

“洞察号”启程探索火星内部世界

季江徽^{1*}, 黄秀敏^{1,2}

1. 中国科学院行星科学重点实验室, 紫金山天文台, 南京 210008;

2. 中国科学技术大学天文与空间科学学院, 合肥 230026

* 联系人, E-mail: jijh@pmo.ac.cn

北京时间 2018 年 5 月 5 日晚 20:05(7:05 EDT), 美国国家航空航天局(NASA)“洞察号(Insight)”火星探测器搭乘“宇宙神”V-401 型火箭从位于加州中部的范登堡空军基地发射升空。目前探测器正在飞往火星的旅途中, 并计划在 2018 年 11 月 26 日着陆在火星埃律西昂平原(Elysium Plain)西部, “洞察号”探测器将花两年的时间探索火星内部构造。这是人类发射的首个对火星内部进行探测的探测器。作为 NASA “Discovery”火星探测项目的一部分, 此次“Insight”任务也将很大程度依赖“凤凰号”探测器的火星探测经验。

1 国际火星探测历程

火星是太阳系中一颗距离地球很近的类地行星, 与地球相似的外部空间环境和行星物理化学属性使其成为了国际深空探测任务乃至未来人类星际移民的首选目标。寻找地外生命和研究火星的形成演化过程是火星探测的两大科学主题。图 1 列出了自 20 世纪 60 年代以来, 国际火星探测中较为成功的探测器及探测任务, 火星探测的征途充满艰险, 目前已获得成功(或部分成功的)火星探测任务大约占总数的一半。这些成功执行任务的火星探测器及其丰硕的科学探测成果为未来的火星探测指引方向。

1.1 火星生命探测成果

围绕寻找火星生命及生命活动迹象的科学目标, 国际火星探测任务先后投放的火星轨道器和着陆器开展了一系列对火星水体、盐类矿物、火星表面地貌特征及火星陨石的探测和研究。1877 年, 意大利天文学家斯基亚帕雷利(Schiaparelli)^[1]通过望远镜观测火星并绘制了一幅详细的火星表面沟渠分布图, 彼时科学家将这些沟渠推断为“火星运河”。哈勃望远镜在 1996~1997 年的观测过程中发现了火星北极冰盖随季节的变化, 科学家认为这是由于干冰(CO₂)/水冰的变化所致^[2]。美国 2001 年发射的“奥德赛号”探测器也探测到火星北极大气中微量水蒸气的存在, 火星全球勘测者探测器(MGS)对火星地表进行测绘的过程中, 发现火星半人马座山(Centauri Monte)地区某个坑的冲沟中发现疑似水流冲刷形成的冲积堆积物^[3]。之后, 火星侦



季江徽 中国科学院紫金山天文台研究员, 中国科学技术大学博士生导师。1999 年于南京大学获博士学位, 2011 年 8 月至今为中国科学院紫金山天文台行星科学与深空探测实验室主任, 现任中国科学院行星科学重点实验室主任、中国天文学会行星专业委员会主任、中国天文学会第十三届理事, 国家深

空探测重大项目实施方案论证报告编写组成员, 中国科学院空间科学战略研究专家组成员, 中国天文学会和国际天文联合会会员, 亚太地球科学学会会员。长期从事太阳系小天体动力学、系外行星系统形成与动力演化、深空探测轨道与技术等研究。研究成果多次获得年度十大天文进展, 入选《国家自然科学基金资助项目优秀成果选编(六)》。2016 年获王宽诚行星科学成果奖, 2017 年入选中国科学院创新交叉团队。

查轨道飞行器(MRO)通过雷达探测得到了火星次表层可能的水冰分布情况^[4]。水是生命之源, 如果火星上真正存在液态水, 那么火星就具有支撑生命体存活的条件, 就有可能存在地外生命。

除了直接寻找水的存在迹象, 盐类矿物作为水挥发后的残留物亦是火星上曾经存在水的有力证明。欧洲航天局(ESA)发射的“火星快车”探测器在着陆过程中发现了风化盐类矿物和一个干枯盐湖, 美国“机遇号”火星车也在探寻火星盐类矿物时发现了黄钾铁矾矿石((K,Na,X⁺)Fe₃(SO₄)(OH)₆)。Gendrin 等人^[5]通过火星层状地形的探测数据发现含水硫酸盐, 包括硫酸镁石(MgSO₄·H₂O)、石膏(CaSO₄·2H₂O)等。这项研究亦再次证明火星曾经可能有水存在。此外, 根据火星表面类似河道地貌特征, 科学家开展了大量研究以期反演出火星古海洋和古水系的水体运动过程。NASA 喷气推进实验室(JPL)对探测到的火星沟槽成因进行了研究, 获得了火星地表下水体的存在模型。火星生命探测还有另一让人惊喜的成果: 科学家对火星陨石 ALH84001 进行分

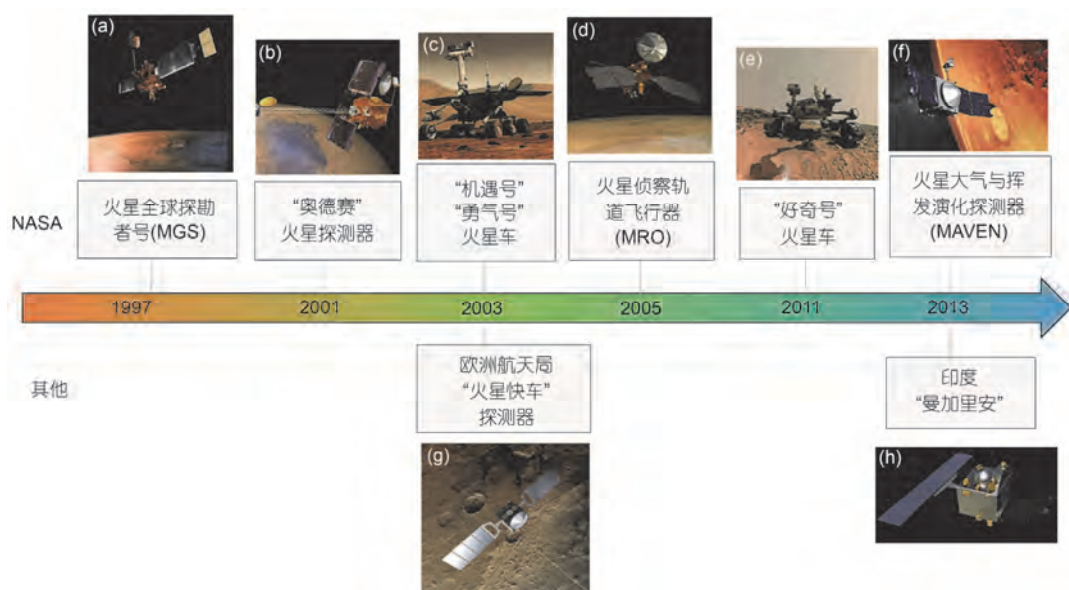


图1 (网络版彩色)国际火星探测任务代表性事件. 图片来源: (a)~(f) NASA; (g) 欧洲航天局(ESA); (h) 印度空间研究组织(ISRO)

Figure 1 (Color online) Representative events of international Mars mission. Credit: (a)~(f): NASA (g) European Space Agency (ESA); (h) Indian Space Research Organisation (ISRO)

析研究时,发现其中存在大量细菌形状的“化石”^[6]. 1996年,美国科学家McKay对火星陨石中的“化石”结构进行研究时,发现火星陨石破裂表面存在磁铁矿、黄铁矿颗粒及大量多环芳烃(PAHs)^[7].

2018年6月8日, NASA宣布“好奇号”火星车在盖尔撞击坑的两个重大发现:火星上有古老的有机分子和季节性变化的甲烷^[8]. 2018年7月26日, *Science* 刊登了另一项举世瞩目的火星探测新发现^[9]:意大利科学家通过分析“火星快车”探测器搭载的火星先进地下和电离层探测雷达系统(MARSIS)对火星地下详尽的测绘数据,发现火星南极高原的冰盖下1.5 km深处存在一片直径约为20 km的湖泊. 这项发现表明火星表层深处可能存在更多稳定的液态水,即火星拥有适合微生物等生命体生存的条件.

上述火星探测成果深化了人类对于火星的认识,但是关于火星生命探测的研究依然存在一些争议,例如火星陨石中的“化石”和火星上发现的有机分子的来源. 为了探寻火星上可能存在的生命体并加以保护,未来火星探测的重大科学任务仍然面临很多困难和挑战.

1.2 火星形成与演化研究

除了寻找火星生命及生命活动迹象,国际火星探测任务通过各种轨道器和着陆器对火星的形成和演化过程开展了许多勘察和研究工作. 2018年之前发射的“奥德赛号”、火星快车、火星全球勘测者号等探测器对火星大气和外围空间环境以及火山、峡谷、岩石、土壤等火星表面地理特征进行探测,开展了对火星磁层、电离层、大气层、

以及火星地形和物质组成演化过程的研究工作. 其中,火星地形的形成是外力和内力共同作用产生的结果,外力指太阳风、辐射和大气活动等,而内力指火星内部构造活动、熔岩流动和火星地震等. 只有清楚地知道内力和外力的综合作用,才能深刻认识火星地形形成与演化过程. 目前由于火星几乎没有强烈的地质活动,保持了古老的地形格局与特征. 所以,对火星地质构造中远古信息的提取是开展火星地形演化探测和研究极为重要的内容.

2 “洞察号”火星探测任务背景及意义

此次, NASA火星探索项目“Discovery”中增加的火星探测任务——“Insight”——发射了一枚“洞察号”火星探测器^[10]. “Insight”任务全称为“通过地震调查、测地学及热传导实施内部探测”(Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport),与此前火星探测任务不同的是,此次探测任务将深入火星内部,获取火星地质构造和热流传导的第一手数据. 通过这次火星内部探测可以了解火星内核大小、成分和物理状态、地质构造,以及火星内部温度变化、地震活动等信息. 该研究的最终目的是通过加深对火星演化过程的认识,通过比较行星学研究得到类地行星演化共性和特性,并以此深入探索太阳系的起源和演化历史.

为什么要开展火星内部探测活动呢? 从比较行星学角度看,火星与地球有着相似的内部构造,其内部主要由火星壳、火星幔和火星核组成,其中火星核的密度最大. 火星核、幔、壳的存在表明火星曾经历过早期内部加热和

重力分异作用, 内部性质较稳定, 且星球尺寸足够大, 但是这颗行星的地质活动远没有地球那般活跃, 这使得上述作用产生的火星内部构造保留了较完整的历史记录. 对于火星内部构造和地质演化的主要研究内容涵盖火星核、幔、壳的尺寸、厚度、密度以及火星内部热量向外逸散的速度等.

“洞察号”探测器的使命是通过调查火星内部构造, 帮助科学家理解岩质行星的形成和演化. 同时, 它也将开展火星板块活动的动力学研究并研究陨石碰撞的影响, 为地球上的类似地质现象提供一些线索. “洞察号”进行的火星内部活动状态及热流等物理性质的研究工作, 或将揭示 40 亿年前太阳系内岩质行星最早的地质演化之谜, 这对于探究太阳系内类地行星的形成和演化具有重要意义.

“洞察号”是一个纯地球物理探测器, 在选择着陆区时需要考虑太阳能供给、着陆安全性及探测器的工作环境(如地势、岩层软硬程度等). 在选择“洞察号”的着陆区时, 位于波多黎各岛的阿雷西博天文望远镜和火星勘测轨道飞行器(MRO)浅层勘探雷达的观测数据都被用于检测着陆区的近地表特性^[11], 包括反射特性、近地表粗糙度以及岩层情况等. 较低的后向散射强度表明由承重材料构成的着陆区表面光滑度大约在 10 cm 的尺度范围, 故不会对降落过程产生安全隐患.

在长达 4 年的选址讨论之后, “洞察号”最终选定的预计着陆点位于火星北半球埃律西昂平原西部, 中心位置约为 4.5°N, 136°E, 表面重力加速度约为 3.71 m/s²(图 2). 图 2 的背景图片为火星地形图, 这里距离“好奇号”火星车的探测区也很近, MRO 从火星上空飞过的时候, 可以同时拍摄到两个着陆器.

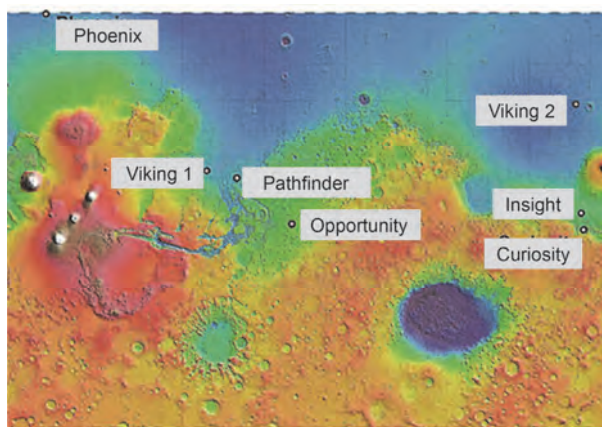


图 2 埃律西昂平原西部的着陆区. 红色和蓝色部分分别表示高处和低处. 图片来源: NASA studying 4 landing site options for 2016 Mars mission

Figure 2 The insight landing site in Western Elysium Planitia. The red and blue parts represent the higher and lower areas respectively. Credit: NASA studying 4 landing site options for 2016 Mars mission

3 “洞察号”火星探测器有效载荷及科学目标

“洞察号”继承了“凤凰号”火星探测器的机身设计, 不同的是该探测器上携带了可窥探火星内部结构的地震试验仪(the Seismic Experiment for Interior Structure, SEIS)、可以打桩钻入地表的 DLR 热流与物理性质探测包(the Heat Flow and Physical Properties Package, HP³), 以及火星自转和内部结构试验仪(the Rotation and Interior Structure Experiment, RISE). 此外, 它还有一套监测环境(压力、风、空气和地面温度、磁场)的仪器, 以便更好地测量和解释极端敏感的地震数据.

“洞察号”机身结构(图 3)中载荷平台上安装有天线、增压管、一个吊臂及其他辅助装置, 火星地震仪 SEIS 和热流探测仪 HP³ 则被直接固定在火星地面并且通过两根系带和着陆器连接.

3.1 火星地震仪——SEIS

火星地震试验仪(SEIS)由法国航天局国家空间研究中心研发提供, 用于探测火星地震信号. 火星板块运动极少, 且这些震动无法准确判断震源位置, 故“洞察号”将目标转向探测陨石撞击引起的火星地震. 在 MRO 高分辨率探测器的配合之下, “洞察号”可以迅速搜索到震源坐标, 进而测量地震波的行进时间. 但是火星地震(Marsquake)和陨石碰撞事件每年发生的概率较低, 且数量无法确定. 此时, 科学家发现另一个重要的火星地震源: 流星空爆事件. 为了在“洞察号”着陆器的设计寿命内获得尽量多的火星地震信息, 可将进入火星大气层内的流星爆炸产生的震声信号作为 SEIS 的主要探测对象. 又因为在“洞察号”2 个地球年的任务时标内, 火星上发生大型全球性可探测撞击事件的可能性不大, 所以将较小的区域性碰撞事件数量作为推断大型流星群数量的重要统计指标. 火流星的空爆探测将有助于成功实现“测量陨石对火星表面撞击率”的第一级任务目标. 此外, 科学家还提出“三步法”估计“洞察号”每年探测到的火流星空爆事件数量^[12]. 首先, 通过直接观测地球撞击物的数量来模拟火星大气层顶端的火流星群, 建立撞击源模型, 并根据地球和火星半径、入射速度和震源密度进行缩放. 第二步, 通过对爆炸形成过程的物理理解, 以及空爆事件的时域和频域特性, 从撞击物总数中识别出产生爆炸事件的数量. 经过计算, 发现半径大于 2 m 和小于 0.1 m 的物体会撞击火星表面, 只有撞击物能量在 10⁻⁵~10⁰ kt TNT(三硝基甲苯)当量范围内才会导致爆炸, 且预计火星每年会发生大约 1000 起这样的爆炸事件. 第三步, 综合考虑大气衰减、探测仪性能等因素, 估计出“洞察号”每年可探测的空爆事件大约有 10~200 起. 同时, 科学家还可以根据风和地表压强, 利用大涡模拟方法和压力处理相关技巧^[13], 估计火星上地震噪声压力. “洞察号”着陆器通过火星风化层的短期风噪声可得到地震耦合信息.

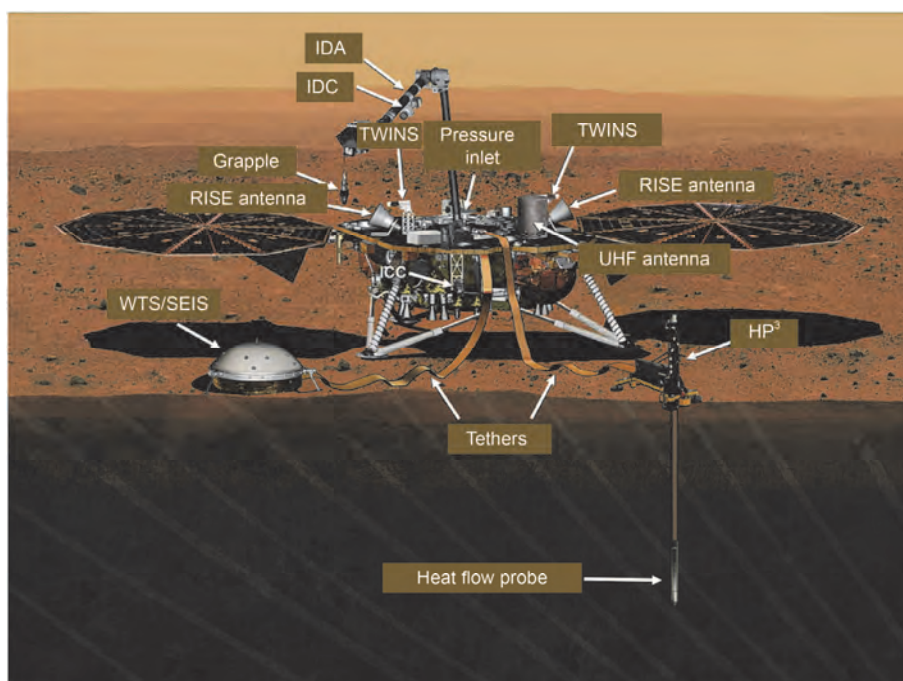


图3 “洞察号”着陆器结构示意图。来源: NASA

Figure 3 Configuration of Insight lander. Credit: NASA

单个地震仪的探测必然存在局限性,地震仪安装位置也会严重影响探测结果。美国阿波罗登月任务中安装的4台月震仪就是因为相互距离很近而很难探测到远月面的月震。1976年美国火星着陆器 Viking 1 和 Viking 2 首次着陆火星时同样携带了地震探测器,但由于多种原因没有传回太多有效的信息。虽然这些探测仪器性能并不突出,但是它们是未来火星地震探测网络构建的先锋,为探索太阳系内类地行星内部构造和形成过程奠定了基础。此次“洞察号”探测器携带了更灵敏的地震仪,且有高分辨率 MRO 影像帮助定位震源,这也让人们期待“洞察号”有更好的表现。

3.2 火星热流与物理性质探测包——热流³

“洞察号”火星探测任务另一个重要载荷是由德国宇航中心(DLR)提供的热流与物理性质探测包(HP³, 热流³)。它的任务目标是获取火星地热流测量的第一手内部数据。HP³的热流探头能够钻入火星地表以下大约5 m深处探测地热传导和地热梯度^[14]。但是由于这项活动在着陆器附近几米的范围内进行,着陆器的存在会对周围的温度环境产生实质性的影响,测得火星表面年平均温度变化可达到大约10 K。地下温度和热梯度在几个着陆器半径范围内都会发生改变,且与热流探测器本身部署的位置也有关。故利用HP³热梯度敏感仪进行测量时需要对着陆器周围的热效应进行参数化和三维(3D)建模。图4为“洞察号”着陆器及探测仪器周围热效应3D模型的示意图,这里考虑的仪器和装置包括了火星地震测试仪(SEIS)和热流与物理性质探

测包(HP³),以及着陆器的前腿,图中着陆器的甲板、太阳能电池板和电子设备箱均与工程原理图相一致。

科学家发现,根据着陆器周围的热效应模型,探测仪通常部署在地表以下离着陆器较远的地方会更好,但有趣的是,着陆器随季节变化的阴影和着陆器加热作用存在相互抵消。利用这项特殊作用,即使采用高传导性的火星风化层模型,也可以在着陆器工作区域下小于4 m深的范围内找到不受干扰区。在“洞察号”着陆后,将通过HP³初始

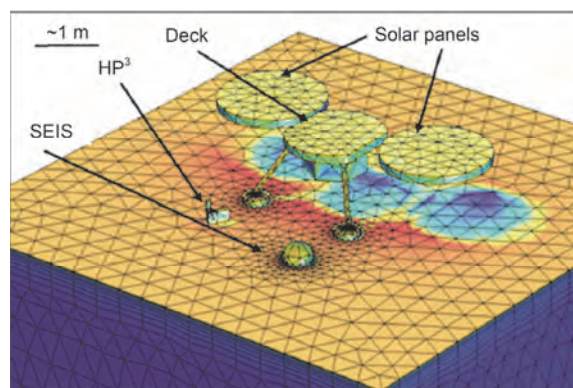


图4 “洞察号”着陆器热效应3D模型示例^[14]。红色和蓝色分别代表温度较高和较低区域

Figure 4 An example snapshot of the 3D Insight lander thermal effects model^[14]. The red and blue parts represent areas with higher and lower temperature respectively

热辐射计对土壤温度进行测量,并根据测量结果验证建立的热效应模型。这也有助于探测仪的地下位置部署,以及对热效应模型进行修改,使其适应局部地形和未知的着陆器朝向。虽然探测仪器 SEIS 有净冷却作用,但是只会影响约 1~2 仪器直径,相当于 1.5 m 的范围。同时,尽管着陆器可能会影响上部岩层的热梯度测量,但是深度大于 2 m 的区域就不需要担心这个问题。

同火星地震仪相似, NASA 对于星球内部的热流探测也具备一些任务经验,阿波罗 13, 15, 16 和 17 号登月任务都携带了热流探测仪,其中阿波罗 15 号和阿波罗 17 号成功在月球安装了热流探测仪。但是由于错误地估计了月球风化层岩石的硬度,最终探测仪没有钻到计划的深度。所以,此次“洞察号”任务在进行着陆选址的时候充分考虑了着陆区的风化层厚度和岩石硬度,以使探测仪能钻到 5 m 深的地方。

3.3 火星自转和内部结构试验仪——RISE

除了 SEIS 和热流与物理性质探测包 HP³,“洞察号”还携带了一台由 JPL 研发的火星自转和内部结构试验仪(RISE)^[15]。RISE 的探测任务是利用探测器通信系统提供行星旋转信息的精准测量数据,包括火星的自转速度和自转轴变化。行星自转参数对于研究行星内部构造具有重要参考价值。

此次火星探测任务,对于探测火星内部构造和探究岩石行星的形成和演化过程具有重要意义。“洞察号”着陆器携带的探测仪器提供了最直接有效的火星地质探测方式,

也保证了探测信息获取的准确性和快速性。人类对于类地行星的探测不再限制于行星轨道的观测和表面巡视探测,而是真正走进行星“内心世界”,逐步摆脱轮廓性、推理性的初级探索阶段,使深入研究行星的过去、现在和未来成为可能。

4 未来国际火星探测展望

随着 2020 年左右下一个火星探测窗口的到来,国际火星探测竞赛更加如火如荼(图 5)。其中美国将继续保持火星探测领先地位,持续推进火星探测进程。2015 年 10 月,美国发布了《火星之路——开启太空探索新旅程》战略报告,提出了其未来深空探索发展路径和三步走战略,规划了在 21 世纪 30 年代末实现载人登陆火星的远期目标。NASA 在 2030 年前计划实施的火星探测任务中包括了 2018 年发射的“洞察号”着陆器、2020 年发射“火星 2020”火星车、2022 年发射“火星 2022”轨道器以及 2025 年左右发射无人猎户座飞船,任务重点是火星采样返回。同时,印度也将基于已实现的火星环绕探测,计划在 2018~2020 年实施第 2 次火星探测任务。

2011 年我国和俄罗斯联邦航天局提出合作共同探索火星,我国首颗火星探测器“萤火一号”搭乘福布斯-土壤号火星探测器升空,但由于探测器变轨失败,这次火星探测任务以失败告终。在 2016 年首个“中国航天日”新闻发布会上,国家航天局局长透露中国的火星探测任务已经批准立

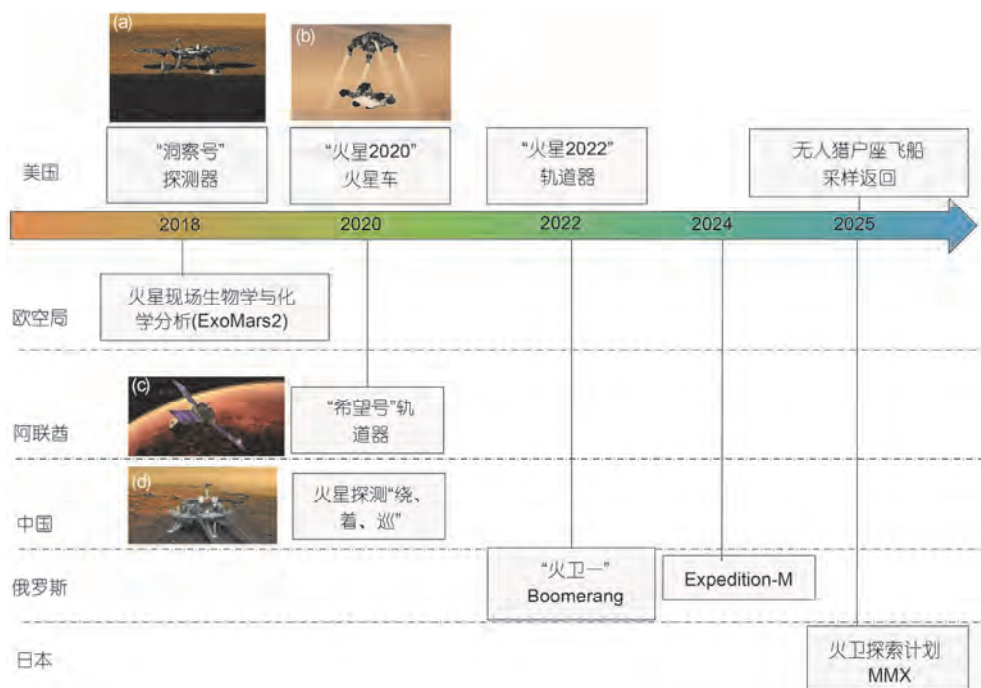


图 5 (网络版彩色)2030年前的国际火星探测计划。图片来源: (a), (b) NASA; (c) cnBeta.com; (d) Global Times

Figure 5 (Color online) International Mars exploration plans before 2030. Credit: (a), (b) NASA; (c) cnBeta.com; (d) Global Times

项,预计在 2020 年左右发射一颗火星探测器^[16]。考虑到火星探测窗口每 26 个月才有一次,我国此次火星探测任务的目标是一步实现探测器的“环绕-着陆-巡视”工作,即实行轨道器携火星车的联合探测方式,并计划在 2021 年抵达火星。据悉,火星探测器在器箭分离后要经过约 7 个月的巡航飞行才能进入火星轨道,随后轨道探测器会与着陆器分离,进入任务轨道对火星进行全球探测。着陆巡视器由进入舱和火星车组成,着陆器经过火星大气层内的减速过程着陆到火星表面后,火星车驶离着陆平台,针对火星形貌、土壤、环境、大气等开始火星表面巡视探测。环绕器主要科学载荷包括中高分辨率相机、雷达和各类科学分析仪,环绕探测科学任务着眼于对火星全球性和综合性的探测;巡视探测科学任务将着眼于火星局部地区的高精度就位探测。通过环绕探测和巡视探测相结合,将完成一系列联合探测任务。基于上述科学载荷,我国火星探测拟实现以下科学目标:揭示火星形貌与地质构造特征、火星表面土壤特征与水冰分布、火星表面物质组成,研究火星大气电离层及表面气候与环境特征及火星物理场与内部结构^[17]。从工程任务实施来看,我国“环绕-着陆-巡视”火星探测任务有重大创新,不仅要求探测器具有很

强的自主管理能力以及任务分析、规划和实现能力,同时也要求火星车具有很强的环境适应、感知与识别及路径规划等能力。可以预期通过此次探测,国际火星探测史的长卷上将留下浓重的中国元素的笔墨,描绘出新时代下中国科技者锐意进取,攻坚克难,在新的起点上勇攀世界科技高峰的精神。

5 结语

习近平总书记在会见天宫二号和神舟十一号载人飞行任务航天员及参研参试人员代表时指出,“……星空浩瀚无比,探索永无止境,只有不断创新,中华民族才能更好走向未来。我们正在实施创新驱动发展战略,这是决定我国发展未来的重大战略。航天科技是科技进步和创新的重要领域,航天科技成就是国家科技水平和科技能力的重要标志。航天科技取得的创新成果极大鼓舞了中国人民的创新信念和信心,为全社会创新创造提供了强大激励”。随着我国深空探测后续任务的不断深入开展,将围绕太阳系起源与演化、小行星安全防御及地外宜居环境与生命信息探寻等重大科学问题开展研究,有望取得有国际影响力的成果。

致谢 感谢国家自然科学基金(11473073, 11661161013)、中国科学院创新交叉团队项目和紫金山天文台小行星基金会项目资助。

推荐阅读文献

- 1 Department of Lunar and Deep Space Exploration, CAS. Lunar and Deep Space Exploration (in Chinese). Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2014 [中国科学院月球与深空探测总体部. 月球与深空探测. 广州: 广东科技出版社, 2014]
- 2 Bruce A C, Michael J W, Philip B J, et al. Recession of Martian north polar cap: 1990–1997 Hubble space telescope observations. *Bull Am Astr Soc*, 1997, 29: 963
- 3 Fan C J, Schulze-Makuch D, Xie H J, et al. Investigation of water signatures at gully-exposed sites on Mars by hyperspectral image analysis. *Plan Space Sci*, 2009, 57: 93–104
- 4 Stuurman C M, Osinski G R, Holt J W, et al. SHARAD detection and characterization of subsurface water ice deposits in Utopia Planitia, Mars. *Geol Res Lett*, 2016, 43: 9484–9491
- 5 Gendrin A, Mangold N, Bibring J P, et al. Sulfate in Martian layered terrains: The OMEGA/Mars express view. *Science*, 2005, 307: 1587–1591
- 6 Hoover R B, Rozanov A Y. Microfossils, biominerals, and chemical biomarkers in meteorites. *Soc Opt Eng*, 2003, 4939: 10–27
- 7 Gibson E K Jr, McKay D S, Thomas-Keprta K. Exobiological features within ALH84001: Current observations, *Lunar Planet. Science*, 1998, 29: 1433–1434
- 8 Jennifer L E, Roger E S, Andrew S, et al. Organic matter preserved in 3-billion-year-old mudstones at Gale crater, Mars. *Science*, 2018, 360: 1096–1101
- 9 Orosei R, Lauro S E, Pettinelli E, et al. Radar evidence of subglacial liquid water on Mars. *Science*, 2018, 361: 490–493
- 10 Banerdt W B, Russell C T. Editorial on topical collection on insight mission to Mars. *Space Sci Rev*, 2017, 211: 1–3
- 11 Putzig N E, Morgan G A, Campbell B A, et al. Radar-derived properties of the insight landing site in Western Elysium Planitia on Mars. *Space Sci Rev*, 2017, 211: 135–146
- 12 Stevanović J, Teanby N A, Wookey J, et al. Bolide airbursts as a seismic source for the 2018 Mars Insight mission. *Space Sci Rev*, 2017, 211: 525–545
- 13 Murdoch N, Kenda B, Kawamura T, et al. Estimations of the seismic pressure noise on Mars determined from large eddy simulations and

demonstration of pressure decorrelation techniques for the Insight mission. *Space Sci Rev*, 2017, 211: 457–483

- 14 Siegler M A, Smrekar S E, Grott M, et al. The Insight Mars lander and its effect on the subsurface thermal environment. *Space Sci Rev*, 2017, 211: 259–275
- 15 Yu D Y, Sun Z Z, Meng L Z, et al. The development process and prospects for Mars exploration (in Chinese). *J Deep Space Explor*, 2016, 3: 108–113 [于登云, 孙泽洲, 孟林智, 等. 火星探测发展历程与未来展望. *深空探测学报*, 2016, 3: 108–113]
- 16 China's Mars mission: Launch a Mars reconnaissance satellite about 2020 (in Chinese). *Today Sci Technol*, 2016 [中国火星计划: 2020年左右发射一颗火星探测卫星. *今日科技*, 2016]
- 17 Zhu Y, Bai Y F, Wang L G, et al. Integral technical scheme of payloads system for Chinese Mars-1 exploration (in Chinese). *J Deep Space Explor*, 2017, 4: 510–514 [朱岩, 白云飞, 王连国, 等. 中国首次火星探测工程有效载荷总体设计. *深空探测学报*, 2017, 4: 510–514]

Summary for “‘洞察号’启程探索火星内部世界”

Insight probe set out to explore the inner world of Mars

Jianghui Ji^{1*} & Xiumin Huang^{1,2}

¹ CAS Key Laboratory of Planetary Science, Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

² School of Astronomy and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

* Corresponding author, E-mail: jijh@pmo.ac.cn

As Mars exploration has increasingly become a hotspot in international deep space missions, NASA's (National Aeronautics and Space Administration) first Mars internal probe, “Insight”, successfully launched on the Cosmos-5 rocket in May this year, is scheduled to land on 26th November, 2018, in the western region of the Elysium Plain on Mars. The scientific goal of this mission is to monitor Mars' earthquake and obtain information on geological structure and underground heat transfer of Mars. With a timescale as two years, the probe aims to investigate the deep interior of Mars.

The mission is part of the NASA Discovery program. The Insight probe is similar in design to the Mars lander that was used by Phoenix mission to study ground ice near the north pole of Mars successfully in 2007. The probe carries a seismic experiment for interior structure (SEIS), provided by the French Space Agency (CNES), the heat flow and physical properties package (HP³), provided by the German Space Agency (DLR), with the mission to obtain first-hand internal data on the thermal flow measurements of Mars, as well as the rotation and interior structure experiment (RISE), led by the Jet Propulsion Laboratory (JPL). RISE will use the spacecraft communication system to provide precise information of planetary rotation, along with a set of instruments to monitor the environment (pressure, wind, air and ground temperature, magnetic fields) to interpret extremely sensitive seismic data better.

The Insight probe will be used to investigate geological structure, temperature inside Mars, seismicity and so on by using efficient measuring instruments and scientific method of measurement. These professional equipment on Insight is beneficial to a better understanding of the size, density, thickness of the Martian core, mantle and crust for scientists. Due to the fact that the interior plate activity of Mars is inactive over the past 4.5 billion years, this red rocky planet has recorded a relatively complete history since it was born. This mission means that Mars probe helps people to have an in-depth understanding of the geological structure of Mars from inside to outside for the first time. The mission to Mars is of inspiration to study the evolutionary formation of rocky terrestrial planets, including the Earth. At the same time, China's Mars exploration mission is also actively advancing. China has been preparing for the “Round-Landing-Rover” joint exploration by 2020, which will be unprecedented in the history of international Mars exploration, according to chief designer of China's Mars exploration mission. In the future, no longer limited to the observations and surface patrols of planetary orbits, the exploration for terrestrial planets will actually enter the interior world of the planets, get out of the shape of the shape, boost the early stages of rational exploration, and explore the past, the present and the future of the planets.

Mars, Insight, deep space exploration

doi: 10.1360/N972018-00656