



航天测控网 通信系统

(上册)

HANGTIAN CEKONGWANG TONGXIN XITONG



杨宗志 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

总装部队军事训练“十一五”统编教材

航天测控网通信系统

(上册)

杨宗志 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

航天测控网通信系统. 上册 / 杨宗志主编. —北京: 国防工业出版社, 2009. 6

总装部队军事训练“十一五”统编教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 06283 - 0

I. 航... II. 杨... III. 航天器 - 测量控制网 - 通信系统 - 教材 IV. V553.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 047283 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 19% 字数 565 千字

2009 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 51.00 元(上、下册)

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

前 言

随着我国航天测控事业以及通信新技术的不断发展,越来越多的通信新装备、新业务在航天测控通信系统中得到运用。加速通信系统建设,不断提高通信人员的业务、技术和管理水平,增强通信保障能力,以适应测控事业发展的需要,已成为我们当前的紧要任务。

测控网通信系统技术内容丰富,理论性和操作性强,相关一线岗位人员需一本理论和操作维护相结合的实用教材,为此我们根据上级要求组织编写了这本教材。

本教材以大专以上学历的通信工程技术人员和操作手为主要对象,以当前技术应用为主,重点介绍当前该系统应用的主要技术和体制与设备特点,同时兼顾未来航天测控网通信系统的技术发展,介绍了各自技术的发展方向,使读者能够对测控通信技术的发展脉络有一个清晰的了解。

本教材由杨宗志同志主编,奚春海同志主审,参加编写的同志有邓广珉、王永顺、陈刚、孟学军、张婷婷、魏珍等。

在编写教材时,力求做到深入浅出,通俗易懂,内容新颖。由于编者水平有限,难免有错误或疏漏之处,恳请读者指正和谅解。

编 者

2008 年 12 月

目 录

(上 册)

第1章 概述	1
1.1 通信系统的任务和作用	1
1.2 通信系统建设回顾	1
1.3 通信系统的组成	4
1.4 通信系统的主要业务	5
1.4.1 数据业务	5
1.4.2 话音业务	6
1.4.3 时间统一业务	6
1.4.4 图像业务	6
1.4.5 移动通信业务	7
1.4.6 通信网络管理系统	8
1.5 传输规程与接口	8
1.6 国际测控联网与国外建站	9
1.6.1 国际测控联网	9
1.6.2 国外建站	11
第2章 卫星通信	13
2.1 概述	13
2.1.1 卫星通信的特点及其发展简史	13
2.1.2 卫星通信系统的组成及工作过程	19
2.1.3 卫星通信工作频段	23
2.1.4 卫星通信体制	24

2.1.5	典型数字卫星通信模型	42
2.1.6	卫星通信线路计算方法	47
2.2	主要技术体制与站型	54
2.2.1	主要技术与体制	54
2.2.2	固定站	83
2.2.3	车载站	92
2.2.4	海事卫星与全球星通信系统	99
2.3	主要技术参数与测量方法	104
2.3.1	地球站品质因数 G/T 值	104
2.3.2	天线发射增益 G_t	107
2.3.3	天线同极化和交叉极化发射方向图	108
2.3.4	天线交叉极化隔离度	109
2.3.5	高功率放大器	111
2.3.6	低噪声放大器	114
2.3.7	变频器	116
2.3.8	调制解调器	117
2.3.9	系统电平调整测试	119
2.3.10	地球站入网验证测试	121
2.4	卫星通信应用中需注意的几个问题	124
2.4.1	通信卫星	124
2.4.2	卫星通信地球站接口	127
2.4.3	定时关系	130
2.4.4	干扰与抗干扰	132
第3章	光纤通信	138
3.1	概述	138
3.1.1	光纤通信及其特点	138
3.1.2	光纤通信系统的组成及分类	148
3.2	光纤和光缆	151
3.2.1	光纤的结构与类型	151
3.2.2	光纤传输原理	159

3.2.3	光纤的传输特性	169
3.2.4	光缆及光无源器件	179
3.3	光源与光发送机	194
3.3.1	半导体光源的物理基础	194
3.3.2	半导体光源的工作原理	197
3.3.3	半导体光源的工作特性	200
3.3.4	光发送机	204
3.3.5	光线路编码	212
3.4	光检测器与光接收机	225
3.4.1	光检测器的结构和工作原理	225
3.4.2	光检测器的特性指标	229
3.4.3	光接收机	230
3.5	光放大器和光复用技术	234
3.5.1	光放大器	234
3.5.2	掺铒光纤放大器	239
3.5.3	光纤喇曼放大器	247
3.5.4	其他光放大器光纤通信及其特点	252
3.5.5	光复用技术	253
3.6	光纤数字传输系统	267
3.6.1	PCM 和基群复接	267
3.6.2	PDH 数字复接体制	273
3.6.3	SDH 数字传输体制	282
3.6.4	光纤数字传输系统的质量指标及其测试	293
3.6.5	光纤传输系统在航天测控网中的应用	304

(下 册)

第4章	帧中继网	309
4.1	概述	309

4.1.1	帧中继的国际标准及发展简史	310
4.1.2	帧中继的优点	312
4.2	帧中继工作原理	313
4.2.1	帧中继网络的组成	313
4.2.2	帧中继格式	319
4.2.3	帧中继的特性和功能	322
4.3	帧中继接入方式	327
4.3.1	专用接入	327
4.3.2	拨号接入	330
4.4	航天测控通信帧中继网络	333
4.4.1	Passport 硬件组成	333
4.4.2	Passport 用户网络接口	340
4.4.3	Passport 网络与 ISDN 的互联	346
4.4.4	Passport 的透明数据业务	346
4.4.5	路由系统	348
4.5	帧中继的网络技术	356
4.5.1	建立帧中继网的必要考虑	356
4.5.2	组网技术	356
4.5.3	帧中继网络技术平台的比较	360
4.5.4	拥塞管理与流量控制	362
4.5.5	帧中继的网络管理	365
4.6	帧中继网络与其他网络的互通	367
4.6.1	帧中继与帧交换之间的互通	368
4.6.2	帧中继网络与 PSPDN 之间的互通	369
4.7	帧中继系统的测试	373
4.7.1	测试类型及内容	374
4.7.2	协议测试方式	387
4.7.3	测试工具	389
第5章	数字数据网	394
5.1	概述	394

5.1.1	数字数据网的起源和发展历史	394
5.1.2	数字数据网的基本概念和特点	396
5.1.3	数字数据网的组成	398
5.1.4	数字数据网的网络结构	399
5.1.5	数字数据网的业务	403
5.1.6	网络的服务质量	405
5.2	数据通信系统	406
5.2.1	数据通信系统组成	407
5.2.2	数据通信系统的性能指标	411
5.3	数字复接技术	413
5.3.1	2048Kb/s 数字通道上的复用	414
5.3.2	子速率复用	416
5.3.3	超速率复用	419
5.3.4	DDN 的交叉连接	420
5.4	数字数据网的同步和网络管理	421
5.4.1	网络同步	421
5.4.2	网络管理和控制	424
5.5	用户接入	427
5.5.1	用户接入的分类	427
5.5.2	直接接入	428
5.5.3	远距用户接入的连接方式	428
5.6	数字数据网设备	430
5.6.1	常用 DDN 设备简介	430
5.6.2	设备组成及原理	433
5.6.3	Link/2 + 节点设备主要技术要求	435
5.6.4	操作与维护	438
5.6.5	测试与故障处理	458
第 6 章	试验指挥调度通信系统	465
6.1	概述	465
6.1.1	试验指挥调度通信的特点	465

6.1.2	试验指挥调度通信系统的发展历史	466
6.1.3	试验指挥调度通信系统的发展趋势	467
6.2	试验指挥调度通信网	468
6.2.1	试验指挥调度通信网络的组织要求及结构	468
6.2.2	试验指挥调度通信网的构成要素	470
6.3	指挥调度设备	470
6.3.1	指挥调度设备选型要求	470
6.3.2	程控数字指挥调度设备	471
6.3.3	DDP-500 型大容量数字指挥调度系统	474
6.4	DDP-500 操作规程	486
6.4.1	DDP-500 数字指挥调度系统操作规程	486
6.4.2	DDP-500 数字指挥调度系统数据库设置操作	492
6.4.3	DDP-500 数字指挥调度系统单机操作	503
6.5	DDP-500 常见故障及排除	505
6.5.1	故障排除的原则及步骤	505
6.5.2	典型故障事例分析	506
第7章	时间与频率统一系统	512
7.1	时统系统概述	512
7.1.1	时统技术主要内容	512
7.1.2	时统的主要功能	513
7.1.3	标准化时统设备的组成	513
7.1.4	标准化时统设备的主要特点	516
7.2	定时与校频	518
7.2.1	短波时号	519
7.2.2	利用长波信号定时校频	528
7.2.3	GPS 定时校频	535
7.3	标准化时统的频率标准	540
7.3.1	技术指标	541
7.3.2	工作原理	543
7.4	标准化时统的时间编码	551

7.4.1	时间编码产生器	551
7.4.2	时码区分放大器	554
7.5	用户设备与时统设备的接口——IRIG - B 码接口终端 ...	559
7.5.1	接口终端的功能	559
7.5.2	接口终端的技术规范	559
7.5.3	详细要求	566
7.6	系统联试	567
7.6.1	时统的设备选择	567
7.6.2	SB305I 标准化时统简介	568
7.6.3	定时校频设备的连接应用	571
7.6.4	频率标准单元的应用	579
7.6.5	时码产生单元的连接应用	587
7.6.6	时码区分放大器单元的连接应用	595
7.6.7	监控计算机的连接应用	599
第 8 章	航天测控网通信系统发展特点与展望	602
8.1	发展特点	602
8.2	发展展望	602
8.3	结束语	605
参考文献		606

第 1 章 概 述

众所周知,当今社会进入了一个信息化的时代,随着微电子学、光电子学和计算机科学技术的高速发展和广泛采用,特别是计算机技术与通信技术的密切结合以及软件技术的突飞猛进,通信系统正在向数字化、智能化、综合化、宽带化、小型化和个人化方向迅速发展,各种通信新业务也应运而生,朝着信息服务领域不断扩展。在航天测控系统中,通信技术和业务同样得到了广泛地运用,并发挥着重要的作用。

1.1 通信系统的任务和作用

在航天测控系统中,通信系统是测控系统各类信息传输的基本手段,同时也是有效地组织试验任务、日常工作管理和生活中互通信息的重要支持保障系统。在各类航天器的发射、运行、返回、着陆等阶段和进行科研试验时,测控网通信系统主要承载着系统联接,信息采集、交换、传输,并为测控系统提供时间和频率基准。因此,通信系统不仅是航天测控网的重要组成部分,而且也是促进航天测控网现代化建设的重要技术基础。

1.2 通信系统建设回顾

通信系统的建设和发展是和测控网同步进行,并随着测控系统的需求变化和通信技术的不断进步而发展。

20 世纪 50 年代末,在我国西北地区建立了第一个试验训练基地,主要是用来进行近程导弹飞行试验。随着第一个试验训练基地的建立,诞生了第一代测控通信系统。第一代测控通信系统基本上是按苏联的模式

建设的。场区内部通信手段主要采用明线载波与电缆网,首区与落区之间,主要是依靠短波通信,采用苏联制式设备,传输电报信息与控制信号。远距离通信采用明线载波(即依靠国家干线电路)传输电话与电报业务信息。

20 世纪 60 年代末,随着航天、测控技术的发展和计算机的应用,数据传输系统得到相应的发展,跨场区的试验通信网开始建立。依据近地卫星发射试验的需要,在陕西建立了西安卫星测控中心,同时建立了以小同轴电缆和明线载波通信为主、短波单边带通信为辅的通信网,承担了西安卫星测控中心与各发射中心之间、西安卫星测控中心与各测控站之间的电话、电报以及数据信息的传输任务。该中心 1970 年投入使用,为“东方红”一号卫星的发射和测控提供了通信保障。

与此同时,测控网二期通信系统工程建设也开始进行。1974 年,测控系统二期工程基本完成。1975 年 11 月,第一颗返回式卫星发射时,以西安卫星测控中心为中心的测控通信网,沟通了发射中心、各固定观测站、活动站、回收站间的指挥、数据等信息传输,保证了卫星发射、运行和回收等阶段的通信。

测控通信网二期工程建设同时,“718”工程即远洋测量船工程建设也在同步进行。1979 年底,“718”工程通信系统完成了岸、船所需的多种有线、无线设备的研制和改造,建成国防科委试验指挥所和西安卫星测控中心以及几个试验基地的通信设施,为执行洲际导弹试验任务(“580”任务)作好了充分的准备。1980 年 5 月 18 日,测控通信网圆满完成了“580”任务。到 20 世纪 80 年代中期,这一通信网络还陆续圆满完成了“东方红”二号通信卫星和潜艇发射运载火箭等多个大型任务。该通信网,陆上以有线为主,沟通北京试验指挥所、西安卫星测控中心和指挥中心、测控站;对海上测量船通信以短波单边带为主、海事卫星为辅,并用超长波单向传输数据。

从 1984 年起,测控网通信系统进入充实、完善阶段,重点是建设卫星通信网。根据任务需要在各个中心建设卫星通信系统和新的地面出口电路。“七五”期间建成了测控中心与各发射中心间的卫星通信网。为满足对我国新一代应用卫星测控支持,根据“八五”规划,这一卫星通信网

络逐步扩大到各个测控站,建成了中心与各测控站间的 VSAT 卫星通信网,该网的建成大大增强了测控网的通信能力。与此同时,本着“长远规划、充分利用、先急后缓、平稳过渡、分期建设、确保任务”的建设原则,完成了各中心和各测控站的本地通信网出口电路,初步发展了光缆通信,推广了 IRIG - B 码时统,以符合国际标准的调制解调器还逐步取代了 SCA 型数传机。信息传输采用 HDLC 规程,接口实现规范化。20 世纪 90 年代初,已形成以西安卫星测控中心为总节点,通过卫星线路和国家干线连接各发射中心与各测控站(船)的多层次通信网,满足了各项航天试验发射的要求。

20 世纪 90 年代中后期,载人航天等工程的实施,以及微电子技术、计算机技术和通信技术的迅速发展,测控通信系统建设进入了一个崭新的发展时期。DDN 网络、帧中继技术、IBS/IDR 卫星通信系统、本地通信传输网的光纤化,以及数字电视、数字调度、会议电视、通信网络管理系统等新的技术和装备充实进测控通信网络,使得原有通信网的手段得到了完善,通信质量和业务能力得到了很大提高。另外在飞船着陆场建设中,以在各种恶劣、颠簸路况的条件下边行驶、边通信(所谓“动中通”)能力的大容量、多业务数字卫星通信系统的建成为标志,使测控网通信系统不但具有了固定站间的通信能力,也具备了在一定区域范围内,大容量“动中通”的能力。通信网络管理系统的建设,使得过去通信网中各个通信手段自成一体,各种通信子系统之间没有联系的局面得以打破,逐步构成真正意义上的通信网。与此同时,随着航天测控事业的发展,近年来逐步开展了国际联网和国外建站,使测控通信网的覆盖范围不断扩大,成为应用多种通信技术和通信手段;有线与无线传输相结合;固定用户与移动用户相互联通;多区域、多系统、多业务、多功能,更加灵活、可靠、规范的立体化的综合性通信网,从而大大提高了测控通信系统的通信能力,使通信系统成为航天测控工程中不可缺少的重要系统之一。

下步“十一五”期间,随着第二代导航卫星、“921”工程二期、“嫦娥”工程、天基测控系统等新世纪大型航天工程的展开,一个全新的航天测控通信网建设又拉开了序幕。这期间通信系统实现的目标是:网络宽带化、业务综合化、指挥可视化、信息安全化和自动管理。

信网。

在测控网通信系统中,卫星通信专用网主要由北京指挥控制中心、西安卫星测控中心及各发射中心的多个 B 类站,数十个测控站(船)的 F 型站,以及多个活动测控站的车载卫通站及多个海事卫星通信站等组成。目前该网采用的技术体制主要有两种:一种是 MCPC(多路单载波)体制的 IBS/IDR 系统;一种是 SCPC(单路单载波)体制的 TES 系统。IBS/IDR 是国际卫星组织制定的一种数字卫星通信业务。主要用于点对点专线传输,适用于星状网。其特点是技术成熟、设备标准化程度高、电路关系简单明确和可靠性较高。在卫通专用网中,IBS/IDR 业务主要用于中心间、中心与测站间及岸船间综合信息的传输。TES 系统是一个以电话业务为主,数据和话音业务兼容的卫星通信网,目前主要用于试验任务中活动站的调度指挥话音、低速数据传输,卫通专用网是航天测控试验任务信息传输第一路由。

光纤通信传输网主要由测控中心及测控站的本地传输网与国家电信网、国防通信网的互连所组成,用于各中心及各测控站的业务传输和信息交换。目前,该网在各中心区域主要采用 SDH 体制,部分测控站采用 PDH 体制,根据技术发展规划该网将逐步过度到 SDH 体制。除用于日常通信外,本地传输网主要作为航天测控试验任务信息传输第二路由。

1.4 通信系统的主要业务

1.4.1 数据业务

数据通信主要用于各中心与各测控站(船)之间各种数据信息的实时和准实时传输。采用帧中继网、数字数据网(DDN)、调制解调器和数字复/分接,以及 TCP/IP 等技术。传输速率从 4.8Kb/s 至 2048Kb/s。其设备配置和接口技术均符合国家和国际通信技术规范。其中,第一路由数据传输网络以中心和测控站的 DDN 节点为数据传输终端,以测控专用卫星通信网为传输手段,采用 IBS/IDR 卫通体制传输;第二路由数据传输以帧中继交换网为数据终端,以公用通信网(国防网或电信网)、第二

路由卫通网(Ku 频段)、海事卫星通信为传输手段,同时帧中继交换网也用于中心与测控站间的计算机联网和指挥、办公的自动化业务。

1.4.2 话音业务

通信网的话音业务包括调度业务和电话业务等。

调度通信是航天测控网组织指挥试验任务的专用通信手段。其调度方式以话音业务为主,同时还可以文字、数据、图形、图像等综合方式进行。调度设备采用四线制,具有通播、专向、越级、会议、分组、程控、监听和话音记录等多种调度指挥通信功能。随着技术的发展,调度系统已向数字化、程控化方向发展。

电话通信是航天测控网试验任务和日常通信的基本手段,主要用于试验任务的指挥通信、协同通信和日常勤务通信等。目前,电话交换方式已全部实现了程控化和数字化。电话通信系统由本地电话交换网和长途电话交换网组成。其中,本地电话交换网主要由中心(或测控站)程控交换机和本地传输网完成。长途电话通信主要依托军/地直拨网完成。

1.4.3 时间统一业务

在航天测控活动中,各种测控设备所获取、记录的测量数据和事件都必须有严格统一的时间标准才能对它们进行分析和处理,才具有使用价值。时间与频率统一系统(简称时统)就是测控网的高精度定时单元,其作用是各种测控活动统一精确的时间和频率标准,使整个测控网能在统一的时间和频率下协调工作。

目前,测控网中的时间统一采用标准化时统设备,向测控中心和测控站有关测控设备提供 IRIG-B(交流)或(直流)时间码和 5MHz 标准频率信号。其定时校频采用长波、短波、GPS 和北斗系统等几种技术手段,互为备份,互相验证。目前时间统一系统达到的时间同步精度为微秒量级,提供的信号频率准确度为 10^{-11} 。

1.4.4 图像业务

图像通信主要用于试验任务和日常工作中图像信息的传输。包括实