

卫星通信系统

斯 国 新 编著

宇航出版社

(京)新登字181号

内 容 简 介

本书比较系统、深入地阐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的发展状况。全书共分十二章,包括绪论、通信卫星、卫星通信系统的监护和管理、卫星通信的信号传输、卫星通信的体制、调频卫星通信、频分多址方式、数字卫星通信、时分多址方式、分组通信和码分多址方式、卫星通信地球站及地球站的设计和建设和等。

本书主要供通信广播科技工作者、卫星应用研究工作者及大专院校师生学习参考。

卫 星 通 信 系 统

斯 国 新 编 著

责任编辑:张国瑞

• • •

宇航出版社出版发行

(北京和平里滨河路1号 100013)

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷(原人民交通出版社印刷厂)

*

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:31.5 字数:786千字

1993年7月第1版第1次印刷 印数:1—3500册

ISBN 7-80034-587-4/TN·054 定价:29.50元

序

近40年里，卫星通信技术飞速发展并取得了一系列的成就。卫星通信在政治、军事、经济、文化等领域显示出它的重大作用。

卫星通信不仅为经济建设、科学文化和社会生活各个领域的现代化提供了有力的工具，同时也成为一个国家达到先进科技水平的重要标志之一。可以预见，随着卫星通信技术的发展和日臻完善，它必将对人类未来经济的发展和社会的进步产生巨大而深远的影响。

我国发展卫星通信事业虽起步较晚，但发展迅速，我们是依靠自力更生、艰苦奋斗，并于1984年4月发射了自己研制生产的第一颗通信卫星的国家。经过尔后的8年努力，现已初步建成了全国性的卫星通信网，取得举世瞩目的可喜成就并跻身于世界先进之列。

卫星通信以其通信距离远、传输容量大、覆盖区域广、通信质量好、全天候工作、组网灵活、经济效益高等优势，成为国民经济领域中的高效益产业。

今天，全世界已进入信息时代，卫星通信在通信、广播、电视教育、数据传输、银行汇兑、国际旅游、交通运输、贸易谈判、商品销售等方面的应用所产生的经济效益是几倍、几十倍、甚至近百倍于它的投入，至于卫星通信所产生的社会效益就很难用数字来估计了，这是传统通信技术设备所无法比拟和达到的。

《卫星通信系统》一书主要从卫星、通信和地球站三个方面，系统而全面地介绍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。这是一本理论和实践结合、内容新颖详实、论述全面、分析清楚、表达确切并辅有实际工作所需的大量附录的非常实用的书。希望《卫星通信系统》一书的出版能帮助读者学习和掌握卫星通信技术，并对我国的通信技术与设备的现代化作出它的贡献。

张 国 端

1992年5月

前 言

卫星通信——作为现代通信的一项重要成果，它真正地走向社会，化为现实，始于60年代，即第一颗同步卫星“晨鸟”发射之时。由于卫星通信本身所具有的许多优点，如：覆盖面宽、适用于多种业务、容量大、频带宽、性能稳定可靠、不受地理条件限制、机动灵活、成本与通信距离无关等，近30年来，它一直在极大地影响着几乎是整个人类社会的政治、经济、文化等各个领域，甚至是人们的思维。特别是随着卫星通信系统自身的不断完善和提高，这种影响还正在逐步得到增强和扩大。

如今，卫星通信作为强有力的通信手段，已在国际通信、国内通信、国防通信、移动通信以及广播电视等领域，得到广泛的应用。据统计，已有一百三十几个国家和地区参加了国际通信卫星组织，许多发达国家已拥有自己的国内通信卫星，第三世界发展中国家，如印度、印度尼西亚、墨西哥、阿拉伯联盟、伊朗、巴西等都正在发展自己的卫星通信事业。

我国对卫星通信进行工程性研究，虽然起步稍晚（到70年代才开始），但发展尚快。1984年4月8日，成功地发射了静止同步试验通信卫星，这标志着我国卫星通信的初步建立。随着现代化建设的积极推进，特别是航天技术、数字技术的进步和大规模集成电路、计算机技术的发展以及用户对各种业务不断提出的新要求，卫星通信目前正在向新频段、新体制、新业务和新技术等方面进行探索，并进行各种环境实验。

基于上述情况，编撰本书的目的是为给广大从事通信科技的工作人员及大专院校的师生提供一本比较适宜的学习参考书。为了满足各种类型和不同水平的读者的需要，本书尽量做到：语言表述力求深入浅出、通俗易懂；选材力求具有理论性、实用性、系统性和方向性；内容力求从实际需要出发并结合当前通信科技水平和未来的发展趋势。

本书共分十二章，第一章简要介绍卫星通信系统的组成、特点、应用和发展；第二章着重阐述静止卫星的发射、入轨、组成和发展；第三章概括地叙述跟踪遥测分系统和监控分系统的组成和作用、卫星通信系统的管理、频率分配和使用；第四章主要研究卫星通信信号传输过程中的损耗、干扰、热噪声以及信噪比的计算；第五章扼要地讨论卫星通信体制；第六、七、八、九、十章分别对调频卫星通信、频分多址、数字卫星通信、时分多址、分组通信和码分多址进行了较深入的研究；最后两章，则主要阐述了卫星通信地球站的组成、主要性能要求以及地球站的设计和建设和等问题。

本书在编著过程中，运用了在实践和研究中多年积累的经验，参考了数十种国内外的有关著作，广泛吸取和借鉴了已有的科研成果。其中有个别段落，几乎可看作是专著的摘要。希望它能抛砖引玉。在此，谨向本书参考文献的作者，表示衷心的感谢和诚挚的敬意！也借此机会，向各位曾为本书的出版作出过贡献的同志一并表示衷心的感谢！

最后，还应说明的是：由于笔者水平所限，缺点和错误之处在所难免，敬请广大读者赐教指正。谢谢！

斯国新

1991年2月22日 于萧山

目 录

第一章 绪论(1)	2.5.2 国际通信卫星的发展(48)
§1.1 卫星通信的基本概念.....(1)	2.5.3 国内通信卫星的发展(50)
1.1.1 卫星通信的定义(1)	附录2-1 卫星轨道的分类(50)
1.1.2 微波接力通信的基本原理(2)	附录2-2 4/6GHz静止卫星的轨道位置分布(51)
1.1.3 卫星中继站(4)	附录2-3 IS系列通信卫星简介.....(52)
§1.2 卫星通信的特点.....(5)	第三章 卫星通信系统的监护和管理(55)
1.2.1 卫星通信与宇宙通信的关系(5)	§3.1 跟踪遥测指令分系统.....(55)
1.2.2 卫星通信的优点(5)	3.1.1 跟踪遥测指令分系统的组成(55)
1.2.3 卫星通信的缺点(6)	3.1.2 跟踪遥测指令站(TT&C).....(55)
§1.3 卫星通信系统的组成和分类.....(7)	3.1.3 卫星控制中心.....(58)
1.3.1 卫星通信系统的组成(7)	3.1.4 工程业务传输线路(58)
1.3.2 卫星通信系统的分类(8)	§3.2 监控分系统.....(58)
§1.4 卫星通信的应用和发展.....(9)	3.2.1 监控分系统的组成(59)
1.4.1 卫星通信的发展简史(9)	3.2.2 监控分系统的工作过程(60)
1.4.2 卫星通信的实际应用(10)	3.2.3 监控分系统的例行监控(61)
1.4.3 卫星通信的军事价值(12)	3.2.4 监控站(62)
附录1-1 世界主要宇宙通信实验记录(13)	§3.3 卫星通信系统的管理.....(62)
附录1-2 国防卫星通信系统(DSCS)(14)	3.3.1 管理组织的构成(62)
第二章 通信卫星(16)	3.3.2 卫星通信管理中心(63)
§2.1 卫星的轨道.....(16)	3.3.3 卫星通信系统的业务联络(64)
2.1.1 卫星运动的基本规律(16)	§3.4 卫星通信频率的分配和使用.....(65)
2.1.2 轨道运动的参数(19)	3.4.1 频率的分配(65)
2.1.3 轨道的分类(20)	3.4.2 频率范围选择的依据(65)
2.1.4 轨道的有效利用(21)	3.4.3 当前卫星通信使用的频段(63)
§2.2 卫星的发射.....(22)	附录3-1 卫星通信业务频率分配表(69)
2.2.1 卫星的发射过程(22)	附录3-2 世界无线电行政会议的频率分配 表.....(71)
2.2.2 卫星波束覆盖的范围(24)	附录3-3 对发射功率等指标的主要限制(74)
2.2.3 传输时延和回波抑制器(25)	附录3-4 静止卫星系统固定卫星业务中干 扰噪声的主要限制(75)
2.2.4 方位角、仰角和距离的计算(27)	附录3-5 微波频段的划分(76)
§2.3 影响卫星在轨的因素.....(30)	第四章 卫星通信的信号传输(77)
2.3.1 卫星的宇宙环境(30)	§4.1 信号传输的一些基本概念.....(77)
2.3.2 卫星的摄动(31)	4.1.1 天线增益(77)
2.3.3 星蚀和日凌中断(32)	4.1.2 有效全向辐射功率(78)
2.3.4 轨道平面的倾斜效应(33)	4.1.3 载波噪声功率比(79)
§2.4 通信卫星的组成和功能.....(35)	4.1.4 门限载噪比(79)
2.4.1 天线分系统(36)	4.1.5 通信距离方程(80)
2.4.2 通信分系统(41)	§4.2 信号传输损耗.....(81)
2.4.3 控制分系统(43)	4.2.1 自由空间传播损耗 L_f(81)
2.4.4 遥测指令分系统(46)	4.2.2 大气吸收损耗 L_a(82)
2.4.5 电源分系统(47)	
§2.5 通信卫星的分类和发展.....(47)	
2.5.1 通信卫星的分类(74)	

4.2.3	天线极化误差损耗 L_p	(83)	5.5.4	提高通道利用率的措施.....	(138)
4.2.4	天线指向误差损耗 L_r	(84)	5.5.5	通道分配中的控制方式.....	(139)
4.2.5	降雨损耗及门限余量.....	(85)	附录5-1	四种多址联接方式的比较.....	(142)
§4.3	热噪声.....	(86)	第六章	调频卫星通信	(143)
4.3.1	系统噪声分类.....	(86)	§6.1	频率调制的几个基本问题.....	(143)
4.3.2	等效噪声温度.....	(87)	6.1.1	调频波的传输带宽.....	(143)
4.3.3	馈线和天线的噪声.....	(89)	6.1.2	普通FM解调器的输出信噪比.....	(145)
4.3.4	级联网络的噪声.....	(90)	6.1.3	门限扩展解调器.....	(147)
§4.4	交扰调制噪声.....	(93)	§6.2	FDM/FM电话信号.....	(152)
4.4.1	引起交调噪声的因素.....	(93)	6.2.1	多路电话系统的测量单位.....	(152)
4.4.2	振幅特性非线性引起的互调.....	(93)	6.2.2	多路电话信号的主要特性.....	(154)
4.4.3	幅/相转换效应的定性讨论.....	(95)	6.2.3	多路电话信号调频波的频偏.....	(158)
4.4.4	幅/相转换效应的定量分析.....	(96)	6.2.4	调频电话信号的传输带宽.....	(160)
4.4.5	交调噪声的进一步讨论.....	(97)	§6.3	调频电话信号传输中的若干问题.....	(161)
§4.5	卫星通信线路中的载噪比.....	(100)	6.3.1	加权和语音压扩技术.....	(161)
4.5.1	载噪比的计算公式.....	(100)	6.3.2	预加重技术.....	(163)
4.5.2	上行线路的载噪比.....	(102)	6.3.3	FM话路的信噪比及最佳频偏的选 取.....	(167)
4.5.3	下行线路的载噪比.....	(104)	§6.4	调频电视信号的传输.....	(170)
4.5.4	卫星通信线路的总载噪比.....	(105)	6.4.1	电视信号的传输方式.....	(170)
4.5.5	载噪比计算举例.....	(107)	6.4.2	电视信号传输的基本特性.....	(173)
附录4-1	上行、下行线路参数举例.....	(109)	6.4.3	电视信号的调频传输带宽.....	(178)
第五章	卫星通信的体制	(110)	6.4.4	电视线路的测试波形.....	(179)
§5.1	概述.....	(110)	6.4.5	电视线路的加权和加重.....	(182)
5.1.1	通信体制的概念.....	(110)	6.4.6	电视线路信噪比的计算.....	(187)
5.1.2	卫星通信体制的内容.....	(111)	§6.5	调频卫星通信线路的设计.....	(191)
5.1.3	卫星通信体制的类型.....	(112)	6.5.1	调频卫星通信线路的噪声分配.....	(191)
§5.2	多路复用方式.....	(112)	6.5.2	调频多路电话的设计.....	(193)
5.2.1	频分多路复用(FDM)方式.....	(113)	6.5.3	调频电话线路设计举例.....	(196)
5.2.2	FDM电话信号频谱的安排.....	(115)	6.5.4	调频电视线路的设计.....	(199)
5.2.3	时分多路复用(TDM)方式.....	(116)	附录6-1	电视线路测量加权噪声时用的滤 波器.....	(200)
§5.3	调制方式.....	(117)	附录6-2	电视线路加权与加重改善系数.....	(202)
5.3.1	调制的概念和种类.....	(117)	附录6-3	伴音加权网络的频响及容差.....	(203)
5.3.2	调制方式选择的依据.....	(119)	第七章	频分多址(FDMA)方式	(204)
5.3.3	数字调制方式的主要指标.....	(119)	§7.1	频分多址的基本原理和方式.....	(204)
5.3.4	几种常用的调制方式.....	(120)	7.1.1	FDMA的基本原理和特点.....	(204)
§5.4	多址联接方式.....	(121)	7.1.2	FDMA的基本方式.....	(205)
5.4.1	多址联接方式的概念.....	(121)	7.1.3	多路复用的FDMA方式.....	(207)
5.4.2	多址联接方式实现的依据.....	(121)	§7.2	频分多址系统中的互调.....	(210)
5.4.3	几种常用的多址联接方式.....	(125)	7.2.1	行波管放大器非线性性的影响.....	(210)
§5.5	通道分配方式.....	(128)	7.2.2	互调的基本分析.....	(212)
5.5.1	通道分配方式的概念和种类.....	(128)	7.2.3	能量扩散去调.....	(217)
5.5.2	几种常见的通道分配方式.....	(129)	7.2.4	幅/相预失真校正去调.....	(221)
5.5.3	转发器通道数和地球站载波数的计 算.....	(134)			

§7.3 卫星电视广播系统	(224)	8.5.1 概 述	(304)
7.3.1 卫星电视广播的发展	(224)	8.5.2 差错控制编码	(305)
7.3.2 卫星电视广播系统的构成	(225)	8.5.3 差错控制与调制的关系	(306)
7.3.3 卫星电视广播系统的特点	(226)	8.5.4 检错重发(ARQ)技术	(308)
7.3.4 系统中应注意的几个问题	(227)	8.5.5 前向纠错(FEC)技术	(310)
7.3.5 卫星电视广播线路参数的计算	(230)	§8.6 数字信号的能量扩散技术	(315)
§7.4 SPADE系统	(232)	8.6.1 移相键控信号的频谱	(315)
7.4.1 SPADE系统的基本原理	(232)	8.6.2 扰码技术的应用	(315)
7.4.2 SPADE系统的特点	(236)	8.6.3 TDMA方式的能量扩散	(317)
7.4.3 SPADE系统的组成和作用	(236)	8.6.4 线路中 $[C/n_0]_t$ 与 $[E_b/n_0]_{t,h}$ 的	
7.4.4 SPADE系统通信的建立	(240)	关系	(318)
7.4.5 语音激活技术	(242)	附录8-1 CCITT规定的数据结构标准	(320)
§7.5 SCPC系统	(246)	附录8-2 几种调制方式的特点比较	(322)
7.5.1 SCPC系统的特点	(246)	附录8-3 BCH码的参数 n 、 k 和 t	(323)
7.5.2 预分配的PSK/SCPC系统	(247)	第九章 时分多址(TDMA)方式	324
7.5.3 频漂的消除	(250)	§9.1 TDMA的基本概念和特点	(324)
7.5.4 预分配的FM/SCPC系统	(253)	9.1.1 TDMA的特点	(324)
7.5.5 SCPC系统线路的计算	(253)	9.1.2 帧与帧结构	(325)
附录7-1 由于振幅非线性而产生的可能落		9.1.3 系统定时	(326)
入通带内的各频率分量和幅度		9.1.4 实现突发式发射与接收的方法	(327)
.....	(258)	§9.2 帧长的选择	(329)
第八章 数字卫星通信	(259)	9.2.1 系统的钟速率 R	(330)
§8.1 概 述	(259)	9.2.2 取样周期与帧周期的关系	(331)
8.1.1 数字卫星通信的模型	(259)	9.2.3 分帧长度 T_b	(331)
8.1.2 数字卫星通信的特点	(260)	9.2.4 帧效率 η_f	(332)
8.1.3 数字卫星通信的方式	(260)	9.2.5 帧长的选择	(333)
8.1.4 主要通信方式的比较	(261)	§9.3 初始捕获、分帧同步及报头检测	(334)
§8.2 数字基带信号的处理	(262)	9.3.1 初始捕获的方法	(334)
8.2.1 数字语音的处理	(262)	9.3.2 同步方法和同步精度	(336)
8.2.2 数字伴音的处理	(270)	9.3.3 初始捕获与分帧同步举例	(338)
8.2.3 数据的处理	(274)	9.3.4 独特码及其检测	(342)
§8.3 数字调制技术	(279)	9.3.5 载波与比特定时恢复	(346)
8.3.1 PSK调制方式	(279)	§9.4 TDMA的终端设备	(351)
8.3.2 MSK调制方式	(284)	9.4.1 TDMA终端设备的构成	(351)
8.3.3 相位模糊问题的解决	(287)	9.4.2 公共TDMA终端设备(CTTE)	(351)
8.3.4 提高频带利用率的调制方式	(290)	9.4.3 地面接口设备(TIE)	(355)
8.3.5 几种数字调制方式的比较	(293)	9.4.4 突发信号的调制解调设备(BM)	(358)
8.3.6 调制与解调方式的选取	(295)	§9.5 卫星交换/时分多址(SS/TDMA)方	
§8.4 数字语音内插技术	(297)	式	(359)
8.4.1 概 述	(297)	9.5.1 SS/TDMA的基本特点	(359)
8.4.2 数字式TASI方式	(298)	9.5.2 SS/TDMA的帧同步	(361)
8.4.3 SPEC方式	(301)	9.5.3 SS/TDMA的工作方式	(362)
8.4.4 DSI的帧结构举例	(303)	9.5.4 SS/TDMA的交换矩阵	(364)
§8.5 差错控制技术	(304)	§9.6 TDMA线路的设计和计算	(365)

9.6.1 转发器工作点的选择	(365)	§11.3 地球站的发射系统	(427)
9.6.2 线路计算的基本公式	(367)	11.3.1 发射系统的组成和功能	(427)
9.6.3 TDMA系统容量的估算	(368)	11.3.2 发射系统的放大设备	(428)
9.6.4 线路参数的一般计算	(370)	11.3.3 发射系统的其他设备	(435)
9.6.5 TDMA线路设计举例	(372)	11.3.4 发射系统的主要技术要求	(439)
附录9-1 TDMA系统一览表	(374)	§11.4 地球站接收系统	(440)
附录9-2 IS-V 晴朗天气时TDMA线路的 计算	(375)	11.4.1 接收系统的组成和功能	(441)
第十章 分组通信和码分多址方式	(376)	11.4.2 接收系统的放大设备	(441)
§10.1 分组(Packet)通信方式	(376)	11.4.3 接收系统的其他设备	(447)
10.1.1 Packet方式的提出	(376)	11.4.4 接收系统的主要技术要求	(449)
10.1.2 P/ALOHA方式	(377)	§11.5 地球站终端设备和通信控制系统	(450)
10.1.3 S/ALOHA方式	(380)	11.5.1 终端设备的组成和功能	(450)
10.1.4 R/ALOHA方式	(382)	11.5.2 电话载波终端设备	(451)
§10.2 码分多址(CDMA)方式	(384)	11.5.3 电视终端设备	(452)
10.2.1 CDMA的基本原理	(384)	11.5.4 通信控制系统	(453)
10.2.2 CDMA 实现的条件	(385)	§11.6 地球站电源系统	(454)
10.2.3 CDMA的主要特点	(387)	11.6.1 电源的种类和要求	(454)
§10.3 直接序列调相/码分多址方式	(389)	11.6.2 不停电电源系统	(456)
10.3.1 系统的组成和工作过程	(389)	11.6.3 地球站的接地装置	(461)
10.3.2 DS/CDMA系统的性能分析	(392)	附录11-1 地球站各种天线的比较	(465)
10.3.3 DS/CDMA的地址码设计	(398)	第十二章 地球站的设计和建设	(468)
10.3.4 DS/CDMA方式的同步	(403)	§12.1 地球站收、发信机的设计	(468)
§10.4 跳频/码分多址方式	(410)	12.1.1 收、发信机设计的依据	(468)
10.4.1 FH/CDMA方式的特点	(410)	12.1.2 收信机的总体设计	(468)
10.4.2 跳频图案的设计	(411)	12.1.3 发射信机的总体设计	(469)
10.4.3 跳频扩频用的频率合成器	(412)	12.1.4 关于中频的选择	(470)
§10.5 其他多址方式	(414)	12.1.5 关于电磁兼容性的考虑	(473)
附录10-1 m 序列发生器反馈系数	(415)	§12.2 地球站站址的选择	(475)
附录10-2 $n \leq 11$ 本原多项式系数及首根指 数	(416)	12.2.1 选择站址的一般条件	(475)
附录10-3 DS/CDMA与FH/CDMA的比 较	(417)	12.2.2 电磁干扰因素	(476)
第十一章 卫星通信地球站	(418)	12.2.3 地理因素	(478)
§11.1 概述	(418)	12.2.4 气象条件	(479)
11.1.1 地球站的种类	(418)	12.2.5 后勤保障与安全因素	(480)
11.1.2 地球站的组成	(418)	§12.3 地球站的布局	(481)
11.1.3 地球站的性能指标	(418)	12.3.1 布局时应考虑的因素	(481)
§11.2 天线馈电系统	(420)	12.3.2 地站布局举例	(482)
11.2.1 天馈系统的组成和功能	(420)	§12.4 地球站的建设和维护	(484)
11.2.2 天线的种类	(421)	12.4.1 地球站的建设费用	(484)
11.2.3 天线的主体设备	(422)	12.4.2 地球站的维护费用	(484)
11.2.4 馈电设备	(423)	12.4.3 地球站的运转和维护	(485)
11.2.5 天馈系统的主要技术要求	(425)	附录12-1 CCIR 对发射功率、干扰、运用 条件等的限制	(486)
		主要参考文献	(487)
		英文缩写名词	(489)

第一章 绪论

用任何方法，通过任何媒质将信息从一地传送到另一地，从广义上讲，均可称为通信。随着社会的发展，为了适应远距离传送多种信息（如语言、文字、图像、数据等）的需要，人们采用了用电信号通过电信道来传递信息的方式，这就是近代的通信系统。

按传送信息的媒质不同，通信可分为两大类：一类叫有线通信，它是利用导线来完成信息传递的一种通信方式；另一种叫无线电通信，它是利用无线电波在空间传播来完成信息传递的一种通信方式。

无论何种通信，都是为了完成信息的传递任务。因此，所有的通信系统都可以由图1-1加以概括。该图反映了通信系统的共性，一般称为通信系统的模型。通常，根据人们研究的对象及关心的问题不同，它还可以给出不同形式的较为具体的通信系统模型。

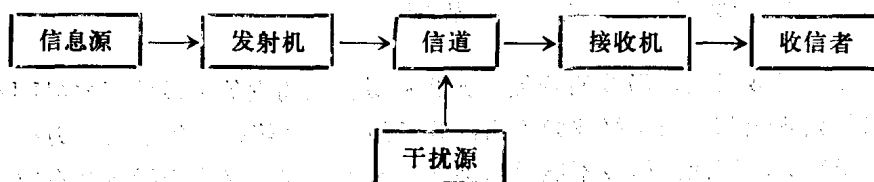


图1-1 通信系统的模型

§1.1 卫星通信的基本概念

1.1.1 卫星通信的定义

什么是卫星通信？简而言之，就是利用人造卫星作为中继站，进行地球上（包括地面、海洋和空中）无线电台、站之间的通信。图1-2给出了利用卫星进行通信的示意图。

假定处于中央机关的某一用户甲，打电话给位于边远地区某移动站附近的另一用户乙。甲用户的话音信号，经过一定途径送到中央站，使其基带信号调制在微波射频频上，经由天线发向卫星。卫星收到该信号后，作频率变换、放大等必要的处理，转发给边远地区的某移动站。

移动站收到卫星转发来的信号后，进行解调，还原为基带信号，经过必要的转接，送给被呼叫的乙用户。若移动站的用户有情况报告中央用户，也要经过类似的过程。

应指出，由于各通信站天线均瞄准卫星，从技术上讲，各站之间都是通过卫星来进行通信的，因此，卫星起了非常关键的中转作用。

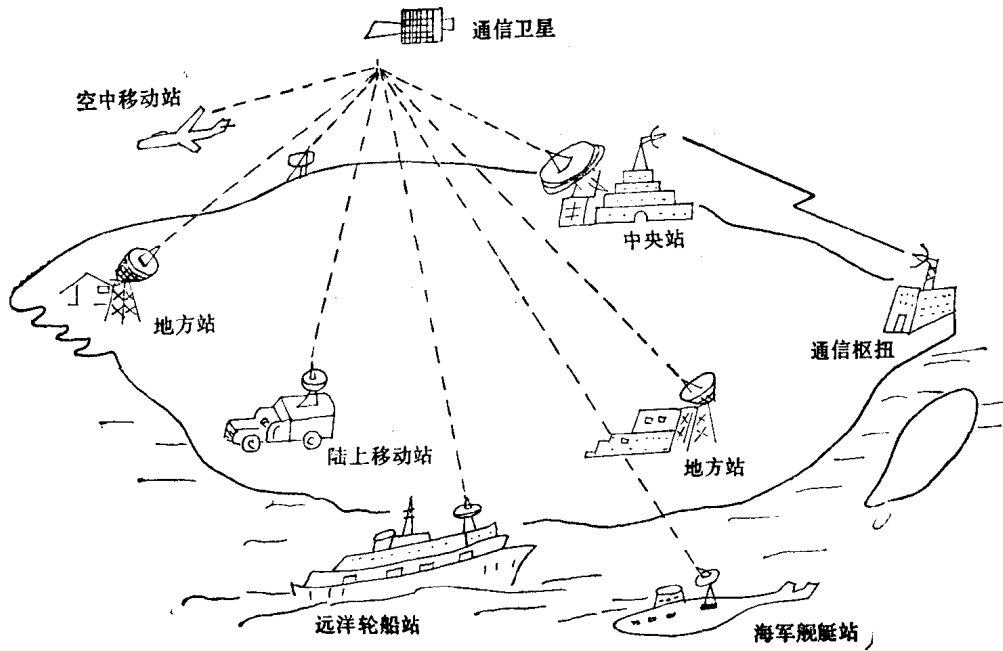


图1-2 卫星通信示意图

1.1.2 微波接力通信的基本原理

卫星通信属于微波通信。微波的特征与光波相似。因为它的频段处于300MHz~300GHz之间，其高端与光波毗邻。由于微波频率高，波长短，遇到障碍时的绕射能力很弱，电波沿地表面传播衰减很大，因此，微波不能采用地面波传播方式。又由于微波具有穿透电离层的能力，因此，也不能采用天波传播方式。所以微波一般都使用视距通信方式，即只有在微波发射台的电磁波直线传播所能到达（视线所及）的区域内设立接收站，才能接收到信号的通信方式。这一功能通常由微波站来完成。

微波站是架设在地面上的，因此，不可避免地要受到地形地物的影响，即使没有高山、建筑物的障碍，由于地球曲率也会给收、发站之间的距离带来限制。参阅图1-3(a)。显然，天线越高，视距越远。在理想化的情况下，当两站的天线高度各为 h_1 、 h_2 (m)时，最大的视距可按图1-3(b)所示求得：

$$s \approx 3.57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (\text{km}) \quad (1-1)$$

式中， h_1 、 h_2 的单位为m； s 的单位为km。若天线架高为50m，则 s 约等于50km。

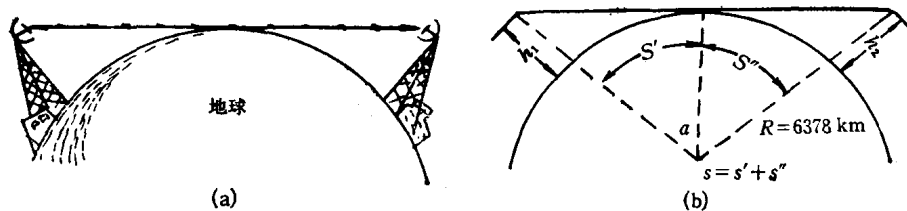


图1-3 地球曲率对微波视距通信的影响

如果通信的距离需要加长，达到数百、数千及至上万公里时，那么，在两个远距离通信站之间，每隔四、五十公里就必须再架设一个接力中继站，这些站的任务是：将前一站送来的信号转送给下一站，这样一程又一程地接续下去，就像接力棒一样，最后传到目的地。

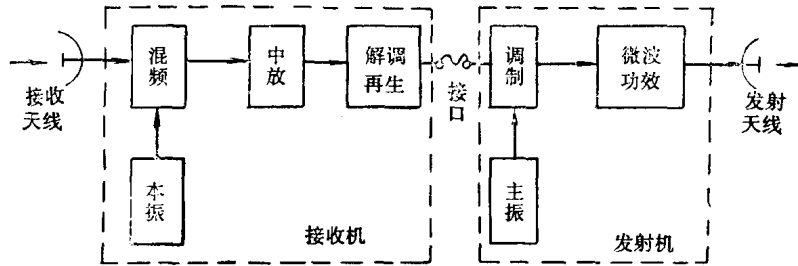


图1-4 有源微波接力站简化方框图

中间站可以是有源的，也可以是无源的。所谓有源微波接力站，是指具有能放大信号功率和其他某些作用的收、发设备。图1-4给出的就是一种微波接力站（有源）的简化方框图。除此而外，还有其他形式的组成方框图，如没有经过解调和再调制的中频转接、微波转接等。所谓无源接力站，是指利用金属板、金属网使微波反射、绕射，改变电磁波的传输方向，进行转接。显然，在长距离通信中，常用的是有源接力站。图1-5比较形象地表示了这种接力的情况。

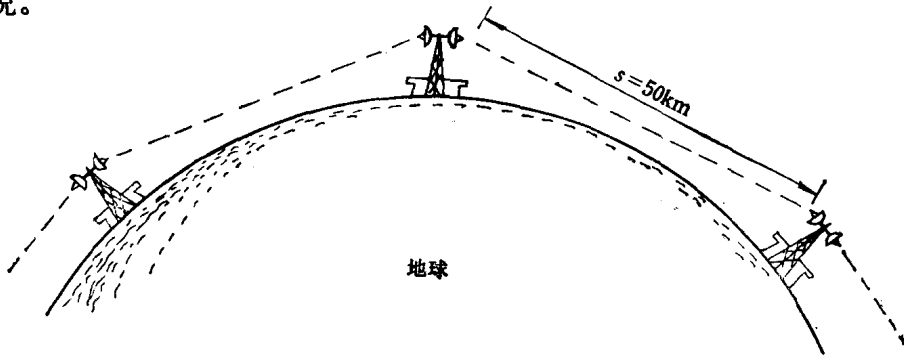


图1-5 利用微波接力实现远距离通信

当然，如果通信距离极远，如在 18000km 之间，这种接力站需架 360 个，代价高昂，而且，经过多次转接，通信质量要受影响；在某些场合下，即使通信距离不远，例如从海南岛到西沙群岛，在海洋上建站也是难以实现的，所以，光靠增加接力站数，并不能实际问题。

1.1.3 卫星中继站

人们曾经想过，通过增加中继站的架设高度，来扩大通信范围，从而减小接力站的个数。比如说，设想将中继站架到离地球表面约 35800km 的高度上，则在地面上相距 18000km 左右的两个微波站（它们的天线高度可以很低）只需通过一次转接，便可通信。

这种设想很快便被否定了。因为用普通的铁塔将天线架得这么高，是不可能的。但是，1957 年发射第一颗人造卫星之后，这个任务却被同步卫星完成了。图1-6给出了利用人造卫星作中继站的示意图。

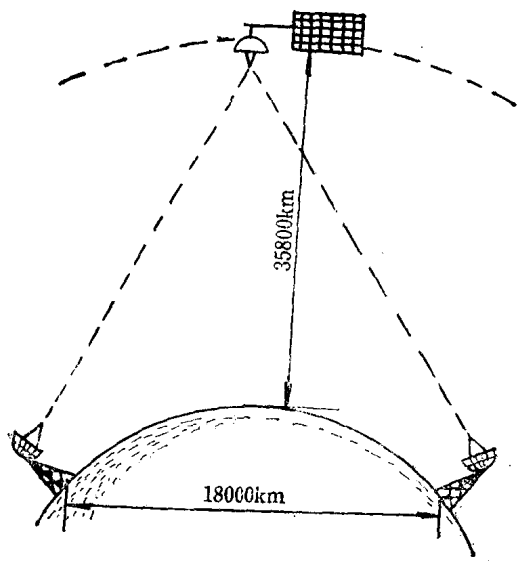


图1-6 利用人造卫星作中继站

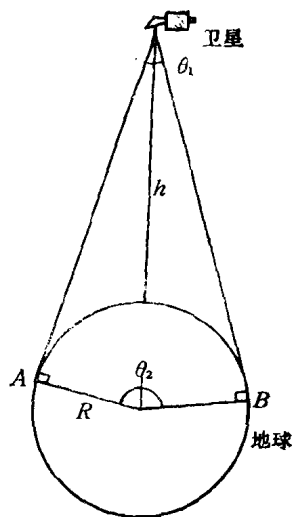


图1-7 卫星通信最大距离的计算

对于配置在不同的高度上的卫星，由图1-7可以得知，其最远的单跳通信的地面距离可以按下式计算：

$$\widehat{AB} = R\theta_2 = R \left(2 \arccos \frac{R}{R+h} \right) \quad (\text{km}) \quad (1-2)$$

式中， R 为地球半径，等于6378km； θ_2 为 \widehat{AB} 所对的圆心角(rad)； h 为通信卫星到地面的高度，单位为km。比如，当 $h = 500\text{km}$ ， $\theta_2 = 0.767$ 弧度时，按上式可求得：

$$\widehat{AB} = 6378 \times 0.767 = 4892(\text{km})$$

当 $h = 35800\text{km}$ ， $\theta_2 = 2.838$ 弧度时，又可求得：

$$\widehat{AB} = 6378 \times 2.838 = 18100(\text{km})$$

如同微波中继站可分为有源和无源两种一样，通信卫星也可以分为有源和无源两种。无源卫星，是靠卫星的金属表面对无线电电波的反射作为中继，就是说，卫星本身只起反射体作用。它将地球发射站发来的电磁波反射给地球接收站，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方向性，接收站收到的信号功率是极微弱的，通信质量往往很差。有源卫星，其星上装有电子设备，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，再转发回地球。这是一种可以部分补偿传播及其它损耗的有增益的中继。

通常，卫星通信要用微波频段作射频，其原因是：① 它能获得较大的通信容量；② 它能穿透电离层，因为通信卫星处于外层空间，即电离层之外，地球上发射的电磁波必须能够穿透电离层，才能到达卫星，反之，从卫星到地球上的通信站也是如此。

§1.2 卫星通信的特点

1.2.1 卫星通信与宇宙通信的关系

宇宙无线电通信是指以宇宙飞行体为对象的无线电通信，简称宇宙通信或空间通信。通常，它有三种形式：① 地球站与宇宙站之间的通信；② 宇宙站之间的通信；③ 通过宇宙站的转发或反射来进行的地球站相互间的通信，即卫星通信。

这里，宇宙站是指设在地球大气层之外的宇宙飞行体（如人造卫星、宇宙飞船等）或其他天体（如月球、行星等）上的通信站。地球站是指设在地球表面（包括海洋上、地面上和大气层中）用以进行空间通信的设施。用来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。

宇宙无线电通信业务包括有：宇宙研究业务、宇宙运用业务、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、无线电测绘卫星业务、广播卫星业务；固定卫星业务（地球站站址固定）、移动卫星业务（地球站站址是移动的）等。其中，宇宙运用业务是指有关飞行体的跟踪、遥测、遥控的宇宙无线电通信业务。电波天文业务是指宇宙传来的噪声电波的接收监测业务，广义地说，它也是一种重要的宇宙通信业务。

按照国际无线电咨询委员CCIR规定，宇宙通信的频带为275GHz。CCIR还修订了关于宇宙无线电通信技术标准，并且对宇宙无线电通信的术语及其定义作了统一的规定。卫星通信和宇宙通信的关系归结如下：

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飞行体，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和星外通信在未来通信中将起重要的作用。

② 卫星通信必须遵守CCIR为宇宙通信判定的无线电规范，工作频率必须在分配的频段中选取，以便和其他宇宙通信系统保持协调。

1.2.2 卫星通信的优点

卫星通信与其他通信方式相比较，有如下优点：

1. 传播距离远，覆盖面积大

地面微波传播由于受地球表面弧度的影响不可能传播很远，而且考虑到地面吸收以及要穿透电离层不再返回等的因素，微波只能在视距范围内传播，一般地，就在50 km左右。但是，卫星通信却不受这些条件限制。通常，由卫星到地球站之间的传输距离约是两个微波中继站间距离的800倍。这比地面通信电磁波的传播距离要远得多。

在微波中继通信中，一条线路上的某个中继站，它的服务区是一条线。卫星通信则不同，由于卫星静止悬挂在高空中，天线波束能够发射到地球表面的很大一部分区域。这部分区域就叫覆盖区，这个覆盖区不是一条线，而是一大片面积。在覆盖区内任何一个地方都能接收到卫星转发下来的电波。

2. 通信回路灵活

地面微波通信要考虑地势情况，要避免高空遮挡，在高空中、海洋上都不可能实现通信，而卫星通信解决了这个问题，具有较大的灵活性。参见图1-2所示。

3. 通信容量

无论何种通信方式，要提高通信容量的一个重要条件是增大通信频带。由于技术上的原因，通信线路的工作频率越高（即载频越高），信号所占用的通信频带就越宽。卫星通信使用的频段一般为：4/6GHz、14/12GHz、20/30GHz等，工作频率很高，因此，其通信容量也相对地很大。比如：IS-V卫星可容纳1万多路双工电话和2路彩色电视。

此外，卫星通信还可实行频率复用、点波束等新技术，来增加通信容量。

4. 可进行多址通信

多址通信也叫多元联接，即若干个地球站通过一颗卫星同时进行通信，这是卫星通信的一个重要特点。

5. 通信质量高、稳定可靠

从电波传输角度看，采用微波传输，能直接穿透大气层，且所经路径几乎全在大气层以外的宇宙空间，因为大气层主要部分仅仅几十公里左右，它相对于40000km的路程只是很小的一部分，而宇宙空间差不多是一种理想的真空状态，电波传播稳定，几乎不受气候和气象变化的影响。地面微波中继通信，电波在大气层中内层空间进行传播，由于受到大气折射、地面反射等的影响，因此，质量不及卫星通信。

另外，地面微波中继通信容易受破坏（如风雨、地震、战争等），而卫星通信比较灵活可靠，不易遭受破坏。

1.2.3 卫星通信的缺点

凡事总有其两个方面，有其长处，必有其不足。卫星通信具有比其他通信方式无可比拟的优点，但也存在着不少缺点和需要进一步改进之处。

1. 要有高可靠、长寿命的通信卫星

要做到这一点很不容易。因为一个通信卫星容积有限，而在这样小的卫星内装进千万个电子元件和机械零部件并非易事。此外，在这些元器件中，无论哪一个出了故障，都可能引起整个卫星的失效。更为困难的是：一旦卫星发射出去，就再也无法派人去维修和替换，何况它们在发射过程中以及在轨道上所处的环境也是非常恶劣的，甚至有一些因素还无法预计到。所有这些都将会影响卫星的寿命。为了解决这些问题，人们在制造和装配的时候，不得不作大量的寿命和可靠性方面的试验。尽管如此，目前通信卫星的寿命由于受到元器件寿命等的限制，一般为3~7年。

2. 要求地球站有大功率发射机和高灵敏度接收机

一颗通信卫星通常只能以几瓦至二十几瓦的发射功率向大面积的覆盖区内辐射，这比微波中继站只向一个方向集中辐射的能量要分散得多，加上36000多公里的路程损耗，因此，卫星转发到地球的信号是相当微弱的。如果在卫星上装配大功率放大器，势必会给卫星的发射、卫星的电源增加更大的困难。为了补救这个缺点，地球站必须采用有效面积很大的天线、大功率发射机和高灵敏度接收机，这样做，就必然使得地球站变得非常庞大，造价极其昂贵。

3. 具有较大的信号延迟和回声干扰

虽然无线电波在自由空间中传播的速度很快，相当于光速，30万公里每秒，但由于卫星与地球站之间的距离相当遥远，在进行双向通信时，信号往返共达16800km，这时，无线电波需要传播0.6s左右的时间。因此，信号时间延迟较大。

另外，在卫星通信线路中，电话信号的传输也是通过四线制传播的。当四线制线路与二线制的市内电话线路连接时，需要接入一个二线与四线相互转换的耦合电路，这就是混合线圈。如图1-8所示。在理想情况下，四线制的收、发线路之间应该是完全去耦的，彼此互不干扰。但实际上，由于二线端与平衡网络间的阻抗得不到匹配，结果在收信端B的发话线圈 L_B 内感应出发信端A送来的发话电流。这个电流经过卫星线路又返回到A端发话人的耳中，产生回声。这个回声信号经过卫星线路往返被延迟了

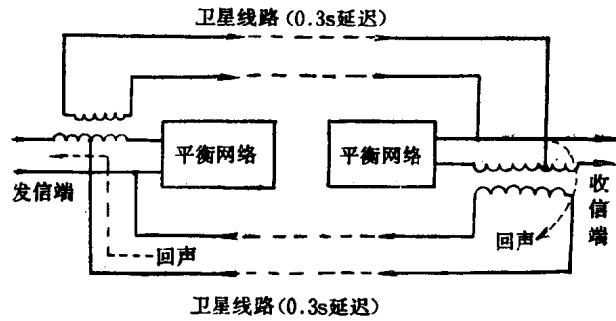


图1-8 回声干扰示意图

0.6s左右，结果就形成了对发话人的回声干扰，使发话人听到自己讲话。为解决这个问题，一般需在电路上加回声抑制器。回声抑制器是利用话音电流的有无（即通话有无），自动地开通与关闭卫星线路；从而使回声无法反射回来。其具体实现请参阅2.2.3小节所述。

§1.3 卫星通信系统的组成和分类

1.3.1 卫星通信系统的组成

卫星通信系统包括通信和保障通信的全部设备。主要由：空间分系统、通信地球站、跟踪遥测和指令分系统及监控管理分系统四大部分组成。如图1-9所示。其各部分的主要功能有：

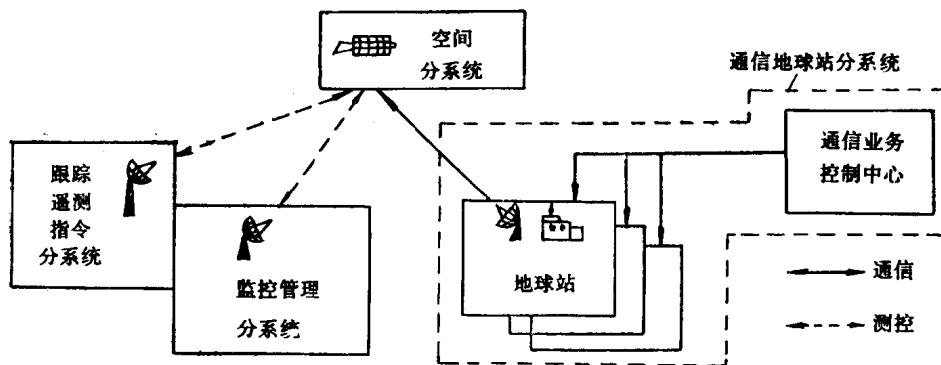


图1-9 卫星通信系统的基本组成

① 跟踪遥测指令分系统：对卫星进行跟踪测量，控制其准确进入同步轨道并到达指定位置，待卫星正常运行后，定期对卫星进行轨道修正和位置保持，必要时，控制通信卫星返回地面等。

② 监控管理分系统：对在轨道定点上的卫星进行业务开通前、后的监测和控制，如卫星转发器功率、卫星天线增益、以及各地球站发射的功率、射频和带宽等基本的通信参数，以保证网络的正常通信。

③ 空间分系统：空间分系统是由主体部分的通信系统和保障部分的遥测指令和控制系统以及能源（包括太阳能电池和蓄电池）等组成。如图1-10所示。如前所述，通信卫星主要是起无线电中继站的作用，它是靠星上通信系统的转发器（微波收、发信机）和天线来完成的。一个卫星的通信系统可以有一个或多个地球站信号。显然，当每个转发器所能提供的功率和带宽一定时，转发器越多，卫星通信系统的容量就越大。

④ 地球站：它是微波无线电收、发信台（站）。由它组成卫星通信网络，用户通过它接入卫星线路，进行通信。

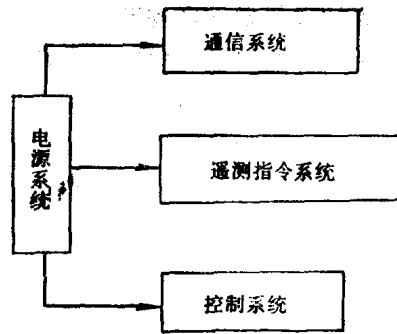


图1-10 空间分系统的组成

1.3.2 卫星通信系统的分类

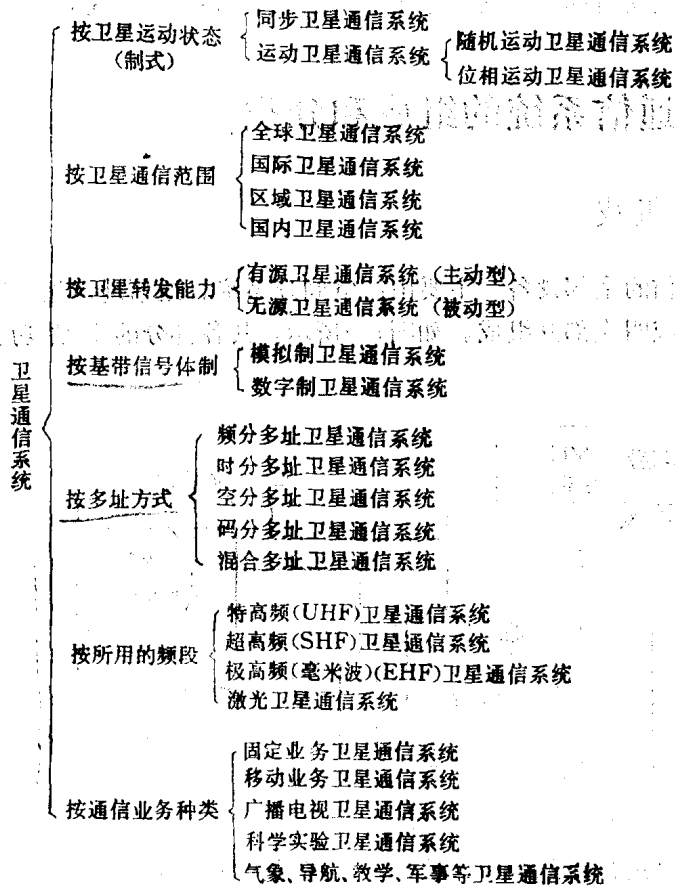


图1-11 卫星通信系统分类

宙研究探测卫星通信系统、气象卫星通信系统、导航卫星通信系统、教学电视卫星通信系

卫星通信系统的分类方法很多，可以按照卫星的运动状态，卫星的通信范围、卫星的转发能力，基带信号的体制、多址方式、通信业务种类以及卫星通信所用的频段的不同来区分。典型的分类方法如图1-11所示。

按照通信卫星的轨道和相对于地球的运动状态分，有同步卫星通信系统和运动卫星通信系统之分。后者又有随机和位相卫星通信系统之分。

按照通信卫星的结构或转发无线电信号的能力，卫星通信系统可分为有能量放大作用的有源卫星通信系统或叫主动卫星通信系统，以及只起反射无线电波作用的无源卫星通信或叫被动卫星通信系统。

按照通信业务种类和用途，还可分为电话、电报、传真、数据传输和电视转播等综合业务卫星通信系统、电视转播卫星通信系统、宇宙

统以及军事卫星通信系统等。

总之，卫星通信系统可以有很多种分法，但无论怎样划分，都离不开卫星通信的性质、用途和特点。如果将以上划分综合起来，便可较全面地描绘出某一具体的卫星通信系统的特征来。

§1.4 卫星通信的应用和发展

1.4.1 卫星通信的发展简史

卫星通信是一项新兴的通信技术。自卫星通信系统出现以来，世界各国都予以极大的关注，尤其是一些技术发达的国家，投入了大量的人力物力从事这一领域的研究工作。美国、苏联每年用于研制和发展人造卫星的经费占国民总收入的1%~2%。由于人们的重视，卫星通信技术得到了迅速发展。如今，人们坐在家就可以收看世界任一地方的电视实况转播，可以与远隔重洋的亲人通话，甚至国家首脑出访也可以带上小型地球站，随时与国内取得联系。这些，都靠运行于宇宙空间的人造卫星进行中继。下面谈谈卫星通信的发展过程。

1. 卫星通信的设想和实验

早在1945年，英国的一个名叫克拉克的科学家就提出了卫星通信的设想。他说，在地球赤道35860km的高度上，均匀地放置三颗卫星，卫星天线波束宽度为 17° ，那么，就可以构成全球性的卫星通信网。如图1-12所示。

这种设想在通过后来的实践，证明是正确的。但是，由于当时火箭技术还十分落后，发射卫星的运载工具无法解决，卫星的测量、控制以及所要求的电子技术仍未达到相应水平，所以，在当时实现这种设想是不可能的。

第二次世界大战后的1946年，人们应用雷达技术第一次接收到来自月球的回波；1957年初，又利用月球表面反射进行电话电波的接收试验，但证明这在通信上无实用价值。直到1957年10月，苏联发射了第一颗人造地球卫星，才使卫星通信进入了实验阶段。

1958年12月，美国发射了第一颗低轨道通信卫星，第一次作了磁带录音的甚高频传输试验，证明了利用人造卫星通信的可能性。1960年8月，美国又把表面涂有铝膜的气球卫星“回声1号”发射到高度1600km、倾角 47.2° 的圆形轨道上，使用1GHz的频率进行了电话及电视的通信试验。同样，作为无源中继试验，1963年5月美国又利用分布在外层空间的4亿根偶极子反射带作了散射通信试验。1960年10月，美国又把“信使1B”卫星发射到高度约1000km、倾角为 28.3° 的轨道上，使用2GHz的频率，卫星先把地球站发来的通信信息录在高

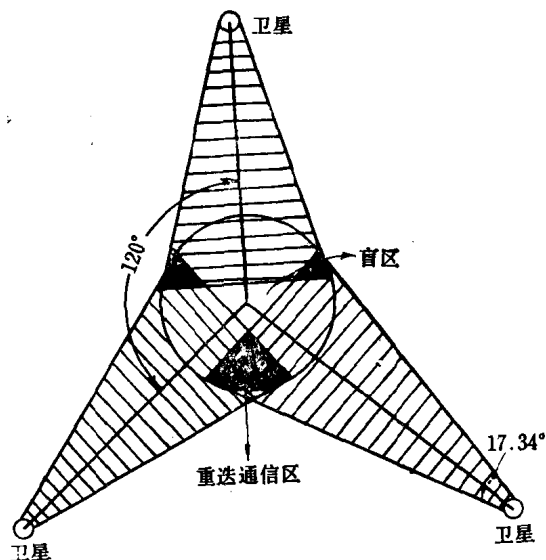


图1-12 卫星全球通信覆盖示意图