

我国首次火星探测任务

耿言¹, 周继时¹, 李莎¹, 付中梁¹, 孟林智², 刘建军³, 王海鹏⁴

(1. 探月与航天工程中心, 北京 100190; 2. 中国空间技术研究院总体部, 北京 100094;
3. 中国科学院 国家天文台, 北京 100012; 4. 上海卫星工程研究所, 上海 201109)

摘 要: 我国首次火星探测任务于2016年立项实施。综合介绍了国际火星探测的历史和现状, 我国首次火星探测任务的工程目标和科学目标、总体技术方案、关键技术难点、预期创新成果。我国首次火星探测任务将通过一次发射, 实现火星环绕和着陆巡视, 对火星开展全球性普查和局部的精细探测, 推进火星地形地貌与地质构造、土壤特征与水冰分布、表明物质组成、大气电离层和气候环境、物理场与内部构造等方面的研究。实现火星探测任务目标, 针对火星探测面临的各种特殊环境, 需突破长期自主管理与控制等8类关键技术, 取得的一系列创新成果, 将为我国建立独立自主的深空探测基础工程体系, 掌握深空探测基础共性技术, 形成开展深空探测的基础工程能力。

关键词: 火星探测; 任务目标; 总体方案; 关键技术; 创新成果

中图分类号: V57

文献标识码: A

文章编号: 2095-7777(2018)05-0399-07

DOI:10.15982/j.issn.2095-7777.2018.05.001

引用格式: 耿言, 周继时, 李莎, 等. 我国首次火星探测任务[J]. 深空探测学报, 2018, 5(5): 399-405.

Reference format: GENG Y, ZHOU J S, LI S, et al. Review of first Mars exploration mission in China[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2018, 5(5): 399-405.

引 言

火星是太阳系中距离地球较近、自然环境与地球最为类似的行星, 一直是人类走出地月系统开展深空探测(本文指发射探测器到达月球以远的空间开展的科学探测任务, 以下同)的首选目标。我国的深空探测规划, 以火星探测为起点和主线, 按照“一步实现绕着巡, 二步完成取样回”的发展路线, 突破深空探测基础和共性关键技术, 实现跨越发展。首次火星探测任务于2016年1月得到国家批准立项, 将通过一次发射任务实现火星环绕、着陆和巡视, 对火星开展全球性、综合性的环绕探测, 在火星表面开展区域巡视探测。任务计划于2020年发射, 2021年实现我国的机器人登陆火星。

1 国际火星探测概要情况

1.1 探测历程

国际火星探测起步于20世纪60年代, 截至目前共实施了44次活动, 美国21次, 苏联/俄罗斯19次, 日本1次, 欧洲空间局(European Space Agency, ESA, 以下简称欧空局)2次, 印度1次。完全成功或部分成功23次, 成功率约53%。

从时间跨度来看, 火星探测历程可分为3个阶段。第1阶段(1960—1975年), 实施了23次任务, 主要特

征是美、苏在冷战背景下, 以此作为角力场, 以互相展示国家能力开展竞争。第2阶段(1976—1990年), 随着美苏竞争战略重点转移, 火星探测进入低潮期, 仅实施了2次任务。第3阶段(20世纪90年代至今), 实施了18次任务, 以发展新技术和获得科学发现为主要驱动力, 催生了又一个火星探测的高潮期。

1.2 探测现状

基于火星与地球的运动关系, 受限于当前运载火箭的能力, 每隔26个月才有一次有利的火星探测发射机会^[1]。进入新的高潮期以来, 火星成为国际深空探测的焦点, 每次的发射机会都有发射任务。美国依然引领火星探测的发展, 日本、欧空局、印度相继加入这一行列, 任务的成功率也提高到2/3。近15年来的火星探测任务全部取得成功, 目前有8颗火星探测器仍在运行, 包括6颗轨道器和2颗巡视器。

2020年国外还将发射2颗火星探测器, 其中美国1次^[2-3]、欧空局与俄罗斯合作1次^[4], 均为着陆和巡视探测任务。可以预见2020年将迎来火星探测的高峰, 呈现出技术上高新发展、科学上全新发现的局面。

1.3 技术能力

通过近60年的发展, 人类开展火星及深空探测的技术能力得到了大大提升。火星探测技术的发展按照

由易到难的路径,逐步实现了掠飞、环绕、着陆、巡视。同时,各国开展的火星探测活动清晰呈现了各自的技术能力。日本仅开展了1次火星任务,目标是环绕,但仅实现了掠飞;印度则通过首次任务实现了火星环绕;俄罗斯、欧空局各自成功实现火星环绕^[5],均多次尝试过着陆,但都没有获得真正成功,目前双方正合作实施火星着陆巡视任务,计划于2020年发射;美国实现了火星环绕、着陆和巡视,下一目标是在2030年之前突破难度更大的采样返回,远期目标瞄准载人火星探测。

1.4 科学成果

已开展的火星探测活动,取得了十分丰富的科学成果,大大加深了人们对火星的认识。已获得的成果表明,火星曾有足够的内部热能^[6]、地质构造活动强烈^[7]、具有全球性内禀偶极子磁场^[8-9]、岩浆-火山作用活跃,形成了太阳系最高的火山山峰——奥林帕斯山(Olympus Mons)^[10]和太阳系最长的峡谷——水手大峡谷(Valles Marineris)^[11-12];火星曾有比现在浓密得多的大气层^[13-14],表面存在过液态水,火星表面观测到干涸的水系、湖泊和海洋盆地^[15-18],火星有过适宜生命繁衍的环境,并可能孕育过生命^[19-21];火星存在小天体撞击形成的巨大撞击坑和洪水冲刷的痕迹^[22-24]。现今的火星表面是干旱、寒冷的世界,没有液态水,大气成分以二氧化碳为主^[25-26],大气稀薄,小于1%大气压^[27],尘暴肆虐^[28-29];全球内禀偶极磁场已消失,成为区域性的多极子弱磁场^[9];构造和岩浆活动已基本停息,水体可能转入地下^[30-31];火星的演化历史基本清晰,火星是一颗老年期的行星。这些成果大大促进了太阳系起源与演化、地外生命信息探寻、比较行星学等深空探测重大科学问题的研究,进一步激发了人类深入探测火星,甚至是开展载人探测的热情。

2 我国的首次火星探测任务

在“嫦娥1号”任务取得圆满成功之后,业内专家即开始谋划我国深空探测后续发展。2010年8月,8位院士联名向国家建议,开展月球以远深空探测的综合论证,国防科工局立即组织专家组开展了发展规划和实施方案论证。首次火星探测是深空探测的起点和重点,实施方案经过三轮迭代和深化,于2016年1月正式立项实施。

我国首次火星探测任务起步晚,但起点高、跨越大,基于探月工程的基础和“长征5号”(CZ-5)火箭的运载能力,瞄准当前世界先进水平确定任务目标,将

在国际上首次通过一次发射任务,实现火星环绕和着陆巡视探测,将使我国成为世界上第二个独立掌握火星着陆巡视探测技术的国家。

2.1 工程目标

突破火星制动捕获、进入/下降/着陆(Entry Descent and Landing, EDL)、长期自主管理、远距离测控通信、火星表面巡视等关键技术,实现火星环绕探测和巡视探测,获取火星探测科学数据。通过这一任务的实施,建立独立自主的深空探测基础工程体系,掌握深空探测基础共性技术,形成开展深空探测的基础工程能力,推动我国深空探测活动可持续发展。

2.2 科学目标

通过环绕探测,开展火星全球性和综合性探测。通过巡视探测,开展火星表面重点地区高精度、高分辨的精细探测。具体科学目标包括以下5项内容:

1) 研究火星形貌与地质构造特征。探测火星全球地形地貌特征,获取典型地区高精度形貌数据,开展火星地质构造成因和演化研究。

2) 研究火星表面土壤特征与水冰分布。探测火星土壤种类、风化沉积特征和全球分布,搜寻水冰信息,开展火星土壤剖面分层结构研究。

3) 研究火星表面物质组成。识别火星表面岩石类型,探查火星表面次生矿物,开展表面矿物组成分析。

4) 研究火星大气电离层及表面气候与环境特征。探测火星空间环境及火星表面气温、气压、风场,开展火星电离层结构和表面天气季节性变化规律研究。

5) 研究火星物理场与内部结构。探测火星磁场特性。开展火星早期地质演化历史及火星内部质量分布和重力场研究。

3 首次火星探测任务基本技术方案

首次火星探测任务由工程总体和探测器、运载火箭、发射场、测控、地面应用5大系统组成。

探测器由环绕器和着陆巡视器组成,总质量约5 t。环绕器配置中分辨率相机、高分辨率相机、次表层探测雷达、火星矿物光谱探测仪、火星磁强计、火星离子与中性粒子分析仪、火星能量粒子分析仪共7台科学载荷,对火星开展全球性、普查性探测。着陆巡视器由进入舱和火星车组成,进入舱完成火星进入、下降、着陆任务,火星车配置多光谱相机、次表层探测雷达、火星表面成分探测仪、火星表面磁场探测仪、火星气象测量仪、地形相机共6台科学载荷,在着陆区开展巡视探测。

首次火星探测任务计划于2020年7月在文昌航天发射场,使用“长征5号”运载火箭直接将探测器发射至地火转移轨道。

探测器与运载火箭分离后,经过中途修正,在近火点附近实施制动,实现火星捕获,进入周期约10个火星日的环火椭圆轨道,再择机实施轨道机动,进入周期约2个火星日的椭圆停泊轨道,完成着陆区预先探测和着陆点调整后,择机释放着陆巡视器。环绕器随即进行轨道调整,进入中继通信轨道。

着陆巡视器与环绕器分离后,进入火星大气,通过气动外形、降落伞、反推发动机等多级减速和着陆腿缓冲,软着陆于火星表面。火星车与承载平台分离,在火星表面开展巡视科学探测。

环绕器在中继通信轨道上为火星车提供中继通信链路,兼顾开展科学探测,运行90个火星日后,进行轨道调整,进入遥感使命轨道,开展科学探测,并兼顾火星车中继通信。

测控系统基于现有航天测控网和深空测控网(包括北京航天飞行控制中心、佳木斯66 m口径天线测控站、喀什35 m口径天线测控站、阿根廷35 m口径天线测控站),并在喀什深空站补充建设3副35 m口径天线与已有天线组成天线阵系统,数据下行达等效66 m口径天线的能力(设计值),辅以甚长基线干涉测轨(VLBI)分系统和必要的国际联网,完成火星探测器状态监视、轨道测量、飞行控制、在轨管理和应急处置等任务。

地面应用系统在天津武清新建1副70 m口径天线,与已有地面数据接收天线进行组阵,达到等效80 m口径天线的的数据接收能力(设计值),确保科学数据的可靠接收,并进行处理、解译,形成标准格式的数据产品,组织开展科学数据的应用和研究。

4 首次火星探测任务的关键技术

火星与月球环境差异显著,这些差异给火星探测任务的设计要求带来了质的变化,为适应这些特殊环境,需要攻克多项关键技术。火星与月球探测的环境差异主要表现在以下几个方面:

1) 运动规律不同。月球是地球的天然卫星,主要在地球的引力作用下绕地球公转,而火星是行星,与地球同在太阳的引力作用下绕太阳公转。这种差异对轨道设计的要求截然不同,比如在发射窗口方面,理论上月球探测每个月都有发射机会,而火星探测每26个月才出现一次发射机会,对整个任务的总体设

计、可靠性设计、计划管理等方面提出了更高的要求。

2) 地火距离更加遥远。月球与地球的距离约在36~40万km之间,而火星距离地球大约在5 600万~4亿km之间变化,地火最远距离约为地月距离的1 000倍,无线电信号传输时延达到23 min。这种差异对天地测控通信能力和探测器自主运行能力提出了更高的要求。

3) 太阳辐射更加微弱。地球和月球距太阳的平均距离约为1.5亿km,平均太阳常数约1 378 W/m²,火星距太阳的平均距离约为2.3亿km,平均辐照强度约为589 W/m²,只有地球的43%。这对火星探测器能源获取及热控提出了更高的要求。

4) 火星具有稀薄的大气。月球表面近似真空,火星表面具有密度约为地球1%的大气,并存在强风和沙尘天气。大气的影响使得火星着陆更为困难,增加了气动减速和伞系减速的环节,控制环节更为复杂。沙尘天气对火星车的能源、热控,以及活动机构和光学载荷的安全等都带来不利影响。

4.1 火星环境不确定性分析及地面模拟验证

相对于地球和月球,人类对火星的研究还很肤浅,探测数据还很缺乏,基于已掌握的数据得出的结论与火星真实环境的符合性具有很大的不确定性,这也是以往火星探测成功率很低的根本原因。同时,我国没有火星环境的一手资料,只能通过广泛查阅国外已公开发表的文献资料获得相关数据,确定工程适用的环境参数项目,量化环境参数及其不确定度,研究模拟火星环境进行地面试验验证的方法。

4.2 轨道设计与总体指标优化

火星探测任务约束条件和设计状态复杂,运载能力、发射窗口、测控通信能力等总体指标与发射能量、近火制动能量、射向、航落区安全、中继轨道、任务轨道、着陆时机、有效载荷工作模式、科学探测数据量等关键因素密切耦合,是典型的非线性、多目标问题,5大系统密切配合,通过开展发射弹道与飞行轨道一体化设计、天地测控通信一体化设计、科学目标与有效载荷工作模式优化、可靠发射等专题研究,进行综合权衡与优化,保证各项总体指标协调匹配、总体最优。

4.3 自主管理与控制

火星探测器飞行距离远,最远距离地球4亿km;飞行时间长,地火转移飞行约10个月,环火探测约2年;同时受地球、火星、探测器相对运动和地面站分布的影响,测控通信难以全空间覆盖;在环火探测中

会经历2次日凌,通信中断最长达到30天;测控信号传输时延大,最短超过3 min,最长23 min,特别是执行近火捕获、两器分离等决定任务成败且只有一次机会的轨道控制时,探测器距离地球约3亿km,信号时延15 min以上,由地面进行实时测控干预的条件已不存在,探测器必须自主执行预先注入的指令,并自行判断指令执行的效果,一旦发现问题,必须在极短时间内根据自测量信息,进行自诊断,并完成故障的自恢复,对探测器自主导航、管理与控制的能力提出了更高要求。为此,开展了火星安全捕获制动控制,两器分离与安全升轨控制、长期自主管理和控制策略与方法等专题研究和验证,提升探测器的自主能力。

4.4 火星进入气动外形与防热

火星大气的成分、密度、分布等与地球截然不同,而通过国外有限的探测得到的相关数据样本又十分不充分,有关模型具有很大的不确定性。火星大气进入过程的气动力、气动热问题对气动外形、结构、防热等设计十分关键,而我们的相应工程研究基础几乎为零。为此,进行了大量的风洞试验,从积累基础数据开始,开展着陆巡视器气动外形设计与优化、火星大气进入气动力和热特性预测算法研究、建立着陆巡视器气动力和热标称数据,并开展气动数据偏差分析等研究,以此为基础进行着陆舱气动外形结构和热防护设计。

4.5 火星降落伞

火星具有稀薄大气,着陆需要用降落伞减速,但火星的大气密度极低,并且需要在超音速条件下开伞,降落伞设计的约束条件与地球返回式卫星和载人航天工程采用的降落伞截然不同。火星降落伞从伞型、材料、包伞、弹伞、开伞等选择,到与之相关的关键指标、参数确定,再到验证方法等一系列设计要素,均要全新设计和验证。为此,开展了降落伞特纺材料、降落伞的关键结构参数、加工和高密度包装工艺、弹射药剂的燃气控制和能量释放过程、弹伞筒低冲击结构设计等分析和攻关,进行了火箭弹高空开伞试验等大量验证试验,设计了适合火星大气环境的降落伞。

4.6 火星软着陆及巡视的导航、制导与控制

探测器软着陆火星的进入、下降、着陆过程分为气动减速、伞系减速、动力减速、着陆缓冲4个阶段,在进入火星大气到着落到火星表面的短短数分钟之内,着陆舱要执行升力控制、弹伞开伞、抛大底、抛背罩、悬停、避障和着陆缓冲等一系列控制动作。这

一过程,地面无法实时干预,着陆舱需要根据预先注入的指令,自主进行导航、制导与控制。由于对火星环境缺乏了解,EDL过程面临的环境存在较大的不确定性,相比月球着陆,一是在进入火星大气初期,着陆舱的初始状态(轨道、姿态)存在一定的不确定性;二是在下降和着陆过程中,存在风和沙尘的干扰;三是由于缺乏着陆点地形细节的高分辨率图像,着陆敏感器的测量结果存在很大的不确定性。诸多的不确定性因素耦合交织,为这一过程的导航、制导和控制带来了更大的困难。

火星车巡视探测,由于信号时延大,且受中继通信时段的限制,依赖地面指令控制的方式效率极低,已经不具备可操作性,巡视的自主导航、制导与控制成为实现探测的前提,特别是对障碍的自主识别和路径的自主规划提出了更高的要求。

为此,开展了火星EDL过程导航、进入升力制导与控制、动力减速制导与控制、火星着陆障碍物自主识别与火星车自主路径规划等关键技术攻关,解决着陆和巡视的导航、制导与控制难题。

4.7 火星车长期生存和移动

火星距离太阳远且受大气的影响,辐照强度约为月球表面的20%,沙尘天气将进一步降低辐照,导致火星车的发电功率很低。此外,由于火星尘的影响,太阳电池发电量每日衰减,根据美国“勇气号”(Spirit)的实测数据,日衰减率为0.1%~0.3%。这些因素都给火星车的能源供给带来极大的挑战。与此同时,火星的平均气温在-60℃左右,最低可达-125℃^[32-33],且由于存在大气,对流散热对火星车保持温度带来了更为严重的影响。能源获取不足而环境温度较低的矛盾十分突出,为此,火星光谱匹配太阳能电池、太阳能电池防尘设计、火星大气环境隔热技术、直接利用太阳能供热集热器等攻关,解决能源问题。

火星车的移动也面临许多不确知的环境,一是移动能力和火星表面构造的力学特性直接相关,而我们对这些特性知之甚少;二是火星表面石块等障碍分布密集,火星车以自主行驶为主,被石块卡滞的风险更大;三是火星表面温度交变频繁,存在沙尘天气,更容易发生车轮卡死失效;四是火星表面多石块环境对车轮轮缘的强度、耐磨性提出更高要求。为此,针对表面构造的力学特性,开展了移动动力学与力学仿真、火星土壤力学与车轮优化、火星复杂环境地面试验验证等技术攻关;针对火星车更强的遇险脱困要求,开展了主动悬架技术攻关,实现了车体升降、抬

轮、蠕动等功能；针对车轮，开展了高韧性、耐磨性的一体化结构轮缘设计，同时为缓解火星车越障等引起的冲击，设计了具有减振功能的弹性轮辐。

4.8 行星际测控通信

地球与火星之间距离遥远，相比月球探测，无线电信号衰减可达60 dB，信号传输单向延迟长，导致地面接收信号信噪比谱密度极低，轨道测量误差要放大约1 000倍，探测器与地面测控数传链路紧张、有效数据传输困难、传输实时性差。针对这些特殊情况，相关系统协同开展了多基线高精度相位参考干涉测量、精密定轨与预报、基于MFSK体制的火星探测EDL段测控、远距离高动态低码速率信号捕获与跟踪、X频段数字深空应答机、UHF/X频段器间中继通信、天线阵异地组网接收等技术攻关，通过提高探测器和地面测控通信设施两方面的能力，共同解决行星际测控通信问题。

5 首次火星探测任务的创新

首次火星探测任务的技术方案和科学目标体现出以下亮点。

5.1 突破行星探测基础关键技术

1) 突破4亿km远距离条件下的轨道设计与精确控制、自主导航与控制、长时间（60天）自主飞行管理、行星际大时延（往返40 min）测控通信等深空探测基本的核心关键技术，将我国的深空探测能力提升至4亿km。

2) 突破火星环绕、着陆、巡视探测的特殊关键技术，如火星制动捕获、近火点漂移轨道设计、大钝体气动外形、超音速盘缝带伞、动力下降控制、高精度自主避障着陆等稀薄大气行星进入/下降/着陆技术、相比月球更为复杂的地貌及气象环境下的局部路径全自主巡视与生存技术。

3) 提升深空探测通信能力，对已有深空测控通信基础设施进行补充建设和改造，并实现大口径天线组阵接收技术的工程应用。

这些技术的突破和能力的形成，将为我国开展更高水平的深空探测奠定基本技术能力，同时将带动我国人工智能、自动控制、机电一体化、遥感科学等相关技术再上一个台阶。

5.2 科学目标特色鲜明

我国首次火星探测任务将同时实施环绕探测和着陆巡视探测，在国际上尚属首次，很有特色。

1) 既有着眼于火星全球、全局的探测，又有着眼

于火星局部地区的高精度探测，通过环绕器与火星车有效载荷之间的配合，互为补充，一方面环绕探测与着陆巡视探测可以进行物质成分、土壤特性、水冰等探测的天地相互验证；另一方面通过两器联合探测，可增强对火星大气、电离层、磁场等认识的全面性。

2) 采取直接探测和间接探测相结合的方式对火星的水冰进行综合研究，环绕器和火星车均配置了雷达，可以直接探测和分辨火星上是否存在水冰；通过各类光学遥感手段可以对水相地貌进行细致考察，为火星历史上水的存在和演变研究提供间接证据；通过火星岩石和矿物的探测，可以建立火星表面水相环境和次生矿物种类的联系，寻找火星历史上液态水存在的环境条件。

3) 通过从火星全球土壤类型分布、土壤次表层结构、土壤物质成分探测，到火星局部区域的土壤结构剖面、土壤物质成分探测，可以系统地研究火星土壤。

4) 通过环绕器配置的空间环境载荷和火星车配置的气象等载荷，可以比较全面、系统地研究火星大气、电离层及其与太阳风的相互作用，揭示火星空间环境变化特征与演变规律。

5) 在环绕器和火星车上均配置了磁强计，可实现对火星磁场的立体动态观测，更有效地研究火星电离层、磁鞘磁场小尺度结构及动态变化过程，以及火星内部局部构造。

6 结束语

首次火星探测任务开启了我国月球以远深空探测的步伐，我国起步虽晚，但起点较高，通过一次任务实现火星环绕、着陆和巡视，掌握行星环绕、着陆巡视探测的基础和共性技术，实现跨越发展，构建我国开展深空探测活动的基本能力。

参 考 文 献

- [1] DAVID S F P. Humans to Mars: fifty years of mission planning, 1950-2000, NASA Monographs in Aerospace History Series, Available as NASA SP-2001-4521 [R]. USA: NASA, 2001.
- [2] KENNETH C. NASA Mars 2020 rover gets a landing site: a crater that contained a lake - the rover will search the Jezero Crater and delta for the chemical building blocks of life and other signs of past microbes[N]. The New York Times, 2018-11-19.
- [3] MIKE W. Jezero Crater or bust! NASA picks landing site for Mars 2020 rover[Z]. USA: NASA, 2018.
- [4] Second ExoMars mission moves to next launch opportunity in 2020(Press release)[Z]. Europe: ESA, 2016.
- [5] Isro's Mars mission successful, India makes history[Z]. <http://www.>

- hindustantimes.com, 2018-08.
- [6] VIOREL B. Mars: prospective energy and material resources(illustrated ed.)[M]. Germany: Springer Science & Business Media, 2009.
- [7] KARL L M, LIONEL W. Mars: recent geological activity: Mars: a geologically active planet[J]. *Astronomy & Geophysics*, 2003, 44(4): 16-20.
- [8] THERESA V, LISHAN A. Magnetic fields and Mars. Mars Global Surveyor @ NASA[Z]. USA: NASA, 2009.
- [9] NANCY N J, CYNTHIA O. New map provides more evidence Mars once like Earth[Z]. USA: NASA/Goddard Space Flight Center, 2011.
- [10] CHEN J Y, YUAN J L, GUO C X, et al. Progress in technology for the 2005 height determination of Qomolangma Feng(Mt. Everest)[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2006, 49(5): 531-538.
- [11] WOLPERT S. UCLA scientist discovers plate tectonics on Mars[Z]. USA: UCLA, 2012.
- [12] LIN, A. Structural analysis of the valles marineris fault zone: possible evidence for large-scale strike-slip faulting on Mars[J]. *Lithosphere*, 2012, 4(4): 286-330.
- [13] PHILIPS T. The solar wind at Mars[Z]. USA: Science@NASA, 2006, 2006.
- [14] LUNDIN R. Solar wind-induced atmospheric erosion at Mars: first results from ASPERA-3 on Mars express[J]. *Science*, 2004, 305(5692): 1933-1936.
- [15] KERR R A. Ice or lava sea on Mars? a transatlantic debate erupts[J]. *Science*, 2005, 307(5714): 1390-1391.
- [16] JAEGER W L, KESZTHELYI L P, MCEWEN A S, et al. Athabasca valles, Mars: a lava-draped channel System[J]. *Science*, 2017, 317(5845): 1709-1711.
- [17] LUCCHITTA B K, ROSANOVA C E. Valles marineris; the grand canyon of Mars[Z]. USA: USGS, 2003.
- [18] MURRAY J B, MULLER J P, NEUKUM G, et al. Evidence from the Mars express high resolution stereo camera for a frozen sea close to Mars' equator[J]. *Nature*, 2005, 434(703): 352-356.
- [19] BROWN D. NASA finds ancient organic material, mysterious methane on Mars[EB/OL]. [2018-06-20] USA: UMKC, 2018, <https://info.umkc.edu/news/nasa-finds-ancient-organic-material-mysterious-methane-on-mars/>.
- [20] WALL M. Curiosity rover finds ancient 'building blocks for life' on Mars[EB/OL]. [2018-06-20] USA: Space.com, 2018, <https://www.space.com>.
- [21] CHANG K. Life on Mars? Rover's latest discovery puts it' on the table[N]. *The New York Times*, 2018-06-07.
- [22] ZHARKOV V N. The role of Jupiter in the formation of planets[J]. *Geophysical Monograph Series*, Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series, 1993, 74: 7-17.
- [23] LUNINE J I, CHAMBERS J, MORBIDELLI A, et al. The origin of water on Mars[J]. *Icarus*, 2003, 165(1): 1-8.
- [24] BARLOW N G, FREY H. Conditions on early Mars: constraints from the cratering record, LPI Technical Report 89-04[R]. Easton, Maryland: Lunar and Planetary Institute, 1989.
- [25] WILLIAMS D R. Mars fact sheet[Z]. USA: National Space Science Data Center, NASA, 2010.
- [26] MAHAFFY P R, WEBSTER C R, ATREYA S K, et al. Abundance and isotopic composition of gases in the martian atmosphere from the Curiosity Rover[J]. *Sciencemag.org*, 2013, 341(6143): 263-266.
- [27] BOLONKIN A A. Artificial environments on Mars[M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2009.
- [28] LEMMON M T, WOLFF M J, SMITH M D, et al. Atmospheric imaging results from Mars Rovers[J]. *Science*, 2004, 306(5702): 1753-1756.
- [29] PHILIPS T. Planet gobbling dust storms[Z]. USA: Science @ NASA, 2006.
- [30] WEBSTER G, BROWN D. Curiosity Mars Rover sees trend in water presence[Z]. USA: NASA, 2013.
- [31] Mcewen A, LUJENDRA O, DUNDAS C, et al. Seasonal flows on warm martian slopes[J]. *Science*, 2011, 333(6043): 740-3.
- [32] Mars exploration rover mission: spotlight[Z]. Marsrover.nasa.gov, 2012.
- [33] What is the typical temperature on Mars? [Z]. Astronomycave.net, 2012.

作者简介:

耿育(1975-), 男, 高级工程师, 主要研究方向: 深空探测总体设计。
通信地址: 北京市海淀区知春路65号院中国卫星通信大厦B座
(100190)

电话: (010)68378289

A Brief Introduction of the First Mars Exploration Mission in China

GENG Yan¹, ZHOU Jishi¹, LI Sha¹, FU Zhongliang¹, MENG Linzhi², LIU Jianjun³, Wang Haipeng⁴

(1. Lunar Exploration and Space Program Center, Beijing 100190, China;

2. China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China;

3. National Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China;

4. Shanghai Institute of Satellite Engineering, Shanghai 201109, China)

Abstract: The first Mars Exploration in China was approved in 2016. First, the history of international Mars exploration is reviewed. Then the engineering and scientific goals, overall technical proposal, key technologies and prospective innovation results of Chinese Mars exploration are introduced. The first Mars Exploration in China will archive Martian orbiting, landing and patrol, and carry out global general survey and partial fine investigation by one launch mission, promoting the research of Mars landform and geological structure, soil characteristics and water-ice distribution, surface material composition, atmospheric ionosphere and climate environment, physical field and internal structure, etc. Facing various special environments for Mars exploration, it is necessary to make breakthrough of 8 key technologies such as long-term autonomous control and management, and etc.. Through the Mars Exploration, a series of innovative results will be achieved, a series of common core technologies will be mastered and the independent fundamental engineering system of deep space exploration will be established, and then the fundamental engineering ability will be formed to carry out deep space exploration.

Key words: Mars Exploration; mission goals; overall technical proposal; key technologies; innovation results

High lights:

- Martian orbiting, landing and patrol are achieved, and the global general survey and partial fine investigation are carried out by one launch mission.
- To make breakthrough a series of key technologies and achieve a series of innovative results.
- The mission not only focuses on the global exploration but also on the high-precision exploration of local areas of Mars. The payloads complement each other through the cooperation between the orbiter and the rover.
- Comprehensive studies of water (ice), soil and atmosphere on Mars are carried out by combining direct and indirect explorations.

[责任编辑：杨晓燕，英文审校：朱恬]