

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

无线电跟踪测量

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

无线电跟踪测量/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, 2003.1

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 7-118-03018-X

I. 无... II. 中... III. 航天器—无线电跟踪—测量系统—教材 IV. V556

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 085858 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 16 414 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:37.00 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 (以下按姓氏笔画排列)

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

《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

无线电跟踪测量

主 编 赵业福

副主编 李进华

编著者 赵业福 李进华 吴永龙 刘嘉兴

主 审 刘明春

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

《无线电跟踪测量》是《国防科研试验工程技术系列教材·导弹航天测量控制系统》中的一卷,讲述无线电跟踪测量系统在导弹、航天试验任务中的地位与作用;对脉冲雷达、连续波跟踪测量系统、微波统一系统等3种典型无线电跟踪测量系统及其导弹/航天器载无线电合作目标的基本理论、相关技术、工程应用等方面作了较为全面的论述;最后简要介绍了GPS及其在导弹、航天测量控制系统中的最新应用实例。本书可作为从事导弹、航天测量控制系统工作的技术人员及大专院校相关专业师生的重要参考书。

本书根据《国防科研试验工程技术系列教材》的性质、读者对象与编写要求,在原《导弹航天测控通信技术丛书》中《无线电跟踪测量系统》一卷的基础上作了较大的修改,除增加第2章(天线与角度跟踪测量)外,对其余各个章节的内容都作了全面的调整、修改与充实,使得本书针对性强,内容深入浅出,突出在工程上的实际应用。作为系列教材,本书力图在概念性、原理性、系统性与工程实用性等4个方面讲述清楚。

全书共分7章。其中第1章概论、第2章天线与角度跟踪测量、第5章微波统一系统、第7章GPS跟踪与测量系统由赵业福编著。第4章脉冲跟踪测量雷达、第6章导弹/航天器载应答机由李进华编著。第3章连续波跟踪测量系统由赵业福、李进华编著,对原书稿做了较大修改,充实了新的内容,其中3.3节短基线干涉仪,由吴永龙编著,3.5节上行/下行载波非相参测量系统,由刘嘉兴编著。全书由刘明春研究员主审。

本书的编著工作是在总装备部测量通信总体研究所领导下进行的,在编著过程中得到了信息产业部电子第10研究所、第27研

究所、第 54 研究所等单位的大力支持与协助,在此一并致谢。

由于我们水平的限制,书稿难免有疏漏与错误,敬请读者批评指正。

编著者

2002 年 7 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 概述	1
1.2 无线电跟踪测量系统在导弹与航天试验任务中 的应用	2
1.2.1 导弹与武器试验中的弹道测量	2
1.2.2 航天器发射试验的测控支持	2
1.3 无线电跟踪测量系统的特点	3
1.4 无线电跟踪测量系统的分类	5
1.4.1 无线电跟踪测量系统分类方法	5
1.4.2 连续波跟踪测量系统	6
1.4.3 脉冲雷达	12
1.4.4 GPS 跟踪与测量系统	13
1.5 跟踪与测量基本技术	14
1.5.1 角度跟踪与测量	14
1.5.2 距离测量	17
1.5.3 速度测量	19
1.5.4 导弹/航天器载应答机/信标机的配合	24
1.6 导弹/航天器载无线电合作目标	25
1.7 服务于我国导弹、航天试验的无线电跟踪测量系统	26
参考文献	27
第 2 章 天线与角度跟踪测量	28
2.1 概述	28
2.1.1 无线电跟踪测量系统对天线与角度跟踪测量设备的要求	28
2.1.2 天线类型	29
2.1.3 天线与角度跟踪测量设备的基本组成	30

2.1.4 两类测量系统的天线与角度跟踪测量设备	30
2.2 双反射面天线	33
2.2.1 双反射面天线的基本参数	34
2.2.2 3种双反射面天线	44
2.2.3 双反射面天线的初级馈源	52
2.3 角度自动跟踪	59
2.3.1 角度跟踪系统的基本组成	59
2.3.2 圆锥扫描	60
2.3.3 步进跟踪	62
2.3.4 相位比较单脉冲	63
2.3.5 振幅比较单脉冲	66
2.3.6 伺服控制环路	93
2.4 角度测量	98
2.4.1 直接角度测量	98
2.4.2 间接角度测量	99
2.4.3 精粗配合提高测角精度	101
2.5 角度测量精度	102
2.5.1 测量精度定义	102
2.5.2 误差分布规律与数值特征	103
2.5.3 主要误差源	105
参考文献	124
第3章 连续波跟踪测量系统	125
3.1 概述	125
3.1.1 连续波跟踪测量系统在导弹、航天试验中的地位与作用	126
3.1.2 连续波跟踪测量系统工作原理	126
3.2 单向信标接收测量系统	129
3.2.1 相位干涉仪测角系统	129
3.2.2 信标角度引导仪	134
3.2.3 多普勒测速仪	135
3.3 上行/下行载波相参干涉仪测量系统	139
3.3.1 干涉仪测量系统工作原理	139
3.3.2 中、长基线干涉仪系统国内外应用实例	156

3.3.3 短基线干涉仪测量系统	185
3.4 上行/下行载波相参多站非相参测量系统	205
3.4.1 系统组成和功能	205
3.4.2 伪码加侧音混合测距系统	207
3.5 上行/下行载波非相参多站测量系统	208
3.5.1 中频非相参转发体制	208
3.5.2 中频调制非相参转发多站测量典型系统	216
3.6 上行/下行载波相参测量系统多站联合工作	225
3.6.1 联合工作方式	225
3.6.2 联合工作中的关键技术	226
3.7 连续波跟踪测量系统的技术发展	229
参考文献	229
第4章 脉冲跟踪测量雷达	230
4.1 概述	230
4.2 脉冲跟踪测量雷达的组成	231
4.2.1 天线系统	232
4.2.2 馈线系统	232
4.2.3 发射机系统	233
4.2.4 接收机系统	233
4.2.5 测速系统	233
4.2.6 测距系统	234
4.2.7 角跟踪随动系统	235
4.2.8 角跟踪驱动机构与传感系统	235
4.2.9 数据采集与处理系统	235
4.2.10 主控台	236
4.3 精密跟踪测量雷达的主要战术、技术指标	236
4.3.1 主要战术性能	237
4.3.2 主要技术指标	241
4.4 脉冲雷达角度跟踪系统	245
4.4.1 典型的单脉冲角跟踪系统	246
4.4.2 跟踪测量雷达的引导捕获	249
4.4.3 天线随动系统	250

4.4.4	角跟踪误差分析	253
4.5	脉冲雷达距离跟踪测量系统	259
4.5.1	距离跟踪原理和方法	259
4.5.2	数字式雷达距离跟踪系统	262
4.5.3	脉冲雷达的距离模糊及消除方法	265
4.5.4	脉冲雷达距离跟踪系统精度分析	267
4.6	脉冲雷达速度测量系统	269
4.6.1	脉冲雷达速度测量原理	269
4.6.2	脉冲多普勒跟踪技术	270
4.6.3	脉冲雷达测速系统组成	271
4.6.4	脉冲多普勒测速的速度模糊和消除方法	272
4.6.5	脉冲多普勒测速精度分析	273
4.7	脉冲雷达的新技术应用	275
4.7.1	距离游标测距技术	275
4.7.2	轴向跟踪技术	279
4.7.3	相控阵技术	283
4.7.4	脉冲压缩技术	286
4.7.5	雷达目标特性测量	291
4.8	脉冲雷达的多站测量	292
4.8.1	雷达链工作方式	292
4.8.2	多站距离交会测量	293
4.8.3	多站测量目标识别	293
4.8.4	多站联测对应答机的特殊要求	293
4.9	雷达标校	294
4.9.1	常用标校方法	294
4.9.2	星体自动标校	299
4.10	脉冲雷达的发展与展望	300
	参考文献	301
第5章	微波统一系统	302
5.1	概述	302
5.1.1	微波统一系统在航天测控系统中的地位与作用	302
5.1.2	微波统一系统的组成及基本工作流程	303

5.1.3 微波统一系统的体制	307
5.2 微波统一系统的设计基础	309
5.2.1 应答工作方式下的雷达方程	310
5.2.2 下行信道接收系统品质因数(G/T)的确定	314
5.2.3 上行信道发射系统等效全向辐射功率(EIRP)的确定	315
5.2.4 下行信道视在电平设计	316
5.2.5 上行信道视在电平设计	316
5.2.6 上行/下行信道门限电平设计	318
5.2.7 信道功率分配(调制度的选择与信道功率最佳分配)	325
5.2.8 系统频率流程设计	331
5.3 系统基本结构	332
5.3.1 天线与跟踪指向分系统	332
5.3.2 上行/下行信道	336
5.3.3 基带设备	336
5.3.4 辅助设备分系统	336
5.3.5 多载波系统	337
5.4 频分复用系统调制与解调	337
5.4.1 多重基带信号的窄带调制	337
5.4.2 频分复用调相信号的解调	339
5.5 上行/下行信道	343
5.5.1 上行/下行信道的基本组成	344
5.5.2 上行/下行信道的关键技术	344
5.6 基带设备	345
5.6.1 概述	345
5.6.2 上行 70MHz 中频载波调制器	349
5.6.3 下行 70MHz 中频载波 PM 接收机	352
5.6.4 测距单元	361
5.6.5 测速单元	379
5.6.6 遥测单元	382
5.6.7 遥控与数字话音单元	388
5.7 多载波系统	392
5.7.1 多载波遥测、数传及电视图像信号的接收与解调	393