



导弹航天测控通信技术丛书

试验通信技术

(上册)

Test Communication Technology

边居廉 王慧连 主编



国防工业出版社

导弹航天测控通信技术丛书



试验通信技术

Test Communications Technology

(上册)

边居廉 王慧连 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

试验通信技术. 上册/边居廉,王慧连主编. —北京:
国防工业出版社, 2000. 5

(导弹航天测控通信技术丛书)

ISBN 7-118-02287-X

I. 试… II. ①边… ②王… III. 导弹试验: 飞行
试验-空间通信系统 IV. TJ760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 16321 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 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 11 $\frac{3}{4}$ 293 千字

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

导弹航天测控通信技术丛书

编审委员会

名誉主任委员 沈荣骏

顾问 陈芳允 赵起增

主任委员 尚学琨

副主任委员 赵军(常务) 罗海银 王文宝 左振平

委员 于志坚 刘 仁 刘蕴才 华仲春

(以姓氏笔画为序) 沈平山 张殷龙 林秀权 赵业福

侯 鹰 贺瑞法 聂 皓 郭詮水

陶有勤 高德江 隋起胜

主 编 刘蕴才(兼)

副 主 编 张纪生

秘 书 崔福红 李国强

《试验通信技术》

主 编 边居廉 王慧连

编 著 者 (按姓氏笔画为序)

王慧连 边居廉 何平江 邱伟超

张兵山 胥德义 赵宗印 程 蝉

常春泉 龚奇敏 潘秉渠

主 审 陆建勋 孙 玉

责任编辑 刘 仁

序

为了发展导弹、航天事业,我们经过 40 年的艰苦奋斗,自立创新,建成了具有中国特色、先进、实用的导弹、航天测控网,圆满地完成了历次导弹、航天试验任务。

为了总结 40 年来取得的丰富经验,使其科学化、系统化、理论化,总装备部测量通信总体研究所在有关单位的支持、协同下,已经编著出版了《导弹卫星测控总体设计》、《导弹卫星测控系统工程》(上、下册),受到广大测控、通信技术人员欢迎。现在,以总装备部测量通信总体研究所为主,组织有关试验基地、院校和原航天工业总公司及电子工业部有关研究所,共同编著一套覆盖测控与通信领域主要专业、包含丰富实践经验、具有较高理论水平的《导弹航天测控通信技术丛书》,这是我国导弹、航天测控领域一件具有重要意义的建设性工作。

本丛书包括《导弹测控系统》、《航天测控系统》(上、下册)、《光学测量系统》、《无线电跟踪测量系统》、《遥测遥控系统》(上、下册)、《计算机在测控网中的应用》、《试验通信技术》(上、下册)、《时间统一系统》、《外测数据事后处理》、《电波大气折射误差修正》和《导弹航天测控通信技术词典》等 11 卷 14 册。丛书的出版,将为我国导弹、航天测控与通信技术人员提供一套内容丰富的学习资料,亦为从事导弹、航天工程研制与试验的其它专业技术人员提供一套了解相关专业知识和进行技术交流的图书。期望这套丛书能帮助广大读者加深对导弹、航天测控与通信技术的了解和运用,共同促进我国导弹、航天测控与通信事业的进一步发展。

沈昌俊

1998 年 8 月 1 日

前 言

试验通信技术是指应用于导弹、航天试验的通信技术。40 年来,随着我国导弹、航天技术的发展,试验通信技术也有了很大发展,从单场区的以有线和短波通信为主发展到多场区的电缆通信、微波通信、移动通信、光纤通信,对空间飞行器的超短波通信,乃至由陆地到海洋并扩展到全球的长、短波和卫星通信。从原理上讲,试验通信技术与一般民用通信技术没有多大区别,但由于试验通信技术是应用于导弹、航天试验这一高科技领域,服务于导弹、航天器发射与测控,所以它具有许多特点。目前,各种通信技术专著很多,但还没有一本综合论述导弹、航天试验通信技术的专著,为了总结 40 年来我国导弹、航天试验通信技术的应用经验,进一步促进试验通信技术的发展,我们编著了《试验通信技术》,为导弹、航天领域同行们提供一套针对性强的技术参考书。

本书的特点是专业覆盖面广,紧密结合导弹、航天试验实际,理论性、系统性、实用性强。根据导弹、航天试验的实际需要,论述了各种通信系统的基本原理,给出了试验通信系统的总体设计方法和系统测试方法,探讨了未来发展方向。全书约 70 万字,分为上、下两册,上册为第一至第六章,下册为第七至第十二章。第一章 概论;第二章 卫星通信;第三章 光纤通信;第四章 微波通信;第五章 超短波通信;第六章 短波通信;第七章 数据通信;第八章 图像通信;第九章 指挥调度通信;第十章 移动通信;第十一章 保密通信;第十二章 通信网管理。

第四、六章由边居廉编著,第二章由王慧连、何平江编著,第三章由王慧连、常春泉编著,第五章由张兵山编著,第一、七、十二章由赵宗印编著,第八章由程蝉编著,第九章由胥德义、邱伟超编著,

第十章由潘秉渠、边居廉编著,第十一章由龚奇敏编著。全书的文字整理和图表制作由梁前熠协助完成。

本书在编写过程中得到了各级领导的关心和支持,得到了国防工业出版社的大力支持和帮助,陆建勋、孙玉两位院士在百忙中抽出时间为本书担任主审,他们对本书进行了认真地审阅和修改,在此一并表示衷心地感谢。

由于我们水平有限,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

1999年12月

目 录

第一章 概论	1
1.1 通信与通信系统	1
1.1.1 通信的概念	1
1.1.2 通信系统模型	1
1.2 通信网及结构	2
1.2.1 通信网的概念	2
1.2.2 通信网的基本结构形式	4
1.3 衡量通信系统的主要性能指标	5
1.4 通信技术	6
1.5 导弹、航天试验通信网	6
1.5.1 导弹、航天试验通信网的任务和作用	9
1.5.2 试验任务对通信系统的要求	9
1.5.3 网络构成	10
1.5.4 导弹、航天试验通信网的特点	11
1.5.5 导弹、航天试验通信网的发展	11
第二章 卫星通信	13
2.1 概述	13
2.1.1 卫星通信的特点	13
2.1.2 卫星通信在导弹航天试验中的应用	15
2.1.3 卫星通信系统的基本组成	16
2.1.4 卫星通信使用的频段	17
2.2 卫星通信电波传播特性及噪声干扰	18
2.2.1 传播损耗	19
2.2.2 天线方向跟踪误差损耗	23
2.2.3 极化误差损耗	24

2.2.4	多径衰落	24
2.2.5	多普勒效应	25
2.2.6	传播噪声和干扰	25
2.2.7	传播时延	28
2.3	卫星通信系统基本性能参数及计算方法	28
2.3.1	卫星通信线路模型	29
2.3.2	系统的基本性能参数及定义	30
2.3.3	卫星线路计算基本方程	36
2.4	卫星通信体制概述	41
2.4.1	多址联接方式	41
2.4.2	卫星信道分配体制	51
2.4.3	基带信号处理及传输	55
2.5	通信卫星概述	60
2.5.1	通信卫星的分类及其轨道	60
2.5.2	通信卫星的组成及主要性能参数	61
2.5.3	静止通信卫星运动特性对卫星通信系统的影响	62
2.6	卫星通信地球站	63
2.6.1	地球站的分类及标准	63
2.6.2	地球站的组成	64
2.6.3	天线分系统	65
2.6.4	射频发射与接收分系统	70
2.6.5	信道设备	75
2.6.6	地面接口设备	76
2.6.7	地球站与地面网(或终端设备)的接续	78
2.7	专用卫星通信系统总体设计	79
2.7.1	设计原则	79
2.7.2	总体设计主要内容	80
2.8	地球站测试技术	85
2.8.1	入网验证测试	85
2.8.2	地球站开通测试技术	90
2.9	卫星移动通信系统	91
2.9.1	低轨道卫星移动通信系统	91

2.9.2 中轨道卫星移动通信系统	94
2.9.3 静止轨道卫星移动通信系统	95
2.10 卫星通信系统的发展与展望	98
2.10.1 开发和使用更高的工作频段	98
2.10.2 数字化卫星电视广播技术	99
2.10.3 VSAT 卫星通信	100
2.10.4 宽带卫星通信	101
参考文献	102
第三章 光纤通信	103
3.1 概述	103
3.1.1 光纤通信的主要特点	103
3.1.2 光纤通信系统的基本组成和分类	104
3.1.3 光纤通信在导弹、航天测控中的作用、任务和地位	104
3.2 光纤通信基本概念	105
3.2.1 光波在光纤中的传输	105
3.2.2 光纤	106
3.2.3 光源	113
3.2.4 光检测器	116
3.2.5 光通信设备	119
3.3 光纤数字通信系统	121
3.3.1 数字终端设备	122
3.3.2 数字收发光端机	124
3.3.3 数字光纤通信用线路码型	124
3.3.4 PDH 光纤数字通信系统的主要质量指标	125
3.4 光纤模拟通信系统	128
3.4.1 系统构成及特点	129
3.4.2 调制体制	129
3.4.3 模拟光纤通信中的复用技术	130
3.4.4 光纤模拟通信系统的主要指标	132
3.5 光同步数字系列传输网	132
3.5.1 概述	133
3.5.2 SDH 速率等级及帧结构	137

3.5.3 SDH 设备映射复用结构	138
3.5.4 SDH 传输网技术规范	141
3.5.5 SDH 自愈环网	148
3.5.6 网络的同步	153
3.6 光纤数字通信系统的测试技术	154
3.6.1 概述	154
3.6.2 光接口测试	155
3.6.3 误码性能测试	156
3.6.4 支路抖动容限测试	157
3.6.5 SDH 环形网保护倒换性能测试	158
3.7 光纤通信新技术	160
参考文献	163
第四章 微波通信	164
4.1 概述	164
4.1.1 微波通信的频段范围和特点	165
4.1.2 系统的构成及其工作原理	167
4.1.3 数字微波通信的主要技术指标	174
4.1.4 自适应均衡技术	177
4.1.5 微波通信的发展与展望	178
4.2 一点多址通信系统的构成	180
4.3 系统的特点	182
4.4 系统容量	183
4.4.1 话音通道容量	183
4.4.2 传输速率	183
4.4.3 每套设备可安装的最大用户数	184
4.4.4 每个外围站可安装的用户数	184
4.4.5 系统容量的选择和确定	184
4.5 系统的频率配置	186
4.5.1 工作频段	187
4.5.2 射频波道的配置	187
4.6 多址技术及多址协议	189
4.6.1 多址技术	189

4.6.2 多址协议	190
4.7 TDMA 的帧结构及同步技术	194
4.7.1 TDMA 的帧结构	194
4.7.2 TDMA 的同步技术	196
4.8 系统中设备配置及接口技术	201
4.8.1 中心站、中继站、外围站设备构成	201
4.8.2 接口技术	205
4.9 系统进网时的全程损耗和传输性能	207
4.9.1 假想参考电路与传输质量标准	207
4.9.2 传输性能	209
4.10 电波传播特性	211
4.10.1 电波在自由空间的传播	211
4.10.2 地形对电波传播的影响	212
4.10.3 大气对电波传输的影响	214
4.10.4 雨、雪引起的电波损耗	216
4.11 路由选择的基本要求	217
4.11.1 站距和站址的选择	217
4.11.2 断面的要求	217
4.11.3 余隙标准	218
4.12 衰落和可靠性估算	219
4.12.1 衰落产生的原因及分类	219
4.12.2 系统可靠性估算	220
4.12.3 天线高度的确定	222
4.13 频率复用的可行性分析	226
4.14 整机和系统性能测试	227
4.14.1 收发信机性能测试	227
4.14.2 系统误码性能测试	229
4.15 不同频段的一点多址通信系统性能比较	231
4.16 发展前景	233
参考文献	235
第五章 超短波通信	236
5.1 概述	236

5.2 超短波信道特性	236
5.2.1 视距通信	237
5.2.2 自由空间传播损耗	237
5.2.3 多径衰落	238
5.2.4 电离层闪烁损耗	242
5.2.5 天线方向跟踪误差损耗	245
5.2.6 极化误差损耗	245
5.2.7 大气损耗	246
5.3 超短波通信线路计算	246
5.3.1 通信线路计算模型	246
5.3.2 下行线路计算	247
5.3.3 上行线路计算	248
5.4 超短波通信中的关键技术	249
5.4.1 扩频技术	249
5.4.2 分集接收技术	254
5.4.3 多普勒频移抵消技术	255
5.4.4 窄带调制解调技术	256
5.5 地面超短波通信设备	257
5.5.1 地面超短波通信设备组成及工作原理	257
5.5.2 通信监控中心组成及工作原理	270
5.6 超短波设备主要性能指标及测量方法	271
5.6.1 发信机性能指标及测量方法	271
5.6.2 接收机性能指标及测量方法	273
5.6.3 天线的基本性能和测试方法	275
参考文献	280
第六章 短波通信	281
6.1 概述	281
6.1.1 短波通信的主要特点	282
6.1.2 短波通信的技术发展现状	282
6.2 短波传播的基本形式	284
6.2.1 地波传播	284
6.2.2 天波传播	284

6.2.3 天波传播的路径(模式)	285
6.3 短波的传播特性	286
6.3.1 电离层的吸收	286
6.3.2 衰落	286
6.3.3 多径时延	287
6.3.4 多普勒效应	289
6.4 短波路径基本几何参数的确定	289
6.4.1 收发间的大圆距离和方位角	289
6.4.2 反射点的位置确定	290
6.4.3 电波最佳的辐射仰角确定	291
6.4.4 太阳天顶角的计算	291
6.5 链路使用频率的确定	292
6.6 基本传输损耗的估算	293
6.7 接收点所需最小信号电平的估算	295
6.7.1 大气噪声的估算	295
6.7.2 确定接收机输入端的最小信噪比	295
6.7.3 接收点所需最小信号功率	296
6.8 短波收、发信设备的选择	296
6.8.1 天线的选择	296
6.8.2 馈线系统选择	297
6.8.3 额定最小发射功率的确定	297
6.9 接收点的场强及线路可靠度估计	298
6.9.1 接收点场强估计	298
6.9.2 线路可靠度估算	298
6.10 短波通信新技术	298
6.10.1 实时选频与短波通信频率自适应技术	301
6.10.2 短波高速数据传输技术	323
6.10.3 自适应天线简述	330
6.10.4 差错控制技术	336
6.10.5 分集接收技术	341
参考文献	347

CONTENTS

Chapter 1 General	1
1.1 Communications and Communications System	1
1.1.1 Concept of Communications	1
1.1.2 Model of Communications System	1
1.2 Communications Network and Its Structure	2
1.2.1 Concept of Communications Network	2
1.2.2 Basic Structure of Communications Network	4
1.3 Main Performance Specifications of Communications System	5
1.4 Communications Technology	6
1.5 Missile and Spaceflight Test Communications Network	9
1.5.1 Mission and Purpose of Missile and Spaceflight Test Communications Network	9
1.5.2 Requirements on Communications System from Test Mission	9
Network Infrastructure	10
1.5.4 Characters of Missile and Spaceflight Test Communications Network	11
1.5.5 Development of Missile and Spaceflight Test Communications Network	11
Chapter 2 Satellite Communications	13
2.1 General	13
2.1.1 Characters of Satellite Communications	13
2.1.2 Applications in Missile and Spaceflight Test of	

Satellite Communications	15
2.1.3 Basic Composition of Satellite Communications System	16
2.1.4 Frequency Band Used in Satellite Communications	17
2.2 Electric-wave Propagation Characters and Noise	
Interference of Satellite Communications	18
2.2.1 Propagation Loss	19
2.2.2 Antenna Pattern Tracking Error Loss	23
2.2.3 Polarization Error Loss	24
2.2.4 Multipath Fading	24
2.2.5 Doppler Effect	25
2.2.6 Propagation Noise and Interference	25
2.2.7 Propagation Delay	28
2.3 Basic Performance Parameters and Calculation	
Method of Satellite Communications System	28
2.3.1 Circuitry Model of Satellite Communications	29
2.3.2 Basic Performance Parameters and Definition of System	30
2.3.3 Basic Calculation Equation of Satellite Link	36
2.4 Satellite Communications System Description	41
2.4.1 Multiple Access Connection Mode	41
2.4.2 Satellite Channel Distribution System	51
2.4.3 Baseband Signal Processing and Transmission	55
2.5 Introduction of Communication Satellite	60
2.5.1 Classification of Communication Satellite and Corresponding Orbit	60
2.5.2 Composition and Main Performance Parameters of Communication Satellite	61
2.5.3 Influence on Satellite Communications System from Geostationary Communication Satellite Motion Property	62
2.6 Satellite Communications Earth Station	63
2.6.1 Classification and Standardization of Earth Station	63
2.6.2 Composition of Earth Station	64
2.6.3 Antenna Subsystem	65