

# 2022

## 世界载人航天发展报告

中国载人航天工程办公室 编

中国原子能出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

2022 世界载人航天发展报告 / 中国载人航天工程办公室编. -- 北京: 中国原子能出版社, 2023.5  
ISBN 978-7-5221-2710-1

I. ① 2... II. ① 中... III. ① 载人航天—研究报告—世界—2022 IV. ① V4

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 084590 号

## 内容简介

本书在全面跟踪 2022 年世界载人航天活动及技术发展的基础上, 以独特的视角展现了主要航天国家载人航天领域的发展动态与趋势。本书从载人运载火箭、飞船、航天员、空间应用等领域, 对国外载人航天 2022 年的发展情况进行了概述, 最后针对美国 NASA 2023 财年载人航天预算、美国“阿尔忒弥斯”计划首次飞行任务、俄罗斯新的轨道空间站规划发展情况、国际空间站首次私人航天员任务等热点、重点问题进行了专题分析。本书力求覆盖 2022 年世界载人航天领域发展全貌, 内容具体全面, 分析深入浅出, 适合该领域工程管理人员、相关专业工程技术人员和航天爱好者阅读。

## 2022 世界载人航天发展报告

---

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)  
责任编辑 王 朋 郭文传  
装帧设计 侯怡璇  
责任校对 冯莲凤  
责任印制 赵 明  
印 刷 北京九州迅驰传媒有限公司  
经 销 全国新华书店  
开 本 787 mm × 1092 mm 1/16  
印 张 15.75 彩页 10  
字 数 185 千字  
版 次 2023 年 5 月第 1 版 2023 年 5 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5221-2710-1  
定 价 128.00 元

---

出版电话: 010-88821453

版权所有 侵权必究

发行电话: 010-68452845



# 《2022 世界载人航天发展报告》

## 编 审 组

主任委员 郝 淳  
副主任委员 林西强 季启明 陈 杰 李杏军  
委 员 王功波 曹 骞 王三勇 郭 凯  
邢 雷 冷伏海 才满瑞 田 莉

## 编 辑 部

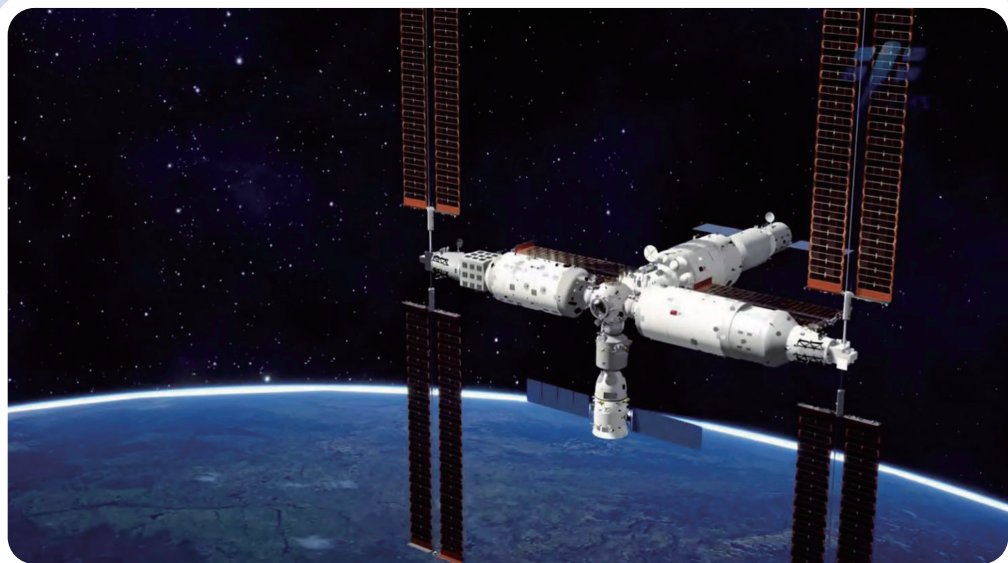
主 编 廖小刚  
副主编 赵 晨 强 静 杨 帆 王友利  
何慧东  
编 辑 张羽丰 吴 倩 冯云浩 聂永喜  
赵 霄 郭文旭 孙 琴 李彩军  
陈 培

# 《2022 世界载人航天发展报告》

## 撰 稿 人

(按姓氏音序排列)

陈银娣	范唯唯	冯云浩	管春磊
郭 凯	韩 淋	何慧东	李彩军
李国鹏	李 杰	廖小刚	刘 牧
龙雪丹	强 静	宋国梁	田 莉
王海名	吴 倩	肖武平	杨 帆
杨 开	苑方磊	苑方磊	张绿云
张 蕊	张 田	张永刚	张羽丰
赵 晨	郑惠文	钟江山	周生东



2022年5月10日，天舟四号货运飞船成功发射，开启中国空间站在轨建造阶段的揭幕之战；6月5日，作为空间站在轨建造阶段的首次载人发射，神舟十四号载人飞船将陈冬、刘洋、蔡旭哲3名航天员送上空间站；7月24日和10月31日，问天实验舱和梦天实验舱先后成功发射，中国空间站“T”字基本构型组装完成；11月12日，天舟五号货运飞船成功发射，成为空间站形成三舱“T”基本构型后的首位“访客”；11月29日，作为空间站在轨建造阶段收官之战，神舟十五号飞船将费俊龙、邓清明、张陆3名航天员送入空间站，与神舟十四号乘组胜利汇合。

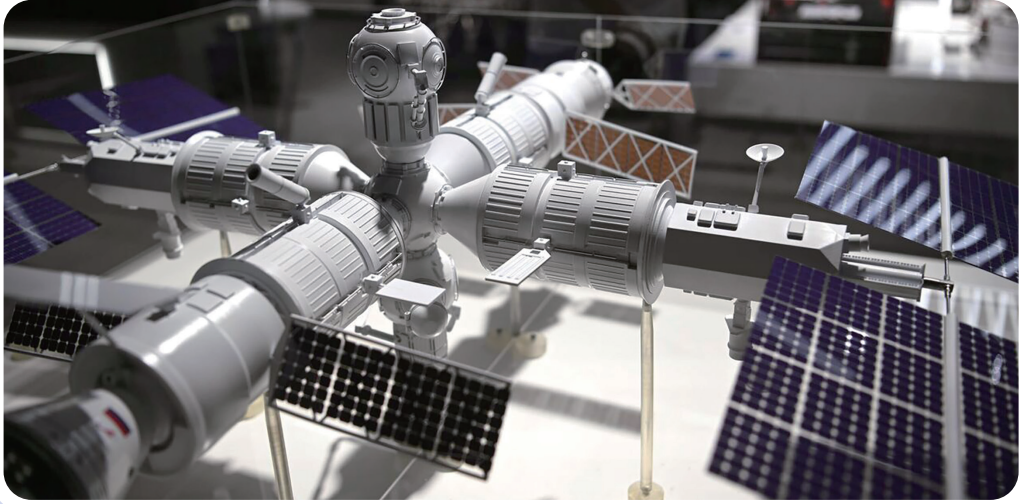
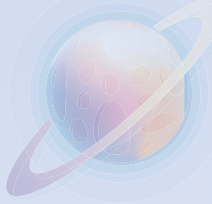


● 2022年4月8日，美国公理太空公司在佛罗里达州肯尼迪航天中心39A发射台利用猎鹰9运载火箭成功发射载人龙飞船，执行首次国际空间站私人航天员任务，此次参加任务的4名航天员只有1人是NASA前航天员，其余3人则是企业家、投资者、慈善家等身份。



● 2022年5月20日，波音公司研制的星际客船搭乘宇宙神5运载火箭成功发射并进入预定轨道。本次任务是星际客船第二次无人飞行试验，是在2019年底首飞异常、经过两年半的整改后实施的首次任务；试验任务持续6天，旨在通过全流程飞行，获取火箭、飞船和地面系统以及在轨、对接和着陆操作等环节的性能参数，支持NASA对波音公司载人航天运输系统的认证。





🌐 2022年7月，俄罗斯国家航天集团公司总裁鲍里索夫在向总统普京汇报工作时表示，俄罗斯将建设自己的新空间站——“俄罗斯轨道服务空间站”，这也是俄载人航天未来发展的优先事项；随后在陆军2022论坛上，展出“俄罗斯轨道服务空间站”的模型。



🌐 2022年7月14日，俄罗斯国家航天集团与美国NASA签署为国际空间站轮值交叉运送航天员的合作协议。根据签署协议，俄罗斯航天员可以乘坐美国的飞船，而美国航天员也可以乘坐俄罗斯的载人飞船飞往国际空间站执行任务。9月21日，美国航天员卢比奥乘坐联盟MS-22飞船进入国际空间站；10月5日，俄罗斯航天员基金娜乘坐载人龙飞船进入国际空间站。



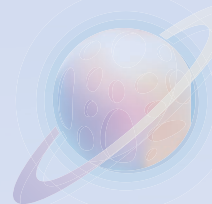
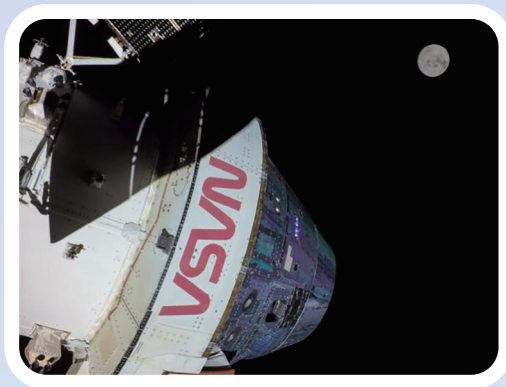
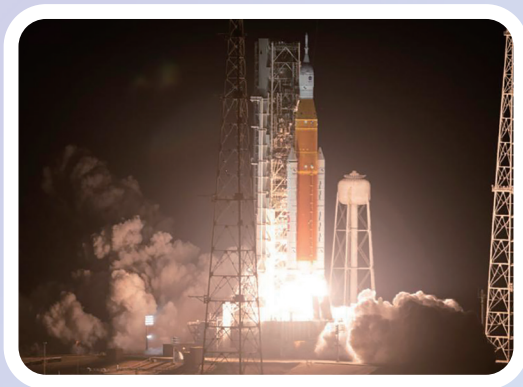


🌐 2022年8月9日，美总统拜登签署新版 NASA 授权法案，将国际空间站运行时间从 2024 年延长至 2030 年。随后，日本、加拿大、欧洲等参与方均表示同意，俄罗斯则原则上同意延寿至 2028 年。



🌐 2022年11月，欧洲航天局宣布已选拔出新一批 5 名正式航天员，这是欧洲自 2009 年以来选拔出来的首批新航天员。这 5 名航天员将从 2023 年开始接受为期一年的培训，将使欧洲航天员数量从 7 名增加到 12 名。





● 2022年11月16日，NASA实施“阿尔忒弥斯”计划的首次试飞任务，利用航天发射系统火箭从肯尼迪航天中心将猎户座飞船发射入轨，飞船在大幅值逆行轨道（DRO）绕月飞行半圈后，于12月11日返回地球，成功完成验证猎户座飞船高速再入返回的热防护能力、验证任务全流程的运行能力以及回收飞船并开展数据分析等目标。



● 2022年12月15日，由于遭遇微流星体撞击，国际空间站上的俄罗斯联盟MS-22载人飞船发生冷却剂泄漏事件，导致飞船已经无法确保运送航天员返回地球，俄罗斯不得不在2023年2月24日发射无人的联盟MS-23飞船，以在半年后接回联盟MS-22乘组航天员。







# 前 言

2022年，中国载人航天工程进入空间站在轨建造阶段，先后进行6次发射，全面完成空间站的在轨建造，实现中国载人航天工程三步走发展战略第三步任务目标。5月10日，天舟四号货运飞船成功发射，开启中国空间站在轨建造阶段的揭幕之战；6月5日，作为空间站在轨建造阶段的首次载人发射，神舟十四号载人飞船将陈冬、刘洋、蔡旭哲三名航天员送上空间站；7月24日和10月31日，问天实验舱和梦天实验舱先后成功发射，中国空间站“T”字基本构型组装完成；11月12日，天舟五号货运飞船成功发射，成为空间站形成三舱“T”字基本构型后的首位“访客”；11月29日，作为空间站在轨建造阶段收官之战，神舟十五号飞船将费俊龙、邓清明、张陆3名航天员送入空间站，与神舟十四号乘组胜利汇合，首次实施乘组在轨轮换，中国空间站进入长期有人驻留模式，将开展多学科、系列化和长期的空间科学实验，实现空间站的最大化利用。

2022年，国外主要航天国家的载人航天活动相对平稳发展。美国一方面继续推进载人登月计划，成功完成“阿尔忒弥斯”-1发射任务，为后续载人登月打下基础；另一方面拉拢各合作方，确保国际空间站延寿至2030年；同时开展国际空间站首次私人航天员任务，持续推动近地轨道商业化

进程。俄罗斯由于受到西方的全面制裁与禁运，载人登月与新轨道空间站建设放缓；欧洲谋求发展独立的载人航天能力的意愿进一步加强。与此同时，越来越多的国家积极参与国际载人航天活动，土耳其、沙特阿拉伯、匈牙利还纷纷公布将本国航天员送入太空的计划，彰显国家地位的载人航天得到更多重视。

为了密切关注和跟踪世界载人航天发展动向，把握世界载人航天发展趋势，中国载人航天工程办公室组织编撰了《2022世界载人航天发展报告》。参与编撰的单位有：军事科学院军事科学信息研究中心、中国航天员科研训练中心、北京跟踪与通信技术研究所、北京特种工程设计研究院、中国科学院科技战略咨询研究院、北京航天长征科技信息研究所和北京空间科技信息研究所等，在此一并表示感谢！

中国载人航天工程办公室

2023年3月

# 目 录

---

## 中国专栏

中国载人航天工程圆满完成空间站在轨建造 .....	002
---------------------------	-----

---

## 综述篇

2022 年世界载人航天发展综述 .....	006
2022 年国外载人航天运载器发展综述 .....	019
2022 年国外载人航天器发展综述 .....	031
2022 年国外航天员系统发展综述 .....	042
2022 年国际空间站科学研究与应用发展综述 .....	061

---

## 专题篇

美国 NASA 2023 财年载人航天预算分析 .....	080
美国 SLS 重型火箭成功首飞及发展分析 .....	089
美国“阿尔忒弥斯”计划首次飞行任务分析 .....	099
国际空间站私人航天员任务分析 .....	113
俄罗斯轨道服务空间站计划初步分析 .....	122
NASA 航天员大队现况及管理模式分析 .....	132
NASA 月球网络通信与导航架构设计与特点分析 .....	148
SpaceX 公司改建肯尼迪航天中心 39A 发射工位情况分析 .....	163

## 附录篇

大事记 .....	174
美国国家航空航天局 2022 年战略计划 .....	192
美国《国家地月科学与技术战略》 .....	221
神舟十四乘组 .....	227
神舟十五乘组 .....	229
国际空间站第 67 长期考察组 .....	231
公理 1 号任务乘组 .....	237
国际空间站第 68 长期考察组 .....	241



中国专栏

CHINA  
AEROSPACE





## 中国载人航天工程圆满完成空间站在轨建造

2022年，载人航天工程圆满完成了以空间站建造为代表的各项任务，我国载人航天工程“三步走”发展战略从构想成为现实，正式进入应用与发展阶段。我们的“太空之家”遨游苍穹，是中国人攀登世界科技高峰、建设航天强国的重要里程碑事件，是人类探索浩瀚宇宙、和平利用太空的又一标志性成果。同时，中国载人航天工程正在全力推进载人月球探测任务，已完成载人月球探测关键技术攻关和方案深化论证，即将开展登月阶段各项研制建设工作。

### 一、圆满完成空间站建造任务

圆满完成空间站建造阶段6次发射任务、2次返回任务和3次出舱任务。问天实验舱、梦天实验舱先后与天和核心舱对接，转位形成“T”字构型组合体。全面突破掌握了航天员长期在轨驻留、空间站组装建造等大批核心关键技术，空间站整体规模适中、集约高效、技术先进，综合水平跻身国际先进行列。舱内实验柜按计划开展各项科学实（试）验，多项舱外载荷完

成出舱与在轨安装，取得诸多重要应用成果。经评估，空间站建造任务取得圆满成功，任务目标全部实现。

## 二、全面启动空间站应用与发展任务

空间站建成后将进入为期 10 年以上的应用与发展阶段，航天员长期连续驻留空间站。2022 年，工程持续优化任务总体方案，组织论证编制首个中期任务规划，研究提出工程各系统阶段任务实施方案编制要求，常态化开展空间站运行管理，持续优化完善运行控制模式，地面各支持中心运行管理更加规范，任务实施更加高效顺畅。组织完成载人飞船、货运飞船及配套火箭技术状态更改论证，提前启动飞行产品组批投产，有序实施第四批航天员内地与港澳地区选拔。

## 三、扎实推进载人月球探测任务

中国载人航天探索的脚步不会只停留在近地轨道，一定会飞得更稳、更远。2022 年，我国已完成载人月球探测关键技术攻关和方案深化论证，突破了新一代载人飞船、新一代载人运载火箭、月面着陆器、登月服等关键技术，形成了具有中国特色的载人登月任务实施方案。为载人月球探测工程奠定了坚实的基础，已经具备了全面开展工程实施的条件。

## 四、工程管理迈上新的台阶

初步建立中国特色空间站运营管理体系，研究明确空间站应用与发展阶段技术管理框架，为高效益精细化运营我国空间



站提供支撑。深入推进质量管理办法末端落实，持续完善工程质量管理体系，质量管理能力显著提高。统筹推进了载人航天工程相关管理规定修订，研究明确载人航天工程研制建设项目等立项审批程序，修订完善了载人航天工程基建技改项目管理等细则，规范工程官方标识等知识产权管理。工程管理制度规范更加完善，工程整体管理水平和效率显著提升。

一年来，工程全线始终保持清醒头脑、树牢底线思维，加强统筹协调、精心组织实施、持续优化提高，确保了各次飞行任务圆满成功，确保了工程各项工作稳步推进。2023年，是空间站应用与发展任务、载人月球探测任务两大任务全面启动实施之年，中国载人航天工程将统筹做好两大任务全周期策划，周密组织实施各次飞行任务，确保后续高起点谋划、高水平起步、高质量发展。



The background is a solid blue color with several stylized, semi-transparent planets and rings. One large planet with a ring is in the top right, another smaller one with a ring is in the bottom right, and a third one with a ring is in the bottom left. The text is centered in a white frame.

**综 述 篇**

**OVERVIEW**



## 2022 年世界载人航天发展综述

2022 年，国外主要航天国家的载人航天活动平稳发展。美国一方面继续推进载人登月计划，成功完成“阿尔忒弥斯-1”发射任务，为后续载人登月打下基础；另一方面拉拢各合作方，确保国际空间站延寿至 2030 年。俄罗斯由于受到西方的全面制裁与禁运，加之俄乌作战的军事卫星需求激增，载人航天受到进一步挤压，载人登月与新轨道空间站建设缓慢。由于与俄罗斯航天合作全面中断，欧洲谋求发展独立的载人航天能力的意愿进一步加强。商业载人航天继续快速发展，并开始成为更多国家开展载人航天活动的主要渠道。国际空间站在 2024 年之后继续延寿已成定局，将在推动深空载人探索技术与地球科学技术等方面发挥更大作用。

### 一、战略与规划

2022 年，美国、俄罗斯、日本、欧洲等国家和地区，继续推进载人航天建设，以载人登月和近地轨道活动牵引各自相关能力建设。

美国不断推进载人登月计划，以确保其在载人航天领域

的领导地位。3月，NASA公布2023财年预算申请，总额为259.74亿美元，其中载人航天领域预算为117亿美元，主要用于航天发射系统重型运载火箭、猎户座载人飞船、月球“门户”空间站、载人着陆系统以及国际空间站运营等领域。9月，NASA发布《月球着陆和操作政策分析》文件，详细分析美国登月地点与月球基地建设可能遭遇的政策与技术问题，为未来的载人登月与月球开发扫清政策障碍。11月，美国发布首份《地月科学与技术战略》，提出将整合国务院、国防部、商务部、能源部、NASA等相关政府机构，形成合力进行地月空间的探索与开发，意图是将地球轨道已有的领导权和绝对优势拓展到地月空间。11月，多次延迟的“阿尔忒弥斯-1”任务成功发射，这是美国载人登月任务的首次全系统、全流程飞行测试，标志着美国“阿尔忒弥斯”计划取得了里程碑意义的进展。

俄罗斯由于遭遇国际制裁与禁运，加之俄乌作战对军事卫星需求的增加，其载人航天领域受到严重冲击，多项计划与系统研发遭遇延迟。8月，新任俄罗斯国家航天集团总裁鲍里索夫将载人航天列为未来航天发展的7大优先事项之一，但并未提及载人登月，只是表示将在2030年做好载人登月的技术准备，表明俄近期无法同时兼顾近地轨道空间站与载人登月。由于部分元器件遭遇国际禁运，俄罗斯的月球-26、月球-27、月球-28任务都将推迟至少2年以上；由于经费不足，下一代雄鹰载人飞船的首飞也从2023年推迟到2025年。鉴于这些任务都是俄载人登月的关键环节，其向后延迟必将导致其载人登月任务被迫顺延。

欧洲在与俄罗斯全面中断航天合作之后，对拥有独立载人



航天的能力更加迫切。2月，欧洲航天局成立“高级别咨询小组”，研究制定未来欧洲载人航天发展计划；7月，欧洲航天局发布其新版太空探索路线图——《Terra Nova 2030+》，旨在为欧洲在2040年前创建可行的载人和机器人太空探索框架，实现在近地轨道、月球和火星开展可持续的探索活动。11月，在成员国领导峰会上，欧洲航天局批准未来3年投入175亿美元预算用于航天发展（同比增长约17%），其中28亿美元用于载人航天及太空探索，聚焦近地轨道、月球和火星开展活动，延寿国际空间站、研发月球着陆器、生产欧洲服务舱、参与建设“门户”空间站等。欧洲航天局希望在与俄罗斯全面中断航天合作之后，仍能拥有可靠、安全的载人航天能力，在全球太空探索舞台上发挥关键作用，确立与其全球政治和经济地位相称的航天强国（组织）的地位。

日本主要依靠美国持续开展载人航天活动。由于国情和技术背景，日本采用“小而精”的方式发展载人航天，即不追求全面发展所有载人航天系统，而是选择有创新点的系统重点突破。11月，日本与美国签署月球“门户”平台合作协议，进一步明确日本将为“门户”月球空间站的多个舱段提供生命支持、电池等系统，并在2030年前利用HTV-XG货运飞船提供物资补给服务，以换取日本航天员进驻“门户”空间站。2021年3月，日本众议院通过总额约41.4亿美元的2021财年航天预算，比2020财年大幅增长23.1%，主要原因就是参与“阿尔忒弥斯”载人登月计划。

印度首次载人航天飞行进一步延迟。10月，印度载人航天飞行中心主任乌马赫什瓦兰透露，由于遭遇技术难题与新冠

疫情，原定于2023年的首次Gaganyaan载人航天任务将推迟到2024年底或2025年初进行。目前参与首飞的4名候选航天员已完成了初步培训，正在班加罗尔航天员培训设施接受进一步培训；运载火箭已基本准备就绪，飞船已经完成设计，预计3~6个月完成建造。Gaganyaan任务不仅是印度首次载人航天飞行，同时也是为印度可持续的载人太空探索计划奠定技术基础。在该任务的基础上，印度将在2030—2035年前发射自己的空间站。

2022年，更多国家希望参与载人航天活动与月球探索任务。以色列、罗马尼亚、巴林、新加坡、哥伦比亚、法国、沙特阿拉伯、尼日利亚和卢旺达先后与美国签署《阿尔忒弥斯协定》，使得《阿尔忒弥斯协定》签署国从最初的8个增加到23个。土耳其、沙特阿拉伯、匈牙利还纷纷公布将本国航天员送入太空的计划，以提升国家威望和国际形象，并带动太空技术发展。

## 二、主要载人航天系统

运载火箭、载人飞船、航天员、发射场等主要载人航天系统继续向前推进，为载人登月任务做好准备。

### （一）大批新型运载火箭进度延迟

受疫情及技术等因素影响，各国大部分新型运载火箭的首飞继续延迟。

美国的航天发射系统（SLS）在8月和9月因液氢泄漏和飓风“伊恩”而中止了3次发射尝试后，最终在11月完成首次飞行测试，验证了SLS火箭设计与制造的有效性，为后续搭载猎户座飞船执行载人登月任务奠定了基础。10月，为降低成



本，NASA 采用“固定价格”方式，一次性采购 20 次 SLS 火箭的发射服务，将用于保障“阿尔忒弥斯 -5~-14”共计 10 次登月任务以及 10 次非“阿尔忒弥斯”任务。

SpaceX 公司的超重 - 星舰系统在 2022 年完成多次发动机静态点火测试与组合堆叠测试，即将在 2023 年实现首次轨道发射。10 月底，2 台 BE-4 发动机交付统一发射联盟，用于组装首枚火神火箭，由于交付时间延误两年，导致火神火箭首飞时间再次从 2022 年推迟到 2023 年。新格伦火箭先后完成设计与资格评审，但同样因为 BE-4 发动机，首飞推迟到 2023 年。

在 2021 年暂停研制工作之后，俄罗斯重新考虑叶尼塞重型火箭的设计方案，但最终方案在 2022 年还未确定。联盟 -5 火箭先后完成储箱强度测试以及首台 RD-171MV 发动机的点火测试，但由于地面发射设施的延误，联盟 -5 火箭的首次发射再次推迟，从 2023 年推迟到 2024 年进行。

日本的 H-3 火箭和欧洲阿里安 -6 火箭的首飞也推迟到 2023 年。在修复 LE-9 发动机出现的涡轮泵故障之后，日本宣布原定于 2022 年首飞的 H-3 重型运载火箭将推迟到 2023 年进行；尽管阿里安 -6 火箭先后完成上面级发动机的静态点火测试以及系统资格审查，但首飞时间也推迟到 2023 年的第四季度。

## （二）新一代飞船研制进度滞后

美国猎户座飞船 2022 年稳步推进。猎户座飞船于 12 月顺利完成首次月球轨道飞行测试，创造了 NASA 有史以来飞船飞行的新纪录，最远距离地球约 40 万千米。此次任务还验证了猎户座飞船高速再入返回的热防护能力、登月任务全流程的运行能力以及返回与回收等能力，为后续载人任务打下基础。10 月，

NASA 向洛克希德 - 马丁公司增订 3 艘猎户座飞船用于“阿尔忒弥斯 -6~-8”任务，目前“阿尔忒弥斯 -2~-3”任务所需的猎户座飞船正在加紧组装，“阿尔忒弥斯 -4”和“阿尔忒弥斯 -5”任务的猎户座飞船也开始了建造的前期工作。波音公司的星际客船 5 月完成第二次无人试飞任务，不过由于出现部分问题，导致该飞船的首次载人任务从 2022 年推迟到 2023 年。内华达山脉航天公司首艘货运版追梦者飞船 5 月组装完成，9 月开始热真空试验，随后将于 2023 年 2 月进行首飞。

俄罗斯雄鹰飞船的首次载人任务进一步延误。俄罗斯曾于 2 月宣布雄鹰飞船将在 2023 年在发射场进行紧急救援系统的测试工作，以为无人首飞做好准备。但在 11 月，俄官员宣布，由于地面测试设施资金无法到位，雄鹰飞船的首飞时间将从 2023 年延迟到 2025 年，这将导致俄后续登月任务的进一步延迟。

### （三）航天员规模不断扩大

为支持未来的载人登月计划，美、俄、欧、日都在扩大航天员规模，并研发新型航天服。

6 月，日本宇宙航空研究开发机构（JAXA）结束新航天员招募的第一阶段工作，这是日本近 13 年来的首次航天员招募，吸引了 4127 名申请者，创历史新高，最终有 205 名申请者通过初试。在经过三轮考核后，日本在 2023 年 2 月选出新一批航天员 2 名，有望参与国际空间站计划和“阿尔忒弥斯”计划。俄罗斯加加林航天员训练中心 11 月透露，即将提交新一轮航天员招募计划，预计将在 2023 年招收 4 名或 6 名新航天员，以满足未来载人航天任务的需求。欧洲航天局 11 月宣布，已选拔出新一批 17 名航天员，其中包括 5 名正式航天员、11 名





后备航天员、1名残障航天员，这是欧洲自2009年以来选拔出来的首批新航天员。5名正式航天员将从2023年开始接受为期一年的培训，将使欧洲航天员数量从7名增加到12名。

美俄积极研发新一代航天服。9月，NASA选定公理太空公司研制下一代舱外航天服，保障航天员在未来月球任务的出舱活动。俄罗斯星星公司已开始研制雄鹰飞船的“隼-M”舱内航天服与登月航天服。“隼-M”舱内航天服生保系统的硬件系统初样已经制造完成，并开始测试；登月服已经完成设计阶段工作，正在进行试样的生产制造。

#### （四）美俄加紧航天发射场建设

为了满足快速增长的发射需求，美国加紧航天发射场的改造升级工作。肯尼迪航天中心和卡纳维拉尔角基地正在通过升级发射台设计与管理工作、打造多用途发射塔等措施，力图实现每年100次发射的愿景。6月，在历时近半年、5次推迟后，美国联邦航空局通过SpaceX公司博卡奇卡星舰基地的环境评审，为超重-星舰运载系统的首次轨道发射及未来的大规模发射扫清政策上的障碍。

俄罗斯继续加快东方发射场二期建设。俄罗斯国家航天集团11月表示，作为东方发射场二期任务的核心，安加拉运载火箭的建造和安装工作已经完成75%，将于2023年8月完成，以支持安加拉火箭2023年12月从该发射场发射。此外，东方发射场将建造一个氢气试验场，专门用于为安加拉系列火箭补充燃料。



### 三、国际空间站及其他空间平台

2022年，美、俄共向国际空间站发射13艘飞船，其中5次执行载人任务（俄罗斯2次、美国3次）、1次星际客船无人测试任务，7次执行货运任务（俄罗斯3次、美国4次），共向国际空间站运送了18名航天员，扩展了国际空间站的活动空间，并先后开展了数百项科学实验任务，取得多项重大进展。

#### （一）国际空间站2024年后继续运行基本确定

继美国2021年底宣布将国际空间站延寿至2030年之后，日本、欧洲、俄罗斯都同意国际空间站在2024年之后继续运营，只是工作期限稍有区别。日本11月与美国签署合作协议，同意继续参与国际空间站工作直至2030年。11月，欧洲航天局召开领导人峰会，批准欧洲在2030年前继续参与国际空间站建设。俄罗斯国家航天集团总裁鲍里索夫9月在与NASA官员会谈时表示，俄能源火箭与航天集团已完成俄罗斯舱段验收技术可行性的论证，以确保俄罗斯在2028年前将一直参与国际空间站合作。俄罗斯总理米哈伊尔·米舒斯京10月签署命令，为2023—2027年运送航天员和货物前往国际空间站提供417亿卢布经费，主要用于管理国际空间站俄罗斯舱段、实施科学应用研究和实验计划等。美俄还于7月14日签署为国际空间站轮值交叉运送航天员的合作协议，这样俄罗斯航天员可以乘坐美国的飞船，而美国航天员也可以乘坐俄罗斯的载人飞船飞往国际空间站执行任务。9月21日，美国航天员卢比奥乘坐联盟MS-22飞船进入国际空间站；10月5日，俄罗斯航天员基金娜乘坐载人龙飞船进入国际空间站。



## （二）不断取得更多科学研究成果

2022年，国际空间站航天员乘组共完成上百项科学研究任务，涉及技术开发及验证、生物及生命科学、物理学、地球及太空科学等领域。8月，NASA发布《国际空间站造福人类2022》报告称，国际空间站建设20多年来，已完成3300余项实验任务，在微生物学、促进人类健康、物理科学、科普教育、发展地球经济等领域取得巨大成果，为未来的星际太空探索、新的科学突破，以及繁荣经济做出巨大贡献。此外，NASA于11月向国际空间站部署了新型太阳能电池阵列，以替换原来的太阳能电池阵列。按计划，现有8套太阳能电池阵列中的6套都将被替换，可支持国际空间站持续工作到2030年。

## （三）联盟 MS-22 飞船出现冷却剂泄漏故障

2022年12月15日，俄罗斯地面控制中心发现停靠在国际空间站上的联盟 MS-22 载人飞船冷却剂泄漏。12月16日，俄罗斯国家航天集团确认散热器冷却剂回路是泄漏源，可能是因为受到微流星体撞击，导致冷却剂回路出现一个小孔。此次冷却剂泄漏事件虽然没有对国际空间站和航天员造成危害，但会导致飞船返回舱温度升高，使 MS-22 飞船无法按照原计划于2023年3月返回地球。俄罗斯国家航天集团于2023年1月决定，在3月发射无人的联盟 MS-23 飞船，以接回联盟 MS-22 乘组航天员。此次故障再次凸显了空间站安全运行问题的严峻性。在空间碎片不断增加、低轨大规模星座暴发式增长的背景下，空间站的安全保障尤为重要。

## （四）俄罗斯提出发展新轨道空间站

7月，俄罗斯国家航天集团公司总裁鲍里索夫在向总统普

京汇报工作时表示，俄罗斯将建设自己的新空间站——“俄罗斯轨道服务空间站”，这也是俄载人航天未来发展的优先事项。俄罗斯已经开始研究新空间站的设计工作，预计 2024 年 3 月完成。新空间站将运行在  $96^{\circ}$  ~  $98^{\circ}$  倾角的高纬度轨道，由科学动力舱、节点舱、气闸舱、基础动力舱、航天器维修平台舱、生产舱、目标舱等 7 个舱段模块组成，将从 2028 年开始建造。俄罗斯此举旨在及早谋划后国际空间站时代俄罗斯载人航天发展，避免因国际空间站退役导致载人航天活动的中断。

#### 四、商业载人航天

美国商业载人航天能力 2022 年继续快速发展，美国公理太空公司开展首次国际空间站私人航天员任务，越来越多的国家选择私人航天员任务实现载人航天飞行。

##### （一）执行首次私人航天飞行任务

4 月，美国公理太空公司完成首次国际空间站私人航天员任务，将 4 名私人航天员送入国际空间站，开展为期 8 天的短期考察任务。本次任务是 NASA 开放国际空间站商业活动后，首次实施国际空间站全私人航天员飞行任务，验证了商业公司运输私人航天员前往低轨空间站的能力，不仅将促进低地球轨道商业化快速发展，还将为后续商业化空间站运营奠定基础。公理太空公司还于 9 月与 NASA 签订第二次私人航天员任务合同，将于 2023 年将 4 名私人航天员送入国际空间站。

受私人航天员任务的鼓励，土耳其航天局 9 月与公理太空公司签署合同，将在 2023 年将首位土耳其航天员送往国际空间站；沙特阿拉伯、匈牙利也于 10 月和 11 月与公理太空公司



达成协议，借助私人航天员任务将本国航天员送入太空。

## （二）商业载人航天活动继续加速发展

5月和8月，NASA两次授予SpaceX公司载人发射合同，利用猎鹰9火箭/载人龙飞船执行8次国际空间站“乘员运输服务任务”，使得SpaceX公司在NASA商业成员发展计划下获合同的总价值已累计49.3亿美元。SpaceX公司实际上已经占据了西方载人航天发射市场的主导地位，并很可能在整个21世纪20年代保持该优势。

NASA的商业空间站建设也不断推进。4月，“轨道环礁”商业空间站通过初期设计评审，明确了设计方案、相关的技术说明和研制计划。该项评审对于近地轨道商业化发展是一个重要里程碑事件。6月，意大利与公理太空公司签订载人商业空间站合作协议，意大利将为公理太空公司的商业空间站建造意大利舱段，开创新的公私合作框架与管理及运营模式。

## 五、深空探索

为推进未来的载人登陆火星及其他目的地，美国发布多项战略文件，加强对未来深空探索活动的指导。美、俄继续推进空间核动力技术的研发，以实现更快更安全地探索深空。

### （一）美国规划未来深空探索活动

NASA计划在21世纪30年代末或40年代初执行载人登陆火星任务，将2名航天员送上火星。为更好地指导载人登陆火星，NASA于9月发布修订版《月球到火星目标》文件，旨在开发一种基于目标的方法来进行载人深空探索，即NASA在深空探索方面应该“做什么”和“为什么”，然后才规定“如何

做”。该文件共规划了通用主题、科学、运输与居住、月球和火星基础设施、运营等 5 个大类，共 63 个候选任务目标。此外，美国国家科学院、工程院和医学院于 4 月发布新版《十年调查》文件，规划未来十年行星科学、天体生物学和行星防御发展，重点关注太阳系和地球、太阳系的行星体演变过程、生命宜居性三个高级科学主题，定义了 12 个优先科学问题，并针对探火、探月、天王星探测、行星防御等任务和计划提出建议，以指导行星科学与探测任务的选择和研究工作。

## （二）加速推进空间核动力技术研发

俄罗斯将核推进视为未来行星际探索的核心与关键，极力推进研发“宙斯”核动力空间拖船，目前已经制定技术方案，正在进行设计制造工作。“宙斯”核动力空间拖船预计 2030 年首飞，将执行飞往月球、金星与土星的行星际探测任务。NASA 则推进月面核动力系统研发，6 月选定洛克希德 - 马丁、西屋电气公司和 IX 三家公司，研发 40 千瓦级核裂变发电系统，并可在月球环境中使用至少 10 年。该系统将在 2030 年前发射，为在月球和火星上执行长期任务铺平道路。

## （三）无人深空探索活动不断推进

由于俄乌冲突，欧洲全面中断与俄罗斯在航天领域的合作。7 月，欧洲航天局宣布终止与俄罗斯合作的 ExoMars 探测器计划；欧洲航天局已经选择美国继续开展 ExoMars 火星探测器合作，原定于 2022 年 9 月发射的 ExoMars 火星探测器，将不得不推迟到 2028 年发射。6 月，NASA 发射全球首个立方星探测器“地月自主定位系统技术操作与导航实验”，将作为“门户”地月空间站运行的探路先锋，对“近直线晕轨道”（NRHO）



的稳定性进行模拟验证，帮助降低未来地月空间站的运行风险，为其平稳运行铺平道路。9月，NASA“双小行星重定向测试”（DART）任务航天器成功撞击“迪莫弗斯”小行星。DART是人类第一个小行星防御试验项目，此次撞击目的在于尝试改变“迪莫弗斯”的运行轨道，验证通过动能撞击的方式偏转近地小行星的可行性，为地球防御未来可能的小行星撞击提供解决方案与思路。

展望2023年，世界载人航天发展将有颇多亮点，美国超重-星舰将进行首次轨道级试飞，将推动在2024年实现首次载人登陆火星和登陆月球。俄罗斯将执行月球-25探测器发射任务，实现40多年来首次登月探测；印度将执行首次不载人航天发射任务，为其首次载人航天发射进一步成熟技术。火神火箭、新格伦火箭、H-3火箭、阿里安-6火箭以及星际客船、追梦者飞船都将实现首飞，将为载人航天发射提供更强大的运载工具。

（军事科学院军事科学信息研究中心）

## 2022 年国外载人航天运载器发展综述

2022 年，国际局势纷繁复杂，面对俄乌冲突、新冠疫情、世界经济深度衰退等多重严重冲击，主要航天国家均积极谋划，确保载人航天重大工程有序推进。在航天发射任务方面，受俄乌战事影响，俄暂停从库鲁发射联盟号 ST 火箭；原定 2022 年执行的俄欧 ExoMars 火星探索计划发射任务被取消，双方合作暂停。但国际载人航天发射任务未受政治影响。截至 2022 年 12 月 21 日，国外载人航天相关的发射活动共 14 次（见表 1），所有载人航天发射任务均圆满成功。

表 1 2022 年国外载人航天活动发射情况

序号	国家	运载器	发射日期	有效载荷	发射结果	发射场
1	俄罗斯	联盟号 2-1a	2022.2.15	进步号 MS-19 货运飞船	成功	拜科努尔
2			2022.3.18	联盟号 MS-21 载人飞船	成功	拜科努尔
3			2022.6.3	进步号 MS-20 货运飞船	成功	拜科努尔
4			2022.9.21	联盟号 MS-22 载人飞船	成功	拜科努尔
5			2022.10.26	进步号 MS-21 货运飞船	成功	拜科努尔



续表

序号	国家	运载器	发射日期	有效载荷	发射结果	发射场
6	美国	猎鹰 9	2022.4.8	载人龙飞船 (Axiom-1 商业载人发射)	成功	卡纳维拉尔角
7			2022.4.27	载人龙飞船 CREW-4	成功	卡纳维拉尔角
8			2022.7.15	货运龙飞船 SPX-25	成功	卡纳维拉尔角
9			2022.10.5	载人龙飞船 CREW-5	成功	卡纳维拉尔角
10			2022.11.26	货运龙飞船 SPX-26	成功	卡纳维拉尔角
11		SLS	2022.11.16	“阿尔忒弥斯”-1	成功	卡纳维拉尔角
12		宇宙神 5 N22	2022.5.19	CST-100 星际飞船	成功	卡纳维拉尔角
13		安塔瑞斯 230	2022.2.17	天鹅座飞船 NG-17	成功	沃勒普斯
14			2022.11.8	天鹅座飞船 NG-18	成功	沃勒普斯



## 一、任务执行情况

国外载人航天发射仍然主要围绕多国合作的国际空间站项目进行，该项目在政治博弈下正经受危机考验。2022年，美、俄两国共执行14次载人航天相关发射任务，分别是国际空间站（ISS）项目下的4次乘员轮换任务和7次货运补给任务，1次商业载人飞船飞行试验，以及1次商业太空旅游和“阿尔忒弥斯-1”任务。参与任务的火箭包括：俄罗斯的联盟号2-1a；美国的SLS、猎鹰9、安塔瑞斯230和宇宙神5火箭，均获成功。

### （一）俄罗斯载人发射有序开展，国际空间站任务仍列为优先事项

俄乌冲突爆发后，俄罗斯与西方国家在航天领域的分歧也日益显著，合作关系逐步走向破裂。俄罗斯暂停从库鲁发射联



盟号 ST 火箭，撤回发射支持团队，多项重大发射被迫取消，其中包括在欧洲航天局和俄罗斯国家航天集团合作的 ExoMars 火星探索计划下，原定 2022 年 9 月使用质子号 M 火箭发射罗莎琳德·富兰克林号火星巡视器的任务；此外，俄罗斯还宣布停止向美国提供火箭发动机，并不再对此前已交付的发动机进行技术维护。但国际空间站项目被列为优先事项，俄方仍在按部就班地为国际空间站提供乘员轮换及货运补给运输服务。俄罗斯在 2022 年成功执行了 2 次载人任务和 3 次货运任务，将 6 名航天员（包括 5 名俄罗斯航天员、1 名美国航天员）和约 7.57 吨货物运往国际空间站，发射任务均由联盟号 2-1a 火箭执行。

## （二）美国商业发射公司喜忧参半，SpaceX 公司独挑大梁

在国际空间站项目下，美国依靠商业载人运输系统自主执行载人航天发射，SpaceX 公司、诺斯罗普 - 格鲁曼公司表现稳定，但波音公司的载人发射系统仍未如期投入使用。其中，SpaceX 利用猎鹰 9 火箭 / 龙飞船系统进行了 2 次载人和 2 次货运发射，将 5 名美国航天员、1 名日本航天员和 1 名俄罗斯航天员以及约 6.2 吨货物送往国际空间站；美国 SpaceX 公司还进行了 1 次私人航天员任务，将 4 名旅客送往国际空间站。诺斯罗普 - 格鲁曼公司的安塔瑞斯火箭 / 天鹅座飞船进行了 2 次货运发射，向国际空间站投送约 7.47 吨货物。

### 1. SpaceX 载人发射能力获 NASA 肯定，商业订单持续增长

2022 年，SpaceX 公司的猎鹰 9 火箭仍是美国唯一具有载人运载能力的现役火箭，本年度 NASA 的国际空间站航天员轮换任务均由该火箭执行。在载人任务中多次采用复用火箭一子



级，在4月8日的Axiom-1商业载人发射任务中采用的火箭一子级为其第5次飞行，创下了载人火箭复用次数纪录的新高；4月27日执行的Crew-4任务中采用的火箭一子级为其第4次飞行。

SpaceX公司在载人航天发射方面持续稳定的表现，得到了NASA的肯定。2022年2月和8月，NASA两次修改同SpaceX公司之间的“商业载人运输能力”（CCtCap）合同，在原定的6次载人飞行任务基础上追加了8次新的载人发射任务，旨在确保美国在2030年保持自主进入国际空间站的能力，此举使得猎鹰9火箭/龙飞船的未来载人发射清单增加了一倍。至此，SpaceX公司在CCtCap下获得的合同总价值已累计达49.3亿美元。如果将首次载人航天器试飞Demo-2考虑在内，那么SpaceX最终为NASA提供了15次载人发射服务，每次发射任务的费用平均为3.28亿美元。如果每次发射4名航天员，到2030年SpaceX为NASA提供的载人发射的每个席位均价为8500万美元。另外，作为“阿尔忒弥斯”计划的一部分，SpaceX公司还与NASA签订合同，将为首次载人登月任务提供星舰着陆器，负责航天员从月球轨道到月面之间的旅程。

在私人太空旅游方面，SpaceX公司待执行合同累计达到3个。分别来自美国亿万富翁贾里德·艾萨克曼购买的“北极星”计划，日本亿万富翁前泽友作购买的“亲爱的月亮”绕月飞行和美国富商、科学家丹尼斯·蒂托购买的SpaceX第二次绕月飞行任务。在“北极星”计划下，将利用载人龙飞船和“超重-星舰”开展多次载人商业航天飞行，与SpaceX公司共同积累载人航天飞行经验，以帮助该公司实现载人前往月球和火星的

目标。

## 2. 诺斯罗普·格鲁曼公司采用联合研制和外购的策略，应对火箭发动机断供危机

2022年，诺斯罗普·格鲁曼公司采用其安塔瑞斯 230 型火箭发射天鹅座飞船，完成 2 次国际空间站货运任务。但安塔瑞斯 230 火箭的一子级主体由乌克兰南方设计局和南方机械制造厂生产，所采用的两台 RD-181 发动机由俄罗斯能源科研生产联合体提供，受国际局势影响，现有的安塔瑞斯 230 火箭仅剩余 1 枚，它将最早在 2023 年春季面临停飞。

为应对火箭发动机断供危机，2022 年 8 月，诺斯罗普·格鲁曼公司宣布与美国萤火虫航空航天公司合作开发新的一子级。新型安塔瑞斯火箭最早将于 2024 年底首飞，代号为安塔瑞斯 330，其一子级将采用 7 台由萤火虫公司研制的“米兰达”发动机，箭体和贮箱选用该公司提供的复合材料结构。安塔瑞斯 330 的上面级将与现有安塔瑞斯 230 上面级类似，配备该公司的卡斯托 30XL 固体燃料发动机和现有的电气设备和结构。与安塔瑞斯 230 相比，安塔瑞斯 330 的有效载荷运载能力将“显著增加”（安塔瑞斯 230 近地轨道运载能力为 8 吨）。据推测，萤火虫公司将提供的安塔瑞斯一子级与其在研的贝塔中型运载火箭一子级相似。贝塔火箭预计直径 4.32 米，高 55.7 米，起飞推力 720 吨，近地轨道运载能力为 13 吨。一子级也将采用米兰达发动机，该发动机采用液氧和煤油推进剂，海平面推力约 1023 千牛。

在安塔瑞斯火箭实现新旧更替的过程中，大约有 18 个月的断档期，为了在此期间按计划执行天鹅座飞船的国际空间站



货运任务，诺斯罗普·格鲁曼公司已从 SpaceX 公司购买了 3 次猎鹰 9 火箭的发射服务。这是诺斯罗普·格鲁曼公司第二次外购火箭，首次是由于在 2014 年 10 月，安塔瑞斯 130 火箭执行天鹅座飞船发射失利后，为了在归零期间按时完成国际空间站任务，当时的轨道科学公司（后被诺斯罗普·格鲁曼公司并购）选择从联合发射联盟（ULA）购买了 3 枚宇宙神 5 火箭执行天鹅座发射任务。安塔瑞斯火箭在 2016 年复飞后，于 2017 年全面恢复。再次面临火箭断供危机的诺斯罗普·格鲁曼公司这次选择了未曾合作过的 SpaceX 公司，原因是 ULA 的宇宙神 5 火箭即将面临退役，并且剩余的宇宙神 5 火箭已全部出售。与此同时，ULA 公司的下一代火神 / 半人马火箭的研制进程比计划的要晚。另外，SpaceX 公司的发射节奏和可用性已证明该公司有能力提供相应发射服务。

### 3. 波音公司完成 CST-100 第二次无人试飞，仍存在部分问题

作为 NASA 商业载人发射合作伙伴，2014 年，波音公司和 SpaceX 公司在“商业载人运输能力”计划下分别获得 6 次载人发射合同。波音公司的宇宙神 5 火箭 / CST-100 星际飞船载人运输系统本应与 SpaceX 的猎鹰 9 火箭 / 龙飞船系统互为备份，然而波音公司虽然获得的经费接近 SpaceX 公司的两倍，实际进度却因研发迟缓而推迟数年。

2022 年 5 月，波音公司利用一枚宇宙神 5 火箭将一艘 CST-100 星际飞船发射升空，执行第二次无人试飞（OFT-2）任务。NASA 认为波音公司此次不载人试飞完成了既定目标，其中包括火箭发射、上升中止紧急探测系统验证、飞船与火箭

分离、飞船与空间站的对接和脱离、精准着陆和回收等，但试验期间仍然存在部分问题。在入轨工作期间，飞船的两个轨道机动和姿控（OMAC）推力器在与火箭分离后不久失效，但由于飞船动力设计冗余，得以继续完成后续任务，进入预定轨道。NASA 和波音公司将全面评估此次试飞的数据，然后再对下一步测试及其未来载人试飞任务做出安排。

## 二、未来载人运载器项目进展

### （一）美国推进多型火箭的开发

#### 1. SLS 重型火箭发射前合练故障频出，首飞表现稳定

SLS1 型火箭是 NASA 从 2011 年开始研制的 SLS 新一代重型运载火箭的基本型，计划在“阿尔忒弥斯”计划下，用于执行探月任务。按照最新计划，NASA 将在 2022 年、2024 年和 2025 年利用 SLS 重型火箭基础型——SLS1 分别完成“阿尔忒弥斯-1”无人绕月、“阿尔忒弥斯-2”载人绕月和“阿尔忒弥斯-3”载人登月任务，2027 年 NASA 计划利用演进型 SLS1B 火箭执行“阿尔忒弥斯-4”载人登月任务。

2022 年，历时 11 年研发的 SLS1 型火箭终于迎来了首飞，也是“阿尔忒弥斯”登月计划的首次任务，然而首飞之路并不是坦途。NASA 从 4 月开始对于 SLS1 火箭进行了 4 次加注合练，在此期间累计出现了 13 个技术故障。经分析，这些技术问题基本都与活动发射平台及地面支持系统相关。

2022 年 11 月 16 日，SLS 搭载猎户座飞船从肯尼迪航天中心 LC-39B 发射台发射升空，飞船在发射约 2 小时后成功进入地月转移轨道。12 月 11 日，猎户座飞船在完成绕月任务后返



回并成功溅落在墨西哥下加利福尼亚州附近的太平洋上，全程历时 25 天 10 小时。此次任务是继 50 年前“阿波罗十七号”登陆月球后、美国重返月球的重要一步，为未来几年将开展的载人绕月航行铺平了道路。

## 2. SpaceX 公司加速研制“超重 - 星舰”，首次轨道级试飞临近

“超重 - 星舰”是 SpaceX 公司目前重点研制的一款多用途行星际运输系统。2022 年 SpaceX 公司再次对其设计进行了更改，“超重 - 星舰”的有效载荷运载能力根据目标轨道可达到 100 吨至 150 吨。未来在轨加注后的运载能力有望能达到 200 吨。星舰飞船级设计采用 6 台猛禽发动机，其中 3 台为真空版猛禽发动机，3 台为海平面版猛禽发动机。未来可能增加至 9 台，并通过增加推进剂加注量等措施来适应总推力的提升。经过反复测算后，最终的 2022 版超重火箭级发动机确定为 33 台，级高 69 米，较其之前的设计缩短了 1 米。

“超重 - 星舰”的首次轨道发射尝试最早可能在 2023 年第一季度进行。参与此次试飞的原型机可能为“超重 B7+ 星舰 S24”组合体。目前，超重 B7 已完成多台发动机联合静态点火试车、“自旋启动”测试，星舰 S24 已完成 6 台发动机联合静态点火试车，两架原型机组合体已完成堆叠测试。下一步，SpaceX 公司还将对 B7 超重火箭级进行所有 33 台猛禽发动机的联合静点火试车，对整箭进行射前合练等测试。

## 3. 火神火箭项目进展顺利，有望明年迎来首飞

为填补宇宙神 5 火箭退役后的空缺，联合发射联盟（ULA）自 2014 年开始研制其下一代主力火箭——火神火箭，该火箭未



来主要用于国家安全航天发射（NSSL）计划，同时支持 NASA 载人和深空项目，发射 CST-100 星际飞船和追梦者飞行器。

火箭为两级结构，芯一级直径 5.4 米，采用两台 BE-4 液氧 / 甲烷发动机，初始构型采用半人马座上面级，后续构型采用先进低温渐进上面级（ACES），可根据任务需要捆绑 0、2、4 或 6 个固体捆绑助推器。初始构型火神 / 半人马座火箭近地轨道运载能力 25 吨，地球同步转移轨道运载能力 14.9 吨，地球同步轨道运载能力 7 吨。未来火箭芯一级发动机也将实现可重复使用。

2022 年 8 月，用于火神火箭首飞任务的 2 台 BE-4 发动机已经下线出厂，正在进行验收试车。2 枚试验用的半人马座 V 上面级正在进行继承流体试验和结构试验。火神火箭很可能在 2023 年上半年完成首飞。

## （二）俄罗斯不断推进安加拉火箭，以支持载人和深空探测能力

俄罗斯正在规划 2028 年后分两个阶段建设本国的近地轨道空间站，承担运输任务的运载火箭包括联盟号 2-1b 和安加拉 A5M 火箭。

空间站第一阶段工作将从 2028 年开始，主要通过安加拉 A5M 从东方航天发射中心将 2 个乘员舱、1 个节点舱以及 1 个气闸舱送入轨道。在此之后，俄罗斯将从拜科努尔由联盟号 2-1b 火箭 / 联盟号载人飞船系统将首批航天员送入俄空间站，计划一年发射 2 次，一次可搭载 3 名航天员。货物补给将由进步号货运飞船执行。在第二阶段，乘员与货物运输将由安加拉 A5M 火箭 / 雄鹰载人飞船执行。乐观估计，俄空间站第一阶段可在



2030 年建成。

安加拉 A5M 是安加拉 A5 的改进型，采用两级半构型，一级采用由 4 台 RD-191M 液氧 / 煤油发动机驱动的 URM-1 通用火箭模块，4 枚捆绑助推器也采用相同的通用火箭模块 URM-1，二子级采用通用火箭模块 URM-2，由一台 RD-0124AP 液氧 / 煤油发动机提供动力。该型火箭近地轨道运载能力约为 26.8 吨，预计将于 2023 年在东方航天发射场进行首飞。

### （三）日本力争于 2023 年初完成 H-3 火箭首飞

H-3 是 JAXA 和三菱重工开发的一次性液体运载火箭，计划替代目前的 H-2A，成为新型主力火箭，预计在 2023 年后为国际空间站运送货物，并为 NASA 的“阿尔忒弥斯”计划下的月球“门户”提供货运补给。

此前，日本研制的 H-3 火箭因一子级 LE-9 氢氧主发动机存在技术问题，原定于 2020 年的首飞计划被延期。之后，JAXA 对 LE-9 发动机进行了改进，并持续开展地面试验验证。截至 2022 年 11 月 8 日，H-3 火箭首飞箭的卫星整流罩被运往种子岛航天中心，首飞任务有效载荷——“大地三号”先进光学卫星已封装至有效载荷整流罩内。H-3 首飞箭的两台 LE-9 发动机中的一台已完成地面鉴定并安装至一子级。H-3 在 2023 年 3 月 7 日的首飞失败。

## 三、小结

### （一）近地轨道载人航天和深空探测将迎来新的发展阶段

美国 SLS 首飞后，迈出重返月球的第一步，计划 2025 年后实现载人登月。俄罗斯计划退出国际空间站之后，在 2028

年后发展本国近地轨道空间站。利用联盟号 2 火箭执行载人和货运发射任务，以安加拉 A5 火箭技术为基础发展未来载人和深空探测能力。日、印等国家也规划了自己的载人航天计划。近地轨道载人航天和深空探测将迎来新的发展阶段。深空探测活动将在 2025—2030 年迎来活跃期，近期聚焦月球，未来以月球为前哨站，将目标伸向更远的火星。

## （二）实现关键核心技术自主可控是主要航天国家的首要任务

2022 年，随着俄乌冲突的升级，以美欧为代表的西方国家，从资金、贸易、金融、科技、人员等方面对俄罗斯实施了全方位制裁。作为回击，在航天领域，俄罗斯停止向美国提供火箭发动机。暂停从欧洲库鲁发射联盟号 ST 火箭，撤回发射支持团队，多项重大发射被迫取消。俄罗斯与西方国家合作逐渐破裂。在此背景下，各航天大国均将技术自主可控作为未来发展的首要目标。只有实现技术自主可控，才能扭转关键技术受制于人的格局，解决本国航天核心问题，牢牢把创新自主权、发展主动权掌握在自己手中。

## （三）两型重型火箭迎来首飞，促进美国载人航天和深空探测的可持续发展

美国两型下一代载人重型运载器——SLS 已完成首飞，SpaceX 的“超重-星舰”即将首飞，将促进美国载人航天和深空探测的可持续发展，稳固美国在世界航天强国第一梯队的地位。NASA 计划利用 SLS1 在 2025 年前通过 3 次“阿尔忒弥斯”任务，分别实现无人绕月-载人绕月-载人登月，在 2027 年利用 SLS1B 进行载人登月。SpaceX 公司作为月球着陆器的供



应商，将利用星舰着陆器承担航天员从月球轨道到月球之间的往返。这两型重型火箭支撑了美国后续载人登月任务的开展，能够满足月球长期可持续探索的需求。

（北京航天长征科技信息研究所）

## 2022 年国外载人航天器发展综述

2022 年，国外载人航天领域共开展 14 次发射任务(见图 1)，其中包括美国载人龙飞船开展 3 次载人任务，货运龙飞船开展 2 次货运任务，天鹅座飞船开展 2 次货运任务，星际客船开展 1 次无人轨道飞行任务，猎户座飞船开展 1 次无人绕月飞行任务。俄罗斯联盟 MS 飞船执行 2 次载人任务，进步 MS 飞船执行 3 次货运任务。

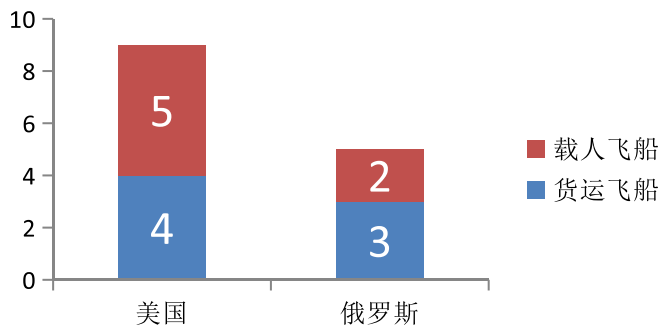


图 1 2022 年国外载人航天领域发射数量统计

2022 年，载人航天继续快速发展。美国星际客船第二次无人轨道飞行试验成功，追梦者航天飞机完成组装，即将迎来首飞，美国载人和货物运输能力有望进一步提升。美国正式授权国际空间站延寿至 2030 年，俄罗斯围绕国际空间站后续合作



存在不确定性。天鹅座货运飞船成为自航天飞机退役以来，首艘为国际空间站重大轨道调整提供助推支持的美国航天器。“阿尔忒弥斯”计划取得突破性进展，美国迈出重返月球第一步。联盟 MS 载人飞船、天鹅座货运飞船和新谢帕德系统等成熟或表现优异的运输系统出现异常故障，再次凸显载人航天事业的高风险属性，以及安全性和可靠性在载人航天领域的重要地位。欧洲、日本积极参与国际空间站运营，开展了一系列试验活动，同时积极投入“阿尔忒弥斯”计划分系统研制工作中。

## 一、多型载人与货运飞船持续发展，近地轨道运输能力不断增强

### （一）美国星际客船第二次无人轨道飞行试验成功

2022年5月20日，波音公司研制的星际客船搭乘宇宙神-5运载火箭从卡纳维拉尔角空军基地第41发射台成功发射并进入预定轨道。本次任务是星际客船第二次无人飞行试验，是在2019年底首飞异常、经过两年半整改后实施的首次任务。火箭发射约15分钟后星际客船与“半人马座”上面级分离，进入椭圆形亚轨道（高度72.8千米×181.5千米），这种方案设计旨在使飞船在出现紧急情况时能够快速返回地球。飞船滑翔约16分钟，随后利用自身的4个轨道机动和姿态控制（OMAC）发动机点火，进入稳定的轨道。星际客船第二次无人飞行试验任务持续6天，旨在通过全流程飞行，获取火箭、飞船和地面系统以及在轨、对接和着陆操作等环节的性能参数，支持NASA对波音公司载人航天运输系统的认证。

NASA和波音公司最初计划星际客船最早于2015年投入运



营，项目因各种因素多次延期，最新预计 2023 年可投入正式服务。每次正式任务可搭载 4 ~ 5 名航天员，除 4 名 NASA 资助的航天员外，还可包括 1 名太空游客。NASA 估算，刨除研发费用后，星际客船每个座位的平均估价为 9000 万美元。目前，波音公司研制了 3 艘星际客船，分别为 1 号飞船、2 号飞船、3 号飞船。波音公司当前计划利用 2 艘飞船（2 号、3 号）执行所有的 9 次轨道飞行任务（3 次试验任务和 6 次正式任务）。每艘飞船的乘员舱回收、翻修后重复使用，并搭配新的服务舱，执行下一次任务。随着星际客船第二次无人飞行试验的开展和后续试验的推进，美国载人航天运输能力有望进一步提升。

美国商业乘员计划目前支持了载人龙飞船和星际客船两型飞船。载人龙飞船已开始提供正式服务，随着星际客船开展第二次无人飞行试验，美国不久后将有两型载人飞船提供国际空间站乘员运输服务。星际客船相比上一代载人飞船，采用了大量创新技术和创新设计思路，实现了更加强大的功能和能力。例如，1) 星际客船采用了自逃逸方案，能够提供全程逃逸能力，同时避免了逃逸塔的级间分离等程序，飞行过程简单；2) 采用了体装式太阳电池，避免了太阳帆板展开、对准等容易发生故障的环节，飞船不需要使用整流罩，直接安装在运载火箭上发射，整个飞行方案更加简化，提高了系统的可靠性；3) 采用了新型的整体式无焊缝主结构，结构强度提升，支持飞船结构多次使用；4) 舱体外部的隔热瓦采用可拆卸安装方式，任务后可保留舱体结构，仅更换隔热瓦；5) 采用了群伞系统，突破了单伞面积限制，群伞热备份工作，在一具伞失效的情况下仍能保证安全回收，可靠性更高；6) 采用了陆上回收方式，



能够避免海水对设备的侵蚀，对重复使用较为友好，且陆上回收保障条件相对较好；7) 采用了气囊缓冲技术，有效避免最终速度带来的硬冲击，缓冲效率高，能够支持较大质量舱段着陆。通过采用上述一系列创新技术和创新设计理念，星际客船能够在6个月内完成翻新，重复使用10次，满足近地轨道常态化乘员运输需求。

## （二）追梦者航天飞机完成组装，将迎来首次轨道飞行

由内华达山脉航天公司负责研制的追梦者航天飞机在其科罗拉多州总部组装完成，首艘追梦者航天飞机命名为坚韧号，后续将运往 NASA 阿姆斯特朗飞行研究中心进行为期数月的热真空试验，然后运至肯尼迪航天中心进行与火神运载火箭的对接组装，开展相应的系统测试。

2022年5月，内华达山脉航天公司子公司塞拉航天公司宣布与全球最大民用飞机结构件与系统公司 Spirit AeroSystems 建立战略合作伙伴关系，由后者开发和生产附在追梦者航天飞机尾部的货运模块。该模块被命名为“流星”，为一次性使用的外部附加货运模块，配有太阳能电池阵和推进器，可携带约4500千克的货物，将极大增强单次货物运载能力。该模块将在重返大气层之前与追梦者航天飞机分离并在大气中燃烧，而追梦者航天飞机降落至着陆场并重复使用。

内华达山脉公司计划于2023年将追梦者航天飞机发射至国际空间站，执行约82天的无人轨道飞行任务。追梦者航天飞机设计搭载5吨加压和500千克非加压有效载荷，同时可下行1750千克货物。若本次任务成功，内华达山脉公司将正式执行 NASA 授予的第二轮“商业补给服务”（CRS-2）合同，追

梦者号航天飞机将与 SpaceX 公司货运龙飞船、诺斯罗普 - 格鲁曼公司天鹅座飞船共同开展业务化货物运输服务，同时成为继货运龙飞船后第二型可重复使用的货运系统。

## 二、国际空间站正式授权延寿，空间技术与应用模式不断创新

### （一）NASA 授权法案将国际空间站延寿至 2030 年，俄罗斯有意退出国际空间站项目

2022 年 1 月 11 日，拜登政府承诺将国际空间站延寿至 2030 年，将使美国能够在未来 10 年持续利用空间站获得益处。NASA 随后发布报告详细说明了未来 10 年的空间站运营目标，实现向商业服务的平稳过渡。2022 年 8 月 9 日，拜登签署一项总金额为 2800 亿美元的《2022 芯片与科学法》，其中包括了新版 NASA 授权法案，同意将国际空间站的运行时间从 2024 年延长至 2030 年。

2022 年 7 月 26 日，俄罗斯国家航天集团新任总经理尤里·鲍里索夫在向总统普京汇报时宣布，俄罗斯将在 2024 年后退出国际空间站项目。2022 年 7 月 28 日，俄罗斯国家航天集团高级官员通知 NASA，在本国独立空间站开始运行前，将继续执行国际空间站任务。根据最新计划，俄罗斯轨道服务站首次载人任务将在 2028 年实施。近年来，俄罗斯多次考虑退出国际空间站，以此作为筹码威胁美国。俄乌冲突以来，国际空间站成为美俄角力的重要平台，为应对西方制裁，俄罗斯国家航天集团前总经理罗戈津曾于 2022 年 4 月发出警告，称若西方不取消对俄制裁，俄将退出国际空间站。

国外均已着眼后国际空间站时代，开展提前研究和布局。



除了俄罗斯提出轨道服务站外，NASA 也借鉴商业货运和商业载人服务的经验，支持商业空间站开发，提出了商业低地球轨道开发（CLD）计划，第一阶段至 2025 年，支持多家公司开展商业空间站的初步设计，第二阶段预计于 2026 年启动，包括对商业空间站认证，以及通过采购服务的方式利用商业空间站资源。即使俄罗斯 2024 年退出国际空间站，美国也主要受到短期影响，打乱近地轨道载人航天活动计划，但长期影响有限。

## （二）近地轨道商业载人活动将持续发展，应用模式实现创新

2022 年 4 月 8 日，美国公理太空公司在佛罗里达州肯尼迪航天中心 39A 发射台利用猎鹰 9 运载火箭成功发射载人龙飞船，执行首次国际空间站私人航天员任务（Ax-1），参加此次任务的 4 名航天员只有一人是 NASA 前航天员，其余 3 人都是企业家、投资者、慈善家等身份。该任务是首次由美国载人飞船执行全私人航天员的国际空间站任务，此前该类型任务都至少有一名政府正式航天员参与。

NASA 于 2019 年发布了《低地球轨道商业开发计划》，每年允许两次国际空间站私人航天员任务，每次任务在空间站停留不超过 30 天。这些任务必须使用经 NASA 认证的美国载人飞船，如 SpaceX 和波音公司根据 NASA 商业乘员计划（CCP）开发的载人龙飞船和星际客船。本次任务实现了 NASA 在《低地球轨道商业开发计划》中明确提出的发展私人航天员任务目标，验证了商业公司拥有运输私人航天员前往低轨空间站的能力，同时可以完成太空环境对人类的影响评估、飞行乘组测试等任务。未来，私人航天员任务将成为发展低地球轨道经济计

划的一部分，而 NASA 将成为低地球轨道上的众多客户之一，低地球轨道向商业化快速发展。

### （三）天鹅座货运飞船首次成功对国际空间站实施轨道修正

2022 年 6 月 25 日，诺斯罗普·格鲁曼公司的天鹅座航天器对国际空间站进行首次轨道提升，首次将这种增强的能力作为 NASA 的标准服务。天鹅座货运飞船的发动机工作了 5 分 1 秒，使国际空间站的近地点提升了 800 米，远地点提升了 160 米，完成了空间站首次全面成功的轨道校正操作。目前国际空间站依靠俄罗斯的进步号货运飞船来进行轨道调整。由于俄罗斯有意在 2024 年后退出国际空间站项目，因此 NASA 需要测试独立运行国际空间站的能力，以摆脱对俄罗斯的依赖。

此前在 2018 年天鹅座的第九次补给任务中，天鹅座 NG-7 货运飞船就进行过为国际空间站变轨的测试，但测试只进行了 5 秒钟就意外结束。

### 三、“阿尔忒弥斯”计划首次飞行任务成功，迈出重返月球第一步

2022 年 11 月 16 日，NASA 利用航天发射系统（SLS）从肯尼迪航天中心第 39B 发射台将猎户座（Orion）飞船发射入轨，飞船在大幅值逆行轨道（DRO）绕月飞行半圈后，于 2022 年 12 月 11 日返回地球，溅落在加利福尼亚州圣迭戈海岸。本次任务是美国“阿尔忒弥斯”（Artemis）计划的首次试飞任务，旨在通过真实环境中的无人试验，完成航天发射系统火箭发射，猎户座飞船深空环境运行、高速再入、溅落回收等全流程任务，



对火箭、飞船、地面系统等各个系统进行综合测试和认证，为“阿尔忒弥斯-2”载人飞行试验任务，以及后续载人月球/深空探测奠定基础。标志着美国迈出重返月球第一步，美国载人航天长期发展路径逐渐清晰和稳定。

### （一）具有重要的战略意义

“阿尔忒弥斯”计划是美国巩固航天领先地位、维持国家影响力的重大项目，提出了领先中、俄实施本世纪首次载人登月，将世界首位女航天员和首位有色人种航天员送往月球等重要象征性目标，已成为美国展示综合国力、牵引科学发现、推动技术进步的标志性工程，对于其强化全球领导、巩固在国际竞争中的有利地位、实现国家战略目标具有重要意义。

### （二）首飞验证多项关键技术，美载人航天取得重要进展

“阿尔忒弥斯-1”任务是“阿尔忒弥斯”计划的首次飞行试验，也是美国自2004年提出重返月球，开展一系列论证、研究、试验后，时隔18年进行的首次全系统、全流程飞行测试，完成对航天发射系统、猎户座飞船、探索地面系统等重要系统的全面验证和认证考核，打通从地球到月球轨道的运输能力。

### （三）商业化、国际化模式得到验证

美国在组织实施“阿尔忒弥斯”计划的过程中，充分利用了商业公司和国际伙伴力量。在商业化发展方面，NASA积极通过重大工程扶持国内航天企业，通过项目投资带动了相关企业技术和系统能力提升。在国际合作方面，美国积极吸纳国际伙伴参与。此外，美国主导《阿尔忒弥斯协定》，采用新的合作模式，进一步强化美国在载人月球探测国际合作中的话语权和主导权。



#### （四）任务实施存在大量问题，后续发展仍面临严峻挑战

“阿尔忒弥斯”计划在实施过程中，也遭遇技术故障、进度拖延、经费超支等一系列问题：“阿尔忒弥斯-1”任务由于发射场故障，多次延迟；首次载人登月任务从最初的2024年推迟到不早于2025年，而NASA总监察长办公室评估认为，预计要到2028年才能实现载人登月；“阿尔忒弥斯”计划主要系统经费出现严重超支，航天发射系统、猎户座飞船等超支高达50%。整体上，“阿尔忒弥斯”计划在进度、经费、技术等要素方面尚不协调，后续按计划实施仍面临较大困难。

### 四、伴随载人航天快速发展不断出现的异常故障

#### （一）联盟MS-22飞船冷却剂泄漏，导致出舱活动取消

2022年12月15日，对接在国际空间站上的俄罗斯联盟MS-22载人飞船发生冷却剂泄漏事件，导致正在进行的航天员出舱活动取消。12月16日，俄罗斯国家航天集团确认外部温度调节系统的散热器冷却回路是泄漏源，并表示联盟MS-22飞船外壳受损可能是因为受到微流星体撞击，导致飞船大量冷却剂泄漏。此次冷却剂泄漏事件尽管没有对空间站和航天员造成危害，但联盟MS-22飞船可能无法按照计划于2023年3月返回地球。冷却剂泄漏可能会导致飞船返回舱温度升高，这不仅会在飞船返回地球期间影响航天员的状况，还会影响飞船的计算机系统。

如果俄罗斯国家航天集团和NASA判断该飞船不具备搭载航天员返航能力，则意味着国际空间站停靠的飞船不能将国际空间站中驻留的7名航天员全部带回地球。目前仅有一艘美国



载人龙飞船对接国际空间站，虽然载人龙飞船在设计上可以搭载 7 名航天员，但 NASA 没有批准过该型飞船执行 7 人载人航天任务。这将导致 3 名计划搭乘联盟 MS-22 飞船返回地球的航天员必须在国际空间站上等待，直到俄罗斯发射新一艘载人飞船将 3 名航天员接回地球。

### （二）美国蓝源公司新谢帕德系统发射失败

2022 年 9 月 12 日，美国蓝源公司利用新谢帕德系统实施亚轨道飞行遭遇失败。此次发射中，太空舱紧急逃逸，最终实现安全着陆，而助推器坠毁。

新谢帕德系统在发射 1 分钟后出现故障，也就是火箭达到最大动压时，为助推器提供动力的 BE-3 发动机底部喷出大片火焰，火箭姿态略微偏离垂直方向并发生摆动。发射 1 分 5 秒后，太空舱的发射逃生发动机启动，使太空舱脱离助推器。太空舱到达了大约 11.4 千米的最高高度，然后下降，先是打开三个小型阻力伞来稳定太空舱并减缓下落速度，随后三个主降落伞顺利打开。太空舱在发射后大约 5 分半钟在发射场附近安全着陆，火箭助推器撞击地面后损毁。由于此次事故，新谢帕德系统将在一段时间内停飞。

### （三）美国天鹅座 CRS-18 货运飞船太阳帆板展开异常

2022 年 11 月 7 日，美国诺斯罗普 - 格鲁曼公司（以下简称“诺·格公司”）发射的天鹅座 CRS-18 货运飞船成功进入预定轨道，但飞船仅展开一个太阳帆板，另一个无法展开。诺·格公司多次尝试展开太阳帆板，但均未成功。最终 NASA 和诺·格公司决定继续推进任务，优先确保货运飞船对接，暂时放弃了展开帆板的进一步尝试。同时，考虑到机械臂抓捕、飞船与空

间站对接等操作均会产生振动，可能导致帆板在操作期间展开，引发额外风险，空间站项目组在机械臂捕获前对飞船状态进行了额外的安全性评估。

天鹅座 CRS-18 飞船于发射 2 天后成功与空间站交会，在站上机械臂的操作下停泊至空间站。诺斯罗普·格鲁曼公司于 11 月 9 日简要说明事件可能原因，在火箭级间分离过程中，火箭声学覆盖层（acoustic blanket）碎片卡在了飞船太阳帆板机构中，导致其无法展开。NASA 和诺斯罗普·格鲁曼公司未公布更多详细信息和调查结果。

## 五、小结

2022 年，世界载人航天取得了快速发展。近地轨道方面，各国高度重视保持近地轨道长期载人能力，美国利用载人龙飞船、货运龙飞船和天鹅座飞船完成常规载人和货运任务，大力推进星际客船、追梦者航天飞机等新型运输系统发展，扩展私人航天员任务，持续推进国际空间站商业化。俄罗斯继续利用联盟 MS、进步 MS 飞船完成常规载人和货运任务，并提前研究布局本国独立空间站。载人月球探测方面，美国完成“阿尔忒弥斯”计划首次无人绕月试飞任务，打通从地球到月球轨道的运输能力；合作联盟持续扩大，《阿尔忒弥斯协定》签署国家达 23 个。整体而言，主要航天国家均积极谋划，推动载人航天活动可持续发展，并迈向更远的深空。

（北京空间科技信息研究所）



## 2022 年国外航天员系统发展综述

2022 年，国际空间站第 66~68 长期考察组执行驻站任务，由于科学号多功能实验舱和船坞号节点舱两个新模块舱的到来，航天员们多次出舱，以将它们整合到国际空间站俄罗斯舱段。驻站期间，两名航天员在轨飞行 355 天，创造了新的在国际空间站单次飞行停留时间的纪录，也为研究长期航天飞行对人体各系统的影响提供了更多证据。欧、日新一批航天员选拔已进入最后阶段，最终名单即将官宣。为迎接以“阿尔忒弥斯”任务为代表的月球探索时代的到来，美、欧、俄开展多类型多系列地面模拟实验与测试。

### 一、航天员执行航天飞行任务情况

#### （一）国际空间站两批考察组顺利完成驻站任务

国际空间站第 66 长期考察组共有 14 名航天员完成在轨执守任务，考察组驻站时间为 164 天（2021 年 10 月 17 日—2022 年 3 月 30 日）。飞行期间，航天员们迎来了两个新的模块舱——科学号（Nauka）多功能实验舱和船坞号（Prichal）节点舱，进行了 4 次出舱活动，以将它们整合到俄罗斯舱段。

NASA 航天员马克·范德海与俄罗斯航天员彼得·杜布罗夫此次在轨连续飞行了 355 天，创造了在国际空间站新的单次飞行停留时间纪录。根据俄罗斯国家航天集团的数据，单次在轨飞行的世界纪录属于俄罗斯航天员瓦列里·波利亚科夫，他在和平号空间站上停留了 438 天（从 1994 年 1 月到 1995 年 3 月）。

驻站期间，航天员们参与了百余项研究，其中包括 NASA 多项人体研究计划（HRP）支持的研究。他们为研究收集和提供生物样本，研究人员可以利用这些样本来了解航天飞行引起的人体生理变化。航天员还在着陆后向研究人员提供了额外反馈，以探索潜在的伤害，这一反馈将帮助科学家更好地了解长期载人航天飞行是否会使乘员更容易受到此类伤害，研究结果也将有助于 NASA 设计未来航天器的防护措施。

国际空间站第 67 长期考察组共有 14 名航天员完成在轨执守任务，考察组驻站时间为 183 天（2022 年 3 月 30 日—2022 年 9 月 29 日）。9 月 28 日，意大利航天员萨曼莎·克里斯托弗雷蒂接任国际空间站指令长，成为首位担任此职位的欧洲女性。她是 2000 年设立空间站指令长职位以来的第 5 位女指令长，也是第一位非美国女指令长。

在轨期间，俄罗斯航天员和欧洲航天员共完成 5 次舱外活动，主要任务是调试欧洲机械臂 ERA，使其适用于国际空间站俄罗斯舱段。此外，航天员还在科学号多功能实验舱外部安装了用于固定有效载荷的有适配器的作业平台，部署了 10 颗用于在舱外活动期间收集无线电数据的纳米卫星。

驻站期间，航天员们在国际空间站上开展了健康技术、植



物科学等领域的超 200 项研究，包括免疫系统老化、太空皮肤愈合、长期暴露在微重力环境期间和之后的心肺影响、长期太空生活对认知和感知的影响、利用人造视网膜为患有视网膜退行性疾病的患者恢复视力等研究，此外还利用水培和气培等无土方法种植植物，为未来太空探索提供更大规模的农作物生产。

## （二）全私人乘组首次飞往国际空间站

4 月 8 日，SpaceX 的载人龙飞船搭乘猎鹰 9 火箭，将 Ax-1 任务乘组迈克尔·洛佩斯 - 阿莱格里亚、拉里·康纳、马克·帕西和艾坦·斯蒂比送入太空。本次代号为 Ax-1 任务是首次全私人航天员飞往国际空间站。

乘组人员在轨道上共停留了 15 天，进行了各种科学实验和技术演示，其中不乏亮点工作，包括对癌细胞生长的研究、用于空间站的新型空气净化器的演示测试，以及一项利用大量自动混凝土进行未来太空建设应用的研究。

Ax-1 任务航天员在执行各项航天任务的同时，佩戴以色列“大脑 - 太空”公司脑电图描记器（EEG）头盔。这是首类可以记录航天员神经活动的头盔，能够让科学家们跟踪航天员飞行期间的日常大脑变化。

Ax-1 飞行任务还搭载了“太空农场”公司 3 个实验项目：一项实验是 ALEPH FARMS——太空培育肉类的研究，测试一种用动物细胞培育肉制品的技术；第二项实验是 CADW，检查微重力是否会激活特定的 DNA 损伤途径；第三项实验是 AMORPHICAL，考察在微重力条件下，非晶态碳酸钙对成骨细胞和骨骼肌细胞增殖和分化的影响。这些研究有助于支持未来的长期航天任务。从细胞中培育肉类的能力有助于在长期航



天飞行以及月球或火星表面驻留，给航天员提供蛋白质来源。对 DNA 损伤途径的更好理解可以促进发展航天飞行期间潜在 DNA 损伤的对策和治疗方案。对微重力如何影响骨骼和肌肉发展的深入了解可能有助于确定未来任务的营养需求。

NASA 局长比尔·纳尔逊表示，首次私人航天员前往国际空间站的任务取得成功，是为太空旅行者创造机会和实现 NASA 在近地轨道外开展商业活动目标的重要一步。

## 二、航天员选拔与训练情况

### （一）欧洲航天局宣布新一批入选航天员名单

11 月 23 日，欧洲航天局（ESA）宣布最新入选的 5 名职业航天员、世界首位残疾人航天员以及其他 11 名后备航天员名单。这是 ESA 自 2008 年以来首次选拔新航天员，此次选拔是 2021 年开始的，申请者达 22 500 名。

入选的 5 名职业航天员将全职加入 ESA，自 2023 年 4 月起在位于德国科隆的欧洲航天员中心开始训练。完成一年的基础训练后，他们将加入 ESA 现有的 7 人职业航天员队伍，并获得飞行任务资质。这 5 名航天员分别来自法国、英国、西班牙、比利时和瑞士。

41 岁的残奥会运动员约翰·麦克福尔成为世界历史上第一位残疾人航天员，他曾作为短跑运动员代表英国参加过 2008 年北京残奥会，并在 T42 级短跑比赛中获得铜牌。他将加入“残疾人航天员可行性计划”，于 2023 年初开始接受训练。

ESA 首次建立了有 11 名成员的航天员预备队。预备队成员没有直接和 ESA 签订永久合同，他们将继续在原岗位工作，



同时为未来的载人航天飞行做准备。预备队有 6 名女性和 5 名男性，其中 2 名来自意大利，2 名来自德国，来自西班牙、奥地利、法国、英国、波兰、瑞典和捷克共和国的各 1 名。

### （二）205 名申请者通过日本航天员招募初试

在最新的航天员招募活动中，日本宇宙航空研究开发机构（JAXA）官宣称 205 名申请者已经通过了初步考核。

JAXA 希望能够选拔出几名新航天员参加国际月球探索项目。这是日本近 13 年来的首次航天员招募，吸引了 4127 名申请者，创历史新高。最后，188 名男性和 17 名女性通过了初步考核。初选通过后，JAXA 将按计划再进行三轮考核，测试他们对航天器的操作能力和适应性。2023 年 2 月选出 2 名航天员，他们将有望驻留环月轨道空间站，甚至登上月球表面。

### （三）白俄罗斯确定航天员候选人名单

白俄罗斯已确定飞往太空的航天员候选人名单。想成为白俄罗斯首位航天员的人非常多，全国约 100 人报名，初步确定的候选人名单中有 29 人，其中包括 3 名女性，将由组织飞行的俄罗斯国家航天集团专家来决定最终人选。白俄罗斯已向俄罗斯国家航天集团提供了候选人名单，以供进一步选拔。计划选出主、备航天员各 1 人。

白俄罗斯对航天员候选人的初步要求：白俄罗斯公民，年龄在 25~40 岁，受过高等教育，专业为物理、化学、生物、数学、火箭和空间技术，掌握英语。

俄罗斯称将尽快培养白俄罗斯航天员，使其能够在 2023 年秋飞往太空。这将是一次短期太空旅行，白俄罗斯人在太空中停留的时间不会超过 1 个月。

#### （四）NASA 航天员队伍规模过小

2022年初，NASA 总监察长办公室的一份报告称，NASA 的航天员团队目前仅拥有 44 名现役航天员，在今年部分航天员退役后，此人数可能会低于可充分支持国际空间站和“阿尔忒弥斯”登月任务所需的“最低人员配置要求”。这支队伍在 2000 年达到顶峰时，有将近 150 名航天员，而现在的规模是自 20 世纪 70 年代以来最小的。

造成这种不足的原因之一是，NASA 在评估航天员队伍所需规模时使用了 15% 的“安全余量”，以解决意外损耗、医疗问题和其他因素。2014 年之前的安全余量为 25%，报告指出，“由于缺乏文件，目前尚不清楚余量变化的原因。”其他因素还包括，随着国际空间站的寿命接近尾声，工作布置更加密集，航天员的使用频率可能会增加；同时，对航天员担任项目开发角色的需求也越来越大。

报告还强调，在“阿尔忒弥斯”登月任务中，对航天员的技能要求可能有所调整。而 NASA 缺乏关于其航天员的“全面的统计信息”，这使得更难追踪 NASA 如何反映其多样化目标。

报告中强调的另一个问题是登月任务的培训要求。NASA 还没有为“阿尔忒弥斯-2”和“阿尔忒弥斯-3”任务选拔航天员，虽然这些任务至少还有两年的时间，但报告认为 NASA “可能高估了为航天员们制定和实施必要的培训框架和方案所需的时间”。它指出，在国际空间站项目的早期，任务培训长达 5 年之久，而目前的任务培训则简化为 2 年。

该报告建议 NASA 重新评估用于确定人员规模 15% 安全裕量，以及改进航天员统计数据收集、评估新的训练指南，而



NASA 在报告的回应中表示接受这些建议。

### （五）美欧航天员为登月任务开展地质学训练

为了未来的月球任务做准备，美欧部分航天员正在接受世界级的地质学训练——“泛大陆训练”。训练团队由行星科学家和航天员训练教员组成，目标是“给航天员配备上地质学家的眼睛”，从而对月球探索产生重要的影响。

该训练将理论学习与实地考察相结合，根据训练安排，航天员们走遍欧洲，磨炼其地质技能。训练从意大利白云石山脉开始，课程包括在布莱特巴赫峡谷开展的基础地质知识和技能，以及火星和小行星地质学学习。德国里斯陨石坑是地球上保存最完好的陨石撞击坑之一，美国阿波罗航天员在飞往月球前也曾在这里进行过地质学训练。参观西班牙兰萨罗特岛的火山景观，学习火山活动和水流之间的地质相互作用——这是寻找生命的两个关键因素。前往挪威的罗弗敦群岛，了解当地一种类似于分布在月球高地的岩石——斜长岩，斜长岩在罗弗敦群岛储量丰富，而且保存良好。在未来的“阿尔忒弥斯”任务中，月球高地将是探索任务的重要地点，因为那里可能拥有解开月球和太阳系历史的关键信息。

航天员在“泛大陆训练”期间访问不同地点，从而训练他们如何观测景观，采集科学相关的样本，并与地球上的支持团队有效地沟通他们的地质观察结果。

## 三、航天医学研究进展

### （一）航天飞行期间红细胞会受到更多破坏

一项世界首创的研究揭示了航天飞行是如何导致人体血红

细胞降低的，即人们通常所说的“太空贫血”。这是一项在渥太华进行的关于骨髓健康和太空造血的实验首次发表的骨髓研究结果。对 14 名航天员的分析表明，他们在航天飞行期间体内红细胞的破坏比在地球上正常情况下多 54%。

在这项研究之前，太空贫血一直被认为是航天员刚到达太空时，体液涌入上半身的一种快速适应反应。通过这种方式，航天员减少了血管中 10% 的血液，因此身体减少了 10% 的红细胞以保持平衡，在太空飞行 10 天后，红细胞控制恢复正常。

与这一传统观念相反的是，研究小组发现，红细胞的破坏是航天飞行带来的主要影响之一，而不仅仅是由体液移动引起的即时反应。他们通过直接测量 14 名航天员在为期 6 个月的航天飞行任务中的红细胞破坏情况，证明了这一观点。在地球上，人类的身体每秒要创造和破坏 200 万个红细胞。研究人员发现，航天员在太空中的 6 个月内，被破坏的红细胞增加了 54%，即每秒要破坏 300 万个红细胞。这一现象在女性和男性身上没有差异。

航天飞行会增加红细胞的破坏，这一发现有多层含义。首先，它支持筛查航天员或太空游客是否存在受贫血影响的血液或健康状况。其次，航天飞行任务越长，贫血越严重，这可能会影响长时间的月球和火星任务。第三，航天员需要合适的饮食来增加红细胞的产生。最后，目前还不清楚人体能维持多久这种较高的红细胞破坏率和产生率。

## （二）研究显示半年航天飞行任务会导致相当于地面十年的永久性骨丢失

《科学报告》发文称，在为期 6 个月或更长时间的航天任



务期间，航天员可能会经历相当于地面 10 年以上的衰老性骨丢失。在返回地球恢复 1 年之后，大约一半的骨骼强度会重建。此前的研究表明，航天员在太空中每驻留 1 个月，他们的骨密度就会下降 1%~2%，因为在站立和行走时，重力的缺乏减轻了腿部的压力。

加拿大卡尔加里大学追踪了 17 名在太空驻留了 4~7 个月的航天员，其中包括 14 名男性和 3 名女性，平均年龄为 47 岁。研究团队使用了高分辨率外围定量计算机断层扫描设备（HR-pQCT）——该设备可以测量 61 微米尺度的三维骨骼微结构（比人类的头发丝还细），对小腿胫骨的骨骼结构和前臂的桡骨进行成像。研究小组在 4 个时间点分别进行成像扫描——航天飞行之前、航天员从太空返回时，以及返回 6 个月和 1 年之后，并用这些图像来计算骨骼强度和密度。在太空中驻留不到 6 个月的航天员在回到地球重力环境一年后就能恢复飞行前的骨骼强度。但那些在太空中驻留更久的航天员（其中 9 名航天员），在地球上待了 1 年后还没有完全恢复，他们的小腿胫骨出现了永久性骨丢失，相当于 10 年的衰老性骨丢失。而他们前臂的桡骨，几乎没有损失，这可能是因为桡骨并不是承重骨。

研究团队认为，硬举被证明比跑步或骑自行车更有效，这意味着未来要进行更多的下半身锻炼。随着航天飞行时间的延长，航天员可能会有更多的骨丢失，另外还会有更为复杂的恢复问题。考虑到未来前往火星的载人航天任务至少要持续 2 年，这一点尤其令人担忧。她补充说，航天机构也应该考虑其他保持骨骼健康的对抗措施，如营养学，来减少骨丢失和增加骨骼形成。



### （三）新研究揭示长期航天飞行对航天员大脑的影响

美国俄勒冈州健康科学大学的最新研究表明，长期航天飞行改变了航天员大脑中沿静脉和动脉分布的充满液体的空间。这项研究涉及对 15 名国际空间站长期驻站航天员飞行前、后的大脑成像。

研究人员利用磁共振成像（MRI）技术测量了航天员在发射前和返回后大脑中的血管周围间隙（或血管周围空间），还分别在返回后第 1、3 和 6 个月再次进行了 MRI 技术测量。研究人员将航天员的图像与 16 名地面对照受试者在同一血管周围空间拍摄的图像进行了比较。

通过对比飞行前和飞行后的图像，他们发现，在首次进行航天飞行的航天员中，其大脑中的血管周围空间增加了；而在那些已有过轨道空间站飞行经历的航天员中，这个指标并没有差异。但在所有航天员中，科学家都没有发现表明航天员存在神经缺陷的平衡或视觉记忆问题，尽管他们大脑血管周围空间的测量结果存在差异。

研究人员认为，这些在大脑中测量出的血管周围空间相当于给人体淋巴系统潜插的“硬件”，这些空间的扩大发生在衰老过程中，也与痴呆症的发展有关。这些发现不仅有助于了解航天飞行过程中发生的根本变化，也有助于在地面上诊断和治疗脑脊液循环疾病。

### （四）日本研究微重力对航天员肌肉和神经反应的影响

日本同志社大学研究团队最近研究了微重力环境下神经肌肉的特性，并分享了基于研究的见解，探讨航天员如何在长期航天飞行中避免神经肌肉问题。研究小组认为，传入神经活动



（包括在肌肉活动中从骨骼肌发送到中枢神经系统的信号）在调节肌肉特性和大脑活动中起着关键作用。

抑制反重力肌肉活动会导致肌节（肌肉的结构单位）的重塑，导致其数量的减少，进一步导致力量发展的减少，并最终导致肌肉萎缩。反重力肌，即比目鱼肌和长内收肌的肌电图振幅也会降低。这表明暴露在低重力环境中不仅会影响肌肉，还会影响神经。重力减少导致运动控制恶化，这被认为是拮抗肌协调受损和力学改变。尽管航天员在国际空间站上定期锻炼，但还是观察到他们在航天飞行后行走困难。国际空间站上的航天员需要使用跑步机、自行车功量计和抗阻训练设备，以抵消重力减少对神经肌肉系统的影响，保护他们的身体健康。然而，这些基于运动的对抗措施并不总能有效避免某些不必要的神经肌肉变化。

由重力减少引起的肌肉特性变化可能与神经活动的减少，以及收缩和 / 或拉伸依赖的机械应力有关。充分刺激比目鱼肌似乎可以减少其萎缩的机会。因此，在锻炼时，航天员应该步行或用后脚跟着地缓慢跑步（使用弹力绳也会有帮助）。周期性被动拉伸比目鱼肌似乎也很有效。因此对于未来的长期载人航天探索，这些从独特角度出发的研究结果，可能在制定神经肌肉问题的适当对抗措施方面发挥重要作用。

### （五）国际团队使用线虫研究微重力下的肌肉问题

一项关于线虫的新研究表明，在模拟微重力环境下，与物体的身体接触有助于防止神经肌肉衰退。

科研人员研究了秀丽隐杆线虫，这种线虫在航天飞行期间表现出类似人类的分子和生理影响，包括肌肉功能受损和体长

缩短。他们测试了在轨和地球模拟微重力环境下线虫的两种分子水平：多巴胺（神经系统中的一种化学信使，参与运动并检测身体接触）和 COMT-4（一种负责分解多巴胺的酶）。研究发现，在微重力环境下生长的线虫，这两种分子的水平都有所降低。微重力条件下线虫体内的多巴胺水平不到正常重力条件下线虫体内多巴胺水平的一半，这使得它们游得更慢。服用多巴胺可以逆转这些影响，恢复正常的运动和身体长度。随后，研究人员测试了神经肌肉衰退是微重力的直接结果，还是减少身体接触的间接影响。他们比较了两组在模拟微重力条件下长大的成虫：一组被置于与塑料微珠身体接触的环境中，另一组被置于与培养皿底部失去接触的液体中。在第一组，多巴胺和 COMT-4 水平没有下降，线虫显示正常的运动。这项研究表明，通过与物体的身体接触来靶向多巴胺系统，可以防止肌肉萎缩，这是推动人类安全执行深空旅行的现实处置策略。温和的机械接触，比如手和脚的按摩，不仅可以用来保持航天员的神经肌肉健康，甚至还可能帮助运动功能受损的老年人。

#### （六）血栓专家与 NASA 合作研究失重状态下的血液及血凝块

北卡罗来纳大学医学院与 NASA 共同合作，对国际空间站的 11 名航天员总计进行了 2150 天的监测。所有航天员在离开地球之前都进行了评估，以获得他们颈部静脉的血流和血管大小的基线数据。航天员进入太空后，在地面放射学团队的指导下，对自己的颈部进行超声波检查，11 名航天员中有 6 人记录到异常血流特征，但没有一人出现血凝块。然而，颈静脉血流减慢、检查中出现异常回声，甚至两名航天员出现血流逆转。



目前，研究人员对此现象还无法得出确切结论，还需要开展更多的研究。

### （七）国际空间站启动冠状病毒蛋白晶体生长实验

2022年3月，国际空间站已经开始在3D生物打印机上培养冠状病毒蛋白。冠状病毒的核衣壳蛋白由联盟MS-21飞船运送到国际空间站。

目前冠状病毒的结晶已经生成，GoPro摄像机拍下了整个生成过程。9月29日，国际空间站第67考察组顺利返回，和航天员一同返回地球的就包括该3D打印结果和有时效要求的实验样本，样本被送回地球后将进行1~1.5个月的研究。获得的样本将用于破译蛋白质结构，以及研究病毒进入人体的机制。

### （八）NASA 通过有效的诊断仪器管理航天员健康

2022年9月，来自NASA人体研究计划的“探索医疗能力”（ExMC）团队的专家在国际空间站上成功测试了“可重复使用手持式电解质和实验室技术”（rHEALTH）生物医学分析仪，这是一种使用激光技术诊断疾病或损伤的便携式设备。

rHEALTH于2022年2月来到国际空间站，作为一种微型流式细胞仪，它可以检测细胞和其他生物标志物，以评估生物变化。在发射到空间站之前，研究人员对rHEALTH分析仪进行了改进，使其能够在微重力下工作。

航天员无需经过技术培训，就可以使用rHEALTH进行全面的自我诊断，他们只需要把一滴血、唾液或尿液放入识别器，几分钟内就可以得到一系列包含重要健康指标的结果。这种使用小样本的演示在轨道上尚属首次应用，这让航天员有可能更快地获得更多的生物医学信息。

## 四、地面模拟试验开展情况

### （一）“天狼星-2021”载人月球模拟封闭实验完成

2022年7月3日，为期8个月的“天狼星-2021”载人月球模拟封闭实验在莫斯科结束。该实验于2021年11月4日开始，主要任务是模拟绕月飞行和月面作业，共有6名参试人员参与。

在为期8个月的实验中，参试人员完成了近地轨道虚拟出舱、星际飞船对接、飞往月球、与月球轨道站对接、绕月飞行、登陆月球表面、借助VR系统在月面作业、返回地球等任务。此外，在“天狼星-2021”实验期间还进行了心理和精神生理学实验研究以及生理学相关实验，包括免疫和代谢研究、微生物学和卫生学实验、远程医疗和遥操作技术等。

“天狼星-2021”载人月球模拟封闭实验是一系列国际性隔离实验项目，2017年11月完成了17天隔离，2018至2019年完成了4个月隔离，另外还计划进行3次一年期实验，其中一次实验将于2023年下半年开始。

### （二）国际空间站考察任务返回后俄航天员参加星际飞行模拟实验

俄罗斯航天员安东·什卡普列罗夫和彼得·杜布罗夫在3月30日返回地球后，几乎立即成为多项实验研究的参试者，其中就包括名为“星座”的星际模拟飞行实验。

该实验旨在考察航天员在太空飞行后的最初几天完成复杂操作活动的的能力。两名航天员在返回后的第6天就参加了此项实验。飞行后实验中所获得的结果将与飞行前研究得到的指标进行比较。

除了驾驶漫游车这个项目外，两位航天员参与该研究的其



他项目是相同的。在“出舱”-2 模拟器上，他们交替模拟了在一个假定星球上的出舱活动：过闸过程中设备的操作，舱外服各系统的检查和控制等，还模拟了舱外活动中的一些典型作业。在“顿河-联盟”号模拟器上，两名航天员展示了驾驶飞船以及手动模式下进行交会对接的技能。尽管两名航天员的身体还没有完全恢复，但实验过程中没有遇到什么特别的问题，有些测试结果甚至比飞行前的还要好。该实验研究将为实施登月飞行计划、行星际飞行和太阳系行星探索工作奠定科学和技术储备。

### （三）NASA 开展登陆行星表面后航天员工作能力测试

为了明确航天员在着陆后多久可以执行关键任务，来自 NASA 人类生理、绩效、防护和操作实验室以及神经科学实验室的联合团队设计了一个障碍物训练场，用于开展航天员志愿者测试。航天员主要完成两项地面模拟训练任务：1）在前往国际空间站之前，穿着航天服从模拟返回舱出来，模拟在行星表面太空行走；2）返回地面后，同一飞行乘组尝试完成同样的任务（着陆几小时后模拟舱撤走，大约一天后模拟行星表面太空行走）。

当航天员执行这两项任务时，他们向研究人员提供口头反馈。完成任务后，航天员将填写调查问卷，反馈努力完成的每一步操作情况。在模拟火星表面太空行走期间，航天员将佩戴传感器来监测心率和能量消耗。此外，航天员完成这两项任务的过程将被录制成视频。将发射前录制的视频与着陆后的视频进行比较，将有助于科学家查明航天员在完成哪些动作时有困难，以及为什么会这样。



未来的更新迭代将包括更多参与者、更复杂和时间更长的任务，以及针对月球引力进行的模拟。获得的信息将有助于 NASA 设计任务活动、应急处置预案、航天服和太空舱，将航天员登上月球或火星后最初几天执行任务的困难程度最小化。

#### （四）NASA 完成“赫拉”系列六模拟任务

载人探索研究模拟实验室“赫拉”（HERA）是位于休斯敦 NASA 约翰逊航天中心的一座两层小建筑，主要用来模拟航天员进入深空时会经历的狭小空间。NASA 利用“赫拉”来研究乘组在不离开地球的情况下，如何应对隔离、受限和偏远等条件。

“赫拉”系列六火星模拟任务共进行了 4 次，每次由 4 人乘组模拟“旅行”到火卫一，并在那里生活和工作 45 天。第一次任务已于 2021 年 11 月结束，第二次任务也就是 2022 年的首次任务于 1 月 28 日—3 月 14 日进行，第三次任务于 5 月 27 日—7 月 11 日进行，第四次任务于 9 月 9 日—10 月 24 日进行。

为了帮助研究人员了解乘员的行为，乘员要在“赫拉”内进行各种科学和维护活动。当他们“接近”火卫一时，还面临与地面控制组的支持人员越来越多的通信延迟。所有这些活动的主要目的是让他们进入航天员深空旅行中孤单受限的生活和工作思维模式，通过研究这些任务如何影响乘员的情绪和行为，科学家们可以提出调整班次、修改程序和其他旨在提高乘员效率和注意力的策略，乘员们由此也会变得更加自主、更具团队合作性，以及学会如何有效沟通。乘组在“赫拉”内开展的研究任务还将帮助 NASA 建立一个关于个人如何适应航天飞行固有挑战的可靠数据集，以制定措施，更好地为“阿尔忒弥斯”



登月和载人火星任务做准备。

### （五）NASA 在亚利桑那州沙漠模拟“阿尔忒弥斯”登月行走

为迎接“阿尔忒弥斯”月球研究时代的到来，NASA 在亚利桑那州弗拉格斯塔夫附近与航天员、工程师和科学家进行了为期两周的实地测试，以在模拟月球表面环境中为“阿尔忒弥斯”航天员实践任务场景。亚利桑那沙漠具有许多类似于月球环境的特征，包括具有挑战性的地形、有趣的地质和最少的通信基础设施，所有这些都是航天员在“阿尔忒弥斯”任务期间在月球南极附近需要经历的。

模拟任务包括两项内容。第一项是联合舱外活动和人类表面移动计划测试团队现场测试 3 号（JETT3），由 4 次模拟月球行走组成，这些行走将在“阿尔忒弥斯 -3”任务中实施，这是“阿尔忒弥斯”计划中第一次载人月面登陆任务。这次模拟任务的重点是帮助 NASA 了解月球南极地区独特照明条件的要求。第二项是沙漠研究与技术调查（D-RATS）计划，在火山口附近的黑点熔岩流进行 3 次任务运行，该任务主要侧重于进行加压漫游车的手动操作，这是从 2030 年的“阿尔忒弥斯 -7”之后未来“阿尔忒弥斯”任务的关键要素。

### （六）ESA 开展 2022 年 Vivaldi “干浸”实验

Vivaldi “干浸”实验是一种在地面模拟微重力对人体影响的实验。顾名思义，“干浸”是指长时间浸泡在水中，同时保持身体干燥。志愿者穿着防水服，并躺在特别设计的水浴池中。水浸到志愿者躯干上方的位置，并用防水布将他们的手臂和头部保持在水面上。实验期间，志愿者要花整整 5 天的时间保持

这个姿势，用餐时要借助一块浮板和一个颈枕。在上厕所和其他需要离开水的活动中，志愿者会被扶上手推车，并保持放松姿势。

以这种方式将志愿者浸入水中，可以减轻身体的重量，并使神经系统、心血管系统和代谢系统产生变化，这些变化过程与航天飞行期间航天员发生的类似。然而，在地面进行的研究，使研究人员更便于开展各种面对面的医疗评估，并密切监测人体各系统在失重过程中的变化。这种模拟还能让研究人员得到更广泛群体和数量的人体数据，并更快地对观察结果得出明确的结论。

欧洲航天局的 SciSpacE 团队在“干浸”实验中，测试这种实验与实际航天飞行的相似度，他们希望确定在“干浸”失重状态下人体发生的变化、变化发生的时间，以及其与航天飞行和其他地面微重力模拟的对比。实验在法国图卢兹的航天医学和生理学研究所（MEDES）“太空诊所”内进行。该实验的第一阶段（Vivaldi I）以全女性志愿者为特色，以填补现有研究的空白。第一阶段和第二阶段（Vivaldi II，包括男性志愿者）中收集到的数据，将让研究人员更好地了解微重力对男女航天员造成的应激，以便设计出更有效地缓解方法。

### （七）欧洲航天员完成远程控制月球车地面模拟实验

ESA“模拟”-1（Analog-1）是德国航空航天中心（DLR）组织的一个大范围、多机构、多月球车参与的“帮助现代社会的自主机器人网络”项目的一部分，探索了自主机器人在网络基础上进行协作和共享数据的能力。

2022年7月，在一次复杂的模拟登月任务中，欧洲航天运



营中心（ESOC）的控制人员与一组地质科学家和欧洲航天局航天员托马斯·赖特（Thomas Reiter）合作，控制月球车采集岩石样本。托马斯·赖特模拟驻留在绕月轨道空间站“门户”上，实际上他是在西西里岛卡塔尼亚的一个酒店房间里，而月球车在 23 千米外，位于埃特纳火山侧翼 2600 米的山上。

通过该模拟，对地面控制人员和绕月轨道空间站上航天员合作控制有了更深入的了解，双方都控制在月表行驶的月球车——这种“共享”操作可以非常高效，比任何一方单独操作要高效得多。

（中国航天员科研训练中心）

## 2022 年国际空间站科学研究与应用发展综述

2021 年 10 月到 2022 年 9 月，国际空间站第 66~67 次长期考察任务在技术开发与验证、生物学与生物技术、物理科学、人体研究、教育和文化活动，以及地球与空间科学 6 大研究领域共支持开展了 360 项科学研究实验。

### 一、科学研究与应用概况

美国国家航空航天局（NASA）、俄罗斯国家航天集团公司（Roscosmos）、欧洲航天局（ESA）、日本宇宙航空研究开发机构（JAXA）和加拿大航天局（CSA）在 6 大研究领域支持开展的实验项目数量及新实验项数如表 1 所示。

表 1 国际空间站第 66~67 次长期考察任务中各航天局  
在各研究领域支持开展的实验项数（括号中为新实验项数）

领域 机构	技术开发 与验证	生物学与 生物技术	物理 科学	人体 研究	教育和文 化活动	地球与空 间科学	总计
NASA	74 (40)	37 (24)	31 (15)	24 (14)	14 (11)	17 (9)	197 (113)
Roscosmos	10 (1)	15 (1)	7 (1)	12 (0)	4 (0)	7 (0)	55 (3)
ESA	18 (6)	2 (1)	9 (3)	12 (1)	11 (2)	1 (0)	53 (13)
JAXA	11 (8)	13 (2)	11 (7)	4 (0)	7 (5)	4 (1)	50 (23)
CSA	0 (-)	0 (-)	0 (-)	5 (2)	0 (-)	0 (-)	5 (2)
总计	113 (55)	67 (28)	58 (26)	57 (17)	36 (18)	29 (10)	360 (154)



在第 66~67 次长期考察任务开展的全部 360 项实验中，NASA 支持开展 197 项，其中技术开发与验证的实验最多，其次为生物和物理实验。Roscosmos、ESA 和 JAXA 支持开展实验项目数接近，Roscosmos 的生物实验、ESA 的技术实验、JAXA 的生物实验相对较多。CSA 仅支持开展了人体研究实验。在全部 360 项实验中有 154 项为新实验，其中 113 项由 NASA 支持开展，技术领域的新实验最多。

## 二、科学研究与应用进展

### （一）技术开发与验证实验

#### 1. 研究概况

技术开发与验证实验共计 113 项，其中 55 项为新实验，NASA、JAXA、ESA 和 Roscosmos 分别支持开展了 40 项、8 项、6 项和 1 项新实验，小卫星及控制技术研究方向的新实验最多。

#### 2. 新开展的实验

NASA 支持开展了 7 项小卫星及控制技术新实验。阻力离轨装置立方体卫星测试一种可以重复展开和收回、具有可控阻力表面的装置，以调整卫星的轨道衰减率。柔性实验嵌入式卫星 -2 旨在验证搭载全球定位系统接收机和传统无线电传输设备的立方体卫星平台架构，并测试用于物联网通信的遥测、跟踪和指挥系统。逃脱特殊被动姿态控制卫星旨在探究可否利用 1 米长的充气吊杆帮助卫星停止旋转、有效稳定姿态。空间探戈公司 - 肯塔基大学 Cubelab 卫星演示器旨在对小卫星的新型非交换姿态控制技术开展实验验证。智能手机视频制导传感器实验旨在验证摄影测量视觉技术在小型航天器的制导、导航和控



制中的应用。佐治亚理工学院系绳和测距任务旨在开发与在轨测试基于硅光电倍增器的厘米级精度激光雷达系统，利用该相机跟踪拍摄系绳的可充气目标以验证其性能。用于可重构自适应环境探索的细分电磁空间结构实验，在微重力环境下测试机器人蜂群的自组装和对接能力。

NASA 支持开展了 6 项航电设备和软件新实验。自主系统和运行 -EXPRESS 机架 2.5 项目测试自动化和决策支持软件，帮助乘员管理航天器子系统。亚马逊 Snowcone 云边缘计算演示实验验证基于边缘计算的图片筛选技术，识别私人航天员拍摄的可能包含敏感信息、不适宜公开发布的图像。Cryptosat-安全边缘计算实验利用 Cryptosat 卫星网络开展传输加密货币、使用区块链协议等多项实验。LonestarCelestium 国际空间站边缘计算演示实验利用国际空间站的边缘计算能力，开展独特的天基原创艺术创造。MedChecker 是一款利用图像识别技术从国际空间站上的医疗包中识别各类药物的软件，帮助航天员快速找到合适药物。抗辐射计算机系统上集成人工智能模块的性能表征实验评估人工智能算法探测和诊断潜在故障的能力。

NASA 支持开展了 5 项通信与导航新实验。立方体卫星激光红外交叉链路 - 航天器 A 实验利用 3U 航天器测试建立从航天器到地面小型望远镜的 10 Mbps 下行激光通信链路。Aexa 公司全息传送行为实验利用 HoloLens 2 头显和 HoloWizard 混合现实应用程序，开展私人航天员与地面人员之间的 360 度全息图像远程通信。国际空间站纳米天线实验测试部署可实现高带宽通信的折叠天线。SEOPS 公司 -HFVarisat 实验旨在利用 6U 的立方体卫星实现全球范围的短波无线电数据通信。X-SAT 实



验测试商用现货电子元件暴露在空间严苛环境下的性能。

NASA 支持开展了 5 项表征实验硬件新实验。空间神经健康实验利用便携式脑电图头盔测量航天员在微重力环境下的大脑活动变化情况，有助于预测未来长期空间任务的大脑神经变化。空间测试计划 - 休斯敦 7-Falcon Neuro 实验验证利用具有高速光学传感能力的事件传感器探测云顶闪电和中层大气放电，深化对大气放电现象的理解。空间测试计划 - 休斯敦 7-局部空间监视观测实验测试当太阳在视野中仍可以开展天体观测的新型光学传感器。空间测试计划 - 休斯敦 8- 钷铝镓石榴石辐射仪 -2 实验评估面向天基天体物理学和国防应用的新型伽马线探测器技术。涡轮高温合金铸造模块实验利用商用空间制造设备在微重力条件下对高温合金零件进行热处理，以获得微观结构更均匀、机械性能更好的零件。

NASA 支持开展了 4 项辐射测量和防护新实验。辐射监测技术验证实验利用基于闪烁体材料和硅光电倍增探测器的新型粒子望远镜，测量国际空间站内的高能粒子通量和粒子特性。月球画廊实验旨在评估在国际空间站辐射环境下搭载高质量相机的单板计算机平台的性能。RadMap 望远镜验证新型辐射传感技术在无人和载人航天器中的应用，助力开发结构更加紧凑的辐射探测器。空间测试计划 - 休斯敦 7- 钷铝镓石榴石辐射仪 -1 实验评估新型伽马线探测器技术。

NASA 支持开展了 3 项空气、水和表面监测新实验。空间测试计划 - 休斯敦 7- 海洋表面矢量风实验验证通过利用全球定位系统信号的小型传感器来测量海洋表面的风速和风向。空间测试计划 - 休斯敦 8- 紧凑型海洋风矢量辐射计实验验证新

型地面微波气象传感器的在轨应用，获取准确的海面风向和风速数据。空间测试计划 - 休斯敦 8- 风暴和热带系统的时间实验验证利用毫米波辐射计开展海洋表面风和热带气旋强度的微波成像。3 项实验对于完善天气预测模型，从而预测和跟踪风暴、保护美国海军资产和海面作战至关重要。

NASA 支持开展了 3 项成像技术新实验。纳米机架 -LEONIDAS 实验利用事件传感器和 CMOS 传感器采集地球信号，为美国能源部全球爆炸探测系统提供信息，支持开发机器学习算法。空间测试计划 - 休斯敦 7- 可配置自主传感器处理研究实验评估在小卫星和航天器上执行自主传感器处理的新型成像和计算技术。空间测试计划 - 休斯敦 7- 现象学成像仪和夜间观测仪验证拍摄地球图像开展远程天气传感和高层大气气辉研究的近红外相机。

NASA 支持开展了 3 项生保系统和居住新实验。替代粪便容器实验验证利用轻质、可折叠发射的软边容器来收集和贮存粪便沉积物，替代当前使用的硬边容器。正向渗透膜实验评估在国际空间站微重力条件下脲酶磷脂反应性正向渗透膜的水回收性能。先进氢传感器技术演示实验测试国际空间站制氧系统新型传感器的长期工作性能，保障没有氢气混入氧气而进入舱内。

NASA 支持开展的其他新实验如下。蛋白质制造验证在微重力条件下将不可食用的植物材料和其他废料，转化为高蛋白可食用的真菌生物物质的生物反应器技术。智能空间系统接口飞行鉴定实验验证标准化机器人连接器在长期任务中传输大量电力、数据和热能的能力。JAMSS 光催化剂验证利用光催化



剂设备去除挥发性有机物，清洁舱内空气。近地轨道被动热涂层天文台利用立方体卫星验证可更高效反射太阳辐照的先进涂层，未来为航天器等提供更有效的热管理。

JAXA 支持开展了 8 项新实验。IHI-SAT 立方体卫星旨在验证先进的船舶自动识别系统接收机，可提高在许多船舶航行海域的船舶探测率。HSU-SAT1 立方体卫星旨在验证电力、机载计算机和其他卫星总线组件方面的技术进步，并测试红外激光通信链路能力。KITSUNE 立方体卫星采用可展开无线电天线，开展 5 米级分辨率彩色图像对地观测。Light-1 立方体卫星利用两个探测器研究地面伽马射线闪光。Binar-1 立方体卫星验证卫星总线主要操作系统以及恒星跟踪相机。人造金刚石衬底空间暴露实验观察空间恶劣环境对衬底的影响，助力高性能下一代金刚石半导体器件在未来实现空间应用。木材外空暴露实验旨在评估原子氧对木材的侵蚀作用以及辐射环境对木材力学性能的影响。全固态锂离子电池的空间验证实验旨在验证采用固体、无机、阻燃材料且防泄漏的电池在极端温度和真空环境下安全稳定运行的能力。

ESA 支持开展了 6 项新实验。环境空气分析干涉仪 -2 是一个红外痕量气体监测器，将自动量化监测分析国际空间站内空气中的 33 种痕量气体。无线通信网络 -2 实验验证用于传感器监测或一般数据传输的脉冲无线电超宽带无线网络的运行情况。空间特级初榨橄榄油实验研究暴露于空间环境对特级初榨橄榄油物理化学、感官及营养特性等的影响。急救手持式生物打印机实验验证打印皮肤细胞的便携生物打印机。虚拟现实 - 机载训练实验利用虚拟现实头显设备为航天员提供在轨训练，

并评估该训练方式的有效性。表面化身实验利用直观界面开展多化身和多机器人协作实验，评估用于在未来行星探索任务中开展机器人资产远程控制的操作程序。

Roscosmos 支持开展了 1 项新实验。防护复合材料实验收集特定厚度聚合物基复合材料的累积辐射剂量数据。

此外，机器人加注任务 -3 等 58 项实验继续开展。

## （二）生物学与生物技术实验

### 1. 研究概况

生物学与生物技术实验共计 67 项，其中新实验有 28 项。NASA、JAXA、ESA 和 Roscosmos 分别支持开展了 24 项、2 项、1 项和 1 项新实验，细胞生物学研究方向的新实验最多。

### 2. 新开展的实验

NASA 支持开展了 10 项细胞生物学新实验。衰老和心脏健康实验分析由于低重力环境导致的细胞老化的标志物以及心脏细胞如何适应低重力环境。规律间隔成簇短回文重复序列（CRISPR）空间诊断实验研究测试微重力条件下基于 CRISPR 的基因检测方法，并与地面进行比较，有望用于未来长期空间任务中病原体和污染物的准确识别以及太空农业。微重力对皮肤老化和健康的影响实验利用多孔膜上的人体皮肤细胞模拟皮肤 3D 组织，评估微重力条件下与生长相关的细胞和分子的变化，旨在建立快速评估皮肤健康管理干预措施的功能模型。微重力对帕金森和多发性硬化的小胶质细胞三维模型的影响实验研究 3D 类器官中小胶质细胞的生长和运动以及微重力引起的基因表达和蛋白质分泌的潜在变化，旨在提高对帕金森和多发性硬化的了解，助力开发新疗法。实验立方体 -15 第二项任务





测试了一种从动物细胞中生长肉制品的技术，检查特定的 DNA 损伤途径是否被微重力激活，分析骨形成和骨骼肌细胞的增殖和分化。免疫衰老的微重力模型及其对组织干细胞和再生的影响实验研究微重力对参与组织再生的细胞的影响以及飞行后是否恢复，帮助了解生物老化过程的影响是否可以逆转。3D 体外肿瘤模型实验研究参与肿瘤发生的关键信号级联及其对新疗法的反应，旨在为 TMBIM6 蛋白的作用以及它们如何靶向有希望杀死癌细胞的分子提供新的见解。近地轨道上的肿瘤类器官建模实验验证癌前和癌细胞的在轨组织培养、共焦荧光显微镜和实时共焦图像数据传输的科学参数和操作过程。微重力下诱导多能干细胞实验研究空间环境对诱导多能干细胞（iPSC）和由 iPSC 产生的神经祖细胞的影响，旨在助力开发在空间中培育干细胞的相关技术。空间探戈公司 - 微重力下人骨髓的转导基质共培养实验研究血液干细胞的衰老以及转化为癌细胞的过程，旨在为发现检测、预防和阻止某些血癌发展的新策略奠定研究基础。

NASA 支持开展了 6 项植物生物学实验。植物栖息地 -03- 空间环境的表观遗传适应 - 太空世代诱导的累积基因组变化实验，通过培育两代拟南芥并进行全基因组测序，评估空间环境植物的表观遗传适应可否遗传到下一代。植物栖息地 -05- 开启棉花基因组精确遗传学实验研究了 3 种基因型、处于不同发育阶段的棉花的再生能力，了解基因组因子如何在全株再生过程中控制基因表达。多用途可变重力平台 - 植物 RNA 调节还原实验分析和监测植物枝条和根系早期发育相关的转录情况，监测和表征发育中的芽和根的蛋白质谱，了解植物感知和适



应环境变化的分子机制及其调控网络。微重力对小球藻氧气输出的影响实验研究微重力如何影响小球藻的氧气输出，增进对微重力如何影响光合作用和光合生物发育的了解。蔬菜生产系统 -05- 采摘和食用沙拉作物的生产力、营养价值和可接受性实验，种植并食用矮化西红柿，通过观察果实产量、营养成分和微生物水平的差异，分析光度和肥料配方对作物形态的影响。根在轨测试系统实验旨在使用水培和气培技术种植植物，助力未来深空任务大规模生产农作物。

NASA 支持开展了 3 项微生物学新实验。空间中的抗细菌聚合物实验将分析两种具有细菌抗性的聚合物（TMA/CAA 以及 TMA/SA）在空间中和地面上的性能差异。空间微生物组动力学实验研究微重力如何影响分解几丁质的土壤微生物群落的代谢相互作用，以帮助开发微生物 - 微生物相互作用的综合分子网络和基于宏基因组的代谢网络模型。用于合成生物组分运输的坚固平台实验使用两种细菌菌株测试合成生物组分运输平台能否经受极端环境考验来保护和保存 DNA。

NASA 支持开展了 3 项大分子晶体生长新实验。空间科学促进中心 - 蛋白质晶体生长 -20- 单克隆抗体结晶实验，在微重力下制备可用于有效治疗多种癌症的结晶单克隆抗体 pembrolizumab，旨在制备更均匀的单克隆抗体晶体制剂。铈晶体保存实验将开发一种利用晶体形成来保存生物材料的技术和标准操作程序，旨在应对微重力条件下形成和保存生物材料的挑战。均匀 RNA 晶体生长实验旨在制备腺嘌呤核糖开关 RNA 的微 / 纳米晶体，记录晶体的 X 射线衍射随时间的变化，并观察配体诱导的构象变化驱动相变的过程。



NASA 支持开展了 2 项动物生物学实验。啮齿动物研究 -18- 空间飞行环境诱导小鼠视网膜血管网络重塑和胶质血管通信实验检查小鼠视网膜血管系统的变化、组织重塑和细胞间相互作用，研究空间飞行如何影响视觉功能。啮齿动物研究 -22- 空间飞行对组织再生的影响实验以小鼠为模型生物，研究空间飞行对皮肤愈合的全身和局部反应的影响，通过多种遗传和生物学评估来定义潜在的生物变化，确定影响组织再生的因素。

JAXA 支持开展了 2 项新实验。小鼠栖息地单元 -7- 从器官间通信网络的角度解释与年龄相关的肌肉骨骼疾病的可能机制实验，研究神经血管网络在与年龄相关的肌肉骨骼疾病的发病或进展中的作用，以及器官间通信因子分泌型微 RNA (miRNA) 的表达随重力变化或衰老而发生的特异性改变，帮助更好地理解机械应力传感以及肌肉和骨骼随年龄变化的新机制。空间环境对模式生物秀丽隐杆线虫神经综合系统和衰老的影响实验，利用秀丽隐杆线虫阐释多巴胺减少和与衰老相关的运动功能障碍的协同效应，研究空间微重力环境中多巴胺减少的遗传学和生理学机制，评估与长时间停留在太空和衰老相关的神经退化。

ESA 支持开展了 1 项新实验。加速骨骼肌老化的微重力模型实验在微重力环境下对人造肌肉进行自动电刺激，以诱导收缩，研究有助于确定处于微重力条件下的航天员以及地面老年人群的肌肉损失机制。

Roscosmos 支持开展了 1 项新实验。磁性制造实验使用磁性 3D 生物打印机制造冠状病毒蛋白晶体，探究微重力条件下由有机和无机材料控制三维结构形成和制造的可行性。

此外，蔬菜硬件 -03 等 39 项实验继续开展。

### （三）物理科学实验

#### 1. 研究概况

物理科学实验共计 58 项，其中新实验有 26 项，NASA、JAXA、ESA 和 Roscosmos 分别支持开展了 15 项、7 项、3 项和 1 项新实验，材料科学研究方向的新实验最多。

#### 2. 新开展的实验

NASA 支持开展了 8 项材料科学新实验。用于原位能力的生物聚合物研究实验，研究在空间站利用牛血清白蛋白和二氧化硅混合物制备混凝土替代品，揭示微重力如何影响生物聚合物土壤复合材料的形成过程。光纤生产 -2 实验在国际空间站上自动化生产锆、钡、镧和铝氟化钠（ZBLAN）光纤，实验结果将指导在空间站上制造用于商业用途的高价值光纤。国际空间站材料实验 -16- 商业实验，测试空间环境对嵌入式传感器、3D 打印聚合物、航天器材料、辐射防护生物材料、石蜡外壳、碳基钙钛矿薄膜太阳能电池等材料和器件性能的长期影响。国际空间站材料实验 -16-NASA 实验，测试和分析暴露于空间环境如何影响环烯烃共聚物光学材料、太阳能聚光透镜、超薄太阳能电池等的性能和耐用性。三元化合物半导体生长实验在微重力下生长基于硒化锌的半导体晶体，确定重力驱动的流体流动如何影响晶体缺陷的形成。宝洁洗涤剂远程科学研究实验研究宝洁公司两种洗涤剂在微重力下的去污有效性以及微重力对洗涤剂外观和酶稳定性的影响。Qucopartex 22 实验测试暴露于空间环境如何影响绿柱石、鹅卵石等材料的劣化速度和稳定性，并在样品返回地球后开展多种理化和生物测试。通用智能玻璃



光学元件实验使用激光多普勒干涉测量传感器测量微重力对基于人工智能技术、能够处理各种复杂玻璃的玻璃光学模块的影响，探究微重力下加工复杂玻璃纤维技术的优势。

NASA 支持开展了 2 项流体物理新实验。流体空间光学实验研究微重力如何影响液体在光学元件中的展开和凝固行为，同时对大型液体空间望远镜开展概念验证。非对称锯齿和空腔增强成核驱动传输实验，检测微重力下使用微结构表面的电子设备的被动冷却系统，从而验证微结构表面引发的蒸汽迁移率变化对于开发电子设备被动冷却解决方案至关重要这一假设。

NASA 支持开展了 2 项复杂流体新实验。泡沫和乳液的结构和稳定性实验通过检查泡沫和乳液的结构和性能，从而更好地了解单分散泡沫和乳液的填料结构，并且揭示具有粗糙表面的非球形颗粒是否具有增强泡沫和乳液稳定性的能力。环剪切液滴 -IBP 实验研究高浓度蛋白质溶液，在微重力环境中的行为并测试用于预测该行为的计算机模型。

NASA 支持开展了 2 项燃烧科学新实验。固体燃料点火和熄灭—火焰生长和熄灭极限实验，研究厚固体燃料聚甲基丙烯酸甲酯的火焰生长和熄灭特性，旨在提高对早期火势生长行为的理解。固体燃料点火和熄灭—材料点火和抑制实验，通过改变气流速度、氧气浓度、压力和外部辐射水平等参数研究微重力下的热辅助燃烧，验证材料可燃性模型。

此外，NASA 支持开展了 1 项基础物理新实验。声学操纵流体实验使用超声波束以非接触的方式收集和容纳十六烷液体，以验证涡流场在低重力环境中操纵流体液滴的能力。

JAXA 支持开展了 6 项材料科学新实验。静电悬浮炉 -1 实

验使用静电悬浮炉测量各种氧化物的热物理性质，旨在助力改进地球上合成氧化物熔体的过程。静电悬浮炉 - 用于空间碎片推移的推力测量实验利用静电悬浮炉模拟空间碎片的热和机械特性，并精确测量激光束引起的推进推力，验证利用小功率激光清除空间碎片的可行性。静电悬浮炉 - 过冷液态金属液 - 液相分离及多壳球形成过程研究实验，观测悬浮铁 - 铜液态合金的冷却曲线及其在微重力条件下的过冷极限和凝固行为，旨在为金属的热力学提供基本和重要的数据，助力改进相分离和凝固过程的计算机模拟。静电悬浮炉 - 表面张力的共振诱导不稳定性测定实验，测试了一种准确测量高温液态金属 / 合金表面张力的方法，旨在更好地控制增材制造、先进材料加工和选择性激光熔化。静电悬浮炉 - 测量解聚硅酸盐熔体黏度和密度的温度依赖性实验，研究从高温到过冷温度范围内具有不同二氧化硅含量和镁 / 铁比的解聚硅酸盐熔体的黏度和密度的温度依赖性，旨在提供有关地球和其他行星硅酸盐岩浆性质和动力学的重要信息。静电悬浮炉 - 用于储热材料设计的非平衡熔融合金的热物理性能测量实验，研究受质量传输特性和成核速率控制的热能储存和释放过程，助力设计出应用相分离液态合金的实用蓄热材料。

此外，JAXA 支持开展了 1 项流体物理新实验。观测减重力环境下的液体行为实验记录液体移动时的形状和容器内液体的晃动情况，并与数值模拟模型进行比较和关联，以提高数值模拟技术的准确性。

ESA 支持开展了 3 项新实验。混凝土硬化实验研究重力如何影响混凝土的硬化过程和性能，旨在更好地了解混凝土如何



在没有重力驱动的对流、沉降和压力梯度的情况下硬化。透明合金 - 凝固过程中的柱状 - 等轴相变实验，通过测量透明合金中扩散热和质量传输参数确定微重力情况下晶体生长机制和物理机制。流体科学实验室 - 软物质动力学 - 颗粒黏稠乳液和泡沫实验，研究液滴聚结和聚集的特征时间随配方的变化情况、乳液失稳过程中液滴动力学的特定动态机制以及乳液稳定性 / 不稳定预测模型。

Roscosmos 支持开展的新实验基准计量旨在研究微重力对镓、铟、锡、锌等金属共晶合金熔化和结晶相变特性的影响。

此外，火焰设计等 32 项实验继续开展。

#### （四）人体研究实验

##### 1. 研究概况

人体研究实验共计 57 项，其中新实验有 17 项，NASA、CSA 和 ESA 分别支持开展了 14 项、2 项和 1 项新实验。

##### 2. 新开展的实验

NASA 支持开展了 14 项新实验。太空前沿和地外心脏保护实验收集航天员的心电图、血液和尿液数据，评估心血管健康状况。生物监测器实验监测航天员的生命体征，评估空间飞行对心脏、肺和循环系统的影响。生物制造设施 - 组装下一代胶原同种异体移植半月板实验，评估使用生物墨水和细胞 3D 打印半月板或膝盖软骨组织的可行性。微重力痛感实验评估微重力如何影响航天员疼痛感、生物力学、骨骼生理学和肌肉骨骼系统。睡眠和微生物组变化实验研究私人航天员的短期空间飞行任务之前、期间和之后睡眠时长和质量、人体肠道微生物、环境微生物的变化情况，并记录与心脏和代谢健康相关的



指标。空间中的微生物组实验研究短期空间飞行对人类尿液微生物组的影响，为可能影响航天员的尿路感染问题提供参考。AstroRad 背心人因和工效研究实验评估背心的效率和工效。rHEALTH ONE 微重力演示实验，旨在探究改装后的商用现货技术能否识别和分析空间飞行环境中的生物标志物、细胞、微生物和蛋白质。宿主病原体实验采集航天员飞行之前、期间和之后的血液和唾液样本，评估空间飞行导致的微生物毒力变化和对宿主免疫应答的影响，以支持评估航天员感染微生物的临床风险以及制定恢复免疫功能的对策。在空间中的文化、价值和环境适应性实验，旨在更好地了解接受短期高强度培训的私人航天员如何更好融入职业航天员，形成共享的航天文化。压力监测实验研究是否可以通过持续监测基本中枢神经系统功能，发现航天员的情绪困扰，结果可用于支持开发长期空间任务维持航天员健康和绩效的早期干预工具。反射式视力测试实验利用平板电脑安装的测试软件，在空间飞行之前、期间和之后对视觉功能开展快速可靠的评估，结果有助于更好了解失重对视觉和其他大脑功能的影响。微重力下眼睛解剖学和生物力学短期变化实验，测量航天员短期任务前后眼壁硬度和眼睛解剖学变化，以及飞行之前、期间和之后做 Valsava 动作时的眼睛脉络膜厚度变化，以更好了解空间飞行相关神经 - 眼部综合征。空间尿液分析实验利用专用套件和平板电脑在轨开展尿液分析，包括评估肾功能的白蛋白与肌酐比值等。

CSA 支持开展了 2 项新实验。空间飞行相关神经 - 眼部综合征 - 眼壁硬度研究实验，旨在确定导致航天员在长期空间任务后视力受损的空间飞行相关神经 - 眼部综合征是否与眼壁硬



度有关。国际空间站心肺耦合的因果分析实验研究空间飞行期间心脏、呼吸和姿势对血压调节的综合影响，以及飞行任务后发生的变化。

ESA 支持开展了 1 项新实验。Ice Cubes #9.2-Maleth 2 是一项后续实验，研究糖尿病足溃疡微生物在空间和地面对照实验中的耐药性，并以多组学方式开展分析。

此外，NASA 生物标本库等 40 项实验继续开展。

### （五）教育和文化活动实验

#### 1. 研究概况

教育和文化活动实验共计 36 项，其中 18 项为新实验。

#### 2. 新开展的实验

NASA 支持开展了 11 项新实验，涉及使用光遗传学等技术控制鹰嘴豆生长、微重力对细菌降解塑料的影响、肠道微生物群落对抗生素的反应、辣木籽粉和铜片对大肠杆菌培养物的影响、转染技术对药物输送速率的影响、生产益生菌酸奶、航天员与学生交流互动、开展学生编程竞赛等丰富内容。

ESA 支持开展了 2 项新实验。Ice Cubes#11-Code4Space 实验利用一颗配备传感器的太空弹跳球测量加速度、时间和弹跳次数等，并与地面实验进行对照。CalliopEO 实验为德国小学生提供在国际空间站运行自己编写程序的机会。

JAXA 支持开展了 5 项新实验，包括机器人编程挑战赛、国际空间站文化宣传活动、大学生开展卫星技术开发等。

此外，Sally Ride 中学生学习地球知识计划等 18 项实验继续开展。

## （六）地球与空间科学实验

### 1. 研究概况

地球与空间科学领域共开展了 29 项实验，其中 10 项为新实验，NASA 和 JAXA 分别支持开展了 9 项和 1 项新实验。

### 2. 新开展的实验

NASA 支持开展了 6 项对地观测新实验。BeaverCube 实验使用多种摄像头拍摄地球海洋地区的彩色图像，并检测云顶和海洋表面的温度，旨在提高对浮游植物密度的了解。对地观测实验使用从国际空间站拍摄的图像研究天气和火灾 / 火山爆发等自然事件，以及农业和城市化等人文特征，更好地了解不断变化的地球环境。地表矿物尘源调查实验使用成像光谱仪技术观测地球干旱地区尘埃中矿物的类型和分布情况，旨在提升对矿物尘埃如何影响地球上太阳能平衡的理解。闪电和夜间电现象成像实验旨在拍摄雷暴和多种瞬态发光事件，并与地面观测结果结合，以重建瞬态发光事件的 3D 结构，识别闪电的参数，并从不同的范围和角度跟踪闪电活动和云照明模式。纳米卫星大气化学高光谱观测系统实验，将对用于痕量气体成像的紧凑、高分辨率、基于立方体卫星的高光谱成像仪（HSI）技术开展验证。纳米机架 - 长波红外传感演示实验在热红外波段监测地球的水资源，通过分析水、能量和碳循环数据获得地表植被的生长和健康状况。

NASA 支持开展了 2 项日球层物理新实验。日间大气和电离层边缘成像仪实验利用立方体卫星在 140~180 千米高度对地球大气层边缘开展成像，以确定日间大气氧的密度变化，为了解高层大气的动力学提供新信息。使用时域阻抗探针对等离子



体密度不规则性进行空间分辨测量实验以米级分辨率测量电离层上层电子的密度变化，旨在研究高层大气中的湍流不规则性。此外，NASA 支持开展的天体物理新实验轨道高能监测警报网络可将全天 X 射线成像监测仪（MAXI）观测到的瞬态事件信号及时传递给中子星内部构成探测器（NICER），帮助深入理解中子星、黑洞和其他高能事件。

JAXA 支持开展的新实验 Tanpopo- 日本宇宙生物学 -4 通过将苔藓孢子体、微生物 *Metallosphaera sedula*、氨基酸和肽暴露在空间环境中 6 个月研究生命的起源、运输和生存，帮助回答生命起源这一重大问题并助力开发适应空间环境的作物。

此外，阿尔法磁谱仪 -02 等 19 项实验继续开展。

### 三、结束语

按照当前规划，国际空间站有望持续运行至 2030 年。为此各国均在高强度部署空间科研与应用活动，在结束使命之前最大化其应用效益。通过对 2022 年国际空间站在 6 大研究领域的科研应用活动的全面回溯，希望提供有益参考。

（中国科学院科技战略咨询研究院）

The background is a deep blue gradient with stylized celestial bodies. A large planet with a ring system is in the upper right, and two smaller planets with rings are in the lower left and bottom right. The text is centered in a white frame.

专题篇

SPECIAL  
SUBJECT



## 美国 NASA 2023 财年载人航天预算分析

2023 财年，美国国家航空航天局（NASA）继续为航天发射系统（SLS）重型运载火箭、猎户座飞船、探索地面系统（EGS）研制申请所需的经费，并为实现载人登月目标向国会申请相应经费，保障月球“门户”空间站和载人着陆系统的研制；在近地轨道运输方面，NASA 继续推进乘员与货物运输服务采购与研制，以及近地轨道商业开发项目。

2022 年 12 月 20 日，美国综合支出法案拟为 NASA 的 2023 财年提供约 254 亿美元经费，相比 2022 财年增加了 5% 以上。其中，深空探索系统和空间运行两个领域的拨款分别为 74.69 亿美元和 42.5 亿美元，与 2022 年 3 月公布的 NASA 2023 财年预算相差不大。具体预算情况见表 1。

表 1 深空探索系统以及空间运行预算（单位：亿美元）

序号	预算项目	2021 财年 预算	2022 财年 预算	2023 财年预算 (申请)
一	深空探索系统	63.965	67.917	74.783
1	通用探索系统研制	45.387	45.967	46.684
(1)	猎户座项目	14.037	14.067	13.387
(2)	SLS 火箭	25.55	26	25.798
(3)	探索地面系统（EGS）	5.8	5.9	7.499



续 表

序号	预算项目	2021 财年 预算	2022 财年 预算	2023 财年预算 ( 申请 )
2	“阿尔忒弥斯”项目发展	16.721	20.62*	26.003
(1)	门户	5.015	6.85*	7.792
(2)	先进地月空间与表面能力	0.45	0.82*	0.596
(3)	载人月球着陆系统	9.283	11.95	14.856
(4)	xEVA 与载人表面机动项目	1.973	1*	2.759
3	载人探索需求与框架	0.095	0.095*	0.483
(1)	月球与火星框架	0.095	0.095*	0.483
4	火星项目发展	1.762	1.95*	1.613
(1)	探索能力	1.762	1.95*	1.613
二	空间运行	41.019	40.413	42.663
1	国际空间站	13.216	13.276*	13.075
2	航天运输	18.719	17.702*	17.595
(1)	乘员与货物计划	15.732	16.172*	16.42
(2)	商业乘员计划	2.987	1.53*	1.175
3	空间与飞行支持 (SFS)	8.903	9.472*	9.75
(1)	空间通信和导航	5.06	5.226*	5.285
(2)	载人航天飞行操作	0.978	1.018*	1.015
(3)	人体研究项目	1.15	1.302*	1.512
(4)	发射服务	0.919	1.027*	0.939
(5)	火箭推进试验	0.476	0.478*	0.482
(6)	通信服务项目	0.234	0.42*	0.517
4	近地轨道商业开发	0.181	1.01	2.243
三	总计	104.984	108.33	117.446

备注：\* 表示该数据为该财年下该项目的申请金额，并非法案通过的金额

## 一、深空探索系统

深空探索系统是 NASA 围绕深空探索开展的核心任务领域，从本财年开始由原来的探索系统研制和探索研究与开发两部分更改为通用探索系统研制、“阿尔忒弥斯”项目发展、载人探索需求与框架以及火星项目发展四个部分，与载人航天运输相



关的项目包括 SLS 重型火箭、猎户座载人飞船、EGS 探索地面系统、月球门户以及载人月球着陆系统。2023 财年，NASA 为该领域申请的预算总额约为 74.78 亿美元，相比 2022 财年拨款增加了 6.9 亿美元，以支持“阿尔忒弥斯”载人重返月球计划，为火星及更远深空的载人探索奠定基础。

### （一）SLS 重型火箭

SLS 重型火箭包括 SLS1、SLS1B 和 SLS2 三种载人与载货构型，近地轨道运载能力分别为 70 吨、105 吨和 130 吨，月球轨道运载能力分别为 27 吨、38 吨和 46 吨，可用于执行猎户座载人飞船以及大尺寸重型载荷发射等任务。截至 2022 财年，美国政府在 SLS 项目上累计投入了约 223 亿美元。其中，SLS1 首火箭的研制费用预计将达到 91 亿美元，相比 63.9 亿美元的基线成本，超过 42.5%。2023 财年，NASA 继续给 SLS 项目申请大额项目经费，总预算约 25.8 亿美元，用于支持该火箭项目的持续推进。

在美国政府 10 年持续、稳定的经费支持下，SLS1 火箭在 2022 年 11 月 16 日成功首飞，第二、三枚 SLS 火箭分别进入芯级、固体助推器、过渡型低温上面级等子级的总装与贮箱、裙段、发动机段等主要部段的制造阶段，后续型号所需的复合材料贮箱与壳体、3D 打印、低温推进剂管理等先进技术也都在稳步推进。基于 2023 财年预算，NASA 将继续开展以下工作：1）完成第 2 枚 SLS1 芯级的组装与交付；2）继续开展“阿尔忒弥斯 -3/4”任务所需的 SLS 火箭硬件的生产制造；3）继续重点推进用于 SLS1B 型火箭的 EUS 探索上面级的研制工作；4）开展用于 SLS2 型的先进助推器的方案设计、试验与评估。以上工

作的顺利开展，可确保 NASA 在 2024 年执行“阿尔忒弥斯-2”载人绕月试验任务，在 2025 年执行“阿尔忒弥斯-3”载人登月试验任务，并在 2027 年进行 SLS1B/猎户座系统的首次载人登月试验任务。

## （二）猎户座载人飞船

猎户座载人飞船可将 4 名航天员送入月球轨道等深空目的地，并可提供长达 21 天的居住和生活保障、紧急中止以及从深空安全返回的能力。截至 2022 财年，美国政府在该项目上累计投入了约 144 亿美元。其中，猎户座 1 无人飞船和猎户座 2 载人飞船的研制成本达到 93 亿美元，相比 68 亿美元的成本基线，超出 37.4%。2023 财年，NASA 继续给猎户座载人飞船项目申请足额经费，约 13.39 亿美元，保障该项目的持续推进。

在 144 亿美元的基础上，美国、欧洲各承包商主要完成了用于“阿尔忒弥斯-1”任务的首艘猎户座无人飞船的研发、制造、试验与集成，同时也有序推进用于“阿尔忒弥斯-2”和“阿尔忒弥斯-3”的猎户座载人飞船各组成部分（乘员舱、适配器、服务舱、LAS 系统以及软件等）的制造、装配等工作。2023 财经费将主要用于以下工作：1）开展首飞飞行后分析，评估航天器性能，并实现非核心电子部件的回收与重复使用；2）完成首个猎户座载人飞船的总装与试验；3）完成第三个服务舱的交付以及乘员舱的组装与试验；4）为“阿尔忒弥斯-4”任务交付压力容器等主要结构部件。

## （三）探索地面系统

探索地面系统（EGS）项目主要依靠肯尼迪航天发射中心的地面基础设施，实现 SLS 火箭与猎户座载人飞船的垂直总装、



试验与发射。截至 2022 财年，NASA 在该项目上总计投入约 52 亿美元。其中，用于支持 SLS1 首飞任务的地面基础设施建设费用将达到 25.9 亿美元，相比 18.4 亿美元的基线成本，超过 40.6%。2023 财年，NASA 继续给 EGS 项目申请相应的经费，总预算约 7.5 亿美元，相比 2022 财年的拨付金额增加了 1.6 亿美元。

基于政府持续的经费支持，NASA 已经完成了垂直组装大楼（VAB）、1 号活动发射平台（ML1）、履带式运输车以及 39B 发射工位的升级改造与功能试验，进行了通信与控制系统的现代化改造，并开展了组表演练、发射倒计时演练等，具备进行“阿尔忒弥斯-1”任务的能力。为适应后续的“阿尔忒弥斯”载人飞行任务，NASA 在 2023 财年将继续开展肯尼迪航天中心已有综合发射设施的进一步改造，同时开展新设施的建设，主要包括：1）继续在 39B 发射工位附近建造、验证新型液氢储罐，采用新技术以减少气化；2）更新液氮基础设施，满足快速重新发射需求；3）改进垂直组装大楼内的 4 号高跨平台，并继续建造 2 号活动发射平台，满足 SLS1B 构型的总装与发射需求；4）继续开展猎户座乘员舱的回收试验。

#### （四）“门户”月球空间站

“门户”月球空间站是一个绕月飞行空间站，可为载人深空探索任务提供对接平台以及燃料加注、后勤保障、科学研究等服务。为满足“阿尔忒弥斯”计划的长期发展需求，NASA 计划在 2025 年由猎鹰重型火箭发射电力和推进模块（PPE）与居住舱（HALO），建成初期“门户”。未来，NASA 将依靠国际合作伙伴的参与将其发展成规模更大、能力更强的深空平台，

将为人类在轨停留以及同一次“阿尔忒弥斯”任务中航天员反复到访月球以及飞往火星铺路。

2023 财年，NASA 为该项目申请了 7.79 亿美元，用于完成以下重点工作：1）“门户”项目通过关键设计审查，初期“门户”主要组成部分进入组装、集成与测试阶段；2）完成居住舱主要组件的交付以及电力与推进舱段的总装；3）完成猎鹰重型运载火箭发射任务的初步设计评审。

### （五）载人月球着陆系统

载人月球着陆系统（HLS）设计可载人往返于月球轨道或“门户”至月球表面，是 NASA 开展“阿尔忒弥斯”计划的重要组成部分。NASA 计划依靠多家商业公司开展载人月球着陆系统的方案设计与研制，确保项目可持续性。基于 2020—2021 财年总计约 12 亿美元的经费支持，NASA 组织多家公司开展了针对“阿尔忒弥斯 -3”载人登月任务的月球着陆系统的方案论证工作，并已选定 SpaceX 公司的星舰载人着陆系统方案。

2023 财年，NASA 继续为该项目申请所需经费，总计 14.86 亿美元，加上 2021 财年的 12 亿美元，NASA 计划推动“月球可持续发展计划”，将选定两家公司，开展性能更强的着陆器的研制，满足后续发展需求。同时，继续支持 SpaceX 公司进行着陆系统改进，以适应新的要求。

## 二、空间运行

空间运行是 NASA 围绕近地轨道运行所开展的核心任务领域，主要包括国际空间站、航天运输、空间飞行与支持以及近地轨道商业开发四个部分，与载人航天运输相关的项目包括航



天运输与近地轨道商业开发。2023 财年，NASA 在该领域申请的预算总额为 42.66 亿美元，继续支持近地轨道商业化运营。

### （一）航天运输

美国 NASA 从 2006 年启动近地轨道商业航天运输系统研制项目，包括“乘员与货物计划”和“商业乘员计划”。截至 2021 年 9 月，NASA 在这两个项目上累计拨款约 208 亿美元，支撑了 SpaceX 公司的猎鹰 9 和货运龙 / 载人龙飞船、诺·格公司的安塔瑞斯和天鹅座货运系统、山脉航天公司的追梦者货运飞船和波音公司的星际客船载人运输系统的研制，以及这些私营公司航天能力的发展。

2023 财年，NASA 继续为近地轨道商业航天运输系统项目申请相应的经费，总计约 17.6 亿美元。其中，1.2 亿美元主要用于完成波音公司宇宙神 5 / 星际客船载人运输系统的评估和认证飞行；16.4 亿美元用于向私营公司采购载人与货物运输服务，其中，SpaceX、诺·格和山脉航天公司将分别执行 3 次、1 次和 1 次货物发射，SpaceX 和波音公司至少进行 2 次载人发射服务。

### （二）近地轨道商业开发

2019 财年，NASA 在预算案中新增近地轨道商业开发项目，计划通过商业竞争模式开发和运营更小、更现代以及更高效商业近地轨道空间站，确保 NASA 可持续拥有近地轨道访问能力，深入发展空间经济。

在预算方面，2019 至 2022 财年，NASA 都为该项目申请了 1.5 亿美元，前两年实际支付金额都未能超过 2000 万美元，2022 财年获得 1 亿美元。2023 财年，NASA 为该项目申请了 2.24



亿美元。基于前三年在项目管理、模块设计、载人飞行等方面开展的相关工作，NASA 计划在 2023 财年继续推进 Axiom 航天等多家私营公司在可居住部分等商业空间站模块方面的设计审查、制造、组装与试验。

### 三、发展分析

#### （一）美国继续大力保障“阿尔忒弥斯”载人重返月球计划

2023 财年，NASA 仍将深空探索系统的预算提高了 10%，增至约 75 亿美元，占到了 NASA 总预算的 29%。该预算额也基本得到了国会参众两院以及最终拨款委员会的全额支持。项目上，在 SLS/猎户座系统进入首飞阶段后，NASA 仍在 SLS 重型火箭和猎户座载人飞船项目上申请同样高额的经费支持，并在探索地面项目上增加了 27% 的预算额，保障后续“阿尔忒弥斯”探月任务所需硬件的生产制造、后续构型所需先进技术的研发以及新型地面设施的建设等；探索研究与开发领域的预算仍保持增长态势，“门户”月球空间站和载人月球着陆系统的增长额分别达到 14% 和 24%。另外，基于机构重组，NASA 将原来的探索研究与开发领域重组成“阿尔忒弥斯”项目发展、载人探索需求与框架以及火星项目发展三个领域，进一步明晰了管理责任。预算额的持续增加以及管理机制上的完善充分体现了拜登政府对“阿尔忒弥斯”载人重返月球及其可持续探索的高度重视。

#### （二）经费不足仍是制约“阿尔忒弥斯”计划发展的重要因素

美国“阿尔忒弥斯”计划的探索框架主要由 SLS 重型火箭、



猎户座载人飞船、“门户”和载人月球着陆系统组成。“门户”与着陆器的发展对于重返月球计划的顺利实施至关重要，在技术方面各个承包商已经取得了重要进展。但在经费支持方面，着陆器研制项目一直存在经费不足的问题，2021 财年仅拨款约 9 亿美元，只占最初申请额的 25% 左右。虽然 2022—2023 财年政府在该项目上相继增加了 1 亿美元和 3 亿美元，但与预计的 160 亿美元（2 家承研单位未来 5 年内的总需求）相比，相差甚远。美国加速载人登月计划所需的全部研制经费仍未落实，未来仍将面临巨大的考验。

### （三）商业空间站建设将成为美国近地轨道发展重点

目前，美国通过与诺·格和 SpaceX 公司的合作，完成了 39 次货运任务，已经形成了稳定的国际空间站货物往返运输能力。2023 财年，随着 SpaceX 公司的常规载人发射服务以及波音公司星际客船乘员运输系统的投入使用，美国也成功搭建了商业乘员运输能力。未来，美国在近地轨道的发展重点将由构建商业运输能力转向开发和运营商业空间站。相比 2022 财年，NASA 在 2023 财年为商业空间站建设项目申请了 2.24 亿美元的经费预算，涨幅超过一倍。基于 NASA 的经费和技术支持，公理太空公司（Axiom Space）、SpaceX 等商业公司将开展商业空间站舱段设计与试验、私人载人飞行等，推进 NASA 的商业空间站建设项目。

（北京航天长征科技信息研究所）

## 美国 SLS 重型火箭成功首飞及发展分析

2022 年 11 月 16 日，航天发射系统（SLS）火箭完成首次飞行，将使美国具备从地球轨道到月球探测再到火星等深空探测的完整运载能力。在总结 SLS 火箭研制过程的基础上，展望其未来发展趋势，并提出了几点启示建议。

经过 11 年的工程研制，美国新一代重型运载火箭——航天发射系统（SLS）于 2022 年 11 月 16 日成功首飞，标志着美国在新世纪载人深空探索领域迈出了关键一步，其“阿尔忒弥斯”可持续月球探索计划以及载人火星探索将全面展开。

### 一、SLS1 火箭首飞情况

2022 年 11 月 16 日，美国 NASA 负责研制的 SLS1 重型运载火箭搭载猎户座载人飞船以及 10 颗立方星，从肯尼迪航天中心 39B 发射工位点火发射，执行“阿尔忒弥斯 -1”无人绕月任务。

本次任务中，SLS1 火箭芯级一台 RS-25 主发动机在 T-6.36s 点火，随后另外 3 台主发动机以 120 毫秒的间隔相继点火。T-0s 时，两台固体助推器点火，工作 2 分 12 秒后分离，溅落于大



西洋。在火箭飞行 3 分 11 秒后，服务舱整流罩分离；5 秒后，发射逃逸系统分离。火箭飞行 8 分 03 秒时，芯级主发动机关机，过渡型低温上面级（ICPS）主发动机点火。12 秒后，芯级 / 级间段分离并溅落于太平洋。

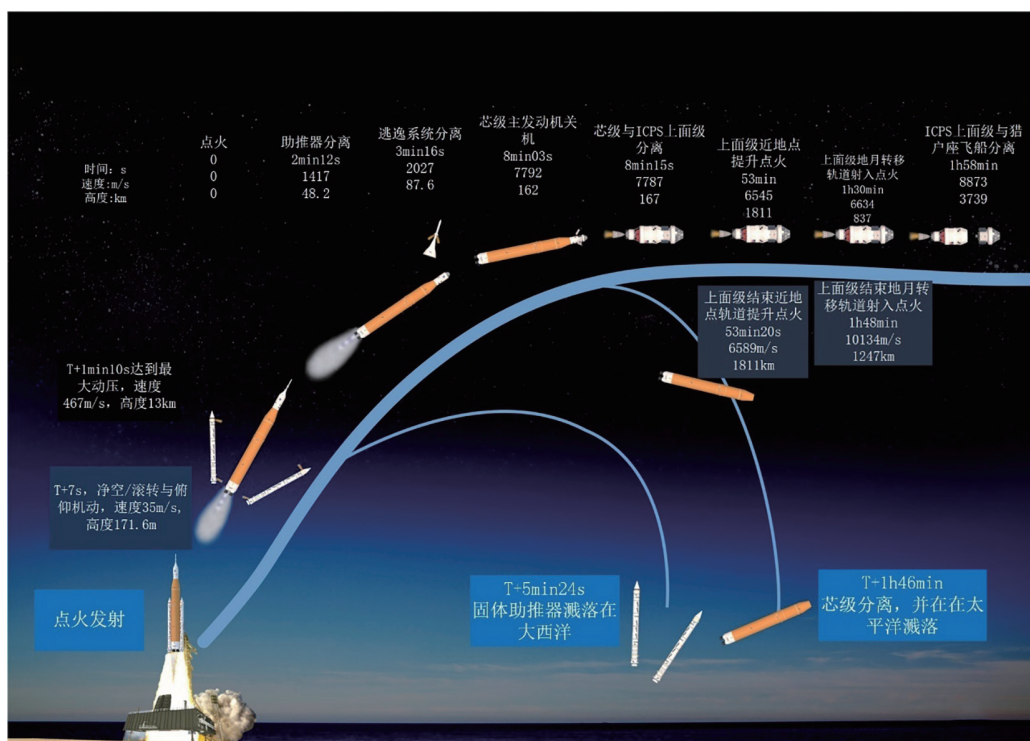


图 1 SLS1 火箭飞行剖面

## 三、美国SLS重型火箭发展历程分析

进入 21 世纪，随着近地轨道载人航天技术日臻成熟，载人月球探索以及载人登陆火星成为美国航天领域的发展重点。在航天飞机 2011 年退役之后，NASA 基于“经济性、可持续性和可行性”的基本原则，于 2011 年开始 SLS 重型运载火箭的研制。

### （一）继承成熟技术与地面设施，加快火箭研制进度

SLS 项目奉行“经济性”原则，最大化利用现有成熟技术与设施，以较低的研发投入尽快实现新一代高可靠重型火箭的投入使用。首飞型号为 SLS1 型，采用两级串联加捆绑固体助推器的构型，全长 98.2 米，芯级最大直径 8.4 米，起飞质量 2608 吨，起飞推力 39 144 千牛，近地轨道和地月转移轨道运载能力分别为 95 吨和 27 吨。SLS1 火箭起飞到上升段由固体助推器提供 75% 的推力，高空飞行段和入轨段充分发挥芯级和上面级氢氧发动机的高比冲性能。

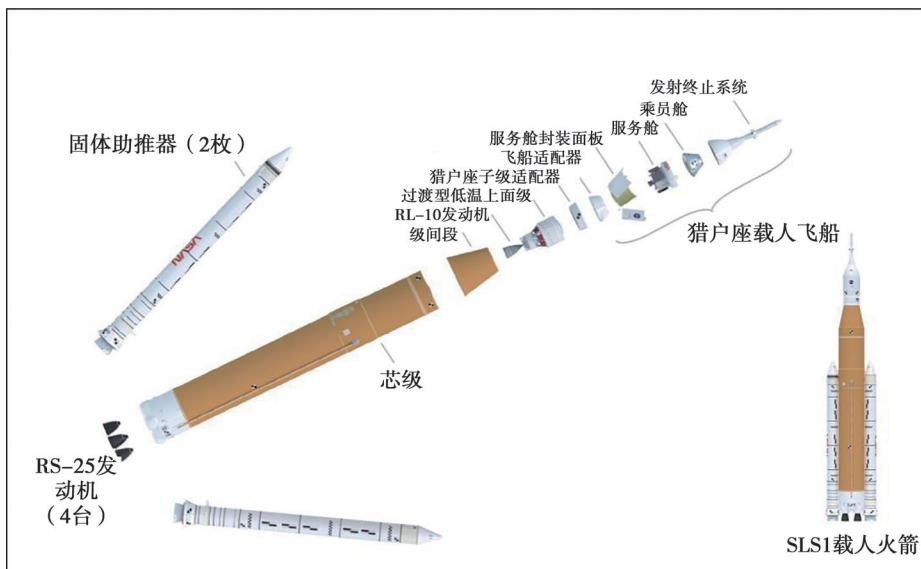


图 2 SLS1 重型运载火箭的构成图

芯级直径与航天飞机外贮箱一致，继承了 2219 铝铜合金材料以及搅拌摩擦焊技术，采用 4 台航天飞机 RS-25 主发动机。两侧捆绑的 2 枚五段式固体助推器，由航天飞机四段式固体助推器改进而来。过渡型低温上面级（ICPS）则沿用了德尔它 4 低温上面级的设计方案以及成熟可靠的 RL10 氢氧发动机技术。SLS 火箭对现有基础能力也进行了继承，主要依托土星 5 和航



天飞机时期的制造、试验和发射设施，包括米丘德组装厂、斯坦尼斯航天中心 A-1 与 B-2 试验台、肯尼迪航天中心综合发射设施等。

## （二）保持稳定的年度经费支持，确保重型火箭研制的可持续性

尽管 SLS 项目的研制进度与成本一直受到美国政府的诟病，但航天飞机退役以后，美国需要一个大型项目维持 NASA 的研发能力以及国家航天工业能力，因此国会从 SLS 项目之初一直给予 NASA 稳定的年度经费支持。

自 2012 财年到 2022 财年，NASA 在火箭和地面系统项目（不含猎户座飞船）上累计获得了 222.68 亿美元和 51.23 亿美元的经费投入，年度经费占比达到 NASA 总经费的 10% 左右（见表 1）。其中，NASA 在 SLS1 首火箭及其地面系统上的花费分别超过 91.1 亿美元和 25.9 亿美元。政府稳定的经费投入保障了 SLS1 首火箭与后续两发产品的研制以及地面设施的改进，也支撑了探索上面级（EUS）、先进助推器等后续任务所需的先进技术，保障了 SLS1B、SLS2 型等后续型号的可持续发展。

到 2025 财年，NASA 仍将继续在 SLS 火箭及其地面系统项目上保持约 29 亿美元的年度预算规模。

表 1 SLS 火箭与 EGS 探索地面系统的财年经费投入（亿美元）

财年 项目	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
SLS 火箭	14.98	14.15	16	16.79	19.72	21.27	21.5	21.44	25.28	25.55	26
EGS 地面系统	-	3.55	3.18	3.43	3.99	4.72	8.95	5.93	5.78	5.8	5.9



### （三）重视地面试验的充分性，提高发射系统的可靠性

在 SLS1 火箭项目上，NASA 遵循系统工程的理念，开展了覆盖组件、单机、分系统、系统的地面试验。通过缩比模型试验积累了丰富的底部热环境、声环境等相关数据，开展近 200 次涉及芯级主要结构以及入轨级的结构试验，针对芯级 RS-25 发动机开展了 43 次、总时长 18 945 秒的点火试车。另外，进行了 2 次助推器地面鉴定试验，为助推器的性能分析提供了全套数据；开展了覆盖模态、电子系统、失效保护、主要推进系统组件、推力矢量控制及液压系统、倒计时演练、推进剂加注 / 泄出以及 4 台发动机联合点火（2 次）等 8 项内容的芯级试验。首飞箭总装后，NASA 对全箭进行了 2 轮包含模态、脐带释放 / 收回等在内的综合性试验以及 4 次不点火加注合练，为飞行可靠性奠定了基础。

### （四）研制过程中问题频出，SLS 首飞进度一推再推

在 SLS 火箭研制过程中，任务规划与总体方案的更改、监管不力以及频繁出现的技术问题，使得火箭首飞推迟了 5 年之久。

任务规划方面，因为深空探索目标不明确，NASA 直到 2019 年才明确使用 SLS1 型来执行首次无人绕月、载人绕月和载人登月计划。在总体方案设计方面，由于芯级未能在设计之初考虑到垂直总装方式的局限性，而在总装过程中将其更改为水平方式，导致资源浪费和进度滞后；在关键设计评审后，对芯级结构载荷以及火箭 / 飞船系统参数的更改，则造成芯级与活动发射平台在设计、制造等方面的重大返工。

管理方面，NASA 在 SLS 火箭项目上仍采取传统的成本加



奖励合同方式，使 NASA 受制于承包商额外产生的实际成本，加上过于宽松的奖励评级制度，使得 64 亿美元的首火箭基线成本上升到 91 亿美元。在采购过程中，NASA 未对所有交付产品设定独立的项目编号，增加了产品研制进度和成本的跟踪难度。

另外，技术故障以及天气、疫情等因素都对 SLS 火箭的研制进度产生了重大影响。芯级作为研制难点，在制造与组装阶段频繁出现技术问题，包括制造工装质量缺陷、焊接操作不当等，导致芯级制造持续了 5 年多时间。芯级试验也因疫情、天气，以及阀门、密封件、加注流程、仪器等技术故障，持续了近 14 个月。在完成总装后，SLS1 首火箭在加注合练与首飞尝试过程中依然遭遇了众多技术故障，直接导致 2022 年 8 月 29 日和 9 月 3 日两次发射尝试中止（详见表 2）。

表 2 SLS1 首火箭加注合练及首飞故障情况

试验类型	时间	故障位置	故障情况	试验结果
加注合练	2022.4.3	地面系统	发射平台内一台电扇出现断路器故障	未加注
	2022.4.4	地面系统	芯级排气阀门调节装置失效，且上面级与发射平台连接处 O 形橡胶密封圈损坏、松动并进入止回阀	芯级加注 50% 液氧
	2022.4.14	地面系统	液氢加注与泄出管路法兰连接上螺栓松动，导致芯级液氢泄漏率超限	芯级加注 49% 液氧和 5% 液氢，完成上面级推进剂管路冷却
	2022.6.20	地面系统、增压输送系统	芯级液氢预冷排放管路连接处特氟龙密封件长时间（2 年）使用后存在质量缺陷，导致液氢泄漏率超限	跳过芯级发动机预冷流程，完成推进剂加注，试验在 T-29s 终止

续 表

试验类型	时间	故障位置	故障情况	试验结果
首飞尝试	2022.8.29	动力系统、地面系统、增压输送系统、隔热系统	芯级液氢加注与泄出管路连接处管线故障，导致泄漏率超限；芯级3号发动机传感器故障，导致发动机预冷失败	未点火发射
	2022.9.3	地面系统	芯级液氢加注与泄出管路密封上因多余物产生小凹痕，导致液氢泄漏率超限	未点火发射

### 三、美国SLS重型火箭的后续发展规划

#### （一）渐进性研制2种演进型，满足载人与载货多任务发射需求

NASA 遵循渐进式研制理念，计划在 SLS1 载人型的基础上研制 SLS1B（载人与载货型）和 SLS2（载人与载货型）两种构型，逐步提升运载能力，满足更多深空目的地载人 / 载货以及更大质量、更大尺寸货物载荷的发射需求。

SLS1B 将改用探索上面级（EUS），相比过渡型低温上面级，其直径从 5 米增大至 8.4 米，推进剂加注量从 27 吨增加到 113 吨，主发动机从 1 台增加至 4 台 RL10。整流罩直径达到 8.4 米，长 19.1 米或 27.4 米。改进后，SLS1B 型近地轨道和地月转移轨道运载能力分别为 105 吨和 42 吨。在载人任务中可通过适配器额外搭载 10 吨次要有效载荷。在货运任务中，SLS1B 单次发射就能将行星探测器、大直径太空望远镜、月球“门户”组件、载人着陆器等重型载荷送入深空轨道。基于 SLS1B 型，NASA 将研制 SLS2 型，采取相同的芯级和上面级，捆绑 2 枚性能更



强的固体助推器，并将直径 10 米、长 31 米的整流罩纳入可选项，将近地轨道和地月转移轨道运载能力进一步提升至 130 吨和 46 吨。

## （二）开展技术创新与改进，满足后续型号的性能与成本需求

在制造方面，NASA 成功完成了厚度为 1.3 厘米的 2195 铝锂合金贮箱箱底瓜瓣的制造与试验，并着手研制 2050 铝锂合金贮箱壁板；波音公司还研制出了 4.3 米长的全复合材料低温贮箱，在新型低温贮箱方面取得重要突破。先进材料及其整体拉伸成形、自动铺丝 / 铺带等先进制造技术将为芯级、先进固体助推器、级间段以及上面级的轻质化提供基础。对于芯级 RS-25 发动机，主承包商将 3D 打印、热等静压等先进制造技术应用于包括喷管在内的零部件制造，在保证可靠性的同时还可将成本降低 50%。另外，SLS 项目还充分利用 NASA 各个研究中心的先进技术研发成果，包括自适应增强控制、被动热控、一体化冷却与存储、电动推力矢量控制等技术，不断优化 SLS 火箭分系统及地面系统的性能。

## （三）选择发射服务采购模式，实现 SLS 火箭的可持续运营

在完成 SLS1 型火箭的首飞、载人绕月与载人登月验证以及 SLS1B 首飞验证之后，NASA 计划将 SLS 研制任务转给深空运输有限责任公司（DST LTC，它是由 SLS 主承包商波音与诺·格公司组成的合资公司），未来将以固定价格合同（与采购 SpaceX 公司猎鹰 9 火箭发射服务方式相同），通过采购 SLS 火箭发射服务，来满足“阿尔忒弥斯”载人登月及其科学探索

任务发射需求。NASA 还鼓励 DST 公司用 SLS 火箭为其他政府机构乃至商业公司提供发射服务。NASA 此举意图将 SLS 火箭的发射成本降低一半以上（8 亿 ~ 9 亿美元），并增加 SLS 火箭的使用频率，实现该重型火箭的长期运营，为美国的深空探索提供发射能力保障。

#### 四、几点分析

##### （一）SLS1 重型火箭成功首飞，拉开美国可持续月球探索序幕

作为新世纪运载能力最大的火箭，SLS1 火箭的成功首飞标志着美国再一次站在了人类航天探索的最前沿，后续运载能力更大的 SLS1B 和 SLS2 重型火箭的研制也将在此基础上快速推进，将使美国具备从地球轨道到月球探测再到火星等深空探测的完整运载能力。重型运载火箭的发展将加速美国领导的由 20 多个国家参与的“阿尔忒弥斯”可持续月球探索计划的实施，建立月球基地，开发月球资源，打造地月经济圈，为载人登陆火星奠定基础，维持美国在太空领域的国际主导地位。

##### （二）始终坚持不懈发展新一代重型运载能力

美国 SLS 重型火箭的研制历经三届政府，在任务规划上频繁出现变化，影响了项目进度；在火箭设计、制造和试验过程中，仍频繁出现方案更改、产品故障、操作不当等技术问题，直接导致 SLS 首飞进度一推再推；火箭与地面设施研制成本也因合同管理问题不断攀升。虽然 SLS 研制历经波折，但美国历届执政者并未改变研制重型火箭、巩固航天强国地位的决心，始终从政策和经费投入上大力支持 SLS 的研发工作，保障火箭各个



阶段的设计与试验工作。

### （三）以成熟技术与设施继承为基础，持续创新，完善构型能力

美国 SLS 重型运载火箭的研制充分继承了航天飞机以及德尔它 4 火箭的成熟技术和研制经验，并主要依托土星 5 重型火箭以及航天飞机时期的生产制造、试验和发射设施，保障系统工程快速成功。在此基础上，美国政府以持续、高额的经费投入，维持 NASA 以及美国众多航天企业的研发、生产制造能力，保障团队在材料、制造工艺、控制技术等方面的持续创新，不断完善 SLS 重型火箭的构型能力。

（北京航天长征科技信息研究所）



## 美国“阿尔忒弥斯”计划首次飞行任务分析

2022年11月16日，NASA利用航天发射系统从肯尼迪航天中心第39B发射台将猎户座飞船发射入轨，猎户座飞船在大幅逆行轨道无人绕月飞行半圈，于发射25天后返回地球。本次任务是美国“阿尔忒弥斯”计划的首次试飞任务。

进入21世纪以来，美国为巩固航天领先地位，着眼载人航天长远发展，将近地轨道以远空间作为载人航天活动未来的重要方向，以火星为长远目标、月球或小行星为中期目标，先后提出多项载人月球/深空探测计划，发展一系列关键技术和核心能力。小布什政府2004年启动“星座”计划，提出要载人重返月球。奥巴马政府2010年取消“星座”计划，改为实施“小行星重定向”任务。特朗普政府再次瞄准重返月球，实施“阿尔忒弥斯”（Artemis）计划，提出在2024年载人登月。拜登政府延续了“阿尔忒弥斯”计划，但重新调整了计划进度。

### 一、任务情况

本次实施的“阿尔忒弥斯-1”（Artemis-1）任务是NASA“阿尔忒弥斯”计划的首次飞行任务。



“阿尔忒弥斯-1”任务旨在通过真实环境中的无人试验，完成航天发射系统（SLS）火箭发射，猎户座飞船深空环境运行、高速再入、溅落回收等全流程任务，对火箭、飞船、地面系统等各个系统进行综合测试和认证，为“阿尔忒弥斯-2”载人飞行试验任务，以及后续载人月球/深空探测奠定基础。

### （一）任务目标

“阿尔忒弥斯-1”任务有三大主要任务目标。

（1）验证猎户座飞船高速再入返回的热防护能力。猎户座飞船从月球返回时，比近地轨道载人航天任务速度更快、气动加热更严峻。地面设施无法模拟真实的气动热条件，需在载人飞行前对飞船热防护系统进行验证。

（2）验证任务全流程的运行能力。对发射准备、发射、在轨飞行、再入返回、溅落回收等任务全流程进行验证，并在深空热、辐射环境中，检验飞船推进、通信、导航、环控生保、电源等系统的性能，对发射场、地面基础设施等支持系统进行全面测试。

（3）回收飞船并开展数据分析。检验回收技术和回收流程，保证未来航天员乘组安全。工程师在飞行过程中获取数据，并在飞船回收后进行详细检查，获取船载计算机和载荷记录的详细数据，深入分析，支持后续任务改进。

“阿尔忒弥斯-1”任务在完成主要目标的同时，NASA还规划了十余项额外测试目标，包括：10颗立方星部署、任务全程图像收集、技术试验和生物研究载荷操作、飞船模态研究、羽流对太阳能电池阵的影响分析、推进剂晃动分析、飞船舱体碎片撞击情况研究、天文导航敏感器认证、星敏感器热评估、大

文件传输试验、太阳能电池阵相机 Wi-Fi 性能测试、搜索获取跟踪（SAT）算法验证、搜救和卫星辅助跟踪（SARSAT）功能测试、GPS 接收机性能研究、散热器回路流量控制、氨系统重启性能测试、推力器喷管再入加热情况研究、溅落后海水浸入情况研究等。

## （二）飞行方案

“阿尔忒弥斯-1”任务中，飞船运行在绕月的大幅值逆行轨道（DRO）上，系统将经受比之前的载人航天任务更为严苛的环境：任务飞行距离长（210 万千米）、距离地球远（45 万千米，超过阿波罗-13 任务纪录）、单独飞行时间最长（25 天 11 小时 36 分钟）、再入速度最快（11.2 千米/秒，32 马赫）、气动加热最严峻（2800℃）。

飞船在地月转移飞离段，根据需要进行轨道修正：在距离月面最近约 100 千米高度点火，实施附加动力的月球借力飞行，转移往大幅值逆行轨道（DRO）。随后，飞船点火进入距离月面 6.4 万千米稳定的 DRO 轨道，环绕月球飞行半圈后，再次点火离开 DRO 轨道，实施第二次月球借力，在距离月面最近约 800 千米高度附加动力飞越，瞄准地球大气层返回。

飞船飞行 25 天后，于 2022 年 12 月 11 日返回地面。接近大气层时，乘员舱与服务舱分离，乘员舱采用跳跃式再入返回，以 11.2 千米/秒的速度再入，并利用大气阻力减速至 135 米/秒，气动加热至 2800℃，将全面测试防热罩的性能。乘员舱穿过极端加热环境后，弹出前舱盖，在 7600 米高度释放 2 具减速伞，减速至 45 米/秒；随后利用 3 具引导伞牵出 3 具主伞，将飞船下降速度降至 9 米/秒。飞船将在回收船舶的目视范围内，精



确溅落在加利福尼亚州圣迭戈海岸。

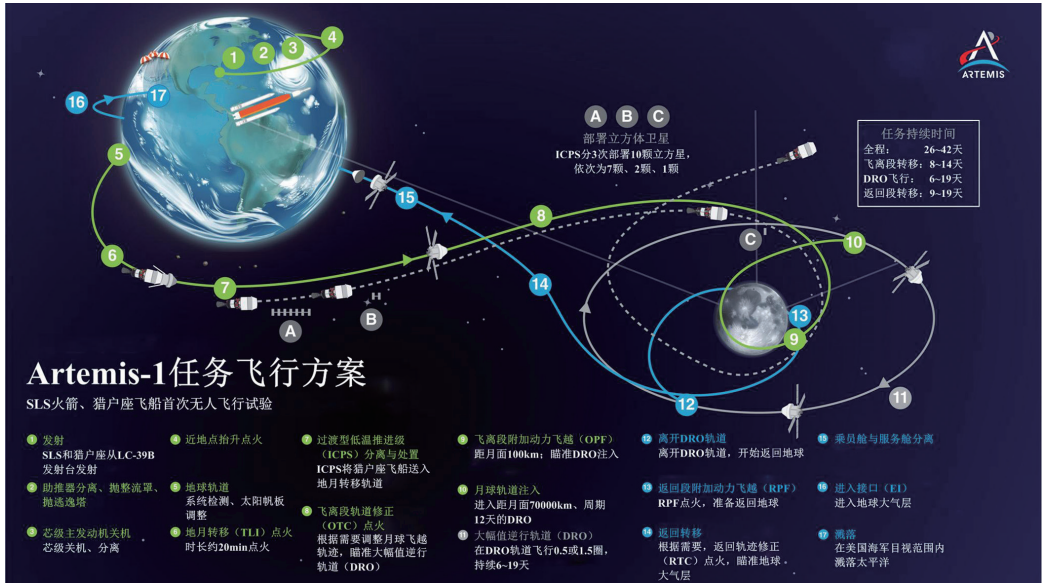


图 1 “阿尔忒弥斯-1”任务飞行方案

### (三) 搭载载荷

#### 1. 立方星

“阿尔忒弥斯-1”任务共搭载发射 10 颗 6U 立方星，安装在过渡型低温上面级顶部的级间适配器中，用于开展月球探测、地月环境辐射研究、小行星探测、技术演示验证等。

表 1 “阿尔忒弥斯-1”任务携带的 10 颗立方星

分类	立方星名称	功能	研制单位
月球探测	月球冰立方 (Lunar-Ice Cube)	探测月球水冰和其他挥发物	美国莫尔黑德州立大学
	月球极区氢绘图仪 (Luna H-Map)	绘制月球表面氢的分布图	美国亚利桑那州立大学
	月球红外成像 (LunIR)	测试表面光谱仪和热成像仪等低成本仪器	洛-马公司
	由半硬着陆纳撞击器演示验证的先进月球探索技术 (OMOTENASHI)	验证低成本月球着陆和探测技术，测量月球附近辐射环境	日本 JAXA

续 表

分类	立方星名称	功能	研制单位
辐射研究	研究太阳粒子的立方星任务 (CuSP)	研究太阳高能粒子的来源和加速机制	美国西南研究所
	生物哨兵 (BioSentinel)	使用酵母来探测、测量和比较深空辐射对于生物的长期影响	NASA 艾姆斯研究中心
	地月平衡点 6U 航天器 (EQUULEUS)	研究地球周围空间的辐射环境	日本 JAXA 和东京大学
小行星探测	近地小行星侦察兵 (NEA-Scout)	验证立方星的太阳帆与近地小行星交会的技术	NASA 马歇尔航天飞行中心
技术验证	阿戈尔月球 (ArgoMoon)	对猎户座的超低温推进阶段进行成像	意大利阿尔戈技术公司
	迈尔斯 (Miles)	验证 Model-H 离子推进器在立方星推进上的应用	迈尔斯航天公司

## 2. 模拟人

猎户座飞船搭载了三位模拟人，分别命名为指令长穆尼基·坎波斯、海尔加、左哈。坎波斯身着舱内航天服，安置在指令长座位，记录飞行全程的过载和振动情况。海尔加、左哈仅为躯干模型，由特殊材料模拟成年女性的骨骼、软组织、器官，安装了 5600 个被动传感器和 34 个主动传感器，以测量辐射暴露情况，其中左哈穿着辐射防护背心，海尔加则不穿，通过对比研究辐射情况，为人体辐射防护提供有效数据。

## 3. 实验 / 试验载荷

飞船还安装了辐射区监测装置 (RAM)、混合电子辐射评估装置 (HERA)、欧洲航天局主动剂量计等一系列辐射传感器，用以研究深空环境辐射情况。搭载了生物试验 -1 载荷，开展种子营养值、真菌 DNA 修复、酵母菌适应性、藻类基因表达的四项研究。搭载了卡利斯托 (Callisto) 商业载荷，验证面向深空任务的人机交互技术，使航天员工作更加安全便捷。



## 三、后续规划

### （一）总体方案

“阿尔忒弥斯”计划的终极目标是探索火星，近中期目标是载人月球探测。航天员将在月球停留较长时间，勘探水冰和其他关键资源，逐渐学习太空长期生存技巧，为长达3年的火星探索做准备。

“阿尔忒弥斯”计划采用基于“地月空间站+月球基地”的任务方案，以月球“门户”空间站为枢纽，支持载人月球探测任务，以及未来的载人火星探测任务，选定月球南极作为着陆区，建立月球基地，支持月面长期探索。“阿尔忒弥斯”计划分两个阶段实施。

（1）第一阶段，登陆月球南极。主要任务是实现本世纪首次载人登月，进行月球科学考察。特朗普政府提出2024年实现载人登月，拜登政府根据实际进度将该节点推迟至不早于2025年。

（2）第二阶段，实现月球持续驻留，具备前往火星的能力。主要任务包括：一是进一步建设“门户”空间站，将其发展为有人和无人任务的中转站，支持长期月球探索；二是建立月球基地，开展科学探测，实现原位资源利用，利用月球车探索偏远区域；三是通过多年在轨/月面活动，获得执行长期载人航天活动的经验和信心，为开展载人火星任务验证技术和能力。

根据NASA最新规划，“阿尔忒弥斯”计划的进度安排为：

- 2022年，执行Artemis-1任务，开展无人绕月飞行，验证航天发射系统、猎户座飞船等重要系统；

- 2023年，开展无人月面探测，利用商业火箭发射月面移



动平台，进行月球表面水冰资源的开发和利用；

- 2024 年，执行 Artemis-2 任务，开展载人绕月飞行，验证各系统执行载人飞行任务的能力；

- 2024 年，发射“门户”空间站首批 2 个舱段，即“电源和推进模块”和“居住与后勤舱”（PPE/HALO）组合体；

- 2025 年，执行 Artemis-3 任务，实施“阿波罗”计划之后首次载人登月，将 4 名航天员送往月球，其中 2 人登月；

- 2027 年起，每年开展一次载人登月任务，陆续发射非加压月球车、加压月球车，逐步验证长期月球探测能力；

- 2031 年，向月面部署居住舱，完成月球基地初步建设。

## （二）系统架构

“阿尔忒弥斯”计划由地球—月球运输系统（运载火箭、载人飞船、货运飞船）、月球轨道空间站（地月空间站）、月球轨道—月球表面运输系统（月面着陆器）、月球表面系统（月球基地）、月球—火星运输系统（转移飞行器）、火星表面系统（火星基地）等部分构成。现阶段主要发展载人月球探测相关系统。

CY	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
探索任务部 主导 商业火箭发射	<b>Artemis-1</b> 无人试飞 SLS-1型 10颗立方星 4颗探索任务部 2颗科学任务部 1颗技术任务部 3颗国际 月球通信网升级 (运行任务部)	<b>Artemis-2</b> 载人试飞 SpaceX星舰 无人着陆月球 发射门户空间站 PPE/HALO舱段 月球中继 (运行任务部)	<b>Artemis-3</b> 载人着陆月球 xEVA舱外服 SpaceX星舰 载人着陆月球 科学载荷: HERMES (NASA科学任务部) ERSA (ESA) IDA (ESA/JAXA) 月球中继 (运行任务部)	<b>Artemis-4</b> 运送门户 国际居住舱 SLS-1B型 移动发射平台-2	<b>Artemis-5</b> 运送门户 欧洲系统舱 深空后勤补给 载人着陆器 (型号待定) 非加压月球车	<b>Artemis-6</b> 运送门户 气闸舱 深空后勤补给 载人着陆器 (型号待定)	<b>Artemis-7</b> 深空后勤补给 载人着陆器 (型号待定) 加压月球车 (用货运着陆器运送)	<b>Artemis-8</b> 深空后勤补给 载人着陆器 (型号待定) 月面后勤舱 月面居住舱		
	<b>科学任务部</b> 主导 CLPS用商业火箭发射, 载荷来自多个任务部 月球勘察轨道器 月球开拓者 HERMES VIPER PRIME-1 19C 20A 2-IM 2-AB 月球探测器 (ESA) 月球探索者 (ESA)	<b>科学任务部</b> 主导 科学仪器设备 月球探测器 (ESA)	<b>科学任务部</b> 主导 科学仪器设备 月球探测器 (ESA)	<b>科学任务部</b> 主导 科学仪器设备 月球探测器 (ESA)	<b>科学任务部</b> 主导 科学仪器设备 月球探测器 (ESA)	<b>科学任务部</b> 主导 科学仪器设备 月球探测器 (ESA)	<b>科学任务部</b> 主导 科学仪器设备 月球探测器 (ESA)	<b>科学任务部</b> 主导 科学仪器设备 月球探测器 (ESA)	<b>科学任务部</b> 主导 科学仪器设备 月球探测器 (ESA)	<b>科学任务部</b> 主导 科学仪器设备 月球探测器 (ESA)
技术任务部 主导 全部商业火箭发射	<b>CAPSTONE</b> 核热推进 反应器设计 LOFTID	<b>低温液体管理技术验证</b> 太阳能电推进 技术鉴定 SPURCE-1 PSI Mini-Suite 液体管理技术验证 太阳能电推进 技术鉴定	<b>液体管理技术验证</b> 太阳能电推进 技术鉴定 SPURCE-1 PSI Mini-Suite 液体管理技术验证 太阳能电推进 技术鉴定	<b>液体管理技术验证</b> 太阳能电推进 技术鉴定 SPURCE-1 PSI Mini-Suite 液体管理技术验证 太阳能电推进 技术鉴定	<b>液体管理技术验证</b> 太阳能电推进 技术鉴定 SPURCE-1 PSI Mini-Suite 液体管理技术验证 太阳能电推进 技术鉴定	<b>液体管理技术验证</b> 太阳能电推进 技术鉴定 SPURCE-1 PSI Mini-Suite 液体管理技术验证 太阳能电推进 技术鉴定	<b>液体管理技术验证</b> 太阳能电推进 技术鉴定 SPURCE-1 PSI Mini-Suite 液体管理技术验证 太阳能电推进 技术鉴定	<b>液体管理技术验证</b> 太阳能电推进 技术鉴定 SPURCE-1 PSI Mini-Suite 液体管理技术验证 太阳能电推进 技术鉴定	<b>液体管理技术验证</b> 太阳能电推进 技术鉴定 SPURCE-1 PSI Mini-Suite 液体管理技术验证 太阳能电推进 技术鉴定	<b>液体管理技术验证</b> 太阳能电推进 技术鉴定 SPURCE-1 PSI Mini-Suite 液体管理技术验证 太阳能电推进 技术鉴定
	<b>技术任务部</b> 主导 全部商业火箭发射 原位资源利用 试验工厂 LADI月面原位资源利用 月面裂变电源 原位资源利用 试验工厂	<b>技术任务部</b> 主导 全部商业火箭发射 原位资源利用 试验工厂 LADI月面原位资源利用 月面裂变电源 原位资源利用 试验工厂	<b>技术任务部</b> 主导 全部商业火箭发射 原位资源利用 试验工厂 LADI月面原位资源利用 月面裂变电源 原位资源利用 试验工厂	<b>技术任务部</b> 主导 全部商业火箭发射 原位资源利用 试验工厂 LADI月面原位资源利用 月面裂变电源 原位资源利用 试验工厂	<b>技术任务部</b> 主导 全部商业火箭发射 原位资源利用 试验工厂 LADI月面原位资源利用 月面裂变电源 原位资源利用 试验工厂	<b>技术任务部</b> 主导 全部商业火箭发射 原位资源利用 试验工厂 LADI月面原位资源利用 月面裂变电源 原位资源利用 试验工厂	<b>技术任务部</b> 主导 全部商业火箭发射 原位资源利用 试验工厂 LADI月面原位资源利用 月面裂变电源 原位资源利用 试验工厂	<b>技术任务部</b> 主导 全部商业火箭发射 原位资源利用 试验工厂 LADI月面原位资源利用 月面裂变电源 原位资源利用 试验工厂	<b>技术任务部</b> 主导 全部商业火箭发射 原位资源利用 试验工厂 LADI月面原位资源利用 月面裂变电源 原位资源利用 试验工厂	<b>技术任务部</b> 主导 全部商业火箭发射 原位资源利用 试验工厂 LADI月面原位资源利用 月面裂变电源 原位资源利用 试验工厂

图2 美国“阿尔忒弥斯”计划路线图

表 2 美国月球及更远空间载人航天体系

功能类型	大系统类型	系统	功能
地球—月球运输系统	NASA 运载火箭	航天发射系统	向月球发射各类重要装备
	商业运载火箭	“猎鹰”重型火箭	向月球提供商业化发射
		“新格伦”火箭	
		“火神”火箭等	
	载人飞船	猎户座飞船	地月空间乘员运输
货运飞船（后勤舱）	龙-XL 等	地月空间货物运输	
月球轨道空间站	地月空间站	“门户”空间站	整个系统的核心和枢纽，作为地球、月球、火星之间的中转站
月球轨道—月球表面运输系统	月球着陆器	蓝源公司综合着陆器	“门户”与月球表面之间的人员、货物运输
		SpaceX 公司星舰	
月球表面系统	月球基地	“阿尔忒弥斯”大本营	提供月球长期生存关键设施，开展在月面的科学研究
任务支持系统	发射场	肯尼迪航天中心	发射航天发射系统
	测控、通信、导航系统	TDRSS、GPS	GEO 以内范围的测控通信
		深空网（DSN）	GEO 以外范围的测控通信
		月球地面站（LGS）	GEO 以外范围的测控通信
		月球网（LunaNet）	地月空间搭建可扩展综合通信和导航架构
着陆场	太平洋海上着陆场	回收猎户座飞船	
无人月球探测计划	商业月球有效载荷服务	商业月球有效载荷服务项目	利用商业月球着陆器将有效载荷送至月球表面
月球—火星运输系统	地火转移飞行器	“深空运输飞船”	“门户”到火星轨道的人员、货物运输
火星表面系统	火星基地	—	提供火星生存的关键设施，生产系统所需燃料，开展在火星表面的科学研究

### （三）经费预算

根据 2022 年 3 月白宫公布的《2022 年综合支出法案》和 NASA 公布的 2023 财年预算申请，“阿尔忒弥斯”计划预算最

新情况如表 3。

表 3 2023 财年 NASA 载人深空探测预算（单位：亿美元）

序号	内容	截至 2022 财年累计	2023 财年	2024 财年	2025 财年
1	探索系统开发	553.51	46.684	36.138	31.119
	载人飞船	187.93	13.387	4.150	1.165
	运载火箭	291.08	25.798	25.346	24.846
	发射系统	74.49	7.499	6.642	5.108
2	探索研究开发	121.94	27.166	31.399	36.520
	月球基地	32.72	1.613	1.616	1.627
	月面货运、移动	14.47	0.596	0.578	0.629
	“门户”	22.54	7.792	7.545	6.854
	载人着陆器	29.35	14.856	18.683	22.461
	航天服和人体研究	22.87	2.759	2.977	4.949
合计	载人深空预算	675.45	73.850	67.537	67.639

### 三、任务特点分析

#### （一）“阿尔忒弥斯”计划目标宏大，具有重要的战略意义

“阿尔忒弥斯”计划是美国巩固航天领先地位、维持国家影响力的重大项目。在工程目标方面，“阿尔忒弥斯”计划从近地拓展到月球和火星，开展长期载人月球探测活动，未来十年规划了超过 30 次政府和商业发射任务，逐步建设“门户”地月空间站和月面基地，每次任务 4 名航天员、总时长 1 ~ 2 个月、月面驻留 1 ~ 2 周、开展月球南极探测；相较“阿波罗”计划单次探测方式，每次任务 3 名航天员、总时长 2 周、月面着陆 3 天、开展月球正面中低纬度探测，“阿尔忒弥斯”总体技术指标大幅提升，实现质的飞跃。在科学和技术目标方面，以全面认识和利用月球为重要目的，发展全月面到达能力，突破水冰资源开采、原位资源利用、再生燃料电池、核裂变能源、

无线能源传输、低温液体管理、月面建造等关键技术，实现未来长期地外生存。在标志性成就方面，提出了领先中、俄实施 21 世纪首次载人登月，将世界首位女航天员和首位有色人种航天员送往月球等重要象征性目标。“阿尔忒弥斯”计划已成为美国展示综合国力、牵引科学发现、推动技术进步的标志性工程，对于其强化全球领导、巩固在国际竞争中的有利地位、实现国家战略目标具有重要意义。

## （二）首次飞行试验意义重大，美载人航天取得关键进展

“阿尔忒弥斯-1”任务是“阿尔忒弥斯”计划的首次飞行试验，也是美国自 2004 年提出重返月球，开展一系列论证、研究、试验后，时隔 18 年进行的首次全系统、全流程飞行测试。对于美国载人月球探测计划，此次任务标志着美国“阿尔忒弥斯”计划取得了里程碑意义的进展，迈出了正式一步，即将完成对航天发射系统、猎户座飞船、探索地面系统等重要系统的全面验证和认证考核，打通从地球到月球轨道的运输能力。任务成功后，美国距离构建全链条的载人登月能力仅差载人月面着陆器一项。对于美国载人航天长期发展方向，此次任务预示着其发展路径逐渐清晰、稳定。过去 20 多年，美国载人航天发展方向伴随政府更迭而不断修改，给项目实施带来困难，造成了较大的资源浪费。随着“阿尔忒弥斯”计划进入飞行试验阶段，美国已向火箭、飞船制造商正式发出了未来数次任务的生产制造合同，并启动月面着陆器、地月空间站舱段等系统的研制，可以判断其长期发展方向基本不会再次发生大的调整，首先在月球验证技术和能力，随后逐渐走向火星、深空的路径更加清晰。



### （三）采用多项特色方案，提升载人月球和深空探测能力

“阿尔忒弥斯-1”任务在飞行方案、系统方案等方面采用了多项特色方案。在任务飞行方案方面，猎户座飞船运行在距离月球约 6.4 万千米的大幅值逆行轨道，该轨道与地月 L1/L2 点距离接近，航天器受到地球、月球的引力大致平衡，轨道非常稳定，仅需很少燃料就能够长时间稳定飞行，不仅有利于在深空环境中对猎户座飞船各系统进行压力测试，未来还可用作进出地月空间的中转轨道、小行星采矿的长期停泊轨道。在系统方案方面，航天发射系统是目前最大的运载火箭，采用模块化设计，芯级和上面级均使用液氢 / 液氧推进剂，比冲性能居世界最前列；猎户座飞船作为新一代载人飞船，采用了重复使用、高性能热防护材料、“玻璃化座舱”等技术，飞船可重复使用 2~5 次，经受高速再入，简洁化座舱将传统的仪表投屏到大屏幕，适用于长期在轨飞行以及多种类型任务。相关创新方案对于美国提升载人月球和深空探测能力提供了技术支持。

### （四）成体系验证关键技术，显示开发地月空间战略意图

“阿尔忒弥斯-1”任务充分利用运载能力余量，搭载了模拟人、大量实验 / 试验载荷、10 颗立方星，以低成本方式开展多项技术验证；此外，美国通过一系列无人项目，开展地外长期活动所需技术试验。在基础环境探测方面，“阿尔忒弥斯-1”搭载的载荷和 7 颗立方星开展月面资源探测、地月空间辐射环境监测；此前，NASA 于 2022 年 6 月 28 日发射“地月自主定位系统技术操作与导航实验”（CAPSTONE）立方星，为“门户”空间站验证近直线晕轨道（NRHO）特性。在支持技术方面，“阿尔忒弥斯-1”任务搭载的 3 颗立方星将开展太阳帆 / 离子推进



技术试验，验证未来深空探测推进技术；此外，韩国与美合作，于2022年8月5日发射“达努里”（Danuri）卫星，验证“阿尔忒弥斯”计划“月球网”（LunaNet）所需关键技术。在月面探测技术方面，NASA持续通过“商业月球载荷服务”（CLPS）计划，向月面运送载荷，开展一系列科学研究和技术验证。“阿尔忒弥斯-1”任务其他一系列有人和无人试验项目，体现了美国正在成体系推进地月空间开发利用相关技术的验证，储备关键技术，侧面印证了美国后续持续开发利用地月空间的战略意图和发展思路。

#### （五）深入推进商业化、国际化模式，巩固长期发展基础

美国在组织实施“阿尔忒弥斯”计划的过程中，充分利用了商业公司和国际伙伴力量。在商业化发展方面，NASA积极通过重大工程扶持国内航天企业，波音、洛-马、诺-格、航空喷气-洛克达因等主承包商，及超过3800家供应商参与了火箭、飞船、地面设施的研制，通过项目投资带动了相关企业技术和系统能力提升。同时，NASA逐步将近地轨道载人航天商业化发展经验推广至月球及更远空间，后续计划利用商业着陆器向月面运送航天员和载荷。在国际合作方面，美国积极吸纳国际伙伴参与，“阿尔忒弥斯-1”及后续任务中，猎户座飞船的服务舱均由欧洲航天局（ESA）研制，将提供关键的推进、热控、电源等功能。此外，美国主导了《阿尔忒弥斯协定》，提出10条行为准则，21个国家先后签署。《阿尔忒弥斯协定》采用新的合作模式，改变以往“政府间协定”框架，通过签订双边合作协定，最终形成多边合作的格局，进一步强化美国在载人月球探测国际合作中的话语权和主导权。美国有意依托重



大工程强化与工业界和国际伙伴的合作，推动太空经济发展，引领国际交流合作，展现美国综合能力，巩固载人航天长期发展的基础。

#### （六）任务实施存在大量问题，后续发展仍面临严峻挑战

“阿尔忒弥斯”计划在实施过程中，面临进度拖延、经费超支等一系列问题。在整体进度方面，特朗普政府将载人登月任务定于 2024 年实施，拜登政府推迟到不早于 2025 年，而 NASA 总监察长办公室评估认为，预计要到 2028 年才能实现载人登月。其中，“阿尔忒弥斯-1”任务经历多次推迟，NASA 最初提出在 2016 年 12 月实施火箭首飞试验，随后 20 余次推迟，进度比最早方案延迟近 6 年。在项目经费方面，“阿尔忒弥斯”计划主要系统经费出现严重超支，航天发射系统自 2011 至 2022 财年经费超过 250 亿美元，猎户座飞船自 2006 至 2022 财年经费超过 230 亿美元，较最初计划经费超支 50%。整体上，“阿尔忒弥斯”计划在进度、经费、技术等要素方面尚不协调，后续按计划实施仍面临较大困难。

（北京空间科技信息研究所）

## 国际空间站私人航天员任务分析

美国公理太空公司成功利用载人龙飞船实施首次全私人航天员国际空间站任务，实现了 NASA 在《低地球轨道商业开发计划》中明确提出的发展私人航天员任务目标。本次任务开启空间站应用新模式，并将作为商业空间站发展早期的一个里程碑。

### 一、任务概况

美国东部夏令时间 2022 年 4 月 8 日，美国公理太空公司（Axiom Space）在佛罗里达州肯尼迪航天中心 39A 发射台利用猎鹰 9 运载火箭成功发射载人龙飞船，执行首次国际空间站私人航天员任务，任务代号为 Axiom Mission 1（Ax-1）。4 月 9 日，飞船与国际空间站和谐号（Harmony）节点舱天顶点对接。飞船搭载的 4 名航天员除指令长外，其余 3 人均首次执行载人航天任务。飞船原计划在轨停留 8 天，由于天气原因，飞船在轨时间延长至 15 天。4 月 24 日，飞船携带 4 名航天员离轨返回，4 月 25 日溅落在佛罗里达州沿岸的海面上。



### （一）航天员乘组

此次任务中，载人龙飞船搭载的 4 名航天员分别是前 NASA 航天员迈克尔·洛佩斯-阿莱格里亚，以及 3 名私人付费航天员拉里·康纳、马克·帕西和艾坦·斯蒂比。前 NASA 航天员佩吉·惠特森和另一名航天员马约翰·肖夫纳担任备份航天员。

此次参加任务的 4 名航天员只有一人是 NASA 前航天员，其余 3 人都是企业家、投资者、慈善家等身份。任务指令长迈克尔·洛佩斯-阿莱格里亚曾 4 次前往太空，在职业生涯中进行过 10 次舱外活动，保持世界第二、美国第一的 67 小时舱外活动时间纪录。2012 年 3 月他从 NASA 退休，目前的身份是公理太空公司副总裁。

### （二）站上活动与应用情况

Ax-1 任务的乘员活动侧重于科学、教育和推广，4 名航天员计划在国际空间站上进行超过 25 项不同的实验，确定人类航天探索新技术的实用性，同时在飞行过程中收集数据，加强对地球和轨道上人类生理学的理解。

表 1 Ax-1 任务计划在国际空间站开展的典型实验

实验名称	实验类别	实验概述	应用
TESSERAE	技术开发与验证	TESSERAE 用于探索可重构、自适应环境的镶嵌电磁空间结构，通过在空间站上有选择地释放该结构，测试自主组装和对接情况。最新的实验原型包括一套传感器和永磁驱动，以实现全面的诊断能力（确定结构之间的“良好”和“不良”结合）和可重构性	该研究将设计和测试在轨建造卫星和未来太空栖息地的新模式，旨在支持载人登月、火星任务以及低地球轨道的太空旅游

续 表

实验名称	实验类别	实验概述	应用
Modeling Tumor Organoids in LEO	生物学与生物技术	肿瘤类器官建模验证了在轨组织培养、共焦荧光显微镜和实时共焦图像数据传输的科学实验参数，以支持国际空间站上的癌症前期和癌症干细胞培养项目，从而确定癌症细胞是否会在低地球轨道响应炎症生长因子诱导辐射和其他外部触发因素而呈指数增长	该研究有助于开发预测免疫功能障碍和癌前干细胞的模型，提高未来太空探索任务中航天员的安全性。模型同时可作为检测和治理癌前病变、预测癌症演变和治疗各种免疫功能障碍相关疾病的工具
JAMSS Photocatalyst	技术开发与验证	JAMSS Photocatalyst 空气净化装置将随 Ax-1 发射到国际空间站，通过使用将发光二极管作为催化剂过滤器，将挥发性有机化合物转化为二氧化碳和水，从而清洁舱内空气。该实验还部署了没有发光二极管作为催化剂的控制装置作为对照组，以评估 JAMSS 公司光催化过滤器	该实验验证的能力可以改善未来太空飞行任务中航天员的生活条件，同时在地球上的封闭环境中具有潜在应用价值
BioMonitor	人体研究	BioMonitor 生命监测装置需要一名 Ax-1 乘员分两个时段各佩戴 48 小时。期间，佩戴人员需完成心血管运动和 30 分钟在循环测力计（带有隔振稳定器）上进行的运动。在每 48 小时周期结束时，数据卡带被送入控制器单元，通过 KuIP 服务使数据进入下行链路	该项目有助于了解微重力环境对心脏、肺和循环系统的负面影响，从而支持制定对策和治疗方法，以保护参与长期任务的航天员

除了在国际空间站开展典型实验外，3 名私人付费航天员还将进行其他活动。

拉里·康纳代表梅奥医学中心进行的实验将提供太空旅行对衰老细胞和心脏健康影响的数据，同时与克利夫兰诊所合作，



进行任务前和任务后的高分辨率磁共振成像，研究低地球轨道环境对脊柱和脑组织的影响。

马克·帕西与蒙特利尔儿童医院基金会、6所加拿大研究型大学和加拿大皇家地理学会合作，以“关爱人类和地球”为主题，开展世界首次双向全息传输的空间演示，将双向3D投影作为全息图在用户之间远程通信；参加医学研究，旨在了解人类太空飞行期间的慢性疼痛，睡眠障碍和视力变化；此外，还将参与对地观测活动和教育计划。

艾坦·斯蒂比代表拉蒙基金会，与以色列航天局合作参加Ax-1任务。他的任务被命名为“Rakia”，这是首次在国际空间站用希伯来语代表以色列人。在执行任务期间，他将促进科学实验，开展教育和艺术活动，向以色列和全世界的年轻人宣传和平、创新和社会责任的价值。

## 二、商业服务模式特点

负责本次任务运行的公理太空公司成立于2016年，是一家美国私人投资的太空基础设施开发商，总部位于得克萨斯州休斯敦。该公司雇员数量约350人，领导层主要由NASA前员工组成，包括NASA前局长查尔斯·博尔登。公司首席执行官迈克尔·萨弗雷迪尼曾于2005年至2015年担任国际空间站项目经理，2015年从NASA退休后与联合创始人卡姆·加法里安创立了公理太空公司。该公司的目标是在2024年发射并运行世界上第一个商业空间站。

### （一）服务模式

公理太空公司提供的商业服务主要包括面向太空游客的载



人航天飞行任务，利用政府资助和私人航天员从事太空研究、太空制造和太空探索活动。该公司为个人、企业和航天机构提供国际空间站飞行任务服务，为期 10 天，主要服务内容包括：为期 15 周的航天员培训、任务规划制定、硬件开发、医疗支持、机组人员供应、硬件和安全认证、在轨运行和任务管理等。在航天员培训方面，借助 NASA 的约翰逊航天中心、欧洲航天局以及发射承包商 SpaceX 公司位于加利福尼亚州霍桑的基地进行培训，以熟悉空间站系统、科学设施和应急程序。目前，公理太空公司尚未公布飞行任务的座位售价。据相关媒体报道，每个座位售价为 5500 万美元。

公理太空公司在提供商业服务时，将从 NASA 购买任务服务，包括航天员用品，货物运输和存储以及其他日常使用的在轨资源。NASA 将从公理太空公司购买返回科学样本服务，这些样本在返回地球过程中必须保持低温。同时，还需与承包商 SpaceX 公司签署载人龙飞船飞行合同等工作，利用其飞船和火箭开展飞行任务。

公理太空公司拥有自己的任务控制中心（MCC-A），通过其自身的任务控制中心，与空间站上的其他航天员、NASA 地面飞行控制人员协同管理私人航天员在轨活动。公理太空公司所属的任务控制中心已注册并验证为有效载荷运行站。2022 年 1 月，该中心首次完成有效载荷在轨运行，为国际空间站上的 SQuARES 有效载荷的科学研究提供了支持。在本次任务中，控制中心将组织专家团队，通过语音和视频与国际空间站上的私人航天员进行沟通并提供支持，确保完成有效载荷研究和科学工作。



## （二）任务主要特点

Ax-1 任务是首次由美国载人飞船执行全私人航天员的国际空间站任务，此前该类型任务都至少有一名政府正式航天员参与。本次任务作为首次私人航天员任务，与之前的太空旅游任务主要存在三方面区别：一是参与本次国际空间站任务的航天员均为私人航天员而非政府在职航天员；二是本次私人航天员将开展时长为 750 小时到 1000 小时的培训，长于太空游客接受训练的时间；三是本次任务私人航天员将在国际空间站的考察时间内完成超过 25 个不同实验，包括 100 小时用于研究，与太空旅游任务在轨期间主要活动存在区别。

## （三）NASA 对私人航天员任务的管理标准

私人航天员任务是由私人资助、完全商业化的专用任务，目的是在空间站开展旅游、推广、商业研究以及其他经批准的商业和营销活动。

NASA 于 2019 年发布了《低地球轨道商业开发计划》，每年允许两次国际空间站私人航天员任务，每次任务在空间站停留不超过 30 天。这些任务必须使用经 NASA 认证的美国载人飞船，如 SpaceX 公司和波音公司根据 NASA 商业乘员计划（CCP）开发的载人龙飞船和“星际客船”。此外，NASA 目前还要求所有私人航天员任务选择一名拥有太空飞行经历的前 NASA 航天员作为飞船指令长。

为此，NASA 扩大了《国际空间站应用模式研究》公告（编号 NNJ13ZBG001N）范围，以协助美国商业公司完成私人航天员任务。该公告介绍了授予私人航天员空间站任务的竞争性提案流程。私人航天员任务运营商也可以提交一份通用白皮书，

作为 NASA 评估私人航天员任务概念和提供专业技术知识的参考，同时让私人航天员和运营商了解国际空间站任务的可行性和 NASA 的相关政策。

在私人航天员任务期间进行的任何商业活动均须经 NASA 批准并符合国际空间站商业使用政策。参与任务竞争的公司必须在规定日期前提交不超过 30 页的报告，来解释他们的任务如何适应 NASA 的低地球轨道商业化战略，并提供关于飞行任务参与人员、飞行任务规划以及任务的商业化情况等信息，以确保私人航天员符合 NASA 的医疗标准以及国际空间站航天员的培训和认证程序。NASA 委托 12 家商业公司所做的市场研究表明，私人航天员任务是证明未来低地球轨道商业空间站发展的必要性和可行性的关键要素。

NASA 制定了关于商业和营销的定价政策。针对到访国际空间站的私人航天员，由于其使用了食物、饮料、补给物资、物资运输 / 销毁、任务支持、航天员时间等各项资源，NASA 需要进行补偿性收费，填补各项活动支出。以为期 10 天的任务为参考，平均每名私人航天员需要支付 340 万 ~ 420 万美元。

表 2 NASA 对于到访国际空间站的私人航天员定价情况

资源	价格	简介
国际空间站基本能力		生保、供电、笔记本和平板电脑、数据下行（12GB/天）等在轨基本资源不收费
食物	2000 美元 / 人 / 天	NASA 提供的食品和饮料（不含运输费用）
乘员补给	40 ~ 1500 美元 / 人 / 天	衣物、卫生用品、办公用品、睡袋等乘员补给（收费取决于从 NASA 购买补给的类型与数量，不含运输费用）
物品上行 / 销毁	8.8 万 ~ 16.4 万 美元 / 人 / 天	前期向空间站发送的食物、补给，处理的物品等（收费取决于由 NASA 发送 / 处理物品的类型与数量）

续 表

资源	价格	简介
集成和基本服务	480 万 美元 / 任务	NASA 集成、任务规划与实施、载人飞行通信与跟踪网络支持、相关设备等
国际空间站乘员时间	520 万 美元 / 任务	国际空间站乘员支持到访航天器运行、后勤，带领私人航天员熟悉环境等活动所需时间

### 三、影响与展望

#### （一）开展私人航天员任务，将促进低地球轨道商业化快速发展

本次任务是 NASA 开放国际空间站商业活动后，首次实施国际空间站全私人航天员飞行任务。公理太空公司以运营商身份获得私人航天员任务，与承包商 SpaceX 公司签署合同获得载人运输能力，与 NASA 签订协议获得前往国际空间站资格，实现了 NASA 在《低地球轨道商业开发计划》中明确提出的发展私人航天员任务目标。本次任务验证了商业公司具备运输私人航天员前往低轨空间站的能力，同时商业公司可以完成太空环境对人类的影响评估，飞行乘组测试等任务。

未来，私人航天员任务将成为发展低地球轨道经济计划的一部分，也将成为将各国航天员送往太空的新模式。目前，公理太空公司已经与沙特航天委员会和土耳其达成协议，计划将两名沙特阿拉伯航天员和一名土耳其航天员送往国际空间站，其中包括沙特阿拉伯首位女航天员。此外，匈牙利政府计划通过与公理太空公司达成协议，斥资 1 亿美元在 2024 年底或 2025 年初将一名航天员送往国际空间站执行为期一个月的私人



航天员任务。私人航天员任务的创新模式，正使得低地球轨道向商业化快速发展。

## （二）开展私人航天员任务，为后续商业化空间站奠定基础

本次私人航天员执行国际空间站任务可以作为商业空间站发展早期的一个里程碑。NASA 于 2020 年 2 月授予公理太空公司一份价值 1.4 亿美元的合同，要求该公司至少将 1 个可居住的商业舱段连接到国际空间站，该项目作为 NASA “探索合作伙伴关系的下一个空间技术”（NextSTEP）计划的一部分，旨在利用公私合作模式，寻求商业模式发展深空探索能力，支持在外层空间开展更广泛的载人航天飞行任务。当国际空间站运行至退役日期时，对接的商业舱段将分离并作为独立的商业空间站运行。

（北京空间科技信息研究所）



## 俄罗斯轨道服务空间站计划初步分析

由于国际空间站俄罗斯舱段日益老化，俄罗斯提出尽快研发俄罗斯轨道服务空间站，这也是俄载人航天未来发展的优先事项。根据目前的规划，俄罗斯未来的轨道服务空间站将采用全新的设计、轨道位置以及各种先进技术，在实现最大化利用的同时，减少航天员的在轨时间。但该空间站的建设仍面临技术与资金等问题，尚存在较大的不确定性。

2022年7月，俄罗斯国家航天集团公司总裁鲍里索夫在向总统普京汇报工作时表示，俄罗斯已决定在2024年后开始做国际空间站项目的退出准备工作，并着手建设俄罗斯自己的空间站，这也是俄载人航天未来发展的优先事项。

### 一、发展背景

国际空间站建设始于1998年，自2000年以来一直保持在轨工作，性能和设备老化严重，每年维护成本高达50亿美元。按照计划，国际空间站最初的服役期限至2015年，但之后被延长了两次，分别至2020年和2024年。而美国2021年12月又决定将国际空间站延寿至2030年，俄罗斯也在着手研究后



国际空间站时代的载人航天发展，拟建设自己的近地轨道空间站。

### （一）启动空间站概念研究

2020年12月，负责俄罗斯火箭和航天工业的俄军事工业委员会（VPK）召开科学技术委员会（NTS）会议，讨论了俄罗斯载人航天计划的未来，主要议题是载人登月和国际空间站的未来发展。

随后，俄罗斯能源火箭与航天集团于2021年2月启动俄罗斯载人航天未来发展的四项研究，其中包括俄未来空间站——俄罗斯轨道服务站（ROSS）的总体设计。3月，在由能源火箭与航天集团主持的科学技术委员会会议上，俄罗斯轨道服务站的设计方案进行了汇报，并确定了从头开始建造全新俄罗斯轨道服务站的技术路线和方案。

时任俄罗斯副总理的鲍里索夫在2021年4月正式表示，鉴于国际空间站已经严重老化，国际空间站运营合约也将于2024年到期，俄计划自2025年起退出该项目，并着手建造俄罗斯轨道服务空间站。

### （二）不断推进新空间站建设的前期工作

2021年7月，俄罗斯国家航天集团的科学技术委员会召开会议，批准建设新空间站，并决定启动其外观设计技术设计工作。

2021年8月，俄国家航天集团中央机械科学研究所第一副总经理亚历山大·罗曼诺夫被任命为新空间站研发项目负责人。中央机械研究所飞行控制中心主任马克西姆·马秋申将负责新空间站的运营管理工作。

2021年9月，俄罗斯国家航天集团和俄罗斯科学院举行联



合会议，正式向俄政府提交有关建造新空间站的建议。同时提出，在新空间站建造期间，将继续使用国际空间站俄罗斯舱段，并与国际空间站各合作方就俄罗斯舱段 2024 年后运营阶段保障问题开展相关谈判工作。

2022 年 5 月，俄罗斯国家航天集团授予俄能源火箭与航天集团合同，负责俄罗斯轨道服务站的概念研究与具体技术设计。项目将在 2024 年 3 月 31 日前完成，分两个阶段进行：第一阶段为方案研究阶段，计算出 1 千克货物的运送成本，部署初始配置以及航天飞船从新空间站轨道向绕月轨道转移事项。第二阶段将直接制定新空间站的设计草案和技术规范，包括解决其在无人和有人模式下的运营问题。

## 三、设计构想

俄罗斯内部对于俄罗斯轨道服务站的建设存在多种意见，但最终方案是，在近地轨道建设一个全新的空间站。

### （一）总体设计方案

#### 1. 采用全新设计的空间站

在规划未来空间站的设计时，俄罗斯内部也存在分歧。有人建议在国际空间站寿命到期后，将科学号舱（NAUKA）、船坞号节点舱（PRICHAL）与国际空间站分离，作为未来俄罗斯轨道服务站的核心舱段。但该方案并未得到能源火箭与航天集团的认可，认为这种方案取决于国际空间站的寿命与技术限制（2028 年），并需要延长各个舱段的寿命。

第二种配置方案是从头开始建造全新俄罗斯轨道服务站。这也是能源火箭与航天集团的首选方案，即在国际空间站运行

同时，在近地轨道上建立一个全新的俄罗斯轨道服务站，以防止过渡期间俄罗斯空间任务的中断。

## 2. 运行轨道为高倾角

俄罗斯轨道服务站的运行轨道位置最初也有两种选择方案，一个是  $51.6^\circ$  倾角的国际空间站轨道，另一个是在  $96.9^\circ$  倾角的高纬度轨道。倾角为  $51.6^\circ$  的轨道存在明显的不足，如无法观测到俄罗斯大部分领土，尤其是高纬度地区；另外，东方发射场是俄罗斯未来主要的载人发射场，若是从东方发射场发射进入  $51.6^\circ$  轨道倾角的话，则将需要耗费巨额费用来建设救援系统。

因此，俄罗斯能源火箭与航天集团倾向于采用轨道倾角为  $96.9^\circ$  的高纬度轨道。位于该轨道的新空间站可以观测俄罗斯整个领土，而且还可以用雷达、光学、红外线、紫外线等探测器观测到地球的两极，这为从太空研究地球提供了全新视角；并对辐射防护最少的太空开展研究，以便更深入地了解深空载人探索可能遇到的问题。联盟号载人飞船和进步号货运飞船都可利用联盟 2 型运载火箭从东方发射场发射，航天员返回时也可以降落在俄罗斯领土上。

## 3. 为非长期有人驻留式空间站

由于新空间站面临的辐射较高，未来将不会像国际空间站那样让航天员永久居住。因此，该站将主要使用机器人和人工智能技术，会有 2 ~ 4 名航天员定期访问。航天员每年访问该站 1 ~ 2 次，每年最多发射 3 艘货运飞船。新空间站将完全处于自动运营模式，只有必要时，才将航天员运抵空间站。航天员乘组的主要任务是安装有效载荷设备、试验新型航天器以及



维修和更换航天设备部件。

## （二）主要舱段

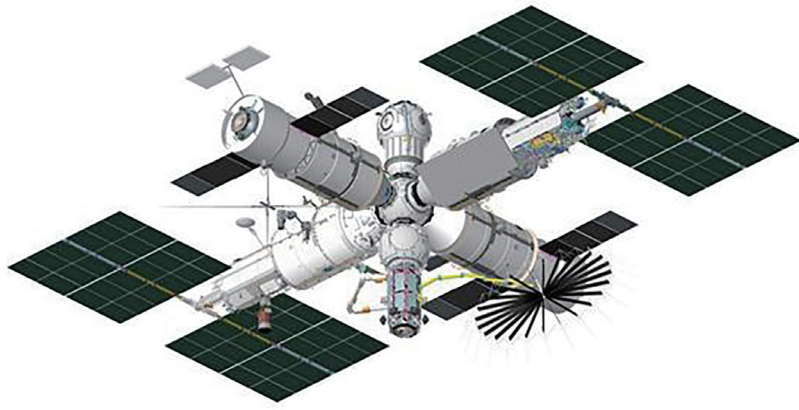


图1 俄罗斯轨道服务站

俄罗斯轨道服务站将由7个舱段模块组成，分别是：科学与动力舱、节点舱、气闸舱、基础动力舱、航天器维修平台舱、生产舱、目标舱。

**科学与动力舱。**科学与动力舱必须要进行改进和完善各种系统设备，其中包括通信系统、对接系统、生命保障系统以及动力与推进系统等，特别是需要加装陀螺仪组合，以使其能够维持空间站稳定运营数年时间。

**节点舱。**节点舱非常类似2021年发射的船坞号节点舱，共有6个对接口。

**气闸舱。**气闸舱采用双舱结构，主要用于保障航天员进行出舱活动。

**基础动力舱。**尺寸大小与科学与动力舱相同，其上面带有太阳能电池帆板，输出的电力可达到55千瓦，能够提供所必需的能量储备，包括满足高耗能的雷达观测及实验任务。该舱和科学与动力舱一样，上面设置两个小隔间和一个卫生间，足

以为四人乘组提供舒适的工作和生活环境。

航天器维修平台舱。维修平台舱属于半开放型，在平台上可以改装或重新组装航天器以及对其进行维修、维护和加注燃料。

生产舱。生产舱主要用于空间技术、空间材料科学领域的实验，与研发半导体、晶体、镀膜的获取方法相关，包括真空镀膜技术。这一领域若取得重大成果，则可以大大推动俄罗斯国内纳米、微电子和纳米电子技术的发展，并且还可以解决生物技术领域内急需解决的实际问题。生产舱也属于备件舱，能够进行组装和测试仪器设备，还可以对先进仪器设备的测试样品进行预加工、调试和修理。

目标舱。目标舱将配备通用外设接口，主要作用是启动科学设备，通过内部通用装置与高性能计算机网络连接，进行信息交换和存储。目标舱将根据科学实验计划接收各种领域待研究的仪器设备，包括航天医学、生物技术、材料科学、航天工艺、地球观测、教育实验等领域。

### （三）进度安排

从设计方案来看，俄罗斯轨道服务站的建造任务将分两个阶段完成。

第一阶段从2028年开始，使用安加拉-A5M运载火箭发射科学与动力舱，随后发射节点舱和气闸舱，并与科学与动力舱对接。完成对接后，首批航天员乘组将搭乘联盟号载人飞船前往，主要任务是启动空间站，并进行首批空间实验和研究任务。当航天员返回地球后，俄罗斯轨道服务站将处于自动运行状态。之后，再发射基础动力舱，这样，俄罗斯轨道服务站的



第一阶段建设任务完成（预计 2030 年），其重量约为 55 吨，站内空间达到 217 立方米。在该阶段，航天员乘组每年有两次造访，其物资由进步号系列货运飞船运送，运载火箭都是联盟 2.1b。

第二阶段计划从 2030 年开始，届时将会再发射两个大型舱（目标舱和生产舱）及航天器维修平台舱。空间站重量将达到 122 吨，舱内体积为 505 立方米。第二阶段期间，航天员和航天物资将由雄鹰号飞船往返运输，运载火箭为安加拉-A5M，发射场是俄罗斯东方发射场。

### 三、俄罗斯建设新空间站的原因分析

一是技术原因。国际空间站俄罗斯舱段已经超期服役多年，2024 年之后的技术状态难以保证，而原有部件更换难度大。俄能源火箭与航天集团总设计师、俄罗斯舱段飞行负责人弗拉基米尔·索洛维约夫表示，国际空间站俄罗斯舱段各系统目前处于严重老化状态，子系统的研制单位无法确保 2025 年后仍能正常工作。2021 年 7 月底，俄罗斯国家航天集团召开科技委员会，与会专家认为，俄罗斯舱段已处于“奄奄一息”的状态；星辰号舱 80% 的系统已经超出使用寿命，2025 年后多部件将有可能出现雪崩式、大规模的故障现象。

二是经费原因。由于国际空间站俄罗斯舱段的维护成本不断升高，给俄罗斯载人航天发展带来严峻挑战。俄罗斯专家预测，由于 2025 年之后国际空间站的故障率将急剧上升，使其每年维护成本最高将达到 150 亿卢布，而俄罗斯 2022 年整个航天领域的总预算只有 2100 亿卢布。美国则一直认为，由于



载人龙飞船等商业载人飞船取得成功后，俄罗斯无法再通过向美国出售联盟飞船座位以获得资金，因此俄罗斯希望以退出国际空间站计划作为筹码，让美国承担未来空间站延寿的资金。

三是美国主导的月球空间站不接纳俄罗斯。俄罗斯最初希望沿用国际空间站的“美俄共治”模式建设月球空间站，但该提议遭到美国拒绝。美国希望获得月球空间站的绝对主导地位，俄罗斯只能以配角方式加入，仅负责气闸舱的建设。对此，俄罗斯的态度和意见十分明确，即不想以第二的身份参与，认为充当美国的配角毫无意义。随后，俄罗斯开始考虑独自建立空间站的选项。

#### 四、未来走向

虽然俄罗斯国家航天集团总裁鲍里索夫曾在2022年7月表示，将在2024年之后退出国际空间站并开始建设自己的新空间站，但随后又改口表示将继续参与国际空间站直至2028年。这与俄罗斯轨道服务站的建设进度也基本吻合。这表明，在俄罗斯轨道服务站建设基本成型之前，俄罗斯都将会继续使用国际空间站，甚至可能延续到2030年，与美国希望国际空间站延寿至2030年并不矛盾。

##### （一）俄罗斯轨道服务站是未来载人探月的“踏板”

俄罗斯轨道服务站将可用来帮助俄罗斯建设未来的月球或火星基地。俄罗斯已经规划在载人登月任务中，利用俄罗斯轨道服务站实施两次发射方案，即探月航天员乘组（第一次发射）先在空间站内等待空间拖船（第二次发射）的到来，在轨组合后再去执行登月任务。两次发射方案不但可以降低火箭的起飞



重量、提高运载能力，而且还可以从昂贵的超重型运载火箭转向经济实惠的重型火箭。对于载人探月，航天员可以乘坐与俄罗斯轨道服务站对接的普通飞船，或者是一艘与之对接的可重复使用、天地多次往返的飞船。这时，俄罗斯轨道服务站可以被看作是一个“太空港”。

## （二）俄罗斯轨道服务站仍存在较大不确定性

一是俄内部对于俄罗斯轨道服务站仍存在较大争议。为俄罗斯国家航天集团进行认证和可行性评估的中央机械制造研究所（TsNIIMash）强烈反对在高倾角轨道上建造空间站。该研究所认为，在登月任务中，使用安加拉 5 运载火箭发射登月飞船无法利用该空间站辅助登月；而极轨空间站潜在的军事应用，例如地面雷达的校准、雷达监视和通信，也尚待国防部批准；从经济、技术或安全角度来看，为在轨卫星提供补充燃料、更换有效载荷、仪器校准等服务，存在较大不确定性。

俄罗斯国防部试点项目执行主任谢尔盖·克里卡廖夫认为，新空间站采用高倾角轨道，不仅使运载火箭损失更多的运载能力，同时增加了空间辐射的危险性（高倾角轨道上的航天器所受到的辐射剂量要比当前倾角轨道辐射剂量高很多）。此外，新空间站的舱段将在相当长的一段时间内（有可能是数年）没有陀螺仪稳定系统，这使其推进剂消耗量增加。根据该计划，由于科学与动力舱无法再安装笨重的陀螺仪，因此，陀螺仪稳定系统只能安装在新的基础动力舱上。

二是技术与经费仍面临较大压力。尽管新空间站可利用已有的科学与动力舱，但其余主要舱段都需要全新制造，面临较大的技术与经费压力。加之俄罗斯目前还面临西方的集体制裁，

很多元器件无法进口，使用国产替代也需要较长时间准备。

三是俄航天工业长期存在的质量管理缺陷可能导致计划延期。在科学号舱的研制阶段发生过质量问题，包括燃料管道中发现金属屑、金属屑扩散至燃料箱、燃料箱泄漏等，直接导致科学号多功能实验舱研制进度大幅推迟，从最早计划 2009 年发射多次推迟到 2021 年，船坞号节点舱 2014 年完成研制后被迫长期封存。这折射出俄罗斯航天工业管理面临问题严峻的质量形势，势必影响未来的俄罗斯轨道服务站的建设。

（军事科学信息研究中心）

（航天员科研训练中心）



## NASA 航天员大队现况及管理模式分析

为有效发挥航天员的最佳能力，成功实现 NASA 未来一系列探索目标，NASA 监察长办公室于 2022 年 1 月发布了《对 NASA 航天员大队管理情况的审计报告》，以更好了解及分析 NASA 航天员队伍的发展情况。报告对 NASA 航天员现有的选拔、培训、管理模式进行了全面评估，并得出关键结论——目前 NASA 对航天员大队的管理思路和流程主要由国际空间站任务的需求驱动，并不完全符合未来的任务要求，也无法满足“使命公平”的机构目标，亟需得到调整与改进。

### 一、面临新的挑战

NASA 航天员大队的人数在 2000 年达到峰值，当时有近 150 名航天员活跃在各项任务中，随着 2011 年航天飞机时代的结束，航天员大队的规模逐渐缩小，目前仅为 41 人，是过去 20 年中最小的航天员大队之一。负责培训 NASA 航天员的 NASA 飞行运营部（FOD）和负责管理航天员大队的 NASA 航天员办公室面临着多项挑战，其中包括：实现该机构的深空探索目标；维持和扩大在近地轨道的存在，特别是在国际空间站

（ISS）上的存在；在多种飞行器上执行太空飞行任务；协助设计和开发用于“阿尔忒弥斯”任务的其他系统。

一方面是航天员人数的直观减少，另一方面是复杂任务的发展和多项挑战的来临，因此，NASA 现有的航天员队伍以及选拔、培训、管理模式是否能够适应新的变化，如果不能，又该如何改善，成为亟需探明的问题。

## 二、现状

自 1959 年成立以来，总部位于约翰逊航天中心的 NASA 航天员大队在规模、技术专长和训练重点上都有所波动，这取决于不同时期的任务和项目需求。从航天飞机时代的巅峰时期开始，这支队伍现在已经接近有史以来的最小规模。

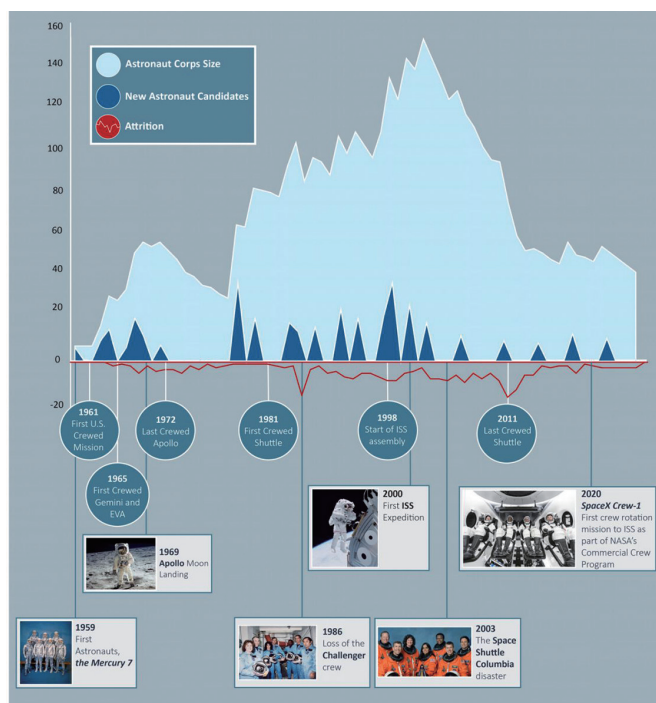


图 1 1959 年至今年 NASA 航天员大队变化趋势

（浅蓝色部分：航天员队伍规模；深蓝色部分：新招募预备航天员；红色线条表示人员损耗）



图1中关键事件: 1959年,首批航天员(水星七杰); 1961年,首次美国乘组任务; 1965年,首次双子星任务及舱外行走; 1969年,“阿波罗”任务登陆月球; 1972年,最后一批“阿波罗”任务乘组; 1981年,首批航天飞机乘组; 1986年,“挑战者”号航天飞机失事; 1998年,开启国际空间站驻留任务; 2003年,“哥伦比亚”号航天飞机失事; 2011年,最后一批航天飞机乘组; 2020年,SpaceX公司的CREW-1任务实施,首次成功前往国际空间站的NASA商业航天员任务。

截至2023年1月,NASA拥有航天员41名,其中,男性航天员25名,女性航天员16名,女性航天员占比约40%;白人航天员30名,有色人种航天员10名,有色人种航天员占比约25%;航天员所学专业涉及数学、天文学、地质学、医学、材料学、化学等多个学科。

今天这种局面,是NASA几十年来机构使命和价值观不断变化的结果,航天员群体的人员构成也有助于NASA证明自身正在践行“公平使命”原则——1959年时,NASA的航天员大队还是由全白人男性飞行员构成的群体;到今天,NASA航天员大队已转变为一个代表着更广泛的人口结构和技能的多元化群体。NASA将航天员作为发展多样性和机会平等性的直接反映和最佳代言人。

### 三、组织管理模式

NASA对航天员大队的管理主要包括选拔、训练、分配任务等环节。航天员大队受航天员办公室管理,此外还有多个技术办公室或部门为航天员大队提供支持。在考虑乘组任务时,



由 NASA 首席航天员，即约翰逊航天中心航天员办公室主任为首要责任人，他将综合多部门提供的信息，权衡航天员的乘组选择和任务安排。

### （一）NASA 航天员大队的组织管理结构

NASA 航天员大队受航天员办公室管理，而后者由约翰逊航天中心的飞行运营部（FOD）管理。FOD 与航天员办公室合作，共同筛选预备航天员，确保航天员的太空飞行准备训练可满足任务要求，它们联手推荐飞行乘组，指导和管理飞行乘组活动，并在没有训练或飞行任务时，给航天员分配技术或行政岗位。NASA 航天员大队的组织结构和资金结构如图所示，FOD 内有 11 个技术办公室或部门为航天员大队提供支持。运营分部（Operations Division）在太空飞行期间为乘组人员提供支持，而飞行集成分部（Flight Integration Division）则负责制定训练方案，为航天员执行特定太空飞行任务做好准备。航天员办公室也被整合到整个机构中，并参与到关键项目的流程、程序、系统和飞行器的开发工作中，如参与载人着陆系统（HLS）的研发。

### （二）航天员大队的规模确定过程

NASA 对航天员大队的管理主要包括选拔、训练、分配任务等环节。NASA 航天员从招募、选拔到完成基本培训，即便日程安排非常紧，也需要大约 4 年。由于这一过程的漫长性，以及现有航天员存在潜在短缺，航天员办公室每年都要对航天员大队目前的规模和预期的未来短缺进行评估，以确保其人数充足，能够满足 NASA 的任务需求。在评估各种需求以确定未来 5 年太空飞行任务所需的航天员总数后，航天员办公室会增



加一个安全裕度，以计算“最低人员配置要求”——即航天员大队的目标规模。如果在航天员大队规模分析计算中，发现当前或未来某个阶段会出现短缺，航天员办公室将开始招聘新一批的预备航天员。

2016年至2021年，包括联盟飞船和载人龙飞船在内，NASA每年进行3到4次太空飞行任务，每年至少安排4到6名航天员执行飞行。

### （三）NASA 首席航天员对乘组任务负责

在入选者完成基本培训后，NASA会根据任务和乘组安排，对航天员进行合理分配和有针对性的培训。在此一系列过程中，NASA首席航天员对其负责。

NASA首席航天员并不是单纯的航天员，而是NASA约翰逊航天中心航天员办公室主任，是NASA最高的航天员职位，负责领导NASA的整个航天员大队，同时也是NASA规划航天员训练和操作方面的主要顾问。通常由FOD和约翰逊航天中心领导层挑选和任命，在FOD和约翰逊航天中心董事的同意下，决定太空飞行任务的乘组人员分配。

根据航天员办公室工作人员的说法，鉴于目前NASA航天员大队整体规模较小，首席和副首席航天员（航天员办公室副主任）对航天员大队成员的经验、人际交往技能和培训有足够的了解，是能够做出航天员的分配决策的。首席航天员从其他航天员办公室人员（如分管负责人）处收到关于拟议任务的反馈，从而进行航天员的分配。航天员分配过程各不相同，且需考虑多个因素，例如完成培训所需的时间、当前已分配和未分配的航天员的可用性、任务的技术要求以及可用航天员的技能

水平等。

#### （四）影响乘组人员选配的几个重要因素

NASA 目前的乘组人员选配程序是围绕美国商用航天 SpaceX 的载人龙飞船和前往国际空间站的俄罗斯联盟飞船所提供的座位而定的，有几个具体因素影响乘组选配的决策。

##### 1. 获得飞行资格

航天员评估委员会确定航天员在几项特定事件节点后是否被评定为“合格”，如“完成预备航天员培训后”“完成航天任务返回后”或“执行潜在任务前”。航天员在执行太空飞行任务之前，还必须获得“乘组健康和安​​全”办公室认可的医学资格。此外，对于特定的任务类型，如国际空间站上的长时间任务，多边空间医学委员会要确保航天员具备要求更高的医学资格。

##### 2. 具备特定技能

2022 财年，在载人航天方面，NASA 计划执行国际空间站远征 -64 至远征 -67 任务，进行波音星际客船的首次载人试飞，并开始为“阿尔忒弥斯 -2”（载人绕月）任务进行训练。NASA 正在分析每种飞行器或每类任务都需要哪些特定技能，以选择更合适的航天员。这些特定技能或需要专业知识培训，比如随行医生资格或飞行员资格；或需要通过在模拟器中通过反复训练习得，比如在中性浮力实验室中进行舱外活动训练、在航天器模型设施中进行飞行模拟训练、在地面任务中进行生存训练等。



### 3. 国际合作关系考量

为了确保参与任务的航天员可以作为一支有凝聚力的高效团队共同工作，首席航天员会考虑 NASA 航天员及其国际合作伙伴航天员的个性和技能。这目前是国际空间站任务的一个重要考虑因素，预计也将是“阿尔忒弥斯”任务的一个重要考虑因素。

首席航天员在任务早期就会与国际合作伙伴进行协调，以确保航天员的技能水平、飞行资格和彼此的凝聚力能够得到最适当的组合，以防在最后关头不得不调整团队。航天员办公室要员和航天员们都表示，倘若在最后一刻换人，极有可能会损害团队的士气和状态。

### 4. 平衡飞行机会

NASA 现任首席航天员里德·怀斯曼曾表示，在选配新的乘组任务时，他会优先考虑尚未参与太空飞行的航天员。这会使得 NASA 航天员大队拥有更广泛的太空飞行经验，从而提高未来太空飞行的质量。例如，NASA 曾将两名航天员从推迟的波音星际客船任务中转移出来，并将他们分配给 SpaceX 的载人龙飞船乘组，正是为帮其早日获得太空飞行经验。一位前首席航天员表示，指派等待时间较长的航天员飞行，可以提高航天员大队的整体士气，航天员们也同意这一说法。鉴于队员们在太空飞行机会上的差距，首席航天员必须在组合乘组时，在对太空飞行经验的需求与将航天员留在大队的激励之间取得平衡。

### 5. 其他与航天员有关的因素

其他需要综合考虑的因素还包括：航天员的太空飞行经

验、乘组人员的个性组合、外语技能等；此外，航天员的身体尺寸也必须考虑到，以适应国际空间站上可用的航天服（以及未来“阿尔忒弥斯”任务的登月服等）。首席航天员会与航天员办公室分支主管（如分别负责舱外活动、指定乘组、乘组运行的部门）以及主任办公室和项目办公室助理（如国际空间站、HLS、猎户座飞船、“门户”各项目办公室）协商，以确保影响乘组分配的所有必要因素都得到了充分考虑。

#### 四、目前存在的不足

近二十年来，NASA 在确定航天员规模、开展训练和分配时，主要是为了满足国际空间站的需求，即便“阿尔忒弥斯”计划已提出几年，这种管理模式仍没有得到有效的改进，并不适合推进中的“阿尔忒弥斯”任务以及未来一系列近地轨道和深空探索任务。与此同时，NASA 的“使命公平”原则也有待进一步实现，需要调整航天员大队结构以实现这些目标。此外，尚需要多年时间才能为 2024 年和 2025 年计划的“阿尔忒弥斯”载人任务招募、选拔和培训出一批合格的航天员，因此几乎没有时间重新调整团队。但随着任务的发展，必须重审其确定规模、培训和任务的分配过程并进行调整，以确保 NASA 拥有足够的航天员来满足未来任务要求和更广泛的公平目标。

##### （一）目前航天员大队的规模与国际空间站当前需求相一致，但可能无法完全满足该机构的未来目标

根据航天员办公室 2019 年 4 月进行的规模分析，由于人员流失和额外的太空飞行任务需求，2022 财年，NASA 现有航天员大队的可用人员相当于所需的飞行人次需求，这就意味着



不会有额外的航天员可用于地面任务或弥补意外损耗；而到了2023财年，航天员大队的规模将低于其目标规模。考虑到安全裕度和预计的飞行人员配置座位要求，到2024财年，NASA就有可能没有足够的航天员执行所有飞行任务：从2024财年开始，如果国际空间站继续服役，正常每年需求6名航天员，此外，“阿尔忒弥斯”登月计划每年还将需求3至4名航天员。

虽然截至2021年，NASA航天员大队的规模尚可以满足当前国际空间站的人员配置需求，但这种确定规模的方法，在面对未来不断变化的国际空间站任务、“阿尔忒弥斯-2”之后的登月任务以及实现“使命公平”的机构目标时，的确构成了人员短缺的风险。

在确定航天员规模时，航天员办公室收集并分析了关于当前航天员大队规模、技能、技术背景和其他人口统计数据，计算了其安全裕度，并分析了可能出现的航天员损耗。但OIG通过审计分析，在这一规模计算过程中发现了五大问题，考虑到不断增加的太空飞行和机构任务，这些问题可能会使航天员大队在未来面临人员短缺的风险。如果不加以解决，这些因素可能会导致航天员训练时间延长、乘组难以组成或飞行任务延误。

#### 1. 在确定航天员大队的规模时，15%的安全裕度可能不够

在多种飞行器上执行多项任务，或是在新型飞行器上执行新任务，对于航天员来说，面对的潜在健康影响更大，要想减轻其中的风险，15%的安全裕度可能不够。

在航天飞机时代，安全裕度高达50%。从2010年开始，随着航天员大队规模的大幅缩减，安全裕度降至25%，部分原因是预算削减。而目前安全裕度仅为15%。虽然15%的安全裕



度可以支持国际空间站项目的当前需求，但不太可能支持该机构未来的太空飞行要求。

NASA 目前唯一进行着的载人航天任务是国际空间站任务，现有航天员都是为这一任务培训的，航天员办公室能够从中迅速选调航天员乘组。然而，随着该机构承担起“阿尔忒弥斯”系列深空探索任务，不论是新的探索要求还是对新运载飞船的操作能力，可用航天员将大大减少。人员短缺不仅会产生安全隐患，也会影响士气，还可能导致任务延误。确保足够的安全裕度对于减少人员短缺带来的风险至关重要。

## 2. 目前计算航天员消耗率的方式并不合理

航天员办公室每年使用固定数量的航天员离开大队来计算预计的损耗，而不是使用固定的损耗百分比。然而，考虑到多年来航天员总数的变化，以及特定的任务阶段，使用百分比来进行估算可能更为合适。

通过回顾 1959 年至 2020 年航天员大队的人员消耗数据，发现整个航天员大队历史上的平均年消耗率为 6.8%。而伴随着航天飞行任务或运载飞船的更迭，以及新航天员班级的选拔，损耗率会同步增加。例如，从 2004 年到 2012 年，在宣布航天飞机即将退役后，航天员大队的损耗率为 11.1%——在这个时期，航天员大队的总体平均规模为 90 名航天员，每年约损耗 10 名航天员。在选拔新的预备航天员班级后的一年里，减员人数普遍增加。从 1959 年到 2020 年，每当组建一个新的航天员班级，当年平均有 7.7% 的人员流失，相当于在平均规模为 85 名航天员的情况下，损耗 6 到 7 名航天员。

使用历史比率进行估算，假设国际空间站在 2030 年结束



运营，那么到 2028 年或 2029 年，每年损耗的航天员的预估数量将从 3 人增加到 5 人。随着“阿尔忒弥斯”任务的推进，航天员办公室可能需要重新评估其航天员消耗率，以规划未来航天员大队的规模和招募工作。

### 3. 新的“阿尔忒弥斯”任务对航天员的需求比过去更高

航天员在 NASA 太空飞行计划的设计和开发工作中发挥着关键作用。各项目负责人表示，有飞行经验的航天员的意见输入十分重要，尤其是在设计的早期阶段。过去，航天员办公室里还包括常规工程师，他们与分配了地面任务的航天员一起工作，共同探索有关太空飞行经验、飞行器操作和执行飞行挑战的内容。2016 年，这一点发生了变化，机构调整将这些工程师转移到 FOD 的其他部门。因此，航天员身上的责任更重了。

此外，随着太空飞行任务的不断发展，NASA 对航天员的具体技能需求已从阿波罗时期对试飞员的需求发展到空间站任务对科学家和任务专家的更高需求。随着“阿尔忒弥斯”任务的发展，未来几年可能还会发现对新技能的需求。例如，地质学最近就被确定为“阿尔忒弥斯”登月和火星任务所需的特定专业技能。NASA 航天员大队目前有 4 名航天员在地质相关领域接受过专业培训，其中两人已经在大队工作了 15 年以上。

### 4. 航天员办公室在招募新的预备航天员班级时，对未来的任务技能需求考虑不周

航天员办公室维护着独立的内部数据库，其中包含与航天员大队的构成和技能相关的信息，如航天员之前的专业领域和学位水平、太空飞行经验、培训和飞行资格、舱外活动记录、机器人技术以及俄语水平等。但航天员技能集数据没有得到一

致的收集、全面的组织、定期的监测更新，以及必要的回顾和审查。

由于目前航天员人数较少，首席和副首席航天员主要依靠自己对大队成员的非正式了解来做出技能决策。这种非正式的经验已经应用了 20 多年，但有理由怀疑，随着航天员大队规模的增加，这种非正式的方法是否继续有效。并且，随着时间的推移，当仍在不断变化的“阿尔忒弥斯”需求被纳入其中，跟踪多个任务的技能集必将变得更加复杂。

5. 因为缺乏对航天员详细数据的全面了解，难以科学布局，那么 NASA 在多样性和包容性方面的努力，包括使命公平和“阿尔忒弥斯”任务目标，都可能会受到阻碍

除了上面所提及的数据限制外，NASA 已经发现，航天员办公室的人事数据库不包含针对航天员的全面人口统计信息，包括种族、国籍、性别、出生地、教育或伤病情况，无法反映其多样性、公平性和包容性。同时，他们也没有随着时间推移来监控航天员大队的人员构成，特别是，对来自部队的军人航天员的详细统计数据十分有限。

这些情况导致难以衡量其在“实现广泛的多样性和包容性”目标方面取得的进展。考虑到航天员可能是 NASA 最“显眼”的员工，这一问题显得尤为重要。曾有一名航天员在从国际空间站返回时强调了孩子们在电视上看到与自己相像的人的重要性。

**（二）现有航天员培训过程可满足国际空间站的需求，但需要根据“阿尔忒弥斯”计划进行更新**

### 1. 目前的培训框架可满足国际空间站的需要

与确定航天员大队规模的方法一样，NASA 的航天员培训



方法也主要侧重于满足国际空间站的任务需求。在过去的 20 多年里，NASA 已经完善了其国际空间站培训方案的框架，并计划根据不断变化的国际空间站任务要求调整方案。NASA 将其专门针对国际空间站任务的培训过程称为“单流发射”（Single Flow to Launch）方法。

预备航天员的训练周期大约需要 4 年。航天员通常在 2 年内完成他们的初始预备航天员培训，包括机器人技术培训、飞行培训和舱外活动培训。根据培训记录，预备航天员接受的初始培训中有 40% 是针对国际空间站的。此外，还需要进行额外 18 至 24 个月的特定任务培训，以更好地完成国际空间站任务。根据个人情况的不同，可能会有不同的重点领域，例如，或是更多地关注特定的技术领域，或是掌握额外的机器人技术，或是加强舱外活动培训和俄语培训等。预备航天员还与现役航天员班级合作，由经验丰富的资深航天员担任新人导师，以便更好地适应大队。

## 2. 为实现“阿尔忒弥斯”任务，将需要修改当前的训练框架

“单流发射”的培训方法以及内部指南（质量管理体系、手册和指南）没有考虑即将到来的“阿尔忒弥斯”任务要求。针对“阿尔忒弥斯 -2”任务的特定集中训练尚未开始。航天员办公室还估计，“阿尔忒弥斯 -3”及其后续任务的训练将需要大约 2 年的时间。然而，根据国际空间站的经验，初始训练工作可能需要比预期更长的时间。并且，国际空间站只是一个单一的项目办公室，而“阿尔忒弥斯”的任务需要多个项目和项目办公室——如猎户座、航天服、HLS 和“门户”，这将需要

额外的协调和规划。

此外，“阿尔忒弥斯”计划的关键系统，如猎户座、下一代航天服、HLS 和“门户”系统仍在开发中，国际空间站正在进行的降低航天员健康相关风险研究要到 2027 年才能产生结果。这些因素也可能会推迟新培训需求的开发和实施。虽然 FOD 正在建立专家委员会和小组来监督航天员培训方案与“阿尔忒弥斯”系统相关技术要求的整合，但截至 2021 年 11 月，这些专家委员会和小组还没有最终确定。

### （三）为应对未来需求，NASA 航天员乘组的选配过程仍在不断完善中

NASA 当前和未来相当长一段时间内的关注重点，已由国际空间站任务转移至“阿尔忒弥斯”任务。现有的 NASA 航天员选配流程也将随着“阿尔忒弥斯”计划的发展而不断调整。

在调整航天员分配流程时，重点需要考虑三个方面：协调与国际合作伙伴的关系；纳入机构多样性和包容性目标；基于对辐射暴露健康风险更清晰的了解，对航天员进行更全面准确的医学鉴定。

NASA 希望国际合作伙伴的航天员能够参与“阿尔忒弥斯”任务。一些国际合作伙伴已签订协议，他们提供设备和专业知识，以换取本国航天员参与任务的机会。例如，“阿尔忒弥斯-2”任务的一个座位被预留给加拿大航天员，以感谢加拿大为“门户”系统提供机械臂的贡献。“阿尔忒弥斯-3”及以后的座位分配和国际合作伙伴角色尚未确定，但日本已经表示将成为继美国之后第二个登上月球的国家。因此，NASA 及其合作航天机构之间在任务分配方面的协调，对于任务的成功乃至国际关



系至关重要。在国际空间站运营过程中，NASA 会充分考虑乘组在技能储备、飞行经验和个性组合方面的需求，以达成国际合作伙伴间的共识。然而目前，NASA 尚未围绕“阿尔忒弥斯”任务为各家合作伙伴制定出协商特定乘组任务的具体流程或商谈模式。

其次，尽管随着时间的推移，航天员大队的多样性不断增加（一个明显的例子是，NASA 在记录现有航天员人员性别时，有个别航天员弃权在“男性”“女性”中作出选择），但目前 NASA 尚未在乘组人员分配过程中正式梳理并明确记录下对人员多样性和包容性的考虑。

此外，NASA 仍在评估航天员在“阿尔忒弥斯”任务期间面临的与辐射暴露有关的健康风险。如果由于近地轨道之外的任务持续时间过长，致使辐射量超过了 NASA 设定的最高暴露水平，可能会导致“阿尔忒弥斯”任务航天员在原先的医学标准上丧失飞行资格，继而需要调整乘组规模和任务流程。

## 五、改进措施及启示

总的来说，过去 NASA 航天员办公室对航天员大队进行了良好的管理。然而，NASA 面临着新的要求和挑战，为满足新时代在近地轨道和深空执行多项任务的要求，NASA 必须要招募新的航天员，调整现有的航天员大队，并结合新任务形成新的管理模式。改进措施有以下四条，其中两项针对 NASA 航天员大队的总体搭建，两项针对于特定的“阿尔忒弥斯”任务。

### （一）优化航天员数据统计

NASA 需进一步集中管理和维护对航天员数据的收集、汇



总和监控，将数据信息进一步细化，包括其专业技能、资格认证、培训经历和人口统计等，以更好地支持航天员大队的规模估算和结构调整，并帮助为招募和培训未来的预备航天员提供信息支持。这不仅有利于航天任务的顺利开展，也有利于实现 NASA 在发展政策上的战略目标，包括继续扩大航天员大队的多样性、实现航天员大队的公平性等。

## （二）重新评估安全裕度

NASA 需认真评估目前 15% 的安全裕度是否依然合理，并记录选择这一裕度的理由，必要时，应提高安全裕度。新的安全裕度需要满足当前和近期的空间飞行任务频率；NASA 还应该详细记录调整裕度的过程，这对于后续围绕更多任务进行有效规划十分必要。

## （三）设立专家委员会，制定更优培训流程

目前，“阿尔忒弥斯 -2”的发射计划已经推迟，但 NASA 需要在发射前至少 18 个月与“阿尔忒弥斯”项目办公室协调，以完成专家委员会和专家小组的设立，探讨制定出更优的航天员培训流程。专家委员会和专家小组对于确保 NASA 航天员队伍与未来飞行任务需求一致具有重要作用。

## （四）更新内部指南

NASA 需进一步更新内部指南，对航天员的培训方案进行明确，并要详细记录下制定培训方案的过程，以更好地为“阿尔忒弥斯”任务及未来长期深空探测任务服务。

（航天员科研训练中心）



## NASA 月球网络通信与导航架构设计与特点分析

在太空中构建良好的通信与导航，是顺利实施未来探索月球、火星及以远目的地任务的一个非常重要的环节。月球是一个能对各类先进通信与导航技术进行演示验证的最佳场所。本文研究了 NASA 提出建设月球网络（LunaNet）的项目背景，梳理了 LunaNet 的总体架构、标准服务与接口设计及最新进展，并对其未来前景进行了展望。

### 一、项目实施背景与愿景目标

#### （一）实施背景

NASA 在 1969 年 7 月“阿波罗 11”任务中通过当时最先进的制导、导航与控制技术，实现了人类历史上首次登月。在 50 多年后再次实施“阿尔忒弥斯”（Artemis）载人重返月球计划时，NASA 将面临更大的技术挑战，因为未来的绕月、登月、月球表面作业及长期驻留等任务需要在可用性、灵活性、安全性、稳定性、兼容性等方面具备能力更强大的原位通信、导航与组网能力。

NASA 戈达德航天飞行中心（GSFC）针对该局在 2019 年

发布的月球周围小型卫星群通信与导航解决方案征集要求，由其探索与空间通信项目部的技术企业与任务开拓者办公室（TEMPO）负责论证，由此逐渐形成了月球网络（LunaNet）概念（图1）。

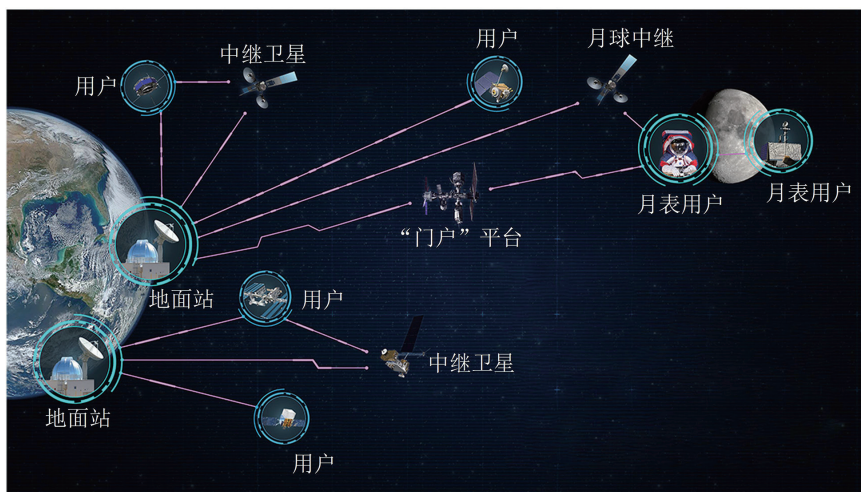


图1 LunaNet 概念示意图

“阿尔忒弥斯”计划提供了可进行新型空间通信与导航技术演示验证和细化改进的机会，NASA 通过 2022 年 11 月 16 日实施的“阿尔忒弥斯-1”首飞任务，正式拉开飞往与着陆月球航天器通信与导航技术演示验证活动的序幕。

## （二）愿景目标

LunaNet 的愿景目标是构建一套类似地球互联网、能为月球及其邻近空间上的用户提供通信、导航与其他服务的合作、综合性网络，基于可实现互操作性的标准与接口规范进行方案设计，利用容迟和组网技术突破地球互联网的限制。LunaNet 允许月球任务用户在一个开放式、可渐进发展的体系内，参与不同商业与政府服务供应商提供的服务，包括针对定位、导航、



授时以及态势感知等方面的通信、信息发送、数据传输与分发。LunaNet 可作为新用户和服务供应商接入网络的组成部分，用于实施前期任务、适应后期拓展，并允许多个国家、机构、私营企业参与网络的建设与运营。

NASA 希望在未来“阿尔忒弥斯”任务中采用更具创新力的通信与导航技术，并针对每次任务选用最适用的技术组合，从而能更好地拓展通信与导航技术应用，为诸如火星等更远目的地任务提供服务。

## 二、LunaNet的总体架构与特点

### （一）总体架构

整个 LunaNet 将涵盖能为月球和地球用户提供通信与导航服务的全部系统，设有用户月球段、LunaNet 月球段、LunaNet 地球段和用户地球段四个部分。

LunaNet 月球段将包含在月球轨道或月球表面进行通信与导航的系统 and 单元，虽然总称为“月球中继”，但其中某些单元并不具备通信中继功能，而是用于保障定位、导航、授时以及其他非数据类中继服务。LunaNet 地球段则由布设在地球上的各种地面站组成。

LunaNet 月球段与地球段之间的接口将可能是由单个服务提供商提供的企业内联网，或在多个合作供应商之间构建的互连网络。图 2 是以单个服务提供商的企业内联网为例，所显示的月球中继—地球接口是非标准的，而该接口的标准化设计将有助于实现多个供应商构建的互连网络或交叉保障。

用户月球段与 LunaNet 之间的连接可分别通过 LunaNet 月

球段和 LunaNet 地球段的接口加以实现，这些接口是标准化设计。此外，LunaNet 地球段与用户地球段之间的接口也是标准化设计。

## （二）主要特点

LunaNet 将为未来深空探测任务提供前所未有的运营独立性和不断提升的精确度，使任务用户获取在轨决策的关键测量数据，并通过导航服务获得实施空间自主导航所需的信息。

LunaNet 的最初架构设计将非常简单，只搭建少量能满足早期任务需求的节点，然后再根据不断增加的月球表面持续驻留任务需求进行渐进性拓展。所有中继网络不只服务于单个航天器或节点，未来预期是通过商业和政府服务提供商提供的综合互操作系统达到满足所有用户及任务的需求。

实现 LunaNet 互操作性，可参照技术企业与任务开拓者办公室的《LunaNet 互操作性规范》及其他项目参与方各种设计规范中所定义的协商性标准。任务用户可自行在月球与地球之间构建专用的直接链路，但不属于 LunaNet 的设计与运营范围。

## 三、LunaNet 的标准服务

LunaNet 向用户提供 5 个方面的服务，包括通信、定位导航授时、检测与信息、科学活动以及服务访问等。

### （一）通信服务

①实时数据服务。在来源地与目的地之间提供最小延迟的端到端数据传输。产生服务延迟的原因仅包括信号传递时间、信道编码时间和数据处理传输时间等因素。

②存储转发服务。其提供的端到端数据传输将产生更多延

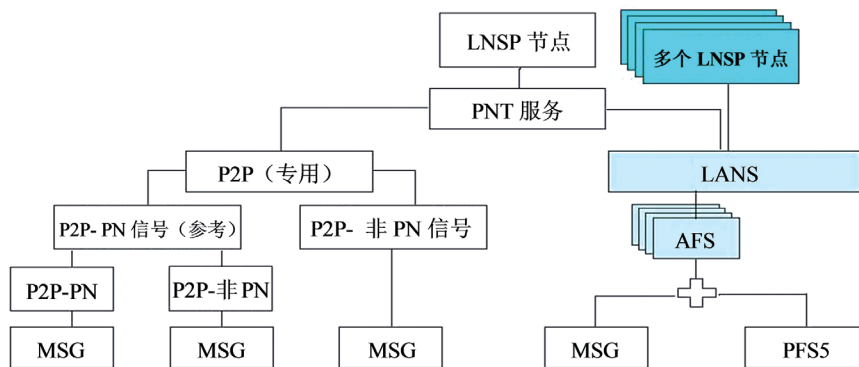


迟，主要归结于在端到端传输路径出现中断或重大速率缓冲时，需对数据加以存储，然后再进行传输。

③信息发送服务。从信息发送应用中提取相关服务的详情，通过通信服务项下的专用 LunaNet 信息信道，将标准化的信息从 LunaNet 协议或应用中发送出去。

## （二）定位、导航与授时（PNT）服务

为了提供高效的月球定位、导航与授时（PNT）服务并保障其相互操作性，通过采取合理的信号结构定义使通信链路利用率最高。图 2 列明了两类实现 PNT 服务的方法。



AFS—增强前向信号；LANS—月球增强导航系统；LNSP—月球网服务供应商；MSG—信息；P2P—点对点；PN—伪噪声；PNT—定位、导航与授时；PFS5—增强前向信号构架。

图 2 LunaNet 提供的定位、导航与授时服务示意图

一是在服务供应商与用户之间搭建专用的直接通信链路，但该方法需要开展月球—全球性 PNT 服务保障，在为 PNT 可观测值提供参考信号的同时附加相应的信息，才能为满足用户要求提供充分的几何条件和适宜的第一时间定位。

二是使用增强前向信号（AFS）通信链路，提供独立于用户专用通信链路的 PNT 功能，从而使多个用户可同时接收信号。AFS 通信链路使用的 CDMA 信号结构也可应用于专用的邻近空



间链路。

通过搭建相互兼容的 LunaNet 节点，建立一个具有相对更大视场、使用相同信号就可涵盖大部分服务量的月球增强导航系统（LANS，图 3 ~ 图 4），以此形成类似全球导航卫星系统（GNSS）的月球 PNT 服务能力。

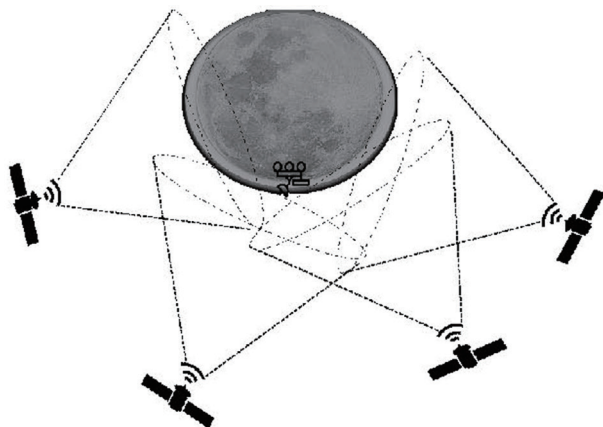


图 3 由 LunaNet 节点提供的 LANS PNT 方案示意图

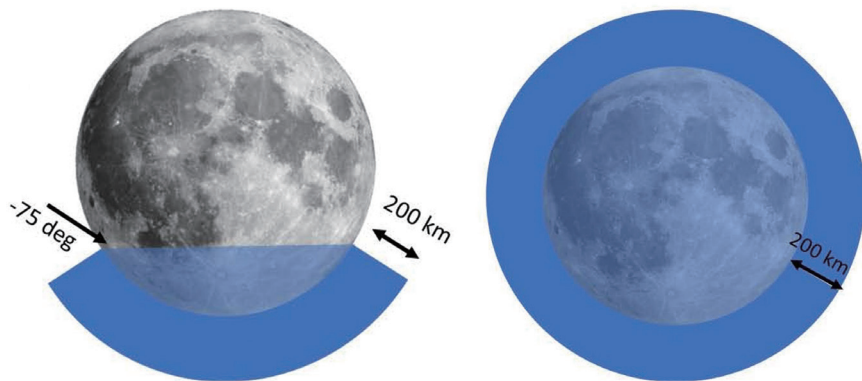


图 4 LANS 初期运营（左）与增强期运营（右）覆盖范围示意图

为了实现全面、有效的 PNT 服务互操作性，技术企业与任务开拓者办公室后续将补充编制《LunaNet 与用户信号结构定义》《LunaNet 测量方案与参数》《LunaNet 详细信息定义》《LunaNet 用户定位服务》《LunaNet 参考系标准》《LunaNet



时统标准》等规范。

### （三）检测信息服务

检测信息服务主要包括 LunaNet 设施内可为用户运营提供所需的报警与关键信息的网络应用，如由服务供应商仪器设备发出的空间气象报警、月球搜索与救援（LunaSAR）信标检测与定位等。

LunaSAR 服务将作为一种增强运营能力，要求对 LunaNet 直接对地（DTE）和邻近空间链路上的遇险信息进行接收、优先使用、转播与传递，包括使用空间气象仪器识别潜在危险的太阳活动、遇险信息的定位通报、在 LunaSAR 用户与信息接收方（如地面任务控制团队、月球表面资产以及月球）之间的低数据率双向信息传递。

LunaSAR 服务的信息内容通过主要舱外活动用户群和 SAR 最佳实践的输入值加以定义，利用旋转场定义以减小信息规模，从而为处于不利境地的用户在低功率要求和链路费用受限条件下，能向 LunaNet 进行稳定的低数据率传输。

### （四）科学服务

LunaNet 科学服务将允许各节点使用其射频和红外光通信链路进行测量，以帮助地球上的研究团队更好地了解月球，如允许对卫星进行基线观测，以深入分析月球环境。但有些科学服务可能只需要 LunaNet 空间设备在通信与导航分系统内的一个特殊模式下运行。此外，研究团队还可以使用 LunaNet 的天线对深空进行探测，搜索来自遥远天体的射频信号。

科学服务将可能要求使用标准化的讯息格式，以对来自各种不同的 LunaNet 系统的测量数据进行采集与分享。该项服务

将为科学家们提供一个新的平台进行空间理论测试，以扩展他们的科学知识。

### （五）服务访问

LunaNet 的用户可以通过各种不同方法进行服务访问（见图 5）。

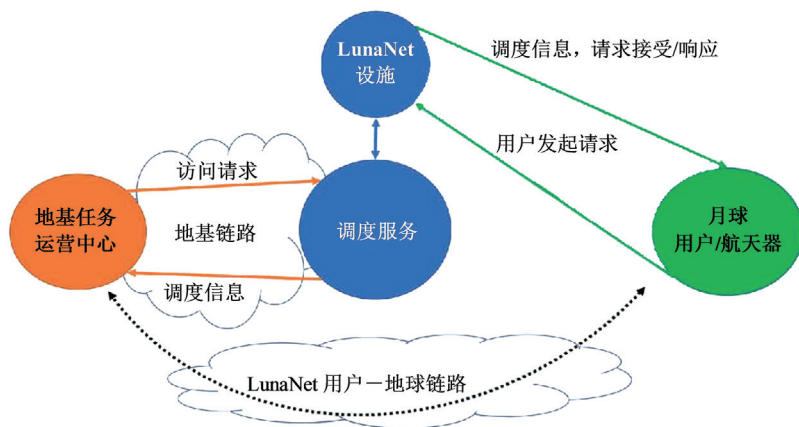


图 5 LunaNet 调度接口总览示意图

服务供应商的调度服务能使地面任务运营中心与某一网络供应商进行预先调度。用户若想获得多个服务供应商的服务，必须与每个服务供应商进行单独调度，以保证每个特定任务的综合进度。

标准化方法能使用户按照其意愿在服务供应商之间获取所需的调度服务。多个访问链路设计将能使用户在无需任何调度的情况下，迅速接收到所需的服务。用户发起服务（UIS）设计可使用户通过用户与某一 LunaNet 服务供应商之间的链路请求与接收服务。

## 四、LunaNet 的标准服务接口

LunaNet 类似于现有的地球互联网，即通过多个服务供应



商（LNSP）向用户提供服务。为了使某一用户能从任一服务供应商处获得所需的服务，在 LunaNet 中设计了两类可实现互操作性的接口（见图 6）。

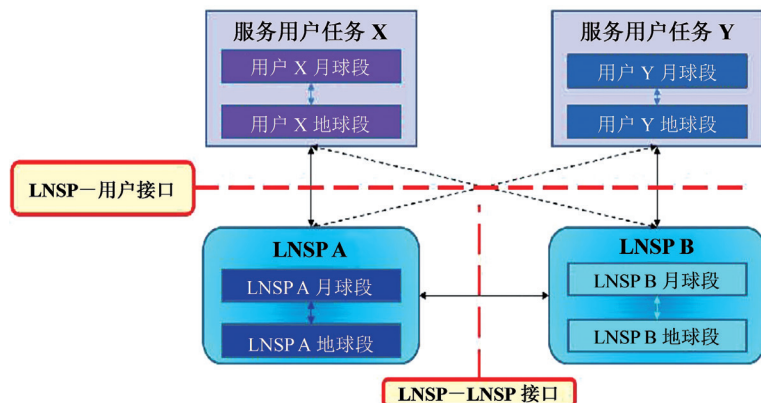


图 6 LunaNet 服务供应商与用户之间的标准服务和接口示意图

第一类是服务供应商—用户间的接口，包括物理接口、协议接口以及通过这些接口提供的信息发送服务。每个用户应具备在实际操作中以同一方式从不同供应商接收相同服务的能力，从而能使用任一连接点进行 LunaNet 访问。

第二类是服务供应商—服务供应商的接口，同样包括物理接口、协议接口以及通过这些接口提供的信息发送服务，以通过不同供应商之间的合作，增强单个供应商的能力，从而构建更大范围的 LunaNet 基础设施。

每个服务供应商都可能会与用户建立月球表面、邻近空间、直接对地球和与地球相关的连接，而服务供应商之间也同样可能会建立月球表面、邻近空间、直接对地球以及与地球相关的连接（见图 7）。

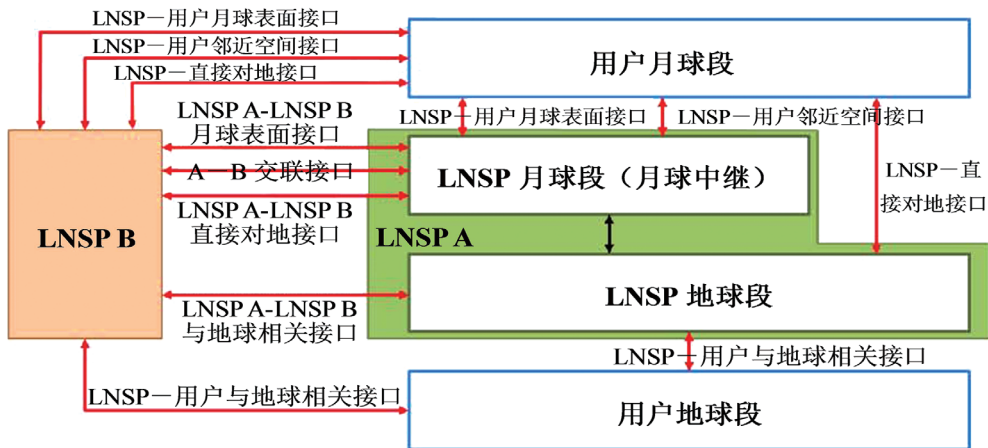


图 7 LunaNet 服务供应商的主要接口示意图

### (一) 服务供应商—用户间的接口

技术与任务开拓者办公室在《LunaNet 互操作性规范》中列明了 5 类服务供应商与用户之间的不同接口类型及相应的频带。

表 1 服务供应商与用户之间的不同接口一览表

接口名称	接口说明
服务供应商—用户月球表面接口	用户与供应商之间的月表—月表接口
服务供应商—用户邻近空间接口	用户与月球在轨供应商节点的接口
服务供应商—用户直接对地接口	用户月球系统与供应商地球系统之间的接口
服务供应商—用户与地球相关接口	用户与供应商之间的与地球相关接口

### (二) 服务供应商—服务供应商间的服务和接口

#### 1. 服务供应商之间的服务

服务供应商之间的通信服务采用标准化接口，可实现多个服务供应商向 LunaNet 提供所需的基础设施。服务供应商之间的通信服务包括用户数据，以及彼此之间进行调度、路由、资产利用与其他功能的通信。



服务供应商之间的 PNT 服务还包括彼此之间的资产 PNT 服务。

## 2. 服务供应商之间的接口

技术企业与任务开拓者办公室在《LunaNet 互操作性规范》中列明了 4 类服务供应商之间的不同接口类型（见表 2）。

表 2 服务供应商间的不同接口一览表

接口名称	接口说明
服务供应商 A — 服务供应商 B 月球表面接口	两个服务供应商之间的月表 - 月表接口
服务供应商 A — 服务供应商 B 交叉链路接口	两个服务供应商之间的月球在轨节点接口
服务供应商 A — 服务供应商 B 直接对地接口	服务供应商月球系统与另一个服务供应商地球系统之间的接口
服务供应商 A — 服务供应商 B 与地球相关接口	两个服务供应商之间的与地球相关接口

## 五、LunaNet 的最新进展

LunaNet 现已成为 NASA 总部级项目，正逐渐脱离空间通信与导航（SCaN）计划办公室的管理，技术企业与任务开拓者办公室率领的团队参与 LunaNet 的各项工作，进行 LunaNet 体系架构的完善。

NASA 表示，LunaNet 体系架构中涵盖的概念和技术不仅可应用于 NASA，而且还可应用于其他美国政府机构、国际空间和政府机构、国内和国际商业合作伙伴。

### （一）《LunaNet 互操作性规范》文件

NASA 于 2022 年 9 月 12 日通过技术企业与任务开拓者办公室发布了 62 页的第四版《LunaNet 互操作性规范》文件，相较于 2021 年 9 月发布的第一版（38 页），整体内容更为丰富、



技术说明更加详细，其中最大的区别是在文件开篇就列明了下一步需待明确（TBD）和完善（TBR）的 62 个规范性文件，其次在前言部分增加了针对 LunaNet 架构的安全性考量。

### 1. 待明确和完善的文件

62 个文件主要涉及用户服务、服务供应商与用户间的接口、附录以及适用性文件，包括束协议服务接口 2 个、讯息服务接口 4 个、伪距与计时参考 1 个、时间变换参考 1 个、距离测量 1 个、非再生测距应答机 1 个、月球参考帧 1 个、月球参考时间 1 个、月球搜索与救援服务 2 个、空间气象报警服务 1 个、用户发起请求服务 1 个、服务供应商—用户接口总体要求 1 个、服务供应商—用户月球表面链路层接口 3 个、服务供应商—用户邻近空间链路层服务接口 23 个、邻近空间信号的编码与组帧 5 个、服务供应商—用户直接对地链路层服务接口 5 个、服务供应商交叉链路层接口 2 个、附录 C（详细信号定义 / 增强正向信号结构）1 个以及 LunaNet 和用户信号结构定义、LunaNet 测量方案与参数、LunaNet 详细信息定义、LunaNet 用户定位服务、LunaNet 参考系标准、LunaNet 时统标准、LunaNet 搜索与救援定义、LunaNet 互操作性安全规范等 8 个适用性文件。

### 2. LunaNet 架构的安全性考量

技术企业与任务开拓者办公室在《LunaNet 互操作性规范》中指出，LunaNet 的用户和服务供应商应通过软硬件的不同组合手段，防止未经授权的访问、网络崩溃、信息拦截以及数据损失，从而保护网络中的各种系统、数据及通信路径的保密性、完整性和可利用性。

LunaNet 用户可通过适用于其接收与传输数据的加密与身



份验证机制进行数据保护。所有采取了安防增强措施的用户协议需与《LunaNet 互操作性规范》的通信标准相一致，不应为 LunaNet 造成体系性的改变。

网络层服务，包括但不限于 LunaNet 本级支持的互联网协议和束协议。对于其他数据传输方法，可按照逐案批准方式，通过适当的安防接口加以使用。

LunaNet 中继和节点应采集和传输最新的可用性状态和配置控制情况，从而实现便于解决任一通信异常情况的快速响应能力。

## （二）诺基亚的月球—LTE/4G 通信网络系统

NASA 在 2020 年 10 月向诺基亚公司贝尔实验室签发了一项 1410 万美元的“引爆点”合同，开发和部署一个测试版 LTE/4G 网络系统，以为构建 LunaNet 进行真实月球环境下的前期通信与导航技术验证（见图 8）。

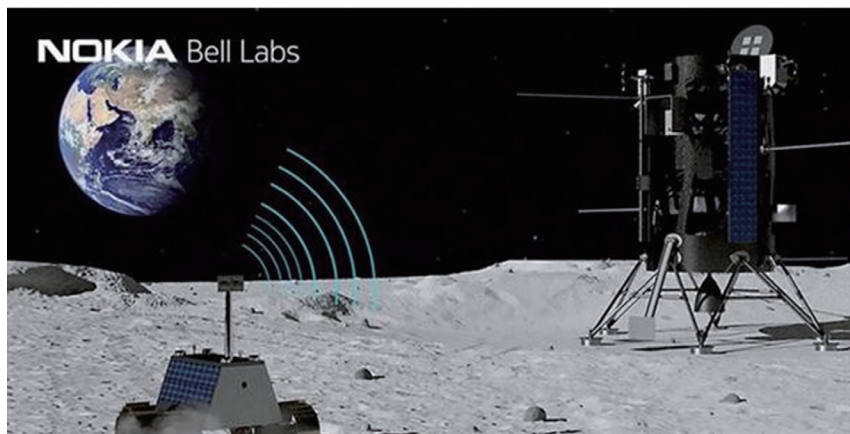


图 8 诺基亚月球 LTE/4G 网络系统概念图

2021 年 7 月，诺基亚与 NASA 完成了 LTE/4G 系统方案的初步设计评审，包括一个 LTE 基站（BTS）、LTE 用户设备（UE）以及着陆器和漫游器的天线。目前诺基亚正在解决 LTE/4G 系

统即将在发射与未来空间部署中面临的一系列问题，包括发射初始冲击、有效载荷分离冲击、月球尘埃、宇宙辐射、 $-100^{\circ}\text{C}$  的月球表面温度、月球真空环境等。

美国初创企业——直觉机器公司参与了诺基亚 LTE/4G 系统的开发，以期为 NASA 研制的 Nova-C 月球着陆器提供保障。该公司计划在 2023 年夏季通过 SpaceX 的猎鹰 9 火箭实施 IM-2 任务，将装有 LTE/4G 基站、小型漫游车、天线以及集成网络设备在内的 Nova-C 发射升空。

2022 年下半年，NASA 格伦研究中心跟随该局的“沙漠研究与技术论证”任务之机，在美国亚利桑那州弗拉格斯塔夫市以北约 64.4 千米处的一个长约 3.2 千米的沙漠硬化熔岩区（曾用于“阿波罗”登月计划的航天员培训点），对月球 LTE 项目进行了为期 2 周的月球环境模拟测试，以期寻找克服地形障碍的方法及建立月球 4G/5G 网络，为“阿尔忒弥斯”计划的载人与机器人任务在月球南极极端环境下运营提供清晰、可靠的通信保障。

## 六、结束语

虽然目前地球上的 4G/5G 网络技术已得到充分和良好的应用，但若将这些技术应用于月球表面的极端、恶劣环境，则将面临更大的挑战。NASA 通过陆续发布不同版本的《LunaNet 互操作性规范》，对 LunaNet 的建设愿景、总体架构与特点、服务范围与接口以及后续需明确与完善的文件进行进一步说明与补充。同时，通过实施“阿尔忒弥斯”计划各项任务，开展各种网络技术的演示验证，加快推进 LunaNet 的建设，以为探



索火星及以远空间奠定基础。NASA 表示，LunaNet 是朝着建立太阳系互联网迈出的重要一步。

未来的深空通信与导航网络将不仅依赖 NASA 的 LunaNet，还可能利用来自其他国家航天局、商业实体、学术界以及其他组织的网络系统，如欧洲航天局的“月光”（Moonlight）计划、日本宇宙航空研究开发机构签发的 2 项月球网络研究合同，采用开放的商业和国际标准实现连通和冗余，进而建立新的科学环境，提高可靠性和可用性，提供更为广泛的覆盖，更高效地保障航天员安全，有助于降低运营成本与复杂度，获得更高的投资回报。

（北京特种工程设计研究院）

## SpaceX 公司改建肯尼迪航天中心 39A 发射工位情况分析

SpaceX 公司拟在肯尼迪航天中心 39A 发射工位增建超重 - 星舰发射台，以实现具有最大成本效益的未来载人 / 载货探索月球和火星。本文研究了 SpaceX 改建 39A 发射工位的实施背景、选建原则，梳理了超重 - 星舰的发射任务规划、39A 发射台的地面设施组成、地面操作流程以及最新进展，分析了 39A 超重 - 星舰发射台的潜在影响。

### 一、项目背景与选建原则

#### （一）项目背景

随着运载火箭可重复使用、着陆回收以及快速发射周转等各项技术的日趋成熟，为了加快新一代超重 - 星舰运输系统在火星殖民计划中的应用，SpaceX 公司在 2019 年向美国联邦航空局（FAA）申请增改建得克萨斯州博卡奇卡发射场地面设施的同时，也向 NASA 提出了在肯尼迪航天中心 39A 发射工位增建超重 - 星舰发射台的申请。

SpaceX 公司的这一决策非常契合 NASA 在政府减少投入、提高成本效益需求下，通过鼓励私营企业强化和扩建联邦政府



性航天基础设施，进一步拓展商业航天业务的战略规划目标。针对 SpaceX 的申请，NASA 按照美国国家环境政策法案（NEPA）的规定要求，于 2019 年 8 月发布“未有重大影响发现”（FONSI）的环境评估声明。SpaceX 公司在 2019 年 9 月获得施工许可证后，启动了超重 - 星舰发射台的地基混凝土浇筑，但之后暂停了施工工程，转而开展博卡奇卡发射场地面设施的增改建工程以及超重 - 星舰的研发与测试。由于美国联邦航空局（FAA）迟迟未发布博卡奇卡发射场的环境评估结果，SpaceX 公司从 2021 年下半年重启了在 39A 发射工位超重 - 星舰发射台的建造工程，并同时提出了在其设在罗伯兹路的运营区增建超重 - 星舰生产、组装与测试设施以及行管大楼的申请。

## （二）选建原则

SpaceX 公司在选择 39A 发射工位的同时，也曾考虑过卡纳维拉尔角太空军站的 40 号发射场（SLC-40）和范登堡太空军基地的 4 号发射场（SLC-4），但最终排除了这两个发射场。主要基于如下原因。

一是 SpaceX 公司需对这两个发射场进行大规模地面设施增改建工程，才能满足超重 - 星舰的生产、试验与发射；

二是 SLC-4 所处的地理位置无法保障超重 - 星舰的发射飞行轨迹；

三是虽曾考虑将 SLC-40 作为着陆场区，但其地面设施及规模无法保障运载器的安全着陆；若将 SLS-4 作为着陆场区，则需耗用较长时间将着陆后的运载器运回 39A 发射工位，由此会影响到超重 - 星舰的后续试验与发射。

SpaceX 公司最终选择 39A 发射工位建造超重 - 星舰发射



台，首先是建造工程产生的环境影响最小；其次是能在综合利用地面设施设备、现有场区建设状态、与人口密集区相隔的距离、无障碍发射方位角以及公众安全最大化等诸多方面达到最佳效果；再者，该发射工位的占地面积可同时保障猎鹰 9/ 重型和超重 - 星舰的任务运营。此外，基于安全着陆、着陆至再发射过程的最短运输距离等因素，选择了 39A 发射工位和卡纳维拉尔角太空军站 13 发射场的 1 号着陆区（LZ-1）作为超重 - 星舰的着陆场区。

## 二、超重-星舰试验发射规划与主要地面设施

### （一）试验与发射规划

基于超重 - 星舰比猎鹰 9/ 重型具备更大的运载能力，SpaceX 公司的终极目标是每年在 39A 发射工位的发射任务数量达到 24 次，包括载人 / 货运月球和火星任务、卫星有效载荷任务、近地轨道载人 / 货运飞行任务等。随着超重 - 星舰发射数量的增加，将同时减少猎鹰 9/ 重型的发射数量，减缓发射节奏，以此提高总体成本效益。

在实施每次发射任务前，SpaceX 公司都会分别对超重级和星舰进行静态点火试验。

### （二）39A 超重 - 星舰发射台

SpaceX 公司在 2014 年底与 NASA 签订了租期 20 年的协议，针对猎鹰 9/ 重型火箭发射需求进行 39A 发射工位适应性增改建，拆除原航天飞机时期的地面设施，建造包括乘员进入臂在内的新地面发射设施与配套设备。2017 年实施猎鹰 9 火箭首次发射后，继续对该发射工位进行适应性改造，以支持猎鹰重型



火箭任务。

SpaceX 公司拟在 39A 发射工位增改建的超重 - 星舰主要地面设施见表 1。

表 1 增改建的 39A 超重 - 星舰发射台地面设施与说明一览表

序号	名称	说明
1	发射台和组装发射塔	位于猎鹰 9 火箭发射台东南面约 100 ~ 200 米；发射台距地高约 30 米，以避免受到火箭排焰影响
2	星舰着陆平台	SpaceX 公司目前仍未确定着陆平台的具体位置，但暂拟建在超重 - 星舰发射台的东南面，直径约 85 米，类似于 LZ-1
3	液体甲烷存储区	位于猎鹰 9 火箭发射台东侧，与猎鹰 9 火箭煤油存储区相邻，布局类似于现有液氧存储区，约 50 × 70 米，容量约 200 万千克。 在该区还设有可存储约 150 万千克、用于冷却甲烷的液氮储罐。 拟利用原航天飞机液氢燃烧塔改建为甲烷燃烧塔。若无法运行，则将在甲烷存储区附近新建一个高约 30 米的燃烧塔
4	水冷却导流器	不同于 39A 猎鹰火箭发射台的导流槽，而与卡纳维拉尔角太空军站 40 号发射场的相似，约 20 × 20 米
5	水喷淋系统	超重 - 星舰的水喷淋系统将独立于现有的猎鹰 9/ 重型火箭水喷淋系统，喷淋水将排入新建的水污染与处理系统
6	置留池与渗滤池	SpaceX 将根据水处理与置留要求，建造容量约 3000 立方米的置留池和渗滤池
7	新建运输道路	从 39A 发射工位入口至超重 - 星舰发射台的 1 条内部运输道路
8	现有地面设施	液氧存储区、氦与氮系统、高功率电气系统以及指挥控制系统等均进行适应性改造。垂直总装厂房东南面的船舶转头水域将保持货物转运点 3 ~ 4.6 米水深和中部约 7.6 米的水深

超重 - 星舰可使用卡纳维拉尔角太空军站 13 号发射场的 1 号着陆区 (LZ-1) 和下靶场的海上回收船。

### （三）SpaceX 公司运营区扩建

为了保障在肯尼迪航天中心 39A 发射工位和卡纳维拉尔角太空军站实施完全本地化和高效率的猎鹰 9/ 重型火箭发射任务，SpaceX 公司于 2018 年 4 月向 NASA 申请在肯尼迪航天中心的罗伯兹路建造一个运营区。NASA 在 2018 年 12 月完成了相应的环境影响评估报告，并发布了“未有重大影响发现”的环境评估声明。

罗伯兹路运营区相对独立于肯尼迪航天中心内的其他地面设施，毗邻 SpaceX 公司火箭水平组装厂房，占地面积约 27 万平方米，最初规划主要设有猎鹰火箭助推器和有效载荷整流罩的处理与存储厂房、安防办公室、发射与着陆控制中心、火箭公园等。

SpaceX 公司针对超重 - 星舰的扩建工程将在现有罗伯兹路运营区的北面，面积约 40.5 万平方米，主要将包括行管大楼、运载器与有效载荷处理设施、研制设施、存储设施、生产设施、运输与接收设施以及一条通往该场区的 2.57 千米长连接道路，主要用于保障该公司在肯尼迪航天中心的超重 - 星舰研制、组装与任务保障。

### （四）最新建造进展

#### 1. 超重 - 星舰发射台

组装发射塔的最后一节已安装完成，意味着该塔正式封顶。

#### 2. 运营区扩建工程

NASA 按照美国国家环境政策法案（NEPA）的规定要求，在 6 月 29 日—7 月 29 日进行为期 30 天的环境影响意见征求，收集来自其他政府机构、组织、利益相关方以及公众的反馈信



息，以此作为编制环境影响评估报告的分析参考依据。

2022年9月发布环境影响评估草案，随后根据机构和公众反馈意见编制最终版的环境影响评估报告。然后发布一项“未有重大影响发现”的环境评估声明，拟在2022年11月编制环境影响声明（EIS）报告。

### 3. 超重 - 星舰首飞时间尚待确定

由于SpaceX公司在39发射工位开展超重 - 星舰试验与发射属于商业航天活动，需从联邦航空局商业航天办公室获得运营与发射许可证。联邦航空局在NASA环境评估声明中，认为未能获得有关超重 - 星舰试验与发射的更多信息以进行充足分析研究，因此没有给出针对潜在发射影响的确定性意见。SpaceX公司计划完成39A超重 - 星舰发射台建造后，向联邦航空局申请发射许可证，而联邦航空局则是将NASA的环境评估声明作为评审SpaceX公司申请的参考。

结合博卡奇卡发射场的环境评估情况，SpaceX公司目前只获得了星舰原型机试验的单独许可证，仍未获得超重级原型机试验的单独许可证，仍需在完成联邦航空局提出的100余项减缓改进措施后并经联邦航空局评估才能获得超重 - 星舰轨道发射的许可，而这一过程目前尚不明确。可以说，超重 - 星舰在肯尼迪航天中心的首飞任务可能仍需较长时日。

## 三、超重-星舰的地面操作流程

### （一）地面操作流程部件生产、组装与运输

SpaceX公司将在得克萨斯州博卡奇卡发射场生产超重 - 星舰的大部分部件，通过驳船运到肯尼迪航天中心垂直总装厂房

东南面的船舶转头水域进行卸载。超重 - 星舰部件在发射场区内的运输类似于猎鹰火箭，即通过移动运输车进行运送。

SpaceX 公司暂时在肯尼迪航天中心的猎鹰火箭组装厂房、移动服务站公园区和履带运输车道路区以及卡纳维拉尔角太空军站的 59 区厂房和有效载荷处理厂房内进行超重 - 星舰的部件组装。待扩建工程结束后，再移至罗伯兹路运营区。

## （二）超重 - 星舰整体组装

SpaceX 公司将在 39A 发射台通过移动式吊车进行超重 - 星舰垂直组装，首先是将超重级安装到发射台座上，然后再将星舰安装到超重级上。目前使用临时性或移动式吊车，未来将建造一个永久性吊车塔架，高度约在 120 ~ 180 米。

## （三）静态点火试验与合练

在实施超重 - 星舰发射前，SpaceX 公司将进行超重 - 星舰的无 / 有推进剂加注合练，以验证整个发射准备状态。在每次发射前，将分别对超重级和星舰进行静态点火试验，以评估猛禽发动机的性能。

## （四）星舰的返回着陆

SpaceX 公司将根据具体任务要求，包括发射轨迹、天气状况、有效载荷技术要求等，确定星舰的着陆点，如肯尼迪航天中心的 39A 发射工位、卡纳维拉尔角太空站的 LZ-1 或距海岸不小于约 9.26 千米的下靶场回收船（作为应急着陆点）。

星舰将以垂直姿态进行着陆，然后进入自动保护程序，排出箭体内部余留的液氧或甲烷。通过移动式液压起降机将星舰提升并放置到运输车上，然后将其运回 39A 发射台或处理厂房进行整修。

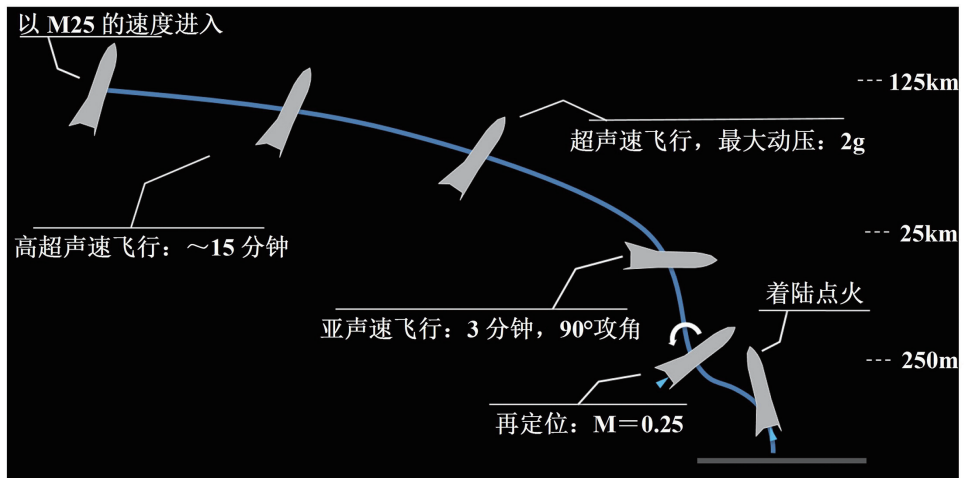
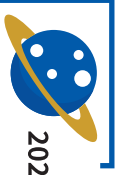


图 1 星舰再入与着陆示意图

### （五）超重级的返回着陆

超重级将返回着陆在距海岸不小于约 37 千米的大西洋下靶场回收船上，通过驳船运到肯尼迪航天中心垂直总装厂房东南面的船舶转头水域进行卸载，然后再运送到相应的处理厂房进行整修。

如果在下降过程中出现异常情况，超重级将直接降落到海面上。SpaceX 公司目前正在研发能使超重级降落在陆地上的技术。

在超重 - 星舰日趋成熟并实施正式发射前，SpaceX 公司需逐步开展针对上述着陆点的不确定性飞行安全风险分析评估，主要涉及对肯尼迪航天中心和卡纳维拉尔角太空军站的各项任务、地面设施、人员及运营情况的影响。

### （六）试验、发射与返回期间的限制进入

SpaceX 公司将按照美国太空军靶场安全办公室和美国联邦航空局针对商业航天发射活动进行风险评估的要求，在超重 - 星舰静态点火试验、发射与返回着陆期间，对 39A 发射台及周



边相关区域实施临时性限制进入措施。

## 四、分析总结

### （一）39A 发射台将成为超重 - 星舰的主要发射设施

虽然联邦航空局在今年 6 月 13 日发布了最终的博卡奇卡发射场环境评估报告，消除了主要监管障碍，但基于对超重 - 星舰试验与发射次数限制在每年 5 次，意味着博卡奇卡发射场可能只支持超重 - 星舰的试验飞行阶段任务。

博卡奇卡发射场距肯尼迪航天中心和卡纳维拉尔角太空军站只相隔一个直线距离约 1500 千米的墨西哥湾，其垂直发射区北面的伊莎贝尔港可能是未来海运的起点。从长远来看，待超重 - 星舰技术成熟后，SpaceX 公司更倾向于将肯尼迪航天中心作为超重 - 星舰的主要发射场。

### （二）NASA 担忧新型液体甲烷燃料影响载人发射任务

由于超重 - 星舰使用液体甲烷作为推进剂，包括 NASA、联邦航空局在内的美国政府部门和航天业界目前对甲烷的安全性尚存疑虑。超重 - 星舰发射台距离猎鹰火箭发射台不到 200 米，而猎鹰火箭发射台是 NASA 目前通过 SpaceX 龙飞船实施国际空间站载人飞行任务的唯一发射设施。若超重 - 星舰发生爆炸，将对美国历经十年恢复的本土载人飞行能力产生极大破坏。NASA 今年向 SpaceX 公司提出了警告，SpaceX 公司对此曾提议在卡纳维拉尔角太空军站的 40 号发射场再建造一个超重 - 星舰发射台，以作为规避 39A 发射工位无法使用风险的载人发射备份，但目前双方仍在商讨。



### （三）SpaceX 公司的发射场体系配置可进一步提升发射能力

随着 39A 超重 - 星舰发射台的建成，SpaceX 公司在美国本土从东、中至西构建了完善的发射场体系配置，即佛罗里达州肯尼迪航天中心 39A 发射工位、处于同一位置范围的卡纳维拉尔角太空军站 40 号发射场、得克萨斯州博卡奇卡发射场和麦格雷戈试验场以及近海岸的两座拟改建为超重 - 星舰发射平台和着陆平台的超深水半潜式石油钻井平台、加利福尼亚州范登堡太空军基地 4 号发射场西工位。这充分体现了 SpaceX 公司发射场选址原则中的多样性与差异性要求，能并行开展互不影响的猎鹰系列和超重 - 星舰两个项目，以保证其发射活动的规模化与灵活高效实施，进一步提高猎鹰系列和超重 - 星舰的发射能力。

（北京特种工程设计研究院）

The background is a deep blue gradient with stylized celestial bodies. A large planet with a ring system is in the upper right, and two smaller planets with rings are in the lower left and bottom right. The text is centered in a white frame.

**附 录 篇**

---

**APPENDIX**



## 大事记

- 1.1月1日，美国国家航空航天局（NASA）网站称，白宫发布指令，要求NASA让国际空间站继续运行到2030年，从而使这座轨道前哨站的寿命再次延长6年。按照拜登政府的这项指示，NASA局长纳尔逊要与欧洲航天局（ESA）、加拿大航天局(CSA)、日本宇宙航空研究开发机构（JAXA）和俄罗斯国家航天集团公司协商，让国际空间站能够在余下的时间里继续使用。
- 2.1月6日，欧洲咨询公司发布最新版的《2021年政府航天计划》市场报告。报告的要点是全球政府航天投资仍在继续，甚至还有所提速，这是受到了两大因素的推动：一是主要航天国家雄心勃勃的空间探测计划，二是国家间对抗正在推动空间军事化。2021年航天部门得到了总额超过920亿美元的政府投资，比2020年增长了8%。民用航天预算仍高于国防航天计划，共计530亿美元，占政府航天开支总额的58%。
- 3.1月11日，NASA航空航天安全顾问委员会发布了2021年度报告，报告共62页，分为引言与概述、问题与机会说明、战略构想与指导原则、NASA监管、跨NASA企业的项目管理、国

会措施、2022年工作展望、结论等8个章节。

4.1月11日，NASA总检察长办公室发布报告，警告NASA航天员队伍将不能满足未来的航天任务。2000年NASA拥有150名航天员，而目前41名现役航天员不能为国际空间站和“阿尔忒弥斯”任务提供充分支持。报告指出，导致航天员短缺的一个因素是NASA在评估航天员规模时采用了15%的“安全系数”来应对意外损耗、医学问题和其他因素。报告还强调，“阿尔忒弥斯”任务对航天员的技能要求可能会有变化。

5.1月17日，北大西洋公约组织发布“总体太空政策”，阐述了太空领域的基本方面及其在维护北约安全与繁荣方面的重要性，详细概述了与太空有关的威胁环境，指出“潜在对手正在开发、测试和操作复杂的反太空技术，可能会威胁到北约进入太空与自由运行的能力”。

6.1月19日，国际空间站第66乘组指令长安东·什卡普列洛夫和飞行工程师彼得·杜布罗夫进行7小时舱外活动，为船坞号节点舱安装了扶手、交会天线、电视摄像机等，接通了船坞号和科学号之间的电缆，以便将来拍摄航天器与船坞号的对接情况。

7.1月24日，经过150万千米的长途旅行，NASA詹姆斯·韦伯空间望远镜抵达了其最终目的地，即日地第二拉格朗日点（L2），将开始围绕该点做轨道运行。1月4日和8日，该太空望远镜的五层巨型遮阳罩和主镜面分别完成了展开操作。詹姆斯·韦伯空间望远镜耗资100亿美元，2021年12月25日发射升空。

8.1月26日，以色列航天局与NASA签署协议，正式成为美国



主导的“阿尔忒弥斯”任务的第15个合作国。其他14个国家分别是澳大利亚、巴西、加拿大、意大利、日本、卢森堡、新西兰、波兰、墨西哥、韩国、乌克兰、阿联酋、英国和美国。

9.2月7日，俄罗斯国家航天集团公布了一项单轨方案，让执行国际空间站任务的飞船在轨飞行一圈就同空间站对接，这样人员和物资在发射两小时后就可抵达空间站。俄方称某些试验在去年的进步MS-17货运任务中就已开始，更多测试将在今年6月的进步MS-20任务下进行，采用单轨方案的国际空间站飞行任务将从2023年起实施。

10.2月7日，俄罗斯国家航天集团首次展示了用于太空作业的新一代拟人太空机器人（Teledroid），官网发布了其照片和视频以及3D模型。Teledroid计划于2024年前往国际空间站，它在空间站参与的试验可为制造月球和近月轨道上作业的机器人提供基础。

11.2月10日，NASA宣布把“多缝太阳探测器”（MUSE）和“太阳蜂群”（HelioSwarm）作为其下两项太阳物理学“中级探险者”（MIDEX）任务。MUSE探测器在极紫外波长上对太阳进行观测，以更好地认识日冕；“太阳蜂群”将测量太阳风湍流，“太阳蜂群”任务将由NASA艾姆斯研究中心管理，预计费用为2.5亿美元。

12.2月15日，俄罗斯联盟2-1a型运载火箭在拜科努尔发射场发射了进步MS-19货运飞船。飞船上载有约2.5吨食品、燃料和其他补给物资，于发射两天后同国际空间站对接。飞船上还搭载6颗立方体卫星，将由航天员出舱活动时部署



太空。

- 13.2月15日，欧盟委员会发布了一份联合通报，推出一项新的空间交通管理计划，通报概括阐述了欧盟的空间交管思路，呼吁提升欧盟跟踪物体以及帮助制定空间责任与安全运行国际规则的能力。
- 14.2月15日，日本政府公布2022财年航天预算总额为5219亿日元（约合45.4亿美元），其中，预算投入最多的部门为文部科学省，为2212亿日元（约合19.2亿美元），用于实施载人、深空探测、科学卫星、技术试验卫星等项目以及研制日本新型主力火箭H-3等。预算总额比2021财年预算增加16%，这是日本政府连续两年大幅增加该预算。
- 15.2月15日，NASA启动全新的“引爆点机会”和“协作机会声明”活动，提供2亿美元资金，以支持商业航天能力发展，促进空间探测技术成熟化。“引爆点机会”和“协作机会声明”活动主要针对月球和近地空间的空间基础设施与能力的技术研发。
- 16.2月16日，为期一天的“航天峰会”在法国图卢兹召开，来自ESA和欧盟成员国的代表在会上讨论了未来欧洲航天计划。会议产生一项决议，ESA将成立一个“高级别咨询小组”来研究论证欧洲载人航天计划的选项，选项包括将在下个年代末之前开展的一项欧洲火星任务或国际空间站项目。
- 17.2月20日，诺·格公司的“安塔瑞斯”230+型运载火箭在沃洛普斯发射场发射了一艘天鹅座货运飞船，任务代号“诺格”（NG）17，又称天鹅座CRS-17，执行NASA商业补



给服务计划下国际空间站货运补给任务。飞船于21日与空间站对接。此次发射的飞船上共载有近3800千克补给物资和设备，包括6颗立方体卫星。

- 18.2月24日，美国和欧盟因俄乌冲突开始对俄罗斯航天工业实施制裁，随后双方均采取了一系列行动举措。2月25日，NASA表示，将继续与包括俄罗斯在内的国际伙伴合作，以确保国际空间站安全运营。预计美国的制裁措施不会影响俄美在民用空间领域的合作。此前，俄方表示若美国制裁触及俄美航天合作，则国际空间站将面临不受控地脱离轨道的危险局面。
- 19.2月28日，NASA从空间探索技术公司（SpaceX）订购了3次国际空间站商业载人运输任务，总价超过7.5亿美元。
- 20.3月1日，罗马尼亚航天局与NASA签署协议，正式成为美国主导的“阿尔忒弥斯”任务的第16个合作国，也是继意大利、波兰、卢森堡和英国之后签署该协议的第5个ESA成员国。
- 21.3月1日，美国会众议院科学、航天与技术委员会下属的航天与航空分委会举行“阿尔忒弥斯”计划的专项听证会，重点关注“阿尔忒弥斯”计划的最新进展、管理方式、经费、存在的问题等内容。在听证会上，NASA监察长保罗·马丁表示，考虑到开发和全面测试载人着陆系统（HLS）与下一代航天服所需的时间，“阿尔忒弥斯-3”载人重返月球至少将推迟到2026年进行。
- 22.3月4日，JAXA按计划关闭了航天员候选人申报窗口。此次共有1563名申请人完成报名，其中20%为女性。此次航天

员招聘于2021年12月20日开始，是JAXA时隔13年再次启动航天员招聘计划，招聘的航天员将有望参与国际空间站和“阿尔忒弥斯”计划。本次报名航天员的人数和女性比例较2008年航天员招聘均有所上升。最终结果将于2023年3月前后公布。

23.3月7日，NASA宣布，巴林已与美国签署协议，正式成为美国主导的“阿尔忒弥斯”任务的第17个合作国。

24.3月9日，美国会通过《2022财年综合拨款法》，为NASA 2022财年拨款240.41亿美元，比2021财年增加7.7亿美元，但比政府申请的少7.6亿美元。

25.3月12日，ISRO在萨迪什·达万航天中心成功完成HS200固体火箭助推器发动机的135秒全时长静态点火试验，意味着其载人航天计划向前迈进了重要一步。HS200是印度三级型GSLVMkIII火箭S200固体助推器的载人版，S200重达200吨，可产生500吨峰值推力，燃料是偏二甲肼和四氧化二氮。

26.3月18日，俄罗斯联盟2-1a型运载火箭在哈萨克斯坦境内的拜科努尔航天发射场发射了联盟MS-21载人飞船。飞船采用超快速两轨对接模式，于起飞后约3小时同国际空间站实现了对接。飞船搭载了3名俄罗斯航天员，站上机组人数增加到10人。

27.3月23日，美国航天员拉贾·查理和德国航天员马蒂亚斯·毛雷尔进行了一次出舱活动，历时6个半小时的出舱活动中两名航天员完成一系列任务，包括在散热器光束阀组件上安装软管，在哥伦布舱上安装电源和数据电缆，以及



更换空间站桁上的外部摄像头。

- 28.3月28日，白宫管理与预算办公室公布了NASA的2023财年预算，总金额为259.74亿美元，比NASA 2022财年综合开支法案下实际拿到的240.41亿美元多19.3亿美元，增幅8%，其中，载人航天领域相关项目的预算总额达到117亿美元。
- 29.3月28日，新加坡与美国签署《阿尔忒弥斯协定》，正式成为美国主导的“阿尔忒弥斯”任务的第18个合作国。
- 30.3月30日，俄罗斯航天员安东·什卡普列罗夫、彼得·杜布罗夫与NASA航天员马克·范德海搭乘联盟MS-19载人飞船返回舱脱离国际空间站，顺利着陆在哈萨克斯坦杰兹卡兹甘东南区域。俄罗斯航天员杜布罗夫和NASA航天员范德海此次在轨飞行355天，创造了航天员在国际空间站单次飞行停留时间的纪录。任务期间，两名航天员迎来了国际空间站两个新的模块舱——科学号多功能实验舱和船坞号节点舱，共完成了4次出舱活动。
- 31.3月31日，蓝色起源公司在西得克萨斯发射场进行了新谢帕德亚轨道飞行器的第4次载人飞行，任务代号为NS-20。本次飞行再次6人乘坐，乘员舱在动力飞行段结束后同助推器分离，飞到了约107千米的最大高度，并在起飞约10分钟后借助降落伞实现软着陆。助推器部分则早约3分钟在附近平台上实施了有动力着陆。
- 32.4月4日，白宫科技政策办公室发布《太空服务、组装与制造国家战略》，概述美国将如何支持和促进政府、学术界和商业界的“太空服务、组装与制造”（ISAM）能力发展，提供了在美国《太空优先框架》下推进ISAM的战略目

标，以支持航天器补给、维护、在轨制造等技术与服务。战略中的6个目标分别为：推进ISAM研发；优先扩展ISAM基础设施；加速发展新兴的ISAM商业能力；促进国际协作；优先考虑环境可持续性；激励未来的太空劳动力。

33.4月8日，美国公理太空公司在佛罗里达州肯尼迪航天中心39A发射台，利用猎鹰9运载火箭成功发射载人龙飞船，执行首次国际空间站私人航天员任务，这是该型飞船第6次执行载人飞行任务。载人龙飞船经过约21小时的飞行后，于4月9日与国际空间站和谐号节点舱对接。飞船搭载的4名航天员除指令长外，其余3人均为首次执行载人航天任务，他们将以私人航天员身份在轨开展为期8天的短期考察任务。

34.4月15日，JAXA启用了国际空间站希望号实验舱外部运管系统。该系统允许用户从外部安全网络（如办公室和实验室等网络）连接并使用舱外平台上的实验设备，使用户可以更便捷和迅速地进行实验操作并扩展实验舱的应用面积。

35.4月18日，两名俄罗斯航天员奥列格·阿特米耶夫和丹尼斯·马特维耶夫开启了一次出舱活动，耗时6小时38分钟，此次出舱完成了欧洲机械臂在科学号舱上的安装准备工作，包括安装、连接和测试机械臂的外部控制面板以及安装3个扶手等任务。

36.4月19日，美国国家科学院发布行星科学十年调研报告，提出了未来十年推动行星科学、天体生物学和行星防御等方面的重点工作，报告支持继续开展把样品从火星取回的工作，同时建议NASA寻求对天王星和土星的一颗冰卫星进行



探测。

37.4月23日，进步MS-18货船提升国际空间站高度，避开太空垃圾。货船的推进系统运行了623秒，国际空间站的飞行高度增加了1.8千米。调整轨道后，国际空间站高度最低为413.91千米，最高为437.54千米。国际空间站轨道平均每年调整11次。自1998年以来，已经调整过318次，其中169次使用进步号货运飞船发动机，39次使用星辰号服务舱。在美国航天飞机和欧洲ATV货船停止飞行后，俄罗斯发动机成为保持国际空间站轨道高度的唯一常规手段。

38.4月27日，SpaceX公司的载人龙飞船搭乘猎鹰9-1.2型火箭从卡纳维拉尔角39A发射台发射升空，执行NASA商业载人运输计划下的第4次飞行任务。飞船上乘有4人，分别是NASA航天员凯尔·林格伦（指令长）、罗伯特·海因斯（飞行员）和杰西卡·沃特金斯（女，任务专家）以及ESA意大利航天员萨曼莎·克里斯托弗雷蒂（女，任务专家）。他们将在站上驻留约5个月。飞船于当晚同空间站自主对接。本次飞行采用的是一艘全新的飞船，命名为自由号，载人龙飞船数量增加到4艘，其他3艘是奋进号、坚韧号和耐力号。

39.4月28日，两名俄罗斯航天员奥列格·阿特米耶夫和丹尼斯·马特维耶夫完成了一次出舱活动，出舱活动共持续7小时42分钟。两名航天员去除了部分隔热毯，这是2021年7月随科学号多用途实验舱发射时用于保护机械臂的；他们还将弯曲机械臂的关节释放发射约束，并监控手臂使用两个抓斗固定装置的能力。



- 40.5月10日，哥伦比亚副总统兼外交部长玛尔塔·吕西亚·拉米雷斯签署《阿尔忒弥斯协定》，成为继巴西和墨西哥之后第三个签署《阿尔忒弥斯协定》的拉美国家，并成为美国主导的“阿尔忒弥斯”任务的第19个合作国。
- 41.5月19日，公理太空公司和意大利政府部门签署了一份谅解备忘录，进一步加强现有合作，包括在载人商业空间站方面进行合作。这是意大利政府和一家私人国际公司之间的首次合作。
- 42.5月20日，NASA与波音公司从卡纳维拉尔角太空军站的41号发射场，通过联合发射联盟（ULA）的宇宙神5火箭将无人星际客船发射升空，执行推迟一年多的第二次轨道飞行试验（OFT-2）任务。飞船在发射后的31分钟实施了一次轨道射入燃烧，发射后的24小时与国际空间站和谐舱成功交会对接；5月26日，飞船与国际空间站分离返回地球。波音公司和NASA将审查所有数据，并决定何时进行载人试飞任务，最终使NASA拥有两种独立的载人飞船往返低地球轨道。
- 43.5月24日，NASA针对载人龙飞船在Axiom-1任务期间出现重大问题发布声明，明确否认了龙飞船在任务中存在任何推进剂泄漏、隔热瓦污染或过度磨损，并表示龙飞船近期返回任务的数据是正常的，系统按设计运行，没有争议。
- 44.6月1日，NASA称，计划在现有商业乘员运输能力（CCtCap）协议下扩展与SpaceX公司的合同，向其增购5项国际空间站载人发射任务，确保该国具备到2030年前执行国际空间站任务的冗余和备份能力，并表示这一举措是



确保长期进入空间站所必需的。

45.6月8日，法国国家研究中心主席菲利普·巴普蒂斯特在华盛顿签署了《阿尔忒弥斯协定》，法国成为美国主导的“阿尔忒弥斯”任务的第20个合作国。

46.6月13日，美国联邦航空局（FAA）宣布完成了长达数月的SpaceX博卡奇卡星舰基地环境评审，并发布了评估报告，认为超重-星舰运载系统的地面测试与入轨发射对周围环境的影响并不大，这意味着扫除了超重-星舰运载系统入轨发射面临的主要障碍。

47.6月16日，俄罗斯进步MS-20货运飞船的发动机启动，工作时长275秒，牵引国际空间站进行机动飞行，平均高度上升了890米，以避免太空垃圾。

48.6月25日，美国诺斯罗普-格鲁曼公司的天鹅座货运飞船完成了国际空间站的首次轨道提升。天鹅座货运飞船的发动机工作了5分零1秒，使国际空间站的近地点提升了800米，远地点提升了160米。

49.6月28日，全球首次地月空间立方星任务——“地月自主定位系统技术操作与导航实验”（CAPSTONE）搭载火箭实验室的电子运载火箭发射。CAPSTONE将作为“门户”地月空间站运行的探路先锋，对“近直线晕轨道”的稳定性进行模拟验证，帮助降低未来地月空间站的运行风险，CAPSTONE还将演示验证不依赖地面跟踪的新型导航技术。该任务不仅将为“门户”地月空间站的运行铺平道路，还将为立方星开展空间探索奠定基础。

50.7月4日，ESA发布了名为“新世界2030+”的探索路线图，

为确保欧洲在未来繁荣的太空探索中发挥主导作用奠定基础。路线图包括三个目标：一是为国际空间站退役后欧洲在近地轨道上的持续存在创造新的机会；二是2030年前实现首位欧洲航天员登月；三是准备欧洲“地平线”计划，即参与首次载人火星任务。

51.7月14日，沙特阿拉伯王国与美国签署了《阿尔忒弥斯协定》，成为美国主导的“阿尔忒弥斯”任务的第21个合作国。

52.7月14日，俄罗斯国家航天集团与NASA正式签署为国际空间站轮值交叉运送航天员的合作协议。根据签署协议，俄罗斯航天员可以乘坐美国的飞船，而美国航天员也可以乘坐俄罗斯的载人飞船飞往国际空间站执行任务。

53.7月15日，俄罗斯总统弗拉基米尔·普京解除了罗戈津的职务，俄联邦政府原负责国防工业和航天工业的副总理尤里·鲍里索夫被任命为俄罗斯国家航天集团的新总裁。

54.7月15日，SpaceX公司的货运龙飞船搭乘猎鹰9火箭升空，执行第25次国际空间站商业补给任务。飞船为国际空间站带去了约2630千克的食物、设备和科研物资，于次日与国际空间站顺利对接。

55.7月21日，俄罗斯航天员奥列格·阿特米耶夫和欧洲航天员萨曼莎·克里斯托弗雷蒂完成了一项舱外活动，耗时7小时5分钟。两位航天员部署了10颗纳米卫星，在科学舱上的机械臂附近安装平台和工作站适配器硬件及机械臂外部控制面板，更换机械臂摄像单元的防护窗等。

56.7月22日，加加林航天员训练中心和白俄罗斯和平基金会签



署了一项合作协议，旨在通过与航天员、设计师和科学家的交流，在年轻人之间普及载人航天。

57.7月28日，2022年新版《NASA授权法》获美国国会通过。

该法案的亮点如下：美国将继续运行国际空间站直至2030年；美国将专注于“阿尔忒弥斯”载人重返月球计划并最终实现前往火星的深空探索目标；推进空间核电源与核推进计划；发射用于观测危险小行星的太空望远镜。

58.8月4日，蓝源公司完成第6次载人航天飞行——新谢帕德号飞船把6名游客送至亚轨道空间后返回地面。飞船上升至约100千米高度，飞行持续10多分钟。

59.8月5日，韩国宣布，首个月球轨道飞行器“达努里”（Danuri）成功发射，将开展为期一年的月球观测任务，其有效载荷包括一个新的抗干扰网络，可用于从太空发送数据。韩国成为世界上第七个向月球发射无人探测器的国家。

60.8月14日，NASA发布2022年版《国际空间站造福人类》报告。本次更新版包含了微重力实验室的诸多优势，重点介绍了造福社会的突破性发现、为未来航天探索测试的技术、新的科学突破以及对不断增长的低地球轨道经济的贡献。

61.8月17日，俄罗斯两名航天员奥列格·阿特米耶夫和丹尼斯·马特维耶夫实施了一次出舱活动，将两台肘式摄像机CLU-3和CLU-4固定在科学号舱上，还要断开EMMI机械臂舱外控制器，将其移到科学号舱上的一个点位，并对控制器的工作性能进行检测。根据计划安排，本次出舱活动

应持续6小时44分钟，但因航天服电池问题提前结束出舱活动。

62.8月19日，NASA公布了2026年的“阿尔忒弥斯-3”首次载人登月任务确定的13个候选着陆区，每个着陆区范围约为 $15 \times 15$ 千米，并设有10个以上的潜在着陆点（包括作为月球着陆器的SpaceX星舰系统的着陆点），13个着陆区全部靠近月球南极，半径约为100米。

63.9月2日，航天员奥列格·阿特米耶夫和丹尼斯·马特维耶夫实施了时长7小时47分钟的出舱活动。这是国际空间站的第253次出舱活动，是阿尔捷米耶夫的第8次、马特维耶夫的第4次出舱活动。航天员在科学号多功能实验舱外部安装了用于固定有效载荷的、有适配器的作业平台。此外，他们还将机械臂的控制面板移至基础飞行点上，之后检查了面板的工作性能。

64.9月12日，蓝源公司在西得克萨斯一号发射场利用新谢帕德系统实施无人亚轨道飞行，该发射任务升空一分钟后出现问题，逃逸系统发动机随即启动，太空舱利用降落伞安全着陆，火箭助推器坠毁。负责为美国商业航天飞行颁发许可证的美国联邦航空管理局（FAA）表示，将采用对事故调查的标准方法对本次事件进行调查，确定与事件有关的所有系统、流程或程序是否影响公共安全。

65.9月18日，第73届国际宇航大会在法国巴黎举行，会期5天，会议主题“人人享有空间”。会议将2022年度“世界航天奖”授予中国天问一号火星探测团队。

66.9月21日，俄罗斯联盟2.1a运载火箭搭载联盟MS-22载人飞



船从拜科努尔航天发射场顺利升空进入预定轨道。飞船搭载3名航天员，分别是俄罗斯谢尔盖·瓦列耶维奇·普罗科皮耶夫、德米特里·亚历山德罗维奇·佩特林和美国弗朗西斯科·卢比奥。飞船经过约3小时17分钟飞行，于22日成功与国际空间站破晓号实验舱对接。

67.9月29日，国际空间站第67考察组3名俄罗斯航天员乘坐联盟MS-21载人飞船返回舱在哈萨克斯坦境内顺利着陆，分别是阿特米耶夫、丹尼斯·马特维耶夫和谢尔盖·科尔萨科夫。飞船从离站到着陆只用了3小时23分。

68.10月5日，SpaceX公司的载人龙飞船搭乘猎鹰9运载火箭从肯尼迪航天中心第39A发射台发射升空，执行第5次国际空间站商业乘员运输服务。飞船搭载了4名航天员，分别为美国航天员妮可·奥纳普·曼、乔希·卡萨达、日本航天员若田光一和俄罗斯航天员安娜·基金娜。载人龙飞船经过约29小时的飞行后，于两日后与国际空间站和谐号节点舱对接。

69.10月14日，国际空间站Crew-4任务完成，载人龙飞船载有4名航天员安全返回，航天员分别是美国航天员鲍勃·海因斯、凯尔·林格伦和杰西卡·沃特金斯以及欧洲航天员萨曼莎·克里斯托弗雷蒂。载人龙飞船“自由号”在佛罗里达州杰克逊维尔以东的大西洋中坠落，此时距离离开国际空间站仅不到5小时，创造了载人龙从国际空间站最快返回的纪录。

70.10月26日，俄罗斯进步MS-21飞船搭乘联盟-2.1a运载火箭飞赴国际空间站，两天后与国际空间站顺利对接，为国际



空间站运输超过2520千克货物，包括乘员补给、燃料、设备等。

71.11月7日，诺-格公司的天鹅座飞船搭乘升级版安塔瑞斯230+运载火箭飞赴国际空间站，执行第二阶段商业补给服务合同的第7次任务，这是天鹅座飞船的第18次国际空间站补给任务。此次任务中，天鹅座飞船为国际空间站运送了约3707千克有效载荷，包括乘员补给、研究设备及出舱装备等。11月9日，天鹅座飞船成功与国际空间站团结号节点舱对接。本次任务中，飞船的1个帆板未能展开。

72.11月16日，美国在肯尼迪航天中心成功发射“阿尔忒弥斯-1”任务。“阿尔忒弥斯-1”任务旨在通过真实环境中的无人试验，完成SLS火箭发射，猎户座飞船深空环境运行、高速再入、溅落回收等全流程任务，对火箭、飞船、地面系统等各个系统进行综合测试和认证，为“阿尔忒弥斯-2”载人飞行试验任务，以及后续载人月球/深空探测奠定基础。猎户座飞船乘员舱经过25.5天的无人飞行及绕月飞行后，12月12日返回溅落太平洋并完成回收。

73.11月16日，国际空间站上的NASA航天员乔什·卡萨达和弗兰克·卢比奥完成了出舱活动，本次出舱活动历时7小时11分钟，航天员在空间站桁架组件的右舷安装一个安装支架，便于安装一对国际空间站展开式太阳能阵列。

74.11月17日，美国白宫科技政策办公室发布了美国首份《国家地月科学与技术战略》，该战略直接支持美政府2021年公布的“美国太空优先框架”——美国将“推进一个强大的地月生态系统”，旨在指导美国政府推进地月空间的科



学、探索和经济等领域的行动，以确保美国在太空探索、太空科学和太空可持续性等领域的领导地位。

75.11月17日，NASA和日本政府宣布，日本将进一步为月球“门户”空间站提供资金，“门户”是NASA“阿尔忒弥斯”长期月球探索任务的关键组成部分。日本将为“门户”的国际居住舱提供环控生保系统、热控系统和照相机，为多个舱段提供电池，此外，日本还将提供JAXA HTV-XG航天器，作为月球“门户”的货运飞船；NASA将为JAXA航天员提供一个机会，在未来的“阿尔忒弥斯”任务中担任月球“门户”的乘员。这是美国首次承诺让日本航天员搭乘SLS火箭和猎户座航天器飞往月球。

76.11月17日，俄罗斯两名航天员谢尔盖·普罗科皮耶夫和德米特里·佩特林在国际空间站上实施了出舱活动。这次任务是将空间试验所需的散热器用机械臂转移并安装在科学号舱上，整个出舱活动约为6小时40分钟。

77.11月22日，ESA举行成员国部长级会议，22个成员国的部长们决定未来三年的预算为169亿欧元（175亿美元），比上次（2019年）部长级会议上通过的145亿欧元增加了17%，创下新的预算纪录。

78.11月23日，ESA宣布选拔了5名新的职业航天员，以及世界首位残障航天员和其他11名后备航天员。这是欧洲航天局自2009年以来首次组建新的航天员队伍。

79.11月28日，韩国公布未来太空经济路线图，指明今后20多年建设航天强国的政策愿景。韩国总统尹锡悦宣布10年后的2032年将实现登月并开采月球资源，到韩国解放100周年

的2045年自主实现火星登陆。

80.11月30日，进步MS-20货运飞船发动机启动，提升国际空间站的轨道高度，国际空间站轨道的平均高度提升了2.1千米，距地球表面417.6千米。



## 美国国家航空航天局 2022 年战略计划

美国国家航空航天局 (NASA) 通过探索和发现激励世界，引领有利于美国和全人类的科技进步，将有助于推动国民经济的发展。随着气候变化威胁的增加，NASA 研究和理解地球的努力具有至关重要的全球意义。此外，NASA 与学术机构的合作支持强大的科学、技术、工程和数学 (STEM) 人才队伍，并促进科学和技术领域的多样性、公平性和包容性。

### 一、愿景和使命

探索宇宙的秘密，造福所有人类。NASA 致力于探索天空和太空中的未知事物，为人类的利益进行创新，并通过发现启发世界。NASA 的五大核心价值观如表 1 所示。

表 1 NASA 的核心价值观

NASA 现有的“安全、诚信、包容、团队合作和卓越”的核心价值观规范了整个机构各个层面的个人和组织行为	
<b>安全</b> NASA 对安全的持续关注是我们成功完成任务的基石	<b>诚信</b> NASA 致力于维护一个基于诚实、道德行为、尊重和坦诚的信任环境

续 表

<b>包容</b>	<b>团队合作</b>
NASA 致力于多元化、包容和公平的文化，让所有员工都感到受欢迎、受尊重且有参与感	NASA 为实现任务成功而拥有的最强大的资产是一个跨学科人才团队，该团队由来自 NASA 所有中心的多样化人才组成
<b>卓越</b>	
为了在工程、研究、运营和管理方面达到最高标准，以支持任务的成功，NASA 致力于培养一种组织文化，在这种文化中，个人充分利用他们的时间、才能和机会，在执行所有机构的工作中追求卓越	

## 二、战略目标

NASA 已经确定了四个战略目标，这些目标将增强履行使命的能力，有助于巩固保持美国在世界太空、航空、气候研究和创新领域的领导地位，同时推动民用航天领域的经济增长。

- 发现指的是 NASA 科学发现的持久目标
- 探索指的是 NASA 扩大人类在太空活动范围的努力
- 创新指的是 NASA 推广未来技术的广泛任务
- 进步指的是 NASA 履行使命所需的能力、人力资源和设施

表 2 战略目标和战略目的

主题	战略目标	战略目的
发现	探索最新科学发现，拓宽人类知识视野	了解地球系统和它的气候
		了解太阳、太阳系及宇宙
		确保所有人都能获得 NASA 的科学数据，并让这些数据为社会带来切实利益
探索	在月球和火星上留下更多人类探索的足迹，以实现可持续的长期探索、开发和利用活动	探测月球表面和深空
		发展以商业市场为依托的载人航天经济
		发展相关能力和开展相关研究以保护探索者
		加强太空访问和服务

续 表

主题	战略目标	战略目的
创新	促进经济增长，推动技术创新，帮助国家更好地应对各种挑战	创新和推进变革性太空技术
		推动高效和可持续的航空发展
进步	不断加强能力建设和运营管理，确保当前和未来各项任务的圆满成功	吸引和培养一支才华横溢、多元化的人才队伍
		进行任务支援能力转型，以适应未来的航空航天时代
		培养下一代太空探索者

### 三、战略目标1：探索最新科学发现，拓宽人类知识视野

为了美国和全人类的利益而进行科学发现和探索是 NASA 永恒不变的目标。NASA 始终致力于寻求发现宇宙的秘密，寻找其他地方的生命，保护和改善地球和太空的生命。要找到这些深刻科学问题的答案，就需要支持国家在科学和探索方面的优先事项，增加跨学科科学的新机会，并扩大科学计划的社会效益。它还需要在科学优先事项上不断取得进展，包括国家科学院、工程院和医学院通过十年调查确定的优先事项。

#### （一）了解地球系统和气候

将地球系统知识作为一个完整的系统来进行整合和推进，以应对环境变化的挑战，增强国家实力，改善所有人的生活。领导机构是科学任务部。

##### 1. 研究领域

NASA 地球科学项目探索快速变化的世界，遵循跨学科的地球系统方法，研究大气、海洋、陆地和冰系统之间的相互作用。以国家科学院《2017—2027 年地球科学和空间应用十年期调查的建议》为指引，并以政府范围内的优先事项为依据，NASA





地球科学正在开发一系列观测系统，这些系统将在以下重点领域解答未来十年最重要的科学和应用问题：

- 大气成分
- 天气和大气动力学
- 气候异动和变化
- 水和能源的循环再利用
- 碳循环与生态系统
- 地球表面和内部构造

## 2. 目标战略

为了完成创新的地球科学任务，NASA 将有效地管理多样化的投资组合，同时平衡创新和成功的项目执行。具体而言，NASA 将：

- 根据明确的顶层测量要求来衡量任务成功与否
- 制定客观标准，明确衡量满足每项要求的成败
- 根据详细的工程研究和独立的成本估算，为每个新任务制定预算，为任务的整个生命周期成本提供资金
- 通过 NASA 咨询委员会、科学委员会和科学咨询委员会获得关于投资组合调整的可操作的行业建议
- 实施有效的合作伙伴关系——商业、国际、跨机构、学术和其他利用 NASA 资源并扩展科学成果的合作伙伴关系

## 3. 相关项目

地球科学研究；地球科学技术；地球系统探索者；地球系统科学探索者；地球系统任务。



## （二）了解太阳、太阳系及宇宙

对太阳和太阳系进行科学研究，将太空作为实验室，眺望浩渺的宇宙，并在月球机器人探测中发挥促进作用。这些努力以国家优先事项和国家科学院十年调查研究的建议为指导，并通过平衡的计划项目组合实施。领导机构是科学任务部。

### 1. 研究领域

NASA 的四个科学领域直接与这一战略目标相关。天体物理学是人类探索宇宙和生命起源的科学探索。天体物理学以《20 年代天文学和天体物理学的发现之路》十年调查为指导（Astro2020），确定了未来天体物理学规划和投资的科学目标和建议。基础研究利用任务中的数据创造新知识，推进对宇宙的理解。研究项目包括数据分析、理论、技术开发和亚轨道项目的竞争项目。小型任务是作为竞争性选择的、由首席调查员领导的探索者任务进行的。大中型战略任务直接交由 NASA 中心实施，并在战略任务计划中进行管理。

太阳物理学可以说包含了科学奇迹（太阳）的原始“第一道光”，以及它如何影响空间的本质。在 2013 年《太阳和空间物理学：技术社会的科学十年调查》的指导下，太阳物理学的目标是了解太阳及其与地球、太阳系和星际介质的相互作用，包括空间天气。太阳物理学将相互关联的元素的研究整合到一个产生动态空间天气的单一系统中。研究这个系统使我们能够发现支配宇宙如何运作的基本物理学，并有助于保护我们的技术和人类免受太空天气的影响。对日地耦合系统的研究还可以让我们更多地了解整个宇宙中其他恒星系统中行星的可居住性。

行星科学的重点是提升关于太阳系起源和历史、其他地方生命的潜力以及人类探索太空时所面临的危险和资源的科学知识。这一论断的科学基础是2011年发行的《2013—2022行星的十年研究科学愿景和航程》。NASA正在火星、木星和月球上运行航天器，并准备向小行星发射两项任务。NASA正在领导着对木星的卫星木卫二（Europa）开展的任务，并准备从火星带回样本，且选择了两个地点准备探索金星。未来人类登月任务所获得的知识将被用于探访火星和其他可能的太阳系天体，并与持续进行的机器人任务相配合。行星科学的进步，加上探测、跟踪和表征近地天体的领先努力，将继续改善行星防御，应对地球将来可能遭遇的撞击。

生物和物理科学是科学发现的先驱，它们通过利用近地轨道内外的航天环境进行地球上无法完成的实验来实现空间探索。这项工作专注于变革性科学，以促进科学、技术和空间探索的进步。国家科学院的十年调查为这一领域的战略重点提供了依据，目前的研究由第一次十年调查（2011年）指导。第二项建议是2023—2032年太空生物和物理科学研究十年期调查，预计将在2023年夏天提交。NASA与研究界和诸如学术、商业和政府实验室等的广泛组织合作开展这项工作。

## 2. 目标战略

为了完成创新性的太空任务，NASA将有效地管理多样化的投资组合，同时平衡创新和成功的项目执行。NASA将：

- 根据明确编写的顶层测量要求测量任务成功率
- 制定客观标准，明确衡量满足每项要求的成败
- 根据详细的工程研究和独立的成本估算，为每个新任务



制定预算，为任务的整个生命周期提供成本资金

- 通过 NASA 咨询委员会、科学委员会和科学咨询委员会获得关于投资组合调整的战术级行业建议

- 实施有效的合作伙伴关系——商业、国际、机构间、学术和其他利用 NASA 资源和扩展科学成果的合作伙伴

### 3. 相关项目

天体物理学探索者；天体物理学研究；宇宙起源研究；系外行星探索；宇宙物理学；生物和物理科学；太阳物理探索者计划；太阳物理学研究；太阳物理技术；与星同住；日地探测器；探索；月球发现和探索；火星探测；火星样品返回；新前沿；外行星和海洋世界；行星防御；行星科学研究；放射性同位素功率；太空天气。

## （三）确保所有人都能获得 NASA 的科学数据，并让这些数据为社会带来切实利益

为了确保所有人都能获得 NASA 的科学数据并为社会带来实际利益，科学任务部计划进行投资并采取措施，通过投资于以下方面加快用户群体获取和使用数据：实现开源科学的能力；数据和计算系统的不断发展；创新行业和战略伙伴关系。

### 1. 研究领域

科学任务部生成、分析、激活和归档大量数据，以支持科学目标，并向世界各地的用户提供数据和科学成果。作为这一努力的一部分，NASA 计划开展投资和举措，以加速现有和新用户社区对科学任务理事会数据的访问和使用。NASA 的数据计划集中于使其他联邦机构、相关决策者、利益相关者和公众能够访问可操作的数据。

这将通过以下三个关键领域的投资实现：

- 支持开源科学的能力
- 数据和计算系统的不断发展
- 创新社区和战略伙伴关系

## 2. 目标战略

NASA 正在开展多项计划，投资上述三个关键领域。开源科学是一种由技术支持的合作文化，它支持在科学界和广大公众之间开放共享数据、信息和知识，以加速科学研究和理解。开源科学建立在开源软件概念的基础上，开源软件扩大了对开发代码的参与，并将这些概念应用到科学过程中，通过从项目启动到实施的公开科学行为来加速发现。数据和计算程序在通过精心设计的软件系统实现开放源代码科学方面发挥着关键作用，这些软件系统以开放源代码软件项目的形式启动，易于使用，并支持 NASA 科学任务所产生的各种各样和大量数据。具体而言，这一举措将允许开放式开发软件和模型，并更好地让研究人员执行受观测约束或验证的计算实验。

行业 and 战略伙伴关系将加速各种建模工作的现代化。机器学习和人工智能技术的应用将大大加快模型的数据分析和计算速度。商业合作伙伴将访问科学数据并将其集成到模型和服务产品中，而跨机构合作伙伴将通过改进的数据服务系统，更方便地访问数据和用于生成产品的软件而受益。

## 3. 相关项目

地球科学数据系统；应用科学。



#### 四、战略目标2：在月球和火星上留下更多人类探索的足迹，以实现可持续的长期探索、开发和利用活动

NASA 丰富的载人航天历史为今天如下的探索愿景奠定了基础：保持美国在太空领域的领导地位，在月球及其周围建立持久的存在，并为登陆火星及其后的任务铺平道路。这一战略始于“阿尔忒弥斯”计划，这是一系列将让第一名女性和第一名有色人种登陆月球的任务，标志着近五十年来人类首次登陆月球。在此过程中，将培养和激励多样化的国家科学、技术、工程和数学（STEM）人才劳动力，并激励新一代加入 NASA 的行列。

月球是恢复人类深空活动、发展轨道和地面基础设施的理想地点，这些基础设施是支持可往返任务所需的，随着我们准备登陆火星，这一任务的复杂性和持续时间将不断变化。在国际空间站 20 多年低地球轨道运行的基础上，利用在突破性探索方面的丰富经验积累，将进一步探索，确保美国在全球空间探索领域的领导地位；另外通过创新和与业界的合作更好地重建，加强全球合作伙伴关系，让 NASA 有能力开发技术来应对地球上的挑战。

在月球上建立长期的人类存在并执行首次人类火星表面任务将是人类历史上最具挑战性的技术领域之一。人类需要创新的技术和系统来探索，其中一些技术还没有被证明能够探索新的和更具挑战性的地点，比如月球南极。开发这些能力将刺激医药、能源、材料科学、制造和气候科学等关键领域的进步。

在未来几十年中，NASA 将在环月空间和月球表面建立长期立足点，并在月球和火星部署复杂的载人运输和居住系统。



所有这些要素都是建立地表基础设施所必需的，这些基础设施将使人类能够在新的、科技含量更丰富的地点生活和探索。

NASA 致力于解决将人类带向月球和深入太空的挑战，实现未来的发现，并提供改善地球生命的知识。我们仍然是人类探索任务的首选合作伙伴，通过“阿尔忒弥斯”和火星探索计划，NASA 将助力美国在几十年成功的多国合作基础上保持在航天国家中的领导地位。

### （一）探索月球表面和深空

将人类的存在扩展到地月轨道之间的月球空间，以便在月球表面进行持续的行动，然后再向火星推进，揭开宇宙的神秘面纱。领导机构是探索系统开发任务部（ESDMD）。

#### 1. 目标概述

“阿尔忒弥斯”任务和未来人类对火星的探索将为美国人扩大机会，提高我们的全球地位，并激励科学、技术、工程和数学领域的下一代领导群体。长期开发和科学利用为影响医学、能源和制造业等关键领域的重大发现提供了独特的机会，这些重大发现将造福全世界。

NASA 将在月球南极附近建立一个“阿尔忒弥斯大本营”基地。该基地设想包括一个无压力的漫游车、一个加压的漫游车、一个固定的地面栖息地和一个在月夜和休眠期间为上述装备提供电力的地面供电系统。

NASA 将与国际合作伙伴密切合作，以实现“阿尔忒弥斯”的目标并发展全球空间经济。这些关系将加强美国在太空探索领域的全球领导者地位，并为与世界各国合作提供新的途径。NASA 的深空探索工作将继续成为全球和平与科学合作的灯塔。



“阿尔忒弥斯”任务将由科学目标推动，如收集有关行星的运动过程和挥发物来源及特征的新信息。NASA 将揭开地月系统的历史和太阳的新信息。随着任务持续时间的延长，收集到的人类数据将使未来在深空的工作更加安全和高效。我们在其中所积累的知识也将有助于我们保护我们的家园，改善全世界人民的日常生活。

## 2. 目标战略

“阿尔忒弥斯”包括乘员运载工具、重型运载火箭、月球轨道上的空间站（含后勤补给）、载人登月着陆系统和月球表面系统，以支持航天员探险，以及支持地面设施和系统。

随着 NASA 在月球建立基础设施，一个长期的轨道平台将是支持越来越长的月面考察所必需的。该月球轨道空间站还将举办一些科学实验，并提供有关深空飞行对人类和系统影响的额外数据。

NASA 及其合作伙伴正在为人类重返月球做准备，逐步增强轨道和表面着陆的能力，为人类首次火星登陆任务做好准备。月球被视为一个深空行星实验室，它提供了许多来揭开关于地月系统或起源以及我们太阳系深刻历史的新发现的机会。“阿尔忒弥斯”系统有两个目的，一是探索月球，二是检验未来火星任务的关键能力。月球车和地面动力系统、载人登月着陆系统、避险和导航系统，甚至攀爬能力都可以直接应用于人类火星任务。航天员往返于重力场之间的轨道至月球表面操作将探索新的技术来应对这些挑战。增加地表停留时间和行星表面的舱外活动将为星球地表探测更安全、更有效提供关键数据。

### 3. 国内及国际合作

在月球上建立持续的人类存在并执行首次人类火星表面任务将是人类历史上最具挑战性的努力之一。NASA 将与其他政府机构合作（如能源部、商务部、国家科学基金会、美国地质调查局），并确保遵守国家和国际政策和义务（如联邦航空管理局、国务院）。

国际合作伙伴对“阿尔忒弥斯”和登月火星计划至关重要。《阿尔忒弥斯协定》于 2020 年签订，为和平探索和利用外层空间制定了共同原则。协定以 1967 年的《外层空间条约》为基础。迄今为止，已经有十多个国家签署了《阿尔忒弥斯协定》，包括已经建立的和新的合作伙伴，NASA 预计在今后的几个月和几年里还会有更多的国家加入。

由 NASA 领导的位于月球轨道的 GATEWAY 轨道空间站是一个多国合作项目，与我们在近地轨道的许多合作伙伴合作。我们已经与三个合作伙伴签署了协议，提供模块和关键能力：加拿大航天局（CSA）、欧洲航天局（ESA）和日本宇宙航空研究开发机构（JAXA）。欧洲航天局和日本宇宙航空研究开发机构还将提供研究深空辐射环境的早期网关科学仪器套件。

继 NASA 的近地轨道商业乘员计划取得成功后，NASA 正在获取载人登月着陆系统、向月球提供的后勤物资以及国际空间站和“阿尔忒弥斯”的先进航天服等。允许公司与 NASA 之外的其他客户合作，并将新的收入流引入其商业模式。竞争带来创新，而这些伙伴关系将减轻 NASA 的财政负担，使我们的高技能人才资源能够专注于先进技术的开发和研究，同时解决未来的探索挑战。



#### 4. 相关项目

探索能力；探索作业；空间发射系统（SLS）；猎户座；猎户座生产和维持；探索地面系统（EGS）；先进的月球和地面能力（ACSC）；月球轨道空间站；载人登月着陆系统（HLS）；出舱活动和人类地表移动计划；月球和火星建筑。

### （二）发展以商业市场为依托的载人航天经济

通过利用国际空间站和刺激载人航天商业活动的增长来发展宇宙空间经济。领导机构是太空运营任务部（SOMD）。

#### 1. 目标概述

强大的载人航天经济确保了国家在太空研发方面的利益得以实现，同时允许 NASA 将政府资源集中于通过“阿尔忒弥斯”进行深空探索的挑战上。

NASA 将继续使用低地球轨道（LEO）的载人平台，以继续美国人业已存在并不断扩大的太空立足点。太空研究和技术演示平台的持续运行对于实现 NASA 和国家在科学、技术和人类太空飞行方面的目标至关重要。因此，我们正在投入资源，以建立一个强大的载人航天经济。

自成立以来，业界、学术界和我们的国际合作伙伴一直将国际空间站（ISS）作为研究、开发和增加空间访问的最先进系统的试验台。NASA 正在支持新的空间站建设。

我们和其他客户可以购买服务，刺激商业载人航天活动的增长。随着低地轨道商业目的地的出现，我们打算实现从当前国际空间站运营到这些新商业目的地的有序过渡。

国际空间站是美国在全球空间探索领域的领头羊，使以美国为首的多国伙伴关系能够推进共同的空间目标。国际空间站

支持一个强大的商业市场，有包括空间制造设施和商业气闸等的 20 多个商业设施运营并产生收入。随着 NASA 增加在国际空间站的商业机会，利用这些机会的公司数量和类型可能会增加，从而反过来进一步创造更多的需求。

## 2. 目标战略

NASA 致力于发展未来人类航天经济的供给侧（即未来平台提供有偿服务）和需求侧（即政府要求的在轨服务需求或生产商业价值产品）服务。

国际空间站已经进入了一个强大的商业使用时代，利用我们的能力开发行业所需要的技术，从依赖 NASA 进入太空，转变为提供我们在国际空间站寿命结束后，继续在低地球轨道执行任务所需的通道。这些途径包括允许私人公司使用国际空间站接口在国际空间站部署新的商业元素；支持开发和使用自由飞行商业低轨目的地；并提供国际空间站用于私人航天员任务。NASA 的期望是，其中一项或多项开发和示范工作将证明具有商业可行性，允许美国和国际客户购买低轨载人航天服务，同时为我们提供低轨所需的平台和能力。

与此同时，NASA 的商业低地轨道开发和国际空间站项目正在开发和改造人类航天经济的需求侧。NASA 发布了一份初步“低地轨道需求预测”报告，描述对微重力服务的长期需求。NASA 还为工业生物医学和制造业等持续需求重点领域提供支持。此外，该局还提供了在国际空间站上进行市场营销和广告宣传的机会。

通过成功实施类似的商业化战略，如商业再补给服务和商业宇航船员计划，NASA 展示了公司可以开发和运行为国际空



空间站服务的下一代航天器和发射系统。这一成功能将商业卫星发射业带回美国，表明美国工业完全有能力在全球舞台上竞争。这一商业能力还推动了美国在全球发射市场份额的增长，并为发现和空间探索提供了更大的实用性、更多的研究时间和更广泛的机会。这一商业化战略的一个重要目标是鼓励开发新的行业能力，使这些公司能够向所有客户销售未来服务，而不仅仅是 NASA。

### 3. 相关项目

商业近地轨道开发计划；国际空间站；商业飞船乘员计划；商业货运飞船计划。

#### （三）发展相关能力和开展相关研究以保护探索者

提供增强的能力，维护机组和人员的性能和健康，并开展研究以确保安全的空间探索。领导机构是太空运营任务部（SOMD）。

#### 1. 目标概述

NASA 领导的将人类送上月球，并以月球为跳板最终登陆火星的计划，重点是通过研究和开发工具和技术“降低”风险，以保护人类在深空探索中的安全。NASA 正在努力克服辐射、机组隔离、深空通信延迟以及食品、药品和保质期等的限制。这些挑战中的每一个都必须得到解决，以确保当我们超越近地轨道时机组成员的安全和健康。

NASA 正在寻求开发新技术，以帮助管理太空长期停留对人类健康和性能的影响。我们的每一项知识进步都可以提供基本的人类需求，包括氧气和水，以及维持和修复关键系统的能力。NASA 将在一个环境中展示应急技术的性能，在这种环境中，



对人员或飞行器操作安全的风险可以在不危及机组人员或任务的情况下验证该技术的性能，然后再将其用于操作环境中。

## 2. 目标战略

NASA 正在开发支持人类太空探索的能力、必要的应对措施和技术，重点是那些能够降低对航天员健康和表现的最大风险的能力。其中一些技术将降低医疗和环境风险，并确保人类系统与探索深空所需的探测任务系统有效集成。

新方法对于快速开发原型系统、展示关键能力和验证在未来近地轨道以外的人类任务中保护探索者的行动概念是必要的。最重要的是，我们将继续利用国际空间站作为跳板，将人类的存在进一步扩展到太阳系。国际空间站继续扩大我们在长时间航天器运行方面的知识和经验，并作为一个不可替代的试验平台，用于新能力和升级飞行器系统的技术演示。

## 3. 相关项目

人类研究计划；载人航天飞行操作。

### （四）加强太空访问和服务

满足 NASA 项目的通信、发射服务和战略能力需求。领导机构是太空运营任务部（SOMD）。

#### 1. 目标概述

提供成本效益高，任务至上的服务能力为美国的载人和机器人航天任务提供了稳定的基础。这些能力包括为美国政府民用部门和机器人任务获取运载火箭，与国际空间站等近地轨道载人任务、“阿尔忒弥斯”登月任务和火星表面无人驾驶的行星漫游者等科学任务进行通信。

NASA 为本局内部和本局赞助的使用美国商用运载火箭



进入太空的有效载荷提供安全、可靠、经济的发射服务。作为美国民用航天部门的发射代理机构，NASA 依靠发射服务计划（LSP）认证新的商用运载火箭，以准备发射高价值航天器，指导重要的发射任务保障工作，确保发射任务成功的最大概率。发射服务计划的主要职责是满足包括我们各个任务部门、大范围的教育机构和其他客户在内的多样化客户群的需求。

NASA 为我们的行动任务提供关键的通信和导航服务，我们将继续投资于提高可靠通信能力的关键技术。NASA 与卫星通信行业合作开发支持美国需求、具有全球竞争力的通信能力，并提升美国在新市场开发方面的领导地位。今天，商业卫星通信继续成熟，NASA 设想了一个商业通信市场，在这个市场中，近地客户可以获得合适的商业服务，NASA 是众多客户之一。

## 2. 目标战略

NASA 作为美国商业发射行业的重要合作伙伴和顾问，发挥着重要作用。为了确保美国发射业持续增长并保持竞争态势，NASA 认证了新的商用运载火箭，以准备发射高价值航天器，执行关键任务设计和发射集成活动，并指导发射任务保证工作，以确保发射任务成功的最大概率。

国家的空间政策要求我们利用而不是复制商业提供的服务。NASA 有一系列不同的用户和通信需求，商业能力将根据这些需求进行评估，如发射飞船支持、国际空间站访问飞船、载人航天飞行和地球轨道科学任务，范围从旗舰天文台到小型卫星（SmallSats）和立方体卫星（CubeSats）。NASA 将系统地将近地任务从国有网络提供的通信和导航服务转移到商业网络。NASA 将继续为我们的用户提供支持，并设想在未来十年

内将未来的空间中继用户转移到商业供应商。

NASA 正在投资关键技术，以提高可靠的通信能力并改变 NASA 的任务技术。我们的战略以最大限度地获取和利用先进空间能力为指导。NASA 在通信技术持续发展方面的努力将使地面和空间使用的通信和导航技术得以实现、改进和成熟。NASA 将继续利用包括光通信在内的许多领域的投资、经验和成就，构建未来天基通信网络所需的初始技术和能力。

NASA 管理着全国各地的测试设施，我们的项目和美国业界都在那里在受控条件下进行火箭发动机和部件测试。我们在火箭推进测试方面的数十年经验确保了交付预期结果，同时将测试时间和成本降至最低。

### 3. 相关项目

通信服务计划；启动服务；火箭推进试验；空间通信和导航。

## 五、战略目标3：促进经济增长，推动技术创新，帮助国家更好地应对各种挑战

NASA 通过技术创新推动经济发展和增长。NASA 投资于广泛的太空技术和航空研究、开发和演示组合。NASA 80% 以上的资金投资于美国的工业和学术界。在可能的情况下，该机构利用公私合作伙伴关系，降低开发成本，加快新技术的投入，满足国家需求，并有可能创造新市场。NASA 每年创造 1000 多项新技术，努力确保美国人民通过专利许可证、软件使用协议和其他商业化努力从这些进步中获得最大利益。

### （一）创新和推进变革性太空技术

在不同想法的推动下，发展革命性的、高回报的太空技术，



以改变 NASA 的任务，确保美国在太空经济中的领导地位。领导机构是太空技术任务部。

### 1. 目标概述

技术领先地位对我们的国家安全、经济繁荣和全球竞争力仍然至关重要。美国经济持续领先的部分原因是长期以来进行的技术投资，使美国成为全球技术领导者。随着 NASA 开始其下一个发现和探索的时代，变革性太空技术的进步有助于指导未来的旅程。我们投资于跨领域和变革性技术，这些技术在抵消任务风险、降低成本以及推进现有或创造新能力方面具有很高的潜力。我们的技术投资使 NASA 的科学和人类探索任务成为可能，并促进了国内产业的增长和就业机会的创造。

在未来的几年里，NASA 将推进技术，使快速、安全、高效的运输成为可能，并扩大对不同地表目的地的访问。我们寻求通过对原始资源利用、可持续电力系统和自主建设的投资，通过支持公用事业和商品来实现充满活力的空间经济。NASA 将通过投资于高性能计算、先进机器人、卫星服务和组装、太空制造以及更快速、更经济、更强大的新型运载工具平台技术，投资于能够实现长时间人类探索任务的技术，以及那些能够改变我们的任务和发现的技术。这些技术进步将促进美国的创新和竞争力，推动经济增长和创造高薪就业机会，并确保国家在太空领域的领导地位。

NASA 还继续推进气候和清洁能源技术创新。我们强调减少温室气体排放（包括二氧化碳、甲烷、一氧化二氮和氢氟碳化物）；生产清洁能源；可持续航空；气候科学观测；以及利用数据进行气候研究。我们将在小企业创新研究和小企业技

术转让项目中制定新的奖项和主题，并为应对气候挑战和清洁能源经济提供机会。此外，NASA 将支持小型航天器平台的地球观测能力，以支持突破性科学和国家应对气候变化的努力。此外，NASA 将支持小型航天器平台的地球观测能力，以支持突破性的科学和国家应对气候变化的努力。

## 2. 目标战略

与利益相关者密切合作，建立伙伴关系，利用循证决策，促进多样性、公平性、包容性和可及性，这些都是我们战略的关键。

为了平衡近期、中期和长期的技术需求，我们采用了一种基于绩效的竞争模型，以及一种跨越一系列学科领域和技术准备水平的产品组合方法。跨项目的集成是确定、成功转换和转移新功能的关键。通过提前与潜在利益相关者合作，并通过不断的构思、完善和示范，我们可以更有效地在 NASA、美国政府以及整个行业和学术界转移新的变革性技术和能力。

## 3. 相关项目

早期创新和合作伙伴关系；小企业创新研究（SBIR）和小企业技术转让（STTR）项目；技术示范；技术完善。

### （二）推动高效和可持续的航空发展

通过运载工具的变革性进步和高效的飞行操作，引领航空业的创新，进而实现安全和可持续的航空运输。领导机构是航空研究任务部（ARMD）。

#### 1. 目标概述

航空运输是现代生活不可或缺的一部分，为公众提供安全、实惠和便捷的旅行。因此，它已成为美国和全球经济不可分割



的一部分。NASA 的研究在提高航空业的安全性、效率以及由此带来的国家经济福祉方面做出了重大贡献。我们的职责是降低创新概念中固有的风险。我们探索早期概念和想法，开发新的航空技术和空中交通操作程序，并在相关环境中展示其潜力。NASA 坚定不移地致力于尖端研究、技术开发和演示，以确保美国在航空领域的竞争力。

## 2. 目标战略

为了继续保持 NASA 在航空创新方面的领导地位，并实现航空系统的革命性变革，NASA 专注于航空业长期未来的六个主要研究领域。这些研究重点充分利用了我们内部航空专业知识的能力。通过高风险、高回报的研究和技术开发，NASA 力求实现：

- 全球业务的安全高效增长
- 商用超声速飞机的创新
- 超高效的亚音速运输
- 安全、安静、经济实惠的垂直升降飞行器
- 及时的全系统安全保障
- 确保航空转型的自主性

## 3. 相关项目

先进飞行器项目；变革性航空概念项目；综合航空系统项目；空域操作和安全项目；以及航空科学评估和测试能力。

## 六、战略目标4：立足当前、瞄准未来，不断提升能力和管理水平

NASA 执行的任务内容复杂、眼光超前，需要现代化、灵



活性技术能力和专业支持。只有这样，才能确保各项任务随时准备就绪并能得到不间断实施，才能确保我们在科学、探索、发现和创新方面持续保有领导地位。航空航天领域的变革和创新步伐正在不断加快。因此，为确保任务成功，NASA 必须具备强大的任务保障能力。我们的目标是不断提升能力和管理水平，确保能够汇聚专家人才，具备先进的基础设施，拥有领先的科技优势和严格的管理水平，从而更好地迎接“阿尔忒弥斯”时代的到来，并不断走向更远的未来。

不管是在当今还是在未来，NASA 和我们国家都需要复合型、高水平科学、技术、工程和数学（STEM）人才。我们致力于招募、激励和吸引未来时代的探索者，并通过涵盖方方面面的各项计划、项目、实习机会、活动和产品，意图打造一支多元化的科学、技术、工程和数学人才队伍。我们会通过亲身体验活动或者网上推广活动，将大学生与 NASA 的使命任务和人才队伍联系起来。

### （一）吸引和培养一支才华横溢、多元化的人才队伍

通过实现人力资本流程和系统的现代化，我们致力于打造一支多样化、干劲足、高水平的人才队伍，不断提高人员的创造性和灵活性。我们将持续秉持多样性、公平性、包容性和可及性（DEIA）理念，确保系统化、可持续的公平公正性，以及业务实践中的平等性。领导机构是任务支援部（MSD）及多样性和平等机会办公室。

#### 1. 目标概述

NASA 将在人才吸引、招聘、支持、引领和保留方面进行现代化改革，力求召集一批高水平、多样化、有潜力的人才，



为各项任务成功开展奠定基础。最近的病毒疫情，以及国家人才队伍和工作环境发展趋势为我们提供了一些经验教训，我们将不断改进 NASA 的联合协作工作实践。我们秉持的现代化战略也将帮助我们应对未来五年内人员退休所带来的制约，帮助我们更好地在高水平科学、技术、工程和数学人才竞争中，特别是在和商业实体开展竞争的时候占据领先地位。

2020 年，NASA 将包容性纳入机构核心价值观中。我们认为，包容性是我们开展工作、处理关系和取得成就的内在要求。包容性提高了协作生产率。此外，包容性还能让人员超越自我，进而帮助 NASA 实现发展目标。所有人都希望有一种包容感和归属感。当人们成为真实的自我，分享彼此想法、知识、创造力和创新时，会体会到一种心理安全感，也就是包容的感觉。我们所有的价值观都强调包容的重要性。我们会让 NASA 拥有健康的文化，成为一个受人青睐的雇主。

## 2. 目标战略

NASA 将继续灌输多样性、公平性、包容性和可及性价值观，推广其他人力资本最有效实践经验，推动我们招聘、保留和开发分布式和数字化人才的方式现代化。NASA 将不断改进招聘和入职流程，使管理人员和人力资本专业人员能够在需要的时间和地点聘用到合适的人员，以满足当今和未来的任务需求。NASA 将增加与学术界和其他机构的合作机会，通过经验交流，设立颇具意义的领导力发展任务，培养员工能力以满足不断变化的使命需求。

美国政府重视多样性、公平性、包容性和可及性的价值观，对此，NASA 也表示积极支持。为此，我们提出了多管齐下的

战略想法：

- 保持机构行动符合总统指令（如行政命令、备忘录等）和其他联邦指导或政策

- 打造有利于激发人员创造性的成长机会，促进多样性、公平性、包容性和可及性的价值观在机构、中心、组织和个人层面的文化和业务实践中得到很好的融入和转化

- 持续推进与其他机构（如平等就业机会委员会、司法部和人事管理办公室）进行多方面的合作，以获得多样性、公平性、包容性和可及性的价值观指导。同时与国土安全部和国防部加强协作，以确定价值观最佳实践标准

- 2022 财年开始对绩效目标进行更新，以便与此战略目标相吻合

### 3. 相关计划

任务保障服务。

#### （二）任务支援能力转型，以适应未来的航空航天时代

为随时做好任务执行准备，为未来航空和科学创新奠定可靠基础，我们必须重塑并提升我们的任务保障能力，迈向现代化发展道路。领导机构是任务支援部。

##### 1. 目标概述

随着 NASA 任务的发展和与航空工业的日益融合，复合型人才和联合协作工作环境成为常态，任务保障需求也随之发生变化。NASA 的核心价值观要求，任务保障的首要任务是确保任务安全成功。随着我们任务的日益复杂，这一点越来越具有挑战性。NASA 的大部分规则框架都是“阿波罗”时代制定的。现在是时候重塑并提升我们的任务保障能力，迈向现代化发展



道路了。

要推进“阿尔忒弥斯”时代所需的包容、诚信、团队合作和卓越环境，我们必须加强技术实力，并使我们的物质和信息技术（IT）基础设施现代化。NASA 将重点关注以下三个优先发展领域：

- 建强 NASA 的技术部门
- 实现基础设施和技术能力的现代化
- 利用安全、创新的技术为人才和项目提供支持

## 2. 目标战略

建强 NASA 的技术部门——保护机构、公众、轨道和行星环境不受潜在危害威胁，同时通过创新的技术优势取得任务成功。NASA 正在完善其任务保障和监管能力，以成功完成在人类探索、气候研究和其他方面的目标任务。具体而言，将做到以下四点：

- 提高风险判断和处置能力，避免对地面和空中人员产生危害。我们将继续在航空航天、科学、技术和太空探索领域提升创新支持力，保持并提升整个人员队伍和合作伙伴的优异表现

- 不断完善政策、标准、工具和专业知知识，做到与时俱进，以确保健康、安全、稳定，确保任务实施的弹性，使任务适应 NASA 及其合作伙伴制定的日益复杂的任务设计和发展计划

- 制定并推广风险处置战略，对任务威胁进行独立评估和分析，保证任务成功，提高机构风险应对能力

- 加强与跨机构组织、政府行业组织和国际工作组及委员会的合作，继续巩固与联邦航空管理局和太空军等其他政、军

部门、行业领袖和国际合作伙伴的良好关系，共同促进航天事业发展，减少航天事故风险，实施与航天相关的医疗政策以降低工作人员健康风险，跟踪应用航空航天健康和机能发展方面的最新科学成果

实现基础设施和技术能力的现代化——重塑并优化 NASA 的基础设施和技术能力，以巩固美国在科学和航空航天领域的领导地位，支持环境管理和可持续性发展，加强资源保护工作力度。

坚固完备的基础设施是任务成功的关键。NASA 目前的基础设施大多是“阿波罗”时代为执行太空探索任务而修建的，其中 83% 的设施超过了设计寿命。随着我们商业伙伴关系的增加和任务的复杂化程度不断加深，对 NASA 基础设施的更新需求不断增加。NASA 将优先考虑并改革资产管理，以确保关键任务基础设施和其他设备设施在“阿尔忒弥斯”时代及以后既可用又可靠。

### 3. 相关计划

任务保障服务。

#### （三）培养下一代太空探索者

多给予学生锻炼机会，使其成长为未来多元化科学、技术、工程和数学人才。领导机构是 STEM（科学、技术、工程和数学）参与办公室。

##### 1. 目标概述

NASA 投入大量资金培养多元化科学、技术、工程和数学人才，包括吸引、招聘和教育学生，并对相关教育工作者和教育机构提供支持。



NASA 将不断扩大学生在科学、技术、工程和数学领域的参与度，提供机会、举办活动，贯彻多样性、公平性、包容性和可及性（DEIA）理念。尽管在过去十年中，获得科学、技术、工程和数学学位的女性和少数族群在总体科学和工程职业中有所增加，但在工程、计算机和数学等对航空航天至关重要的领域，上述群体的代表性仍然显著不足。NASA 致力于建设一支多元化、高水平且面向未来的科学、技术、工程和数学人才队伍——也就是我们下一代的探索者。他们具备推进国家重要使命和未来航空航天工作所需的技术技能。

## 2. 目标战略

NASA 欢迎学生们参与体验航天任务，目的是让学生全身心感受航天工作，激励年轻一代不断开展太空探索。NASA 支持联邦科学、技术、工程和数学教育优先事项，努力推动实现以下目标战略，从而保持我们在激励、吸引和招募学生方面的优异表现：

- 吸引不同的学生群体参与学习，激发他们对 NASA 任务和工作的兴趣

- 为多样化的学生创造独一无二的机会，帮助他们为 NASA 的探索和发现工作做出贡献

- 让学生融入 NASA 职员队伍中，让他们切身感受航天事业各项工作和相关设施，为他们提供真实学习体验，从而着眼未来打造多样化的科学、技术、工程和数学人才队伍

该战略围绕五个设计原则指导 NASA 工作规划和任务执行：

- (1) 开发和应用信息驱动下的真实科学、技术、工程和数学体验，
- (2) 应用循证实践，
- (3) 重视可量测性，
- (4) 量化评估结果，



以及(5)推动多样性、公平性、包容性和可及性价值观的发展。

NASA 将实施各项科学、技术、工程和数学参与计划、项目和活动，为学生服务，并为教育工作者和教育机构提供特别支持。NASA 的科学、技术、工程和数学参与计划终极目标是吸引、保留和支持相关专业学生。除了致力于推广学生参与活动外，NASA 还将支持教育工作者和教育机构的相关工作。这包括为教育工作者提供航天任务有关的学习内容、资源和支持；提供课堂和校外学习体验机会；开展少数民族服务机构(MSI)能力建设，帮助那些没有条件很好参与竞争性航空航天相关研究活动的地区开展能力建设；提供非正式学习教育机会和学习项目；为学生和机构提供任务驱动研究机会。

NASA 将重点放在扩大学生参与度上，努力让更多来自贫困人群和少数民族的学生参与到科学、技术、工程和数学各个项目和活动中：

- 加强与各方沟通，鼓励利益相关者参与到各项活动中，构建合作网络和合作关系
- 强化实践体验和制度建设
- 为实施指标评估打下坚实基础，对活动开展情况做出有效评价
- 在整个 NASA 科学、技术、工程和数学参与项目中打造一种文化、强调一个重点，旨在扩大学生参与度，并在学生体验活动和项目中不断推广多样性、公平性、包容性和可及性的价值观导向

### 3. 相关计划

科学、技术、工程和数学参与计划(NASA 太空奖金、



竞争性研究激励计划、少数民族大学研究与教育项目、下一代 STEM 项目）；任务保障服务（以科学、技术、工程和数学参与计划为主）。

## 美国《国家地月科学与技术战略》

2022年11月17日，美国白宫科技政策办公室发布了美国首份《国家地月科学与技术战略》（以下简称《战略》），《战略》直接支持美政府2021年公布的“美国太空优先框架”——美国将“推进一个强大的地月生态系统”，旨在指导美国政府在推进地月空间的科学、探索和经济等领域的行动，以确保美国在太空探索、太空科学和太空可持续性等领域的领导地位。

### 一、定义

地月空间指的是地球同步轨道以远、主要受地球和/或月球重力影响的三维区域，包括地月拉格朗日点、利用这些拉格朗日点的轨道和月球表面。地月空间的体积比地球同步轨道内的整个空间区域大2000倍以上，地月空间的最远区域比地球同步轨道距离的12倍还多；航天器可以在地月空间的各种轨道上运行，包括月球轨道、跨月轨道，以及在地月拉格朗日点周围区域的轨道群。美国发布该战略，希望能够促进科学发现、经济发展和国际合作，这对于实现和维持美国在地月空间的科技领导地位至关重要。



## （一）未来十年对包括月球表面在内的地月空间探索至关重要

受到发射成本的下降、先进太空技术的发展与商业化、对太空活动日益增长的商业兴趣，以及国家和地缘政治的驱使，使得目前和计划中的地月空间活动大幅增长。NASA 估计，在接下来的十年里，人类在地月空间的活动将等于或超过自 1957 年太空时代开始以来该地区发生的所有活动，将有更多的国家和地区计划前往这个新的领域。

## （二）地月空间为推进科学、技术和探索提供了巨大的希望

人类在月球上的活动对世界各地的人们来说具有独特的启发意义。地月空间可帮助研究行星科学中一些最重要的问题，并为探索太阳系与太阳的历史提供了机会；月球背面的月球屏蔽区不受地球电磁辐射的影响，可实现在其他任何地方都不可能实现的射电天文观测，这是测试人类探索技术和操作的宝贵区域。地月空间具有推动太空经济增长的潜力。

## 三、四大目标

战略提出了四个关键的科学与技术目标。

### （一）支持研究和开发，以实现地月空间的未来增长

地月空间是通往太阳系其他地方的门户，可为未来深空机器人和载人任务做准备；月球也有潜力成为新的科学进步和资源的来源，以推动经济增长，包括以下几个子目标。

### 1. 实现人类的持久存在

开发和演示能够使人类在地月空间持久存在的能力和新兴技术，并为前往火星和更远的载人任务提供信息，包括可补给燃料的月球登陆器、环境控制和生命保障、月球表面动力系统、可移动和防尘的航天服、极端环境下的月球表面移动性以及月球上可持续的栖息地等；开展研究，以更好地了解 and 减轻空间环境对人类造成的负面影响；支持与载人探索和深空永久居住有关的社会科学研究，以支持人类在太空的持久存在。

### 2. 利用地月空间进行科学研究

维护以地月为重点的科学目标，以全面确定地月空间中最优先的科学机会；开发和增强技术，以实现月球近端、远端和极地科学。

### 3. 培训人才队伍

制定和支持培训与保留未来航天工作人员的计划，特别是从 K-12 就开始吸引进入 STEM 教育。

## （二）扩大地月空间国际科技合作

实现和平、可持续的地月生态系统需要国际合作，新的地月空间行动和能力应该吸引更多的国际参与，例如《阿尔忒弥斯协定》与联合国制定的标准与机构，包括以下几个子目标。

### 1. 制定并领导国际月球年的提案

由美国牵头建立国际月球年，可以促进发展，如月球数据中心的协调使用、协调的月基研究（如月球地球物理网络、太阳科学和远侧射电天文学），扩大《阿尔忒弥斯协定》等。

### 2. 为安全地进行地月航天飞行制定技术基础

随着地月空间航天活动的迅速增加，美国将与国际标准制



定组织加强协调，制定碎片缓减、减少月球着陆喷出物的危害、寿命结束操作、事故报告、碰撞避免、航天员搜索和救援、无线电频率干扰以及与飞行安全相关的条约等。

### （三）将美国太空态势感知能力扩展到地月空间

空间态势感知使在地月空间中运行的所有实体都能够透明和安全地运行，避免与其他卫星或碎片碰撞，支持交汇和接近操作，并能够识别异常、不负责任或潜在危险的航天器操作和重要的空间气象现象，还有助于对具有潜在危险的小行星进行早期预警，包括以下几个子目标。

#### 1. 评估太空态势感知需求、优先级和现有差距，以便将当前太空态势感知能力扩展到地月空间

目前地月空间的太空态势感知研发需求的综合框架仍未制定，美国将支持研发工作，包括改进监测方法，并更好地了解地月轨道系列和航天器动力学。美国将与私营部门和相关标准制定组织开展合作，并寻求与所有在地月空间运作的实体合作。

#### 2. 开发或改进现有的地基传感器，并演示天基传感器和月球表面传感器

美国应首先确定一种优化地面、月基和天基传感器的体系结构，然后利用现有的地基传感器，并根据需要开发新的地基传感器；继续开发和测试用于地月空间的天基传感器。

#### 3. 增加与其他用户的合作和数据交流

美国将与在地月空间开展活动的国际合作者、私营部门和学术机构进行地月空间敏感性评估共享，这可能包括联合研究和开发工作、联合制定标准和其他领域。



#### 4. 开发一个完整的地月天体目录

该目录应包括月球表面的人造物体、月球屏蔽区的物体以及卫星的机动与轨道等信息。

#### 5. 制定共享地月空间态势感知数据以及地月空间导航和航天安全支持的程序

美国政府将继续分享太空态势感知信息，并向所有空间运营商提供基本的空间飞行安全服务。对潜在危险物体的其他发现和表征可能会利用国际天文学联合会（IAU）的小行星中心，这将由 NASA 行星防御办公室长期提供资助。

### （四）通过可扩展和可互操作的方法实现地月空间的通信和定位、导航与授时功能

通信和定位、导航与授时（PNT）是地月空间（包括月球轨道和月球表面）所有活动所需的通用信息能力，从而在地月空间中实现合作和可持续的生态系统，降低进入壁垒和促进新的商业空间活动，并为推进地月空间负责任和可持续的活动提供早期技术基础，包括以下几个子目标。

#### 1. 及时建立基础能力，以实现灵活的地月架构

美国政府和私人机构正在计划新的地月活动，但关于支持这些活动所需的能力的信息不足。除网络通信和 PNT 之外，感兴趣的能力还包括测绘、空间和月球表面运输、无线电频谱管理、原地机动性、月球表面发电和储存、月球资源的使用、搜索和救援以及空间态势感知等。



## 2. 确保美国政府的地月运行能力可扩展，并可与私人和国际参与者运营的系统互操作

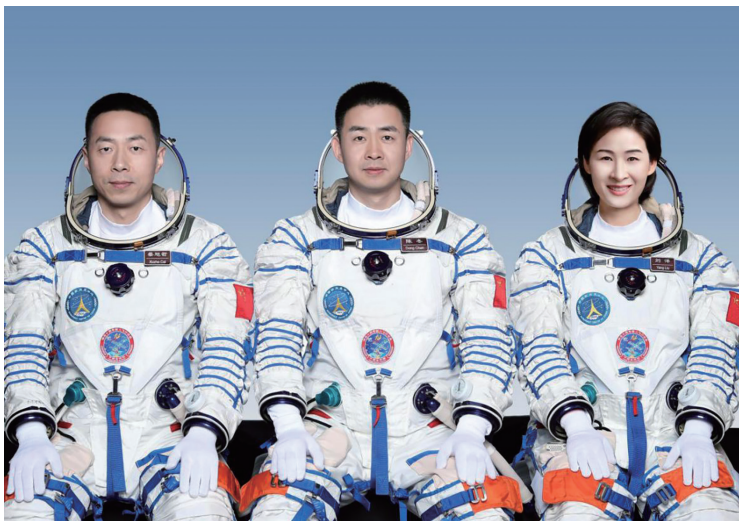
为地月运行部署的体系结构的设计应能够预见到目前无法预测的创新和意外的未来用户需求，这可能需要使用广泛采用的技术标准。可能包括：地月空间的 PNT、无线电和光学通信、与天体和地面参考框架相联系的月球参考框架、航天器安全和救援、地月空间的轨道信息格式和传播模型等。

## 3. 协调新的地月活动与现有的航天活动

正在进行的航天活动，如行星防御、空间气象研究和监测、轨道碎片减缓以及天基和地基天文学，可以开始考虑与新的地月活动进行合作。

## 神舟十四号乘组

(任务时间：2022年6月5日—12月4日)



陈冬，男，汉族，籍贯河南郑州，河南洛阳出生，中共党员，硕士学位。1978年12月出生，2010年5月入选为我国第二批航天员。2016年10月，执行神舟十一号载人飞行任务，同年12月，被中共中央、国务院、中央军委授予“英雄航天员”荣誉称号，并获“三级航天





功勋奖章”。2022年担任神舟十四号载人飞行任务乘组指令长，任务期间完成3次出舱活动。

刘洋，女，汉族，籍贯河南林州，河南郑州出生，中共党员，博士学位。1978年10月出生，2010年5月入选为我国第二批航天员。2012年6月，执行神舟九号载人飞行任务，同年10月，被中共中央、国务院、中央军委授予“英雄航天员”荣誉称号，并获“三级航天功勋奖章”。2022年9月1日在神舟十四号任务期间成功出舱。



蔡旭哲，男，汉族，籍贯河北深州，中共党员，硕士学位。1976年5月出生，2010年5月入选为我国第二批航天员。2022年6月4日，作为神舟十四号乘组航天员执行首次航天飞行任务，在任务期间，成功完成2次出舱活动。

## 神舟十五号乘组

(任务时间：2022年11月29日—2023年5月)



费俊龙，男，汉族，籍贯江苏昆山，中共党员，硕士学位。1965年5月出生，1998年1月入选为我国首批航天员，曾任中国人民解放军航天员大队大队长、载人航天工程航天员系统副总指挥。2005年10月，执行神舟六号载人飞行任务并担任指令长，同年11月，被中共中央、国务院、中央军委授予“英







雄航天员”荣誉称号，并颁发“航天功勋奖章”。2022年担任神舟十五号载人飞行任务乘组指令长。

邓清明，男，汉族，籍贯江西宜黄，中共党员，硕士学位。1966年3月出生，1998年1月入选为我国首批航天员。2022年加入神舟十五号载人飞行任务乘组，执行首次飞行任务。



张陆，男，汉族，籍贯湖南汉寿，中共党员，硕士学位。1976年11月出生，2010年5月入选为我国第二批航天员。2022年加入神舟十五号载人飞行任务乘组，执行首次飞行任务。



## 国际空间站第 67 长期考察组

(任务时间：2022 年 3 月—2022 年 9 月)



(从左至右) 飞行工程师 / 龙飞船 Crew-4 美国航天员鲍勃·海恩斯, 飞行工程师 / 龙飞船 Crew-4 意大利航天员萨曼莎·克里斯托弗雷蒂, 飞行工程师俄罗斯航天员丹尼斯·马特维耶夫, 指令长俄罗斯航天员奥列格·阿特米耶夫, 飞行工程师俄罗斯航天员谢尔盖·科尔萨科夫, 飞行工程师 / 龙飞船



Crew-4 美国航天员杰西卡·沃特金斯，飞行工程师 / 龙飞船  
Crew-4 美国航天员谢尔·林格伦。



指令长 奥列格·阿特米耶夫

现年 52 岁，莫斯科鲍曼国立技术大学和俄罗斯国家服务学院毕业后，在部队服役。1998 年开始在科罗廖夫火箭和能源航天公司工作，曾负责航天员水下训练设备测试、星辰服务舱发射前检测和出舱活动控制系统等方面的工作。2003 年入选航天员。2007 年至 2009 年期间参与了为期 15 天和 105 天的“火星-500”计划前期研究。2014 年担任第国际空间站 39/40 长期考察组飞行工程师。2018 年，参加第国际空间站 55/56 长期考察组任务。2022 年，担任第 66/67 长期考察组飞行工程师和指令长。3 次任务先后共完成 8 次舱外活动。



飞行工程师 丹尼斯·马特维耶夫

现年 39 岁，2006 年毕业于莫斯科大学后，进入加加林航天员训练中心工作，担任工程师。2009 年成为高级工程师。2010 年入选航天员，2012 年获得航天员资格。2021 年开始为国际空间站任务训练。2022 年成为国际空间站第 66/67 考察组飞行工程师，期间完成 4 次舱外活动。



飞行工程师 谢尔盖·科尔萨科夫



现年 38 岁，毕业于莫斯科鲍曼国立技术大学火箭发动机专业，研究生，随后就职于私人公司。2012 年入选航天员，2014 年获得航天员资格。2020 年开始接受空间站任务训练。原计划 2021 年参加国际空间站飞行任务，但他的位置被美国航天员马克·范德海取代，直到 2022 年终于完成飞行。担任飞行工程师期间，谢尔盖完成了大量照片拍摄并共享在推特上。



飞行工程师 / 龙飞船 Crew-4 指令长 谢尔·林格伦

现年 49 岁，得克萨斯大学医学分校公共卫生硕士，科罗拉多州立大学医学博士，明尼苏达大学健康信息学博士后。2007 年开始在 NASA 工作，担任航天飞机和国际空间站乘组医生。2009 年入选航天员，2011 年完成训练，训练结束后，进入舱外活动部门工作。2015 年参加国际空间站第 44/45 长期考察组，期间完成 2 次舱外活动。2022 年担任龙飞船 Crew-4 乘组指令长，成为第 67/68 长期考察组飞行工程师。



飞行工程师 / 龙飞船 Crew-4 驾驶员 鲍勃·海恩斯

现年 47 岁，波士顿大学航空航天工程专业毕业后，进入美国空军试飞员学校获得飞行测试工程硕士学位。随后在阿拉巴马大学获得航空航天工程理学硕士学位，还完成了美国空军空战学院的学习。2012 年，在空军服役 18 年后进入 NASA 约翰逊航天中心担任飞行教员并进行抛物线飞行及研究任务。2017 年入选航天员，随后被分配到探索办公室，担任“猎户座”航天员技术主管以及载人着陆器系统操作质量和飞行控制专家。2022 年担任龙飞船 Crew-4 驾驶员，并成为第 67/68 长期考察组飞行工程师。



飞行工程师 / 龙飞船 Crew-4 任务专家 杰西卡·沃特金斯





现年 34 岁，斯坦福大学地质与环境科学学士，加州大学洛杉矶分校地质学博士。在加州理工学院地质与行星科学部进行博士后研究期间，是“好奇号”火星探测器科学团队的成员。2009 年在火星沙漠研究站担任首席地质学家，2011 年担任荒漠试验模拟任务的科学运营团队成员。2017 年入选航天员，2019 年参加 NEEMO-23 “宝瓶座”海底模拟任务乘组。2022 年担任龙飞船 Crew-4 任务专家，并成为第 67/68 长期考察组飞行工程师。



飞行工程师 / 龙飞船 Crew-4 任务专家 萨曼莎·克里斯托弗雷蒂

现年 45 岁，意大利航天员。毕业于慕尼黑工业大学机械工程专业，曾在法国图卢兹和莫斯科的大学毕业，完成波佐利航空学院航空科学专业的学习后，成为意大利空军第一批女中尉和战斗机飞行员之一，随后晋升为上尉。2009 年入选欧洲航天局航天员，2014 年参加国际空间站第 42/43 长期考察组，担任飞行工程师。2019 年担任 NEEMO-23 “宝瓶座”海底模拟任务指令长。2022 年搭乘龙飞船 Crew-4 加入国际空间站第 67/68 长期考察组，成为第一位欧洲女指令长和第一位完成舱外活动的欧洲女航天员。



## 公理 1 号任务乘组

(任务时间：2022 年 4 月 8 日—2022 年 4 月 25 日)



(从左至右) 飞行员拉里·康纳，任务专家马克·帕蒂，指令长迈克尔·洛佩斯-阿莱格里亚任务专家艾坦·斯蒂比。



Ax-1 指令长迈克尔·洛佩斯-阿莱格里亚



现年 64 岁，美国海军研究生院航空工程硕士，参加哈佛大学肯尼迪政府学院国家和国际安全高级管理人才计划学习。大学毕业后在海军服役，曾任海军航空测试中心工程试飞员和项目主管。1992 年入选航天员，1995 年担任哥伦比亚航天飞机 STS-73 飞行任务专家，2000 年担任发现号航天飞机 STS-92 飞行任务专家，2002 年担任奋进号航天飞机 STS-113 飞行任务专家，2006 年参加国际空间第 14 长期考察组，担任飞行工程师和空间站指令长，在 4 次航天任务中共完成 10 次出舱活动。2012 年从 NASA 退役，随后担任华盛顿特区商业航天联合会主席，公理太空公司业务发展副总裁，2022 年入选 Ax-1 乘组。



Ax-1 飞行员拉里·康纳

现年 73 岁，美国企业家和慈善家，毕业于俄亥俄州立大学，获得英语和历史双学位。高中就开始创业，是康纳集团的创始人和执行合伙人，该集团主要业务为房地产投资，资产超过 30 亿美元。康纳还是著名的探险家，并且是著名的梅奥诊所的战略合作伙伴，致力于解决全球范围内与老龄化相关的问题。在 Ax-1 任务期间，他进行了四项实验，研究航天飞行期间的心脏、

大脑、脊柱和衰老情况。



Ax-1 任务专家艾坦·斯蒂比

现年 65 岁，以色列企业家，拥有比利时欧洲大学的工商管理硕士学位，以及以色列拉马特甘巴伊兰大学的数学和计算机科学学士学位。曾在以色列空军服役 43 年，退役后创办了 LR 集团和“重要资本”风险基金公司。作为在 2003 年哥伦比亚号航天飞机事故中牺牲的首位以色列航天员伊兰·拉蒙的密友，成立了拉蒙基金会。2022 年 4 月，Ax-1 任务期间成为第二个进入太空的以色列人，也是第一个访问国际空间站的以色列人。



Ax-1 任务专家马克·帕蒂

现年 53 岁，加拿大企业家和慈善家，拥有多伦多大学文



学学士和欧洲工商管理学院 MBA 学位。就职于家族企业经营航运公司，并创立了 MAVRIK 投资公司和媒体公司。在本次 Ax-1 任务中，与加拿大航天局和蒙特利尔儿童医院合作，在任务期间开展了科学研究项目。

## 国际空间站第 68 长期考察组

(任务时间：2022 年 9 月—2023 年 3 月)



(从左至右) 飞行工程师美国航天员弗兰克·卢比奥，飞行工程师俄罗斯航天员德米特里·佩特林，飞行工程师 / 龙飞船 Crew-5 任务专家日本航天员若田光一，飞行工程师 / 龙飞船 Crew-5 驾驶员美国航天员乔希·卡萨达，飞行工程师 / 龙飞船 Crew-5 指令长美国航天员妮可·曼，指令长俄罗斯航天员谢尔盖·普罗科皮耶夫，飞行工程师 / 龙飞船 Crew-5 任务专家俄罗斯航天员安娜·基金娜。



指令长 谢尔盖·普罗科皮耶夫

现年 47 岁，俄罗斯巴拉肖夫军事飞行学校和米丘林农业大学毕业。1997 年进入空军服役，曾担任战略轰炸机“图”-160 指挥官，少校。2010 年入选航天员。2015 年加入国际空间站俄罗斯舱段和联盟 TMA-M 飞船的改进小组。2018 年成为国际空间站第 56/57 长期考察组飞行工程师和指令长，完成 2 次舱外活动任务，释放了 4 颗小卫星。2022 年担任国际空间站第 67/68 长期考察组飞行工程师和指令长，完成 2 次舱外活动。



飞行工程师 德米特里·佩特林

现年 39 岁，在俄罗斯南乌拉尔大学主修飞机制造，毕业



后在尼克有限责任公司担任工程师。2012年入选航天员，2014年获得航天员资格。2020年10月到2021年2月，作为国际空间站第65长期考察组后备航天员接受训练。2022年加入国际空间站第67/68长期考察组，在11月开展舱外活动期间，由于航天服故障而被迫提前结束，他计划于2023年3月28日返回。



飞行工程师 弗兰克·卢比奥

现年46岁，美国陆军中校，获得西点军校国际关系学士学位，贝塞斯达健康科学统一服务大学医学博士学位。在进入医学院之前，他曾担任UH-60黑鹰直升机飞行员，飞行时间超过1100小时，其中包括在波斯尼亚、阿富汗和伊拉克600多个小时的战斗经验。医学院毕业后，在美国陆军第10特种部队(空降)第3营担任外科医生。2017年入选航天员。2022年，参加国际空间站第67/68长期考察组，完成2次舱外活动，部署柔性太阳能电池板。



飞行工程师 / 龙飞船 Crew-5 指令长 妮可·曼

现年 45 岁，拥有美国海军学院机械工程专业学士学位，斯坦福大学流体力学专业硕士学位。她是美国海军陆战队的上校，担任 F/A-18 “大黄蜂”和“超级大黄蜂”的试飞员。曾两次登上航空母舰，支持在伊拉克和阿富汗的作战行动。2013 年入选航天员，是第 21 批航天员班组成员，2015 年担任 T-38 安全和训练官，并担任首席航天员探索领域的助理，领导航天员团队参与开发“猎户座”飞船、太空发射系统和月球探测地面系统。2022 年，担任 SpaceX Crew-5 指令长和空间站第 68 长期考察组飞行工程师，成为第一位进入太空的女性美国（印第安）原住民。



飞行工程师 / 龙飞船 Crew-5 驾驶员 乔希·卡萨达

现年 49 岁，阿尔比恩学院物理学学士，罗彻斯特大学高能粒子物理专业硕士和博士，在费米国家加速器实验室进行高能物理研究。博士毕业后进入海军服役，驾驶 P-3C 进行了两次实战行动，包括 23 次战斗任务，他是 P-3C 和 P-8A 试飞员，同时也是美国海军试飞员学校的教官。随后创立了“量子作品”有限公司。2013 年入选航天员，完成训练后，在任务控制中心负责保障空间站操作和组装任务。2022 年，担任 SpaceX Crew-5 飞行驾驶员和空间站第 68 长期考察组飞行工程师，完成国际空间站 2 次舱外活动。



飞行工程师 / 龙飞船 Crew-5 任务专家 若田光一

现年 59 岁，日本九州大学航空航天工程博士，曾担任日本航空公司的结构工程师。1992 年入选航天员，1996 年参加奋进号航天飞机 STS-72 飞行任务，2000 年加入发现号航天飞机 STS-92 任务。2009 年担任国际空间站第 18/19/20 长期考察组飞行工程师，成为第一位参加空间站长期任务的日本航天员。2013 年，参加国际空间站第 38/39 长期考察组，成为第一位担任指令长的日本航天员。2022 年，担任 SpaceX Crew-5 任务专家和空间站第 68 长期考察组飞行工程师。



飞行工程师 / 龙飞船 Crew-5 任务专家 安娜·基金娜

现年 38 岁，曾接受人员搜救专业学习，新西伯利亚国家海事学院经济学和商业管理学毕业。她曾在阿尔泰地区做过导游，还担任过游泳和空降兵教练，还是全能训练和漂流的运动专家，西伯利亚阿勒泰电台的节目总监。2012 年入选航天员，成为俄罗斯航天局唯一一名现役女航天员。2017 年参加“天狼星”月球模拟飞行任务。在 2022 年 7 月美俄达成的“混搭”乘组协议下，她被指派担任 SpaceX Crew-5 任务专家和空间站第 68 长期考察组飞行工程师。