

卫星频率轨位资源全球竞争态势与对策思考

兰 峰, 彭召琦

(天地信息网络有限公司, 北京 100041)

摘 要: 结合国际电信联盟《无线电规则》和实际在轨卫星情况, 对空间频率资源的划分、条款和资源使用等情况进行梳理分析, 对当前主流低轨互联网星座的频率轨道资源规划和使用情况进行阐述, 同时列出我国低轨星座系统资料的申报情况。针对低轨互联网星座发展情况, 提出我国低轨星座应结合我国国情, 采用新技术和新频段等措施, 解决频率轨道资源的“卡脖子”问题。

关键词: 卫星频率资源; 卫星通信; 低轨互联网星座

中图分类号: TN927+.23

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2021023

The Global Competitive Situation and Strategy of Space Frequency and Orbit Resources

LAN Feng, PENG Zhaoqi

Space Integrated Ground Network Co., Ltd., Beijing 100041, China

Abstract: Combined with ITU Radio Rules and the actual in-orbit satellites situation, the satellite communication frequency resource allocation, the regulation and the use of orbital positions were analyzed, the planning and frequency-orbit resources of the international mainstream low-orbit internet constellations were expounded, and the satellite networks information on China's low-orbit constellation was listed. For the development of low-orbit internet constellations, it was proposed that China's low-orbit internet constellations should be based on China's national conditions, the new technologies and frequency bands should be used, to resolve the frequency resources bottleneck.

Keywords: satellite frequency resource, satellite communication, LEO internet constellation

1 引言

2021年3月14日, “猎鹰9”火箭将“星链”系统的最新一批60颗卫星成功送入太空, 由于部分卫星不再操作或卫星进入大气层被烧毁等原因, “星链”在轨可操作卫星数量为1 241颗, 与公布的1 584颗卫星提供商业化服务的目标还差300余颗。这些卫星仅为埃隆·马斯克(Elon Musk)规划的巨型低轨星座“星链”卫星数量的百分之几。随着一系列低轨星座卫星的发射入轨, 巨型低轨星座卫星通信系统正在掀起半个世纪以来一场最大规模的太空“圈地运动”。

本文结合低轨星座系统的频率轨道资源使用情况, 简述资源管理与使用规则、资源申报与在轨现状, 以及

系统规划与技术发展等, 为了解和掌握低轨星座系统的频率轨道资源使用提供借鉴。

2 空间业务的可用资源

国际电信联盟是联合国专门机构之一, 该机构负责规划、管理和监督世界范围内空间业务资源。空间业务资源包括频率和轨道两部分。轨道分为地球同步轨道和非同步轨道, 而地球同步轨道是指距地球赤道上空35 786 km的360°的轨道范围。根据频率传播特性, 一般地球同步轨道间隔2°及以上可兼容C频段卫星, 轨位间隔1.8°及以上可兼容Ku频段卫星, 轨位间隔1.5°及以上可兼容Ka频段卫星, 因此在地球同步轨道上可定点的通信卫星数量

是有限的。频率资源是发展空间业务的基础，为了规范空间业务间的频率兼容，国际电信联盟《无线电规则》^[1]对频率使用进行了划分规定，详见表1。

表1 《无线电规则》频率划分情况

频段	频率范围	使用情况
L	1~2 GHz	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
S	2~4 GHz	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等业务
C	4~8 GHz	近乎饱和，主要用于雷达、地面移动、卫星通信等业务
X	8~10 GHz	主要用于雷达、地面通信和卫星通信等业务
Ku	10~14 GHz	已饱和，主要用于卫星通信和卫星电视直播等业务
Ka	18~30 GHz	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
Q	37~52 GHz	开始进入商业卫星通信领域
太赫兹	0.1~10 THz	正在开发

卫星通信主要使用C（4/6 GHz）、X（7/8 GHz）、Ku（12/14 GHz）、Ka（20/30 GHz）和Q（40/50 GHz）等频段，其中C频段可用带宽850 MHz，X频段可用带宽500 MHz，Ku频段可用带宽750 MHz，Ka频段可用带宽3 500 MHz，Q频段可用带宽5 000 MHz，L和S频段主要用于窄带卫星移动通信系统，可用带宽较窄。

3 空间资源的现状

截至2020年7月，全球在轨卫星数量达到了2 787颗（包括通信、中继、遥感、导航、电视直播和科学试验等用途）。卫星轨道分为地球同步轨道和地球非同步轨道两类，其中地球非同步轨道按轨道高度又可分为低轨、中轨和高轨3种。地球同步轨道具有卫星覆盖地球范围广、相对地面静止等特点，是最早和应用最广泛的轨道；地球非同步轨道中低轨星座具有传输损耗小、通信时延小等特点，在近期的低轨互联网星座热潮中得到了广泛应用。

3.1 地球同步轨道卫星资源占用情况

自1964年美国发射的“辛科姆”卫星向全世界转播了第18届东京奥运会以来，地球同步轨道卫星应用从无到有快速地发展起来。目前，地球同步轨道卫星有560颗，相对于360°的范围，在该轨道上接近0.5°定位1颗卫星的密度。从频率兼容面分析，基本上达到了该轨道范围使用的极限容量，世界上主要卫星操作者已基本将同步轨道资源分配殆尽，详见表2。

美国和主要商业卫星公司占据了较多的同步轨道资源，而且是全球范围内均衡分布。我国的轨位主要集中在亚太地区。

表2 地球同步轨道使用情况

使用方	卫星操作者	轨位数量/个	应用
美国（商业）	Intelsat	34	C、Ku和Ka频段的商用卫星 Ku频段电视直播卫星 C、Ku和Ka频段商用卫星
	DirecTV	9	
	Echostar	11	
美国（军方和政府）	海军	5	MUOS1-5 WGS1-10 TDRS系列
	空军	10	
	NASA	7	
英国	Inmarsat	11	L和Ka频段 军用通信卫星
	国防部	4	
法国	Eutelsat	26	C、Ku和Ka频段商用卫星
卢森堡	SES	35	C、Ku和Ka频段商用卫星
俄罗斯	RCSS	11	C、Ku和Ka频段商用卫星
日本	JCSAT	10	C、Ku和Ka频段商用卫星
加拿大	Telesat	10	C、Ku和Ka频段商用卫星
印度	ISRO	6	C、Ku频段商用卫星
中国（商业）	中国卫通	6	C、Ku和Ka频段商用卫星 C、Ku和Ka频段商用卫星 C、Ku和Ka频段商用卫星
	亚洲卫星	3	
	亚太卫星	4	
中国（军方）	通信卫星	6	S、C、Ku和Ka频段

3.2 低轨卫星资源占用情况

自20世纪90年代“铱”系统投入使用以来，低轨星座系统得到快速发展，特别是近年提出的低轨互联网星座概念，掀起了低轨星座应用的第二次浪潮。截至2020年7月，在轨运行低轨（1 500 km以下）卫星达到了2 032颗，近一半属于美国太空技术公司“星链”；我国发射的低轨通信卫星为15颗。表3列出了低轨星座运营和规划系统的情况。

与国外低轨互联网星座相比，我国主要以各企业自主规划为主，发展路线图不尽相同，发展速度较慢、进度较慢。

纵观国内外低轨互联网星座的发展，特别是在2019年世界无线电大会后，国际上可能会发展起来的低轨互联网星座如下。

（1）美国“星链”系统。“星链”系统最初提出几千颗卫星，2020年5月26日向美国联邦通信委员会（Federal Communication Commission，FCC）提出最新的卫星数量规模达到了4.2万颗。自2018年2月发射2颗原型试验卫星后，经过20余次的发射，目前在轨卫星数量达到了1 241颗。2020年12月7日“星链”获得了美国政府“美国农村数字发展机遇基金”第一期92亿美元中的8.8亿美元服务合同。该基金用于改善美国偏远农村地区近1 500万人无法上网的状况，未来10年内将提供204亿美元的财政支持。

（2）英国“一网”系统。“一网”系统是最早开始规划、发射低轨卫星的卫星互联网星座系统，现已部署

表3 低轨星座运营和规划系统的情况

使用方	系统	频段	轨道特性	投资	计划和应用
美国	Iridium	L、Ka	780 km共66颗	超过50亿美元	1987年规划，1995年开始运营，现为第二代窄带卫星互联网系统
	Orbcom	VHF	780~835 km共36颗	超过5亿美元	1990年规划，非实时窄带卫星物联网系统
	Globalstar	L、S	1 389 km 共48颗	达到33亿美元	1995年规划，现为第二代窄带卫星互联网系统
	StarLink	Ku、Ka和Q	550~1 350 km 达到4.3万颗	预计超300亿美元	完成16批发射，在轨运行934颗，开始试运行
	Kuiper	Ku、Ka	590~630 km 共3 236颗	预计超100亿美元	2019年规划
	Beoing	Q	1 200 km 共2 956颗	预计52亿美元	2016年规划
	LeoSat	Ka	1 400 km 共108颗	预计35亿美元	2015年规划
卢森堡	O3b	Ka	8 062 km 24颗	—	从2010年开始运营
英国	“一网”	Ku、Ka	1 200 km 共6 372颗	预计70亿美元（一期）	2015年规划，现在轨运行106颗
欧盟	—	—	—	预计60亿欧元	2020年规划
俄罗斯	Sphere	—	542颗	预计1.5万亿卢布 （约1 300亿元人民币）	2018年规划，通导遥融合卫星互联网
加拿大	Telesat	Ka、Q	1 000~1 248 km 共117颗	预计31亿美元	2017年规划，发射2颗试验卫星
	Kepler	Ku、Ka	520~600 km 共140颗	—	2018年规划用于机器对机器通信物联网应用，发射了2颗试验卫星
韩国	Samsung	Q	1 400~1 500 km 共4 600颗	预计38亿美元	2015年规划
印度	SpaceNet	—	—	—	2019年规划

106颗低轨卫星。由于财务原因濒临破产，目前英国政府和印度企业共同出资10亿美元（共占84.2%股权）控股。未来该系统将由规划的47 844颗低轨卫星，减少到6 372颗的规模。

（3）俄罗斯“球体”星座。“球体”卫星系统计划由542颗卫星组成，在2024~2028年进行部署。近日俄罗斯航天国家集团公司已向政府申请1.5万亿卢布（约1 300亿元人民币），用于建立“球体”多功能卫星系统，包括遥感（新一代多光谱卫星、雷达探测等），导航和宽带互联网通信等通导遥融合互联网功能。

（4）“欧盟”星座。在2019年世界无线电通信大会（WRC-19）上，以法国为主的欧盟集团着力推动Q频段用于低轨星座系统。2020年12月16日，欧盟委员会表示，“欧洲国家希望共同出资60亿欧元打造一个类似于‘星链’的卫星互联网项目，使欧洲地区在开发卫星接入服务的竞赛中不再落后”。该项目初期签署了一份价值710万欧元的欧洲低轨宽带卫星星座可行性研究的合同，研究频率方案的可行性，并以此开展频率协调和向国际电信联盟申报卫星网络资料，同时论证频率在各国的落地政策及商业服务的可行性，这标志着在英国脱欧后，欧盟国家在航天领域主导较大的一个工程。

早期规划的一些低轨互联网星座系统由于各种原因

宣布破产或停止了，如Leosat公司最初投入的资金耗尽，已宣布破产。虽然近期加拿大Telesat系统与泰莱兹阿莱尼亚空间公司（Thales Alenia Space）签订了包括298颗卫星的制造、网络管理和全球关口站集成部署的一揽子合同，但财务危机依然存在，需要通过上市融资、地方政府支持等途径解决财务问题，同时后续发射问题还需要解决，因此整个Telesat低轨星座后续发展建设前景仍不明确。美国Boeing和韩国Samsung没有后续计划。美国亚马逊公司推动的Kuiper和Kepler系统，还需要等待后续方案和资金支持。

低轨星座系统工程浩大，虽然都是以商业公司的名义对外公布，但是背后都反映着国家利益。目前只有具有联合国“常任理事国”背景的系统才有能力发展、建设和运营这种系统。

4 资料申报和规则

国际电信联盟《无线电规则》规定，任何卫星通信系统都需要向国际电信联盟申报相应频段的卫星网络资料，按照“先登先占”原则规范全球范围内空间资源的有序使用。

对于具有一定带宽和较好传输特性的C和Ku等频

段,均较适用于低轨互联网星座。由于地面移动系统对频率资源的需求越来越多,特别是5G地面移动系统频率需求达到了上百兆赫兹,越来越多的5G系统将使用C频段,能维持现有同步轨道C频段卫星的应用规模已不易,更难再将C频段用于低轨卫星。Ku频段非常适用于低轨卫星,原因一是具有较宽的频段(500 MHz带宽);原因二是技术成熟,产业链齐全。但是Ku频段最早向国际电信联盟申报用于低轨星座的是英国的“一网”系统,申报时间最早,协调地位是2013年6月27日并且已投入使用。由于“一网”系统的Ku频段在全球范围内卫星天线采用“渐近俯仰”的专利技术,一方面解决了低轨与同步轨道卫星的频率兼容问题,另一方面“独占”了Ku频段500 MHz的频率资源。这也是2020年“一网”系统面临“破产”的情况下,英国政府愿意出资“救活”该企业的一个很重要原因。

除Ku频段外,Ka频段的可用带宽达到了3 500 MHz。为了规范该频段在美国的使用,FCC在《联邦无线电频率管理法规和程序手册》中对Ka频段在美国的使用进行了划分,规定高端1 000 MHz频段划分为美国政府和美军(含北约)专用频段,拟在美国境内提供商业服务的商业卫星系统不能使用高端1 000 MHz频段,只能使用低端2 500 MHz。

由于美国政府对Ka频段资源使用的规定,国外低轨星座系统的频率申报分成了两种情况:一种是为美国提供商业卫星服务的系统,主要是低轨互联网星座系统,都只申报了Ka频段的低端2 500 MHz资源,表4列出了低轨互联网星座申报的Ka频段低端2.5GHz资料情况,主要为在2015–2017年期间申报的,包括加拿大、德国、法国、英国、列支敦士登、卢森堡、挪威和美国等国家。另一种是申报Ka频段高端1 000 MHz的,主要为北极地区提供卫星通信服务,主要使用和计划投入使用的国家有俄罗斯、美国、挪威、加拿大等,申报卫星网络资料情况详见表5。

截至2019年7月,低轨星座申报的Ka频段高端1 GHz频段的卫星网络资料共27份,已投入使用的3份。对表5所列卫星网络资料分析如下。

(1) 已投入使用资料

国际电信联盟公布的数据库显示,有3份卫星网络资料已投入使用,分别是序号1、2和4,对应的是美国和俄罗斯两个国家。

美国已在该频段投入使用,为军用通信系统,美军USCSID-P信息分发系统具有以下特点:一是轨道高度较高,主要为两极地区提供军事通信;二是卫星数量较少,只申报了11颗卫星,实际使用卫星2颗;三是通信系统采

表4 低轨互联网星座申报的Ka频段低端2.5GHz资料情况

国家	网络名称	接收时间	卫星 总数/颗	轨道类型
加拿大	CANSAT-LEO	2016.12.29	127	5面×11星×1 248 km 6面×12星×1 000 km
	CANPOL-2	2015.8.4	44	4面×2星×23 137 km 4面×9星×1 248 km
	COMMSTELLATION (Telesat)	2013.4.30 2015.10.27 2019.3.5(N)	118	6面×12星×1 000 km 5面×9星×1 248 km 1面×1星×1 000 km
	MAPLELEAF-1	2016.12.28	60	10面×6星×1 524 km
	102	2015.11.27	774	18面×43星×1 200 km
德国	COURIER-3	2016.2.10	72	8面×9星×800 km
法国	AST-NG-C-1	2015.2.25	797	88面×8星× (680+800) km 6面×11星×800 km 3面×9星×23 500 km
	AST-NG-C-2	2015.9.18	4672	584面×8星×800 km
	AST-NG-C-3	2016.6.20	6400	400面×16星× (800+1 000+1 400) km
	AST-NG-C-4	2017.10.5	8456	302面×12星× (800+1 000+1 400) km 302面×16星× (800+1 000+1 400) km
	ES-SAT-2	2015.4.3	1428	LEO/MEO
	MCSAT LEO	2017.6.22	774	18面×43星×1 200 km
	MCSAT-2 LEO-2	2017.6.29	2 754	19面×18星×1 200 km 48面×24星×1 200 km 35面×36星×1 200 km
英国	L5 (一网)	2017.6.13	3952	18面×15星×1 200 km 18面×20星×1 200 km 18面×40星×1 200 km 31面×52星×1 200 km 18面×55星×1 200 km
	THEO	2016.12.22	882	18面×49星×1 200 km
列支敦士登	3ECOM-1	2014.12.10	288	12面×24星×1 425 km
	3ECOM-3	2015.3.18	288	12面×24星×1 050 km
卢森堡	CLEOSAT	2016.2.29	60	6面×10星×850 km
挪威	STEAM-2B(一网)	2017.1.1	1 600	32面×50星×1 150 km
	STEAM-2(一网)	2014.12.27	3 993	32面×99星×1 150 km 5面×75星×1 275 km 6面×75星×1 375 km
美国	USASAT-NGSO-3B-R	2017.1.1	2 400	33面×50星×1 150 km 10面×75星×1 275 km
	USASAT-NGSO-3D	2017.1.1	1 600	32面×50星×1 110 km
	USASAT-NGSO-3F	2017.1.1	400	8面×50星×1 130 km

用了扩频抗干扰技术,具有一定的抗干扰能力。基于上述特点,结合低轨星座卫星载荷设计特点,可通过一定的技术措施,实现与美方实际系统的频率兼容。俄罗斯申报了1颗卫星,并且轨道高度为33 km,应该是通信试验卫星,产生实际干扰的可能性不大。

(2) 为两极服务的高倾斜轨道系统

部分国家利用高倾斜轨道为两极提供服务,如序号中的3、5、6、8、10、13、14、21和24等,主要有加拿

表5 低轨星座系统申报的Ka频段高端1 GHz资料情况

序号	资料名称	申报时间	主管部门	主要特性
1	USPOL	2006.12.18	USA	1轨道面×3颗星×(39 260~1 448) km Ka频段(上行44.5 GHz, 占用2 GHz, 下行20.2~21.2 GHz)
2	USCSID-P	2008.4.1	USA	8轨道面×1颗星×(39 400~1 000) km, 30 GHz, 在20 GHz占用4个频点(带宽13 MHz)
3	CANPOL	2012.3.8	CAN	1轨道面×2颗星×(48 435~23 137) km, 1 GHz
4	SPECTR-R	2012.9.10	RUS	1轨道面×1颗星×33 km 20.312 GHz(带宽50.602 MHz)
5	CANPOL-2	2012.11.22	CAN	1轨道面×2颗星×(48 435~23 137) km, 1 GHz
6	NORSAT-H1	2016.5.24	NOR	1轨道面×2颗星×(39 308~1 059) km, 1轨道面×2颗星×(43 497~8 102) km, 1 GHz/S, 18.6~18.8 GHz
7	IK-NGSO-A10K-1	2016.6.28	RUS	4轨道面×8颗星×10 000 km, 上行使用25 GHz星间频段, 20.2~21.2 GHz
8	CANPOL-3	2016.6.29	CAN	2轨道面×3颗星×(48 435~23 137) km, 1 GHz/S, 18.6~18.8 GHz
9	CANSAT-LEO-XKA	2016.6.30	CAN	6轨道面×12颗星×1 000 km, 1 GHz 5轨道面×9颗星×1 248 km, 1 GHz
10	MAPLELEAF-1	2016.8.8	CAN	10轨道面×6颗星×(26 243~1 524) km, 1 GHz
11	DREBBELSAT-1	2016.11.25	HOL	3轨道面×8颗星×8 200 km, 1 GHz
12	ANDROMEDA-A	2017.8.2	CYP	8轨道面×6颗星×1 414 km, 1 GHz, 18.6~18.8 GHz
13	SE-6-HEO-1	2017.10.11	NOR	1轨道面×2颗星×(53 795~2 613) km, 1 GHz, 18.6~18.8 GHz
14	SE-6-HEO-1A	2017.10.11	NOR	1轨道面×2颗星×(43 500~8 098) km, 1 GHz, 18.6~18.8 GHz
15	NSL-1	2017.9.11	ISR	19轨道面×[550(1)+600(3)+620(3)+640(3)+680(3)+700(3)+720(3)] km, 20.2~20.7 GHz
16	FORTAN-2	2017.11.28	CHN(科工)	1轨道面×1颗星×1 067 km, 20.7~20.8 GHz
17	LUX-NGSO-G2-1	2017.12.13	LUX	1轨道面×60颗星×8 062 km 6轨道面×8颗星×8 062 km 4轨道面×12颗星×8 062 km, 1 GHz
18	SPACEWAY	2017.12.28	CHN(科技)	9轨道面×8颗星×950 km, 1 GHz/S
19	SIGNSAT-NGSO	2018.7.8	CHN(中电)	12轨道面×20颗星×880 km, 1 GHz
20	METHERA-B	2018.7.26	G	4轨道面×32颗星×1 950 km, 1 GHz
21	USPOE	2018.10.10	USA	4轨道面×6颗星×(1 200~300) km, 1轨道面×10颗星×(20 000~1 000) km, 1 GHz
22	TSN-1A	2018.11.7	CHN(清华)	8轨道面×1颗星×20 185 km, 1 GHz/S, 18.6~18.8 GHz
23	LCSC-NET	2019.1.22	CYP	36轨道面×70颗星×1 165 km, 1 GHz/S
24	SLEIPNER-1A	2019.3.12	NOR	1轨道面×2颗星×(43 497~8 102) km, 1 GHz, 18.6~18.8 GHz
25	EMPYREAL-B	2019.3.25	G	8轨道面×12颗星×6 700 km, 1 GHz
26	C-SAT-LEO	2019.4.29	CHN(电信)	36轨道面×48颗星×1 048 km, 1 GHz/S
27	NCP-1	2019.6.13	FIN	4轨道面×1颗星×500 km 4轨道面×1颗星×450 km 4轨道面×1颗星×700 km 30~31/39.5~41 GHz/S(5 MHz)

大和挪威两个国家,其中挪威空间公司NORSAT-H1资料将用于“北极卫星宽带任务(ASBM)系统”,搭载美空军极高频扩展数据率(EHF XDR)和Ka频段有效载荷,其中Ka频段搭载了Inmarsat(GX10A和GX10B)的载荷,可为商业和政府提供服务。

(3) 低轨星座通信服务

提供传统的中低轨星座卫星通信服务,如序号中的9、11、12、17、20、23、25和27等,涉及加拿大、荷兰、塞浦路斯、卢森堡、英国和芬兰等国家。目前比较明确的是加拿大的Telesat低轨星座系统。据了解实际系统设计没有使用高端1 GHz,大部分申报为战略申报。

(4) 特殊应用情况

俄罗斯(序号7)和以色列(序号15)各申报了1份资料,俄罗斯上行使用25 GHz的星间链路和Q/V频段,下行使用20 GHz频段,以色列的网络只有申报了500 MHz下行频段,基本上不属于常规的卫星通信服务。

(5) 中国申报情况

中国申报了5份资料,其中4份属于低轨星座系统,1份属于中轨星座系统。

Ka频段高端1 GHz主要用于高倾斜轨道为北极地区提供卫星通信服务。一方面除美军系统外,Inmarsat和挪威空间公司合作,将共同发射2颗HEO轨道卫星;另一方面

除扩展Inmarsat的Xpress业务覆盖范围外,还将配置Ka频段高端1 GHz载荷,为美军和北约部队提供北极区域内的卫星通信服务。

我国申报低轨互联网星座的资料较晚,基本集中在2017–2018年,协调地位落后于国际主流低轨星座系统。关于Ka频段申报,在国际电信联盟《无线电规则》有关条款和国内无线电法规上都没有限制使用的规定,只要符合规定是可以申报和使用的。

我国低轨互联网星座系统申报Ka频段低轨星座卫星网络资料情况详见表6。

与国外申报的Ka频段低轨互联网星座资料相比,我国申报的低端2.5 GHz资料无任何协调优势地位可言,但在高端1 GHz还是有一定协调优势的。

随着低轨互联网星座的发展,各国相继规划成千上万的低轨卫星系统,使《无线电规则》在面对这些系统时,出现了一些无法解决的“漏洞”。国际电信联盟的《无线电规则》是随着电信业务的发展而逐渐完善的。为了规范这些巨型低轨星座的使用,在2019年世界无线电通信大会上,通过了低轨互联网星座系统投入卫星数量的使用规则和新增频段划分方案,为低轨互联网星座发展奠定了规则和资源的基础。

5 建议

我国低轨星座发展在借鉴国外发展的基础上,要结

合我国国情,发展具有中国应用背景的低轨星座系统。

(1) 根据中国特色应用背景,发展低轨星座

中国的低轨星座应用与美国等西方国家的应用背景是不同的。国外低轨星座的发展以商业应用为背景。我国发展低轨星座应以国家安全为首要地位,结合各部门、行业的需求,发展一种具有综合功能的低轨星座系统。结合不同业务需求,综合论证分析提出低轨星座构型,规划整个低轨星座系统,有计划、有步骤地分步实施。

(2) 技术创新,解决频率兼容问题

《无线电规则》是统筹全球范围内无线电频率资源兼容使用的基本法。低轨星座系统服务区覆盖全球,整个低轨星座系统的频率兼容情况随低轨卫星运行而时刻变化,研究低轨星座与同步轨道间以及低轨星座间的频率兼容性是确保低轨星座卫星频率兼容的基础。

Ku频段只有500 MHz资源,英国“一网”公司申报的时间最早,具有全球“独享”这段资源的优先地位。该系统天线采用“渐进倾斜”的专利技术,解决了对同步轨道卫星的保护问题。由于申请地位优先,可“独享”这段频率,其优势在于用户站的接入方式与同步轨道卫星的接入方式类似,技术体制成熟。

Ka频段可用资源较宽(达3 500 MHz),几个实际在用系统已实现了这段频率资源的“共享”。这表明采用有关技术可以实现几个系统间的频率兼容运行。另外,美国“星链”规划卫星数量由1.2万颗增加到4.2万颗,卫

表6 我国申报Ka频段低轨星座资料情况

资料名称	申报时间	操作者	申报的Ka频段	轨道特性
TXIN	2015.11.23	信威公司	6×50 MHz	6×10×850 km, 60颗卫星
FORTAN-2	2017.8.25	科工二院	28.5~29.9 GHz 18.8~20.2 GHz 20.7~20.8 GHz	3×1×1 040 km, 1×2×1 040 km, 共5颗卫星
SPACEWAY	2017.12.28	中国卫通	11×100 MHz 高端1 GHz	9×8×950 km, 72颗卫星
FORTAN	2018.2.12	科工二院	28.5~29.9 GHz 18.8~20.2 GHz	13×12×1 040 km, 156颗卫星
ACONNECT	2018.7.17	航科五院	27.5~30 GHz 17.7~18.6/ 18.8~20.2 GHz	6×9×1 100 km, 54颗卫星
ACONNECT-T	2018.7.17	航科五院	27.5~30 GHz 17.7~18.6/ 18.8~20.2 GHz	6×9×1 100 km, 54颗卫星
SIGNSAT-NGSO	2018.7.18	天地信息	3.5 GHz	12轨道面×20颗星×880 km, 240颗卫星
TSN-1A	2018.11.7	清华大学	3.5 GHz	8×1×20 185 km, 8颗卫星
GALAXY-1	2018.12.28	银河航天	低端2.1 GHz	1×2×1 200 km, 2颗卫星
TXN-WB	2019.1.13	信威公司	低端2.5 GHz	12×10×850 km, 120颗卫星
GW	2019.1.30	中国电信	低端2.5 GHz	18×48×1 175 km, 864颗卫星
ACCOUNT-B	2019.1.30	航科五院	低端2.5 GHz	18×48×1 100 km, 864颗卫星
C-SAT-LEO	2019、2011	航天科工	3.5 GHz	18×48×1 175 km, 18×48×1 048 km, 共1 728颗卫星
GW-1	2019.4.29	中国电信	低端2.5 GHz	18×48×1 175 km, 1×6×1 095 km, 共870颗卫星

星数量增加了3倍多，可频率资源并没有成倍增加，如何实现这么多卫星的频率兼容？“星链”向美国FCC提交的解释是“卫星采用先进相控阵波束成形和星载数字处理技术，实现对频谱资源的高效使用，并且与其他授权系统的灵活共享频谱可以实现卫星数量的成倍增加”。“星链”的低轨卫星采用可移动和可赋形天线技术，可实现低轨星座间的频率兼容性问题。另外，加拿大的Telesat低轨星座系统在向美国FCC提交的文件中，阐述其低轨卫星配置的相控天线特性是“每个相控阵天线支持16个发送波束和16个接收波束，且每个波束可独立控制波束指向和波束大小（波束直径最小为35 km，最大为560 km）”。这从侧面说明采用相关技术可以解决低轨星座间频率兼容性的问题。

（3）攻克关键技术，拓展频率资源

2019年世界无线电通信大会通过了Q频段用于低轨星座的条款和规则框架，为低轨星座系统新增了可用频段。该频段可用频率资源多达5 GHz，极大地拓展了低轨星座系统的可用频率范围。Ku和Ka等频段技术成熟、产业链完整，Q频段频率更高，元器件等基础产业薄弱，关键部件研制、生产难度大，产业链装备配套水平低，大规模推广应用还存在一定困难。国家需要加大投入，研究论证适

用于Q频段的低轨星座技术方案，突破关键元器件批量生产，为我国低轨互联网星座大规模应用奠定基础。

在低轨星座的发展中，虽然我国申报的低轨星座资源具有地位较低、规划的系统多、建设速度慢等因素，但是采用创新发展的思路，利用新技术、新材料和新频段等科技创新手段，可以解决我国低轨星座发展中的频率轨道资源问题。

参考文献：

[1]国际电信联盟. 无线电规则[R]. 2020.

作者简介



兰峰（1965—），硕士，现任天地信息网络有限公司总师助理，主要从事天地一体化信息网络频轨资源的论证、频率方案设计和申报等工作。

彭召琦（1994—），硕士，天地信息网络有限公司工程师，主要从事频率轨道资源论证、频率轨道资料编制和申报等工作。