

国外新兴卫星互联网星座的发展

刘悦, 廖春发

北京空间科技信息研究所, 北京 100086

摘要 2015年,以OneWeb和SpaceX为代表的“新兴卫星互联网星座”不断涌现。本文回顾了20世纪90年代至今“卫星互联网星座”的发展历程,分析了不同时期各个星座的发展特点,探讨了影响卫星互联网星座成功与否的关键因素。从市场定位、盈利方式、卫星制造、发射、融资等方面分析了新兴互联网星座的优势和风险,并预测了其未来可能的机遇与挑战。分析表明,新兴互联网星座的发展不会是历史的简单重复,将对未来卫星通信产业、卫星运营、卫星制造和传统航天企业的发展带来重要影响。结合中国卫星通信产业发展情况提出了相关启示和建议。

关键词 卫星互联网星座;低轨通信卫星星座;通信卫星产业

20世纪90年代以来,特别是在智能移动终端功能日渐丰富、成本不断降低、各类应用蓬勃发展的今天,建设融语音、数据、视频为一体,覆盖广泛、经济实用的互联网,成为世界各国为推动经济增长而大力构建的重要基础设施。例如,美国“恢复与再投资计划”拨款72亿美元用于国家宽带建设;加拿大拨款2.25亿美元用于发展卫星宽带;欧洲拨款13亿美元用于填补“数字鸿沟”;中国大力推动“互联网+”战略等^[1]。

2015年,在谷歌(Google)等互联网巨头的推动和支持下,一网公司(OneWeb)、太空探索公司(SpaceX)、三星(Samsung)、低轨卫星公司(Leosat)等多家企业提出打造由低轨小卫星组成的卫星星座,为全球提供互联网接入服务^[3-6],在短期内迅速聚集人气,引发全球强烈关注。然而,提供互联网服务的卫星星座并不是一个新事物,20世纪90年代开始不断涌现提供通信和网络服务的卫星星座,有些至今尚未实施,有些部署实施后遭遇破产,有些虽然发展至今,但应用空间仍非常有限。

本文所述的“新兴卫星互联网星座”,指新近发展的、能提供数据服务、实现互联网传输功能的巨型通信卫星星座。新兴卫星互联网星座具有以下特点:从星座规模看,是由成百上千颗卫星组成的巨型星座;从星座构成看,是由运行在低地球轨道(LEO)的小卫星构成;从提供的服务看,主要是宽带的互联网接入服务;从发展卫星互联网星座的企业看,主要是非传统航天领域的互联网企业;从项目发展的起始时间看,是在2014年底至2015年初这段时期。

本文针对2015年发展卫星互联网星座这一情况,在总结历史经验和教训的基础上,探讨新兴卫星互联网星座的创新点和发展机遇。

1 国外卫星互联网星座近30年发展

在太空通过卫星提供通信服务的尝试早已有之。20世纪90年代,有多家企业提出卫星互联网星座计划。如果将提供互联网服务的范畴扩大到话音通信服务(最早的互联网都是通过“拨号上网”进行的),卫星互联网星座的发展历史还可以追溯到20世纪80年代末摩托罗拉公司发展的铱星(Iridium)系统。

与导航和部分对地观测的天基系统不同,从近30年的发展历史看,卫星互联网星座均是由商业企业发展、以盈利为目的的商业项目。从人类航天技术的角度看,技术并不是主要问题,决定卫星互联网星座成败的关键因素还是市场和用户。从更大的范畴看,卫星通信与地面通信同为电信产业的组成部分,从诞生的第一天起就在相互竞争、相互补充与合作中发展前进。因此,过去30年卫星互联网星座计划的成败主要围绕着这一问题展开。如果按照卫星与地面通信的竞争合作关系对卫星互联网星座的发展阶段进行划分,主要可以分为3个历史阶段:

1) 第1阶段(20世纪80年代末至2000年):以铱星(Iridium)、全球星(Globalstar)、轨道通信(Orbcomm)、“泰利迪斯”(Teledesic)和“天空之桥”(Skybridge)系统为代表,力图重建一个天基网络、销售独立的卫星电话或上网终端与地面电信运营商竞争用户。

2) 第2阶段(2000—2014年):以新铱星、全球星和轨道通信公司为代表,既为电信运营商提供一部分容量补充和备份,也在海事、航空等极端条件下的面向最终用户提供移动通信服务,与地面电信运营商存在一定程度的竞争,但主要还是作为地面通信手段的“填隙”,规模有限。

收稿日期:2015-09-22;修回日期:2015-11-06

作者简介:刘悦,硕士研究生,研究方向为民商用通信卫星,电子信箱:yue_china2005@126.com

引用格式:刘悦,廖春发. 国外新兴卫星互联网星座的发展[J]. 科技导报, 2016, 34(7): 139-148; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.07.015

3) 第3阶段(2014年至今):以“另外30亿人”网络公司(O3b Networks)为代表,为全球用户提供干线传输和蜂窝回程业务,地面电信运营商是其客户和合作伙伴,卫星网络成为地面网络的补充。

1.1 卫星互联网星座发展的第1阶段:企图替代地面通信网络

卫星互联网星座的构想最早始于1家地面通信公司摩托罗拉,它希望设计一款具有星间链路和星上处理能力的低轨

通信卫星星座,相当于把地面蜂窝网倒置在太空,面向全球提供移动话音服务。在铱星的带动下,同期发展的低轨星座主要有两类:一类是主要以提供话音和低速数据为主的星座,如全球星和轨道通信;另一类主要以互联网接入为主的星座,如泰利迪斯和天空之桥。这些系统的发展遇到了共同的问题,就是系统设计初期地面通信还未兴起,错误地估计了市场,企图替代当时并不发达的地面通信,面向个人消费者提供全球话音通信和网络接入(表1^[7])。

表1 卫星互联网星座系统参数

Table 1 System parameters of satellite internet constellations

系统	投资商	服务类型	数据传输速率/(kbit·s ⁻¹)	轨道高度/km	卫星数量/颗	地面站数量	星间链路
铱星	摩托罗拉	话音、数据、传真、寻呼、短消息	2.4	780	66	15~20	有
全球星	劳拉、阿尔卡特、高通	话音、数据、传真、寻呼、短消息	7.2	1410	48	100~210	无
轨道通信	轨道科学	短消息、寻呼、邮件	2.4(上行),4.8(下行)	825	48	10	无
天空之桥	阿尔卡特、劳拉	因特网接入、话音、数据、视频、视频会议	2000(上行),2000(下行)	1469	80	200	无
泰利迪斯	摩托罗拉、波音马特拉-马可尼、比尔·盖茨、麦考	因特网接入、话音、数据、视频、视频会议	2000(上行),64000(下行)	1375	288	未知	有

从这5大系统的发展结果看,铱星系统、全球星系统和轨道通信系统于2000年前后宣告破产^[8-10];泰利迪斯和天空之桥系统于2002年宣告项目终止,未能实现系统部署和商业服务^[11,12]。从这些系统早期的失败经历看,失败的原因主要还是在商业层面上,即系统前期投资过大而导致入不敷出。

本文认为,早期的失败主要源于3方面的问题:1) 市场定位与用户选择;2) 技术复杂度与投入成本;3) 研发周期与系统能力。

以铱星系统为例,这3方面问题的具体表现为:1) 市场定位方面:老铱星系统(破产以前的铱星系统)将“高层次的国际商务旅行者”作为用户,认为这些用户可以为全球卫星通讯服务付出高价,与成本低廉、普及面迅速的GSM/CDMA地面蜂窝系统相比,老铱星没有优势;2) 投入成本方面:卫星系统需要在获得第一笔订单之前就建成全部系统,风险很高,而地面通信网络的建设可以逐步进行,可以在回收一部分投入之后逐步扩建系统。全球星和轨道通信系统发展比铱星晚,借鉴了铱星的经验降低系统复杂度,取消星间链路,但最终仍然破产;3) 系统能力方面:地面通信的发展遵循摩尔定律,但当时卫星星座的研制和发射周期需要至少10年,铱星在系统设计时确实先进,但此后蜂窝电话发展极其迅速,待到铱星服务之后,技术已经落后,铱星电话的笨重、室内无法使用、通话的可靠性和清晰性低的缺点凸现出来。

1.2 卫星互联网星座发展的第2阶段:卫星成为地面通信的“填隙”

虽然在2000年之后卫星系统在与地面系统的竞争中失利相继破产,但不少企业却巧妙地利用破产摆脱了前期系统建设所欠下的巨额债务,反而重新寻找到了市场机会,焕发了生机^[13,14]。截止目前,全球仍在提供服务的卫星互联网星座还有铱星、全球星和轨道通信系统,并且已经完成了或者正在进行下一代星座卫星的更新换代。天空之桥和泰利迪斯系统发展中止,最终沦为“纸卫星”(即未曾发射、只存在于纸面的卫星系统)。

2000年之后卫星互联网星座之所以能够重新恢复活力,主要在于吸取了过去的失败教训。以铱星公司为例:1) 市场定位方面,不再与地面通信正面竞争,将用户定位偏远地区的专业用户,如海上石油钻井平台、采矿、建筑、救灾抢险、野外旅游的组织或个人,正是由于市场定位另辟蹊径,才能使得系统得以存活并实现盈利;2) 投入成本方面,以象征性的价格买断了老铱星,老铱星的债务全部剥离,系统成本的减少可以大幅实现通话和数据使用费用的降低,以达到与地面通信接近的价格水平,新铱星公司终于实现了扭亏为盈;3) 系统能力方面,升级卫星系统,接近地面系统的能力。解决了卫星终端在室内无法使用的问题,减少卫星终端的尺寸和重量,提高数据服务的速率,使之在机对机(M2M)等特定应

用场景下具备一定的竞争力。

1.3 卫星互联网星座发展的第3阶段:卫星与地面系统的补充与合作

从卫星互联网星座发展至今,唯一一家服务之初就取得成功的是“另外30亿人”网络系统(O3b Networks),系统名称取自“要为地球上另外30亿人提供网络服务的愿景”。O3b网络系统成立于2007年,在系统成立之初,市场还对O3b系统持怀疑态度,但自2014年提供商业服务以来,仅用半年时间就达到原计划1年1亿美金的收入水平^[15],得到了市场的认可,证明了卫星互联网星座的发展前景。

与前两个阶段卫星互联网星座不同,O3b之所以取得成功,是因为采取了与地面系统合作的发展理念:1) 市场定位方面:O3b从一开始就没有与地面通信竞争的计划,而是将电信运营商作为其客户,为地面通信设施覆盖不到的岛屿和海上大型舰只服务,成为地面通信手段的补充;2) 投入成本方面:O3b选择了轨道高度为8000 km左右的中地球轨道(MEO),覆盖范围在南北纬40°之间的区域,将所需的卫星数量缩减至12颗,比起铱星66颗的星座规模,大大降低了系统

投入成本;3) 产品能力方面:O3b是一个真正的宽带卫星系统,数据传输速率大大超过了铱星和全球星系统,虽然系统容量无法与地面通信手段相比,甚至不如静止轨道宽带卫星,但对于地面设施无法覆盖的地区,已经能够满足基本的网络需求。

2 国外新兴卫星互联网星座的发展态势

2.1 全球主要新兴卫星互联网星座发展概况

目前,卫星互联网虽然还处于发展的初级阶段,但非常活跃,很多互联网企业都积极介入。从2014年底至今,全球范围内至少提出了6个大型低轨卫星星座项目,分别通过各国政府向国际电联(ITU)进行了登记(表2)。其中最具代表性的主要有3家,分别是O3b,创始人格雷格·惠勒(Greg Wyler)新创立的一网系统(OneWeb);SpaceX和特斯拉汽车创始人埃隆·马斯克(Elon Musk)计划打造的STEAM互联网星座;原天线设备供应商Kymeta公司创始人发展的“低轨卫星”(Leosat)系统,3大主要系统的参数如表2所示^[16]。

表2 向ITU提出频率申请的卫星星座
Table 2 Satellite constellations applied to ITU

申报系统名称	申报国家	卫星数量/颗	申请频段	轨道	轨道面数量
MCSat	法国	800~4000	Ku, Ka	LEO、MEO和HEO	未知
CANPOL-2	加拿大	72	VHF、UHF、X和Ka	LEO、HEO	8
COMSTELLATION	加拿大	794	Ku, Ka	未知	12
3ECOM-1	列支敦士登	264	Ku, Ka	未知	12
ASK-1	挪威	10	Ku, Ka, X	HEO	未知
STEAM-1/STEAM-2	挪威	4257	Ku, Ka	未知	43
L5(OneWeb)	英国	650	Ku, Ka	LEO	未知

对于卫星互联网的部署,需要考虑的关键问题有很多。由于这些计划当前大多处于孕育阶段,因此很多关键技术和商业问题尚未解决,还有待进一步跟踪和观察(表3)^[17]。三大卫星互联网计划的共同点是:选择的均是质量在300 kg以下的小卫星;主要提供宽带互联网服务;相对于传统大型静止轨道宽带卫星和中轨(MEO)互联网星座,价格和时延是主

要的竞争力。不同点是:OneWeb主要面向个人消费者和社区,而LeoSat公司主要还是为机构用户服务;OneWeb和SpaceX卫星数量较多,LeoSat使用了高功率卫星平台,单星容量较大,卫星数量大致在80~140颗左右;OneWeb已经获得了频率轨位,SpaceX和LeoSat尚在协调当中,有可能采用光通信链路。

表3 新兴卫星互联网企业星座关键参数
Table 3 System parameters of emerging satellite internet constellations

星座名称	卫星数量/颗	轨道高度/km	是否星间链路	卫星质量/kg	容量/(Tbit·s ⁻¹)	成本/亿美元	终端	数传速率/(Mbit·s ⁻¹)	时延/ms
OneWeb	650	1200	未知	125	5~10	2~30	网络热点接入设备	50	20~30
STEAM	4000	1100	是	未知	8~10	100~150	未知	未知	20~30
Leosat	80~140	1400	是	未知	0.5~1	25~30	未知	1228	50

2.1.1 “一网”(OneWeb)卫星互联网星座项目进展

“一网”(OneWeb)卫星互联网星座由OneWeb公司提出,该公司由原O3b创始人格雷格·惠勒(Greg Wyler)于2014年成立。格雷格·惠勒最初是谷歌公司卫星互联网项目的负责人,后离开谷歌创立了OneWeb(原名WorldVu)公司^[18]。OneWeb计划打造由650颗低轨卫星组成空间卫星星座,为全球用户提供互联网接入服务。

从目前的融资情况看,OneWeb的发展最为乐观。据估计,OneWeb整个互联网星座至少需要融资25~30亿美元。就2015年6月25日公布的A轮融资结果看,OneWeb已经筹集了5亿美元的资金注入,其中高通公司(Qualcomm)和维珍银河(Virgin Galactic)是OneWeb系统最早一批的投资者,并享有部分OneWeb公司的股权。除上述两家公司,通过与产业链利益相关方合作的方式,OneWeb还获得了多方融资,包括印度和墨西哥的电信运营商、可口可乐、空客、国际通信卫星公司(Intelsat)、法国和美国的进出口的银行等都是OneWeb系统的投资方^[19]。

OneWeb星座的部署、运营和服务主要依靠资本合作来完成:卫星制造采用与空客(Airbus)合作的方式;卫星发射由阿里安和维珍银河公司完成;高通负责空中接口的设计和打造双模终端;休斯负责终端的设计,并与可口可乐一起负责产品的分销;卫讯公司负责地面信关站的建设;印度巴哈蒂公司(Bharti Enterprise)和墨西哥通信公司(Totalplay Telecommunications)负责印度和墨西哥市场的分销和服务;洛克维尔-柯林斯公司(Rockwell Collins)公司和汉尼维尔公司(Honeywell)负责航空终端;与Intelsat共享用户和服务。

2.1.2 STEAM卫星互联网星座项目进展

STEAM卫星互联网星座由SpaceX公司提出,该公司由埃隆·马斯克于2002年创立,起初主要从事运载业务,通过成本控制、大幅降低发射费用,在卫星发射领域迅速得到了市场认可。SpaceX计划打造由4000多颗小卫星组成的互联网星座,在全球范围内提供互联网接入服务^[4]。STEAM卫星互联网项目反映了SpaceX公司对卫星制造未来发展的预期,希望从卫星制造业务中获得比发射更多的盈利空间,并积累卫星研制经验和能力。

与OneWeb主要从事卫星运营不同的是,SpaceX更加专注于卫星制造,而不是向传统卫星制造商采购卫星,希望能够掌握卫星产业链的上游,逐步从卫星制造、卫星发射的上游向卫星服务延伸。因此,SpaceX需要的融资量将更大,根据SpaceX的估计,开办卫星制造工厂并研制4000多颗低轨卫星共计需要融资100~150亿美元。从前一阶段的融资情况看,SpaceX已经获得了来自谷歌和富达投资公司(Fidelity Investment)10亿美元的投资^[20]。

与OneWeb相比,SpaceX当前面临的最大的问题是很难获得频率轨位资源。目前,SpaceX已经通过挪威政府向ITU申报了频率和轨位,从申报的情况来看,卫星数量4257颗,使用Ku和Ka频段,运行在43个轨道面。此外,SpaceX还通过

美国无线电通信委员会(FCC)向ITU申报了6~8颗Ku频段试验星,首发星MicroSat-1a和MicroSat-1b预计寿命1年,运行在轨道倾角为86.6°、轨道高度为625 km的圆轨道^[21]。

2.1.3 LeoSat卫星互联网星座项目进展

LeoSat卫星互联网星座由“低轨卫星”(LeoSat)公司提出,该公司由前智能天线设备商Kymeta公司的CEO弗恩·佛斯林汉姆(Vern Fotheringham)创立。LeoSat致力于打造120~140颗高功率Ka频段卫星星座,提供全球数据传输服务。与上述两家企业不同,LeoSat公司并不为大众用户提供网络接入服务,他们与O3b类似,只为大型企业和政府提供高速数据传输接入,未来计划为3000家大型企业和机构用户提供数据传输服务^[22],将自身视为卫星固定运营商的容量补充。

根据LeoSat的对整个卫星系统的估计,LeoSat互联网星座至少需要融资25~30亿美元。与OneWeb和SpaceX顺利获得多家投资相比,LeoSat的融资相对困难,2015年6月,LeoSat与美国纽约一家投资公司签署了合作协议,由该公司负责帮助LeoSat开展首轮融资用于卫星设计。

LeoSat星座的卫星研制与泰雷兹-阿莱尼亚公司(TAS)合作完成。TAS完成过两大低轨星座的研制(铱星和全球星),根据目前签署的合同,TAS目前只负责卫星的设计评估。全部80颗卫星订单的归属还将通过招标来完成,最终根据星座设计不同,卫星数量也有可能增至120颗^[4]。从系统设计看,LeoSat星座将会使用星间链路,甚至有可能采用光通信,因为光通信在空间会比地面光纤传输的速度还快。在单星设计方面,LeoSat将会使用高功率卫星平台,通过提高单星能力的方式减少卫星数量^[6]。

2.2 典型新兴卫星互联网星座的优势和风险

从三大卫星互联网星座的发展看,目前进展最快的是OneWeb,已经明确了频率、资金、芯片技术、卫星制造、发射和营销。因此,以下主要以OneWeb为研究对象,对比早期的卫星互联网系统及另外两大系统STEAM和LeoSat,对OneWeb的优势和风险进行分析。

2.2.1 “一网”(OneWeb)的优势

1) 率先申请频率轨位的使用权。卫星互联网成败的关键之一就是能否获得频率资源。目前除OneWeb确认获得了Ku频段频率资源外,包括SpaceX和LeoSat公司在内都还没有获得频率资源。2015年初以来,全球掀起了卫星互联网热潮,许多企业都向全球无线电频率协调委员会(ITU)提出了动辄数千颗卫星的频率轨位申请(表2),企业无法在短时间内获得频率轨位资源,有可能会拖延卫星互联网星座计划的发展进度,频率轨位的投机和炒作甚至导致恶性竞争。

ITU对于频率资源的申请实行“先到先得”的原则。OneWeb在2014年完成了频率轨位的申请(20世纪90年代Skybridge星座的频率轨位资源)。为了避免干扰静止轨道卫星,OneWeb采用一种功率升降技术^[23],在低轨卫星在经过赤道上空时调整卫星的功率通量密度,避免对静止轨道卫星的地面服务进行干扰。OneWeb还与全球最大的静止轨道卫星运营

商 Intelsat 达成合作协议,为频率协调提供了极大的便利。OneWeb 通过提前申请到频率轨位资源,抢占了发展的先机。

2) 独特的市场定位和竞争策略。从卫星互联网星座的发展历程看,如何处理卫星与地面的关系是决定成败的关键。在这一点上,OneWeb 充分继承了 O3b 的成功经验,与电信运营商合作,同时吸取铱星的教训,不再出售卫星电话与地面竞争。OneWeb 的服务主要有两个特点:一是卫星提供蜂窝回程服务,解决“最后 1 公里”的问题,而骨干网服务还是由各大电信运营商完成,或是将卫星接收设备做小区“热点”,拓展现有的地面网络。二是将个人消费者(家庭、学校或社区)作为目标客户,不出售类似铱星电话似的专用卫星终端设备,不与发展较快的智能手机和平板电脑争夺用户,用户可以继续使用现有的智能手机和平板电脑访问卫星网络。

OneWeb 之所以选择这样的服务模式,原因有二:一是看到了地面光纤服务的瓶颈,虽然光纤具有带宽大、可靠性高、低延迟等优势,但考虑到经济性的原因,地面光纤网络还只能覆盖人口较为密集的地区,仍然有大量区域无法接入互联网。以非洲为例,在一个地面基站覆盖的 25 km 的范围内,通常只有 4.4% 的人口,而目前非洲光纤仅覆盖 30.8% 的非洲人口^[24],因此发展空间很大。二是“最后 1 公里”的宽带接入服务是所有卫星宽带服务中增长最快、最具发展前景的。根据美国北方天空研究所(NSR)的预测,到 2023 年,全球卫星互联网接入需求容量将从目前的不到 80 Gbit/s 增值 729.33 Gbit/s^[25]。

3) 传统与创新相结合的销售渠道。终端和服务的分销对于大众消费市场非常重要,在 20 世纪 90 年代,铱星是通过电信运营商销售卫星电话的,最终销售惨淡;2000 年之后铱星改由各级代理销售,情况有所改善,但代理良莠不齐、价格竞争、服务水平都成为影响消费者满意度的关键问题。OneWeb 采取了传统与创新相结合的方式:既选择在宽带卫星运营和相关地面设备销售非常有经验的休斯网络公司(Hughes Networks),利用其完善的销售渠道和丰富的销售经验,主攻传统行业用户,又创新性地选择与可口可乐公司合作^[26],利用可口可乐遍布全球的销售网点,更加贴近大众消费市场。同时,可口可乐零售店本身也可以作为 OneWeb 网络的用户。

2.2.2 “一网”(OneWeb)的风险

1) 卫星星座设计风险。新兴的卫星互联网均将目光聚焦在了低轨互联网星座上,比起位于中轨的 O3b 星座,时延是主要竞争力。运行在 8000 km 轨道高度的 O3b 只需 12 颗卫星就能覆盖地球南北纬 40° 大部分的市场,但卫星的轨道高度越低,单星覆盖范围更小,要求组成星座的卫星更多。按照 OneWeb 650 颗卫星的设计,考虑到发射失败和故障的以外因素,至少需要建造 900 颗卫星。

轨道设计也更复杂(需要包含倾斜轨道面和极轨道),卫星会在极地上空停留更长时间,地面终端需要做更多的信号

切换,同时加大了地面终端的设计难度。假设固定接收终端的天线口径为 30 cm,仰角 15°,天线的覆盖区内有数个子波束,当卫星飞行经过,天线在每个波束之间大约 45 s 就需要切换 1 次。如果考虑到卫星处在不同的轨道面,终端设计更加复杂。

2) 现有发射能力风险。OneWeb 卫星如果从 2017 年底开始发射,到 ITU 授权的频率轨位到期前(2020 年)完成,需要在 2~3 年内完成 900 多颗卫星的发射(650 颗在轨卫星+备份星),是一个巨大的挑战。20 世纪 90 年代,Teledesic 系统为了解决发射能力不足的问题,曾提出用苏联的洲际弹道导弹发射卫星。OneWeb 卫星的发射还是由普通运载火箭完成,发射合同授予了阿里安和维珍银河。阿里安公司的联盟号火箭将分 21 批发射,每批发射 32~36 颗卫星(首发 10 颗卫星),维珍银河公司的“发射者一号”火箭(LauncherOne)每批发射 1~3 颗卫星,作为星座的填隙和灵活部署^[27]。

密集的发射任务对发射服务提供商提出了很大考验。其中最大的风险在于发射服务提供商其它的用户任务影响 OneWeb 卫星的发射。例如,欧洲伽利略导航卫星星座(Galileo)的发射与 O3b 都选择了阿里安火箭,在发射安排上遇到了冲突,最终导致 O3b 发射延迟。此外,维珍银河公司的“发射者一号”火箭目前还在研制当中,OneWeb 卫星是“发射者一号”火箭的首次发射,发射能力和成功率尚待观察,有可能成为阻碍 OneWeb 顺利部署的“绊脚石”。

从全球发射市场的容量看,现有的卫星发射能力不能满足未来几年卫星互联网星座的发射需求。据美国北方天空研究所(NSR)对 2010—2024 年拟发射卫星的数量进行的预测^[28],过去 5 年,全球每年大约发射 200 多颗卫星,但从 2017 年起,由于 OneWeb 星座发射启动,待发射卫星数量猛增至 300~400 颗,大大超过了发射服务提供商的发射能力,因此 OneWeb 星座的发射存在风险。

3) 低轨恶劣空间环境的考验。地球的外层空间位于 700~10000 km 高度有 2 条高能质子辐射带,即范·艾伦辐射带。OneWeb 为降低卫星的发射质量(大约 150 kg)、减少发射成本、提高发射数量,计划卫星采用电推进,火箭首先将卫星送入 500 km 高度轨道,之后通过电推进到达预定轨位。卫星变轨的过程中,需要频繁穿越高能质子辐射带,会对卫星的电子系统的正常工作造成很大影响,因此对卫星抗辐射能力提出了很高的要求。

卫星在变轨过程中,不仅会受到空间辐射的影响,还会存在与微流星体和轨道碎片碰撞的风险。2009 年俄罗斯宇宙-2251 卫星与铱-33 卫星在 790 km 的轨道高度发生碰撞,2 颗卫星相撞造成的空间碎片成百上千,碰撞低轨卫星的概率很大。在轨道碎片的避让方面,化学推进系统卫星更加灵活,而 OneWeb 卫星采用电推进系统,也不利于避让空间碎片。此外,OneWeb 卫星数量众多,退役后一旦成为新的太空垃圾,将会对后续卫星产生很大影响^[28]。

3 新兴卫星互联网星座发展的机遇与挑战

在星座设计、市场定位和服务模式方面,新兴卫星互联网星座与早期的系统有明显不同。但应该注意的是,如今的市场环境已经与20世纪90年代有显著不同,各类“互联网+”层出不穷,盈利手段多种多样;小卫星快速发展,批量制造逐步成熟,卫星的规模化生产可大幅降低研制成本。这些外部因素的变化也同样影响着未来新兴卫星互联网星座的发展前景。

3.1 发展机遇

3.1.1 “互联网+通信卫星星座”丰富盈利方式

从卫星互联网星座过去的发展看,一直作为地面通信手段的“填隙”和“补充”,用户规模非常有限,单纯通过收取通信和网络使用费用的方式不足以满足投资者对如此巨额的回报期望。而今,无论是市场环境还是用户的消费习惯已与过去大不相同,智能手机、广告和各类应用推动了电子商务的快速发展,并在此基础之上衍生的各类“互联网+”逐渐成为盈利的重要方式,消费者开始习惯为了内容服务支付费用^[29],通信和网络服务不再是运营商获利的唯一手段。未来,一旦卫星互联网成功建立,就相当于有了庞大的数据入口,可以提供各种各样的服务,牵引形成一个巨大的商业市场。

除此之外,铱星下一代星座(Iridium-NEXT)也为低轨星座通过有效载荷搭载获得收入提供了范例。铱星二代卫星上搭载了81台“ADS-B”有效载荷,用于接收商用飞机发出的定位信号。目前,有效载荷搭载主要应用在静止轨道通信卫星上,而在低轨星座上搭载有效载荷在通信、对地观测、侦查监视等领域应用价值更大^[30]。OneWeb数百颗的小卫星可以采用分批建造、分批发射的方式,有效载荷搭载作为一项可能的服务,可以用于扩大收入。新兴互联网星座卫星数量众多,更新周期短,灵活性更高,比铱星二代更具市场吸引力。

3.1.2 批量制造降低研制成本、缩短研制周期

从20世纪90年代卫星互联网的失败教训看,星座投入成本越高、用户负担越大、研制周期过长,越有可能错过发展时机。为此,OneWeb卫星的制造由空客公司卫星研制团队和航空工程师共同完成,将航空飞机的批量制造经验融合到卫星研制中,并希望以此将卫星的研制成本降至单星50万美元以下^[31]。

随着小卫星的发展,越来越多的卫星项目开始使用非航天级别的商业现货部组件;形成了得到广泛认可官方或非官方的标准,模块化的接口设计为批量制造和发射提供可能;各个供应商提供的卫星部组件之间的互操作能力不断增强,更容易实现规模生产;3D打印技术开始应用到卫星制造领域,从CAD模型开始,利用传统打印机逐层打印的概念,直接形成小卫星或卫星部件,卫星的研制成本和研制周期大大缩短。

已经有多家企业开始“批量生产”小卫星的尝试。例如,2013年,美国雷声公司将一条导弹生产线改装,将其称为“空间工厂”,用于美国国防高级研究计划局(DARPA)SeeMe小

卫星的研制,2014年至今,雷声公司还计划批量研制出18颗小卫星^[32]。未来,OneWeb可以利用近些年小卫星在批量生产领域形成的能力和经验,通过批量研制降低卫星成本、缩短研制周期。

3.1.3 互联网企业更加注重创新带来的活力

企业发展的动力是创新。无论是过去卫星互联网星座还是今天的OneWeb,都是由一批最具创新能力的企业家提出的。20世纪90年代,Teledesic系统是由比尔·盖茨投资的,OneWeb项目计划最初是由谷歌公司提出的。卫星互联网星座取得的社会关注度,很大程度上跟这些企业的影响力和创造力分不开,这些企业在其他领域都获得了辉煌的成就,并且看到了这个被长期忽视的航天市场的巨大潜力和发展机遇,希望借助在其他领域取得的技术积累和先进经验,重塑卫星产业。

对于一般的大型企业,通常由于过度关注利润和股东利益,因而创新的优先级并不高。但谷歌等全球大企业则把创新业务与核心业务分开,在保证核心搜索业务全球领先的同时,也非常重视创新项目的研发。与此同时,这些新兴卫星互联网企业积极与传统卫星企业展开对话与合作,在创新的同时,也没有完全摒弃过去的行业积累。

3.2 面临的挑战

3.2.1 前期投入过大影响企业生存

卫星互联网计划最大的风险还是来自经济层面。美国航天咨询公司北方天空研究所(NSR)通过负债比这一经济指标,对互联网卫星企业的未来收入做了大致估算。NSR按照每户每月50美元计算,未来打造卫星互联网星座的企业至少需要获得1000万的用户量级才能获得盈利^[17],实现这样的目标难度很高。以卫讯公司(ViaSat)为例,该公司自2011年发射首颗Ka频段静止轨道宽带卫星以来,2014年宽带用户数只有63万^[33],即使算上有效载荷搭载和网络内容收入,这些新兴的卫星互联网企业仅靠网络业务收入将难以回收成本。

3.2.2 落地权与频率协调难度很大

在三大新兴卫星互联网星座中,OneWeb是最早从ITU获得Ku频段使用权的企业,但OneWeb并非拥有Ku频段的所有权,其他竞争企业依然可以申请。为此,首先需要与已经获得低轨频率资源的OneWeb进行协调,同时还需与赤道上空申请频段的静止轨道运营商进行协调。这样的频率协调难度非常大,因为新兴竞争者在低轨提供互联网接入服务,与OneWeb属于竞争关系,必然会受到OneWeb百般阻挠。即便是已经获得频率轨位的OneWeb,也需要与静止轨道运营商协调,低轨星座提供的互联网接入服务与静止轨道宽带服务属于同一类服务,面向相同的用户群,必然也会受到静止轨道运营商的掣肘。

除频率协调,还有落地权问题。如果要在全球提供服务,还需要与各国政府进行频率协调。在欧洲、美国和巴西等国家取得频率授权相对容易,但印度和中国等需要做大量工作,并且必须在2020年ITU收回频率轨位资源授权之前完成。

3.2.3 面临地面和其它卫星系统的竞争

就目前提供宽带互联网服务的各种技术手段对比看,低轨互联网星座是一种较为折中的技术方案:对比网络性能的关键指标时延,LEO星座的时延已经能够接近地面光纤和蜂窝通信,满足VOIP、视频会议、在线游戏等交互式通信应用的要求,大大优于GEO宽带卫星和MEO星座;对比用户的使用成本,LEO星座与GEO宽带卫星接近,但与地面通信手段仍有差距;对比系统容量,虽然LEO星座大大超过了GEO宽带卫星,但GEO卫星在点波束中提供的集中式容量仍然具有优势;对比全球覆盖范围和填补数字鸿沟的能力,LEO星座优

势明显(表4^[17])。

OneWeb未来将面临多方面的挑战:一方面,由于卫星系统的服务具有滞后性,地面通信正在大力推动5G的发展,很难预测到2020年OneWeb系统全部建成之后是否会再次落后于地面通信;另一方面,包括谷歌在内的其它互联网企业也在尝试各种“高空通讯系统”解决方案,其中包括在大气层放飞成千上万的巨大气球给偏远地区提供网络的“潜鸟”(Loon)计划^[34],而脸书公司(Facebook)着眼于通过静止轨道卫星、无人机和激光器提供高空互联网服务^[35-37]。

表4 不同通信方式的使用成本和时延

Table 4 Costs and delays of different communication approaches

通信手段	系统建造成本/亿美元	系统容量/(Gbit·s ⁻¹)	用户月支出/(美元·Mbit·s ⁻¹)	时延/ms
GEO-FSS	1	1.2	500	250
GEO-HTS	3.5	100	25	250
MEO-HTS	11	80	150	150
LEO-HTS	100	7000	20	30~50
光纤	按需	按需	5	10~20
地面蜂窝通信	按需	按需	0.5	10~50

4 结论与展望

4.1 结论

自2014年底全球兴起卫星互联网星座热潮以来,目前尚无一家企业明确阐述其自身的商业模式和研制方案。因此,国外新兴卫星互联网星座的具体计划到目前为止还是未知数,需要后续不断跟踪和研究。但通过对过去发展经验的总结和对新兴计划最新情况的分析,现阶段可得到的结果如下。

4.1.1 新兴卫星互联网星座处于探索阶段,卫星通信与互联网融合是产业发展方向之一

新兴卫星互联网星座自2014年底开始至今,只有1年多的发展时间,还处于初期探索阶段,系统设计、商业渠道和盈利模式尚不成熟。但从未来的系统规模、市场机会和系统能力看,其发展前景广阔,因此在短时间内迅速汇集了大量的资本、技术和合作伙伴,虽然目前还远未达到系统稳定运行、产业成熟发展的阶段,但考虑到互联网给人类生活带来的巨大变化和行业价值,未来在投资融资渠道、系统研发、产品服务的领域,将卫星通信服务融入“互联网+”,蕴涵了巨大的商机,是通信卫星产业未来的发展方向之一。

4.1.2 新兴卫星互联网星座的发展不是历史的简单重复,是市场和技术综合发展的结果

虽然今天的卫星互联网星座与20世纪90年代的Teledesic等计划类似,但新兴卫星互联网星座与过去有着显著不同:首先,市场需求不同,互联网从出现、快速发展到今天,用户规模和消费习惯与20世纪90年代相比不可同日而语,内

容消费和大数据带来的市场价值已经得到显现;其次,研制方式不同,小卫星的快速发展使得卫星批量生产成为可能,这将解决长期以来困扰卫星制造业的成本高、周期长的问题,是推动未来卫星产业发展的关键;第三,竞争方式不同,新兴卫星互联网星座OneWeb在发展过程中呈现出来的合作和开放性能够帮助企业迅速汇聚资本、吸引能力、立足市场,为传统卫星产业带来了活力。

4.1.3 卫星互联网星座经历了近30年的发展,如何处理好与地面通信的竞争是影响成功的关键因素

20世纪80年代末提出全球首个卫星互联网星座计划以来,至今已经经历了超过30年的时间,对各个星座计划的失败、复活到重生的经验教训的总结,可以认为,从人类航天技术发展的角度看,一个商业运行的互联网星座的发展并非受限于技术问题,关键在于市场竞争中处理好与地面各类通信手段的相互关系。从过去或失败或成功的经验看,卫星互联网虽然具备一定的覆盖优势,但从技术能力和服务水平均全面落后于地面通信手段,因此,与地面通信的竞争或许在某个小的细分应用领域会成功,但主流市场中机会不大。未来只有能充分与地面系统实现兼容互操作的卫星系统才会真正赢得市场,天地一体化是卫星互联网星座成功的途径之一。

4.1.4 新兴卫星互联网星座发展的机遇与风险并存,影响未来成功的核心在于市场和用户

卫星互联网星座在全球网络接入方面的价值毋庸置疑,但是现阶段,机遇主要有3点:一是作为地面通信手段的补充解决“最后1公里”的问题;二是批量生产带来的成本下降;三

是互联网企业家创新带来的无限可能。风险也有很多,主要有3点:1) 系统建设的技术风险;2) 卫星交付的发射风险;3) 市场竞争的发展空间。其中最核心的问题在于是否能够以降低系统成本或是通过其它收入手段降低服务费用,从而赢得市场和用户,因为用户规模是互联网发展的关键。

4.2 启示

4.2.1 国外新兴卫星互联网星座的建设对中国信息安全带来重要隐患

长期以来,中国卫星直播业务的发展受到政策的限制,个人家庭不得私自安装卫星天线接收国外卫视节目,中国境内访问国外的互联网网站受到一定限制,其初衷都来自于对中国信息安全、政治环境稳定的考虑。然而,一旦国外卫星互联网星座成功完成部署,中国市场无疑将会是竞争的热点和重要的利益来源地,这种跨国界的全球互联网接入业务势必会带来信息安全问题。对于早期的卫星互联网星座,中国只要通过信关站、落地权和禁止卫星终端的销售,就可以限制大部分卫星互联网接入业务进入中国,但仍然无法控制一些非法的途径。国外新兴的卫星互联网星座一旦建成,普通用户可以通过地面手持终端非法访问国外网站,管控的难度比卫星电视更大,更有可能危及国家信息安全,值得重点关注。

4.2.2 卫星互联网星座在应急救灾、国土安全和海外军事存在等方面具有巨大价值

国外发展卫星互联网星座均是商业部门,追求的是互联网接入带来的直接或间接的巨大经济利益,但是卫星互联网星座除了商业用途之外,不应忽视其具有的公益属性和军用潜力。中国幅员辽阔,海洋领土超过 300 万 km²,民航乘客尚无法实现互联网接入,偏远农村和西部沙漠、戈壁等大部分区域至今仍是通信盲区,依靠现有通信手段无法保障远洋经济利益和军事存在,一个全球性的卫星通信系统是填补这些地区的数字鸿沟和境内外应急救援的重要解决方案。目前,中国拥有全球最多的互联网用户,互联网能够满足语音、视频、数据等多种应用需求,因此,建设一个具有中国特色的,由国家财政保障、政府组织协调、企业分工合作的大型卫星互联网系统切实可行,符合中国核心利益,具备重要价值。

4.2.3 新兴卫星互联网星座将会影响和推动传统卫星制造变革,小卫星即将步入大规模商用阶段

在传统卫星制造领域,与 10 年前变化并不太大。制造商为了追求可靠性,使用的均是经过反复验证的技术和产品,研制出的卫星重复程度很高,制造商考虑的是如何利用现有产品满足客户需求,导致产品之间的差别非常小。但随着制造商能力的普遍提高,市场过度供应,导致利润的降低,产业经济效益的不足使得这些制造商研发新的产品。而新兴卫星互联网星座是近年来卫星制造领域最具创新性的系统,卫星研制采取了传统航天产业与航空工业相融合的“跨界模式”,增加商用工业级器件比例,通过标准化、模块化实现小卫星的批量生产,降低卫星研制成本。国外传统卫星制造商

正在积极参与卫星互联网星座的研制,而在这过程中涌现出来的新的小卫星技术将成为影响卫星制造未来发展的关键,这些经验和技能将向传统大型卫星制造领域流动,成为推动卫星制造业发展变革的重要动力。

4.2.4 新兴卫星互联网星座更加关注数据和用户,将为传统通信卫星运营带来新思路

传统通信卫星运营商的业务重点主要集中在采购卫星和提供容量上,盈利模式简单,收入来源固定,市场和发展空间非常有限。新兴卫星互联网为传统通信卫星运营商提供一种新的发展思路,这些新兴卫星互联网企业大多具备互联网的产业背景,将关注点放在消费者服务和数据方向,卫星更多的是被看作是实现企业核心能力的媒介,打造卫星互联网星座可以掌握大量的用户数据,从海量的数据中分析用户需求,开展面向最终用户的服务,进入利润蓝海^[27]。传统意义上用制造、发射、运营、服务对产业链进行分割不再使用,上下游的合作和融合,必将造就新的商业模式,带来丰厚的产业收入。

4.3 建议

4.3.1 抓紧发展机遇期,大力推动互联网卫星星座建设,中国卫星产业蓬勃发展可期

自 20 世纪 90 年代以来,卫星通信产业一直受到光纤和无线通信等地面通信手段的挤压,长期处于作为地面电信备份和应急保障的配角地位,发展规模和市场关注程度十分有限。我国卫星通信产业更是受到政策限制,市场迟迟不能开放,进而影响到地面设备制造、系统集成和网络运营能力的提高。中国已经错过了在卫星直播电视领域已形成规模化的产业,应用水平与发达国家的差距越来越大。

此次由国外高科技龙头力推卫星互联网星座,大大改变了人们对商业卫星通信产业发展的预期,会有越来越多的资本、人才和商业模式涌入卫星通信产业。同时,随着中国大力推动“一带一路”的发展,并将航空航天产业纳入《中国制造 2025》战略规划^[38,39],许多境内外的行业将依赖卫星通信系统提供的服务,中国卫星通信产业面临前所未有的发展机遇。而卫星互联网星座能够带来人均卫星基础设施使用成本的降低,将带来用户数量的增长,当价格稳定下来之后,行业的利润也会大幅提升。卫星互联网星座为产业发展提供了重要引擎,中国的通信卫星制造单位以及面向通信行业及基础设施将会全面受益。

4.3.2 充分发挥民营资本在卫星互联网星座建设中的作用,传统卫星制造商必将长期受益

随着中国政府开始放开过去由国企垄断的航天行业,希望通过引入资本竞争以增强航天企业的竞争力,“国务院关于创新重点领域投融资机制鼓励社会投资的指导意见”明确鼓励民间资本正式进入空间领域^[40]。通信卫星作为互联网重要的基础设施,已经得到了谷歌等国外高科技领军企业充分的认可,而中国百度、阿里、腾讯(BAT)等互联网公司都表示出对卫星应用产业的兴趣,卫星互联网民用价值更大,更加

适合得到更多民营资本的支持。

作为中国通信卫星研制的领军企业,中国航天五院将会享受卫星互联网建设带来的丰厚利润。卫星通信产业链的四部分构成卫星制造、卫星运营、地面系统和终端设备,前两部分是寡头垄断,后两部分是竞争红海。航天五院显然在卫星制造领域占据绝对优势,BAT企业开展的各类服务越成熟、越廉价、越大众,对上游的卫星制造的要求就越高,五院的市场机会就越多。五院应当抓住历史机遇期,加紧宽带卫星和互联网星座的论证和研制,积极在这轮通信卫星应用产业化大潮中抢占优势地位。

4.3.3 创新是推动卫星互联网发展浪潮的主要驱动力,中国传统卫星企业必须大力推动创新

从提供的服务来看,传统静止轨道宽带卫星与低轨星座、无人机、高空气球等其他互联接入服务平台类似,一旦这些系统成功部署,将会极大的影响传统卫星企业的生存空间。新兴卫星企业跟拥有大量设备、技术、人才和资本的传统企业相比,在任何一个方面都微不足道,唯一的差别在于自由与创新。

随着越来越多非传统航天企业进入卫星产业,原有的资源、技术、渠道垄断逐渐被打破,依然靠国家、靠政府的投入模式将难以为继,传统卫星企业必须利用自身的技术和资本优势找到自己的竞争优势。为此,传统卫星企业必须像这些创业者们一样学习,对创新理念、管理方式和商业投资保持同样的热情,才能在竞争中立于不败之地。

4.3.4 频率轨位资源是重要的战略高地,中国应谋求全球卫星星座资源的提前布局

卫星频率轨道资源是国家发展的战略性稀缺资源,是空间基础设施建设的基础。长期以来,中国在静止轨道频率轨位资源协调方面遇到了诸多阻力和困难,卫星资源储备不足,影响了相关卫星业务的开展。国外卫星互联网星座频率轨位的争夺再次说明频率的重要性和核心地位。获得频率资源的企业能够在短期内获得资金帮助和合作伙伴,落后一步发展的企业频率协调遇到了极大困难,即使技术、资金和市场条件俱全也进展缓慢。

中国随着国际化发展的不断深入,对于独立自主可控,并且具备全球化能力的通信基础设施的依赖将会越来越多,覆盖全球的通信卫星星座是重要的天基基础设施保障,因而中国应当通过各种可行的建设方式(包括商业合作等),加强卫星资源储备、卫星和地面设施等资源的统筹协调与建设,为未来可能的星座建设做好资源储备。

参考文献(References)

- [1] Euroconsult. Satellite communications & broadcasting market survey forecasts to 2019[R]. Paris: Euroconsult, 2010.
- [2] 国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见[EB/OL]. 2015-07-04[2015-09-10]. http://news.xinhuanet.com/2015-07/04/c_1115815944.htm.
- [3] Peter B. Selding. Virgin, qualcomm invest in OneWeb satellite internet venture [EB/OL]. 2015-01-15[2015-06-18]. <http://spacenews.com/virgin-qualcomm-invest-in-global-satellite-internet-plan>.
- [4] Selding P B. SpaceX to build 4000 broadband satellites in seattle [EB/OL]. 2015-01-19[2015-09-10]. <http://spacenews.com/spacex-opening-seattle-plant-to-build-4000-broadband-satellites>.
- [5] David Curry. Samsung proposes constellation of satellites to offer cheap, global Internet access[EB/OL]. 2015-08-13[2015-09-14]. <http://www.itproportal.com/2015/08/13/samsung-satellite-constellation>.
- [6] Selding P B. Why LeoSat's leaving Internet for the Masses to OneWeb [EB/OL]. 2015-03-10[2015-09-10]. <http://spacenews.com/proposed-leosat-constellation-aimed-at-top-3000>.
- [7] Christopher Redding. Overview of LEO satellite systems[EB/OL]. 1999-01-01[2015-05-28]. http://www.its.blrdoc.gov/media/30335/red_s.pdf.
- [8] Iridium files for Chapter 11 bankruptcy[EB/OL]. 2002-01-02[2015-04-16]. <http://www.cnet.com/news/iridium-files-for-chapter-11-bankruptcy>.
- [9] Ben Charny. Globalstar to file for bankruptcy[EB/OL]. 2001-11-15 [2015-04-20]. <http://www.zdnet.com/article/globalstar-to-file-for-bankruptcy>.
- [10] ORBCOMM files for voluntary chapter 11 protection as part of business restructuring[EB/OL]. 2000-09-15[2015-04-20]. <http://www.prnewswire.com/news-releases/orbcomm-files-for-voluntary-chapter-11-protection-as-part-of-business-restructuring-73284737.html>.
- [11] Sharon Pian Chan. The birth and demise of an idea: Teledesic's 'Internet in the sky'[EB/OL]. 2002-10-07[2015-06-10]. <http://community.seattletimes.nwsourc.com/archive/?date=20021007&slug=teledesic070>.
- [12] Constellation choir singing familiar tune[EB/OL]. 2015-02-05[2015-07-20]. <http://spacenews.com/editorial-wave-of-constellation-fever-has-a-familiar-ring>.
- [13] Carissa Bryce Christensen. Suzette beard iridium: Failures & successes [J]. Journal of Elsevier, 2001,48(5): 817-825.
- [14] Peter B. Selding. Globalstar reports rebound in telephone service[EB/OL]. 2013-08-14[2015-05-20]. <http://spacenews.com/36785globalstar-reports-rebound-in-telephone-service>.
- [15] Selding P B. SES eyes larger O3b stake amid rising satellite broadband demand[EB/OL]. 2015-05-05 [2015-09-05]. <http://spacenews.com/ses-eyes-larger-o3b-stake-amid-rising-satellite-broadband-demand>.
- [16] Selding P B. Sign of a satellite Internet gold rush in burst of ITU filings[EB/OL]. 2015-01-23 [2015-09-11]. <http://spacenews.com/signs-of-satellite-internet-gold-rush>.
- [17] Northen Sky Research. LEO-HTS constellations resurrected: Will they or won't they[EB/OL]. 2015-05-13[2015-08-11]. <http://www.nsr.com/news-resources/webinar-presentation-archive/leo-hts-constellations-resurrected-will-they-or-wont-they>.
- [18] Google Satellite employee Greg Wyler leaves company[EB/OL]. 2014-09-02 [2015-08-24]. <http://www.wsj.com/articles/google-satellite-executive-greg-wyler-leaves-company-1409708338>.
- [19] Selding P B. OneWeb's powerful partners in their own words [EB/OL]. 2015-06-26 [2015-08-12]. <http://spacenews.com/onewebs-partners-in-their-own-words>.
- [20] SpaceX-Google matchup sets up satellite Internet scramble[EB/OL]. 2015-01-23[2015-05-26]. <http://spacenews.com/spacex-google-matchup-sets-up-satellite-internet-scramble>.
- [21] Selding P B. Intelsat asks FCC to block SpaceX experimental satellite [EB/OL]. 2015-07-22[2015-08-23]. <http://spacenews.com/intelsat>

- asks-fcc-to-block-spacex-experimental-satellite-launch.
- [22] Selding P B. LeoSat awaits verdict on constellation's feasibility[EB/OL]. 2015-06-04[2015-08-23]. <http://spacenews.com/leosat-expects-awaits-verdict-on-constellations-feasibility>.
- [23] Peter B S. OneWeb fails (at least for now) to soothe satellite interference fears 2015-09-18[2015-09-29]. <http://spacenews.com/oneweb-fails-at-least-for-now-to-soothe-satellite-interference-fears>.
- [24] Where-fiber-fears-to-trench[EB/OL]. [2015-09-18]. <http://www.o3bnetworks.com/wp-content/uploads/2015/02/white-paper-where-fiber-fears-to-trench.pdf>.
- [25] Northen Ssky Research. Global satellite capacity supply & demand, 11th edition[R]. USA: NSR, 2015.
- [26] Selding P B. Here's why Coca-Cola is investing in OneWeb[EB/OL]. 2015-06-26[2015-09-18]. <http://spacenews.com/heres-why-coca-cola-is-investing-in-oneweb>.
- [27] Selding P B. Launch options were key to Arianespace's OneWeb win [EB/OL]. 2015-06-26[2015-09-26]. <http://spacenews.com/launch-options-were-key-to-arianespaces-oneweb-win>.
- [28] Selding P B. OneWeb pledges vigilance on orbital debris issue[EB/OL]. 2015-10-15[2015-10-28]. <http://spacenews.com/oneweb-pledges-vigilance-on-orbital-debris-issue>.
- [29] 2015 Internet Trends—Kleiner Perkins caufield byers[EB/OL]. 2015-09-18[2015-09-30]. <http://www.kpcb.com/internet-trends>.
- [30] Aireon Ads-B payloads installed on first iridium next satellites[EB/OL]. 2015-06-01[2015-07-20]. <http://www.aireon.com/NewsEvents/NewsReleases/NewsReleaseDetail/ADS-B-Payloads-Installed-on-First-Iridium-NEXT-Satellites>.
- [31] Selding P B. OneWeb taps airbus to build 900 internet smallsats[EB/OL]. 2015-06-15[2015-07-20]. <http://spacenews.com/airbus-wins-oneweb-contract>.
- [32] David H. Raytheon to design information architecture for small satellites[EB/OL]. 2011-07-12 [2015-07-20]. <https://washingtontechnology.com/articles/2011/07/12/raytheon-darpa-satellites.aspx>.
- [33] Selding P B. ViaSat emphasizes revenue over subscriber numbers[EB/OL]. 2014-08-13[2015-07-20]. <http://spacenews.com/41583viasat-emphasizes-revenue-over-subscriber-numbers>.
- [34] Selding P B. CNES partners with Google on Internet Balloon Project [EB/OL]. 2014-12-12[2015-05-22]. <http://spacenews.com/cnes-partners-with-google-on-internet-balloon-project>.
- [35] Selding P B. Wall Street grills fleet operators over mega-constellation threat[EB/OL]. 2015-2-23[2015-05-22]. <http://spacenews.com/wall-st-grills-fleet-operators-over-mega-constellation-threat>.
- [36] Selding P B. Facebook and eutelsat lease Ka-band capacity to help connect Africa[EB/OL]. 2015-10-05[2015-10-15]. <http://spacenews.com/facebook-and-eutelsat-lease-ka-band-capacity-to-help-connect-africa>.
- [37] Selding P B. Facebook-Eutelsat Internet deal leaves industry awaiting encore[EB/OL]. 2015-10-09[2015-10-15]. <http://spacenews.com/facebook-eutelsat-internet-deal-leaves-industry-awaiting-encore>.
- [38] 中国或将新发卫星“一带一路”通信信号全覆盖[EB/OL]. 2015-04-26[2015-08-28]. http://news.xinhuanet.com/info/2015-04/26/c_134184959.htm.
- [39] 国务院印发《中国制造 2025》[EB/OL]. 2015-05-19[2015-07-19]. http://news.xinhuanet.com/politics/2015-05/19/c_1115331338.htm.
- [40] 国务院发 60 号文件:鼓励民间资本进入空间领域[EB/OL]. 2014-11-27[2015-29]. <http://www.dsac.cn/News/Detail/22163>.

The development of emerging satellite internet constellations

LIU Yue, LIAO Chunfa

Beijing Space Science and Technology Institute, Beijing 100086, China

Abstract In 2015, OneWeb and SpaceX were developed as the Emerging Satellite Internet Constellation Projects among others. This paper reviews the development of the satellite internet constellation since the 1990s, and discusses the characteristics of different ones in different periods and the key factors that affect the success of the projects. This paper also makes an analysis of their advantages & risks on the context of the market positioning, the profit model, the satellite manufacturing, the satellite launching and the financing. The past failure lessons are used to evaluate the future new constellations. It is pointed out that the future development of emerging internet constellations will not simply repeat the past patterns. The emerging satellite constellations would have positive influences on the traditional satellite communication industry, the satellite operation, the satellite manufacturing and industry development concepts.

Keywords satellite internet constellation; leo communication satellite constellation; communication satellite industry

(责任编辑 陈广仁)