

火星探测发展历程与未来展望

于登云¹, 孙泽洲², 孟林智², 石东³

(1. 中国航天科技集团公司, 北京 100048; 2. 北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094; 3. 航天东方红卫星有限公司, 北京 100094)

摘要: 火星作为距地球最近的类地行星之一, 火星探测是继月球探测之后深空探测的最大热点。在简要总结人类火星探测历程与未来发展趋势的基础上, 对未来的火星探测规划任务及其面临的主要关键技术进行了重点论述, 并给出了相应启示和发展展望; 结合我国深空探测能力, 并对中国后续开展火星探测活动提出了相关的建议。

关键词: 火星探测; 关键技术; 发展展望

中图分类号: V11

文献标识码: A

文章编号: 2095-7777(2016)02-0108-06

DOI: 10.15982/j.issn.2095-7777.2016.02.002

引用格式: 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.

Reference format: 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.

0 引言

探索是文明发展和社会进步的推动力, 在人类探索历程中, 太空活动最能直接扩展人类认识的疆界, 极其富有挑战性^[1]。从1957年第一颗人造地球卫星上天, 到1969年人类足迹首次踏上月球、1977年发射的“旅行者1号”目前飞抵距离地球200亿km以远^[2], 人类太空活动范围已覆盖太阳、行星及其卫星、小行星等各种类型天体。

火星是太阳系中与地球最为相似的行星, 是一颗承载人类最多梦想的星球。探测和研究火星的出发点是为了提高人类对宇宙的科学认知, 拓展和延伸人类活动空间, 从而推动人类文明可持续发展。通过探测火星可获得丰富的第一手科学数据, 对研究太阳系起源及演化、生命起源及演化等重大科学问题具有重要的意义。火星探测是一项多学科交叉、技术高度集成的系统工程, 其关键技术的突破, 将大大带动基础领域、高新领域及前沿领域的科技进步, 促进创新驱动发展战略落地生根。火星已成为主要航天国家的探测热点和空间技术战略制高点, 是行星探测的首选目标, 将呈现出技术上高新发展、科学上全新发现的局面。

本文在对人类火星探测历程进行简要综述基础上, 对未来火星探测规划及其面临的主要关键技术进行了论述, 并给出了相应启示和后续开展火星探测的

相关建议。

1 火星探测发展历程

火星探测起步于20世纪60年代, 苏联1960年发射人类首颗火星探测器、揭开火星探测的序幕开始, 截止目前共实施了43次活动(2016年发射的“ExoMars”探测器正在飞行途中), 其中, 美国20次, 苏联/俄罗斯19次, 日本1次, 欧空局2次, 印度1次; 完全成功或部分成功22次, 成功率约为52%。

在探测时间跨度方面, 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, 以此作为竞技场开展竞争, 掀起了火星探测的一轮高潮。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2次任务。第3阶段(20世纪90年代-至今), 已实施17次任务, 以发展新技术和获得科学上发现为主要驱动力, 催生了又一个高峰期。火星探测每26个月有1次发射机会, 到2020年有3次探测机会。在这3次机会中, 从目前世界各国的发展规划来看, 每一次都安排有任务, 总共5次。

在技术发展水平方面, 国际上已实现对火星的掠飞、环绕、着陆、巡视探测, 技术难度更大的采样返回和载人探测仍有待突破技术瓶颈。美国已全面掌握火星掠飞、环绕、着陆和巡视勘察技术, 取得了火星探测史上多个“第一”, 在世界上处于绝对领先地位。

尤其是2012年8月着陆的“火星科学实验室”（Mars science laboratory, MSL）采用的“空中吊车”着陆技术^[3]震撼了全世界，标志着美国的火星探测技术达到了新高度。苏联/俄罗斯实现了火星掠飞和环绕探测；4次尝试进行火星着陆探测，仅1次取得部分成功（火星-3）。欧空局通过实施“火星快车”任务，掌握了环绕探测技术。日本实施了“希望号”任务，只实现火星掠飞，未进入绕火星轨道。印度成功实施了“曼加里安”任务，掌握了环绕探测技术，并成为亚洲第一个成功实现火星环绕探测的国家。

在科学研究成果方面，国际上通过不同探测形式与任务，在火星轨道运动规律与参数、火星磁场下火星空间宇宙辐射环境、火星大气、火星地形地貌与地

质构造、火星表面物质（岩石、矿物与化学元素）、火星内部结构等方面取得了巨大的成就。特别是2015年NASA陆续宣布取得一系列关于火星的重大发现，包括火星表面存在液态水、火星表面存在远古湖泊、火星地表以下土壤中存在液态水，以及火星上存在极光现象等，这些科学成果将进一步改变人们对于火星的认识，为在火星上寻找生命痕迹提供重要证据和有力信息支撑，将对人类未来的太阳系探索和地外生命搜寻产生重要影响。

2 火星探测未来展望

近年来，世界航天大国纷纷制定了各自宏伟的火星探测规划^[4-7]，并开始分阶段实施，如图1所示。

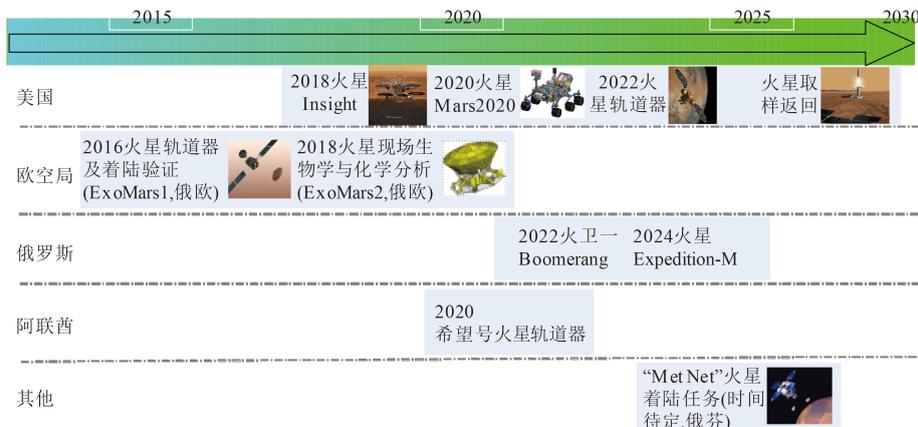


图1 国际火星探测任务规划

Fig. 1 Plans of international Mars exploration mission

1) 美国继续保持火星探测领先地位，持续推进火星探测

2015年10月，美国发布了《火星之路—开启太空探索新旅程》^[8]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年前计划实施如下火星探测任务：

(1) 2018年发射“洞察号”^[9] (InSight) 着陆器

着陆器主要任务是携带可深入星表下5 m的钻头对火星进行深度钻岩，并进行样品成分就位分析。随同“洞察号”一起发射的还有2颗“立方星”微卫星，将作为洞察号的中继通信卫星，“洞察号”着陆器如图2所示。

(2) 2020年发射“火星2020”火星车^[10-12]

基于“好奇号”平台研制的火星车，除进行巡视勘察和就位分析外，还将作为火星采样返回的前期任务，采集火星表面多个位置样品并储藏，等待下次采样返回探测器取回样品。

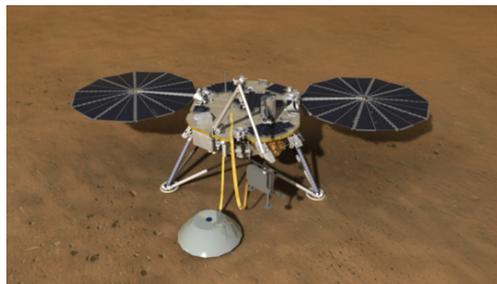


图2 洞察号着陆器示意

Fig. 2 InSight Lander

(3) 2022年发射“火星2022”轨道器^[13]

该探测器将接替“火星奥德赛”，为火星表面着陆器和火星车提供通信中继支持。

(4) 2025年左右发射无人猎户座飞船

该任务将对飞船全系统进行飞行验证，还将执行火星采样返回任务。飞船将进入500 km火星轨道，与轨道上的样品容器交会对接并实施捕获，将火星样品

带回地球。

2) 欧洲依托和俄罗斯国际合作, 围绕“曙光计划”实施火星探测任务

欧空局空间探测以“曙光计划”为主线, 以实现未来载人火星飞行为长远目标。“曙光计划”的旗舰级任务包括“火星生物学”(ExoMars)^[14-15]任务和火星采样返回任务。“火星生物学”任务一开始拟与美国合作, 以减轻其资金、进度、技术等方面的压力, 计划2007年发射, 后因为技术和资金问题数次延期, 之后由于美国退出, 欧空局转而寻求与俄罗斯合作。2013年3月, 欧空局与俄罗斯签署协议, 确定分别于2016年和2018年合作开展2次火星探测。

(1) 2016年发射“微量气体火星轨道环绕器”(TGO)和“着陆验证器”(EDM)

ExoMars2016任务(3月14日成功发射, 探测器正在地火转移飞行途中)包括“微量气体轨道器”(TGO)和“进入、下降和着陆”验证模块(EDM)。TGO携带的科学仪器将对火星大气中的甲烷等微量气体进行监测和研究; TGO还将为后续ExoMars2018任务中的火星车和表面着陆平台提供数据中继支持。EDM用于考察评估着陆器在下降过程中的性能, 以及在着陆点周围观测火星环境, TGO轨道器见图3。

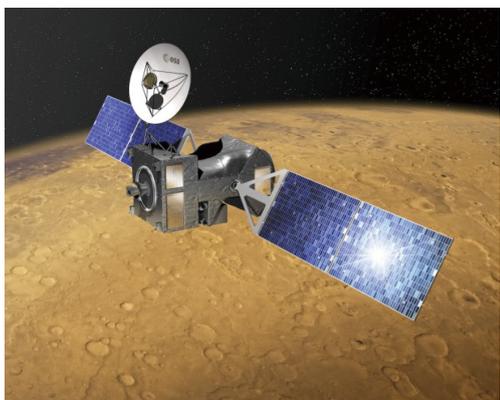


图3 TGO轨道器
Fig. 3 TGO Orbiter

(2) 2018年发射火星着陆器和火星车

ExoMars2018任务主要包括着陆器及火星车, 其中俄罗斯负责提供着陆器大部分的硬件设备, 欧空局主要负责着陆器GNC部分设备和火星车研制。着陆系统需保证300 kg左右的火星车^[16]成功着陆火星, 火星车将在火星上钻探星表下2 m深开展相关探测。

3) 印度高度重视深空领域探测, 全力推进火星探测项目

印度在完成首次月球探测任务之后, 立即着手进

行火星探测器的研制, 印度首次火星探测任务已于2013年11月成功发射, 2014年9月24日成功进入环绕火星轨道, 成为亚洲首个实现火星环绕探测的国家。基于已实现火星环绕探测, 印度还计划在2018-2020年实施第2次火星探测任务。

4) 其他新兴航天国家正积极谋划深空探测

韩国、阿联酋等新兴航天国家也在积极谋划开展深空探测活动, 助力国家科技发展。韩国在2013年公布了“2040太空计划”, 提出2026年和2030年发射火星轨道器和着陆器。阿联酋在2015年5月宣布将在2020年发射火星探测器, 2021年建国50周年之际抵达火星并开展火星环绕探测, 希望通过探索太空活动促进国家科技发展, 实现“石油立国”向科技立国的转变。

3 主要关键技术

开展火星探测由于距离地球远、环境复杂, 因此, 相比近地乃至月球探测活动, 技术难度更高、风险更大, 尤其对于首次开展火星探测任务来说, 更是如此。需进一步突破一批新的核心技术, 其中, 自主导航控制、能源与推进、测控通信、进入下降与着陆、新型结构机构等是急需突破和掌握的关键技术^[1]。

3.1 自主导航控制技术

火星探测任务中, 地火之间距离远远大于地月距离, 随着距离的增加, 地面测定轨的精度也显著降低, 特别是在火星捕获和环绕火星段, 仅依赖地面测定轨结果难以满足探测器对火星定向精度和自主维持轨道安全的需要。因此, 为保证探测器安全和主要工程任务完成, 探测器应具备自主导航与控制能力。

火星着陆与巡视探测中, 动力下降控制是火星表面软着陆动力下降的关键步骤。与地球附近的卫星和飞船再入大气层以及月球着陆的情况不同, 火星软着陆动力下降过程时间很短(80 s左右), 而地面测控时延大(十几分钟), 因此要求控制系统具有更高自主性和实时性; 动力下降过程全部依靠自主制动减速下降, 制导律的设计需要充分考虑推进剂消耗变化^[17]; 软着陆任务高安全性对动力下降过程的障碍识别和避障制导都提出了很高要求。

火星取样返回与传统的第二宇宙速度的再入飞行任务相比具有再入的初始速度大、热环境明显恶劣、再入条件变化大、再入窗口严格且重复性小以及落点精度、安全性和可靠性要求较高等特点, 要求GNC系统具有更高的导航精度, 更可靠的性能与更高的灵活性。

综上, 针对无法实时测控、远距离测定轨精度低

等任务特点，需突破高精度自主导航、制动捕获控制、自主安全软着陆制导、导航和控制技术^[18]、复杂环境（复杂地貌及高速风、沙尘暴等环境）轨道精确控制、超高速高精度返回再入导航等关键技术。

3.2 测控通信技术

与月球探测任务相比，火星探测最远地火距离4亿km，与地月探测任务40万km距离相比扩大了1 000倍，空衰增大了60 dB。空衰增大带来的直接结果是探测数据的传输速率严重受限，测控及数传码率将低于月球探测1~2个量级以上。要弥补射频信道如此大的空衰，提供满足任务需求的测控和数传能力要求是工程设计的关键环节之一。此外，轨道器与巡视器的器间通信链路，与一般的地球中继卫星等有一些显著不同的特点，即通信距离比较远、信噪比低、信道条件恶劣、通信环境比较复杂，较高电磁辐射以及上下行信道不对称等特点，需要有可靠的通信链路将这些节点有机地联系起来，提升着陆器、巡视器、轨道器等节点间的数据、指令等的可靠传输能力。因而需重点突破火星轨道器与着陆器、巡视器等多节点间通信、天线小型化设计等关键技术等，以提升器间的互联互通和可靠数据传输能力。

综上，针对通信距离远（4亿km）、信噪比低、信道条件恶劣、通信环境比较复杂等特点，需突破数字化高灵敏度测控通信、高稳定时间基准、器间通信等关键技术。

3.3 自主管理技术

火星探测任务期间，每次日凌持续时间20 d以上。在此期间，探测器上下行链路受太阳噪声而恶化，地面测控站、地面应用站无法与探测器建立联系。这要求探测器必须具备更强的自主管理能力，以便在地面授权的前提下，探测器能自主完成一定工作任务，同时保证探测器在某些故障和应急情况下，进行故障的诊断、隔离和恢复。

针对长时间（约60d）日凌、大时延（最长约40min）通信的任务特点，需突破长期自主飞行管理、自主故障诊断与恢复、未知环境下的环境感知与建模、复杂地形下自主全局定位、自主巡视与生存等关键技术。

3.4 先进能源技术

火星探测任务距离太阳更远，探测器工作轨道上的太阳光强比地球轨道低，火星的偏心性使得在一个火星年中的光强还会有 $\pm 19\%$ 的波动。探测器在整个飞行与工作过程中，需满足不同任务剖面下光照系数变化的功率需求。在一定体积和重量约束的前提下，必须充分提高能源的利用率，包括高效多结太阳能电池

技术及高效蓄电池技术，提高能源系统功率质量比。

火星表面巡视等任务中，受重量、尺寸等资源限制，核电源具有能量密度高、寿命长的特点，是解决巡视探测能源问题的有效途径之一。放射性同位素温差电源（radioisotope thermoelectric generator, RTG）具有高可靠性、安全性和长寿命的优点，已在深空探测任务中得到了成功的应用。RTG的研制需要解决放射性同位素的选取和制备、温差电源转换及核安全等一系列技术问题。未来一段时间，RTG的研究重点将是大幅度提高热电转换效率和质量比功率。

3.5 结构机构技术

火星表面石块等障碍分布密集^[19]、环境恶劣，火星车越障、爬坡能力要求高。火星车在执行探测任务中，需要移动到不同的地区进行巡视勘察，相对于月球表面，火星表面石块等障碍分布更密集，火星车以自主行驶为主，容易造成车体被石块“托底”情况，同时火星表面土壤存在塌陷的可能，导致车轮被陷死，勇气号火星车曾因此永远丧失移动能力。因此火星车需具有更高的越障、爬坡能力，同时在遇到上述危险后，能够脱困。

针对火星任务特殊环境，开展火星表面着陆和巡视需突破适应各种环境与科学目标的新型机构，具有主动悬架、独立驱动与转向能力、适应复杂地形的移动机构等关键技术。

3.6 热管理技术

火星表面虽然有大气，但其成分主要为二氧化碳，进入过程中高温产生的大气化学反应、壁面催化效应等都与地球大气不同，在着陆探测时需要突破适应火星大气进入的热防护材料、稀薄大气高超音速进入环境下热防护等关键技术。

火星巡视探测要完成火星形貌与地质构造、火星表面土壤特征、大气电离层及表面气候与环境特征等等勘测任务，需火星车在多个地区和气候环境下进行探测工作，任务历时较长。火星表面存在稀薄大气，可能产生火星风暴，对太阳电池工作产生影响；相对于月球来说，火星表面光照相对较弱，能够获取的太阳能较低；火星表面昼夜变化频繁，夜间温度较低。

所有这些，都对火星车的热管理与控制带来挑战。针对火星表面弱光照、稀薄大气、不稳定热环境等恶劣条件，需突破深低温高效热传输技术、纳米气凝胶热控应用等关键技术。

3.7 进入、下降与着陆（EDL）技术

火星大气进入及着陆探测由于存在大气密度低、

成分与地球大气的差异大、大气研究数据的缺少及其不确定等特殊特性, EDL技术是火星进入过程所难以回避的技术难点。

针对火星稀薄大气(仅地球大气1%)天体着陆, EDL技术将涉及新型高阻力特性、高容积率大钝体气动外形、适应低密度与低动压的大帆面“盘-缝-带”伞、超音速(2 Ma)自适应开伞控制^[20]、动力下降段高精度自主避障控制等一系列关键技术。

在火星进入下降及着陆等技术方面, 目前人类送往火星表面最大载荷是900 kg的“好奇号”火星车。对于未来载人登陆火星任务, 最小载荷量将达到20~30 t, 开发重型着陆器EDL技术将成为未来载人火星探测的最大挑战。

4 启示与建议

4.1 主要启示

总结过去50多年火星探测的发展历程, 分析各航天国家和组织未来的发展规划, 可得出下述3方面主要启示。

1) 火星探测已成为各航天大国深空探测活动的重点之一

纵观世界主要航天国家和组织在深空探测活动中的发展历程和趋势, 行星探测活动都起步于火星, 然后向更遥远的行星及行星际发展。进入21世纪以来, 世界主要航天国家和组织均制定了宏伟的火星探测规划, 并正在密集实施。印度等新兴的航天国家也在推动火星探测计划。近20年的大多数火星窗口均安排了火星探测器发射任务。作为显示国家综合国力和国际地位的重要战略性领域, 以火星为主要对象的深空探测越来越受到重视。

2) 火星探测与月球探测技术互补, 有机衔接

分析国外过去开展月球和火星探测的历程, 可以看出: 从技术实现的难易程度和持续发展的角度出发, 基本采取了飞越、环绕、着陆、采样返回的实施路线。而月球和火星探测若干任务之间也采用了相同或类似的总体技术途径, 技术发展存在内在规律。从各国的未来规划来看, 火星探测也与月球探测密切相关, 月球探测是火星探测的基础, 火星探测技术是对月球探测技术的进一步发展。

3) 火星探测应注重“技术和科学”双轮驱动

火星探测历程中前一阶段的主要推动力是发展技术, 追求飞得更远、更接近目标、更长时间探测。随着技术能力逐渐增强, 目前国际上火星探测任务目标已由发展技术逐步转向服务科学, 重点开展小尺度精

细结构和大尺度科学探索, 更加关注科学探测成果的获取和行星科学研究水平的提升。

4.2 建议

经过近60年的发展, 国外深空探测技术取得了长足进步, 获得了大量的探测成果和科学发现。探测距离上, 美国的探测器已飞出了太阳系; 探测目标上, 无人探测器的足迹已遍布太阳系七大行星、小行星等各类天体; 探测方式上, 火星探测已实现飞越、环绕、着陆和巡视勘查, 正向无人火星取样返回的综合性探测阶段迈进。

作为航天大国之一的中国在月球以远的深空探测领域尚属空白。在该领域不仅面临着与美、欧、俄等传统航天强国差距拉大, 而且还面临着被印度等新兴航天国家超越的现实。

火星探测将是中国行星探测的第一步, 是深空探测领域从月球到行星的发展历程中承前启后的关键环节, 也是未来迈向更远深空的必由之路。

指导思想, 中国应秉承“立足当前、兼顾长远、统筹规划、分步实施”的指导思想^[21]。以火星探测为重点和起点, 制定完整系统的可持续实施的火星探测规划, 打破以往一事一议的传统做法, 确保不失时机, 可持续发展。

任务目标上, 坚持技术与科学“双轮”驱动。坚持“高起点、有创新、有特色”, 既注重对技术发展有带动作用, 又注重对科学发现的促进作用。开展火星全面探测活动, 最终具备无人火星取样返回能力, 实践“经济、高效、可靠”的深空探测发展道路。

实施途径上, 应准确把握当前国际火星探测的发展态势, 以可持续发展的原则规划全局, 抓住有利时机, 充分发挥后发优势, 跨越火星探测初期的飞越和环绕的常规模式, 大胆规划, 谨慎实施, 将任务目标瞄准同时实施火星环绕、着陆和巡视探测, 充分继承探月工程的技术能力储备, 从而实现中国火星探测的跨越式发展。

5 结束语

作为距地球最近的类地行星之一, 火星探测是继月球探测之后深空探测的最大热点, 是未来载人行星探测的重要目标。中国探月工程重大科技专项“绕”“落”“回”的发展目标的完成, 具备了“探索太空的脚步迈得更大、更远”的基础。选准时机实施火星探测任务并取得成功, 将标志着中国太阳系地外行星探测能力取得全面突破, 进一步推动航天技术、空间科学等领域的创新和突破。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] Voyages: Charting the course for sustainable human space exploration [R]. USA: NASA, 2012, 1-34.
- [3] Chen A, Beck R, Brugarolas P, et al. Entry system design and performance summary for the mars science laboratory mission [C]//AIAA/AAS Space Flight Mechanics Meeting. USA: AIAA, 2013.
- [4] The global exploration roadmap [R]. [S. l]: ISECG, 2011.
- [5] The vision for space exploration [EB/OI] (2004-01-14) [2016-03-25]. www.nasa.gov.
- [6] Culbert C J, Mongrard, Satoh N, et al. ISECG mission scenarios and their role in informing next steps for human exploration beyond low earth orbit [C]//The 62nd International Astronautical Congress. Cape Town: IAC, 2011, 1-18.
- [7] Kawaguchi J, Laurini K C, Hufenbach B, et al. Global space exploration policies and plans: insights from developing the ISECG global exploration roadmap [C]//The 62nd International Astronautical Congress. Cape Town: IAC, 2011, 1-7.
- [8] National research council, vision and voyages for planetary science in the decade 2013-2022 [M]. Washington, D.C: National Academies Press, 2011.
- [9] NASA's journey to Mars—pioneering next steps in space exploration [EB/OI] (2015-10-9) [2016-03-25]. http://www.nasa.gov/topics/journeytomars/index.html.
- [10] K.Fujii. InSight mission plan, preliminary [R]. Southern California: JPL, 2013.
- [11] Mustard J F, Adler M, Allwood A, et al. Report of the Mars 2020 science definition team [R]. [S. l]: Mars Exploration Program Analysis Group (MEPAG), 2013.
- [12] Mattingly R, May L. Mars sample return as a campaign [C]//Aerospace Conference. Big Sky, MT: IEEE, 2011, 1-13.
- [13] Dankanich J W, Burke L M, Hemminger J A. Mars sample return orbiter/earth return vehicle technology needs and mission risk assessment [C]//Aerospace Conference. Big Sky, MT: IEEE, 2010, 1-11.
- [14] Figueroa O. Mars program planning group final report [R]. [S. l]: NASA, 2012.
- [15] Cassi C. ExoMars 2016 mission: an overview of the phase C activities progress [C]//The 64th International Astronautical Congress. Beijing: IAC, 2013.
- [16] Cassi C. Space engineering verification: exomars: one project two missions [C]//The 63th International Astronautical Congress. Italia: IAC, 2012.
- [17] 崔平远, 高艾, 于正湜. 火星着陆自主导航方案研究进展[J]. 深空探测学报, 2014, 1 (1): 18-27.
Cui P Y, Gao A, Yu Z S. Research progress of autonomous navigation scheme for Mars landing [J]. Journal of Deep Space Exploration, 2014, 1 (1): 18-27.
- [18] 秦同, 朱圣英, 崔平远. 火星软着陆能量最优制导律转移能力分析 [J]. 深空探测学报, 2015, 2 (3): 218-223.
Qin T, Zhu S Y, Cui P Y. Divert capability analysis of the energy optimal guidance law for Mars soft landing [J]. Journal of Deep Space Exploration, 2015, 2 (3): 218-223.
- [19] 张腾宇, 金双根, 崔祐涛. 利用数字高程模型自动检测火星表面陨石坑[J]. 深空探测学报, 2014, 1 (2): 123-127.
Zhang T Y, Jin S G, Cui H T. Automatic detection of Martian impact craters based on digital elevation model [J]. Journal of Deep Space Exploration, 2014, 1 (2): 123-127.
- [20] 夏元清, 沈刚辉, 孙浩然, 等. 火星探测器进入段预测校正制导方法[J]. 深空探测学报, 2015, 2 (4): 338-344.
Xia Y Q, Shen G H, Sun H R, et al. Mars entry guidance based on predicted corrector algorithm [J]. Journal of Deep Space Exploration, 2015, 2 (4): 338-344.
- [21] 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): 17-18.
Ye P J, P J. Deep space exploration and its prospect in China [J]. Engineering Science, 2006, 8 (10): 17-18.

作者简介:

于登云 (1961-), 男, 研究员, 主要研究方向: 航天器动力学与总体设计技术。

通信地址: 北京市海淀区阜成路16号航天科技大厦 (100048)

电话: (010) 68370292

E-mail: yudyun@sina.com

The Development Process and Prospects for Mars Exploration

YU Dengyun¹, SUN Zezhou², MENG Linzhi², SHI Dong³

(1. China Aerospace Science and Technology Corporation, Beijing 100048, China;

2. Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China;

3. Aerospace Dongfanghong Satellite Development Ltd., Beijing 100094, China)

Abstract: As one of the nearest earth-like planets from earth, Mars exploration is the second hottest point after the lunar exploration of deep space exploration. Based on the review of Mars exploration history, the exploration planning for the future and the key technologies to face are discussed, but also the corresponding enlightenment and prospects are given, the possible research on Mars exploration which can be carried out and advices for China's Mars exploration missions are proposed in this paper.

Key words: Mars exploration; key technology; development prospects

[责任编辑: 宋宏]