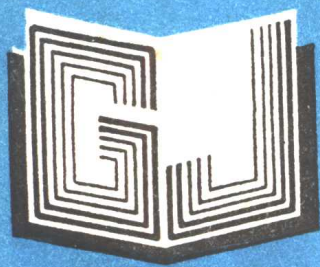


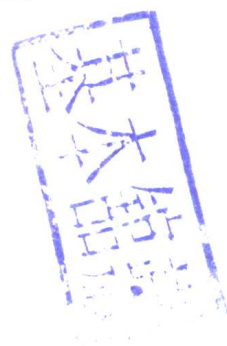
- 921860



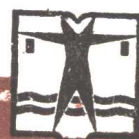
高等学校教材

锅炉实验

上海电力学院 金维强 主编



33



高等学校教材

锅炉实验

上海电力学院 金维强 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书主要阐述锅炉实验基本知识,包括:燃煤的工业分析、发热量、灰熔点、可磨性指数以及煤粉细度、均匀度的实验原理与测试方法;烟气成分分析、炉膛灰平衡、锅炉热效率的实验原理与试验方法;炉膛冷态模拟与旋流燃烧器特性的实验原理与试验方法;受热管的汽水两相强迫流动与不受热并联平行管的流量偏差的实验原理与试验方法。还介绍了自然水循环的演示实验。

本书是高等学校电厂热能动力专业锅炉实验教材,亦可供锅炉运行和调试的工人、技术人员参考。

高 等 学 校 教 材

锅 炉 实 验

上海电力学院 金维强 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 7.75印张 174千字

1990年10月第一版 1990年10月北京第一次印刷

印数0001—7600册

ISBN 7-120-01141-3/TK·191

定价1.65元

前 言

本书是根据能源部[1989]1067号文制定的“1990~1992年高等学校教材编审出版计划”与电厂热能动力专业“锅炉原理课程教学基本要求”编写的，是“锅炉原理”课程的辅助教材，旨在使学生获得必要的锅炉实验知识及训练。

本书所列实验主要是“教学基本要求”规定学生应做的或争取做的实验，部分内容可供学生阅读，以充实《锅炉原理》教材的一些基本的、重要的概念。

本书由金维强同志任主编。第五章实验一和实验二由章德龙同志编写，其它部分由金维强同志编写。

在编写本书过程中，参考了浙江大学、山东工业大学、西安交通大学等院校提供的宝贵资料。东北电力学院袁荣泉同志对全稿进行了全面仔细的审阅，提出了指导性的意见，在此表示衷心感谢。

编 者

1989.12.

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 锅炉实验的目的与分类	1
第二节 实验大纲与实验报告	2
第三节 数据整理	3
第二章 燃煤实验	6
实验一 燃煤的工业分析	6
实验二 燃煤发热量的测定	14
实验三 煤灰熔融性的测定	25
实验四 煤粉细度与均匀度的测定	29
实验五 燃煤可磨性指数的测定	32
第三章 燃烧实验	38
实验一 烟气成分分析	38
实验二 炉膛的灰平衡测定	42
实验三 锅炉热效率的测定	55
第四章 炉膛空气动力场实验	33
实验一 五孔探针测量空间气流	33
实验二 炉膛冷态模化试验	90
实验三 旋流燃烧器阻力系数的测试	98
实验四 旋流燃烧器空气动力场测试	102
第五章 锅内流动实验	105
实验一 自然水循环演示实验	105
实验二 受热管的汽水两相流强迫流动实验	107
实验三 并联平行管冷态流量偏差实验	115
参考文献	119

第一章 概 述

第一节 锅炉实验的目的与分类

锅炉实验是锅炉教学中的重要环节。锅炉实验的目的是：使学生获得锅炉实验技能的基本训练，掌握锅炉实验的基本方法，学会常规测量仪器的使用方法，同时还借助实验中显示的物理化学的现象和数据，进一步深化对“锅炉原理”课中的有关重要概念和理论的理解。

根据教学要求，实验设备和现场条件，锅炉实验可分成三类：

(1) 示范性实验 教师进行实验表演，学生在明确实验目的和实验原理的基础上，观察在实验过程中显示的具体的化学、物理现象。

(2) 模仿性实验 学生在已组合好的试验台上，根据实验指导书规定的实验目的、实验原理、实验内容和实验方法，在教师的指导下动手做实验。模仿性实验包括：学习与掌握实验指导书、实验原理和试验台；调整试验工况、建立试验条件；记录实验过程、试验工况及测试数据等；整理实验数据并进行必要的计算，绘制特征曲线，分析实验结果，编写实验报告。

(3) 设计性实验 学生根据实验任务书中的目的和要求，在教师指导下独立完成实验全过程。设计性实验包括：研究与掌握实验任务书中的目的、要求和实验原理，调查研究实验设备、测试条件、现场条件及有关技术资料 and 文献；设计实验方案、编写实验大纲；建立试验台，校验或标定测试表计和仪器；调整试验工况，建立试验条件；记录实验过程、试验工况及测试数据等，整理实验数据并进行必要的计算，绘制特征曲线，分析实验结果，编写实验报告。

此外，按实验内容又可分为单项性实验和综合性实验。例如：煤的挥发分测定是单项性实验；锅炉热平衡试验的目的是测定锅炉的热效率，而热效率是各项热损失指标的综合，故是综合性实验。

影响实验测定指标的各种物理、化学条件称为因素（或称因子）。一个因素的量级数称为水平数。某实验的因素可以是单因素的，亦可以是多因素的。因素的水平可以是单水平的，亦可以是多水平的。这样，实验可分成单因素单水平实验、单因素多水平实验、多因素单水平实验和多因素多水平实验等。如锅炉热效率试验中，过量空气系数、煤粉细度、一次风率，以及一、二次风的风速和风温等都对热效率指标有影响，故称为多因素实验。在锅炉实验中，规定在设计工况下测定锅炉热效率是多因素单水平实验；对过量空气系数、煤粉细度、一次风率、风速等因素取2~3个水平（如炉膛出口过量空气系数 α' 取1.1、1.15、1.2三个水平，煤粉细度取 R_{90} = 15%、16%和17%三个水平等）组合，求锅炉最佳热效率的燃烧调整试验，即是多因素多水平实验。

第二节 实验大纲与实验报告

实验开始前，应先确定实验方案，编写实验大纲。实验大纲是实施实验的纲领性文件。实验结束，要整理实验报告。实验报告是表明实验成果的文件。

一、确定实验方案

实验方案是实验的总体设想。拟定实验方案时，要根据现场的实际条件，确定实验所需设备和试验台，实验仪器和表计，测试方法和技术要求，测试人员的组织（包括人员的素质和数量），实验材料，提出实验所需经费预算等。制订的实验方案应满足安全、经济和测量精度的要求。

二、编写实验大纲

实验大纲是在完成实验方案设计后编制的，用于指导实验的全过程，故称为实验的纲领性文件。

实验大纲一般包括以下基本内容：

- （1）实验任务 明确实验对象、实验技术条件和技术目的。
- （2）实验原理 说明实验理论根据和计算根据。
- （3）实验装置 说明实验设备，表计、仪器，测量系统等。
- （4）实验方法与要求 说明实验工况，实验技术条件和技术要求，实验的安全措施，实验的阶段和程序，测量项目与记录时间间隔，测量技术要求。
- （5）实验人员组成与分工 应根据实验操作、测量记录等工作组织实验人员（数量、工种、技术素质要求），制订对实验人员的培训计划。
- （6）实验进度计划 实验进度计划包括：实验准备，实验日期，实验次数（包括预备性实验），每次实验延续的时间，实验数据整理和计算完成日期，实验报告完成日期。

三、完成实验报告

实验报告是在分析实验过程中观察到的物理、化学现象，并对测定的数据进行整理、分析和综合的基础上，论述实验目的、实验条件和实验原理，以分析实验结果为重点内容的技术文件。

实验报告的内容一般有：

- （1）实验概述 说明实验目的，实验设备，测试系统与测试方法，实验方法与实验过程。
- （2）实验原理 说明实验的理论根据和计算根据。
- （3）计算结果汇总表 对整理后的实验数据与计算结果编制成汇总表，必要时还应绘制实验特征曲线。
- （4）实验结果分析 对实验工况、实验过程和实验结果进行分析，进行评价和提出建议。

第三节 数 据 整 理

一、数据整理的目的与测试记录表

实验过程中记录的测量数据是实现实验目的的基础。通常，直接测量的数据需要整理，进行编序、筛选、修正和平均后，才能用于计算实验指标和绘制特征曲线。

实验数据的正式整理是在测试结束之后进行的。可是，在实验测试过程中或测试刚结束时应进行数据的预整理，以便及时评定实验的正确性和可靠性，一旦发现问题可即时纠正或补做。预整理是局部的、粗略的、简明的初步整理。

为了获得完整可靠的数据，应事先制订测试数据记录表。测试数据记录表是在实验过程中记录数据的一种表格形式，它的完整性和合理性是做好数据整理工作的必要条件。记录表格可由实验者根据实验内容、实验目的和测试项目等制订。测试数据记录表应包括各测量量的记录时间、数据及单位，测点位置，测试工况等内容。

二、数据整理的一般程序

实验记录数据的整理，一般按以下程序进行：初筛记录数据；将数据编号并进行必要的换算和修正；删去疏忽误差和偶然误差偏大的数据；计算实验指标和编制汇总表；绘制特征曲线。下面论述各项内容。

(一) 初筛测试记录数据

1. 删去偏离工况的数据

测试期间，由于各种原因，实验工况会发生波动。在允许波动范围内的工况是有效的，超过允许波动范围的工况则无效。无效数据应删去。

假设表征实验工况的参数为 C ，其允许波动范围为 $\Delta C_1(\%)$ 和 $\Delta C_2(\%)$ ，则

$$\Delta C_1 = \frac{C_{\max} - C}{C} \times 100 \% \quad (1-1)$$

$$\Delta C_2 = \frac{C_{\min} - C}{C} \times 100 \% \quad (1-2)$$

由式(1-1)和式(1-2)可算出允许的最大参数 $C_{\max}$ 和最小参数 $C_{\min}$ ：

$$C_{\max} = \left(1 + \frac{\Delta C_1}{100}\right) C \quad (1-3)$$

$$C_{\min} = \left(1 + \frac{\Delta C_2}{100}\right) C \quad (1-4)$$

所有 $C > C_{\max}$ 和 $C < C_{\min}$ 的工况都应删去，当然，对应的测试记录数据也应删去。这样，可能使有效实验工况段中的个别点亦删去了。如果删去的点数超过有效工况段全部实验点的20%，则该段工况无效。

2. 删去偏离一致性时间的数据

所有有效记录数据和工况观察记录的时间必须协调一致，偏离一致性时间的数据应删去。

通过初筛后的数据应重新排列序号和制成表格。

(二) 数据的换算和修正

1. 数据的换算

对物理状态或单位不一致的各物理量要进行换算, 如: 非标准状态换算成标准状态, 压力单位换算, 温度单位换算, 时间单位换算等; 各记录表计的记录曲线坐标单位要换算成统一的单位; 对间接测量的数据要算出其目标量(如由差压计的压差算出流量)。

2. 数据的修正

在测量系统中, 测量仪器不完善、仪表装置位置等影响会引起测量误差, 如玻璃温度计刻度标尺和中心毛细管不均匀造成的测量误差, 压力表与测点间位置高度差造成的测量误差。这种误差具有恒定值(正或负), 可用定值常数对其修正, 将误差消除。

(三) 删去疏忽误差或偶然误差偏大的数据

测量记录数据时, 由于测试人员疏忽读错或测量方法不正确等造成的测量数据误差称疏忽误差, 其值常大于允许误差, 应删去。偶然误差是由于仪器的内摩擦、零位位移或工况波动等引起的。偶然误差大于允许值的数据也应删去。

删去疏忽误差或偶然误差偏大的数据, 可按下述方法进行(假设检查数据为 C)。

第一步, 在一个工况阶段内对重复测量的数据取其算术平均值

$$C_{\text{平}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (1-5)$$

式中 n ——重复测量次数;

C_i ——第 i 次测定值。

第二步, 计算偏差平方和

$$\sum_{i=1}^n (C_{\text{平}} - C_i)^2 \quad (1-6)$$

第三步, 计算均方根误差 σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{\text{平}} - C_i)^2}{n-1}} \quad (1-7)$$

最后根据判别式判别

$(C_{\text{平}} - C_i) \leq \sigma$ 时, C_i 留用;

$(C_{\text{平}} - C_i) > \sigma$ 时, C_i 删去。

(四) 数据计算和编制汇总表

测试记录数据通过以上要求整理后留下的数据称有效数据。逐个计算一个实验工况的有效数据的算术平均值

$$a_{\text{平}} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \quad (1-8)$$

式中 a_i ——一个工况下第 i 个有效数据;

n ——一个工况下的有效数据个数。

一个工况下如有多个类别的测试数据，则应分别计算其平均值。

最后，利用整理后的数据，计算实验指标值。

(五) 绘制特征曲线

多工况实验的重要因素与指标之间的函数关系，或时间、距离等参数与重要因素或指标之间的函数关系可绘制成曲线图，或称特征曲线。特征曲线可直观地示出有关参量的变化趋势和特性，如工质温度与时间的函数关系、过量空气系数与锅炉热效率的函数关系等，都可用特征曲线表示。

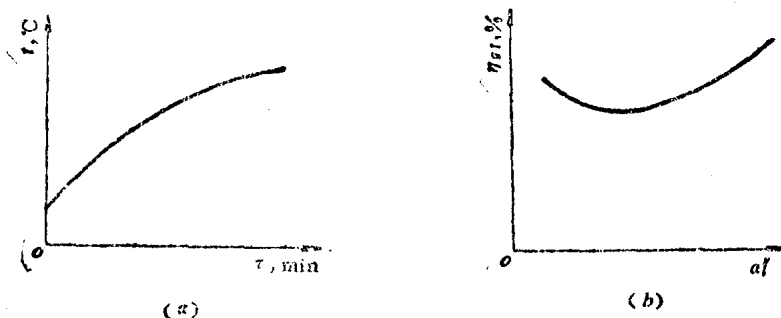


图 1-1 特征曲线示例

(a) $t = f(\tau)$ 特征曲线; (b) $\eta_{sl} = f(\alpha_l)$ 特征曲线

t —工质温度; τ —时间; η_{sl} —锅炉热效率; α_l —炉膛出口过量空气系数

绘制特征曲线要注意以下几点:

(1) 绘制特征曲线要求仅有一个独立变量，其余的参数都保持不变。例如绘制 $\eta_{sl} = f(\alpha_l)$ 特征曲线时，炉膛出口过量空气系数 α_l 为独立变量（因素），影响 η_{sl} 的其余参数（如锅炉蒸发量 D 、煤粉细度 R_9 、一次风率 r_1 等）都保持不变。实际上，这些参数始终是波动的，只是在试验工况下控制其在允许波动范围内而已。

(2) 由于测量误差、读数误差和工况的波动，不可能使所有试验点都落在特征曲线上，但应有75%以上的试验点落在曲线上才是正确的（见图1-2）。

(3) 绘制特征曲线时，要求绘制者不仅对所表示的物理过程有正确、明晰的概念，也要熟悉某一条件对测量产生的影响，使曲线有正确的规律。

(4) 特征曲线可绘制在坐标纸上，坐标的比例尺选择要适当。比例过小，绘出的曲线将过于平坦，比例过大，又会导致图上的点过于分散，以致难以确定试验点分布的规律。

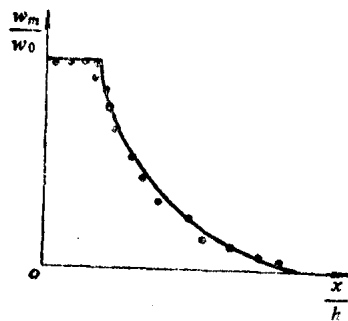


图 1-2 应有75%以上试验点落在特征曲线上

第二章 燃 煤 实 验

实验一 燃煤的工业分析

一、实验目的

煤的工业分析又叫煤的实用分析。它通过规定的实验条件测定煤中水分、灰分、挥发分和固定碳等质量含量的百分数，并观察评判焦炭的粘结性特征。煤的工业分析是锅炉设计、灰渣系统设计和锅炉燃烧调整的重要依据。通过煤的工业分析实验，可进一步巩固煤的工业分析成分概念，学会煤的工业分析方法与有关仪器、设备的使用知识。

煤的工业分析采用分析试样，其成分质量百分数在上角用分析基 f 表示。

二、煤工业分析的基本原理

煤中的水可分为游离水和化合水。游离水以附着、吸附等物理现象同煤结合；化合水以化学方式与煤中某些矿物质结合，又称结晶水（如硫酸钙结晶水 $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、高岭土结晶水 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 等）。煤中游离水称为全水分。其中一部分附着在煤表面上，称外部水分；其余部分吸附或凝聚在煤颗粒内部的毛细孔中，称内部水分。煤中的全水分在稍高于 100°C 下，经过足够的时间，可全部从煤中脱出。

煤的工业分析测定的是煤的全水分。根据煤样的不同，又分原煤样的全水分（应用基水分 W' ）和分析煤样水分 W^f 。在实验室条件下，去除煤外部水分后的试样称为煤分析试样。制取分析试样的方法是先将 3 mm 以下的 0.5 kg 原煤倒入方形浅盘中，使煤层厚度不超过 4 mm 。然后，把煤盘放在 $70\sim 80^\circ\text{C}$ 烘箱中干燥 1.5 h 。取出煤盘，将煤粉碎到 0.2 mm 以下，在实验室的温度下冷却并自然干燥 24 h 。

煤的灰分是指煤完全燃烧后留下的残渣。它与煤中存在的矿物质不完全相同，这是因为在燃烧过程中矿物质在一定的温度下发生一系列的氧化、分解和化合等复杂反应。

煤的挥发分是煤在隔绝空气条件下受热分解的产物。它的产生量、成分结构等与煤的加热升温速度、温度水平等有关。挥发分不是煤中的现存成分。

由上述可知，煤工业分析必须规定明确的实验条件，测定的水分、灰分、挥发分等含量是在一定实验条件下得到的，是一种相对的鉴别煤工业特性的成分数据。通过煤的工业分析，即可大致了解该种煤的经济价值和基本性质。

三、分析基水分测定

（一）方法要点

称取一定质量的分析试样，置于 $105\sim 110^\circ\text{C}$ 的烘箱中干燥至恒重，其失去的质量占试样质量的百分数即为分析试样水分或分析基水分 W^f 。

（二）实验设备仪器

1. 电热风箱

实验用的电热风箱应带有自动调温装置，能维持 $105\sim 110^\circ\text{C}$ 恒温。风箱内的通风方式

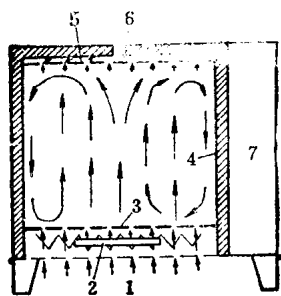


图 2-1 自然通风烘箱原理图

1—空气入口；2—电热丝组；3—扩散孔板；4—绝热层；5—均匀孔板；6—箱顶排气孔；7—控制室

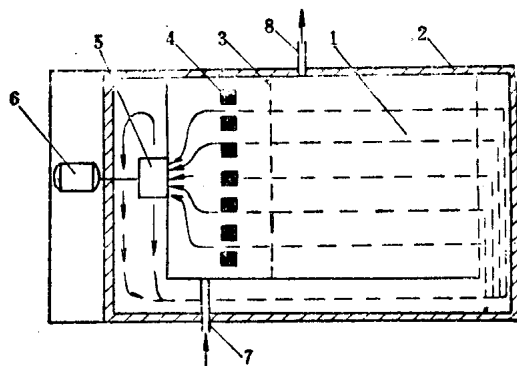


图 2-2 机械通风烘箱原理图

1—空气入口；2—绝热层；3—扩散孔板；4—电热丝组；5—鼓风机；6—电动机；7—空气入口；8—排气孔

可区分为自然通风（图2-1）和机械通风（图2-2）两种。

2. 小型玻璃称量瓶（或瓷皿）与干燥器

带有磨口盖的小型玻璃称量瓶的直径为40mm,高为25mm。瓷皿也带盖,直径为40mm。干燥器内装干燥剂（未潮解的块状氯化钙或相对密度不低于1.84的浓硫酸），以保持试样与容器的干燥。

3. 分析天平

普通分析天平如图2-3所示，可精确到0.0002g。

天平的横梁中间装有指针1，用以观察梁的摆动或倾斜度。在指针尖端处的天平立柱上装有指针标尺2，便于观察横梁的倾斜度。天平横梁中央固定着一个三棱形玛瑙刀口8，搁于磨光的玛瑙刀承上，形成横梁的支点。横梁的两端各有一个刀棱向上的玛瑙刀口，称边刀，棱上悬着有刀承的吊耳。天平盘挂在吊耳的挂钩上。横向的中刀与两边刀的棱不但必须完全平行，而且要位于同一水平面上。制动转扭4可把横梁托起，使刀口架空而不与刀承接触（即天平处于“休止”状态），以防磨损。横梁的两端装有调节摆动平衡的螺母3，上方装有调节重心的螺母9，前方有放游码7和标尺12，其零点刻度对准中刀。天平外罩底部有三只脚，前面的两只装有螺旋5，用以调节天平的水平度。悬锤14或水准器检查天平的水平度。

使用天平应按下述步骤进行：

（1）使用天平时，前玻璃门应关闭，取放砝码或称量物时只使用两侧的玻璃门。称量读数时两侧玻璃门关闭，以防气流流动影响称量。

（2）取放砝码或称量物必须使用镊子，绝对不允许用手直接接触。称量物放在左盘，砝码放在右盘，均应置于盘的中心，以减少天平示值变动。

（3）向天平盘中添加（或取出）砝码或称量物时，或在刻度尺上移动游码、开关外罩的玻璃门时，都必须先转动制动转扭，使天平休止，否则天平梁上的刀刃将受到冲击，降低天平精度。当振动过大时，甚至会使横梁失去平衡坠落下来，损坏天平。

（4）往天平盘中加减砝码必须按照一定的顺序，即从质量大致等于称量物的砝码开始。如显示过重，则换用仅小于它的砝码，在这基础上再加适当的小砝码，直至天平平衡。

为止。在 天平接近平衡前，用制动转扭将横梁托架稍微下降一些，如果发现指针向一边偏转，则需立即升起，调整盘中的砝码，直到指针偏转量很小时，方可放开制动转扭，以求天平的平衡位置。

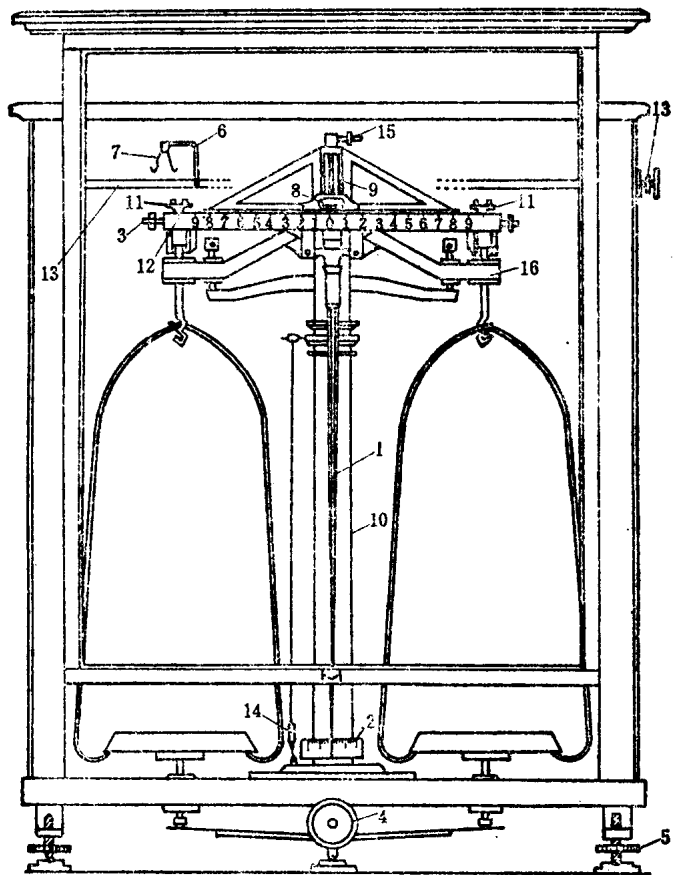


图 2-3 普通分析天平

1—指针；2—指针的刻度标尺；3—平衡调整螺母；4—制动转扭；5—水平调整螺母；6—游码钩；
7—游码；8—玛瑙中刀；9—重心调整螺母；10—立柱；11—吊耳；12—游码刻度尺；13—操纵杆；
14—悬钩；15—零点调整螺母；16—翼子板

(5) 旋转制动转扭时，应缓慢均衡，使天平横梁很平稳地启动或休止。如指针在摆动中，应选择指针接近中心零点的位置休止，否则横梁将受到很大的振动和冲击。

(6) 天平已达平衡后，就可计算加在天平盘上的砝码总质量。首先按照砝码盒中的空穴计算一次，然后在把砝码逐一放回空穴时再计算一次。每台天平有固定的专用砝码，不应东挪西借。游码不必取出，但应挂在游码钩上。

(7) 天平使用前和用完后，都应检查天平是否已制动，砝码是否齐全和放在盒内原空穴上，游码是否挂在钩上，天平是否清洁，玻璃门是否扣紧，布罩是否盖好等。

使用天平的注意事项：

(1) 在一个实验中应使用同一架天平和砝码。

(2) 称量物不能超过天平最高载量，一般不宜超过最高载量的一半。

(3) 不能在天平上称过冷或过热的试样。

(4) 称量物必须放在容器内, 不允许直接接触天平盘。

(5) 手不能直接接触天平、砝码和称量物容器。

(三) 实验方法

将已烘干的称量瓶(或瓷皿)加盖称其质量, 精确到0.0002g, 并保持质量不变。称取分析试样 1 ± 0.1 g, 精确到0.0002g, 倒入称量瓶(或瓷皿)中, 将盖半开, 放到已预先加热到105~110℃的烘箱内进行干燥。无烟煤干燥1~1.5h, 烟煤、褐煤干燥1h。然后, 取出称量瓶(或瓷皿)加盖, 先在空气中冷却2~3min, 再放入干燥器中冷却到室温, 再称质量。以后, 重复烘30min, 冷却, 称质量检查, 直至质量减少小于0.001g或质量开始增加时为止。在后一种情况下, 以质量增大前的一次质量为计算依据。水分在2%以下时, 可不进行检查性试验。

(四) 计算与允许误差

煤分析试样干燥后减少的质量占原质量的百分数即为分析试样(或分析基)水分含量 W'

$$W' = \frac{\Delta G_w}{G} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 ΔG_w ——煤分析试样干燥后减少的质量, g;

G ——煤分析试样质量, g。

工业分析水分测定允许误差见表2-1。

四、分析基灰分测定

(一) 方法要点

将分析试样放入逐渐升温的马弗炉内缓慢燃烧, 然后在 $815 \pm 10^\circ\text{C}$ 下灼烧至恒重。灼烧后残渣的质量占原试样质量的百分数即为分析基的灰分 A' 。

(二) 实验设备仪器

1. 马弗炉

马弗炉又名高温电炉, 炉膛内最高温度可达1000℃, 常用温度在950℃以下, 带有调温装置。炉膛内有恒温区。炉子后壁上部有直径为20~30mm的烟囱, 下部有插热电偶的小孔。小孔位置应使热电偶测点在炉内距炉底20~30mm。炉门上应有直径约为20mm的通气孔。

2. 分析天平

参看图2-3。

3. 灰皿与其它

(1) 灰皿, 呈长方形(底长45mm、宽22mm, 高14mm)。

(2) 干燥器, 参见图2-1、图2-2。

(3) 长柄坩埚钳。

表 2-1 工业分析水分测定允许误差

水分 W' (%)	同一实验室允许误差(%)
<5	0.20
5~10	0.30
>10	0.40

(4) 耐热金属丝架或瓷板, 其宽度略小于炉膛宽度, 长度根据炉膛内恒温区的位置确定。

(三) 实验方法

称取煤的分析试样 $1 \pm 0.1\text{g}$, 准确到 0.0002g , 倒入已处理且质量恒定的灰皿内, 用摆动方法使煤样摊平, 放入温度不超过 100°C 的马弗炉中。如与水分联测, 则把测定水分后装有试样的瓷皿放入马弗炉中。炉门留有 15mm 左右的缝隙(或打开炉门上的通风孔), 保持自然通风, 在 30min 内使炉温缓慢升至 500°C , 在此温度下维持 30min , 然后继续升温到 $815 \pm 10^\circ\text{C}$, 关闭炉门, 维持恒温, 灼烧 1h 。取出灰皿, 先放在石棉板上冷却 5min , 再移入干燥器冷却到室温, 称质量。以后, 进行每次 30min 的检查性灼烧、称质量, 直至质量变化小于 0.001g 为止。最后一次质量作为计算依据。煤样灰分含量小于 15% 时, 可不进行检查性灼烧。

(四) 计算与允许误差

煤试样灼烧后残留的质量占原分析试样质量的百分数即为分析试样的灰分 A'

$$A' = \frac{G_A}{G} \times 100\% \quad (2-2)$$

式中 G_A ——分析试样(或水分联做的试样)灼烧后残留物的质量, g ;

G ——原分析试样质量, g 。

表 2-2 工业分析灰分测定允许误差

灰分 A' (%)	同一实验室允许误差 (%)
<15	0.20
15~30	0.30
>30	0.50

工业分析灰分测定允许误差见表2-2。

五、分析基挥发分测定

(一) 方法要点

将煤分析试样放入挥发分坩埚中, 在规定的温度下, 隔绝空气加热, 其持续时间按规定确定。试样失去的质量减去水分质量后占试样原质量的百分数即为分析基的挥发分 V' 。

煤的挥发分与实验时所用坩埚的大小和材料, 加热温度的高低和加热持续的时间等实验条件有关。各国测定挥发分的实验条件不同(见表2-3), 不同实验条件下的挥发分产率不能进行对比。我国挥发分测定实验条件规定如下: 采用带严密盖的特定瓷坩埚, 在 $900 \pm 10^\circ\text{C}$ 下持续加热 7min 。

(二) 实验设备仪器

1. 马弗炉

应有热电偶、高温表与调温装置, 炉后部有一排气孔和插热电偶小孔, 热电偶测点距炉膛底部 $20 \sim 30\text{mm}$ 。炉膛恒温区温度应为 $900 \pm 5^\circ\text{C}$ 。

2. 分析天平

参看图2-3。

3. 压饼机

压饼机原理示于图2-4。用压饼机将煤试样压制成直径 10mm 煤饼。

表 2-3

各国挥发分测定标准

国 名	坩 埚 材 料	高 温 炉 型	加 热 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	加 热 时 间 (min)
英 国	石 英	马 弗 炉	900	7
法 国	瓷 或 铂	马 弗 炉	900	7
美 国	铂	管式炉或马弗炉	950 ± 20	7
联邦德国	石 英	管式炉或马弗炉	900	7
日 本	铂	管式炉或马弗炉	925	7
意 大 利	铂	电炉或煤气灯	950 ± 20	7
荷 兰	铂	煤 气 灯	1000 ± 40	7
波 兰	石 英	管式炉或煤气灯	875 ± 10	约3min到875 $^{\circ}\text{C}$ 再持续3min
瑞 典	铂	马弗炉或煤气灯	950	7
奥 地 利	铂	马弗炉或煤气灯	875	7
苏 联	瓷或石英	马 弗 炉	850 ± 10	7
比 利 时	石英或铂	马 弗 炉	1050	30~40
国际(ISO)	石 英	马 弗 炉	900	7

4. 其它器具

(1) 挥发分坩埚用于盛放试样。挥发分坩埚较深并有盖,上口内径为30mm,高40mm,质量约为15~19g。

(2) 坩埚架 用以放置坩埚,由耐高温金属丝制成。每个坩埚架可放置4~8个坩埚,以不超过恒温区为限。坩埚架上的坩埚底与炉底相距20~30mm。

(3) 坩埚架夹子 用于夹取坩埚架。

(4) 秒表 用以计时。

(三) 实验方法

称取分析试样 $1 \pm 0.1\text{g}$,准确到0.0002g。褐煤与高挥发分烟煤要预先压成煤饼,再切成粒径为3mm的颗粒,以防试样爆燃飞散而造成质量损失。称取的试样放于已预先在 900°C 下达到恒质量的挥发分坩埚中,加盖。将坩埚放于坩埚架上,将坩埚架移至已加热到 $900 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的马弗炉的恒温区内,立即开动秒表,关闭炉门,使试样在炉中持续加热7min。迅速从炉内取出坩埚,先在空气中冷却5min,再将坩埚移至干燥器中冷却到室温(约需20min),最后称其质量。

注意,坩埚架移入马弗炉时,炉温稍有下降,但要求在3min内必须使炉温恢复到 $900 \pm 10^{\circ}\text{C}$,否则试验作废。若坩埚或坩埚盖的内表面聚有黑烟,则此次试验也作废。应找出原因,予以改正。

(四) 计算与允许误差

煤分析试样经7min、 $900 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 加热后减轻的质量占原煤质量的百分数,减去分析试

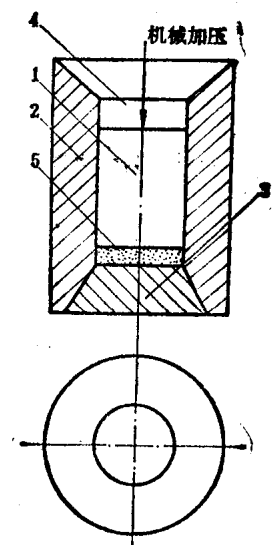


图 2-4 压饼机原理示意图

1—压模; 2—模体; 3—活底; 4—模槽;
5—煤试样

样的水分质量含量 W^f ，即为分析试样的挥发分 V^f

$$V^f = \frac{\Delta G_v}{G} \times 100 - W^f \% \quad (2-3)$$

式中 ΔG_v ——煤分析试样在挥发分测定中失去的质量，g；

G ——分析试样的质量，g。

工业分析挥发分测定允许误差见表2-4。

表 2-4 挥发分测定允许误差

挥发分 (%)	同实验室测定允许误差 (%)
<20	0.30
20~40	0.50
>40	0.80

六、焦渣特征与固定碳的计算

(一) 焦渣特征

挥发分测定后，坩埚中残留物称焦渣，焦渣是灰与固定碳的结合物。通过对焦渣特征的观察，可初步鉴定其粘结性。焦渣特征可区分成八类：

(1) 粉状 全部是粉末，没有相互粘着的颗粒。

(2) 粘着 用手指轻压即碎成粉状。

(3) 弱粘着 用手指轻压即碎成碎块。

表 2-5 燃煤工业分析实验记录

记录人_____		实验编号_____		
班 级_____		记录日期_____月_____日		
序 号	项 目 名 称	符 号	单 位	数 值
1	水分测定			
2	称量瓶质量	G_1	g	
3	分析基试样质量	G_2	g	
4	烘箱温度	t_1	℃	
5	试样在烘箱内干燥时间	τ_1	min	
6	干燥后的试样与称量瓶总质量	G_3	g	
	第一次			
	第二次			
	第三次			
	第四次			
7	灰分测定			
8	灰皿质量	G_4	g	
9	分析基试样质量	G_5	g	
10	马弗炉由100℃升至500℃时间	τ_2	min	
11	试样灼烧温度	t_2	℃	
12	在灼烧温度下试样灼烧时间	τ_3	min	
13	灼烧后的试样与灰皿总质量	G_6	g	
	第一次			
	第二次			
	第三次			
	第四次			