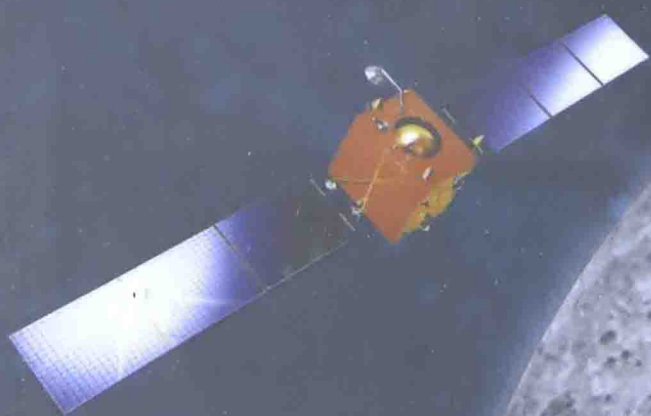


中国探月工程科学探测成果系列丛书

绕月探测工程

月球科学与探测技术研究

欧阳自远 李春来 主编



科学出版社

中国探月工程科学探测成果系列丛书

绕月探测工程月球科学 与探测技术研究

欧阳自远 李春来 主编

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本文集主要收录了自绕月探测工程立项以来月球探测有效载荷的设计与定标、数据处理与管理方法所获得的研究成果,共收录论文 88 篇。研究成果涵盖了综述、CCD 立体相机、激光高度计、干涉成像光谱仪、伽马与 X 射线谱仪、微波探测仪和其他研究成果,是我国首次月球探测有效载荷、探测技术与数据接收处理研究成果的系统总结。

本文集所收集论文源自多重学术期刊,各源刊格式标准可能不统一,本着尊重历史、忠于原著的精神,所用物理量单位、符号、图例、参考文献等尽量保留了原文风貌。

本文集可供月球科学、深空探测等相关专业的大专院校教师、研究生与高年级本科生,科研院所相关科研与技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

绕月探测工程月球科学与探测技术研究/欧阳自远,李春来主编. —北京:科学出版社,2015.2

(中国探月工程科学探测成果系列丛书)

ISBN 978-7-03-043011-3

I. ①绕… II. ①欧… ②李… III. ①月球探索-文集 IV. ①V1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 009065 号

责任编辑:韩 鹏 宋云华 张井飞 / 责任校对:张小霞 赵桂芬
责任印制:肖 兴 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 2 月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2015 年 2 月第一次印刷 印张:42 3/4 插页:10

字数:1 287 000

定价:389.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《中国探月工程科学探测成果系列丛书》出版委员会

顾问委员会

名誉主任	路甬祥	韩启德	万 钢	
主 任	陈求发			
副 主 任	江绵恒	曹健林	刘东奎	牛红光
	阴和俊	马兴瑞	熊群力	
委 员	宋 健	徐冠华	张建启	栾恩杰
	孙家栋	欧阳自远	陈炳忠	姜景山
	龙乐豪	吴伟仁		

出版编辑委员会

名誉主任	栾恩杰	孙家栋		
主 任	欧阳自远			
副 主 任	严 俊	吴志坚	李春来	
委 员	胡 浩	张荣桥	廖小罕	董永初
	刘晓群	艾国祥	刘先林	王任享
	高 俊	李德仁	陈俊勇	王家耀
	童庆禧	于登云	孙辉先	钱卫平
	裴照宇	吴 季	洪晓瑜	王建宇
	王焕玉	赵葆常	常 进	邹永廖
	刘建忠			

《绕月探测工程月球科学与探测技术研究》 编辑委员会

主 编 欧阳自远 李春来

副 主 编 邹永廖 左 维

编 委 郑永春 徐 琳 王晓倩 耿 良

付 强 肖 媛 邢丽萍

《中国探月工程科学探测成果系列丛书》序言

月球是地球唯一的天然卫星。40 多亿年以来,月球是地球的忠实伴侣,伴随着地球共同经历荒古的演化过程,抵御小天体对地球的撞击,掀起汹涌澎湃的海洋潮汐。月球将圣洁的光辉洒向大地,自古以来,激起人们无限的遐想和憧憬,萌发出各种神话传说、宗教信仰、哲学思想、文学艺术和风俗传统,并为古代的历法编制、农耕时令和社会发展发挥过重要作用。

1609 年,伽利略将刚发明的望远镜对准月球进行观测,标志着现代天文观测的开始;1957 年,苏联在人造地球卫星发射成功后,即将探索外层空间的雄心瞄准了月球,于 1959 年成功地发射了第一颗月球探测器,开创了人类探测太阳系的先河。1969 年 7 月,美国阿波罗 11 号飞船成功登陆月球,实现了人类的登月梦想。

飞出地球,探索月球,也是中华民族的千年夙愿。2007 年 10 月 24 日,嫦娥一号满载着中华儿女的梦想奔向月球,11 月 5 日成功实现了绕月飞行;11 月 20—26 日,嫦娥一号成功获取并发布了第一幅月面图像,标志着我国首次月球探测工程取得了圆满成功。2007 年 12 月 12 日,胡锦涛总书记在庆祝我国首次月球探测工程圆满成功大会上发表的重要讲话指出:“实施月球探测工程,是党中央、国务院、中央军委着眼我国社会主义现代化建设全局,把握世界科技发展大势,为推动我国航天事业发展、促进我国科技进步和创新、提高我国综合国力作出的一项重大战略决策”,“我国首次月球探测工程的成功,是继人造地球卫星、载人航天飞行取得成功之后我国航天事业发展的又一座里程碑,实现了中华民族的千年奔月梦想,开启了中国人走向深空探索宇宙奥秘的时代,标志着我国已经进入世界具有深空探测能力的国家行列。这是我国推进自主创新、建设创新型国家取得的又一标志性成果,是中华民族在攀登世界科技高峰征程上实现的又一历史性跨越,是中华民族为人类和平开发利用外层空间作出的又一重大贡献。”

我国首次月球探测工程的成功实施,不仅突破了一大批具有自主知识产权的核心技术和关键技术,取得了一系列重大科技创新成果,也带动了我国基础前沿研究和应用研究若干领域的深入发展,推动了信息技术和工业技术进步,促进了众多学科的交叉和融合。对未知领域的探索,是人类社会发展进步的不懈追求。深空探测是航天高技术进步的重要推动力,更是人类探索太阳系、认知宇宙的主要途径,被赋予了明确的科学目标和艰巨的科学探索重任。绕月探测工程是我国开展深空探测的第一步,嫦娥一号是我国的第一个

飞出地球的探测器，携带了8套科学探测仪器，经过一年四个月的在轨探测，获得了海量科学探测数据，取得了一系列的科学研究成果。同时，在国家中长期科技发展规划中，月球探测的后续工程已经明确，我国将向月球发射更多的轨道器、着陆器、月球车，并实现自动采集月球样品返回地球，持续获取月球探测数据甚至月球样品，必将持续产生大量、系统的科学研究成果。将我国月球探测的研究成果以系列丛书为平台集中体现，非常必要，也很有意义。

无限的未知世界，深邃的太空，是科学家遐想和探索的天地。我们相信，《中国探月工程科学探测成果系列丛书》能够承载广大航天科技工作者空间探索的累累硕果，推动空间科学、行星科学、月球科学与地球科学的交融和蓬勃发展，丰富我们对客观世界的科学认知，促进科学技术更好地服务国家、服务人民、服务人类。

陈育祥

2010年1月22日

前 言

“俱怀逸兴壮思飞，欲上青天揽明月。”自人类进入航天时代以来，我国的科技工作者一直怀着探索月球、迈向深空的科学追求与强国梦想。自1993年起，历经长达十年的综合论证，绕月探测工程终于在2004年农历大年初二顺利立项。

作为中国第一颗绕月探测卫星，近万名科技人员历经三年艰苦研制，于2007年10月24日18时05分把嫦娥一号成功送往月球，实现了中华民族嫦娥奔月的千年梦想。根据预定计划，嫦娥一号于2009年3月1日完成使命，受控撞向月球正面丰富海的指定地区。嫦娥一号虽然长眠月球，但这次任务获得的海量科学数据为月球与行星科学研究提供了第一手探测资料、锻炼与培养了一大批月球与深空探测的人才队伍，积累的探测经验将持续推动中国月球和深空探测事业的长远发展。

嫦娥一号共携带8台(套)、130kg有效载荷。其中，CCD立体相机采用三线阵CCD推扫成像原理拍摄全月面三维影像，激光高度计通过测量月面高程获得月球表面数字高程模型，两套数据融合获取月球表面的三维立体影像。干涉成像光谱仪测量月球表面物质的反射光谱，伽马射线谱仪和X射线谱仪探测月球表面的元素含量，三套数据融合可以分析月球表面的元素含量、矿物组成和岩石类型的分布特点。微波探测器测量月球表面发出的多频段微波辐射，通过月球亮度温度数据反演月壤厚度，研究月球表面电磁特征与热行为以及估算月壤层氦-3的含量、分布与资源量。高能粒子探测器和太阳风离子探测器主要探测月球附近的空间环境，为月球空间环境研究和后续探测任务提供基础资料。

在探月工程之前，我国在月球与行星科学领域既没有专门的人才队伍，也没有稳定的经费支持，主要是利用国外探测数据开展零散研究。我国首次月球探测的成功，使中国科学家开始从月球科学的调查研究和跟踪研究阶段向自由探索和自主研究阶段转变。针对嫦娥一号有效载荷设计、研制和定标过程中出现的新问题，他们突破相关关键技术和方法，提出新的探测设想，积累起丰富的探测经验。围绕嫦娥一号科学数据的接收、处理、分析、应用研究与数据发布，完善数据处理流程，提出和验证新的算法模型，以期获得月球科学新发现，验证和提出新的月球起源和演化理论。这些基础性、开拓性的研究工作通过一系列学术论文，刊登在国内外重要学术期刊上，充分展现了我国首次月球探测获得的新的科学成果。其中的主要亮点成果包括：

一是利用 CCD 立体相机获得的 313 轨南北纬 70° 以内和 276 轨极区的图像数据, 综合 589 轨的数据制作出迄今为止国际上变形程度最低、位置精度最高、图像色调最一致和空间覆盖最完整的全月球影像图, 将成为新的月球“标准像”——月球基础地图。

二是利用激光高度计获得的约 912 万个月表测高数据, 完成了分辨率为 3km 左右的全月球数字高程模型。同时利用覆盖全月球的嫦娥一号立体相机三线阵 CCD 数据, 解算了全月球的地形数据, 制作了全月球 500m 分辨率的三维数字地形产品, 是迄今为止分辨率最高的全月球三维地形数据。

三是利用干涉成像光谱仪共获得的 706 轨有效探测数据, 目前已获得月表覆盖范围 32 个谱段的光谱分布图, 获得了硅、镁、钙、铝、铁和钛的全月球含量分布图; 利用伽马射线谱仪获取的 1103 轨有效探测数据, 获得了铀、钍、钾的全月球含量分布图和另外 5 种元素的局部含量分布; 在太阳活动比较强烈 (达到 A1 级) 的背景下, 利用 X 射线谱仪获得了月球局部地区镁、铝和硅的含量与分布图。综合伽马射线谱仪、X 射线谱仪和干涉成像光谱仪的探测数据, 获得全月球的主要矿物和主要岩石类型的分布图。

四是利用微波探测器获取的 1690 轨探测数据, 获得了世界上第一幅全月球微波图像, 研究了月球表面热行为和昼夜热循环特征, 初步反演出全月球土壤层的电磁特征、月壤层厚度并估算月壤层中氦-3 的资源量。

五是利用携带的高能粒子和太阳风离子探测器对月球轨道空间环境进行了探测, 获得近月球行星际空间、月球尾迹区、地球磁鞘和地球磁尾区高能粒子和太阳风离子的成分、能谱、通量及其随时间的变化数据, 发现太阳风离子的反射现象和月球的日夜交界面太阳风离子的加速特征。

随着绕月探测工程的成功实施, 首先, 我们欣喜地看到, 在嫦娥一号科学数据分析和研究中, 国内一些年轻的研究者纷纷亮相, 一批新生力量闪亮登场, 呈现了他们富有生气的研究成果。其次, 在任务执行过程中, 围绕月球探测的科学目标、科学应用与研究工作从无到有, 组织体系逐渐建立, 管理制度逐步完善和优化。为促进探月工程“多出成果、快出成果、出好成果”, 主管部门成立了绕月探测工程科学应用专家委员会和探月工程科学应用责任科学家体系, 建立了探月数据处理和分级标准, 实现了通过网络平台公开发布全部探测数据, 科技部在 863 计划设立“绕月探测工程科学数据应用与研究”重点项目予以专项支持。参与嫦娥一号数据分析和研究的各单位研究者普遍认为嫦娥一号科学应用与研究工作的组织井然有序, 主管部门做了大量细致的工作, 受到了多方好评。

由于与嫦娥一号有关的论文散落在国内外不同领域的专业期刊, 查找和参考不甚方便。为总结嫦娥一号任务的科学研究成果, 我们收集了任务实施以来在国内外重要期刊上发表的所有与嫦娥一号月球科学探测有关的学术论

文, 进行适当分类, 并对一些内容重复的论文进行了取舍, 形成了《绕月探测工程科学目标专题研究》和《绕月探测工程月球科学与探测技术研究》两部研究论文专集。《绕月探测工程科学目标专题研究》共收录论文 109 篇, 主要内容为月球探测科学目标研究、科学数据分析与研究, 分为六个部分, 分别是: 第一部分“综合性成果”、第二部分“月表形貌”、第三部分“物质成分”、第四部分“微波与月壤特性”、第五部分“空间环境”、第六部分“其他研究成果”。《绕月探测工程月球科学与探测技术研究》, 共收录论文 88 篇, 主要内容为月球探测有效载荷的设计与定标, 分为七个部分, 分别是: 第一部分“综述”、第二部分“CCD 立体相机”、第三部分“激光高度计”、第四部分“干涉成像光谱仪”、第五部分“伽马与 X 射线谱仪”、第六部分“微波探测仪”、第七部分“其他”。

在这两部研究论文专集的编纂工作中, 深切感谢论文作者们的通力合作与全力支持; 真诚感谢责任编辑和编辑委员会各位成员认真负责的辛勤工作, 为这两部研究论文专集的编辑与出版做了重要贡献!

主编 刘伯达

李国军

2014 年 10 月 1 日

目 录

《中国探月工程科学探测成果系列丛书》序言

前言

第一部分 综 述

嫦娥一号月球探测卫星研制综述	3
信息化技术在嫦娥一号卫星研制中的应用	10
嫦娥一号月球探测卫星技术特点分析	16
Policy Making in China's Space Program: A History and Analysis of the Chang'E Lunar Orbiter Project	22
Introduction to the Payloads and the Initial Observation Results of Chang'E-1	35
Advances in Lunar Exploration Detectors	49
Scientific Objectives and Payloads of Chang'E-1 Lunar Satellite	57

第二部分 CCD 立体相机

绕月探测工程 CCD 立体相机的实验室辐射定标	67
嫦娥一号卫星 CCD 立体相机的设计与在轨运行	72
月球卫星 CE-1 三线阵影像数据的解算试验	81
三线阵 CCD 摄影测量理论在月球探测中的应用	85
月球卫星三线阵 CCD 影像 EFP 光束法空中三角测量	89

第三部分 激光高度计

嫦娥一号卫星载激光高度计	97
激光测距技术在空间的应用	106
先进激光雷达探测技术研究进展	112

第四部分 干涉成像光谱仪

实体 Sagnac 干涉仪的设计	123
嫦娥一号卫星成像光谱仪光学系统设计与在轨评估	129
嫦娥一号卫星干涉成像光谱仪现场性能检测实验	135
嫦娥一号卫星干涉成像光谱仪电子学设计	142
嫦娥一号卫星干涉成像光谱仪时序设计	151
嫦娥一号 IIM 数据应用处理流程分析	157
干涉成像光谱仪中宽谱段傅氏光学系统设计	164

嫦娥一号干涉成像光谱仪的定标	171
嫦娥一号 IIM 数据绝对定标与初步应用	180
嫦娥一号 IIM 数据定标的改进方法	187
NASVD 方法在 CE1-GRS 谱线分析中的应用研究	197
中红外光谱在月球探测中的应用	203
月球紫外-可见-近红外反射光谱的基本特征及解析方法	209
A Preliminary Experience in the Use of Chang'E-1 IIM Data	216
Absolute Calibration of the Chang'E-1 IIM Camera and its Preliminary Application	228

第五部分 伽马与 X 射线谱仪

嫦娥一号卫星 X 射线谱仪的性能模拟	239
嫦娥一号卫星 X 射线谱仪磁屏蔽设计与模拟计算	245
空间 X 射线成像谱仪系统及其软件研制	249
Gamma-ray Detector on Board Lunar Mission Chang'E-1	254
Time Series Data Correction for the Chang'E-1 Gamma-ray Spectrometer	259
Automatically Smoothing the Spectroscopic Data by Cubic B-Spline Basis Functions	272

第六部分 微波探测仪

嫦娥 1 号卫星微波探月技术机理和应用研究	279
利用微波辐射计对月壤厚度进行研究	287
月表温度剖面对“嫦娥一号”卫星微波探测仪探测亮温影响的模拟研究	293
地基雷达技术及其在太阳系天体探测中的应用	307
天然掺杂铁氧体的电磁参数调控机制分析及其在吸波材料中的应用	315
空间微波环境对“嫦娥一号”微波探测仪在轨定标影响分析	323
基于 SVM 和“嫦娥一号”数据的月球表面亮温分布	332
Microwave Brightness Temperature Imaging and Dielectric Properties of Lunar Soil	341
The Analysis of Affections to the Cold Space Calibration Source of Chang'E-1 Payload Microwave Detector	348

第七部分 其 他

嫦娥一号卫星的制导、导航与控制	359
嫦娥一号卫星热设计及计算分析	365
“嫦娥一号”月球探测卫星真空热试验的初步思路	372
嫦娥一号卫星定向天线动力学仿真分析	379
绕月探测工程地面接收站通用解调处理机性能测试	385
基于 SAN 的绕月探测工程数据存储系统架构的设计与实现	394
基于复用的软件构架评估方法及其在嫦娥工程中的应用	400

月球探测计划中影像数据的格式	406
绕月探测工程卫星数据的存储与管理	413
单频干扰下 BPSK 接收性能恶化分析及应用	420
嫦娥一号卫星星地时差校正量计算方法研究	427
嫦娥一号卫星热控系统及其特点	432
嫦娥一号绕月探测器轨道投入过程实时监测判定的原理与技术实现	438
月球重力场对“嫦娥一号”近月轨道的影响	446
嫦娥一号绕月卫星对月球重力场模型的优化	455
嫦娥一号绕月探测卫星精密定轨实现	464
深空探测用数字开环多普勒技术初步研制及其在嫦娥一号探测任务中的应用	471
嫦娥一号卫星双轴天线轨迹规划	482
“嫦娥一号”卫星轨控标定方法研究与实现	490
嫦娥-1 卫星绕月捕获分析与快速判断	496
嫦娥一号卫星的地月转移变轨控制	507
瞬时状态归算用于嫦娥一号卫星关键轨道段监测	515
环月卫星可见时段的计算和分析	524
“嫦娥”卫星绕月飞行的星载激光定轨法	530
“嫦娥一号”卫星的调相轨道设计	535
基于大倾角卫星轨道跟踪数据的月球重力场模型仿真解算	542
射电望远镜指向误差的广义延拓插值修正方法	550
“嫦娥”卫星绕月飞行轨道的激光测定法	555
嫦娥一号卫星热控设计中热管的应用及验证	559
嫦娥一号月球卫星缩短阴影时间的分析与实现	567
嫦娥一号卫星数据高可靠性保护设计	575
“嫦娥一号”任务全球地形实时仿真技术研究	579
星载毫米波辐射计地面定标实验	586
月球软着陆点的选择与几个预选点的初步对比分析	591
Advances in the Study of Lunar Opposition Effect	599
The Application of the Instantaneous States Reduction to the Orbital Monitoring of Pivotal Arcs of the Chang'E-1 Satellite	606
A Digital Open-loop Doppler Processing Prototype for Deep-space Navigation	617
Chang'E-1 Orbiter Discovers a Lunar Nearside Volcano: YUTU Mountain	628
Space Operation System for Chang'E Program and its Capability Evaluation	632
Preliminary Evaluation of Radio Data Orbit Determination Capabilities of China's First Lunar Orbiter	637
LUT: A Lunar-based Ultraviolet Telescope	644
Measurements of Electronic Properties of the Miyun 50 m Radio Telescope	651
Design and Implementation of Space Dust Database	661
图版	

第一部分 综 述

嫦娥一号月球探测卫星研制综述

叶培建 孙泽洲 饶 炜

(中国空间技术研究院, 北京 100094)

摘 要 嫦娥一号卫星是我国第一个月球探测卫星, 将实现对月球的环境探测。嫦娥一号卫星的研制和发射是我国深空探测活动的开端, 在我国航天史上将成为继人造卫星和载人航天后的第三个里程碑。与近地卫星相比, 嫦娥一号卫星面临更复杂的控制过程和环境, 因此, 嫦娥一号卫星必须突破一系列的关键技术, 实现既定的任务目标。文章介绍了嫦娥一号卫星的任务目标、主要技术方案和研制过程; 概要性地说明了嫦娥一号卫星的研制过程。

关键词 嫦娥一号卫星 月球探测 研制

1 前言

空间探测是空间科学和技术创新的重要环节, 它将在新的世纪成为国际竞争的重要焦点之一, 可极大地开拓人类的视野和科学实验领域, 提高人类认识自然和利用自然的能力。月球是距离地球最近的天体, 是地球唯一的天然卫星, 它蕴藏着丰富的自然资源和能源, 一直是人类开展空间探测的首选目标。

在综合分析国际月球探测的发展历程以及近年来主要航天国家和组织提出的月球探测战略目标和实施计划的基础上, 结合国家整体发展战略、科学技术水平和综合国力, 我国提出了如下月球探测工程发展思路: 在 2020 年前, 我国月球探测工程分为三个发展阶段, 概括为“绕、落、回”。一期工程的主要目标是实现绕月探测; 二期工程是实现月球软着陆探测和自动巡视勘测; 三期工程是实现自动采样返回。

一期工程的嫦娥一号(CE-1)卫星的研制和发射是我国深空探测活动的开端, 在我国航天史上将成为继人造卫星和载人航天后的第三个里程碑。

2 任务及技术要求

根据我国月球探测工程的总体规划, 月球探测一期工程的主要目标是研制环月探测卫星, 突破地月转移和环月飞行的关键技术, 对月球进行环绕遥感探测, 初步建立月球探测工程系统。根据这一总目标, 嫦娥一号卫星需完成以下工程目标和科学目标。

2.1 工程目标

绕月探测工程要实现以下基本目标:

- (1) 研制和发射我国第一颗月球探测卫星;
- (2) 初步掌握绕月探测基本技术;
- (3) 首次开展月球科学探测;
- (4) 初步构建月球探测航天系统;

(5) 为月球探测后继工程积累经验。

2.2 科学探测目标

1) 获取月球表面三维影像

利用面阵 CCD 相机结合激光高度计获取月球表面三维影像，精细划分月球表面的基本地貌和构造单元，初步编制月球三维地形图、地质图和构造纲要图，划分月球断裂和环形影像纲要图，并为月面软着陆提供参考依据。

2) 分析月球表面有用元素含量和物质类型的分布特点

通过 γ/X 射线谱仪和干涉程序光谱仪分析月球表面有用元素含量和不同物质类型的分布特点，为研究月球形成和演化历史提供直接和有效的证据，为未来开发和利用月球资源提供依据。

3) 探测月壤厚度与特性

利用微波辐射计探测月壤厚度及其分布，分析月壤成熟度与表面年龄的关系，概略估算月球表面 ^3He 资源的蕴藏量。

4) 探测地-月空间环境

利用太阳高能粒子探测器、太阳风低能离子探测器探测太阳宇宙线高能带电粒子和太阳风等离子体，研究太阳风和月球的相互作用，深入认识空间物理现象对地球空间以及对月球空间的影响。

3 国内外月球探测卫星的比较

1958 年 10 月美国发射了第一个月球探测卫星——先驱者-1，标志着人类开始利用航天器进行月球探测。在近 50 年的时间里，人类共发射了 100 多个月球探测器对月球进行了深入的探测和了解。

表 1 列出了嫦娥一号月球探测卫星与现阶段国外几颗典型绕月探测器的比较。

表 1 近期月球探测器比较表

	嫦娥一号 CE-1 (中国, 2007)	智能-1 Smart-1 (欧洲航天局, 2004)	“月球探测者” Luna Prospector (美国, 1998)	“克莱门汀” Clementine (美国, 1994)	月球初航-1 Chandrayaan-1 (印度, 2008)
任务目标	对月三维成像、多光谱成像; 月面元素探测(14种); 月壤厚度探测及 ^3He 资源量评估; 地月空间环境探测	利用电推进飞向月球, 验证先进技术。包括: 电推进; Ka 频段通信; 载荷技术等。 科学目标: (1)地形学和表面构造研究; (2)月表元素分布; (3)探测极区的水冰	勘测月面的资源包括: (1)矿物、水冰和某些气体; (2)绘制月球重力场及磁场图; (3)进一步了解月核的尺寸和组分	由国防部和 NASA 联合, 借探测月球、小行星 1620 及空间环境来验证敏感器及航天器技术; 对月观测包括不同谱段的月面成像(可见光、紫外、红外); 激光测高; 高能粒子探测等	三维全月面成像, 空间和高度分辨 5m; 高分辨率的 Fe、Ti、Al、Mg 等矿物成分成像; Mg、Al、Si、Ca、Fe、Ti 等元素的分布与地层学关系; ^{222}Rn (氡), ^{210}Pb (铅)及其他放射性元素等地球稀有金属的探测
工作轨道	200km 极月圆轨道	近月点 300 ~ 1 000km 远月点 10 000km	100km 圆形极轨道	周期 5h 的椭圆轨道, 近月点 400km 在南纬 28°, 一个月后近月点转到北纬 29°, 覆盖南北纬 60°之间	100km 圆形极轨道