

天津大学本科生实验报告专用纸

学院 机械学院 年级 2019

学号 2019010101

课程名称 冷却法测定金属比热容 实验日期 2019.12.12

成绩 92

同组实验者 元

a. 实验名称: 冷却法测定金属比热容

b. 实验目的:

1. 了解金属的冷却速率与环境之间的温差关系
2. 分析研究热学实验成败的原因
3. 学会测量金属比热容的方法

c. 实验仪器: FB312型冷却法金属比热容测量仪, 电子天平, 待测铜柱, 铁柱, 铝圆柱等.

d. 实验原理:

单位质量的物质, 其温度升高 1K (1°C) 所需要的热量叫作该物质的比热容, 其值随温度而变化. 将质量为 m_1 的金属样品加热后, 放到较低温度的介质中, 样品将会逐渐冷却, 其单位时间的热量损失 $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ 与温度下降的速率成正比. 于是有:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = c_1 m_1 \frac{\Delta T_1}{\Delta t}, \quad c_1 \text{ 为该金属样品在温度 } T_1 \text{ 时的比热容}$$

$\frac{\Delta T_1}{\Delta t}$ 为金属样品在 T_1 时的温度下降速率. 根据冷却定律有:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = a_1 S_1 (T_1 - T_0)^n$$

式中 a_1 为热交换系数, S_1 为该样品外表面的面积, n 为常量, T_1 为金属的温度, T_0 为周围介质的温度.

天津大学本科实验报告专用纸

由上两式可得 $C_1 m_1 \frac{\Delta T_1}{\Delta t} = a_1 S_1 (T_1 - T_0)^n$. ①

同理,对质量为 m_2 , 比热容为 C_2 的另一种金属样品,可有同样表达式 $C_2 m_2 \frac{\Delta T_2}{\Delta t} = a_2 S_2 (T_2 - T_0)^n$. ②

由①、②联立可得
$$\frac{C_2 m_2 \frac{\Delta T_2}{\Delta t}}{C_1 m_1 \frac{\Delta T_1}{\Delta t}} = \frac{a_2 S_2 (T_2 - T_0)^n}{a_1 S_1 (T_1 - T_0)^n}$$

$$\therefore C_2 = C_1 \frac{m_1 \frac{\Delta T_1}{\Delta t} a_2 S_2 (T_2 - T_0)^n}{m_2 \frac{\Delta T_2}{\Delta t} a_1 S_1 (T_1 - T_0)^n}$$

如果两样品的形状、尺寸都相同,即 $S_1 = S_2$. 两样品表面情况也相同,而周围介质(空气)的性质当然也不变,则有 $a_1 = a_2$. 于是当周围介质温度不变(即室温恒定样品又处于相同温度 $T_1 = T_2 = T$)时,上式可简化为
$$C_2 = C_1 \frac{m_1 (\frac{\Delta T}{\Delta t})_1}{m_2 (\frac{\Delta T}{\Delta t})_2}$$

如果已知标准金属样品的比热容 C_1 , 质量 m_1 , 待测样品的质量 m_2 及两样品在温度 T 时冷却速率之比,就可以求出待测的金属材料的比热容 C_2 .

温度 \ 比热容	$C_{Fe} / (J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1})$	$C_{Al} / (J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1})$	$C_{Cu} / (J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1})$
$100^\circ C$	460	962	393

三种材料的比热容表.

教师签字:

年 月 日

e. 实验步骤:

1. 用电子天平分别称出铜、铁、铝柱的质量, 选择铜、铁、铝三种样品要求几何形状、大小及表面光洁度一致, 用物理天平或电子天平称出它们的质量并按 $m_{Cu} > m_{Fe} > m_{Al}$ 的顺序将它们区分出来。

2. 用铜-康铜热电偶测不同温度的温差电动势。

(1) 先将铜柱置于防风筒的热电偶探头上, 热电偶的冷端插入盛有室温常温水的水瓶内, 温差电动势信号线连接到数字电压表输入端。

(2) 开启仪器预热 10 min, 将加热装置慢慢放下, 罩住样品, 打开加热器给样品加热。

3. 测铜、铁、铝的冷却速率

(1) 当铜温度加热到 110°C (数字电压表示值 $5.00 \sim 0.81$ mV) 时切断电源并升起加热器, 盖好防风盖, 待样品自然冷却, 当样品温度降至 102°C 时开始计时, 测出样品由 102°C 降至 98°C 的时间 Δt , 对应数字电压表读数 ($4.16 - 0.81 \sim 3.99 - 0.81$ 即 $3.35 \sim 3.18$), 测量八次。

温度补偿: 根据温差电偶的中间温度定律, $E(T_1, T_2) + E(T_2, T_3) = E(T_1, T_3)$, 其中 T_1 为待测温度, $T_2 = 0^{\circ}\text{C}$, 查温差电动势和温度关系分度表 T_1, T_2 的温差电动势值, 即可获得冷端 T_2 的待测温度对应的温差电动势值, 即 $3.35 \sim 3.18$, 当室温为 21°C 时。

天津大学本科实验报告专用纸

12) 更换样品, 按上述步骤分别测出 $\Delta t_2, \Delta t_3$, 分别计算三种样品在 100°C 附近的冷却速率 $\frac{\Delta T}{\Delta t}|_{T=100^\circ\text{C}}$.

4. 在已知铜在 100°C 时的比热容 $c = 393 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ 计算铁和铝在 100°C 附近的比热容, 并计算各测量值的不确定性.

f. 数据表格.

1. 用电子天平测得三个样品的质量.

$m_1 (\text{g})$	$m_2 (\text{g})$	$m_3 (\text{g})$
12.44	11.09	3.87

2. 室温 21°C

3. 实验数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	$\bar{\Delta t} (\text{s})$
$\Delta t_1 (\text{s})$	21.42	21.86	21.81	22.08	21.80	21.62	21.37	21.46	21.6775
$\Delta t_2 (\text{s})$	20.83	21.23	23.08	23.37	22.72	22.91	23.42	24.30	22.85875
$\Delta t_3 (\text{s})$	16.83	16.45	16.44	15.94	16.29	15.83	16.17	16.27	16.2775

$102^\circ\text{C} - 4.16 \text{ mV}$ $98^\circ\text{C} - 3.99 \text{ mV}$

由于室温 $T = 21^\circ\text{C} - 0.81 \text{ mV}$ \therefore 实验读数为 $3.35 - 3.18 \text{ mV}$.

教师签字:

年 月 日

9. 数据处理

由于 $m_1 > m_2 > m_3$ ，故 1 为铜，2 为铁，3 为铝。

利用 $C_2 = C_1 \frac{m_1 \Delta t_2}{m_2 \Delta t_1}$ 计算，已知 $C_1 = C_{\text{铜}} = 393 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$$C_{\text{铁}} = C_2 = C_1 \frac{m_1 \Delta t_2}{m_2 \Delta t_1} = 393 \times \frac{12.44 \times 10^{-3} \times 22.85875}{11.09 \times 10^{-3} \times 21.6775} = 464 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{铝}} = C_3 = C_1 \frac{m_1 \Delta t_3}{m_3 \Delta t_1} = 393 \times \frac{12.44 \times 10^{-3} \times 16.2775}{3.87 \times 10^{-3} \times 21.6775} = 948 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

注：三种材料的热容参考值为 $C_{\text{铜}} = 393 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ $C_{\text{铁}} = 460 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
 $C_{\text{铝}} = 962 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

计算不确定度：

$$S_{\Delta t_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (\Delta t_i - \overline{\Delta t_1})^2}{8 \times 7}} = 0.13516$$

$$S_{\Delta t_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (\Delta t_i - \overline{\Delta t_2})^2}{8 \times 7}} = 0.435$$

$$S_{\Delta t_3} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (\Delta t_i - \overline{\Delta t_3})^2}{8 \times 7}} = 0.118$$

查表可得 $t_{0.95}^{(n=8)} = 2.36$

$$\Delta = 0.14 \text{ s}$$

$$U_{\Delta t_1} = \sqrt{(t_{0.95} S_{\Delta t_1})^2 + \Delta^2} = \sqrt{(2.36 \times 0.13516)^2 + 0.14^2} = 0.34835$$

$$U_{\Delta t_2} = \sqrt{(t_{0.95} S_{\Delta t_2})^2 + \Delta^2} = \sqrt{(2.36 \times 0.435)^2 + 0.14^2} = 1.078$$

$$U_{\Delta t_3} = \sqrt{(t_{0.95} S_{\Delta t_3})^2 + \Delta^2} = \sqrt{(2.36 \times 0.118)^2 + 0.14^2} = 0.312$$

天津大学本科生实验报告专用纸

$$\frac{U_{C2}}{C_2} = U_{r2} = \sqrt{\left(\frac{U_{m1}}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{m2}}{m_2}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta T1}}{\Delta T_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta T2}}{\Delta T_2}\right)^2} = 0.04988$$

$$\frac{U_{C3}}{C_3} = U_{r3} = \sqrt{\left(\frac{U_{m1}}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{m3}}{m_3}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta T1}}{\Delta T_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta T2}}{\Delta T_2}\right)^2} = 0.02559$$

$$\therefore U_{C2} = U_{r2} \times C_2 = 0.04988 \times 464 = 23.144$$

$$U_{C3} = U_{r3} \times C_3 = 0.02559 \times 948 = 24.259$$

$$\therefore C_2 = \bar{C}_2 \pm U_{C2} = 464 \pm 23.144 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_3 = \bar{C}_3 \pm U_{C3} = 948 \pm 24.259 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

h. 误差分析与结论: 实验值与实际值相差不大, 基本准确. 在实验过程中, 室温的变化、按计时键快慢等对实验有微小影响.

i. 拓展与设计.

① 设计另一种方法测量金属的比热容.

实验步骤: a. 调整电子秤, 测出待测金属的质量 M , 再称出量热器的内筒和搅拌器质量 m_1 .

b. 在量热器内筒中倒入热水 (水面约为内筒壁的 $\frac{2}{3}$ 高度, 温度约高出室温 50°C) 并迅速称出它们的总质量 m .

c. 盖好量热器的盖子, 插入温度计, 然后均匀地上下移动搅拌器, 启动计时器, 每隔 30s 读取一次水温, 依次记录 7 个以上的温度数据.

d. 读完最后一个数据后, 迅速将金属粒倒入量热器内筒中, 继续搅拌, 每隔 30s 记录一次数据. 依次记录 7 个以上数据. (见反面.)

教师签字:

年 月 日

e. 用排水法测量温度计浸没在量热管内筒热水中的体积。

f. 根据公式 $C = \frac{(m_1 c_1 + m_2 c_2 + 1.92V)(\theta_1 - \theta_0)}{M(\theta_2 - \theta_0)}$

M, m_1, m_2 均可天平称出, 分别为待测金属块量; 量热器内筒和搅拌器块量; 热水块量. θ_0 为室温. θ_1, θ_2 为待测温度. c_1 为量热器内筒和搅拌器比热容. c_2 为热水比热容

2. 测量水的比热容方案:

在同一量热系统的量热筒内, 每次盛不同质量的待测液体, 作多次测量, 并保持每次测量时系统的初温、末温基本相同, 且每次测量的时间也基本相同. 则实验系统中除待测液体以外其他所有物质的热容量所折合成的水当量 W 可保持不变. 只要分别测出各次测量中的液体质量 m_i 以及相应的比热容 c_i , 然后用直线拟合的方法就可以求得待测液体的比热容 C .

原始数据

$m_1(g)$	$m_2(g)$	$m_3(g)$
12.44g	11.09g	3.87g

2. 室温 21°C .

3.

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta t_1(s)$	21.42	21.86	21.81	22.08	21.80	21.62	21.37	21.46
$\Delta t_2(s)$	20.83	21.23	23.08	23.37	22.72	23.91	23.43	24.30
$\Delta t_3(s)$	16.83	16.45	16.44	15.94	16.29	15.83	16.17	16.27

$$\bar{\Delta t}_1 = 21.6775(s)$$

$$\bar{\Delta t}_2 = 22.85875(s)$$

$$\bar{\Delta t}_3 = 16.2775(s)$$

12.12