



导弹航天测控通信技术丛书

无线电跟踪测量系统

*The Radio Tracking and
Instrumentation System*

主编 赵业福 副主编 李进华



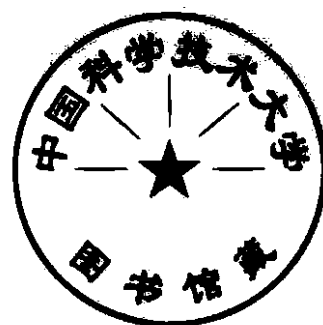
国防工业出版社

导弹航天测控通信技术丛书

无线电跟踪测量系统

The Radio Tracking and
Instrumentation System

主 编 赵业福
副主编 李进华



国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

无线电跟踪测量系统/赵业福主编. —北京:国防工业出版社,2001.3

(导弹航天测控通信技术丛书)

ISBN 7-118-02418-X

I. 无... II. 赵... III. 无线电跟踪-测量系统
IV. V556.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 54067 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)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10% 255 千字

2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 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

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 李国强 崔福红

国防科技图书出版基金

第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员 怀国模

主任委员 黄 宁

副主任委员 殷鹤龄 高景德 陈芳允 曾 铎

秘书长 崔士义

委 员 于景元 王小谟 尤子平 冯允成
(以姓氏笔划为序)

朱森元 朵英贤 刘 仁 杨星豪

吴有生 何庆芝 何国伟 何新贵

宋家树 张立同 张汝果 张均武

张涵信 陈火旺 范学虹 柯有安

侯正明 莫梧生 崔尔杰

《无线电跟踪测量系统》

主 编 赵业福

副 主 编 李进华

编 著 者 赵业福 李进华 李晓东 李玉书

于景瑞 张锁熊 陈继明

主 审 陈日华

责任编辑 孙中明

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。

沈昌俊

1998 年 8 月 1 日

前 言

60 年代,为适应我国导弹及卫星试验发射的需要,在“独立自主,自力更生”方针的指导下,我国开始研制“一五四”工程,开创了自行研制大型无线电跟踪测量系统的历史。近 40 年来,随着导弹及航天事业的发展,与之相配套的导弹、航天测控系统从无到有,日臻完善。而无线电跟踪测量系统是该测控系统的一个重要组成部分。继“一五四”工程后,单脉冲精密测量雷达、连续波跟踪测量系统及微波统一系统等大型无线电跟踪测量系统工程相继问世,不仅满足了我国导弹、航天器试验发射对测控系统的需求,而且在外星发射以及航天测控对外合作项目中发挥了重大作用。这些成就为世人所瞩目。我国已步入航天测控国际先进行列。

为振兴我国航天测控事业,培养跨世纪无线电跟踪测量方面的技术人才,迫切需要对 40 年来我国导弹、航天试验发射中的无线电跟踪测量系统技术工作进行认真、系统的总结。而继往开来,进一步探索航天测控新技术,攀登新高峰,是航天测控几代人的共同愿望,这也正是编著《无线电跟踪测量系统》一书的目的所在。

本书全面而系统地介绍了无线电跟踪测量系统在导弹、航天试验发射中的地位与作用,对无线电跟踪测量系统中的连续波跟踪测量系统、脉冲测量雷达、微波统一系统及弹/星载无线电合作目标等各系统的基本理论、设计基础、相关技术做了深入的、全面的论述,并介绍了 GPS 的测量系统在导弹、航天试验发射中的最新应用,作为对上述无线电跟踪测量系统的一种补充。它的主要特点是从导弹、航天测控系统大总体的角度论述无线电跟踪与测量技术,因而体现了很强的系统性和针对性,既有严谨的理论,又紧密结合导弹、航天测控系统的实际应用,并将这一领域内的最新

技术,特别是应用研究的最新成果融于书中。本书对从事导弹、航天测控系统工作的工程技术人员及相关专业的大专院校师生是一本重要的参考书。

全书共分六章:第一章 概论、第四章 微波统一系统、第六章 GPS 跟踪与测量系统由测通所赵业福编著。第三章 脉冲测量雷达由测通所李进华编著,其中第六节由测通所李玉书编著。第五章 导弹/航天器载应答机由测通所李进华编著。第二章 连续波跟踪测量系统由信息产业部电子第 27 所李晓东主笔,张锁熊、陈继明、于景瑞及测通所黄英等参加编著。全书由陈日华研究员主审。

本书的编著工作是在《丛书》编审委员会和总装备部、司令部、测量通信总体研究所的直接指导下、并在测通所科技处的具体组织下完成的。《丛书》编委会主编刘蕴才高级工程师和副主编张纪生研究员对书稿做了认真的修改。在编著过程中得到了张光仪、王德纯、刘明春、吴永龙等有关专家的指导和帮助,国防工业出版社林秀权编审、孙中明编审给予了大力支持和帮助,并付出了辛勤的劳动。此外,本书的编著除参考所列文献外,还参考了信息产业部 10 所、39 所、54 所等单位的有关培训教材。在此一并致谢。

由于我们的水平有限,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者
2000 年 7 月

目 录

第一章 概论	1
1.1 无线电跟踪测量系统在导弹与航天试验任务中的 地位和作用	1
1.1.1 导弹与武器试验中的弹道测量	1
1.1.2 航天器发射与运行段的测控支持	1
1.2 无线电跟踪测量系统分类	3
1.2.1 连续波跟踪测量系统	3
1.2.2 脉冲雷达	8
1.2.3 GPS 跟踪与测量系统	9
1.3 跟踪与测量基本技术	10
1.3.1 角度跟踪与测量	10
1.3.2 距离测量	12
1.3.3 速度测量	13
1.4 导弹/航天器载无线电合作目标	15
1.5 我国无线电跟踪测量系统的发展	16
第二章 连续波跟踪测量系统	19
2.1 概述	19
2.1.1 连续波跟踪测量系统在导弹、航天试验中的地位与作用	20
2.1.2 连续波跟踪测量系统的工作原理	20
2.2 中、长基线干涉仪测量系统	22
2.2.1 系统组成与设计	22
2.2.2 测距	30
2.2.3 测速	46
2.2.4 距离校零	52
2.2.5 基线传输	56

2.2.6 测速、测距精度分配	59
2.3 短基线干涉仪测量系统	63
2.3.1 系统组成	63
2.3.2 距离变化率的测量	63
2.3.3 方向余弦变化率的测量	65
2.3.4 基线传输	66
2.4 测速定位多站非相参测量系统	66
2.5 连续波跟踪测量系统的多站联用	67
2.5.1 联合测量工作方式	67
2.5.2 联合测量中的主要技术问题	68
2.6 连续波跟踪测量系统的技术发展	71
参考文献	71
第三章 脉冲测量雷达	72
3.1 概述	72
3.2 脉冲测量雷达的主要战术、技术指标分析	78
3.2.1 主要战术指标	78
3.2.2 主要技术指标	81
3.3 脉冲雷达角度跟踪系统	86
3.3.1 角度跟踪方法	86
3.3.2 和差法单脉冲跟踪系统	91
3.3.3 跟踪测量雷达的引导捕获	96
3.3.4 角跟踪误差分析	98
3.4 脉冲雷达距离跟踪测量系统	106
3.4.1 脉冲雷达距离跟踪原理和方法	106
3.4.2 数字式雷达距离跟踪系统	109
3.4.3 脉冲雷达的距离模糊及消除方法	110
3.4.4 脉冲雷达距离跟踪系统精度分析	112
3.5 脉冲雷达速度测量系统	115
3.5.1 脉冲雷达速度测量原理	115
3.5.2 脉冲多普勒跟踪技术	115
3.5.3 脉冲多普勒测速的速度模糊和消除方法	117
3.5.4 脉冲多普勒测速精度分析	118

3.6 脉冲雷达的新技术应用	121
3.6.1 距离游标测距技术	121
3.6.2 轴向跟踪技术	125
3.6.3 相控阵技术	130
3.6.4 脉冲压缩技术	132
3.6.5 雷达目标特性测量	137
3.7 脉冲雷达的多站测量	138
3.7.1 雷达链工作方式	138
3.7.2 多站距离交会测量	139
3.7.3 多站测量目标识别	139
3.7.4 多站联测对应答机的特殊要求	139
3.8 雷达标校	140
3.8.1 常用标校方法	140
3.8.2 星体自动标校	146
3.9 脉冲雷达的发展与展望	147
参考文献	148
第四章 微波统一系统	149
4.1 概述	149
4.1.1 微波统一系统在航天测控系统中的地位与作用	149
4.1.2 微波统一系统的组成及基本工作流程	150
4.1.3 微波统一系统的体制	154
4.2 微波统一系统设计基础	157
4.2.1 应答工作方式下的雷达方程	157
4.2.2 下行信道接收系统品质因数(G/T)的确定	159
4.2.3 上行信道发射系统等效全向辐射功率(EIRP)的确定	160
4.2.4 上/下行信道电平设计	160
4.2.5 信道功率分配	164
4.2.6 系统频率流程的确定	167
4.3 系统基本结构及工作原理	171
4.3.1 系统基本结构	171
4.3.2 频分复用系统调制与解调工作原理	178
4.4 天线与角度跟踪测量	184

4.4.1 双反射面天线	184
4.4.2 角度自动跟踪	191
4.5 上/下行信道、调制器与接收机	192
4.5.1 上/下行信道	192
4.5.2 中频载波调制器	193
4.5.3 中频载波锁相接收机	194
4.5.4 极化合成中频接收机	195
4.6 距离跟踪测量	201
4.6.1 纯侧音测距	202
4.6.2 侧音测距信号设计	206
4.6.3 测距精度的改善	207
4.7 距离变化率测量	209
4.7.1 双向多普勒测速系统	209
4.7.2 数字载波环测频	210
4.8 下行遥测的传输与解调	213
4.8.1 概述	213
4.8.2 编码遥测的传输与解调	214
4.8.3 模拟遥测的传输与解调	215
4.9 上行遥控指令、话音的调制与发送	216
4.9.1 概述	216
4.9.2 上行遥控指令的发送	217
4.9.3 上行话音的发送	218
4.10 多载波信道	218
4.10.1 多载波遥测、数据及电视图像信号的接收与解调	218
4.10.2 在轨测试分系统	223
4.11 测试与标校	225
4.11.1 测试与标校设备	225
4.11.2 角度与距离的标校	228
4.11.3 用卫星/飞船模拟器进行全系统天、地对接与模拟测试	232
4.12 监视与控制分系统	235
4.12.1 监控分系统的基本结构	236
4.12.2 远程监控	239

4.13 微波统一系统的技术发展	240
参考文献	245
第五章 导弹、航天器载应答机	246
5.1 概述	246
5.2 连续波应答机	248
5.2.1 功能、组成与工作原理	248
5.2.2 连续波应答机的性能	254
5.2.3 应答机的时延特性和稳定性控制	255
5.2.4 应答机对测速、测距精度影响的控制	256
5.2.5 试验场应答机性能测试和校准	258
5.3 脉冲应答机	259
5.3.1 脉冲应答机的作用、组成和类型	259
5.3.2 脉冲相参应答机	260
5.3.3 脉冲非相参应答机	262
5.3.4 脉冲应答机的性能	263
5.3.5 脉冲应答机对测量精度的影响	265
5.4 微波统一系统应答机	265
5.4.1 应答机的组成	266
5.4.2 应答机信号频谱	267
5.5 信标机	268
5.5.1 信标机的功能和组成	268
5.5.2 信标机的性能指标参数	270
5.6 导弹/航天器载应答机发展与展望	271
参考文献	271
第六章 GPS 跟踪与测量系统	272
6.1 概述	272
6.2 GPS 的组成与工作原理	273
6.2.1 GPS 的基本组成	273
6.2.2 GPS 信号及伪码扩频调制	275
6.2.3 GPS 信号的相关接收	277
6.2.4 GPS 接收机工作原理	280
6.3 GPS 应用中的某些关键技术	286

6.3.1 GPS 差分技术(DGPS)	286
6.3.2 GPS 载波相位测距技术.....	288
6.3.3 GPS/GLONASS 兼容接收技术	291
6.4 GPS 在导弹、航天测控中的应用	293
6.4.1 导弹/航天器载高动态 GPS 接收机测量系统	294
6.4.2 弹载 GPS 转发器测量系统	296
6.4.3 GPS 接收机用于跟踪测量系统的精度鉴定.....	298
6.4.4 时间/频率接收机	300
6.5 应用展望	300
6.5.1 GPS 测量系统的优越性与应用前景.....	300
6.5.2 GPS 的应用限制.....	301
6.5.3 展望.....	302
参考文献	302