

现代空间光电子信息技术丛书



宋丰华 编著

现代 空间光电系统 及应用



国防工业出版社

National Defence Industry Press <http://www.ndip.cn>

现代空间光电子信息技术

现代空间光电系统及应用

宋丰华 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

现代空间光电系统及应用/宋丰华编著. —北京:国防工业出版社, 2004.7

(现代空间光电子信息技术丛书)

ISBN 7-118-03474-6

I. 现... II. 宋... III. 光电技术 IV. 0438

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 033185 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)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 27 $\frac{3}{4}$ 634 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—3500 册 定价:37.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

丛书序言

21 世纪被称为“光电子信息时代”。光电信息技术的飞跃发展及其在各行各业的广泛应用,不仅改变了人们的工作、学习和生活方式,而且推动了新产业革命、新军事革命。由新材料、新工艺、新技术支撑的,能产生高效益的光电子信息产业在世界范围内迅速扩大,一个世界性“光谷”正在流行。

光电信息革命集中地体现在信息光子学(info photonics)的飞速发展,而信息光子学是信息科学和光电子学发展形成的一门新兴的交叉学科。它是以光子作为信息载体的信息源,信息获取、信息传递、信息处理、信息融合、信息存储和信息显示等为研究对象的高新技术学科,已成为高技术发展的先导和核心。

代表着具有时代特征的高技术发展的光电子信息技术,在现代的光计算机、空间光通信、航天(如空间交通管理、高稳定空间科学研究、空间定向能武器和空间武器平台)和太空探索等重要领域中都扮演了不可替代的角色。如世纪之交的几场局部战争,无论是战争的“旧容”,还是“新貌”,都可堪称为信息战胜钢铁的战争。而光电信息装备(如激光武器、侦察、预警、制导类光电装备)已形成信息战中获取战场信息的主要手段,堪称无可替代的“耳目”(即把战场变成了没有“黑夜”的战场)、“喉舌”(即实现了对战情了如指掌)和“利器”(即胜敌方一筹的精确打击能力),把光电信息技术在现代高技术局部战争中的作用发挥得淋漓尽致。这预示着未来的军事斗争已转向空间,光电武器装备是获取空间信息的主要手段,军事武器装备必须转型。一场光电子信息革命已经到来,光电信息技术已成为现代人类文明的重要支柱之一。

为了适应新形势下光电技术和光电武器装备的发展和高校改革力度不断加大的要求,以及人才培养协调发展的需要,本着创新、实用、前瞻、高质量等原则和专业重组方式,根据近年来“非光电技术”专业本科、研究生的考生猛增的态势,以及教学大纲要求和新时期军队武器装备转型要求,在作者长期从事光电子技术工作和教学讲稿的基础之上,经多方审定,考虑了上述诸多因素,编著了《现代空间光电子信息技术丛书》。因为任何先进的光电武器装备都是由优质的光电系统组成的,而优质的光电系统又是由先进的光电信息器件和先进的光电信息处理技术来支撑的,所以,该丛书首批奉献的是《现代光电器件技术及应用》、《现代空间光电系统及应用》和《现代空间光电信息处理技术及应用》等几本。

本丛书侧重从原理结构、系统构成、参数测试、典型应用、处理方法和发展方向等方面进行阐述,力求内容新颖、通俗易懂、深入浅出。丛书中的每一部又自成体系,可作为相关专业的教材及教学参考书。

本丛书的各分册将陆续出版,若能对读者有所裨益,将不胜荣幸。由于作者水平有限,不妥或谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

前 言

随着信息化装备的发展,以现代光电子器件为核心的现代光电系统,使得光电装备更新换代的速度明显加快,从光电器件到光电信息处理、传输、控制和显示等都发生了根本性的变化。同时,微型计算机的介入使得光电系统向着智能化、网络化方向发展。为适应信息化社会的需要,不少光电系统已设计成无人操作、自主辨识、自主“记忆”特征信息、自主诊断与校正、实时误差修正、自动实现高精度快速测算的“专家”型系统和多传感器、多目标自主捕获/搜索/跟踪的复合型光电系统。

现代光电系统是集光电子器件技术、光电子精密测量、信息控制和光电信息处理等技术于一身的现代学科,是高新技术和信息装备发展的重要方向之一。本书直接针对现代光电系统,讨论系统的构成和原理、性能指标、应用和发展。内容包括典型的光电系统的构成、原理及构成系统的基础知识、现代光电系统中的光学镜头、光学元件、探测器的工作原理,光电信号的耦合、采集和调理、信号输出与控制、人机接口与信息交互、信号处理、光电成像、光电成像跟踪(重点在于多目标跟踪)、光电制导(重点在于复合制导)等技术以及典型光电系统的应用。

新技术的迅速发展,要求工科高等院校教育要进一步改革,特别是军队工科院校要逐步转变人才培养目标,即努力培养通识型、专家型和复合型既懂技术又懂指挥的军事人才。因此,原有的工科课程设置也必然要随之改革。如原来的光电工程专业要经过光电子器件、光电技术基础、光学工程、激光工程、红外工程、电视工程、捕获/搜索/跟踪系统和光电信息处理等多门课程才能完成专业课程的学习。然而,在进一步压缩课时的时间内无法完成上述课程的教学任务。另外,从实践中笔者感到,无论是教学、科研,还是技术开发、技术管理都迫切地需要有一套经过整合的、系统连贯的光电系统专业教材。基于这种指导思想和教学需求,编著了这本《现代空间光电系统及应用》。

本书优选现代光电系统(如激光、红外和电视系统)精华部分,将各种光电系统共性内容抽取出来集中介绍,内容经典而实用;另一方面突出了新型的、先进的现代光电系统及其在信息装备上的应用,技术先进,内容新颖。本书适合于从事光电工程、光电装备科学与技术,光电装备的测试、管理和计量技术,军事航天科学、兵器科学与技术领域从事系统论证、设计、制造、使用、试验及理论研究的科技人员阅读,也可作为工科院校光电工程和光电技术专业的本科生、研究生教材。

如果本书能对从事这方面工作的读者有所帮助,对现代光电系统的发展有所裨益,笔者将无限欣慰。同时,笔者诚恳地接受各位同仁不吝赐教。

作 者 于北京
2004年2月

内 容 简 介

本书是《现代空间光电子技术丛书》之一，全书共分为 11 章：其中第 1 章概述了现代光电系统的发展及基本功能单元，第 2、3 章介绍了现代成像光学系统和光电信息耦合、调理与采集，第 4~6 章介绍了激光雷达系统原理及其应用，第 7、8 章分别介绍了成像光电系统和光电成像跟踪系统，第 9~11 章为典型的光电应用系统，包括 CCD 成像测量系统、动态多目标自动跟踪系统、综合光电制导系统等。

本书优选现代光电系统（如激光、红外和电视系统）精华部分，将各种光电系统共性内容抽取出来集中介绍，内容经典而实用；另一方面突出了新型的、先进的现代光电系统及其在信息装备上的应用，技术先进，内容新颖。本书适合于从事光电工程、光电装备科学与技术，光电装备的测试、管理和计量技术，军事航天科学、兵器科学与技术领域从事系统论证、设计、制造、使用、试验及理论研究的科技人员阅读，也可作为工科院校光电工程和光电技术专业的本科生、研究生教材。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 现代光电系统的发展和地位	1
1.1.1 光电系统的演变过程	1
1.1.2 现代光电系统的地位	2
1.1.3 光电系统的分类及其构成	3
1.1.4 一般光电系统的基本性能	5
1.2 复合型智能化光电系统特点及其构成	6
1.2.1 智能化光电系统的主要特点	6
1.2.2 复合型智能光电系统的构成	8
1.3 复合型光电系统的基本功能单元	10
1.3.1 脉冲激光测距基本功能单元	10
1.3.2 红外测量基本功能单元	11
1.3.3 电视测量基本功能单元	14
1.3.4 CCD 光电成像检测单元构成	16
1.4 光电探测基本功能单元	17
1.4.1 直接探测单元	17
1.4.2 光频外差探测功能单元	21
1.5 数字信号处理(DSP)单元	27
思考题与习题	29
第 2 章 现代成像光学系统	30
2.1 激光传光光学系统	30
2.1.1 高斯光束的特性	30
2.1.2 高斯光束的传播	31
2.1.3 透镜高斯光束的变换光学系统	33
2.1.4 高斯光束的聚焦和准直	36
2.2 红外成像光学系统	38
2.2.1 透射式红外成像物镜系统	38
2.2.2 反射式红外成像物镜系统	38
2.2.3 折反射组合式成像光学系统	39
2.3 常用兵器成像光学系统	40

2.3.1	双路交叉成像光学系统	40
2.3.2	三轴一致前视成像光学系统	40
2.3.3	交叉光路前视成像光学系统	41
2.4	扫描、搜索捕获光学系统	42
2.4.1	扫描方程式	42
2.4.2	扫描光学系统	43
2.4.3	扫描物镜—— $f\theta$ 物镜	46
2.4.4	实用的空间扫描、搜索、捕获光学系统	47
2.4.5	空间成像平台扫描与捕获光学系统	50
2.5	阶跃型光纤光学系统	53
2.5.1	阶跃型光纤的基本原理	53
2.5.2	阶跃型光纤束的传光、传像特性	56
2.6	其它光电成像光学系统	61
2.6.1	红外夜视成像光学系统	61
2.6.2	微光夜视仪器光学系统	61
2.6.3	光电检测成像光学系统	62
	思考题与习题	63
第3章	光电图像耦合、调理和采集	64
3.1	光电图像信息耦合	64
3.1.1	图像信息耦合概念	64
3.1.2	图像耦合器的一般指标	65
3.1.3	耦合器类型和特点	65
3.1.4	直接耦合	71
3.1.5	典型微光成像系统中的耦合技术	72
3.1.6	耦合后的光增益	73
3.2	光电信号调理形式	77
3.2.1	光电信号调理形式	77
3.2.2	光电信号偏置电路的设计	79
3.3	光电信号的量化与采集	84
3.3.1	光电信号的量化	84
3.3.2	A/D转换器与微型机接口	89
3.3.3	模拟量数据采集系统	95
3.3.4	频率及开关量采集系统	100
	思考题与习题	102
第4章	基本的脉冲激光测距系统	103
4.1	概述	103
4.1.1	激光测距基本原理	103

4.1.2	激光测距的分类	104
4.2	脉冲式激光测距系统	105
4.2.1	脉冲式激光测距系统的基本组成方框图	105
4.2.2	激光发射部分	107
4.2.3	激光接收部分	109
4.2.4	信息处理部分	113
4.3	脉冲式激光测距系统测距能力估计	116
4.4	脉冲式激光测距误差分析和测距精度	118
4.4.1	脉冲激光测距误差源及其修正	118
4.4.2	提高脉冲激光测距精度的主要途径	120
4.5	脉冲式激光测距系统的虚警分析	126
4.5.1	虚警产生的原因	127
4.5.2	减少虚警的措施	127
4.6	脉冲式激光测距系统的主要技术指标	129
4.7	激光测距技术在空间激光通信系统中的应用	130
	思考题与习题	132
第 5 章	现代激光雷达原理	133
5.1	概述	133
5.1.1	微波雷达与激光雷达	133
5.1.2	激光雷达的发展过程简介	134
5.1.3	激光雷达的类型及特点	135
5.1.4	激光雷达最基本构成	136
5.2	激光雷达发射系统	138
5.2.1	理想光束质量	138
5.2.2	非理想光束的质量评价	141
5.2.3	激光准直与扫描	142
5.2.4	发射激光的调制及其应用	144
5.3	激光雷达接收系统	146
5.3.1	外差探测	146
5.3.2	接收孔直径	148
5.3.3	接收解调系统	149
5.4	激光雷达的目标	150
5.4.1	目标激光横截面	151
5.4.2	两类目标的激光横截面	151
5.5	激光雷达性能	153
5.5.1	信号功率的接收	153
5.5.2	信噪比(SNR)	155
5.5.3	探测概率	155

5.6 激光雷达应用	156
5.6.1 激光雷达测量	156
5.6.2 激光雷达测量参数	158
5.7 三维探测激光雷达简介	161
5.8 固体激光合成孔径雷达	161
5.8.1 合成孔径概念	161
5.8.2 合成孔径光雷达对地面目标的成像	163
5.8.3 航向信息的记录	163
5.8.4 固体激光合成孔径雷达构成原理	165
思考题与习题	168
第6章 典型的激光雷达及应用	170
6.1 激光雷达的特点及发展	170
6.1.1 光雷达的优、缺点	170
6.1.2 光雷达发展趋势	171
6.2 激光雷达的应用类型	171
6.2.1 用于对空间目标距离的测量空间及定位	171
6.2.2 用于目标速度的测量	173
6.2.3 用于对目标的跟踪	173
6.2.4 用于对目标成像	174
6.3 典型的激光雷达系统	174
6.4 激光雷达的典型应用	175
6.4.1 用于武器鉴定试验的激光雷达系统	175
6.4.2 用于武器火控的激光雷达系统	177
6.4.3 用于跟踪识别的激光雷达系统	178
6.4.4 用于指挥引导的激光雷达系统	179
6.4.5 用于大气测量的激光雷达系统	181
6.4.6 用于化学毒剂侦测的激光雷达系统	181
6.4.7 用于气象观测的激光雷达系统	182
6.4.8 用于侦破预警的激光雷达系统	182
6.5 激光雷达在空间交会对接中的应用	185
6.5.1 概述	185
6.5.2 光源的选择	186
6.5.3 光波波长的选取	186
6.5.4 半导体激光器发射功率的计算(直接探测方式)	187
6.5.5 对半导体激光器输出光束的处理	187
6.5.6 典型 RVD 激光雷达敏感器的分析 ^[21]	191
6.6 光学相控阵雷达系统	201
6.6.1 光学相控阵的概念和发展	201

6.6.2 相控阵雷达中的主要器件	204
6.6.3 OCPAR 系统中的空间光调制器(SLM)	206
6.6.4 光学相控阵雷达系统及其应用	211
思考题与习题	213
第 7 章 光电成像系统	214
7.1 概述	214
7.1.1 光电扫描成像系统的类型	214
7.1.2 光电成像系统的基本技术参数	215
7.2 扫描成像系统原理	216
7.2.1 瞬时视场、景物和扫描概念	216
7.2.2 光机扫描成像系统结构	217
7.2.3 光机扫描系统分类 ^[16]	218
7.3 光电成像系统的信号处理	220
7.3.1 扫描信号的处理方法	220
7.3.2 多路转换信号的处理	223
7.3.3 成像与电视兼容显示的处理	225
7.3.4 光电系统成像的对比灵敏度	227
7.4 几类典型的成像系统	229
7.4.1 合成孔径扫描成像系统	229
7.4.2 机载或星载平台的光电行扫描成像系统	230
7.4.3 高空星载平台凝视成像系统	231
7.5 扫描信号的提取	231
7.5.1 扫描轨迹	231
7.5.2 探测器上目标信号的形式	232
7.5.3 观察视场与基准信号	233
7.5.4 方位信息的提取	234
7.5.5 有限脉冲串信号的准匹配滤波器	235
7.6 扫描成像系统的性能	236
7.6.1 串联扫描的性能	236
7.6.2 并联扫描的性能	239
7.6.3 串联扫描与并联扫描的比较	239
7.7 凝视型热成像系统	240
7.7.1 凝视成像的基本概念	240
7.7.2 扫描成像和凝视成像的区别	241
7.7.3 焦平面列阵凝视成像探测器件	242
7.7.4 凝视成像系统实例	242
7.8 光电扫描成像系统的综合量度	243
7.8.1 噪声等效温差(NETD)	243

7.8.2	NETD 与系统性能参数的关系	248
7.8.3	非成帧方式的行扫描器的 NETD	248
7.8.4	NETD 的局限性	249
7.8.5	热释电摄像器件的 NETD	249
	思考题与习题	250
第 8 章	多目标光电成像跟踪系统	251
8.1	概述	251
8.1.1	跟踪概念及其系统的类型	251
8.1.2	对成像跟踪系统的一般要求	253
8.1.3	光电成像跟踪系统的基本技术参数	257
8.1.4	各种视场的定义及其关系	258
8.1.5	成像跟踪系统的几个重要指标	259
8.2	多传感器、多目标成像的跟踪方式	262
8.2.1	整机跟踪和扫描元件跟踪方式	262
8.2.2	多目标的选择跟踪方式	263
8.3	跟踪角差器的结构及其特性分析	266
8.4	成像跟踪器及其工作原理	267
8.4.1	成像跟踪器的分类与分析	267
8.4.2	波门跟踪原理	269
8.4.3	相关跟踪	274
8.4.4	实时图像符号匹配	282
8.5	典型的多目标光电成像跟踪系统	285
8.5.1	实时多目标成像跟踪系统	285
8.5.2	模块化实时成像跟踪系统	286
8.5.3	激光发射自(适应)动态跟瞄系统	290
8.5.4	典型的红外搜索/侦察/跟踪系统	293
	思考题与习题	296
第 9 章	CCD 成像测量系统	297
9.1	概述	297
9.1.1	CCD 成像器件与成像测量系统	297
9.1.2	CCD 成像跟踪测量的涵义及分类	298
9.2	CCD 图像的获取	298
9.2.1	CCD 摄像机——CCD 图像获取之一	298
9.2.2	带 CCD 的数码相机——CCD 图像获得之二	302
9.3	CCD 成像系统用于一般性测量	304
9.3.1	CCD 图像测量系统的组成	304
9.3.2	CCD 成像测量的基本原理	305

9.3.3	CCD 成像系统的光学特性	306
9.3.4	光学系统参数的实际选择	308
9.3.5	系统参数的标定方法	309
9.4	CCD 成像系统用于空间动态多目标的测量	310
9.4.1	典型的空问动目标 CCD 跟踪测量系统组成	310
9.4.2	系统的主要技术指标及分析	311
9.5	系统视频信号的处理	312
9.5.1	摄像机集成视频信号的处理	312
9.5.2	CCD 视频信号的采样与保持	313
9.5.3	目标特征信号的检测	314
9.6	跟踪测量脱靶量的提取	320
9.6.1	提取脱靶量的意义及方法	320
9.6.2	投影法提取脱靶量	320
9.6.3	系统其它部分介绍	321
9.7	CCD 电视跟踪算法	323
9.7.1	对电视角差器的分析	323
9.7.2	电视自动跟踪分析与补偿	324
9.7.3	跟踪方式	325
9.7.4	跟踪程序流程	327
9.8	CCD 用于测量中存在的问题及解决办法	330
9.8.1	CCD 探测器光电响应不均匀性	330
9.8.2	CCD 探测器光电响应非线性	331
9.8.3	摄像机的制式转换	332
9.8.4	摄像机的自动增益控制(AGC)	333
9.8.5	摄像机的 γ 校正	333
9.8.6	积分法可提高信噪比	334
9.8.7	CCD 摄像机直接用于大视场测角问题的解决	335
9.8.8	图像处理中常见问题的处理	337
9.9	CCD 测量系统的发展	338
9.9.1	CCD 测量的发展方向	338
9.9.2	主动三维传感的基本原理	339
9.9.3	同步激光扫描的 CCD 三维面形测量系统	340
	思考题与习题	342
第 10 章	动态多目标自动跟踪系统	343
10.1	概述	343
10.1.1	多目标跟踪测量的基本思想	343
10.1.2	多目标跟踪测量信息的融合处理	344
10.1.3	多目标光电跟踪测量系统的软件	345

10.1.4 多目标跟踪测量系统的特点	349
10.2 典型光电多目标跟踪测量系统介绍	350
10.2.1 典型 CCD 空间多目标的实时跟踪测量系统	350
10.2.2 CCD 空间多目标的实时跟踪测量系统	352
10.2.3 大视场实时多目标全自动 CCD 跟踪/侦察系统	353
10.3 实时多目标成像跟踪系统关键技术	354
10.3.1 多目标成像捕获/跟踪的控制	354
10.3.2 多目标成像捕获/跟踪视场要求	355
10.3.3 CCD 拼接技术	355
10.3.4 系统工作状态控制	356
10.4 系统的多控制方式	359
10.4.1 CCD 驱动控制	359
10.4.2 CCD 帧频控制	359
10.4.3 曝光、调光的控制	360
10.4.4 摄像视场“波门”的控制	360
10.4.5 多片 CCD 图像数据压缩控制	361
10.4.6 视频制式转换器的构成	361
10.5 自动调焦、调光技术	362
10.5.1 自动调焦技术	362
10.5.2 自动调光技术	367
10.6 多目标跟踪测量信号的处理	368
10.6.1 对 CCD 探测信号的预处理	368
10.6.2 质心计算机的构成、任务和数学模型	368
10.6.3 “波门”跟踪技术	370
10.7 动态多目标的数字图像信号处理技术	373
10.7.1 识别前的区处理	373
10.7.2 动态多目标智能型自适应数字“波门”识别	375
10.7.3 多“波门”系统的捕获与跟踪	377
10.7.4 用“波门”实现选择目标跟踪	379
10.8 电视跟踪测量系统作用距离的工程估算举例	379
思考题与习题	380
第 11 章 综合光电制导系统	382
11.1 精确制导武器及其制导规律	382
11.1.1 制导与精确制导武器	382
11.1.2 武器制导规律	382
11.1.3 光电制导系统的任务和组成原理	384
11.1.4 制导系统的类型	386
11.2 激光制导系统	392

11.2.1 激光半主动寻的制导系统构成	392
11.2.2 激光制导的导引头	393
11.3 典型的导弹激光寻的制导系统	398
11.3.1 用于制导的寻的器	398
11.3.2 典型的激光目标指示器	399
11.4 驾束指示制导系统	403
11.4.1 驾束指示制导概念	403
11.4.2 带信标的激光驾束系统	404
11.4.3 激光驾束制导优缺点	405
11.4.4 几个典型的激光视线指令制导系统	406
11.5 红外成像制导系统	408
11.5.1 红外成像制导系统的特点	408
11.5.2 红外成像制导系统的组成	408
11.5.3 红外成像制导系统的探测灵敏度	409
11.6 典型的复合制导系统	414
11.6.1 “阿达茨”制导系统	414
11.6.2 光纤制导系统	416
11.7 现代制导系统发展的两大趋向	417
11.7.1 制导技术与系统的转型	417
11.7.2 向复合寻的制导方向发展	419
11.7.3 向智能化成像寻的制导系统发展	422
思考题与习题	425
主要参考资料	426

第1章 概述

1.1 现代光电系统的发展和地位

1.1.1 光电系统的演变过程

光电系统是指能独立完成一项或多项功能的设备或系统^[1]。以较为成熟的航天光电测量系统为例,这类光电系统主要用于测量空间飞行器的轨迹、姿态和辐射特性。这类光电测量设备较多,如弹道照相机、光电经纬仪、跟踪望远镜、激光雷达、红外跟踪仪、电视跟踪仪,以及相应的判读处理设备。

光电经纬仪(或光雷达)都是典型的光、机、电和计算机控制的一体化光电系统。光电经纬仪是由光学摄影测量经纬仪(纯光学系统)发展起来的,它是经纬仪与电影摄影机相结合的产物。这种光电系统只能给出飞行目标方位、俯仰两个方向的角度数据,一般要完成飞行目标的测量,需要运用两台以上的同类设备对同一目标跟踪测量并经交会处理才能完成对飞行目标轨迹的测量。但它配置激光测距系统后,就成了脉冲测距雷达。

我国从20世纪60年代自己设计生产的光电设备——G150型开始,到现在的各类型号的光电设备已经历了五代的演变。历经了电子管→晶体管→中小规模集成电路→中大规模集成电路→微机控制;从设备整体方面历经了大→中→小;从适应目标方面历经了单一目标→多目标的发展。其光电系统的功能越来越强,体积越来越小,自动化程度越来越高。目前大多数光电系统装备有红外跟踪器、激光跟踪器、激光测距、电视跟踪、数码相机及相应的光电装置。

红外、电视跟踪测量设备也经历了单元探测系统→多元探测系统→小规模焦平面阵列探测系统的过程。同时扫描设备也经历了信号调制→扫描(二维扫描,一维扫描)→非扫描(凝视成像)发展的过程。就器件制冷来说也经历了制冷→非制冷变化;光电设备的视场也经历了单一视场→可变视场的变化。光电系统的信息量也经历了单一(简单)信息量→多信息量及其信息融合的发展过程。

从20世纪70年代就结束了纯光学系统的历史。因为在光电经纬仪设备上装备有红外跟踪器、激光跟踪器、激光测距、电视跟踪和高速摄影机等功能性技术单元,于是形成了复合型光电系统,其智能化是随计算机技术的发展逐步实现的。到目前为止,从系统的跟踪、信息处理、故障诊断、记录、显示和存储等都采用了大量的自动化新技术。如新型的复合型光电系统已经采用了计算机硬盘管理、控制、记录等。跟踪系统从人工半自动跟踪发展到全自动化的人机结合跟踪、全自动捕获/搜索/跟踪/双轴跟踪/自适应跟踪等。记录系统历来是光电跟踪测量系统中较复杂的部分,往往是光电跟踪测量都正常而因胶片记录不正常或失误,使得整个跟踪测量工作失败而告终。计算机硬盘的介入,结束了繁琐而不可靠的胶片记录过程,光电系统的性能得到了大幅度的提高,即静态精

度由 $\pm 18''$ ("表示角秒)提高到 $\pm 1'' \sim 2''$ 。系统的部分单元已经实现了固态化的配置,其可靠性、稳定性空前提高(MTBF从0.5小时提高到几百小时)。不仅如此,由于上述变化及轻量化材料技术的发展,使得光电跟踪测量系统布站机动灵活,为光电跟踪测量系统的空间布站奠定了基础。

国外为解决多弹头和高精度测量,美国的 Photo-Sonics 研制了专用于再入段轨道测量系统和事件记录的通用高质量的 Supper RAL 系统,这是一种利用恒星校准原理,准实时校准的高精度、远距离、高自动化靶场光测设备,它的作用距离达到 1000km,测角精度达到 $1'' \sim 2''$ 。它配有激光测距装置,测距精度达 0.5m,是由计算机及所带的专用软件控制操作的光电系统。

在国外,这些技术已广泛用于夜视、制导、火控等军用光学仪器上。例如美国白沙试验场实时成像跟踪系统,进入 20 世纪 90 年代末,对所有控制处理器、跟踪处理器、投影处理器、视频处理器和 I/O 处理器等进行改造或更新换代,这些处理器的 CPU 都是由德克萨斯公司的 4 位 74LS481 或大规模集成电路构成,分别配有不同容量的 RAM 和硬件、软件,光电系统中的光学图像接收器是硅靶摄像管/CCD 成像器件/CCD 电视摄像机光电转换传感器,配有变焦物镜系统,变焦系统由单片机控制。这个系统的计算机采样一个像素,8 位 256 个灰度级,只要 $96\mu\text{s}$ 时间。每个处理器处理一场景象的时间也只有几个到十几个毫秒,能满足每秒处理 60 场景象的要求。而我国目前的光电系统在某些方面较这些还是要先进得多。

先进的计算机技术给研制和应用新型光电装备带来了前所未有的机遇,使其光电系统发生了质的变化,主要表现在提高光电装备的作用距离和测量精度、输出实时或准实时数据、判读自动化、操作检测跟踪自动化、提高仪器的机动性和环境适应性等方面。更值得一提的是,目前计算机应用于军用光电系统的图像处理(包括先进的数据处理机进入光电系统)、识别和跟踪技术正在快速发展。

有迹象表明,新一代光电设备将是固态化、技术复合、功能齐全、体积微小、重量轻微和完全智能化的光电系统;同时还是一个多传感器、多目标跟踪测量系统。光电跟踪测量系统将表现得更为精良。也只有这样,光电装备或光电系统才有可能从地面“飞向”太空,参与开发空间前所未有的光电世界。

1.1.2 现代光电系统的地位

首先从军事方面看光电系统的地位。上个世纪末和本世纪初的几场局部战争集中地说明了两个事实。一是说明了光电武器装备在侦察、监视、预警、定位、导航、通信等夜战、空战和电子战中发挥了举足轻重的作用,即大量军事信息的获取对战争的胜利起了关键作用,有人概括为,“谁先获得敌方信息,谁就是胜利者”,“打得准靠激光,看得见靠光电”,“硅片打败钢铁”等。的确,正是有了光电装备,使得现代战场成为没有“黑夜”,只有“白天”的战场;也正是有了激光精确制导武器,使得“没长眼”的导弹、炸弹等武器像“长了眼”似的看着“篮筐投球”,使武器的命中率成倍地提高。武器的高命中率使得战程大大缩短,战争的形态发生了根本的变化。二是说明了战争的胜败关键在于光电装备的先进或落后,即有人总结的“落后就要挨打”。因此,世界各国都不惜投入巨资研制陆地、海洋、空中和空间平台中的代表新世纪水平的光电装备。有关报道表明,