



工程热力学实验报告

学院：	xxxxx 学院
专业班级：	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx 班
学生姓名：	xxx
学号：	xxxxxxxxxxx
授课教师：	xx

工程热力学实验报告——中温法向辐射率测量

XXXXX 班 XXX XXXXXXXXXXXX

2024 年 12 月 31 日

目录

1	实验目的	2
2	实验原理及方法论述	2
3	实验步骤	4
4	实验数据记录表	4
5	实验数据处理及误差分析	5
5.1	数据处理	5
5.1.1	计算结果	5
5.2	误差分析	6
5.2.1	误差原因	6

1 实验目的

用比较法，定性地测量中温辐射时物体黑度。

2 实验原理及方法论述

由 n 个物体组成的辐射换热系统中，利用净辐射法，可以求物体的 I 净换热量 $Q_{\text{net},i}$ ：

$$Q_{\text{net},i} = Q_{\text{abs},i} - Q_{e,i} = \alpha_i \sum_{k=1}^n \int_{F_k} E_{\text{eff},k} \Psi_i(dk) dF_k - \varepsilon_i E_{b,i} F_i \quad (1)$$

式中：

- $Q_{\text{net},i}$ —— i 面的净辐射换热量。
- $Q_{\text{abs},i}$ —— i 面从其他表面的吸热量。
- $Q_{e,i}$ —— i 面本身的辐射热量。
- ε_i —— i 面的黑度。
- $\Psi_i(dk)$ —— k 面 i 面的角系数。
- $E_{\text{eff},k}$ —— k 面有效的辐射力。
- $E_{b,i}$ —— i 面的辐射力。
- α_i —— i 面的吸收率。
- F_i —— i 面的面积。

根据本实验的设备情况，可以认为：

1. 传导圆筒 2 为黑体。
2. 热源、传导圆筒 2、待测物体（受体）3 表面上的温度均匀。

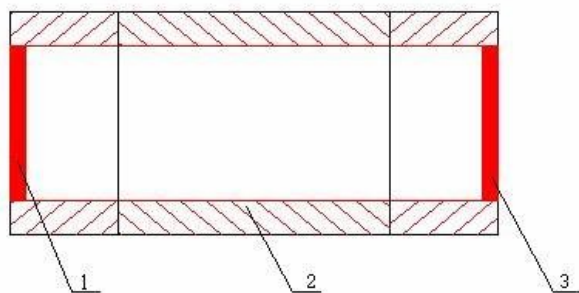


图 1: 辐射换热简图

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

由于 $F_1 = F_3$, $\alpha_3 = \varepsilon_3$, 且 $\psi_{3,2} = \psi_{1,2}$, 并根据角系数的互换性 $4F_2\psi_{2,3} = F_3\psi_{3,2}$, 可以得到:

$$q_3 = \frac{Q_{\text{net},3}}{F_3} = \varepsilon_3 (E_{b,1}\psi_{i,3} + E_{b,2}\psi_{1,2}) - \varepsilon_3 E_{b,3} = \varepsilon_3 (E_{b,1}\psi_{i,3} + E_{b,2}\psi_{1,2} - E_{b,3}) \quad (3)$$

$$q_3 = h(t_3 - t_f) \quad (4)$$

其中:

- h 为换热系数
- t_3 为待测物体 (受体) 温度
- t_f 为环境温度

由 (3)、(4) 式得:

$$\varepsilon_3 = \frac{\alpha_d(t_3 - t_f)}{E_{b1}\Psi_{1,3} + E_{b2}\Psi_{1,2} - E_{b3}} \quad (5)$$

当热源 1 和黑体圆筒 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:

$$\psi_{i,3} + \psi_{1,2} = 1 \quad (6)$$

由此, (5) 式可写成:

$$\varepsilon_3 = \frac{\alpha(t_3 - t_f)}{E_{b1}E_{b3}} = \frac{\alpha(t_3 - t_f)}{\sigma(T_1^4 - T_3^4)} \quad (7)$$

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

对不同待测物体 (受体) a, b 的黑度:

$$\begin{cases} \varepsilon_b = \frac{\alpha_a(T_{3a} - T_f)}{\sigma(T_{1a}^4 - T_{3a}^4)} \\ \varepsilon_b = \frac{\alpha_b(T_{3b} - T_f)}{\sigma(T_{1b}^4 - T_{3b}^4)} \end{cases} \quad (8)$$

$$\varepsilon_b = \frac{\alpha_b(T_{3b} - T_f)}{\sigma(T_{1b}^4 - T_{3b}^4)} \quad (9)$$

设 $a_a = a_b$, 则:

$$\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_b} = \frac{T_{3a} - T_f}{T_{3b} - T_f} \cdot \frac{T_{1b}^4 - T_{3b}^4}{T_{1a}^4 - T_{3a}^4} \quad (10)$$

当 b 为黑体时, $\varepsilon_b \approx 1$, (10) 式可写成:

$$\varepsilon_a = \frac{T_{3a} - T_f}{T_{3b} - T_f} \cdot \frac{T_{1b}^4 - T_{3b}^4}{T_{1a}^4 - T_{3a}^4} \quad (11)$$

3 实验步骤

本实验使用比较法来定性测定物体的黑度。具体方法是通过调节三组加热器电压（其中一组为热源，另外两组为导体），使热源和传导体的测量点保持在同一温度下。然后，将“待测”物体（表面状态保持原样）和“黑体”（表面经过熏黑处理的物体）在恒温条件下进行温度测量。根据所测得的温度，可以通过公式计算出待测物体的黑度。

实验步骤如下：

1. 将热源腔体和受体腔体（受体为待测物体，表面保持原状态）靠紧导体。
2. 接通电源，打开电源开关，设定所需温度后，按下启动按钮。
3. 当系统进入恒温状态后（各测温点温度基本一致，且五分钟内温度波动不超过 3°C ），开始测量受体温度。当受体温度在五分钟内变化小于 3°C 时，记录下第一组数据，标记为“待测”受体数据。
4. 取下受体并冷却，然后用松脂或蜡烛将受体表面熏黑，再重复以上实验，测得第二组（“黑体”状态）。
5. 将两组数据代入公式，计算出待测物体的黑度值（ $\varepsilon_{\text{受}}$ ）。

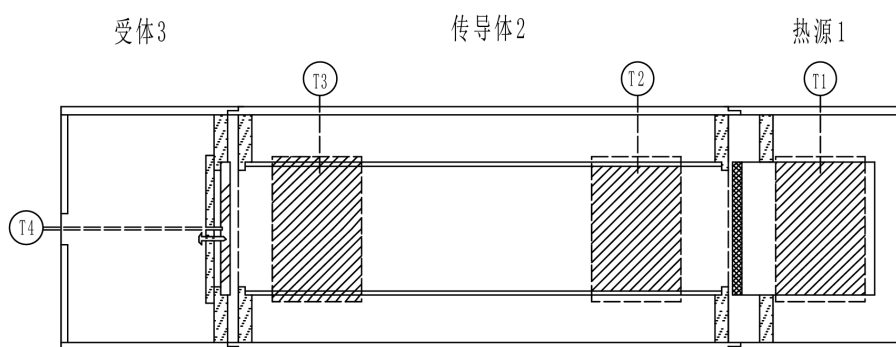


图 2: 实验装置示意图

4 实验数据记录表

实验得到的数据如下：

表 1: 光面数据

序号	热源温度 (C)	受体温度 (C)	传导腔一 (C)	传导腔二 (C)	室温 (C)
1	55.18	33.75	55.18	55.31	20.18
2	55.12	33.10	55.31	55.12	20.06
3	55.18	33.81	54.87	55.25	20.18
平均	55.16	33.55	55.12	55.23	20.14

表 2: 黑体数据

序号	热源温度 (C)	受体温度 (C)	传导腔一 (C)	传导腔二 (C)	室温 (C)
1	55.25	36.56	55.25	54.93	20.25
2	55.18	36.61	55.18	55.18	20.18
3	54.93	36.56	55.12	55.66	19.81
平均	55.12	36.58	55.18	55.26	20.08

5 实验数据处理及误差分析

5.1 数据处理

根据 (10) 式, 本实验所用计算公式为:

$$\frac{\varepsilon_{\text{受}}}{\varepsilon_0} = \frac{\Delta T (T_{\text{源}}^4 - T_0^4)}{\Delta T_0 (T_{\text{源}}'^4 - T_{\text{受}}^4)} \quad (12)$$

式中:

1. ε_0 —— 相对黑体的黑度, 该值可假设为 1。
2. $\varepsilon_{\text{受}}$ —— 代测物体 (受体) 的黑度。
3. $\Delta T_{\text{受}}$ —— 受体与环境的温差。
4. ΔT_0 —— 黑体与环境的温差。
5. $T_{\text{源}}$ —— 受体为相对黑体时热源的绝对温度。
6. $T_{\text{受}}$ —— 受体为被测物体时的热源绝对温度。
7. T_0 —— 相对黑体的绝对温度。
8. $T_{\text{受}}$ —— 待测物体 (受体) 的绝对温度。

5.1.1 计算结果

由实验数据得:

$$\begin{aligned} \Delta T_0 &= 16.50 \text{ K} & T_0 &= (36.58 + 273) \text{ K} = 309.58 \text{ K} \\ \Delta T_{\text{受}} &= 13.41 \text{ K} & T_{\text{源}} &= (55.16 + 273) \text{ K} = 328.16 \text{ K} \\ T_{\text{源}} &= (55.12 + 273) \text{ K} = 328.12 \text{ K} & T_{\text{受}} &= (33.55 + 273) \text{ K} = 306.55 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{\text{受}} = \varepsilon_0 \cdot \frac{13.41}{16.50} \cdot \frac{(55.12 + 273)^4 - (36.58 + 273)^4}{(55.16 + 273)^4 - (33.55 + 273)^4} = \varepsilon_0 \cdot 0.503$$

当真空介电常数 ε_0 取值为 1 时, 原来表面状态的受体紫铜的黑度为 $\varepsilon_{\text{受}} = 0.503$

5.2 误差分析

我们可以使用相对误差公式来计算误差：

$$\text{相对误差} = \left| \frac{\text{计算值} - \text{标准值}}{\text{标准值}} \right| \times 100\%$$

根据已知数据：- 计算值：0.503 - 标准值：0.58

代入公式：

$$\text{相对误差} = \left| \frac{0.503 - 0.58}{0.58} \right| \times 100\% = \left| \frac{-0.077}{0.58} \right| \times 100\% \approx 13.28\%$$

因此，计算得出，误差约为 13.28%。

5.2.1 误差原因

- 温度测量误差
 - 温度传感器的准确性：使用的温度传感器（如热电偶或红外温度计）可能存在校准不准确的情况，导致测量的温度偏差。
 - 热源温度不均匀：热源可能在空间上存在温度梯度，这会导致不同位置测得的温度不同，从而影响辐射率的测量。
- 环境影响
 - 环境温度变化：实验环境温度的波动可能会影响辐射率的测量，因为辐射与温度的四次方成正比。
 - 空气的吸收和散射：空气中的水蒸气、尘土等可能对辐射进行吸收或散射，影响辐射的强度，从而引入误差。
- 辐射率模型假设不成立
 - 假设为黑体：很多实验假设受体或热源为理想黑体，但实际上并非如此，许多材料的辐射率并非 1，而是低于 1，这会导致测量结果与理论值之间存在偏差。
 - 发射率的不一致性：在实验中，如果被测物体的发射率不均匀或无法准确测定，也会引入误差。
- 数据处理与计算误差
 - 温度数据的转换误差：在计算辐射率时，温度转换到开尔文温度的过程中，若存在小数位丢失或精度限制，可能会引入误差。
 - 数学模型简化：在实验过程中，为简化计算，可能会对实际情况进行某些假设（如假设辐射为黑体、忽略多次散射等），这些假设会引入计算误差。