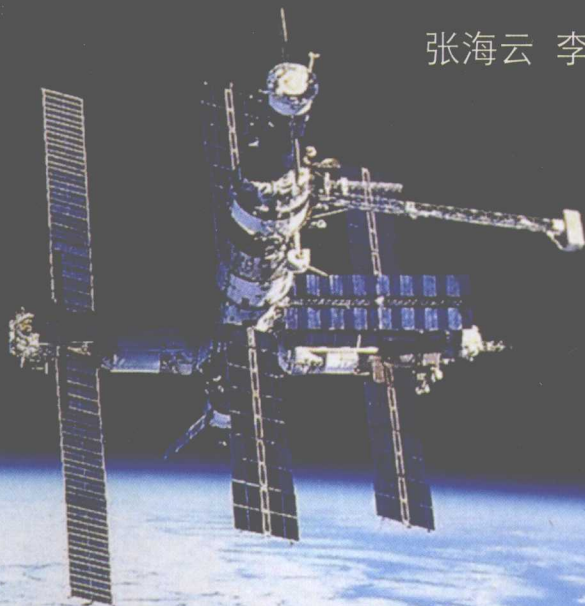


Mc
Graw
Hill Education

Jerry Jon Sellers
William J. Astore
Robert B. Giffen
Wiley J. Larson

著

张海云 李俊峰 译



理解航天

·航·天·学·入·门·

UNDERSTANDING

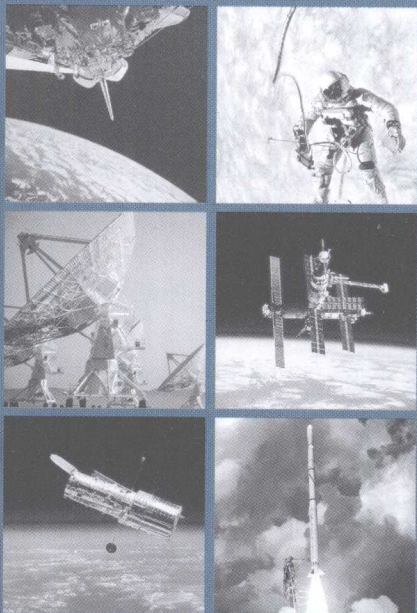
An
Introduction
to
Astronautics

SPACE

清华大学出版社

Mc
Graw
Hill

理解航天



航·天·学·入·门

UNDERSTANDING SPACE
An Introduction to Astronautics

Jerry Jon Sellers
William J. Astore
Robert B. Giffen
Wiley J. Larson

著

张海云 李俊峰 译

清华大学出版社 · 北京

内 容 简 介

本书是航天学的基础入门教材,以生动的语言和丰富的实例向读者全面系统、深入浅出地介绍航天任务、航天器、弹道和轨迹、运载工具、任务操控系统等航天基础知识。

全书图文并茂、结构清晰、重点突出,适合所有对航天感兴趣的人学习和阅读。

Jerry Jon Sellers

Understanding Space: An Introduction to Astronautics

ISBN: 0-07-294364-5

Copyright © 2004 by McGraw-Hill Companies, Inc.

Original Language published by McGraw-Hill. All Rights Reserved.

本书原版由 McGraw-Hill 出版。版权所有,盗印必究。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2004-1226

版权所有,侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

理解航天: 航天学入门/(美)塞勃(Sellers, J. J.)等著;张海云,李俊峰译. —北京: 清华大学出版社,2007. 11

书名原文: Understanding Space: An Introduction to Astronautics

ISBN 978-7-302-16384-8

I. 理… II. ①塞… ②张… ③李… III. 航天学—基本知识 IV. V4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 168922 号

责任编辑: 陈朝晖

责任校对: 王淑云

责任印制: 王秀菊

出版发行: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机: 010-62770175 邮购热线: 010-62786544

投稿咨询: 010-62772015 客户服务: 010-62776969

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市李旗庄少明装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印 张: 48.25 字 数: 1082 千字

版 次: 2007 年 11 月第 1 版 印 次: 2007 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 79.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770177 转 3103 产品编号: 012921-01

PREFACE

译者序

遥远深邃的太空令人感到神秘与好奇,人类翱翔太空的千年梦想已经变为现实。近年来,我国航天事业迅猛发展,更加激发了人们对航天的兴趣。人们渴望对航天有更多、更详细的认识和理解。本书全面系统、深入浅出地介绍航天基础知识,是一本很好的航天入门书。

2002年9月,清华大学开始招收“飞行器设计与工程”专业的本科生,并开设了“现代航天技术概论”课程,这本《理解航天》是其主要教学参考书。

本书在内容、结构和形式上具有下列特色:

1) 内容丰富,全面系统——除了介绍航天基本原理,还介绍与航天有关的法律、政治和经济内容;

2) 是从初级读物通向专业书籍的桥梁——可作为高级科普读物,又可作为航天入门教程;

3) 图文并茂——有几百幅插图,其中包含大量珍贵的实物图片和幽默的图解,引人入胜,有助于理解,便于自学;

4) 以“把太空搬到地球”为目标,缩短人类与太空的距离,消除神秘感,使人们自然而然地接近和理解航天;

5) 言简意赅,幽默诙谐,阅读此书是一种享受;

6) 适合于所有对航天感兴趣的人士阅读,包括大学生、教师,甚至高中生。那些“讨厌”公式的读者,可以忽略公式,仅根据图文就可以学习必要的基本概念;

7) 章节结构清晰,突出关键词和概念,结合实例讲解。每个章节中对重要概念、术语和方程的小结方便读者快速阅读和复习。

本书的翻译出版,得到北京市精品教材建设项目的资助,得到清华大学出版社的大力支持,在此表示感谢;原书作者 Jerry Jon Sellers 曾与译者同时在英国 Surrey 大学宇航中心工作,感谢他说服合著者同意将该书译成中文出版。在此我们对原书所有作者表示衷心感谢;还要感谢我们的外籍同事 Vadim Zakirov 博士在本书的翻译出版过程中给予的多方面帮助。

另外,需要说明的是,原著的文字与插图都是彩色的,而本书是黑白的,因此译者对原著中相应的几处语句进行了修改。由于时间紧迫和译者知识面有限,本译著中难免有不妥之处,请读者不吝赐教。

译者

2007年6月于清华园

FOREWORD

前言

《理解航天》的第2版使我们得以有机会更新和扩充关于航天器任务要素讨论的话题。我们的目的就是帮助读者对航天系统工程有更加广泛的认识,以及了解航天系统工程在航天器子系统、火箭和操控系统中的应用。在第2版中,对内容进行了全面的更新,增加了20%的新素材。书中所做的一切都是为了帮助读者更好地理解(及享受)航天。

太空旅行和探索是令人兴奋的话题。然而,由于所涉及的内容似乎非常复杂,很多人对此敬而远之。对于宇航学与航天任务的研究有时是件棘手的事情,本书的目标是将太空带到地球。如果达到了这个目的(稍后,你可以来做判定),那么阅读完本书后,你将了解航天飞行、航天器、发射系统以及航天操控的概念。

在激发你对这一令人兴奋话题的兴趣和好奇心的同时,我们希望帮助你理解航天任务。我们被成千上万的太空探险者激励着,这些人包括对天体进行研究与论证的科学家以及冒着生命危险亲临那里探索的宇航员。但愿也能够激励你!无论你对工程、商业、政治还是教学感兴趣,这都没有关系。我们需要有才干的人来引领对太空、星体和星系的探索,你就是我们未来的希望。

本书旨在作为航天学的入门教程,帮助人们理解太空这幅“大画面”。从事与航天相关项目的工程师和管理者们将受益于简单明了的概念解释。即使你是一个初中生或是高中生,只要具备坚实的物理和数学基础,就快来加入我们的行列吧,你一定会做得很好!

如果你不喜欢方程,那也不要紧!本书的结构安排为的是你无需阅读或是推导方程,就可以明白必要的概念。方程是为那些想深入了解航天学基础知识的读者准备的。

本书图文并茂,有助于读者对内容的理解。在每一章第一页里都包含有下列部分:

- 在“本章中,你将学到……”的标题下,告诉你在本章中能够学到的知识;
- 在“你应该已经掌握……”的标题下,提示你为学习本章所必需的知识;
- “内容安排”,使你了解本章将要讲述的内容。

在每一节中含有:

- 在“本节的主要内容是……”的标题下,列举了你将学到的内容;
- 详细的“本节回顾”,包含重要概念的总结、关键词和重要方程的列表。

在每一章中含有:

- 关键术语以黑体形式描述并定义;

- 一目了然的框图与图片；
- 以列表形式对重要内容和概念进行小结；
- 重要方程列表；
- 求解实际问题的例子，含有详细的求解过程；
- 在“航天趣闻”中，讲述了有趣的历史事件和航天琐事。

在每一章的结尾部分含有：

- 有助于读者深入学习的参考文献列表；
 - “问题”，这部分内容指导你对所学到的内容进行实践。航天学与观看体育比赛不同，它是一门在实践中增长知识的学科；
 - “航天任务简介”的目的是使你了解特定的航天计划，提供问题讨论的出发点。
- 我们期望本书的这些特点有助于你了解令人兴奋的太空探索的全貌。

CONTENTS

目录

译者序	I
前言	III
第 1 章 我们居住的宇宙	1
1.1 探索太空的目的	3
1.2 航天任务组成要素	13
第 2 章 探索太空	29
2.1 早期的太空探索	33
2.2 进入太空	46
2.3 太空时代的到来	57
第 3 章 空间环境	77
3.1 宇宙全景	78
3.2 空间环境和航天器	87
3.3 在太空中生活和工作	101
第 4 章 理解轨道	112
4.1 轨道运动	114
4.2 牛顿定律	118
4.3 守恒定律	132
4.4 二体问题	139
4.5 轨道运动常数	151
第 5 章 描述轨道	163
5.1 轨道根数	164
5.2 计算轨道根数	177
5.3 航天器地面轨迹	190
第 6 章 空间机动	201
6.1 霍曼转移	203

6.2	非共面变轨	212
6.3	交会	217
第 7 章	星际旅行	230
7.1	星际旅行规划	232
7.2	圆锥曲线拼接法	235
7.3	引力辅助轨迹	259
第 8 章	轨道预测	266
8.1	轨道预测(开普勒问题)	268
8.2	轨道摄动	279
8.3	实际的预测轨道	286
第 9 章	进入轨道	296
9.1	发射窗口和时间	298
9.2	发射时间和地点	304
9.3	发射速度	315
第 10 章	从太空返回:返回技术	329
10.1	返回运动分析	331
10.2	弹道设计	341
10.3	飞行器设计的参数选择	348
10.4	升力式返回	355
第 11 章	航天系统工程	364
11.1	航天任务设计	366
11.2	遥感有效载荷	387
第 12 章	航天器控制系统	407
12.1	控制系统	409
12.2	姿态控制	413
12.3	轨道控制	440
第 13 章	航天器子系统	454
13.1	通信与数据处理子系统	456
13.2	电源子系统	468
13.3	环境控制与生命保障子系统	490
13.4	结构与机械装置	510

第 14 章 火箭与运载工具	538
14.1 火箭科学	540
14.2 推进系统	567
14.3 运载工具	597
第 15 章 空间操作	618
15.1 任务操控系统	620
15.2 任务管理和操控	640
第 16 章 利用太空	661
16.1 航天工业	662
16.2 航天政治	670
16.3 航天经济学	675
附录 A 数学基础	693
A.1 三角学	694
A.2 矢量数学	696
A.3 微积分学	701
附录 B 单位和常数	704
B.1 规范的单位	705
B.2 单位与常数的转换	705
B.3 常数	710
B.4 希腊字母	711
附录 C 推导	712
C.1 二体运动方程	713
C.2 运动常数	713
C.3 求解二体运动方程	715
C.4 能量方程与半长轴的关系	718
C.5 偏心率矢量	719
C.6 推导椭圆轨道周期方程	721
C.7 利用经典轨道根数求解位置和速度矢量	722
C.8 南-东-天顶(SEZ)坐标中的 $V_{\text{燃尽}}$	725
C.9 推导火箭方程	726
C.10 推导势能方程,发现势能井	727

附录 D 太阳和行星数据	729
D.1 太阳的物理性质	730
D.2 地球的物理性质	730
D.3 月球的物理性质	731
D.4 行星数据	732
D.5 行星的影响范围	733
附录 E 弹道火箭的运动	734
E.1 运动方程	735
附录 F 问题数值答案	742
索引	745
致谢	760

我们居住的宇宙

第1章



← 从太空中看去，地球极其渺小。如果我们可以从遥远的地方俯瞰银河系，它看起来就像漩涡星系M4414所显示的样子。（由大学天文研究协会/太空望远镜学会许可）

本章中，你将学到……

- ☞ 太空的独特优势，人类耗费巨资完成的航天任务。
- ☞ 航天任务的组成要素。

你应该已经掌握……

- 你对航天一无所知，这就是我们的起点！

内容安排

- 1.1 探索太空的目的
 - 探索太空的紧迫性
 - 利用太空
- 1.2 航天任务组成要素
 - 任务
 - 航天器
 - 弹道和轨道
 - 运载工具
 - 任务操控系统
 - 任务管理和操控
 - 航天任务结构实例

太空，最终的疆界——星际飞船终生的航程。它永恒的任务——探索未知、崭新的世界，寻找新的生命和新的文明，勇敢地去前人未曾到过的地方！

星际跋涉——未来的探索

太空探索的目的是什么？为何要花费那么多时间和精力去理解行星和卫星运动的基本原理、火箭推进以及航天器设计——这一内容极为丰富的、被我们称为航天学的领域？其理由既富有诗意又具有实际意义。

富有诗意的理由包含在本章开头的引语中。尝试着理解宇宙的神秘美，“勇敢地去前人未曾到过的地方”，这已成为人类的强烈愿望。在夜晚凝望布满繁星的天空时，你可以分享整个人类历史的共同体验。当你对着朦胧的银河苍穹、耀眼闪烁的繁星遐想时，你与几千年前的古代牧羊人面对着同样的景象，思考着同样的问题。

夜晚的星空既是变幻无穷的，又是可预测的。它激发人们的想像力，引发我们对一些超越人类自身的事情发问。不断理解太空，最终使人类更好地掌管自身在地球上生存的命运。早期星空瞭望者仅仅凭借眼睛进行观察，学会制定历法，能够预测洪水、决定播种和收割的时间。现代天文爱好者借助玄妙的地面和空间仪器，对天体进行研究，帮助我们了解肉眼无法看到的更加遥远的宇宙，如图 1-1 所示。

因而，对于太空的探索是为了解决一个同人类一样古老的问题。理解复杂宇宙的运行机制，有助于我们更加欣赏它如诗如画般的优雅和魅力。

当你凝视太空之时，探索太空的实际理由也是显而易见的。有一个景象只有现代人类才能有幸看到——微弱的亮点划过星空，它们移动速度极快，绝不会是恒星或者行星之类的物体，它们不发光，像流星一样地消逝。这一现在常见的景象一定会令古代观星者目瞪口呆，这些不是神灵所为，而是人类的杰作，它们就是航天器。当它绕着地球运行时，我们可以看到它闪烁的星光。这些与地球同行、可信赖的旅行者，使得人类能够有效地管理地球资源，实现全球范围的通信。

开始太空探索仅仅是几十年前的事情，由于各种各样的需要，人们已经越来越依赖航天器。每日天气预报、实时的全球范围通信、对一个关注区域持续拍摄高分辨率图片等，所有这些例子都是航天技术的应用。探索太空使我们有机会了解航天技术的复杂需求，见图 1-2。

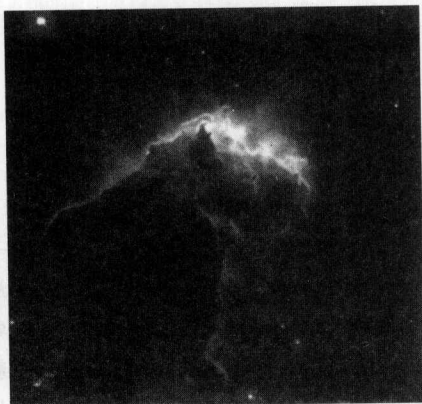


图 1-1 哈勃图片

该图所示为一星体的构成，是哈勃望远镜发送回来的几千张图片中的一张。（由大学天文研究协会/太空望远镜学会许可）

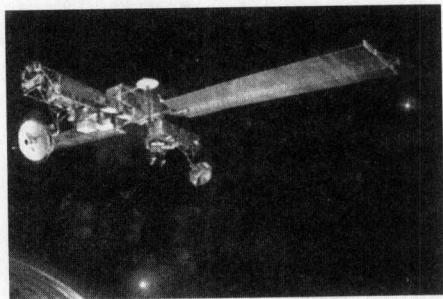


图 1-2 军事通信卫星

军事通信卫星系统的示意图显示它可以同时为全球范围内的几千个用户提供服务。（由美国空军许可）

本书主要从实用角度关注太空——太空是什么样？怎样才能到那里去？如何利用太空？如此安排本书的内容，是想激发读者理解神秘太空的愿望和灵感。

1.1 探索太空的目的

本节的主要内容是……

- ☛ 列举和描述太空及其独特环境所提供的资源。
- ☛ 介绍当前的航天任务。

探索太空的紧迫性

进入太空的行动是危险和昂贵的。那么为什么还要发展航天工业呢？因为太空为现代社会提供了几个重要的资源：

- 全球观察——提供有利的观测点
- 清晰的空间观测——未被大气层掩盖
- 失重的环境——研制在地球上无法生产的材料
- 丰富的资源——诸如太阳能和宇宙材料
- 探索最终疆界的独特挑战

我们依次研究探讨它们对于地球潜在的价值。

太空提供全球观察的手段。如图 1-3 所示，你所处的位置越高，对地球可观测到的范围就越大。几千年来，统治者们利用这一点，把瞭望台建在山峰的最高点，俯瞰疆土，警告入侵者。纵观历史，很多战役都是为了争夺“制高点”。航天就是基于这样的出发点探索宇宙。在太空中选取有利的空间位置，可以观察地球表面大部分区域。在轨运行的航天器起着“眼睛和耳朵”的作用，提供各种各样的服务。

太空提供了宇宙的清晰画面。夜晚遥望星空，我们看到星星在不停地闪烁。这是因为星光穿越大气层时，大气层使光线变得模糊，星光模糊产生闪烁。这会令那些希望详细了解电磁波频谱，深入认识宇宙的天文学家有挫败感。而将观测台置于太空中，就可以把仪器放置在大气层之上，清晰地观察宇宙，如图 1-4 所示。哈勃太空望远镜、 γ 射线观测仪和 Chandra 观测仪都配备了敏感器，它们能够感知的范围远远超过人类。这些得

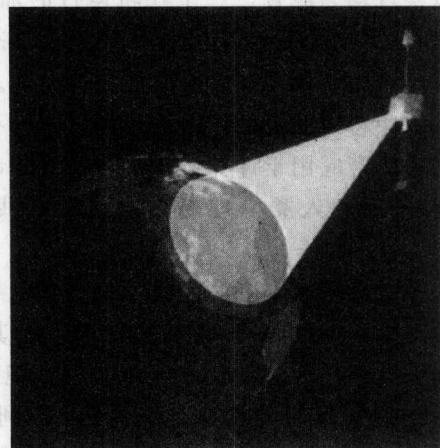


图 1-3 全球观察

太空是终极的制高点，可以借助它对地球进行以各种应用为目的的大范围观测。（由图形分析有限公司许可）

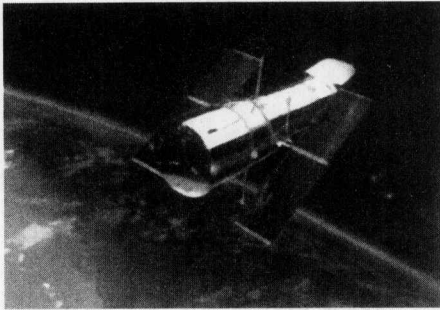


图 1-4 太空天文学

地球大气层妨碍对太空的观测,因此,将卫星置于大气层之上将会获得更清晰的观测,就像哈勃太空望远镜那样。(由美国国家航空航天局(NASA)/约翰逊航天中心许可)

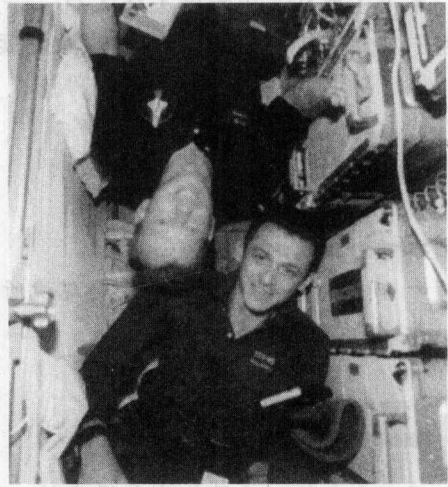


图 1-5 失重环境

在航天飞机 STS-95 上,宇航员杜克(Duque)(位于右边)和林德赛(Lindsey)(头朝下的)感受着失重的经历。(由 NASA/约翰逊航天中心许可)

益于太空优势的仪器正在加深人类对宇宙的理解。

太空提供了失重的环境,使得一些在地球上不可能进行的加工过程成为可能。例如,为了形成新的合金,必须将两种或多种金属按照一定的比例进行混合。遗憾的是,重力的存在会将较重的金属置于容器的底部,难以得到均匀的混合物。但是在太空中,就可以实现均匀混合。一个在轨运行的加工厂(以及其上所有的一切),渐渐地朝地球落下,但总也不会撞到地球,这就是失重状态(不是零重力,这一点在后面将会看到)。我们称没有压力作用在物体上的现象为失重。在失重状态下,不同的材料可以均匀混合。在第 3 章中将对此进行详细的探讨。由于不受地球表面上重力的影响,在轨运行的加工厂有潜力生产应用于计算机和其他领域的奇异新颖材料,以及一些医药产品。研究失重对植物、动物和人类生理的影响有助于我们更好地了解疾病和衰老对人类的影响(见图 1-5)。

太空提供了丰富的资源。当一些人在争辩着如何将有限的地球资源这张大饼分成小块蚕食的时候,另一些人则提出建议,其实只要再烤一张更大的饼就可以了。太阳系慷慨地提供可开采的矿产和能量资源。现在航天器仅仅利用了丰富资源中的一种——无限的太阳能。但是科学家推测人们可以利用月球资源,甚至利用来自一些小行星的资源,来促进基于太空的经济发展。例如,月球土壤富含氧和铝。火箭发动机和人类的呼吸需要氧,铝是许多行业需要的重要金属。在常年漆黑的月球两极的凹坑中可能存有水冰,这些资源与人类探索太空的愿望结合起来,意味着真正的边疆是太空!

最后,太空提供的有利条件就是新的疆界。每当新领域受到挑战时,人类的环境总是得到改善。作为促进科学技术进步和刺激经济发展的手段,太空提供了无穷的挑战机

会,吸引着我们的注意。许多人将太空挑战者比喻为新世界的开拓者。

在月球或者火星上建立殖民地还有漫长的道路,但是这个最终疆界的诱惑已经影响了我们的生活。观众每年花费数百万美元观看一些鼓舞人心的电影,如《星球大战》、《星际旅行》、《独立日》和《接触》。“阿波罗”登月和许多航天飞机任务已经唤起了人们进行星际旅行的憧憬和梦想。NASA的火星计划网站,每天都有数千位“观光者”拜访。当更多的人加入到太空探险行列时,未来的航天任务将更具魅力。每个人对太空都有不同的理解,如图1-6所示。

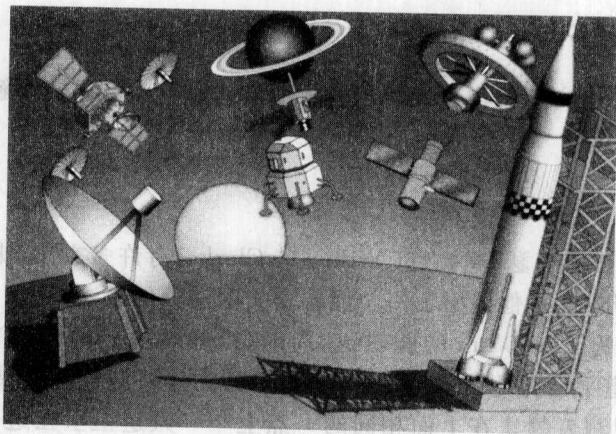


图1-6 太空

太空对于许多人来说是众多事物的集合。它包含奇妙的星体、火箭、航天器和宇宙最终疆界的方方面面。

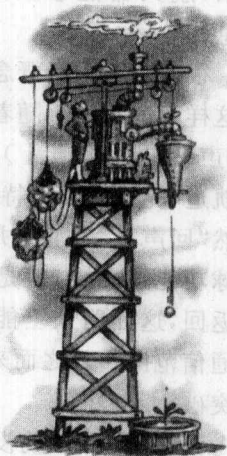
航天趣闻——子弹塔

在16世纪中期,意大利武器制造者发明了一种制造步枪子弹的秘密方法。他们发现利用常规方法制造,重力往往会使子弹变形,于是设计了一套利用失重现象的系统。制造过程中,熔化的铅被灌进“子弹塔”上一个100 m(300 ft[英尺])高的小孔里,当熔化的铅垂直落下时,它冷却成一个近乎完美的球,最后球落进盛满凉水的池子里并迅速变硬。随着时间的推移,子弹塔在整个欧洲和美国变得普及。如今,更加经济有效的先进方法已经替代了这种制造方法。

Burrard, Sir Major Gerald. *The Modern Shotgun Volume II: The Cartridge*. London: Herbert Jenkins Ltd., 1955.

Deane. *Deane's Manual of Fire Arms*. London: Longman, Brown, Green, Longmans and Robers, 1858.

由美国空军科学研究院,特洛伊·凯彻(Troy Kitch)提供



利用太空

虽然我们还没有完全认识到太空的潜力,但这几年来已经学会了利用太空的独特属性,并对我们的生活产生了影响。大部分航天任务可归结为以下四个领域:

- 通信
- 遥感
- 导航
- 科学探索

下面,简要地介绍每个方面怎样改变我们的生活方式以及对世界的理解。

空间通信

科学家和科幻作家亚瑟·克拉克(Arthur C. Clarke)有许多杰作,比如《2001年:太空探险旅行》。1945年10月他提出了一个能改变文明进程的想法。

一个半径为42 000 km的圆轨道,周期(绕地球一周的时间)正好是24小时,如果其轨道平面与地球赤道吻合,轨道上的物体将绕地球旋转,并且相对于地球表面的观测者静止在上面相同的一点上……人造卫星在这个轨道上能够提供接收和传输服务,能作为转发器为位于卫星下方的地球上任何两点间进行转发任务。在地球上任何地方接收到的数据能被转发到全球范围的可见区域。

(摘自《无线电世界》,克努托(Canuto)和查戈斯(Chagas),1978)

克拉克关于全球通信的独特设想开辟了信息时代。虽然地球上的两个人可能因为相隔太远彼此不能直接看到对方,但是他们都能“看到”轨道上同一个航天器,如图1-7所示,航天器能够从这一点向另一点转发消息。

很少有一个新概念对进一步缩小地球产生这样大的影响。随着第一个实验通信卫星“回声I”号(Echo I)在1960年发射进入地球轨道,克拉克的奇特想法有望变为现实。虽然“回声I”号卫星并不比地球低轨上反射气球功能强多少,但是无线电信号能从它那儿返回,这证明太空能被用来加宽人们的水平通信范围。随之而来的是对这种方式的技术突破。

没有航天器,就没有全球通信。现在航天器应用到许多商务和政府通信中,以及国内的有线电视。从遥远的地区通过卫星进行

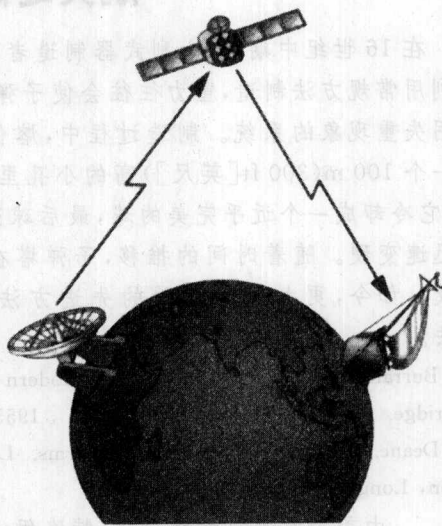


图 1-7 借助卫星通信

卫星全球观测的能力使得地球上相距遥远的人们能够进行通话。

电视实况转播,这在晚间新闻中是常事。远方的救援人员能够跟国内相关部门持续保持联系,有助于他们更好地给那些绝望的难民提供帮助。图 1-8 所示,一个士兵正通过卫星发送情报。现在,军队指挥官几乎完全依赖于航天器,如国防卫星通信系统和军事通信卫星系统,同被部署在世界各地的军队中用于进行通信。

通信卫星给全球发展带来很多的便利。例如,克努托和查戈斯在 1978 年就描述了“帕拉帕”(Palapa) A 和 B 卫星的发射为热带岛国印度尼西亚带来电话业务的发展,从 1969 年仅仅 625 部电话(被限制在独立的人口集中区域)发展到 5 年后的 233 000 多部电话(图 1-9)。通信能力的发展大大促进了民族经济的发展,提高了国民生产总值。这一切都得益于两颗卫星!

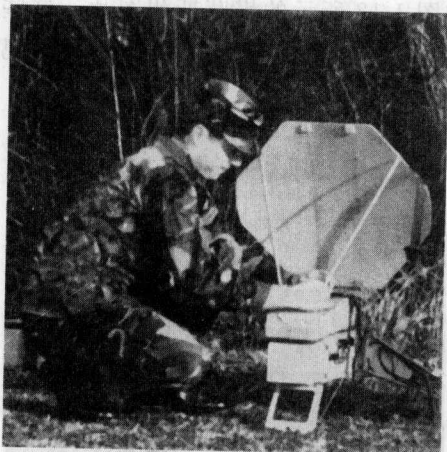


图 1-8 卫星通信

卫星技术的高速发展将我们的世界缩小,并将地球作为一个整体联系得更加紧密。如图所示为一个士兵正在通过一个便携式地面站发送信息。(由洛克维尔·柯林斯公司许可)

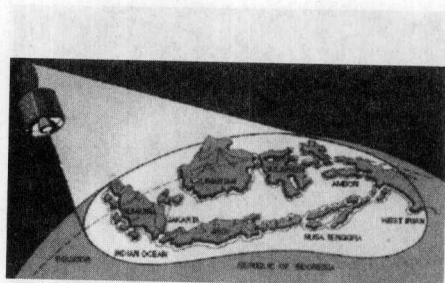


图 1-9 “帕拉帕”A 卫星覆盖范围

从帕拉帕 A 卫星地面覆盖范围可以看到印度尼西亚的电话服务范围从国界一端到达了另一端。(由惠更斯航天与通信公司许可)

今天,近地轨道上的航天器集合形成了一个全球的、蜂窝状的电话网络,在任何地方借助这个网络,只要用一个便携式电话就能跟地球上的任何其他电话通话。现在,不管你到地球上的什么地方,总能给家里打电话。可以想像这种膨胀的通信能力在未来将进一步缩小地球。

遥感卫星

遥感卫星使用现代仪器收集关于地球陆地、海洋和大气的有关信息。身处太空的“制高点”,这些卫星使用敏感器能“看”到一片宽阔的区域,并详细报道有关天气、地形和环境的情况。敏感器接收各种光谱段的电磁波,清晰地显示可见物体,比如下面的云、山、湖和许多现象。这些仪器可以探测物体的温度和组成(如混凝土、金属、泥土等)、风向和风速以及环境条件(比如侵蚀、火灾和污染)。利用这些技术先进的卫星,我们能对