

现代电子信息技术丛书

光电子技术

(第2版)

—— 信息化武器装备的新天地

主编 梅遂生 副主编 王戎瑞



国防工业出版社
National Defense Industry Press

现代电子信息技术丛书

光电子技术 (第2版)

——信息化武器装备的新天地

主 编 梅遂生
副主编 王戎瑞



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共 15 章,其内容比第 1 版有较大扩充。主要包括光电子技术发展简史、作用、地位及其应用和发展趋势;激光器和重要的单元技术及其应用;激光雷达单元技术和系统性能及其应用;红外探测技术和应用,特别重点介绍了当前成为红外探测器主流的红外焦平面阵列技术;红外热成像的单元技术和系统性能及其应用;可见光 CCD、CMOS 成像器件和微光夜视器件及其应用;紫外探测器及其应用;多光谱成像技术及其应用;光电子技术在侦察、监视和预警等军事方面的应用;激光、红外和电视制导技术及其军事应用;光电火控的单元技术和性能及其军事应用;光纤、光缆和光无源器件及其应用;液晶显示、等离子体显示、场致发射显示和数字微镜显示等平板显示器件及其应用;光盘存储器及其应用;集成光路和光电子集成技术。

读者对象:具有中专以上文化程度、从事电子信息技术的科技人员和管理干部阅读,也可作为大学相关专业教学的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

光电子技术 / 梅遂生主编. —2 版. —北京:国防工业出版社,2008.1

(现代电子信息技术丛书)

ISBN 978-7-118-05147-6

I. 光... II. 梅... III. 光电子技术 IV. TN2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 060556 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)

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 31 字数 773 千字

2008 年 1 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 156.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《现代电子信息技术丛书》

编 审 委 员 会

名 誉 主 任	陈炳德					
主 任	李安东					
常务副主任	童志鹏	张 弛	王志刚			
副 主 任	刘成海	王小谟	熊群力	王 峰	许建峰	
	程洪彬					
委 员	蔡 镛	彭华良	王 政	毕克允	夏乃伟	
	张光义	刘 兴	雷 厉	张冬辰	黄月江	
	李 跃	胡爱民	范茂军	瞿兆荣	张学孝	
	李立功	梅遂生	廖复疆	程辉明	骆光明	
	汪继强	许西安	陈 洁			

总 编 委

总 编	童志鹏	
副 总 编	王晓光	
委 员	张雅丽	线珊珊

《光电子技术》(第2版)

主 任 韩建忠

副 主 任 杨定江

主 编 梅遂生

副 主 编 王戎瑞

编著人员 (按姓氏笔画排序)

刘永智 朱昌昌 安毓英 张冬燕 张孝霖

陈世达 陈向真 钟声远 钟荣焕 袁继俊

贾惠波 彭焕良 雷亚贵

Preface

序

《现代电子信息技术丛书》(以下简称《丛书》)自1999年首次出版,至今已8年了。《丛书》综合地反映了20世纪90年代电子信息技术的发展,受到广大科技工作者、大专院校师生和部队官兵的欢迎。进入新世纪以来,鉴于国内外电子信息的飞速发展,世界与局部形势发生了许多新的变化,电子信息技术循着摩尔定律预计的发展速度得到了持续的增长与进步。我国电子信息技术不论在基础层次还是在系统层次也取得了许多世界先进的成果,例如突破了纳米级的金属氧化物场效应器件(MOSFET)的设计与制造技术,研制成功了数十万亿次运算速度的巨型计算机,实现了计算栅格的研制与试验,成功地开发出世界级的第三代数字蜂窝移动通信系统,研制出空中预警与控制机系统和区域级一体化综合电子信息系统等。国际上,美国等发达国家在电子信息技术发展上处于领先地位,成功地研制出45nm的微处理器并进行批量生产,正向20nm及以下迈进。美国启动了从工业时代到信息时代的军事转型,提出从平台中心战(PCW)向网络中心战(NCW)的转型,并以全球信息栅格(GIG)为基础。GIG是美国所构想的、正在研发的国防信息基础设施,预计在2015年可形成初始作战能力。它以面向服务的结构(SOA)为体系构架,向联网的实体提供成套的、安全的信息服务与电信服务,以加强信息共享、决策优势与异构协同。GIG包括多模态数据的传递媒介,如陆上电路、空间单元和无线电台等,其所组成的互联网络可动态地、透明地将信息从发源处路由至目的地。以GIG为依托,美国军队加速向网络中心化演进,如陆军的未来战斗系统(FCS),海军的兵力网(Forcenet),空军的指挥控制星座(C² constellation)等。这里涉及十分巨大(Herculean)的技术挑战,必须通过从基础到系统的多层次创新和突破,才能在未来有限的时间内实现超越前15年Web网发明以来的发展。凡此种种,都是我们在编著《丛书》第1版时只能预测而无法探知的。然而今日,这些高新技术的面貌已逐渐清晰并迅速渗入人们的生活和竞争。这使《丛书》的作者们意识到进行再一次创作的必要性;同时,热心的读者们也期盼我们能及时对第1版进行

修改以便与时俱进。

基于以上原因,在各级领导机关的大力支持下,《丛书》各分册的原作者与新分册的新作者们在从事繁重业务工作的同时,废寝忘食、辛勤耕耘,对《丛书》各分册进行了精心修订、编撰,为第2版的问世做出了卓越的贡献。我谨代表《丛书》编审委员会向他们致以衷心的感谢与感谢。

第2版承袭了第1版的编写宗旨、编写特色及服务对象。在维持原结构不变的基础上,对内容进行了大幅度更新,并明显加大了军事科技的比重,增、删了7个分册,总册数由17分册变为18分册,总字数由800万字增加到1400万字。新版《丛书》仍以先进的综合电子信息系统为龙头,分层次、全方位地介绍各项先进信息技术,具体包括以下分册:

系统性技术分册

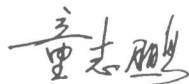
- 综合电子信息系统(第2版)
- 综合电子战(第2版)
- 侦察与监视
- 军事通信(第2版)
- 雷达与探测(第2版)
- 数据链
- 导航与定位(第2版)
- 计算机技术(第2版)
- 计算机软件技术(第2版)
- 信息安全与保密(第2版)

基础性技术分册

- 微电子技术(第2版)
- 光电子技术(第2版)
- 真空电子技术(第2版)
- 传感器技术
- 微声电子器件
- 化学与物理电源(第2版)
- 现代电子测试技术(第2版)
- 先进电子制造技术(第2版)

这两个系统分别从横向、纵向对众多先进的信息技术形成了有机的集成。

《丛书》的编写出版得到总装备部、中国电子科技集团公司及其有关研究所的领导的大力支持,得到国防工业出版社领导及编辑们的积极推动与努力,谨对他们表示由衷的感谢。



2007年8月26日

Preface

第1版序

信息技术是一个复杂的多层次多专业的技术体系,粗略地可以分为系统和基础两个层次。属于系统层的一般按功能分,如信息获取、通信、处理、控制、对抗(简称为5C技术,即Collection, Communication, Computing, Control, Countermeasure五个词的第一个字母)等;基础层技术一般按专业分,如微电子、光电子、微波真空电子等。

信息技术革命的火炬是由微电子技术革命点燃的,它促进了计算机技术、通信技术及其他电子信息技术的更新换代,迄今,尚未有尽期。信息技术革命推动产业革命,使人类社会经历了农业、工业社会后进入了信息社会。

大规模集成电路的集成度是微电子技术革命的重要标志,它遵循摩尔(Moore)定律,每18个月翻一番,预计可延伸到2010年。届时,每个芯片可包含100亿(10^{10})个元件,面积可达到 10cm^2 ,作为动态存储器的存储量可达64Gb(吉比特),接近理论极限 10^{11} 个元件和256Gb存储量。微处理器芯片的运算速度每5年提高一个数量级,到本世纪末,每个芯片运算速度可达10~100亿次每秒,有人认为,实现2000亿次的单片微处理器在技术上是可能的。与此相适应,每芯片比特存储量与每MIPS(兆指令每秒)运算量的成本将呈指数式下降,现在一个100兆指令/s专用数字信号处理芯片只售5美元。如果飞机的价格也像微电子那样呈指数式下降的话,70年代初买1块比萨饼的费用在90年代就可以买1架波音747客机。3年内1部电话机将只用1块芯片,5年内1台PC机的全部功能可在1个芯片上实现,6年内1部ATM交换机的核心功能也可用1个单片完成。由于微处理器芯片价格持续不断地下降,构成了它广泛应用的基础。现在,在一般家庭、汽车和办公室中,就有100多个微处理器在工作,不仅是PC机,而且在电话机、移动电话机、电视机、洗衣机、烘干机、立体声音响、家庭影院中也有。1辆高档汽车中包含20多种可编程微处理器,1架波音777客机含有100多万行的计算机程序代码。

通信技术的进步还得力于光子技术的进步。光通信速率(比

特每秒)每两年翻一番,现在实验室中已可做到 10^{12} b/s,即可将全世界可能传输的全部通信量于同一时刻内在 1 根光纤中传送,或相当于 1s 内传输 1000 份 30 卷的百科全书。通信速率的提高和通信容量的增大,使光通信成本也不断降低,与 80 年代相比,降低了两个数量级。

因特网是全球信息基础设施的雏形,其发展速度惊人。现在每 0.4s 增加一个用户,每 4min 增加一个网络。1996 年联网数大于 10 万,联网主机数大于 1000 万,用户数大于 7000 万(预计到本世纪末,将大于 2 亿),PC 机总量将达 5 亿,联网主机达 3000 万,信息量每 5 年翻一番。越来越多的公司、团体、机关、个人通过信息网络相互联接,其应用范围从单纯的电子函件通信扩大到远程合作(包括教育、诊断、办公、会议、协作等)、按需点播、多媒体文娱、电子商务、银行、支付等,人类社会生存与发展的另一维空间,即信息空间或称为赛博空间(Cyber-space)正在形成。如果说工业社会是建筑在汽车与高速公路上的话,信息社会则是建筑在信息与信息高速公路上的。政府、军队、经济、金融、电力、交通、电信等关键部门都要依赖于信息基础设施的正常运行。信息技术和信息产业的水平已成为综合国力的重要标志,也是国际竞争力的焦点与热点。

信息技术的飞跃发展及其渗透到各行各业的广泛应用,不仅推动了产业革命,而且也深刻地改变了人们的工作、学习和生活的方式。信息技术不仅扩展了人的视觉、听觉等感知能力,而且还渗透到思维领域,减轻或部分地替代人的脑力劳动,提高思维的效率和质量,实现人的思维能力的延伸,增强人的认知能力。信息作为事物的属性与相互关系的状态的表达是客观存在的,但不是显在的,很多是潜在的,有的是深埋的,有待挖掘与提炼。信息技术大大地丰富了信息采集的内容,提高了信息处理的能力,为人们对客观事物及其规律的认识提供了创新的工具,也为人们正确认识与有效改造主观世界和客观世界提供了源泉,将使社会的物质文明与精神文明建设得到极大的发展。

信息、能源与物质是人类社会赖以生存与发展的三大支柱。在信息社会中,信息是最重要的支柱和最重要的产业,它影响着其他两个支柱的健康发展,包括生产、传输、分配、运行、减少损耗、改善管理、提高效率、降低成本等等;同时,它还能不断地培育与发展新物质和新能源的发明与生产,不断地改善生态环境,从而使人类社会进入可持续发展的健康轨道。

信息革命在带动产业革命的同时也带动军事革命,使得军事技术、武器装备、作战思想、作战方式、战争形态、军事原则、军事条令与部队编成等都将发生深刻的变化。如果农业社会是冷兵器时代,工业社会是热兵器时代,那么信息社会则是信息兵器时代。信息、信息系统与信息化平台、武器与弹药成为战场上的主战兵器。信息优势成为传统的陆地、海洋、空中、空间优势以外的新的争夺领域,并深刻地制约着传统领域的战斗胜负,从而构成信息化战争的新形态。在这种战争中,战争胜负决定于敌对双方掌握信息与信息技术的广度与深度。信息不仅是兵力倍增器,它本身就是武器和目标,是双方必争的制高点。1991 年初的海湾战争,被称为硅片战胜钢铁的战争,即源于这样的认识。它开启了赛博空间战、网络战、信息战等簇新的作战方式。

以信息优势为核心的军事革命是建筑在先进的指挥、控制、通信、计算机、情报、监视、侦察及其一体化的信息战能力的基础上的,这个众系之系(系统的系统)我国称为综合电子信息系统,与美军后来提出的 C^4 ISR/IW 相当,它由以下 6 部分组成。

1. 鲁棒的多探测器信息栅格网络。为作战部队提供作战空间感知优势。
2. 先进的指挥控制与作战管理栅格网络。为部队提供作战的先期规划、胜敌一筹的作战部署,执行作战指挥控制与一体化兵力管理能力。
3. 从探测器到射击器的栅格网络。为部队提供精确制导武器的动态目标管理、分配与

引导,协同作战,一体化防空,快速战损评估和再打击能力。

4. 联合的通信、导航与定位栅格网络。提供可靠、安全、大容量与高精度的信息,以支持部队的机动行动,确保全面优势。

5. 信息进攻能力。采取侵入、操纵与扰乱等手段,阻碍敌人作战空间感知、认知与有效用兵能力。

6. 信息防护能力。保证我方信息系统的安全,防护敌方对我信息网络的利用、干扰和破坏。

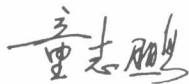
这个系统的系统涉及众多先进的信息技术的横向与纵向的有机集成,它包括雷达和光电的有源与无源探测技术、有线和无线及固定和移动通信技术、计算机硬件和软件技术、精确导航定位技术、航天航空测控技术、信息安全保密技术、电子战技术等横向专业技术的集成;也涉及微电子技术、光子与光电子技术、真空电子技术、压电与传感器技术等先进元器件技术,电子材料技术、电源技术、测试技术、先进制造技术等纵向基础技术的集成。当代军事革命要求在创新的军事思想指引下,发展有层次多专业的纵横集成的信息技术;同时,又要求在先进的信息技术驱动下,培育与发展新的军事思想,并在此基础上推动作战原则、军事条令与部队编成的变革,形成军事革命与信息革命的有机结合。

我们正处于世纪之交,党的第十五次代表大会的胜利召开,启动了有中国特色的社会主义事业在邓小平理论的指引下全面进入 21 世纪。我国的国防与军队现代化建设的跨世纪历史进程已经开始。为了适应军事革命环境下的高新技术军事斗争的需要,我军必须拥有信息优势,必须拥有以先进的综合电子信息系统为基础结构的性能优良的武器装备,必须提高部队素质,把人才培养推上新的台阶。

江泽民总书记非常重视人才的培养,他多次指示,要用高新技术知识武装全军头脑。在未来的信息化战场上,知识将成为战斗力的主导因素,敌对双方的较量将更突出地表现为高素质人才的较量。本丛书的编写出版就是为贯彻这个伟大号召提供系统基础知识。全书以先进的综合电子信息系统为龙头,多层次、全方位地介绍相关的各项先进信息技术,既包括系统技术,也包括基础技术,共 17 个方面,荟萃成 17 个分册。丛书的编写以普及先进信息技术知识为目标,以中专以上文化程度,从事军、民用电子信息技术有关业务的技术人员和管理干部为主要对象,努力做到深入浅出,雅俗共赏,图文并茂,引人入胜,文字简练,语言流畅,学术严谨,论述准确,使其具有可读性、可用性、先进性、系统性与权威性。参加丛书各分册撰写的作者都是长期从事现代信息技术研究与发展的专家,他们在繁重的业务工作的同时,废寝忘食,长期放弃节假日的休息,辛勤耕耘,鞠躬尽瘁,为本丛书做出了卓越的贡献。他们以自己的模范行动,“努力成为先进思想的传播者、科学技术的开拓者、‘四有’公民的培育者和优秀精神产品的生产者”。我谨代表总编委向他们致以衷心的敬意!

本丛书的编写出版得到原国防科工委与原电子工业部领导的大力支持,得到国防工业出版社领导及责任编辑们的积极推动与努力,借此之机,向他们表示由衷的感谢!

中国工程院院士
原电子工业部科技委常务副主任



Preface

前言

光电子技术是光学同电子技术相结合的产物,20 世纪 60 年代以来发展十分迅速,在信息的获取、传输、处理和显示等方面表现出卓越的功能和巨大的潜力,已成为现代电子信息技术的主要组成部分之一;特别是在历次高技术局部战争中,发挥了越来越大的作用。本书第 1 版就光电子技术及其各个分支技术的基本内容作了比较全面的介绍,受到广大读者的欢迎。

由于光电子技术发展迅猛,特别是在军事技术应用方面,本书第 1 版的内容已经落后于需要。因此,在编写第 2 版时,我们增补了光电子技术 20 世纪末以来的新进展,并着重补充了军用技术内容,有的补充在第 1 版原有章节之中,较重要的或跨分支技术的内容则抽出来单独成章。本书的规模从第 1 版的 8 章扩展为 15 章。

各章的标题和作者为:第 1 章,光电子技术概论,梅遂生;第 2 章,激光技术,安毓英(西安电子科技大学);第 3 章,激光雷达技术,钟声远;第 4 章,红外探测技术,袁继俊;第 5 章,红外热成像技术,彭焕良;第 6 章,可见光成像技术,陈世达;第 7 章,紫外探测技术,陈世达;第 8 章,多光谱成像技术,钟荣焕;第 9 章,光电侦察监视与预警技术,张孝霖;第 10 章,光电制导技术,王戎瑞、雷亚贵;第 11 章,光电火控技术,钟声远、王戎瑞;第 12 章,光纤技术,刘永智(电子科技大学);第 13 章,平板显示器技术,朱昌昌、陈向真(中国电子科技集团公司第五十五研究所);第 14 章,光存储技术,贾惠波(清华大学);第 15 章,集成光路和光电子集成技术,刘永智(电子科技大学)。以上未注明单位的作者均为中国电子科技集团公司第十一研究所人员。

在编写中,作者力求文字叙述正确而又通俗易懂;应用方面以军事为主,兼顾民用;重要的军事应用以典型装备为例进行说明;章节之间注意衔接呼应而避免过多重复;名词术语按国家标准又适当照顾业内习惯用法。由于参考资料来源分散,不便一一列出,只列出了主要参考文献,尚希原谅。

本书的编写出版工作得到中国电子集团公司第十一研究所领导

和国防工业出版社编辑的指导和大力支持;各章作者在百忙之中抽出时间,精心撰稿和反复修改,编审工作人员悉心加工和仔细校对,保证了文稿质量。我们在此谨表衷心感谢!

我们希望这本书能对读者了解光电子技术有所帮助,并热忱欢迎对不妥之处提出批评和指正。

梅遂生 王戎瑞

Preface

第1版前言

本书是《现代电子信息技术丛书》的一个分册,主要介绍各类光电子器件的基本原理、结构、特点及其应用技术,其中包括军事光电电子技术。

光电子技术是电子技术的一个分支,是近 30 多年迅速发展起来的一门综合性的新兴技术,也是迈向 21 世纪的信息技术的一个重要组成部分。它涉及电磁波谱的光波段 1mm 至 10nm (频率为 3×10^{11} Hz 至 3×10^{16} Hz),即红外线、可见光、紫外线和软 X 射线部分的电磁辐射。这个波段的开拓为电子信息技术的发展提供了一个崭新的广阔天地。

本书包括以下内容:光电子技术概论,激光技术,红外技术,CCD 成像技术,光纤技术,平板显示技术,光存储技术,集成光路和光电子集成技术。

在社会信息化和武器装备现代化的推动下,光电子技术的百花园里新概念不断涌现,新器件、新技术层出不穷,呈现一派兴旺景象。现代化高技术战争离不开信息,信息离不开光电子技术。即将来临的 21 世纪是信息化的世纪,光电子技术在这样的时代中必将大显身手。

本书受原电子工业部电子科学研究院委托,由电子工业部第十一研究所负责组织编写。这期间得到电子科技大学、西安电子科技大学、清华大学、电子工业部第四十四研究所、电子工业部第五十五研究所的支持,谨向他们致以衷心的感谢!参与本书撰写和编辑工作的人员有:梅遂生任主编并编写第一章,杨家德任副主编并参与第四章的编写,王戎瑞任常务编辑,安毓英编写第二章,袁继俊、陈世达和张孝霖编写第三章,孙克昌编写第四章,刘永智编写第五章和第八章,朱昌昌编写第六章,贾惠波编写第七章。

由于写作经验不足,本书的结构与内容可能有不妥或谬误之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

Contents

目 录

第 1 章 光电子技术概论	1
1.1 引言	1
1.1.1 光波段的电子技术	1
1.1.2 光电子技术发展简史	1
1.1.3 光电子技术的范围	4
1.2 光电子技术的特点、地位与作用	4
1.2.1 光电子技术的特点	4
1.2.2 光电子技术是信息社会的支柱技术	9
1.2.3 光电子技术是高技术战争的重要支柱	12
1.3 光电子技术发展展望	16
1.3.1 光电子技术已成为信息时代的支柱	16
1.3.2 光电子器件的发展趋势	16
1.3.3 光电子技术应用的发展趋势	17
第 2 章 激光技术	19
2.1 引言	19
2.1.1 20 世纪重大发明之一	19
2.1.2 光波参量	20
2.1.3 难以驾驭的光波	21
2.1.4 自发辐射光和受激辐射光	22
2.1.5 激光产生的基本原理	23
2.1.6 激光束的特点	30
2.2 常用激光器	32
2.2.1 固体激光器	32
2.2.2 气体激光器	37
2.2.3 染料激光器	38

2.2.4	半导体激光器	39
2.2.5	其他激光器	41
	2.3 实用激光单元技术	42
2.3.1	激光选模技术	42
2.3.2	激光调谐技术	43
2.3.3	激光稳频技术	45
2.3.4	激光 Q 开关技术	46
2.3.5	激光放大技术	48
2.3.6	激光调制技术	48
2.3.7	激光偏转技术	51
2.3.8	激光变频技术	52
2.3.9	激光锁模技术	53
2.3.10	激光束整形技术	53
	2.4 激光大气传输	54
2.4.1	传输衰减和传输窗口	54
2.4.2	大气湍流效应	55
	2.5 激光探测技术	55
2.5.1	点探测器	55
2.5.2	像探测器	56
2.5.3	直接探测技术	57
2.5.4	外差探测技术	57
	2.6 激光应用	58
2.6.1	激光通信	58
2.6.2	激光测距	60
2.6.3	激光雷达	61
2.6.4	激光制导	62
2.6.5	激光导航	63
2.6.6	激光武器和激光对抗	65
2.6.7	激光战术模拟	67
2.6.8	激光与能源	68
2.6.9	激光在国民经济中的应用	69
	2.7 展望	73
2.7.1	激光器的发展动向	73
2.7.2	军用激光技术的新动向	74
	参考文献	74
第3章	激光雷达技术	75
	3.1 引言	75

3.1.1	激光雷达的特点	75
3.1.2	激光雷达发展史	76
3.1.3	激光雷达分类	76
	3.2 激光雷达组成及原理	76
3.2.1	激光雷达组成	76
3.2.2	激光雷达工作基本原理	77
	3.3 激光的大气传输特性	78
3.3.1	水平能见度	79
3.3.2	水平大气透射率	80
3.3.3	斜程大气透射率	80
3.3.4	大气湍流效应	81
	3.4 光学系统	82
3.4.1	发射光学系统	82
3.4.2	接收光学系统	82
	3.5 激光探测技术	82
3.5.1	直接探测技术	83
3.5.2	外差探测技术	83
3.5.3	激光探测器	84
	3.6 目标特性	85
3.6.1	反射特性	85
3.6.2	目标反射率	85
3.6.3	光学角反射器	86
3.6.4	玻璃微珠反射带	86
3.6.5	目标激光雷达横截面	87
	3.7 激光测距技术	87
3.7.1	脉冲激光测距技术	87
3.7.2	相位激光测距技术	90
	3.8 激光自动跟踪技术	91
3.8.1	激光跟踪原理	91
3.8.2	跟踪精度	92
	3.9 激光雷达的应用	92
3.9.1	靶场测量	92
3.9.2	空间交会测量	93
3.9.3	综合火控	93
3.9.4	远程预警、精密跟踪、瞄准和识别	93
3.9.5	直升机防撞	94
3.9.6	精确制导	94

3.9.7 侦毒和化学战剂监测	94
3.9.8 局部风场测量	94
3.9.9 水下目标探测	94
❑ 3.10 展望	95
❑ 参考文献	95
第4章 红外探测技术	96
❑ 4.1 引言	96
❑ 4.2 红外线	97
4.2.1 红外线也是电磁波	97
4.2.2 红外线的产生	97
4.2.3 红外线的传播	97
4.2.4 红外辐射与红外吸收	98
❑ 4.3 红外探测器和探测器组件	99
4.3.1 红外探测器原理和分类	99
4.3.2 热探测器	101
4.3.3 红外光子探测器	102
4.3.4 红外探测器参数和性能	107
4.3.5 红外探测器组件	108
❑ 4.4 红外焦平面阵列	113
4.4.1 新一代红外探测器——IRFPA	113
4.4.2 扫描型和凝视型 IRFPA	116
4.4.3 红外焦平面阵列结构	117
4.4.4 焦平面阵列的信号采集和传输处理	119
4.4.5 焦平面阵列的质量评价	122
4.4.6 典型红外焦平面阵列举例	123
❑ 4.5 红外技术应用	131
4.5.1 黑夜也能看得见景物的红外仪器	132
4.5.2 非成像红外系统	134
4.5.3 红外热成像系统	135
4.5.4 常用的红外波段	135
4.5.5 目标和背景特性分析	135
4.5.6 红外军事应用举例	138
4.5.7 红外技术在国民经济和生活中的应用	145
❑ 4.6 展望	148
❑ 参考文献	149