

# 嫦娥四号对我国空间科学国际合作模式的启示与展望

王 琴<sup>1</sup> 范全林<sup>1</sup> 薛长斌<sup>1,2</sup> 时 蓬<sup>1</sup>

(1. 中国科学院国家空间科学中心; 2. 中国科学院月球与深空探测总体部 100190)

## 1. 引言

我国完全自主实施的探月工程又名嫦娥工程,是中国航天迈向深空探测零的突破。自2004年1月正式立项以来,我国先后成功发射了嫦娥一号、二号、三号、五号T1试验器和四号任务,实现了“五战五捷”,成为人类进入21世纪后月球探测活动的重要力量。深受世人瞩目的嫦娥四号任务实施了两次发射,2018年5月21日发射“鹊桥”号中继星;由“玉兔二号”巡视器和着陆器组成的嫦娥四号探测器于2018年12月8日从西昌卫星发射中心升空,2019年1月3日顺利在月球背面预选区着陆,由多个国家和国际组织参与的科学探测任务陆续展开。

嫦娥四号任务的圆满成功,媒体“揭秘”报道了美国国家航空航天局(NASA)主动与中国国家航天局自2018年下半年以来就月球与深空探测合作进行的讨论,包括NASA月球勘探轨道器(LRO)团队希望利用美方在月球轨道运行的LRO卫星观测嫦娥四号着陆时激起的月尘羽流信息、美方希望要延长鹊桥中继卫星的时间至五年等等<sup>①②</sup>。但是嫦娥四号国际合作的亮点远非这些,本次任务成功搭载沙特、荷兰、德国和瑞典等四国科学家研制的科学载荷并成功获取探测数据更是我国空间科学国际合作的新亮点。

## 2. CE-4 拉开探月工程国际合作新序幕

嫦娥四号任务首次搭载了荷兰、沙特、德国、瑞

典的四台科学载荷,拉开了中国探月工程国际合作的新序幕。

嫦娥四号任务的中继星“鹊桥”携带了由荷兰研制的低频射电探测仪,是一台空间天文学载荷。其主要性能指标:三个单极,每个5 m;3个频段: $<3$  MHz, 1~60 MHz, 60~80 MHz;下行链路: $<10$  Mbps;功率: $<25$  W。这个低频射电探测仪可以聆听低频的宇宙之声,这些宇宙之声携带着宇宙大爆炸后几亿年时间里的蛛丝马迹,那时正是氢气云孕育第一代恒星的宇宙黑暗时代(Dark Age)。截止目前低频射电探测仪完成了天线收拢状态下的加电测试,数据正常。

与“鹊桥”一同发射升空的“龙江二号”月球超长波天文观测微卫星上搭载了由沙特研制的月球小型光学成像探测仪,该载荷已顺利实现对月观测,成功获取了清晰的月球表面可见光图像,并完成了图像数据的解译处理,技术指标满足双方签署的实施协议要求。

在着陆器上搭载了德国研制的月表中子与辐射剂量探测仪。其主要性能指标:LET谱范围:0.1~430 keV/ $\mu\text{m}$ ;热中子通量:10~10<sup>4</sup>个/分钟;快中子:2~20 MeV;质子能谱:12~30 MeV;电子能谱:150~500 keV; $\alpha$ 粒子能谱:15~20 MeV/n;重离子能谱:20~100 MeV/n(与粒子种类相关)。它具有测量月表的能量中性粒子和带电粒子辐射等功能,对于未来人类登陆月球提供人体防护和危险度的评估参考。截止在第四个月昼月表中子与辐射剂量探测仪完成4次科学探测。

搭载在“玉兔二号”巡视器上的科学载荷是中方与瑞典合作的中性原子探测仪,它主要研究月球表面粒子与太阳风暴间的相互作用。其主要性能指标:能量范围:10~10 keV;能量分辨率:能量中性原子:30%,正离子:7%;时间分辨率:10 s。目前,嫦娥四号已经成为人类第一个实现月球背面软着陆的探测器,它所携带的科学探测设备,也为中外科学家提供了一个太空探索的机会。德国、瑞典探测仪获取的探测数据均通过“鹊桥”中继星陆续传回地面。截止在第四个月昼中性原子探测仪完成4次科学探测,嫦娥四号任务的顺利实施凝聚着诸多参与国的贡献。除了前述中继星、着陆器和巡视器搭载的科学载荷外,我国在南美建设的阿根廷深空站参加测控任务,也发挥了重要作用;欧洲空间局测控站也将发挥支持保障作用,而中俄合作开展的同位素热源则为嫦娥四号安全度过月夜提供了关键能源保障。

### 3. 中国探月引领新世纪国际探月浪潮

回顾人类深空探测史,苏联的月球2号于1959年9月登陆月球,是首个登陆月球的探测器,而美国的阿波罗11号则于1969年7月成功登陆月球,航天员尼尔·阿姆斯特朗和巴兹·奥尔德林成为人类历史上登陆月球第一人。美苏等竞相实施的探月活动属于人类第一次探月高潮。但在美国1972年12月14日阿波罗17号最后一次登月后的18年中世界各国谁也没有探测过月球。20世纪90年代末,又兴起了新一轮的探月高潮,叫“重返月球”。据统计,进入第二次探月高潮以来全球共进行了16次月球探测,其中我国探月工程五战五捷,成为本轮国

际探月高潮的亮点<sup>③</sup>。

日本共进行了两次探月活动,分别为1990年1月24日日本飞天号/羽衣号轨道器(Hiten/Celestial Maiden/Hagomoro)部分成功;2007年9月14日月亮女神号(SELENE/KAGUYA)轨道器。美国共进行了六次月球探测,分别为:1994年1月25日,克莱门汀号(Clementine)轨道器;1998年1月7日月球勘探者号(Lunar Prospector);2009年6月18日月球勘测轨道器(LRO)和月球坑观测和遥感卫星(LCROSS);2011年9月10日重力重建与内部结构实验室(GRAIL);2013年9月7日月球大气与尘埃环境探测器(LADEE)。此外ESA,印度和以色列开展一次月球探测,分别为2003年9月27日ESA斯玛特1号(SMART 1)轨道器<sup>④</sup>;2008年10月22日,印度月船1号(Chandrayan-1)轨道器;2019年2月22日发射的以色列月球着陆器Beresheet(4月12日软着陆失败)<sup>⑤</sup>。

值得一提的是,印度月船1号和以色列的月球着陆器上科学载荷也开展了多方的国际合作。其中印度月船1号的亚千电子伏原子反射分析仪是由瑞典物理空间学会和太空物理实验室研制;月球矿物质绘图仪是由美国宇航局喷气推进实验室和布朗大学共同研制;辐射剂量监控器由保加利亚科学研究院研制;成像X射线频谱仪是由英国卢瑟福-阿普尔顿实验室和印度空间研究组织(ISRO)共同研制的。以色列月球着陆器的Beresheet月球激光后向反射镜阵列由NASA研制的。

### 4. 空间科学多元化多层次的国际合作

空间科学和深空探测是指以航天器为主要工



图1 (a)荷兰低频射电探测仪;(b)德国月表中子与辐射剂量探测仪;(c)瑞典中性原子探测仪



图2 以色列的月球着陆器 Beresheet 自拍照,距离地球 37 600 km<sup>⑥</sup>作平台研究行星地球、日地空间、太阳系乃至整个宇宙,旨在回答太阳系及宇宙形成与演化、生命起源、物质结构等重大科学问题。其中深空探测强调航天器脱离地球引力场,通过飞越、环绕、软/硬着陆与巡视、采样返回等方式对月球及以远天体或空间环境进行探测。

深空探测历来是竞争与合作并存,但时代的发展需要航天国家加强多渠道,多层次的合作方式。国际合作的主要因素可以归结为五个:实力、利益、认同、国际环境和国际机制。这些因素相互关联并相互作用,其中实力是合作的基础;利益是决定性的动力;国际环境和认同是关键性的制约因素;稳定良好的机制能够促进并推动国际太空合作的发展。

#### 4.1 中外双方平等合作

这主要是指航天国家之间对空间科学任务联合设计、联合开发。中欧联合空间科学卫星任务“太阳风—磁层相互作用全景成像卫星计划”(Solar wind Magnetosphere Ionosphere Link Explorer, SMILE)就是这一类型的典型例子。

SMILE 是继我国“地球空间双星探测计划”(双

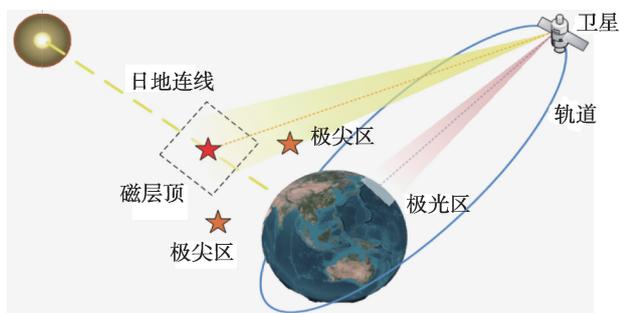


图3 SMILE 卫星轨道示意图

星计划)后,中国与欧空局又一空间科学探测国际合作项目。中欧双方将在任务全生命周期内,联合对其进行设计、研制和数据分析与利用,该计划将成为中欧双方在空间科学领域全方位深度合作的新里程碑<sup>⑦</sup>。

#### 4.2 中方为主,外方搭载

嫦娥四号是这一类型的典型代表。我国实施的这次探月任务,分别在中继星、着陆器和巡视器上共搭载外方四台科学载荷,自1月3日 CE-4 软着陆月球背面后,由多个国家和组织参与的科学探测任务陆续展开,中外科学家共同开展了相关研究工作。此外,哈工大环月微卫星“龙江二号”上的沙特微型成像相机已于2018年6月成功传回了地月合影<sup>⑧</sup>。2018年7月29日,中方交付沙特探月载荷第二批科学数据<sup>⑨</sup>。2019年4月18日,中方向瑞典等三国正式交接了嫦娥四号国际载荷科学数据,分别是瑞典的中性原子探测器数据、德国的中子及辐射剂量探测器数据及荷兰的低频射电频谱仪数据<sup>⑩</sup>。



图4 嫦娥四号任务搭载沙特月球小型光学成像探测器获取的地月合影图。新华社发(国防科工局供图)<sup>⑧</sup>



图5 中国国家航天局向沙特交付了沙特探月光学相机的第二批科学数据

随着嫦娥四号有效载荷的科学探测,月球背面的神秘面纱将会被逐步揭开,预期取得重要的科学成果,显著提升我国空间探测能力和空间科学水平,推进人类探索月球和宇宙的步伐<sup>⑫</sup>。中国国家航天局表示,愿与各国航天机构、空间科学研究机构和空间探索爱好者携手合作,共同探索太空奥秘<sup>⑬</sup>。

### 4.3 中方搭载,数据互补共享

中俄联合探测火星-火卫一的“萤火一号”任务是本类型国际合作的代表。

根据2007年3月中俄两国签署的《中国国家航天局和俄罗斯联邦航天局关于联合探测火星-火卫一合作的协议》<sup>⑭</sup>,中方萤火一号搭载在俄方福布



图6 国家航天局局长张克俭分别向瑞典、德国及荷兰交接了嫦娥四号国际载荷科学数据

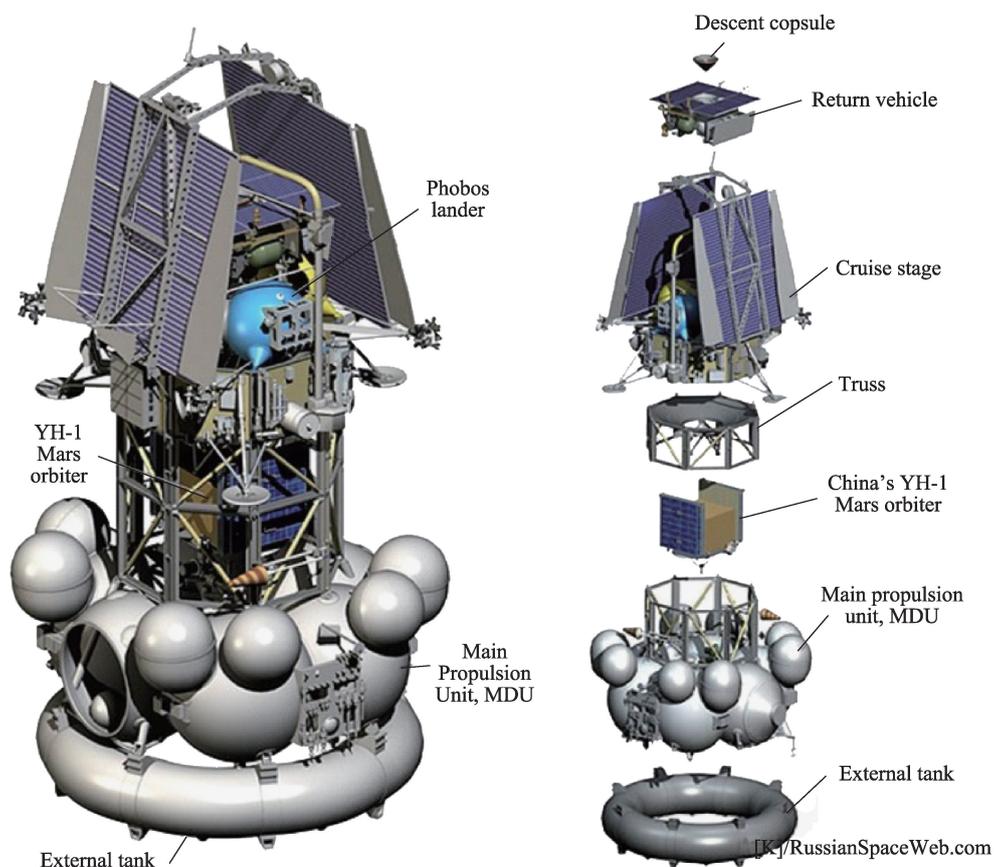


图7 “萤火一号”和“福布斯-土壤”探测器示意图<sup>⑮⑯</sup>

斯-土壤探测器上,进入火星引力场后,“萤火一号”将与“福布斯-土壤”分离,自主完成对火星高层大气和空间环境的探测,并与福布斯-土壤探测器联合完成对火星环境的掩星探测。从中方来看“借船出海”可节省资金、借鉴他国成熟经验、获得其深空测控网的帮助,并将我国科学家利用自主探测数据、深入开展对火星研究的时间提前。从俄方来看,“同船远航”可充分利用其运载火箭和探测器的搭载余量,获得额外的科学数据和经济效益。但遗憾的是,2011年“萤火一号”最终因为“福布斯-土壤”探测器变轨失败,整个任务宣告失败。

### 4.4 中外双方各自任务间的协同

从全球范围来说,现在月球及深空探测还在探索阶段,探索和利用深空是一项复杂、艰巨、高风险、高投入的事业,开展国际合作是必然发展趋势。经过载人航天工程、探月工程,中国在运载火箭技术、探测器研制等方面拥有良好的基础,已经具备开展更大规模深空探测的人才和技术储备。中美间就月球勘探轨道器(LRO)和嫦娥四号任务间的可能合作就属于中外双方各自任务间的协同的例子,尽管由于各种原因未能真正实施。

未来探月将再掀高潮,国际航天合作面临严峻形势,各自任务相对独立,任务间协同合作,发挥出1+1>2的效果。

## 5. 我国发布月球与深空探测合作新机会

CE-4首次打开探月国际合作大门,这仅是我国深空探测国际合作的序章。中国探月工程已实现绕月和落月探测,正在实施采样返回任务,并规划后续探测活动。2019年4月,我国正式发布未来月球与深空探测合作机会,向全球开放搭载平台和载荷资源,欢迎世界各国科学家积极参与嫦娥六号任务和小行星探测任务。

其中嫦娥六号任务作为嫦娥五号任务的备份,主要任务目标是实现无人自动采样返回。嫦娥六

号探测器由轨道器、返回器、着陆器和上升器四部分组成。轨道器完成地月转移、环月飞行和月地转移,着陆器和上升器从环月轨道降落至月面并完成样品采集,上升器携带采集到的样品从月面送至环月轨道并转移至返回器,返回器随轨道器负责将采集到的月壤样品带回地球。嫦娥六号任务轨道器和着陆器将分别提供10 kg,共20 kg质量用于搭载载荷<sup>①</sup>。此外,2019年3月中法也达成了探月合作协议,法国准备在嫦娥六号上搭载约15 kg的设备,包括一台照相机和一台分析仪,以方便对月球的研究、对月壤进行分析<sup>②</sup>。

小行星探测任务将对近地小行星2016HO3开展绕飞探测,随后择机附着小行星表面并采集小行星样品,之后返回地球附近释放返回舱,将小行星样品送回地球,这一过程大约在3年内完成。上述过程完成后,探测器经地球、火星借力,经历约7年时间飞行到达小行星带,对主带彗星133P开展绕飞探测。本任务将征集8种共计66.3 kg的科学载荷,包括中视场彩色相机、热辐射光谱仪、可见红外成像光谱仪、多光谱相机、探测雷达、磁强计、带电粒子与中性粒子分析仪、尘埃分析仪。同时还预留了200 kg运载能力用于搭载<sup>③</sup>。

展望未来,我们完全有信心相信,中国的空间科学与深空探测事业将乘胜前进,为推动世界航天事业发展继续努力,为人类和平利用太空、推动构建人类命运共同体贡献更多中国智慧、中国方案、中国力量,让太空探索和航天科技成果为创造人类更加美好的未来。

### 参考文献

- ① 美国宇航局: 正就嫦娥四号任务与中方展开合作, <http://news.cctv.com/2019/01/20/ARTIGxipMjtbFxa6wAxe35qj190120.shtml>
- ② 美国索要嫦娥四号数据被拒?中国国家航天局这样说, <https://news.china.com/domestic/945/20190112/34973997.html>
- ③ List of missions to the moon, [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_missions\\_to\\_the\\_Moon#Proposed\\_Missions](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_missions_to_the_Moon#Proposed_Missions)
- ④ 焦维新. 欧洲空间探测计划的特点及启示[J]. 国际太空, 2007(04): 10-13+33.

- ⑤ Beresheet (SpaceIL Lunar Lander), [https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/beresheet.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/beresheet.htm)
- ⑥ ISRAEL'S MOON LANDER JUST GOT PHOTOBOMBED BY THE EARTH, <https://futurism.com/the-byte/spaceil-moon-lander-beresheet-earth-picture>
- ⑦ 王赤,李自杰,孙天然,刘子谦,刘佳,吴琼,郑建华,李靖.“太阳风-磁层相互作用全景成像”卫星任务概况[J].国际太空,2017(08):13-16.
- ⑧ 嫦娥四号中继星任务国际合作取得新成果, [http://www.sohu.com/a/236681566\\_100011377](http://www.sohu.com/a/236681566_100011377)
- ⑨ 中沙联合发布搭载相机对月成像图, <http://www.clep.org.cn/n5982064/c6801942/content.html>
- ⑩ 中国交付沙特探月载荷第二批科学数据, <http://www.clep.org.cn/n5982064/c6802775/content.html>
- ⑪ 国家航天局交接嫦娥四号国际载荷科学数据发布月球与深空探测合作机会, <http://www.clep.org.cn/n132/n230/n18088/c6805879/content.html>
- ⑫ 王赤,严俊,吴伟仁,于登云,董光亮.嫦娥四号首次登陆月背开启科学探索之旅[J].科学新闻,2019(01):40-43.
- ⑬ 嫦娥四号国际合作设备开机 多国合作共探月背, <http://news.cctv.com/2019/01/10/ARTIrWBO36nEL3YBWg9gfhYC190110.shtml>
- ⑭ 中俄将联合探测火星[J].中国航天,2007(04):10.
- ⑮ BRIEF INTRODUCTION ABOUT CHINESE MARTIAN MISSION YINGHUO- 1, <https://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2010/pdf/1060.pdf>
- ⑯ Joint Yinghuo-1 and Phobos-Grunt VLBI Tracking for Martian Radio Science Experiments, <https://www.lpi.usra.edu/meetings/polar2011/pdf/6002.pdf>
- ⑰ Actualité : Aérospatiale, Astronautique, Civile et Militaire, <http://astro-notes.over-blog.fr/article-actualite-aerospatiale-astronautique-civile-et-militaire-80863932.html>
- ⑱ 嫦娥六号任务国际载荷搭载合作机遇公告, <http://www.clep.org.cn/n6020511/c6805890/content.html>
- ⑲ 嫦娥六号任务国际载荷搭载合作机遇公告, <http://www.clep.org.cn/n6020511/c6805890/part/6780408.pdf>
- ⑳ 中法将开展探月合作:嫦娥六号搭载法方设备, [https://www.guancha.cn/international/2019\\_03\\_26\\_495099.shtml](https://www.guancha.cn/international/2019_03_26_495099.shtml)
- ㉑ 小行星探测任务有效载荷和搭载项目机遇公告, <http://www.clep.org.cn/n6020511/c6805889/content.html>

~~~~~

(上接第72页)

有些科学家下结论说,在大气中爆炸的物体是一颗彗星(可能是恩克彗星, Comet Encke)。此概念最先由英国天文学家卫波(F. J. W. Whipple)于1930年提出,支持此假设的部分原因是爆炸后观察到的明亮天空。引起亮光的尘土与粒子可能是分解的彗尾残留。2010年勘探队使用透地雷达研究通古斯现场,找到了形成苏斯洛夫坑巨大冰块的证据,符合彗星的假设。批评此理论的人辩称,沿这么浅层轨道运行通过大气的彗星在进入更低层大气前就应已分解了。拥护彗星者反击说,它也可能是一颗死彗星,有着坚硬的外层,使它直到抵达低层大气时都能保持完整。

时至今日,大家有强烈的共识,认为引起通古斯大爆炸最有可能的是一颗像小行星的天体,这个理论因2001年的一份研究而加强,它说明此天体有

83%的几率(基于通古斯天体的大气轨迹的轨道模型)来自小行星带,于类似小行星的轨道运行。一份2013年从现场取得的碎片分析,以及事发地点的树脂研究都出现许多常见于岩石小行星中的物质,也都为此物体是一颗铁陨石的假设提供了支持。至于缺少坑洞,这小行星可能在穿过大气时因压力和温度遽增而崩解,力量太大以致于天体没有显著的残余留下来。

也许小行星理论最好的证据来自于2013年2月15日在俄罗斯乌拉地区(Ural district)一颗相类似,但稍小行星的爆炸,冲击波很强也足以震碎窗子。科学家确定它由一颗直径17~20米,重量大约11,000吨的小行星所引起的。

(本文转载自台湾大学科学教育发展中心“CASE 报科学”,网址 <http://case.ntu.edu.tw/blog/?cat=3145>)