

5007

7263

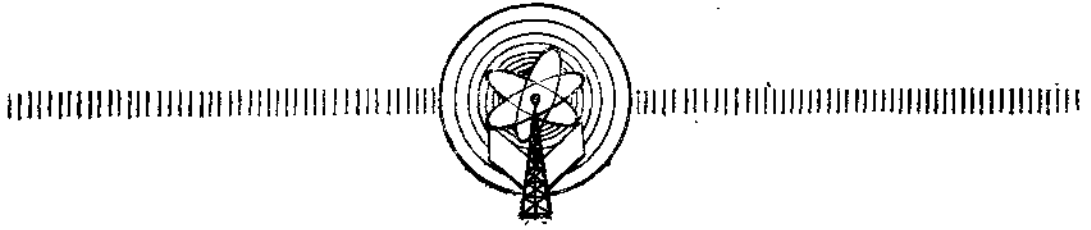
662865

通信系统

刘国梁 荣昆壁等 编



西北电讯工程学院



通 信 系 统

刘国梁 荣昆壁等 编

西北电讯工程学院

1981.4

序 言

本书是根据我院无线电通信工程系通信系统教学大纲(试行)编写的教材,供高年级通信系统课采用。待实施后再进一步修订。

在无线电通信技术领域中,为了实现信息传输,有各式各样的通信系统,其中卫星通信系统是近代通信发展的重要成果。它是在地面微波通信和空间技术的基础上发展起来的。它不仅能传输多路电话、电报,而且能传输高质量的电视、高速数据和传真;不仅适于民用通信,而且也适于军用通信;不仅能用于国际通信,而且也能用于国内通信和其它通信方式难于胜任的全球通信。与短波、海底电缆等远距越洋通信方式相比,卫星通信具有作用距离远、用途广、复盖范围大、通信频带宽、容量大、性能稳定可靠、机动灵活、成本低、见效快等优点。因此,从第一颗同步通信卫星投入使用到现在,短短的十余年间,卫星通信得到了迅速发展,已成为一种重要的通信手段,在无线电通信领域中正越来越占有重要的地位。所以确定卫星通信系统作为通信系统课的主要学习内容是适宜的。

考虑到卫星通信技术对无线电及其它基础理论综合运用十分广泛的特点,希望读者通过卫星通信频分制和时分制两种主要通信方式的学习,了解卫星通信的特点,熟悉卫星通信线路的计算,初步掌握 FDMA、TDMA、CDMA 的主要技术问题。加深对系统性能指标的理解,建立通信系统的完整概念。

本书共分九章,第一、二、三章是介绍卫星通信的一般概念、线路组成及功能、多址方式的一般原理。第四、五、六章则是本书的重点,包括模拟通信方式(以频分制为主要内容)、数字通信方式(以时分制,码分制为主要内容)以及卫星线路的计算等内容。最后第七、八、九章扼要讨论地面站设备,线路主要参数的测量以及它的主要发展趋势。

本教材按 60 学时编写,第八章的内容可以不实施,第五章的内容可以选择其中一种制式(时分制或者码分制)进行教学。如果条件允许,第七、八章也可以结合地面站现场进行教学。

本书由刘国梁(第三、四、六、七章及附录部分)、荣昆壁(第五章)、郭建屏(第一、二、九章)、任华升(第七、八章)等同志分工编写,最后由刘国梁同志审稿,并作了修改与补充。董国虎同志参加了本书各章的讨论。

限于编写水平,书中定有不少错误和不妥之处,希望读者及授课教师提出宝贵意见,予以批评指正。

编 者
1980.3.

7/11/12

目 录

第一章 绪 论

§ 1.1 引言	1
一、卫星通信的基本概念	1
二、卫星通信的发展概况	2
三、卫星通信的特点	4
§ 1.2 卫星通信系统及地面站的组成	6
一、卫星通信系统的组成	6
二、卫星通信系统的工作过程	7
三、卫星通信地面站的组成	7
§ 1.3 卫星通信用的频段与电波传播特点	10
一、工作频段的选择	10
三、电波传播特点	12

第二章 通信卫星

§ 2.1 卫星轨道	13
一、卫星的运动轨道	13
二、摄动	16
§ 2.2 通信卫星制式	16
一、决定通信范围的因素	16
二、通信卫星制式	17
§ 2.3 通信卫星的组成	18
一、通信系统	19
二、天线系统	21
三、遥测指令系统	22
四、控制系统	23
五、电源系统	23
§ 2.4 通信卫星举例	24

第三章 多址方式

§ 3.1 频分多址 (FDMA) 方式	31
一、FDM/FM/FDMA 方式的工作 原理	32
二、SCPC/FDMA 方式	35
三、交扰调制	36
§ 3.2 时分多址 (TDMA) 方式	44
一、PCM/TDM/PSK/TDMA 系 统 的 工 作 原理	46
二、TDMA 方式 帧 结 构 举 例	46
§ 3.3 空分多址 (SDMA) 方式及空分多址/卫星转	

接/时分多址 (SDMA/SS/TDMA) 方 式	49
---------------------------	----

§ 3.4 码分多址 (CDMA) 方式	51
§ 3.5 信道分配技术	54

第四章 调频通信方式

§ 4.1 FDM/FM 方式	57
一、多路电话系统的测量单位	57
二、多路电话信号的主要特性	58
三、多路电话信号调频波的频偏	64
四、多路电话调频信号的射频传输带宽	66
§ 4.2 多路电话调频系统的干扰噪声	66
一、噪声分类	66
二、话路噪声标准与噪声分配	67
§ 4.3 FDM/FM 方式对热噪声的信噪比	69
一、信号噪声比 S/N_0	69
二、噪声与信噪比的加权值	72
三、加重与加重系数	73
四、门限电平	74
五、门限扩展解调器	77
§ 4.4 FDM/FM 方式的失真噪声	81
一、非线性失真噪声	81
二、线控失真产生的串噪声	90
三、回波引起的失真	95
§ 4.5 SCPC/FM 方式	97
一、特点	97
二、SCPC/FM 方式的信噪比 S/N_0	98
§ 4.6 能量扩散	99
一、多路电话用的能量扩散信号	100
二、能量扩散信号引起的频偏	100
三、能量扩散信号的消除	102

第五章 数字通信方式

§ 5.1 TDMA 方式	103
一、TDMA 地面 终 端	103
(一) TDMA 地面终端 的 作 用	103

(二) TDMA地面终端设备的组成及其

工作过程	104
二、调制与解调	106
(一) PSK 调制	107
(二) 差分编码与调制	107
(三) 载波恢复	116
(四) 位定时恢复	120
(五) 误码率	123
(六) 其它调制方式	125
三、系统定时与同步	134
(一) 系统定时的一般概念	134
(二) 系统同步	139
四、与用户的接口	145
(一) 异步接入法	146
(二) 同步接入法	149
(三) 模拟接入法	149
五、系统效率	149
(一) TDMA 系统的帧结构	149
(二) 帧效率	151
§ 5.2 SPADE方式	153
一、工作过程	154
二、频率配置	155
三、SPADE 终端方框图及其工作原理	155
四、SPADE 信号传送的几个问题	159
§ 5.3 SCPC方式	163
§ 5.4 码分多址(CDMA) 方式	165
一、概述	165
二、扩频多址通信的基本原理	166
三、地址码	168
(一) 地址码的选择	168
(二) 伪随机序列	169
(三) m 序列	170
(四) m 序列的优选对组合码	186
四、系统性能	188
(一) 抗干扰能力	190
(二) 系统效率	191
(三) 系统多址能力	193
五、同步	196
(一) 捕获	197
(二) 跟踪	206
(三) 同步的建立过程	212

第六章 卫星通信线路的计算

§ 6.1 传播方程	213
§ 6.2 线路噪声的计算	215
一、噪声来源	215
二、等效噪声温度	217
三、工作噪声系数	221
§ 6.3 载波噪声比与地面站性能指数G/T	221
一、载波噪声比	221
二、接收地面站的性能指数	223
§ 6.4 卫星通信线路传输信号时所需C/T值	224
一、对热噪声的 C/T (C/T_0 及 C/T_D)	224
二、对干扰调制噪声的 C/T_{SI}	228
三、卫星线路的 C/T 值	229
§ 6.5 门限余量和降雨余量	230
§ 6.6 几种传输方式的线路参数举例	232
一、FDM/FM 方式	232
二、SCPC/FM 方式	236
三、TDMA 方式	239

第七章 地面站设备

§ 7.1 地面站的分类与要求	244
一、地面站的分类	244
二、对地面站的一般要求	244
三、地面站站址的选择	246
§ 7.2 地面站各分系统的设备	248
一、天线系统	248
二、大功率发射机分系统	253
三、低噪声接收机分系统	263
四、信道终端设备	271
五、终端设备	278

第八章 卫星通信线路有关参数的测量

§ 8.1 转发器有关参数的测量	280
一、转发器全向有效辐射功率的测量	280
二、转发器的输入灵敏度	282
§ 8.2 地面站有关参数的测量	284
一、地面站性能指数的测量	285
二、门限电平测量	289
三、发射机输出功率、输出输入补偿特性以及 带外辐射的测量	291

第九章 卫星通信的发展前景

附 录

第一章 绪 论

§ 1.1 引 言

一、卫星通信的基本概念

卫星通信是宇宙无线电通信的形式之一。它是利用人造地球卫星作为中继站转发无线电波，在两个或多个地面站之间进行的通信。

什么是宇宙无线电通信呢？以宇宙飞行体为对象的无线电通信，在国际上都把它称为宇宙无线电通信，简称为宇宙通信。宇宙通信有三种形式：(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的地球站之间的通信。通常，把第三种形式称为卫星通信。上面所说的宇宙站指的是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)或其它天体(如月球、行星等)上的通信站。地球站是指设在地面或海洋上(包括设在大气层中)的通信站，习惯上称它为地面站。本书所讨论的就是利用人造卫星转发的地面站之间的通信。

卫星通信是在地面中继通信和空间技术的基础上发展起来的。通信卫星的地位和作用，就相当于距离地面很高(例如几百到几万公里)的无人管理的中继站。它和利用对流层散射进行的无线电通信等不同，属于超远程通信，其通信过程可用图 1.1 作简单的说明。图中 A

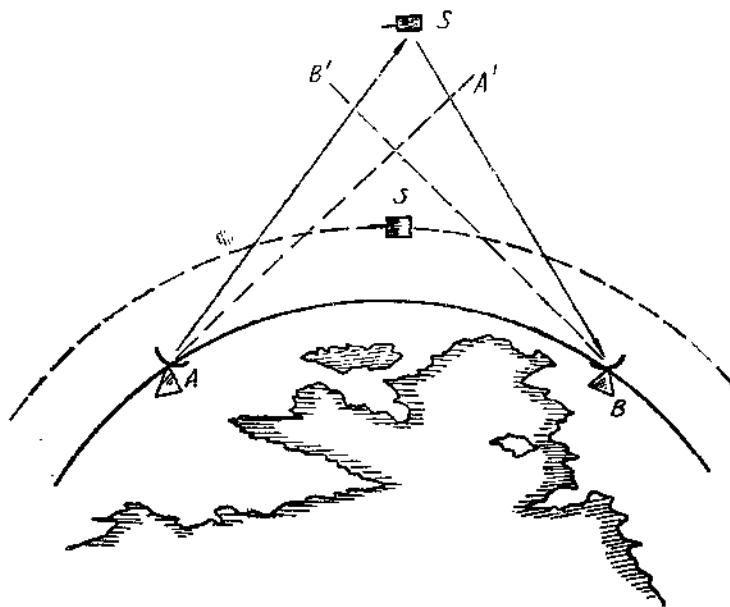


图 1.1

和 B 分别表示地球上的两个地面站，AA' 和 BB' 分别表示地球表面上在 A 点和 B 点的切线，也就是该两处的水平线。图中 S 表示通信卫星。显然，只有当 A、B 两站都能看到卫星时才能经卫星进行通信。如卫星的运行轨道属于低轨道时，那么距离较远的 A、B 两站便

不能同时看到卫星了。这时，从 A 站发出向 B 站传输的信号，是不能经卫星立即转发的，必须采用储存延迟转发方式（见图 1.2）其工作过程大致是这样的：当卫星飞经 A 站上空时，星体上的转发器接收 A 站发出的信号并储存（例如用磁带把语音信号记录下来）起来，等到卫星运行到 B 站上空时，由 B 站发出指令信号，启动卫星上的发射机工作，并把储存的信号发给 B 站。这种卫星通信系统就是延迟转发式卫星中继通信系统。这是早期使用的卫星通信系统。

当卫星运行轨道较高时（见图 1.1），A、B 两站便可同时看到卫星了。A 站发出的无线电信号，就可以立即为卫星转发器接收并经变频、放大等处理后，转发给 B 站。这种卫星通信系统称为立即转发式（相对于延迟转发而言）卫星中继通信系统。

如果卫星的位置相对于地面站来说是移动的，这种卫星通信系统称为移动式卫星通信系统。当卫星轨道在赤道平面内，其高度达到约 36000 公里时，它环绕地球一周的时间，恰好等于地球自转一周的时间（约 24 小时），其位置相对地面站来说成静止状态。那么，这种卫星称为静止卫星（习惯上也称为同步卫星），利用这种卫星进行通信的系统，称为同步卫星中继通信系统。目前，国际卫星通信系统和一些国家的国内卫星通信系统，用的都是这种赤道上空的同步卫星，因而通信系统属于同步卫星中继通信系统。

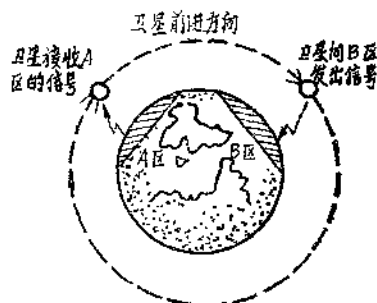


图 1.2

在上述卫星通信系统中，由于卫星上装有转发器，所以又称为有源中继卫星通信系统。

在星体上没有转发设备的卫星通信系统，称为无源中继卫星通信系统。在这种通信系统中，从 A 站发射的无线电信号，是利用星体表面的反射回到地面的。因而，只有一小部分能量为 B 站所接收，信号是极其微弱的。这是由于对有源卫星来说，地面站收到的功率与距离的平方成反比，而对无源卫星来说，则是与距离的四次方成反比，所以用无源卫星中继时 B 站收到的信号强度要比有源卫星中继时弱得多。随着无线电电子技术的发展以及有源卫星的有效功率的提高，无源卫星经早期的实验性阶段后，就被否定而为有源卫星所代替了。

二、卫星通信的发展概况

为了能对卫星通信发展过程中所解决的技术问题有概括的了解，现简单介绍其发展概况。它的发展大致经历了三个阶段。在早期，即本世纪四十年代末期和五十年代初期，人们曾多次证明，月球对无线电波的反射作用可以用于雷达和通信。1956 年，在华盛顿和夏威夷间建立了用月球中继的通信线路，这条线路一直工作到 1962 年，其地面站的有效发射功率为 100 瓦，工作频率为 430 兆赫，天线直径 26 米。利用月球反射电波的原理，人们又用火箭发射了一个适当体积的金属化气球，把它送到一定的轨道，作为地面站发射电波的散射器，其中一部分能量可以被气球视界范围内的地面接收系统所接收，构成无源中继卫星通信系统。1960 年 8 月有关国家就是利用这种金属化气球“回声”（Echo）I 号作了横跨美洲大陆的通信试验。该气球直径 100 呎，重 175 磅，位于高度为 1500 公里的倾斜轨道上。该系统所用频率为 960 兆赫和 2200 兆赫。无源卫星用于多址通信时，其通信容量不受限制（与转发器的带宽受限制相比），并且不需要在星体上装置复杂的电子设备。但散射信号太弱，

是其最大缺点。人造地球卫星出现后,开始用有源卫星作通信试验。1958年12月,美国用斯科尔(Score)卫星作了磁带录音的甚高频传输试验。1960年4月,用气象卫星“泰罗斯”I号(700公里高度的圆轨道),在两个月内传送了22592张气象照片。

“斯科尔”是一个延迟转发式语音广播卫星。它在150兆赫的频率上接收地面站的信号,先把信息储存在磁带上,当卫星运行到地面接收站上空时再进行转发。发射频率为122兆赫,功率为8瓦。卫星有效重量为68公斤。其轨道是近地点高度为182公里,远地点高度为1048公里的低轨道。

此外,在1960年10月,美国“信使”I号卫星发射到高度1000公里、倾角 28.3° 的轨道上,作了延迟式卫星中继通信。工作频率为1700~2300兆赫。

在卫星通信发展的实验阶段,主要是利用“电星”(Telstar)、“中继”(Relay)和“辛康”(Syncom)等卫星作试验的。

“电星”卫星是最早的有源中继卫星,用于转播电视,发射频率为6千兆赫,接收频率为4千兆赫,射频带宽为50兆赫。卫星转发器用的行波管,其有效发射功率为2.25瓦,总通信容量为600路电话或1路彩色电视。

“中继”I号卫星是在1962年12月发射的,以后又发射了“中继”II号卫星。通过这两颗卫星成功地作了跨越太平洋的电视转播和其它一些基础实验,从而为通信卫星的设计积累了许多资料。“中继”卫星的发射频率为4千兆赫,接收频率为1.7千兆赫。

上述“电星”卫星和“中继”卫星也都是低轨道卫星。它们的缺点是通信时间短,且通信时间随远地点周期变化而变化。为此,在1963年7月,发射了“同步”II号卫星,以后又发射了“同步”III号卫星,成功地转发了电视节目。该卫星的发射频率为1800兆赫,接收频率为7300兆赫。

1964年8月有11个国家达成了协议,建立国际通信卫星组织(Intelsat),以便进一步发展国际卫星通信。此后,于1965年4月发射了第一个国际通信卫星IS-I号(即“晨鸟”Early Bird)。从此开始了全球性的商用卫星通信。同时,经过上述卫星的各种试验,已使卫星通信进入了实用阶段。以后又陆续发射了IS系列卫星,这些卫星都是同步卫星。

从1966年10月到1967年4月向大西洋和太平洋上空共发射了IS-II系列四颗卫星。它的转发器频宽已扩大到126兆赫,并将行波管并联运用以增大卫星输出功率。由于通信业务量的不断增大,从1968年到1970年7月,国际通信卫星组织先后发射了IS-III系列八颗卫星。这时,转发器频带宽度已扩大到450兆赫。在运行过程中,有三颗卫星发生故障后失效,其余的也不断发生问题,从而加速了IS-IV系列通信卫星的出现。

1971年1月开始发射IS-IV系列卫星,配置在太平洋和印度洋上空。这时,可以说卫星通信已达到了成熟阶段。与前几代IS系列卫星相比,IS-IV系列卫星由于轨道重量大大增加(达766公斤),卫星的功率和总通信容量都增大了很多。转发器的频带宽度已扩展到500兆赫,可以传送脉码调制电话、数据、传真以及电视等多种信号。并且,在卫星上除装有覆球波束天线外,还装置了两部 4.5° 的点波束天线,以便有选择地对某些业务量繁忙的地区集中更多的能量,保证通信的顺利进行。关于国际通信卫星的发展概况及其主要参数如表1.1所示。

上面简单地介绍了民用卫星通信系统的发展概况,其中较多地介绍了国际通信卫星系统的情况。除上述卫星和通信系统外,实际上还有许多国家在研制各种用途的卫星通信系统

国际通信卫星发展概况及其主要参数 表1.1

卫星名称	IS I	IS-II	IS-III	IS-IV	IS-IV A
发射时间	1965.4	1967.1	1968.12	1971.1	1975.9
轨道重量 (公斤)	39	87	152	702	766
直径 (厘米)	72.1	142.2	142.2	243.8	243.8
高度 (厘米)	59	67	104	533	670
稳定方式	自旋	自旋	自旋	自旋	自旋
直流功率 (瓦)	46	100	150	540	540
发射功率 (分贝瓦)	11.5	15.5	23	34.5 (点波束) 22.5 (覆球波束)	—
收信频率 (兆赫)	6310~6390	6283~6409	5925~6425	5925~6425	5925~6425
发信频率 (兆赫)	4160~4081	4058~4184	3700~4200	3700~4200	3700~4200
收信带宽 (兆赫)	25×2	126	500	500	500
发信带宽 (兆赫)	25×2	126	225×2	36×12	36×20
转发器数目	2	2	2	12	20
通路容量 (路)	240	240	1200	5000	11000
寿命 (年)	1.5	3	5	7	7

(例如国内或地区性的卫星通信系统, 实验性航海和航空卫星通信系统、实验性广播卫星系统以及军用卫星通信系统等等)。目前, 世界上有代表性的卫星通信系统已达 40 多个, 其中 30 多个系统都有自己的卫星和地面站。这些系统已投入使用, 还有一些系统正在深入研究。

在我国, 自第一颗人造地球卫星发射成功以后, 也在积极研制自己的卫星通信系统, 其中包括通信卫星和地面站设备, 进展也是迅速的。目前, 已研制出调频制卫星通信系统和数字式卫星通信系统的地面站设备, 并作了性能试验。而且, 最近还将发射自己的通信卫星 (同步卫星), 用于通信和广播。

三、卫星通信的特点

卫星通信的应用范围很广, 它不仅能够传输多路电话和电报, 而且能够传输高质量的电视, 高速数据和传真信号; 不仅适用于民用通信, 而且适用于军事通信; 不仅适用于国际通信, 也适用于国内或某些区域内的通信。

卫星通信与短波或海底电缆等远距离通信方式相比, 它具有作用距离远、覆盖面积大、性能稳定可靠、机动灵活、通道容量大等许多优点。其中值得着重说明的是: (1) 覆盖面积大, 可以进行多址通信。其它许多类型的通信系统, 都是只能实现点对点的通信, 因而是“线覆盖”。例如, 普通微波中继通信线路, 通常用于干线多路通信, 它最多是组成若干分支线路。而且, 在通信距离过远时, 通信质量将因多次转发而变差。另外, 由于带宽和传输特性 (如存在较严重的干扰和噪声等) 的限制, 也要影响通信质量。卫星通信系统则是大面积覆盖。在覆盖区域内, 许多地面站都可共用一颗通信卫星, 实现双边或多边通信 (见图 1.3), 即进行多址通信。从地面站 A 发出的无线电信号, 可经卫星中继, 向 B、C、D 等站转发。同样, B、C、D 等站也可利用卫星转发器, 发送无线电信号。从而实现卫星覆盖区域内的所有地面站之间的通信。

能进行多址通信是卫星通信的重要优点。又因为卫星的覆盖区域很大，一颗同步卫星的“直视”范围约为地球表面积的三分之一。因此，在这范围内的地面站基本上不受地理条件或通信对象运动条件的限制，使通信线路具有很大的灵活性。换句话说，它不仅可以与固定

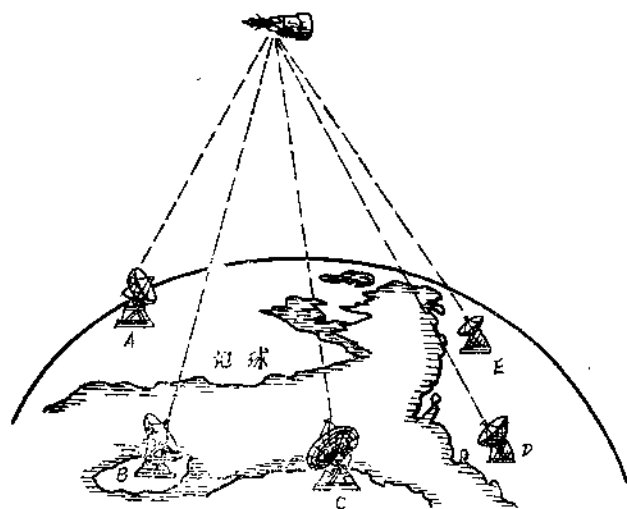


图 1.3

在陆地上的地面站通信，还可以与移动的地面站（如飞机、舰船等）进行通信。

(2) 通信频带很宽。从使用角度来看，地面微波中继通信的传输容量主要由终端站决定。而卫星通信由于具有多址连接特性，这就使得整个通信系统的传输容量主要取决于通信卫星的带宽和发射功率。它超过了以往所用的其它各种通信工具，能够传输高质量的电视、多路电话以及其它各种类型的信号。

正因为卫星通信有上述一些突出的优点，所以受到了许多国家的重视，都在竞相发展卫星通信。从1965年第一颗同步卫星——国际通信卫星 IS-I 开始运行到现在仅十余年，卫星通信已发展成为世界范围内的重要通信手段，并且还在不断地扩大其应用范围。

当然，卫星通信也还存在一些有待解决的问题：

(1) 为了使通信卫星有很高的可靠性、长寿命，需要各方面的技术与之配合。否则，任何一个部件或元件发生故障，在目前由于在卫星被发射后难以进行现场检修，将要使卫星的局部或整体失效，从而影响卫星的寿命。为了解决这些问题，在制造通信卫星时，势必要做大量的可靠性试验。即使如此，目前由于受太阳能电池的寿命以及控制用的燃料数量的限制等，卫星的寿命也只能做到7年左右。

(2) 需要地面站有大功率发射机、低噪声接收机和高增益天线。为了改进卫星的技术性能，增大通信容量，往往需要增多星上设备，加大星上能源，以致加大星体重量。但这在一定程度上要受运载工具的限制。因此，往往迫使人们不得不降低对卫星转发器性能的要求，而提高对其它方面的要求。例如，上述地面站大功率发射机、低噪声接收机和高增益天线，都是因为卫星重量还受一定限制，转发器功率太小，致使地面接收的信号太弱而必须设置的。

另外，由于卫星通信的传输线路太长，存在传输时间延迟较大的问题。关于它的影响是

很明显的，这里不予详细讨论了。

由上述可见，卫星通信虽有独特的突出的优点，也还有一些不足之处。不过，从发展来看，随着电子技术以及其它有关的工程技术的不断提高，它的优点会愈来愈得到充分的发挥，缺点则会逐步得到克服，使之日臻完善，从而使卫星通信得到日益广泛的应用。

§ 1.2 卫星通信系统的组成

一、卫星通信系统的组成

上面我们介绍了卫星通信的基本概念。可以看出，不论通信卫星的运行轨道如何，根据卫星通信系统的任务，一条通信线路总由发端地面站、上行线路、转发器、下行线路和收端地面站组成（如图 1.4 所示）。其中上行线路和下行线路就是无线电波的传播路径。为了进行双向通信，每一地面站均应包括发射系统和接收系统。由于发射和接收系统一般要共用一部天线，又要将接收与发射的信号分开，因此在天线与收、发系统连接的地方，装置了一个双工器。地面站发射系统与接收系统的终端，通常都是与市内通信线路（例如微波线路或同轴电缆线路）连接的。发射系统包括多路复用设备、调制器和发射机；接收系统包括接收机、解调器和多路分解设备。地面站规模的大小，视通信系统的用途而定。如前所述，它可以是固定的，配置在陆地上，也可以是移动的，装在飞机或舰船上，还可以是可拆卸的。转发器的作用是接收地面站发射的信号，在其中经变换、放大后再转发给其它的地面站。因此，它由天线、接收设备、变频器、发射设备以及双工器组成。

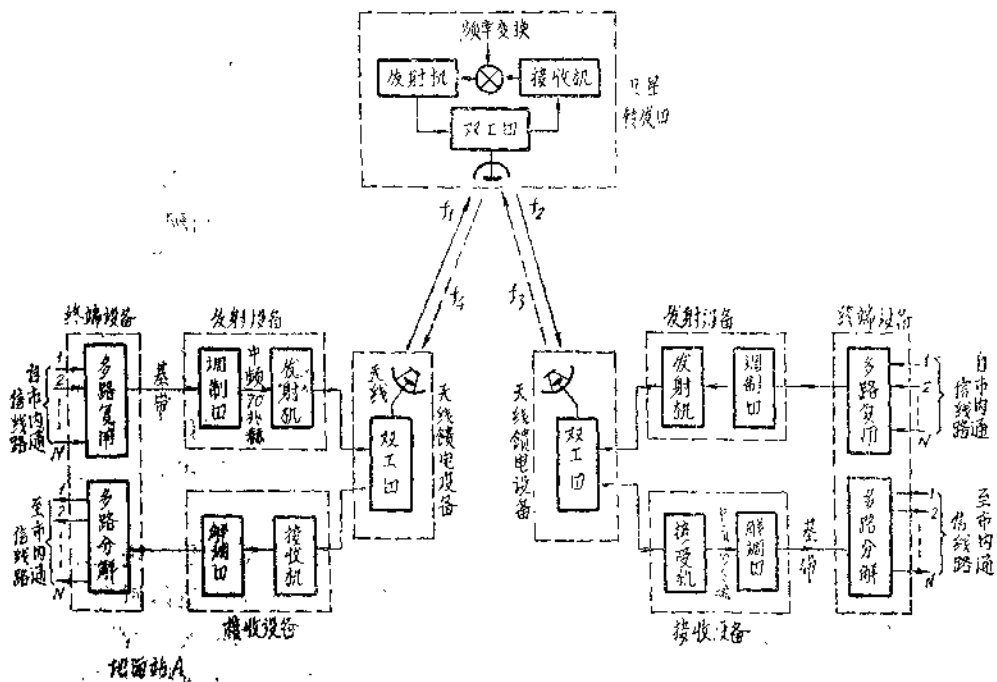


图 1.4

二、卫星通信系统的工作过程

卫星通信系统的工作过程是这样的：以频分多路电话信号为例，由市内通信线路送来的电话信号，在地面站 A 的终端设备内经复用后输出多路电话信号。通常把它称为基带信号，其频带范围根据电话路数的多少而定，一般为几十千赫至几兆赫。基带信号被送至调制器，对 70 兆赫（或更高的频率）的载频信号进行调制，成为中频信号。目前，在模拟信号的卫星通信系统中多采用调频制，因此中频信号是一频率随基带信号变化的调频波。这一信号经发射机的上变频器变换为频率更高的微波信号（通常微波信号的频率为几千兆赫，例如 6 千兆赫或者更高一些的频率）。最后经大功率放大器放大到足够高的电平，再经双工器和天线辐射出去。

由地面站 A 发到转发器去的信号，经大气层和自由空间中的传播（即上行线路），一方面要受到很大的衰减，另一方面还要引入一定的噪声，最后到达卫星转发器。

在空间转发器中，上行线路的载波频率为 f_1 （例如 6 千兆赫）的信号，先经接收机变换成频率较低的中频信号，并进行一定程度的放大。然后再变换为下行的载波频率为 f_2 （例如 4 千兆赫）的信号。最后经发射机输出级（即功率放大器）的放大，由天线辐射出去，以便为收端地面站接收。

经空间转发器发射的载波频率为 f_2 的信号，同样经过自由空间和大气层，受到很大的衰减和引入一定的噪声，最后到达收端 B 站。因为转发器的发射功率较小，天线增益较低。所以到达 B 站的信号强度是很微弱的，必须用高增益天线和高灵敏度（即低噪声）接收机来接收。被接收的信号经天线、双工器、接收机的低噪声放大器和下变频器，变频为中频信号后，送到解调器，经解调后得到基带信号。最后利用多路分解设备进行分路，并通过市内通信线路分别送到各个用户。

这样就完成了单向的通信过程。反之，由 B 站向 A 站传送电话信号时，与上述过程类似，不同的是上行线路用的载波频率为 f_3 ($f_3 \neq f_1$)，下行线路的载波频率为 f_4 ($f_4 \neq f_2$)，以避免通信过程中的相互干扰。

上面谈到的只是卫星通信系统中两个地面站之间的通信。如果是多个地面站间进行通信，情况也与上述类似。

三、卫星通信地面站的组成

以上简单地介绍了卫星通信系统的组成及其工作过程。为了进一步了解其工作原理，下面我们仍以调频通信系统为例，扼要地介绍一下地面站的组成。关于卫星转发器的组成将在第二章里介绍。

在卫星通信系统中，除空间转发器外就是地面站了。地面站种类很多，这里介绍的是固定的标准地面站组成情况。

整个地面站包括天线馈线系统、发射系统、接收系统、终端接口部分、通信控制系统以及电源系统，其方框图如图 1.5 所示。

由总体方框图可以看出地面站设备的大致情况。市内的电话与电视信号经微波线路或电缆送到地面站终端接口设备。对于电视信号，通常是把它分成图像信号和伴音信号，分别传输。考虑到其它要求，例如还要传输节目的解说等，一般是和伴音信号共用 24 个话路。图

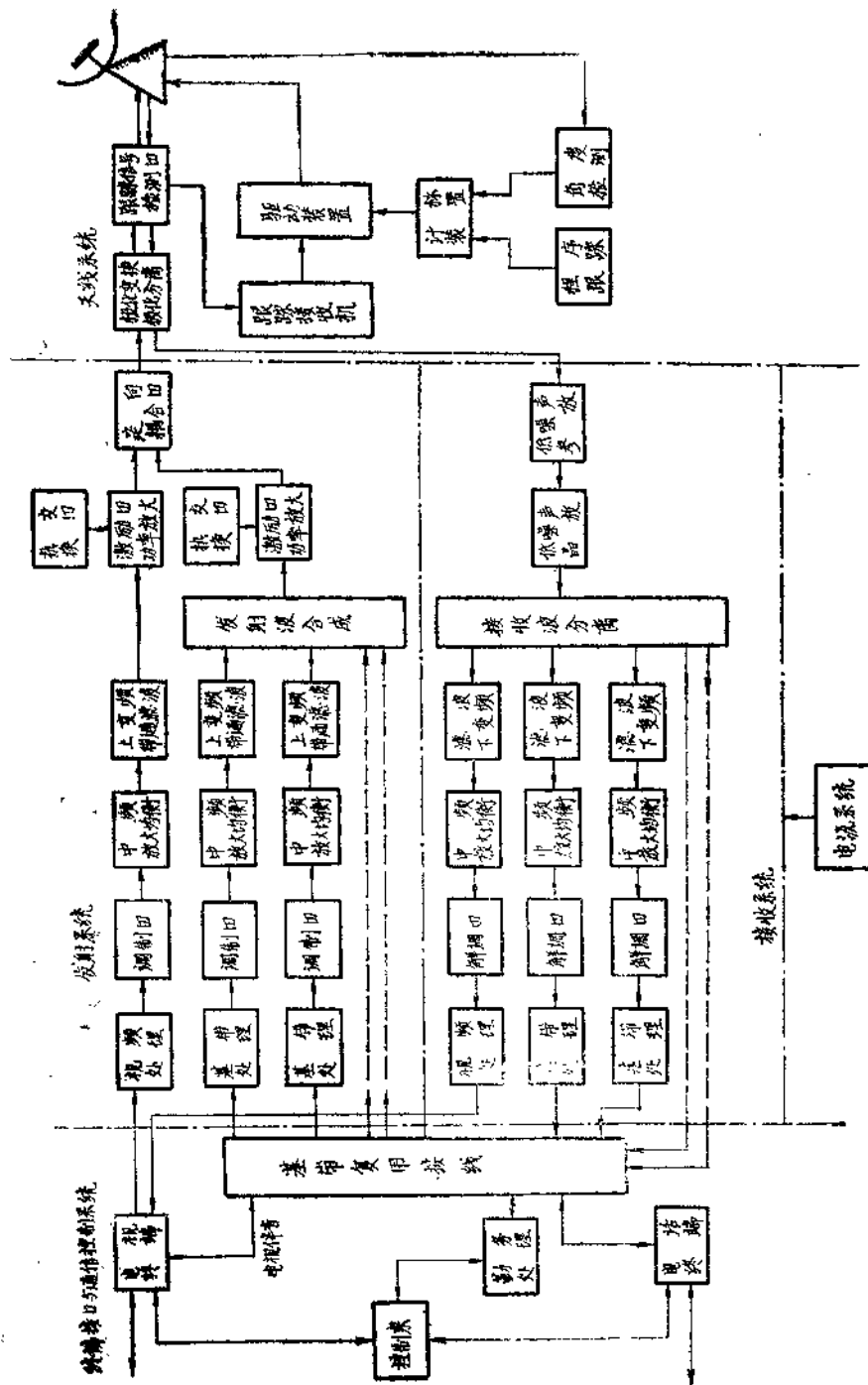


图 1.5

像信号经视频处理单元后加到电视调制器，变为 70 兆赫的调频波。然后经中频放大与均衡电路，送到上变频器，变成 6 千兆赫的微波信号。最后经大功率放大器输出。对于电话信号，它和电视伴音信号、指令信号和勤务信号，经复用接线设备把它们重新排列为基带信号。这些基带信号经基带处理单元，送到电话调制器。得到的调频信号经中频放大与均衡后加到上变频器变为微波信号，并由功率放大器进行放大，使之达到所需信号电平。由图 1.5 可以看出，电视信号和电话信号是分开传输的，直到定向耦合器才把两者合在一起，再经极化变换器、馈线和天线发向卫星。收信过程与此相反。接收到的信号在接收波分离装置内把电视信号与电话信号分开，分别经下变频器、中频放大与均衡、解调等部分，送至各自的处理单元。最后分别经电视与电话终端设备输出。

由于一个地面站可能利用多个载波频率与多个地面站通信。因而发端和收端都有多条通道，（见图 1.5）。

1. 天线馈线系统

天线馈线系统的主要作用是经过它向卫星发射所要传送的信号，并接收由卫星发来的微弱信号。它由天线、馈线系统、跟踪设备、驱动装置以及测量系统组成。

因为卫星通信系统，一般是工作在微波频段，所以采用微波面天线，例如卡塞格伦天线等。馈线系统起着传输能量和分离电波的作用。为了提高传输能量的效率，馈线的损耗应该很小。馈线系统由馈源喇叭（一次辐射器），波导元件和馈线组成。

为了使天线波束能准确地对准卫星，配置了跟踪设备、天线仰角与方位角的测量系统以及驱动装置。

2. 发射系统

在标准地面站中，要能产生几百瓦至十几瓩的大功率微波信号，发向卫星。而且为了进行多址通信，一个地面站要能同时发射多个载波。因此，它应能在高电压、大功率、宽频带和多载波情况下工作。

图 1.6 是发射系统主要设备的方框图。它包括宽频带调制器、中频放大器与滤波器、上变频器、发射波合成电路、激励器和大功率放大器。为使大功率放大器输出电平保持稳定，必须对其输出功率进行自动控制，即采用自动功率控制电路，如图 1.6 所示。通常它应把功率的波动限制在 ± 0.5 分贝以内。

激励器是小功率，高增益的行波管放大器，它在 500 兆赫的带宽内获得 40~50 分贝的增益，以保证大功率行波管所需要的激励电平。至于传输波导前的行波管放大器的功用，是用来补偿波导传输中的衰减。

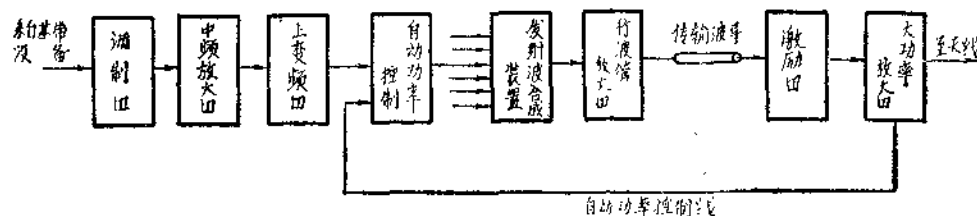


图 1.6

大功率放大器常用的器件是大功率行波管或大功率速调管。一般电视通道常采用速调管

放大器，而大容量的多路电话通道的发射部分则常采用行波管放大器。

3. 接收系统

在卫星通信中，由于通信距离非常远，卫星发射功率又受到限制，因而地面站收到的信号很微弱，甚至可能小于 0.1 微微瓦。所以，设备本身的热噪声必须很小，才能使接收系统具有高灵敏度。在前面已经提到，为此接收系统必须使用低噪声放大器。它的方框图如图 1.7 所示。它由低噪声放大器、低噪声晶体管放大器、接收波分离装置、下变频器、中频放大与滤波器和解调器组成。



图 1.7

低噪声参量放大器通常由 3~5 级组成，并用致冷设备使它降到极低的温度。这时在 4 千兆赫的频段上增益可达 60 分贝，噪声温度低于 22°K。

低噪声晶体管放大器主要是用来补偿波导的传输损耗。

对于多路电话信号，为了提高解调灵敏度，通常采用门限扩展解调器。

4. 终端接口设备与通信控制系统

终端接口设备的作用是把各种不同的信号分别加以整理、放大、变换，最后按一定的规律进行排列，送到基带处理单元，以便在卫星线路上有效地传输。它包括电话终端设备、电视终端设备、传真与数据终端设备等。

电话终端设备实际上是一部载波机。它把发往不同地点的电话信号排列成一定的路数。经重新组合的基带信号被送至基带处理单元。反之，将接收的信号重新排列后，送至市内线路。

电视终端设备包括图像终端设备和伴音终端设备。图像终端设备由调整图像信号电平的终端设备、图像监视设备、试验设备以及中继线路设备组成。伴音终端设备基本上与电话终端设备相同，但它占用频带较宽，相当于 3 路电话的带宽。

通信控制系统由监视设备、控制设备和测试设备组成。监视设备用来监视地面站总体工作状态，它包括电话监视设备、电视监视设备和记录设备。当通信业务面临中断或已中断时，能在中心控制台上显示出来，并可指示所用设备是现用设备还是备用设备。控制设备的主要作用是对无线电设备进行遥测和遥控以及进行设备的转换（现用和备用）。测试设备主要指各种测试仪表以及由频率变换器、调制器和解调器组成的试验系统。它们用来指示各部分设备的工作状态，在站内进行环路试验。

§ 1.3 卫星通信用的频段与电波传播特点

一、工作频段的选择

卫星通信选用什么频段工作是一个十分重要的问题。因为它将直接影响到系统的传输容量、地面站和转发器的发射功率、天线尺寸以及设备的复杂程度等等。

通常在选择卫星通信用的频段时，主要从以下一些方面来考虑：

- (1) 天线系统接收的外部噪声要小；
- (2) 电波传播过程中产生的衰耗要小；
- (3) 尽可能有较宽的频带以满足信息传输的要求；
- (4) 充分利用现有的通信技术以及能与现有通信设备配合使用；
- (5) 与其它通信及雷达系统之间的干扰要小。

根据上述要求，通常都是选择在特高频或微波频段工作。下面较具体地介绍一下在这些频段工作的特点。

首先，无线电波在地面站和卫星之间进行传播时，要穿过地球周围的大气层。由于它对电波有吸收作用，要产生一定的吸收损耗。人们经过大量的测试和分析得出，大气吸收损耗与频率的关系如图 1.8 所示。从图中可以看出，当工作频率在 1~5 千兆赫时，大气吸收损耗较小，而频率为 5~10 千兆赫时，大气吸收损耗开始增大，到 30~50 千兆赫时将变得很大。所以从大气吸收损耗方面来看，卫星通信的工作频率最好选择在 10 千兆赫以下。

其次，从外部噪声来看，当工作频率降低到 100 兆赫以下时，宇宙噪声会随着频率降低而迅速增加（见图 1.9），所以最低频率应高于 100 兆赫。

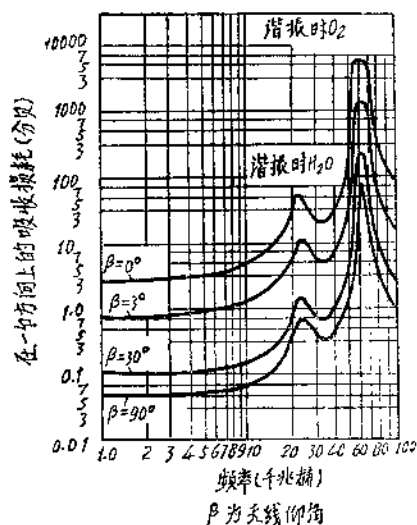


图 1.8

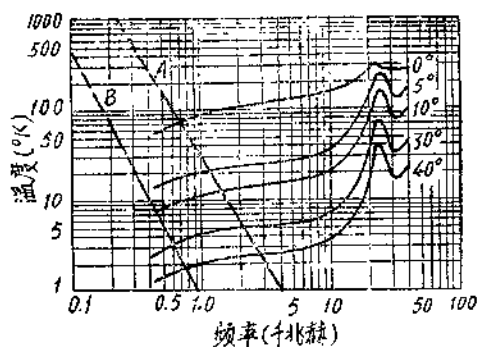


图 1.9

因此，从减小接收系统的噪声和大气吸收损耗这两方面来考虑时，工作频率选择在 1~10 千兆赫范围内较好。有时把这一频率范围称为“无线电窗口”。

而且，微波频段的频带很宽，可以容纳较多的路数。工作在这一频段可以利用较成熟的技术和现有的地面通信设备。由于工作频率愈高，天线增益愈大，工作在微波频段就可使天线尺寸小些。

此外，像卫星发射机的效率、低噪声放大器的形式等，也是应该考虑的因素。

目前，国际上有关部门也是确定 1~10 千兆赫作为卫星通信用的频段。

当然，上面所指出的卫星通信的工作频段并不是绝对不可变动的。随着通信业务量的增加，显然这一频段就变得拥挤不够用了，因而需要不断地扩大频率范围。1971 年国际上有关会议已确定把宇宙无线电通信的工作频段扩展到 275 千兆赫。

现在，卫星通信使用的频段大致是这样划分的：固定地面站的通信业务使用2.5~2.9千兆赫、4~6千兆赫、11~14千兆赫和20~30千兆赫；移动地面站（指航海、航空和陆地上的移动站）的通信业务使用225~400兆赫、1.55~1.65千兆赫和7~8千兆赫；卫星广播业务使用700~900兆赫等。至于这些频段的详细划分，不再一一列举了。

二、电波传波的特点

由于卫星通信用的无线电波主要是在大气层以外的宇宙空间内传播，而宇宙空间是接近真空状态的。并且由于在目前所使用的频段范围内，与自由空间的传播衰减相比，大气层衰减损耗还是很小的。所以基本上可以认为，电波是在均匀媒质的自由空间内传播。这和地面微波中继通信以及对流层散射通信不同，卫星通信所用电波传播的信道是很稳定的。因此，从信道性质来讲，一般都认为它是恒参信道。