

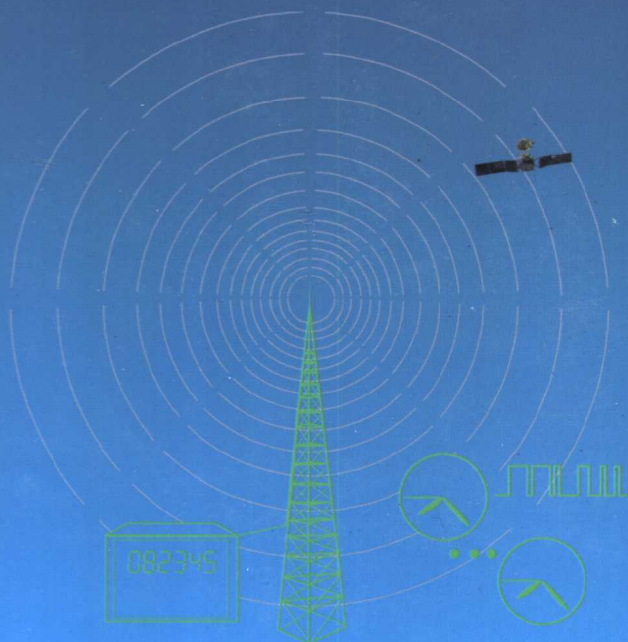


导弹航天测控通信技术丛书

时间统一系统

Timing System

童宝润 主编



国防工业出版社

导弹航天测控通信技术丛书

时间统一系统 Timing System

童宝润 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

时间统一系统/童宝润主编. —北京:国防工业出版社, 2003.9

(导弹航天测控通信技术丛书)

ISBN 7-118-03193-3

I. 时... II. 童... III. 时间不变系统 IV. 0231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 057920 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 11¼ 276 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—3500 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

**国防科技图书出版基金
第四届评审委员会组成人员**

名誉主任委员	陈达植			
顾问	黄宁			
主任委员	刘成海			
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋	
秘书长	张又栋			
副秘书长	彭华良	蔡锺		
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成
(按姓名笔画排序)				
	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇
	崔尔杰	韩祖南	舒长胜	

导弹航天测控通信技术丛书

编委会名单

名誉主任委员 沈荣骏

顾问 陈芳允 赵起增

主任委员 尚学琨

副主任委员 赵 军(常务) 罗海银 王文宝
左振平

委员 于志坚 刘 仁 刘蕴才 余同杰
(按姓名笔画排序)
沈平山 张殷龙 林秀权 赵业福
侯 鹰 贺瑞法 聂 皓 郭淦水
陶有勤 高德江 隋起胜

主编 刘蕴才(兼)

副主编 张纪生

秘书 李国强

《时间统一系统》

主 编 童宝润

主 审 聂 峰

丛书策划 林秀权

责任编辑 许波建

序

为了发展导弹、航天事业,我们经过 40 年的艰苦奋斗,自立创新,建成了具有中国特色、先进、实用的导弹、航天测控网,圆满地完成了历次导弹、航天试验任务。

为了总结 40 年来取得的丰富经验,使其科学化、系统化、理论化,总装备部测量通信总体研究所在有关单位的支持、协同下,已经编著出版了《导弹卫星测控总体设计》、《导弹卫星测控系统工程》(上、下册),受到广大测控、通信技术人员的欢迎。现在,以总装备部测量通信总体研究所为主,组织有关试验基地、院校和原航天工业总公司及电子工业部有关研究所,共同编著一套覆盖测控与通信领域主要专业、包含丰富实践经验、具有较高理论水平的《导弹航天测控通信技术丛书》,这是我国导弹、航天测控领域一件具有重要意义的建设性工作。

本丛书包括《导弹测控系统》、《航天测控系统》(上、下册)、《光学测量系统》、《无线电跟踪测量系统》、《遥测遥控系统》(上、下册)、《计算机在测控网中的应用》、《试验通信技术》(上、下册)、《时间统一系统》、《外测数据事后处理》、《电波大气折射误差修正》和《导弹航天测控通信技术词典》等 11 卷 14 册。丛书的出版,将为我国导弹、航天测控与通信技术人员提供一套内容丰富的学习资料,亦为从事导弹、航天工程研制与试验的其他专业技术人员提供一套了解相关专业知识和进行技术交流的图书。期望这套丛书能帮助广大读者加深对导弹、航天测控与通信技术的了解和运用,共同促进我国导弹、航天测控与通信事业的进一步发展。

沈尚德

1998 年 8 月 1 日

前 言

“时间”很早就被人类所认识,远古时代人们“日出而作、日落而息”,可以说是最早的“时间统一”。现代导弹、航天试验需要精密的时间统一,参加试验的绝大多数设备都需要时间统一系统提供的标准时间信号。40多年来,在我国作为导弹、航天试验重要组成部分的时间统一系统有了很大的发展,它走过了引进、仿制、自行研制到全面发展的过程,为我国导弹、航天试验起了重要的保障作用,同时也培养了一支研究、设计、生产和使用的技术队伍。但迄今为止,还没有见到一本全面论述导弹、航天试验时间统一系统的专著。为了总结40多年来我国导弹、航天试验时间统一系统建设所积累的经验,进一步促进时间统一系统的发展,特编著了《时间统一系统》一书,供导弹、航天领域的同行,尤其是时间统一系统及其相关专业的技术人员阅读,也可作为管理人员和高等院校有关专业师生的参考。近年来,随着国防科技事业和国民经济的飞速发展,时间统一已不仅仅是导弹、航天试验的特殊需要,如常规兵器试验、通信、电力、导航甚至日常生活对时间统一的需求也正在日益增长。作者希望能为对实现本系统时间统一感兴趣的人员提供一点有用的信息和启发。

本书以较大篇幅论述导弹、航天试验时为实现时间统一所用的有关设备,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尺度及其如何应用、标准时间频率信号的发播和时统设备的标准时间信号的正确使用等都展开了论述。全书共分9章:第一章概论;第二章时间标准;第三章频率标

准;第四章授时;第五章定时和校频;第六章时统设备;第七章时间码接口终端;第八章时统主要技术指标的测试;第九章发展和展望。本书的特点是系统性强,紧密联系工程实际,实用性强。

本书在编著过程中得到了总装测通所和丛书编委会的关心和支持,国防工业出版社林秀权编审也给了热情帮助。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。

作者深感自己学识之浅薄,书稿内容难免有错误和不当之处,望读者批评指正。

编著者

2001年9月26日

目 录

第一章 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	3
1.1.3 授时台	3
1.1.4 定时校频接收机	4
1.1.5 频率标准	4
1.1.6 时间码产生器	4
1.1.7 时间码分配放大器	5
1.1.8 用户	5
1.2 时间统一系统在导弹、航天试验中的作用	6
1.2.1 标志导弹、航天试验中重要事件的时刻	6
1.2.2 统一导弹、航天测量系统的时间和频率	6
1.2.3 提供对导弹、航天器飞行控制所需的精密时刻	11
1.3 对时间统一系统关键技术指标的要求	11
1.3.1 时间同步误差	11
1.3.2 频率准确度和频率偏差	12
1.3.3 频率稳定度	12
1.3.4 取样信号周期抖动	13
参考文献	14
第二章 时间标准	15
2.1 时间和时间标准	15
2.2 世界时	21
2.2.1 定义	21
2.2.2 改正	22

2.2.3 测量	24
2.2.4 应用	26
2.3 历书时	26
2.3.1 定义	26
2.3.2 测量	28
2.3.3 应用	29
2.4 原子时	30
2.4.1 定义	30
2.4.2 建立	32
2.4.3 国际原子时	35
2.5 协调世界时	37
2.5.1 定义	37
2.5.2 测量	41
2.6 导弹、航天试验的时间	42
2.6.1 相对时和绝对时	42
2.6.2 导弹、航天试验时间标准的选择	43
2.6.3 协调世界时应用中的几个问题	44
2.6.4 世界时 UT1 信息的获取	48
参考文献	50
第三章 频率标准	51
3.1 频率标准的主要技术指标	51
3.1.1 频率准确度	51
3.1.2 频率偏差	53
3.1.3 时域频率稳定度	53
3.1.4 频域频率稳定度	66
3.1.5 频率漂移率(频率老化率)	71
3.1.6 重现性	72
3.1.7 开机特性	73
3.1.8 频率调整范围和分辨率	74
3.1.9 外部特性	75
3.1.10 频率信号参数	76
3.2 高稳石英晶体频率标准	77

3.2.1 石英晶体和压电效应	77
3.2.2 石英谐振器	78
3.2.3 高稳石英晶体振荡器	81
3.2.4 高稳石英晶体频率标准	86
3.3 原子频率标准	88
3.3.1 原子频率标准的工作机理	88
3.3.2 铷原子频率标准	97
3.3.3 铯原子频率标准	101
3.3.4 氢原子频率标准	103
3.3.5 新型频率标准	106
3.4 频率标准的选用	108
参考文献	110
第四章 授时	112
4.1 短波授时	113
4.1.1 特点	113
4.1.2 BPM 短波授时台	113
4.1.3 其它短波授时台	119
4.2 长波授时	124
4.2.1 特点	124
4.2.2 BPL 长波授时台	128
4.2.3 我国长波导航台	131
4.2.4 BPC 低频时码台	132
4.3 卫星授时	133
4.3.1 特点	133
4.3.2 GPS	134
4.3.3 GLONASS	142
4.3.4 北斗一号	144
4.4 其它方法	146
4.4.1 专线授时	146
4.4.2 广播电视信号中插入标准时间频率信号	147
4.4.3 因特网和电话授时	148
参考文献	148

第五章 定时和校频	149
5.1 短波定时	150
5.1.1 时号传播时延的估算	150
5.1.2 接收机时延的测量	151
5.1.3 接收载频的选择	152
5.1.4 定时方法	153
5.2 长波定时和校频	157
5.2.1 时号传播时延	157
5.2.2 定时方法	161
5.2.3 校频方法	167
5.3 卫星定时和校频	168
5.3.1 GPS 定时	168
5.3.2 GPS 校频	179
5.3.3 GLONASS 定时和校频	179
5.3.4 北斗一号定时和校频	180
5.4 其它方法	181
5.4.1 专线定时	181
5.4.2 电视定时	182
5.4.3 搬运钟	183
5.4.4 因特网和电话定时	183
参考文献	183
第六章 时统设备	185
6.1 时统设备的作用	185
6.1.1 时统设备的作用和组成	185
6.1.2 时统设备和时间服务器	186
6.2 时统设备的体制	187
6.3 标准时间码信号	189
6.3.1 时统设备体制标准化的关键	189
6.3.2 常见的标准时间码	189
6.3.3 标准时间码	196
6.4 时间统一	206
6.4.1 系统的时间统一	206

6.4.2 时统设备的守时	208
6.5 频率准确度和频偏	212
6.6 时统设备的冗余设计	214
6.6.1 时统设备冗余设计的必要性	214
6.6.2 定时校频设备的冗余配置	215
6.6.3 频率标准的冗余设计	216
6.6.4 时码产生器的冗余设计	219
6.7 用户接口标准化	222
6.7.1 时码接口	222
6.7.2 标准频率信号接口	226
6.8 标准化时统设备简介	226
6.8.1 频标单元	227
6.8.2 时码产生单元	231
6.8.3 时码区分单元	235
6.8.4 监控微机	237
参考文献	237
第七章 时间码接口终端	238
7.1 时间码接口终端的重要性	238
7.2 B码终端的类型	239
7.2.1 I型B码终端	240
7.2.2 II型B码终端	240
7.2.3 III型B码终端	240
7.2.4 IV型B码终端	241
7.3 B码终端的信息流程	242
7.3.1 输入接口	242
7.3.2 信息流程	242
7.3.3 输出信号	247
7.4 B码终端的测试	248
7.5 B码终端在设计和使用中易发生的问题	250
7.5.1 B码终端设计中易发生的问题	251
7.5.2 B码终端使用中易发生的问题	255
参考文献	257

第八章 时统主要技术指标的测试	258
8.1 时间信号的测试	258
8.1.1 时间同步误差的测试	258
8.1.2 时间信号一致性的测试	262
8.1.3 时间信号周期抖动的测试	263
8.1.4 时间信号波形参数的测试	264
8.2 频率信号的测试	264
8.2.1 准确度的测试	264
8.2.2 频率偏差的测量	266
8.2.3 漂移率(老化率)的测量	266
8.2.4 重现性的测试	275
8.2.5 开机特性的测试	276
8.2.6 时域频率稳定度的测试	278
8.2.7 频域频率稳定度的测试	292
8.2.8 频率调整范围和分辨率的测试	296
8.2.9 频率标准外部特性的测试	298
8.2.10 频率信号参数的测试	300
参考文献	300
第九章 发展和展望	302
9.1 时间统一系统的发展方向	302
9.1.1 在导弹、航天试验中的应用扩展	302
9.1.2 新技术在时间统一系统中的应用	306
9.2 时间统一系统在其它领域的应用	314
9.2.1 国防	314
9.2.2 通信	315
9.2.3 电力	316
9.2.4 广播电视	317
9.2.5 基础研究	318
9.2.6 其它	320
参考文献	321
附表 巴纳斯函数简表	322