



## 内 容 提 要

本书比较系统、深入地讲述了卫星通信系统的基本理论、关键技术、系统设计及线路计算等问题，基本反映了当前卫星通信发展的状况。共十章：概述，通信卫星，卫星信道中信号的传输，卫星通信体制导论，频分多址方式，时分多址方式，分组通信方式，码分多址方式，国内卫星通信系统的设计、规划与建立，卫星通信网举例。

本书主要适用于从事卫星通信专业的工程技术人员、大专院校高年级学生及研究生阅读，也可供从事其他专业的通信工程技术人员作参考。

通信工程丛书

卫星通信(1)

### 卫 星 通 信 系 统

吕海寰 蔡剑铭 甘仲民 编著  
陈九治 王明忠

责任编辑 李小姪

•

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

1988年5月第一版

印张：22 24/32 页数：364

1988年5月河北第一次印刷

字数：602千字

印数：1—3 800册

ISBN7 115—03527—X/TN

定价：6.15 元

# 目 录

<b>第一章 概述</b> .....	( 1 )
1.1 卫星通信的一般概念 .....	( 1 )
1.1.1 卫星通信的含义及卫星通信系统的分类 .....	( 1 )
1.1.2 卫星通信发展概况 .....	( 7 )
1.1.3 卫星通信的特点及其在技术上带来的一些问题 .....	( 9 )
1.2 卫星通信系统的组成、网络形式和运行 .....	( 13 )
1.2.1 系统的组成 .....	( 13 )
1.2.2 卫星通信网络的结构 .....	( 17 )
1.2.3 系统的工作过程 .....	( 18 )
1.3 卫星通信线路计算的基本公式 .....	( 19 )
1.3.1 接收信号的功率 .....	( 20 )
1.3.2 传输损耗 .....	( 23 )
1.3.3 噪声与干扰 .....	( 36 )
1.3.4 卫星通信线路中的载波功率与噪声功率比 .....	( 63 )
1.3.5 卫星通信线路计算的一般任务 .....	( 86 )
1.4 卫星通信使用的频率 .....	( 89 )
1.4.1 频率分配 .....	( 90 )
1.4.2 卫星通信频率范围选用的依据 .....	( 100 )
1.4.3 当前卫星通信使用的频段 .....	( 104 )
附录 I 微波波段的划分.....	( 106 )
附录 II 模拟制信号传输的假设参考电路和国际卫星通信组织IS-IV系统的噪声分配 .....	( 107 )
参考文献.....	( 110 )
<b>第二章 通信卫星</b> .....	( 112 )

2.1	卫星的轨道 .....	( 112 )
2.1.1	卫星运动的轨道及主要参数 .....	( 112 )
2.1.2	卫星的摄动 .....	( 118 )
2.1.3	星蚀及日凌中断 .....	( 120 )
2.1.4	轨道平面的倾斜效应 .....	( 122 )
2.1.5	通信卫星的姿态稳定技术 .....	( 124 )
2.1.6	静止卫星的发射过程 .....	( 128 )
2.2	静止卫星轨道的有效利用 .....	( 131 )
2.2.1	静止卫星轨道的分配与管理 .....	( 131 )
2.2.2	静止卫星轨道的有效利用 .....	( 133 )
2.3	通信卫星的覆盖区及传输迟延时间 .....	( 138 )
2.3.1	全球波束覆盖区的几何关系 .....	( 138 )
2.3.2	对准静止卫星时地球站天线主波束的方位角 和仰角 .....	( 140 )
2.3.3	卫星信道的传输时延及回波的抑制或抵消 ..	( 144 )
2.4	静止卫星的组成 .....	( 147 )
2.4.1	天线分系统 .....	( 149 )
2.4.2	通信分系统(转发器) .....	( 154 )
2.4.3	电源分系统 .....	( 154 )
2.4.4	跟踪、遥测、指令分系统 .....	( 157 )
2.4.5	控制分系统 .....	( 157 )
2.5	通信卫星举例 .....	( 158 )
2.5.1	国际通信卫星IS-V .....	( 158 )
2.5.2	加拿大国内通信卫星 .....	( 164 )
2.5.3	海事卫星 .....	( 166 )
附录	几个公式的推导 .....	( 169 )
	参考文献 .....	( 175 )
<b>第三章</b>	<b>卫星信道中信号的传输</b> .....	<b>( 176 )</b>
3.1	模拟信号的传输 .....	( 176 )

3.1.1	频率调制的几个基本问题 .....	( 177 )
3.1.2	电话线路的调频传输带宽 .....	( 191 )
3.1.3	电话线路的加权信噪比 .....	( 197 )
3.1.4	电视线路的调频传输带宽 .....	( 212 )
3.1.5	电视线路的加权信噪比 .....	( 220 )
3.2	数字信号的传输 .....	( 235 )
3.2.1	数字基带信号 .....	( 235 )
3.2.2	数字信号的调制与解调 .....	( 268 )
3.2.3	差错控制及扰码 .....	( 281 )
3.2.4	线路要求的 $(C/n_0)_t$ 与 $(E_b/n_0)_{dB}$ 的关系 .....	( 295 )
附录	电视信号及其传输的某些特性 .....	( 298 )
	(1) 电视信号的某些特性 .....	( 298 )
	(2) 基本传输特性 .....	( 298 )
	(3) 电视线路测量加权噪声时使用的滤波器 .....	( 317 )
	参考文献 .....	( 320 )
<b>第四章</b>	<b>卫星通信体制导论</b> .....	( 325 )
4.1	卫星通信体制的基本内容 .....	( 325 )
4.2	多址联接方式的概述 .....	( 327 )
4.2.1	实现多址联接的依据 .....	( 327 )
4.2.2	几种常用的多址联接方式 .....	( 334 )
4.3	多址分配制度 .....	( 340 )
4.3.1	多址分配制度的含义 .....	( 340 )
4.3.2	几种常用的多址分配制度 .....	( 342 )
4.3.3	采用不同分配制度时转发器通道数及各地球 站载波数的计算 .....	( 352 )
4.3.4	与提高通道利用率有关的若干措施 .....	( 358 )
4.3.5	按申请全可变分配的控制方式 .....	( 360 )
4.4	几种常用的体制类型 .....	( 367 )
附录	欧兰——B公式及欧兰表 .....	( 368 )

参考文献	( 384 )
<b>第五章 频分多址 ( FDMA ) 方式</b>	<b>( 385 )</b>
5.1 FDMA的基本原理与特点	( 385 )
5.1.1 基本原理	( 385 )
5.1.2 FDMA的特点	( 387 )
5.2 频分多址卫星通信系统中的互调	( 388 )
5.2.1 行波管放大器非线性特性的影响	( 388 )
5.2.2 互调的基本分析	( 391 )
5.2.3 减小互调干扰的主要措施	( 402 )
5.3 多路复用的FDMA系统	( 421 )
5.3.1 概述	( 421 )
5.3.2 模拟制多路复用的FDMA系统	( 422 )
5.3.3 数字制多路复用的FDMA系统	( 430 )
5.4 电视及伴音广播系统	( 431 )
5.4.1 卫星电视广播系统的组成与特点	( 431 )
5.4.2 系统中几个值得注意的问题	( 436 )
5.4.3 卫星电视广播的线路计算	( 439 )
5.5 SCPC系统	( 442 )
5.5.1 概述	( 442 )
5.5.2 预分配的DM(PCM)-PSK-SCPC系统	( 444 )
5.5.3 预分配的FM-SCPC系统	( 460 )
5.5.4 SCPC-DA系统	( 461 )
5.5.5 传输线路参数的计算	( 470 )
参考文献	( 479 )
<b>第六章 时分多址(TDMA)方式</b>	<b>( 481 )</b>
6.1 TDMA方式的基本概念	( 482 )
6.1.1 帧结构	( 482 )
6.1.2 实现突发式发射与接收的方法	( 485 )
6.1.3 系统定时	( 486 )

6.2	帧长的选择 .....	( 488 )
6.2.1	系统传输的比特速率 $R_b$ .....	( 489 )
6.2.2	帧长与取样周期的关系 .....	( 489 )
6.2.3	分帧长度 $T_b$ .....	( 490 )
6.2.4	帧效率 $\eta_f$ .....	( 491 )
6.2.5	选择帧长需考虑的因素 .....	( 491 )
6.3	初始捕获与分帧同步 .....	( 492 )
6.3.1	初始捕获的方法 .....	( 493 )
6.3.2	同步方法与同步精度 .....	( 496 )
6.4	报头检测 .....	( 498 )
6.4.1	独特码(UW)的检测 .....	( 499 )
6.4.2	载波与比特定时恢复 .....	( 504 )
6.5	数字话音内插(DSI)和纠错编码技术的应用 .....	( 512 )
6.5.1	数字话音内插(DSI)技术的应用 .....	( 512 )
6.5.2	纠错编码技术在TDMA中应用举例 .....	( 518 )
6.6	与地面线路的接口 .....	( 521 )
6.6.1	与模拟FDM线路的接口 .....	( 521 )
6.6.2	与数字TDM线路的直接数字接口(DDI) .....	( 523 )
6.7	卫星交换——时分多址(SS—TDMA) .....	( 525 )
6.7.1	SS—TDMA的基本特点 .....	( 525 )
6.7.2	SS—TDMA的帧同步 .....	( 527 )
6.7.3	交换矩阵以及转换序列的排列 .....	( 529 )
6.8	TDMA线路计算 .....	( 530 )
6.8.1	转发器工作点的选择 .....	( 530 )
6.8.2	线路计算的基本公式 .....	( 534 )
6.8.3	TDMA系统容量的估算 .....	( 535 )
6.8.4	举例 .....	( 536 )
	参考文献 .....	( 539 )
第七章	分组(Packet)通信方式 .....	( 543 )

7.1	引言 .....	( 543 )
7.2	ALOHA方式 .....	( 545 )
7.2.1	工作过程 .....	( 545 )
7.2.2	ALOHA方式的信道利用率 .....	( 548 )
7.3	S—ALOHA方式 .....	( 551 )
7.3.1	基本工作过程及信道利用率 .....	( 551 )
7.3.2	优先等级问题 .....	( 552 )
7.3.3	容纳站址数的估算 .....	( 553 )
7.4	R—ALOHA方式 .....	( 553 )
	参考文献 .....	( 558 )
<b>第八章</b>	<b>码分多址(CDMA)方式 .....</b>	<b>( 560 )</b>
8.1	概述 .....	( 560 )
8.1.1	码分多址的基本原理 .....	( 560 )
8.1.2	码分多址方式的主要优缺点 .....	( 563 )
8.2	直接序列调相码分多址方式(CDMA/DS) .....	( 567 )
8.2.1	系统的组成与工作过程 .....	( 567 )
8.2.2	CDMA/DS系统的性能分析 .....	( 572 )
8.2.3	CDMA/DS方式的地址码设计 .....	( 582 )
8.2.4	CDMA/DS卫星通信线路的同步 .....	( 588 )
8.3	跳频码分多址方式(CDMA/FH) .....	( 599 )
8.3.1	CDMA/FH方式同CDMA/DS方式的对比 .....	( 599 )
8.3.2	跳频图案的设计 .....	( 603 )
8.3.3	跳频扩频用的频率合成器 .....	( 604 )
	附录 寻找 $m$ 序列优选对的一种方法 .....	( 608 )
	参考文献 .....	( 613 )
<b>第九章</b>	<b>国内卫星通信系统的设计、规划与建立 .....</b>	<b>( 615 )</b>
9.1	概述 .....	( 615 )
9.2	系统设计方法 .....	( 616 )



9.2.1	网的业务矩阵与话务量 .....	( 616 )
9.2.2	确定使用的卫星 .....	( 617 )
9.2.3	工作波段的选择 .....	( 618 )
9.2.4	通信体制的优选 .....	( 618 )
9.2.5	系统的技术经济效益 .....	( 620 )
9.2.6	卫星通信系统的计算机模拟 .....	( 621 )
9.3	对星体的要求 .....	( 622 )
9.3.1	功率 .....	( 623 )
9.3.2	频带 .....	( 623 )
9.3.3	工作寿命 .....	( 624 )
9.3.4	卫星天线波束 .....	( 624 )
9.4	卫星通信网和地面通信网间干扰的估算和协调方法 .....	( 625 )
9.4.1	干扰方式和计算方法 .....	( 625 )
9.4.2	地球站的协调区域 .....	( 631 )
9.4.3	协调程序 .....	( 650 )
9.5	传输计划的拟定 .....	( 651 )
9.5.1	传输计划的一般概念 .....	( 651 )
9.5.2	传输计划的拟定 .....	( 652 )
	参考文献 .....	( 656 )
<b>第十章</b>	<b>卫星通信网举例</b> .....	( 657 )
10.1	<b>INTELSAT</b> 卫星通信网 .....	( 657 )
10.1.1	业务类型 .....	( 657 )
10.1.2	<b>INTELSAT</b> 的空间段 .....	( 659 )
10.1.3	<b>INTELSAT</b> 的地面段 .....	( 662 )
10.2	<b>国际海事卫星通信网(INMARSAT)</b> .....	( 665 )
10.2.1	概述 .....	( 665 )
10.2.2	<b>INMARSAT</b> 卫星通信网的基本概念 .....	( 666 )
10.2.3	<b>INMARSAT</b> 系统的调制与多址方式 .....	( 668 )

10.2.4	INMARSAT的卫星及系统性能 .....	( 672 )
10.2.5	地球站设备 .....	( 672 )
10.3	加拿大国内卫星通信网(TELESAT) .....	( 676 )
10.3.1	TELESAT的空间段 .....	( 676 )
10.3.2	TELESAT的地面段 .....	( 679 )
	参考文献 .....	( 681 )
	英文缩写名词 .....	( 682 )
	索引 .....	( 687 )

# 第一章 概 述

## 1.1 卫星通信的一般概念

### 1.1.1 卫星通信的含义及卫星通信系统的分类

#### (1) 什么是卫星通信

卫星通信, 简单地说, 就是地球上(包括地面、水面和低层大气中)的无线电通信站之间利用人造卫星作中继站而进行的通信。

图1.1中画出一种比较简单的卫星通信系统。它只用一颗通信卫星, 卫星天线的波束, 覆盖了全部通信站所在的地域, 各通信站天线均指向卫星。这样各站都可通过卫星转发来进行通信。由此可见, 卫星通信是地面微波接力通信的继承和发展, 是微波接力通信的一种特殊形式。

大家知道, 微波是直线传播的, 微波接力通信是一种“视距”通信, 即只在“看得见”的范围内才能通信。由图1.2可见, 离地球表面高度为 $h_E$ 的卫星中继站, “看到”地面的两个极端是A和B点, 换句话说,  $\widehat{AB}$ 长度将是卫星为中继站所能达到的最大通信距离。利用几何学不难得知

$$\widehat{AB} = R_E \phi_2 = R_E \left( 2 \cos^{-1} \frac{R_E}{R_E + h_E} \right) (\text{km}) \quad (1.1)$$

式中:  $R_E$ 为地球半径,  $R_E = 6378 \text{ km}$ ;  $\phi_2$ 为 $\widehat{AB}$ 所对的圆心角(弧度);  $h_E$ 为通信卫星到地面的高度(km)。让我们用两个例子说明卫星高度对地面上最大通信距离的影响:

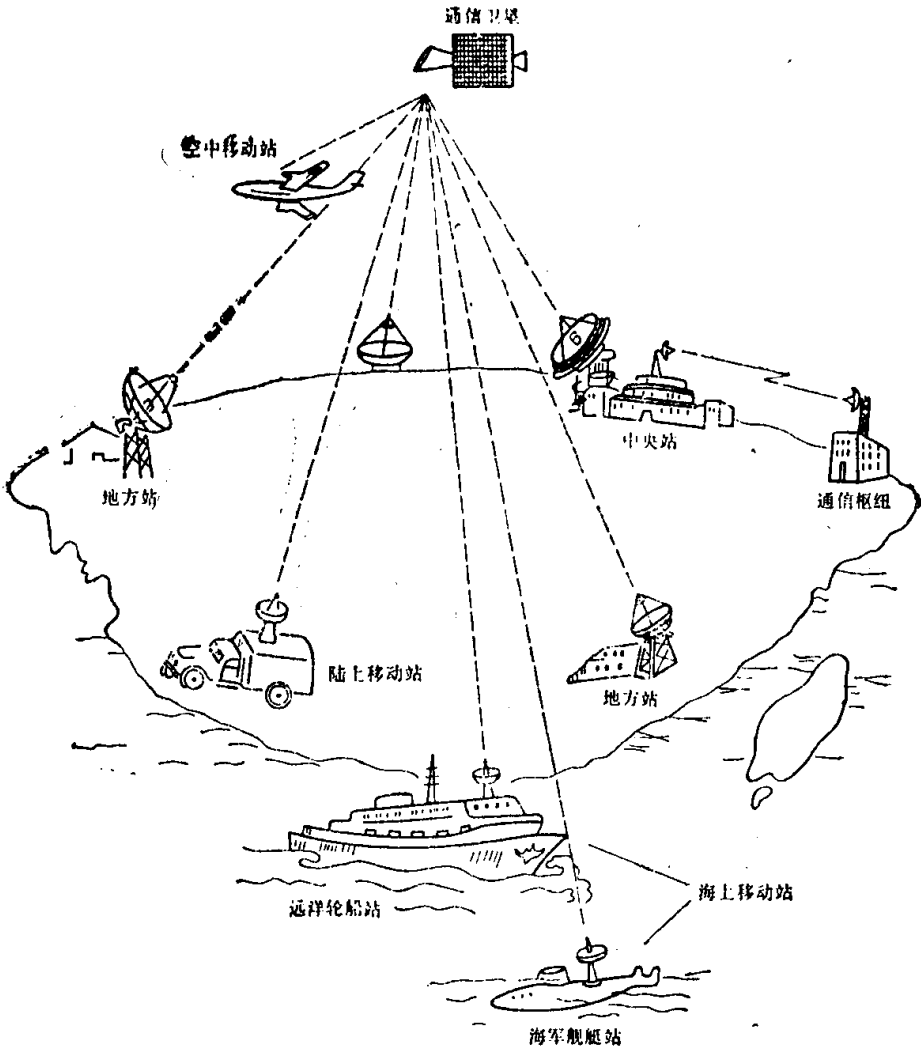


图 1.1 卫星通信示意图

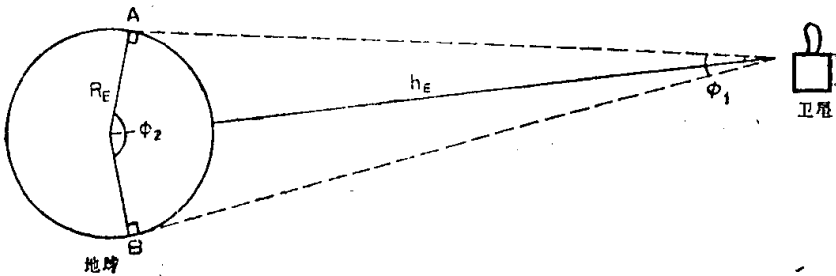


图 1.2 卫星作为中继站时通信最大距离的计算

【例】  $h_E = 500\text{km}$ ,  $\phi_1 = 0.767\text{rad}$ , 按 (1.1) 式求得  
 $\widehat{AB} = 6378 \times 0.767 = 4892(\text{km})$ .

【例】  $h_E = 35800(\text{km})$ ,  $\phi_2 = 2.838(\text{rad})$   
 $\widehat{AB} = 6378 \times 2.838 = 18100(\text{km})$

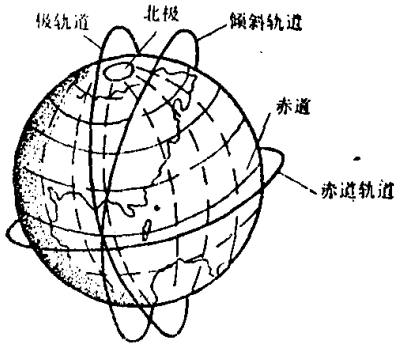


图 1.3 通信卫星的轨道

在第二章我们将看到，地球卫星的轨道形状有椭圆形和圆形两种，地球的中心（简称地心）就处在椭圆的一个焦点或圆心上。按照轨道平面与赤道平面的夹角  $i$ （称为轨道倾角）大小不同，如图 1.3 所示，地球卫星的轨道有赤道轨道（ $i = 0^\circ$ ）、极轨道（ $i = 90^\circ$ ）、倾斜轨道（ $0^\circ < i < 90^\circ$ ）之分。

若卫星的轨道是圆形且在赤道平面上、卫星离地面 35786.6 公里，其飞行方向与地球自转方向相同，则从地面上任一点看去，卫星是“静止”不动的，这种对地静止的同步卫星简称为静止卫星。利用静止卫星作为中继的通信系统，称为静止卫星通信系统。

目前，几乎所有的通信卫星都是有源卫星，即卫星上装载电子设备，能将接收到的来自地球发射站的信号进行放大、频率变换和其它处理，再发回地球，是一种有增益的可以部分地补偿传播损耗的中继。在五、六十年代进行卫星通信试验时，曾利用过无源卫星。这种卫星是靠星体的金属表面对无线电波进行反射作为中继的。可以想到，由于自由空间的传播损耗、卫星表面的吸收损耗和反射的无规则性，通信质量是很差的。

卫星通信的频率使用微波频段（300兆赫~300吉赫），其原因，除了可获得通信容量大的优点之外，主要是考虑到卫星处于外层空间（即在电离层之外），地面上发射的电磁波必须能穿透电离层才能到达卫星，同样，从卫星到地面上的电磁波也必须穿透电离层，而微波频段恰好具备这一条件。

由于作为中继站的卫星处于外层空间，这就使得卫星通信。不同于其它地面无线电通信方式，而属于宇宙通信的范畴。

随着航天技术的巨大进展，人类的活動领域已扩大到地球大气层以外的空间。为了满足宇宙航行中传递信息的需要，宇宙（空间）无线电通信\*也随之而发展起来。国际电信联盟（ITU）的国际无线电咨询委员会（CCIR）从1959年开始把宇宙（空间）通信列为新的课题，不断提出许多重要的技术建议。1963年，召开了世界临时无线电行政会议（EARC），为宇宙通信制定了规则，分配给10吉赫以下的频带。1971年，又为宇宙通信召开了世界无线电行政会议（WARC），把分配的频带扩展到275吉赫；修订了有关的技术标准；并且对宇宙无线电的术语及其定义作了统一的规定。1979年WARC又作了新的规定：

宇宙（空间）无线电通信有三种形式：

- ①宇宙站与地球站之间的通信；
- ②宇宙站之间的通信；
- ③地球站相互间通过宇宙站的转发或反射而进行的通信。

这里，宇宙站是指设在地球大气层之外的宇宙飞行体或其它天体（如月球或别的行星等）上的通信站。地球站是指设在地球表面（包括陆地、水上和大气层中）的通信站。

共同进行一定的宇宙无线电通信业务的一组地球站和宇宙站，叫做宇宙通信系统，简称为宇宙系统。

宇宙无线电通信业务包括宇宙研究业务、电波天文业务、卫星间业务、标准频率卫星业务、报时卫星业务、气象卫星业务、地球探测卫星业务、无线电导航卫星业务、无线电测位卫星业务、广播卫星业务、固定卫星业务、移动卫星业务等等。其中需要说明的是：

- ①固定卫星业务 它的基本特点是地球站固定不动。地球站

---

\*包括利用一个或多个空间电台或利用一个或多个反射卫星或空间中其它物体所进行的任何无线电通信，称为空间无线电通信。

架设时，必须防止与其它地面微波通信系统(如同频段的微波接力)以及其它卫星通信系统之间的相互干扰。

②移动卫星业务 这是指舰船、飞机、车辆等利用卫星进行通信的业务，包括舰船之间、飞机之间、或它们与固定站之间的通信。总之，通信双方至少其中之一是移动的。移动站使用的无线电频率，要遵守国际的有关规定(参见1.4节)。

③广播卫星业务 其业务包括电视广播和语言广播。在这种业务中，卫星上的发射机输出功率较大，信号的频谱(功率谱密度)较宽，容易造成对其它卫星通信系统的干扰，因此更要严格遵守国际规定。

综上所述，可以看出：

①卫星通信属于宇宙无线电通信的第三种形式；通信卫星就是离地球最近的一种宇宙站；固定、移动和广播等卫星业务是宇宙通信业务的重要组成部分。正在发展的宇宙接力通信中，卫星通信将起着重要的作用。

②卫星通信必须遵守EARC和WARC为宇宙通信制定的有关规则，工作频率必须在分配的频段中选取，以便和其它宇宙系统保持协调。

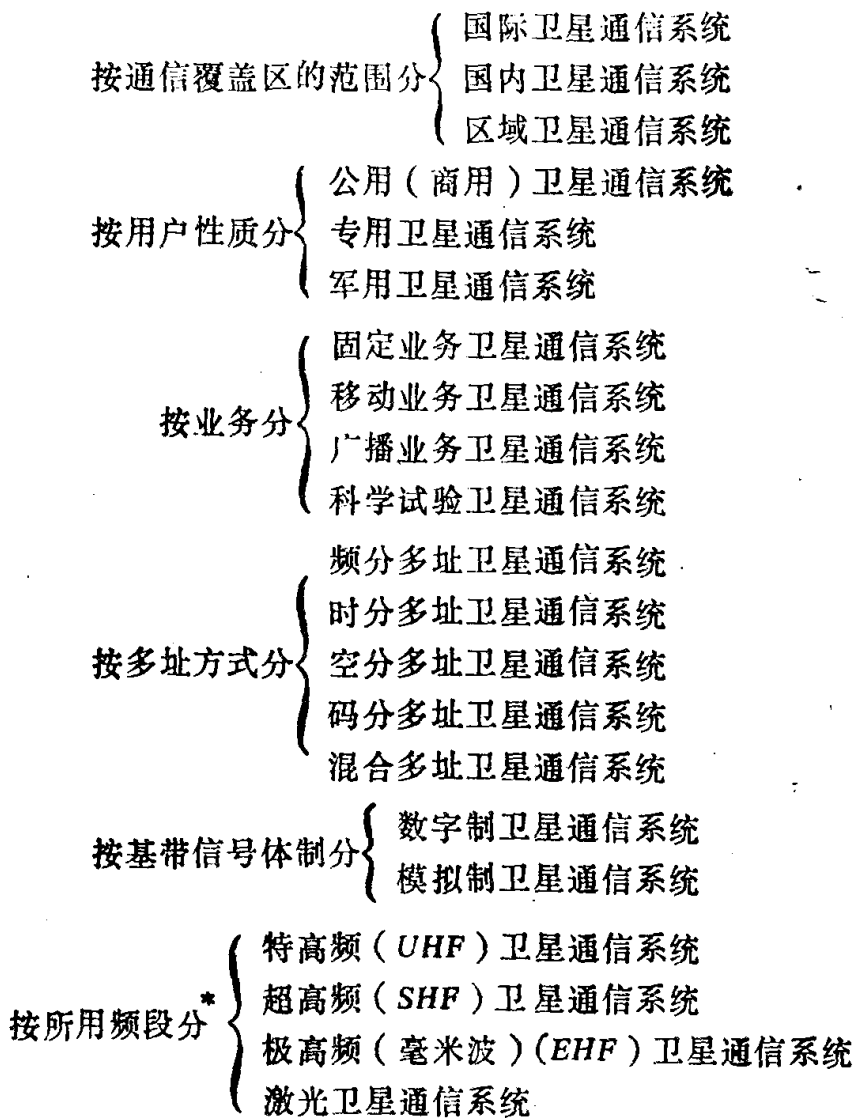
## (2)卫星通信系统的分类

今天，世界上已建立了几十个卫星通信系统，将来还要更多。归纳起来，可从不同角度对它们进行分类：

按卫星制式分 { 随机卫星通信系统\*  
                  { 相位卫星通信系统\*\*  
                  { 静止卫星通信系统

\*随机卫星是指高度为数千至一万公里的不同随机轨道上的卫星。

\*\*轨道上有若干个卫星等间隔地运行。



从以上的分类可见，它们都是从不同的侧面反映出卫星通信系统的特点、性质和用途。综合起来，便可较全面地描绘出某一具体的卫星通信的特征，这在研究系统时是要加以注意的。

表1.1列出了主要的卫星系统类型和具体的通信业务。

\*关于微波波段的具体划分，可参见附录I。



表 1.1

主要的卫星系统类型和具体通信业务

卫星系统类型	实 例	地球站特征	具体通信业务
国 际	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IS 系统</li> <li>• 苏联的“闪电”、“静止”卫星</li> </ul>	大型、昂贵、高可靠，用来与各国电话管理局的电话互连	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 提供全球范围内的公用事业公司电话和数据线路</li> <li>• 定点间的电视中继</li> </ul>
国 内	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 加拿大的 ANIK</li> <li>• 美国的 WESTAR</li> <li>• SATCOM</li> <li>• COMSTAR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 大型公用事业公司地球站</li> <li>• 中等大小（10和4.5米天线）的地球站</li> <li>• 只接收电视的地球站</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 增加公用事业公司的电话网</li> <li>• 提供出租长途通信电路</li> <li>• 定点间电视中继</li> <li>• 音乐广播</li> <li>• 数据传播和电报</li> </ul>
电视广播	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本广播卫星 (JBS)</li> <li>• 加拿大实验通信技术卫星 (CTS)</li> <li>• 美国的 ATS-6</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 大型发射站</li> <li>• 廉价的只接收的地球站，天线很小，可在家庭和学校中使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 直接向家庭和学校广播电视</li> </ul>
移动终端	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MARISAT</li> <li>• MAROTS</li> <li>• 美国的“舰队卫星”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 很小的舰载或轻便的地球站，利用 UHF, SHF 频段</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 为舰船、车辆遥远地点或流动部队提供通信手段（电话、电报）等。</li> </ul>
专 用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 美国的 ATS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 各类地球站</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 研究试验更高频率的传播</li> <li>• 研究新的卫星结构</li> <li>• 研究卫星新的应用</li> </ul>

### 1.1.2 卫星通信发展概况

让我们简要地回顾一下卫星通信的发展历史，这对了解它的现状和研究它的未来是有益和必要的。

早在1945年10月，英国空军雷达军官阿瑟·克拉克在《无线电