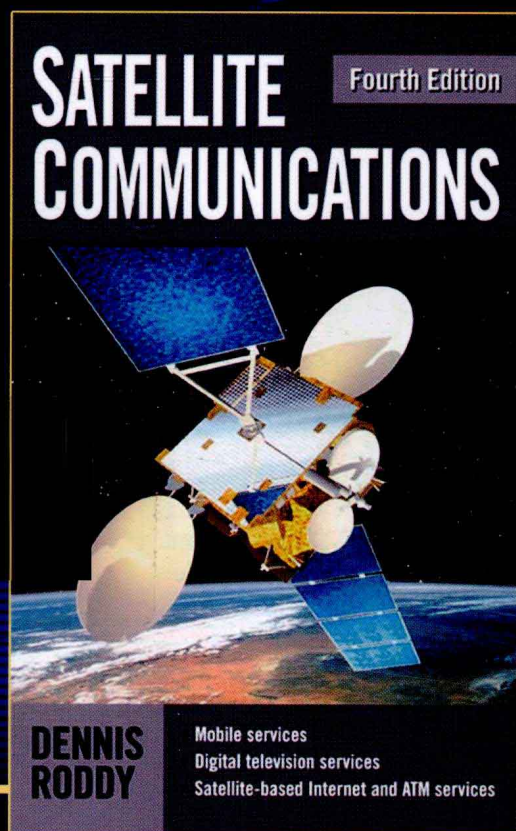


卫星通信

(原书第4版)

Satellite Communications (Fourth Edition)

(加) Dennis Roddy 著
郑宝玉 等译



电子与电气工程丛书

卫星通信

(原书第4版)

Satellite Communications

(Fourth Edition)

(加) Dennis Roddy 著

郑宝玉 等译



机械工业出版社
China Machine Press

译者序

本书是一本介绍卫星通信原理、技术和系统的专著。该书自第一版 1989 年问世以来，历经三次修改再版，内容不断更新，形成了既包含轨道与发射方法、极化与空间链接等卫星专用技术，也包含电波传播、天线、干扰、多址方式、纠错编码等无线通信通用技术，还包含卫星网络（因特网、ATM 和 TCP/IP）与服务（如卫星直播电视、卫星移动定位和特殊服务）等比较完整的体系。此外，书中列举了正在运行的一些典型的卫星通信系统。

本书由郑宝玉教授主持翻译，并负责全书统稿和审校。在本书的翻译过程中，得到多方面的支持和帮助。除主持者外，为本书提供初稿和做出贡献的有：孟庆明副教授，以及郑银云、徐珊、朱佳、林文涛、盛奔宇、王涛、王飞鸽、洛晓勇、邹玉龙、吉晓东、岳文静、褚御芝等研究生。

机械工业出版社的领导和编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动，借此机会表示诚挚的谢意。

由于时间仓促，加之译者水平有限，翻译中错误和不妥之处在所难免，敬请读者和同行批评指正。

译者

前 言

《卫星通信》原书第4版在前三版的基础上进行了一些修改，扩展了卫星通信领域的覆盖面，同时保证了足够的深度，为更深入的研究学习奠定了基础。针对具体数学问题，书中没有给出冗长的数学推导，仅给出了相应的数值结果。尽管书中作者使用 Mathcad™ 计算机程序语言求解数值问题和例题，但由于这些实例均采用标准代数符号，因此亦可用其他计算机编程语言实现。

在第4版中针对前三版所做的修改包括：第1章中更新了国际通信卫星组织（INTELSAT）和极轨道卫星两节中关于定位和搜救的相关论题；第2章中详细探讨了太阳同步轨道的相关内容；第6章中增加了平面天线和阵列的介绍，其中包括反射器阵列和阵列开关的相关内容；第8章中新增了关于电视信号C波段接收的相关论述；第11章中对线性分组码进行了详细的推导说明，同时增加了关于香农容量、Turbo码和低密度奇偶校验码（LDPC）的新内容；第12章增加了一节关于卫星间链路（ISL）的介绍，探讨了光链路的相关问题；对第15章的内容进行了实质性的更新，扩展了网络基础知识和异步转移模式（ATM）的内容；第16章详细介绍了高清电视（HDTV）；新增的第17章介绍了铱星系统。

鉴于高度的安全性和保密性，很难获得关于卫星系统和设备的具体技术资料。在此要特别感谢以下组织和个人为本书所提供的论文和图表等资料。

在平面天线与阵列、反射器阵列以及阵列开关方面：感谢 Battelle 公司大湖工业技术中心（GLITeC）的 Jacquelyn Adams；卡拉布里亚大学的 Luigi Boccia 博士；Aeroflex/KDI 集成产品公司的市场行政助理 Thomas J. Braviak 先生；俄罗斯圣彼得堡 Ascor 公司的 Michael Parnes 博士；美国海军研究实验室雷达部的 Dharmesh Patel；马萨诸塞大学阿默斯特分校（University of Massachusetts at Amherst）电子和计算机工程系的 David Pozar 教授；美国宇航局 Glenn 研究中心天线、微波和光学系统部的 Bob Romanofsky 博士；喷气推进实验室（JPL）的站长/出版物代表 Peter Schrock 博士。

在 ATM 方面：感谢美国宇航局 Glenn 研究中心和 Lewis 研究中心的 William D. Ivancic 以及柏林 Fraunhofer 开放通信系统研究所（FOKUS）的 Ing. Petia Todorova 博士。

在 Turbo 和 LDPC 码方面：感谢约克大学电子系的 Alister G. Burr 教授和 Comtech AHA 公司的高级应用工程师 Tony Summers。

在 HDTV 方面：感谢伦敦 IEE 学会新闻办的 Cathy Firebrace。

在 INTELSAT 方面：感谢华盛顿特区国际通信卫星组织的企业宣传经理 Travis S. Taylor。

在铱星系统方面：感谢铱星公关部主任 Liz DeCastro。

在全球卫星搜救系统（Cospas-Sarsat）方面：感谢伦敦 Cospas-Sarsat 秘书处的 Cheryl Bertoia 副司长和 Hannah Bermudez。

同时感谢第 3 版中提到过的：美国计算机科学公司的 Henry Driver 博士提供了第 2 章中关于大地位置的具体计算方法；感谢本版审阅者所提出的有价值的建议。限于作者的水平，书中难免有不妥或谬误之处，殷切希望读者指正（发送邮件至 droddy@tbayel.com）。

最后，衷心感谢 McGraw-Hill 出版公司和策划编辑 Steve Chapman、编辑助理 Diana Mattingly 和项目经理 Gita Raman。由于他们的热情帮助和支持，本书本版得以顺利出版。

Dennis Roddy

于安大略省桑德湾

目 录

译者序

前 言

第 1 章 卫星系统概述	1
1.1 引言	1
1.2 卫星业务的频率分配	1
1.3 国际通信卫星组织 (INTELSAT)	2
1.4 美国国内通信卫星	6
1.5 极轨道卫星	10
1.6 阿尔格斯 (Argos) 系统	11
1.7 搜救卫星 (Cospas-Sarsat) 系统	12
1.8 习题	16
参考文献	17
第 2 章 轨道与发射方法	18
2.1 引言	18
2.2 开普勒第一定律	18
2.3 开普勒第二定律	18
2.4 开普勒第三定律	19
2.5 地球轨道卫星的术语定义	19
2.6 轨道参数	21
2.7 远地点和近地点高度	23
2.8 轨道摄动	23
2.8.1 地球非球形形状的影响	23
2.8.2 大气阻力	26
2.9 倾斜轨道	26
2.9.1 日历	27
2.9.2 世界时	28
2.9.3 儒略日期 ^①	28
2.9.4 恒星时	29
2.9.5 轨道平面	30
2.9.6 地心赤道坐标系	32
2.9.7 参考 IJK 框架下的地球站	33

2.9.8 站心地平坐标系	36
2.9.9 星下点	38
2.9.10 预测卫星位置	39
2.10 本地平均太阳时与太阳同步 轨道	39
2.11 标准时间	41
2.12 习题	42
参考文献	44
第 3 章 对地静止轨道	45
3.1 引言	45
3.2 天线视角	45
3.3 极座天线	48
3.4 能见度极限	50
3.5 近似对地静止轨道	51
3.6 卫星上地球日蚀	52
3.7 日凌中断	53
3.8 发射轨道	53
3.9 习题	56
参考文献	57
第 4 章 无线电波传播	58
4.1 引言	58
4.2 大气损耗	59
4.3 电离层效应	59
4.4 雨水衰减	60
4.5 其他传播损耗	62
4.6 习题	63
参考文献	63
第 5 章 信号极化	64
5.1 引言	64
5.2 天线极化	66
5.3 卫星信号极化	68
5.4 交叉极化鉴别	71
5.5 电离层去极化	72

5.6 雨水去极化	72	7.3.2 动量轮稳定性	110
5.7 冰凌去极化	74	7.4 位置保持	111
5.8 习题	74	7.5 热量控制	112
参考文献	75	7.6 TT&C 子系统	113
第 6 章 天线	76	7.7 转发器	114
6.1 引言	76	7.7.1 宽带接收机	115
6.2 天线互易定理	76	7.7.2 输入去复用器	116
6.3 坐标系	77	7.7.3 功率放大器	117
6.4 辐射场	77	7.8 天线子系统	119
6.5 功率通量密度	79	7.9 Morelos 和 Satmex 5 系统	121
6.6 各向同性辐射器和天线增益	79	7.10 Anik 卫星	123
6.7 辐射方向图	80	7.11 高级 Tiros-N 航天器	125
6.8 波束立体角和方向性	80	7.12 习题	126
6.9 有效孔径	82	参考文献	127
6.10 半波偶极子	82	第 8 章 地面部分	128
6.11 孔径天线	83	8.1 引言	128
6.12 喇叭型天线	85	8.2 家庭电视接收系统	128
6.12.1 圆锥形喇叭天线	85	8.2.1 室外单元	129
6.12.2 角锥形喇叭天线	87	8.2.2 模拟(调频)电视的室内 单元	130
6.13 抛物面反射器	87	8.3 主天线电视系统	130
6.14 偏置馈源	90	8.4 有线电视系统	131
6.15 双反射器天线	91	8.5 收发地球站	132
6.15.1 卡塞格伦天线	91	8.6 习题	134
6.15.2 格列高里天线	92	参考文献	135
6.16 成形反射器系统	93	第 9 章 模拟信号	136
6.17 阵列	94	9.1 引言	136
6.18 平面天线	96	9.2 电话信道	136
6.19 平面阵列	97	9.3 单边带电话	136
6.20 反射器阵列	101	9.4 FDM 电话	138
6.21 阵列开关	102	9.5 彩色电视	139
6.22 习题	103	9.6 频率调制	143
参考文献	105	9.6.1 限幅器	144
第 7 章 空间部分	106	9.6.2 带宽	144
7.1 引言	106	9.6.3 调频检测器噪声和处理 增益	145
7.2 电源	106	9.6.4 信噪比	147
7.3 姿态控制	108		
7.3.1 自旋卫星稳定性	109		

9.6.5 预加重与去加重	148	11.10 香农容量	183
9.6.6 噪声加权	149	11.11 Turbo 码和 LDPC 码	185
9.6.7 用于 FDM/FM 电话通信的 信噪比和带宽	149	11.12 自动重传请求 (ARQ)	188
9.6.8 TV/FM 的信噪比	151	11.13 习题	190
9.7 习题	151	参考文献	191
参考文献	153	第 12 章 空间链路	192
第 10 章 数字信号	154	12.1 引言	192
10.1 引言	154	12.2 等效各向同性辐射功率	192
10.2 数字基带信号	154	12.3 传输损耗	193
10.3 脉冲编码调制	157	12.3.1 自由空间传输	193
10.4 时分复用	160	12.3.2 馈线损耗	194
10.5 带宽要求	161	12.3.3 天线失调损耗	194
10.6 数字载波系统	162	12.3.4 固定大气和电离层损耗	195
10.6.1 二相相移键控	163	12.4 链路功率预算方程	195
10.6.2 四相相移键控	164	12.5 系统噪声	196
10.6.3 PKS 调制的传输速率和 带宽	165	12.5.1 天线噪声	196
10.6.4 PSK 调制的误比特率	166	12.5.2 放大器噪声温度	198
10.7 载波恢复电路	169	12.5.3 级联放大器	198
10.8 比特定恢复	169	12.5.4 噪声因子	199
10.9 习题	170	12.5.5 吸收网络的噪声温度	199
参考文献	171	12.5.6 整个系统的噪声温度	200
第 11 章 差错控制编码	172	12.6 载噪比	201
11.1 引言	172	12.7 上行链路	202
11.2 线性分组码	172	12.7.1 饱和磁通量密度	202
11.3 循环码	176	12.7.2 输入退避	203
11.3.1 汉明码	176	12.7.3 地球站 HPA	204
11.3.2 BCH 码	176	12.8 下行链路	204
11.3.3 里德-所罗门码 (R-S 码)	176	12.8.1 输出退避	205
11.4 卷积码	178	12.8.2 卫星 TWTA 输出	206
11.5 交织	180	12.9 雨水影响	207
11.6 级联码	180	12.9.1 上行链路雨水衰落边际	208
11.7 编码对链路参数的影响	181	12.9.2 下行链路雨水衰落边际	208
11.8 编码增益	182	12.10 联合上行/下行链路信噪比	209
11.9 硬判决和软判决译码	183	12.11 互调噪声	211
		12.12 卫星间链路	212
		12.13 习题	217
		参考文献	219

第 13 章 干扰	220	14.7.6 业务数据	249
13.1 引言	220	14.7.7 帧效率和信道容量	249
13.2 卫星电路间干扰 (B_1 和 B_2 模式)	221	14.7.8 预分配 TDMA	250
13.2.1 下行链路	222	14.7.9 按需分配 TDMA	251
13.2.2 上行链路	222	14.7.10 语音插空和预测	252
13.2.3 上下行链路干扰的联合 [C/I]	223	14.7.11 数字传输的下行链路 分析	255
13.2.4 天线增益函数	223	14.7.12 FDMA 和 TDMA 的上行 链路功率需求比较	255
13.2.5 通带干扰	224	14.8 用于 FDMA/TDMA 的星上信号 处理	257
13.2.6 接收机转移特性	224	14.9 卫星交换 TDMA	259
13.2.7 特定干扰目标	225	14.10 码分多址	263
13.2.8 保护比	225	14.10.1 直接序列扩频	263
13.3 能量扩散	226	14.10.2 扩频码	264
13.4 协调	227	14.10.3 捕获与跟踪	266
13.4.1 干扰电平	227	14.10.4 扩频与解扩	267
13.4.2 传输增益	228	14.10.5 CDMA 吞吐量	268
13.4.3 干扰引起的噪声温度 变化	229	14.11 习题	270
13.4.4 协调准则	229	参考文献	273
13.4.5 噪声功率谱密度	230	第 15 章 卫星网络	274
13.5 习题	230	15.1 引言	274
参考文献	232	15.2 带宽	274
第 14 章 卫星接入	233	15.3 网络基础	274
14.1 引言	233	15.4 异步转移模式 (ATM)	275
14.2 单址接入	234	15.4.1 ATM 分层	276
14.3 预分配 FDMA	234	15.4.2 ATM 网络和接口	277
14.4 按需分配 FDMA	236	15.4.3 ATM 信元和信元头	277
14.5 Spade 系统	237	15.4.4 ATM 交换	278
14.6 带宽受限和功率受限的 TWT 放大器	238	15.4.5 永久电路和交换虚拟 电路	279
14.7 TDMA	240	15.4.6 ATM 带宽	279
14.7.1 参考突发	242	15.4.7 服务质量	281
14.7.2 报头和报尾	244	15.5 卫星通信中的 ATM 应用	281
14.7.3 载波恢复	244	15.6 因特网 (Internet)	285
14.7.4 网络同步	245	15.7 因特网分层	286
14.7.5 唯一字检测	247	15.8 TCP 链路	287

15.9	卫星链路和 TCP	288	16.11	下行链路分析	305
15.10	使用标准机制 (RFC-2488) 来增强卫星通信中的 TCP 协议	289	16.12	上行链路分析	309
15.11	RFC 参考文档	290	16.13	高清电视 (HDTV)	310
15.12	分割 TCP 连接	291	16.14	视频频率带宽	311
15.13	非对称信道	293	16.15	习题	312
15.14	推荐的系统	294		参考文献	314
15.15	习题	294	第 17 章	移动卫星与专用业务	315
	参考文献	295	17.1	引言	315
第 16 章	卫星直播电视	297	17.2	卫星移动通信业务	315
16.1	引言	297	17.3	VSAT 系统	316
16.2	轨道间距	297	17.4	Radarsat 系统	318
16.3	功率等级和转发器数量	298	17.5	全球定位卫星系统 (GPS)	320
16.4	频率和极化	298	17.6	Orbcomm 系统	322
16.5	转发器容量	298	17.7	铱星	324
16.6	数字电视的比特率	299	17.8	习题	327
16.7	MPEG 压缩标准	300		参考文献	328
16.8	前向纠错	303	附录 A	部分习题的参考答案	329
16.9	家庭接收机的室外单元 (ODU)	303	附录 B	圆锥曲线族	334
16.10	家庭接收机的室内单元 (IDU)	305	附录 C	NASA 两行式轨道参数	343
			附录 D	人造卫星一览表	345
			附录 E	三阶互调分量	346
			附录 F	缩略语	347
			附录 G	对数单位	353

第 1 章 卫星系统概述

1.1 引言

卫星通信系统在现代化的日常生活中有着广泛的应用，例如，许多家庭都会利用天线或者抛物面天线（“dishes”）来接收卫星电视。但不为人所熟知的是，卫星也是世界通信系统中不可或缺的组成部分，它所传送的不仅仅是电视信号，还有大量的数据和电话信息。

卫星的一些特性是其他通信方式难以企及的。因为卫星信号能覆盖地球上十分广阔的区域，所以它可作为通信网络中的枢纽，同时连接许多在地理位置上相隔遥远的用户。同样由于这一特性，当其他通信方式在地广人稀的地区无用武之地时，它还可以照常工作。卫星信号到达之处既不受政治界限的限制，也不受地理分界线的限制，这一特性孰好孰坏，就很难说了。

在卫星费用方面，我们可以看一个实例。加拿大 Anik-E1 卫星的制造和发射费用是 2.812 亿加元（1994 年），而 Anik-E2 卫星则花费了 2.905 亿加元。为发射这两颗卫星所投的保险一共是 9 550 万加元。卫星通信系统的一个特性是其费用与距离无关，即用于短距离卫星通信的费用与长距离通信所需的费用是一样的。因此，卫星系统只有在运营时间很长的情况下，其经济性才能得以体现，其费用才能合理地均摊到大量用户中。

卫星也能用于遥感，例如，将其用于水污染探测或天气状况监视和预报。有些遥感卫星在空难搜寻和营救等工作中发挥了至关重要的作用。

Pritchard 和 Brown 分别在 1984 年和 1981 年对卫星系统的作用做了很好的概述。本章在概述卫星系统时，将会简要描述三种不同类型的应用系统：1) 国际通信卫星系统 IN-TELSAT，2) 美国国内卫星系统 DOMSAT，3) 美国国家海洋和大气局（National Oceanographic and Atmospheric Administration, NOAA）用于环境监控、搜寻、营救等工作的极轨道卫星系列。

1.2 卫星业务的频率分配

分配卫星业务的频率是一个十分复杂的过程，需要涉及国际协调与规划。这一工作是在国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）的主持下进行的。

在频率分配计划中，将全世界分为三个区域：

区域一：欧洲、非洲，前苏联及蒙古

区域二：北美洲、南美洲及格陵兰岛

区域三：亚洲（区域一所含地区除外）、澳大利亚以及西南太平洋

在这三个区域内，频率带宽被分配给各类型的卫星业务，而同一业务在不同的区域内所分配的频率可能不同。卫星业务的类型如下：

- 固定卫星业务（Fixed Satellite Service, FSS）
- 卫星广播业务（Broadcasting Satellite Service, BSS）
- 移动卫星业务（Mobile Satellite Service）
- 导航卫星业务（Navigational Satellite Service）

• 气象卫星业务 (Meteorological Satellite Service)

每一大类卫星业务都包含了许多小类。例如, FSS 可为现有电话网络之间提供连接业务, 也可为有线电视公司传送电视信号。卫星广播业务主要用于提供直达用户家庭的电视广播业务, 也被称为卫星直播业务 (direct broadcast satellite, DBS) [在欧洲称为卫星电视直播到户 (direct-to-home, DTH) 业务]。移动卫星业务则包括陆上移动业务、海上移动业务和空中移动业务。导航卫星业务包括全球卫星定位系统 (global positioning system, GPS), 而气象卫星业务通常提供搜寻与营救服务。

表 1.1 列举了卫星业务的常用频段分配。表中的 Ku 频段表示该频段在 K 频段之下, 而 Ka 频段表示在 K 频段之上。Ku 频段目前主要用于 DBS 以及部分 FSS。C 频段用于 FSS, DBS 不允许使用该频段。甚高频 (VHF) 频段用于部分移动业务和导航业务, 气象卫星传送数据也使用该频段。L 频段也用于移动卫星业务和导航系统。FSS 在使用 C 频段时, 多用 4~6 GHz 的子带, 更高的频率一般用于向卫星传送上行数据, 这将会在后面的章节中详细解释。通常人们也用 6/4 GHz 表示 C 频段, 而将上行频率独立出来。对于使用 Ku 频段的卫星直播业务, 最常用的子带是 12~14 GHz, 表示为 14/12 GHz。频段分配总是按比较规整的数字进行分配, 虽然实际应用中会与表 1.1 所列数据稍有出入 (如 Ku 频段中会出现 14 030 MHz 和 11 730 MHz), 但近似数值也能够满足计算需要, 后面将会对此作出说明。

在使用已发布的频段时必须注意, 雷达与通信应用的频段分配方式有所不同; 此外, 不同国家可能使用不同的分配规则。

表 1.2 是 ITU 官方提出的频段分配方案。本书中将使用表 1.1 的分配方法, 并用 6/4 GHz 表示 C 频段, 用 14/12 GHz 表示 Ku 频段。

表 1.1 频段分配

频率范围 (GHz)	频段名称
0.1~0.3	VHF
0.3~1.0	UHF
1.0~2.0	L
2.0~4.0	S
4.0~8.0	C
8.0~12.0	X
12.0~18.0	Ku
18.0~27.0	K
27.0~40.0	Ka
40.0~75	V
75~110	W
110~300	mm
300~3 000	μm

表 1.2 ITU 频段分配

序号	符号	频率范围 (上、下限)	对应的波长范围名称	频段缩写
4	VLF	3~30 kHz	万米波	B. Mam
5	LF	3~30 kHz	千米波	B. km
6	MF	300~3 000 kHz	百米波	B. hm
7	HF	3~30 MHz	十米波	B. dam
8	VHF	30~300 MHz	米波	B. m
9	UHF	300~3 000 MHz	分米波	B. dm
10	SHF	3~30 GHz	厘米波	B. cm
11	EHF	30~300 GHz	毫米波	B. mm
12		300~3 000 GHz	丝米波	

1.3 国际通信卫星组织 (INTELSAT)

INTELSAT 是国际通信卫星 (International Telecommunications Satellite) 的简写。该机构成立于 1964 年, 目前已有超过 140 个成员国, 以及超过 40 个投资实体 (详见 <http://www.intelsat.com/>)。2001 年 7 月, INTELSAT 成为私营公司, 从 2002 年 5 月开始, 该公司通过电信网络、租用光纤以及遍布全球的服务点 (PoP) 向用户提供端到端服务。从 1965 年成功发射 Early Bird 号卫星开始, 该机构每隔数年就会发射一颗卫星。图 1.1 表示

INTELSAT 部分卫星的演进过程。从图中可以看出, 每一次发射的卫星, 在容量 (以语音信道数量衡量) 和设计寿命上都有显著提高。这些卫星都在对地静止轨道 (geostationary orbit) 上运行, 即它们是对地静止的, 我们将在第 3 章讨论对地静止轨道问题。需要说明的是静止轨道的轨道都在地球的赤道平面上, 其位置可用经度表示。为便于进行国际间传输, INTELSAT 覆盖了三个区域: 大西洋区 (Atlantic Ocean Region, AOR)、印度洋区 (Indian Ocean Region, IOR) 和太平洋区 (Pacific Ocean Region, POR), 后者随后演变为美洲区 (Intelsat America's Region)。在每个区域内, 卫星都在所属大洋上空的对地静止轨道上运行, 并提供越洋通信的线路。例如, INTELSAT 的 905 号卫星位于东经 335.5° 上。图 1.2a 表示其 C 频段天线的覆盖情况, 而图 1.2b 和图 1.2c 分别表示其 Ku 频段点波束天线 1 和 2 的覆盖情况。

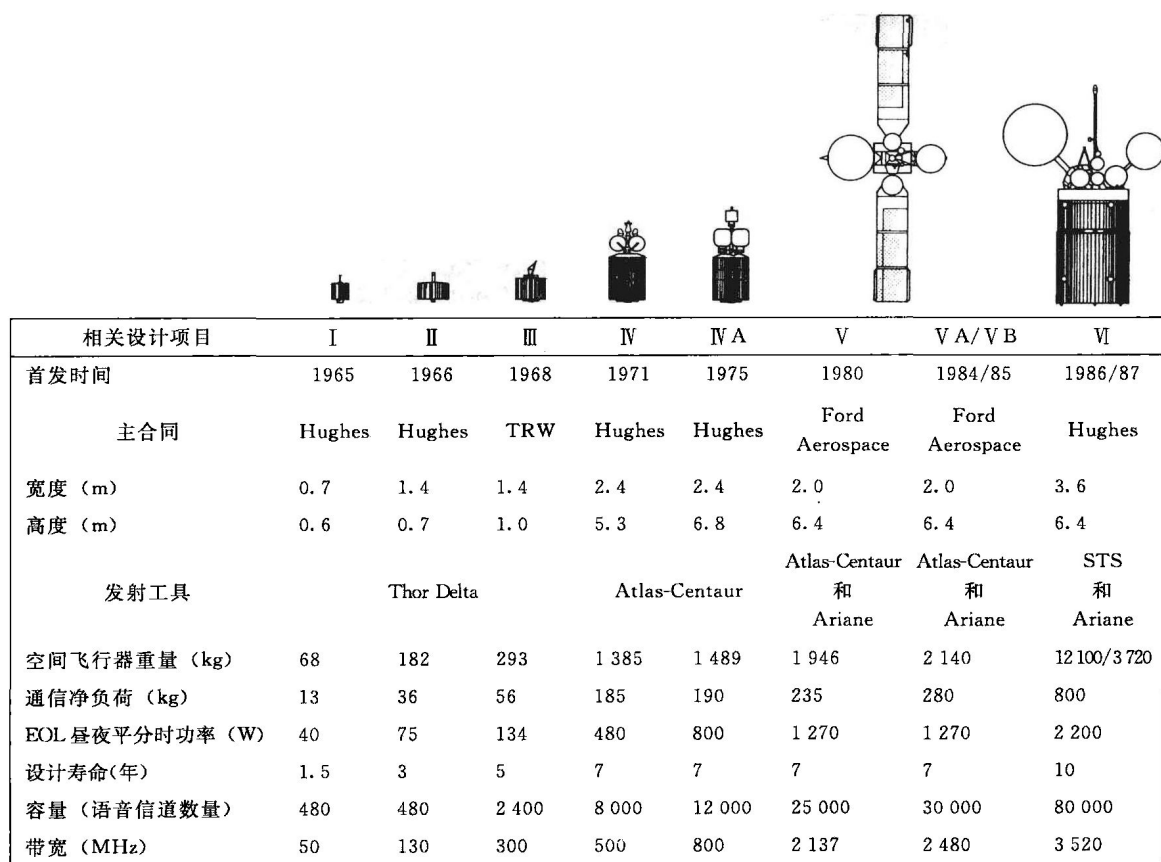


图 1.1 INTELSAT 卫星演进

(来源: Colino, 1985; 《ITU Telecommunications Journal》)

INTELSAT 在 1993 年 10 月到 1996 年 6 月之间陆续发射了 VII-VII/A 系列卫星。该系列卫星的结构与图 1.1 中的 V 系列和 VA/VB 系列相似, 只是用太阳反射器 (太阳帆) 取代了后者的圆柱体, 我们将会在第 7 章详细讨论这种结构类型。VII 系列计划用于服务太平洋区, 同时也能处理少量大西洋区的业务。它的天线波束覆盖范围适用于太平洋区。图 1.3 描述了 C 频段天线波束的半球状覆盖和区域覆盖情况, 以及 Ku 频段点波束天线的覆盖情况 (Lilly, 1990 年; Sachdev 等, 1990 年)。若将 VII 系列卫星用于大西洋区, 只需稍做修改,

即反转其南北向，主要目的是针对该区域优化天线方向图。这些卫星根据发射工具的不同，能服役 10 到 15 年不等。

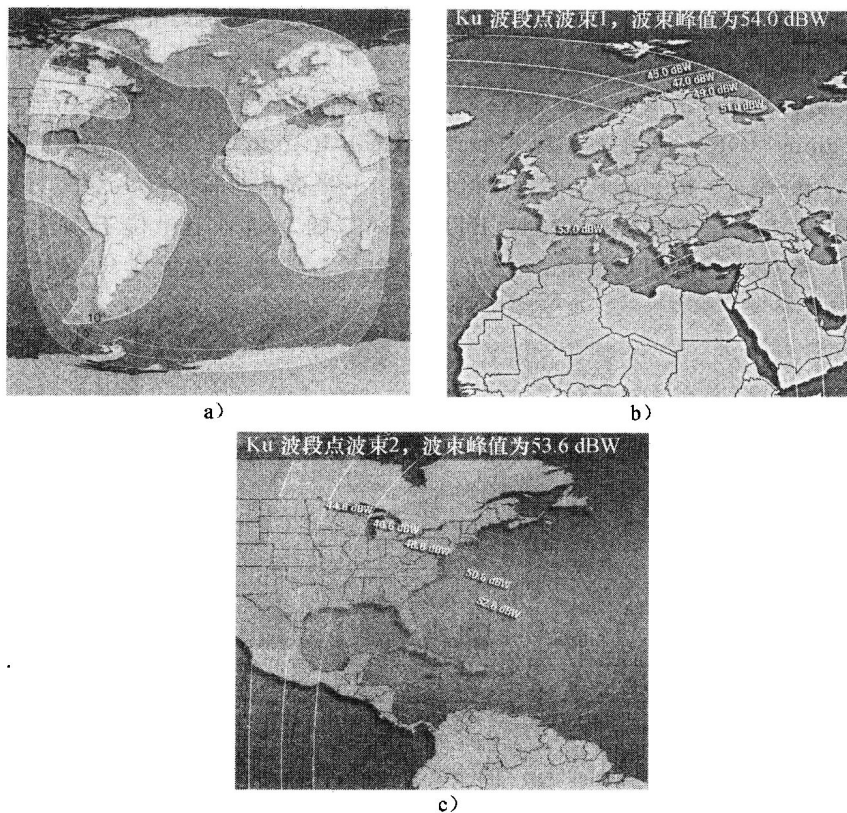


图 1.2 INTELSAT 的 905 号卫星位于东经 335.5°

a) 卫星 C 频段天线的覆盖区；b) 卫星 Ku 频段点波束天线 1 的覆盖区；c) 卫星 Ku 频段点波束天线 2 的覆盖区

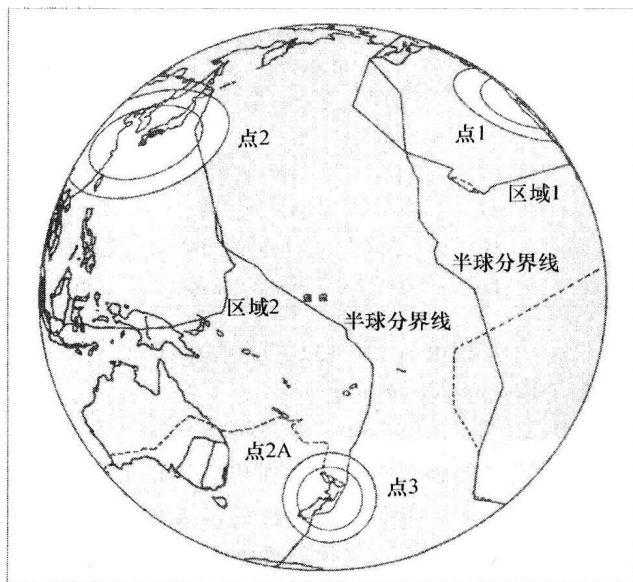


图 1.3 INTELSAT VII 系列卫星的覆盖范围（太平洋区；球状、半球状与点波束）

（来源：Lilly, 1990；经作者允许）

INTELSAT 网站上最近提供了一组关于 VII 系列卫星容量的数据, 它能容纳 18 000 个双向电话线路和 3 个电视频道; 使用“数字电路多路复用”技术时, 能达到 90 000 个双向话路。而 VII/A 系列卫星的容量则高达 22 500 个双向话路和 3 个电视频道, 使用数字电路多路复用技术可获得 112 500 个双向话路。到 1999 年 5 月, 已有四颗卫星在大西洋区上空服务, 印度洋区一颗, 太平洋区两颗。

INTELSAT 的 VIII-VII/A 系列卫星在 1997 年 2 月到 1998 年 6 月之间发射。这个系列的容量与 VII/A 系列相近, 寿命可达 14~17 年。

发射卫星时, 通常会在轨道上预留一颗备用卫星, 它能在需要时取代主用卫星, 同时还要在地面上准备一颗备用卫星, 以防备发射失败。因此, 大型国际卫星发射的费用十分昂贵, 例如我们稍后将会提到的 IX 系列卫星, 总投资将近 10 亿美元。

表 1.3 列出了一些较新型的 INTELSAT 卫星参数。这些新型卫星所提供的业务比以前的卫星要丰富得多, 包括因特网、卫星直播电视、远程医疗、远程教育以及互动电视和多媒体等。一个 36 MHz 的卫星转发器能够传送将近 9 000 路语音, 或者两路模拟电视频道, 或者 8 路数字电视频道, 后面的章节中将详细讨论这些卫星的转发器及其发送的信号类型。

表 1.3 INTELSAT 对地静止卫星

卫星	位置	转发器号	发射时间
901	342°E	Up to 72@36 MHz in C-Band	June 2001
		Up to 27@36 MHz in Ku Band	
902	62°E	Up to 72@36 MHz in C-Band	August 2001
		Up to 23@36 MHz in Ku Band	
903	325.5°E	Up to 72@36 MHz in C-Band	March 2002
		Up to 22@36 MHz in Ku-Band	
904	60°E	Up to 72@36 MHz in C-Band	February 2002
		Up to 22@36 MHz in Ku Band	
905	335.5°E	Up to 72@36 MHz in C-Band	June 2002
		Up to 22@36 MHz in Ku Band	
906	64°E	Up to 72@36 MHz in C-Band	September 2002
		Up to 22@36 MHz in Ku Band	
907	332.5°E	Up to 72@36 MHz in C-Band	February 2003
		Up to 23@36 MHz in Ku Band	
10-02	359°E	Up to 70@36 MHz in C-Band	June 2004
		Up to 36@36 MHz in Ku Band	

除了开展越洋业务外, INTELSAT 卫星也能为任何指定国家提供国内业务, 或者提供国家之间的区域性业务, 例如, 用于电话通信的 Vista 业务和用于数据交换的因特网业务。

图 1.4 描述了典型的 Vista 应用。

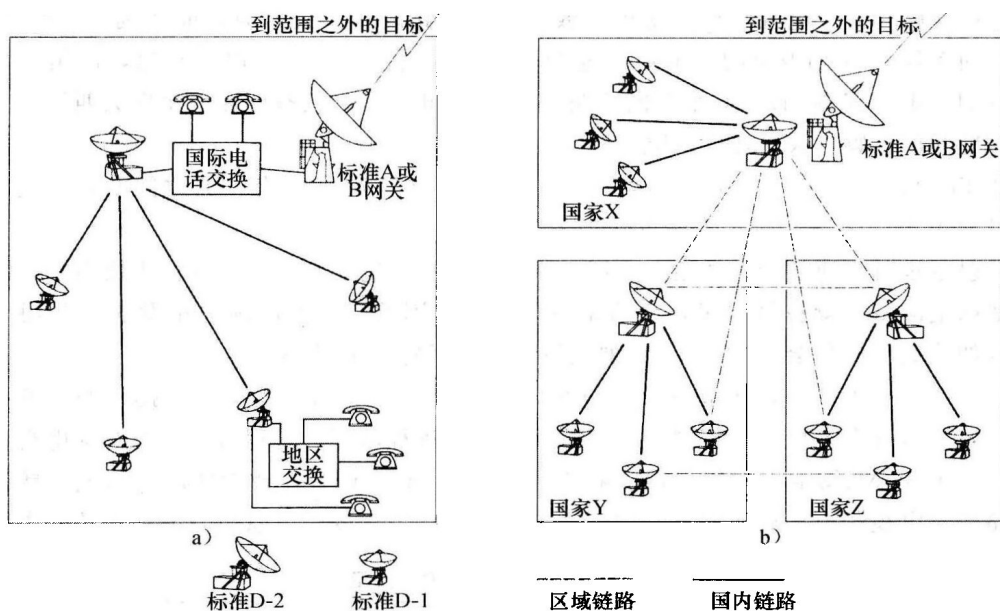


图 1.4

a) 典型 Vista 应用; b) 使用标准 A、B 网关的国内/地区性 Vista 网络
(来源: Colino, 1985; 《ITU Telecommunication Journal》)

1.4 美国国内通信卫星

DOMSAT 是国内通信卫星 (domestic satellite) 的简称。国内通信卫星可在国家范围内提供各种通信业务, 诸如语音、数据和视频传输等。美国的所有国内通信卫星都运行在对地静止轨道上。众所周知, 这些卫星为家庭娱乐市场提供了丰富多彩的电视节目, 并且在商业通信运营领域发挥了重要作用。

美国国内通信卫星可以提供电视直播到户 (DTH) 业务, 大致分为高功率、中功率和低功率三大类 (Reinhart, 1990)。各种分类所定义的特性见表 1.4。

表 1.4 三种美国 DBS 系统的特性定义

	高功率	中功率	低功率
频段	Ku	Ku	C
下行链路频率分配 (GHz)	12.2~12.7	11.7~12.2	3.7~4.2
上行链路频率分配 (GHz)	17.3~17.8	14~14.5	5.925~6.425
空间业务	BSS	FSS	FSS
主要使用	DBS	点到点	点到点
附加使用	点到点	DBS	DBS
可能的陆地干扰	No	No	Yes
卫星间隔角度	9	2	2~3
谁来决定卫星间隔	ITU	FCC	FCC
可能的邻近卫星干扰	No	Yes	Yes
卫星的 EIRP 范围 (dBW)	51~60	40~48	33~37

注: ITU——国际电信联盟; FCC——联邦通信委员会。
(来源: Reinhart, 1990)

区别这三分类卫星业务的最主要参数是等效全向辐射功率 (equivalent isotropic radiated power, EIRP), 我们将在第 12 章详细解释这一参数。现在只需了解, 高功率类的 EIRP 上限为 60 dBW, 而低功率类的上限只有 37 dBW, 二者相差 23 dB。这一差别使得高功率类的接收功率相对低功率类提高了 $10^{2.3}$ 倍, 接近于 200 倍, 接收方可以使用小得多的天线进行接收。从表 1.4 中可以看出, 高功率类卫星主要用于卫星直播业务。中功率类卫星主要用于点对点业务, 此类卫星还可能被出租以提供卫星直播业务。低功率类卫星不提供官方的直播业务。但是, 人们很快会发现, 家庭娱乐方面的许多无线电和电视节目都能从这个频段上接收到, 所以现在认为低功率类事实上提供 DBS 业务, 目前安装在北美家庭庭院和屋顶上的大量卫星电视接收器 (TV receive-only, TVRO) 抛物面天线, 就能说明这一情况。许多其他国家禁止使用 TVRO 接收 C 频段信号, 有些是因为大量抛物面天线的存在影响美观, 也有些是出于商业原因。现在北美有很多 C 频段的电视广播是经过加密或加扰的, 以防止未经授权的访问, 但这样很可能滋生出新的反加密地下工业。从表 1.4 可以看出, 正式的 DBS 业务使用的是 Ku 频段。图 1.5 表示 DBS 系统的组成 (加拿大政府, 1983)。电视信号通过陆地连接到达卫星上行链路基站, 基站在 14 GHz 频段上向卫星发射一个很窄的波束信号, 而后卫星将在 12 GHz 频段上用宽波束转发该电视信号。这样, 在宽波束覆盖范围内的用户都能接收到卫星信号了。

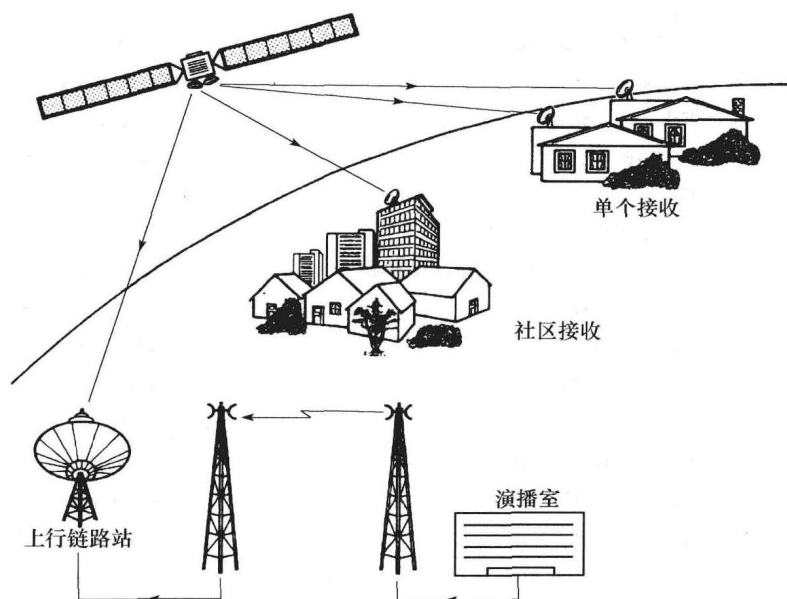


图 1.5 直播卫星系统的组成

(来源: 加拿大政府, 1983, 经允许使用)

表 1.5 反映了美国国内固定卫星的轨道分配情况 (FCC, 1996)。这些卫星都在对地静止轨道上, 我们将在第 3 章讨论这一问题。表 1.6 描述了美国 Ka 频段的分配情况。诸如因特网 (见第 15 章) 等宽带业务都能在这一频段上运行。1983 年, FCC 采纳了一个客观的政策, 规定工作在 6/4 GHz 频段上的卫星最小轨道间隔为 2° , 工作在 14/12 GHz 频段上的卫星最小轨道间隔为 1.5° (FCC, 1983)。很显然, 卫星轨道之间的冲突会随着距离的接近而增加, FCC 规定的最小轨道间隔就是在各频段上, 冲突达到可接受临界值时的卫星距离。事