

数字移动通信技术丛书

# 卫星 移动通信系统

---

(第2版)

张乃通 张中兆 李英涛 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

00010259

TN 927-2

25-2

数字移动通信技术丛书

# 卫星移动通信系统

(第2版)

张乃通 张中兆 李英涛 等编著

HK 80/07



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry



C0487074

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了适应全球个人通信方式必不可少的通信手段之一——卫星移动通信系统,包括其基本概念,卫星移动通信电波传播、空间参数、组网技术,系统组成、开发现状,静止、中、低轨道典型系统和关键技术,卫星星座的分析与设计,卫星移动通信系统网络性能分析等。内容新颖,概念清楚,有较强的实际应用价值。

本书适合于不同类型人员阅读,对于通信等学科的科研人员、大专院校师生、管理人员、移动通信用户及关心全球个人通信的人员均有较大的参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

## 图书在版编目(CIP)数据

卫星移动通信系统/张乃通等编著. - 2 版. - 北京:电子工业出版社,2000. 3  
(数字移动通信技术丛书)

ISBN 7-5053-5738-7

I. 卫… II. 张… III. 卫星通信;移动通信 - 概论 IV. TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 65146 号

丛 书 名: 数字移动通信技术丛书

书 名: 卫星移动通信系统(第 2 版)

编 著 者: 张乃通 张中兆 李英涛 等

责任编辑: 徐 堃

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京天宇星印刷厂

装 订 者: 河北涿州桃园装订厂

出版发行: 电子工业出版社出版、发行 URL: <http://www.phei.co.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036 发行部电话 68214070

经 销: 各地新华书店经销

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 12.5 字数: 312 千字

版 次: 2000 年 3 月第 2 版 2000 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5738-7  
TN·1340

印 数: 5000 册 定价: 20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请向购买书店调换;

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

# 出 版 说 明

二十世纪的最后十年,移动通信特别是数字移动通信发展之快和应用之广,大大超出了人们的预料和专家的预测。移动通信的产品和它向社会提供的各种服务已是家喻户晓。为了满足社会各界和广大通信技术人员系统学习和掌握这些新技术的需要,电子工业出版社通信与网络编辑部约请富有经验的通信专家和技术人员,编写了这套《数字移动通信技术丛书》,相继出版。

这套丛书的特点是力求内容的先进性、实用性和系统性。丛书从我国通信技术应用现状与发展情况出发,以系统与技术为中心,系统地介绍基本原理和系统结构、系统体制和技术指标、协议和信令、接口和组网技术、典型设备和工程设计,以及新技术和新设备。丛书理论性与工程实践性紧密结合,内容丰富、深入浅出、层次清楚、深浅适宜、详简得当。丛书旨在引导读者将移动通信的原理、技术与应用有机结合。

这套丛书的主要读者对象是广大从事通信技术工作的工程技术人员,也适合大专院校通信、计算机等学科各专业在校师生和刚走上工作岗位的毕业生阅读参考。

在编辑出版这套丛书的过程中,参与编写、审定的各位通信专家都付出了大量心血,对此,我们表示衷心感谢。欢迎广大读者对这套丛书提出宝贵意见和建议,以便我们今后为广大读者奉献更多、更好的优秀通信技术图书。

电子工业出版社

1997年5月

## 《数字移动通信技术丛书》编审委员会

主    编：鞠  枫

委    员：(以姓氏笔划为序)

丁  瑾  马义广  王  青

刘乃安  张乃通  李小白

李承恕  李英涛  张中兆

吴文昱  杨永宁  陆冰霞

沈思源  宋俊德  杜振民

赵荣黎  郭  峰  曾兴雯

# 前 言

当今科学技术革命的核心和主流是信息技术革命。如果说 40 年代中期计算机问世为第一次信息革命的开始,那么,那次信息革命的主要成就是把信息处理能力成百万倍提高。90 年代信息高速公路的出现就标志着第二次信息革命的开始。这次信息革命的主要任务是把信息传递能力成千上万倍提高。信息高速公路不是真正的高速公路,而是传送高速信息的通信网络。它是一个密如蛛网、四通八达的通信网络,通到每个单位、每个家庭,甚至每个人。80 年代后期人们相继提出了 PCN(个人通信网)和 PCS(个人通信业务),即在任何时间、任何地点、任何人之间通信的个人通信的概念。

自 1965 年世界上成功地发射了第一颗国际商用通信卫星(Intersat)至今,卫星通信已经历了近 30 年的发展历程,卫星通信已发展到军民皆用;从传送电话、电报、电视、数据到传送宽带综合数字业务(B-ISDN);从模拟发展到数字。由于卫星通信具有通信距离远,费用与通信距离无关,覆盖面积大,不受地理条件限制,通信频带宽,传输容量大,适于多种业务传输,可进行多址通信,通信线路稳定可靠,通信质量高,既可为固定终端又可为车载、船载、机载和个人终端提供通信等一系列特点,在人类历史经历跨时代转折之际,卫星通信的历史也将发生一次重要转折,空间通信必将进入个人通信时代。这个时代对卫星通信的要求是卫星通信终端做到手持化,通信实现全球化。为了适应这一发展需要,80 年代初海事卫星通信组织率先发展起海上卫星移动通信业务,同时利用静止轨道的陆地卫星移动通信进入研究开发阶段。90 年代初由于小卫星技术的兴起与发展,出现了中、低轨道卫星移动通信的新思路。我国幅员辽阔、地形复杂、卫星移动通信需求大,因此我国卫星移动通信市场已成为国际各大卫星移动通信公司争夺的热点为了发展我国的卫星移动通信事业,我们利用几年来从事这方面科研工作的成果并参阅了大量国外这方面的技术资料,编著了这本《卫星移动通信系统》。

中、低轨道小卫星星座的个人移动通信系统,由于轨道低,要覆盖面大就必须使卫星数量多,而且运行寿命短,地面组织管理也尚无成熟经验,在经济成本方面还不是处于最优势地位。但它具有以下特点:① 路径损耗小,收、发信机功率低,过去静止轨道卫星主要是为了克服路径损耗而要求卫星天线尺寸和发射功率大,但不可能太大,因而无法达到所要求的 EIRP 值和 G/T 值,移动用户必须使用较大体积和较大功率的终端(难于实现终端手持化)。依据目前的技术,实现个人通信以 1000km 直径的点波束计算:若采用低轨系统,卫星天线只需 1.5m,中轨系统天线需 11m,若用静止轨道系统,天线直径需 39m;② 通信延迟时间短,静止轨道系统传输延迟 250~270ms,中轨道系统传输延迟 70~80ms,低轨系统传输延迟只有 5~10ms;③ 中、低轨系统终端可做到手持化,因而用户使用方便;④ 随着小卫星技术的提高,成本也将降低。为此,小卫星组成中、低轨卫星移动通信系统将是实现个人通信及完成信息高速公路对通信提出的要求的最有前途的通信手段之一。全世界出台了十几个利用小卫星组成中、低轨道卫星移动通信系统的方案。所以,介绍中、低轨道卫星移动通信系统的原理、关键技术、实施方案等是本书的重点内容之一。

本书共分七章。第一章概论,重点介绍 VSAT 组网技术及卫星移动通信系统的概念、定义等。随着微电子技术和计算机技术的发展,80 年代中期开始在世界范围内出现了一个十分引人注目的固定 VSAT(小型卫星通信地球站)的应用高潮。由于它可以直接安装于用户处,并能提供高质量的数据、话音、图像和其他综合业务,使卫星通信直接面向用户、面向家庭甚至面向

个人。为此,在本章中专门安排了一节 VSAT 组网技术的内容,介绍其原理、组成、特点等。第二章介绍卫星移动通信系统的电波传播。为了进行卫星移动通信系统的链路计算,必须首先了解其电波传播特性。然而对于高轨系统的电波传播特性在很多著作中都有介绍,我们此处突出介绍移动特性及中、低轨道电波传播的特点与影响链路计算的因素。第三章介绍中、低轨卫星移动通信系统基本参数,要保持用户终端采用简单天线和低功率发射机即能工作,卫星星座结构是卫星移动通信系统设计的首要问题,而这一问题的实质,则是卫星轨道的选择。在卫星固定通信系统中,由于地球站站址是事先选定的,因而其卫星通信链路几乎不存在多径现象,对卫星仰角的大小就并非十分敏感。但是在卫星移动通信系统中由于移动用户的位置是随机的,此时通信链路多径现象的严重程度完全取决于卫星仰角的高低。另一方面在卫星移动通信系统中,对卫星的最小仰角不仅取决于轨道高低,而且与系统所拥有的卫星数量有关。在覆盖区内用户看到卫星最坏仰角为最小仰角。本章主要介绍这些星座参数的选择及卫星天线点波束内的信道数与主要参数的关系。第四章介绍卫星移动通信系统技术。本章主要介绍卫星移动通信系统网络的控制、信令,再用频率覆盖区的选择、多址技术及星间激光链路等。第五章介绍静止(高)轨道卫星移动通信系统。第六章介绍中、低轨道卫星移动通信系统。这两章主要以 Inmarsat、Msat、Iridium, Globalstar, Odyssey 为例介绍高、中、低轨道卫星移动通信系统的原理、特点、组成方案等。第七章为系统比较,本章主要对上述系统的技术性能、经济性能进行比较,以期在考虑我们自己的方案时有所参考。本书第二章、第三章由李英涛博士编著,第六章由张中兆教授编著,其余为张乃通教授编著,张钦宇助教参加编写了第七章。全书由张乃通教授负责主编。文稿录入及文字、图表校核工作由贺立俊、张钦宇等完成。

由于卫星移动通信系统是正在发展中的技术,大部分系统尚在研究开发中,并未正式投入使用,有的甚至仅仅是设想和方案。因此,编著者只能就目前所知情况进行介绍,随着时间的推移可能会有变化,甚至有些提法不恰当,敬请广大读者批评指正。

本书可供广大科研、工程技术人员及高等院校相关专业的教师、本科生、研究生参考或作为教学参考书使用。

编著者  
1996 年 12 月

## 第 2 版前言

本书第 1 版面世已近三年了,在这三年中,航天技术的开发和应用给人类带来了难以想像的巨大利益。80 年代末 90 年代初,国际上兴起现仍持续不断发展的小卫星热,更促进了航天技术开发和应用的历程。小卫星技术的发展可分为三个阶段:① 探索研究;② 发展应用;③ 推广与应用(引起航天技术和空间应用的变革)。当前的技术发展正处在第二阶段。该阶段的特点是小卫星具有一系列的优势已得到证实,并且获得全方位应用,技术性更好、重量更轻的微小卫星也得到迅速发展,由小卫星组成星座的技术已开始通过试验而得到应用,例如铱星、全球星和 Orbcomm 三个星座,这几年总共已发射了 132 颗小卫星,在 1998 年发射近 100 颗。为了适应技术的发展,作者总结了近两年的科研成果,将原书第三章改名为“卫星星座设计概述”,较详细地介绍了有关星座的分析与设计。该章由李赞、张乃通编著。卫星移动通信系统由空间星座、地面网络、用户终端三大部分组成,因此卫星移动通信系统的连通性是决定该系统的运行好坏及能否生存的关键。为此,作者在有关科研成果的基础上增加了“卫星移动通信系统网络连通性能分析”一章,由孙国滨、张乃通编著。

卫星移动通信是发展中的技术,而且发展速度极快,作者衷心希望本书的出版能起到抛砖引玉的作用,对我国卫星移动通信事业的发展起到促进作用。由于有关工作还在逐步深入,加之编著者水平有限,书中难免出现不妥或错误之处,敬请批评指正。

编著者

1999 年 8 月

# 目 录

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| <b>第一章 卫星通信与卫星移动通信</b> .....     | ( 1 )  |
| <b>第一节 卫星通信与卫星移动通信</b> .....     | ( 1 )  |
| 一、国际卫星通信系统 .....                 | ( 1 )  |
| 二、VSAT 卫星通信系统 .....              | ( 2 )  |
| 三、卫星移动通信系统 .....                 | ( 3 )  |
| <b>第二节 VSAT 组网技术</b> .....       | ( 5 )  |
| 一、VSAT 网络组成 .....                | ( 5 )  |
| 二、VSAT 接入方式(多址方式) .....          | ( 7 )  |
| 三、VSAT 主要性能、特点 .....             | ( 9 )  |
| <b>第三节 卫星移动通信系统的分类</b> .....     | ( 9 )  |
| 一、按应用分类 .....                    | ( 9 )  |
| 二、按系统采用的卫星轨道分类 .....             | ( 12 ) |
| <b>第四节 卫星移动通信系统的主要技术参数</b> ..... | ( 15 ) |
| <b>第二章 卫星移动通信电波传播</b> .....      | ( 17 ) |
| <b>第一节 概述</b> .....              | ( 17 ) |
| <b>第二节 传播损耗</b> .....            | ( 17 ) |
| 一、自由空间传播损耗 .....                 | ( 18 ) |
| 二、大气、降雨、云、雾损耗 .....              | ( 18 ) |
| 三、树木遮挡损耗 .....                   | ( 21 ) |
| <b>第三节 传播噪声</b> .....            | ( 22 ) |
| <b>第四节 闪烁、折射及法拉第旋转</b> .....     | ( 23 ) |
| 一、大气折射 .....                     | ( 23 ) |
| 二、大气闪烁 .....                     | ( 24 ) |
| 三、电离层闪烁 .....                    | ( 24 ) |
| 四、法拉第旋转 .....                    | ( 25 ) |
| <b>第五节 多径、阴影与信道模型</b> .....      | ( 26 ) |
| 一、多径、阴影与分析模型 .....               | ( 26 ) |
| 二、陆地卫星移动信道分析模型 .....             | ( 27 ) |
| 三、海事和航空卫星移动信道分析模型 .....          | ( 31 ) |
| 四、非静止轨道 LMSS 信道概率模型 .....        | ( 32 ) |
| <b>第六节 多卜勒频移</b> .....           | ( 35 ) |
| <b>第七节 传播预测</b> .....            | ( 36 ) |
| 一、传播预测 .....                     | ( 36 ) |
| 二、链路分析举例 .....                   | ( 37 ) |

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| <b>第三章 卫星移动通信系统星座设计概述</b>      | (40) |
| 第一节 概述                         | (40) |
| 第二节 非静止轨道高度窗口                  | (41) |
| 第三节 卫星轨道的分类                    | (43) |
| 第四节 卫星的轨道要素                    | (46) |
| 一、卫星轨道的参数                      | (46) |
| 二、开普勒定律                        | (48) |
| 三、卫星的星下点轨迹                     | (50) |
| 第五节 卫星对地面的覆盖                   | (51) |
| 一、单颗卫星的覆盖区域                    | (51) |
| 二、卫星的地面覆盖带                     | (52) |
| 三、卫星环的覆盖带                      | (53) |
| 第六节 卫星星座的基本概念和参数               | (53) |
| 一、星座的覆盖方式                      | (53) |
| 二、最佳星座的具体含义                    | (54) |
| 三、星座设计的具体参数                    | (54) |
| 第七节 圆极轨道全球和地带覆盖卫星星座的设计         | (55) |
| 第八节 全球覆盖圆轨道卫星星座设计              | (59) |
| 一、玫瑰型卫星星座简介                    | (59) |
| 二、卫星星座参数的描述和计算                 | (59) |
| 三、全球覆盖卫星星座的设计思想与计算方法           | (62) |
| 第九节 地带性覆盖倾斜圆轨道卫星星座设计           | (63) |
| 一、简介                           | (63) |
| 二、基本概念和方程                      | (64) |
| 三、持续单次覆盖                       | (68) |
| 四、持续覆盖某区域的星座设计                 | (71) |
| 第十节 特殊卫星星座设计                   | (72) |
| 一、赤道轨道卫星星座的设计                  | (72) |
| 二、椭圆轨道卫星星座设计                   | (73) |
| 三、静止轨道卫星通信                     | (74) |
| 第十一节 各种卫星星座设计结果对比              | (75) |
| 一、极轨道卫星星座与 Rosette 卫星星座设计方法的对比 | (75) |
| 二、极轨道卫星星座与地带性覆盖卫星星座设计方法的对比     | (76) |
| 三、影响系统设计的其他因素                  | (76) |
| <b>第四章 卫星移动通信系统组网技术</b>        | (78) |
| 第一节 组网技术概述                     | (78) |
| 第二节 网络的控制与信令                   | (80) |
| 一、对网络的基本要求                     | (80) |
| 二、网络管理                         | (81) |
| 三、网络信令                         | (84) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 第三节 卫星移动蜂窝网动态信道分配技术 .....    | (85)  |
| 一、假定条件 .....                 | (85)  |
| 二、DCA 技术 .....               | (86)  |
| 三、切换和用户移动性 .....             | (86)  |
| 第四节 卫星移动通信系统中的多址技术 .....     | (88)  |
| 一、FDMA .....                 | (89)  |
| 二、TDMA .....                 | (91)  |
| 三、CDMA 技术 .....              | (92)  |
| 第五节 信关站选址技术 .....            | (102) |
| 一、星座设计参数与信关站选址的意义 .....      | (102) |
| 二、信关站选址分析与选择 .....           | (103) |
| 第五章 卫星移动通信系统组网性能分析 .....     | (105) |
| 第一节 引言 .....                 | (105) |
| 一、轨道高度的选择 .....              | (105) |
| 二、越区切换问题 .....               | (106) |
| 三、链路中断 .....                 | (107) |
| 第二节 系统容量分析 .....             | (107) |
| 一、卫星移动通信系统容量分析 .....         | (107) |
| 二、卫星移动通信系统的移动用户链路容量 .....    | (109) |
| 第三节 干扰分析 .....               | (110) |
| 一、天线方向图与干扰模型 .....           | (110) |
| 二、多址方式对干扰的影响 .....           | (112) |
| 三、衰落不存在时的系统干扰分析 .....        | (113) |
| 四、有衰落时干扰分析 .....             | (113) |
| 第四节 卫星通信系统星间链路分析 .....       | (116) |
| 一、星间链路的种类 .....              | (116) |
| 二、不同形式的星间链路的简要分析 .....       | (116) |
| 三、星间链路的频率选择 .....            | (118) |
| 四、星间链路拓扑结构 .....             | (120) |
| 第五节 网络分析 .....               | (121) |
| 一、网络拓扑结构 .....               | (122) |
| 二、网络模型 .....                 | (122) |
| 三、网络业务设计和容量评价 .....          | (123) |
| 第六章 高轨道卫星(GEO)移动通信系统 .....   | (127) |
| 第一节 系统概述 .....               | (127) |
| 一、GEO 卫星移动通信业务(MSS)的特点 ..... | (127) |
| 二、空间系统 .....                 | (129) |
| 三、地面系统 .....                 | (130) |
| 第二节 北美卫星移动通信系统——MSAT .....   | (130) |
| 第三节 海事卫星移动系统——Inmarsat ..... | (134) |

|                                              |              |
|----------------------------------------------|--------------|
| 一、系统概述 .....                                 | (134)        |
| 二、Inmarsat 系统的发展(21 号计划)——Inmarsat - P ..... | (138)        |
| <b>第七章 MEO、LEO 卫星移动通信系统 .....</b>            | <b>(142)</b> |
| 第一节 中、低轨道卫星移动通信系统概述 .....                    | (142)        |
| 第二节 中轨道(MEO)卫星移动通信系统 .....                   | (142)        |
| 一、中轨道卫星系统简介 .....                            | (142)        |
| 二、Odyssey 卫星移动通信系统 .....                     | (143)        |
| 第三节 低轨道(LEO)卫星移动通信系统 .....                   | (146)        |
| 一、铱(Iridium)卫星移动通信系统 .....                   | (149)        |
| 二、全球星(Globalstar)系统 .....                    | (159)        |
| <b>第八章 系统比较 .....</b>                        | <b>(169)</b> |
| 第一节 GEO 和 LEO 卫星移动通信系统的比较 .....              | (169)        |
| 一、频谱利用率比较 .....                              | (169)        |
| 二、技术比较 .....                                 | (170)        |
| 三、经济比较 .....                                 | (171)        |
| 四、小结 .....                                   | (171)        |
| 第二节 MEO 和 LEO 卫星移动通信系统的比较 .....              | (171)        |
| 一、卫星移动通信系统星座参数比较 .....                       | (171)        |
| 二、主要技术比较 .....                               | (172)        |
| 三、手持终端的比较 .....                              | (173)        |
| 第三节 GEO、MEO、LEO 卫星移动通信系统经济性能分析与比较 .....      | (174)        |
| 一、GEO、LEO 星座组成的全球系统星载主要参数和空间段成本 .....        | (174)        |
| 二、全球系统业务量与每分钟通话成本估算 .....                    | (174)        |
| 三、系统业务量加载所需的用户数 .....                        | (175)        |
| 四、实际系统成本估算 .....                             | (176)        |
| 第四节 卫星移动通信系统展望 .....                         | (180)        |
| 一、小低轨系统 .....                                | (180)        |
| 二、大低轨系统 .....                                | (181)        |
| 三、宽带多媒体系统 .....                              | (181)        |
| <b>参考文献 .....</b>                            | <b>(184)</b> |

# 第一章 卫星通信与卫星移动通信

## 第一节 卫星通信与卫星移动通信

### 一、国际卫星通信系统

由于卫星通信具有通信距离远、费用与通信距离无关、覆盖面积大、不受地理条件限制、通信频带宽、传输容量大、适于多种业务传输、可进行多址通信、通信线路稳定可靠、通信质量高,以及既可为固定终端又可为车载、船载、机载和个人终端提供通信等一系列特点,几十年来获得了迅速的发展,成为现代强有力的通信手段之一。

利用卫星进行通信的设想最早是英国空军雷达专家阿瑟 C·克拉克在 1945 年 10 月提出的。他在《无线电世界》杂志上发表的一篇题为《地球外的中继站》的文章中,提出了在静止轨道(即同步轨道)上放置 3 颗卫星来实现全球通信的设想,如图 1.1 所示,形成著名的“卫星覆盖通信说”。但这一设想直至 1957 年 10 月 4 日前苏联发射了世界上第一颗人造地球卫星 SPUTNIK,才使人们看到真正实现卫星通信的希望。1962 年 7 月美国成功地发射了第一颗通信卫星 Telsat,试验了横跨大西洋的电话和电视传输。但它是椭圆轨道上运行的卫星,每 157 分钟绕地球一周。第一颗静止轨道卫星则是 1963 年 2 月美国发射的 SYNCOM 试验卫星,它成功地转播了 1964 年东京奥运会的情况。同年 8 月 20 日以美国通信卫星公司(COMSAT)为首的国际性组织宣告成立,先称“国际通信卫星集团”,次年更名为“国际通信卫星组织”,即著名的 INTELSAT。该组织于 1965 年 4 月 6 日发射了世界上第一颗商用静止轨道卫星“晨鸟”号(后称 INTELSAT I)。两周以后,前苏联也成功地发射了第一颗非静止轨道卫星“闪电-1”,进行电视、电话传输。这样,经过 20 年的探索和试验,卫星通信终于跨入了实用阶段。

80 年代以来,卫星通信技术发展很快,1980 年发射的 Intelsat-V 卫星,采用了多波束以及频率再用技术,工作频段不仅利用了 C 波段,而且还用了 Ku 波段;此外,在原有的 FDMA 方式的基础上,又引用了 TDMA 方式,从而满足了不断增长的通信需求量。特别是 1989 年发射 Intelsat-VI 卫星以来,卫星星体技术从此跃上了一个新台阶,它是目前最大最复杂的商用通信卫星,其重量达 4 吨,有 38 个 C 频段转发器和 10 个 Ku 频段转发器,可传输 3~4 路电视和 3.3 万路双向电话;采用了星上交换/时分多址(SS/TDMA)技术,速率为 120Mb/s,增加 Ku 频段功率和采用了数字电路倍增设备(DCME)后,总容量可达 12 万话路,设计寿命为 13 年。1992 年发射的 Intelsat-VII 卫星,与 Intelsat-VI 卫星相比,除了采用了 SS/TDMA,其转发器减为 36 个(26 个 C 频段,10 个 Ku 频段),容量下降 30%,但 Ku 频段采用了 TWTA 线性电路,C 频段采用了 SSPA,从而达到了提高 G/T 和 EIRP 以及工作最佳化的目的,设计寿命为 15 年。Intelsat-VI 主要设计用于大型地面站之间的大容量干线电话通路,而 Intelsat-VII 主要设计用于为广泛分布的小型终端提供业务。Intelsat-V、VI、VII 通信卫星的技术特性见表 1.1。为了满足全世界日益增长的商用和其它类型数字通信的需求,特别是随着 ISDN 的出现和迅速发展,Intelsat 推出了 IBS 和 IDR 新型通信业务和协调的传输方式。目前 Intelsat 的数字业务得到了

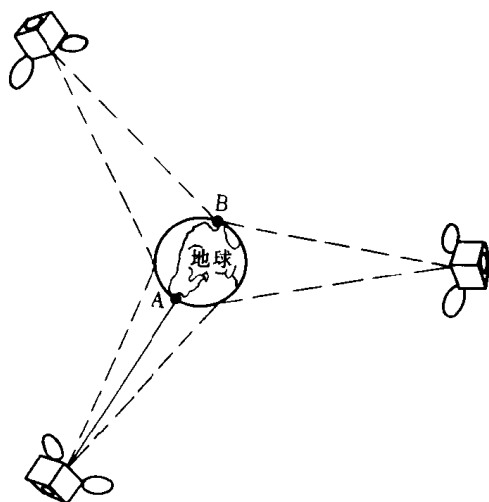


图 1.1 3 颗卫星覆盖全球

大力推广应用, IDR 业务增长已占公用交换网(PDN)业务的 50% 以上, 已有 60 多个国家 200 多个地面站开通了 IBS 业务。

表 1.1 Intelsat 卫星的技术特性

| 主要参数<br>系 统 | 发射<br>年份      | 尺 寸<br>宽×高(m) | 总带宽<br>(MHz)  | 最大 EIRP(dBw)   |                | 最大 G/T(dB/K) |       | 话路数             | 电视通<br>道数 | 设计寿命<br>(年) |
|-------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|--------------|-------|-----------------|-----------|-------------|
|             |               |               |               | C 频段           | Ku 频段          | C 频段         | Ku 频段 |                 |           |             |
| V           | 1980/<br>1985 | 2×6.4         | 2300/<br>2144 | 29.0/<br>35.5  | 44.4           | -6.0         | 3.3   | 12000/<br>15000 | 2         | 7           |
| VI          | 1989          | 3.6×5.3       | 3300          | 31.0           | 44.7           | -2.0         | 1.7   | 120000          | 3         | 13          |
| VII         | 1992          | 2.7×4.2       | 2432          | 36.5<br>(SSPA) | 46.7<br>(TWTA) | -3.0         | 4.0   | 100000          | 3         | 15          |

## 二、VSAT 卫星通信系统

随着通信需求的急剧增长和卫星通信技术的飞跃发展, 80 年代初发展起一种新的卫星通信系统——VSAT。VSAT(Very Small Aperture Terminal)的中文含义为“甚小口径天线地球站”, 通常它是指天线口径小于 2.4m, G/T 值低于 19.7dB/k 的高度智能化控制的地球站。目前, 采用扩频(SS)方式的 C 频段 VSAT, 其天线口径一般可压缩至近 1m 以下; Ku 频段, 期望 VSAT 系统天线口径小于 2.4m。亦有称采用天线口径 0.5m 以下的超小型地球站为 VSAT 用。VSAT 按其承担主要业务的不同而分成两大类: 一类是以数据为主的小型数据地球站(PES, Personal Earth Station); 另一类是以话务为主、数据兼容的小型电话地球站(TES, Telephone Earth Station)。VSAT 由于应用了大规模集成电路、数字信号处理和微处理器等新技术, 因而具有成本低、体积小、智能化、高可靠、信道利用率高, 以及安装维护方便等特点, 特别适用于缺乏现代通信手段、业务量小的专用卫星通信网。70 年代末 VSAT 问世, 即得到各国的重视, 至 80 年代中期获得广泛应用, 成为卫星通信中的热门领域之一, 发展十分迅速。因此, 下节将简要介绍 VSAT 通信系统技术。

### 三、卫星移动通信系统

在人类历史经历跨世纪转折之际,卫星通信历史也将发生一次转折,随着 21 世纪的到来,卫星通信将进入个人通信时代,这个时代的最大特点就是卫星通信终端达到手持化,个人通信实现全球化。这一业务上的飞跃可与计算机工业中由大型机进入个人计算机、电子工业中由真空管进入固态器件相提并论。

所谓个人通信,它是移动通信的进一步发展,是面向个人的通信,国际电联称之为通用个人通信(UPT),在北美则称为个人通信业务(PCS)。其实质有多种说法,美国专家认为,它是对任何地方(AnyWhere)、任何时候(Anytime)、通过任何媒介(AnyMedium)都能提供各种通信服务的通信;欧洲专家认为,它是对每个地方(EveryWhere)和每个人(Everybody)都能提供各种通信服务(EveryService)的通信;日本专家认为,它是能同时利用移动通信(Mobile Communication)、公共通信(Public Communication)、智能通信(Intelling Communication)方式来提供各种通信服务的通信;我国专家认为,它是指无论在任何地方(Where),无论在任何时候(When),都能向任何人(Who)提供各种通信服务的通信。个人通信网(PCN)的关键技术是与个人通信的实际内含密切相关的,近一二十年来,现有的模拟移动通信技术和 ISDN 技术相结合,形成了数字移动通信;现有的公共通信技术与移动通信技术相结合,形成了无绳电话通信;现有的公共通信技术与 ISDN 技术相结合,形成了综合业务公共通信。个人通信网也就是这 3 种通信技术相互渗透与结合的产物,如图 1.2 所示。

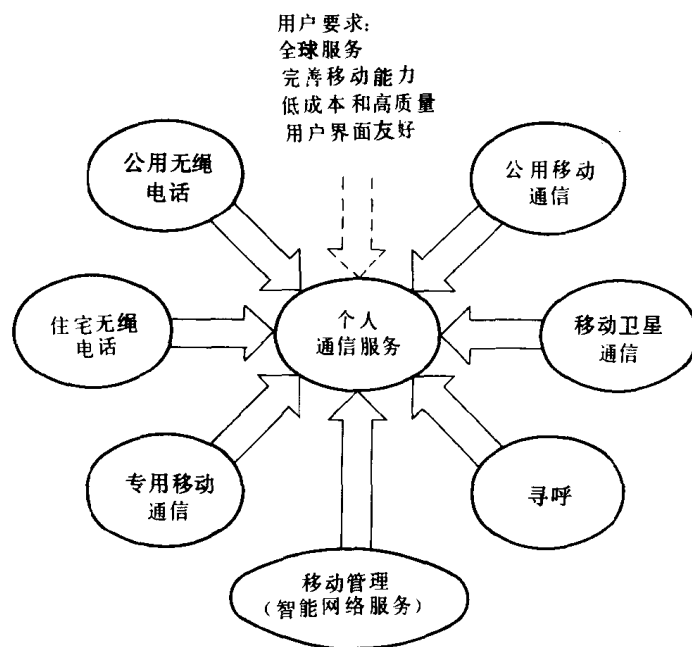


图 1.2 个人通信服务功能

近年来地面移动通信发展十分迅速,蜂窝移动电话、无绳电话、寻呼机及相关技术在工业化国家普及率已相当高。但是地面网仅能覆盖业务密集的城市地区,距离十分有限,预计到 2000 年全世界地面蜂窝网仅能覆盖全球陆地的 15%。由此,只有利用卫星通信可以覆盖全球的特点,通过卫星系统与地面移动通信系统的结合才能实现上述名符其实的全球个人通信。如图 1.3 所示。

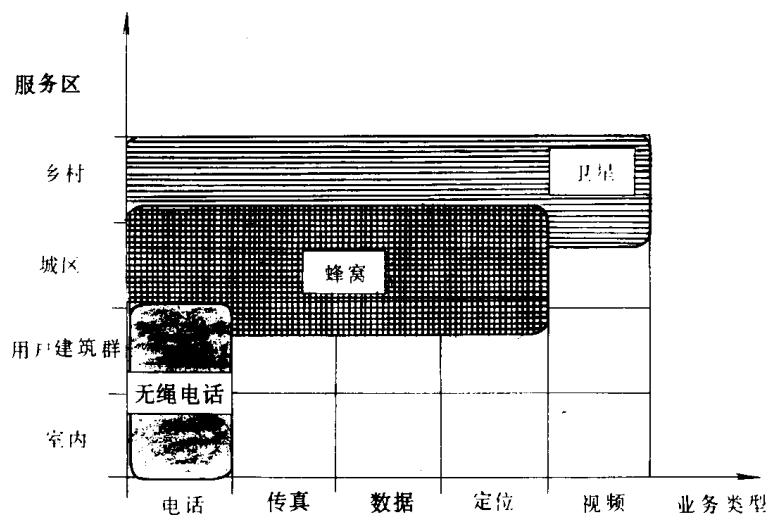


图 1.3 卫星与地面移动通信系统的相互补充

1976 年, Marisat 海事卫星移动系统正式开始商业运营, 为船只提供无线电话和电传服务。自此, 卫星移动通信逐步扩大其服务范围。1979 年 7 月 16 日, 世界上第一个卫星移动通信服务的提供者——国际海事卫星组织 (INMASART) 诞生, 并于 1982 年 2 月 1 日正式运营。最初该组织从美国通用通信卫星公司租用了一颗海事卫星 (Marisat), 后来又从欧洲空间组织租用两颗 Marecs 卫星和 4 颗 Intelsat 卫星上的海事通信包。由这 7 颗卫星组成了第一代 IN-MARSAT 卫星通信系统, 为船只提供全球卫星移动通信服务。随着通信业务量的增长, IN-MARSAT 从 1990 年开始发射第二代卫星 INMARSAT-2, 至 1992 年, 4 颗 INMASAT-2 已全部投入运行。此外, 澳大利亚的 AUSSAT Pty 公司建立了 MOBILESAT 系统, 其卫星装有 L 波段转发器, 主要为国内移动用户提供服务。加拿大电信移动卫星公司 (TMI) 与美国移动卫星公司 (AMSC) 联合建立北美移动业务卫星系统 (MSAT), 计划在北美为陆地、海上和空中移动用户提供服务。加、美两国分别在 1994 至 1995 年各发射一颗 MSAT 卫星, 两星互为备份, 以保证服务的可靠性。日本计划在 90 年代末发射多功能运输卫星 (MTSAT), 该星可为移动用户提供服务。俄国也在研究具有移动通信能力的卫星。随着通信业务量的增长, 业务种类的扩展, 出现了高、中、低 3 种轨道并存的卫星移动通信系统。

从 1957 年至 1993 年和 1985 年至 1993 年底全世界各国卫星总发射数分别为 4504 颗和 1038 颗。从 70 年代以后发射卫星的重量越来越重, 技术越来越复杂。这一方面是客观需要, 另一方面也出现了诸如投资大、风险高、研制周期长, 不能及时应用最新技术成就 (如高性能计算机) 等令人担忧的问题。80 年代中期出现了小卫星, 似乎回到了航天时代初期卫星的尺寸小、重量轻的状态。但实际情况已完全改变了, 现代小卫星将及时采用当代高新技术, 急剧提高卫星的“功能密集度”, 应用新的设计概念和科学管理方法, 从而使现代卫星具有成本低、重量轻、体积小、性能高、研制周期短等五大特点。全世界小卫星开发先锋英国萨里大学对小卫星提出如下论点。

### 1. 从重量上对小卫星的划分方法

大 (Large) 卫星:  $>1000\text{kg}$ ;

小(Small)卫星: 500~1000kg;  
小型(Mini)卫星: 100~500kg;  
微型(micro)卫星: 10~100kg;  
纤型(Nano)卫星: <10kg。

## 2. 对小卫星概念性定义

### 1) 低成本:

① 重量轻,一般按发射小卫星所能获得的廉价运载火箭来规定,当前发射方式有3种:

① 搭载发射(根据运载火箭型式来确定)大都从十几公斤到上百公斤左右;② 一箭多星发射,一般是几十公斤到二、三百公斤;③ 廉价专用运载火箭发射(例如美国“侦察兵”、“飞马座”、“金牛座”,中国长征一号,日本M-3S-2等火箭),可以发射几百公斤以上的小卫星。

② 体积小,这与重量是相匹配的,主要根据运载火箭规格来规定,例如日本规定超小型卫星体积长、宽、高均不大于50cm。

③ 成本低,由于采用廉价运输工具和成熟的先进技术与科学组织管理等手段,使小卫星每公斤成本只有大卫星几分之一,通常在 $1/2 \sim 1/10$ ,一颗小卫星在几百万美元到一千万美元之间,一颗微型卫星在一百万美元以下。

2) 研制周期短,一般是1~2年时间。

3) 采用高新技术,卫星技术性能高。由于相对风险小,敢于利用最新技术成果,甚至最新型号的商用芯片,吸引不同国家、部门及年轻人参与,敢于试验设计师传统上不曾使用的新方法,如英萨里研制的重力梯度稳定卫星其指向精度优于 $2^\circ$ ,进而向 $0.5^\circ$ 进军,这比传统的指标 $5^\circ \sim 10^\circ$ 好得多。

小卫星通信是向更高频率发展,卫星质量向更加小型化发展,系统价格向更加廉价发展。因而,小卫星通信在个人通信、全球通信方面的应用十分引人注目。

## 第二节 VSAT 组网技术

### 一、VSAT 网络组成

#### 1. VSAT 网络结构

VSAT 系统由通信卫星转发器、天线口径较大的主站(中枢站)和众多甚小天线口径小站组成。

① 通信卫星转发器。VSAT 网中的空间通信媒体是 Ku 频段(11~14GHz)或 C 频段(4~6GHz)的卫星转发器提供的。

② VSAT 网主站(中枢站)设备的天线口径尺寸较大,一般直径在 3.5~11m 之间。主站设备有主、备用两份。在多个用户共用主站的网中,主站通常通过电路连接用户设备。主站设备的结构与 VSAT 小站(终端)是相似的。

③ VSAT 网小站(终端),包括调制、解调等。它通过设备之间的电缆,将室内单元连接到