

# 红外测温原理与测温技术

## The Principle and Application of the IR Measuring Temperature

北京红源光电技术公司(北京 100015) 姚学军

[摘要]介绍红外测温原理、测温系统组成及使用中应注意的几个技术问题。

[关键词]发射率 反射率 透过率 距离系数

**Abstract :** This paper introduces the principle of the IR measuring temperature ,the block diagram of the system and the matters needing attention for use.

**Key words :** Emissivity Reflectivity Transmittivity D :S

### 1 引言

1800年,赫胥尔首先发现了红外辐射,经过几代科学家100多年的探索、实验与研究,总结出了正确的辐射定律,为成功地研制红外辐射测温仪奠定了理论基础。20世纪60年代以后,由于各种高灵敏度红外探测器、干涉滤光片以及数字信号处理技术的发展,大大促进了红外技术应用的进程。近几十年来,比色测温仪、光纤测温仪、扫描测温仪等满足各种需要的红外测温仪相继出现和不断改进,使红外技术的研究与应用有了新的飞跃。虽然红外测温技术问世的时间并不很长,但是它安全、可靠、非接触、快速、准确、方便、寿命长等不可替代的优势,已被越来越多的企业与厂家所认识和接受,在冶金、石化、电力、交通、水泥、橡胶等行业得到了广泛的应用,成为企业故障检测、产品质量控制和提高经济效益的重要手段。

在红外测温技术越来越普及的今天,了解其原理,对合理使用和维护红外测温仪是很必要的。

### 2 红外测温原理及辐射测温系统的组成

#### 2.1 红外辐射基本定律

自然界一切温度高于绝对零度K的物体,由于分子的热运动,都在不停地向周围空间辐射包括红外波段在内的电磁波,红外波段位于0.75~100μm之间,常用的红外波段为0.75~100μm。对于理想的辐射源——黑体而言,辐射能量与温度的关系符合普朗克定律,即:

$$M = \frac{C_1}{5} \cdot \frac{1}{e^{C_2/T} - 1}$$

这个公式揭示了辐射能量与黑体温度和响应波长的相互依赖关系,其中M是T温度下、波长处、单位面积黑体的辐射功率,C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>为常数,T为热力学温度,这个公式的图形表示如图1。

从图1曲线中可以看出:

(1)随着温度升高,辐射能量增加,这是红外辐射理论的出发点,也是单波段红外测温仪的设计依据。

(2)随着温度升高,辐射峰值波长向短波方向移动,其规律符合维恩位移定律,即: $T \cdot \lambda_m = 2897.8 (\mu m \cdot K)$ ,其中T为热力学温度,λ<sub>m</sub>为峰值响应波长。这个公式告诉我们为什么高温测温仪多工作在短波处,低温测温仪多工作在长波处。

(3)辐射能量随温度的变化率,短波处比长波处大,

即短波处工作的测温仪相对信噪比高(灵敏度高),抗干扰性强。测温仪应尽量选择工作在峰值波长处,特别是低温小目标的情况下,这一点显得尤为重要。

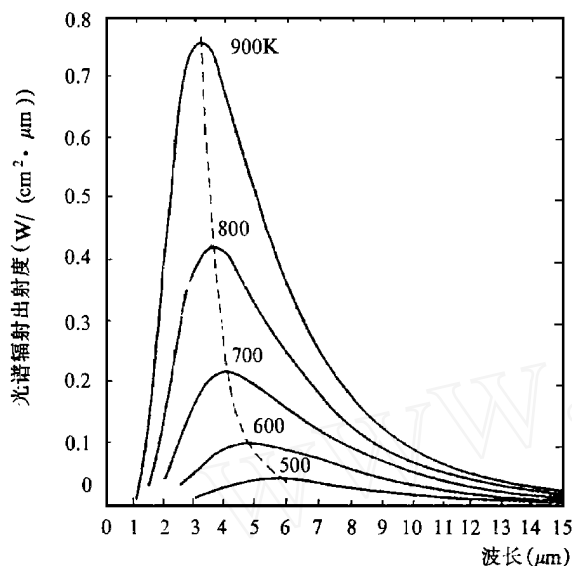


图1 黑体辐射的光谱分布

## 2.2 红外测温系统的组成

红外测温系统的组成如图2所示。处于某一背景的目标所辐射的红外能量,通过大气传输到红外测温仪,测温仪的光学系统将目标辐射的能量会聚到探测器上,探测器将入射的辐射转换为电信号,通过放大及线性化等信号处理后,以模拟方式4~20mA、0~5V或数字方式显示输出。

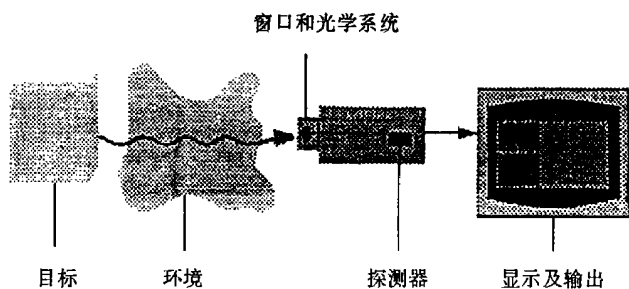


图2 红外测温系统

## 3 红外测温仪的性能特点及分类

红外测温仪的种类很多,可分为便携式、在线式、扫描式,并有光纤、双色等测温仪。

**便携式(手持式):**体积小、重量轻、电池供电,适合随身携带,可随时进行温度的检测和记录,有光学瞄准或激光瞄准装置,操作非常简单,只需轻轻一扣扳机,就

能进行测量。美国 Raytek 公司最新推出的 MX 系列,可将被面积用环形激光显示出来,更为直观、方便。

**在线式(固定式):**固定安装在工业现场,可以24小时连续监测,和计算机相连,闭环控制,打印输出。加装保护及风冷、水冷装置,可以在恶劣环境及315的高温下工作。

**扫描式:**即行扫描测温仪,用于测量90度视场内一条线的温度分布,每行可测256个点,利用软件,在监视器上形成目标的热图像,它能更直观、更清晰、更快捷地进行温度监测,尤其适用于传送带、旋转窑、滚筒等连续运动的目标。

**光纤式:**由于光纤直径小、可弯曲,适合在狭小、弯曲的通道及环境温度很高的恶劣环境中进行测量。

**双色(比色)测温仪:**利用两个很窄的相近波段测量同一物体,取较短波段信号与较长波段信号的比值,这个比值随温度的升高而加大,这种根据比值测温的测温仪叫比色测温仪或双色测温仪。由于这两个波段靠得非常近,当被测物在这个很窄的波长内,发射率没有变化时,则发射率和气氛吸收对两个信号的衰减相同,不会影响比值。所以,双色测温仪抗干扰能力强,对发射率、烟雾、灰尘、水气不敏感,可以测量部分被遮挡的目标,测量感应线圈缝隙内加热工件的温度,更显其卓越性能。美国 Raytek 公司的双色测温仪,性能优越,哪怕目标只占视场的5%,也能精确测量。

## 4 红外测温仪应用中的技术问题

由于非接触红外测温仪测量的是物体的表面温度,测量结果与被测目标的表面状况有关,所以正确地设定发射率及掌握测试方法,是很重要的。

### 4.1 发射率(辐射系数)的设定

前面讲的辐射定律是对理想辐射源——黑体而言的,黑体的发射系数为1。自然界中存在的实际物体,几乎都不是黑体,它们的发射系数都小于1。这些物体与黑体的差别就体现在发射率、反射率及透射率上。我们知道,自然界充满着电磁辐射,一切物体都处于电磁辐射之中,一切物体都在不断地辐射、吸收、反射或透过红外辐射。根据基尔霍夫定律,在热平衡状态下,物体辐射的功率等于它吸收的功率。物体的辐射率、反射率和透过率总和为1。用公式表示,即  $E + R + T = 1$ ,  $E$  为发射率,  $R$  为反射率,  $T$  为透射率,图3解释了上述定律,即测温仪接收被测目标的红外辐射,是由3部分组成,即辐射能量、反射能量和透射能量,对于不透明的物

体,则由两部分组成,辐射能量和反射能量。物体的辐射率越高,反射率就越小,背景和反射的影响就会越小,测试的准确性也就越高;反之,背景温度越高或反射率越高,对测试的影响就越大。虽然,测温仪能够对此进行补偿,但是如果影响太大,补偿的精度不会太高,所以选择测温仪工作在被测目标的峰值波长处很重要。如何正确地选择被测物体的发射率,有以下几种方法:

(1) 参考厂家给出的不同材料的发射率表来确定。实验证明,大部分非金属的发射率都很高,一般在 0.85~0.95 之间,而且与表面状态关系不大;金属的发射率与表面状态有密切的关系,在选用金属材料的发射率时,应对其表面状况给予足够的关注。

(2) 用热电偶或其它的方法测出物体的真实温度,用此温度来校准红外测温仪,即调节测温仪的发射率  $E$  值,使温度指示值与真实温度值一致,此时的发射率值即是该物体的发射率。

(3) 对于温度不太高的物体(260℃以下),可以在被测物表面贴上一块标准发射率纸或涂上发射率已知的黑漆,在温度达到平衡时,用测温仪分别测量覆盖和紧邻的未覆盖部分的温度,便可求出被测物的发射率,方法同上。

(4) 对于高温物体,除用第 2 种方法外,还可以在物体上做一个空腔,空腔的深度与口径的比值超过 6:1,则可认为该空腔近似为黑体。用红外测温仪分别测量空腔和旁边的温度,便可以得出该物体的发射率。即测空腔的温度时,把发射率  $E$  设为 0.99,近似为黑体,此时测出的温度即为该物体的真实温度,然后将测温仪对准空腔外紧邻部分,调整发射率  $E$  值,使温度读数与空腔内的温度值一致,此时的发射率值就是该物体的发射率。

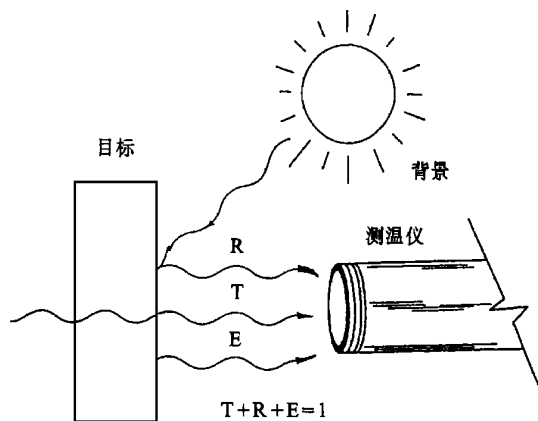


图3 目标的红外辐射

## 4.2 距离系数的选择

距离系数  $D:S$ ,即测温仪到被测物的距离与测温目标直径的比值。此系数越大,表明光学分辨率越高,即在同样的距离下,能测更小的目标。此系数也就是测温仪的视场。由于单波段测温仪显示的温度是其视场的平均值,所以被测物必须充满视场,而且要有一定的余量,最好有 1.5 倍的余量。例如距离系数为 100 的测温仪,在 2m 处可以测量  $2m/100 = 2cm$  的目标,为了测试准确,目标直径应为  $2cm \times 1.5 = 3cm$ 。有些用户忽略了此事,造成了测试误差。

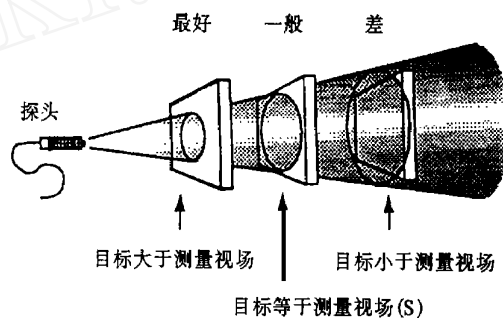


图4 目标与视场

采用双色测温仪就不存在目标必须充满视场这个问题了,这是双色测温的原理所决定的,因为双色测温仪接收的是目标在两个波段辐射能量的比值,在求比值时,误差被抵消,与目标尺寸的大小关系不大。如美国 Raytek 公司的双色测温仪哪怕目标只占视场的 5%,也能精确测量。

## 4.3 测试中几个应注意的问题

(1) 实验表明,物体的发射率与测试的方向有关,尤其被测物为光洁表面时,方向性更为敏感。为了准确测出物体的真实温度,当被测物的发射率小于 0.9 时,测温仪最好垂直于被测物表面,至少应使测量方向与被测物体的法线方向保持在 30 度角之内,任何情况下不要超过 45 度角,否则,应对发射率做进一步的修正,双色测温仪允许更大的测量角。

(2) 避免被测物周围高温辐射源反射与透射的影响。由于物体的发射率、反射率和透过率之和为 1,当被测物发射率小于 1 时,如果在被测物周围有高于其温度的热源,它将除了辐射本身的能量外,还要反射高温源所辐射的能量,从而造成测量误差。美国 Raytek 公司红外测温仪有很多型号带有环境温度补偿功能,调用此功能可以消除测量误差,得出正确的温度值。但是对

发射率很低的物体,补偿精度不会很高。同样,对于某些可透过红外辐射的材料,如塑料、玻璃等,它们除了辐射红外能量外还会透射它们背后的高温热源的部分红外能量,也会对测试结果产生影响。在实际应用中,应尽量避免这种情况的出现。一方面,可设法遮挡其背面的高温热源;另一方面,可选用不同响应波长的测温仪以消除透射部分的影响。

(3) 红外测温仪工作波长的选择原则:由于被测物体是多种多样的,所以一种测温仪不能满足所有被测物的要求。由于被测物大多不是黑体,当被测物附近存在着火焰、水气、烟雾干扰时,红外测温仪工作波段的选择,就不能只根据测温范围来确定,必须遵循以下原则:

1) 被测物在所选工作波段内,有较高的发射率、较低的透射率和反射率。例如高分子塑料在 $3.4\mu\text{m}$ 或 $7.9\mu\text{m}$ 处、玻璃在 $5\mu\text{m}$ 处、含有 $\text{CO}_2$ 的天然气火焰在 $4.5\mu\text{m}$ 处有较高的发射率,为了测量这些物体,测温仪要选用这些工作波长。

2) 干扰源在所选波段内,有较低的发射率。

3) 在含有大量水蒸气和其它碳氢化合物的环境中,

测温仪应选择透过率较高的波段,避免吸收波段。图5为水蒸气的透射曲线。

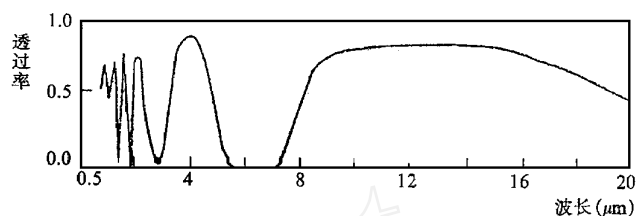


图5 水蒸气的透射曲线

## 5 结束语

综上所述,我们从红外测温的原理及使用经验中总结出为了保证测温的准确性必须注意的几个技术问题,使用单色测温仪,正确地设定发射率和选定合适的距离系数,并考虑环境和背景的影响,就能得到比较准确的测量结果,相信红外诊断这项高新技术在现代化的工业生产中,将发挥更大的作用。