

印度、俄罗斯、日本探测器近期密集奔月，未来人类还将发射多个探月航天器

广寒宫阙客盈门 落月南极最热门

庞之浩

近期，人类月球探测器密集奔赴月球，标志着新一轮探月热已经到来。探月国家增多、国际合作增强、商业探月兴起，成为本轮探月热潮的新趋势。

探月高潮的背后，无不是各国厉兵秣马多年的技术积累，凸显了月球在未来科技发展与资源开发利用方面的战略地位。随着人类探索宇宙的日益深入，探月的科学内涵还将不断扩展，甚至会超越月球本身。

新一轮探月热正在全球兴起。

7月14日，印度“月船-3”探测器发射升空，于8月23日晚在月球南极表面软着陆。8月11日，俄罗斯“月球-25”踏上奔月征程，遗憾于19日撞月失联。这是俄罗斯时隔47年再次发射月球探测器。任务前半段基本顺利，但落月的最后一次轨道调整出现问题，只差临门一脚。

今天，日本将发射“小型月球探测智慧着陆器”，它有望成为日本的落月“首秀”。

按计划，美国直观机器人“新星-C”(Nova-C，又译“诺瓦-C”)月球着陆器将于11月15日发射。它是美国航空航天局(NASA)“商业月球有效载荷服务计划”的第一个着陆器，有可能成为第一个在月球着陆的美国私营公司探测器。年底，美国拟用新研制的“火神-半人马座”火箭发射航天机器人技术公司的“游隼-1”着陆器。

这轮探月高潮涌起的背后，无不是世界各国多年厉兵秣马的技术积累。探月在未来科技发展与资源利用中的战略地位愈加凸显。

日本努力多年 再度冲击“成功落月”

日本对探月的兴趣由来已久。早在1990年1月24日，日本率先打破美苏对探月的垄断，发射了首个月球探测器“飞天号”，成为第三个发射月球探测器的国家。

日本的月球轨道器曾实现过一次撞月。2007年9月13日，日本发射“月女神”月球轨道器，在经历了约10个月的定期运行和7个半月的后期运行后，于2009年6月11日撞月。

2022年11月16日，日本首个月球着陆器“好客号”承载着首次落月探测的希望，搭乘美国“航天发射系统”重型火箭升空。6天后，日本宣布“好客号”任务失败。不过，与“好客号”一起升空的日本超小型月球轨道器“小马座”目前运行正常。

作为全球首个商业登月任务，去年12月11日，日本民营航天公司ispace“白兔-R”M1月球着陆器搭乘美国“猎鹰-9”火箭发射升空。不过，今年5月26日，ispace宣布着陆月球任务失败。搭乘在该着陆器上的阿联酋首个月球探测器

“拉希德号”月球车任务也宣告失败，阿联酋探月初试由此夭折。

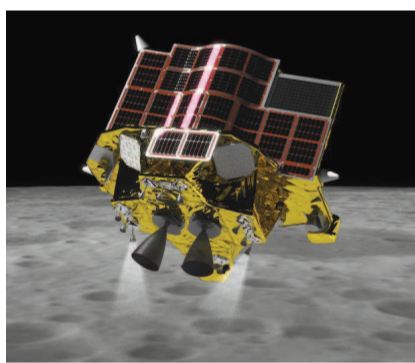
这一次，日本使用H-2A运载火箭从种子岛航天中心发射“小型月球探测智慧着陆器”，旨在验证精准的月球软着陆技术。

这台着陆器长1.7米、宽2.7米、高2.4米，研发费用达180亿日元。它将在月球正面风暴洋吕宋山区域的一个小陨石坑(月球南纬13°和东经25°)软着陆，着陆精度优于百米。

“小型月球探测智慧着陆器”将对月球表面多个地点进行拍摄，运用数码相机面部识别技术检出环形山，并通过之前由“月女神”轨道器收集的数据来确定着陆器当时的位置。为了实现精确着陆，它可通过雷达测量高度，并借助传感器感知自身倾斜度。

着陆后，这台着陆器将用多波段相机评估当地的矿物环境，尤其是月面上的橄榄石，它可能起源于月幔。着陆器还装有一个小型激光反射器阵列，专家将借助它考察月球环境及资源能否供人类利用，并对将航天员送上月球开展长期活动的可能性进行研究，也为无人探测器考察火星积累经验。

作为参加美国阿尔忒弥斯(Artemis)计划的一部分，日本还将在美国帮助下把航天员送上月球空间站，并期待登上月球。今年7月21日，丰田汽车公司透露，正与日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)联合研制重约10吨的载人加压月球漫游车，计划于2029年用美国火箭发射，用于支持美国抓总的阿尔忒弥斯月球探索计划。



日本“小型月球探测智慧着陆器”。

月球南极首落 印度俄罗斯竞争激烈

最近一二十年，印度一直在为亚洲探月霸主地位而努力，近年来更是在落月探月上与日本展开激烈竞争。

2008年10月22日，印度发射了第一个月球轨道器“月船-1”轨道器。2019年7月22日，又发射了“月船-2”尝试着陆月球，但在着陆时刻以失败告终。

今年7月14日，印度发射“月船-3”，以期完成“月船-2”未完成的任务。因此，“月船-3”的着陆点与“月船-2”相同，着陆器和月球车设计也相似，但着陆器上的800个着陆缓冲发动机数量从原来的5台减少到4台，以降低系统的复杂程度，减少故障率。

为提高着陆成功率，“月船-3”重新匹配了姿控发动机，将其姿态修正能力整整提高了一倍，并增加了多普勒激光测速仪，以实时测定着陆器的三维姿态。此外，其飞行软件和紧急控制系统也得到了加强，以应对着陆时可能出现的意外。

同时，印度还简化了留轨的推进舱，将减重额度用于增加着陆器的推进剂，并设计了错过预定着陆地点后扩大范围随机着陆的“失败模式”。

由于印度目前推力最大的地球同步轨道运载火箭MK-III的地月转移轨道运载能力仅约2吨，无法将“月船-3”直接送入地月转移轨道，因此“月船-3”进入地球轨道后要依靠自身发动机多次点火加速变轨，才能进入地月转移轨道。



俄罗斯“月球-25”探测器。

所以，“月船-3”在发射20多天后的8月5日才进入月球轨道，8月17日进入100千米高度的环月极地轨道。此时开始，装有月球车的维克拉姆着陆器与推进舱分离，进入距离月面35至100千米的椭圆轨道，为在月球南极表面着陆做准备。

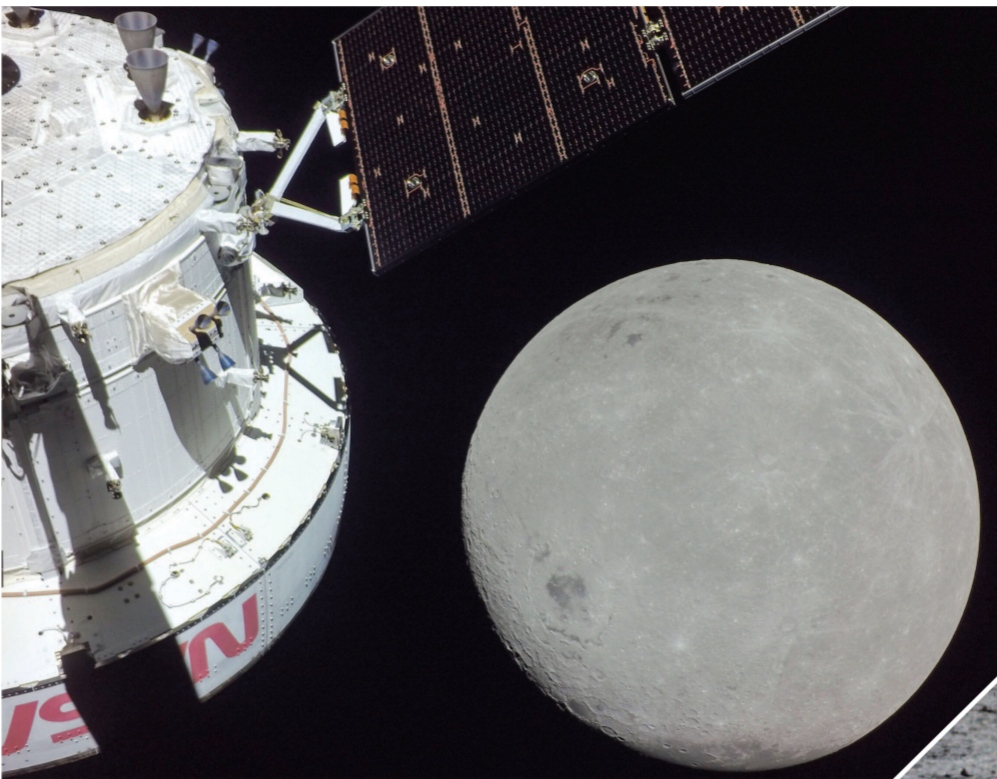
然而，让印度没想到的是，俄罗斯“月球-25”着陆器后发先至，于8月11日发射后，16日即顺利进入月球轨道，并计划8月21日在月球南极着陆。可就在8月20日，俄罗斯国家航天集团宣布，“月球-25”探测器因偏离预定轨道，于19日与月球表面相撞后失联。

根据俄罗斯此前公布的月球探索与开发计划，“月球-25”是该计划第一阶段的首个任务。此后，俄罗斯计划在2027年发射“月球-26”月球轨道器，对全球进行普查，为2028年发射的“月球-27”提供数据中继服务和选择载人登月地点提供信息。而“月球-27”着陆器则将用于研究月球内部结构和月震机制以及月表下2米深月壤的矿物学、化学、同位素组成等。2030年或更晚些时候将发射“月球-28”。

耗资7500万美元的“月船-3”着陆点选在月球南极附近的曼努斯U陨石坑西南方向(南纬69.37°，东经32.35°)。软着陆成功后，它将释放小型月球车。不过，印度着陆器和月球车设计寿命仅为1个月亮日(14个地球日)，因为它们没有发射同位素加热器，无法熬过严寒的长月夜。俄罗斯“月球-25”设计寿命为1年，原本计划在月球南极博古斯拉夫斯基陨石坑附近(南纬69.5°，东经43.5°)软着陆，距离“月船-3”着陆点仅相距120千米。

随着俄罗斯“月球-25”的坠毁，在地形复杂的月球南极首次着陆的重任再次回到了印度“月船-3”的肩上。

终于，北京时间8月23日20时34分，“月船-3”成功软着陆在月球南极附近的预定地点。这使印度成为“月球着陆俱乐部”第四个成员，“月船-3”也成为首个在月球南极着陆的人类探测器。



▲执行阿尔忒弥斯-1任务的“猎户座”飞船拍摄的月球照片。
▶中国玉兔二号月球车。



本版图片均由作者提供

探月科学内涵将超越月球本身

月球是人类共同的财富，探索宇宙是人类共同的愿望。近年来，人类探月活动正呈现出一些新趋势。

首先，参与探月的国家越来越多，不再被少数几个国家垄断。至今，全球至少有7个国家向月球发射了探测器。

除了中、俄、美、日、印、韩6个国家以外，欧洲和以色列也开展过月球探测活动。2003年9月27日，欧洲首个月球探测器“SMART-1”(SMART-1)成功发射。2019年2月，以色列首个月球探测器“创世纪”(Beresheet)升空，可惜在着陆过程中出现故障，最终坠毁于月球，这一人类首个私人赞助的探测器登月项目宣告失败。

第二个趋势是一些私营公司开始介入商业月球探测活动。这将增加探月投资，促进探月新技术发展，为未来月球资源开发利用打下基础。

另一个趋势是国际合作正在促成更多大型探月活动。例如，美国的阿尔忒弥斯计划由20多个国家合作完成，而中国正在和俄罗斯、委内瑞拉等合作伙伴联合研制国际月球科研站。国际合作有利于各显神通，降低探月难度、周期和成本，也能共享探月成果。

随着月球探测技术的不断提高，探月方式也越来越多样，人类对月球探测的广度和深度不断拓展。在新一轮探月热潮中，月球南极成为热门落月目的地。究其原因，有以下三点：

首先，月球南极存在很深的陨石坑，这些陨石坑内极有可能富集大量水冰和稀有矿产。由于月球极区表面的陨石坑底部受不到阳光照射，因此

水冰及氨、甲烷等挥发物可以在坑中积累。如果陨石坑内有大量水冰，未来就可能供登月航天员使用，并可将其分解成氢和氧以用作燃料，为日后载人深空探索提供能源补给。

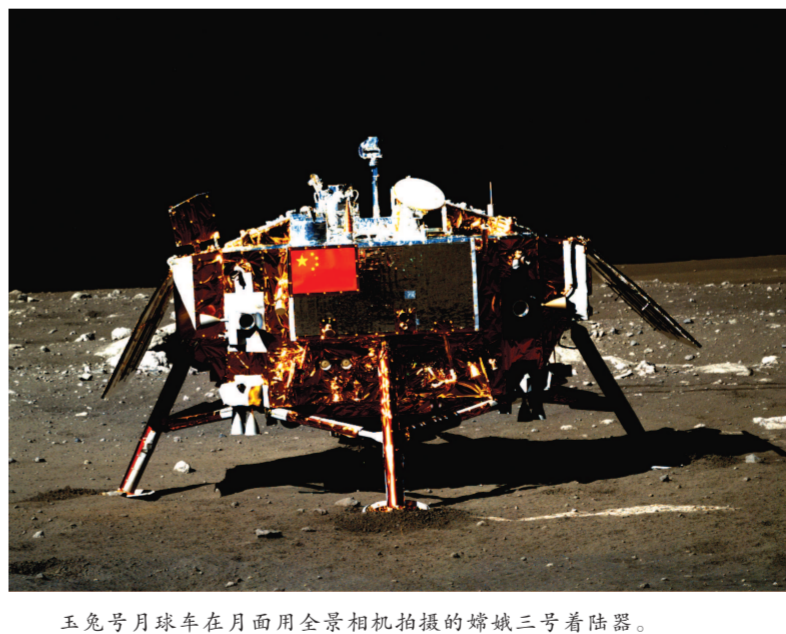
其次，月球南极有些地方存在极昼现象，因此月球着陆器可在这些区域长时间开展工作。这些具有“永恒之光”的地方也能作为射电望远镜的站点，连续观测太阳，并提高分析太阳数据的能力。

此外，月球南极的艾特肯盆地是月球上最大的、由陨石撞击形成的地形，里面的物质来自月球深处和月幔。对这些月球深层物质开展研究，有助于

人类更好理解月球的形成和演化。

今后，探月的科学内涵还将不断扩展，甚至会超出月球本身。目前主流月球科学包括3个方面：一是“月球的科学”，主要研究月球当前的特征及其形成与演化的历史；二是“月球上的科学”，主要研究月球环境对航天员等在月球上活动的影响；三是“来自月球的科学”，即把月球作为观测其它天体的平台和科学实验平台。

根据上述理念，未来探月不仅要发射大量轨道器，还要进行更多月面活动，包括有人驾驶和无人操作月球车、建立月面观测站、就地资源利用、多学科科学实验、建立月球基地等。



玉兔号月球车在月面用全景相机拍摄的嫦娥三号着陆器。

奔月热度不减

2024年中国“嫦娥”再飞月球

目前，中国的探月水平处于亚洲第一、世界第二的位置。迄今为止，中国已成功发射、运行了6个月球探测器，于2020年在亚洲国家中率先实施“绕、落、回”三步走发展战略，并在世界上首次实现月背着陆探测。其它亚洲乃至欧洲国家都还没有进行过月背着陆探测和月球采样返回探测。

根据正在实施的探月四期工程计划安排，2024年前后，我国将发射嫦娥六号，完成在月球背面的采样返回任务；2026年前后发射嫦娥七号，它由“着陆器+巡视器+飞越器”组成，用于开展月球南面的环境与资源详查，包括对地形地貌、物质成分和空间环境的探测；2028年前后，嫦娥八号将升空并着陆在嫦娥七号附近，与其构成月球科研站基本型。嫦娥八号由“着陆器+飞越器+巡视器+月面作业机器人”组成，将试验验证一些月球资源利用的关键技术，包括利用月壤原位3D打印技术。

2040年前，中国将与俄罗斯等国合作建成完善型国际月球科研站(ILRS)，之后将建设应用型月球科研站。

2025年韩国探月二阶段开启

2022年8月5日，韩国首个月球探测器“韩国探月者月球轨道器”(昵称“享月号”)，由美国“猎鹰-9”火箭发射升空，当年12月17日进入距离月面100千米高空的月球轨道。它耗资约1.8亿美元，执行为期一年的科学探测任务。这使韩国成为第七个进入世界探月俱乐部的国家。

“享月号”任务的工程目标为验证韩国月球探测关键技术，演示验证“空间互联网技术”；其科学目标为探测月球环境、绘制月球地形图，为韩国未来的月球着陆任务选择着陆地点，以及开展月球资源调查、探测月球辐射环境和表面环境等。此外，该探测器获取的科学探测数据也将支持美国的阿尔忒弥斯计划。

美国为“享月号”任务提供深空通信和导航技术支持，并选派9名研究人员参与该任务中。此后，韩国将利用从“享月号”学到的经验教训，进入月球探测计划的第二阶段。韩国航空宇宙研究院探月第二阶段任务预计于2025至2030年间开展，将用“韩国太空运载火箭-2”(KSLV-2)发射一个月球轨道器、一个月球着陆器和一个重约20千克的月球车。

美国重返月球 商业探月方兴未艾

作为世界探月强国，上世纪六七十年代，美国为了实现载人登月，先后发射多个、多种月球探测器，最终通过“阿波罗”飞船使12个美国人登上月球。过去30年，美国的探月努力不曾停止，发射了多个月球探测器，最近两年更是在商业探月上频频发力。

去年6月28日，美国将“拱石”月球探测器送上太空。同年11月，“拱石”采用弹道月球转移方式进入月球轨道。这是NASA主导的一项地月空间立方星任务，旨在通过与商业伙伴的合作，低成本地完成月球探测任务，对月球空间站计划将采用的轨道进行验证，并测试新型导航技术。已升空一年多的绕月

立方星“拱石”目前运行良好，为阿尔忒弥斯重返月球项目提供了数据支持。去年11月16日，美国用首枚“航天发射系统”发射了“猎户座”无人绕月飞船，实施“阿尔忒弥斯-1”任务，开启重返月球之旅。

阿尔忒弥斯项目分为3个阶段：“阿尔忒弥斯-1”任务是实施无人绕月飞行，研究“重返月球”对人体可能产生的影响；“阿尔忒弥斯-2”任务是实施载人绕月飞行，有4名航天员参加；“阿尔忒弥斯-3”任务是实施载人登月飞行。

阿尔忒弥斯计划有3个特点：一是广泛开展国际合作，截至今年7月27日，已有28个国家签署《阿尔忒弥斯

协定》；二是建立月球空间站，航天员先飞往月球空间站，然后根据需要从月球空间站出发完成载人登月任务，最终再返回月球空间站；三是让私营企业也参与其中，NASA“商业月球有效载荷服务计划”为那些对月球感兴趣的小公司提供了一个机会。

今年11月15日，美国休斯敦直观机器人公司将用“猎鹰-9”发射“新星-C”无人月球着陆器，首次执行“商业月球有效载荷服务计划”。今年底，美国匹兹堡太空机器人技术公司将用首枚“火神-半人马座”火箭发射“游隼-1”月球着陆器，它将把20多个“商业月球有效载荷服务计划”有效载荷送到月面。

(作者为全国空间探测技术首席科学传播专家)