



# 卫星无线电测控技术

(上)

主 编 陈宜元

副 主 编 殷礼明

主编助理 卢春

作 者 (以姓氏笔画为序)

王家传	叶云裳	孙泽洲	刘晓星
刘崇华	李 健	张纪生	吴学英
陈宜元	陈钦楠	赵业福	赵和平
胡光辉	郝修来	钟洋森	梁 杰

责任编辑 居自强 艾小军

宇航出版社

## 内 容 简 介

《卫星无线电测控技术》是一本关于卫星无线电测控原理和工程技术的专著。本书共16章,分上、下两册。上册1~7章着重介绍卫星测控技术的原理,包括:测控信息传输的基本理论、连续波调制、数字调制、射频信道计算和设计等;此外还介绍了当前卫星测控中深受用户关注的差错编码技术和保密编码技术。下册8~16章着重介绍工程设计以及星上主要部件的设计,包括:天线技术、数据管理技术等,还从系统工程角度介绍了测控系统(星地一体化设计)及地面测控网;而对卫星无线电测控技术的快速发展,还介绍了空间数据咨询委员会(CCSDS)的研究成果和发播标准中有关卫星无线电测控技术的内容。本书最后介绍了作为未来卫星测控的重要发展趋势——天基测控。虽然本书名为《卫星无线电测控技术》,但实际上也包含了其他航天器的测控技术。

本书从测控理论、系统设计和工程实施方面作了全面介绍,既照顾到卫星测控的星地一体化设计,又对测控星上部分进行了重点阐述;既注重原理和工程的结合,又是设计和应用的结合;既突出了卫星无线电测控工程的先进性、技术性 & 实用性,又综合反映了该领域的当前发展成果。

卫星工程系列

卫星无线电测控技术

(上)

主 编:陈宜元

副 主 编:殷礼明

主编助理:卢春平

责任编辑:居自强 艾小军

\*

宇航出版社出版发行

北京市和平里滨河路1号 邮政编码(100013)

发行部地址:北京阜成路8号(100830)

北京智力达印刷有限公司印刷

各地新华书店经销

\*

开本:850×1168 1/32 印张:10.625 字数:283千字

2007年9月第1版第1次印刷 印数:1~1000册

## 《导弹与航天丛书》 编辑工作委员会

名誉主任 宋 健 鲍克明

主 任 刘纪原

副 主 任 任新民 孙家栋

委 员 屠守锷 黄纬禄 梁守槃 陈怀瑾

王中卫 权振世 谢昌年 赵厚君

曹中俄 张新侠 高本辉

办 公 室 宋兆武 史宗田 任长卿 孙淑艳

《卫星工程》  
系列编辑委员会

主 任 孙家栋

副 主 任 戚发轫 杨嘉墀 屠善澄  
徐福祥 侯深渊(常务副主任)

委 员 林华宝 李祖洪 马兴瑞 邹广瑞  
陈宜元 范本尧 朱毅麟 马世俊  
李旺奎 黄本诚 陆道中 高慎斌  
王金堂 魏钟铨

办 公 室 陆道中 杨树仁 宋惠兰 居自强  
于 森

## 总 序

导弹与航天技术,是现代科学技术中发展最快的高新技术之一,导弹武器的出现,使军事思想和作战方式发生了重大变革;航天技术,把人类活动的领域扩展到太空,使人类认识自然和利用外层空间的能力发生了质的飞跃。

导弹与航天技术是两项复杂的系统工程,它应用了现代科学技术众多领域的最新成就,是科学技术与国家基础工业紧密结合的产物,是一个国家科学技术水平和工业水平的重要标志。

中国人民经过30年的努力,依靠自己的力量,勇于开拓,坚韧不拔;在经济和科学技术比较落后的条件下,走出了自己发展导弹和航天技术的道路,造就了一支能打硬仗的技术队伍,建立了具有相当规模和水平的导弹和航天工业体系,形成了遍布全国的科研、生产协作网。这是党中央独立自主、自力更生方针的伟大胜利,是全国各地区、各部门大力协同,组织社会主义大协作的丰硕成果。

30年来,我国已有多种型号经历了研究、设计、生产、试验、装备、使用的全过程,装备了各种射程的战略和战术弹道导弹、各种类型的防空导弹和飞航导弹;用多种运载火箭发射了不同轨道和用途的人造卫星,这些都是我国导弹和航天工业的物质成果。这些重大成果对增强我国的国防实力,促进经济发展,带动科学进步,发挥了重要的作用。

我们不仅取得了丰硕的物质成果,而且积累了宝贵的实践经验。为了发展中国的导弹和航天事业,多少人投入毕生的精力,贡献了宝贵的智慧,付出了辛勤的劳动,备尝了失败的苦痛和成功的

欢欣。这些付出高昂代价取得的实际经验，难以只从书本上学来，也不能从外国买来，只能靠自己在实践中总结。为了加速我国导弹和航天事业的发展，需要全面、系统地归纳以往研制过程中建立和应用的设计理论，总结其工程经验，用以指导今后的研制实践，并传授给导弹和航天事业一代又一代新生力量，使他们能在较高的起点上开始工作。为此，我们组织多年来从事导弹、人造卫星和运载火箭研制工作的专家和工程技术人员，编著了这套《导弹与航天丛书》。它以工程应用为主，力求体现工程的系统性、完整性和实用性，是我国导弹和航天技术队伍30年心血凝聚的精神成果，是多种专业技术工作者通力合作的产物。

作为一项系统工程，要求参加导弹和航天工程研制工作的各类技术人员，不仅精通自己的专业，而且充分理解相关专业的要求和特点；在统一的总体目标下，相互协调、密切配合地进行工作。因此，本《丛书》也是导弹和航天技术队伍各专业间以及和其他有关人员间进行技术交流的读物。

本《丛书》按液体弹道导弹与运载火箭(I)、固体弹道导弹(II)、防空导弹(III)、飞航导弹(IV)、卫星工程(V)等5个系列编排。各系列共用的固体推进技术(VI)和空气动力学(VII)两种专业编为专著，其他共用专业则纳入一个系列，并供其他系列选用。

本《丛书》的各级编委会、各卷册的主编、副主编及各章节的作者是一个庞大的科学技术人员群体，为了编写好这部大型丛书，编著人员在组织和技术上都付出了巨大劳动。期望这套《丛书》能帮助人们加深对于导弹和航天技术的了解，能促进中国的导弹和航天事业向更高的目标迈进。

《导弹与航天丛书》

编辑工作委员会

1987年8月

# 《导弹与航天丛书》

## 卫星工程系列

### 序 言

卫星工程系列丛书是《导弹与航天丛书》的一个系列。

我国坚持自力更生、艰苦奋斗的方针,在人造卫星的研制工作中取得了举世瞩目的成就.1970年4月24日,中国第一颗人造地球卫星——“东方红一号”发射成功,卫星运行正常,跨入了空间大国的行列.至今,我国成功地研制和发射了30颗不同类型的人造卫星,其中包括当代最重要的三类应用卫星:高轨道的静止通信卫星、低轨道的返回式卫星和中轨道的遥感卫星.这些卫星应用于国民经济、国防建设、文化教育和科学研究的很多部门,取得了显著的社会和经济效益.

我国在研制人造卫星的工作中,开展了创造性的科研活动,积累了丰富的实践经验,形成了学科门类齐全的卫星工程知识体系.我们组织众多的工程技术专家编写本系列丛书的目的,在于将这些实践经验和理论知识进一步系统化和理论化,并适当地吸收国外先进的科学技术成果,使其形成一套航天技术专著,用于指导今后的卫星研制工作.本系列丛书共有19种技术专著,包括卫星工程概论、卫星分系统技术和专业技术,以及探空火箭设计,共计29分册.

本系列丛书的内容以人造卫星的研制技术为主,着重论述卫星工程技术方面的问题,并简要论及了许多相关学科的问题,使其具有完整性、系统性.某些分册涉及到载人飞船、空间站等其他类



航天器的工程技术问题,其中论述内容较多的两册,书名冠以航天器.本系列各种分册在内容上具有相对的独立性和系统性.

编纂卫星工程系列丛书尚无经验可循,我们的工作首次尝试,由于编著人员的知识水平和实践经验有限,书中不当之处在所难免,欢迎广大读者批评指正.

本系列丛书的编纂工作,得到很多单位领导、广大科技人员和宇航出版社很多同志的大力支持,在此致以衷心的感谢.

### 《导弹与航天丛书》

卫星工程系列编辑委员会  
1991年6月

本系列丛书共分两册,第一册为《卫星工程》,第二册为《卫星应用》.本系列丛书的编纂工作,得到了很多单位领导、广大科技人员和宇航出版社很多同志的大力支持,在此致以衷心的感谢.

本系列丛书的编纂工作,得到了很多单位领导、广大科技人员和宇航出版社很多同志的大力支持,在此致以衷心的感谢.

本系列丛书的编纂工作,得到了很多单位领导、广大科技人员和宇航出版社很多同志的大力支持,在此致以衷心的感谢.

《卫星无线电测控技术》是《导弹与航天丛书》卫星工程系列中一本关于卫星无线电测控原理和工程技术的专著。本书从测控理论、系统设计和工程实施方面作了全面介绍,既照顾到卫星测控的星地一体化设计,又对测控星上部分进行了重点阐述;既注重原理和工程的结合,又是设计和应用的结合;既突出了卫星无线电测控工程的先进性、技术性、实用性,又综合反映了该领域的当前发展成果。

本书共 16 章,分上、下两册。上册 1~7 章着重介绍卫星测控技术的原理,包括:测控信息传输的基本理论、连续波调制、数字调制、射频信道计算和设计等;此外还介绍了当前卫星测控中深受用户关注的差错编码技术和保密编码技术。下册 8~16 章着重介绍工程设计以及星上主要部件的设计,包括:天线技术、数据管理技术等,还从系统工程角度介绍了测控系统(星地一体化设计)及地面测控网;面对卫星无线电测控技术的快速发展,还介绍了空间数据咨询委员会(CCSDS)的研究成果和发播标准中有关卫星无线电测控技术的内容。本书最后介绍了作为未来卫星测控的重要发展趋势——天基测控。虽然本书名为《卫星无线电测控技术》,但实际上也包含了其他航天器的测控技术;另外,由于篇幅所限,卫星测控的地面部分的有些技术论述较少,读者可参阅其他相关书籍。

本书由中国空间技术研究院和总装备部测量通信研究所多名测控专家共同编写完成;在编写过程中,还经胡其正、谭维炽、李力田、陈世平、曾令儒、龚德荣、李进华、石广太、吴斌、李秉常、闫鲁

滨、刘雅萍、王晰、余孝昌等同志多次审稿,特致衷心感谢。全书由陈宜元、赵业福、张纪生、陆道中同志完善统稿工作。

本书可供从事航天器研究、设计、试验和应用的工程技术人员阅读,也可作为高等院校有关专业的教学参考。

编者

航天器工程... 2006年9月

本书... 航天器工程... 2006年9月

本书... 航天器工程... 2006年9月

道  
彈  
子  
航  
天  
丛  
書

張  
文  
華

《卫星工程》

系列书目

(29分册)

---

---

119. 卫星工程概论(上)
120. 卫星工程概论(下)
121. 卫星工程管理
122. 卫星结构设计与分析(上)
123. 卫星结构设计与分析(下)
124. 航天器轨道动力学与控制(上)
125. 航天器轨道动力学与控制(下)
126. 卫星姿态动力学与控制(1)
127. 卫星姿态动力学与控制(2)
128. 卫星姿态动力学与控制(3)
129. 卫星姿态动力学与控制(4)
130. 卫星热控制技术
131. 航天器进入与返回技术(上)
132. 航天器进入与返回技术(下)
133. 卫星电源技术
134. 通信卫星有效载荷技术
135. 空间相机设计与试验
136. 气象卫星有效载荷技术
137. 卫星控制系统仿真技术

138. 卫星电测技术
139. 卫星制造技术(上)
140. 卫星制造技术(下)
141. 卫星环境工程和模拟试验(上)
142. 卫星环境工程和模拟试验(下)
143. 卫星无线电测控技术(上)
144. 卫星无线电测控技术(下)
145. 空间真空技术
146. 空间低温技术
147. 探空火箭设计

# 目 录

1.0	····· 第一章 概论	陈宜元
1.1	····· 1.1 概念与内涵	1
1.2	····· 1.2 原理与系统组成	3
1.3	····· 1.3 卫星无线电测控的特点	7
1.4	····· 1.4 回顾与瞻望	10
1.5	····· 1.5 星载无线电测控的工程实施	14
1.6	····· 参考文献	19
2.0	····· 第二章 测控信息传输的理论基础	陈宜元
2.1	····· 2.1 概述	20
2.2	····· 2.2 信号分析	21
2.2.1	····· 2.2.1 确定信号的频谱分析	21
2.2.2	····· 2.2.2 确定信号的能量密度谱与功率密度谱	25
2.2.3	····· 2.2.3 信号的频谱及能量密度谱	28
2.3	····· 2.3 随机信号分析	31
2.3.1	····· 2.3.1 随机过程	31
2.3.2	····· 2.3.2 随机信号的功率谱密度	36
2.4	····· 2.4 噪声	41
2.4.1	····· 2.4.1 高斯噪声	41
2.4.2	····· 2.4.2 白噪声	43
2.4.3	····· 2.4.3 等效噪声温度和噪声系数	43
2.4.4	····· 2.4.4 噪声系数、噪声温度和噪声功率谱密度	45
2.4.5	····· 2.4.5 之间的关系	45
2.5	····· 2.5 线性系统	49
2.5.1	····· 2.5.1 确定信号通过线性系统	49

# 目

# 目

2.5.2	随机信号通过线性系统	56
2.5.3	信号加噪声通过窄带系统	58
2.6	信息论简述	61
2.6.1	信息的度量	61
2.6.2	信道容量	64
2.6.3	山农(shannon)公式	65
2.6.4	编码传输	67
2.7	测控信息的多路传输	69
2.7.1	频分多路传输	69
2.7.2	时分多路传输	72
	参考文献	76
	<b>第三章 连续波调制技术</b>	<b>陈钦楠</b>
3.1	概述	77
3.2	振幅调制	78
3.2.1	调幅波的频谱分析	78
3.2.2	三种调幅方式的比较	81
3.3	频率调制和相位调制	82
3.3.1	窄带调频	84
3.3.2	宽带调频	86
3.3.3	调频波的产生和解调	88
3.3.4	调频的抗干扰性能	90
3.3.5	调频的门限效应及降低门限解调方式	94
3.3.6	相位调制(PM)	96
3.3.7	三种调制方式的性能比较	98
3.4	锁相技术	98
3.4.1	锁相环路	98
3.4.2	环路的噪声性能	106
3.4.3	环路的跟踪和捕获	113
3.5	载波同步	119
3.5.1	直接法	119
3.5.2	插入导频法	122
3.5.3	载波同步的性能指标	123



参考文献	124
第四章 数字调制技术	郝修来
4.1 概述	125
4.2 数字基带信号	126
4.2.1 脉冲编码调制	127
4.2.2 数字传输系统的一些重要技术特性	128
4.2.3 PCM 编码常用码型	129
4.2.4 数字基带信号的功率谱	133
4.2.5 数字基带信号传输的无失真条件	136
4.2.6 数字基带信号的最佳检测	140
4.2.7 非理想信道下的最佳基带传输系统	143
4.3 二元数字调制	144
4.3.1 幅移键控(ASK)	144
4.3.2 频移键控(FSK)	146
4.3.3 PSK 调制	149
4.3.4 DPSK 调制	152
4.4 多元数字调制	154
4.4.1 QPSK 调制	154
4.4.2 OQPSK 调制	156
4.4.3 MSK 调制	157
4.4.4 UQPSK 调制	159
4.4.5 其他多元数字调制	160
4.5 数字载波调制的比较	163
4.6 扩频调制	165
4.6.1 简介	165
4.6.2 直接序列调相扩频系统	168
4.6.3 跳频扩频系统	170
4.6.4 扩频调制在码分多址系统中的应用	172
参考文献	174
第五章 差错控制编码	刘崇华
5.1 概述	175
5.2 差错控制方式及编码原理	178