

21世纪

高等学校电子信息类规划教材

微波与卫星通信

□ 主编 李白萍 姚军



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

内 容 简 介

本书系统地阐述了数字微波与卫星通信中所涉及的基本原理、相关技术及设计应用,注重两种通信系统的比较与联系,以及最新技术的发展情况。

全书共分8章,内容包括微波与卫星通信的基本概念、特点、系统组成及频率配置;微波传输通道;微波与卫星通信中的调制技术、编码技术以及信号处理技术;卫星通信中的多址技术;微波与卫星通信系统设计;大容量无线通信系统;卫星通信系统在 Internet 及 GPS 中的应用。

本书可作为高等院校通信类专业的教材,也可作为通信工程领域技术人员的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微波与卫星通信/李白萍,姚军主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2006.9

21 世纪高等学校电子信息类规划教材

ISBN 7-5606-1693-3

I. 微… II. ①李… ②姚… III. ①微波通信-高等学校-教材 ②卫星通信-高等学校-教材

IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 089155 号

责任编辑 郭云辉 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www. xduph. com

E-mail: xdupfxb@pub. xaonline. com

经 销 新华书店

印 刷 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 11.875

字 数 275 千字

印 数 1~4000 册

定 价 15.00 元

ISBN 7-5606-1693-3/TN·0343

XDUP 1985001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

微波通信作为一种重要的通信手段, 在我国的通信网中起到过重要的作用。随着信息技术的发展, 微波通信已进入数字时代。而作为实现全球个人通信不可缺少的卫星通信, 在近些年也得到了迅速的发展。这两种通信方式在工作原理、使用的工作频段等方面都有相似的地方。本书在介绍两种通信方式各自原理、特点的基础上, 力求突出系统设计思路的介绍, 实用性较强。

本书共分 8 章。第 1 章介绍了微波通信和卫星通信的基本概念、特点、系统的基本组成和频率配置。第 2 章介绍了微波传输通道的传输特性, 包括自由空间电波的传输特点以及相关的外部环境造成的干扰和解决方法。第 3 章介绍了微波和卫星通信使用的调制技术、编码技术以及信号处理技术。第 4 章介绍了卫星通信中特有的多址通信技术, 包括信道的分配技术和各种多址技术的工作原理及应用。第 5 章介绍了数字微波通信系统的组成和设计。第 6 章介绍了卫星通信系统的组成、设计以及卫星通信网的网络结构。第 7 章介绍了大容量的无线通信系统, 包括 SDH 微波通信系统、卫星移动通信系统和 VAST 卫星通信系统, 第 8 章介绍了卫星通信的一些新的应用。

本书第 1、3 章由李白萍教授编写, 第 4、6 章由姚军编写, 第 2、5 章由毛昕蓉编写, 第 7、8 章由李荣编写。全书由李白萍教授统编和审稿。

在此次编写中, 我们参考和引用了前人的研究成果、著作和论文, 在此谨向这些文献的著作者表示敬意和感谢。同时, 对硕士研究生孙宁、郑文彦、李彩伟所做的辅助性工作表示感谢。

由于时间紧迫, 加之编者的理论水平和教学经验有限, 书中难免存在疏漏和不足之处, 恳请读者批评指正。

编 者
2006 年 5 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 微波与卫星通信的基本概念	1
1.2 微波与卫星通信的特点	3
1.3 微波通信系统	5
1.4 卫星通信系统	6
1.5 微波与卫星通信的频率配置	8
本章小结	12
习题	12
第 2 章 微波传播通道	13
2.1 自由空间的电波传播	13
2.1.1 无线电波的传播方式	13
2.1.2 自由空间的微波传播	14
2.2 地面反射对微波传播的影响	14
2.2.1 费涅耳区的概念	15
2.2.2 地面反射对微波传播的影响	18
2.3 大气对微波传播的影响	21
2.3.1 大气折射	21
2.3.2 大气折射引起的余隙变化	23
2.3.3 复杂地形地面引起的余隙变化	25
2.4 微波传输中的衰落特性	25
2.4.1 常见的大气与地面效应造成的衰落特性	26
2.4.2 频率选择性衰落	27
2.4.3 衰落的统计特性	30
2.5 抗衰落技术	32
2.5.1 空间分集接收	32
2.5.2 频率分集接收	35
2.5.3 自适应均衡技术	36
2.6 卫星通信的电波传播特性	38
2.6.1 卫星通信中存在的电波传播问题	38
2.6.2 卫星通信中通信电波的传播噪声	39
2.6.3 卫星通信中的多普勒效应	40
本章小结	40
习题	41
第 3 章 微波与卫星通信的通信体制	42
3.1 信号传输方式与复用方式	42
3.2 调制方式	43

3.2.1 微波与卫星通信中的调制方式	43
3.2.2 模拟调制——宽带 FM	45
3.2.3 数字调制	47
3.3 编码技术	60
3.3.1 信源编码技术	60
3.3.2 信道编码技术	62
3.4 信号处理技术	73
本章小结	77
习题	77
第4章 卫星通信中的多址技术	79
4.1 多址方式的基本概念	79
4.1.1 多址方式的概念及分类	79
4.1.2 多址方式中的信道分配技术	80
4.2 频分多址技术(FDMA)	81
4.2.1 FDMA 的原理及分类	81
4.2.2 FDM/FM/FDMA 方式	82
4.2.3 SCPC 方式	83
4.3 时分多址技术(TDMA)	90
4.3.1 TDMA 的基本原理及工作过程	90
4.3.2 TDMA 系统的特点	91
4.3.3 TDMA 系统的帧结构及帧效率	91
4.3.4 TDMA 地面终端设备的功能及组成	94
4.3.5 TDMA 系统的定时与同步	96
4.4 码分多址技术(CDMA)	99
4.5 空分多址技术(SDMA)	101
4.6 卫星分组通信中的多址技术	102
4.6.1 基本概念	102
4.6.2 纯 ALOHA 方式	103
4.6.3 S-ALOHA 方式	104
4.6.4 R-ALOHA 方式	105
本章小结	106
习题	106
第5章 微波通信系统设计	107
5.1 数字微波通信系统	107
5.1.1 数字微波的发信系统	107
5.1.2 数字微波的收信系统	108
5.1.3 数字微波的天馈线系统	111
5.2 数字微波通信系统设计	120
5.2.1 数字微波信道的假设参考数字链路	120
5.2.2 系统的主要性能指标及其分配	121
5.2.3 数字微波的信道噪声与噪声指标分配	124
5.2.4 路由选择的基本要求	125
5.2.5 数字微波信道线路参数计算	127

5.2.6 微波通信站的防雷	128
本章小结	130
习题	130
第6章 卫星通信系统设计	131
6.1 卫星通信系统	131
6.1.1 通信卫星	131
6.1.2 卫星通信地球站的组成	134
6.1.3 卫星通信线路组成	138
6.2 卫星通信系统设计	138
6.2.1 卫星通信系统的总体设计原则	138
6.2.2 卫星通信线路设计	139
6.2.3 卫星通信地球站的设计	144
6.3 卫星通信网的网络结构	150
本章小结	151
习题	151
第7章 大容量无线通信系统	153
7.1 大容量微波通信系统	153
7.1.1 SDH 技术的应用特点	153
7.1.2 主要应用技术	154
7.2 卫星移动通信系统	159
7.2.1 卫星移动通信系统的基本结构及其分类	159
7.2.2 卫星移动通信系统的传输技术	160
7.3 VSAT 卫星通信系统	161
7.3.1 VSAT 卫星通信网的基本概念	161
7.3.2 VSAT 卫星通信网的组成及其工作原理	162
本章小结	166
习题	166
第8章 卫星通信技术在 Internet 及 GPS 中的应用	167
8.1 卫星通信技术在 Internet 中的应用	167
8.1.1 宽带 IP 卫星通信及其特点	167
8.1.2 现有宽带 IP 卫星通信系统	168
8.2 卫星通信技术在 GPS 系统中的应用	174
8.2.1 GPS 基本概念	174
8.2.2 GPS 系统组成	174
8.3 微波与卫星通信技术的发展展望	177
8.3.1 激光技术的应用	177
8.3.2 先进通信技术卫星 (ACTS)	178
8.3.3 宽带多媒体卫星移动通信系统	179
本章小结	180
习题	180
参考文献	181

第1章 概述

1.1 微波与卫星通信的基本概念

微波与卫星通信的工作频率都在微波频段，它们有共同的特点，但各自又具有自身的特点，可以单独组成通信系统。

1. 微波通信

微波是指频率在 300 MHz 至 300 GHz 范围内的电磁波，微波通信则是指利用微波携带信息，通过电波进行空间传输的一种通信方式。当两点之间的通信距离超过 50 km 时，只要在传输路径上建立中继线路，就构成了微波中继通信。

微波的传播与光波的传播类似，具有似光性、频率高、极化等传输特性，因此微波在自由空间中只能沿直线传播，其绕射能力很弱，且在传播中遇到不均匀的介质时，将产生折射和反射现象。正因为如此，在天线高度一定的情况下，为了克服地球的凸起而实现远距离通信就必须采用中继接力的方式，如图 1-1 所示。否则，A 站发射出的微波射线将远离地面而根本不能被 C 站接收。微波采用中继方式的另一个原因是，电磁波在空间传播过程中因受到散射、反射、大气吸收等诸多因素的影响，而使能量受到损耗，且频率越高、站距越长，微波能量损耗就越大，因此微波传播一定距离后就要进行能量补充，这样才能将信号传向远方。由此可见，一条上万米的微波通信线路是由许多微波站连接而成的，信息是通过这些微波站逐站传播的。

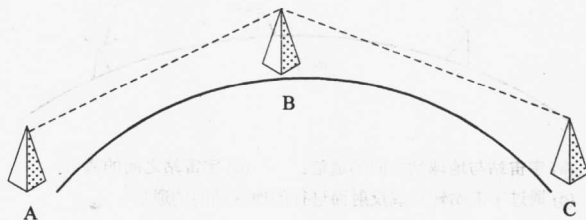


图 1-1 微波中继示意图

2. 卫星通信

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地球卫星叫做通信卫星，如图 1-2 所示。

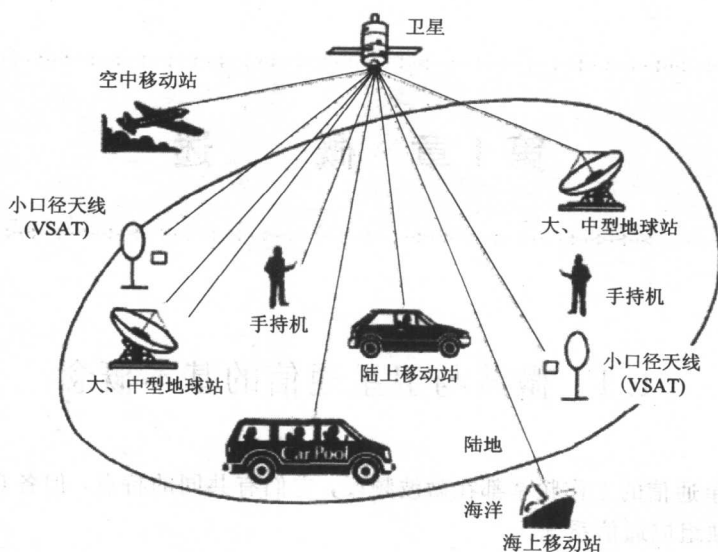
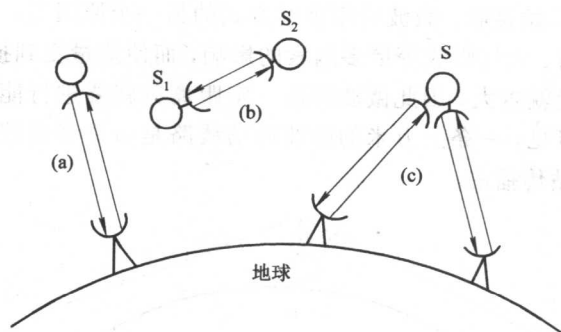


图 1-2 卫星通信示意图

可以看出,在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站转发信号来进行通信。因此,卫星通信实际上就是利用通信卫星作为中继站而进行的一种特殊的微波中继通信。

卫星通信是宇宙无线电通信的形式之一,国际电信联盟(ITU)规定,宇宙站是指设在地球大气层以外的宇宙飞行体(如人造卫星、宇宙飞船等)或其他天体(如月球或别的行星)上的通信站。把以宇宙飞行体为对象的无线电通信统称为宇宙通信。宇宙通信有三种基本形式,如图 1-3 所示。



(a) 宇宙站与地球站之间的通信; (b) 宇宙站之间的通信;
(c) 通过宇宙站转发或反射而进行的地球站间的通信

图 1-3 宇宙无线电通信的三种基本形式

图 1-3(c)所示的通信方式通常称为卫星通信。当卫星是静止卫星时,称为静止通信卫星。利用卫星来传输电视信号时,称为宇宙转播或卫星转播。

目前,绝大多数通信卫星是地球同步卫星(静止卫星)。图 1-4 是静止卫星与地球相对位置的示意图。若以 120° 的等间隔在轨道上配置三颗静止卫星,则地球表面除了两极区没有被卫星波束覆盖外,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

波束的重叠区域，因此借助于重叠区内地球站的中继(称为双跳)，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，这一特点是其他任何通信方式所不具备的。如一组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信号的转播，如图 1-5 所示。

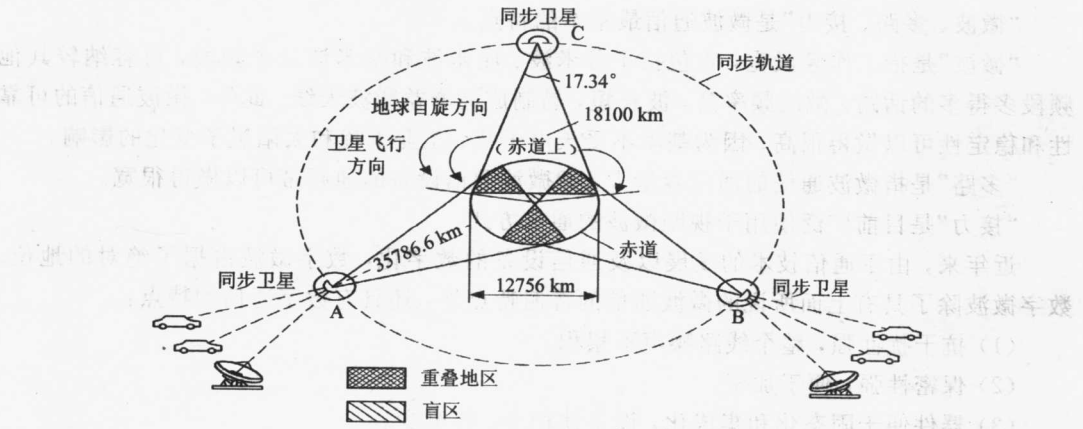


图 1-4 静止卫星与地球相对位置示意图

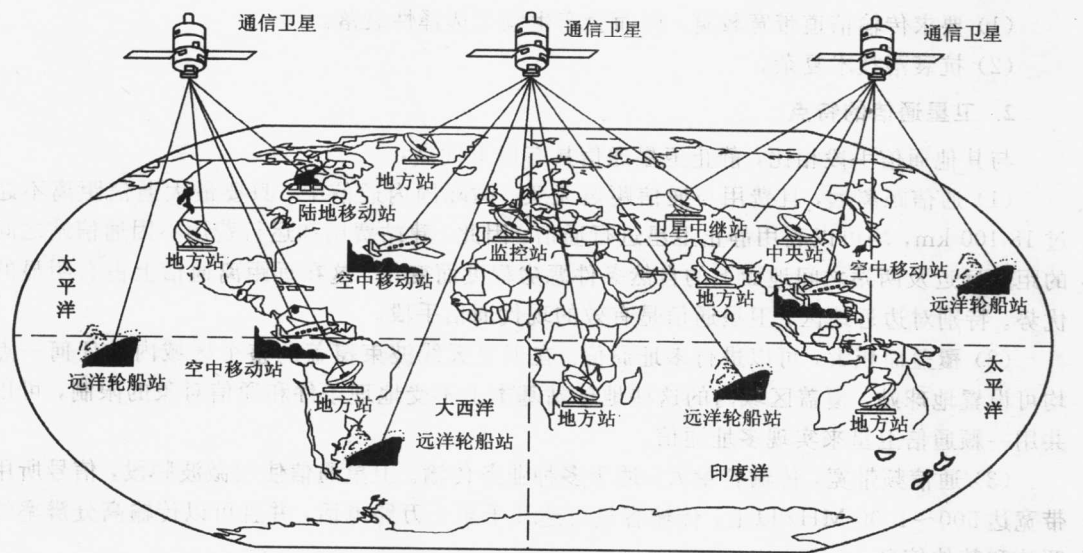


图 1-5 全球通信网

1.2 微波与卫星通信的特点

1. 微波通信的特点

根据所传基带信号的不同，微波通信分为如下两种制式：

(1) 模拟微波通信。用于传输频分多路-调频制(FDM - FM)基带信号的系统称为模拟微波通信系统。

(2) 数字微波通信。用于传输数字基带信号的系统称为数字微波通信系统。数字微波通信系统可再细分为准同步数字系列(PDH)微波通信系统和同步数字系统(SDH)微波通信系统。

“微波、多路、接力”是微波通信最基本的特点。

“微波”是指工作频段宽，它包括了分米波、厘米波和毫米波三个频段，可容纳较其他频段多得多的话路。微波频率高，波长短，易制成高增益微波天线。此外，微波通信的可靠性和稳定性可以做得很高，因为基本不受天电干扰、工业干扰和太阳黑子变化的影响。

“多路”是指微波通信的通信容量大，即微波通信设备的通频带可以做得很宽。

“接力”是目前广泛使用于视距微波的通信方式。

近年来，由于通信技术的发展以及通信设备的数字化，数字微波占据了绝对的地位。数字微波除了具有上面所说的微波通信的普遍特点外，还具有数字通信的特点：

- (1) 抗干扰性强，整个线路噪声不累积。
- (2) 保密性强，便于加密。
- (3) 器件便于固态化和集成化，设备体积小，耗电少。
- (4) 便于组成综合业务数字网(ISDN)。

当然，和模拟微波通信相比，数字微波的主要缺点是：

- (1) 要求传输信道带宽较宽，因而会产生频率选择性衰落。
- (2) 抗衰落技术复杂。

2. 卫星通信的特点

与其他通信手段相比，静止卫星通信具有以下优点：

(1) 通信距离远，且费用与通信距离无关。国际国内通信中，只要最大通信距离不超过 18 100 km，均可以利用静止卫星进行通信。因此，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，这在远距离通信上占有明显的优势。特别对边远地区，卫星通信是有效的现代通信手段。

(2) 覆盖面积大，可以进行多址通信。在卫星天线波束覆盖的整个区域内的任何一点均可设置地球站，覆盖区域内的这些地球站基本上不受地理条件和通信对象的限制，可以共用一颗通信卫星来实现多址通信。

(3) 通信频带宽，传输容量大，适于多种业务传输。卫星通信使用微波频段，信号所用带宽达 500~1000 MHz 以上，传输容量可达几千至上万路电话，并且可以传输高分辨率的照片和其他信息。

(4) 通信质量高，通信线路稳定可靠。卫星通信的电波主要是在大气层以外的宇宙空间传输的，接近真空状态，电波传播稳定；同时，不受人为干扰以及通信距离变化的影响，不受地形及自然条件的影响，所以，通信质量高，通信线路稳定可靠。

(5) 通信电路灵活机动性好。卫星通信不用考虑地势情况，在高空中、海洋上都可以实现通信。它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，在短时间内将通信网延伸至新的区域，或者是迅速恢复设施被破坏的地区的通信。

(6) 可以自发自收, 进行监测。当收发端地球站处于同一覆盖区内时, 本站也可以收到自己发出的信号, 因此可以了解传输质量的优劣, 以及监测本站发出信息的可靠性。

卫星通信的应用范围极其广泛, 不仅用于传输语音、电报、数据等, 还特别适用于广播电视节目的传送。但是, 静止卫星通信还有以下一些缺点:

- (1) 静止卫星的发射与控制技术比较复杂。
- (2) 地球的两极地区为通信盲区, 而且地球的高纬度地区通信效果不好。
- (3) 存在星蚀和日凌中断现象。
- (4) 有较大的信号传输时延和回波干扰。
- (5) 具有广播特性, 保密措施要加强, 保密系统要从防窃听和信息加密两方面考虑。

1.3 微波通信系统

1. 数字微波中继通信系统的组成

一条数字微波中继通信线路由终端站、中间站、再生中继站、终点站和电波的传播空间所构成, 如图 1-6(a) 所示。终端站的任务是将复用设备送来的基带信号或由电视台送来的视频及伴音信号, 调制到微波频率上并发射出去; 或者反之, 将收到的微波信号解调出基带信号送往复用设备, 或将解调出的视频信号及伴音信号送往电视台。线路中间的中继站的任务是完成微波信号的转发和分路, 所以中继站又分为中间站、分路站和枢纽站, 如图 1-6(b) 所示。中间站不能发送、接收话路信号, 即不能上下话路, 而分路站、枢纽站能上下话路。

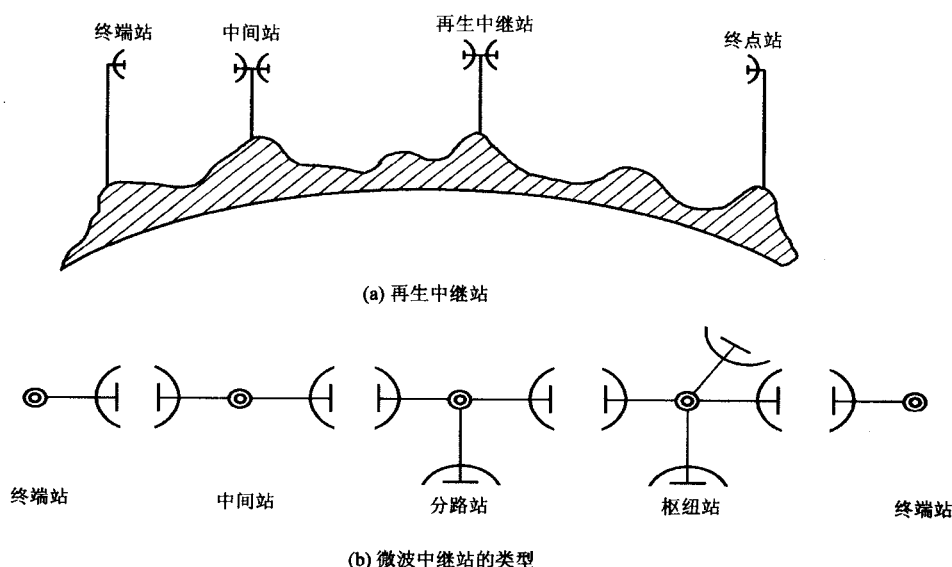


图 1-6 数字微波中继通信线路的组成

2. 微波中继站的中继方式

微波中继站的中继方式可以分成直接中继(射频转接)、外差中继(中频转接)、基带中

继(再生中继)三种。不同中继方式的微波系统构成是不一样的。中继方式可以是直接中继和中频转接,枢纽站为再生中继方式且可以上下话路。

(1) 直接中继。直接中继最简单,只是将收到的射频信号直接移到其他射频上,无需经过微波—中频—微波的上下变频过程,因而信号传输失真小。这种方式的设备量小,电源功耗低,适用于无需上下话路的无人值守中继站,其基本设备如图 1-7 所示。

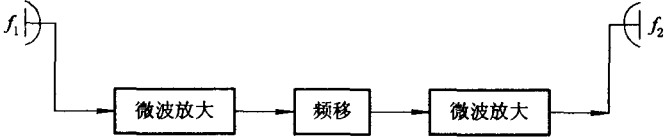


图 1-7 直接中继方式

(2) 外差中继。该方式是将射频信号进行中频解调,在中频进行放大,然后经过上变频调制到微波频率,并发送到下一站。其基本设备如图 1-8 所示。

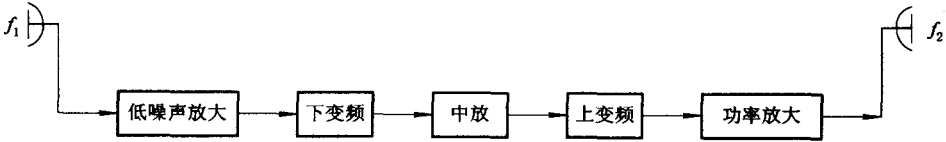


图 1-8 外差中继方式

(3) 基带中继。该方式是三种中继方式中最复杂的,如图 1-9 所示。基带中继不仅需要上下变频,还需要调制解调电路,因此,它可以用于上下话路中,同时由于数字信号的再生消除了积累的噪声,传输质量得到保证。因此,基带中继是数字微波中继通信的主要中继方式。一般在一条微波中继线上,可以结合使用三种中继方式。

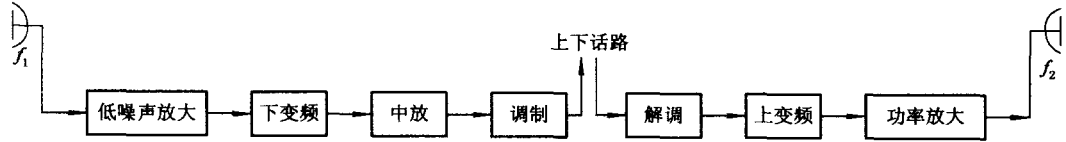


图 1-9 基带中继方式

1.4 卫星通信系统

1. 卫星通信系统的组成

卫星通信系统主要由空间分系统、通信地球站分系统、跟踪遥测及指令分系统和监控管理分系统四大功能部分组成,如图 1-10 所示。其中,空间分系统是指通信卫星,主要由天线分系统、通信分系统(转发器)、遥测与指令分系统、控制分系统和电源分系统组成。通信地球站分系统由天线馈线设备、发射设备、接收设备、信道终端设备等组成。各部分的功能后面再作介绍。跟踪遥测及指令分系统对卫星进行跟踪测量,控制其准确进入静止轨道上的指定位置,并对在轨卫星的轨道、位置及姿态进行监视和校正。监控管理分系统对在轨卫星的通信性能及参数进行业务开通前的监测和业务开通后的例行监测与控制,以便保证通信卫星的正常运行和工作。地面跟踪遥测及指令分系统、监控管理分系统与空间

相应的遥测及指令分系统、控制分系统并不直接用于通信，而用来保障通信的正常进行。

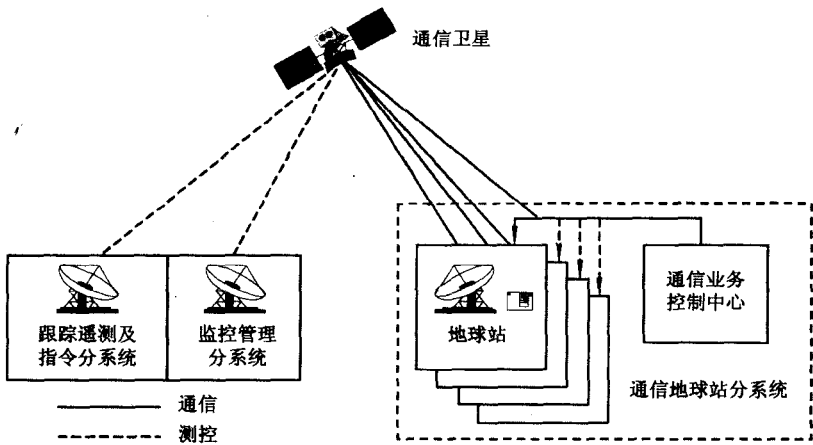


图 1-10 卫星通信系统的组成

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。卫星通信线路由发端地球站、上行线传输路径、卫星转发器、下行线传输路径和收端地球站组成，可直接用于通信。其基本组成如图 1-11 所示。

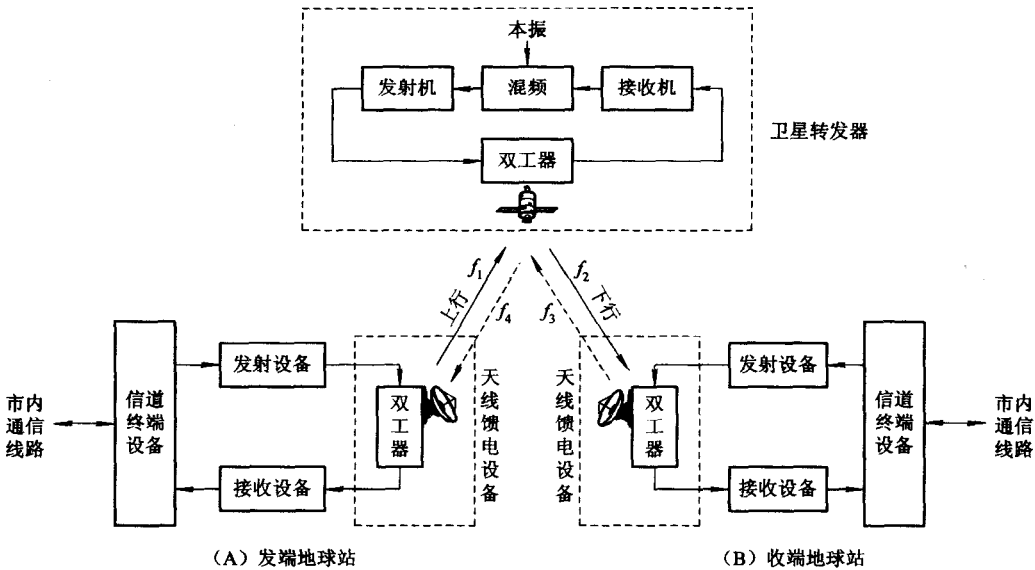


图 1-11 卫星通信线路的基本组成

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(称为上行信号)后，进行低噪声放大，然后混频，混频后的信号再进行功率放大，最后发射回地面(这时的信号称为下行信号)。卫星通信中，上行信号和下行信号的频率是不同的，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，把转发器租用或分配给处在覆盖区域内的卫星通信用户。

2) 通信地球站

通信地球站由天线馈电设备、发射设备、接收设备、信道终端设备等组成。

(1) 天线馈电设备。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 32 m，也可小到 1 m 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。发射设备的任务是将信道终端设备输出的中频信号(70 ± 18 MHz)转换成射频信号(6 GHz 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，输出功率可以从几瓦到数千瓦。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 3000 W。中型地球站常采用行波管功率放大器，功率等级为 100~400 W。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 0.25 W 到 1.25 W 不等。例如，TES 地球站属小型地球站，它采用了 10 W、20 W 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 4 GHz 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(70 ± 18 MHz)，供信道终端设备进行解调及其它处理。

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 20 K；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 55 K；小型地球站大多采用砷化镓场效应管放大器，噪声温度从 40 K 到 80 K 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，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，世界上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。

1.5 微波与卫星通信的频率配置

1. 微波通信的频率配置

一条微波通信线路有许多微波站，每个站上又有多波道的微波收发信设备。波道是指频分制微波通信系统中的不同射频通道。在数字微波接力通信系统中，为了提高射频频谱的利用率，减小射频波道间或其他路由间的干扰，必须很好地解决射频波道的频率配置问题。

频率配置应包括各波道收、发信频率的确定，并根据选定的中频频率确定收、发本振频率。在选择频率配置方案时，应遵循以下基本原则：

(1) 在一个中间站，一个单向波道的收信和发信必须使用不同频率，而且有足够的间隔，以避免电平很高的发送信号被本站的收信机收到，使正常的电平极低的接收信号受到干扰。

(2) 多波道同时工作，相邻波道频率之间必须有足够的间隔，以免发生邻波道干扰。

(3) 整个频谱安排必须紧凑合理，使给定的通信频段能得到经济的利用，并能传输较高的信息速率。

(4) 因微波天线塔的建设费用很高，多波道系统要设法共用天线，所以选用的频率配置方案应有利于天线共用，达到既降低天线建设总投资，又能满足技术指标的目的。

(5) 不应产生镜像干扰，即不允许某一波道的发信频率等于其他波道收信机的镜像频率。

1) 射频波道频率配置方式

ITU-R 关于波道频率配置的建议规定了各频段的波道配置方法。在 ITU-R 建议的基础上我国国家无线电委员会也公布了一系列的频率配置方案。这里主要介绍我国国家无线电委员会建议的三种频率配置方案。

(1) 集体排列方案。射频波道可以分为收信和发信波道。通常的做法是将某一频段的 $2n$ 个波道分割成低端与高端两段，每段有 n 个波道，分别记为 $f_1, f_2, \dots, f_n$ 及 $f'_1, f'_2, \dots, f'_n$ 。对某台收发信机来说，如果发信波道取低端 f_i 的话，则收信波道一定取高端相应的 f'_i ，反之亦然，如图 1-12 所示。这样 f_i 和 f'_i 就组成了一对波道，整个频段共有 n 对波道。我们还规定 $f'_i - f_i$ 为同一对波道的收、发中心频率间隔。 f_0 为中心频率， n 为工作波道对的数目， $\Delta f_{\text{带宽}}$ 为占用带宽，并有

$$\Delta f_{\text{带宽}} = 2(n-1)XS + YS + 2ZS \quad (\text{MHz}) \quad (1-1)$$

其中 XS 为波道间隔， YS 为中心频率附近相邻的收、发信波道间隔， ZS 为相邻频段间的保护间隔。

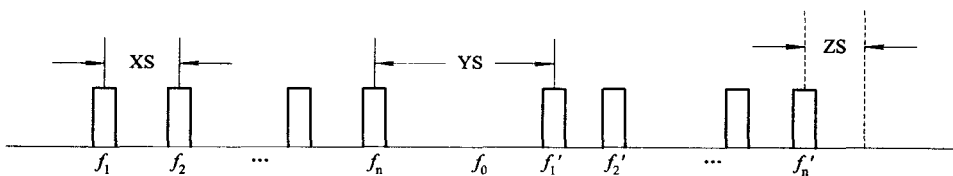


图 1-12 多波道频率配置(集体排列方案)

上述排列方法称为集体排列，即收、发信频率是分开排列的。其优点是收、发信频段中相邻频点的工作电平基本相同，相互影响较小，这是常用的方法。在集体排列方案中，相邻收信频率(或发信频率)间隔可以小一些，而收、发频率间隔却可以选得大一些。这样安排，6 个波道所占的频带仍较节省。更重要的是，集体排列方案在共用天线问题上有显著优势，当波道数小于 3 时(3 波道工作时可采用 1、3、5 波道或 2、4、6 波道)，同一方向收信和发信可以共用一副天线。

(2) 交替波道配置方案。为了使更多的波道能够共用天线并减小系统内的干扰，现在

微波天线大多采用双极化天线。对于双极化的天线和圆馈线，通常使用两种互相垂直的极化波：水平极化波和垂直极化波。由于这两种极化波互相垂直，它们相互间的影响就很小了。交替波道配置方案的奇数和偶数波道分别使用不同的极化方法，这种方案可以减少邻道干扰。

(3) 同波道交叉极化方案。为了提高频谱利用率，可以采用同波道交叉极化方案。为了更好地减少交叉极化干扰的影响，又提出了波道中心频率交替的同波道交叉极化频率复用方案。

2) SDH 常用频段的射频波道配置

根据 CCIR 第 746 号建议，SDH 微波通信系统的射频波道配置应该与现有的射频波道配置方法兼容，便于 SDH 微波传输系统的推广，尽量减少对现有 PDH 微波传输系统的影响。原有 PDH 微波传输系统单波道传输的最高速率为 140 Mb/s，波道的最大带宽小于 30 MHz。在小于 30 MHz 的波道带宽内要传输 SDH 的各个速率等级有着很大的技术难度。为了适合 SDH 微波传输的需求，CCIR 将微波波道的最大传输带宽提高到 40 MHz。加拿大北方电信采用 512 QAM 调制及双波道并行传输的方法，利用两个 40 MHz 波道传输 STM-4 的信息速率。日本公司使用同波道交叉极化的方法，在一个波道中能传输 $2 \times \text{STM}-1$ 的信息速率，并视 30 MHz 和 40 MHz 两种波道带宽分别使用 128 QAM 和 64 QAM 的调制方法，较好地实现了与 PDH 微波传输系统的兼容。

1~30 GHz 数字微波接力通信系统容量系列及射频波道配置的国家标准中规定 1.5 GHz 和 2 GHz 频段的波道带宽较窄，取 2、4、8、14 MHz 波道带宽，适用于中、小容量的信号传输速率。4、5、6 GHz 频段的电波传播条件较好，用于大容量的高速率信号传输，如 SDH 信号的传输。部分射频波道的配置参数列于表 1-1 中，供参考。

表 1-1 射频波道频率配置方案

工作频段 /GHz	频率范围 /MHz	传输容量 /(Mb/s)	中心频率 f_0 /MHz	占用频带 /MHz	工作波道 数(对) N	XS /MHz	YS /MHz	同一波道 收发间隔 /MHz
2	1700~1900	8.448	1808	200	6	14	49	119
2	1900~2300	34.368	2101	400	6	29	68	213
4	3400~3800	2×34.368	3592	400	6	29	68	213
4	3800~4200	139.264	4003.5	400	6	29	68	213
6	6430~7110	139.264	6770	680	8	40	60	340
7	7125~7425	8.448	7275	300	20	7	28	161
8	7725~8275	34.368	8000	500	8	29.65	103.77	311.32
11	10 700~11 700	2×34.368 139.264	11 200	1000	12	40	90	530

2. 卫星通信的频率配置

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、地球站发信机及卫星转发器的发射功率、天线口径尺寸及设备的复杂程度等。虽然这个频段也属于微波频段(300 MHz~300 GHz),但由于卫星通信电波传播的中继距离远,从地球站到卫星的长距离传输中,既要受到对流层大气噪声的影响,又要受到宇宙噪声的影响,因此,在选择工作频段时,主要考虑以下因素:

- (1) 天线系统接收的外界干扰噪声小。
- (2) 电波传播损耗及其他损耗小。
- (3) 设备重量轻,体积小,耗电少。
- (4) 可用频带宽,以满足传输容量的要求。
- (5) 与其他地面无线系统(微波中继通信系统、雷达系统等)之间的相互干扰尽量小些。
- (6) 能充分利用现有的通信技术和设备。

综合考虑各方面的因素,应将工作频段选择在电波能穿透电离层的特高频段或微波频段。

目前大多数卫星通信系统选择在下列频段工作:

- (1) UHF(超高频)频段——400/200 MHz。
- (2) 微波 L 频段——1.6/1.5 GHz。
- (3) 微波 C 频段——6.0/4.0 GHz。
- (4) 微波 X 频段——8.0/7.0 GHz。
- (5) 微波 Ku 频段——14.0/12.0 GHz 和 14.0/11.0 GHz。
- (6) 微波 Ka 频段——30/20 GHz。

随着通信业务的迅速增长,人们正在探索应用更高频段的直至光波段的无线电波的可能性。1971年,在世界无线电行政会议上,已确定将宇宙通信的频段扩展到 275 GHz。

大气对流层中的氧和水蒸气会对电波有吸收作用,雨、雾以及雪也会对电波产生吸收和散射衰减。人们通过大量的分析和实测,得出在 0.3~10 GHz 频段大气吸收损耗最小,称之为“无线电窗口”。另外,在 30 GHz 附近也有一个损耗低谷,称为“半透明无线电窗口”。因此,选择工作频段时,应该考虑选在这些“窗口”附近。

另外,从外界噪声影响来看,当频率降至 0.1 GHz 以下时,宇宙噪声会迅速增加,所以最低频率不能低于 0.1 GHz。因此,从降低接收系统噪声角度考虑,卫星通信工作频段最好选在 1~10 GHz 之间,而最理想的频率在 6/4 GHz 附近。在实际应用中,国际卫星通信的商业卫星和国内区域卫星通信中大多数都使用 6/4 GHz 频段,其上行频率为 5.925~6.425 GHz,下行频率为 3.7~4.2 GHz,卫星转发器的带宽可达 500 MHz。6/4 GHz 频段带宽较宽,便于利用成熟的微波中继通信技术。

为了不受上述的民用卫星通信系统的干扰,许多国家的军用和政府用的卫星通信系统使用 8/7 GHz 频段。其上行频率为 7.9~8.4 GHz,下行频率为 7.25~7.75 GHz。

由于卫星通信业务量的急剧增加,1~10 GHz 的无线电窗口日益拥挤,14/11 GHz 频段已得到开发和使用,其上行频率为 14~14.5 GHz,下行频率为 10.95~11.2 GHz 和 11.45~11.7 GHz 等。