

# 我国空间应用发展总体构想

李帅<sup>1</sup>, 申志强<sup>1</sup>, 侯宇葵<sup>1</sup>, 伏瑞敏<sup>2</sup>, 张拯宁<sup>3</sup>, 姜彬<sup>4</sup>, 孙慧洁<sup>5</sup>,  
白照广<sup>6</sup>, 张庆君<sup>6</sup>, 戚发轫<sup>6\*</sup>

(1. 钱学森空间技术实验室, 北京 100094; 2. 北京空间机电研究所, 北京 100094; 3. 航天恒星科技有限公司, 北京 100094; 4. 中国航天科技集团有限公司, 北京 100048; 5. 北京卫星环境工程研究所, 北京 100094; 6. 中国空间技术研究院, 北京 100094)

**摘要:** 空间应用指利用空间资源、空间资产及空间特殊条件, 在地面或空间进行直接和间接的技术利用、产品生产、服务供给的总称; 经过 60 多年的发展建设, 我国航天事业成就突出, 在轨卫星资源超过 400 颗, 但与空间应用密切相关的体系设计、基础数据库和标准建设等方面还不能满足高质量发展的需要。本文面向航天强国建设和航天系统中长期发展需求, 在研判国内外发展环境和形势的基础上, 总结了我国空间应用产业与技术发展的新态势和新需求, 梳理了空间应用领域发展面临的挑战; 提出了面向航天强国建设的空间应用发展总体思路、建设目标、顶层体系, 论证形成了空间应用发展的重点方向。研究建议, 完善政策法规, 推动法治航天建设; 转变发展理念, 推进天、地、用一体化; 优化体制机制, 大幅提升服务水平, 推进形成天、地、用互促发展, 标准统一, 协调健康的空间应用新格局。

**关键词:** 空间应用体系; 天地一体; 应用工程; 空间应用方向

**中图分类号:** V474.2 **文献标识码:** A

## Overall Concept of Space Application Development in China

Li Shuai<sup>1</sup>, Shen Zhiqiang<sup>1</sup>, Hou Yukui<sup>1</sup>, Fu Ruimin<sup>2</sup>, Zhang Zhengning<sup>3</sup>, Jiang Bin<sup>4</sup>,  
Sun Huijie<sup>5</sup>, Bai Zhaoguang<sup>6</sup>, Zhang Qingjun<sup>6</sup>, Qi Faren<sup>6\*</sup>

(1. Qian Xuesen Laboratory of Space Technology, Beijing 100094, China; 2. Beijing Institute of Space Mechanics and Electricity, Beijing 100094, China; 3. Space Star Technology Co., Ltd., Beijing 100094, China; 4. China Aerospace Science and Technology Corporation, Beijing 100048, China; 5. Beijing Institute of Spacecraft Environment Engineering, Beijing 100094, China; 6. China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China)

**Abstract:** Space application refers to the direct and indirect technology utilization, product production, and service provision on the ground or in space by utilizing space resources, assets, and conditions. After over 60 years of development, the aerospace industry of China has made significant achievements, with over 400 satellites in orbit. However, the system design, basic database, and standards construction that are closely related to space application still cannot satisfy the requirements of high-quality development. Considering the demand for strengthening China's aerospace industry and the medium- and long-term development requirements of the industry, this study reviews the development status of space application in China and abroad, summarizes the new requirements for space

收稿日期: 2022-04-17; 修回日期: 2022-12-15

通讯作者: \*戚发轫, 中国空间技术研究院研究员, 中国工程院院士, 研究方向为卫星工程总体技术; E-mail: qifrcast@126.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“航天强国发展若干重大问题研究(二期)”(2021-XBZD-09); 国家自然科学基金项目(L222400057)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

application industry and technologies in China, and analyzes the challenges faced by space application. Moreover, the general ideas, development goals, and top-level systems of space application for strengthening China's aerospace industry are proposed. The key directions for the development of space application are explored. Furthermore, we suggest that China should improve policies and regulations associated with the aerospace industry, promote the integration of space, ground, and users, and optimize mechanisms and services of the industry, so as to promote the formation of a coordinated space application pattern that features space-ground-user interactive development and unified standards.

**Keywords:** space application system; space-ground integration; application engineering; development direction of space applications

### 一、前言

空间应用指针对地球稠密大气层之外的广阔区域，利用空间资源、空间资产、空间特殊条件，在地面或空间直接和间接开展的技术、产品及服务活动的总称。当前，国际格局、全球治理体系、科学技术发展等都在发生深刻变化，空间应用领域新热点不断涌现，有关空间资源的竞争日益激烈。通过通信、导航、遥感卫星的综合应用以及与物联网、大数据、云计算、人工智能等新兴技术进行融合，空间应用的模式及形态得以不断丰富，推动空间资源竞争向月球、小行星甚至更远的深空延伸。空间应用作为航天技术产生经济、社会效益的最前沿，在航天强国建设过程中发挥关键性的支撑作用。目前，关于航天强国建设、空间应用发展的研究多注重航天运输系统发展路径、航天工业能力、航天前沿技术、空间科学探索等<sup>[1-9]</sup>，鲜有研究对我国空间应用发展进行总体构思。开展空间应用的顶层发展研究具有迫切性。

本文主要探讨两类空间应用：既有的通信、导航、遥感卫星应用，侧重信息的应用与增值；以资源利用为代表的未来新型应用，涉及领域拓展，如空间站开发、太空旅游、在轨服务、外星球采矿、太空制造等。针对于此，梳理空间应用的国际国内发展态势，分析航天强国建设需求，辨识空间应用面临的挑战，构思空间应用的总体发展思路、重点发展方向，以期对航天强国建设、空间应用综合研究提供参考。

### 二、空间应用的国际发展态势

#### (一) 传统空间应用与卫星互联网融合发展趋势明显

以空间信息服务为代表的传统空间应用与卫星互联网融合，提供“云+端”的高效精准服务。近

年来，以亚马逊公司、微软公司为代表的传统信息技术企业，同以SpaceX为代表的新兴卫星互联网企业融合，推出了面向空间信息传输、存储、挖掘、利用的云服务，以降低卫星运营成本，提升空间信息价值，带来新的增长点。2020年1月，铱星通信公司发布了与亚马逊云科技公司（AWS）合作开发的CloudConnect服务，将Iridium网络全球覆盖的优势与AWS支持的基础架构和服务广度相结合，使用户可以减少工程时间，降低运营成本<sup>[10]</sup>。2020年9月，微软公司宣布与国际通信卫星公司（INTELSAT）、欧洲卫星公司（SES Global）、国际海事卫星组织（Inmarsat）和美国卫讯公司（Viasat）等卫星运营商建立合作伙伴关系，将远程客户直接连接到其光纤链接数据中心的Azure云网络<sup>[11]</sup>，通过与通信卫星运营商合作，可以使用宽带卫星更有效地接入云服务，吸引更多的潜在客户。此外，云服务公司还面向商业遥感卫星运营公司推出了空间信息运维云服务，如全球最大的商业遥感卫星公司美国数字地球公司（DigitalGlobe）在2017年已有350多位开发人员在地理空间大数据平台（GBDX）上构建新的应用程序和机器学习算法，希望从大量图像中提取关键信息，以更好地降低成本、拓展用户范围、提升图像价值。

#### (二) 空间应用产业不断壮大，空间信息服务仍是主要支柱

利用太空高远位置优势，提供通信、导航、遥感等信息服务，仍是当前空间应用产业的主要业态。2021年，全球太空经济总额为3700亿美元，包括公共部门和私营部门活动所产生的价值<sup>[12]</sup>。从商业航天价值链来看，卫星制造、发射服务、卫星服务商、用户终端以及地面设备、卫星运营，2021年产生的经济总值分别为57亿美元、26亿美元、2120亿美元、730亿美元、22亿美元、132亿美元<sup>[12]</sup>。其中大部分增长来自于卫星服务商，占比

达全球太空经济总额的57.3%，相比2016年增长了21.14%。在美国的太空经济细分产业结构中，信息、制造、政府采购、批发贸易4个行业的占比较大，规模均在300亿美元以上，最大的信息业为600亿美元；其他规模较小的细分行业包括专业服务、零售、教育服务、运输及仓储、建筑、保险金融和地产、文娱、健身、农林渔矿等。

由此可见，空间信息服务在规模上占太空经济总额的比重超过1/2。随着信息技术的发展，空间应用的深度和广度也将不断扩展，预计2030年卫星服务商的经济总额可达3490亿美元<sup>[12]</sup>。空间信息服务发展态势稳健，在未来相当长一段时间内仍是空间应用产业的支柱。

### （三）新型空间应用已经起步，模式灵活且前景可期

随着航天技术的发展，人类进入太空变得可实现，在轨服务、太空旅游等新型空间应用加速涌现。① 航天器在轨服务是新颖的空间应用方向，通过人、机器人（或类机器人卫星）或两者协同来完成航天器寿命延长、航天器执行任务能力提升等空间操作，主要包括在轨装配、在轨维护、后勤支持、在轨加注、在轨模块更换、空间碎片清理等内容。例如，诺格公司已成功提供两次卫星在轨服务，为卫星延寿和功能升级带来了更多灵活性<sup>[12]</sup>。② 空间站拓展了空间应用范围，助力现代科学研究。空间站利用太空独特的高真空、高微重力等特点，可以得到地面科学研究难以获得的结果，因此，各国都逐渐明确以科学应用研究作为载人空间站的一项主要任务。目前，空间站科研应用已经涉及对地观测、材料科学、生物医学和航天技术验证等多个领域。③ 太空旅游引发新的消费需求。随着载人航天技术的不断成熟、空间环境下人类的生存保障能力不断提高，空间旅游逐渐成为现实。2021年，美国维珍银河公司和蓝色起源公司分别开展了亚轨道太空旅行试验，于太空边缘在失重状态下持续约3 min以欣赏太空美景，受到了广泛关注<sup>[13]</sup>。④ 小行星采矿成为近期最有价值的太空探索目标之一。初步探测表明，小行星可能蕴藏着丰富的燃油和贵金属等矿产资源，如直径约2.5 km的3554号小行星可能蕴藏着价值超过20万亿美元的铂和其他金属矿藏<sup>[14]</sup>。航天技术的不断进步使小行星

采矿的可行性越来越高，已有美国的行星资源公司、深空工业公司等商业航天公司开展业务布局。

## 三、我国空间应用的发展形势

### （一）发展现状

我国综合利用不同星座、不同系列的卫星和数据资源，构建了多领域卫星综合应用体系，实现了多源信息的持续获取和综合应用，不断提升了跨领域资源共享与信息综合服务能力。

#### 1. 服务国家战略与行业发展

在美丽中国建设方面，基于定量化、精细化的遥感调查产品，实现了国家级、省级自然保护区动态变化定期监测，完成了全国生态状况变化调查与评估；实现了“三湖”水华遥感动态监测；实现了全国秸秆焚烧火点、重点区域灰霾的遥感动态监测；开展了土壤污染重点企业筛选及空间位置遥感核实。

在海洋强国建设方面，卫星遥感成为获取全球范围、高频次、高时效海洋观测信息的重要手段，可以提供海洋光学遥感产品、海洋动力环境产品、海上目标监视监测产品等，推动了我国在海洋探测、海洋应用、海洋环境保护等方面的发展。卫星通信在近海、远洋运输方面获得广泛应用，在一些航线和区域的轮船上实现了基于高通量卫星的宽带网络接入。

在网络强国建设方面，高轨宽带通信卫星可以提供航空机载、海上船载等移动体互联网接入业务，具体应用涉及入网飞机和船舶等端站已超过5000个，向云南、甘肃、四川等省开展远程教育试点等，成为消除数字鸿沟、填补“信息孤岛”必不可少的手段。

在区域协同发展方面，利用国产卫星遥感数据，开展了京津冀地区的自然资源本底调查，为京津冀协同发展宏观决策和规划编制提供了重要的支撑服务；通过互联网抓取、计算机智能提取、目视解译判读等方法，分析了长江经济带石油化工等企业的空间分布，为长江经济带国土空间规划编制提供了基础数据参考；查明了雄安新区耕地、林地、地表水等因子的面积和分布情况，并开展变化监测，推动雄安新区规划建设。

在行业应用方面，卫星遥感应用业务范围不断扩大。目前，遥感卫星数据已在土地、矿产、海

洋、测绘和林业等 500 余项业务中得到应用。具体来看，在数据覆盖方面，全国以年度、季度性覆盖为主，部分区域达到月度覆盖；在数据类型方面，应用了光学、雷达、高光谱、激光等多种数据；在产品类型方面，应用了传感器校正产品、正射纠正产品、融合镶嵌产品、信息解译产品、行业性专题产品等类型。卫星应用的社会服务能力达到了新的高度。

### 2. 空间应用技术不断取得进步

通过建设在轨卫星检校场、数据分发共享平台等基础服务平台以及突破小型化、集成化导航芯片等技术，我国空间应用技术不断取得进步，已初步具备全球空间信息服务能力。

我国已形成了基于专线、电子政务网和互联网“三网合一”的不同层次、多类用户的数据分发体系。同时，国家航天局主导设立了中国国家航天局高分卫星 16 m 数据共享服务平台（CNSA-GEO 平台），支持海量数据处理和全球用户同时在线访问和下载。此外，商业航天公司利用云计算虚拟化技术，开发了集数据检索/分发、在线处理、产品分享为一体的综合遥感信息服务平台，用户可以通过网络以按需和易扩展的方式获得所需的数据、产品和服务。

在轨卫星校正场已覆盖可见光、红外、激光雷达、微波遥感等多种卫星，每年开展在轨卫星的业务化定标试验，结合交叉定标试验，定期更新与发布各类在轨卫星的定标系数。我国陆续建成绝对辐射校正场、热红外定标场、合成孔径雷达卫星定标场、固定靶标场、数字化几何检校场、低纬度定标场等定标场网设施，初步实现了业务化定标能力，为遥感卫星的定量化应用提供了基础支撑。

随着全球导航卫星系统（GNSS）产品市场需求的快速增长，导航芯片小型化、低功耗趋势已日趋明显，集成多媒体和通信功能系统级芯片（SoC）成为重要的技术发展方向。目前的基带芯片技术发展正由全球定位系统（GPS）单系统向 GPS+格洛纳斯（GLONASS）+北斗+伽利略（GALILEO）多系统融合应用发展，向低功耗、小型化、高集成度方向发展；芯片工艺从 180 nm 到 55 nm 再到 22 nm，芯片体积更小、功耗更低，逐步集成其他芯片的功能和应用。2020 年 9 月推出了“北斗+第五代移动通信（5G）”的行业应用全新解决方案，利用

5G 技术使原有的时空信息服务具备了高带宽、低延时、高安全性能，解决了行业用户的应用需求。2020 年 12 月，新一代支持北斗三号新信号的 22 nm 北斗/GNSS 芯片 Firebird II 发布，体积更小、功耗更低、精度更高。

### 3. 培育壮大新模式和新业态

随着载人航天工程、探月工程等国家重大工程的推进，目前已有 2000 多项航天技术成果实现了应该转化<sup>[15]</sup>，具备了太空资源开发能力，推动了太空育种、太空制药、太空材料等新模式和新业态的发展，取得了引人瞩目的产业化成效，受到政府、企业与投资者的关注。

太空育种可以使农作物产量提高 8%~20%，水稻蛋白质含量提高 8%~12%，青椒的维生素 C 含量提高 15%~20%，抗旱、抗涝、抗病能力明显增强。部分太空育种作物已开始大面积推广，为促进农业产业结构调整、增加农民收入和保障食品安全做出了积极贡献<sup>[16]</sup>。

2019 年，我国第一家致力于太空资源开采和利用的商业公司起源太空（南京）科技有限公司成立，致力于通过“找矿-探矿-落矿-采矿-返回”5 个阶段，开发利用小行星上丰富的太空矿产资源以及水资源，为人类未来在太空的活动提供物质支持，减轻地球资源开采压力，保护人类的生存环境，拓展人类文明的疆界。

未来我国将培育发展太空旅游、太空生物制药、空间碎片清除、空间试验服务等太空经济新业态，提升航天产业规模效益。

### 4. 空间应用产业规模扩大且势头良好

随着国家民用空间基础设施建设、北斗卫星导航卫星系统开通，以空间信息为主的产业链逐渐形成，成为国家经济发展的“助推器”“倍增器”。2021 年，我国卫星导航与位置服务产业总产值为 4690 亿元，较 2020 年增长 16.29%<sup>[17]</sup>。2016—2020 年，我国遥感卫星市场规模整体呈现上升趋势，其中 2016 年市场规模为 63 亿元，2019 年为 88 亿元，2020 年为 102 亿元<sup>[18]</sup>。我国卫星通信产业经过多年的发展，形成以大型国有企业和科研院所为主、民营企业及初创公司为辅的卫星通信产业格局。2021 年 4 月中国卫星网络集团有限公司成立，标志着我国在构建低轨卫星通信网络方面迈出了坚实步伐，将加快低轨卫星通信产业发展。

## （二）需求分析

### 1. 空间应用是航天强国建设的重要内容之一

随着两弹一星、载人航天、月球探测等工程实施，以通信、导航、遥感卫星为主体的空间基础设施体系基本建成，在轨卫星资源超过400颗；我国空间技术、空间应用、空间科学蓬勃发展，正在向航天强国前列迈进。面向未来，空间应用理应为国民经济发展做出更大贡献，为富民强军以及国家提升生产方式、生活方式、治理方式提供更大支撑。需要着力破解发展中存在的数据开放共享、天地一体化设计和应用等深层次问题，改进一系列政策和体制机制，拓展空间应用发展通道，为航天强国建设提供关键支撑。

### 2. 空间应用在应对全球气候变化方面更好发挥优势

气候变化作为典型的全球尺度环境问题，具有全球公共物品的属性，对全球陆地、海洋生态系统以及生物多样性构成明显的负面和潜在影响，引发了各种生态环境问题。近年来，以高热、干旱、暴雨为代表的极端天气、气候、环境变化等问题日益突出，为空间系统从全球视角解决这些问题提供了机遇。地球观测与地理空间信息是支持《联合国2030年可持续发展议程》《联合国气候变化框架公约》的重要手段，是人类应对全球问题的关键技术。空间系统通过长时间、大视角、多要素的监测，可积累大气及海洋中的CO<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>等变化数据，支撑气候变化，碳达峰、碳中和（“双碳”）等全球性问题研究。我国“双碳”目标的实现，亟需充分发挥空间应用优势，增强“碳数据”话语权。

### 3. 新时期国家战略部署与实现需要空间应用发挥更大作用

航天事业发展是国家战略的重要组成部分，宜将航天事业置于国家发展顶层进行设计和部署。为落实国家相关战略，需要完善空间基础设施，推进卫星遥感、卫星通信、导航与位置服务等技术的应用，完善空间应用创新链和产业链。

建设“一带一路”空间信息走廊，推动沿线国家在防灾减灾、气象观测、生态环境监测、交通、科学研究等领域的国际合作，需要在轨和规划中的卫星资源为基础，为“一带一路”建设提供数据产品和通信、导航定位服务。国家适应气候变化战略，需要空间应用的不同遥感观测手段，测算人类

活动产生的CO<sub>2</sub>，支撑相关政策措施的评估，提高全球变化方面的研究能力。海洋强国战略对海上目标监视、海洋环境监测、海洋灾害监测、海岸带遥感监测等方面提出更高的要求。交通强国战略对高精度、多类型遥感数据，高精度位置服务提出新要求，以支持交通基础设施布局、运输服务便捷经济等。

### 4. 迎接产业变革需要空间应用创新融合

目前，空间应用场景与行业业务深度融合，各类天基、空基信息网络与地面网络进一步融合，各类空间信息数据与行业业务数据进一步融合，同时空间信息数据的处理通过大数据、云计算、人工智能等高新技术进一步赋能。面向行业用户需求和“通导遥”卫星综合应用，卫星与物联网、大数据、云计算、人工智能等高新技术的综合应用丰富了空间应用的模式，天空地一体化的卫星综合应用解决方案成为行业卫星应用的主流模式。

为迎接新的产业变革，打造形成空间应用服务智能型社会成为空间应用创新的重要需求。借助无缝实时、高速可靠、精准高效的卫星应用空间信息系统，开展行业应用和信息系统集成，做到空间应用全方位地服务于大众和空间信息产业发展的需求。支撑国家经济社会高质量发展，实现空间应用服务于第一、第二、第三产业提质增效升级，推动国家数字经济转型。

## （三）面临的挑战

### 1. 技术创新不足，与先进国家存在差距

目前，我国空间应用技术虽已取得重大突破，但与先进国家的技术相比，还存在一定差距，同时，仍面临技术创新动力不足，技术创新应用不强等挑战。我国的遥感卫星影像在清晰度、一致性、稳定性方面比国外优秀的遥感卫星影像存在一定差距，尚不具备在轨直接生成目标图像和位置信息的能力。卫星通信高频芯片、天线技术急需突破，导航应用射频芯片技术与国际主流射频芯片技术存在一定的差距，如SoC解决方案尚不成熟，未实现导航射频芯片千万级用户规模。在卫星通信网络服务和小型卫星地面站（VSAT）领域，未出现有国际影响力的品牌，虽然近年来有部分民营企业成长迅速，但无论从技术能力还是企业规模、企业影响力等方面都无法同吉莱特公司（GLIT）、休斯公司等

著名跨国企业竞争。

### 2. 基础数据库与标准建设薄弱，未受应有重视

我国的高光谱遥感、微波遥感等起步较早，与国际同步，但缺乏光谱库、目标特征库等基础数据的长期积累，导致我国大量积累的历史存档数据利用率极低，难以发掘出应用潜能和发挥应用效益。目前，我国建设了部分应用数据库，但相对分散，尚未发挥出联合应用、大数据多维处理的优势。我国空间应用标准体系建设不够完备，卫星应用标准尚未与云计算等技术标准有机衔接，地理空间数据和信息处理资源尚未进行集成应用。卫星系统接入标准较为零散，缺乏系统性，不能覆盖整个星地信息链路。

### 3. 空间应用体系设计理念不足，天、地、用未形成闭环

我国的空间应用在空间段、地面段和应用段存在的不衔接、不匹配、不同步问题比较突出。空间基础设施缺少顶层设计与体系设计环节，未形成天地一体化的、体系效能性的卫星应用理念。星地一体化协同运行能力也有待增强，地面和应用的统筹需要进一步提升。此外，由于存在用户方行业专家在体系设计中的参与度不高，缺乏从需求到指标的科学研究方法等问题，导致空间应用的效能无法充分发挥。

### 4. 国际竞争力不足，国际市场占有率较低

我国在空间应用国际市场方面长期处于被动追赶的位置，被排挤在国际主流消费市场之外。我国空间应用的国际商业化服务能力不足，迫切需要从战略定位、技术研发、盈利模式、客户组成、融资方式等角度，探索具有中国特色的空间应用商业化发展道路，提高国际市场份额和占有率。

## 四、我国空间应用的总体发展思路

### （一）发展思路

瞄准世界科技前沿，把握国际发展趋势，抓牢关键环节，以不断创新、直面问题的理念，妥善处理规模与水平、公益与商业、近期与远期的关系；坚持服务重大需求、服务百姓生活，协调顶层规划、卫星研制、空间应用等各方力量，完善创新链、产业链、服务链，形成快速闭环迭代，推进技术进步与政策完善，天、地、用互动发展，标准统

### 一、协调健康的空间应用新格局。

一是聚焦提升创新能力。针对技术短板、能力空白点、“卡脖子”环节，推动地面接收、数据处理、芯片设计与制造等技术的不断进步，布局重点技术方向，鼓励数据反演模型、空间应用软件、新型平台软件等不断提高技术水平。实施重点领域体系化攻关，加速模式创新、机制创新与技术创新，构建协同联动、自主可控的空间应用产业创新体系。

二是筑牢应用产业基础。综合利用财政资金与社会资本，强化空间应用基础资源库、定标数据库、模块化组件等应用产业发展基础。重视产业基础积累，加强“产学研用”多方力量互动，促进有效供给与衔接。着眼空间应用上游、中游、下游全产业链，全面提升空间应用产品与服务，推动全产业链优化升级，引导产业走向中高端。

三是完善产业生态环境。结合国家“碳中和”、数字中国、美丽中国、海洋强国、交通强国等战略，以标志性空间应用工程为引领，设计适合中国特色的数据政策、产品与服务标准、技术转移转化机制、投资融资机制等，重视智力贡献与软件价值，营造软硬并重、天地并进、服务共赢、内外互补的产业生态环境。推进空间应用特色化、品牌化、高端化发展，引导天、地、用协调发展。

四是针对短板分头施策。针对我国空间应用领域在空间数据资源共享、国产遥感基础数据处理软件、卫星宽带通信、导航应用芯片研发对应急应用层面支持不足等短板问题，开展分头施策，通过集智攻关关键技术，布局一批重大工程，同时在法律政策、体制机制、人才队伍、资金投入、市场准入等方面进行全方位改进，采取综合措施，形成一体合力，提高我国空间应用领域的综合发展水平。

### （二）发展目标

空间应用创新体系基本形成，技术不断突破，空间应用深度融入人类生活，空间开发成果普惠民生，技术能力、创新能力、产业规模和世界影响力进入国际第一梯队。到2030年，空间应用规模化发展，成为经济社会转型发展的重要支撑；我国代表性空间应用企业在国际市场上的份额、品牌影响力进入世界航天强国前列，国际影响力排名达到前列，空间应用产业规模日趋扩大。到2045年，空间应用领域更加广泛、新业态不断涌现，形成以空间站应

用、小行星采矿为核心的新型企业和产业形态，空间应用效益极大增强，成为经济社会发展的骨干力量；航天技术、空间应用与传统产业全面融合，带动效应显著，成为推动我国经济社会发展的重要力量；能够为治理能力和治理体系现代化提供重要支撑，为构建人类命运共同体提供多种服务和产品。

### (三) 顶层体系

从应用服务全局的角度来看，思考影响服务水平、能力、规模的各项要素及要素之间的关系，为提升整体能力、突出重点难点、把控发展方向提供参考和支撑。为提供更好的服务，本文构建了面向航天强国建设的空间应用顶层体系（见图1）。该体系由空间段、地面段、应用服务段3类设施构成，各司其责，相互配合，在技术指标、标准规范、作业模式等方面相互匹配、相互协调。

应用服务段又可以细分为5个层次。第1层是物理层，包括芯片设计制造、通信天线、OEM板卡等，为应用技术、应用服务提供基础支撑。第2层是数据层，包括基础数据库、共享数据中心、数据标准、接口协议等，为空间应用提供相应的数据资源和数据传输协议。第3层是保障层，包括几何定标、辐射定标、信息提取、智能解译、目标分类等

技术，为空间应用提供重要的保障手段。第4层是平台层，该层是空间应用服务体系的核心，即空间应用服务是通过该层的服务平台来对外提供的，服务平台包括地理信息系统（GIS）平台、消费终端平台、数据处理平台等。第5层是应用层，由公益应用、商业应用、新型应用组成。公益服务和商业服务主要指通信、导航、遥感卫星应用，注重信息产生、传输、增值，其中公益服务主要服务于人类、国家发展、社会进步，不产生直接经济效益；商业服务产生利润，以获得直接经济效益为出发点；新型应用服务以资源利用为代表，主要瞄准未来应用拓展。

## 五、我国空间应用的重点发展方向

### (一) 支持“双碳”目标的天地一体监测体系

卫星遥感具有监测范围广、能够动态监测污染源和传输过程等优势，弥补了传统地面站点空间分布和数量的限制，还可以对国内陆地、森林、海洋以及大气的碳源、碳汇情况进行全球监测和比对，对增强国际话语权、数据主导权意义重大。我国天基碳监测体系架构如图2所示。

在空间段，采用高、低轨道部署碳检测体系，

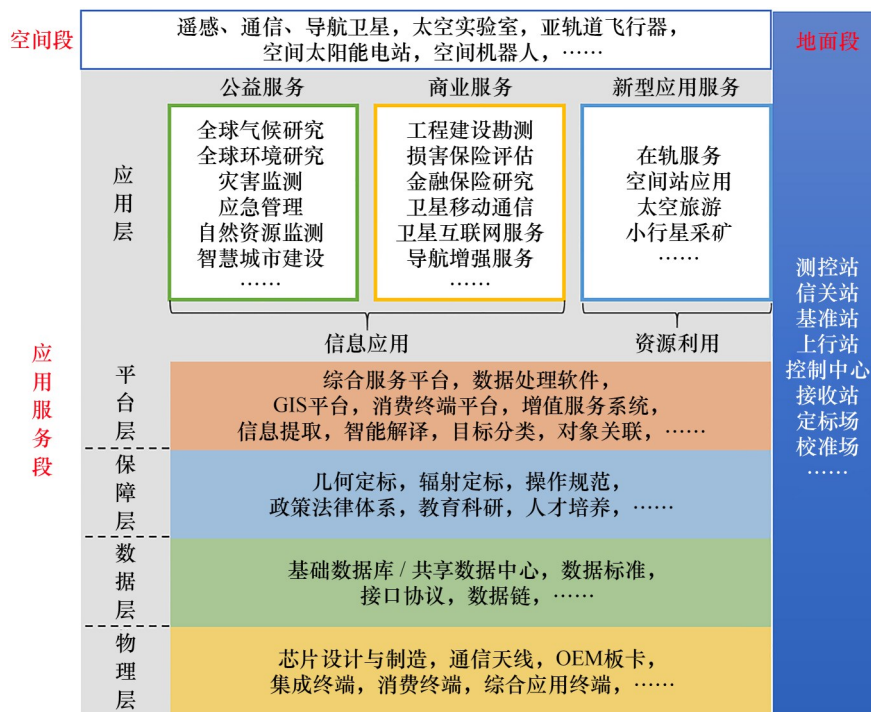


图1 面向航天强国建设的空间应用顶层体系构成

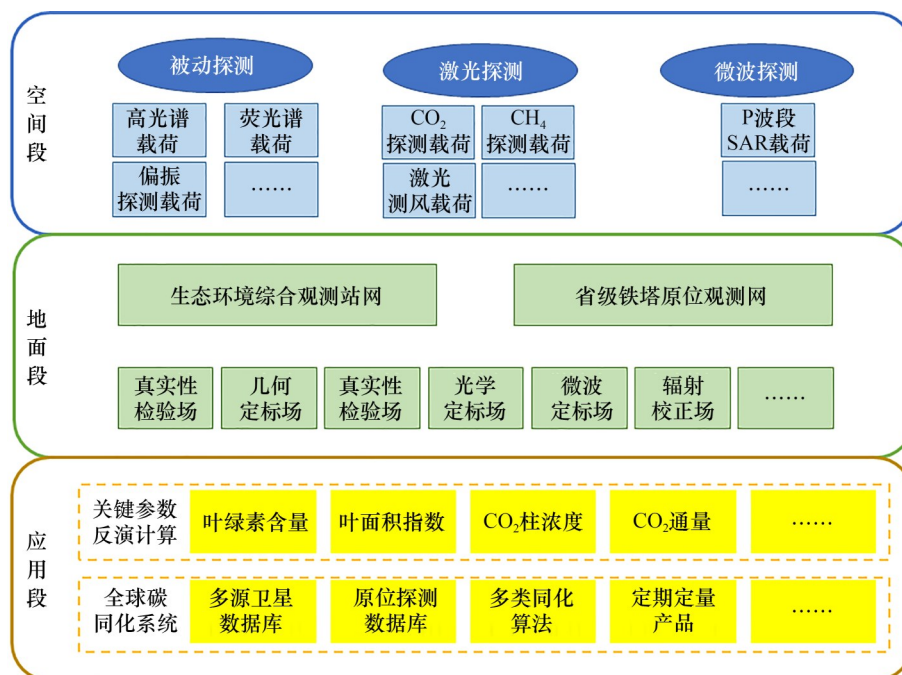


图2 支持“双碳”战略的天地一体监测体系示意图

注：SAR表示合成孔径雷达。

包含被动探测、激光探测和微波探测3类载荷，共同形成我国完善的碳源、碳汇监测体系。低轨卫星可以获取全球尺度、高精度观测数据，高轨系统可以获取我国重点省区、重点企业、高时效观测数据。

地面段利用现有的地面站点以及各省市的铁塔资源，在每个站点配置基本气象仪器、气溶胶观测设备以及高光谱相机或激光雷达，覆盖全国每个省份，并根据碳监测需要，升级定标场设施。采集所有地面站点观测数据，一是利用地面高精度测量数据，用以校准天基观测数据；二是联合天基数据，一起进行数据同化处理，形成一套统一的“碳中和”评估产品体系。

应用段重点解决两类问题，一是关键参数反演计算，包括CO<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>等浓度参数以及廓线、通量等参数，具备全球尺度、高精度、长时间跨度连续等特点。二是全球碳同化数据计算。地面CO<sub>2</sub>浓度观测数据的精度较高，但是站点有限，数据的稀疏性限制了全球碳同化系统的空间分辨率和结果的可靠性，因此建设基于多源卫星遥感的全球碳同化数据处理系统，联合同化卫星和地面大气CO<sub>2</sub>浓度、站点通量数据、遥感地表参数等数据，定量揭示全球陆地生态系统和重点区域人为源碳通量时空格局，为我国更好地实现“双碳”目标提供科学支撑。

## (二) 共性数据产品生产及应用评价工程

为全面提升空间信息服务的广度和精度，推动全产业链优化升级，推出共性数据产品生产及应用评价工程（见图3）。建立以标准数据产品、共性信息产品、专题产品为基础的三级遥感产品体系，并定期发布评估报告，促进行业应用和科研应用。建立统一的数据、产品标准，确保遥感数据产品被正确表示和解释，方便数据产品的共享和使用。通过共性数据产品云服务平台，为不同类别的用户提供数据产品，并完成最终评价。

标准数据产品是指遥感卫星设计部门能够依据数据属性和精度要求，结合载荷设计水平与集成制造能力转换为可用于进一步分析的数据产品。标准数据产品也是遥感数据共享的基本产品，可以降低遥感数据的使用门槛，让开发者专注于分析算法的研究。共性信息产品是在标准数据产品基础上，经几何、辐射等校正和对齐处理后，能够直接反映地表对象时空状态及电磁波性质的新的信息产品，可以进一步分析和提取应用所需的其他属性、状态、行为、过程等信息。专题产品的数据属性包括共性产品名称、时空细节（空间分辨率、时间分辨率、垂直分辨率、形变分辨率、天顶角变化范围）、电磁波性质（辐射精度、反射精度、光谱范围、谱段



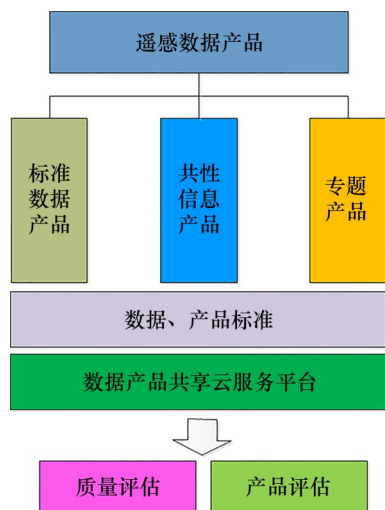


图3 共性数据产品生产及应用评价工程示意图

间隔精度、谱段位置精度等)；专题产品的对象属性主要描述共性产品所处的范畴，包括产品类型、产品性质、空间分辨率等级、时间分辨率等级、光谱分辨率等级等。

数据产品共享云服务平台按照统一管理、分级授权接收处理分发的模式运行，提供标准产品以及定标等服务，支持开展应用示范与推广工作，促进我国自主信息有效、广泛、大批量的业务化和科研、教育应用。云服务平台在数据共享的基础上，还可以为国家对地观测应用提供技术支撑（如算法、辅助数据库、知识库、信息产品、软件系统、服务等）。

### (三) 黄河流域与青藏高原生态应用工程

实施黄河流域与青藏高原生态保护应用工程(见图4)，充分发挥已有国产卫星效能，以遥感卫星应用为主，综合应用通信、导航、遥感卫星，结合无人机、物联网、大数据、人工智能等装备和技术，建立天空地一体化生态环境监测体系，在国土空间规划、生态状况调查、国家公园建设、山水林田湖草生态修复、荒漠化治理、自然灾害及气候变化等方面开展调查、监测、预警、评估等业务应用，为黄河流域与青藏高原生态保护提供技术手段和数据支撑。

开展国土空间和生态状态遥感调查评估。对黄河流域和青藏高原资源环境承载能力及国土开发适宜性进行调查评价，支撑国土空间规划和用途管控。定期开展生态状况调查评估，全面掌握黄河流



图4 黄河流域与青藏高原生态应用工程示意图

域和青藏高原生态本底，及时跟踪监测动态变化，尤其是生态脆弱区生态保护红线内功能面积变化状况、功能变化状况和性质变化状况，支撑生态保护红线监管。

开展以国家公园为代表的自然保护地天空地一体化生态环境监测体系建设。对三江源国家公园、祁连山国家公园、藏西北羌塘高原、藏东南高原等自然保护地，综合应用卫星遥感+无人机遥感+地面传感器监测、北斗卫星导航定位、卫星通信传输以及时空大数据挖掘等空间信息技术，建立天空地一体化生态环境监测和广域卫星通信传输体系；建成自然保护区人类活动与生态系统基准和生态大数据平台，支撑国家公园等自然保护地建设规划、自然资源管理、生态环境监测等业务。

### (四) 常态化航天育种、制药、材料制造示范工程

在成熟的返回式卫星技术和载人航天基础上，采用技术和管理方法降低研制成本，探索实现卫星研制经费由国家计划向商业市场拓展、产业模式由卫星制造向全产业链发展，形成新的商业航天模式。

在初期运行阶段，充分挖掘空间微重力、空间育种等对于返回式卫星搭载的旺盛需求，通过收取载荷的搭载费用来支持卫星和大系统的研制成本，获取商业价值，同时培育返回式卫星应用市场。

随着技术和市场的进一步成熟，形成完备的可重复使用的高水平微重力实验卫星平台型谱，建立低成本、高效益的天地一体科技产业孵化器，建立

产业交叉的纽带，为农业育种、制药、材料、能源、文化创意以及空间科学实验、空间技术试验等相关产业提供高水平、低成本、常态便捷的商业化空间平台，全力打造高效专业的商业运营体系，构建产业链。

### （五）在轨商业服务示范

面向人类空间活动保障与空间系统维护，构建完善的商业化空间碎片监测清理、在轨服务能力。根据用户需求，可提供对全天域多尺度空间碎片的“准实时监测、多手段清除”服务；在低轨、高轨、有限深空建成三大典型在轨服务基地，其中低轨服务基地具备向低轨航天器提供精细在轨维修与服务的能力、具备大型空间结构在轨组装的能力，高轨服务基地具备向静止轨道卫星提供全面商业化的维修、补给和重构利用的能力。

### （六）太空采矿工程

形成针对地外矿产资源、轨道资源、太阳资源等太空资源的勘探、采集、分析和利用能力，结合空间科学与技术、采矿学、行星学、地质工程等理论方法，采用资源勘探、无人开采、智能分选和原位利用等技术手段，形成具有高度自主化，集“勘、探、采、检、用”为一体的轻质、高效、低耗等智能装备为主体的先进制造系统，具备太空资源的高效采集与利用能力，为揭示地外天体的演化、生命起源之谜、合理高效地利用太空提供支撑，为人类的可持续发展奠定基础。

## 六、我国空间应用发展建议

### （一）完善政策法规，推动法治航天建设

一是加快顶层立法，推动法治航天建设。目前我国在航天立法领域尚处于空白状态，现有规范性文件无法满足我国履行国际条约义务、保障国家安全、规范商业航天活动等方面的需要。此外，为了在未来的空间应用国际市场中占有一席之地，如太空矿物资源开采和太空旅游等新型商业航天活动，并保护本国利益，我国应在未来地外星球资源利用、小行星采矿等方面加快立法脚步，积极参与国际相关立法。从法律上，允许和支持我国企业投入资本、技术、人力开展研究与工程探索，占据地外

星球资源利用的先机。

二是强化已有政策落地，完善和升级不适应现代要求的政策。建议高度重视政策的及时性、完善性、落地性。监督和落实国产遥感卫星数据使用、管理、共享、分发服务和销售政策，完善高分辨率数据的降/解密政策，合理分配高分辨率商业遥感卫星的快门控制权；鼓励国产卫星应用技术及软件的市场化开发，提升国产卫星数据及应用技术的产业化效益；完善国外卫星数据市场准入制度；政府行政管理和社会公益性信息服务、教育、宣传等领域使用的基础遥感图件和信息产品，应优先使用国产卫星数据。

三是制定相关制度，明确太空资产的责任主体。建立商业遥感卫星制造、运行、应用的国家许可证制度，从卫星的规划、立项、研制、运行等方面进行有效管理，明确研制、运行卫星的主体资格，明确研制及运行卫星的权利和义务以及其他相关许可要求，规范相关活动的有序开展，鼓励我国商业航天规模不断扩大、产业不断壮大。鼓励企业打造具有国际影响力的品牌，提升世界市场占有率。

### （二）转变发展理念，推进天、地、用一体化

一是强化天、地、用一体化设计研制理念。建议数据接收或汇总部门定期向卫星总体及相关有效载荷制造部门推送相关数据，并限制其用于商业目的。改进有效载荷、卫星总体设计水平，让卫星更好用，支持从“保成功”向“保好用”跨越。在科研星研制阶段，明确用户责任，在应用模式、数据校正方式与标定周期等方面发挥更大作用，全面加强天、地、用一体化闭合设计和应用水平。进一步完善定标设施，提升定标技术和定标频次，开发高水准应用算法，使多种定标方法可形成交叉验证。

二是实行将研、建、用多个环节纳入统一考核的新考核理念。改变现有卫星研制、地面系统建设、数据处理与应用等环节考核行动分离、考核尺度不一、考核部门多头的现象，建议由国家主管部门牵头，建立天地一体化考核机制，推行天地一体化考核管理办法，采取“行政+技术”综合手段，既要各负其责，又要体现卫星和应用整体的质量、效率、效益；既要明确界定界面，又盯紧双方、多方共同责任。提升数据在研究、论证、规划、设计中的话语权。

三是实行公益应用与商业应用分头评价理念。在我国现阶段, 各行业用户主要以公益应用为主, 为我国治理体系和治理能力现代化提供了有效支撑。但因为遥感应用的复杂性, 短时间内很难达到大众消费的程度, 因此, 国家对卫星通信、卫星导航、卫星遥感应用效果、效益要分头施策, 有所区别, 导航应用、通信应用追求产业规模, 遥感应用要综合考量产业规模、企业利润和社会效益。对一些能够改进、也必须改进的问题, 能够找到负责部门, 及时采取措施, 不断提高应用水平。

### (三) 优化体制机制, 大幅提升服务水平

一是建立激励引导机制, 提高数据共享积极性。加大对数据中心、资源调配机构等的适度激励, 解决数据服务中的实际问题, 在加大共享力度、提升共享效果中获得正向激励。从机制上着手, 基于客观真实的共享效果评估, 设立专门的卫星应用管理机构, 将天、地、用串接起来, 闭环管理。加大地面段和应用段的基础建设投资, 引导商业资本有序投资空间段、地面段和应用段建设。监督、评估已经出台的政策执行情况。开展国家真实性检验系统, 建设量化应用地物波谱库、目标特征库、散射特性库、人工智能样本库、人工智能真值库等基础数据库以及数据应用标准集、基本算法、共性产品算法工具库等, 实现遥感数据应用全产业链软件自主自强可控。

二是建立使用效果反馈机制。发挥航天领导小组以及各类发展规划的协调互补作用, 综合利用民、商资源提升空间信息服务保障能力。瞄准未来发展共性需求, 强化顶层设计, 实现设计统筹、部署统筹、应用一体。保持对前沿技术发展的持续追踪, 牵引新型探测体制研究, 积极发掘单项技术的应用潜力, 提升卫星应用效能。指导建立可以规范民商卫星、测控、地面站、处理、分发等资源的协调调度使用机制。

三是设计空间应用效能指数并定期发布机制。征询政府管理部门、顶层规划发展、卫星设计研制、地面接收处理、空间应用企业、政府用户机构、高校科研机构等多领域专家的意见和建议, 结合我国导航应用协会、遥感应用协会、通信应用协会年度产业统计分析报告, 设计反映卫星性能与功能、数据与服务能力、空间应用产业规模等一套空间应用

效能指数, 面向国内、国际市场, 公开发布排行榜, 推进建设我国遥感卫星数据质量评价以及数据应用水平评价体系。建议依托国家重大专项工程中心, 建立“空间应用资源池”, 以“贡献多受益多、开放共享、共建共用”为原则, 依托区块链、网格网络等先进技术, 利用技术手段准确追踪贡献者、分享者、使用者等信息。在效率与安全之间取得平衡, 避免“因噎废食”“长期吃不饱”等问题发生。

四是建立国家层面的空间频率轨位资源统筹与协调机制。统筹和协调航天器工程建设与空间频率轨位资源风险评估、国家空间业务发展规划与空间频率轨位资源保障等事宜。制定通信广播、遥感科学、导航定位等领域卫星频轨资源使用规划, 对卫星测控、数传频率资源统一进行顶层规划设计; 对卫星轨位资源按照国家安全、国民经济等不同需求进行等级划分; 积极推广频率复用、多星共轨等技术体制, 鼓励商业航天选用高频段、空闲频段等, 促进系统建设与资源使用的有机衔接。

#### 利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

**Received date:** April 17, 2022; **Revised date:** December 15, 2022

**Corresponding author:** Qi Faren is a research fellow from the China Academy of Space Technology, and a member of Chinese Academy of Engineering. His major research field is overall technology of satellite engineering; E-mail: qifrcast@126.com

**Funding project:** Chinese Academy of Engineering project “Research on Several Major Issues in the Development of Space Powers (Phase II)” (2021-XBZD-09); National Natural Science Foundation of China (L222400057)

#### 参考文献

- [1] 李洪. 推动中国航天运输系统发展迈向世界航天强国 [J]. 导弹与航天运载技术, 2016 (1): 1-4.  
Li H. Promoting space transportation system development advancing to the space leading power [J]. Missiles and Space Vehicles, 2016 (1): 1-4.
- [2] 王小军. 中国航天运输系统未来发展展望 [J]. 导弹与航天运载技术, 2021 (1): 1-6.  
Wang X J. Future development of space transportation system of China [J]. Missiles and Space Vehicles, 2021 (1): 1-6.
- [3] 李双博, 马雪梅, 胡良元, 等. 主要航天国家航天工业能力发展研究 [J]. 中国航天, 2021 (2): 53-57.  
Li S B, Ma X M, Hu L Y, et al. Research on aerospace industry capability development of major aerospace countries [J]. Aerospace China, 2021 (2): 53-57.
- [4] 乔凯, 智喜洋, 王达伟, 等. 星上智能信息处理技术发展趋势分

- 析与若干思考 [J]. 航天返回与遥感, 2021, 42(1): 21–27.
- Qiao K, Zhi X Y, Wang D W, et al. Analysis and some thoughts on the development trend of the on-board intelligent information processing technology [J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2021, 42(1): 21–27.
- [5] 翟立君, 潘沐铭, 汪春霆. 卫星 5G 技术的发展和展望 [J]. 天地一体化信息网络, 2021, 2(1): 1–9.
- Zhai L J, Pan S M, Wang C T. Development and prospect of satellite 5G technology [J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2021, 2(1): 1–9.
- [6] 李芳, 何国胜, 李刚, 等. 航天技术应用及服务产业“十四五”发展形势环境分析 [J]. 中国航天, 2021 (3): 13–17.
- Li F, He G S, Li G, et al. Analysis of development situation and environment of aerospace technology application and service industry during “14th Five-Year Plan” [J]. Aerospace China, 2021 (3): 13–17.
- [7] 王强, 桂文东. 航天保险对促进我国航天强国建设的思考 [J]. 中国航天, 2020 (9): 46–48.
- Wang Q, Gui W D. Consideration of aerospace insurance on promoting the construction of China’s aerospace power [J]. Aerospace China, 2020 (9): 46–48.
- [8] 周志成, 高素, 范陆海, 等. 卫星通信助力海洋强国建设 [J]. 海洋信息, 2018 (3): 11–13.
- Zhou Z C, Gao S, Fan L H, et al. Satellite communication assists maritime power development [J]. Marine Information, 2018 (3): 11–13.
- [9] 吴季. 空间科学任务及其特点综述 [J]. 空间科学学报, 2018, 38(2): 139–146.
- Wu J. Characteristics and managements of space science missions [J]. Chinese Journal of Space Science, 2018, 38(2): 139–146.
- [10] Iridium CloudConnect goes live, extends IoT on Amazon web services globally [EB/OL]. (2020-01-29)[2022-02-07]. <https://satelliteprome.com/news/iridium-cloudconnect-goes-live-extends-iot-on-amazon-web-services-globally/>.
- [11] Debra W. Microsoft unveils Azure Orbital connecting satellites to its cloud [EB/OL]. (2020-09-18)[2022-02-07]. <https://spacenews.com/azure-orbital-introduction/>.
- [12] 郭梦妮. 2021 年全球航天产业观察与发展展望 [J]. 卫星应用, 2022 (3): 18–21.
- Guo M T. Global aerospace industry observation and development outlook in 2021 [J]. Satellite Application, 2022 (3): 18–21.
- [13] 赵琪, 何慧东, 宋国梁. 国外亚轨道旅游最新发展分析 [J]. 国际太空, 2022 (2): 54–59.
- Zhao Q, He H D, Song G L. Analysis of the latest development of suborbital tourism abroad [J]. Space International, 2022 (2): 54–59.
- [14] 庞征. 到小行星上去采矿——即将到来的太空淘金热 [J]. 太空探索, 2013 (5): 23–27.
- Pang Z. Mining on asteroids: The upcoming space gold rush [J]. Space Exploration, 2013 (5): 23–27.
- [15] 陈海波, 章文. 航天探索: 从航天大国迈向航天强国 [EB/OL]. (2022-10-10)[2023-03-28]. <https://m.gmw.cn/baijia/2022-10/10/36075409.html>.
- Chen H B, Zhang W. Space exploration: From a big aerospace country to a powerful aerospace country [EB/OL]. (2022-10-10)[2023-03-28]. <https://m.gmw.cn/baijia/2022-10/10/36075409.html>.
- [16] 李世娟, 诸叶平, 孙开梦, 等. 中国太空育种现状及其前景展望 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(1): 159–162.
- Li S J, Zhu Y P, Sun K M, et al. The present status and prospect of space breeding in China [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(1): 159–162.
- [17] 中国卫星导航定位协会. 2022 中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书 [R]. 北京: 中国卫星导航定位协会, 2022.
- GNSS & LBS Association of China. 2021 white paper on the development of China’s satellite navigation and location services industry [R]. Beijing: GNSS & LBS Association of China, 2022.
- [18] 前瞻产业研究院. 2022 年中国商业遥感卫星行业全景图谱 [R]. 北京: 前瞻产业研究院, 2021.
- FORWARD Business Information Co., Ltd. Panorama map of China’s commercial remote sensing satellite industry of 2022 [R]. Beijing: FORWARD Business Information Co., Ltd., 2020.