

# 实验六 燃料热值的测定

## 一、实验目的

单位燃料完全燃烧后放出的热量称为热值，它是衡量燃料质量优劣的重要指标之一。燃料热值可用氧弹量热计直接测定。

通过实验掌握固体燃料热值测定的原理和方法，了解氧弹量热计构造和使用。

## 二、实验原理

将已知量的燃料置于密封容器(氧弹)中，充入氧气，点火使之完全燃烧。燃烧所放出的热量传给周围的水，根据水温升高度数计算出燃料热值。

测定时，除燃料外，点火丝燃烧， $\text{H}_2\text{SO}_4$ 和 $\text{HNO}_3$ 的生成和溶解也放出热量；量热计本身(包括氧弹、温度计、搅拌器和量热计内筒等)也要吸收热量；此外量热计还向周围散失部分热量，这些计算时都应考虑加以修正。

在实验条件下，量热计系统温度升高 $1^\circ\text{C}$ 所吸收的热量称为量热计热容量。测定之前，先使已知发热量的苯甲酸(量热标准物质)在氧弹内燃烧，标定量热计的热容量，设标定时总热效应为 $Q_e$ ，测得温度升高为 $\Delta t_e$ ，则量热计的热容量为

$$K = Q_e / \Delta t_e$$

测定时，再将已知量的被测燃料置于氧弹中燃烧，如果测得温度升高为 $\Delta t_x$ ，则燃烧总热效应为

$$Q_x = K \cdot \Delta t_x$$

再经进一步修正计算出燃料的若只(具体计算见后面的计算部分)。量热计的热容量在本次实验前已经测好，本次实验可以直接使用。

## 三、量热计设备的结构

### 1、量热计结构

量热计结构见图1。

- (1) 外壳：铜制双壁套筒，夹套内充满水，通过套筒搅拌器，使筒内水温均匀，造成恒温环境；
- (2) 量热容器：又称量热计内筒，它是一个截面为梨形的铜制容器，表面镀铬抛光，实验

时用于盛量热液体(水);

- (3) 搅拌器：由马达 4 带动，加速水的循环使水温很快均匀一致；
- (4) 搅拌马达；
- (5) 绝热支柱：用于承放量热容器 2，并使其与外壳绝热；
- (6) 氧弹：即样品燃烧室。实验时，燃料样品置于坩锅内弹内充以氧气，通过电极通电点火，使样品燃烧。其结构如图 2 所示；

弹体 1 是容积为 300ml 的厚壁圆筒。弹头 2 上装有充气阀门 10、充气阀门口盖 11、充气管 5、放气阀门 12、绝缘电极 3、坩埚架 4 和燃烧挡板 6 等。氧气通过充气阀门和充气管充入氧弹。燃烧后的废气由放气阀门放出。绝缘电极与弹头绝缘而与坩埚架相通。充气阀门口盖兼作另一电板，它与弹头及充气管相通。燃烧挡板是为了防止燃烧时火焰直接喷向弹头，借此挡板可将热量均匀的分别于到他内。弹头和弹体间借助橡皮垫圈 8 和金属垫圈 7 密封。充氧时，弹内压力增大，橡皮垫圈被压紧产生弹性形变，从而保证弹头和弹体间的气密性。燃烧挡板是为了防止样品燃烧时火焰直接喷向弹头，并经次挡板使热量均匀分布于弹体内；

- (7) 贝克曼温度计，用于精确测量温度变化的差值，刻度范围 1~5℃，最小分度为 0.01℃，利用放大镜可读至 0.001℃，调节温度计上端储汞槽内汞量可在 0~5℃使用。该温度计为十分精密贵重温度计，使用时应特别小心，温度计不用时应放回盒内妥善放置，切不可随意放置在台面上，以免损坏。安装时应在搅拌器、氧弹等放好之后，再装温度计。拆卸时应先取下温度计，放好后再拆卸其他；

- (8) 工业用玻璃温度计：温度刻度范围为 0~50℃，最小分度为 1℃，用来测量外筒水温。

- (9) 电极、点火导线：点火时通 24 伏交流电，引燃点火线，点燃样品；

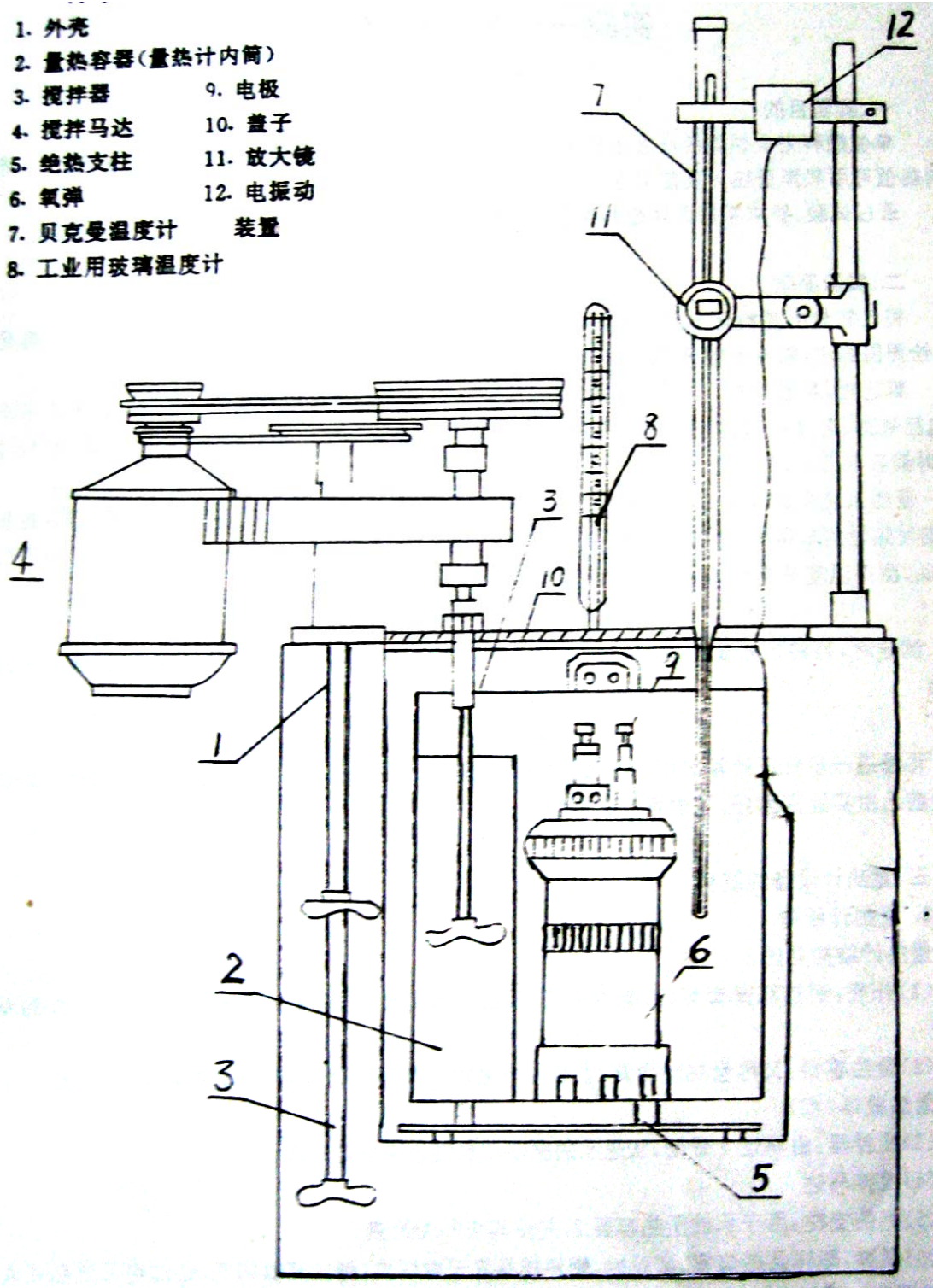
- (10) 盖子：胶木板制，由两个半圆形组成，内表面为抛光金属板，以减少热损失。

- (11) 放大镜：放大率为 5 倍，固定在架上，此架可沿竖杆上下移动，以便观察贝克曼温度计读数。镜头可在镜筒内前后伸缩调节，以保证清晰地观察温度。镜筒后装有一只 6.3 伏照明灯；

- (12) 电振动装置：贝克曼温度计内水银柱在毛细管内升降时，由于摩擦作用而产生粘滞现象，使读数产生误差。为了消除水银柱粘滞现象，每次读数前必须有振动器振动温度计。

半分钟或一分钟振动器将温度计振动 8 秒钟。温度计固定在振动夹子上，振动器由装于控制箱内的计时装置自动定时控制振动。

1. 外壳
2. 量热容器(量热计内筒)
3. 搅拌器
4. 搅拌马达
5. 绝热支柱
6. 氧弹
7. 贝克曼温度计
8. 工业用玻璃温度计
9. 电极
10. 盖子
11. 放大镜
12. 电振动



## 2、控制箱

为了操作方便，点火、计时、振动温度计和搅拌灯均通过控制箱进行控制，控制线路图见图 3。

计时振动装置主体是一个同步电机，它带动齿轮减速系统及与其同轴的凸轮转动，控制振动器或计时指示电路通断，开关 K4 扳向“振动”位置，计时开关 K3 拨至“半分钟”时，

每隔半分钟振动一次，拨向“一分钟”时，每隔一分钟振动一次。开关 K4 扳向“点火”位置时，“计时指示灯”视 K3 位置不同每半分钟或一分钟亮一次。

供氧弹点火用的最大电压是 24 伏。用串联在点火线路中的变压器可调节点火电流的大小，使点火时间不过一秒钟。点火时，开关 K4 投向“点火”位置，点火线路即接通，点火指示灯同时燃亮，瞬间点火线点着熔断，电路中断、点火指示灯又熄灭，表示点火已告结束。

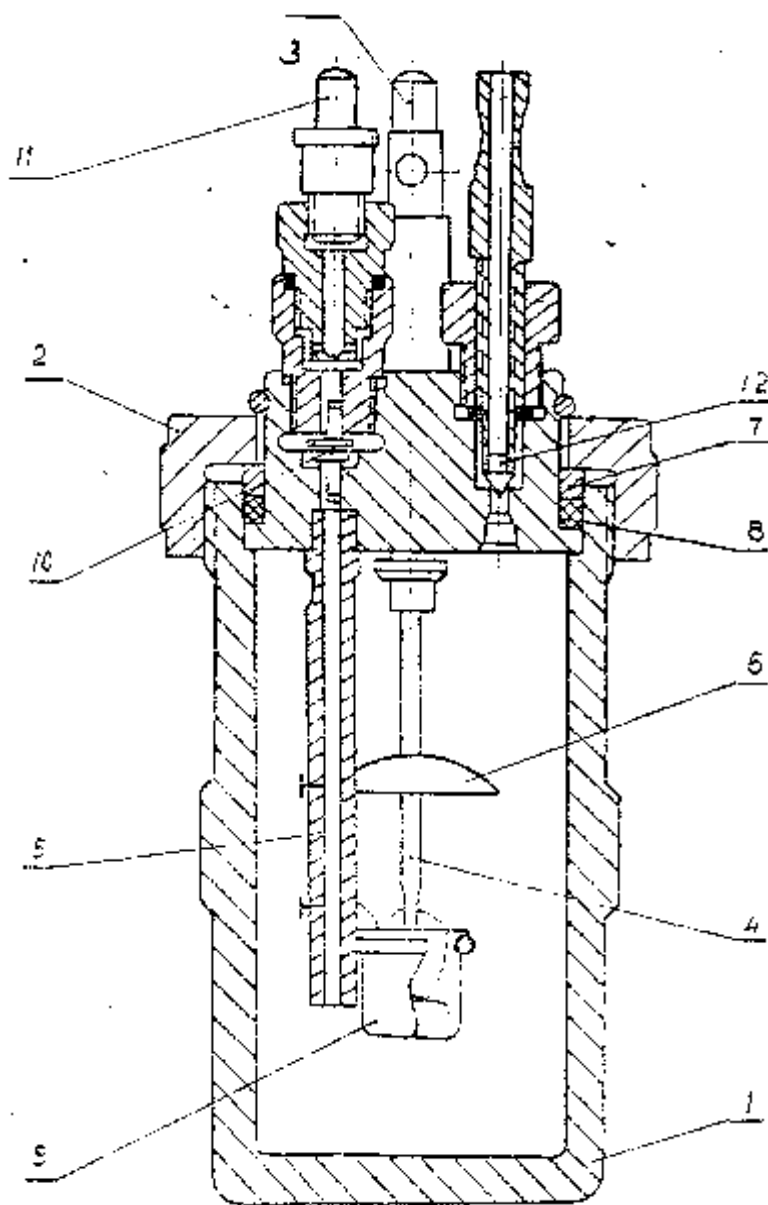


图 3 氧弹结构示意图

- 1—弹体 2—弹头 3—绝缘电极 4—坩锅架 5—充气管 6—燃烧挡板  
7—金属垫圈 8—橡皮垫圈 9—坩锅 10—充气阀门 11—充气口盖 12—放气阀门

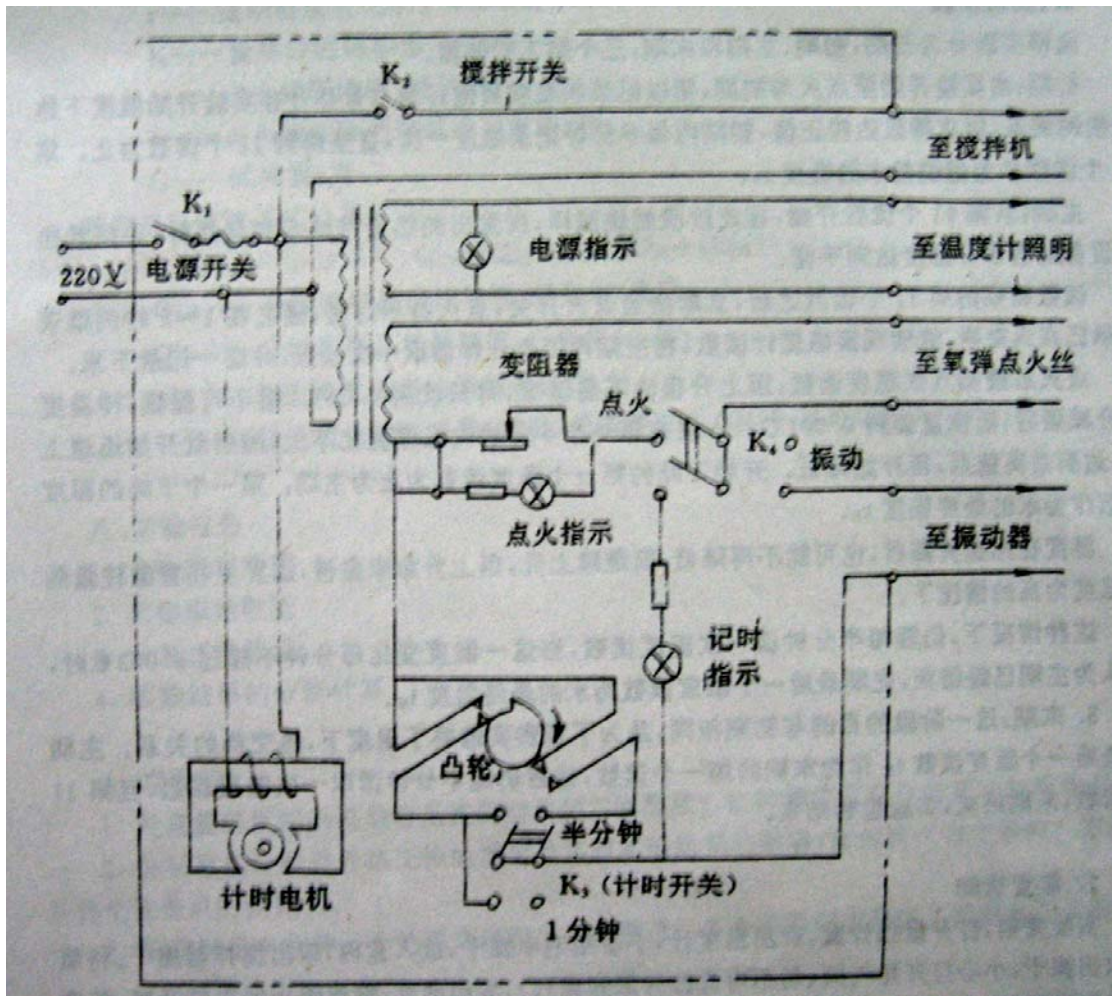


图 3 控制线路图

#### 四、实验步骤

##### (一)测定前的准备工作

##### 1、煤样准备

为保证完全燃烧，测定热值的煤样应粉碎至粒度小于 0.2mm，每次测定称煤样 1~1.2 克，准确至 0.0002 克。

##### 2、点火丝

点火丝有镍丝、铁丝，量出点火丝长度，计算点火丝质量(单位长度点火丝质量实验室已测好)。

##### 3、量热计注水

量热计外筒中需注满与室温相差不超过 0.5℃ 的水。

量热计内筒用蒸馏水。为减少散热误差，内筒水温比外筒水温低约 0.7℃。内筒注入的水量，以保证水面没至氧弹进气阀的 2/3 高度为宜，约 3000 克，需精确至 0.5 克。

##### 4、仪器安装

将准备好的煤样和燃烧器置于坩锅架上，将点火丝一端缚在电极环上，另一端缚在进气管的销子上，中间部分要切实与煤样接触(或将点火线压入煤样内)。

从内筒的 3000 克水中用吸管吸出 10ml(不必精确)，放入氧弹底部，以溶解氮及硫的氧化物。小心将盖拧在弹体上，拧紧。将放气阀关闭，将进气阀上的电极栓拧下，而将氧气瓶上的管接头拧上，打开氧气钢瓶总气阀，再逐渐打开减压阀，使氧弹内压力升至 2.5~3MPa，然后关闭氧气钢瓶阀门，取下氧弹放入量热计内筒中，加入事先准备好的水(防止水溅出)。

将量热计内筒稳固地放在胶木制支柱上，并注意搅拌器叶片不应与搅拌内筒相碰。

将两根点火用导线分别与弹头上的电极相连，盖好盖子，装好温度计，并使温度计水银泡位置位于氧一半高度处。

接好搅拌器马达、振动器和计时装置的电路，检查各部分无误后开始测量。

## (二) 热值测定

全部测量过程分为三期：初期、主期和末期。三个期不能倒接。

**初期：**由实验开始至点火为初期，用以记录和观察周围环境与量热计在实验开始温度下热交换的关系，以求得散热校正值。初期内每半分钟记录温度一次，直至得到 11 个读数为止。第 11 个读数作为燃烧前水的温度 $t_H$ 。

**主期：**从 11 个读数开始，在此阶段燃烧试样，所发出的热量传给水 and 量热计，并使量热计设备各部分温度达到平衡。

读数初期的第 11 个读数之后，立即接通点火开关，点火指示灯亮，随之在 1~2 秒内熄灭表示已点火完毕，继续观察温度的读数，在主期内仍半分钟读取一次读数，并逐一记录下来。

点火后最初几次温度读数，因上升很快不易读准，可只读到 0.01℃，但不可漏读，待温度上升减缓后，恢复读取温度精度为 0.001℃。一般在第一个半分钟内温度变化不大，然后就开始迅速上升，达到最高值后，再开始降低。开始下降的第一个温度读数为止为主期。第一个下降的温度读数作为水的最终温度 $t_K$ 。

温度再迅速升高后，也可能不再降低，而继续上升，但上升愈来愈慢，这发生在室温较高量热计温度为高的情况下。这种情况下仍需每半分钟读取一次温度值，当这一温度变化每分钟不超过 0.003℃时，即认为主期已经结束，主期最后一个温度读数为水的最终温度 $t_K$ 。

**末期：**这一阶段的目的与初期相同，是为了观察实验终了温度下，热交换的关系。主期的最后一个温度读数 $t_K$ 作为末期的第一个读数，此后每半分钟读取一次温度读数，至第 11 个读数，末期结束，实验测量全部结束。

### (三) 装置拆卸

测量完毕，打开量热计盖，取出温度计，小心用毛巾擦干，放入盒内，取出搅拌器擦干。将氧弹取出擦干，小心打开气阀(切不可先拧开氧弹盖!!)，放出废气，响声停止后再拧开盖，检查弹内及弹盖，如有薄层烟渣或未燃尽的细粒，则实验失败，需要重做。

## 五、实验数据整理和计算

按下式计算燃料的氧弹热值

$$Q_{DT}^f = \frac{K(t_K - t_H + \Delta t) - qb}{G} \text{ kJ/kg}$$

式中： $Q_{DT}^f$ —空气干燥基试样的氧弹热值，kJ/kg；

$$\Delta t—\text{热交换校正系数，} \Delta t = \frac{1}{2}(\bar{V} + \bar{V}_1)m + \bar{V}_1 r；$$

$\bar{V}$ —初期内每半分钟间隔内温度变化的平均值，即第 1 个读数减去第 11 个读数除以 10，℃；

$\bar{V}_1$ —末期内每半分钟间隔内温度变化的平均值，即末期第 1 个读数(主期最后一个读数)减去末期最后一个读数除以 10，℃；

$m$ —主期快速升温后，每隔半分钟大于 0.3℃的半分钟温度间隔数，再加上第一个间隔；

$r$ —主期温度变化小于 0.3℃的半分钟温度间隔数；

$K$ —量热计的热容，kJ/℃；

$q$ —点火线燃烧热，J/g；

$b$ —点火线实际燃烧掉的净质量，g；

$G$ —试样质量，g。

燃料的高位热值(高位发热量)按下式计算：

$$Q_{GW}^f = Q_{DT}^f - (94.1S_{DT}^f + \alpha D_{DT}^f)$$

式中： $Q_{GW}^f$ —空气干燥基样品的高位热值，kJ/kg；

$Q_{DT}^f$ —空气干燥基样品的氧弹热值，kJ/kg；

$S_{DT}^f$ —由洗弹液测得的燃料含硫量，%；

$D_{DT}^f$ —硝酸生成热，kJ/kg；

$\alpha$ —硝酸生成热校正系数，贫煤、无烟煤取 0.00418，其他煤种取 0.00627。

## 六、实验报告要求

- 1、实验原理简述；
- 2、完整的原始数据；
- 3、计算试样热值；
- 4、实验结果的分析讨论。

## 七、思考题

- 1、贝克曼温度计的示值是否被测对象的实际温度？如何调节贝克曼温度计的起始值？
- 2、分析量热计和外界热交换的情况及其对实验结果的影响，如何减少这个影响？如何修正热交换造成的误差？
- 3、测定时每半分钟一个温度读数能不能漏读？各个不同期漏读了读数有什么影响？

( 执笔人：周勇敏、金春强)