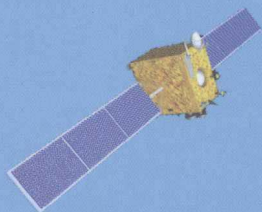




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

卫星通信引论

原萍 编著



東北大學出版社
Northeastern University Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

卫星通信引论

原萍 编著

原萍 编著

东北大学出版社

184mm x 288mm

18 页

383 千字

2007年11月第1版

2007年11月第1次印刷

原萍 编著

原萍 编著

原萍 编著

原萍 编著

东北大学出版社

28.80元

· 沈 阳 ·

ISBN 978-7-81105-173-0

© 原 萍 2007

图书在版编目 (CIP) 数据

卫星通信引论 / 原萍编著. — 沈阳 : 东北大学出版社, 2007.11
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)
ISBN 978-7-81102-179-0

I. 卫… II. 原… III. 卫星通信—基本知识 IV. TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 167327 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市北陵印刷厂有限公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm×228mm

印 张: 18

字 数: 363 千字

出版时间: 2007 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2007 年 11 月第 1 次印刷

责任编辑: 牛连功 郭爱民

封面设计: 唐敏智

责任校对: 闻 悦

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-179-0

定 价: 28.80 元

前 言

21 世纪将是通信技术迅猛发展的世纪,在这一科学领域的每一个重大进步,必将影响到人类生活的方方面面。而卫星作为高效的通信手段,在其中承担着重要的角色。自从 20 世纪 60 年代应用以来,历经几十年的发展,卫星通信技术日益成熟。世界上很多国家发射了许多颗通信卫星。目前,通信卫星承担着国际间通信业务的绝大部分,而重要体育比赛的现场直播和政治经济活动的直播业务更是百分之百由卫星来承担。在未来的个人通信和 Internet 领域,尤其是在通信网的全球畅通、无缝联接中,通信卫星更是必不可少的一环。

卫星通信作为现代通信技术的重要成果,几乎具备了各种通信手段所需的全部优点。卫星通信具有地面任何通信系统都无法比拟的特点与优势,是现代通信强有力的手段;目前,卫星通信的触角已经深入到除常规通信应用之外的自动化、计算机通信、互联网、远程教学、遥感遥测、气象、卫星数据广播及卫星电话/视频会议、卫星导航以及冶金等领域。本书是一本介绍卫星通信的基础性教材,目的是使读者获取卫星通信基础知识,并引导其在该领域进行深入的学习和研究。

本书充分考虑到卫星通信内容丰富、涉及理论面广、知识点全面和应用新等特点,从应用现状与发展出发,多视角、全面、系统地介绍了卫星通信的基本原理和技术,力求实现内容的全面性、实用性和系统性,同时兼顾先进性,充分吸收新技术和新应用,并尽可能地融入了新的知识点。编写时侧重基本概念和基本原理的阐述,淡化理论推导;但不回避必要的推导。本书力求言简意赅,详略得当。既使初学者快速掌握卫星通信的基本理论知识,又使有一定基础者有所收获。但由于卫星通信所涉及的相关理论知识面比较广,本书不可能面面俱到,加之编者的水平所限,书中难免有不足和疏漏之处,敬请读者指正。

在本书的编写过程中,曹英禹和邵清亮两位老师做了不少工作,同时得到了陈红、白羽、王浩、党大鹏、李明和梁永强等人的帮助,这里一并表示感谢。

编著者

2007 年 10 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 卫星通信的基本概念	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 卫星通信的发展及趋势	3
1.1.3 卫星通信的特点	7
1.2 卫星通信系统的组成	8
1.2.1 系统的组成	8
1.2.2 卫星通信系统的工作过程	12
1.3 卫星通信工作频段与选择	13
1.3.1 工作频段的选择依据	13
1.3.2 卫星通信频率范围选用	15
1.4 通信卫星	17
1.4.1 卫星运行的轨道	17
1.4.2 静止卫星	20
1.4.3 静止卫星的发射	27
1.5 转发器	29
1.5.1 转发器的分类	29
1.5.2 转发器参数	31
第 2 章 卫星通信体制	33
2.1 卫星通信技术基础	33
2.1.1 电信号与通信系统	33
2.1.2 编码技术	34
2.1.3 调制与解调	36
2.2 卫星通信体制的基本内容	41
2.3 卫星通信多址联接技术	44

2.3.1	多址联接方式概述	44
2.3.2	卫星通信的基本多址联接方式	45
2.4	其他多址技术	62
2.4.1	ALOHA 方式的提出	62
2.4.2	ALOHA 方式的分类及其工作原理	65
2.4.3	ALOHA 方式地球站	71
2.5	多址分配制度	71
2.5.1	多址分配制度的含义	71
2.5.2	常用的多址分配制度	73
2.5.3	提高通道利用率的若干措施	74
第 3 章	调频卫星通信	76
3.1	调频方式	76
3.1.1	单边带电话信号	76
3.1.2	FDM 技术	77
3.1.3	多路电话信号的主要特性	80
3.1.4	多路电话调频波的特性	87
3.2	FDM/FM 系统话路中的噪声	89
3.2.1	话路中噪声的分类和来源	89
3.2.2	话路噪声标准与噪声分配	91
3.3	FDM/FM 方式的热噪声信噪比	92
3.3.1	热噪声信噪比 S/N	92
3.3.2	信噪比 S/N 的加权值	94
3.3.3	加重与加重系数	95
3.3.4	门限电平	97
3.3.5	门限扩展解调器	99
3.4	FDM/FM 方式的失真噪声	103
3.4.1	非线性失真噪声	103
3.4.2	线性失真串噪声	110
3.4.3	回波引起的失真	112
3.5	SCPC/FM 方式	113
3.5.1	SCPC/FM 方式的特点	114
3.5.2	SCPC/FM 方式的热噪声信噪比	115
3.6	FDMA 方式的交调与能量扩散	116
3.6.1	输入、输出特性的非线性引起的交调分量	117

3.6.2	调幅/调相转换所引起的交调分量	121
3.6.3	强信号对弱信号的抑制	124
3.6.4	减少交调产物的方法	127
3.6.5	能量扩散	128
第 4 章	数字卫星通信	132
4.1	概 述	132
4.1.1	数字卫星通信的模式	132
4.1.2	数字卫星通信的特点	133
4.1.3	数字卫星通信的方式	134
4.2	PCM 通信系统的组成	135
4.2.1	PCM 通信系统的组成	135
4.2.2	脉冲编码调制	136
4.3	数字信号的时分多路复用	137
4.3.1	时分复用的方式	137
4.3.2	PCM 信号的时分多路复用	139
4.4	数字语音内插 (DSI) 方式	143
4.4.1	数字式时分语音内插	143
4.4.2	语音预测编码通信	145
4.5	纠错技术	147
4.5.1	编码的概念	147
4.5.2	纠错码	148
4.6	扰 码	154
4.6.1	扰码的作用	154
4.6.2	实施方法	155
4.7	IDR 系统	156
4.7.1	IDR 的发展	156
4.7.2	IDR 的特点	158
4.7.3	波束覆盖范围	159
4.7.4	INTELSAT 建议的信息码率及相关参数	159
4.7.5	IDR 的信道单元	160
4.7.6	IDR 扰码	162
4.7.7	前向纠错技术	163
4.7.8	QPSK 调制解调	165
4.7.9	IDR 复接标准及转换	166

4.7.10	IDR 的定时和缓冲	167
4.7.11	IDR 与 DCME	169
4.7.12	IDR 制式的先进性	172
第 5 章	卫星通信线路的计算	173
5.1	概 述	173
5.1.1	卫星通信网络的结构	173
5.1.2	信号传输的主要技术指标	175
5.2	卫星通信线路计算的基本公式	176
5.2.1	接收信号的功率	177
5.2.2	传输损耗	179
5.2.3	噪声与干扰	186
5.3	卫星通信线路中的载波功率与噪声功率比	192
5.3.1	载波功率	192
5.3.2	载噪比的计算	194
5.3.3	卫星通信线路中几个相关技术参数的计算	196
第 6 章	VSAT 卫星通信网	202
6.1	VSAT 基本概念及特点	202
6.1.1	VSAT 基本概念和发展历史	202
6.1.2	VSAT 系统的特点	203
6.1.3	VSAT 卫星数据通信网的发展趋势	204
6.2	VSAT 卫星数据通信网组成与分类	206
6.2.1	VSAT 通信网的组成	206
6.2.2	VSAT 通信网的网结构	207
6.2.3	VSAT 通信网的分类	208
6.2.4	VSAT 通信网连接方式	209
6.3	地球站的组成	209
6.3.1	远端地球站 (小站)	209
6.3.2	中心地球站 (主站)	211
6.4	VSAT 数据网	211
6.4.1	VSAT 的数据业务类型	211
6.4.2	VSAT 数据网多址类型及其分配方案	214
6.4.3	VSAT 通信网体系结构	216
6.4.4	VSAT 数据网的交换技术	219

第 7 章 新型卫星业务	223
7.1 卫星数字直播业务	223
7.1.1 卫星直播概念及分类	223
7.1.2 模拟卫星直播业务和数字卫星直播业务	224
7.1.3 DVB-S 数字卫星电视标准	226
7.1.4 数字卫星直播 (DTH) 传输系统构成	231
7.2 IBS 系统	233
7.2.1 IBS 系统构成形式	233
7.2.2 IBS 系统传输参数	236
7.2.3 IBS 地球站标准及组网选择	238
7.2.4 IBS 业务类型及应用	239
7.2.5 IBS 载波特性和链路预算	242
7.3 卫星传输 IP 业务	244
7.3.1 概 述	244
7.3.2 宽带高速接入网	245
7.3.3 卫星在 Internet 骨干网中的应用	250
7.3.4 MPEG/DVB-S 平台	251
第 8 章 卫星互联网	252
8.1 概 述	252
8.1.1 卫星互联网的提出	252
8.1.2 卫星互联网的传输优势	253
8.2 卫星互联网组网模型	254
8.2.1 基于弯管卫星组网	254
8.2.2 基于星上处理技术组网	255
8.2.3 基于直播卫星组网	256
8.3 卫星互联网协议栈	256
8.3.1 卫星互联网 OSI 上层	256
8.3.2 卫星互联网网络层	257
8.3.3 卫星互联网数据链路层	259
8.3.4 卫星互联网物理层	260
8.4 卫星 IP 网关键技术及其挑战	261
8.4.1 卫星物理层	261
8.4.2 卫星链路层	261

8.4.3 卫星网络层	263
8.4.4 卫星传输层	267
8.5 卫星 IP 网络的实现	271
8.5.1 类型	271
8.5.2 卫星 ATM 网络	272
参考文献	276



第 1 章 绪 论

1.1 卫星通信的基本概念

1.1.1 卫星通信的含义及卫星通信系统的分类

1. 卫星通信的含义

卫星通信是利用人造地球卫星作为中继站，在两个或多个地球站之间转发无线电信号，从而实现它们相互之间的信息交换和信息传输的通信方式。而地球站是指设在地面、海洋或大气层中的通信站（无线电收发信台）；是用户接入卫星线路的接口，它包括地面站、机载站和船（舰）载站。

卫星通信是航天技术和通信技术结合的、计算机控制的先进通信方式，它是在微波通信基础上发展起来的一种特殊形式的微波通信。图 1-1 显示了由静止卫星构成的一种基本卫星通信系统。可见，地球上的各通信站，通过一颗通信卫星，建立起了彼此之间的无线通信，使得各地球站都可通过这颗卫星转发来进行通信。各地球站的天线都指向同一颗卫星，其中由地球站发向卫星的信号所经历的通信线路称为上行线路，而由卫星向地面发射的信号所经历的路径则称为下行线路。

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他地面无线通信方式，而属于宇宙通信范畴。卫星通信给人一种源自太空的神秘感，长期以来一直促使人们不断地探索和追求。时至今日，它已发展成为不可或缺的，任何地面通信系统无法代替的现代通信系统。

2. 卫星通信系统的分类

目前，实用的卫星通信系统种类很多，按其不同的分类角度，归纳如下：

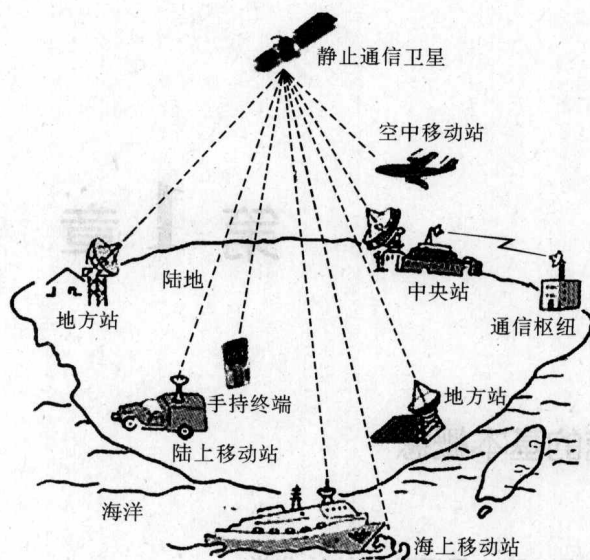
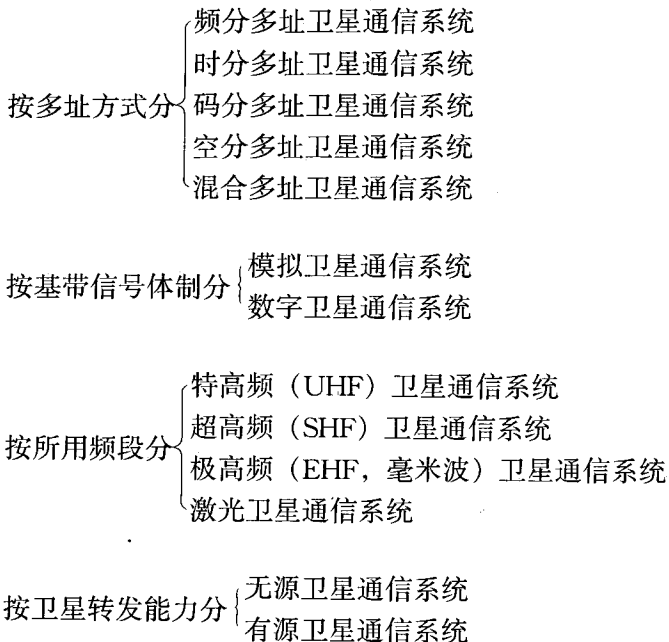


图 1-1 基本的卫星通信系统组成示意图

- 按卫星运动状态分
 - 同步卫星通信系统
 - 运动卫星通信系统
 - 随机卫星通信系统
 - 相位卫星通信系统
- 按通信覆盖范围分
 - 国际卫星通信系统
 - 区域卫星通信系统
 - 国内卫星通信系统
- 按用户性质分
 - 公用(商用)卫星通信系统
 - 专用卫星通信系统
 - 军用卫星通信系统
- 按业务分
 - 按地球站站址固定与否分
 - 固定业务卫星通信系统 (FSS)
 - 移动业务卫星通信系统 (MSS)
 - 广播业务卫星通信系统 (BSS)
 - 科学实验卫星通信系统
 - 气象、导航、教学及军事卫星通信系统



通过以上的分类,可以很清楚地看出,卫星通信在用途、技术和领域等诸多方面都发挥着广泛而且重要的作用,也体现了卫星通信广阔的发展前景。

1.1.2 卫星通信的发展及趋势

1957年10月4日,苏联第一颗人造地球卫星“斯普特尼(Sputnik)”上天,揭开了卫星应用的序幕,卫星通信率先问世。之后,人造卫星就被广泛用于宇宙观测、气象观测、通信及广播等领域。

卫星通信的发展大致经历了试验阶段(1954—1964)和实用与提高(1965—现在)两个阶段。

这期间,载入史册的过程和卫星有:1954年至1964年间,美国先后利用月球、无源卫星、铜针无源偶极子带等作为中继站,进行了电话和电视的传输试验。1960年,美国国家航空和宇宙航行局(NASA, National Aeronautics and Space Administration)发射了直径为30m的气球卫星“回声1号”,进行了首次卫星通信实验。“回声1号”属于无源通信卫星,它利用镀在气球表面的镀铝层反射来自地球站的无线电波。“回声1号”进行了电话及电视的中继实验,由于接收到的信号质量不高,以及其他原因,实验流于失败,也从此宣告无源卫星通信的中止。1962年,美国贝



尔实验室和 NASA 相继发射了“电星 1 号”和“中继 1 号”卫星，由于在卫星中装载了转发器 (Transponder)，能将收到的地球站的电波，放大后再重新返送至地球站，因而称为有源通信卫星。“电星 1 号”在美国和欧洲之间成功地进行了电视传输及多路电话信号的传输实验。“中继 1 号”又在日本国际电报电话公司茨城地球站和美国莫哈维地球站之间进行了首次横跨太平洋的电视中继传输，并获得成功。无论是“电星 1 号”还是“中继 1 号”卫星均为约 3 小时绕地球运行一周的低轨随机卫星。这种卫星具有发射成本低、地球站与卫星间电波传输时间较短等优点。但是，由于相互通信的两个地球站能够共视卫星的时间很短，为了确保通信不中断，需发射许多颗卫星并跟踪轨道上的卫星。20 世纪 40 年代中期，因《2001 年的宇宙旅行》一书而闻名于世的英国科学家阿瑟·C. 克拉克提出了静止卫星的设想。这种卫星以与地球自转周期相同的周期绕赤道上空运行，从地球看去宛如静止一般。使这一设想成为现实的是 1963 年 7 月 NASA 成功发射的“同步 1 号”卫星。从而奠定了正式的卫星通信的基础。

J.F. Kennedy 在 1961 年提出了利用卫星开展商用通信业务的概念，一年后美国建立了卫星通信公司 (COMSAT, Communications Satellite Corporation)。1964 年，国际卫星通信组织 (INTELSAT, International Telecommunication Satellite Organization 进一步简称为 IS) 成立，COMSAT 占 50% 的股份。1965 年 4 月，世界第一颗商用国际通信卫星“晨鸟”被送入大西洋上空的同步轨道，成为第一代国际通信卫星，简记为 IS-I。从而开始了利用静止卫星的商业通信，真正进入通信卫星的应用阶段。图 1-2 所示是上述提到的卫星的外观图。

国际卫星通信组织继发射第一代卫星之后，相继发射了国际通信卫星 IS-II 号、IS-III 号、IS-IV 号、IS-V 号等，目前已经发展到第九代。第十代正在建立。国际卫星通信组织利用它们经营各种国际通信业务。表 1-1 是历代 INTELSAT 卫星一览表。

从第一代商用卫星通信开始，卫星通信在全球范围内突飞猛进地发展起来。经历了从初期的模拟通信到数字通信的过程，目前 INTELSAT 业务已经全数字化，支持的业务也从初期的窄带话音、电视传播到目前的“直接到户 (DTH)” (用于电视、数据广播接收)、直接个人系统 (DirecPC, 提供 Internet 业务)、移动通信业务和宽带多媒体业务，频段从最初的 C 波段发展到 Ku、Ka 波段。

我国幅员辽阔，地形复杂，大力发展卫星通信是我国政府推进通信事业现代化的一项英明决策。1970 年我国第一颗人造地球卫星“东方红 1 号 (DFH-1)”发射成功不久，我国就开始规划部署了卫星通信工程。1972 年，我国邮电部租用国际 IV 号卫星，引进国外设备，在北京和上海建立了 4 座大型地球站，首次开展了商业性



的国际卫星通信业务。

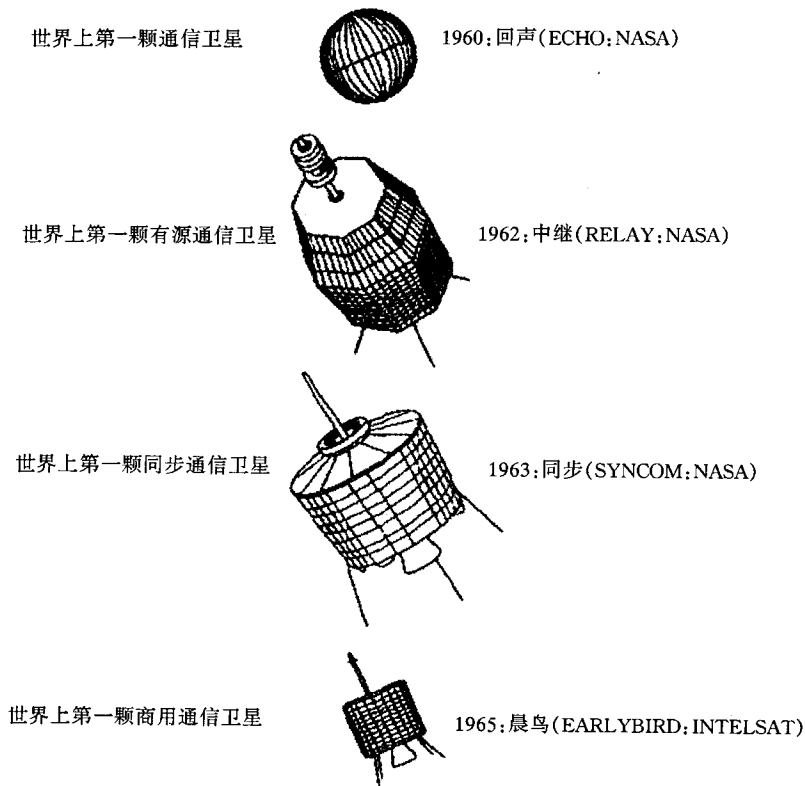


图 1-2 早期具有代表性的几种通信卫星

表 1-1

INTELSAT 卫星一览表

卫星型号	IS-I	IS-II	IS-III	IS-IV	IS-IV A	IS-V	IS-V A	IS-VI	IS-VII	IS-VII A
首颗发射年份	1965	1967	1968	1971	1975	1980	1985	1989	1994	1996
设计寿命/年	1.5	3	5	7	7	7	7	13	15	15
带宽/MHz	50	130	300	500	800	2144	2250	3300	2600	3000
卫星功率 ⁽¹⁾ /W	40	162	134	480	80	1271	1270	2252	3970	5326
卫星质量/kg	68	86	293	1414	1515	1928	2013	4600	3300	3643
话音线路	240	240	1500	4000	6000	12000	15000	120000	90000	
电视节目				2	2	2	2	3	3	
转发器数	2	1	2	12	20	38	32	48	36	40
频段	C	C	C	C	C	C/Ku	C/Ku	C/Ku	C/Ku	C/Ku

(1) 所有的功率均为寿命末期功率。



我国第一个试验性卫星通信工程于1975年开始全面实施。不久即逐步建成了北京、南京、乌鲁木齐、昆明、拉萨等地球站，曾先后利用法、德两国提供的交响乐卫星和国际四号卫星（IS-IV）成功地进行了各种通信业务的传输试验，证明我国自行研制的卫星通信地球站的主要技术性能已达到国际标准。1984年4月8日，我国成功地发射了第一颗试验通信卫星（STW-1）。它定点于东经125°赤道上空，圆满地完成了静止卫星的发射、测控和各项通信业务的传输试验任务。通过这颗卫星，开通了北京至乌鲁木齐、昆明、拉萨三个方向的数字电话，中央人民广播电台和中央电视台对新疆、西藏、云南边远地区传送了广播电视节目，在我国卫星通信发展史上，揭开了崭新的一页。它标志着我国完全有能力依靠自己的力量建成自己的卫星通信系统。1986年2月1日，我国第一颗实用通信卫星发射成功，它定点于东经103°赤道上空，通过这颗卫星，开展了电视、广播、数字电话、电报、传真等各项国内卫星通信业务。这标志着我国的卫星通信已从试验、试用阶段进入实用阶段。1988年3月7日和12月22日，我国又相继成功地发射了两颗经过改进的实用通信卫星，分别定点于东经87.5°和110.5°赤道上空。这两颗卫星在定点精度、通信容量和工作寿命等方面较前一颗卫星都有明显提高。

当前，我国正在利用自己发射的通信卫星和租用国际卫星（IS-IV）积极建设国家公用卫星通信网和各部门的专用卫星通信网。开展了长途电话、传真、数据、电报等业务，每天向全国传送多套电视台节目。

纵观卫星通信发展，卫星通信除移动化、宽带化外，未来还将向以下几个方向发展。

1. 通信卫星趋于巨型化和微型化

一方面，为了提高卫星的灵敏度和星上处理能力，卫星星体本身体积越来越大，也越来越重，导致卫星通信向大容量、多功能和智能化发展。另一方面，卫星大型化的结果是易受电磁干扰和敌方反卫星武器的破坏，而小卫星、微小卫星能克服这种弱点：用多颗小卫星组网代替单颗大卫星，可提高卫星系统的生存能力，并具有研制周期短、更新换代快、造价低、可以快速发射、不易被摧毁和可批量生产等优点。

2. 从集中服务向分布服务的结构发展

地面通信传统的传输方式是经过国际—省—市—县—区各级交换局集中服务的结构来传输信息，国际卫星通信是由各个国家的国际局通过各自的卫星地球站进行中继与地面系统接续的，也就是所谓的“大通道”“主通道”通信方式。需要天线口径很大的地球站来支持，使得地球站的造价太高。卫星通信网络可以不经过各层次的集中交换，采用水平结构的分布服务方式，用户与用户之间直接互通。随着新技



术的发展,尤其是IP技术的发展,更加剧了这种趋势。卫星通信业务更接近用户,使通信网络更灵活、更个人化。新的卫星通信系统已逐渐摆脱传统的集中服务结构向分布服务的结构发展,如:无线的ISP、DTH、窄带移动卫星通信、宽带卫星组播、数字视频广播(DVB)/RCS及VAST/USAT等。

3. 卫星通信与下一代网络接轨趋向IP化

卫星通信系统主要工作在电路交换模式,而这种模式不但限制了可访问信息源的数量,也使得超视距通信复杂化。对比之下,在卫星上使用TCP/IP技术能使数据以高速率传输,也可满足互联网信息流量的非对称要求。

国际电联ITU-YSG13(多协议和IP网络及其互通研究组)在2002年建议对三个草案进行讨论和修改:

(1) Y.SaIParch——卫星网络结构建议。该建议描述了卫星IP网络的构建模式,根据卫星网的演进,提出通过卫星系统更有效地传输IP服务的解决方案。草案列出了点到多点前向线路的IP技术方案,其中包括DVB、MPEG-2和帧中继传输IP数据和全IP网接入协议的顶层设计。

(2) Y.SaIP-Mcast——卫星IP组播建议。规定了卫星IP组播的框架。

(3) Y.SaIP-QoS——区域卫星IP的QoS。设计卫星与区域网互操作下,确保端到端QoS的卫星网络结构框架。

INTELSAT卫星通信组织在IESS701ITS标准中,也详细地提出了面向IP的三种网络配置。标准的制定与地面网接轨趋于IP化,将在下一代网中发挥更重要的作用。

4. 地面通信与卫星通信的协调增效

卫星通信与地面光纤通信和蜂窝移动通信协调发展,取长补短,才能发挥更大作用,创造更高效益。

1.1.3 卫星通信的特点

卫星通信这个“信使”可以说是神通广大,本领高强,只要在它覆盖的范围内,无论是空中、地面、海上还是沙漠,都能构成高效率的通信网,进行高质量的实时通信或电视传输。与一般通信方式相比,它有着无法替代的特点。

1. 优点

(1) 覆盖区域大,通信距离远,且通信成本与通信距离无关。在卫星发射的电波覆盖的范围内,从任何一处都可进行通信。

(2) 不易受陆地灾害的影响,噪声影响较小,通信质量好,可靠性高。

(3) 通信机动灵活。不受地理条件的限制,只要设置地球站电路即可开通(开