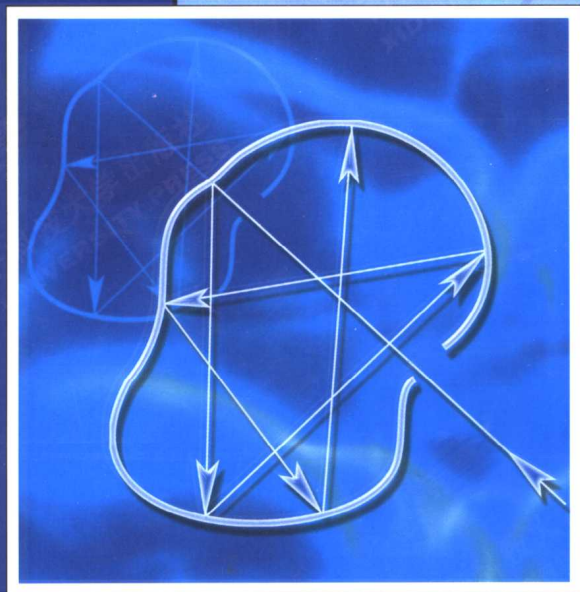




研究生系列教材

红外物理

张建奇 方小平 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



研究生系列教材

红外物理

张建奇 方小平 编著

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。

全书共分为7章。第1章介绍了红外辐射的基本知识；第2章讨论了辐射度学和光度学的一些基本概念、基本规律和辐射量的计算；第3章讨论了黑体的辐射规律，并通过确定某一温度下物体的发射率把任意物体的辐射与黑体的辐射联系起来；第4章讨论了作为标准用于校准的黑体型辐射源以及实验室常用的其他标准辐射源；第5章讨论了目标与背景的红外辐射特性；第6章讨论了红外辐射在大气中传输时发生衰减的物理起因以及大气透射率的计算方法；第7章介绍了红外辐射测量中常用的基本设备、红外辐射参数测量的原理和方法。

本书叙述由浅入深、循序渐进；内容全面、系统，重点突出。

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，也可供这些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,方小平编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2004.6
(研究生系列教材)

ISBN 7-5606-1364-0

I. 红… II. ①张… ②方… III. 红外辐射-研究生-教材 IV. 0434.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 012340 号

策 划 夏大平

责任编辑 宁殿艳

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

http://www.xduph.com E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西画报社印刷厂

版 次 2004年6月第1版 2004年6月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张15

字 数 347千字

印 数 1~4 000册

定 价 20.00元

ISBN 7-5606-1364-0/O·0069(课)

XDUP 1635001-1

*** 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

自然界一切温度高于绝对零度的物体(物质)无不在每时每刻产生着红外辐射,且这种辐射都载有物体的特征信息,这就为探测和识别各种目标提供了客观基础。因此,自从英国天文学家赫谢耳(Herschel)在1800年发现红外线以来,随着红外辐射理论、红外探测器、红外光学以及红外探测及跟踪系统等的发展,红外技术在国民经济、国防和科学研究中得到了广泛的应用,已成为现代光电子技术的重要组成部分,受到世界各国的普遍关注。

红外探测器是红外系统的核心部件,是发展红外技术的先导。200年来的红外发展历史证明:每一种性能更好的新型红外探测器的出现都标志着人类认识红外辐射的进步,它将有力地推动着整个红外技术的发展。20世纪50年代中期,由于高灵敏度硫化铅红外探测器的出现,导致红外制导的空—空导弹的研制成功并在实战中得到应用;60年代初期,应用长波红外探测器的行扫描仪在高空飞机侦察方面起了重要作用;60年代中期,机载红外前视装置研制成功并在越南战场上使用;70年代初期,由于碲镉汞等三元系化合物半导体红外探测器的出现和多元技术的发展,使得红外技术在卫星预警、侦察、民用遥感技术中得到应用。此后,军事红外装备,如红外夜视、机载红外前视、红外制导导弹、红外侦察等成为现代军事装备的重要组成部分。近30年来,红外探测器技术已从第一代的单元和线阵列发展到了第二代的二维时间延迟与积分(TDI)8~12 μm 的扫描和3~5 μm 的640×480元InSb凝视阵列。目前红外探测器技术正在由第二代阵列技术向第三代微型化高密度和高性能红外焦平面阵列技术方向发展。目前红外探测器具有如下特点:

1. 超高集成度的焦平面探测器像元

像可见光CCD之类的摄像阵列一样,要提高系统成像的分辨率和目标识别能力,大幅度地提高系统焦平面红外探测像元的集成度是一种重要的途径。各公司厂家都在尽力增加焦平面阵列的像元数,发展各种格式的大型或特大型红外焦平面阵列。在1~3 μm 的短波红外(SWIR)焦平面阵列方面,由于多年来的军用都集中在中波红外(MWIR)和长波红外(LWIR)波段,因而SWIR焦平面阵列技术的发展受到忽略,但由于这个波段的许多应用是MWIR和LWIR应用达不到的,因而近几年来加快了对SWIR焦平面阵列技术的发展步伐,目前的阵列规模已达到2048×2048元。

2. 高性能

由于采用诸如 MBE、MOCVD 这样的高精度控制制作工艺，微机械加工技术和 CMOS 这样的大型或特大型集成多路传输器不但实现了如 1024×1024 元、 2048×2048 元这样的大型二维凝视红外焦平面阵列的高速大容量的信号处理，而且获得了高度均匀性的阵列焦平面响应特性，进一步提高了阵列的性能。

3. 高密度小像元尺寸

大型或特大型高密度集成，特别是 100 万及其以上的探测器元集成焦平面阵列要求采用高精度的超大规模集成电路加工技术(如亚微米)和微机械加工技术，焦平面阵列技术的发展很大程度上取决于超大规模集成电路的进展。DRAM 每个单元仅要求有一个晶体管，而红外焦平面阵列读出电路则需有三个或更多的晶体管，而且其中有一个必须是低噪声模拟的。目前 DRAM 生产水平设计规格为 $0.25 \mu\text{m}$ ，预生产设计规格已是 $0.18 \mu\text{m}$ ，在这样先进的加工条件下，焦平面阵列多路传输器和探测器元尺寸都可进一步缩小，阵列元数集成度更高。目前的红外焦平面阵列由于采用亚微米加工技术，像元尺寸大为缩小，实现了小像元高密度的红外焦平面集成的进一步发展。

4. 多色工作

随着红外焦平面阵列制作技术的迅速进展，近期在双色或多色红外焦平面阵列技术发展方面取得了显著的进展。目前已研制出了 $8 \sim 9 \mu\text{m}$ 和 $14 \sim 15 \mu\text{m}$ 的双色 640×486 元 GaAs/AlGaAs 量子阱红外焦平面阵列，但这种技术目前的工作温度尚不到 77 K。同时探测器像元要求两种工作电压，长波敏感区需极高的偏压 ($>8 \text{ V}$) 实现长波红外探测，虽然电压可调，但它不能同时提供两个波段的数据。

目前先进的红外焦平面阵列技术正处在从第二代向第三代更为先进的阵列技术发展的转变时期。世界各国正在加紧确定第三代红外焦平面阵列技术的概念，各有关公司和厂家机构的注意力已转向第三代红外焦平面阵列传感器的发展。第三代红外焦平面阵列技术要满足以下几种要求：

- (1) 焦平面上探测器像元的集成度进一步提高，至少双色工作；
- (2) 高的工作温度，以便实现低功耗和小型轻量化的系统应用；
- (3) 非致冷工作红外焦平面阵列传感器的性能达到或接近目前第二代致冷工作红外焦平面阵列传感器的水平；
- (4) 必须是极低成本微型传感器，甚至是一次性应用的传感器。

最终的第三代红外焦平面阵列将是极低成本微型传感器，它将占领整个红外市场，其未来的应用将是无人操作的一次性应用传感器，如微型无人驾驶航空飞行器，头盔安装式红外摄像机和微型机器人等。跨入 21 世纪以来，红外

热成像技术的发展已经历了 30 多个年头。它已从当初的机械扫描机构发展到了目前的固体小型化全电子自扫描凝视摄像，特别是非致冷技术的发展使红外热摄像技术从长期的主要军事目的扩展到诸如工业监控测温、执法缉毒、安全防范、医疗卫生、遥感、设备先期性故障诊断与维护、海上救援、天文探测，以及车辆、飞行器和舰船的驾驶员夜视增强观察仪等广阔的民用领域。

红外遥感技术是红外物理与技术研究和应用进展的重要标志。红外遥感由于具有保密性好、抗干扰本领强、能昼夜连续工作等优点，因此首先在空中军事侦察中占有十分重要的位置。同时在气象、土地资源管理、自然灾害、环境污染分析等方面得到广泛的应用，并取得了令世人瞩目的成果。红外光学遥感器是空间光学遥感器中研制难度最大、用途最广的。它集合了光学、精密机械、空间制冷、温度控制、探测器和系统控制等多种领域的技术成果，体现着一个国家的综合科技实力。目前国际上只有少数发达国家具有研制和开发红外光学遥感器的技术实力。从美国 1960 年发展气象卫星、1972 年发射陆地卫星和 1978 年发射海洋卫星以来，这三个应用领域使用的光学遥感器无论是地面分辨率、温度分辨率、辐射分辨率、光谱分辨率和重复观测周期，还是波段范围的开发利用都有长足的进展。

以傅里叶变换光谱技术为代表的红外光谱学在气态、液态、固态等不同形态分析对象中得到了广泛的应用，例如，大气污染分析、混合气体中大气毒物定量分析、燃烧废气的检测、润滑油品质分析、化妆品质量分析等。红外光谱技术无论是在对固体、液体、气体的定量还是定性分析中都有广泛的应用，如果能够选取恰当的定量分析方法，就可以达到非常有用的结果，并且红外光谱技术与气相色谱的联用使定量和定性分析更加准确。

目前，军事应用仍主宰着红外市场，预计在将来的一段时期内这种趋势还将持续下去。与此同时，商用红外市场的销售额也正在逐渐增长。很多生产商为降低红外系统单位成本，正在朝着合并其军用和商用生产线的方向发展。近几年，方兴未艾的红外技术在商业市场中占有份额的不断增长，也从另一个侧面说明红外技术还具有大量的潜在用户。

红外市场的增长受到多方因素推动。传统上，红外成像系统一般比较庞大、沉重并且价格昂贵。而近几年由于新技术的诞生、生产过程的改良、军用与商用生产线的合作等诸多因素，促进了更小、更轻和更经济的红外器件不断推出。生产成本的下降和技术逐渐成熟使红外技术的生产发展达到了一个新的水平，并涌现出很多新的应用。此外，多重超光谱效用和基本的红外技术相结合，也大大增强了红外技术的应用范围。

在市场销售方面，红外成像市场是一个具有较高经济效益的市场，以美国为例，2000 年，美国红外成像与红外测温系统的市场销售总额为 18.2 亿美元，

比上一年增长了3%，预计到2008年，总的市场销售额将达到28.2亿美元，年综合增长率达到6.5%。

由以上简述可知，红外技术在国防、国民经济和科学研究中得到了广泛的应用，并受到商业领域的密切关注。同时，红外技术也是一门正在迅速发展的学科，而且作为红外技术基础的红外物理涉及的内容十分广泛。

本书为西安电子科技大学研究生系列教材，由西安电子科技大学张建奇教授担任主编。

本书的参考学时为46~60学时，其内容分为7章。第1章介绍了红外辐射的基本概念和基本知识；第2章着重讨论了辐射度学中的一些基本规律和辐射量的计算，同时对光度学中的一些重要概念、定义和单位进行了说明；第3章讨论了黑体的辐射规律，即普朗克公式、维恩位移定律、斯蒂芬-波尔兹曼定律，并通过确定某一温度下物体的发射率把任意物体的辐射与黑体的辐射联系起来；第4章讨论了作为标准用于校准的黑体型辐射源以及实验室常用的其他标准辐射源；第5章讨论了红外系统所作用的目标与背景红外辐射特性以及目标与背景红外辐射特性研究中所涉及的一些理论问题；第6章讨论了红外辐射在大气中传输时发生衰减的物理起因以及大气透射率的计算方法，同时介绍了几个常用的大气辐射计算软件；第7章介绍了红外辐射测量中常用的基本设备、红外辐射参数测量的原理和方法。

本书第1~6章由张建奇编写，第7章由方小平编写。

在本书的编著过程中曾参阅多种国内、外书籍和文章，在此谨向各位作者一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免会有不当或错误之处，希望各位读者批评指正。

此书的出版得到了西安电子科技大学研究生建设基金的资助。

编者

2004年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 红外辐射的基本特征	1
1.1.1 电磁波谱	1
1.1.2 红外辐射	2
1.1.3 红外辐射的基本特点	4
1.2 红外物理及红外技术	4
第 2 章 辐射度学和光度学基础	7
2.1 引言	7
2.2 常用辐射量	8
2.2.1 辐射能	8
2.2.2 辐射功率	8
2.2.3 辐射强度	8
2.2.4 辐射出射度	9
2.2.5 辐射亮度	10
2.2.6 辐射照度	11
2.3 光谱辐射量与光子辐射量	12
2.3.1 光谱辐射量	12
2.3.2 光子辐射量	13
2.4 光度量	15
2.4.1 最大光谱光视效能和光谱光视效率	15
2.4.2 光通量	18
2.4.3 发光强度	19
2.4.4 光出射度	19
2.4.5 光亮度	19
2.4.6 光照度	20
2.4.7 发光效率	21
2.4.8 光量	21
2.5 朗伯余弦定律	21
2.5.1 朗伯辐射源的辐射亮度	22
2.5.2 朗伯辐射源的特征	22
2.5.3 朗伯辐射源的 L 与 M 关系	23
2.5.4 朗伯小面源的 I 、 L 、 M 的相互关系	23
2.6 辐射度量中的基本规律	23
2.6.1 距离平方反比定律	23
2.6.2 互易定理	24
2.6.3 立体角投影定理	25
2.6.4 Sumpner 定理	25
2.6.5 角系数的基本概念	26
2.7 辐射量计算举例	28
2.7.1 圆盘的辐射强度和辐射功率	28

2.7.2	球面的辐射强度和辐射功率	29
2.7.3	半球面的辐射强度和辐射功率	29
2.7.4	点源产生的辐射照度	30
2.7.5	小面源产生的辐射照度	30
2.7.6	扩展源产生的辐射照度	31
2.7.7	线状辐射源产生的辐射照度	32
2.7.8	简单几何形状辐射源的辐射特性	34
2.8	辐射传输中的相关定律	36
2.8.1	总功率定律	36
2.8.2	朗伯定律和朗伯-比耳定律	37
2.8.3	阿贝定律	40
2.9	光学系统中的辐射量计算	42
2.9.1	像的辐射亮度和辐射强度	42
2.9.2	像的辐射照度	45
2.9.3	系统的总辐射功率	46
	习题	47
第3章	热辐射的基本规律	51
3.1	发光种类简介	51
3.2	理想黑体	51
3.2.1	基尔霍夫定律	51
3.2.2	密闭空腔中的辐射为黑体的辐射	52
3.2.3	辐射亮度与能量密度的关系	53
3.2.4	黑体为朗伯辐射体	53
3.3	普朗克公式	54
3.3.1	普朗克公式的推导	54
3.3.2	普朗克公式及其意义	57
3.3.3	普朗克公式的近似	58
3.3.4	用光子数表示的普朗克公式	58
3.3.5	用其他变量表示的普朗克公式	58
3.3.6	广义普朗克函数	59
3.4	维恩位移定律	60
3.4.1	维恩位移定律推导	60
3.4.2	黑体光谱辐射出射度的峰值	61
3.4.3	光子辐射量的维恩位移定律	61
3.4.4	维恩位移定律的广义表达式	62
3.5	斯蒂芬-玻尔兹曼定律	62
3.5.1	斯蒂芬-玻尔兹曼定律推导	62
3.5.2	用光子数表示的斯蒂芬-玻尔兹曼定律	63
3.6	黑体辐射的简易计算	63
3.6.1	黑体辐射函数	63
3.6.2	计算举例	64
3.7	辐射效率和辐射对比度	65
3.7.1	辐射效率	65
3.7.2	辐射对比度	67

3.8 发射率和实际物体的辐射	69
3.8.1 各种发射率的定义	69
3.8.2 朗伯辐射体的发射率	70
3.8.3 物体发射率的一般变化规律	72
3.8.4 热辐射体的分类	73
3.9 红外辐射测温	74
3.9.1 辐射温度	74
3.9.2 亮温度	75
3.9.3 色温度	75
习题	76
第4章 红外辐射源	79
4.1 腔体辐射理论	79
4.1.1 Gouffé 理论	79
4.1.2 Devos 理论	85
4.2 黑体型辐射源	91
4.3 实用红外辐射源	94
4.3.1 电热固体辐射源	94
4.3.2 气体放电辐射源	97
4.4 红外激光器	101
4.4.1 激光的特性	101
4.4.2 常用的激光器	102
习题	103
第5章 目标和背景红外辐射特性	105
5.1 环境的光辐射特性	105
5.1.1 太阳的光辐射特性	105
5.1.2 月亮的光辐射特性	108
5.1.3 天空背景的光辐射特性	108
5.1.4 地物的光辐射特性	111
5.1.5 海洋背景的光辐射特性	113
5.2 目标的光辐射特性	115
5.2.1 火箭的红外辐射特性	115
5.2.2 飞机的红外辐射特性	117
5.2.3 坦克的红外辐射特性	121
5.2.4 火炮的红外辐射特性	122
5.2.5 红外诱饵的辐射特性	123
5.2.6 人体的红外辐射特性	124
习题	124
第6章 红外辐射在大气中的传输	126
6.1 地球大气的基本组成	127
6.2 大气的气象条件	128
6.2.1 大气温度	128
6.2.2 大气压强	130
6.2.3 大气密度	132
6.3 大气中的主要吸收气体	135

6.3.1 水蒸气	135
6.3.2 二氧化碳	138
6.3.3 臭氧	140
6.4 大气中的主要散射粒子	141
6.5 大气的吸收衰减	144
6.5.1 大气的选择吸收	144
6.5.2 光谱线的展宽和线型	146
6.5.3 分子的单线吸收	154
6.5.4 分子的带吸收模型	157
6.5.5 斜程的大气吸收	165
6.5.6 表格法计算大气的吸收	166
6.6 大气的散射衰减	178
6.6.1 一般方程	179
6.6.2 瑞利散射	180
6.6.3 米氏散射	181
6.6.4 散射衰减的工程算法	183
6.7 大气透射率的计算举例	186
6.7.1 大气透射率的计算步骤	186
6.7.2 计算举例	187
6.8 清洁大气在宽波段内的积累吸收	188
6.9 大气红外辐射传输计算软件介绍	189
6.9.1 各种软件简介	190
6.9.2 LOWTRAN 软件	193
习题	199
第 7 章 红外辐射测量仪器及基本参数测量	200
7.1 红外辐射测量仪器	200
7.1.1 单色仪	200
7.1.2 光谱辐射计	202
7.1.3 红外分光光度计	203
7.1.4 傅里叶变换红外光谱仪	206
7.1.5 多通道光谱仪	208
7.2 基本辐射量的测量	209
7.2.1 辐射亮度的测量	209
7.2.2 辐射强度的测量	210
7.2.3 总辐射通量的测量	210
7.3 红外发射率测量	213
7.3.1 半球全发射率测量	213
7.3.2 法向光谱发射率测量	215
7.4 红外反射比测量	219
7.4.1 反射比的定义	219
7.4.2 积分球反射计	222
7.5 红外吸收比和透射比测量	226
习题	227
参考文献	228

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。

1.1 红外辐射的基本特征

红外辐射的基本概念及其特点是讨论其他问题的出发点。

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，因此，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，所以把各种辐射统称为电磁辐射。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，就称之为电磁波谱，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，称之为真空中的光速，其值为 $c = (2.997\ 924\ 58 \pm 0.000\ 000\ 12) \times 10^8$ 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 ν 的电磁波，波长为 λ' ，速度为 c' ，则有

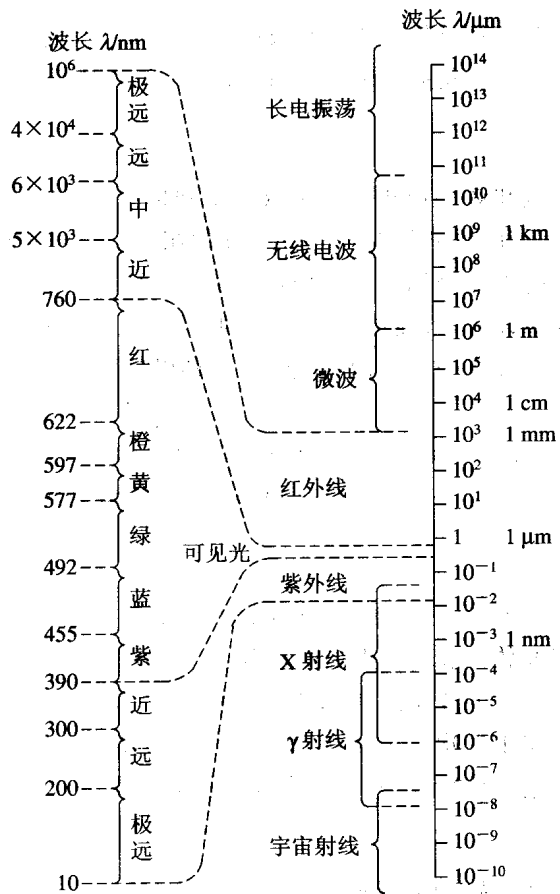


图 1-1 电磁波谱

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

由前面二式得到

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

式中, $n=c/c'$ 称为介质对真空的折射率。式(1-3)表明, 同一频率的电磁波, 在介质中的波长是真空中波长的 $1/n$ 。

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, 并且测得的频率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在真空中的数值。

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(\AA)的关系为

$$\begin{aligned} 1 \mu\text{m} &= 10^{-3} \text{mm} = 10^{-4} \text{cm} = 10^{-6} \text{m} \\ 1 \mu\text{m} &= 10^3 \text{nm} = 10^4 \text{\AA} \end{aligned}$$

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

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

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。利用式(1-1), 可得到波数 $\tilde{\nu}$ 和频率 ν 的关系为

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

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, 有时又把波数 $\tilde{\nu}$ 称为“频率”。应该注意, 在使用“频率”一词时, 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。在考虑电磁辐射的辐射和吸收问题时, 必须把电磁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, $h=(6.626\ 176 \pm 0.000\ 036) \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ 称为普朗克(Planck)常数。

由式(1-1)与式(1-4)得, 光子能量与波长和波数的关系为

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

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

光子的能量还常用电子伏特(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 1 V 电位差的加速下所获得的动能。

电子伏特和焦耳(J)之间的换算关系为

$$1 \text{eV} = 1.602\ 189\ 2 \times 10^{-19} \text{J}$$

1.1.2 红外辐射

红外辐射也称红外线, 是 1800 年由英国天文学家赫谢耳(Herschel)在研究太阳七色光

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光边界以外，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”，后来称之为“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，无论是高山大海，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，往往都是强红外辐射源。在人们的生活环境中，如居住的房间内，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是 $0.75 \sim 1000 \mu\text{m}$ ，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 ($0.38 \sim 0.75 \mu\text{m}$) 只跨过一个倍频程，而红外波段 ($0.75 \sim 1000 \mu\text{m}$) 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。在红外技术领域中，通常把整个红外辐射光谱区按波长分为四个波段，见表 1-1。

表 1-1 红外辐射光谱区划分

波段	近红外	中红外	远红外	极远红外
波长/ μm	0.75~3	3~6	6~15	15~1000

以上的划分方法基本上是考虑了红外辐射在地球大气层中的传输特性而确定的。例如，前三个波段中，每一个波段都至少包含一个大气窗口。所谓大气窗口，是指在这一波段内，大气对红外辐射基本上是透明的，如图 1-2 所示。

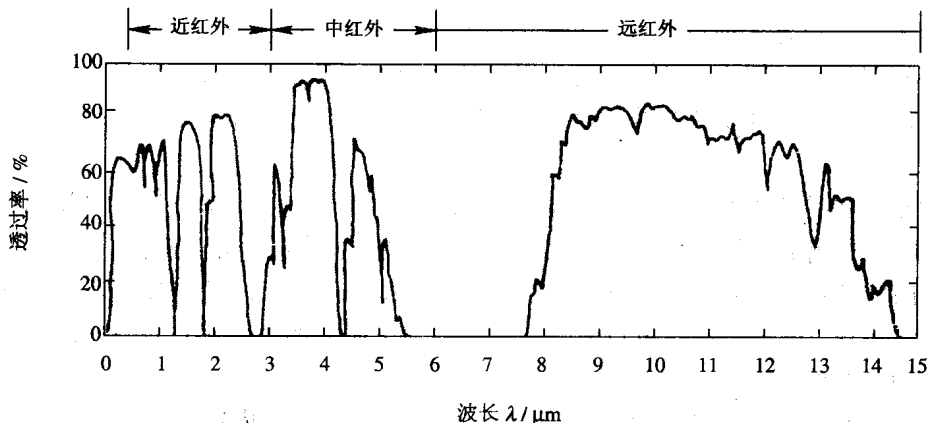


图 1-2 红外大气窗口

另外,需要说明的是,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: $0.75 \sim 2.5 \mu\text{m}$, 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: $2.5 \sim 25 \mu\text{m}$, 对应分子转动能级和振动能级之间的跃迁;

远红外区: $25 \sim 1000 \mu\text{m}$, 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,又具有粒子性,即它可以以光量子的形式被发射和吸收。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) 红外辐射对人的眼睛不敏感,所以必须用对红外辐射敏感的红外探测器才能探测到;

(2) 红外辐射的光量子能量比可见光的小,例如 $10 \mu\text{m}$ 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和应用,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,为红外系统工程的设计和新型元器件的研制提供了可靠依据。

红外物理的主要内容包括:红外光谱学,各种类型的红外探测器(包括多元列阵和成像器件)及相关联的信息处理和制冷技术,红外波段的光学材料、光学系统、滤波器件、偏振器件、空间滤波以及调制技术,固体、液体、气体(尤其是大气)的红外波段的性质及其测量,红外激光等。由上述内容可以看出,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。

一个比较完整的红外系统通常包括光学系统、调制盘(或扫描器)、红外探测器、电子线路和显示记录装置等。目标是红外系统所探测的对象,目标的辐射在传输过程中将受到大气中某些气体分子的选择性吸收以及大气中悬浮微粒的散射而衰减。透过大气的目标辐

射被光学系统接收，并聚焦到红外探测器平面上。调制盘将连续光调制成交变信号并进行空间滤波，而扫描器将红外辐射的空间分布进行时序分解。红外探测器接收交变的红外辐射并把它转变为电信号，由探测器输出的信号经过电子线路完成放大处理。显示记录装置将经过处理的信号进行显示和记录。如果是用于监控的红外系统，还需将处理后的信号输入监控装置，以驱动执行机构工作，实现自动监控。与雷达系统和可见光仪器相比，红外系统具有如下特点：

- (1) 尺寸小，重量轻；
- (2) 能有效地抗可见光波段的伪装；
- (3) 能在白天和夜间工作；
- (4) 比雷达有更高的角精确度；
- (5) 对辅助装置要求最少。

随着红外物理及相关技术的发展，红外技术已得到广泛的应用。早在 19 世纪，随着红外探测器的出现，人们就利用它研究天文星体的红外辐射。但是，红外技术真正获得实际应用是从 20 世纪开始的。红外技术首先受到军事部门的关注，因为它提供了在黑暗中观察、探测军事目标自身辐射及进行保密通信的可能性。第一次世界大战期间，为了战争的需要，研制出了一些实验性的红外装置，如信号闪烁器、搜索装置等。虽然这些红外装置没有投入批量生产，但它已显示出红外技术的军用潜力。第二次世界大战前夕，德国第一个研制出了红外变像管，并在战场上应用。战争期间，德国一直全力投入对其他红外设备的研究。同时，美国也大力研究各种红外装置，如红外辐射源、窄带滤光片、红外探测器、红外望远镜、测辐射热计等。第二次世界大战后，前苏联也开始重视并大力发展红外技术的研究。

20 世纪 50 年代以后，随着现代红外探测技术的进步，军用红外技术获得了广泛的应用。美国研制的响尾蛇导弹上的寻的器制导装置和 U-2 间谍飞机上的红外照相机代表着当时军用红外技术的水平。因军事需要发展起来的前视红外装置 (FLIR) 获得了军界的重视，并得到广泛使用。机载前视红外装置能在 1.5×10^3 m 上空探测到人、小型车辆和隐蔽目标，在 2.0×10^4 m 高空能分辨出汽车，特别是能探测水下 40 m 深处的潜艇。在海湾战争中，充分显示了红外技术，尤其显示了热成像技术在军事上的作用和威力。海湾战争从开始、作战到获胜的整个过程都是在夜间，夜视装备应用的普遍性乃是这次战争的最大特点之一。在战斗中投入的夜视装备之多，性能之好，是历次战争不能比拟的。美军每辆坦克、每个重要武器都配有夜视瞄准具，仅美军第二十四机械化步兵师就装备了上千套夜视仪。多国部队除了地面部队、海军陆战队广泛装备了夜视装置外，美国的 F-117 隐形战斗轰炸机、“阿帕奇”直升机、F-15E 战斗机、英国的“旋风”GRI 对地攻击机等都装有先进的热成像夜视装备。正因为多国部队在夜视和光电装备方面的优势，所以在整个战争期间他们掌握了绝对的主动权。多国部队利用飞机发射的红外制导导弹在海湾战争中发挥了极大的作用，他们仅在 10 天内就摧毁伊军坦克 650 辆、装甲车 500 辆。

目前，红外技术作为一种高科技技术，它与激光技术并驾齐驱，在军事上占有举足轻重的地位。红外成像、红外侦察、红外跟踪、红外制导、红外预警、红外对抗等在现代和未来战争中都是很重要的战略和战术手段。

在 20 世纪 70 年代以后，军事红外技术又逐步向民用部门转化。红外加热和干燥技术

广泛应用于工业、农业、医学、交通等各个行业和部门。红外测温、红外理疗、红外检测、红外报警、红外遥感、红外防伪更是各行业争相选用的先进技术。由于这些新技术的采用，使测量精度、产品质量、工作效率及自动化程度大大提高。特别是标志红外技术最新成就的红外热成像技术，不但在军事上具有很重要的作用，在民用领域也大有用武之地。它与雷达、电视一起构成当代三大传感系统，尤其是焦平面列阵技术的采用，将使其发展成可与眼睛相媲美的凝视系统。