

低轨卫星通信网络领域国际竞争:态势、 动因及参与策略^{*}

吴奇龙^{*,1} 龙 坤² 朱启超³

(1. 国防科技大学电子对抗学院,合肥 230000;2. 国防科技大学文理学院,长沙 410073;
3. 国防科技大学前沿交叉学科学院,长沙 410073)

摘 要:低轨卫星通信网络包括“天星天网”和“天星地网”两种架构,相较于地面通信具有覆盖广、成本低、部署快等优势;较于传统高轨卫星通信则在整体布设、传输模式、覆盖特性、拓扑结构上独具特点,在全球通信和互联网接入,5G、物联网和航天产业带动,以及太空军事能力应用方面极具潜力;不仅是商业航天技术的“竞技场”,更是主要大国太空和军事战略博弈的新“杠杆”,引发了更多航天国家和企业在这一领域积极参与与布局、力图抢占先机。当前,各航天国家在低轨卫星通信网络领域竞争激烈,呈现出“美国主导、其他航天国家加速跟进”的竞争态势,其更深层次的动因在于抢占频轨资源、争夺先发优势以及着眼国家安全考量。为应对和参与当前激烈的国际竞争,我国可以从布局中低轨道频段资源、发展低成本的航天技术、优化商业航天发展模式、加强国际社会多方合作四方面入手,和平开发和利用低轨空间,争取提供一流的中国产品和服务。

关键词:低轨卫星通信网络;国际竞争;国家安全;发展对策

DOI:10.16507/j.issn.1006-6055.2020.12.004

International Competition in Field of LEO Satellites Communication Networks: Dynamics, Motivations and Strategies^{*}

WU Qilong^{*,1} LONG Kun² ZHU Qichao³

(1. College of Electronic Engineering, National University of Defense Technology, Hefei 230000, China;
2. College of Liberal Arts and Sciences, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;
3. College of Advanced Interdisciplinary Studies, National University of Defense Technology,
Changsha 410073, China)

Abstract: LEO satellite communication network includes two kinds of architectures, namely “Star-Ground based network” and “Star-Space based network”. Compared with the ground communication, it has advantages of wide coverage, low cost and fast deployment, while compared with the traditional high earth orbit satellite communication, it has unique features in the overall layout, transmission mode, coverage characteristics and topology structure. And it has great potential in global communications and Internet access, 5G, the IoT, and aerospace industry, as well as the application of military capabilities in space. Not only is it become the arena of commercial space technology, but also become the new area of space and military strategic competition of some major powers, which has triggered the active engagement of more space countries and enterpri-

^{*} 国防科技大学军事科学与哲学社会科学重点项目(JS18-02-07),湖南省研究生科研创新项目(CX20200041)

^{**} E-mail: wuqilong21@nudt.edu.com; Tel: 0551-65927933

ses. The competition among space countries in the field of LEO satellite communication network is fierce, showing the dynamics of “the United States dominating and other space countries accelerating to follow”. The deeper motivation behind it is to seize the orbit-frequency resources, compete for the first-mover advantage and prepare for national security. To participate in the fierce international competition of LEO satellite communication network, China can make peaceful development and use of LEO space and strive to provide first-class Chinese products and services from four aspects, namely, the distribution of medium and low earth orbit and the frequency resources, the development of low-cost space technology, the optimization of commercial space development model and the strengthening of multi-party cooperation in the international community.

Keywords: LEO Satellites Communication Networks; International Competition; National Security; Development Strategies

20 世纪 90 年代,以“铱星”(Iridium)为代表的低轨卫星通信系统开启了全球个人卫星移动通信(Global Mobile Personal Communications by Satellite, GMPCS)的先河,不仅采用低轨解决了地球静止轨道(Geostationary Orbit, GEO)卫星通信高延时的问题,更以超前的设计实现了基于星载路由交换、星间链路组网的全球无缝覆盖服务。虽然因运营成本和市场问题在与同时兴起的越洋光缆和地面蜂窝网络的竞争中败下阵来,但其一直在国防和应急通信等领域发挥重要作用,尤其是当时对低轨卫星通信网络架构和可行性进行深入研究得到的相关理论和技术成果均被后来者所继承^[1]。近年来,随着卫星通信技术的发展、商业航天成本的不断降低,以及互联网随时随地接入需求的增加,具有全球覆盖优点的低轨卫星通信网络被重新注入了新活力。不仅 Iridium、“全球星”(Globalstar)、“轨道通信”(Orbcomm)三大传统低轨卫星通信系统已经完成升级换代,并向多功能综合和物联网(The Internet of Things, IoT)方向发展,同时以“一网”(OneWeb)和“星链”(Starlink)为代表的新兴低轨互联网星座进入快速发展期。成千上万颗低轨宽带卫星组建的卫星通信网络不仅将成为全球通信覆盖和数据传输的重要方式,同时也将融合和拓展地面网络服务,成为构建星地一体化网络的重要基础。

正是在这新一轮产业浪潮中,越来越多的航

天国家意识到低轨卫星通信网络的特殊性和重大战略意义,争相提出自己的低轨通信卫星星座计划,并不断扩大项目规模,迅速形成了未来几年内数万颗卫星进入低轨空间的“井喷”之势,使得这一领域呈现出日趋激烈和拥挤的竞争格局。我国也提出了以“鸿雁”星座、“虹云”工程为代表的低轨卫星通信网络计划,正以积极姿态参与到国际竞争与合作中,努力提供优质的全球服务。

1 低轨卫星通信网络的架构、特点与应用前景

低轨卫星通信网络是基于多种类型低轨卫星和星座组成骨干通信网,以星间链路(Inter-Satellite Link, ISL)和星地链路(Satellite-Ground Link, SGL)为物理传输介质,与中高轨卫星网络和地面核心网络(包括移动通信网、宽带通信网、IoT 和互联网等)实现互联互通,构成实时接收、传输和处理信息的空间网络体系。

1.1 低轨卫星通信网络的基本架构

低轨卫星通信网络包括空间段、地面段和用户段三个部分。其中,空间段由众多低轨卫星(包括其星间链路 ISL)组成,负责信息的接收和转发,部分卫星具备星上处理(On-Board Processing, OBP)能力;地面段包括各类关口站(Gateway)、测控单元(Telemetry, Track and Command, TT&C)、操作控制中心(Operation Control Center,

OCC) 和网络控制中心 (Network Control Center, NCC); 用户段由各类用户终端构成, 包括手持终端、IOT 终端, 以及固定/移动甚小口径终端 (VSAT) 等。与传统拓扑结构简单、在网络层以下进行数据传输的卫星通信系统不同, 低轨卫星通信网络最重要的作用是为用户终端提供接入能力, 与地面网络进行互联。其主要架构如图 1 所示。

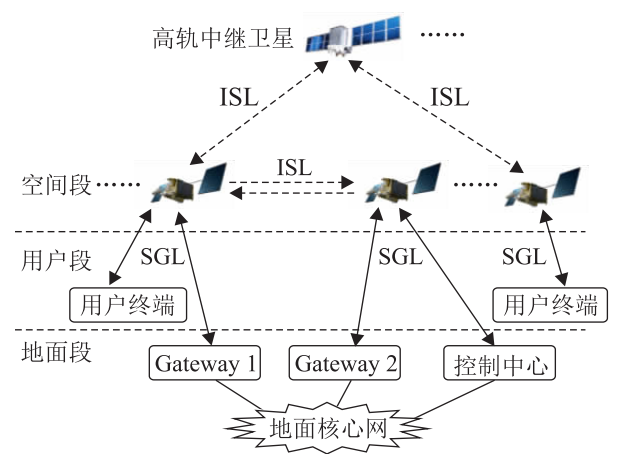


图 1 低轨卫星通信网络架构

Fig. 1 LEO Satellites Communication Network Architecture

根据低轨通信卫星之间有无星间链路, 可以进一步分为“天星天网”和“天星地网”两种网络架构。前者以 Iridium、Starlink 为代表, 卫星作为网络传输节点, 具备星上处理能力, 用户可直接接入卫星互联网, 不需要建设大量关口站, 但对星间链路和路由算法的要求较高; 后者以 Globalstar、OneWeb 为代表, 星上为透明转发器, 卫星间不组网, 技术复杂度低, 便于维护管理, 但必须克服地缘困难在全球建立足够数量的地面站才能实现全球服务能力。

1.2 低轨卫星通信网络的主要特点

总体而言, 传统卫星通信因其不受地理条件限制的维度优势和广播特性, 相比地面通信具有

覆盖范围广、运维成本低、部署周期短等优点, 但由于空间的暴露性和无线传输手段, 其安全性和稳定性都要低于地面通信网络。而低轨卫星通信网络作为未来信息通联方式变革的重要方向, 相较于传统高轨卫星通信系统而言, 主要具有以下特点:

一是卫星数量多、业务广, 可靠性强。数以百计乃至万计有限容量的单颗卫星叠加而成的整个体系容量极大, 除包含宽/窄带通信、物联网、互联网等多种业务外, 还可拓展导航增强、对地监测等功能。同时, 低轨卫星通信网络具备高弹性和冗余性, 抗毁能力强, 且低成本小卫星备份数量多, 应急补发能力强。

二是传输路径短、损耗小, 总时延高。假设低轨通信卫星轨道高度为 900 km, 其信号空间传输损耗比传统 GEO 通信卫星少近 32dB, 可大大缩小地面终端及天线尺寸, 降低地面应用设施成本。由于路径短, 其端到端的信息传输时延几乎与地面光纤相近。但对于“天星天网”这种拥有众多卫星节点的无线多跳网络^[2]而言, 总传输和处理时延明显增大。

三是覆盖范围广、轨道多, 流量不均。由于轨道种类多样, 低轨星座可涵盖传统 GEO 通信卫星由于仰角不能有效覆盖到的两极和高纬地区, 具有全天候复杂地形条件 (如山区、峡谷、丛林、高轨卫星视线受限的城市等) 下实时通信的能力。但不同人口密集度地区业务流量需求不均匀, 在备用路径不多的情况下容易阻塞, 对星座组网设计要求高。

四是运动速度快、信道多, 动态复杂。高速运动的低轨卫星过顶时间一般只有几到几十分钟, 可视时间短, 需同时链接其波束范围内所有需求终端, 但很快又要交接给下一颗卫星, 造成星地链

接高频切换,拓扑结构持续变化,对现有卫星和地面通信体制提出挑战。

1.3 低轨卫星通信网络的应用前景

随着航天和通信技术不断发展,小卫星发射成本持续降低,而随时随地的互联网接入和大数据服务需求将会进一步拓展低轨卫星通信网络的应用落地。

一是满足无缝覆盖、全球服务的现实需求。除作为重要的“动中通”和应急通信手段外,在山区、荒漠、空中和海上等地面信息系统无法覆盖的地方,卫星网络可以成为主要的通信方式。同时,卫星通信在发展过程中,借鉴了地面通信网络 IP 技术体制,具备实现卫星与地面网络的兼容和融合标准^[3],一旦完成部署,可满足全球未普及互联网区域的规模化接入需求。

二是带动 5G、物联网和航天产业的发展潜力。与地面 5G 网络集成、互补与融合不仅可实现 5G 的全球覆盖,反过来通过 5G 网络可提升自己的传输速率和用户体验。同时契合了快速兴起的低功率广域物联网 (Low Power Wide Area Network, LPWAN)^[4]的发展需求及小、散、远、动物体的监测和短数据采集等应用场景。其与物联网、云数据、智慧城市建设等领域的深度融合,将全面带动卫星制造、发射、应用配套和服务等上下游产业链的发展进步,撬动新的经济增长点。

三是强化军事战略层面的太空信息能力。商业卫星是“非合作环境”中构建军用通信网络的重要补充力量,且具备弹性和规模化的部署能力。同时可拓展功能,构建与全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 融合的星基增强系统^[5],改善 GNSS 自身的“脆弱性”。通过星载监测接收机则可作为“天基监测站”弥补海外站的不足,联合本土站构建天地一体监测

体系^[6]。

2 低轨卫星通信网络领域的国际竞争态势

据不完全统计,当前全球发布低轨卫星星座建设计划的公司多达近三十家,其主要项目如表 1 所示。低轨通信卫星网络领域大体呈现出“美国主导、其他航天国家加速跟进”的国际竞争态势。

2.1 美国在低轨卫星通信网络领域领先世界

目前,美国在这一领域完成“抢滩登陆”,已经率先部署了数百颗低轨通信卫星,其中以“星链 (Starlink) 计划”进展最快。该计划于 2015 年 1 月由太空探索技术公司 (SpaceX) 创始人埃隆·马斯克 (Elon Musk) 提出,拟于 2019—2024 年间发射约 1.2 万颗卫星构建一个多层覆盖的巨大星座,以提供实时、高速、廉价的卫星互联网服务,2019 年这一计划又扩增至 4.2 万颗。截至 2020 年 10 月 6 日,SpaceX 通过其可回收运载火箭“猎鹰 9”陆续将 13 批共 775 多颗 Starlink 卫星送入地球轨道^[7],预计在 2021 年 3 月之前实现第一阶段的 550 千米轨道高度部署 (72 个轨道面,每个轨道面 22 颗卫星),并开始提供全球服务。在这个过程中,Starlink 的建设速度和技术版本不断提升,基于毫米波和激光的下一代通信链路和相应标准也正在搭建。

综合分析来看,美国之所以在低轨卫星通信领域拥有领先世界的发展优势,主要有以下原因。一是雄厚的技术基底。苏联解体后,美国在航天领域独占鳌头。目前,属于美国资产的在轨活跃卫星高达 1500 多颗,占世界在轨活跃卫星总数的一半^[8]。航天产业的巨大需求又促使其在半导体、新材料、微机电和先进制造等行业持续领先。

表 1 全球低轨卫星通信系统计划概况¹⁾

Tab. 1 Overview of the Global LEO Satellites Communication System Program¹⁾

国家	推出时间	项目	运营商	计划数量	轨道高度(km)	频段 ²⁾	提供服务	总投资(美元)	进展情况
美国	1987	Iridium	Iridium	66	780	L/Ka	窄带通信 互联网(二代)	超过 50 亿	二代在轨 75 颗 (含 9 颗备份)
	1990	Orbcomm	Orbcomm	36	780 ~ 835	VHF	非实时窄带 物联网(二代)	超过 5 亿	一代、二代 共同在轨 35 颗
	1995	Globalstar	Globalstar	48	1389	L/S	窄带通信 互联网(二代)	33 亿	一代、二代 共同在轨 32 颗
		OneWeb ³⁾	OneWeb	1980	1200	Ku/Ka	宽带通信 高速互联网	预计 70 亿	目前在轨 74 颗 宣布破产被收购
	2015	Starlink	SpaceX	4409 37518	550/1110 ~ 1325 328 ~ 580	Ku/Ka V	宽带通信 高速互联网 6G	预计超 300 亿	完成 13 次 “一箭 60 星”发射 正常在轨 728 颗
		LEOSat	LEOSat	108	1400	Ka	宽带通信 高速互联网	预计 35 亿	未发射卫星 2019 年停止运作
	2016	Boeing	波音	2956	1200	V	先进通信 高速互联网	预计 52 亿	未发射卫星
	2019	Kuiper	亚马逊	3236	590 ~ 630	Ka	宽带通信 互联网	预计超 100 亿	未发射卫星
俄罗斯	2016	Yaliny	Yaliny	135	600	Ku/Ka	互联网	预计 6.25 亿	未发射卫星
	2018	Sphere	俄航天集团	638	—	—	通导遥融合 互联网	预计超 68.67 亿 ⁴⁾	方案设计
中国	2016	鸿雁	中国航天科技	324	1100	L/Ka	宽带通信 互联网	一期 29 亿	2018 年 12 月 发射 1 颗试验星
	2018	虹云	中国航天科工	156	1040	Ka	宽带通信 互联网	预计 14 亿	2018 年 12 月 发射 1 颗试验星
		银河 Galaxy	中国银河航天	1000	500 ~ 1200	Q/V/Ka	宽带通信 5G	—	2020 年 1 月 首发星入轨
加拿大	2017	Telesat	Telesat	298	1000 ~ 1248	Ka	宽带通信 互联网	预计 31.3 亿	2018 年发射 1 颗试验星
	2018	Kepler	亚马逊	140	520 ~ 600	Ku/Ka	M2M 物联网	—	2018 年发射 2 颗试验星
韩国	2015	Samsung	三星	4600	1400 ~ 1500	V	高速互联网	预计 38.3 亿	方案设计
印度	2019	SpaceNet	Astrome	198	—	—	高速互联网	—	方案设计

1) 数据统计日期为 2020 年 10 月 6 日;2) 频段概况见表 2;3) 与英国合作推出;4) 2020 年度预算为 27.7 亿美元。

同时,美国航空航天局(National Aeronautics and Space Administration,NASA)致力于将航天技术转化民用和促进商业化推广。二是有力的政策扶持。近年来,美国政府加强以商业航天为主导的发展模式。美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission,FCC)对各航天巨头的项

目几乎一路“绿灯”,大力支持低轨卫星通信网络的发展,同时在卫星频率使用政策的制定上注意“预留”频率资源。2019 年 7 月,美国进一步简化小卫星监管流程,确保现行规则能够适应新技术要求,保持其在频率资源和航天产业的优先地位。三是大量的资金注入。商业航天领域的私

表 2 卫星通信使用无线电频率概况

Tab. 2 Overview of Radio Frequency Used inSatellite Communications

频段	频率范围	使用情况
L	1 ~ 2 GHz	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 ~ 4 GHz	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 ~ 8 GHz	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 ~ 12 GHz	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 ~ 18 GHz	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	开始进入商业卫星通信领域
太赫兹	0.1 ~ 10 THz	正在开发

营企业积极强化与美军方和联邦政府航天机构的合作关系,争取了大量资金。例如,SpaceX 不仅和 NASA 关系密切,美国空军更是其“星链”计划的早期投资人。美国 2019 财年,就有 2.15 亿美元专项经费拨给了基于商业航天的军用高速互联网计划^[9]。

2.2 其他航天国家力图占有一席之地

俄罗斯继承了前苏联在航天领域的雄厚基础,尤其是航天发动机和运载火箭技术先进可靠,长期占据国际卫星发射市场的最大份额。在卫星发展领域,俄罗斯一直秉持“国家主导、军用为先”的发展原则,但由于受西方制裁而在航天领域投入不足,难以全面发展。在《2016—2025 年联邦航天计划》中,俄罗斯将通信卫星列为优先发展方向,并开始着力增加民用卫星数量,拓展商业市场^[10]。早在 2010 年,俄罗斯就计划构

建由 48 颗卫星组成的太空互联网^[11],由“信使”卫星系统公司负责研发。目前,“下一代信使”低轨通信卫星系统的设计工作已经启动。2018 年 7 月,普京将其“球体”(Sphere)计划列入国家航天专项计划,以对标美国 OneWeb 和 Starlink,积极布局和发展自己的商业低轨星座。该计划融合了“马拉松”低轨物联网、“赛艇”互联网接入卫星、“信使”通信卫星、GLONASS 导航卫星、对地观测卫星等系统,旨在打造多功能一体化的低轨卫星集群,要求在 2028 年前完成部署^[12]。

中国航天经历了 50 多年自力更生、艰苦发展,取得了长足进步。虽然在低轨卫星通信领域刚刚起步,但发展“后势”较足。2016 年国务院发布的“十三五”国家信息化规划明确提出构建“天地一体的网络空间”重大工程项目,以满足基础设施建设、区域协调、大众消费等多样化需求^[13]。中国航天科技集团和中国航天科工集团分别推出“鸿雁”系统和“虹云”工程。前者计划分两期建成:一期由 60 余颗骨干卫星构成,优先提供全球移动通信和重点地区的宽带互联网业务;二期拓展近 300 颗补网卫星,将宽带业务拓展至全球。后者以互联网接入为基础功能,能为全球用户提供通信、导航、遥感一体化综合服务。2018 年 12 月,“虹云”和“鸿雁”首星相继成功发射,标志着我国低轨宽带通信卫星系统建设迈出实质性一步。除此之外,自 2015 年后迅速发展的中国民营航天企业,近几年不仅实现了民营卫星和运载火箭的相继突破,以银河航天、九天微星为首的一批初创公司也相继提出了自己的低轨卫星星座计划。2020 年 4 月,中国将卫星互联网纳入“新基建”范畴^[14]。可以预见,下一步中国低轨卫星通信网络的建设还将提速。

加拿大 Telesat 公司星座于 2017 年 11 月被

FCC 批准进入美国市场,其卫星携带具有直接辐射阵列(Direct Radiating Array,DRA)的高级数字载荷,平均单颗卫星效率是 Starlink 卫星的 4 倍^[15],同时积极保持与美国防部的合作,参与美军项目。韩国三星公司在该领域也不甘寂寞,提出打造除 Starlink 外数量最多的低轨卫星星座计划。印度 Astrome 公司则试图凭借其单颗卫星高达 180Gbps 容量的毫米波通信专利技术打开全球新兴经济体的卫星通信市场,计划 2020 年进行太空测试^[16]。而就在 2020 年 7 月 2 日,印度电信巨头 Bharti 公司与英国政府各出资 5 亿美元(各占 45% 股份,剩余 10% 属于空客等原有投资人)收购了宣布破产的 OneWeb 公司,下步将为印度市场提供服务^[17]。除此之外,瑞士的 Astrocast^[18]、荷兰的 Hiber、法国的 Kinéis、印度的 Vestaspace 等多家初创公司和欧洲通信卫星公司(Eutelsat)均在谋求建设符合市场需求、由数十颗左右小卫星构建的低轨物联网小型星座^[19]。

3 低轨卫星通信网络竞争的动因分析

从上文可以看出,世界主要航天国家在低轨卫星通信网络领域的开发与部署呈现出激烈竞争态势。究其根本动因,除了全球在 5G 争夺战后对未来卫星通信的商业价值和潜力更加重视外,低轨卫星通信网络背后的空间资源和战略价值才是大国之间的“兵家必争之地”。

3.1 抢占日益稀缺的频轨资源

若全球低轨卫星通信网络项目均能得以实施,未来五年会有 5 万余颗低轨卫星入轨,地球 1500 km 以下的近地轨道将进入一个前所未有的拥挤状态,优质轨道资源难成体系。但比轨道更紧张的则是频谱资源,如表 2 所示,能够单独使

用、实现全球覆盖的 L、S、C 频段资源几乎殆尽,目前集中使用的 Ku、Ka 频段同样是 GEO 宽带卫星的主用频段,同时星座之间还要留出一定频率间隔防止相互干扰,协调难度大。而 C、Ka 频段要面对 5G 网络的激烈争夺,Q/V 频段也已被巨头企业提前布局^[20]。很多“星网”(本文指低轨卫星通信网络)项目担负着为其本国“占频保轨”的职责,基于国际电信联盟(International Telecommunication Union,ITU)“在有效时限内先占先得”的新分配原则,运营商须在 2 年内发射 10% 的卫星,5 年内发射 50%,7 年内全部部署完成,若未按时达到要求,则被视为放弃相应的资源所有权。参与各方势必加速卫星发射进程,锁定轨道和频谱资源,竞争将愈加激烈。

3.2 寻求不可替代的先发优势

不同于人类其他尖端项目,后来者不仅没有增加难度,反而可以通过学习现有技术和先行者经验,具备“后发优势”。然而,低轨卫星通信网络作为一项开发有限资源的战略性产业,具有独特的“排他性”。不仅是进入该领域的技术门槛和壁垒高,后来者相对先布局者来说将付出巨大的额外成本,甚至不再具备入场条件。根据 NASA 研究推算,按照现有速度,70 年后 LEO 碎片密度将达到一个临界值,甚至会发生“凯斯勒现象”,进而使得近地空间彻底不可用^[21,22]。所以据业界预测,最终全球低轨卫星星座不会超过 5 个^[23],尤其是在巨型低轨星座领域,未来必将成为寡头垄断的市场,因为地球的低轨空间不一定能容下第二个巨型星座。

3.3 着眼未来的国家安全建设布局

从美国积极参与和布局低轨卫星通信网络可以看出,其背后有明显的军事意图和战略考量。2019 年底,美国空军 1 架 C-12 侦察机使用

“星链”数据下行速度达到 610 兆/秒,是美军现行通信标准 5 兆/秒速度的 102 倍^[24]。可见,一旦高弹性抗毁的巨型低轨卫星通信网络部署完成,将极大拓展战场实时信息交互和指挥控制能力,或彻底改变信息化战争模式。除潜藏的巨大军事价值外,先行者还将掌握对全球信息的上游规则制定权。根据美国太空发展局(Space Development Agency, SDA)构想的下一代太空体系架构,巨型低轨通信卫星星座将作为整个太空信息获取的底层传输层,成为服务于太空信息的基础网络,将深刻影响未来国家信息安全格局。可以说,“星网”时代的来临将给国家信息主权及监管带来严峻挑战,建立自主可控的低轨卫星通信网络十分必要。

4 我国应对低轨卫星通信网络国际竞争的发展对策

在全球大规模发展“星网”的背景下,中国应当以更积极的心态、更开发的胸怀参与到国际竞争与合作中,和平开发和利用太空资源,提供一流的产品和服务,更好地造福全人类;努力将低轨卫星通信网络作为中国和世界连接的又一纽带和桥梁,形成建设人类命运共同体新的推动力。为此,我们应当具备前瞻意识、保持系统思维、综合施策发展。

4.1 布局中低轨道频段资源

卫星频轨资源必将成为发展最大瓶颈。首先,要加强 ITU 规则研究、频率协调和双边合作,积极推动、争取低轨星座的部署和发展先机;其次,结合目标轨道、施效潜力和长远需求统筹中低剩余轨道资源,创新设计混合异构轨道,最大限度发挥中低轨星座组网效能;再者,需大力开发 EHF(Q/V/W)、太赫兹、激光等更高频段的频

率资源,应对带宽需求的持续增长;最后,若可用频率资源稀缺、协调困难,可采用基于频谱感知信号检测技术,选择空闲载波进行业务传输,实现与现有卫星通信系统之间无干扰/低干扰的同频段共存,同时重点挖掘星载实时频谱分析处理、星地一体资源动态实时分配和基于频谱感知的干扰规避指控技术。

4.2 发展低成本的航天技术

要想在全球低轨星座发展提速中胜出,就必须对传统的卫星制造和发射进行迭代升级,以流水线量产和“一箭多星”方式降低成本。OneWeb 公司在佛罗里达州的全球首个“卫星工厂”生产线达到日产 2 颗卫星的能力,而 SpaceX 公司卫星生产线日产能高达 6 颗^[25],均采用标准化、模块化、轻量化和软件化设计,并大量使用商业现货(Commercial Off-The-Shelf, COTS)组件。OneWeb 将每个卫星分 4 个模块并行生产,通过大数据控制、智能装配软件和 3D 打印技术,大幅缩短周期、降低生产成本。而 SpaceX 的卫星扁平化设计更易于装载和发射,达到一箭 60 星的载量,同时提高运载火箭复用次数降低发射成本;其配备的光学追踪器可自主探测和躲避太空垃圾,并且使用到期后自行机动进入大气层销毁以降低运行成本。

4.3 优化商业航天发展模式

从当前低轨卫星通信网络发展来看,LEOSat 和 OneWeb 都是在初期融资阶段宣布破产,而“铱星”是运营早期盈利失败,可见前期阶段的风险较大。而我国国内民营航天企业相对年轻,若以“国家队”为主导,民营企业为补充并瞄准部分业务板块“以点带面”,可实现携手共同发展;同时改革简化商业航天活动的监管框架、政策和审批流程,以提高管理效率;发挥国内市场禀赋优势,

完善产业生态,提升用户体验,加速实现低轨卫星通信网络商用价值变现;借鉴 5G 网络先进技术,推动异构网络融合发展,取长补短、合作共赢,达到整体效费比最优。

4.4 加强国际社会多方合作

合作与竞争是相互依存的关系,在低轨卫星通信网络领域的过度竞争只会加剧低轨空间发展环境的恶化,陷入“军备竞赛”的博弈陷阱。航天是全人类共同的事业,需要通过国际合作共同推进航天领域技术发展,这既是历史的成功经验,也是未来发展的必然趋势。我国遵循开放、协作、共享的原则,倡导各国通过加强国际间合作,避免形成技术壁垒而阻碍全球一体化发展,以及造成空间通信网络资源不必要的浪费;积极参与并共同协商制定相关标准和规则,防止形成独占太空的霸权势力;推动低轨空间环境治理问题的协商与合作,尽快将其纳入全球治理的法治轨道。

参考文献

- [1] 吕强. 生态先行,后发先至——维勒和他的一网星座的启示[J]. 卫星与网络,2019(9):44-46.
LV Qiang. Start Late and Arrive Early, Because Ecology Precedes—Enlightenment of Greg Wyler and His OneWeb[J]. Satellite & Network, 2019(9):44-46.
- [2] BIAGIONI E, GIORDANO S. Ad Hoc and Sensor Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(7):140-141.
- [3] 汪春霆, 张俊祥, 潘申富, 等. 现代电信网络技术: 卫星通信系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 12-14.
WANG Chunting, ZHANG Junxiang, PAN Shenfu,

et al. Modern Telecommunication Network Technology: Satellite Communication System[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2012: 12-14.

- [4] 靳聪, 和欣, 谢继东, 等. 低轨卫星物联网体系架构分析[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(14): 99-102.
JIN Cong, HE Xin, XIE Jidong, et al. Analysis of LEO Satellite Internet of Things Architecture[J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(14): 99-102.
- [5] REVNIVYKH S. Glonass status and Modernization [C]. Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation. Nashville, Tennessee: [S. n.], 2012: 538-552.
- [6] 沈大海, 蒙艳松, 边朗, 等. 基于低轨通信星座的全球导航增强系统[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2019, 17(2): 209-213.
SHEN Dahai, MENG Yansong, BIAN Lang, et al. A Global Navigation Augmentation System Based On-LEO Communication Constellation[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2019, 17(2): 209-213.
- [7] China. org. cn. SpaceX launches 11th Starlink Mission[EB/OL]. (2020-08-19) [2020-08-20]. http://www.china.org.cn/world/2020-08/19/content_76613506.htm.
- [8] Celestrak. SATCAT Boxscore[DB/OL]. (2020-08-21) [2020-08-21]. <http://www.celestrak.com/satcat/boxscore.php>.
- [9] 新华网. 航天“热”起来[EB/OL]. (2020-04-14) [2020-06-08]. http://www.xinhuanet.com/globe/2020-04/14/c_138971842.htm.

- Xinhuanet. Space "Hot" [EB/OL]. (2020-04-14) [2020-06-08]. http://www.xinhuanet.com/globe/2020-04/14/c_138971842.htm.
- [10] 周生东, 王永生. 俄罗斯联邦 2016-2025 年航天计划基本内容[J]. 国际太空, 2017(5):14-18.
ZHOU Shengdong, WANG Yongsheng. Basic Content of Russia Federation Space Program 2016-2025[J]. Space International, 2017(5):14-18.
- [11] 宇飞. 俄罗斯“信使”低轨道卫星通信系统[J]. 国际太空, 2000(1):14-16.
YU Fei. Russian "Gonets" Low Orbit Satellite Communications System[J]. Space International, 2000(1):14-16.
- [12] 佚名. 俄罗斯航天国家集团计划组建“马拉松”卫星系统[J]. 航天器工程, 2018, 27(6):134-134.
Anon. Roscosmos Plans to Build the "Marathon" Satellite System [J]. Spacecraft Engineering, 2018, 27(6):134-134.
- [13] 国务院. 国务院关于印发“十三五”国家信息化规划的通知[EB/OL]. (2016-12-27) [2020-06-23]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/27/content_5153411.htm.
State Council. Notice of the State Council on the Issuance of the "13th Five-Year Plan" for National Informatization Planning[EB/OL]. (2016-12-27) [2020-06-23]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/27/content_5153411.htm.
- [14] 新华网. 卫星互联网纳入! 国家发改委首次明确“新基建”范围[EB/OL]. (2020-04-21) [2020-06-23]. http://www.xinhuanet.com/tech/2020-04/21/c_1125884291.htm.
Xinhuanet. Satellite Internet Included! The National Development and Reform Commission for the First Time Clarified the Scope of "New Infrastructure" [EB/OL]. (2020-04-21) [2020-06-23]. http://www.xinhuanet.com/tech/2020-04/21/c_1125884291.htm.
- [15] INIGO D P, BRUCE G C, EDWARD F C. A Technical Comparison of Three Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to Provide Global Broadband [J]. Acta Astronautica, 2019, 159(3):123-135.
- [16] 佚名. SpaceNet 星座利用毫米波通信技术改变卫星宽带互联网服务[J]. 无线电工程, 2019, 49(10):865-865.
Anon. SpaceNet Uses Millimeter Wave Communications Technology to Transform Satellite Broadband Internet Services [J]. Radio Engineering, 2019, 49(10):865-865.
- [17] SPACENEWS. British Government and Bharti Global Buy OneWeb, Plan \$ 1 Billion Investment to Revive Company [EB/OL]. (2020-07-03) [2020-07-03]. <https://spacenews.com/british-government-and-bharti-global-buy-oneweb-plan-1-billion-investment-to-revive-company/>.
- [18] 王清扬, 王文梅, 王未, 等. “长征”系列火箭发射国际低轨卫星星座的思考[J]. 航天工业管理, 2020(3):23-28.
WANG Qingyang, WANG Wenmei, WANG Wei, et al. Discussion on Launching International LEO Satellite Constellation by LM Launch Vehicles [J]. Aerospace Industry Management, 2020(3):23-28.
- [19] 刘悦. 2019 年全球卫星通信产业发展综述[J]. 卫星应用, 2020(1):23-28.
LIU Yue. Global Satellite Communications Industrial Development and Reform Commission for the First Time Clarified the Scope of "New Infrastructure" [EB/OL]. (2020-04-21) [2020-06-23]. http://www.xinhuanet.com/tech/2020-04/21/c_1125884291.htm.

try Development Overview in 2019 [J]. Satellite Application, 2020 (1) : 23-28.

[20] 中国通信学会. 全球卫星通信产业发展前沿报告 [EB/OL]. (2019-11-30) [2020-06-08]. <http://www.china-cic.cn/Detail/24/2213/2213>. China Institute of Communications. Global Satellite Communications Industry Development Frontiers Report [EB/OL]. (2019-11-30) [2020-06-08]. <http://www.china-cic.cn/Detail/24/2213/2213>.

[21] 龚自正, 徐坤博, 牟永强, 等. 空间碎片环境现状与主动移除技术 [J]. 航天器环境工程, 2014, 31 (2) : 19-25.

GONG Zizheng, XU Kunbo, MOU Yongqiang, et al. The Space Debris Environment and the Active Debris Removal Techniques [J]. Spacecraft Environment Engineering, 2014, 31 (2) : 19-25.

[22] 赵秋艳, 胡朝斌, 陈川, 等. 低轨大规模星座的机遇与挑战 [J]. 空间碎片研究, 2020, 20 (1) : 2-8.

ZHAO Qiuyan, HU Chaobin, CHEN Chuan, et al. Opportunities and Challenges of Large-scale LEO Constellation [J]. Space Debris Research, 2020, 20 (1) : 2-8.

[23] CALEB H. LEO and MEO Broadband Constellations Mega Source of Consternation [EB/OL]. (2018-03-13) [2020-06-08]. <https://space-news.com/divining-what-the-stars-hold-in-store-for-broadband-megaconstellations/>.

[24] 新华网. 空间频率轨道争夺战 [EB/OL]. (2020-06-24) [2020-06-27]. http://www.xinhuanet.com/globe/2020-06/24/c_139158036.htm. Xinhuanet. Space Spectrum and Orbit Resources Scramble [EB/OL]. (2020-06-24) [2020-06-27]. http://www.xinhuanet.com/globe/2020-06/24/c_139158036.htm.

[25] ERIC R. SpaceX Starlink Factory Building Satellites Four Times Faster than Closest Competitor [EB/OL]. (2020-03-12) [2020-06-08]. <https://www.teslarati.com/spacex-starlink-satellite-production-faster-than-competitors/>.

作者贡献说明

吴奇龙: 论文框架确定与论文撰写;

龙 坤: 信息解读与论文修改;

朱启超: 论文命题的提出, 最终审阅及定稿。