

《国防科研试验工程技术系列教材》

试验通信系统

光纤通信技术

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

光纤通信技术

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

光纤通信技术/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 7-118-02765-0

I. 光... II. 中... III. 光纤通信—教材
IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004511 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)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 15 384 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:35.00 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

1-1AC48/01

《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 峰

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

发展光纤通信,促进国防
信息化建设。

叶培大

(国家信息化委员会专家组组长、北京邮电大学名誉校长、教授、博导、科学院院士、著名光通信专家)

2001年8月

光纤通信是国防信息化
的重要基石。

张煦

(上海交通大学教授、博导、科学院院士、著名光通信专家)

2001年7月

培养光通信人才,
促进国防信息化建设。

林万干

(成都电子科技大学名誉校长、教授、博导、科学院院士、著名光通信专家)

2001年8月15日

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

光纤通信作为一种先进的通信技术至今已有近 30 年的历史,许多相关的基础技术也逐渐成熟,对此已有许多专著或普及性丛书加以评述和介绍。但从光纤通信本身进展来看,其发展速度之快、应用范围之广、涉及领域之多、更新换代之频确为通信史上所罕见,以往的一些技术已显过时,诸多新技术层出不穷,并在应用领域崭露头角,其种类之多、性能之优令人眼花缭乱、目不暇接。而国防领域是最早应用光纤通信的领域之一,从话音、图像和数据的光纤传输,到 PDH、SDH 和 WDM 的光纤网络,我国的国防科研试验从 20 世纪 70 年代末采用光纤通信技术已有 20 多年的历史。本书力求在理论性、实用性、系统性和方向性紧密结合的基础上,重点突出工程技术实用性,将基本原理和实际应用有机结合,总结整理作者从事通信技术工作 15 年来在国内外公开发表的 50 多篇文章及参加有关工程技术工作成果,以清晰直观的图表、公式和文字形式来帮助读者抓住技术关键并全面理解本书内容。

全书共分为 8 章。第 1 章介绍光通信系统的概念、特点、组成、分类、简史和新发展。第 2 章介绍光纤传输理论及光纤和光缆的种类、结构与性能。第 3 章介绍光源、光发送机、光检测器、光接收机、光纤活动连接器、光衰减器、光分波器与光合波器、光耦合器、光隔离器、光开关、光放大器和光电集成器件与电路的原理和特性。第 4 章介绍光纤数字与模拟传输技术、光波复用技术、双向传输技术、相干光波通信技术和光纤接入网技术。第 5 章介绍包括 PCM、PDH、SDH 和接入网在内的光纤传输设备及辅助配套和网管设备。第 6 章介绍网同步概念、原理、性能指标和应用。第 7 章讲述测试理论、参数及仪表,介绍光缆线路和设备工程的施工与

测试。第8章介绍工程建设的组织管理、经济分析与评价、性能指标、通路组织、网络管理及系统设计方法。全书由苗新主编并具体撰写,由林庆和周凤广担任主审。

在本书编写过程中先后得到了北京邮电大学叶培大教授、上海交通大学张煦教授和成都电子科技大学林为干教授等三位著名光通信领域前辈的热情鼓励和具体指导。初稿完成后,三位科学院院士在百忙之中为本书题词。在此,一并表示诚挚的敬意和由衷的感谢。

本书素材除了取自参考文献之外,还取自总装备部工程设计研究所几十年的工作成果。在撰写成书过程中,得到了试验通信系列教材编审委员会、总装备部司令部通信局、总装备部工程设计研究所和国防工业出版社的具体指导和帮助,得到了有关领导和老师的鼓励和支持。在此,谨致以衷心谢意。

由于本书涉及光纤通信内容广泛且新颖,加之作者学识有限,时间仓促,书中错误和不足之处在所难免,恳请同行和读者批评指正。

作 者

2001年10月

光纤通信技术

主编 苗 新

主审 林 庆 周凤广

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 光通信的概念与特点	1
1.1.1 空间光通信	1
1.1.2 光纤通信	6
1.2 光纤通信系统组成与分类	9
1.2.1 光纤通信系统组成	9
1.2.2 光纤通信系统分类	10
1.3 光纤通信新发展	12
1.3.1 光孤子通信技术	13
1.3.2 光交换技术	14
1.3.3 全光网络技术	15
第 2 章 光波导理论及光纤和光缆	17
2.1 光纤传输理论	17
2.1.1 光纤波导理论	17
2.1.2 光纤中的模式及性质	26
2.2 光纤	31
2.2.1 光纤的种类和结构	31
2.2.2 光纤的传输特性	42
2.3 光缆	70
2.3.1 光缆的种类和结构	70
2.3.2 光缆的性能	77
2.3.3 光纤光缆的工程应用	79
第 3 章 光纤通信用光电器件	84
3.1 光发送器件	84
3.1.1 光源	84

3.1.2 光发送机	91
3.2 光接收器件	96
3.2.1 光检测器	96
3.2.2 光接收机	98
3.3 光波系统互连器件	102
3.3.1 光纤活动连接器	102
3.3.2 光衰减器	106
3.3.3 光分波器和光合波器	107
3.3.4 光耦合器	112
3.3.5 光隔离器	117
3.3.6 光开关	120
3.4 光放大器	122
3.4.1 光放大器的分类及特性	122
3.4.2 掺铒光纤放大器(EDFA)	126
3.4.3 光放大器的应用	135
3.5 光电集成器件与电路	139
第4章 光波系统技术	141
4.1 光纤数字传输技术	141
4.1.1 数字光纤通信体系	141
4.1.2 网络拓扑与自愈网	182
4.2 光纤模拟传输技术	190
4.2.1 直接强度调制(DD-IM)	191
4.2.2 副载波调制(SCM)	191
4.2.3 脉冲模拟调制	192
4.3 光波复用技术	193
4.3.1 空分复用(SDM)	193
4.3.2 方向分割复用(DDM)	193
4.3.3 波分复用(WDM)	194
4.3.4 频分复用(FDM)	196
4.3.5 光时分复用(OTDM)	197
4.3.6 光码分复用(OCDM)	197
4.4 双向传输技术	198

4.5 相干光波通信技术	199
4.6 光纤接入网技术	203
4.6.1 接入网概述	203
4.6.2 光接入网(OAN)	208
第5章 光纤传输设备	216
5.1 PCM 设备与接入设备	216
5.1.1 DYNACARD 系列 PCM 基群设备	216
5.1.2 PCM30G 系列 PCM 基群设备	223
5.1.3 ZXSM-10 智能 PCM 设备	225
5.1.4 SBS FA16 灵活接入设备	226
5.1.5 Radium 5100 多业务接入设备	227
5.1.6 ZXA10-PON 光纤传输设备	230
5.2 PDH 设备	231
5.2.1 NOKIA 系列 PDH 传输设备	231
5.2.2 84M SPDH 传输设备	236
5.3 SDH 设备	237
5.3.1 SBS155/622H 光纤传输设备	237
5.3.2 SBS 2500 ⁺ 光纤传输设备	239
5.3.3 SBS W32 光纤传输系统	241
5.3.4 ZXWM-32 DWDM 光纤传输设备	242
5.4 视频光纤传输设备	244
5.4.1 视频、音频单路光纤传输设备	244
5.4.2 视频、音频和数据的调频多路光纤传输设备	244
5.4.3 ViewPoint 8620 视讯设备	245
5.5 光纤通信系统的辅助设备	246
5.5.1 保护倒换设备	246
5.5.2 公务通信系统	247
5.5.3 配线设备	249
5.6 光纤传输设备网络管理系统	252
5.6.1 TMS4 基群和 PDH 传输网络管理系统	252
5.6.2 NMS100 传输网络管理系统	255
5.6.3 ZXSM-NMS 网络管理系统	256

5.6.4	SBS MN 网络管理系统	258
第 6 章	数字同步网	260
6.1	数字网同步的概念和方法	260
6.1.1	简况	260
6.1.2	网同步的概念和方法	261
6.1.3	数字同步网	265
6.2	数字网同步的必要性	266
6.3	同步信号的主要技术参数	268
6.3.1	同步信号的数学模型	268
6.3.2	频率最低准确度、频率复现性与频率漂移率	269
6.3.3	同步信号的频率稳定度	270
6.3.4	同步信号的时间间隔误差	274
6.3.5	同步信号的同步带与捕捉带	276
6.3.6	同步信号的传输损伤	277
6.4	网络同步的主要技术标准和规范	278
6.4.1	技术标准和规范简介	278
6.4.2	时钟的定时技术要求	279
6.4.3	数字同步网网络拓扑结构建议	281
6.5	同步数字系列的网络同步	282
6.5.1	PDH 和 SDH 传输链路对同步定时信号的损伤	282
6.5.2	SDH 网中有关网络同步概念	285
6.5.3	SDH 设备的同步定时工作方式	286
6.5.4	SDH 设备的同步定时要求	288
6.6	局内定时分配及其它各网络单元的同步	289
6.6.1	数字电话交换设备的同步方法	289
6.6.2	移动网设备的同步方法	290
6.6.3	卫星地球站设备的同步方法	290
6.6.4	数字数据网(DDN)设备的同步方法	290
6.6.5	SDH 设备的同步方法	290
6.7	通信网同步方式选择与数字同步网规划	292
6.7.1	数字同步网的组网原则	292
6.7.2	数字同步网内的时钟编号规则	293