

卫星通信工程

〔日〕宫 宪 一 编 著

人民邮电出版社 译

卫星通信工程

[日] 宫 宪 一 编 著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 简 介

本书是根据日本《新版卫星通信工学》(1972年版)翻译的。全书共分六章,分别介绍宇宙通信以及卫星通信的概况;通信卫星本身的一些技术问题;卫星通信技术中诸如宽频带特性、信噪比、多址接续、多路通信等基本问题;调频制卫星通信线路设计;地球站设备以及有关卫星通信的测量维护问题。书中提供了利用Ⅳ号卫星进行通信时的有关数据参数。

本书可供电信工程技术人员、维护人员及大专院校师生阅读。

卫 星 通 信 工 程

编 著 者: [日] 宫 宪 一

译 者: 人民邮电出版社

出 版 者: 人民邮电出版社

北京东长安街 27 号

印 刷 者: 北 京 印 刷 一 厂

发 行 者: 新华书店北京发行所

国 内 发 行

开本 850 × 1168 1/32 1974 年 12 月第一版

印张 12 插页 3 1975 年 1 月北京第一次印刷

印刷字数 312 千字 印 数 1—10,000 册

统一书号: 15045 · 总 2001—无 601 定价: 1.50 元

出版者的话

卫星通信是一种新的通信技术，它在近十年来取得了显著的发展，并得到了实际应用。目前，它已成为国际通信，特别是远距离跨洋干线通信的重要手段。为了向我国电信技术工作者介绍卫星通信技术，并为研究、设计、和从事卫星通信的工作人员提供一些参考资料，特将此书翻译出版。

此书在出版前，经邮电科学研究院、北京邮电学院、北京卫星地面站的一些同志对译稿作了审校，进行了认真的修改，对本书质量有所提高。由于我们水平所限，缺点错误在所难免，切望广大读者批评指正。

一九七三年十一月

前 言

卫星通信是一种新的国际通信方式，它在近十年来取得了显著发展。1959年，国际电信联盟国际无线电咨询委员会开始把宇宙通信纳入课题，此后提出了许多重要的技术建议。1963年，召开了临时世界无线电行政会议，为宇宙通信制定了新的无线电规则，分配了直至10千兆赫的频带。1971年，又为宇宙无线电通信召开了世界无线电行政会议，把分配频带扩展到275千兆赫，并修订了许多技术标准。

另一方面，为了具体进行国际卫星通信，1964年建立了国际卫星通信组织^①，规划了实质性进程，确定了卫星通信体制和标准地球站特性。于1971年完成了由临时性组织向长期性制度过渡的准备工作。最近全世界地球站的数目已趋近70个。这样，卫星通信终于进入了普遍化和标准化的年代。

在此情况下，考虑到应该将卫星通信技术加以系统整理，向技术人员及初学者提供必要的参考书，遂请日本国际电报电话公司中的卫星通信技术研究人员以及参加地球站建设的技术人员，分担与其专业有关的部分，编写了这本书。卫星通信是一种利用微波的综合技术，涉及的学术领域很广，本书力求比较全面地予以介绍。不仅是单纯地讲清一些概念，而且尽量包括一些实际内容，以使它成为在设计及运用方面有实用价值的一本书。

第一章一般叙述整个宇宙通信中的基本问题，试图使读者能对卫星通信在国际通信中的作用和存在问题有所了解，此外还向具体工作人员介绍了世界无线电行政会议所决定的频率分配及共用频带时的限制条件等。第二章叙述卫星轨道、通信卫星本身以及有关的

译注 ①：我国现与该组织没有关系。

一些技术问题。第三章讲述卫星通信技术的基本问题，诸如宽频带性、信噪比、多址接续、多路通信制式等，同时也提到了实际设计所需要的各种参数。第四章汇集了根据现行的调频制所作的电路设计，同时介绍了能量扩散技术。第五章是地球站设备的具体说明，重点放在卫星通信所不可缺少的大型微波天线、大功率发送设备、低噪声接收设备等，此外还详细说明了新式回波抑制设备、电视标准制式变换设备等。第六章汇总了电路运用维护及卫星通信特有的测试问题。本书后面的附录，提供了一些有用的资料。

编著者 宫 宪一

1972年1月1日

目 录

第一章 概述	1
1.1 宇宙无线电通信的术语和定义	1
1.2 卫星通信发展史	2
1.3 卫星通信用的电波	6
1.3.1 电波的传播	6
1.3.2 频率分配与频率共用	18
1.3.3 协调距离	23
1.4 通信卫星制式	27
1.4.1 决定通信范围的因素	27
1.4.2 随机卫星制	30
1.4.3 相位卫星制	31
1.4.4 静止卫星制	33
1.5 国际卫星通信	35
1.5.1 国际电信的发展	35
1.5.2 卫星通信网	36
参考文献	40
第二章 通信卫星	41
2.1 卫星轨道	41
2.1.1 运动方程	41
2.1.2 轨道面内的卫星运动	43
2.1.3 轨道参数	45
2.1.4 摄动	47
2.1.5 卫星的发射	49
2.1.6 轨道控制	52
2.2 宇宙环境	54

2.2.1 真空	55
2.2.2 热环境	56
2.2.3 辐射线	56
2.2.4 磁场	58
2.2.5 陨石与宇宙尘埃	59
2.3 通信卫星技术	60
2.3.1 通信卫星的结构	60
2.3.2 通信系统(中继器)	60
2.3.3 天线系统	63
2.3.4 遥测指令系统	65
2.3.5 控制系统	66
2.3.6 电源系统	70
2.3.7 温度控制	72
2.3.8 可靠性	73
2.4 通信卫星实例	76
2.4.1 实验卫星	76
2.4.2 “闪电”卫星	79
2.4.3 国际商业通信卫星	80
参考文献	82

第三章 线路设计的基本项目

3.1 线路标准	90
3.1.1 标准模拟线路	90
3.1.2 多路电话线路的标准	91
3.1.3 电视线路的标准	93
3.2 多址接续	100
3.2.1 概述	100
3.2.2 FDM-FM-FDMA	102
3.2.3 PCM-PSK-TDMA	107
3.2.4 SPADE	115
3.2.5 交扰调制	122

3.3 地球站的性能条件	134
3.3.1 站址的选择条件	134
3.3.2 地球站标准特性	141
3.4 载波功率与噪声功率比	142
3.4.1 载波功率	142
3.4.2 噪声功率	146
3.4.3 载波接收功率与噪声功率比及其储备量	152
3.4.4 地球站的性能指数(G/T)	154
参考文献	156
 第四章 调频制线路的设计	 157
4.1 调频制的改善系数	157
4.1.1 门限电平	157
4.1.2 高灵敏度解调方式	161
4.2 能量扩散	166
4.2.1 能量扩散的必要性	166
4.2.2 扩散信号的频偏	168
4.2.3 扩散信号的消除	173
4.2.4 扩散信号对干扰调制的效应	175
4.3 多路电话线路	184
4.3.1 通信参数	184
4.3.2 线路噪声	188
4.3.3 IS-Ⅲ号系统的电路设计	196
4.3.4 IS-Ⅳ号系统的电路设计	205
4.4 电视图象线路	212
4.4.1 通信参数	212
4.4.2 IS-Ⅲ及 IS-Ⅳ号系统的电视线路设计	215
参考文献	216
 第五章 地球站设备	 217
5.1 通信系统的组成及其功能	217

5.1.1	概述	217
5.1.2	通信系统的组成	219
5.1.3	可靠性	224
5.2	天线设备	226
5.2.1	概述	226
5.2.2	天线种类	228
5.2.3	卡塞格伦天线辐射系统	238
5.2.4	馈线系统电路	249
5.2.5	驱动控制系统	252
5.2.6	天线实例	257
5.3	卫星跟踪装置	262
5.3.1	概述	262
5.3.2	多号角跟踪方式	263
5.3.3	高次模检出跟踪方式	266
5.3.4	自动跟踪信号的处理	271
5.3.5	程序控制跟踪方法	273
5.4	发送设备	275
5.4.1	概述	275
5.4.2	大功率行波管	275
5.4.3	大功率速调管	280
5.4.4	大功率放大设备	282
5.4.5	宽频带调制器	284
5.5	接收设备	285
5.5.1	低噪声接收机的组成	285
5.5.2	参量放大器	286
5.5.3	脉泽	297
5.5.4	其它低噪声接收机	300
5.5.5	高灵敏度解调器	302
5.6	终端站设备	306
5.6.1	载波电话终端设备	306
5.6.2	电视图象终端设备	308

5.6.3 电视伴音终端设备	311
5.7 有关设备	313
5.7.1 回波抑制设备	313
5.7.2 电视标准制式变换设备	317
参考文献	332
第六章 卫星线路的建立与测量	334
6.1 概述	334
6.2 经营管理	335
6.3 地球站性能的测量	336
6.3.1 性能的承认	336
6.3.2 G/T的测量	337
6.3.3 频带外辐射量的测量	341
6.3.4 门限电平测量	342
6.4 卫星通信线路的建立试验	344
6.5 日蚀对静止卫星的影响	348
6.5.1 宇宙站的地球日蚀	348
6.5.2 太阳干扰现象	348
参考文献	349
附录 I 求静止卫星仰角、方位和距离用的世界地图	350
附录 II IS-系统卫星的性能参数	352
附录 III 标准地球站电气特性一览表	354
附录 IV IS-IV 号卫星用地球站的一般特性	358

第一章 概 述

1.1 宇宙无线电通信的术语和定义

二十世纪后半叶出现了人造卫星技术。目前国际上公开发表的卫星总数已达数百个。这些卫星用于科学研究、宇宙观测、宇宙航行、气象观测、大地测量、航行、通信、广播等不同目的。

下面首先参照国际电信联盟(ITU)1971年于日内瓦召开的关于宇宙通信的世界无线电行政会议(WARC-ST)的规定,介绍一下宇宙通信的术语和定义。

以宇宙飞行体为对象的无线电通信,正式称为宇宙无线电通信,简称为宇宙通信。宇宙无线电通信有三种形式:(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。第3种情形通称为卫星通信,这是本书所要详细叙述的部分。利用卫星转播电视时,一般称为宇宙转播或卫星转播。

共同进行一定的宇宙无线电通信的一组地球站和宇宙站叫作宇宙系统。在这里,宇宙站是指设在地球大气层之外的宇宙飞行体或其他天体(如月球、行星等)上的通信站。地球站是指设在海洋上或地面上(包括设在大气层中)的宇宙无线电通信站。设在地面上的地球站初期曾叫作地面站,从而要注意,不要和在地面上进行无线电通信的地上站相混淆^①。

地面上地点固定的宇宙无线电通信业务叫作固定卫星业务。此

译注 ①:译者认为:叫地球站可以表示它是宇宙通信中和宇宙站相对应的一个组成部分,可以避免和一般地面上的通信站相混淆;而且地球站含义更广,可包括设在海洋上、大气层中的通信站。因此,本书均按原作译作地球站。

外，根据不同的目的，有：移动卫星业务（可分类为航空、海上、陆上等）；广播卫星业务；无线电测位卫星业务；无线电导航卫星业务；地球探测卫星业务；气象卫星业务；业余无线电卫星业务；标准频率卫星业务；报时卫星业务；宇宙研究业务；宇宙运用业务；电波天文业务；卫星间业务，等等。

根据国际电信联盟的规定，广播卫星业务是指为使一般用户能直接接收信号，从宇宙站直接发送，或由宇宙站转播的无线电通信业务。这种直接接收包括由简单的家庭用接收设备接收的个别接收和首先由具有大型天线的接收设备接收下来，再分送给一般用户的所谓“共同接收”。广播卫星业务的上行线路可看作是固定卫星业务。

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。

目前，世界上的商业卫星通信业务由国际卫星通信组织经营管理。在卫星通信系统中，除通信卫星之外，还包括卫星的发射、管理、控制所使用的跟踪、遥测、指令、监视等地面设备，这些统称为宇宙部分。除此之外的地球站通信设备叫作地球部分。

根据世界无线电行政会议的规定，射电天文业务是指包括太阳电波噪声在内的由宇宙传来的噪声电波的接收业务。为保证观测的顺利进行而排除有害干扰的业务活动，可看作是宇宙无线电通信业务。广义地说，射电天文学一直是包括在宇宙通信的范围内的。

1.2 卫星通信发展史

人造卫星出现以来，在宇宙空间探测等科学研究，通信、气象、大地测量等实用性科研方面都取得了许多成果。我们现在回顾一下世界上宇宙通信的主要发展情况（参看表 1.1）。

从宇宙天体不断地有称作宇宙噪声的电波传到地球上。用短波定向天线测到宇宙噪声，是射电天文学的开端^(1.1)。太阳也是一

个强大的噪声电波源，在今天，虽然它是表示太阳活动的一个指标，但对卫星通信有时也会产生噪声干扰。1938年，接收到伴随德林杰现象的强大噪声，测量了其强度和入射角^(1.2)。

与这些自然界的电波不同，第二次世界大战以后，应用雷达技术。于1946年第一次接收到来自月球的回波^(1.3)。继而根据观测弄清了月球表面的电波性质。1957年，利用月球表面反射进行了电话电波的接收试验^(1.4)。1959年5月，利用月球中继在英国美国之间进行了国际通信试验。接着6月在美国和加拿大之间进行了相同的试验^(1.5)。这些试验虽具有一定的科学探讨价值，但由于收到的信号的电场弱、多重失真、传输延迟时间长、共视月球时间有限等等原因，在通信上没有实用价值。

人造卫星出现以后，进行了多次通信试验，其中值得注意的有以下这些。属于宇宙通信形式(1)的有：1959年12月，美国利用低轨道的“斯科尔”卫星(1958Z1)，第一次作了磁带录音的甚高频传输试验；1960年4月，美国宇宙航空局(NASA)把气象卫星“泰罗斯”1号(1960B2)发射到高度约700公里、倾角48.3度、周期99.2分钟的圆轨道上，在大约两个月的时间内，送回了22,952张气象照片。

属于宇宙通信形式(3)即卫星通信的有：1960年8月美国宇宙航空局把覆有铝膜的直径30米的气球卫星“回声1号”(1960I1)发射到高度约1,600公里、倾角47.2°的圆轨道上。在宇宙航空局、贝尔电话研究所以及喷气推进研究所的协作下，使用1千兆赫和2.5千兆赫频带，用调频电波，完成了电话及电视的传播，弄清了传输中的特性。这是世界上最早利用人造卫星而不使用放大器的所谓无源中继试验(参看2.4.1(1))。同样，作为无源中继试验，1963年5月美国麻省理工学院利用分布在外层空间的4亿根偶极子卫星带作了散射通信的试验(参看2.4.1(2)节)。

1960年10月，美国把“信使1B”卫星(1960N1)发射到高度约1,000公里、倾角28.3度的轨道上。此卫星使用约2千兆

赫的频率，宇宙站把地球站发来的通信信息录在高速磁带上，当卫星接近收信地球站时，再把信息发回地球，即进行了所谓延迟接收通信^(1.7)。这是使用放大器的有源中继的第一次试验。

1962年7月，美国电报电话公司贝尔电话研究所发射了“电星1号”卫星(1962 AE 1)，同年12月，美国宇宙航空局发射了“中继1号”卫星(1962 BY 1)(参看2.4.1节)，同时进行了大型地球站的准备工作。至此，方能进行世界规模的正式的卫星通信试验。使用的频率和地上业务一样，也是4千兆赫和6千兆赫。“电星”卫星最初供美国缅因州的安多弗站与英国的贡希利站和法国的普勒默—博杜站之间，作宽频带调频制电视转播和多路电话试验用，取得了一些技术成果^(1.8)。在这里应该指出的是，它的卫星通信地面设备可看作是日前世界通信用的地球站的典型设备。

在日本，国内方面，自1961年开始，国际电报电话公司(KDD)进行试验用地球站准备的，同时，组成了邮政省，日本电报电话公司，日本广播协会(NHK)，国际电报电话公司等四个单位的协议会，制定了试验方针并作了分工。在国际方面，为了利用美国宇宙航空局的通信卫星，参加了由美国宇宙航空局主持的地球站委员会。1963年11月23日，日本国际电报电话公司的地球站——茨城卫星通信站(书末照片1)^(1.9)与美国加利福尼亚州莫哈维地球站之间，通过“中继1号”卫星传送了电视节目^(1.10)，这是最早的横跨太平洋的卫星通信。1964年1月又发射了“中继2号”卫星(1964 3A)，在各国进行了试验，巩固了卫星通信的基础。当时技术上的中心课题是：通信天线的高效率化和宽频带化；脉泽及参量放大器的低噪声化和宽频带化；提高调频制高灵敏度解调器的性能；建立精确跟踪系统等。

“电星”卫星及“中继”卫星都是低轨道卫星，具有可通信时间短，且通信时间随远地点周期性变化而变化等缺点。为此，1963年7月，美国宇宙航空局发射了同步卫星“同步2号”(1963 31A)，实现世界卫星通信的可能性因而大大增加了。1964年8月发射的静

止卫星“同步 3 号”(1964 47A) 用于传输东京奥运会的电视节目。由于采用了正极性同步信号、进行频带压缩等技术措施, 得到了良好的结果^(1.11)[参看 2.4.1(5) 节]。1945 年英国的 A. 克拉克提出静止卫星的设想以来, 大约经过了 20 年的时间, 这种设想得以实现。

到此为止, 卫星通信尚处于试验阶段。1965 年 4 月 6 日发射了最初的半试验、半实用的静止卫星“晨鸟”(1965 28A), 从此卫星通信进入了实用阶段。

随后, 美国宇宙航空局于 1966 年 12 月以“应用技术 1 号”(1966 110A) 为先驱, 发射了一系列的应用技术卫星, 开始了新的科学试验。这一实验除巩固卫星技术外, 还包括毫米波利用的研究和新通

表 1.1 主要宇宙通信试验的记录

年 月	宇 宙 通 信 内 容	有关国家	业 务
1932	银河噪声测量	美	射电天文
1938-8	太阳噪声测量	日	射电天文
1945-10	静止卫星通信的设想(Wireless World 杂志)	英	宇宙(3)
1946	雷达接收月球表面回波	美	宇宙(3)
1957	利用月表反射进行的音响无源中继通信	美	宇宙(3)
1957-10	利用“人造卫星 1 号”进行电波观测	苏及其它各国	宇宙(1)
1958-12	利用“斯科尔”卫星进行的录音带音响传输	美	宇宙(1)
1960-4	利用“泰罗斯 1 号”卫星进行气象照片传输	美	宇宙(1)
1960-8	利用“回波 1 号”卫星进行电话、电视无源中继	美	宇宙(3)
1960-10	利用“信使 1 B”卫星进行延迟中继通信	美	宇宙(3)
1962-7	利用“电星 1 号”卫星进行的横跨大西洋有源中继通信	美、英、法	宇宙(3)
1962-8	东方 3 号, 东方 4 号宇宙飞船间通信, 宇宙电视	苏联	宇宙(2)、(1)
1963-5	利用数目众多的针卫星散射的无源中继通信	美	宇宙(3)
1963-11	利用“中继 1 号”卫星的横跨太平洋有源中继通信	美、日	宇宙(3)
1964-8	利用“同步 3 号”静止卫星作奥运会电视转播	日、美	宇宙(3)
1965-4	利用“晨鸟”静止卫星进行的商业通信(半试验)	美、英、法、德、意	宇宙(3)
1965-4	利用“闪电”卫星进行的国内电视转播	苏联	宇宙(3)

信体制的研究等。

1965年5月,苏联把本国第一颗通信卫星“闪电1A”(1965 30A)发射到远地点39,152公里、倾角65度、周期11小时38分的长椭圆型轨道上。并在国内设立了25个小型地球站,开始了电视传输等中继通信^(1,12)。此外,1962年8月宇宙飞船东方3号(1962 AM 1)与东方4号(1962 AN 1)编队飞行,进行了宇宙业务形式(2)的通信和从宇宙站的电视传播。

表1.1是这些宇宙通信试验主要活动的一览表。

1.3 卫星通信用的电波

1.3.1 电波的传播

(1) 无线电窗

宇宙通信所使用的波段很宽,从长波段到毫米波段,由于目的不同,使用的波段也不同。宇宙业务形式(1)及(3)的电波需要穿过地球的对流层和电离层。一般说来,低频电波会受到电离层的吸收而衰减,临界频率以下的电波会被电离层反射。另一方面,10千兆赫以上的电波会被大气层吸收,由于云、雾,特别是降雨而引起显著的衰减。衰减影响较小的频率范围叫作无线电窗(参看图1.1)。按国际无线电咨询委员会(CGIR)的规定,卫星通信频率最合适的范围是1至10千兆赫。这个范围内的无线电波大体上可以看作是自由空间传播。在宇宙业务形式(2)的情况下,卫星处于数百公里高的电离层之外,也可以看作是自由空间传播。

(2) 自由空间传播

为了掌握宇宙通信的概念,首先谈一谈最基本的自由空间传播时,宇宙业务站的接收功率。接收功率 P_R 可由下式表示:

$$P_R = \frac{P_T G_T A_R \eta}{4\pi d^2} = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1.1)$$