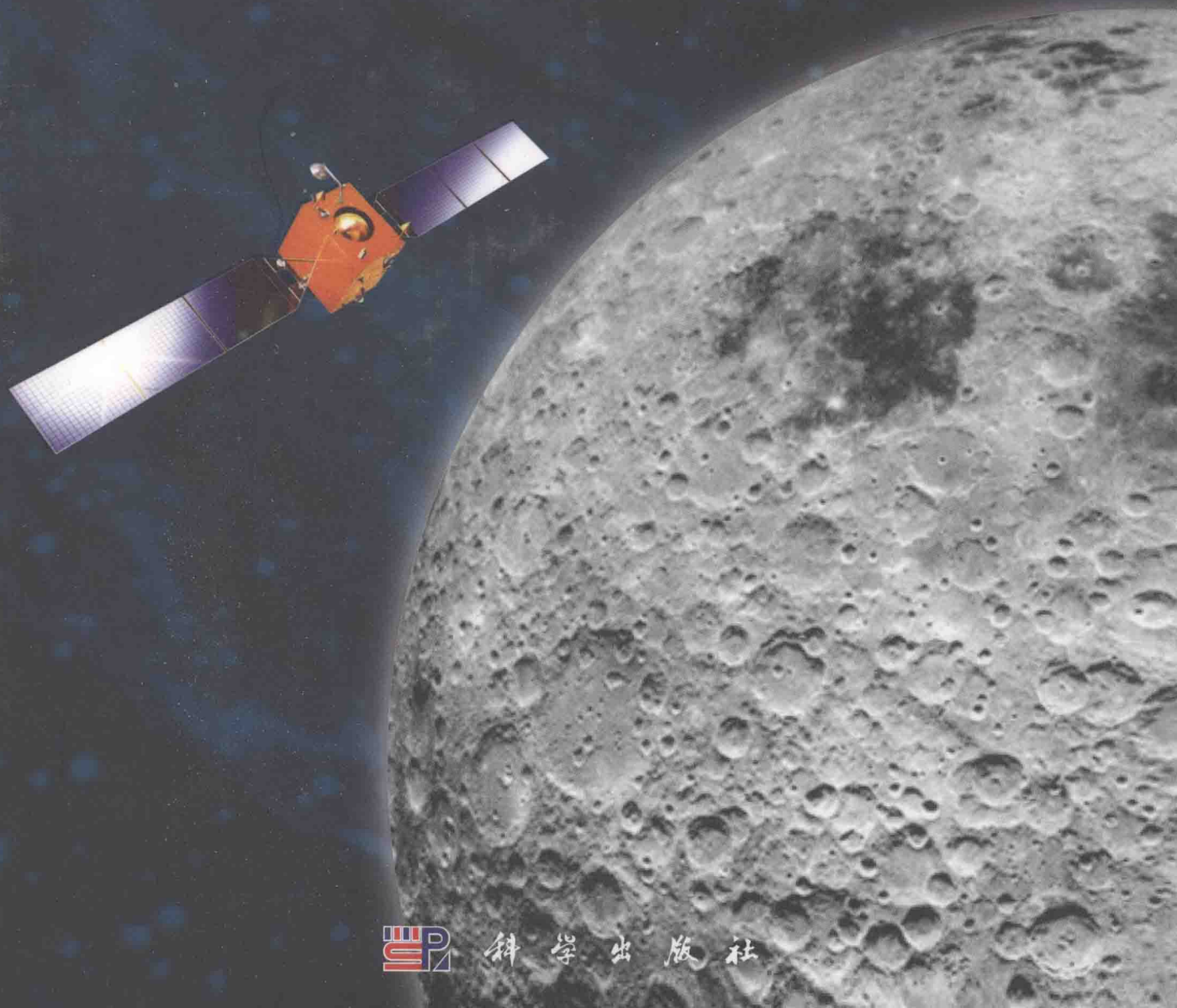


中国探月工程科学探测成果系列丛书

绕月探测工程

科学目标专题研究

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

绕月探测工程科学目标 专题研究

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有关月球探测科学目标与科学探测数据的分析与研究所获得的成果,共收录论文 109 篇。研究成果涵盖了综合性成果、月表形貌、物质成分、微波与月壤特性、空间环境和其他相关问题的研究成果,是我国首次月球探测科学目标研究成果的系统总结。

本文集所收集论文源自多种学术期刊,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

绕月探测工程科学目标专题研究/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 978-7-03-043010-6

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 009074 号

责任编辑:韩 鹏 宋云华 王 运/责任校对:赵桂芬 韩 杨
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:69 1/4 插页:20

字数:1 987 000

定价:458.00 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			

**《绕月探测工程科学目标专题研究》
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。

任育祥

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。

四是利用微波探测仪获取的 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的从无到有, 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 刘伯明
李国平

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 综合性成果

月球探测发展历程及启示	3
月球探测与研究进展	10
月球探测与人类社会的可持续发展	19
深空探测进展与开展我国深空探测的思考	25
月球探测的进展与我国的月球探测	30
绕月探测工程的初步科学成果	36
嫦娥一号的初步科学成果	57
嫦娥一号卫星的初步科学成果与嫦娥二号卫星的使命	66
Recent Results from Chang'E-1 Lunar Mission	72
虹湾地区月球卫星遥感地质解析制图	80
基于嫦娥一号卫星数据的柏拉图(Plato)月坑地质研究	90
China's Lunar Exploration Program: Present and Future	104
Primary Scientific Results of Chang'E-1 Lunar Mission	112
Preliminary Scientific Results of Chang'E-1 Lunar Orbiter: Based on Payloads Detection Data in the First Phase	131
Chang'E-1 Lunar Mission: An Overview and Primary Science Results	142
Geologic Investigation and Mapping of the Sinus Iridum Quadrangle from Clementine, SELENE, and Chang'E-1 Data	157
The Interpretation of Gravity Anomaly on Lunar Apennines	167

第二部分 月表形貌

SIFT 和相关系数在嫦娥一号月球影像匹配中的应用	179
嫦娥一号卫星 CCD 立体相机月表图像镶嵌	185
嫦娥一号图像数据处理与全月球影像制图	191
“嫦娥一号”第一幅月面遥感影像撞击坑特征	205
基于“嫦娥一号”的月表形貌特征分析与自动提取	209
基于“嫦娥”卫星三线阵 CCD 立体相机的月球表面三维建模	219

基于嫦娥一号 CCD 数据空间特征的特定目标识别	224
嫦娥一号月面影像图自动生成软件的设计与实现	231
嫦娥一号激光测距数据及全月球 DEM 模型	238
利用嫦娥一号激光高度计数据制作月球 DEM 的方法研究	251
基于嫦娥一号激光测高数据的月球三轴椭球体模型	259
基于嫦娥一号卫星激光测高观测的月球地形模型 CLTM-s01	269
基于嫦娥一号卫星激光高度计数据的月表有效反射率	280
基于嫦娥一号观测数据的月球形貌可视化技术	286
月球表面粗糙度的分形表征	292
月球主要构造特征: 嫦娥一号月球影像初步研究	298
基于新近数据的月球地形、重力场及内部构造研究进展	309
嫦娥一号 CLTM-s01 模型揭示和证认的月球地形新特征	319
基于嫦娥一号卫星激光测高数据的月球 DEM 及高程分布特征模型	328
月球亚平宁山脉重力异常解释	343
基于“嫦娥一号”跟踪数据的月球重力场模型 CEGM-01	352
基于球冠域的月球重力地形校正方法	362
在嫦娥一号探月工程中求定月球重力场	373
月球“质量瘤”盆地的深部结构与撞击演化	382
月球表层及月壳物质密度分布特征	393
嫦娥一号月面成像的高次函数形变模型匹配及超分辨率重建	403
嫦娥一号探测器发现月球正面“玉兔”火山	412
Automatic Seamless Stitching Method for CCD Images of Chang'E-1 Lunar Mission	417
The Global Image of the Moon Obtained by the Chang'E-1: Data Processing and Lunar Cartography	426
Triaxial Ellipsoid Models of the Moon Based on the Laser Altimetry Data of Chang'E-1	441
New Features of the Moon Revealed and Identified by CLTM-s01	452
The Simulation of Lunar Gravity Field Recovery from D-VLBI of Chang'E-1 and SELENE Lunar Orbiters	462
Bouguer Gravity Anomaly of the Moon from CE-1 Topography Data: Implications for the Impact Basin Evolution	468
Laser Altimetry Data of Chang'E-1 and the Global Lunar DEM Model	478
Super-resolution Reconstruction and Higher-degree Function Deformation Model Based Matching for Chang'E-1 Lunar Images	493
Lunar Topographic Model CLTM-s01 from Chang'E-1 Laser Altimeter	503
A 3D Multiresolution Lunar Surface Model Using Bicubic Subdivision-surface Wavelets, with Interactive Visualization Tools	515
The Modeling Analysis of Microwave Emission from Stratified Media of Non-uniform Lunar Cratered Terrain Surface for Chinese Chang'E-1 Observation	527
Automated Detection of Lunar Craters Based on Object-oriented Approach	536

Lunar Digital Elevation Model and Elevation Distribution Model Based on Chang'E-1 LAM Data	543
--	-----

第三部分 物质成分

改进的插值法用于干涉成像光谱仪影像条带噪音去除	561
基于非线性混合模型研究太空风化对月壤光谱的影响	567
基于嫦娥一号干涉成像光谱仪吸收特征的月表钛含量评估	573
“嫦娥一号”干涉成像光谱仪数据 FeO 反演初步结果	583
嫦娥一号干涉成像光谱仪数据 TiO ₂ 反演初步结果	589
嫦娥一号 IIM 数据处理分析与应用之一：全月表矿物吸收中心分布图	597
嫦娥一号干涉成像光谱仪(IIM)2C 级数据信息提取	616
基于奇异值分解方法的嫦娥一号 γ 射线谱仪谱线定性分析	624
利用 CE1-GRS 数据分析月表钍元素分布特征	630
月球表面岩石类型的分布特征：基于 Lunar Prospector(LP)伽马射线谱仪探测数据的反演	635
月球表面天然放射性元素 Th 的分布特征及月球化学的原始不均一性	642
月球表面钛的研究进展	649
微扰法测量干燥岩矿样品复介电常数	655
Refinement of a Lunar FeO Mapping Method	662
Preliminary Results of FeO Mapping Using Imaging Interferometer Data from Chang'E-1	672
Preliminary Results of TiO ₂ Mapping Using Imaging Interferometer Data from Chang'E-1	678
Chang'E-1 Gamma Ray Spectrometer and Preliminary Radioactive Results on the Lunar Surface	686

第四部分 微波与月壤特性

微波月亮——人类对月球的全新视角——中国“嫦娥一号”卫星微波探测仪若干探测结果	701
“嫦娥一号”微波探测仪探测月壤厚度机理和地面验证实验	716
“嫦娥一号”卫星微波探测仪数据处理模型和月表微波亮温反演方法	724
“嫦娥一号”微波辐射计观测月球虹湾地区表面物理温度昼夜时间分布	742
嫦娥一号对月球表面微波辐射观测分析及其月壤厚度反演	752
“嫦娥一号”多通道微波辐射计测量估算全月球月壤层氦 3 含量	764
月球若干地区微波辐射特征研究	770
月球南极的微波辐射分布与异常	786
“嫦娥一号”对环形山起伏非均匀月表层微波辐射观测的理论建模分析	798
用“嫦娥一号”卫星微波探测仪亮温反演月壤厚度和 ³ He 资源量评估的方法及初步结果分析	806
月壤 ³ He 资源估算及相关参量分析	826
基于嫦娥一号卫星微波辐射计数据的月球 Cabeus 撞击坑水冰含量研究	840

Analysis of Microwave Brightness Temperature of Lunar Surface and Inversion of Regolith Layer Thickness: Primary Results of Chang'E-1 Multi-channel Radiometer Observation	848
Distribution and Anomaly of Microwave Emission at Lunar South Pole	861
Review on Retrieval of Lunar Regolith Thickness by Active and Passive Microwave Measurements	874
Simulation of Brightness Temperature from Lunar Surface and Inversion of Regolith-layer Thickness	882
Quantitative Estimation of Helium-3 Spatial Distribution in the Lunar Regolith Layer	899
Microwave Transfer Models and Brightness Temperature Simulations of MWS for Remote Sensing Lunar Surface on CE-1 Satellite	910
Research on Water Ice Content in Cabeus Crater Using the Data from the Microwave Radiometer onboard Chang'E-1 Satellite	918
A Primary Analysis of Microwave Brightness Temperature of Lunar Surface from Chang'E-1 Multi-channel Radiometer Observation and Inversion of Regolith Layer Thickness	928
Diurnal Physical Temperature at Sinus Iridum Area Retrieved from Observations of Chinese Chang'E-1 Microwave Radiometer	945
Microwave Brightness Temperature of Cratered Lunar Surface and Inversions of the Physical Temperature Profile and Thickness of Regolith Layer	960
Diurnal Change of MW and IR Thermal Emission from Lunar Craters with Relevance to Rock Abundance	975

第五部分 空间环境

“嫦娥一号”探月卫星发射期间太阳活动现象监测	989
嫦娥一号太阳风离子数据在月表分布的可视化	991
嫦娥一号高能粒子分布数据的可视化	999
Anomalous Deformation of the Earth's Bow Shock in the Lunar Wake: Joint Measurement by Chang'E-1 and SELENE	1006
3D Visualization of Solar Wind Ion Data from the Chang'E-1 Exploration	1018

第六部分 其他研究成果

月球表面水冰的探测和意义	1033
月球的地体构造与起源模式	1039
月球磁场与月球演化	1046
利用嫦娥一号卫星受控撞月过程的影像数据进行撞月点定位	1052
嫦娥一号卫星受控撞月轨迹测量与落月点坐标分析	1061
探月光学	1067
An Inversion Approach for Lunar Regolith Layer Thickness Using Optical Albedo Data and Microwave Emission Simulation	1077

图版



第一部分 综合性成果

月球探测发展历程及启示

邓连印 崔乃刚

(哈尔滨工业大学 航天学院, 哈尔滨 150001)

摘 要 从 1959 年到 1976 年, 前苏联和美国发射了多种系列的月球探测器, 他们采用了最早的深空探测技术和探测方式, 并获得了宝贵的成果和丰富的经验, 掀起了世界第一次探月高潮; 1976—1994 年国际上将深空探测的重点转向了火星和对空间站的研制, 没有进行过任何完全成功的月球探测活动, 出现了其后的相对月球探测宁静期; 20 世纪末, 美国的“克莱门汀”号和“月球勘探者”号成功获取了月球的新发现, 世界航天大国相继宣布了以月球为中心的深空探测计划, 并纷纷发射月球探测器, 将月球探测又推向了一个新的高潮。根据目前“嫦娥一号”的新技术和他国的月球探测情况, 对我国未来月球探测进行展望, 以在今后国际月球探测活动中占据主要位置。

关键词 探月活动 探月计划 展望 启示

1 引言

人类渴望探索未知世界, 开拓奇妙的宇宙。月球作为地球唯一的一颗天然卫星, 从古到今一直牵动着人类的梦想。1986 年美国康斯维辛大学的研究人员从月球的岩石和沙粒中提取氧气的时候, 发现了月球岩石中含有丰富的 ^3He 核动力资源, 因此可以设法将月球上的 ^3He 运回地球或者直接在月球上建立可控核聚变的核电站。同时在月球上建立太阳能电站也是空间利用太阳能的有益尝试, 是解决全球未来能源问题的有竞争力的方案。月球还有可能成为人类开展深空探测研究, 寻找“地外文明”, 开展对宇宙星球(如火星)的探测、开发等研究工作的中转站或基地。近几年来, 许多国家的政府机构、公司和科学家都在竞相策划或实施准备向月球移民的试验, 并提出了建设月球基地的方案和月球城市的构想^[1-2]。

此外, 由于月球上土壤成分与地球上的相似, 以及月球周围所具有的大气包围、无电离层、无辐射、弱重力、弱磁场的空间环境, 为某些特殊工业生产提供了有利的条件, 如微重力材料加工、蛋白质体生长、薄膜半导体材料、编晶合金、砷化镓等光电晶体生长、共晶生长等的试验、生产加工以及医学和药品的试验加工等^[3], 许多科学家认为在今后的几个世纪里月球将成为太阳系的工业中心。同时, 月球也是天体物理研究的良好场所, 开展月-地空间环境的测量、对地和宇宙观测, 可为将来的深空探测任务创造更好的条件。从现实和长远来看, 月球对人类生存发展有着特殊的意义和价值, 对月球的探测和开发, 是世界强国实现其科学、经济、政治、军事方面领先地位的有力途径^[4-5]。

2 各国月球探测活动及计划

自 1959 年开始月球探测至今, 人类共进行了 123 次月球探测活动。其中, 美国 56 次(包括 10 次载人月球探测)、前苏联 64 次、中国 1 次、日本 2 次, 欧空局 1 次^[6]。20 世纪六七十年代发射的月球探测器有 108 个, 主要集中在美国和前苏联两个超级大国, 形成了美苏争霸时期的探月高潮。70 年代末到 90 年代

本文原载于《哈尔滨工业大学学报》, 2008, Vol.10, No.3, 14~19。