

●陈振国 齐怀亮 吕林 编著

邮电高等学校教材

# 卫星通信技术

人民邮电出版社

30884402

TN927  
14

邮电高等学校教材

# 卫星通信技术

陈振国 齐怀亮 吕林 编著

登记证号 (京) 143号

## 内 容 提 要

本书较系统全面地阐述了卫星通信的基本理论和工程技术问题。内容包括：卫星通信线路的构成和工程计算，常用的多址方式：FDMA、TDMA和CDMA等，以及一些近期发展起来的新型卫星技术和系统。

本书力求兼顾理论的完整性和工程的实用性，有较多的习题和插图。本书是邮电高等学校无线电专业学生的教材，也可供从事相关专业的工程技术人员参考。

邮电高等学校教材

### 卫星通信技术

陈振国 齐怀亮 吕林 编著

责任编辑 俞正涛

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

人民邮电出版社河北印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本：850×1168 1/32            1992年6月第一版

印张：12 20/32 页数：202      1992年6月河北第1次印刷

字数：332千字                  印数：1—2700册

ISBN7-115-04639-5/G·147

定价：4.10元

## 前 言

卫星通信是无线电通信的主要方式之一。卫星通信技术或卫星通信系统近年来一直作为通信类院校的一门主要专业课程。

我们在总结近几年教学经验的基础上结合最近卫星通信发展的现状，编写了这本教材。并经邮电高校无线电通信类专业教学指导委员会评审，推荐出版，作为无线电通信类专业教材。书中打\*号的内容仅供相关专业研究生参考。

本课程的参考学时为54~68学时。

第一章概括介绍卫星通信的一般情况，包括卫星通信系统、使用频带、传输复用、调制和多址联接等，还简要介绍了正交极化频率复用的有关性能指标计算。最后介绍了当前国际上使用卫星通信的情况。

为使读者对卫星通信有较全面的了解，第二章简要介绍静止通信卫星的运动轨道和有关计算；以及卫星结构和各个分系统的组成。

第三章叙述地球站上的基本高频设备组成，包括天线、高功放、低噪放、上下变频器，及微波频率合成器等。最后还介绍地球站的监测和控制，以及设备可靠性问题。

第四章讨论卫星线路的载噪比计算，在整个线路分析的基础上，讨论了各种干扰的影响，包括降雨引起的衰减和正交极化干扰等。最后叙述卫星系统的有效性和实际系统实例。

第五章讲述FDMA多址方式。在简要介绍各类FDMA方式后，主要讨论功率放大器非线性产生的交调成分及其最佳化问题。TDMA多址方式，在第六章作较详细讲述，其中包括帧结构、脉冲列结构、帧捕捉和同步、卫星位置的确定、基准站的控制、TDMA

定时和设备等。

第七章主要讲述近年来新发展的各种卫星通信新技术，包括按需分配、话音插空、分组通信和码分多址等，以及多波束卫星网络，多波束再生卫星系统等新型网络。80年代后期发展起来的VSAT网络和移动卫星通信系统，也收集入本书。

第八章简要介绍卫星电视系统，主要讲直播卫星接收问题。

本书由陈振国主编。各章节内容，由陈振国、齐怀亮、吕林三人分别编写，互相校核。

对本书存在的错误及其他不妥之处，希望广大读者批评指正。

编 者

1991年5月

# 目 录

<b>第一章 卫星通信概况</b> .....	( 1 )
1.1 卫星频带 .....	( 3 )
1.2 卫星系统 .....	( 4 )
1.3 传输和复用 .....	( 10 )
1.3.1 脉冲编码调制 ( PCM ) .....	( 10 )
1.3.2 增量调制 ( $\Delta$ 调制 ) .....	( 11 )
1.3.3 时分复用—PCM .....	( 12 )
1.3.4 数字系统 .....	( 13 )
1.3.5 频分复用 .....	( 14 )
1.4 调制 .....	( 15 )
1.5 多址联接 .....	( 18 )
1.6 正交极化频率复用 .....	( 21 )
1.7 国际卫星通信系统 .....	( 25 )
1.7.1 INTELSAT系统 .....	( 26 )
1.7.2 INMARSAT系统 .....	( 30 )
1.8 国际卫星通信系统情况 .....	( 31 )
习题 .....	( 34 )
<b>第二章 通信卫星的运动轨道和组成</b> .....	( 37 )
2.1 卫星轨道周期和速度 .....	( 37 )
2.2 倾斜轨道和它的影响 .....	( 44 )
2.3 方位角和仰角 .....	( 47 )
2.4 覆盖角和距离 .....	( 51 )
2.5 日蚀 .....	( 54 )

2.6	卫星在静止轨道上的定位 .....	( 56 )
2.7	卫星的组成 .....	( 62 )
2.7.1	通信分系统 .....	( 62 )
2.7.2	遥测、指令和定位分系统 .....	( 69 )
2.7.3	姿态控制分系统 .....	( 70 )
2.7.4	电源分系统 .....	( 73 )
	习题 .....	( 76 )
<b>第三章</b>	<b>地球站</b> .....	<b>( 79 )</b>
3.1	地球站天线 .....	( 80 )
3.1.1	天线类型 .....	( 80 )
3.1.2	天线增益和效率 .....	( 84 )
3.1.3	天线指向损耗 .....	( 87 )
3.1.4	有效全向辐射功率 (EIRP) .....	( 89 )
3.1.5	天线增益对噪声温度比 ( $G/T$ ) .....	( 90 )
3.1.6	$G/T$ 值测量 .....	( 96 )
3.2	高功率放大器 (HPA) .....	( 99 )
3.2.1	备份方式 .....	( 101 )
3.2.2	载波合成 .....	( 102 )
3.2.3	功率合成 .....	( 104 )
3.3	低噪声放大器(LNA) .....	( 107 )
3.3.1	备份方式 .....	( 109 )
3.3.2	非线性 .....	( 110 )
3.4	上变频器(UC) .....	( 111 )
3.4.1	变频过程 .....	( 111 )
3.4.2	转发器跳跃、极化跳跃和上变频器的备份 方式 .....	( 114 )
3.5	下变频器(DC) .....	( 117 )
3.5.1	变频过程 .....	( 117 )

3.5.2	下变频器的转发器跳跃、极化跳跃和备份方 式 .....	( 120 )
3.6	微波频率合成器 .....	( 121 )
3.7	监控装置(M&C) .....	( 126 )
3.8	可靠性 .....	( 130 )
	习题 .....	( 137 )
<b>第四章</b>	<b>卫星线路</b> .....	( 142 )
4.1	基本线路分析 .....	( 143 )
4.2	干扰分析 .....	( 151 )
4.2.1	载波噪声干扰比 .....	( 152 )
4.2.2	进入或来自邻近卫星系统的干扰 .....	( 156 )
4.2.3	地面干扰 .....	( 164 )
4.2.4	正交极化干扰 .....	( 166 )
4.2.5	邻近信道干扰 .....	( 167 )
4.2.6	交调干扰 .....	( 170 )
4.2.7	码间干扰 .....	( 170 )
4.3	降雨引起的衰减 .....	( 170 )
4.3.1	衰减预测 .....	( 171 )
4.3.2	降雨衰减对系统噪声温度的影响 .....	( 179 )
4.3.3	考虑降雨引起衰减的载波噪声干扰比 .....	( 179 )
4.3.4	途径分集 .....	( 181 )
4.3.5	上行功率控制 .....	( 182 )
4.4	降雨引起的正交极化干扰 .....	( 184 )
4.5	系统有效性 .....	( 191 )
4.6	卫星线路设计 .....	( 193 )
4.6.1	没有频率复用的线路 .....	( 194 )
4.6.2	具有频率复用的线路 .....	( 199 )
	习题 .....	( 202 )



<b>第五章 频分多址 (FDMA)</b>	( 209 )
5.1 FDM-FM-FDMA	( 210 )
5.2 单路单载波—SCPC系统	( 219 )
5.3 压扩的FDM-FM-FDMA和SSB-AM-FDMA	( 222 )
5.4 放大器非线性产生的交调成份	( 223 )
5.5 幅度和相位非线性所导致的交调成份	( 231 )
5.6 能量扩散	( 237 )
5.7 最佳载波与交调噪声比	( 238 )
习题	( 243 )
<b>第六章 时分多址 (TDMA)</b>	( 247 )
6.1 TDMA帧结构	( 247 )
6.1.1 基准脉冲列	( 247 )
6.1.2 业务脉冲列	( 248 )
6.1.3 保护时间	( 249 )
6.2 TDMA脉冲列结构	( 249 )
6.2.1 载波和时钟恢复序列 (CCR)	( 250 )
6.2.2 独特码 (UW)	( 251 )
6.2.3 信令信道	( 259 )
6.2.4 业务数据	( 260 )
6.3 TDMA帧效率	( 261 )
6.4 TDMA超帧结构	( 263 )
6.5 帧捕捉和帧同步	( 265 )
6.5.1 接收帧捕捉和接收帧同步 (RFA和RFS)	( 267 )
6.5.2 发射帧和/或脉冲列捕捉与发射帧和/或脉冲列同步	( 269 )
6.6 卫星位置的确定	( 275 )
6.6.1 单站测距	( 276 )
6.6.2 三站测距	( 279 )

6.6.3	卫星位置的误差: 单站测距 .....	( 281 )
6.6.4	卫星位置的误差: 三站测距 .....	( 282 )
6.6.5	$D_N$ 的误差 .....	( 282 )
6.7	脉冲列定时计划 .....	( 286 )
6.8	基准站的控制和调整 .....	( 287 )
6.8.1	脉冲列位置的控制 .....	( 288 )
6.8.2	业务量调整: 脉冲列定时计划的改变 .....	( 291 )
6.9	TDMA定时 .....	( 293 )
6.9.1	数字地面网中的滑差率 (Slip Rate) .....	( 297 )
6.9.2	TDMA系统与地面网互连 .....	( 299 )
6.10	TDMA设备 .....	( 301 )
6.10.1	TDMA处理器 .....	( 302 )
6.10.2	地面接口组件(TIM) .....	( 303 )
6.10.3	TDMA监视和控制(TDMA M&C) .....	( 304 )
	习题 .....	( 305 )
<b>第七章</b>	<b>高效技术和新型卫星通信网络</b> .....	<b>( 309 )</b>
7.1	按需分配多址联接 (DAMA) .....	( 309 )
7.1.1	欧兰(Erlang)—B 公式 .....	( 311 )
7.1.2	DAMA的类型 .....	( 312 )
7.1.3	DAMA的控制 .....	( 317 )
7.2	SCPC—DAMA与SPADE .....	( 321 )
7.2.1	SCPC—DAMA .....	( 321 )
7.2.2	SPADE .....	( 323 )
7.3	数字语音插空技术 (DSI) .....	( 326 )
7.4	卫星分组通信 .....	( 330 )
7.4.1	分组通信 .....	( 330 )
7.4.2	Aloha .....	( 332 )
7.4.3	时隙Aloha(S—Aloha) .....	( 336 )

7.4.4	分组预留 .....	( 338 )
7.5	码分多址 (CDMA) .....	( 339 )
7.5.1	直接序列方式 .....	( 339 )
7.5.2	频率跳跃方式 .....	( 340 )
7.5.3	CDMA的性能 .....	( 342 )
7.6	多波束卫星网络 .....	( 344 )
7.6.1	波束间的干扰 .....	( 344 )
7.6.2	使用多波束卫星的FDMA .....	( 345 )
7.6.3	使用多波束卫星的TDMA .....	( 345 )
7.7	多波束再生卫星系统 .....	( 350 )
7.7.1	线路预算比较 (有干扰的非线性信道) .....	( 351 )
7.7.2	对地球站设计的影响 .....	( 352 )
7.7.3	卫星上处理 .....	( 353 )
7.8	小天线地球站—VSAT卫星网络系统 .....	( 354 )
7.8.1	VSAT网络的构成形式 .....	( 355 )
7.8.2	C波段和Ku波段系统的比较 .....	( 357 )
7.8.3	线路分析 .....	( 358 )
7.8.4	扩谱VSAT网络 .....	( 362 )
7.8.5	星型网络的多址技术 .....	( 364 )
7.8.6	VSAT网络设备设计考虑 .....	( 365 )
7.8.7	发展趋势 .....	( 369 )
7.9	移动卫星通信 .....	( 371 )
	习题 .....	( 376 )
<b>第八章</b>	<b>卫星电视：网络传播和直接广播(DBS)</b> .....	<b>( 379 )</b>
8.1	转发器频率和命名 .....	( 379 )
8.2	卫星电视接收机 .....	( 381 )
8.3	直播卫星 .....	( 388 )
8.4	结论 .....	( 390 )
	习题 .....	( 390 )

# 第一章 卫星通信概况

卫星通信的主要特征是能同时与地球上很多用户接通，进行几乎与距离无关的一点对多点之间的通信。这种能力既适用于地球上固定终端，也适用于地面、空间和海洋上的移动终端，如图 1-1 所示。另外，卫星的通信容量很大，而且可以按需分配给每个用户。本章将介绍卫星通信概况和目前使用情况。

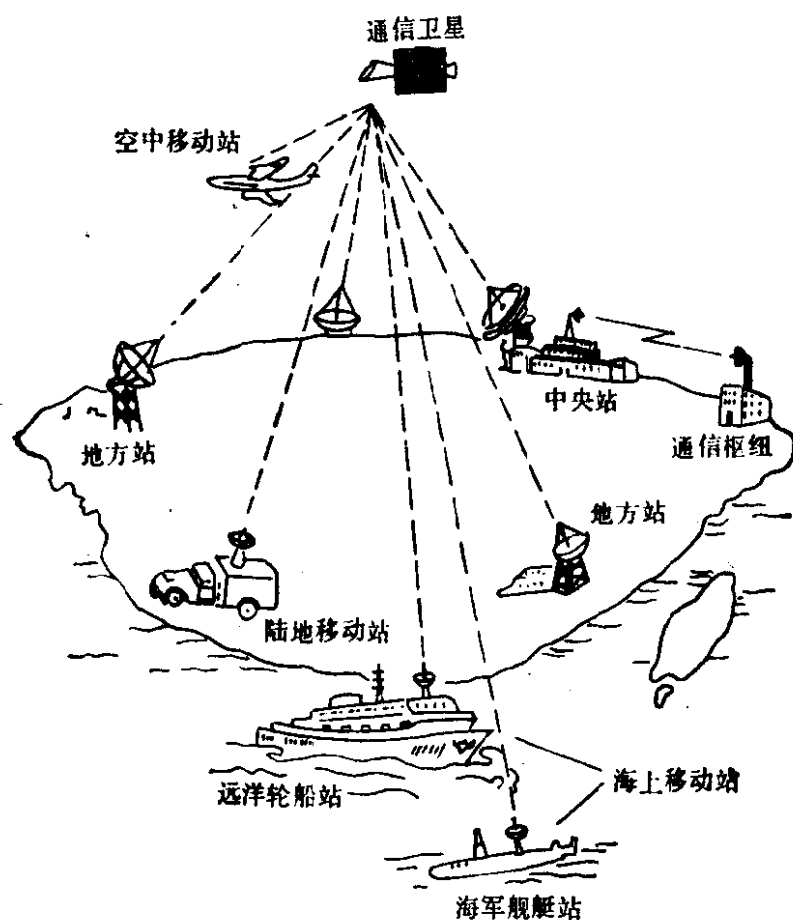


图 1-1 卫星通信示意图

著名的科学家A.C.Clarke，1945年在《无线电世界》〔1〕上发表的一篇文章中写道，圆形的赤道轨道上空、高度为35,786km处

的一颗卫星，每24小时绕地球旋转一次，即它与地球以同样的角速度绕太阳旋转。在地球上的观察者，将见到这颗卫星固定悬挂在天空上某一点。Clarke在文章中还谈到，用太阳能作动力、配置在适当空间位置上的三颗静止卫星，能够进行全球通信。

Clarke的预言，在20年后成为现实。1964年国际通信卫星组织 (INTELSAT) 建立，1965年4月发射了第一颗国际通信卫星——晨鸟号。到1990年底为止，国际通信卫星组织已经成功地发射了几十颗属于它使用的共六代通信卫星，如图 1-2 所示。第六代通信卫星还在继续发射，第七代通信卫星也将在1993年开始发射。卫星上的通信设备从开始时的小容量 (240路电话或一路电视)，发展到目前的巨大容量 (12万路电话和三路电视)〔2〕，而且覆盖了地球上绝大部分区域——大西洋、太平洋和印度洋。它的业务发展情况如图 1-3 所示。到1989年底，已有几个国际组织和一些国家的几百颗通信卫星，在静止轨道上服务过。目前静止轨道上的卫星分布情况，如资料〔3〕、〔4〕所示。

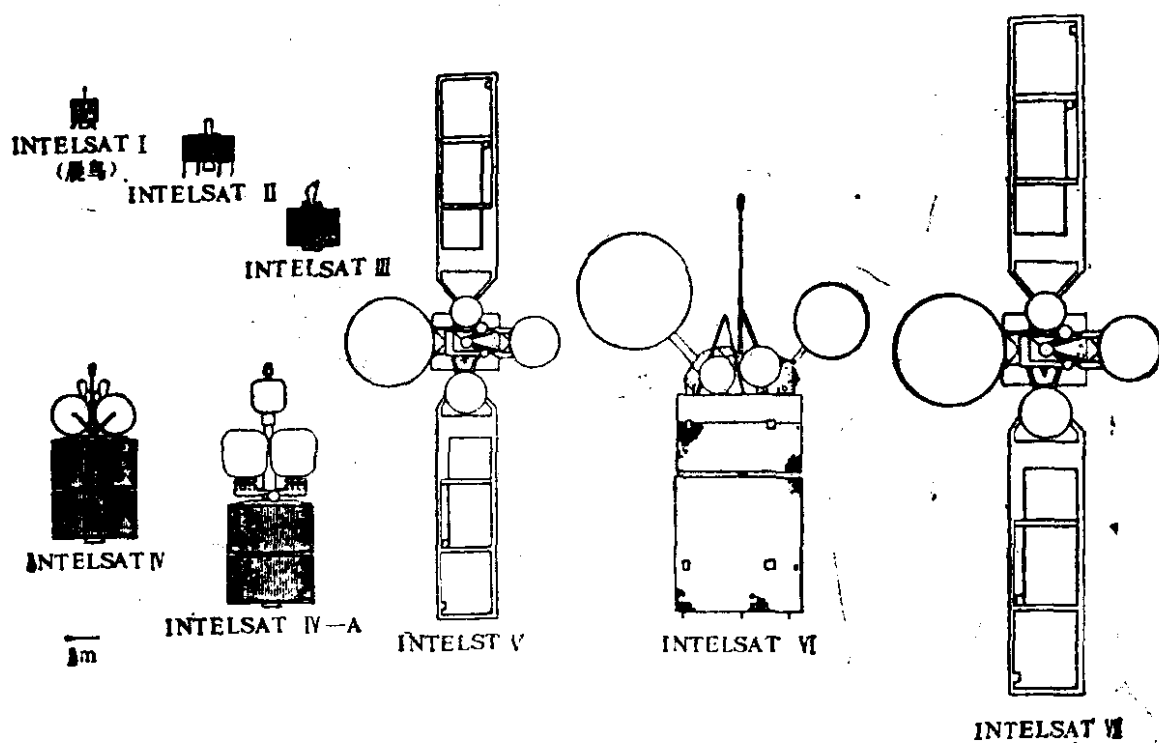


图 1-2 INTELSAT 的卫星

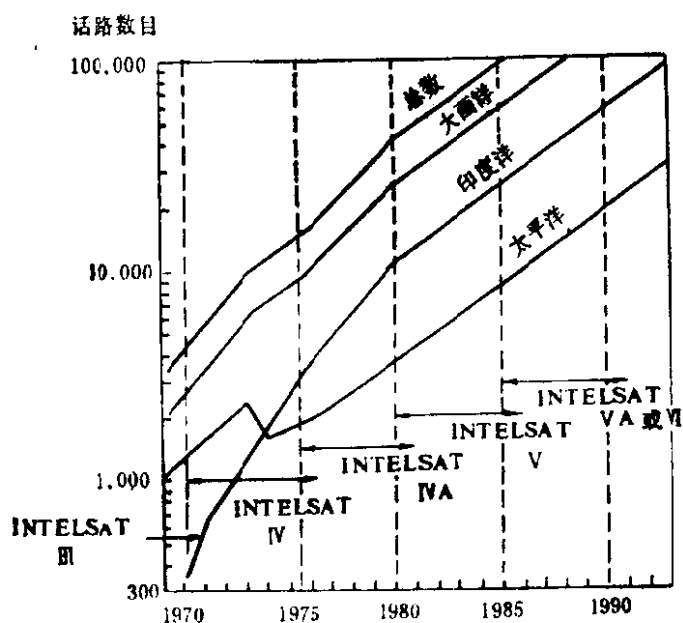


图 1-3 国际通信卫星的业务发展情况

## 1.1 卫星频带

通信系统使用的电磁频谱如表1.1所示。卫星通信的频率，目前被配置在超高频（SHF）和极高频（EHF）波段。它又被细分成许多子波段，如表1.2所示。使用波段开始是C波段中的6/4GHz。

表 1.1 电 磁 频 谱

频 率	波 长 ( m )	名 称
3Hz—30kHz	$10^8—10^4$	甚低频 ( VLF )
30—300kHz	$10^4—10^3$	低频 ( LF )
300kHz—3MHz	$10^3—10^2$	中频 ( MF )
3—30MHz	$10^2—10$	高频 ( HF )
30—300MHz	$10—1$	甚高频 ( VHF )
300MHz—3GHz	$1—10^{-1}$	特高频 ( UHF )
3—30GHz	$10^{-1}—10^{-2}$	超高频 ( SHF )
30—300GHz	$10^{-2}—10^{-3}$	极高频 ( EHF )
$10^3—10^7$ GHz	$3 \times 10^{-5}—3 \times 10^{-9}$	红外, 可见光, 紫外

近年来，又扩展到Ku波段的14/12GHz和实验使用的Ka波段的30/20GHz。

**表1.2 卫星频段**

频段	范围 (GHz)	频段	范围 (GHz)
L	1—2	Ku	12.5—18
S	2—4	K	18—26.5
C	4—8	Ka	26.5—40
X	8—12.5	毫米波	40—300

频谱分配是一项很重要的工作，它促进了电磁频谱的合理使用，不仅对卫星通信，对其他应用也大有好处。频谱分配是在国际电信联盟 (ITU) 主管下进行的。

1979年世界无线电行政会议 (WARC-79) 分配给卫星通信的频带包含17个业务分类 (其中的一些属于专用分目录)，如表1.3所示。在这次会议上，还划分了三个地理区域：区域1包括欧洲、非洲、苏联和蒙古；区域2包括北美、南美和格陵兰岛；区域3包括亚洲 (苏联和蒙古除外)、澳洲和西南太平洋。表1.4和1.5表示WARC-79对固定卫星业务 (FSS) 和广播卫星业务 (BSS) 的频率分配情况。

## 1.2 卫星系统

卫星系统是由空间的一颗卫星，和与它进行通信的地面上的很

• ITU总部设在日内瓦下属有四个永久性组织：

(1) 总秘书处，负责管理和技术协调。

(2) 国际频率注册委员会 (IFRB)，负责登记频率和轨道位置，而且对成员国在运用频谱问题上提出建议。

(3) 国际无线电咨询委员会 (CCIR)，负责研究有关无线电通信的技术和运行问题，研究结果经CCIR全体成员会议讨论通过后以报告、建议、决议和决定的形式发表在四年一期的绿皮书上。

(4) 国际电报和电话咨询委员会 (CCITT)，负责研究有关电报电话的技术、运行和业务问题，并通过有关报告和建议等。

表 1.3 卫星业务

业务内容	业务内容
固定	气象
卫星间	空间运用
移动	业余爱好者
陆地移动	无线电测量
海洋移动	无线电导航
空间移动	空间无线电导航
广播	海洋无线电导航
地球探索	标准频率和时间信号
空间研究	

表 1.5 广播卫星业务的频率分配

频率范围(GHz)	限制
0.62—0.79	只限于电视
2.50—2.69	只限于通信接收
11.7—12.1	只限 1、3 区
12.1—12.2	
12.2—12.5	只限 1、2 区
12.5—12.7	只限 2、3 C*
12.7—12.75	只限 3C*
22.5—23	只限 2、3
40.5—42.5	
84—86	

\* C 表示只限于通信接收

表 1.4 固定卫星业务的频率分配

频率范围(GHz)	限制	频率范围(GHz)	限制
2.5—2.535	1n, 2d, 3d	18.1—21.2	d
2.535—2.655	1n, 2b, 3n	27—27.5	1n, 2u, 3u
2.655—2.690	1n, 2b, 3u	27.5—31	u
3.4—4.2	d	37.5—40.5	d
4.5—4.8	d	42.5—43.5	u
5.725—5.85	1u, 2n, 3n	47.2—49.2	u
5.85—7.075	u	49.2—50.2	u
7.25—7.75	d	50.4—51.4	u
7.9—8.4	u	71—74	u
10.7—11.7	1b, 2d, 3d	74—75.5	u
11.7—12.3	1n, 2d, 3n	81—84	d
12.5—12.7	1b, 2n, 3d	92—95	u
12.7—12.75	1b, 2u, 3d		
12.75—13.25	u		
14—14.5	u		
14.5—14.8	u		
17.3—17.7	u		
17.7—18.1	b		

表中: 1, 2, 3—区域1, 2, 3; u—上行线(地球到空间)  
d—下行线(空间到地球), n—未分配, b—双向



多地球站组成，如图 1-4 所示。用户发出的基带信号，经过地面通信网络传送到地球站，地面网络可能是一个电话交换网，或送到地球站的专用线路。在地球站，对基带信号进行处理，使其成为已调射频（RF）载波后发送到卫星上。卫星可以作为空间的一个大中继站，它接收此系统中所有地球站用上行频谱（地球到卫星）发出的已调 RF 载波，进行放大，并用下行频谱（卫星到地球）将它们重新发回到地球。下行频谱与上行频谱使用不同频谱，以避免相互干扰。地球站对接收的已调 RF 载波进行处理，解调出基带信号，再通过地面网络送给用户。

过去，大部分商业通信卫星利用上行频谱和下行频谱的各 500MHz 带宽。最广泛使用的是 C 波段，即上行的 5.925~6.425GHz 和下行的 3.7~4.2GHz。近来，上行频谱已扩展到 5.725~7.075GHz，下行频谱扩展到 3.4~4.8GHz 范围内。由于 6/4GHz 的 C 波段也用于地面上的微波通信，故它已变得越来越拥挤。目前，卫星通信正在向 14/12GHz 的 Ku 波段发展，上行频谱为 12.75~14.8GHz，下行频谱为 10.7~12.3GHz 和 12.5~12.7GHz。虽然降雨等对 Ku 波段信号传输的影响，远比 C 波段大得多（即衰减较大），但由于 Ku 波段目前还不拥挤，因此今后对此波段的应用仍将越来越广泛。30/20GHz 波段，目前亦已置于商业卫星通

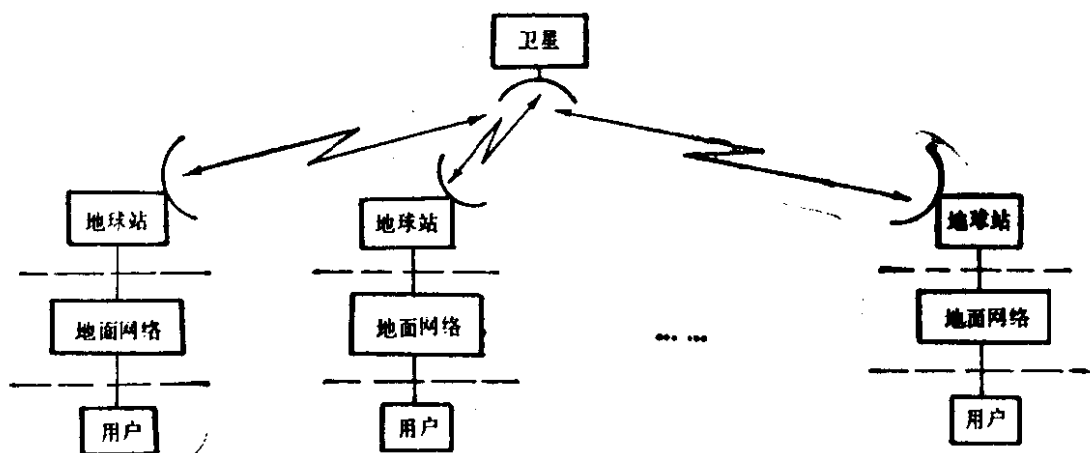


图 1-4 卫星系统的基本组成