

《国防科研试验工程技术系列教材》

试验通信系统

短波通信技术

中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

《国防科研试验工程技术系列教材》

试验通信系统

短波通信技术

中国人民解放军总装备部
军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

短波通信技术/中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会编. —北京:国防工业出版社, 2002.2

国防科研试验工程技术系列教材·试验通信系统
ISBN 7-118-02766-9

I. 短 ... II. 中 ... III. 短波通信 - 教材
IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 007197 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 8% 216 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:24.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《国防科研试验工程技术系列教材》 总编审委员会

名誉主任委员 程开甲 李元正

主任委员 胡世祥

副主任委员 段双泉 尚学琨 褚恭信 马国惠

委 员 (以下按姓氏笔划排列)

王国玉 刘 强 刘晶儒 张忠华

李济生 邵发声 周铁民 姚炳洪

姜世忠 徐克俊 钱卫平 常显奇

萧泰顺 穆 山

办公室主任 任万德

办公室成员 王文宝 冯许平 左振平 朱承进

余德泉 李 钢 杨德洲 邱学臣

郑时运 聂 峰 陶有勤 郭淦水

钱玉民

《国防科研试验工程技术系列教材· 试验通信系统》编审委员会

主任委员 尚学琨

副主任委员 左振平 赵 军 聂 皞

委 员 郭詮水 钱玉民 边居廉 于志坚

沈自成 于胜果 高文清 汪建平

唐朝京 王保顺 王擎天 薛 亮

贾天林 邹仁毅 王 华

主 编 边居廉

副 主 编 赵宗印 高文清 王擎天 唐朝京

秘 书 李国强

短波通信技术

主 编 张尔扬

副主编 王 莹

编 著 张尔扬 王 莹 路 军

主 审 陈先福

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济迅速兴起,国力竞争越来越取决于各类高技术、高层次人才的质量与数量,因此,作为人才培养的基础工作——教材建设,就显得格外重要和紧迫。为总结、巩固国防科研试验的经验和成果,促进国防科研试验事业的发展,加快人才培养,我们组织了近千名专家、学者编著了这套系列教材。

建国以来,我国国防科研试验战线上的广大科技人员,发扬“自力更生、艰苦奋斗、科学求实、大力协同、无私奉献”的精神,经过几十年的努力,建立起了具有相当规模和水平的科研试验体系,创立了一系列科研试验理论,造就了一支既有较高科学理论知识、又有实践经验,勇于攻关、能打硬仗的优秀科技队伍,取得了举世瞩目的成就。这些成就对增强国防实力,带动国家经济发展,促进科技进步,提高国家和民族威望,都发挥了重要作用。

编著这套系列教材是国防科研试验事业继往开来的大事,它是国防科研试验工程技术建设的一个重要方面,是国防科技成果的一个重要组成部分,也是体现国防科研试验技术水平的一个重要标志。它承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,是众多科技工作者用心血和汗水凝成的科技成果。编著该套系列教材,旨在从总体的系统性、完整性、实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的国防科研试验理论与实践相结合的知识体系。一是总结整理国防科研试验事业创业40年来重要成果及宝贵经验;二是优化专业技术教材体系,为国防科研试验专业技术人员提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的急需;三是为国防科研试验提供有力的

技术保障;四是将许多老专家、老教授、老学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来。

这套系列教材按国防科研试验主要工程技术范畴分为:导弹航天测试发射系统、导弹航天测量控制系统、试验通信系统、试验气象系统、常规兵器试验系统、核试验系统、空气动力系统、航天医学工程系统、国防科技情报系统、电子装备试验系统等。各系统分别重点论述各自的系统总体、设备总体知识,各专业及相关学科的基础理论与专业知识,主要设备的基本组成、原理与应用,主要试验方法与工作程序,本学科专业的主要科技成果,国内外的最新研究动态及未来发展方向等。

这套系列教材的使用对象主要是:具有大专以上学历的科技与管理干部,从事试验技术总体、技术管理工作的人员及院校有关专业的师生。

期望这套系列教材能够有益于高技术领域里人才的培养,有益于国防科研试验事业的发展,有益于科学技术的进步。

《国防科研试验工程技术系列教材》

总编审委员会

1999年10月

序

试验通信系统是国防科研试验工程中的重要组成部分。

40年来,试验通信系统的技术人员,发扬自力更生、严谨求实、团结奋战的精神,坚持“实用、可靠、先进、经济”的原则,逐步建成了布局合理、手段多样、业务齐全、覆盖面较广、机动性较强的试验通信系统,有效地保障了历次国防科研试验中的指挥通信、数据图文传递和时间同步任务,为国防科研试验工程技术的发展作出了重要贡献。

在试验通信网的建设过程中,几代通信科研、试验人员投入了毕生的精力和智慧,积累了丰富的实践经验,取得了丰硕的成果,形成了具有特色的试验通信系统建设程序和试验通信系统装备体系。为适应国防科研试验鉴定对象、标准、模式的深刻变化,紧跟通信技术迅速发展步伐,培养新一代试验通信技术人才,将40年试验通信系统建设经验总结整理并结合试验的新特点,编写一套既适合通信人才培养需要,又对试验通信工作具有一定指导作用的系列教材,具有重要的现实意义和深远的历史意义。

本套教材以大专以上学历的通信工程技术人员和通信指挥管理人员为主要对象,以通信系统的组成、原理、体制、技术标准与规范、系统设计方法与测试、通信技术的发展动态和方向为主要内容,以系统设计和技术应用为重点。整套教材具有较强的理论性、实用性、系统性和技术前瞻性,既可用于试验通信专业技术人员的培训,亦可作为院校相关专业师生的参考书。

本套教材共分16卷。包括:《试验通信概论》、《卫星通信技术》、《光纤通信技术》、《天地通信技术》、《数字微波通信技术》、《集群移动通信技术》、《指挥通信技术》、《数据通信技术》、《时间统一

系统》、《图像通信技术》、《数字程控交换技术》、《短波通信技术》、《通信保密技术》、《通信网管理技术》、《通信电源》和《通信线路》。

本套教材的编写工作得到了国防科技大学、装备指挥技术学院、总装备部工程设计研究所、总装备部测量通信总体研究所等单位的支持和帮助。对于在编写过程中给予支持的领导和专家、参考文献作者、各卷编审和撰稿人员,我们谨表示衷心的感谢。由于本套教材涉及专业技术面广、涵盖内容多、技术层次新,加之编者水平有限,书中难免有错误或疏漏之处,诚请读者予以指正。

《国防科研试验工程技术系列教材·

试验通信系统》编审委员会

2000年10月

前 言

短波通信因其技术成熟,通信距离远,体积小,适合在移动状态的车、船、飞机等平台上工作,成为国防科研试验中主要的通信手段之一。

20 世纪 60 年代以来,由于卫星、光纤等通信技术的飞速发展,短波通信的一些缺点和适应性问题突出地显露出来,出现了短波通信受到冷落的局面。近年来短波电波传播、电离层特性和信道特性的研究,自适应选频、自适应均衡及自适应速率控制等技术取得的一系列成果,使短波通信在克服多径衰落,改善通信质量,提高频率利用率和可通率方面取得了突破性的进步,短波通信进入了高质量传输信息的新阶段。除容量和带宽外,短波自适应通信的质量已可与卫星通信相媲美。自适应高速跳频、自适应阵处理和软件无线电技术大大提高了抗干扰能力与互联互通性能。

高技术条件下作战理论和战争的实践证明,短波通信具有较强的抗毁性,设备轻小,造价低廉,组网灵活。在诸军兵种协同作战的远程通信、战区 C³I 系统中能发挥重要作用。有人形容短波通信迎来了第二个春天。

本书是《国防科研试验工程技术系列教材·试验通信系统》中的一卷。在书中,一方面向读者介绍短波通信的基本理论、基本电路和系统设计的要点;另一方面则重点介绍短波通信领域的新技术和新进展。

本书第 1 章、第 6 章、第 7 章由张尔扬教授编写;第 2 章、第 5 章由王莹教授编写;第 3 章、第 4 章由路军博士编写。陈先福教授

对全书进行了审查,提出了不少中肯的意见,特此表示深深的谢意。编写期间恰逢教学、科研任务特别繁重,赶写而成,未及精雕细刻,水平所限谬误之处在所难免,请专家和读者多多批评指正。

编 者

2001年6月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 短波通信的特点	1
1.1.1 短波信道的时变和色散特性	1
1.1.2 通信距离远	3
1.1.3 技术成熟	3
1.1.4 顽存性强	3
1.1.5 信道拥挤	4
1.1.6 天线匹配困难	4
1.2 短波通信的发展	4
1.2.1 短波电波传播研究取得的重大进展	4
1.2.2 实时信道估计技术的成熟和自适应频率选择	5
1.2.3 高速跳频和自适应跳频	6
1.2.4 高速调制解调技术的进展	7
1.2.5 自适应天线阵抗干扰	8
1.2.6 软件无线电技术研究的热潮	8
第 2 章 短波通信信道	9
2.1 短波的传播	9
2.1.1 地波传播	9
2.1.2 天波传播	10
2.2 短波信道的基本特性	11
2.2.1 电离层的特性	11
2.2.2 短波信道传输特性	13
2.3 短波信道中的无线电干扰	19
2.3.1 大气噪声	19

2.3.2 工业干扰	21
2.3.3 电台干扰	22
2.3.4 抗干扰途径	22
2.4 短波信道的数学模型	23
2.5 短波信道的传输损耗	24
2.5.1 自由空间传播损耗	25
2.5.2 电离层吸收损耗	26
2.5.3 多跳地面反射损耗	27
2.5.4 额外系统损耗	29
2.6 短波天线	29
2.6.1 天线的基本特性	30
2.6.2 几种常用的短波天线	34
第3章 短波单边带通信技术	41
3.1 短波单边带通信的基本概念	41
3.1.1 单边带通信的基本原理	41
3.1.2 单边带通信的特点	42
3.1.3 单边带调制的分类	44
3.1.4 单边带通信系统的组成	45
3.2 短波单边带信号的产生	47
3.2.1 短波单边带信号的产生方法	47
3.2.2 滤波法产生单边带信号	47
3.2.3 相移法(分解法)产生单边带信号	50
3.2.4 维弗法产生单边带信号	51
3.3 短波单边带发射机的基本原理	53
3.3.1 发射机的组成	53
3.3.2 功率放大器	54
3.3.3 发射机的输出功率	55
3.3.4 功率放大器的失真分析	55
3.4 单边带接收机的基本原理	58
3.4.1 短波单边带接收机的组成	58
3.4.2 线性部分	60
3.4.3 自动增益控制(AGC)	60

3.4.4	单边带信号解调器的基本原理	62
3.4.5	常用单边带信号解调器电路	65
3.5	典型单边带通信系统	66
3.5.1	短波单边带电台的组成	66
3.5.2	短波单边带电台的主要技术性能	68
3.5.3	短波单边带电台的整机方框图	68
第4章	短波信道传输数据信号	71
4.1	短波信道对数据传输的影响	71
4.1.1	衰落对数据传输的影响	71
4.1.2	波形展宽对数据传输的影响	71
4.1.3	多谱勒频移对数据传输的影响	71
4.1.4	短波数据传输系统中抗多径和衰落的主要措施	71
4.2	数据信号的几种键控调制方式	72
4.2.1	振幅键控调制	72
4.2.2	频率键控调制	74
4.2.3	相位键控调制	75
4.3	时频组合调制	77
4.3.1	时频调制的定义	77
4.3.2	时频调制最佳接收机的结构	78
4.3.3	时频调制的编码原则	81
4.4	分集接收技术	82
4.4.1	分集接收的基本概念	82
4.4.2	分集方式	83
4.4.3	合集方式	87
4.4.4	数字分集接收系统的性能分析	90
4.5	差错控制技术	97
4.5.1	短波信道误码特点	97
4.5.2	差错控制技术	100
4.5.3	ARQ 系统	100
4.5.4	FEC 系统	101
4.6	传输高速数据信号的调制技术	104
4.6.1	传输高速数据的并行体制	104

4.6.2 传输高速数据的串行体制	105
第5章 短波自适应选频技术	107
5.1 短波自适应选频的基本概念	107
5.1.1 自适应选频的主要技术	108
5.1.2 频率自适应的分类	111
5.2 RTCE 技术	112
5.2.1 电离层脉冲探测 RTCE	112
5.2.2 电离层调频连续波探测 RTCE	118
5.2.3 CHEC 探测 RTCE	122
5.2.4 导频探测技术	124
5.2.5 误码计算技术	127
5.3 短波自适应选频系统	127
5.3.1 概述	127
5.3.2 CURTS 自动选频系统介绍	130
5.3.3 RF-7100 系列自适应通信系统介绍	136
第6章 短波跳频通信技术	144
6.1 概述	144
6.1.1 跳频通信的优点	144
6.1.2 跳频通信系统基本组成及原理	144
6.1.3 短波跳频电台的主要参数	145
6.1.4 跳频系统抗干扰性能分析	146
6.1.5 跳频通信关键技术	148
6.2 频率合成技术	149
6.2.1 频率合成方法概述	149
6.2.2 DDS 原理	151
6.2.3 DDS 的杂散分析	155
6.2.4 典型 DDS 芯片介绍	159
6.3 快速数字化天线调谐技术	170
6.3.1 基础知识	170
6.3.2 短波天线快速调谐系统	179
6.3.3 一种新的电调谐短波天线 ETH	184
6.4 地址码编码及组网技术	187

6.4.1 概述	187
6.4.2 跳频通信地址编码理论概况	191
6.5 国外典型电台介绍	196
6.5.1 概述	196
6.5.2 CHESS 系统采用的先进技术	197
6.5.3 CHESS 电台的应用	200
第 7 章 短波通信新技术	201
7.1 软件无线电技术	201
7.1.1 概述	201
7.1.2 软件无线电基本工作原理	204
7.1.3 软件无线电的关键技术	209
7.2 自适应天线阵处理技术	230
7.2.1 概述	230
7.2.2 自适应阵处理的基本原理和特性	233
7.2.3 短波自适应阵处理器	245
参考文献	254