



高等院校
通信与信息专业规划教材

卫星通信系统

王秉钧 王少勇 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校通信与信息专业规划教材

卫星通信系统

王秉钧 王少勇 编著



机械工业出版社

本书系统地讲述了现代卫星通信系统的基本原理、基本技术和系统设计方法。全书共分8章,内容包括卫星通信系统概述、通信卫星和地球站设备、卫星通信的多址技术、链路预算和系统设计、VSAT卫星通信网、移动卫星通信系统、典型系统简介、卫星业务与Internet等。

本书可供通信工程、信息工程、计算机通信和其他相近专业本科生作为专业课教材,也可供研究生、科技工作者和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

卫星通信系统/王秉钧,王少勇编著. —北京:机械工业出版社, 2004.6

高等院校通信与信息专业规划教材

ISBN 7-111-14213-6

I. 卫... II. ①王... ②王... III. 卫星通信系统—高等学校—教材 IV. TN927

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第022160号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:陈振虹 版式设计:冉晓华

责任校对:樊钟英 责任印制:闫焱

北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004年5月第1版第1次印刷

787mm×1092mm/16·11 印张·267千字

0 001—5 000册

定价:18.00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)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

高等院校通信与信息专业规划教材

编委会名单

(按姓氏笔画排序)

| | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 编委会主任 | 乐光新 | | | |
| 编委会副主任 | 张文军 | 张思东 | 杨海平 | 徐澄圻 |
| 编委会委员 | 王金龙 | 冯正和 | 刘增基 | 李少洪 |
| | 邹家禄 | 吴镇扬 | 赵尔沅 | 南利平 |
| | 徐惠民 | 彭启琮 | 解月珍 | |
| 秘书长 | 胡毓坚 | | | |
| 副秘书长 | 许晔峰 | | | |

出版说明

为了培养 21 世纪国家和社会急需的通信与信息领域的高级科技人才，配合高等院校通信与信息专业的教学改革和教材建设，机械工业出版社会同全国在通信与信息领域具有雄厚师资和技术力量的高等院校，组成阵容强大的编委会，组织长期从事通信与信息专业教学工作的骨干教师编写了这套面向普通高等院校的通信与信息专业系列教材，并将陆续出版。

这套教材力求做到：专业基础课教材概念清晰、理论准确、深度合理，并注意与专业课教学的衔接；专业课教材覆盖面广、深度适中，不仅体现相关领域的最新进展，而且注重理论联系实际。

这套教材的选题是开放式的。随着现代通信与信息技术的发展，我们将不断更新和补充选题，使这套教材及时反映通信与信息领域的新发展和新技术。我们也欢迎在教学第一线有丰富教学经验的教师及通信与信息领域的科技人员积极参与这项工作。

由于通信与信息技术发展迅速，而且涉及领域非常宽，这套教材的选题和编审中如有缺点和不足之处，诚恳希望各位老师和同学提出宝贵意见，以利于今后不断改进。

机械工业出版社
高等院校通信与信息专业规划教材编委会

前 言

本书是为通信工程、信息工程、计算机通信和其他相近专业的本科高年级学生编写的教材。

本书系统地介绍了现代卫星通信系统的基本原理、基本技术和系统设计方法，以及国际上和我国在卫星通信方面的现状和新技术发展。全书共分8章，包括卫星通信系统概述、通信卫星与地球站设备、卫星通信的多址技术、链路预算和系统设计、VSAT卫星通信网、移动卫星通信系统、典型系统简介、卫星业务与Internet等。

为了适应当前高校课程门类多、课时压缩的教学特点，力求在概念和原理的讲述上严格、准确、精练、理论适中、实例丰富，避免与其他课程在内容上重复。

本书力求体现科学性、系统性、完整性和先进性的编写原则。写作方法力求深入浅出、图文并茂、循序渐近，便于读者阅读和自学。

在本书编写过程中，我们参考了很多国内外最新著作和文献，在此对这些参考文献的作者表示感谢。由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和错误，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 概述 1

1.1 卫星通信的基本概念 1

1.1.1 卫星通信的定义 1

1.1.2 静止卫星通信 2

1.1.3 卫星通信系统的分类 3

1.2 静止卫星通信的特点 4

1.2.1 主要优点 4

1.2.2 不足 5

1.3 卫星通信系统和卫星通信线路的组成 7

1.3.1 卫星通信系统的组成 7

1.3.2 卫星通信线路的组成 7

1.4 卫星通信工作频段及电波传播特点 8

1.4.1 工作频段的选择 8

1.4.2 电波传播的特点 10

1.5 习题 15

第2章 通信卫星和地球站设备 16

2.1 通信卫星的种类 16

2.2 卫星轨道 16

2.2.1 卫星运动的基本规律 16

2.2.2 卫星轨道的分类 19

2.2.3 卫星的摄动 20

2.2.4 卫星的位置保持和姿态控制 21

2.3 通信卫星的覆盖 23

2.3.1 通信卫星的覆盖图 23

2.3.2 静止卫星覆盖范围的确定 24

2.3.3 方位角、仰角和站星距的计算 25

2.3.4 卫星“共视区” 27

2.4 通信卫星的组成 27

2.4.1 空间平台 27

2.4.2 通信卫星的有效载荷 30

2.4.3 通信卫星举例 32

2.5 静止轨道通信卫星发射 34

2.6 卫星通信地球站 36

2.6.1 地球站的种类 36

2.6.2 地球站的组成 37

2.7 习题 43

第3章 卫星通信的多址技术 44

3.1 多址技术与信道分配技术的概念 44

3.2 频分多址 (FDMA) 方式 45

3.2.1 预分配-频分多址方式 45

3.2.2 单路单载波-频分多址 (SCPC /FDMA) 方式 45

3.2.3 按需分配-频分多址 (SPADE) 方式 45

3.2.4 数字制多路复用频分多址方式 46

3.2.5 星上交换 SS-FDMA 47

3.2.6 频分多址方式的互调干扰与能量扩散 48

3.3 时分多址 (TDMA) 方式 50

3.3.1 系统结构 50

3.3.2 TDMA系统的同步 52

3.3.3 数字语音内插 (DSI) 52

3.4 频分多址-时分多址 (FDMA-TDMA) 方式 55

3.5 卫星交换-时分多址 (SS-TDMA) 方式 56

3.6 码分多址 (CDMA) 方式 57

3.6.1 直接序列码分多址系统 57

3.6.2 跳频码分多址系统 58

3.7 ALOHA 方式 58

3.7.1 纯 ALOHA (P-ALOHA) 方式 58

3.7.2 S-ALOHA (时隙 ALOHA) 方式 59

3.7.3 C-ALOHA (捕获效应 ALOHA) 方式 60

3.7.4 R-ALOHA (预约 ALOHA) 方式 60

3.7.5 SREJ-ALOHA (选择拒绝 ALOHA)

| | | | |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------------------|------------|
| 方式 | 60 | 5.6.3 通信体制的选择 | 101 |
| 3.8 习题 | 61 | 5.6.4 链路预算 | 102 |
| 第4章 链路预算和系统设计 | 62 | 5.6.5 网络设计 | 102 |
| 4.1 卫星通信链路载波功率的计算 | 62 | 5.7 习题 | 104 |
| 4.2 卫星通信线路噪声功率的计算 | 63 | 第6章 移动卫星通信系统 | 105 |
| 4.3 卫星通信线路载波功率与噪声 功率比 | 64 | 6.1 移动卫星通信系统的分类及特点 | 105 |
| 4.3.1 上行线路载噪比与卫星接收机 性能指数 | 64 | 6.1.1 移动卫星通信系统的分类 | 105 |
| 4.3.2 下行线路载噪比与地球站性能 指数 | 66 | 6.1.2 移动卫星通信系统的特点 | 106 |
| 4.3.3 卫星转发器载波功率与互调 噪声功率比 | 67 | 6.1.3 移动卫星通信系统的关键 技术及发展趋势 | 107 |
| 4.3.4 卫星通信线路的总载噪比 | 68 | 6.2 国际移动卫星通信系统 (INMA- RSAT) | 108 |
| 4.3.5 门限余量和降雨余量 | 68 | 6.2.1 INMARSAT 系统概述 | 108 |
| 4.4 数字卫星通信线路设计 | 70 | 6.2.2 INMARSAT 系统的构成 | 109 |
| 4.4.1 SCPC 系统线路的计算 | 70 | 6.2.3 各类 INMARSAT 终端简介 | 110 |
| 4.4.2 PSK 数字卫星通信线路的 设计 | 75 | 6.3 静止轨道 (GEO) 区域移动卫星 通信系统 | 111 |
| 4.5 卫星通信系统总体设计的一般 程序 | 79 | 6.3.1 北美移动卫星通信系统—— MSAT | 112 |
| 4.6 习题 | 79 | 6.3.2 亚洲蜂窝系统——AceS | 114 |
| 第5章 VSAT 卫星通信网 | 81 | 6.4 低轨道 (LEO) 移动卫星通信 系统 | 115 |
| 5.1 VSAT 卫星通信网的基本概念及其 特点 | 81 | 6.4.1 概述 | 115 |
| 5.2 VSAT 网的组成及网络结构 | 81 | 6.4.2 “铱” (Iridium) 系统 | 116 |
| 5.2.1 VSAT 网的组成 | 81 | 6.4.3 “全球星” (Globalstar) | 118 |
| 5.2.2 VSAT 网的网络结构 | 84 | 6.5 中轨道 (MEO) 移动卫星通信 系统 | 120 |
| 5.3 VSAT 业务类型及应用 | 85 | 6.5.1 ICO 系统概述 | 121 |
| 5.4 VSAT 数据通信网 | 86 | 6.5.2 ICO 系统的组成 | 121 |
| 5.4.1 卫星数据网的主要特点 | 86 | 6.5.3 ICO 系统的空间段 | 122 |
| 5.4.2 VSAT 网络体系结构 | 87 | 6.5.4 ICO 系统的地面段 | 123 |
| 5.4.3 VSAT 数据网多址协议 | 88 | 6.5.5 ICO 系统的用户段 | 124 |
| 5.4.4 卫星时延的补偿 | 90 | 6.6 习题 | 124 |
| 5.4.5 VSAT 数据网的响应时间 | 92 | 第7章 典型系统简介 | 125 |
| 5.5 VSAT 电话网 | 93 | 7.1 IDR 卫星通信系统 | 125 |
| 5.5.1 VSAT 电话网的特点 | 93 | 7.1.1 IDR 的组成及其特点 | 125 |
| 5.5.2 VSAT 话务量分析 | 93 | 7.1.2 IDR 的主要技术特性 | 125 |
| 5.5.3 VSAT 电话网的技术体制选择 | 96 | 7.1.3 DCME 技术在 IDR 系统中的 应用 | 127 |
| 5.5.4 VSAT 电话网的 DAMA 方式 | 97 | 7.2 IBS 商用业务系统 | 128 |
| 5.6 VSAT 网的总体方案设计 | 98 | 7.2.1 传输参数 | 128 |
| 5.6.1 用户需求分析 | 99 | 7.2.2 地球站标准 | 129 |
| 5.6.2 确定使用的卫星 | 100 | 7.2.3 IBS 业务类型和业务质量 | 130 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----|---|-----|
| 7.3 卫星电视系统 | 130 | 8.1.3 TCP/IP 的拥塞控制机制 | 143 |
| 7.3.1 卫星电视广播系统的组成 | 131 | 8.2 卫星链路影响 TCP 性能的主要 因素 | 145 |
| 7.3.2 卫星电视基带信号 | 131 | 8.3 卫星链路对 TCP 性能的影响 | 146 |
| 7.3.3 卫星电视广播信号的传播 | 132 | 8.4 改善卫星链路影响 TCP 性能的 途径 | 147 |
| 7.3.4 卫星电视广播方式 | 133 | 8.4.1 在卫星信道中使用标准机制来 增强 TCP | 147 |
| 7.3.5 卫星直播电视系统终端设备 | 133 | 8.4.2 减轻卫星链路上 TCP 的载荷 | 152 |
| 7.4 平流层通信 | 134 | 8.4.3 TCP 欺骗法和协议转换法 | 152 |
| 7.4.1 平流层通信概述 | 134 | 8.4.4 隧道技术 (tunnelling) | 153 |
| 7.4.2 平流层通信系统的组成及 特点 | 134 | 8.5 非对称信道 | 153 |
| 7.4.3 平流层通信业务 | 136 | 8.6 现有宽带 IP 卫星通信系统 | 155 |
| 7.5 其他数字卫星通信系统 | 136 | 8.6.1 基于现有 DVB 技术的宽带 卫星 IP 通信系统 | 155 |
| 7.5.1 星上信号处理卫星通信系统 | 136 | 8.6.2 基于 S-UMTS (Satellite-UMTS) 的移动 IP 系统 | 157 |
| 7.5.2 VSAT 会议电视系统 | 137 | 8.6.3 宽带 IP 卫星通信关键技术 | 159 |
| 7.5.3 第三代卫星通信技术 | 137 | 8.6.4 宽带多媒体卫星网络 | 162 |
| 7.5.4 数据广播 | 137 | 8.7 习题 | 164 |
| 7.6 习题 | 138 | 参考文献 | 165 |
| 第 8 章 卫星业务与 Internet | 140 | | |
| 8.1 TCP/IP 协议简介 | 140 | | |
| 8.1.1 TCP/IP 协议数据 | 141 | | |
| 8.1.2 传输控制协议 TCP | 141 | | |

第 1 章 概 述

1.1 卫星通信的基本概念

1.1.1 卫星通信的定义

卫星通信是指利用人造地球卫星作为中继站转发或反射无线电信号，在两个或多个地球站之间进行的通信。这里地球站是指设在地球表面（包括地面、海洋和大气中）的无线电通信站。而用于实现通信目的的这种人造卫星叫作通信卫星。如图 1-1 所示。

图 1-1 表示在一颗通信卫星天线波束覆盖的地球表面区域内，各种地球站通过卫星中继，转发信号来进行通信的情况。因此，卫星通信实际上就是利用通信卫星作为中继站的一种特殊的微波中继通信方式。

卫星通信是宇宙无线电通信的形式之一。在国际电信联盟 (ITU) 的世界无线电行政会议 (WARC) 通过的规定中，确定了有关卫星通信的术语和定义。通常，把以宇宙飞行体为对象的无线电通信统称为宇宙通信，但按照国际电联的规定，它被正式称为宇宙无线电通信。共同进行宇宙无线电通信的一组宇宙站和地球站叫作宇宙系统。这里宇宙站是指设在地球大气层之外的宇宙飞行体（如人造通信卫星，宇宙飞船等）或其他天体（如月球或别的行星）上的通信站。宇宙通信有三种基本形式，如图 1-2 所示。

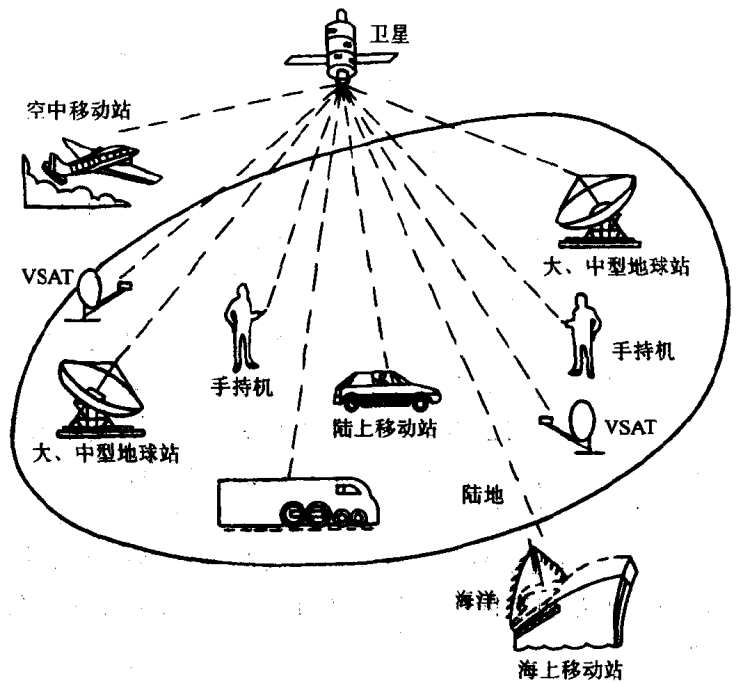


图 1-1 卫星通信示意图

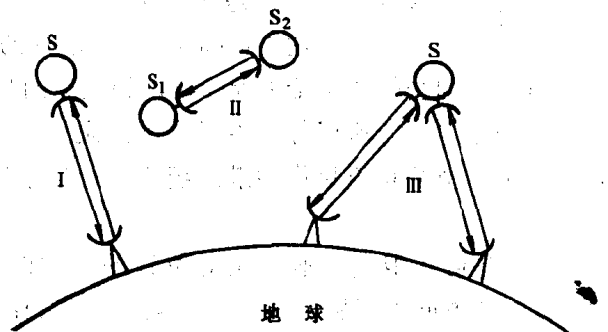


图 1-2 宇宙无线电通信的三种基本形式
I 地球站与宇宙站之间的通信 II 宇宙站之间的通信
III 通过宇宙站的转发或反射进行的地球站之间的通信

图 1-2 中的 III 所示的通信方式通常称为卫星通信。当卫星是静止卫星时称为静止卫星通信。利用卫星来传输电视时，常称为宇宙转播或卫星转播。

图 1-2 中三种基本形式的组合形成的各种星间通信系统如图 1-3 所示。

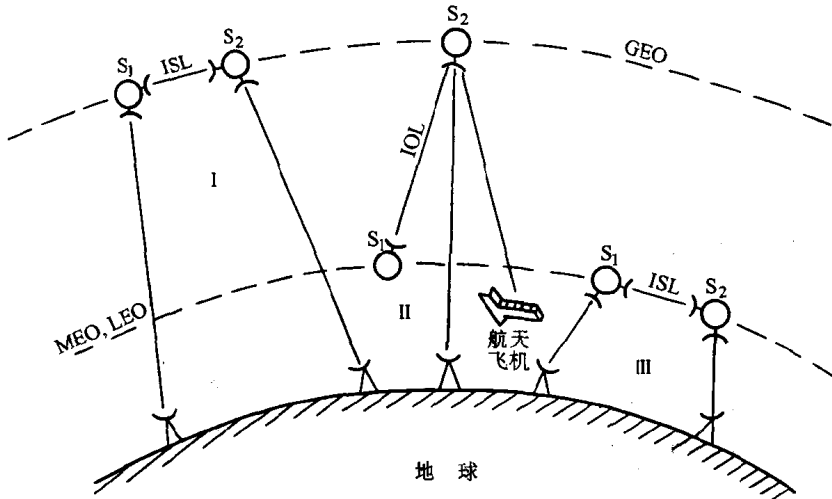


图 1-3 星间通信形式

I 静止轨道间 (GEO-GED) 的星间通信 II 静止轨道与低、中轨道移动卫星和宇宙平台等飞行器间 (GEO-LEO, GEO-MEO) 的星间通信 III 静止轨道以外的多个宇宙飞行器间的星间通信

一般称同轨道卫星间的线路为星间链路 (ISL, Inter Satellite Links), 不同轨道宇宙站间的线路称为星际链路 (IOL, Inter-Orbit Links)。

美国休斯通信公司正在开发的 SPACEWAY 毫米波全球卫星通信系统是利用静止轨道星间链路的典型例子。而美国摩托罗拉公司提出的“铱”系统是利用低轨道星间通信链路连接, 构成全球通信网的典型实例。跟踪与数据中继卫星系统 (TDRSS) 是最具代表性的使用 IOL 的星间通信系统。其中航天飞机或低轨道卫星同地面之间保持连续通信的途径之一是以两颗跟踪和数据中继卫星 (TDRS) 作为中继站, 在航天飞机或低轨道卫星和地面站之间建立通信。

1.1.2 静止卫星通信

目前, 绝大多数通信卫星是地球同步卫星 (静止卫星)。这种卫星的运行轨道是赤道平面内的圆形轨道, 距地面约 36 000km。它运行的方向与地球自转的方向相同, 绕地球旋转一周的时间, 即公转周期恰好是 24h, 和地球的自转周期相等, 从地球上看去, 如同静止一般, 故叫静止卫星。所以静止卫星并不是说卫星真的静止不动, 而是与地球同步运行, 故又叫同步卫星。由静止卫星作中继站组成的通信系统称为静止卫星通信系统或称同步卫星通信系统。

图 1-4 是静止卫星与地球相对位置的示意图。从卫星向地球引两条切线, 切线夹角为 17.34° 。两切点间弧线距离为 18 101km, 可见在这个卫星电波波束覆盖区内的地球站均可通过该卫星来实现通信。若以 120° 的等间隔在静止轨道上配置三颗卫星, 则地球表面除了两极区未被卫星波束覆盖外, 其他区域均在覆盖范围之内, 而且其中部分区域为两个静止卫星波束的重叠地区, 因此借助于在重叠区内地球站的中继 (称之为双跳), 可以实现在不同

卫星覆盖区内地球站之间的通信。由此可见，只要用三颗等间隔配置的静止卫星就可以实现全球通信，这一特点是任何其他通信方式所不具备的。目前国际卫星通信组织负责建立的世界卫星通信系统 (INTELSAT)，简称 IS，就是利用静止卫星来实现全球通信的，静止卫星所处的位置分别在太平洋、印度洋和大西洋上空。它们构成的全球通信网承担着绝大部分的国际通信业务和全部国际电视转播。

除了上述能覆盖 1/3 地球表面的全球波束 (又叫覆球波束) 之外，对于固定卫星业务和陆地卫星业务，事实上只要保证覆盖陆地即可，没有必要覆盖海洋。对于区域通信或国内通信，也只要求卫星能覆盖特定地区。因此，可以根据特定业务的需要来设计卫星天线，因而出现了半球波束、区域波束、国内波束、点波束以及形形色色的覆盖特定区域的成形波束，如图 1-5 所示。这样的波束较全球波束窄，可以提高卫星的有效辐射功率，从而增加系统容量。或者说，在系统容量不变的情况下，可减小地球站天线口径，从而增加地球站的机动性和灵活性，使地球站更接近用户或直接装于用户处，从而缩短或取消地球站与用户之间的引接电路。此外，利用点波束在地理位置上的分割、扫描等还可实现空分多址、频率再用以及其他特殊用途。

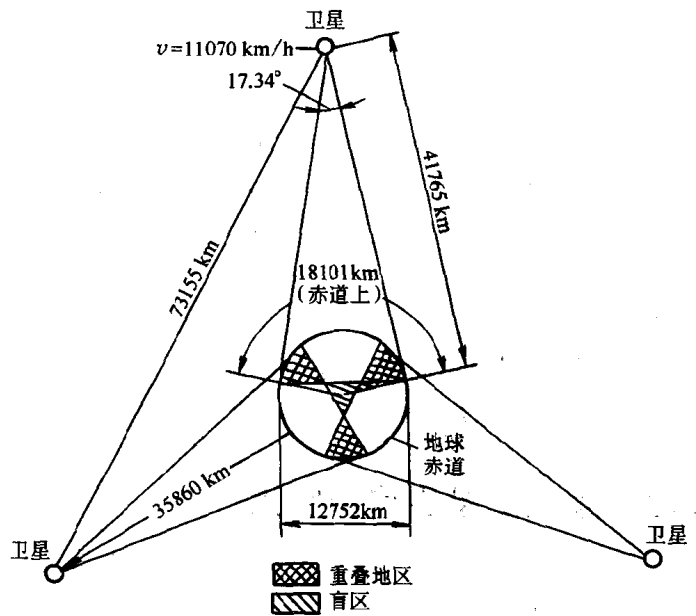


图 1-4 静止卫星配置的几何关系

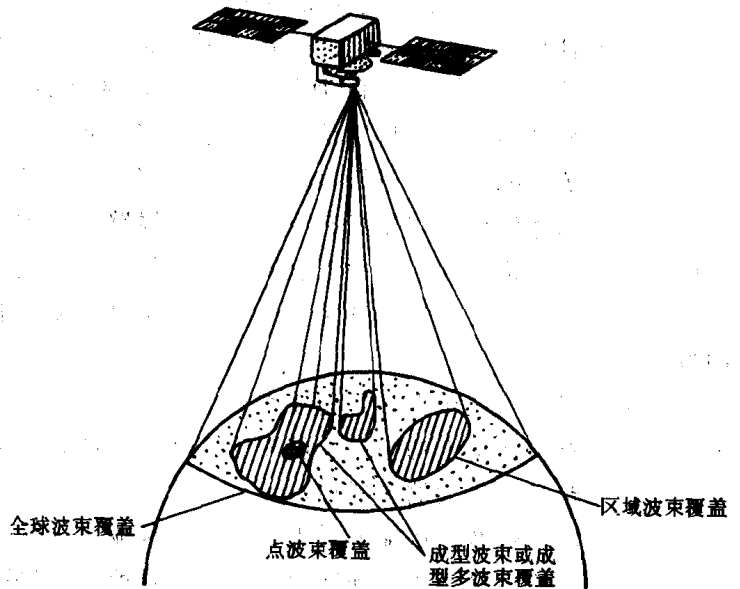


图 1-5 几种常见波束覆盖区域示意图

1.1.3 卫星通信系统的分类

卫星通信系统的分类方法很多，可以按照卫星的覆盖范围、用户性质、卫星制式、卫星轨道高度、卫星转发能力、基带信号体制、多址方式、通信业务种类以及通信频段等来划分。常见分类方法主要有：

(1) 按卫星的覆盖范围分, 有国际卫星通信系统、国内卫星通信系统和区域卫星通信系统。

(2) 按用户的性质分, 有公用卫星通信系统、专用卫星通信系统和军用卫星通信系统。

(3) 按卫星的制式分, 有静止卫星通信系统和非静止卫星通信系统(卫星绕地球运转一周不等于 24 小时)。非静止卫星通信系统又进一步分为:

① 随机卫星通信系统, 是指在不同的高度上排列有多颗卫星的通信系统, 这几颗卫星在高度不同的各自轨道上运行。

② 相位卫星通信系统, 是指在同一条卫星运行轨道上运行的、等间隔排列着多颗卫星的通信系统。

(4) 按卫星轨道高度可分为: 低轨道 (LEO)、中轨道 (MEO)、静止轨道 (GEO) 和高椭圆轨道 (HEO)。

1.2 静止卫星通信的特点

1.2.1 主要优点

(1) 通信距离远, 且费用与通信距离无关。由图 1-4 可见, 利用静止卫星, 最大通信距离达 18 000km 左右。而且建站费用和运行费用不因通信站之间的距离远近及两站之间地面上的自然条件恶劣程度而变化。这在远距离通信上, 比地面微波中继、电缆、光缆、短波通信等有明显的优势。除了国际通信外, 在国内或区域通信中, 尤其对边远城市、农村和交通、经济不发达地区, 卫星通信是极有效的现代通信手段。

(2) 覆盖面积大, 可进行多址通信。许多其他类型的通信手段, 通常只能实现点对点通信。例如地面微波中继线路只有干线或分支线路上的中继站方能参与通信, 不在这条线上的点就无法利用它进行通信。而卫星通信由于是大面积覆盖, 在卫星天线波束覆盖的整个区域内的任何一点, 都可设置地球站, 这些地球站可共用一颗通信卫星来实现双边或多边通信, 即进行多址通信。

由于卫星覆盖区域很大, 而且在这个范围内的地球站基本上不受地理条件或通信对象的限制。有一颗在轨道上的卫星, 就相当于在全国铺设了可以通过任何一点的无形的电路, 因此使通信线路具有很大的灵活性。

(3) 通信频带宽, 传输容量大, 适于多种业务传输。由于卫星通信使用微波频段, 信号所用带宽和传输容量要比其他频段大得多。目前, 卫星通信带宽可达 500~1 000MHz 以上。一颗卫星的容量可达数千路以至上万路电话, 并可传输高分辨率的照片和其他信息。

(4) 通信线路稳定可靠, 通信质量高。卫星通信的电波主要是在大气层以外的宇宙空间传输, 而宇宙空间是接近真空状态的, 可看作是均匀介质, 电波传播比较稳定。同时它不受地形、地物如丘陵、沙漠、丛林、沼泽地等自然条件的影响, 且不易受自然或人为干扰以及通信距离变化的影响, 故通信稳定可靠, 传输质量高。

(5) 通信电路灵活。地面微波通信要考虑地势情况, 要避开高空遮挡, 在高空中、海洋上都不能实现通信, 而卫星通信解决了这个问题, 具有较大的灵活性。

(6) 机动性好。卫星通信不仅能作为大型地球站之间的远距离通信干线, 而且可以为车

载、船载、地面小型机动终端以及个人终端提供通信，能够根据需要迅速建立同各个方向的通信联络，能在短时间内将通信网延伸至新的区域，或者使设施遭到破坏的地域迅速恢复通信。

(7) 可以自发自收进行监测。当收发端地球站处于同一覆盖区域内时，本站同样收到自己发出的信号，从而可以监视本站所发消息是否正确传输，以及传输质量的优劣。

由于卫星通信具有上述这些突出的优点，从而获得了迅速的发展，成为强有力的现代化通信手段之一。应用范围极其广泛，不仅用于传输话音、电报、数据等，且由于卫星所具有的广播特性，它也特别适用于广播电视节目的传送。

1.2.2 不足

1. 保密

卫星通信具有广播特性，一般来讲较易被窃听。因此，对于不公开的信息应注意采取保密措施。

通信系统保密主要从防窃听和信息加密两方面考虑。

(1) 防窃听。虽然卫星通信比有线通信较易被窃听，但采用先进的技术体制也能起到防止窃听的作用。例如，利用卫星信道时延长的特点，采用跳频技术；利用卫星信道频带宽的特点，采用扩频技术；利用卫星天线有多种覆盖的特点，采用点波束天线，使卫星转信能量集中在某一特定工作地区。

(2) 信息加密。对于现代侦听技术来说，防窃听已不足以解决通信保密问题，即便是地下电缆、海缆通信，也不能有效地防止窃听。所以，通信保密的重点应是信息加密。现代数字通信及计算机技术为信息加密提供了技术条件。卫星通信信道稳定，不论距离远近均可直达通信，便于传输同步数字加密信息。所以，为保密起见，卫星通信可选用数字通信体制及数字加密技术。

2. 时延

利用静止卫星进行通信，信号传播距离远，如果地球站天线仰角为 $5^\circ \sim 10^\circ$ ，则信号经卫星一次转接行程约 $8 \times 10^4 \text{ km}$ 。信号如果以 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 的光速传播，则 $8 \times 10^4 \text{ km}$ 的行程需 270 ms 。这样长的时延将带来回波干扰和话音重叠问题，如图 1-6 所示。卫星线路为 4 线传输，进入电话用户需经 2/4 线变换器，当 A 站向 B 站送话时，送话信号到达 B 站时由于 2/4 线变换器的网络

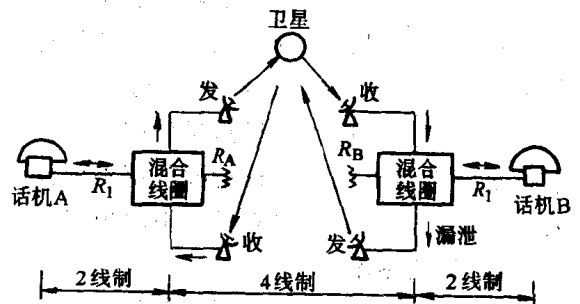


图 1-6 卫星线路基本构成

得不到完全平衡，大部分话音信号会送给 B 站用户，而有少部分话音信号漏入 B 站发信线路返回 A 站。如果传输时延短（如地面长市话线路一般小于 50 ms ），发送用户收到的返回信号几乎与发送信号同时间，发话者觉察不到回音。卫星通信时延较长，所以发话者会感觉有明显回音，这就是回波干扰。另一方面，由于传输时延较长、收信方应答时延也长，还会造成收方应答刚发出，发方尚未收到，认为没有应答又发出第二句话，与收方应答信号发生碰撞，这叫做通话重叠。所以，卫星电话采用了回波抑制或回波抵消设备，较好地解决了这个

问题。但是，卫星线路的传输时延并不能克服，往往打卫星电话使人感到对方应答慢，反映迟钝。这就要求打卫星电话时，讲话稍慢些；另外，通话尽量避免两次经过卫星转发的双跳通信。

3. 星蚀

静止卫星围绕地球赤道面旋转，当卫星、地球和太阳共处一条直线上时，地球挡住了阳光对卫星的照射，卫星进入地球的阴影区，造成了卫星的日蚀——星蚀，如图 1-7 所示。

星蚀发生在每年春分和秋分前后各 23 天的午夜，每天发生星蚀持续时间不等，最长时间为 72min，如图 1-8 所示。

幸好星蚀时间是卫星下面的地面时间接近午夜，是通信业务较少的时间。调整卫星位置使星下点位置东移或西移，可改变星蚀出现的时间；卫星位置西移 1° ，星蚀开始时间可推迟 4min；东移 1° 则可提前 4min。例如，某国内静止卫星在秋分那天的星蚀开始时间是平均太阳时间 23:17，现将卫星位置西移 26° ，则星蚀开始时间将推迟到 01:01。当然这种偏移将使地球站观看卫星的仰角发生变化，可能会带来一些不利影响，例如，传输损耗增加，但这种影响并不严重。

现在静止通信卫星一般都备有蓄电池供电系统，在星蚀期间，卫星所需的能源将由星载蓄电池供电，以保证通信不间断。但也有可能由于卫星重量所限，不能携带足够的蓄电池，这种情况下就不能保证星蚀期间全部转发器工作。所以在设计卫星时，

要综合用户需求、卫星重量、卫星位置等因素，统筹安排卫星上的能源。

4. 日凌中断

静止卫星围绕地球赤道面旋转，当地球、卫星和太阳共处一条直线上，如图 1-7 所示。这时地球站天线对准卫星的同时也就对准太阳，强大的太阳噪声进入地球站将造成通信中断——日凌中断。

日凌中断每年春分秋分前后发生共两回，每回约 6 天，每天中午持续最长时约 10min，这与地球站的天线口径、工作频率有关。例如，10m 天线的地球站，在 4GHz 工作，最长日凌中断时间约为 6min。

对于静止卫星通信系统来说，日凌中断是难以避免的。幸好中断时间较短，累积时间为全年的 0.02%，并且可以预报，必要时可采用主、备卫星转换办法来保证不间断通信。

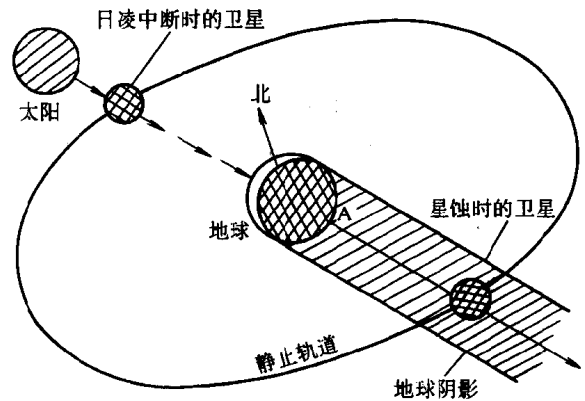


图 1-7 静止卫星的星蚀和日凌中断示意图

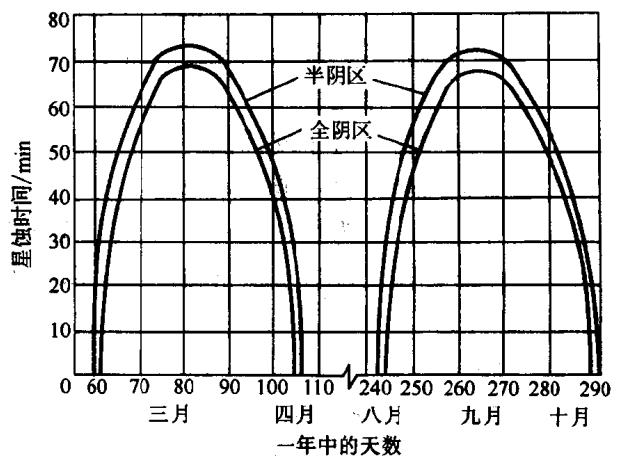


图 1-8 星蚀发生时间

1.3 卫星通信系统和卫星通信线路的组成

1.3.1 卫星通信系统的组成

图 1-9 表示了卫星通信系统的基本组成。通信卫星和各种卫星通信地球站是卫星通信系统中的重要组成部分，是实现通信链路中的两个重要环节。

事实上，为了保证系统的正常运行，卫星通信系统首先必须要有控制系统和监测管理系统的配合。

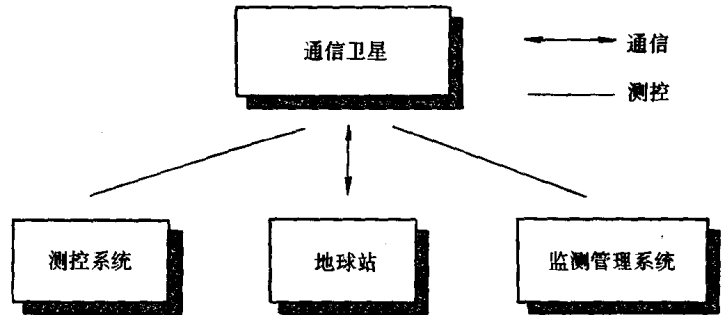


图 1-9 卫星通信系统的基本组成

监测管理系统的任务是：对通信卫星和地球站在业务开通前进行各项通信参数的测定；业务开通后，对卫星和地球站的各项通信参数进行监视和管理。

卫星测控系统的任务是：对卫星进行准确可靠的跟踪测量，控制卫星准确进入定点位置，卫星正常运行后，还要对它进行轨道修正、位置保持和姿态保持等控制。

1.3.2 卫星通信线路的组成

一个卫星通信系统包括许多通信地球站。由发端地球站、上行线传播路径、卫星转发器、下行线传播路径和收端地球站组成卫星通信线路，直接用于通信。其构成框图如图 1-10 所示。

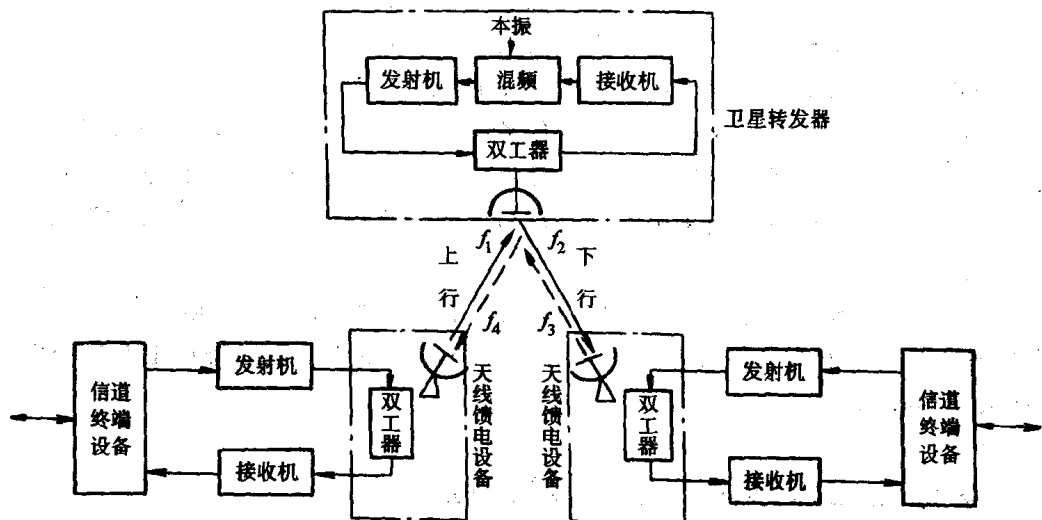


图 1-10 卫星通信线路的基本组成

1. 卫星转发器

通信卫星是一个设在空中的微波中继站，卫星中的通信系统称为卫星转发器，其主要功

能是：收到地面发来的信号后（称为上行信号），进行低噪声放大，然后混频，混频后的信号再进行功率放大，然后发射回地面（这时的信号称作下行信号）。卫星通信中，上行信号和下行信号频率是不同的，这是为了避免在卫星通信天线中产生同频率信号干扰。

一个通信卫星往往有多个转发器。每个转发器被分配在某一工作频段中，并根据所使用的天线覆盖区域，租用或分配给处在覆盖区域的卫星通信用户。

2. 通信地球站

通信地球站由天线馈线设备、发射设备、接收设备、信道终端设备等组成。

(1) 天线馈线设备。天线是一种定向辐射和接收电磁波的装置。它把发射机输出的信号辐射给卫星，同时把卫星发来的电磁波收集起来送到接收设备。收发支路主要是靠馈源设备中的双工器来分离的。

根据地球站的功能，天线口径可大到32m，也可小到1m或更小。大天线一般要有跟踪伺服系统，以确保天线始终对准卫星。小天线一般采用手动跟踪。

(2) 发射设备。发射设备是将信道终端设备输出的中频信号〔一般的中频频率是 (70 ± 18) MHz〕变换成射频信号（C—波段中是6GHz左右）并把这一信号的功率放大到一定值。功率放大器可以单载波工作，也可以多载波工作，输出功率可以从数瓦到数千瓦。

业务量大的大型地球站常采用速调管功率放大器，输出功率可达3 000W。中型地球站常采用行波管功率放大器，功率等级为100~400W。随着微波集成电路技术的发展，固态砷化镓场效应管放大器（又称固态功放）在小型地球站中被广泛采用，功率等级从0.25W到125W不等。如：TES地球站属小型地球站，采用了10W、20W两种固态功率放大器，其固态功放设备很小，可直接放在天线的馈源中心筒里。

(3) 接收设备。接收设备的任务是，把接收到的极其微弱的卫星转发信号首先进行低噪声放大（对4GHz左右的信号进行放大，而放大器本身引入的噪声很小），然后变频到中频信号〔一般的中频为 (70 ± 18) MHz〕，供信道终端设备进行解调及其他处理。

早期的大型站常采用冷参量放大器作为低噪声放大器，噪声温度低到20K；中等规模的地球站常采用常温参量放大器作为低噪声放大器，噪声温度低到55K；小型的地球站大多采用砷化镓场效应管放大器，噪声温度从40K到80K不等。

(4) 信道终端设备。对发送支路来讲，信道终端的基本任务是，将用户设备（电话、电话交换机、计算机、传真机等）通过传输线接口输入的信号加以处理，使之变成适合卫星信道传输的信号形式。对接收支路来讲，则进行与发送支路相反的处理，将接收设备送来的信号恢复成用户的信号。

对用户信号的处理，可包括模拟信号数字化，信源编码/解码、信道编码/解码、中频信号的调制/解调等。目前有各种卫星通信系统，各种通信系统的主要特点主要集中在信道终端设备所采用的技术上。

1.4 卫星通信工作频段及电波传播特点

1.4.1 工作频段的选择

卫星通信工作频段的选择是个十分重要的问题。它将影响到系统的传输容量、地球站及