

国防军工

小卫星星座专题报告

领先大市-A(维持)

小卫星星座赋能卫星应用，多卫星星座加速组网建设

2024年3月16日

行业研究/行业专题报告

国防军工板块近一年市场表现



资料来源：最闻

首选股票	评级
002025.SZ 航天电器	增持-A
600879.SH 航天电子	增持-A

相关报告：

【山证国防军工】商业航天含苞待放，国防工业持续景气-【山证军工】国防军工2024年策略 2023.12.29

【山证国防军工】商业运载火箭发展提速，打破商业航天运力瓶颈-商业运载火箭专题报告 2023.11.2

分析师：

骆志伟

执业登记编码：S0760522050002

邮箱：luozhiwei@sxzq.com

李通

执业登记编码：S0760521110001

电话：010-83496308

邮箱：litong@sxzq.com

投资要点：

➢ 随着小卫星技术在商业空间领域的发展，低轨小卫星星座的形成和商业运营服务已进入了蓬勃发展的阶段。随着微电子、微机电、集成电路和计算机技术等新技术的发展和卫星设计研制理念的创新，卫星朝着小型化发展，技术性能更高、经济成本更低、研制周期更短的现代小卫星产品加速发展。近地轨道卫星具有较高的轨道速度、较短的轨道周期以及距地球表面较低的高度，具备特殊优势，低轨卫星应用在天基全球通信、遥感、导航等一系列应用领域具有巨大价值。低轨道大规模开发利用的“轨道革命”正在发生，低轨星座是小卫星的最佳应用方式，低轨大型星座继2000年前后转入建设低潮后将卷土重来，航天将迎来一个前所未有的新的发展。由于低轨道频率和轨位资源有限，采用“先登先占”的原则，随着各航天大国和商业公司陆续提出极其庞大的小卫星星座发射部署计划，围绕低轨道频轨资源的争夺战将全面打响。

➢ 低轨小卫星星座应用主要聚焦于通信、遥感、导航三大领域。商业通信卫星的商业模式最为明确，有望最早实现较大商业利益。低轨通信星座通常包括窄带通信星座和宽带互联网星座，目前最受关注的低轨宽带互联网星座是SpaceX公司的Starlink计划，截至2024年1月上旬，星链由超过5289颗低轨小卫星组成，已覆盖全球70多个国家，截止2023年12月，订阅用户已达到230万，目前Starlink卫星通信星座能达到的速率与4G的水平基本持平，但相比5G网络，还有明显差距。总体来看目前商业遥感领域较为活跃，需求量相对较大。卫星遥感应用市场由数据和增值服务构成。美国行星公司(Planet)主要从事光学遥感业务，迄今已经建造并发射了全球规模最大的商业遥感卫星星座。商业导航方面的应用主要指天基北斗增强系统，铱星系统是全球第一个完备的低轨导航增强与通信星座，目前低轨导航卫星星座大多仍处于试验和验证阶段。

➢ 低轨宽带星座在军民应用领域前景广阔，“手机直连卫星”成为卫星通信领域新热点，StarLink已经于2023年实现了现金流的收支平衡。综合来看，低轨星座的宽带服务更适用于人口密度较低的农村地区，卫星宽带服务的潜在市场是缺乏蜂窝覆盖的地区，拥有约4亿的潜在客户。军事领域，低轨星座凭借其优良的应用特性，有望成为关键的军事基础设施。随着低轨星座的大规模部署带来的小卫星成本持续降低，低轨星座将扭转成本劣势，更好发挥低轨星座网络的性能优势，打开更广阔的应用前景。手机直连卫星业务可以使用普通的智能手机连接卫星系统，实现语音和宽带数据业务，有望



从根本上解决地面通信网络覆盖不足的问题，扩展覆盖区域，提供应急通信网络，最终构建出无缝全域覆盖、天地融合的 6G 网络。目前手机直连卫星业务的工作频率尚未在全球范围确定和达成一致，相关国际规则和标准制定仍处于初始阶段，多种技术路线和工作模式正在并行发展。马斯克在 2023 年 11 月表示，StarLink 已经实现了现金流的收支平衡。2023 年 10 月，SpaceX 发布手机直连卫星服务，根据规划，2024 年将实现短信发送，2025 年实现语音通话和网络服务，并分阶段实现物联网业务。

➤ **中国低轨小卫星星座发展提速。**2020 年国家发改委首次明确了“新基建”范围，将卫星互联网纳入通信网络基础设施的范围。自此，作为“新基建”的重点领域，中国的低轨卫星互联网产业进入了国家统一统筹、规划和运营的新阶段。中国卫星网络集团承担的“GW”星座计划和垣信卫星承担的 G60 星链是我国最大的两个低轨宽带卫星项目。遥感星座方面，近年来国内低轨大型遥感星座建设也呈现出加速态势，长光卫星建设并运营管理的“吉林一号”遥感星座，目前已实现一百余颗“吉林一号”卫星在轨运行，在星座规模方面仅次于行星公司（Planet），并且是目前全球最大的亚米级商业遥感卫星星座。导航应用方面，国内多家企业或机构正在积极开展低轨导航卫星星座的计划与布局，大多数仍处在试验和验证阶段。

➤ **重点公司关注：**2023 年底，商业航天首次被写入中央经济工作会议，2023 年全国民营火箭共发射 13 次，创下了中国商业航天发展八年来的新记录，中国商业航天产业正迈入高速发展期，2024 年将是我国商业航天发展的关键一年。多个卫星星座将加速组网建设，卫星产业链有望进入集中爆发期，我们重点推荐航天连接器龙头航天电器和航天电子设备配套龙头航天电子，建议关注军用无线通信装备核心供应商七一二和小卫星制造龙头中国卫星。

风险提示：在轨卫星无法正常工作的风险；运力不足制约卫星发射；星座建设进度不及预期；下游卫星应用市场拓展不及预期。

目录

1. 低轨小卫星星座的技术特点.....	7
1.1 小卫星技术.....	8
1.2 低轨星座是小卫星的最佳应用方式.....	11
2. 全球现有小卫星星座的运营情况.....	15
2.1 通信星座运营情况.....	15
2.2 遥感星座运营情况.....	17
2.3 导航星座运营情况.....	19
3. 低轨小卫星星座的盈利前景.....	21
3.1 新兴低轨宽带星座市场前景.....	21
3.2 “手机直连卫星”成为卫星通信领域新热点.....	24
3.3 StarLink 卫星通信星座的成本与收入状况.....	27
4. 中国低轨小卫星星座发展情况.....	30
5. 投资建议.....	33
5.1 航天电器.....	33
5.2 航天电子.....	33
5.3 七一二.....	34
5.4 中国卫星.....	34
6. 风险提示.....	36

图表目录

图 1： 按质量等级划分的卫星发射统计（2013-2022）.....	7
图 2： 按功能划分各类卫星发射及收入占比情况.....	7
图 3： 卫星平台构成.....	9

图 4: 常用纳卫星立方体卫星规格.....	10
图 5: 立方体卫星的模块化组件.....	10
图 6: 不同卫星轨道示意图.....	11
图 7: 近地轨道卫星星座（蓝色椎体为卫星传感器覆盖范围）.....	12
图 8: 对地静止卫星和近地轨道卫星星座的覆盖范围示意图.....	13
图 9: 非对地静止轨道卫星星座“里程碑”规则.....	14
图 10: 近地轨道空间物体密度.....	14
图 11: 与 5G 融合的低轨星座网络架构示意.....	15
图 12: 星链全球订阅者数量.....	16
图 13: 星链部署卫星数量.....	16
图 14: 2023Q3 美国网络运营商的中位下载速度.....	17
图 15: Starlink 中位下载速度（2022/11-2023/11）.....	17
图 16: 在轨释放的 Flock 星座的 3U 立方体卫星.....	18
图 17: SkySat“天空卫星”在轨示意图.....	18
图 18: 低轨星基导航增强系统.....	19
图 19: 卫星导航增强系统的分类及典型导航增强系统.....	20
图 20: 不同类型宽带网络的户均建设费用对比.....	21
图 21: 2022 年全球 95%的人口被 3G 以上信号覆盖.....	21
图 22: 卫星互联网市场规模（2017-2027）.....	22
图 23: 按轨道划分的卫星通信流量占比（2021-2031 低轨星座通信流量将以 53%的年复合增长率增长）.....	23
图 24: 地面网络以及不同轨道卫星宽带网络的性能（网速及延时）对比.....	23
图 25: 美国太空发展署的 PWSA 军用星座架构.....	24
图 26: 手机直连卫星应用示意图.....	25



图 27: Iridium 系统手持终端.....	25
图 28: 手机直连卫星三种频谱使用模式.....	26
图 29: ASTS 公司 BlueWalker-3 试验星的 64m ² 超大阵列天线.....	26
图 30: 猎鹰 9 和星舰搭载星链卫星的方案对比.....	27
图 31: 星链新市场人口.....	28
图 32: SpaceX 手机直连卫星方案架构.....	29
图 33: SpaceX 堆叠在顶部的准备发射的 6 颗手机直连卫星.....	29
表 1: 卫星分类方式.....	8
表 2: 商业小卫星与传统大卫星研制模式特点对比.....	8
表 3: 卫星子系统介绍.....	9
表 4: 通信领域低轨卫星系统与高轨卫星系统技术比较.....	11
表 5: 不同轨道上的卫星特性.....	12
表 6: 《无线电规则》频率划分情况.....	14
表 7: 全球主要低轨通信卫星星座计划.....	15
表 8: 主要国家或地区遥感星座计划.....	17
表 9: 国内外低轨导航增强系统规划进展.....	20
表 10: 卫星宽带与 5G 容量密度比较.....	21
表 11: 低轨星座与地球静止轨道高通量卫星 (GEO-HTS) 优劣比较.....	22
表 12: 全球手机直连卫星业务发展情况.....	26
表 13: 中国主要卫星通信星座规划.....	30
表 14: 国内主要低轨遥感星座组网计划.....	31

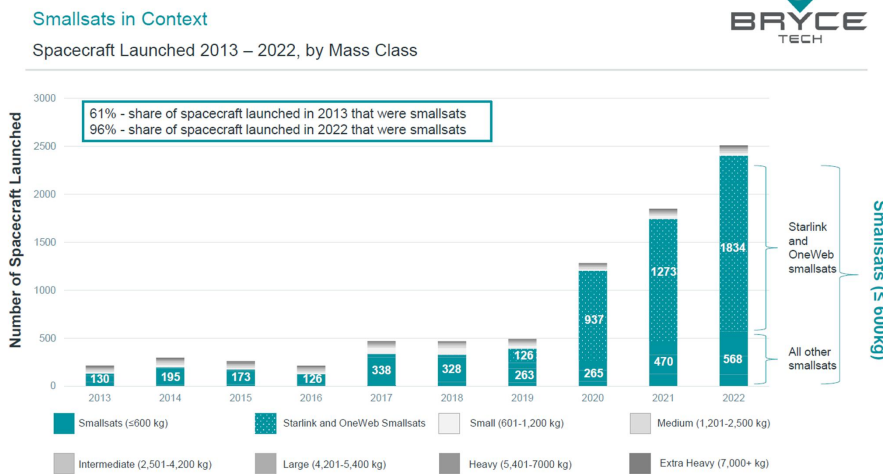


表 15: 重点覆盖公司盈利预测及估值..... 35

1. 低轨小卫星星座的技术特点

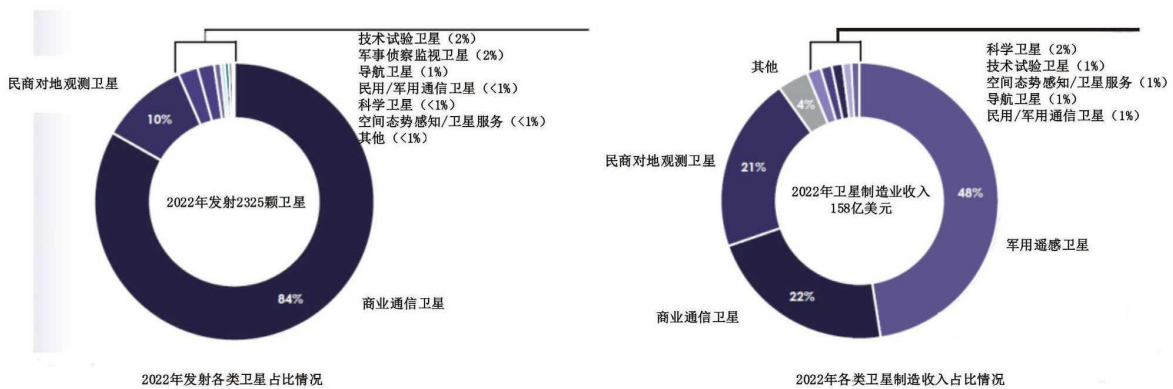
随着小卫星技术在商业空间领域的发展，低轨小卫星星座的形成和商业运营服务已进入了蓬勃发展的阶段。航天技术即将进入“一星多用、多星组网、多网融合”的星座大规模应用阶段。卫星应用主要包括通信、导航、遥感、科研四大方向，根据美国卫星产业协会（SIA）的统计数据，2022年全球发射的2325颗卫星中，商业通信卫星占84%，民商对地观测卫星占10%，技术试验卫星占2%。

图 1：按质量等级划分的卫星发射统计（2013-2022）



资料来源：BryceTech、《Smallsats by the Numbers 2023》、山西证券研究所

图 2：按功能划分各类卫星发射及收入占比情况



资料来源：《2023年〈卫星产业状况报告〉发布》、山西证券研究所

1.1 小卫星技术

国际上对卫星的分类主要以卫星质量为依据，一般将质量小于 500kg 的卫星称为小卫星。20 世纪七八十年代是大卫星迅速发展的时期，现代小卫星的发展始于 20 世纪 80 年代末，随着微电子、微机电、集成电路和计算机技术等新技术的发展和卫星设计研制理念的创新，卫星朝着小型化发展，技术性能更高、经济成本更低、研制周期更短的现代小卫星产品加速发展。小卫星可以执行与以前的较大卫星相同的功能，小卫星的应用领域正在不断拓展，在传统军、民、商市场持续快速发展的同时，面向大众消费级应用市场正成为新的增长点。

表 1：卫星分类方式

类型	小卫星					中型卫星	大卫星
	飞卫星	皮卫星	纳卫星	微卫星	迷你卫星		
质量范围	1~100g	0.1~1kg	1~10kg	10~100kg	100~500kg	500~1000kg	>1000kg
典型应用	科普	教育	技术验证	技术验证	业务应用	业务应用	业务应用

资料来源：《国外甚小卫星发展研究》、山西证券研究所

表 2：商业小卫星与传统大卫星研制模式特点对比

研制模式	商业小卫星	传统大卫星
研制队伍	规模小	专一、庞大
设计方式	一体化、标准化、模块化	公用平台，载荷定制化
研制流程	仅包含（方案）+正样	覆盖方案、初样、正样全流程
研制周期	最长一年	30 个月以上
设备配套	大量应用商业现货	商业货架产品占比小，主要是宇航产品，制定厂家配套
总装测试	状态少、高度自动化、组批模式，周期几个月	环节多、状态复杂、自动化成都低，周期是十个月
部署方式	无发射窗口限制，一箭多星或搭载或空基发射、直接入轨，星座组网运行	发射窗口限制严格，一箭一星发射、间接入轨，单星运行

资料来源：《商业航天先进小卫星研制模式和设计方法研究》、山西证券研究所

无论预期的应用是什么，一颗典型的卫星都包括了平台和载荷两部分。平台又包括了机械机构、推进子系统、热控制子系统、电源子系统、遥测与指令子系统、姿态与轨道控制子系统等。载荷是用于执行卫星预期功能的部分，载荷的性质取决于任务要求。对于通信卫星而言，有效载荷是通信天线以及作为接收机、放大器和发射机的转发器。对于遥感卫星而言，有效载荷主要有高分辨率相机、多光谱扫描仪和专题制图仪。对于导航卫星而言，有效载荷主要有星

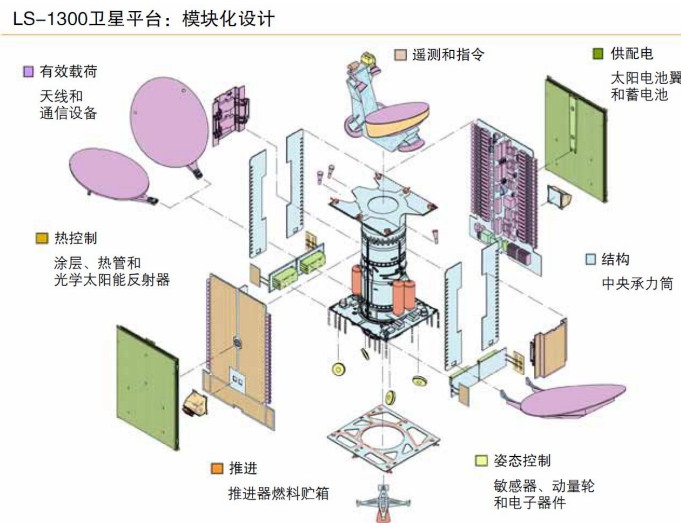
载原子钟、导航数据存储器和数据注入接收机等。科学卫星根据其任务不同具有不同的有效载荷，包括望远镜、光谱仪、等离子体探测器、磁强计等。

表 3：卫星子系统介绍

子系统	功能作用
机械机构	为卫星提供了框架，用于安装卫星的其他子系统，以及卫星和运载火箭之间的接口
推进子系统	用于提供推力来改变必要的运行速度，这是在卫星的整个寿命周期内执行全部机动操作所需要的
热控制子系统	维持卫星平台上星载的各种类型设备处于工作温度范围内
电源子系统	收集太阳能，利用太阳能电池阵列将其转化为电能，并将电能分配给卫星的其他部件和子系统，卫星也有电池，在日食期间和其他紧急情况下提供备用电力
遥测与指令子系统	负责监视和控制卫星从升空阶段到结束其在太空中的使用寿命
姿态与轨道控制子系统	一个功能是控制轨道路径，用以确保该卫星保持正确的空间位置；另一个功能是提供姿态控制，防止卫星在太空中翻转，确保天线始终指向地球表面上的一个固定点
有效载荷子系统	携带所需的仪器，用于执行预期功能，有效载荷的性质取决于其使命
天线	用于接收来自地面站的信号，并向它们发射信号

资料来源：《卫星技术-原理篇》、山西证券研究所

图 3：卫星平台构成

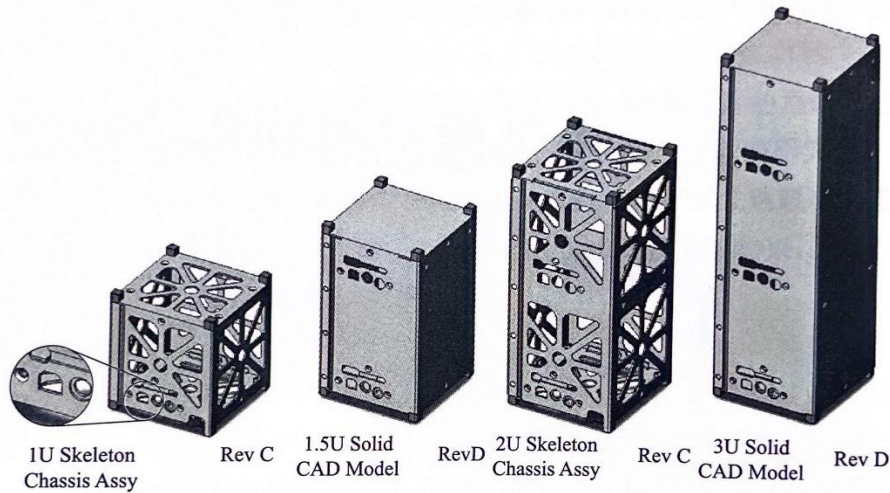


资料来源：《劳拉公司 LS-1300 卫星平台硕果累累》、山西证券研究所

现代小卫星从它诞生之日起，标准化的理念就贯穿始终。小卫星通过统一结构、体积和重量，实现了星体结构标准化。采用星体标准接口以及锁紧和解锁功能，小卫星实现了方便的拆装。目前小卫星已经形成较为完备的模块化组件，包括了平台、星上电源、太阳能电池板、姿态

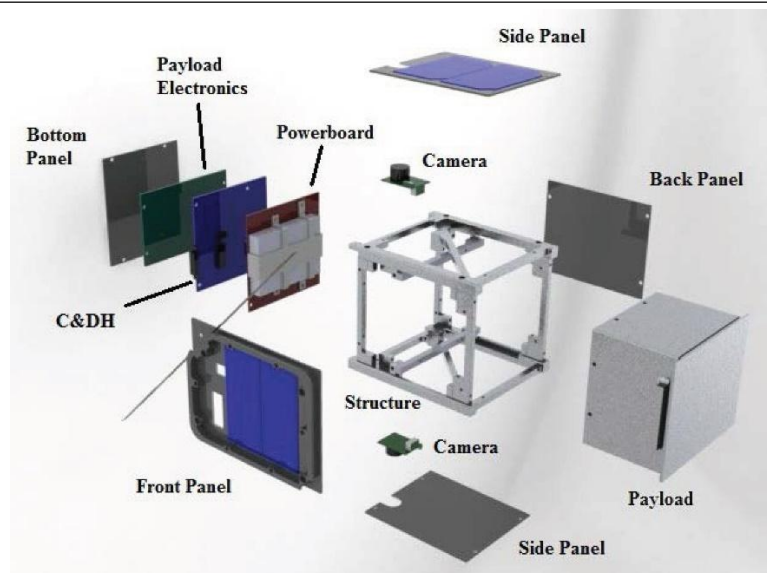
控制结构、收发机、天线、星载计算机、软件、发射展开机构等。平台通用化、功能模块化和接口标准化使小卫星能够根据任务需求尽可能地选择货架组件，简化了设计，降低了研制成本，缩短研制周期。

图 4：常用纳卫星立方体卫星规格



资料来源：《小卫星应用的多个领域》、山西证券研究所

图 5：立方体卫星的模块化组件

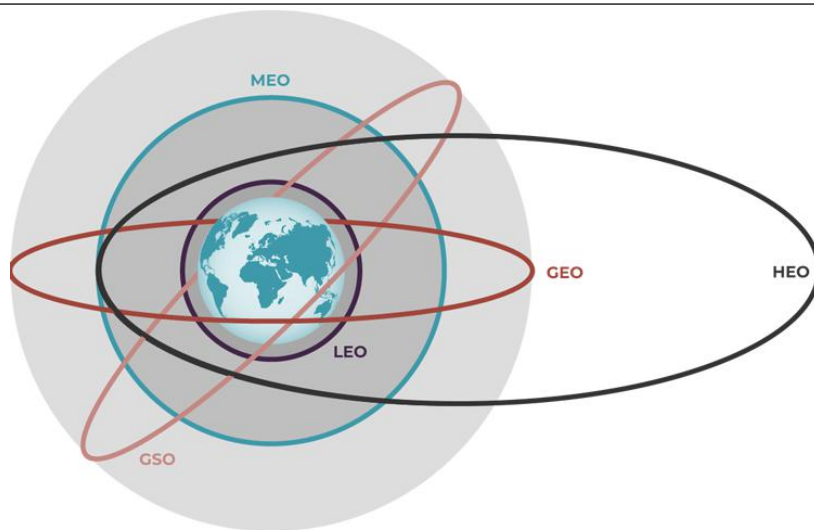


资料来源：GlobalSpec、《How to develop a CubeSat: From concept to Earth orbit》、山西证券研究所

1.2 低轨星座是小卫星的最佳应用方式

低轨道（LEO）是距离地球表面 200~2000 公里的圆形（或椭圆形）轨道。由于低轨道卫星的高度较低，卫星的速度非常高（>25000 公里/小时），每天绕地球 12-16 圈。在低轨道（LEO）上，对于地球上的观察者来说，卫星在地平线上方的最长时间可达 20 分钟，这段时间用于将数据、图像和照片传输到位于特定位置的地面站。

图 6：不同卫星轨道示意图



资料来源：SparkFun、《Understanding GNSS Orbits》、山西证券研究所

近地轨道卫星具有较高的轨道速度、较短的轨道周期以及距地球表面较低的高度，具备**特殊优势**。由于近地轨道高度低，对于通信而言具备延时低的优势，且信号路径损耗小，通信链路代价小；由于近地轨道卫星对地距离近，适合对地面目标进行精细遥感探测，分辨率更高，同时进一步提高了遥感数据的获取、分发速度，缩短了重访周期，达到高空间分辨率与高时间分辨率的统一；相对于中高轨来说，近地轨道卫星动态大，下行信号多普勒动态大，导航信号解模糊收敛快，适合地面实现导航快速定位及精度增强。低轨卫星应用在天基全球通信、遥感、导航等一系列应用领域具有巨大价值。

表 4：通信领域低轨卫星系统与高轨卫星系统技术比较

通信能力	低轨系统	高轨系统	对低轨通信系统的影响
传输时延	一跳约 7ms	一跳约 270ms	1) 支持实时性要求高的应用；2) 遥控更加灵活有效
传输损耗	损耗比高轨低 29.5db	——	利于终端小型化和告诉数据传输

通信能力	低轨系统	高轨系统	对低轨通信系统的影响
移动速度	星下点移动速度快	静止或较慢	1) 需补偿多普勒频移; 2) 带宽通信终端天线需对星; 3) 终端需在卫星和波速间频繁切换, 影响通信质量
波速覆盖	对地视场小	对地视场大	需多颗卫星组网运行
卫星容量	单星容量小, 整个系统容量高	单星容量大	相对地面不断运动, 覆盖区域业务容量基本均衡
系统可靠性	高于高轨系统	低于低轨系统	单星造价低, 系统鲁棒性高

资料来源:《低轨通信/导航星座建设与发展》、山西证券研究所

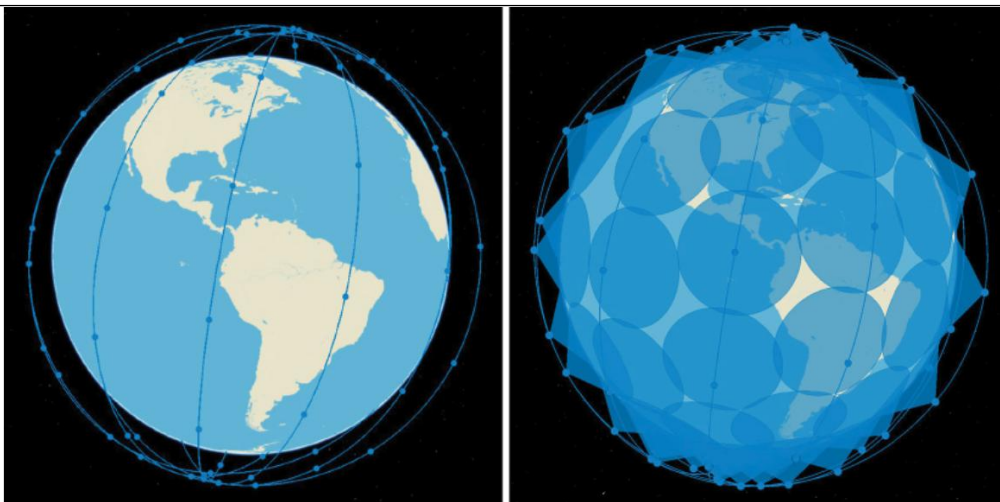
表 5: 不同轨道上的卫星特性

	近地轨道 (LEO)	中轨道 (MEO)	高轨道 (GEO)
卫星数目 (截止 2022.1.1)	4079	142	575
常见任务	通信 (64%) 遥感 (24%)	导航 (84%) 通信 (15%)	通信 (83%) 遥感 (8%)
平均发射质量 (kg)	330	1230	4100
平均预期寿命 (年)	5	10	14

资料来源: Congressional Budget Office、《Large Constellations of Low-Altitude Satellites: A Primer》、山西证券研究所

卫星星座是发射入轨后按照一定规律正常运行的卫星的集合。随着航天技术的发展, 一颗卫星已经不能满足越来越多的航天任务, 利用多颗卫星构建卫星星座, 形成一个分布式卫星系统, 可以大大扩展单颗卫星的能力, 能够按照要求的时间间隔和覆盖重数完成通信、导航或成像等任务。

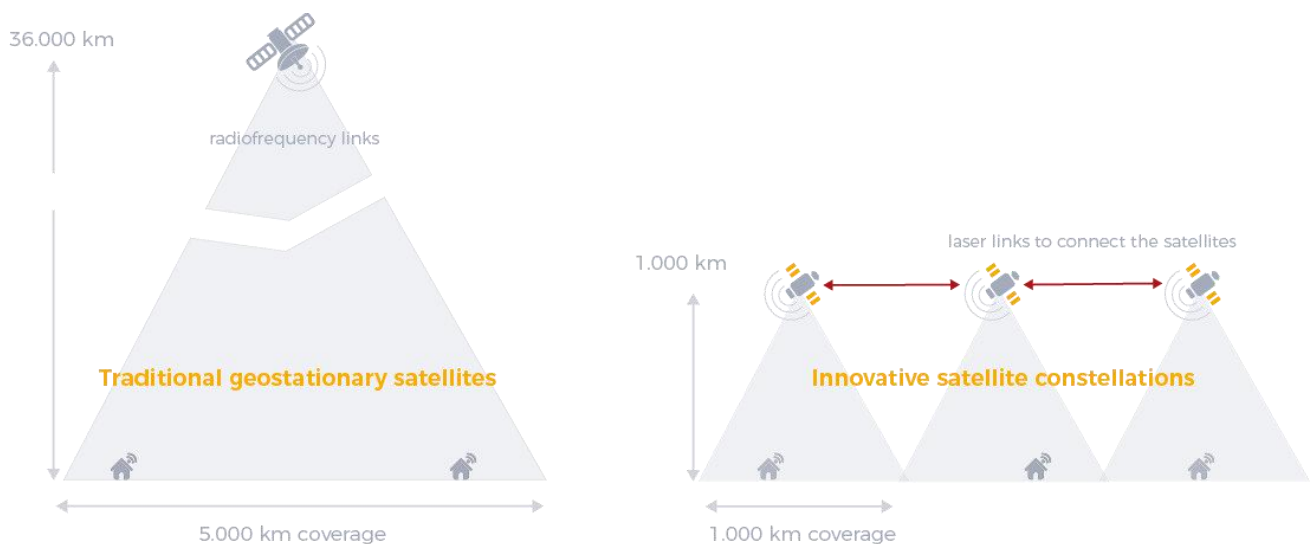
图 7: 近地轨道卫星星座 (蓝色椎体为卫星传感器覆盖范围)



资料来源: Congressional Budget Office、《Large Constellations of Low-Altitude Satellites: A Primer》、山西证券研究所

低轨道大规模开发利用的“轨道革命”正在发生，低轨星座是小卫星的最佳应用方式。由于低轨道卫星的移动速度极快，无法在某一点上空长时间停留，同时由于轨道高度较低，相比于中高轨卫星而言，覆盖面积较小，所以低轨道应用一般需要依赖由数百或数千颗低轨卫星组成的星座。与大卫星相比较而言，小卫星在分辨率、幅宽、寿命等单项性能方面的优势并不是很明显，必须发挥小卫星组网运行的优势，所以低轨星座是小卫星的最佳应用方式。由于近年来小卫星技术快速发展，单星成本不断降低，同时伴随可重复使用火箭带来的发射成本降低，使得构建大规模星座成为可能，低轨大型星座继 2000 年前后转入建设低潮后将卷土重来，航天将迎来一个前所未有的新的发展。

图 8：对地静止卫星和近地轨道卫星星座的覆盖范围示意图



资料来源：SODaH、山西证券研究所

由于低轨道频率和轨位资源有限，空间频率轨道资源主要在国际电信联盟的规则框架下进行申报、协调和使用，采用“先登先占”的原则。根据国际电信联盟的非对地静止卫星部署监管制度，任何非对地静止轨道星座，在第一份卫星网络资料申报后的 7 年内，应至少发射一颗卫星并按规定将卫星网络激活，对于使用 Ku、Ka 和 Q/V 频段的固定卫星业务（FSS）、广播卫星业务（BSS）和移动卫星业务（MSS）非对地静止轨道星座，必须遵守“里程碑”规定，在规定的时间节点内部署指定数目的卫星，否则国际电联将根据实际发射卫星数量，对相应卫星网络资料的卫星规模进行相应缩减。低地球轨道（LEO）是近地空间中最拥挤的区域，在地球同步轨道（GEO）高度以下仅 0.3%的空间中包含约 80%的空间物体，Starlink、OneWeb 等巨型星座的部署完成将使近地空间更为拥挤。随着各航天大国和商业公司陆续提出极其庞大的

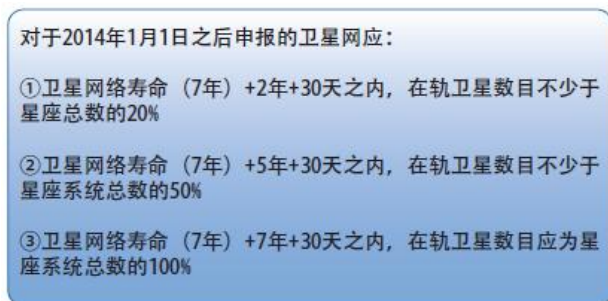
小卫星星座发射部署计划，围绕低轨道频轨资源的争夺战将全面打响。

表 6：《无线电规则》频率划分情况

频段	频率范围	使用情况	卫星通信可用带宽
L	1~2GHz	资源几乎分配殆尽，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等业务	主要用于窄带卫星移动通信系统，可用带宽较窄
S	2~4GHz	资源几乎分配殆尽，主要用于雷达、卫星定位、地面移动、卫星移动通信及卫星测控业务	
C	4~8GHz	近乎饱和，主要用于雷达、地面移动、卫星通信等业务	850MHz
X	8~10GHz	主要用于雷达、地面通信和卫星通信等业务	500MHz
Ku	10~14GHz	已饱和，主要用于卫星通信和卫星电视直播等业务	750MHz
Ka	18~30GHz	正在被大量使用，主要用于卫星通信、地面移动、星间通信等业务	3500MHz
Q	37~52GHz	开始进入商业卫星通信领域	5000MHz
太赫兹	0.1~10THz	正在开发	——

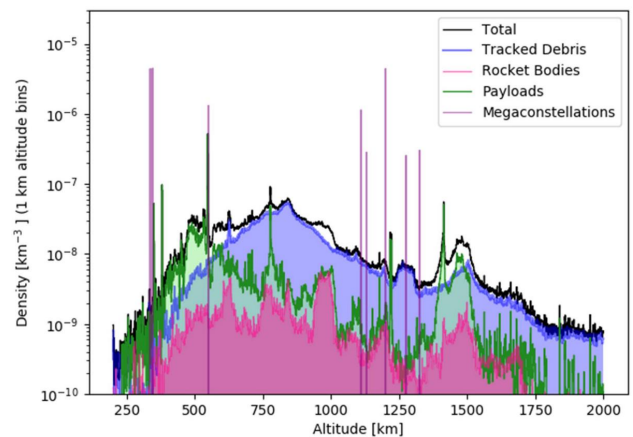
资料来源：《卫星频率轨位资源全球竞争态势与对策思考》、山西证券研究所

图 9：非对地静止轨道卫星星座“里程碑”规则



资料来源：《巨型低轨星座频率轨道资源趋势分析及启示建议》、山西证券研究所

图 10：近地轨道空间物体密度



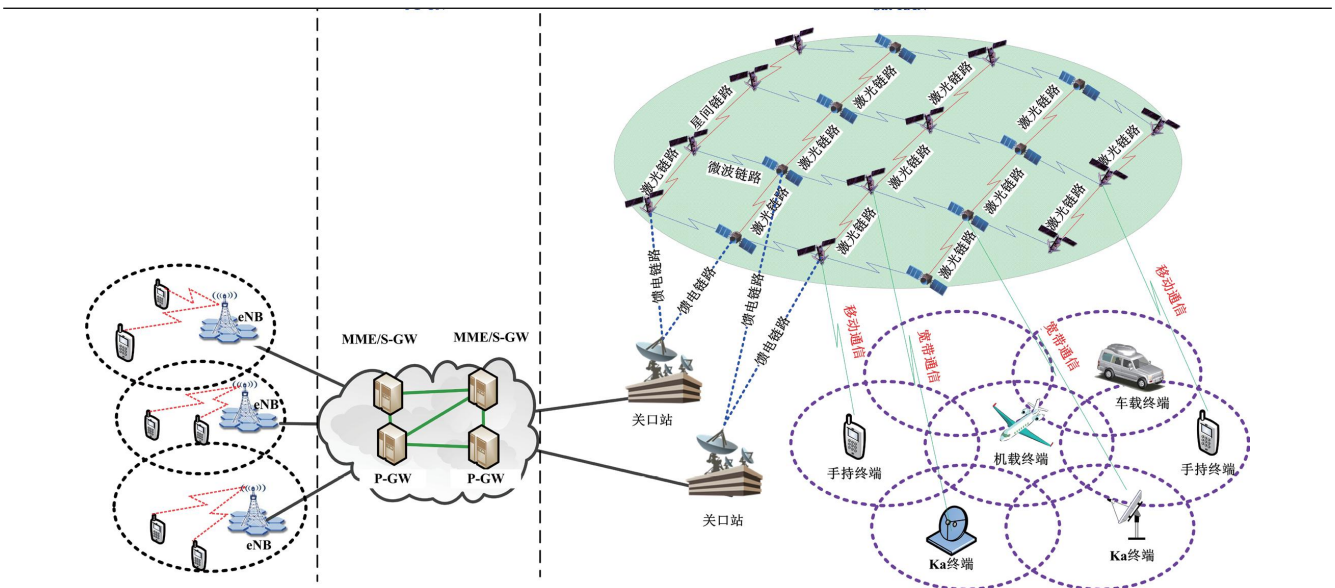
资料来源：《Satellite mega-constellations create risks in Low Earth Orbit, the atmosphere and on Earth》、山西证券研究所

2. 全球现有小卫星星座的运营情况

2.1 通信星座运营情况

低轨卫星通信具有覆盖全球、部署快、带宽高、时延低的优势，通过与地面网络融合打通了信息互联的最后一公里，服务陆地偏远地区用户，在广袤的海洋上支持物联网、船载通信，为全球民用航空器提供机载宽带通信。

图 11：与 5G 融合的低轨星座网络架构示意



资料来源：《低轨通信星座发展的思考》、山西证券研究所

低轨通信星座通常包括窄带通信星座和宽带互联网星座，主要用于提供通信或互联网服务。窄带通信星座主要工作在 L、S 低频段，以中低速率的通信为主，支持移动通信、物联网服务等业务，典型系统有“铱星系统”（Iridium），“全球星”系统（GlobalStar）等。宽带互联网星座主要工作在 Ku，Ka 等高频段，以中高速率的数据传输业务为主，支持互联网接入、网络节点互联等服务，典型系统包括目前 OneWeb、Space X 等公司正在建设的低轨卫星通信星座。

表 7：全球主要低轨通信卫星星座计划

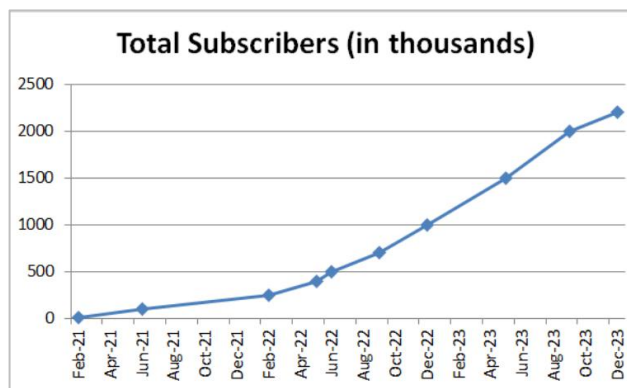
星座计划	卫星数量	轨道高度 (km)	工作频率
OneWeb	720	1200	Ku
SpaceX	42000	350~1325	Ku/Ka
LeoSat	108	1432	Ka
Iridium Next	81	780	L/Ka
Orbcomm	64	700~775	VHF/UHF

星座计划	卫星数量	轨道高度 (km)	工作频率
Globalstar	56	1414	L/S/C
Kuiper	3236	590~630	Ku/Ka
Lightspeed	198	1015/1325	Ka
Kelper	140	——	Ku
Boeing	2956	1200	V

资料来源：《商业航天工程导论（上册）》、《巨型低轨星座频率轨道资源趋势分析及启示建议》、《卫星频率轨位资源全球竞争态势与对策思考》、《低轨巨型星座的国际电信法问题分析》、《Telesat Lightspeed Constellation》、山西证券研究所

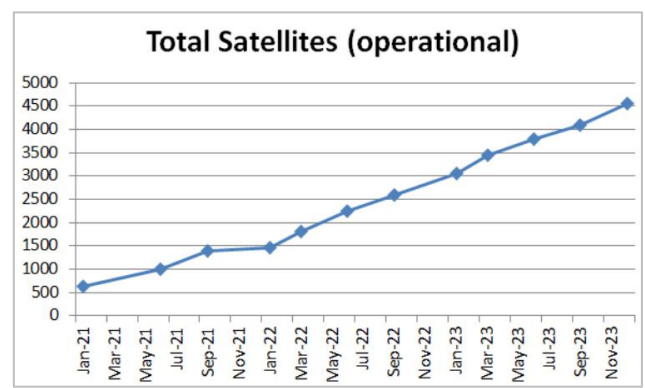
目前最受关注的低轨宽带互联网星座是 SpaceX 公司的 Starlink 计划。2015 年 SpaceX 宣布投资“星链”卫星通信星座，于 2019 年开始发射 Starlink 卫星。截至 2024 年 1 月上旬，星链由超过 5289 颗低轨小卫星组成，第一阶段计划部署近 12000 颗卫星，第二阶段扩展至 42000 颗。星链已覆盖全球 70 多个国家，截止 2023 年 12 月，订阅用户达到 230 万。

图 12：星链全球订阅者数量



资料来源：WikiMediaCommons、山西证券研究所

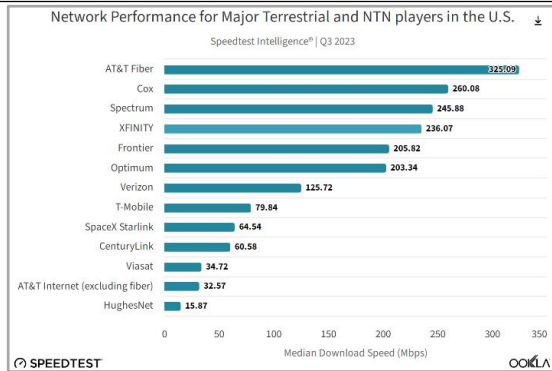
图 13：星链部署卫星数量



资料来源：WikiMediaCommons、山西证券研究所

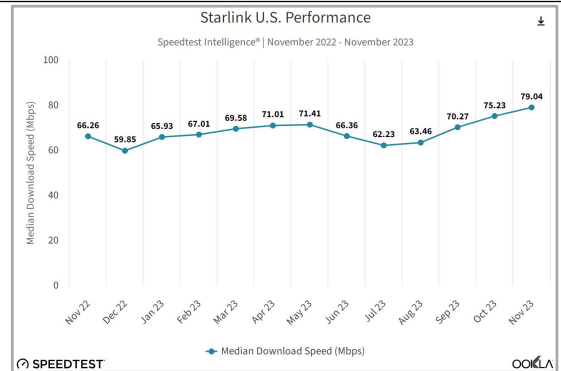
从用户速率来看，4G 系统要求的下行速度平均为 100Mbps 左右，SpaceX 提出的平均速率目标为 50-150 Mbps，目前 Starlink 卫星通信星座能达到的速率与 4G 的水平基本持平，但相比下行体验速率要达到 1Gbps 的 5G 网络，还有明显差距。SpaceX 相比于其他地球静止轨道卫星互联网运营商（Hughesnet、Viasat），下载速率及时延上具备明显优势，星链是无法接入 5G 的偏远山区或乡村以及经济不发达国家地区的最佳选择，未来通过新卫星的不断发射通信带宽也将持续增加。

图 14：2023Q3 美国网络运营商的中位下载速度



资料来源：OOKLA、《U.S. Starlink Data Points to Larger Addressable Base for LEO Broadband ISPs》、山西证券研究所

图 15：Starlink 中位下载速度（2022/11-2023/11）



资料来源：OOKLA、《U.S. Starlink Data Points to Larger Addressable Base for LEO Broadband ISPs》、山西证券研究所

2.2 遥感星座运营情况

相对高性能多功能的单颗卫星，低轨大型遥感星座可以通过均匀分布的百颗级卫星实现快速全球观测，有效提高全球遥感图像的时间分辨率，实现“全球直播”，同时采用星座系统并辅以星间数据链路，可以实现遥感数据实时下传，从而满足不断多样化和复杂化的任务需求。小卫星技术的发展促进了遥感卫星平台的小型化和载荷的多样化，除了多光谱（MSI）载荷外，商业合成孔径雷达（SAR）、高光谱（HSI）、电子情报/射频（ELINT/RF）和全球导航卫星系统-无线电掩星（GNSS-RO）载荷相继出现，低轨大型商业遥感卫星星座将得到快速发展。根据欧洲咨询公司数据，2022年在轨运行遥感卫星中遥感星座卫星占比88%，预计到2032年遥感星座卫星占比将提高到95%。

表 8：主要国家或地区遥感星座计划

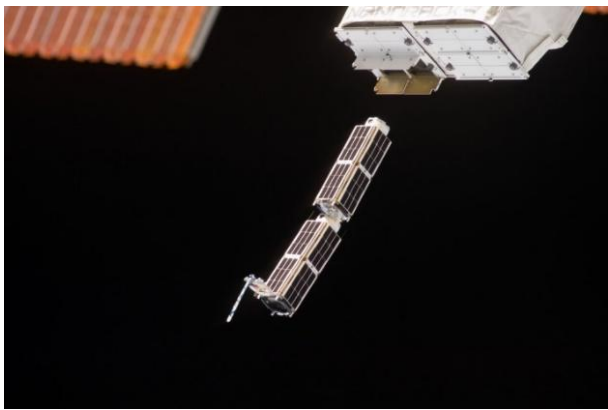
国家/地区	遥感星座名称
中国	高分星座计划、高景一号星座、吉林一号星座、珠海一号星座、北京二号星座、灵鹊遥感星座计划、深圳一号星座计划、海南一号星座计划、女娲星座
美国	陆地卫星（Landsat）计划、“天空卫星”（Skysat）计划、“鸽群”（Flock）计划、“黑色天空”（BlackSky）星座、“陆地测绘者”BC计划、“狐猿”2星座
加拿大	雷达卫星（Radarsat）星座计划
欧洲	欧盟“哥白尼”计划
英国	Vivid-i 星座
德国	“陆地合成孔径雷达”（TerraSar）卫星计划、“环境测绘和分析项目”（EnMAP）计划

国家/地区	遥感星座名称
法国	“地表水与海洋地形学”（SWOT）卫星研制计划、“昴宿星”（Pleiades）星座、SPOT 地球观测卫星系统
意大利	“宇宙-地中海”（COSMO-SkyMed）第二代卫星计划、“高光谱先驱及应用任务”（PRISMA）计划
西班牙	“帕兹” 雷达卫星项目、“西班牙地球观测卫星”（SEOSat/Ingenio）项目
芬兰	“冰眼”（Iceye）星座
俄罗斯	“资源”（Resurs）系列、“老人头”（Kanopus）系列、新一代遥感卫星集群
印度	“资源卫星”（Resourcesat）、“制图卫星”（Cartosat）系列、NISAR 卫星
日本	先进陆地观测卫星 3（ALOS-3）项目
韩国	“阿里郎”（KOMPSAT）卫星星座
以色列	“地球遥感观测卫星”（EROS）卫星计划

资料来源：《商业航天工程导论（上册）》、山西证券研究所

美国行星公司（Planet）主要从事光学遥感业务，迄今已经建造并发射了全球规模最大的商业遥感卫星星座，公司的 SkySat 星座和 Flock 星座目前在轨运行 200 多颗，可以实现高分辨率、高频次日更地球表面高清图像。同时，公司正计划发射下一代“鹈鹕”（Pelican）卫星星座，以补充和升级当前在轨的 21 颗 SkySat 星座，并正在研制“唐纳雀”（Tanager）高光谱分辨率卫星星座，以进一步提高观测能力、增加观测手段和丰富数据类型。该公司将卫星获得的地球图像或视频数据建立大数据库，提供基于云平台的数据访问服务，满足农业、林业、国防等不同部门的需求，目前已经建立了遍布 65 个国家的 600 多个客户的客户群，公司 2023 财年的收入已达 1.9 亿美元。

图 16：在轨释放的 Flock 星座的 3U 立方体卫星



资料来源：SpaceFlight101、《Flock 1/2 - Planet Labs Earth Observation Satellites》、NASA、山西证券研究所

图 17：SkySat “天空卫星” 在轨示意图

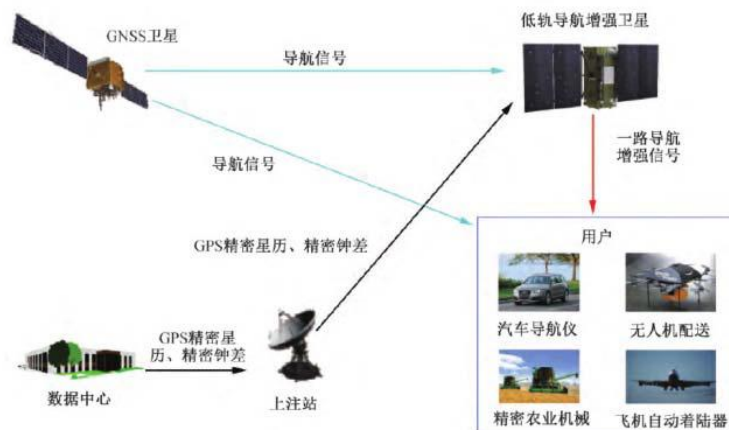


资料来源：Eoportals、山西证券研究所

2.3 导航星座运营情况

传统高轨导航卫星，轨道高，落地功率低，具有天然的脆弱性，穿透力差，易受干扰，高精度定位服务收敛时间长，无法提供高精度实时定位信息，最新 GNSS 卫星定位精度优于 10m，显然难以满足无人驾驶、轨道交通等高精确度定位需求的领域。在现有基于中高轨道卫星导航系统、地基增强系统已建设运行的基础上，低轨卫星导航系统能够实现信号强度和精度的提升，并缩短收敛时间，实现对现有基于中高轨星座的卫星导航系统的补充、增强与备份，同时具备独立提供导航、定位、授时服务的潜力。

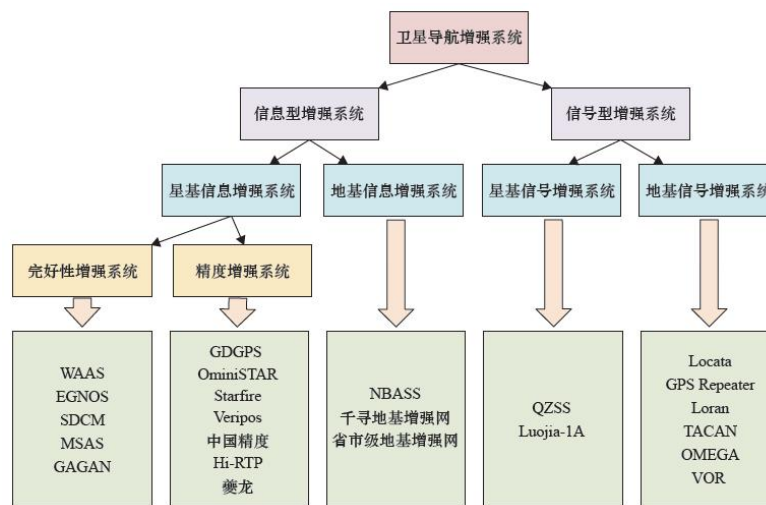
图 18：低轨星基导航增强系统



资料来源：《低轨通信/导航星座建设与发展》、山西证券研究所

卫星导航增强系统是为了适应不同行业、不同领域的用户对精度、实时性和完好性等性能不同程度的追求，伴随着 GNSS 基础业务完善而逐渐建设起来的辅助系统。按照增强方式，卫星导航增强系统可以分为信息增强和信号增强两类。低轨导航星座既可以基于低轨通信星座的通信能力，利用通导融合技术，提供高带宽、低时延的 GNSS 差分信息增强服务，也可以作为导航信号增强源，有效缩短精密定位的收敛时间，提升导航服务的可用性和可靠性。对低轨卫星系统来说，通信与导航具有较强的相关性，应用场景和合作对象往往都具有通信和导航两方面的需求，通信和导航一体化将是“智能时代”卫星导航的建设方向。铱星系统是全球第一个完备的低轨导航增强与通信星座，美国波音公司 2002 年提出将 GPS 与铱星系统相结合的(iGPS)方案，利用铱星系统的下行信道波束播发导航增强信号，定位精度 20-50m，功率增强了 25-30dB，并大幅度提升信号的抗干扰，良好的实测结果促成了第二代铱星系统（Iridium-Next）的建设。

图 19：卫星导航增强系统的分类及典型导航增强系统



资料来源：《低轨卫星导航增强技术——机遇与挑战》、山西证券研究所

目前低轨导航卫星星座大多仍处于试验和验证阶段，虽然还是处于试验星或规划论证阶段，但都获得了大量实测数据，为后续大规模部署提供了丰富的验证信息，也为卫星通信与导航的应用和研究开拓了新的方向。

表 9：国内外低轨导航增强系统规划进展

星座名称	星数	星座构型	规划进展
Iridium-NEXT	66	极轨 walker 星座 66/6/11 轨道高度 625km	全部卫星已进入商用运行阶段
Xona Space Systems	约 300	——	已发射首颗试验卫星“Huginn”，正在筹备第二颗试验星“Muninn”
微厘空间	120	Walker 星座 120/12/0 轨道高度 970km	已发射 3 颗试验星
天枢星座	——	——	已发射试验星“天枢一号”
未来出行星座	168	双 walker 混合星座	已发射 9 颗 01 组网星
中国卫星网络通信星座	——	——	整合“鸿雁”、“虹云”及“行云”工程。已在“天象一号”、“重庆号”及“珞珈一号”试验星上开展导航增强定位性能试验

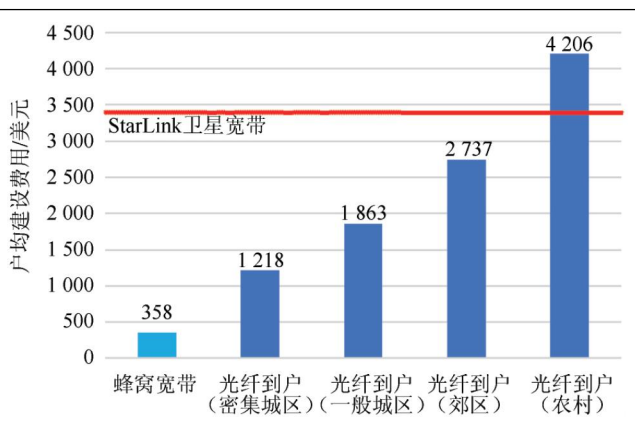
资料来源：《低轨导航增强系统技术发展综述》、山西证券研究所

3. 低轨小卫星星座的盈利前景

3.1 新兴低轨宽带星座市场前景

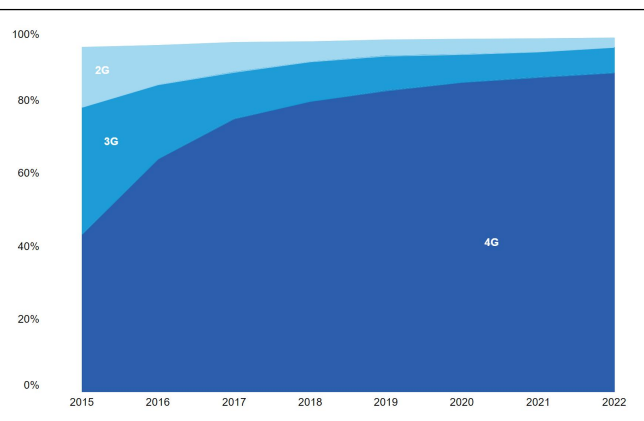
在通信领域，与第一代低轨窄带通信星座以话音服务为主不同，以 Starlink、OneWeb 为代表的新兴低轨宽带星座主要提供卫星宽带服务，要面临的是光纤到户（FTTH）、蜂窝宽带等地面网络和地球静止轨道高通量卫星的竞争。与地面网络相比，在建设费用方面，农村地区卫星宽带的户均建设费用要低于光纤，虽然蜂窝宽带的户均建设费用远低于卫星宽带，但是蜂窝宽带依赖光纤进行回传，更适合作为连接最后一公里的辅助手段。在容量密度方面，Starlink 的容量密度比 5G 系统低 5 个数量级，还无法满足人口密度高的城市地区。综合来看，低轨星座的宽带服务更适用于人口密度较低的农村地区。

图 20：不同类型宽带网络的户均建设费用对比



资料来源：《新兴低轨卫星通信星座发展前景研究》、山西证券研究所

图 21：2022 年全球 95%的人口被 3G 以上信号覆盖



资料来源：ITU、山西证券研究所

表 10：卫星宽带与 5G 容量密度比较

名称	下行总带宽/GHz	频谱效率/(bps·Hz ⁻¹)	单波束容量/Gbps	单波束面积/km ²	容量密度/(Mbps·km ⁻²)
StarLink	2	2.7	5.4	2800	2
OneWeb	2	2.4	4.8	75000	1/16
5G	2	6	12	1/45	540000

资料来源：《新兴低轨卫星通信星座发展前景研究》、山西证券研究所（注：世界主要城市人口密度 1000 人/km² 以上，假设平均每个用户需要 10Mbps 容量，那么需要的容量密度在 10000Mbps/km² 以上）

卫星宽带服务的潜在市场是缺乏蜂窝覆盖的地区，根据 ITU 数据，截止 2022 年全球 95% 的人口已经被 3G 以上信号覆盖，尚未被覆盖的人口占比约 5%，总数约 4 亿。OneWeb、StarLink 和 ViaSat-3 三个星座目前有效容量分别为 1.56Tbps、23.7Tbps、1.8Tbps 左右，按照人均 10Mbps 的标准，支持的用户数上限分别为 15.6 万、237 万、18 万，虽然面临地面网络的竞争，但对于卫星宽带而言，约 4 亿的潜在客户仍为相当可观的市场空间。根据 Technavio 数据，2022-2027 卫星互联网市场规模将以 16.85% 年复合增长率增长。

图 22：卫星互联网市场规模（2017-2027）



资料来源：Technavio、《Satellite Internet Market by End-user, Type, and Geography-Forecast and Analysis 2023-2027》、山西证券研究所

低轨星座与地球静止轨道高通量卫星（GEO-HTS）都能实现全球覆盖，但在传输时延、路径损耗、入轨成本、卫星寿命等方面各有优势。在综合成本方面，低轨星座处于劣势，但随着低轨星座的大规模部署，规模化卫星制造有望持续降低低轨小卫星成本，同时伴随低成本相控阵天线、一箭多星发射等技术的不断进步，低轨星座将扭转成本劣势，更好发挥低轨星座网络的性能优势，打开更广阔的应用前景。

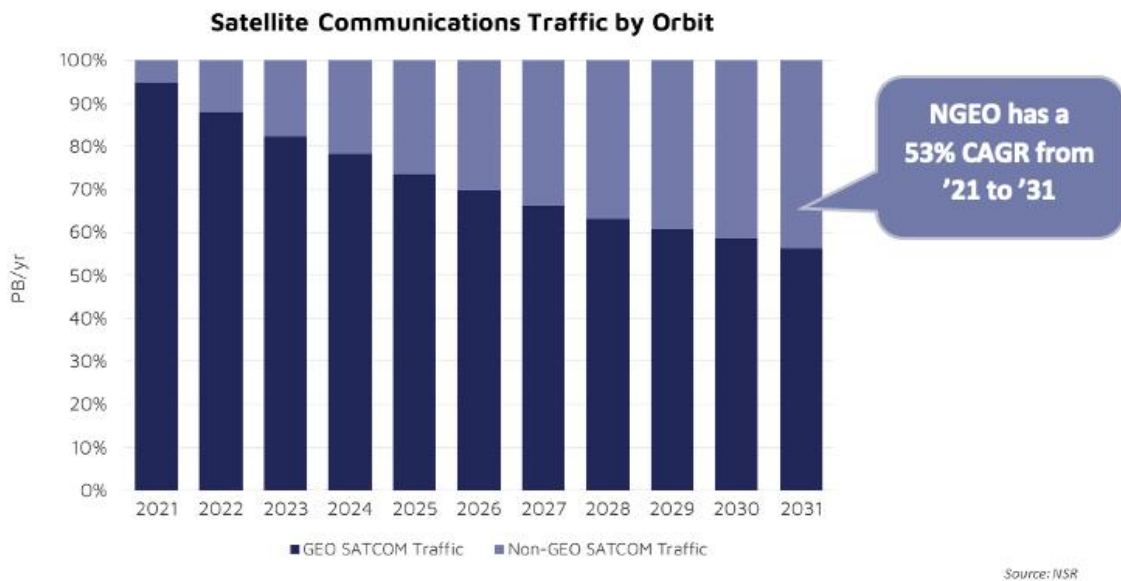
表 11：低轨星座与地球静止轨道高通量卫星（GEO-HTS）优劣比较

指标	比较	优势方
传输时延	GEO-HTS 往返时延 480ms，低轨星座约 30ms	低轨星座
路径损耗	GEO-HTS 约 210dB，低轨星座约 180dB	低轨星座
入轨成本	低轨卫星单位质量入轨成本约为 GEO-HTS 的 1/5~1/10	低轨星座
卫星寿命	GEO-HTS 约 15 年，低轨星座受大气阻力影响约 5~8 年	GEO-HTS
地面终端	GEO-HTS 支持抛物面天线，价格约为 50 美元；低轨星座必须使用相控阵平板天线，目前价格	GEO-HTS

指标	比较	优势方
	在 1000 美元以上	
容量利用效率	GEO-HTS 覆盖区域可预先设计；低轨星座天然覆盖全球，地球表面 70%以上为海洋和荒野，容量利用效率较低	GEO-HTS

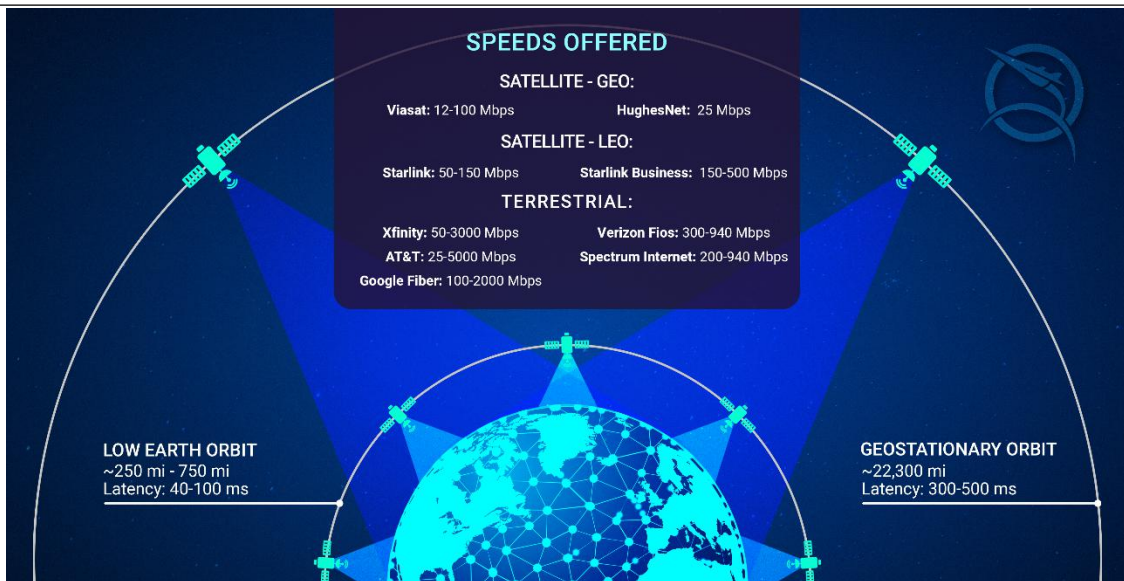
资料来源：《新兴低轨卫星通信星座发展前景研究》、山西证券研究所

图 23：按轨道划分的卫星通信流量占比（2021-2031 低轨星座通信流量将以 53%的年复合增长率增长）



资料来源：NSR、《SATCOM DATA TRAFFIC IN GEO》、山西证券研究所

图 24：地面网络以及不同轨道卫星宽带网络的性能（网速及延时）对比

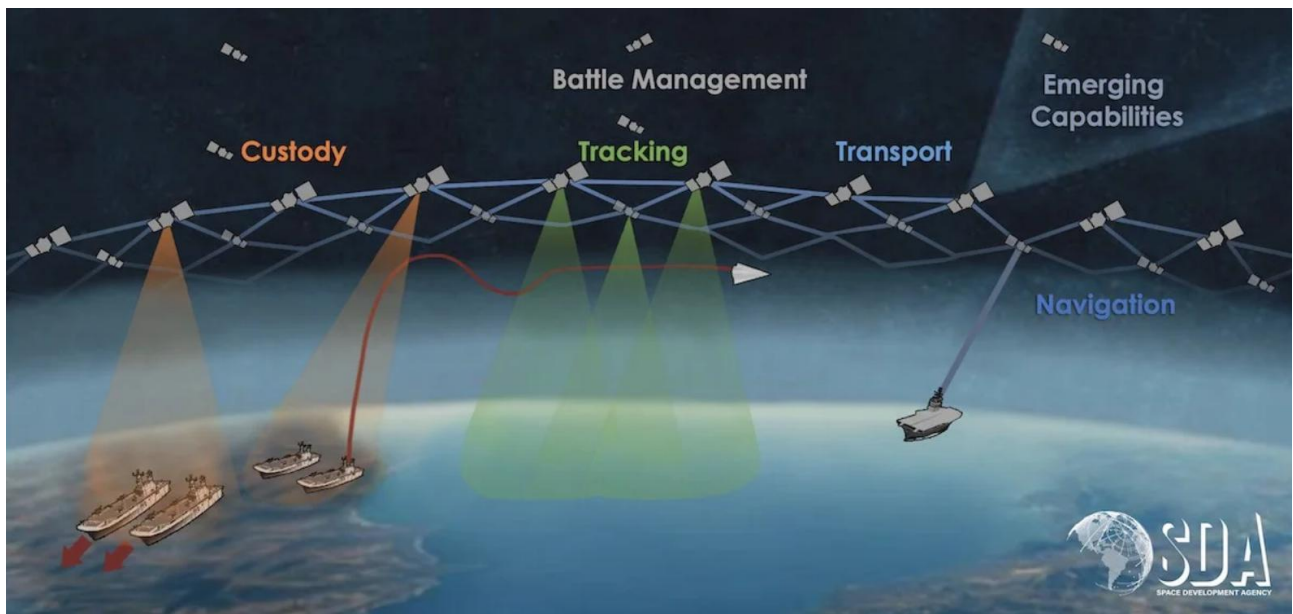


资料来源：SpaceWorks、《Bridging the Gap: The Business Viability of Satellite Internet》、山西证券研究所

军事领域，低轨星座凭借其优良的全球覆盖特性、低传输时延、高抗毁性、支持小孔径接

收天线等优势，具有广阔的应用前景，低轨星座有可能成为关键的军事基础设施。2022年2月俄乌冲突爆发后，乌克兰通过“星链”实现对原有地面互联网基础设施的替代，展示了一个可扩展、弹性巨型星座架构的能力，“星链”计划突破了商业边界，展现了巨大的军事应用潜力。2022年12月，SpaceX发布了“星盾（Starshield）”计划，旨在为美国提供全球部署的卫星遥感、加密通信、其他军用平台模块化托管能力。该计划基于“星链”的技术和生产线，并与“星链”通信兼容。“星盾”计划利用“星链”卫星星座，为美国情报机构、国防部等部门提供数据加密传输、战场信息感知等多项服务，特别是为美军一直欠缺的战场高通量信息传输、战场卫星遥感信息获取等方面提供支持，将有效增强美军侦察遥感、通信中继、导航定位、精确打击等作战能力。

图 25：美国太空发展署的 PWSA 军用星座架构



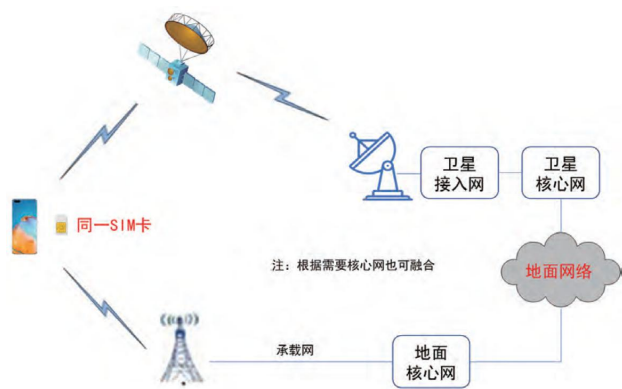
资料来源：SpaceVoyaging、《SpaceX launches the first satellites for U.S. Space Development Agency》、SDA、山西证券研究所

3.2 “手机直连卫星”成为卫星通信领域新热点

当前在低轨宽带卫星互联网系统建设热潮尚未到达顶峰的同时，以“手机直连”为代表的新一代卫星移动通信系统，正在成为卫星通信领域超越卫星互联网的又一个关注热点和发展方向。“手机直连卫星”不同于传统的卫星移动通信，面向个人用户的移动通信卫星系统发展建设已有三十多年，例如铱星（Iridium）、全球星（GlobalStar）、海事卫星（Inmarsat）等卫星移动通信系统。这些系统使用定制的卫星手持终端（发射功率和天线增益显著高于普通智能手机），

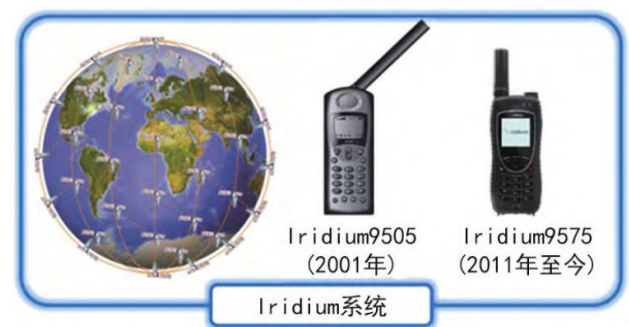
工作于 L/S 频段，主要实现语音和窄带数据服务，而手机直连卫星业务指的是使用普通的智能手机便可实现与卫星系统的连接，实现语音和宽带数据业务。当前地面移动通信服务范围约占陆地面积的 20%，全球总面积的 6%，手机直连卫星业务有望从根本上解决地面通信网络覆盖不足的问题，扩展覆盖区域，提供应急通信网络，最终构建出无缝全域覆盖、天地融合的 6G 网络。

图 26：手机直连卫星应用示意图



资料来源：《全球手机直连卫星应用发展与思考》、山西证券研究所

图 27：Iridium 系统手持终端



资料来源：《“手机直连卫星”发展及关键技术》、山西证券研究所

当前，手机直连卫星业务的工作频率尚未在全球范围确定和达成一致，相关国际规则 and 标准制定仍处于初始阶段，多种技术路线和工作模式正在并行发展。频率的选择决定了手机直连卫星业务的不同技术路线和工作模式，目前主要在探索三种频谱使用模式：一是使用卫星移动业务的频率，基于现有在轨卫星网络，通过手机集成卫星移动通信专用芯片，修改手机射频天线，实现“手机直连卫星”，该工作模式本质上属于卫星移动业务（MSS），华为和天通卫星、苹果公司和全球星、铱星公司和高通、三星使用的就是这种模式；二是使用地面移动业务的频率，工作在该模式的手机无需修改，但卫星公司必须和地面通信运营商合作以获得频率使用权，这种方式需要新发射卫星组成完整网络才能提供商业化服务，在地面手机发送和接收能力确定的情况下，要实现支持宽带业务的“手机直连卫星”，卫星必须配置超大阵面多波束天线，技术复杂，工程实施难度大，另外由于全球地面移动通信频率分布比较散，不同区域变化比较大，实现全球范围内兼容的难度较大，目前 SpaceX、AST SpaceMobile、Lynk Global 等公司采用了该模式，并且还处于在轨试验状态；三是使用 3GPP 正在规划的专用频率，3GPP 定义了 5G NTN，2022 年发布第 17 版（Rel-17）支持在 L 和 S 频段提供卫星接入服务，美国 Omnispace 公司就

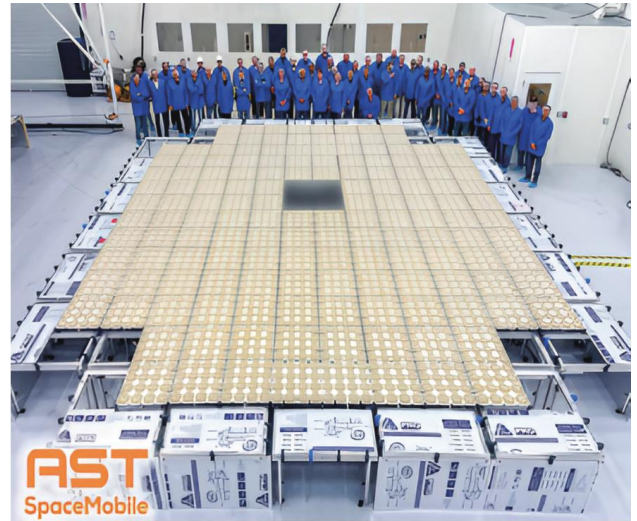
是采用了 3GPP 5G NTN 标准来建设低轨卫星星座，支持该模式的还有爱立信、高通、三星等。

图 28：手机直连卫星三种频谱使用模式

模式一 使用卫星移动业务的 频率	模式二 使用地面移动业务的 频率	模式三 使用 3GPP 规划的专 用频率
<p>技术路线：延续传统的卫星移动业务，扩展为卫星与智能手机通信的能力。</p> <p>工作频段：L/S 频段</p> <p>优势：频谱资源相对丰富，部署速度快。</p> <p>不足：手机需要修改，必须集成卫星通信专用芯片。</p> <p>应用场景：适合于快速补充地面通信系统的网络覆盖。</p> <p>支持的公司：华为公司和天通卫星、苹果公司和全球星、铱星公司及高通等。</p>	<p>技术路线：卫星公司和地面运营商合作，卫星充当“通用基站”，使用不同运营商的频谱在各国开展业务。</p> <p>工作频段：LTE 频段</p> <p>优势：手机无需任何更改，向下兼容性好。</p> <p>不足：必须与地面运营商合作，对卫星改造的难度较大。</p> <p>应用场景：适用范围大，应用速度快。</p> <p>支持的公司：SpaceX、AST SpaceMobile、Lynk Global 等。</p>	<p>技术路线：创建全球标准化生态系统，是面向未来 6G 的解决方案。</p> <p>工作频段：待定，候选频段为 L/S 频段、Ku 频段、Ka 频段</p> <p>优势：与普通智能手机完全兼容，干扰风险最小。</p> <p>不足：需要规划新频率新标准，部署周期长。</p> <p>应用场景：向下兼容 4G LTE，向上兼容 6G NTN，向星地融合演进。</p> <p>支持的公司：Omnispace、高通、爱立信、三星等。</p>

资料来源：《手机直连卫星业务发展现状与挑战》、山西证券研究所

图 29：ASTS 公司 BlueWalker-3 试验星的 64m² 超大阵列天线



资料来源：《“手机直连卫星”发展及关键技术》、山西证券研究所

表 12：全球手机直连卫星业务发展情况

公司名称	星座规模	已发射卫星	轨道高度	工作频段	商用时间	备注
AST SpaceMobile	243 颗	2 颗	500 公里	LTE 频段：850MHz 频段；700MHz	2024	使用地面移动业务的频率
Lynk Global	5110 颗	5 颗	500 公里	LTE 频段：上行 663-915MHz 频段；7 下行 617-960MHz	2027	使用地面移动业务的频率
SpaceX	7500 颗	6 颗	530 公里	LTE 频段：上行 1910-1915MHz 频段；7 下行 1990-1995MHz	2025	使用地面移动业务的频率
Omnispace	200 颗 LEO；15 颗 MEO	2 颗	500 公里 (LEO)；10500 公里 (MEO)	L/S 频段：上行 1626.5-1660.5MHz，1980-2010MHz；下行 1525-1559MHz，2170-2200MHz	—	使用 3GPP 正在规划的专用频率
Globalstar (苹果)	24 颗	48 颗	1400 公里	L/S 频段：上行 1610-1618.725MHz；下行 2483.5-2500MHz	2022	使用卫星移动业务的频率

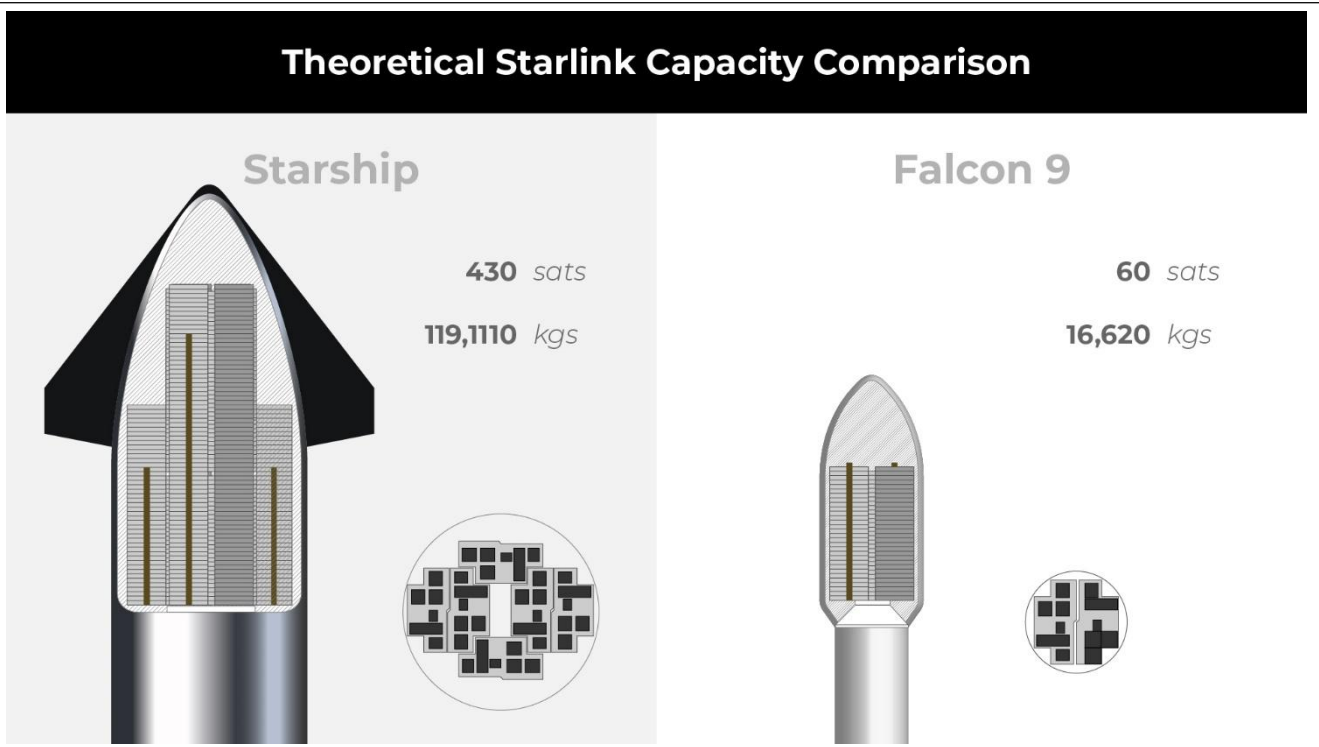
天通一号 (华为)	3 颗	3 颗	36000 公里	L/S 频段: 上行 1980-2010MHz; 下行 2170-2200MHz	2023	使用卫星 移动业务 的频率
--------------	-----	-----	----------	--	------	---------------------

资料来源:《手机直连卫星业务发展现状与挑战》、山西证券研究所

3.3 StarLink 卫星通信星座的成本与收入状况

根据 SpaceX 的官方消息, Starlink 卫星通信星座的总投资额约为 200-300 亿美元, 初期需要 50-100 亿美元才能全面投入运营, 星座建成后预计收益 300 亿美元。目前 StarLink 单颗卫星制造成本约 50 万美元, 4.2 万颗卫星的制造成本约为 60 亿美元, 在不考虑火箭重复发射的影响下, 按照猎鹰 9 号的官方报价(每发 6200 万美元), 一箭 60 星的方案估算, Starlink 第一阶段 1.2 万颗卫星的发射成本约为 124 亿美元, Starlink 第二阶段 3 万颗卫星如果采用星舰发射(每发 9000 万美元), 按照一箭 400 星的方案估算, 发射成本约为 67.5 亿美元, 再考虑到地面测运控中心建设、系统的维护和运营等多方面的费用, Starlink 卫星通信星座的建设成本与 SpaceX 的估计基本吻合。

图 30: 猎鹰 9 和星舰搭载星链卫星的方案对比

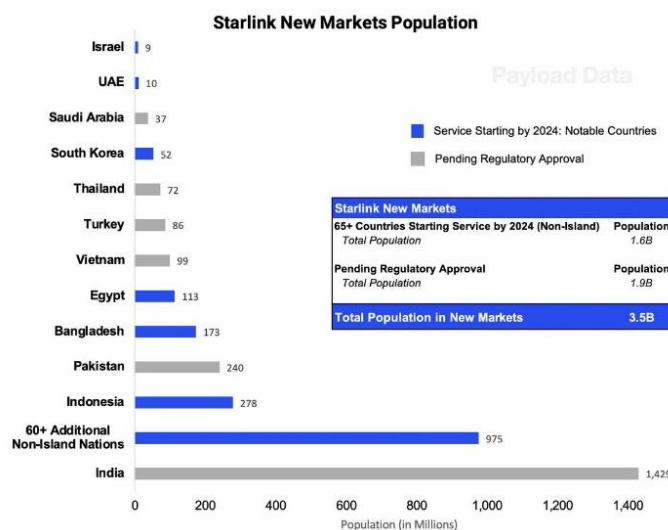


资料来源: Reddit、山西证券研究所

StarLink 的盈利方式包括每月的订阅服务费、一次性购买硬件费用、充值费以及账户管理

费。硬件方面，SpaceX 向用户收取 599 美元的卫星天线费用，但是根据 CNBC 报道，公司最初生产每个卫星天线的成本为 3000 美元，2021 年 4 月 SpaceX 总裁表示新版卫星天线成本已降至 1300 美元，并有望在未来一两年内进一步降至几百美元范围。StarLink 的商业模式主要以订阅为中心，客户包括了大众消费者（B2C）和企业用户（B2B），在 B2C 方面，2023 年活跃用户数已达到 230 万，在 B2B 方面，主要客户包括了汽车、船舶和航空等领域的公司。根据华尔街日报消息，StarLink 2021 年的收入为 2.22 亿美元，2022 年的收入高达 14 亿美元。PayLoad 估计，StarLink2023 年收入约 42 亿美元。2023 年 2 月 SpaceX 总裁表示，StarLink 在 2022 年实现了季度正现金流，马斯克在 2023 年 11 月表示，StarLink 已经实现了现金流的收支平衡。另据彭博社消息，2023 年 SpaceX 预计收入 90 亿美元，2024 年预计收入 150 亿美元，其中 StarLink 收入达到 100 亿美元。

图 31：星链新市场人口

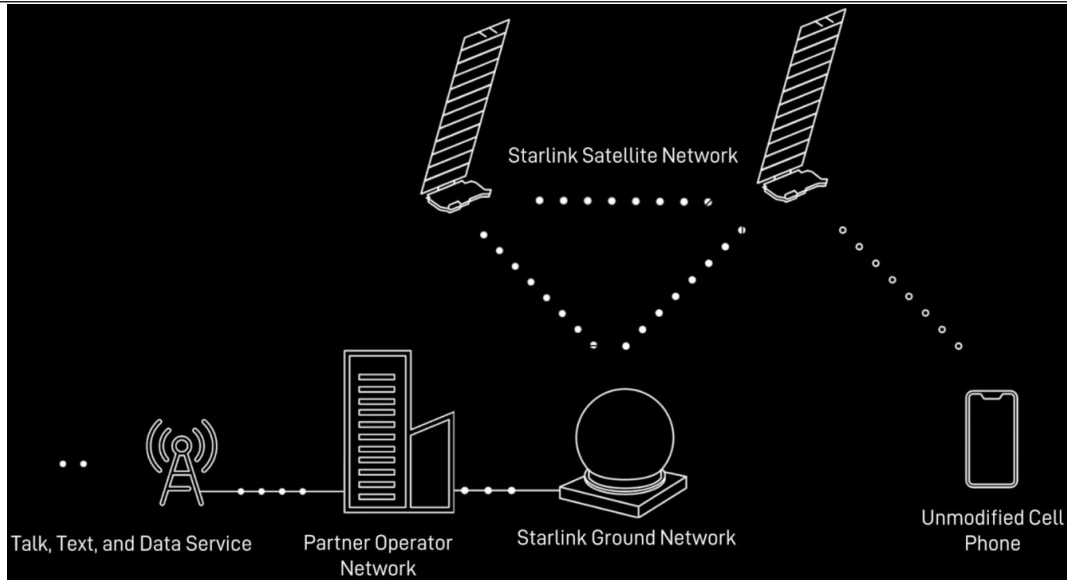


资料来源：Payload、山西证券研究所

2022 年 8 月，SpaceX 宣布将与 T-Mobile 合作，基于 T-Mobile 的 PCS 频谱和 Starlink V2.0 卫星开展手机直连卫星服务，为所有 T-Mobile 网络的 4G/5G 智能手机用户提供直连卫星双向消息和语音通话功能。Starlink V2.0 卫星将在原 Ku 及 Ka 通信载荷、星间激光链路的基础上，为支持地面手机直连，增加一个面积 25m² 中频 PCS 阵列天线。2023 年 10 月，SpaceX 发布手机直连卫星服务，现有 LTE 手机无需更改硬件即可通过星链发送文本、语音和数据。根据规划，2024 年将实现短信发送，2025 年实现语音通话和网络服务，并分阶段实现物联网业务。目前星链手机直连卫星业务的合作运营商包括：T-Mobile（美国）、ROGERS（加拿大）、KDDI（日本）、OPTUS（澳大利亚）、ONE NZ（新西兰）、SALT（瑞士）、Entel（智利）、Entel（秘

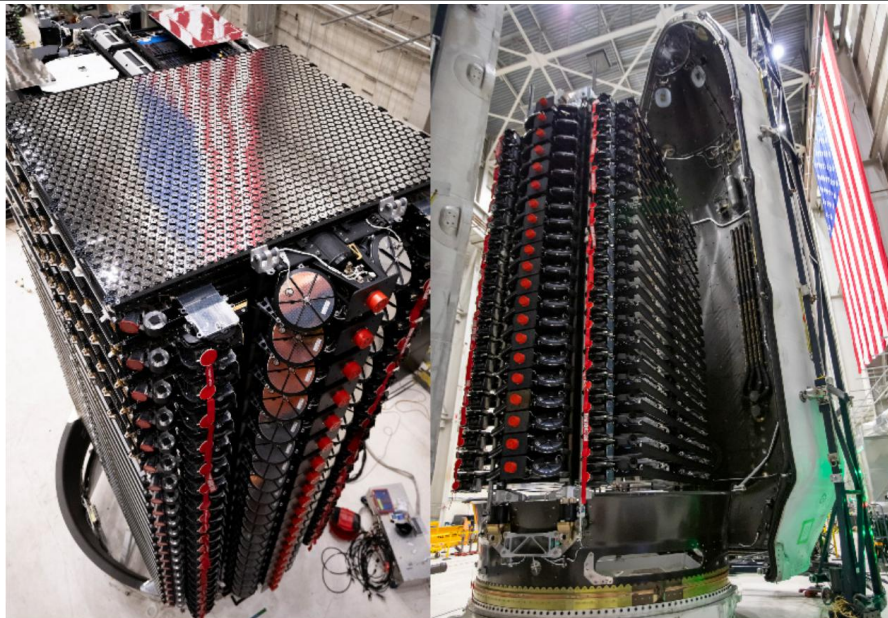
鲁)等。2024年1月, SpaceX发射了首批6颗手机直连卫星, 并通过其中一颗手机直连卫星成功实现收发短信, 首批手机直连卫星选择了 Starlink V2.0 mini 卫星平台, 由猎鹰9送入轨道, 之后将由星舰发射。

图 32: SpaceX 手机直连卫星方案架构



资料来源: SpaceX、山西证券研究所

图 33: SpaceX 堆叠在顶部的准备发射的 6 颗手机直连卫星



资料来源: KDDI、山西证券研究所

4. 中国低轨小卫星星座发展情况

2020 年国家发改委首次明确了“新基建”范围，将卫星互联网纳入通信网络基础设施的范围。自此，作为“新基建”的重点领域，中国的低轨卫星互联网产业进入了国家统一统筹、规划和运营的新阶段。2020 年中国以“GW”代号向国际电信联盟（ITU）提交了 GW-A59、GW-2 两个低轨互联网星座的轨道和频率申请，总计规划卫星数量为 12992 颗。2021 年 4 月，中国卫星网络集团组建成立，负责统筹规划我国卫星互联网领域发展，中国卫星网络集团将整合“鸿雁”和“虹云”低轨星座工程，主导承担“GW”星座计划。G60 星链是上海市政府支持的中国第二个低轨宽带卫星大星座项目，实施的核心企业是垣信卫星，负责卫星运营和卫星互联网服务提供，垣信卫星持股超 30%的格思航天负责卫星的生产制造。2019 年 11 月垣信卫星首批两颗试验卫星已完成发射并成功组网，一期将实施 1296 颗，未来将实现 12000 多颗卫星的组网，2023 年 12 月，格思航天 G60 卫星数字工厂正式投产，年产量预计 300 颗卫星。根据 G60 星链发射规划，2024 年至少完成 108 颗卫星发射并组网运营，在 2025 年底前完成 648 颗 GEN1 卫星发射任务，在 2026-2027 年完成一期后续 648 颗 GEN2 卫星发射任务。低轨卫星互联网星座已经上升到国家意志，卫星互联网产业进入了全面快速发展的时代。

表 13：中国主要卫星通信星座规划

公司	星座名称	规划数量(颗)	主要功能	频段	建设计划及进展
中国星网	星网计划	12992	宽带通信	L/S/C/X/ Ku/Ka/Q/V	目前已整合了“鸿雁”、“虹云”及“行云”工程。
垣信卫星	G60	12000	宽带通信	——	一期实施 1296 颗，建设周期 2024-2027，2025 年前完成 648 颗 GEN1 卫星发射任务，2026-2027 完成后续 648 颗 GEN2 卫星发射任务
银河航天	银河	2000	宽带通信	Q/V/Ka	2020 年首发卫星进入轨道
中国电科	天象	120	宽带 + 导航 增强	L/Ka/V/S	2019 年完成“天象”试验 1 星和 2 星发射，规划 60 颗综合星和 60 颗宽带星
北京国电 高科	天启	38	物联网通信 (窄带)	——	2018 年发射首颗卫星，目前已成功部署并运营 21 颗，预计 2024 年上半年完成全面组网，由 48 颗卫星组成的天启二代星座计划已启动
和德宇航	天行者	48	物联网通信 (窄带)	——	从 2017 年 11 月发射首颗 AIS 试验卫星起，至 2022 年 12 月历经多次成功发射，现在轨卫星 9 颗，预计在 2025 年完成“天行者”星座建设
时空道宇	未来出行	168	窄带通信 + 导航增强	——	目前已完成两轨共 20 星的组网部署，2025 年完成星座一期 72 颗卫星部署，实现全球实时数据通信服务；二期将扩展至 168 颗卫星，实现全球厘米级高精定位

公司	星座名称	规划数量(颗)	主要功能	频段	建设计划及进展
					服务

资料来源：立鼎产业研究网、《垣信卫星 67 亿融资背后低轨卫星空间战白热化》、《机载低轨卫星通信发展及关键技术综述》、《低轨互联网星座发展研究》、中国日报网、时空道宇公众号、《巨型低轨星座频率轨道资源趋势分析及启示建议》、和德宇航官网、山西证券研究所

遥感星座方面，近年来国内低轨大型遥感星座建设也呈现出加速态势，根据《低轨大型遥感星座发展现状及其关键技术》中的数据，我国在 2030 年前规划中的低轨遥感星座卫星总数超过 800 颗。国内遥感卫星主要集中在可见光波段，高光谱、微波、红外与雷达遥感卫星的数量相对较少。合成孔径雷达（SAR）卫星相比光学卫星，可以在能见度极低的气象条件下得到高分辨率的雷达图像，能够全天时全天候工作，面对高时效性的遥感服务需求，将会成为未来遥感卫星发展的重点。目前为满足多样化的用户需求，低轨遥感星座采用多种成像平台相结合的方式，并通过多源遥感图像的数据融合来克服单一成像手段的限制，从而获得分类精度更高的遥感图像。长光卫星建设并运营管理的“吉林一号”遥感星座，目前已实现一百余颗“吉林一号”卫星在轨运行，在星座规模方面仅次于行星公司（Planet），但行星公司大多数卫星的空间分辨率水平较低，“吉林一号”是目前全球最大的亚米级商业遥感卫星星座，预计 2025 年实现 300 颗卫星在轨。

表 14：国内主要低轨遥感星座组网计划

序号	星座名称	所属机构	单星质量/kg	性能指标	组网卫星数量
1	“高分”一号	国家航天局	约 1000	2m 全色、8m 多光谱	4 颗卫星
2	“珠海”一号	珠海欧比特宇航科技股份有限公司	55	1.98m	34 颗（由视频、高光谱和雷达卫星组合）
3	“深圳”一号	中科遥感（深圳）卫星应用创新研究院	——	X 波段微小型 SAR 卫星	8 颗卫星
4	“高景”一号	四维高景卫星遥感有限公司	500	0.5m	24 颗卫星
5	“吉林”一号	长光卫星技术有限公司	约 200	优于 1m	一期由 138 颗组网，预计 2025 年实现 300 颗卫星在轨
6	“北京”二号	二十一世纪空间技术应用股份有限公司	447	1m 全色、4m 多光谱	3 颗光学遥感卫星
7	“海南”一号	三亚中科遥感所和海南微星遥感技术服务有限公司	30 或 50 或 400	——	6 颗光学、2 颗多光谱及 2 颗雷达卫星
8	“丽水”一号	浙江利骏电子科技有限公司		——	预计 80~120 颗
9	“陕西”一号	陕西省发改委与西北工业大学	国际 标准 立	——	预计 256 颗

序号	星座名称	所属机构	单星质量/kg	性能指标	组网卫星数量
		联合	方星		
10	“灵鹊”	华讯方舟集团与零重空间联合	约 8	优于 4m	132 颗 6U 立方星
12	“女娲”	航天宏图信息技术有限公司	——	0.5m 全色	一期 54 颗（44 颗雷达卫星和 10 颗光学卫星）、二期 60 颗
13	齐鲁星座	济南市、中国科学院与山东产业技术研究院	191 或 189 或 186	Ku 频段小型 SAR 卫星；0.7m 全色+1.4m 多光谱+14m 长波红外	3 颗（一颗跟分辨率雷达卫星，一颗高分辨率光学卫星和一颗宽幅光学卫星）

资料来源：《国内低轨遥感星座密集组网现状及发展态势》、《我国商业遥感卫星“女娲”星座建设及其创新应用》、吉林一号公众号、《“齐鲁”卫星赋能遥感应用创新发展》、山西证券研究所

导航应用方面，国内多家企业或机构正在积极开展低轨导航卫星星座的计划与布局，大多数仍处在试验和验证阶段。2018 年，航天科技集团的“鸿雁”星座、航天科工集团的“虹云”星座、未来导航公司的“微厘空间”星座、武汉大学的“珞珈一号”等相继启动，基于低轨星座平台开展导航增强测试论证工作。2019 年 6 月，中国电子科技集团天象一号试验卫星发射成功，其主要任务是开展低轨导航增强技术体制探索实验。2021 年 10 月，火眼位置发射了低轨导航增强卫星“天枢一号”试验星。以上低轨卫星星座都规划了导航增强功能，虽然还处于试验星或规划论证阶段，但都获得了大量实验数据，为后续大规模部署提供了丰富的验证信息。2024 年 2 月，继 2022 年 9 星入轨后，吉利通导遥一体星座——“未来出行”第二个轨道面 11 星成功发射入轨，并计划于 2025 年完成星座一期 72 颗卫星部署，实现全球实时数据通信服务，二期将扩展至 168 颗卫星，实现全球厘米级高精定位服务。

5. 投资建议

2023 年底，商业航天首次被写入中央经济工作会议，2023 年全国民营火箭共发射 13 次，创下了中国商业航天发展八年来的新记录，中国商业航天产业正迈入高速发展期，2024 年将是我国商业航天发展的关键一年。多个卫星星座将加速组网建设，卫星产业链有望进入集中爆发期，我们重点推荐航天连接器龙头航天电器和航天电子设备配套龙头航天电子，建议关注军用无线通信装备核心供应商七一二和小卫星制造龙头中国卫星。

5.1 航天电器

连接器是系统或整机电路中负责电气连接或信号传输的关键必备基础元器件，公司主导产品用于航天、航空、电子、兵器、船舶、通信、轨道交通、能源装备等高技术领域配套。随着我军新型导弹武器和航空装备的定型量产加速，以及全军实战化演练频次增加带来的消耗增多，公司作为关键必备基础元器件配套企业将直接受益。

公司持续推进生产基地建设，定增募资扩充产能，募投项目涉及公司军民用连接器、继电器、电机和光模块业务板块，项目预计 2024 年底建成投产，公司将打破产能瓶颈，满足下游不断增长的军民用需求，实现十四五期间高速发展。

风险提示：连接器订单不及预期；募投项目进展不及预期。

5.2 航天电子

航天电子是航天科技集团旗下从事航天电子测控、航天电子对抗、航天制导、航天电子元器件专业的高科技上市公司。公司航天电子产品主要包括综合信息系统、惯性导航、集成电路、机电组件等，包括了从器件、组件、设备到系统级的产品，广泛应用于运载火箭、飞船、卫星等航天领域。公司加快无人系统及高端智能装备体系核心技术研发，突破体系仿真、无人指控、集群通信等关键技术，市场开拓不断取得新突破，市场份额稳步提升，打造出无人系统新增长极。

公司航天电子产品在相关行业领域内始终保持国内领先水平，并保持着较高的配套比例，市场份额基本呈现稳中有升态势。随着低轨卫星星座建设的快速推进，公司作为卫星制造核心配套企业，将率先受益，公司航天电子产品订单有望持续高增长。

风险提示：下游需求不及预期；产品研发进度不及预期；竞争格局发生变化。

5.3 七一二

七一二是我国专网无线通信产品和整体解决方案的核心供应商。军用无线通信领域，公司是国内最早的军用无线通信设备的研发、制造企业之一，是该领域无线通信装备的主要供应商，主要产品包括无线通信终端和系统，产品形态包括手持、背负、车载、机载、舰载、弹载等系列装备，实现了从短波、超短波到卫星通信等宽领域覆盖。民用无线通信领域，公司是我国铁路无线通信设备定点企业和行业标准的主要制定者，主要产品包括了铁路无线通信和城市轨道交通无线通信终端及系统，自主研发的无线通信设备成功应用于“复兴号”、“和谐号”等高铁列车和新型重载机车。

在卫星通信与导航领域，公司 2023 年中标北斗三号某型领航仪、固定式地面站、便携式差分北斗起降引导设备，开拓了北斗新业务领域。公司于 2024 年 1 月发布了 2023 年股权激励计划，本次激励计划公司设置了包括总资产报酬率、主营收入以及研发投入在内的三重业绩考核解锁条件，彰显公司发展信心，有利于业绩释放。

风险提示：新装备列装不及预期；下游需求低于预期；研发进度不及预期。

5.4 中国卫星

中国卫星是专业从事小卫星及微小卫星研制、卫星地面应用系统集成、终端设备制造和卫星运营服务的航天高新技术企业。公司专注于宇航制造和卫星应用两大主业，在宇航制造方面，公司开发了覆盖 1kg 至 1000kg 完整序列的小卫星/微小卫星公用平台型谱，产品涉及光学遥感、电磁与微波遥感、通信、科学与技术试验等领域，在卫星应用方面，主要产品包括了卫星通导遥终端产品制造、大型地面应用系统集成、无人机系统集成、卫星综合运营服务、信息系统及综合应用平台建设等领域。

公司是中国航天科技集团公司第五研究院控股的上市公司，聚焦主责主业，具有天地一体化设计、研制、集成和运营能力，旗下有航天东方红、航天恒星科技等多家具有竞争力的企业。依托“小卫星及其应用国家工程研究中心”和“天地一体化信息技术国家重点实验室”两个国家级平台，公司在关键核心技术攻关、卫星及卫星应用装备制造等方面拥有较为雄厚的研究开发实力，有望受益于卫星互联网基础设施建设提速。

风险提示：下游需求不及预期；产品交付不及预期。



表 15：重点覆盖公司盈利预测及估值

证券代码	证券名称	收盘价		EPS			PE				投资评级
		2024/3/8	2022A	2023E	2024E	2025E	2022A	2023E	2024E	2025E	
002025.SZ	航天电器	39.80	1.22	1.74	2.35	3.28	32.62	22.87	16.94	12.13	增持-A
600879.SH	航天电子	7.19	0.19	0.21	0.26	0.30	37.84	34.24	27.65	23.97	增持-A

资料来源：WIND、山西证券研究所

6. 风险提示

(1) 在轨卫星无法正常工作的风险。随着低轨巨型星座大量的小卫星进入地球低轨，小卫星产生故障、失联、散落的概率和数量增加，产生的碎片将在未来某一时间达到地球低轨所能承载飞行物的临界点，导致碎片碰撞卫星的概率大大提升，从而影响在轨卫星的正常工作。

(2) 运力不足制约卫星发射。我国的运载火箭发射资源较为稀缺，相比 SpaceX，我国现役运载火箭运载能力偏低，急需大力发展中大型可重复使用液体运载火箭，来满足星座大规模部署所需的“低成本、高可靠、高频次”发射能力。但是火箭研制具有高技术、高投入和高风险特征，研发难度大，研发周期较长，试验费用较大，质量要求苛刻，火箭研发存在达不到预定任务目标、预期性能指标以及研制费用超支、研制周期拖延等风险。

(3) 星座建设进度不及预期。星座建设受到发射场资源、火箭运力、技术突破、宏观环境、频轨资源等多种因素影响，建设计划存在取消、延迟等可能性，从而导致星座建设进度不及预期。

(4) 下游卫星应用市场拓展不及预期。由于下游卫星应用商业前景的价值潜力尚不明朗，如果卫星发射成本持续过高，卫星应用市场拓展进度可能不及预期。

分析师承诺：

本人已在中国证券业协会登记为证券分析师，本人承诺，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本人对证券研究报告的内容和观点负责，保证信息来源合法合规，研究方法专业审慎，分析结论具有合理依据。本报告清晰地反映本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点直接或间接接受到任何形式的补偿。本人承诺不利用自己的身份、地位或执业过程中所掌握的信息为自己或他人谋取私利。

投资评级的说明：

以报告发布日后的 6--12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。

无评级：因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见的结果的重大不确定事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。（新股覆盖、新三板覆盖报告及转债报告默认无评级）

评级体系：

——公司评级

- 买入： 预计涨幅领先相对基准指数 15%以上；
- 增持： 预计涨幅领先相对基准指数介于 5%-15%之间；
- 中性： 预计涨幅领先相对基准指数介于-5%-5%之间；
- 减持： 预计涨幅落后相对基准指数介于-5%- -15%之间；
- 卖出： 预计涨幅落后相对基准指数-15%以上。

——行业评级

- 领先大市： 预计涨幅超越相对基准指数 10%以上；
- 同步大市： 预计涨幅相对基准指数介于-10%-10%之间；
- 落后大市： 预计涨幅落后相对基准指数-10%以上。

——风险评级

- A： 预计波动率小于等于相对基准指数；
- B： 预计波动率大于相对基准指数。

免责声明：

山西证券股份有限公司(以下简称“公司”)具备证券投资咨询业务资格。本报告是基于公司认为可靠的已公开信息，但公司不保证该等信息的准确性和完整性。入市有风险，投资需谨慎。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，公司不对任何人因使用本报告中的任何内容引致的损失负任何责任。本报告所载的资料、意见及推测仅反映发布当日的判断。在不同时期，公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。公司或其关联机构在法律许可的情况下可能持有或交易本报告中提到的上市公司发行的证券或投资标的，还可能为或争取为这些公司提供投资银行或财务顾问服务。客户应当考虑到公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突。公司在知晓范围内履行披露义务。本报告版权归公司所有。公司对本报告保留一切权利。未经公司事先书面授权，本报告的任一部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯公司版权的其他方式使用。否则，公司将保留随时追究其法律责任的权利。

依据《发布证券研究报告执业规范》规定特此声明，禁止公司员工将公司证券研究报告私自提供给未经公司授权的任何媒体或机构；禁止任何媒体或机构未经授权私自刊载或转发公司证券研究报告。刊载或转发公司证券研究报告的授权必须通过签署协议约定，且明确由被授权机构承担相关刊载或者转发责任。

依据《发布证券研究报告执业规范》规定特此提示公司证券研究业务客户不得将公司证券研究报告转发给他人，提示公司证券研究业务客户及公众投资者慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

依据《证券期货经营机构及其工作人员廉洁从业规定》和《证券经营机构及其工作人员廉洁从业实施细则》规定特此告知公司证券研究业务客户遵守廉洁从业规定。

山西证券研究所：

上海

上海市浦东新区滨江大道 5159 号陆家嘴滨江中心 N5 座 3 楼

太原

太原市府西街 69 号国贸中心 A 座 28 层
电话：0351-8686981
<http://www.i618.com.cn>

深圳

广东省深圳市福田区林创路新一代产业园 5 栋 17 层

北京

北京市丰台区金泽西路 2 号院 1 号楼丽泽平安金融中心 A 座 25 层

