

西南大学材料与能源学院

本科课程实验报告



课程名称： 材料物理性能学

授课专业： 材料物理

班级年级： 2023 级 3 班

学生姓名： 黄德勇

课程成绩： _____

教师姓名： 唐剑锋

20 25 - 20 26 学年第 二 学期



实验报告

姓名:黄德勇 学号:222023319210132 专业班级:材料物理3班 成绩:

实验课程	材料物理性能学		
实验名称	冷却法测量金属材料的比热容		
实验时间		实验地点	

一、实验预习

1. 实验目的

- (1) 掌握冷却法测定金属比热容的方法;
- (2) 了解金属冷却速率与环境温差的关系及热电偶测温技术的使用。

2. 实验原理

单位质量物质温度升高 k 时所需的热量称为比热容,将质量为 m 、比热容为 C_1 的金属样品加热后置于室温环境中,其单位时间热量损失 $\Delta Q / \Delta t$ 与温度的下降速率 $\Delta \theta / \Delta t$ 的关系为:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = C_1 M_1 \frac{\Delta \theta_1}{\Delta t}$$

由牛顿冷却定律,热量损失率又满足:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \alpha S_1 (\theta_1 - \theta_0)^m$$

对两种形状和表面状况相同($S_1 = S_2, \alpha_1 = \alpha_2$)的金属样品,在相同温度下测量冷却速率之比,可以消去上述难以测定的参数,得到:

$$C_2 = C_1 \frac{M_1}{M_2} \cdot \left(\frac{(\Delta \theta / \Delta t)_1}{(\Delta \theta / \Delta t)_2} \right)$$

由于热电动势与温度在小温差范围内呈线性关系,冷却速率之比可用热电动势的变化率之比代替

即:

$$\frac{(\Delta \theta / \Delta t)_1}{(\Delta \theta / \Delta t)_2} = \frac{(\Delta E / \Delta t)_1}{(\Delta E / \Delta t)_2} = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}$$

式中, Δt_i 为各样品热电动势从 4.20mV 降至 4.00mV (对应温度约为 100°C)所需时间,最终的计算公式为:

$$C_2 = C_1 \frac{M_1 (\Delta t)_2}{M_2 (\Delta t)_1}$$

以铜为材料并计算时 $C_1 = 0.0940 \text{ cal/(g} \cdot \text{d}t^\circ\text{C)}$

3. 实验内容

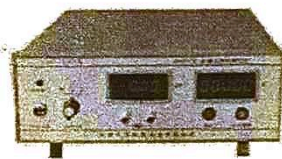
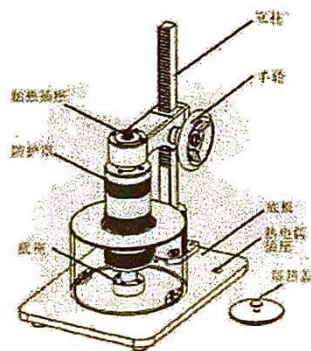
本实验的核心内容是比较法，不直接测量某种金属的比热容绝对值，而是以已知比热容的铜为标准，通过比较不同金属在相同温度下冷却的速率差异，换算出金属的比热容。

二、实验过程

1. 实验装置

DH4603型冷却法金属比热容仪(含加热仪、测试仪)、铜-康铜热电偶、铜、铁、铝样品各一个。

2. 实验装置示意图



3. 实验步骤

- (1) 选取长度、直径、表面光洁度尽可能相同的铜、铁、铝样品。用天平分别称量其质量 m_{Cu} 、 m_{Fe} 、 m_{Al} 。
- (2) 连接好加热仪和测试仪（加热四芯线和热电偶两组）。将热电偶端同导线接数字表正端，冷端同导线接负端，冷端置于冰水混合物中。
- (3) 将样品放入防风筒底座，加热装置向下移动套入样品，开始加热至约 150°C （热电势显示约 6.1mV ）。
- (4) 切断电源，移开加热装置，将样品置于防风筒内自然冷却（盖上筒口盖子），记录热电势从 $E_1 \approx 4.20\text{mV}$ 降至 $E_2 \approx 4.00\text{mV}$ 所需的时间 Δt 。
- (5) 按铁、铜、铝顺序依次测量，每种样重复测 6 次。
- (6) 实验完毕，整理仪器。

注意：计时时按“计时”和“暂停”时应迅速准确；加热装置向下移动时，动作要慢，确保样品垂直放置。

4. 实验现象记录和数据记录

本次实验执行时有两个问题:

问题1: 未移开加热罩

对比项	标准操作	本次操作
冷却环境	防风筒内, 与空气自然对流换热	加热室内, 隔热性更强
散热速率	正常冷却速率	散热被抑制, 冷却变慢
Δt 的测量值	基准值	偏大

加热罩本身具有、定有的保温作用, 导致样品散热受阻, 冷却时间 Δt 系统性偏长. 对于 $\Delta t_{Fe}/\Delta t_{Cu}$, $\Delta t_{Al}/\Delta t_{Cu}$ 的比值是否准确, 取决于三种样品受到影响是否相同. 又对同一个加热罩对三者的阻热是一致的, 但实际上由于三种样品质量和比热容不同, 冷却快慢不同, 加热罩在不同冷却速率下的影响程度并不完全相同. 因此, 比值依然会引入误差.

问题2: 起始冷却为 4.9 mV, 而非标准的 6.1 mV 后自然降温
 本次从 4.9 mV 开始冷却, 意味着样品初温偏低 (约 20°C), 整个冷却过程的起点温度不足, 导致:

① 样品到达 4.20 mV 时已经历了较少的预冷却过程
 样品从 4.90 mV 降到 4.20 mV 过程中, 温度与环境温差本来就较小, 冷却速率比从高温开始冷却时更慢, 样品在进入计时区间时的热状态与标准操作存在差异.

② 更严重的是, 加热罩未移开, 样品周边温度较高
 加热罩内残余热量使得局部环境温度 β_0 高于室温 (22°C), 导致样品与环境的实际温差 $(\beta - \beta_0)$ 小于标准条件下的值. 由牛顿冷却定律:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \alpha S (\beta - \beta_0)^n$$

实际温差偏小 \rightarrow 散热速率偏低 \rightarrow 冷却时间 Δt 变长

这种影响对三种样品并不等比例, 因为在铜在实验时, 罩内余温 (热) 不够, 且铜冷却快; 而铁和铝在罩内预热后, 受影响更久, 比值热会偏大.

样品质量

$m_{Cu} = 9.5 \text{ g}; m_{Fe} = 8.5 \text{ g};$

$m_{Al} = 2.8 \text{ g};$ 热电偶冷端温度: 22°C.

样品由 4.20 mV 降至 4.00 mV 所需的时间 (单位: s), 注: 从 4.9 mV 开始.

次数 样品							平均值
	1	2	3	4	5	6	Δt
Fe	140.07	127.63	139.88	127.39	126.28	150.54	134.63
Cu	79.51	88.84	93.43	93.97	96.81	83.60	89.36
Al	111.89	113.40	115.16	115.02	115.16	102.15	112.13

张明祥 5.7

三、分析讨论

1. 实验结果与分析

以铜为标准, $C_1 = C_{Cu} = 0.0940 \text{ cal} / (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$

$$C_{Fe} = C_1 \frac{M_{Cu} (\Delta t)_{Fe}}{M_{Fe} (\Delta t)_{Cu}} = 0.0940 \times \frac{2.5}{9.5} \times \frac{134.65}{89.36} = 0.1267 \text{ cal} / (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$C_{Al} = C_1 \frac{M_{Cu} (\Delta t)_{Al}}{M_{Al} (\Delta t)_{Cu}} = 0.0940 \times \frac{2.5}{2.8} \times \frac{112.13}{89.36} = 2.3577 \text{ cal} / (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$$

与理论值 ($C_{Fe} = 0.110 \text{ cal} / (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$, $C_{Al} = 0.230 \text{ cal} / (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$) 的相对误差:

$$E_{Fe} = \frac{|C_{Fe, \text{测}} - C_{Fe, \text{理}}|}{C_{Fe, \text{理}}} \times 100\% = +15.2\%$$

$$E_{Al} = \frac{|C_{Al, \text{测}} - C_{Al, \text{理}}|}{C_{Al, \text{理}}} \times 100\% = +55.5\%$$

由于Fe质量较大, 对环境的散热比Al的质量小, 相对弱, 所以 $E_{Fe} < E_{Al}$, 且系统性偏大.

2. 问题提出与讨论

为什么Al误差最显著

核心在于以下的相对比热容的计算公式：

$$C_2 = C_{Cu} \frac{M_{Cu}}{M_2} \cdot \frac{\Delta t_2}{\Delta C_u}$$

样品	M(g)	M _{Cu} /M	含义
Fe	9.5	0.895	质量比接近1, 放大倍数小
Al	2.8	3.936	质量比远大于1, 误差会放大3倍.

Al的质量远小于Cu, 质量比从Cu/M_{Al}很大, 所以它的偏差都会被这个系数放大3倍. 且由样品的总热容(MC)中, Al的总热容最小:

$$C_{总Cu} = M_{Cu} C_{Cu} = 0.794$$

$$C_{总Al} = M_{Al} C_{Al} = 0.644$$

$$C_{总Fe} = M_{Fe} C_{Fe} = 1.045$$

则Al的储热量最少, 对环境温度波动最敏感;

加热罩内的残余热量足以冷却速率按比例最大;

相同的环境温度偏高Δθ₀, 对Al造成的Δt偏差占本身Δt的比例最大.

且Fe虽然总热容大, 但M_{Cu}/M_{Fe} < 1, 误差被略微压缩.

由误差反推环境参数

若加热罩的例假样品所处的环境温度不是室温(θ_室 = 22°C), 而是某个偏高的温度θ₀′, 由牛顿冷却定律, 冷却速率Δθ/Δt与温差:

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} \propto (\theta - \theta_0)^m$$

在100附近, m ≈ 1 (近似线性), 则冷却时间与温差成反比:

$$\Delta t \propto \frac{1}{\theta_{100} - \theta_0}$$

标准环境温度(100-22) = 78°C, 实际温差为(100-θ₀′), 则实际测量时间与理论时间的关系为:

$$\Delta t_{测} = \Delta t_{理} \times \frac{78}{\theta_{100} - \theta_0'}$$

由此可以用Fe和Al的比热容的测量值和理论值之比来估算Δt被放大的倍数并确定这个偏高的θ₀′

$$k = \frac{C_{测}}{C_{理}} = \frac{\Delta t_{测,测}}{\Delta t_{测,理}} \times \left[\frac{\Delta C_{Cu,理}}{\Delta C_{Cu,测}} \right]$$

若有冷却时间与温差的反比,

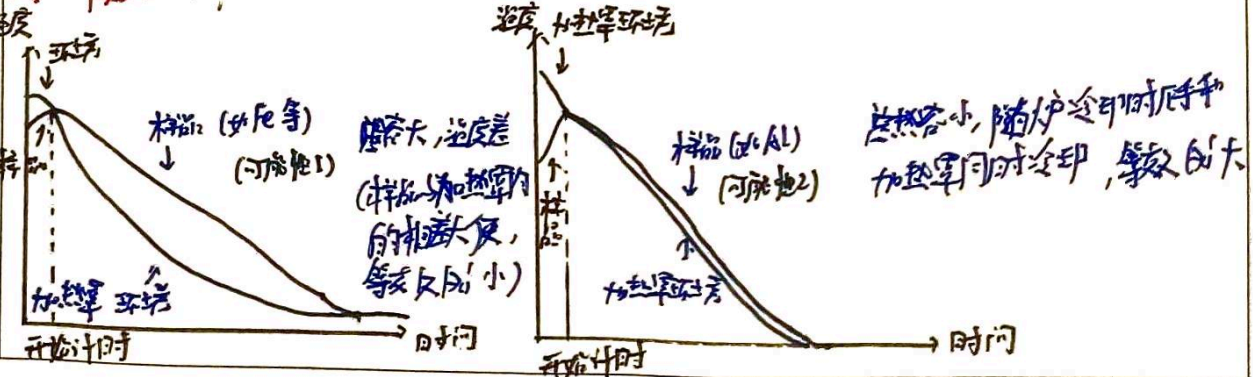
样品	C _测	C _理	放大倍数k
Fe	0.1267	0.110	1.152
Al	0.3577	0.230	1.556

$$k_{Fe} = \frac{78}{100 - \theta_{Fe}'} \times 1.152 \Rightarrow \theta_{Fe}' = 32.7^\circ C$$

$$k_{Al} = \frac{78}{100 - \theta_{Al}'} \times 1.556 \Rightarrow \theta_{Al}' = 50.3^\circ C$$

说明加热罩对不同样品的影响不同, θ₀′是相对变化的, θ_{Fe}}′和θ_{Al}}′是一个关于θ₀′的平均值代表.

热容小的Al冷却快, 与较高θ₀′的时间更长.



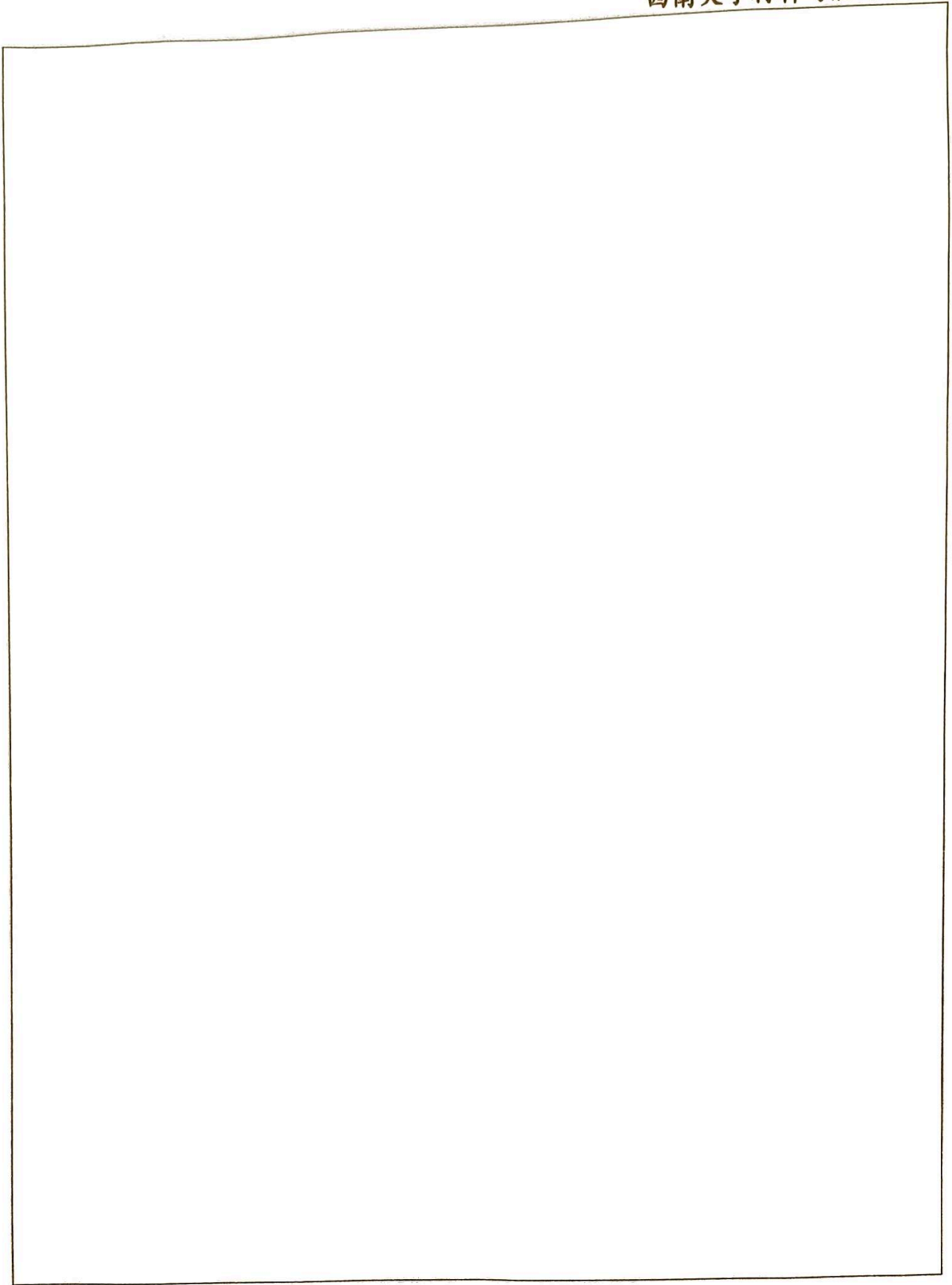
指导教师签名:

日期:

四、其它

备注：

1. 第四部分（其它）由教师自行规定填写内容，可为课程大纲设置但本实验报告前三部分未包含在内的学习任务。
2. 若本课程不涉及其它内容，教师不需要在第四部分后的“指导教师签名”处签名。



指导教师签名:

日期: