

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

# 遥测数据处理

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》

导弹航天测量控制系统

# 遥测数据处理

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

遥测数据处理/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·导弹航天测量控制系统

ISBN 7-118-02761-8

I. 遥... II. 中... III. 遥测数据—数据处理—教材 IV. V557

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 097351 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 14 $\frac{3}{4}$  380 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 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

36/14

# 《国防科研试验工程技术系列教材· 导弹航天测量控制系统》编审委员会

主任委员 段双泉

副主任委员 赵 军 罗海银 王文宝 董德义  
周建生

委 员 刘蕴才 陶有勤 于志坚 赵龙海  
刘倬民 陈长贵 王渝贤 席 政  
汪建平 刘增田 华仲春 钱玉民  
沈自成 王 华 高德江 沈平山

主 编 刘蕴才

副 主 编 何照才 张殷龙 张忠华

秘 书 李国强

# 遥测数据处理

主 编 陈以恩

副主编 张俊刚

主 审 袁嗣杰

编著者 陈以恩 于 谟 唐永华 尚庆宣

李连周 徐 蓉 张俊刚 张秀玲

# 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

导弹航天测量控制系统是国防科研试验工程中导弹试验工程和航天工程的重要组成部分。

40年来,我国导弹、航天测控技术人员坚持了自力更生的指导思想,严谨求实,团结奋战,建成了布局合理、系统完善、覆盖面广的导弹航天测控网,承担并完成了一系列导弹、运载火箭发射试验和卫星的跟踪、测量与控制任务,为我国导弹、航天事业的发展作出了重要贡献。

在导弹、航天测控网的建设、发展与使用管理过程中,几代科技人员投入了毕生的精力与智慧,付出了辛勤劳动,建立或创造了适应我国导弹航天测控实际的理论,积累了丰富的实践经验,取得了丰硕的成果。为了培养和造就新一代航天测控人才,使我国导弹、航天测控事业不断巩固和发展,将该系统40年来的理论与实践成果进行认真系统的整理总结,编写出一套既适应人才培养需要,又对试验工作具有指导与技术支持作用的系列教材,具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

本套教材以具有大专以上学历的导弹、航天测控工程技术人员和技术、计划协调管理人员为主要对象,以测控系统相关专业理论、系统组成、原理、工作程序、技术实施方案、方法以及测控技术的发展动态与发展方向等为主要内容,以测控系统理论基础、经验总结和总体工作与分析思路为重点,既可作为实际工作指导用书,亦可作为院校相关专业师生和测控设备研制人员的参考用书。

本套教材共分14卷,包括:《导弹航天测控总体》(上、下册)、《无线电跟踪测量》、《无线电遥测遥控》(上、下册)、《光电测量》、《航天器轨道确定》、《航天器飞行控制与仿真》、《航天测量船》、《测

控计算机与监控显示系统》、《GPS 技术与应用》、《电磁兼容技术》、《外弹道测量数据处理》、《遥测数据处理》、《试验指挥与管理自动化系统》和《靶场大地测量》。

本套教材在编写过程中,得到了有关部队、院校、设备研制生产单位的大力支持与协助,陈芳允、程开甲院士等老一代专家,为编写工作提出了很多宝贵的建设性意见,在此一并表示衷心的感谢。由于本套教材涉及专业面广,包含内容多,编著水平有限,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·  
导弹航天测量控制系统》编审委员会  
1999 年 10 月

# 前 言

导弹、运载火箭及航天器飞行试验的遥测参数反映了飞行器“内脏”各系统的实时工作情况,其数据处理质量的高低、处理速度的快慢将直接影响对飞行试验结果的分析与评定,尤其在查找故障时,更有着举足轻重的作用。

随着我国导弹及航天事业的快速发展以及遥测技术的不断进步,对从事遥测数据处理的工作人员也提出了更高的要求,然而目前国内供这类专业人员学习的教材并不多,为此我们组织了一支由老高级工程师和研究生组成的编写组,通过对 30 余年遥测数据处理工作及 40 余次国内外卫星发射的丰富实践经验的总结,并参考了大量的有关书籍和资料编写了本书,试图让从事本专业的技术人员尽快掌握遥测数据处理的基础理论和技术及相关知识,并对这一领域的最新技术及其应用有一了解,为他们提供一本操作性强的实用参考书。

本书由“导弹、运载火箭遥测数据处理”和“航天器遥测数据处理”上下两篇组成。陈以恩高级工程师担任主编,负责组织并拟订编写大纲和各章的具体编写内容及要求。各章编写人员为:第 1 章陈以恩;第 2 章陈以恩、徐蓉、尚庆宣、于谟;第 3 章陈以恩、李连周、唐永华、于谟;第 4 章陈以恩、唐永华、于谟;第 5 章尚庆宣;第 6 章陈以恩;第 7 章于谟、徐蓉、李连周;第 8、9、12、13 章张俊刚;第 10、11 章张秀玲。全书由陈以恩修改与统稿。

李济生院士担任本书的学术顾问。本书的编写受到西安卫星测控中心领导、总师及机关的大力支持,受到测控技术部林芝建主任、史续生总师的直接指导以及遥测室主任李连周、软件室领导和两室同志们的全力支持和帮助;吕辉、李旭芳、孙艳红、赵治、李秀

彤等为文稿的输入作了大量工作;总装备部装备指挥技术学院袁嗣杰教授于百忙之中担任了本书的主审,提供了不少有益建议,总装备部测量通信总体研究所贺瑞法研究员在对本书的审查中付出了艰辛的劳动,提出了不少很有价值的修改建议,在此一并表示衷心的感谢。由于时间较仓促、水平有限,书中缺点及疏漏在所难免,恳请读者指正。

编者

2001年10月

## 内 容 简 介

本书从工程应用的角度比较全面系统地介绍了导弹、运载火箭和航天器遥测数据处理系统的基础知识,阐述了遥测数据处理的基础理论、方法、软件和设备以及新技术、新知识在这一领域的应用。其中遥测数据的处理方法,有不少是来自导弹、运载火箭和航天器飞行试验任务中的经验总结,有很高的实用价值和可操作性。关于基础理论仅介绍其必备的知识,因篇幅所限未对公式推导及理论作详细阐述。关于新技术及新知识,本书重点阐述了它们的基本原理及其在遥测数据处理中的应用方法,更详细的有关理论可参考相关书籍。

全书分上下两篇:上篇——导弹、运载火箭遥测数据处理,共有 7 章;下篇——航天器遥测数据处理,共有 6 章。本书的读者对象是从事地地导弹、运载火箭及航天器遥测数据处理的工程技术人员(包括方法、软件及设备等不同技术岗位)。本书也可作为地空导弹、空空导弹遥测数据处理专业人员的参考书。

# 目 录

## 上篇 导弹运载火箭遥测数据处理

<b>第 1 章 导弹运载火箭遥测数据处理概论</b> .....	1
1.1 遥测数据处理发展简介 .....	2
1.2 遥测数据处理任务及特点 .....	4
1.3 遥测数据处理基本概念 .....	6
1.4 遥测参数分类及特性 .....	12
1.4.1 遥测参数的分类 .....	12
1.4.2 遥测参数的特性 .....	13
1.5 遥测记录介质及其数据结构 .....	15
1.5.1 遥测记录介质的种类 .....	15
1.5.2 各种记录介质的数据结构及格式 .....	16
1.6 遥测数据处理设备配置及功能 .....	18
1.6.1 重放、解调及预处理系统 .....	18
1.6.2 计算机服务器与计算机工作站系统 .....	19
1.6.3 分析仪及图形工作站系统 .....	19
1.6.4 回收磁记录系统 .....	19
1.7 缓变参数处理流程 .....	20
1.8 速变参数处理流程 .....	21
<b>第 2 章 导弹运载火箭遥测数据处理基础理论</b> .....	24
2.1 随机数据处理 .....	24
2.1.1 简介 .....	24
2.1.2 随机过程 .....	25
2.1.3 波形分析及处理 .....	32
2.1.4 频谱分析及计算方法 .....	45

2.2	数值计算方法	57
2.2.1	插值计算	57
2.2.2	曲线拟合的最小二乘法	65
2.3	数字滤波	67
2.3.1	数字滤波基本原理	67
2.3.2	数字滤波方法和滤波器设计	68
2.3.3	数字滤波器分类	69
2.3.4	FIR 数字滤波器	70
2.3.5	IIR 数字滤波器	85
2.3.6	现代滤波器简介	92
2.4	误差理论	94
2.4.1	基本概念	94
2.4.2	有效数字与计算法则	98
2.4.3	系统误差	100
2.4.4	随机误差	102
2.4.5	误差的传递与总和	106
<b>第3章</b>	<b>导弹运载火箭遥测数据处理方法</b>	<b>109</b>
3.1	概述	109
3.2	相关知识	110
3.2.1	导弹运载火箭的总体知识	110
3.2.2	遥测系统总体知识	118
3.2.3	传感器和变换器知识	123
3.3	测量原始数据预处理方法	132
3.3.1	测控站、测量船原始数据质量检查	132
3.3.2	全程测量原始数据的剪辑和对接	132
3.3.3	时统加工和纠错	133
3.3.4	信号判别及分路	134
3.4	缓变参数处理方法	134
3.4.1	缓变参数介绍	134
3.4.2	参数选点原则及方法	138
3.4.3	野值的剔除方法	142
3.4.4	指令参数处理方法	145

3.4.5	阶跃形变化参数的测量与处理方法	147
3.4.6	连续型变化参数的分类与处理方法	150
3.4.7	数字量参数处理方法	152
3.4.8	数据处理中的修正方法	154
3.5	速变参数处理方法	156
3.5.1	速变参数介绍	156
3.5.2	分析数据的采集	158
3.5.3	数据检验方法	161
3.5.4	数据合理性加工	167
3.5.5	波形分析处理	171
3.5.6	频谱分析方法	173
3.5.7	频谱分析中应注意的几个问题	181
3.6	处理结果合理性检查	185
3.7	故障情况的数据处理方法	187
3.8	试验结果数据管理	188
<b>第4章</b>	<b>导弹运载火箭遥测数据处理软件</b>	<b>190</b>
4.1	概述	190
4.1.1	遥测数据处理软件的任务	190
4.1.2	遥测数据处理软件的特点	190
4.1.3	软件运行环境及要求	191
4.2	遥测数据处理软件系统	193
4.2.1	遥测数据处理软件系统的组成	193
4.2.2	遥测预处理软件分系统	193
4.2.3	缓变参数处理软件分系统	194
4.2.4	速变参数处理软件分系统	196
4.2.5	绘图软件工具	196
4.2.6	排版打印及拷贝软件	198
4.2.7	网络接口软件	199
4.3	软件设计	202
4.3.1	工程化原理	202
4.3.2	设计方法	206
4.3.3	设计规则	208



<b>第 5 章 导弹运载火箭遥测数据处理设备</b> .....	211
5.1 箭上回收磁记录处理设备系统 .....	211
5.2 信号分析仪系统 .....	215
5.2.1 系统组成 .....	215
5.2.2 用途 .....	216
5.2.3 各分系统功能 .....	216
5.2.4 各分系统基本工作原理 .....	216
5.2.5 各分系统主要技术性能指标 .....	218
5.3 遥测预处理计算机系统 .....	219
5.3.1 系统组成 .....	219
5.3.2 用途 .....	220
5.3.3 基本工作原理 .....	220
5.3.4 主要专用设备技术性能指标 .....	221
5.4 通用设备的使用及维护 .....	222
5.4.1 计算机的使用及维护 .....	223
5.4.2 打印机的使用及维护 .....	224
5.4.3 绘图仪的使用及维护 .....	225
5.4.4 扫描仪的使用及维护 .....	225
5.4.5 调制解调器的使用及维护 .....	226
5.4.6 鼠标器的使用及维护 .....	226
<b>第 6 章 导弹运载火箭遥测数据库系统</b> .....	227
6.1 数据库的基本概念 .....	227
6.1.1 基本概念 .....	227
6.1.2 数据库的特征 .....	228
6.1.3 数据库与文件系统的区别 .....	229
6.2 数据库管理系统的选择 .....	229
6.2.1 数据库管理系统的分类 .....	229
6.2.2 数据库管理系统的选择 .....	232
6.2.3 流行的关系数据库管理系统 .....	232
6.3 数据库设计 .....	238
6.3.1 数据库系统目标设计 .....	238
6.3.2 数据库设计方法 .....	241