

《国防科研试验工程技术系列教材》

试验通信系统

时间统一技术

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

技术系列教材》

系统

时间统一技术

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

时间统一技术/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, 2004. 7

国防科研试验工程技术系列教材·试验通信系统
ISBN 7-118-03351-0

I. 时... II. 中... III. 时间不变系统—教材
IV. 0231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 118073 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

新华书店经销

*

开本 850×1168 1/32 印张 15% 406 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—4500 册 定价:47.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

内 容 简 介

时间统一系统使国防科研试验实现全系统的时间统一,时统设备为参试装备提供标准时间和标准频率信号。本书从系统的观点出发,全面地阐述了时间统一的各项技术。主要内容有时间标准,频率标准,标准时间和频率信号的发播、定时和校频,时统设备关键技术,标准化时统设备,时码接口终端,时间统一系统主要技术指标的测试及时间统一系统的发展和展望。

本书主要适合于具有大专以上文化程度的时间统一系统专业技术人员阅读,也可供通信、测控等相关专业技术人员和指挥干部及大专院校有关专业师生参考。

《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 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 王文宝

副主任委员 左振平 赵 军 聂 峰

委 员 郭淦水 韦亚南 边居廉 于志坚

侯 鹰 于胜果 高文清 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 王擎天 高文清

秘 书 李国强

时间统一技术

主 编 童宝润

副主编 吴贵臣 翟造成 胡永辉 郑兴世

主 审 边居廉

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

统一技术》、《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

“时间”很早就被人类所认识,远古时代人们就“日出而作,日落而息”,可以说是最早的“时间统一”。国防科研试验需要精密的时间统一,参加试验的绝大多数装备都需要时间统一系统提供标准时间信号。40多年来,在我国,作为国防科研试验重要组成部分的时间统一系统有了很大的发展,它走过了从引进、仿制、自行研制到全面发展的过程,为国防科研试验起到了重要的保障作用,同时也培养了一支研究、设计、生产和使用的专业技术队伍。《时间统一技术》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,它总结了40多年来我国国防科研试验时间统一系统建设所积累的经验,全面系统地阐述了时间统一的各项技术,主要适合于具有大专以上文化程度的时间统一系统专业技术人员阅读,也可供通信、测控等相关专业技术人员和指挥干部及大专院校有关专业师生参考。

本书以较大篇幅论述国防科研试验时为实现试验系统时间统一所用的有关技术和设备,但并未局限于此。因为时间统一是一个系统的概念,要实现整个试验系统的时间统一,仅有对这些技术和设备本身的了解是远远不够的,还必须对时间统一系统所涉及的各个环节有深入的了解。故本书对诸如各种时间标准及其应用、标准时间频率信号的发播和时统设备输出的标准时间信号的正确使用等都展开了论述。全书共10章。第1章概论,第2章时间标准,第3章频率标准,第4章标准时间和频率信号的发播,第5章定时和校频,第6章时统设备的关键技术,第7章标准化时统设备,第8章时码接口终端,第9章时间统一系统主要技术指标的测试,第10章发展和展望。附录部分给出了时间统一系统2项国

军标《时统设备通用规范》和《B 时间码接口终端》,供读者参阅。

本书第 2 章(除 2.6、2.7 节外)由吴贵臣编写,第 3 章(除 3.1 节外)由翟造成编写,第 4、5 章由胡永辉编写,第 7 章由郑兴世、杨林、成东兵、宋斌和杨健编写,其余章节由童宝润编写。全书的统稿工作由童宝润完成。

本书的编写工作得到了总装备部司令部通信局、测量通信总体研究所、中国科学院国家授时中心和上海天文台及信息产业部星华仪器厂的大力支持。张春玲承担了全书的录入和编排工作,并提出了很多宝贵的修改意见。在此一并表示衷心的感谢。

时间统一技术是一门随着国防科研试验发展起来的新技术,现正在其他领域得到越来越广泛的应用,因此得到越来越多读者的关注。由于编者学识有限,本书难免有错误和不当之处,愿以此作为引玉之砖,并期望得到读者的批评指正。

编 者

2003 年 9 月 30 日

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 时间统一系统	1
1.1.1 时间和时间统一系统	1
1.1.2 国家时间频率基准	4
1.1.3 授时台	4
1.1.4 定时校频接收机	5
1.1.5 频率标准	5
1.1.6 时码产生器	6
1.1.7 时码分配放大器	6
1.1.8 用户	6
1.2 时间统一系统在国防科研试验中的作用	7
1.2.1 标志国防科研试验中重要事件的时刻	7
1.2.2 统一国防科研试验测量系统的时间和频率	7
1.2.3 提供对导弹、航天器飞行控制所需的精确时刻	12
1.3 国防科研试验对时间统一系统关键技术指标的要求	12
1.3.1 时间同步误差	12
1.3.2 频率准确度和频率偏差	14
1.3.3 频率稳定度	14
1.3.4 取样信号周期抖动	15
第 2 章 时间标准	17
2.1 时间和时间标准	17
2.1.1 时间和时间标准的含义	17
2.1.2 时间标准和标准时间	19
2.2 世界时(UT)	21

2.2.1	世界时的测定和定义	21
2.2.2	世界时的测量	24
2.2.3	世界时服务组织和机构	25
2.2.4	IERS	26
2.3	历书时(ET)	27
2.3.1	背景	27
2.3.2	定义	28
2.3.3	历书时的测定	29
2.4	原子时(AT)	29
2.4.1	原子时秒定义	29
2.4.2	原子时时间尺度	31
2.4.3	国际原子时系统	33
2.4.4	协调世界时(UTC)	37
2.4.5	尺度概念精化与新尺度引进	40
2.5	我国的标准时间工作	42
2.5.1	计时标准化在中国	42
2.5.2	我国标准时间工作的发展	43
2.5.3	我国的原子时时间尺度	45
2.5.4	我国授时时间基准的改进和提高	50
2.6	试验时	51
2.7	国防科研试验的时间	52
2.7.1	相对时和绝对时	52
2.7.2	国防科研试验时间标准的选择	53
2.7.3	协调世界时应用中的几个问题	54
2.7.4	世界时 UT1 信息的获取	59
第3章	频率标准	62
3.1	频率标准的主要技术指标	62
3.1.1	频率准确度	62
3.1.2	频率偏差	64
3.1.3	时域频率稳定度	64
3.1.4	频域频率稳定度	77
3.1.5	频率漂移率(频率老化率)	82

3.1.6 重现性	84
3.1.7 开机特性	85
3.1.8 频率调整范围和分辨率	86
3.1.9 外部特性	87
3.1.10 频率信号参数	88
3.2 高稳石英晶体频率标准	89
3.2.1 压电效应和压电石英晶体	89
3.2.2 石英晶体谐振器的主要特性和效应	90
3.2.3 石英晶体振荡器的类型	92
3.2.4 高稳石英晶体频率标准的主要技术指标	96
3.3 原子频率标准的物理基础和基本工作原理	98
3.3.1 能量的量子化和量子跃迁	98
3.3.2 原子的精细能级	99
3.3.3 原子的超精细能级	100
3.3.4 原子的超精细磁能级	102
3.3.5 原子共振器的构成及作用原理	103
3.3.6 标准信号的产生及控制	107
3.4 铷原子频率标准	109
3.4.1 铷原子(^{87}Rb)的能级结构	109
3.4.2 铷原子频率标准的结构与工作原理	110
3.4.3 频率控制	114
3.4.4 铷原子频率标准的主要技术指标	115
3.5 铯原子频率标准	115
3.5.1 铯原子(^{133}Cs)基态 $6S_{1/2}$ 的超精细结构	115
3.5.2 铯束管谐振器的结构和工作原理	116
3.5.3 频率控制	119
3.5.4 实验室型铯原子频率标准	120
3.5.5 商品型铯原子频率标准	120
3.6 氢原子频率标准	121
3.6.1 主动型氢原子频率标准	121
3.6.2 被动型氢原子频率标准和主动型氢原子频率标准的 小型化	128

3.7 新型原子频率标准	132
3.7.1 光抽运铯束频率标准	132
3.7.2 离子阱频率标准	134
3.7.3 铯原子喷泉频率标准	134
3.7.4 铷原子喷泉频率标准	140
3.8 频率标准的选用	142
3.8.1 频率标准特点与性能比较	142
3.8.2 常用频率标准的选择	144
第4章 标准时间和频率信号的发播	145
4.1 短波授时	145
4.1.1 短波传播特点	146
4.1.2 BPM 短波授时台	147
4.1.3 各国短波授时台	159
4.2 长波授时	159
4.2.1 长波传播特点	159
4.2.2 BPL 长波授时系统	161
4.2.3 EUROFIX 技术	169
4.2.4 “长河二号”和国外罗兰 - C 导航系统	171
4.2.5 低频时码台	180
4.3 卫星授时	183
4.3.1 GPS	183
4.3.2 GLONASS	191
4.3.3 伽利略卫星导航系统	193
4.3.4 “北斗一号”定位系统	195
4.4 其他授时手段	198
4.4.1 网络授时	198
4.4.2 电话授时	201
4.4.3 无源和有源电视时间同步	203
第5章 定时和校频	206
5.1 短波定时和校频	206
5.1.1 移相法定时	207