



导弹航天测控通信技术丛书

遥测遥控系统

(上册)

Telemetry and Telecommand System

主编 刘蕴才 副主编 房鸿瑞 张仿



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

(上册)

主 编 刘蕴才

副主编 ~~房~~ 鸿瑞 张 仿

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

遥测遥控系统. 上册/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 7-118-02267-5

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. V556.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 11797 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 8 1/2 207 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:22.00 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 崔福红 李国强

《遥测遥控系统》(上册)

主 编 刘蕴才

副主编 房鸿瑞 张 仿

编 著 者 张 仿 魏世钧 魏 津 郝建民

楼凤丹 韩开文 刘蕴才 房鸿瑞

詹辛农 冯炳煊

主 审 李秉常

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应用,共同促进我国导弹、航天测控与通信事业的进一步发展。

沈昌俊

1998 年 8 月 1 日

前 言

近 40 年来,我国的遥测技术有了很大发展,作为导弹、航天测控网重要组成部分的遥测系统走过了仿制、自行研制和发展提高的过程,建立了性能比较先进的导弹、航天器遥测系统,为我国的导弹、航天试验起了重要保障作用,同时亦培养了一支研究、设计、生产、使用的技术队伍。为了加速我国导弹、航天器遥测技术的发展,迫切需要全面、系统地总结经验,形成文字媒体,传授给新一代遥测技术人员,使他们能在较高的起点上开展工作。

本书是 40 年来我国导弹、航天器遥测技术发展的总结,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测技术的论证和探讨,可以作为导弹、航天测控技术人员特别是遥测技术人员的参考,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》上册(遥测系统部分)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航天工业总公司 704 所长期从事导弹、航天器遥测技术工作者编著的。第一章遥测系统概述,由张仿高级工程师撰写;第二章信息采集,由魏世钧、魏津研究员撰写;第三章遥测信息传输,由郝建民研究员撰写;第四章遥测信息的发送与接收,由楼凤丹、韩开文研究员撰写;第五章再入遥测系统,由刘蕴才高级工程师撰写;第六章分包遥测和第八章遥测数据处理,由房鸿瑞研究员撰写;第七章遥测信号记录重放系统,由詹辛农研究员撰写;第九章遥测系统主要技术指标的论证,由冯炳煊高级工程师撰写。全书由主编刘蕴才和副主编房鸿瑞、张仿统稿。

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

究所和航天工业总公司 704 所的大力支持;704 所李秉常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

(上册)

第一章 遥测系统概述	1
1.1 遥测在导弹、航天试验中的作用	1
1.2 遥测系统的组成和工作原理	2
1.2.1 系统组成	2
1.2.2 基本工作原理	3
1.3 导弹、航天器遥测系统的特点	3
1.4 遥测系统的分类	5
1.4.1 频分制遥测系统	5
1.4.2 时分制遥测系统	5
1.4.3 码分制遥测系统	6
1.5 遥测系统的发展	6
参考文献	10
第二章 信息采集	11
2.1 传感器	11
2.1.1 传感器的基本特性	11
2.1.2 传感器的误差分析	16
2.1.3 传感器的信号调节器	18
2.2 传感器的构成与可靠性	20
2.2.1 传感器的构成	20
2.2.2 传感器的可靠性	24
2.2.3 传感器的发展	26
2.3 信息采集	29
2.3.1 信息采集的基本技术要求	29
2.3.2 信息采集系统的结构与配置	34
参考文献	37

第三章 遥测信息传输	39
3.1 基本调制体制与多路复用体制	39
3.1.1 调频与调相体制	39
3.1.2 脉冲幅度调制-调频体制	45
3.1.3 遥测多路复用体制	47
3.2 基本数字调制体制	50
3.2.1 频移键控调制	50
3.2.2 二相相移键控体制	53
3.2.3 四相相移键控体制	56
3.2.4 四种体制的性能比较	58
3.3 数字调制体制的发展	59
3.3.1 四种新调制体制	60
3.3.2 其它新调制体制简介	64
3.4 航天器遥测调制新体制的选择	66
3.4.1 四种调制体制性能的仿真结果	67
3.4.2 四种调制体制的性能比较与结论	68
3.5 遥测信道编码	71
3.5.1 卷积码与维特比译码概述	73
3.5.2 卷积编码-维特比译码的性能	78
3.5.3 R-S码概述	79
3.5.4 遥测信道编码设计的几个基本问题	82
3.6 数字遥测同步技术概述	87
3.6.1 载波同步	87
3.6.2 码元同步	89
3.6.3 帧同步	90
3.7 扩频调制体制基本原理	92
3.7.1 扩频体制原理与伪码序列	92
3.7.2 扩频体制的抗干扰性能	95
参考文献	96
第四章 遥测信息的发送与接收	97
4.1 遥测信息的发送	97
4.1.1 遥测发射机的特点	97

4.1.2 调频发射机	99
4.1.3 调相发射机	106
4.2 遥测信息的接收	110
4.2.1 遥测自跟踪系统原理和特点	111
4.2.2 调频接收机	118
4.2.3 调相接收机	124
4.2.4 分集接收技术	128
参考文献	148
第五章 再入遥测系统	149
5.1 再入遥测的特点	149
5.2 再入黑障区	150
5.2.1 再入等离子鞘套的形成	150
5.2.2 等离子体对电波传播的影响	151
5.3 再入遥测系统设计中的若干问题	153
5.3.1 解决再入信号中断的途径	153
5.3.2 特快信号的测量体制	155
5.3.3 关于低仰角接收问题	160
参考文献	162
第六章 分包遥测	163
6.1 概述	163
6.1.1 分包遥测与 CCSDS	163
6.1.2 分包遥测的应用范围	164
6.2 源包	164
6.2.1 分包遥测的结构	164
6.2.2 源包结构	165
6.3 传送帧	168
6.3.1 传送帧主导头	169
6.3.2 传送帧副导头	172
6.3.3 传送帧数据域	173
6.3.4 操作控制域	173
6.3.5 帧差错控制域	173
参考文献	174

第七章 遥测信号记录重放系统	175
7.1 计测磁记录器	175
7.1.1 计测磁记录器基本工作原理	175
7.1.2 记录方式	178
7.2 旋转头磁记录器	186
7.3 蛇行扫描记录器——QIC1/4 英寸盒式磁带机	193
7.4 热敏记录器	195
7.4.1 发色型热敏记录器的构成	196
7.4.2 热敏头	196
7.4.3 热敏记录纸	197
7.4.4 热敏记录纸的性能	200
7.4.5 热敏阵列记录仪	201
参考文献	203
第八章 遥测数据处理	204
8.1 遥测数据处理的分类及特点	204
8.1.1 实时处理	204
8.1.2 准实时处理	204
8.1.3 事后处理	205
8.2 遥测数据处理要求和方法	205
8.2.1 缓变参数处理方法	206
8.2.2 速变参数处理方法	215
参考文献	222
第九章 遥测系统主要技术指标论证	223
9.1 遥测频段选择	223
9.2 传输速率论证	225
9.3 遥测系统体制论证	226
9.3.1 常用遥测体制	226
9.3.2 三种遥测体制的性能比较	230
9.3.3 其它遥测体制	231
9.4 信道指标论证和主要技术指标的设计	231
参考文献	244

Contents

(Volume I)

Chapter 1 Introduction to Telemetry System	1
1.1 Using of Telemetry in Missile or Spacecraft Test	1
1.2 System Composing and Fundamental Telemetry	2
1.2.1 System Composing	2
1.2.2 Fundamental Principle	3
1.3 Characteristics of Telemetry of Missile and Spacecraft	3
1.4 Categories of telemetry system	5
1.4.1 Frequency-Division Multiplex Telemetry System	5
1.4.2 Time-Division Multiplex Telemetry System	5
1.4.3 Code-Division Multiplex Telemetry System	6
1.5 The development of Telemetry Technology	6
Reference	10
Chapter 2 Information Acquisition	11
2.1 Sensor	11
2.1.1 Basic Characteristics of Sensor	11
2.1.2 Error Analysis of Sensor	16
2.1.3 Sensor Conditioner	18
2.2 Composing and Reliability of Sensor	20
2.2.1 Composing of Sensor	20
2.2.2 Reliability of Sensor	24
2.2.3 Development of Sensor	26
2.3 Information Acquisition	29
2.3.1 Basic Technology Requirement of Information Acquisition	29
2.3.2 Structure and Configuration of Information Acquisition	

System	34
Reference	37
Chapter 3 Transmission of Telemetry Information	39
3.1 Basic Modulation Systems mode And Multiplexing	39
3.1.1 FM and PM	39
3.1.2 PAM-FM	45
3.1.3 Telemetry Multiplex System	47
3.2 Basic digital Modulation System	50
3.2.1 Frequency-Shift Keying	50
3.2.2 Bi-Phase-Shift Keying	53
3.2.3 Quadri-Phase-Shift Keying	56
3.2.4 Performance Comparing of the Four Kinds of Modulation Systems	58
3.3 Development of Digital Modulation Systems	59
3.3.1 Four New Modulation Systems	60
3.3.2 Introduction to Other New Modulation Systems	64
3.4 Choice of the New Modulation Systems of Spacecraft Telemetry	66
3.4.1 Simulating Result of the Four kinds of Modulation Systems	67
3.4.2 Performance Comparing and Conclusion of the Four Modulation Systems	68
3.5 Telemetry channel coding	71
3.5.1 Introduction to Convolutional Coding and Viterbi Decoding ...	73
3.5.2 Performance of Convolutional Coding and Viterbi Decoding ...	78
3.5.3 Reed-Solomon Coding Overview	79
3.5.4 Fundamental Questions in Design of Telemetry Channel Coding	82
3.6 Introduction to Synchronizing Technology of Digital Telemetry	87
3.6.1 Carrier Frequency Synchronization	87
3.6.2 Bit Synchronization	89

3.6.3	Frame Synchronization	90
3.7	The principle of Spread Spectrum System	92
3.7.1	Theory of Spread Spectrum System and Pseudo-Noise Series	92
3.7.2	Performance of Interfere-Resistance of Spread Spectrum System	95
	Reference	96
Chapter 4 Transmitting and Receiving of Telemetry		
	Information	97
4.1	Transmitting of Telemetry Information	97
4.1.1	Characteristics of Telemetry Transmitter	97
4.1.2	FM Transmitter	99
4.1.3	PM Transmitter	106
4.2	Receiving of Telemetry Information	110
4.2.1	Characteristics and Principle of Telemetry Auto-Tracking Antenna	111
4.2.2	FM Receiver	118
4.2.3	PM Receiver	124
4.2.4	Diversity Receiving Technology	128
	Reference	148
Chapter 5 Re-entry Telemetry		
5.1	Characteristics of Re-Entry Telemetry	149
5.2	Block-Out During Re-Entry	150
5.2.1	Forming of Re-Entry Plasma Sheath	150
5.2.2	Effect of Plasma Sheath on Radio Transmission	151
5.3	Some Problems in Design of Re-Entry Telemetry System	153
5.3.1	Methods to Solve the Interrupt of Radio Wave During Re-Entry	153
5.3.2	Measuring Method of Ultra-Quick Signal	155
5.3.3	Problems With Low-Elevation Receiving	160
	Reference	162

Chapter 6 Packet Telemetry	163
6.1 Overview	163
6.1.1 Packet Telemetry and CCSDS	163
6.1.2 Application Area of Packet Telemetry	164
6.2 Source Packet	164
6.2.1 Structure of Packet Telemetry System	164
6.2.2 Structure of Source Packet	165
6.3 Transfer Frame	168
6.3.1 Primary Frame Header	169
6.3.2 Secondary frame Header	172
6.3.3 Transfer Frame Data Field	173
6.3.4 Transfer Frame Operational Field	173
6.3.5 Transfer Frame Error-Correction Field	173
Reference	174
Chapter 7 Recording and Playback System of Telemetry	
Signal	175
7.1 Instrumentation Magnetic Tape Recorder	175
7.1.1 Principle of Magnetic Tape Recorder	175
7.1.2 Recording Method	178
7.2 Spiral Scan Magnetic Tape Recorder	186
7.3 Sinuous Scan Recorder——QIC 1/4 Inch Cassette Recorder	193
7.4 Thermo-Sensitive Recorder	195
7.4.1 Construction of Thermo-Sensitive Recorder	196
7.4.2 Thermo-Sensor	196
7.4.3 Thermo-Sensitive Recording Paper	197
7.4.4 Performance of Thermo-Sensitive Recording Paper	200
7.4.5 Thermo-Sensitive Array Recorder	201
Reference	203
Chapter 8 Telemetry Data Processing	204
8.1 Category and Characteristics of Telemetry Data Processing	204

8.1.1	Real-Time Data Processing	204
8.1.2	Near Real-Time Data Processing	204
8.1.3	Post-Mission Data Processing	205
8.2	Requirements and Methods of Telemetry Data Processing	205
8.2.1	Processing Methods of Slow Change Signals	206
8.2.2	Processing Methods of Quick Change Signals	215
	Reference	222
Chapter 9 The Analysis of Telemetry System Primary		
	Specification	223
9.1	Choice of Telemetry Frequency Band	224
9.2	Analysis of Telemetry Data Rate	225
9.3	Analysis of Telemetry System	226
9.3.1	Conventional Telemetry System	226
9.3.2	Performance Comparing of Three Telemetry Systems	230
9.3.3	Other Telemetry System	231
9.4	Analysis and Design of Telemetry System Primary Specification	231
	Reference	244