

通信

下一代卫星互联网看什么？——光学、射频与材料

卫星通信——下一代通信革命的“主战场”。通信行业从有线时代进入无线时代已经数十载，行业对于下一代通信革命的探索不断向前。高速率，广覆盖一直通信行业更新的目标。当下，随着低轨卫星在 引领下逐渐走向成熟，广覆盖/高速化/通用化的卫星通信有望引领人类通信方式的下一轮变革。

SpaceX 与 Starlink 引领全球卫星通信发展。全球低轨卫星的领导者当属马斯克旗下的 Starlink 和 SpaceX，凭借 SpaceX 全球最低的发射成本，与 Starlink 极低的卫星生产成本，Starlink 率先在全球实现了较好的网络覆盖，并在全球多数地区提供服务。当下，两家公司依旧引领着全球卫星通信发展，凭借实验中的 Starship 火箭与完全体的 StarlinkV2 卫星，有望在全球范围内实现低轨卫星互联网的手机直连服务。在马斯克一枝独秀的同时，北美卫星互联网产业竞争也愈发白热化，亚马逊投资的“柯伊伯”星座也有望凭借 SpaceX 的猎鹰 9 火箭实现加速部署，北美星座有望在马斯克打造的较低发射成本与制造产业链基础上快速繁荣。

国之重器，中国卫星通信发展迫在眉睫。随着在俄乌战争、巴以冲突中 Starlink 战略意义凸显，卫星互联网作为国家重要军事力量的价值正在被逐步认识。我国由于地面通信网络全球领先，加之较高的产业链成本，卫星互联网起步与进度晚于北美。但随着星网集团的成立，叠加卫星互联网的战略价值被进一步发掘，我国卫星互联网产业发展有望迎来拐点，近期，相关实验卫星的成功发射也为我国卫星互联网产业的探索迈出了扎实的一步。

三大技术高地：光学星间链路、射频与三代半导体材料。从通信器件的环节来看，卫星通信主要涉及三大技术壁垒，首先是卫星通信的核心环节，天地间微波通信所用的相控阵射频器件。相控阵射频涉及射频芯片，天线，放大器等等多个环节，如何低成本地制造出能够稳定运行在太空环境中的天线与地面接收终端，是卫星实现天地通信的基础。第二是卫星间的激光通信系统，激光在太空中没有云雨等天气情况干扰，可以稳定的实现星与星之间的高速数据传输，从而减少星座对于地面信关站的依赖程度，也可以进一步提升卫星网络延迟和使用体验。当下，马斯克的二代先行卫星上已经开始实验性运行激光通信功能，卫星上的光将成为全球星座的下一代技术热点。第三则是卫星通信材料的更新，由于天地之间通信需要的微波功率一致，手机直连代表手机端的功率下降，则卫星端射频需要更高的功率，而通过三代半导体提高微波功率，则有望成为未来实现手机直连卫星的主流解决方案。

投资建议：抓住射频器件、卫星光与三代半导体三大环节。

射频是卫星通信的基础，而三代半导体与卫星光则是下一代卫星网络的进化方向，建议积极布局相关产业公司切入国内星座建设与海外供应链机会。

射频：海格通信、国博电子、信维通信、灿勤科技等；

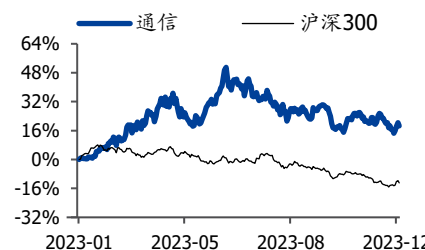
卫星光通信：光迅科技、腾景科技、天孚通信等；

三代半导体：三安光电、天岳先进等。

风险提示：星座建设进度不及预期，卫星互联网市场规模不及预期，市场竞争风险。

增持（维持）

行业走势



重点标的

股票代码	股票名称	投资评级	EPS (元)				PE			
			2022A	2023E	2024E	2025E	2022A	2023E	2024E	2025E
300394.SZ	天孚通信	买入	1.02	1.53	2.55	3.26	88.24	58.82	35.29	27.61
688195.SH	腾景科技	买入	0.45	0.64	0.93	1.38	76.82	54.02	37.17	25.05

资料来源：Wind，国盛证券研究所

相关研究

- 《通信：2024年十大展望》2023-12-31
- 《区块链：比特币现货ETF将带来什么？》2023-12-30
- 《通信：全国一体化算力网，算力调度再升级》2023-12-26

内容目录

一、投资要件	4
二、卫星通信——人类通信的下一代革命	5
三、空间先行者——复盘 成功之路	8
3.1 频谱与轨道资源	8
3.2 降本技术——火箭回收和复用/一箭多星	11
四、北美“一超多强”，中国星座加速发展	13
4.1 北美：“一超多强”格局，Starlink 率先构建人造星座蓝图	13
4.1.1 Starlink: 人造星座先驱者	13
4.1.2 亚马逊 Kuiper: 后起新秀，AWS 赋能高速卫星网络	15
4.2 中国：星网、G60 充当我国太空“圈地运动”先锋	16
五、射频：卫星通信的基石	17
六、卫星光：下一代星座的“血管”	19
七、三代半导体：全球功率器件高地，下一代卫星必备	23
八、投资建议：聚焦射频、卫星光与三代半导体射频	25
九、风险提示	26

图表目录

图表 1: 美国卫讯股价走势	6
图表 2: 全球通信卫星发射数量统计	6
图表 3: SpaceX 发展史、融资史与估值	7
图表 4: SpaceX、Starlink 近年营收 (亿美元)	7
图表 5: SpaceX 发展历程	8
图表 6: 世界各国低轨卫星星座申请情况	9
图表 7: 不同通信频段主要用途	10
图表 8: SpaceX 猎鹰九号火箭构成	11
图表 9: 2018-2022 年猎鹰 9 号火箭第一级复用情况	12
图表 10: 2020 年以来猎鹰 9 号新火箭和复用火箭成本对比 (单位: 万美元)	12
图表 11: 目前可使用 的国家/地区	13
图表 12: 计划总体部署计划表	14
图表 13: 地面站分布	14
图表 14: 地面站外观	14
图表 15: Starlink、Viasat 资费对比	15
图表 16: 亚马逊紧凑版天线, 便携性较强	15
图表 17: 星网工程申请的轨道计划	16
图表 18: 2021 年 11 月, G60 产业基地开工	16
图表 19: Starlink 地面用户终端拆解	17
图表 20: Starlink 地面用户终端中, 每只小射频天线的拆解	17
图表 21: Starlink 地面用户终端中, 每只小射频天线的馈线	18
图表 22: 原理	18
图表 23: Starlink 手机直连	18
图表 24: 卫星激光通信优劣势	19

图表 25: StarlinkV1.5 卫星搭载的激光载荷	20
图表 26: 激光通信载荷架构	20
图表 27: 非相干调制与相干调制对比	21
图表 28: Tesat、Space Micro 和 Mynaric 激光通信产品对比	21
图表 29: 蓝行者 3 号卫星天线阵列	23
图表 30: 卫星射频投资标的	25
图表 31: 卫星光通信投资标的	25
图表 32: 卫星三代半导体投资标的	25

一、投资要件

市场对于海外卫星互联网的迭代与发展进度认识不足。市场目前对于 的认识停留在普通的微波通信时代，部分投资者认为 Starlink 依然是天量资本支出下的“军事用途”或“融资项目”。但 2022 年以来，随着 1.5 代星与 2 代迷你星发射数量与日俱增，Starlink 正将星间激光通信、手机直连等功能逐渐带入现实。同时随着产业链持续降本与发射成本降低，Starlink 得以在较有吸引力的套餐价格下，实现了盈亏平衡，迈过了成为全球巨头的关键环节。同时，北美除 Starlink 外，如柯依伯、Oneweb 等星座也在加紧建设，海外已经正式进入产业爆发期。同时随着在俄乌战争、巴以冲突中卫星互联网发挥了重要的军事及援助功能，其作为“大国重器”的地位正在逐渐显现。因此，发展或者拥有一套完善的卫星互联网星座正在加剧成为大国角逐的下一个科技高地。

市场对于卫星互联网下一代演化方向认识不足。市场目前对于低轨星座的演化方向还简单的停留在“堆叠数量”、“抢占轨道”等初期方面，但当下，低轨卫星星座正在 Starlink 的带领下进入下一个时代。面向未来，低轨星座有两个演化方向，第一便是星间激光通信，通过高速率的星间激光通信，星座可以有效降低对于地面信关站的依赖，从而将服务覆盖范围扩展至信关站难以建设的地区，同时较小的信关站数量也将进一步降低星座建设成本。星间激光通信主要壁垒在于对于相干光的调制、接受和捕获，同时相关光电器件在太空的稳定性也将成为重要考验。未来随着低轨卫星标配激光通信，相关光学厂商有望开拓新的下游市场。第二个重要的演化方向则是手机直连，当前的卫星通信，均需在地面配备体积较大的专用终端，或者在手机内部搭载专门的通信组件来实现与卫星的连接，一方面是卫星通信所用频段与蜂窝网络不同，其次是卫星所处的高度较高，因此需要在地面设备拥有较高功率来将信号发射到卫星。实现手机直连，一是要与运营商合作来共享频谱，最重要的一点则是进一步加大卫星端的信号发射功率，当前主流加大功率主要依靠提高卫星天线面积，但是过大的天线面积除了增加发射成本外，也会对太空观测造成影响，所以未来以三代半导体为代表的高功率射频器件有望上星，从而在同天线面积上增加信号功率，实现更好的手机直连效果。

投资建议：

“将地面基站搬上星实现更高效的覆盖”是卫星通信的核心，高效、降本将伴随民用卫通的发展全过程。射频是卫星通信的基础，而三代半导体与卫星光则是下一代卫星网络的进化方向，建议积极布局相关产业公司切入国内星座建设与海外供应链机会。

射频：海格通信、国博电子、信维通信、灿勤科技等；

卫星光通信：光迅科技、腾景科技、天孚通信等；

三代半导体：三安光电、天岳先进等。

同时关注卫星通信主题下的旭升集团、创意信息、三维通信、通宇通信、中国卫通、中国卫星等。

二、卫星通信——人类通信的下一代革命

现代通信方式的发展，从最早的有线电话，进化到以基站为骨干，以手机终端为载体的无线通信网络已有数十载，站在当下，通信业界最大的探索方向，便是下一代的通信网络该用何种方式承载。是沿用当下的基站网络，持续提高通信速率，降低时延，亦或是变革传统的地基基站模式，将网络覆盖用更高的视角重新审视，成为了当下通信网络演变的两条主流路线，而卫星通信，则是当下最有希望改变传统基站网络物理形式的下一代通信网络架构。

卫星通信在此前一直与传统通信网络较为独立的发展，传统通信网络负责人群聚集地区的信号覆盖，追求稳定，高速率，低时延等等满足人类日常生活需要的通信功能。而卫星通信则更加专注于如无人区，远洋航行，应急通信等特殊环境下的“底线通信”，对于带宽，时延等等要求较低。但近年来，随着以 为代表的低轨星座加速成熟，卫星通信似乎正在将“覆盖范围”、“覆盖成本”、“使用体验”这一不可能三角逐渐打破，从而使得卫星网络有了和传统通信网络互相融合的可能。

与此同时，随着全球化的进程，通信能力也从传统的国内基建能力转化为国家竞争力的一个重要部分。过去如 GPS，北斗等等依托卫星的导航系统，帮助美中等世界强国将定位能力输出至海外，实现军事定位自主可控的同时，也凭借如民用导航，农机导航等等能力的输出，提升了国际影响力。同时，中国通信基建的出海，也给众多第三世界国家带去了稳定的通信网络，为其社会经济发展提供了重要助力。

近年来，随着地缘政治冲突加剧，如何实现通信能力的远程覆盖与投送，亦成为了大国施加影响力的重要工具。在 2023 年的俄乌冲突，巴以冲突中，以 为代表的通信能力均成为了战时通信或人道主义救援的重要组成部分。相比于传统的通信网络“建设难，损坏易”的特点，对于地面设施依赖度较小的卫星网络已经成为军事力量中的重要部分。

综合来看，卫星通信随着逐渐低轨化，正在加速与传统通信网络的融合与互补，随着后续卫星和发射端的持续降本，有望进一步成为主流的网络覆盖方式。另一方面，卫星通信的战略价值也随着低轨卫星能力的进化逐步提升，逐渐成为国际影响力的重要载体。当前，以 为首的西方星座正在加速进化与成熟，我国星座实验进度也正在加快，行业奇点已现，有望再造一个全新的“通信设备”板块。

从高轨到低轨，卫星发展趋势已现。

当今的卫星通信，正在快速的经历从高轨迈向低轨，从专用设备迈向通用设备的快速变革。高速，低时延，小型化、通用化正在快速成为当代卫星通信追求的主要功能。

从 1957 年第一颗人造卫星发射开始，卫星通信在数十年的时间里经历了高速且波折的发展。最早，卫星通信以跨洋通信作为主要的功能方向，随后，随着跨洋光缆、地面通信网络等等加速发展与降本，卫星通信渐渐退出了传统民用市场，但在导航、电视信号传输等等其他领域则继续保持了较为不错的发展。纯通信卫星则聚焦如海洋、无人区等等传统通信弱势地区的信号覆盖，与传统通信网络达成了互补与平衡。

当下传统卫星通信的龙头是 Viasat，即美国卫讯公司，Viasat（美国卫讯公司）是全球领先的卫星通信公司，近年从一家纯粹的卫星通信载荷制造企业，逐渐向下游扩展演变成一家卫星发射制造企业，未来有望转型成为卫星通信运营商。从基础概念来区分，SpaceX、中国星网代表低轨星座路线，Viasat、Hughes 代表高轨高通量星座路线；从目标客户来区分，低轨星座主要针对固定或移动宽带互联网需求，后者主要面向海事通信、物联网等低通量通信需求。受低轨卫星低时延、高带宽的优势，近年 Viasat 也有转向投资低轨卫星的趋势，实现“高低”搭配。2023 年 5 月，Viasat 正式完成了对 Inmarsat（国际海事卫星组织，运营海事通信高轨星座）的收购，前者将整合后者的 Ka、L 和 S 波段。从公司股价来看，一方面近年 Viasat 盈利表现不及预期，另一方面市场可能认为高轨通信星座在未来的竞争中难以胜过低轨方案。

图表 1: 美国卫讯股价走势



资料 : Wind, 国盛证券研究所, 数据截至 2023 年 12 月 28 日。

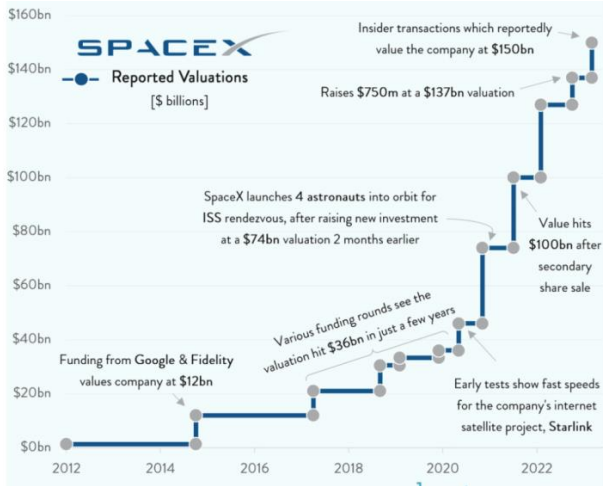
卫星互联网概念催化+SpaceX 带动，低轨卫星成为大势所趋。人类在低轨空间领域发展迅速，最近 20 年低轨年发射航天器数量比例从 25%提高至 92%，年平均部署卫星数量提升两个数量级。由于低轨卫星通信相比于高轨卫星通信的优势明显，在低轨卫星中，通信卫星的数量近些年呈现爆发式增长，相比 2001 至 2005 年，2016 至 2020 年低轨通信卫星数量激增了近 36 倍。由于低轨卫星本身的低成本、高带宽优势，叠加 SpaceX 火箭回收技术趋于成熟、Starlink 逐渐开始盈利，SpaceX 近年一级市场估值水平不断上修。

图表 2: 全球通信卫星发射数量统计

时间	全球通信卫星数量(颗)	高轨卫星数量(颗)	低轨卫星数量(颗)	低轨卫星占比
2001-2005	141	106	35	25%
2006-2010	169	122	47	28%
2011-2015	245	142	103	42%
2016-2020	1369	115	1254	92%

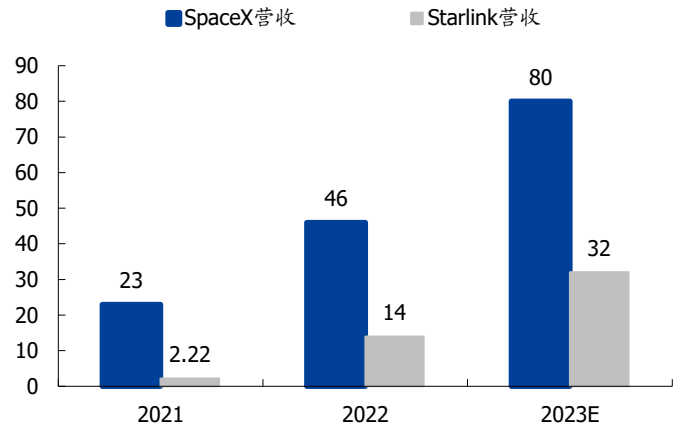
资料 : 李元龙等《Starlink 星座通信建模仿真分析》，国盛证券研究所

图表3: SpaceX发展史、融资史与估值



资料 : physicianofire, The Economist, CNBC, bloomberg, Axios, 国盛证券研究所

图表4: SpaceX, Starlink 近年营收 (亿美元)



资料 : Forbes, fool, Spacenews, verge, 国盛证券研究所

但传统的卫星通信商业模式，普遍存在着多种缺陷，第一是下游需求较少，传统的卫星通信需要专用的大天线手机来接受卫星信号，同时带宽较小，收费较贵，因此在地面通信网络覆盖的地区，很难获得新的客户。客户获取主要依赖于军事、政府、海事等等特殊行业客户，很难形成规模化的用户效应。第二是扩容成本高，单颗高轨卫星动辄 10 亿美元，对于商业公司来说是一笔较大的负担，一旦部署出现问题或发射后商业回报不及预期，将给公司带来较大的现金流负担。例如美国卫讯公司在 2023 年就失去了一颗价值 7 亿美元的最新卫星 ViaSat-3，给公司带来了巨大损失。

因此，我们认为，未来的卫星通信，一是由高轨卫星向低轨星座发展，低轨星座所提供的网络性能基本接近我们日常生活中所使用的通用网络，一旦收费合适，无需新的应用场景开拓，即可在用户侧放量，有助于快速形成可扩张的商业循环。

二是由专用设备向通用设备发展，当下，卫星通信需要专门的终端设备如卫星手机，卫星接收器等等，不仅提高了用户的使用门槛，也一定程度上降低了使用的便利性。近期，随着天线技术的进步，如 Mate 60 系列已经实现了在手机内部内嵌卫星天线，同时也宣布将在 2024 年开始，依托最新一代的卫星提供无需终端天线，直连现有手机的服务。

站在当前时点，我们认为，卫星通信的未来焦点有较大概率是在能够放量的低轨星座和能够放量的通用化卫星网络。费用较高的高轨星座将逐渐式微，卫星通信的终局有较大概率是全设备可通用+性能接近地面网络，最终成为地面网络信号的组成部分。

三、空间先行者——复盘 成功之路

纵观全球低轨星座发展，SpaceX 旗下的 Starlink 可以称之为全球低轨卫星商业化先锋或者唯一成功者，通过复盘 的成功之路，我们发现其成功要素在于先人一步的频谱与轨道资源抢占，和依托 SpaceX 与特斯拉产业链实现的快速降本，同时凭借较为亲民的套餐价格实现用户数量的快速扩张。

3.1 频谱与轨道资源

计划最早由马斯克于 2015 年宣布，并于 2016 年首次向 FCC 提交卫星计划申请，并于之后历经修改与扩容，最终在 2018 年获得第二阶段 7518 颗卫星的计划申请，2019 年 SpaceX 再度提出增加 29988 颗卫星用于第二代星座计划，2022 年 12 月，FCC 率先允许 SpaceX 先部署其中的 7500 颗，2023 年 11 月底，FCC 再次批准了修改后的二代星计划，允许 SpaceX 在支持手机直连的频段内进行运行。

图表 5: SpaceX 发展历程

时间	里程碑
2015 年 1 月	宣布 计划。
2016 年 10 月	完成 2 颗初样卫星研制，但只用于地面测试。
2016 年 11 月至 2018 年 11 月	向美国联邦通信委员会（FCC）申报星座频率许可。
2018 年 3 月	宣称系统总投资 100 亿美元。
2018 年 11 月	获得 FCC 的 340 千米轨道 7518 颗和 1200 千米轨道 4425 颗卫星的部署许可。
2018 年 12 月	美空军授予 2800 万美元测试合同。
2019 年 2 月	向 FCC 申报 100 万个地面站和终端的运营许可。
2019 年 4 月	FCC 批准原计划中的 1150 千米轨道的 1600 颗卫星部署到 550 千米轨道。
2019 年 4 月	从研发转向大批量组网卫星制造。宣称，“每月一次，44 次×60 颗，在 60 个月内完成 2200 颗部署（2024 年 4 月前），以满足 FCC 频谱规定（6 年内部署 1200 千米轨道 4425 颗的一半，9 年内完成全部部署）。”
2019 年 10 月 16 日	向 FCC 追加申报 3 万颗卫星。
2019 年 11 月	美空军完成利用 卫星传输数据测试。
2020 年 3 月	卫星产量达到 6 颗/天，计划 2020 年发射 24 次。
2020 年 7 月	开放 服务测试申请通道。
2020 年 11 月	开启商用运行。
2018 年 2 月 22 日至 2021 年 3 月 24 日	实际发射 1385 颗（实际在轨 1320 颗，在轨率 95%），最大发射密度 3 次/月。
2022 年 12 月	FCC 允许 SpaceX 公司部署多达 7500 颗第二代 卫星。
2023 年 2 月	Gen2 卫星获得授权，单星吞吐量极大提升。
2023 年 12 月 16 日	在轨正常运行 4547 颗卫星。
2027 年	部署 12000 颗卫星，7500 颗、1584 颗、2825 颗卫星分别位于距地面 340 千米、550 千米和 1150 千米的轨道上。

资料：余南平等《国际和国家安全视角下的美国“ ”计划及其影响》，sputniknews, planet4589, Starlink, 新浪财经，国盛证券研究所

除了 FCC 的批准外，对于非美国公司，更加重要的是争夺 ITU 联盟下的轨道资源，虽然低轨资源相对于高轨资源来说相对充裕，但其中最合适商业星座运行的 300-600KM 轨道高度仍然资源有限。

当前 ITU 对于轨道资源的申报采取“先登先占”与“里程碑”相结合的模式。“先登先占”指的是，无主的轨道资源，经过公示后，划归申报方，其他机构不得占用。而“里程碑”要求则是要求申报方在申报 7 年内必须发射第一颗卫星，九年内发射总数 10%，12 年内发射总数 50%，14 年内发射完成，否则将缩减其已申报规模。当前，Starlink 已经完成了其一代与二代星座所需要的近 4.2 万颗卫星的轨道申报工作，同时全球巨头如亚马逊、Lynkglobal、oneWeb 等，国内如星网，G60 等星座均已申报了较多轨道资源。

图表 6: 世界各国低轨卫星星座申请情况

国家	公司名称 (星座名称)	计划卫星数量 (颗)
中国	星网公司 (GW)	12922
	航天科技 (鸿雁)	72
	航天科工 (虹云)	156
	银河航天 (星座名称不详)	1000
	中国电科 (天象)	120
		42000
美国	亚马逊 (proectKuiper)	3236
	LynkGlobal (星座名称不详)	5000
	ASTSpaceMobile (SpaceMobile)	243
英国/印度	OneWeb (一网计划)	6372
波兰	SatRevolution (1024
俄罗斯	俄罗斯航天集团 (球体)	600
加拿大	Telesat (lightspeed)	1671
	开普勒通信公司 (立方体卫星星座计划)	140
合计		74556

资料：李锋等《我国低轨卫星互联网发展的问题与对策建议》，南宁晚报，C114，国盛证券研究所

综合来看，轨道资源由于相对较为充裕且申报环节需要的准备较少，因此我国企业近年意识到轨道资源重要性后，加速申报，缩小了与国际一线巨头的轨道资源储备。

与轨道对应的便是卫星通信所需要的频谱资源。频谱，可以理解为卫星通信信号所在的信号频段，频段资源由于相对有限，且微波通信经过多年发展，可用频段多有用户，所以要在全球范围内找到适合卫星发射的新无主频段，相对困难。当前，较高频率的 Ka 频段由于现存用户较少，成为了主流星座的主力频段。

图表 7: 不同通信频段主要用途

波段	用途
L (1-2GHz)	GPS、卫星电话等
S (2-4GHz)	气象、船用、卫星通信等
C (4-8GHz)	卫星通信、卫星电视等
X (8-12GHz)	军用波段
Ku (上行 11.7-12.7GHz, 下行 14-14.5GHz)	卫星通信黄金频段
Ka (26-40GHz)	高速卫星通信黄金频段

资料来源: eeworld, 卫星与网络, 国盛证券研究所

需要注意的是, 与全球统一规划的轨道资源不同, 频谱资源往往以国或者地区为范围进行划分, 因此在某一地区对于 Ka 频段的优先使用权将成为未来发展卫星互联网业务的优势或壁垒, 如何在全球范围内实现自有星座的业务覆盖, 也将主要依靠于频段使用权或者与当地频段管理机构的协调能力。当下, SpaceX 领先式地将卫星通信频段延伸至蜂窝频段, 通过与多地运营商的合作与卫星迭代, 使得 Starlink 能够发射普通 LTE 及以上手机接收到的中频信号, 未来, 与运营商合作获得频段使用权也有望成为星座获得频段与扩张手机直连业务的主流方式。

产业链降本

卫星的成本主要由两块构成, 第一是卫星本身的生产成本, 第二则是由发射成本所决定的。如何降本, 将是星座走向商业化的最重要一步, 我们认为, 正是凭借领先的降本循环和其母公司 SpaceX 强大的火箭回收能力, 使得 Starlink 能够成为全球唯一大规模部署的星座。

首先, 我们来看卫星环节的降本, 我们认为, 卫星环节的降本主要有以下几个环节“降标-定型-量产-扩产”通过这五个环节最终实现降本。从当前看, Starlink 当前已经完成了这五个环节的流程, 凭借消费级芯片上星, 同时借助特斯拉产业链与前期亏损, 完成了产业链扩产与降本, 最终实现了全球领先的单星成本。

降标: 与传统高轨卫星相比, 低轨卫星的使用周期较短, 单个卫星价值量较低的特点。同时由于处于近地轨道, 其发射与替换成本均较低, 过去高轨卫星多采用军标或者严格的抗辐照器件来保证稳定性, 这些器件往往带来了高昂的成本。低轨卫星的部分元器件则不需要极高标准, 或者可以用多个消费级元器件相互备份来解决。因此, 如何将高轨卫星元器件降标, 或者如何使得消费级元器件上星, 将是卫星部分降本的第一步和主要方向。

定型: 在经历降标之后, 如何确定统一的型号则是迈向降本的第二道关卡。以往我国的卫星元器件多由不同的科研院所独立供应, 往往每颗卫星都有不同的供应商, 这就导致了即使只有较少的需求, 相关流片, 研发费用依旧需要支出。因此如何确定卫星上每个环节的一家或几家供应商就成为了当务之急, 一旦定型, 就可以避免研发费用的反复支出, 造成器件成本的上升。

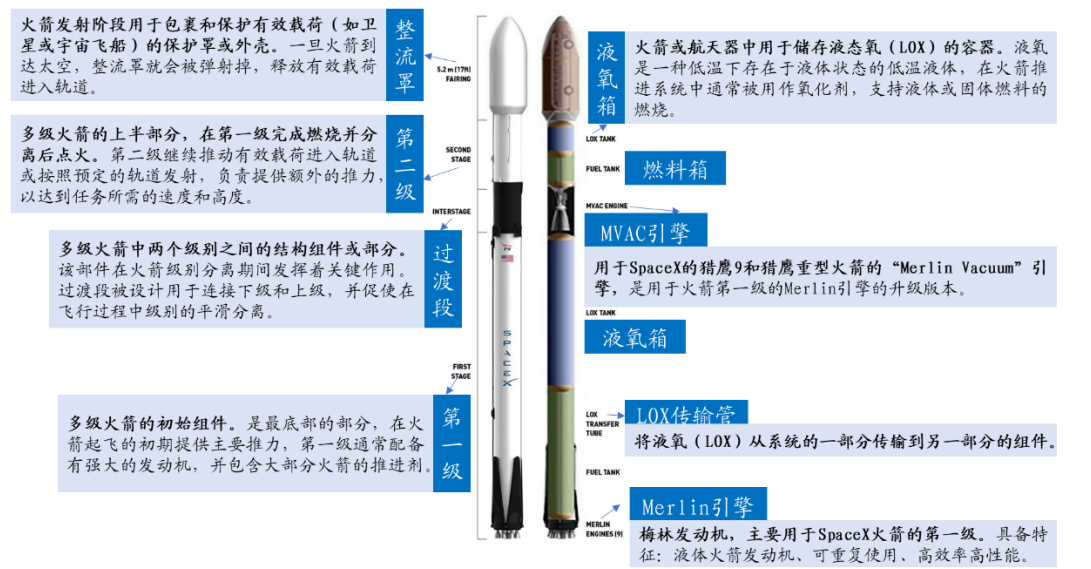
量产: 在定型后, 相关供应商就可以准备产线并开始量产, 相关产线的前期投入较高, 需要星座的牵头方进行一定程度的资金补贴, 例如提高前期采购单价, 产线建设补贴等等。SpaceX 则是通过海量投资与原有特斯拉的供应体系, 逐步建立起了完善的卫星供应链。

扩产：在初期产线跑通后，降本的最后一步便是扩产，通过扩大产能来摊薄研发费用与折旧，从而实现价格下降，卫星成本降低、卫星发射量上升，产品需求提升的正向产业循环。

第二，则是 Starlink 通过母公司 SpaceX 实现了极低的发射成本，从火箭环节来看，回收与一箭多星则是降本的关键。

传统火箭发射是一次性的，无法回收利用，其中第一级的成本最为高昂。火箭的主要作用是将卫星送入指定轨道，在典型的火箭发射中，第一级提供最初的推力以克服地球的引力，一旦其燃料耗尽，就会与火箭的其余部分分离；随后，第二级发动机点火提供额外的推力，将有效载荷（如卫星或宇宙飞船）进一步送入太空。因此完成任务后，第一二级火箭均会返回地球表面，在大气层中燃烧并被销毁，因此大部分情况下的火箭发射是一次性的。根据刘洁等《“猎鹰”9火箭的发射成本与价格策略分析》，2018年马斯克表示，火箭一级成本占比60%，第二级20%，整流罩10%，其余10%是推进剂、复用等发射相关成本。

图表 8: SpaceX 猎鹰九号火箭构成



资料来源：SpaceX，国盛证券研究所整理

3.2 降本技术——火箭回收和复用/一箭多星

火箭回收及复用是降低火箭发射成本的最核心技术之一。传统火箭发射技术是建立在一次性基础之上，SpaceX 具备火箭回收技术，并完成复用，大幅降低了整体发射成本，目前可以做到的有第一级回收和复用、整流罩回收和复用，根据刘洁等《“猎鹰”9火箭的发射成本与价格策略分析》：

- 第一级回收：2015年1月猎鹰9号开始第14次发射任务时开始回收第一级火箭。
- 第一级复用：2017年3月猎鹰9号通过复用此前回收的第一级火箭成功发射卫星（用到2016年4月回收的第一级火箭）。
- 整流罩回收：2017年3月猎鹰9号在首次复用火箭第一级的时候，开始尝试回收整流罩。
- 整流罩复用：2019年11月首次复用整流罩（采用2019年4月回收的）。

图表 9: 2018-2022 年猎鹰 9 号火箭第一级复用情况

时间	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年 1-8 月
发射次数 (次)	21	13	26	31	39
新火箭一级的数量 (个)	10	7	5	2	2
复用一次火箭的数量 (个)	11	6	21	29	37
新火箭一级占发射次数比重	47.6%	53.8%	19.2%	6.4%	5%

资料：刘浩等《“猎鹰”9 火箭的发射成本与价格策略分析》，国盛证券研究所

复用火箭成本较新火箭大幅降低，压缩至三成。通过回收及复用火箭的第一级和整流罩可以大幅降低火箭发射成本，SpaceX 的猎鹰 9 号为例，根据刘浩等《“猎鹰”9 火箭的发射成本与价格策略分析》，新的火箭第一级成本为 3000 万美元，新整流罩的成本为 500 万美元，按照第一级成本占总成本 60% 预测，新火箭单次发射成本在 5000 万美元；回收复用后，采购氦气、燃料、氧气、回收火箭一级和整流罩等的加总费用为 500 万美元，加上第二季需要采购新的花费 1000 万美元，整体复用火箭的成本降低到 1500 万美元，相当于新火箭的三成。

图表 10: 2020 年以来猎鹰 9 号新火箭和复用火箭成本对比 (单位: 万美元)

“猎鹰”9 火箭		全新火箭成本 (占比)	复用火箭成本 (占比)
硬件	一级	3000 (60%)	-
	二级	1000 (20%)	1000 (66.6%)
	整流罩	500 (10%)	-
软件	推进剂	40 (0.8%)	40 (2.6%)
	发射测控、翻修等相关费用	460 (9.2%)	460 (30.6%)
总计		5000	1500

资料：刘浩等《“猎鹰”9 火箭的发射成本与价格策略分析》，国盛证券研究所

一箭多星也是卫星发射降本重要技术之一。“一箭多星”就是用一枚运载火箭同时或先后将数颗卫星送入地球轨道的发射技术，可以最大化运载火箭的运载能力，降低卫星发射成本，全球有美国、俄罗斯、中国、印度、日本等国以及欧洲航天局掌握“一箭多星”发射技术。

- 2017 年 2 月，印度发射过“一箭 104 星”；
- 2019 年 5 月，SpaceX 一箭发射 60 颗；
- 2020 年 9 月 15 日，中国在黄海海域用长征十一号海射运载火箭，采取“一箭九星”方式将“吉林一号”高分 03-1 组卫星送入预定轨道。2023 年 6 月 15 日我国成功发射一箭 41 星，长征二号丁运载火箭在太原卫星发射中心点火起飞将吉林一号高分 06A 星等 41 颗卫星成功送入预定轨道。

四、北美“一超多强”，中国星座加速发展

从当前全球的卫星互联网格局来看，北美呈现出 **SpaceX** 带领下的“一超多强”格局，而我国则在星网集团成立后，加速发展，同时以 **G60** 为代表的其他星座也正在加速实验。

4.1 北美：“一超多强”格局，Starlink 率先构建人造星座蓝图

4.1.1 Starlink: 人造星座先驱者

在一众 LEO 卫星星座中，**SpaceX** 的“**Starlink**”计划脱颖而出，成为人类构建人造星云的先驱者。公司于 2015 年 1 月提出，初始计划投送 4000 颗近地轨道卫星，而后增加至 4.2 万颗。据 planet4589 的数据，截止 2023 年 12 月 16 日，Starlink 在轨正常运行 4547 颗卫星，据 ORBITING NOW 数据，截止 2023 年 12 月 19 日全太空有约 8329 颗正在运作的低轨卫星，Starlink 已成为规模最大的人造低轨星座。Starlink 服务目前已覆盖全球 60 余个国家/地区。

图表 11: 目前可使用 Starlink 服务的国家/地区



资料来源：SpaceX，国盛证券研究所

计划分为三个阶段：1) 至 2024 年，完成 4408 颗卫星部署；2) 至 2027 年，完成 7518 颗卫星部署；3) 预备轨道占位部署约 3 万颗卫星。当前 Starlink 计划正处于部署第二阶段，计划将 7518 颗 Starlink 卫星部署于“壳层 6”、“壳层 7”和“壳层 8”三个轨道“壳层”，第三阶段计划将约 3 万颗 Starlink 卫星部署于高度在 340~614km 之间的 9 条倾斜轨道上。

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/916105142040010031>