

DB-ZFF 中温法向辐射率测量实验指导书

一、实验目的

用比较法,定性的测量中温辐射时物体的黑度 ε 。

二、实验原理

用 n 个物体组成的辐射换热系统中,利用净辐射法,可以求物体 i 的纯换热量 $Q_{\text{net},i}$

$$\begin{aligned} Q_{\text{net},i} &= Q_{\text{abs},i} - Q_{\text{ei}} \\ &= d_i \int_{F_k} E_{\text{eff},k} \psi(d_{ki}) dF_k - \varepsilon_i E_{\text{b},i} F_i \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $Q_{\text{net},i}$ — i 面的净辐射换热量。

Q_{abs} — i 面从其他表面的吸热量。

Q_{ei} — i 面本身的辐射热量。

ε_i — i 面的黑度。

$\psi(d_{ki})$ — k 面对 i 面的角系数。

$E_{\text{eff},k}$ — k 面的有效辐射力。

$E_{\text{b},i}$ — i 面的辐射力。

d_i — i 面的吸受率。

F_i — i 面的面积。

根据本实验的设备情况,可以认为:

1、热源 1, 传导园筒 2 为黑体。

2、热源 1, 传导筒 2, 待测物体(受力)3。它们表面上的温度均匀(见附图)因此公式(1)可写成:

$$Q_{\text{net},3} = \alpha_3 (E_{\text{b},1} F_1 \psi_{1,3} + E_{\text{b},2} F_2 \psi_{2,3} - \varepsilon_3 E_{\text{b},3} F_3)$$

因为: $F_1 = F_3$; $\alpha_3 = \varepsilon_3$; $\psi_{3,2} = \psi_{1,2}$ 。又根据角系数的互换性 $F_2 \psi_{2,3} = F_3 \psi_{3,2}$, 则:

$$\begin{aligned} q_3 &= Q_{\text{net},3} / F_3 = \varepsilon_3 (E_{\text{b},1} \psi_{1,3} + E_{\text{b},2} \psi_{1,2} - E_{\text{b},3}) \\ &= \varepsilon_3 (E_{\text{b},1} \psi_{1,3} + E_{\text{b},2} \psi_{1,2} - E_{\text{b},3}) \end{aligned} \quad (2)$$

由于受体 3 与环境主要以自然对流方式换热, 因此:

$$Q_3 = \alpha (t_3 - t_f) \quad (3)$$

式中: α — 换热系数

t_3 — 待测物体(受力)温度

t_f — 环境温度

由(2)、(3)式可得:

$$\varepsilon_3 = \frac{\alpha(t_3 - t_f)}{E_{b1}\psi_{1.3} + E_{b2}\psi_{1.2} - E_{b3}} \quad (4)$$

当热源 1 和黑体园筒 2 的表面温度一致时, $E_{b1}=E_{b2}$, 并考虑到, 体系 1, 2, 3, 为封闭系统, 则: $(\psi_{1.3} + \psi_{1.2}) = 1$

由此, (4)式可写成:

$$\varepsilon_3 = \frac{\alpha(t_3 - t_f)}{E_{b1} - E_{b3}} = \frac{\alpha(t_3 - t_f)}{\sigma_b(T_1^4 - T_3^4)} \quad (5)$$

式中 σ_b 称为肆蒂芬—玻尔茨曼常数, 其值为 $5.7 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ 。

对不同待测物体(受力)a, b 的黑度 ε 为:

$$\varepsilon_3 = \frac{\alpha_a(T_{3a} - T_f)}{\sigma(T_{1a}^4 - T_{3a}^4)} ; \quad \varepsilon_b = \frac{\alpha_b(T_{3b} - T_f)}{\sigma(T_{1b}^4 - T_{3b}^4)}$$

设 $\alpha_a = \alpha_b$, 则:

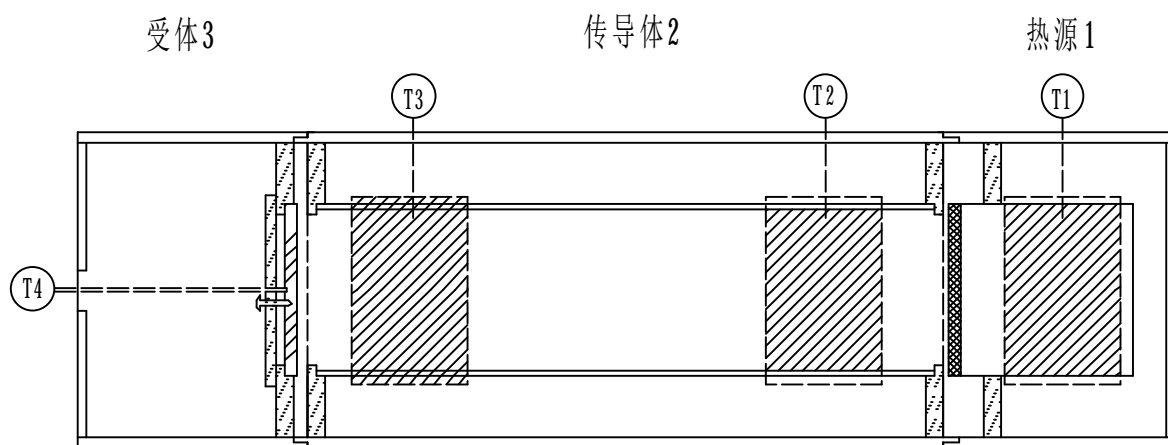
$$\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_b} = \frac{T_{3a} - T_f}{T_{3b} - T_f} \cdot \frac{T_{1b}^4 - T_{3b}^4}{T_{1a}^4 - T_{3a}^4} \quad (6)$$

当 b 为黑体时, $\varepsilon_b \approx 1$, (6)式可写成

$$\varepsilon_a = \frac{T_{3a} - T_f}{T_{3b} - T_f} \cdot \frac{T_{1b}^4 - T_{3b}^4}{T_{1a}^4 - T_{3a}^4} \quad (7)$$

三、实验装置

实验装置如图所示



热源具有一个测温热电偶, 传导腔体有两个热电偶, 受体有一个热电偶, 它们都可以通过仪表显示。

四、实验方法和步骤

本仪器用比较法定性的测定物体的黑度, 具体方法是通过对三组加热器电压的调整(热源一组, 导体二组), 使热源和导体的测温点恒定在同一温度上, 然后分别将“待测”(受体为待测物体, 具有原来的表面态度)和“黑体”(受体仍为待测物体, 但表面薰黑)两种状态的受体在相同的时间接受热辐射, 测出受到辐射后的温度, 就可按公式计算出待测物体的黑度。

为了测试成功, 最好在实测前对热源和导体的恒温控制方法进行 1—2 次探索, 掌握规律后再进行正式测试。

具体实验步骤如下:

1. 将热源腔体 1 和受体腔体 3(先用“待测”状态的受体)对正靠近导体 2 并在受体腔体与导体之间插入红纸板隔热。

2. 接通电源, 调整热源、传导左和传导右的调温旋钮, 使其相应的加热电流(功率)调到合适(一半左右)的数值。加热 30 分钟左右, 对热源和导体两侧的测温点进行监测, 根据温度值, 微调相应的加热电压, 直至所有测点的温度基本稳定在要求的温度上。

3. 系统进入恒温后(各测温点的温度基本接近, 且各点的温度波动小于 3°C), 去掉隔热板, 使受体腔体靠近导体, 然后每隔 10 分钟对受体的温度进行监测、记录、测得一组数据。在此同时, 要监测热源和导体温度, 并随时进行调整。

4. 取下受体腔体, 待受体冷却后, 用松脂(带有松脂的松木)或蜡烛将受体表面薰黑。然后重复上述方法, 对“黑体”进行测试, 测得第二组数据。

5. 将两组数据进行整理后代入公式, 即可得出待测物体的黑度 $\varepsilon_{\text{受}}$ 。

五、注意事项

1. 热源及传导体的温度不宜过高，切勿超过仪器允许的最高温度—200℃。
2. 每次做“待测”状态实验时，建议用汽油或酒精将待测物体的表面擦净，否则，实验结果将有较大出入。

六、实验所用计算公式

根据（6）式本实验所用计算公式为：

$$\frac{\varepsilon_{\text{受}}}{\varepsilon_0} = \frac{T_{\text{受}}(T_{\text{源}}^d - T_0^d)}{T_0(T_{\text{源}}'^d - T_{\text{受}}^d)} \quad (8)$$

式中： ε_0 — 相对黑体的黑度，该值可假设为1。

$\varepsilon_{\text{受}}$ — 待测物体（受体）的黑度。

$T_{\text{源}}$ — 受体为相对黑体时热源的绝对温度。

$T'_{\text{源}}$ — 受体为被测物体时热源的绝对温度。

T_0 — 相对黑体的绝对温度。

$T_{\text{受}}$ — 待测物体（受体）的绝对温度。

七、实验数据记录和处理

实验数据

序号 NO	热源 ℃	传导℃			受体（紫铜） ℃
		1	2	3	
1					
2					
3					
平均℃					
序号 NO	热源 ℃	传导℃			受体（紫铜熏黑） ℃
		1	2	3	
1					
2					
3					
平均℃					

对同一待测物体(受体),在完全相同条件下,进行两次实验。一次是将待测物体(受体)用松脂(带油脂的松木)或蜡烛熏黑,使它变为黑体,对它进行实验。一次是不熏黑的

情况下进行实验。最后,根据这两次实验所得的两组数据,算出该待测物体的黑度 ε 受。这里,是将熏黑的物体看成是黑体。其辐射率 ε_0 视为 1。