

嫦娥 1 号绕月探测——中国航天迈向深空

郑永春¹, 欧阳自远^{1,2}

1. 中国科学院国家天文台, 北京 100012
2. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002

[摘要] 随着 1994 年的“克莱门汀”号和 1998 年的“月球勘探者”号月球探测器的发射成功和取得的新的科学发现, 在 21 世纪初, 世界各国相继宣布以月球和火星探测为中心的深空探测计划, 掀起自阿波罗计划之后的第二次月球探测高潮。中国在卫星应用和载人航天取得突破性进展之后, 适时开展月球探测, 填补了中国在深空探测领域的空白。绕月探测工程的实施经历了长达 10 年的政治、经济、科技等方面的综合论证, 于 2004 年初开始正式启动。2007 年初, 第一颗月球探测卫星——嫦娥 1 号的各项设施已经全部准备就绪, 待命出厂, 择机发射, 以确保首发必成。嫦娥 1 号绕月探测卫星的科学目标包括绘制月球立体地图、探测月表物质成分、探测月壤厚度和探测地月空间环境等 4 项科学任务。

[关键词] 嫦娥 1 号; 月球探测器; 深空探测; 科学目标

[中图分类号] V474.3

[文献标识码] D

[文章编号] 1000-7857(2007)05-0047-06

Chang'E-1 Lunar Orbiter: China's First Step into Deep Space Exploration

ZHENG Yongchun¹, OUYANG Ziyuan^{1,2}

1. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China
2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

Abstract: The successful launch of Clementine lunar orbiter in 1994 and Lunar Prospector orbiter in 1998 has seen many new scientific findings. During the first few years of the 21 century, many countries announced their new space policies and plans. The future space exploration will focus on the Moon and the Mars, and from the Moon to the Mars. Moreover, the Moon exploration, manned or unmanned, has been planned for the next 30 years. The implementation of Chinese lunar orbiter program, Chang'E-1, will fill in the blank page of deep space exploration in Chinese aerospace industry. Chinese lunar orbiter program was first proposed in 1994 and formally started in 2004, after 10 years' deliberation from various aspects, such as political, scientific and technological, and economical considerations. Chang'E-1 Lunar Orbiter will be launched by a Long March 3A launch vehicle in 2007. The orbiter is scheduled to be finally placed into a polar orbit of 200 km around the Moon, where it will carry out its tasks. The payloads include CCD Cameras and Imaging Spectrometer (31 kg, 50 watts), Laser Altimeter (11 kg, 25 watts), Gamma and X-Ray Spectrometer (35 kg, 15 watts), Microwave Radiometer (30 kg, 42 watts), High Energy Particle Detector (2.4 kg, 3 watts), and Low Energy Ion Detectors (7 kg, 7 watts). Scientific objectives of Chang'E-1 Lunar Orbiter include providing stereo imaging of the lunar surface, detecting 14 elements and petrology and mineralogy of the lunar regolith, studying the thickness of lunar regolith, and detecting the earth-moon environment.

Key Words: Chang'E-1; lunar orbiter; deep space exploration; scientific objectives

CLC Number: V474.3

Document Code: D

Article ID: 1000-7857(2007)05-0047-06

1 首发必成, 决胜但看 2007

绕月探测是我国月球探测的第一期工程, 工程的目标是向月球发射一颗极月低轨卫星, 近距离探测月

表形貌、结构、物质成份, 以便更深入地研究月球和地月空间。工程的组织包括月球探测卫星、运载火箭、发射场系统、测控通信系统和地面系统五大组成部分, 是

收稿日期: 2006-10-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(40473036, 40573074), 中国科学院知识创新工程方向性项目(KGCX3-SYW-409)

作者简介: 郑永春, 男, 北京市朝阳区大屯路甲 20 号中国科学院国家天文台, 助理研究员, 主要从事天体化学与比较行星学研究;

E-mail: zyc@bao.ac.cn

一项复杂的多学科综合、高技术集成的系统工程。在绕月探测工程领导小组的领导下,经历了2004年初的启动年、2005年的攻坚年和2006年的决战年,为2007年决胜年的首发成功打下了坚实的基础,嫦娥1号卫星计划于2007年4月在西昌卫星发射中心发射。

目前,绕月探测工程各部门已经明确责任制、立下军令状,将任务分解到每一个元器件、每一道工序。参与嫦娥工程的全体科技人员发扬“严、细、慎、实”的工作作风和“特别能吃苦,特别能战斗,特别能攻关,特别能奉献”的载人航天精神,全力以赴,加班加点,确保首发必成,决胜2007。

2004年是绕月探测工程的开局年。目前已成立了工程领导小组,召开了领导小组会议,任命了工程总指挥、总设计师和首席科学家的工程两总系统(见图1);协调了总体技术方案和总体计划流程;各部门建立了工程研制队伍。



图1 绕月探测工程总指挥栾恩杰(前排中)、总设计师孙家栋(前排右)、首席科学家欧阳自远(前排左)在研究工作
Fig. 1 The Chief Director, Luan Enjie(middle in the front table), Chief Designer, Sun Jiadong(right in the front table) and Chief Scientist, Ouyang Ziyuan(left in the front table) are discussing the moon exploration program

2005年是工程的攻坚年,也是绕月探测工程的系统集成年、大型试验年、问题暴露年、技术见底年。通过技术攻关、系统集成和大型试验,各种问题得到了充分的暴露和解决,工程技术方案得到验证,技术风险逐渐化解。

2006年是工程的决战年,决战的目标是实现2007年4月绕月探测工程首发成功。工程面临着任务重、时间紧、要求高、难度大的严峻挑战。各系统加强基础建设,狠抓关键技术和薄弱环节,狠抓过程控制和试验验证,确保系统可靠、协调,确保工作规范、产品质量优良。嫦娥1号的奔月之路示意图见图2。

2 嫦娥1号,探索月宫宝藏

嫦娥1号是中国第一颗绕月球转动的人造卫星。

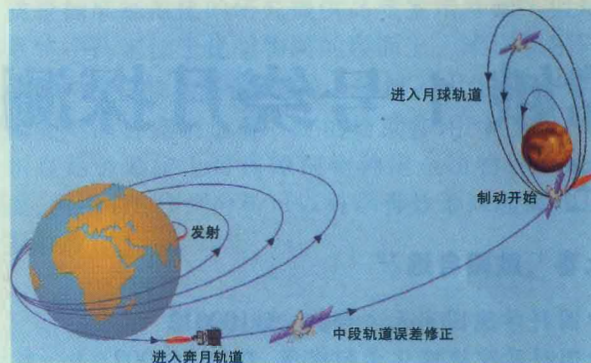


图2 嫦娥1号的奔月之路示意图
Fig. 2 Chang'E-1's way to the Moon

以前发射的所有卫星,包括载人航天都是环绕地球转动的,而且最远的距离也就是距地球五六万km。这一次,不仅要发射卫星奔赴38万km之外的月亮并绕着月亮转,需要攻克很多的技术难关,而且嫦娥1号的科学目标也有自己的创新,力争作出中华民族应有的贡献。嫦娥1号选用的科学探测仪器多达6套24件,包括CCD立体相机、激光高度计、成像光谱仪、伽马/X射线谱仪、微波探测仪、太阳高能粒子探测器和低能离子探测器等。其中CCD立体相机是拍摄全月面三维影像的专用相机,在中国属首次使用;成像光谱仪用于获取月面光波图谱;伽马/X射线谱仪用于探测月球表面元素;微波探测仪除用于获取月壤厚度信息外,还能给出月球背面的亮度温度图和月球两极地面的信息。

根据绕月探测工程首席科学家欧阳自远院士的设想,嫦娥1号卫星“千里迢迢”奔赴月球将完成4项科学任务^[1]。

1) 第1项任务是绘制立体的月球地图。这是任何一个国家去探测月球都必须要做的基础工作。国外已经有多个月球地图版本,但多为平面地图,立体的只有一二幅,且做得不太理想,还有很多地区是空白状态,就像西瓜皮一样有一道道的空白地带还没有做全。在月球高纬度的地方,太阳光是斜照的,能量不足,“照相机”照的效果就要差一些,所以地图的效果不是很好。目前的月球地图大多做到南北纬70°,70°以上的图像就有些失真了。此外,在月球的南极、北极地区有些太阳光永远照射不到的深坑,由于处于永久黑暗中,照相机也无能为力,目前还没有绘制出地图。

为了绘制完整的立体月球地图,嫦娥1号卫星采取与其他国家不同的思路,搭载1台CCD立体相机和1个激光高度计,两者结合起来,完成一张比较精细、全面的月球立体地图。CCD立体相机同时对卫星飞行的前方、下方和后方进行拍照,科学家对不同视角的3张照片合成后,就可以获得月球的立体地图。激光高度计由激光器、望远镜和接收电路3部分组成,它在探月卫星

的发射阶段和转移阶段都处在“睡眠状态”。卫星进入环月轨道后,激光高度计首先向月面发射激光束,并立刻用望远镜把反射回来的光束变成电信号;接着,接收电路盒将迅速进行精确计算,用最短时间得出该探测点的月球海拔高度。激光高度计完成绕月旅行,月面每个探测点(包括南北极的黑暗深坑)的海拔高度就一清二楚了。这些数值一旦与 CCD 立体相机拍摄的高精度图像相叠加,就是一幅完整而精确的全月球立体地形图(见图 3、图 4)。

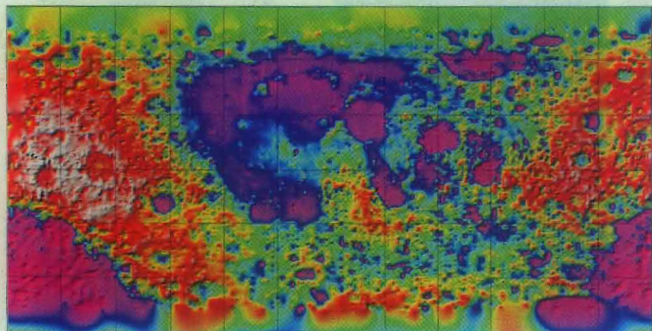


图 3 月球三维影像

Fig. 3 The three dimensional lunar topography

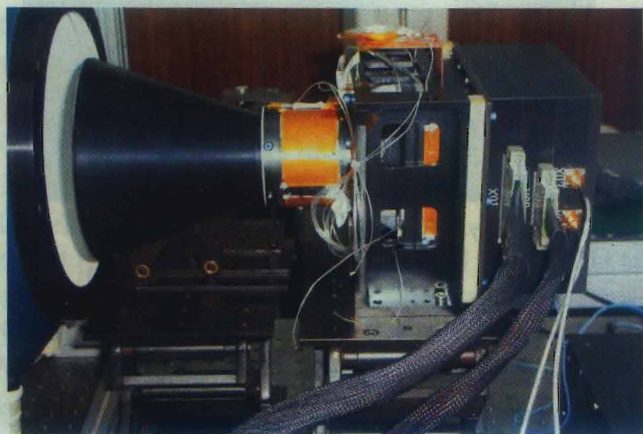


图 4 拍摄月球三维影像的立体相机与拍摄原理示意图

Fig. 4 The CCD cameras are designed for lunar topography experiments to provide stereo imaging of the area

2) 第 2 项任务是探测月球上一些元素的分布。月球上有很多元素将来对地球可能是非常有用的,我们需要了解哪些东西是可能对地球有贡献的,其储量和分布如何。2000 年,美国利用 1998 年发射的卫星,做了 5 种元素在全月球上的分布图(见图 5),包括铁、钛、铀、钍、钾。嫦娥 1 号卫星希望做 14 种元素的全月球分布图,包括美国人已经做过的 5 种元素,为将来的月球基地选址提供参考。通过开采月球资源,来满足人类社会的需求。

3) 第 3 项任务是评估月球土壤的厚度和氦-3 的资源量。月球土壤不如岩石那样坚硬,比较松散,便于加

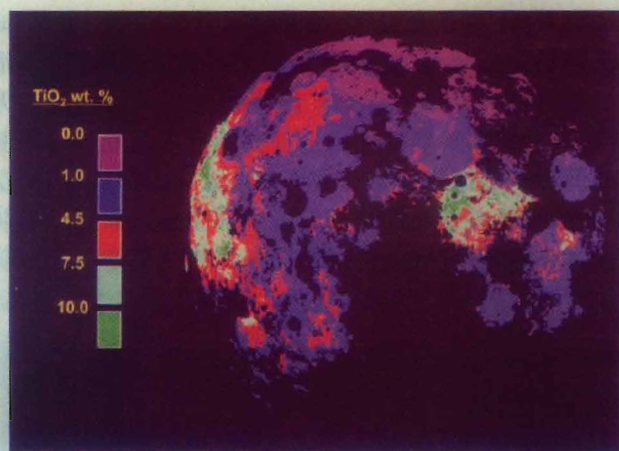


图 5 月球元素图、月球矿物图

Fig. 5 The TiO_2 concentration of materials on the nearside lunar surface

工成各种形状的建筑材料,也容易提取其中的各种资源。因此,月球上土壤厚度的估算,对今后选择在哪个地区建立月球基地十分重要。而且,月球的土壤中还含有一种十分重要的资源——氦-3。氦-3 是可控核聚变发电的重要燃料,目前世界上多数观点认为氦-3 有可能是解决今后人类的长期能源发展需求的重要原料。如果可控核聚变发电可以实现商业化,那么满足全世界 1 年的发电量只需要 100 多 t 氦-3,而月球上有 100 万到 500 万 t 氦-3,可以说是取之不尽、用之不竭,能够满足人类上万年的能源需求。我国每年消耗大约 2 亿 t 石油,其中进口约 1 亿 t,需要花费几百亿美元。而如果使用可控核聚变发电,只需大约 10 多 t 氦-3 就可以解决全国能源需求。

为了评估月球上土壤的厚度和氦-3 的资源储量,嫦娥 1 号卫星上搭载了一台微波探测仪。如同照相机是对可见光波段的物体进行成像一样,微波探测仪是对微波波段的物体进行照相,探测这些物体的微波辐射强度。由于微波的独特性质,微波探测仪能够在所有气象状态下全天候工作,能够不分白天黑夜全天时工作,并且具有一定的穿透能力,能够探测埋藏在一定深度的物体。科学家们通过对月球微波辐射强度的科学解析,可以估算出全月球的土壤厚度,实现对月面更为细致深入的探测。由于月球土壤中氦-3 的含量已知,就可以据此估算出月球上氦-3 的总量,而且可以知道哪些地区比较多,哪些地区比较少。

据专家介绍,以前从未在探月工程中使用过微波探测仪,嫦娥 1 号上的微波探测仪是世界上首次在探月卫星上应用,也有很大的技术难度和一定的风险^[2],估算月球土壤厚度也可能比较粗糙,但通过加强对月球微波遥感的地面仿真研究和模拟试验,在借鉴以往经验的基础上做相应的技术改进,相信能给世人一个更新的认识。

4) 第4项任务是监测从地球到月球的38万 km 范围内的空间环境,记录原始太阳风数据,研究太阳活动对地月空间环境的影响。国内目前还只监测过7万 km 以内的空间环境,嫦娥1号上的太阳高能粒子探测器和低能离子探测器将首次探测4万~40万 km 间的空间环境,这些关键科学数据对今后深空探测器的环境保护设计具有重要的参考价值。图6是接收科学数据的仪器装置。

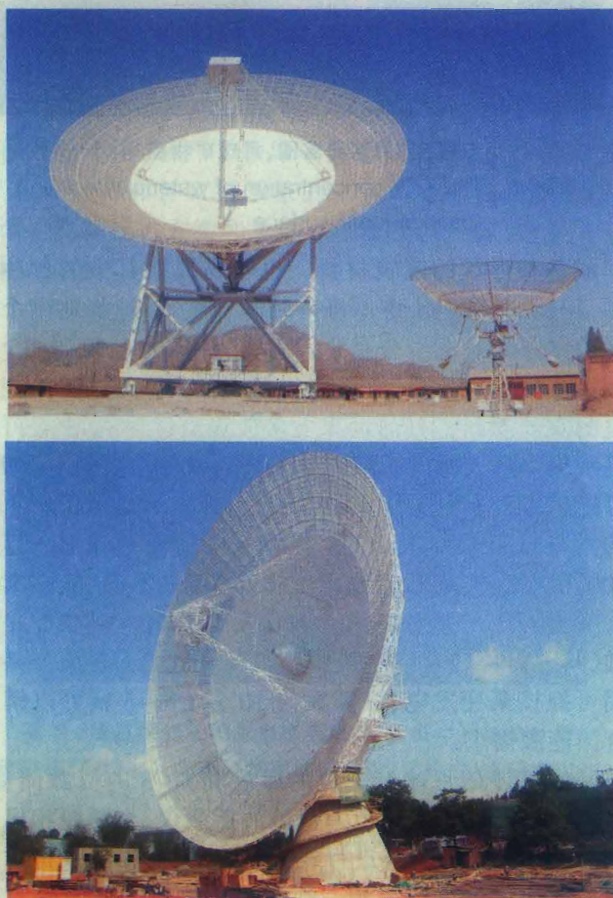


图6 位于北京密云的50 m口径天线地面站(上)和云南昆明的40 m口径天线地面站(下)将共同完成嫦娥1号卫星全部科学探测数据的接收任务

Fig. 6 The year-long mission will communicate with a 50 meter antenna (upper) at a ground station in Beijing, Northern China, and a 40 meter antenna (lower) at another ground station in Kunming, Southwest China

3 重返月球,世界探月掀热潮

1958年至1976年,在冷战背景下,美国和前苏联展开了以月球探测为中心的空间竞赛,掀起了第一次月球探测高潮。其间,苏、美两国共发射108个月球探测器,成功或部分成功52个,成功率约为48%^[3]。1969年7月,美国Apollo 11号飞船实现了人类首次登月,紧接着Apollo 12,14,15,16,17号和前苏联的Luna 16,20和24号进行了载人和不载人登月采样,共采集382 kg

月球样品和海量科学数据,月球探测取得了划时代的成就。图7为美国Apollo号宇航员驾驶着月球车行驶在月球上。

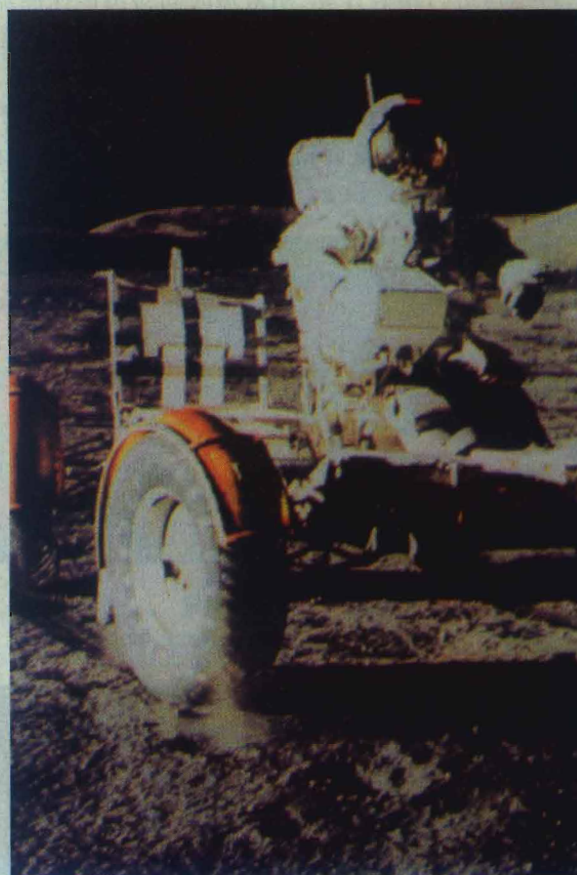


图7 宇航员驾驶着月球车行驶在月球上
Fig. 7 Apollo Lunar Rover on the Moon

阿波罗计划结束后,1976~1994年长达18年的时间里,世界上没有进行过任何成功的月球探测活动。人们的重点集中在总结经验教训、完善航天技术系统、研发新的空间探测技术,为进一步开发利用深空进行科学和技术准备。

1989年7月20日,在人类首次登月20周年的纪念大会上,老布什总统号召美国要在月球上建立长期驻留的永久基地,以此作为向火星进发的出发点,最终实现登陆火星的宏大计划。1994年和1998年,美国成功发射了“克莱门汀”和“月球勘探者”号月球探测器,对月球形貌、资源、水冰等进行了探测,奏响了人类重返月球、建立月球基地的序曲^[4]。

2004年1月14日,美国总统布什宣布了探索太空和将人类的足迹扩展到整个太阳系的美国新的太空计划:2008年前将无人驾驶的探测器送上月球;2015年至2020年之间,美国宇航员重返月球,并在那里建立太空基地;以此为跳板,2030年后,将宇航员送上火星乃至更遥远的宇宙空间。俄罗斯也已经宣布将实施

LunaGlob 计划和建设月球基地的长远目标。欧洲空间局已于2003年9月发射了Smart-1月球探测器,并将继续月球探测事业。日本在1990年发射了Hiten月球探测器后,先后规划了Lunar-A和Selene两个月球探测项目,并将在2007年开始发射。印度正在研制其第一个月球探测器,计划于2008年送入月球轨道。可见,月球探测已经成为各航天国家空间探测的重点,月球探测的新高潮已经到来,未来深空探测的重点将转移到以月球和火星探测为主线。

4 十年论证,中国探月初起步

谈到中国开展月球探测,有很多人可能会提出不同意见,认为中国还是一个发展中国家,当务之急是国内的经济建设和民生问题,月球离我们太遥远,与我们的生产生活关系不大。而实际上,从某种意义上讲,月球探测的重心并不是月球本身,而是通过月球探测带动的一大批高新技术和交叉学科的发展^[5]。月球探测工程是当今世界高新科技中极具挑战性的领域之一,是众多高新技术的高度综合。月球探测对运载火箭、航天测控、空间材料、通信技术、遥感技术等方面提出了很高的要求。为了满足这些要求,各个学科领域的专家汇集在一起,群策群力,刻苦攻关,突破月球探测的关键技术,直接推动新一代运载火箭、月球探测器、深空测控网和新型航天发射场等工程技术的发展,将有力地促进我国航天技术跨越式发展,提升中国航天整体水平。这些技术在国民经济和国防建设各个领域的应用,可以直接推动经济建设和国防实力的增长。因此,月球探测是一个引子,牵引着信息技术、新型装备制造技术、新能源技术和新材料技术等多个方面的科学技术进步,将对促进我国经济社会发展起到十分重要的作用。

航天工程包括人造地球卫星、载人航天和空间站、深空探测三大领域。在人造地球卫星领域,我们发展了东方红系列卫星平台,成功发射了一系列气象卫星、通信卫星、资源卫星、科学实验卫星等,技术日益成熟;在载人航天和空间站领域,神舟系列载人飞船已经实现多人、多天空间飞行,神七、神八将陆续突破航天员出舱活动和交会对接等重要技术;月球探测工程的成功实施将是继卫星应用和载人航天之后,我国航天事业发展的第3个里程碑,第一次填补我国在深空探测领域的空白,将大大提高国家威望、展示综合国力、增强民族凝聚力、推动我国科学技术的创新和发展。开展月球探测工程,参与月球资源的开发利用,对维护我国的月球权益至关重要,也是中华民族对全人类做出的应有贡献。因此,我国开展月球探测工程是具有重大意义的国家战略工程。中国月球探测的起步,从20世纪60年代中国在陨石、宇宙尘和月球样品的研究开始,经历了35年(1960—1994)的跟踪研究与积累(图8为1978年科学家在中国

科学院地球化学研究所开展相关工作),系统了解了苏、美两国月球探测的进展,综合分析深空探测的技术进步与月球和行星科学的研究成果,适时总结与展望了深空探测的走向与发展趋势。在此基础上,又经历了长达10年(1994—2004)的科学目标与工程实现的综合论证。在国防科工委与国家航天局的主持与领导下,中国科学院、总装备部、航天科技集团等单位的科技人员,发扬“两弹一星”和“载人航天”精神,共同提出我国月球探测的发展战略与远景规划,系统论证了首次绕月探测的科学目标、工程目标和工程立项实施方案。



图8 1978年在中国科学院地球化学研究所内科学家在开展研究工作

注:中坐者为目前我国探月工程首席科学家欧阳自远。

Fig. 8 Scientists studying Apollo lunar rock sample in the Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, in 1978

Note: The seated is Prof. Ouyang Ziyuan, who is now the chief scientist of Chinese Lunar Exploration Project.

2000年11月22日,国务院新闻办公室发表了《中国的航天》白皮书,明确提出了我国深空探测的发展目标:近期(今后10年或稍后的一个时期)开展以月球探测为主的深空探测的预先研究;远期(今后20年或稍后的一个时期)开展有特色的深空探测和研究。

2003年,绕月探测工程实施方案通过了13名中国科学院院士和中国工程院院士为主的专家组论证,建议国务院批准立项,并由国防科工委组织后续的审批及工程的具体实施工作。

2003年9月27日,党中央、国务院审议批准了我国月球探测一期工程,标志着我国月球探测工程的正式启动,并将二、三期列入国家科技发展中长期规划进

行论证。

2004年1月24日,农历新年的大年初二,温家宝总理亲笔签字批准绕月探测工程开始实施。

2004年2月至4月,国家科技中长期规划领导小组启动并完成了对我国月球探测二、三期工程的专家论证。

2006年2月9日,国务院发布《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》。《纲要》对我国未来15年科学和技术的发展作出了全面规划和部署,是新时期指导我国科学和技术发展的纲领性文件。《纲要》确定了未来15年力争取得突破的16个重大科技专项,涉及信息、生物等战略产业领域,能源资源环境和人民健康等重大紧迫问题以及军民两用技术和国防技术。月球探测二、三期工程是第一个通过论证的重大专项。

总之,根据我国的科学技术水平、国家财力和国家整体发展战略,在今后20年内,我国将实施月球探测工程的3个步骤,即一、二、三期工程,分别为绕月探测、月球软着陆和自动巡视勘察、月球自动采样返回。月球探测工程已被列为新时期启动的国家战略标志性工程之一。

参考文献(References)

[1] 欧阳自远. 月球探测进展与我国的探月行动 [J]. 自然杂志,

2005, 27(5): 253-257.

OUYANG Ziyuan. Review of lunar exploration and introduction to Chinese lunar exploration project [J]. Nature Magazine, 2005, 27(5): 253-257.

[2] 郑永春. 模拟月壤研制与月壤的微波辐射特性研究 [D]. 中国科学院研究生院/中国科学院地球化学研究所, 北京.

ZHENG Yongchun. Development of lunar soil simulants and characteristics of microwave radiation of lunar regolith [D]. PhD thesis. Beijing: Graduate School / Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2005.

[3] 欧阳自远. 月球科学概论 [M]. 北京: 中国宇航出版社, 2005.

OUYANG Ziyuan. Introduction to lunar science [M]. Beijing: China Astronautic Publishing House, 2005.

[4] 郑永春, 王世杰, 刘春茹, 等. 月球水冰探测及其进展 [J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 573-578.

ZHENG Yongchun, WANG Shijie, LIU Chunru, et al. Review on exploration of water ice on the Moon [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(2): 573-578.

[5] 欧阳自远. 月球探测推动科学的创新与发展 [J]. 科学中国人, 2007(1): 6-12.

OUYANG Ziyuan. Lunar exploration strengthening science innovation and development [J]. Scientific Chinese, 2007, (1): 6-12.

(责任编辑 黄永明)

·科技智力游戏·

好玩的数学——谁的脸上沾有泥巴

一天早上,在一个有20个孩子的班级里,许多孩子脸上沾着泥巴进了教室。这些孩子能够看到其他孩子脸上是否有泥巴,但看不到自己脸上是否有泥巴。

老师说:“你们都有很强的逻辑推理能力,我们来玩儿一个推理游戏吧。我这里有台报时器,它每隔10秒钟响一次,如果谁知道了自己的脸是脏的,就请在某次声响后马上举手。我可以提示一下,你们当中至少有一个人的脸是脏的。”

游戏开始了,第12次声响后,所有脸脏的孩子都举了手。请问:教室里脸上沾有泥巴的孩子一共有多少?为什么?

上期“抛币问题”答案

设平均每抛次硬币,将出现一次“正,正”组合。于是,在我们抛掷了若干次硬币之后,可能出现下面几种情况。

情况1:最初的两两次结果是“正,正”,出现这种情况

的概率是1/4。

情况2:最初的两两次结果是“正,反”,出现这种情况的概率也是1/4。

情况3:第一次的结果是“反”。出现这种情况的概率是1/2。

对情况1而言,得到“正正”,只需抛2次硬币。

对情况2而言,为了得到“正正”,需要抛 $2+x$ 次硬币,因为前两次已经浪费了。

对情况3而言,为了得到“正正”,需要抛 $1+x$ 次硬币,因为第1次已经浪费了。

综上所述,我们可得到:

$$x = 2 \times 1/4 + (2+x) \times 1/4 + (1+x) \times 1/2.$$

解这个简单的方程,得 $x=6$ 。

因此,平均每抛6次硬币,将出现1次“正正”的组合。

(供稿 韩雪涛 责任编辑 黄永明)