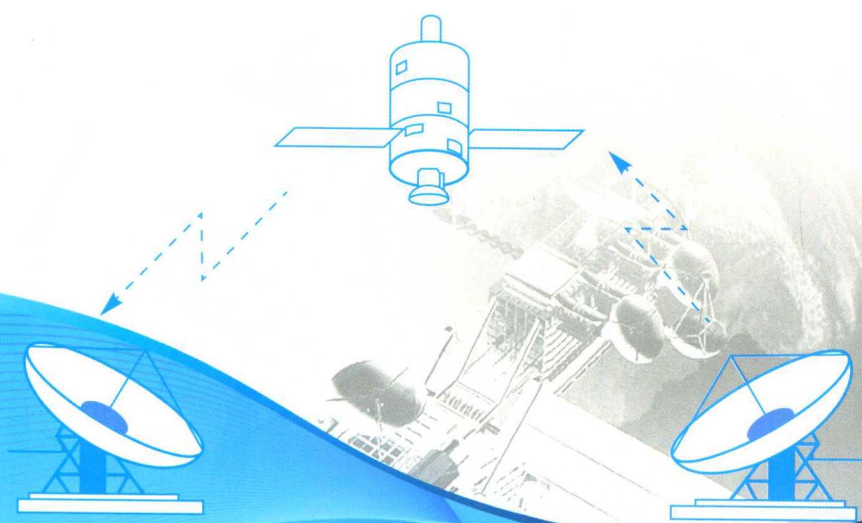


民航C波段卫星通信网络系统 ——数据传输TES

吴志军 编著



科学出版社

民航 C 波段卫星通信网络系统 ——数据传输 TES

吴志军 编著

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本书介绍中国民航 C 波段卫星通信网络系统基本组成和结构,主要讲述 VSAT 的卫星通信 TES 的组网方式、网络组成拓扑和系统设备安装、调试及运行的相关内容,涉及民航 C 波段卫星通信地球站的维护规程、管理规则和值班制度等。

本书针对中国民航 VSAT 卫星通信地球站的安装、调试、组网、入网、操作和维护提供了实际的工程经验,既可为中国民航卫星通信网络工程技术人员提供实际应用指南,也可作为民航大中专院校的相关专业学生的专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

民航 C 波段卫星通信网络系统:数据传输 TES/ 吴志军编著. —北京:科学出版社, 2017.6

ISBN 978-7-03-052979-4

I. ①民… II. ①吴… III. ①民用航空—C 波段—卫星通信—网络系统 IV. ①TN927 ②V243.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 118018 号

责任编辑:陈 静 董素芹 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 倩 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本:720×1 000 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张:15 3/4

字数:304 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是在由原中国民用航空学院空管学院通信工程系(现中国民航大学电子信息与自动化学院)的吴志军教授与原中国民航天津航管中心(现中国民用航空华北地区空中交通管理局天津分局)的范军高级工程师联合编写的《中国民用航空卫星通信人员上岗执照培训丛书之一——中国民航 C 波段卫星通信网络》的基础上改编的。《中国民用航空卫星通信人员上岗执照培训丛书之一——中国民航 C 波段卫星通信网络》是 2000 年 8 月根据当时中国民用航空局空中交通管理局关于实行《中国民航 C 波段卫星通信网络(TES 和 PES 系统)》上岗制度的指示和精神,贯彻必须引入竞争机制,实行竞争上岗制度的要求,为了调动广大民航卫星网络和系统从业的技术人员生产、学习和钻研技术业务的积极性及切实提高技术人员的整体素质而编写的一部专业培训教材。该书作为内部技术资料仅供民航行业内人员使用。经过 16 年的使用和修正,凝练和总结出了本书的具体内容。本书中仅保留了中国民航 C 波段卫星通信网络中与 TES 系统相关的内容。为了满足航空类大学、大专和专业技术学校航空通信相关专业的教学需要,选取了相关内容,按照教材的编写要求将章节和内容进行了调整、补充和完善。

本书的内容主要涵盖我国民航引进的美国休斯网络系统公司的 VSAT 卫星通信地球站,包括 VAST 卫星通信网络的基本知识,C 波段 TES 卫星通信网络系统的特性,设备的安装、调试和操作,以及 C 波段卫星通信网络系统的维护规程、管理规则和值班制度等。为航空类本科和大专等相关专业的学生提供了在学校了解和掌握行业内卫星通信网络的实际组网与运行情况的机会,为将来进入行业工作,快速适应工作环境和进入工作状态,奠定了基础知识。本书也可作为技术参考书,为民航 VSAT 卫星通信地球站和网络中心工作的工程技术人员提供安装、调试、操作和维护的指南。

作者在本书的编写中得到了很多的帮助,在此表示衷心的感谢和致敬!

感谢中国民用航空华北地区空中交通管理局天津分局的范军在此书的前期编写中做出的巨大贡献,提供了丰富的实际调试和运行经验,使我对民航实际系统的了解更加深入;感谢中国民用航空局空中交通管理局通导部的领导和工

作人员，提供了大量的资料，并给出了建设性的建议；感谢中国民航大学“航空通信”课程组的同事为本书在教学中存在的问题提出了宝贵的修改建议；感谢所有对本书给予无私支持和帮助的领导、同事和朋友，谢谢你们真诚的付出和诚挚的帮助！

特别感谢我的研究生尹盼盼和沈丹丹对本书的编写做出的贡献，她们不辞劳累，不怕辛苦和烦琐，始终坚持修改、编辑和编排本书的内容，才使得本书终于能够按时完成。中国民航大学电子信息与自动化学院 2015 级的研究生刘亮、刘中、崔子涵、王敏效、姜园春、刘轩、陈焕等积极参与本书的资料整理和编写，为本书的编写和出版付出了辛勤的劳动。

特别感谢美国休斯网络系统公司提供的相关技术手册和资料。

本书的出版得到了国家自然科学基金委员会与中国民航局联合研究基金项目(项目编号:U1533107)、中央高校基础研究基金项目(项目编号:3122016D003)和中国民航大学研究生课程开发项目的资助。

在阅读本书之前，读者应熟悉卫星通信原理和技术以及卫星通信系统的基本概念。

由于作者水平和实际经验有限，加上时间仓促，书中肯定有不足之处，希望广大读者指正，帮助做好以后的修订工作，在此表示衷心感谢！

作 者

2016 年 12 月

目 录

第 1 章 中国民航 C 波段 VSAT 卫星通信网络	1
1.1 概述	1
1.2 VSAT 系统组成	2
1.3 VSAT 网络拓扑及协议	6
1.3.1 VSAT 网络拓扑结构	6
1.3.2 VSAT 网络协议	8
1.3.3 VSAT 网络工作原理	12
1.4 VSAT 远端站的组成	14
1.5 中国民航 C 波段 VSAT 卫星通信网络概况	18
1.5.1 网络控制系统	19
1.5.2 TES 网络系统	21
1.5.3 PES 网络系统	23
第 2 章 中国民航 TES 系统	25
2.1 TES 系统概述	25
2.2 TES 系统组成	26
2.2.1 TES 网控站	26
2.2.2 网络管理和控制	34
2.2.3 网关站	36
2.2.4 远端站	37
2.3 TES 远端站	37
2.3.1 TES 远端站组成	38
2.3.2 TES 远端站室外单元	40
2.3.3 TES 远端站室内单元	47
2.4 TES 远端站系统相关技术	55
2.4.1 语音压缩技术	55
2.4.2 话音激活技术	57

2.4.3	回波抵消技术	58
2.4.4	维特比 FEC 译码技术	59
第 3 章	TES 网络信道和链路连接	60
3.1	TES 网络信道	60
3.1.1	网络信道概述	60
3.1.2	卫星信道的分配方式	64
3.1.3	带宽分配	64
3.2	TES 网络控制系统链路	68
3.3	TES 网络链路连接	70
3.3.1	话音链路连接	70
3.3.2	数据链路连接	76
第 4 章	TES 远端站安装	87
4.1	现场调查	87
4.2	TES 远端站室外设备安装	92
4.3	TES 远端站室内设备安装	92
4.3.1	机架安装	92
4.3.2	机箱安装	95
4.3.3	信道单元安装	101
4.4	TES 远端站接口特性	106
4.4.1	CU 板接口	107
4.4.2	机箱接口	115
4.4.3	RFM 板接口	117
4.4.4	机箱电源和 RFE 电源接口	118
4.4.5	机架 IF 接口	118
4.4.6	连接头与针	119
4.5	IFL 电缆	119
4.6	环路连接头	122
第 5 章	TES 远端站室外单元安装	123
5.1	EFDATA RFT-500 ODU	123
5.1.1	EFDATA RFT-500 性能指标	123

5.1.2	EFDATA RFT-500 典型地球站	125
5.1.3	EFDATA 远端站调试	127
5.2	V2 型室外单元 (ODU)	133
5.2.1	V2 型 TES 远端站	133
5.2.2	V2 型 TES 远端站参数设置	135
5.2.3	RFM 板运行	148
5.2.4	V2 型 TES 远端站调试	149
5.3	VITACOM CT-2000 ODU	150
5.3.1	设备描述	150
5.3.2	技术指标	156
5.3.3	设备安装	159
5.3.4	设备操作	163
5.3.5	本地监控	165
5.3.6	系统连接	171
第 6 章	入网开通	173
6.1	入网开通准备	174
6.1.1	远端站入网开通记录	174
6.1.2	所需信息	174
6.1.3	工具和设备	177
6.1.4	通信配合	178
6.2	装载 CU 非易失性随机存储器	178
6.2.1	给 CU 加电	179
6.2.2	DOS 版本软件给 CU 装载 NVRAM	179
6.2.3	Windows 版本软件介绍	183
6.2.4	Windows 环境下 CU2 装载 NVRAM	184
6.2.5	Windows 环境下 CU3 装载 NVRAM	191
6.3	L_{ir} 和 L_{it} 的默认值	198
6.4	室外单元调试	199
6.4.1	调试方法一	199
6.4.2	调试方法二	201
6.5	测量和调整接收功率	206

6.6	粗调发送功率	209
6.7	CU 软件下载	209
6.7.1	自检诊断	209
6.7.2	装载引导软件	210
6.7.3	装载软件	211
6.7.4	运行模式	212
6.8	发送功率细调	213
6.9	CU 环路测试	216
6.10	入网开通总结	218
6.11	最终检查和测试	219
6.11.1	检查连接	219
6.11.2	检查接地	219
6.11.3	检查业务	219
6.12	入网开通记录	219
第 7 章	TES 系统运行及操作	224
7.1	信道管理	224
7.1.1	控制信道	224
7.1.2	业务信道	225
7.2	信道单元数据率	225
7.3	高级数据链路控制	226
7.4	频率池的概念	227
7.5	网络寻址技术	229
7.5.1	网络编号方案	229
7.5.2	拨号处理	230
7.6	TES 硬件控制器和指示灯	230
7.6.1	II 型机箱控制器和指示灯	231
7.6.2	HDC 控制器和指示灯	231
7.7	信道单元控制器与指示灯	232
7.7.1	LED 显示	232
7.7.2	指示灯	233
7.7.3	复位按钮	233

7.8 系统的启动过程	234
7.8.1 CU 启动	234
7.8.2 信道单元框	236
7.8.3 CU 的 M&C	236
7.8.4 CCU 的启动	237
7.9 备份切换	238
7.10 MCU	238
7.10.1 MCU 监控同一机箱内的 CU 板和 RFT	239
7.10.2 MCU 监控其他机箱内的 CU 板	239
参考文献	240

第 1 章 中国民航 C 波段 VSAT 卫星通信网络

卫星通信已经成为我国民航空中交通管理(Air Traffic Management, ATM)中用于分组交换、电报、气象、雷达联网及甚高频(Very High Frequency, VHF)遥控系统的主要传输手段^[1]。目前,中国民航使用 C 和 Ku 两种波段的甚小口径终端(Very Small Aperture Terminal, VSAT)卫星系统。VSAT 卫星通信网络是指利用大量小口径天线的小型地球站与一个大站协调工作构成的卫星通信网络,可以通过它进行单向或双向数据、话音、图像及其他业务通信^[2]。

这里,仅针对中国民航空中交通管理 C 波段 VSAT 卫星通信网络进行介绍。

1.1 概 述

中国民航 C 波段 VSAT 卫星通信网络的建成为空中交通管理(简称空管)、航空公司、民航各单位的话音、数据等通信信息的传递提供了可靠的手段,为保证飞行安全与正常、推动民航系统的通信现代化进度起到了主要作用^[3]。

“八五”期间我们在全国民航机场建成了以北京为主站,广州为备用网控站,全国 97 个卫星地球站的全国民航电话地面站(Telephone Earth Station, TES)话音专用通信网和个人地面站(Personal Earth Station, PES)数据专用通信网络,构成了中国民航 C 波段卫星通信网络。

“九五”期间,利用日元贷款余款又在全国尚未建立卫星地球站的机场和甚高频转播台台址上建设了 65 座卫星地球站,截止到“九五”末期,中国民航 TES 卫星通信网络的地球站数量已达 162 座, PES 网的地球站数量已达 95 座。并且为满足通信发展需求,“九五”期间,购买了鑫诺一号卫星的一个 36MHz 转发器,作为民航 C 波段卫星通信网的空间段资源。

根据国务院、中央军委空中交通管制委员会(简称国家空管委)的要求,军民航卫星网必须互相联网,以达到信息共享的目的。“九五”期间,建成了军民航卫星联网站 28 座。为军民航之间进行空管信息传输、飞行动态通报、雷达联网、电报信息传输等提供了有效的通信手段^[4]。

为配合雷达联网,完成雷达信号引接,中国民航利用 C 波段 TES 卫星通信网,

共配置了 50 多条 4800~9600bit/s 速率的数据线路, 为雷达信号的传输提供了质量良好的固定时延、透明的传输信道。

中国民航 C 波段 VSAT 卫星通信网络自建立以来, 以较快的速度平稳发展。在建立之后, 中国民航 C 波段卫星通信网络使用亚太一号通信卫星。1998 年 9 月开始使用鑫诺 1 号(SINOSAT-1)通信卫星, 占用整个 8B 转发器。中国民航 C 波段卫星通信网络具有很大的覆盖面积, 主要面向亚太地区。该网络覆盖了中国整个地区, 并覆盖了中国周边国家。现在使用该网络的国家除中国外有蒙古、朝鲜、韩国、越南和尼泊尔等^[5]。

1.2 VSAT 系统组成

VSAT 系统天线口径小到可直接安装在用户房顶或附近, 并且结合其他先进的技术措施, 具有独特的优点^[2]。图 1.1 所示是 VSAT 系统与传统卫星通信系统的典型应用的典型应用。

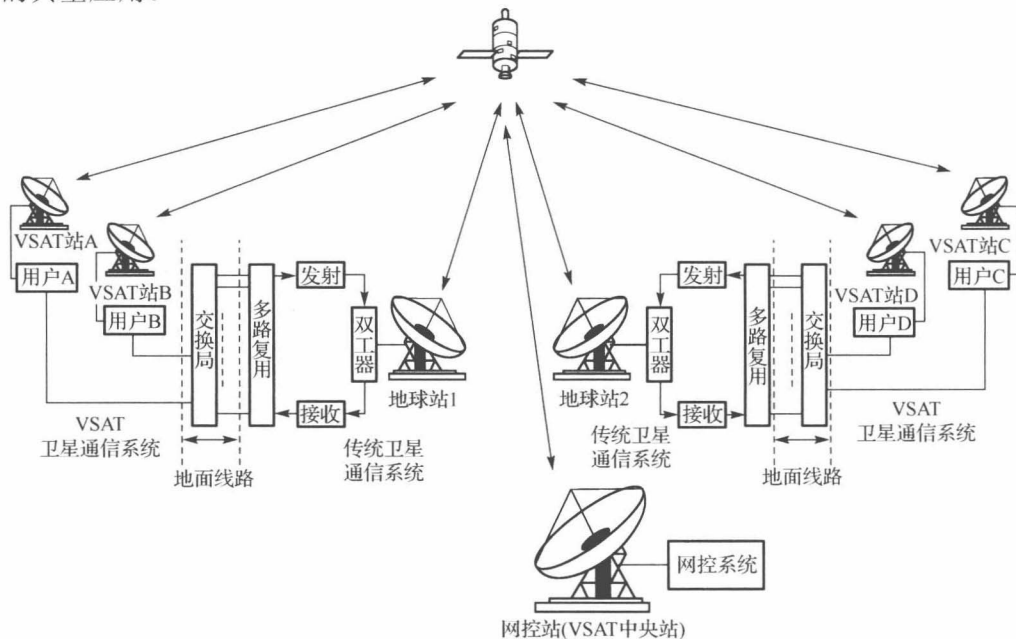


图 1.1 VSAT 系统与传统卫星通信系统的典型应用

如图 1.1 所示, VSAT 站直接安装在用户附近, 它摆脱了用户对地面引接线路的依赖。例如, 用户 A 可以通过 A 站、卫星和另一地的 C 站直接与用户 C 通信。VSAT 应用发展很快的另一个原因是用户可以利用 VSAT 技术在短时间内组成自

己的专用通信网,而且用户站的增减、地点的改变都很方便。

和一般的卫星通信系统一样,典型的VSAT卫星通信网络由中央站(包括网络管理系统)、许多VSAT站和通信卫星三部分组成^[6]。典型的VSAT卫星通信网络组成结构如图1.2所示。

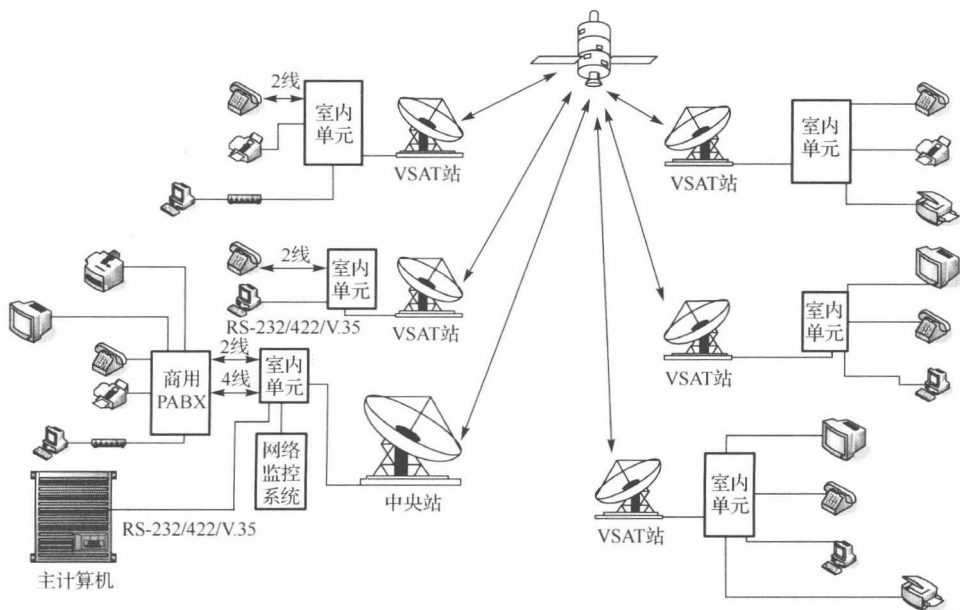


图 1.2 典型的 VSAT 卫星通信网络组成结构

1. 中央站

中央站又称中心站或枢纽站,它是 VSAT 网络的核心。中央站由主计算机、前端处理机、中心站接口单元、调制解调器、射频电子设备以及天线构成。现分别加以说明。

(1) 用户数据通信设备:它包括主计算机和前端处理机。通常,主计算机通过前端处理机与中心站接口单元连接。

(2) 中心站接口单元:它在链路级协议(多址内向链路和时分复用外向广播链路)和计算机的前端通信处理机之间提供接口。

(3) 调制解调器:对于星状网络结构,中心站对内向多址信道和外向广播信道调制方式的选择有所不同,外向时分复用信道通常选用二进制相移键控(Binary Phase Shift Keying, BPSK)或正交相移键控(Quadrature Phase Shift Keying, QPSK)方式,而内向多址信道通常选用相移键控(Phase Shift Keying, PSK)以及通断键

控(On-Off Keying, OOK)方式。中心站所选用的调制解调器应该是连续性发射和突发式接收的方式。

(4) 射频(Radio Frequency, RF)电子设备: 中心站射频电子电路单元包括低噪声放大器(Low Noise Amplifier, LNA)、高功率放大器(High Power Amplifier, HPA, 简称高功放)和上、下变频器。通常, LNA 的噪声温度在 $190\sim 235\text{K}$ 范围内。HPA 的额定功率取决于所发送的外向时分复用(Time Division Multiplexing, TDM)载波的数目。对于小的专用网, 中心站采用 $5\sim 10\text{W}$ 的固态功率放大器(Solid State Power Amplifier, SSPA), 而对于大的公用网, 则需要一个或多个高功率($1\sim 2\text{kW}$)的行波管放大器(Travelling Wave Tube Amplifier, TWTA)。

主站发射机的高功率放大器输出功率的大小, 取决于通信体制、工作频段、数据速率、卫星转发器特性、发射的载波数以及 VSAT 接收站 G/T 值的大小等多种因素, 一般为数十瓦到数百瓦。

(5) 天线: 星状结构是以使用大型中心站天线为基础的, 中心站天线的尺寸一般在 Ku 波段为 $3.5\sim 8\text{m}$, C 波段为 $7\sim 13\text{m}$ 。由于中心站的费用是由大量地球站来共同承担的, 所以使用大天线并不会对每个地球站的费用有太大的影响。

主站通常与主计算机配置在一起, 也可通过地面线路与主计算机连接。为了对全网进行监测、控制、管理与维护, 在主站还设有网络监控与管理中心, 对全网运行状态进行监控管理, 如监测地球站和主站本身的工作状况、信道质量、信道分配、统计、计费等。由于主站关系到整个 VSAT 网的运行, 所以通常硬件和软件均配有备用设备。为了便于重新组合, 主站一般都采用模块结构, 设备之间以高速局域网的方式进行互连。

为了降低 VSAT 站的成本, 其设计尽量简单, 而中央站通常规模就做得较大(如天线口径、发射功率等), 功能也比较复杂。为了提高可靠性, 中央站通常还要有备份(站备份或设备备份)。

2. VSAT 站设备

VSAT 站设备(也称远端站或地球站等)是安装在 VSAT 用户处的独立单元, 它提供用户终端设备与卫星信道的接口。

习惯上认为 VSAT 站由小口径天线、室外单元(Outdoor Unit, ODU)和室内单元(Indoor Unit, IDU)三部分组成。室内单元和室外单元通过同轴电缆连接。VSAT 地球站可以采用常用的正馈天线, 也可采用增益高、旁瓣小的偏馈天线, 当然也可使用卡塞格伦天线。不过, 卡塞格伦天线尺寸最大, 正馈天线尺寸次之, 偏馈

天线尺寸最小。室外单元包括砷化镓场效应晶体管(Gallium Arsenide Field-Effect Transistor, GaAsFET)固态功率放大器、低噪声场效应管(Field-Effect Transistor, FET)放大器、上/下变频器及其监测电路等,并把它们组装在一起作为一个部件,配置在天线馈源附近。室内单元包括调制解调器、编译码器和数据接口等。室内和室外单元通常全部采用固态化部件,结构紧凑,安装调试与维护使用方便,并便于直接与数据终端连接。

总体上讲,VSAT站包括数据终端设备(Data Terminal Equipment, DTE)、VSAT远程接口单元(Remote Interface Unit, RIU)、调制解调器(Modem)、射频电子设备以及天线等部分。现分别说明如下。

(1)数据终端设备:这里的数据终端设备一般是指供事务处理型业务用的数据终端设备。它们以相当低的平均比特速率($50\sim 100\text{bit/s}$)产生突发块型的数据,且数据块的长度可变。而从主计算机返回的业务量看,数据块的长度一般在最小数据块长度的 $4\sim 10$ 倍范围内变化,通常通过用户协议格式化为几个传输块。在这种情况下,每个地球站一般支持几个用户终端、VSAT前端处理器或分组装-拆处理器。

(2)VSAT接口单元:它也可称为基带处理器或信道接口单元。地面用户可以利用信道接口单元并通过用户协议进入卫星系统,即提供透明链路以支持用户数据终端设备。

(3)调制解调器:VSAT站与中心站相反,它接收来自中心站外向时分复用信道的信号,因此,其解调器应是BPSK或QPSK信号解调器。而调制器应是发送突发信号的调制器,即前面所说的PSK或OOK调制器。地球站的典型发送速率一般限制在 $56\sim 256\text{Kbit/s}$,而接收速率通常为 $56\text{bit/s}\sim 1.544\text{Mbit/s}$ 。

(4)射频电子设备:它包括固态功率放大器、低噪声放大器和上/下变频电路。对于Ku频段来说,射频电子设备在技术上是比较成熟的,要考虑的主要问题是低噪声放大器的等效噪声温度(典型值为 $250\sim 300\text{K}$)和固态功率放大器的额定功率(典型值为 $1\sim 2\text{W}$)。

(5)天线:对于Ku波段卫星数据网来说,地球站天线的典型尺寸为 $1.2\sim 1.8\text{m}$ 。当然,从用户的角度来说,希望其尺寸越小越好。不过,当天线直径小于 1m 时,系统容量将会迅速降低。

除天线以外的上述设备分别安装在室内单元和室外单元中。室内单元主要包括调制解调器、编译码器和数据接口设备等,而室外单元主要包括固态功率放大器、低噪声放大器、上/下变频器和相应的监测电路等。整个室外单元可以装在一个小金

属盒内，并直接挂在天线反射器背面。室内、外两单元之间用同轴电缆连接。

为了降低成本，VSAT 站通常不设备份(但室内通道单元可以备份)。

因为远端站，即 VSAT 站是本书的重点内容，关于 VSAT 站的比较详细的组成部分单独在 1.3 节中介绍。

3. 通信卫星(卫星转发器)

通信卫星(卫星转发器)也称空间段，目前主要使用 C 波段或 Ku 波段转发器，它由衰减器、输入多路复用、行波管放大器以及输出多路复用等设备组成。关于这部分的内容在后面会有较详细的论述^[7]。

1.3 VSAT 网络拓扑及协议

VSAT 卫星通信网络系统具有许多特点，这里只介绍其网络拓扑结构和网络协议两个方面的特点。

1.3.1 VSAT 网络拓扑结构

VSAT 网络拓扑结构反映了各通信站(VSAT 站、中央站)之间的连接方式。由多个地球站构成的通信网络拓扑结构形式有多种，可以归纳为两种主要形式：星状网络和网状网络。VSAT 网络常用的有四种：广播式点到多点——单向星状、双向交互式——双向星状、点到点式——双向网状和混合型——双向网状网络结构^[8]，如图 1.3 所示。

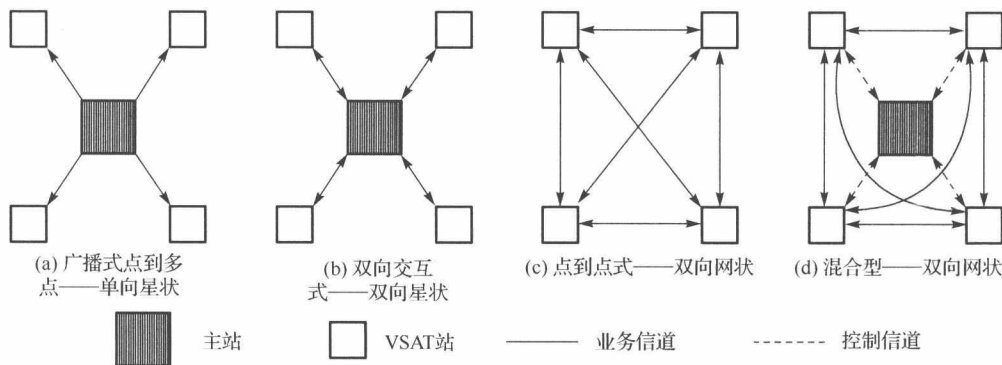


图 1.3 VSAT 网络拓扑结构示意图

实际的 VSAT 卫星通信网络常用混合型的网络拓扑结构，例如，本书后面要

介绍的美国休斯网络系统(Hughes Network System, HNS)公司的TES系统就是采用混合型的网络拓扑结构。

在星状网络中,各VSAT地球站都是直接与主站发生联系,而各VSAT地球站之间是不能经通信卫星直接通信的。必要时需经主站转发,才能进行连接和通信。无论VSAT地球站与主站进行通信,还是各VSAT地球站经主站进行通信,都必须经过卫星转发器。因此,根据经过卫星转发器的次数,又分为单跳和双跳体系结构。

星状网络拓扑结构中广播式点到多点——单向星状网络为单跳体系结构,而双向交互式——双向星状网络为双跳体系结构,如图1.4所示。

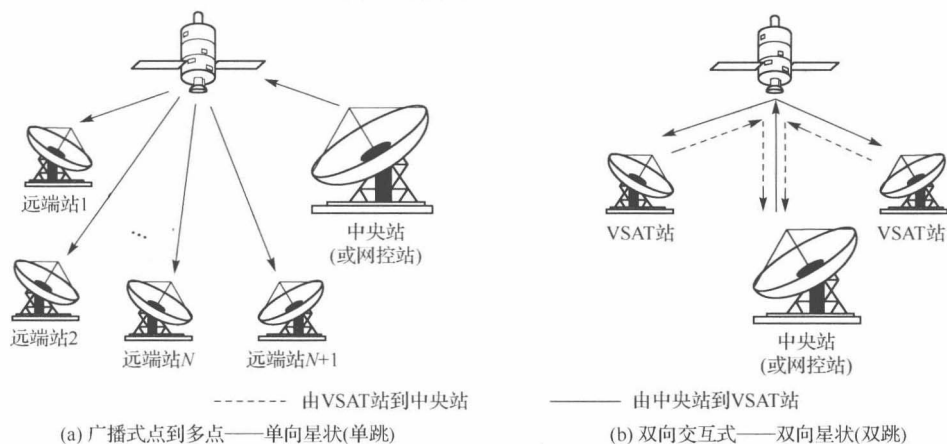


图 1.4 星状网络拓扑结构单跳和双跳体系结构示意图

在单跳体系结构中,各VSAT地球站可经过单跳线路与主站直接进行话音和数据的通信。而在双跳体系结构中,各VSAT地球站之间一般都是通过主站间接地进行通信。这种网络结构,由于一条通信线路要经过两跳的延迟,所以对于要求实时的话音业务来说是不适用的,而只适用于记录话音业务和数据业务。

在网状网络中,任何两个VSAT地球站之间都是单跳结构,因而它们可以直接进行通信。但是必须利用一个主站控制与管理网络内各地球站的活动,并按需分配信道。显然,单跳星状结构是最简单的网络结构,而网状网络结构则是最复杂的网络结构,它具有全连接特性,并能按需分配卫星信道。

另外,还有一种单跳与双跳相结合的混合网络结构。在这种网络结构中,网络的信道分配、网络的监测管理与控制等由主站负责,但是通信不经主站连接。所以,它可以为主站与VSAT地球站之间提供数据和话音业务,为各VSAT地球站之间提供数据和记录话音业务。从网络结构来说,数据和话音信道是网状网,控制信道是星状网,因而这是一种很有发展前景的网络结构。