

21 世纪国外深空探测发展计划及进展

韩鸿硕 陈 杰
(中国航天工程咨询中心, 北京 100037)

摘 要 21 世纪初期, 国外深空探测计划层出不穷, 各类深空探测器不断升空。文章主要概述新世纪各航天国家或地区的深空探测计划, 并分别论述对月球、火星和其他行星以及小天体的探测计划及其进展, 最后进行综合分析研究。

关键词 深空探测 航天计划 月球探测 火星探测

中图分类号: V474 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8748(2008)03-0001-21

21st Century Foreign Deep Space Exploration Development Plans and Their Progresses

HAN Hongshuo CHEN Jie
(China Aerospace Engineering Consulting Center, Beijing 100037, China)

Abstract: In the early stage of the 21st century, foreign deep space exploration development plans are emerging one after another, and various kinds of deep space explorers are being constantly launched up. Firstly, this paper briefly describes deep space exploration plans in various space countries and regions. Secondly, it discusses celestial exploration plans and their progresses in exploring the Moon, the Mars and small space bodies. Finally, comprehensive analyses are given.

Key words: deep space exploration; space planning; Moon exploration; Mars exploration

1 各国和地区深空探测发展规划概况

进入 21 世纪, 人类的深空探测迎来了一个新纪元。自 2003 年以来, 世界各航天国家纷纷推出新的深空探测发展战略、规划和计划, 并力求建立全球空间探测战略与结构体系, 为了寻找天体中水和生命的迹象, 实现一系列科学目标, 全面展开对整个太阳系以及更远深空的探测。

1.1 美国深空探测发展规划概况

21 世纪美国提出以“重返月球”为新起点的一系列深空探测规划和计划。

1) 美国国家“空间探索远景规划”

2004 年 1 月 14 日, 布什发布了新的国家空间

计划总统令“探索精神的复兴: 美国空间探索远景规划”, 即“空间探索新构想”(Vision for Space Exploration, VSE), 其基本目标是“通过有力的空间计划推进美国的科学、安全 and 经济发展”, 主要内容是在 2020 年前重返月球, 随后深入太阳系进行探测, 最终将人类送往火星或更远的深空^[1]。

但是需要指出的是, 在 2008 年美国面临“总统选举”的重大政治更迭之际, 一些航天界人士乘机提出所谓“替代空间探索设想”, 其主要内容包括: 放弃布什总统的月球基地构想, 转而进行载人小行星探索, 将于 2025 年左右前往小行星; 提前载人火星探测飞行日程, 将在火卫一和火卫二上登陆; 将航天员送上“拉格朗日点”; 研制结构简单、可重复使用的乘员转移飞行器——深空航天飞机(DSS), 以及行

收稿日期: 2008-03-18; 修回日期: 2008-04-08

作者简介: 韩鸿硕(1939—), 男, 研究员, 主要从事航天信息咨询研究。

星间转移飞行器(ITV)。提出进行这一重大战略改变的理由是:对于“重返月球”而言,美国公众(特别是在年青人中间)热情不高,而布什政府虽提出了堂而皇之的计划,却几乎没有在合理的时间表内提供实现这些计划所需的资金支持,载人重返月球成为VSE中一座“太远的桥梁”,而挑战新的载人小行星任务的前景则更能在年青人中间激发热情;对于深空探测目标而言,美国科学界多倾向于火星而非月球,有的专家认为月球不是载人火星探测的“跳板”,而是一块“绊脚石”;探测小行星和“拉格朗日点”的任务构想,是比建立月球基地更快的登陆火星的跳板^[2]。

2) 美国国家航空航天局的“空间探索计划”

根据上述VSE,2005年9月19日美国国家航空航天局(NASA)正式出台“空间探索计划”,确定了2006—2016年的战略目标和2016年以后的远景展望。2006—2016年的战略目标及其预期成果中包括空间探索、空间运输系统和重返月球等6大目标。其中,空间探索目标主要是将空间探索重新作为人类空间飞行计划的重点,制订总体计划,并确定了6个子目标:(1)开展天基地球研究;(2)认识太阳

及其影响;(3)增加有关太阳系历史、地外生命存在可能性、探索空间面临的灾害和资源的知识;(4)发现宇宙的起源、结构、演化和命运并寻找类地行星;(5)增加航空知识、发展技术和增强能力;(6)认识空间环境对人类行为的影响、试验新技术、保障人类长期进行空间探测。重返月球目标主要为:确定重返月球计划并使其成果用于火星和其他目的地任务,首先通过机器人月球探测计划(RLEP)开展研究来确定未来任务的要求,至2008年发射月球勘测轨道器(Lunar Reconnaissance Orbiter, LRO)提供有关载人探测地点的信息,至2010年确定与开展月球和火星探测任务所需的核技术,并实现科学与探测任务相应的空间通信和导航结构体系,至2012年发展与试验原位资源利用、发电和自主系统所需的技术。2016年以后的远景展望主要包括:从月球迈向火星、航空、认识太阳系和探测宇宙终极和寻找类地世界^[1]。2005年9月NASA公布了2015—2025年深空探测的路线图^[3]。2007年9月,又进行了更新,将载人登月时间由2018年推迟至2021年左右,载人火星探测时间推迟至2030年以后,如图1所示^[4]。

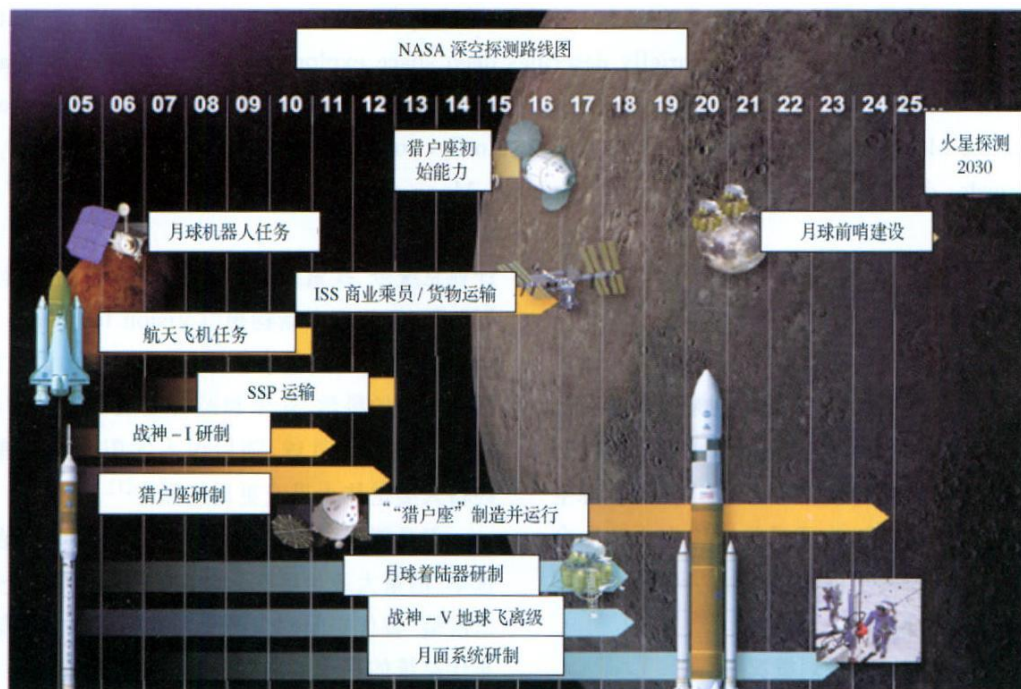


图1 美国 NASA 空间探测路线图

Fig.1 NASA space exploration roadmap

1.2 俄罗斯深空探测发展规划概况

俄罗斯在新世纪也在酝酿深空探测的新蓝图和新路线,但是迄今为止尚不十分明朗。

1) 俄罗斯政府的“2006—2015 年俄联邦航天发

展规划”

2005年7月14日,俄罗斯政府批准了总经费达3050亿卢布的“2006—2015年俄联邦航天发展规划”。该规划曾提出2009年向火卫一发射探测

器;以后还将向火星发射载人飞船。2005 年 10 月 22 日俄罗斯政府正式批准了“俄联邦 2006—2015 年航天规划”。该计划第一阶段(至 2010 年期间)将建成一系列航天器,包括 1 个用于研究太阳与日-地关系的航天器和 1 个用于研究火星并把火卫-1 的土壤送回地球的航天器;第二阶段(至 2015 年期间)要保证增加和维护轨道集群,包括 3 个研究太阳与日-地关系的航天器和 1 个研究月球的航天器。“载人轨道飞行”是该计划“航天活动”8 项优先发展方向之一,其中包括建造新一代飞船,为实现载人火星考察研制基础设施^[5]。

2) 能源火箭航天集团的“2006—2030 年俄罗斯载人航天发展规划构想”

2005 年底,俄罗斯科罗廖夫能源火箭航天集团制定并提交了“2006—2030 年俄罗斯载人航天发展规划构想”,并于 2006 年 5 月 6 日公布。该规划构想的载人航天发展阶段共分为四个,其中第三阶段是实现载人月球计划,第四阶段是进行载人火星考察^[6]。

3) 俄罗斯政府的“2006—2040 年远期航天发展规划”

2007 年 8 月,俄罗斯政府公布了“2006—2040 年远期航天发展规划”。与此同时,俄罗斯航天局局长佩尔米诺夫在谈到载人空间探测时指出,俄罗斯计划 2015 年前主要完成“国际空间站”俄罗斯舱段

的建设,2025 年实现载人登月,2028—2032 年间建立一座有人居住的月球基地;2035 年后开展载人登陆火星任务。他还指出,俄罗斯航天计划的经费只有美国航天计划经费的不到 10%,但其仍然保持着勃勃雄心^[7]。

1.3 欧洲深空探测发展规划概况

21 世纪欧洲的深空探测战略主要是对太阳系和适宜移居的星球进行探测,共分三步走:第一步是于 2010 年前向火星发射无人自动探测器;第二步是在 2020—2025 年向月球发射载人飞船;第三步是在 2025—2035 年向火星发射载人飞船。

1) 欧洲航天局的“曙光”计划

2001 年欧洲航天局(ESA)和欧洲研究委员会共同制定了“曙光”(Aurora)计划和原则,并于 2004 年 2 月 3 日正式公布了这项号称“欧洲阿波罗计划”的超大规模星际探测计划。该计划是一项多国计划,将确立欧洲 30 年的太阳系探测发展战略,包括 2005 年启动采用许多新技术的先期不载人火星探测任务,2020 年前后执行探测月球、火星和类似小行星的载人任务。从目前进展来看,2015 年前主要进行机器人无人探测,包括月球、火星、彗星、金星和水星探测^[8]。而此阶段重点是火星探测,标志性任务是火星漫步者(ExoMars)和火星采样返回(MSR)探测器。该计划 2005—2009 年阶段计划经费为 9 亿欧元。“曙光”计划的路线如图 2 所示^[9]。

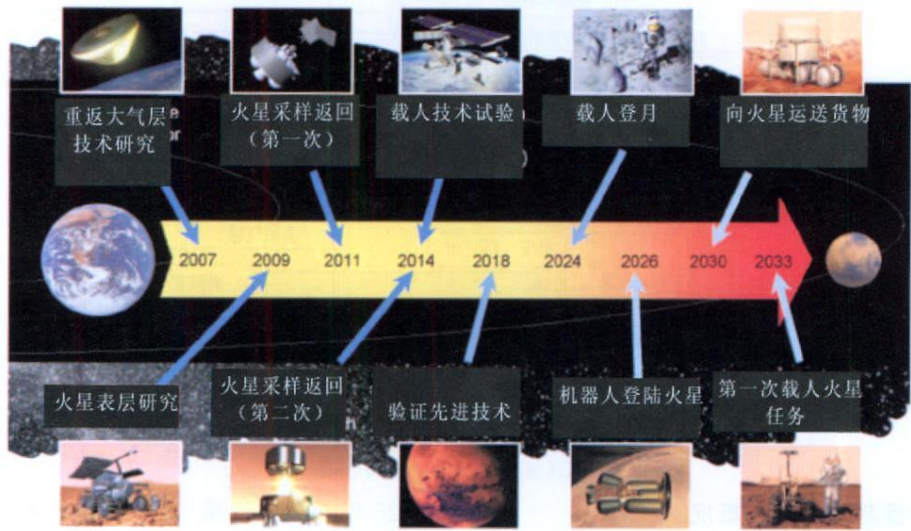


图 2 欧洲航天局(ESA)“曙光”计划路线图

Fig. 2 ESA Aurora program roadmap

2) ESA 的“2015—2025 年宇宙设想”

2005 年 4 月,ESA 公布了“2015—2025 年宇宙设想”,提出了空间探索的一系列科学目标,包括火星现场探测和取样返回、木星探测、三维太阳磁场探

测、建造天基天文观测台以及探索生命的起源和行星的形成与演化等若干项目,并计划于 2007 年开始相关研究。上述“曙光”计划可能作为该“设想”的一个力量倍增器。

2007 年 7 月,ESA 公布了上述“设想”内最新的“宇宙研究计划”。该计划共包括 9 项将各耗资 3.5~7 亿欧元的大型(M 级)计划,其中 4 项深空探测计划是:(1)拉普拉斯(Laplace)计划:目标是研究木星及其卫星(尤其是木卫二),将发射 3 个探测器;(2)大力神和恩克拉多斯任务(Titan and Enceladus Mission, TandEM)计划:目标是研究土星的卫星(包括土卫六和土卫二),探测器包括轨道器和着陆器,预计将在 10 年内向土卫六发射一个由气球担当主要角色的自动探测器,该计划总投资将达 7 亿欧元;(3)X 射线放射宇宙光谱学(X-ray Evolving Universe Spectroscopy, XEUS)计划:目标是发射由两个探测器组成的 X 射线空间望远镜;(4)“角宿”(Spica)计划:目标是建造一台先进的新型红外望远镜,以发现银河系、恒星和行星的起源,该计划将由欧洲和日本联合实行。此外,ESA 还准备发射探测器登陆小行星,并在采集其土壤样本后返回地球^[10]。

1.4 日本深空探测发展规划概况

1)“空间活动长期计划”和“空间开发应用基本战略”

2003 年 9 月,日本空间活动委员会确定了为期 10 年的“空间活动长期计划”。2004 年 9 月,日本又制订了“空间开发应用基本战略”,计划今后 10 年左右推进基础研究开发工作,20~30 年后独立开展载人空间活动。

2)日本宇宙航空研究开发机构的“太空开发长期(远景)规划”

2005 年 1 月 6 日,日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)公布了“太空开发远景规划”草案,提出了未来 20 年日本太空开发的主要目标。同年 4 月, JAXA 向政府提交了总投资达 570 亿美元的“JAXA 2025 年长期规划”,内容重点是“月球探测与利用”和“太阳系探测”。其中“月球探测与利用”包括进行月球探测并建立月球基地,计划在 2015 年前实现机器人探月,2025 年前研制重复使用载人航天器,实现载人登月和建立月球太阳能研究基地;“太阳系探测”包括行星-C 金星轨道器、第二个隼鸟(Hayabusa)小行星探测器和贝皮·柯兰布(Bepi-Colombo)水星轨道器^[11]。日本整个深空探测路线如图 3 所示^[12]。

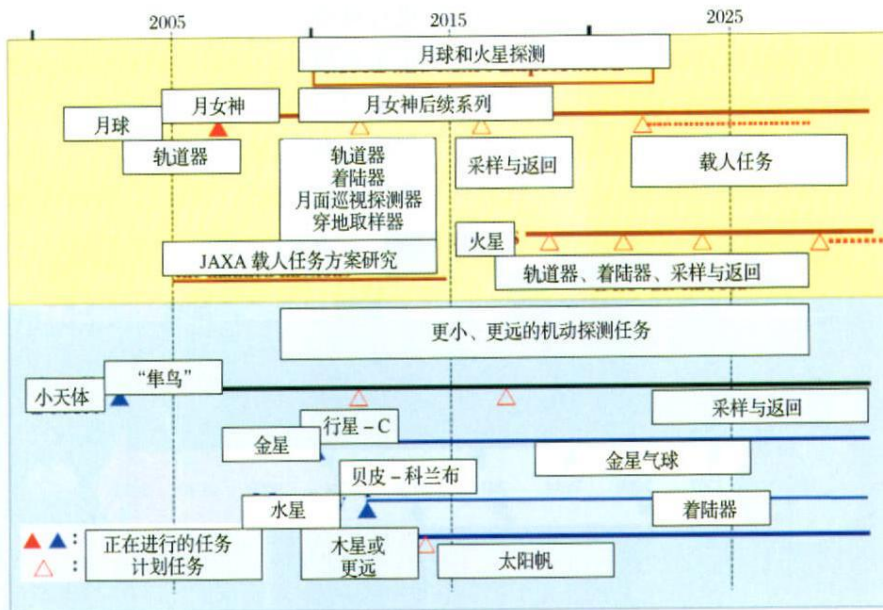


图 3 日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)深空探测路线图

Fig. 3 JAXA deep space exploration roadmap

1.5 印度深空探测发展规划概况

近年来印度一直谋求在世界航天活动中确立起航天大国的地位,并在亚洲争雄。为此,其加强与美国、欧洲和俄罗斯的航天合作,以加快发展航天能力,尤其是加速发展深空探测。2006 年 12 月,印度空间研究组织(ISRO)提出将于近期执行月球初航-1 月球探测任务,2011 年进行月球初航-2 任务,

2025 年开展小行星/彗星飞越任务,2019 年开展火星任务,2020 年以后开展金星、水星探测^[13]。2006 年,ISRO 还提出了载人航天计划,计划于 2014 年前将一名印度宇航员送入太空;2020 年前后将印度航天员送上月球,实现登月梦想。其中,载人航天飞行计划每年耗资 25.30 亿美元,是目前 ISRO 每年财政预算的 3 倍多,而载人登月计划耗资将更高。

2 国外各类深空探测计划的最新进展和前景预测

21世纪,月球和火星探测成为国际深空探测活动舞台的中心,其他行星乃至整个太阳系以及更远的深空探测也在进行或筹划之中。

2.1 月球探测计划进展状况

21世纪各国月球探测的战略目标是实现载人登月、建立月球基地,然后以月球为跳板奔向深空。

1) 美国的月球探索计划进展状况

(1) NASA 的重返月球计划

早在1995年美国就提出了面向21世纪的重返月球计划^[14]。2005年,NASA公布了新的重返月球计划,其主要内容包括:①在2018年前利用机器人对月球表面进行研究,选择登月地点和判定是否存在可利用资源;②2018年再次实现载人登月,以后每年至少执行两次月球任务,初期宇航员在月面停留7天,未来延长至6个月,进行多项科学研究并寻找可利用资源;③建立月球基地,包括宇航员生活设施、发电站和通信站。执行重返月球任务的探测系统将采用航天飞机和阿波罗计划中成熟的、安全而可靠的设计和技术,主要包括新型“乘员探索飞行器”(CEV)、月球着陆器和“乘员运载火箭”(CLV)。NASA局长迈克尔·格里芬称该计划将持续13年,耗资1 040亿美元,但这仅相当于阿波罗登月计划的55%^[15]。其中2011—2018年每年将花费70~150亿美元。该计划的登陆方案类似于阿波罗计划,仍然选用月球轨道交会方案。2005年9月,美国NASA公布的“空间探索计划”明确并细化了载人月球任务的目标,确定了2018—2020年载人登月的时间表。2007年9月,NASA又更新了空间探测路线图,月球机器人任务至2010年左右,猎户座飞船(Orion)具备初步能力由2014年推迟至2016年,而载人登月时间由2018年推迟至2021年左右,并开始建立月球前哨站基地。

(2) “月球先驱机器人计划”

目前NASA正在执行“月球先驱机器人计划”(LPRP),该计划通过执行月球机器人任务来进行研究和为未来月球探测做准备,从而支持美国重返月球^[16-17]。

月球勘测轨道器(LRO)是“月球先驱机器人计划”的第一项任务,也是NASA重返月球和执行“空间探索新构想”的第一项任务,如图4所示。LRO

将于2008年10月末发射,环绕月球轨道运行一年,对月球的地形、资源和热与辐射环境进行广泛的勘测。这些有关月球表面的数据对于在2021年之前进行的首次载人月球出击的选址、安全着陆和航天员安全至为关键。与此同时,美国将发射称为“月坑观测与探测卫星”(LCROSS)的小型探测器撞击月坑。该探测器将于2008年与LRO一起飞往月球。估计LRO和LCROSS任务共耗资6亿美元^[18]。

NASA“月球体系队伍”(LAT)的研究将检验支持2021年前载人月球出击所需的要求。LAT于2007年下半年结束“月球探测体系”第2阶段的细化,并帮助确定以后LRO和LCROSS的未来任务与仪器。

LRO和LCROSS的后继项目可能是在月球极区着陆的“想象”(Notional)机器人着陆器,目标是作为月球前哨的可能备选着陆器。“想象”机器人月球着陆器如图5所示。理想上它要尽可能接近月坑边缘,以利于研究月坑永久阴影区内的极端环境^[17]。

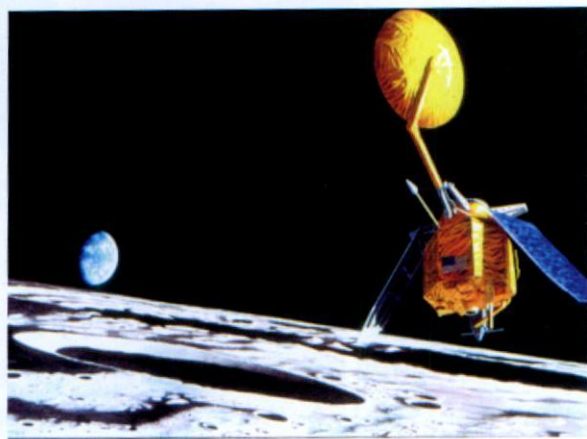


图4 美国“月球勘测轨道器”(LRO)

Fig. 4 U. S. Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO)

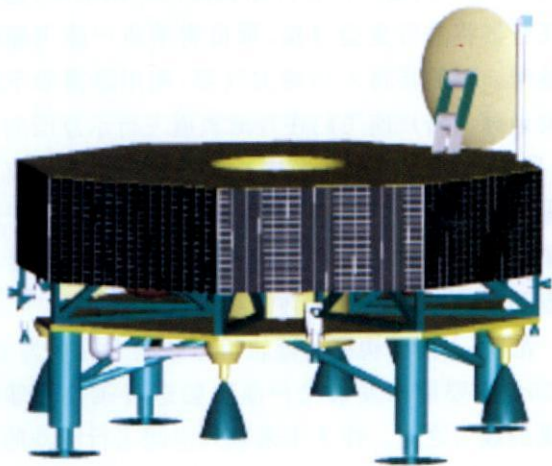


图5 美国“想象”机器人月球着陆器

Fig. 5 U. S. Notional robotic lunar lander

(3) “星座系统计划”

“星座系统计划”是 NASA 的载人月球探测计划。组成该计划初步能力阶段的项目包括猎户座飞船(Orion),即“乘员探索飞行器”和战神-I 火箭(ARES-1),即“乘员运载火箭”,舱外活动(EVA)服与工具,以及取代航天飞机支持“国际空间站”低地轨道任务所需的地面与任务操作基础结构。猎户座

飞船与战神-I 目前的目标是不迟于 2014 年运行。该系统还将包括战神-V(ARES-5)(即货运运载火箭)、地球飞离级(EDS)、月球表面到达舱(LSAM)或牵牛星(Altair)月球着陆器以及相关支持能力,这些能力将支持不迟于 2021 年开始的月球任务^[16]。上述美国月球运输体系如图 6 所示^[3]。

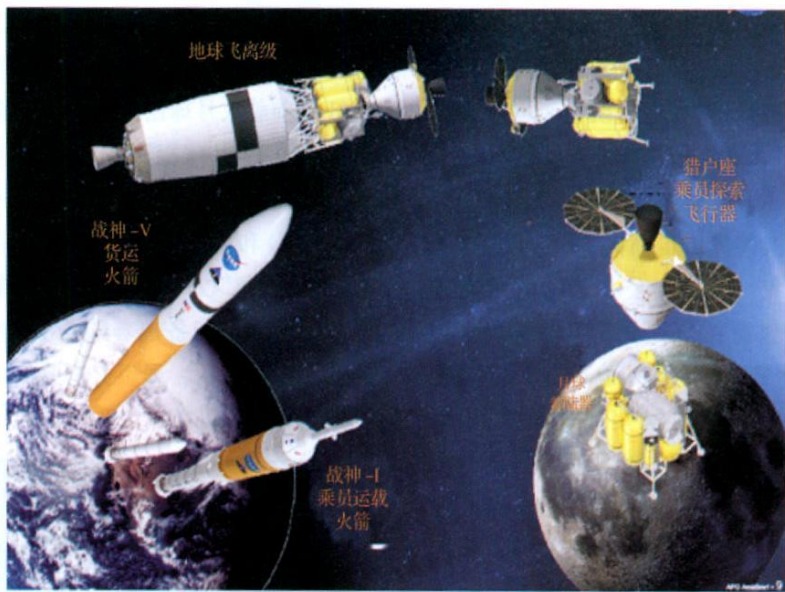


图 6 美国月球运输体系

Fig. 6 U. S. lunar transportation architecture

猎户座飞船为重复使用飞船,能重复飞行 5~10 次,外形类似阿波罗飞船,由洛克希德-马丁公司研制。对于月球任务而言,猎户座飞船将首先运送 4 名航天员到达低地轨道,然后与 LSAM 连接以进行飞往月球轨道之旅。LSAM 将下降到月球表面,进行为期一周的出击任务和为期 6 个月的前哨任务;而与此同时,猎户座飞船将环绕月球轨道运行,等待 LSAM 的返回。在月球表面任务结束时,这两个飞行器将进行交会对接,乘员将乘猎户座飞船返回地球。该舱将再入地球大气层,利用降落伞下降返回地球。猎户座飞船在月球轨道飞行示意图如图 7。目前 NASA 兰利研究中心已经建造了猎户座飞船乘员舱的全比例模型,该模型将在不久后用于乘员紧急逃逸试验。2008 年 3 月, NASA 还将设计月球着陆器的合同分别授予 5 家公司。

战神-I 两种构型的低轨道运载能力分别为 25t 和 35t,主要用来发射猎户座飞船进行飞往月球和火星的载人之旅。作为未来载人空间飞行活动的基石,它成为“空间探索新构想”的一个重要组成部分^[16,19]。

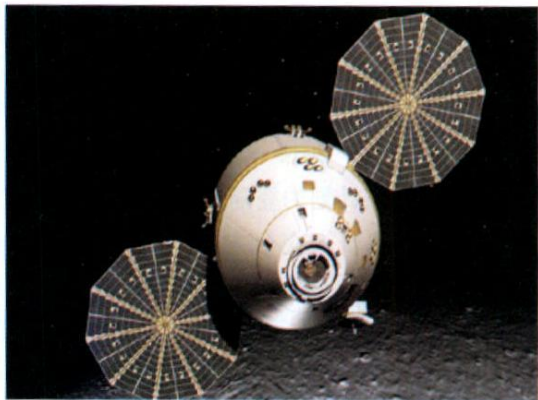


图 7 美国“猎户座”飞船

Fig. 7 U. S. Orion Crew Exploration Vehicle

“地球飞离级”将携带更大的有效载荷(如月球着陆器)入轨。此外,猎户座飞船将与战神-V 火箭对接以执行月球任务,航天员将在月球探测新区域进行科学与技术实验。

“战神”和“猎户座”都吸收了在阿波罗飞船和航天飞机计划中利用的最好组件来建造一个安全、可靠和经济上可负担的系统。如战神-I 和战神-V 采用航天飞机固体火箭助推器和改进的外贮箱;用于上面级的是土星 V 火箭的 J2 发动机的改进型 J-

2X^[20]。

2) 俄罗斯的月球探索计划进展状况

俄罗斯在 2006—2015 年航天发展规划的推动下, 于 2006 年正式启动探月计划。俄罗斯的月球探测活动将分五步进行: 机器人无人月球探测; 载人绕月探测; 载人登月探测; 建立月球基地; 进行月球工业开发。

(1) 俄罗斯联邦政府的月球探测计划

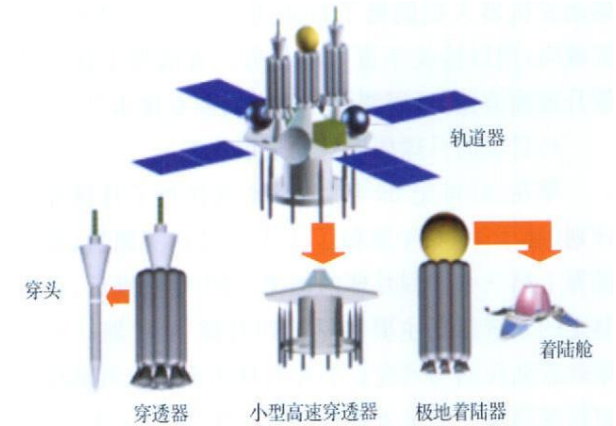


图 8 俄罗斯“月球-全球”探测器

Fig. 8 Russia Lunar-Globe probe

俄罗斯 21 世纪的月球探测计划共分为三步走。
①2005 年俄联邦航天局 (RSA) 宣布了月球-全球 (Lunar-Globe) 计划, 该计划提出, 2008—2015 年俄罗斯将 5 次发射先进的无人探测器, 开展月球内部构造研究, 并开展月球资源利用等研究。首个探测器由一个轨道器和 3 种月球表面探测器 (1 簇 10 枚小型高速穿透器、2 枚低速穿透器、1 个月球极地着陆器) 组成, 如图 8 所示。
②在 2012 年向月球发射在月面软着陆的科学实验室。
③将月球土壤样品带回地球。未来, 俄罗斯将陆续研制和发射月球软着陆器、自动取样返回探测器和月球车^[9]。2007 年 11 月俄罗斯拉沃奇金设计局局长格奥尔基·波利修克称, 俄罗斯将于 2010 年首次发射“月球-全球”无人探测器; 2011 年开始与印度协力执行第 2 项月球探测任务, 其中包括发射 1 个 400kg 的新一代月面巡视探测器^[21]。

2007 年 8 月, 俄罗斯航天局局长佩尔米诺夫指出, 根据俄联邦政府 2040 年前的远期航天规划, 在 2025 年前将实现载人登月, 2028—2032 年期间建立一座有人居住的月球基地, 2040 年前建设航天员月球常驻基地。

(2) 俄罗斯能源火箭航天集团的“载人月球计划”

2005 年俄罗斯科罗廖夫能源火箭航天集团制

定并提交的《2006—2030 年俄罗斯载人航天发展规划构想》第三阶段为实施“载人月球计划”, 该计划分三步实施^[9]。

3) 欧洲的月球探索计划进展状况

1994 年, 欧洲航天局 (ESA) 就提出了重返月球、建立月球基地的探测计划。21 世纪初, ESA 执行了“智慧” (SMART) 系列计划, 该计划以技术演示与验证为手段, 为机器人登月、建立月球基地和深空探测大系统做科学技术准备^[14]。此外, 一些欧洲国家如英国、德国、奥地利等也单独提出了一些以技术演示为目标的月球卫星探测计划。

(1) 欧洲智慧-1 月球探测器计划

智慧-1 (SMART-1) 月球探测卫星是欧洲首个月球探测器 (如图 9 所示), 其任务是验证新型太阳能离子推进系统, 探测与研究月球。它于 2003 年 9 月 27 日发射升空, 并借助离子发动机于 2004 年 11 月 15 日到达近月轨道, 最后进入距月面 470/2 900km 的环月轨道, 在此轨道上进行了大量科学实验, 完成任务后于 2006 年 9 月 3 日击中月球正面。SMART-1 撞击月球最显著的特点是造成月表深处土石进射, 使地面科学家得以更深入广泛地观测月表物质成分, 以研究月球起源和分析月球开发的前景, 但是实际上并没有溅射出多少尘埃, 因此地面上观测不到。

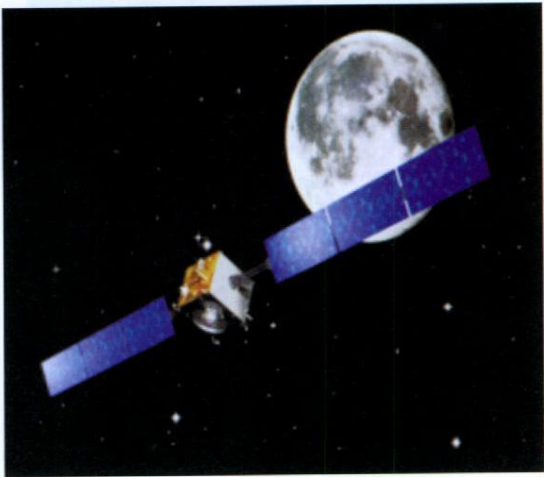


图 9 欧洲智慧-1 探测器

Fig. 9 Europe SMART-1 probe

(2) 英国的“月光”和“月耙”探测计划

英国的月球探测计划包括前后两个项目, 分别称为“月光” (MoonLITE) 和“月耙” (MoonRaker), 并计划在 2010 年发射首个月球探测器。“月光”项目是发射环绕月球飞行的轨道器 (如图 10 所示), 并从轨道器上向月球不同地区发射 4 枚质量约 13kg

的穿透器。这些穿透器可以深入月表以下 2m。这一项目将有助于科学家研究月球的内部构造,探索月球的起源与演化,寻找月球上的水。“月耙”项目是发射着陆探测器(如图 11 所示),对月壤和月岩进行详细考察,并继续寻找水资源,为建立月球基地做准备。事实上,英国在航天技术领域拥有相当先进的技术,欧洲“火星快车”计划中的猎兔犬-2 火星着陆器就是英国独立研制的^[9]。

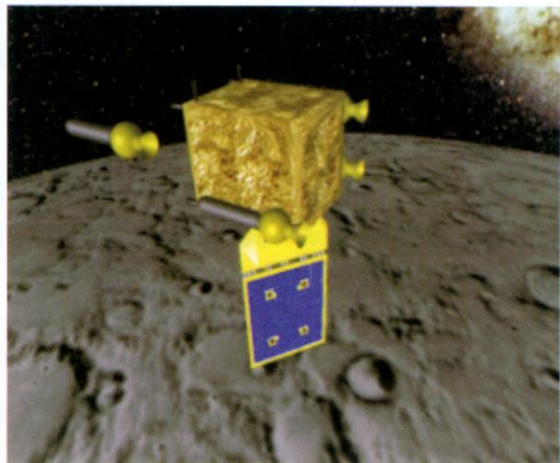


图 10 英国“月光”探测器

Fig. 10 U. K. MoonLITE probe



图 11 英国“月耙”探测器

Fig. 11 U. K. MoonRaker probe

(3) 德国的“月球探测轨道器”(LEO)计划

2007 年 8 月,德国宣布 2012 年将发射独立研制的“月球探测轨道器”(LEO)。该项目将包括两个编队飞行、能同时对月面进行测量的探测器,可得到高分辨率的月面物体立体景象,在多光谱谱段上生成全月面高分辨率立体地图。两个探测器分别重 500kg 和 150kg,其中大探测器携带的微波雷达还可以获得月面深处的信息。该项探测任务将持续 4 年。如果 2008 年能获准实施,德国将在 2013 年前

后将它的首个月球探测器送往月球,并随后研制“蒙娜丽莎”(Mona Lisa)月球着陆探测器^[9]。

(4) 欧洲月球背面观测望远镜计划

2006 年 6 月,欧洲启动“月球射电望远镜”项目论证,将在 2013—2015 年间向月球背面南极区域发射造价 13 亿欧元的望远镜,用于寻找系外行星,并探测远至大爆炸后 30 万年产生的 1~10MHz 的信号。望远镜将包括一个着陆器,可由布撒器或小型移动式机器人把偶极子布放到方圆 300~400m 的区域内,用以接收宇宙射电信号。着陆器上还会携带月震检波器,可探测到月面上的陨石撞击^[18]。

4) 日本的月球探索计划进展状况

早在 20 世纪 80 年代,日本就执行了月球探测计划,并于 1990 年发射了飞天号月球探测器,成为世界上第三个探测月球的国家。90 年代以后,日本制定的系统计划主要包括:(1)月球-A 计划;(2)月球软着陆探测与研究;(3)在月球表面建立月球极区定位观测站。但是上述计划均未实现^[14]。1998 年,日本制定了“月女神”(SELENE)计划,目的是完成对月面进行详细观察的任务。2005 年日本“JAXA2025 年长期规划”给出了机器人探月、载人登月和建设月球基地的建议时间表。

未来日本的月球探测路线是:未来 10 年内为月球的利用开发先进技术,首先实现包括“月女神”计划在内的月球探测计划,使日本走在世界前列,率先取得包括选择月面地形、地质、重力场等着陆点所必需的月面详细地图,同时获得对月球及更远太阳系探测所需的技术;未来 20 年内实现月球基地建设和利用所需的技术。日本未来 20 年月球探测路线如图 12 所示。

(1) 日本月球-A 轨道器计划

日本于 1991 年就启动了月球-A (Lunar-A) 计划,对月球背面进行观测与研究,提供有史以来第一批有关月球背面的数据。该计划原定 1995 年发射,并已于 1996 年研制出轨道器,但穿透器由于技术问题一再延期,尽管 2006 年初终于研制成功,却因轨道器已老化而被迫中止计划。

(2) 日本“月女神”轨道器计划

日本于 1998 年通过了“月女神”(SELENE)计划,它是阿波罗计划后世界上最大和最复杂的月球探测任务。其目标是全面勘察月球,包括丰富的元素资源、矿物成分、地形学、地质结构、重力场、磁场、等离子体环境和陆地大气,从而研究月球的起源和变化,测量月球和日地间的环境,研究未来利用月球

的可能性;发展月球轨道进入技术以及空间飞行器的姿态和轨道控制。“月女神”包括主轨道器和两颗子卫星,即甚长基线干涉测量法(VLBI)射频源卫星(VRAD)和中继卫星(RSAT),携带 14 台科学仪

器,总质量为 2 825kg。“月女神”月球轨道器如图 13 所示。它于 2007 年 9 月 14 日利用 H-IIA F13 运载火箭发射升空^[22]。

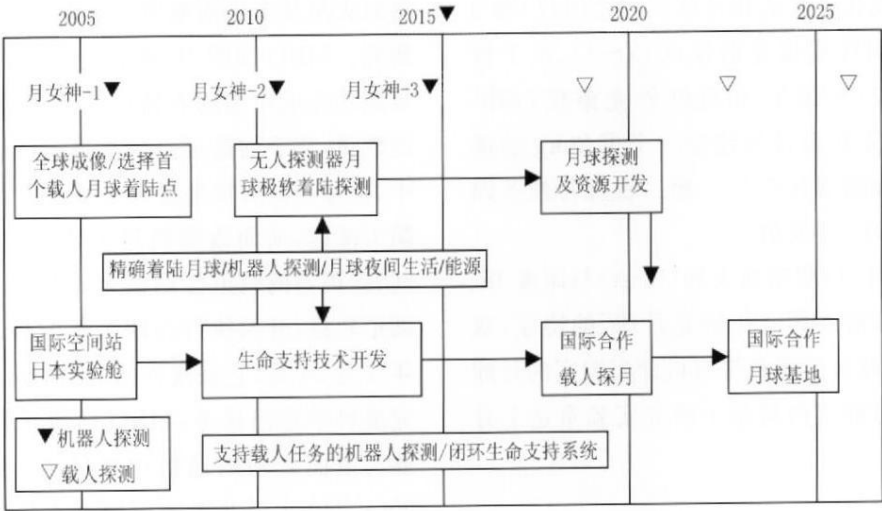


图 12 日本 20 年(2005—2025 年)月球探测路线图

Fig. 12 Japanese twenty-year(2005—2025) lunar exploration roadmap

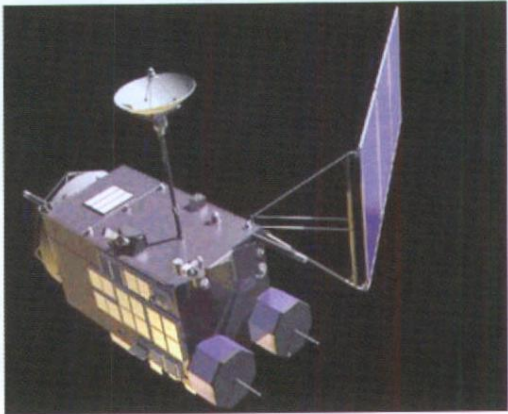


图 13 日本“月女神”轨道器

Fig. 13 Japanese SELENE lunar orbiter

将由“月女神”验证的技术包括:①综合着陆系统;②为达到精确着陆和自主故障排除的导航系统;③能够延长时间周期的发电装置;④支持材料取样/分析和仪器安装的月面移动性;⑤原位资源利用;⑥穿透器和地震检波器;⑦从月球表面的数据中继;⑧取样与返回。

5) 印度的月球探索计划进展状况

印度在月球探测方面已经制定了详细的计划,分为无人探月和载人探月两部分。其中无人探月包括三步:(1)绕月飞行:利用月球轨道器完成立体高分辨率成像和月球的 X 射线和 γ 射线成像,详细探测月球天气情况,研究月球稀有元素分布和月球附近的粒子及辐射环境;(2)月面探测:向月球表面发射探测器,研究月球磁场和月震,对月球南极地区进

行化学研究,寻找水和可能存在的生命迹象;(3)取样返回:从月球上采集试样,研究月面组成和月球岩石等。其中第一步首先要发射绕月飞行探测器,即月球初航-1(Chandrayaan-1)。载人探月将在实现载人航天飞行计划以后,于 2020 年左右进行。

印度空间研究组织(ISRO)的月球初航-1 是印度的第一个月球探测轨道器,其主要任务是对月球的化学成分和地质地貌进行研究,它将运行在月表上空 100km 的轨道上,绘制三维月图、探测月表化学元素和放射性物质及一些矿产的分布情况。印度计划于 2008 年将其发射升空。月球初航-1 月球探测轨道器如图 14 所示^[14]。

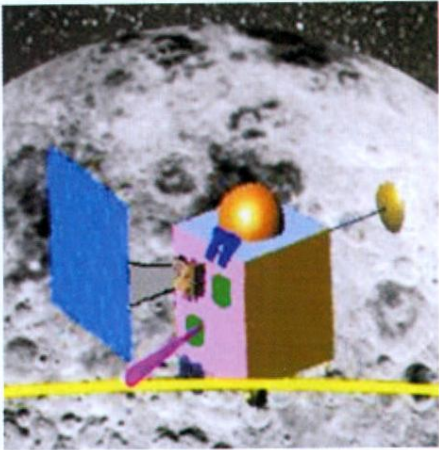


图 14 印度月球初航-1 轨道器

Fig. 14 Indian Chandrayaan-1 lunar orbiter

2006年9月6—7日, ISRO 探讨了月球初航-1任务相关问题。月球初航-1将由极轨卫星运载火箭(PSLV)发射升空。它除携带印度研制的有效载荷外,还将携带NASA和ESA的仪器,包括2台美国仪器(微型合成孔径雷达和月球矿物绘图仪)和3台欧洲仪器(X射线成像光谱仪(CIXS-2)、次千伏原子反射分析仪(SARA)和近红外光谱仪(SIR-2))。此外,印度正在设计与建造一个重30kg的撞击器,将搭乘该探测器升空^[18]。第二次探月任务即月球初航-2于2011年发射。

2007年12月,俄罗斯航天局(RSA)与印度ISRO签署“2017年前共同合作研究月球”的协议,双方将共同制造月球轨道器和带有机动实验室的月球着陆器,并在项目框架内将整个研究实验室送上月球。

2.2 火星探测

火星是地球轨道外侧最靠近地球的行星,其自然环境与地球最为相似,因此火星探测是太阳系行星探测的重中之重。探测的主要目标是探寻火星是否存在或曾经存在生命现象以及是否存在水体,揭示行星演化的共性和特性,探测有开发前景的有用资源,为建设火星基地提供数据。目前和未来10年内的主要关注点是:火星上是否真正存在水及有多少储量;火星是否真正存在生命;火星是否适合人类生活等问题。20世纪60年代至今,美国、苏联/俄罗斯、日本和欧洲共发起了30余次火星探测计划^[23], 21世纪的火星探测计划如下所述。

1) 美国的火星探索计划

2005年9月美国NASA出台的“空间探索计划”,进一步明确了实现载人火星探索的长期战略目标,提出了机器人探测与载人火星探索的发展途径。

(1) 美国火星探测漫游者计划

火星探测漫游者(Mars Exploration Rovers, MER)是迄今最著名的火星表面探测器,它于2003年6—7月两次发射携带勇气号和机遇号火星车。这两个火星车的探测目的主要是火星是否存在水。它所携带的仪器包括:全景相机、微型热辐射光谱仪、阿尔法粒子X射线光谱仪和显微成像仪^[23]。2005年,在火星上巡游的美国勇气号和机遇号火星车早已超过90天的设计寿命,仍继续工作并向地球送回了大量的火星全景图像和显微图像,获得了大量火星表面探测数据。

(2) 美国“火星勘测轨道器”计划

2005年8月12日,美国的火星勘测轨道器

(Mars Reconnaissance Orbiter, MRO)顺利升空,其任务是继续寻找火星上存在水的证据,并表征火星气候与地质特征。MRO载有6台仪器,包括雷达、彩色成像仪、小型勘测成像光谱仪和气候探测仪等,将对火星从亚表面地质到云顶的各种现象进行观测研究。MRO如图15所示。它已于2006年3月10日成功完成精细的入轨机动动作,进入绕火星运行的轨道,离表面最近点的高度约420km。气动制动中,探测器数百次地进入火星上层大气层,利用大气阻力减速,从而改变轨道形状,经过近7个月的时间,探测器的轨道已调整为周期2h、高321km的近圆形轨道,开始执行为期2年的科学观测任务。同年3月24日,它首次传回试拍的火星表面照片。除完成科学观测任务,MRO还将承担火星着陆探测器与地面之间的通信中继任务,主要是支持将在2008年在火星北极冰冠附近着陆的着陆器以及将在2010年抵达火星的“火星科学实验室”^[18]。



图15 美国火星勘测轨道器(MRO)

Fig. 15 U.S. Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)

(3) 美国凤凰号探测器计划

2007年8月美国发射了凤凰号(Phoenix)火星探测器,其探测目的仍然是探测火星水资源。它将利用显微电化学和传导率分析仪来探测水及冰中是否存在生命必需的有机物,利用热析出气体分析仪来分析土壤中是否含有水及其他化学成分^[23]。

(4) 美国“火星科学实验室”计划

火星科学实验室(Mars Science Laboratory, MSL)将对火星的元素成分、元素同位素及其含量、矿物和有机化合物进行测量,以确定能够支持生命的环境。其科学目标包括:①评价在火星上生物存在的可能性;②表述着陆区域的地质学和地球化学特征;③确定与过去生命存在性相关的行星形成过程;④表述火星表面的辐射环境。MSL是一个火星



图 16 火星科学实验室(MSL)火星车

Fig. 16 U.S. Mars Science Laboratory (MSL) rover

表面巡视探测器(火星车), 它将采集和分析火星土壤样品与岩芯, 以探寻能够支持微生物的有机化合物和环境条件。它将是一个长期(2 年)表面巡视实验室, 是 MER 的勇气号和机遇号火星车长度的 2 倍和重量的 3 倍(800 ~ 850kg)。仪器设备包括: 表面巡视探测器、立体与显微相机、机械臂工具、化学相机、 α 粒子 X 射线光谱仪、环境监测系统(REMS)、中子动力学反射率(DAN)测量仪和巡航级与再入系统。为 MSL 开发的关键技术包括: ①节流控制的大推力发动机; ②岩石采集与处理设备; ③长寿命、高可靠、耐热循环的电子器件。MSL 将于 2009 年 9 月发射, 飞行 12 个月后抵达火星, 在火星表面运行 2 个地球年, 行程约 20km^[16]。

(5) 美国载人火星探测计划(设想)

2007 年 11 月 NASA 公布了载人火星探索战略的详细情况, 将采用空间组装方案, 计划先分别于 2028 年 12 月和 2029 年 1 月将货舱和生活舱送往火星, 然后于 2031 年 2 月发射重达 400t、采用先进低温燃料推进系统的新型飞船, 历时 6 个多月到达火星, 整个载人火星探索之旅将长约 30 个月, 而航天员预计将在火星表面停留 16 个月。该载人火星探索项目耗资巨大, 估计费用最高可达 4 500 亿美元。

2) 俄罗斯的火星探索计划

2005 年俄罗斯科罗廖夫能源火箭航天集团制定并提交的《2006—2030 年俄罗斯载人航天发展规划构想》的第四阶段是进行载人火星研究考察, 预计在 2025 年后分三个阶段实施。其中, 可多次使用的火星考察综合体包括: 火星轨道飞船、起飞-着陆综合体、返回地球的救生飞船、电喷发动机装置和太阳能拖船⁹。

目前俄罗斯正在执行福布斯(Phobos)火星卫星探测器计划, 拟于 2009 年发射, 在火卫一上软着

陆并采集样品⁹。

3) 欧洲的火星探索计划

ESA 的“曙光”探索计划是欧洲的主要火星探索计划。

(1) 欧洲“火星快车”探测计划

2003 年 6 月 2 日, 欧洲火星快车(Mars Express, ME)轨道器发射升空, 6 个月后到达火星。该探测器如图 17 所示。其主要目的之一是采用地下水探测雷达/高度计来寻找火星的地下水。已取得的成就包括首次对其他行星进行了地表下雷达探测, 其超/高分辨率立体彩色成像仪已经成功绘制了火星北极的“冰冠”图像; 并首次对一颗行星表面矿物质组成进行了全面研究。



图 17 欧洲“火星快车”轨道器

Fig. 17 Europe Mars Express (ME) orbiter

2005 年 11 月 30 日 ESA 宣布: 欧洲的“火星快车”轨道器携带的 MARSIS 雷达找到了火星地下存在冰层的有力证据, 并探测到火星地表下储量丰富的冰层, 这些探测数据将为研究火星上是否有生命迹象提供重要资料。2006 年 2 月, ESA 发布了“火星快车”探测器传回地球的高清晰度照片, 照片显示火星的北极附近有一块直径达 12 8km 的巨大积冰。它位于“北极低地”大平原中的一处陨石坑内, 由于火星的温度和气压过低, 造成它终年不化。该陨石坑直径约 35km, 最深处约 2km, 在其边缘和坑壁上也有积冰的迹象。这使科学家重新燃起在火星上发现生命的希望, 它将促使载人登陆火星计划加速实现^[18]。

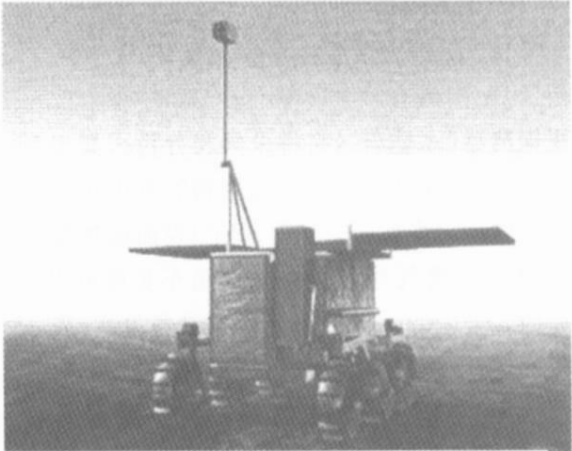
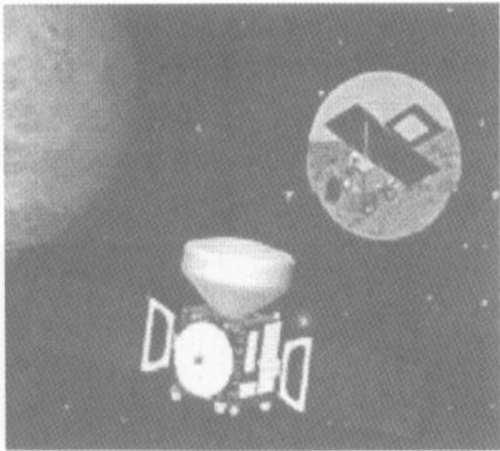
2007 年 2 月 27 日 ESA 宣布, 将其“火星快车”和“金星快车”任务延长至 2009 年 5 月。

(2) 欧洲“火星漫步者”探测计划

火星漫步者(ExoMars)计划是欧洲“曙光”计划的标志性任务, 主要目标是寻找火星表面生物环境性质的迹象, 并确定火星上水的分布和测量火星表

面岩石的化学成分。它将利用着陆器、探测器和深地钻头在火星表面和地下寻找生命痕迹。该探测器原计划于 2009 年发射,但 2005 年 12 月 ESA 部长级会议决定于 2011 年才启动该计划。ExoMars 需要研制火星轨道器、着陆舱(下降舱)和火星表面巡视探测器(火星车),如图 18 所示。整个系统具有足够的鲁棒性能,能够经受住进入大气的撞击,并能精

确着陆以满足任务实现的要求。火星车有效载荷约 230kg,此外还包括约 40kg 的巴斯德(Pasteur)载荷,该生物探测载荷包括 1 个轻型钻孔系统、1 个取样与处理设备和 1 套用于搜索生命迹象的科学设备。为成功实现 ExoMars 任务,需要开发的系统技术包括:表面巡视系统、着陆系统、充气缓冲设备、太阳能电池供电系统、自主技术和导航系统等。



左图: 火星轨道器、着陆舱(下降舱)
Left: Mars orbiter, lander

右图: 火星表面巡视探测器(火星车)
Right: Mars rover

图 18 欧洲“火星漫步者”(ExoMars)
Fig. 18 Europe ExoMars

(3) 欧洲“火星采样返回”任务计划

火星采样返回(Mars Sampling Return, MSR)探测器计划也是欧洲“曙光”计划的标志性任务,其主要采集火星土壤样品并带回地球。它由欧洲空间研究与技术中心(ESTEC)设计,包括火星轨道器、着陆舱和重返地球飞行器。其中着陆舱由采样器和上升舱组成,如图 19 所示。火星土壤样品被采集后放入上升舱中发射,与环绕火星轨道的重返地球飞行器对接,再由重返地球飞行器携带样品沿弹道轨迹返回地球。计划于 2011 年发射火星轨道器和重返地球飞行器,2013 年左右发射着陆舱及上升舱。为成功实现 MSR 任务,需要开发的系统技术包括:火星着陆系统、充气缓冲设备、火星上升舱、重返地球飞行器对接系统等。

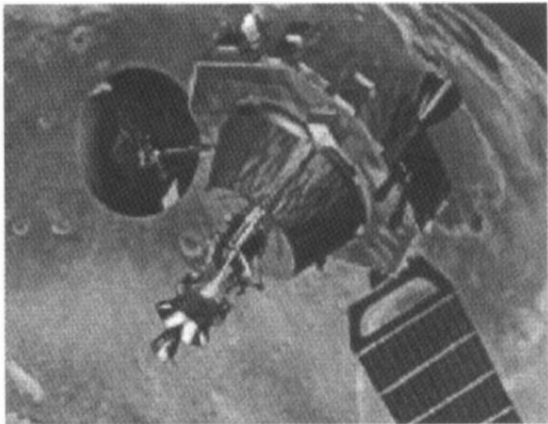


图 19 欧洲“火星采样返回”(MSR)探测器
Fig. 19 Europe Mars Sampling Return (MSR) probe

4) 日本的火星探索计划

日本曾于 1998 年发射希望号(NOZOMI)火星探测器,该探测器曾两次飞越月球,但由于轨道偏离而无法进入火星轨道,不得不于 2003 年 12 月放弃了进入火星轨道的计划。目前虽然提出了 2017 年以后开展火星探测的设想,但只是建议,尚无明确的新的火星探测计划。

2 3 金星探测

金星是地球轨道内侧最靠近地球的行星,环境极为恶劣,温度高达 400℃以上,大气密度和大气压约为地球的 100 倍,大气层中还有浓硫酸云层,并且多闪电雷暴。迄今为止,人类已向金星发射了近 40 个探测器,探测了金星的大气、土壤和引力场,并进行了测绘。自 1990 年沉寂了 15 年以后,2005 年欧洲才又发射了 21 世纪的第一个金星探测器。

金星快车(Venus Express, VEx)是欧洲首次发

射的金星探测器, 于 2005 年 11 月 9 日发射。2006 年 4 月 11 日,“金星快车”在太阳系里经过 $4.4 \times 10^8 \text{ km}$ 的旅程后到达金星。它点燃主发动机, 经历 49min 减速进入围绕该行星的轨道; 然后通过一系列轨道机动使该探测器达到其运行轨道, 沿着一条 $250 \text{ km}/66\,000 \text{ km}$ 大椭圆轨道在 24h 期间围绕两极转圈^[24]。

“金星快车”是在“火星快车”两年后由 ESA 实施的第一个欧洲“曙光”计划任务。它在至少 2 个金星日(486 天) 期间, 承担了有史以来最为全面广泛的金星大气研究任务。

“金星快车”是“火星快车”的一个近似复制品, 广泛采用“火星快车”的技术, 以降低成本和研制风险。但是做了一些改变, 特别是研制了新型太阳阵和改装了热控系统。研制工作在很短时间内(从方案到发射少于 4 年) 得以实现, 这使其成为 ESA 曾

经执行的最快的科学任务。

“金星快车”总质量 $1\,270 \text{ kg}$, 共有结构、热控、电源、推进、姿态与轨道控制、通信和数据管理 7 个分系统。探测器有效载荷总质量超过 94 kg , 由 7 台仪器组成, 其中大多数是在“火星快车”或罗塞塔(ROSATTA) 计划时间中研制的, 包括: ①空间离子体和高能原子分析仪(ASPERA); ②高分辨率红外傅里叶光谱仪(PFS); ③用于太阳/ 恒星掩星和天底观测的紫外与红外光谱仪(SPICAV); ④金星射电科学仪器(VeRa); ⑤紫外-可见光-红外成像光谱仪(VIRTIS); ⑥金星监视相机(VMC); ⑦磁力计(MAG)。“金星快车”探测器及其科学有效载荷如图 20 所示。这些仪器将能对金星的大气、等离子环境和表面进行非常详细的研究, 目的在于加深对金星大气成分、循环和演化史的认识。

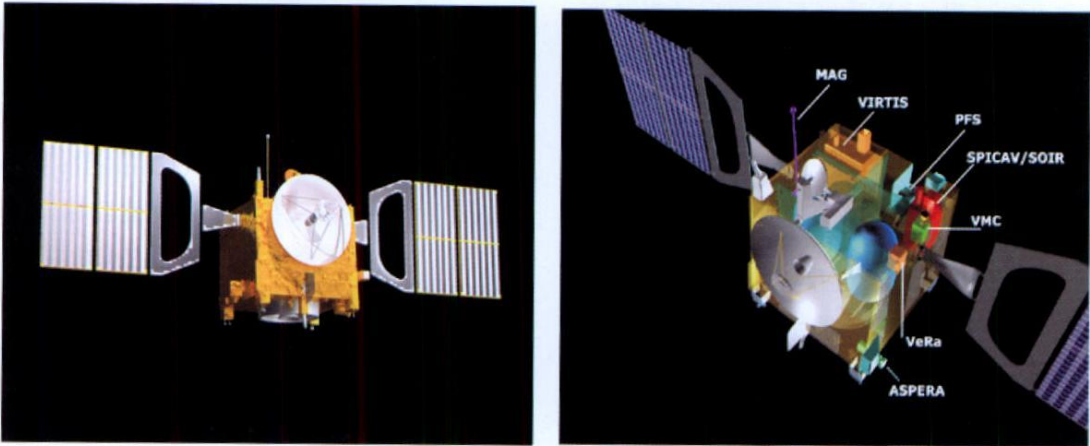


图 20 欧洲“金星快车”探测器及其所携带的仪器设备

Fig. 20 Europe Venus Express prebe and its instruments

2 4 水星探测

水星是太阳系中最靠近太阳的行星, 也是人类了解最少的行星, 由于水星具有类似地球和月球的特征, 是宇宙中物质多样性的证明和研究太阳系形成与起源的宝贵资料, 因而水星探测具有重大的科学意义。

1) 美国信使号探测计划

早在 1973—1974 年, NASA 研制的水手-10 探测器曾 3 次围绕水星飞行。1999 年美国 NASA 又开始执行水星表面空间环境地质化学与测距(MESSENGER, 简称“信使”) 探测计划, 对水星展开新一轮研究, 目的是: 通过测量水星表面元素验证水星密度理论, 分析研究水星地质历史, 研究其内核结构及磁场的产生, 磁极的特性, 检验水星上冰的存在, 研究水星大气层的构成以及挥发物质的重要性。

美国信使号探测器如图 21 所示。它所携带的科学仪器包括: (1) 水星双成像系统(MDIS); (2) γ 射线与中子谱仪(GRNS); (3) X 射线光谱仪(XRS); (4) 磁力计(MAG); (5) 水星激光高度计(MLA); (6) 水星大气与表面成分谱仪(MASCS); (7) 高能粒子与等离子体谱仪(EPPS); (8) 射电科学实验仪(RS)。2004 年 8 月 3 日信使号探测器升空, 其总质量为 $1\,100 \text{ kg}$ (包括主体 500 kg , 推进器 600 kg), 探测器主体尺寸为 $1.27 \text{ m} \times 1.85 \text{ m} \times 1.42 \text{ m}$, 总研制成本为 4.27 亿美元。该探测器曾 2 次绕过金星, 从 2008 年 1 月起 3 次绕水星飞行, 2011 年 3 月到达水星轨道。

2) 欧-日“贝皮·柯兰布”计划

欧洲航天局(ESA) 与日本联合提出贝皮·柯兰布(Bepi ° Colombo) 计划, 其科学目标是: 研究行星



图 21 美国信使号探测器

Fig. 21 U.S. MESSENGER probe

起源与演变, 水星内部结构和表面组成与构造, 水星磁场的起源, 水星大气组成及动力学过程, 水星磁层结构及动力学过程, 验证爱因斯坦的广义相对论。该计划包括两个环绕水星低空椭圆轨道飞行的轨道器和一个着陆器。主轨道器称为水星行星轨道器(MPO), 携带各种光谱仪和中子谱仪, 将在水星极区轨道上观测; 另一轨道器称为水星磁层轨道器(MMO), 携带磁力计、离子谱仪、电子/离子分析仪、波分析仪、等粒子体谱仪和高能粒子谱仪, 用于探测水星磁场及其与太阳风的相互作用。着陆器称为“水星表面部件”(MSE), 携带相机、地震仪和化学元素探测器, 用于评定水星土壤特性。贝皮·柯兰布水星探测器如图 22 所示。按计划该探测器将于 2013 年 3 月发射深空, 而日本也将于 2013 年 8 月发射其自行研制的水星行星轨道器(MPO), 主要对水星的磁层与磁场进行探测研究。

2 5 木星探测

木星是太阳系八大行星中最巨大的行星, 运行于火星与土星之间。迄今为止, 人类共发射了 6 个探测器探测木星, 但是其中 5 个都是仅仅飞过木星中途探测而已, 包括美国的“先驱者”(Pioneer) 和“旅行者”(Voyager) 以及欧洲的“尤里塞斯”(Ulysses)。只有美国的“伽利略”是专门的木星探测器。

1) 美国伽利略木星探测器计划

美国的伽利略(Galileo) 木星探测器于 1989 年发射, 它不仅探测了木星的大气环境与动力学特性、木星卫星的磁层相互作用, 而且还对多颗木星卫星进行了详细探测, 发现了木卫二、木卫三表面覆盖的冰层, 以及木卫二冰壳下可能存在着海洋, 这就意味着可能存在生命。该探测器并于 1995 年向木星释

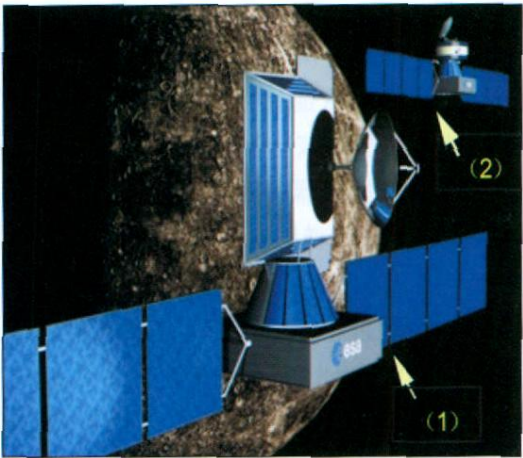


图 22 欧·日贝皮·柯兰布水星探测器

(1) 水星行星轨道器(MPO)
(2) 水星磁层轨道器(MMO)

Fig. 22 Europe-Japan Bepi-Colombo probe

(1) Mercury Planet Orbiter (MPO)
(2) Magnetosphere Orbiter (MMO)

放了一个小型着陆器, 测定了木星大气层的温度、压力和大气成分。

2) 木星冰封卫星轨道器计划

“木星冰封卫星轨道器”(Jupiter Icy Moons Orbiter, JIMO) 任务具有两个原则性目标。第一个目标是到木星的三个冰覆盖的卫星(木卫四(Callisto)、木卫三(Ganymede)和木卫二(Europa)) 探测。第二个目标是验证核电推进飞行系统技术, 以拓展革新的星际和太阳系探测任务的范围。图 23 表示 JIMO 的早期方案^[29]。



图 23 早期的木星冰封卫星轨道器(JIMO)方案

Fig. 23 Early concept of the Jupiter Icy Moons Orbiter(JIMO)

2 6 土星探测

土星是太阳系中唯一具有特殊光环的巨大星

球,其卫星土卫六又是太阳系中第二大天然卫星,拥有大气层并且表面条件与 45 亿年前的原始地球十分相似,因此长期以来一直受到人类的关注。共有 4 个探测器探测了土星,其中 3 个只是飞越而已,只有美国-欧洲的“卡西尼-惠更斯”是专门的土星探测器。

美国-欧洲联合研制的卡西尼-惠更斯(Cassini-Huygens) 土星探测器是人类首次针对土星及其已知卫星开展的最详尽、深入的探测,为认识太阳系的起源提供了重要线索。该探测器于 1997 年 10 月升空,如图 24 所示。其中,美国卡西尼土星探测器将持续工作到 2008 年 7 月。目前“卡西尼”正继续环绕土星运行,它已经两次穿越土星环缝隙,获得了大量详细的有关土星环结构和物质组成的资料,这些发现为理解地球生命起源提供了重要线索。2006 年 7 月,“卡西尼”近距离飞越土卫六时有了一项重大发现:在其北极存在着一个巨大的由甲烷等碳氢化合物形成的湖泊群,其中有些湖还流动着液态物质^[18]。欧洲的惠更斯着陆器在与美国卡西尼探测器成功分离后,于 2005 年 1 月 15 日成功登陆土卫六,创下人类探测器登陆其他天体最远距离的新纪录,“惠更斯”发现了由甲烷形成的河流和冰块,但没有发现存在生命的迹象。此外,卡西尼-惠更斯探测器还探测了土卫九、土卫十、土卫八等土星的卫星,拍摄了大量的图片。

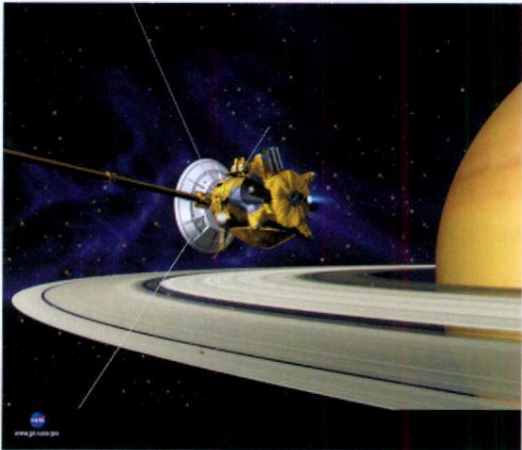


图 24 美欧卡西尼-惠更斯土星探测器
Fig. 24 U. S. - Europe Cassini-Huygens Saturn probe

2 7 冥王星(矮行星)探测

2005 年美国完成了人类首个探测冥王星的冥王星-柯依伯快车(Pluto-Kuiper) 探测器的研制,它的任务是拍摄冥王星局部区域高分辨率图片,研究冥王星及其卫星的形态、大气和逃逸速度。2006 年

1 月 19 日, NASA 成功地把新视野(New Horizons) 冥王星探测器发射升空。该探测器预计将于 2015 年年中到达冥王星。

新视野探测器将是人类第一个造访冥王星的探测器,如图 25 所示。探测器重 454kg,携带 7 种科研仪器。由于冥王星离太阳太远,探测器无法使用太阳能,要依靠所携放射性钚的衰变提供动力。该探测器将以 75 000 km/h 的速度飞跨太阳系。探测器的任务是深入了解和研究冥王星,这有助于加深对太阳系形成的理解,其使命还包括研究冥王星的主要卫星冥卫一。该计划耗资约 7 亿美元^[18]。

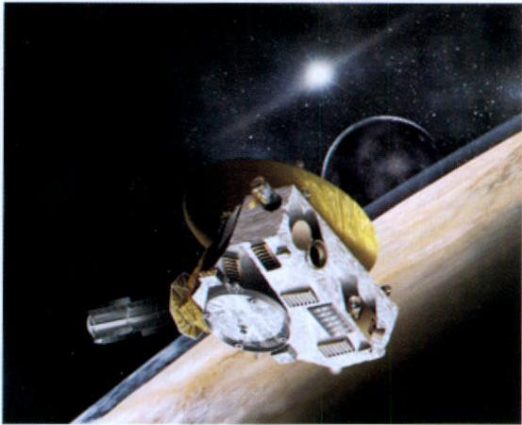


图 25 美国新视野探测器
Fig. 25 U. S. New Horizons probe

2 8 小行星和彗星探测

彗星和小行星等小天体的物质构成存在太阳系形成时的原始信息,有助于揭示太阳系的起源,因此成为深空探测的重要目标。人类对小天体的探测至今仅有 20 年的历史,迄今为止已发射了 10 个以小天体为主要探测对象的深空探测器,包括:日本的“隼鸟”(又称 MUSE-C) (小行星着陆与取样返回);欧洲的罗塞塔号(ROSETTA) (彗星环绕与着陆);美国的近地小行星交会探测器(Near Earth Asteroid Rendezvous, NEAR) (小天体着陆)、深空-1 (Deep Space-1) (飞越小行星和哈雷彗星)、星尘号 (Stardust) (彗星采样返回)、“彗核之旅”(CONTOUR) (彗星探测,发射失败)、深度撞击号 (Deep Impact, DI) (撞击彗星) 等。

1) 美国的小行星和彗星探测计划

美国的小天体探测计划涉及美国 NASA 的“发现计划”、“深空系统科学技术计划”(X2000)、“新盛世计划”和“空间科学战略计划”等^[23]。

(1) 美国近地小行星交会计划

该计划是美国 NASA“发现计划”的任务之一,

其目标是对人类第一个发现的、也是第二大近地小行星 (NEA) ——433 号小行星 (Eros) 进行探测。1996 年 2 月 17 日, 近地小行星交会探测器 (NEAR) 发射升空, 它于 1997 年 6 月 27 日从 253 号小行星 (Mathilde) 近旁飞过, 于 2000 年 2 月 14 日与 Eros 会合, 最后于 2001 年 2 月 12 日在 Eros 着陆并一直工作到 2 月 28 日。该探测器总重 788 kg, 在轨干重 487 kg; 探测器外形呈八棱柱形, 高约 2.8 m, 八边形直径为 1.7 m, 其构型如图 26 所示。该探测器探测了 Eros 的物理和地质特性, 测量了其元素和矿物分布, 而且在人类历史上首次实现了在小行星表面的软着陆。该计划共耗资约 2.24 亿美元, 其中探测器约为 1.25 亿美元。

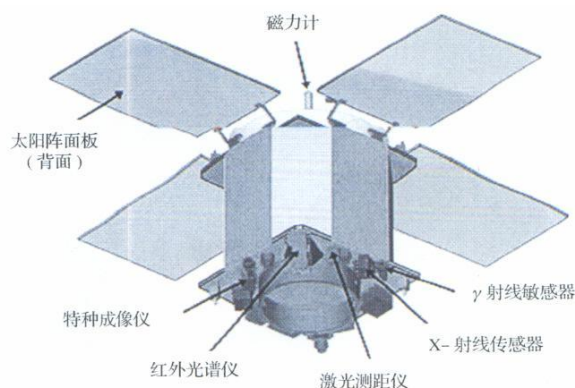


图 26 美国近地小行星交会探测器 (NEAR) 的构型

Fig. 26 U.S. Near Earth Asteroid Rendezvous (NEAR) probe pattern

(2) 美国深空-1 小行星和彗星探测计划

深空-1 探测器是迄今为止第一个以离子推进器为主要动力的空间探测器, 探测目标是小行星和彗星, 同时它还进行新技术的试验与验证 (主要包括离子发动机、自主导航和聚光太阳电池阵)。该探测器于 1998 年 10 月 24 日发射升空, 1999 年 7 月 29 日飞近 1992 KD 号小行星 (最近更名为 9969 号布雷尔) 并进行了观测, 于 2001 年 1 月飞近威尔逊-哈林顿彗星, 同年 9 月飞近布雷利彗星, 12 月任务结束。该探测器总重 486.3 kg, 在轨干重 373.7 kg, 体积为 $2.5\text{m} \times 2.1\text{m} \times 1.7\text{m}$, 实际工作寿命长达 3 年 2 个月 5 天。该计划共耗资 1.67 亿美元, 另外单独拨款 3 800 万美元作为离子发动机研制经费。

(3) 美国星尘号彗星取样返回计划

该计划也是美国 NASA “发现计划” 的项目之一, 其主要探测目标是取回怀尔德-2 (81P/Wild2) 彗星的尘埃, 以分析研究太阳系形成初期的物质组成。星尘号彗星探测器是世界上第一个采集彗星样品并

带回地球的探测器, 该项目也是继阿波罗计划以后第二个取回地外天体物质样品的项目。该探测器于 1999 年 2 月 7 日发射升空, 2000 年 2 月至 2002 年 12 月期间进行了两次星际尘埃收集, 2003 年 12 月采集了怀尔德-2 彗星的尘埃, 其返回舱于 2006 年 1 月 15 日成功着陆于地球预定地区, 而探测器进入休眠状态, 寻找新任务机会, 将于 2009 年 1 月再次飞近地球。2006 年 NASA 宣布第一批彗星尘埃物质保留了 45 亿年前的“本色”, 而“星尘”返回的尘埃物质表明太阳系中心的物质可能到达了太阳系的外层空间。

(4) 美国深度撞击号彗星撞击计划

该计划的目的是通过撞击坦佩尔-1 彗星获取大量彗核碎片, 从而研究太阳系的起源, 并为地球遭遇小天体撞击时采取对策积累数据, 具体科学目标是: 探测彗核内部与表面的差异和彗星的基本特性、确定初始状态彗星的物质成分、探测撞击彗星产生的气体变化、探索彗星撞击地球造成的灾害。2005 年 7 月 4 日, 美国的深度撞击号彗星探测器在飞行了 6 个月、 $4.31 \times 10^8\text{km}$ 后, 在距离坦佩尔-1 彗星 $86.4 \times 10^4\text{km}$ 处释放了 370 kg 的撞击器, 撞击器以 10.2km/s 的速度精确地击中彗核表面, 撞击精度相对瞄准中心的脱靶量不超过 100 m。撞击产生了 32 次大小不同的彗星内部物质喷发, 通过仪器获得了宝贵数据, 揭示了彗星内部的原始物质和有机成分, 从而获得“揭开太阳系形成之谜的新线索”。撞击彗星后, 探测器于 7 月 20 日改变方向飞向波星 (Boethin) 彗星, 并将于 2009 年 1 月对其进行观测。

(5) 美国黎明号小行星探测计划

黎明号 (Dawn) 探测计划属于美国“发现计划”, 主要目标是研究位于火星与木星之间的主要小行星带——1 颗谷神星 (Ceres) 和 4 颗灶神星 (Vesta) 的星球物理与星球化学性能, 它们是从其形成就保持完整的最大的原行星, 此次探测将大大增强对太阳系最早期历史阶段所呈现的条件与过程的了解。该探测器于 2007 年 9 月 27 日成功发射, 预计将于 2011 年 10 月到达灶神星, 2015 年 2 月到达谷神星, 其飞行距离超过 $50 \times 10^8\text{km}$ 。

此外, 美国还和日本合作计划研制“微型太空工程”探测器, 将对小行星进行探测活动^[14]。

2) 欧洲的小行星和彗星探测计划

欧洲的小天体探测计划主要有 ESA 的“地平线 2000 计划”。

欧洲罗塞塔号 (ROSETTA) 计划属于 ESA 的

“长期空间科学计划”,其任务是探测器经过 10 年旅程与 67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星交会,并在途中飞越小行星。科学目标是研究彗星的起源、彗星物质与星际物质间的关系和与太阳起源的联系。主要内容包括探测彗核的全局特征、挥发物及组成成分与特性、表层与内部物质发展过程,以及小行星的全局特征等。罗塞塔号探测器是迄今为止欧洲最先进的科学探测器之一,发射质量为 3 000kg,它以一个 2.8m×2.1m×2.0m 的箱体作为中心结构,两个太阳翼展开长度均达 14m,最大包络尺寸为 32m,如图 27 所示。它由轨道器和其背驼的着陆器组成,着陆器是第一个在彗核表面进行软着陆的飞行器,重 100kg,利用三条着陆腿在彗星表面软着陆。轨道器所携带的科学仪器主要包括:①用于遥感的光学、分光仪与红外遥感成像系统(OSIRIS)和紫外成像光谱仪(ALICE)、可见光与红外热成像光谱仪(VIRTIS);②用于离子和彗核成分分析的光谱仪(ROSINA)、质量分析仪(COSIMA)和显微成像尘埃分析系统(MIDAS);③用于彗核大尺寸结构研究的射电传播彗核探测试验装置(CONCERT);④用于尘埃流量与质量分布研究的颗粒碰撞分析仪和尘埃累计器(GIADA)。着陆器所携带的科学仪器主要包括:①α/X 射线探测器(APXS);②用于等离子体成分探测的析出气体分析仪(托勒密);③全景与微观成像系统(CIVA);④用于射电探测的彗核断层扫描仪(CONCERT)。2004 年 3 月 2 日,罗塞塔号探测器发射升空,开始了长达 50×10⁸km 的旅程;2005—2009 年,将有 3 次地球重力加速和 1 次火星重力加速;将于 2014 年飞抵维尔坦彗星,并在其表面着陆;整个任务将于 2015 年 12 月结束^[23]。

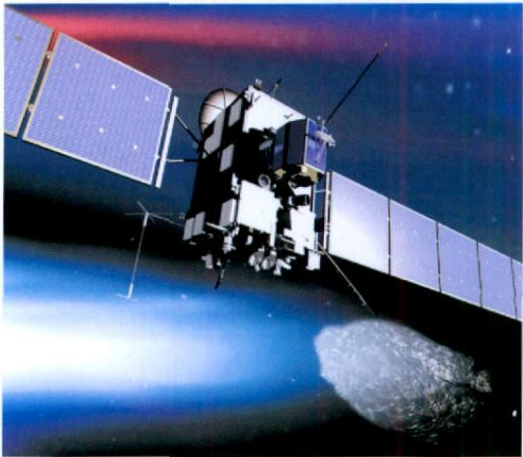


图 27 欧洲罗塞塔号彗星探测器

Fig. 27 Europe ROSETTA comet probe

3) 日本的小行星和彗星探测计划

日本的小天体探测计划主要有“隼鸟”计划。

隼鸟(Hayabusa)计划又称缪斯-C(MUSES-C)计划,它的任务是探测 25143 号小行星 1998SF36(现定名为糸川(Itokawa)),该小行星是一个潜在威胁的小行星(PHA),在火星与土星之间围绕太阳运行,距离地球约 2.88×10⁸km。“隼鸟”探测器是一个多目标多任务探测器,它是第一个在 20km 近距离观测小行星的探测器,随后它在小行星上着陆并取样返回,同时验证多项工程技术(主要包括:采用离子推进系统作为主推进器进行星际航行、利用光学测量设备自主导航、在微重力条件下小行星表面采样和返回舱从太阳轨道直接进行地球大气再入)。该探测器采用了多项先进技术,包括依靠电推进发动机进行行星际航行的技术,利用地球引力改变探测器飞行方向的变轨技术,利用光学信息接近小行星并通过自主导航、制导在小行星上着陆并采样的技术,以及先进的定位技术和遥控技术等,充分反映出日本在这一领域的技术水平。2003 年 5 月 9 日,“隼鸟”小行星探测器发射升空;2005 年 11 月 26 日,该探测器进行第二次着陆尝试,所释放的 2 颗着陆器(自动采样机器人)在糸川小行星上着陆,但是由于着陆与飞行中出现故障,采样未获成功;同年 12 月,该探测器的化学推进剂几乎完全泄漏,但氦气量保持未变;2006 年 3 月,该探测器重新定轨,如果能够正常开启离子推进器,它将于 2010 年 6 月返回地球。这次探测已经取得了部分成果,首先对小行星进行了成功的观测,加深了对小行星的认识;同时验证了电推进技术,以及着陆、采样技术。

2.9 太阳系外深空探测

2005 年,在太空飞行近 30 年的美国旅行者-1 探测器穿越太阳系边界,首次到达太阳系边缘,发回了有关太阳系边界的大量数据,并清楚地描述了边界的物理性质。目前,它已经距离地球 140×10⁸km。

“科罗”(Convection, Rotation and Planetary Transits, COROT)是由法国领导的欧洲天文探测器,其任务是寻找太阳系外其他恒星系的类地行星并研究恒星内部。该探测器是一台天基望远镜,重 650kg,可探测恒星亮度的微小变化,能够发现太阳系外各种尺寸和特性的行星。“科罗”探测器于 2006 年 12 月 27 日发射升空,有望在为期 2 年的任务中极大增加对太阳系外行星数目的了解,天文学家希望利用“科罗”寻找到 10~40 颗较小的新行星。

和 10 多颗大型气态行星;它还将首次对岩石行星进行探测。2007 年 5 月,它提供了有关太阳系外的巨行星的第一张图像,该行星正环绕另一个“太阳系”——位于距地球约 1 500 光年的麒麟(Unicorn) 星座方向的黄侏儒(Yellow Dwarf) 中的恒星运行。“科罗”可以同时观测多达 12 000 颗星,而且由于其观测周期很长(达 150d),因而观测精度很高^[26]。

3 21 世纪各国(地区) 各类深空探测计划综合分析

21 世纪各国(地区) 各类有关深空探测计划状况如表 1 所示,世界各国(地区) 深空探测计划进度如图 28 所示。

表 1 21 世纪各国(地区) 各类有关深空探测计划状况 *
Table 1 21st Century deep space exploration programs and plans of various countries and regions in the world *

探测目标	国家(或地区)				
	美国	苏联/ 俄罗斯	欧洲	日本	印度
综合多目标	● NASA 空间探测计划(2005— 2035 年)	● 俄联邦 30 年航天发展规划(2007— 2036 年) ● 远期航天发展规划(2006— 2040 年)	● ESA“ 曙光” 深空探测计划(2005— 2035 年)	● JAXA 太空开发长期(远景) 规划(2005— 2015 年) ● 太阳系探测计划	● 载人航天计划(2005— 2025 年)
月球	● 重返月球计划(2005— 2021 年) ○ 月球勘探轨道器(LRO) 计划(2008 年) ○ 月坑观测与探测卫星(LCROSS) 计划(2008 年) ○ 月球先驱机器人探测计划(2008— 2015 年) ○ 载人登月计划(2018— 2021 年) ○ 月球前哨站基地建设计划(2021— 2025 年)	● 月球探测计划(2007— 2025 年) ○ 机器人无人月球探测计划(2008— 2015 年) ○ 月球-全球计划(2012 年) ○ 载人月球计划(— 2025 年) ○ 月球基地建设计划(2028— 2032 年)	● 月球探测计划(2001— 2024 年) ○ 智慧-1(SMART-1) 月球探测卫星计划;(2003— 2006 年) ○ 月球背面观测望远镜计划	● 月球探测计划(2005— 2025 年) ○ 月球工程卫星(“ 月女神”)(SELENE) 计划(2007 年)	● 月球探测计划(2006— 2020 年) ○ 月球初航-1 卫星计划(2008 年) ○ 月球初航-2 卫星计划(2011 年)
火星	○ 奥德赛探测器计划(2001— 2003 年) ○ “ 火星探测漫游者” 表面探测器/勇气号着陆器、机遇号着陆器计划(2003— 2005 年) ○ 凤凰号火星探测器计划(2007— 2008 年) ● 未来 10 年火星探测规划(2009— 2020 年) ○ 火星勘察轨道器(MRO) 计划(2005~ 2006 年) ○ 火星科学实验室(MSL) 计划(2009 或 2011 年) ● 载人火星探测计划(2028— 2035 年)	● 火星探测计划(2007— 2040 年) ○ 机器人火星探测计划(2009 年—) ○ 福布斯探测器计划(2009 年) ○ 载人火星登陆计划(2035 年—)	○ 火星快车(ME) 探测器/猎兔犬-2 着陆器计划(2003— 2006 年) ○ 火星漫步者(Exo-Mars) 探测器计划(2009 或 2011 年) ○ 火星采样返回(MSR) 任务计划(2011— 2014 年) ○ 载人技术验证计划(2014 年) ○ 前期技术验证计划(2018 年) ● 载人火星探测计划(2025— 2035 年)	○ 希望号(NOZOMI) 火星探测器计划(1998— 2003 年) (2003 年 12 月放弃进入火星轨道) ● 火星探测设想(2017— 2030 年)(建议)	● 火星探测计划(2020— 2035 年)
金星			○ 金星快车(VE) 探测器计划(2005— 2009 年)		

探测目标	国家(或地区)				
	美国	苏联/俄罗斯	欧洲	日本	印度
水星	◎信使号轨道器计划 (2004—2012 年)		◎贝皮·柯兰布探测器 计划(欧日合作) (2013 年)	◎贝皮·柯兰布探测 器计划(欧日合作) (水星行星轨道器 (MPO)计划) (2013 年)	
木星	◎朱诺 探测器 计划(2011—2017) ◎木星冰封卫星轨道器 (JIMO) 计划(2015 年)				
土星	◎卡西尼探测器 惠更斯着 陆器计划(美欧合作) (1997—2008 年)		◎卡西尼探测器 惠更 斯着陆器计划(美欧合 作)(1997—2008 年)		
天王星、 海王星、 (冥王星)	◎冥王星-柯依伯快车探测 器计划(新视野冥王星探测 器计划)(2006—2015 年)				
小行星和 彗星	◎“发现”小天体探测计划 ◎近地小行星交会(NEAR) 探 测 器 计 划(1996—2001 年) ◎深空-1 探测器计划 (1998—2001 年) ◎星尘号彗星采样器计划 (1999—2002 年) ◎“彗核之旅”(CONTOUR) 探测器计划(2002 年) ◎深度撞击号(DI)彗星探测 器计划(2005 年) ◎美国黎明号(Dawn)小行 星探 测 计 划(2007—2015 年) ◎“微型太空工程”探测 器(美日合作)		◎罗塞塔号 (ROSETTA)彗星探测 器计划 (2004—2014 年)	◎缪斯(MUSES)小 行星探测器计划 ◎隼鸟(Hayabusa) (又称缪斯-C(M-C)) 小行星探测器计划 (2003—2007 年) ◎“微型太空工程”探 测器(美日合作)	
太阳系	◎“起源”太阳风探测计划 (2001 年)				
太阳系外 天体	◎旅行者-1 探测器计划		◎科罗(COROT) 天文探测器计划 (2006)		

注: (1) * 绝大部分是 21 世纪的深空探测计划, 但其中包括 20 世纪末开始实施至 21 世纪初尚未完成的探测计划;
(2) 表中各项计划前的符号含义: ● 战略规划和计划; ◎ 分类计划; ○ 项目计划。

综合上述世界各国(地区)的深空探测计划及其进展, 可以看出下列一些特点和趋势。

1) 制定长期空间探测发展战略及规划, 坚持前瞻性和可持续性发展

进入 21 世纪以来, 世界各航天国家或地区包括美国、俄罗斯、欧洲(含英、德各国)、日本、印度等在深空探测方面表现出了异乎寻常的兴趣, 纷纷发布空间探测战略或制定长远发展规划, 甚至把时间进

度延长至 2025—2040 年, 推出了月球、火星乃至更远深空的探测设想。这一方面反映出在经过 20 世纪后期相对沉寂的大型深空探测活动时期之后的能量爆发, 另一方面也说明新世纪人类对未来空间科学探索的渴望和各国在空间技术乃至国力竞赛上的需求。在这些战略和规划计划中, 既具有前瞻性的展望和新技术的开发, 也坚持可持续发展的战略, 注重利用已有经验和成熟技术, 提高任务可靠性, 讲求

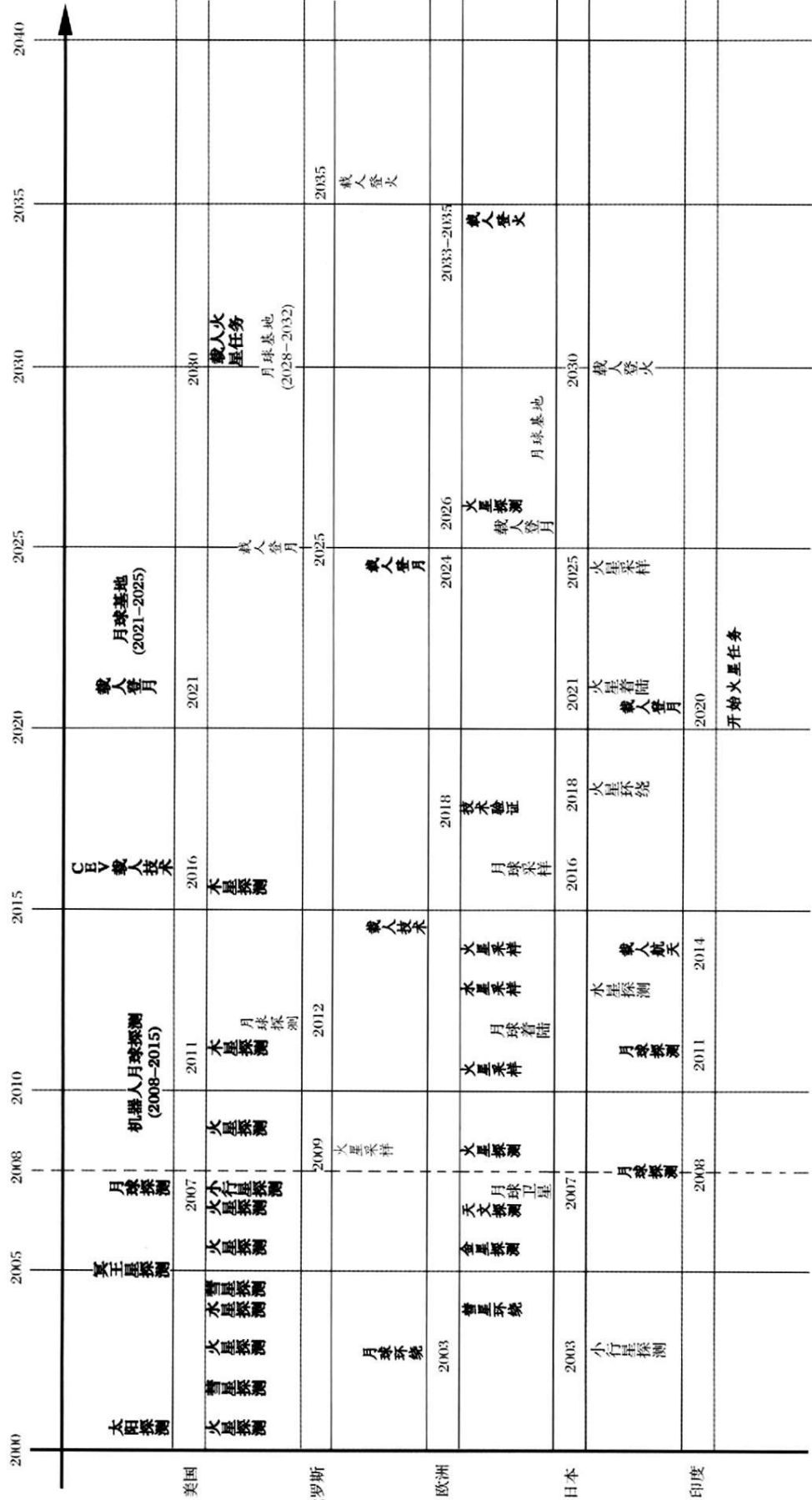


图 28 21 世纪世界各国（地区）深空探测计划进度一览表

Fig. 28 21st Century deep space exploration programs and plans schedule of various countries and regions

成本效益, 依照各自国情和技术基础分阶段循序渐进, 而不再像 20 世纪美苏争霸那样不惜工本或冒进。

2) 各国(地区)的深空探测规划在规模、进度、能力上彼此存在较大差异

从表 1 和图 28 可以看出, 各国(地区)的深空探测计划存在较大差异。美国在 21 世纪仍然是世界深空探测领域的超级大国, 探测范围最广, 计划进度领先, 资金投入量大, 技术水平先进; 相比之下俄罗斯要逊色得多, 且由于经济因素(经费不足)和政治军事因素(更加关注发展洲际弹道导弹), 致使深空探测计划至今尚未真正落实, 但因其深空探测技术基础很好, 尤其是无人月球探测和载人航天技术位居世界前列, 未来潜力不可小视; 欧洲及其各国在深空探测领域大有后来居上之势, “曙光”计划规模庞大, 探测范围较广, 并积极参与国际探测计划, 不过目前其载人探测能力较弱; 日本在深空探测领域虽然能力有限, 但起步较早, 技术精良, 卓有特色, 前景可观; 印度凭借其航天技术基础, 并注重技术引进和国际合作, 也将在深空探测领域跻身一席之地, 但计划不实, 前途未卜。

3) 探测目标近中期以月球和火星为重点, 各国(地区)各具特色, 互为补充

纵观全球, 目前世界各国(地区)深空探测的主要目标仍是月球、火星以及小天体和太阳系, 目的是继续寻找水与生命的存在和类地行星。其中, 月球显然仍是近期全球探测的重点, 大约在 2015 年前进行各种无人探测, 2020 年左右或以后实现载人登月, 并建立长期工作站和基地; 火星是第二大探测目标, 一般计划在 2030 年以后逐步实现载人登陆火星; 金星和水星也是无人探测的重点, 其他行星探测则较少; 小天体包括小行星和彗星则成为人们关注和竞相探测的对象, 行星的卫星(除月球外)也是未来颇具吸引力的探测目标; 对太阳(系)的观测和探测将更加受到重视。但是, 由于宇宙广阔无垠, 任何一个国家都不能包揽全局, 只能各取重点, 逐步发展。鉴于各国(地区)航天活动的历史和现有能力与技术基础各不相同, 因而在深空探测目标上各有侧重。美国在已实现载人登月和火星等行星以及小行星、彗星无人探测的基础上, 以载人重返月球(或登陆小天体)为先导, 向火星和更远的行星迈进, 最终重点目标是建立月球和火星基地; 俄罗斯也以登上月球为初步奋斗目标, 并已考虑火星登陆; 欧洲目前计划重点则是金星、水星探测, 将来将在无人月球探

测的基础上实现载人月球和火星探测; 日本近期则瞄准了小行星探测, 并将开展无人月球、火星和水星探测; 印度目前重点是从月球探测起步。

4) 深空探测逐渐迈向全球化, 加强国际合作和资源共享

虽然目前世界上参与深空探测的国家(或地区)以及所探测的目标还相对有限, 但是已经反映出深空探测是全人类的共同事业。由于深空探测是一项多学科、多技术、多任务的综合大系统工程, 涉及全人类今后长远的科学目标与经济利益, 研究范围广、时间长、耗资大, 单靠一两个国家的能力难以概全, 达到良好效果; 而且, 许多国家在深空探测领域各有所长, 或拥有自己的重点研发技术, 因而开展国际合作是必然趋势。近年来, 各国(地区)在深空探测领域制定了许多合作计划。例如欧洲的“曙光”计划和“火星快车”、“金星快车”等深空探测器及其有效载荷的研制, 就是欧洲各国包括法、英、德、意成功合作的典范。再如, 美欧合作的卡西尼土星探测器、惠更斯着陆器计划、欧日合作的贝皮·柯兰布水星探测器计划、美日合作的“微型太空工程”小行星探测器等。特别是 2006—2007 年提出的“全球探测战略”, 鼓励各国开展广泛的技术开发与合作, 为 21 世纪深空探测的全球性国际合作和资源共享开启了新的机遇之门。2006 年 12 月, NASA 副局长沙纳·戴尔就在第二届国际空间探测大会上公开提出美国希望开展空间探测国际合作的 10 个领域 29 项技术^[27]。

需要指出的是, 21 世纪初期各国(地区)的深空探测发展计划, 由于技术、经济等因素的影响, 其中许多计划将会调整、延迟或取消, 一些新的计划可能会产生, 探测重点也可能发生一些转移。总体来看, 这些计划的实施必将取得远超过 20 世纪的科学成果, 使人类认识宇宙的能力进一步增强, 并为 21 世纪中后期的深空探测活动奠定必要的良好基础。

参考文献 (References)

- [1] NASA. 2006 NASA strategic plan[M]. NASA, 2006, 1: 1-48
- [2] Covault Craig, Canaveral Cape. Moon stuck(“Alternate vision” for exploration)[J]. Aviation Week & Space Technology, 2008, 168(3): 24-27
- [3] Connolly John F. Constellation program overview[R]. NASA, 2006, 10: 1-22
- [4] Cooke Doug, Yoder Geoff. Lunar architecture update[R]. NASA, 2007, 9: 40
- [5] 魏雯. 俄罗斯 2006—2015 年航天规划概述(上)[J]. 中

- 国航天, 2006(11): 33-36
- [6] 魏雯 编译. 2006—2030 年俄罗斯载人航天发展构想 [J]. 中国航天, 2007(9): 30-36
- [7] 中国航天 编译. 佩米诺夫谈俄航天 [J]. 中国航天, 2007 (10): 9-10
- [8] Hufenbach (ESA). European perspectives on international cooperation for sustainable space exploration [C]. 2nd Space Exploration Conference, 2006, 12: 1-10
- [9] 吴伟仁 主编. 奔向月球 [M]. 中国宇航出版社, 2007, 10: 215-248, 291-304
- [10] ESA. Cosmos vision 2015—2025, M-class mission [EB/OL]. 2008-04-03. <http://sci.esa.int/science/www/area>
- [11] Kohtaro Matsumoto (JAXA). Moon and planetary exploration in JAXA [C]. 2nd Space Exploration Conference, 2006, 12: 1-10
- [12] Tatsuaki Hashimoto (JAXA). Robotic lunar exploration scenario-JAXA plan [R]. 2006, 5: 1-26
- [13] Virender Kamar (ISRO). Indo-US cooperation in civil space [C]. 2nd Space Exploration Conference, 2006, 12: 1-23
- [14] 陈闽慷. 从国际空间探测到我国发展策略 [J]. 导弹与航天运载技术, 2006(2): 20-26
- [15] 佟艳春. 美国重返月球计划 [J]. 导弹与航天运载技术, 2006(2): 27-31
- [16] NASA. FY 2008 budget estimates [R]. NASA, 2007
- [17] Atkinson David J, Lavoie Anthony. The lunar precursor robotic program [R]. AIAA 2007-137, 2007, 1: 1-6
- [18] 刘晓川, 等. 2006 年载人航天和深空探测发展综述 [R]. 中国航天工程咨询中心, 2007, 1
- [19] NASA. Constellation program: America's fleet of next-generation launch vehicles [R/OL]. 2007. <http://www.nasa.gov>
- [20] Sumrall John P, et al. A new heavy-lift capability for space exploration: NASA's ARES V cargo launch vehicle [R]. IAC-06-D2. 4.04, 2006: 1-16
- [21] RIA Novosti. Russia, India sign joint lunar research deal [R]. Itar-Tass, 2007, 11: 1-2
- [22] Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (JAXA). Japan launched KAGUYA (SELENE) with H-IIA 13 launch vehicle [R]. JST, 2007, 9: 1-2
- [23] 邓湘金, 张镐, 彭兢. 多目标任务深空探测技术初探 [J]. 航天器工程, 2006, 15(2): 45-50
- [24] Fabrega J, Schirrmann T, McCoy D, et al. Europe goes to venus: the journey of venus express [R]. IAC-06-A3.2.02, 2006: 1-9
- [25] Oleson Steven R. Electric propulsion technology development for the Jupiter Icy Moons orbiter project [R]. AIAA 2004-5908, 2004, 9: 1-16
- [26] Taverna Michael A. COROT could detect Earth-sized planets [J]. Aerospace Daily & Defense Report, 2007, 5
- [27] Dale Shana. Exploration strategy and architecture [C]. 2nd Space Exploration Conference, 2006, 12: 1-18

(编辑: 李多)

动态新闻

中国空间技术研究院西安分院成立

2008 年 4 月 8 日, 中国空间技术研究院西安分院成立庆典隆重举行, 航天科技集团公司、中国空间技术研究院相关领导以及国资委等单位的嘉宾出席庆典。中国空间技术研究院西安分院的成立, 是集团公司和中国空间技术研究院为打造综合实力强大的空间飞行器有效载荷研制与产业化基地而实施的一项重要决策。它的成立, 将加速和引领我国空间飞行器有效载荷技术研究, 提升我国航天器载荷系统研发效率, 创新集成能力和产业化水平, 推进我国航天活动实现更快捷、更全面的进步, 促进我国卫星应用产业发展实现新的跨越。

中国将用卫星遥感建立覆盖全国的土地利用监测图

2008 年 3 月 14 日, 国土资源部副部长负小苏称, 部决定从今年起, 利用卫星遥感, 建立全国全覆盖的土地利用监测影像图, 以做到土地违法的事件早发现、早制止、早查处。