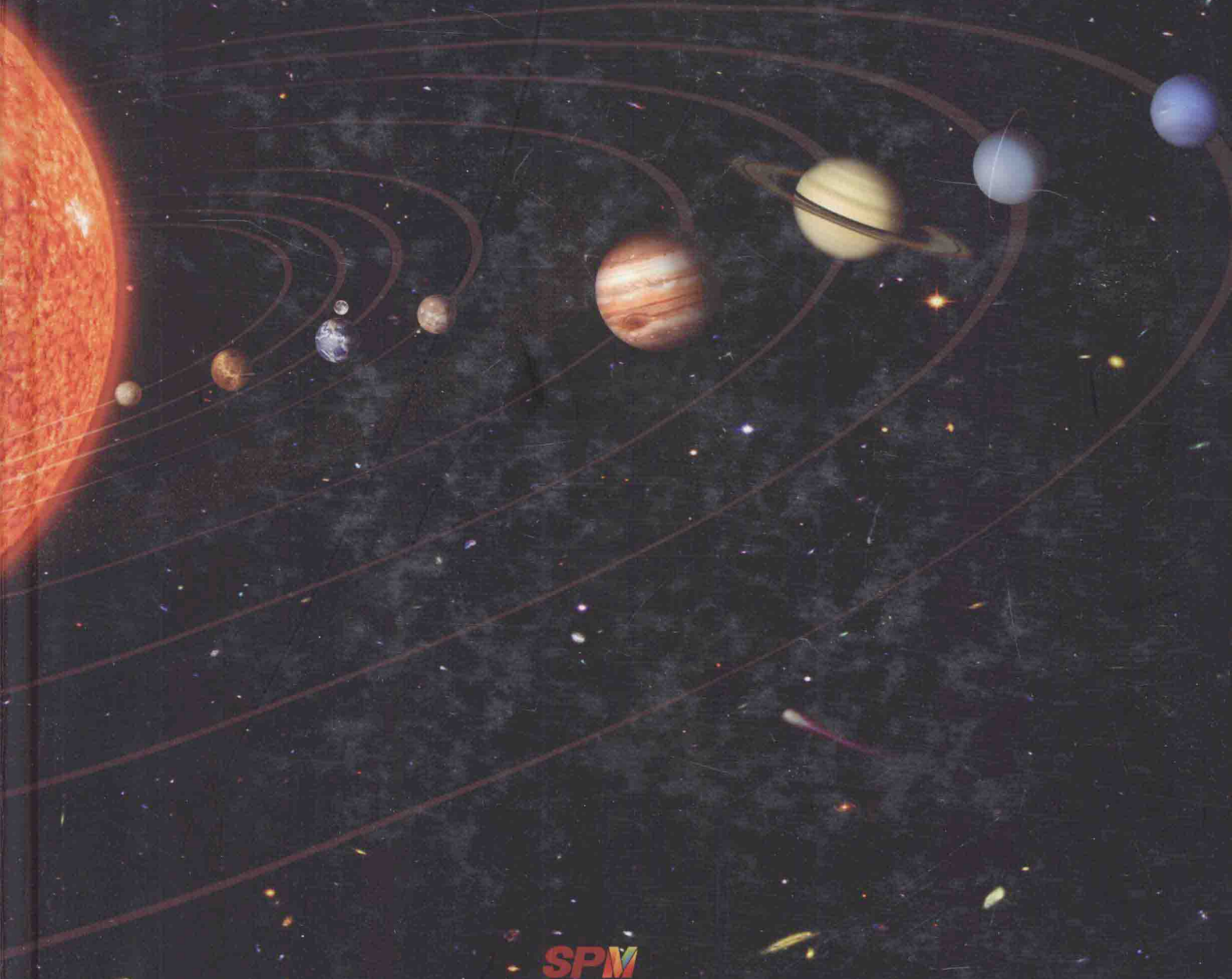




LUNAR AND DEEP SPACE EXPLORATION

月球与深空探测

中国科学院月球与深空探测总体部 编著



SPM

南方出版传媒
广东科技出版社

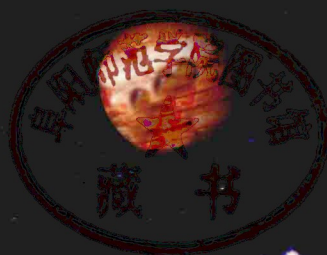


国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

LUNAR AND DEEP SPACE EXPLORATION

月球与深空探测

中国科学院月球与深空探测总体部 编著



SPM

南方出版传媒

广东科技出版社

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

月球与深空探测 / 中国科学院月球与深空探测总体部编著.
—广州: 广东科技出版社, 2014.11
ISBN 978-7-5359-5920-1

I. ①月… II. ①中… III. ①月球探索②空间探测
IV. ①VI

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第173920号

策划编辑: 区碧茹

责任编辑: 杜怡枫 罗孝政 黄铸 姚芸

美术编辑: 林少娟

装帧设计: 书窗设计

责任校对: 黄慧怡 蒋鸣亚 盘婉薇等

责任印制: 任建强

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路11号 邮政编码: 510075)

http: //www.gdstp.com.cn

E-mail: gdkjyxb@gdstp.com.cn (营销中心)

E-mail: gdkjzbb@gdstp.com.cn (总编办)

经 销: 广东新华发行集团股份有限公司

印 刷: 广州市岭美彩印有限公司

(广州市荔湾区花地大道南海南工商贸易区A幢 邮政编码: 510385)

规 格: 889mm×1194mm 1/16 印张: 47.25 字数: 1200千

版 次: 2014年11月第1版

2014年11月第1次印刷

定 价: 398.00元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

顾问委员会

(按姓氏笔画排序)

万卫星 艾国祥 叶永烜 叶叔华 叶培建
孙家栋 欧阳自远 栾恩杰

科学技术委员会

(按姓氏笔画排序)

于登云 王忠贵 孙为刚 孙辉先 严俊
李本正 吴伟仁 张荣桥 胡浩 郝希凡
贺祖明 钱卫平 裴照宇

编辑委员会

主任：刘晓群

副主任：邹永廖 李春来

委员：(按姓氏笔画排序)

王素 王华宁 邓元勇 史建春 付晓辉
刘建忠 李伟 李茵 李金增 张超
张轶楠 陈学雷 季江徽 郑永春 郝娟
姜晓军 徐琳 曹晋滨 颜毅华

序言

被誉为宇航之父的苏联科学家齐奥尔科夫斯基说过，地球是人类的摇篮，但是人不能永远生活在摇篮里，他们不断地争取着生存世界和空间，起初小心翼翼地穿出大气层，然后就是征服整个太阳系。人类所发射的航天器——地球卫星、载人飞船和空间站，由于受地球引力场的束缚，全部围绕地球运行，人类仍然没有离开地球。深空探测是指航天器脱离以地球为主要引力场的空间，进入以另一个天体为主要引力场的空间运行，如月球探测、行星探测和太阳系探测，都属于深空探测，人类才逐步远离地球摇篮去征服太阳系。

随着航天技术和探测手段的不断提高，人类对月球、行星、太阳系、银河系和宇宙的认识往前迈进了一大步。但人类依然好奇，地球以外的遥远空间蕴藏着什么奥秘？太阳系的其他天体是不是也有生命活动？太阳系外能不能找到生命宜居的行星？这些好奇促使人类向广袤的太阳系进行探索，开展了全方位的观测与探测活动。

1958年，美国发射先驱者0号月球探测器和苏联发射月球号1958A月球探测器，相继还发射了5个月球探测器，全部都失败；1959年，苏联成功发射了月球探测器月球1号，拉开了人类深空探索的序幕；1961年，美国和苏联开始探测火星与金星；1962年，探测太阳与行星际空间；1972年，探测太阳系的其他行星；1984年，探测火星与土星的卫星、小行星与彗星。过去几十年来，美国、苏联、欧洲航天局及日本等先后发射了上百颗行星探测器，人类通过这些探测活动所获取的有关太阳系的认识，远远超过了过去数千年来所拥有知识的总和。

作为当今世界高新科技领域中极具挑战性和创新性的深空探测活动，有助于了解太阳系各层次天

体、太阳和太阳系的起源、演化和现状，从而进一步认识地球，探索生命的起源和演化等一系列重大而基础性的科学问题；深空探测有助于认识和防范太阳活动和小天体撞击地球的危害性影响；深空探测也是人类进行空间资源开发与利用的重要途径；历史证明，深空探测有利于高新技术的发展，对于一个国家的经济社会发展有着巨大的推动作用。

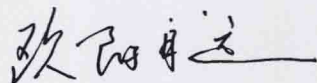
我国人民自古就对月球寄予了无限美好的遐想。月亮，皎洁而明亮，恬静而安详。仰望苍穹，那幽静的夜空，一抹深邃的苍茫点缀着那一轮明月。“嫦娥奔月”的神话传说曾经让人感觉月球是那样的遥远，而现今开启的深空探测之旅，又让人感觉离它如此之近。月球是离地球最近的天体，是地球唯一的卫星，作为 45 亿年历史的见证者，一直是人类深空探测的首选目标。月球上拥有丰富的资源和能源，具有广阔的开发和利用前景，独特的空间环境也是一些科学观测、试验和新产品研制的理想场所，这些都驱使人类立足月球探测，并以此作为探测太阳系其他天体的前哨站和中转站。

2007 年 10 月 24 日，当我国的第一颗绕月探测卫星嫦娥一号在无数中国人的瞩目下划破苍穹，奔向月球时，我国的深空探测踏上了新的征程。我国的月球探测工程总共分为：绕、落、回 3 期。工程一期的任务为嫦娥一号，二期的任务为嫦娥二号、嫦娥三号和嫦娥四号，目前嫦娥一号、嫦娥二号和嫦娥三号都已顺利实施。2013 年 12 月嫦娥三号的完美落月，使中国成为世界上第三个独立实施月球软着陆的国家，在国际上开启了着陆器就位探测与月球车巡视探测的联合探测，标志着我国已进入世界具有深空探测能力的国家行列，也为将来的月球探测和开发利用奠定了基础。我国月球探测工程最浓墨重彩的一笔，就是工程三期中的“回”，它的任务由嫦娥五号和嫦娥六号来执行，预计 2017 年前后发射嫦娥五号，将实现月表无人自动采样返回。目前，探月工程三期已经全面展开，嫦娥五号研制顺利，需突破一系列关键技术，面临前所未有的技术难度。全新的探测方式，必将开拓我国深空探测的新起点。月球探测只

是深空探测的第一步，包括中国在内的世界很多国家也都制定了各自的深空探测计划。我国不能止步于月球，我国要飞得更远。我国也已经开展了深空探测专项论证，规划并推进实施火星、金星、小行星、巨行星及其卫星、太阳和行星际空间等的探测活动。对于我国而言，探月之旅刚刚启程，深空探测任重而道远。

随着我国载人航天和月球探测工程取得的阶段性成就，推动了我国由航天大国向航天强国的转变。同时，也增强了民族凝聚力，激发了公众对航天和深空探测的热情与关注。但遗憾的是，无论在国内还是在海外，目前都还没有一部系统的、全面介绍人类深空探测活动的专著。

《月球与深空探测》是第一部全面论述国际深空探测历程、最新科学成果以及未来规划的著作，是一部不可多得的集系统性、科学性、工具性和科普性于一体的论著。全书从描述浩瀚的宇宙、星系、恒星系统、太阳系及其各层次天体的基本理论、起源与演化出发，以探测对象为主线，系统分析了国际深空探测的历程、现状和发展态势，凝练了关键的科学问题和探测的科学聚焦点，以及我国未来开展深空探测活动的科学设想。涵盖多学科、多方法的研究领域和技术手段体现了本书的特色之处，而来自战斗在不同学科领域和我国探月工程战线上的一线专家学者的作者群特点则显现了本书的科学性和严谨性。图文并茂的写作特点、通俗简约的表述风格和意境精美的设计版式大大增强了本书的科普性、可读性和鉴赏性，而嫦娥一号、嫦娥二号、嫦娥三号任务的第一手素材和最新成果的融入则在增添本书的中国元素和暗含我国未来深空探测之路任重而道远之余，更有激励、鞭策我们特别是广大青少年热爱科学、传播科学和奉献科学的意蕴。



2014年8月

引言 太阳系探测的新时代

第1编 太阳系在宇宙中的地位

- 第1章 宇宙和星系 / 14
 - 第1节 人类认识宇宙的历程 / 15
 - 第2节 对宇宙的认识 / 18
 - 第3节 星系与大尺度结构 / 29
 - 第4节 银河系 / 42
- 第2章 恒星系统 / 48
 - 第1节 恒星与星团 / 49
 - 第2节 恒星系统的形成 / 51
 - 第3节 恒星的演化 / 57
 - 第4节 恒星的归宿 / 61
- 第3章 太阳系 / 64
 - 第1节 人类对太阳系的认识过程 / 65
 - 第2节 太阳系区域划分 / 68
 - 第3节 太阳系天体轨道 / 70
 - 第4节 太阳系的起源与演化 / 73

第2编 认识太阳系

- 第4章 太阳系基本结构 / 80
 - 第1节 太阳 / 81
 - 第2节 行星及其卫星 / 94
 - 第3节 矮行星、小行星与彗星 / 105
 - 第4节 行星际空间 / 107
- 第5章 类地行星比较 / 110
 - 第1节 磁层 / 111
 - 第2节 大气层 / 115
 - 第3节 行星表面 / 121
 - 第4节 行星地质与构造 / 128
 - 第5节 行星内部结构 / 131
 - 第6节 行星的演化比较 / 133
- 第6章 太阳活动及其对行星地球的影响 / 136
 - 第1节 太阳活动 / 137
 - 第2节 太阳风暴对行星地球的影响 / 142
 - 第3节 太阳活动预报 / 149

- 第7章 太阳系探测的基本手段 / 152
 - 第1节 地基太阳系天体探测 / 153
 - 第2节 太阳系天体探测的基本手段 / 155

第3编 太阳探测

- 第8章 太阳探测历程 / 164
 - 第1节 地面观测 / 165
 - 第2节 人造地球卫星探测 / 177
 - 第3节 深空探测 / 183
 - 第4节 主要观测成果 / 186
- 第9章 太阳探测的关键科学问题与发展态势 / 188
 - 第1节 深空太阳探测的关键技术问题 / 189
 - 第2节 太阳物理关键问题 / 191
 - 第3节 太阳扰动行星际传播关键问题 / 193
 - 第4节 太阳探测发展态势 / 195
 - 第5节 太阳探测发展前景 / 197

第4编 月球探测

- 第10章 月球 / 200
 - 第1节 近月空间 / 201
 - 第2节 月表特征 / 206
 - 第3节 月球的内部结构及其起源和演化 / 226
- 第11章 人类的探月历程 / 230
 - 第1节 古人观月 / 231
 - 第2节 近代地基观测 / 235
 - 第3节 空间月球探测 / 237
- 第12章 月球探测发展前景展望 / 244
 - 第1节 主要航天国家月球探测规划 / 245
 - 第2节 热点科学问题与开发利用前景 / 254

第5编 火星探测

- 第13章 火星 / 266
 - 第1节 火星概述 / 267
 - 第2节 大气与空间环境 / 269
 - 第3节 表面形貌 / 277
 - 第4节 火星地质 / 286

第5节 火星上的水与生命信息探索 / 294

第14章 火星探测历程 / 300

第1节 早期火星观测 / 301

第2节 美国火星探测历程 / 303

第3节 苏联/俄罗斯火星探测历程 / 321

第4节 欧洲火星探测历程 / 332

第5节 其他国家火星探测历程 / 335

第15章 火星探测的主要科学问题与发展前景 / 338

第1节 火星探测的主要科学问题 / 339

第2节 火星探测发展前景 / 340

第6编 金星与水星探测

第16章 金星 / 344

第1节 金星概况 / 345

第2节 金星大气与环境 / 348

第3节 金星的地形地貌 / 357

第4节 金星地质 / 364

第17章 水星 / 368

第1节 水星概况 / 369

第2节 水星大气与表面环境 / 373

第3节 水星形貌 / 376

第4节 水星地质 / 380

第18章 探测历程 / 388

第1节 金星探测历程 / 389

第2节 水星探测历程 / 408

第19章 主要科学问题与发展前景 / 420

第1节 金星探测的主要科学问题与发展前景 / 421

第2节 水星探测的主要科学问题与发展前景 / 428

第7编 巨行星及其卫星探测

第20章 巨行星 / 434

第1节 木星系统 / 435

第2节 土星系统 / 443

第3节 天王星系统 / 449

第4节 海王星系统 / 461

第21章	探测历程	/ 464
第1节	木星系统探测历程	/ 465
第2节	土星系统探测历程	/ 466
第3节	天王星和海王星探测历程	/ 467
第22章	主要科学问题与发展前景	/ 468
第1节	木星系统探测的主要科学问题与发展前景	/ 469
第2节	土星系统探测的主要科学问题与发展前景	/ 475
第3节	天王星和海王星系统探测的主要科学问题与发展前景	/ 478

第8编 小行星、彗星和矮行星探测

第23章	小行星和彗星	/ 482
第1节	小行星基本参数、分布规律与轨道特征	/ 483
第2节	彗星基本参数、分布规律与轨道特征	/ 495
第3节	小行星的分类与成分特征	/ 500
第4节	彗星的结构与成分特征	/ 505
第5节	小行星和彗星的起源与演化	/ 508
第24章	小行星和彗星探测历程	/ 514
第1节	小行星探测历程	/ 515
第2节	彗星探测历程	/ 521
第25章	小行星和彗星探测的主要科学问题与发展前景	/ 528
第1节	小行星探测的主要科学问题与发展前景	/ 529
第2节	彗星探测的主要科学问题与发展前景	/ 547
第3节	小行星与彗星探测的未来规划	/ 553
第26章	小行星和彗星对地球的撞击威胁	/ 562
第1节	小行星撞击地球的概率及其灾害性分析	/ 563
第2节	彗星撞击地球的概率及其灾害性分析	/ 571
第27章	矮行星	/ 572

第9编 太阳系天体命名

第28章	IAU与天体命名	/ 578
第29章	行星及其卫星命名	/ 582
第1节	大行星、矮行星及其卫星的命名	/ 583
第2节	小行星和彗星的命名	/ 590
第30章	太阳系天体地名命名	/ 594
第1节	天体地名命名的历史	/ 595
第2节	天体地名命名的规则和现状	/ 599

第3节 天体地名命名的原则和程序 / 615

第4节 与中国有关的天体地名命名 / 617

第10编 中国开展深空探测的科学设想

第31章 国外月球与深空探测发展态势 / 636

第1节 美国行星科学十年规划与展望 / 637

第2节 欧洲航天局《宇宙憧憬2015—2025》 / 646

第3节 俄罗斯《2012—2025年太阳系探测总体规划》 / 649

第4节 日本航天长期发展规划——JAXA 2025 / 654

第5节 印度未来月球与深空探测计划 / 664

第32章 国际深空探测热点科学问题 / 672

第1节 太阳系及其行星的形成与演化 / 673

第2节 太阳系生命的探索与生命起源 / 674

第3节 太阳活动与小行星、彗星对行星地球的影响 / 675

第4节 太阳系各层次天体的比较研究 / 676

第33章 中国月球探测工程 / 678

第1节 中国探月工程的发展规划和概述 / 679

第2节 中国探月工程一期 / 686

第3节 中国探月工程二期 / 694

第4节 中国探月工程三期 / 710

第5节 中国开展载人登月探测的科学设想 / 711

第34章 中国开展深空探测的科学畅想 / 714

第1节 深空探测的重大科学发现和热点科学问题 / 715

第2节 我国深空探测发展设想 / 717

结束语 / 722

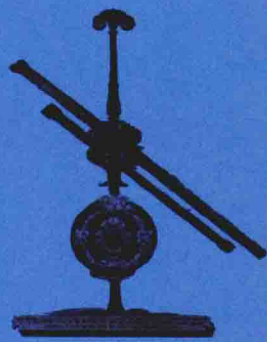
参考文献 / 724

附录 探测年表 / 732

后记 / 743

引言

太阳系探测的新时代



人类观测太空的第一架望远镜

一个民族有一些关注天空的人，他们才有希望；一个民族只是关心脚下的事情，那是没有未来的。

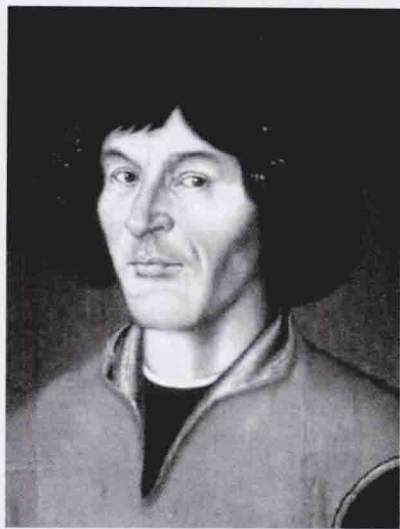
——黑格尔

宇宙浩瀚而神秘。著名科幻作家儒勒·凡尔纳（Jules Verne）说：“星空仿佛是一本经常翻开的书，当你懂得阅读时，就会感到它的魅力。”人类自诞生在蓝色的地球，就从未停止过对地外空间奥秘的思考与渴望，对宇宙奥秘的求知欲望是人类不倦探索的永恒动力。尽管在宇宙探秘的征途上屡经波折，经历了无数的失败和磨难，但人类从未放弃走向深空的梦想，而是勇敢地迎接挑战，继续努力探索这片未知的领域，终于走进了太阳系探测的新时代。

一、人类探索太空的征程

自古以来，人们对星空、宇宙充满了无限的遐想。在东方的传说中，美丽的嫦娥因偷吃了灵药飞天成仙，只得终生在凄清的广寒宫中漫舒广袖；而在西方的神话里，太阳神阿波罗主管着光明、青春和音乐等，是人类的保护神，在他降生之时，天空掀起了万丈金光，他的眉心嵌着一个耀眼的太阳，为人间送来光明和温暖。

太空的神秘激发着人类的好奇心，这种好奇成为推动天文学发展的重要原动力。天文学是最古老的自然科学学科之一，人类对太空的探索首先是源于对太阳系的认知，是伴随着天文学一起诞生的，并在16—17世纪迎来了第一次飞跃。16世纪中期，波兰天文学家哥白尼（Copernicus）提出日心说，展示

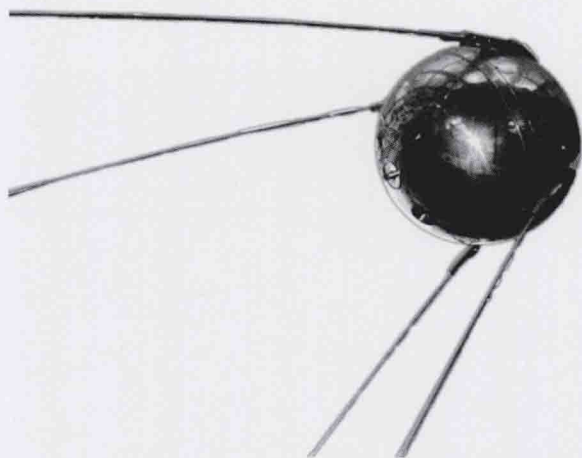


哥白尼

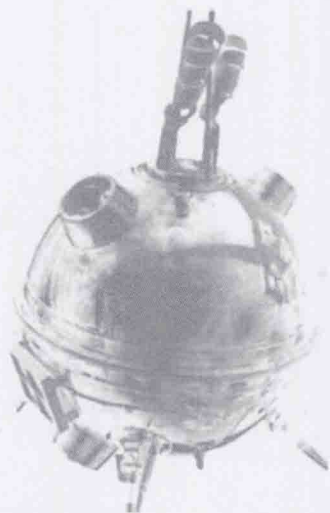
了太阳系全新的层次和结构，促使人类开始重新认识自己及地球在宇宙中的地位，并由此引发了人类宇宙观的革新，揭开了近代科学革命的序幕。因此，德国诗人歌德（Goethe）说：“哥白尼撼动人类意识之深，自古无一种创见、无一种发明，可与之相比。”1609年，意大利天文学家伽利略（Galileo）制作了一架望远镜并首次用于天文观测，开创了借助工具进行观测的现代天文学，同时证实了日心说的正确性，瓦解了统治人类认识1500年的地心说。自此，天文学发展进入了望远镜时代，极大地增强了人类对宇宙的认识能力。此后，人们不断地改进和完善望远镜的性能，口径越来越大，分辨率越来越高，期望能观测到更多、更暗、更远的天体，以及天体中更精细的结构，从而进一步了解各类天体、天体系统乃至整个宇宙的诞生过程和演化规律。

20世纪30年代初，在美国贝尔电话实验室工作的年轻工程师央斯基（Jansky），使用旋转天线阵无意中探测到了来自宇宙中天体的无线电波，由此开创了射电天文学。此后，射电望远镜在口径、工作波段、灵敏度等性能上得到了持续的扩展和提高，特别是第二次世界大战后，一部分从事军事雷达研究的技术人员转到了射电天文研究，雷达技术也被应用于射电望远镜研制，为射电天文学的飞跃发展创造了条件，从而使射电天文观测技术成为现代天文学研究的重要手段。

然而，由于地球大气层的吸收和反射，除了可见光波段以及射电、近红外线和近紫外线等部分波段，包含了大量天体物理信息的其他波段的电磁波到达不了地面，因此地基天文观测已不能满足人类探索宇宙的需要。随着科学的发展和技术的进步，为了摆脱地球大气的影 响，科学家将观测途径拓展到了空间，在空间技术和航天技术发展的推动下，天文观测能力扩展到了横跨射电、红外线、可见光、紫外线、



世界上第一颗人造地球卫星斯普特尼克1号



月球1号探测器



加加林

X射线和 γ 射线的整个电磁波波段，形成了全波段观测，加上通过对宇宙线和中微子的探测，开启了探索宇宙的新视窗。而对于与人类关系最为密切的天体系统——太阳系的探测，除了上述各种手段，摆脱地球引力、开展深空探测逐渐成为重要的发展方向。

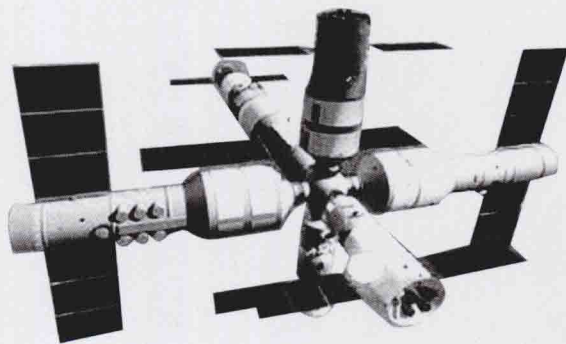
1957年10月4日，苏联成功发射了世界上第一颗人造地球卫星斯普特尼克1号，标志着人类进入了空间探索的新时期，为人类的航天时代拉开了序幕。随后，1959年苏联发射了月球1号探测器，它从距离月球表面5 000多千米处飞过，并在飞行过程中测量了月球磁场、宇宙射线等数据，这是人类首颗抵达月球附近的探测器。与此同时，美国和苏联在载人航天与登月计划中展开了激烈的角逐。1961年4月12日，苏联航天员加加林少校乘东方1号飞船进入外太空，在181~327 km高度绕地球飞行了1小时48分钟，实现了人类历史上第一次载人航天飞行。同年，美国即启动了阿波罗登月计划，8年后的1969年7月24日，美国航天员阿姆斯特朗、柯林斯乘阿波罗11号飞船登上月球，阿姆斯特朗在月球上迈出了人类在地外天体行走的第一步，开启了



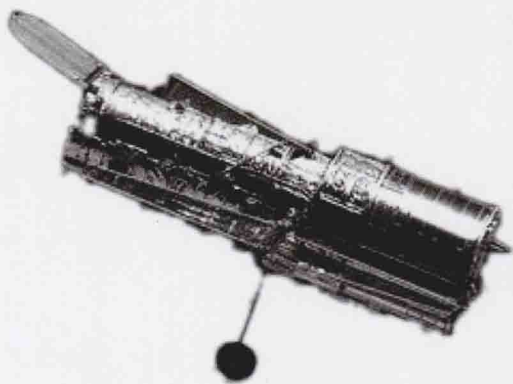
人类在月球留下的第1个脚印

人类走出地球的新纪元，并由此形成了以探月为主要标志的第一次深空探测高潮。阿波罗载人登月计划取得的巨大成功，引领了 20 世纪 60—70 年代几乎全部高新技术的创新与发展，以及一大批新型工业群体的诞生与成长。

20 世纪 70 年代后期至 90 年代初是国际上深空探测活动较平静的时期，美苏两国将航天竞争的重点转向了空间站与航天飞机等载人航天项目。1971 年，苏联成功发射世界上第一个试验性载人空间站——礼炮 1 号空间站，载人航天活动从此进入到规模较大、飞行时间较长的空间应用探索与试验阶段。1981



礼炮 1 号空间站



哈勃空间望远镜

年4月，美国发射了可以重复使用的太空运载工具——航天飞机，并邀请欧洲航天局（ESA）、日本和加拿大参加研制永久性载人空间站计划，使国际空间站成为各国共同探索及和平开发宇宙的一个平台。从航天飞机到空间站，人类在不懈的努力中进一步拉近了与神秘宇宙的距离。20世纪90年代，美国利用发现号航天飞机将哈勃空间望远镜送入太空，摆脱大气干扰与宇宙天体进行了“更加亲密的接触”。哈勃空间望远镜取得的辉煌成果有力地推动了天体物理学的发展，使人类对宇宙的起源及各种天体的性质和演化有了更深入的了解。

伴随着对太阳系的天基探测活动，人类对太阳系的研究逐渐超越了经典天文学的研究范围，并逐渐形成了一门综合性的交叉学科——空间科学，即利用探测器来研究发生在日地空间、行星际空间乃至整个宇宙空间的物理、化学和生命等自然现象及其规律的前沿科学，涵盖了比较行星学、空间物理学、空间天文学、空间化学、空间地质学、空间材料科学和空间生命科学等领域。空间科学以航天技术为基础，包括空间飞行、空间探测和空间开发等几个方面，不仅有力地推动了传统天文学的发展，同时也成为现代“大天文学”的重要组成部分。

深空探测是指探测器在不以地球引力为主引力场的空间开展的科学探测活动，当代深空探测活动主要集中在太阳系的探测。进入21世纪，各航天国家和组织重新掀起了对太阳系天体的探测热潮，纷纷制定规模宏大的探测计划，争相积极描绘深空探测的发展宏图，以科学探索为主要驱动力，先后对月球、各大行星及矮行星、行星卫星、小行星、彗星等天体进行了全方位、多手段的科学探测，并对太阳进行了多视角深空探测，深入了解太阳系各天体的地质背景和空间环境，寻求解决太阳系起源和演化的最基