中国首次火星探测任务科学目标与有效载荷配置

李春来[1,2]，刘建军[1,2]，耿言[9]，曹晋滨[3]，张铁龙[4]，方广有[5]，杨建峰[6]，
舒嵘[7]，邹永廖[1,2]，林杨挺[8]，欧阳自远[1,2]

（1. 中国科学院 月球与深空探测重点实验室，北京 100101；
2. 中国科学院 国家天文台，北京 100101；
3. 北京航空航天大学 宇航学院，北京 100191；
4. 中国科学技术大学 地球与空间科学学院，合肥 230026；
5. 中国科学院 电子学研究所，北京 100190；
6. 中国科学院 西安光学精密机械研究所，西安 710119；
7. 中国科学院 上海技术物理研究所，上海 200083；
8. 中国科学院 地质与地球物理研究所，北京 100029；
9. 探月与航天工程中心，北京 100190）

摘　要： 中国首次火星探测任务将于2020年实施，科学目标和有效载荷配置是工程任务的重要顶层设计之一。简要回顾了国外已实施火星探测任务的主要科学目标，介绍了我国首次火星探测任务科学目标、有效载荷配置，分析了科学目标的创新性和特色。

关键词： 火星探测；有效载荷；环绕探测；巡视探测

中图分类号： V57　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 2095-7777(2018)05-0406-08

DOI: 10.15982/j.issn.2095-7777.2018.05.002

引用格式： 李春来，刘建军，耿言，等. 中国首次火星探测任务科学目标与有效载荷配置[J]. 深空探测学报，2018，5（5）：406-413.

Reference format: LI C L，LIU J J，GENG Y，et al. Scientific objectives and payload configuration of China's first Mars exploration mission[J]. Journal of Deep Space Exploration，2018，5（5）：406-413.

引　言

人类对太阳系的探测，20世纪50年代由月球探测起步，在60年代逐步拓展到火星、金星以及太阳和行星际的探测；在70年代，开始了全太阳系的探测，拓展到太阳系其它行星——木星、土星、水星、天王星与海王星的探测；80年代开始，进一步拓展到太阳系的各类小天体——彗星、火卫一、小行星及土卫六；进入21世纪以后，深空探测首次拓展到对冥王星的探测。60多年来，人类对月球、类地行星、类木行星、矮行星、行星的卫星、小行星、彗星等太阳系各类天体进行了全方位、多手段的科学探测，并对太阳进行了多视角深空探测，获得了许多意想不到的新发现和新成果，深化了对太阳系各类天体的表面特征、内部结构和空间环境的了解，为寻求解决太阳系起源和演化这一基本科学问题提供了基础资料。随着世界经济、社会和科技的发展，人类对探索太阳系的起源与演化、寻找地外生命、拓展生存空间的需求越来越迫切，世界各主要航天国家纷纷制定了宏伟的深空探测规划[1-8]。

太阳系有八大行星，其中水星、金星、地球和火星被称为类地行星，它们体积较小，具有固体的岩石表面，可以用地质学方法来研究。火星之外是木星、土星、天王星和海王星4个巨行星，也叫类木行星，它们体积巨大，主要由气体和液体组成，表面没有固体的岩石。目前人类大多数的行星探测任务主要针对类地行星。

火星是离太阳第四近的行星，大小正好处在地球和月球之间，平均赤道半径为3 398 km，约为地球的1/2，月球的2倍；火星的质量为6.46×10^{26} g，平均密度为3.94 g/cm^3，而地球为5.5 g/cm^3。火星的运行轨道为明显的椭圆形，绕日公转周期为687天，约为2个地球年[1, 9]。火星的自转轴倾角和轨道偏心率都会发生周期性变化，自转轴倾角的变化周期为120万年，变化范围为14.9°～35.3°（现为25°），偏心率的变化周期约为200万年，变化范围为0.004～0.141（现为0.097）。

收稿日期：2018-03-09　修回日期：2018-03-21

火星的公转和自转参数的变化对表面地质作用和气候变化会产生很大的影响。因此，对火星的探测与研究有助于人类进一步认识地球和太阳系的形成和演化，预测地球的未来变化趋势。

根据目前的探测成果，火星上可能存在过生命和液态水，经过改造有望成为太阳系中的另一颗宜居行星，为人类向火星移民，开辟新的生存空间提供了新的希望。由此，探测火星生命活动的信息、探寻火星是否存在过生命以及火星生命活动的环境成为当今火星探测的科学主题[10-11]。

2020年中国将实施首次火星探测任务，科学目标和有效载荷配置是工程任务的重要顶层设计之一。本文简要回顾了国外已实施火星探测任务的主要科学目标，介绍了首次火星探测任务科学目标、有效载荷配置，并分析了我国首次火星探测任务科学目标的创新性和特色。

1　已实施火星探测任务的主要科学目标和成果

人类对火星的探测活动自1961年以来一直持续至今，目前已实施的探测活动已经达到43次，而且近期还有多项计划正在实施。2011年，中国搭载在俄罗斯Phobos-Grunt探测器上的“萤火1号”，尝试开展火星探测，但发射失败。迄今为止，人类成功和部分成功的火星探测任务一共有23次。

火星是地球的近邻，了解火星的演化对了解地球的过去历史和未来演化有十分重要的意义。火星表面上是否曾经存在过生命，现今是否依然存在生命，是人类尤为关心的问题。围绕火星是否曾经存在生命的探索一直是火星探测的重要主题。从近20年来火星探测任务和主要成果来看（见表 1），火星曾有足够的内部热能、地质构造活动强烈、具有全球性内禀偶极子磁场、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）和太阳系最长的峡谷（水手大峡谷）；火星曾有比现在浓密得多的大气层，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，火星有过适宜生命繁衍的环境，并可能发育过生命；火星存在小天体撞击形成巨大撞击坑和洪水冲刷的痕迹。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，大气稀薄，小于1%大气压，尘暴肆虐；全球内禀偶极磁场已消失，成为区域性的多极子弱磁场；构造和岩浆活动已基本停息，水体可能转入地下，火星是一颗老年期的行星。总结和回顾已经成功实施的历次火星探测任务和科学目标，以期为我国火星探测任务中科学目标的遴选和确定提供参考依据。从近几十年来的火星探测

表 1　近20年来火星探测任务及其主要成果

Table 1　The mission of Mars exploration and its main achievements over the past 20 years

探测任务	发射时间	主要成果
“火星全球勘测者”	1996-11-7	获得了火星表面高分辨率影像；绘制了火星表面地形和矿物分布图件。
“火星探路者”[22]	1996-12-4	进行了火星表面巡视，并对巡视地区进行了影像和化学成分调查。
奥德赛轨道器[23]	2001-4-7	获得了火星表面矿物成分分布特征；提供了火星表面温度变化图；为“凤凰号”着陆提供了地形和着陆点选择依据。
“火星快车”	2003-6-2	发现火星南极冠有水冰，确定火星极冠有85%的干冰和15%的水冰；在火星大气层内发现甲烷和氨，预示火星上生物或地质作用活动仍存在；发现火星上存在水合硫酸盐、硅酸盐等多种造岩矿物；在火星的艾奥利斯桌山群拍摄到了板块运动的特征。
“勇气号”火星车	2003-6-10	揭示了火星表面玄武岩背景和多种火山、撞击、沉积岩石类型，发现了可能由于水流作用形成的层状岩石沉积。
“机遇号”火星车	2003-7-8	显示了Eagle和Endurance撞击坑为干盐湖的证据；沉积岩石类型也经过水和风的改造并进一步成岩；揭示了火星演化历史的新证据。
“火星勘测轨道器”	2005-08-12	首次实现了多任务目标和多任务处理科学探测；获得了火星表面高分辨率影像资料；提供了火星大气结构构成资料和火星气候变化情况。
“凤凰号”火星着陆器[24, 25]	2007-8-4	首次在北极地区进行着陆探测，确认了火星上可能存在水和水冰；首次采用挖掘方式探测火星地下水特征，系统分析了着陆点土壤、岩石等化学成分；对大气20 km范围的气候变化进行扫描和记录。
“好奇号”火星科学实验室[26]	2011-11-26	在火星上的古老撞击坑盖尔坑成功着陆；“好奇号”是迄今国际上最先进的无人探测器，采用核动力发电，共携带10件（套）科学探测仪器，任务主目标是火星车长期表面行走，寻找生命存在的信息。
火星大气与挥发物演化轨道器[27]	2013-11-19	研究火星的上层大气和与太阳风的相互作用。搭载的仪器将测量大气气体、上层大气、太阳风和电离层。测量结果可验证当今对于火星大气甲烷形成的理论模型。
ExoMars 2016[28]	2016-3-14	对火星大气中的甲烷等微量气体进行监测和研究。

任务，可以发现其科学目标主要集中在以下方面：

1）火星大气特征和气候变化研究。检测火星中性大气层的结构和成分、气象和气候特征及其变化特征，寻找过去气候变化的证据，研究火星气象与气候的演化历史及未来变化趋势[12]。

2）火星地形地貌和地质构造研究。探测火星地形地貌、地质构造、土壤与岩石的矿物组成和化学成分、沉积岩的分布范围和相对年龄、极地水冰与干冰的分布与变化特征，研究火星地质演化历史和表面演化过程，并为火星上水的存在和水体演化提供证据[12-18]。

3）火星物理场和内部结构研究。进一步探测火星附近的物理场，包括火星磁场、重力场、电离层；开展火星内部结构的探测与地球的对比研究，探讨类地行星的演化史[12, 19-20]。

4）火星上的水和生命信息探测。搜寻火星上的水，研究火星水体的演化，寻找火星生命存在的证据[21]。

5）火星科学观测台站和实验室。在火星上建立科学观测台站，监测和研究火星表面的变化及气候环境；探测火星上可能存在的资源，为就位开发与利用火星资源提供科学依据[5]。

我国火星探测的主要科学目标应围绕上述几个方面展开，并在此基础上根据我国深空探测能力和科研实力，合理选择和确定适合国情、特色明显、具有一定创新性的火星探测科学目标。

2 首次火星探测任务科学目标

根据我国深空探测的总体规划和国际火星探测科学研究的进展，经深化论证，确定了我国首次火星探测任务科学目标包括：

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，获取典型地区的高精度形貌数据，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，开展火星的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。

瞄准2020年发射窗口，我国首次火星探测的主要探测内容和指标如下：

火星全球成像与火星地质构造和地形地貌探测。地元分辨率优于100 m @ 400 km；重点地区高精度成像与详细勘测，对火星可能存在水的区域、沉积地层和流水地貌进行高分辨成像，局部成像分辨率优于0.5 m @265 km。

火星次表层结构和地下水冰探测。次表层结构穿透深度约100 m，极区冰层穿透深度约1 000 m，厚度分辨能力为米级。

火星表面光谱和激光诱导光谱探测。分析火星表面矿物岩石光谱，识别矿物及其分布，光谱范围0.45～3.4 μm。识别火星表面矿物主要元素分布，探测精度优于10%。

地火空间和近火空间环境探测。离子能量范围5 eV ～25 keV，中性粒子能量范围50 eV ～3 keV，电子能量范围0.1～12 MeV，质子能量范围2 ～100 MeV，重离子能量范围25～300 MeV。

火星空间磁场与着陆区磁场探测。火星空间磁强测量范围± 2 000 nT，分辨率优于0.01 nT；火星表面磁场测量范围± 2 000 nT，分辨率优于0.01 nT，量程± 65 000 nT。

上述5个科学目标，将通过环绕探测和巡视探测共同实现，围绕火星是否存在过生命或生命存在的环境，以及火星演化和太阳系的起源与演化两大科学问题开展（见表 2）。其中，环绕探测着眼于开展火星全球性、整体性和综合性的详查探测，建立火星总体性和全局性的科学认知；巡视探测专注于火星表面重点地区的高精度、高分辨的精细探测和就位分析。通过环绕器与火星车的独立探测和天地同时探测，实现对火星的表面形貌、土壤特性、物质成分、水冰、大气电离层、磁场等的科学探测。

3 有效载荷配置

3.1 环绕探测有效载荷配置

环绕探测是目前火星探测的主要方式之一，有利于获得火星全球性的探测资料，在火星研究过程中建立总体、全局的概念，因此是行星探测开始阶段的首选方式。根据首次火星探测科学目标，结合国际火星探测和科学研究的进展以及我国航天科技的发展水平，我国首次火星环绕探测的主要科学任务包括以下5个方面：

1）火星大气电离层分析及行星际环境探测。

2）火星表面和地下水冰的探测。

3）火星土壤类型分布和结构探测。

表 2　火星探测任务科学目标、拟解决的科学问题、科学任务和有效载荷配置

Table 2　Scientific goals，scientific tasks and payload configuration of China's first Mars exploration mission

拟解决的科学问题	科学目标	科学任务	有效载荷配置	
			环绕器	火星车
火星是否存在过生命或生命存在的环境	研究火星表面土壤特征与水冰分布，获取火星生命生存的条件和环境信息	火星表面和地下水冰的探测	环绕器次表层探测雷达	/
		火星土壤类型分布和结构探测	环绕器次表层探测雷达、火星矿物光谱分析仪	/
		火星巡视区土壤结构（剖面）探测和水冰探查	/	火星车次表层探测雷达
火星演化和太阳系的起源与演化	研究火星大气电离层及表面气候与环境特征，研究火星物理场与内部结构，获取太阳活动与火星相互作用的规律	火星大气电离层分析及行星际环境探测	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、甚低频射电接收设备（次表层探测雷达一体化设计）	/
		火星巡视区大气物理特征与表面环境探测	/	火星表面磁场探测仪、火星气象测量仪
	研究火星形貌与地质构造特征及其变化，获取火星演化历史的基础信息	火星地形地貌特征及其变化探测	中分辨率相机、高分辨率相机、环绕器次表层探测雷达	/
		火星巡视区形貌和地质构造探测	/	地形相机
	研究火星表面物质组成，获取火星化学演化的基础信息	火星表面物质成分的调查和分析	火星矿物光谱分析仪	/
		火星巡视区表面元素、矿物和岩石类型探测	/	火星表面成分探测仪、多光谱相机

4）火星地形地貌特征及其变化探测。

5）火星表面物质成分的调查和分析。

为了完成环绕探测科学任务，环绕器配置了中分辨率相机、高分辨率相机、环绕器次表层探测雷达、火星矿物光谱分析仪、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种有效载荷，环绕器有效载荷配置及其主要技术指标见表 3。

3.2　巡视探测有效载荷配置

首次火星探测任务将同时对火星进行遥感探测和区域精细探测，两者互为补充，深化对火星的科学认识。其中，火星巡视探测主要完成以下4方面科学任务：

1）火星巡视区形貌和地质构造探测。

2）火星巡视区土壤结构（剖面）探测和水冰探查。

3）火星巡视区表面元素、矿物和岩石类型探。

4）火星巡视区大气物理特征与表面环境探测。

为了完成巡视探测科学任务，火星车配置了火星表面成分探测仪、多光谱相机、地形相机、火星车次表层探测雷达、火星表面磁场探测仪、火星气象测量仪共6种有效载荷，火星车有效载荷配置及其主要技术指标见表 4。

4　科学目标创新与特色分析

我国首次火星探测科学目标和探测任务是在总结国际上已有的火星探测科学目标基础上，从火星探测的现状和未来趋势出发，立足国家需求，瞄准国际深空探测的热点科学问题，突出创新，制定出来的。我国首次火星探测科学目标充分体现了与时俱进、自成体系的特色，有助于推动我国深空探测工程的跨越式发展。具体表现在以下几个方面：

4.1　探测方式

我国首次火星探测任务将同时实施环绕探测和巡视探测，在国际上尚属首次。这种探测方式着眼于环绕器与火星车有效载荷之间的互动和配合，互为补充。

一方面环绕探测与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。在物质成分探测方面，环绕器配置了火星矿物光谱分析仪，火星车配置了火星表面成分探测仪；在土壤特性和水冰探测方面，环绕器配置了遥感方式的双极化雷达，火星车配置了次表层探测全极化雷达。这种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，可以实现探测任务的天地验证和互相补充。

另一方面通过两器联合探测，实现对大气、电离层、磁场等的全面探测。环绕器上配置火星磁强计、火星离子与中性粒子分析仪和火星能量粒子分析仪，火星车上配置表面磁场探测仪、气象测量仪，可以实现从火星表面到近火空间的大气、电离层和磁场的全面探测。

4.2　水冰探测

水冰探测任务是我国首次火星探测最重要的科学目标，将采取直接探测和间接探测相结合的方式。

1）遥感探测和就位探测相结合，进行水冰的直接探测。通过火星车巡视对火星进行次表层结构高分辨率、全极化探测，并确定水冰是否存在。通过环绕器双极化雷达回波信号判断火星上及地下是否存在水冰。

2）火星地形的间接探测。配置高分辨率相机、中

表 3 环绕器有效载荷配置和主要技术指标

Table 3 Payload configuration and main technical parameters of Mars Orbiter

载荷名称	主要技术指标
中分辨率相机	成像谱段：可见光波段； 颜色：彩色（标准RGB） 地元分辨率：优于100 m@400 km； 成像幅宽：≥ 400 km@400 km； 有效像元数量：≥ 4 096 × 3 072
高分辨率相机	地元分辨率（265 km轨道高度）： 全色：优于2.5 m，局部重点区域优于0.5 m； 彩色：优于10 m，局部重点区域优于2.0 m； 成像幅宽：≥ 9 km@265 km。
环绕器次表层探测雷达	工作频率：10～20 MHz，30～50 MHz； 发射机功率：≥ 100 W； 接收机灵敏度：≤ –87 dBm； 探测深度： 火星次表层结构约100 m（土壤，εr = 3.0～4.0）； 火星极区冰层约1 000 m（冰，εr = 3.0）； 厚度分辨能力：米级。
火星矿物光谱分析仪	光谱范围/μm： 可见近红外0.45～1.05，近中红外1.00～3.40； 光谱分辨率/nm： 可见近红外优于10；近中红外分两个光谱范围：优于12 nm@1.0～2.0 μm、优于25 nm@2.0～3.4 μm。
火星磁强计	测量范围：±2 000 nT 噪声水平：≤ 0.01 nT/√Hz 分辨率：≤ 0.01 nT 精度：0.1 nT
火星离子与中性粒子分析仪	①低能离子： 能量：5 eV～25 keV； 能量分辨率（ΔE/E）：15%； 质量：1～70 amu； 质量分辨率（Δm/m）：25%； 视场：90° × 360°； 角分辨率：11.2° × 22.5°； 时间分辨：8 s。 ②低能中性粒子： 能量：50 eV～3 keV； 能量分辨率（ΔE/E）：100%； 质量：1～32 amu； 视场：15° × 160°； 角分辨率：10° × 25°； 时间分辨：4 s；
火星能量粒子分析仪	①能量范围 电子：0.1～12 MeV； 质子：2～100 MeV； α粒子、重离子：25～300 MeV； ②能量分辨率（ΔE/E）：15%； ③通量：0～10^5 $cm^{-2}s^{-1}$； ④元素成分：H～Fe（1 ≤ Z ≤ 26）； ⑤重离子质量分辨率（Δm/m）： ≤ 25%（Z ≤ 9，能量范围25～300 MeV）； ≤ 25%（10 ≤ Z ≤ 26），能量范围100～300 MeV）； ≤ 60%（10 ≤ Z ≤ 26），能量范围25～100 Me）。 ⑥视场：60°； ⑦时间分辨率：4 s（质子、电子、α粒子）、60 s（重离子）

分辨率相机和就位探测相机，对水相地貌进行探测。

3）火星岩石和矿物的探测。配置火星表面成分探测仪，结合古湖泊、古河道、冲积洲等水相地貌，寻找碳酸盐类矿物或赤铁矿、层状硅酸盐、含水硫酸盐、高氯酸盐矿物等风化成因矿物，探测水变质对这些矿物形成的影响，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。

表 4 火星车有效载荷配置和主要技术指标

Table 4 Payload configuration and main technical parameters of Mars rover

载荷名称	主要技术指标
地形相机	成像谱段：可见光波段； 颜色：彩色（RGB）； 正常成像距离：0.5 m～∞； 有效像元数量：2 048 × 2 048。
多光谱相机	成像谱段/nm，共9个谱段，分别为：480（20）、525（20）、650（12）、700（15）、800（25）、900（30）、950（50）、1 000（50）；可直视太阳全色谱段（括号内为半高全宽）。 颜色：多光谱 正常成像距离：1.5 m～∞； 有效像元数量：2 048 × 2 048。
火星车次表层探测雷达	①第一通道 中心频率：55 MHz；工作带宽：40 MHz； 对火星冰层穿透能力：米级； 探测深度： ≥ 100 m （冰，εr = 3.0）； ≥ 10 m（土壤，εr = 3.0～4.0）； ②第二通道 中心频率：1 300 MHz；工作带宽：1 000 MHz； 厚度分辨能力：厘米量级； 探测深度：≥ 10 m （冰，εr = 3.0）； ≥ 3 m（土壤，εr = 3.0～4.0）。
火星表面成分探测仪	①LIBS探测 元素种类：不少于10种元素； 探测距离：2～5 m（最佳探测距离），最远10 m 显微图像分辨率： ≤ 100 μrad （0.20 mm@2 m，0.50 mm@5 m）； ②短波红外光谱探测 光谱范围：850～2 400 nm； 光谱分辨率：≤ 12 nm； 波段数：不小于130波段 视场：≥ 1 mrad
火星表面磁场探测仪	测量范围：± 2 000 nT； 噪声水平：≤ 0.01 nT/√Hz； 分辨率：≤ 0.01 nT； 磁强计稳定性：≤ 0.01 nT/℃； 采样率：1 Hz，16 Hz，32 Hz，128 Hz； 量程范围：±65 000 nT。
火星气象测量仪	①温度 测量范围：–120～50 ℃；分辨率：0.1 ℃； ②压力 测量范围：1～1 500 Pa；分辨率：0.1 Pa； ③风速 测量范围：0～70 m/s；分辨率：0.1 m/s； ④风向 测量范围：0～360°；分辨率：5°； ⑤声音 频率范围：20 Hz～2.5 kHz；2.5～20 kHz； 灵敏度：优于50 mV/Pa； 动态范围：≥ 90 dB。

4.3 土壤探测

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，系统地提出了火星土壤研究的科

学目标。具体包括：

1）环绕器和火星车上同时配置次表层探测雷达，探测火星土壤的结构信息，包括厚度，分层情况等。

2）环绕器配置火星矿物光谱分析仪，火星车配置火星表面成分探测仪，探测火星土壤物质成分。

4.4　空间环境探测

环绕器配置火星磁强计、火星离子与中性粒子分析仪、火星能量粒子分析仪、甚低频射电接收设备，开展场与粒子的联合探测，系统研究火星大气、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。具体包括：

1）探测火星电离层的导电性及电流分布。

2）探测火星电离层中的等离子体波特性。

3）研究火星大气中高能粒子辐射能谱和成分的三维空间分布。

4）探测行星际甚低频射电辐射。

4.5　物理场和内部结构探测

利用环绕器上的磁强计探测火星空间磁场环境；根据火星磁场及太阳风磁场观测数据，研究火星电离层及磁鞘与太阳风磁场相互作用机制。

在火星车上搭载火星表面磁场探测仪，探测着陆区火星磁场，确定火星磁指数；环绕器磁强计与火星车表面磁场探测仪相互配合，探测研究火星空间磁场，反演火星电离层发电机电流，研究火星电离层电导率等特性。实现对火星磁场的立体动态观测，可以更有效地研究火星电离层及磁鞘磁场小尺度结构及动态变化过程。利用天然磁场跃变，探测火星内部局部构造。

5　结　语

随着科学技术、特别是航天技术的飞速发展，世界各空间大国开展了对太阳系天体的探测，先后对月球、各大行星及其卫星、小行星、彗星等太阳系各类天体进行了全方位、多手段的深空探测，深入了解太阳系各类天体的地质背景和空间环境，寻求解决太阳系起源和演化这一人类面临的最基础的科学问题。

我国开展首次火星探测工程，将通过探测火星磁层、电离层与大气层的结构、成分与特征，研究火星磁层、电离层与大气层的成因以及火星气候的变化及其演化历史；探测火星土壤分布、成分与特征，特别是硫酸盐、高氯酸盐、赤铁矿等的分布，研究火星环境演化；探测火星地形地貌，研究风、水（冰）、火山、撞击和构造活动等在火星表面形貌的形成与改造中的作用，揭示火星地质特征和演化历史，开展比较行星学研究，制作火星全球性影像图并优选和勘查火星取样返回着陆区；探测火星表面主要元素的含量与分布，计算矿物和各种岩石类型的分布，探寻火星沉积岩的分布，研究火星地质演化历史；探测火星地下水体的分布与储存量，研究火星液态水的逃逸和转移过程；探测火星磁场和重力场的特征，与类地行星做比较研究。综合上述探测成果，研究火星生命存在环境，以及火星演化和太阳系的起源与演化，为人类面临的最基础科学问题提供线索和支撑。

我国开展首次火星探测，将是继月球探测之后的又一重要标志性工程，对进一步增强中华民族的自信心、自豪感和凝聚力，激励中国人民的开拓、奉献和创新精神将产生深远影响。同时，火星探测将深化人类对地球、太阳系乃至整个宇宙的起源、演化及其特性的认知，推动空间科学和行星科学的发展。

参　考　文　献

[1] 欧阳自远，邹永廖. 火星科学概论[M]. 上海：上海科技教育出版社，2015.

[2] 吴伟仁，于登云. 深空探测发展与未来关键技术[J]. 深空探测学报，2014，1(1)：1-17.
WU W R，YU D Y. Development of deep space exploration and its future key technology[J]. Journal of Deep Space Exploration，2014，1(1)：1-17.

[3] 于登云，孙泽洲，孟林智，等. 火星探测发展历程与未来展望[J]. 深空探测学报，2016，3(2)：108-113.
YU D Y，SUN Z Z，MENG L Z，et al. The development process and prospects for Mars exploration[J]. Journal of Deep Space Exploration，2016，3(2)：108-113.

[4] ESA Space Exploration Strategy[Z]. Europe: ESA, 2015.

[5] NASA's Journey to Mars Pioneering next steps in space exploration[Z]. USA：NASA，2015.

[6] 朱仁璋，王鸿芳，泉浩芳，等. 美国火星表面探测使命述评(上)[J]. 航天器工程，2010，19(2)：17-33.
ZHU R Z，WANG H F，QUAN H F，et al. Overview of the US Mars surface missions(Part One)[J]. Spacecraft Engineering，2010，19(2)：17-33.

[7] 朱仁璋，王鸿芳，泉浩芳，等. 美国火星表面探测使命述评(下)[J]. 航天器工程，2010，19(3)：7-27.
ZHU R Z，WANG H F，QUAN H F，et al. Overview of the US Mars surface missions(Part Two)[J]. Spacecraft Engineering，2010，19(3)：7-27.

[8] 吴季，朱光武，赵华，等. 萤火一号火星探测计划的科学目标[J]. 空间科学学报，2009，29(5)：449-455.
WU J，ZHU G W，ZHAO H，et al. Overview of scientific objectives of Chian-Russia Joint Mars exploration program YH-1[J]. Chin. J. Space Sci，2009，29(5)：449-455.

[9] KIEFFER H H，JAKOSKY B M，SNYDER C W，et al. Mars. tucson[M]. USA：The University of Arizona Press，1992.

[10] 欧阳自远，肖福根. 火星探测的主要科学问题[J]. 航天器环境工程，2011，28(3)：205-217.
OUYANG Z Y，XIAO F G. Major scientific issues involved in Mars exploration[J]. Spacecraft Environment Engineering，2011，28(3)：205-217.

[11] 欧阳自远，刘茜. 再造一个地球[M]. 北京：北京理工大学出版社，2009.

[12] BARLOW N. Mars：an introduction to its interior，surface and atmosphere[M]. New York：Cambridge University Press，2014.

[13] 肖媛，苏彦，戴舜，等. 雷达对火星次表层的探测与研究现状[J]. 天文研究与技术，2017，14(2)：192-211.
XIAO Y，SU Y，DAI S，et al. Overview of the Martian subsurface exploration and research using radar[J]. Astronomical Research & Technology，2017，14(2)：192-211.

[14] 张洪波. 火星环绕器次表层探测雷达发展综述[J]. 探测与控制学报，2016，38(6)：57-61+67.
ZHANG H B. Development review on the Mars orbiter subsurface sounding radar[J]. Journal of Detection & Control，2016，38(6)：57-61+67.

[15] GENDRIN A，MANGOLD N，BIBRING J P，et al. Sulfate in Martian layered terrains：the OMEGA/Mars express view[J]. Science，2005，307(5717)：1587-1591.

[16] BIBRING J P，LANGEVIN Y，GENDRIN A，et al. Mars surface diversity as revealed by the OMEGA/Mars Express observations[J]. Science，2005，307(5715)：1576-1581.

[17] CARR M H. The surface of Mars[M]. New Haven：Yale University Press，1981.

[18] SMITH D E，ZUBER M T，SOLOMON S C，et al. The global topography of Mars and implications for surface evolution[J]. Science，1999，284：1495-1503.

[19] 史建魁，刘振兴，程征伟. 火星探测研究结果分析[J]. 科技导报，2011，29(10)：64-70.
SHI J K，LIU Z X，CHENG Z W. An analysis of results of the Mars exploration[J]. Science & Technology Review，2011，29(10)：64-70.

[20] 周斌，赵华，王劲东，等. 火星空间环境磁场探测研究——高精度磁强计[J]. 空间科学学报，2009，29(5)：467-474.
ZHOU B，ZHAO H，WANG J D，et al. Martian space environment magnetic field investigation：high accuracy magnetometer[J]. Chin. J. Space Sci，2009，29(5)：467-474.

[21] 苟盛，岳宗玉，邸凯昌，等. 火星表面含水矿物探测进展[J]. 遥感学报，2017，21(4)：531-548.
GOU S，YUE Z Y，DI K C，et al. Advances in aqueous minerals detection on Martian surface[J]. Journal of Remote Sensing，2017，21(4)：531-548.

[22] SMITH P H，BELL J F，BRIDGES N T，et al. Results from the Mars Pathfinder camera[J]. Science，1997，278：1758-1765.

[23] SAUNDERS R S，ARVIDSON R E，BADHWAR G D，et al. 2001 Mars Odyssey mission summary[J]. Space Science Reviews，2004，110：1-36.

[24] SMITH P H，TAMPPARI L K，ARVIDSON R E，et al. H_2O at the Phoenix landing site[J]. Science，2009，325：58-61.

[25] RENNO N O，BOS B J，CATLING D C，et al. Possible physical and thermodynamical evidence for liquid water at the Phoenix landing site[J]. Journal of Geophysical Research，2009，114：E00E03.

[26] WEBSTER C R，MAHAFFY P R，ATREYA S K，et al. Mars methane detection and variability at Gale crater[J]. Science，2015，347：415-417.

[27] JAKOSKY B M，LIN R P，GREBOWSKY J M，et al. The Mars atmosphere and volatile evolution(MAVEN)mission[J]. Space Science Reviews，2015，195：3-48.

[28] CASSI C. EXOMars 2016 mission：an overview of the phase C activities progress [C]//The 64th International Astronautical Congress. Beijing：IAC，2013.

作者简介：
李春来(1965–)，男，研究员，博士生导师，主要研究方向：行星科学、陨石学、行星遥感等研究。
通信地址：北京市朝阳区大屯路甲20号(100101)
电话：(010)64880602
E-mail：licl@nao.cas.cn

Scientific Objectives and Payload Configuration of China's First Mars Exploration Mission

LI Chunlai[1,2]，LIU Jianjun[1,2]，GENG Yan[9]，CAO Jinbin[3]，ZHANG Tielong[4]，FANG Guangyou[5]，YANG Jianfeng[6]，SHU Rong[7]，ZOU Yongliao[1,2]，LIN Yangting[8]，OUYANG Ziyuan[1,2]

（1. Key Laboratory of Lunar and Deep Space Exploration，Chinese Academy of Sciences，Beijing 100101，China；
2. National Astronomical Observatories，Chinese Academy of Sciences，Beijing 100101，China；
3. Beihang University School of Astronautics，Beijing 100191，China；
4. University of Science and Technology of China，School of Earth and Space Science，Hefei 230026，China；
5. Institute of Electronics，Chinese Academy of Sciences，Beijing 100190，China；
6. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics，Chinese Academy of Sciences，Xi'an 710119，China；
7. Shanghai Institute of Technical Physics，Chinese Academy of Sciences，Shanghai 200083，China；
8. Institute of Geology and Geophysics，Chinese Academy of Sciences，Beijing 100029，China；
9. Lunar Exploration and Space Program Center, Beijing 100190, China）

Abstract：China's first Mars exploration mission will be implemented in 2020. Scientific objectives and payload configurations are one of the most important top-level designs for the mission. The main scientific objectives of the Mars exploration abroad are briefly reviewed. The scientific objectives and payload configurations of the first Chinese Mars exploration mission are introduced，and the innovation and characteristics of the scientific objectives are analyzed.

Key words：Mars exploration；payload；orbiting exploration；rover exploration

High lights：

- Scientific objectives and achievements of Mars exploration are reviewed.
- Payload configurations and main technical parameters for China's first Mars exploration mission are introduced.
- Scientific objectives of China's first Mars exploration mission, and the innovation and characteristics of the scientific objectives are analyzed.

[责任编辑：高莎，英文审校：朱恬]