

北京时间4月11日8时许,执行“阿耳忒弥斯2号”载人绕月飞行任务的4名宇航员乘坐“猎户座”飞船,溅落在美国加利福尼亚州圣迭戈附近海域,结束近10天的旅程。

这是美国自1972年“阿波罗17号”登月任务结束后的首次载人绕月任务,这次任务完成了哪些工作?对美国未来月球探测将产生怎样的影响?本报记者就此专访了全国空间探测技术首席科学传播专家庞之浩。

## 与阿波罗计划有何不同

**记者:**首先,请您简单介绍一下阿耳忒弥斯2号任务的背景、基本情况,这次它主要做了什么?

**庞之浩:**2017年,美国国家航空航天局(NASA)启动阿耳忒弥斯计划,核心目标是重返月球并建立可持续驻留机制,为未来载人火星探测奠定基础。该计划的主要装备包括“航天发射系统”(SLS)重型火箭、“猎户座”多用途载人飞船、“门户”月球空间站(近期已被取消)及商业着陆器。

2022年12月,阿耳忒弥斯1号无人绕月任务验证了核心装备的基本性能,阿耳忒弥斯2号便是该计划的第二阶段任务。

当地时间2026年4月1日傍晚,搭载着“猎户座”飞船的“航天发射系统”重型火箭从美国佛罗里达州肯尼迪航天中心发射升空,将4名宇航员送入绕月轨道,展开为期10天的任务。从发射到返回,飞船完成了地月转移、绕月飞行、深空测试、返回地球等关键环节。

当地时间4月10日晚,“猎户座”飞船溅落太平洋,宇航员返回地球。这是继1972年阿波罗计划后,美国时隔半个多世纪首次执行载人绕月飞行任务,也是美国重启载人登月计划的关键一步。

**记者:**从科学角度来说,美国阿耳忒弥斯计划的主要目标是什么?和50多年前的阿波罗计划相比,它的科学定位有哪些不同?

**庞之浩:**阿耳忒弥斯2号作为计划第二阶段任务,核心是为期10天的载人绕月飞行测试,验证火箭、飞船及地面支持系统在载人状态下的可靠性,确认生命保障、通信等关键系统的深空适配能力,演练轨道机动与应急处置流程,为2028年阿耳忒弥斯4号载人登月铺路。

与半个多世纪前的阿波罗计划相比,阿耳忒弥斯计划在战略目标、执行模式和任务设计上都有着根本不同。

在战略目标上,从“到此一游”转为“长期驻留”——

阿波罗计划:诞生于美苏冷战时期,其核心目标是政治性的,旨在通过“插旗式”的登月竞赛,向苏联展示美国的科技和制度优势,是一场国家实力的紧急应对行动。

阿耳忒弥斯计划:目标更为长远和务实。它并非简单的重复,而是以月球为“跳板”和“训练营”,旨在建立可持续的月球基地,为未来登陆火星乃至更远的深空探索做准备。计划包括利用月球南极可能存在的水冰资源来制造氧气和燃料,将月球打造一个“太空加油站”。

在执行模式上,从“举国体制”转为“全球商业合作”——

阿波罗计划:是典型的“举国体制”产物。NASA作为唯一的总指挥,集中了全国的资源和技术力量,统一目标、统一路线,高效推进。

阿耳忒弥斯计划:采用了全新的“总包工头”模式。NASA负责提出需求和总体协调,而将火箭、飞船、着陆器等关键部件的研发和生产任务“外包”给SpaceX、蓝色起源等众多商业公司。同时,该计划也是一个国际项目,服务舱由欧洲航天局提供,机械臂来自加拿大,科学仪器有日本的贡献,形成了全球协作的格局。这



图为4月6日从执行“阿耳忒弥斯2号”载人绕月飞行任务的“猎户座”飞船上拍摄的月球(前)和地球。美国国家航空航天局供图(新华社发)

## 叩问苍穹(上)

从阿波罗到阿耳忒弥斯

# 美国重启载人探月,这次有何不同?

本报记者 王美华

种模式虽然能激发商业创新活力,但也带来了技术协调复杂、进度管理困难等挑战。

在任务设计上,从“冒险冲刺”转为“安全可持续”——

阿波罗计划:为了在竞赛中抢先,任务设计带有极大的冒险色彩,追求一次性成功,设备和飞船基本是一次性使用。

阿耳忒弥斯计划:更强调安全性和可持续性。任务节奏更为稳妥,遵循“先无人试飞、再载人绕月、最后着陆”的步骤。例如,阿耳忒弥斯2号任务就是一次载人绕月飞行,旨在全面验证“猎户座”飞船的生命支持、通信导航等关键系统在深空环境下的可靠性,为后续载人登月扫清障碍。同时,新一代的航天器设计也考虑了可重复使用性,以降低成本。

## 此次为何“只绕不登”

**记者:**美国在阿波罗计划时就实现了载人登月,这次为何只绕月不登月?背后有哪些科学层面的考量?

**庞之浩:**此次任务只绕不登,根本原因在于美国当前登月的关键硬件条件仍未成熟。具体来说,月球着陆器、舱外宇航服等关键装备仍未准备就绪,尚不具备实际登月条件。此次阿耳忒弥斯2号任务只绕月、不登月,核心目标是对整套载人深空飞行体系进行系统验证。

与阿波罗时代的“竞赛式登月”不同,阿耳忒弥斯2号任务聚焦“可持续探索”,不实施月球着陆,专注于积累深空飞行关键数据与工程经验。

**记者:**此次任务中,“航天发射系统”火箭和“猎户座”飞船都是首次执行载人任务。它们在技术上有哪些关键突破,来保障宇航员在深空的安全?

**庞之浩:**阿耳忒弥斯2号使用的重型火箭由波音公司主导研制,它在阿耳忒弥斯1号任务所用火箭的基础上,进行了多项载人适配的改进,核心是提升可靠性和安全性。这枚火箭高约98米,直径8.4米,起飞质量约2688吨,推力约3900吨。它将超过27吨的载荷送往月球轨道。它的运载系数约1.67%,安全冗余很充足。

针对载人飞行,火箭重点在4个方面做了安全强化:一是发动机与控制系统进行了冗余升级,RS-25发动机更换密封件、升级故障诊断模块,固体助推器优化推进剂配方,新增安全分离系统,分离成功率达99.99%;二是首次配备了“猎户座”飞船中止系统,可在发射段0.2秒内将飞船带离危险区域,响应速度与覆盖范围优于阿波罗时代的逃逸系统;三是优化了燃料管理,其芯一级贮箱新增了低温绝缘层,加注后发射台停留时间从4小时延长至6小时,提升了发射窗口灵活性;四是升级了发射台与测控系统,改造了39B发射台并搭建双测控链路,故障响应延迟控制在1秒内。通过一系列改进,单次发射事故概率从无人任务的1/1000降至1/5000,达到了NASA载人航天最高安全标准。

“猎户座”飞船由洛马公司主导研制。它在阿耳忒弥斯1号任务所用无人飞船的基础上,围绕宇航员生存与操作完成系统性改进。飞船发射质量约21.9吨,由乘员舱与服务舱组成。乘员舱直径5.03米,可容纳4名宇航员,密封舱容积9.3立方米;服务舱由欧洲空客研制,负责推进、供

电等功能。飞船配备循环式生命保障系统(支持4名宇航员最长21天自主飞行)、先进通信导航系统及直径5米的烧蚀式隔热罩,可承受2760摄氏度的再入高温。

针对载人飞行,飞船的改进主要集中在五个方面:一是升级了乘员舱生命保障系统,氧气再生效率提升至90%,新增了应急氧气储备罐;二是强化了辐射防护,增设了2厘米聚乙烯防护层,可屏蔽70%深空高能粒子,配备了实时辐射监测仪;三是优化了人机交互设备,采用了高清触控屏与语音控制,升级了自适应缓冲座椅;四是服务舱推进系统采用了双备份设计,太阳能电池板功率提升至12.5千瓦,热控系统适配深空极端温差;五是升级了通信导航,激光通信速率达1.2吉比特/秒,导航定位误差缩小至3千米,支持月球背面自主导航,同时保留了应急通信链路。

## 刷新距离纪录价值几何

**记者:**“猎户座”飞船飞至月球背面期间,与地球的最远距离约为40.68万公里,创下人类太空飞行距离的新纪录。为什么要让宇航员飞到这么远的深空进行探测?如何看待这个新纪录?

**庞之浩:**从科学研究角度看,将宇航员送往如此遥远的深空,核心是验证深空生存技术、获取月球及深空的一手数据、研究人类在深空的生理适应机制,并为更远的行星探索奠定基础。

此次飞行打破了阿波罗13号1970年创下的40.02万公里纪录,这一突破具有多方面价值。例如,对新一代载人深空系统进行了实战型技术验证,也验证了自由返回轨道技术,包括厘米级轨道计算与长时自主运行能力(月背通信中断约40分钟,飞船完全自主),还验证了地球-深空远距离测控与指令传输能力。

同时,这标志着从阿波罗到阿耳忒弥斯2号的深空探索范式转型,为阿耳忒弥斯4号(预计2028年载人登月)与月球基地建设降低工程风险,也为未来的载人火星探测进行了部分技术预演。

让宇航员飞这么远,对破解月球起源与演化的核心谜团有促进作用。月背保留了太阳系早期撞击与火山活动记录,并且能屏蔽地球电磁干扰。宇航员飞抵该区域后,可实时识别、判断、调整观测目标,快速捕捉细微地貌、异常成分与动态现象,可为后续月背着陆区选址、资源勘探(如水冰、氦-3)等提供关键依据。

另外,这有助于解答“人类能否在深空长期生存”的问题。地月空间辐射强度远高于近地轨道,辐射主要来自银河宇宙线、太阳高能粒子。此次任务首次在近地轨道之外开展“器官芯片”实验,对比深空与地面细胞样本,可研究辐射对DNA、免疫系统的影响。也能观测心血管、骨骼、肌肉、神经在深空微重力与复合环境下的变化,为火星任务、月球长期驻留的医学保障与防护技术提供数据。

简言之,飞行至40.68万公里,在工程上,验证了载人深空往返的全套能力;在科学上,为月球背面、深空辐射、宇宙观测等研究提供了新的条件;在战略上,为载人登月、火星任务、地外资源开发奠定基础。宇航员进行深空探测,有助于进一步理解深空环境、适应长期飞行、创造新的探测能力。

## 对美登月计划有何影响

**记者:**宇航员在绕月过程中直接观测了月球背面,还记录了微陨石撞击月球的闪光现象,这些观测数据对月球科学研究有什么实际意义?

**庞之浩:**飞船上的宇航员直接观测月球背面部分区域。由于人眼对月表地貌、纹理特征的分辨能力可弥补设备观测的不足,此次任务可以为月球研究提供全新视角。

在本次任务中,宇航员还观察到了微陨石撞击月球表面产生的撞击闪光现象。宇航员将闪光描述为持续数毫秒的无色光点,并记录了闪光在月面出现的时间与位置。有科研人员认为,宇航员登陆月面以及后续建设月面基地可能遭遇微陨石的持续撞击,掌握其撞击频率与破坏力有助于保障宇航员安全和规划未来任务。

**记者:**这次任务中,宇航员既是执行者也是科研对象,此次开展了多项人体生理学研究,最受关注的是什么?有什么意义?

**庞之浩:**阿耳忒弥斯2号任务的一大重点是研究深空对人类健康的影响。此次宇航员直接暴露于更强的宇宙辐射之下。飞船舱内安装了辐射传感器监测剂量,宇航员也在任务前后提供唾液和血液样本,以评估免疫系统等生理变化。

本次任务中最前沿的人体健康研究是“器官芯片”实验。科学家从宇航员捐献的血液中提取未成熟骨髓细胞,分别植入两块大小类似U盘的生物芯片中,一块随飞船进入深空,另一块留在地面作为对照。

这类芯片可以看作人体器官的“化身”。通过微流控技术,科学家能够在芯片上模拟大脑、肺、心脏、胰腺和肝脏等器官的结构和功能,从而观察人体细胞对辐射或医疗干预的反应。这项名为“AVATAR”(虚拟宇航员组织模拟反应)的实验有望为未来的载人登月任务提供信息,并帮助做好人类登陆火星的准备。

任务结束后,科学家会对每位宇航员的两块芯片进行比较,以评估深空环境是否导致更多DNA损伤、端粒变化或其他生物学影响,并将这些数据与宇航员健康状况进行关联分析。

**记者:**这次任务验证的深空辐射防护、生命保障等技术,对美登月计划有何影响?

**庞之浩:**此次任务的科学目标以验证载人深空飞行能力为主,兼顾月球与空间探测。任务中,科研人员重点监测了深空辐射对人体的影响,研究了微重力环境下的生理变化,同时获取了月球背面及南极区域的遥感数据。尤为关键的是,任务验证了“猎户座”飞船的生命维持系统、通信导



当地时间4月10日20时07分(北京时间4月11日8时07分),执行美国“阿耳忒弥斯2号”载人绕月飞行任务的“猎户座”飞船返回地球,溅落在美国加利福尼亚州圣迭戈附近海域。新华社/路透发

航系统以及高速再入隔热系统,为后续登月及深空长期任务积累了关键的环境、工程与生物医学数据。

从目前披露的信息来看,“猎户座”飞船在飞行过程中也出现了一系列异常。例如,厕所系统在微重力环境下运行不稳定,部分功能受到限制;通信链路在某些阶段出现波动,数据回传存在间歇性中断。这类问题如果放在单项系统测试中,属于需要重点整改的缺陷,但在整套飞行任务中,它们并没有形成跨系统的连锁反应,也未对核心安全能力构成实质性削弱。换句话说,系统虽然出现过故障,但任务始终处于可控范围之内。

从长远来看,此次任务验证的深空技术将助力载人火星任务突破瓶颈,带动商业航天发展,加速航天材料与能源技术民用转化。同时,这一

任务也巩固了美国深空探索的领先地位,推动全球航天形成“竞争+合作”格局。

最新消息显示,美国计划2027年执行“阿耳忒弥斯3号”任务,在近地轨道开展系统运行能力测试;2028年开展“阿耳忒弥斯4号”登月任务。

不过,实际情况可能并不乐观。阿耳忒弥斯计划已多次出现进度延误和成本超支等问题。受政策调整、预算压力、产业链重建等多重因素影响,美国登月计划多次推迟,目标时间从最初的2024年一路延后到2028年。目前,该计划总预算超930亿美元,单次发射与飞船造价高昂,任务延期还可能影响后续计划与国际合作信心,其载人登月目标能否如期实现仍存在诸多不确定性。

## 延伸阅读

### 阿波罗探月大事记

(1961年5月—1972年12月)

1961年5月25日,美国总统肯尼迪宣布,在20世纪60年代结束之前,将把人送上月球并安全返回地面,阿波罗计划正式启动。

1967年1月27日,阿波罗1号指令舱在发射台进行模拟测试时起火,3名航天员在这场火灾中遇难。

1967年11月9日,阿波罗4号无人测试发射,土星5号火箭首次全系统飞行测试。

1968年1月22日,阿波罗5号无人测试发射,首次在地球轨道测试登月舱。

1968年4月4日,阿波罗6号无人测试发射,土星五号最后一次无人飞行测试。

1968年10月11日,阿波罗7号发射,首次进行载人飞行试验,3名航天员进入环绕地球飞行的轨道,这次飞行对飞船的指令舱与服务舱进行了验证。

1968年12月21日至27日,载有3名航天员的阿波罗8号飞船成功飞临月球上空,这是世界上第一艘飞到月球附近的载人飞船,也是人类第一次亲临月球附近,飞船绕月飞行10圈后返回地球,在大西洋安全溅落。

1969年3月3日,阿波罗9号发射,这是首次搭载完整登月舱(含指令舱、服务舱与登月舱)的载人飞行,所有操作都在地球轨道进行。宇航员对登月舱进行了全面测试并完成舱外活动,模拟了未来登月所需的各项操作。

1969年5月18日,阿波罗10号发射。作为登月“彩排”,它执行了除最终着陆外的所有流程。登月舱下降到距月面仅15.6公里的高度,为阿波罗11号着陆做好了准备。

1969年7月16日,阿波罗11号载着3名航天员阿姆斯特朗、奥尔德林和柯林斯升空。格林威治时间7月20日20时17分,阿姆斯特朗与奥尔德林驾驶登月舱在月面静海区着陆。他们先后出舱,人类的足迹第一次印在了月球上。飞船登月舱在月面停留了21小时36分,

2名航天员在舱外活动2小时31分,采集了21.7千克月球样品,安装了科学仪器。随后他们驾驶登月舱离开月球,与柯林斯驾驶的绕月飞行的指令服务舱会合,并一同返回地球。7月24日,三人安全溅落在太平洋,首次载人登月任务圆满完成。

1969年11月14日,阿波罗12号发射,第二次登月。实现了精确定点着陆,飞船降落在“勘测者3号”探测器仅180米远的地方,宇航员们回收了该探测器的部分部件,带回了地球。

1970年4月11日,阿波罗13号发射,起飞55小时55分,服务舱2号氧贮箱爆炸,航天员面临无法返回地球的危险。在地面控制中心的指挥下,3名航天员逐一解决了面临的难题,最终利用登月舱发动机成功返回地球。

1971年1月31日,阿波罗14号发射,第三次登月。宇航员完成2次月面行走,采样约42千克。宇航员艾伦·谢泼德在月球上成功击打了两个高尔夫球,成为目前唯一在月球上打过高尔夫球的人。

1971年7月26日,阿波罗15号发射,首次携带月球车,大幅扩展了宇航员的探索范围。任务采集到一块被称为“起源石”的斜长岩样本,经分析约有41亿年历史,被认为是原始月球地壳的一部分。

1972年4月16日,阿波罗16号发射。4月27日,飞船降落在月球赤道附近的笛卡尔高地,这是阿波罗计划中首次在月球高地着陆。宇航员们在月球上停留了71小时,驾驶月球车进行了三次舱外活动。

1972年12月7日,阿波罗17号发射。这是阿波罗计划的最后一次登月任务,宇航员在月面停留创纪录的约75小时,整个任务期间进行了3次外出考察,采集了大量岩石标本,对于无法带回地球的大块岩石,进行了详细的记述和拍摄。12月19日,阿波罗17号宇宙飞船在大西洋目标区溅落,标志着阿波罗载人登月计划圆满结束。

(本报记者 王美华整理)