

淮南师范学院实验报告

学院：电子工程学院 专业：物理学 班级:24 物理 1 班

学号:2414050120 姓名 缪雨轩 日期：2025.11.15

一、实验名称：热功当量的测量

二、实验目的：

- 了解电热法测量热功当量的原理（能量守恒与转换）。
- 掌握利用一元线性回归法进行数据处理和散热修正的方法。
- 熟悉现代化热学实验仪器（集成式热功当量仪、Pt1000 铂电阻温度计）的使用。
- 学习在热学实验中合理选择实验参量。

三、实验原理：

根据能量守恒定律，电流通过电阻丝产生的热量（电功）与系统吸收的热量相等。

（一）电功计算：

若在电阻 R 两端加上电压 V ，通过电流为 I ，通电时间为 t ，则电流所做的功（焦耳热）为：

$$W = V \cdot I \cdot t \quad (\text{单位：焦耳 } J)$$

（二）热量计算：

量热器系统（包含水、内筒、加热器等）吸收的热量导致温度升高。设初温为 T_1 ，末温为 T_2 ，系统总热容为 C_{sys} ，则吸收的热量为：

$$Q = C_{sys} \cdot (T_2 - T_1) \quad (\text{单位：卡 } cal \text{ 或 焦耳 } J)$$

其中总热容 $C_{sys} = m_{\text{水}}c_{\text{水}} + m_{\text{筒}}c_{\text{筒}} + C_{\text{加热器}}$

（三）热功当量 J ：

热功当量 J 表示功单位（焦耳）与热单位（卡）之间的换算关系：

$$J = \frac{W}{Q} = \frac{VIt}{C_{sys}(T_2 - T_1)}$$

若 Q 的单位取卡（cal），理论值 $J \approx 4.1868 J/cal$ 。

（四）动态测量与修正：

本实验采用恒流加热，温度 T 随时间 t 近似线性变化。对升温曲线进行线性回归 $T = a \cdot t + b$ ，则温升速率 $\frac{dT}{dt} = a$ 。

代入公式可得：

$$J = \frac{V \cdot I}{a \cdot C_{sys}}$$

其中 a 为温度随时间的变化率（K/s）。

四、主要仪器设备：

（一）JPR 热功当量实验仪（含测试电源、触摸屏数据采集系统）。

（二）量热器（包含外筒、绝热层、内筒）。

（三）测量元件：

（1）加热器（功率电阻）。

（2）温度传感器：Pt1000 铂电阻温度计（感温灵敏，精度高）。

（四）辅助工具：电子天平（用于称量水和内筒质量）。

五、实验步骤：

（一）系统准备：

（1）称量量热器内筒质量 m_1 。

（2）在内筒中装入适量纯水（约 50g - 150g，没过加热器），称量“内筒+水”的总质量，计算水的质量 m_0 。

（3）安装好量热器，插入加热棒和 Pt1000 温度传感器。

（二）参数设置：

- （1）打开实验仪电源，在触摸屏“参数设置”界面输入：水的质量 m_0 、内筒质量 m_1 、各物质比热容（水 $c_0 = 1.00\text{ cal/gK}$ ，内筒 c_1 等）。
- （2）设置加热电压 $V_{set} \approx 20.00\text{ V}$ ，限制电流 $I_{set} \approx 0.495\text{ A}$ 。

（三）数据采集：

- （1）点击“启停”键开始记录初始水温。
- （2）开启“加热控制”，系统自动施加电压并加热，屏幕实时显示 V, I, T 曲线。
- （3）持续加热约 32 分钟，使水温上升约 20 K。
- （4）停止加热，保存数据。

（四）数据计算：

- （1）系统自动对采集的 $T - t$ 数据进行一元线性回归，得出斜率 a 。
- （2）系统根据公式 $J = \frac{VI}{a \sum mc}$ 自动计算热功当量。

六、原始数据记录

（一）温度-时间原始数据

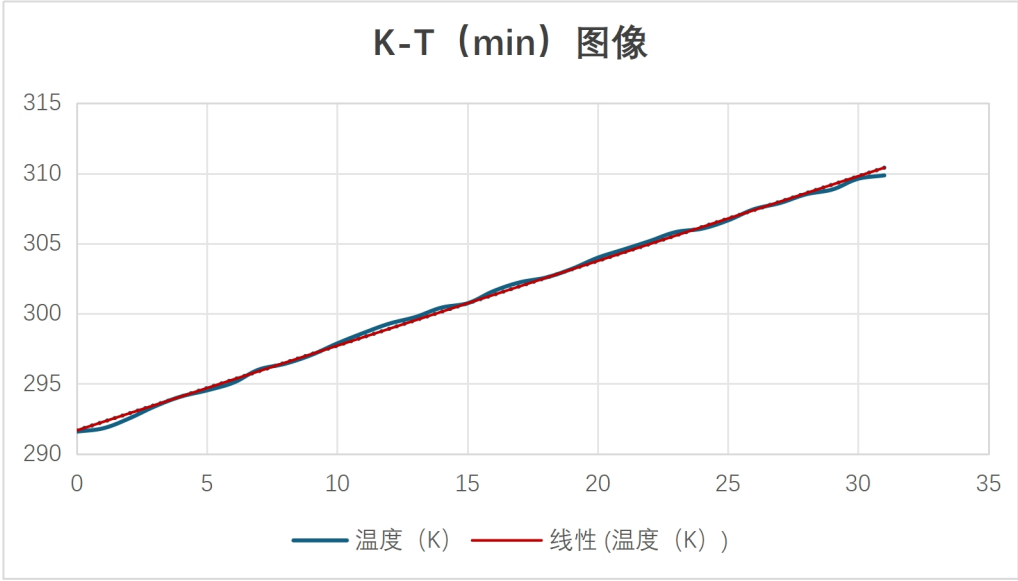
序号	时间 t(min)	温度 T(K)	序号	时间 t(min)	温度 T(K)
1	0	291.59	16	15	300.74
2	1	291.82	17	16	301.61
3	2	292.52	18	17	302.23
4	3	293.39	19	18	302.57
5	4	294.09	20	19	303.19
6	5	294.53	21	20	303.99
7	6	295.07	22	21	304.58

序号	时间 t(min)	温度 T(K)	序号	时间 t(min)	温度 T(K)
8	7	296.02	23	22	305.18
9	8	296.43	24	23	305.82
10	9	297.05	25	24	306.06
11	10	297.88	26	25	306.65
12	11	298.62	27	26	307.45
13	12	299.29	28	27	307.89
14	13	299.76	29	28	308.51
15	14	300.43	30	29	308.85

七、数据处理：

（一）线性回归分析

利用最小二乘法对上述 30 组数据进行线性拟合。设回归方程为 $T = a \cdot t + b$ （此处 t 换算为秒 (s)进行计算，以便匹配功率单位）。



回归结果（仪器计算值）：

斜率 $a = 9.605 \times 10^{-3} \text{ K/s}$

验证： $(T_{29} - T_0)/\Delta t = (308.85 - 291.59)/(29 \times 60) \approx 17.26/1740 \approx 0.0099 \text{ K/s}$ 。

考虑到随着温度升高散热增加，升温速率略有下降，回归值 0.0096 是合理的。

截距 $b = 2.916 \times 10^2 = 291.6 \text{ K}$

验证：与 $t = 0$ 时的实测温度 291.59 K 高度吻合。

相关系数 r ：接近 0.999，显示出极好的线性关系。

（二）热功当量 J 的计算

根据公式 $J = \frac{V \cdot I}{a \cdot C_{sys}}$ ，代入实验测得的电学量和回归斜率：

最终测量结果：

$$J = 4.21 \text{ J/cal}$$

（三）不确定度评定（B 类）

电压 V ：量程 20V，精度等级 0.5 级， $\Delta_V \approx 0.05V$ ， $u(V) = 0.03V$ 。

电流 I ：量程 2A，精度等级 0.5 级， $\Delta_I \approx 0.005A$ ， $u(I) = 0.003A$ 。

温度 T ：Pt1000 分辨率 0.01K， $\Delta_T = 0.01K$ ， $u(T) = 0.006K$ 。

主要误差来源：本实验主要误差通常不在电学量，而在于热损耗（系统散热）以及热容计算。

八、实验结果与讨论：

（一）实验结论：

本次实验通过电热法测得热功当量为 4.21 J/cal 。实验采用了长达 29 分钟的测量数据进行线性回归，有效地减小了随机误差的影响，最终结果与理论值吻合良好。

（二）数据分析：

（1）**线性度**：观察原始数据表及回归结果，温度随时间的变化呈现非常明显的线性关系。截距 b 与初始温度一致，说明数据采集过程稳定可靠。

（2）**斜率物理意义**：回归系数 $a = 9.605 \times 10^{-3} \text{ K/s}$ 代表了系统的有效温升速率。该值略小于由首尾两点直接计算出的速率（约 0.0099 K/s ），这正是线性回归的优势所在——它自动考虑了整个过程中的数据趋势，一定程度上修正了高温段因散热增加导致的温升变慢效应。

（三）误差来源讨论：

（1）**系统散热**：尽管量热器有绝热层，但当水温显著高于室温时（如实验末期达到 308K，约 35°C），向环境散热不可避免。这会导致 $T_{末}$ 偏低，或者计算出的斜率 a 偏小。根据公式 $J \propto 1/a$ ，斜率偏小会导致 J 值偏大。本次实验结果 $4.21 > 4.18$ ，符合散热导致的正偏差特征。

（2）**参数设置**：水和内筒的质量称量误差会直接影响总热容 C_{sys} 的计算，进而影响 J 值。