

散热器的黑度的测量

陈 珏

(南京东南大学)

摘要: 黑度是辐射学中的重要参量。散热器的黑度表征了散热器辐射能力的大小。本文介绍了利用红外热象仪测量散热器的黑度的方法,分析了测量原理,介绍了三种不同表面涂层的铝型材散热器的黑度的测量结果。

一、前 言

散热器的黑度也称散热器的有效比辐射率^[1],它是表征散热器辐射热量的能力的物理量。研究散热器的黑度对于计算散热器因辐射而耗散的能量,具有很大的价值,同时为合理设计散热器的结构提供了可靠的依据。

众所周知,一个物体的辐射能与相同温度下黑体辐射能的比值称为这个物体的黑度,用符号 ϵ_0 表示^[1]。

$$\epsilon_0 = \frac{E(T)}{E_{bb}(T)} \quad (1)$$

散热器的黑度不仅与制作散热器的材料有关,而且与散热器材料的表面状态以及散热器的几何结构有关。为了研究散热器的黑度,我们用AGA—780红外热象仪对型材散热器的黑度进行了测量。结果是令人满意。

二、测量原理

红外热象仪是根据热成像原理制成的一种光电仪器,它将红外图像转换成可见光图像,可以用来测量物体表面温度场的分布。操作人员可以根据热象仪的荧光屏上的亮度来区分温度的高低。

利用热象仪测量黑度有两种方法:(1)直接测量法;(2)比较法。

热象仪检测到的红外辐射数值大小“热值”,用符号 W 表示。热值与热象仪的光子探测器所接收到的光子数 n 之间成线性关系:

$$W = A n(T) \quad (2)$$

A 是由实验确定的仪器常数。

温度为 T ,黑度为 ϵ_0 的样品在热象仪上所产生的热值为:

$$W_0' = A n_0'(T) = A \epsilon_0 n_0(T) \quad (3)$$

温度为 T 的黑体在热象仪上所产生的热值为:

$$W_{bb} = A n_0(T) \quad (4)$$

将 (3) 和 (4) 式相比就可能得到样品的黑度:

$$\epsilon_s = \frac{W_s'}{W_{s0}} \quad (5)$$

式中: n_s' ——接收器接收到的来自温度为 T 的样品的辐射 (光子/秒);

n_{s0} ——探测器接收到的来自温度为 T 的黑体的辐射 (光子/秒);

W_{s0} ——黑体在热象仪上所显示的热值, 它与黑体温度之间的关系可以通过一条定标曲线来表示, 如图 1 所示 (该曲线可以预先用黑体进行标定)。

如果用热电偶精确测得样品的温度 T_s , 并在热象仪上读得相应的 W_s' , 然后在标定曲线上查得温度为 T_s 时黑体所对应的热值 W_{s0} 。把 W_s' 除以 W_{s0} , 就可以得到该样品在温度为 T_s 时的黑度。

大气中的某些成份如水蒸汽和二氧化碳, 会吸收红外辐射, 这种吸收将减弱从目标到仪器的辐射。此外, 黑度为 ϵ_s 的样品置于热象仪的探测器前面, 样品不仅自身发射红外辐射, 而且还要反射周围环境的辐射, 样品周围的大气也会发射辐射, 因此到达探测器的辐射为:

$$\begin{aligned} W' &= \text{目标辐射} + \text{反射辐射} + \text{大气辐射} \\ &= \tau_s \epsilon_s n_s + \tau_s (1 - \epsilon_s) n_a + (1 - \tau_s) n_{a,im} \end{aligned} \quad (6)$$

式中: n_a ——温度为 T_a 的黑体辐射 (光子/秒), 这里把环境当作黑体;

$n_{a,im}$ ——温度为 $T_{a,im}$ 的黑体辐射;

τ_s ——大气透射率。

经过变换, 我们不难得到目标在热象仪上产生的热值为:

$$W_s' = \tau_s \epsilon_s W_s + \tau_s (1 - \epsilon_s) W_{s0} + (1 - \tau_s) W_{a,im} \quad (7)$$

假设样品周围的环境与大气有相同的温度, 则:

$$W_{s0} = W_{a,im} = W_a$$

把此关系代入 (7) 式, 求得样品的黑度为:

$$\epsilon_s = \frac{W_s' - W_a}{\tau_s (W_{s0} - W_a)} \quad (8)$$

因为大气中的水蒸汽和二氧化碳会吸收红外辐射, 这种吸收将减弱从目标到热象仪的探测器的辐射能, 在距离较短时, 可以用 Lowtran 法^[2]求得透射率:

$$\tau = e^{-\alpha d} \quad (9)$$

式中: α ——衰减系数。对 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段为 0.046。

d ——扫描器到目标的距离。

只要测得样品的温度 T_s , 并在热象仪显示器上读得相应的热值 W_s' , 再从标定曲线上读得温度为 T_s 时黑体的热值 W_{s0} , 记录下环境温度 T_a , 再从标定曲线上读得 T_a 时的热值 W_a , 量得扫描器与样品之间的距离 d 。由 (8)、(9) 式就可以求得样品的黑度 ϵ_s 。

这种直接测量法将被测样品的辐射能与一个假想的同温度的黑体辐射能相比较, 在使用时不必引入黑体, 借助于标定曲线进行计算, 在工程上使用十分方便。

我们也可以用比较法测量黑度, 比较法就是把待测样品的辐射能与具有已知温度、已知黑度的参考体相比较。

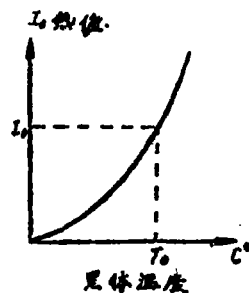


图 1 标定曲线

根据前面的分析,我们可以把一个具有已知温度的参考体在热象仪上显示的热值表示为:

$$W_r' = \tau_r \varepsilon_r W_r + \tau_r (1 - \varepsilon_r) W_{e,r} + (1 - \tau_r) W_{a,r} \quad (10)$$

式中 $W_{e,r}$ 、 $W_{a,r}$ 分别为参考体环境以及大气在热象仪上显示的热值。当目标与参考体放在同一环境里时, $W_{e,r} = W_{e,o} = W_{e,o}$,且 $\tau_r = \tau_o$ 。(若目标、参考体到探测器之间的距离相等)。从(7)、(10)式可得:

$$\varepsilon_o = \frac{(W_o' - W_r') + \tau_o \varepsilon_r (W_r - W_{e,o})}{\tau_o (W_o - W_{e,o})} \quad (11)$$

式中:

- τ_o ——探测器与样品(目标)之间的距离;
- ε_o ——参考体的黑度;
- W_o —— $T = T_o$ 时黑体的标定热值;
- W_r ——温度为 T 时黑体的标定热值;
- $W_{e,o}$ ——温度为 T_o 时黑体的标定热值。

三、实验装置与测量方法

1. 样品

我们选择了尺寸为 $13 \times 12 \times 5 \text{cm}^3$ 的三种不同表面状态的铝散热器:第一种是本色的铝型材散热器;第二种是涂有黑漆的铝散热器;第三种是表面经过磷化处理的淡蓝色的铝散热器。它们表面的波纹距离为 10.39cm 。

2. 实验装置

本实验采用功率管作热源,并将其装在散热器上。当功率管加上负载之后,功率管的耗散热量通过散热器向周围环境散发出去。当达热平衡时进行测量。测量装置如图2所示。

按图2安装好测量装置,将热电偶的热端与散热器的待测部分保持良好的热接触。调节热象仪与散热器之间的距离,使被测样品在热象仪上清晰成像。读得环境温度 T_o ,记录下加热温度为 T 的样品在热象仪上显示的热值,根据式(8)可求得散热器待测部位的黑度。物体的黑度不仅与温度有关,而且与其几何结构有关。对于如图所示的散热器,根据它的结构特点我们把它分成A、B、C三部分来分析。这三部分的辐射情况基本上可以反映散热器的热辐射特点,所显示的热图像如图3所示。

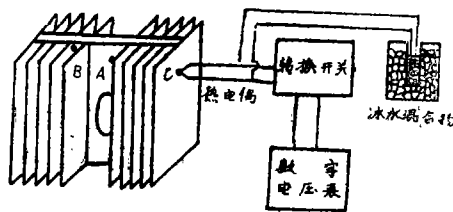


图2 测试装置图

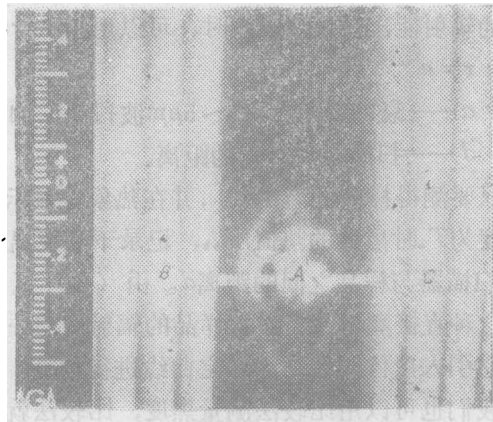


图3 散热器的热图像照片

四、结果分析

改变功率管的加热功率, 分别在不同温度下对 *A*、*B*、*C* 三个区域的散热器的辐射进行测量, 把所测得的热值代入式 (11), 通过运算, 求得各个部位的黑度, 其结果如表 1 所列。

表 1

ϵ_e	位置 温度	<i>A</i>			<i>B</i>			<i>C</i>		
		40℃	50℃	58℃	40℃	50℃	58℃	40℃	50℃	58℃
表面颜色		40℃	50℃	58℃	40℃	50℃	58℃	40℃	50℃	58℃
本色		0.35	0.30	0.26	0.66	0.63	0.58	0.29	0.22	0.21
淡蓝		0.37	0.44	0.4	0.73	0.82	0.72	0.62	0.47	0.41
黑色		0.45	0.53	0.32	0.83	0.76	0.66	0.54	0.47	0.38

对于铝来说, 在环境温度下会自然氧化, 因此在实验中测得的本色铝的辐射并不是金属本身的辐射, 而是氧化层的辐射, 它的辐射特性呈现出非金属辐射特性, 黑度随温度升高而下降。涂漆的散热器的辐射与表面油漆的辐射有关。但是它们的 ϵ_e 随温度的变化规律都是随温度的升高而减小。

图 3 显示的是散热器的正面的红外辐射的热图像照片。从图上可以清晰看到, 离功率管最近的 *A* 区域, 虽然离热源最近, 该部位的温度相对散热器与其它部位要高得多, 但是由于两叶片之间的跨度较大, 漫反射效应减弱, 辐射能力减小, 黑度就小。因此, 在照片上的灰度就小, 显示暗区。*B* 区域的温度较 *A* 为低, 但是由于散热片之间的跨度较小, 漫反射效应较强, 因而黑度就大, 在照片上显示的灰度就亮一些。*C* 区域 (散热器侧面) 与前两个位置的辐射能力相比要差得多, 从测得的数据可以明显看出, 该区域的黑度要小一些。实际测量的结果与理论分析基本相符。

五、误差分析

测量误差主要来自于两个方面: 第一, 热象仪在测量时所造成的误差。这是由于热象仪扫描器在聚焦时位置的偏差所引起的; 第二, 热电偶与待测表面的接触是否良好所引起的误差。我们认为后者是主要的。

参 考 文 献

- [1] 杨世铭; 传热学, 人民出版社, 北京, 1980年10月, P.240
- [2] R.D.Hudson.JR.; 红外系统原理, 国防工业出版社, 1976年10月, P80

The Blackness Measurement of a Radiator

Chen Jue

Abstract

Blackness is an important parameter in the radiometry. The blackness of a radiator expresses its radiant ability. In this paper the method of measuring blackness by IR thermovision is introduced. The measurement principles are analysed and the measurement results of a aluminium radiator with three kinds of coatings are given.