

通信系统

第三册

〔内部试用〕

中国人民
解放军 工程技术学院三系

一九八二年四月

第二篇 卫星通信系统

第七章 卫星通信概述

§ 7—1 卫星通信的基本概念	220
§ 7—2 卫星通信发展概况	223
§ 7—3 卫星通信系统的组成及信息传递过程	231
7.3.1 有源同步卫星通信系统的组成	231
7.3.2 卫星通信线路的构成	233
7.3.3 信息传递的物理过程	234
§ 7—4 卫星通信的特点	235
7.4.1 主要优点	235
7.4.2 主要缺点	237
§ 7—5 通信卫星	239
7.5.1 卫星的轨道及其参数	239
7.5.2 通信卫星的分类	244
7.5.3 通信卫星制式	245
7.5.4 同步卫星的发射	248
7.5.5 通信卫星的组成及各部分的功能	251
§ 7—6 卫星通信中电波传播的特点	264
7.6.1 卫星通信频段的划分	264
7.6.2 自由空间传播损耗	268
7.6.3 对流层和电离层对电波传播的影响	271

7.6.4 卫星通信线路噪声	274
----------------------	-----

第八章 卫星通信体制

§ 8—1 卫星通信的多路复用方式	276
8.1.1 频分复用方式	277
8.1.2 时分复用方式	280
§ 8—2 卫星通信的载波调制方式	283
8.2.1 参差正交相移键控方式 (SQPSK)	284
8.2.2 最小移频键控方式 (MSK)	290
§ 8—3 卫星通信的多址联接方式	311
8.3.1 线路分割各方式	313
一、频分多址 (FDMA) 联接方式	314
二、时分多址 (TDMA) 联接方式	319
三、码分多址 (CDMA) 联接方式	323
(一) 伪随机码直接序列扩频码分多址方式	324
(二) 时频编码码分多址方式	332
(三) 低密度卷积码码分多址方式	340
四、空分多址 (SDMA) 联接方式	346
8.3.2 线路分配各方式	351
一、预先分配多址方式 (PMA)	351
二、按需分配多址方式 (DAMA)	355

第二篇 卫星通信系统

第七章 卫星通信概述

7—1 卫星通信的基本概念

卫星通信是宇宙无线电通信的一种形式。所谓“宇宙无线电通信”是指以宇宙飞船，人造地球卫星和宇宙天体等为对象的无线电通信，简称为“宇宙通信”或“空间通信”。宇宙通信可分为三种形式：(1)地球站和宇宙站之间的通信，即“地—星”通信；(2)宇宙站之间的通信，即“星—星”通信；(3)地球站之间通过宇宙站的反射或转发所进行的通信，即“地—星—地”通信。这里的宇宙站指的是设置在地球大气层之外的自然天体（如行星、月球等）和人造天体（如宇航船、人造卫星等）上的通信站。地球站指的是设置在地球大气层以内的通信站，它又可分为移动站（如机载站、舰载站等）、半固定站（半移动站、即可以随时拆卸、搬迁的通信站）和固定站（即位置固定不变的站，习惯称呼的地面站主要指此）。完成一定的宇宙通信任务的全部宇宙站和地球站通信设备总称为宇宙通信系统。

卫星通信是“人造地球卫星中继无线电通信”的简称，属第三种宇宙通信形式。概括的说，它是利用人造地球卫星的转发（中继）或反射而达成的两个或多个地面站之间的无线电通信。可见，它实际上就是利用通信卫星作无人值守中继站的一种特殊的无线电接力通信，是空间技术和微波通信技术相结合的产物。卫星通信的简单过程如图7—1所示。地面站A通过定向天线将无线电信号发向卫星。卫星收到该信号以后，经过适当的处理，再由卫星天线转发给地面站B。B站收到信号之后就完成了由A站到B站的单向信息传递过程。信号从A站到卫星所经过的通信线路称

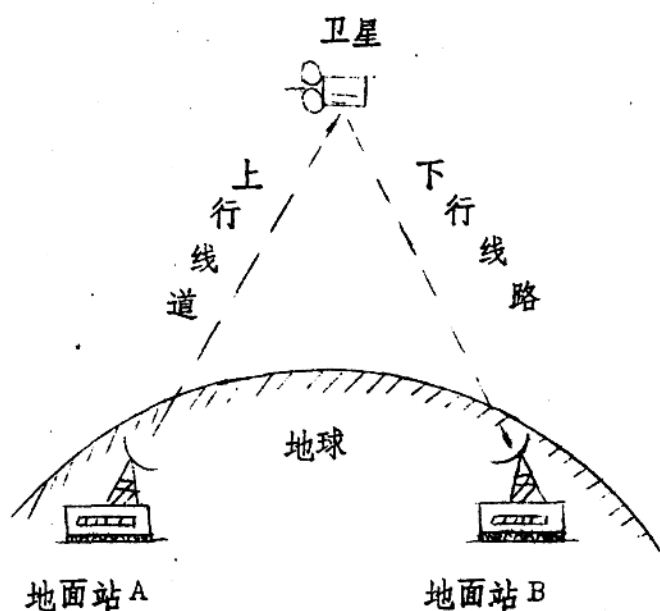


图 7—1 卫星通信示意图

上行线路。从卫星到地面所经过的线路称下行线路。同样，B站也可向A站发送信息。特别是，还可以多个地面站同时利用同一颗卫星建立多边联系。

参与卫星通信的全部设备称为卫星通信系统。为了便于研究问题，我们可按以下几种方法对卫星通信系统进行分类：

一、按卫星中继站的性能分：

(一) 无源卫星通信系统 不装置任何电子设备的卫星称为无源卫星。它只能对无线电波起反射作用。以无源卫星作电波反射器的通信系统称为无源卫星通信系统。这是最早出现的方式，现已极少采用。

(二) 有源卫星通信系统 装置有转发器等电子设备的卫星称有源卫

星,以有源卫星为中继站的通信系统称有源卫星通信系统。这是目前通用的方式。平时讲的卫星通信,一般都是指这种系统。

二、按通信卫星的相对位置分:

(一) 非同步卫星通信系统 卫星的位置相对于地面站来说是不停的运动着的卫星称运动卫星或非同步卫星。由运动卫星作中继站所组成的卫星通信系统称为非同步卫星通信系统。

(二) 同步卫星通信系统 卫星的位置相对于地面站来说是静止不动的卫星称为静止卫星或同步卫星,由静止卫星作中继站的卫星通信系统称为同步卫星通信系统。

三、按传输信号的形式分:

(一) 模拟卫星通信系统 传输模拟信号,以电话、电视为主。

(二) 数字卫星通信系统 传输数字信号,以数据、数字电话为主。

当前主要的应用形式是模拟通信系统,用来传输模拟电话和电视以及电报、传真、数据等。这种类型的系统出现最早,所以技术比较成熟。纯数字系统还只有少量的应用,但它是今后的发展重点。

四、按地球站的位置分:

(一) 移动站卫星通信系统 以安装在机、车、船上的位置不固定的地球站组成的通信系统称为移动站卫星通信系统。其特点是小型灵活。

(二) 固定站卫星通信系统 以安装在地面上的位置长期不变的地球站(常称地面站,大都属于国际上规定的“标准站”)组成的通信系统称固定站卫星通信系统。其特点是大设备(特别是天线,直径可达30m以上)、大业务量(数百以至上千路双向电话)、高可靠性。这是本篇研究的重点。

(三) 半固定站通信系统 由设在地面上的站址可临时搬迁的地球站

(往往是非标准站)组成的通信系统称为半固定站卫星通信系统。

五、按通信的联接方式分:

(一) 单址卫星通信系统 它进行一对台站之间点对点的双向通信。目前只有少量的固定业务和实验系统采用。

(二) 多址卫星通信系统 利用一个卫星同时进行两对以上的多对台站之间的通信叫“多址通信”。这是卫星通信所特有的方式。可以进行多址联接的通信系统叫多址卫星通信系统。这也是本篇要讨论的主要问题之一。

六、按通信的联接范围分:

(一) 国内卫星通信系统 其通信范围仅限于一个国家的内部。目前已有许多国家建立了专供本国使用的卫星通信系统。

(二) 国际卫星通信系统 用来完成国际间的通信联系。目前已有若干组织建立了大规模的国际卫星通信网。

§ 7—2 卫星通信发展概况

卫星通信的发展大致经历了以下几个阶段。从1932年到1957年之前是理论研究和自然天体通信的探讨阶段。三十年代初,美国人首先测试了银河及太阳的杂音,从而提出了进行宇宙通信的可能性。到1945年英国人A. Clark第一次提出了静止卫星通信的理论,但限于当时的技术水平,没有可能加以实现。到了1954年,美国海军开始进行地——月——地空间话音通信试验,1959年成功的建立了华盛顿到夏威夷之间的工作系统,一直用到1962年。这是无源反射卫星通信的首次尝试。这次试验以及在此期间进行的各种人造反射体通信试验都表明,利用外空天体的反射作用完全可以进行地面上的远距离通信。

1957年10月4日,苏联成功地发射了人类历史上第一颗人造地

球卫星史泼一号。接着在1958年12月美国也发射了一颗斯柯尔号卫星。从此，人造地球卫星通信进入了大量试验的阶段，直到1964年。在此期间，美苏两国，特别是美国，对无源反射式卫星、有源椭圆轨道卫星、有源圆轨道同步卫星都作了一系列的尝试。结果证明，无源卫星通信性能较差，没有继续发展。而有源卫星，特别是有源同步卫星通信具有其它方式所不可比拟的优点。

1964年8月，美国发射了第一颗同步卫星“辛康姆—III”号，成功地转播了东京奥运会的实况。从此，卫星通信进入了实用阶段，并得到了突飞猛进地发展，现已广泛应用于军事和商业通信业务中。在不到20年的时间里，全世界已发射了200多颗通信卫星。国际卫星通信系统的总容量已有20000多条双向话路和十多条彩色电视线路，为160多个国家和地区提供了通信业务。另外，从七十年代起，国内卫星通信也得到了迅速发展。苏联、加拿大、美国、印尼等许多国家都有了完整的国内卫星通信系统。与此同时，美苏等国也都建立了适用于各军兵种需要的各种军事卫星通信系统。

国际卫星通信目前是以三大国际组织——国际电信卫星组织（INTELSAT）、国际卫星组织（ИНТЕРСОУТНИК）和国际海上卫星组织——为核心展开的，现分别加以简要介绍。

1964年8月20日美国为首的十一个西方国家签署了临时协定，成立了一个“国际通信卫星财团”（CONSORTIUM）。到1971年8月由79个成员国签署了正式协定，1973年2月12日协定生效，并改名为“国际电信卫星组织”。现已有成员国106个，提供的通信业务约占全球的三分之二。

该组织使用的卫星是INTELSAT同步星系列，现已发射了五代

30 来颗。各代卫星的主要性能如表 7—1 所示。IS—I 代只发射了

表 7—1 国际电信卫星主要性能一览表

卫星系列 卫星诸元	IS—I	IS—II	IS—III	IS—IV	IS—IVA	IS—V
形 状	园 筒	园 筒	园 筒	园 筒	园 筒	方形带翼
直径 (cm)	72.1	142	142	238	238	1559
高度 (cm)	59.6	67.3	104	282	282	6441
发射重量 (公斤)	68	162	293	1385	1469	1864
轨道重量 (公斤)	38	67.3	152	700	790	967
工作频段 (GHz)	6/4	6/4	6/4	6/4	6/4	$\frac{6}{4}, \frac{14}{11}$
稳定方式	自旋	自旋	自旋	自旋	自旋	三轴
转发器数	2	1(备用1)	2	12	20	27
每转发器带宽 (MHz)	25	130	225	36	36	40, 80, 240
天线复盖范围	全向倾斜 北半球	全向球 波束	消旋球波 束	消旋球波 束和点波束	消旋球波 束和点波束	球波束 和点波束
各波束等效全向 辐射功率 (EIRP)	11.5	15.5	23	22.5 球波束 33.7 点波束	22 球波束 26 半球波束 29 (点波束)	25 (半球) 29 (全球) 41.1 (东点) 44.4 (西点)
每颗星的通信 容 量	240路双 向话	240路 双向话	1200路 双向话	4000路双 向话 +2路彩电	6000路 双向话 +2路彩电	12000 路双向话 +2路彩电
设计寿命 (年)	1.5	3	5	7	7	7

一颗(F1, 即“晨鸟”), 1965年4月发射, 1969年8月停用, 是一颗半实验半实用性卫星。1966年10月开始发射IS—II代第一颗(F1)卫星, 至1967年9月共发射4颗(一颗—F1发射失败), 1971年9月全部停用。1968年9月开始发射IS—III代卫星(F₁), 至1970年7月共发射8颗(三颗—F₁, F₂, F₃失败), 1972年5月全部停用。1971年1月开始发射IS—IV代卫星(F₂), 至1975年5月共发射8颗(一颗—F₂失败)。1975年9月开始发射IS—IVA(四代半)卫星(F₁), 至1978年4月共发射六颗。1980年12月7日发射了第一颗IS—V代卫星(F₁, 定点于大西洋后转移到印度洋)至今已发射四颗(1981年5月23日发F₂, 定点于大西洋; 1981年12月9日发F₃, 定点于印度洋后转移到大西洋; 1982年3月5日发F₄, 定点于印度洋), 计划共发射9颗。目前在轨道上的可用卫星共有十六颗, 它们在各洋区的分布及使用情况如表7—2所示。由表可见, 82年3月以前使用的卫星是以五代为主, 四代、四代半和五代并用。预计在今年内, 太平洋区域也将用四代半取代四代卫星。大西洋地区除主通道已使用五代卫星外, 大通道1也将在今年内改用五代卫星。这样, 不久整个系统将出现以使用五代为主, 四代半为辅, 四代逐渐被淘汰的情形。五代卫星的使用标志着国际卫星通信进入了新时期。

鉴于世界上对卫星通信的要求日益扩大(据说每3~5年增加一倍), 所以国际电信卫星组织计划到1984年以后再发射三颗IS—VA(五代半)卫星, 其容量为15000路双向话加两路电视。并决定于今年3月签订合同, 向有关公司采购5~8颗IS—VI代卫星, 预计1986年开始发射, 计划共发射16颗。六代系统的容量可达37000路双向话加两路电视。

表 7—2 国际电信卫星使用现状 (1982 年 3 月底)

使用类型	卫星代号	轨道位置
大 西 洋		
主通道卫星 1	IS—VF ₁	335.5° E
主通道卫星 2 (备用)	VF ₂	332.5° E
大通道 1 兼租用卫星	IVA F ₁	325.5° E
大通道 2 兼租用卫星	IVA F ₁	341.5° E
主通道应急卫星	VF ₂	332.5° E
大通道 1 与 2 应急兼租用卫星	IVA F ₂	338° E
轨道备用兼租用卫星	IV F ₁	307° E
轨道备用卫星	IVF ₂	359° E
印 度 洋		
主用卫星	VF ₁	63° E
应急工作备用兼租用卫星	IVA F ₁	60° E
轨道备用	V F ₁	60° E
太 平 洋		
主用兼租用卫星	IV F ₁	174° E
应急卫星	IV F ₁	179° E
应急卫星	IVF ₁	179° E
轨道备用	IV F ₁	179° E

我国从1972年尼克松访华开始租用该组织的通信线路，1977年8月正式签字成为该组织的第98个成员国，现已建立了四个地面站，其中北京有三个，1号站（PE1，太平洋区）建于1974年，2号站（PE2，印度洋区）建于1975年，为了适应五代卫星的要求，这两个站的改造工程已于去年先后完成。3号站（PE3，印度洋区备用）以进行五代卫星通信为目标已于81年下半年建成，现正在加电测试。上海有一个（SH，太平洋区），于1973年9月启用，现在我国已通过这些地面站与24个国家和地区建立了直通业务。

1971年11月，以苏联为首的10个成员国（保、匈、东德、古、罗、波、蒙、苏、越和捷）在莫斯科签订协议，成立了“国际卫星组织”。该组织主要是保证经互会及华约各国的通信业务。它没有自己独立的卫星，而是租用苏联的非同步“闪电”（МОЛНИЯ）卫星的两条射频信道，一条用于电视，一条用于电话，于1974年2月正式启用。苏联也于1975年开始发射静止轨道卫星，预计国际卫星组织的通信业务将逐步过渡给同步卫星承担。

60年代以来，海上民用船舶之间的通信开始启用了卫星线路。为了更好地利用和发展这种海上卫星通信，联合国的政府间海事协商组织，于1976年专门召开了一次国际会议，就建立一个全球性的海上卫星通信机构，达成了协议。1979年7月“国际海上卫星组织”宣告成立，并于今年2月1日正式开始营业。当时这家组织包括中国在内共有37个成员国，资金总额为二亿五千万美元。

该组织的第一代设备，计划将有8~9颗卫星，其中包括以前由美国发射的三颗（今年年底将退役），由欧洲航天局（11个西欧国家组成的国际组织）提供的两颗（欧洲海上通信卫星）。后两颗各有40条

话路,其中一颗已于去年年底发到了大西洋上空,另一颗于今年四月发到太平洋上空。另外有 3~4 颗卫星各有 33 条话路,将从国际卫星通信组织租用,其中第一颗计划在今年年终发射到印度洋上空。作为长期规划,该组织打算从 1987 年起,利用具有更高功能的第二代卫星。

该组织已在美、日和挪威建立了五座高性能海岸地面站,以作为海上卫星通信的传播机构。今年还将在英国、新加坡、苏联和意大利建立四座新的地面站。计划中的另外十座将于 1984 年建成。该组织的服务对象是各国的民用船只和采油平台等海上设施。目前全世界的 70000 多艘远洋轮船中已有大约 1000 艘安装了地球站设备,开展了通信业务。

在民用卫星通信发展的同时,一些国家也在大力发展军事卫星通信体系。拿美国来说,现在已建立了完整的“国防战略卫星通信系统”和三军的战术卫星通信系统,成为远程通信的主要手段之一。

国防卫星通信系统(DSCS)是美国国防部的大容量环球通信系统,它为国家指挥当局(NCA)、参谋长联席会议(JCS)、联合和特种司令部、国防部各局以及国务院等部门提供关键的通信联络,同时也为英国和北约国家提供关键性的通联。DSCS 的发展计划、指导和管理由国防通信署(DCA)具体负责。其计划管理办公室由三军共同掌管。空军负责卫星和机载终端,陆军负责地面终端和控制设备,海军负责舰载终端。

DSCS 计划到目前已经历了三个阶段。最早称为“初期国防通信卫星计划”(IDCSP,或 DSCS-I),于 1962 年 2 月提出,1964 年 10 月经国防部批准执行。从 1966 年至 1968 年 6 月共发射成功四批 26 颗(另有一批 8 颗失败)卫星,建地面和舰载终端站 36 个。整个系统于 1967 年 7 月正式投入工作。限于当时的技术水平,IDCSP 的卫星

采用的是随机准同步轨道，星体简单，容量较小（实际应用最多12路），不能满足要求。于是到1968年6月，美国国防部又批准研制二代国防通信卫星（DSCS—II），1969年3月签订采购6颗卫星的合同（74年以后又订购了十二颗替补星），1971年11月首批两颗卫星发射成功，分别定位于大西洋和太平洋上空，各工作了十九和十个月后失效，继续由初期星支援通信。直到1973年12月才发射了第二批两颗卫星，仍分别定于大西洋和太平洋上空，1974年2月正式启用。后来由于火箭的故障连续失掉了四颗卫星，致使它的全球布署计划直到1978年才实现。到目前为止，二代星已发射七批14颗（失败2批4颗）。现在可用的还有6颗。4颗工作的卫星分别布署在大西洋，东、西太平洋和印度洋，四个地区。其余二颗作为备用。二代星及其相应的地球站设备都吸取了许多先进技术，各种性能都大有提高。每颗星的通信容量达到1300路双向话或100Mb/s的高速数据。而且从1978年底（或79年初）至1980年10月，各洋区大都先后实现了传输数字化（模拟话转为PCM数字话）。然而，随着用户需要的日益增长，预计80年代以后DSCS—II将不能满足要求。因此，1974年，美国国防部又批准实施三代国防通信卫星（DSCS—III）计划，并从1977年2月开展了全面研制工作。最初的计划是1979年7月发第一颗，但由于测试工作到1981年2月才完成，所以推迟到81年中期发射。可是不久又发生了变化：参谋长联席会议鉴于：（1）目前二代星还可提供满意的通信勤务；（2）需要有一定数量的发射火箭储备，决定待目前的二代星需要补充时，再与二代星同时发射第一颗三代星。DSCS—III空间部分的轨道构成方案包括四个工作卫星、两个备用卫星。整个系统工作在超高频频段（X频段），用来均衡国际通信系统（DCS）的军事卫星、商业卫星、商业

电缆等多种通信手段之间的联系，从而提高 DSC 在危机时刻的抗毁性及日常工作的可靠性和连续性。

以上概述了国际上几个重要卫星通信组织的发展情况，从中已可大致看出卫星通信技术从无到有以至迅速膨胀的过程。除此以外，全世界还有许多各种用途的卫星通信系统在研制或使用，其中有代表性的已达 40 多个，有 30 多个使用自己的卫星和地面站。这些我们就不一一介绍了。

在我国也早有一些科研单位从事卫星通信的研究工作。1978 年，我国与国际合作，通过“交响乐”卫星，使用自制地面站设备，进行了电视电话传输等一系列试验，取得了宝贵的经验。目前我们虽未发射自己的卫星，但正在采用“租星建站”的方式，促进卫星通信事业的发展，为在我国建立完全自己制造的国内卫星通信系统作着广泛的技术准备。

§ 7—3 卫星通信系统的组成及信息传递过程

由图 7—1 可见，任何卫星通信系统都应由三大部分组成：通信卫星、地面站和通信信道（包括上行线路、下行线路和信道噪声）。本节以有源同步卫星通信系统为例，先介绍一下大体结构，然后结合稍细一点的通信线路图进一步介绍信息在系统中的传递过程。

7.3.1 有源同步卫星通信系统的组成：

有源同步卫星通信系统的组成方框如图 7—2 所示。可见整个系统由两大部分组成。

一、空间（宇宙）部分：它包括空中的卫星和地面的监测控制设施。

（一）通信卫星（宇宙站）部分：主要由五大部分组成：

1. 天线系统，包括通信天线和遥测指令天线。

2. 通信系统：又称“转发器”。它包括收发信机和频率变换等部

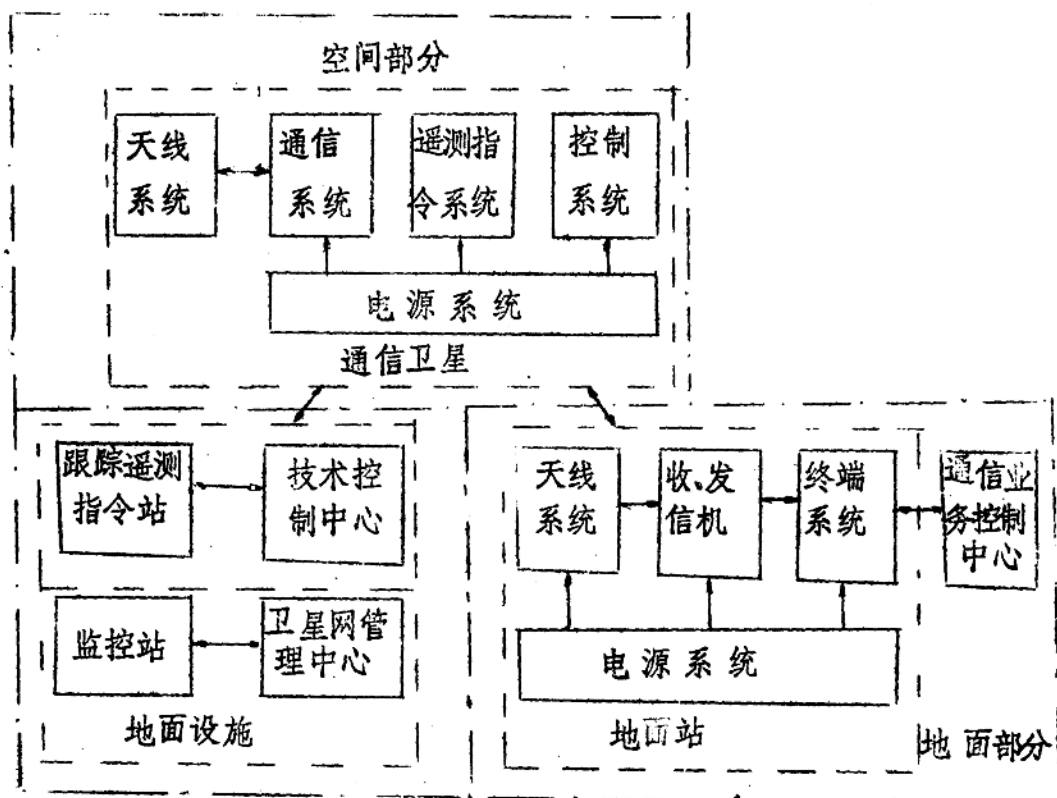


图 7—2 卫星通信系统的组成

分。其主要作用是：接收地面站发来的信号，在进行频率变换和功率放大后再发送给相应的地面站。这是通信卫星的核心部分。

3. 遥测指令系统：是测量和控制卫星内部的各种设备、星体本身的姿态、位置等的遥测遥控系统的空间部分。

4. 控制系统：控制星体位置和姿态的装置。

5. 电源系统：提供星体上各种电子设备和装置所需要的电源。常用的是太阳能电池。

(二) 地面设施部分：主要由跟踪、遥测、指令和监控分系统以及有关的管理设施组成。其作用是和空中的有关部分相配合，以保证通信卫星的正常运行、顺利工作。

二、地面部分：它包括网内所有地面站和通信业务控制中心。

(一) 地面站：一般也由五大部分组成。

1. 天馈线系统：包括天线和馈源。它对地面站性能有决定性影响。

2. 收、发信系统：发射系统用来提供适当的调制，进行宽频段范围内的发射频率变换以及输出足够大的功率电平。接收系统用来进行小信号低噪声的接收、放大解调，输出基带信号。

3. 跟踪伺服系统：保证天线精确地瞄准卫星。

4. 终端系统：进行基带信号的复用、分离和变换。它包括各种报机、话机、数传机、传真机、电视机、计算机等等。

5. 电源系统：提供各种电子设备所用的电源。

7.3.2 卫星通信线路的构成：

卫星通信线路指通信信号所经过的整个途径。所以一条通信线路应由发端地面站、上行线路、转发器、下行线路和收端地面站组成，如图7—3所示。为了进行双向通信，每一地面站均应包括发信系统和接收系统。由于收、发要共用一部天线，又要将接收与发射信号分开，因而在天线和收、发信机连接的地方插入了一个双工器。地面站发射与接收系统的终端设备，通常要与市内通信线路（如微波线路、同轴电缆线路等）相连接。为了便于进一步说明系统的工作过程，我们把地面站发信系统划分为多路复用设备，调制器和发射机；收信系统划分为接收机、解调器和多路分割设备。转发器则由天线、接收设备、变频器、发射设备及双工器组成。