

俄罗斯未来月球探索与开发计划解析

范唯唯, 杨帆*, 韩淋, 王海名

中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190

摘要 月球是当前深空探索与开发的焦点。近年来,俄罗斯出台了围绕月球探索与开发的多项政策并制定了本国月球计划,以月球无人探测器为先遣,继而开展载人登月,最终实现月球基地永久驻留的发展路线日渐清晰。从战略规划、实施阶段、配套技术能力等方面,探讨了俄罗斯月球探索与开发计划,综合判断发现,俄罗斯是目前唯一一个针对月球基地做出明确建设规划的国家,并在有意愿参与国际合作月球轨道平台项目的同时,制定了本国月球轨道站计划且稳步推进相关技术开发工作,为俄罗斯未来在月球探索与开发领域可能率先取得重大突破奠定了基础。

关键词 俄罗斯月球计划;载人航天;月球轨道站;航天工程

俄罗斯一直将月球作为首要深空探测目标,这一目标从苏联时期开始从未因政府权利更迭发生过变化。近年来,随着俄罗斯国力的复苏和重塑大国形象的战略需要,俄罗斯强调要加强载人航天技术能力建设,争取在2030年左右实现近月空间载人飞行,2040年左右实现月球基地全面运行,保障俄罗斯在近月空间、月球和火星探索领域的领先地位。针对美国提出的与现国际空间站合作伙伴共同在月球附近建立轨道站的设想,俄罗斯表示愿意考虑参与国际合作,但另一方面也在同步制定本国月球探索与开发计划及月球轨道站建设方案。

1 俄罗斯月球计划

进入俄罗斯联邦时代,普京四度出任总统,政局的稳定在帮助俄罗斯恢复苏联时代超级航天大国地位方面发挥了积极作用。近年来,俄罗斯相继出台多个国家级航天政策,推进实施月球探索,将“利用无人和载人航天器进行月球探索与开发”作为本国载人航天发展的战略重点。2013年4月19日,普京签署《2030年前及未来俄联邦航天活动领域国家政策原则的基本规定》^[1],提出采取“三步走”策略保障月球计划的顺利实施:第一步包括利用无

收稿日期:2019-05-09;修回日期:2019-06-25

基金项目:中国科学院空间科学战略性先导科技专项(XDA15015700)

作者简介:范唯唯,助理研究员,研究方向为空间科技战略情报,电子信箱:fanweiwei@casisd.cn;杨帆(通信作者),副研究员,研究方向为空间科技战略情报、空间科技政策,电子信箱:yangfan@casipm.ac.cn

引用格式:范唯唯,杨帆,韩淋,等.俄罗斯未来月球探索与开发计划解析[J].科技导报,2019,37(16):6-11;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2019.16.001

人航天器开展月球探测,借由国际空间站运输任务测试新型载人飞船及其他相关技术,以及建立月球轨道站基础模块;第二步是开发月表着陆运载系统,实现航天员从月球轨道站登陆月球,部署首个月球基地模块;第三步是采用轮值制度建设和运行月球基地,形成无人和载人月球探测综合系统。2016年3月23日,俄罗斯政府批准《2016—2025 联邦航天计划》^[2],将月球计划列为优先发展方向之一,计划实施一系列月球无人探测任务,主要考察月球南极地区,研究遥感和采样方法,采集原始状态的月壤和水冰返回地球,为2025年后载人登月和建立月球基地做准备。

从长远看,月球最具价值的应用前景主要体现在3个方面^[3]:(1) 将月球作为技术储备基地。可在近月轨道上部署望远镜,监测近地环境、近地轨

道空间碎片和航天器运行情况。在月表部署基于核反应堆的发电装置,保障未来月球基地的能源供应。(2) 将月球作为可开发的资源。根据目前推测,月球上的矿物储备量充足,可从月壤中获取燃料和硅来建造太阳能电池、建材等。(3) 将月球作为新技术开发与验证的试验场。可在月球上开发并测试多种技术,并向其他技术领域推广应用,例如抗辐射电子元器件、低重力环境下在复杂地形行进的自动控制系统、高灵敏度低噪声矩阵、大型结构增材制造技术和激光通信系统等。

根据2019年2月俄罗斯国家航天集团(Roscosmos)和俄罗斯科学院联合制定的《月球综合探索与开发计划草案》^[3],俄罗斯月球计划周期为2019—2040年,每5年为一个阶段共分为4个实施阶段(图1)。

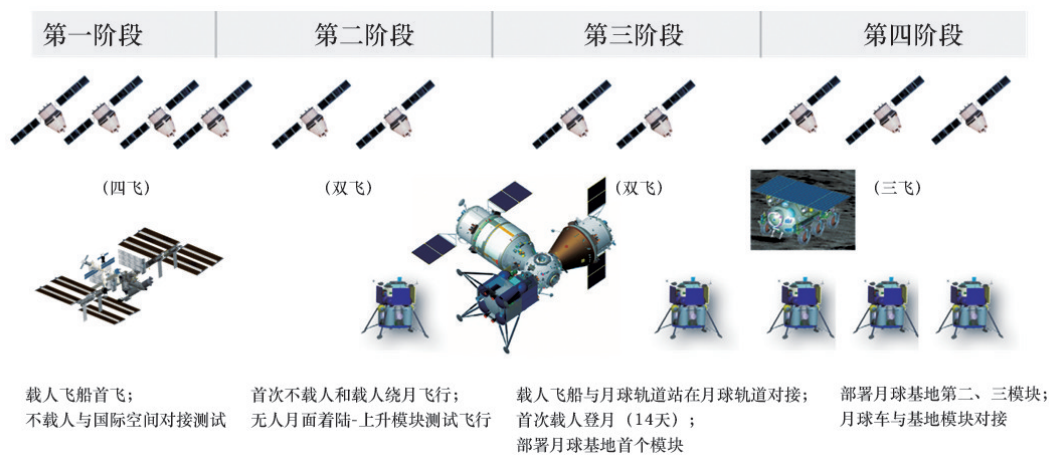


图1 俄罗斯月球计划实施路线图(图片来源:Roscosmos)

Fig. 1 Roadmap of Russian lunar program (source: Roscosmos)

1) 第一阶段(2019—2025年)

在《2016—2025 联邦航天计划》框架下,通过开展“月球-25”(Luna-25)、“月球-26”(Luna-26)、“月球-27”(Luna-27)、“生物-M2”(Bion-M2)和“返回-MKA”(Vozvrat-MKA)等任务解决以下问题:(1) 验证月球极区登陆和工作环境,在不同波段内对整个月球进行测绘。(2) 研究月球极区风化层的性质和组成以及该区域的水和挥发性化合物。(3) 研究月表及月壤的物理性质,包括月尘、初

级和次级宇宙线、静电场和亚表层结构。(4) 为未来俄罗斯月球基地选址。(5) 研究失重条件、宇宙辐射和亚磁环境对生物系统产生的综合影响。

利用包括国际空间站在内的多种平台开发月球探测所需的关键技术,包括航天医学、机器人、月球车、高精度安全着陆技术等。研发地-月往返运输系统,包括建造和演示超重型运载火箭和新一代货运/载人运输飞船。

2) 第二阶段(2026—2030年)

利用“月球-28”(Luna-28)实施月球极区土壤采样返回,交付给俄罗斯化学和生物化学分析中心分析其组成。利用重型月球车对极区自然环境开展综合性研究。部署月球基地部件,并在月表建造天文台。启动月球基地建设国际合作计划。在月球轨道和月表对月球永久阴影区开展详细研究。向月球发射系列航天器,在轨开展月球探测并保障月球全球通信和定位导航。启动载人登月任务准备工作,验证相关关键技术。利用可重复使用的自动着陆器和载人轨道飞行器实施载人近月轨道飞行,在月球最具研究价值的区域多次采集土壤,为科学探测器建立月球研究网络。

3) 第三阶段(2031—2035年)

全面开展月球科学实验:建立月球自动站系统,在不同地貌区域多次采集土壤样品,在月表建造射电天文观测设备,建立宇宙线研究设施,运行月球车。部署辅助设备,包括中继站、电力模块以及在极区工作的机器人。对着陆-上升模块进行技术测试,招募航天员参与月球基地建设。利用月球原位资源开展实验,开发生命保障系统,继续建造月球基地。

4) 第四阶段(2036—2040年)

月球基地进入全面运行阶段。向月球基地交付大吨位载荷,用于开展各种科学实验。完善月球卫星导航系统。

2 月球基地部署

苏联曾于1964—1974年提出了“星辰号”(Zvezda)无人月球基地方案,并针对基地目的、建设原则、部署阶段、科学与建筑设备组成以及潜在的军事应用前景等问题开展过系统设计与详细论证,积累了丰富的经验成果。后来,由于未能实现项目所需的运载能力和项目成本过高等原因而被迫取消^[4]。

2015年,经过Roscosmos和俄罗斯科学院等机构的多方论证,选定在月球南极建造和部署永久性月球基地^[5]。该地区可满足月球基地生产和生活的基本要求,包括:在一个月球日和月相内,月球基地

处于长时间日照区域;稳定的地球无线电可见度条件,保障地面与驻月球基地航天员之间的通信、设备遥控和传达信息;月球基地附近有包含水冰的月壤及其他挥发性化合物等月球自然资源,可用于基地的生命保障系统、生产火箭燃料、原位加工月球建筑材料等。

根据2019年2月发布的《月球综合探索与开发计划草案》,俄罗斯将采取“无人航天器月表着陆+航天员协助”的方式建设月球基地。首先要将科学设备(如分布式射电望远镜或高能粒子探测器)部署在无人航天器上或其周围,形成研究综合体。无人货运飞船将定期向基地运送科学设备,再由航天员进行设备安装和部署,航天员采取轮值制度值守基地,进行设备连通、调试、维修和更换等操作,最终建成包括可开展电力试验并与地球进行无线电通信和运输等活动的基地^[5]。

根据该规划,建造月球基地需要具备4类关键系统的保障(图2):(1)运输系统,包括轨道间转移飞行器,月面着陆-上升模块和月球车。(2)载人系统,包括允许航天员在近月空间驻留的月球轨道站,以及用于开展研究和进行技术操作的设备。(3)月面系统,包括月球无人探测器,由基础舱段、能源舱段和实验舱段构成的月球基地主体,以及可进行月表自主导航的月球机器人。(4)配套系统,包括导航和通信卫星星座,生命保障系统等。另据塔斯社(Information Telegraphic Agency of Russia-TASS)披露,月球基地部署初期不应超过2~4个人,后期可增至10~12人。4名乘员将在20 m²的居住

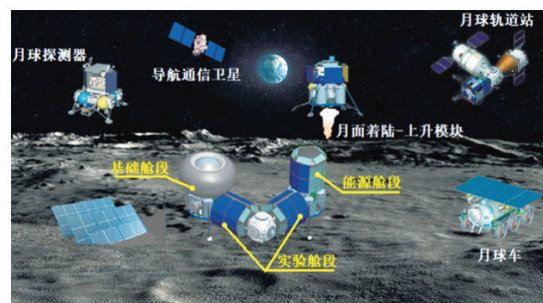


图2 俄罗斯月球基地示意(图片来源:Roscosmos)
Fig. 2 Orbital and surface infrastructure of Russian lunar base(source: Roscosmos)

舱内进行持续 30 d 以上的生存实验^[6]。

为此,俄罗斯计划在多个关键领域开展技术攻关,包括:(1) 运输系统,包括轨道间转移飞行器,着陆-上升模块和月球车等。(2) 载人系统,包括允许航天员在近月空间和月表驻留的系统,以及用于开展研究和进行技术操作的设备。(3) 月球能源供给系统,包括大/小功率太阳能和核动力源,以保障航天员在月球上的生活和机器设备运转。(4) 精准飞行技术,包括地-月系统间制动技术、精准着陆和障碍物绕飞系统、高精度发动机推力控制技术和导航系统。(5) 月球机器人,可进行月表自主导航,建造航天员紧急避难场所和技术基础设施,完成运输作业。(6) 原位资源开发技术,利用月球风化层制造月球基地基础设施部件的增材制造技术,有效提取/合成月壤的方法。(7) 人类在深空中的安全保障,包括低辐射、亚磁、月尘、低重力/零重力等深空环境因素对人体的影响,全自动生命保障系统等。在这些技术的带动和引领下,相关领域的基础科学与应用研究也将得到极大的发展,促进本国航天技术化。

3 月球轨道站建设规划

在俄罗斯月球计划“三步走”策略中最重要的一环是在月球轨道建立可访问的平台,即月球轨道站。从长远看,月球轨道站将成为空间基础设施的重要组成部分,可作为月面着陆-上升模块的长期驻泊点,储存航天器所需燃料,并作为救援飞船和轨道间飞行器的停泊点。

美、俄两国均针对建设月球轨道站做出了设想。美国国家航空航天局(NASA)于2017年3月首次提出建设月球轨道平台计划^[7],同年9月,Roscosmos 与 NASA 签署深空探索及开发联合声明,认同将国际空间站作为深空探索的基础,在国际月球计划框架下相互协作,建立“月球轨道平台-门户”(Gateway)^[8]。根据2019年3月国际空间站多边协调委员会发布的声明,国际空间站各参与国均支持合作开展 Gateway 项目^[9]。尽管如此,俄罗斯并没有完全放弃发展本国的月球轨道站。在《月球综合

探索与开发计划草案》中明确写出,俄罗斯仅在对本国所参与的国际合作项目有决定权的前提下,参与建造和运营国际月球轨道平台^[3]。俄方准备继续就参与 Gateway 与美方谈判,直到找到双方都满意的关系模式^[10]。

按照当前设想,俄罗斯月球轨道站将在计划向国际空间站俄罗斯舱段发射的“系留”号节点舱和科学动力舱^[11],以及“联邦号”新型载人飞船推进段基础上建成(图3)。俄罗斯月球轨道站可实现在月球轨道上与载人飞船、月面着陆-上升模块对接,支持开展3天以上的月球探索活动,并允许向可重复使用设备过渡。此外,月球轨道站还可作为从月球飞往深空的技术测试平台。

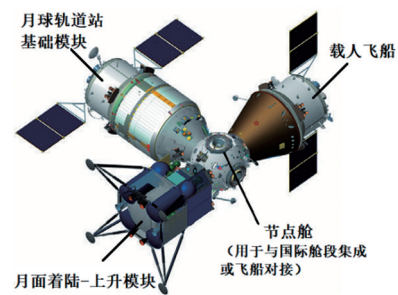


图3 俄罗斯月球轨道站结构示意图

(图片来源:Roscosmos)

Fig. 3 Structure of Russian lunar orbital station
(source: Roscosmos)

建设月球轨道站对现有的运载能力、关键系统开发、通信导航保障、材料加工工艺和机器人技术等方面均提出了更高要求。(1) 在运载能力与关键部件方面,首先需要建立地-月运输系统,包括新一代载人飞船、轨道间飞行器以及可将不低于 88 t 的有效载荷送入 200 km 近地轨道的超重型运载火箭系统。随后,还需建造月面着陆-上升综合设施,保障实施月球长期考察任务。(2) 在机载系统方面,需要开发控制与对接系统、生命保障系统、通用卫星导航设备、通信设备、数据传输和乘员支持系统,以及大型可充气 and 变形结构。(3) 在航天器服务系统方面,需要开发人形机器人、机电一体化自动控制器及其他相关技术设备和装置。在与“联

邦号”新型载人飞船对接方面,计划利用国际空间站俄罗斯舱段开展相关技术验证,包括系统各部件的组装和重新对接。(4) 在通信与导航方面,地面指挥中心与“联邦号”载人飞船的无线电通信将主要使用S和X波段,用以接收和发送程序命令、文件、遥测信息、电视信号、通话联系和当前导航参数条件下的测量结果。月球计划的导航任务将通过卫星导航和自主导航相结合的方式完成,其中卫星导航将分阶段进行建设开发:首先使用现有卫星满足基本导航需求,然后对地球卫星星座进行改造升级,最后建立先进的月球卫星导航星座。(5) 在数字加工技术方面,俄罗斯计划将仿真平台应用到生产周期的各个阶段,从航天器硬件与软件的设计、开发到测试和试验。按照俄罗斯的“进口替代计划”要求,将“进步”号货运飞船和“联盟”号载人飞船上使用的进口电子部件更新为本国部件。新型“联邦”号载人飞船和空间站的科学动力舱机载电子设备全部使用俄罗斯国产设备。(6) 在新材料方面,需要开发高强度材料,特别是开发比传统铝锻造合金(AMg6)强度高15%~20%的铝合金1570S。发展先进加工工艺,特别是使用1570S铝合金的大型锻件制造工艺、先进的无损检测手段及30 mm铝合金高可靠性无形变焊接技术。开发先进聚合物复合材料,以减轻载人飞船重量。研发用于航天器发热面板的可变密度轻质复合材料。(7) 在机器人技术方面,俄罗斯计划在即将向国际空间站发射的“科学”号多功能实验舱(将取代现有的“码头”号对接舱^[11])安装由欧洲空间局提供的欧洲机械臂(ERA)。根据已经制定的CosmoRobot计划,俄罗斯将开发安装在科学动力舱外表面的国产机械臂,用以执行装配等技术操作。此外,俄罗斯还将开发一款名为“测试员”的机器人,完成俄罗斯载人飞船和国际空间站俄罗斯舱段内的工作。

4 结论

与美、苏太空竞赛时期月球探索主要出于满足政治和军事的需要不同,进入21世纪,月球探测的目的不单纯是服务政治,通过科学探索推动关键技

术本国化、全面提升本国航天技术发展成为开展月球探测的主要目标。尽管国际局势风云变幻,俄罗斯仍坚定推行本国月球探索与开发计划,并从制定任务架构、明确科学目标、推动技术发展等方面全力推动计划实施。作为国际空间探索协调工作组成员,俄罗斯支持于2018年2月发布的第3版《全球探索路线图》中提出的“继续开展载人空间探索,以火星表面作为共同的驱动目标”,并认可月球在火星探索路径中的重要作用^[12]。

俄罗斯是目前唯一一个针对月球基地做出明确建设规划的国家,先期月球无人探测器和月球基地的科学任务也已经列入国家航天计划。俄罗斯选定月球南极作为基地地址,并为此设计了建设方案和工程实施阶段。此外需要特别关注的是,在国际社会认同将开发月球轨道站作为建设月球基地的一种战略选择的背景下,虽然俄罗斯表示有意参加由美国发起的“近月轨道平台”(Gateway)项目,但仍制定了本国月球轨道站计划,并稳步推进相关技术开发工作。总体判断,俄罗斯将采取“两条腿走路”的务实策略,在开展国际合作的同时,稳步推进月球轨道站和月球基地的建设,未来有望在月球探索与开发领域率先取得重大突破。

当前,月球已经再度成为世界载人航天竞争的焦点,俄罗斯公布了较为详尽的月球探索与开发路线图,美国也已决议重返月球^[13]。中国需要密切关注国际发展动向,加强布局,立足现有条件,脚踏实地,提出符合国情的月球探索方案,实施载人登月,建造月球前哨站。

参考文献 (References)

- [1] РОСКОСМОС. Основные положения государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу[EB/OL]. (2013-04-19)[2019-02-02]. www.federspace.ru/media/files/docs/3/osnovi_do_2030.doc.
- [2] РОСКОСМОС. Основные положения Федеральной космической программы 2016-2025[EB/OL]. (2016-03-23)[2019-02-05]. <https://www.roscosmos.ru/22347/>.

- [3] РАН. Решение НТС–СКРАН по вопросу: Концепция российской комплексной программы исследования и освоения Луны[EB/OL]. [2019–02–20]. <http://sovet.cosmos.ru/sites/default/files/%D0%A0%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%9D%D0%A2%D0%A1-%D0%A1%D0%9A%D0%A0%D0%90%D0%9D.pdf>.
- [4] Советские лунные программы[EB/OL]. [2019–03–10]. <http://kuasar.narod.ru/history/ussr-moon-program/zvezda.htm>.
- [5] Зеленый Л М, Митрофанов И Г. Луна–отисследования к освоению[J]. Природа, 2015.
- [6] ТАСС. СМИ: Роскосмос разрабатывает проект базы на Луне, способной вмещать до 12 человек[EB/OL]. (2016–06–21)[2019–04–02]. <https://tass.ru/kosmos/3385725>.
- [7] NASA. Progress in defining the deep space gateway and transport plan[EB/OL]. (2017–03–28)[2019–03–08]. https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/heo_update_tagged.pdf.
- [8] NASA. NASA, roscosmos sign joint statement on researching, exploring deep space[EB/OL]. (2017–09–27)[2019–05–02]. <https://www.nasa.gov/feature/nasa-roscosmos-sign-joint-statement-on-researching-exploring-deep-space>.
- [9] NASA. Multilateral coordination board joint statement[EB/OL]. [2019–03–06]. <https://www.nasa.gov/feature/multilateral-coordination-board-joint-statement>.
- [10] ТАСС. Роскосмос готов к продолжению переговоров по Deep Space Gateway[EB/OL]. [2019–03–06]. <https://tass.ru/kosmos/6192570>.
- [11] 范唯唯, 杨帆, 韩淋, 等. 国际空间站俄罗斯舱段 20 年主要科研活动及未来部署综述[J]. 载人航天, 2018(4): 553–560.
- [12] ISECG. The global exploration roadmap[EB/OL]. [2018–02–02]. https://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/isecg/GER_2018_small_mobile.pdf.
- [13] 吴季, 杨帆, 张凤, 等. 2018 年空间科学热点回眸[J]. 科技导报, 2019(1): 33–43.

Overview of Russia's future plan of lunar exploration

FAN Weiwei, YANG Fan*, HAN Lin, WANG Haiming

Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract The moon is the focus of the current deep space exploration and development. The Soviet Union had accumulated a rich experience in the lunar exploration and the manned flight, with abundant scientific research results. After the disintegration of the Soviet Union, Russia, constrained by its financial resources, has not launched a new lunar probe, but theoretical studies are not stopped. The “Principles of State Policies of the Russian Federation in the field of space activities up to 2030 and beyond” and the “Federal Space program for 2016–2025” were published. Russia uses the unmanned lunar probe to conduct the lunar exploration, and then carries out the manned lunar landing, and finally realizes the development path of a permanent lunar base. In future, Russia would take a pragmatic strategy of “two-legged walking”, takes part in the international cooperation, and promotes the construction of the lunar orbital station and the lunar bases at the same time.

Keywords Russian lunar program; manned space-missions; lunar orbital station; aerospace engineering ●



(责任编辑 王志敏)