



616334

# 卫星 通信技术

[日] 宫 宪一等著 钱忠浩 陈恩德译 甘本棣 张作忠校

616334

TN927  
07

# 卫星通信技术

〔日〕 宫 宪一等 著

钱忠浩 陈恩德 译

甘本祯 张作忠 校

h20512



C0168063

人民邮电出版社

TN927  
07

## 卫星通信技术

〔日〕 宫 宪一 監修

1980. 电子通信学会

### 内 容 简 介

本书是以宫宪一博士为首的一些日本卫星通信专家的新著。它全面而系统地讲述了静止卫星通信系统的发展及有关技术问题。是继宫宪一主编的《卫星通信工程》一书之后的又一本较好的著作。全书共分九章：概述，通信卫星，静止卫星轨道与频带的有效利用，电波传播问题，天线，调频通信系统，数字卫星通信系统，地球站技术，海事卫星通信。可供从事这方面工作的技术人员和大专院校师生阅读。

## 卫星通信技术

〔日〕 宫 宪一等 著

钱忠浩 陈恩德 译

责任编辑：李小曼

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32

1985年9月第一版

印张：13 页数：208

1985年9月河北第一次印刷

字数：340千字

印数：1—6,000册

统一书号：15045·总3007—无6324

定价：2.50元

## 译 者 序

日本国际电信电话株式会社的宫宪一先生是国际著名的卫星通信专家。他的著作受到世界同行的高度评价。早在1969年他就写了《卫星通信工程》一书〔•1〕，对卫星通信技术的初期成就进行了总结。该书1972年再版，我国曾根据该版进行了翻译，于1975年出版〔•1〕。

1980年，他又根据十年来卫星通信的进展，主编了《卫星通信技术》一书〔•2〕，全面而又系统地论述了现代静止卫星通信技术的各个主要方面。我们在翻译该书过程中，又得到了该作者主编的1982年出版的英文本〔•3〕。该书增加了一些新的内容。为使中译本能反映这些新内容，我们对照了此英文本增译了日文本所没有的内容。

本书第一章的1.7、1.8节，第八、九章两章和附录由陈恩德译出；其余为钱忠浩译出。错误之处，恳请读者批评指正。

---

〔•1〕宫 宪一：“卫星通信工学”，昭和44年；  
“新版卫星通信工学”，昭和47年；  
中译本：《卫星通信工程》，人民邮电出版社1975年

〔•2〕宫 宪一监修：“卫星通信技术”昭和55年  
(1980)11月10日初版发行

〔•3〕“*Satellite Communication Technology*”  
Secondprinting 1982.

# 序 言

1965年卫星通信这一现代技术的成果，在经过长期研究和实验之后，由国际通信卫星组织以全球通信系统的形式付诸实用。从那时以来，卫星通信取得了惊人的发展。为此，我们于1969年编著了《卫星通信工程》一书，在当时来说，恐怕也算是仅有的一本综合的系统地阐述卫星通信的书籍。它被广泛地用作通信技术人员的参考书，以及培养地球站维护使用人员的教科书。

然而，卫星通信在技术上的发展速度是很快的，例如通信卫星星体性能的改进，数字卫星通信技术的引入和地球站天线性能的提高，特别是静止卫星轨道和10千兆赫以上频带的有效利用，以及通信业务上的海事卫星通信的实现等方面都取得了引人注目的进展。这些新的内容有必要反映在书中。

我们作为长期从事卫星通信研究和开发的工作者，对这种必要性更深有感触。因此，决定编写这本以《卫星通信技术》为题的书。以便围绕现在实用上进展最快的静止卫星通信新技术，进行系统的、通俗易懂的介绍。为此，这本书中对已见诸于书刊的一般性叙述尽量加以省略或简化。不过，既然是一本综述性的书，还是打算在第一章“概述”中介绍一下静止卫星通信的梗概，并指出现代静止卫星通信技术有哪些主要课题。同时，也谈到它的经济性，并说明对静止卫星通信用作全球通信的评价。

从第二章到第九章分别对近年来发展的主要技术予以专章描述。其要点如下：

在第二章“通信卫星”中，以最先进的通信卫星——国际通信卫星V号系列的卫星为例进行阐述。第三章“静止卫星轨道和频带的有效利用”中，重点列举卫星通信这个无线通信领域中迫切需要解

决的世界性课题。

第四章“电波传播的各项问题”和第五章“天线”不只是逐个介绍新成果和新技术，而主要着眼于系统地阐述，使之能起到教科书的作用。

第六章“调频通信系统”只是对这个现已成熟的技术加以综述，以供许多通信技术人员参考。与此相反，第七章“数字卫星通信系统”属于新一代通信系统，因而尽可能地仔细叙述，以使初学者易于理解。

第八章“地球站技术”中，在已出版的书中已有介绍，这里主要谈谈今后的技术课题。第九章“海事卫星通信”则是全面介绍这种新型业务的技术内容。

以上各章都是由长期从事该领域工作的国际电报电话公司的专家们执笔的，相信它会对各方面有参考价值。对于为本书出版提供机会的日本电子通信学会出版委员会各位委员及有关工作人员所给予大力的协助表示谢意。

宫 宪一

1980年9月

# 目 录

译者序

序 言

<b>第一章 概述</b> .....	( 1 )
1.1 卫星通信发展史 .....	( 1 )
1.1.1 初期的实验研究 .....	( 1 )
1.1.2 实用状况和研究计划 .....	( 3 )
1.2 卫星通信的术语 .....	( 4 )
1.3 宇宙无线电通信业务 .....	( 6 )
1.4 静止卫星通信 .....	( 8 )
1.4.1 卫星与地球站的位置关系 .....	( 8 )
1.4.2 静止卫星的各项参数 .....	( 9 )
1.4.3 特点和存在问题 .....	( 11 )
1.5 频率和卫星轨道 .....	( 12 )
1.5.1 频率的分配及其有效利用 .....	( 12 )
1.5.2 干扰协调 .....	( 14 )
1.5.3 卫星轨道的有效利用 .....	( 18 )
1.6 信号强度和信号噪声比 .....	( 19 )
1.6.1 接收功率 .....	( 19 )
1.6.2 信号噪声比 .....	( 20 )
1.7 多址联接 .....	( 22 )
1.8 商用卫星通信 .....	( 25 )
1.8.1 国际电信的演变 .....	( 25 )
1.8.2 国际通信卫星组织的经营状况 .....	( 28 )
1.8.3 卫星通信的经济性 .....	( 29 )

1.8.4	海上移动卫星通信状况 .....	( 32 )
<b>第二章</b>	<b>通信卫星</b> .....	( 36 )
2.1	通信卫星的开发 .....	( 36 )
2.1.1	开发阶段的划分 .....	( 36 )
2.1.2	卫星的模型 .....	( 38 )
2.2	卫星姿态稳定方式 .....	( 39 )
2.2.1	自旋稳定方式 .....	( 40 )
2.2.2	三轴姿态稳定方式 .....	( 41 )
2.3	通信卫星的构成 .....	( 43 )
2.3.1	通信分系统 .....	( 45 )
2.3.2	公用分系统 .....	( 48 )
2.4	卫星寿命 .....	( 53 )
2.4.1	生存概率 .....	( 53 )
2.4.2	卫星寿命与燃料的关系 .....	( 54 )
2.4.3	卫星寿命与电池的关系 .....	( 55 )
2.5	通信卫星的发射 .....	( 55 )
2.5.1	静止卫星轨道 .....	( 55 )
2.5.2	摄动 .....	( 58 )
2.5.3	宇宙环境 .....	( 60 )
2.5.4	通信卫星的发射程序 .....	( 62 )
2.5.5	卫星发射的环境 .....	( 63 )
2.6	通信卫星的跟踪和控制 .....	( 64 )
2.6.1	跟踪和控制 .....	( 64 )
2.6.2	在轨测试 .....	( 69 )
2.6.3	跟踪控制网 .....	( 70 )
<b>第三章</b>	<b>静止卫星轨道和频谱的有效利用</b> .....	( 72 )
3.1	轨道和频带的利用效率 .....	( 72 )
3.2	卫星系统间的干扰 .....	( 73 )
3.2.1	地球站天线的辐射特性 .....	( 75 )



3.2.2	卫星天线的辐射特性 .....	( 77 )
3.2.3	正交极化的利用 .....	( 77 )
3.2.4	卫星位置保持精度 .....	( 78 )
3.3	卫星系统之间的协调和干扰规定 .....	( 78 )
3.3.1	决定是否要协调的干扰评价法 .....	( 79 )
3.3.2	CCIR关于干扰的规定 .....	( 80 )
3.3.3	国际通信卫星组织关于干扰的规定 .....	( 81 )
3.4	卫星系统参数的不一致性 .....	( 82 )
<b>第四章</b>	<b>电波传播的各项问题</b> .....	<b>( 85 )</b>
4.1	大气的影响 .....	( 85 )
4.1.1	大气气体引起的吸收衰减 .....	( 85 )
4.1.2	大气气体产生的噪声 .....	( 88 )
4.1.3	大气折射的影响 .....	( 89 )
4.2	降雨的影响 .....	( 94 )
4.2.1	降雨衰减 .....	( 94 )
4.2.2	用空间分集减小降雨衰减的影响 .....	( 103 )
4.2.3	降雨噪声 .....	( 106 )
4.2.4	降雨引起的去极化 .....	( 106 )
4.3	电离层的影响 .....	( 112 )
4.3.1	法拉第旋转 .....	( 112 )
4.3.2	电离层闪烁 .....	( 113 )
4.3.3	其它电离层效应 .....	( 115 )
4.4	与地面微波接力站间的干扰 .....	( 116 )
4.4.1	大气波导和超折射引起的干扰 .....	( 116 )
4.4.2	由降雨散射引起的干扰 .....	( 119 )
<b>第五章</b>	<b>天线</b> .....	<b>( 124 )</b>
5.1	面天线概述 .....	( 124 )
5.1.1	喇叭天线 .....	( 124 )
5.1.2	反射面天线 .....	( 127 )

5.1.3	面天线的条件	( 134 )
5.2	基本参量	( 138 )
5.2.1	增益和开口面积	( 138 )
5.2.2	方向性	( 139 )
5.2.3	旁瓣特性	( 140 )
5.2.4	噪声温度	( 141 )
5.2.5	增益—噪声温度比( $G/T$ )	( 142 )
5.2.6	椭圆极化率	( 143 )
5.3	喇叭天线的方向性	( 144 )
5.3.1	角锥喇叭	( 144 )
5.3.2	圆锥喇叭	( 144 )
5.4	卡塞格伦天线的特性	( 153 )
5.4.1	开口面效率	( 153 )
5.4.2	近场型卡塞格伦天线	( 155 )
5.4.3	反射面修整	( 155 )
5.4.4	波束馈电方式	( 158 )
5.5	正交极化技术	( 160 )
5.5.1	庞加莱球	( 160 )
5.5.2	交叉极化特性	( 162 )
5.5.3	极化补偿系统	( 166 )
5.6	跟踪方式	( 169 )
5.6.1	不同跟踪方式的比较	( 169 )
5.6.2	高次模跟踪方式	( 171 )
5.7	天线测量技术	( 173 )
5.7.1	增益	( 173 )
5.7.2	方向性	( 176 )
5.7.3	噪声温度和 $G/T$ 值	( 177 )
5.7.4	交叉极化特性	( 177 )
<b>第六章 调频通信系统</b>		<b>( 185 )</b>

6.1	调频制在卫星通信中的应用 .....	( 185 )
6.1.1	调频制的适用性 .....	( 185 )
6.1.2	频带分割使用 .....	( 185 )
6.1.3	卫星转发器的使用方式和信道容量 .....	( 186 )
6.2	CCIR有关调频制线路质量标准的建议 .....	( 189 )
6.2.1	假设参考线路 .....	( 189 )
6.2.2	多路电话线路的噪声指标 .....	( 190 )
6.2.3	电视线路的噪声指标 .....	( 191 )
6.3	多路电话线路的设计 .....	( 192 )
6.3.1	噪声分配 .....	( 192 )
6.3.2	卫星通信线路设计中使用的主要参数 .....	( 193 )
6.3.3	线路噪声 .....	( 196 )
6.3.4	地球站设备内部噪声 .....	( 202 )
6.3.5	来自其它系统的干扰噪声 .....	( 206 )
6.4	国际通信卫星系统的线路设计实例 ( <i>INTELSAT-IV-A</i> 号系列卫星的情况 ) .....	( 208 )
6.5	电视线路的设计 .....	( 212 )
6.5.1	电视图象线路 .....	( 212 )
6.5.2	电视伴音线路 .....	( 214 )
6.6	调频载波的能量扩散 .....	( 216 )
6.6.1	能量密度的限制 .....	( 216 )
6.6.2	多路电话线路的能量扩散 .....	( 217 )
6.6.3	电视图象线路的能量扩散 .....	( 218 )
<b>第七章</b>	<b>数字卫星通信系统</b> .....	( 220 )
7.1	数字卫星通信系统的出现 .....	( 220 )
7.2	数字调制方式 .....	( 221 )
7.2.1	<i>PSK</i> .....	( 221 )
7.2.2	<i>FSK</i> .....	( 226 )
7.2.3	<i>CPFSK</i> .....	( 227 )

7.2.4	混合调制方式 .....	( 229 )
7.3	SCPC .....	( 232 )
7.3.1	SCPC的特点 .....	( 232 )
7.3.2	国际通信卫星系统中的SCPC .....	( 234 )
7.4	TDMA方式 .....	( 239 )
7.4.1	TDMA方式的原理 .....	( 239 )
7.4.2	TDMA用的PSK调制解调方式 .....	( 243 )
7.4.3	TDMA系统的线路设计 .....	( 251 )
7.4.4	子帧同步 .....	( 253 )
7.4.5	与地面上线路的连接 .....	( 256 )
7.5	SS/TDMA方式 .....	( 261 )
7.5.1	SS/TDMA的帧同步 .....	( 262 )
7.5.2	SS/TDMA的工作方式 .....	( 264 )
7.5.3	SS/TDMA切换矩阵的构成 .....	( 268 )
7.5.4	SS/TDMA的应用 .....	( 270 )
7.6	数字式话音插入方式(DSI) .....	( 270 )
7.6.1	数字式TASI .....	( 271 )
7.6.2	SPEC方式 .....	( 275 )
7.7	纠错技术 .....	( 277 )
7.7.1	纠错码 .....	( 277 )
7.7.2	调制与纠错 .....	( 278 )
7.7.3	典型纠错码及其特性 .....	( 280 )
7.7.4	在卫星通信系统中的应用 .....	( 283 )
7.8	电视信号的数字传输 .....	( 284 )
7.8.1	概述 .....	( 284 )
7.8.2	降低数码率的基本方法 .....	( 286 )
7.8.3	一种数字卫星线路用的高效率电视编码解码 法 .....	( 289 )
<b>第八章</b>	<b>地球站技术 .....</b>	<b>( 299 )</b>

8.1	标准地球站 .....	( 299 )
8.2	地球站设备 .....	( 300 )
8.2.1	地球站的构成 .....	( 300 )
8.2.2	通信设备 .....	( 300 )
8.2.3	地球站设备的配置 .....	( 310 )
8.2.4	标准地球站的实例 .....	( 312 )
8.3	正交极化共用技术 .....	( 312 )
8.3.1	正交极化用馈电装置 .....	( 315 )
8.3.2	去极化补偿网络 .....	( 315 )
8.4	大功率发射技术 .....	( 318 )
8.4.1	大功率行波管的集电极沉降 .....	( 318 )
8.4.2	大功率放大管的冷却水路 .....	( 319 )
8.4.3	交调畸变抑制装置 .....	( 320 )
8.5	低噪声接收技术 .....	( 323 )
8.5.1	参量放大器 .....	( 324 )
8.5.2	场效应晶体管放大器 .....	( 325 )
8.6	电视传输技术 .....	( 326 )
8.6.1	电视伴音设备 .....	( 327 )
8.6.2	电视标准制式变换设备 .....	( 329 )
<b>第九章</b>	<b>海事卫星通信</b> .....	<b>( 334 )</b>
9.1	海事卫星通信系统的组成 .....	( 334 )
9.1.1	海事卫星通信系统的特点 .....	( 334 )
9.1.2	CCIR 有关海事卫星通信系统构成方面的标准 .....	( 335 )
9.1.3	海事卫星通信系统的实例 ( MARISAT 系统 ) .....	( 337 )
9.1.4	遇难、应急、安全通信系统的构成 .....	( 343 )
9.2	调制解调制式 .....	( 345 )
9.2.1	电话信道的调制解调制式 .....	( 345 )

9.2.2	电报/信令信道的调制解调制式	( 349 )
9.3	多址联接控制、信令制式	( 349 )
9.3.1	多址联接制式	( 349 )
9.3.2	线路分配和控制方式	( 351 )
9.3.3	信令方式	( 354 )
9.4	船站设备	( 355 )
9.4.1	系统组成	( 355 )
9.4.2	天线	( 356 )
9.4.3	发射和接收放大器	( 359 )
9.4.4	调制解调器	( 359 )
9.4.5	信道控制单元	( 361 )
9.4.6	天线控制单元	( 363 )
9.5	岸站设备	( 363 )
9.5.1	岸站的功能和构成	( 363 )
9.5.2	天线	( 365 )
9.5.3	C波段发射接收设备	( 365 )
9.5.4	网路控制处理器	( 368 )
9.5.5	L波段发射接收设备	( 369 )
附录 I	各国的卫星通信系统一览表	( 372 )
附录 II	国际通信卫星组织的通信卫星概况	( 375 )
附录 III	各国静止卫星发射火箭性能一览表	( 377 )
附录 IV	CCIR有关固定卫星业务PCM电话话路的容许 误码率建议	( 378 )
附录 V	静止卫星轨道上的卫星配置一览表	( 379 )
索引		( 382 )

# 第一章 概 述

## 1.1 卫星通信发展史

### 1.1.1 初期的实验研究

自从人造卫星实现以后，以美国为先驱，世界各国都广泛研究用它进行远距离通信，并且得到了飞速的发展。今天，卫星通信已经成了人类社会活动中必不可少的基本手段。也就是说，这种划时代的现代通信手段，已不仅仅用于通信，而且已广泛用于广播、气象观测、导航、资源探测及科学研究等方面。这期间，最引人注目的成就乃是为建立国际间的固定卫星通信业务，于1964年成立了国际通信卫星组织（INTELSAT）。次年，即1965年就将卫星通信提供商用了。直到进入实用阶段以前这一时期，可以看作是宇宙无线电通信的实验时期。对于这一实验时期的研究成果，已经有其它文献作了详细叙述<sup>[1][2]</sup>，因此本书只扼要地归纳于表1.1中。

表 1.1 国际通信卫星组织实现卫星通信以前的  
主要宇宙无线电通信实验的记录  
(详细情况参阅文献(1)、(2))

分 类	年 月	实 验 内 容	主 持 者
射电天文	1980	测量和验证银河噪声(IRE, 1932)	(美)K.G.Jonsky
	1985	关于德林格尔现象(突发电离层干扰)的警告(Phys. Rev.)	(美) J.H.Dellinger
	1938--08	发生德林格尔现象时短波太阳噪声的测定(电气学会志)	(日)仲上, 宫
静止卫星概念	1945--10	静止卫星通信的设想 (Wireless World杂志)	(英)A.C.Clark

月球表面 反 射	1946	雷达接收月球的回波	(美)J. Mofenson
	1957	利用月球表面反射进行声音的无源中继	(美)J. H. Trexler
	1960—1	利用月球表面反射进行夏威夷——华盛顿间的通信	(美)海军
低 轨 道 卫 星	1957—10	观测苏联“人造卫星1号”(СНУТ HUK I)发射的电波	苏、日和其他国家
	1958—12	利用“斯科尔”(SCORE)卫星进行磁带录音传输	(美)空军
	1960—4	利用“泰罗斯1号(Tairos I)卫星”传输气象照片	(美)宇航局(NASA)
	1960—8	利用“回声1号”(Echo I)卫星进行电话、电视的无源中继	(美)陆军
	1960—10	利用“信使1B”(Courier 1B)卫星进行录音的延迟中继通信	(美)陆军
	1962—7	利用“电星1号”(Telstar I)卫星进行横跨大西洋的有源卫星通信	美、英、法
	1962—8	“东方3号”与“东方4号”(Восток 3, 4)卫星间的通信和宇宙电视传输	苏
	1963—05	利用轨道上的金属针进行散射通信(West Ford计划)	(美)麻省理工学院(MIT)
同步卫星	1963—11	利用“中继1号”(Relay I)卫星进行横跨太平洋的卫星电视转播	(美)(NASA), 日
	1963—7	利用“同步2号”(Cyncom 2)卫星进行美—欧—非之间的通信	(美)NASA
	1964—8	利用“同步3号”(Cyncom 3)卫星进行东京奥运会的电视转播	日, (美)NASA
	1965—4	利用“晨鸟”(Early Bird)卫星进行商用通信(半实验)	INTELSAT

表1.1中列举的第一类,从广义上说是作为卫星通信的先驱的射电天文学的研究,第三类是利用月球表面反射作中继的通信实验,第四类则是用低轨道卫星进行的主要的初期通信实验,其中值得注意的是1960年开始验证了有源中继卫星的实用性。尤其是1962



年利用“电星1号”卫星进行的横跨大西洋的通信实验，由于它奠定了商用卫星通信的技术基础而获得很高的评价。日本于1963年11月23日在美国宇航局(NASA)的协助下，利用“中继1号”卫星首次成功地进行了横跨太平洋的卫星电视转播<sup>[3]</sup>。凑巧，当时很快报导了美国总统肯尼迪被暗杀的新闻，于是人们更深刻地体会到卫星通信的作用。表中第五类列举了利用同步轨道卫星进行的通信实验，可以看出，美国NASA于1963年实现了“同步2号”卫星，接着在1964年又使“同步3号”卫星，进入了静止卫星轨道。通过这种卫星进行了东京奥林匹克运动会的电视转播等<sup>[4]</sup>，从而使实现世界卫星通信的时机日趋成熟。上面谈的就是到1965年半实验半商用的“晨鸟”通信卫星发射时为止的简单情况。从表中第二类所列1945年克拉克(A. Clark)提出静止卫星通信的设想算起，整整经历了20年。

### 1.1.2 实用状况和研究计划

在进行上述实验研究的同时，由于希望建立一个单一的世界通信系统，1964年8月世界商用卫星临时组织宣告成立，次年的5月首先在大西洋地区开始用静止卫星进行商用通信业务。这个临时组织从1973年2月起改为国际通信卫星组织(INTELSAT)，这是一个永久性机构。到1980年底，已经有105个国家参加，它提供高可靠性的国际通信线路(参看1.8.2节)。

另一方面，苏联于1965年4月发射了“闪电IA”卫星(МО-ЛНУЯ1А)，开始了包括电视传输的国内通信业务<sup>[6]</sup>。1971年11月，为了利用这种卫星进行国际通信，建立了一个叫“国际卫星”的国际性宇宙通信组织，东欧等9个国家签署参加了这个组织。

随着这类国际通信的发展，从1970年以来各国相继建立了国内卫星通信系统(参看附录1)，而且还有实验通信卫星(ECS)、帕拉帕(Palapa)等地区性卫星通信计划也逐步付诸实施。同时，1976年，美国国内的合资企业——海事卫星联合投资公司首次在世