优化营商环境的意见（征求意见稿）》，提出要统筹推进电信业务向民间资本开放，加大对民营企业参与移动通信转售等业务和服务创新的支持力度，分步骤、分阶段推进卫星互联网业务准入制度改革，不断拓宽民营企业参与电信业务经营的渠道和范围；11月20日，上海市人民政府办公厅印发《上海市促进商业航天发展打造空间信息产业高地行动计划（2023—2025年）》，提出主要目标：到2025年，以商业航天跨越式发展为牵引，围绕卫星制造、运载发射、地面系统设备、空间信息应用和服务等环节，加强卫星通信、导航、遥感一体化发展，推动空天地信息网络一体化融合；11月20日，首届明月湖空天信息产业国际生态活动在重庆举行，空天信息产业国际生态联盟以及国内首个空天信息产业共同体在渝发起，并发布了国内首个空天信息产业基金群，首批重庆市空天信息应用场景。

**国内火箭发射条件不断成熟，运力瓶颈有望迎来突破。**2023年11月2日14时00分，北京星际荣耀空间科技股份有限公司自主研发的液氧甲烷可重复使用验证火箭双曲线二号（代号SQX-2Y）在中国酒泉卫星发射中心实验成功；2024年1月11日，我国太原卫星发射中心在山东海阳附近海域使用引力一号运载火箭，将云遥一号18—20星3颗卫星顺利送入预定轨道将云遥一号18—20星3颗卫星顺利送入预定轨道，标志着我国全球运力最大固体运载火箭首飞成功。2023年11月26日，根据新华网消息，海南商业航天发射场目前已进入发射能力形成的攻坚阶段，2024年有望实现常态化发射。

**终端应用不断普及，加速卫星通信建设。**2023年8月29日，华为发布Mate 60 Pro，支持天通卫星通信，由中国电信运营；12月27日，荣耀官方宣布，Magic 6系列手机将搭载鸿燕卫星通信技术，支持通话和短信；12月27日，OPPO宣布下一代Find X旗舰机型将是旗下首款支持卫星通信的手机，支持通过卫星天线方向图调控技术，首次为智能手机带来听筒/免提双模卫星通话功能，该款手机或在2024年正式上市；吉利计划将于2024年初发射包含“吉利银河号”和“远程观星号”等在内的02组11颗卫星，进一步完善吉利“天地一体化”智能出行生态，2024年1月5日上市的吉利银河E8，将搭载卫星通信功能，此前吉利于2022年6月“吉利未来出行星座”01组一箭九星成功发射并稳定在轨运行。

**星链发展日益壮大，海外卫星互联网建设如火如荼。**2023年9月30日，SpaceX在卡角空军基地SLC-40使用Falcon 9发射Starlink Group 6-19任务，将22颗Starlink卫星送入LEO轨道，星链全球订购用户超过200万，正式进入62个国家

家；10月18日，SpaceX在卡角空军基地SLC-40使用Falcon 9发射第114批22颗微版“星链”v2.0卫星，本次发射后，SpaceX公司的“星链”卫星发射数量达到5287颗，其中包括573颗微版“星链”v2.0卫星，大约有4896颗“星链”在轨运行；10月28日，马斯克发文宣布，将把卫星通信系统“星链”（Starlink）提供给在加沙的国际认证援助组织使用；10月11日，SpaceX星链官方网站全新推出星链直连手机业务，适用于现有的LTE手机，无需更改硬件、固件或特殊应用程序，即可通过星链发送文本、语音和数据，预计2024年实现短信发送，2025年实现语音通话，2025年实现上网（Data），同年分阶段实现IOT（物联网），初期支持的运营商包括：T-MOBILE（美国）、OPTUS（澳大利亚）、ROGERS（加拿大）、ONE NZ（新西兰）、KDDI（日本）、SALT（瑞士），2024年1月4日，SpaceX发射了首批6颗能够提供移动电话服务的卫星。2023年10月6日，亚马逊为其太空互联网业务“Project Kuiper”发射首批测试卫星KuiperSat-1和KuiperSat-2，该项目计划投资100亿美元，已获得美国监管机构的许可，计划逐步部署超3200颗卫星。

**图1：卫星互联网近期产业催化不断**

卫星互联网核心催化	项目落地	星网试验卫星陆续发射，G60项目积极推进
	政策支持	中央与地方积极出台政策支持，远期市场空间广阔
	运力突破	国内火箭发射条件不断成熟，运力瓶颈有望迎来突破
	应用普及	众多消费终端厂商跟进卫星通信，卫星互联网应用探索初见端倪
	海外发展	星链为代表海外卫星互联网发展迅速，战略紧迫性越发凸显

资料来源：开源证券研究所



## 1.2、迈入高速率宽带互联网时期，有望成为 6G 主流通信方式之一

卫星产业主要包括卫星通信、卫星导航、卫星遥感以及卫星综合应用等，其中卫星互联网属于卫星产业中卫星通信的重要组成部分，随着航天技术的发展，与卫星产业相关的产品和服务已经广泛应用于各个行业：

**卫星通信：**是利用卫星中的转发器作为中继站，通过反射或转发无线电信号，实现两个或多个地球站之间的通信，是现代通信技术与航天技术的结合，并用计算机对其进行控制的先进通信方式，是目前卫星技术最具产业化的应用方向之一，构成了卫星产业的最主要组成部分。卫星通信广泛应用于通信广播、数据传输、政府应急保障等方面，是信息化社会重要的基础设施；

**卫星导航：**产品和服务在车辆监控和导航、海上运输和渔业、大地测量（测绘、勘探）等领域具有广泛应用，导航卫星包括沿着地球静止轨道运行的卫星，也包括沿着倾斜地球同步轨道和中圆地球轨道运行的卫星；

**卫星遥感：**在国土资源监测、气象监测、防灾减灾等社会公益性服务方面提供了不可或缺的重要技术支持，遥感卫星通常是沿着地球同步轨道运行的。

图2：卫星系统分类



资料来源：北斗卫星导航系统官网，开源证券研究所

卫星互联网是基于卫星通信的互联网，是对传统地面通信的重要补充之一。根据《“新基建”之中国卫星互联网产业发展研究白皮书》，卫星互联网通过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能力的大卫星系统，是一种能够完成向地面和空中终端提供宽带互联网接入服务的新兴网络。卫星互联网具有覆盖面积广、低延时、低成本等优点，尤其适用于无基站覆盖的海洋、沙漠及山区等偏远地区，可作为传统地面通信的重要补充，未来有望成为主流的通信方式之一。

表1: 卫星互联网优点

优点	具体内容
广覆盖	<b>实现全球宽带无缝通信:</b> 作为地面网络的补充和延伸, 实现有线电话网和地面移动通信网均无法实现的广域无缝隙覆盖, 有效解决通信基础设施匮乏地区互联网接入问题。
低延时	<b>实现延时与地面网络相当:</b> 卫星网络布置于近地轨道, 数据信号在卫星与地面终端往返传输延时被大大降低, 达到几十毫秒级别的较低延时。
低成本	<b>建设成本低于地面通信设施:</b> 与地面 5G 基站和海底光纤光缆等通信基础设施相比, 具有显著成本优势。现代小卫星研发制造成本低, 软件定义技术又可以进一步延长在轨卫星使用寿命。
宽带化	<b>高通量卫星技术日渐成熟:</b> 高频段、多点波束和频率复用等技术的使用显著提升了宽带能力, 降低了单位宽带成本, 能满足高信息速率业务的需求, 极大地拓展了应用场景。

资料来源: 开源证券研究所

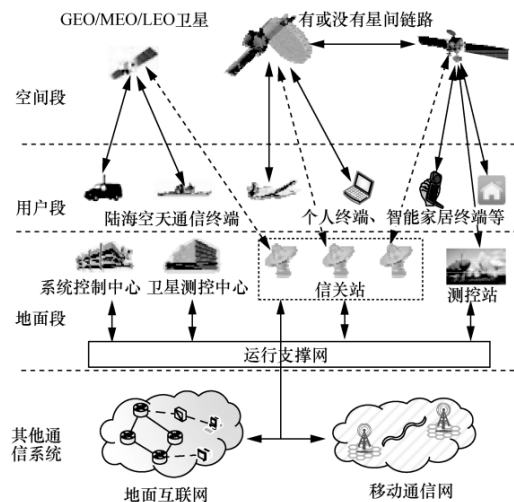
**从构成上来看, 卫星互联网一般由空间段、地面段和用户段构成:**

**空间段:** 以通信卫星为主体, 接收和转发卫星信号, 提供用户链路承载功能。本段提供信息中继服务的卫星星座, 包含一或多颗卫星, 这些卫星可以工作在 GEO、MEO 或 LEO 轨道, 也可以同时包括 2 种或 2 种以上轨道类型的卫星, 卫星之间可以有或没有星间链路;

**地面段:** 一般包括卫星测控中心及相应的卫星测控网络、系统控制中心及各类信关站 (Gateway) 等, 提供馈电链路, 起到连接地面核心网的作用, 实现卫星互联网与公共通信网的业务交互功能。其中卫星测控中心及相应的测控网络负责保持、监视和管理卫星的轨道位置和姿态、控制卫星的星历表等; 系统控制中心负责处理用户登记、身份确认、计费和其他的网络管理功能等; 信关站负责呼叫处理、交换及与地面通信网的接口等;

**用户段:** 包括各类用户终端设备及应用场景的支持设施, 如供用户使用的手持机、便携站、机 (船、车) 载站等各种陆海空天通信终端。

图3: 卫星互联网一般组成



资料来源: 张更新等《卫星互联网若干关键技术研究》

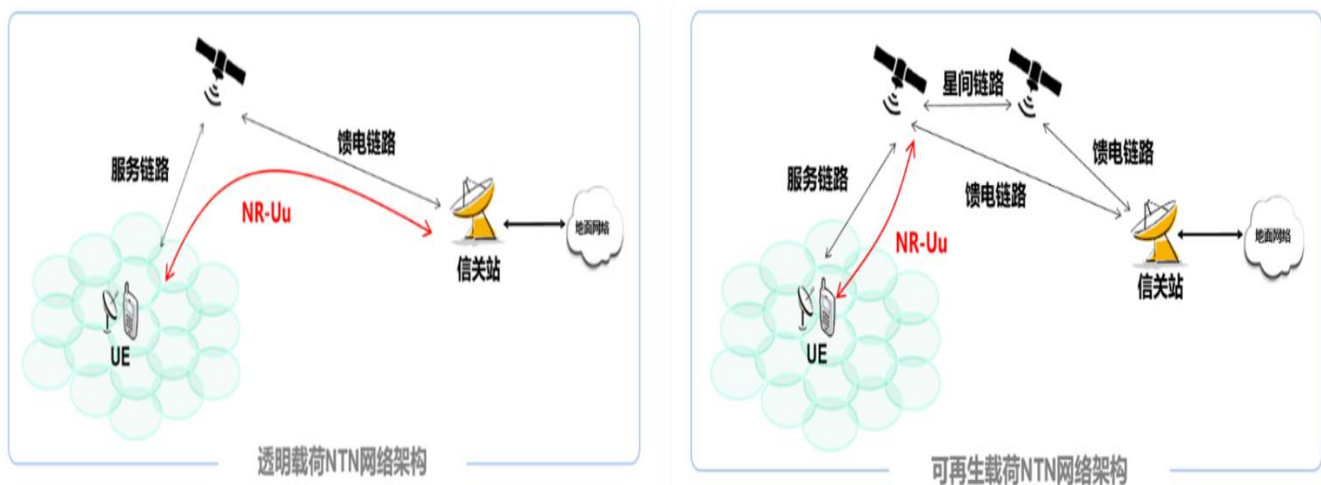
**从卫星互联网的组网方式来看,** 在目前的非地面网络 (NTN) 相关协议中, 根据星上载荷的不同, 可以分为“透明载荷”的透明转发工作模式和“可再生载荷”的星上处理转发工作模式:

**透明载荷：**也称作透明转发，实际上把卫星仅当作信号中继的链路。用户终端只能通过卫星一跳与信关站建立连接，再经信关站连接到地面互联网。这种组网方式要求系统中设置非常多的信关站，各信关站可以独立工作，没有信关站覆盖的地方，用户终端无法接入互联网，因此透明载荷架构可以利用已有卫星，技术上实现起来较为容易，成本也低，但卫星和基站之间的路径长，时延大，不支持星间协作，需部署大量信关站；

**可再生载荷：**又称作基站上星，卫星具备星上处理和交换能力及星间通信能力。系统中不需要部署很多的信关站，用户终端可通过多颗卫星的中继建立与信关站的连接，从而访问地面互联网，但可再生载荷这种架构必须改造并新发射卫星，技术复杂，成本高，优点是终端和卫星基站之间的时延短，且由于有星间链路的存在，可以减少一些信关站的部署。

**卫星互联网的工作过程为：**用户终端开机后首先进行注册申请，注册成功后，如果用户有通信要求，就通过控制信道申请建立连接；如果连接申请被接受，系统就通过控制信道向用户终端分配资源，包括使用的卫星和信关站标识码、上下行点波束号、时隙、频率或码字信息等；收到资源分配命令后用户终端即可建立连接；由于用户和卫星都可能是移动的，通信过程中还需要进行星间或波束间切换；连接结束后，用户终端释放信道，系统收回分配的网络资源。

图4：卫星互联网的组网方式



资料来源：孙滔等《从 NTN 国际标准看 5G-A/6G 空天地一体化技术演进》

**根据赛迪顾问的《“新基建”之中国卫星互联网产业发展研究白皮书》，从发展历程来看，卫星互联网相对地面通信，历经近 40 年发展经历了三个阶段，当前卫星互联网逐渐进入高速率宽带互联网发展阶段：**

**与地面通信网络竞争阶段(20 世纪 80 年代~2000 年)：**以摩托罗拉公司“铱星”星座为代表的多个卫星星座计划提出，“依星”星座通过 66 颗低轨卫星构建一个全球覆盖的卫星通信网。这个阶段主要以提供语音、低速数据、物联网等服务为主。随着地面通信系统快速发展，其通信质量、资费价格等方面对卫星通信全面占优，卫星通信网在与地面通信网络的竞争中宣告失败；

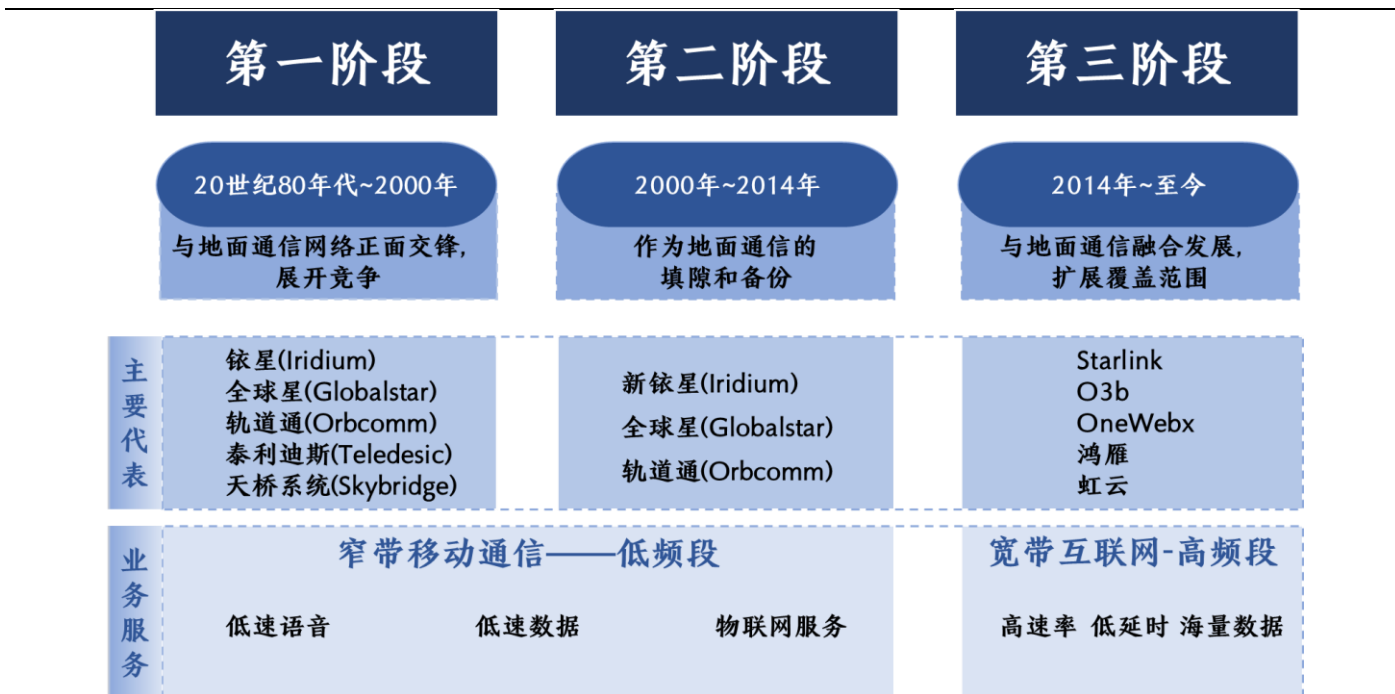
**对地面通信网络补充阶段(2000~2014 年)：**以新铱星、全球星和轨道通信公司为代表，定位主要是对地面通信系统的补充和延伸；

**与地面通信网络融合阶段(2014 年至今)：**以一网公司(OneWeb)、太空探索公司



(SpaceX)等为代表的企业开始主导新型卫星互联网星座建设。卫星互联网与地面通信系统进行更多的互补合作、融合发展。卫星工作频段进一步提高，向着高通量方向持续发展，卫星互联网建设逐渐步入宽带互联网时期。

图5：卫星互联网历史沿革



资料来源：《“新基建”之中国卫星互联网产业发展研究白皮书》、开源证券研究所

### 1.3、卫星产业链各环节有望充分受益于卫星互联网发展

从产业链结构来看，卫星互联网主要由基础设施建设、卫星互联网运营以及终端用户三大部分组成，其中最为核心的为卫星制造、卫星发射、地面设备、卫星运营及服务四大环节。卫星互联网与传统卫星通信产业类似，可以划分为上游、中游、下游，产业链上游包括卫星制造、卫星发射、地面基础设施等环节，构建了卫星通信的基础设施，达到卫星通信的基本条件；产业链中游是卫星通信运营商，提出卫星方案服务、资源服务、产品服务等，旨在实现客户卫星通信需求；产业链下游为卫星互联网的终端用户。

图6：卫星互联网产业链



资料来源：开源证券研究所

(1) 基础设施又可以分为空间段和地面段：

基础设施的空间段包括卫星制造和卫星发射：

卫星制造环节主要包括卫星平台、卫星载荷。卫星平台包含结构系统、供电系统、推进系统、遥感测控系统、姿轨控制系统、热控系统以及数据管理系统等；卫星载荷环节包括天线分系统、转发器分系统以及其它金属/非金属材料 and 电子元器件等，优先受益卫星发射增量需求；

图7：卫星制造环节



资料来源：《“新基建”之中国卫星互联网产业发展研究白皮书》、开源证券研究所

卫星发射环节包括火箭制造以及发射服务，是商业航天及产业链建设节奏关键瓶颈节点之一；

图8：卫星发射环节



资料来源：《“新基建”之中国卫星互联网产业发展研究白皮书》、开源证券研究所

**基础设施的地面段包括地面基础设施和用户终端：**

地面基础设施包括固定地面站、移动式地面站（静中通、动中通等）：固定地面站包括天线系统、发射系统、接收系统、信道终端系统、控制分系统、电源系统以及卫星测控站和卫星运控中心等；移动站主要由集成式天线、调制解调器和其它设备构成；

用户终端包含设备上游关键零部件及下游终端设备，与卫星互联网应用端发展相辅相成，有望共同催化整体产业链发展；

图9：卫星互联地面设备环节

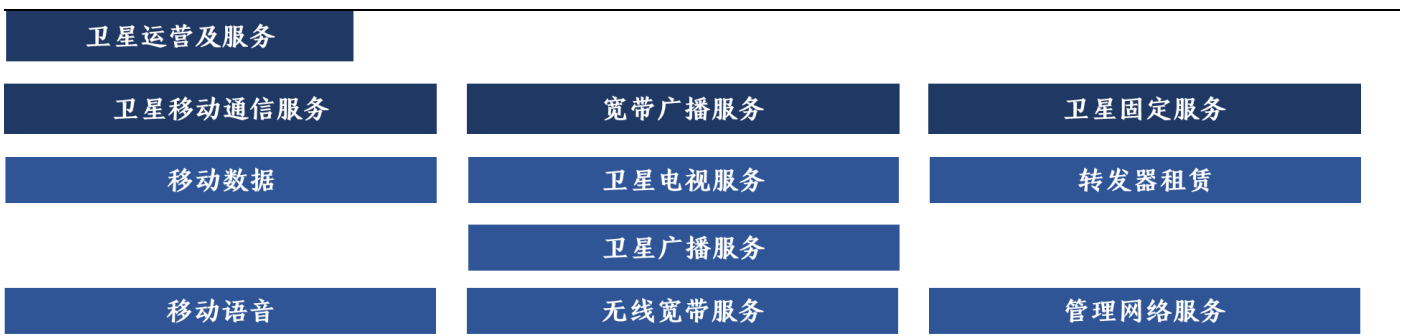


资料来源：《“新基建”之中国卫星互联网产业发展研究白皮书》、开源证券研究所

(2) 卫星运营及服务主要包含卫星移动通信服务、宽带广播服务以及卫星固定服务等；

(3) 终端用户可以分为特殊领域和民用领域，按照客户类型可以划分为海上用户、航空用户、陆地用户等。

图10：卫星互联网运营及服务环节



资料来源：《“新基建”之中国卫星互联网产业发展研究白皮书》、开源证券研究所

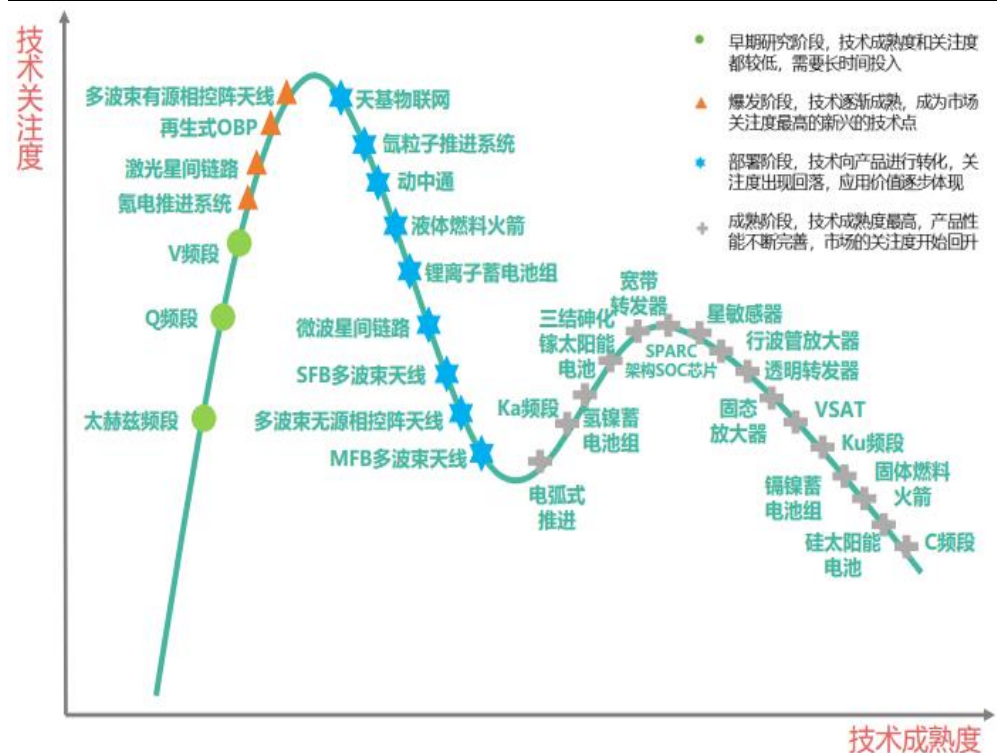
我们认为当前卫星互联网主要集中在空间段及地面段的基础设施建设，上游卫星制造、卫星发射及地面设备建设成为关注的焦点：

**卫星制造方面：**卫星互联网仍处于发展初期，面临多项基础技术攻关，包括星载/地面相控阵天线、长时稳定高速星间激光载荷、高精稳长寿命卫星平台，以及多层星座构型保持、复杂星座组网控制等，重视各技术发展带来的高价质量板块；

**卫星发射方面：**由于星座组网阶段需要大量发射，国内互联网卫星的运载能力也存在瓶颈，发射频次、成本、运力成为关键，一箭多星和可重复使用的液体火箭的技术发展备受关注；

**地面设备中：**重视信关站、采用相控阵天线的高性能终端、采用平板/反射面天线的低成本终端、无人值守边境综合监测站等的建设。

图11：卫星互联网技术成熟度与关注度示意图



资料来源：《“新基建”之中国卫星互联网产业发展研究白皮书》

## 2、低轨化、宽带化、星间组网、星地一体等技术持续升级

我们认为，未来要大力发展卫星互联网的应用，需要实现卫星互联网广覆盖、低时延、大带宽、低成本连接，目前关键主流技术聚焦在超大容量、组网优化、多网融合、高效运控等方面，总体正向着低轨化、宽带化、星间组网、星地一体化的方向发展。

- 1) **低轨化**：低轨卫星由于传输时延小、链路损耗低、发射灵活、应用场景丰富、整体制造成本低等特点，天然契合目前卫星互联网的发展需求，目前已成为行业发展的主流选择；
- 2) **宽带化**：为满足高信息速率业务的需求，卫星通信向着大带宽的方向发展，与大带宽对应的是高频频谱资源，由于 ITU “先登先占” 的申请规则，具有战略稀缺性，已成为各国布局重点；
- 3) **星间组网**：为更好地实现低轨卫星间的双向通信，包括波束间、子信道间以及用户间的便捷通信，以及多星互联，星间的信息传输和交换，星间组网逐渐普及；
- 4) **星地一体**：推动星地一体的发展，与地面技术融合是利用低轨卫星的全球覆盖特性，可以有效弥补地面通信网络覆盖的不足，同时作为 6G 重要组成部分，也成为各国抢占下一代通信标准话语权的重要战略节点。

### 2.1、低轨卫星星座加速发展，重视相控阵技术的应用

相较于传统高轨通信卫星，低轨卫星星座成为卫星互联网行业发展选择。在卫星通信系统中，卫星运行的轨道分为低轨、中轨和高轨（静止轨道）三类。由于高轨卫星相对地面静止，且覆盖区大，三颗经度差约  $120^\circ$  的卫星能够覆盖除南、北极以外的全球范围，因此目前卫星通信系统大多采用静止轨道卫星。另外卫星通信系统也可采用低轨或中轨等非静止轨道卫星，但由于非静止轨道卫星与地球上的观察点有相对运动，为了保证对全球或特定地区的连续覆盖，以支持服务区内用户的实时通信，需要用多颗卫星组成特定的星座，**低轨卫星由于传输时延小、链路损耗低、发射灵活、应用场景丰富、整体制造成本低，适宜卫星互联网业务的发展。**

表2：卫星轨道分类

卫星轨道类型	轨道高度	特点	卫星用途
LEO（低轨道）	300-2000km	传输时延、覆盖范围、链路损耗&功率较小	对地观测、测地、通信等
MEO（中轨道）	2000-35786km	传输时延、覆盖范围、链路损耗&功率大于 LEO 但小于 GEO	导航
GEO（地球静止轨道）	35786km	存在较长传输时延和较大的链路损耗	通信、导航、气象观测等
SSO（太阳同步轨道）	<6000 千米	轨道平面与太阳保持固定取向	
IGSO（倾斜地球同步轨道）	35786km		导航

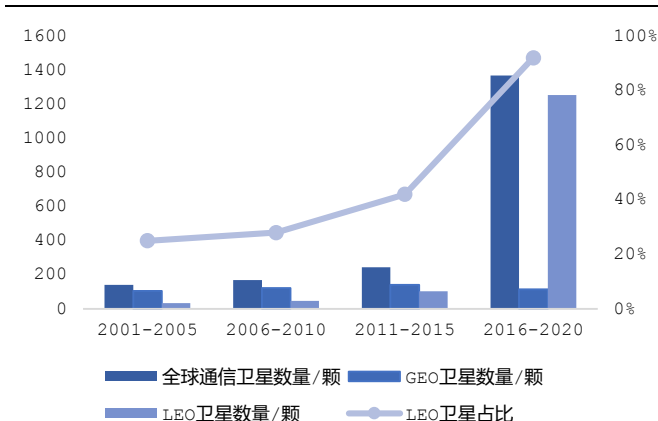
资料来源：《“新基建”之中国卫星互联网产业发展研究白皮书》、开源证券研究所

发射数量上，全球 LEO 轨道通信卫星数量实现快速增长。自 2001 年至 2020 年，低地球轨道（LEO）卫星在年度发射航天器数量占比从 57% 迅速攀升至 97%，截至 2021 年 12 月，全球在轨卫星已突破 5000 颗，其中，LEO 轨道卫星占比超过 83%。LEO 在轨卫星中，通信卫星占比达 66.80%，同时在巨型星座刺激下，相比



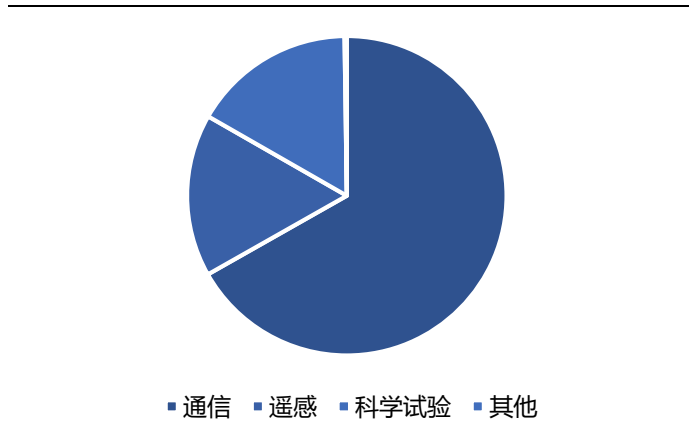
2001-2005年、2016-2020年，LEO轨道通信卫星数量增长了近40倍。

图12: 全球通信卫星发射统计 (2001—2020年)



数据来源: 王韵涵等《国外低轨卫星互联网发展最新态势研判》、开源证券研究所

图13: 全球 LEO 在轨卫星用途分类 (截至 2021 年 12 月)



数据来源: 王韵涵等《国外低轨卫星互联网发展最新态势研判》、开源证券研究所

代表星座上，低轨卫星星座向着规模化发展。根据《低轨巨型星座网络：组网技术与研究现状》，其中认为：传统的低轨星座系统一般包含数十颗卫星，但新兴的低轨星座网络为满足系统容量的需求，将卫星数目扩增至上万颗。庞大的星座规模提高了地面终端通信仰角，减小了地面反射和多径衰落影响，也使系统具有更强的冗余性和抗毁性。

自 2015 年起，大批低轨巨型星座计划被提出，如 Starlink、OneWeb 和 Kuiper 等代表性计划，其中，**Starlink 计划**由 SpaceX 公司提出，受益于批量化卫星制造、火箭重复利用、一箭多星发射等领先技术，Starlink 已成为新兴低轨星座中的佼佼者，其完整版 Starlink 计划的卫星总数将达到 12000 颗、远期规划达 42000 颗；**OneWeb 计划**发射 716 颗轨道高度为 1 200 km 的卫星，构成极轨道/倾斜轨道混合星座提供宽带网络接入服务。截至 2021 年年底，OneWeb 已部署近 400 颗卫星，且未来计划将星座扩充至 6 372 颗卫星，以提高中低纬度地区的覆盖密度；**Kuiper 计划**由亚马逊公司于 2019 年提出，旨在提供低成本消费级和企业级宽带业务以及无线数据回程业务。星座包括工作在 590~630 km 高度的 3236 颗倾斜轨道卫星。系统将在全球部署大量地面站，可与亚马逊网络服务 (AWS, Amazon Web service) 系统和计算基础设施联合，构建亚马逊公司的全球云服务智能网络系统。

表3: 不同卫星波束参数对比

类别	卫星/星座	下行带宽/GHz	频谱效率 /(bit·(s·Hz) <sup>-1</sup> )	波束数	频率复用因子	单星容量/(Gbit·s <sup>-1</sup> )
低轨星座	OneWeb	2	2.4	16	2	9.6
	StarLink	2	2.7	8	4	21.6
GEO-HTS	Viasat-3	3.5	1.1	1000	250	1000

资料来源: 张更新等《卫星互联网若干关键技术研究》、开源证券研究所

LEO 通信卫星多采用相控阵多波束天线方案。为实现卫星互联网的大容量需求，可采用高通量卫星 (High Throughput Satellite, HTS)，该类卫星也称高吞吐量通信卫星，2008 年由美国北方天空研究所提出并定义，即采用多点波束技术和频率复用技术，在相同的频率资源下，整颗卫星的通信容量是传统卫星通信容量的数倍。高通量卫星采用多波束天线 (MBA)，多波束天线具有透镜式、反射面式和相控阵式三种基本类型。根据《通信卫星多波束天线的发展现状及建议》，对于 LEO 通信

卫星，由于轨道低，星上的用户端天线传输距离短，具有比 GEO 卫星更小的自由空间损耗，因此，从增益上来讲，反射面和相控阵配置都适合该轨道卫星，但由于卫星轨道太低，视角宽，要求天线具备较大扫描角，而反射面天线在这方面难以胜任，因此，该轨道上的卫星一般都采用相控阵配置，如处于 LEO 上的美国 Iridium/NEXT 星座，其每颗卫星上都安装有三块工作于 L 频段的有源相控阵天线，每块相控阵均能产生 16 个波束。

**表4：近年来不同轨道通信卫星采用的多波束天线配置**

卫星轨道	卫星/星座名称	采用的多波束天线方案
IGEO	Inmarsat-4/-5(星座)、MUOS(星座)、Thuraya-2/-3、DBSD-G1、SkyTerra-1/-2、Alphasat-I-XL、TeereStar-1/-2、MEXSAT-1/-2/-3	单口径大型展开式反射面天线
GEO	DireCTV-14/-15、EUTELSAT-65WestA、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
GEO	WINDS、WGS(星座)、AEHF(星座)、Space-way3	相控阵天线
MEO	O3b(星座)、ICO(星座)	反射面天线
LEO	Iridium-NEXT(星座)、Globalstar-1/-2(星座)、Orbcomm2(星座)、“灵巧”通信试验卫星	相控阵天线

资料来源：陈修继等《通信卫星多波束天线的发展现状及建议》、开源证券研究所

另一方面，随着低轨星座快速发展和普及应用，高中低轨竞争、联合并存的新业态正在逐步形成。虽然高低轨卫星系统在覆盖范围、系统容量、时延、终端等方面存在差异，但 GEO 高通量卫星和低轨互联网星座的网络架构基本相同，具备融合的基础，结合当前行业发展情况和卫星/地面应用系统、应用终端等方面的技术发展趋势，高低轨卫星网络融合主要针对终端应用融合、网络管控融合、体制协议融合。未来有望实现高轨卫星与低轨星座协调发展，采用按需建设的方式，发挥高轨系统和低轨系统在覆盖、容量等方面的互补优势。

**表5：高低轨卫星应用系统优缺点对比**

卫星轨道	系统规模	容量	运行寿命	覆盖范围	传输时延	带宽成本	系统建设维护成本
高轨	适中	单星容量较高	较长（15年）	单星覆盖范围大，但存在两极覆盖盲区，特定地形通信困难	较长	较高	较低
低轨	庞大	单星容量小，系统容量高	较短（5~10年）	单星覆盖范围较小，多星组网可实现全球覆盖，保证复杂地形区域通信不间断	短	较低	较高

资料来源：柏亮等《卫星互联网的技术体系、发展趋势与应用》、开源证券研究所

## 2.2、大带宽频轨资源需求旺盛，各国竞争布局高频段频谱

**Ka 频段成卫星互联网发展重点，并向高频 Q/V 发展。**卫星通信业界常将特高频以上频段大致划分为 L (1-2GHz)、S (2-4GHz)、C (4-7GHz)、X (7-12GHz)、Ku (12-18GHz)、Ka (26.5-40GHz) 等频段。

**频段越高，其带宽资源越多，能支持的业务容量也越多。**低于 2.5GHz 的 L 和 S 频段主要用于卫星移动通信、卫星无线电测定、卫星测控链路等应用；C 和 Ku 频段主要用于卫星固定业务通信且已近饱和。

Ka 频段可用带宽达 3.5GHz，由于 Ka 波段的波长与雨滴直径相近，相比 Ku 频段更易受天气影响，雨衰最严重，但其更大的工作带宽，更高的信号强度、更小的天线口径、更好的指向性及增益效果等优点，使其可为高速卫星通信、千兆比特级宽带数字传输、高清晰度电视(HDTV)、卫星新闻采集(SNG)、VSAT 业务、直接到户(DTH)业务及个人卫星通信等新业务提供一种崭新的手段。目前与多点波束组合应用，已成为高通量卫星的首选频段，且资源日益紧张。

为了满足日益增加的频率轨道资源需求，目前行业已着手开发 Q (36-46GHz)、V (46-56GHz) 等更高的频段资源。“Starlink”“OneWeb”等系统均有 Q、V 频段星座规划。

**表6：卫星通信使用无线电频率概况**

频段	频率范围	使用情况
L	1~2GHz	资源几乎殆尽;主要用于地面移动通信、卫星定位、卫星移动通信及卫星测控链路等
S	2~4GHz	段频率相对较低，信号覆盖大，受天气影响小，资源几乎殆尽;主要用于气象雷达、船用雷达、卫星定位、卫星移动通信及卫星测控链路等
C	4~8GHz	随着地面通信业务的发展,被侵占严重,已近饱和;主要用于雷达、地面通信、卫星固定业务通信等
X	8~12GHz	受管制频段，通常被政府和军方占用;主要用于雷达、地面通信、卫星固定业务通信等
Ku	12~18GHz	频率相对较高，容易受天线影响而造成信号波动，但其信号强度相比 C 频段的高，因此地面接收天线的口径也小得多，通常可以小至直径 0.35 米，已近饱和;主要用于卫星通信,支持互联网接入
Ka	26.5~40 GHz	正在被大量使用;主要用于卫星通信,支持互联网接入
Q/V	36~46 GHz 46~75 GHz	正在进入商业卫星通信领域
大赫兹	0.1~10 THz	正在开发

资料来源：德恒律师事务所官网、开源证券研究所

**低轨卫星空轨和频谱资源具有战略稀缺性，欧美多企业领跑卫星部署。**国际电信联盟(ITU)对卫星轨道/频率的分配有规划和登记两种方法。对于非规划的卫星轨道/频率，遵循“先登先占”原则，即先申报、先登记者有优先权。根据《“新基建”之中国卫星互联网产业发展研究白皮书》，地球近地轨道可容纳约 6 万颗卫星，而低轨卫星所主要采用的 Ku 及 Ka 通信频段资源也逐渐趋于饱和状态。到 2029 年，地球近地轨道将部署总计约 57000 颗低轨卫星，轨位可用空间将所剩无几。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，已经成为各国卫星企业争相抢占的重点资源。

全球范围内，SpaceX (美国)、OneWeb (英国)、亚马逊 (美国)、Telesat (加拿大)、O3b (欧洲)、Viasat (美国) 等多家欧美企业相继提出 Starlink、OneWeb、

Project Kuiper、Lightspeed、O3b、Viasat 卫星互联网星座计划，使用频段主要集中于 Ku/Ka 频段。

我国卫星互联网虽起步较晚但发展迅速，自 2017 年以来多个近地轨道卫星星座计划相继启动，主要包括行云工程、鸿雁星座、虹云工程、天象星座等。据国际电信联盟（ITU）披露，2020 年 9 月，中国以“GW”为代号申报了两个低轨卫星星座，共计 12992 颗卫星，分布在距地面 590 公里至 1145 公里的低轨轨道，频段为 37.5GHz—42.5 GHz 及 47.2GHz—51.4GHz。2021 年 4 月底，中国卫星网络集团有限公司（简称“星网”）成立，有望以“国家队”身份进行统筹、规划及运营我国卫星互联网，加速我国卫星互联网产业链上下游协同发展。

**表7：典型卫星互联网使用频率**

链路类型	频率范围		
	SpaceX	One Web	O3b
信关站-卫星	27.5-29.1 GHz	27.5-29.1 GHz	27.5-30 GHz
	29.5-30 GHz	29.5-30 GHz	
卫星-信关站	17.8-18.6 GHz	17.8-18.6 GHz	17.7-20.2 GHz
		18.8-19.3 GHz	
	18.8-19.3 GHz		
用户终端-卫星		19.7-20.2 GHz	
	14.4-14.5 GHz	12.75-13.25 GHz	27.5-30 GHz
卫星-用户终端		14.4-14.5 GHz	
	10.7-12.7 GHz	10.7-12.7 GHz	17.7-20.2 GHz

资料来源：王孟等《Ka 频段的特点与应用研究》、开源证券研究所

## 2.3、星间组网逐渐普及，激光通信前景可期

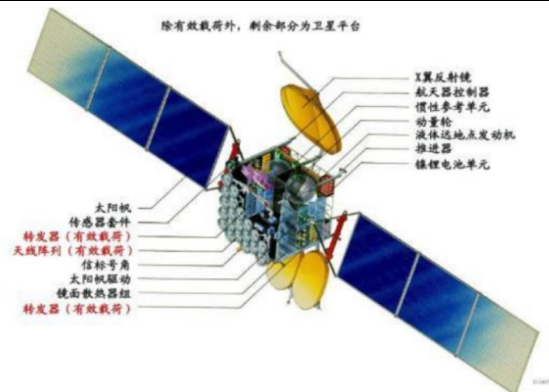
目前新兴巨型星座大多具有星上处理能力，可对接收的数据包进行解析、存储和转发，而不局限于透明转发的工作模式。卫星间可建立微波或激光链路，并且在运动过程中保持连接，实现数据包在卫星间的转发；星上处理和星间链路使系统可工作在天网地网架构中，增强了系统独立性和灵活性；半导体技术的进步使卫星具有更强的星上处理和存储能力，而激光星间链路技术可大幅提升星间通信速率，适应宽带业务需求。

星载转发器是星上信号处理和交换技术中的核心模块，也是宽带卫星通信网络中的关键技术，其性能的优劣决定了整个通信系统的性能。星载转发器通过控制信号的发送、处理和接收方式，直接影响整个通信卫星系统的可靠性、容量、重量、体积、功耗等关键参数。对应透明载荷和可再生载荷，星载转发器可分为透明转发器和再生式转发器两种。

透明转发器的主要部件是高功率放大器，容量大且结构简单，它具有完整的上行链路和下行链路，由终端来决定频带的划分，但是它的抗干扰能力弱，终端与终端之间的信息传输需要两跳来完成。

再生式转发器采用了再生式星上处理技术即对所有需要处理的信号进行解调译码，交换后再重新进行编码调制。与透明转发器相比，它的上行链路和下行链路分开设计，并且通过解调译码的操作，消除了噪声积累，具有较强的抗干扰能力、较高的频谱利用率和通信质量等优点。具有代表性的再生式转发器主要有北美地区 SpaceMux、欧洲的 Skyplex 以及日本研制的 WINDS。

图14：通信卫星结构



资料来源：开运集团官网

在卫星互联网中，卫星之间的链路叫做星间链路（Inter-Satellite Link, ISL）；卫星和用户之间的链路叫做服务链路（Service Link）；卫星和信关站之间的链路叫做馈电链路（Feeder Link）。星间链路包括四个子系统：接收机、发射机、捕获跟踪子系统以及天线子系统。

我们认为星间链路的引入具备以下的优点：1) 扩大了系统的覆盖范围；2) 减少传输时延，满足多媒体实时业务的 QoS 要求；3) 使得低轨卫星移动通信系统能够更少地依赖于地面网络，能够更为灵活方便地进行路由选择和网络管理；4) 减少了地面信关的数目，可大大降低地面段的复杂度和投资；5) 可以独立组网，卫星网不依赖于地面网提供通信业务，作为地面网的备份；6) 可以在一定程度上解决地面蜂窝网的漫游问题。



为满足卫星移动通信系统大业务量，星间链路势必采用较高的工作频段或采用**激光星际链路**。目前多个主流低轨星座系统均提出发展星间链路能力，同时激光星间链路技术不断成熟，促进传输延迟降低，传输效率和数据安全性提升，根据王韵涵等的《国外低轨卫星互联网发展最新态势研判》，10Gbit/s 星间传输能力成为标配，远景目标将达到 100Gbit/s。中国的“星网”、“鸿雁”、“虹云”、“行云”以及“天地一体化”星座和国外的“Kuiper”、“Telesat”、“Starlink”网络等已经将激光星间链路作为其核心传输链路的方式之一。我国于 2020 年 8 月 13 日在“行云二号”双星搭载的激光通信载荷技术得到成功验证，已实现卫星物联网星座实现星间激光通信的突破。

**激光通信具备高信道吞吐率、高传输带宽、强抗干扰能力、高保密性和安全性等优点。**对比传统基于无线电波的卫星通信，卫星激光通信具有频率更高且方向性更强的特点，因此可以实现更快、更高体量的数据传输。其次，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。此外，卫星激光通信频谱属于不可见光频段，通信时不易被发现，其波束比微波更窄，发散角更小，指向性好，从而使得通信获得很好的抗干扰能力和抗截获能力，提供了更高的安全性和可靠性。最后，星间激光通信具有很高的能量集中度，当需要很高的链路通信速率时，激光通信终端在体积，重量和功耗方面的优势便可以体现，而这也符合当今卫星平台对有效载荷的要求。**目前卫星激光通信的正向着标准化、兼容化、网络化和商业化发展趋势；激光终端产品向着弹性化和模块化方向发展。**

**表8：星间链路基本概况**

星间链路	
接收机	完成对接收信号的放大、变频、检测、解调和译码等，提供星间链路与卫星下行链路之间的接口
发射机	负责从卫星的上行链路中选择需要在星间链路上传输的信号，完成编码、调制、变频和放大
子系统	捕获跟踪子系统
	负责使星间链路两端的天线互相对准（捕获），并使指向误差控制在一定的误差范围以内（跟踪）
	天线子系统
	负责在星间链路收发电磁波信号
传输介质	微波、毫米波和激光
种类	同种轨道类型的星间链路
	不同轨道类型的星间链路
	同轨道面星间和异轨道面星间链路

资料来源：中国集群通信网、开源证券研究所

## 2.4、星地一体，卫星互联网与 5G/6G 加速融合

**星地一体融合组网为未来移动通信网络重要发展方向之一。**随着全球 5G 网络规模化商用持续推进，星地融合演进从 5G 体制融合走向 6G 系统融合。5G 体制的卫星通信系统是星地独立网络，卫星通信体制借鉴 5G，随着 6G 的研发演进，面向 6G 的星地融合系统将实现星地一体，提供无感知一致服务。卫星互联网和地面移动通信网络的融合也有望从覆盖融合、业务融合走向体制融合、系统融合。终端也在向低成本、小型化、轻量化、一体化方向发展。

**卫星互联网补充低密度用户接入场景，与 5G 取长补短互为补充。**目前，5G 网络覆盖仍然以基站为中心，在基站所未覆盖的沙漠、无人区、海洋等区域内依然存在大量通信盲区，根据赛迪智库无线电管理研究所的《6G 概念及愿景白皮书》，预计 5G 时代仍将有 80% 以上的陆地区域和 95% 以上的海洋区域无移动网络信号。同时，5G 的通信对象集中在陆地地表 10 km 以内高度的有限空间范围，无法实现“空天海地”无缝覆盖的通信愿景。低轨卫星通信面向特定区域、特定用户群和特定应用，对于低密度用户接入场景下的宽带互联和通信更具优势，特别是接入点分散时的低成本优势。

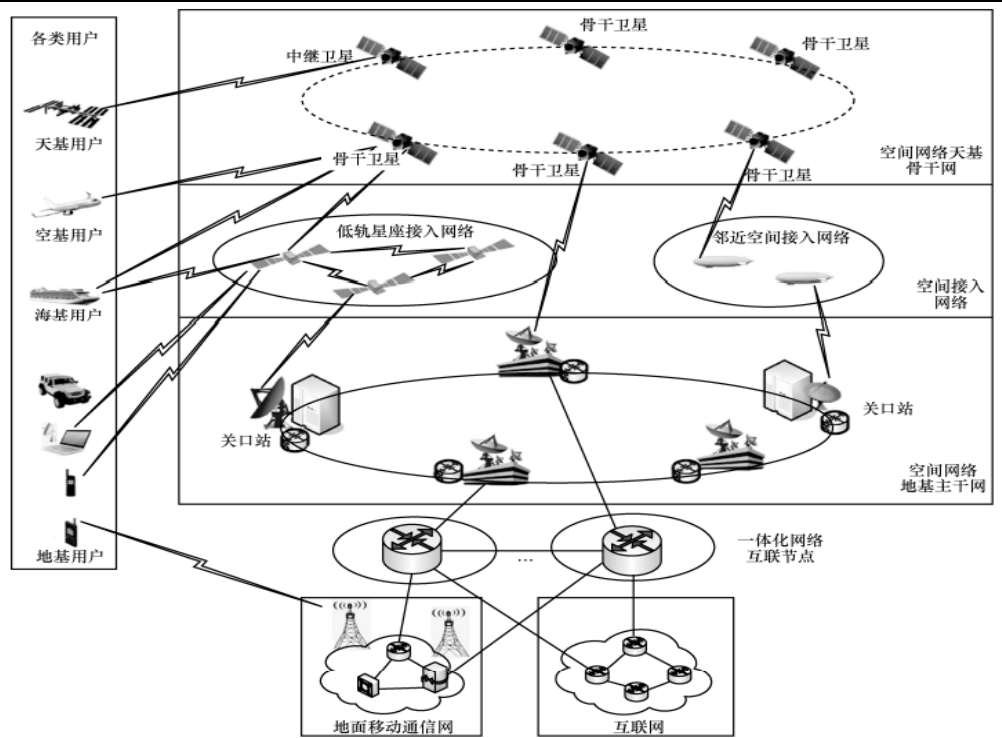
**万物互联应用场景：**低轨卫星充分显示其低功耗、全覆盖的特征。针对沙漠与海洋等油井和天然气井、采矿等野外作业、环境和气候监测、货运与交通长距离监测跟踪、边境和边防的电子围栏等行业应用场景，低轨卫星具有全球覆盖和成本比较优势。面向低时延高可靠应用场景，5G 通信具有绝对的优势。5G 的空口时延是毫秒级；而低轨卫星的空口时延达数十毫秒，5G 通信可充分满足对于低时延、可靠性要求高的车联网、工业互联网等应用场景的要求；

**增强型移动宽带应用场景：**低轨卫星和 5G 通信各有优势和侧重。以“Starlink”为代表的低轨卫星优势主要是服务于偏远地区的住户、空中的飞机乘客、海洋与大湖中船舶的船员和乘客、穿越荒漠的火车乘客、野外科考者等。大多数的卫星终端形态是机载、船载、车载的客户端设备（CPE），提供 WiFi 接入；

**基于 5G 的低轨卫星通信系统关键技术：**主要集中于突破高动态快速切换、高多普勒频移同步、高容量寻呼等关键技术，设计基于 5G 的低轨卫星互联网通信体制、信关站，为面向全球的低延时、高带宽、灵活组网的低轨通信提供技术支撑。

**全球推动 5G 与卫星互联网融合。**国际电信联盟（ITU）、第三代合作伙伴计划（3GPP）、欧盟 5G 系统中卫星与地面网络融合联盟（SaT5G）等标准化组织组建了专业团队对卫星通信与 5G 融合组网相关问题进行深入研究，推动卫星互联网在 5G 融合中的角色定义。其中：ITU 提出卫星与 5G 融合的 4 类应用场景，包括小区回传、中继到站、动中通和混合多播场景；我国于 2021 年 11 月 16 日发布《“十四五”信息通信行业发展规划》，其中提出加快卫星通信建设，完善高中低轨卫星网络协调布局，实现 5G 地面蜂窝通信和卫星通信融合，初步建成覆盖全球的卫星信息网络，开展卫星通信应用开发和试点示范；2023 年 3 月 8 日，据中国通信标准化协会消息称，由中国卫星网络集团有限公司总体牵头，五大运营商已开始联手构建基于 5G 的卫星互联网技术标准体系。

图15：天地一体网络的系统结构示意图



资料来源：朱立东等《卫星互联网路由技术现状及展望》

**6G 时代空天地一体化，卫星互联网与地面移动通信网络充分融合。**6G 总体愿景是 5G 愿景的进一步扩展和升级，其特征是全覆盖、全频谱和全应用。根据《6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书》，6G 将实现地面网络、不同轨道高度上的卫星（高中低轨卫星）以及不同空域飞行器融合而成全新的移动信息网络，通过地面网络实现城市热点常态化覆盖，利用天基、空基网络实现偏远地区、海上和空中按需覆盖，具有组网灵活、韧性抗毁等突出优势。星地一体的融合组网将不是卫星、飞行器与地面网络的简单互联，而是空基、天基、地基网络的深度融合，构建包含统一终端、统一空口协议和组网协议的服务化网络架构，在任何地点、任何时间、以任何方式提供信息服务，实现满足天基、空基、地基等各类用户统一终端设备的接入与应用。

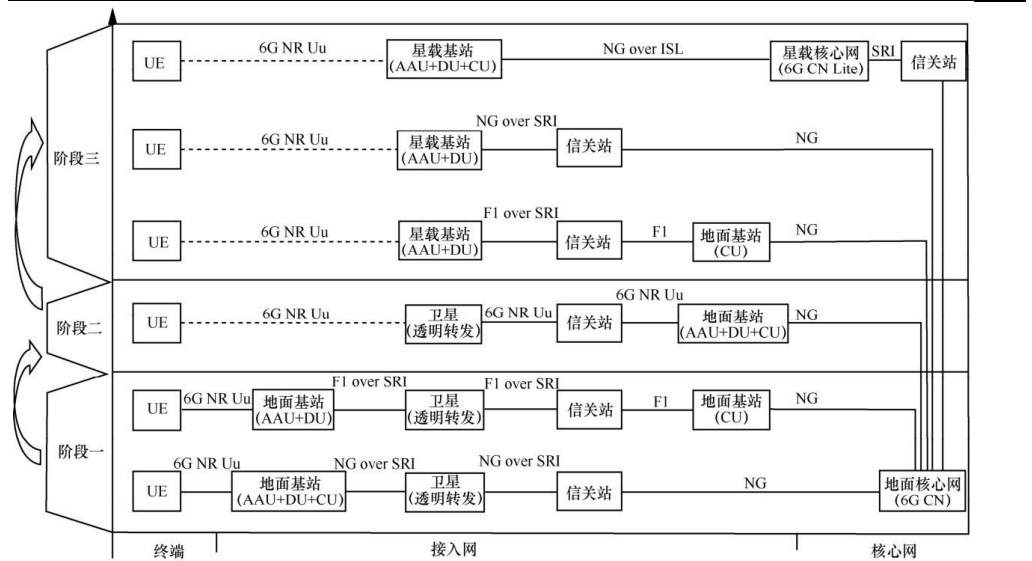
**6G 时代星地一体组网需要多技术融合发展。**通过开展星地多维立体组网架构、多维多链路复杂环境下融合空口传输技术、星地协同的移动协议处理、天基高性能在轨计算、星载移动基站处理载荷、星间高速激光通信等关键技术的研发，解决多层卫星、高空平台、地面基站构成的多维立体网络的融合接入、协同覆盖、协调用频、一体化传输和统一服务等问题。由于非地面网络的网络拓扑结构动态变化以及运行环境的不同，地面网络所采用的组网技术不能直接应用于非地面场景，需研究空天地一体化网络中的新型组网技术，如命名/寻址、路由与传输、网元动态部署、移动性管理等，以及地面网络与非地面网络之间的互操作等。天地一体化网络需要拉通卫星通信与移动通信两个领域，涉及移动通信设备、卫星设备、终端芯片等。

**各国积极战略布局 6G 技术研究。**目前全球 6G 技术研究处于探索与起步阶段，技术路线尚不明确，关键指标和应用场景还没有统一的定义，正处于“场景挖掘”和“技术寻找”阶段。尽管如此，6G 核心技术已列入多国创新战略，成为大国科技博弈高精尖领域和全球抢占的战略制高点。2020 年 2 月，ITU 正式启动面向 2030 及 6G 的研究工作。中国、美国、韩国、日本和芬兰等国已启动 6G 研究。美

国已发布第一份 6G 报告，欲将美国确立为 6G 理念、开发、采用和快速商业化的全球领导者，特别在卫星互联网方面，凭借强大的卫星设计、制造和发射能力，已经抢得不少先机。我国于 2019 年 11 月 3 日成立了国家 6G 技术研发推进工作组和总体专家组，标志着我国 6G 技术研发工作正式启动。

国外企业包括爱立信、高通、泰雷兹、联科发，以及我国的紫光展锐、中兴通讯、中国移动等均开展相关技术研究和测试验证，共同推动卫星移动通信业务与地面移动通信融合发展。终端融合、无感接入的技术路线是目前卫星与地面融合发展的重点方向，也是业界关注的焦点。

图16：6G 卫星通信网络三阶段演进路线



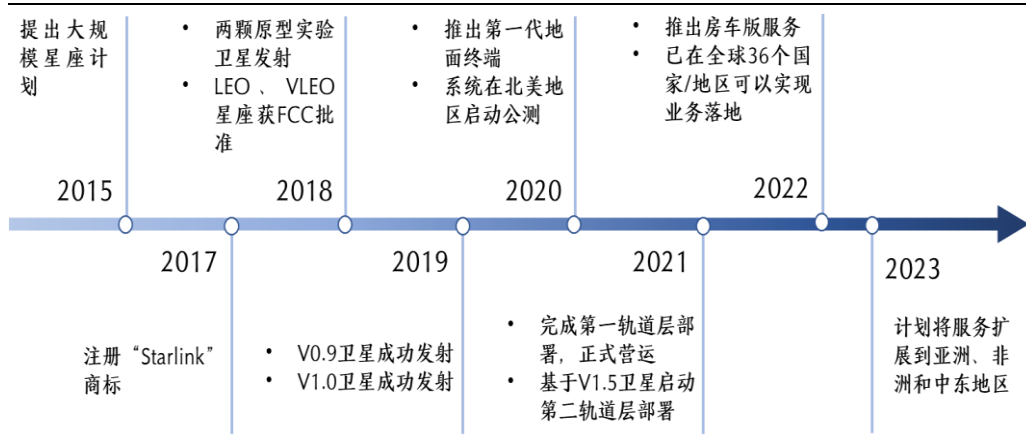
资料来源：吴晓文等《面向 6G 的卫星通信网络架构展望》

### 3、全球视野，欧美代表星座领跑行业

#### 3.1、全球代表星座 Starlink：目标部署超万颗的低轨卫星

Starlink 是 SpaceX 公司 2015 年提出的一个低轨卫星互联网系统，目标部署超万颗的低轨卫星，提供覆盖全球的高速互联网接入服务。SpaceX 公司掌握火箭回收技术后，利用“猎鹰 9 号”重型运载火箭以“一箭多星”的发射方式发射“Starlink”卫星，大幅降低发射成本，完成近地轨道和轨位频率资源的占据，使得“Starlink 计划”在众多巨型星座项目中脱颖而出，“Starlink 计划”具有大规模、全球无缝覆盖、低时延、大容量，商业价值大、军事应用前景广阔的特点。

图17：Starlink 发展历程



资料来源：肖永伟等《Starlink 系统分析及对我国卫星互联网发展的启示》、开源证券研究所

#### 3.1.1、Starlink 基础设施建设

轨道建设方面，Starlink 星座规模大，轨道层数多、卫星数量多。轨道建设计划了 Starlink Gen1 和 Starlink Gen2 两代星座，卫星数量总计达到约 4.2 万颗：

**Starlin Gen1：**包括 Ka/Ku 频段的 LEO 星座和 V 频段的 VLEO 星座：

LEO 星座经过多次调整，分为五个壳层，大致对应原计划 I、II 期工程，整体向更低轨道发展。壳层 1 主要内容是将 1725 颗 Ka/Ku 频段卫星部署于 72 个 550km 角 53° 的轨道面上；截止到 2021 年 5 月底，基于 V0.9 版及 V1.0 版 Starlink 卫星，SpaceX 公司完成 550km 轨道高度的第一个轨道层部署，参考原计划，星座容量可达 30TB/s、时延 15ms，传输速度最高可达 1GB/s，前 800 颗卫星能够为美国、加拿大等北美地区提供高速卫星互联网服务。壳层 2-5 主要是将 2824 颗 Ka/Ku 频段卫星部署于 570 km、560 km、540 km、560km 轨道上，轨道面分别为 36、6、72、4，计划实现全球组网；

VLEO 星座大致对应原计划的 III 期工程，主要内容是将 7518 颗 V 频段卫星部署于 340km 轨道上，最终实现“Starlink 卫星”覆盖全球。

**Starlink Gen2：**2019 年“Starlink 计划”又向美国联邦通信委员会（FCC）提请准备加 3 万颗第二代“Starlink”卫星，分布在 328km~614km 轨道高度的 75 个轨道面上。



表9: Starlink 星座参数

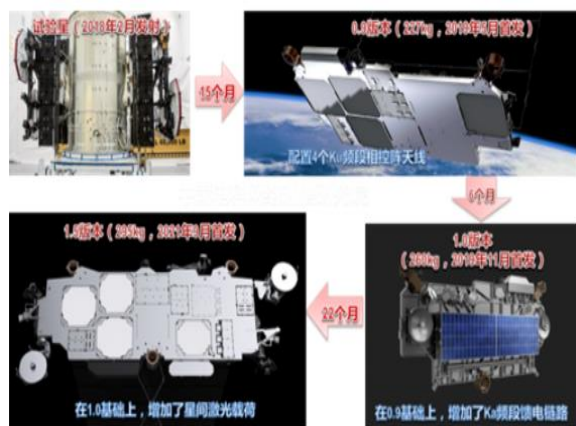
	Starlink Gen1					Starlink Gen2			
	LEO 星座 (Ka/Ku 频段)					VLEO 星座 (V 频段)			
壳层	壳层 1	壳层 2	壳层 3	壳层 4	壳层 5				
轨道高度(km)	550	570	560	540	560	335.9	340.8	345.6	328-614
轨道倾角(°)	53	70	97.6	53.2	97.6	42	48	53	
轨道数量(轨)	72	36	6	72	4				
每轨道卫星数(颗)	22	20	58	22	43				
合计(颗)	1725	720	348	1584	172	2493	2478	2547	30000

资料来源: 肖永伟等《Starlink 系统分析及对我国卫星互联网发展的启示》、李元龙等《“星链计划”及其军事应用潜力研究》、刘旭光等《“星链”卫星系统及国内卫星互联网星座发展思考》、开源证券研究所

**卫星制造方面, Starlink 卫星迅速迭代, 成本较低。**从 2018 年 2 月的原型试验星 (MicroSat2A、2B) 到 2022 年 5 月在轨最新的 V1.5 版本, 卫星经历 4 次迭代, 以 V1.5 版本为例, 采用平板结构设计, 重量提高到 295kg, 搭载有 Ku/Ka 相控阵天线、单个太阳能电池阵列、激光星间通信系统、霍尔效应推进器、Star tracker 导航系统、自主防撞系统等。

Starlink 卫星属于小卫星, 寿命较短, 仅为 5-7 年, 成本方面, 马斯克则曾公开透露单颗卫星的成本可以下降到 50 万美元。

图18: Starlink 卫星迭代演进过程



资料来源: 肖永伟等《Starlink 系统分析及对我国卫星互联网发展的启示》

图19: Starlink 卫星各版本设计

版本	首发日期	结构设计	重量 (kg)	配置及特点
试验星	2018.02	箱体结构	400	Ku 频段相控阵天线载荷, 支持开展星地宽带体制的测试, 下行达 1440Mbps, 上行达 720Mbps
V0.9	2019.05	平板结构	227	搭载 1 副太阳能电池阵列、4 副 Ku 频段相控阵天线
V1.0	2019.11	平板结构	260	增加了 Ka 频段星地通信能力
V1.5	2021.02	平板结构	265	增加了星间激光链路载荷
V2.0			1250	V2.0 版卫星通信能力比 V1.0 版卫星高出 10 倍

资料来源: 肖永伟等《Starlink 系统分析及对我国卫星互联网发展的启示》、开源证券研究所

**卫星发射方面,**在向星座部署卫星时, 多颗 Starlink 卫星预先按顺序部署于猎鹰 9 号火箭的整流罩中, 抵达预定位置后, “Starlink” 卫星利用火箭上面级转动逐个缓慢脱离, 最终部署于一条轨道的不同位置。

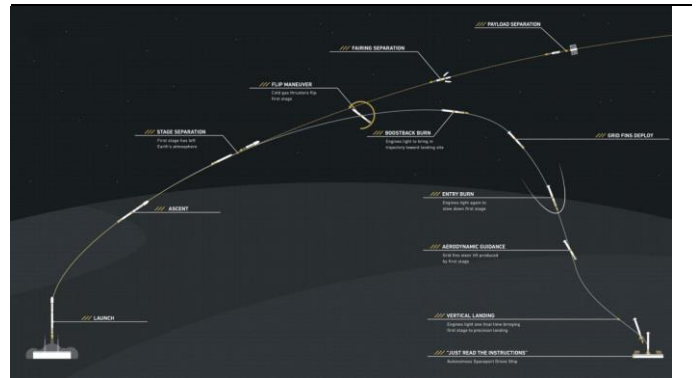
SpaceX 公司掌握火箭回收技术, 大幅降低 Starlink 卫星发射成本, 以猎鹰 9 号火箭为例, 发射成本从最初 6000 多万美元/次, 降到 50 万美元/颗以下, 单个猎鹰 9 号一级助推器目前保持着发射 11 次的发射纪录; 与此同时, “一箭多星” 的发射方式也大幅降低了发射成本。

图20：猎鹰9号火箭



资料来源：IT之家，腾讯网

图21：猎鹰火箭回收示意图



资料来源：《Falcon User's Guide》

**地面设备方面：**2020年7月，SpaceX公司完成第一代圆形相控阵 Starlink 地面终端研制，工作在 Ku 频段，根据 Starlink 官网公布信息，一代 Starlink 地面终端直径 58.9cm，重量 7.3kg。2021年11月，SpaceX 完成 2 型第二代矩形相控阵 Starlink 地面终端研制。一款为能力增强地面终端，尺寸为 57cm×51cm，重量 7.2kg；另一款小型化地面终端，尺寸为 50cm×30cm，重量 4.2kg。从天线射频到基带及协议处理，Starlink 地面终端采用了芯片化设计与实现方案，降低了终端整机功耗和生产成本，也实现了小型化，为 Starlink 系统产业化及大规模应用铺平了道路。Starlink 地面终端采用了机械与相控阵电扫结合的波束跟踪技术，基于机械调整能力，Starlink 地面终端开机后可根据地理位置自动将阵面调整到合适的方位和仰角；基于相控阵天线波束快速指向调整能力，在相控阵阵面电扫覆盖范围内，实现对卫星的精确指向跟踪和跨星切换下的波束指向快速调整。根据《“星链”卫星系统及国内卫星互联网星座发展思考》，Starlink 终端设备可能具备美国空军的 C4ISR 军用接口，该用户终端体积较小，安装简单，可放置在各种移动载体上。

典型的 Starlink 地面关口站工作在 Ka 频段，配置 8 个 1.52m 口径天线，同样应用相控阵技术，通过产生多个指向性较强的窄波束来实现单个网关站点与多个卫星进行通信。卫星可以通过这种技术直接与卫星用户终端或网关（地面站）进行通信。SpaceX 已经在美国申请了一共 27 个 Ka 频段网关（地面站），分别位于得克萨斯州、佛罗里达州、加利福尼亚州、俄克拉荷马州、北达科他州（2 个）、密歇根州和阿拉斯加。阿拉斯加北海岸的地面站将如何进行使用尚未确定，随着 SpaceX 公司获得更多的建站许可，星链可以实现更大地区的覆盖。

图22：Starlink 地面终端外形图



(a) 第一代

(b) 第二代

资料来源：肖永伟等《Starlink 系统分析及对我国卫星互联网发展的启示》

图23：Starlink 地面关口站



资料来源：肖永伟等《Starlink 系统分析及对我国卫星互联网发展的启示》

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/137062106021006036>