

星链计划卫星网络资料申报情况分析

杨文翰¹, 花国良¹, 冯 岩², 李远付³, 侯然然¹

(1.银河航天(北京)科技有限公司, 北京 100085;

2.国家无线电监测中心, 北京 100037;

3.北京邮电大学, 北京 100876)

摘 要: 首先梳理SpaceX公司星链计划频率和轨道的使用需求, 对比分析SpaceX公司已申报卫星网络资料与星链计划所需频率和轨道资源的差别, 统计分析其申报卫星网络资料在全球频率和轨道资源竞争中所处的位置; 同时对SpaceX公司进行卫星网络申报修改所引用的《无线电规则》条款进行解读, 剖析SpaceX公司修改卫星网络资料的策略与技巧, 预测SpaceX公司在卫星网络资料申报与修改时可能采取的行动, 为我国低轨卫星互联网星座的网络资源申报与修改提供参考。

关键词: 星链; 卫星网络资料; ITU-R

中图分类号: TN927.2

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2021008

Analysis of the Starlink Satellite Network Filing Application

YANG Wenhan¹, HUA Guoliang¹, FENG Yan², LI Yuanfu³, HOU Ranran¹

1.Yin He Hang Tian (Beijing) Technology Co. Ltd., Beijing 100085, China

2.The State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China

3.Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

Abstract: The frequency and orbit requirements of Starlink were investigated and compared with the satellite network filings from SpaceX. And then the priority of SpaceX in the global frequency orbit resource competition was analyzed. Then, through interpreting the terms of the Radio Regulations that cited by SpaceX, the strategies, techniques and possible actions of SpaceX in application and modification for satellite network filings were studied. The analysis results of this paper can provide reference for the network resources application and modification work of low-orbit satellite Internet constellation in China.

Keywords: Starlink, satellite network filing, ITU-R

1 引言

2019年5月, SpaceX公司以一箭60星的方式把第一批星链卫星送入轨道。截至2020年11月25日最近一次发射, SpaceX共计发射了16批, 总计953颗卫星。“猎鹰9号”的第一级已经是第7次使用。目前星链正在以每天6颗的速度量产星链卫星, 并以每月2~3批的速度部署星座, 根据每颗卫星的能力进行估算, 每部署60颗卫星就可以支持4万名用户同时进行超高清视频浏览。

根据SpaceX公司在美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission, FCC)申报的资料, SpaceX公司计划2024年部署完成4 425颗卫星, 2027年部署完成7 518颗卫星, 预备占位卫星30 000颗, 共计42 000

多颗卫星。按照目前每月部署2~3批卫星的速度, 总计部署周期长达9年^[1]。

卫星频率和轨道是宝贵的、有限的资源, 需要对其进行计划和管理, 以有效利用卫星, 并避免卫星网络之间的有害干扰^[2]。因此, 国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)在《无线电规则》中制定了有关卫星申请、协调和操作的程序和规定。根据《无线电规则》的相关规定, 在卫星使用频率和轨道资源之前, 卫星操作者需要获得相关的卫星网络资料。因此, SpaceX在部署星链计划之前, 需要申请相应的卫星网络资料。

除了SpaceX外, OneWeb、O3b、亚马逊等公司也发

布了大型星座计划^[3]。随着计划部署的星座规模越来越大，频率和轨道资源的竞争也达到了前所未有的激烈程度。SpaceX的卫星网络资料在全球频轨资源竞争中所处的位置也关系到了星链计划的成败。

2 星链计划卫星网络资料申报情况

2.1 星链星座计划

2018年3月，星链计划第一阶段4 425颗卫星的计划获得了FCC的授权。2019年4月26日，FCC批准星链计划调低部分卫星轨道的请求，允许SpaceX公司将原计划部署于1 150 km的第一阶段卫星的轨道降低至550 km。该类轨道的卫星数由1 600颗减少为1 584颗（系统内卫星总数由4 425颗减少至4 409颗），信号时延可降低至15 ms；2020年4月17日，SpaceX申请将授权运行在1 110~1 325 km的卫星重新安置在轨道高度540~570 km上，并且卫星规模减少一颗，为4 408颗。目前该请求仍未获得FCC的许可。

2018年11月，FCC批准星链计划第二阶段的7518颗卫星、Q/V频段星座组网的计划。

2019年10月，SpaceX首席执行官Elon Musk宣布计划再增加30 000颗星链卫星，使卫星数量达到42 000颗以上水平。SpaceX将新增的30 000颗卫星的计划称为“Gen-2”，因此，本文将FCC已批复的11 926颗卫星计划称为第一期星链计划，新提交的30 000颗卫星计划称为第二期星链计划。

2.1.1 第一期星链计划

第一期星链计划由4 408颗分布在540~570 km的低地球轨道（Low Earth Orbit, LEO）卫星和7 518颗分布在340 km左右的极低地球轨道（Very Low Earth Orbit, VLEO）星座构成，组网卫星总数达到11 926颗。详细频率和轨道使用情况见表1~表4。星链计划第一期的搭建分两个阶段，第一阶段首先用1 584颗卫星完成初步覆盖，用于满足美国、加拿大和波多黎各等天基高速互联网的需求，然后再用2 824颗卫星完成全球组网；第二阶段用7 518颗卫星组成更为激进的低轨星座。第一阶段卫星总数量为4 408颗，位于LEO轨道，这些卫星工作在Ku频段和Ka频段。第二阶段的7 518颗卫星位于VLEO轨道，将工作在Q/V频段^[4-5]。

表1 LEO星座轨道情况（Ku/Ka频段4 408颗卫星）

轨道平面总数/个	72	72	36	6	4
每轨道卫星数/颗	22	22	20	58	43
轨道高度/km	550	540	570	560	560
轨道倾角	53°	53.2°	70°	97.6°	97.6°
相同轨道卫星总数/颗	1 584	1 584	720	348	172

表2 第一期Ku/Ka星座频率规划

链路类型与方向	频段/GHz
用户下行	10.7~12.7
馈线下行	17.8~18.6
	18.8~19.3
	19.7~20.2
用户上行	12.75~13.25
	14.0~14.5
馈线上行	27.5~29.1
	29.5~30.0
TT&C下行	12.15~12.25
	18.55~18.60
TT&C上行	13.85~14.00

表3 第一期卫星轨道情况（Q/V频段7 518颗）

轨道高度/km	345.6	340.8	335.9
轨道倾角	53°	48°	42°
相同轨道卫星总数/颗	2 547	2 478	2 493

VLEO星座是对LEO星座的补充，用于提升流量需求最旺盛地区的系统容量。

VLEO星座的Q/V频段将同时用于用户链路、馈线链路以及测控链路，具体使用情况见表4。

表4 第一期Q/V星座频率规划

链路类型与方向	频率范围/GHz
用户/馈线下行信道	37.5~42.5
用户/馈线上行信道	47.2~50.2
	50.4~52.4
TT&C下行/信标（Beacon）	37.5~37.75
TT&C上行	47.2~47.45

2.1.2 第二期星链计划

SpaceX第二期星链计划卫星总数为30 000颗，具体配置见表5。

从表5中可以看出，第二期星座的卫星主要分布于中低纬度地区，这些地区的人口密度和流量需求都更大。星座建设完成后每个用户都将获得更优的服务质量和更大的容量。

第二期星座的Ku频段仅用于卫星和用户终端之间的通信，Ka频段同时用于卫星和信关站以及用户终端之间的通信，E频段仅用于卫星和信关站之间的通信，但是FCC还没有出台E频段的卫星操作规则。具体频率规划见表6。

表5 星链星座第二期星座构型

高度/km	倾角	轨道平面/个	每个轨道卫星数/颗
328	30°	1	7 178
334	40°	1	7 178
345	53°	1	7 178
360	96.9°	40	50
373	75°	1	1 998
499	53°	1	4 000
604	148°	12	12
614	115.7°	18	18

表6 SpaceX第二期星座频率规划

链路类型	传输方向	频率范围/GHz
用户链路	上行链路	12.75 ~ 13.25/14.0 ~ 14.5/28.35 ~ 29.1/29.5 ~ 30.0
	下行链路	10.7 ~ 12.75/17.8 ~ 18.6/18.8 ~ 19.3/19.7 ~ 20.2
馈线链路	上行链路	27.5 ~ 29.1/29.5 ~ 30.0/81.0 ~ 86.0
	下行链路	17.8 ~ 18.6/18.8 ~ 19.3/71 ~ 76
TT&C	上行链路	13.85 ~ 14.0
	下行链路	12.15 ~ 12.25/18.55 ~ 18.60

2.2 星链网络资料储备

根据2936期SRS数据的统计^[6],截至2020年12月22日,SpaceX公司已获取挪威及美国申报的网络资料共计37份。具体见表7。

2.2.1 第一期星链计划网络资料储备

为了更好地使用挪威的卫星网络资料STEAM-1/2/2B,SpaceX多次对上述卫星网络资料进行了修改,修改情况汇总见表8。

其中2018年12月19日提交对STEAM-1/2/2B的修改将美国增加为3份网络资料的第二主管部门。此修改的重要意义是美国主管部门获得了对STEAM-1/2/2B 3份网络资料的指配产生影响或受到影响进行回应的权利。

2019年10月9日无线电通信局提交无线电规则委员会第82次会议的报告“《无线电规则》附录4附件2中A.1.F.2和A.1.F.3项程序规则初稿”(文件R RB19-3/2(Add.2)-C)澄清了有关由一个主管部门代表一组具名主管部门提交卫星网络相关实践的规则。根据上述规则,挪威作为STEAM-1/2/2B的通知主管部门,可要求对卫星网络采取规则行动(ADD、MOD、SUP),就该卫星网络与无线电通信局进行信函往来以及就该卫星网络与其他主管部门进行信函往来。美国作为第二主管部门,与挪威达成协议后,可就该卫星网络与其他主管部门进行信函往来。即SpaceX可通过美国的主管部门与

表7 SpaceX公司网络资料列表

序号	主管部门	网络资料名称	接收日期	频段	备注
1	NOR	STEAM-1	2014/12/27	Ku	第一期 第一阶段
2	NOR	STEAM-2	2014/12/27	Ka	第一期 第一阶段
3	USA	S-MICRO 1N	2015/6/10	S/X	试验
4	NOR	STEAM-2B	2017/1/1	Ka	第一期 第一阶段
5	USA	USASAT-NGSO-3A-R	2017/1/1	Ku	第一期 第一阶段
6	USA	USASAT-NGSO-3B-R	2017/1/1	Ka	第一期 第一阶段
7	USA	USASAT-NGSO-3C	2017/1/1	Ku	第一期 第一阶段
8	USA	USASAT-NGSO-3E	2017/1/1	Ku	第一期 第一阶段
9	USA	USASAT-NGSO-3F	2017/1/1	Ka	第一期 第一阶段
10	USA	USASAT-NGSO-3L	2017/6/28	Q/V	第一期 第二阶段
11	USA	USASAT-NGSO-3K	2017/6/28	Q/V	第一期 第二阶段
12	USA	USASAT-NGSO-3J	2017/6/28	Q/V	第一期 第二阶段
13	USA	USASAT-NGSO-3I	2017/10/4	Q/V	第一期 第二阶段
14	USA	USASAT-NGSO-3H	2017/10/4	Q/V	第一期 第二阶段
15	USA	USASAT-NGSO-3G	2017/10/4	Q/V	第一期 第二阶段
16	USA	MICROSAT-2	2018/1/18	S/X	试验
17	USA	MICROSAT-2-KU	2018/12/21	Ku	试验
18	USA	USASAT-NGSO-3N	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
19	USA	USASAT-NGSO-3M	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
20	USA	USASAT-NGSO-3O	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
21	USA	USASAT-NGSO-3P	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
22	USA	USASAT-NGSO-3Q	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
23	USA	USASAT-NGSO-3R-1	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
24	USA	USASAT-NGSO-3R-2	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
25	USA	USASAT-NGSO-3R-3	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
26	USA	USASAT-NGSO-3S-1	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
27	USA	USASAT-NGSO-3S-2	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
28	USA	USASAT-NGSO-3S-3	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
29	USA	USASAT-NGSO-3T-1	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
30	USA	USASAT-NGSO-3T-2	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
31	USA	USASAT-NGSO-3T-3	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
32	USA	USASAT-NGSO-3U-1	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
33	USA	USASAT-NGSO-3U-2	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
34	USA	USASAT-NGSO-3V-1	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
35	USA	USASAT-NGSO-3V-2	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
36	USA	USASAT-NGSO-3W-1	2019/10/7	Ku/Ka	第二期
37	USA	USASAT-NGSO-3W-2	2019/10/7	Ku/Ka	第二期

表8 STEAM-1、STEAM-2及STEAM-2B网络资料的修改

卫星名称	受理时间	申请/修改	修改次数/次	IFIC周报	IFIC周报发布日期	备注
STEAM-1	2014/12/27	—	—	2799	2015/7/21	—
STEAM-1	2014/12/27	M	1	2806	2015/10/27	—
STEAM-1	2017/5/29	M	2	2884	2018/11/27	—
STEAM-1	2018/12/19	M	3	2891	2019/3/19	增加USA为第二主管部门
STEAM-1	2018/12/19	M	4	2902	2019/8/20	—
STEAM-1	2019/4/11	M	5	2920	2020/5/12	降低轨道高度
STEAM-2	2014/12/27	—	—	2799	2015/7/21	—
STEAM-2	2017/5/23	M	1	2884	2018/11/27	—
STEAM-2	2018/12/19	M	2	2891	2019/3/2019	增加USA为第二主管部门
STEAM-2	2018/12/19	M	3	2902	2019/8/20	—
STEAM-2B	2017/1/1	—	—	2853	2017/9/5	—
STEAM-2B	2018/12/19	M	1	2891	2019/3/19	增加USA为第二主管部门
STEAM-2B	2018/12/19	M	2	2902	2019/8/20	—
STEAM-2B	2019/4/11	M	3	2925	2020/7/21	增加USA为第二主管部门

其他主管部门开展有关3份卫星网络资料的协调工作。另外,该规则明确了将该卫星网络转让给美国主管部门需要由无线电规则委员会逐案审议,但在协调结果如何转让方面存在不确定性或问题。

2019年4月11日SpaceX通过挪威主管部门提交了对STEAM-1及STEAM-2B的修改,将轨道高度为1 150 km、32个轨道面、每个轨道面50颗卫星、共计1 600颗卫星的轨道修改成轨道高度为550 km、24个轨道面、每个轨道面66颗卫星、共计1 584颗卫星的轨道,同时降低了卫星的发射功率,形成了表9~表10的卫星网络资料。

表9 STEAM-1网络资料轨道情况
(Ku频段3 993/3 977颗卫星)

轨道高度/km	倾角	轨道数/个	每个轨道卫星数/颗	卫星总数/颗	备注
1 150	53°	32	49	1 568	—
1 325	70°	6	75	450	—
1 275	81°	5	75	325	—
550	53°	24	66	1 584	与1 600颗卫星轨道互斥
1 150	53°	32	50	1 600	与1 584颗卫星轨道互斥

表10 STEAM-2B网络资料轨道情况
(Ka频段1 600/1 584颗卫星)

轨道高度/km	倾角	轨道数/个	每个轨道卫星数/颗	卫星总数/颗	备注
550	53°	24	66	1 584	与1 600颗卫星轨道互斥
1 150	53°	32	50	1 600	与1 584颗卫星轨道互斥

此次修改,虽然对轨道构型进行了较大改动,但不仅没改变卫星网络资料的优先地位,还通过互斥星座的规则,保留了两种轨道构型的选择。

其中,轨道构型的修改根据《程序规则》^[7]No. 9.27款,若修改的本质并未引起相互干扰的增强,那么就不需要进行额外的协调,同时可保留网络资料的优先地位。针对STEAM-1及STEAM-2B卫星网络的修改,为了证明没有引起干扰的增强,SpaceX做了如下仿真工作:

(1) 修改后的网络资料开展第22.5C、22.5D和22.5F款中的等效功率通量密度(Equivalent Power Flux Density, EPFD)限值的校验仿真;

(2) 对网络资料接收日期到修改提交日期2019年4月11日间的所有同频段的GSO及NGSO卫星网络,做了干扰仿真,对比网络资料修改前与修改后的干扰EPFD曲线,表明修改后并未引起干扰的增强。

对于互斥星座,《无线电规则》^[8]2020版附录4增加了A.4.b.1.b项目,用于描述多个互斥的配置,其中卫星系统的频率指配的子集将在一个轨道参数子集上使用,轨道参数有待在卫星系统的通知和登记阶段确定。

第一期星链计划卫星网络资料见表11~表12,其中

表11 STEAM-2网络资料轨道情况
(Ka频段3 993颗卫星)

轨道高度/km	倾角	轨道数/个	每个轨道卫星数/颗	卫星总数/颗
1 150	53°	32	99	3 168
1 325	70°	6	75	450
1 275	81°	5	75	325

表12 第一期星链计划美国申报网络资料轨道情况

网络资料名称	轨道高度/km	倾角	轨道数/个	每个轨道卫星数/颗	卫星总数/颗
USASAT-NGSO-3A-R(Ku) USASAT-NGSO-3B-R(Ka)	1 150	53°	32	50	1 600
	1 325	70°	6	75	450
	1 275	81°	5	75	325
	550	53°	24	66	1 584
USASAT-NGSO-3C(Ku) USASAT-NGSO-3H(Q/V)	1 110	53.8°	32	50	1 600
USASAT-NGSO-3E(Ku) USASAT-NGSO-3I(Q/V)	1 130	74°	8	50	400
USASAT-NGSO-3F(Ka) USASAT-NGSO-3G(Q/V)	1 130	74°	8	50	400
	1 150	53°	32	50	1 600
	1 325	70°	6	75	450
	1 275	81°	5	75	375
USASAT-NGSO-3L(Q/V)	335.9	42°	1	2 493	2 493
USASAT-NGSO-3K(Q/V)	340.8	48°	1	2 478	2 478
USASAT-NGSO-3J(Q/V)	345.6	53°	1	2 547	2 547

STEAM-1/2/2B 3份网络资料申报时间较早, 优先地位靠前, 是SpaceX通过挪威获得的最重要的卫星网络资源; 但是对比表1第一期星链计划第一阶段的轨位需求(4 408颗), 网络资料的卫星数量(3 993/3 977颗)及轨道构型都不能满足需求。为此SpaceX在美国申报了USASAT-NGSO-3A~3F网络资料, 一方面作为STEAM-1/2/2B 3份网络资料的备份, 保障星座计划频轨资源的安全。另一方面增加了400颗卫星, 将星座规模增加到4 009颗。但是, 轨道构型与星链计划还有较大差别。

USASAT-NGSO-3I/3H/3G 3份网络资料, 共计4 425颗卫星, 则补充了第一期星链计划第一阶段的频率资源, 增加了Q/V频段。

USASAT-NGSO-3L/3K/3J 3份网络资料, 与第一期星链计划第二阶段卫星规模、轨道构型以及频率资源都一致, 能满足第一期星链计划第二阶段7 518颗卫星的部署。

综上所述, SpaceX第一期星链计划第一阶段部署, 需要通过外购卫星网络资料(STEAM-1/2/2B)和依托美国主管机构申报的网络资料共同支撑。由于依托美国主管机构申报的网络资料协调优先级较低, SpaceX在应用该类网络资料时需要付出更多的协调努力。

由于星链计划的修改, 现有上述网络资料的轨道

构型与星链计划差别较大, 无法满足部署需求。因此, SpaceX大概率会在FCC授权其星座计划修改后, 再次修改STEAM-1、STEAM-2、STEAM-2B以及USASAT-NGSO-3A~3F、USASAT-NGSO-3I/3H/3G网络资料的轨道构型及发射功率, 以匹配星座部署需求。修改的策略与2019年4月11日提交的STEAM-1及STEAM-2B的修改策略一致, 一方面做大量的仿真, 证明未引入干扰的增加, 保障资料的优先地位; 另一方面, 通过互斥星座的方式进行修改, 保留两种轨道构型的选择。但是, 由于2019年4月11日至今, 又有大量的卫星网络资料申报, 这样的修改难度会比上次更大。

2.2.2 第二期星链计划网络资料储备

针对第二期的星链星座部署需求, SpaceX在2019年10月7日同时申报了20份网络资料。网络资料频率和轨道见表13, 对比表5及表6的频率和轨道需求, 申报的卫星网络资料星座规模可支撑星座的部署, 但是轨道构型与部署计划不一致, 且现有网络资料未申报E频段。因此, SpaceX后续将补充申报E频段的卫星网络资料, 同时采用上述提到的策略进行轨道构型的修改。

2.3 星链申报网络资料优先地位分析

SpaceX共计申报了37份网络资料, 包括Ku频段、Ka

表13 第二期星链计划网络资料轨道情况

序号	NTC ID	网络资料名称	频率/MHz	轨道面/个	卫星数/颗	轨道高度/km	轨道倾角
1	119520247	USASAT-NGSO-3W-2	10700 ~ 13250 10700 ~ 13250 13750 ~ 14500 17300 ~ 18600 18800 ~ 20200 27500 ~ 30000		共3 000颗卫星 1 500个轨道面/1颗卫星 25个轨道面/60颗卫星	328.3	30°
2	119520246	USASAT-NGSO-3W-1		1 525		328.3	30°
3	119520245	USASAT-NGSO-3V-2		1 525		334.4	40°
4	119520244	USASAT-NGSO-3V-1		1 525		334.4	40°
5	119520243	USASAT-NGSO-3U-2		1 525		345.6	53°
6	119520242	USASAT-NGSO-3U-1		1 525		345.6	53°
7	119520241	USASAT-NGSO-3T-3		1 525		482.8	30°
8	119520240	USASAT-NGSO-3T-2		1 525		482.8	30°
9	119520239	USASAT-NGSO-3T-1		1 525		482.8	30°
10	119520238	USASAT-NGSO-3S-3		1 525		488.4	40°
11	119520237	USASAT-NGSO-3S-2		1 525		488.4	40°
12	119520236	USASAT-NGSO-3S-1		1 525		488.4	40°
13	119520235	USASAT-NGSO-3R-3		1 525		498.8	53°
14	119520234	USASAT-NGSO-3R-2		1 525		498.8	53°
15	119520233	USASAT-NGSO-3R-1		1 525		498.8	53°
16	119520232	USASAT-NGSO-3Q		1 525		517.8	70°
17	119520231	USASAT-NGSO-3P		1 525		524.7	75°
18	119520230	USASAT-NGSO-3O		1 525		532	80°
19	119520229	USASAT-NGSO-3M		25	1 500	580	97.7°
20	119520228	USASAT-NGSO-3N		1 525	3 000	539.7	85°

频段及Q/V频段,除去3份试验资料,共计34份星座网络资料,用以支撑星链计划的部署。本文通过统计上述频段卫星网络资料的申报情况,整理SpaceX申报的网络资料在全球资料中的优先级地位,并分析了比SpaceX申报网络资料优先级更高的典型系统网络资料。

2.3.1 Ku频段卫星网络资料的优先级分析

2000年以来,Ku频段NGSO卫星网络资料共计59份。如图1所示,网络资料申报集中于2013年以后,申报时间越早,协调优先级越高。

在Ku频段,星链申报网络资料共计25份,其中包括挪威的网络资料STEAM-1和通过美国主管部门申报的24份网络资料。

SpaceX公司在Ku频段的网络资料中,STEAM-1具有较高的优先级。在全球网络资料的优先级排名中,位居第9位。其余24份网络资料集中申请于2017-2019年,排名分布为19-21位、31位、34-53位,协调优先级较差。星链依托美国主管机构申报的24份网络资料申报趋势如图2所示。

协调优先级靠前的网络资料主要来自英国、挪威、法国、列支敦士登等国家。按优先级梳理如下。

首先,来自英国的网络资料L5申报于2012年年底,具有较高的协调优先级,目前应用于OneWeb系统。这使得OneWeb系统在网络资料的国际协调中占据有利位置。

其次是来自挪威的ASK-1网络资料,但该资料近地

点为1 059/8101 km和远地点为39 308/42 708 km的大椭圆轨道星座,共计只有7颗卫星。

然后,法国的MCSAT-2系列资料占据4份,具有同样的较高优先级,且该系列网络资料具有高、中、低3种轨道构型,星座规模几百颗到几千颗不等,轨道和星座规模具有良好的多样性,具有较高的商业价值,但目前仍没有投入使用,存在较高的过期风险。

最后,列支敦士登的3ECOM-1(2014年)和3ECOM-3(2015年)网络资料由中国商业卫星公司收购,其中3ECOM-3网络资料已有相应卫星在进行网络资料的投入使用,但3ECOM-1网络资料仍没有投入使用,有效期至2021年6月。

除了来自OneWeb的网络资料L5已经处于实际部署阶段外,法国的MCSAT-2系列资料和列支敦士登的3ECOM-1、3ECOM-3资料均存在过期风险。

2.3.2 Ka频段卫星网络资料的优先级分析

Ka频段NGSO卫星网络资料共计112份。网络资料从2014年开始爆发式申报,在2019年到达申报高峰。对网络资料的协调优先级进行统计,结果如图3所示。

通过对Ka频段网络资料进行统计分析,SpaceX公司共计申报网络资料24份,其中挪威网络资料2份,即STEAM-2和STEAM-2B,全球排名19位和42位;依托美国主管机构申报网络资料22份,全球排名为43位、45位、87-106位,协调优先级并不占优势。由此可见,

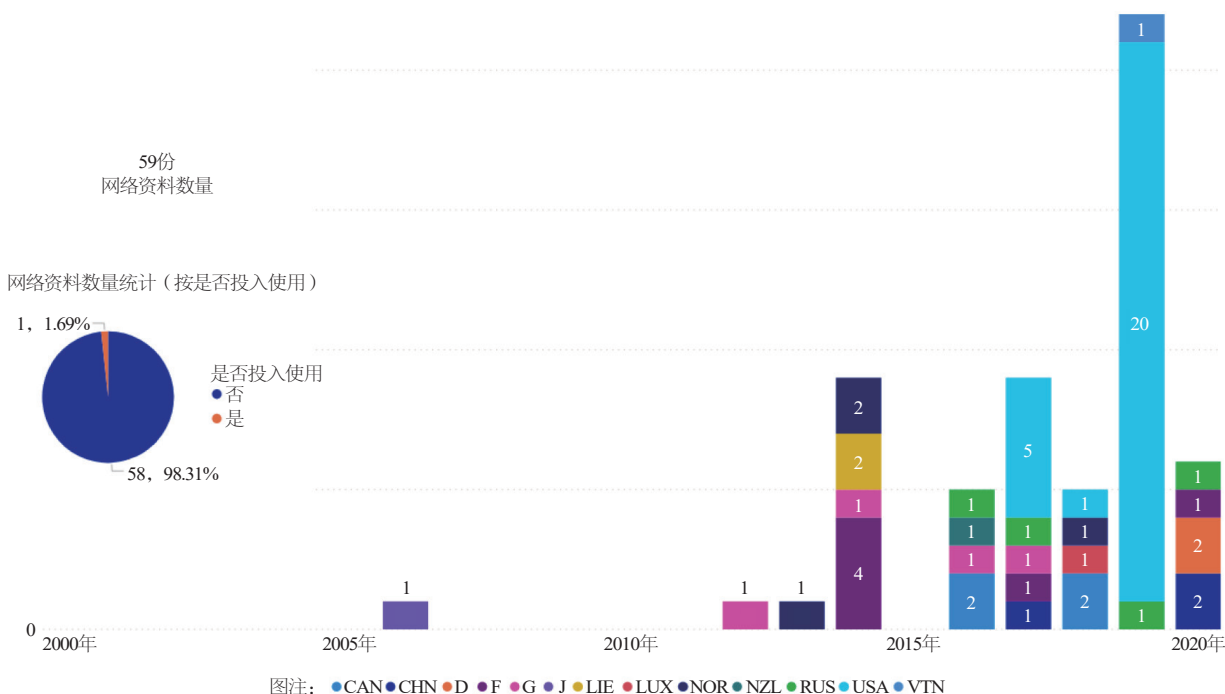


图1 Ku频段 NGSO卫星网络资料申报优先级

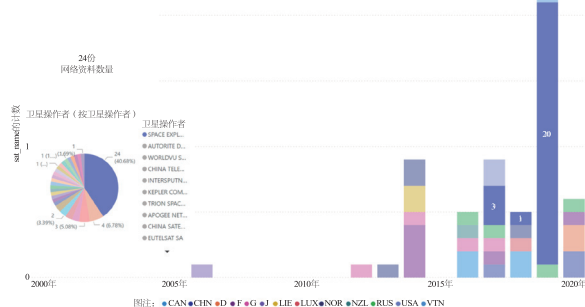


图2 星链依托美国主管机构申报的24份网络资料申报趋势

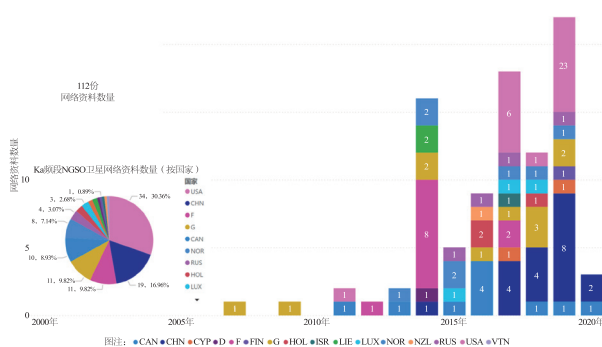


图3 Ka频段NGSO卫星网络资料协调优先级

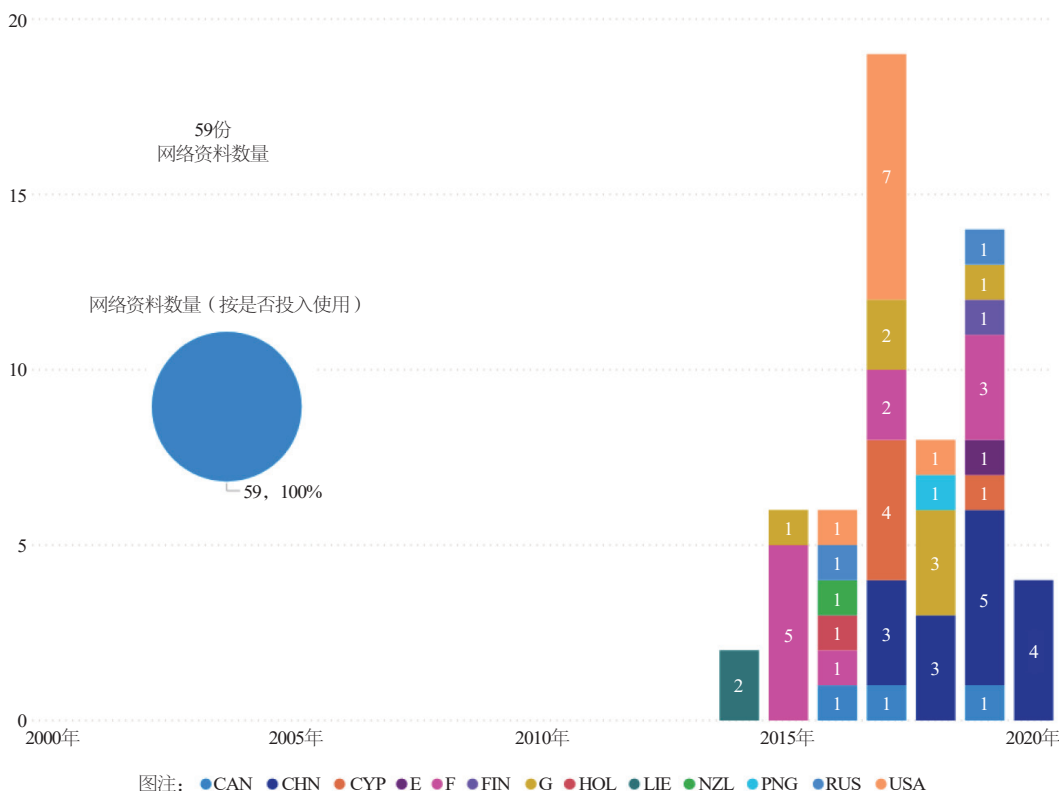


图4 Q/V频段 NGSO卫星网络资料协调优先级统计

商业购置的网络资料具有更高的协调优先级,尤其是STEAM-2网络资料。

对优先级靠前的典型网络资料分析如下。

在2000年以前共有3份网络资料均来自美国,且已投入使用,其中优先级排名第二位的HIBLEO-2FL网络资料为铱星系统的馈线链路, Ka频段带宽仅为172 MHz左右;另外两个网络资料为大椭圆轨道。

协调地位比较靠前的网络资料包括O3b的两个网络资料、法国申报的MCSAT系列网络资料以及3ECON-1网络资料等,均位于STEAM-2网络之前。

值得注意的是,由于STEAM-2网络资料不能完全满足星座的部署需求,SpaceX需要启用2017年申报的STEAM-2B及USASAT-NGSO-3系列资料,而我国2014年12月30日申报的TXIN网络资料,优先地位比STEAM-2B及USASAT-NGSO-3系列资料更高。

2.3.3 Q/V频段卫星网络资料的优先级分析

Q/V频段NGSO卫星网络资料共计59份。所有网络资料均从2014年开始申报,在2017年到达申报高峰。所有2019年11月22日前报N资料的卫星网络资料均根据A资料的接收时间来确定协调优先级,网络资料的协调优先级统计如图4所示。

通过对Q/V频段网络资料进行统计分析,发现SpaceX公司共计申报网络资料6份,全球排名为21~23位、30~32位,均在20位以后。协调优先级并不占优势。

优先级靠前的典型网络资料梳理如下。

首先,在所有申报的网络资料中,协调优先级最高的是来自列支敦士登的3ECOM-2和3ECOM-3 2份网络资料,但就目前的进展情况来看,上述网络资料的Q/V频段存在较高的投入使用风险。

其次就是O3b公司通过英国主管部门申报的O3B-D网络资料,该资料为O3B-A/B/C/D系列网络资料之一,包含Q/V和E频段,主要以中低轨道为主。

然后,法国申报的JFDSAT系列网络资料,在Q/V频段具有明显的协调地位优势,轨道高度和星座构型比较丰富,具有很好的灵活性,目前仍没有相应的星座计划。

最后,OneWeb公司依托法国和英国主管部门申报了STRIPE、VALVE、VANGUARD、VERA 4份网络资料,优先级均高于SpaceX公司的网络资料;波音公司依托美国主管机构,申报网络资料USASAT-NGSO-5,与SpaceX公司网络资料申报时间相近,但优先级稍高。

综上所述可以发现,目前在Q/V频段的NGSO卫星网络资料申报中,竞争也同样非常激烈。O3b、OneWeb、波音等公司均有相应的布局,且网络资料优先级要高于SpaceX。法国和列支敦士登等国,虽然没有明确的星座计划,但在网络资料申报中表现非常积极,其相应的网络资料具有较高的价值。

3 结论与建议

SpaceX通过挪威主管部门申报了STEAM-1、STEAM-2及STEAM-2B 3份优先级较高的卫星网络资料,同时在美国申报了大量的卫星网络资料,用以支撑星链计划。总体分析,在NGSO卫星网络资料的竞争中,SpaceX在Ku及Ka频段取得了较靠前的优先地位;但还有不少优先地位高于SpaceX的卫星网络资料,例如OneWeb的L5,法国的MCSAT-2系列,列支敦士登的3ECOM系列网络资料等。SpaceX的频轨资源依然面临较大的挑战。另一方面,由于星链计划的星座构型不断修改,现有卫星网络资料的轨道构型及频率和轨道资源还不能完整支撑星座的部署,SpaceX还需要做大量的网络资料修改工作,这些网络资料的修改会对其优先地位带来不确定的影响。

对于我国卫星操作者,在获取卫星网络资料中可借鉴SpaceX的以下工作策略。

(1) 对于地位优先的卫星网络资料,可通过不断修

改的方式,使网络资料与实际星座部署相匹配。

考虑到网络资料的星座构型与实际部署计划的匹配度,以及部署计划的后期变化,可以对较早的申报卫星网络资料进行修改,使网络资料与星座部署相匹配,同时滚动申报备份网络资料和补充网络资料,融合多份网络资料,共同支撑系统的部署计划。其中,修改网络资料时,可根据《程序规则》No.9.27条款,通过证明不引入干扰的增加,使修改后的卫星网络资料依然保留优先地位。

(2) 合理使用互斥星座的条款,实现星座网络资料的多样性,以满足未来不同的星座设计需求。

对于卫星网络资料轨道构型的修改,可合理使用互斥星座的条款,新增轨道构型,标记与修改前的轨道构型互斥,保留两种轨道构型的使用权力。

参考文献：

- [1] 吴巍. 天地一体化信息网络发展综述[J]. 天地一体化信息网络, 2020, 1(1): 1-16.
WU W. Survey on the development of space-intergrated-ground information network[J]. Space-Intergrated-Ground Information Network, 2020, 1(1): 1-16.
- [2] 何辞, 张亚生, 孙晨华, 等. 低轨星座组网及地面IP路由技术适应性分析[J]. 天地一体化信息网络, 2020, 1(1): 36-41.
HE C, ZHANG Y S, SUN C H, et al. Analysis on low-earth-orbit constellation networking and adaptability of ground IP routing technology[J]. Space-Intergrated-Ground Information Network, 2020, 1(1): 36-41.
- [3] 梅强, 史楠, 李彦骁, 等. 天地一体化信息网络应用运营发展研究[J]. 天地一体化信息网络, 2020, 1(2): 95-102.
MEI Q, SHI N, LI Y X, et al. Research on application operation development of space-integrated-ground information network[J]. Space-Intergrated-Ground Information Network, 2020, 1(2): 95-102.
- [4] 刘全, 葛新, 李健十. 美国NGSO宽带通信星座系统管理政策研究(上)[J]. 卫星与网络, 2020(4): 60-67.
LIU Q, GE X, LI J S. Research on management policy of American NGSO broadband communication constellation system (Part 1) [J]. Satellite & Network, 2020(4): 60-67.
- [5] 刘全, 葛新, 李健十. 美国NGSO宽带通信星座系统管理政策研究(下)[J]. 卫星与网络, 2020(5): 60-67.
LIU Q, GE X, LI J S. Research on management policy of American NGSO broadband communication constellation system (Part 2) [J]. Satellite & Network, 2020(5): 60-67.

- [6] ITU. SRS MDB 2936[S]. 2020.
- [7] ITU. Rules of procedure[S]. 2017.
- [8] ITU. Radio regulations[S]. 2020.
- [9] 刘全, 葛新, 李健十, 等. 非静止轨道宽带通信星座频率轨道资源全球态势综述(上)[J]. 卫星与网络, 2020(Z1): 66-69.
- LIU Q, GE X, LI J S. Overview of the global situation of frequency orbit resources in NGSO broadband communication constellations (Part 1)[J]. Satellite & Network, 2020(Z1): 66-69.
- [10] 刘全, 葛新, 李健十, 等. 非静止轨道宽带通信星座频率轨道资源全球态势综述(下)[J]. 卫星与网络, 2020(3): 60-69.
- LIU Q, GE X, LI J S. Overview of the global situation of frequency orbit resources in NGSO broadband communication constellations (Part 2)[J]. Satellite & Network, 2020(3): 60-69.

[作者简介]



杨文翰 (1983-), 银河航天(北京)科技有限公司高级工程师, 主要研究方向为无线电通信系统间的电磁兼容、无线电监测、卫星通信系统间的电磁兼容等。



花国良 (1988-), 银河航天(北京)科技有限公司工程师, 主要研究方向为卫星频率兼容性分析、卫星网络资料申请及协调等。



冯岩 (1984-), 国家无线电监测中心高级工程师, 主要研究方向为无线电新技术、频谱管理、无线电管理数据库等。



李远付 (1996-), 北京邮电大学硕士生, 主要研究方向为卫星频率兼容和波束控制。



侯然然 (1993-), 银河航天(北京)科技有限公司工程师, 主要研究方向为卫星星座系统间电磁兼容分析。

(上接59页)

- [7] International Telecommunication Union. Relationship of technical coordination methods within the fixed-satellite service: ITU-R S.737[S]. 1992.
- [8] International Telecommunication Union. Additional methods for determining if detailed coordination is necessary between geostationary-satellite networks in the fixed-satellite service sharing the same frequency bands: ITU-R S.739[S]. 1992.
- [9] International Telecommunication Union. Technical coordination methods for fixed-satellite networks: ITU-R S.740[S]. 1992.
- [10] International Telecommunication Union. Carrier-to-interference calculations between networks in the fixed-satellite service: ITU-R S.741-2[S]. 1992.
- [11] International Telecommunication Union. Rules of procedure[Z]. 2017.
- [12] Visualyse GSO user guide[Z].

[作者简介]



刘畅 (1987-), 国家无线电监测中心高级工程师, 主要研究方向为卫星网络频率申报和协调、可行性论证、态势分析, 卫星系统频谱需求预测等。



魏文康 (1990-), 国家无线电监测中心工程师, 主要研究方向为空间互联网系统间频率兼容、无线电频谱使用率和使用效率等。



李伟 (1984-), 国家无线电监测中心高级工程师, 主要研究方向为无线电系统间频率兼容性技术、频谱共享共用新技术新应用。