

INFRARED
PHYSICS

红外物理

(第二版)

张建奇 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

红 外 物 理

(第二版)

张建奇 主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书系统地论述了红外辐射的发射、传输及测量等过程中的基本原理和规律,介绍了红外辐射的基本知识、辐射度学的基本概念、辐射量的基本计算以及校准用黑体型辐射源和实验室常用辐射源。同时,讨论了黑体和一般物体的辐射规律、目标与背景的红外辐射特性、红外辐射在大气中传输衰减的物理起因和大气透过率的计算方法、红外辐射测量基本设备及红外辐射参数的测量原理。

本书可作为红外技术、光电子技术、光学工程等专业的本科高年级学生及研究生的专业教材,也可供相关专业的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

红外物理/张建奇主编. —2版. —西安:西安电子科技大学出版社,2013.9
ISBN 978-7-5606-2993-3

I. ①红… II. ①张… III. ①红外物理 IV. ①TN211

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 039739 号

责任编辑 毛红兵 马晓娟

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 西安文化彩印厂

版 次 2013年9月第2版 2013年9月第4次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 16

字 数 374千字

印 数 8001~11000册

定 价 28.00元

ISBN 978-7-5606-2993-3/TN

XDUP 3285002-4

* * * 如有印装问题可调换 * * *

前 言

红外技术作为现代光电子技术中最为活跃的领域之一，在空间遥感、医学诊断和光电对抗等方面都有着广泛的应用，对国民经济的持续健康发展和国防现代化建设等都有着重要意义。为了适应培养相关专业人才的需求，我们组织编写了本书。自本书的第一版出版以来，已经过去了8年，编者在使用过程中有了新的经验和体会，热心的读者也提出了很好的意见和建议，为了更好地帮助学生和相关研究人员掌握红外物理方面的专业知识，编者结合近年来的科研和教学成果对本书进行了修订。本次修订充分考虑学生以及相关研究人员的实际情况，力求做到既注重基础，又具有一定的深度，在保持本书第一版宗旨不变的基础上，对本书第一版的部分章节进行了调整和增删，并补充介绍一些红外领域的最新进展，同时对原书中出现的错误进行了订正。本次修订主要体现在以下几个方面：

1. 对第一版第2章“辐射度学和光度学基础”进行了次序调整，力求调整后的内容更加易于学习和掌握。同时增加了部分内容。

2. 对第一版第5章“目标和背景的红外辐射特性”进行了较大的删减，考虑到一些相关的专业书籍已经对这部分内容有了更加深入的介绍，此处仅对目标和背景辐射特性的基本知识进行了论述。

3. 对第一版第6章“红外辐射在大气中的传输”进行了更新，重点介绍了大气辐射传输计算模型的最新进展。

4. 对第一版第7章“红外辐射测量仪器及基本辐射参数的测量”进行了较大的修改，重点添加了一些新的红外辐射测量仪器以及该领域的新进展。

修订后的这一版仍分为七章，第1章介绍红外辐射的基本知识；第2章讨论辐射度学和光度学的一些基本概念、基本规律和辐射量的基本计算；第3章讨论热辐射的规律；第4章讨论作为标准用的校准黑体辐射源以及实验室常用的辐射源；第5章讨论目标与背景的红外辐射特性；第6章讨论红外辐射在大气中的辐射传输特性；第7章介绍红外辐射测量常用的基本设备以及红外辐射参数的测量原理。

本书由张建奇执笔，黄曦参与第5、7章的修订，刘德连参与第6章部分内容的编写。

在本书编写过程中得到了西安电子科技大学出版社、西安电子科技大学技术物理学院红外技术系的教师和同学的支持与帮助，谨向他们表示诚挚的感谢。同时，在本书编写过程中，编者参考了大量的文献资料，在此向这些文献资料的作者及同仁深表谢意。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有一些不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2012年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 电磁波谱	1
1.1.2 红外辐射	3
1.1.3 红外辐射的基本特点	4
1.2 红外物理及红外技术	5
1.2.1 红外物理	5
1.2.2 红外技术及应用	5
第 2 章 辐射度学和光度学基础	11
2.1 引言	11
2.2 常用辐射量	12
2.2.1 辐射能	12
2.2.2 辐射能密度	12
2.2.3 辐射功率	12
2.2.4 辐射强度	12
2.2.5 辐射出射度	14
2.2.6 辐射亮度	15
2.2.7 辐射照度	16
2.3 光谱辐射量与光子辐射量	17
2.3.1 光谱辐射量	17
2.3.2 光子辐射量	18
2.4 光度量	19
2.4.1 光通量	21
2.4.2 发光强度	22
2.4.3 光出射度	22
2.4.4 光亮度	23
2.4.5 光照度	23
2.4.6 发光效率	24
2.5 朗伯余弦定律	25
2.5.1 朗伯辐射源的辐射亮度	26
2.5.2 朗伯辐射源的特征	26
2.5.3 朗伯辐射源的 L 与 M 的关系	27
2.6 规则辐射体的辐射量计算	27

2.6.1	圆盘的辐射强度和辐射功率	27
2.6.2	球面的辐射强度和辐射功率	28
2.6.3	半球面的辐射强度和辐射功率	28
2.6.4	点源产生的辐射照度	29
2.6.5	小面源产生的辐射照度	29
2.6.6	扩展源产生的辐射照度	30
2.6.7	球形腔内壁的辐照度(Sumpner 定理)	31
2.6.8	线状辐射源产生的辐照度	33
2.6.9	简单几何形状辐射体的辐射特性	35
2.7	辐射在介质及光学系统中的传递	36
2.7.1	辐射面之间的辐射传递	36
2.7.2	辐射在介质表面的反射与透射	40
2.7.3	辐射在均匀无损耗介质中的传递	49
2.7.4	辐射在光学系统中的传递	51
	习题	56
第3章	热辐射的基本规律	60
3.1	发光种类简介	60
3.2	基尔霍夫定律	61
3.2.1	基尔霍夫定律	61
3.2.2	密闭空腔中的辐射为黑体的辐射	61
3.2.3	辐射亮度与能量密度的关系	62
3.2.4	黑体为朗伯辐射体	63
3.3	普朗克公式	64
3.3.1	普朗克公式的推导	64
3.3.2	普朗克公式的物理意义	67
3.3.3	普朗克公式的近似	67
3.3.4	用光子数表示的普朗克公式	68
3.3.5	用其它变量表示的普朗克公式	68
3.3.6	广义普朗克函数	69
3.4	维恩位移定律	70
3.4.1	维恩位移定律表示式	70
3.4.2	黑体光谱辐射出射度的峰值	70
3.4.3	光子辐射量的维恩位移定律	71
3.4.4	维恩位移定律的广义表达式	71
3.5	斯忒藩-玻耳兹曼定律及表示	72
3.5.1	斯忒藩-玻耳兹曼定律	72
3.5.2	用光子数表示的斯忒藩-玻耳兹曼定律	72
3.6	黑体辐射的简易计算	73
3.6.1	黑体辐射函数	73

3.6.2 计算举例	74
3.7 辐射效率和辐射对比度	74
3.7.1 辐射效率	74
3.7.2 辐射对比度	75
3.8 发射率和实际物体的辐射	77
3.8.1 发射率的定义	77
3.8.2 朗伯辐射体的发射率	78
3.8.3 物体发射率的一般变化规律	80
3.8.4 热辐射体的分类	81
3.9 红外辐射测温	82
3.9.1 辐射温度	82
3.9.2 亮温度	83
3.9.3 色温度	83
习题	84
第4章 红外辐射源	87
4.1 黑体型辐射源	87
4.1.1 Gouffé 理论	87
4.1.2 Devos 理论	92
4.2 黑体型辐射源	98
4.3 实验室常用红外辐射源	102
4.3.1 电热固体辐射源	102
4.3.2 气体放电辐射源	105
4.4 红外激光器	109
4.4.1 激光的特性	109
4.4.2 常用的激光器	110
习题	111
第5章 目标和背景的红外辐射特性	112
5.1 环境红外辐射特性	112
5.1.1 太阳辐射	112
5.1.2 月球辐射	115
5.1.3 天空背景的辐射	116
5.1.4 地物的辐射	118
5.1.5 海洋背景光辐射特性	119
5.2 目标光辐射特性	120
5.2.1 飞机红外辐射	120
5.2.2 火箭红外辐射	123
5.2.3 坦克红外辐射特性	124
5.2.4 火炮红外辐射特性	125
5.2.5 红外诱饵辐射特性	125

习题	126
第 6 章 红外辐射在大气中的传输	128
6.1 地球大气的基本组成	129
6.2 大气的气象条件	130
6.2.1 大气温度	130
6.2.2 大气压强	133
6.2.3 大气密度	135
6.3 大气中的主要吸收气体	137
6.3.1 水蒸气	137
6.3.2 二氧化碳	141
6.3.3 臭氧	143
6.4 大气的主要散射粒子	144
6.5 大气辐射传输的一般规律	146
6.6 大气的吸收衰减	147
6.6.1 大气的选择吸收	148
6.6.2 光谱线的展宽和线型	149
6.6.3 分子的单线吸收	158
6.6.4 分子的带吸收模型	161
6.6.5 斜程的大气吸收	169
6.6.6 表格法计算大气的吸收	170
6.7 大气的散射衰减	184
6.7.1 一般方程	185
6.7.2 瑞利散射	186
6.7.3 米氏散射	187
6.7.4 散射衰减的工程算法	189
6.8 大气透过率的计算举例	192
6.8.1 大气透过率的计算步骤	193
6.8.2 计算举例	193
6.9 清洁大气在宽谱段内的积累吸收	195
6.10 大气红外辐射传输计算软件介绍	196
6.10.1 软件简介	196
6.10.2 MODTRAN 软件	199
习题	206
第 7 章 红外辐射测量仪器及基本辐射参数的测量	207
7.1 红外辐射测量仪器	207
7.1.1 单色仪	207
7.1.2 红外光谱辐射计	217
7.1.3 红外分光光度计	221
7.2 辐射测量系统的标定	222

7.2.1 测量系统的响应度	222
7.2.2 测量系统的线性响应	226
7.2.3 测量系统的光谱响应	227
7.3 基本辐射量的测量	229
7.3.1 光谱辐射量的测量	229
7.3.2 总辐射量的测量	232
7.4 红外发射率的测量	235
7.4.1 半球全发射率的测量	235
7.4.2 法向光谱发射率的测量	237
7.5 红外反射比的测量	241
7.6 红外吸收比和透射比的测量	243
习题	244
参考文献	246

第1章 绪 论

本章主要介绍红外辐射的基本知识,明确红外物理所涉及的主要内容,同时介绍红外技术的主要应用。

1.1 引 言

白天,在太阳光的照耀下,人用眼睛可以看清周围的一切。漆黑的夜晚,人眼无法看到周围的物体。那么,太阳发出的辐射光中,除了人们熟知的可见光外,还有没有其它人眼看不到的光线呢?而漆黑夜晚下的物体,会不会发出人眼观察不到的不可见光呢?答案是肯定的,那就是,太阳光中,除了可见光外,还包含有紫外线和红外线,漆黑夜晚下的物体也会发出人眼看不到的红外线。所谓的红外线也叫红外辐射。红外辐射的本质是什么?红外辐射有什么特点?这些是讨论其它相关问题的出发点。

1.1.1 电磁波谱

从电磁学理论知道,物质内部的带电粒子(如电子)的变速运动都会发射或吸收电磁辐射。电磁辐射在空间传播过程中所携带的能量,称为电磁辐射能。

在日常生活中,我们遇到的各种辐射,如 γ 射线、X射线、紫外线、可见光、红外线、微波、无线电波等都是电磁辐射。由于产生或探测各种辐射的方法不同,历史上它们就得到了上述各种不同的名称。但在本质上它们是相同的,统称为电磁辐射。如果把这些辐射按其波长(或频率)的次序排列成一个连续谱,则称为电磁波谱,如图1-1所示。所有的电磁辐射都具有波动性,因此电磁辐射又称为电磁波。所有电磁波都遵循同样形式的反射、折射、干涉、衍射和偏振定律,且在真空中传播的速度具有同样的数值,称为真空中的光速,其数值为 $c=(2.99792458\pm0.00000012)\times10^8(\text{m/s})$ 。

在真空中,频率为 ν 的电磁波,波长为 λ ,真空中的光速为 c ,则有

$$\lambda\nu=c \quad (1-1)$$

在介质中,同样频率为 ν 的电磁波,波长为 λ' ,速度为 c' ,则有

$$\lambda'\nu=c' \quad (1-2)$$

由前面两式得到

$$\lambda=\frac{c}{c'}\lambda'=n\lambda' \quad (1-3)$$

式中, $n=c/c'$ 称为介质对真空的折射率。(1-3)式表明,同一频率的电磁波,在介质中的

波长是真空中波长的 n 分之一。

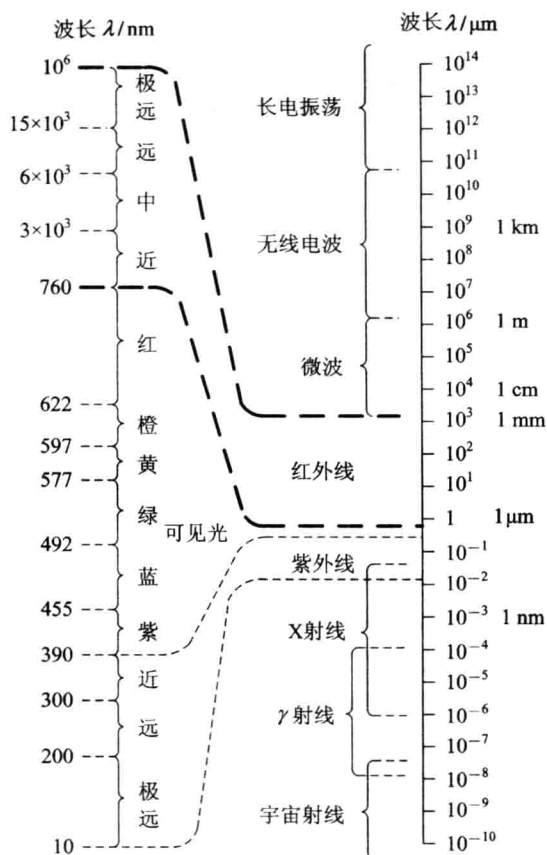


图 1-1 电磁波谱

在光谱学中，由于电磁波的频率是很大的数值，不能直接测量，并且测得的数值精度通常比测得的波长数值精度低，因此多用波长来标志紫外线、可见光和红外线。如无特殊说明，后面所引用的波长数值均是指真空中的数值。

在描述红外辐射时，波长的单位通常用微米(μm)表示，它与纳米(nm)以及埃($\text{\AA}$)的关系为

$$1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm} = 10^{-4} \text{ cm} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \mu\text{m} = 10^3 \text{ nm} = 10^4 \text{ \AA}$$

在光谱学中，除了用波长 λ 或频率 ν 等参数来表征电磁波外，还经常用波数 $\bar{\nu}$ 来标志。如果电磁辐射在真空中的波长用米表示，则波长值的倒数就是波数值 $\bar{\nu}$ ，即

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad (1-4)$$

在国际单位制中，波数的单位是 m^{-1} 。它的意义相当于在真空中 1 m 长的路程上包含有多少个波长的数值。利用(1-1)式，可得到波数 $\bar{\nu}$ 和频率 ν 的关系：

$$\bar{\nu} = \frac{\nu}{c} \quad (1-5)$$

即波数和频率成正比，波数大小同样可反映频率的高低。因此，在光谱学中，有时又

常常把波数 $\bar{\nu}$ 称为“频率”。在使用“频率”一词时，应该注意，不要将它与真正的频率弄混。

由于电磁辐射具有波粒二象性，因此，电磁辐射除了作为一种电磁波而遵守上述的波动规律以外，它还以光量子的形式存在。在考虑辐射的发射和吸收问题时，必须把辐射看成分立的微粒集合，这种微粒称为光子。一个光子具有的能量为

$$\epsilon = h\nu \quad (1-6)$$

式中， $h = (6.62606957 \pm 0.000029) \times 10^{-34} \text{ (J} \cdot \text{s)}$ ，称为普朗克(Planck)常量。

利用(1-1)式与(1-4)式，可得光子能量与波长和波数的关系为

$$\epsilon = \frac{hc}{\lambda} = hc\bar{\nu} \quad (1-7)$$

即光子的能量与波长 λ 成反比。或者说，光子的能量与波数 $\bar{\nu}$ 成正比。在光谱学中，有时直接用波数 $\bar{\nu}$ 来表示光子的能量。

光子的能量还常用电子伏特(单位：eV)来表示。一个电子伏特的能量是指在真空中一个自由电子在一伏特电位差的加速下所获得的动能。

电子伏特(eV)和焦耳(J)单位之间的换算关系为

$$1 \text{ eV} = (1.60217653 \pm 0.00000014) \times 10^{-19} \text{ J}$$

1.1.2 红外辐射

红外辐射也称红外线，是在 1800 年由英国天文学家赫谢耳(Herschel)在研究太阳光的热效应时发现的。他用分光棱镜将太阳光分解成从红色到紫色的单色光，依次测量不同颜色光的热效应。他发现：当水银温度计移到红色光谱边界以外人眼看不见有任何光线的黑暗区时，温度反而比红光区域的温度高。反复实验证明，在红光外侧，确实存在一种人眼看不见的“热线”，后来称为“红外线”。

红外线存在于自然界的任何一个角落。事实上，一切温度高于绝对零度的有生命和无生命的物体时时刻刻都在不停地辐射红外线。太阳是红外线的巨大辐射源，整个星空都是红外线源，而地球表面，无论高山大海，还是森林湖泊，甚至是冰川雪地，也在日夜不断地辐射红外线。特别是活动在地面、水面和空中的军事装置，如坦克、车辆、军舰、飞机等，由于它们有高温部位，往往都是强的红外辐射源。在人们的生活环境中，如居住的房间里，到处都有红外线源，如照明灯、火炉，甚至一杯热茶，都在放出大量红外线。更有趣的是，人体自身就是一个红外线源，而且一切飞禽走兽也都是红外线源。总之，红外线充满整个空间。

由图 1-1 可知，红外辐射从可见光的红光边界开始，一直扩展到电子学中的微波区边界。红外辐射的波长范围为 $0.78 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$ ，是个相当宽的区域。

在电磁波谱中，红外辐射只占有小部分波段。整个电磁波谱包括 20 个数量级的频率范围，可见光谱的波长范围($0.38 \mu\text{m} \sim 0.77 \mu\text{m}$)只跨过一个倍频程，而红外波段($0.78 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$)却跨过大约 10 个倍频程。因此，红外光谱区比可见光谱区含有更丰富的内容。

一般情况下，通常把整个红外辐射波段按波长分为 4 个波段，见表 1-1。

表 1-1 红外辐射光谱区的划分

波段	近红外	中红外	远红外	极远红外
波长	$0.78\ \mu\text{m} \sim 3\ \mu\text{m}$	$3\ \mu\text{m} \sim 6\ \mu\text{m}$	$6\ \mu\text{m} \sim 15\ \mu\text{m}$	$15\ \mu\text{m} \sim 1000\ \mu\text{m}$

以上的划分方法是以红外辐射在地球大气层中的传输特性确定的。例如，前三个波段中，每一个波段都至少包含一个大气窗口。所谓的大气窗口，是指在一定的波长范围内，大气对红外辐射的吸收较小，透过率比较高，像通过可见光的窗户一样，将红外波长分割成许多小的区域，如图 1-2 所示，而将这些能通过红外辐射的区域称为大气窗口。

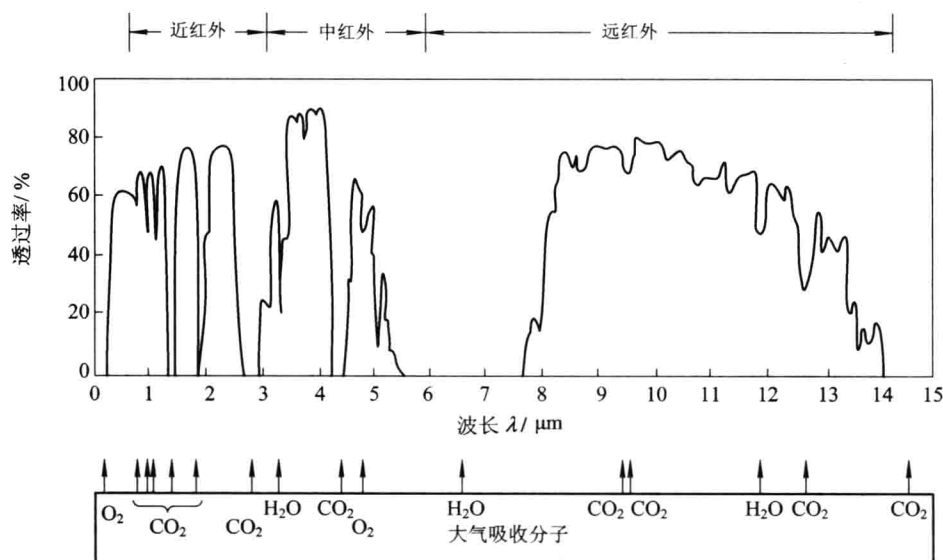


图 1-2 红外大气窗口

必须说明的是，在红外技术应用领域，根据大气的窗口特性、红外系统的光学材料及探测器的材料特性，将表 1-1 中的红外辐射光谱区划分为：近红外($1\ \mu\text{m} \sim 3\ \mu\text{m}$)、中红外($3\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$)及远红外($8\ \mu\text{m} \sim 12\ \mu\text{m}$)。有的资料，特别是国外文献，也有以下称谓的，近红外(NIR: $0.7\ \mu\text{m} \sim 1.1\ \mu\text{m}$)、短波红外(SWIR: $1.1\ \mu\text{m} \sim 2.5\ \mu\text{m}$)、中波红外(MWIR: $2.5\ \mu\text{m} \sim 7\ \mu\text{m}$)、长波红外(LWIR: $7\ \mu\text{m} \sim 15\ \mu\text{m}$)和超长波红外(VLWIR: $15\ \mu\text{m} \sim$)。

另外，在光谱学中，根据红外辐射产生的机理不同，红外辐射按波长分为三个区域：

近红外区： $0.77\ \mu\text{m} \sim 2.5\ \mu\text{m}$ ，对应原子能级之间的跃迁和分子振动泛频区的振动光谱带；

中红外区： $2.5\ \mu\text{m} \sim 25\ \mu\text{m}$ ，对应分子转动—振动能级之间的跃迁；

远红外区： $25\ \mu\text{m} \sim 1000\ \mu\text{m}$ ，对应分子转动能级之间的跃迁。

1.1.3 红外辐射的基本特点

红外辐射是一种电磁辐射，它既具有与可见光相似的特性，如反射、折射、干涉、衍射和偏振，同时，又具有粒子性，即它可以以光量子的形式发射和吸收。这已在电子对产生、康普顿散射、光电效应等实验中得到充分证明。此外，红外辐射还有一些与可见光不一样的独有特性：

- (1) 人的眼睛对红外辐射不敏感, 所以必须借助于对红外辐射敏感的红外探测器;
- (2) 红外辐射的光量子能量比可见光的小, 例如 $10\text{ }\mu\text{m}$ 波长的红外光子的能量大约是可见光光子能量的 $1/20$;
- (3) 红外辐射的热效应比可见光要强得多;
- (4) 红外辐射更易被物质所吸收, 但对于薄雾来说, 长波红外辐射更容易通过。

1.2 红外物理及红外技术

红外物理学是现代物理学的一个分支, 它以电磁波谱中的红外辐射为特定研究对象, 是研究红外辐射与物质之间相互作用的学科。红外物理学运用物理学的理论和方法, 研究和分析红外辐射的产生、传输及探测过程中的现象、机理、特征和规律, 从而为红外辐射的技术应用, 探索新的原理、新的材料、新型器件和开拓新的波谱区, 提供理论基础和实验依据。此外, 近年来, 随着红外技术在各个领域内的推广应用, 提出了不少新的物理技术问题, 这也需用红外物理的理论方法, 结合使用对象去具体地加以解决。在实际工作中, 红外物理学不仅能预言各种技术应用方案的可行性, 而且它可通过对各种物质、不同目标和背景红外辐射特性的研究, 对地球大气层红外光学性质的研究, 对不同材料红外吸收特性以及由此而引起的各种物理效应的研究, 为红外系统工程设计和新型元器件的研制提供可靠依据。

1.2.1 红外物理

红外物理的主要内容包括:

- (1) 红外辐射的度量;
- (2) 热辐射的基本规律;
- (3) 实用型红外辐射源;
- (4) 目标与背景红外辐射特性;
- (5) 大气红外辐射传输特性;
- (6) 红外辐射与物质的相互作用;
- (7) 物体红外辐射参数测量。

由上述内容可看出, 红外物理学研究的内容很广泛, 实质上它是以红外技术应用为目的的一门应用学科。

1.2.2 红外技术及应用

所谓红外技术, 是对物体红外辐射在多维空间上经光/电(热)转换, 产生适合特定任务要求的信号形式, 并进行处理和应用的的方法和手段的集成。

红外技术的具体形式是红外系统, 一个比较完整的红外系统通常包括目标、光学系统、光学调制器/光机扫描机构、红外探测器、信号放大处理电路以及显示记录装置等, 如图 1-3 所示。

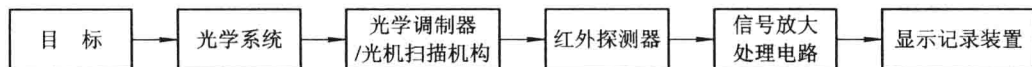


图 1-3 红外系统的组成

• 目标是红外系统所作用的对象,目标的红外辐射通过大气的吸收和散射作用后到达光学系统。

• 光学系统的作用是收集、汇聚来自目标的红外辐射能量,经调制器将能量送到探测器,因而,光学系统类似于无线电设备的接收天线。红外光学系统在视场大小、光谱范围、口径及焦距、像质和分辨力等方面,针对不同的任务都有具体的要求。

• 光学调制器是在能透过红外辐射的基板上,用光刻的方法做成许多透辐射和不透辐射的栅格,这些栅格构成了调制器的图案。调制器置于光学系统的焦平面附近,当目标像点与调制器之间有相对运动时,透辐射和不透辐射的栅格切割像点,形成调制信号。调制器的作用是把恒定的辐射通量调制成断续的辐射通量、产生目标所在空间位置的信号编码以及进行空间滤波以抑制背景干扰,不同的工作方式决定了光学调制器的形式。

• 光机扫描机构是由电机驱动光学镜面转动或摆动的执行机构,在水平和竖直两个方向对视场景物进行二维空间扫描,逐点把场景的红外辐射投射到探测器上,探测器依时序输出各景物的单元信号。因此,扫描机构的作用是将光学系统所成的像扫过探测器,以达到连续、完整地分解图像。采用扫描机构,能以小的瞬时视场实现对大的空间区域目标的搜索和成像。

• 红外探测器是一种对红外辐射敏感的器件,它能将红外辐射转换成可测量的物理量,如体积、压力、电压、电阻等,其中常用的是电压信号。依据工作机理,红外探测器主要分为光子探测器和热探测器。同时,根据结构和用途,红外探测器可分为单元型、多元阵列型和面阵成像型。为使某些探测器能正常工作,还必须附加制冷器给探测器提供需要的工作温度。常用的物理方法有相变制冷(如杜瓦)、焦耳-汤姆逊效应(节流制冷器)以及气体等熵膨胀制冷(斯特林制冷机)等。

• 信号放大处理电路的作用是将红外探测器的光电信号进行放大、处理和多路传输,其功能主要有前置放大、偏置、采样读出、线性变换、非均匀性校正、A/D 转换、多路传输、自动增益与亮度控制、灰度调节和控制等。

• 读出显示装置是按一定要求输出数字信号或成像显示,对场景各部分的温度和辐射量差用图像显示出来,可以用不同灰度显示场景图像,亮(或暗)代表场景中高温部分(或低温);可以用光标对图像各部分进行测温,或以等高线形式定量表示温度值;也可以用伪彩色显示温度分布等各种信息。

与雷达系统和可见光仪器相比,红外系统具有如下的特点:

- (1) 结构简单,尺寸小,重量轻;
- (2) 分辨率高,隐蔽性好,抗干扰能力强;
- (3) 可在白天和夜间工作;
- (4) 透过烟尘能力强;
- (5) 对辅助装置要求最少。

随着红外物理及相关技术的发展,针对不同任务要求,出现了各种各样的红外系统,在军事应用和国民经济的许多方面,发挥了很大的作用。

1. 红外技术的军事应用

红外技术是伴随军用需要而迅速发展起来的。红外系统既可以单独作为装备使用(如夜视、侦察、多光谱遥感),又可以作为核心部件或分系统用于其它武器系统(如导弹制导、

火控、告警等), 它们对取得战场主动权和进行夜战, 发挥了突出作用。有人统计过, 从英国、阿根廷 1975 年马岛战争以后的 30 年间, 各国在历次局部战争中共损失各种作战飞机大约 1600 架, 其中 80% 是被红外制导导弹击落的。海湾战争中, 美国预警卫星的红外望远镜可以全天候探测“飞毛腿”导弹发射, 30 s 内就可以探测到发动机喷射的尾焰, 为“反导”赢得了时间。自 20 世纪 70 年代以来, 以美国为首发动的历次局部战争中, 飞机轰炸主要都是在夜间进行的, 靠的是夜视装备的优势。从常规的夜间红外瞄准器到空间的卫星拦截器都使用了红外技术, 可以说红外武器装备已经成为各军兵种必备的现代武器装备。

下面列举一些具体的应用。

1) 红外侦察

用于不同装备上的高灵敏度、高分辨力热像仪能在昼夜与不良天气条件下进行有效的工作, 获得良好质量的图像; 装甲侦察车, 可用于战场前沿机动侦察; 侦察飞机可以快速、全景、大范围进行侦察, 无人侦察机已经发展到目前战场侦察的主要工具; 侦察卫星能够全方位不间断连续侦察。

不论白天黑夜, 也不论大气条件如何恶劣, 热像仪总能发挥作用, 表现出优越的探测能力。例如, 在有烟雾或可见光波段对人眼的能见度仅有 500 m~750 m 条件下, 热像仪对人的探测距离可达 3.6 km, 对车辆的探测距离达 8.3 km; 在 700 m 能见度下, 对大型货船的探测距离达 35 km 以上。

2) 红外夜视

现代战车、坦克都装备有红外夜视仪, 前方的田野、山林、水面、道路, 一目了然; 不分昼夜、天气状况, 战场完全变“明亮”了, 对于眼前的战场势态、兵力部署、阵地、人员调动等, 夜视仪都能观察到。如果战争一方不具备夜视装备, 夜间作战就等于“瞎子”作战, 只有被动挨打。

飞机用热像仪, 习惯上称为前视红外(FLIR)。装备有前视红外的飞机在夜间作战如同白天一样, 对地面目标看得清清楚楚。

3) 红外遥感

将红外遥感仪置于飞机或卫星等平台上, 在其飞行过程中便能探测到地表和空间的红外辐射分布和目标运动情况。通过遥感对地面和地面附近空间进行观察探测, 比在地面设备观察效果要好得多, 而且范围大、速度快, 无地形障碍。

4) 红外告警

红外告警也称为红外报警, 其主要功能是通过探测来袭威胁源进行探测, 在发现目标后, 发出告警信号, 提示相关人员采取防范措施, 或启动自动反击系统破坏威胁来源, 或施放假目标将威胁源引开, 或施放烟幕采取隐身措施等。目前, 红外告警装置绝大多数采用被动式工作体制, 它隐蔽、安全, 能准确判定目标方位, 处理多目标, 并与火控系统联动; 反应时间短、测角精度高, 便于与光电系统和火控系统协调行动。目前, 各类飞机(甚至民航机)、大型舰船、重要阵地、关键设施等重点防范部位都逐渐安装了告警系统, 以提高生存能力和反击作战能力。

5) 红外跟踪

红外跟踪包括对目标的搜索、发现、识别和跟踪。红外跟踪的作用就是通过搜索找到目标, 测出目标在视场中的方位及与视场中心轴的偏离信号, 偏离信号驱动随动系统运

动,跟踪目标,使武器系统能够精确瞄准和攻击。红外跟踪系统可分为点源跟踪和成像跟踪系统两类。

6) 红外制导

红外制导即在导弹的前端装有导引头,利用红外跟踪原理,捕获、跟踪目标,并引导导弹飞向目标。红外导引头(也称红外寻的器)接收目标的红外辐射,经光电转换和信号处理后,给出目标相对于导弹的方位、角速度等信息,产生目标相对于导引头光轴的误差信号,用以驱动执行机构,控制导弹飞向目标并击中目标。红外制导有点源制导和成像制导两种方式。目前世界上已经有各种红外制导导弹几十种,已广泛用于空空、地空、空地、地地、岸舰、舰舰等的战术导弹和战略导弹,以及子母弹、炮弹等。

7) 多光谱成像仪

常用的红外波段都比较宽,要更有效地提取目标特征并进行识别,最好是把光谱分得更窄些并运用多个光谱波段。热像仪从单波段向双波段和多波段发展,在景物辐射进入探测器之前,由分光装置按光谱波段将其分开,分别进入不同的探测器。探测器分别输出相应波段景物图像数据,同时获得了同一景物在特定时刻各波段的图像数据。

20世纪80年代中期以后,在红外行扫仪和多光谱扫描仪的基础上又研制出一种具有扫描成像和精细分光两种功能的新型多光谱/超光谱成像仪,可以在多个光谱波段获取景物图像。

“多光谱成像”、“超光谱成像”或“极光谱成像”是对不同光谱分辨力仪器的分类称谓。“多光谱成像”指光谱分辨力 $\Delta\lambda/\lambda$ 为 0.1,波段数为 10~50 个;“超光谱成像”指光谱分辨力 $\Delta\lambda/\lambda$ 为 0.01,波段数为 50~1000 个;而“极光谱成像”指光谱分辨力 $\Delta\lambda/\lambda$ 为 0.001,波段数为 1000~10000 个。目前,除极光谱成像技术尚未用于军事遥感外,多光谱或超光谱成像系统已装备侦察卫星和侦察飞机。

8) 红外光电对抗技术

红外对抗措施可分为主动干扰与被动干扰两大类。主动干扰有时也称为红外诱饵。它产生与被保护体红外辐射波长相同或相近,但辐射强度更强的红外辐射,诱骗敌方红外跟踪和红外制导武器,使其误把诱饵当成目标,从而保护目标体免受攻击。红外诱饵目前已广泛应用于战斗机、轰炸机、武装直升机、各类军舰、战车等多种作战平台以及导弹发射场、战区指挥中心,甚至机场、港口、车站、雷达站、仓库等重要军事设施。在被动红外干扰技术中,除了采用烟雾技术外,还采用假目标和隐身技术。假目标技术就是利用普通材料制成外形相似、颜色相同的假目标、假设施,并且模仿真实装备的红外辐射特性,用以迷惑、诱骗敌方武器装备。科索沃战争中,南联盟制造了大量的假坦克、假火炮、假导弹发射装置迷惑敌人,起了很大作用。红外隐身主要是采取有效技术措施,遮蔽目标的表面温度、表面发射率和热场分布。

2. 红外技术在国民经济和生活中的应用

红外技术是一种军民通用技术,军用需求促使其迅速发展。随着技术进步和制造水平的不断提高,许多红外技术逐渐成熟,红外产品价格降低,性能价格比提高,达到了一般民用可以接受的程度,红外技术和产品已大量进入民用领域。

1) 红外测温

红外测温仪又称为红外辐射测温仪,或称为红外温度计。它接收目标的红外辐射能