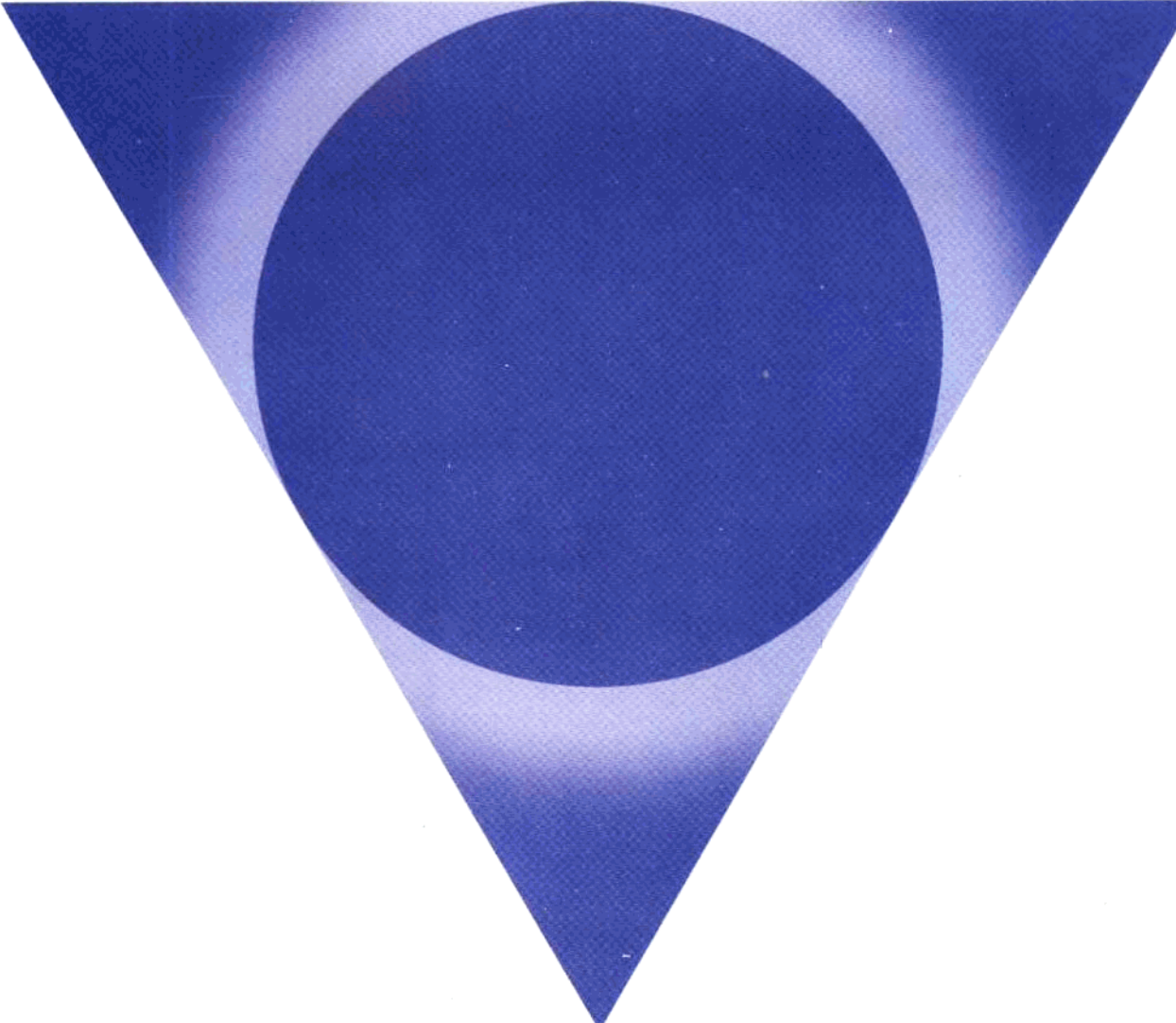


卫星移动通信 原理与应用

郑林华 韩方景 聂皞 编著



国防工业出版社

第一章 卫星移动通信概述

§ 1.1 卫星通信基本概念

§ 1.1.1 卫星通信的定义及特点

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波,在两个或多个地球站之间进行的通信。由于作为中继站的卫星处于外层空间,这就使卫星通信方式不同于其他地面无线电通信方式,而属于宇宙无线电通信的范畴。通信卫星按其结构可分为无源卫星和有源卫星。按其运转轨道可分为运动卫星(非同步卫星)和静止卫星(同步卫星)。目前,在通信中应用最广泛的是有源静止卫星。所谓静止卫星就是发射到赤道上空 35 800km 附近圆形轨道上的卫星,它运行的方向与地球自转的方向相同,绕地球一周的时间,即公转周期恰好是 24h,和地球的自转周期相等,从地球上看去,如同静止一般。由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称同步卫星通信系统。图 1.1 为一个简单的卫星通信系统。

由图 1.1 可知,地球站 A 通过定向天线向通信卫星发射的无线电信号,首先被卫星的转发器接收,经过卫星转发放大和变换后,再由卫星天线转发到地球站 B,当地球站 B 接收到信号后,就完成了从 A 站到 B 站的信息传递过程。从地球站发射信号到通信卫星所经过的通信路径称为上行线路。同样,地球站 B 也可以向地球站 A 发射信号来传递信息。

图 1.2 是静止卫星与地球相对位置的示意图。从卫星向地球引两条切线,切线夹角为 17.34° 。两切点间弧线距离为 18 100km,可见在这个卫星电波波束覆盖区内的地球站都能通过该卫星来实现通信。若以 120° 的等间隔在静止卫星轨道上配置三颗卫星,则地球表面除了两极区未被卫星波束覆盖外,其他区域都在覆盖范围之内,而且其中部分区域为两个静止卫星波束的重叠地区,因此借助于在重叠区内地球站的中继(称之为跳跃),可以实现不同卫星覆盖区内地球站之间的通信。由此可见,只要三颗等间隔配置静止卫星就可以实现全球通信,这一特点是任何其他通信方式所不具备的。目前国际卫星通信和绝大多数国家的国内卫星通信大都采用静止卫星通信系统。例如,国际卫星通信组织负责建立的世界卫星通信系统(INTELSAT),简称 IS,就是利用静止卫星来实现全球通信的。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 80% 的国际通信业务和全部国际电视转播。我国的“东方红”通信卫星也是静止通信卫星。

与其他通信手段相比,卫星通信的主要优点是:

- (1) 通信距离远,且费用和通信距离无关;
- (2) 工作频段宽,通信容量大,适用于多种业务传输;

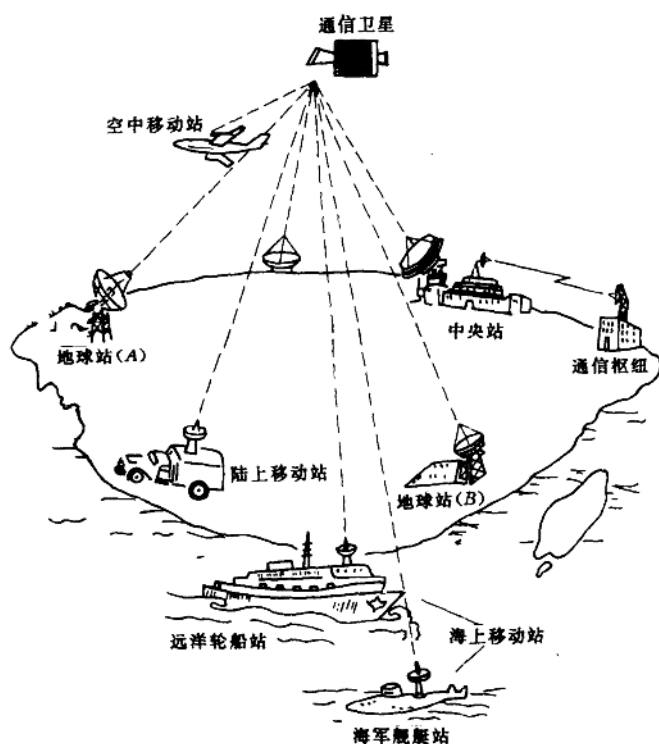


图 1.1 简单的卫星通信示意图

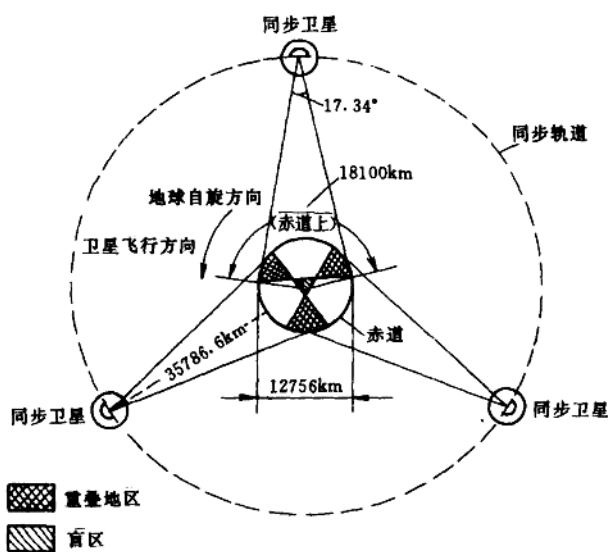


图 1.2 静止卫星配置几何关系

(3)通信线路稳定可靠,通信质量高;

(4)以广播方式工作,具有大面积覆盖能力,可以实现多址通信和信道的按需分配,因而通信灵活机动;

(5)可以自发自收进行监测。

静止卫星通信也存在某些不足:

(1)两极地区为通信盲区,高纬度地区通信效果不佳;

(2)卫星发射和控制技术比较复杂;

(3)存在日凌中断现象;

(4)有较大的信号延迟和回波干扰;

(5)卫星通信需要有高可靠、长寿命的通信卫星;

(6)卫星通信要求地球站有大功率发射机、高灵敏度接收机和高增益天线。

总而言之,卫星通信有优点,也存在一些缺点。这些缺点与优点相比是次要的,而且有的缺点随着卫星通信技术的发展,已经得到或正在得到解决。

还需指出,在整个卫星通信系统中,需要设立跟踪遥测及指令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。同时,为了保证通信卫星的正常运行和工作,还要有监控管理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和控制。因此,一个完整的卫星通信系统由空间分系统、地球站、跟踪遥测及指令系统和监控管理分系统四大部分构成。

§ 1.1.2 卫星通信系统的组成

一个卫星通信系统是由空间分系统、通信地球站群、跟踪遥测及指令系统和监控管理分系统四大部分组成,如图 1.3 所示。其中有的直接用来进行通信,有的用来保障通信的进行。

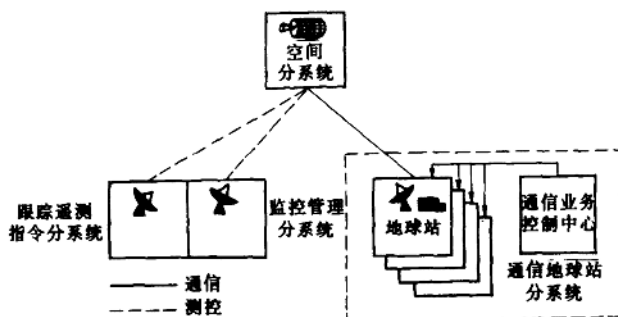


图 1.3 卫星通信系统的基本组成

1. 空间分系统

空间分系统即通信卫星,通信卫星内的主体是通信装置,另外还有星体的遥测指令、控制系统和能源装置等。

通信卫星主要是起无线电中继站的作用。它是靠星上通信装置中的转发器和天线来完成的。一个卫星的通信装置可以包括一个或多个转发器。每个转发器能接收和转发多个地球站的信号。显然,当每个转发器所能提供的功率和带宽一定时,转发器越多,卫星的通信容量就越大。

2. 地球站群

地球站群一般包括中央站(或中心站)和若干个普通地球站。中央站除具有普通地球站的通信功能外,还负责通信系统中的业务调度与管理,对普通地球站进行监测控制以及业务转接等。

地球站具有收、发信功能,用户通过它们接入卫星线路,进行通信。地球站有大有小,业务形式也多种多样。一般来说,地球站的天线口径越大,发射和接收能力越强,功能也越强。

3. 跟踪遥测及指令分系统

跟踪遥测及指令分系统也称为测控站,它的任务是对卫星跟踪测量,控制其准确进入静止轨道上的指定位置;待卫星正常运行后,定期对卫星进行轨道修正和位置保持。

4. 监控管理分系统

监控管理分系统也称为监控中心,它的任务是对定点的卫星在业务开通前、后进行通信性能的监测和控制,例如对卫星转发器功率、卫星天线增益以及各地球站发射的功率、射频频率和带宽、地球站天线方向图等基本通信参数进行监控,以保证正常通信。

§ 1.2 卫星移动通信基本概念

卫星移动通信是指利用卫星转接实现移动用户间、或移动用户与固定用户间的相互通信。为了确保处于地面、空中、海上不同区域的移动用户进行不间断的通信和较高的系统容量,卫星移动通信系统不仅具有复杂的网络结构,而且所使用的技术也很复杂。

§ 1.2.1 卫星移动通信系统的一般构造

如图 1.4 所示,卫星移动通信系统通常由空间段和地面段两部分组成,空间段指卫星星座,地面段包括卫星测控中心、网络操作中心、关口站(或称信关站)和卫星移动终端。下面对各部分作以简单介绍。

1. 卫星星座

一个卫星移动通信系统的所有按一定规则分布的卫星构成该系统的卫星星座。不同的卫星移动通信系统所需要的卫星在数量、轨道性能等方面存在很大的差异,如 IN-MARSAT 系统卫星星座由 10 颗静止轨道(GEO)卫星组成。其中 5 颗为工作卫星,5 颗为备用卫星;Odyssey 系统所设计的卫星星座由 12 颗中轨道(MEO)卫星组成;而 Teledesic 系统卫星星座则由均匀分布在 21 条轨道面上的 840 颗低轨道(LEO)卫星组成。

尽管卫星移动通信系统的卫星星座结构各异,但它们的作用基本相同,即提供地面段各设备收发信号之间的转接或交换处理。

2. 网络操作中心

网络操作中心和卫星测控中心在有些卫星移动通信系统中是合二为一的。网络操作

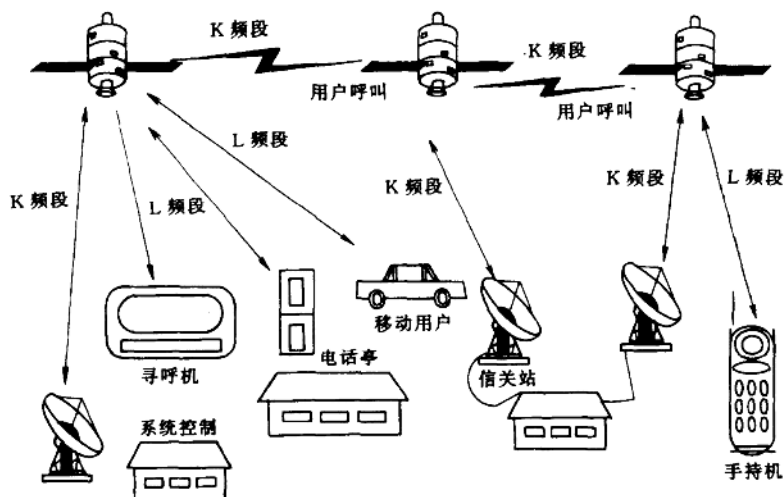


图 1.4 卫星移动通信示意图

中心的作用是管理卫星移动通信系统的通信业务。如路由选择表的更新、计费,各链路和节点工作状态的监视等。

3. 卫星测控中心

卫星测控中心完成卫星星座的管理,如卫星轨道修正、卫星工作状态的故障诊断等。因此,卫星测控中心就是保障卫星在预定的轨道上无故障地运行,为可靠通信提供前提。

4. 关口站

关口站的主要作用如下。

(1)提供卫星移动通信系统和地面固定专用/公用网、地面移动通信网的接口,实现互连。

(2)控制卫星移动终端接入卫星移动通信系统,并保障移动终端在通信的过程中通信信号不中断。

5. 卫星移动终端

卫星移动终端是移动用户通过卫星移动通信系统进行移动通信的直接使用终端。通过这个终端,移动用户可以在移动环境中,如空中、海上、陆上获得语音或数据等各种服务业务。

以上所介绍的只是卫星移动通信系统的一般性结构和功能。具体的卫星移动通信系统,其结构、功能及各部分名称同以上描述的可能略有差异。

§ 1.2.2 卫星移动通信系统的运行

1. 归属关口站和本地服务关口站

卫星移动通信系统的任何一个卫星移动终端必须在系统内登记注册,以便进行如计费、呼叫处理等的管理。

归属关口站是卫星移动终端在那里进行注册的关口站。任何一个卫星移动终端一定

归属于某一关口站,该关口站决定该卫星移动终端是否有权建立呼叫或使用某项业务。

一个卫星移动终端由于具有移动性,如今天在北京,明天就可能在深圳了。因此,它不可能总是在自己的归属关口站附近。本地服务关口站就是这个远离自己归属关口站的卫星移动终端附近的一个关口站,该关口站具有为这个卫星移动终端实施呼叫建立等功能。

2. 卫星移动通信系统的运行过程

以卫星 A 下的移动终端(主叫终端)呼叫卫星 B 下的移动终端(被叫终端)或与卫星 B 下的关口站相连的固定网的终端(被叫终端)为例来说明系统的运行过程。这个过程大致分以下几个步骤。

(1)卫星移动终端开机后,它便自动向其归属关口站发送一个信息,通知该站此卫星移动终端已开机,并告知其所在地。假如该机长时间处于备用(等待呼叫)状态,或是移动到了一个较远的地方,则向归属关口站送一更新信息,更新归属关口站中存储的该卫星移动终端的位置信息。

(2)移动用户向卫星移动终端(即主叫终端)输入被叫终端的号码。这个号码既可以是另一个卫星移动终端的号码,也可以是与卫星移动通信系统相连的其他通信网的终端号码。

(3)卫星移动终端发送一个包含该终端注册号码和被叫终端号码的请求服务信息,这个信息被送入该终端视线内的卫星,又通过卫星被传送到本地服务关口站,以建立呼叫。

(4)本地服务关口站又通过卫星线路分别向主叫终端和被叫终端的归属关口站询问主叫终端和被叫终端的情况。如主叫终端和被叫是否有权使用本系统及它们的业务类型等。

(5)如果双方都是有权使用,则系统将给主叫终端和被叫终端分配信道以链接卫星,并同时向被叫终端发出呼叫(振铃)。

(6)如被叫是一个卫星移动通信系统内的卫星移动终端,则由相应的卫星在卫星移动终端所处的区域内进行呼叫。

(7)通信结束后,主叫终端和被叫终端释放通信链路而复原。本地服务关口站通过卫星链路向双方的归属关口站发送相应的通信记录,以便归属关口站对主叫终端和被叫终端实施管理。至此,整个通信过程结束。

§ 1.3 卫星移动通信系统的分类

卫星移动通信系统按其不同的属性具有不同的分类方法。

1. 按卫星移动通信系统的业务可分为以下几类。

(1)海事卫星移动通信系统(MMSS)。它为海上的船舶提供通信业务和无线电定位服务。

(2)航空卫星通信系统(AMSS)。它为在飞机中的机组人员和乘客提供各种通信业务。

(3)陆地卫星移动通信系统(LMSS)。它为陆地上使用卫星移动终端的移动用户提供各种通信业务。

2. 按卫星移动通信系统卫星的轨道可分为以下几类。

(1) 静止轨道卫星移动通信系统, 系统的卫星位于地球赤道上方 35000km 附近的地球同步赤道上, 卫星绕地球公转与地球自转的方向和周期都相同。因此, 卫星相对于地球是静止的。

(2) 中轨道卫星移动通信系统, 该系统的卫星距地面 10000~15000km。

(3) 低轨道卫星移动通信系统, 该系统的卫星距地面在 1000km 左右。

中轨道系统和低轨道系统的卫星绕地球一周的时间在数小时以内, 若干颗卫星联接成网, 绕地球快速运转, 使得地面上的移动用户在视线内至少有一颗卫星, 从而确保通信不中断。

此外, 按通信覆盖区的范围又可分为: 国际卫星移动通信系统、区域卫星移动通信系统和国内卫星移动通信系统。

卫星移动通信系统按其特点、性质、用途和技术手段还有其他的分类方法, 它们反映了卫星移动通信系统的不同侧面。

§ 1.4 卫星移动通信的特点

从 1976 年投入太平洋区域同步轨道提供船、岸间通信的第一颗 Marisat 卫星开创了卫星移动通信, 至今, 世界电信环境发生了巨大变化, 尤其是移动通信的迅猛发展, 卫星移动通信融合了传统卫星通信和移动通信的优点, 成为实现全球个人通信的首选方案。它具有如下特点。

1. 功能上

(1) 具有全球/区域无缝隙覆盖能力, 电波覆盖区域不受地貌的影响, 使通信真正实现全球化和个人化。这是卫星移动通信的最大优势。

(2) 提供除语音外的其他多种通信业务。通信业务向多样化和综合化方向发展, 以期与未来的多媒体高速信息传输沟通。

(3) 能满足建立陆上、海上、空中立体化全方位通信网。

(4) 通信距离与通信费用关系不大, 以至无关。

2. 技术上

(1) 在使用静止轨道的同时, 重点考虑使用中、低轨道, 这样不但可弥补同步轨道资源的不足, 而且中、低轨道的业务性能更优良, 因此, 在星座设计上出现了新的技术要求。

(2) 卫星移动终端在体积、重量、功率、天线尺寸等方面要求小型化, 尤其手持机要求更为苛刻。因此, 在实现技术上提出了更高的要求。

(3) 在网络设计、系统构成、星间协调、星上处理、系统运营管理等方利用现代智能化、数字化及多媒体化的最新技术成果, 以技术优势换取性能价格比和市场竞争能力。

(4) 系统内的用户(站址)数量很大。

(5) 卫星天线波束应能适应地面覆盖区域的变化并保持指向, 用户移动终端的天线波束应能随用户的移动而保持对卫星的指向, 或者是全方向性天线波束。

(6) 卫星移动通信系统中的用户链路, 其工作频段受到一定的限制, 一般在 200MHz~10GHz。

(7)因为移动终端的 EIRP(等效全向辐射功率)有限,对空间段的卫星转发器及星上天线需专门设计,并采用多点波束技术和大功率技术以满足系统的要求。

(8)由于移动体的运动,当移动终端与卫星转发器间的链路受到阻挡时,会产生“阴影”效应,造成通信的阻断。对此,卫星移动通信系统应使用户移动终端能够多星共视。

(9)多颗卫星构成的卫星星座系统,需要建立星际链路和星上处理、星上交换;或者,需建立具有交换和处理能力的信关地球站。

(10)对频率资源不断扩充,适时地积极利用或混合利用高微波频段及光频段。

第二章 卫星移动通信原理

卫星移动通信是指利用卫星转接实现移动用户间、或移动用户与固定用户间的相互通信。为了确保处于地面、空中、海上不同区域的移动用户能够进行不间断的通信和系统具有较高的容量,卫星移动通信系统不仅具有复杂的网络结构,而且所使用的技术也很复杂。本章将对此做一介绍。

§2.1 通信卫星

§2.1.1 宇宙环境

卫星发射及工作时所处的环境叫宇宙环境,它对卫星的结构、元件、材料等方面都有影响。它主要包括以下几个方面。

1. 真空

大气密度随离地球表面高度的增加而减小,最后接近于真空。大气的压力、浓度、成分随高度而变化,如表 2.1 所列。

表 2.1 宇宙中大气压力和大气成分的变化

高度 /km	压力/Pa	浓度(分子、离子、原子数)	成 分
海平面	101325~133322	2.5×10^{19}	N ₂ (78%), O ₂ (21%), Ar(1%)
30	800~1333	4×10^{17}	N ₂ , O ₂ , Ar
200	1.3×10^{-4}	10^{10}	N ₂ , O, O ₂ , O ⁺
800	1.3×10^{-7}	10^6	O, He, O ⁺ , H
22000 以上	1.3×10^{-11}	10~100	H ⁺ (85%), He ⁺ (15%)

在表 2.1 所示的环境中,静止卫星会产生金属的溅射和高分子材料元件释放气体现象,因此,对卫星上的金属要进行涂敷处理,对高分子材料元件要在真空槽中进行抽气。而卫星在 200km 左右时,不能使用高压,以免产生气体放电而引起事故。

2. 热环境

对卫星影响较大的热源有三种:太阳直接辐射、地面反射太阳的辐射、地球的红外辐射。它们的热能密度分别为:1400、0.012、0.005(单位 W/m²)。因此,卫星外壳面朝太阳光的部分和背向太阳光的部分之间会产生 200℃ 以上的温差,为了补偿此温度差,卫星星体必须有热源控制。

3. 辐射线

宇宙环境中的辐射线包括:凡阿连(Van Allen)辐射带、太阳辐射线和宇宙射线等。这些射线对卫星的太阳电池、晶体管和二极管等半导体元件的性能有很大的影响。因此在设计卫星时,要考虑用适当的耐辐射线的设备及屏蔽方法。

4. 地球磁场

地球在周围空间产生了磁场,其磁场强度为

$$B = B_0 \sqrt{1 + 3\sin^2\phi} \left(\frac{a_e}{r} \right)^3 \quad (2.1)$$

式中, B_0 为赤道表面磁感应强度 ($31 \times 10^{-6} \text{T}$); ϕ 为地球磁场纬度; a_e 为地球赤道半径; r 为观察点离地心的距离。

在此磁场作用下,自旋卫星中由于产生涡流而消耗能量,从而出现自旋减慢。对于三轴稳定的卫星来说,可利用地球磁场与卫星磁扭(由星载磁扭矩装置产生)的相互作用来控制卫星姿态。

5. 宇宙尘埃

宇宙尘埃是指尺寸在 $100\mu\text{m}$ 以下的颗粒,越靠近地球越多。它能量虽小,但有时会使得物体表面的光学特性改变,使太阳能电池性能变差,也能使很薄的表面材料遭到破坏。

6. 其他因素

在静止轨道上,没有风和重力,卫星可以采用大而薄的结构。另外,在地球上使用的润滑剂在空间都失效,为此消旋天线的轴承要用陶瓷滚珠或由特殊的金属陶瓷化合物制成。

§ 2.1.2 卫星的摄动

由于宇宙空间其他星体的作用和地球并非理想质点等因素的影响,卫星的轨道将偏离理论上计算出的理想轨道,这一现象称为摄动。引起卫星摄动的原因有以下几个方面。

1. 地球重力场不均匀的影响

由于地球并非一个理想球体,而是略呈椭球状,且表面起伏不平,因此地球四周等高度处的引力不保持为常数。经过计算,地球重力场的位函数可近似为

$$v = -\frac{\mu}{r} - \frac{J_2 \mu a_e^2}{2r^3} (1 - \sin^2\phi) \quad (2.2)$$

式中, a_e 为地球的赤道半径; ϕ 为地球的纬度; J_2 为常数,其值为 1.0823×10^{-3} ; r 是观察点离地心的距离;右边第一项 $-\frac{\mu}{r}$ 是地球为理想球体时的重力场位函数,它决定了卫星的理想轨道;

第二项 $-\frac{J_2 \mu a_e^2}{2r^3} (1 - \sin^2\phi)$ 使卫星的速度偏离理论值,引起卫星在轨道平面内产生摄动。例如,对静止卫星来说,这种摄动表现为卫星在东西方向上漂移。

2. 地球以外引力的影响

地球卫星除了主要受地球引力之外,还受到宇宙其他星体的作用,其中主要是太阳和月亮的影响。以静止卫星为例,太阳和月亮对卫星的引力分别为地球引力的 $1/37$ 和 $1/6800$,这两个力作用的结果,使卫星的摄动表现为轨道倾角发生积累性的变化,卫星在南北方向上缓慢地漂移。

3. 地球大气的影响

高轨道卫星处于大气层以外的宇宙空间,大气阻力可以不计,但是对于低轨道的卫星,大气阻力将使卫星的机械能受到损耗,从而使轨道日渐缩小。

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可以忽略;但对于表面积较大,且定点精度高的静止卫星,这个压力将引起卫星在东西方向上的位置漂移摄动。

§ 2.1.3 卫星蚀、太阳黑子干扰和日凌中断

1. 卫星蚀

如图 2.1 所示,当太阳、地球、卫星共处在一条直线上时,地球挡住了阳光,卫星进入地球的阴影区,这种现象称为卫星蚀。在卫星蚀的时间内,通信无法使用太阳能电池,必须使用卫星自带的蓄电池供电,才能保证在此期间通信不中断。

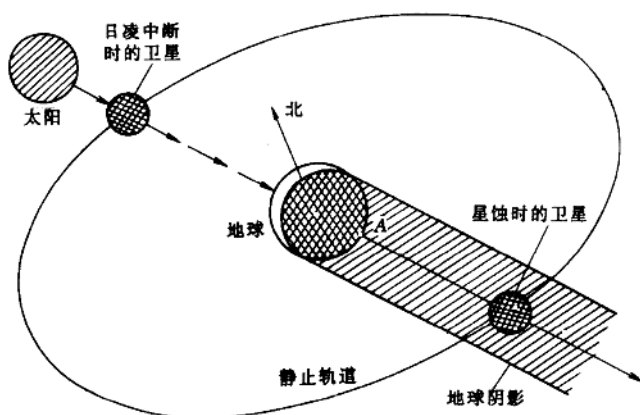


图 2.1 静止卫星发生星蚀和日凌中断的示意图

对静止轨道卫星,如图 2.2 所示,在春分(3月21日)和秋分(9月23日)这两天卫星蚀的时间最长,都为 72min,而在此两日前后各 22 天的夜间都存在卫星蚀,只是时间不同。

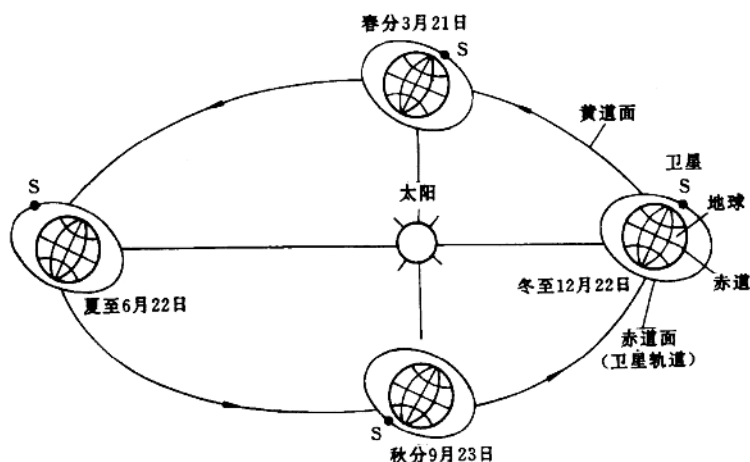


图 2.2 太阳、地球、卫星相对位置

2. 太阳黑子干扰

太阳黑子是一个巨大的旋涡状气流,最大黑子群有地球直径的 10 多倍。黑子爆发的持续时间有的一天就消失,有的可能存在几个月。黑子活动春分时较多,它可以计算后预报,其最大周期是 11 年。黑子活动对卫星通信干扰严重,甚至会使通信中断。

3. 日凌中断

每年春分和秋分前后,在静止卫星星下点进入当地中午前后的一段时间里,卫星处于太阳与地球之间,地球站天线对准卫星的同时可能会对准太阳,这时强大的太阳噪声使通信无法进行,这种现象通常称为日凌中断,如图 2.1 所示。这种中断现象每年发生两次,每次延续 6d。每天出现中断的最长时间与地球站(关口站)天线口径、工作频率有关,例如天线波束半功率宽度 $\theta_{1/2} \approx 0.5^\circ$ 的 10m 天线在 4GHz 工作时,一天中出现由太阳干扰而产生日凌中断的最长时间为 3min。

对单颗卫星通信系统来说,日凌中断一般难以避免。而采用两颗不同时发生日凌中断的卫星,在日凌中断前将信道转接到另一颗卫星上去工作,就可避免日凌中断。

月亮也会引起类似现象,但其噪声比太阳弱得多,不会造成通信中断。

对于中、低轨卫星移动通信系统来说,尽管也存在上述现象,但由于卫星高速运动,且采用多星星座覆盖,因此,这一问题就容易解决。

§ 2.1.4 卫星分类

按照卫星的轨道高度、倾角、运转周期、重量等的不同,卫星可有不同的分类方法。

1. 按卫星离地面最大高度 h_B ,卫星可分为三类。

(1)低轨道卫星: $h_B < 5000\text{km}$,周期 $T = 2 \sim 4\text{h}$ 。

(2)中轨道卫星: $5000\text{km} < h_B < 15000\text{km}$,周期 $T = 4 \sim 12\text{h}$ 。

(3)高轨道卫星: $h_B > 20000\text{km}$, $T > 12\text{h}$ 。

2. 按卫星轨道平面的倾角 i 的大小,卫星可分为三类。

(1)赤道轨道卫星: $i = 0^\circ$,轨道面与赤道面重合。

(2)极轨道卫星: $i = 90^\circ$,轨道面穿过地球的南北两极,与赤道面垂直。

(3)倾斜轨道卫星: $0^\circ < i < 90^\circ$,轨道面倾斜于赤道面。

3. 按卫星的运转与地球自转的同步情况,卫星可分两类。

(1)同步卫星:卫星的运行轨道是在赤道平面内的圆形轨道,轨道半径为 42164.4km,运行与地球自转方向相同,周期 $T = 24$ 恒星时(23h56'4.09")。因此,地面上观察卫星时,卫星是静止不动的。这种卫星也叫静止卫星。它运行的轨道叫静止轨道或同步轨道。

(2)非同步卫星:卫星的运行周期 $T \neq 24$ 恒星时,此种卫星按卫星间的关系又可分成两类。

①相位卫星:它是指在同一系统中,同一条卫星运行轨道上运行的、等间隔排列的多颗卫星。目前的中、低轨卫星移动通信系统的卫星星座基本上都采用这种相位卫星。

②随机卫星:它是指在不同高度的几条轨道上排列的多颗卫星。

4. 按卫星的重量,卫星可分为五类。

(1)大卫星: $> 1000\text{kg}$ 。

(2)小卫星: $500 \sim 1000\text{kg}$ 。

(3)小型卫星:100~500kg。

(4)微型卫星:10~100kg。

(5)纤型卫星:<10kg。

目前,静止轨道卫星移动通信系统使用的是大卫星,而中、低轨道卫星移动通信系统使用的大多是小卫星和小型卫星。

5. 按卫星轨道的形状,卫星可分为三类。

(1)静止轨道(定点)卫星。

(2)圆轨道卫星。

(3)椭圆轨道卫星。

§ 2.1.5 卫星的结构

在卫星移动通信系统中,无论是大型的同步卫星,还是小型的中、低轨非同步卫星,尽管它们的外形、性能、具体的结构千差万别,但它们的各组成部分是基本相同的。一般地,通信卫星主要由五个分系统组成,即天线分系统。通信分系统、电源分系统、跟踪遥测指令分系统、控制分系统。这五个分系统,对于不同种类的卫星,在实现的技术手段上,存在一定的差异。

1. 天线分系统

天线分系统的功能是定向发射与接收无线电信号。由于卫星发射和卫星在轨运行等条件的限制,卫星天线要求体积小、重量轻、馈电方便、便于折叠和展开。其工作原理、外形等都与地面上的天线相同。概括起来,卫星天线可分为两类。

一类是遥测、指令和信标天线,一般为全向天线,以便可靠地接收指令与向地面发射遥测数据和信标。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。

另一类是通信天线,按其波束覆盖区的大小,可分为全球波束天线、点波束天线和区域波束天线,如图 2.3 所示。

(1)全球波束天线:对静止卫星而言,天线波束的半功率宽度 $\theta_{1/2} \approx 17.4^\circ$ 一般由圆锥喇叭加上 45° 的反射板构成,如图 2.4 所示。

(2)点波束天线:覆盖区面积小,一般为圆形。波束半功率宽度只有几度或更小,因而天线有较高的增益。

(3)区域波束天线:主要用于覆盖不规则的区域。它可以通过修改天线反射器的形状来实现,或是利用多个馈源照射反射器,由反射器产生多个波束的组合形状来实现。波束截面的形状同各馈源的位置排列、照射反射器的方向、电波功率、相位等因素有关,这些可以利用波束形成网络实现,如图 2.5 所示。

下面以 INMARSAT 卫星移动通信系统使用的 IS-V 卫星作为典型,介绍卫星移动通信系统的卫星天线分系统,如图 2.6 所示。IS-V 共配有 11 副天线,装在星体一侧的支架上,其中 5 副是遥测、指令和信标天线,6 副是通信天线。具体情况是:

(1)6GHz 全球波束接收天线(圆锥喇叭天线);

(2)6GHz 半球/区域波束接收天线(直径 1.54m 抛物面天线);

(3)4GHz 全球波束发射天线(圆锥喇叭天线);

(4)4GHz 半球/区域发射天线(直径 2.44m 抛物面天线);

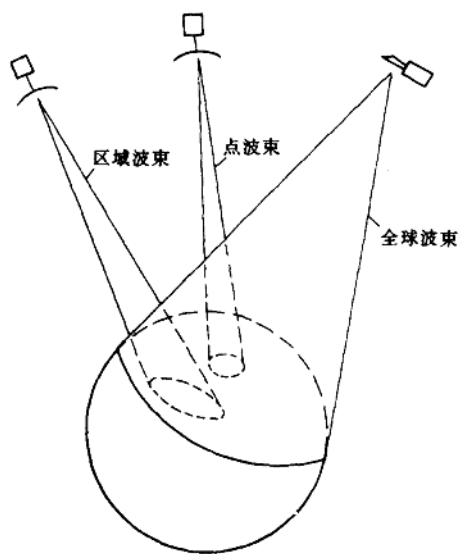


图 2.3 全球波束、区域波束
与点波束的示意图

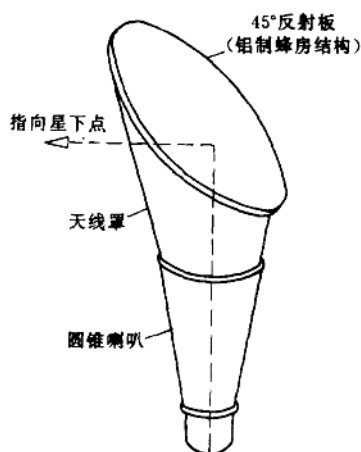


图 2.4 全球波束天线

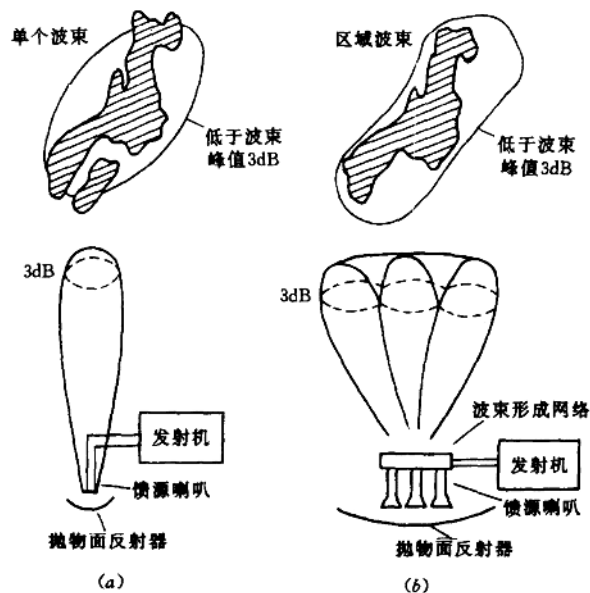


图 2.5 区域波束的形成

- (5) 14/11GHz 东向点波束收发共用天线(直径 1m 抛物面);
- (6) 14/11GHz 西向点波束收发共用天线(直径 1m 抛物面);
- (7) 11GHz 信标天线(圆锥喇叭天线);

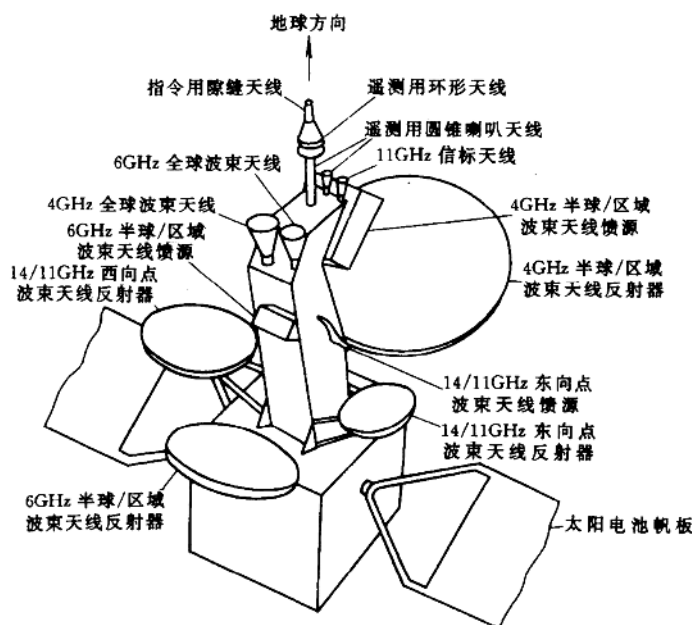


图 2.6 IS-V号卫星天线配置图

- (8)指令天线一副;
- (9)遥测环形天线一副;
- (10)遥测定向天线两副。

半球/区域波束的成形,主要利用 88 个方形喇叭(馈电元)作馈源,由功率分配移相网络给各部分馈电源加上适当幅度和相位的激励来实现的。如图 2.7 所示,E 表示东,W 表示西,Z 表示区域。

2. 通信分系统

通信分系统由若干个转发器构成。一个转发器就是一套收、发信设备。转发器将卫星接收天线送来的各路微弱信号经放大、变频等多种处理后,再送至相应的发射天线。如果转发器对信号只有放大和变频两种处理,则这样的转发器称为透明转发器,除此以外,还有其他的处理,如调制、解调、交换等,这样的转发器称为处理转发器。

转发器对信号会造成一定的损伤,如附加噪声和失真等。造成信号损伤的主要因素是:

- (1)放大器的非线性,它将产生互调(当放大器中有若干载波时),或产生误码(数字传输);
- (2)相邻频段发送的信号间干扰;
- (3)通带内的幅度、相位变化(主要由各滤波器引起,它造成失真、噪声和误码);
- (4)放大器中的幅度—相位转换将引起串话(同一放大器中有若干载波时)和码间干扰(TDMA)。

由于转发器的工作环境和其本身所用器件的限制,转发器部件的排列结构对于确保

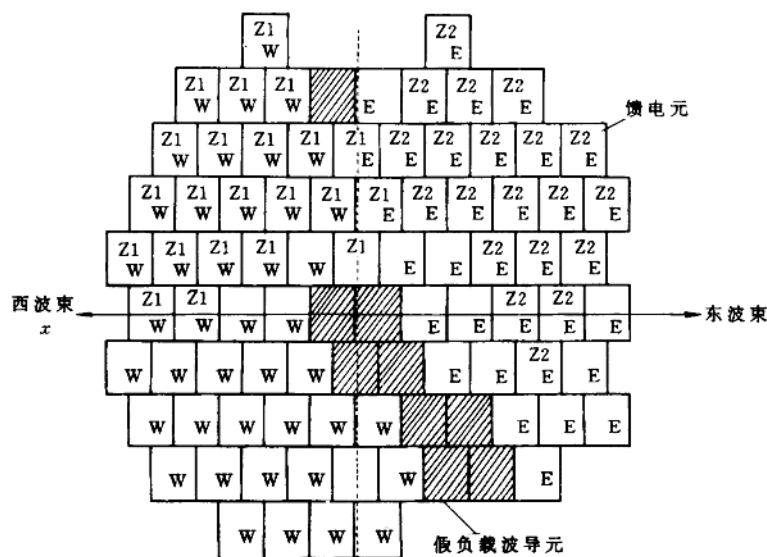


图 2.7 形成半球/区域波束的馈电元分布

转发器正常工作是很重要的。在确定各部件的排列结构时,主要考虑下列因素:

- (1) 将散热组件(特别是各种功率放大器)发出的热量散掉,一般可用足够大的散热板直接向太空辐射;
- (2) 为满足电磁兼容的要求,避免耦合,以及减小热的波动效应,须合理安排元部件布局,并安装保护装置;
- (3) 要限制波导连接长度,以减小天线馈线损耗。

下面介绍各种转发器。

1) 透明转发器

透明转发器的接收信号仅被送到一个发射波束,因此它是一个接有单个发射波束的转发器。如前所述,透明转发器除对天线送来的微弱信号进行低噪声放大、变频和功率放大外,不做任何其他处理,只是单纯地完成转发任务,因此,它对工作频带内的任何信号都是“透明”的通路。透明转发器按其变频次数,可分为一次变频转发器和二次变频转发器,如图 2.8 所示。

(1) 一次变频转发器。在这种转发器中,先用低噪声放大器对接收到的上行频率的输入信号进行放大,然后经混频器变换成下行频率,再经功率放大后通过天线发回地面。可见,转发器一直在微波频率上工作,所以这种转发器又叫做微波式频率变换转发器。

这种转发器射频带宽可达 500MHz 以上。由于输入、输出特性是线性的,允许多载波工作,适于多址连接,因而适用于载波数量多,通信容量大的通信系统,如 IS-IV、IS-V 等。

图 2.9 是 IS-V 的一个 6/4GHz 一次变频转发器,其带宽为 500MHz,输入 5.925~6.425GHz 的频段信号经过环形器和 4 级低噪声晶体管放大,噪声系数 N_F 为 5.6dB,其增益为 23dB。混频器由二极管和微带线组成。混频后是带通/带阻滤波器以抑制带外信