

Op.155. No.3 燃烧热的测定

孙肇远 PB22030708, Oct. 2024

University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui, China

1. 引言

本实验旨在利用氧弹式量热计测定萘的恒压燃烧热.

考虑气体为理想气体的化学变化, 其恒有

$$Q_V = \Delta U, \quad [1]$$

$$Q_p = \Delta H, \quad [2]$$

$$\Delta H = \Delta(U + pV) = \Delta U + RT\Delta n, \quad [3]$$

理想气体焓仅是温度的函数:

$$\left(\frac{\partial \Delta H}{\partial T}\right)_p = \Delta C_p, \quad [4]$$

等式右侧的热容在不大范围内的温度区间可看作常值函数.

欲测定萘的燃烧热, 即仅需只某体系的热容以及该体系在萘燃烧反应下的温度变化, 其中前者通过标准物质燃烧与温度变化得到, 温度变化通过数字式温度测定仪得到.

将燃烧体系放入恒容氧弹中, 不同的燃烧体系自然有物质差别, 从而带来热容的差别. 故我们将其放入大量水中, 使得不同燃烧体系带来的差别成为整个体系的小量, 于是体系热容可视为定值 C .

现考虑热量来源, 即为待测物质燃烧热 + 引燃所用金属丝燃烧热, 分别考虑其强度函数:

- Q_B : 物质 B 的摩尔恒容燃烧热效应;
- x : 金属丝的单位质量燃烧热效应,

于是体系具有能量守恒式

$$C\Delta T = n_B Q_B + m_{\text{金属丝}} x, \quad [5]$$

分别对已知单位质量燃烧热为 26460 J/g 的苯甲酸与待求燃烧热的萘代入上式, 即可得到萘的燃烧热, 即

$$\frac{\Delta T_{\text{苯甲酸}}}{\Delta T_{\text{萘}}} = \frac{n_{\text{苯甲酸}} Q_{\text{苯甲酸}} + m_{\text{金属丝1}} x}{n_{\text{萘}} Q_{\text{萘}} + m_{\text{金属丝2}} x}. \quad [6]$$

2. 实验

2.1. 实验过程

以苯甲酸为样品

粗称 0.8 g 苯甲酸并压片, 测得样品质量 0.8237 g.

选取电阻丝, 测得质量 0.0112 g.

装置氧弹并充氧, 外筒水温置零, 调节水温至约-1.5 °C 并准确量取 3000 mL 至内筒. 盖上绝热胶木板并开启搅拌, 收集数据 6 min, 使得约-0.8 °C 平稳时点火, 继续采集直至数据平稳.

取出氧弹, 无样品剩余, 称量金属剩余质量 0.0043 g.

清洗体系.

以萘为样品

粗称 0.6 g 萘并压片, 测得样品质量 0.6074 g.

选取电阻丝, 测得质量 0.0110 g.

装置氧弹并充氧, 外筒水温置零, 调节水温至约-1.5 °C 并准确量取 3000 mL 至内筒. 盖上绝热胶木板并开启搅拌, 收集数据 6 min, 使得约-0.8 °C 平稳时点火, 继续采集直至数据平稳.

取出氧弹, 无样品剩余, 称量金属剩余质量 0.0024 g.

清洗体系.

3. 结果与讨论

3.1. 数据图表

本文中的 Reynolds 校正 code 中, 时间使用 s 做单位, 其含义为一般意义上的 min, 对处理数据无影响.

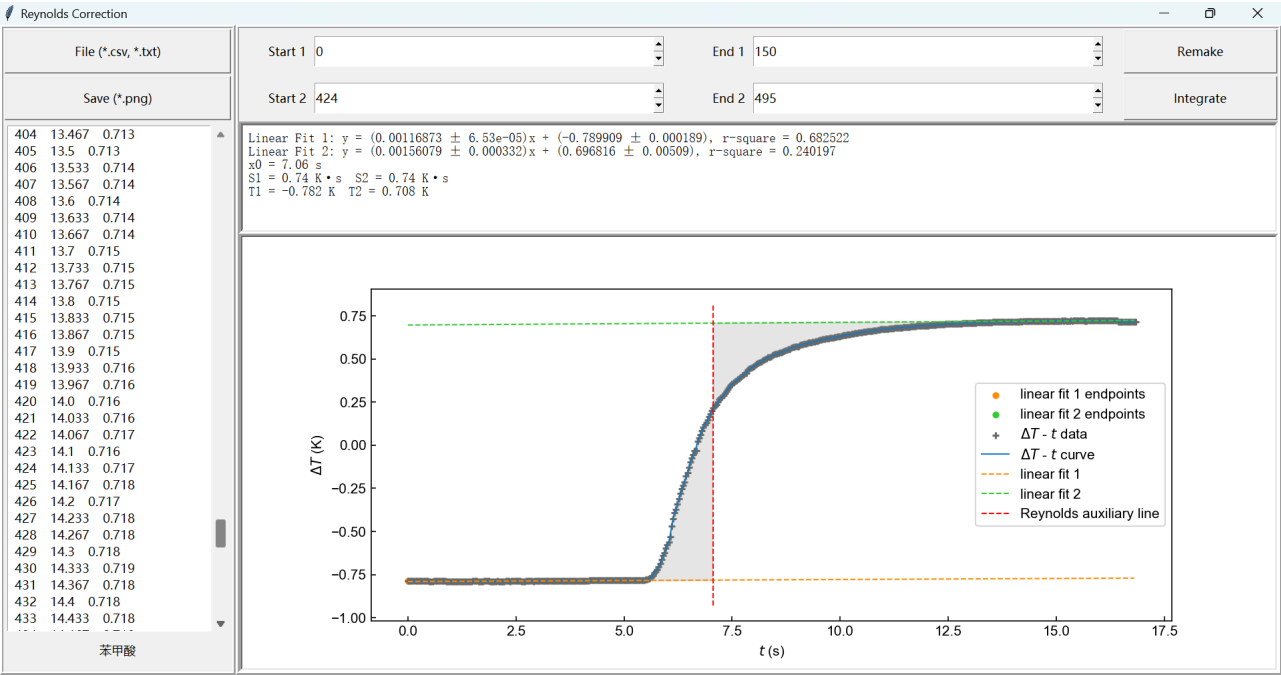


Fig. 1. 苯甲酸经 Reynolds 校正图

| 苯甲酸质量 | 金属丝 1 燃烧前质量 | 金属丝 1 燃烧后质量 |
|----------|-------------|-------------|
| 0.8237 g | 0.0112 g | 0.0043 g |

Table 2. 质量数据重言式

可得

$$\Delta T_{\text{苯甲酸}} = 1.490 \text{ K},$$

[7]

$$m_{\text{金属丝1}} = 0.0069 \text{ g},$$

[8]

$$n_{\text{苯甲酸}} Q_{\text{苯甲酸}} = 0.8237 \times 26460 = 21795.102.$$

[9]

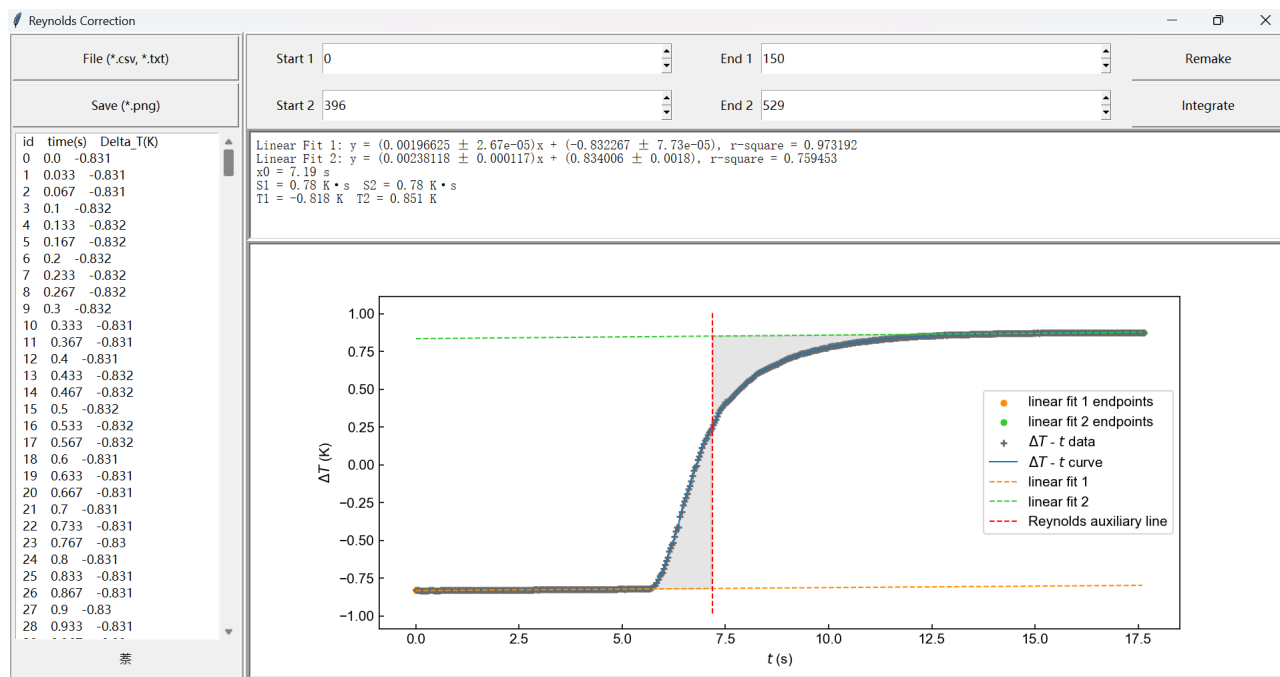


Fig. 3. 萘经 Reynolds 校正图

| 萘质量 | 金属丝 2 燃烧前质量 | 金属丝 2 燃烧后质量 |
|----------|-------------|-------------|
| 0.6074 g | 0.0110 g | 0.0024 g |

Table 4. 质量数据重言式

可得

$$\Delta T_{\text{萘}} = 1.669 \text{ K}, \quad [10]$$

$$m_{\text{金属丝}2} = 0.0086 \text{ g}, \quad [11]$$

$$n_{\text{萘}} = 4.739e - 3. \quad [12]$$

取已知长度 12 cm 的金属丝, 其燃烧热提供为 2.9 J/cm, 可得

$$x = 3.4e + 3 \text{ J/g}, \quad [13]$$

于是可算得萘燃烧热

$$\frac{1.490}{1.669} = \frac{21795.102 + 0.0069 \times 3.4e + 3}{(4.739e - 3)Q_{\text{萘}} + 0.0086 \times 3.4e + 3}, \quad [14]$$

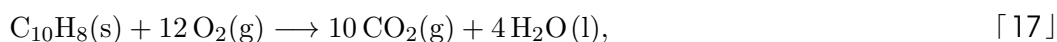
$$Q_{\text{萘}} = 5150.98 \text{ kJ/mol}, \quad [15]$$

3.2. 数据分析与结果讨论

如上获得萘燃烧的恒容反应热

$$Q_V = -5150.98 \text{ kJ/mol}, \quad [16]$$

考虑 298.15 K 下的燃烧反应



$$\Delta z = -2, \quad [18]$$

$$Q_p = Q_V + RT\Delta z = -5150.98 + 8.3145 \times 298.15 \times (-2)/1000 = -5155.9 \text{ kJ/mol}, \quad [19]$$

查表得 298.15 K 下萘的理论燃烧热为 -5153.9 kJ/mol , 故有误差

$$E = \frac{-5155.9 - (-5153.9)}{-5153.9} = -0.0388\%, \quad [20]$$

由此可见, 实验中所测得萘的燃烧热与理论值非常接近.

3.3. 误差分析讨论

我们的所测得的萘的燃烧热相比于理论值偏小, 这可能由于以下因素导致:

- 1° 苯甲酸燃烧过程中温度变化大于理论值, 这可能由于系统与外界进行了热交换, 使得热从室温空气传导至热量计;
- 2° 苯甲酸放热大于理论值, 这可能由于已知标准燃烧热误差及质量称量误差;
- 3° 金属丝的热容是微扰, 可以几乎不考虑;
- 4° 金属丝 1 质量大于理论值, 可能剩余残渣未加入燃烧后称量;
- 5° 金属丝 2 质量小于理论值, 可能剩余金属丝中掺杂其它物质 (如氧化物);
- 6° 萘物质的量小于理论值, 可能由于分子量精确程度, 以及转移过程中损失.

以及一些其它未控制的误差:

- 1° 燃烧体系的差异, 这和金属丝一样是微扰;
- 2° 气体的差异, 气体并非理想气体.

3.4. 实验体会与认识

本次实验需控制温度稳定, 温度带来的误差影响是所有测量量中最大的, 不同的修正曲线会极大地影响实验结果.

我们必须注意温度示数温度后再进行点火, 且燃烧后也应等待其稳定再停止记录, 对于绝热较好的环境, 本实验可获得相当精确的结果.

在安装氧弹过程中, 我们引入了电阻测量检查通路是否正确, 这是实验中确保正确的方法.

4. 附件

Reynolds 修正 code: 见 main.py.

原始温度数据: 见 no.1.txt, no.2.txt.

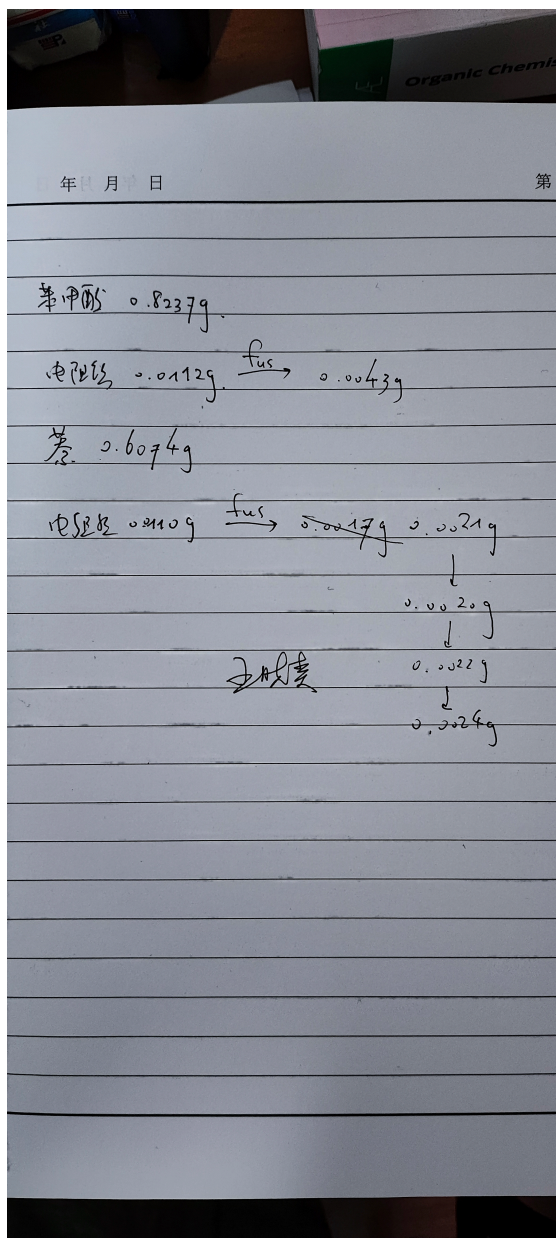


Fig. 5. 手记原始数据