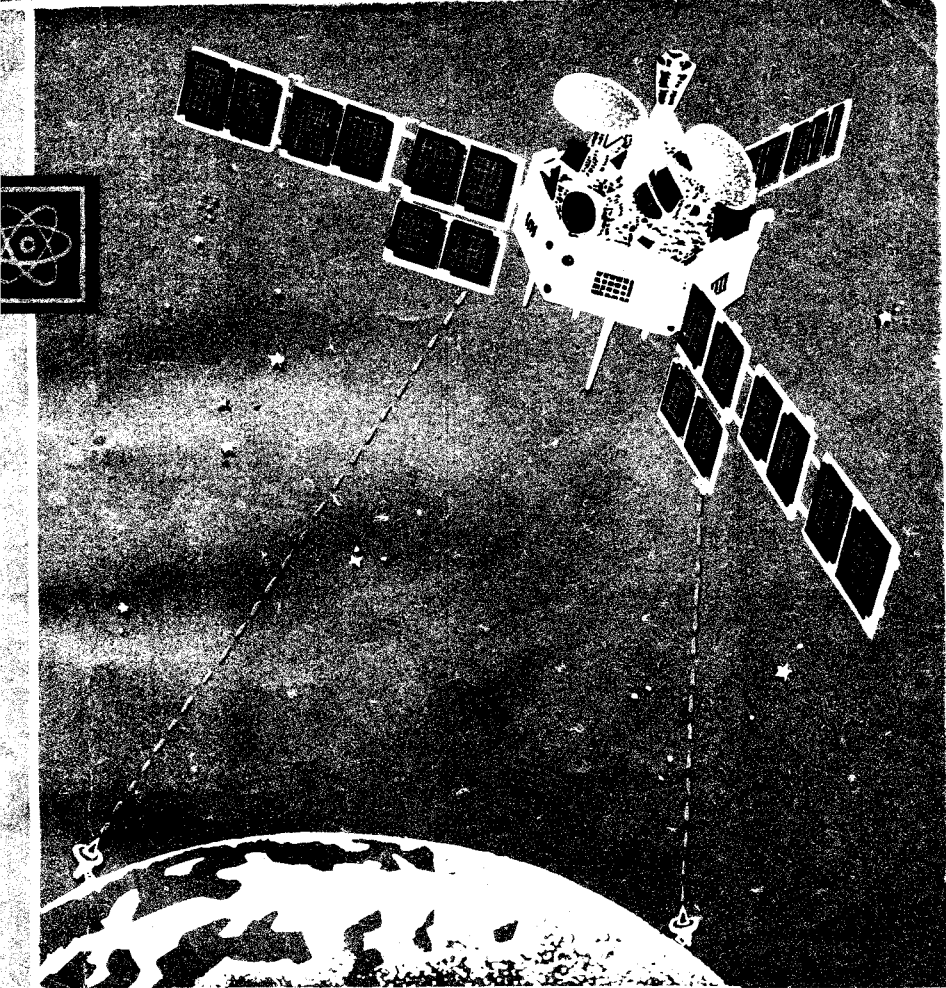




WEI XING TONG XIN

卫星通信

河北人民出版社

现代科学技术丛书

卫星通信

张作忠等

河北人民出版社出版 (石家庄市北马路19号)

河北新华印刷二厂印刷 河北省新华书店发行

787×1092毫米 1/32 13 1/8印张 279,000字 印数 1—2070 1981年2月第1版
1981年2月第1次印刷 统一书号: 13086·67 定价: 1.05元

前 言

卫星通信是人类空间技术发展的重要成果之一。自第一颗人造地球卫星出现以来,这项新兴的通信技术得到了迅速的发展和广泛的应用。它对国民经济的发展具有重大的影响。

我国卫星通信技术处于发展阶段,需要大批专业人才。为了普及卫星通信技术知识,编写了这本书。

本书重点介绍数字制卫星通信技术。全书共八部分:首先介绍了卫星通信系统的原理、组成、发展状况及各类卫星频段的国际规定;其次是数字制卫星通信系统中常用的几种调制制度的原理、性能及计算公式。第三,介绍了频分多址、时分多址、码分多址的原理及关键技术问题;第四,地面各组成部分的原理、技术要求、方案及设备性能;第五,阐述了卫星通信系统上下行线路工程要素、参数曲线及计算公式;第六,卫星通信系统中干扰电平的国际规定及计算方法;第七,叙述了卫星的在轨测试系统及监控管理系统的组成、技术要求及主要参数监测方案;最后,从通信卫星、通信分系统、地面站技术三个方面,阐述了卫星通信的发展动向。

这本书是由毛恒光、吴目龙、俞刘宝、张树法、张大奎、余耀坤、姜康林、朱树荣、赵景昌、李琪灿、张仕祥、田议、陈存德、汪海日、霍华东、王代昌、张汉基、李煜东、张作忠等十八位同志编写的,由于水平有限,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1980年4月

目 录

卫星通信概论

- 一、卫星通信发展概况..... (1)
- 二、卫星通信系统的组成..... (4)
- 三、卫星通信频段的划分..... (24)

数字制卫星通信系统中常用的调制制度

- 一、数字化的意义及其主要指标..... (28)
- 二、数字信号最佳接收原理..... (31)
- 三、数字制卫星通信系统中常用调制制度的实现方法及其性能..... (35)

卫星通信系统中的多址方式

- 一、概述..... (58)
- 二、频分多址 (F D M A) (67)
- 三、时分多址 (T D M A) (92)
- 四、码分多址 (C D M A) (130)

卫星通信地面站

- 一、概况..... (172)
- 二、地面站站址选择..... (174)

三、天线及馈源系统·····	(183)
四、低噪声放大单元·····	(202)
五、卫星通信地面站接收机·····	(232)
六、卫星通信地面站发送设备·····	(248)
七、单通道跟踪接收机·····	(292)
八、卫星通信地面站天线伺服系统·····	(309)

卫星通信线路设计

一、卫星和地面站的主要性能参数·····	(331)
二、信道基本传输要素·····	(336)
三、线路噪声和载波功率的计算·····	(344)
四、转发器工作点的确定·····	(355)

卫星通信系统中的干扰

一、概述·····	(362)
二、接收系统中的热噪声功率与干扰功率·····	(362)
三、接收机抑制带外干扰的能力·····	(364)
四、发射流明和对接收机的干扰强度·····	(365)
五、实际在接收机上形成的干扰·····	(366)
六、卫星通信系统的干扰·····	(367)
七、地面站与微波接力站的相互干扰·····	(369)
八、防止无线电设备之间相互干扰的措施·····	(371)

卫星通信监控系统

一、监控管理系统的功能·····	(380)
二、监控系统的组成·····	(382)

三、业务开通前的卫星在轨测试.....	(385)
四、例行监控.....	(402)

卫星通信的未来

一、通信卫星的未来.....	(404)
二、卫星通信系统的未来.....	(407)
三、地面站的未来.....	(410)

卫星通信概论

一、卫星通信发展概况

卫星通信是一项新兴的通信技术。自卫星通信系统出现以来，世界各国都以极大的兴趣给予关注。尤其是一些技术发达的国家，投入了大量的技术力量从事这一领域的研究发展工作。新技术不断涌现，应用范围日趋广阔，这是卫星通信当前发展的重要特点。

（一）卫星通信的设想及人造卫星的出现

人类最早的卫星通信是利用月球进行的。1954年美国海军研究所利用月球作为天然的无源反射中继站，成功地建立了地球——月球——地球的空间话音通信线路。1955年建立了横跨大陆的传输试验站。1959年用400兆赫和450兆赫的无线电频率，建立了华盛顿到夏威夷之间的工作系统。这是无源反射卫星通信的第一次尝试。

实际上，提出利用人造地球同步卫星作为空间中继站构成全球卫星通信的设想是在1945年。1945年，一个名叫克拉克的英国人提出他的设想：如果在地球的赤道上空发射三颗同步轨道的卫星，卫星和地球中心连线的间隔角度为 120° （这也就是卫星所处的位置的经度差），卫星离地球表面（星

下点)的高度为35,800公里,卫星天线的波束宽度为17度,那么就可以构成全球性的卫星通信网。实践证明,这种假设是正确的,它奠定了构成卫星通信系统的基本模型,对同步卫星通信工程是一个巨大的贡献。但是,由于当时火箭技术还十分落后,发射卫星的运载工具得不到解决,卫星的测量、控制以及所要求的电子技术仍未达到相应的水平,所以,在当时实现这种设想是不现实的。

1957年,苏联发射了一颗900公里高的低轨道卫星。这种卫星的技术水平比起同步卫星的要求来,当然有很大的差距。但是它的出现,说明了洲际导弹的推力问题已经解决了。

1958年,美国也发射了一颗低轨道人造地球卫星。这两颗卫星都是发射系统、测控、简单的通信设备的初步试验。从此以后,人造地球卫星通信进入了大量的试验阶段。

(二) 卫星通信系统的试验阶段

试验阶段的主要内容是由美国进行的,其次是苏联。这一阶段的持续时间大致是从1958年至1964年。在这期间,对无源反射式卫星、有源转发卫星、椭圆轨道卫星、同步轨道卫星进行了大量试验。对发射系统、测控系统的技术性能进行了大幅度的改进。

1. 无源反射式卫星的试验 无源反射式卫星通信,是利用卫星表面的反射性能进行的。卫星就如同一个增益小于一的反射体。无源卫星通信的典型试验卫星有“回声”及“西福特”。“回声”—1号反射式卫星是一个直径30.5米的气球。重量61公斤,轨道高度1,609公里,1960年8月由美国宇航局发射。为了增加球表面反射系数,表面用铝铂涂覆。发射

前是叠扁的。发射入轨后，由于空间外压力减小，内部升华剂气化而膨胀成球形。利用该卫星在美、英，英、法之间进行了电话及传真试验。在“回声”——1号的基础上，加大了直径，改善了表面反射性能后，又进行了“回声”——2号试验。除了“回声”卫星试验之外，美国空军利用偶极子轨道带进行了无源散射卫星试验，命名为“西福特”散射式卫星。发射前偶极子粘成圆筒形。当卫星进入轨道之后，借助太阳能升华、松散，并由于离心力作用散布于空间，成一带状。偶极子成功地散布于6,000公里高的极轨上。偶极子的总数为4亿根，长1.78厘米，直径0.017毫米，设计工作频率为8,000兆赫。在美国麦撒斯特和加利福尼亚之间进行了数字化话路的通信试验。通信性能较差，没有发展前途。通信方式如图1—1所示。



图1—1 偶极子带无源散射通信

2. 有源卫星的试验 所谓有源卫星，是指卫星接收到地面站发来的信号以后，经过放大，频率变换，再放大，而后把无线电信号发向地面。星上具有有源变换和处理信号的设备，能使无线电信号得到中继增益。

有源卫星的试验主要是在“斯科尔”、“信使”、“电星”、“中继”、“辛康姆”等型号的卫星上进行的。除了“辛康姆”——Ⅲ号为同步轨道卫星外，其它几种卫星都是椭圆轨道卫星。通信容量、星上功率都很小。“辛康姆”——Ⅲ号是有

源卫星试验中最成功的一枚，1964年8月发射，轨道倾角为零。利用该卫星，第一次成功地转播了东京奥林匹克运动会的实况。这次转播在电视转播技术上是一个很大的突破，从而使卫星通信工程引起了科技工作者的极大兴趣。不久，导致了国际商用卫星组织的成立。

（三）同步卫星通信系统的实用阶段

经过大量的实验之后，对无源卫星、低轨道随机卫星、大椭圆轨道卫星、同步轨道卫星有了进一步的认识，并确定了有源同步轨道卫星为最优方案。而随机卫星及位相卫星，只适于纬度很高的地区或为特殊目的服务的（如军事上侦察、监视、预警系统）业务。无源卫星由于对地面上的发射及接收信号能力要求很高，也被认为是一种不宜选择的方案。

实用阶段的代表系统是国际商用卫星系统。1965年国际商用卫星通信组织成立。成立时有14个成员国。到1972年，成员国增加到82个。参加该系统工作的30米天线的大站93个。国际业务量每年以百分之九十四的增长率扩展其范围。到目前为止，已有一百三十多个国家及地区加入了该组织。从1965年第一代国际卫星通信系统开始到现在，已经发展了五代。

二、卫星通信系统的组成

卫星通信系统由四大职能分系统组成：空间分系统，通信地面站，监控管理分系统，跟踪遥测及指令分系统，如图1—2所示。只有这些分系统有机地结合在一起，才能实现卫星通信业务网路的正常运转。

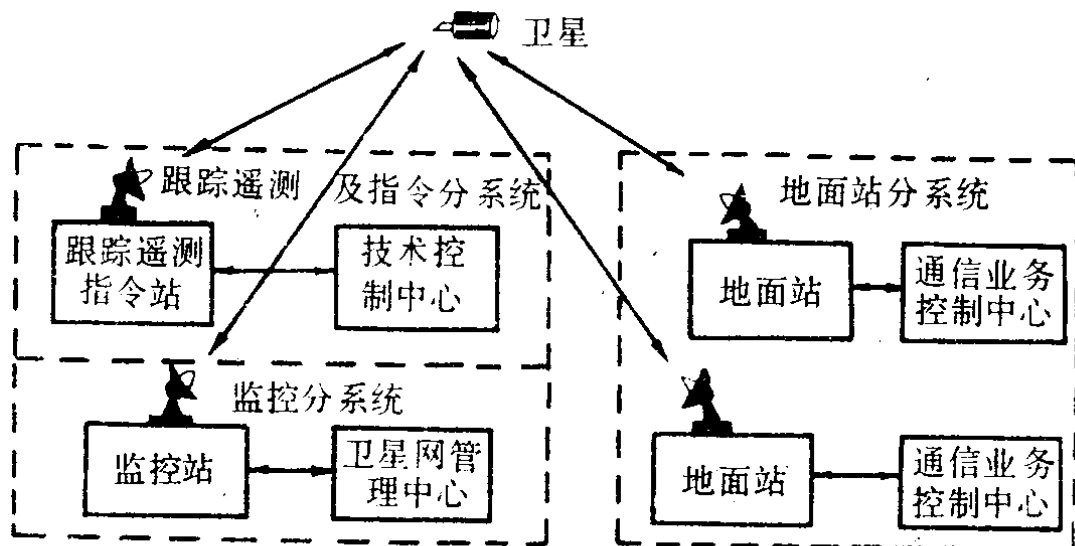


图 1—2 卫星通信系统组成

(一) 空间分系统

空间分系统是指飞行器本身，不包括发射火箭。空间分系统组成见图 1—3。

1. 通信分系统

通信卫星的作用，就是把由地面发来的信号进行接收、变频、处理并加以放大后发回地面。根据使用情况的不同，中继器的方案也有不同的特点。按中继器的变

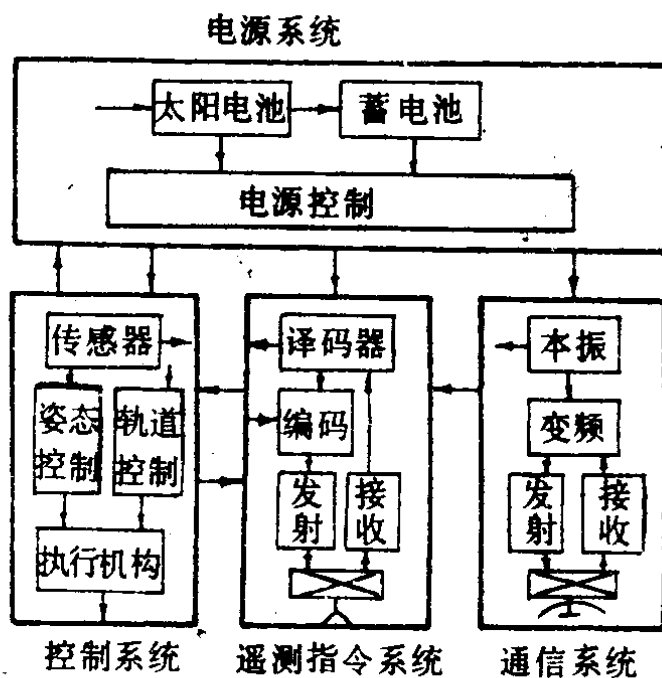


图 1—3 空间分系统组成

频次数区分，有一次变频方案及两次变频方案。一般宽频段大容量系统多采用一次变频方案。容量不大的系统以两次变频方案为宜。后期的国际商用卫星均采用一次变频方式。业务量不大的系统，如英国的“天网”卫星系统，我国第一期卫星系统，都采用二次变频的方式。这两种变频方式的一般原理见图 1—4 及图 1—5。

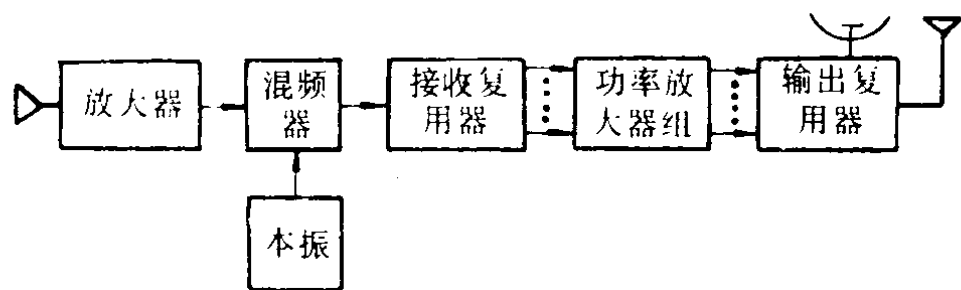


图 1—4 一次变频转发器组成原理

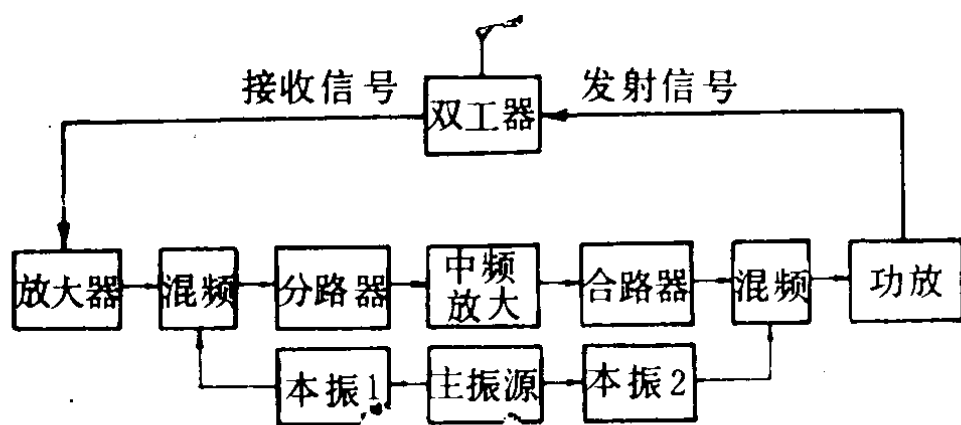


图 1—5 二次变频转发器原理

采用一次变频方案的转发器由三个主要部分组成：宽频带前端，它包括接收天线和接收机，把接收信号由上行频率变频为下行频率；信道划分或接收多路复用设备，其中包括把群路划分为若干个独立的转发器通道，并且进行幅度均衡

及群迟延均衡；输出部分，包括高电平功率放大器，输出复用器及天线，提供高功率输出及宽窄波束天线连接。

在二次变频转发器中，若收发共用一副天线时，转发器也由三部分组成：天线及双工器；接收机（包括放大器，下变频器，中频滤波放大器，它把上行线信号放大后变换成中频，经中频滤波、均衡、放大后送给发射机。）；发射机（包括上变频器及功率放大器）。中频信号经上变频器把信号频率变为下线频率，再经功率放大器放大后馈给天线。为了减少系统频差上变频器的本振与下变频器的本振，一般共用一个振荡源。

有时转发器的设计还包括信号处理在内。这种转发器属于二次变频的形式，见图 1—6。上线信号经过放大、变频之后被解调，并进行信号处理。经处理之后的信号进行调制、变频放大后发向地面。处理转发器有两类：第一类是编码识别转发器。只有在预定编码结构的用户呼叫时才予以接收。第二类是相当于一个“空间交换台”。把 n 个输入端的信号经过处理，发向 n 个所需的方向。充分地利用了卫星的容量，用户还可以单载波发射，单载波接收，简化了地面站设备，并保证可向任何地面站通信。

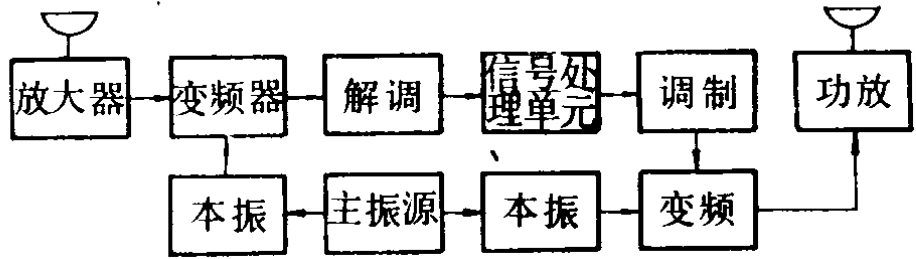


图 1—6 信号处理转发器

2、天线系统 通信天线是按照通信卫星的工作频段、

业务范围而设计的，有各种各样的类别。国际航海卫星，工作于L波段，采用螺旋型宽波束天线覆盖地球。国际商用卫星系统工作于C波段，近期采用喇叭形球波束天线及抛物面型的点波束天线。

卫星上除了通信天线之外，还设有遥测指令天线。这种天线一般为全向天线，遥测指令信号的传输不受卫星姿态的影响。

通信天线的主要技术问题是：

(1) 球波束天线 凡能够覆盖一个静止卫星所看得到的、占地球表面大约 $\frac{1}{3}$ 面积的天线波束，叫做“球波束”。具有这种波束宽度的天线叫“球波束天线”。由星下点（卫星在地球赤道上的投影点）到地球边缘的张角为8.67度。为了使地球边缘上的辐射强度与波束中心的辐射强度之差等于3分贝，所以球波束天线的波束宽度一般约等于17.34度。图

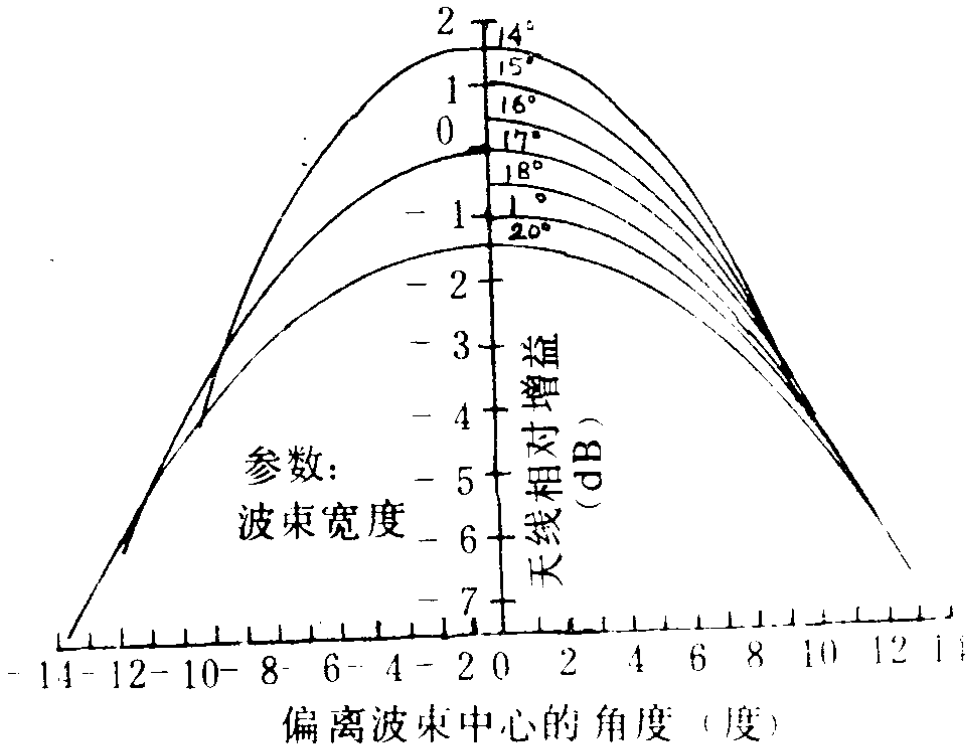


图 1-7 天线增益与偏离天线波束中心角的关系

1—7 是波束宽度 14~20 度的各种情况下偏离波束中心的损失。纵坐标是相对于 17 度波束的增益。图 1—8 是偏离波

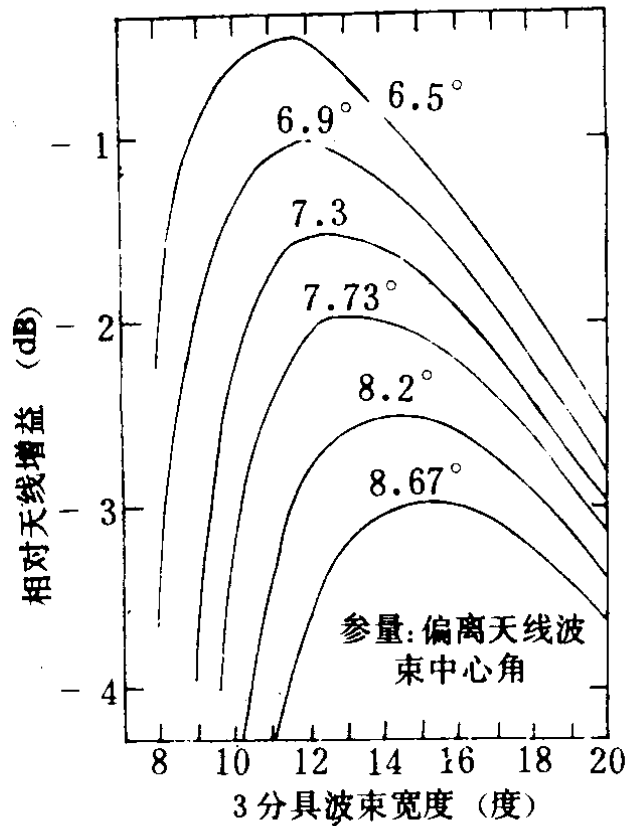


图 1—8
相对于 17 度波束宽度的天线增益

束中心角度为参变量时，各种波束宽度的天线增益变化值。显然，采用 15.5 度波束的天线时，在偏离波束中心 8.67 度处（地面站仰角 5 度）天线增益最大。即使波束宽度由 12.2 度变化到 19.2 度时，损失也只有 0.5 分贝。可见，选用 15.5° 的波束，允许卫星有较大的指向误差，提供了较大的增益。指向误差 $\pm 0.5^\circ$ 时天线增益变化见表（1—1）。

表(1—1)指向误差 ± 0.5 度时天线增益变化

波束宽度 (度)	天线增益变化 (分贝)
14	1.5
15	1.25
16	1.1
17	0.95
18	0.85
19	0.75
20	0.65

(2) 窄波束天线 窄波束天线是按照卫星特定的业务范围而设计的。一般可采用半球波束, 区域波束或点波束。由于所服务的范围一般并非圆形, 所以要采用波束形成技术。使波束的形状与地理图形相吻合。

窄波束天线提高了卫星中继器收发能力, 从而使地面站设备小型化, 然而对星体的姿态控制提出了更高的要求。国际卫星 IV 号采用 4.5° 的可控指向点波束天线。其指向误差对天线增益的影响见图 1—9。在偏离波束中心 2 分贝以外部分, 0.35° 的指向误差, 引起天线增益变化达 2 分贝以上。

除了指向误差之外, 对窄波束天线的旁瓣特性、馈电方式、天线的结构形式等都有严格的要求, 这些问题在新的卫星系统中已经获得了满意的结果。

3、姿态控制及位置控制 卫星控制系统是一个复杂的系统, 项目繁多, 这里所述内容是在卫星上使用的两类控制

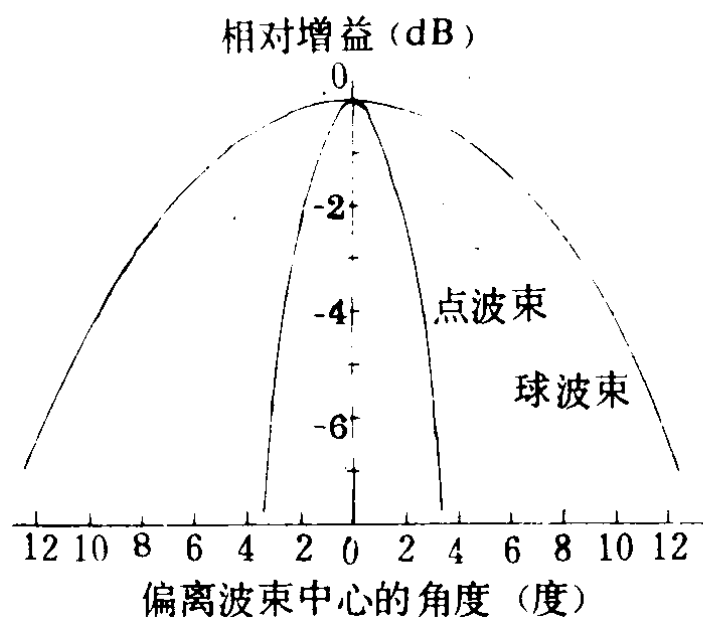


图 1—9 国际卫星 N 号天线增益和偏离中心角的关系

设备，即姿态控制及位置保持。

在通信卫星上，要求卫星的天线波束中心指向地球上的星下点，或者地球表面某一基准点，要使太阳能电池板始终指向太阳，这就要求卫星以所希望的姿态在轨道上运行，所以，要进行卫星的姿态控制。姿态控制对所有的卫星都是需要的。此外，在同步轨道上卫星的数目日渐增多，卫星系统间的干扰严重，为了提高轨道利用率，国际上势必规定更精确的定位要求。为了把同步卫星保持于指定的位置上，就需要进行位置控制。非同步卫星系统，如位相卫星系统，为了保持卫星间的间隔，也要进行位置控制。单一的非同步卫星是无需进行位置控制的。

(1) 姿态控制 早期的同步卫星大都用自旋稳定的方法进行姿态稳定。随着窄波束天线的应用，卫星技术的发展，