

热成像

RE CHENGXIANG

张维力 宋广礼 编著



热 成 像

张维力 宋广礼 编著

新 时 代 出 版 社

内 容 提 要

本书是一本关于热成像技术的中级科普读物,除介绍热成像的基础知识外,还介绍了几种常用的热成像装置的工作原理、基本结构、使用方法和典型产品,以及它们在各种不同部门的应用情况。

本书适合具有中等以上文化水平的读者阅读,对从事红外技术应用的专业工作者也有一定的参考价值。

热 成 像

张维力 宋广礼 编著

责任编辑 崔金泰

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 6.125印张 131千字

1988年4月第1版 1988年4月北京第1次印刷

印数: 0001—1220册

ISBN7-5042-0010-7/O1 定价: 1.55元

前 言

亲爱的读者！在您详细阅读本书之前，若有兴趣，不妨先翻到第184页，看一张奇妙的照片，它妙在哪里呢？可以告诉您，这是一张某气功师在发功时拍下的他的手的照片。照片把气功师的“气”活灵活现地展现在读者的眼前，使人们能真实地认识到气功绝不是虚无飘渺、神妙莫测的幻术。

您可能会问，这张照片一定是用某种高级相机拍摄的吧？其实不然，因为任何高级相机都不可能胜任拍摄这种照片的任务。原来它是用一种专门的仪器拍摄下来的，这种仪器叫做红外热像仪，本书要介绍的就是它。

热成像是本世纪六十年代在红外技术领域内发展起来的一门新技术，它是现代电子学、光学、机械学乃至视觉心理学研究的综合成果。它发展情况可以从一个侧面反映出一个国家的科学技术和工业生产的水平。迄今为止，世界只有少数几个工业发达的国家研制成功了热像仪，并获得了实际的应用。近年来我国在这方面的研制工作也取得了可喜的进展。

目前，热成像技术的发展非常迅速，热成像装置的种类越来越多，并广泛地应用在医疗卫生、军事技术、公安消防、节约能源、气功研究、污染监测、产品检验、无损探伤、气体分析、空间技术、科学研究、石油化工厂的安全监视、冶金设备的检查以及电力设备的热故障探测等方面。

本书从红外线的基础知识入手，比较通俗地介绍了热成

像技术的基本知识、热成像原理和几种典型的热成像装置,以及它们在各个领域中的应用等情况。

本书适合于具有中等以上文化水平对红外技术知识有兴趣的同志阅读,对于生产管理干部和科技人员也有一定的参考价值 and 帮助。

在编写过程中,我们参阅了有关文章,对此向作者表示诚挚的谢意。由于我们的水平有限,书中的不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

一九八四年九月

目 录

一、热的世界	1
1.1 热与温度	2
1.2 绝对零度	3
1.3 测温的重要性	4
1.4 测温的方法	5
二、看不见的热线——红外线	7
2.1 红外线的发现	7
2.2 红外线也是电磁波	8
2.3 红外线的特点	10
2.4 红外辐射基本定律	11
2.5 红外线传输	17
三、热成像	27
3.1 可见光成像	27
3.2 红外热成像	35
3.3 热成像镜头	38
3.4 红外探测器	48
3.5 电信号的放大	64
3.6 红外热成像装置	73
四、遥测温度计	75
4.1 概述	75
4.2 工作原理	78
4.3 基本结构	82
4.4 典型产品介绍	93
4.5 使用方法	99
五、热像仪	103

5.1 概述	103
5.2 工作原理	106
5.3 基本结构	115
5.4 典型产品介绍	119
5.5 实际使用方法	126
六、热电视	130
6.1 概述	130
6.2 热释电摄像管	133
6.3 热电视镜头	150
6.4 热电视电子电路	153
6.5 典型产品介绍	158
七、热成像技术的应用	166
7.1 堵塞看不见的耗能漏洞	166
7.2 监视火情的哨兵	169
7.3 医生的好助手	173
7.4 战场上大显神通	177
7.5 热故障探测	180
7.6 捕捉气功的踪迹	183

一、热 的 世 界

大家知道，世界上所有的物体，包括人体在内，都是由大量的不断运动的分子和原子组成的。这些分子和原子到底是怎样运动的呢？它们的运动状态又和物体温度的高低有着怎样的关系呢？……这些可能都是大家很感兴趣的问题。

下面先看两个例子：在一杯清水中滴入一滴墨水时，尽管我们不去搅动杯中的水，过一段时间后，墨水也会自动扩散到整杯水中。同样，如果将酒精瓶盖打开，你会很快嗅到酒精的气味。这些日常生活中常见的现象和某些精确的物理学实验都一致证明：组成物体的原子和分子，经常处在杂乱无规则的运动中。

经过对分子与原子的无规则运动的研究，科学家们终于找到了原子与分子的运动状态和物体冷热程度的关系，即分子与原子无规则运动愈剧烈，物体就愈热；反之，分子与原子无规则运动愈缓慢，物体就愈冷。只要组成物体的分子与原子处在运动状态中，那么，任何物体都可以认为是“热”的。从这个意义上讲，我们周围的世界可以称为是“热”的世界。

组成物体的分子与原子的永不停息的无规则运动，称为热运动。它是物质运动的最基本形式之一。也是最早被人们认识和研究的一种基本物理现象。长期以来，正是通过对热运动进行的大量研究，才取得了在历史上发明蒸汽机这样的重大成就。它的出现大大促进了社会生产力的发展，使人

类进入了第一次工业革命的新时代。

为了掌握热成像技术的基本原理，下面先从热运动的基本原理讲起。

1.1 热 与 温 度

为了科学地确定物体的冷热程度，必须按照某种标准的顺序和起点来确定冷热的程度，这就需要建立有关温度的概念。

温度是反映物体冷热程度的物理量。定量地确定温度，是通过引入温标来实现的。所谓温标，实际上就是温度的数量表示法，也就是物体冷热程度的一个客观标志。

大量实验表明，物体的温度改变时，它的许多特性也会发生变化。例如，当某种物体的温度升高时，它的体积、压力，电阻率等特性也都会随之发生变化。有时随着物体温度的变化，它的状态也会改变。例如，水在很低温度时会成为固态的冰，而在温度很高时，又会成为气态的水蒸气。一般地说，只要物体的特性或状态随着温度的改变而发生确定的、显著的变化，那么它就有可能用来确定温标。例如，常用的水银温度计，便是根据水银的体积随温度变化的规律而制成的。

摄氏温标是日常生活中最常用的一种温标，它是这样规定的：把冰和水在 101325Pa （1个大气压）的压力作用下达到平衡时的温度定为零度（ 0°C ），而把水和水蒸气在蒸汽压力为 101325Pa 下达到平衡时的温度定为 100°C 。将这两个刻度之间的水银柱均匀划分为100等份，每一等份就是1度，叫摄氏温标1度，用 1°C 表示。

有了温标之后，物体冷热的程度便可以准确和客观的表

示出来。例如，每天的天气预报就是用周围环境的大气温度来告诉大家天气冷热的程度。

1.2 绝对零度

大家知道，温度是描述物体中分子、原子无规则运动剧烈程度的物理量，而且分子和原子运动愈缓慢，物体的温度愈低。照这样推算下去，物体总会有一个最低的温度，此时物体的分子和原子的无规则运动就停止了。这个最低的温度，就叫做绝对零度。

实验表明，人们已经可以使物体冷却到接近零度的温度，但无论如何都不能真正达到绝对零度的低温，但通过理论分析，可以推算出绝对零度相当于摄氏温标的 -273.15°C （一般近似地认为是 -273°C ）。

以绝对零度（即 -273°C ）为零度的温标叫做热力学温度或称为开氏温标。它是研究红外辐射和热成像技术中最常用的温标。通常用K表示热力学温度的数值。

开氏温标（K）和摄氏温标（ $^{\circ}\text{C}$ ）之间，存在以下换算关系。

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$$

式中 T ——热力学温度，

t ——摄氏温度。

例：环境温度为 20°C 时，换算成热力学温度应为：

$$T = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

表1-1列出几种常见气体的沸点，它们都是用热力学温度来表示的。

表1-1 常见气体沸点表

气体名称	沸点 (K)	气体名称	沸点 (K)
氮	4.4	氮	77.2
氢	20.5	氫	87.3
氛	27.1	氧	90.0
氙	65.9	氩	120.7

1.3 测温的重要性

温度是反映物体冷热程度的物理量，它在科学研究和生产实践中都具有十分重要的意义。据统计可知，在整个工业生产所测量的参数中，几乎有一半是对温度的测量。

物体的温度和安全生产有着密切的关系。例如，当某种材料达到一定的温度时，便会燃烧而引起火灾。此外，任何机器设备和仪器仪表，都有一个额定温度，超过某个允许温度时，不仅会使设备或仪表的工作状态异常，而且还会造成损坏。

温度的高低还能直接影响到生产效率。在生产过程中，大都是在额定的工作温度范围内才能保持最高的生产效率。例如，化学工业中的许多化学反应的温度直接关系到产品产量的多少。

在很多情况下，产品的质量也和温度有着密切的关系。例如，在摄影胶片和涤纶良衣料的某些关键生产工艺过程中，必须严格地控制温度才能保证产品的质量。

节约能源是发展国民经济的一个重要措施。合理地控制和掌握温度，往往能节约大量的能源。因为在大多数的能源使用和转换过程中，总会有一部分能源以热能的形式耗散掉，

而节约能源的一个重要途径就是要堵住这些热能耗散的漏洞。怎样才能发现这些漏洞呢？那就要看这些漏洞有什么特征。一般说来，漏热严重的地方温度都较高。所以通过检查各处温度的高低，就可以寻找出漏热的部位。

人的体温与人体健康有着密切的关系。所以到医院看病时，往往先要量一下体温，看是否超过正常的温度。如果超过了就是发烧，表明了一定的病情。除了一般用体温表测量体温外，近年来还应用了更精确的方法来测定人体的表皮温度，以便诊断皮肤、血管、甲状腺等部位的肿瘤，避免采用其它检查方法给病人带来更多的痛苦。

1.4 测温的方法

上面介绍了温度在许多方面的重要意义，那么采用什么方法进行测温更好呢？当前，在工业生产和日常生活中最常用的测温方法，仍然是传统的接触测温。

传统的接触测温的方法，是根据热平衡这个原理进行的。什么是热平衡呢？我们知道，温度愈高的物体，其分子运动愈剧烈，因而所具有的动能就越大。当两个温度不同的物体接触在一起时，它们的分子之间便发生了相互作用和相互影响，动能大的分子将其一部分动能传递给动能小的分子，而动能小的分子在接受一部分动能之后，将会具有较大的动能。只要上述这种动能交换与转移的过程足够长，这两个物体的分子运动的剧烈程度就会逐渐趋向一致，最后达到相同的温度，这个现象就叫热平衡。

用温度计进行接触测温，就是使温度计和被测物体达到热平衡。这时温度计指示的温度便是物体的温度。但是严格地说，温度计不可能与物体达到完全理想的热平衡，因此温

度计所指示的温度只是其本身的温度，而并不完全等于物体的温度。

另一方面在进行热平衡的过程中，温度高的物体在经过一段时间之后，其温度将降低，而另一个物体的温度将升高。这样，在达到平衡之后，它们都不再保持原来的温度了。正是由于这个原因，用温度计测量物体温度时，在接触测量过程中改变了被测物体的温度，这样也就造成了测量误差。被测物体越小，这个误差就越大。

此外，人们通常所测量的物体温度，一般是指物体的某一部分的平均温度。但实际上，物体表面上不同点的温度往往是不同的。因此使用传统的接触测温方法，很难同时测量出各点的温度。

综上所述，传统的接触测温方法虽然简单，但它有很多不足之处。为此人们研究了利用红外热成像技术的先进测温方法。

二、看不见的热线——红外线

在介绍新的测温方法之前，我们先从红外线的有关知识说起吧！

物体之间除了通过传导和对流传递热量而实现热平衡以外，还可以通过辐射来传递热量（即热辐射）。热辐射是一种常见的热能传递形式。例如，人们围着火炉烤火时，就会感受到炉火烘烤，这是由于接受了热辐射的缘故。这些看不见的热线，就是人们常说的红外线。

2.1 红外线的发现

1672年人们发现太阳光（白光）是由各种颜色的光复合而成的。当时，牛顿做出了单色光在性质上比白光更简单的著名结论。我们用分光棱镜就可把太阳光（白光）分解为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等单色光。1800年，英国物理学家赫胥尔从热的观点来研究各种色光时，发现了红外线。

赫胥尔发现红外线的经过是这样的：他在研究各种色光的热量时，有意地把暗室的唯一的窗户用木板堵住，并在板上开一条矩形孔，孔内装一个分光棱镜。当太阳光通过这个棱镜时，便被分解为彩色光带。这时他用温度计去测量光带中不同色光所含的热量。为了和环境温度做比较，他又在彩色光带附近放几支作为比较用的温度计，来测定周围环境的温度。在试验中，他偶然发现一个奇怪的现象：放在光带红光外的一支温度计，比室内其它温度计的指示数值都要高。经

过反复多次试验，这个所谓含热最多的高温区，总是位于光带最边缘处红光的外面。于是赫胥尔宣布，太阳发出的辐射中除可见光线外，还有一种人眼看不见的“热线”。这种看不见的“热线”位于红色光外侧，因而叫做红外线。红外线也常称为红外辐射线，简称红外辐射。

红外线的发现标志着人类对自然认识的又一个飞跃。随着对红外线的不断探索与研究，已形成了红外技术这个专门学科领域。

2.2 红外线也是电磁波

大家都知道，收音机接收电磁波可以发出声音，电视机接收电磁波可以显示出电视图象。自然界中五光十色的光线都是电磁波。通过实验发现的红外线也是电磁波。

那么，从收音机、电视机接收的电磁波和人眼看到的光线以及红外线之间的差别在哪里呢？其根本差别就在于波长范围不同。

我们常用的交流电也是以电磁波的形式沿着导线传播的，它的波长有6000公里，可以说是波长最长的电磁波。收音机所接收的电磁波，其波长范围大致是从几百米到几十米，叫做中波或短波。电视机接收的电磁波，波长范围从几米到几厘米，叫做微波。最短的无线电电磁波波长只有几毫米。

红外线也是电磁波，它的波长范围是从0.78微米(μm)到1000微米(μm)。1微米等于千分之一毫米。为了研究上的方便，红外线还可划分为以下三个波段：

近红外：波长为0.78~3.0 μm

中红外：波长为3.0~20 μm

远红外：波长为20~1000 μm

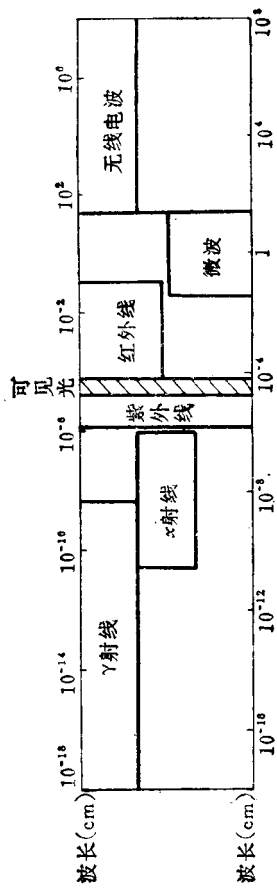


图2-1 电磁波波谱图

波长比 $0.78\mu\text{m}$ 更短的电磁波便是可见光。可见光的波长范围是 $0.38\sim 0.78\mu\text{m}$ 。不同波长的可见光颜色不同，其波长与颜色的关系如下：

紫色： $0.38\sim 0.43\mu\text{m}$

蓝色： $0.43\sim 0.46\mu\text{m}$

青色： $0.46\sim 0.49\mu\text{m}$

绿色： $0.49\sim 0.55\mu\text{m}$

黄色： $0.55\sim 0.59\mu\text{m}$

橙色： $0.59\sim 0.65\mu\text{m}$

红色： $0.65\sim 0.78\mu\text{m}$

波长比可见光更短的电磁波是紫外线、 x 射线、 γ 射线和宇宙射线。

红外线和无线电波、可见光、紫外线及各种射线组成了一个连续的电磁波波谱，见图 2-1 所示。

2.3 红外线的特点

理论分析和实验研究表明，不仅太阳光中有红外线，而且任何温度高于绝对零度的物体（如人体等）都在不停地辐射红外线。就是冰和雪，因为它们的温度也远高于绝对零度，所以也在不断地辐射红外线。因此，红外线的最大特点是普遍存在于自然界中。也就是说，任何“热”的物体虽然不一定发光但都能辐射红外线。所以红外线又称为热辐射线，简称热辐射。

红外线与可见光相比的另一个特点是，色彩丰富多样。由于可见光的最长波长是其最短波长的 1 倍，所以也叫做一个倍频程。而红外线的最长波长却是其最短波长的 10 倍，即具有 10 个倍频程。因此，如果说可见光能表现为 7 种颜色，