

《国防科研试验工程技术系列教材》

试验通信系统

数字微波通信技术

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

数字微波通信技术/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, 2002.1

国防科研试验工程技术系列教材·试验通信系统
ISBN 7-118-02698-0

I. 数... II. 中... III. 数字通信:微波通信—教材 IV. TN925

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 077371 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 10³/₄ 274 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:27.00 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 皞 陶有勤 郭詮水

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

数字微波通信技术

主 编 唐朝京

副主编 魏急波

主 审 朱建清

编著者 (按姓氏笔划排序)

朱建清 唐朝京 韩 勇
雍 玲 魏急波

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 年来的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,主要试验方法与工程程序,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技术人才培养需要,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

21 世纪是信息化的时代,电子信息技术正以惊人的速度发展,日新月异的通信和信息技术为人类的未来展现了极其美好的前景,为人类生产力的发展开辟了一个新纪元。在众多现代通信新技术中,数字微波技术以其高效、可靠、迅捷的特点而占据了重要一席。

本书的主要宗旨是全面阐述当今广泛应用的数字微波通信的基本原理和关键技术,为从事数字微波通信工作的工程师提供一部有益的专业参考资料。本书的编写风格是重点讲述数字微波通信的基本概念和基本原理,同时介绍了数字微波通信的各种主要技术以及最新发展特点,内容选择上着意取材的新颖性和先进性,努力反映数字微波通信技术的最新进展。

本书共分 7 章,第 1 章介绍了数字微波通信系统的特点、组成及性能指标;第 2 章介绍了微波在大气中传播的衰落特性及其抗衰落技术;第 3 章介绍了数字微波传播的基本原理;第 4 章介绍了数字微波的传输设备及其系统噪声;第 5 章介绍了微波同步数字序列(SDH)的传输原理及主要技术;第 6 章介绍了目前得到较广泛应用的微波一点多址通信技术;第 7 章介绍了数字微波中继系统的总体设计。本书可作为高等理工科院校无线电技术、通信与电子工程等专业的本科教学参考书,也可作为从事通信工程的广大工程技术人员的专业参考书。

本书由唐朝京、魏急波、朱建清、雍玲、韩勇等同志共同编写,其中唐朝京参加编写了第 5 章、第 6 章;魏急波编写了第 1 章、第 7 章;朱建清编写了第 2 章、第 4 章;雍玲编写了第 3 章;韩勇主要编写了第 5 章;黄纪军对第 2 章和第 4 章进行了认真的校对和修

正;朱建清负责全书的审核。由于作者水平有限,书中谬误之处在所难免,诚恳欢迎广大读者批评指正。

编 者

2001 年 5 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 数字微波通信系统的概念及特点	1
1.2 数字微波通信系统的组成	2
1.3 数字微波通信系统的性能指标	5
第 2 章 微波传播	8
2.1 自由空间的电波传播	8
2.1.1 无线电波频段的划分与传播方式	8
2.1.2 无线电波的基本性质	10
2.1.3 自由空间的传播损耗	11
2.1.4 自由空间传播条件下收信电平的计算	13
2.1.5 地面反射对电波传播的影响	14
2.1.6 视线距离与天线高度的关系	19
2.2 大气对微波传播的影响	20
2.2.1 大气的折射率与折射指数	20
2.2.2 大气对电波的折射	21
2.2.3 等效地球半径的概念	23
2.2.4 大气折射对电波传播路径的影响	25
2.2.5 大气对微波的吸收衰减	26
2.2.6 雨雾对微波的衰减	27
2.3 大气与地面效应造成的衰落特性	28
2.3.1 衰落的基本概念和特性	28
2.3.2 平衰落及其瑞利分布统计特性	31
2.3.3 衰落概率的计算公式	33
2.3.4 衰落持续时间及其计算公式	35
2.3.5 频率选择性衰落	35

2.4 抗衰落技术	42
2.4.1 抗衰落技术概述	42
2.4.2 空间分集	45
2.4.3 几种常用的空间分集接收方式	49
2.4.4 频率分集	53
2.4.5 自适应均衡技术	55
2.4.6 智能天线(smart antenna)	58
第3章 数字微波传输的基本原理	63
3.1 基带传输	63
3.1.1 数字基带信号的码型	63
3.1.2 数字基带传输系统	66
3.1.3 数字基带信号传输的基本准则	70
3.1.4 眼图	76
3.1.5 最佳基带传输系统	77
3.1.6 均衡	81
3.1.7 数据序列的扰码与解扰	86
3.2 二进制数字信号的调制与解调	88
3.2.1 二进制幅度键控(2ASK)	88
3.2.2 二进制频移键控(2FSK)	91
3.2.3 二进制相移键控(BPSK 或 2PSK)	93
3.2.4 二进制差分相移键控(2DPSK)	95
3.3 四相相移系统	97
3.3.1 QPSK 调制器	97
3.3.2 QPSK 解调器	99
3.4 其它调制方式	100
3.4.1 八相相移键控(8PSK)	100
3.4.2 正交幅度调制(QAM)	103
3.5 各种调制方式的比较	105
3.6 扩频调制方式	107
3.6.1 扩频通信的一般概念	107
3.6.2 扩频通信系统模型	109
3.6.3 扩频通信的特点	112

3 6.4 处理增益和干扰容限	114
第 4 章 数字微波的传输设备	117
4.1 发信设备的组成与主要性能指标	117
4 1 1 数字微波发信设备的组成	117
4 1 2 发信设备的主要性能指标	118
4 1 3 微波振荡源	120
4 1 4 微波功率变频技术、上变频器	122
4 1 5 微波线性功率晶体管放大器	123
4.2 收信设备的组成与主要性能指标	126
4 2 1 收信设备的组成	126
4 2 2 数字微波收信设备的主要技术指标	128
4 2 3 微波收信混频电路	131
4 2 4 微波低噪声晶体管放大器	134
4.3 微波通信对天线设备的要求	136
4 3 1 微波通信天线的要求及馈线系统形式	136
4 3 2 发射天线的电指标	136
4 3 3 接收天线及其参数	142
4 3 4 微波通信天线	144
4 3 5 天线防雷设计	147
4 4 系统噪声的讨论	148
4 4 1 热噪声及其计算	148
4 4 2 各种干扰噪声	154
4.5 公务及监控系统	156
4 5 1 公务传输通道的主要作用	156
4 5 2 模拟公务传输方式	157
4 5 3 监控系统	159
4 5 4 监控系统的主要性能指标	164
4.6 数字微波通信系统的测试和维修	165
4 6 1 系统指标的测试	165
4 6 2 数字微波设备的维护及故障处理	172
4.6.3 数字微波设备常见故障及处理	173
第 5 章 微波 SDH 传输技术	178

5.1	SDH 传输体制概述	178
5 1 1	SDH 系统相对于 PDH 系统的优越性	178
5 1 2	SDH 的速率等级与帧结构	179
5 1 3	SDH 的映射与复用结构	185
5 1 4	SDH 的接口特性	188
5 1 5	SDH 传输系统的分层	196
5.2	SDH 对新一代数字微波传输方式的影响	199
5 2 1	交叉极化同频再利用	203
5 2 2	非线性补偿技术	205
5 2 3	射频波道的配置和倒换	210
5 3	SDH 数字微波系统规划与设计	214
5 3 1	SDH 传输误码性能指标及其分配	214
5 3 2	调制方式的选择	219
5 3 3	NEC2000S SDH 微波传输设备介绍	222
5.4	SDH 数字微波传输网络结构	237
5 4 1	SDH 自愈环与互连环结构	237
5 4 2	SDH 传输管理网(SMN)	246
5 4 3	SDH 微波通信系统的网络管理	256
第 6 章	微波一点多址通信系统原理	266
6.1	微波一点多址通信概述	266
6 1 1	系统的构成	266
6 1 2	系统容量	267
6 1 3	频率配置	271
6 2	微波一点多址通信系统	275
6 2 1	多址通信工作原理	275
6 2 2	一点多址系统设备配置	288
6 2 3	主要分系统原理	293
6.3	微波一点多址通信网	297
6 3 1	系统进网方式和传输性能	297
6 3 2	微波路由选择的基本要求	301
第 7 章	数字微波中继系统的总体设计	303
7.1	假设参考通道与传输质量标准	303

7 1 1 假设参考通道	303
7 1 2 传输质量标准	305
7.2 系统的噪声指标分配	310
7 2 1 噪声的分类	310
7 2 2 噪声指标分配	310
7 3 系统性能的估算与指标分配	313
7.4 路由设计及天线设计	318
7 4 1 路由设计	318
7 4 2 天线设计	320
7.5 落地转接与不落地转换	321
7 5 1 落地转接	321
7 5 2 不落地转接	322
参考文献	324

第1章 概 论

1.1 数字微波通信系统的概念及特点

微波中继通信是一种先进的通信方式,它利用微波来携带信息,通过电波空间同时传送若干相互无关的信息,并且还能进行再生中继。它具有传输容量大、长途传输质量稳定、投资少、建设周期短、维护方便等特点,得到了广泛的应用。而建立在微波通信和数字通信基础上的数字微波通信,同时具有数字通信和微波通信的优点,更是受到各国的普遍重视。因此数字微波中继通信、光纤通信和卫星通信一起被称为现代通信传输的三大主要手段。

我国的数字微波通信研究始于20世纪60年代。在20世纪60年代至70年代初的起步阶段,研制出了中、小容量数字微波通信系统,并很快投入了应用,调制方式以四相相移键控(QPSK)为主,并有少量设备使用了八相相移键控(8PSK)调制。20世纪80年代,我国数字微波通信的单波道传输速率上升到140Mbit/s,调制方式一般采用正交幅度调制16QAM,自适应均衡、中频合成和空间分集接收等高新技术开始出现。20世纪80年代后期至今,随着同步数字序列(SDH)在传输系统中的推广应用,数字微波通信进入了重要的发展时期。目前,单波道传输速率可达300Mbit/s以上,为了进一步提高数字微波系统的频谱利用率,使用了同波道交叉极化传输、多重空间分集接收、无损伤切换等技术。这些新技术的使用将进一步推动数字微波中继通信系统的发展。

数字微波通信具有以下主要特点。

(1) 传输容量大。这是因为微波射频带宽很宽,一个微波射