

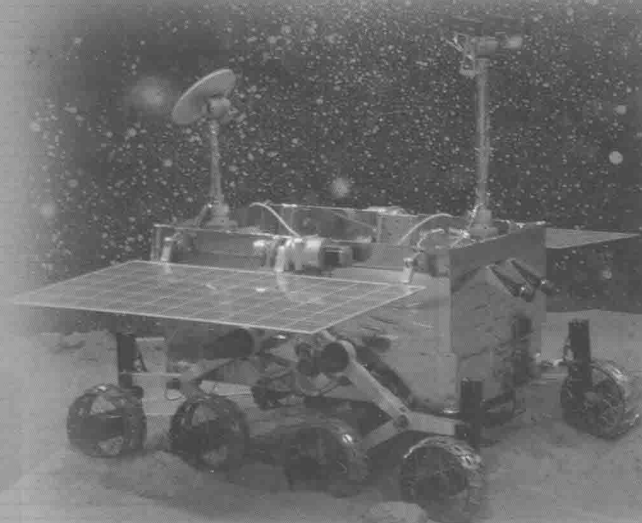
机械工程前沿著作系列 HEP
HEP Series in Mechanical Engineering Frontiers MEF

机器人科学与技术丛书 3

月球车移动系统设计

邓宗全 高海波 丁亮 著

Design of Mobility Systems for Lunar Rovers



高等教育出版社

机械工程前沿著作系列 HEP
HEP Series in Mechanical Engineering Frontiers MEF

机器人科学与技术丛书 3

月球车 移动系统设计

Design of Mobility Systems for Lunar Rovers

YUEQIUCHE YIDONG
XITONG SHEJI

邓宗全 高海波 丁亮 著



高等教育出版社·北京

内容提要

本书基于作者对月球车移动系统多年理论研究和工程经验的积累, 密切结合我国月球探测工程的需求, 主要以月球车移动系统为对象, 对国内外星球车移动系统的结构特点进行了全面概括; 基于拓扑学对月球车移动系统进行了构型设计和折展技术研究, 并进行了性能分析与参数优化; 基于地面力学对月球车轮地作用进行了研究, 并进行了月球车移动系统动力学研究和移动控制研究; 针对月面低重力环境进行了重力补偿技术研究; 设计了多节串联式移动系统原理样机并进行了性能实验。

本书适合科研院所、高等学校等从事机器人研究、星球表面巡视探测研究的工程设计人员、教师和研究生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

月球车移动系统设计 / 邓宗全, 高海波, 丁亮著. --
北京: 高等教育出版社, 2015.5
(机器人科学与技术丛书)
ISBN 978-7-04-042331-0

I. ①月… II. ①邓… ②高… ③丁… III. ①月面车
辆—系统设计 IV. ①V476.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 048645 号

策划编辑 刘占伟 责任编辑 刘占伟 封面设计 杨立新 版式设计 张杰
插图绘制 杜晓丹 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 涿州市星河印刷有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 24
字数 460千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landrac.com>
<http://www.landrac.com.cn>
版次 2015年5月第1版
印次 2015年5月第1次印刷
定价 99.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 42331-00

丛书编委会

名誉主编: 熊有伦

主 编: 戴建生

委员 (按姓氏笔画排序):

丁 汉	丁华峰	丁希仑	于靖军	王田苗	王 宏	王国彪
王树新	王 皓	王德伦	方跃法	孔宪文	邓宗全	甘东明
朱向阳	刘辛军	刘 宏	刘宏斌	刘金国	刘荣强	刘景泰
孙立宁	李 兵	李泽湘	李建民	李树军	李洪波	李秦川
李瑞琴	李端玲	杨广中	杨廷力	邹慧君	沈惠平	张 丹
张克涛	张建伟	张宪民	陈学东	陈贵敏	陈 超	陈 焱
陈义明	武传宇	易建强	金国光	赵永生	赵 杰	赵铁石
赵景山	侯增广	姚立纲	徐扬生	徐 凯	高 峰	郭为忠
郭进星	黄 田	黄 真	黄 强	曹政才	崔 磊	康荣杰
葛巧德	韩建达	蔡敢为	廖启征	谭 民	熊蔡华	颜鸿森
戴振东	魏国武	Andreas Müller	Gim Song Soh			

序

月球车是一种能够在月球表面行驶并完成月球探测、考察、收集和分析样品等复杂作业任务的特种车辆。

世界上第一台无人驾驶的“月球车 1 号”于 1970 年 11 月 17 日由苏联发射的“月球 17 号”探测器送上月球,它行驶了 10.5 km,考察了 $8 \times 10^4 \text{ m}^2$ 的月面。后来的“月球车 2 号”行驶了 37 km,向地球发回 88 幅月面全景图。它们代表了当时空间探测技术的最高水平。美国“Apollo 15 飞船”于 1971 年 7 月 31 日实现落月,宇航员首次在月球上驾驶“月球流浪者”遨游;后来又相继发射了 4 款火星车。星球车技术是世界瞩目的一种重要航天科技手段,是人类科技文明的标志性成果。

2013 年 12 月 15 日,中国首辆月球车“玉兔”号成功着陆运行,验证了月面软着陆、月球车转移、月球车运行与探测等多项关键技术,圆满实现了中华民族的“千年梦想”,为我国航天事业发展树立了新的里程碑,刷新了中国航天科技的高度,是中国在航天领域综合能力处于世界先进行列的一个重要标志。

哈尔滨工业大学邓宗全教授是我国空间机构学领域的知名专家,他领导的科研团队在国内率先开展了月球车移动系统方面的研究。月球车受月面苛刻地形、低重力、高真空和大温差等极端环境的影响,还要满足重量、尺寸、功耗等方面的苛刻约束和限制,因此解决月球车越障和防自陷等月面适应性问题具有很大的技术挑战性。通过大量的理论与实验工作,邓教授的团队突破了“玉兔”号月球车的悬架构型设计、月面转移、低重力模拟测试等核心技术难题。他们将理论研究与工程实践紧密结合,为“嫦娥三号”工程实施做出了重要贡献。关于轮地作用方面的一些研究成果,被 NASA 资助开发的仿真软件采用,用于火星车的驱动规划。这些成果奠定了月球车移动系统设计与模拟测试的理论基础,引领了该领域的学术发展方向。

本书的各章内容均体现出邓宗全教授课题组的多年研究成果,论述了月球轮式移动系统设计的一些核心与共性技术问题。随着技术的不断进步,星球车移动系统研究将不断地丰富和发展,特别是在环境的适应性与高可靠作业方面,这是需要持续关注的重要研究内容。未来中国将开展火星探测、载人登月以及月球基地建设等重大科技工程,星球车移动技术仍是重要的支撑技术。本书的出版有助于推动航天领域科技工作者的学术交流,鼓励更多青年科学家开展航天领域的基础性和前沿性

前 言

中国的探月计划——嫦娥工程分为“绕”、“落”、“回”3个阶段。绕：2007年10月24日“嫦娥一号”月球探测卫星顺利发射并成功完成了探测任务；2010年10月1日“嫦娥二号”月球探测卫星顺利发射并成功完成了探测任务。落：2013年12月2日“嫦娥三号”月球探测器在西昌卫星发射中心由“长征三号乙”运载火箭送入太空，14日成功软着陆于月球雨海西北部，15日完成月球车与着陆器的分离，并陆续开展了“观天、看地、测月”的科学探测和其他预定任务；2013年12月16日，中国官方宣布“嫦娥三号”探测任务获得圆满成功。回：计划2017年发射“嫦娥五号”月球探测器，进行月球采样并返回地球。

月球车是嫦娥工程第二阶段实现巡视探测的核心装备。月球车包括移动系统、结构与机构系统、导航与控制系统、综合电子系统、电源系统、热控系统、测控数传系统、机械臂系统以及科学仪器系统。针对月球车移动系统设计中的相关难题，哈尔滨工业大学从2000年起开展研究，在构型设计、性能评价、轮地力学、移动控制、重力补偿等领域形成了系统的研究成果，为我国嫦娥工程的顺利实施提供了有力支持。

本书共9章。第1章介绍月球车的概念、工作环境、结构特点、总体方案等。第2章对月球车悬架系统进行拓扑构型设计，提出了一种应用拓扑图关联矩阵进行同构判别的方法。第3章对月球车悬架系统的折叠技术开展研究，提出了基本单元的变异方式并建立了单元变异的数学模型。第4章针对月球车地面力学问题开展了月球车车轮与月壤间相互作用特性的研究。第5章对月球车移动系统动力学开展了研究，建立了虚拟仿真平台。第6章基于月球表面地形特征，给出典型的月球车运动工况，并对经典的摇臂-转向架式月球车进行了参数化建模和优化分析。第7章对月球车移动控制技术开展了研究，基于轮地作用模型开展了滑转率协调控制研究。第8章对多节串联式月球车移动系统进行了设计，并研制了原理样机，进行了地面实验。第9章针对月球车所处的月面低重力环境，进行了重力补偿实验研究，并对拉力控制技术、位置跟踪技术等关键技术开展了研究。

本书作者均为从事月球车技术研究的科研人员。第1章由邓宗全、高海波撰写，第2章由邓宗全、侯绪研撰写，第3章由杨飞、邓宗全撰写，第4章由邓宗全、丁亮

撰写,第5章由丁亮、高海波、全齐全撰写,第6章由高海波、杨飞撰写,第7章由丁亮、邓宗全撰写,第8章由陶建国、邓宗全、侯绪研撰写,第9章由刘振、高海波撰写。全书由邓宗全统稿,由侯绪研和丁亮进行编辑和校对。

作者指导的硕士生和博士生的研究成果为本书的撰写提供了素材。博士毕业生包括胡明、张朋、李所军、禹鑫焱、方海涛、刘吉成、邱雪松、毕贞法、艾梅等,硕士生毕业生包括贾彦辉、王梦宇、焦震、李卫华、李楠、苏相国、董磊、李世杰、李运堂、高鹏、孟宪伟、王林、李慧军、王锋、邹艳波、邬明智、尹甲人、陈磊、于文泽、夏科睿、郭军龙、姬广勋等。刘逸群、郭军龙、杨怀广、刘宇飞、项升、蔡佳龙等协助完成了本书的文字、图表的编辑工作。在此表示衷心感谢。

本书涉及的研究工作得到了国家自然科学基金、国家“863”计划等项目的资助,同时得到了探月工程国家重大科技专项以及中国空间技术研究院项目的资助。在此表示感谢!

由于作者水平有限,书中的疏漏或不当之处在所难免,热忱欢迎读者批评指正。

作者

2015年春

于哈工大科学园

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 月球车的工作环境	2
1.2.1 月球概况	2
1.2.2 月面地貌特征	2
1.2.3 月壤基本特性	4
1.3 星球车的成功范例	5
1.3.1 国外月球车	5
1.3.2 火星车	7
1.3.3 中国“玉兔号”月球车	8
1.4 月面巡视探测的科学目标与工程目标	11
1.4.1 科学目标	11
1.4.2 工程目标	11
1.5 月球车移动系统的研究内容	11
参考文献	12
第 2 章 月球车移动系统构型设计	13
2.1 月球车构型综合基础	13
2.1.1 运动链构型综合的单开链叠加法	13
2.1.2 运动链拓扑图顶点类配的生成	15
2.1.3 同构拓扑图的判别及新方法的提出	16
2.2 月球车悬架构型综合	20
2.2.1 悬架构型基本步骤	20
2.2.2 单轮被动自适应悬架综合	21
2.2.3 双轮及三轮被动自适应悬架综合	24
2.2.4 悬架新构型初选	30
2.3 月球车差动机构构型综合	32
2.3.1 差动机构的特征和要求	32
2.3.2 两齿轮副差动机构构型综合	33

2.3.3	三齿轮副差动机构构型综合	36
2.4	月球车移动系统车轮构型	40
2.4.1	金属弹性车轮	41
2.4.2	刚性车轮	43
2.4.3	可展开车轮	44
	参考文献	47
第 3 章	月球车移动系统折展技术	51
3.1	月球车移动系统折叠研究	51
3.1.1	可折展机构的最小单元	51
3.1.2	基本单元变异与融合方式研究	54
3.1.3	月球车悬架折叠综合示例	60
3.1.4	MCQS 悬架的折叠方案	66
3.2	月球车车轮折叠研究	67
3.2.1	可展开车轮轮辐基本构型确定	68
3.2.2	可展开车轮构型综合	69
3.2.3	可展开车轮构态变换	72
3.2.4	可展开车轮构件关联模型	74
3.3	具有折展功能的月球车设计实例	75
3.3.1	八轮扭杆摇臂式可折展月球车	75
3.3.2	MCQS 月球车可折展设计	79
3.3.3	六圆锥轮式可折展月球车	81
	参考文献	81
第 4 章	月球车地面力学	83
4.1	月球车地面力学概述	83
4.1.1	月球车地面力学的研究意义	83
4.1.2	地面力学在月球车中的作用	85
4.1.3	地面力学研究方法	87
4.2	月球车轮地相互作用力学影响因素分析	90
4.2.1	月壤的物理与力学特性	90
4.2.2	月表地形信息	92
4.2.3	车轮构型及参数	93
4.2.4	车轮运行状态信息	93
4.2.5	月球车轮地相互作用力学基本模型	95
4.3	轮地相互作用力学模拟实验	96
4.3.1	实验条件	96
4.3.2	车轮土壤相互作用力学实验方法	100
4.3.3	整车测试系统实验	104

4.3.4	实验数据处理	106
4.4	月球车轮地相互作用力学模型	107
4.4.1	无轮刺车轮的轮地相互作用力学传统模型	108
4.4.2	轮刺效应	109
4.4.3	车轮的滑转沉陷分析	120
4.4.4	车轮前进力学模型	124
4.4.5	反映载荷效应的月球车轮地相互作用模型	127
4.4.6	车轮的侧偏和转向模型	128
4.5	轮地作用解析解耦模型及参数辨识方法研究	134
4.5.1	轮地相互作用模型分析	134
4.5.2	基于积分模型的参数辨识方法研究	141
4.5.3	轮地相互作用封闭解析解耦模型研究	143
4.5.4	基于封闭解析模型的参数辨识方法研究	147
4.5.5	基于整车实验的沙土参数辨识	152
	参考文献	153
第 5 章 移动系统动力学建模与仿真		157
5.1	引言	157
5.2	星球车虚拟仿真意义、现状与发展趋势	157
5.2.1	星球车虚拟仿真的意义	157
5.2.2	星球探测车虚拟仿真研究简述	159
5.2.3	星球车虚拟仿真系统的发展趋势	161
5.3	关节式星球车通用递归运动学建模	163
5.3.1	星球车的拓扑结构描述	163
5.3.2	坐标系定义与坐标变换	166
5.3.3	运动学递归方程	167
5.3.4	速度雅可比矩阵	169
5.4	基于轮地作用力学的月球车通用递归动力学建模	173
5.4.1	松软崎岖地形中的轮地相互作用力计算	173
5.4.2	拉格朗日动力学方程推导	176
5.4.3	基于牛顿-欧拉法的逆动力学	179
5.5	基于 Matlab 的仿真平台开发及实验验证	181
5.5.1	基于 SpaceDyn 的仿真系统实现	181
5.5.2	El-Dorado II 探测车模型	182
5.5.3	基于 El-Dorado II 的仿真实验验证	183
5.6	基于 ADAMS 的月球车仿真	185
5.6.1	基于轮胎模型的仿真	186
5.6.2	基于二次开发的地面力学模块的仿真	190

5.7	基于 Vortex 的实时仿真系统开发	193
5.7.1	Vortex 介绍	193
5.7.2	RoSTDyn 仿真平台开发	194
5.7.3	“玉兔”月球车性能仿真分析	196
	参考文献	201
第 6 章	月球车性能分析及悬架参数优化	203
6.1	月球车移动性能分析	203
6.1.1	月球车几何通过性分析	204
6.1.2	月球车坡道行驶能力分析	206
6.1.3	月球车抗倾翻性能分析	207
6.1.4	月球车越障性能分析	209
6.1.5	月球车跨越壕沟性能分析	211
6.2	月球车移动系统设计参数	213
6.2.1	月球车基本结构	213
6.2.2	月球车悬架参数化表示	213
6.3	摇臂悬架设计参数优化	215
6.3.1	优化数学模型	215
6.3.2	基于越障性能悬架设计参数优化	218
6.3.3	基于移动平稳性能悬架设计参数优化	224
6.3.4	优化结果分析	225
	参考文献	227
第 7 章	月球车移动控制技术	229
7.1	引言	229
7.2	松软崎岖地形中的月球车路径跟踪控制	229
7.2.1	基于目标追踪法的理论跟踪路径计算	229
7.2.2	月球车非完整运动学模型实例	231
7.2.3	基于滑移补偿的转向控制策略	235
7.2.4	路径跟踪控制仿真验证	237
7.3	车轮滑转率在线估计方法	238
7.3.1	基于轮刺痕迹的车轮滑转率估计	239
7.3.2	基于轮地相互作用力学的车轮滑转率估计	239
7.4	基于能量 - 时间最优的滑转率协调控制	240
7.4.1	车轮滑转率与月球车能量消耗的关系	240
7.4.2	月球车滑转率协调控制算法设计	244
7.4.3	仿真验证	246

7.5 基于能量 - 时间最优的路径跟踪控制	247
参考文献	248
第 8 章 多节串联式移动系统设计实例	251
8.1 总体设计	251
8.2 移动系统尺度综合	253
8.3 移动系统结构设计	256
8.3.1 悬架机构的结构设计	256
8.3.2 车轮构型及其结构设计	257
8.3.3 车轮轮系设计	259
8.4 控制系统设计	261
8.4.1 硬件系统设计	261
8.4.2 软件系统设计	262
8.4.3 电源及电力分配	262
8.5 三维实体模型建立	263
8.6 移动系统运动模式设计	264
8.7 地形通过性分析	269
8.7.1 被动适应模式下的地形通过性分析	269
8.7.2 主动适应模式下的地形通过性分析	274
8.8 移动系统原理样机性能实验	276
8.8.1 车轮均一当量牵引系数测定	277
8.8.2 被动适应模式下越障实验	278
8.8.3 主动适应模式下越障实验	279
8.8.4 壕沟通过性测试	280
8.8.5 爬坡能力测试	282
8.8.6 侧向稳定性测试	282
8.8.7 运动平顺性测试	283
8.9 其他月球车移动系统设计实例	284
8.9.1 摇臂转向架六轮移动系统	284
8.9.2 四行星轮式移动系统	286
8.9.3 八轮对称悬架移动系统	288
参考文献	290
第 9 章 月球车重力补偿实验	291
9.1 国内外星球车低重力模拟研究现状	291
9.1.1 等效质量样机方法	291
9.1.2 悬吊法低重力模拟	292

9.2	月球车悬吊法低重力模拟实验系统简介	295
9.2.1	功能和指标要求	295
9.2.2	系统构成	296
9.2.3	系统设计中的关键问题	297
9.3	月球车重力补偿模型的建立	298
9.3.1	广义坐标的选取	298
9.3.2	轮地力至广义力的映射	299
9.3.3	拉格朗日算子的构成	309
9.3.4	补偿力的约束条件	311
9.3.5	关节链及参数定义	312
9.3.6	关节链的重力势能及补偿力势能	314
9.3.7	重力补偿模型的表示式	318
9.4	月球车重力补偿模型的解系	321
9.4.1	单条关节链的补偿力解系	321
9.4.2	多条关节链的补偿力解系	327
9.4.3	分叉关节链的补偿力解系	329
9.4.4	差速器耦合关节链的补偿力解系	330
9.4.5	补偿力解系小结	331
9.5	月球车单吊索重力补偿方法	331
9.5.1	单吊索重力补偿力系的计算	331
9.5.2	六轮车的单吊索重力补偿算例	333
9.5.3	车厢补偿力的施加	336
9.5.4	六轮车单索补偿的仿真实验验证	338
9.6	拉力系统设计与谐振抑制技术	341
9.6.1	总体设计	341
9.6.2	大跨度主梁纵向谐振的抑制技术	342
9.6.3	高频拉力扰动的被动响应技术	345
9.6.4	拉力系统控制策略	348
9.7	位置跟踪控制策略	349
9.7.1	总体设计	349
9.7.2	大惯量主梁的控制策略	350
9.8	单吊索重力补偿系统实验验证	351
9.8.1	拉力系统实验验证	351
9.8.2	位置系统实验验证	353
9.9	月球车运动性能实验	354
9.9.1	重力效应的验证	354
9.9.2	斜坡转向的轨迹	355
	参考文献	357

索引	361
----	-----

第 1 章 绪论

1.1 引言

月球是人类开展深空探测活动的起点，而月球车在月球探测活动中扮演着至关重要的角色。基于探测器的月球探测，可分为 3 个阶段：

第一阶段：1959—1976 年，无人探测。苏联和美国共发射成功 49 颗无人月球探测器。其中，苏联发射成功 25 颗，主要有 Luna 系列、Zond 系列及 Cosmos 系列；美国发射成功 24 颗，主要有 Pioneer 系列、Lunar Orbiter 系列、Explorer 系列、Surveyor 系列及 Lunar Prospectors 系列。在这些探测器中，苏联的 Luna17 和 Luna21 携带月球车进行了月面巡视探测。

第二阶段：1969—1972 年，有人探测。美国执行了 Apollo 载人登月计划，相继发射了 Apollo11~Apollo17 共 7 艘登月飞船，除 Apollo13 因发生故障终止登月任务外，其余 6 艘均获得成功，进行了包括月壤力学特性、气象、月振、热流、月面测量、磁场、太阳风等多项实验和探测，取得了丰富的科学数据和月球岩石样本。其中，Apollo15、Apollo16 和 Apollo17 均使用了月球车，由宇航员驾驶进行月面巡视探测。

第三阶段：1997 年至今，第二次探月高潮。中国、美国、俄罗斯、印度、日本都制订了各自的月球探测计划，例如中国的“嫦娥工程”、美国的探测器撞击月球、俄罗斯的“月球-资源”项目、和印度的“月船 1 号”、日本的“月亮女神”等。其中，中国的“嫦娥三号”探测器所携带的“玉兔号”月球车最具有代表性。

未来，中国将开展火星探测、载人登月、月球基地等重大科技工程项目，星球车移动技术仍是重要的支撑。因此，开展月球车移动系统的研究具有极其重要的工程意义和学术价值。

1.2 月球车的工作环境

1.2.1 月球概况

月球是一个无风、无雨、无水、无气、冷热剧变的静寂天体。月球绕地球运行轨道的近地点为 356 330 km, 远地点为 400 000 km; 月球的质量为 7.35×10^{22} kg, 约为地球的 1/81, 月球体积只有地球体积的 1/49, 月球表面积为 $3\,800 \times 10^4$ km², 只相当于地球表面积的 1/14, 月球的平均密度为 3.34 g/cm³ (地表平均密度为 5.52 g/cm³), 月球表面的引力只有地球表面的 1/6。

月球除绕地球公转外, 本身还自转, 其自转周期为 27 天 7 小时 43 分 11.5 秒, 因此月球的白昼和夜晚各相当于地球的半个月, 约为 14.75 天, 并总以同一侧面对着地球。昼夜温差大, 白天阳光照射的月表部位温度可达零上 130 ~ 150°C, 夜间温度则下降到零下 160 ~ 180°C, 这种大温差环境将使月球车的结构材料产生热应力。(林文祝、欧阳自远, 1995)

月球表面大气压力在 $10^{-6} \sim 10^{-10}$ Pa 之间, 近于真空状态, 容易使润滑剂蒸发, 不能在金属表面形成氧化膜, 导致金属表面之间发生黏着甚至冷焊, 致使摩擦副不能相对运动。同时, 由于没有大气保护, 导致太阳风、太阳耀斑粒子等高能粒子直接辐射到月球表面, 并以一定深度和程度损伤月球表面的任何物体。因此, 月球表面的辐射环境很强, 易产生溅蚀、电离和聚合, 可毁坏月球车的结构、电子部件以及月球表面的任何物体(荣欣等, 2001)。

1.2.2 月面地貌特征

月球的地形主要有环形山, 月海, 月陆和山脉等。图 1.1 为月球正面地貌分布图, 图 1.2 为月球背面地貌分布图(杰姆尔德日安等, 2011)。图 1.3 为中国嫦娥工程拍摄的全月影像图(中国新闻网, 2015)。

环形山是月面的显著特征, 几乎布满了整个月面。最大的环形山是南极附近的贝利环形山, 直径 295 km, 小的环形山甚至可能是一个几十厘米的坑洞。直径不小于 1 000 m 的大约有 3.3 万个, 占月面表面积的 7% ~ 10%。

目前已确定的月海有 22 个, 此外还有些地形称为“类月海”的。公认的 22 个绝大多数分布在月球正面, 其中最大的“风暴洋”面积约 500×10^4 km²。大多数月海大致呈圆形、椭圆形, 且四周多被一些山脉封闭, 但也有一些海是连成一片的。月海的地势一般较低, 月面的返照率也比较低, 因而看起来较黑。

月面上高出月海的地区称为, 一般比月海水准面高 2 ~ 3 km, 由于它的返照率高, 因而看来比较明亮。在月球正面, 月陆的面积大致与月海相等; 但在月球背面, 月

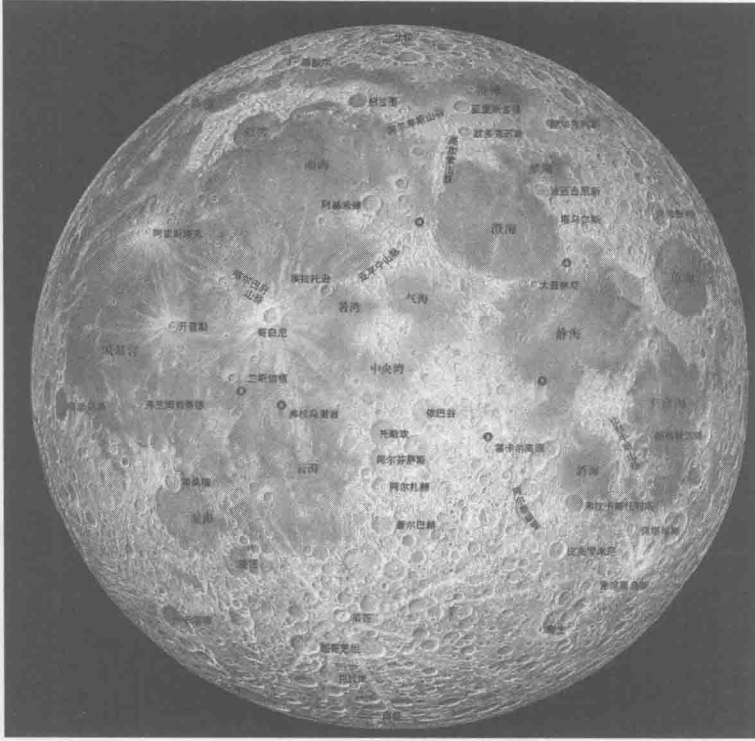


图 1.1 月球正面地貌分布图

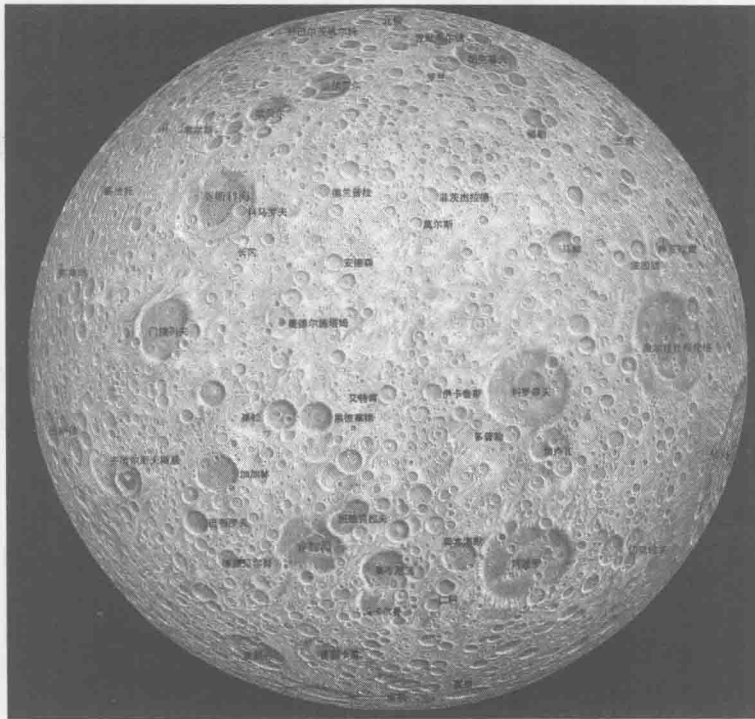


图 1.2 月球背面地貌分布图