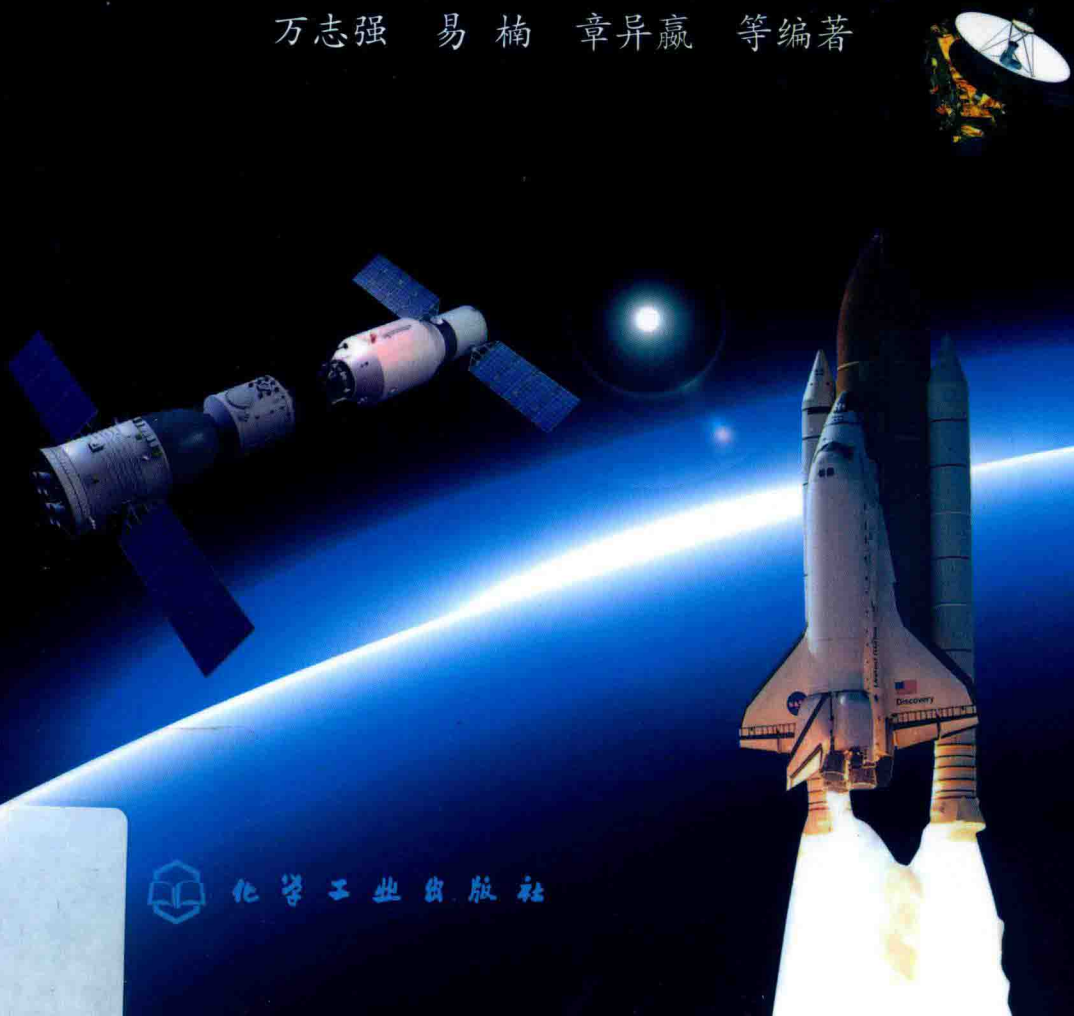


问天神器

——航天器、火箭与导弹的奥秘

万志强 易楠 章异赢 等编著



化学工业出版社



问天神器

—— 航天器、火箭与导弹的奥秘

万志强 易楠 章异羸 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

《问天神器——航天器、火箭与导弹的奥秘》详细介绍了火箭、导弹、宇宙飞船、航天飞机、空间探测器、人造卫星等的原理、结构、发射过程与成果。书中深入浅出地介绍了各类航天器的知识，可读性强，适宜青少年阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

问天神器：航天器、火箭与导弹的奥秘 / 万志强等
编著 . —北京：化学工业出版社，2018.10

ISBN 978-7-122-32837-3

I . ①问… II . ①万… III . ①航天器-普及读物
②火箭-普及读物③导弹-普及读物 IV . ①V47-49
②V475.1-49③E927-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第187428号

责任编辑：邢 涛
责任校对：杜杏然

文字编辑：陈 喆
装帧设计：韩 飞

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）

印 装：北京东方宝隆印刷有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张12³/₄ 字数237千字 2018年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：59.80元

版权所有 违者必究



科学家齐奥尔科夫斯基先生，是现代宇宙航行学的奠基人，被称为航天之父，他有一句名言：“地球是人类的摇篮，但人类不可能永远被束缚在摇篮里。”人类经过了百万年的进化，又发展了数千年的文明，在近100年里，终于慢慢将手伸出摇篮，去探索外面的世界。正是在这种探索精神的激励下，人类不断进步，勇敢地去探索美丽的宇宙。

早在远古时期，世界各地的人们就对浩瀚的宇宙充满了敬畏与崇拜，各个文明的神话故事中都有太阳、月亮等星体的形象，并将它们神化。古老的中国有“后羿射日”“嫦娥奔月”的传说；西方文明中有太阳神和月神的神话故事。中国是火箭的故乡，明朝的万户曾把47个自制的火箭绑在椅子上，自己坐在上面，双手举着2只大风筝，然后叫人点火发射，设想利用火箭的推力和风筝的力量飞起，不料火箭爆炸，他也为此献出了生命。万户是世界上第一个利用火箭向太空搏击的英雄，他的努力虽然失败了，但他借助火箭推力升空的创想是世界首创，因此他被公认为“真正的航天始祖”。为了纪念他，科学家将月球上的一座环形山命名为“万户山”。

在这些努力的基础上，随着齐奥尔科夫斯基、戈达德等现代科学家建立关于航天的理论并进行实践，人类才真正开始进入现代航天时代。齐奥尔科夫斯基最先论证了利用火箭进行星际交通、制造人造地球卫星和近地轨道站的可能性，指出制造火箭和发展宇航的合理途径，找到了液体火箭发动机结构等一系列重要工程技术的解决方案。美国航天科学家戈达德是液体火箭的发明者，他于1926年3月16日发射了世界上第一枚液体火箭。1936年，德国开始研制“V-2”火箭，它是第一种超声速火箭，被公认为现代航天运载火箭和远程导弹的先驱。1957年10月4日，苏联在拜科努尔航天中心将人类第一颗人造地球卫星“斯普特尼克”1号发射升空。此后，

人类发射了各种各样的航天器——火箭、导弹、卫星、空间探测器、宇宙飞船、航天飞机、空间站等。

人类凭借各种航天器，探索浩渺的宇宙，进行各种科学研究。人类发射的探测器已经飞出了太阳系，宇航员也登上了月球，火星车在火星表面行进试图寻找生命……这些科学研究帮助人类更全面地了解了宇宙，同时也更充分地认识了地球，认识了我们人类自己。

本书较为系统地向读者介绍了航天发展简史、航天器分类、航天器飞行原理，并较为详细地阐述了各类航天器的简要情况、典型代表、发展现状及未来方向。

笔者在参阅了大量资料的基础上，概括和编撰了航天的相关知识，力争做到深入浅出、图文并茂、通俗易懂，力求从多个角度呈献给读者多方面的航天知识，以期把读者带进真实而精彩的航天世界当中，激发读者的爱国热情和求知欲望。

本书由万志强、易楠、章异羸等编写，刘耘臻、张啸迟、颜琪、宋倩、刘志斌、王泽溪、陈国宏、李旭阳、喻文、吕志斌、杨璐嘉等同学对本书的出版提供了宝贵的意见和帮助。北京航空航天大学“航空航天概论”课程教学组为本书出版提供了大力支持。在此对所有关心和帮助本书出版的人士表示衷心感谢。

本书是为广大航天爱好者编写的科普读物，适合中学生及以上的航天爱好者阅读；也可以作为中学科技课的教材。

由于作者水平所限，书中不足之处，敬请读者谅解和不吝指正。

万志强

2018年10月



第1章 探索美丽的太空 / 1

- 1.1 探索太空的壮举 / 1
- 1.2 飞行器的分类 / 7
 - 1.2.1 航空器 / 8
 - 1.2.2 航天器 / 8
 - 1.2.3 火箭与导弹 / 12
- 1.3 航天发射场 / 14
- 1.4 应永远铭记的航天英雄 / 14
 - 1.4.1 首入太空 / 14
 - 1.4.2 太空女杰 / 16
 - 1.4.3 老骥伏枥 / 19
 - 1.4.4 太空漫步 / 20
 - 1.4.5 蟾宫折桂 / 22
 - 1.4.6 中国神舟 / 26
 - 1.4.7 黑色记忆 / 28

亮点小知识：揭开冥王星面纱的“新视野”号 / 32

第2章 航天器的飞行原理 / 33

- 2.1 天体力学 / 33
- 2.2 宇宙速度 / 35
- 2.3 卫星的轨道 / 37
- 2.4 卫星轨道的摄动和机动 / 41
 - 2.4.1 轨道摄动 / 41
 - 2.4.2 轨道机动 / 42

- 2.5 航天器发射入轨 / 44
- 2.6 登月环月轨道和行星际航行轨道 / 46
 - 2.6.1 登月环月轨道 / 46
 - 2.6.2 行星际航行轨道 / 46
- 2.7 航天器的回收 / 47
 - 2.7.1 航天器回收方式 / 47
 - 2.7.2 航天器回收系统 / 48
 - 2.7.3 航天器回收区和着陆场 / 50
 - 2.7.4 航天器在再入大气层中烧毁 / 50
 - 2.7.5 返回式航天器的热防护 / 52
- 2.8 亚轨道飞行 / 54
- 2.9 空间飞行环境 / 56
 - 2.9.1 地球大气层 / 56
 - 2.9.2 地球行星空间和行星际空间环境 / 57
 - 2.9.3 太阳环境 / 58
- 2.10 航天器的姿态控制 / 58
- 亮点小知识：借卫星观测哈雷彗星 / 59

第3章 火箭 / 60

- 3.1 火箭的定义与分类 / 60
 - 3.1.1 火箭的定义 / 60
 - 3.1.2 火箭的分类 / 62
 - 3.1.3 火箭的性能指标 / 65
- 3.2 运载火箭的结构与功能 / 66
 - 3.2.1 火箭本体 / 66
 - 3.2.2 箭上和地面分系统 / 68
- 3.3 运载火箭的发射 / 68
 - 3.3.1 发射条件 / 68
 - 3.3.2 发射过程 / 71
- 3.4 我国运载火箭 / 72
- 3.5 国外著名火箭 / 75

- 3.5.1 苏联 / 俄罗斯运载火箭 / 75
- 3.5.2 美国运载火箭 / 78
- 3.5.3 欧洲运载火箭 / 81
- 3.5.4 日本运载火箭 / 81
- 3.6 可重复使用的运载火箭 / 82
- 3.7 火箭发展展望 / 83
- 亮点小知识: 载人飞船逃逸塔 / 84

第4章 导弹 / 85

- 4.1 导弹的分类 / 85
- 4.2 导弹的结构 / 88
- 4.3 弹道导弹 / 90
- 4.4 有翼导弹 / 94
- 4.5 弹道导弹防御系统 / 95
 - 4.5.1 弹道导弹防御系统的组成 / 95
 - 4.5.2 弹道导弹防御系统的分类 / 96
 - 4.5.3 弹道导弹防御系统的发展 / 96
 - 4.5.4 弹道导弹防御系统的现状 / 98
- 4.6 我国导弹系统的发展 / 101
- 4.7 国外著名导弹系统简介 / 103
 - 4.7.1 德国“V-2”导弹 / 103
 - 4.7.2 俄罗斯“亚尔斯”洲际弹道导弹 / 104
 - 4.7.3 美国“民兵3”洲际弹道导弹 / 104
 - 4.7.4 法国“M-51”潜射远程弹道导弹 / 104
 - 4.7.5 美国“爱国者”防空导弹 / 105
 - 4.7.6 美国“AIM-120”中程空对空导弹 / 105
 - 4.7.7 苏联 / 俄罗斯“飞毛腿”战术弹道导弹 / 105
 - 4.7.8 美国“战斧”巡航导弹 / 106
- 4.8 导弹发展展望 / 107
- 亮点小知识: 火箭与导弹这对孪生兄弟 / 108

第5章 人造地球卫星 / 109

- 5.1 人造卫星的定义、功能与分类 / 109
 - 5.1.1 人造卫星的定义 / 109
 - 5.1.2 人造卫星的功能 / 110
 - 5.1.3 人造卫星的分类 / 111
- 5.2 人造卫星的部件构成 / 114
- 5.3 各国发射的人造地球卫星的概况 / 115
- 5.4 著名的人造卫星及人造卫星系统 / 116
 - 5.4.1 “斯普特尼克” 1号 / 116
 - 5.4.2 “东方红” 一号 / 116
 - 5.4.3 GPS 全球卫星定位系统 / 117
- 5.5 人造卫星发展展望 / 119
- 亮点小知识：“北斗” 导航系统 / 120

第6章 空间探测器 / 121

- 6.1 空间探测器简介 / 121
- 6.2 国内外著名的空间探测器 / 122
 - 6.2.1 太阳探测器 / 123
 - 6.2.2 行星探测器 / 124
 - 6.2.3 卫星探测器 / 131
 - 6.2.4 彗星探测器 / 134
 - 6.2.5 小行星探测器 / 135
 - 6.2.6 “哈勃” 空间望远镜 / 136
- 6.3 中国的探月工程 / 138
 - 6.3.1 “嫦娥” 一号 / 139
 - 6.3.2 “嫦娥” 二号 / 139
 - 6.3.3 “嫦娥” 三号及“玉兔” 号月球车 / 139
- 6.4 空间探测器的发展趋势 / 140
 - 6.4.1 趋于多元化 / 140

6.4.2 探测技术水平提高 /141

6.4.3 彗星和小行星探测成为新宠 /141

亮点小知识：空间探测时不我待 /142

第7章 宇宙飞船 /143

7.1 载人飞船 /143

7.1.1 分类 /143

7.1.2 组成 /144

7.2 货运飞船 /145

7.3 著名宇宙飞船简介 /146

7.3.1 苏联 /146

7.3.2 美国 /147

7.3.3 中国 /150

亮点小知识：成功的失败 /153

第8章 空间站 /154

8.1 空间站简介 /154

8.2 国外空间站 /156

8.2.1 苏联“礼炮”号空间站 /156

8.2.2 苏联“和平”号空间站 /157

8.2.3 美国“天空实验室”空间站 /158

8.2.4 国际空间站 /159

8.3 中国空间站 /160

8.3.1 中国载人航天发展战略 /160

8.3.2 中国空间站建设的基本情况 /161

8.3.3 中国空间站的组成 /161

8.3.4 建造历程 /162

8.3.5 建设意义 /163

亮点小知识：失重 /164

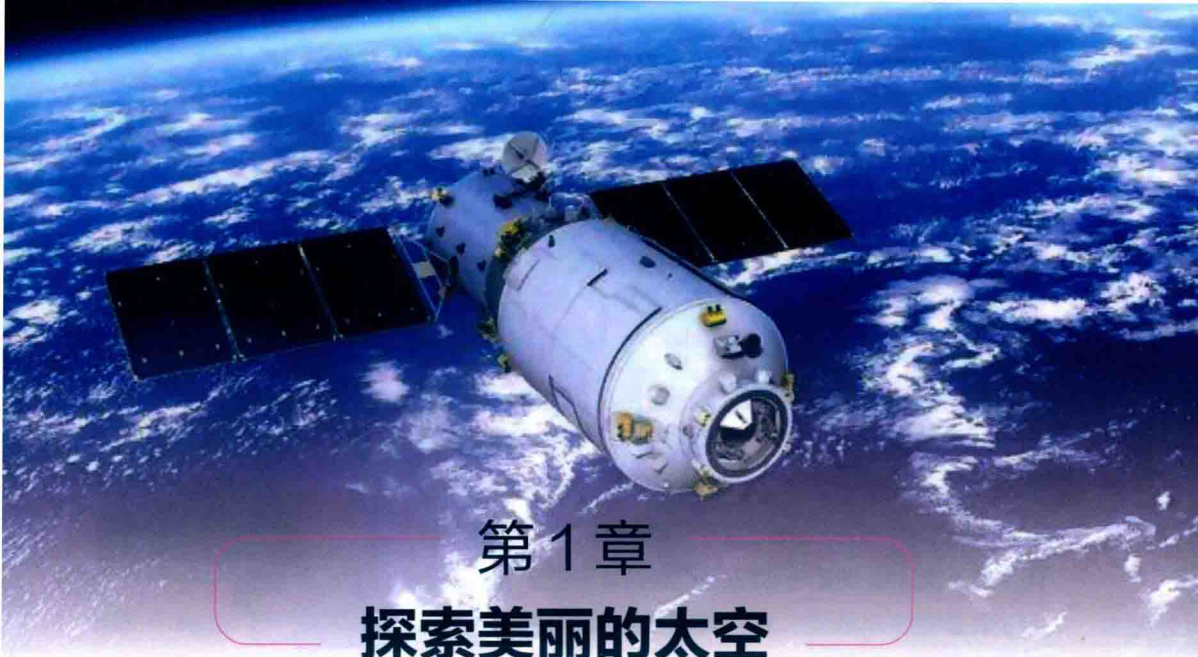
第9章 航天飞机 / 165

- 9.1 航天飞机简介 / 165
- 9.2 航天飞机的组成 / 167
 - 9.2.1 轨道器 / 167
 - 9.2.2 助推器 / 169
 - 9.2.3 外储箱 / 170
- 9.3 美国的航天飞机 / 170
 - 9.3.1 发展历史 / 171
 - 9.3.2 使用概况 / 177
 - 9.3.3 退役 / 177
- 9.4 苏联的航天飞机 / 178
- 9.5 我国的航天飞机论证 / 179
- 亮点小知识：太空眼科手术 / 179

第10章 航天发射场 / 181

- 10.1 航天发射场简介 / 181
 - 10.1.1 航天发射场的区域与功能 / 181
 - 10.1.2 航天发射场的选址 / 183
 - 10.1.3 载人航天发射场 / 184
- 10.2 世界著名航天发射场 / 184
 - 10.2.1 苏联 / 俄罗斯 / 184
 - 10.2.2 美国 / 185
 - 10.2.3 欧洲 / 186
 - 10.2.4 中国 / 186
- 10.3 导弹试验靶场 / 188
- 10.4 海、空、天基航天发射 / 189
 - 10.4.1 海基发射 / 189
 - 10.4.2 空基发射 / 191
 - 10.4.3 天基发射 / 192
- 亮点小知识：“东风航天城” / 192

参考文献 / 194



第1章

探索美丽的太空

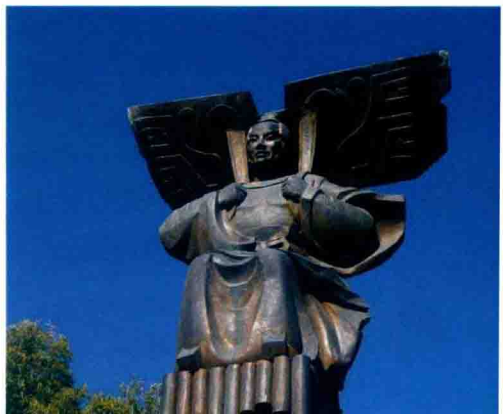
人类对太空的崇拜与向往，从古代就开始了。人们崇拜太阳、月亮、星星，创造出各种神以及他们的神话故事。“夸父追日”“嫦娥奔月”这些神话故事体现了古代中国人民对于太阳、月亮的向往，而希腊神话中太阳神阿波罗等则体现了古代西方文明对太阳等天体的崇拜。但凡古老的国家或民族，如埃及、印度、中国、希腊、阿拉伯等，都有属于自己的占星学。早在一千多年前的中国汉代，就有“五星出东方利中国”这样的预言。对于美丽太空的崇拜和向往开启了人类探索浩瀚太空的梦想和征程。



1.1 探索太空的壮举

在古代，由于当时技术水平的限制，向往终究只能是向往，人类都未能真正地实现飞天。例如：中国明朝初期，万户成为第一个想到利用火箭飞天的人，后被称为“世界航天第一人”（图 1-1）。万户晚年时，他把 47 个自制的火箭绑在椅子上，自己坐在上面，双手举着 2 只大风筝，然后叫人点火发射。他设想利用火箭的推力和风筝的力量飞起，

图 1-1 中国明朝的万户尝试飞天



不料火箭爆炸，万户也为此献出了生命。为纪念万户，国际天文学联合会将月球上的一座环形山以这位古代中国人的名字命名。

(1) 液体火箭诞生

人类对太空真正意义上的探索和利用，始于液体火箭的发明。以液体推进剂为燃料的运载火箭是探索太空的最重要工具，人类对太空的探索离不开运载火箭的发展。

19世纪末到20世纪初，涌现出许多富有探索精神的航天先驱者。有三位科学家的名字将被永远铭记，他们是：俄国的康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基、美国的罗伯特·戈达德和德国的赫尔曼·奥伯特。

俄国的齐奥尔科夫斯基（图1-2）首次阐述了利用多级火箭克服地球引力实现宇宙航行的构想，并提出了许多相关的理论，他的许多英明预见后来都变成了现实。



图1-2 航天之父——齐奥尔科夫斯基（俄国）

美国的戈达德自1920年起潜心研究液体火箭，是美国最早的火箭发动机专家，被公认为液体火箭的创始人（图1-3）。1926年3月16日戈达德试飞了第一枚液体火箭，从此拉开了近现代人类探索太空的大幕。



图1-3 美国液体火箭创始人戈达德和他研制的液体火箭

德国的奥伯特提出了空间火箭点火的理论和脱离地球引力的方法，主持设计了火箭发动机，开创了欧洲火箭研制的先河。德国的冯·布劳恩领导研制成功了“V-2”火箭（图1-4），虽然“V-2”火箭在战争中的角色并不光彩，但它在技术上却使人类的飞天梦向前迈进了一大步，它是现代大型火箭的鼻祖，构筑了航天史上的重要里程碑。

第二次世界大战结束以后，苏联和美国都通过仿制“V-2”火箭建立了自己的火箭和导弹工业。一些有远见的政治家和科学家已经认识到，利用“V-2”火箭的技术成果，一方面可以发展洲际导弹，建立军事威慑力量；另一方面可以发射人造地球卫星，有效地开展空间科学研究。

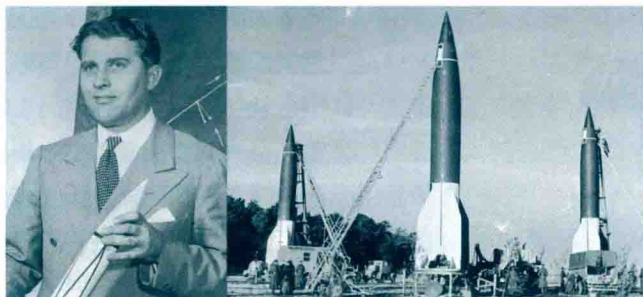


图 1-4 德国火箭先驱冯·布劳恩和他领导研制的“V-2”火箭

(2) 人造卫星上天

苏联的卫星研制和发射一直在政府支持下秘密地进行着。1946年，苏联成立了火箭科学研究所，到1948年卫星运载工具的理论问题基本解决。1954年召开的地球物理学国际会议决定，1957年下半年到1958年底为国际地球物理年，建议有关国家在此期间发射人造地球卫星。从此，美苏两国都开始着手实施各自的卫星发射计划。

1957年10月4日，世界上第一颗人造地球卫星——“斯普特尼克”1号（图1-5）从苏联的领土上发射成功。这颗卫星正常工作了3个月，在此期间人们可以从广播中听到它从太空通过无线电信号发回来的声音。一个月后，苏联又宣称，载着一只小狗的第二颗人造地球卫星发射成功。



图 1-5 人类第一颗人造地球卫星（苏联）

苏联的创举引起了美国朝野的哗然，为摆脱落后局面，美国决定采用陆军的“轨道器计划”迅速把卫星送上天，终于在1958年1月31日，用冯·布劳恩设计的“丘比特C”火箭把美国第一颗人造地球卫星“探险者”1号送进了太空。

继苏美之后，法国、日本、中国、英国、欧洲空间局（欧洲航天局）和印度都用自己研制的火箭，成功发射了各自的第一颗人造地球卫星。

早期的人造地球卫星主要具有一种象征意义，没有实用价值。20世纪60年代中期，各国开始重视开发具有经济和社会效益的应用卫星，人造地球卫星的发展也随之以探索试验阶段进入实用阶段。例如：通信卫星是人类最先使用的应用卫星，现在全世界有上千颗通信卫星在为我们的日常生活服务。另外对地观测卫星在气象预报、自然灾害预警等方面发挥了重要作用；导航卫星通过导航仪上的GPS装置等形式提供位置服务，已经进入了普通民众的生活。

(3) 空间探测器探索宇宙

1958年起人类就开始了空间探测活动。空间探测从地球的邻居月球开始，发

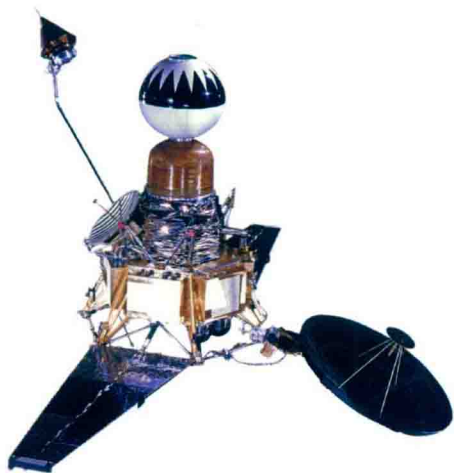


图 1-6 “徘徊者”号月球探测器（美国）

展到太阳系的各个行星和卫星。早期进行空间探测的国家主要是苏联和美国。

从 1958 年开始的 18 年间，苏联和美国共向月球发射了 81 个探测器，其中成功了 59 个。苏联的探月过程为拍摄拍照、软着陆、钻孔取样、带回月球的土壤和岩石，并完成月球车在月球上的行驶。美国在对月球的探测中，先后执行了“徘徊者”（图 1-6）、“勘测者”和“月球轨道环行器”计划，最后完成了“阿波罗”飞船载人登月的伟大创举。

人类对太阳系各行星的探测始于 20 世纪 60 年代初。苏联的探测器主要有“金星”号、“火星”号和“探测器”号，“金星”号一共发射了 16 个，其中 10 个在金星软着陆；“火星”号发射了 7 个，其中 3 个绕火星飞行、4 个飞越火星；“探测器”号共发射了 8 个，分别探测了金星、火星、月球和月地空间。美国的探测器比较多，主要有“先驱者”号、“水手”号、“海盗”号、“旅行者”号、“伽利略”号、“麦哲伦”号、“尤里西斯”号、“卡西尼-惠更斯”号、“朱诺”号、“新视野”号等，探测的范围也比苏联大，涉及水星、金星、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星和太阳等，其中“先驱者”10 号和 11 号于 1986 年 6 月飞过了冥王星的轨道，向太阳系外飞去。1996 年开始，美国、俄罗斯和欧洲空间局又开始了对火星的新一轮探测。美国于 1996 年 12 月 4 日发射了“火星探路者”号探测器，它于 1997 年 7 月 4 日在火星的阿瑞斯谷地登陆，并用其携带的“索杰纳”火星车在火星上实地考察，获得很大成功。此后美国还发射了“机遇”号、“勇气”号、“凤凰”号（图 1-7）和“好奇”号（图 1-8）等火星探测器。



图 1-7 “凤凰”号火星探测器（美国）

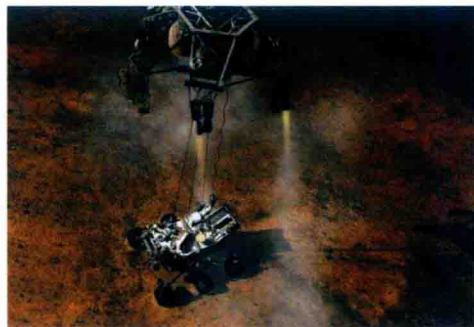


图 1-8 “好奇”号火星探测器（美国）

(4) 人类进入太空

载人航天一直以来都是人们最为关注的航空航天活动，因为它代表了人类的综合科技水平，也代表着一个国家的综合国力。人类成功实现载人航天飞行以来，载人航天技术的进步使大众一次次兴奋，但有时也有令人惋惜的失败。但不论成功与失败，这其中的惊天壮举都值得人们去感动和缅怀。

载人航天器包括载人飞船、航天飞机和空间站。载人飞船和航天飞机是实现载人航天的工具。空间站是航天员（又称宇航员）在太空轨道上生活和工作的基地。

苏联和美国开创了全世界载人航天活动的先河，这两个国家的载人航天活动是在相互竞争的基础上交替发展的。其他国家的载人航天活动则是后来逐渐开展的。苏联和美国通过发展载人飞船、试验性空间站、航天飞机和长期载人空间站，掌握了人在空间环境中生活和工作的技术，并利用宇宙空间的特殊环境进行了大量的科学研究和应用试验，取得了一些有价值的成果和经验，展示了载人航天的应用潜力。苏美的首次载人航天发射对人类的航天事业具有深远影响。随着我国综合国力的增强，我国也成为世界上第三个能够通过自主研制的飞船和空间站进行载人航天活动的国家。

1961年4月12日，苏联航天员加加林乘坐世界上第一艘载人飞船——“东方”1号飞船（图1-9、图1-10），从拜科努尔航天发射场起飞，在绕地球一圈（在轨飞行108分钟）后，用降落伞在萨拉托夫附近降落，从此拉开了人类载人航天的序幕。为确保首次载人飞行的成功，苏联在1960~1961年间进行了7次“卫星式飞船”试验，它们实际上是不载人的“东方”号飞船。除首次飞行不载动物外，其余的飞行都载有狗和其他动物，以取得生命有机体在失重环境中的数据，为后来的载人飞行积累了非常宝贵的经验。到1970年，苏联完成了早期的载人环地球轨道飞行计划。共发射各种飞船16艘，把25名航天员送入地球轨道，还完成了太空行走（图1-11）、飞船对接、航天员移乘等复杂动作。



图 1-9 “东方”1号载人飞船（苏联）

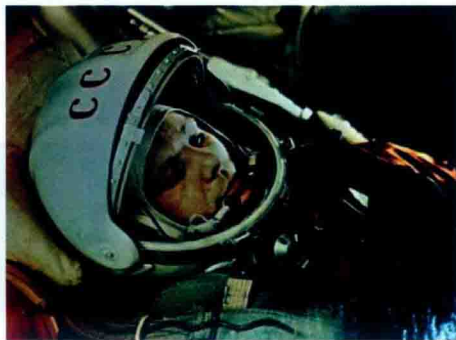


图 1-10 人类首次进入地球轨道飞行的宇航员加加林（苏联）



图 1-11 人类首次进行太空行走的宇航员列昂诺夫（苏联）

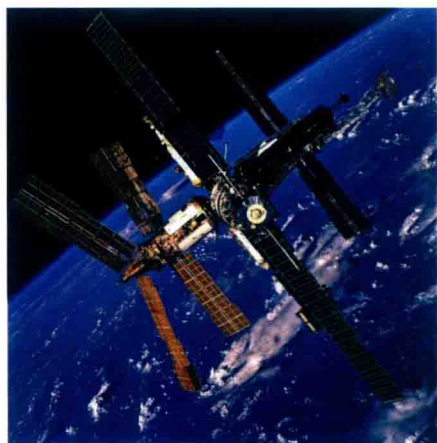


图 1-12 “和平”号空间站（苏联）

苏联的载人航天的道路并不平坦，除了有成功之外，也有不少失败，包括导致航天员牺牲的惨痛失败。但这些失败也使得载人航天技术更加完善。

在载人飞船取得成功后，苏联在 20 世纪 70 年代适时调整了其载人活动重点，建造载人空间站成为其载人航天活动的首要目标。1971 年 4 月，苏联发射了第一座空间站——“礼炮”号空间站。1986 年 2 月，苏联发射了第三代空间站，即“和平”号空间站（图 1-12），它是世界上第一个长期性、多功能的载人空间站；1999 年 8 月 28 日起，俄罗斯接管的该空间站进入无人自动飞行状态；2001 年 3 月 23 日，“和平”号空间站平安坠落在南太平洋预定海域。

加加林乘坐飞船上天，美国实施了“水星”和“双子座”载人飞行计划。1962 年 2 月 20 日，美国宇航员约翰·格伦乘坐“水星”6 号载人飞船从卡纳维拉尔角发射场起飞，成功实现了美国的首次载人航天飞行，在轨飞行 3 圈。为确保这次

载人飞行的成功，美国在 1960 ~ 1962 年间进行了多次“水星”号飞船试验，均为无人或载有动物的飞行。1961 年 5 月美国还进行了首次载人亚轨道飞行。这些努力，为美国载人飞船的成功飞行奠定了基础。到 1966 年，美国已经把 24 名航天员送上太空，也实现了太空行走和飞船对接。载人航天最激动人心的篇章是“阿波罗”登月：1969 年 7 月 16 日，“阿波罗”11 号飞船首次把两名航天员送上月球（图 1-13）。6 艘“阿波罗”飞船前后共载有 12 名航天员涉足月球表面。



图 1-13 “阿波罗”11 号登月飞船及三名航天员（美国）