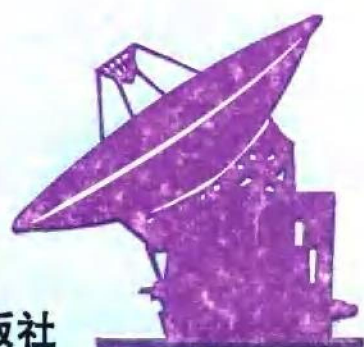




高等学校工科电子类教材

卫星通信

刘国梁 荣昆璧



西安电子科技大学出版社

TN927
19

32000602

高等学校教材

卫星通信

刘国梁 荣昆璧

西安电子科技大学出版社

1994

(陕)新登字 010 号

内 容 简 介

本书系高等学校工科电子类专业课统编教材。书中系统地论述了卫星通信系统的基本原理与工程设计中应考虑的主要技术问题。

全书以数字卫星通信为主,共分八章,内容包括:概论、卫星通信的调制技术、多址技术、编码技术、信号处理技术、卫星通信网、卫星通信线路的计算与系统举例以及卫星电视广播等。特别是书中结合近年来国际上及我国在卫星通信方面的现状与新技术的发展,介绍了新的调制方式、编码方式、VSAT 卫星通信网、低轨道移动卫星通信系统、先进技术卫星以及卫星直播电视等。

本书可供通信工程、无线电技术及计算机通信网等专业的本科生作为专业课教材,也可供研究生、从事通信事业的工程技术人员和科技工作者参考。

高等学校教材

卫 星 通 信

刘国梁 荣昆璧

责任编辑 殷威安

西安电子科技大学出版社出版

西安电子科技大学印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 15 8/16 字数 365 千字

1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷 印数 1—3 000

ISBN7-5606-0323-8/TN·0082 (课) 定价: 8.85 元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定,我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978~1990,已编审、出版了三个轮次教材,及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神,“以全面提高教材质量水平为中心,保证重点教材,保持教材相对稳定,适当扩大教材品种,逐步完善教材配套”,作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想,组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会,在总结前三轮教材工作的基础上,根据教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1991~1995年的“八五”(第四轮)教材编审出版规划。列入规划的,以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300多种。这批教材的评选推荐和编审工作,由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿,其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的,其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的,其三是经过质量调查在前几轮组织编定出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会(小组)、教学指导委员会和有关出版社,为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之外,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评和建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部电子类专业教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部制订的工科电子类专业教材 1991~1995 编审出版规划,由无线电技术与信息系统教材编审委员会无线电通讯小组征稿,推荐出版。责任编委黄载禄。

本教材由西安电子科技大学主编,它是根据编审小组新制定的编写大纲重新编写的。由武汉大学蒋自明、华中理工大学雷震东担任主审。

本教材的参考教学时数为 50 学时,其主要内容以数字卫星通信为主,介绍了卫星通信系统的基本原理与主要技术以及近年来国际上和我国在卫星通信方面的现状与新技术的发展。本教材共分八章,第二、三、四、六、七章是本教材的重点。第一章介绍卫星通信的基本原理、卫星通信系统及地球站的组成。第二、三、四章介绍卫星通信的调制技术、多址技术和编码技术。第五章介绍卫星通信中的信号处理技术。第六章介绍卫星通信网,其中包括 VSAT 数据通信网的一些主要问题。第七章介绍卫星通信线路的计算和系统举例。第八章介绍卫星电视广播。通过本课程的学习,应使学生掌握卫星通信系统的基本概念、基本原理和工程设计中应考虑的主要技术问题,建立通信系统的完整概念,初步具有分析卫星通信系统的能力。

本教材第一、五、六、七、八章由刘国梁编写,第二、三、四章由荣昆璧编写,由刘国梁统编全书。蒋自明、雷震东为本书提出了很多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1994.5

目 录

第一章 绪论	1	3.1.2 信道分配技术	63
1.1 卫星通信的基本概念和特点	1	3.2 FDMA 方式	64
1.1.1 卫星通信的基本概念	1	3.2.1 基本概念与系统组成	64
1.1.2 卫星通信的特点	2	3.2.2 非线性放大器的影响	67
1.1.3 卫星通信系统的组成	3	3.2.3 减少交调产物的方法	70
1.2 卫星通信地球站	3	3.2.4 能量扩散	71
1.2.1 地球站的组成	3	3.3 TDMA 方式	71
1.2.2 基本工作原理	4	3.3.1 基本概念	71
1.3 卫星通信及其转发器	5	3.3.2 TDMA 地球站设备	72
1.3.1 通信卫星	5	3.3.3 TDMA 系统的定时与同步	75
1.3.2 卫星转发器	8	3.3.4 帧结构与帧效率	79
1.3.3 通信卫星举例	10	3.4 SDMA/SS/TDMA 方式	81
1.4 卫星通信的工作频段	15	3.4.1 工作原理	82
习题	17	3.4.2 分帧编排	84
第二章 调制技术	18	3.4.3 SS/TDMA 的帧同步	86
2.1 概述	18	3.5 SCPC 方式	87
2.2 模拟调制	19	3.5.1 预分配的 SCPC 方式	88
2.2.1 频率调制	19	3.5.2 SPADE 方式	89
2.2.2 CSSB/AM 技术	22	3.6 CDMA 方式	95
2.3 功率有效的数字调制	24	3.6.1 基本原理	96
2.3.1 QPSK 调制	24	3.6.2 伪随机序列	96
2.3.2 MSK 调制	31	3.6.3 CDMA 信号同步	97
2.3.3 误码性能	37	3.6.4 系统性能	99
2.3.4 畸变分析	39	3.7 数据卫星分组通信	101
2.3.5 邻波道和同波道干扰对 QPSK 系统误码性能的影响	44	3.7.1 基本概念	101
2.4 频谱有效的数字调制	45	3.7.2 卫星分组通信网的联接方式	102
2.4.1 8PSK 调制	46	习题	106
2.4.2 MQAM 调制	49	第四章 编码技术	108
2.5 载波和位定时恢复	53	4.1 信源编码概述	108
2.5.1 基准载波恢复	53	4.2 差错控制方式	109
2.5.2 突发工作状态下的载波恢复	59	4.2.1 前向差错控制	109
2.5.3 位定时恢复	60	4.2.2 检错和重发 (ARQ) 系统	111
习题	61	4.2.3 FEC 和 ARQ 方式的比较	111
第三章 多址技术	62	4.2.4 抗干扰码的分类	112
3.1 多址方式和信道分配	62	4.3 编码的概念	113
3.1.1 多址方式的分类	62	4.4 线性分组码	114
		4.4.1 分组码	114

4.4.2 分组码的纠错性能	119	习题	188
4.5 卷积码	121	第七章 卫星通信线路计算与卫星	
4.5.1 编码器	121	通信系统举例	189
4.5.2 译码器	122	7.1 接收机输入端的载波噪声比	189
4.5.3 卷积码的性能	128	7.1.1 接收机输入端的信号功率	189
4.6 纠错编码与调制	131	7.1.2 接收机输入端的噪声功率	190
4.6.1 纠错编码与调制的结合	131	7.1.3 接收机输入端载波噪声功率比	
4.6.2 格状编码调制技术	132	和地球站性能因数 G/T 值	191
4.7 编码在卫星通信中的应用	134	7.2 卫星通信线路的 C/T 值	192
4.7.1 怎样选择差错控制编码	134	7.2.1 对热噪声 C/T (C/T_v	
4.7.2 用于卫星通信中的编码举例	135	和 C/T_v) 值	193
习题	137	7.2.2 对交调噪声的 C/T 值	194
第五章 信号处理技术	139	7.2.3 卫星线路的 C/T 值	195
5.1 数字语音内插 (DSI)	139	7.2.4 门限余量与降雨余量	195
5.2 回波控制	142	7.3 卫星线路计算举例	196
5.3 语音编码	145	7.3.1 FDM/FM/FDMA 方式	196
5.3.1 波形编码	146	7.3.2 TDMA 方式	198
5.3.2 参量编码 (声码器)	152	7.3.3 SCPC/PSK/FDMA 方式	200
习题	156	7.4 卫星通信系统举例	202
第六章 卫星通信网	157	7.4.1 INMARSAT 卫星通信系统	
6.1 卫星通信网的网络结构	157	及其船站	202
6.2 卫星通信网与地面通信网的连接	158	✓ 7.4.2 VSAT 卫星通信网 C-200	
6.2.1 地面中继传输线路	158	及其地球站	207
6.2.2 地面中继方式	159	✓ 7.4.3 先进通信技术卫星 (ACTS)	210
6.2.3 电视信号传输中的地面中继	161	习题	214
6.3 VSAT 卫星通信网	162	第八章 卫星电视广播	215
6.3.1 VSAT 卫星通信网的基本概念	162	8.1 电视信号的主要特性	215
6.3.2 VSAT 卫星通信网的组成		8.2 卫星电视广播	217
及其工作原理	164	8.2.1 卫星电视广播系统的组成	217
6.3.3 VSAT 数据通信网的多址协议	167	8.2.2 利用通信卫星转发电视	219
6.3.4 VSAT 网的数据传输规程	176	8.2.3 卫星直播电视	222
6.3.5 VSAT 网的网络管理	180	8.3 MAC 制卫星电视	233
6.4 低轨道移动卫星通信系统	181	8.3.1 MAC 制式的基本原理	234
6.4.1 概述	181	习题	239
6.4.2 Globalstar 低轨道移动卫星		参考文献	239
通信系统	183		

第一章 绪 论

1.1 卫星通信的基本概念和特点

1.1.1 卫星通信的基本概念

卫星通信是指利用人造地球卫星作为中继站转发无线电波，在两个或多个地球站之间进行的通信。它是宇宙通信形式之一。

通常，以宇宙飞行体或通信转发体为对象的无线电通信称为宇宙通信。它包括三种形式：(1) 地球站与宇宙站之间的通信；(2) 宇宙站之间的通信；(3) 通过宇宙站的转发或反射进行地球站之间的通信。通常人们把这第三种形式称为卫星通信。这里所说的地球站是指设在地球表面（包括地面、海洋或大气层）的通信站。而把用于实现通信目的的人造卫星称为通信卫星。

通信卫星的作用相当于离地面很高的中继站。利用卫星进行通信的过程，可用图 1-1 说明。例如图中 A、B、C……等分别表示进行通信的各地球站。只有两个地球站都能同时“看”到卫星时，才能经卫星转发无线电信号，进行通信。当卫星的运行轨道属于低轨道，并且只利用一颗卫星进行通信时，那么相距较远的两个地球站便不能同时“看”到卫星了。这时，如果要进行远距离实时通信，必须利用多颗低轨道卫星，这种系统就是通常所说的低轨道移动卫星通信系统；否则，只能采用延迟转发方式，这种系统则称为延迟转发式卫星通信系统。

当卫星运行轨道较高时，相距较远的两个地球站便可同时“看”到卫星，并且可将一个地球站发出的信号，经卫星处理后，立即转发给另一地球站。因此，这种系统称为立即转发式卫星通信系统。

当卫星的运行轨道在赤道平面内，其高度大约为 35 800 km 时，它的运行方向与地球自转的方向相同，围绕地球一周的公转周期大约为 24 h，和地球自转的周期相等时，从地球上看去，卫星如同静止的一样，所以称为静止卫星。利用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，或同步卫星通信系统。

图 1-2 是静止卫星与地球相对位置的示意图。若以 120° 的等间隔在静止轨道上配置三颗卫星，则在地球表面除了两级地区未受到卫星天线波束的覆盖外，其它区域均在覆盖范围之内，而且其中一部分区域还是两个静止卫星天线波束覆盖的重叠地区。因此，借助于重叠地区内地地球站的中继，便可以实现不同卫星覆盖区的地球站间的通信。这样，只要用三颗等间隔配置的静止卫星就可以实现全球通信。这一特点显然是任何其它通信手段所不具备的。目前，由国际通信卫星组织 (INTELSAT) 负责建立的世界卫星通信系统就是利用静止卫星实现全球通信的。该全球通信网担负着大约 80% 的国际通信业务和全部国际电视转播业务。

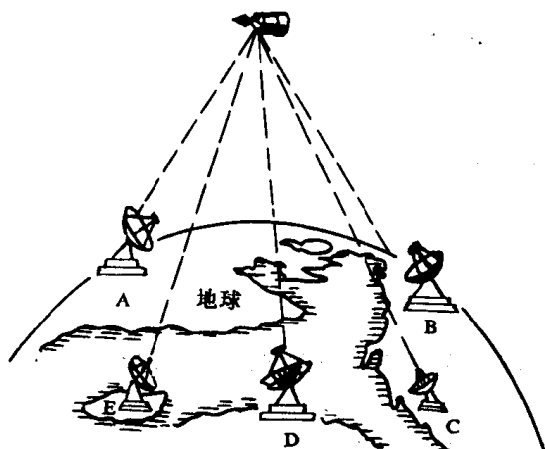


图 1-1 卫星通信的示意图

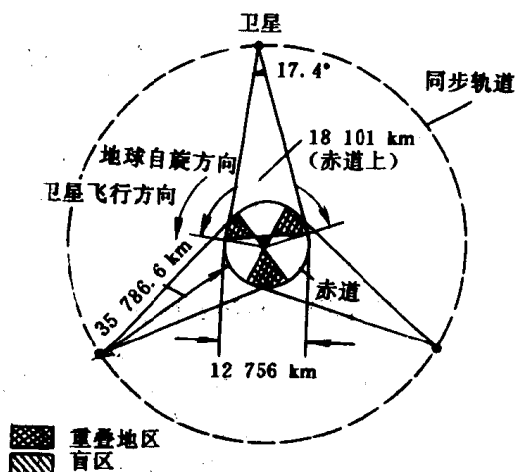


图 1-2 静止卫星配置的几何关系

1.1.2 卫星通信的特点

卫星通信与其它通信手段相比，它具有以下一些特点：

(1) 通信距离远，且费用与通信距离无关。由图 1-2 可见，利用静止卫星进行通信，其最大通信距离可达 18 000 km 左右。而建站费用与维护费用并不因地球站之间的距离远近及地理条件恶劣程度而有所变化。显然，这是地面微波中继通信、光纤通信以及短波通信等其它手段无法比拟的。

(2) 覆盖面积大，可进行多址通信。许多其它类型的通信手段常常是只能实现点对点通信。而卫星通信，由于它是大面积覆盖，因而只要是在卫星天线波束的覆盖区域内，都可设置地球站，共用同一颗卫星在这些地球站间进行双边或多边通信，或者说多址通信。

(3) 通信频带宽、传输容量大。这是由于卫星通信通常都是使用 300 MHz 以上的微波频段，因而可用频带宽。目前，卫星带宽已达到 3 000 MHz 以上，一颗卫星的通信容量已达到 30 000 路电话，并可同时传输 3 路彩色电视以及数据等其它信息。

(4) 机动灵活。卫星通信不仅能作为大型固定地球站之间的远距离干线通信，而且可以在车载、船载、机载等移动地球站间进行通信，甚至还可以为个人终端提供通信服务。

(5) 通信线路稳定可靠，传输质量高。由于卫星通信的无线电波主要是在大气层以外的宇宙空间中传播，传播特性比较稳定。同时，它不易受自然条件和干扰的影响，因而传输质量高。

正是由于卫星通信有上述一些突出的优点，仅仅经过二十多年时间，便得到了迅速的发展。目前它已成为一种强有力的现代化通信手段。

当然，如果是利用静止卫星通信也还存在一些缺点和问题：

(1) 静止卫星的发射与控制技术比较复杂。

(2) 地球高纬度地区通信效果不好，并且两极地区为通信盲区。

(3) 存在日凌中断和星蚀现象。当卫星处在太阳和地球之间，并在一条直线上时，卫星天线在对准卫星接收信号的同时，也会因对准太阳，受到太阳的辐射干扰，从而造成每

天有几分钟的通信中断,这种现象称为日凌中断。另外,当卫星进入地球的阴影区时,还会出现星蚀现象。

(4) 电波的传播时延较大和存在回波干扰。利用静止卫星进行通信时,信号由发端地球站经卫星转发到收端地球站,单程传输时间约为 0.27 s 。当进行双向通信时,就是 0.54 s 。如果是进行通话,会给人带来一种不自然的感觉。与此同时,如不采取回波抵消器等特殊措施,还会由于收、发语音的混合线圈的不平衡等原因,产生回波干扰,使发话者在 0.54 s 以后,又听到了反馈回来的自己讲话的回音,造成干扰。

正因为利用静止卫星通信存在上述一些缺点和问题。所以近年来一些国家又开始研究利用多颗低轨道移动卫星组网,以实现全球范围内的通信,其中包括个人通信网。

1.1.3 卫星通信系统的组成

利用卫星进行通信,除应有通信卫星和地球站以外,为了保证通信的正常进行,还需要对卫星进行跟踪测量并对卫星在轨道上的位置及姿态进行监视和控制,完成这一功能的就是跟踪遥测和指令系统。而且为了对卫星的通信性能及参数进行通信业务开通前和开通后的监测与管理,还需要监控管理系统。所以,卫星通信系统,通常是由通信卫星、地球站、跟踪遥测及指令系统和监控管理系统等四大部分组成,如图 1-3 所示。

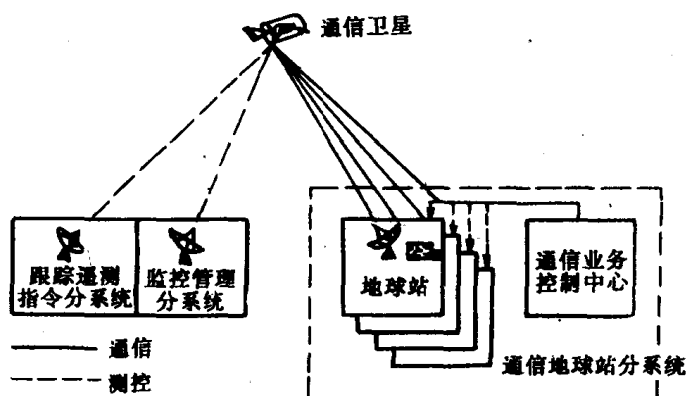


图 1-3 卫星通信系统的组成

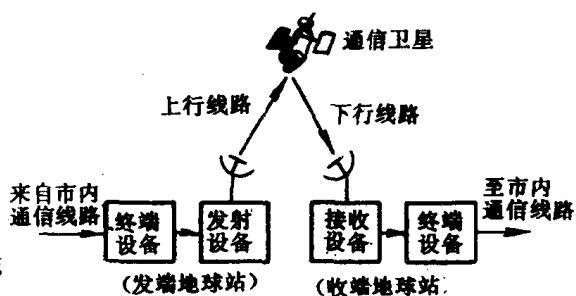


图 1-4 卫星通信线路的组成

作为一条通信线路,卫星通信线路由发端地球站、上行传播路径、通信卫星转发器、下行传播路径和收端地球站组成,如图 1-4 所示。

1.2 卫星通信地球站

1.2.1 地球站的组成

地球站是卫星通信系统的主要组成部分,所有的用户终端将通过它们接入卫星通信线路。根据地球站的大小和用途的不同,它的组成也有所不同。作为典型的标准地球站,一般包括天馈设备、收、发信机、终端设备、天线跟踪设备以及电源设备,如图 1-5 所示。

考虑到地球站设备的技术特点,有时把收、发信机分为三个部分:①大功率发射机部

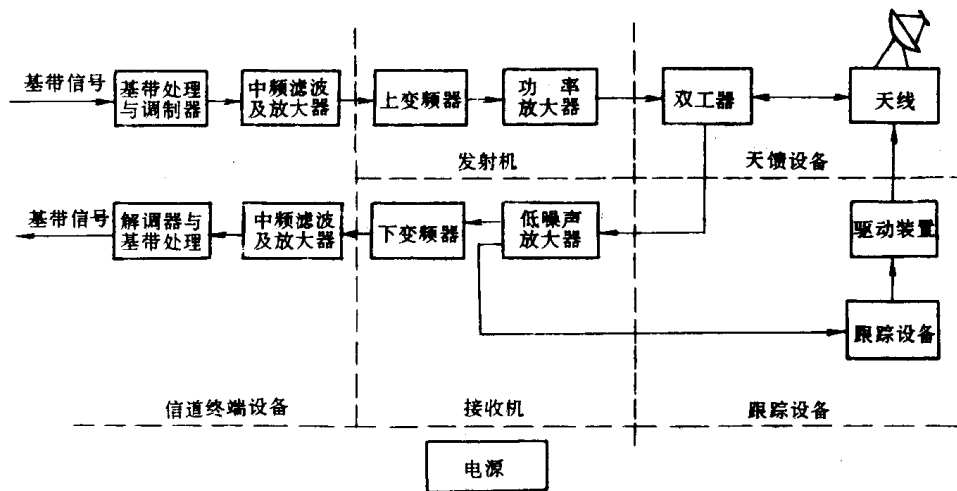


图 1-5 卫星通信地球站的简化方框图

分；②低噪声接收机部分；③信道终端设备。其中信道终端设备主要包括中频放大器、调制器和解调器以及基带处理设备等。

(1) 天馈设备。其主要作用是将发射机送来的射频信号经天线向卫星方向辐射，同时它又接收卫星转发的信号送往接收机。通常由于收、发信机共用一副天线，为了使收、发信号隔离开，其中还需接入一只双工器。

(2) 发射机。其主要作用是将已调制的中频信号，经上变频器变换为射频信号，并放大到一定的电平，经馈线送至天线向卫星发射。

(3) 接收机。其主要任务是接收来自卫星的有用信号，经下变频器变换为中频信号，送至解调器。由于接收的信号极其微弱，为了减少噪声和干扰的影响，接收机输入端必须使用噪声温度很低低噪声放大器。与此同时，为了减小由于馈线损耗带来的噪声的影响，一般都将低噪声放大器配置在天线上。

(4) 信道终端设备。它的主要作用是将用户终端送来的信息加以处理，成为基带信号，对中频进行调制，同时对接收的中频已调信号进行解调以及进行与发端相反的处理，输出基带信号送往用户终端。

(5) 跟踪设备。主要是用来校正地球站天线的方位和仰角，以便使天线对准卫星。跟踪设备通常有手动跟踪和自动跟踪两种方式，根据使用场合和要求确定。

(6) 电源设备。

1.2.2 基本工作原理

为了便于了解卫星通信的基本工作原理，这里以多路电话信号的传输为例加以说明。如图 1-6 所示，经市内通信线路送来的电话信号，在地球站 A 的终端设备内进行多路复用 (FDM 或 TDM)，成为多路电话的基带信号，在调制器 (数字的或模拟的) 中对中频载波进行调制，然后经上变频器变换为微波频率 f_1 的射频信号，再经功率放大器、双工器和天线发向卫星。这一信号经过大气层和宇宙空间，信号强度将受到很大的衰减，并引入一定的噪声，最后到达卫星。在卫星转发器中，首先将载波频率 f_1 的上行信号经低噪声接收机进行放大，并变换为载波频率较低的下行频率 f_2 的信号，再经功率放大，由天线发向收端

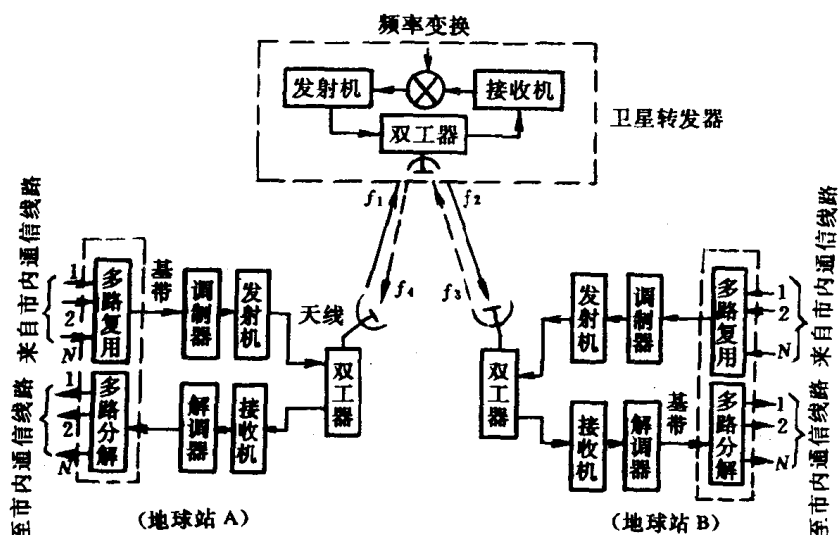


图 1-6 卫星通信的基本工作原理

地球站。

由卫星转发器发向地球站的载波频率 f_2 的信号，同样要经过宇宙空间和大气层，也要受到很大的衰减，最后到达收端地球站 B。由于卫星发射功率较小，天线增益较低，所以收端地球站 B 必须用增益很高的天线和噪声非常低的接收机才能进行正常接收。收端地球站 B 收到的信号经双工器和接收机首先将载波频率 f_2 的信号变换为中频信号并进行放大，然后经解调器进行解调，恢复为基带信号。最后利用多路复用设备进行分路，并经市内通信线路，送到用户终端。这样就完成了单向的通信过程。

由 B 站向 A 站传送多路电话信号时，与上述过程类似。不同的是 B 站的上行频率用另一频率 f_3 ，而 $f_3 \neq f_1$ ，下行频率用 f_4 ($f_4 \neq f_2$)，以免上、下行信号相互干扰。

应该指出，较大型的地球站，一般设在城市郊区，各用户终端先经市内通信线路，再经微波中继线路或同轴电缆与地球站相连接。对于小型地球站则可不需微波中继线路而直接与市内通信线路连接。特别是小用户站（例如 VSAT）则可直接设在用户终端处。至于地球站规模的大小，则取决于通信系统的用途和要求。

1.3 通信卫星及其转发器

通信卫星是卫星通信系统中最重要的重要组成部分。因此，本节先简要介绍一下它的基本知识，特别是它的运动轨道，然后着重介绍其中转发器的组成。

1.3.1 通信卫星

一、卫星的运动轨道

卫星的运动轨迹称为运动轨道，它所在的平面称为轨道平面。如果卫星的轨道平面在赤道平面内，该卫星运动轨道称为赤道轨道；如果轨道平面与赤道平面有一定的夹角，则称倾斜轨道；如果轨道平面通过地球的两极附近，则称为极轨道。卫星轨道平面与赤道平面的夹角，称为轨道倾角。

卫星的运动轨道可以是圆形,也可以是椭圆形。但是,不论轨道形状如何,卫星的运动总是服从万有引力定律的。如果把它看成是受中心力作用的质点运动,根据万有引力定律,卫星所受到的中心质点地球的引力为

$$F = G \frac{Mm}{R^2} = \mu \frac{m}{R^2} \quad (1-1)$$

式中, G 为万有引力常数 ($6.67 \times 10^{-20} \text{ km}^3/\text{kg}/\text{s}^2$); M 为中心质点(地球)的质量 ($5.977 \times 10^{21} \text{ kg}$); m 为运动质点(卫星)的质量; R 为地球与卫星间的距离; $\mu = GM$ 为开卜勒常数 ($3.986 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{s}^2$)。

当卫星围绕地球作匀速圆周运动时,设它在轨道上的切线速度为 v ,则它所受到的对地球的向心力为

$$\frac{mv^2}{R} = G \frac{Mm}{R^2} = \mu \frac{m}{R^2} \quad (1-2)$$

如果卫星围绕地球在赤道平面内作匀速圆周运动,且其运行方向与地球自转方向相同,其运行周期恰好为 23 小时 56 分 4.09 秒,则在地球上某点观察卫星,它是静止不动的,呈相对静止状态。通常把这种轨道称为静止轨道。

作为通信用的卫星,不一定都使用静止卫星。根据使用目的和发射条件的不同,可以有不同的高度和不同形状的运动轨道。按照轨道高度的不同,可以把卫星分为:

- (1) 低轨道卫星: 卫星高度 $h < 5\,000 \text{ km}$, 周期约为 2~4 h;
- (2) 中高度卫星: $5\,000 < h < 20\,000 \text{ km}$, 周期约为 4~12 h;
- (3) 高轨道卫星: $h > 20\,000 \text{ km}$, 周期 $> 12 \text{ h}$ 。

二、卫星的摄动

上面所讲的是把卫星和地球都当作质点运动,而且不考虑地球以外其它星体引力的情况下进行讨论的。但是,实际上地球并不是一个理想的球体。对静止卫星来说,由于地球结构的不均匀和太阳、月亮引力的影响等,将使卫星的轨道参数随时变化,不断偏离由开卜勒法则所确定的理想轨道,产生一定的漂移,这种现象称为摄动。

引起摄动的原因有以下几个方面:

1. 太阳和月亮对卫星的影响

对于低轨道卫星,地球的引力起主要作用,太阳和月亮引力的影响可以忽略。对于高轨道卫星,地球的引力虽仍是主要的,但太阳和月亮的引力已有一定影响。例如,对于静止卫星,太阳和月亮对卫星的引力分别为地球引力的 1/37 和 1/6 800。这些引力将使卫星轨道位置矢径每天都发生微小的摆动,而且还使轨道倾角发生积累性的变化,从而使静止卫星的位置产生南北方向上的漂移。

2. 地球引力场不均匀的影响

由于地球并非理想球体,而是一个略呈扁平的椭球体,且表面起伏不平。这样便改变了地球四周围引力场的理想分布。即使卫星在静止轨道上,地心引力仍有微小的变化。正是由于地心引力的这种不均匀性,便使卫星的瞬时速度偏离理论值,从而使卫星在轨道平面内产生摄动。对于静止卫星,瞬时速度的变化,将使它的位置在东西方向上产生漂移。

3. 地球大气阻力的影响

高轨道卫星处于大气层以外的宇宙空间,大气阻力的影响可以不予考虑。但是对于低

轨道卫星，大气阻力则已有一定影响，它会使卫星高度日趋降低。

4. 太阳辐射压力的影响

对于一般的卫星来说，太阳辐射压力的影响都可不予考虑。但是对于表面积较大，且要求定点精度较高的静止卫星，则必须加以考虑。

为了克服摄动的影响，在静止卫星上都装有位置保持喷射推进装置，以便通过调整，保持卫星位置的稳定。目前，静止卫星的定点精度约为 $\pm 0.1^\circ$ ，换算成位置精度约为 $\pm 40 \text{ km}$ 。

三、通信卫星的组成

通信卫星实际上是一个中继器，它的基本作用是为各地球站转发无线电信号，以实现它们之间的多址通信。为了保证可靠地完成通信功能，在卫星上还装备了一些辅助设备。通常，通信卫星主要由天线分系统、通信分系统（转发器）、遥测指令分系统、控制分系统和电源分系统五部分组成，其简化方框图如图 1-7 所示。

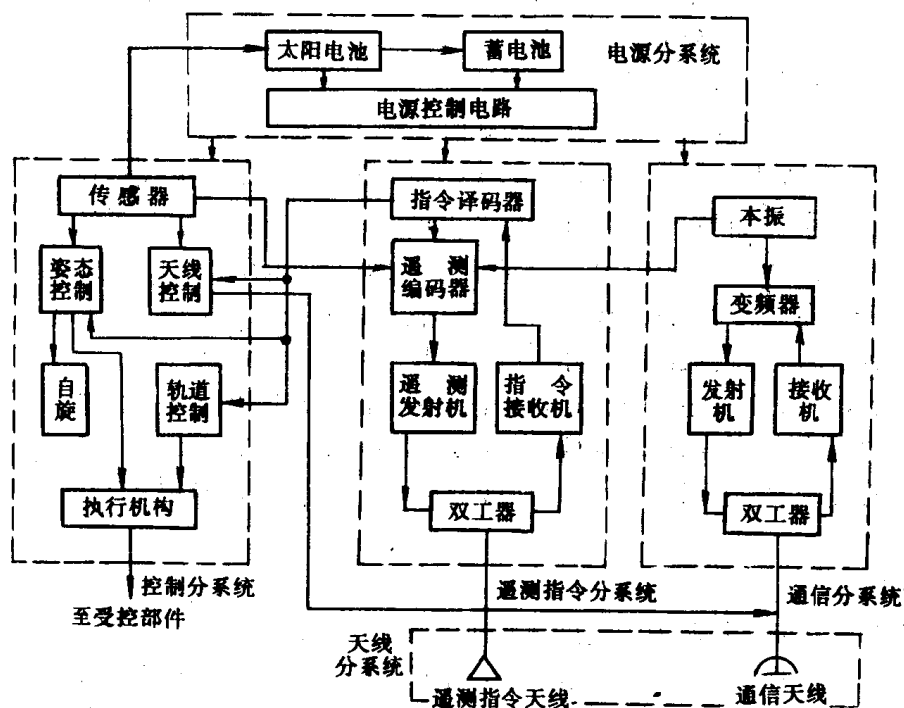


图 1-7 通信卫星的组成方框图

1. 天线分系统

通信卫星所用的天线有两种：一种是通信用的微波天线。通常它是定向天线。按其波束覆盖区域的大小，可分为全球波束天线、区域波束天线和点波束天线。在静止卫星上，全球波束天线常用喇叭形，其波瓣宽度约为 17.34° ，恰好覆盖卫星对地球的整个视区，天线增益约为 $15\sim 18 \text{ dB}$ 。点波束天线一般采用抛物面天线，其波束宽度只有几度或者更小，集中指向某一小区域，例如 IS-N 卫星上的天线约为 4.5° ，增益约为 $27\sim 30 \text{ dB}$ 。当需要天线波束覆盖区域的形状与某地域图形相吻合时，还可采用赋形波束天线（即成形波束天线）。目前，赋形波束天线比较多的是利用多个馈电喇叭，从不同方向经反射器产生多波束的合成来实现。

对卫星天线的要求，最主要的是要使其波束始终对准指定的地球上的通信区域。但是，

由于卫星本身通常是旋转的（譬如采用自旋稳定方式，以保持卫星姿态的稳定），为此需要在卫星上采用消旋天线。消旋装置可以是机械的，也可以是利用电子线路控制的。机械消旋是使安装在卫星自旋轴上部的天线与卫星自旋速度相等而方向相反，从而使卫星天线波束的指向始终保持不变。电子消旋是利用电子线路控制天线波束，使其进行扫描，而扫描速度与卫星自旋速度相等而方向相反，从而保证天线的指向不变。当卫星采用三轴稳定方式时，星体本身是不旋转的，这时则不需要采用消旋天线。

另一种是遥测、遥控和信标用的高频或甚高频天线。这些天线一般是全向天线，以便可靠地接收地面控制站的指令和向地面发射遥测数据。常用的天线形式有鞭状、螺旋形、绕杆式和套筒偶极子天线等。

2. 通信分系统

卫星上的通信系统也叫转发器或中继器，它实质上是一部宽频带收、发信机。通常一颗通信卫星上有若干个转发器，每个转发器覆盖一定频段。对转发器的基本要求，主要是工作稳定可靠，附加噪声和失真要小。

3. 遥测与指令分系统

为了保证通信卫星的正常运行，需要随时了解其内部各种设备的工作状况，必要时还要利用遥控指令调整某些设备的工作。其次，为了便于使地球站天线跟踪卫星，还需从卫星上发射信标信号，它可在卫星内部产生，也可由一个地球站产生，再经卫星转发。

遥测信号包括表示卫星内工作状态的信号（如电流、电压、温度、控制用的气体压力等），来自传感器的信号以及指令证实信号等。这些信号经多路复用、放大和编码后调制到副载波或传送信标信号的载波上，并与通信信号一起发向地球站。

如前所述，为了对卫星进行位置和姿态控制，需要利用喷射推进装置。这些装置的点火、高压电源开关的通、断以及部件的切换，都是根据地面遥控指令信号工作的。指令信号来自地面控制站，并在转发器中被分离出来，经检测、译码后送到控制分系统的执行机构。

4. 控制分系统

这一部分包括姿态控制和位置控制两种控制设备。姿态控制用来保证卫星对地球或其它基准物保持正确的姿态。对于同步卫星，主要是保证天线波束始终对准地球和使太阳能电池帆板对准太阳。姿态控制的方法很多，早期的同步卫星大都采用自旋稳定法进行姿态控制。随着窄波束天线的应用和卫星技术的发展，在一些新的卫星上已采用三轴稳定法进行姿态控制。

位置控制是用来消除摄动的影响，以便于使卫星与地球的相对位置保持固定。通常位置控制是利用装在星体上的气体喷射推进装置，根据地面控制站的指令进行工作的。

5. 电源分系统

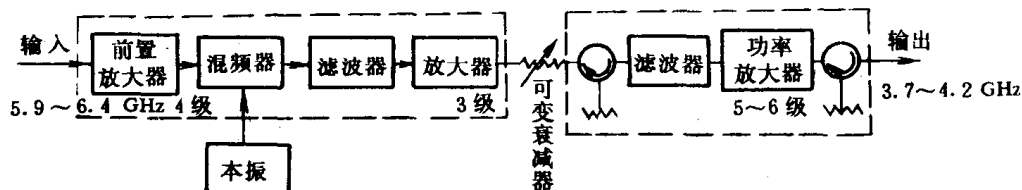
在通信卫星上常用的电源有太阳能电池和化学电池两种。平时主要使用太阳能电池。当卫星进入地球的阴影区时，则使用化学电池。

1.3.2 卫星转发器

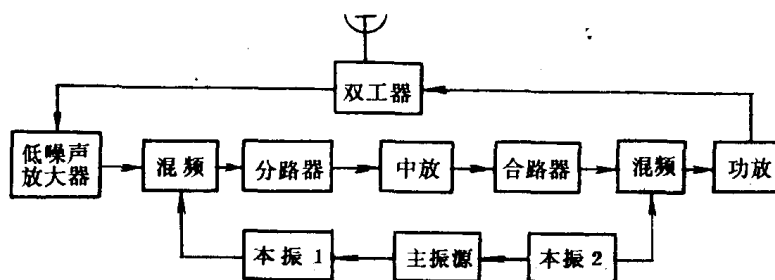
转发器是通信卫星的核心部分。通常它分为透明转发器和处理转发器两种基本类型。

1. 透明转发器

所谓透明转发器是指它接收地面发来的信号后，在卫星上不作任何处理，只是进行放大、变频和再放大，并发向各地球站，即单纯完成转发任务。按其在卫星上变频的次数，它分为一次变频转发器和二次变频转发器，如图 1-8 (a) 和 1-8 (b) 所示。



(a) 一次变换



(b) 二次变频

图 1-8 透明转发器的组成方框图

一次变频转发器是一种微波转发器，射频带宽可达 500 MHz 以上。由于这种转发器的输入、输出特性是线性的，允许多载波工作，适于多址连接，因而它适用于载波数量多、通信容量大的通信系统。例如 IS - I、IS - N、IS - V 以及我国 CHINASAT - I 等通信卫星都是采用这种转发器。

如果通信容量不大，所需带宽又比较窄，则转发器宜采用二次变频方案。二次变频方案的优点是中频增益高，转发器增益可达 80~100 dB，电路工作稳定。它的缺点是中频带宽较窄，不适于多载波工作。例如 IS - I、“天网”卫星以及我国第一期的卫星通信系统，都是采用这种二次变频方案。

2. 处理转发器

在数字卫星通信系统中，还常常采用处理转发器。在这种转发器中，首先将接收到的信号进行前置放大，经下变频器变换为中频信号，并进行解调、译码，对得到的基带数字信号进行处理。然后再经编码、调制，以及经中频放大、上变频和微波放大后，发向地球站。这种转发器的组成如图 1-9 所示。

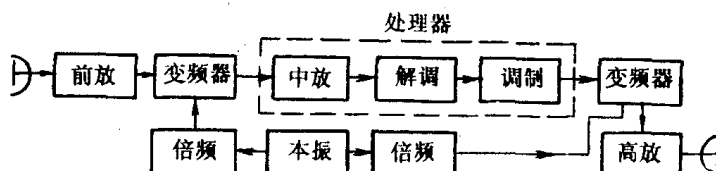


图 1-9 处理转发器的组成方框图

在处理转发器中, 卫星上的处理可用多种形式。目前已可实现的分两类: 一类是信息处理转发器, 它是将收到的上行频率信号, 经解调得到基带信号, 进行再生、编码识别、帧结构重新排列等处理, 再用下行频率发向地球站。

由于数字卫星通信系统传输中产生的误码, 大都属于由随机噪声引起的随机误码, 而不是由突发干扰引起的突发性误码, 因此纠错编码应以对随机误码纠错为主。而且, 因为传播时延较大, 所以一般多采用前向纠错。

另一类是空间交换转发器, 其中信号处理单元主要是交换矩阵网络。它可以采用微波交换矩阵网络, 也可以采用基带交换矩阵网络。交换矩阵网络实际上起着空间交换机的作用, 它将根据地面指令, 把转发器不同的上行输入信道切换到需要连接的下行输出信道。

采用处理转发器可以消除噪声的积累, 在保证同样通信质量的情况下, 可以减少转发器的发射功率, 其次, 上行和下行线路可分别选用不同的调制方式, 从而得到最佳传输。另外, 还可以根据不同的需要, 在处理转发器中, 对基带信号进行其它各种处理。显然, 处理转发器相对于透明转发器而言要复杂得多。

1.3.3 通信卫星举例

目前, 已发射的通信卫星已达数千颗, 其中仅静止卫星也已达 100 多颗。为便于了解通信卫星的主要特性, 在表 1-1 中列出了 IS 系列通信卫星的主要参数, 并以 IS-V 和 IS-M 为例, 简要介绍它们的主要特性和通信参数。

IS-V 和 IS-M 是目前国际上技术最先进、容量最大的通信卫星。IS-V 卫星为了增大通信容量, 它采用了以下一些措施:

(1) 在 6/4 和 14/11 GHz 两频段利用空间分隔和极化隔离进行频率再用, 使可用带宽达到了 2137 MHz。

(2) 增加转发器数目和天线波束类型, 已使转发器数目多达 27 个。其中除 C 波段转发器外, 还增加了 Ku 波段转发器以及 C 波段与 Ku 波段转发器间的互连能力。天线类型, 除全球波束外, 还有半球/区域波束和点波束, 如图 1-10 所示。

(3) 采用三轴稳定方式, 以获得较大的太阳能电池功率。

图 1-11 中给出了 IS-V 卫星的总体结构及其天线配置。在图 1-12 中给出了 IS-V 卫星通信系统的组成方框图。

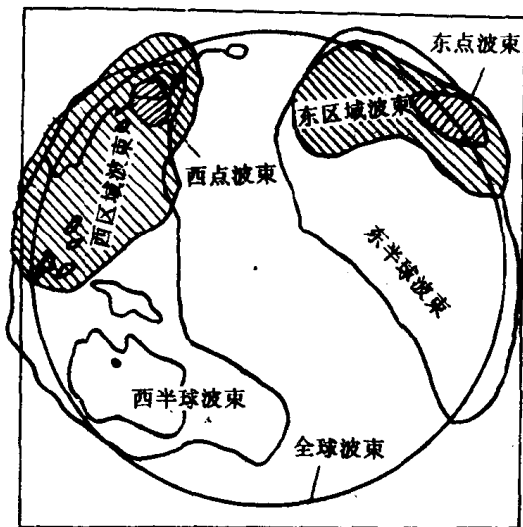


图 1-10 IS-V 通信卫星的天线波束配置示意图