



月球科学概论

INTRODUCTION TO LUNAR SCIENCE

国防科工委月球探测工程中心组织编写

欧阳自远 主编



中国宇航出版社

国防科工委月球探测工程中心组织编写

月球科学概论

欧阳自远 主编

 中国宇航出版社
· 北京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

月球科学概论/欧阳自远主编. —北京:中国宇航出版社,2005.9

ISBN 7-80218-001-5

I.月... II.欧... III.月球-概论 IV.P184

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 100257 号

责任编辑 艾小军

装帧设计 姜旭

责任校对 祝延萍

责任印制 任连福

出版
发行

中国宇航出版社

地址 北京市阜成路 8 号

邮编 100830

(010)68768548

网址 www.caphbook.com / www.caphbook.com.cn

经销 新华书店

发行部 (010)68371900

(010)88530478(传真)

(010)68768541

(010)68767284(传真)

零售店 读者服务部

北京宇航文苑

(010)68371105

(010)62529336

承印 北京智力达印刷有限公司

版次 2005 年 9 月第 1 版

2005 年 9 月第 1 次印刷

规格 787 × 1092

开本 1 / 16

印张 24 彩插 12 面

字数 593 千字

书号 ISBN-80218-001-5

定价 60.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部调换

序

20 世纪初,世界航天科学的先驱俄国科学家齐奥尔科夫斯基曾说:“地球是人类的摇篮,但人类不会永远躺在这个摇篮里,而会不断地探索新的天体和空间。人类首先将小心翼翼地穿过大气层,然后再去征服太阳系空间”。的确,人类自产生以来,一直憧憬着一个共同的愿望——飞出地球、驰骋宇疆、漫游星群。而月球无疑就成为人类实现这一愿望的第一选择。

1959 年 1 月 2 日,苏联发射了世界上第一个月球探测器——月球 1 号;1969 年 7 月 21 日,美国航天员阿姆斯特朗在月球表面迈出了第一步。20 世纪下半叶,人类加速了向深空探测的步伐,并极大推动了世界科技的快速发展。

今天,随着现代航天技术与空间科学的迅猛发展,空间活动已经成为人类科学、技术、经济、军事和社会活动的又一重要领地。正如现代火箭创始人冯·布劳恩所预言:“21 世纪将是在外层空间进行科学活动和商业活动的世纪,是载人星际航行和在母星地球之外开始建立永久性人类立足点的世纪。”

飞上太空也是中华民族数千年的梦想,中国在三千年前就有嫦娥奔月的传说,中国人自古就有登月的想法。空间技术、空间应用和空间科学的发展水平也是一个国家综合国力的重要标志,而先进的空间技术、广泛的空间应用和厚实的空间科学,无疑对维护一个国家的大国地位,取得应有的空间权益具有积极而深远的意义。开展月球探测活动,发射月球探测卫星,对于填补我国航天技术领域的空白、提高国家地位、推进航天领域的国际合作、加速我国科技发展及月球资源开发利用,有着重大历史意义和现实意义。

人类对月球的探测虽已历经多年,但科学的探索是无止境的,随着科技的进步,人类的月球探测活动会不断深入,对月球的了解和认识随着不断的研究和探索必将得到进一步的深化。

经过近 50 年的发展,我国已建立了完整的航天科技工程体系,达到了相当的规模 and 水平;并通过近 40 年对月球探测的跟踪性研究及参与月球探测国际合作

研究,使我国具备了实施月球探测工程的基本条件。国家于2004年1月23日正式批准、启动了月球探测工程一期——绕月探测工程;月球探测工程二、三期也纳入了国家中长期科技发展规划,作为重大工程项目已开展论证工作。

“绕月探测工程是一项复杂的多学科高技术集成的系统工程”。为使战斗在工程第一线的全体科技工作者更好地深入学习、充分掌握月球的特性和相关的各种科学知识,更好地贯彻落实温家宝总理“高标准、高质量、高效率地完成绕月探测工程任务”的指示精神,确保完成绕月探测工程的各项任务,并通过工程的组织实施培养和造就出一支适应未来我国深空探测领域发展需要的高素质的人才队伍,国防科工委月球探测工程中心组织相关的专家,经过近一年的努力,编写了《月球科学概论》。

本书以介绍月球为主线,集天体化学、天文学、空间环境科学和天体物理学等多学科相关知识于一体,在综合分析国际月球探测现状与发展态势的基础上,系统地分析、总结和介绍了有关月球的环境、地形地貌与地质构造、月壤、化学成分、矿物与岩石、内部结构、形成与演化、以及月球陨石和月球样品等知识,结合我国月球探测工程的需求又融入了诸如月食、月球的运动轨迹等相关内容,是迄今为止难得的一本比较系统、完整的关于月球科学的概论性的专著。该书不仅对参与我国月球探测工程研制任务的人员具有重要的参考价值,同时也适于作为广大科技工作者和青年学生了解月球科学的一本珍贵的读物。

程雪川

前 言

月球探测是一个国家综合国力和科技发展水平的重要体现。根据我国经济和科学技术发展的能力,基本上可以满足开展月球探测的要求。2000年11月,我国政府发表了《中国的航天》白皮书,明确了“开展以月球探测为主的深空探测的预先研究”的近期发展目标。2004年1月,经过较长时期的充分准备和严密论证,我国月球探测一期工程即绕月探测工程获得国家批准立项。绕月探测工程是继载人航天工程后又一举世瞩目的重大科技工程,将填补我国在深空探测领域的空白,为和平利用空间做出积极贡献。2月25日,国家航天局正式对外宣布:绕月探测工程正式开始实施。随后,国家成立了绕月探测工程领导小组,任命了工程总指挥、总设计师、首席科学家等工程总体领导,组建了工程各大系统的组织体系,并将工程命名为“嫦娥工程”,第一颗绕月探测卫星被命名为“嫦娥一号卫星”,整个工程开始进入正式的研制阶段。

为了使参加嫦娥工程的科学技术及管理人员更好地了解月球的相关知识、更好地完成工程的各项任务,根据栾恩杰总指挥和孙家栋总设计师的要求,在国家航天局孙来燕局长和金壮龙副局长等领导的关心和大力支持下,在科学顾问宋健、栾恩杰、孙家栋和孙来燕的指导下,由国防科工委月球探测工程中心组织了相关的学者、专家编著了本书——《月球科学概论》。

本书旨在全面而系统地介绍、论述月球科学知识和月球探测新的进展,为工程参研人员在研制和攻关过程中提供相关的参考信息,为相关科研院所的科技人员、高等院校的师生和具有大学以上文化程度的社会各界人士了解和研究月球科学提供基础性的参考书籍。

全书分为两个部分:

第一部分,系统论述月球科学研究的主要领域和人类对月球的科学认识,包括第1章至第12章。第1章绪论,论述人类研究与探测月球的宗旨、探测的主要

历程与进展,概括月球科学的主要研究领域和未来月球探测的趋势与前景;第2章月球概述,重点说明月球的基本特征与运动规律、日-地-月的相互关系与相互作用,概要介绍月球的物理与化学性质;第3章月球环境,详细介绍地月空间和近月空间环境、月球表面环境等,并结合工程的需要,论述了各种月表环境因素对月球探测活动的影响;第4章月球的地形与地貌,论述了月球的各种地形地貌及其特征;第5章月球化学,系统介绍了月球整体及两大地貌单元——月海和高地的化学组成,对常量元素、不相容痕量元素、无规律性微量元素、亲铁元素、挥发性元素和太阳风注入元素等六类元素进行了分别阐述;第6章月球矿物,介绍了组成月球岩石的基本构成单元——月球矿物的分类,并对硅酸盐矿物、氧化物矿物、硫化物矿物、自然金属和磷酸盐矿物等五类矿物的化学成分、结构构造和分布特征等进行了分别论述;第7章月球岩石,系统介绍了组成月球最主要的月海玄武岩、高地岩石、克里普岩和月球角砾岩四类岩石的化学成分、矿物组成与分布特征;第8章月球陨石,主要阐述了月球陨石的确认、命名、收集、分类以及对月球的形成与演化等的研究意义;第9章月壤,详细介绍了月壤的形成、化学与矿物组成、月壤厚度及其全月分布、月壤的物理力学性质、月壤中的太阳风组分和氦-3的开发利用前景等;第10章月球地质构造轮廓与月面历史,概述了月面历史的划分、月球相对年表、月面的地质分区、月球地质构造与地体构造及其起源模式等相关内容;第11章月球物理与月面测量,重点叙述了月球的重力场模型与月球内部结构、月球的磁场、电传导与月球的内部结构、月震与月球的内部结构模型、月面测量等内容;第12章月球的起源与演化,月球的起源与演化是最基本的月球科学问题,也是月球探测的永恒主题和最终归宿,本章在介绍星子学说和地球起源、月球起源的各种假说的基础上,重点论述了大碰撞分裂说的模型与意义,并对月球的地层年表、月球演化的重大事件作了系统的阐述。

第二部分,第13章至第16章,系统论述了月球探测的历程与成果、月球样品、月球水冰的发现与质疑、我国月球探测的发展战略与科学目标等。第13章月球探测历程,系统分析了美国与苏联月球探测的历程、探测的特色与成果,侧重阐述了“重返月球”以来月球探测的新进展以及未来月球探测的新前景;第14章月球样品,月球样品是月球科学最重要的研究对象之一,本章在概述 Apollo 载人登月舱系列和 Luna 不载人探测器系列月表采样概况的基础上,系统地介绍了月

球样品的采集、分类、编号、保存、分配与使用等；第 15 章月球水冰的探测，一直以来，月球被人们认为是一个极端干燥荒芜的天体，月球上没有任何形式的水，而 1994 年发射的 Clementine 和 1998 年发射的 Lunar Prospector 月球探测器的探测似乎找到了月球极地区存在水冰的证据，但这些证据同时存在多解性，引起了部分科学家的质疑，本章就此系统地介绍和论述了月球水冰探测的最新探测与研究进展；第 16 章中国月球探测的发展战略与科学目标，嫦娥工程启动实施以来，全国人民反响热烈、大力支持，同时也迫切希望了解工程的发展前景，为此，本章汇编了经过多年论证而制定的关于我国月球探测的发展战略、长远规划和科学目标，供广大读者了解嫦娥工程的总体思路与战略规划、月球探测“绕、落、回”各阶段的科学与工程目标。

本书对文中出现的主要名词作了说明，列于附录(一)；此外，我们根据月球探测的最新成果，列出了主要的月球地名表作为附录(二)，编制了一幅月球地形图作为附录(三)，供读者查阅。

本书各章节的分工如下：

第 1 章 绪论，由欧阳自远、胡浩编写；

第 2 章 月球概述，由刘剑、欧阳自远、李春来、邹永廖、刘建军编写；

第 3 章 月球环境，由刘建军、邹永廖、徐荣栏、李春来、刘剑、滕云田、王喜珍、张晓宇、李雄耀、钱志翰、欧阳斯捷编写；

第 4 章 月球的地形与地貌，由欧阳自远、郑永春、邹永廖、刘建军编写；

第 5 章 月球化学，由刘剑、欧阳自远、邹永廖、李春来编写；

第 6 章 月球矿物，由邹永廖、欧阳自远、刘建忠、郑永春编写；

第 7 章 月球岩石，由邹永廖、欧阳自远、刘建忠编写；

第 8 章 月球陨石，由郑永春、林杨挺、王世杰、李春来编写；

第 9 章 月壤，由郑永春、王世杰、欧阳自远、邓柏权、李春来、左维编写；

第 10 章 月球地质构造轮廓与月面历史，由刘建忠、欧阳自远、李春来、邹永廖编写；

第 11 章 月球物理与月面测量，由刘建忠、欧阳自远、黄斌、平劲松、胡小工、黄勇、李泳泉编写；

第 12 章 月球的起源与演化，由欧阳自远、郑永春、张福勤、李春来、王世杰、

胡智新编写;

第 13 章 月球探测历程,由欧阳自远、郝希凡、李春来、邹永廖、裴照宇、刘建忠、林文祝、刘剑、徐琳编写;

第 14 章 月球样品,由郑永春、欧阳自远、王世杰、李春来、胡智新、李泳泉编写;

第 15 章 月球水冰的探测,由郑永春、王世杰、欧阳自远、刘建忠编写;

第 16 章 中国月球探测的发展战略与科学目标,由欧阳自远、胡浩、李春来、孟华、邹永廖、刘建忠、林文祝编写;

附录(一) 主要名词说明,由欧阳自远、郑永春、李春来、邹永廖、刘建忠编写;

附录(二) 月球地名表,由刘建军、张晓宇、刘剑编写;

附录(三) 月球地形图,由刘建军、任鑫绘制。

全书由欧阳自远、邹永廖、郑永春统稿。在统稿过程中,我们尽量保持各章节的独立性和完整性,以便读者选择所需了解的章节阅读,而不需通读全书;有关月球科学的各种观点与参数,各个研究者有不同的结论,我们尽量采用最为大家接受的、最新发表的结论和数据。

本书在编写、修改、补充以及出版的全过程中,始终得到了国防科工委领导的高度重视与大力支持,得到了绕月探测工程陈炳忠、姜景山、龙乐豪三位副总设计师以及绕月探测工程五大系统相关专家的评阅并提出了一些建设性意见,得到了国防科工委月球探测工中心张荣桥、孟华、裴照宇、富向东、许兴利、刘彤杰、王黎、王兰义、徐瑞等同志的大力帮助和支持,得到了中国科学院国家天文台张洪波、吕昌、孙静兰、苏彦、边伟、葛正红、李瑞玲、曹永亮、张力岩、卢仁等同志的多方协助,在此一并致谢。

本书编写时间仓促,各种资料的收集、整理和综合分析尚不完善,错误在所难免,敬请读者批评指正。

欧阳自远
2005 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 早期探测	1
1.1.1 第一次月球探测高潮	1
1.1.2 月球探测宁静期	2
1.1.3 对月球的主要科学认识	2
1.2 重返月球	4
1.3 月球资源与环境的开发利用前景	5
1.3.1 月球能源开发利用前景	5
1.3.2 月球金属矿产资源开发利用前景	6
1.3.3 月球表面特殊环境开发利用前景	7
1.3.4 月球基地	7
1.4 月球科学研究中存在的主要问题和展望	7
第 2 章 月球概述	12
2.1 月球与地月系	13
2.1.1 月球的运动	13
2.1.2 日、地、月相互关系	15
2.1.2.1 月相	15
2.1.2.2 日食和月食	16
2.1.2.3 潮汐——地球和月球的相互作用	19
2.2 月球的物理和化学特征	20
2.2.1 月球的物理特征	20
2.2.2 月球的化学特征	22
第 3 章 月球环境	24
3.1 地月空间与近月空间环境	24
3.1.1 辐射环境	24
3.1.1.1 太阳风	25
3.1.1.2 太阳宇宙射线	26
3.1.1.3 银河宇宙射线	28
3.1.1.4 月球辐射环境参数的计算	30
3.1.2 电离层环境	33
3.1.2.1 月球电离层存在的迹象和争议	33
3.1.2.2 月球电离层存在的可能性	34
3.1.3 大气环境	35
3.1.4 流星体环境	36

3.1.5 月球光学特征·····	38
3.1.5.1 月球反照率·····	38
3.1.5.2 月球光度模型·····	38
3.1.5.3 月光极化·····	40
3.1.5.4 月球物质反射光谱特性·····	40
3.1.6 月球射电特征·····	44
3.2 月球表面环境·····	46
3.2.1 月表温度和热流·····	46
3.2.1.1 月表温度·····	46
3.2.1.2 月表热流·····	46
3.2.2 月震·····	48
3.3 月球环境的影响效应·····	50
3.3.1 地月空间与近月空间环境的影响效应·····	50
3.3.1.1 辐射环境的影响·····	50
3.3.1.2 大气环境的影响·····	51
3.3.1.3 流星体撞击的危险性·····	51
3.3.2 月表环境的影响效应·····	51
3.3.2.1 地形地貌的影响·····	51
3.3.2.2 月壤特性和月尘环境的影响·····	52
3.3.2.3 月球表面温度的影响·····	52
3.3.2.4 月震的影响·····	53
第4章 月球的地形与地貌 ·····	56
4.1 地貌类型·····	56
4.1.1 月海与类月海(大型盆地)·····	56
4.1.2 月湾、月沼与月湖·····	58
4.1.3 撞击坑·····	58
4.1.4 高地、山脉和峭壁·····	64
4.1.5 月谷和月溪·····	64
4.2 地貌特征·····	65
第5章 月球化学 ·····	68
5.1 月球化学概论·····	68
5.2 月球的六类元素·····	69
5.2.1 月球的主量元素·····	71
5.2.1.1 月球的主量元素概论·····	71
5.2.1.2 主量元素形成的矿物和岩石·····	71
5.2.1.3 主量元素的丰度和相互关系·····	72
5.2.2 不相容痕量元素·····	74
5.2.2.1 月表物质中的不相容痕量元素的丰度·····	79
5.2.2.2 月球高地物质中的不相容痕量元素·····	80

5.2.2.3 月海中的不相容痕量元素·····	82
5.2.3 无规律性微量元素·····	82
5.2.4 亲铁元素·····	84
5.2.4.1 典型的亲铁元素 Ir ·····	85
5.2.4.2 其他亲铁元素·····	85
5.2.5 挥发性元素·····	88
5.2.6 太阳风注入元素·····	89
5.3 月球的化学成分·····	90
5.3.1 月球的平均化学成分·····	90
5.3.2 月球的平均化学成分·····	91
第6章 月球矿物 ·····	95
6.1 概述·····	95
6.2 硅酸盐矿物·····	97
6.2.1 辉石·····	98
6.2.2 斜长石 ·····	102
6.2.3 橄榄石 ·····	104
6.2.4 其他硅酸盐矿物 ·····	106
6.3 氧化物矿物 ·····	109
6.3.1 二氧化硅矿物 ·····	109
6.3.2 钛铁矿 ·····	110
6.3.3 尖晶石 ·····	110
6.3.4 铬铁矿—钛铁晶石系列矿物 ·····	111
6.3.5 金红石(TiO_2) ·····	112
6.3.6 斜锆石(ZrO_2) ·····	112
6.3.7 钛锆铁矿 ·····	113
6.4 硫化物矿物 ·····	114
6.5 自然金属 ·····	115
6.5.1 铁和镍—铁 ·····	115
6.5.2 含钴的镍—铁金属 ·····	115
6.6 磷酸盐矿物 ·····	116
第7章 月球岩石 ·····	119
7.1 月海玄武岩 ·····	119
7.1.1 月海玄武岩类型及矿物组成 ·····	119
7.1.2 月海玄武岩的化学成分 ·····	120
7.1.3 月海玄武岩的成因 ·····	123
7.1.4 月海玄武岩中的钛铁矿资源 ·····	125
7.2 克里普岩 ·····	126
7.2.1 克里普岩的类型及矿物组成 ·····	126
7.2.2 克里普岩的化学成分 ·····	127

7.2.3 克里普岩在月面上的分布特征及其开发利用前景	129
7.3 高地岩石	130
7.3.1 高地岩石类型及矿物组成	130
7.3.2 高地岩石的化学成分	130
7.3.3 高地岩石的成因	133
7.4 月球角砾岩	134
7.5 月球岩石与地球岩石的比较	135
第8章 月球陨石	138
8.1 月球陨石的确认	138
8.2 月球陨石的命名和收集	140
8.3 月球陨石的分类	141
8.4 月球陨石的研究意义	145
8.4.1 月球陨石相当于整个月球表面的随机取样	145
8.4.2 月球陨石对月表撞击事件的记录	147
第9章 月壤	151
9.1 月壤的形成	152
9.1.1 月壤物质的主要来源	152
9.1.2 陨石和微陨石撞击对月壤的影响	152
9.1.3 月壤的多来源混合特征	154
9.2 月壤厚度及其分布特征	155
9.3 月壤的组成	157
9.3.1 组成月壤的基本颗粒	157
9.3.2 月壤的平均化学组成	157
9.3.3 月壤的平均矿物组成	159
9.4 月壤的物理力学性质	160
9.4.1 月壤的物理力学性质研究概况	160
9.4.2 月壤的粒度和粒形	160
9.4.2.1 粒度参数的定义与计算	160
9.4.2.2 月壤的粒度分布特征	162
9.4.2.3 月壤的颗粒形态	167
9.4.3 月壤的密度、相对密度、孔隙度	167
9.4.3.1 月壤的密度	167
9.4.3.2 月壤颗粒的相对密度	168
9.4.3.3 月壤的孔隙比和孔隙率	169
9.4.4 月壤的抗压和抗剪	170
9.4.4.1 月壤的压缩性	170
9.4.4.2 月壤的抗剪性	170
9.4.5 月表物质的电导率和介电性质	172
9.4.5.1 月表物质的电导率	172

9.4.5.2 月表物质的复介电常数	173
9.4.5.3 复介电常数与月球样品密度和化学成分的关系	178
9.5 月壤成熟度及其指标	178
9.5.1 平均粒径指标	179
9.5.2 Is/FeO 比值指标	179
9.5.3 粘合集块岩含量	180
9.6 月壤中的太阳风组分和太阳历史记录	181
9.6.1 太阳辐射对月壤的影响效应	181
9.6.2 月壤中的稀有气体	184
9.6.3 月壤中的氮	185
9.7 月壤中的氦-3 及其开发利用前景	186
9.7.1 $D-^3He$ 聚变反应	186
9.7.2 地球和月球上氦-3 的资源量	187
9.7.2.1 地球上氦-3 资源贫乏	187
9.7.2.2 月球上氦-3 的资源量估计	187
9.7.3 月球上氦气的抽取和 $^3He/^4He$ 同位素的就地分离	188
9.7.4 能量偿还因子的比较	189
9.7.5 单位电价的比较	189
第 10 章 月球地质构造轮廓与月面历史	194
10.1 月球地质构造特征	194
10.1.1 月球表面的地质构造样式	194
10.1.1.1 断裂构造	194
10.1.1.2 褶皱构造	195
10.1.2 月面主要构造单元	196
10.2 月面月质分区概述	199
10.3 月球的地体构造	200
10.3.1 风暴洋克里普地体(PKT)	201
10.3.2 斜长质高地地体(FHT)	201
10.3.3 南极爱肯地体(SPA)	201
10.4 月面历史划分	202
10.4.1 哈巴科夫的月面历史划分	202
10.4.2 休迈克和哈克里的月面历史划分	202
10.4.3 几种月面历史划分的比较	203
10.5 月面历史分期	203
10.5.1 前雨海纪	203
10.5.2 雨海纪	204
10.5.3 风暴洋纪	205
10.5.4 爱拉托逊纪	205
10.5.5 哥白尼纪	205

10.6 月面历史分期与地球历史分期的对比·····	205
第 11 章 月球物理与月面测量 ·····	208
11.1 月球的重力场模型与内部结构·····	208
11.1.1 月球的重力场模型·····	208
11.1.2 月球的质量瘤·····	209
11.2 月球磁场·····	211
11.2.1 月球磁场的特征·····	211
11.2.1.1 月球样品的剩磁特征·····	211
11.2.1.2 月球磁场的分布·····	212
11.2.2 月球磁场的形成与演化·····	212
11.3 月球的电导率与内部结构·····	213
11.4 月震与月球的内部结构模型·····	214
11.5 月球内部结构的演化模型·····	216
11.5.1 月表热历史与月球结构演化模型·····	216
11.5.2 月球初始呈层状构造的演化模型·····	217
11.5.3 月球内部的密度模式·····	218
11.6 月面测量·····	220
11.6.1 坐标系统·····	220
11.6.1.1 地面坐标系·····	220
11.6.1.2 协议地球参考系·····	220
11.6.1.3 协议惯性参考系(ICS) ·····	221
11.6.1.4 地心坐标系·····	221
11.6.1.5 月心坐标系·····	222
11.6.1.6 星体坐标系·····	223
11.6.1.7 坐标系统之间的转换·····	223
11.6.2 月球坐标系·····	223
11.6.2.1 月球坐标系·····	223
11.6.2.2 月球椭球体·····	224
11.6.2.3 基准面·····	224
11.6.2.4 月球地理坐标系·····	224
11.6.3 月面测量控制网·····	225
11.6.3.1 控制网施测方法·····	225
11.6.3.2 月球控制网·····	227
11.6.4 时间系统及其转换·····	229
11.6.4.1 恒星时 ST ·····	229
11.6.4.2 世界时 UT ·····	229
11.6.4.3 历书时 ET ·····	229
11.6.4.4 原子时 TAI ·····	229
11.6.4.5 协调世界时 UTC ·····	230

11.6.4.6 GPS 时间系统	230
11.6.4.7 动力学时 - 地球动力学时(TDT)和质心动力学时(TDB)	230
11.6.4.8 历元的取法和年的长度	230
11.6.4.9 TAI 与 UTC 之间的转换	230
11.6.4.10 UTC 到 UT1 的转换关系	230
11.6.4.11 格林尼治恒星时的计算	231
第 12 章 月球的起源与演化	234
12.1 太阳系起源的星子学说和地球的形成	234
12.1.1 星子学说的演变	234
12.1.2 内星云区星子的类型	235
12.1.3 地球的多阶段星子堆积模型	236
12.1.3.1 星子与行星的形成过程	236
12.1.3.2 地球的多阶段星子堆积模型	238
12.2 月球的起源假说	241
12.2.1 捕获说	241
12.2.2 共振潮汐分裂说	242
12.2.3 双星说	243
12.2.4 大碰撞分裂说	243
12.2.4.1 大碰撞分裂说的模型	244
12.2.4.2 月球某些化学组分的制约	246
12.2.4.3 大碰撞分裂模型对地球的意义	247
12.3 月球的演化历程	247
12.3.1 月球的地层年表	247
12.3.2 月球演化的阶段与重大事件	247
第 13 章 月球探测历程	251
13.1 月球探测概况	251
13.1.1 第一次探月高潮期间美国和苏联的月球探测	252
13.1.1.1 美国的月球探测	254
13.1.1.2 苏联的月球探测	258
13.1.2 月球探测的宁静期	261
13.1.3 月球探测的最新进展	262
13.1.3.1 美国最新的月球探测活动	263
13.1.3.2 欧空局的 SMART-1 号月球探测器	264
13.1.3.3 日本 Hiten(飞天)号月球探测器	265
13.1.3.4 月球探测年表	265
13.2 各国近年的重返月球计划	273
13.2.1 美国近年的重返月球计划	273
13.2.2 俄罗斯的月球探测计划(Luna - Glob. 计划)	275
13.2.3 欧空局未来的月球探测计划	275

13.2.4 日本的月球探测计划	276
13.2.4.1 Lunar-A(月球-A)探测器	277
13.2.4.2 SELENE(月亮女神)探测器	277
13.2.5 印度的月球探测计划——Chandrayaan-1(月神-1)探测器	278
第14章 月球样品	280
14.1 月表采样概况	280
14.1.1 Apollo系列月表采样概况	280
14.1.1.1 Apollo 11	280
14.1.1.2 Apollo 12	281
14.1.1.3 Apollo 14	281
14.1.1.4 Apollo 15	282
14.1.1.5 Apollo 16	283
14.1.1.6 Apollo 17	283
14.1.2 Luna系列月表采样概况	284
14.1.2.1 Luna 16	284
14.1.2.2 Luna 20	284
14.1.2.3 Luna 24	285
14.2 月球样品的采集、分类与编号	285
14.2.1 月球样品的采集	285
14.2.2 月球样品的分类与编号	287
14.2.3 月球样品的保存	288
14.2.3.1 保存月球样品的实验室环境	288
14.2.3.2 月球样品的保存装置	289
14.2.4 月球样品使用和分配情况	289
第15章 月球水冰的探测	292
15.1 Clementine号搭载的双基地雷达对月球水冰的探测	293
15.2 Arecibo地基雷达对月球水冰的探测	295
15.3 Lunar Prospector中子谱仪对月球水冰的探测	295
15.3.1 中子谱仪探测原理	297
15.3.2 中子谱仪探测结果	297
15.3.3 Lunar Prospector探测器撞击月表探测水冰存在的疑问	299
15.4 月球水冰的来源、前景与存疑	300
15.4.1 月球水冰的可能来源	300
15.4.2 月球水冰的前景	301
15.4.3 月球水冰的存在需要进一步探测来证明	301
第16章 中国月球探测的发展战略与科学目标	304
16.1 开展月球探测是我国航天活动发展的必然选择	304
16.2 我国月球探测工程的发展规划设想	306
16.2.1 月球环绕探测	307