



北京大学  
PEKING UNIVERSITY

## 燃烧热的测定

刘松瑞 2100011819

组号：24 组内编号：5

化学与分子工程学院

实验日期：2023 年 11 月 30 日

温度：16.3 °C

大气压强：102.26 kPa

---

**摘要：**本实验有三轮实验，分别测定蔗糖、苯甲酸以及奶片的燃烧热。通过已知的苯甲酸燃烧热测定了氧弹的水当量，使用雷诺校正法修正了燃烧过程中环境热交换，最后测定奶片的恒容燃烧热。

实验得到，得到每克蔗糖温升值为  $\Delta T_m = 0.098 \text{ K/g}$ ，量热计常数为  $W = 2553 \pm 9 \text{ J/K}$ ，奶片的燃烧热  $Q_V = 1.972 \times 10^4 \pm 2 \times 10^1 \text{ J/g}$ ，实验中误差的主要来源是容量瓶的定容误差。

**关键词：**氧弹式量热计 燃烧热 雷诺校正

# 1 引言

## 1.1 实验目的、原理与方法

实验目的、原理与方法详见预习报告图 1。<sup>[1]</sup>

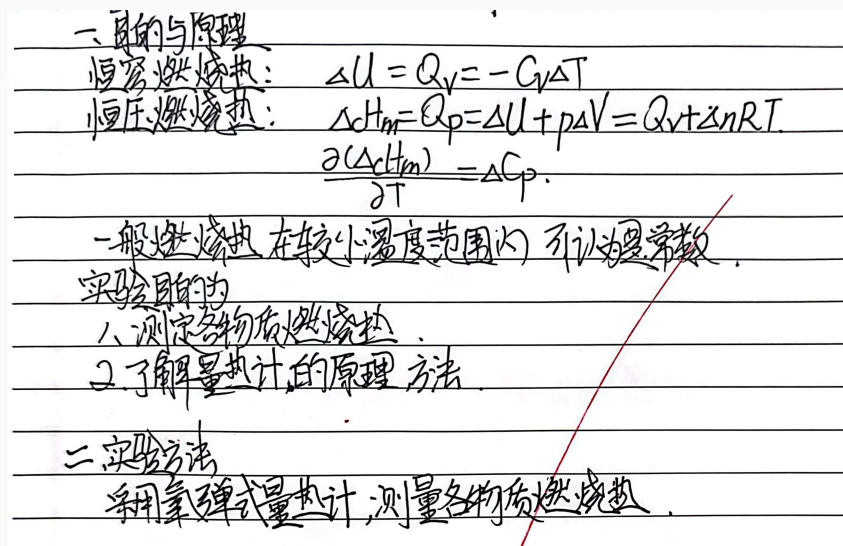


图 1: 实验的目的与原理

## 2 实验部分

### 2.1 实验步骤

实验步骤详见预习报告图 2 和 3。

### 2.2 仪器与药品

#### 1. 试剂

镍丝, 棉线, 苯甲酸, 蔗糖, 奶片;

#### 2. 仪器

氧弹式量热计, 氧气钢瓶, 压片机, 温差测量仪, 容量瓶, 万用表。

## 3 实验现象与数据处理

### 三 实验步骤

取 1.5 g ~~PHCOOH~~ 蔗糖样品, 棉线系好

取一段  $N$  金属燃烧丝, 绑于电极间, 避免松动短路  
将样品用棉线系于燃烧丝上, 挂于燃烧皿中

盖弹盖, 灌入 0.7-1.3 MPa 的  $O_2$  测电阻, 记录阻值  
判断通路

若通, 氧弹放入内筒, 准确量取室温水, 离子水 3000 mL, 倒  
内筒, 加盖板, 插温差仪, 开泵大

水温稳定后, 软件全程记录温度(温差)随时间变化, 记录  
平台期

图 2: 实验的目的与原理

温度稳定后, 按刻度几秒引燃样品, 持续记录至温度平  
稳变化

温度稳定变化后, 记录平台期若干分钟, 取下温差仪探头, 取出  
氧弹, 泄压气, 取出弹头, 乘剩余质量称量

### 量热计常数测算

倒出量热计中的水, 擦干氧弹内部与外部, 重定容 3000 mL 水  
加入

取大约 0.7-1.3 g 苯甲酸粉末 (或压成圆柱体, 同法燃烧苯甲  
酸, 确保完全燃烧, 记录  $\Delta T-t$  图

### 生物样品的燃烧热测算

倒出水, 擦干, 定容 3000 mL 水加入

取适量样品 (奶片) 确保完全燃烧并记录  $\Delta T-t$  图

图 3: 实验的目的与原理

### 3.1 第一轮实验

使用氧弹式量热计测量蔗糖的燃烧热，称量蔗糖 1.5037 g，测得固定的棉线 0.0179 g，燃烧丝镍丝 0.0183 g。点燃，测得燃烧的温差随时间变化图如图 4 所示。

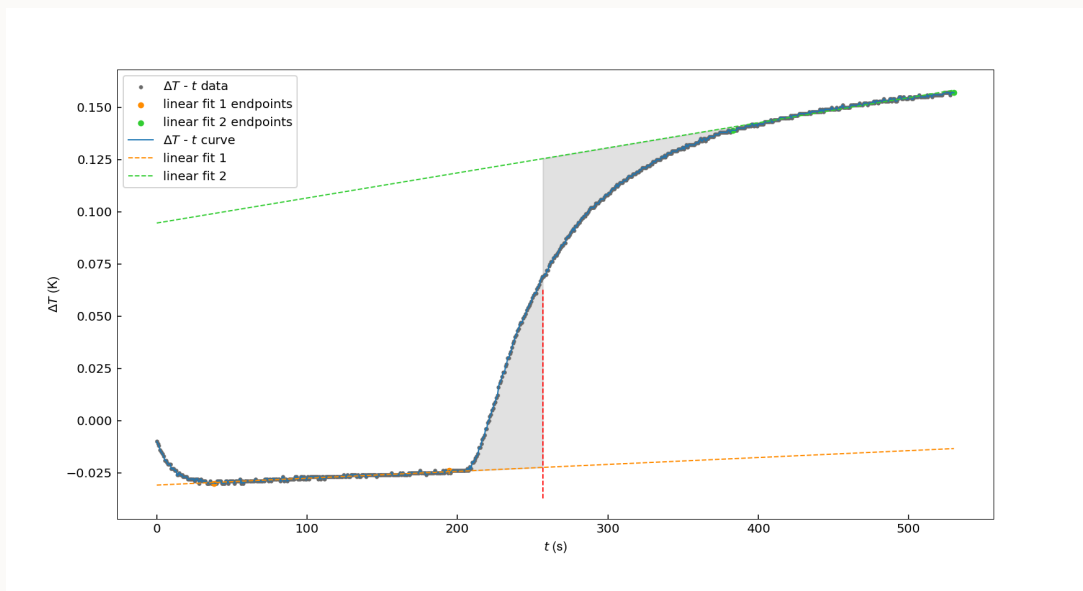


图 4: 第一轮实验温差随时间变化图

使用雷诺校正可以得到燃烧前后的温度  $T_{before} = -0.022\text{ K}$   $T_{after} = 0.125\text{ K}$ ，温差为  $\Delta T = 0.147\text{ K}$ 。得到每克样品温升值为：

$$\Delta T_m = 0.098\text{ K/g}$$

本次燃烧得到的升温量相比于同组成员显著小，得到的燃烧后物质为深黄色液体如图 5，粘度较高，有淡香味。疑似由于燃烧不充分得到了焦糖液体。可能导致出现这样的原因有：

1. 氧弹式量热计漏气，没有充分充入氧气，但是在加热前已经灌入 1 MPa 的氧气，若存在严重漏气应当在浸入水中有气泡产生，因此可能性较小
2. 氧弹式量热计漏水，但是充入氧气后体系呈负压，很难有水进入。
3. 在加热时，按下加热键时间过短，燃烧丝加热时间较短。可能反应过程为：燃烧丝引燃了棉线，但是没有引燃蔗糖，蔗糖掉落，棉线的燃烧加热体系温度，使蔗糖变成焦糖。

综上，笔者倾向于第三种原因。在后面的实验均延长了加热时间，使样品充分燃烧。



图 5: 第一轮实验燃烧产物图片

### 3.2 第二轮实验

使用氧弹式量热计测量苯甲酸的燃烧热，称量苯甲酸 0.8849 g，测得固定的棉线 0.0226 g，燃烧丝镍丝 0.0141 g。点燃，测得燃烧后的镍丝质量为 0.0069 g，温差随时间变化图如图 6 所示。

使用雷诺校正可以得到燃烧前后的温度  $T_{before} = 0.083\text{ K}$ ,  $T_{after} = 1.660\text{ K}$ ，温差为  $\Delta T = 1.577\text{ K}$ 。得到每克样品温升值为：

$$\Delta T_m = 1.782\text{ K/g}$$

由公式

$$(W + DC_{H_2O})\Delta T = -Q_vG - \sum q$$

可得

$$W = \frac{-Q_vG - \sum q}{\Delta T} - DC_{H_2O}$$

由此公式可以计算量热计常数。查阅文献<sup>[2]</sup>可知，在室温 18.6 °C 附近，水的密度为 0.998896 g · cm<sup>-3</sup>，因此水的质量为 2997 g，水的比热容为 4.1852 J · g<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>，

由实验书<sup>[1]</sup>中给出，苯甲酸的恒压燃烧热为 -26460 J/g，镍丝的恒容燃烧热为 -3243 J/g，棉丝的恒容燃烧热为 -16736 J/g，由下列公式可以求得苯甲酸的恒容燃烧热

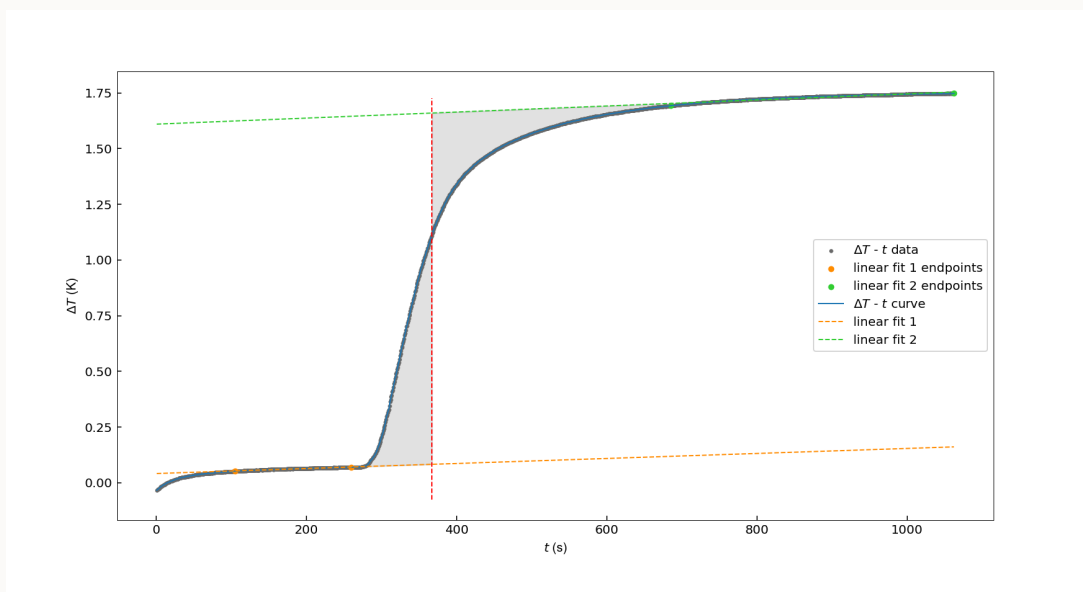
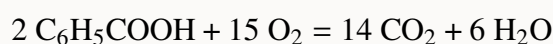


图 6: 第二轮实验温差随时间变化图

$$Q_V = Q_p - \frac{\Delta n RT}{M} = -26460 + \frac{0.5}{122.12} \times 8.314 \times 289.45 = -26450 \text{ J/g}$$

反应的方程式为



可得反应前后气体分子差为  $\Delta n = -0.5$ ，因此量热计常数为

$$\begin{aligned} W &= \frac{-Q_V G - \sum q}{\Delta T} - DC_{\text{H}_2\text{O}} \\ &= \frac{-0.8849 \times (-26450) - (0.0141 - 0.0069) \times (-3243) - 0.0226 \times (-16736)}{1.577} - 2997 \times 4.1852 \\ &= 2553.5 \text{ J/K} \end{aligned}$$

量热计常数可能的误差来源有:

1. 实验中的苯甲酸的燃烧温度偏离标态，查阅文献<sup>[2]</sup>可知，苯甲酸燃烧反应的  $\Delta C_p$  为  $118.3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  由于

$$\frac{\partial \Delta_c H_m}{\partial T} = \Delta C_p$$

可以测得  $\Delta_c H_m$  误差为  $1029.21 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} = 8.42 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$  因此相对偏差为

$$E_r(\Delta_c H_m) = -8.42/26460 = -0.04\%$$



2. 燃烧丝与棉线的质量测定误差。分析天平的误差为 0.0001 g，因此

$$\sigma_{\Sigma q} = \sqrt{(Q_{cot} \times \frac{e}{\sqrt{3}})^2 + (Q_{Ni} \times \frac{2e}{\sqrt{3}})^2} = 2.14 \text{ J/g}$$

$$\sigma_{W_{PhCOOH}} = \sigma_{\Sigma q} / \Delta T = 1.36 \text{ J/K}$$

3. 水的定容误差。3000 mL 容量瓶误差为 3 mL，因此

$$\sigma_{W_{H_2O}} = C_{H_2O} \times \frac{e}{\sqrt{3}} = 7.25 \text{ J/g}$$

对比可知，笔者认为主要的误差来源为水的定容误差，可得量热计常数为  $W = 2553 \pm 9 \text{ J/K}$ 。

### 3.3 第三轮实验

使用氧弹式量热计测量奶片的燃烧热，称量奶片 2.0285 g，测得固定的棉线 0.0148 g，燃烧丝镍丝 0.0132 g。点燃，测得燃烧后的镍丝质量为 0.0102 g，温差随时间变化图如图 6 所示。

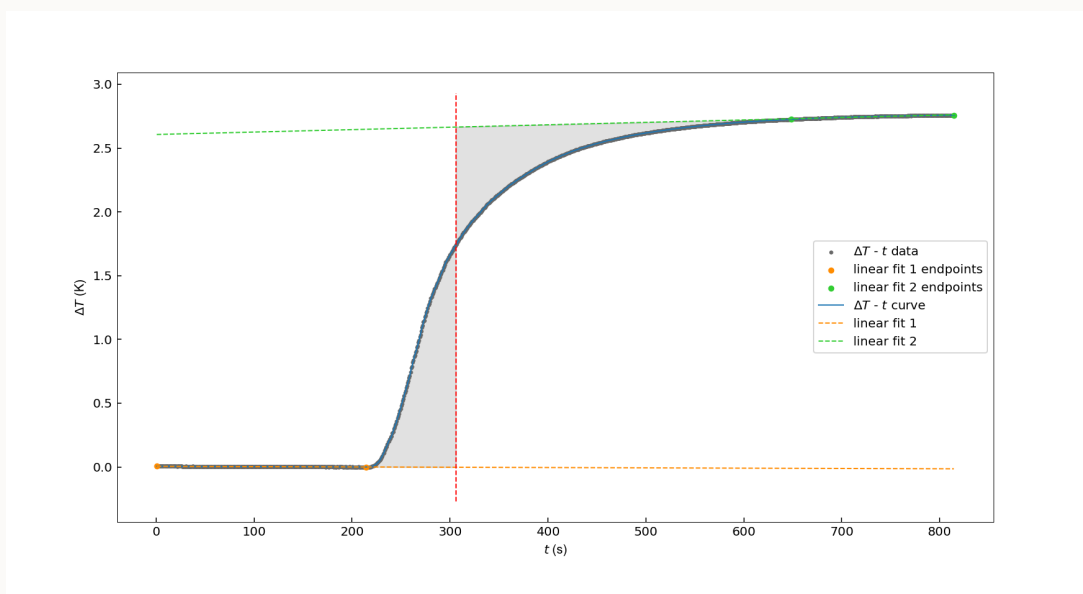


图 7: 第三轮实验温差随时间变化图

使用雷诺校正可以得到燃烧前后的温度  $T_{before} = -0.002 \text{ K}$ ,  $T_{after} = 2.665 \text{ K}$ ，温差为  $\Delta T = 2.667 \text{ K}$ 。得到每克样品温升值为：

$$\Delta T_m = 1.314 \text{ K/g}$$

由上可知，氧弹式量热计常数为 2553.5 J/K，因此量热计吸热为 6810 J。水的比热容为  $4.1852 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，因此水的吸热为 33452 J。

由公式

$$\begin{aligned} Q_V &= -\frac{(W + DC_{H_2O})\Delta T + \sum q}{G} \\ &= \frac{6810 + 33452 + (0.0132 - 0.0102) \times (-3243) + 0.0148 \times (-16736)}{2.0285} \\ &= 19721 J/g \end{aligned}$$

可以计算得到奶片的燃烧热为 19721 J/g。由 3.2 的讨论可知，主要的误差来源为水的定容误差与水的量热器常数误差。

$$\sigma_{Q_V} = \frac{\Delta T}{G} \times (C_{H_2O} \times \frac{e}{\sqrt{3}} + \sigma_W) = 2 \times 10^1 J/g$$

因此奶片的燃烧热  $Q_V = 1.972 \times 10^4 \pm 2 \times 10^1 J/g$ 。由于查询不到伊利奶片的摩尔燃烧热的真实值，因此不能计算与真实值的误差分析。

### 3.4 不使用软件的雷诺校正

使用软件 Origin 对第三轮实验的数据进行雷诺校正，对实验中的两段平台期进行线性拟合，结果为：

$$\Delta T = (-2.44 \times 10^{-5} \pm 4 \times 10^{-7})t + (0.00506 \pm 5 \times 10^{-5}) \quad R^2 = 0.926$$

$$\Delta T = (1.90 \times 10^{-4} \pm 3 \times 10^{-6})t + (2.607 \pm 0.002) \quad R^2 = 0.954$$

绘制图像图所示。取第一段平台期最后一个点的纵坐标与第二段平台期第一个点的纵坐标，取其平均值并作出垂线与曲线图以及两条拟合直线。可以测得经雷诺校正后的温差为得到温差为 2.575 K。

## 4 实验结果与讨论

### 4.1 结论

本实验有三轮实验，分别测定蔗糖、苯甲酸以及奶片的燃烧热。通过已知的苯甲酸燃烧热测定了氧弹的水当量，使用雷诺校正法修正了燃烧过程中环境热交换，最后测定奶片的恒容燃烧热。

实验得到，得到每克蔗糖温升值为  $\Delta T_m = 0.098 K/g$ ，量热计常数为  $W = 2553 \pm 9 J/K$ ，奶片的燃烧热  $Q_V = 1.972 \times 10^4 \pm 2 \times 10^1 J/g$ ，实验中误差的主要来源是容量瓶的定容误差。



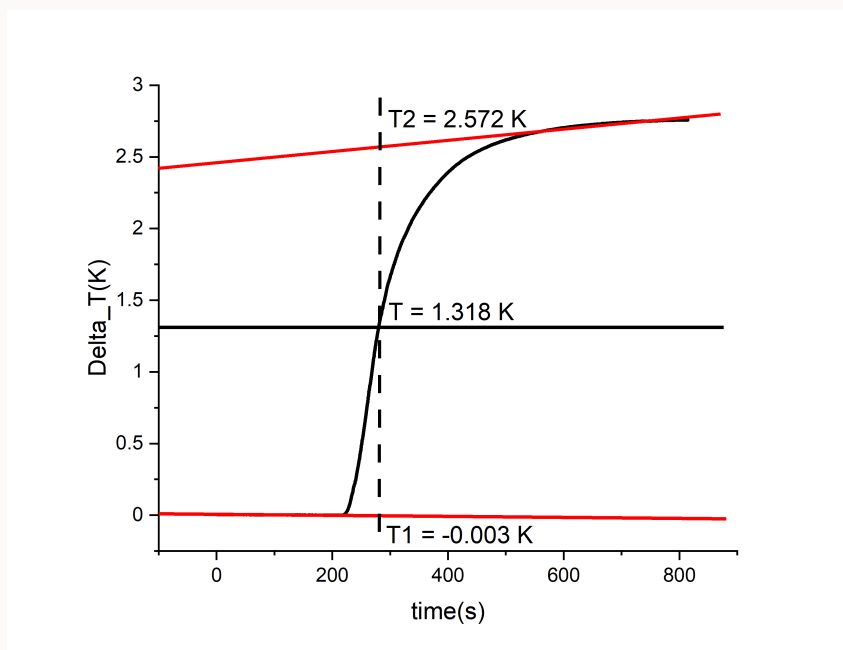


图 8: 第三轮实验不使用软件的雷诺校正

## 参考文献

- [1] 北京大学化学学院物理化学实验教学组. 物理化学实验[M]. 4 版. 北京: 北京大学出版社, 2002: 5.
- [2] WEAST, ROBERTC. Crc handbook of chemistry and physics[M]. CRC handbook of chemistry and physics, 1988.