




普通高等教育“十五”国家级规划教材

红外成像阵列与系统

常本康 蔡毅 编著

 科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十五”国家级规划教材

红外成像阵列与系统

常本康 蔡毅 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者近年来承担国家和地方科研项目研究成果的总结,也是融合当前国内外最新的科技资料,并在经多年使用过的研究生课程讲稿基础上编写而成。全书共 11 章,前两章介绍红外物理基础;第 3 章介绍非制冷型红外焦平面阵列原理;第 4~10 章分别介绍了单片硅微测辐射热计焦平面阵列、混合铁电-热电测辐射热计阵列、单片热释电测辐射热计阵列、热电型非制冷红外焦平面阵列、热释电摄像管、隧道效应红外传感器和石英微型谐振器阵列;第 11 章介绍了微测辐射热计非制冷红外热成像系统。

本书可作为高等院校光学工程、电子科学与技术、光信息科学与技术专业本科生和研究生教学用书,也可供有关专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

红外成像阵列与系统/常本康,蔡毅编著. —北京:科学出版社,2006
普通高等教育“十五”国家级规划教材
ISBN 7-03-016813-5

I. 红… II. ①常…②蔡… III. 红外成像系统-高等学校-教材
IV. TN216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 006192 号

责任编辑:张邦固 贾 杨 刘俊来/责任校对:李奕莹
责任印制:张克忠/封面设计:黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年4月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006年4月第一次印刷 印张: 17

印数: 1—3 000 字数: 317 000

定价: 28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

夜视技术是利用夜间天空辐射对目标的照射,或利用地球表面景物的自身热辐射,借助科学仪器观察可见光波段以外的景物图像的技术,其核心技术为传感器技术,目前夜视成像器材主要有微光像增强器与红外探测器两类。

微光夜视系统发展于 20 世纪 60 年代,它利用目标反射的星光、月光和大气辉光,通过像增强器增强达到人眼能进行观察的目的。经过 40 多年的努力,已相继研制成功了四代微光夜视仪产品。

红外热成像技术是当前夜视技术发展的主流。热探测器的研究经历了一个多世纪,对热探测器阵列的研究也有 40 多年的历史。国外制冷型红外热成像技术已经从第一代发展到了第三代。集成非制冷探测器阵列的基本概念在 20 世纪 60 年代被提出,70 年代进入迅速发展阶段,探测器阵列从最初的 320×240 逐步向 640×480 发展,而开发 1024×1024 大规模阵列的工作目前也已经开展起来。

我国从 20 世纪 90 年代开始了集成非制冷探测材料和器件的研究,利用国外器件对非制冷热成像系统的研究已取得了进展。但是,对非制冷热成像探测阵列的研究尚处于起步阶段。为了促进我国红外成像阵列和系统的研究,特别是为了此研究领域人才培养的需要,我们申报了普通高等教育“十五”国家级教材选题,在获得批准后开始了《红外成像阵列与系统》的编写工作。

本书是编著者承担国家和地方科研项目的总结,也是根据当前国内外能够搜集的科技资料,并在经多年使用过的研究生课程讲稿基础上改写而成。全书共 11 章,前两章介绍红外物理基础,第 3 章介绍非制冷型红外焦平面阵列原理,第 4~10 章分别介绍了单片硅微测辐射热计焦平面阵列、混合铁电-热电测辐射热计阵列、单片热释电测辐射热计阵列、热电型非制冷红外焦平面阵列、热释电摄像管、隧道效应红外传感器和石英微型谐振器阵列,第 11 章介绍了微测辐射热计非制冷红外热成像系统。昆明物理研究所蔡毅研究员编写了第 1 章和第 2 章,南京理工大学的钱芸生副教授编写了第 4 章和第 11 章,富容国副教授编写了第 3 章和第 10 章,其余各章的编写和全书的统编工作由南京理工大学常本康教授完成。

在本书即将出版之际,我们要特别感谢刘磊博士和杜晓晴博士,在博士课程的学习中,她们查阅了大量资料,完成了资料的翻译、打印和校对;感谢邢素霞博士、张俊举博士、王世允博士、孙恋君博士、唐绩硕士、黄成意硕士、凌小兵硕士、何中秋硕士、傅江涛硕士等人,他们在非制冷热像仪成像系统的研究中的出色成绩丰富了本书的内容。感谢刘磊博士在图表的校对、书稿的排版和打印中付出的巨大的辛劳。

由于编著者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳切希望各位专家和广大读者批评指正.

作者
2005年7月



目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 热成像技术概述	1
1.1.1 热成像技术解决的基本问题	2
1.1.2 夜视技术的分类	3
1.1.3 热成像技术的作用与地位	3
1.1.4 热成像技术的军事应用	4
1.1.5 热成像技术在国民经济领域的应用	6
1.2 红外探测器与热成像技术的关系	7
1.3 热成像技术的划代问题	8
1.3.1 美国	9
1.3.2 英国	10
1.3.3 法国	11
1.3.4 第二代热成像和红外焦平面探测器技术总结	12
1.3.5 作者的观点	14
1.4 红外成像阵列与系统的分类	15
1.5 制冷红外成像阵列与系统的历史和发展	16
1.6 非制冷红外成像阵列与系统的历史和发展	18
1.7 红外探测器的发展趋势	19
第 2 章 红外物理基础	21
2.1 红外辐射及辐射源	21
2.1.1 太阳辐射	22
2.1.2 地球红外辐射	23
2.1.3 大气热辐射	23
2.1.4 人工黑体	23
2.1.5 能斯特灯	26
2.1.6 硅碳棒	26
2.1.7 半导体发光二极管	27
2.1.8 半导体二极管激光器	27
2.1.9 光纤激光器	28
2.1.10 同步辐射	28

2.1.11 自由电子激光器	29
2.1.12 人体热辐射	30
2.2 红外辐射的基本理论	30
2.2.1 基本概念和名词	30
2.2.2 透射、反射、吸收定律	32
2.2.3 基尔霍夫定律	32
2.2.4 普朗克定律	33
2.2.5 维恩定律	35
2.2.6 斯特藩-玻尔兹曼定律	35
2.2.7 红外辐射源的光谱辐射效率	35
2.2.8 目标与背景的辐射对比度	36
2.2.9 光谱微分出射率(热导数)	37
2.2.10 维恩定律与效率公式、对比度公式讨论	37
2.2.11 实际物体的红外辐射	39
2.3 红外辐射的大气传播特性	40
2.3.1 地球的大气层结构	40
2.3.2 地球的大气成分	42
2.4 地球大气与红外辐射相互作用	43
2.4.1 标准大气模型	43
2.4.2 地球大气对红外辐射的消光	44
2.4.3 地球大气对红外辐射的吸收	45
2.4.4 地球大气对红外辐射的散射	47
2.4.5 影响红外辐射传播的气象条件	49
第3章 非制冷型红外焦平面阵列原理	55
3.1 热绝缘结构的重要性	55
3.2 主要热探测机理	58
3.2.1 电阻测辐射热计	58
3.2.2 热电探测器和铁电测辐射热计	60
3.2.3 温差电探测器	62
3.3 重要限制	64
3.3.1 温度波动噪声限制	64
3.3.2 背景波动噪声限制	65
3.4 讨论	68
第4章 单片硅微测辐射热计焦平面阵列	70
4.1 引言	70
4.2 微测辐射热计的响应率	71
4.2.1 微测辐射热计的基本工作单元	72

4.2.2	微测辐射热计材料的电阻变化	73
4.2.3	微测辐射热计热平衡方程	76
4.2.4	热平衡方程的解	77
4.3	微测辐射热计的噪声	86
4.3.1	微测辐射热计的电阻噪声	86
4.3.2	偏置电阻的噪声	88
4.3.3	热导噪声	89
4.3.4	辐射噪声	89
4.3.5	整个电噪声	90
4.3.6	前置放大器噪声	92
4.4	微测辐射热计信噪比	93
4.4.1	噪声等效功率(NEP)	93
4.4.2	噪声等效温差(NETD)	93
4.4.3	探测率	94
4.4.4	与理想辐射热计的比较	95
4.4.5	Johnson 噪声近似	97
4.5	微测辐射热计阵列的电子读出电路	97
4.6	微测辐射热计的结构设计、制备以及封装	100
4.6.1	微测辐射热计的结构设计和制作	100
4.6.2	封装	103
第 5 章	混合铁电-热电测辐射热计阵列	105
5.1	引言	105
5.2	热电探测器原理	105
5.2.1	热电和铁电材料	105
5.2.2	工作模式	116
5.2.3	信号与噪声	119
5.3	实际考虑及设计	126
5.3.1	铁电材料的选择	126
5.3.2	热隔离	127
5.3.3	调制传递函数(MTF)	128
5.3.4	读出电路	129
5.3.5	系统电子学	130
5.3.6	斩波器	131
5.4	系统的实现	136
第 6 章	单片热释电测辐射热计阵列	139
6.1	引言	139
6.2	探测器设计方法	139

6.2.1	材料加工	141
6.2.2	材料特性	143
6.2.3	热隔离结构	145
6.2.4	微机械加工传感器的制作流程设计	145
6.2.5	集成电路	147
6.3	工艺设计	148
6.4	硅基底的集成热电探测器阵列	149
6.4.1	像素结构	149
6.4.2	电路处理	150
6.4.3	硅基底的 PbTiO_3 阵列的性能	153
6.5	砷化镓基底的集成热电探测器	155
6.6	小结	156
第 7 章	热电型非制冷红外焦平面阵列	158
7.1	热电堆红外探测器	158
7.1.1	非制冷红外探测器机理	158
7.1.2	热电堆红外探测器设计方案比较	159
7.1.3	塞贝克效应	159
7.1.4	不同的热电堆红外探测器	161
7.2	128×128 像素的热电堆红外焦平面阵列	162
7.2.1	多晶硅热电堆红外探测器	162
7.2.2	硅热电堆红外探测器的特性	163
7.2.3	读出集成电路	164
7.2.4	电荷耦合器件	165
7.2.5	封装	165
7.2.6	性能	166
7.3	小结	168
第 8 章	热释电摄像管	169
8.1	历史回顾	169
8.2	热释电摄像管的构成与特点	170
8.2.1	热释电摄像管的基本结构	170
8.2.2	热释电摄像管的图像入射方式	171
8.2.3	视频信号的形成	172
8.3	热释电摄像管的工作原理	172
8.3.1	热释电效应及热释电材料	172
8.3.2	热释电靶的单畴化	176
8.3.3	热释电靶电荷图像的形成与读出	177
8.4	热释电摄像管的性能分析	180

第 9 章 隧道效应红外传感器	183
9.1 引言	183
9.2 传感器模型	184
9.2.1 传感器的热量模型	184
9.2.2 传感器的机械模型和电子模型	186
9.2.3 噪声模型和相关考虑	188
9.3 隧道效应传感器的背景	191
9.3.1 隧道效应传感器和电容传感器的比较	192
9.3.2 隧道效应传感器的设计考虑	194
9.4 红外隧道效应传感器的设计和制备	195
9.5 隧道效应传感器的工作过程	200
9.6 红外传感器的工作和测试	204
9.7 隧道效应红外传感器的展望	208
9.8 结论	209
第 10 章 石英微型谐振器阵列	210
10.1 引言	210
10.2 用作红外传感器的石英微型谐振器	211
10.3 性能参数的计算	212
10.4 石英温度计及其温度系数	220
10.5 振荡器的噪声	221
10.6 频率测量	221
10.7 热隔离	222
10.8 微谐振器的红外吸收	223
10.9 微谐振器阵列的预期性能	224
10.10 可生产性和其他一些要求	226
10.11 小结	227
第 11 章 微测辐射热计非制冷红外热成像系统	229
11.1 非制冷热成像系统发展简介	229
11.2 微测辐射热计非制冷红外热成像系统的基本组成	230
11.3 UL 01 01 1 型微测辐射热计	230
11.4 UL 01 01 1 型微测辐射热计的驱动电路	231
11.4.1 驱动电路的性能参数要求	232
11.4.2 驱动电路的设计	233
11.5 TEC 温控电路	235
11.6 A/D 数据转换电路	236
11.7 基于 DSP 和 FPGA 实时图像信号处理	237
11.8 非均匀校正处理算法	238

11.8.1	概念	238
11.8.2	温度定标校正算法	239
11.8.3	高通滤波校正算法(THPFC)	241
11.8.4	人工神经网络法(NNC)	242
11.9	红外图像增强	243
11.9.1	直方图	243
11.9.2	自适应分段线性变换	244
11.9.3	红外图像非均匀校正和图像增强的处理结果	246
11.10	视频合成	248
11.11	红外热成像系统的质量评价	251
11.11.1	噪声等效温差	251
11.11.2	最小可分辨温差	252
11.11.3	调制传递函数(MTF)	253
11.12	非制冷热成像系统的发展趋势	254
参考文献		255

第 1 章 绪 论

本章从夜视技术的基本问题出发,提出了热成像的问题,并将热像仪放在整个夜视技术中加以考察.描述了热像仪的功能和优缺点,从热成像技术的应用总结了热成像技术的作用和地位.另外,作者对热成像技术的划代进行归纳和分析,在此基础上,提出了自己的观点;分析了红外探测器与系统的关系,对各种热像仪进行了简要的分类;以大事记的形式,回顾了制冷和非制冷红外焦平面探测器的发展.最后,作者描述了红外探测器的发展趋势.

1.1 热成像技术概述

白天,人眼能看到自然界中的景物,因为眼睛接收到景物表面反射太阳的直射光,或是散射光.夜晚,虽然没有太阳照明,但在多数夜间,仍有月光、星光或大气辉光存在,自然界中的景物表面仍然要反射这些微弱的光线,于是人眼还能模糊地看到近处景物、大景物的轮廓.在夜间观察,基本矛盾是人眼接收到的光强不足.解决这个问题基本思路是

- (1) 使用大口径的望远镜,尽可能多地得到光能量;
- (2) 像电子学那样,设法对微弱的光图像进行放大;
- (3) 用人工光源对景物进行照明;
- (4) 利用景物在红外波段的辐射能量实现热成像.

用不同的技术解决这个问题,就形成了不同的夜视方法——微光夜视技术和热成像技术.

微光夜视技术是利用电真空和电子光学等技术,实现光子图像—电子密度图像—光子图像的转换,并在该转换过程中,通过对电子密度图像的倍增实现对光子图像的增强,进而达到在有微弱光线照明下的夜间观察的一种技术.

微光夜视技术的核心是微光图像增强器,是一个由光电阴极、电子光学部件、荧光屏等三大部分组成的电真空器件.其工作原理是:景物反射的微弱可见光和近红外光汇聚到光电阴极上,光电阴极受激向外发射电子,在这一过程中,实现把景物的光强分布图像变成与之对应的电子密度分布图像;在电子光学部件中,输入一个电子,可以输出成千上万个电子,因此,光电阴极的电子密度分布图像就被成千上万倍的增强了,所谓的“微光图像增强”就是在这一过程中实现的.最后,经过倍增的大量电子轰击荧光屏,实现电子密度图像—光子图像的转变,得到增强微光图

像供人眼观察. 迄今为止, 微光图像增强器已发展到第四代, 其差别主要是在光电阴极的材料和电子光学的部件上. 实用的微光夜视仪还包括接收、汇聚光线的望远镜, 供人眼直接观察的目镜、电源等部分. 如果用电视摄像机摄取微光图像增强器输出的图像, 用电视来观察, 这样的系统就是微光电视.

热是构成物体的分子、原子运动的宏观表现, 温度是分子、原子热运动程度的度量值. 自然界中的物体, 只要有温度, 就会发射电磁波. 在电磁波频谱中, 波长在 $0.001 \sim 1 \text{ mm}$ 的是红外线. 自然界中的物体都有温度, 因此, 都以红外辐射的方式和环境进行能量交换. 由于红外线是因分子、原子热运动引起的, 故也称为热辐射. 物体表面热辐射的强弱与该点的温度和表面状态有关, 从而形成一幅反映物体温度分布和表面特征的热辐射图像(简称热图像或热像), 但人眼对热辐射没有视觉反映, 不能直接看见热图像. 决定景物可见光反射和反射率差的物性因素, 也决定着景物热辐射发射和发射率差, 故景物热辐射分布的图像可以复现由景物反射和反射率差所形成的可见光图像的大部分细节.

1.1.1 热成像技术解决的基本问题

由于利用景物自身发射的热辐射成像, 从而在根本上解决了夜间观察中光强不足的问题. 室温景物时刻不停地发射包括中波红外($3 \sim 5 \mu\text{m}$), 尤其是长波红外($8 \sim 14 \mu\text{m}$)波段光子数巨大的红外辐射. 在这两个红外波段, 没有昼夜之分. 显然, 如果能感知景物的热图像, 则一天 24 小时都是透明. 因此, 借助于热成像技术, 可以使人们更有效地进行夜间观察.

能够摄取景物红外辐射分布图像, 并将其转换为人眼可见图像的装置就是红外热成像系统(简称热像仪). 实现景物热成像的技术称为热成像技术. 热成像技术就是综合利用红外物理和技术、半导体、微电子、真空、低温制冷、精密光学机械、电子学、信号处理、计算机、系统工程等获取景物的热辐射图像, 并将其转变成电信号, 再用处理后的电信号驱动显示器, 产生可供人眼观察热图像的一门高新技术. 实现将人眼不可见的景物热图像转换成人眼可观察的热像的装置称为热像仪.

热像仪一般包括六大部分:

- (1) 接收和汇聚景物发射红外线的红外望远镜;
- (2) 既实现红外望远镜大视场与红外探测器小视场匹配, 又按显示制式的要求进行信号编码的光学机械扫描器(当使用探测元数量足够多的红外焦平面探测器时, 光学机械扫描器可以省去);
- (3) 将热辐射信号变成电信号的红外探测器组件;
- (4) 对电信号进行处理的电子学组件;
- (5) 将电信号转变成可见光图像的显示器;
- (6) 进行信号处理的算法和软件.

到目前为止,已经发展了三代热成像产品,其差别主要是使用了不同的红外探测器组件。

1.1.2 夜视技术的分类

根据夜视技术的技术特征,可将其进行如下分类:

- 1) 主动红外夜视仪(红外线探照灯+红外变像管)
- 2) 微光图像增强器
 - 第一代(银氧铯光电阴极+光纤面板+级联管)
 - 第二代(多碱光电阴极+微通道板)
 - 超二代(高灵敏度多碱光电阴极+微通道板)
 - 第三代(砷化镓负电子亲和势光电阴极+微通道板)
 - 超三代(高灵敏度砷化镓负电子亲和势光电阴极+极低噪声微通道板)
 - 第四代(光谱延伸高灵敏度砷化镓负电子亲和势光电阴极/低噪声无膜微通道板)
- 3) 微光电视(微光图像增强器+CCD/CMOS 电视图像传感器)
- 4) 主动被动合一微光夜视仪(各种红外照明器+微光像增强器)
- 5) 制冷型热像仪
 - 第一代 扫描型(第一代红外探测器——线列/小面阵探测器)
 - 第二代 扫描型(第二代红外探测器——线列焦平面探测器)凝视型(第二代红外探测器——凝视焦平面探测器)
 - 第三代 扫描型(第三代红外探测器——超长线列焦平面探测器)凝视型(第三代红外探测器——兆探测元数凝视焦平面探测器)
- 6) 非制冷型热像仪
 - 第一代 热释电摄像机(也称热电视,其核心是一种电真空器件)
 - 第二代 凝视型(非制冷凝视焦平面探测器)
 - 第三代 扫描型(非制冷线列焦平面探测器)
- 7) 主动红外激光成像(红外激光扫描照明+红外探测器)

1.1.3 热成像技术的作用与地位

热成像技术有三大功能:

- (1) 将人眼的观察范围扩展到光谱红外区;
- (2) 极大地提高人眼观察的灵敏度;
- (3) 获得了客观世界与热运动相关的信息。

现代科学技术的迅猛发展,使热成像技术有了革命性进展,具体表现为

- (1) 实现了长波红外、中波红外的热成像,实现了真正意义上的夜视;

(2) 发展成功二代热像仪产品,大批量生产,已广泛应用于陆、海、空、天等领域;

(3) 实现了非制冷的热成像,产品进入批生产,极大地降低了热像仪的价格;

(4) 发展了功能复杂而强大的信息处理技术,使夜视技术得以更广泛的应用。现代高技术局部战争有几个特点:

(1) 电子战和信息战;

(2) 空袭与反空袭;

(3) 隐身与反隐身;

(4) 夜战;

(5) 远程精确打击。

这些作战特点均与热成像技术密切相关。夜视器材是现代高技术局部战争的物质基础。装备夜视器材可使部队昼夜连续作战,使作战更具有突然性,有利于获得战争的主动权。早期的主动红外夜视仪很容易暴露目标,现已基本淘汰。微光夜视仪发展得很成熟,但受天气的影响仍然很大。热像仪的出现是夜视技术中的一次革命,是真正意义上的夜视器材。作为当今最重要的夜视技术,热成像技术有五大优点:

(1) 环境适应性优于可见光,尤其是在夜间和恶劣天候下,并具有较好的穿透烟雾和尘埃的能力;

(2) 隐蔽性好,比雷达和激光探测安全且保密性强,不易被干扰;

(3) 识别伪装目标的能力优于可见光,具有较强的反隐身能力;

(4) 具有较远的作用距离;

(5) 与雷达系统相比,体积小,重量轻,功耗低。

由于大气中的水分子对红外辐射的吸收比对雷达波的大,因此热成像技术还不能实现全天候工作。

1.1.4 热成像技术的军事应用

近 10 年来,热成像技术发展很快,已经成为在未来军事技术中具有战略地位的高新技术,具体表现在以下三个方面:

(1) 热成像技术是国家安全依赖的主要探测技术手段。

大量使用弹道导弹和远程巡航导弹突击战略目标,是现代高技术局部战争的特点之一。从海湾战争起,直到最近的伊拉克战争中,弹道导弹和远程巡航导弹都已作为有效突击和反击武器得到大量使用。用导弹预警卫星对其早期预警、跟踪、识别,及时进行预警和实施拦截,直接关系到国家战略目标的安全;侦察卫星、地球资源遥感卫星、气象卫星对国家安全和经济利益有重大影响;而热成像技术是上述卫星的关键技术。

(2) 热成像技术是现代高技术局部战争使用的主要技术之一。

现代高技术局部战争是在高强度电子对抗条件下进行的,因此多数战斗都是在夜间或恶劣的天气情况下进行.热成像系统被动工作的优越性将更加充分地显示出来.作为战场信息网络获取图像的第一个环节,热成像技术是关键技术之一,将卫星、侦察机、无人机、舰船、车辆、人员等等各种平台上的热成像系统与数据链(无线和有线、无线电和光通信)结合后,形成热图像信息网络,实时将热图像传递到相关作战单位,获得战场信息优势,对夺取战斗的胜利和减小损失具有重大的,甚至是决定性的作用.在严重电磁干扰的条件下,热成像技术是主要的探测手段.

热成像技术的战略地位也是由其在军事使用中的广泛性和重要性决定的.作为夜视器材,热像仪已在飞机、舰艇、车辆的夜间导航、驾驶、前沿侦察、战场监视等方面获得广泛应用.不仅如此,热成像技术还在反装甲武器系统、精确制导武器、火炮、导弹的火控系统、光电对抗等等有着广泛的应用.实际上,发达国家的所有军种和几乎所有兵种都装备了热像仪.

陆军领域,在反装甲方面,已用于轻型近程反坦克导弹的便携式热瞄具,车载反坦克导弹的热瞄具等;在防空反低空导弹方面,已用于肩射地空导弹的热瞄具,与高炮、地空导弹组成防空网的分置式红外搜索、跟踪、火控系统,车载高炮、地空导弹或弹炮结合的一体化的红外搜索、跟踪、火系统等.装甲战斗车辆是热成像技术应用最多的一个领域,现已用于坦克火力控制系统、车长周视潜望镜、炮长热瞄具、夜间车辆驾驶;在侦察方面,已用于战场侦察和监控、毁伤评估、无人值守情报站、装甲侦察车辆等;在轻武器热瞄具方面,已用于无座力炮、火箭筒、高射机枪、步枪、机枪、狙击步枪等;在精确制导方面,已用于反坦克导弹、地空导弹、巡航导弹等;在军用机器人方面,是战场机器人重要的视觉系统.热成像技术还可用于探测毒气.

在空军领域,新一代的空空格斗导弹都采用热成像制导,空地导弹是采用热成像制导最成功的例子之一.为评价打击效果,提高命中精度,在新研制的巡航导弹上也开始采用热成像制导.飞行器采用的热成像技术也很多,有用于夜间导航飞行的吊舱和转塔式的前视红外系统;有用于空中侦察的吊舱、转塔和固定式前视红外、侧视红外、下视红外系统;还有用于空中搜索和定位、对地攻击的吊舱、转塔、固定式的前视红外系统;在直升机上,有安装在旋翼轴上的桅杆式前视红外系统.热成像技术是侦察无人机的标准设备,所有的无人机都要装备.

在海军方面,主要的作战舰艇都采用了热成像技术,大至航空母舰、弹道导弹潜艇,小到导弹快艇、巡逻艇.热成像技术已用于防空导弹的制导和导引、反舰导弹、巡航导弹等精确制导武器.水面舰艇的最大威胁是掠海飞行反舰导弹,搜索、跟踪是对其进行拦截的前提,而红外搜索、跟踪系统是一种能用于该目的的、很好的系统.舰艇防空的最后一道防线是近程点防御武器系统,配备热像仪后,即使雷达

被干扰后,这种系统也可以有效地作战.水面舰艇的主炮往往同时配备雷达和热成像火控系统,有的只配备热成像火控系统.传统的潜望镜已不能满足现代海战的要求,现代潜艇的潜望镜已发展成为光电桅杆,装备有热像仪,明显的提高了潜艇的作战效能.此外,在海上巡逻与救援、编队航行等方面,热成像技术也有广泛应用.

1.1.5 热成像技术在国民经济领域的应用

热成像可以给出物体表面热辐射及其内部热耗散的信息,从而成为人们观察和感知客观世界的一种新手段.在需要观察物体的热图像,需要非接触获得物体的温度分布图,需要在夜间观察物体等等场合,热成像技术都是最好的选择.所以,热成像技术在准军事和民用领域也同样有广泛的应用.

在航天领域,气象卫星、资源遥感卫星、地球观测卫星、红外天文观测卫星等利用热成像技术进行气象预报、减灾防灾、农作物长势监测、产量评估、病虫害预报、森林防火、国土调查、资源勘察、区域规划、环境污染监视、科学研究等等,这些应用对国民经济都具有重大的影响.我国是一个自然灾害频繁的国家,利用卫星监视环境的变化,及时发出预报,可以减少人民生命财产的损失.我国科学家利用卫星的红外云图发现:地震前,震区上空空气的温度会升高,出现所谓的“红肿”现象.目前正在研究利用这种现象进行地震预报,并已有成功的例子.在国土调查、资源勘察、区域规划、环境污染、森林防火等方面,利用卫星的热图像,可以给出宏观、综合、动态、及时且不间断的信息,为国家的宏观与控制提供依据.卫星的热成像装置可以用于海流、火山、冰山、地球的植被、地球的热平衡等方面的科学研究,使人类得以更好地认识自然.总之,热成像技术已经发展成为对国家经济利益和安全有重大影响的高新技术.

在工业部门,热成像技术的应用领域也很多.电力部门已用热像仪对输电线路、变压器等装置进行带电检测,可以及时发现故障隐患,对保障电力供应起到了很好的作用.在冶金部门,热像仪用于检查炉体的温度分布,以便及时发现炉衬的腐蚀情况,组织修理.在石油、化工部门,热像仪用于检查反应塔、管路的温度分布及泄漏情况.在建筑、建材部门,热像仪用于检查建筑物的漏热,以便采取节能措施,降低采暖和空调系统的能耗,提高经济效益和减少环境污染.在交通部门,热像仪已用于飞机的夜间驾驶和导航,特别是低空飞行.热像仪用来检查火车的车轴,防止过热烧毁.安装了热像仪的列车可以在夜间和雾天发现道路上的障碍物,避免行车事故.安装了热像仪的船舶可以在夜间和雾天航行,避免撞船.安装了热像仪的车辆可以避免雾天在高速公路上的“追尾”事故,可以保证夜间的行车安全.

在医学领域,热像仪已是癌症的早期诊断,皮肤、骨骼、血管等病变诊断的标准手段,目前又开始用于手术中监视病人的心脏和血管,以便发现异常现象、及时采取措施.