

2021 年国外民商用对地观测卫星发展综述

■ 龚燃 (北京空间科技信息研究所)

2021 年, 国外民商用对地观测卫星领域加快体系化构建, 建立全球资源、环境监测网络, 在保持平稳发展的同时注重能力拓展, 呈现新的发展态势与趋势: 一方面, 美国、欧洲等国家开始探索低成本、小型化发展途径, 以保持数据连续性和填补能力空白; 另一方面, 商业遥感卫星星座进入常态化补网阶段, 国外 2021 年共部署 112 颗卫星, 时间分辨率和空间分辨率持续提高, 全球对地观测能力与综合效益不断提升。

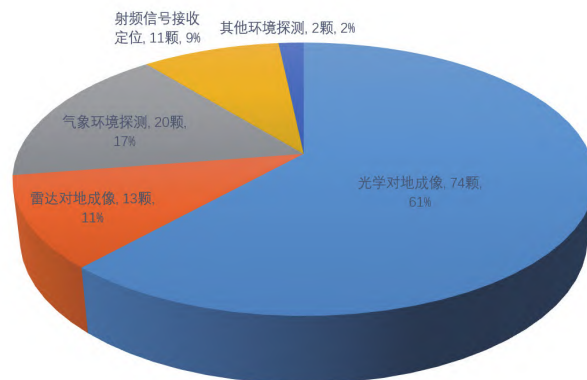
1 概述

2021 年, 国外民商用对地观测卫星领域共进行了 18 次发射, 共计发射了 120 颗卫星 (其中失败 3 颗, 成功 117 颗)。在发射主体方面, 主要发射活动基本集中在美国, 共发射 89 颗 (含失败 2 颗), 欧洲 15 颗, 俄罗斯 1 颗, 日本 5 颗, 印度 1 颗 (发射失败), 其他国家 9 颗。从卫星类型来看, 光学对地成像卫星数量最多, 为 74 颗 (含失败 3 颗), 雷达对地成像卫星 13 颗, 气象环境探测卫星 20 颗, 其他环境探测卫星 2 颗, 射频信号接收定位卫星 11 颗。从用途来看, 大部分为商用卫星, 达 112 颗, 民用卫星 8 颗。

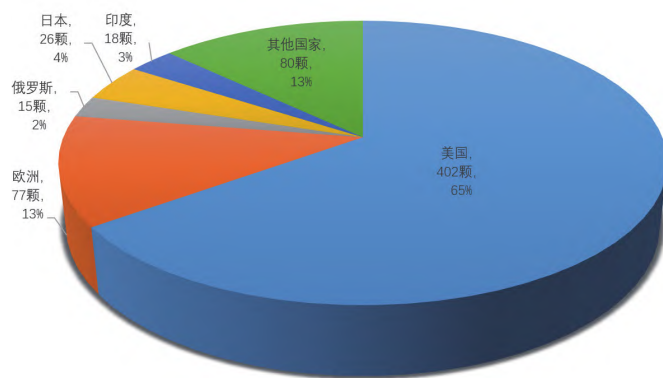
截至 2021 年底, 国外共有 618 颗民商用对地观测卫星在轨运行, 美国 402 颗, 欧洲 77 颗, 俄罗斯 15 颗, 日本 26 颗, 印度 18 颗, 其他国家 80 颗。美国仍是拥有民商用对地观测卫星最多的国家, 并且在数量和能力上占有绝对优势。按用途统计, 民用卫星 178 颗, 商用卫星 440 颗。

2 美国

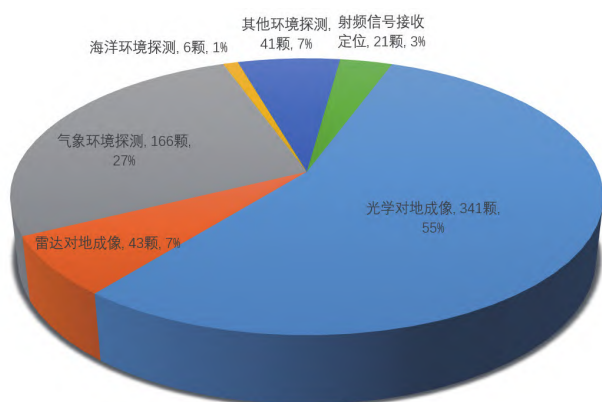
2021 年, 美国成功发射 87 颗民商用对地观测卫



2021 年国外民商用对地观测卫星成功发射数量 (按类型统计)



截至 2021 年底国外民商用对地观测卫星在轨数量 (按国家统计)



截至2021年底国外民商用对地观测卫星在轨数量(按类型统计)

星,其中民用卫星1颗,商用卫星86颗,从卫星类型来看,光学对地成像卫星56颗,雷达对地成像卫星6颗,气象环境探测卫星18颗,其他环境探测卫星1颗,射频信号接收定位卫星6颗。截至2021年底,美国共有402颗民商用对地观测卫星在轨运行。从卫星类型来看,光学对地成像卫星223颗,雷达对地成像卫星9颗,气象环境探测卫星142颗,海洋环境探测卫星1颗,其他环境探测卫星18颗,射频信号接收定位卫星9颗。从卫星用途来看,民用卫星38颗,商用卫星364颗。

2021年,随着总统的更替,美国新政府明确提出气候变化为其四项优先工作之一,持续提升对地球科学与环境观测的重视程度,开展和加强一系列民用对地观测卫星计划,以改善地球环境和人类生活;商业对地观测卫星方面,行星公司(Planet)、黑天全球公司(BlaceSky Global)等新兴企业,持续部署光学、SAR、视频等小卫星星座,成为政府对地观测能力的有效补充。

在轨气象卫星即将失效, 启动新一代 GEO 气象卫星星座

2021年6月,美国国家海洋和大气管理局(NOAA)宣布将于2022年3月1日尽快发射其最新的地球静止气象卫星GOES-T(发射后称为GOES-18),以替换在轨故障的GOES-17卫星。2021年11月,NOAA启动新一代“地球静止轨道扩

展观测”(GEO-XO)项目。GeoXO卫星计划于2023年开始发射,并在21世纪30年代初完成卫星部署,用于监测天气、沿海地区的海洋条件和空气质量等。GEO-XO卫星星座拟包括美国东部和西部的两颗卫星,以及美国中部的第三颗卫星。GEO-XO西经和GEO-XO东经卫星将携带闪电成像仪(LM)、空间气象仪以及用于监测沿海地区和识别有害藻华的海色遥感器(OCI);GEO-XO-中心卫星将携带高光谱红外探测仪、大气成分遥感器,另一个有效载荷尚未选定。GeoXO卫星数据将有助于天气预报模型并推动短期天气预报和恶劣天气警报,同时以补充NOAA在欧洲和亚洲的合作伙伴的数据,建立一个重要的全球观测系统,此外,还将提供对野火、烟雾、灰尘、火山灰、干旱和洪水等要素的监测。

发射最新的陆地卫星-9, 将提升下一代卫星的技术与应用能力

美国2021年发射的唯一一颗民用卫星即为美国陆地卫星-9(Landsat-9),该卫星是Landsat系列的最新一颗,于9月27日发射。Landsat-9卫星属于美国国家航空航天局(NASA)开展的“可持续陆地成像”(SLI)计划,将与Landsat-8卫星编队飞行,为全球用户提供与现有的40余年的Landsat存档数据兼容的高质量、全球覆盖、连续的陆地成像数据。

Landsat-9卫星发射后与Landsat-8卫星处于共面轨道,相距180°编队飞行,双星重访周期为8天。Landsat-9卫星很大程度上复制了目前在轨运行的Landsat-8卫星,旨在与存档数据保持一致,以减少陆地成像数据断档的风险。尽管如此,总体上卫星成像能力更高,包括辐射分辨率与几何精度,且寿命更长、定标精度更高。Landsat-9卫星也携带两台有效载荷仪器,包括业务陆地成像仪-2(OLI-2)和热红外遥感器-2(TIRS-2)。OLI-2和TIRS-2设计寿命均为5年,卫星携带燃料可维持约10年以上。



Landsat - 9 卫星在轨示意图 (来源: NASA)

稳定补网商业新兴对地观测小卫星星座

2021 年, 美国商业对地观测卫星星座进入常态化部署阶段, 全年共成功发射 10 个系列共计 86 颗卫星, 包括现有系列补充和新型号发射, 为政府对地观测能力提供了有力补充。

首次向商业公司颁布 0.1m 分辨率许可证

2021 年 12 月 14 日, NOAA 向商业对地观测公

司——反照率公司 (Albedo) 颁发全球首个 0.1m 分辨率的光学遥感卫星图像的销售许可证。Albedo 公司将在极低地球轨道上运行一个小卫星星座, 全色分辨率 0.1m、热红外分辨率 4m。该卫星星座将拥有全球商业遥感卫星领域的最高分辨率水平, 可应用于更多遥感细分领域, 同时, 其图像采集的限制条件也将最多。



Albedo 公司的 0.1m 分辨率对地观测卫星 (来源: Albedo 官网)

2021 年美国发射的商业对地观测卫星统计

卫星系列	卫星名称	发射数量 / 颗	卫星类型	主要参数
“卡佩拉” (Capella)	Capella - 3 ~ 6	4	雷达对地成像	SAR 分辨率 0.5m
“冰眼”	XR - 1 (冰眼 - X10)	1	雷达对地成像	SAR 分辨率 0.25m
“鹰” (Hawk)	Hawk - 2A、2B、2C、3A、3B、3C	6	射频信号接收定位	使用射频技术对空中、陆地和海上运输进行监视
“鸽群” (Flock)	Flock - 4s - 1 ~ 48	48	光学对地成像	全色分辨率 3 ~ 5m
“狐猴” (Lemur)	Lemur - 2 - 130 ~ 145	16	气象环境探测	采用无线电掩星技术采集气象数据, 并搭载船只自动识别系统 AIS 载荷
“黑色天空” (BlackSky)	BlackSky - 8 ~ 15	9 (含失败 2 颗)	光学对地成像	多光谱分辨率 1m
“影子 - 合成孔径雷达” (Umbra - SAR)	Umbra - SAR - 2001	1	雷达对地成像	SAR 分辨率 0.25m
“GNSS 导航和掩星测量卫星” (GNOMES)	GNOMES - 2	1	气象环境探测	提供无线电掩星数据用于天气预报、气候研究和空间天气监测
“降水结构和风暴强度的时间分辨观测小卫星星座” (TROPICS)	TROPICS Pathfinder	1	气象环境探测	搭载 12 通道无源微波光谱仪, 以近小时的重访率提供对风暴的降水和温湿度微波观测
光纤 - 1	Light - 1	1	其他环境探测	观测与雷暴活动相关的地面伽马射线闪光 (TGF)、伽马射线爆发等现象

3 欧洲

2021年,欧洲共计成功发射15颗商用对地观测卫星,未发射民用卫星。截至2021年底,欧洲共有77颗民商用对地观测卫星在轨运行。从卫星类型来看,光学对地成像卫星21颗,雷达对地成像卫星21颗,气象环境探测卫星10颗,海洋环境探测卫星2颗,其他环境探测卫星11颗,射频信号接收定位12颗。从卫星用途来看,民用卫星40颗,商用卫星37颗。

2021年,欧洲平稳推进“哥白尼”(Copernicus)、“地球探索者”(Earth Explorer)等计划后续任务,同时,欧洲各国的商业卫星公司广泛开展合作,传统高分辨率商业对地观测卫星和新兴对地观测小卫星星座均快速发展,以更低成本提供更高时间分辨率、更多样化的对地观测数据。

积极开发天基温室气体观测系统

为实现“碳中和”目标,除了进一步加强“哥白尼”计划的实施外,欧洲还计划开发“哥白尼人为二氧化碳监测”(CO2M)、哨兵-5P(Sentinel-5P)、“甲烷遥感激光雷达任务”(MERLIN)、“微碳”(MicroCarb)、“环境制图和分析计划”(EnMAP)卫星等专用温室气体卫星系统,以测量人为二氧化碳和甲烷的排放,减少目前在全国和区域范围内化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放估算中的不确定性;建立独立的信息来源,评估减排政策的有效性。CO2M卫星于2021年4月通过空间段需求评审(SSRR),

将携带:用于测量人为产生的二氧化碳的近红外与短波红外的光谱仪、多角度偏振成像仪(MAP)、云成像仪(CLIM)等,首颗卫星计划于2025年底发射。

补充新一代“地球探索者”系列研究任务

2021年3月,欧洲航天局(ESA)授予萨里卫星技术有限公司(SSTL)一份合同,为其建造一颗名为“水文全球导航卫星系统”(HydroGNSS)的对地观测小卫星。该卫星质量40kg,属于ESA的“侦察兵”(Scout)系列任务的第二颗卫星,将成为首个使用GNSS反射技术进行水文测量的卫星,将以高空空间分辨率和更低成本来测量水文气候关键变量。

成功发射新一代商业高分辨率光学成像卫星

2021年4月29日和8月17日,欧洲“新一代昴宿星”(Pleiades Neo)星座中的前两颗顺利部署,分别命名为Pleiades Neo-3、4。Pleiades Neo卫星星座将由4颗相同卫星组成,4颗卫星位于1个轨道平面,相邻两颗卫星相位成90°,星座重访每日2次。任务规划时间优于25min。卫星采用“S950光学”平台,发射质量920kg,全色分辨率从Pleiades的0.7m提高到0.3m,多光谱分辨率从2.8m提高到1.2m。Pleiades Neo卫星幅宽14km,图像定位精度优于5m。具有1个全色谱段,6个多光谱谱段,包括深蓝、蓝、绿、红、红边、近红外。其中,深蓝谱段和红边谱段比较特殊,深蓝谱段具有一定的海水穿透能力,而红边谱段用于植被监测。

2021年欧洲发射的商业对地观测卫星统计

卫星系列	卫星名称	发射数量/ 颗	卫星类型	主要参数
冰眼-X(ICEYE-X)	ICEYE-X8、9、11~13、15	6	雷达对地成像	SAR分辨率0.5m
“布列塔尼侦察卫星”(BRO)	BRO-4	1	射频信号接收定位	为海上和空中交通监视提供频谱监测和电磁情报服务
“极地警戒任务”(KSF)	KSF-1A、1B、1C、1D	4	射频信号接收定位	提供全球射频信号定位服务,用于非法捕鱼、海上交通、海上搜救等领域
“斯多克”(STORK)	STORK-4、5	2	光学对地成像	分辨率5m
“下一代昴宿星”(Pleiades-Neo)	Pleiades-Neo-3、4	2	光学对地成像	分辨率0.3m

芬兰冰眼公司发射下一代卫星验证新技术

2021 年 1 月 24 日和 6 月 30 日，芬兰冰眼公司 (ICEYE) 分别补网 2 颗与 4 颗卫星，使在轨卫星总数达到 14 颗。其中 6 月 30 日发射的 4 颗卫星中的一颗为下一代卫星的验证星。该新验证星配备了最新的 SAR 卫星技术，将地面分辨率提高一倍，并实现了成像和下传同时进行的近实时数据交付能力。10 月 14 日，冰眼公司被指定为“‘哥白尼’贡献任务”的首家商业合成孔径雷达初创公司 (SAR)，为欧盟“哥白尼”计划提供其小型 SAR 卫星星座数据。

4 俄罗斯

2021 年，俄罗斯成功发射 1 颗民用对地观测卫星，即全球首颗北极地区专用气象卫星——北极 - M1 (Arktika - M1)。截至 2021 年底，俄罗斯共有 15 颗民用对地观测卫星在轨运行。从卫星类型来看，光学对地成像卫星 9 颗，气象环境探测卫星 6 颗。从卫星用途来看，俄罗斯目前没有商用对地观测在轨运行。

2021 年俄罗斯在民商对地观测卫星方面体系仍不完备，虽然发展了陆地卫星和气象卫星，但海洋卫星方面的短板比较明显。总体上，俄罗斯注重加强新卫星系统研发和部署，积极恢复对地观测卫星系统建设，着力缩短与其他国家的差距。

Arktika - M1 卫星于 2021 年 2 月 28 日发射，为俄罗斯提升北极地区天基信息支援能力。正在构建的 Arktika - M 卫星系统由 2 颗卫星组成，Arktika - M1 为其首星。Arktika - M 为军民两用气象卫星，用于北极地区天气预报以及气候与环境监测，能重点满足高纬度地区的战场环境观测需求。Arktika - M 卫星运行在大椭圆 (Molniya) 轨道，该轨道位置采集的极区数据，将补充目前在轨运行的静止轨道气象卫星电子 - L (Elektro - L) 的覆盖缺口。

5 日本

2021 年，日本共发射 5 颗商用对地观测卫星，

未发射民用卫星。截至 2021 年底，日本共有 26 颗民商用对地观测卫星在轨运行。从卫星类型来看，光学对地成像卫星 14 颗，雷达对地成像卫星 6 颗，气象环境探测卫星 3 颗，其他环境探测卫星 4 颗。从卫星用途来看，民用卫星 14 颗，商用卫星 12 颗。

2021 年，日本在民用对地观测能力相对稳定的基础上，继续发展后续卫星，并重视商用小卫星星座的补网。日本 2021 年发射的 5 颗商用对地观测小卫星分别为：日本阿克塞尔航天公司 (Axelspace) 的“仙鹤” (GRUS) 对地观测微卫星星座，携带高性能望远镜，全色分辨率 2.5m，多光谱分辨率 5m，幅宽超过 50km；日本 iQPS 公司的 36 颗商业 SAR 微卫星星座的第 2 颗技术验证星 QPS - SAR - 2，卫星质量约 100kg，分辨率 1m，采用圆极化合成孔径雷达，带有 3.6m 口径抛物面天线，该星座具备近实时 (平均 10min 重访) 的全球观测能力。

6 印度

2021 年，印度仅发射 1 颗民用对地观测卫星，即地球静止轨道成像卫星 - 1 (GISAT - 1)，且卫星发射失败。截至 2021 年底，印度共有 18 颗民商用对地观测卫星在轨运行，均为民用卫星。从卫星类型来看，光学对地成像卫星 12 颗，雷达对地成像卫星 1 颗，气象环境探测卫星 3 颗，海洋环境探测卫星 2 颗。

印度虽然在 2021 年未成功部署新的民商用对地观测卫星，但其在轨民用对地观测卫星体系相对完善，用途上覆盖气象卫星、陆地卫星和海洋卫星等，遥感手段上涵盖高分辨率光学成像和雷达成像，基本具备多样化对地观测能力。目前，印度商业对地观测公司也开始计划建造对地观测卫星星座。

首颗地球静止轨道成像卫星 GISAT - 1 发射失败

GISAT - 1 卫星于 2021 年 8 月 12 日发射，因低温上面级技术故障而未能进入轨道。该卫星又名对地观测卫星 - 03 (EOS - 03)，质量达 2268kg，星

上搭载了6谱段多光谱可见光和近红外成像载荷(分辨率50m~1.5km)、158谱段高光谱可见光和近红外载荷(分辨率318m)、256谱段高光谱短波红外载荷(分辨率191m),设计寿命7年。

计划建设高光谱成像小卫星星座

2021年3月22日,印度私营遥感卫星公司——像素公司(Pixxel)宣布完成730万美元的种子轮融资,这笔资金将用于建造高光谱成像小卫星星座,以满足大众对高光谱遥感数据不断增长的需求。该星座单星质量15kg,分辨率5m,含150个谱段,将提供优质高分辨率高光谱图像。公司计划后续将在轨卫星规模扩充到30颗,实现24h全球高光谱覆盖能力。

7 其他国家和地区

2021年,其他国家或地区共计成功发射9颗民用商用对地观测卫星,包括阿根廷4颗、阿联酋1颗、巴西1颗、韩国1颗、加拿大1颗、缅甸1颗,其中民用卫星5颗,商用卫星4颗。截至2021年底,其他国家或地区共有80颗民用商用对地观测卫星在轨运行。从卫星类型来看,光学对地成像卫星62颗,雷达对地成像卫星7颗,气象环境探测卫星3颗,海洋环境探测卫星1颗,其他环境探测卫星7颗。从卫星用途来看,民用卫星53颗,商用卫星27颗。

加拿大成功发射温室气体探测卫星

2021年1月24日,加拿大温室气体公司(GHGSat)成功发射了其第3颗温室气体卫星——“雨果”(Hugo),之前发射的卫星包括2016年和2020年分别发射的“克莱尔”(Claire)和“虹膜”(Iris)。Hugo卫星由ABB公司建造,配备了先进的传感器,可检测到原来1/100的甲烷排放量,分辨率是其他任何商业或国家资助的卫星的100倍以上。

加拿大MDA公司启动雷达卫星-2的后续任务

2021年2月,加拿大麦克唐纳·迪特维尔

联合有限公司(MDA)宣布已启动研制其雷达卫星-2(Radarsat-2)的后续卫星——“雷达卫星-2连续任务”(Radarsat-2 Continuty Mission),以替换2007年12月发射、已超期服役6年以上的Radarsat-2卫星。该卫星仍由MDA公司与加拿大航天局(CSA)以公私合营的方式合作建造,采用C频段合成孔径雷达(SAR)技术,以确保Radarsat-2用户获得数据的连续性。MDA公司还将基于其领先的“多任务地球观测地面站”,以及机器学习、深度学习等人工智能技术,来提升跨遥感器的大量数据管理能力,并增强SAR数据分析能力。

巴西发射首颗自主研发的对地观测卫星

2021年2月28日,巴西首颗自主研发的对地观测卫星——亚马逊-1(Amazonia-1)成功发射,该卫星质量为290kg,搭载中分辨率光学成像仪——AWFI,分辨率40m,幅宽780km,覆盖可见光和近红外谱段。

阿联酋发射环境监测纳卫星

2021年3月22日,阿联酋环境监测纳卫星——迪拜环境监测纳卫星-1(DMSat-1)成功发射,该卫星搭载了两个有效载荷:主有效载荷是多光谱偏振计,在可见光和近红外具有3个谱段,分辨率为40m(650km高度),该偏振计能以多达7个视角对同一目标成像,主要用于监测气溶胶;次有效载荷是一对光谱仪,能够监测阿联酋上方的二氧化碳、甲烷等温室气体。DMSat-1卫星每天可绕地球运行14次,重访时间为3~5天,每天覆盖面积达80000km²,将为阿联酋环境研究提供重要数据。

韩国计划研制分辨率0.3m商业光学卫星

2021年8月18日,韩国韩华集团(Hanwha Group)下属卫星制造企业——韩国卫星技术研

2021 年其他国家和地区发射的民商用对地观测卫星统计

卫星名称	所属国家	卫星类型	卫星用途	备注
温室气体卫星 - C2 (GHGSat - C2)	加拿大	气象环境探测	民用	温室气体观测小卫星, 空间分辨率优于 150m, 地面幅宽 30km
拉坎纳特 - 1 (Lawkanat - 1)	缅甸	光学对地成像	民用	缅甸首颗星, 星上载有相机, 用于灾害风险管理等
亚马逊 - 1 (Amazonia - 1)	巴西	光学对地成像	民用	巴西自主研发的首批陆地卫星, 分辨率 10m
紧凑型先进卫星 500 - 1 (CAS500 - 1)	韩国	光学对地成像	民用	全色分辨率 0.5m, 多光谱分辨率 2m
迪拜环境监测纳卫星 - 1 (DMSat - 1)	阿联酋	其他环境探测	民用	阿联酋首颗用于环境监测的纳米卫星, 用于监测气溶胶、二氧化碳和甲烷等温室气体
新卫星 - 19 ~ 22 (ÑuSat - 19 ~ 22)	阿根廷	光学对地成像	商业	分辨率 1m

究初创公司 (SI) 宣布将在 2024 年发射天眼 - T (SpaceEye - T) 商业高分辨率光学成像卫星。SpaceEye - T 卫星质量 700kg, 在 600km 轨道高度可实现 0.3m 的空间分辨率以及 14km 的幅宽。该卫星在能源、气候监测、灾害管理以及军事侦察监视等领域有较大的应用价值。SI 下属 SI 成像服务公司 (SIIS) 和 SI 分析公司 (SIA) 将分别负责卫星数据商业销售和图像产品处理加工。

8 小结

民用对地观测卫星呈现差异化发展态势

当前, 民用对地观测卫星更为清晰地形成业务化成熟型应用卫星和低成本探索型验证卫星两个类别。成熟型应用卫星呈平稳发展态势, 主要属于政府规划的民用对地观测卫星计划, 用于气象、海洋、减灾等环境领域的高精度观测; 探索型验证卫星数量持续攀

升, 主要采用立方体小卫星或搭载载荷的方式, 可以在低成本、缩短研制周期等条件下快速实现在轨验证和目标要素探测, 对大卫星进行技术验证和数据补充。

商业对地观测卫星进入甚高分辨率时代

继美国世界观测 - 3 (Worldview - 3) 卫星之后, 2021 年, 欧洲成功部署 2 颗 0.3m 分辨率的商业光学遥感卫星, 同时, 韩国、以色列等国家均在研制分辨率 0.3m 的新一代商业对地成像卫星, 这意味着国际主流商业对地观测卫星系统将全面进入 0.3m 甚高分辨率时代。此外, 随着 2021 年 12 月 NOAA 向反照率公司颁发全球首个 0.1m 分辨率的光学遥感卫星图像的销售许可证, 美国开始在 0.3m 分辨率的基础上进一步提高技术水平, 即将拥有全球商用对地观测卫星的最高分辨率水平。未来, 国际商业对地观测卫星市场将进一步开展激烈竞争。

参考文献

- [1]Atlas 5 launches Landsat 9[EB/OL].[2021-09-27].<https://spacenews.com/atlas-5-launches-landsat-9/>.
- [2]Ball Aerospace and L3Harris win weather instrument study contracts[EB/OL].[2021-10-01].<https://spacenews.com/ball-aerospace-and-l3harris-win-noaa-instrument-study-contracts/>.
- [3]Orbital Launches of 2021[EB/OL].[2022-01-15].https://space.skyrocket.de/doc_chr/lau2021.htm.