

机载红外技术

寇英信 于雷 王海晏 编著

机载红外技术

寇英信 于 雷 王海晏 编著



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要包括光电火控综合应用技术、红外技术与系统原理、机载红外系统测试、光学材料与气动红外辐射、红外探测与隐身、机载红外技术与航空火力控制、光学器件和传感器的抗激光保护和主动红外对抗等内容。书中详细论述了这些方面的原理、测试技术以及实际工作过程。

本书取材广泛,内容详尽,不论在理论上还是技术上都有深入的研究和探讨,在很大程度上既反映了理论研究的前沿,又反映了军事装备中用到的红外物理的原理和新技术。

本书可作为光电技术及应用、自动控制、导航、航空火力控制、导弹、雷达及对抗相关专业本科生和研究生的教材,也可供物理电子学、光学工程等专业的学生和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机载红外技术/寇英信,于雷,王海晏编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2016.3

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3906 - 2

I. ① 机… II. ① 寇… ② 于… ③ 王… III. ① 机载设备—红外技术

IV. ① V217 ② TN21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 018926 号

策划编辑 胡华霖

责任编辑 阎 彬 张 驰

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西大江印务有限公司

版 次 2016年3月第1版 2016年3月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 13

字 数 303千字

印 数 1~3000册

定 价 23.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3906 - 2/V

XDUP 4198001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前言

近年来,红外技术伴随着红外辐射及材料科学等技术的研究突飞猛进地发展,作为机载航空电子设备的新军之一的红外设备正日益广泛地应用在各种场合的航空探测中。

根据作者的工作经验,在未来的二十年内,航空机载红外探测技术必将有重大的发展。机载红外设备的结构、原理、技术方法的研究已经大量地摆在理论、工程技术、维修维护人员的面前。本书就是在这一背景下酝酿而成的,书中包含了作者多年的教学、科研经验和成果,对机载光电设备,尤其是红外探测设备和技术进行了一定程度的介绍和探讨。

本书的写作目的既是为了介绍机载光电设备和红外探测设备的关键技术与发展状况,同时也是作者教学工作的需要。当然,教学工作的需要也就是军事装备发展的需要。在未来战场上,具备深厚理论基础和宽广专业知识的各类科技人员无疑是装备完好保障的重要条件之一,学习和掌握现役和未来装备中所占比例越来越大的红外系统和相关装备的基础知识、基本技能,对这类科技人员极其重要。

本书的定位是工程技术应用类图书,因此内容设计更注重工程实践性。全书共分8章,各章的主要内容如下:

第1章是关于红外技术的论述,介绍了光电技术及红外探测器以及机载光电系统设备的现状、特点与发展趋势。

第2章是红外技术与系统原理,介绍常见的典型红外、光电系统结构及其工作原理。

第3章详细讨论了机载红外系统测试,讲述了红外系统测试的重要指标和实验室与飞行测试方法。

航空机载光电设备都具有光学材料制备而成的光学窗口,这些窗口对机载红外设备至关重要。第4章集中讲述了飞行过程中窗口的气动光学效应及处理方法。

红外探测无疑是机载红外系统的核心技术,第5章从探测器与监视探测器的数学模型出发,着重讨论了利用红外探测改善、提高其他机载探测设备性能的方法和技术,包括雷达、红外信息融合、高光谱图像的配准等。最后还论述了红外隐身。

第6章介绍机载红外技术与航空火力控制,这是一个全新的概念,这方面的问题正日益广泛地影响着航空机载设备的设计制造,虽然这一提法尚不成体系,或者说未获得相当程度的关注,但毋庸置疑,各种机载探测设备的最终目的都是为了“拒敌于千里之外”。因此本章在光电传感器与航空火控技术之间的互联互通方面做了一定探索和尝试,希望能起到抛砖引玉的作用,也希望引起业界的重视。本章分别讨论了机载光电系统的目标定位、红外热像仪与对地攻击以及确定 FLIR 瞄准线稳定误差等几个具体的火控特色鲜明、又具有光电设备代表性的问题。

第7章是光学器件和传感器的抗激光保护,本章从光电设备的光防护角度进行论述,讲述了激光的危害、防护技术等,并进行了定量的分析计算。

第8章对机载红外系统的主动红外对抗进行了详细论述,分别介绍了主动红外对抗、

红外导弹的干扰发射技术、干扰发射源及调制以及红外对抗的测试及评估，最后还介绍了导弹紫外告警仿真。

希望阅读本书的读者具有一定的电路、计算机、物理光学、简单量子力学基本概念等基础知识。本书可作为高等院校物理电子学、光学工程等专业本科学生教材，个别章节可以作为研究生教学资料，同时本书也适合从事光电技术工作的相关人员阅读。

本书的写作参考了大量国内外书籍、文献、资料，受篇幅、格式所限，这些参考文献不能一一列出，在此特向其作者表示歉意并致谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不足，敬请读者批评指正。

作 者

2015 年 10 月

目 录

第 1 章 光电火控综合应用技术	1
1.1 光电技术简介	1
1.2 光电技术的特点、地位和作用	1
1.2.1 光电技术的特点	1
1.2.2 光电技术的军事地位	5
1.3 军用光电系统	6
1.3.1 军用光电系统的基本构成	6
1.3.2 军用光电系统的分类	6
1.3.3 光电系统的基础和发展	6
1.4 光电技术的军事应用	7
1.4.1 侦察与遥感	7
1.4.2 夜视与观瞄	7
1.4.3 火力控制	8
1.4.4 精确制导	8
1.4.5 近炸引信	8
1.4.6 通信	8
1.4.7 惯性导航	8
1.4.8 光电对抗和激光武器	8
1.4.9 靶场测量	9
1.4.10 模拟训练	9
1.5 光电技术的发展	10
1.5.1 产品不断更新换代和推广应用	10
1.5.2 新技术的发展和应用	10
1.5.3 新型武器装备的出现	10
第 2 章 红外技术与系统原理	12
2.1 红外技术与军事应用概述	12
2.1.1 红外技术在军事上的应用	13
2.1.2 红外技术的军事意义	14
2.1.3 红外技术装备的优缺点	14
2.2 红外探测器	15
2.2.1 红外探测器发展简史	15
2.2.2 红外探测器的工作原理	16
2.2.3 红外探测器的分类	16

2.2.4	热探测器	16
2.2.5	光子探测器	18
2.3	几种典型的光子探测器材料	18
2.4	红外探测器的工作温度	20
2.5	红外探测器组件	22
2.5.1	组件和结构	22
2.5.2	微型制冷器	22
2.5.3	光学元件	25
2.5.4	前置放大器	26
2.5.5	红外探测器组件	27
2.6	红外焦平面阵列	27
2.7	红外技术的军事应用案例	29
2.7.1	主动红外夜视仪	29
2.7.2	热像仪	31
2.7.3	搜索侦察系统	36
2.7.4	红外“点”源跟踪与制导系统	41
2.7.5	成像跟踪与制导系统	45
第3章	机载红外系统测试	56
3.1	红外系统的实验室测试	56
3.1.1	测试内容	56
3.1.2	测试系统	58
3.1.3	测试方法	60
3.2	红外搜索跟踪与成像系统的实验室测试与飞行测试	62
3.2.1	实验室测试	63
3.2.2	飞行测试	70
3.2.3	空间目标红外辐射谱	72
第4章	光学材料与气动红外辐射	79
4.1	航空光电设备窗口气动光学效应	79
4.1.1	效应分析	79
4.1.2	测试方法	80
4.1.3	地面测试与评估方法	82
4.2	红外窗口受热分析及冷却	85
4.3	光学材料高温透过率技术	89
4.4	气动光学校正	91
第5章	红外探测与隐身	95
5.1	红外探测器与监视探测器性能转换	95
5.1.1	数学模型	96
5.1.2	模型的比较	100
5.1.3	参数转换	101

5.2 与雷达、红外信息的有效融合	102
5.2.1 问题的提出	102
5.2.2 跟踪方法	103
5.2.3 雷达电子干扰的抑制	103
5.2.4 红外模型及其数据的含义	106
5.3 高光谱图像的配准	108
5.3.1 地理定位误差	108
5.3.2 数学模型及算法	109
5.4 基于小波变换的多谱图像融合	114
5.4.1 图像的小波变换	114
5.4.2 基于局域能量的图像融合方法	116
5.5 红外隐身	116
5.5.1 红外辐射的隐蔽	117
5.5.2 红外隐身的测试	119
5.5.3 红外干扰	122
第6章 机载红外技术与航空火力控制	123
6.1 机载光电系统的目标定位	123
6.1.1 自主定位方法	123
6.1.2 坐标变换方程	124
6.1.3 定位误差分析	125
6.2 红外热像仪与对地攻击	128
6.2.1 水平轰炸数学模型	128
6.2.2 光电瞄准轰炸系统的数学模型及其瞄准原理	129
6.3 确定 FLIR 瞄准线稳定误差	130
6.3.1 目标瞄准线的测试	130
6.3.2 实验室测量	131
第7章 光学器件和传感器的抗激光保护	137
7.1 激光的危害	137
7.2 辐照分析	138
7.2.1 传感器灵敏度	138
7.2.2 辐照	138
7.2.3 眼睛的敏感度	145
7.2.4 光学反射	146
7.3 防护技术	147
7.3.1 普通防护技术	147
7.3.2 防护技术的新思路	152
7.3.3 防护应用举例	155
7.4 能量密度计算	157

第 8 章 主动红外对抗	161
8.1 概述	161
8.1.1 主动红外对抗的介绍	161
8.1.2 红外对抗的设计	161
8.2 飞机特征	164
8.2.1 特征估测	164
8.2.2 特征测试	166
8.3 对抗红外导弹的干扰发射技术	168
8.3.1 红外导弹说明	168
8.3.2 探测器及光谱响应	169
8.3.3 导引头扫描及信号处理	170
8.3.4 红外干扰发射技术	174
8.3.5 强功率的干扰发射与破坏	181
8.4 干扰发射源及调制	183
8.4.1 非相干光源	183
8.4.2 相干光源	185
8.5 系统设计思想	186
8.5.1 宽束系统	186
8.5.2 空间调制系统	187
8.5.3 定向系统	187
8.5.4 闭环干扰发射系统	188
8.6 测试及评估	189
8.6.1 干扰发射机辐射强度测试	189
8.6.2 仿真	190
8.6.3 捕获测试	191
8.7 导弹紫外告警仿真	192
参考文献	196

第 1 章 光电火控综合应用技术

1.1 光电技术简介

光电技术是以激光、红外和微电子技术为基础,由光学、电子、精密机械和计算机技术相结合而形成的高新技术。它是主要研究光电转换以及用光进行信息发送、探测、存储、处理和重现的技术。在军事应用上,光电技术也是航空火力控制的重要信息来源和关键技术之一。

光电技术是一门发展迅速的新兴交叉学科,是运用光子和电子特性,通过一定的媒介实现信息与能量转换、传递、处理和应用的技术。近几十年来,这一新技术得到了长足的进步与发展,已形成多种军用光电装备,广泛用于侦察、火控、制导、遥感、预警、导航、通信、模拟训练及光电对抗等领域。应用光电技术构成的各种光电探测器、光电传感器在现代战争中显示了强大的威力,在由激光、红外、电视等光电传感器构成的火控系统中发挥的作用愈来愈大。

1.2 光电技术的特点、地位和作用

1.2.1 光电技术的特点

光电技术的地位与作用是与它自身的特点分不开的。同传统电子技术相比,光电技术最根本的特点是它的波长短,即频率高。它的各种优点和缺点都同这个根本特点分不开。以下从三个方面介绍光电技术的特点。

1. 光电技术的优点

光波的波长要比微波短得多。它们的长波端点分别为 1 mm 和 1 m,相差 3 个数量级;短波端点分别为 10 nm 和 1 mm,相差 5 个数量级。因而光电技术的角分辨率、距离分辨率和光谱分辨率都比微波高得多。

(1) 角分辨率高。传感器对目标的角分辨率与它所用波长有直接关系。雷达的角分辨率 $\Delta\theta$ (最小可分辨角) 与雷达工作波长 λ 成正比,与天线口径 L 成反比,即:

$$\Delta\theta \propto \frac{\lambda}{L} \quad (1-1)$$

例如,一部波长为 5 cm 的脉冲雷达,用 1.5 m 天线时,其角分辨率约为 1° (1.7×10^{-2} rad)。而一部二氧化碳激光雷达(波长为 10.6 μm) 只要用 10.6 cm 天线(望远镜),其角分辨率就可以达到 1×10^{-4} rad, $\Delta\theta$ 比微波雷达提高了近 2 个数量级,而其天线直径仅为该微波雷达的 1/4,即用小得多的天线得到高得多的角分辨率,其原因就在于激光波长远短于微波。

对于红外系统和可见光 CCD 摄像系统等无源光电探测系统,基于同样的理由,角分辨率也很高。例如,家庭使用的 800 万像素数码相机,像元尺寸为 $7\text{ }\mu\text{m}$,如果光学系统足够大,角分辨率可达 $1\times 10^{-4}\text{ rad}$,即 $1.44''$ 。因此,有源和无源光电探测系统能使用不大的天线探测到细小的目标或目标的细节。根据同样的原理,激光束可以用光学系统会聚成光波长量级的很小的光斑,直径可达 $10\text{ }\mu\text{m}$ 或更小。

(2) 距离分辨率高。脉冲雷达的距离分辨率由下式决定

$$\Delta R = \frac{c}{2B} \quad (1-2)$$

式中, c 为光速, B 为雷达信号带宽(它是脉冲宽度的倒数)。

若微波雷达脉冲宽度为 $1\text{ }\mu\text{s}$,则信号带宽为 1 MHz ,距离分辨力为 150 m 。对于激光测距仪来说,一般脉冲宽度约为 10 ns ,相当于信号带宽 100 MHz ,距离分辨力为 1.5 m ,比上例微波雷达高 100 倍。高精度激光测距系统,其脉冲宽度为 100 ps ,信号带宽达 10 GHz ,距离分辨力达 1.5 cm 。实际上,已有人在对距离大于 6000 km 的人造卫星进行激光测距时,获得优于 1 mm 的距离分辨力。

(3) 频带宽,通信容量大。光波频率比微波频率约高 10 万倍,因而它的带宽与通信容量也相应地可提高 10 万倍。例如,通常一个微波通道带宽约占据微波频率的 $1/100$ 。在这样的微波通道上可以通过上千路电话或一路彩色电视节目。如果把这一原则用在光波频段,一个光波通道带宽占用光波频率的 $1/100$,则在这个光波通道上可通上亿路电话或 10 万路电视节目。这样大的通信容量是惊人的。实现上述通信容量从理论上讲是完全有可能的。然而,在实践中,由于光电子器件以及传输介质(如光纤、大气)的传输特性等问题,目前在一根光纤上还不能达到理论通信容量。不过,在一根光纤上通几十万路电话或者几百路电视节目,已完全可以实现,而这在一般电缆通信和微波中继通信中则确实是很难想象的事。

(4) 光谱分辨力高。光谱学是人们研究原子、分子等的能级结构、能级寿命、电子组态、分子几何形状、化学键性质等多方面物质结构知识的科学,也是在化学分析中进行定性与定量分析的重要手段。然而,在常规光谱学中,光谱线的相对宽度一般为百万分之一(10^{-6}),而且所使用的光源强度很弱,限制了光谱研究的深入发展。自从以激光(特别是宽带可调谐激光)作为光谱研究的光源以来,谱线的相对宽度减小了许多数量级,而光源亮度又增加了许多数量级,形成了具有极高光谱分辨力和极高探测灵敏度的激光光谱学。若用脉冲宽度为皮秒(ps)或飞秒(fs)级的超短激光脉冲作光谱光源,就可以探测和研究超快现象。

(5) 非线性光学效应强。当光波的电场强度可以与原子、分子或凝聚态物质中束缚电子的库仑场相比较时,可以观察到物质与强相干光相互作用的一系列新的光学现象,统称为非线性光学现象。虽然早在 1875 年就发现了克尔效应(一种非线性光学效应),但直到激光出现之后,有了强度高和相干性好的光源,才揭示出大量的非线性光学效应,包括光学二次谐波和高次谐波、光学和频与差频、光学参量放大与振荡、多光子吸收、光束自聚焦、多种受激光散射、非线性光谱效应、各种瞬态相干效应以及光致击穿等。非线性光学已发展成为影响广泛和深远的新兴学科,许多实用化的非线性光学器件已被研究开发出来。

2. 光波传输的特点

光电技术的许多应用同光波的传输特性直接有关。所以,在讨论光电技术的特点时,

必须了解光在各种介质中的传输特性。常见的介质有真空、大气、水和光纤。

1) 光在真空中的传输

在真空中,光的传输没有衰减。光在真空中传输时应当考虑光束发散所导致的“几何损失”,即由于光束的发散角不为零所导致的光功率密度随着传输距离的增加而减小,而且这种减小是平方关系,即距离增加1倍,功率密度减小到原来的1/4。

2) 光在大气中的传输

在大气中,光的传输情况比较复杂,除几何损失外,还必须考虑大气中各种成分对光的吸收、散射以及它们的变化。大气中的水蒸气、二氧化碳、其他化学成分和尘埃等对不同波长的光有不同的吸收和散射,因而不同波长的光在大气中有不同的透射率。如图1-1所示为典型大气对不同波长的光的透射率。

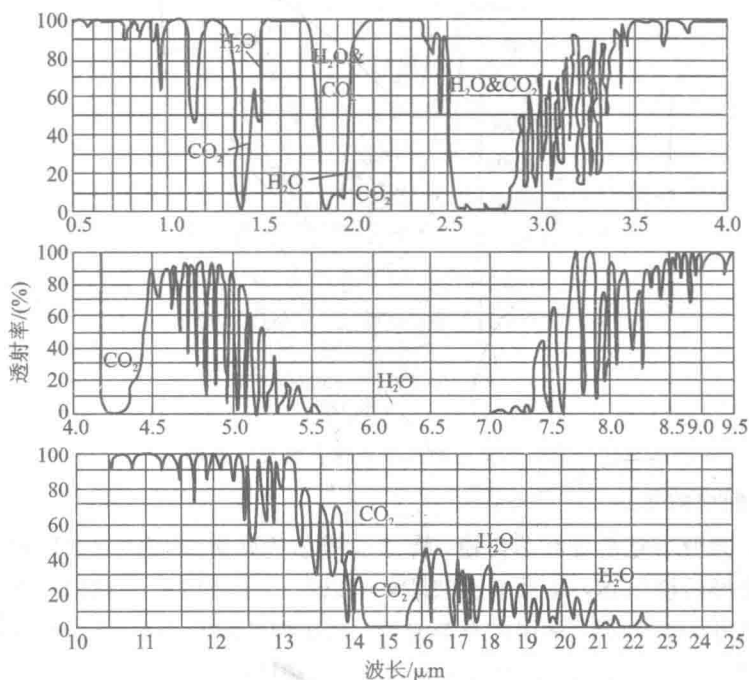


图1-1 不同波长的大气透射率

由图1-1可见,可见光的透射率比较高,红外线有三个透射率高的波段,即1~3 μm 、3~5 μm 和8~14 μm 。位于这三个“窗口”的红外辐射习惯上分别称为短波红外、中波红外和长波红外。实际上,随着海拔高度、温度和相对湿度等条件的变化,大气透射率会有很大变化。此外,雾、霾、沙尘、硝烟等也直接影响大气透射率;大气中的湍流还影响光束的指向。因此,在大气层中(地面和空中)使用光电装备时,一定要充分考虑天气条件的影响。一般来讲,在能见度较差的天气,红外线的透射率明显优于可见光;在干燥季节或干旱地区使用长波红外探测技术作用距离较远,而在湿润季节或湿热地区,采用中波红外探测技术更合适。一般来说,在恶劣天气条件下,靠大气传输的光电装备的作用距离会大打折扣,甚至完全失效。在海湾战争中,多国部队的光电制导武器多次因天气不好而无法发射,被迫弹返回机场。强激光在大气中传输时,除一般的吸收和散射损失外,还可能产生大气

击穿；大气中的某些成分，如水蒸气、CO₂等因吸收激光能量而发热膨胀，从而破坏光路中大气折射率的均匀性，使激光束的质量严重恶化，这种现象称为“热晕”(Blooming)。

3) 光在水中的传输

在水中，光的吸收和散射损失很大。一般把由衰减作用引起的功率损失和入射波功率通量密度之比称之为衰减系数，一般用衰减系数 K 表示光的损失大小(单位为 m^{-1})。有时候用 K 的倒数，即“衰减长度”表示光在特定水体中的衰减程度(单位为 m)。水的衰减系数与所用的光波波长有关，存在一个传输损失较小的“窗口”。不同的水质，最佳透射波长稍有不同。如图 1-2 所示为水的衰减系数与波长的关系。由图中可见，水的“窗口”在蓝、绿光波段。

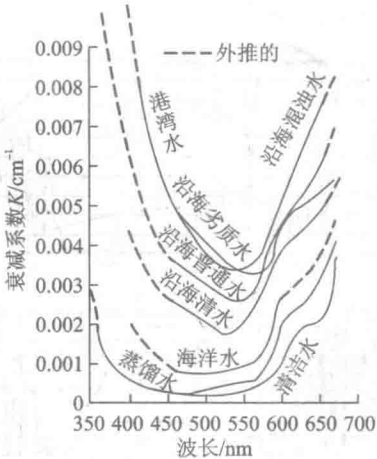


图1-2 水的衰减系数与波长的关系

4) 光在光纤中的传输

在光纤中，光波不是沿着纤芯传输，而是被纤芯壁反射(称为“全内反射”)而曲折地向前传输。由于光纤纯度很高，几乎不含杂质，所以在一定波段上传输损耗很小。损耗最小的波长随光纤所用材料而异。常用的石英光纤，最小损耗波长为 $1.55\ \mu m$ ，其次为 $1.3\ \mu m$ ，每千米损耗不到 1 dB，如图 1-3 所示为几种光纤的损耗曲线。

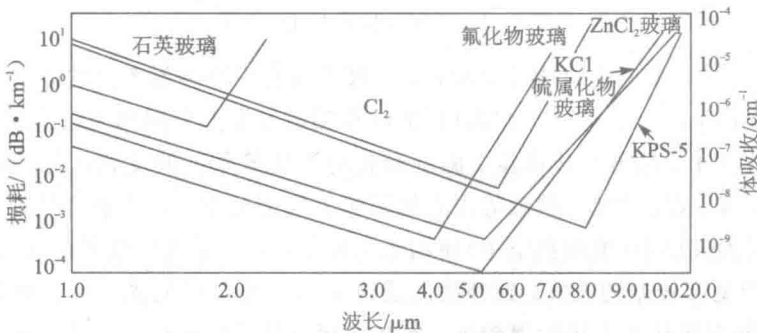


图 1-3 几种光纤的损耗曲线

人们在研究中发现氟化物和氧化物对波长 $4\sim5\ \mu m$ 的光线传输损耗很小，每千米仅损耗 10^{-3} 甚至 10^{-4} dB，也就是说，经过 $1000\sim10\ 000\ km$ 的距离，损耗 1 dB。这的确是一个

十分诱人的前景。不过,这有待在材料研究和制备上取得新的突破。近期有可能先做出波长为 $2.55\text{ }\mu\text{m}$ 的卤化物光纤。此外,人们还在努力研制中波和长波红外光纤。目前,可以传输 CO_2 激光(波长 $10.6\text{ }\mu\text{m}$)的卤化物多晶光纤,其损耗虽然高达每千米几百分贝,但已可用于加工和医疗等光纤长度只需几米的场合。

1.2.2 光电技术的军事地位

自古以来,作战方式都取决于生产方式。我国杰出科学家钱学森把作战方式划分为五个时代:徒手战时代、冷兵器时代、热兵器时代、机械化部队战时代和信息化部队战时代。随着生产方式的变革和科学技术的进步,作战方式也发生了相应的变化。如果说第二次世界大战那样的大规模杀伤同工业化大规模生产方式相联系,那么,同信息社会高度集约化生产和柔性制造、按用户特殊订货需求生产等新型生产方式相联系的作战方式将是以信息为主导的快速反应、精确打击以及信息对抗等为特征的高技术战争。像在国民经济各部门中起主导作用那样,信息技术在军事各领域也起主导作用。1991年初的海湾战争是高技术局部战争的一个序幕,电子战、精确打击、大量的信息流、隐身飞机和夜袭等,给人们留下了深刻印象。光电技术在其中的作用引人瞩目。光电技术作为信息技术的一个重要支柱,在高技术战争中起着关键作用。由于光电对抗的发展,光电技术不仅限于获取、传输、存储、处理和显示信息,而且已用它发展成为一种压制和摧毁敌方有生力量的武器。光电技术在高技术战争中,即信息时代战争中的作用可以归纳为以下四点:

1. 看得更清

看清敌我态势和作战目标是在战争中取得主动的前提。光电技术可以帮助各级指挥员乃至战士对战场情况看得更清楚。这些技术包括用星载、机载、地面和水下光电侦察设备获取全球的、战区的和战场的以及水下的情报,特别是高分辨力的图像情报;用红外热像仪和微光夜视仪进行夜间观察和侦察;用激光测距测向仪获取目标的精确位置信息等。这些技术有助于发现、识别目标和伪装,迅速准确地分析判断战略布局和战场态势。

2. 反应更快

高技术战争中情况瞬息万变,要想克敌制胜必须有快速反应能力。光电技术借助大容量信息传输,特别是高速实时传输能力和光电信息处理技术提供快速反应所必需的信息。武器平台上的光电探测和显示设备可以辅助驾驶,提供来袭告警,提高反应速度。

3. 打得更准

精确打击是高技术战争的又一特点。武器的精度提高10倍等于威力提高1000倍。光电技术对提高各种武器的命中精度起到了关键的作用。例如,光电火控系统可以提高各种火炮的首发命中率;光电制导已成为精确制导武器重要的制导技术之一;激光引信准确及时且抗干扰性强,能最大限度发挥弹药的威力;光电瞄准能提高射手的命中率;光电技术的目标识别能力可以识破伪装和避免误伤友邻部队。因此,光电技术在对目标进行精确定位和实施精确打击应用中越来越受到重视。

4. 生存能力更强

战争的一般规律是“保存自己,消灭敌人”。在高技术战争中,由于各种高技术武器的大量使用,保存自己的问题越来越突出。利用红外探测器和光纤传感器等无源传感器来获

取情报,武器平台和指挥所内采用光纤传输信息,既不辐射电磁波,因而不易被敌人发现,又不受电磁波干扰,所以能提高在强电磁辐射环境下的生存能力。

1.3 军用光电系统

军用光电系统是一种用于接收来自目标反射或目标自身辐射的光辐射,通过变换、处理、控制等环节,获得所需要的信息,并进行必要的处理的光电装置。军用光电系统的基本功能是将接收的光辐射转换为电信号,并利用它去达到某种军事实际应用的目的。

1.3.1 军用光电系统的基本构成

军用光电系统的基本框图如图 1-4 所示。它大致包括光学系统、探测器、电子系统、输出或控制单元以及制冷器等。在一些系统内,有些部分可能没有,而有的地方又会因某个特殊功能的需要而增加一些其他的部分。

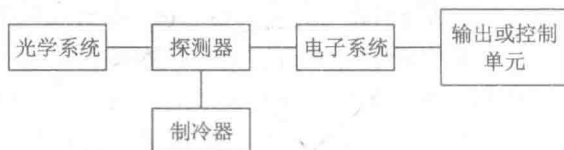


图 1-4 军用光电系统组成框图

1.3.2 军用光电系统的分类

从系统工作的基本目的和原理出发将光电系统分为以下三大类:

1. 探测与测量系统

探测与测量系统主要是通过对待测目标光度量和辐射变量的测量,对其光辐射特性、光谱特性、温度特性、光辐射的空间方位特性等进行记录和分析。如光照度计、光亮度计、辐射计、光谱仪、分光光度计、测温仪、辐射方位仪等。这些系统多用于测定或计量目标反射、辐射等基本参量,用于对其基本光辐射特性进行分析。

2. 搜索与跟踪系统

搜索与跟踪系统主要是通过对视场内的搜索,发现特定的人侵的或运动的目标,进而测定其方位,进行跟踪。如导弹制导装置、寻的器、光电搜索与跟踪系统、光电预警系统、光电探测系统、光电测距与测角仪、红外导航系统等。

3. 光电成像系统

光电成像系统主要是通过像管(像增强器)或扫描实现对观察视场内的目标进行光电成像。如主动夜视仪、微光夜视仪、CCD 摄像机、微光电视、红外显微镜、光机扫描热像仪、周视全景成像系统等。

1.3.3 光电系统的基础和发展

光电系统的性能与光电探测器的发展密切相关。综合利用探测器的成果提高应用效果是目前光电系统发展的重要方向之一;光电系统离不开各种类型的光学系统,因此几何光

学、物理光学同样是其系统设计的理论基础；光电系统从信息观点上看，实质上是一个信息接收系统，而信号检测理论是信息论的重要分支；光电系统通常也是一个控制系统，现代控制理论及技术的发展也对光电系统的应用提供了重要的基础；新型集成电路和微机技术的发展使光电系统的自动化、智能化程度迅速提高；人造光源的发展，特别是各种新型激光器的出现，为光电系统提供了携带信息的优质媒体；光电系统的发展还与组成系统各部件的技术现状有关。

促进光电系统发展的三个基本因素：

- (1) 光电系统发展的最基本动力是人类在光波范围内扩展视觉的渴望。
- (2) 光电系统的发展与各种光电探测器的发展有着明显的依存关系。
- (3) 光电系统的发展需要多种学科相互配合。

1.4 光电技术的军事应用

1.4.1 侦察与遥感

光电侦察设备广泛用于从空间、地面到水下的各个空域。星载多光谱相机包括可见光和红外波段，用滤光器细分为若干子波段进行照相，所获得的伪彩色照片有助于分辨和识别目标。低轨道卫星每几十分钟绕地球一圈，不到一天即可获得全球表面的图像信息。过去将侦察到的图像记录在胶卷上，用回收卫星的办法取得胶卷，再冲洗放大和处理，周期较长。现在已经在卫星上采用光电传感器，进行适当图像处理，把信息发回到地面站，实时或准实时地获得所需要的图像信息。机载光电侦察设备，特别是近年发展起来的无人机载光电侦察设备，包括 CCD 相机和红外热像仪，由于距地面只有几千米，可以获得分辨力达 1 m 甚至 0.3 m 的高清晰图像，成为极其有效的战场情报侦察手段。装有红外热像仪和可见光相机等侦察设备的装甲侦察车，机动性和隐蔽性好，可昼夜出没在前沿阵地，获取战场前沿的情报。手持式热像仪可由一名战士携带，便于获取近距离图像信息。红外热像仪还可用于雷场探测，有助于排雷。正在研究开发中的战场机器人，其视觉系统主要由光电传感器组成。蓝绿光激光雷达可用于水下目标（潜艇、水雷等）探测。由于水的后向散射严重而且传输损耗很大，一般采用脉冲蓝绿激光照射目标，并用超窄带滤光技术滤除背景噪声，用距离选通闸门避开后向散射来探测水下目标，在水质好的情况下探测深度可达 60~70 m 或更深一些。光纤水听器是一种对声敏感的光纤传感器，它的灵敏度和方向性比一般声呐好，可用于探测潜水艇。此外，用光电技术可以探测大气中的微量化学制剂，因为每种化学物质都有它特定的光谱特性，可用被动式红外探测仪或差分吸收激光雷达来探测。探测灵敏度可达百万分之一，作用距离为几千米至上万米。

1.4.2 夜视与观瞄

由于红外成像和夜视技术的发展，夜战已成为一种重要的作战方式。海湾战争以来的历次局部战争中，美、英等国的战机基本上采取夜间袭击。前视红外已广泛用于各种作战飞机、车辆和舰艇，使驾驶员在夜航和夜战时看得像白天一样清楚；微光夜视仪也广泛用于步兵、炮兵和装甲兵等地面部队。轻武器借助红外和激光观瞄仪显著提高了瞄准精度和

命中率。直升机也开始用激光雷达来回避障碍,可以发现长 300~400 m、外直径 8 mm 的电力线。

1.4.3 火力控制

各种火炮采用光电火控系统,即以红外或电视跟踪瞄准目标,以激光测距来获得目标位置和速度信息,经计算机处理后进行火力控制,从而大大提高火炮射击命中率,尤其是首发命中率。战斗机上光电火控系统同火控雷达联合工作以提高全天候战斗能力和可靠性。当敌方使用反辐射导弹时,可以关闭雷达只使用光电火控系统以保护自己。

1.4.4 精确制导

精确打击是现代高技术战争中最重要攻击方式。光电制导在精确打击武器中占有重要地位。光电制导的武器很多,包括红外制导导弹、航空炸弹和炮弹;电视制导导弹和航空炸弹;半主动制导和驾束制导的激光制导导弹、半主动激光制导炮弹和航空炸弹、光纤制导导弹。巡航导弹低空飞行,不易被雷达发现,它在低空巡航时,靠微波和激光雷达精确测量和控制飞行高度并回避障碍,在终端袭击预定目标时靠光电成像进行目标图像识别。光电制导具有区别目标和复杂背景的能力,命中精度较高。

1.4.5 近炸引信

导弹、炮弹和炸弹的近炸引信对能否有效摧毁目标至关重要,必须具有很高的可靠性和安全性。激光引信的优点是不怕电磁干扰,引爆距离精确,常用于空空、地空、空舰、舰舰等导弹上。

1.4.6 通信

军事通信网所采用的光纤通信技术与民用光纤技术没有大的区别。军用光纤通信特殊之处在于野战光缆和武器平台内部通信,要求能耐恶劣环境。野战通信光缆通常按一定长度制造,两端配以快速连接器,便于运输和快速放线、快速撤收,有故障时便于成段更换。野战光缆的敷设可以用越野车辆,也可以用直升机,为此,配有专门的放线器。在军舰、飞机、车辆和导弹内也广泛采用光纤光缆以替代电线电缆。光纤光缆不仅传输速率高,而且无电磁辐射(隐蔽性好),不怕电磁干扰(可靠性高),体积小,重量轻。战时,为防止无线电波被敌人截获,战术分队之间可以用半导体激光通信机联络。这种通信机作用距离可达 2 km,重量轻,耗电少。

1.4.7 惯性导航

激光陀螺和光纤陀螺的优点是没有活动部件,结构简单,耐冲击和振动,可靠性高,寿命长,测量范围宽,启动时间短,直接数字输出,便于同计算机联用,而且体积小、重量轻、功耗小,已广泛用于飞机、导弹、舰船和航天器的惯性导航系统。

1.4.8 光电对抗和激光武器

随着军用光电装备,特别是光电侦察、光电制导、光电火控、光电引信等的广泛使用,