

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

光 电 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

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

光 电 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

光电测量/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, 2002. 10
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 7-118-02906-8

I. 光... II. 中... III. 光电检测—教材
IV. V556

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 050390 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 11 1/4 300 千字

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—4500 册 定价:30.00 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 峰 陶有勤 郭淦水

钱玉民

光 电 测 量

主 编 何照才

副主编 胡保安

编著者 何照才 胡保安 董书法 罗俊平

邢强林 王德宝 刘文喜 乔彦峰

张 涛 陈长喜 王 颖 王建军

苏增立

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 年来的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

《光电测量》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,主要论述光电测量的基本概念、工作原理、技术指标的分析论证及其检测方法。全书共 10 章,其中包括概论、光电经纬仪、光电经纬仪技术指标的检测、弹道相机、实况记录系统、激光测量技术、红外跟踪测量技术、电视测量技术、事后判读处理技术和光电新技术的应用前景等内容。

本书是根据《国防科研试验工程技术系列教材》的性质、阅读对象、编写要求,在《光学测量系统》一书的基础上由何照才、胡保安改编的,对全书章节和内容作了全面的调整、修改和充实,体现了理论联系实际,针对性强的特点,突出了新技术的发展和工程应用,使全书内容更全面、精炼,更有实用价值。

本书的改编工作是在总装备部测量通信总体研究所领导下进行的,得到了总装备部司令部测控局、军训局及中国科学院长春光电机研究所等单位的大力支持,在此一并表示感谢!

由于我们的水平和学识有限,错误和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2002 年 5 月

内 容 简 介

《光电测量》简要介绍光电测量的基本概念、系统组成和工作原理,着重论述光电测量主要技术指标的分析论证及其主要性能参数的室内、外检测原理和方法。同时还对电视、红外、激光、自适应光学、高精度自动跟踪、人工智能等项新技术在光电测量系统中的应用前景作了分析。

全书共为 10 章,第 1 章概论;第 2 章至第 9 章结合工程实践分别对光电经纬仪、光电经纬仪技术指标的检测、弹道相机、实况记录系统、激光测量技术、红外跟踪测量技术、电视测量技术、事后判读处理技术进行了系统论述;第 10 章为光电新技术的应用前景分析。

本书主要适用于具有大专以上学历的测控工程技术人员阅读,特别适用于光电测量工作者参阅,也可供其它有关人员参考。

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 概述	1
1.1.1 光电测量系统的定义	1
1.1.2 光电测量系统的作用	2
1.2 光电测量系统的分类及其组成	4
1.2.1 光电测量系统的分类	4
1.2.2 光电测量系统的组成与功能	5
1.3 光电测量系统总体设计的依据和任务	8
1.3.1 光电测量系统总体设计的依据	8
1.3.2 光电测量系统总体设计的主要任务	9
1.4 光电测量设备的发展简况	11
1.4.1 国内光电测量设备的发展简况	11
1.4.2 国外光电测量设备的发展现状	15
1.4.3 光电测量设备的发展方向	22
第 2 章 光电经纬仪	24
2.1 光电经纬仪的主要用途	24
2.1.1 弹道测量	24
2.1.2 精度鉴定	32
2.1.3 实况记录	35
2.2 光电经纬仪的组成及其工作原理	35
2.2.1 光电经纬仪的组成	35
2.2.2 光电经纬仪的工作原理	36
2.3 光电经纬仪主要技术指标的分析论证	39
2.3.1 测角精度	39
2.3.2 测距精度	47

2.3.3	作用距离	48
2.3.4	跟踪系统	60
2.3.5	光学系统焦距、通光口径和摄影频率	68
2.3.6	自动调光调焦系统	69
2.3.7	光电经纬仪的可靠性	72
第3章	光电经纬仪技术指标的检测	74
3.1	光电经纬仪的室内检测	74
3.1.1	主摄影系统的检测	74
3.1.2	主摄影机的检测	75
3.1.3	调光调焦系统的检测	75
3.1.4	轴系误差检测	78
3.1.5	跟踪系统检测	80
3.1.6	各跟踪测量系统与主镜视轴间的平行差检测	81
3.1.7	室内动态测角精度检测	85
3.2	光电经纬仪的外场检测	86
3.2.1	光电经纬仪单项测角误差的检测	86
3.2.2	光电经纬仪动态测角误差的检测	88
3.2.3	测距精度检测	92
3.2.4	摄影系统作用距离检测	95
3.3	可靠性检测	99
3.3.1	可靠性检测	99
3.3.2	维修性检测	102
第4章	弹道相机	105
4.1	概述	105
4.2	弹道相机的主要用途	105
4.2.1	弹道测量	105
4.2.2	精度鉴定	106
4.3	弹道相机的基本组成和工作原理	106
4.3.1	干板式弹道相机的基本组成	106
4.3.2	干板式弹道相机的工作原理	109
4.3.3	实时弹道相机	112
4.4	弹道相机主要技术指标分析论证	115

4.4.1	测角精度	115
4.4.2	干板式弹道相机主距和口径的选取	122
4.4.3	拍摄能力	125
4.5	弹道相机的检测	125
4.5.1	摄影视场检测	126
4.5.2	测角精度检测	126
4.5.3	作用距离检测	131
4.5.4	摄星能力检测	131
4.5.5	角分辨率检测	132
4.5.6	摄影频率检测	132
4.5.7	采样同步精度检测	132
4.5.8	角工作范围检测	132
4.5.9	瞄准望远镜检测	132
4.5.10	光轴不平行度检测	133
4.5.11	主距检测	133
4.5.12	像面与视轴不垂直度检测	133
4.5.13	摄影分辨率检测	134
4.5.14	畸变检测	134
第5章	实况记录系统	136
5.1	实况记录系统的主要设备与用途	136
5.1.1	实况记录系统的主要设备	136
5.1.2	实况记录系统的主要用途	136
5.2	电影望远镜的组成及其工作原理	137
5.2.1	电影望远镜的组成	137
5.2.2	电影望远镜的工作原理	137
5.3	高速摄影机的分类及其工作原理	139
5.3.1	高速摄影的发展	139
5.3.2	高速摄影机的分类	140
5.3.3	高速摄影机的工作原理及其性能	141
5.4	主要技术指标的分析论证	152
5.4.1	摄影频率	152
5.4.2	摄影分辨率	159

5.4.3	画幅稳定性	167
5.4.4	摄影作用距离	168
5.5	主要技术指标的检测原理和方法	170
5.5.1	摄影频率的检测	170
5.5.2	摄影分辨率的检测	171
5.5.3	画幅稳定性的检测	173
5.5.4	启动耗片量的检测	175
5.5.5	跑片成功率的检测	175
第6章	激光测量技术	176
6.1	激光测量工作原理	176
6.1.1	激光测距原理	176
6.1.2	激光跟踪原理	179
6.1.3	激光测速原理	181
6.1.4	激光成像原理	184
6.2	激光测量系统简介	188
6.2.1	激光测距机	188
6.2.2	激光跟踪系统	189
6.2.3	激光雷达	190
6.3	主要技术指标论证	197
6.3.1	测量距离	198
6.3.2	激光发散角	204
6.3.3	激光测距精度	205
6.3.4	激光测速精度	211
6.4	主要技术指标检测方法	212
6.4.1	探测能力	212
6.4.2	激光发散角	214
6.4.3	测距精度	214
6.4.4	测速精度	216
第7章	红外跟踪测量技术	218
7.1	红外测量技术在试验靶场中的主要用途	218
7.1.1	目标捕获与自动跟踪	218
7.1.2	实时测量弹道	219

7.1.3	目标红外辐射特性测量	219
7.1.4	红外图像实况记录	220
7.1.5	红外测量技术在导弹航天试验场应用状况	220
7.2	红外测量原理	222
7.2.1	红外辐射测角原理	222
7.2.2	红外成像跟踪测角原理	231
7.2.3	各种测角方式的比较	235
7.2.4	红外辐射测量原理	236
7.3	红外测量系统的主要技术指标的分析论证	237
7.3.1	红外测量系统的基本构成	237
7.3.2	主要技术指标的分析论证	238
7.4	主要技术指标检测方法	247
7.4.1	室内检测方法	247
7.4.2	野外技术性能指标检测	253
第 8 章	电视测量技术	257
8.1	电视测量技术的应用	257
8.1.1	电视测量技术的应用	257
8.1.2	电视测量技术在靶场测量控制系统中的应用	258
8.2	电视脱靶量测量原理	260
8.2.1	一般介绍	260
8.2.2	真空摄像器件系统测量原理	261
8.2.3	CCD 系统测量原理	263
8.3	主要技术指标的分析论证	270
8.3.1	概述	270
8.3.2	电视视场	270
8.3.3	探测距离	272
8.3.4	脱靶量测量精度	283
8.3.5	关于系统跟踪速度与加速度的确定	285
8.4	主要技术指标检测原理及方法	287
8.4.1	作用距离检测	287
8.4.2	视场检测	287
8.4.3	脱靶量测量精度	287

8.4.4 跟踪性能检测	289
第9章 事后判读处理技术	290
9.1 事后判读处理技术的地位和作用	290
9.2 判读仪的工作原理	290
9.2.1 胶片判读仪工作原理	290
9.2.2 干板坐标测量仪工作原理	295
9.2.3 视频判读仪工作原理	297
9.3 判读仪总体设计的几个问题	298
9.3.1 脱靶量测量精度	298
9.3.2 点阵读取误帧率	298
9.3.3 对胶片的适应能力	299
9.3.4 自动化程度	299
9.3.5 图像扫描器选择	299
9.4 主要技术指标的分析论证	303
9.4.1 胶片判读误差	303
9.4.2 磁带判读误差	308
9.4.3 判读速度	309
9.4.4 判读自动化	311
9.4.5 可靠性指标的提出	313
9.5 主要技术指标检测原理和方法	316
9.5.1 脱靶量测量精度检测	316
9.5.2 点阵信息读取正确性检测	319
9.5.3 整机可靠性试验	319
第10章 光电新技术的应用前景	324
10.1 概述	324
10.2 数字电视	325
10.2.1 数字电视简介	325
10.2.2 数字电视测量技术优点及其在靶场应用前景	326
10.2.3 高清晰度电视	328
10.2.4 高帧频电视	329
10.3 二元光学技术	329
10.3.1 提高传统光学系统的能力	330