

# 美国空间核动力发展态势解析

龚游, 王新燕, 夏芸

中国原子能科学研究院, 北京 102413

**摘要** 空间核动力因其突出优势成为美俄等大国打造强大天基能力、抢占太空战略优势的关键核心。近期, 美国政府陆续发布关于空间核动力发展的战略和政策, 以确保其在太空竞争博弈中保持领先。为准确把握美国空间核动力发展的重点和目标, 对美国空间核动力的进展进行了综述, 对其发展态势进行了解析, 得出以下结论: 美国正从国家层面加快推进太空军事化的战略部署, 把发展空间核动力上升为国家战略, 系统完整地提出了有关政策、目标、原则、路线图等, 并强调建立高层次的组织协调机制确保战略政策高效实施。美国空间核动力将基于其雄厚的技术基础取得快速发展, 为美国太空军建设和发展提供动力。

**关键词** 美国; 空间核动力; 国家战略; 发展态势

美国政府继 2020 年 6 月和 12 月分别发布《国防太空战略》和《国家太空政策》之后, 又于 2020 年 12 月 16 日发布《空间核动力和推进国家战略》太空政策令 (SPD-6)、2021 年 1 月 6 日发布《太空能源战略》、2021 年 1 月 14 日发布《推动发展国防和空间探测用小型模块化反应堆》行政令, 从国家层面对空间核动力发展进行战略部署和系统化布局, 将核技术的竞争从海陆空基全面拓展到太空领域, 这是美国保持其太空全面军事优势、发展太空对抗能力、谋求太空主导权和霸主地位的战略举措, 其层次之高、覆盖面之广、力度之大, 前所未有的。

## 1 美国正加快推进太空军事化的战略部署

美国推进太空军事化由来已久, 并将应对同中

俄大国竞争的紧张局势和战略威胁作为其备战太空的主要依据和借口, 尤其是 2019 年 12 月以来, 美国政府接连多次发布行政令和政策部署, 明确要求美国能源部、国家航空航天局、国防部等部门协同配合加快推进, 把太空战略上升到国家军事安全层面, 并将空间核动力作为太空军事化强大动力源不可替代的支柱, 进一步突出了空间核动力的开发和使用时在新时期大国太空竞争中的重要性和紧迫性。美国从国家战略、组织架构、行动举措等方面都做出了具体的部署。

1) 国家战略方面。美国政府在《国防太空战略》和《国家太空政策》等战略文件中强调了太空的战略地位和安全价值, 要保持对月球、火星以及深空的长期探测和开发利用, 并明确把太空域视为独立作战域, 谋求建立全面的军事优势, 要不断增加太空领域的资金投入, 推动太空力量从“信息支援

收稿日期: 2020-07-09; 修回日期: 2021-08-31

作者简介: 龚游, 助理研究员, 研究方向为核科技战略和情报, 电子信箱: gongyou@ciae.ac.cn

引用格式: 龚游, 王新燕, 夏芸. 美国空间核动力发展态势解析[J]. 科技导报, 2022, 40(12): 102-106; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.12.009

型”向“制天作战型”转变<sup>[1-2]</sup>。自2018财年起,美国向太空项目投入的预算大幅增长,国防部最新公布的2022财年预算中有206亿美元将被用于太空能力的发展<sup>[3]</sup>。随着太空部队建设进程加快,美国的太空预算将会获得更大增幅。

2) 组织架构方面。为在太空中建立全面军事优势,美国国防部自2019年12月成立太空军以来,大力推进适应太空事务转型的组织架构改革,加快推进太空军的建设,重组建立了太空司令部、太空作战部队、太空发展局、太空部队采办委员会等太空专属机构,明确太空军事力量职能定位,制定太空军事力量条令,支持太空领域国家安全的战略变革,为解决美国当前和未来所面临的太空挑战积聚力量。在2020财年国防授权法案中,美国政府拨款4000万美元用于建设太空军总部。据估算,组建太空军最初5年预计将花费约130亿美元<sup>[4]</sup>。

3) 行动举措方面。要求美国国防部在建立强大太空军的同时,必须进一步发展壮大联合作战能力,实现作战一体化。一方面,要求将太空作战力量整合到国家以及多国联合作战行动中,将太空作战、情报、能力和人员整合到军事计划中,同时还应联合盟国和合作伙伴加入到太空体系中。另一方面,要求美国国防部须同其政府主要部门、盟国及合作伙伴紧密合作,在当前大国竞争形势下塑造对美国有利的战略环境,具体包括建立有利的太空行为标准与规范,扩大盟国间的信息共享,加大合作研发力度和利用商业公司的先进技术和采办流程等。

## 2 美国已将发展空间核动力上升为国家战略

美国作为最早认识到空间核动力重要性并加以利用的国家之一,始终将发展空间核动力摆在战略核心位置。近期,为进一步落实《国防太空战略》和《国家太空政策》的战略指引,美国于2020年12月16日发布的《空间核动力和推进国家战略》太空政策令(SPD-6),包括政策、目标、原则、职责、路线图、实施6大部分,系统完整地提出空间核动力的国家战略,从国家层面统筹部署、协同实施,大力推

动空间核动力的应用和发展<sup>[5]</sup>。

1) 确定了美国发展空间核动力的政策。强调建立安全、可靠和可持续的空间核动力能力,对维持和扩大美国在太空竞争中的主导地位 and 战略领导地位十分关键,以促进和实现美国在太空领域的科学探测、国家安全和商业经济的目标。

2) 提出空间核动力的4大关键目标和路线图。一是核燃料开发加工能力。21世纪20年代中期,开发和生产适用于月球表面和行星表面以及空间电力、核电推进和核热推进所需的核燃料,要求能源部在可行范围内尽可能地确保所开发的核燃料具有通用性,能满足不同任务的需求,并同时不影响美国核武器计划和海军推进计划所需的浓缩铀供应;二是月球表面核裂变反应堆电源系统。2027年首先在月球表面进行10 kW级核裂变反应堆电源系统演示验证,其次功率可扩至40 kW或更高,用以支持月球开发和火星探测,强调在可行的范围内该系统与空间电力、核电推进和陆地核电的任务需求以及未来国家和商业应用的潜在目标相一致;三是核热推进技术基础和能力的。2028年开展需求评估与技术评估,突破关键技术挑战,建立起强大的空间核动力技术基础和能力的,使核热推进方案满足美国国防部和国家航空航天局的任务要求,力争在21世纪30年代完成核热推进系统的演示任务;四是放射性同位素电源系统。2030年将以更高效率、更长寿期的放射性同位素电源系统支持机器人对月球及火星的探测,并可扩展至太阳系。

3) 建立高层次的组织协调机制。由美国副总统代表总统并通过国家太空委员会,统筹协调国务卿、国防部长、商务部长、运输部长、能源部长、航空航天局长、核管理委员会、科技政策办公室主任的相关工作,在开发和使用空间核动力的国家战略下各负其责。对于一个具体技术领域,美国高层做出如此安排并不多见,体现了美国空间核动力发展高层重视和多部门协作的特点。

4) 明确安全、安保和可持续3个原则。在开发和使用空间核动力时,强调要遵守现行联邦法律和国际义务与承诺,明确开发和使用的各阶段的主

要负责单位,做好高浓铀使用前的技术审评和核安全、核安保及核扩散相关风险的应对措施,加强同其他学术机构、私营部门建立合作,确保所开发的太空核动力系统具有技术通用性。

### 3 美国空间核动力具有雄厚技术基础并将快速发展

空间核动力技术复杂、技术难度高。美国作为该领域技术领先的国家之一,从20世纪50年代就开始了相关研究,围绕国防军事应用和深空科学探测,先后实施了核辅助电源系统(system for nuclear auxiliary power, SNAP)计划、SP-100计划、SPACE-R计划、普罗米修斯计划、星表核反应堆电源(affordable fission surface power system, AFSPS)计划以及千瓦级核反应堆电源 Kilopower 计划等空间核动力重大专项计划,取得了大量成功应用经验,建立了雄厚的技术基础,形成了以空间核反应堆电源、放射性同位素电源和空间核推进技术协同并行的发展体系,正呈现快速发展的势头。

1) 依托技术基础快速发展空间核反应堆电源。从20世纪50年代初,美国以多种军事和民用需求为目标,陆续研发了SNAP系列等多个型号空间核反应堆电源,并于1965年4月发射了世界第一个空间核反应堆电源SNAP-10A,这也是美国迄今发射的唯一一颗空间核反应堆电源。此后,美国实施的SP-100计划、SPACE-R计划、普罗米修斯计划等因各方面原因而被终止,相关技术方案虽未实现工程应用,但有力地促进了相关技术基础和能力的形成与发展。近10年来,美国在已有技术基础上集成现有成熟技术,重点实施星表核反应堆电源AFSPS计划以及千瓦级核反应堆电源 Kilopower 计划。目前美国已完成星表核反应堆电源非核集成演示和千瓦级空间核反应堆电源原型堆测试,预计2027年设计、测试和演示一套10 kW级空间核反应堆电源,以用于月球表面的探测任务,未来可能扩展到火星探测任务。

2) 发挥传统优势加快发展先进放射性同位素电源。从1961年至今,美国已在28次空间探测任

务中使用了放射性同位素电源。例如,国家航空航天局的“旅行者-1号”火星探测器、“好奇号”火星车等均采用钚-238电源,且至今仍保持运行。最新搭载钚-238电源的“毅力号”火星车也于2021年2月18日登陆火星。目前,由美国能源部下辖的橡树岭国家实验室牵头并联合爱达荷国家实验室和洛斯阿拉莫斯国家实验室正在提升钚-238产能,预计2026年将年产量提升至1.5 kg(2015年产量为50 g),以满足美国实施太空战略的需求<sup>[6]</sup>。此外,《太空能源战略》提出:到2026年,爱达荷国家实验室将在能源部核能办公室的领导下,联合其他国家实验室为国家航空航天局的“蜻蜓计划”设计、开发和部署一架放射性同位素电源驱动的旋翼机<sup>[6]</sup>。该电源系统将在多任务放射性同位素电源(MM-RTG,已成功用于“好奇号”和“毅力号”火星车)的基础上进行改进,以满足蜻蜓旋翼机的动力需求。

3) 愈发重视加速推进核热推进技术发展。从1955年开始,在国防部、能源部以及国家航空航天局的大力支持下,围绕国防军事应用和太空探索,美国先后实施了核火箭发动机开发计划(ROVER)、火箭飞行器核发动机计划(NERVA)等,设计建造了20座核热推进地面试验堆,并开展了多次反应堆和发动机部件级的热试验,取得了大量试验数据,相关技术达到较高的技术成熟度,但后续因发展政策变化和应用需求不明确等因素,核热推进一直停留在研发阶段未取得更深入的发展<sup>[7]</sup>。2011年,为促进和实现小行星和火星载人探索任务,国家航空航天局重新将核热推进作为先进在轨推进的主要候选方案,联合能源部共同实施核热火箭(NTP)计划,重启核热推进基础技术的研发和验证,近期以基础技术研发为主<sup>[8]</sup>。2021年,美国能源部发布的《太空能源战略》提出了核热推进基础技术研发的近期任务,主要包括燃料开发、慢化剂开发、高温材料开发、反应堆设计和综合燃料系统测试等,以支撑下一步的核热推进演示任务。此外,为从月球开采战略矿产资源和开发相关武器装备,美国国防部正联合多家机构共同开发核火箭发动机,其下属的国防高级研究计划局发起了“地月间敏捷火箭行动演示”计划(DRACO),拟于2025年

前完成核热推进系统的建造和演示<sup>[9]</sup>。

#### 4 空间核动力将为美国太空军提供强大动力

随着太空事务转型发展和相关科学技术不断进步,建立强大的天基作战平台成为美国抢夺制天权的重要战略选择,其能源保障将至关重要,空间核动力迎来了新的发展机遇。与传统太阳能电池相比,空间核动力具备能量密度高、使用寿命长、环境适应性好、生存能力强的优点,可实现全天候太空作战,是当前满足 100 kW 以上太空任务能源需求的重要选项,将成为天基作战武器的强大动力源。

1) 提升了空间核动力在国家安全的地位。空间核动力是典型军民两用的战略高科技。随着近年来太空的战略地位和安全价值愈发凸显,美国以开展太空科学探测为由大力推进空间核动力技术的发展,进一步明确空间核动力技术在国家安全方面的军事应用需求,希望借助空间核动力技术的突出优势建立起强大的太空军事力量。2021年1月14日,美国发布《推动发展国防和空间探测用小型模块化反应堆》行政令,进一步对接太空政策令(SPD-6)的战略目标安排,要求国防部会同国家航空航天局、能源部等部门,确定空间核动力在国家安全的应用领域,加快推进核动力应用于太空作战,加大空间核动力同地基小型核反应堆的技术融合,为国防需求提供多种能源选项<sup>[10]</sup>。

2) 将空间核动力作为天基武器作战平台稳定、可靠和可持续能源供给的重要选择。天基武器作战平台是当前美国太空军武器系统发展的重点,与以往注重发展各类导弹防御系统、侦查雷达等防御性天基武器不同,美国当前更加重视加大对进攻性天基武器系统的研发投入。1977年,美国开始资助研发天基激光武器,并在1983年“星球大战”背景下开展阿尔法激光器等新装备的研发。2019年,美国将部署天基激光武器列入2020财年《国防授权法案》,提出优先发展动能反卫星武器、定向能卫星武器、轨道攻击武器等5类天基攻击武器,并

在国防预算中申请3.04亿美元用于2023年完成兆瓦级天基激光武器的在轨试验,但稳定、可靠和可持续的能源供给仍是其尚待突破的技术障碍<sup>[1]</sup>。随着空间核动力的投入使用,天基武器作战平台的能源瓶颈将被突破,太空作战能力将可能实现革命。

#### 5 结论

在大国竞争时代,美国为谋求太空霸主地位,将应对同中俄大国竞争的紧张局势和战略威胁作为其备战太空的主要依据和借口,从国家战略、组织架构、行动举措等方面加快推进太空军事化的战略部署,强调太空域作为作战域要不断发展壮大联合作战能力,加快实现作战一体化。在美国的影响下,俄罗斯、法国、印度以及日本等国也在积极发展太空军事力量,太空的竞争和对抗态势正在进一步加深。

为确保自身在争夺太空主动权和控制权的竞争博弈中保持领先,美国将发展和应用空间核动力作为其抢占太空战略优势的重要举措,并上升为国家战略,系统完整地提出了有关政策、目标、原则、职责、路线图、实施等,由国家高层领导统筹多部门协同实施,大大提升了空间核动力在国家安全的地位,并将空间核动力作为美天基武器作战平台稳定、可靠和可持续能源供给的重要选择。美国空间核动力发展迎来新一轮重要战略机遇期,基于其雄厚的技术基础正呈现快速发展的势头。在国家战略的指引下,美国全力推进空间核反应堆电源、放射性同位素电源、空间核推进的开发和应用,力争在2020年代后期建立起强大的空间核动力能力,为美太空军建设和发展提供动力,为美国谋求太空霸主地位和实施开发月球、进军火星、探测深空的战略提供重要支撑。

#### 参考文献(References)

- [1] DEFENSE space strategy summary[EB/OL]. (2020-06-17) [2021-06-28]. [https://media.defense.gov/2020/Jun/17/2002317391/-1/-1/1/2020\\_DEFENSE\\_SPACE\\_STRA](https://media.defense.gov/2020/Jun/17/2002317391/-1/-1/1/2020_DEFENSE_SPACE_STRA)

- TEGY\_SUMMARY.PDF.
- [2] National space policy of the United States of America [EB/OL]. (2020-12-09) [2021-06-28]. <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2020/12/National-Space-Policy.pdf>.
- [3] FY2022 budget request overview book[EB/OL]. (2021-05-28) [2021-06-28]. [https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/FY2022/FY2022\\_Budget\\_Request\\_Overview\\_Book.pdf](https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/FY2022/FY2022_Budget_Request_Overview_Book.pdf).
- [4] National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2020 [EB/OL]. (2019-12-20) [2021-06-28]. <https://docs.house.gov/billsthisweek/20191209/CRPT-116hrpt333.pdf>.
- [5] Memorandum on the National Strategy for Space Nuclear Power and Propulsion (Space Policy Directive-6)[EB/OL]. (2020-12-16) [2021-06-28]. <https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/memorandum-national-strategy-space-nuclear-power-propulsion-space-policy-directive-6>.
- [6] Energy for space[EB/OL]. (2021-01-06) [2021-06-28]. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/01/f82/Energy\\_for\\_Space-DOE\\_Space\\_Strategy\\_Paper\\_01-06-2021.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/01/f82/Energy_for_Space-DOE_Space_Strategy_Paper_01-06-2021.pdf).
- [7] 马世俊, 唐玉华, 朱安文, 等. 空间核动力的进展[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2019: 156-157.
- [8] 苏著亭, 杨继材, 柯国土. 空间核动力[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2016: 81-84.
- [9] DARPA selects performers for Phase 1 of Demonstration Rocket for Agile Cislunar Operations (DRACO) Program [EB/OL]. (2021-04-12)[2021-06-28]. <https://www.darpa.mil/news-events/2021-04-12>.
- [10] Promoting small modular reactors for national defense and space exploration[EB/OL]. (2021-01-14) [2021-06-28]. <https://www.federalregister.gov/documents/2021/01/14/2021-01013/promoting-small-modular-reactors-for-national-defense-and-space-exploration>.

## An analysis of US space nuclear power development trend

GONG You, WANG Xinyan, XIA Yun

China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China

**Abstract** Because of its outstanding advantages, in major countries such as the United States (U.S.) and Russia, the space nuclear power becomes a key to building strong space-based capabilities and taking strategic advantages in space. Recently, the U.S. government has successively formulated strategies and policies on the development of the space nuclear power to ensure its leading position in the space competition. In order to accurately identify focuses and goals of the U.S. space nuclear power, this paper reviews the latest progress in the space nuclear power in the U.S. and analyzes the development trend to help the decision making of the space nuclear power in China. It is shown that the U.S. is accelerating the strategic deployment of the space militarization at the national level and is developing the space nuclear power as a national strategy. For the first time, the U.S. puts forward systematic and comprehensive policies, goals, principles, roadmaps for developing the space nuclear power, to establish a high-level organization and a coordination mechanism to ensure the effective implementation of relevant strategies and policies. The U.S. space nuclear power will achieve a rapid development based on its solid technical foundation and will provide a disruptive and powerful driving force for the construction and development of the U.S.

**Keywords** United States; space nuclear power; national strategy; development trend ●



(责任编辑 王志敏)