

中短波发射台 广播节目传输系统概论

ZHONGDUANBO FASHETAI GUANGBO JIEMU CHUANSHU XITONG GAILUN

张军虎 侯智烨 著
李小刚 岳 昕



电子科技大学出版社

中短波发射台 广播节目传输系统概论

张军虎 侯智烨 著
李小刚 岳 昕



电子科技大学出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

中短波发射台广播节目传输系统概论 / 张军虎等著

. -- 成都 : 电子科技大学出版社, 2014.12

ISBN 978-7-5647-2732-1

I. ①中… II. ①张… III. ①数字广播系统—数字传输系统—研究 IV. ①TN934.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 266948 号

中短波发射台广播节目传输系统概论

张军虎 侯智烨 李小刚 岳昕 著

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 谭炜麟

责任编辑: 谭炜麟

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都现代印务有限公司

成品尺寸: 285mm×210mm 印张 25.5 字数 760 千字

版 次: 2014 年 12 月第一版

印 次: 2014 年 12 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2732-1

定 价: 68.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

21 世纪是信息技术飞速发展的时代，最基本的特征就是数字化、网络化和信息化。随着科学技术的迅猛发展，新技术在各行各业的广泛应用，广播电视节目传输技术也发生了质的飞跃，目前我国卫星广播电视传输系统均已经实现了数字化、网络化，节目品质得到进一步提高，节目调度更加灵活、节目内容更加丰富；卫星节目传输系统数字化、网络化的应用，极大地提高了广播电视节目播出质量和传输效率，同时进一步丰富了广播电视节目内容。

本书对我国广播电视发射台数字卫星广播节目传输链路做了详细介绍，着重介绍了卫星接收系统、同步广播卫星、天线以及高频头，阐述了卫星通信和数字卫星节目传输调度监测等系统基本原理、基本应用以及维护方法，并从实用的角度介绍了数字卫星节目传输、调度系统设备的安装、调试与维护，同时本书对地面卫星接收站、信息中心机房的规范化建设等做了介绍。为使内容精练，对篇幅进行了压缩，本书舍去了一些复杂的数学推导，着重于基本原理和基本方法的阐述，并参考了大量的教材以及技术说明等资料，结合多年工作经验编写而成的，力求兼顾理论性、实用性、系统性。

本书共分 11 章。第 1 章数字卫星广播系统绪论，第 2 章卫星通信信号传输及多址技术，第 3 章卫星接收天线与高频头，第 4 章数字音频传输设备，第 5 章数字音频调度网管系统，第 6 章广播节目传输设备维护与监测，第 7 章机房低压供电系统，第 8 章数字卫星接收地面站的工程设计，第 9 章综合信息中心机房建设，第 10 章机房管理标签标识规范化，第 11 章常用仪器的使用与指标测试。作者的具体分工如下：张军虎编写第 1~3 章；侯智烨编写第 4~5 章；李小刚编写第 6~8 章；岳昕编写第 9~11 章。

本书在编写过程中参考了有关作者的文献资料以及许多设备的使用说明书，在此一并表示衷心的感谢。

限于作者的水平和经验有限，对于书中有出现的错误和不足之处，殷切希望欢迎广大读者批评指正。

著 者

2014 年 6 月

目 录

第 1 章 数字卫星广播系统绪论	(1)
1.1 卫星通信概述	(1)
1.2 广播卫星系统	(7)
1.3 Ku 波段卫星链路计算	(18)
1.4 典型卫星移动通信系统	(22)
1.5 甚小天线地球站 (VSAT) 系统	(25)
第 2 章 卫星通信信号传输及多址技术	(34)
2.1 信号传输技术	(34)
2.2 多址技术	(61)
第 3 章 卫星接收天线与高频头	(72)
3.1 卫星接收天线	(72)
3.2 卫星接收天线的主要指标	(76)
3.3 卫星天线仰角、方位角和半功率角计算	(78)
3.4 恶劣天气对天线的影响与应急处理措施	(79)
3.5 天馈系统日常维护	(80)
3.6 常用卫星接收天线的结构与原理	(83)
3.7 天线的馈源系统	(89)
3.8 极化变换器	(90)
3.9 高频头	(92)
3.10 4.5M 卫星接收天线	(96)
3.11 功分器的分类、原理	(98)
第 4 章 数字音频传输设备	(105)
4.1 广播电视常用音频数字编码技术	(105)
4.2 数字节目传输系统组成	(111)
4.3 数字音频卫星接收机 (IRD)	(113)
4.4 典型数字卫星接收机介绍	(115)
4.5 技术参数	(126)
4.6 常见故障及排除办法	(126)



4.7	数字音频四选一 (DAL-3500)	(127)
4.8	D/A 转换混音器 DAC-2000	(136)
4.9	补乐固体录音机 FRS-2000	(137)
4.10	数字音频分配器 (DAL-3200)	(140)
4.11	数字音频光端机 (MDT-2000)	(144)
4.12	MOXA 串口服务器 NPORT5610	(150)
4.13	GPS 定时定位接收机	(155)
第 5 章	数字音频调度网管系统	(157)
5.1	网管调度系统功能简介	(157)
5.2	RadioMC 安装指南	(158)
5.3	Server 使用说明	(167)
5.4	Configuration 配置器使用说明	(194)
5.5	RadioMC 高级进阶	(202)
5.6	典型故障和异态处理	(206)
第 6 章	广播节目传输设备维护与监测	(211)
6.1	节传机房设备维护管理	(211)
6.2	收测与监测的内容及方法	(213)
6.3	ST-C2000K 型广播质量监测系统简介	(215)
6.4	TECSUN-PL-600 型收音机	(242)
6.5	NRD-535 接收机	(243)
6.6	NRD-545 接收机	(243)
第 7 章	机房低压供电系统	(252)
7.1	机房低压供电系统的设计	(252)
7.2	UPS 的运行与维护	(257)
7.3	UPS 的运行操作 (以中达 NT 系列 UPS 为例)	(267)
7.4	典型 UPS 介绍	(272)
第 8 章	数字卫星接收地面站的工程设计	(301)
8.1	卫星广播信号接收与传输系统的设计	(301)
8.2	系统设计前的调研	(301)
8.3	方案的拟订与论证	(302)
8.4	系统设计中的可靠性因素	(302)
8.5	卫星广播信号接收系统选购原则	(303)
8.6	地面卫星站址选择与避雷措施	(304)
8.7	卫星广播信号接收系统室外单元安装	(307)
8.8	卫星广播信号系统室内设备的安装	(308)
8.9	卫星接收设备的调试	(309)

第 9 章 综合信息中心机房建设	(316)
9.1 机房标准化要求	(316)
9.2 机房装修及动力系统规范化	(321)
9.3 机房动力配电系统	(323)
9.4 机房照明配电系统	(323)
9.5 精密空调系统	(324)
9.6 通风系统	(324)
9.7 机柜及 KVM 切换系统	(325)
9.8 综合布线	(325)
9.9 接地系统	(325)
9.10 防雷工程	(326)
9.11 消防系统	(326)
9.12 门禁系统	(327)
9.13 机房设备监控系统	(327)
第 10 章 机房管理标签标识规范化	(328)
10.1 机房标注的标准化	(328)
10.2 设施资源标签的要求	(329)
10.3 公共类资源标签规范	(329)
10.4 电源设备标签	(334)
10.5 线缆标签	(337)
第 11 章 常用仪器的使用与指标测试	(343)
11.1 常用仪器仪表的操作	(343)
11.2 系统指标测试	(386)
11.3 常用线缆及连接器	(388)
参考文献	(400)

第 1 章 数字卫星广播系统绪论

1.1 卫星通信概述

1.1.1 卫星通信基本概念

卫星通信是利用人造地球卫星作为中继站来转发无线电波而进行的两个或多个地球站之间的通信。

人造地球卫星根据对无线电信号放大的有无、转发功能，有有源人造地球卫星和无源人造地球卫星之分。由于无源人造地球卫星反射下来的信号太弱无实用价值，于是人们致力于研究具有放大、变频转发功能的有源人造地球卫星——通信卫星来实现卫星通信。其中绕地球赤道运行的周期与地球自转周期相等的同步卫星具有优越性能，利用同步卫星的通信已成为主要的卫星通信方式。不在地球同步轨道上运行的低轨卫星多在卫星移动通信中应用。

1. 同步卫星通信

在地球赤道上空约 36 000km 的太空中围绕地球的圆形轨道上运行的通信卫星，其绕地球运行周期为 1 恒星日，与地球自转同步，因而与地球之间处于相对静止状态，故称为静止卫星、固定卫星或同步卫星，其运行轨道称为地球同步轨道（GEO）。

在地面上用微波接力通信系统进行的通信，因系视距传播，平均每 2500km 假设参考电路要经过每跨距约为 46km 的 54 次接力转接。如利用通信卫星进行中继，地面距离长达 1 万多公里的通信，经通信卫星 1 跳即可连通（由地至星，再由星至地为 1 跳，含两次中继），而电波传输的中继距离约为 4 万公里，见图 1.1 所示。

2. 卫星通信系统

由通信卫星和经该卫星连通的地球站，根据不同的目的可组成不同的卫星通信系统。运行中的地球站只能指向某一颗同步卫星，两个或更多的地球站可以通过同一颗同步卫星建立直达的卫星电路。如为电视或广播节目的卫星传输，可以用一颗同步卫星上的不同转发器传输不同的节目。在此卫星的波束覆盖区内的众多电视单收地球站，可以指向此卫星接收不同的电视节目或同时接收多个节目。如为甚小天线地球站卫星通信系统，同技术制式的众多甚小天线地球站（VSAT）可以经由同一卫星转发器连通成网，也可以几种不同制式各自成网。如一颗同步卫星的容量不够，可以在预定的同步轨道的不同位置部署几颗同步卫星，有关地球站根据安排相应地指向某一卫星，组成卫星通信电路。例如国际通信卫星组织在印度洋地区赤道上空就有 4 颗卫星，分别定点于 60°E、63°E、66°E 和 57°E，并准备在 20 世纪 90 年代及以后视需要情况在 91.5°E 和 95°E 再部署另两颗卫星。

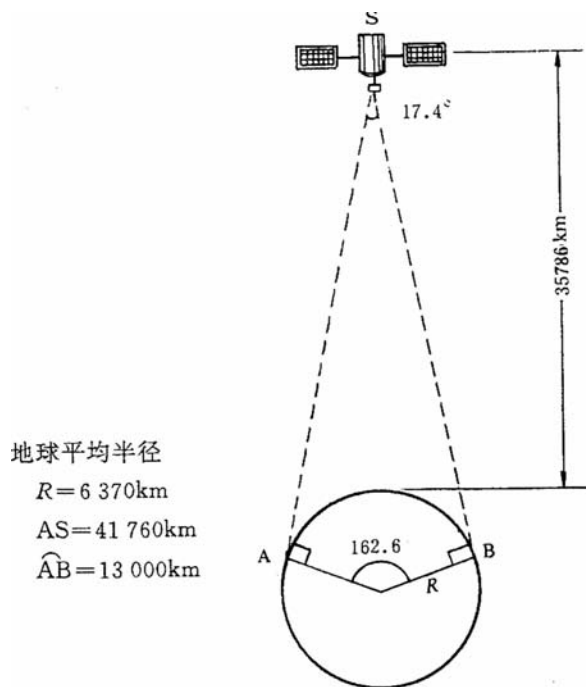


图 1.1 同步卫星与地球的相对关系图

(1) 频段

同步卫星通信业务有卫星固定通信业务（FSS）和卫星移动通信业务（MSS）之分，它们所分配的频段也不同。FSS 使用 C 频段和 Ku 频段。MSS 使用 L 频段。工作在 Ku 频段的 Ku 转发器原来大多是点波束的，20 世纪 90 年代开始国际通信卫星组织（INTELSAT，简作 IS）的 Ku 星叫 ISK，提供较广的区域波束以适应需求。FSS 的 C、Ku 频段的频率划分如下（上行为地球站对卫星所用频率，下行为卫星对地球站所用频率）。

①C 频段 (MHz)

上行 5925~6425 带宽 500MHz

下行 3700~4200 带宽 500MHz

为扩展 FSS 用的频谱，自 1984 年 1 月 1 日开始调整为：

上行：第 1 区 5725~7075 带宽 1350MHz

第 2、3 区 5850~7075 带宽 1225MHz

下行：第 1、2、3 区 $\left. \begin{array}{l} 3400 \sim 4200 \\ 4500 \sim 4800 \end{array} \right\}$ 带宽共 1100MHz

②Ku 频段 (GHz)

上行：第 1、2、3 区 14.0~14.25 带宽 250MHz

14.25~14.5 带宽 250MHz

下行：第 1、2、3 区 10.95~11.2 带宽 250MHz

11.45~11.7 带宽 250MHz

第 2 区 11.7~11.95 带宽 250MHz

11.95~12.2 带宽 250MHz

第 3 区 12.2~12.5 带宽 300MHz

第 1、3 区 12.5~12.75 带宽 250MHz

根据 1992 年国际无线电行政大会（WARC—92）的频率分配，国际通信卫星组织于 2000 年 1 月 1 日可启用新分配的 13.75~14.0GHz（上行），带宽 250MHz，以适应发展的需要。

C 频段的传输比较稳定,设备技术也成熟,但容易和同频段的地面微波系统相互干扰。卫星通信的上行链路干扰 6GHz 微波系统,下行链路受 4GHz 微波系统的干扰,这需预先协调并采取相应的屏蔽措施加以解决(见卫星通信系统干扰协调)。Ku 频段传输受雨雾衰减较大,不如 C 频段稳定,尤其雨量大的地区更是如此。如在上、下行链路的计算中留有足够余量,配备上行功率调节功能,亦可获得满意效果。Ku 频段频谱资源较丰富,与地面微波系统的相互干扰小,其应用很有前途。

20 世纪末或 21 世纪初,C 和 Ku 频段将出现拥挤,FSS 将在 20~30GHz 的 Ka 频段开发业务,其频率为:

上行 (GHz)	29.5~30.0	带宽 500MHz
下行 (GHz)	19.7~20.2	带宽 500MHz

(2) 卫星通信方式

卫星通信系统传输或分配信息时所采用的工作方式称为卫星通信方式。

国际卫星通信已由以模拟频分方式为主,转向以数字时分方式为主。数字卫星通信方式有 120Mbit/s 的数字话音插空 (DSI) 的时分多址 (TDMA/DSI),或不加话音插空 (DNI) 的时分多址,以及星上交换时分多址 (SS—TDMA);还有大量的以 2.048Mbit/s、1.544Mbit/s 为主的卫星数字通道 (IDR) 方式,加数字电路复用设备 (DCME) 一般可扩大容量 3~4 倍,最长达 5 倍。2Mbit/s 的 IDR 其承载电路为 30 路,较小容量的 IDR 有 1.024Mbit/s (16 路) 和 512kbit/s (8 路)。专用通信的数字专线业务 (IBS) 业务发展很快,Ku 频段达到 ISDN 质量水平的叫超级数字专线业务 (super IBS)。稀路由 (VISTA) 业务方式仍有市场,其中有按需分配多址 (DAMA) 功能的方式称超级稀路由 (super VISTA) 方式。非中心控制的稀路由的斯佩德 (SPADE) 方式因设备复杂已被淘汰。国际卫星通信的极化方式为双圆极化。

国内卫星通信方式大体仿效国际卫星通信用 C 频段和 Ku 频段,也有用 Ka 频段的。一般的 TDMA 方式为 60Mbit/s 以下速率,还有 SS—TDMA 和转发器跳频的 TDMA 方式,有加数字电路复用设备的卫星数字通道 (IDR/DCME) 方式,也有自造差分脉冲编码的卫星数字通道 (IDR/ADPCM) 方式。因模拟的频分多址 (FDMA) 方式技术成熟,仍有使用。国内范围的以通话为主的稀路由 (VISTA) 方式用得较多,有单载波单信道/音节压扩频率调制/按需分配多址 (SCPC/CFM/DAMA) 方式和单载波单信道/4相移相键控/按需分配多址 (SCPC/QPSK/DAMA) 方式以及较低速率的 TDMA 方式。甚小天线地球站系统的市场很大,它是以数据传输为主兼有话音传输的星状网,其制式和速率有多种,可供用户选用。国内卫星通信的极化方式一般为线极化,个别也有用圆极化的。

3. 同步卫星通信的特点

(1) 同步卫星通信的优点

①通信距离远,在卫星波束覆盖区内一跳的通信距离最远约 $13\text{km} \times 103\text{km}$ (用全球波束,地球站对卫星的仰角在 5° 以上)。

②不受通信两点间任何复杂地理条件的限制。

③不受通信两点间的任何自然灾害和人为事件的影响。

④只经过卫星一跳即可到达对方,因而通信质量高,系统可靠性高,常作为海缆修复期的支撑系统。

⑤通信距离越远,成本越低。

⑥可在大面积范围内实现电视节目、广播节目和新闻的传输,以及直达用户办公楼的交互数据传输甚至话音传输,因而适用于广播型和用户型业务。

⑦机动性大,可实现卫星移动通信和应急通信。

⑧灵活性大,可在两点间提供几百、几千甚至上万条话路,提供几十兆比 (Mbit/s) 甚至 120Mbit/s 的中高速数据通道,也可提供至少一条话路或 1.2kbit/s、2.4kbit/s 的数据通道。

⑨易于实现多址传输。



⑩有传输多种业务的功能。

(2) 同步卫星通信的缺点

①传输时延大。卫星地球站通过赤道上空约 36 000km 的通信卫星的转发进行通信,视地球站纬度高低,其一跳的单程空间距离为 72 000~80 000km。以 300 000km/s 的速度传播的电波,要经过 240~260ms 的空间传输延时才能到达对方地球站,加上终端设备对数字信号的处理时间等,延时还要增加。根据国际电报电话咨询委员会建议(Rec.114),单程传输不要超过 400ms。对通话来说,发话方听到对方立即的回话,也要经过 500~800ms,这是可以被通话用户接受和习惯的。但由通话双方的二/四线混合线圈不平衡而造成的泄漏,将出现不可忍受的回音,因而必须无例外地加装回音消除器。

②在南纬 75°以上和北纬 75°以上的高纬度地区,由于同步卫星的仰角低于 5°,难以实现卫星通信。一般来说,纬度在 70°以下的地面、80°以下的飞机,均可经同步卫星建立通信。

③同步轨道的位置有限,不能无限度地增加卫星数量和减小星间间隔。

④每年有不可避免的日凌中断和须采取措施度过的星食发生。

⑤需对卫星部署有长远规划。卫星寿命一般为几年至十几年,而卫星的设计和生 产周期长,需及早安排后继卫星,但卫星发射成功率平均为 80%左右,故要承担一定的风险。

1.1.2 卫星通信网

卫星通信网是由一个或数个通信卫星和指向卫星的若干个地球站组成的通信网。

卫星通信网按通信方式有模拟卫星通信网和数字卫星通信网之分。不同方式的通信网不能互通,但可以使用同一颗通信卫星,甚至共用一个转发器。另外,按卫星的服务区域划分,有国际卫星通信网、区域卫星通信网和国内卫星通信网等。

1. 国际卫星通信网

全球性的卫星通信网,由国际通信卫星组织(INTELSAT)经营和管理。该组织于 1964 年 8 月由 19 个国家创建,总部设在华盛顿。国际卫星通信组织的世界上第一颗商用卫星“晨鸟”于 1965 年 4 月 6 日问世,代号为 IS—I。经过多年的发展,该组织已有成员国 100 多个,使用者(含成员国、非成员国和使用国)近 200 个,组成了全球性最大的国际卫星通信网。20 世纪 90 年代有 IS—V、IS—VI 和 IS—VII 等几代卫星在轨服务。在大西洋、印度洋及太平洋地区赤道上空的同步轨道上有 17~19 颗国际通信卫星组织的国际卫星(1992 年资料),它们承担 2/3 乃至 1/2 的国际长途通信业务和近 100%的国际电视传输业务。一颗卫星的通信容量由最初的 240 路话路或一路电视通道发展到兼用 C 频段和 Ku 频段的上万路甚至几万路电话和 2~4 个模拟电视通道。

2. 国际太空通信网

由国际太空通信组织(INTELSPUTNIK)经营和管理的卫星通信网。1971 年 11 月国际太空通信组织成立,总部设在莫斯科。1979 年,国际太空通信组织租用苏联“静止”系列卫星转发器组成的国际太空通信网开始运行。该系列卫星是用 C 频段,有全球和北半球两种波束,采用对南北不进行控制的倾斜轨道方式。当时主要成员国有苏联、蒙古、越南、古巴、老挝等国及东欧各国。

3. 国际海事卫星通信网

利用同步卫星进行海上移动通信的通信网。1975 年,由美国通信卫星公司(COMSAT)建立的海事卫星通信网开始营运。1979 年 7 月成立了总部设在英国伦敦的国际海事卫星组织(INMARSAT),它于 1982 年 2 月开始向国际上提供海上船舶的电报电话和数据服务,组成国际海事卫星通信网。该网所使用的同步通信卫星,开始时是租用欧洲宇航局的 MARECS 卫星转发器以及 COMSAT 和 INTELSAT 的卫星转发器作为第一代海事卫星(INMARSAT—I)。自 20 世纪 90 年代开始逐步由海事卫星组织自己发射的 INMARSAT—II 系列卫星代替,这是第二代海事卫星。INMARSAT 的通信网是全球性的,承担海

上、陆上和航空移动通信业务。同步卫星与移动站之间使用 L 频段，同步卫星与岸站之间仍使用 C 频段，经岸站进入地面通信网。

4. 区域卫星通信网

为一定地区进行卫星通信服务的通信网。主要有欧洲通信卫星组织（EUTELSAT）、阿拉伯通信卫星组织（ARABSAT）、亚洲卫星公司（ASIASAT）和亚太卫星公司（APSTAR）等经营的卫星通信网来满足本区域内的需求。此外还有一些地区，如非洲、南美洲等地区的地区性卫星通信网也在建立。区域卫星的主要特点是卫星的波束覆盖区基本局限于该区域内，不像国际卫星组织的卫星那样可以有球波束和半球波束。

5. 国内卫星通信网

以国内通信为主的卫星通信网。建立国内卫星通信网的国家有美国、中国、澳大利亚、巴西、加拿大、英国、德国、法国、日本、墨西哥、印尼、印度、意大利、瑞典和苏联各国。世界上第一颗国内同步卫星 ANIK—A 是 1973 年由加拿大发射成功的。美国国内同步卫星由多家公司独自经营，卫星数量多，规模大。由于苏联有相当大的领土处于高纬度地域，同步卫星不能全部覆盖，因此在使用同步通信卫星的同时，也使用经北极附近的椭圆轨道（LEO）运行的通信卫星。印度尼西亚为多岛屿国家，其 PALAPA 系列通信卫星在通信中起着主要作用。澳大利亚、巴西、中国和印度等国领土辽阔，AUSSAT、BRASILSAT、CHINASAT 和 INSAT 卫星分别在其本国通信中起着重要作用。

6. 中国国内卫星通信网

中国从 1985 年租用国际通信卫星组织的印度洋上空卫星的半球波束转发器组织国内卫星通信网，进行卫星电视传送和对边远地区的电报电话通信。从 1988 年起用自己制造和发射的卫星与租用的国际卫星转发器共同组成国内卫星通信网。至 20 世纪 90 年代，除租用国际卫星转发器外，还租用亚洲 1 号卫星转发器，与中国的卫星一起组成国内卫星通信网。中国将逐步过渡到以国产卫星为主，租用国际卫星和区域卫星转发器为辅的格局来组织国内卫星通信网。

中国国内卫星通信网主要承担：

- (1) 中央电视节目，教育电视节目和部分省、自治区的地方电视节目的传送；
- (2) 广播节目的卫星传送；
- (3) 组织干线卫星通信电路和部分省内卫星通信电路；
- (4) 组织公用和专用甚小天线地球站（VSAT）网，包括以数据为主和以电话为主的 VSAT 网；
- (5) 专用单位的卫星通信网。

中国国内卫星通信网的主要传输制式：电视采用传统的调频方式；通信以频分多址（FDMA）和时分多址（TDMA）（60Mbit/s）为主，逐步过渡到以数字方式的卫星数字通道（IDR）和 TDMA（60Mbit/s）为主。

1.1.2.1 卫星通信系统的分类

1. 按照工作轨道区分，卫星通信系统一般分为以下 3 类：

(1) 低轨道卫星通信系统（LEO）：距地面 500~2000km，传输时延和功耗都比较小，但每颗星的覆盖范围也比较小，典型系统有 Motorola 的铱星系统。低轨道卫星通信系统由于卫星轨道低，信号传播时延短，所以可支持多跳通信；其链路损耗小，可以降低对卫星和用户终端的要求，可以采用微型/小型卫星和手持用户终端。但是低轨道卫星系统也为这些优势付出了较大的代价：由于轨道低，每颗卫星所能覆盖的范围比较小，要构成全球系统需要数十颗卫星，如铱星系统有 66 颗卫星、GLOBALSTAR 有 48 颗卫星、Teledisc 有 288 颗卫星。同时，由于低轨道卫星的运动速度快，对于单一用户来说，卫星从地平线升起到再次落到地平线以下的时间较短，所以卫星间或载波间切换频繁。因此，低轨系统的系统构成和控制复杂、技术风险大、建设成本也相对较高。



(2) 中轨道卫星通信系统 (MEO): 距地面 2000~20 000km, 传输时延要大于低轨道卫星, 但覆盖范围也更大, 典型系统是国际海事卫星系统。中轨道卫星通信系统可以说是同步卫星系统和低轨道卫星系统的折中, 中轨道卫星系统兼有这两种方案的优点, 同时又在一定程度上克服了这两种方案的不足之处。中轨道卫星的链路损耗和传播时延都较小, 仍然可采用简单的小型卫星。如果中轨道和低轨道卫星系统均采用星际链路, 当用户进行远距离通信时, 中轨道系统信息通过卫星星际链路子网的时延将比低轨道系统低。而且由于其轨道比低轨道卫星系统高许多, 每颗卫星所能覆盖的范围比低轨道系统大得多, 当轨道高度为 10 000km 时, 每颗卫星可以覆盖地球表面的 23.5%, 因而只要几颗卫星就可以覆盖全球。若有十几颗卫星就可以提供对全球大部分地区的双重覆盖, 这样可以利用分集接收来提高系统的可靠性, 同时系统投资要低于低轨道系统。因此, 从一定意义上说, 中轨道系统可能是建立全球或区域性卫星移动通信系统较为优越的方案。当然, 如果需要为地面终端提供宽带业务, 中轨道系统将存在一定困难, 而利用低轨道卫星系统作为高速的多媒体卫星通信系统的性能要优于中轨道卫星系统。

(3) 高轨道卫星通信系统 (GEO): 距地面 35 800km, 即同步静止轨道。理论上, 用三颗高轨道卫星即可以实现全球覆盖。传统的同步轨道卫星通信系统的技术最为成熟, 自从同步卫星被用于通信业务以来, 用同步卫星来建立全球卫星通信系统已经成为建立卫星通信系统的传统模式。但是, 同步卫星有一个不可克服的障碍, 就是较长的传播时延和较大的链路损耗, 严重影响到它在某些通信领域的应用, 特别是在卫星移动通信方面的应用。首先, 同步卫星轨道高, 链路损耗大, 对用户终端接收机性能要求较高。这种系统难于支持手持机直接通过卫星进行通信, 或者需要采用 12m 以上的星载天线 (L 波段), 这就对卫星星载通信有效载荷提出了较高的要求, 不利于小卫星技术在移动通信中的使用。其次, 由于链路距离长, 传播延时大, 单跳的传播时延就会达到数百毫秒, 加上语音编码器等处理时间则单跳时延将进一步增加, 当移动用户通过卫星进行双跳通信时, 时延甚至将达到秒级, 这是用户特别是话音通信用户所难以忍受的。为了避免这种双跳通信就必须采用星上处理使得卫星具有交换功能, 但这必将增加卫星的复杂度, 不但增加系统成本, 也有一定的技术风险。

目前, 同步轨道卫星通信系统主要用于 VSAT 系统、电视信号转发等, 较少用于个人通信。

2. 按照通信范围区分, 卫星通信系统可以分为国际通信卫星、区域性通信卫星、国内通信卫星。

3. 按照用途区分, 卫星通信系统可以分为综合业务通信卫星、军事通信卫星、海事通信卫星、电视直播卫星等。

4. 按照转发能力区分, 卫星通信系统可以分为无星上处理能力卫星、有星上处理能力卫星。

1.1.2.2 卫星通信系统的特点

卫星通信与其他通信手段相比, 具有以下优点:

(1) 通信距离远, 通信覆盖面积大

通信距离、通信覆盖面积是衡量现代各种通信手段的一个非常重要的性能指标。同其他通信手段相比, 卫星通信这方面的优点尤为突出。利用静止卫星, 最大通信距离达 18 000km 左右, 这在远距离通信上, 比地面微波中继、电缆、光缆、短波通信等有明显的优势。另外, 由于一颗静止通信卫星能覆盖地球总面积的 1/3 左右, 在此区域内的地球站都可利用卫星转发信号进行通信。这就使卫星通信成为国际通信、国内或区域通信 (尤其是边远地区通信)、军事通信以及广播电视等极有效的现代通信传输手段。

(2) 通信机动灵活, 可进行多址通信

一般的通信类型 (如电缆、地面微波中继、短波通信等), 通常只能实现点对点通信。而卫星通信由于是大面积覆盖, 只要在卫星天线波束覆盖的整个区域内的任何一点设置地球站, 这些地球站可共享一颗通信卫星来实现双边或多边通信, 即进行多址通信。同时在这个范围内的任何地球站基本上不受地理条件或通信对象的限制, 有一颗在轨道上的卫星, 就相当于铺设了一条可以通过任何一点的无形的电路, 因此使通信具有高度的灵活性。

卫星通信不仅能作为大型固定地球站之间的远距离通信,而且还能在车载、船载、机载等移动地球站之间进行通信,还可为个人手机提供通信。

(3) 通信频带宽,传输容量大

由于卫星通信使用微波频段,信号所用带宽和传输容量要比其他频段大得多。卫星带宽一般在 500~1000MHz,适合传送大容量电话、电报、数据及宽带电视等多种业务。目前,一颗卫星的通信容量已可达同时传输数千路以至上万路电话和 3 路电视信号以及其他数据。

(4) 传播稳定可靠,通信质量高

由于卫星通信的无线电波主要是在大气层以外的宇宙空间中传输,而宇宙空间是接近理想的真空状态,可看作是均匀介质,因此,电波传播比较稳定。同时它不受天气、季节等自然条件的影响,且不易受自然或人为干扰以及通信距离变化的影响,故通信稳定可靠,通信质量高。

(5) 成本与通信距离无关

卫星通信的建站费用和运行费用不因通信站之间的距离远近及两站之间地面上的自然条件恶劣程度而变化。这跟任何其他地面上的远距离、大容量通信方式相比,优势是很明显的。

卫星通信也存在一些缺点,主要有以下几个方面:

(1) 卫星通信有较大的传输时延和回波干扰。在静止卫星通信中,从地球站发射的信号经过卫星转发到另一地球站时,单程传播时间约为 270ms,进行双向通信时,往返传播延迟约为 540ms。所以通过通信卫星通话时给人一种不自然的感觉。此外,由于电波传输的时延较长,如果不采取特殊措施,由于混合网络不平衡等因素还会产生“回波干扰”,即发话者经过 540ms 以后会听到反射回来的自己的讲话回声,成为一种干扰。这是卫星通信的明显缺点。为了消除或抑制回波干扰,地球站需要增设回波抵消设备或回波抑制设备。

(2) 存在临时中断现象。当太阳穿过面向卫星的地球站天波波束时,太阳产生的噪声将与来自卫星的信号一同被接收。有时受太阳的辐射干扰,会出现临时中断现象。

(3) 10GHz 以上的频带受降雨的影响。

(4) 卫星通信技术复杂。静止通信卫星的制造、发射和测控需要先进的空间技术和计算机技术。这也是目前只有少数国家能自行研制和发射静止通信卫星的主要原因。由于卫星与地面相距数万公里,电磁波的传播损耗很大,一般上、下行线路的传输损耗均高达 200dB 左右。因此,为了保证通信质量,需要采用高增益天线,大功率发射机,高灵敏度、低噪声接收机和先进的调制解调设备等,要求高,技术复杂。另外,要实现多址联接,还必须解决“多址技术”问题。

1.2 广播卫星系统

自 1964 年 8 月 19 日,美国率先发射成功第一颗静止同步卫星“辛康一3”之后,在近 20 年里,C 频段、低功率和中功率广播通信卫星发展很快,可以传送数千路电话和数十路电视节目。进入 20 世纪 90 年代,数字技术进入了广播电视领域,广播卫星得到了飞跃的发展。特别是数字视频压缩技术使广播卫星实现了多频道化,并能多工利用。

广播卫星的发展经历了三个阶段:

1. 低功率卫星

广播卫星在起步阶段,采用上行频率为 6GHz、下行频率为 4GHz 的 C 频段卫星,卫星发射的等效全向辐射功率, EIRP 为 33dBW。地面 TVRO 站天线口径为 3.3m。由于价格较高,且安装架设一个 3.3m 站,对站址有一定要求,所以要把它推广到个体接收有一定的困难。

2. 中功率卫星

从 1983 年起, 广播卫星采用了 Ku 频段卫星, $EIRP=47\text{dBW}$, 比以前提高了很多, 主要原因是频率提高后, 相同口径的卫星天线的增益大为提高 (天线增益正比于频率的平方)。当下行频率为 12GHz 频段, 地面站天线口径可减小到 1.2m , 卫星电视已占 30% 。

3. 高功率卫星

广播卫星的大功率直播卫星的 $EIRP$ 达 54dBW , 下行频率仍为 12GHz , 提高 $EIRP$ 的主要措施是采用了 200W 的星上功率放大器。地面站天线口径可减小到 $0.35\sim 0.6\text{m}$ 。为卫星电视进入家庭创造了条件。

广播电视卫星包括通信卫星、直播卫星, 向“两多、两大、一长”的方向发展。

(1) 多频段、多功能: 多频段包括 C 频段、Ku 频段、Ka 频段; 多功能包括传输数字广播电视节目信号 (码率压缩、加扰)、通信、图文电视、数据广播、全球定位系统 (GPS) 等。

(2) 大容量、大功率: 大容量是指增加转发器数量, 特别是采用码率压缩技术后可使频道容量扩展几倍到几十倍; 大功率是指增大转发器功率。

(3) 长寿命: 采用新的材料、工艺、设备、燃料、控制技术, 大大提高卫星的寿命。

1.2.1 广播卫星系统组成

广播卫星系统主要由三部分组成: 上行发射站、卫星转发器、地球接收站。广播卫星系统工作方式如图 1.2 所示。

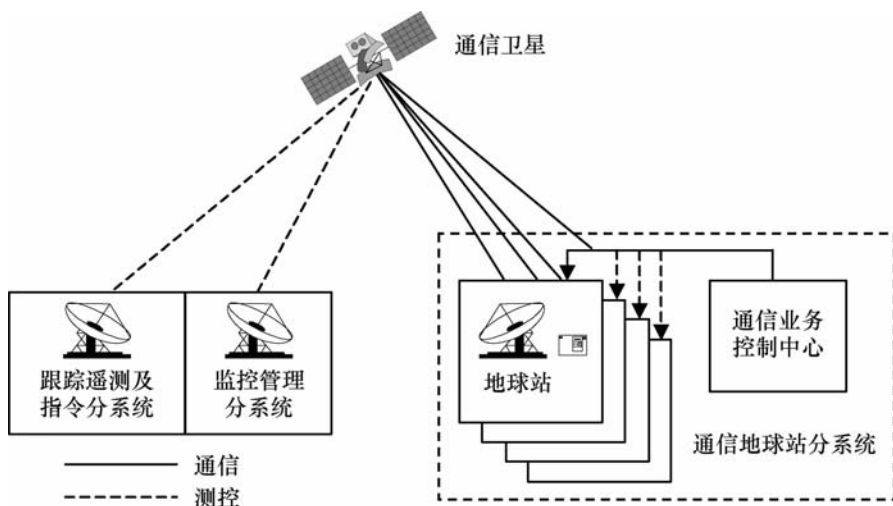


图 1.2 广播卫星系统工作方式

1. 上行发射站

上行地球站把节目制作中心送来的节目源信号 (可以是数字电视信号、数字广播、视频、音频、中频信号等) 加以处理, 经过调制、上变频和高功率放大, 通过定向天线向卫星发射上行 C、Ku 频段信号。上行发射站同时接收由卫星下行转发的信号, 监测卫星转播节目质量。

2. 卫星转发器

星载转发器用于接收地面上行站送来的上行微波信号 (C 频段为 6GHz , Ku 波段为 14GHz), 并将它放大、变频、再放大后, 发射到地面服务区内。因此, 星载转发器实际上是起一个空间中继站的作用, 它应以最低附加噪声和失真传送电视广播信号。

3. 地面接收站

地面接收站或电视台/站接收来自卫星的信号, 经过低噪声放大, 下变频为中频信号, 中频信号经过调频、解调后得到基带信号, 分别送到视频恢复电路和伴音解调电路, 重新得到正常的视频信号和伴音

信号，直接送到电视监视器或电视机，重现彩色图像和重放伴音，也可以重新调制到电视频道上，通过有线网络或无线发射，将信号输出给用户。

电视广播卫星的无线电发射功率比通信卫星要大得多。通信卫星的无线电发射功率通常只有几瓦到几十瓦，而电视广播卫星的无线电发射功率可以达到几百瓦。由于电视广播卫星具有这样大的无线电发射功率，因此地面接收站不需要像通信卫星那样要有十几米直径的抛物面接收天线，而只需要半米或几米直径的抛物面接收天线。

1.2.2 广播卫星系统原理

1. 上行发射站

上行站的作用是向卫星发射需转发的电视信号、音视频信号。以C频段为例。低通滤波器滤去6MHz以上的分量，再混入受伴音调频的6.5MHz副载波，经过视频处理电路处理后的视频信号与经过伴音处理电路处理的伴音信号相加混合成基带信号；经预加重及视频放大、中频载波进行调制，将输入的基带信号变为70MHz的中频调谐波。中频信号上变频至6GHz频段的上行频率，变为指定的发射频率后，送到高频功率放大器进行放大，再经过馈源部分的双工器，由发射天线发射给卫星（见图1.3）。

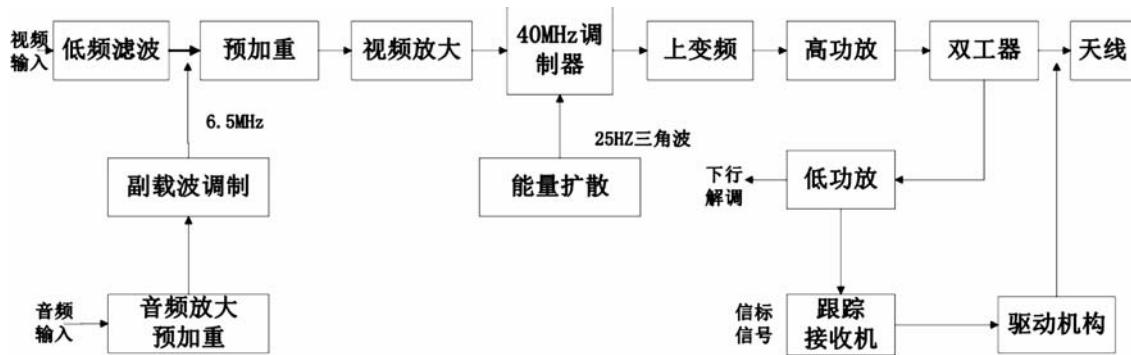


图 1.3 卫星上行站示意图

卫星下行信号经双工器分出所接收到的4GHz信号，包括卫星转发的下行信号及卫星发出的信标信号。下行信号经低噪声放大、变频及解调后还原成视频和音频信号，供上行站监测电视传输质量用。信标信号送至跟踪接收机，经放大处理后，送至天线驱动机构，天线即自动跟踪卫星，发射上行信号。

上行发射站向卫星传送多路信号，通常采用主瓣波束较窄的大口径发射天线发射，以提高上行站的抗干扰能力。为克服无调制或单电平调制造成的功率谱密度过大，可以采用能量扩散技术。能量扩散是人为地在电视视频信号通路中叠送一个低频的三角波，这样不论是否有调制信号，信号载波都受到此三角波的调制，使能量扩散开来，显著地降低了功率谱密度，因而降低了干扰。在接收端可以采用视频钳位的办法来消除这个附加的三角波。

(1) 视频信号处理过程

①预加重技术：调制信号在接收端解调时，白噪声电平随频率的升高呈线性增长，这种变化规律称为调制波的三角噪声特性，它使图像信号的高频成分容易受到噪声的影响。为了提高图像信号高频端的信噪比，改善三角噪声特性，减少传输信号的微分增益和微分相位失真，在视频信道中对图像信号进行预加重处理。所谓预加重就是在发送端将图像信号先送入预加重网络，由于预加重网络具有高端增益高、低端增益低的特性，使图像信号的高频成分得到增强。

②能量扩散技术：在带有行、场同步信号的视频信号中，大多数时间里信号电平都处于黑白电平上；而中间电平的时间较短。用这种视频信号对载波进行频率调制，就会造成频谱能量在两侧过于集中，分布不均匀，致使与它共用频段的某些地面通信受到较大干扰。为了减少这种干扰，在发射功率受到限制



的同时,也应对信号频谱能量加以扩散。为此,人为将一个频率大约为 30Hz 的三角波加入基带信号中,组成复合信号。用此复合信号对载波进行调频,便可使信号频谱能量扩散,使其均匀分布。

(2) 伴音信号处理过程

①伴音信号的模拟传输方式:模拟传输方式首先将伴音信号中高于视频信号的上限频率的伴音副载波进行频率调制,然后与经过预加重和能量扩散处理的图像信号,按照频分复用的方式进行相加混合成基带信号,再对中频载波进行调频。伴音信号的模拟传输采用 FM—FM(两次调频)的传输方式。

②伴音信号的数字传输方式:数字传输过程首先将伴音信号进行模/数转换,即将伴音信号经过取样、量化、编码的一系列过程,将模拟的声音信号变为数字码流,并将多路数字化后的伴音信号按时分复用方式合成一路数字信号,然后经过信号压缩、前向纠错编码及加扰码等一系列处理后,再对高于图像最高频率的伴音副载波进行相位调制。如此得到的伴音调制信号再与经过处理的图像信号合成为基带信号,最后一起对中频载波进行调制。

2. 卫星转发器

在电视广播卫星上有 C、Ku 频段转发系统,它接收来自上行发射站的信号,并且向卫星电视广播地面接收站转发下行信号。转发器由收、发天线、转发器和电源组成。转发器又由高灵敏度的宽带低噪声放大器、变频器、C、Ku 频段功率放大器等组成。

3. 地面接收站

卫星电视接收站由天线、高频头、卫星接收机等部分组成。

(1) 天线:接收来自卫星的信号。

(2) 高频头:将微弱的电磁波信号进行低噪声放大,并将它变换为频率为 950~1450MHz 的第一中频信号。

(3) 卫星接收机:卫星接收机把中频信号进行解调。选台器从 950~1450MHz 的输入信号中选出所要接收的某一电视频道的频率,并将它变换为固定的第二中频频率(通常为 479.5MHz),经中频放大和解调后得到包含视频和伴音信号在内的复合基带信号。视频信号送到视频恢复电路先过去加重处理。去加重处理,实际上是让视频信号通过一个频率响应特性与预加重频响特性相反的无源二端口网络,从而抵消预加重网络对信号产生的频谱畸变,恢复原本信号。由于在发射端对信号进行了能量扩散处理,即在视频信号中加入了 30Hz 的三角波扩散信号。因此必须在接收端进行能量去扩散处理,去除叠加在视频信号上的三角波信号,恢复视频信号的原来特性,得到正常的视频信号。伴音信号送到伴音解调器经过放大、副载波解调,去加重后得到正常的伴音信号。

1.2.3 卫星通信与广播卫星的特点

卫星通信系统由卫星和地球站两部分组成。卫星在空中起中继站的作用,即把地球站发上来的电磁波放大后再返送回另一地球站。地球站则是卫星系统与地面公众网的接口,地面用户通过地球站出入卫星系统形成链路。由于静止卫星在赤道上空 3600km,它绕地球一周时间恰好与地球自转一周(23 小时 56 分 4 秒)一致,从地面看上去如同静止不动一般。三颗相距 120 度的卫星就能覆盖整个赤道圆周。故卫星通信易于实现越洋和洲际通信。

主要优点:

(1) 覆盖面积很大,可以进行多址通信。一颗同步卫星的“直视”范围约为地球表面积的三分之一,在卫星天线波束覆盖的区域内,任一地点都可设地面站,这些地面站可共用一颗通信卫星来实现双边或多边通信,卫星广播就是利用其多边通信特点。

(2) 通信频带宽,传输容量大。早期卫星采用 C 波段频率,即上行频率:5925~6425MHz,下行频率:3700~4200MHz,带宽达 500MHz,再加上采用频率复用技术,实际可用频率达 1000MHz。随着技