

卫星通信及地面站设备

刘 国 良 编 著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书较全面地介绍了卫星通信的基本概念,包括卫星、地面站设备的各部分电路工作原理与理论分析、FDM/FM/FDMA与SCPC/FM方式的工作原理,通信线路的计算、数字卫星通信的基本概念等。

本书可供地面站工作的技术人员阅读,也可供从事其他通信专业的人员参考。

卫星通信及地面站设备

刘国良 编著

责任编辑: 李小曼

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 850×1168 1/32 1985年2月第 一 版
印张: 17 8/32 页数: 276 1985年2月河北第一次印刷
字数: 455千字 插页: 2 印数: 1—4,000册

统一书号: 15045·总2920—无6298

定价: 2.95 元

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 卫星通信的基本概念	(1)
一、什么是卫星通信	(1)
二、卫星通信的特点	(5)
三、卫星通信系统的组成及其工作过程	(8)
第二节 卫星通信的多址方式	(11)
一、频分多址 (FDMA) 方式	(13)
二、时分多址 (TDMA) 方式	(20)
三、空分多址 (SDMA) 方式和空分多址/卫星转换/时分多址 (SDMA/SS/TDMA) 方式	(24)
四、码分多址 (CDMA) 方式	(28)
第三节 信道分配技术	(30)
一、预分配方式	(30)
二、按需分配方式	(31)
第四节 卫星通信使用的频段	(33)
第二章 通信卫星	(37)
第一节 卫星的运动轨道	(37)
第二节 通信卫星制式	(42)
一、决定通信范围的因素	(42)
二、通信卫星制式	(44)
第三节 通信卫星的组成	(46)
一、通信系统	(46)
二、天线系统	(51)
三、遥测指令系统	(53)
四、控制系统	(54)
五、电源系统	(55)

第四节 通信卫星举例	(57)
第三章 FDM/FM/FDMA通信方式	(60)
第一节 频分复用 (FDM) 原理	(60)
一、频分复用原理	(60)
二、群信号频带和线路传输频带	(62)
第二节 FDM信号特性	(67)
一、传输电平	(67)
二、多路电话信号的主要特性	(71)
第三节 调频原理和调频信号的特性	(83)
一、调频的一般原理	(84)
二、调频波的频谱	(87)
三、多路电话信号调频波的频偏	(91)
四、调频波的传输带宽	(96)
五、调频制的宽带增益和门限效应	(99)
第四节 传输特性	(102)
一、幅频特性	(103)
二、相频特性	(105)
三、群时延特性	(108)
第四章 卫星通信地面站	(115)
第一节 地面站的分类与要求	(115)
一、地面站的分类	(115)
二、对地面站的一般要求	(116)
三、地面站站址的选择	(118)
第二节 地面站的组成	(122)
一、天线系统	(124)
二、跟踪系统	(124)
三、发射系统	(126)
四、接收系统	(127)
五、终端接口设备	(127)
六、通信控制系统	(128)

第五章 信道终端(发端)设备 (130)

第一节 电话基带处理单元 (131)

一、电话预加重网络 (131)

二、自动增益控制放大器 (133)

三、峰值限幅器 (139)

四、电话低通滤波器 (140)

五、能量扩散和三角波产生器 (142)

六、信号检出器 (151)

七、合成器 (152)

第二节 频率调制器单元 (154)

一、基本工作原理 (154)

二、组合频率调制器 (157)

第三节 中频放大器单元 (171)

一、可变衰减器 (171)

二、中频放大器 (172)

三、中频带通滤波器 (173)

四、群时延均衡器 (174)

第六章 大功率发射机 (186)

第一节 上变频器 (190)

一、非线性电抗中的一般能量关系 (191)

二、参量放大器的工作原理 (196)

三、变容二极管的结构、等效电路与参数 (200)

四、上变频器的简单分析 (204)

五、上变频器的结构 (210)

第二节 速调管放大器 (211)

一、双腔速调管的工作原理 (212)

二、双腔速调管的简单分析 (216)

三、多腔速调管的工作原理 (230)

四、多腔速调管结构及举例 (234)

五、多腔速调管的工作特性 (240)

第三节	行波管放大器	(244)
一、	行波管工作原理及其慢波电路	(244)
二、	行波管的基本结构	(252)
三、	行波管的工作特性	(256)
第四节	大功率发射机设备方框图	(268)
一、	小功率行波管放大器	(268)
二、	中功率行波管放大器	(269)
三、	大功率速调管放大器	(269)
第七章	天线馈线系统	(272)
第一节	概述	(272)
一、	天线馈线系统的组成	(272)
二、	对天线馈线系统的要求	(275)
第二节	天线	(275)
一、	天线的基本作用	(275)
二、	天线的方向性	(278)
三、	对天线的要求	(284)
四、	单反射器抛物面天线	(287)
五、	卡塞格伦天线	(289)
第三节	双工器	(293)
第四节	极化变换器	(295)
第五节	信标分离器	(296)
第八章	低噪声接收机	(298)
第一节	干扰和噪声	(300)
一、	脉冲干扰	(302)
二、	起伏噪声	(304)
三、	噪声系数	(314)
第二节	双回路负阻式参量放大器	(325)
一、	双回路负阻式参量放大器的简单分析	(326)
二、	参量放大器的结构与举例	(341)
第三节	体效应二极管振荡器	(345)

一、体效应二极管的结构与特性	(346)
二、体效应二极管的工作原理	(346)
三、体效应管振荡器的结构	(354)
第四节 下变频器	(356)
一、变频器的作用、原理和要求	(356)
二、微波混频二极管的结构与特性	(362)
三、变频器的基本分析	(365)
四、微波晶体二极管混频器电路与结构	(378)
第五节 本机振荡器	(385)
一、采用混频器的锁相振荡源	(386)
二、采用分频器的锁相振荡源	(387)
三、取样锁相振荡源	(387)
第九章 信道终端(收端)设备	(390)
第一节 中频放大器单元	(391)
第二节 电话解调器单元	(392)
一、鉴频器的基本工作原理	(392)
二、电话解调器单元	(406)
第三节 基带处理(收)单元	(416)
一、去加重网络	(416)
二、基带放大器(I 和 II)	(417)
三、振幅均衡器和步进衰减器	(418)
四、4 千赫高通滤波器	(418)
第十章 话路中的干扰噪声	(421)
第一节 话路噪声标准	(421)
一、话路噪声的来源	(421)
二、话路噪声标准与分配	(423)
第二节 FDM/FM和SCPC/FM方式话路输出信噪比	(426)
一、FDM/FM方式话路输出信噪(热噪声)比	(426)
二、SCPC/FM方式话路输出信噪(热噪声)比	(432)
三、话路噪声与信噪比的加权值	(435)

四、加重和加重系数	(436)
第三节 FDM/FM方式的失真噪声	(438)
一、非线性失真噪声	(438)
二、线性失真噪声	(450)
三、回波引起的失真噪声	(454)
第十一章 卫星通信线路的计算	(556)
第一节 传播方程	(457)
第二节 线路噪声的计算	(460)
一、噪声来源	(460)
二、接收系统等效噪声温度的计算	(462)
三、工作噪声系数 F_{Op}	(467)
第三节 载波噪声比与地面站性能指数	(468)
一、载波噪声比 C/N	(468)
二、接收地面站的性能指数 G/T	(470)
第四节 卫星通信线路传输信号时所需的 C/T 值	(471)
一、对热噪声的 C/T (C/T_e 和 C/T_D)值	(473)
二、对交扰调制噪声的 C/T_{SI} 值	(480)
三、卫星通信线路的 C/T 值	(480)
第五节 门限余量和降雨余量	(483)
第六节 FDM/FM和SCPC/FM方式卫星通信线路参数	
计算举例	(485)
一、FDM/FM方式	(485)
二、SCPC/FM方式	(491)
第十二章 数字卫星通信	(496)
第一节 数字通信	(496)
一、什么叫数字通信	(496)
二、数字通信系统的组成	(497)
三、数字信号的基带传输与频带传输	(499)
四、数字通信系统的主要性能指标	(508)
第二节 时分多址(TDMA)方式	(511)

一、TDMA地面终端	(511)
二、调制与解调	(515)
三、载波恢复与位同步(定时)恢复	(516)
四、TDMA系统的帧结构	(522)
五、误码率	(523)
第三节 SPADE方式	(525)
一、SPADE地面终端方框图及其工作过程	(526)
二、频率配置	(528)
三、SCPC方式	(530)
第十三章 卫星通信的发展前景	(532)

第一章 绪 论

第一节 卫星通信的基本概念

一、什么是卫星通信

所谓卫星通信，简单地说就是利用人造地球卫星作为中继站转发无线电信号，在两个或多个地球站之间进行的通信。它是宇宙无线电通信的主要形式之一。

那么，什么是宇宙无线电通信呢？在国际上，把以宇宙飞行体为对象的无线电通信称为宇宙无线电通信，简称为宇宙通信。而把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）上的通信站称为宇宙通信站；把设在地面上或海洋上或设在大气层中的通信站称为地球站。通常，人们把地球站称为地面站。宇宙通信有三种形式：（1）地球站与宇宙站之间的通信；（2）宇宙站与宇宙站之间的通信；（3）通过宇宙站的转发或反射进行的地球站之间的通信。习惯上，都把第三种宇宙通信称为卫星通信。本书主要讨论的是卫星通信。

卫星通信是在地面微波中继通信和空间技术的基础上发展起来的。通信卫星的作用就相当于一个离地面很高（例如几百到几万公里）的无人管理的中继站。为什么这样说呢？大家知道，虽然地面微波中继通信是一种比较先进的通信方式，它具有发射功率小、传输容量大、工作稳定、比电缆架设方便等优点，但它的通信距离却受天线高度及中继站数目所限制。这是因为它是利用300兆赫以上的微波进行通信的缘故。由于工作波长很短，只能靠直射波在视线距离范围内传播。这样，既不能象长波那样靠地波传播（因为大地

对微波的吸收作用比对长波的吸收作用要大得多)；也不能象短波那样靠电离层对天波的反射来传播(微波会穿过电离层到宇宙空间去而回不来)。它具有与光波相似的特性,显然地面上的建筑物以及地球表面具有一定的曲率,都成了它传播的障碍。因此,为了使通信距离远一些,不得不把天线架高。即使这样,采用40~50米高的天线,通信距离也只能达到50公里左右。再远的地方,由于信号强度急剧减弱,通信质量就无法保证了。为了增大通信距离,一般都是采用中继通信方式,即每隔50公里左右设一中继站,把发端的信号接收下来,经放大后再发射出去如图1.1所示。这样,以“接力”的方式,将信号传送到接收终端站,从而达到远距离通信的目的。

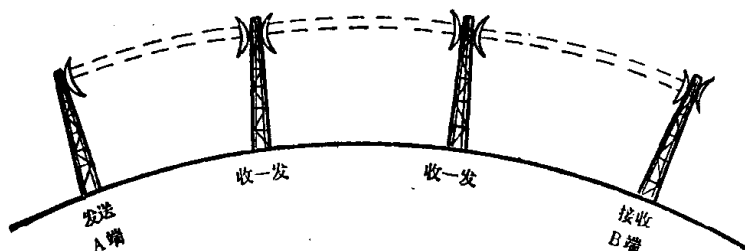


图 1.1 地面微波接力通信示意图

的。不过,随着通信距离的增加,所需中继站数目也就随之增大,这将带来许多问题。除大大增加通信设备外,还会使传输质量明显下降,尤其是它无法用于越洋通信。为了解决远距离通信,而又不增加中继站数目,就只能将中继站高度提高。在人造卫星出现以后,这一问题已比较容易解决了,即把中继站通信设备移到卫星上去,这就相当于把中继站天线架高,因而两个相隔很远的终端站经卫星中继就可用微波进行通信了。所以我们可以说,通信卫星就是一个离地面很高的微波中继站。

卫星通信的过程可用图1.2作简单的说明。图中A和B分别表示地球上的两个地面站,AA'和BB'分别表示在地球上A点和B点的切线,即该两处的地平线;图中S表示通信卫星。显然,只有A、B两站都能“看到”卫星时,才能通过卫星进行通信。

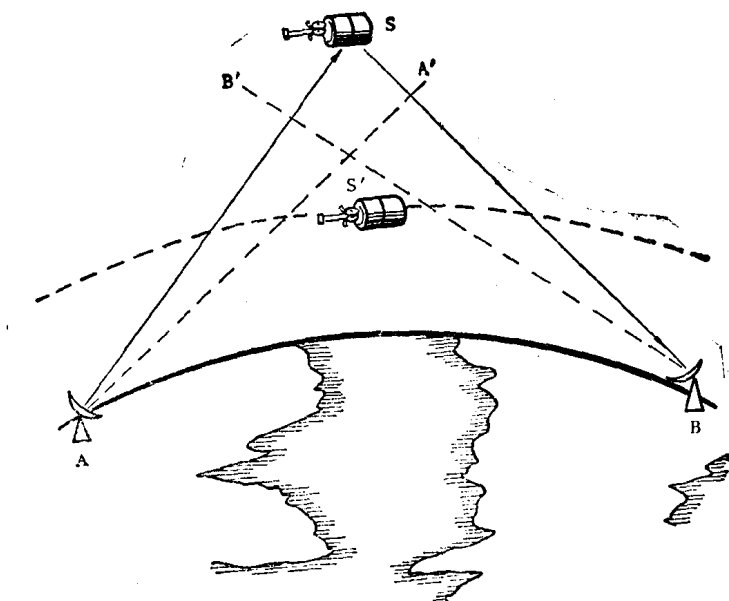


图 1.2 卫星通信示意图

如果卫星的运行轨道属于低轨道时(如图中的 S')，那么相距甚远的 A 、 B 两个地面站便不能“看到”卫星了。若利用低轨道卫星进行通信时，从 A 站发出向 B 站传输的信号，是不能立即经卫星转发的，必须采用储存、延迟转发方式如图 1.3 所示。其工作过程大致是这样的：设 A 、 B 两站要进行通信，当卫星运行到 A 站上空时，星体上的转发器接收发自 A 站的信号并把它储存起来（例如用磁带把话音信号等，记录下来），等卫星运行到 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，使其将储存的 A 站信号发送给 B 站。 B 站向 A 站传送信息情况也相同。我们称这种卫星通信系统为延迟转发式卫星中继通信系统，早期使用的卫星通信系统就是这一种。

如果把卫星的运行轨道升高(见图 1.2)，则可以同时“看到”卫星的相距很远的 A 、 B 两站便可立即经卫星转发进行通信了，这种

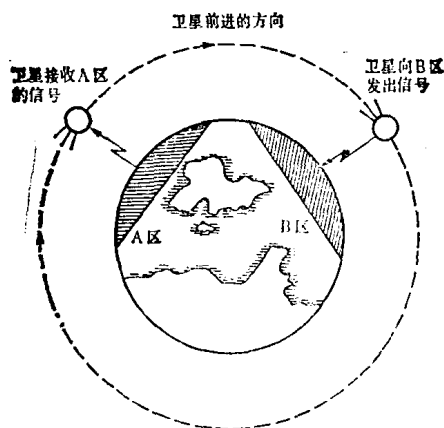


图 1.3 利用低轨道的卫星通信示意图

系统称为立即转发式（相对于延迟式而言）卫星中继通信系统。

在延迟转发式卫星中继通信中，卫星的位置相对于地面站来说是移动的，这种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，距地球表面的高度达到约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（约为24小时）。于是，卫星相对于地面站来说呈静止状态，这种卫星称为静止卫星，习惯上也称同步卫星。目前，国际卫星通信系统和不少国家的国内卫星通信系统，用的都是这种同步卫星。这种通信系统就称为同步卫星通信系统。

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。如果在星体上不装转发设备，则称为无源中继卫星通信系统。在这种情况下，A站发射的无线电信号从星体表面反射到达接收B站，只有极小的一部分能量为B站所接收，被接收的信号是极其微弱的。随着无线电电子技术的发展以及有源卫星的有效辐射功率的提高，无源卫星只经初期的一段实验后就被否定了。目前使用的均为有源卫星。

二、卫星通信的特点

卫星通信系统的应用范围很广，不仅能够传输电话和电报，而且能够传输高质量的电视以及高速数据等；不仅适用于民用通信，而且也适用于军用通信；不仅适用于国内或某些区域的通信，而且也适用于越洋或国际通信。

它与短波或海底电缆等远距离通信方式相比，具有通信距离远、覆盖面积大、性能稳定可靠、机动灵活以及系统容量大等许多优点。其中特别值得提出的是：

①覆盖面积很大，可以进行多址通信。许多其它类型的通信系统，都只能实现点对点的通信。例如：就普通地面微波中继线路来看，只有干线或分支线路上的中继站方能参与通信，不在这条线路上的点是无法利用它进行通信的。而且，通信距离过远时，通信质量会因多次转发而变坏。而卫星通信系统则不然，由于它是大面积覆盖，在卫星天线波束所覆盖的整个区域内的任一地点，都可设置地面站，这些地面站可共用一颗通信卫星来实现双边或多边的通信（见图1.4），即进行多址通信。例如，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等站也均可利用卫星转发器向其它站转发无线电信号，从而实现卫星覆盖区域内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之一。由于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。而且在这个范围内的地面站基本上不受地理条件或通信对象的运动条件所限制，以致使通信线路具有很大的灵活性。换句话说，它不仅可用于固定在陆地上的地面站，还可用于移动着的飞机、船舶等地面站。

②通信频带宽、传输容量大。一方面，由于卫星通信使用的是微波频段，信号可用带宽和传输容量要比中、短波的大得多。另一方面，地面微波通信的传输容量主要由终端站设备决定，而卫星通

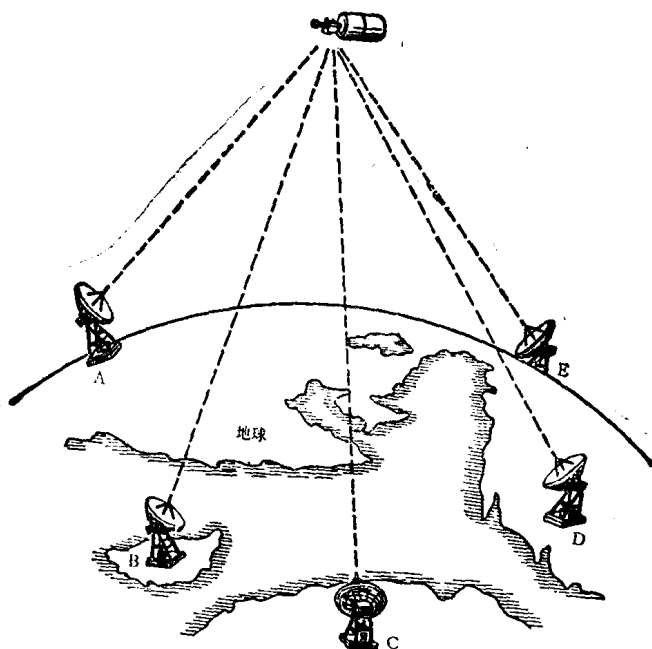


图 1.4 在卫星波束覆盖范围内的多址通信

信则由于具有多址连接特性，所有的信号都通过卫星，因此通信系统的传输容量主要取决于通信卫星的带宽。目前，卫星带宽可达500兆赫，它超过了以往所用的其它各种通信手段（已可传输10000路以上的电话信号）。

③信道特性稳定。大家知道，尽管地面微波中继通信也是使用微波频段，比起中、短波来，电波传播特性比较稳定。但因电波主要在大气的内层空间进行传播，这就要受大气折射和地面反射等影响，会出现较严重的衰落现象。但对卫星通信来说，电波主要是在大气层以外的宇宙空间传播，而宇宙空间是接近真空状态的，可以看作是均匀媒质，所以电波传播特性相当稳定。

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，近十几年来都在竞相发展它。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时间，卫星通信已发

展成为世界范围内的重要通信手段，并且仍在不断发展着、继续扩大其应用范围。

当然，卫星通信也存在一些有待解决的问题：

①为了使通信卫星有高可靠性、长寿命，还需要各方面的技术与之配合。否则，星体内任何一个部件或元件发生故障（由于在发射以后难以进行现场检修），便有可能使卫星的局部或整体失效，从而影响卫星的寿命。为了解决这一问题，势必在制造通信卫星时，做大量的可靠性实验。即使如此，由于受太阳能电池的寿命以及控制用的燃料数量等的限制，一般来说，目前国际通信卫星的寿命也只能做到7年左右。

②地面站需要有大功率发射机、低噪声接收机和高增益天线。为什么需要这些设备呢？目前，卫星的发射功率还不大，只能达到几十至几百瓦左右。又因为是向大面积覆盖区内辐射，这比地面微波通信只向一个方向集中辐射时，能量要分散得多。加上约40000公里*传播路程的损耗，信号到达地面时就非常微弱了。为了增大通信容量，往往要增多星上设备，以致使星体重量大大增加。目前，在一定程度上还受星上能源和运载工具的限制。因此，往往迫使人们不得不降低对卫星转发器电性能的要求，改用提高地面站的要求来补救。因而地面站需要有大功率发射机、低噪声接收机和高增益天线。显然，这就会使地面站变得比较庞大。

③由于卫星通信传输距离太长，因此出现传输时间延迟较大的问题（这种影响是很明显的）。因为无线电波在自由空间的传播速度等于光速，每秒30万公里，当利用静止卫星进行通信时，信号从地面站发射经过卫星转发到另一地面站时，单程就远达80000公里左右。在进行双向通信的情况下，一问一答，往返共约160000公里，所以无线电波所需传播时间约0.6秒。这样，在通话时就会有不自然的感觉。

*注：系统设计均按40000公里计算。

三、卫星通信系统的组成及其工作过程

从卫星通信系统所完成的任务来看，不论卫星运行的轨道如何，一条通信线路都应包括发端地面站、上行线路、卫星转发器、下行线路和收端地面站，如图 1.5 所示。其中上行线路和下行线路实际上就是无线电波的传播路径。

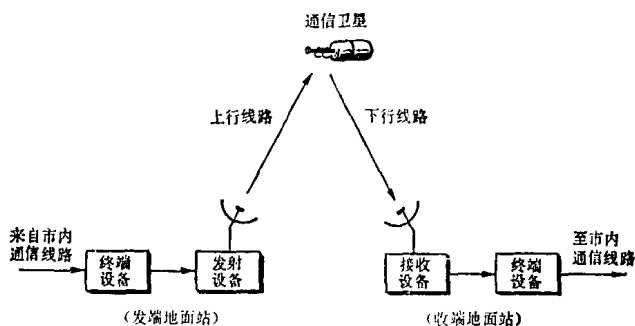


图 1.5 卫星通信线路的组成

(1) 地面站

如图 1.6 所示为了进行双向通信，每一个地面站都应包括发射系统和接收系统。由于收、发系统共同用一副天线，又要将收、发的信号分开，因而在天线与接收、发射系统连接的地方装置了双工器。发射系统包括有多路复用设备、调制器和发射机。多路复用设备的作用是在传输多个用户的信号时，用以组成多路信号。调制器的作用是为了将频率较低的多路信号调制到 70 兆赫中频载波上。发射机的作用主要是实现向上变频，将调制后的信号载波频率变换为微波频率，并把信号放大到规定的电平。接收系统包括接收机、解调器和多路复用设备。它们的作用和发射系统中相应设备的作用正好相反。接收机用来在低噪声的条件下接收来自卫星的信号。接收系统中的复用设备用来进行分路，以便送往各用户。

那么，各用户是怎样与地面站联系起来的呢？一般较大型的地