

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

GPS 技术与应用

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

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

GPS 技术与应用

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

GPS 技术与应用 / 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, 2004. 6

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 7-118-03316-2

I. G... II. 中... III. 全球定位系统 (GPS) —教材 IV. P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 105202 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 13 $\frac{1}{4}$ 352 千字

2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4500 册 定价: 43.00 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 王文宝

副主任委员 董德义 陶有勤 赵 军 周建生

委 员 余同杰 于志坚 贺瑞法 侯 鹰

赵龙海 梁勤亚 陈长贵 姚意学

张 渊 王元钦 马志强 韦亚南

王 华 李立杰

主 编 贺瑞法

副 主 编 张殷龙 张忠华

秘 书 李国强

GPS 技术与应用

主 编 张守信

副主编 黄学德

主 审 张纪生

编著者 徐冬梅 解海中 李 智 任宇飞

柳仲贵 张 波 孙传娥 刘延利

李 巍 张立滨 吴 健

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,具有十分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

当前,卫星导航定位在经济、军事、科研和社会生活等各个领域得到广泛的应用,日益显示了其优越性。美国建立的全球定位系统——GPS (Global Positioning System)是卫星导航定位系统的主要代表,另外还有俄罗斯的 GLONASS、我国的“北斗 1 号”和欧洲的 GALILEO。

GPS 具有全球、全天候、连续实时的三维定位、测速和定时能力。它不仅可以为各种运动载体,如车辆、舰船、航天器等提供实时导航定位,为各种非直接火力武器系统提供制导,还可以应用于高精度定位和高精度时间传递等方面。

本书是在张守信教授的《GPS 卫星测量定位理论与应用》基础上,根据当前 GPS 技术的发展和應用,特别是在航天测量控制方面的应用,由装备指挥技术学院、总装备部测量通信总体研究所和原电子部 22 所共同编著。全书共 10 章,其中第 1 章~第 8 章由张守信、徐冬梅、解海中、李智、任宇飞撰写,第 9、10 章由黄学德、柳仲贵、张波、孙传娥、刘延利、李巍、张立滨和吴健撰写。全书由张纪生研究员主审。

本书编著过程中,得到了总装备部司令部、装备指挥技术学院、总装备部测量通信总体研究所和原电子部 22 所等单位的大力支持,在此深表感谢。

本书力求做到理论与实践相结合,反映当前的新技术和应用,但由于作者水平有限,书中难免有不足和错误之处,请读者批评指正。

编著者

2003 年 6 月

内 容 简 介

以 GPS 为代表的全球卫星导航定位系统已经在经济、军事、科研和社会生活各领域得到了广泛应用,发挥着日益重要的作用。本书根据航天技术,特别是航天测量控制领域应用 GPS 的实际需要,在《GPS 卫星测量定位理论与应用》一书的基础上,结合航天测量控制的实际应用,较系统全面地论述了 GPS 理论、技术和应用。

全书共 10 章,主要由 3 个部分内容组成。第 1 部分为前 3 章,重点论述 GPS 组成、信号、卫星轨道参数计算和坐标系、时间系统等;第 2 部分为第 5 章~第 8 章,论述了 GPS 伪距导航定位、载波相位相对定位、测速和差分定位系统的理论和技术;第 3 部分为第 9、10 章,主要论述了 GPS 在航天测量控制中的应用技术。

本书可供航天测量控制、航天飞行试验、导航、测绘和卫星应用等专业技术人员和相应的高等院校高年级学生、研究生、教师参考。

《国防科研试验工程技术系列教材· 导弹航天测量控制系统》

编号	教材名称
2-1	导弹航天测控总体 上册
2-2	导弹航天测控总体 下册
2-3	无线电跟踪测量
2-4	无线电遥测遥控 上册
2-5	无线电遥测遥控 下册
2-6	光电测量
2-7	航天器轨道确定
2-8	航天器飞行控制与仿真
2-9	航天测量船
2-10	测控计算机与监控显示系统
2-11	GPS 技术与应用
2-12	电磁兼容技术
2-13	外弹道测量数据处理
2-14	遥测数据处理
2-15	试验指挥与管理自动化系统
2-16	靶场大地测量

ISBN 7-118-03316-2/V·236

定价：43.00 元

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 美国卫星导航定位系统发展概况	2
1.1.1 海军导航卫星系统	3
1.1.2 全球定位系统	4
1.2 GPS 的组成	6
1.2.1 空间卫星星座	6
1.2.2 地面监控系统	9
1.2.3 用户设备	11
1.3 GPS 的特点和用途	13
1.3.1 GPS 的特点	13
1.3.2 GPS 的用途	14
1.3.3 GPS 存在的主要问题	15
1.4 美国的 GPS 限制性政策和导航战	16
1.4.1 美国实施的 GPS 限制性政策和措施	16
1.4.2 美国的导航战	18
1.4.3 美国 GPS 的现代化	19
1.4.4 克服美国限制性政策和措施的主要技术和方法	19
1.5 其他卫星导航定位系统	20
1.5.1 全球导航卫星系统 GLONASS	20
1.5.2 欧洲的 GNSS	22
1.5.3 GEOSTAR 系统	23
第 2 章 GPS 信号和伪码测距原理	26
2.1 GPS 信号的基本结构	26
2.1.1 概述	26
2.1.2 GPS 信号的基本构成	27

2.1.3	GPS 信号的特点	28
2.1.4	GPS 卫星发射的其他信号	29
2.2	GPS 伪随机码及其特性	30
2.2.1	伪随机码的产生及特性	30
2.2.2	C/A 码	34
2.2.3	P 码	36
2.3	GPS 卫星的广播导航电文	37
2.3.1	导航电文的格式	37
2.3.2	导航电文的内容	38
2.4	扩频技术和相关接收	45
2.4.1	扩频技术	46
2.4.2	相关接收	48
2.5	伪码测距原理	50
2.6	GPS 导航接收机工作原理	52
2.6.1	C/A 码和 P 码的捕获	52
2.6.2	码的锁定与导航电文的解码	54
2.6.3	载波的跟踪	56
2.6.4	接收机的通道	57
第 3 章	GPS 卫星位置和速度计算	58
3.1	GPS 导航定位中常用的时间系统	58
3.1.1	时间的有关概念	58
3.1.2	世界时系统	59
3.1.3	原子时系统	62
3.1.4	力学时系统	63
3.1.5	GPS 时间系统	63
3.1.6	GLONASS 时间系统	65
3.2	GPS 导航定位中常用的坐标系统	65
3.2.1	地心空间直角坐标系及其等价坐标系	65
3.2.2	卫星测量中的常用坐标系	71
3.2.3	WGS-84 大地坐标系	77
3.3	卫星运动基本理论	77
3.3.1	卫星运动概述	77

3.3.2	卫星运动二体问题	79
3.3.3	地球引力场摄动力及其影响	81
3.3.4	日、月摄动	83
3.3.5	太阳光辐射压摄动	84
3.3.6	GPS 卫星 Y 轴偏差摄动	85
3.3.7	地球潮汐摄动和大气摄动	86
3.4	GPS 广播星历卫星位置和速度的计算	86
3.4.1	卫星位置的计算	87
3.4.2	卫星速度的计算	91
3.5	IGS 的 GPS 精密星历及其应用	94
3.5.1	国际 GPS 服务(IGS)概述	94
3.5.2	IGS 精密星历的获取与数据	95
3.5.3	IGS 精密星历在事后 GPS 数据精密处理中的应用	97
第 4 章	GPS 伪距导航定位原理	101
4.1	GPS 定位的基本概念	101
4.1.1	绝对定位与相对定位	101
4.1.2	静态定位与动态定位	103
4.2	伪距导航定位原理	104
4.2.1	GPS 定位的基本观测量与定位模型	104
4.2.2	GPS 伪距定位解算	106
4.2.3	精度估算	108
4.3	GPS 定位的几何精度因子	109
4.3.1	影响 GPS 定位精度的因素	109
4.3.2	几何精度因子	109
4.3.3	最佳星座的选择	111
4.4	伪距测量相对定位	112
4.4.1	相对定位概述	112
4.4.2	直接观测值的线性组合	114
4.4.3	单差观测值相对定位	115
4.4.4	双差观测值相对定位	117
4.4.5	相对定位的分析讨论	118
4.5	GPS 测速原理	120

4.5.1	多普勒频移的测定	120
4.5.2	GPS 单点测速	121
4.5.3	GPS 测速误差	123
4.5.4	GPS 相对测速	123
第 5 章 GPS 定位的主要误差源		126
5.1	概述	126
5.2	电离层延迟误差	126
5.2.1	电离层延迟的产生与特点	126
5.2.2	电离层中电子总量的计算	128
5.2.3	电离层延迟误差改正模型	130
5.2.4	双频观测量组合消除电离层影响	135
5.3	对流层延迟误差	136
5.3.1	对流层延迟误差的产生与特点	136
5.3.2	对流层折射的改正模型	137
5.3.3	气象参数计算	139
5.4	多路径误差	140
5.5	相对论效应	142
5.6	时钟误差	145
5.6.1	频率与时钟误差	145
5.6.2	卫星钟差	147
5.6.3	接收机钟差	147
5.7	卫星星历误差	148
5.8	SA 干扰误差	150
5.9	地球旋转改正	152
5.10	地球潮汐的影响	153
第 6 章 载波相位测量定位技术		158
6.1	载波相位测量原理	158
6.1.1	重建载波	159
6.1.2	载波相位测量原理	160
6.2	载波相位测量定位原理	161
6.2.1	载波相位测量的基本观测量	161