

# 美国地月空间战略的发展进程与实施现状<sup>[1]</sup>

孙 逊 高宏宇

**【内容提要】**近年来，地月空间因其独特的实体特性，成为了各国外空探索的新目标。地月空间战略价值高，对人类太空探索意义重大。在商业航天企业扩张和全球地月空间竞赛的刺激下，美国积极布局，在特朗普和拜登两届政府的先后运筹下，初步形成了以谋求地月空间领导地位为战略目标，围绕“阿尔忒弥斯”计划这一核心，以军事利用、商业开发、基础建设与国际合作为实施路径的地月空间战略。但同时，“阿尔忒弥斯”计划的实施举步维艰，商业航天企业独木难支，地月空间态势感知面临技术困境，使得美国地月空间战略面临多重挑战。未来，美国必将继续强化其地月空间战略，并在这一领域同中国开展全方位竞争和博弈。

**【关键词】**美国 地月空间战略 太空军事化 太空竞赛

**【作者简介】**孙逊，国防科技大学外国语学院国际关系系教授；高宏宇，国防科技大学外国语学院政治学专业硕士研究生。

**【中图分类号】**D815

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1006-6241 (2024) 04-0049-25

---

[1] 作者感谢《和平与发展》匿名评审专家及编辑部对本文提出的宝贵修改意见，文中错漏概由本人负责。

作为国家战略的“高边疆”，太空一直是大国竞争的重要领域。长期以来，尽管不少国家致力于月球、火星乃至深空探索，但由于技术和资源的限制，人类的太空活动仍主要集中于地球同步轨道及以下空间，并重点聚焦于国防军事领域。近年来，随着可重复使用火箭、小型卫星等技术的发展，航天器的发射和运营成本极大降低，商业和民用航天产业获得巨大进展，加速了对月球、小行星等太空资源的开发和利用，人类的太空活动范围逐渐由地球同步轨道向地月空间（Cislunar Space）拓展。同时，机器人、3D打印、在轨制造等前沿技术的稳步推进使得人类建立长期月球存在并进一步向深空探索成为可能。

地月空间作为人类前往深空的第一步，因其在政治、经济、军事等领域的价值以及拥有能源、矿产等稀缺战略资源，成为了大国角逐的“新边疆”。<sup>[1]</sup>在美国“阿尔忒弥斯”计划（Artemis Program）<sup>[2]</sup>和中国“嫦娥”探月工程的推动下，各国纷纷布局地月空间，制定相关战略，加快实施地月空间探索。作为航天大国，美国太空技术实力雄厚并高度重视中美在太空领域的竞争，将地月空间视为下一个战略竞争的焦点，因而对地月空间探索布局早、时间久。尽管直到2022年11月，美国才首次以地月空间为名发布《国家地月空间科学与技术战略》（National Cislunar Science and Technology Strategy），但早在特朗普政府时期，美国就已出台多份文件，试图抢占地月空间领导地位，建立地月空间霸权，进而巩固其太空领先地位并增强全球领导力。本文旨在探究美国地月空间战略的形成过程，分析这一战略加速推进的动因，并对其战略限度进行评估探讨。

---

[1] Laura Duffy, James Lake, “Cislunar Spacepower The New Frontier,” *Space Force Journal*, December 31, 2021, <https://spaceforcejournal.org/3859-2/>.

[2] “阿尔忒弥斯”计划是一项由美国国家航空航天局主导，由多国政府机构与私人公司参与的月球探索计划。该计划的短期目标是实现第一位女性和第一位有色人种登月，通过“1号”“2号”“3号”三次任务，分别实现航天器无人绕月试飞、载人绕月试飞以及载人登月。长期目标是在月球建立可持续的人类存在，并为今后探索火星和其他航天目标奠定基础。

## 一、美国地月空间战略的缘起

由于技术、政治、经济等方面的限制，长期以来，美国并不存在独立的地月空间战略，对地月空间的探索长期局限于载人登月等月球相关活动，并受国家太空战略或太空政策指导。这一现象直到特朗普政府时期才得以改变，并在拜登时期逐步形成了独立的地月空间战略。

### （一）地月空间的意涵

当前，尽管许多国家和组织都争相开发地月空间，但国际航天界并不存在统一的地月空间定义。通常而言，关于地月空间存在两种定义：一种认为地月空间是地球和月球之间受到地月系统引力影响的区域，它既包括地球同步轨道及其下方的近地轨道（距离地球 2000 公里及以下）和中高度地球轨道（距离地球 2000 公里以外至 35586 公里之间）等区域，又包括月球轨道、地月转移轨道、地月拉格朗日点轨道（Lagrange Points）等地球同步轨道以外的区域<sup>[1]</sup>；另一种定义则认为地月空间是地球同步轨道以外（距离地球 36000 公里以上）到月球表面的区域。<sup>[2]</sup>除此之外，2010 年的美国国家航空航天局（NASA，以下简称美国航天局）授权法案将地月空间定义为“从地球到月球表面，包括月球表面周围的区域”。<sup>[3]</sup>上述定义都涵盖了地月空间的基本特征，即处于该区域的物体会同时受到地球和月球引力的影响，但对于地月空间是否包括地球同步轨道及以下区域，以及地月空间是否包括月球及其周边区域，上述各定义存在分歧。

---

[1] Marianne R. Bobskill, Mark L. Lupisella, “The Role of Cis-Lunar Space in Future Global Space Exploration,” *Global Space Exploration Conference*, May 22, 2012, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120009459/downloads/20120009459.pdf>.

[2] Kaitlyn Johnson, *Fly Me To The Moon: Worldwide Cislunar and Lunar Missions*, Center for Strategic and International Studies, February 1, 2022, p.2.

[3] “National Aeronautics and Space Administration Authorization Act of 2010,” August 5, 2010, p.2809, <https://www.congress.gov/bill/111th-congress/senate-bill/3729/text>.

美国《国家地月空间科学与技术战略》则综合上述定义，将地月空间定义为“地球同步轨道以外主要受地球和 / 或月球引力影响的三维空间”，包括了全部的地月拉格朗日点区域、利用这些区域的轨道以及月球表面。<sup>[1]</sup> 该定义提出后受到了美国各界的广泛使用。本文的研究和讨论将基于该定义。

## （二）美国地月空间活动的发展沿革

冷战时期，美国的地月空间活动集中于美国航天局领导的“阿波罗登月计划”（Apollo Program）。1969—1972年，美国通过该计划共计实现6次登月，将12名宇航员送上月球，使美国成为了世界上第一个也是唯一一个成功实现载人登月的国家。但美国此举很大程度上是被迫回应苏联的权宜之计，带有很强的意识形态对抗色彩，不具备长期性和可持续性。同时，耗资巨大的“阿波罗登月计划”也引起了民众的不满。根据1969年美国知名市场调研机构哈里斯民意调查（Harris Poll）发布的报告显示，56%的美国人认为“阿波罗登月计划”的花费过于庞大，64%的美国人认为美国航天局每年预算过多。<sup>[2]</sup> 此后，美国航天局的预算被大幅缩减，由1965年巅峰时期的52亿美元减至1975年的32亿美元。<sup>[3]</sup> 美国对地月空间的关注逐步被反导系统、反卫星武器等所取代。

冷战结束前后，美国积极谋求太空霸权，登月计划被再次提上议程。但受限于经费条件，美国的登月计划一波三折，长期未能实现。老布什政府时期，美国成立了国家太空委员会，大力推动登月计划。1989年7月20日，即阿波罗11号登月20周年之际，老布什发表讲话，提出在未来10年建

---

[1] The White House, *National Cislunar Science and Technology Strate*, November 11, 2022, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/11/11-2022-NSTC-National-Cislunar-ST-Strategy.pdf>.

[2] Louis Harris, *The Harris Survey Yearbook of Public Opinion 1970*, New York: Louis Harris and Assoc., 1971, pp.83-84.

[3] “Budget of NASA from 1959 to 2020 (in million U.S dollars), by 2020 and non-adjusted dollars,” Statista, February 10, 2020, <https://www.statista.com/statistics/1022937/history-nasa-budget-1959-2020/>.

成“自由”空间站，在 21 世纪重返月球，探索火星。<sup>[1]</sup>该讲话也被称为“太空探索倡议”（SEI），但由于成本过高，老布什政府不得不放弃地球轨道以外的探索。<sup>[2]</sup>克林顿政府上台后，其关注重点由“将人类存在拓展至地球轨道以外的太阳系”<sup>[3]</sup>变为“增进对地球、太阳系和宇宙的了解”<sup>[4]</sup>，强调太空科学研究和商业太空产业的发展，地球轨道外的探索被移出了国家议程。

小布什政府则恢复了老布什政府对地月空间探索的雄心壮志，于 2004 年提出“太空探索愿景”（Vision for Space Exploration），计划在 2010 年前完成国际空间站建设，到 2020 年重返月球，进而为人类探索火星做准备。<sup>[5]</sup>为实现上述目标，美国航天局启动了“星座计划”（Constellation Program）。但由于经费不足，奥巴马政府于 2010 年宣布取消“星座计划”，并以美国已经实现登月为由，将重心转向月球外的深空探索，计划于 2025 年实现载人小行星探索，21 世纪 30 年代中期实现登陆火星。<sup>[6]</sup>但囿于技术原因，奥巴马政府的小行星计划依然寸步难行，沦为了安抚和争取佛罗里达等太空产业势力大州的权宜之计，客观上悬置了地球同步轨道外的探索，受到了美国学界和政界的广泛批评。

---

[1] George Bush, “Remarks on the 20th Anniversary of the Apollo 11 Moon Landing,” July 20, 1989, <https://www.presidency.ucsb.edu/documents/remarks-the-20th-anniversary-the-apollo-11-moon-landing>.

[2] NASA, “Space Exploration Initiative (SEI),” January 17, 2024, <https://www.nasa.gov/history/sei/>.

[3] The White House, “National Space Policy Directives and Executive Charter,” November 2, 1989, <https://spp.fas.org/military/docops/national/nspd1.htm>.

[4] The White House, “Fact Sheet National Space Policy,” September 19, 1996, <https://clintonwhitehouse5.archives.gov/WH/EOP/OSTP/NSTC/html/fs/fs-5.html>.

[5] The White House, “President Bush Announces New Vision for Space Exploration Program,” January 14, 2004, <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/news/releases/2004/01/20040114-3.html>.

[6] The White House, “Remarks by the President on Space Exploration in the 21st Century,” April 15, 2010, <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/remarks-president-space-exploration-21st-century>.

### （三）特朗普政府执政以来美国地月空间战略的形成

2017年1月特朗普政府上台后，美国太空探索的重点重新回到月球，提出从近地轨道以外的任务开始，重返月球以进行长期探索与利用，并以此为跳板前往火星。同年12月，特朗普颁发第1号太空政策指令，规定商业伙伴可参与美国主导的重返月球和前往火星及其他太空目的地的任务。<sup>[1]</sup>为此，美国航天局公布了“阿尔忒弥斯”计划。同时，特朗普政府突破此前政府的局限，开始关注月球探索以外的地月空间活动，如地月空间轨道运输<sup>[2]</sup>及地月空间定位、导航与授时系统（PNT）的建立与应用等<sup>[3]</sup>，试图利用地月空间来开发人类在月球可持续存在所需的关键技术、行动能力和商业太空经济。<sup>[4]</sup>地月空间在美国太空政策中的独立性和重要性逐步凸显。

拜登政府与此前历届政府不同，其上台后并未改变特朗普政府时期的登月计划，而是继承其大部分太空项目，以更为务实的态度推进“阿尔忒弥斯”计划，同时持续提升地月空间在美国太空政策中的地位，将“推动建立健全地月生态系统”作为其太空政策的优先事项。<sup>[5]</sup>2022年11月，拜登政府发布《国家地月空间科学与技术战略》，提出要“促进地月空间长期

---

[1] The White House, “Presidential Memorandum on Reinvigorating America’s Human Space Exploration Program,” December 11, 2017, <https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/presidential-memorandum-reinvigorating-americas-human-space-exploration-program/>.

[2] The White House, “Memorandum on The National Space Policy,” December 9, 2020, <https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/memorandum-national-space-policy/>.

[3] The White House, “Memorandum on Space Policy Directive 7,” January 15, 2021, <https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/memorandum-space-policy-directive-7/>.

[4] The White House, “A New Era for Deep Space Exploration and Development,” July 23, 2020, <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2020/07/A-New-Era-for-Space-Exploration-and-Development-07-23-2020.pdf>.

[5] The White House, “United States Space Priorities Framework,” December 1, 2021, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/12/01/united-states-space-priorities-framework/>.

发展”，“将美国空间态势感知能力拓展至地月空间”。<sup>[1]</sup>这是美国首份以地月空间命名的国家战略，标志着美国地月空间战略的初步形成。

## 二、美国地月空间战略的形成动因

冷战后美国政府对于地月空间的态度带有鲜明的两党色彩。共和党重视美国的单边行动，试图构建并推动庞大的登月和深空探索计划。民主党则突出地球轨道的民用、商用价值和国际合作因素，不希望为登月计划耗费过多。然而，两党在维护美国太空霸权地位上是一致的。随着全球航天技术的发展，地月空间的战略价值逐步凸显，美国地月空间经济不断发展。最终，在美国国内各界的要求和全球地月空间竞赛的刺激下，两党的政策倾向在特朗普政府时期合流，并为拜登政府所继承和发展，形成了独立的地月空间战略。

### （一）地月空间的战略价值是促进美国地月空间战略形成的客观因素

首先，地月空间蕴含丰富的战略资源，如水、氦-3、稀土金属等。水是太空探索所必需的生产和生活资源，通常需要通过航天器运输。经探索和研究发现，月球的南极存在大量以冰的形式存在的水，如果能够就地开采使用，将可以节省大量燃料，延长航天器的寿命，或者使航天器搭载更多有效载荷，从而提高探索效率。水还可以电解为氧气和氢气，从而为人类活动提供支撑，并在液化后作为火箭推进剂。氦-3是核聚变的主要原料，通过核聚变，可提供远超化石燃料的能量。由于月球表面缺少大气层或磁场，长期的太阳风轰击使得月表深度3米处至少沉积了约100万吨的氦-3。<sup>[2]</sup> 稀土

---

[1] The White House, *National Cislunar Science and Technology Strategy*, November 17, 2022, <https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2022/11/17/fact-sheet-first-national-cislunar-science-technology-strategy/>.

[2] L. J. Wittenberg, E. N. Cameron, G. L. Kulcinski, S.H. Ott, J. F. Santarius, G. I. Sviatoslavsky, I.N. Sviatoslavsky, H. Thompson, “A Review of Helium-3 Resources and Acquisition for Use as Fusion Fuel,” *Fusion Technology*, Vol.21, 1992, pp.2230-2253.

金属因其高导电性、强磁性等物理特性，在医疗、电子元件乃至精确制导武器等领域应用广泛，对低碳、新材料等技术意义重大。因富含钾、稀土元素和磷而得名克里普岩（KREEP）在月球上分布广泛。<sup>[1]</sup>随着地球稀土资源的需求和供应缺口不断增大，月球稀土资源的重要性开始凸显。

其次，地月空间中的高价值轨道对国防安全意义重大。美国指导其太空军建设、发展和运用的基本军事理论《太空军顶层出版物：天权》认为，太空具有高地的特性，占领高地为战场提供了更为清晰的视野，可为敌方进攻提供早期预警，对敌方部队构成有效障碍，从而具备威慑和遏制能力。<sup>[2]</sup>由于各国太空活动主要集中于地球同步轨道及以下，这使得地月空间，特别是地月拉格朗日点轨道具备了“太空高地”的价值。美国著名战略理论家约翰·柯林斯（John M. Collins）早在1989年就指出，“谁控制了地月拉格朗日L4、L5点，谁就控制了地球—月球系统”。<sup>[3]</sup>地月系统中共有5个引力平衡点，即地月拉格朗日点，通常标记为L1至L5，其中L1、L2与L3为不稳定平衡点，L4与L5为稳定平衡点。位于其上的航天器运行能耗低、寿命长，适合对地对月长期监控并持续获取他国太空情报。位于拉格朗日点上的卫星星座可以提供精确导航、持续通信以及对月球表面的全面监视。<sup>[4]</sup>由于该点可用区域有限，一国可利用其位于拉格朗日点的航天器阻止他国航天器进入该点，或是干扰他国在该点的中转站、传感器等基础设施建设。<sup>[5]</sup>此外，地月拉格朗日点轨道还可以用于天基作战和反卫星攻击，如利用拉格朗日点

---

[1] 欧阳自远、邹永廖、李春来、刘建忠：《月球某些资源的开发利用前景》，载《地球科学》2002年第5期，第500页。

[2] United States Space Force, *Space Capstone Publication Space Power Doctrine for Space Forces*, August 10, 2020, [https://www.spaceforce.mil/Portals/1/Space%20Capstone%20Publication\\_10%20Aug%202020.pdf](https://www.spaceforce.mil/Portals/1/Space%20Capstone%20Publication_10%20Aug%202020.pdf).

[3] John M. Collins, *Military Space Forces: The Next Fifty Years*, McLean: Pergamon-Brassey's International Defense Publishers, 1989, p.1.

[4] Laura Duffy, James Lake, "Cislunar Spacepower The New Frontier," *Space Force Journal*, December 31, 2021, <https://spaceforcejournal.org/3859-2/>.

[5] Shawn Willis, "To The Moon : Strategic Competition in the Cislunar Region," *Ether: A Journal of Strategic Airpower & Spacepower*, Vol.2, 2023, p.19.



实现卫星的长期停泊及对关键太空设施进行伏击，或是利用其变轨的低能耗优势，借助月球引力对低轨卫星实施突然袭击。

最后，地月空间是进行深空探索的中转站和科研站。由于地球处于引力势能深井中，由地球表面直接进入太空十分昂贵。以前往火星为例，航天器进入距地球 400km 的轨道（仍属近地轨道范围）所消耗的燃料占到总量的一半。<sup>[1]</sup> 航天器由地球表面进入太空所需的速度增量超过 9km/s，而从月球表面出发所需的速度增量仅为 1.9km/s，地月拉格朗日点间移动的速度增量则小于 1km/s。<sup>[2]</sup> 因此，地月空间能够以更少的燃料为航天器提供更多的转移和驻留选择。如果月球的原位资源利用<sup>[3]</sup>能够实现，人类就可以直接在月球实现燃料补充、装备建造与组装，乃至建立月球基地，从而更为高效地执行深空探索任务。同时，月球是人类目前唯一能够从地球到达的天体，低引力、高温差、高真空、高辐射的环境是验证新材料等高新技术及深化月球和行星科学研究的绝佳场所。月球表面及其周边还存在屏蔽射频干扰的月球屏蔽区<sup>[4]</sup>，为射天天文学观测提供了良好的静默环境。

## （二）商业航天企业的扩张是推动美国地月空间战略形成的国内动因

进入 21 世纪以来，随着太空技术的快速迭代更新，私人资本大量涌入航天产业，美国乃至全球都已进入以太空商业化和私有化为主要特征的“太空 2.0”时代。在美国政府的大力扶持下，以太空探索技术公司 [SpaceX,

[1] Steven J. Butow, Thomas Cooley, Eric Felt, Joel B. Mozer, *State of the Space Industrial Base 2020: A Time for Action to Sustain US Economic & Military Leadership in Space*, July 28, 2020, [https://afresearchlab.com/wp-content/uploads/2020/07/State-of-the-Space-Industrial-Base-2020-Report\\_July-2020\\_FINAL.pdf](https://afresearchlab.com/wp-content/uploads/2020/07/State-of-the-Space-Industrial-Base-2020-Report_July-2020_FINAL.pdf).

[2] Steve Parr, Emma Rainey eds., *Cislunar Security National Technical Vision*, November 1, 2022, <https://www.jhuapl.edu/Content/documents/CislunarSecurityNationalTechnicalVision.pdf>.

[3] 原位资源利用 (In-situ Resource Utilization, ISRU) 是指通过勘测、获取和利用地外天体的天然或废弃资源，以制造相关物资与设施的技术。参见李志杰、果琳丽：《月球原位资源利用技术研究》，载《国际太空》2017 年第 3 期，第 44 页。

[4] The White House, *National Cislunar Science and Technology Strategy*, November 11, 2022, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/11/11-2022-NSTC-National-Cislunar-ST-Strategy.pdf>.

由埃隆·马斯克（Elon Musk）创办]、蓝色起源公司 [Blue Origin, 由亚马逊公司创始人杰夫·贝索斯（Jeff Bezos）创办] 为代表的“新太空”（New Space）势力异军突起，与洛克希德·马丁公司（Lockheed Martin）、波音公司（Boeing）等“旧太空”（Old Space）势力一道推动美国商业航天产业蓬勃发展。<sup>[1]</sup> 在投资规模上，商业航天投资市场异常繁荣。根据欧洲太空政策研究所（ESPI）的数据，美国私人太空投资由 2019 年的 32 亿欧元增长到 2022 年的 60 亿欧元，其中 2021 年更是高达 90 亿欧元。<sup>[2]</sup> 在火箭发射能力上，商业航天后来居上。2019 年美国共发射火箭 27 次，其中商业发射仅有 10 次。<sup>[3]</sup> 而到 2020 年美国商业发射次数已超过官方，在总共 44 次发射中，32 次为商业发射。<sup>[4]</sup> 此后，美国商业发射次数迅速增长，由 2021 年的 54 次增长至 2023 年的 117 次。<sup>[5]</sup>

商业航天企业主要集中于人造卫星产业。根据美国卫星产业协会（Satellite Industry Association, SIA）统计，2022 年全球太空经济体量约 3840 亿美元，其中人造卫星相关产业占比 73%。<sup>[6]</sup> 在低轨小卫星及其组成的类“星链”（Star Link）卫星星座成为投资热点的背景下，商业卫星产业

---

[1] 张茗：《迈向“太空 2.0”：美国“新太空”的兴起》，载《世界经济与政治》2016 年第 1 期，第 115—139 页。

[2] European Space Policy Institute, *Space Venture Europe 2021: Entrepreneurship and Investment in the European Space Sector*, June 23, 2022, <https://www.espi.or.at/wp-content/uploads/2022/06/ESPI-Report-83-Space-Venture-Europe-2021.pdf>; European Space Policy Institute, *Space Venture Europe 2022: Investment in the European and Global Space Sector*, May 10, 2023, [https://www.espi.or.at/wp-content/uploads/2023/07/ESPI-Report-85-Space-Venture-Europe\\_Updated.pdf](https://www.espi.or.at/wp-content/uploads/2023/07/ESPI-Report-85-Space-Venture-Europe_Updated.pdf).

[3] Bryce Tech, *2019 Orbital Launches Year in Review*, 2019, [https://brycetech.com/reports/report-documents/Orbital\\_Launches\\_Year\\_in\\_Review\\_2019.pdf](https://brycetech.com/reports/report-documents/Orbital_Launches_Year_in_Review_2019.pdf).

[4] Bryce Tech, *2020 Orbital Launches Year in Review*, June 2021, [https://brycetech.com/reports/report-documents/Orbital\\_Launches\\_Year\\_in\\_Review\\_2020.pdf](https://brycetech.com/reports/report-documents/Orbital_Launches_Year_in_Review_2020.pdf).

[5] Statista, *U.S. commercial space launches from 1990 to 2023*, March 26, 2024, <https://www.statista.com/statistics/185464/total-us-commercial-space-launches-since-1990/>.

[6] Satellite Industry Association, *Executive Summary of the 2023 Report*, June 21, 2023, <https://sia.org/wp-content/uploads/2023/06/FOR-WEBSITE-SSIR23-Exec-Summary-Slide-FINAL.pdf>.

主要集中于近地轨道和地球同步轨道活动。但商业航天企业的野心并未止步于此。一方面，商业航天企业的地月空间探索具有浓厚的理想主义色彩。以埃隆·马斯克和杰夫·贝索斯为代表的“新太空”势力企业家渴望人类向深空拓展、定居太阳系以及成为“多行星物种”（Multi-planetary Species）<sup>[1]</sup>，而建立月球基地是探索地月空间的第一步。“旧太空”企业波音和洛克希德·马丁公司也顺势而为，它们的合资子公司联合发射联盟（United Launch Alliance）早在2016年就提出了“地月空间1000”（Cislunar 1000）构想<sup>[2]</sup>，试图构建以地月运输系统为基础的自给自足的太空经济，并计划在30年左右时间内实现1000人在地月空间工作和生活。另一方面，巨大的商业前景驱使商业航天企业向地月空间扩张。英国普华永道会计师事务所（PwC）在2021年发布的报告中估计，未来20年是月球活动的关键，月球相关商品和服务将迅速扩大，到2040年将超过1700亿美元。其中，与地月空间关系最为密切的月球运输产业将在2040年达到1000亿美元，商业部门贡献率将从2020—2030年的略高于10%，上升至2031—2040年的50%以上。<sup>[3]</sup>在理想与利益的双重驱动下，美国商业航天企业纷纷将目光投向地月空间的探索与开发，如太空探索技术公司的“星舰”（Starship）项目，蓝色起源公司的“蓝月亮”（Blue Moon）月球登陆器，量子空间公司（Quantum Space）的“量子网”（QuantumNet）项目等。<sup>[4]</sup>2024年2月22日，直觉机

---

[1] Nick Statt, “Elon Musk Says the Only Reason He Wants to Make Money Is to Colonize Mars,” *The Verge*, September 27, 2016, <https://www.theverge.com/2016/9/27/13079472/elon-musk-mars-space-x-tesla-funding-dream>.

[2] Bernard F. Kutter, “Cislunar-1000: Transportation supporting a self-sustaining Space Economy,” in *AIAA Space Conference and Exposition 2016*, Long Beach, California, September 13–16, 2016.

[3] Luigi Scatteia, Yann Perrot, *Lunar market assessment: market trends and challenges in the development of a lunar economy*, Pricewaterhouse Coopers, September 2021, <https://www.pwc.com.au/industry/space-industry/lunar-market-assessment-2021.pdf>.

[4] 量子空间公司研发的卫星星座，旨在为用户提供地球同步轨道和地月空间的通信、导航和空间态势感知服务。参见 Debra Werner, “Quantum Space reveals plan for Scout-1 satellite and Sentry mission,” *Space News*, November 14, 2023, <https://spacenews.com/quantum-space-reveals-plan-for-scout-1-satellite-and-sentry-mission/>.

器公司（Intuitive Machines）的“奥德修斯”（Odysseus）着陆器在月球南极成功实现软着陆<sup>[1]</sup>，成为美国自1972年“阿波罗17号”任务以来首个登月的航天器，该公司也成为了世界第一家成功登月的商业公司。

随着商业航天企业进入地月空间，美国各界也呼吁美国政府制定有关战略或计划促进地月空间经济发展。美国航空航天公司（Aerospace Corporation）旗下的太空政策与战略中心（The Center for Space Policy and Strategy）早在2018年就将投资开发地月空间视为促进美国太空商业和太阳系探索的一项战略。<sup>[2]</sup>美国国防创新小组（DIU）、空军研究实验室（AFRL）和太空军发布的《2020年太空产业基础状况》报告则建议美国政府制定国家战略，将地月经济推向市场，并要求政府提出与中国类似的长期愿景。该报告基于2020年太空产业基础会议编写，囊括了美国政界、商界、学界以及军界对于太空产业的观点和建议。<sup>[3]</sup>美国智库大西洋理事会（Atlantic Council）则从短期、中期、长期三部分对美国未来30年的地月空间发展做出规划，建议美国短期内通过“阿尔忒弥斯”计划增进对地月空间安全层面的利用，中期内将民用和军用太空实体的活动范围推至地月空间，长期则应寻求在拉格朗日点处建立基础设施，为地月空间经济服务。

### （三）全球地月空间竞赛为美国地月空间战略的形成提供了国际环境

地月空间巨大的战略价值与商业潜力同样吸引了美国以外的其他航天大国关注。它们纷纷以登月计划为牵引，将本国的太空存在推向地月空间，太空竞赛逐步由地球同步轨道延伸至地月空间。俄罗斯自2013年以来相

---

[1] Marcia Dunn, “Private lander makes first US moon landing in more than 50 years,” The Associated Press, February 23, 2024, <https://apnews.com/article/moon-landing-private-company-intuitive-machines-9c896bfca61582773d381f4045fd35d7>.

[2] James A. Vedda, *Cislunar Development: What to Build and Why*, The Aerospace Corporation, April 17, 2018, <https://csps.aerospace.org/sites/default/files/2021-08/CislunarDevelopment.pdf>.

[3] Steven J. Butow, Thomas Cooley, Eric Felt, Joel B. Mozer, *State of the Space Industrial Base 2020: A Time for Action to Sustain US Economic & Military Leadership in Space*, July 28, 2020, [https://afresearchlab.com/wp-content/uploads/2020/07/State-of-the-Space-Industrial-Base-2020-Report\\_July-2020\\_FINAL.pdf](https://afresearchlab.com/wp-content/uploads/2020/07/State-of-the-Space-Industrial-Base-2020-Report_July-2020_FINAL.pdf).

继发布《2030年前及未来航天活动国家政策》《2016—2025联邦航天计划》《月球综合探索与开发计划》等方案，并于2023年8月发射“月球-25”号探测器，时隔47年重启探月计划。尽管“月球-25”号出师不利，但俄总统普京已宣布将继续支持探月项目。<sup>[1]</sup>目前，俄罗斯计划在2031—2040年实现载人登月，2041—2050年建设月球基地。<sup>[2]</sup>印度于2003年启动“月船”（Chandrayaan）探月计划，并在2023年8月23日成功实现“月船3号”在月球南极着陆，成为首个实现探测器在月球南极登陆的国家。在“月船3号”的激励下，印度计划到2040年实现载人登月。<sup>[3]</sup>欧洲航天局（ESA）于2016年提出“欧洲探索包络计划”（European Exploration Envelope Program, E3P），并在2021年后更名为“新世界”（Terra Novae）。<sup>[4]</sup>该计划涵盖近地轨道、月球和火星三大探索目标，旨在维持欧洲太空存在，增强欧洲自主探月能力，以及于2030年前实现载人登月。此外，日本、以色列、阿联酋等国也不断增强探测载荷的本土研制能力，试图在全球登月浪潮中占据一席之地。

地月空间竞赛的不断加剧使得美国认为自身领导地位和太空行动自由正在受到挑战，因而必须有效规划并加快行动，以超越地月空间的主要竞争对手。<sup>[5]</sup>在中美战略竞争日益激烈的背景下，中国首当其冲地被美国视为其太空领导地位的“挑战者”、地月空间的“主要竞争对手”和“阿尔忒弥斯”计划的主要障碍。

第一，美国将中国到2045年全面建成航天强国的目标，视为对美国太

---

[1]《普京：俄罗斯将继续探索月球，探月项目不会停止》，俄罗斯卫星通讯社，2023年10月27日，<https://sputniknews.cn/20231027/1054429393.html>。

[2]《俄罗斯计划在2031至2040年间将宇航员送上月球》，新华网，2023年11月16日，[http://www.news.cn/world/2023-11/16/c\\_1129978387.htm](http://www.news.cn/world/2023-11/16/c_1129978387.htm)。

[3] Sharmila Kuthunur, “India wants to land astronauts on the moon in 2040,” Space News, October 19, 2023, <https://www.space.com/india-land-astronauts-moon-2040>。

[4] Europe Space Agency, *Terra Novae 2030+ Strategy Roadmap*, July 4, 2022, [https://esamultimedia.esa.int/docs/HRE/Terra\\_Novae\\_2030+strategy\\_roadmap.pdf](https://esamultimedia.esa.int/docs/HRE/Terra_Novae_2030+strategy_roadmap.pdf)。

[5] Brien Flewelling, “Securing cislunar space: A vision for U.S. leadership,” Space News, November 9, 2020, <https://spacenews.com/op-ed-securing-cislunar-space-a-vision-for-u-s-leadership/>。

空领导地位的挑战。美国认为“中国正在执行一项长期的民用、商业和军事战略，以探索地月空间并推动地月空间经济发展，其明确目标是取代美国成为领先的太空强国”<sup>[1]</sup>，而美国缺乏类似中国的长期愿景，无法提供明确的目标，加之探月计划又长期反复，因而在顶层设计和资源投入上落后于中国。特别是在2024年5月“嫦娥”六号探测器成功发射后，美国航天局局长比尔·尼尔森（Bill Nelson）更是直接表达了对中国率先登月和美国丧失太空主导地位的担忧。<sup>[2]</sup>

第二，美国将中国在探月工程上取得的成就视为军事威胁。美国认为中国于2020年11月所发射“嫦娥”五号探测器的月球采样返回能力具有明确的军事指向，其在地月空间和地月拉格朗日点之间的转移能力使其可以在地月空间干扰美国航天器。<sup>[3]</sup>美国智库甚至构想中美在南海爆发冲突时，中国利用“鹊桥”中继卫星从地月拉格朗日点加速打击地球同步轨道。

第三，美国视国际月球科研站项目与《阿尔忒弥斯协议》（Artemis Accords）分庭抗礼。2021年3月，中俄两国签署《关于合作建设国际月球科研站的谅解备忘录》，启动国际月球科研站项目。中俄两国秉持“共商、共建、共享”的原则，并对所有感兴趣的国家和国际伙伴开放，目前已有委内瑞拉、巴基斯坦等另外10国以及亚太空间合作组织、阿拉伯天文学和空间科学联盟、匈牙利太阳物理学基金会等机构加入。在“嫦娥”六号任务中，中国搭载了法国、意大利、巴基斯坦及欧洲航天局的科学载荷，充分展现了中国探月工程的开放性和包容性。尽管由美航天局和国务院主导的《阿尔忒弥斯协议》拥有43个签约国，而且规模远大于国际月球科研站项目，但美国仍然认为相互竞争的两个“天缘政治联盟”（Astropolitical Alliances）已经形成，并将中国的“鹊桥”卫星星座计划视为通过提供月球

[1] Air Force Space Command, *The Future of Space 2060 and Implications for U.S. Strategy*, September 5, 2019, p.15.

[2] “NASA chief is worried about China getting back to the moon first,” NPR, May 5, 2024, <https://www.npr.org/2024/05/05/1198911409/consider-this-from-npr-05-05-2024>.

[3] Shawn Willis, “To The Moon: Strategic Competition in the Cislunar Region,” *Æther: A Journal of Strategic Airpower & Spacepower*, Vol.2, 2023, p.28.

基础设施与美国争夺合作者。

### 三、美国地月空间战略的实施路径

在特朗普和拜登两届政府布局和运作下逐步形成的美国地月空间战略，将谋求地月空间领导地位作为战略目标，围绕“阿尔忒弥斯”计划这一核心，以军事利用、商业开发、基础建设与国际合作为其实施路径。

#### （一）强化地月空间军事存在

美国政府以保护“阿尔忒弥斯”计划、维护美国商业利益、预防近地天体与太空碎片碰撞等为借口，强化其在地月空间的“空间态势感知”和“太空域感知”能力<sup>[1]</sup>，将美国军事存在拓展至地月空间，推动地月空间军事化。早在2019年，美国国会下属的美中经济与安全评估委员会（U.S.-China Economic and Security Review Commission）在递交给国会的报告中就指出，美国太空司令部和太空军要像美国海军保护美国海洋公域利益一样，保持美国在太空领域的通信线路畅通。<sup>[2]</sup>《2020年太空产业基础状况》也呼吁美国太空军效法海军在保护海域安全方面的作用，以增进商业信心，更迅速地扩大美国的太空商业活动。<sup>[3]</sup>在美国各界的呼吁下，2020年9月，太

---

[1] 传统上，美国使用的“空间态势感知”一词，指探测、跟踪和识别地球轨道上的所有人造物体。这一词汇是2019年由时任美国空军太空司令部副司令约翰·肖提出的，后被美国军方广泛使用。“太空域感知”指识别、描述和理解与太空域有关的任何相关因素，无论是主动还是被动因素。这些因素可能影响太空行动，从而影响我国安全、经济或环境。本文将基于原文含义使用这两个术语。参见 Sandra Erwin, “Air Force: SSA is no more; it’s ‘Space Domain Awareness’,” Space News, November 14, 2019, <https://spacenews.com/air-force-ssa-is-no-more-its-space-domain-awareness/>。

[2] U.S.-China Economic and Security Review Commission, *2019 Annual Report to Congress*, November 2019, <https://www.uscc.gov/sites/default/files/2019-11/2019%20Annual%20Report%20to%20Congress.pdf>。

[3] Steven J. Butow, Thomas Cooley, Eric Felt, Joel B. Mozer, *State of the Space Industrial Base 2020: A Time for Action to Sustain US Economic & Military Leadership in Space*, July 28, 2020, [https://afresearchlab.com/wp-content/uploads/2020/07/State-of-the-Space-Industrial-Base-2020-Report\\_July-2020\\_FINAL.pdf](https://afresearchlab.com/wp-content/uploads/2020/07/State-of-the-Space-Industrial-Base-2020-Report_July-2020_FINAL.pdf)。

空军与美国航天局签署谅解备忘录，借势将自身活动范围拓展至地月空间，承担该区域空间态势感知任务，为“阿尔忒弥斯”计划保驾护航。由于美国航天局负有监测近地天体潜在威胁的任务，双方在地月空间态势感知领域的需求直接相关，因而在该领域建立了新的合作关系。

为强化态势感知能力，美国军方已启动数项方案，以扩大技术人员规模并建立相关基础设施。2022年4月，美国太空军成立第19太空防御中队，该部队隶属美国太空军第2德尔塔部队，主要负责地月空间的太空域感知，监视地球同步轨道以外区域。美国空军研究实验室于2020年宣布“地月空间高速公路巡逻卫星”（CHPS）和“国防深空哨兵”（D2S2）两大项目，前者负责在拉格朗日点间巡逻，并探测和追踪位于地月空间的航天器动向，计划于2026年交付、2027年发射；后者负责地月空间的路径寻找并跟踪已知物体，计划于2024年年终交付并发射。

## （二）拓展地月空间商业活动

扶持商业航天企业一直是美国太空政策的重要组成部分。特朗普和拜登两届政府继承此前各届政府对商业航天企业的扶持态度，充分利用行政、立法等手段，助推地月空间商业发展，促进公私部门在太空技术研发、基础设施建设等方面的充分合作。

一方面，美国以“阿尔忒弥斯”计划为牵引，通过“政府和社会资本合作模式”（PPP），将大量项目外包给商业公司。目前，“阿尔忒弥斯”计划主要由“太空发射系统”（SLS）、“猎户座”飞船（Orion）、“门户”月球轨道站（Gateway）和“载人着陆系统”（HLS）组成。其中，波音和洛克希德·马丁公司分别为“太空发射系统”和“猎户座”飞船的主承包商；“门户”月球轨道站的“动力与推进元件”和“居住与后勤前哨”（HALO）模块分别由麦克萨科技公司（Maxar Technologies）和诺思罗普·格鲁曼公司研制；“载人着陆系统”则由太空技术探索公司和蓝色起源公司负责。

另一方面，以法规政策铺路，营造良好监管环境，诱使商业航天企业向地月空间拓展，为地月空间商业活动保驾护航。2020年4月，特朗普政



府发布《关于鼓励国际社会支持恢复和利用外空资源的行政命令》，在奥巴马政府时期《外空资源探索与利用法》基础上更进一步，将美国私人商业开发和利用的权利由小行星拓展至一切太空资源，以地月空间的经济价值吸引商业航天企业参与地月空间探索与开发。<sup>[1]</sup>2023年12月，拜登政府发布《美国新型太空活动授权和监督框架》，旨在整合分散的商业航天监管力量，建立清晰全面的监管环境，以最大限度扩大商业航天企业的利益。

### （三）加强地月空间基础设施建设顶层设计

与冷战时期的“阿波罗登月计划”不同，美国地月空间战略要实现美国在“负责任和可持续地探索、开放和利用地月空间”方面的领导地位，强调“实现人类持久存在”和“促进地月空间长期发展”。<sup>[2]</sup>为实现这一目标，美国特别重视从顶层设计层面加强工业能力、科学技术和太空人才等方面的基础设施建设，从而为“可持续”探索积蓄力量。特朗普政府时期，美国已认识到基础设施建设的关键作用，认为美国需要“培养和留住太空专业人员”，“保护关键基础设施的太空部分”。<sup>[3]</sup>拜登上台后，则在此基础上进一步将保护太空关键基础设施和工业基础、投资“科学、技术、工程和数学教育”（STEM）以及保持美国在太空科学领域的领导地位纳入其太空优先事项，并在工业能力、人才培养和科学技术三大领域分别出台顶层文件，试图凝聚各方力量，从基础设施建设入手激发美国民众对地月空间的热情，壮大地月空间探索的预备力量。

在工业能力方面，2022年4月，拜登政府发布《太空服务、组装与制造国家战略》[In-Space Servicing, Assembly, and Manufacturing (ISAM) National

---

[1] The White House, “U.S. Novel Space Activities Authorization and Supervision Framework,” December 20, 2023, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/12/Novel-Space-Activities-Framework-2023.pdf>.

[2] The White House, *National Cislunar Science and Technology Strategy*, November 11, 2022, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/11/11-2022-NSTC-National-Cislunar-ST-Strategy.pdf>.

[3] The White House, “National Space Policy,” December 9, 2020, <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2020/12/National-Space-Policy.pdf>.

Strategy], 并在同年 12 月公布了该战略的具体实施计划, 提出要优先扩建“可拓展基础设施”, 增强 ISAM 能力, 并开发 ISAM 课程, 培养下一代技术、政策和法律专家。<sup>[1]</sup> 在人才培养方面, 2022 年 9 月, 白宫科技政策办公室联合 STEM 教育委员会等机构发布《跨部门规划: 加强太空领域 STEM 教育及从业者培养》, 旨在促进师生从事与太空科技有关的 STEM 教育, 鼓励更多求职者进入太空领域。<sup>[2]</sup> 在科学技术方面, 《国家地月空间科学与技术战略》强调要发展能够实现地月空间人类持久存在的新兴技术, 并以地月空间为重点, 确定科学发展的优先级, 促进地月空间科学发展, 同时制定计划, 培育和留住不同世代的太空从业者。

#### (四) 推动地月空间国际合作

美国认为盟友和伙伴网络既是其实现地月空间领导地位的关键因素, 也是其得以实现这一目标的持久优势。<sup>[3]</sup> 加之地月空间的公域性质使得传统的单边方式无法有效维护国家利益, 因而美国十分重视与盟伴之间的国际合作。当前, 美国的地月空间国际合作主要围绕“阿尔忒弥斯”计划展开。

一方面, 美国打着“一起而非独自去月球”的旗号, 利用登月席位换取盟伴参与“阿尔忒弥斯”计划。目前美国已与欧洲航天局及日本、加拿大、阿联酋达成协议, 四方将参与“阿尔忒弥斯”计划相关项目的研制。加拿大航天局将为“门户”月球轨道站提供“加拿大-3”机械臂和机器人接口。欧洲航天局为“门户”提供国际居住舱(I-Hab)和加油、通信服务模块, 以及为“猎户座”飞船提供两个额外的欧洲服务模块(ESM)。日本宇宙航空研

[1] The White House, “In-Space Servicing, Assembly, and Manufacturing (ISAM) National Strategy,” April 4, 2022, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/04/04-2022-ISAM-National-Strategy-Final.pdf>.

[2] The White House, “Interagency Roadmap to Support Space-Related STEM Education and Workforce,” September 30, 2022, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/09/09-2022-Interagency-Roadmap-to-Support-Space-Related-STEM-Education-and-Workforce.pdf>.

[3] The White House, *National Cislunar Science and Technology Strategy*, November 11, 2022, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/11/11-2022-NSTC-National-Cislunar-ST-Strategy.pdf>.

究开发机构（JAXA）负责为“门户”国际居住舱提供环境控制和生命支持系统、热控系统等，并为“居住与后勤前哨”模块提供电池，以及提供一艘为“门户”运送物资的货运飞船和一辆用于月球探索的加压月球车。<sup>[1]</sup>阿联酋的穆罕默德·本·拉希德航天中心（MBRSC）负责为“门户”提供气闸。<sup>[2]</sup>

另一方面，美国积极拉拢盟友与伙伴参与《阿尔忒弥斯协议》。2020年10月，美国、澳大利亚、加拿大、日本、卢森堡、英国和阿联酋7国签署了《阿尔忒弥斯协议》，其中除阿联酋外，其余均为美国盟友。<sup>[3]</sup>该协议旨在“制定一套共同规则来管理外层空间的民用探索和利用”，并将履行《外层空间条约》作为其义务。拜登上台后，将《阿尔忒弥斯协议》视为美国“太空外交”的核心，积极推动美国盟伴加入该协议，甚至将哥伦比亚、巴林等非传统航天国拉入其中。截至2024年6月，该协议已有43个国家签署。

#### 四、美国地月空间战略的制约因素

以“阿尔忒弥斯”计划为核心，美国地月空间战略迅速展开，在政商军三者间形成了良好的公私伙伴关系。2022年11月，“阿尔忒弥斯1号”计划的“太空发射系统”新型登月火箭搭载着“猎户座”测试舱，在美国佛罗里达州肯尼迪航天中心顺利发射升空，美国的地月空间战略前景似乎一片大好。然而，初步成功的表象却难以掩盖美国地月空间战略在“阿尔忒弥斯”计划、地月空间经济、地月空间态势感知等三个方面面临的重重困难和挑战。

---

[1] Jeff Foust, “Japanese astronauts to land on moon as part of new NASA partnership,” Space News, April 11, 2024, <https://spacenews.com/japanese-astronauts-to-land-on-moon-as-part-of-new-nasa-partnership/>.

[2] NASA, “NASA, United Arab Emirates Announce Artemis Lunar Gateway Airlock,” January 7, 2024, <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-united-arab-emirates-announce-artemis-lunar-gateway-airlock/>.

[3] 首批签署《阿尔忒弥斯协定》的7国中，阿联酋与美国为伙伴关系，澳大利亚和日本是美国的“主要非北约盟友”，加拿大、卢森堡、英国为美国北约盟友。

### （一）经费、技术、人员三重限制，“阿尔忒弥斯”计划举步维艰

由于经费超支、技术不成熟、人员不足等原因，“阿尔忒弥斯”计划的后续任务不断推迟。目前，“阿尔忒弥斯2号”的发射时间由最初的2023年4月推迟到2025年9月，“阿尔忒弥斯3号”由最初的2024年9月推迟到2026年9月，而美国政府问责局（Government Accountability Office, GAO）则预估“阿尔忒弥斯3号”有可能进一步推迟至2027年年初发射。<sup>[1]</sup>

在经费层面，一方面，美国航天局用于“阿尔忒弥斯”计划的预算连年上涨，从2021财年的65.6亿美元增长到2024财年的79.7亿美元。在通货膨胀和美国财政预算削减的大背景下，尽管美国航天局2024财年的拨款大幅缩水，但国会仍旧提高了“阿尔忒弥斯”计划的经费，足见对其重视程度。但另一方面，由于缺乏可信的成本估算，“阿尔忒弥斯”计划存在经费超支风险，削弱了其长期可持续性。根据2022年政府问责局的一份报告，“猎户座”飞船、“太空发射系统”及其地面发射设施已累计超支43亿美元。<sup>[2]</sup>2023年5月，美国航天局监察长办公室称，“太空发射系统”的开发成本将比预期超出60亿美元。<sup>[3]</sup>除开发成本外，该系统的单次发射成本也由最初的5亿美元增长到41亿美元。时任美国航天局监察长保罗·马丁（Paul Martin）认为这一发射成本是“不可持续的”。<sup>[4]</sup>

---

[1] U.S. Government Accountability Office, *NASA Artemis Programs: Lunar Landing Plans Are Progressing but Challenges Remain*, January 17, 2024, <https://www.gao.gov/assets/d24107249.pdf>.

[2] U.S. Government Accountability Office, *NASA Lunar Programs: Moon Landing Plans Are Advancing but Challenges Remain*, March 1, 2022, <https://www.gao.gov/assets/gao-22-105533.pdf>.

[3] NASA Office of Inspector General, *NASA's Management of the Space Launch System Booster and Engine Contracts*, May 25, 2023, <https://oig.nasa.gov/wp-content/uploads/2024/02/IG-23-015.pdf>.

[4] Michael Sheetz, “NASA’s massive moon rocket will cost taxpayers billions more than projected, auditor warns Congress,” CNBC, March 1, 2022, <https://www.cnbc.com/2022/03/01/nasa-auditor-warns-congress-artemis-missions-sls-rocket-billions-over-budget.html>.

在技术层面，“阿尔忒弥斯”计划仍存在不少悬而未决的技术难题。“阿尔忒弥斯2号”任务需要复用1号任务使用过的“猎户座”飞船，而该飞船在执行1号任务过程中暴露出的隔热罩意外烧蚀、发射平台损伤过大等问题尚未解决，导致2号任务被迫推迟。“阿尔忒弥斯3号”任务的“载人着陆系统”和宇航服研制仍面临艰巨的技术工作。“载人着陆系统”基于太空探索技术公司的“星舰”研制，目前在发动机、在轨推进剂储存与转移等技术方面成熟度不足，且在与“猎户座”飞船的软硬件集成上存在问题，需要进一步验证；宇航服由“公理太空”（Axiom Space）公司负责研制，其在生命支持系统和航天压力服等关键技术上尚需要突破。<sup>[1]</sup>

在人员层面，“阿尔忒弥斯”计划将面临熟练技术人员短缺问题。作为一项延续至2030年后的长期任务，该计划的顺利实施需要长期保持大量熟练技术人员。但目前，美国航天局有近40%的科学与工程人员面临退休。<sup>[2]</sup>美国政府问责局发布的一份报告显示，在“阿尔忒弥斯1号”任务完成后，美国航天局面临退休潮，导致大量拥有丰富经验和关键技术的工作人员流失。<sup>[3]</sup>同时，由于“阿尔忒弥斯2号”任务不断推迟，1、2号任务间隔时间过长、发射节奏过慢，可能会导致技术人才出现新老断层、青黄不接问题。

## （二）地月空间商业活动有限，商业航天企业独木难支

美国各界普遍认为，太空事业的关键是建立自给自足的太空经济，而这必须通过自由市场来实现。但目前地月空间商业活动情况并不乐观，多数商业航天企业高度依赖政府。

---

[1] U.S. Government Accountability Office, *NASA Artemis Programs: Crewed Moon Landing Faces Multiple Challenges*, November 30, 2023, <https://www.gao.gov/assets/d24106256.pdf>.

[2] NASA Office of Inspector General, *2023 Report on NASA's Top Management and Performance Challenges*, November 1, 2023, <https://oig.nasa.gov/wp-content/uploads/2024/01/mc-2023.pdf>.

[3] U.S. Government Accountability Office, *NASA Lunar Programs: Improved Mission Guidance Needed as Artemis Complexity Grows*, September 8, 2022, <https://www.gao.gov/assets/gao-22-105323.pdf>.

从供给侧看，因相关技术攻克难度高、耗时长、所需资源巨大，而所得利润微乎其微，商业航天企业缺乏独自开发地月空间的能力和意愿，只能仰仗政府支持。月球生存环境恶劣，月球活动必须保护设备和人员免受高辐射、极端气温波动及月尘危害的影响，对防辐射和隔热技术要求高；水冰、氦-3、稀土金属及太阳能资源的开发与利用尚不成熟，相关技术及其大规模商用仍需验证。因此，地月空间探索和月球登陆等活动作为复杂的系统工程难度极高，牵涉的人力物力巨大，涉及的学科门类众多，需要政府强大的资源调度与协调能力。同时，作为地月空间开发的基础，电力系统、通信系统及空间态势感知、定位、导航与授时系统等，仅凭以利润为驱动的商业公司难以实现，必须由政府为其开路架桥。

从需求侧看，地月空间相关业务和服务的需求小，政府合同与投资是其最大来源。据预测，2024—2040年，对于月球和地月空间相关产品或服务，家庭需求有月球旅游、月球岩石、在月球上制造的纪念品和月球墓葬等，但月球旅行价格高昂且和另外三种需求一样带有猎奇性质，因此其需求规模不大且不具备可持续性；企业需求只有广告，但与家庭需求一样缺少可持续性。政府需求仍是月球和地月空间产品与服务的主要来源。<sup>[1]</sup>

即便存在政府扶持，由于太空资产的脆弱性和月球技术的复杂性，商业公司拓展地月空间业务时仍会面临极高风险。即便是诺思罗普·格鲁曼这样的老牌军火公司，也在与美国航天局的合同中损失高达1亿美元。<sup>[2]</sup>因此，像太空技术探索公司和蓝色起源公司这样的“新太空”巨头，通常会通过亚轨道飞行、商业太空运输、商业卫星等利润相对较高的低轨业务来对冲风险。而更多市场单一、资金单薄的初创航天企业却难以跨过“死亡之谷”，不得不被迫合并乃至破产。

---

[1] Thomas J. Colvin, Keith W. Crane, Rachel Lindbergh, Bhavya Lal, *Demand Drivers of the Lunar and Cislunar Economy*, Institute for Defense Analyses, April 2020, p.95.

[2] Jeff Foust, “Northrop charges on lunar Gateway module program reach \$100 million,” January 25, 2024, Space News, <https://spacenews.com/northrop-charges-on-lunar-gateway-module-program-reach-100-million/>.

### （三）地月空间环境复杂多变，态势感知面临技术困境

作为夺取地月空间主导地位的关键一环，选择能够获取和发挥最大战略优势的正确点位，时刻掌握他国地月空间物体动向，对于美国至关重要。同时，“阿尔忒弥斯”计划的推进、太空商业活动的增加以及太空军事存在的拓展，使得美国需要持续探测、追踪、识别自身以及他国在地月空间的物体和资产状况。在这二重因素的推动下，美国对于地月空间态势感知的需求与日剧增。然而，地月空间独特的物理特性以及复杂多变的轨道环境，使得这一需求的满足困难重重。

其一，地月空间独特的物理特性使得拓展传统的空间态势感知面临困难。地月空间的观测范围较地球同步轨道拓展了至少 1728 倍，主动观测系统（如激光测距、雷达）需要极大的功率才能达到效果，而被动观测系统（如望远镜、天线）会因为距离过远而无法提供高分辨率，有时甚至难以观测到物体。<sup>[1]</sup>同时，较之地球同步轨道，地月空间中的物体轨道周期更长，需要进行更多观测，但因其自转速度慢于地球，导致传感器与物体间存在相对运动，因而单个传感器无法实现对天体的连续覆盖。<sup>[2]</sup>因此，对地月空间进行长时段、大规模、高分辨率的观测难以直接依靠传统的空间态势感知设备进行，而是需要不同种类、不同位置的多个传感器协同工作。但位于地月空间的天基传感器因为轨道的不稳定性需要消耗燃料进行位置保持，从而对航天器的设计提出了挑战。

其二，地月空间复杂多变的轨道环境使得卫星编目维护难以进行。传统空间态势感知是基于两体问题<sup>[3]</sup>进行的，空间物体的轨道轨迹是平面的，

---

[1] Amanda Miller, “Cislunar Space,” *Air & Space Force Magazine*, October 7, 2021, <https://www.airandspaceforces.com/article/cislunar-space/>.

[2] M. J. Holzinger, C. C. Chow, P. Garretson, *A Primer on Cislunar Space*, Air Force Research Laboratory, April 2021, pp.4-21.

[3] 两体问题即研究两个天体在相互引力作用下的运动规律问题。通常满足下列假设：存在两个天体；两个天体都可以被视为质点；较小天体的质量相对于较大天体可以忽略不计。满足这些假设的系统称为两体系统或开普勒系统。参见 M. J. Holzinger, C. C. Chow, P. Garretson, *A Primer on Cislunar Space*, Air Force Research Laboratory, April 2021, p.5.

通常呈现为圆形、椭圆形等几何形状，具有相似性和重复性，通常使用两行轨道根数（Two Line Elements, TLE）<sup>[1]</sup>来进行卫星编目。这些根数描述了卫星运动轨道的重要参数，可以进行一定精度的轨道预报及确定一定时间范围内航天器的精确位置。但在地月空间，物体因受月球引力的显著影响而处于三体运动中，因而没有固定的轨道平面，轨道轨迹难以用几何描述，轨道运动具有混沌性质，极小的偏差就会导致物体实际位置或速度与推算存在巨大差异，即使小扰动也会引起轨道的剧烈变化。因而，两行轨道根数无法在地月空间中精确推算物体位置，也难以进行精确追踪和物体状态的及时更新，这为美国在地月空间的态势感知提出了严峻的技术挑战。

## 结语

近年来，中国“嫦娥工程”取得巨大成就，已顺利完成“绕、落、回”三阶段战略目标。2024年5月3日—6月25日，嫦娥六号月球探测器成功发射并安全返回地球，成功实现世界首次月球背面采样返回。中国正朝着载人登月目标稳步前进，已成为名副其实的地月空间大国。中国始终坚持为了和平目的探索和利用外层空间。但美国却将地月空间纳入对华竞争轨道，污蔑中国在月球“跑马圈地”，纠集盟友设立排他性规则排挤中国，不断强化地月空间的军事化和武器化，以虚无缥缈的“中国威胁”掩饰其夺取制天权、谋求地月空间霸权的野心。

在外层空间国际法模糊不清和太空军备控制缺乏进展的背景下，美国作为地月空间探索与开发的重要力量，通过出台地月空间战略，持续推动地月空间军事化和资源利用商业化，从而进一步激化地月空间的竞赛与国际政治博弈。可以预见，尽管美国国内正面临新一轮总统大选，但一方面，

---

[1] 两行轨道根数又称两行根数，是北美防空司令部用于预报地球轨道飞行器位置和速度的一组轨道根数，是一种国际通行的轨道根数发布形式，因轨道及相关卫星信息以两行的书写形式表示而得名。参见杨维廉：《两行根数的精度评估》，载《航天器工程》2009年第3期，第8页。



主导推出和推进“阿尔忒弥斯”计划的特朗普已成为共和党总统候选人；另一方面，拜登退选后现任副总统哈里斯（Kamala D. Harris）成为民主党总统候选人，其在任内已多次表达对“阿尔忒弥斯”计划的支持。因此，美国对地月空间的战略布局和考量应不会改变。在中美战略竞争不断加剧的当下，美国在地月空间层面的对华竞争只会愈发全面。

对于美国及其盟友在地月空间开发上的图谋用心，中国应高度重视、保持警惕，并予以妥善应对：一是保持战略定力，稳步推进探月工程，尤其要警惕美国重启太空竞赛、对华实施成本强加战略；二是充分利用当前国际规则，积极推动太空军控与裁军谈判，完善外层空间国际法，建立公正合理的地月空间全球治理秩序；三是加强国际舆论斗争，揭穿美国《阿尔忒弥斯协议》“假和平，真扩张”的真面目，利用现有机制积极与世界各国开展平等互利、合作共赢的地月空间合作，努力构建地月空间“人类命运共同体”。

【收稿日期：2024-05-05】

【修回日期：2024-08-08】

（责任编辑：李万胜）