

建筑环境与设备工程专业 实验指导书

娄承芝 主 编
田浩 袁小平 李丽萍 副主编

建筑环境与设备工程专业 实验指导书

娄承芝 主 编

田 浩 袁小平 李丽萍 副主编



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

《建筑环境与设备工程专业实验指导书》适用于普通高校中建筑环境与设备工程(暖通)专业本科生。本书涵盖了专业课教学中的实验课内容,并介绍了本专业领域中常用仪器的使用操作和测量计算方法,对从事相关专业现场测试的技术人员有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

建筑环境与设备工程专业实验指导书/娄承芝主编
· 一 天津:天津大学出版社,2017.5
ISBN 978-7-5618-5595-9

I. ①建… II. ①娄… III. ①建筑工程-环境管理-高等学校-教学参考资料②房屋建筑设备-高等学校-教学参考资料 IV. ①TU-023②TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 083121 号

出版发行 天津大学出版社
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 北京京华虎彩印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 10.25
字 数 256 千
版 次 2017 年 5 月第 1 版
印 次 2017 年 5 月第 1 次
定 价 22.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

为了适应教学要求以及陆续投入使用的新仪器的现况,2015 年 11 月天津大学环境科学与工程学院建筑环境与设备工程系实验室组织实验技术系列全体教师对曾内部使用过的实验指导书进行了重新编写。本次编写一方面更新和改正了原书中发现的陈旧与错误之处,另一方面增加了基于新建实验台的相关实验指导,并对全书结构进行了进一步的调整。

另外,为了与本科教学不断改革的情况相适应,本书的内容结构采用了按实验项目分类的方式,主要分为两个部分:实验课程与常用仪器设备说明。这样做的好处一是增强了安排实验的灵活性,每年安排教学计划时可以根据教学内容的要求在完成相应实验的基础上提供更多的实验来进一步丰富学生的动手与理论分析能力;二是在实验过程中学生可以很方便地查阅所使用的仪器设备的说明书。本书有较详细的测量与计算方法,也可供相关专业现场测试的技术人员参考。

全书由娄承芝老师统稿,张于峰老师对本书提出了许多宝贵的意见。具体参加本次编写工作的老师有:娄承芝、田浩、袁小平、李丽萍。教研室从事专业课教学的安大伟、张于峰、由世俊、朱能、张欢、邢金城、周志华、刘俊杰、凌继红、田喆、孙贺江、盛颖等老师也为本书的编写做了大量的工作,在此表示衷心感谢。

编者

2017 年 2 月

目 录

第一部分:实验课程	(1)
实验一 煤的工业分析实验	(1)
实验二 煤的发热量测定实验	(6)
实验三 烟气分析实验	(9)
实验四 室内外气象条件测定实验	(13)
实验五 空调系统风量测定与调节实验	(18)
实验六 空气过滤器性能实验	(22)
实验七 伞形排气罩性能实验	(26)
实验八 旋风除尘器性能实验	(32)
实验九 风管风压、风速和风量测定实验	(37)
实验十 管网水压图实验	(45)
实验十一 空气与水的热湿交换实验	(48)
实验十二 热水散热器性能实验	(54)
实验十三 热水采暖系统模拟实验	(58)
实验十四 制冷压缩机性能实验	(60)
实验十五 热泵与冰箱实验	(64)
实验十六 多支热电偶的温度校验实验	(66)
实验十七 涡轮流量计系数的测定实验	(69)
实验十八 室内光环境测量与评价实验	(71)
实验十九 噪声测量与评价实验	(73)
实验二十 燃气辐射采暖特性实验	(76)
实验二十一 燃气相对密度测定实验	(78)
实验二十二 燃气发热量测定实验	(81)
实验二十三 粉尘粒度分级实验	(87)
实验二十四 粉尘真密度测定实验	(91)
实验二十五 太阳能光伏发电实验	(94)
实验二十六 太阳能光热利用实验	(97)
实验二十七 风机性能与变频调节实验	(99)
实验二十八 风机并联性能实验	(101)
实验二十九 硅胶转轮与高温热泵耦合机组除湿实验	(103)
实验三十 气流组织实验	(106)
实验三十一 人工环境仓测试空调机组实验	(111)

第二部分:常用仪器设备说明	(113)
仪器设备一 马弗炉	(113)
仪器设备二 干燥箱	(119)
仪器设备三 赛多利斯万分之一分析天平	(120)
仪器设备四 数字式微压计	(130)
仪器设备五 倾斜式微压计	(133)
仪器设备六 全自动量热仪	(135)
仪器设备七 热线风速计	(142)
仪器设备八 毕(皮)托管	(144)
仪器设备九 尘埃粒子计数器	(146)
仪器设备十 照度计	(148)
仪器设备十一 噪声频谱分析仪	(149)
仪器设备十二 点焊机	(157)
仪器设备十三 恒温水浴	(158)
仪器设备十四 风量罩	(161)
仪器设备十五 YFJ(巴柯)离心粉尘分级仪	(163)

第一部分:实验课程

实验一 煤的工业分析实验

一、实验目的

测定煤的水分、灰分、挥发分和固定碳的含量,为锅炉的设计、改造、运行和实验提供即时数据。

二、实验原理

根据水分、挥发分及固定碳在不同温度下以不同方式分离出来的特点,将制备并称量好的煤样置于特定设备中加热。当加热温度达到水的蒸发温度时,水分开始蒸发,待水分完全蒸发后,称量煤样的质量,其变化量即为煤的水分量。继续加热,煤样开始释放出挥发分,当挥发分挥发完毕后,煤样质量的减少量即为挥发分的质量。温度进一步升高,达到煤的燃点,煤样开始燃烧。待煤样燃烧完毕,再称量灰分,其减少量即固定碳的质量。

三、实验设备

实验设备有干燥箱、马弗炉、分析天平、干燥器、玻璃称量瓶或瓷皿、灰皿、坩埚、坩埚架、坩埚架夹和耐热金属板等(图 1-1-1、图 1-1-2)。

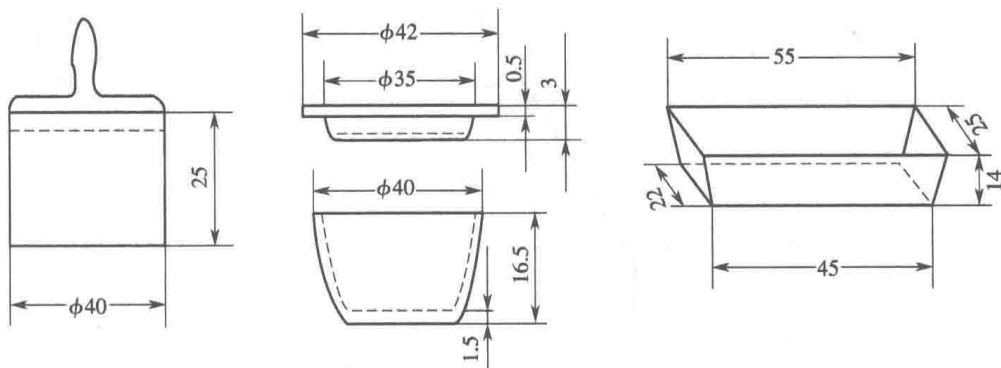


图 1-1-1 玻璃称量瓶、瓷皿和灰皿

其中干燥箱又名烘箱或恒温箱,用于测定水分和干燥实验器皿。干燥箱带有自动调温装置,内有风机,顶部有水银温度计指示箱内温度。

马弗炉用于升高温度,它带有调温装置,炉膛中有恒温区,由热电偶和高温指示表来指示相关温度。

干燥器内有变色硅胶或未潮解的块状无水氯化钙类的干燥剂。

玻璃称量瓶或瓷皿都应有严密的磨口盖。

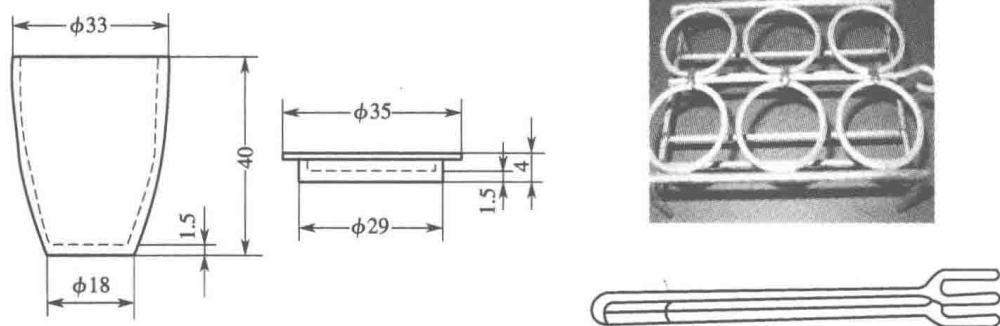


图 1-1-2 挥发分坩埚及其架夹

四、实验方法及数据处理

(一) 水分的测定

煤的水分分为外水和内水两部分,相应地应测定外在水分和内在水分。

1. 外水分的测定

取盛煤样的容器,上下左右摇晃几分钟,使其混合均匀。然后取出煤样 500 g 放入温度为 70 ~ 80 ℃ 的烘箱内 1.5 h。取出煤样,放在室温下使其完全冷却,并称量。然后把它放在室温下进行自然干燥,并经常搅拌。每隔 1 h 称量一次,直至其质量变化不超过前次称量值的 0.1%,则认为该煤样已完全干燥。取最后一次称量值作为计算依据,则煤的外水分为

$$M_{\text{ar}}^f = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1-1-1)$$

式中 m_1 ——原煤样的质量, g;

m_2 ——风干后煤样的质量, g。

将除去外水分的煤样磨碎,直至全部通过孔径为 0.2 mm 的筛子,用堆掺四分法将其分为两份。一份装于煤样瓶中,供测定空气干燥基水分和其他成分用;另一份封存。

2. 空气干燥基水分的测定

用预先烘干并称量的玻璃称量瓶(质量称量精度为 0.000 2 g)平行称取两份(1 ± 0.1) g 的分析试样(精确到 0.000 2 g),再一起放入预先通风并加热到 105 ~ 110 ℃ 的干燥箱中。在一直通风的条件下,无烟煤干燥 1.5 ~ 2 h,烟煤干燥 1 h 后,从干燥箱内取出称量瓶并加盖。在空气中冷却 2 ~ 3 min 后,放入干燥箱冷却至室温(约 25 min)称量。最后进行检查性干燥,每次干燥 30 min,直到试样的变化量小于 0.001 g 为止。如果是增量,以增量前一次质量为计算依据。对于水分在 2% 以下的试样,不进行检查性干燥。至此,试样失去的质量占试样质量的百分数即为分析试样的空气干燥基水分:

$$M_{\text{ad}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

式中 m_1 ——分析煤样的质量, g;

m_2 ——烘干后煤样的质量, g。

煤的收到基水分由下式求得:

$$M_{ar}=M_{ar}^f+M_{ad}(1-M_{ar}^f)$$

(1-1-3)

上述两个平行试样的测定结果误差不超过表 1-1-1 所列的数值时,可取两个试样的平均值作为测定结果;超过表中的规定值时,实验应重做。

表 1-1-1 水分测定的允许误差

水分 M_{ad} (%)	同一化验室的允许误差 (%)	水分 M_{ad} (%)	同一化验室的允许误差 (%)
<5.00	0.20	<20.00	0.40
5.00~10.00	0.30	≥ 20.00	0.50
>10.00	0.40		

(二)灰分的测定

在经预先灼热和称量(称准到 0.000 2 g)的灰皿中,用天平称取两份(1±0.1)g 的分析煤样(称准到 0.000 2 g),且平铺摊匀。把灰皿放在耐热板上,然后打开已被加热到 850 ℃ 的马弗炉炉门,将瓷板放进炉口加热,缓慢灰化。待煤样不再冒烟,微微发红后,缓慢小心地把它推入炉中高温区(若煤样着火发生爆炸,则试样作废)。关闭炉门,让其在(815±10)℃ 的温度下灼烧 40 min。取出耐热板和灰皿,先放在空气中冷却 5 min,再放到干燥器中冷却至室温(约 20 min),然后称量。最后,进行每次 20 min 的检查性灼烧,直至称量的变化小于 0.001 g 为止。采用最后一次质量作为测定结果的计算值,即为分析煤样的灰分:

$$A_{ad}=\frac{m_2}{m_1}\times 100\%$$

(1-1-4)

式中 m_1 ——灼烧前分析试样的质量,g;
 m_2 ——灼烧后灰皿中残留试样的质量,g。

煤的收到基灰分为

$$A_{ar}=A_{ad}(1-M_{ar}^f)$$

(1-1-5)

两份平行试样的测定结果误差不超过表 1-1-2 所列的允许值时,取两者的平均值;超出允许值时,实验应重做。

表 1-1-2 灰分测定的允许误差

灰分 A_{ad} (%)	同一化验室的允许误差 (%)	不同化验室的允许误差 (%)
<15	0.20	0.30
15~30	0.30	0.50
>30	0.50	0.70

(三)挥发分的测定

先将马弗炉加热到 920 ℃,再用预先在 900 ℃ 的马弗炉中烧至恒重的带盖坩埚称(1±0.1)g 分析试样两份(精确到 0.000 2 g),轻轻振动使煤样摊开,然后加盖,放在坩埚架上。打开炉门,迅速将摆放坩埚的架子推入炉内的恒温区,关好炉门,在(900±10)℃ 的高温下加热 7 min 后取出。在空气中冷却 5~6 min 后,放入干燥器中冷却至室温(约 20 min)后称

量。失去的质量占试样原质量的百分数减去试样的空气干燥基水分 M_{ad} ，即为分析试样的挥发分 V_{ad} ：

$$V_{ad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% - M_{ad} \tag{1-1-6}$$

式中 m_1 ——分析试样的质量，g；
 m_2 ——分析试样灼烧后的质量，g。

煤的干燥无灰基挥发分可按下式求得：

$$V_{daf} = V_{ad} \left(\frac{1}{1 - M_{ad} - A_{ad}} \right) \tag{1-1-7}$$

应该指出，实验开始时炉温会有所下降，但 3 min 内炉温必须恢复正常温度，即 $(900 \pm 10)^\circ\text{C}$ ，并保持此温度直至实验完毕。否则，这次实验作废。

两份平行试样测定结果的误差不得超过表 1-1-3 规定的允许值，测定数据同样以两者的平均值为准。

表 1-1-3 挥发分测定的允许误差

挥发分 $V_{ad}(\%)$	同一化验室的允许误差(%)	不同化验室的允许误差(%)
<20	0.30	0.50
20~40	0.50	1.00
>40	0.80	1.50

(四) 固定碳的计算

利用水分、灰分及挥发分的测定结果，可由下式求得煤样的固定碳含量：

$$C_{ad}^{gd} = 1 - (M_{ad} + A_{ad} + V_{ad}) \tag{1-1-8}$$

固定碳的收到基含量由下式求得：

$$C_{ar}^{gd} = C_{ad}^{gd} \left(\frac{1 - M_{ar}}{1 - M_{ad}} \right) \tag{1-1-9}$$

事实上，挥发分测定后留在坩埚中的即为焦炭，去掉其中的灰分即是固定碳 C_{ad} 。

实验数据记录及计算表格见表 1-1-4。

表 1-1-4 煤的工业分析实验数据记录

煤样来源_____煤种_____外在水分_____实验者_____实验日期_____

名称	测定项目								
	单位	水分 M_{ad}		灰分 A_{ad}		挥发分 V_{ad}		固定碳 C_{ad}^{gd}	
		试样 1	试样 2	试样 1	试样 2	试样 1	试样 2	试样 1	试样 2
器皿(加盖)及试样总质量	g								
器皿(加盖)质量	g								
试样质量 m_1	g								
灼烧(烘干)后总质量	g								
灼烧(烘干)后试样质量 m_2	g								
分析结果	%								
平行误差	%								
分析结果平均值	%								

五、思考题

- (1) 为什么要用分析试样？分析试样与炉前收到基煤之间有什么差别？
- (2) 煤的风干水分与外在水分是一回事吗？为什么？
- (3) 测定灰分时,为什么不能把盛试样的灰皿一下子推入高温炉中？
- (4) 从干燥箱、马弗炉中取出的试样,为什么一定要冷却至室温称量？
- (5) 试鉴别所测煤样灰熔点的高低及焦渣的黏结特性。

实验二 煤的发热量测定实验

一、实验目的

发热量是煤的重要特性之一。在锅炉设计和锅炉改造工作中,发热量是组织锅炉热平衡、计算燃烧物料平衡等各种参数和选择设备的重要依据。在锅炉运行管理中,发热量也是指导合理配煤、掌握燃烧、计算煤耗量等的重要指标。

二、实验原理

让已知质量的煤样在氧气充足的条件下完全燃烧,燃烧放出的热量被一定量的水和热计量筒体吸收。待系统平衡后,测出温度的升高值,并考虑水和热计量筒体的热容量以及周围环境温度等的影响,即可计算出该煤样的发热量。

煤样在有过量氧气(氧气压强在 $2.7 \sim 3.5 \text{ MPa}$) 的氧弹中完全燃烧,燃烧产物的终了温度为实验室环境温度($20 \sim 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$),在此条件下测得的热量称为煤的空气干燥基弹筒发热量 $Q_{b,ad}$ 。它包含煤中的硫 S_{ad} 和氮 N_{ad} 在弹筒的高压氧气中形成液态硫酸和硝酸时放出的热以及煤中的水分 M_{ad} 和氢 H_{ad} 完全燃烧生成的水的凝结热,而煤在炉子中燃烧是不会生成这些酸和水的。因此,实验室测得的弹筒发热量 $Q_{b,ad}$ 比高位发热量 $Q_{gr,ad}$ 还要大一些。这样依据它们之间的关系,可计算得到煤样的收到基低位发热量 $Q_{net,ar}$ 。

三、实验设备和仪器

(一)全自动恒温式量热仪

全自动恒温式量热仪由恒温式量热系统及单片机控制系统等部分组成,是一种由单片机系统自动控制,能进行数据处理的高度自动化的热量测量仪器。全自动恒温式量热仪结构如图 1-2-1 所示。

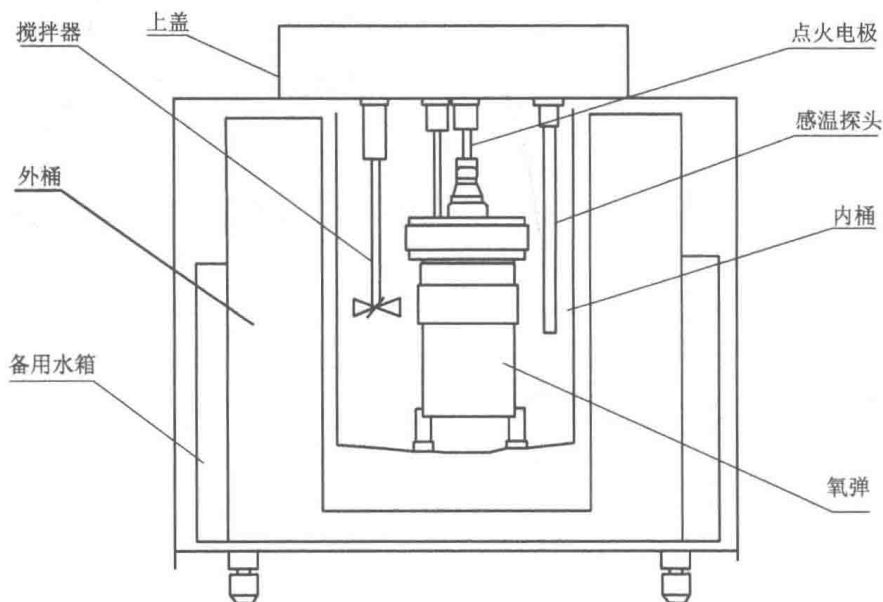


图 1-2-1 全自动恒温式量热仪本体

1. 外桶

外桶为金属制成的双壁容器,有上盖。

2. 内桶

内桶用紫铜、黄铜或不锈钢制成,断面可为圆形、菱形或其他适当形状。把氧弹放入内桶中后,装水 2 000 ~ 3 000 mL,浸没氧弹(氧气阀和电极除外)。

3. 氧弹

氧弹也叫弹筒,如图 1-2-2 所示。弹筒是一个圆筒,容积为 250 ~ 350 mL,弹头由螺帽压在弹筒上;坩埚放在坩埚架上,坩埚架与弹头之间系绝缘连接,进气导管与坩埚架构成两个电极,点火丝连接其间,弹头与弹筒之间由耐酸橡皮圈密封,氧气降压之后从进气阀进入氧弹;进气导管的上方有止回阀,氧气不会倒流。废气从放气阀排出。

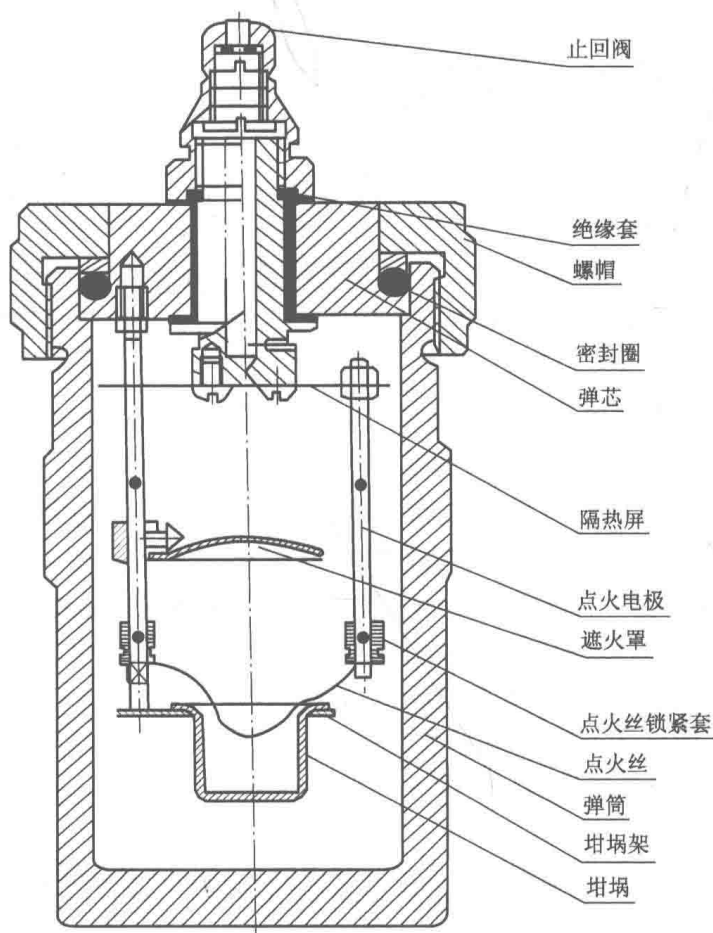


图 1-2-2 氧弹

在进气导管即电极柱上还装有安放坩埚的坩埚架以及防止烧毁电极的绝缘遮火罩。氧弹放入内桶置于内桶底部的固定支柱上,以保证氧弹底部有水流通,利于氧弹放热冷却。

(二) 分析天平

分析天平精确到 0.000 2 g。

(三) 试剂

(1) 氧气,不含可燃成分,因此不允许使用电解氧。

(2) 苯甲酸,经计量机关检定并标明热值。

四、实验步骤

(1) 在坩埚中称取分析试样(粒径小于 0.2 mm) 1 ~ 1.2 g(精确至 0.000 2 g)。对发热量高的煤,采用低值;对发热量低的煤或水当量大的热量计,可采用高值。试样也可在表面皿上直接称量,然后仔细移入清洁干燥的坩埚中。

对于燃烧时易于飞溅的试样,可先用已知质量的擦镜纸包紧,或先压成煤饼,再切成边长 2 ~ 4 mm 的小块使用。无烟煤、一般烟煤和高灰分煤等不易燃烧完全的试样,最好以粉状形式燃烧。此时,在坩埚底部铺一层石棉绒,并用手指压紧。石英坩埚不需任何衬垫。如加衬垫仍燃烧不完全,则用已知质量和发热量的擦镜纸包裹称好的试样并用手压紧,然后放入坩埚中。

(2) 往氧弹中加入 10 mL 蒸馏水,以溶解由氮和硫所形成的硝酸和硫酸。

(3) 将坩埚固定在坩埚架上,把已量过长度的点火丝(10 mm 左右)的两端固定在电极上,中间垂下稍与煤样接触(对难燃的煤样,如无烟煤、贫煤),或保持微小距离(对易燃和易飞溅的煤样),并注意点火丝切勿与坩埚接触,以免短路而导致点火失败,甚至烧毁坩埚。还应注意防止两电极间以及坩埚同另一电极间短路。小心拧紧弹盖,注意避免坩埚和点火丝的位置因受震动而改变。

(4) 把装好的氧弹在充氧仪下充氧,充氧压力为 2.8 ~ 3.2 MPa,超过 3.2 MPa 时需要放掉氧气,调整充氧压力后重新充氧,氧气瓶中压力小于 4 MPa 时,需要更换氧气瓶,充满后持续充氧 30 s。

(5) 将内桶放到热量计外桶内的绝热架上,然后把氧弹小心放入内桶,水位一般在进气阀螺帽高度的三分之二处,并盖上外筒的盖子。

(6) 输入数据:“设定”→“硫氢水”,依次输入“全硫含量”“氢含量”“收到基全水”“分析基水分”,然后按“设定”返回开始菜单,实验开始。

(7) “发热量”→输入样品质量,然后按“发热量”返回开始菜单,实验开始。

(8) 实验结束后,打开氧弹的放气阀,让其缓缓泄气放尽(不少于 1 min)。拧开氧弹盖,仔细观察弹筒和坩埚内部,如有试样燃烧不完全的迹象或炭黑存在,此实验应作废。

(9) 如需要用弹筒洗液测定试样的含硫量,则用蒸馏水洗涤弹筒部分以及放气阀、盖子、坩埚和燃烧残渣。把全部洗液(约 10 mL)收集在洁净的烧杯中,供硫的测定用。

五、思考题

(1) 氧弹(弹筒)发热量与高低位发热量有何区别? 燃料在锅炉炉膛中所释放出来的热量是哪一种发热量? 为什么?

(2) 测定发热量的实验室应具备什么条件?

(3) 常用的热量计有哪几种类型? 它们的差别是什么?

(4) 热量计的热容量是什么意思? 如何确定?

(5) 对于燃烧时易于飞溅的试样或不易燃烧完全的试样(如高灰分的无烟煤),或发热量过低但能燃烧完全的试样,在测定发热量时应相应采取什么技术措施?

(6) 如何减小周围环境温度对发热量测定结果的影响? 你能设计(设想)两种较为理想的热量计吗?

实验三 烟气分析实验

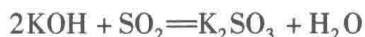
一、实验目的

烟气分析是对烟气中各主要组成成分——三原子气体 RO_2 (CO_2 及 SO_2)、氧气 (O_2)、一氧化碳 (CO) 和氮气 (N_2) 的分析测定。根据烟气成分的分析结果,可以鉴别燃料在炉内的燃烧完全程度和炉膛、烟道各部位的漏风情况,进而采取有效技术措施以提高锅炉运行的经济性;根据分析结果还可以求出空气过量系数,为计算排烟热损失和气体不完全燃烧热损失提供重要的数据。

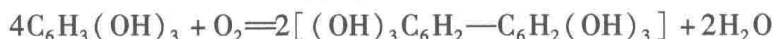
二、实验原理

用具有选择性吸收气体特性的化学溶液,在同温同压下分别吸收烟气中的相关气体成分,根据吸收前后体积的变化求出气体成分的体积分数。

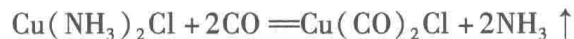
(1) 氢氧化钾溶液吸收三原子气体,其化学反应式为



(2) 焦性没食子酸碱溶液吸收氧气,其化学反应式为



(3) 氯化亚铜氨溶液吸收一氧化碳气体,其化学反应式为



三、实验设备

(一) 奥氏烟气分析仪

奥氏烟气分析仪的结构如图 1-3-1 所示,量筒 10 用以量取待分析的烟气,其上有刻度(0~100 mL),可以直接读出烟气的体积。量筒外侧套有盛水套筒 12,此盛水套筒保证烟气密度不受或少受外界气温影响。水准瓶(平衡瓶)11 由橡皮软管与量筒相连,内装有微红色的封闭液;水准瓶降低或升高,即可进行吸气取样或排气工作。

吸收瓶 1、2、3 中依次灌有氢氧化钾、焦性没食子酸碱和氯化亚铜氨吸收液,分别用以吸收烟气中的 RO_2 、 O_2 和 CO 气体成分。

(二) 烟气取样装置

烟气取样装置由两个 2 500~5 000 mL 的玻璃溶液瓶和橡皮连接管组成(图 1-3-2),或由薄膜抽气泵和塑料气球组成。前者适用于正压和常压下大量气体试样的采取,后者可用于较大负压烟气试样的采取。

四、实验方法及数据处理

(一) 烟气取样

(1) 排出取样管路和取样瓶中的废气。将与烟气取样管 3(图 1-3-2)接通的取样瓶 1 置于高位,盛流出溶液的瓶 2 放在低位,打开夹子 5,使溶液流入瓶 2,烟气进入瓶 1。瓶 1 充满烟气后,先提升瓶 2,再旋转三通旋塞 4 使之与大气相通,将瓶 1 中的烟气排尽,关闭三通旋塞。如此重复操作 2~3 次,即可正式取样。

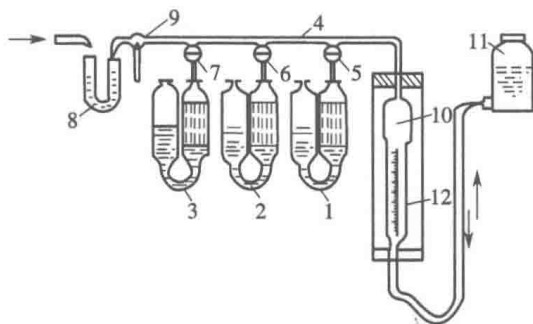


图 1-3-1 奥氏烟气分析仪

1、2、3—烟气吸收瓶;4—梳形管;5、6、7—旋塞;8—U 形过滤器;
9—三通旋塞;10—量筒;11—水准瓶;12—盛水套筒

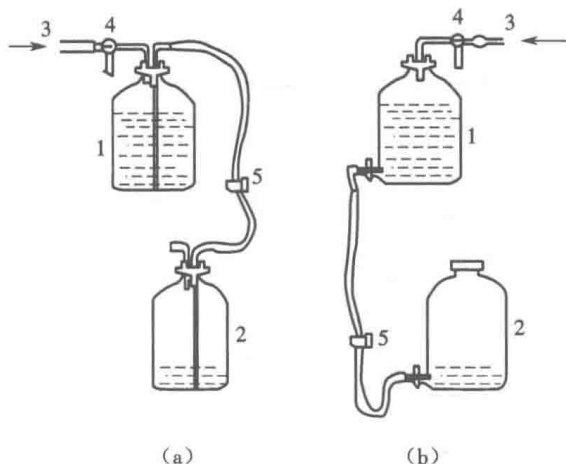


图 1-3-2 烟气取样装置

(a) 瓶中插有玻璃取样装置 (b) 瓶中没有玻璃取样装置

1—取样瓶;2—盛流出溶液的瓶;3—与气体通道相连的管;4—三通旋塞;5—夹子

(2) 烟气取样。旋转三通旋塞使瓶 1 与取样管接通,置瓶 2 于低位,烟气随封闭液的流出而进入瓶 1。取样速度可通过调节夹子的松紧加以控制,一般数分钟至半小时采集一瓶烟气试样。

取样完毕后关闭三通旋塞,夹紧夹子,将封闭的取样瓶 1 取下,送实验室或供现场作烟气分析用。

(二) 烟气分析

(1) 排出废气。连接奥氏烟气分析仪与烟气取样瓶(或锅炉烟道)后,在放低水准瓶的同时打开三通旋塞 9,吸入烟气试样;继而旋转三通旋塞,升高水准瓶将这部分烟气与管中空气的混合气体排至大气。如此重复操作数次,以冲洗整个系统,使之不残留非试样气体。

(2) 烟气取样。放低水准瓶,将烟气试样吸入量筒,待量筒中的液面降到最低标线——“100”(mL)刻度线以下少许,保持水准瓶和量筒的液面处在同一水平,关闭三通旋塞。稍等片刻,待烟气试样冷却再对零位,至恰好取 100 mL 烟气为止。

(3) 烟气分析。先抬高水准瓶,后打开旋塞 5,将烟气试样通入吸收瓶 1 吸收其中的三

原子气体 RO_2 ，往复抽送 4 ~ 5 次后，将吸收瓶内吸收液的液面恢复至原位，关闭旋塞 5。对齐量筒和水准瓶的液位后，读取烟气试样减小的体积。然后再次进行吸收操作，直到烟气体积不再减小为止。至此所减小的烟气体积，即为二氧化碳和二氧化硫的体积分数之和—— $V_{\text{RO}_2}(\%)$ 。

在 RO_2 被吸收以后，依次打开第二、第三个吸收瓶，用同样方法即可测出烟气试样中氧气和一氧化碳的体积分数—— V_{O_2} 和 $V_{\text{CO}}(\%)$ ，最后剩余的体积分数便是氮气的体积分数—— $V_{\text{N}_2}(\%)$ 。

由于焦性没食子酸碱溶液既能吸收 O_2 ，也能吸收 RO_2 ，氯化亚铜氨溶液在吸收 CO 的同时也能吸收 O_2 ，所以烟气分析的顺序必须是 RO_2 、 O_2 和 CO ，不可颠倒。

(三) 实验数据处理

因为含有水蒸气的烟气在奥氏烟气分析仪中一直与水接触，始终处于饱和状态，因此测得的体积分数是干烟气各成分的体积分数，即

$$V_{\text{RO}_2} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{CO}} + V_{\text{N}_2} = 100\%$$

如烟气试样的体积为 V ，吸收 RO_2 后的读数为 V_1 ，则

$$V_{\text{RO}_2} = \frac{V - V_1}{V} \times 100\% \tag{1-3-1}$$

烟气试样再顺序通过吸收瓶 2 和 3，吸收 O_2 和 CO 后的读数分别为 V_2 、 V_3 ，则有

$$V_{\text{O}_2} = \frac{V_1 - V_2}{V} \times 100\% \tag{1-3-2}$$

$$V_{\text{CO}} = \frac{V_2 - V_3}{V} \times 100\% \tag{1-3-3}$$

烟气分析可采用表 1-3-1 所示的记录表格。

表 1-3-1 烟气分析实验记录表

燃用煤种 _____ 取样地点 _____ 实验日期 _____			时间					平均值
项目								
烟气试样体积 V		mL						
RO_2	吸收后的读数 V_1	mL						
	分析值	%						
O_2	吸收后的读数 V_2	mL						
	分析值	%						
CO	吸收后的读数 V_3	mL						
	分析值	%						

五、思考题

(1) 进行烟气分析时，要求烟气试样顺序进入 RO_2 、 O_2 及 CO 的吸收瓶进行吸收，该顺序