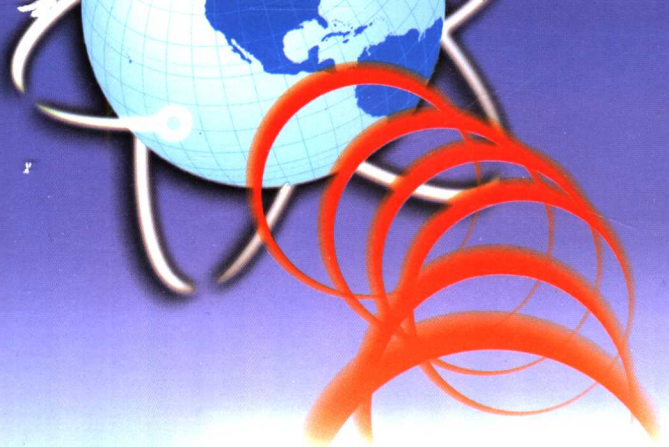




数字卫星通信

上海高级专家协会电子电讯专业委员会 编
储钟圻 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等学校教材

数字卫星通信

储钟圻 主编

上海高级专家协会电子电讯专业委员会 编



机械工业出版社

本书共 10 章, 系统叙述了卫星通信领域中各个方面的技术, 基本反映了当前卫星通信发展状况。内容包括: 卫星通信的基本概念、通信卫星、地球站通信系统及设备、地球站的维护及测试、VSAT 系统、卫星移动通信系统、毫米波卫星通信系统、小卫星技术、GPS、卫星电视等。

本书理论联系实际, 深入浅出, 并有较多的插图以帮助读者结合工程实践来理解。

本书对大专院校师生、通信领域的工程技术人员、科研人员、广播电视领域人员及管理人员均有参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字卫星通信/储钟圻主编. —北京: 机械工业出版社,
2005.9

高等学校教材

ISBN 7-111-17727-4

I. 数… II. 储… III. 数字通信: 卫星通信—高等学校—教材 IV. TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 125968 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 牛新国

责任编辑: 张俊红 版式设计: 冉晓华 责任校对: 姚培新

封面设计: 马精明 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

787mm × 1092mm $1/16$ · 29.75 印张 · 738 千字

0 001—4 000 册

定价: 46.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

《数字卫星通信》

编 委 会

主任委员	陆 铭	桑逾方	
副主任委员	牛新国	储钟圻	施鼎鏊
委 员	陆 铭	桑逾方	牛新国
	储钟圻	施鼎鏊	
主 编	储钟圻		
编写人员	桑逾方	施鼎鏊	储钟圻
	薛蔚芝	张维瑾	

序

通信的发展，在很大程度上取决于通信手段的先进性，现代通信新技术正在迅速地改变着通信的面貌。

当今社会正在走向信息时代，通信作为社会的基础设施，越来越与人们的日常生活密切相关。21世纪通信的发展与多媒体、互联网络、个人通信等已综合于国际上最热门的信息高速公路上。所以，人们必须用新的观念、新的思路、新的模式和新的设计方法去适应未来信息化社会。

卫星通信作为一种远距离通信方式已存在了近半个世纪。目前，无论是国际通信、国内通信，还是国防通信和广播电视等领域，卫星通信都得到了广泛的应用。随着通信技术的发展，卫星通信有它突出的优点。特别是在通信不发达地区、人口稀少地区、边远山区、沙漠地区、江河湖泊地区及海岛等，不易建立其他通信方式的地区，卫星通信具有其他通信手段不可替代的作用。

本书编排合理、内容新颖、是一本值得推荐的通信领域最新技术著作，它将成为广大读者的良师益友。

中国科学院院士
上海交通大学教授
张 煦

前 言

作为远程通信的手段，数字卫星通信是当今通信领域中的一个重要组成部分，近年来在国际上得到迅速的发展。特别是小卫星技术及毫米波段的实际应用，使卫星通信进入了一个新阶段，让拥挤的频谱资源服务于人类社会。在 21 世纪，随着信息化的进程，人们需要的是宽频带、大容量、高速率的信息处理、交换和传输。

本书作者大都来自卫星通信领域中的教育、科研、卫星地球站等单位，具有扎实的理论知识及丰富的实践经验。

本书由储钟圻主编。编写分工如下：第 1~4 章由桑逾方编写；第 5 章由施鼎劬编写；第 6~8 章由储钟圻编写；第 9 章由薛蔚芝编写；第 10 章由张维瑾编写。全书由储钟圻统稿并主审。

由于时间仓促和作者水平有限，书中难免存在错误及不妥之处，希望广大读者批评指正。

编 者

2004 年 10 月

目 录

序

前言

第 1 章 卫星通信的基本概念 1

1.1 概述 1

1.1.1 卫星通信的一般概念 1

1.1.2 卫星通信系统的分类 2

1.1.3 卫星通信的发展概况 2

1.2 卫星通信 4

1.2.1 卫星通信所使用的频率 4

1.2.2 卫星通信的多址方式 7

1.2.3 卫星通信的特点 10

1.3 卫星通信系统与其他无线电系统 间的干扰和协调 12

1.3.1 卫星通信系统与同频段地面微波系统 间的干扰和协调 12

1.3.2 卫星通信系统网络间的干扰和 协调 14

1.3.3 卫星通信系统与雷达系统间的干扰 和协调 16

1.3.4 卫星通信系统与广播电视系统间 的干扰和协调 18

1.3.5 卫星通信系统与工业、科学、医疗 设备间的干扰和协调 19

1.4 卫星通信传输参数与链路 估算 20

1.4.1 传输参数 21

1.4.2 卫星通信系统质量指标 27

第 2 章 通信卫星 31

2.1 卫星的轨道 31

2.1.1 卫星运动的轨道及参数 31

2.1.2 卫星的摄动 33

2.1.3 星蚀及日凌中断 34

2.1.4 对流层闪烁 (大气波导

干扰) 35

2.2 通信卫星的设置 35

2.2.1 通信卫星的具体设置 35

2.2.2 静止卫星的传输时延和 回波 36

2.2.3 静止卫星的地理增益 36

2.3 静止卫星的组成 37

2.3.1 天线分系统 38

2.3.2 通信分系统 (转发器) 39

2.3.3 电源分系统 39

2.3.4 跟踪、遥测、指令分系统 39

2.3.5 控制分系统 40

2.4 世界上部分通信卫星组织的同 步通信卫星转发器、波束及 性能 40

2.4.1 国际卫星组织 40

2.4.2 泛美卫星组织 43

2.4.3 亚太卫星公司 (APStar) 44

2.4.4 亚洲卫星组织 46

2.4.5 中国广播卫星公司 48

2.4.6 中国东方卫星公司 51

2.4.7 NEWSKIES 公司 53

2.4.8 鑫诺卫星组织 53

2.5 全球 C 波段主要同步轨道通信 卫星分布一览表 54

2.6 非同步轨道卫星通信 系统 61

2.6.1 小 LEO 卫星系统的发展过程和 现状 61

2.6.2 小 LEO 卫星系统的特点 62

第 3 章 地球站通信系统及设备 64

3.1 概述 64

3.2 地球站标准与分类 64

3.2.1 地球站标准 64

3.2.2 标准地球站分类	64	测试	104
3.2.3 对地球站的要求	64		
3.3 地球站站址选择	66	第5章 维塞特(VSAT)卫星通信	123
3.3.1 地址选择的因素	66	5.1 概述	123
3.3.2 站址布局	70	5.1.1 VSAT 卫星通信的发展概况	123
3.3.3 地球站工作条件	70	5.1.2 VSAT 的分类	124
3.4 地球站的防雷和接地	71	5.2 VSAT 卫星通信射频链路	131
3.5 天线相关参量及其跟踪分系统	71	5.2.1 射频链路噪声	132
3.5.1 天线的主要电参量	71	5.2.2 卫星通信链路的衰减	134
3.5.2 天线及跟踪分系统	73	5.2.3 VSAT 卫星通信上、下行链路	138
3.6 高功率放大分系统	75	5.3 VSAT 的组成	144
3.7 低噪声放大器	75	5.3.1 VSAT 小站的组成	145
3.8 变频器分系统	76	5.3.2 VSAT 天线	146
3.9 调制解调器(MODEM)分系统	76	5.3.3 VSAT 小站室外单元	147
3.9.1 IDR 载波基本性能	76	5.3.4 VSAT 室内单元	149
3.9.2 调制解调器的基本性能	77	5.4 VSAT 通信卫星转发器	156
		5.4.1 卫星转发器的作用和组成	156
		5.4.2 卫星转发器的主要性能	156
		5.4.3 通信卫星主要参数举例	157
第4章 地球站的维护及测试	79	5.5 VSAT 系统干扰分析	163
4.1 地球站系统测试	79	5.5.1 邻近卫星干扰	163
4.1.1 概述	79	5.5.2 地面信号干扰	165
4.1.2 地球站系统测试所用的仪表	79	5.5.3 交叉极化干扰	165
4.2 G/T 值测试	80	5.5.4 邻近通道干扰	165
4.2.1 射电星法测量 G/T 值	81	5.5.5 内调制干扰	166
4.2.2 替代法测量 G/T 值	86	5.6 VSAT 网络控制系统	166
4.2.3 频谱分析仪法直接测量 G/T 值	89	5.6.1 网络控制系统的组成	166
4.3 天线增益测试	90	5.6.2 VSAT 网络控制系统的主要功能	167
4.3.1 射电星法测量天线增益	90	5.7 VSAT 通信的最新进展及发展趋势	167
4.3.2 卫星法测量天线增益	90	5.7.1 VSAT 通信的最新进展	167
4.4 天线方向图测试	91	5.7.2 多媒体 VSAT 通信	168
4.4.1 地球站天线旁瓣特性	92	5.7.3 VSAT 与 ATM 网	171
4.4.2 天线同极化方向图测试	93	5.7.4 VSAT 与因特网结合	174
4.5 交叉极化隔离度测试	95	5.7.5 VSAT 与移动通信	174
4.6 中速率数据(IDR)系统测试	96	5.7.6 星上处理技术	174
4.6.1 SSOG 测试前的准备	96	5.7.7 卫星通信综合网管系统	175
4.6.2 几个基本概念	99	5.8 国内外 VSAT 生产厂商及典型型号和性能	176
4.6.3 SSOG 308 IDR 载频开通		5.8.1 美国休斯公司	176

5.8.2 日本 NEC 公司	177	6.5.3 航空卫星移动通信系统	317
5.8.3 加拿大 SPAR 公司	177	第 7 章 毫米波卫星通信系统	322
5.8.4 美国 AT&T 公司	177	7.1 概述	322
5.8.5 美国 GTE 公司	178	7.1.1 毫米波的特点	322
5.8.6 美国 SA 公司	178	7.1.2 毫米波卫星通信	323
5.8.7 Linkcom 公司	178	7.2 毫米波卫星通信系统	323
5.8.8 Gilat 公司	178	7.2.1 系统的组成	323
5.8.9 信息产业部第一研究所	178	7.2.2 技术问题	324
5.8.10 原电子工业部第十四 研究所	179	7.3 星上处理技术	324
5.9 卫星通信工程设计摘要	179	7.4 星间链路 (ISL)	334
第 6 章 卫星移动通信系统	188	7.5 轨道和频段的选择	339
6.1 卫星移动通信概述	188	7.6 通信体制	343
6.1.1 卫星移动通信系统的组成	188	7.7 毫米波卫星通信系统的 应用	345
6.1.2 卫星移动通信系统的分类	189	7.7.1 毫米波宽带卫星通信网络	346
6.1.3 卫星移动通信系统的特点	196	7.7.2 利用数字视频广播 (DVB) 提供 卫星因特网服务	348
6.1.4 卫星移动通信系统的信道	196	7.7.3 毫米波个人卫星通信系统	350
6.1.5 卫星移动通信系统的工作 波段	197	7.7.4 毫米波卫星通信系统实例	352
6.1.6 卫星移动通信系统的主要技术 参数	197	7.8 军用卫星	362
6.1.7 卫星移动通信系统的关键 技术	199	7.8.1 系统用途及组成	362
6.2 卫星移动通信的电波传播	201	7.8.2 Milstar 的主要特点	372
6.2.1 多径衰落	201	第 8 章 小卫星技术	374
6.2.2 多普勒效应	208	8.1 概述	374
6.2.3 电离层对电波传播的影响	210	8.1.1 现代小卫星的划分	375
6.2.4 对流层对电波传播的影响	219	8.1.2 现代小卫星的发展特点 与趋势	376
6.3 卫星移动通信的编码技术	228	8.1.3 国外小卫星的发展现状	376
6.3.1 信源编码	229	8.1.4 中国小卫星的发展概况	381
6.3.2 信道编码	244	8.2 运行轨道	384
6.3.3 常用的简单差错控制编码	252	8.3 多普勒效应	385
6.3.4 线性分组码	254	8.4 空间环境	386
6.3.5 卷积码	270	8.5 通信小卫星	389
6.4 卫星移动通信的调制解调 技术	271	8.5.1 低轨道通信小卫星系统	389
6.4.1 卫星移动通信中滤波的作用	272	8.5.2 低轨道通信卫星星座系统	390
6.4.2 卫星移动通信的调制方式	273	8.5.3 高、中、低轨道通信卫星	391
6.5 实用的卫星移动通信系统	305	8.5.4 实时通信与存储转发通信	393
6.5.1 陆地卫星移动通信系统	305	8.6 频率分配	394
6.5.2 海事卫星移动通信系统	313	8.7 通信体制	396

8.7.1 多址体制	396	9.5.2 广域差分 GPS (WADGPS)	424
8.7.2 调制与编码	397	9.6 智能交通系统 (ITS)	425
8.8 小卫星通信系统的 关键技术	398	9.6.1 概述	425
8.9 纳米卫星	400	9.6.2 GPS 接收机	427
8.10 皮卫星	401	9.7 俄罗斯的全球导航卫星 系统	428
第 9 章 全球定位系统	403	9.7.1 GLONASS 的计划概述	428
9.1 概述	403	9.7.2 星座和轨道	429
9.2 GPS 信号的特性	404	9.7.3 卫星结构	430
9.2.1 频率分配和调制格式	404	9.7.4 地面设备	431
9.2.2 伪随机噪声 (PRN) 码的 产生	407	9.7.5 用户设备	432
9.2.3 功率电平	411	9.8 GPS 的应用	433
9.2.4 自相关特性	412	第 10 章 卫星电视	440
9.2.5 互相关特性	413	10.1 概述	440
9.3 GPS 接收机的码和载波 跟踪	415	10.2 电视信号原理	441
9.4 射频干扰对 GPS 接收机跟踪的 影响	417	10.2.1 模拟电视信号	441
9.4.1 干扰类型	417	10.2.2 数字电视信号	444
9.4.2 对码相关和环路滤波的 影响	417	10.3 卫星电视信号的传输	455
9.4.3 RF 干扰影响的分析	418	10.3.1 模拟卫星电视信号传输 系统	456
9.4.4 A/D 变换的影响	422	10.3.2 数字卫星电视信号传输 系统	457
9.4.5 C/A 码对 CW 干扰的易受性	422	10.4 卫星电视的应用	462
9.5 差分 GPS	423	10.4.1 卫星直播电视前景的展望	462
9.5.1 局域差分 GPS (LADGPS)	423	10.4.2 家用卫星电视接收系统	462
		参考文献	464

第 1 章 卫星通信的基本概念

1.1 概述

1.1.1 卫星通信的一般概念

1.1.1.1 卫星通信的定义

卫星通信是指利用人造卫星作中继站转发无线电信号，在多个地球站之间进行的通信，如图 1-1 所示。

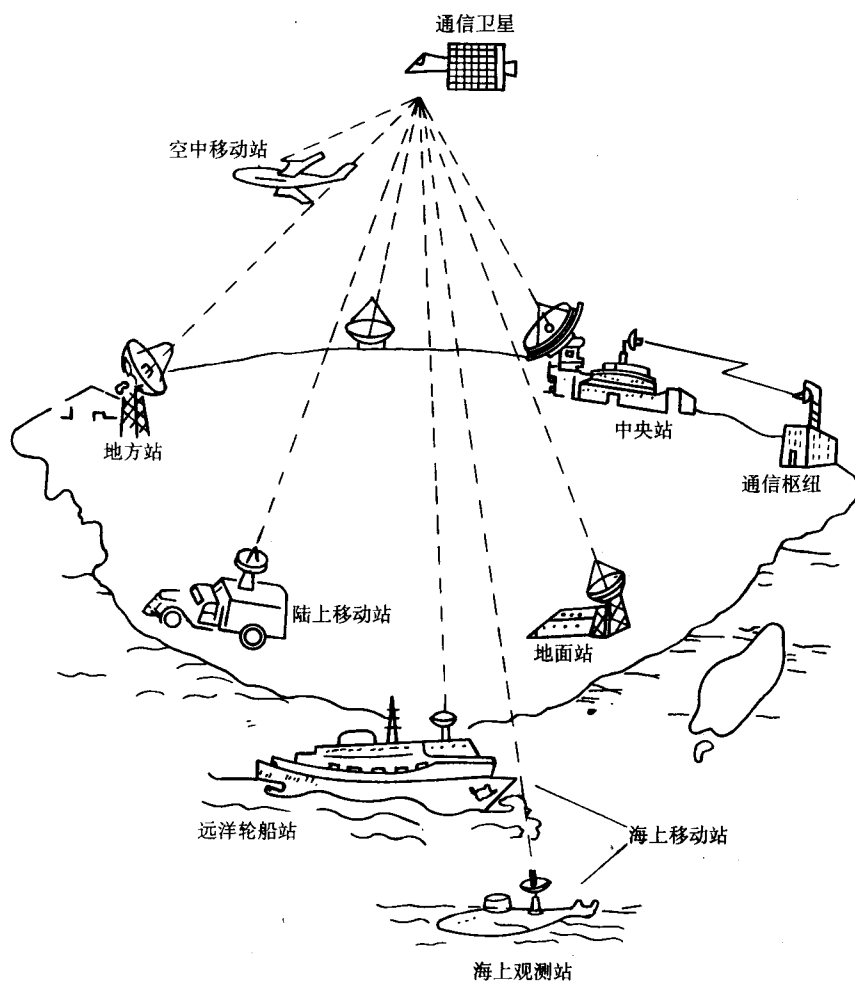


图 1-1 卫星通信示意图

图 1-1 中画出了一种比较简单的卫星通信系统。它只用一颗通信卫星，卫星的无线波束覆盖了全部通信站所在的地域，各通信站天线均指向卫星，这样各站都可通过卫星转发来进行通信。由此可见，卫星通信是地面微波接力通信的继承和发扬，是微波接力的一种特殊形式。

根据《无线电规则》规定，卫星固定业务指当使用一个或多个卫星时，在地球表面某些固定点之间所进行的无线电通信业务。位于地球表面固定点的台站称为卫星固定业务地球站。位于卫星星体上由卫星转发器及相关天线构成的台站，称为卫星固定业务空间站。

卫星系统是指为提供无线电通信而在一起工作的若干个空间站和地球站。

1.1.1.2 宇宙无线通信方式

1979 年世界无线电行政会议（WARC）规定宇宙无线电通信有 3 种方式：

- 1) 宇宙站与地球站之间的通信；
- 2) 宇宙站之间的通信；
- 3) 通过宇宙站的转发或反射而进行的地球站相互之间的通信。

这里所说的宇宙站是指设在地球的大气层以外的宇宙飞行体或其他行星、月球等天体上的通信站。地球站是指地球表面的通信站，包括地上、水面上、大气层中移动的或固定的通信站。

1.1.2 卫星通信系统的分类

今天，世界上已建立了几十个卫星通信系统，将来还要更多。归纳起来，可以从不同角度对它们进行分类。

(1) 按卫星运动方式分 可分为静止卫星通信系统和移动卫星通信系统。

(2) 按卫星轨道分 可分为同步轨道卫星通信系统、中高度轨道卫星通信系统和低高度轨道卫星通信系统。

(3) 按通信覆盖区分 可分为国际卫星通信系统、国内卫星通信系统和区域卫星通信系统。

(4) 按用户分 可分为公用卫星通信系统和专用卫星通信系统。

(5) 按多址方式分 可分为频分多址卫星通信系统、时分多址卫星通信系统、空分多址卫星通信系统和码分多址卫星通信系统。

(6) 按通信业务分 可分为固定地球站卫星通信系统、移动地球站卫星通信系统、广播业务卫星通信系统和科学试验卫星通信系统。

(7) 按基带信号分 可分为模拟卫星通信系统和数字卫星通信系统。

由以上的分类可见，它们都是从不同的侧面反映出卫星通信系统的特点、性质和用途，综合起来便可较全面地描绘出某一具体的卫星通信系统的特征。

1.1.3 卫星通信的发展概况

早在 1945 年 10 月，英国空军雷达军官阿瑟·克拉克在《地球外的中继站》一文中，最先对利用静止卫星进行通信提出了科学的设想。图 1-2 所示就是他所设想的卫星链路，用来实现全球通信。大约在 20 年后，这一设想变成了现实。

卫星通信的发展过程大致经历了以下两个阶段：

1. 卫星通信的试验阶段 (1954 ~ 1964 年)

(1) 无源卫星通信试验 1954 年 ~ 1964 年, 美国曾先后利用月球、无源气球、铜针无源偶极子带作中继站, 进行了电话、电视传输试验, 由于种种原因, 收到的信号质量不高, 实用价值不大。

(2) 有源卫星通信试验 主要有以下几种:

1) 低轨道延迟式试验通信卫星。1958 年 12 月, 美国阿特拉斯火箭将一颗重 $150\text{lb}^{\ominus}$ 的“斯柯尔”卫星射入椭圆轨道 (近地点为 200km , 远地点为 1700km), 星上发射机输出功率为 8W , 频段为 150MHz 。为使远离的甲乙两站通信, 卫星飞到甲站上空先将甲站发出的信息 (电传、电报) 录音, 待到卫星飞到乙站上空时, 再将录音转发。此外还试验了实时通信, 卫星成功工作了 20 天, 因电池耗尽停止工作。

1960 年 10 月, 美国国防部发射了“信使”通信卫星进行了与上述类似的试验。

2) 中高度轨道试验通信卫星。1962 年 6 月, 美国宇航局用“德尔他”火箭把“电星”卫星送入 $1060 \sim 4500\text{km}$ 的椭圆轨道; 1963 年又发射了另一颗卫星, 重 170lb , 输出功率为 3W , 上行射频为 6GHz , 下行射频为 4GHz , 用于美、英、法、德、意、日之间作电话、电视传真数据试验。

1962 年 12 月和 1964 年 1 月, 美国宇航局又发射了“中继”卫星, 进入 $1270 \sim 8300\text{km}$ 的椭圆轨道, 卫星重 172 磅, 发射机输出为 10W , 上、下行射频分别为 1.7GHz 和 4.2GHz , 在美国、欧洲、南美洲之间进行了多次通信试验。

3) 同步轨道试验通信卫星。1963 年 7 月和 1964 年 8 月, 美国宇航局先后发射 3 颗“辛康姆”卫星。第 1 颗未能进入预定轨道; 第 2 颗送入周期为 24h 的倾斜轨道, 进行了通信试验; 第 3 颗被射入类圆形静止同步轨道, 成为世界上第 1 颗试验性静止通信卫星, 利用它成功地进行了电话、电视和传真的传输试验, 并于 1964 年使用它向美国转播了在日本东京举行的奥林匹克运动会实况。至此, 卫星通信的早期实验阶段基本结束。

2. 卫星通信的实用和提高阶段 (1965 年)

1965 年 4 月, 西方国家财团组成的“国际卫星组织 (INTELSAT)”把第 1 代国际通信卫星 (INTELSAT-I), 简称 IS-I, 原名“晨鸟”射入静止同步轨道, 正式担任国际通信业务。两周后, 前苏联也成功地发射了第 1 颗非同步通信卫星“闪电-1”进入倾斜轨道 (倾角为 65° , 远地点为 40000km , 近地点为 500km 的准同步轨道, 运行周期为 12h), 对其北方、西伯利亚、中亚地区提供电视、广播、传真和一些电话业务。这标志着卫星通信开始进入实用、提高与发展的新阶段。

卫星的实用与发展大致可分为 4 个阶段:

(1) 第 1 阶段 始于 1965 年, 由国际卫星组织 (INTELSAT) 的同步卫星提供全球商业服务, 主要用于电话、传真和电视通信。

(2) 第 2 阶段 约在 1973 ~ 1982 年的 10 年间, 卫星通信系统主要提供电话、电视和一

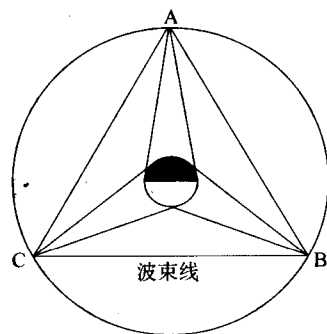


图 1-2 阿瑟·克拉克的卫星链路设想

$\ominus 1\text{lb} = 0.45359237\text{kg}$ 。

些基本数据业务的传输服务, 并提供了移动卫星业务, 如 INTELSAT、INMARSAT、INTER-SPUNIC 为陆地、空中、海上的用户提供固定和移动卫星通信业务。

(3) 第 3 阶段 从 1982~1990 年, 由于卫星通信技术的发展和一些国家电信业务的开放, 一方面卫星通信被逐步应用于专用商业网中的数据网、数话兼容网, 提供视频和音频压缩的传输服务; 另一方面, 出现了卫星直播业务, 利用卫星可以播放大量的电视节目。这一时期, 小站设在用户端的 VSAT (甚小口径天线卫星地面站) 网络得到了迅猛发展。目前, 它已广泛应用于电话/数据网、信息服务网, 以及银行、证券、民航、石油、海关、交通、军事、新闻、医疗和经贸等专业网。

(4) 第 4 阶段 从 1990 年起至今, 卫星通信领域进入了一个重要的发展新时期, LEO、MEO 和混合式轨道卫星通信系统开始广泛应用于全球电信网, 以满足宽带和移动用户的各种需求。尤其是 IP/ISP 技术、互联网业务的发展, 给传统的卫星通信的应用注入了新的活力, 使卫星通信的应用及业务进入了新的大发展时期。目前, 在传统的卫星通信业务继续应用的同时, 非对称 Internet 接入业务、交互式卫星远程教学、远程医疗、双向卫星会议电视、电子商务以及寻呼卫星覆盖等业务已经投入到实际应用中。

几十年来, 在国际通信、国内通信、国防通信、移动通信、广播电视等领域内, 卫星通信迅速发展。到目前为止, 全世界已经建成和正在建立的卫星通信系统有数十个, 在静止轨道上的通信卫星有一两百个, 地球站数以千计, INTELSAT 系统卫星亦从 IS-I 发展到 IS-IX。与此同时, 人们对卫星通信的新体制、新技术继续进行了广泛、深入的研究和试验, 取得了很大的提高和发展。

1.2 卫星通信

卫星通信是当前世界通信网络领域的一个组成部分, 它跨越了所有地面障碍, 为电话、电视及各类数据传输建立了完全可靠的全球性的通信链路。卫星通信的多址能力、分配能力、灵活性、易操作性以及易开通性已在各种新业务上得以发展应用。

1.2.1 卫星通信所使用的频率

卫星通信中工作频段的选择是一个十分重要的问题, 它直接影响到整个卫星通信系统的通信容量、质量、可靠性、设备的复杂程度和成本的高低, 并且还将影响到与其他通信系统的协调。一般来说, 卫星通信工作频段的选择, 必须根据需求与可能相结合的原则, 着重考虑下列因素:

- 1) 电波应能穿过电离层, 传播损耗和外部附加噪声应尽可能地小;
- 2) 应具有较宽的可用频带, 尽可能增大通信容量;
- 3) 较合理地使用无线电频谱, 防止各种宇宙通信业务之间以及与其他地面通信业务之间产生相互干扰;
- 4) 电子技术与器件的进展情况以及现有通信技术设备的利用与相互配合。

1.2.1.1 卫星通信频率范围的依据

从上面提到的主要因素看, 将卫星通信使用的频率范围选在微波波段是最合适的, 因为微波波段有很宽的频谱。而在具体确定使用频率的上下限时, 则要综合考虑与频率有关的天

线增益、各种传输损耗、各种噪声影响，以及与其他通信业务之间的干扰问题。图 1-3 所示为空间噪声温度与频率之间的关系。从图中可见，空中存在着各种噪声，对微波信号都有衰落和吸收作用，因此我们必须选用空间噪声影响最小的频段进行卫星通信。

对图 1-3 的分析可知，2~10GHz 频段为空间各类噪声对微波信号影响最小的频段，我们就是把这一频段称为“微波窗”。卫星通信选用的就是“微波窗”中的频段。

1.2.1.2 当前卫星通信使用的频段

表 1-1 所示为卫星固定业务的频段。

目前，大部分国际通信卫星尤其是商业卫星作用 6/4GHz C 波段，上行频率为 5.850~6.425GHz，下行频率为 3.625~4.200GHz。国内区域性通信卫星也多数使用该频段。许多国家的政府和军事卫星用 8/7GHz，上行频率为 7.925~8.425GHz，下行频率为 7.25~7.75GHz，这样与民用卫星通信系统在频率上分开，避免干扰。

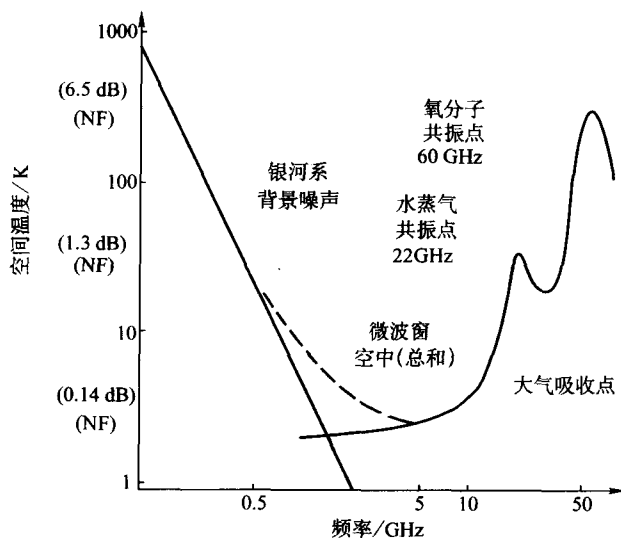


图 1-3 空间噪声温度与频率之间的关系

表 1-1 卫星固定业务的频段

波段	频段/GHz		备 注
	上行(带宽)	下行(带宽)	
6/4GHz (C 波段)	5.850 ~ 6.425 (575MHz)	3.625 ~ 4.200 (575MHz)	应用最广泛
	5.725 ~ 6.275 (550MHz)	3.400 ~ 4.900 (500MHz)	INTERSPUTNIK(静止)等
	5.850 ~ 7.075 (1225MHz)	3.4 ~ 4.2 4.5 ~ 4.8 (1100MHz)	全部扩展频段为 WARC-79 所安排
8/7GHz (X 波段)	7.925 ~ 8.425 (500MHz)	7.25 ~ 7.75 (500MHz)	政府及军事通信卫星使用
14/11GHz (Ku 波段)	14 ~ 14.5 (500MHz)	10.95 ~ 11.2 11.45 ~ 11.7 (500MHz)	
	12.75 ~ 13.25 14 ~ 14.5 (1000MHz)	10.7 ~ 11.7 (1000MHz)	全部扩展频段为 WARC-79 所安排
14/12GHz (Ku 波段)	14 ~ 14.5	11.7 ~ 12.5	
	14 ~ 14.25 (500MHz)	12.5 ~ 12.75 (750MHz)	
30/20GHz (Ka 波段)	27.5 ~ 31 (3500MHz)	17.7 ~ 21.2 (3500MHz)	

由于 6/4GHz 通信卫星的拥挤以及与地面网干扰, 目前已开发与使用了 Ku 波段。在这频段上, 上行频率采用 14 ~ 14.5GHz, 下行频率为 10.95 ~ 11.2GHz 和 11.45 ~ 11.7GHz 或 11.7 ~ 11.9GHz 和 12.5 ~ 12.75GHz, 用于民用卫星通信和广播卫星通信。Ku 波段与 C 波段相比, 其优点是:

1) 由于不同于地面中继线路所用频段, 因此不存在与地面网干扰问题, 地球站天线可设在城市中心建筑物顶上工作, 将接收到的信息直接传输给用户, 因而比较简单, 费用较低, 卫星的发射功率也可不受限制。

2) 若地球站及卫星的天线尺寸一定, Ku 波段波束比 C 波段的一半还窄, 这意味着用 Ku 波段的静止卫星在赤道上要比 C 波段的可多放一倍, 从而缓和了赤道轨道卫星的拥挤问题; 另一方面卫星也便于多波束工作。

3) 相同尺寸的卫星天线, 其增益接收时是 C 波段的 5.33 倍, 发射时是 9.15 倍, 总的改善为 16.9dB。这一改善可用于弥补增加的传输损耗以及恶劣天气时增加的吸收损耗和噪声, 或把地球站做小些及使用低成本卫星。

Ku 波段的缺点是在暴雨、浓云、密雾等恶劣天气情况下, 接收系统的 C/T 值下降很大, 在 Ku 波段卫星通信网中的地球站必须避免低仰角。

Ka 波段 (30/20GHz) 也已开始应用, 上行频率为 27.5 ~ 31GHz, 下行频率为 17.7 ~ 21.2GHz。该频段的可用带宽可增大到 3500Hz, 但降雨的影响相当严重。

由于空间通信是超国界的, 如果对工作频率不实行分配和控制, 就会发生相互干扰。国际电信联盟 (ITU) 主持召开的无线电行政会议对空间使用的频率作了一系列的分配。无线电有关规定中将世界划分为 3 个区域: I 区包括欧、非、前苏联的亚洲部分、蒙古人民共和国、伊朗西部边界以西的亚洲国家; II 区包括南美洲、北美洲、格陵兰、夏威夷; III 区包括亚洲的其他部分、澳大利亚、新西兰, 如图 1-4 所示。

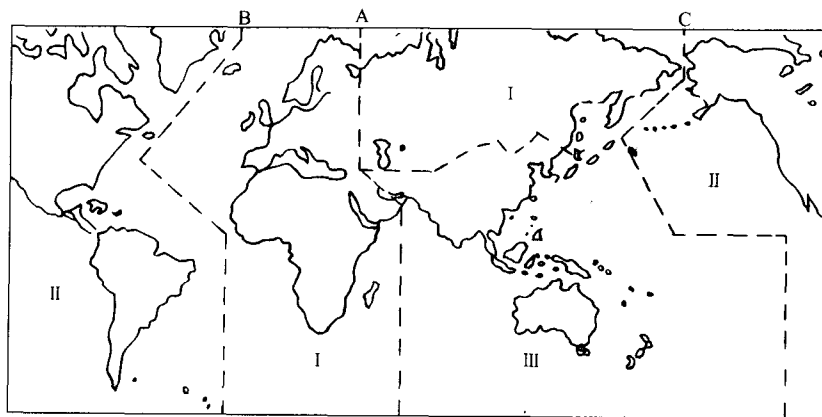


图 1-4 无线电频率划分区域示意图

卫星通信频率分配的特点大致是这样的:

1) 分配给静止通信卫星的频率中, 大约有 3/5 的频率分配给固定通信业务; 约有 2/5 分配给移动通信业务, 包括航空移动通信业务及航海移动通信业务。

2) 低于 2.5GHz 频率的分配 (处于 UHF 段), 大部分用于非同步卫星或有特殊任务的卫

星, 以及用 UHF 段向静止卫星发送指令。由于 UHF 段的频率具有设备结构简单可靠、多普勒频移小和费用低的优点, 军事上在车辆、船舶和飞机上使用 UHF 段, 采用一些小的天线进行战术卫星通信。

3) 国际上分配的频段要由国家有关部门再次分配给该国的各种应用, 包括分配给政府、军用、民用等。

1.2.1.3 卫星通信的频率再用

为了提高卫星通信频段的利用率, 在卫星通信系统中采用了下列两种方式实现频率再用:

(1) 波束分割频率再用 利用卫星上不同波束方向的天线, 实现频率再用, 现主要采用的分别有半球波束、区域波束以及点波束来实现同一频率同时服务于不同的区域。

(2) 极化分割频率再用 利用两个相互正交的极化波在同一频率、同一时间传送两组独立的信号, 相互之间没有干扰。不同覆盖区域内的两个正交极化波的利用, 可实现双重频率再用。

1.2.2 卫星通信的多址方式

1.2.2.1 多址连接方式的概述

1. 多路复用与多址方式

多路复用技术在地面微波接力通信中已普遍应用。多路复用是 把一个地球站传输的多个用户的电话信号组合在一起 (叫做基带信号), 并且共用一条信道。目前常用的多路复用方式有频分多路复用 (FDM) 和时分多路复用 (TDM) 等方式。

多址方式是指在卫星天线波束覆盖区内的多个地球站, 通过同一颗卫星的中继, 建立两址和多址之间的通信。多路复用与多址方式是不同的两个概念。目前, 在卫星通信中使用的多址连接方式, 主要有频分多址、时分多址、空分多址和码分多址等 4 种方式。

2. 多址方式的信道分配技术

在卫星通信的多址方式中要涉及信道的分配技术。信道分配技术是指使用信道时的信道分配方法, 具体来说可分为预分配方式和按需分配方式两种。

(1) 预分配方式

1) 固定预分配方式。在卫星通信系统设计时, 把信道按频率、按时隙或按其他无线电信号参量分配给各地球站, 每个站分到的数量可以不相等, 而以该站与其他站通信业务量多少来决定。分配后使用时信道的归属一直不变, 即各地球站只能使用自己的信道, 不论业务量大小、线路忙闲, 都不能占用其他站的信道或借出自己的信道。这种信道分配方式就是固定预分配方式。这种预分配方式的优点是通信线路的建立和控制非常简便, 缺点是信道利用率低, 所以这种分配方式只适用于通信业务量大的系统中。

2) 按时预分配方式。按时预分配方式是要对系统内各地球站间业务量随“时差”或随其他因素在一天内的变动规律进行调查和统计的, 然后规定通道一天内的固定调整方式。这种方式的通道利用率显然要比固定预分配方式高, 但从每个时刻来看, 这种方式也是属于固定预分配的, 所以它也只适用于大容量线路, 并且在国际通信网中较多采用。

(2) 按需分配方式 为了克服预分配方式的缺点, 提出了按需分配方式, 也叫按申请分配方式。按需分配方式的特点是所有的信道为系统中所有的地球站公用, 信道的分配要根据