



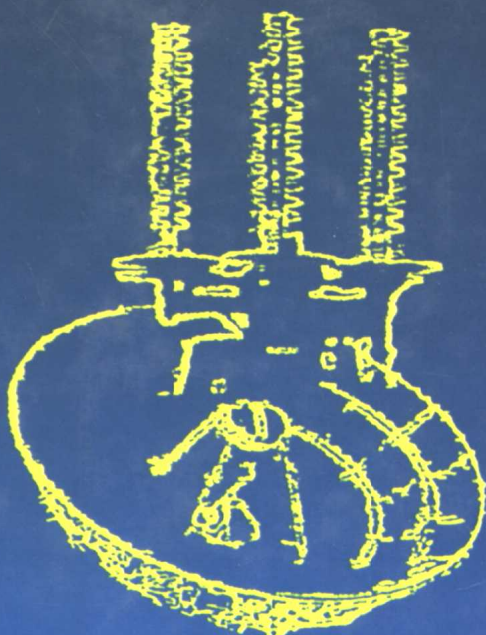
导弹航天测控通信技术丛书

遥测遥控系统

(下册)

Telemetry and Telecommand System

主编 刘蕴才 副主编 姚奇松 房鸿瑞



国防工业出版社

导弹航天测控通信技术丛书

遥 测 遥 控 系 统

Telemetry and Telecommand System

(下 册)

主 编 刘蕴才

副主编 姚奇松 房鸿瑞

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

遥测遥控系统.下册/刘蕴才主编.—北京:国防工业出版社,2000.4

(导弹航天测控通信技术丛书)

ISBN 7-118-02283-7

I. 遥... II. 刘... III. ①航天器-遥测系统②航天器-遥控系统③导弹-遥测系统④导弹-遥控系统
IV. V 556.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 13747 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)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 7 $\frac{1}{2}$ 192 千字

2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:21.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

导弹航天测控通信技术丛书

编审委员会

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 华仲春

(以姓氏笔划为序) 沈平山 张殷龙 林秀权 赵业福

侯 鹰 贺瑞法 聂 皓 郭詮水

陶有勤 高德江 隋起胜

主 编 刘蕴才(兼)

副 主 编 张纪生

秘 书 崔福红 李国强

《遥测遥控系统》(下册)

主 编 刘蕴才

副 主 编 姚奇松

房鸿瑞

编 著 者 张允堂 刘晓星 邴文娥 姚奇松

赵和平 谭维炽 汪 勃

主 审 周祥生

责任编辑 林秀权 王晓光

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它专业技术人员提供一套了解相关专业知识、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。

沈尚俊

1998 年 8 月 1 日

前 言

遥控系统是导弹试验和航天器发射运行的重要支持系统。近 40 年来,它为我国的导弹、航天试验起了重要作用。为了进一步发展我国的靶场遥控技术,特别是航天器遥控技术,急需认真总结以往的实践经验,并从理论上加以分析研究。为此,我们遥控界几位同行,在总装备部测量通信总体研究所的统一组织下,编著了这本《遥测遥控系统》下册。本书是近 40 年来我国导弹、航天器遥控技术发展的总结,其最大特点是理论联系实际,突出了对导弹、航天器试验发射中实用遥控技术的论证和探讨,可以作为导弹、航天测控技术人员特别是遥控技术人员的参考,亦可作为机关技术干部和高等院校有关专业师生的参考。

本书《遥测遥控系统》下册(遥控系统部分)是由《导弹航天测控通信技术丛书》主编单位总装备部测量通信总体研究所组织本单位及信息产业部 54 所、航天工业总公司 501 部长期从事导弹、航天器遥控技术工作者编著的。第十章遥控系统概述,由张允堂高级工程师撰写;第十一章导弹、航天器上遥控分系统,由刘晓星、鄧文娥高级工程师撰写;第十二章地面遥控系统、第十三章差错控制技术、第十四章数字调制和第十六章卫星同步控制,由姚奇松研究员撰写;第十五章遥控数据保护,由赵和平研究员撰写;第十七章分包遥控,由谭维炽研究员撰写;第十八章遥控系统主要技术指标的论证设计,由汪勃工程师撰写。全书由主编刘蕴才和副主编姚奇松、房鸿瑞统稿。

本书在编著过程中得到了总装备部司令部、测量通信总体研究所和信息产业部 54 所及航天工业总公司 501 部的大力支持;54 所周祥生研究员在百忙中抽出时间担任本书主审;国防工业出版

社林秀权编审付出了辛勤的劳动,王晓光编审也给予了很大支持和帮助,在此一并表示感谢!

由于我们的水平有限,错误之处在所难免,请读者批评指正。

编著者

1999年9月

目 录

(下册)

第十章 遥控系统概述	1
10.1 遥控的基本概念	1
10.2 导弹、航天器遥控系统及其分类	2
10.2.1 导弹、航天器遥控系统	2
10.2.2 导弹、航天器遥控系统的分类	3
10.3 导弹、航天器遥控系统的地位和作用	4
10.3.1 遥控系统在导弹试验工程中的地位和作用	4
10.3.2 遥控系统在卫星工程中的地位和作用	5
10.3.3 遥控系统在载人航天工程中的地位和作用	5
10.4 导弹、航天器遥控的特点	6
10.4.1 安全遥控的特点	6
10.4.2 航天器遥控的特点	7
10.5 发展趋势	7
第十一章 导弹、航天器上遥控分系统	10
11.1 弹载遥控分系统的组成和基本工作原理	10
11.1.1 弹载遥控分系统的组成	10
11.1.2 基本工作原理	11
11.2 航天器遥控分系统的组成和基本工作原理	12
11.2.1 基本任务	13
11.2.2 航天器遥控分系统的组成	13
11.2.3 基本工作原理	15
11.3 航天器遥控解调器和译码器	18
11.3.1 三种基本同步	18
11.3.2 副载波解调器	19
11.3.3 指令译码器	24

11.3.4 数据译码器	26
参考文献	28
第十二章 地面遥控系统	29
12.1 地面遥控系统的组成和工作原理	29
12.1.1 独立遥控系统的组成和工作原理	29
12.1.2 统一信道遥控分系统的组成和工作原理	32
12.2 指令和数据的形成	34
12.2.1 指令、数据形成的一般方法	34
12.2.2 常用的发令方式	35
12.3 遥控体制及指令编码	36
12.3.1 遥控体制	36
12.3.2 指令码的种类	39
12.3.3 指令、数据格式	42
12.3.4 码型及码型变换	46
12.3.5 指令编码	49
12.4 功率放大与天线	49
12.4.1 功放设备	50
12.4.2 遥控天线及其跟踪方式	50
12.5 监控检测系统	51
12.5.1 设备组成及功能	51
12.5.2 监控体制及系统监控台	52
12.5.3 检测子系统	53
第十三章 差错控制技术	55
13.1 基本概念	55
13.1.1 差错控制的基本思路	55
13.1.2 差错控制的基本形式	55
13.2 前向防错	57
13.2.1 前向防错概念	57
13.2.2 前向检错体制	57
13.2.3 重发积累判决体制	58
13.2.4 检错重发体制	59
13.2.5 前向纠错体制	60

13.3 大回路反馈校验体制	61
13.3.1 大回路反馈校验的机理	61
13.3.2 大回路反馈校验的性能	62
13.3.3 系统性能概率分析	63
13.3.4 大回路反馈校验体制的特点及使用范围	66
13.4 编码理论基础	67
13.4.1 编码的基本思想和分类	67
13.4.2 线性分组码	70
13.4.3 非线性码	90
参考文献	96
第十四章 数字调制	97
14.1 概述	97
14.2 指令基带信号的频谱和功率谱	99
14.2.1 单脉冲信号的频谱	99
14.2.2 数字基带信号(序列)的功率谱密度	99
14.3 多元频率键控	103
14.3.1 MFSK 信号的产生	104
14.3.2 MFSK 的解调	105
14.3.3 MFSK 的功率谱和信道带宽	106
14.3.4 MFSK 的传输误码率	106
14.4 主字母调制	109
14.4.1 主字母调制的提出	109
14.4.2 主字母调制信号的产生	111
14.4.3 主字母调制信号的解调	111
14.4.4 主字母调制系统的抗干扰性能	113
14.5 扩频调制	115
14.5.1 扩频调制的基本概念	115
14.5.2 扩频调制原理	115
14.5.3 扩频系统模型	119
14.5.4 扩频系统的抗干扰性能分析	122
参考文献	132
第十五章 遥控数据保护	133

15.1 概述	133
15.2 遥控的安全需求	134
15.2.1 遥控数据保护手段的转变	134
15.2.2 从二方系统模型到四方系统模型	134
15.2.3 信息安全的基础	135
15.2.4 遥控数据保护机制	138
15.3 数据加密	139
15.3.1 加密与破译	139
15.3.2 序列密码加密	141
15.3.3 分组密码加密	142
15.4 加密认证	145
15.4.1 哈希(Hash)函数	145
15.4.2 消息认证码	146
15.4.3 数字签名	147
15.4.4 加密认证的实现	147
15.5 密钥管理	148
15.5.1 密钥管理的重要性	148
15.5.2 密钥的产生	149
15.5.3 密钥的传送	149
15.5.4 密钥的使用	150
15.6 PCM 遥控数据的保护	150
15.6.1 PCM 遥控数据格式	150
15.6.2 实时开关指令的保护	151
15.6.3 串行注入数据的保护	151
15.6.4 防抄袭的措施	151
15.7 分包遥控数据的保护	151
15.7.1 分包遥控数据保护的特点	151
15.7.2 分包遥控的数据结构	152
15.7.3 分包遥控数据保护的实现	153
15.8 工程设计中的若干问题	155
15.8.1 保密强度的确定	155
15.8.2 可靠性问题	155

15.8.3 多站控制	156
15.8.4 星地密钥同步	156
15.8.5 地面加密装置	156
参考文献	157
第十六章 卫星同步控制	158
16.1 卫星同步控制的原理	158
16.1.1 星上同步控制机构	158
16.1.2 同步控制原理	160
16.1.3 实现同步控制的设备	162
16.1.4 同步卫星遥控体制	163
16.1.5 实现同步控制的方法	164
16.2 角度控制法	164
16.2.1 星上角度控制法原理	164
16.2.2 地面角度控制法原理	165
16.2.3 角度控制法的优缺点	167
16.3 时间—角度控制法	170
16.4 时间控制法	173
16.4.1 时间控制法原理	173
16.4.2 自旋周期的数字滤波	174
16.5 章动控制	175
参考文献	176
第十七章 分包遥控	177
17.1 分包遥控的概念和机理	177
17.2 数据管理业务	184
17.2.1 应用过程层	185
17.2.2 系统管理层	187
17.2.3 分包层	188
17.3 数据路由业务	190
17.3.1 分段层	191
17.3.2 传送层	193
17.4 信道业务	198
17.4.1 编码层	198

17.4.2 物理层	201
17.5 遥控星地操作	202
17.5.1 概念	202
17.5.2 三类方案	203
17.5.3 操作参数	204
17.5.4 控制命令	207
17.6 分包遥控的实施	208
参考文献	210
第十八章 遥控系统主要技术指标的论证设计	211
18.1 安全可靠设计	211
18.1.1 系统可靠性指标	212
18.1.2 系统保密性设计	216
18.1.3 系统抗干扰性能	216
18.2 信道论证设计	217
18.2.1 调制体制及码型选择	217
18.2.2 载频、副载频和码速率的选择	218
18.2.3 纠错体制选择	220
18.2.4 设备体制选择	221
18.2.5 控制范围论证	221
18.3 编码论证设计	223
18.3.1 指令条数的设计	223
18.3.2 指令格式设计	223
18.4 实时性论证设计	224
18.4.1 安全遥控系统的实时性	224
18.4.2 航天器遥控系统的实时性	225
18.4.3 同步控制的实时性	225
18.5 精度指标论证设计	226

Contents

(Volume II)

Chapter 10 Introduction to Telecommand System	1
10.1 The Fundamental Concept of Telecommand System	1
10.2 Telecommand Systems of Missile and Spacecraft and Their Classification	2
10.2.1 Telecommand Systems of Missile and Spacecraft	2
10.2.2 Classification of Telecommand Systems of Missile and Spacecraft	3
10.3 The Role and Function of Telecommand Systems of Missile and Spacecraft	4
10.3.1 The Role and Function of Telecommand Systems in Missile Testing Programs	4
10.3.2 The Role and Function of Telecommand Systems in Satellites Programs	5
10.3.3 The Role and Function of Telecommand Systems in Manned Spacecraft Programs	5
10.4 Characters of Telecommand System	6
10.4.1 Characteristics of Safety Control Telecommand System	6
10.4.2 Characteristics of Spacecraft Telecommand System	7
10.5 The Developing Trend of Telecommand Technology	7
Chapter 11 Telecommand Subsystems on Board Missiles and Spacecraft	10
11.1 Composition and Fundamental Principle of Missile Telecommand Subsystems	10
11.1.1 Composition of Missile Telecommand Subsystems	10
11.1.2 Fundamental Principle of Missile Telecommand Subsystems	

.....	11
11.2 Composition and Fundamental Principle of Spacecraft	
Telecommand Subsystem	12
11.2.1 Basic Mission	13
11.2.2 Composition of Spacecraft Telecommand Subsystem	13
11.2.3 Fundamental Principle of Spacecraft Telecommand	
Subsystems	15
11.3 Encoder and Decoder of Spacecraft Telecommand	
Systems	18
11.3.1 Three Basic Synchronizations	18
11.3.2 Sub-Carrier Demodulating	19
11.3.3 Command Decoder	24
11.3.4 Data Decoder	26
References	28
Chapter 12 Ground Telecommand System	29
12.1 Composition and Fundamental Principle of Ground	
Telecommand System	29
12.1.1 Composition and Fundamental Principle of Stand-Alone	
Ground Telecommand Systems	29
12.1.2 Composition and Fundamental Principle of Ground	
Telecommand System for Unified channel	32
12.2 Generation of Command and Data	34
12.2.1 Normal Method of Generation of Command and Data	34
12.2.2 Normal Method of Command Transmitting	35
12.3 Systems of Telecommand and Command Encoding	36
12.3.1 Systems of Telecommand	36
12.3.2 Kinds of Telecommand Codes	39
12.3.3 Data Structure of Telecommand Code	42
12.3.4 Code Types and its Conversion	46
12.3.5 Command Encoding	49
12.4 Power Amplification and Antenna	49
12.4.1 Power Amplification Equipment	50

12.4.2	Telecommand Antenna and its Tracking Modes	50
12.5	Monitoring and Detecting System	51
12.5.1	Composition and Functions	51
12.5.2	Monitoring System and System Monitoring Console	52
12.5.3	Detecting Sub-System	53
Chapter 13	Error Control Technology	55
13.1	Fundamental Concept	55
13.1.1	Fundamental Concepts of Error Control	55
13.1.2	Fundamental Methods of Error Control	55
13.2	Forward Error Control	57
13.2.1	Concept of Forward Error Preventing	57
13.2.2	Mechanism of Forward Error Detecting	57
13.2.3	Mechanism of Retransmits Accumulating and Decision	58
13.2.4	Mechanism of Retransmits and Detecting	59
13.2.5	Mechanism of Forward Error Correction	60
13.3	Mode of Major Loop Feedback Collating	61
13.3.1	Mechanism of Major Loop Feedback Collating	61
13.3.2	Performance of Major Loop Feedback Collating	62
13.3.3	Probability Analysis of System Performance	63
13.3.4	Characters and Range of Major Loop Feedback Collating	66
13.4	Fundamental Theory of Encoding	67
13.4.1	Fundamental Concept and Categorization of Encoding	67
13.4.2	Linear Block Encoding	70
13.4.3	Nonlinear Block Encoding	90
	References	96
Chapter 14	Digital Modulation	97
14.1	Overview	97
14.2	Spectrum of Command Base-Band Signal	99
14.2.1	Spectrum of Mono-Pulse Signals	99
14.2.2	Power Spectrum of Digital Base-Band Signal	99
14.3	Multi-Frequency Shift Keying (MFSK)	103
14.3.1	Generation of MFSK Signals	104