

引用格式: 杭爽, 袁清泉, 陈国玖. 空天作战视角下“星链”系统的军事应用潜能[J]. 国防科技, 2024, 45(2): 76-81, DOI: 10.13943/j.issn 1671-4547.2024.02.10
HANG S, YUAN Q Q, CHEN G J. The aerospace operational utility of the Starlink system for military applications[J]. National Defense Technology, 2024, 45(2): 76-81, DOI: 10.13943/j.issn 1671-4547.2024.02.10 (in Chinese)

空天作战视角下“星链”系统的军事应用潜能

杭爽, 袁清泉, 陈国玖*

(军事科学院战略评估咨询中心, 北京 100091)

[摘要] “星链”系统逐步成熟, 引起美军高度关注, 一方面加大与其合作的力度, 另一方面启发美军重新思考空天作战, 加速推动太空军能力转型, 以应对大国竞争甚至大国武装冲突。从“星链”系统概况入手, 分析其建设进展和特点, 梳理其军事应用进程; 基于美国国防太空架构建立分析框架, 分析以“星链”为代表的大型低轨卫星星座系统的军事应用潜能; 从促进新型作战概念落地、构建备份导航授时系统、强化多元天基侦察能力、丰富反导预警拦截手段、推进太空防御体系升级等5个方面阐述“星链”系统未来军事应用潜力, 以期为我国相关领域的研究和发展提供参考。

[关键词] 低轨卫星星座; 空天作战; 军事潜能

[中图分类号] E3/7; TN927 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-4547(2024)02-0076-06

DOI: 10.13943/j.issn 1671-4547.2024.02.10

2015年, 美国太空探索技术公司(SpaceX)的“星链”(Starlink)计划一经推出便引起美军的高度关注。2022年12月2日, SpaceX公司推出服务美国国家安全的“星盾”(Starshield)计划, 进一步扩大军事应用范围。随着“星链”系统的建设规模逐步扩大, 载荷功能不断迭代, 技术水平持续升级, “星链”系统的军事应用潜能和技术孵化作用日益凸显。“星链”项目的成功将推动一批军事应用能力更强的大型低轨卫星星座快速发展, 赋予美军全新的空天作战能力, 可能彻底颠覆未来空天作战样式, 值得高度关注、持续跟踪、深入分析研判。

梳理“星链”系统建设的最新情况和军事应用进程, 基于美国太空力量建设发展规划, 对以“星链”系统为代表的大型低轨卫星星座系统开展军事应用潜能分析。

1 “星链”系统概况

1.1 系统特点

截至2023年6月4日, SpaceX公司已累计进行86次发射, 将超过4 543颗“星链”卫星送至近地轨道。与传统卫星系统相比, “星链”系统具有规模大、发射成本低、迭代升级快、军

[收稿日期] 2023-08-31 **[修回日期]** 2023-10-16

[基金项目] 国家社会科学基金军事学青年项目(2021-xxxx-C-069)

***[通信作者]** 陈国玖, E-mail: cgj_bj@163.com

[作者简介] 杭爽, 男, 博士, 助理研究员, 研究方向为战略能力评估; 袁清泉, 男, 硕士, 评估员, 研究方向为战略能力评估; 陈国玖, 男, 博士, 研究员, 研究方向为战略能力评估。

事用途广等特点。4种典型版本“星链”卫星性能对比如表1所示。值得注意的是，尽管“星链”计划被定义为商业卫星网络，但其应用范围包括通信传输、卫星成像、遥感探测等，在军事领域同样适用，能够解决美国本土与海外军事基地的无缝连接问题。

表1 4种典型版本“星链”卫星性能对比

Table 1 Performance comparison of four typical versions of Starlink satellites

参数名称	不同版本“星链”卫星的性能			
	1.0版	1.5版	2.0 mini版	2.0版
质量/kg	260	307	790	1 250
推进器	氮霍尔推进器	氮霍尔推进器	氮霍尔推进器	氮霍尔推进器
推进器推力/mN	70.8	70.8	170	≥170
推进器比冲/s	1 667	1 667	2 500	≥2 500
频段	Ku、Ka	Ku、Ka、光学	E、Ku、Ka、光学	E、Ku、Ka、光学
单星带宽/Gbps	18	15	60	170

1.2 建设进展

“星链”计划按照初步覆盖、全球组网和能力增强三步完成全球组网卫星星座建设，如图1所示。“星链”计划的3个步骤完成后，将在近地轨道组成两层庞大的卫星星座，内层340 km轨道高度的7 518颗卫星与外层550~1 325 km轨道高度的4 425颗卫星组成共11 943颗卫星的星座系统。



图1 “星链”计划实施步骤

Figure 1 Starlink program implementation steps

当前，“星链”系统已完成第一阶段的建设任务，具备一定运营能力。据有关消息，

SpaceX公司计划利用完全可重复使用的“星舰”火箭快速部署2.0版“星链”卫星，并提出了发射约3万颗新版卫星的计划^[1-2]。

2 “星链”系统军事化应用

2.1 由商入军，催化美太空军能力转型

虽然从“星链”计划最初的发展计划看，其与美国军方并没有太多联系，只是探索提供高带宽、低延迟的民用互联网服务。但是，随着“星链”系统的逐步完善，美军与其走得越来越远、合作越来越深。据不完全统计，2018年以来，SpaceX公司与美军在卫星联合研发、性能测试、演习应用、服务采购等方面的合作超过20次。“星链”已经在战略层面远远超越其本身商业航天计划的属性，事实上成为美国推进太空安全战略转型的重要试验田和催化剂^[3-4]。美军透过“星链”看到空天作战新的可能，即能够以高弹性、分布式、低成本、快响应的模式达成军事意图。

2.2 扩大融合，成为美打造新一代太空优势“预备役”

2022年12月2日，SpaceX公司发布应用于国防领域的“星盾”计划，宣称将单一通信功能的“星链”系统拓展升级为通信-遥感（侦察）双功能的“星盾”系统^[5]，将主要服务于民用移动互联网的“星链”卫星改造为服务于国家安全的“星盾”卫星。主要改进内容：一是采用更高的加密手段，满足对托管军用载荷和数据处理的安全性要求；二是增加星上激光通信终端，增强“星链”与其他军用卫星之间的连通性和互操作性；三是基于“星链”大型星座的分布式架构，进一步提升弹性和可扩展能力；四是以“星链”为“星盾”卫星的发射载体，实现高隐蔽性大批量在轨部署。SpaceX宣布服务国家安全的“星盾”卫星计划，实质上彻底扯掉了“星链”商用的遮羞布，同时试图试探国际社会的舆论反应，尝试露出服务美国军方的真面目，为其摆脱民

用航天应用束缚、大规模军事化部署作准备。

3 “星链”系统军事应用潜能分析

2020年6月,美国太空发展局推出以“星链”理念为基座的“国防太空架构”,意在指导新一代太空能力建设。从美国官方公布的信息来看,其未来太空力量建设将更多依赖数量庞大的小卫星组成大型星座,代替现有高价值、易损的卫星系统,提高天基系统弹性抗毁能力,以应对其所谓的“太空环境恶化”和“高超武器预警探测”等问题。“星链”作为美国当前发展最为迅速的低轨卫星星座,具有物理高度分散、智能组网、高带宽通信等特征,与美国太空战略转型需求高度契合。美国基于“星链”为代表的巨星座系统打造下一代空天作战能力,通过对当前单纯通信功能的“星链”系统进行功能扩展,或者基于“星链”成功经验建设类似“星链”的军用巨星座系统,几乎已成定局。

基于美国国防太空7层架构,从不同方面

分析“星链”系统的军事应用潜能,具体如下表2所示。

在传输层,基于仿真分析可知,“星链”星座一期1 584颗卫星组网后,按照±50°的对地覆盖角度,对中低纬度最少有7重覆盖,对同一覆盖区域的通信容量超过100 Gbps,可为美军提供全球无盲区的高速通信服务。此外,SpaceX公司正在参与军用传输层建设,已成功发射8颗搭载Link-16模块的传输层卫星^[6]。

在跟踪层、监控层和威慑层,“星链”系统尚未搭载相关载荷,当前版本卫星的搭载余量也难以满足电子、光学、合成孔径雷达载荷的搭载需求。随着“星链”升级到2.0版本以上,可搭载载荷的体积和质量有大幅提升,通信和运算能力也有显著提升,为相关载荷的搭载提供了条件。

在导航层,从“星链”1.5版开始配备星间激光通信系统,可以使每颗“星链”卫星实时获取精准的时间和位置信息,若进一步将这些信息编码到数据信号中进行传输,理论上可构建独立于GPS的导航网络。

表2 基于美国国防太空架构的“星链”系统军事应用潜能分析			
Table 2 Analysis of military application potential of the Starlink system based on US defense space architecture			
架构层次	目标	当前情况	潜力分析
传输层	全球全天候低延迟通信与数据传输	已参与实战,SpaceX参与军用传输层建设	建成后可为美军提供全球覆盖、低延时、高带宽的通信保障
跟踪层	导弹威胁全球指示、跟踪、瞄准和高级预警	尚未搭载相关载荷,未来有望搭载	搭载光学载荷后,可实现对导弹的预警和跟踪
监控层	对敌方重要目标全天候监控和信息保障	尚未搭载相关载荷	搭载各类侦察载荷后,可实现对空中、地面、海上目标的侦察监视
威慑层	地月空间目标态势感知	尚未搭载相关载荷	搭载各类侦察载荷后,可获得空间态势感知能力
导航层	全球定位系统(Global Positioning System, 简称GPS)拒止环境下定位、导航与授时	基于星间激光通信链路,已具备自身实时定位能力	通过软硬件升级,增加测距功能,可组成低轨定位、导航与授时网络
战场管理层	战场指控、通信,智能作战任务规划,数据处理分发	已用于军事数据传输和无人装备指控,并初具自主能力	智能水平和自主能力提升,无缝接入作战系统,实现数据高效处理、分发
地面支持层	部署地面指控设施 and 用户终端,并提供快速响应发射服务	“猎鹰”9号火箭已连续200次成功发射;已发射第一批10颗军用传输层和跟踪层卫星	下一代“星舰”火箭运力大幅提升,发射成本持续降低

在战场管理层，“星链”系统已在局部冲突中被用于军事数据传输和无人装备指控，其能力得到验证。此外，“星链”卫星搭载的激光通信模块已使其能够不依赖地面设施实现星间信息高速传输。从“星链”2.0版开始，系统将搭载面积为25 m²的中频谱天线，这可实现卫星与地面手机直联，对地面系统的依赖度可再次降低。“星链”星座自主水平的提升成为其具备战场指控能力的基础，随着战斗管理指挥控制与通信模块的发展成熟，可能被新版本“星链”卫星搭载，从而实现智能作战任务规划、数据处理分发等功能。

在地面支持层，依靠“猎鹰”9号运载火箭，SpaceX已能利用“一箭60星”的方式实现“星链”星座的低成本快速组网。下一代“星舰”火箭近地轨道运力将大幅提升，从“猎鹰”9号block5型的22.8 t提升至100 t以上。此外，SpaceX公司已利用“猎鹰”9号运载火箭成功发射第一批10颗军用传输层和跟踪层卫星。

4 “星链”系统军事应用样式预测

基于上述分析，从通信、侦察、导航、反导、太空战等5个领域研究“星链”系统的军事应用潜能，预测其军事应用样式（见表3），并形成相关分析结论。

表3 “星链”系统的军事应用样式预测

Table 3 Prediction of the military application style of the Starlink system

领域	应用样式
通信	全球范围、低延时、高带宽通信；智能数据处理和分发
侦察	天基信息支援，多频段高频次详查、多星共视联合侦察等；空间态势感知，低轨空间目标编目、异常事件快速响应等
导航	配合GPS系统，实现信号增强；独立组成导航网络
反导	天基反导预警网络；克服当前预警系统脆弱性；天基拦截平台
太空战	强化太空作战体系弹性；强化天基反卫能力

4.1 支撑战场要素高效互联，促进新型作战概念落地

作战概念与技术支撑相辅相成。“星链”系统广泛采用激光通信、星上数据处理、多源异构数据融合等技术，能够克服地理、地形、距离、干扰、毁伤、拒止等限制，实现全球太空连接，从而为促进美国新型作战概念提供有力支撑。一是为“马赛克战”“分布式作战”“多域战”提供通信组网支撑。“星链”低轨星座可弥补传统高轨通信卫星覆盖和终端能力缺陷，建立战场物联网，实现广域分布的要素间高效互联，成为美军实施“马赛克战”“分布式作战”“多域战”等新概念的基础设施和根本保证。二是为无人智能蜂群提供信息共享和云计算支撑。“星链”系统的高效信息汇聚、分发、处理能力，不但可支撑蜂群各成员间情报、位置信息的实时共享与交互，还可通过星载计算机网络为蜂群提供算力支撑，实现蜂群各单元能力的扩展与集群整体作战效能的提升。

4.2 强化多元天基侦察能力，实现战场实时监视

美国太空军今后极可能在“星链”卫星上搭载红外/紫外、可见光、合成孔径雷达等多种遥感载荷，基于其全域覆盖、高重访率的优势，大幅提升美军天基侦察监视能力，塑造美国全球准实时监控的战场态势。一是升级天基信息支援体系，实现全球多频段高频次详查和多星共视联合侦察，结合星上高性能数据处理，为美空中作战力量提供近乎实时的态势感知和目标指示，使美国空军具备发现、锁定、打击各类时间敏感目标的能力。二是补强空间态势感知能力，通过光学相机的视场拼接，形成“太空光电篱笆”，实现低轨空间目标广域编目、空间异常事件快速响应和近实时空间目标连续跟踪指示。

4.3 构建备份导航授时系统，有效克服GPS脆弱性

当前美军作战体系高度依赖分布在6个轨

道面上的24颗GPS卫星提供的全球导航授时服务,一旦GPS卫星遭到攻击而失效,将使美军失去信息化作战能力。基于“星链”构建导航授时系统可以有效克服这一问题。一是基于“星链”卫星的Ku、Ka通信链路构建独立于GPS的导航授时系统,通过在“星链”通信链路上增加信号测距功能,利用其大落地功率、高带宽、窄波束等特点,可在战时实现拒止条件下的抗干扰导航授时^[7-8]。结合“星链”系统的庞大规模和快速补发能力,该导航授时系统将难以被直接攻击所拒止。二是通过转发GPS系统的测距信号,可实现“星链”对GPS系统的信号增强,提升导航定位精度^[9]。

4.4 丰富反导预警拦截手段,重构导弹攻防格局

“星链”卫星为美国反导预警、拦截提供了新方案、新平台,相关技术的发展运用将彻底重构当前导弹攻防格局^[10]。一是构建全球覆盖的低轨反导预警网络。利用“星链”星座的全球覆盖探测能力,可实现接力“视频”监视,补足现有系统对弹道导弹中段的侦测盲区,大幅拓宽美国反导拦截窗口,提升反导防御系统拦截概率^[11]。二是提升反导预警体系弹性。当前美国对弹道导弹的预警依赖于8颗天基红外系统卫星,这些卫星数量有限且价值高昂,一旦被摧毁,美军的预警核反击能力将遭受重创。基于“星链”卫星组成的反导监视网络将有效克服这一问题。三是实现天基拦截平台广域覆盖。相比传统地基拦截弹,基于“星链”的天基拦截具备响应速度更快、拦截器数量更多的优点。目前,“星链”卫星已初步具备按最优轨道拦截洲际弹道导弹弹头的的能力,必要时可采用自毁战术,形成太空碎片云,对导弹实施拦截。

4.5 推进太空攻防体系升级,颠覆太空作战样式

未来美国可依靠数量庞大、功能多样、可快速批量补充的“星链”卫星,组成太空无人

作战集群,深刻改变未来太空作战样式。一是“星链”卫星可大幅强化美国太空作战体系弹性和生存性。“星链”星座将使对手传统的“打点、断链、破网”手段失效,抵消对手地基反卫能力,深刻改变太空攻防实力对比。二是“星链”星座可强化美国天基反卫能力。“星链”卫星可支持美国打造“太空马赛克战”,形成“以多打少、以廉打贵”的总体“围猎”态势以压制对手,并以更具迷惑性的行动、更具灵活性的战术、更具效费比的手段,进一步增大对手的反制成本和难度。

5 结 语

近年来,美国太空武器化和战场化步伐明显加快,相关军事学说逐渐成熟,太空作战及相关联合作战条令条例日臻完善,军事航天投入持续加大。在此背景下,以美国“星链”为代表的大型低轨星座系统的建设发展,不仅将导致近地轨道频段资源竞争、空间拥挤等问题,还将赋能美国太空军事能力,助力其太空攻防作战转型,甚至颠覆旧有太空威慑体系,值得高度关注和持续跟踪研究。

参考文献

- [1] MALIK N. Over 5,000 SpaceX Starlink terminals now active in Ukraine: Report[EB/OL]. (2022-03-20)[2023-06-06]. <https://teslanorth.com/2022/03/20/over-5000-spacex-starlink-terminals-now-active-in-ukraine-report/>.
- [2] 满莉,常壮,刘强.“星链”驰援乌克兰战场,透明世界与有限太空战[J]. 国际太空, 2022(5): 32-34.
- [3] 黄志澄. 从美国国防太空战略看“星链”的军事应用[J]. 太空探索, 2021(11): 68-73.
- [4] 夏焱炜. 特朗普政府对美国太空战略的重塑及其影响研究[D]. 北京: 外交学院, 2022.
- [5] SpaceX. Starshield supporting national security [EB/OL]. (2022-12-02) [2023-06-06]. <https://www.>

- spacex.com/starshield.
- [6] U.S. Department of Defense. Space development agency successfully launches tranche 0 satellites [EB/OL]. (2022-04-02) [2023-06-06]. <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3348974/space-development-agency-successfully-launches-tranche-0-satellites/>.
- [7] 秦红磊, 张宇. 星链机会信号定位方法[J]. 导航定位学报, 2023, 11(1): 67-73.
- [8] 赵亚飞, 闫冰, 孙耀华, 等. 低轨星座通导一体化: 现状、机遇和挑战[J]. 电信科学, 2023, 39(5): 90-100.
- [9] 周舒涵, 陈明剑, 景鑫, 等. 低轨通信卫星增强 GNSS 定位性能分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(3): 131-134.
- [10] 朴美兰, 李斯戎, 齐艳丽, 等. 美国天基低轨预警系统发展分析[J]. 国际太空, 2022(6): 40-45.
- [11] 黄晓斌, 卢明, 薛华, 等. 低轨卫星星座在导弹预警中的应用研究[J]. 空军预警学院学报, 2014, 28(2): 100-103.

The aerospace operational utility of the Starlink system for military applications

HANG Shuang, YUAN Qingquan, CHEN Guojia

(Strategic Assessment and Consultation Institute, Academy of Military Science, Beijing 100091, China)

Abstract: The study commences with an overview of the Starlink system, followed by an analysis of its construction progress and characteristics, and a summary of its military application process. To assess the military application potential of large-scale low earth orbit constellation systems, particularly the Starlink system, an analysis framework has been established based on the National Defense Space Architecture of the United States. The future military application potential of the Starlink system is expounded from five perspectives: promoting new combat concepts, assisting in the construction of backup navigation and timing systems, strengthening space-based reconnaissance capabilities, providing missile defense solutions, and upgrading space defense systems. Reference is offered for research and development in related fields in China.

Key words: low earth orbit constellation; aerospace operation; military potential

(责任编辑: 李素瑀)