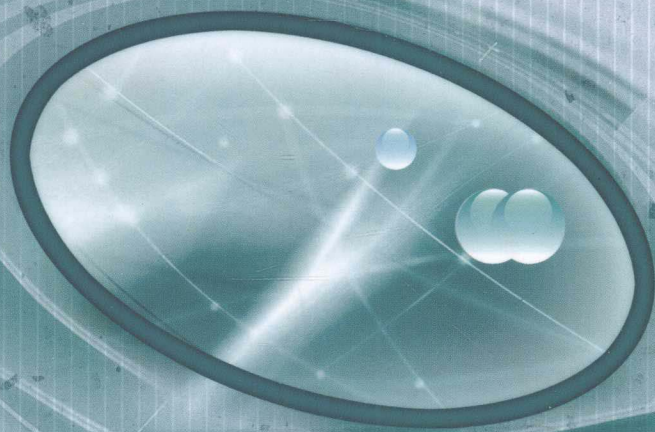




国防特色学术专著·光学工程类



现代光电子成像技术概论

XIANDAI GUANGDIANZI CHENGXIANG JISHU GAILUN

主 编/向世明 副主编/高教波 焦明印 纪 明 陈卫东 郭 晖 向 弘



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色学术专著·光学工程类

现代光电子成像技术概论

主 编 向世明
副主编 高教波 焦明印 纪 明
陈卫东 郭 晖 向 弘

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书是工业和信息化部国防科技工业教育“十一五”规划国防特色专著之一。内容涉及X射线及短波辐射成像、紫外线成像、可见光成像、微光成像、红外成像、微波成像、遥感成像、高速摄影摄像、光子计数成像和医疗成像等现代光电子成像器件和系统技术,分别详细介绍它们的系统组成、工作原理、特性参数、测试评价及其最新发展动态等。学习掌握这一高新技术,对研究、开发、应用各类观察、瞄准、测距、跟踪、制导、告警,测绘以及航天遥感、高速摄影、弱光探测、医疗诊断和生物研究仪器,具有重要实用意义,对从事相关领域科研、教学、生产和应用的读者,有一定参考和借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

现代光电子成像技术概论/向世明主编. —北京:北京理工大学出版社,2010.8

国防特色学术专著. 光学工程类

ISBN 978-7-5640-3404-7

I. ①现… II. ①向… III. ①光电器件-成像原理-高等学校-教材 IV. ①TN15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 139050 号

现代光电子成像技术概论

主编 向世明

责任编辑 刘志实

*

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街5号(100081) 发行部电话:010-68944990 传真:010-68944450

<http://www.bitpress.com.cn>

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷 全国各地新华书店经销

*

开本:787毫米×1092毫米 1/16 印张:27.5 字数:636千字

2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷 印数:1~3000册

ISBN 978-7-5640-3404-7 定价:75.00元

主编个人信息:

向世明,男,中共党员,西安应用光学研究所研究员,教授,博士生导师,微光夜视技术国防科技重点实验室学术委员会主任。

通信地址:陕西 西安 123 信箱 邮编:710065

电话:029—88288589(H)

手机:13679251686

E-mail: xshiming2003@yahoo. com. cn

序

光电子成像是以光子、光电子作为信息载体,研究图像捕获、转换、增强、处理、显示、传输及存储物理过程的一门综合性学科。自 1934 年 G. Holst 发明第一只红外变像管算起,已有 70 多年的历史,发展异常迅速,内容不断扩展。现代光电子成像技术,通过一些特殊设计制造的高灵敏、高分辨、宽光谱、快响应、大动态范围的光电子成像器件及系统,弥补或克服人眼在空间、时间、灵敏度和响应波段等方面存在的视觉局限性的不足,把人眼不能看见或不易看见的微弱光、红外光、紫外光、X 射线、 γ 射线及其他电磁辐射所形成的静态和动态的景物,变为人眼可见的图像,从而成为人类当今获取 80% 以上外界信息的重要高新技术手段。在人类迈向信息社会的今天,光电子成像技术在观察、瞄准、测距、跟踪、制导、告警,以及航天遥感、高速摄影、弱光探测、医疗诊断和生物研究等军民两用领域,得到越来越广泛的应用,为人类精神文明和物质文明的进步,提供了强有力的技术支持。

本书的编著者在我国光学领域享有盛名的西安应用光学研究所长期从事海、陆、空、天及民用光电探测及成像装备的研发工作,在学习继承前人成果的基础上,结合各自相关领域研究、生产与指导研究生教学的实践,形成了自己独特的理解和丰富的体会,使本书具有我国自己鲜明的特色。书的内容是极为广泛和全面的,它涉及 X 射线及短波辐射成像、紫外线成像、可见光成像、微光成像、红外成像、激光成像、遥感成像、高速摄影摄像、光子计数成像和医疗成像等有关现代光电子成像器件和系统技术。全书共十七章,分别介绍上述现代光电子成像技术的系统组成、工作原理、特性参数、测试评价和最新发展动态等。

本书的编写和出版出色地完成了工业和信息化部国防科技工业教育“十一五”(国防特色专著)的规划任务,是在光电子成像领域具有系统性、科学性的一本专著。其主要特色有:

1. 内容涉及面宽,所叙述的对象从浩瀚的星空,到医学 MRI(核磁共振成像);光谱范围涵盖 α 、 β 、 γ 射线,X 射线、紫外、可见、红外直至毫米波;景物照度范围遍及 $10^{-10} \sim 10^6$ lx;景物显现时间从静态图像,到毫秒(ms)—微秒(μ s)—纳秒(ns)—皮秒(ps)—飞秒(fs)之间的动态图像;现代医学成像技术不仅能提供器官的组织形态图像,还有它们的功能,甚至细胞分裂、疾病产生瞬间的分子行为的动态图像。

2. 系统地说明了光电子成像的三种工作模式(直视模式、电视摄像显示模式和物理(生理)参数时空分布可视化重构模式);并从用户需求(目标探测/识别/辨认能力,或目标视距及清晰度)出发,探讨了它们与系统能量传递链、调制传递函

数(MTF)传递链和信噪比传递链之间的关系,为供需双方提供了研发、确认合格光电子成像系统性能时的对话平台和共同语言。

3. 本书撰写思路清晰,内容简明扼要,论证翔实,语言精练,图文并茂,将使读者能从理论和实践的结合上,理解这门高新技术的丰富内涵,并对从事研究、开发、应用各类观察、瞄准、测距、跟踪、制导、告警,测绘以及航天遥感、高速摄影、弱光探测、医疗诊断和生物研究仪器的研究人员,具有重要的实用意义和参考价值,相信他们能从中获得有益的启发和借鉴。

鉴于以上理由,本人极为乐意向有关光电子成像器件及系统研究、学习和应用的大学生、研究生、科研人员、管理人员和大学教师推荐,是为序。

北京理工大学教授

中国工程院院士

周立伟

序

光电子学是一门研究光学、电子的特性及其相互作用的科学,由此产生的光电子技术已经在科学技术、国民经济、社会发展及国防建设中发挥了巨大作用,已渗透到了人类生产、生活的各个方面,真可以说是无孔不入,并且在今后还会发挥更大的作用。在军事方面,光电子技术已经覆盖了侦查、瞄准、通信、跟踪、制导、预警、激光武器和光电对抗等领域。光电子成像是光电子技术中涉及成像的部分。它包含了成像遥感、微光夜视、热成像、高速摄像、图像处理与目标识别等等,在航空航天遥感、深空探测、跟踪制导、夜间战斗及光电对抗等领域有极重要的应用。本书作者应培养国防建设人才的需要,按照国家工业和信息化部国防科技工业教育“十一五”规划的统筹安排,编写了这样一本囊括了光电子成像领域几乎所有分支的洋洋数十万言的概论。它是由在光电子成像技术的研发与应用领域从事很多年卓有成效的研究与教学工作的专家学者,在自己工作成果的基础上参考他人的资料撰写的。本书的光是广义的,不仅包含了红外、紫外,还涉及微波与 γ 射线,即涵盖了从微波到 γ 射线的整个电磁波波段。在叙述了辐射源和固体与真空光电子成像器件之后,着重阐述了各种成像系统的构成、工作原理、特性参数、测试评价方法及应用范围。它在给出本领域各分支入门级历史与发展现状的基础上,重点突出了编著者们自己亲身主持或参与研发及应用过的部分。全书概念清楚,层次分明,图文并茂。本书对于在本领域学习的本科生、研究生是一本难得的参考书。在相关领域从事研究、教学的人员以及对光电子成像技术感兴趣的人们也会从这本书中获得对他们工作有所裨益的知识和有助于他们创新的启发。

主编与作者们能在自己工作十分繁忙的情况下挤出时间撰写这样一本好书,实属难能可贵,特为之序。

中科院西安光学精密机械研究所
研究生、博士生导师
中国科学院院士

侯洵

前 言

光电子学(photoelectronics)是专门研究景物信息载体——光子、光电子或电子/空穴对之间相互转换、增强、处理、发送、接收和显示等物理过程的一门学科,而现代光电子成像技术是光电子学的重要组成部分。它通过一些特殊设计制造的高灵敏度、宽光谱、快响应、大动态范围的光电子成像器件及系统,能弥补或克服人眼在空间、时间、灵敏度和响应波段等方面存在的分辨能力缺陷,把人们天生不能看见或不易看见的微弱光、红外光、紫外光、X光、 γ 光及其他电磁辐射下之静态和动态景物,变为可视光图像,从而成为人类当今获取80%以上外界信息不可或缺的高新技术手段,在观察、瞄准、测距、跟踪、制导、告警、测绘以及航天遥感、高速摄影、弱光探测、医疗诊断和生物研究等军用和民用领域,得到愈来愈广泛的应用,为人类的文明进步和社会发展,做出了重要贡献。另一方面,随着上述应用的深入和科学技术的进步,又为光电子成像技术本身的迅速发展注入了新的活力,促进了它的更新换代。从事这一领域教学、研究、生产和应用的广大科技人员和领导干部对此高新技术倾注了很大的关注,渴望以较少的精力了解相关知识,本书正是顺应这种社会需求,按照国家工业和信息化部国防科技工业教育“十一五”规划的统筹安排,经过申请、评审和公示而决定出版的具有国防特色的专著之一。主要内容涉及辐射源/大气/目标特性、真空及固体光电子成像器件、光学成像系统及光学传递函数(OTF)、图像显示及模拟仿真技术、光机电稳像稳瞄技术、图像工程及处理技术、微光成像技术、红外成像技术、激光成像技术、卫星遥感成像技术、高速摄影摄像技术、光子计数成像技术、医用光电子成像技术等。全书的技术特点是,在评述相关领域最新发展动态及前人突出贡献的基础上,着重阐述各种成像器件及系统的基本构成、工作原理、特性参数、测试评价及应用范围,力求重点突出,层次分明,概念清楚,图文并茂。深信感兴趣的读者会从中得到一些有益的启发和借鉴。

参与本书编著的有中国兵器工业第205研究所的一些研究员级高工、博士生导师、专业研究室主任,以及美国某大学医疗研究中心的博士和教授们。本书是他们在继承前人成果的基础上,结合各自从事20~40年相关领域研究、生产、教学和指导研究生的经验教训而写成的。全书共17章,分别由高教波(第五章、第十章和第十三章)、焦明印(第六章和第九章)、纪明(第十一章)、郭晖(第三章)、陈卫东、李良福(第十七章)和向弘(第十六章)负责各章的编著;向世明负责第一、二、四、七、八、十二、十四及十五章的编著及全书的文字统稿和技术审查。

感谢周立伟院士和侯洵院士分别为本书作序,并提出宝贵意见;感谢王小鹏

(兵器光电学会理事长)在本书编写过程中所给予的关心、支持;衷心感谢被本书引用的一些公式、数据、图表、照片的国内外作者们,是他们的著作给予了我们一定的启发和借鉴;感谢北京理工大学邹异松教授和电子科技大学成建波教授在评审本书过程中所付出的辛勤劳动;感谢兵器工业 205 所人力资源处、发展计划处、第 2 研究室和第 7 研究室领导和同志们的大力帮助。

限于现代光电子成像技术是一门全新的学科,发展速度很快,内涵在不断扩大,加之编著者的水平、能力、接触面及章节篇幅有限,难免有顾此失彼、一叶遮目、不见森林之处,诚恳希望广大读者不吝赐教,给予批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
1.1 光电子成像技术的意义和作用	1
1.1.1 神奇的人眼视觉及其局限性	1
1.1.2 光电子成像系统的物理功能及技术特点	1
1.1.3 光电子成像系统构成、工作原理及工作模式	2
1.1.4 光电子成像器件和显示器件一般原理	3
1.2 光电子成像技术基本科学问题探讨	4
1.2.1 “成像”一词的来源	4
1.2.2 现代光电子成像技术的数理含义	5
1.2.3 现代光电子成像技术基本科学问题诠释	7
1.3 本书的编著思路和技术特点	10
第二章 辐射源、目标及大气特性	12
2.1 引言	12
2.2 辐射源电磁波谱	12
2.3 辐射源特性及其度量	13
2.3.1 辐射源特性	13
2.3.2 辐射度量	14
2.4 辐射源分类	15
2.5 绝对黑体及其基本定律	16
2.5.1 绝对黑体与灰体	16
2.5.2 黑体辐射基本定律	17
2.6 常见的辐射源	18
2.7 激光器原理及其应用	20
2.7.1 激光器工作原理	20
2.7.2 激光器技术特点	21
2.7.3 激光器在光电子成像技术中的应用	22
2.8 辐射能在大气中的传播	22
2.8.1 辐射能在大气中传播的一般规律	23
2.8.2 水平能见度和消光指数	24
2.9 典型目标的辐射和反射特性	26
2.9.1 典型目标的辐射特性	27
2.9.2 典型目标的反射特性	27

2.9.3 水下光学吸收(透射)特性	28
第三章 固体光电子成像器件	29
3.1 引言	29
3.2 固体光电子成像器件分类及性能	30
3.2.1 固体光电子成像器件分类	30
3.2.2 固体光电子成像器件性能参数	32
3.3 红外探测成像器件	33
3.3.1 概述	33
3.3.2 红外成像器件原理结构	35
3.4 CCD、CMOS 成像器件系列	44
3.4.1 概述	44
3.4.2 CCD 典型结构和工作原理	45
3.4.3 CMOS 成像器件典型结构和工作原理	47
3.4.4 EMCCD 典型结构和工作原理	48
3.4.5 ICCD 典型结构和工作原理	49
3.4.6 EBCCD 典型结构和工作原理	49
3.5 短波辐射固体成像器件	51
3.5.1 概述	51
3.5.2 固体紫外(日盲)探测成像器件	51
3.5.3 固体 X 线探测成像器件	51
3.5.4 固体 γ 线探测成像器件	53
3.5.5 EB—MAMA 多阳极阵列探测成像器件	54
第四章 真空光电子成像器件	55
4.1 引言	55
4.2 真空光电子成像器件技术发展动态	56
4.3 真空光电子成像功能部件物理基础	57
4.3.1 半导体外光电效应和光阴极	57
4.3.2 光电倍增管和微通道板电子倍增原理	59
4.3.3 光纤光学成像元件	61
4.3.4 电致发光显示器件——荧光屏	62
4.3.5 电子光学透镜成像原理	63
4.4 真空光电子成像器件原理、功能和结构	65
4.4.1 真空光电子成像器件工作原理	65
4.4.2 真空光电子成像器件四大功能	66
4.4.3 真空光电子成像器件典型结构	66
4.5 真空光电子成像器件特性参数	69
4.5.1 真空光电子成像器件特性参数分类	69

4.5.2 真空光电子成像器件特性参数	70
4.6 双近贴聚焦像增强器(WII)极限性能估算	72
4.6.1 WII 极限灵敏度估算	72
4.6.2 WII 极限分辨率估算	73
4.6.3 WII 极限信噪比估算	73
第五章 图像显示技术	75
5.1 引言	75
5.1.1 图像显示系统组成及功能	75
5.1.2 显示器技术发展动态	77
5.2 图像显示器特性参数和性能评价	78
5.2.1 图像显示器特性参数	78
5.2.2 图像显示器性能评价	79
5.3 液晶显示技术	81
5.3.1 液晶显示器基本工作原理	81
5.3.2 微型液晶显示技术	82
5.3.3 LCoS 工作原理	83
5.3.4 LCoS 的优点	84
5.4 液晶光阀投影显示技术	86
5.4.1 液晶光阀	86
5.4.2 光寻址方式液晶光阀用途	87
5.4.3 大屏幕投影显示应用系统	87
5.5 立体显示技术	88
5.5.1 高现场感显示与空间成像型显示器	88
5.5.2 空间成像型显示方式的分类与问题	89
5.6 数字式微反射镜显示(DMD)技术	90
5.6.1 数字式微反射镜器件	90
5.6.2 DMD 光开关原理	91
5.6.3 DMD 数字化光处理器(DLP)	91
5.6.4 数字化光处理的技术特征	92
5.6.5 数字化光处理系统	92
5.7 阴极射线管(CRT)显示技术	93
5.7.1 CRT 显示原理	93
5.7.2 CRT 的典型结构与工作原理	94
5.8 等离子体显示(PDP)技术	94
5.8.1 彩色 PDP 结构及工作原理	94
5.8.2 PDP 显示器的应用和前景	96
5.9 有机发光薄膜二极管显示(OLED)技术	96
5.9.1 OLED 结构及工作原理	96

5.9.2	有机发光二极管(OLED)优点	97
5.9.3	OLED 应用及发展动态	98
5.10	大屏幕显示技术	99
5.10.1	球幕多光谱显示技术	99
5.10.2	LED 大屏幕显示技术	99
第六章	光学成像系统和光学传递函数	101
6.1	引言	101
6.2	几何光学概述	101
6.2.1	几何光学的有效性及其基本定律	101
6.2.2	光学系统成像的几何光学理论	103
6.2.3	理想光学系统及其物像关系	103
6.2.4	平面镜棱镜系统的成像特点及其应用	104
6.3	几何像差理论简介	107
6.4	光学薄膜技术简介	109
6.4.1	功能特点及应用背景	109
6.4.2	光学系统用的特种薄膜	110
6.5	几种典型光学系统	112
6.5.1	微光夜视光学系统	112
6.5.2	红外光学系统	114
6.6	光学传递函数 OTF	118
6.6.1	概述	118
6.6.2	光学传递函数原理	118
6.6.3	光学传递函数的物理意义	119
6.6.4	光学传递函数的计算	120
6.7	光学成像技术的最新发展	121
6.7.1	二元光学元件工作原理和制作方法	122
6.7.2	热像仪折衍射混合物镜光学系统	125
6.7.3	环境温度补偿折衍混合红外光学系统	125
6.7.4	数字化、网络化设备中的微光学元器件	126
第七章	光电子成像系统总体性能评价和分析	128
7.1	引言	128
7.2	人眼的视觉特性	129
7.2.1	神奇的人眼视觉及其局限性	129
7.2.2	人眼视觉三要素	130
7.2.3	人眼视觉光谱灵敏度分布	131
7.2.4	人眼视觉对比灵敏度与景物亮度的关系	131
7.3	系统能量链评价方法	133

7.3.1 系统能量传递链	133
7.3.2 系统能量传递链评价法	134
7.4 PEI 系统 MTF 传递链评价方法	136
7.4.1 理论基础	137
7.4.2 MTF(分辨率)传递链中几个物理参数间的关系	138
7.4.3 PEI 系统 MTF(分辨率)传递链评价法	140
7.5 PEI 系统信噪比传递链评价方法	142
7.5.1 理论依据	142
7.5.2 光子数噪声限制下 PEI 系统极限视觉探测方程	143
7.5.3 PEI 系统信噪比传递链评价法	145
7.6 PEI 系统信息链评价法	147
7.7 一种估算 PEI 系统目标捕获性能的简便方法	147
7.7.1 影响 PEI 系统目标捕获性能的主要参数	148
7.7.2 PEI 系统目标捕获性能简便算法	149
7.8 稳像稳瞄条件下 PEI 系统评价法举例	151
第八章 微光夜视技术	155
8.1 引言	155
8.2 微光夜视技术发展动态及趋势	157
8.3 微光夜视光学系统	158
8.3.1 微光物镜系统	158
8.3.2 微光目镜和中继透镜	159
8.3.3 夜视辅助照明光学系统	160
8.4 像增强器用门控高压电源	160
8.4.1 功能及要求	160
8.4.2 像管门控电路框图和工作原理	160
8.5 微光夜视系统总体设计和性能评价	161
8.5.1 微光夜视系统常规参数的确定	161
8.5.2 光子数受限条件下微光夜视系统的极限分辨能力	163
8.5.3 微光夜视系统总体极限性能图解分析	165
8.6 先进微光夜视技术点评	167
8.6.1 四代微光夜视图像质量	167
8.6.2 远距离激光微光选通成像技术	167
8.6.3 先进门控电源在夜视仪昼夜兼容工作中的作用	168
8.6.4 $100^{\circ} \times 40^{\circ}$ 宽视场微光夜视眼镜	168
8.6.5 微光/红外图像融合夜视系统	168
8.6.6 微光图像实时处理技术	169
8.6.7 微光夜视头盔网络化技术	170

第九章 红外热成像技术	172
9.1 引言	172
9.2 红外成像技术基本原理	173
9.3 红外成像系统的特性参数	174
9.3.1 红外光学机械系统性能参数	174
9.3.2 红外探测器主要性能参数	174
9.3.3 红外热像仪总体性能参数	175
9.4 红外成像系统典型结构和技术特点	177
9.4.1 光学机械扫描热像仪	177
9.4.2 焦平面热像仪	180
9.4.3 非制冷热象仪(UFPA)	181
9.5 制导用红外成像系统典型结构和技术特点	182
9.5.1 成像跟踪制导系统组成及工作原理	183
9.5.2 红外成像跟踪制导系统典型结构和技术特点	183
9.6 热成像系统总体性能评价	185
9.6.1 热像仪目标辨识 Johnson 判则和作用距离	185
9.6.2 热成像系统的视距及其评价方法概述	186
9.6.3 热像仪视距“极限加折扣评价法”	187
9.6.4 热像仪视距“基于 MRTD 评价法”	189
9.6.5 热像仪对点源目标视距之估算	193
第十章 激光成像技术	196
10.1 引言	196
10.2 激光雷达成像技术	197
10.2.1 激光雷达成像系统分类	198
10.2.2 激光雷达成像系统组成、基本原理及性能评价	198
10.2.3 激光雷达成像系统性能评估	202
10.3 机载激光雷达成像系统	204
10.3.1 机载 Lidar-IS 组成及功能	206
10.3.2 机载 Lidar-IS 探雷系统(ALMDS)	207
10.3.3 机载激光雷达快速灭雷系统(RAMCS)	209
10.4 多波段条纹管激光成像技术	211
10.4.1 条纹像管激光成像工作原理	211
10.4.2 条纹像管多波段激光成像	212
10.5 蓝绿激光/微光选通水下成像技术	214
10.5.1 需求背景及工作原理	214
10.5.2 水下激光/微光选通成像技术特点和总体性能评估	215
10.5.3 水下激光/微光选通成像系统实验效果举例	215

10.5.4 导弹制导用激光/面阵探测器选通成像系统	216
10.6 激光全息三维成像技术	217
10.6.1 技术内涵和特点	217
10.6.2 应用领域	218
10.6.3 激光全息成像原理说明	219
10.7 激光显示与激光存储技术	220
10.7.1 概述	220
10.7.2 大屏幕激光投影仪工作原理	222
10.7.3 微型激光投影机工作原理	223
10.7.4 医用激光—荧光显示板	223
10.7.5 激光照相机工作原理	224
10.7.6 激光打印机工作原理	224
10.7.7 DVD 光盘的刻录与播放工作原理	225
第十一章 光电稳定与跟踪技术	226
11.1 引言	226
11.2 光电稳定跟踪技术的内涵及应用	226
11.2.1 光电稳定跟踪技术的内涵	226
11.2.2 光电稳定跟踪技术的应用	228
11.3 光电稳定跟踪系统基本组成与工作原理	229
11.3.1 稳瞄系统基本组成	229
11.3.2 瞄准线稳定原理	230
11.3.3 反射镜稳定原理	231
11.3.4 平台整体稳定原理	233
11.3.5 组合稳定原理	235
11.4 光电稳定跟踪系统主要特性参数	236
11.4.1 主要系统特性参数	236
11.4.2 光电传感器主要特性参数	237
11.5 影响稳定跟踪系统精度的制约因素	237
11.5.1 稳定精度制约因素分析	238
11.5.2 跟踪精度制约因素分析	240
11.6 光电稳定跟踪系统核心控制元件——陀螺仪	241
11.6.1 陀螺仪的发展与分类	241
11.6.2 陀螺仪的基本特性	242
11.6.3 二自由度陀螺仪的技术方程与传递函数	243
11.6.4 几种常用陀螺仪简介	245
11.6.5 陀螺仪的选取	248
11.7 稳定跟踪伺服系统设计	249
11.7.1 稳定跟踪伺服系统的基本技术要求	249

11.7.2	稳定跟踪伺服系统的特点	251
11.7.3	稳定跟踪伺服系统设计	252
11.8	光电稳定与跟踪系统实例简介	256
11.9	光电稳定跟踪系统技术展望	257
第十二章	遥感光电子成像技术	259
12.1	引言	259
12.2	遥感成像技术发展动态和趋势	260
12.2.1	遥感技术发展历史回顾	260
12.2.2	遥感成像技术发展趋势	262
12.3	遥感成像技术分类、工作原理及特性参数	263
12.3.1	遥感光电子成像技术分类	263
12.3.2	遥感成像系统一般工作原理	264
12.3.3	遥感成像系统特性参数	265
12.4	摄影型遥感成像技术	266
12.4.1	功能及特点	266
12.4.2	典型结构及工作模式	267
12.5	CCD 及 ICCD 遥感成像技术	268
12.5.1	功能及特点	268
12.5.2	扫描式 CCD 可见光遥感成像系统	269
12.5.3	星载/机载紫外日盲光阴极 ICCD 导弹告警系统	270
12.5.4	机载蓝绿激光/微光 ICCD 选通成像探雷探潜系统	271
12.5.5	深空 γ 线遥感探测成像系统	272
12.6	红外遥感成像及成像光谱技术	273
12.6.1	功能及特点	273
12.6.2	传统红外遥感成像技术	274
12.6.3	遥感成像光谱技术	275
12.6.4	遥感三维成像技术	277
12.7	微波遥感成像技术	278
12.7.1	功能及特点	278
12.7.2	微波在介质中的传输属性	279
12.7.3	微波真实孔径雷达成像	282
12.7.4	微波合成孔径雷达成像	285
第十三章	光电成像系统建模仿真评估技术	289
13.1	引言	289
13.2	系统建模仿真技术	289
13.2.1	系统的概念、建模及其分类	289
13.2.2	系统仿真的一般过程与步骤	293