

【本期主题】

“星链”低轨星座主要发展动向

美国太空探索（SpaceX）公司的低轨卫星互联网项目“星链”（Starlink）计划通过在近地轨道部署1.2万颗小卫星，为全球任何地方的住宅用户、商业用户、社会公共机构、政府以及专业用户提供类似光缆的宽带低时延互联网接入及通信服务。2021年2月，开放了美国、英国和加拿大的宽带服务预约；计划2021年实现全球主要人口地区的覆盖；截至2021年2月底，“星链”星座已发送19批共1 145颗组网卫星，在轨运行的有1081颗。

一、“星链”星座发展情况

“星链”星座计划在330km、550km、1100km三个不同高度的轨道共部署近1.2万颗通信卫星，星座总容量将达到约200Tbps-276Tbps，单个用户链路的传输速率最高达1Gbps，每颗卫星可提供17Gbps~23Gbps的下行容量，链路时延约为15ms~20ms。SpaceX公司曾于2019年向美国联邦通信委员会（FCC）提交了在低轨再增设多达3万颗宽带卫星的申请，使“星链”编队卫星总数达到4.2万颗，但该计划尚未得到批准，SpaceX公司表示星座规模的扩大将根据需求情况调整。

（一）空间段

“星链”星座的空间段计划由4409颗分布在550km~1300km左右的低地球轨道（LEO）卫星和7518颗分布在340km左右的极低地球轨道（VLEO）卫星构成，组网卫星总数达到11927颗，具体见表1。

表1 “星链”星座空间段构成

	轨道	卫星数量	轨道高度/km	频段	功能
LEO	第一阶段	1 584	550	Ku/Ka	覆盖除南北极以外的大部分地区
	第二阶段	2 825	1 100~1 325	Ku/Ka	实现全球覆盖
VLEO	第三阶段	7 518	340	V	进一步提升星座容量、降低通信时延

“星链”卫星质量设计为100kg~500kg（目前发射的卫星质量为227kg），采用模块化设计，可大规模批量制造，单星研制和部署成本约为百万美元。卫星采用平板结构，类似办公桌大小，安装有单翼式太阳能电池板，电池板展开后约为4×15m，适合高容量集群发射；以氦离子霍尔推进器为动力源，替代普遍使用的氙元素推进器进行轨道保持、位置调整与离轨；具有自主规避防撞功能；卫星底部做涂黑处理，消减反光现象，避免数量庞大的卫星造成过“星空污染”、影响地基对天的观测。目前的发射中，卫星部署均采用“发牌式”方式，每颗卫星与卫星部署器之间没有固定装置，而是通过卫星部署器的缓慢转动将卫星一一甩出。

“星链”卫星载有4部高通量相控阵天线，可实现极高数据量的发送和转发。目前发射的“星链”卫星不设星间链路，只能利用地面站作为中继站，以在全球传输信号，后续卫星将采取加设星间激光链路等升级措施。卫星在轨工作4~5年时间，然后由更新、能力更强的后续型号来替代。

（二）地面段

“星链”星座地面段包括卫星操作中心、地面测控站、关口站和用户终端。“星链”卫星与用户终端之间的通信采用Ku频段，终端大约19英寸宽（约50 cm），形状像1根插在棍子上的飞碟，采用先进的相控阵波束形成技术和数字处理技术，可实现Ku频段资源的高效利用。

2020年3月23日，美国联邦通信委员会（FCC）批准了SpaceX公司部署100万套用户终端的申请，公司希望FCC授权其在美国阿拉斯加、夏威夷、波多黎各和美属维尔京群岛全境部署和运营这些终端。

（三）应用前景

“星链”星座建成后，将为全球提供全覆盖、高带宽、低延迟的互联网接入服务，不仅可以用于民生领域（偏远地区宽带接入、航空海事宽带服务等），同时具有很强的军事应用潜力，美军已经在积极探索其应用方式。

2019年11月初，美空军宣布在C-12J情报飞机平台上验证了与“星链”首批卫星的互联，通信速度达到610 Mbps，目前还在继续评估“星链”卫星与其他武器平台的连接能力；2020年5月，美陆军同SpaceX公司签署了一项为期三年的协议，试验利用“星链”星座在各军事网络间传输数据。此外，美国国防高级研究计划局（DARPA）2018年起开始大力推进的“黑杰克”项目，旨在打造一个由60~200颗卫星组成、运行在500 km~1300 km低地球轨道的星座，执行通信传输、对地监视等任务，而“星链”卫星将成为该项目的重要搭载平台。

美国太空发展局（SDA）2019年提出构建由7个星座或“层”（传输层、战斗管理层、跟踪层、监视层、导航层、威慑层、支撑层）组成的下一代“国防太空架构”（NDSA），同样也是由数百颗在近地轨道运行的卫星组成，提供弹性、灵活和敏捷的军事传感与数据传输能力，该计划也将与“星链”这样的商业低轨星座计划密切结合。

二、可能产生的影响

“星链”星座依托SpaceX公司自主创新的航天产业生态迅速发展起来，凭借低成本规模化卫星制造、可重复使用运载火箭、先进相控阵卫星天线等技术突破和颠覆传统的航天产业模式，在全球众多低轨卫星互联网计划中脱颖而出。“星链”星座目前所取得的成功既得益于美国创新生态体系的有利环境，更离不开美国政府和军方的大力支持。该星座将为美国带来无法预估的空间资源、航天产业和军事应用等方面优势。

（一）占据有限的空间频率轨位资源，影响其他低轨卫星星座发展

频率和轨位是稀缺资源，国际电联目前采取“先占先得”的方式，各国必须在卫星发射前的2~7年向国际电联申报拟建卫星系统的无线电频率和轨道技术参数，与世界上其他已申报的卫星系统和地面无线电业务系统开展并完成一系列必要的频率协调、登记等程序和要求，此后才能受到权力保护。

当前，世界各国对频率轨位资源的争夺处于白热化状态，已从技术层面拓展到外交、经济、政治等各个方面。低轨星座频率轨位使用有较强的排他性，更是呈现突出的资源紧张局面。对美国来说，“星链”具有很大的战略价值，数万颗的星座布局占用了大量资源，将导致其他国家可利用的资源会越来越少。

（二）推动美国航天全产业链跨越发展，取得航天领域领先地位

SpaceX公司具备自主完整的商业航天产业链，集卫星制造、地面站建设、火箭发射和回收、卫星运营和服务于一身。

“星链”卫星采用模块化设计，可大规模批量制造，2020年8月SpaceX公司向美国联邦通信委员会提交的报告显示，该公司目前每月可制造120颗卫星，这个速度是卫星行业前所未有的；“星链”卫星通过SpaceX公司的“猎鹰”可回收火箭发射，一箭可发60星，今年以来几乎每月发射1到2次（未来目标是每周发射一次），单星发射成本仅约50万美

元，这个部署速度和成本也是卫星行业前所未有的。SpaceX公司的低成本、高效率卫星制造和发射技术已经在推动美国航天产业的跨越发展。

（三）具备明确的军事应用前景，对其他国家国防安全产生威胁

“星链”星座在军事通信、侦察、导弹预警等方面具有巨大的军事应用价值，一旦进入实战应用将为美军带来极大的信息优势。

提供全球覆盖、大带宽、高速率的军事通信服务。“星链”星座能够为全球用户提供15 ms~20ms延迟的信息传输，比目前最尖端卫星通信250ms的延迟传输，整整提升了一个数量级；在试验中为美军C-12飞机提供了高达610Mbps带宽的网络服务，相比目前大多数飞机联网所购买的海事卫星的 Mbps带宽的上网服务，整整提高了一个数量级。这种全球覆盖、性能极高的通信能力将支持美军构建强大的全球指挥通信网络，支持武器平台间、军兵种间高效互联互通，为美军联合全域作战、无人集群作战等提供强有力支撑。

提供高重访率与分辨率的全维全天候全天时侦察监视能力。SpaceX公司2017年8月向美国专利局提交商标注册申请时，“星链”的应用范围已经不仅仅是宽带服务，而是扩展到了卫星成像、遥感等。“星链”卫星完全有可能搭载侦察、导航、气象等多功能载荷，如果星座全部铺设完毕，那么几乎每个国家的顶上随时都会有卫星飞过，可以帮助美军实现全天候不间断的监控分析，使对手平时和战时行动对美军“透明”。

提高全球导弹预警能力。“星链”卫星拥有发射全向波束的能力，可以对航天器进行遥测、跟踪和控制，进而转变成为运载火箭/导弹的计算、模拟、预测的高精度系统，为拦截提供信息支撑。美国空军领导人在2019年8月的一次太空与导弹研讨会上高度评价“星链”星座，认为其在导弹早期预警和拦截引导方面具有非凡意义，而解决弹道导弹问题的最佳方法就是发射前或飞行早期将其击毁。

具备空间在轨攻击和对地攻击的潜力。“星链”卫星具有自动变轨和规避能力，理论上来说能对空间目标（卫星、弹道导弹等）进行抵近侦察和动能攻击，如果4.2万多颗卫星全部在轨，可以对天上任何目标实施动能攻击。此外，未来不排除搭载定向能等攻击武器的可能性，可对空间和地面目标实施精准打击。

弹性卫星体系具备高抗毁能力。“星链”由数万颗卫星构成，具有低成本、可快速补网、易于新技术插入等特点。如果星座的某个卫星损耗或被击落，能够在很短的时间内组装发射一颗替代卫星，或者通过软件调整和转变其他在轨运行卫星的载荷功能，从而保障整个星座的军事能力不受影响。该星座具有高分布性、灵活性、快速重构性等优势，具备极强的抗毁伤能力。

三、几点认识

（一）应发挥新举国体制优势振兴卫星行业

事实一再证明，卫星通信这样高技术、高成本的行业发展离不开国家支持，即便是在西方所谓的“自由市场”环境中。SpaceX公司历年收入有一半来自美国政府和军方，火箭回收技术发展经历重大失败时得到NASA直接帮助，“星链”星座也有着深厚的军方背景。

我们更应发挥新举国体制的优势，从国家战略需求和市场需求出发，统筹规划、集中资源发展卫星行业，同时将市场的良性竞争、优胜劣汰与政府的政策、资金、技术支持相结合，既发挥国企的主力军作用，又发挥民企的生力军作用。我们在天基网络信息体系建设的各个环节，也应吸纳各界优势资源、集中优势力量，在工程实践中不断探索军民协同创新的路径和模式。

（二）应积极研究针对低轨星座的反制措施

与同步轨道单体大卫星相比，低轨星座的显著优势之一是抗毁性强。低轨小卫星制造发射成本低、周期短，并且在单颗卫星损毁之后能够在短时间之内进行补网发射。通过动能方式实施打击的直接入轨式反太空手段，用在“星链”卫星上可能不划算；在轨武器、

电子战、定向能、网络战等反太空手段可能更有效。我们应组织力量研究低轨卫星星座的特点提出反制措施。

（三）应大力提升空间目标监测能力

低轨大型卫星星座是当前发展热点，美国、英国、加拿大、俄罗斯等国政府、军方、企业纷纷提出相关发展计划。“星链”是目前发展最快的，目标是1.2万颗甚至4.2万颗卫星。此外，英国一网公司在经历破产重组事件后，仍在推进“一网”星座部署计划，2020年8月27日又获得了美国联邦通信委员会（FCC）批准增设1280颗卫星；美国亚马逊公司也于2020年7月30日获得FCC批准建设和运营由3200颗卫星构成的“柯伊柏”低轨互联网星座；还有加拿大“电信卫星”、俄罗斯“以太”低轨卫星星座计划等也在逐步推进中。面对如此大规模卫星进入空间的可能性，我们应尽早部署提升空间目标监测、预警与跟踪能力，以应对这些卫星可能执行的在轨机动侦察干扰、对地打击等任务。

（学术PLUS）