

# 2018年深空探测热点回眸

范全林, 王琴, 白青江

中国科学院国家空间科学中心空间科学与深空探测规划论证中心, 北京 100190

**摘要** 深空探测指人类航天器离开近地轨道、进入太阳系空间和宇宙空间, 对地球以外天体(月球及以远天体)或空间环境开展的科学探测。2018年, 国际深空探测叠彩纷呈: 中国“嫦娥四号”成功实现国际首次月球背面软着陆并将开展巡视勘察; 美国“洞察号”探测器登陆火星; 向太阳系空间进发, 朝向日心方向, 欧洲空间局和日本合作研制的BepiColombo探测器正飞向水星、美国“帕克号”探测器开启“史诗级”旅行去“触摸太阳”, 远离日心方向, “新视野号”成功飞掠柯伊伯带的小行星“天涯海角”、“旅行者2号”突破日球层顶; 美国“奥西里斯-REx”和日本“隼鸟2号”顺利抵达各自目标小行星执行采样任务。2018年, 月球表面存在水冰、火星发现有机分子、太阳系边际再抵近等发现或突破对于探寻生命起源、太阳系起源和演化, 拓展人类知识体系具有重要意义。

**关键词** 深空探测; 2018年研究热点; 空间科学; 科学发现

在空间科学日益成为航天国家竞技场之际<sup>[1-3]</sup>, 深空探测作为与地球轨道卫星和载人航天并驾齐驱的航天活动, 不仅是空间技术发展的必然选择, 更承载了人类探寻宇宙起源和演化、认识太阳系、探索地球与生命起源和演化奥秘的梦想。

自《中国的航天》白皮书(2000年)提出深空探测以来, 结合国际科学界的共识, 科学家较一致地认为, 深空探测是指人类航天器离开近地轨道、进入太阳系空间和宇宙空间, 对地球以外天体(包括月球/卫星、行星、太阳、小行星和彗星等)或空间环境开展的科学探测。探测方式上包括飞掠、硬着陆(撞击)、环绕、软着陆(+巡视)、无人采样返回、载人探测等形式, 近年来呈现出两个新趋势: 对同一探测对象采取多种探测形式交替进行以及在一次任务中组合使用多种探测手段实现综

合探测<sup>[4-7]</sup>。

2018年国际深空探测方兴未艾, 中国“嫦娥四号”实现国际首次月球背面软着陆<sup>[8]</sup>; 美国“洞察号”(In-Sight)登陆火星; 向太阳系空间进发, 朝向日心方向, 欧洲和日本合作研制的BepiColombo探测器正在飞向水星, 美国“帕克号”太阳探测器(Parker Solar Probe, PSP)去“触摸太阳”; 相反方向, “新视野号”(New Horizons)即将飞掠柯伊伯带小行星“天涯海角”(Ultima Thule)、“旅行者2号”(Voyager-2)突破日球层顶; 美国“奥西里斯-REx”和日本“隼鸟2号”(Hayabusa 2)顺利抵达各自目标执行小行星采样任务。科学家通过研究这些深空任务的探测数据, 取得了一批重大科学发现和突破, 拓展了人类对太阳系和宇宙的认识, 促进了空间技术的创新和进步。

收稿日期: 2019-01-05; 修回日期: 2019-01-12

基金项目: 中国科学院战略研究和决策支持系统建设专项(GHJ-ZLZX-2019-06-2); 中国科学院空间科学(二期)先导专项(Y7291A1AGS, Y7291A1AHS)

作者简介: 范全林, 研究员, 研究方向为空间科学发展战略与政策, 电子邮箱: fan@nssc.ac.cn

引用格式: 范全林, 王琴, 白青江. 2018年深空探测热点回眸[J]. 科技导报, 2019, 37(1): 52-64; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.01.006

## 1 多个新深空探测任务实施, 致力于新科学发现

2018年, 世界航天国家新实施了多个深空探测任务, 它们或者面临抵近太阳的高温炙烤、飞掠柯伊伯带的荒凉, 或者经历火星上的“恐怖7分钟”, 这些极热、极寒和强辐射等极端空间环境, 都是太空探索中“难啃的骨头”。但在重大科学目标的牵引下, 深空探测器在经过多年论证、方案设计和工程研制后, 终于如愿以偿挣脱了地球引力场的束缚, 启程进入太阳系空间, 向科学探测和重大发现迈出了坚实的一步。

### 1.1 “嫦娥四号”实现国际首次月球背面软着陆并巡视勘察

2018年, 中国探月工程实现新突破。“嫦娥四号”成功实施了两次发射任务: 5月, 中继星“鹊桥”发射, 首次在地月拉格朗日L2点位置放置卫星, 实现月球背面与地面站之间的测控通信; 12月8日, “嫦娥四号”着陆器和巡视器发射升空。“嫦娥四号”于北京时间2019年1月3日10:26成功着陆在月球背面177.6°E、45.5°S附近的预选着陆区, 并通过“鹊桥”传回了世界第1张近距离拍摄的月背影像图(图1)。此次任务实现了人类探测器首次月背软着陆、首次月背与地球的中继通信<sup>[9]</sup>。

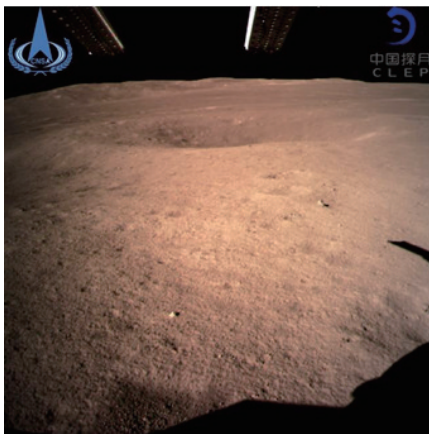


图1 “嫦娥四号”传回的世界第1张近距离拍摄的月背影像图(图片来源:中国探月与深空探测网)

Fig. 1 CE-4 made the historic touchdown on the far side of the moon, with the world's first close-up of the lunar surface

在月球背面独特的电磁环境条件下, “嫦娥四号”将开展月基低频射电天文观测, 填补100 kHz~10 MHz观测空白, 有望取得行星际激波、日冕物质抛射和空间传播机理等方面原创性成果。“嫦娥四号”对月球背面开展形貌、矿物组分、月壤和月表浅层结构的就位与巡

视综合探测, 将促进对月球早期演化历史的新认知<sup>[10]</sup>。

### 1.2 “洞察号”执行人类首个火星内部结构探测任务

2018年5月5日, 美国发射了“洞察号”火星无人着陆器, 并于当年11月26日着陆在火星北半球赤道附近的埃律西昂平原(Elysium Planitia)西侧, 开启为期2年(1个火星年40个火星日)的任务——探测火星地震、为火星“量体温”。尽管工程师形容“洞察号”进入火星大气层后降落和着陆的过程为“恐怖7分钟”, 但“洞察号”搭载的两颗6U立方体卫星——“火星立方星一号”A和B(Mars Cube One, MarCO-A & MarCO-B)成功提供了数据中继服务, 向地球发回了着陆信号。

图2为“洞察号”有效载荷配置图<sup>[11]</sup>, 可以看出, 它携带了3台主要科学载荷, 即法国空间局(CNES)研制的内部结构地震实验仪(SEIS)、德国宇航中心(DLR)研制的热流和物理属性探测仪(HP<sup>3</sup>)以及美国喷气推进实验室(JPL)提供的自转和内部结构实验仪(RISE)。SEIS将首次记录“火星震”(Marsquakes)或陨石冲击所引发的震波; HP<sup>3</sup>可通过锤击到达火星地下3~5 m或更深处, 测量火星内核释放的热量; RISE每日精确测定火星自转轴的摇摆, 进而反演火星内核的大小及其物态。有理由相信, 通过研究火星的深层内部构造, “洞察号”任务有望提供包括地球在内的有关类地岩质行星构成的宝贵信息。

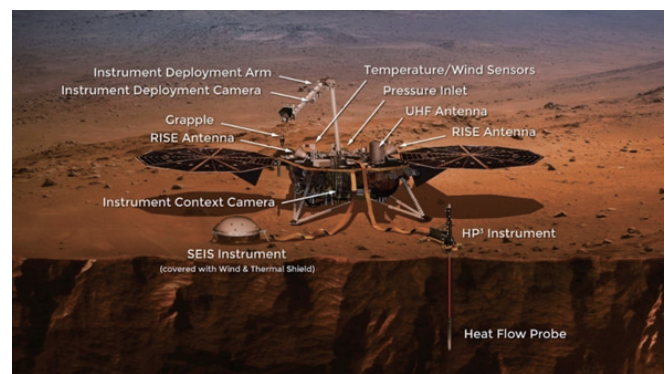


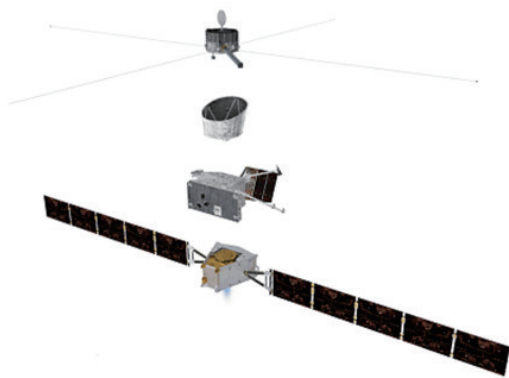
图2 “洞察号”有效载荷配置及火震仪工作示意

Fig. 2 Payload configuration of InSight mission

### 1.3 欧日联合发射人类第3个水星探测器

2018年10月20日, 由欧洲空间局(ESA)和日本联合实施的BepiColombo探测器(图3<sup>[12]</sup>)发射升空飞向水星。预计于2025年12月5日, 该探测器将进入水星轨道, 届时母船将分离为两艘独立的飞行器, 即ESA的水星行星轨道器(MPO)以及日本宇宙航空研究开发机构

(JAXA)的水星磁层轨道器(MMO),两者将分别进入不同高度的互补轨道,探究水星的起源与演变、水星内部结构和磁场特点等基本科学问题。由于水星轨道离太阳很近,这两艘飞船都须经受住超过350℃的极端高温考验。



从上到下分别是水星磁场探测器(MMO/MIO)、MIO的专用接口和太阳防护盾(MOSIF)、水星轨道探测器(MPO)以及水星转移轨道推进器(MTM)

图3 “贝皮·哥伦布”探测器示意

Fig. 3 Art concept of BepiColombo mission

BepiColombo探测器是ESA第1次、人类第3次向水星发射探测器,前两次分别是美国NASA于1973年发射的“水手10号”(Mariner 10)和2004年发射的“信使号”(Messenger)。由于当时技术能力所限,“水手10号”并没有真正进入水星轨道,而是3次从同一地区的上空就近飞掠水星。

#### 1.4 “帕克号”使人类以史无前例的距离接近太阳

2018年8月12日,美国发射的深空探测器“帕克号”创下了人类太空探索的多个首次。它将是第1个飞掠太阳外层大气日冕的人类航天器,预计2024年可抵达太阳表面上方8.86个太阳半径处(约620万km),这一距离将是先前德、美联合研制的“太阳神2号”(Helios-2)所到达最近距日距离(4300万km)的1/7。它使人类以史无前例的距离接近太阳,也是迄今最“热”的太空探测任务。2018年10月31—11月11日期间“帕克号”第1次飞掠太阳日冕,11月5日抵达近日点,此时距离太阳表面约2480万km,在接下来近7年的时间里,帕克将多次借助金星的引力弹弓效应慢慢逼近太阳,对太阳进行另外的23次飞掠。

“帕克号”是NASA第1次以健在人物命名的航天器,以向1958年最早预测“太阳风”存在的先驱、芝加哥

大学教授尤金·帕克(Eugene Parker)致敬,图4<sup>[13]</sup>为尤金·帕克教授在帕克探测器测试现场。太阳风是指不断从太阳流出的带电粒子流。1958年,帕克发表了《行星际气体和磁场的动力学》论文<sup>[14]</sup>(图5),首创了超声速太阳风理论,挑战了当时国际上的权威观点,并借助1962年金星探测任务“水手2号”的科学数据,最终证实该理论是正确的。



图4 尤金·帕克(左起第3位)在“帕克号”探测器测试现场

Fig. 4 Eugene Parker (the third from the left) visiting the spacecraft that bears his name, NASA's Parker Solar Probe, at the Johns Hopkins Applied Physics Laboratory in Laurel, Maryland



图5 1958年,帕克在《Astrophysical Journal》发表的《行星际气体和磁场的动力学》的论文首页

Fig. 5 Front page of Parker's paper "the Interplanetary Gas and Magnetic Fields" published in *Astrophysical Journal* in 1958

太阳是人类文明之光的源头,但“太阳风的形成以及日冕的极端加热机理”长期以来一直困扰着科学家。因此,众人期盼通过“帕克号”的科学载荷对日冕、太阳风和探测器周围激波三维成像,对穿越太阳大气

等离子体的电场和磁场、无线电辐射及激波进行直接测量,以回答3个基本问题:太阳风的加速原理、太阳风暴的原理以及日冕温度为什么这么高。这些问题的答案是了解太阳与地球的关系以及提高空间天气预报能力的“钥匙”,可为规避和降低灾害性空间天气事件对地球生命和技术系统以及在轨航天器和宇航员的伤害做出重要贡献<sup>[15]</sup>。

需要说明的是,太阳的巨大引力使得前往太阳的科学探测成了一件非常困难的事情,根据NASA的数据,到达太阳需要用比到达火星多55倍的能量。为了“触摸太阳”,帕克探测器将利用金星的引力,在7年内完成24次对太阳的飞掠,以逐步降低椭圆轨道的近日点,不断靠近太阳,最终进入日冕并对太阳大气进行原位测量和成像。该探测器将在2024年最接近太阳的飞掠中,以 $6.9 \times 10^5$  km/h(该速度相当于从华盛顿起飞,不到1 min就能到达东京)的速度飞行,从而创下人造物体飞行速度的新纪录。

## 2 两个在途小行星采样任务顺利抵达目标小行星

从太阳系的小行星中,可能找到太阳系起源和演变的线索,甚至可能发现生命起源和演化的痕迹。2018年,以小行星采样返回为目标两个深空探测任务顺利抵达各自的目标小行星。

### 2.1 OSIRIS-REx 约会 Bennu 小行星并有重要发现

2016年9月,美国发射“源光谱释义资源安全风化层辨认探测器”(OSIRIS-REx,图6<sup>[16]</sup>),在经过16亿km的太空飞行后,于2018年12月3日抵近Bennu小行星,并于当月31日起,环绕其轨道运行,轨道高度仅1.6 km,创下了人类探测器以最近距离环绕最小天体的记录。OSIRIS-REx将在轨道上运行1年时间,对这颗太空岩石进行考察,探究太阳系和生命起源<sup>[17]</sup>。

令人惊喜的是,科学家已从OSIRIS-REx的两个光谱仪的数据中发现了“羟基”,这意味着Bennu小行星的黏土内可能存在水分<sup>[18]</sup>。Bennu直径约500 m,其轨道属于可能撞击地球的类型,但在未来100年内撞上地球的可能性非常小,仅为1/2700。按计划,OSIRIS-REx将在2020年7月用机械臂短暂触摸小行星抓取样本,并于2023年9月返回地球。OSIRIS-REx对Bennu的交会、观测和采样返回将耗时7年。

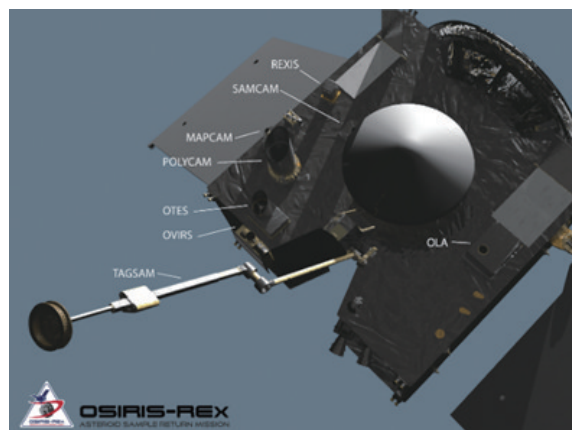


图6 OSIRIS-REx 探测器及其科学载荷

Fig. 6 OSIRIS-REx probe and its scientific instruments

### 2.2 “隼鸟2号”抵达 Ryugu 小行星并投放着陆器

2014年12月3日,日本“隼鸟2号”小行星探测器发射升空。在飞行了近32亿km后,于2018年6月27日抵达预定观测点,与编号1999JU3的目标小行星Ryugu相距20 km,当时这颗小行星距离地球仅2.72亿km。2018年9月,“隼鸟2号”从Ryugu表面约60 m高处成功投放2台小型漫游器——Minerva-III A和Minerva-III B。这对漫游器和传统的轮式漫游器不同,通过跳跃的方式实现了在小行星表面自主移动。

2018年10月,“隼鸟2号”通过自由落体方式再次释放1颗由德国宇航中心(DLR)和法国空间局(CNES)联合研制的“小行星表面移动探测”(MASCOT)着陆器(图7<sup>[19]</sup>)。MASCOT未配备推进系统,通过电机加减速,其钨摆臂实现了在Ryugu小行星(只有地球重力的1/66500)表面的移动甚至跳跃,这是人类航天史上首次使用非常规机动方式实现在小行星表面的移动。



图7 “隼鸟2号”向Ryugu小行星释放MASCOT示意

Fig. 7 Release of MASCOT by Hayabusa-2 on the asteroid Ryugu

“隼鸟2号”计划在2019年底离开“龙宫”，并于2020年底前后返回地球。科学家希望通过采样返回物质进行分析，探明水和有机物发生的化学反应以及矿物是如何参与生命的。

### 3 两个太阳系边际探测任务令人瞩目

对外日球层的探测，美国是当仁不让的领路者。美国两个已长途跋涉多年、飞越近百亿千米的深空探测器“旅行者2号”与“新视野号”在2018年又分别传来了新消息。

#### 3.1 “旅行者2号”突破日球层顶进入恒星际空间

1977年，“旅行者2号”和“旅行者1号”相继升空，踏上探索太阳系征程。2018年12月，NASA宣布，继6年前“旅行者1号”突破日球层顶的外边界后，“旅行者2号”于2018年11月5日突破日球层顶(图8<sup>[20]</sup>)，进入恒星际介质，成为迄今第2个飞到如此遥远宇宙空间的人造物体，目前距离地球逾180亿km。日球层顶是炽热的太阳风与寒冷、稠密的恒星际介质相遇的地方。令人欣慰的是，“旅行者2号”上的等离子体科学实验仪器仍在工作，而“旅行者1号”上相同的仪器已于1980年停止工作。



图8 “旅行者2号”搭载的宇宙线子系统提供的其离开日球层的证据

Fig. 8 Evidence of Voyager 2 leaving heliosphere, obtained by its cosmic ray sub-system

两个探测器原计划运行5年，科学目标是探索木星和土星。目前，它们不仅都飞掠了木星和土星，“旅行者2号”还飞掠了天王星和海王星。它们探测并发回的太阳系边际信息让人类窥探到真正未知的领域。“旅行者2号”比“旅行者1号”早发射16天，是NASA目前持续运行时间最长的航天器。“旅行者号”任务是目前距离地球最远、寿命最长的深空探测/空间科学计划。

#### 3.2 “新视野号”探索人类目前可及的最远天体

为了探索冥王星和柯伊伯带小行星群，2006年，美国发射了核动力的“新视野号”(New Horizons)探测器。2015年，“新视野号”飞掠冥王星，向地球发回了这颗矮行星的第1张近距离图像，即引起公众巨大轰动的“冥王星之心”。2018年12月底，“新视野号”从3500 km处掠过它的最后一个目标——编号为2014 MU69的柯伊伯带小行星。这颗超远古小行星形成于45亿年前，并被深度冻结，距冥王星约16亿km，距地球超过64亿km，是人类目前能探索的最远天体，是网友投票选出的“天涯海角”(Ultima Thule, 图9<sup>[21]</sup>)。不过，“新视野号”将“天涯海角”的全部科学数据传回地球需要近2年的时间。柯伊伯带天体是太阳系各大行星形成后的残渣，这些“迟到”的数据必将有助于理解太阳系和地球生命的起源。

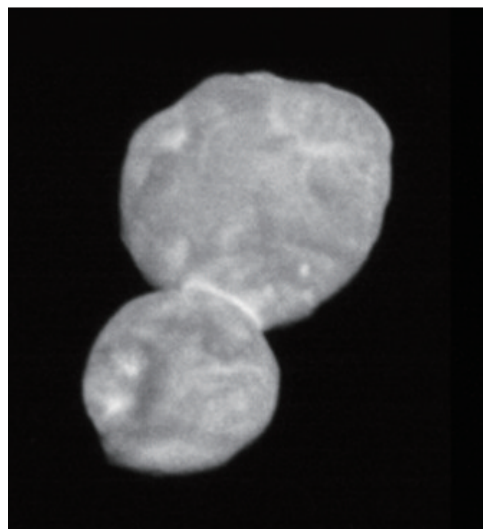


图9 “新视野号”于2019年1月1日拍摄的“天涯海角”

Fig. 9 Asteroid “Ultima Thule” imaged by New Horizons on Jan. 1, 2019

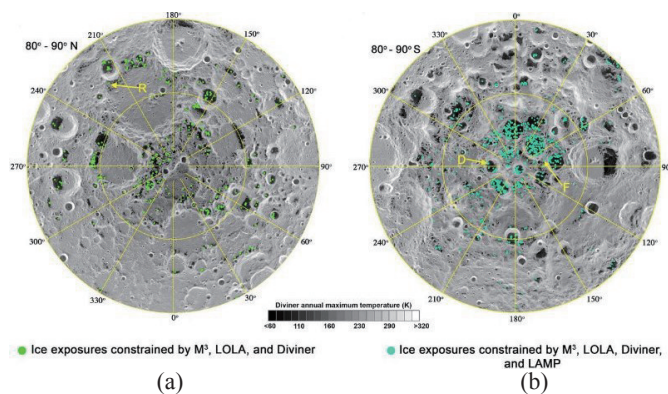
## 4 一批新的深空探测成果再次拓展人类认知

2018年，在回答关于太阳系的形成、生命的起源等重大科学问题的征途上，人类又向前迈了一大步。既往多个深空探测任务的科学数据再结硕果，月球表面发现水冰、火星和土卫二上发现有机分子等重要突破，让人们再次向“好奇号”“卡西尼号”“伽利略号”等深空探测航天器致敬，也让人们对那些太阳系内拥有潜在生命或曾经有过生命的星球充满了想象。

#### 4.1 月球表面存在水确凿无疑

通过分析 NASA 月球勘测轨道器 (LRO) 和印度空间研究组织 (ISRO) “月球初航” (Chandrayaan) 任务数据并建立相关模型, 科学家发现月球表面可能广泛分布着以羟基形式存在的水。羟基不能长时间保持本身状态, 易于与其他分子相互作用附着在矿物中, 只有提取出来才能使用。此发现将有助于理解月球上水的起源以及水资源利用的难易程度<sup>[22]</sup>。

此外, 通过研究“月球初航”任务数据, 科学家在月球极区发现了月球表面存在着水冰的直接证据, 但分布不均。月球南极的大部分水冰集中在月球环形山, 而北极的水冰分布更广泛但稀疏, 如图 10<sup>[23]</sup>所示。月球水冰的丰度和分布与太阳系其他没有大气层的行星 (如水星和谷神星) 不同, 这可能与月球独特的形成和演化过程有关。人们期待这些水冰能在未来的月球探测中作为原位资源使用<sup>[23]</sup>。



绿色表示北极水冰, 青色表示南极水冰

图 10 月球北极(a)和南极(b)水冰分布

Fig. 10 Distribution of water ice in the lunar northern (a) and southern (b) polar regions

#### 4.2 火星或存在生命再添新证据

火星是除了地球以外人类了解最多的行星, 迄今已经有超过 30 枚探测器到达过火星并开展探测。目前正在运行的主要是美国的 3 个卫星——“奥德赛号”火星探测器 (Mars Odyssey)、火星侦察轨道器 (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO) 和火星大气与挥发物演化探测器 (MAVEN) 以及 3 部火星车——“机遇号” (Opportunity)、“好奇号” (Curiosity) 和“洞察号” (InSight)。此外, 还有欧洲空间局的“火星快车” (Mars Express)、欧洲空间局和俄罗斯合作的火星生命探测计划 (ExoMars) 中的探测器。

根据“火星快车”的火星地下及电离层探测先进雷

达 (MARSIS) 的观测数据, 科学家发现火星南极冰盖下 1.5 km 处存在一个宽约 20 km 的雷达亮反射异常区域, 分析认为这是液态水体或富含水的饱和沉积物层, 并推测在其他地方可能存在更多的地下水体。这一发现增加了火星上有生命存在的可能性<sup>[24]</sup>。另外, 科学家利用“火星快车”的 10 年观测数据发现火星大气层正在演变成一个统一的、相互关联的系统, 其低层大气和中层大气中发生的过程正在显著影响着火星高层大气。该结果说明火星大气层不仅受到空间天气和太阳活动等的外部干扰, 还会受到火星自身强烈的内部变化和表面过程的影响<sup>[25]</sup>。

根据“好奇号”任务数据, 科学家在火星盖尔陨石坑的古老沉积岩样本中发现多种有机分子, 包括噻吩、苯、甲苯以及一些短链有机物 (如丙烷、丁烯等), 如图 11 所示。此外还发现火星大气甲烷水平存在季节性周期波动, 可能是水-岩化学反应所致, 这些信息表明火星可能曾经存在生命<sup>[26-27]</sup>。

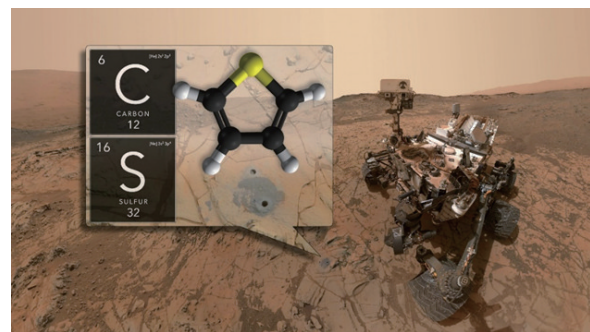


图 11 “好奇号”在火星发现有机分子 (图片来源: NASA/JPL)

Fig. 11 Organic molecules found by Curiosity on Mars

在“火星大气与挥发物演化” (MAVEN) 在轨 4 周年之际, NASA 总结了所取得的系列重要科学发现, 包括: 1) 证实了火星大气逃逸是造成火星气候变化的主因; 2) 发现太阳风暴可能是导致火星大气随时间流失的主因; 3) 发现 2 种新的火星极光类型——扩散型极光和质子型极光; 4) 直接探测到火星电离层中存在由行星际尘埃轰击火星大气层形成的金属离子层, 也是首次在地球以外的行星大气中直接探测到金属离子的永久存在; 5) 证实火星上大部分  $\text{CO}_2$  已经逃逸到行星际空间, 剩余的  $\text{CO}_2$  不足以令火星升温使之“地球化”<sup>[28]</sup>。

2018 年, 欧洲空间局“火星生命探测计划 2016 任务” (ExoMars-2016) 团队公布了“示踪气体轨道器” (TGO) 相关的首批科学成果, 提出载人火星任务必须高度重视辐射剂量的影响: 若往返地球和火星各需要 6 个

月,执行火星任务的航天员受到的辐射剂量将达到个人耐受极限值的60%或更高;航天员在行星际空间累积的辐射剂量是相同时间内在地球受到辐射剂量的几百倍,是在国际空间站受到辐射剂量的数倍。图12是“好奇号”测量的火星每日辐射和大气压变化。在火星沙尘暴研究方面,“彩色立体表面成像系统”(CaSSIS)获得的火星表面暗色条纹的图像表明,火星沙尘暴出现了消退<sup>[29]</sup>。2018年9月,印度总结了火星轨道器任务(MOM)在轨运行4年的成果。火星轨道器任务是一项开发周期短、强调投资费效比的火星探测任务,它以技术验证为主要目标,基于该任务已发表23篇论文<sup>[30]</sup>。

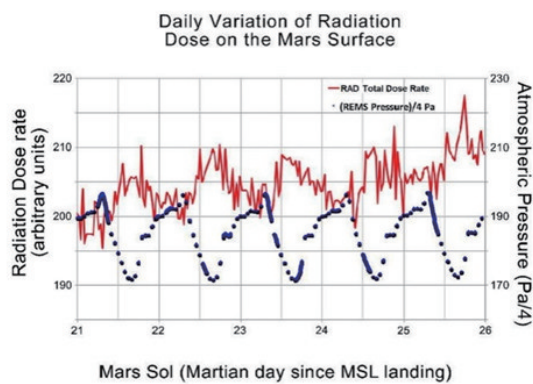


图12 “好奇号”测量的火星每日辐射和大气压变化  
(图片来源:NASA/JPL-Caltech/SwR)

Fig. 12 Daily variations of radiation dose on the Mars surface and the atmospheric pressure measured by Curiosity

#### 4.3 木星闪电之谜被破解

作为太阳系的气态巨行星,木星被厚厚的云层覆盖,并伴有剧烈风暴。2018年,美国“朱诺号”(Juno)揭示了木星闪电之谜。根据微波辐射计(MWR)观测数据,科学家发现木星闪电与地球闪电的无线电信号频段相似,但二者地理分布不同,木星闪电经常出现在极区,并推测其成因与木星赤道和极区不同的大气热对流有关(图13)<sup>[31]</sup>。该发现增进了对木星组成、大气环流和能量流动的理解。

2018年,美国“伽利略号”(Galileo)发现了木卫二喷射羽流新证据和木卫三独特的磁场。木卫二地下的液态水可向冰壳之上排放水汽,支持了羽流存在;外来的等离子“雨”以及由木星和木卫三的磁场间的剧烈等离子体流,使木卫三冰质表面喷发粒子,这可能是木卫三拥有明亮极光(图14)的原因<sup>[32-33]</sup>。

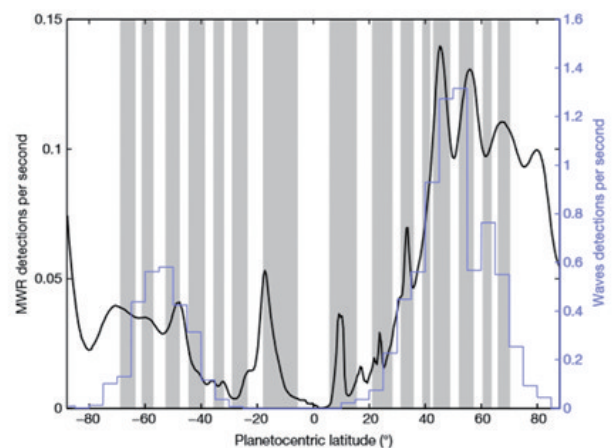


图13 根据“朱诺号”MWR和波仪器的数据绘制的闪电方向图

Fig. 13 Directions of lightning mapped with Juno MWR and wave instruments data

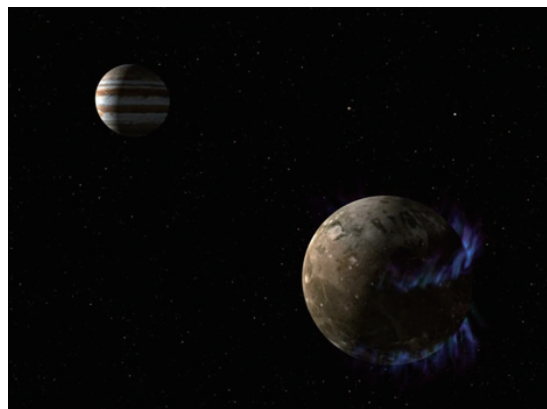


图14 哈勃望远镜观测到的木卫三极光图(图片来源:NASA)

Fig. 14 Ganymede's aurora observed by Hubble Space Telescope

#### 4.4 土卫二的海洋或令生命宜居、土卫六上首次发现沙尘暴

2017年4月,美国科学家宣布土卫二上具备生命所需的所有元素。2018年,一个国际研究团队利用“卡西尼号”(Cassini)探测器的观测数据,研究土卫二羽流中的冰粒组成,最终在其内部深处发现了大量的复杂有机大分子碎片(图15)。研究人员认为,它们应是通过热液活动形成的。该发现支持了“土卫二的海洋可能是生命宜居环境”的假设<sup>[34]</sup>。

此外,通过分析“卡西尼号”可见和红外成像光谱仪(VIMS)的观测数据,科学家在土卫六的赤道地区发现了大量的云,并产生强烈的甲烷风暴,这意味着覆盖土卫六赤道地区的巨大沙丘仍然活跃并且不断变化,土卫六成为继地球和火星之后第3个被人类发现发生沙尘暴的太阳系天体<sup>[35]</sup>。

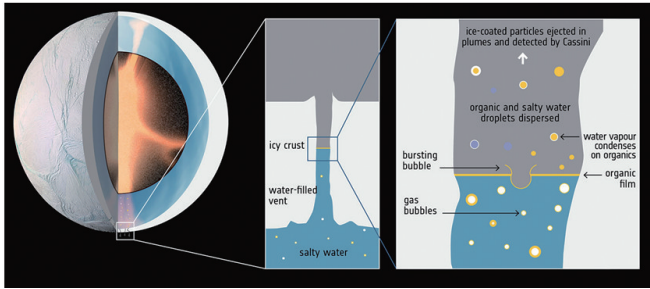


图 15 “卡西尼号”探测器发现土卫二内部热液活动及其喷发的羽流中富含有机分子(图片来源:ESA)

Fig. 15 Hydrothermal activity in Enceladus' core and the rise of organic-rich bubbles found by Cassini mission

#### 4.5 太阳系原初特征被揭示

2007年9月27日,美国“黎明号”(Dawn)发射,旨在通过探测揭示太阳系的早期原初特征及影响太阳系演化的过程。目前,“黎明号”燃料即将用尽,迎来任务终结,其在轨11年间的重要科学发现集中体现在以下两方面<sup>[36]</sup>。

1) 揭示了太阳系演化过程。“黎明号”拍摄了灶神星(Vesta)上的环形坑、峡谷和山脉图像,绘制了环形坑地图,发现其北半球受到的撞击更多,这表明在小行星带早期存在更多的巨型天体。“黎明号”还证实灶神星是一个常见的陨石家族的来源。

2) 为未来探索太阳系内其他天体提供了宝贵信息。“黎明号”捕捉到了谷神星(Ceres)上的冰火山和神秘亮斑(图16)。在其表面发现了古代海洋残留的化学特征,一些亮斑被证实是盐沉积物,主要成分为碳酸钠,是由地壳内部的泥状卤水流到地表形成的。这一发现表明矮行星历史上也存在过海洋,甚至可能仍然存在。

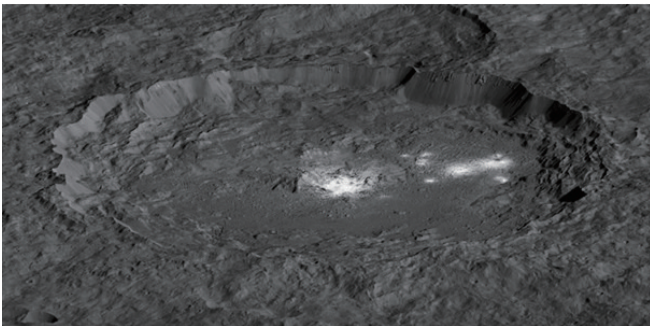


图 16 “黎明号”拍摄的谷神星冰火山和神秘亮斑(图片来源:NASA)

Fig. 16 The cryovolcano and mysterious bright spots on Ceres imaged by Dawn mission

#### 4.6 冥王星沙丘可能由甲烷冰粒堆积而成

根据NASA“新视野号”拍摄的图片,科学家在冥王星表面环绕斯普尼克平原(Sputnik)的山脉附近发现的“沙丘”(图17)可能是由甲烷冰粒堆积而成。模拟研究表明,这些沙丘状地形可能是粒径约为200~300 μm的甲烷冰粒在小于10 m/s的中等风速下沉积形成的,其地质历史非常年轻,仅为数十年至数百年。这也意味着冥王星拥有比此前预想更为活跃的地质和大气环境,其稀薄大气层形成的风不断影响着地貌<sup>[37]</sup>。

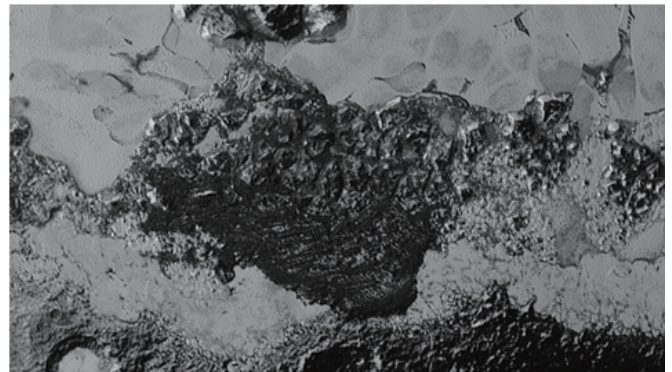


图 17 “新视野号”拍摄的冥王星表面的“沙丘”(图片来源:NASA)

Fig. 17 Dunes on Pluto imaged by New Horizons

## 5 深空探测再次牵引国内外空间技术创新和应用

深空探测的深度与广度取决于一系列关键技术的突破和支撑,必然牵引空间技术创新。以深空探测中的空间核电源技术为例,作为航天强国,美国采用空间核动力的无人深空探测器早已飞遍太阳系八大行星和个别小行星,“旅行者1号”与“旅行者2号”已经飞出太阳系,其上的同位素电源(RTG)已工作近40年。中国作为深空探测的后发国家,从俄罗斯引进了3枚120 W、1枚8 W以及1枚4 W的同位素热源(RHU),用于解决“嫦娥三号”着陆器和巡视器的月夜生存问题<sup>[38]</sup>，“嫦娥三号”成为中国第1颗采用核动力的深空探测器<sup>[39-40]</sup>。“嫦娥四号”任务采用了基于钚-238(Pu-238)同位素热源的同位素电源,在月夜期间既可提供不小于2.5 W的电功率,还能提供热能用于舱内温度控制<sup>[41]</sup>。

在近地轨道得到广泛应用的微小卫星、立方星(CubeSat),在2018年也开始涉足深空探测领域。以卡通明星“瓦力”(Wall-E)和“伊娃”(Eva)名字命名的6U

“双胞胎”迷你卫星——“火星立方星一号”A和B与“洞察号”同行(图18),成为首批进入行星际空间的立方星<sup>[42]</sup>。它们承载着小型化深空通信设备的测试任务,完成了多项通信和飞行导航实验,并在“洞察号”进入火星大气、下降和着陆时,把远距离遥测结果直接发回了地球。

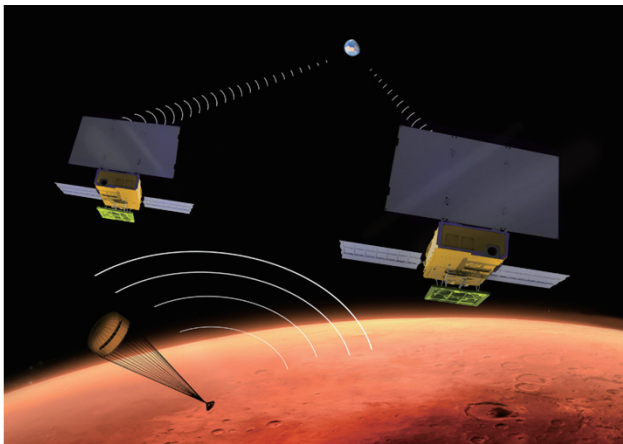


图18 “火星立方星一号”A和B实现“洞察号”与地球之间深空通信中继示意(图片来源:NASA)

Fig. 18 Art concept of MarCO-A and MarCO-B, the relay satellites of InSight mission

2018年,“黎明号”任务虽然即将终结,但其航天工程技术成就极其突出<sup>[36]</sup>。“黎明号”发射升空以来,通过高效的离子推进系统,2011年到达灶神星并绕其飞行14个月开展科学探测,2012年受控脱离灶神星引力场后继续穿越小行星带,并最终抵达谷神星轨道,进而成为唯一绕小行星带天体运行的人类航天器,也是首个绕飞两个地外天体的航天器。“黎明号”作为世界首个纯粹使用离子推进器的深空航天器,在离子推进器长时期的推动下,采用“慢慢飞”策略,打破了系统能力和持久性极限,为其他多目标深空探测任务配置离子推进系统提供了佐证。这表明,在未来人类的深空探测中,使用离子推进器是完全可行的,对中国未来深空探测和航天事业很有启迪。

## 6 多个航天国家更新深空探测路线图

月球作为深空探测的起点和前哨站,2018年,多国公布了更新的月球计划实施路线图,美俄等依然透露出视“载人登月”为国家领导力象征的冷战思维。

继2018年2月NASA发布《NASA战略规划2018》后,2018年9月,NASA又发布《国际太空探索战略报告》<sup>[43]</sup>,其中包括2019—2024年未来6年的深空发射任务。报告列举的11次任务清单(图19)中,与月球相关的任务为8次,占72.7%。美国未来将建成月球轨道空间站(LOP-G),支撑美国航天员在2030年前重返月球、飞向火星乃至太阳系更遥远的空间,继续引领深空探测<sup>[44]</sup>。

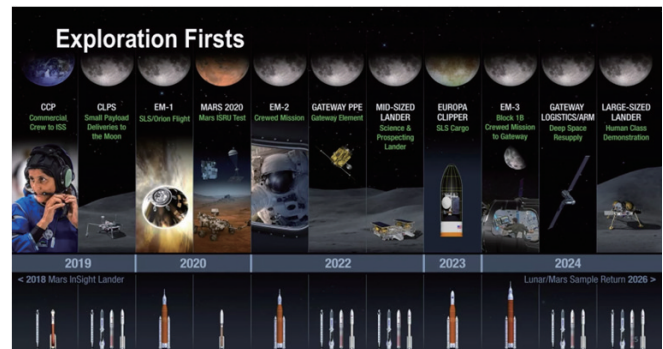


图19 NASA发布未来6年深空探测任务剖面图(图片来源:NASA)

Fig. 19 Profile of future deep space activities in the coming 6 years, issued by NASA

2018年11月,俄罗斯能源火箭公司在纪念国际空间站(ISS)建站20周年的会议上公布了月球计划实施路线图,主要包括3个阶段。第1阶段(至2025年),利用ISS平台测试相关技术,建立月球轨道站的基础模块,测试“联邦号”载人飞船并开展不载人绕月和探测。第2阶段(2025—2035年),首批航天员登月,建立和部署月球基地首个模块。第3阶段(2035年后),完成月球基地建设,建立统一的载人和无人月球探测系统<sup>[45]</sup>。

日本在2018年修订了“月球探索智能着陆器”(SLIM)计划,对搭载的运载火箭、月表着陆点选择和航天器结构做了相关调整:(1)运载火箭由Epsilon改为H-IIA运载火箭;(2)着陆点选择月球正面“酒海”;(3)结构上由1个主发动机增至2个<sup>[46]</sup>。与此同时,JAXA和NASA在2018年8月签署“合作开展月球及以远探索”的联合声明,特别地,JAXA将参与NASA月球轨道空间站计划,利用日本的H-II转移飞行器-X(HTV-X)等,支持地月空间和月表的各种任务目标,并为月球轨道空间站提供关键功能的模块<sup>[47]</sup>。

月球探测和火星探测是中国由航天大国向航天强

国迈进的带动性工程之一。2018年,中国国家航天局等在多个场合表示中国深空探测路线图确定<sup>[48-49]</sup>,预计在2020年前,“嫦娥五号”任务实现月球自动采样返回,开展月球样品综合分析研究,完成“绕”“落”“回”探月工程三步走。2016年初,中国火星探测计划正式立项,计划于2020年择机发射火星探测器,一步实现“绕、落、巡”工程目标,对火星进行环绕探测、着陆探测和巡视探测,对火星的土壤环境、大气等展开研究。此外,还规划了2024年前后完成小行星探测、2028年前后完成火星取样返回、2036年前后完成木星系及行星际穿越探测等任务。

2018年,中国科学家继续推动未来深空探测任务规划,并于同年10月在香山会议上专题研讨“太阳系边际”探测的设想,建议在建国100周年之际,发射航天器至100 AU以远的太阳系边际开展科学探测,远期突破1000 AU的探测<sup>[50-52]</sup>。

## 7 2019年深空探测将依旧高潮迭起

2019年初,以色列计划使用美国SpaceX公司的猎鹰9号发射“时间胶囊”月球探测器,执行月球磁场探测等任务,期望成为继美国、俄罗斯和中国之后第4个将探测器送上月球的国家<sup>[53]</sup>。俄罗斯在2018年为Luna-25确定了2个候选着陆点,计划于2019年发射,旨在研究风化层和月尘,并测绘着陆区3D地形图<sup>[54]</sup>。

2016年7月,“朱诺号”开始沿环绕木星的椭圆形轨道运行,轨道周期53.5天。2019年2月12日,“朱诺号”将第18次“凌木”,让科学家对木星内部构造有更深入的了解。“不抵太阳不罢休”的“帕克号”探测器也将于2019年4月4日再次接近太阳,之后最接近太阳的时间分别是2019年9月1日和12月26日。按计划,日本的“隼鸟2号”将于2019年12月离开小行星Ryugu,启程返回地球。中国“嫦娥五号”的采样返回任务也有可能于2019年12月启动。

根据欧洲咨询公司(Euroconsult)2018年9月发布的《空间探测前景》统计<sup>[55]</sup>,过去10年,美国、欧洲空间局、俄罗斯、日本、中国和印度等6个国家/机构共发射超过20次深空探测任务。未来10年,全球预计将启动近80个任务(其中包括50个月球探测和10个火星探测任务,以及其他18个深空探测任务),但美国政府主导了上述全部任务中的64%。与此同时商业航天也将介

入深空探测,预计至2027年将有近30个商业深空探测任务,其中月球探测是主体。

深空探测是开启“我们是谁,我们来自哪儿,我们要去向何方,在宇宙中是否孤独……”等问题的钥匙。美国、欧洲空间局等航天强国和机构高度重视有关深空探测任务科学目标的提出,在项目确定、仪器选用以及着陆点选择等方面投入巨大精力。中国深空探测正在从月球迈向火星及更远的深空,美欧的举措值得借鉴。

**致谢:**中国科学院科技战略咨询研究院杨帆团队对本文部分内容提供文献支持。

## 参考文献(References)

- [1] 赵竹青. 顾逸东院士: 我国空间科学研究不能再“甘当配角”[EB/OL]. (2014-07-15) [2019-01-02]. <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0715/c1007-25281758.html>.  
Zhao Zhuqing. Academician Gu Yidong: China's space science research can no longer be a supporting role[EB/OL]. (2014-07-15) [2019-01-02]. <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0715/c1007-25281758.html>.
- [2] 吴季, 杨帆, 张凤. 2017年空间科学热点回眸[J]. 科技导报, 2018, 36(1): 72-82.  
Wu Ji, Yang Fan, Zhang Feng. Hot topic review of space science in 2017[J]. Science & Technology Review, 2018, 36(1): 72-82.
- [3] 吴季. 空间科学任务及其特点综述[J]. 空间科学学报, 2018, 38(2): 139-146.  
Wu Ji. Characteristics and managements of space science missions[J]. Chinese Journal of Space Science, 2018, 38(2): 139-146.
- [4] 欧阳自远. 我国深空探测战略方向与发展规划研究[C]//中国矿物岩石地球化学学会第十届学术年会. 贵阳:《矿物岩石地球化学通报》编辑部, 2005: 96-99.  
Ouyang Ziyuan. Research on strategic direction and development planning of deep space exploration in China[C]//The 10th Annual Conference of the Chinese Mineral Rock and Geochemistry. Guiyang: Editorial Department of the Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2005: 96-99.
- [5] 中国科学院月球与深空探测总体部. 月球与深空探测[M]. 广州: 广东科技出版社, 2015.  
Lunar and Deep Space Exploration Department of the Chinese Academy of Sciences. Lunar and deep space exploration[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Publishing Group, 2015.

- [6] 叶培建, 彭兢. 深空探测与我国深空探测展望[J]. 中国工程科学, 2006, 8(10): 13-18.  
Ye Peijian, Peng Jing. Deep space exploration and its prospect in China[J]. Engineering Science, 2006, 8(10): 13-18.
- [7] 叶培建, 邹乐洋, 王大轶, 等. 中国深空探测领域发展及展望[J]. 国际太空, 2018(10): 4-10.  
Ye Peijian, Zou Leyang, Wang Dayi, et al. Development and prospects of deep space exploration in China[J]. Space International, 2018(10): 4-10.
- [8] 徐菁. “嫦娥”四号探测器亮相新使命大可期[J]. 中国航天, 2018(11): 24-26.  
Xu Jing. CE-4 rover and lander new debut[J]. Aerospace China, 2018(11): 24-26.
- [9] 冯华, 刘诗瑶, 余建斌. 人类首次! 嫦娥四号成功登陆月球背面传回世界第一张近距离拍摄月背影像图[N]. 人民日报号外, 2019-01-03.  
Feng hua, Liu Shiyao, Yu Jianbin. CE-4 made the historic touchdown on the far side of the moon, with the world's first close-up back to Earth[N]. People's Daily, 2019-01-03.
- [10] 贾瑛卓, 邹永廖, 薛长斌, 等. 嫦娥四号任务科学目标和有效载荷配置[J]. 空间科学学报, 2018, 38(1): 118-130.  
Jia Yingzhuo, Zou Yongliao, Xue Changbin, et al. Scientific objectives and payloads of Chang'E-4 mission[J]. Chinese Journal of Space Science, 2018, 38(1): 118-130.
- [11] MARS InSight mission instruments[EB/OL]. [2019-01-02]. <https://mars.nasa.gov/insight/spacecraft/instruments/summary/>.
- [12] Summary about the BepiColombo mission[EB/OL]. (2018-08-16)[2019-01-02]. <http://sci.esa.int/bepicolombo/33022-summary/>.
- [13] Eugene Parker meets Parker Solar Probe[EB/OL]. (2017-03-10)[2019-01-02]. <http://parkersolarprobe.jhuapl.edu/News-Center/Show-Article.php?articleID=47>.
- [14] Parker E N. Dynamics of the interplanetary gas and magnetic fields[J]. Astrophysical Journal, 1958(128): 664-676.
- [15] Rob G. Parker Solar Probe: humanity's first visit to a star[EB/OL]. (2018-08-12) [2019-01-02]. <https://www.nasa.gov/content/goddard/parker-solar-probe-humanity-s-first-visit-to-a-star>.
- [16] Karl H. OSIRIS-REx spacecraft and instruments[EB/OL]. (2017-08-04) [2019-01-02]. <https://www.nasa.gov/content/osiris-rex-spacecraft>.
- [17] Sara B. OSIRIS-REx arrives at Bennu[EB/OL]. (2018-12-01) [2019-01-02]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/osiris-rex-approach>.
- [18] Katyanna Q. OSIRIS-REx space probe catches a whiff of water on asteroid Bennu[EB/OL]. (2018-12-11) [2019-01-02]. [https://www.theregister.co.uk/2018/12/11/osirisrex\\_water\\_bennu/](https://www.theregister.co.uk/2018/12/11/osirisrex_water_bennu/).
- [19] Hayabusa 2 and MASCOT[EB/OL]. (2018-12-14) [2019-01-02]. [https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/hayabusa-2.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/hayabusa-2.htm).
- [20] Calla C. NASA's Voyager 2 Probe enters interstellar space[EB/OL]. (2018-12-10) [2019-01-02]. <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7301>.
- [21] First images of Ultima Thule[EB/OL]. [2019-01-02]. [http://pluto.jhuapl.edu/Galleries/Featured-Images/image.php?page=1&gallery\\_id=2&image\\_id=577](http://pluto.jhuapl.edu/Galleries/Featured-Images/image.php?page=1&gallery_id=2&image_id=577).
- [22] Bandfield J L, Poston M J, Klima R L, et al. Widespread distribution of OH/H<sub>2</sub>O on the lunar surface inferred from spectral data[J]. Nature Geoscience, 2018, 11(3): 173-177.
- [23] Li S, Paul G L, Ralph E M, et al. Direct evidence of surface exposed water ice in the lunar polar regions[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115(36): 8907-8912.
- [24] Orosei R, Lauro S E, Pettinelli E, et al. Radar evidence of subglacial liquid water on Mars[J]. Science, 2018, 361(6401): 490-493.
- [25] Tony G. Complex organics bubble up from ocean-world Enceladus[EB/OL]. (2018-06-28)[2019-01-02]. <https://www.nasa.gov/feature/jpl/complex-organics-bubble-up-from-ocean-world-enceladus>.
- [26] Webster C R, Mahaffy P R, Atreya S K, et al. Background levels of methane in Mars' atmosphere show strong seasonal variations[J]. Science, 2018, 360(6393): 1093-1096.
- [27] Eigenbrode J L, Summons R E, Steele A, et al. Organic matter preserved in 3-billion-year-old mudstones at Gale crater, Mars[J]. Science, 2018, 360(6393): 1096-1101.
- [28] Karl H. NASA's MAVEN selfie marks four years in orbit at Mars[EB/OL]. (2018-09-22) [2019-01-02]. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/maven-selfie-marks-four-years-in-orbit-at-mars>.
- [29] ExoMars highlights radiation risk for Mars astronauts, and watches as dust storm subsides[EB/OL]. (2018-09-19) [2019-01-02]. [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Human\\_Spaceflight/Exploration/ExoMars/ExoMars\\_highlights\\_radiation\\_risk\\_for\\_Mars\\_astronauts\\_and\\_watches\\_as\\_dust\\_storm\\_subsides](http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Exploration/ExoMars/ExoMars_highlights_radiation_risk_for_Mars_astronauts_and_watches_as_dust_storm_subsides).
- [30] Mars Orbiter Mission (MOM) completes 4 years in its orbit[EB/OL]. (2018-09-24) [2019-01-02]. <https://www.isro.gov.in/update/24-sep-2018/mars-orbiter-mission-mom-completes-4-years-its-orbit>.
- [31] Shannon B, Michael J, Virgil A, et al. Prevalent lightning sferics at 600 megahertz near Jupiter's poles[J]. Nature, 2018, 558(7708): 87-90.
- [32] Jia X Z, Margaret G K, Krishan K K, et al. Evidence of a plume on Europa from Galileo magnetic and plasma wave signatures[J]. Nature Astronomy, 2018, 2: 459-464.
- [33] Glyn C, William R P, Christopher B, et al. New results from Galileo's first flyby of Ganymede: reconnection-driven flows

- at the low-latitude magnetopause boundary, crossing the cusp, and icy ionospheric escape[J]. *Geophysical Research Letters*, 2018, 45(8): 3382-3392.
- [34] Postberg F, Khawaja N, Abel B, et al. Macromolecular organic compounds from the depths of Enceladus[J]. *Nature*, 2018, 558(7711): 564.
- [35] Rodriguez S, Mouélic S L, Barnes J W, et al. Observational evidence for active dust storms on Titan at equinox[J]. *Nature Geoscience*, 2018, 11(10): 727-732.
- [36] Tony G. The legacy of NASA's dawn, near end of mission[EB/OL]. (2018-09-07) [2019-01-02]. <https://www.nasa.gov/feature/jpl/the-legacy-of-nasa-s-dawn-near-end-of-mission>.
- [37] Matt W T, Eric J, Jani R, et al. Dunes on Pluto[J]. *Science*, 2018, 360(6392): 992-997.
- [38] 吴伟仁, 王倩, 任保国, 等. 放射性同位素热源/电源在航天任务中的应用[J]. *航天器工程*, 2013, 22(2): 1-6.  
Wu Weiren, Wang Qian, Ren Baoguo, et al. Application of RHU/RTG in space missions[J]. *Spacecraft Engineering*, 2013, 22(2): 1-6.
- [39] 朱安文, 刘磊, 马世俊, 等. 空间核动力在深空探测中的应用及发展综述[J]. *深空探测学报*, 2017, 4(5): 397-404.  
Zhu Anwen, Liu Lei, Ma Shijun, et al. An overview of the use and development of nuclear power system in deep space exploration[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2017, 4(5): 397-404.
- [40] 朱安文, 刘飞标, 杜辉, 等. 核动力深空探测器现状及发展研究[J]. *深空探测学报*, 2017, 4(5): 405-416.  
Zhu Anwen, Liu Feibiao, Du Hui, et al. Current status and development for deep space nuclear power explorer[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2017, 4(5): 405-416.
- [41] 倪伟. “嫦娥四号”月球车首亮相年底奔月[N]. *新京报*, 2018-08-16(8).  
Ni Wei. CE-4 rover new debut and landing on the moon at the end of the year[N]. *The Beijing News*, 2018-08-16(8).
- [42] 苏瑞丰, 张科科, 宋海伟. 甚小型卫星发展综述[J]. *航天器工程*, 2013, 22(6): 104-111.  
Su Ruifeng, Zhang Keke, Song Haiwei. Summarization of very small satellite development[J]. *Spacecraft Engineering*, 2013, 22(6): 104-111.
- [43] National space exploration campaign report[EB/OL]. [2019-01-02]. <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nationalspaceexplorationcampaign.pdf>.
- [44] 王琴, 邹永廖, 范全林. 美国公布未来6年深空发射计划, 加快月球轨道空间站建设[J]. *空间科学学报*, 2018, 38(6): 844.  
Wang Qin, Zou Yongliao, Fan Quanlin. NASA announces plans for deep space launch in the next six years to accelerate the construction of the Lunar Orbital Platform-Gateway[J]. *Chinese Journal of Space Science*, 2018, 38(6): 844.
- [45] Albert G. Moon exploration program to be implemented by 2040—Russian space agency[EB/OL]. (2018-11-29) [2019-01-02]. <http://tass.com/science/1033291>.
- [46] About smart lander for investigating moon (SLIM) [EB/OL]. [2019-01-02]. <http://global.jaxa.jp/projects/sat/slim/>.
- [47] NASA-JAXA joint statement on collaborative efforts for lunar exploration and beyond[EB/OL]. (2018-09-07) [2019-01-02]. [http://www.jaxa.jp/topics/2018/files/topics\\_20180907\\_01.pdf](http://www.jaxa.jp/topics/2018/files/topics_20180907_01.pdf).
- [48] 李禾. 中国航天: 火星探测第一步任务正在实施[N]. *科技日报*, 2018-09-20(3).  
Li He. China aerospace: the first mission to Mars exploration is being implemented[N]. *Technology Daily*, 2018-09-20(3).
- [49] 付毅飞. 2020年我国将实施首次火星探测任务[N]. *科技日报*, 2018-11-05(3).  
Fu Yifei. China will implement the first Mars exploration mission in 2020[N]. *Technology Daily*, 2018-11-05(3).
- [50] 第639次香山科学会议在北京成功召开[EB/OL]. (2018-10-30) [2019-01-02]. <http://www.clep.org.cn/n5982341/c6803538/content.html>.  
The 639th Xiangshan scientific conference was successfully held in Beijing[EB/OL]. (2018-10-30) [2019-01-02]. <http://www.clep.org.cn/n5982341/c6803538/content.html>.
- [51] 甘晓. 专家提出我国空间探索新设想 2049年实现太阳系边际探测[EB/OL]. (2018-10-31) [2019-01-02]. <http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2018/10/340391.shtm>.  
Gan Xiao. Experts propose new ideas for space exploration in China to realize the marginal detection of the solar system in 2049[EB/OL]. (2018-10-31) [2019-01-02]. <http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2018/10/340391.shtm>.
- [52] 吴伟仁, 于登云, 黄江川, 等. 太阳系边际探测研究[J]. *中国科学信息科学*, 2019, 49(1): 1-16.  
Wu Weiren, Yu Dengyun, Huang Jiangchuan, et al. Exploring the solar system boundary[J]. *Science China Information Sciences*, 2019, 49(1): 1-16.
- [53] Brian W. SpaceX will launch Israeli lunar lander february[EB/OL]. (2018-12-28) [2019-01-02]. <https://www.nextbigfuture.com/2018/12/spacex-will-launch-israeli-lunar-lander-february-2019.html>.
- [54] Launch of Russia's lunar landing module scheduled for 2019 [EB/OL]. (2018-01-25) [2019-01-02]. <http://tass.com/science/986909>.
- [55] Government funding in space exploration to surpass \$20 billion by 2027[EB/OL]. (2018-09-27) [2019-01-02]. [http://euroconsult-ec.com/27\\_September\\_2018](http://euroconsult-ec.com/27_September_2018).

## Review of 2018 global deep space activities

FAN Quanlin, WANG Qin, BAI Qingjiang

Space Science and Deep Space Exploration Study Center, National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract** Deep space exploration, or solar system missions, with spacecraft as the tool probing the distant regions of outer space, aims to investigate the celestial body except Earth, i.e. the moon and beyond, along with the space environment. The year of 2018 marked the global flourishing deep space activities. China CE-4 probe achieved the historic touchdown on the far side of the moon, and will patrol on lunar surface. NASA InSight mission successfully landed on Mars to study in-depth the "inner space" of the red planet. The joint ESA-JAXA Bepi-Colombo mission is on the way to Mercury. And NASA Parker solar probe will be the first-ever mission to "touch" the Sun. In the opposite direction, New Horizons mission made the asteroid Ultima Thule flyby located in Kuiper belt. Voyager 2 reached the heliopause, breaking out of the solar system. And the asteroid missions, both OSIRIS-Rex and Hayabusa-2 respectively from NASA and JAXA, arrived at their own target objects. The discoveries, like water ice found on moon, organic molecules found in Mars, and the information about the boundary where the solar system essentially ends, are of great importance to the exploration of origin of life, origin and evolution of solar system, and to the advancing of human's knowledge.

**Keywords** deep space exploration; 2018 hotspot; space science; discovery ●



(责任编辑 王丽娜)