

中俄卫星技术合作:现状、问题与前景

崔懿欣 王树春

【内容提要】 卫星应用技术和研发是各国重要的科技战略资源。卫星应用技术方面,在导航领域保障了重要的时空基准信息源,在通信领域提供了高覆盖率、高安全度的信息服务。四大卫星导航系统各有优势,北斗系统和格洛纳斯系统的合作有利于双方导航系统的性能提升。中俄两国在卫星导航领域的合作经历了明确合作意向(2014~2016年)、提供合作保障(2017~2021年)和落实合作项目(2022~2023年)三个阶段。在尚未完全解决的极地通信领域,两国具备合作条件与合作前景。卫星研发方面,中俄各有优势,俄罗斯的火箭发动机技术基础扎实,中国的电子信息制造业和5G网络技术则具有领先优势。总体来说,中俄在卫星技术合作上具有合作领域的保守性、可变性特点,双方合作意愿强,实际进展慢,易受国际局势影响,但仍有合作空间与发展潜力。

【关键词】 中国 俄罗斯 卫星技术 科技合作

【基金项目】 广东省教育厅科研项目“粤港澳大湾区参与‘冰上丝绸之路’建设研究(项目编号:2023WTSCX066);广东外语外贸大学研究生科研创新项目“俄罗斯北极战略与中俄北极合作”(项目编号:24GWCXXM-045)。

【作者简介】 崔懿欣,广东外语外贸大学西方语言文化学院博士研究生;王树春,广东外语外贸大学国际关系学院教授、俄罗斯研究中心主任、博士生导师。

科技合作是国家间技术交流的主要途径,也是科学发展的必由之路。中俄两国在苏联时期就奠定了良好的合作基础,在技术合作层面互通有无。新时期中俄两国良好的合作关系得到进一步巩固,又在战略互信的前提下深化合作领域,拓展了科技合作的深度与广度。在信息化时代,卫星的应用和研发是国家重要的科技战略资源。中俄在卫星技术领域的合作是两国合作的新亮点,也是顺应时代变化、符合未来发展方向的新起点。在中俄卫星技术合作中,应用技术实用性强、转化率高,有合作基础,虽然研发技术难度大,但前景广,符合现实需求。

一 中俄卫星导航领域的合作现状

卫星导航的应用技术是当代极为重要的时空基准信息源,在推动国民经济发展的同时也提高了多种社会效益,是各国重要的战略资源。美国的全球定位系统(Global Positioning System,以下简称GPS)、俄罗斯的格洛纳斯卫星导航系统(Глобальная навигационная спутниковая система,ГЛОНАСС,以下简称格洛纳斯系统)、欧洲的伽利略卫星导航系统(Galileo Navigation Satellite System,以下简称伽利略系统)和中国的北斗卫星导航系统(Beidou Navigation Satellite System,以下简称北斗系统)是全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System,GNSS)的四大核心供应商。这四大系统在分布范围、市场运营和技术特点上各有优劣。全球卫星导航系统中多个系统的融合可以增加观测卫星的数量,优化结构,从而提高定位的精准度、连续性和可靠性。

(一) 四大卫星导航系统各有优势

1. 四大卫星导航系统的基础特色

美国的GPS是世界上第一个全球卫星导航系统,也是到目前为止全球应用最广泛的导航定位系统。GPS的前身是1958年美军研制的子午仪卫星导航系统,其应用成果和实践经验为GPS的研发奠定了基础。1973年美国国防部开始建设性能更加精确的GPS,1994年该系统全面建成。截至2023年7月,GPS星座卫星组成数目为31颗^①,该系统包括民码和军码,但大多数用户只能安装民码,其精准度比军码差90%左右。GPS卫星以其高覆盖范围、高频率传输、高精度定位和定时优势迅速占领了全球大部分军用及民用卫星导航市场,具有一定的市场垄断地位,是各大相关产业的研发基础,带动了导航领域的产业发展。因此,GPS的运行时间长、技术成熟,应用和普及程度高,在全球范围内商业化运营程度高。

俄罗斯的格洛纳斯系统始建于1982年,苏联解体后由俄罗斯接手运营。1993年俄罗斯着手建立自己的全球卫星导航系统,1995年该系统完成第一代24颗格洛纳斯卫星系统的部署后投入运行。20世纪90年代,俄罗斯国内政治、经济转型过快,社会经济崩溃,资金短缺导致很多项目被搁置。作为资金消耗极大的大型空间项目,格洛纳斯系统的运营得不到保障,迅速退化,星座卫星数量急剧下降。2002年该星座卫星只剩7颗,无法提供定位、导航和授时服务。鉴于GPS在全球卫星导航市场的重要作用,俄罗斯重新意识到卫

^① Space Segment,GPS,<https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

星导航系统的重要性,着手对格洛纳斯系统进行恢复和现代化改造。经过几番努力,2011年格洛纳斯系统恢复全球覆盖,从只提供俄境内的服务拓展到在全球范围内提供服务。截至2024年1月24日,格洛纳斯在轨卫星为26颗^①。系统采用频分多址的卫星识别方式,具有较强的抗干扰能力,且对民用和军用提供无差别化服务,保障了接收用户的完整权益。但由于俄罗斯政府财政状况不稳定,无法保障卫星的高成本运营,该系统长期处于降效运行状态,地面维护和接收设备及相关应用的开发进程缓慢。

欧洲的伽利略系统是第一个专门针对民用的卫星导航系统,具有商业性质,不受军方控制,由欧盟委员会和欧洲航天局共同负责。2002年3月,欧盟批准伽利略计划。按计划,完整的伽利略系统星座由30颗中轨卫星组成,截至2023年5月,该系统空间段共有28颗在轨卫星^②。伽利略系统能较好地与其他卫星导航系统实现相互操作,与GPS和格洛纳斯系统高度兼容,一定程度上保障了信号的稳定性。此外,伽利略系统的导航卫星和地面设施更注重现代化升级,但其最大的问题是资金和运营。项目筹备很早,但因开支超标导致原有模式破产,资金的筹备工作和机构间协调问题导致该计划被一再推迟。2005年欧盟才发射了伽利略计划的第一颗试验卫星“GIOVE - A”,2011年发射了第一颗正式卫星,2016年具备了试运行能力,2019年具备完全运行能力。该系统在2017年1月发生原子钟故障事故,2019年又发生了故障导致服务停止,因此,伽利略系统的运营状态不稳定。

中国的北斗系统是自主建设运行的全球卫星导航系统,是国内重要的时空基础设施。北斗系统可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度的定位、导航和授时服务。2000年年底建成北斗一号系统,向中国提供服务;2012年年底建成北斗二号系统,向亚太地区提供服务;2020年建成北斗三号系统,向全球提供服务^③。北斗一号系统设计了双向短报文通信功能,北斗二号系统和北斗三号系统增加了无源定位,是双模式工作。有源定位在导航、定位、授时的功能之外还多一个短报文功能,这种独立通信的功能使得用户间可以进行短信息通信,支持全球短报文通信、区域短报文通信是北斗系统的独特之处。此外,国际搜救、精密单点定位、星基增强、地基

^① Состав и состояяие орбитальной группировки ГЛОНАСС на 24.01.2024 г. <https://glonass-iac.ru/>

^② Galileo Second Generation Satellites Take Shape, https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Galileo_Second_Generation_satellites_take_shape

^③ 《北斗卫星导航系统介绍》, <http://m.beidou.gov.cn/xt/xjjs>

增强等特征都是北斗系统的特色。

2. 四大卫星导航系统的优势对比

从卫星数量和覆盖范围看, GPS 在轨卫星 31 颗, 格洛纳斯系统在轨卫星 26 颗、伽利略系统在轨卫星 28 颗, 北斗系统在轨卫星 45 颗。虽然在卫星数量上各系统有差距, 但都能做到全球覆盖, 只是在卫星的布局范围和信号接收效率上有差异。GPS 在美洲地区和低纬度地区覆盖密集, 格洛纳斯系统在高纬度地区覆盖能力强, 伽利略系统的优势在欧洲和大西洋地区, 北斗系统在低纬度的亚太地区覆盖范围广。这种差异是由导航系统的管理与需求决定的, 受到国家利益的现实驱动。在实际应用中, 地面站的分布也是影响卫星信号输出精确度的重要因素。

从导航系统的精确度方面看, 最终结果受很多因素的影响。自然因素、轨道设置、星载原子钟技术以及接收器的信息转化是影响导航结果的主要因素。在不同纬度、不同地区的效果也有很大差异, 这与卫星星座和地面站的分布密切相关。例如, 在南北纬 45 度以内的中低纬度地区, 北斗系统的动态定位精度与 GPS 相当, 水平和高程方向分别可达 10 米和 20 米左右; 北斗系统的静态定位水平方向精度为米级, 也与 GPS 相当, 高程方向 10 米左右, 较 GPS 略差^①。在中高纬度和北极地区, 格洛纳斯系统的卫星分布较多, 定位精度高, 且抗干扰性强。GPS 的卫星覆盖较广, 应用场景多, 但军用和民用精度差别大。伽利略系统的卫星分布主要集中在欧洲地区, 商用程度高, 针对民用的定位精度为 1 米, 且覆盖范围包括挪威、瑞典等高纬度区域。

表 1 四大卫星导航系统的性能对比

系统名称	覆盖范围	轨道高度 (万千米)	在轨卫星数 (颗)	定位精度 (米)	与国际 UTC 时差*
GPS	全球	2.020 0	31	4.90(民用)	<30 纳秒
格洛纳斯系统	全球	1.910 0	26	3.00~6.00(民用)	1 毫秒
伽利略系统	全球	2.322 2	28	1.00(公开) 0.01(加密)	30 纳秒
北斗系统	全球	2.1528	45	水平方向优于 2.50, 垂直方向优于 5.00(全球)	26 纳秒以内

注: UTC 为协调世界时 (Universal Time Coordinated)。

资料来源: 作者根据公开信息自制, 《北斗卫星导航系统公开服务性能规范 (3.0) 版》, <http://www.beidou.gov.cn/xt/gfxz/202105/P020210526215541444683.pdf>; 《〈北斗卫星导航系统建设与发展〉报告全文》, http://www.beidou.gov.cn/zt/dhnh/dssjzgwxdhnh/nhdt13/202304/t20230427_26378.html; http://www.beidou.gov.cn/zt/dhnh/dishierjie/nhdt12/202109/t20210901_23213.html

^① 《北斗和 GPS 授时精度相差多少?》, <http://www.xbd-time.com/news/news141.html>

四个系统中 GPS 运行时间长、技术成熟、应用和普及程度高,但有军码、民码区别;格洛纳斯系统抗干扰性强,但市场运营效果一般,相关产业经济支撑不强;伽利略系统商业性强,多性能兼容,但系统运行不稳定;北斗系统已经更新了三代系统,具有短报文功能特色,但还需继续进行国际化推广,扩大普及程度和商业应用。其中,GPS 在全球具有一定的市场垄断地位。卫星导航应用技术作为重要的国家战略资源,需要保障特殊时刻 GPS 的可替代性。多个全球卫星导航系统的融合可以增加观测卫星的数量,优化结构,从而提高定位的精准度、连续性和可靠性。基于中国已经有北斗系统的重要保障,美国和欧洲的技术保护限制多,因此,中国与俄罗斯开展卫星导航领域的国际合作就显得尤为重要。

(二) 中俄卫星导航合作历程

中俄都是在航天领域具有优势地位的大国,在航天领域有着良好的合作基础。2008 年的日内瓦裁军谈判会议上,中国就曾与俄罗斯联合提出“防止在外空放置武器、对外空物体使用或威胁使用武力条约”(草案),2014 年,两国再度联手更新了该草案并提交裁军谈判会议。与此同时,作为拥有全球卫星导航系统的科技大国,中俄在该领域的合作也逐渐深入。这种合作既是两国卫星导航技术走向国际化的重大进展,也是双方深化战略合作的有效成果。中俄在卫星导航领域的合作主要经历了三个阶段,历时长达 10 年。

1. 明确合作意向(2014~2016 年)

这一阶段中俄在卫星导航领域的合作完成了从无到有,从有到优的突破。2014 年 6 月,两国派代表参加卫星导航领域的合作圆桌会议,双方签署了中俄卫星导航合作谅解备忘录^①。这是双方表明合作意向的第一步,为以后在卫星导航领域的技术合作奠定了基础。2014 年 10 月中俄总理第十九次定期会晤期间,双方签署《中国卫星导航系统委员会与俄罗斯联邦航天局在全球卫星导航领域合作谅解备忘录》,明确成立中俄卫星导航重大战略合作项目委员会,提出了增强系统、兼容与互操作、监测评估、应用推广四个后续重点合作领域,合作意向得到扩展。此后,两国在卫星导航领域的合作被正式纳入中俄总理定期会晤机制框架,标志着两国在该领域的合作正式启动。明确合作意向后,2015 年 5 月,中俄两国签署了《中国北斗和俄罗斯格洛纳斯系统兼容与互操作联合声明》。该联合声明是北斗系统与全球其他卫星导

^① 《俄罗斯航天专家:对中俄卫星导航系统合作前景充满希望》,http://www.beidou.gov.cn/yw/xwzx/201910/t20191013_19205.html

航系统签署的首个系统间兼容与互操作政府文件^①,标志着北斗系统走向国际市场。2016年10月,双方通过了卫星导航监测评估服务平台、北斗系统与格洛纳斯系统跨境运输车辆联合应用示范、中俄卫星导航芯片联合设计中心等7个项目可行性报告,同意推进星基增强系统、导航领域教育培训项目等合作^②。至此,中俄在多方面确认了合作意向与合作领域,为项目的具体实施奠定文本基础。

2. 提供合作保障(2017~2021年)

这一阶段中俄在卫星导航领域基本完成了文本磋商,为项目实施做好合作保障工作。2017年两国联合启动了卫星导航监测与服务平台。2018年11月,双方签署《中华人民共和国政府和俄罗斯联邦政府关于和平使用北斗和格洛纳斯全球卫星导航系统的合作协定》^③,为两国在卫星导航领域的合作提供了法律和组织保障,这是合作走向制度化的一步,具有里程碑意义。2019年8月,中俄卫星导航监测站站址完成勘察,签署了勘察证明,审议通过了精准农业项目的可行性研究报告,发布了中俄卫星导航系统全球信号多模多频射频芯片,并就跨境运输、监测评估领域等后续合作进行深入探讨^④。这为北斗系统与格洛纳斯系统实现兼容做好了准备。2021年11月,双方签署《2021至2025年中俄卫星导航领域合作路线图》,该份合作路线图规划了至2025年的中俄卫星导航合作目标、优先合作项目以及综合保障措施^⑤。至此,中俄两国将未来在卫星导航领域的合作以路线图的形式确定下来,合作的目标和措施也逐渐清晰。

3. 落实合作项目(2022~2023年)

这一阶段的中俄合作受国际局势影响较大,俄罗斯的合作态度更积极主动,双方在卫星导航领域的合作实现了重要突破。2022年9月,中俄签署了

① 《中俄签署北斗系统和格洛纳斯系统兼容与互操作联合声明》, <https://www.bdth.cn/aspems/news/2015-5-15/111.html>

② 《从卫星导航看中俄大国合作》, http://m.beidou.gov.cn/yw/xwzx/201909/t20190923_19011.html

③ 《中俄卫星导航政府间合作协定在京签署》, https://www.beidou.gov.cn/zt/gfhd/201811/t20181107_16513.html

④ 《中俄卫星导航系统“牵手”》, <https://www.cnsa.gov.cn/n6758823/n6758840/c6807274/content.html>

⑤ 《中俄总理第二十六次定期会晤联合公报(全文)》, https://www.mfa.gov.cn/web/zyxw/202112/t20211201_10460421.shtml

两国境内北斗和格洛纳斯跟踪站互相建设和运维项目合同,以及联合提供北斗系统与格洛纳斯系统用户信息支持服务的声明。根据合同内容,格洛纳斯系统和北斗系统将分别在中俄设置地面站^①。2023年3月,中俄总理定期会晤委员会卫星导航合作分委会成立,双方开启了务实合作新篇章。

中俄在卫星导航应用技术领域的合作推动了双方卫星导航系统的全面建设,也提升了应用市场的国际化发展。虽然经历了几个阶段的状态变化,进展较慢,但现已取得阶段性成果。

二 中俄卫星研发领域的合作现状

冷战时期,为与美国开展太空竞争,苏联在航天科技领域投入巨大,为俄罗斯留下了大量技术遗产。苏联解体后,政治、经济转型造成的国家困境使俄罗斯无暇顾及航天领域的保障,技术发展一度停滞。没能在技术领域赶上更新迭代的俄罗斯在数字技术上落后于美国,但在空气动力学和航天材料等传统领域仍具优势。凭借基础科学的学科优势和大量实践经验,俄罗斯在航空、火箭、核能等领域处于研发前沿,有开展国际合作的技术条件。

(一) 中俄在火箭发动机研发上的合作优势

卫星星座的运营需要保障一定数量且状态良好的在轨卫星。打造卫星星座的成本主要由制造成本和发射成本两部分构成。卫星的发射离不开运载火箭,在运载火箭的技术中发动机技术至关重要。自20世纪60年代中期开始,中国的导弹、运载火箭及不同型号的卫星完全靠独立自主研制成功。充分利用国内的制度优势,有效“集成”,实现了中国航天工程总体上的进步与创新^②。随着卫星应用技术的推广和国家科技布局的落实,中国的卫星发射需求逐年增加。2023年完成67次发射任务,位列世界第二,研制发射221个航天器,发射次数及航天器数量刷新中国最高纪录^③。在技术方面,中国的“长征”系列运载火箭承担了大部分的太空发射任务,但在重型火箭推力上,相比俄美还有一定差距。在成本方面,当前的火箭发射成本仍有很大压

^① 《〈北斗卫星导航系统建设与发展〉报告全文》, https://www.beidou.gov.cn/zt/dhnh/dssjzgwxdhnh/nhdt13/202304/t20230427_26378.html

^② 李成智、王晶金:《中国航天工程:发展阶段、创新模式及现代意义——以长征系列运载火箭为例》,《工程研究——跨学科视野中的工程》2022年第6期。

^③ 《集团发布〈中国航天科技活动蓝皮书(2023年)〉》, <https://www.spacechina.com/n25/n2014789/n2414549/c4048689/content.html>

缩空间。中国的火箭研发以国企为主导,民营企业占比低,商业化程度低。传统航空航天机构受到管理、技术、效率和垄断等多种因素的制约,造成本偏高^①。这种模式保障了研发前期的资源集中,但长远来看,将削弱产品竞争力,不利于行业的未来发展和国际推广。在火箭的发射成本方面,美国领先于其他国家。在国际市场上,美国太空探索技术公司(SpaceX)推出的“猎鹰”系列火箭在可靠性、成本以及运载能力等许多方面均遥遥领先^②。

俄罗斯继承了苏联在航空研发领域的科研基础,在火箭制造和发动机研发上具有优势,尤其在液氧煤油燃料方面的技术世界领先。俄罗斯动力机械科研生产联合体和中国长城工业总公司旗下公司也曾就液体燃料航天发动机领域进行合作商谈。此外,俄罗斯在国际空间站的合作上也积累了丰富的经验。俄罗斯的“RD-170”系列火箭发动机是迄今为止推力最强的液态火箭发动机,2017 年开始研发的“RD-171MV”型火箭发动机推力超过 800 吨,功率达到 24.6 万马力,是目前世界上功率最大的火箭发动机^③,2022 年,“RD-171MV”发动机完成测试,计划用于“联盟 5”运载火箭^④。此外,“RD-180”火箭发动机更是俄罗斯相对美国而言享有技术优势的拳头产品。1997 年俄美签署协议,在 2018 年年底前向美国供应 101 台“RD-180”火箭发动机,为“Atlas-V”运载火箭提供动力^⑤。2014 年乌克兰危机后,鉴于俄美关系日渐恶化和国际局势的变化,美国开始考虑研发“RD-180”火箭发动机的替代品。2022 年 4 月,俄罗斯交付了最后 6 台“RD-180”火箭发动机后,美国方面表示停止采购^⑥。“RD-180”火箭发动机的长期供应是俄罗斯航天工业的重要收入来源,考虑到航天工业紧张的经济状况,俄罗斯也在寻找其他合作者。因此,中俄合作对中国航天事业的发展有助力作用,也有利于推动自身科研技术的发展与创新。

① 季鹏飞等:《“星链”卫星低成本建设因素及方法研究》,《科技创新与生产力》2023 年第 10 期。

② 同①。

③ 《俄将推出“全球最强”火箭发动机》, <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1652178683507651371&wfr=spider&for=pc>

④ 《俄航天集团:用于“联盟 5”火箭的 RD-171MV 发动机完成测试》, <https://sputniknews.cn/20220825/1043375147.html>

⑤ 李虎平:《俄美太空合作:进程、动因与展望》,《俄罗斯研究》2023 年第 2 期。

⑥ "Надумают докупить еще – пусть обращаются", В "Роскосмосе" прокомментировали прекращение закупок РД-180 американцами. https://www.gazeta.ru/science/2021/09/04_a_13951880.shtml

在卫星运载火箭发射的成本方面,除了在技术领域加大自主创新外,还可以通过国际科技合作的方式优化资源配置。受俄乌冲突影响,俄罗斯与美西方国家关系恶化,国际技术合作也受到重创。因此,俄罗斯总统普京强调“创建强大的卫星星座可以保障高质量的导航、通信及卫星数据传输”,“所有这些都是最重要的任务,解决这些问题需要加强航天领域国家、企业和科研机构之间的互动”^①。未来中俄两国在火箭发动机领域的合作前景十分广阔,良好的国际合作能在保障发射任务的同时降低发射成本,拓展交流空间。

(二) 中俄在电子信息制造业和 5G 网络技术上的合作优势

电子技术是卫星制造的关键。电子元器件被广泛应用于智能终端、汽车电子、5G 通信、物联网以及航空航天、能源交通、军事装备等领域。电子信息产业是国民经济的战略性、基础性和先导性支柱产业^②。改革开放以来,中国的电子信息产业在规模、结构和技术水平方面都得到大幅提升。

苏联解体后,受财政收入和工业结构的限制,俄罗斯电子工业发展逐渐落后,高端电子元件进口比例较高。这种电子元件国产化率较低、依赖进口的情况是影响俄航天工业独立发展的重要因素之一。2014 年乌克兰危机后,俄罗斯卫星制造领域的困境更加明显。由于西方制裁,卫星的制造陷入困境,俄罗斯开始寻求中国制造商为其提供航天设备的高端电子元件。在俄罗斯的卫星中,进口电子元件的比重为 25%~75%,而在“格洛纳斯-K”等最先进的航天器中,进口零件的份额达到 90%^③。2015 年,时任俄罗斯副总理罗戈津建议俄中两国加强在航天领域的合作,俄罗斯向中国提供火箭发动机,而从中国购买俄发展航天器所需的电子元件,甚至提出计划在俄境内建立俄中联合企业,生产北斗和格洛纳斯卫星导航系统的接收模块和芯片组^④。近年来,运用 5G 技术与卫星联网的趋势引发了卫星产业的数字化转型。在一些通信设备短缺、基础建设薄弱的偏远地区或自然灾害突发的应急状态下,地面网络的覆盖性和抗毁性都不如卫星网络。卫星通信作为地面通

① Путин поставил задачу нарастить производство отечественных спутников для различных целей. <https://tass.ru/kosmos/17509507>

② 《电子元器件产业链亟需融合发展》, <http://www.news.cn/tech/20230208/e7707b31338840328ffd671ac8c0fa28/c.html>

③ К. И. Игнатова, А. С. Грачева. Импортзамещение в космосе//Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Том 2.

④ 《俄卫星制造因西方制裁陷困境》, <https://www.cnsa.gov.cn/n6758823/n6759010/c6773861/content.html>

信的延伸与补充,可以实现全球覆盖,不受地理环境限制。

三 中俄极地通信领域的合作现状

生态环境的变化和潜在的资源优势使得北极聚焦了世界目光,成为大国竞争的新热点。但受其特殊的地理位置和自然条件限制,目前北极地区通信保障尚未解决。俄罗斯在北极地区的陆地面积为340万平方公里,占其领土总面积的19.9%^①。俄罗斯拥有最长的北冰洋海岸线,长度超过2.4万公里,占北冰洋海岸线的53%,约有240万俄罗斯居民生活在北极地区^②,是名副其实的北极大国。中国参与北极事务的历史渊源可以追溯到1925年,北洋政府接受法国提议加入了《斯匹次卑尔根群岛条约》,使得中国在北极拥有了可以自由进入、在法律规定的范围内从事正当的生产和商业活动的权力。2018年发布的《中国的北极政策》白皮书中提到,中国是北极事务的重要利益攸关方,应积极参与北极开发的基础设施建设^③。北极地区的气候变化和资源航道的利用是全球人民需要共同面对的挑战与机遇。中俄也应该携手合作,共同应对,加快基础设施建设,其中就包括解决通信保障。在极地卫星通信方面,中俄具备合作条件,拥有良好合作前景。

(一) 现代卫星通信概况和北极卫星通信现状

1. 现代卫星通信概况

在现代卫星通信市场中,除军用卫星通信外,商用卫星通信系统主要包括图莱亚(Thuraya)卫星通信系统、“VSAT”(Very Small Aperture Terminal)卫星通信系统、国际海事卫星(Inmarsat)通信系统和铱星(Iridium)卫星通信系统。图莱亚卫星通信系统主要覆盖欧洲、非洲、中东和东南亚等地;“VSAT”卫星通信系统是具有甚小口径天线且价格低廉的智能化小型地球站^④;国际海事卫星通信系统占据一半以上市场份额,处于世界领先地位,是目前唯一作为强制性的海上遇险安

① Сoвeщaниe пo вoпpocу кoмплeкcнoгo рaзвития Aрктики. <http://www.kremlin.ru/catalog/persons/81/events/54147>

② Russia and the Arctic Region, The Russian Federation, <https://arctic-council.org/about/states/russian-federation/>

③ 《〈中国的北极政策〉白皮书(全文)》, <http://www.scio.gov.cn/ztk/dtzt/37868/37869/37871/Document/1618207/1618207.htm>

④ 北京米波通信技术有限公司:《现代商用卫星通信系统》,电子工业出版社2019年版,第134页。

全通信标准被纳入《国际海上人命安全公约》的通信系统,也是在北极附近海域行驶商船的主要卫星通信方式;在这几类主要的商用卫星通信系统中,美国的铱星卫星通信系统依靠其星间链路和极地轨道优势是能做到真正意义上全球覆盖(含南北极)的卫星通信系统,为用户提供语音、短消息、传真和数据等业务。

2. 北极卫星通信现状

因北极地区特殊的地理位置、磁场环境和极寒的自然条件导致该地区的卫星通信尚未完全畅通,再加上常住人口稀少、用户需求较低、建设成本较高等原因,解决该地区的卫星通信问题困难重重。铱星卫星通信系统在当代中低轨道卫星系统中市场份额较大。现代卫星系统的覆盖范围大部分仅限于南北纬70°以内,国际海事卫星通信系统之类的商用系统也只能在南北纬70°左右以内的地区运行,而北极航道的地理位置则需要更高纬度的信号覆盖。目前,只有美国的铱星卫星通信系统能够做到,但它只提供语音通信,其信号也并不稳定,只能保障一些关键设备的通信,北极地区的卫星通信状态亟待改善。

目前除了美国的铱星卫星通信系统,其他卫星通信系统的覆盖范围都被限制在南北纬70°以内,无法覆盖更高纬度的北极航线。全球卫星导航系统在世界沿海区域的主要港口都有陆基导航设备辅助,但这也只能提供距海岸约200公里的覆盖范围,远远达不到国际海事组织建议的安全距离。国际海事组织建议,在可能致命的冰雪覆盖水域中船舶要在4米的范围内确定位置,而且要沿着破冰船的路径航行^①。鉴于北极地区的特殊情况,建立低轨卫星星座是提供高数据联通、高时效性应用和大范围覆盖的优质解决方案。但动辄几百上千的星座部署和庞大的资金要求导致低轨卫星星座计划的执行一再推迟。

近年来,美国的“星链”(Starlink)计划发展速度极快,是目前最大的低轨卫星星座,可以做到向偏远地区提供高速互联网服务。但其覆盖的最佳地区仍是美国北部及加拿大南部,理论上也可以做到南北极覆盖,但需要建立足够多的地面站,而极地地面站的建立困难重重。

(二) 中俄极地通信的合作前景

1. 俄罗斯的北极通信现状

俄罗斯在北极通信领域做了很多努力,但因为资金短缺、技术难度高、维护成本高等现实原因仍未能完成北极地区卫星通信的全覆盖。目前在俄罗

^① Enhancing Satnav for Arctic Voyagers, August 01, 2019, https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Enhancing_satnav_for_Arctic_voyagers

斯运行着“快讯”(Экспресс)和“亚马尔”(Ямал)系列通信卫星,但它们位于地球静止轨道,能力仅限于北纬70°以内。2017~2019年,俄罗斯发射了4颗名为“钟声”(Благовест)的通信卫星,这是服务于俄罗斯国防部的军用卫星,为驻扎在北极的俄罗斯军队提供安全的数据传输通道以及视频会议和电话通信等服务。2006~2020年,为增加卫星星座、拓展覆盖范围、提供完善的通信功能,俄罗斯接连发射了“子午线”(Меридиан)和“子午线-M”(Меридиан-M)系列的极地通信卫星,总共发射8颗,其中有6颗在轨运行,该系统仍是保障军方通信的军用卫星通信系统^①。在民用方面,2020年5月,俄罗斯开始设计下一代“信使”(Гонец)的低轨通信卫星系统,计划共发射28颗卫星,连接到在北方海域的船上。俄罗斯数字发展、通信与大众传媒部部长尼古拉·尼基弗洛夫表示:“俄罗斯在地球静止轨道上拥有足够的通信卫星星座,但它实际上位于赤道上方,北部地区被这些卫星的射线切向覆盖,我们的最大纬度是76°。同时,‘Сабетта’处于北纬71°~72°的水平,这几乎是卫星覆盖技术能力的极限。”^②2018年3月,通信部门向俄联邦政府提交了《北极卫星通信发展构想》,拟发射5颗地球静止轨道卫星,其中4颗发射在高椭圆轨道上,尽可能地扩大覆盖范围。

2018年6月,俄罗斯总统普京提到了用于卫星定位(导航)、地球监测和通信的“球体”(Сфера)多卫星轨道星座项目,并表示该项目将会引发通信领域的革命^③。“球体”多卫星轨道星座项目是俄罗斯全球卫星通信系统计划的项目,计划发射600多颗用于地球遥感和通信的人造卫星,旨在提供物联网服务,并为偏远地区,特别是北极地区提供通信服务,尤其是为北方海路提供通信服务。该项目自创立至今,星座的计划卫星数量一直在大范围调整,且受资金所限直至2022年10月才发射了第一颗卫星——“斯基泰人-D”(Скиф-D)。俄罗斯计划在2025年发射高椭圆轨道卫星——“信使-RV”(Экспрес-RV),为北冰洋地区提供通信服务和互联网的宽带接入,这也是“球体”多卫星轨道星座项目的一部分^④。2023年10月,俄罗斯航天集团总

① Спутниковая связь для Арктики. <https://goarctic.ru/society/sputnikovaya-svyaz-dlya-arktiki/>

② 同①。

③ Путин анонсировал абсолютную революцию в сфере связи. <https://ria.ru/20180607/1522261110.html>

④ Первый спутник "Экспрес-RV" запустят в 2025 году. <https://rg.ru/2022/12/07/pervyj-sputnik-ekspres-rv-zapustiat-v-2025-godu.html>

裁尤里·鲍里索夫表示,金砖国家和非洲国家对俄罗斯的“球体”多卫星轨道星座项目表现出兴趣并准备与其合作^①。

由此可见,尽管在技术上可以解决极地卫星通信问题,但由于经济、政策、需求等多重因素影响,目前,北极地区大部分通信仅靠数量稀少的小卫星星座提供,数据流量小、覆盖地区少,难以保障现实需求。

2. 中俄极地通信的合作前景

短波通信和北斗系统的短报文功能都可以辅助解决北极通信的保障问题。技术上,低轨卫星星座建设将会更好地解决北极地区的通信保障。

短波通信。目前大部分远洋商船的常规通信都是依靠国际海事卫星组织提供的通信、警报和安全信息播发等功能,但海事卫星无法覆盖南北纬 73° 以上的区域。因此,短波通信就成为极地航行通信的重要补充。中国交通运输部北海航海保障中心在 2016 年、2017 年和 2019 年进行了三次随船测试,通过船舶航行到东北航道期间,在天津、哈尔滨、满洲里和昌吉 4 个测试点进行质量测试,验证中国东西两端短波通信对北极东北航道的保障能力,据此提出国内短波通信保障北极东北航道的具体方案^②。

北斗系统的短报文功能。目前,北斗三号系统的短报文通信能力显著提升,信息发送能力从一次 120 个汉字提升到一次 1 200 个汉字^③。兼顾导航定位和短报文功能的北斗系统非常适用于极地人员和船只的搜救行动。2022 年年底,国际海事组织认可北斗报文服务系统加入全球海上遇险与安全系统^④。这意味着北斗系统的短报文功能得到了国际认可,成为国际海事救援系统的正式通信模式,可为北极地区的开发和利用提供更好的通信保障。

低轨卫星星座。技术上通过建立低轨卫星星座能更好地完成极地信号全覆盖。与地面通信方式相比,低轨卫星物联网具有覆盖范围广,受天气、地理条件影响小,系统容量大等优势,是通信领域的一个新方向,很多国家都在开展相关领域

① 《俄航天集团总裁:金砖国家和非洲国家对“球体”项目感兴趣》, <https://sputniknews.cn/20231027/1054429663.html>

② 《北极短波通信保障随船测试启动》, https://www.gov.cn/xinwen/2019-09/04/content_5427254.htm

③ 《大功告成,北斗收官!》, https://www.nesti.gov.cn/kjdt/ztbd/jjhtkjjzwftmx/kjjz/bd/202203/t20220328_64147.html

④ 《国际海事组织认可北斗报文服务系统加入全球海上遇险与安全系统》, <https://www.msa.gov.cn/page/article.do?articleId=E228CAF1-73BA-488A-83D7-BBF06F791D25&channelId=A1C5D4CC-DB15-493C-B2FC-A14C490D6331>

的布局。中国提出了“鸿雁星座”“虹云工程”等低轨卫星项目规划。2020年,中国向国际电信联盟提交了两个星座的频谱申请,分别是“GW-A59”和“GW-2”两个星座。其中,“GW-A59”有3个子星座,共计6080颗卫星^①;“GW-2”则由4个轨道高度1145公里、轨道倾角间隔10°的子星座组成,共计6912颗卫星^②。资源整合方面,2021年4月中国卫星网络集团有限公司成立,主要从事卫星互联网的论证设计、研究试验、工程设计、工程建设、工程服务、运行控制、运营管理等业务。虽然目前低轨卫星星座的开发进程较慢,但中国拥有联合国产业分类的全部工业门类,人才济济、政策利好。相比之下,俄罗斯在2018年就提出了建立多卫星轨道星座的计划,但直至2023年7月才将“黎明-1”(Пассат-1)系统中的3颗低轨卫星发射入空。面对庞大的星座系统和高昂的运营成本,俄罗斯无法靠自身力量短期内完成耗资巨大的低轨卫星星座计划。

目前,建设低轨卫星星座仍是解决极地通信问题的最佳方案之一。低轨卫星优势尤其适合北极地区的通信需求。随着卫星通信的发展,“亚马逊”、“波音”、“空客”、“谷歌”、“脸书”(Facebook)、太空探索技术公司(SpaceX)等高科技企业都涌入了低轨卫星通信的投资建设领域,提出了“一网”(OneWeb)、“星链”(Starlink)、“Kuiper”等多个低轨卫星通信系统方案。但是动辄几百上千颗的低轨卫星星座建设需要庞大的经济技术支撑,而很多低轨卫星通信公司面临的重大问题不是技术问题,而是资金问题。俄罗斯占有北极约1/3的陆地面积,大量的能源储藏亟待开发。而中国是北极事务的重要利益攸关方。在这种背景下,两国在极地卫星通信应用技术合作方面拥有良好的合作前景。首先,中俄具有良好的合作意愿,双方在科技合作上成果斐然;其次,中俄拥有合作的技术基础;最后,中俄还有合作的互补优势。

四 中俄卫星技术合作的不利因素和有利因素

(一) 中俄卫星技术合作的不利因素

1. 合作领域的保守性

中俄两国战略互信程度高,高层沟通机制完善,有较强的合作意愿。

^① ITU,e-Submission of Satellite Network Filings, CHN2020-33636, <https://www.itu.int/ITU-R/space/asreceived/Publication/DisplayPublication/23708>

^② ITU,e-Submission of Satellite Network Filings, CHN2020-33634, <https://www.itu.int/ITU-R/space/asreceived/Publication/DisplayPublication/23706>

2022年,中俄双边贸易额创历史新高,中国连续13年稳居俄罗斯第一大贸易伙伴国^①。中国的“一带一路”倡议也与俄罗斯主导的欧亚经济联盟积极对接,两国的合作意愿强,合作领域广,但在一些重大项目的落实和推进上存在实质进展慢、过程对接复杂的情况。国家间大型项目的合作中可能存在部门配合与管理等环节的协调问题。这种状况使得很多重大项目不能很快地在全范围内实行跨部门合作。这是中俄合作保守性的主要体现。

中俄科技合作是中苏科技合作的自然延伸。中俄科技外交从20世纪90年代初期开始经历了三个阶段,即恢复调整阶段、合作转型规范阶段和高新科技产业及创新合作阶段^②。俄罗斯十分重视国家间的科技合作。在兼顾国家安全利益、对外政策和对外经济方针的同时,通过科技外交可以在市场经济条件下发展和变革俄罗斯科学体系^③。俄罗斯在科技体制改革后初步形成了科技研发的多渠道竞争性资金支持体系,打破了国家对科研的垄断,强化了科技与市场的联系,促进了科技项目的产业化。中国也十分重视与俄罗斯的合作,在经贸、投资、能源、人文等领域同俄罗斯展开了互利合作。在航天科技领域,中俄两国声明:“双方将在航天领域共同感兴趣的方向深化互利合作,包括落实《中华人民共和国国家航天局与俄罗斯联邦国家航天集团公司2023~2027年航天合作大纲》。”^④两国的合作具有良好的历史基础与现实意愿。

然而,在卫星导航领域的合作中,尽管合作项目从2014年起就被双方提上日程,且成立了相关委员会负责专项任务,其间每次会议都会提到项目进展推进。但实际总是规划建设多,突破进展少。中俄在卫星导航领域的合作直至2022年才有突破性进展,初步完成自2014年以来双方互建地面站的合作意愿。这种项目规划早、实质进展迟缓的现象不仅出现在卫星导航领域的技术合作中,其他大型项目都有类似情况发生,如在大型基础设施建设项目领域,黑河—布拉戈维申斯克公路桥最早于1988年提出,1995年中俄签订修建协议,2015年项目立项,直至2022年6月大桥才正式通车。双方在实际合作中经常出现多方主导、协调不一、分段管理的问题,一些部门机构的信任度不够。

① 《新华时评:成熟坚韧的中俄关系》, http://www.news.cn/world/2023-03/18/c_1129442751.htm

② 孙晓郁:《面向未来的中俄经贸关系》,中国发展出版社2003年版,第42页。

③ 赵刚:《科技外交的理论与实践》,时事出版社2007年版,第67页。

④ 《中华人民共和国和俄罗斯联邦关于深化新时代全面战略协作伙伴关系的联合声明》, https://www.fmprc.gov.cn/zyxw/202303/t20230322_11046188.shtml

中俄两国关系已提升为新时代全面战略协作伙伴关系,因此双方卫星技术合作具有良好前景。虽然合作已经取得一定成果,但规模还不够大,定位也不够清晰,项目的运作方式需要进一步规范化,在部分转让技术上存在原则性阻碍。

2. 合作进程的可变性

中俄的贸易对象、外部环境和贸易结构有所不同,因此,两国在合作中的现实需求与合作步调不同步。俄罗斯面对的地缘政治压力大,与美国和欧洲国家的关系紧张,在经济和政治上都受到美西方国家的全面制裁。俄罗斯对华出口产品以原材料和初级产品为主,高新技术产品占比低,能源出口的数量受运输限制短期内难以大幅提升。中国的贸易对象集中在亚洲、北美洲和欧洲,以东盟、美国和欧盟为主,进出口受到贸易对象国或地区的政策调整影响,需要资源类商品促进贸易发展。以美元结算的原油、铁矿、铜矿、天然气等大宗商品在中国总进口量中的占比已从2015年的10%上升到2022年的17%^①。俄罗斯在实际合作中对中国信任不足。在高超音速技术和火箭发动机领域的前沿科技与核心产品上对中国有防备心。在大型国际项目的实质对接中,俄方内部程序和审批程序多,且工作效率不高,导致很多项目的实践延误,给双方的合作带来可变性。

国际局势的变化也是影响中俄两国合作关系的可变性因素。俄罗斯在官方表述中虽然多次提到要重视与亚洲国家的来往,学术界也经常提到俄罗斯对外政策“向东转”的阶段特征,但是不可否认的是,美国和欧洲仍是俄罗斯长期以来除独联体外合作的首选伙伴,这种情况直至2022年后才发生实质变化。西方国家长期占据技术市场的领先地位,在很多资源监测和电子设备相关领域俄罗斯都有被“卡脖子”的现象。2023年3月,俄罗斯发布了新版《俄罗斯联邦外交政策构想》,提出进一步加强与中国的全面战略协作伙伴关系,发展双方在各领域的互利合作^②。这是俄罗斯根据2022年俄乌冲突后国际形势变化作出的应对措施,也是其政府调整国家战略方向的现实反映。随着美西方国家对俄罗斯制裁的全面升级,俄罗斯在科技合作方面受到的限制和制裁会更多。在这种情况下,中俄加强技术领域的合作是拓宽卫星技术

^① 董莹琬:《高水平对外开放战略背景下,中国贸易结构变化中面临的问题与对策》,《经济师》2022年第1期。

^② 《俄罗斯出台新版“外交政策构想”》, https://www.xinhuanet.com/2023-04/01/c_1129485866.htm

国际合作选择的必由之路。

(二) 中俄卫星技术合作的有利因素

1. 安全利益和经济利益的共同需求

安全利益是中俄两国加强卫星技术合作的考量之一。为保障国家安全、发展卫星领域的科学技术,各国都十分重视发展本国的卫星技术,力图保障卫星领域的科技独立。现代军事活动对卫星应用技术的依赖程度非常高,侦察、预警、遥感、通信、精确制导等多个环节都少不了卫星导航技术。同时,极地地区的资源开发与后勤保障、极端条件下的实时监控和卫星通话、突发状况下的救援保障和环境监测等都需要卫星应用技术,中俄两国在这些领域的卫星技术上有合作前景。

经济利益也是中俄加强卫星技术合作的重要因素。当前中俄经贸合作体量大,合作领域广,但经贸互动的领域基本上集中在能源、粮食、轻工业产品等方面,缺少高科技产业合作。卫星应用技术合作是合作规模大、涉及范围广、技术要求高的大型项目。测绘应用、精准农业、远洋航行、地面交通、民航应用等领域都需要精确的卫星应用技术。随着卫星导航技术的不断进步,市场和产业出现了多样化需求,民用市场的需求逐渐增长。加强国际卫星应用技术合作能在加快技术创新的同时带动产业发展,为用户提供更好的服务,为市场创造新的经济增长点。

2. 双方资源优势互补

俄罗斯具备深厚的基础科学研究沉淀,在太空技术、航空技术、生物工程技术等多个领域居于世界前列。中国的科技综合实力大幅提高,科技资源配置和布局也在不断改善。国家创新体系与创新环境建设取得积极进展。中俄两国可做到相互助力,共同发展。俄罗斯在物理、化学、地球科学与空间科学、材料学和数学等方面更是传统长项,在航空航天、极地探索、核技术、动力效能以及军事技术领域的研究保持着明显优势^①。

中俄两国在政策、技术和工业结构层面都具备良好的合作基础。在政策层面,两国鼓励加强合作。双方在2024年5月发表的《中华人民共和国和俄罗斯联邦在两国建交75周年之际关于深化新时代全面战略协作伙伴关系的联合声明》中提到,“中俄务实合作是促进两国经济社会发展和共同繁荣,保障技术进步和国家经济主权,实现国家现代化,增进人民福祉,维护世界经济稳定性和可持续性的的重要因素”,强调“提升工业和创新领域合作水平,两国优势互补。共

^① 李自国、李琰:《中俄科技外交与实践》,《俄罗斯学刊》2021年第4期。

同发展先进产业,加强技术和生产合作”“巩固双方航天领域长期伙伴关系”^①。在技术层面,双方优势互补。卫星的应用与研发是一项极其复杂的系统工程,中国在应用层面的科学技术发展迅速,但基础科学研究短板依然突出。卫星的批量发射、规模化生产和星座的运营维护都需要国家的航天科技工业整合全部资源、促进产业升级。现今中国还有一些短板有待加强,如芯片研发、低成本终端制造、星地融合通信体制等。俄罗斯在基础科学领域优势强劲,拥有世界一流的军工体系,在航空航天业,尤其是在航空发动机的制造方面处于世界领先水平。在工业结构层面,双方各有所长。俄罗斯主要有机械、冶金、石油、天然气及化工等重工业部门,航天发动机研制水平世界领先,但在卫星相关电子设备和控制设备研制上处于劣势。中国在产业结构调整中发挥优势,加快了卫星地面设备制造、微电子器件测试,特种装备、材料的研发,推动了航天科技的发展。中俄在工业结构上能做到优势互补,具备深入合作的扎实基础。

结 语

中俄都是科技大国,在卫星应用和研发领域的技术发展处于世界前列。在卫星导航领域,俄罗斯的格洛纳斯系统与中国的北斗系统各有优势,两国在卫星导航领域的合作成果推动了双方卫星导航系统的全面建设,也提升了应用市场的国际化发展。北极地区受其特殊地理位置和环境特征影响,通信保障困难。在尚未完全解决的极地卫星通信领域,中俄具有良好的合作基础与合作前景。中俄国家利益诉求有重合,且双方优势资源形成互补,合作前景广阔。值得注意的是,双方在卫星应用技术的合作上存在合作意愿强、实际进展慢的特征,合作中的保守性和可变性都是影响合作进程的重要因素,且易受国际局势影响。未来,在加强自身卫星应用技术、研发技术与推动市场国际化发展的道路上,中俄两国还有很大的合作空间与发展潜力。

(责任编辑:李丹琳)

^① 《中华人民共和国和俄罗斯联邦在两国建交 75 周年之际关于深化新时代全面战略协作伙伴关系的联合声明(全文)》, https://www.fmprc.gov.cn/zyxw/202405/t20240516_11305860.shtml