嫦娥五号发射在即 采样返回或将改写月球历史

■庞之浩 （全国空间探测技术首席科学传播专家）

日前，“长征五号遥五”运载火箭与“嫦娥五号”探测器在中国文昌航天发射场完成技术区总装测试工作后，垂直转运至发射区，计划于本月下旬择机实施发射。

探月工程嫦娥五号任务是中国探月工程第六次任务，计划实现月面自动采样返回，助力深化月球成因和演化历史等科学研究，是我国航天领域迄今最复杂、难度最大的任务之一。

图/视觉中国

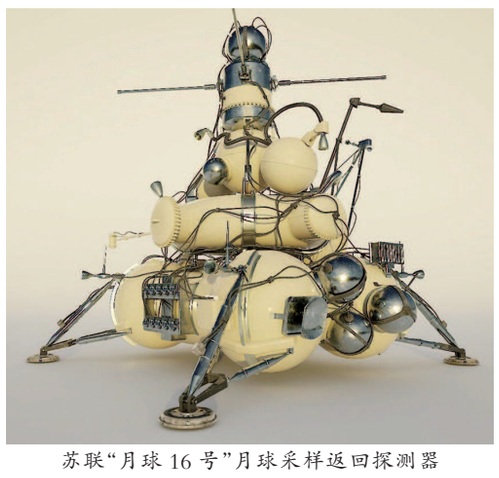
月球采样返回 苏联捷足先登，美国大肆“挖土”

在无人月球采样返回探测方面，苏联可以说是开路先锋，这也许与苏联载人登月半途而废有关，所以转向用无人空间探测器采集月球样品。

1970 年 9 月 12 日，苏联发射了世界第一个无人月球采样返回探测器“月球 16 号”。它在月面软着陆后，用自动钻孔机采集月球样品，然后把样品封装于返回舱内。接着，上升级从月面起飞返回地球，最终返回舱于 1970 年 9 月 24 日在苏联境内着陆。它从月球丰饶海取回了一块 101 克的小样本。

1972 年 2 月 14 日发射的“月球 20 号”由于遇上了玄武岩，只从月球阿波罗尼厄斯高地采集到了 55 克月球样品。1976 年 8 月 18 日，“月球 24 号”在月球危海东南部软着陆，它从 2 米深处挖取了月岩，并从月球危海总共获得了 170 克的样品。

上世纪五十年代末期，苏联在运载火箭和人造卫星技术上先行一步，因此在月球探索上也占得先机，而美国也不甘示弱。



苏联“月球 16 号”月球采样返回探测器

二十世纪六七十年代，美国通过“阿波罗”计划实现了载人登月的目标。1969 年 7 月至 1972 年 12 月，美国共实施了 7 次载人登月任务，成功将 12 名航天员送上月球。尽管载人月球采样返回技术更复杂、成本更高，但由于航天员可以到舱外活动，还能乘月球车漫步到比较远的地方去采集月球样品，所以用载人飞船从月球采样返回，不仅采集量大、选择性强，而且采集范围广。从阿波罗 11 号到 17 号，带回的月壤和月岩样品总计约 381.7 千克。

科学家通过对月球样品的分析发现，月壤中含有大量微小的橘红色玻璃形式颗粒，这些颗粒一般富含铝、硫和锌，是在月幔部分融化过程中形成于月球表面下约 300 千米深处，后因火山活动而被喷射到月球表面。月壤和月岩中氧化铁含量很高，从中可制取水和氧，未来可利用月面物质支持月球基地的运行，并为登月飞行器补充燃料。更重要的是，科学家还在采集回来的样品中发现了核聚变的理想原料氦–3。按照目前地球的能源消耗规模，月球上的氦–3 用于核聚变发电后，能够满足人类约一万年的能源需求。

经过多年沉寂，俄罗斯近期又重启登月计划。今年，俄罗斯已经把载人登月作为其长期战略目标，并开展了新一代载人飞船、重型运载火箭等设备的研制。此外，俄罗斯还启动了“月球 25 号”的研制任务，准备降落在月球南极陨石坑。随着航天技术不断走向成熟，日本、印度、韩国等国家，甚至一些民营公司，也提出了自己的月面软着陆或巡视器计划，乃至月球旅游计划。美国也再次决定先重返月球，再前往火星。美国的月球计划核心是位于环月轨道或地月 L2 点的载人空间站，其多功能猎户座飞船和“航天发射系统”重型运载火箭，将为这一计划提供有力的技术支持。未来，美国还将研制基于液氢液氧推进剂的大型单级可重复使用登月舱，实现对月球表面的低成本造访，并以此为基础建设月球基地。

中国探月16年 “绕”“落”顺利完成，“回”正当时

自 2004 年起，中国开始实施月球探测工程。这也是我国空间探测的起点。月球是离地球最近的一个星球，又蕴含丰富的资源、能源和特殊环境，所以无论从技术、科学还是经济等方面考虑，各国在空间探测领域大都先从探月开始。

中国探月工程采用“绕、落、回”三步走发展战略，每一步都是对前一步的深化，并为下一步奠定基础。“绕”月探测是中国探月的第一步。2007 年 10 月 24 日，我国发射第一个月球探测器“嫦娥一号”。这一项目用修 2 千米地铁的经费，打造了 38 万千米的天路。

“嫦娥一号”比原计划多飞行了 117 天，共传回 1.37TB 有效科学探测数据。它获取了世界第一幅全月图，以及月表化学元素分布和矿物含量、月壤分布、近月空间环境等数据，填补了我国在探月领域的空白。在超额完成各项任务后，2009 年 3 月 1 日，“嫦娥一号”受控撞击了月球丰富海区域。

我国探月工程的第二步是“落”月探测，实施了“嫦娥二号”“嫦娥三号”共两次飞行任务。

2010 年 10 月 1 日，作为技术先导星的“嫦娥二号”发射升空。它运行在距月面 100 千米高的极轨道上，主要对六项新技术进行试验验证，并对未来的预选着陆区进行高分辨率成像，同时获取更丰富和准确的探测数据。2011 年 4 月 1 日，“嫦娥二号”半年设计寿命期满后，又进行了一系列拓展试验，开创了我国航天一次发射开展多目标多任务探测的先河。

“嫦娥三号”是探月二期工程的主任务。2013 年 12 月 14 日，“嫦娥三号”在月面软着陆，首次实现了我国对地外天体的软着陆。12 月 15 日，“嫦娥三号”的着陆器与巡视器互相拍照，使我国成为世界第三个掌握落月探测技术的国家。它直接获得了丰富的月球数据，并经受了着陆、移动和长月夜生存三大挑战。目前，“嫦娥三号”的着陆器仍在工作，是迄今为止世界上在月面工作时间最长的着陆器。

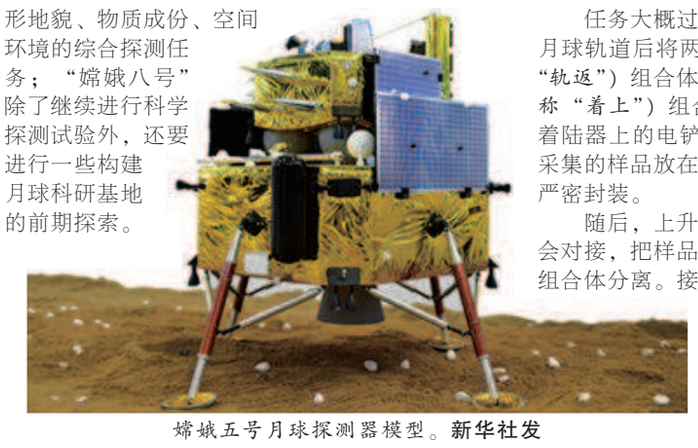
“嫦娥四号”原来是“嫦娥三号”的备份，由于“嫦娥三号”完成了任务，所以“嫦娥四号”被改为探月四期工程的第一个任务。2018 年 5 月 21 日，我国发射世界首颗运行在地月拉格朗日 2 点轨道的月球中继星“鹊桥”，并于 6 月 14 日进入使命轨道。同年 12 月 8 日，世界首次在月球背面着陆的探测器“嫦娥四号”升空。

“嫦娥四号”肩负了三大科学任务：开展月球背面低频射电天文观测与研究；开展月球背面巡视区形貌、矿物组份及月表浅层结构探测与研究；试验性开展月球背面中子辐射剂量、中性原子等月球环境探测研究。利用“嫦娥四号”传回的探测数据，我国科学家获得了大量科学新发现，例如首次揭示月球背面地下结构、为解答月幔物质组成的问题提供直接证据等。

即将于本月下旬发射的“嫦娥五号”，将执行我国探月三期任务“采样返回”。探月三期的目标是实现我国首次月面自动采样返回，对返回样品进行系统分析与研究，深化对月球和地月系统的起源与演化的认识。这也将为载人登月和深空探测奠定基础。

早在 2014 年 10 月 24 日，我国就发射了再入返回飞行试验器。同年 11 月 1 日，试验器返回舱在内蒙古着陆。这是我国航天器第一次在绕月飞行后再入返回地球，表明我国已全面突破和掌握航天器以接近第二宇宙速度的高速再入返回关键技术，为“嫦娥五号”的“回”铺平了道路。

据中国国家航天局透露的消息，目前基本明确探月工程四期还有三次任务：“嫦娥六号”计划在月球南极进行采样返回，根据“嫦娥五号”的采样情况确定是否去月背；“嫦娥七号”将是在月球南极进行的一次针对月球的地形地貌、物质成份、空间环境的综合探测任务；“嫦娥八号”除了继续进行科学探测试验外，还要进行一些构建月球科研基地的前期探索。



嫦娥五号月球探测器模型。新华社发

人类为何要探测月球

●为人类开发利用月球资源做准备

月球上已知有 100 多种矿物，其中有 5 种是地球上没有的；月球上有大量的核聚变物质氦–3，可供人类使用上万年；丰富的水冰资源；利用月球高真空、低重力的特殊环境，可以生产特殊的合金、钢材光导纤维和药品等；月球观光旅游资源。

●带动和促进基础科学和高科技的发展

宇宙学、空间天文学、空间物理学、太阳系演化学；信息技术、新能源技术、新材料技术、光电子技术、机器人技术、遥测技术；带动多学科交叉、渗透、共同发展。

●促进深空探测活动的发展

为进行更大范围的深空探测做技术准备，作为未来深空探测的跳板。有国外资料显示，美国正在探索返回月球的可能性，并计划将其作为前往火星的踏脚石，而这种方法每年能够为其节省大约 100 亿美元的开支。

●促进国家经济可持续发展

月球探测工程技术的优化、二次开发，可以带动经济领域技术的发展，美国“阿波罗”载人登月工程就是一个典型案例。

●推进航天领域的国际合作

探月工程起点高、有特色，具有很强的科学性、探索性、创新性和开放性，适合开展航天国际合作。

制图：王梓含

无人采样2千克 将填补月球火山活动认识上的重要空白

作为我国探月工程三期的主任务，“嫦娥五号”由上升器、着陆器、轨道器、返回器四个部分“串联”组成，将先后经历发射入轨、地月转移、近月制动、环月飞行、月面下降、月面采样、月面上升、交会对接、环月等待、月地转移和再入回收等飞行阶段，最终在内蒙古四子王旗着陆，然后将约 2 千克月球样品送至地面实验室开展精细研究。

任务大概过程是：“嫦娥五号”组合体进入月球轨道后将两两分离，轨道器–返回器（简称“轨返”）组合体留在轨道，着陆器—上升器（简称“着上”）组合体在月面上降落。着陆后，用着陆器上的电铲铲取月壤，自动打钻钻取岩芯，采集的样品放在上升器的返回舱里，进行无污染严密封装。

随后，上升器从月面起飞，与轨返组合体交会对接，把样品转移到返回器后，上升器与轨返组合体分离。接着，轨返组合体踏上归途，在距地球一定高度处返回器从轨返组合体中分离。最终，返回器采用半弹道跳跃再入方式进入大气层，落至预定着陆场。

如果一切顺利，“嫦娥五号”将实现我国开展航天活动以来的四个“首次”：首次在月面自动采样；首次从月面起飞；首次在 38 万千米外的月球轨道上进行无人交会对接；首次带着月壤以接近第二宇宙速度返回地球。

《自然》杂志在近期一篇题为“中国将取回 40 年来的第一块月球岩石”的新闻中提到，“嫦娥五号”样本将填补科学家对月球火山活动理解上的一个重要空白。之前美国和苏联的月球任务所获得的岩石表明，月球上的火山活动在 35 亿年前达到顶峰，随后逐渐减弱并停止。但对月球表面的观测发现，某些区域可能含有最近 10 亿至 20 亿年前才形成的火山熔岩——如果“嫦娥五号”的样本证实这段时间月球仍在活动，那么月球历史将可能被改写。

根据相关介绍，“嫦娥五号”将在月球正面最大的月海风暴洋北部吕姆克山脉附近着陆，此地从未有其他国家的探测器到访过。该地存在大约 13 亿至 20 亿年前的玄武岩，而人类目前尚未有这一时段的月球样本，“嫦娥五号”的取样将填补这一空白。获得这些年轻玄武岩的同位素年龄，将有助于推进对月球火山活动和演化历史的认识。 **（杨馥溪对本版撰稿亦有贡献）**

地外星球采样返回那些事

近年来，除了上月球采样，全球还开展了多项地外星球采样返回活动。例如，日本“隼鸟 2 号”小行星采样返回探测器在完成对龙宫小行星采样任务后，将于今年底返回地球；而美国首个小行星采样返回探测器“奥西里斯–雷克斯”也在今年 10 月对贝努小行星进行了采样。地外星球采样返回，正成为空间探测的一大热门。

带天体样品回地球做精细研究

采样返回，就是用具有采样返回功能的空间探测器在地外星球采集样品，然后把样品带回地球。目前采样的方式五花八门，这是因为各个地外星球差异很大，所以需要不同的采样返回方式。采样并带回地球的样品也是多种多样，可以是尘埃、颗粒、土壤和岩石等。

探测地外星球有三种常用方法：一是环绕探测，二是着陆和巡视探测，三是采样返回探测。第三种主要用于对地外星球进行区域性精查，即把采集到的地外星球样品运回地球后，供科学家在实验室里进行精细研究。

迄今为止，国外已对月球、彗星和小行星，甚至太阳等进行了多次无人采样返回探测。比如，苏联通过发射月球 16 号、20 号和 24 号，对月球进行了采样返回探测；美国用“起源号”“星尘号”和“奥西里斯—雷克斯”探测器分别对太阳、彗星和小行星进行了无人采样返回探测；日本的“隼鸟”“隼鸟 2 号”在小行星采样返回方面也颇具成就。

小行星、彗星、太阳一个都不能少

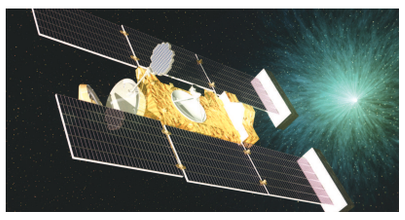
美国现已对彗星、太阳和小行星等地外星球进行了无人采样返回探测。

“星尘号”采集彗星尘埃微粒。1999 年 2 月 7 日，美国发射了“星尘号”彗星探测器。2004 年 1 月 2 日，“星尘号”与“怀尔德 2 号”交会，遭到数百万彗星微粒的撞击。在此期间，“星尘号”伸出类似网球拍的“气凝胶尘埃收集器”来收集彗星的尘埃微粒，然后折叠收入返回舱，贮存于容器中。2006 年 1 月 15 日，装有彗星物质的羽毛球状返回舱通过降落伞着陆于美国犹他州盐湖城东南 160 千米的沙漠上。

“起源号”采集太阳风粒子。2001 年 8 月 8 日发射升空的“起源号”太阳采样返回探测器，在日地拉格朗日 1 点累计采样 850 天，采集了约 10 至 20 微克太阳风粒子。2004 年 9 月 8 日，探测器返回舱在下降过程中因撞地而遭到损坏，所以只收回了部分太阳风粒子。

“奥西里斯—雷克斯”探测器采样贝努小行星。这是美国首个小行星采样返回探测器，于 2016 年 9 月 9 日升空。它于 2018 年 8 月抵达贝努，并在环绕贝努的轨道上展开了为期两年的科学研究。今年 10 月 20 日，该探测器使用采样机械臂末端的采样器采集了 60 克至 2 千克的贝努表面风化层样品。

这个探测器采用“接触即离”的方式进行采样，这种方式省去了采样前的着陆和固定，以及采样后离开表面前的解锁过程。它将于 2021 年 3 月开始返回地球的旅程，计划在 2023 年 9 月将采样返回舱送回地球。



星尘号探测器示意图

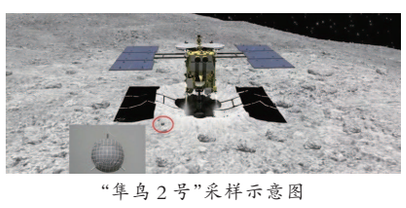
日本首试月球外小行星采样返回

2003 年 5 月 9 日，日本发射了世界第一个小行星采样返回探测器“隼鸟”。它于 2005 年 9 月中旬飞抵离糸川小行星 20 千米高的轨道，观测了糸川小行星表面情况，收集了其成分和地形数据。11 月 26 日，“隼鸟”再次在糸川上着陆并完成采样。

“隼鸟”是通过着陆产生的撞击，吸入飞溅起来的碎石。由于出现了一系列故障，“隼鸟”于 2010 年 6 月 13 日才返回地球。不过，它使日本成为世界上首个在月球之外的原始小天体上着陆、取样，并携带其样品返回地面的国家。目前已确认探测器在糸川小行星表面采集了 1500 粒样品。

2014 年 12 月 4 日，日本又发射了更先进的“隼鸟 2 号”小行星采样返回探测器。它于 2018 年 6 月进入龙宫小行星轨道。2019 年 2 月，“隼鸟 2 号”首次在龙宫小行星表面采用“接触即离”的撞击式探测，采样装置采集到了不少于 3 克从龙宫表面弹射起的飞溅碎片和粒子，从中发现了水合矿物质。此后，它多次以撞击小行星坑或“接触即离”方式采集小行星表面和内部样品。

完成任务后，“隼鸟 2 号”于 2019 年 11 月飞离龙宫小行星，并将于今年底返回地球。



“隼鸟 2 号”采样示意图