



(英文第3版)

卫星技术


SATELLITE TECHNOLOGY
PRINCIPLES

原理篇

[印] 阿尼尔·K·迈尼 (Anil K. Maini)

[印] 瓦尔沙·阿格拉沃尔 (Varsha Agrawal) / 编著

刘家康 / 译

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

WILEY

卫星技术 原理篇

(英文第3版)

[印度] 阿尼尔·K·迈尼 (Anil K. Maini)

编著

[印度] 瓦尔沙·阿格拉沃尔 (Varsha Agrawal)

刘家康 译

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

卫星技术. 原理篇 / (印) 阿尼尔·K·迈尼 (Anil K. Maini), (印) 瓦尔沙·阿格拉沃尔 (Varsha Agrawal) 编著; 刘家康译. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.12

书名原文: Satellite Technology Principles and Applications

ISBN 978-7-5682-7056-4

I. ①卫… II. ①阿… ②瓦… ③刘… III. ①人造卫星 IV. ①V474

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 091767 号

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2016-2462 号

Copyright © 2014 John Wiley & Sons Ltd

All Rights Reserved. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with Beijing Institute of Technology Press Co., LTD and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 23

字 数 / 538 千字

版 次 / 2019 年 12 月第 1 版 2019 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 158.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

译者序

什么是卫星？什么是卫星技术？它与航天技术、太空探测等等有什么关系？这些是当今很多人关心的问题，也是这套图书希望回答的问题。

一般来说卫星是指围绕行星或者恒星运行的任何自然的或人造的物体，在本书中只针对围绕着地球运行的人造卫星。而卫星技术就是指涉及卫星的设计、构成、发射以及与卫星相关的应用（如资源探测、地面导航等）。卫星技术与目前热门的一些主要技术，比如航天技术、射电天文学等等有什么关系呢？航天技术是人类采用现代化技术对地球大气层之外进行探测的一种技术，而卫星是其中的一个非常重要的手段。

中国最近几年正在掀起太空探索的热潮，已经进入到航天时代。自2016年起，国务院将每年的4月24日设立为“中国航天日”，这是为了纪念1970年4月24日中国发射的第一颗人造地球卫星-东方红一号。而早在1957年10月4日前苏联（现俄罗斯）已经发射了人类第一颗人造地球卫星，相对来说我国的航天技术与世界先进水平还存在一定的差距。但是近年来我国的航天技术发展迅速，已经在长征系列火箭、太空空间站、探月工程等方面取得了巨大的进展。特别是中国的北斗卫星导航系统已经在2018年12月27日开始提供全球服务，标志着我国的卫星导航技术进入世界先进行列。以上的高速发展对航天技术的人才提出了巨大的挑战，急需大批航天和卫星方面的专门人才，也需要相关的教材和参考书。

至于本人参与到本书的翻译过程的原因，是本人在本科教学中讲授《现代通信系统》和《电子通信系统》这两门课程，涉及多种通信系统，卫星通信是其中的一章。偶然的的机会，得知北京理工大学出版社在组织翻译这本书，由于本人具有翻译专业著作的经历，因此承接了本书的翻译工作。

本书的两位作者是印度国防部的专家，对卫星技术的前沿发展非常了解。

本来以为本书的翻译是一件轻松的事情，因为该书没有太多的技术细节推导公式，但是没有想到该书的覆盖范围如此之广，从火箭的轨道、火箭的构成、卫星的发射到各种卫星技术的应用，也包括各种卫星的规格参数及历史数据，这迫使我查阅了大量的参考资料，才能理解和应对相关内容的翻译工作。

本书的翻译分工是在北京理工大学信息与电子学院通信技术研究所下属的卫星通信技术研究室完成的，首先要感谢王华教授的大力支持。在翻译的过程中，我的家人（妻子翁静和儿子刘博实）也贡献了大量的时间帮助进行本书的校对以及插图的翻译工作。此外还要感谢北京理工大学出版社的张海丽编辑和陈莉华编辑。

由于本书的内容过多，因此分为《卫星技术 原理篇》和《卫星技术 应用篇》两本书结集出版。原书中存在明显笔误的地方，在翻译过程中以脚注的形式进行了标注说明，也与原书作者以邮件的方式进行了沟通和确认。此外，本书的英文版出版年份是2014年，因此，涉及相关卫星系统的最新进展都不能在原书中得到体现，读者需要查阅相关网站获取最新资料。希望本书的翻译和出版能够供从事卫星技术工作的科技工作者和高校学生学习和参考，为我国卫星技术的发展贡献微薄之力。

由于本人才疏学浅，在翻译过程中不可避免会出现遗漏和错误之处，敬请广大读者批评指正。

刘家康
北京理工大学

前言

目前，“卫星”一词使用非常普及。不管我们的教育和专业背景，对所有人来说，对卫星一词都很熟悉。它不再是某些国家的特权，也不再是局限在大型研究机构的研究和讨论主题。目前，卫星技术不仅仅是一门在本科和研究生水平讲授的主课，它已经成为供职于研究院、科学技术组织和工业界的大多数电子、通信及其相关专业人员的“家常便饭”。市场上卫星技术及其应用的书籍一般只讨论与通信相关的卫星应用，偶尔讨论其他重要的应用，如遥感、气象预测、科学应用、导航和军事应用，以及其他与空间科学与技术相关的主题。此外，有关空间的百科全书一般主要讨论卫星飞行任务及其应用，而讨论技术方面的信息并不多。《卫星技术 原理与应用》（第3版）是一本有关卫星技术及其应用的简明但却内容丰富的参考书，在本书中覆盖了卫星的通信应用和非通信应用。本书第3版是对第2版的全面更新和扩充，对第2版的所有章节都进行了更新，还增加了两章新的内容，即卫星网络概念和卫星技术新趋势。在其他章节还增加了一些新的主题，使得本书内容更加全面和新颖，覆盖了卫星通信领域所有正在发展的技术和趋势。本书期望的读者包括大学生和研究生，以及电子、通信和信息技术领域的专业技术人员，为他们提供有关卫星通信技术及其应用的一本紧凑的但是内容丰富的参考书。本书从逻辑上划分为两大部分，即卫星技术原理篇（第1章到第9章），以及卫星应用篇（第10章到第16章）。作为绪论的第1章简单介绍了卫星技术的历史发展、各种类型的卫星任务以及卫星技术的应用领域。第1章新增加的内容是详细讨论了小型和微型卫星，包括小型、微型、纳、微微和毫微微卫星。接下来的两章主要讨论轨道动力学及其相关主题。有关卫星及卫星运载火箭的轨道和轨迹的研究，是卫星技术最基本的主题，也许还是最重要的主题。之所以重要，是因为通过轨道和轨迹有助于深入了解卫星通信这项奇妙技术的工作原理。轨道动力学给我们研究以下的问题提供了坚实的基础，如轨道的类型及其对特定应用的适用性、轨道稳定性、轨道校正与站点保持、发射要求和各种不同轨道的典型发射轨迹、地球覆盖范围等。这两章提供了所需的数学知识和设计实例。第3章新增了有关主要的运载火箭及“国际空间站”的特色和设备的详细讨论，这也是本书的另一个特色之处。

在讨论了卫星工作原理、卫星轨道动力学、发射程序以及各种在轨运行的基本问题之后，第 4 章的重点是卫星的硬件，而不管它们的应用目的。这一章讨论了一颗典型卫星的各个子系统、各子系统执行的主要功能，并简要讨论了各子系统运行中的考虑因素。

在前 4 章简介了卫星的发展历史、卫星轨道动力学和硬件之后，在其后的 3 章中，讨论的重点转移到了通信卫星。第 5 章讨论的主题主要包括通信基本原理，重点是卫星通信。第 6 章讨论了多址接入技术。第 7 章的重点是卫星链路设计相关的话题。第 5 章新增了新涌现的数字调制技术，而第 7 章新增了对多点波束技术的简要描述。

第 8 章讨论了地球站设计，论述了用在各种不同应用的各式各样的地球站、地球站结构和设计考虑、地球站关键性能参数、地球站测试以及一些典型的地球站。通信卫星的数量占在轨运行卫星的总数超过 80%，这是卫星开发最广泛的应用之一。在本书中简要讨论了一些主要的地球站设备。

本书新增的内容是有关卫星网络的概念（第 9 章）。这一章全面讨论了各种网络的概念，包括网络的特征、服务应用，网络拓扑结构、技术和协议，也简要讨论了网络互联的问题。

本书的第 10 章至第 15 章是有关卫星应用。根据设计的应用不同，卫星可以宽泛地划分为通信卫星、导航卫星、气象预测卫星、地球观测卫星、科学卫星和军用卫星。我们打算重点讨论卫星应用这个急剧增长的领域。讨论的重点是各种应用的基本原理、应用可能性、当前的状况以及未来的趋势。

《卫星技术 应用篇》的第 10 章覆盖了与卫星通信相关的所有内容，主要包括卫星电话、卫星无线电广播、卫星电视以及数据广播服务。也深入讨论了国际通信卫星一些主要的任务。通信卫星未来的发展趋势也在这一章结尾处重点讨论了。本书第 3 版新增了有关数字视频广播及其各种变化方案的简要讨论，也更新了通信卫星发射相关的全部内容。

遥感技术是通过远程获得的数据进行分析来获得被观测对象特性的相关信息。卫星在遥感中发挥着重要的作用。第 11 章讨论了与遥感卫星有关的各种主题，包括遥感卫星工作原理、星上载荷及其图像获取、采用各种数字图像处理技术对这些图像进行分析和处理，然后对这些图像进行解析，根据不同应用研究地球的各种特性。在这一章最后还介绍了用于此目的的一些主要的遥感卫星系统，以及该领域的近期发展趋势。本章新增了有关印度的遥感系统的内容，也更新了遥感卫星相关的全部内容。

使用卫星对特定现象进行气象预测和预报也是不可或缺的。大众传媒对公众进行短期天气预报的需求持续不断，对热带气旋的可靠预报能够允许船只重新规划航行路线，并对飓风通过的区域采取预防性行动措施。气象情报对于军事行动（如侦察飞行任务）的实施也具有相当重要的意义。第 12 章中深入讨论了与气象卫星的发展、运行和使用有关的各种问题。在这一章的结尾处也讨论了一些主要的气象卫星任务。与前面几章有关卫星应用类似，这一章也包含了许多实例性的照片，并更新了气象卫星相关的全部内容。

导航是在任何给定时间确定对象位置的一种技术。基于卫星的导航系统是导航领域的重大突破，对导航的基本概念和应用可能性产生了革命性的变革。这些导航系统已经从一开始相对来说简单的作为辅助的技术，发展成为今天在经济、科学、民用和军用等各种领域中应用的关键技术。第 13 章简要讨论了基于卫星的导航系统的发展，概要性地描述了 GPS 和 GLONASS 导航系统的工作原理及其功能和应用。本章也讨论了 GALILEO 导航系统及其发展趋势。本书也讨论了前几版没有覆盖的基于卫星的导航系统，包括 EGNOS、北斗和印度的

卫星导航系统。第 13 章也引入了混合导航系统的内容。

使用卫星进行科学研究可以摆脱以下这些束缚：地球大气层对宇宙射线的衰减和屏蔽、地球重力对测量的影响、基于地球的观测很难开展原地的研究。此外，基于空间的科学研究本质上就是全球性的，可以帮助我们从全球的角度来理解不同的现象。第 14 章集中讨论了卫星的科学应用，包括这些卫星对地球科学、太阳物理学、天文学和天文物理学的贡献。

无论是战争时期还是平时时期，现代的军用系统都在很大程度上依赖卫星的应用。许多军用卫星所发挥的作用与民用卫星类似，主要包括远程通信服务、气象预测、导航和地球观测应用。尽管某些卫星的设计是专门为军事目的的，但是许多现代的卫星系统都是军民两用的。第 15 章中专门讨论了与军用卫星的发展、应用可能性有关的各种问题。这一章一开始综述了军用卫星，然后根据设计应用描述了各种形式的军用卫星，还详细讨论了空间武器。

本书新增的另一内容是第 16 章。这一章主要讨论了一些非常规的但却与未来太空有关的主题，例如太空系绳、太空升降机、浮空器等。这一章也包含了对毫米波通信卫星和新兴的太空站观念的讨论。由于以上这些主题不能包含在前面的任何章节中，所以将这些内容放在新的一章中是有必要的。

作为额外资源，本书的配套网站 www.wiley.com/go/maini 提供了卫星及卫星运载火箭的特点和设备的详细全面的综述，包括过去、现状和未来计划的各种卫星任务，还提供了本书中一些图片的彩色版本。

撰写本书的目的以及选择本书覆盖的主题，是希望弥补在其他相关图书中不能覆盖卫星技术及其应用的各个重要方面。尽管有关空间的百科全书也提供了各国针对不同应用而发射的各种卫星的详细信息和技术数据，但是其中几乎没有包括卫星技术的原理。市面上也有大量有关卫星通信的图书，主要讨论与通信应用相关的卫星技术。本书可能的读者对象主要是电子、通信和信息技术领域的专业技术人员，本书作者试图为他们提供简明的但覆盖广泛、内容新颖的一本参考书，既讨论卫星技术，又讨论卫星应用相关的各个方面。

阿尼尔·K·迈尼 (Anil K. Maini)

瓦尔沙·阿格拉沃尔 (Varsha Agrawal)

印度国防部国防研究开发署激光科学和技术中心

目 录

| | |
|--|-----|
| 第 1 章 卫星及其应用导论 | 001 |
| 1.1 卫星应用范围的扩大 | 001 |
| 1.2 卫星的功能 | 002 |
| 1.3 卫星演化史 | 003 |
| 1.3.1 热气球和探空火箭的时代 | 003 |
| 1.3.2 早期人造卫星的发射 | 004 |
| 1.3.3 通信、气象、科学探索卫星——早期发展 | 005 |
| 1.3.4 非地球同步轨道通信卫星：Telstar 和 Relay 方案 | 006 |
| 1.3.5 地球同步通信卫星的出现 | 007 |
| 1.3.6 国际通信卫星系统 | 008 |
| 1.3.7 国内卫星通信系统 | 009 |
| 1.3.8 卫星的其他应用 | 011 |
| 1.3.9 小型或微型卫星 | 013 |
| 1.4 运载火箭的进化 | 016 |
| 1.5 未来发展趋势 | 019 |
| 1.5.1 通信卫星 | 019 |
| 1.5.2 气象预报卫星 | 019 |
| 1.5.3 地球观测卫星 | 020 |
| 1.5.4 导航卫星 | 020 |
| 1.5.5 军事卫星 | 021 |
| 进一步阅读 | 021 |
| 互联网网站 | 021 |
| 术语表 | 021 |
| 第 2 章 卫星轨道与轨迹 | 023 |
| 2.1 轨道和轨迹的定义 | 023 |
| 2.2 轨道卫星的基本原理 | 024 |
| 2.2.1 牛顿万有引力定律 | 025 |
| 2.2.2 牛顿第二运动定律 | 025 |
| 2.2.3 开普勒定律 | 026 |

| | |
|------------------------|------------|
| 2.3 轨道参数 | 029 |
| 2.4 入轨速度和由此产生的卫星轨迹 | 041 |
| 2.5 卫星轨道的种类 | 045 |
| 2.5.1 轨道平面的方向 | 045 |
| 2.5.2 轨道的偏心率 | 046 |
| 2.5.3 与地球的距离 | 047 |
| 2.5.4 太阳同步轨道 | 049 |
| 进一步阅读 | 051 |
| 互联网网址 | 051 |
| 术语表 | 052 |
| 第3章 卫星发射和在轨操作 | 054 |
| 3.1 获得期望的轨道 | 054 |
| 3.1.1 确定卫星轨道参数 | 054 |
| 3.1.2 修改轨道参数 | 057 |
| 3.2 发射顺序 | 066 |
| 3.3 运载火箭 | 070 |
| 3.3.1 运载火箭简介 | 070 |
| 3.3.2 运载火箭的分类 | 070 |
| 3.3.3 运载火箭的构造 | 073 |
| 3.3.4 运载火箭的主要参数 | 074 |
| 3.3.5 主要运载火箭 | 076 |
| 3.4 航天中心 | 090 |
| 3.4.1 选址的考虑 | 090 |
| 3.4.2 航天中心的组成部分 | 091 |
| 3.4.3 主要的航天中心 | 091 |
| 3.5 轨道摄动 | 104 |
| 3.6 卫星稳定 | 105 |
| 3.6.1 自旋稳定 | 105 |
| 3.6.2 三轴或自体稳定 | 105 |
| 3.6.3 自旋稳定和三轴稳定卫星之间的比较 | 107 |
| 3.6.4 位置保持 | 107 |
| 3.7 轨道对卫星性能的影响 | 107 |
| 3.7.1 多普勒频移 | 107 |
| 3.7.2 轨道距离的变化 | 107 |
| 3.7.3 日食 | 108 |
| 3.7.4 日凌中断 | 108 |
| 3.8 日食 | 108 |
| 3.9 卫星的视角 | 110 |

| | | |
|--------------|---------------|------------|
| 3.9.1 | 方位角 | 110 |
| 3.9.2 | 仰角 | 112 |
| 3.9.3 | 计算斜距 | 113 |
| 3.9.4 | 计算两颗卫星之间的视线距离 | 113 |
| 3.10 | 地球覆盖和地面轨迹 | 119 |
| 3.10.1 | 卫星高度和地球覆盖区 | 119 |
| 3.10.2 | 卫星地面轨迹 | 120 |
| 3.10.3 | 轨道倾斜角和纬度覆盖 | 122 |
| | 进一步阅读 | 124 |
| | 互联网网站 | 124 |
| | 词汇表 | 125 |
| 第 4 章 | 卫星硬件 | 126 |
| 4.1 | 卫星子系统 | 126 |
| 4.2 | 机械结构 | 127 |
| 4.2.1 | 设计考虑 | 127 |
| 4.2.2 | 典型结构 | 128 |
| 4.3 | 推进子系统 | 128 |
| 4.3.1 | 推进子系统的基本原理 | 129 |
| 4.3.2 | 推进子系统的类型 | 129 |
| 4.4 | 热控制子系统 | 134 |
| 4.4.1 | 热不平衡的来源 | 135 |
| 4.4.2 | 传热机理 | 135 |
| 4.4.3 | 热控制的类型 | 135 |
| 4.5 | 电源子系统 | 137 |
| 4.5.1 | 电源子系统的类型 | 137 |
| 4.5.2 | 太阳能驱动电力系统 | 138 |
| 4.5.3 | 蓄电池 | 141 |
| 4.6 | 姿态和轨道控制子系统 | 144 |
| 4.6.1 | 姿态控制 | 144 |
| 4.6.2 | 轨道控制 | 145 |
| 4.7 | 遥测、跟踪和指令子系统 | 145 |
| 4.8 | 有效载荷子系统 | 147 |
| 4.9 | 天线子系统 | 148 |
| 4.9.1 | 天线参数 | 150 |
| 4.9.2 | 天线类型 | 152 |
| 4.10 | 航天质量和设备可靠性 | 161 |
| 4.10.1 | 航天质量 | 161 |
| 4.10.2 | 可靠性 | 161 |

| | |
|---------------------|------------|
| 进一步阅读 | 162 |
| 互联网网址 | 162 |
| 术语表 | 163 |
| 第 5 章 通信技术 | 165 |
| 5.1 信息信号的类型 | 165 |
| 5.1.1 语音信号 | 165 |
| 5.1.2 数据信号 | 166 |
| 5.1.3 视频信号 | 166 |
| 5.2 幅度调制 | 166 |
| 5.2.1 调幅信号的频谱 | 167 |
| 5.2.2 调幅信号的功率 | 167 |
| 5.2.3 调幅信号的噪声 | 168 |
| 5.2.4 不同形式的幅度调制 | 169 |
| 5.3 频率调制 | 174 |
| 5.3.1 调频信号的频谱 | 175 |
| 5.3.2 窄带和宽带调频 | 177 |
| 5.3.3 FM 信号中的噪声 | 177 |
| 5.3.4 FM 信号的产生 | 180 |
| 5.3.5 FM 信号的检测 | 181 |
| 5.4 脉冲通信系统 | 186 |
| 5.4.1 模拟脉冲通信系统 | 187 |
| 5.4.2 数字脉冲通信系统 | 188 |
| 5.5 采样定理 | 191 |
| 5.6 香农-哈特利定理 | 191 |
| 5.7 数字调制技术 | 193 |
| 5.7.1 幅移键控 (ASK) | 193 |
| 5.7.2 频移键控 (FSK) | 194 |
| 5.7.3 相移键控 (PSK) | 194 |
| 5.7.4 差分相移键控 (DPSK) | 195 |
| 5.7.5 正交相移键控 (QPSK) | 195 |
| 5.7.6 偏移 QPSK | 197 |
| 5.7.7 8PSK 和 16PSK | 198 |
| 5.7.8 正交幅度调制 (QAM) | 199 |
| 5.7.9 幅度相移键控 (APSK) | 199 |
| 5.8 多路复用技术 | 200 |
| 5.8.1 频分复用 (FDM) | 200 |
| 5.8.2 时分复用 (TDM) | 201 |
| 5.8.3 码分复用 (CDM) | 202 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| 进一步阅读 | 204 |
| 互联网网站 | 204 |
| 术语表 | 205 |
| 第 6 章 多址接入技术 | 208 |
| 6.1 多址接入技术简介 | 208 |
| 6.2 频分多址 (FDMA) | 209 |
| 6.2.1 按需分配 FDMA | 211 |
| 6.2.2 预分配 FDMA | 211 |
| 6.2.3 计算 C/N 比 | 211 |
| 6.3 单路单载波 (SCPC) 系统 | 213 |
| 6.3.1 SCPC/FM/FDMA 系统 | 213 |
| 6.3.2 SCPC/PSK/FDMA 系统 | 214 |
| 6.4 多路单载波 (MCPC) 系统 | 215 |
| 6.4.1 MCPC/FDM/FM/FDMA 系统 | 215 |
| 6.4.2 MCPC/PCM-TDM/PSK/FDMA 系统 | 216 |
| 6.5 时分多址 (TDMA) | 216 |
| 6.6 TDMA 帧结构 | 217 |
| 6.6.1 参考突发 | 218 |
| 6.6.2 业务突发 | 218 |
| 6.6.3 保护时间 | 218 |
| 6.7 TDMA 突发结构 | 218 |
| 6.7.1 载波和时钟恢复序列 | 218 |
| 6.7.2 独特字 | 218 |
| 6.7.3 信令信道 | 219 |
| 6.7.4 业务信息 | 220 |
| 6.8 计算独特字检测概率 | 220 |
| 6.9 TDMA 帧效率 | 221 |
| 6.10 业务控制与协调 | 221 |
| 6.11 帧捕获与同步 | 223 |
| 6.11.1 从接收帧中提取业务突发 | 223 |
| 6.11.2 业务突发的传输 | 223 |
| 6.11.3 帧同步 | 223 |
| 6.12 FDMA 与 TDMA | 225 |
| 6.12.1 TDMA 对 FDMA 的优点 | 225 |
| 6.12.2 TDMA 对 FDMA 的缺点 | 225 |
| 6.13 码分多址 (CDMA) | 225 |
| 6.13.1 DS-CDMA 的发送和接收 | 226 |
| 6.13.2 跳频 CDMA 系统 (FH-CDMA) | 228 |

| | |
|--|------------|
| 6.13.3 跳时 CDMA (TH-CDMA) 系统 | 229 |
| 6.13.4 DS-CDMA、FH-CDMA 和 TH-CDMA 系统的比较 | 229 |
| 6.14 空分多址 (SDMA) | 231 |
| 6.14.1 SDMA 中的频率重用 | 231 |
| 6.14.2 SDMA/FDMA 系统 | 232 |
| 6.14.3 SDMA/TDMA 系统 | 233 |
| 6.14.4 SDMA/CDMA 系统 | 233 |
| 进一步阅读 | 233 |
| 互联网网址 | 234 |
| 术语表 | 234 |
| 第 7 章 卫星链路设计基础 | 236 |
| 7.1 传输方程 | 236 |
| 7.2 卫星链路参数 | 237 |
| 7.2.1 工作频率的选择 | 237 |
| 7.2.2 对传播的考虑 | 238 |
| 7.2.3 对噪声的考虑 | 238 |
| 7.2.4 干扰相关的问题 | 238 |
| 7.3 对频率的考虑 | 239 |
| 7.4 对传播的考虑 | 242 |
| 7.4.1 自由空间损耗 | 243 |
| 7.4.2 气体吸收 | 243 |
| 7.4.3 雨衰 | 244 |
| 7.4.4 云衰减 | 245 |
| 7.4.5 由于折射引起的信号衰落 | 245 |
| 7.4.6 电离层相关的影响 | 245 |
| 7.4.7 多径信号的衰落 | 248 |
| 7.5 传播效应的对抗技术 | 250 |
| 7.5.1 衰减补偿技术 | 250 |
| 7.5.2 去极化补偿技术 | 251 |
| 7.6 对噪声的考虑 | 251 |
| 7.6.1 热噪声 | 251 |
| 7.6.2 噪声系数 | 252 |
| 7.6.3 噪声温度 | 253 |
| 7.6.4 级联的噪声系数和噪声温度 | 253 |
| 7.6.5 天线的噪声温度 | 254 |
| 7.6.6 系统总体噪声温度 | 257 |
| 7.7 干扰相关问题 | 259 |
| 7.7.1 互调失真 | 259 |

| | | |
|--------------|-----------------------|------------|
| 7.7.2 | 卫星与地面链路之间的干扰 | 261 |
| 7.7.3 | 相邻卫星的干扰 | 262 |
| 7.7.4 | 交叉极化干扰 | 264 |
| 7.7.5 | 相邻信道干扰 | 264 |
| 7.8 | 天线增益-噪声温度比 (G/T) | 267 |
| 7.9 | 链路设计 | 268 |
| 7.9.1 | 链路设计步骤 | 269 |
| 7.9.2 | 链路预算 | 269 |
| 7.10 | 多点波束技术 | 272 |
| | 进一步阅读 | 274 |
| | 互联网网址 | 275 |
| | 术语表 | 275 |
| 第 8 章 | 地球站 | 277 |
| 8.1 | 地球站 | 277 |
| 8.2 | 地球站的类型 | 278 |
| 8.2.1 | 固定卫星服务 (FSS) 地球站 | 279 |
| 8.2.2 | 广播卫星服务 (BSS) 地球站 | 279 |
| 8.2.3 | 移动卫星服务 (MSS) 地球站 | 280 |
| 8.2.4 | 单功能站 | 280 |
| 8.2.5 | 关口站 | 280 |
| 8.2.6 | 远端传送站 | 281 |
| 8.3 | 地球站的结构 | 282 |
| 8.4 | 地球站的设计考虑 | 283 |
| 8.4.1 | 关键性能参数 | 284 |
| 8.4.2 | 地球站设计优化 | 285 |
| 8.4.3 | 环境和站点考虑 | 285 |
| 8.5 | 地球站测试 | 286 |
| 8.5.1 | 单元和子系统级测试 | 286 |
| 8.5.2 | 系统级测试 | 286 |
| 8.6 | 地球站的硬件 | 291 |
| 8.6.1 | RF 设备 | 291 |
| 8.6.2 | IF 和基带设备 | 298 |
| 8.6.3 | 地面接口 | 298 |
| 8.7 | 卫星跟踪 | 301 |
| 8.7.1 | 卫星跟踪系统框图 | 301 |
| 8.7.2 | 跟踪技术 | 301 |
| 8.8 | 一些有代表性的地球站 | 306 |
| 8.8.1 | 贡希利 (Goonhilly) 卫星地球站 | 306 |

| | | |
|--------------|------------------------------|------------|
| 8.8.2 | 马德莱 (Madley) 通信中心 | 307 |
| 8.8.3 | 马德里深空通信综合体 | 307 |
| 8.8.4 | 堪培拉 (Canberra) 深空通信综合体 | 308 |
| 8.8.5 | 金石 (Goldstone) 深空通信综合体 | 309 |
| 8.8.6 | 金银花溪 (Honeysuckle Creek) 跟踪站 | 309 |
| 8.8.7 | 盖娜点 (Kaena Point) 卫星跟踪站 | 310 |
| 8.8.8 | 武吉知马 (Bukit Timah) 卫星地球站 | 310 |
| 8.8.9 | 国际通信卫星远程传送地球站 | 311 |
| 8.8.10 | SUPARCO 卫星地面站 | 312 |
| 8.8.11 | 马卡里奥斯 (Makarios) 卫星地球站 | 312 |
| 8.8.12 | Raisting 地球站 | 313 |
| 8.8.13 | 印度深空网 | 313 |
| | 术语表 | 314 |
| 第 9 章 | 联网的概念 | 317 |
| 9.1 | 简介 | 317 |
| 9.2 | 网络特性 | 317 |
| 9.2.1 | 可用性 | 317 |
| 9.2.2 | 可靠性 | 318 |
| 9.2.3 | 安全性 | 318 |
| 9.2.4 | 吞吐量 | 319 |
| 9.2.5 | 可扩展性 | 320 |
| 9.2.6 | 拓扑结构 | 320 |
| 9.2.7 | 成本 | 320 |
| 9.3 | 应用和服务 | 320 |
| 9.3.1 | 卫星和网络服务 | 321 |
| 9.3.2 | 卫星服务 | 321 |
| 9.3.3 | 网络服务 | 321 |
| 9.3.4 | 互联网服务 | 322 |
| 9.4 | 网络拓扑结构 | 324 |
| 9.4.1 | 总线型拓扑结构 | 324 |
| 9.4.2 | 星型拓扑结构 | 324 |
| 9.4.3 | 环型拓扑 | 325 |
| 9.4.4 | 网状型拓扑结构 | 326 |
| 9.4.5 | 树型拓扑结构 | 326 |
| 9.4.6 | 混合拓扑结构 | 326 |
| 9.5 | 网络技术 | 328 |
| 9.5.1 | 电路交换网络 | 328 |
| 9.5.2 | 分组交换网络 | 329 |

| | |
|--|-----|
| 9.5.3 电路交换与分组交换网络 | 329 |
| 9.6 网络协议 | 330 |
| 9.6.1 常见的网络协议 | 330 |
| 9.6.2 开放系统互联 (Open Systems Interconnect, OSI) 参考模型 | 333 |
| 9.6.3 互联网协议 (IP) | 335 |
| 9.6.4 传输控制协议 (TCP) | 336 |
| 9.6.5 超文本传输协议 (HTTP) | 336 |
| 9.6.6 文件传输协议 (FTP) | 337 |
| 9.6.7 简单邮件传输协议 (SMTP) | 337 |
| 9.6.8 用户数据报协议 (UDP) | 337 |
| 9.6.9 异步传输模式 (ATM) | 338 |
| 9.7 卫星星座 | 338 |
| 9.7.1 星座几何学 | 338 |
| 9.7.2 主要卫星星座 | 339 |
| 9.8 与地面网络的互联 | 342 |
| 9.8.1 中继器、网桥、交换机和路由器 | 342 |
| 9.8.2 协议转换、协议栈和隧道 | 343 |
| 9.8.3 服务质量 | 343 |
| 进一步阅读 | 344 |
| 互联网网址 | 344 |
| 术语表 | 344 |