

## 实验三 烟气分析

### 一、实验目的

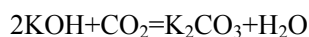
熟悉奥氏气体分析器的构造和作用原理；掌握烟气中CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO和N<sub>2</sub>含量的测定方法；分析一个烟气样，测定其组成并计算空气过剩系数。

### 二、实验原理

奥氏气体分析器是利用化学吸收法按容积测定气体成分的仪器。测定时，使一定容积的气样依次与不同的化学吸收剂相接触，分别吸收气中的各组分，根据每次吸收前后气样体积的变化，从而得出各组分的含量。

#### 1、CO<sub>2</sub>的测定

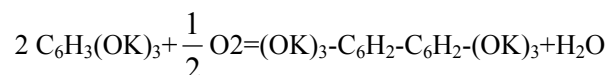
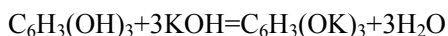
首先使气样与KOH溶液相作用，以吸收其中的CO<sub>2</sub>。



经吸收，气体体积的减少量即为CO<sub>2</sub>的体积。烟气中如有SO<sub>2</sub>，也同时被吸收，这时测定结果实际上是CO<sub>2</sub>与SO<sub>2</sub>的和量。

#### 2、O<sub>2</sub>的测定

然后，使吸收除去CO<sub>2</sub>的气样与碱性焦性没食子酸(1, 2, 3 三羟基苯)相作用，以吸收O<sub>2</sub>。

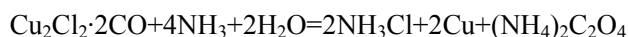
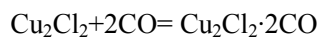


(1, 2, 3 三羟基苯) (六氧基联苯钾)

经这次吸收，气样减少的体积即为O<sub>2</sub>的体积。

#### 3、CO 的测定

最后，使吸收除去了CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>的气样与氨性氯化亚铜溶液相作用，以吸收CO。



经吸收，气样所减少的体积即为CO的体积。最后剩下的即为N<sub>2</sub>的体积。

由于碱性焦性没食酸溶液也能吸收CO<sub>2</sub>，氨性氯化亚铜溶液也能吸收CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>，所以分析时应先分析CO<sub>2</sub>，然后依次分析O<sub>2</sub>和CO，次序不可颠倒。

测定 CO 所延续的时间不宜过长，否则已被氯化亚铜溶液吸收的 CO 又会重新放出来，使结果不准，当烟气中 CO 含量比较高(15%~20%)时，一个吸瓶吸收 CO 很慢，且不容易吸收完全，可再增加一个装有氨性氯化亚铜溶液的吸收瓶，用以第二次吸收 CO。

### 三、实验装置

奥氏气体分析器的装置系统如图 1 所示。

主要包括吸收瓶 1、2、3、量筒 10、平衡瓶(水准瓶)11、过滤器 8、梳形管 4 和水套管 12 等，各部皆由玻璃制成。吸收瓶内填有等孔径的毛细玻璃管以增加化学试剂与气样的接触面积。水套管内装有水，以维持量筒内气样温度不变。在过滤管内填有玻璃棉和无水氯化钙(或硅酸)以除去烟气中的灰尘和水分。

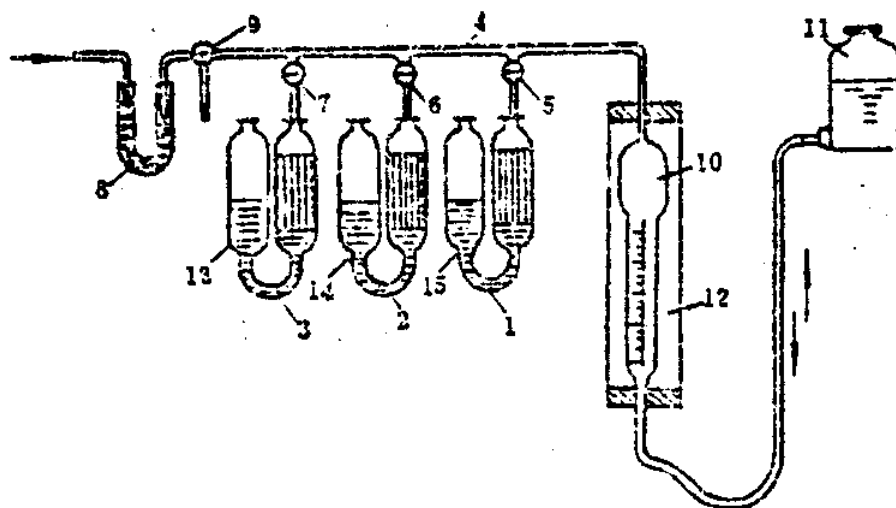


图 1 奥氏气体分析仪示意图

- 1、2、3—吸收瓶 4—梳形管 5、6、7—旋塞 8—过滤器 9—三通旋塞  
10—量管 11—平衡瓶(水准瓶) 12—水套管 13、14、15—缓冲瓶

第一个吸收瓶内装有氢氧化钾溶液；第二个吸收瓶内装有焦性没食子酸的碱性溶液；第三个吸收瓶内装有氨性氯化亚铜溶液。

吸收剂的装入量约为吸收瓶总容积的 60%，过少则操作时气样有可能越过瓶底连接管而逸出，过多则影响液面移动范围。

为防止各吸收剂(尤其是焦性没食子酸的碱性溶液)与空气接触，在缓冲瓶中注入液体石蜡，使其浮在液面上厚度 3~5mm。

各吸收剂配置如下：

1、CO<sub>2</sub>吸收剂—KOH溶液：

90gKOH溶于 180ml蒸馏水中。因溶解是产生大量的热量，需不断搅拌。冷却后取上面澄清液使用。该溶液 1ml可吸收 40ml CO<sub>2</sub>。

2、O<sub>2</sub>吸收剂—焦性没食子酸的碱性溶液：

吸收剂由 A 液和 B 液混合而成。

A 液：30g 焦性没食子酸溶于 80ml 蒸馏水中，为加速溶解，可加热至 60℃。

B 液：48gKOH 溶于 100ml 蒸馏水中。

这两种液体单独存放时不吸收氧气，使用前再将两液倒入吸收瓶中，上下移动平衡瓶使之混合均匀。1ml 混合液可吸收 10ml 氧气。吸收能力与温度有关，在 25℃ 以上吸收较快，在 7℃ 以下则无吸收能力。

3、CO 的吸收剂—氨性氯化亚铜溶液：

42gNH<sub>4</sub>Cl溶于 125ml蒸馏水中，加入 33.4gCu<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>。注入吸收瓶时，每三体积该溶液需加一个体积比重 0.9 氨水(约 42ml)。为避免氯化亚铜被空气氧化，在吸收瓶中需加入一束紫铜丝。每 1ml吸收剂可吸收 10~16mlCO。

平衡瓶内装封闭液。为使封闭液和气样接触时不吸收CO<sub>2</sub>，应使其呈酸性。常用封闭液配制方法如下：

1、将 150g 食盐溶于 0.5 升蒸馏水中，经一昼夜静置后，取上层清液过滤后，每升溶液中加入 10ml 浓硫酸，再滴入几滴甲基红，使其呈红色，用烟气饱和后即可使用。

2、将 80g 固体硫酸钠溶于 200ml 蒸馏水中，滤去杂质，再加入 3~4 滴甲基橙，再加入稀硫酸至变红色，用烟气饱和后即可使用。

各玻璃旋塞面应涂以润滑脂以防止漏气。旋塞不能互换。各玻璃部件间用弹性好的厚橡胶管连接。

#### 四、实验步骤

1、严密性检查

使用奥氏气体分析器之前，首先应检查其严密性，确保严密不漏才能开始测定。

(1)将玻璃旋塞 5、6、7 关闭，旋三通旋塞 9 使其和大气相通，提高平衡瓶 11，使量筒 10 内液面升到最上端刻度附近，然后关闭三通旋塞 9，再放下平衡瓶，此时量筒内液面如只微微下落，然后保持不变，则表明三通旋塞 9 不漏气。

(2)提高平衡瓶使其液面大致与量筒内液面相平，打开第一吸收瓶的旋塞 5，再缓缓下移平衡瓶使第一吸收瓶的液面升至上端标线，然后关闭旋塞 5，放下平衡瓶，此时如第一吸收瓶的液面不变，则表明旋塞 5 不漏气。按同样的方法继续检查旋塞 6、7。

如发现哪个旋塞漏气，则要将旋塞取下重新涂润滑脂，至检查不漏气为止。检查完毕后，将吸收瓶中吸收液和量筒中封闭液调至上端标线，以备测定。

## 2、将气样吸入分析器

将贮气球胆的橡皮管接到过滤器 8 上，旋三通旋塞 9 使分析器与贮气球胆相通而与大气不通，下移平衡瓶，则气样自动充入量管中，然后旋三通旋塞 9 使分析器与大气相通而与贮气球胆不通，提高平衡瓶，将方才取入的气样排至大气中。如此反复排气三遍，以气样洗涤分析器，并使封闭液为气样所饱和。

最后一次排气时使量管内液面升至上端标线。然后旋三通旋塞 9，使分析器与贮气球胆相通，下移平衡瓶，待量管内液面将至略低于最下端 100ml 刻度时，旋三通旋塞 9 使分析器与大气及贮气球胆均隔绝，将平衡瓶液面对准量管 100ml 刻度线，旋三通旋塞使分析器与大气通一下，随即关闭，则取入气样恰好 100ml。

## 3、组成的测定

先打开旋塞 5，提高平衡瓶，将气样压入第一个吸收瓶中，直至量管内液面升到上端标线，然后再放下平衡瓶，气体又被吸回到量管中，注意吸收瓶中液面不要冲过标线以上，如此反复 3~4 次，再将气体吸回到量管中，当吸收液升到吸收瓶上部标线时，关闭旋塞 5，提升平衡瓶使其液面与量管中液面在同一高度，记下量管液面的读数。再打开旋塞 5，重复上述操作，直至量管中液面读数不变，说明气体中的 $\text{CO}_2$ 已经被第一个吸收瓶中的 $\text{KOH}$ 溶液完全吸收。记下读数为 $V_1$ 。然后再打开旋塞 6，按上述同样的操作测定 $\text{O}_2$ ，至量管中液面读数不变，记下读数为 $V_2$ ，再打开旋塞 7，按同样的操作测定 $\text{CO}$ ，直至量管内液面读数不变，记下读数为 $V_3$ 。

# 五、实验数据处理

## 1、烟气组成的计算

$$CO_2 = \frac{100 - V_1}{100} \times 100$$

$$O_2 = \frac{V_1 - V_2}{100} \times 100$$

$$CO = \frac{V_2 - V_3}{100} \times 100$$

$$N_2 = 100 - (CO_2 + O_2 + CO)$$

式中：

$CO_2$ 、 $O_2$ 、 $CO$ 、 $N_2$ 分别为烟气中 $CO_2$ 、 $O_2$ 、 $CO$ 、 $N_2$ 的体积百分数；

$V_1$ ：经KOH溶液吸收后的体积，ml；

$V_2$ ：经焦性没食子酸的碱性溶液吸收后的体积，ml；

$V_3$ ：经氨性氯化亚铜溶液吸收后的体积，ml。

2、空气过剩系数的计算

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - (O_2 - 0.5CO) \times \frac{79}{21}}$$

## 六、实验报告内容

实验原理简述；实验原始数据；烟气组成计算；空气过剩系数的计算；对实验结果的分析讨论。

## 七、思考题

- 1、烟气中各组分测定的顺序能否颠倒，为什么？
- 2、什么情况下吸收液可能向上冲过标线，什么情况下有可能将空气取入分析器中？
- 3、在进行测定CO的操作时，量筒中被测气体有时不但不减少，反而增加，为什么？
- 4、如果燃料中不含有氨，什么情况下烟气中 $N_2\% > 79\%$ ，什么情况下 $N_2\% < 79\%$ ？
- 5、奥氏气体分析器测定的结果是烟气的干基组成还是湿基组成，为什么？

（执笔人：周勇敏、金春强）