

《国防科研试验工程技术系列教材》

试验通信系统

天地通信技术

中国人民解放军总装备部军事训练教材编撰工作委员会

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

天 地 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

图书在版编目(CIP)数据

天地通信技术/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, 2002.10

国防科研试验工程技术系列教材·试验通信系统
ISBN 7-118-02924-6

I. 天... II. 中... III. 航天器-通信技术
IV. V443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 060490 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 10½ 268 千字

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:28.00 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 (以下按姓氏笔画排列)

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 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

天 地 通 信 技 术

主 编 张兵山

主 审 陈建民

编著者 (按姓氏笔画为序)

于金华 张兵山 赵德林

唐 宁 谭华有

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

天地通信系统是载人航天工程的重要组成部分。随着我国“神舟一号”和“神舟二号”无人载人飞船的试验成功,我国古老的“嫦娥奔月”传说将在传说的发源地变成现实。为了满足广大技术人员,特别是无线通信技术专业人员了解天地通信技术的需要,我们根据国内外载人航天工程中天地通信的实际状况和经验,编写了此教材。

本书共分7章。第1章简要介绍航天器的组成及其发展状况、天地通信的基本概念和组成以及国外航天测控通信网的发展情况,并对航天器飞行环境以及空间环境进行了描述。第2章详细介绍无线电传播和电噪声。讨论了地球大气层对无线电波传输的影响,讨论其他行星的大气对无线电波传播的影响以及星际和太阳附近等离子体对无线电波传播的影响。第3章跟踪与数据中继卫星系统,讲述了跟踪与中继卫星系统的基本组成、工作原理和中继卫星系统的特点,并对美国的TDRSS系统、欧洲的DRS系统和日本的DRTS系统进行了全面的分析介绍。第4章统一S频段测控通信系统,按常规划分,其应为测控系统范围,但因其承担话音通信、图像通信和测控通信数据通道的任务,故对该系统的组成和工作原理作简要介绍,重点介绍天地通信中话音编解码和图像编解码方式及其实现方法。第5章天地超短波通信系统,主要针对空间飞行器的特点,分析用于导弹、航天领域的超短波通信信道的特性、关键技术、系统组成、基本工作原理和系统性能指标测试方法。第6章天地短波通信系统,详细介绍了天地短波电波传播模式、传播链路计算方法和系统基本组成及工作原理。第7章航天事业发展展望,简要地对世界各国航天活动和天地通信发展进

行展望。本书是在试验通信系列教材编委会具体指导下完成的,参与本书编写的有张兵山、谭华有、赵德林、于金华、唐宁等同志,张兵山同志统筹了本书全稿,陈建民对本书进行了审阅,杨福涛同志审阅了第4章,并提出了修改意见。

本书在编写过程中得到了总装备部司令部通信局、总装备部测量通信总体研究所、信息产业部电子第二十二研究所、信息产业部电子第五十四研究所等单位的大力支持。此外本书在编写过程中,参考了许多书目,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏在所难免,恳望读者予以批评指正。

编 者

2002年1月

内 容 简 介

本书以国内外载人航天工程建设情况为背景,介绍了天地通信技术及其相应通信系统。内容包括航天器的组成及其发展状况、国外载人航天测控通信网的发展状况、天地通信的基本概念和组成、航天器飞行环境和空间环境、无线电波的传播与噪声、跟踪与数据中继卫星系统、统一 S 频段测控通信系统、天地超短波通信系统、天地短波通信系统、天地通信的发展与展望。

全书内容系统全面,材料丰富实用,可供大专以上从事无线通信专业施工、验收、操作、维护的工程技术人员和管理人员学习,也可供通信指挥干部及大专院校通信等专业师生参考。

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 概述	1
1.2 天地通信系统	7
1.2.1 天地通信的基本概念	7
1.2.2 天地通信系统的基本组成	8
1.3 国外航天测控通信网发展状况	10
1.3.1 美国航天测控通信网	10
1.3.2 苏联航天测控通信网	15
1.3.3 其他航天测控通信网	17
1.4 航天器的空间环境	18
1.4.1 太阳系与地球	18
1.4.2 地球大气层	21
1.4.3 电离层	22
1.4.4 粒子辐射	24
第 2 章 电波传播及电噪声	28
2.1 概述	28
2.2 地球电离层中的电波传播	30
2.2.1 短波	30
2.2.2 超短波	33
2.3 无线电波在地球对流层中的传播	35
2.3.1 对流层中的折射率	35
2.3.2 对流层吸收衰减	38
2.4 其他行星的大气对无线电波传播的影响	42
2.5 星际和太阳附近的等离子体对无线电波传播的影响	44
2.6 无线电噪声	47

2.6.1 各类噪声的性质与估算	48
2.6.2 有关噪声的一些基本定义及关系	57
2.7 再入大气层电波的传播	61
2.7.1 再入电波传播	61
2.7.2 再入等离子体鞘对电波传播的影响	65
2.7.3 再入无线电波衰减估算	67
2.7.4 再入通信中断解决的途径	70
2.7.5 火箭发动机喷焰对电波传播的影响	72
2.8 天地通信信道的几个问题	74
2.8.1 通信可视区与多普勒频偏的影响	74
2.8.2 通信窗口	77
2.8.3 无线信道电平计算	79
第3章 跟踪与数据中继卫星系统	83
3.1 概述	83
3.1.1 跟踪与中继卫星系统的基本组成与工作原理	84
3.1.2 中继卫星系统的特点	86
3.2 美国的 TDRSS	87
3.2.1 当前系统的构成	87
3.2.2 当前系统的性能	89
3.2.3 TDRS 系统的空间部分	92
3.2.4 TDRS 系统的地面部分	103
3.2.5 McMurdo TDRSS 中继系统	108
3.2.6 新 TDRS-H、TDRS-I、TDRS-J	109
3.2.7 TDRSS 用户应答机	112
3.3 欧洲的 DRS 系统	115
3.3.1 概述	115
3.3.2 DRS 系统	116
3.4 日本的 DRTS 系统	118
3.4.1 概述	118
3.4.2 DRTSS 的基本结构	119
第4章 统一 S 频段测控通信系统	121
4.1 概述	121

4.1.1	统一 S 频段测控通信系统的概念	121
4.1.2	系统组成与功能	122
4.1.3	工作原理	124
4.1.4	主要技术参数	126
4.1.5	布站原则和作用区域计算	127
4.1.6	国外概况	129
4.2	地面站设备介绍	130
4.2.1	天线与馈线	131
4.2.2	捕获与角跟踪	134
4.2.3	发射分系统	141
4.2.4	接收分系统	143
4.2.5	测距终端	149
4.2.6	测速终端	151
4.2.7	遥控终端	153
4.2.8	遥测终端	157
4.2.9	通信分系统	158
4.3	话音和视频编码技术	159
4.3.1	话音编码技术	159
4.3.2	视频编码技术	178
第 5 章	天地超短波通信系统	189
5.1	概述	189
5.2	超短波信道特性	189
5.2.1	视距通信	190
5.2.2	自由空间传播损耗	190
5.2.3	多径衰落	191
5.2.4	电离层闪烁损耗	195
5.2.5	天线方向跟踪误差损耗	198
5.2.6	极化误差损耗	198
5.2.7	大气损耗	199
5.3	超短波通信线路计算	199
5.3.1	通信线路计算模型	199
5.3.2	下行线路计算	200

5.3.3 上行线路计算	201
5.4 超短波通信中的关键技术	202
5.4.1 扩频技术	202
5.4.2 分集接收技术	206
5.4.3 多普勒频移抵消技术	208
5.4.4 窄带调制解调技术	209
5.5 地面超短波通信设备	210
5.5.1 地面超短波通信设备组成及工作原理	210
5.5.2 通信监控中心组成及工作原理	223
5.6 超短波设备主要性能指标及测量方法	224
5.6.1 发信机性能指标及测量方法	224
5.6.2 接收机性能指标及测量方法	226
5.6.3 天线的基本性能和测试方法	227
第6章 天地短波通信系统	233
6.1 概述	233
6.2 短波通信传播机理	234
6.2.1 无线电波在电离层中的传播	234
6.2.2 电波在电离层中的传播模式	238
6.3 短波工作频率选择	240
6.3.1 地面发、飞行器收的情况	240
6.3.2 飞行器发、地面收的情况	241
6.4 短波通信网的布站原则	245
6.5 短波通信线路的计算和分析	246
6.5.1 传输损耗	246
6.5.2 接收场强、接收功率密度和接收功率	248
6.5.3 噪声对天地短波通信的影响	249
6.5.4 通信电路计算	251
6.6 短波通信设备介绍	270
6.6.1 短波设备组成	270
6.6.2 短波发射机	271
6.6.3 短波接收机	271
6.6.4 短波天线	272