

司炉工节煤必读

# 工业锅炉经济运行

杜 涛 恒 编

司炉工节煤必读  
**工业锅炉经济运行**  
杜 涛 恒 编  
责任编辑 徐宝澍

浙江大学出版社出版  
浙江大学印刷厂印刷  
浙江省新华书店发行

开本787×1092 1/32 印张6 字数137千字

1985年12月第一版  
1985年12月第一次印刷  
印数0—20000

统一书号: 15337·010 定价1.15元

## 前 言

据一九八三年统计，全国拥有工业锅炉二十八万台，年耗原煤2.2亿吨。经测算，锅炉平均运行热效率为60%或略低，比鉴定热效率或设计热效率低10~15%。造成锅炉运行热效率低的主要原因是：燃烧设备漏煤、漏风严重；锅炉配套辅机一般都偏大；锅炉上缺乏必要的监测和计量仪表，因而司炉工无法随时了解运行中空气过剩系数、炉膛温度和负压等参数的变化情况，以作出相应的调整；司炉工虽经一定程度的培训，但一般侧重于安全运行，操作水平较低……。

一九八三年底，浙江省进行2吨/时和4吨/时锅炉司炉工操作比赛，经县、地（市）淘汰选拔的44对选手中，就锅炉热效率这一指标来说，参赛者中第一名比最后一名高出10%，技术差距很大。比赛结果是使炉渣含碳量降至最低者未能进入热效率优胜的前三名，而夺得第一名的是能把空气过剩系数控制在最佳值的操作者。有关空气过剩系数的一道理论题，有50%以上参赛者没有答对。由此可见，“配风”是当前提高锅炉运行水平的关键之一。

最近，杭州余热锅炉研究所等单位研制成空气过剩系数表，已在浙江新安江分析仪器二厂等厂批量生产，将给司炉工配风操作提供“眼目”。

若能把锅炉的运行热效率提高1%，全国每年可以节约上百万吨原煤。笔者经多年对锅炉的燃烧调整、测试鉴定实践发现，只要在司炉工智力上给予适当投资并增添少量监测仪表，就完全有可能使锅炉运行热效率提高2~3%，为此，针对锅炉运行配风中存在的问题，编写了本资料，希望能为节能作出点贡献。

本书承浙江大学岑可法教授审阅并提供了宝贵意见，谨致感谢。书中不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

一九八五年十一月

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一章 燃料的燃烧             | 1  |
| 第一节 燃料的元素组成和特性        | 5  |
| 一、元素的成分特性             | 5  |
| 二、元素分析基质              | 7  |
| 第二节 煤的燃烧特性成分          | 9  |
| 一、煤的工业分析              | 10 |
| 二、锅炉用煤的分类             | 12 |
| 第三节 燃料燃烧和空气量          | 14 |
| 一、可燃成分燃烧所需的空气量        | 15 |
| 二、理论空气量               | 16 |
| 第四节 煤的燃烧过程和燃烧条件       | 17 |
| 一、煤的燃烧过程              | 17 |
| 二、燃烧条件                | 20 |
| 第五节 过剩空气和空气过剩系数       | 21 |
| 第六节 燃料燃烧产生的烟气量        | 23 |
| 第二章 风室与风压特性           | 26 |
| 第一节 煤在炉中的燃烧方式         | 26 |
| 第二节 层燃法给煤送风方式与工作过程    | 27 |
| 一、给煤和送风方式             | 27 |
| 二、层燃炉工作过程             | 29 |
| 第三节 层燃炉的风室与送风特性       | 34 |
| 一、炉排上火床层和通风特性         | 34 |
| 二、分段送风                | 37 |
| 三、链条炉的风室结构            | 38 |
| 第四节 冷炉配风试验及配风不均匀性改进措施 | 43 |
| 一、冷炉配风试验              | 43 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 二、改进风室配风不均匀性的措施.....  | 45 |
| 第五节 侧密封结构与堵漏.....     | 47 |
| 一、侧密封的结构型式.....       | 47 |
| 二、侧密封的堵漏.....         | 48 |
| 第三章 通风力与调节控制.....     | 51 |
| 第一节 锅炉的通风方式.....      | 51 |
| 一、自然通风.....           | 51 |
| 二、负压通风.....           | 52 |
| 三、平衡通风.....           | 52 |
| 四、正压通风.....           | 54 |
| 第二节 烟囱的通风力与调节.....    | 54 |
| 一、烟囱通风的原理.....        | 54 |
| 二、自然通风力的大小.....       | 55 |
| 三、自然通风力的调节.....       | 58 |
| 第三节 鼓、引风机的特性.....     | 59 |
| 一、鼓、引风机的型号.....       | 59 |
| 二、鼓风机和引风机的性能参数.....   | 61 |
| 三、风机的特性曲线与管路特性曲线..... | 66 |
| 第四节 鼓、引风机性能的测量.....   | 68 |
| 一、压力的测量.....          | 68 |
| 二、流量的测量.....          | 70 |
| 第五节 风机风量调节与远距离控制..... | 72 |
| 一、风机风量调节方法.....       | 72 |
| 二、风机的远距离控制.....       | 76 |
| 第六节 风机的性能故障与改进.....   | 80 |
| 一、风机的性能故障.....        | 80 |
| 二、风机的改进.....          | 82 |
| 三、鼓、引风机的并联和串联工作.....  | 84 |
| 第四章 锅炉燃烧工况的监测.....    | 89 |
| 第一节 温度的测量.....        | 89 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 一、热电偶的型号规格             | 56  |
| 二、热电偶的补偿导线             | 91  |
| 三、温度显示仪表               | 92  |
| 第二节 空气过剩系数及测量          | 94  |
| 一、空气过剩系数的计算            | 94  |
| 二、空气过剩系数与排烟热损失的关系      | 96  |
| 三、空气过剩系数表              | 99  |
| 四、奥氏气体分析仪              | 105 |
| 第三节 风压表及风压测量           | 109 |
| 一、液柱式风压表               | 110 |
| 二、膜式风压表                | 112 |
| 第五章 锅炉燃烧调整和经济运行        | 115 |
| 第一节 锅炉在非额定工况下运行对各参数的影响 | 115 |
| 一、锅炉负荷变动               | 116 |
| 二、空气过剩系数变动             | 119 |
| 第二节 煤质对锅炉燃烧及运行的影响      | 120 |
| 一、燃煤的挥发分               | 121 |
| 二、燃煤的灰分                | 121 |
| 三、燃煤的水分                | 122 |
| 四、灰熔点和硫分的影响            | 124 |
| 第三节 锅炉的燃烧调整            | 125 |
| 一、燃煤的调整                | 126 |
| 二、风量的调整                | 129 |
| 第四节 固定炉排锅炉的经济运行        | 132 |
| 一、手烧炉的经济运行             | 132 |
| 二、手烧双层炉排炉的经济运行         | 133 |
| 第五节 移动炉排锅炉的经济运行        | 135 |
| 一、链条炉的经济运行             | 135 |
| 二、往复推饲炉排锅炉的经济运行        | 138 |
| 第六章 锅炉热效率试验            | 140 |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 第一节 锅炉热平衡和锅炉热效率.....                      | 140 |
| 一、锅炉热平衡.....                              | 140 |
| 二、锅炉热效率计算.....                            | 142 |
| 三、锅炉设计鉴定热效率.....                          | 144 |
| 四、锅炉运行热效率.....                            | 146 |
| 第二节 热效率试验的要求.....                         | 146 |
| 一、试验准备工作.....                             | 147 |
| 二、试验要求.....                               | 147 |
| 第三节 锅炉正平衡热效率试验.....                       | 149 |
| 一、锅炉蒸发量的测量.....                           | 149 |
| 二、蒸汽压力的测量.....                            | 152 |
| 三、给水压力和温度的测量.....                         | 153 |
| 四、蒸汽湿度的测量.....                            | 153 |
| 五、燃料消耗量的测量.....                           | 155 |
| 六、燃料低位发热量的测量.....                         | 156 |
| 第四节 锅炉反平衡热效率试验.....                       | 157 |
| 一、固体未完全燃烧热损失测定.....                       | 157 |
| 二、排烟热损失的测定.....                           | 159 |
| 三、气体未完全燃烧热损失的测定.....                      | 160 |
| 四、散热损失的测定.....                            | 160 |
| 五、炉渣物理显热损失.....                           | 161 |
| 第五节 锅炉热平衡测试计算实例.....                      | 161 |
| 附录一 水的比容和焓.....                           | 169 |
| 附录二 干饱和蒸汽以上及饱和线上的水的比容和焓.....              | 173 |
| 附录三 1 米 <sup>3</sup> 空气和烟气以及 1 公斤灰的焓..... | 176 |
| 附录四 PJ 型空气过剩系数表.....                      | 178 |

# 第一章 燃料的燃烧

锅炉是将燃料通过燃烧反应放出热量，又将热量传递给水，从而产生一定温度和压力的蒸汽或热水的设备。压力和温度是锅炉的主要参数，蒸汽锅炉取主蒸汽阀后的蒸汽压力和温度为蒸汽锅炉的参数，热水锅炉取出水压力和温度为热水锅炉的参数。

为了便于设计、制造、安装锅炉，也为了便于用户选择锅炉和进行锅炉辅助设备的配套及锅炉房设计和建设，工业锅炉已经系列化。蒸汽锅炉的参数系列见表 1-1，热水锅炉的参数系列见表 1-2。

表1-1 蒸汽锅炉参数系列

| 蒸发量 D<br>(吨/时) | 蒸 汽 压 力 P (公斤力/厘米 <sup>2</sup> ) |                |                |                |     |                |     |                |     |
|----------------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
|                | 4                                | 7              | 10             | 13             | 16  | 25             |     |                |     |
|                | 蒸汽温度 t (°C)                      |                |                |                |     |                |     |                |     |
|                | t <sub>b</sub>                   | t <sub>b</sub> | t <sub>b</sub> | t <sub>b</sub> | 350 | t <sub>b</sub> | 350 | t <sub>b</sub> | 400 |
| 0.1            | △                                |                |                |                |     |                |     |                |     |
| 0.2            | △                                |                |                |                |     |                |     |                |     |
| 0.5            | △                                | △              |                |                |     |                |     |                |     |
| 1.0            | △                                | △              | △              |                |     |                |     |                |     |
| 2.0            | △                                | △              | △              | △              |     | △              |     |                |     |
| 4.0            |                                  | △              | △              | △              |     | △              |     | △              |     |
| 6.0            |                                  | △              | △              | △              |     |                | △   | △              | △   |
| 10             |                                  |                | △              | △              | △   | △              | △   | △              | △   |
| 15             |                                  |                | △              | △              |     | △              | △   | △              | △   |
| 25             |                                  |                | △              | △              | △   | △              | △   | △              | △   |
| 35             |                                  |                |                | △              |     | △              | △   | △              | △   |
| 65             |                                  |                |                | △              |     | △              |     |                |     |

注：1. △表示已有锅炉系列；2. t<sub>b</sub>为饱和蒸汽温度。



表1-2 热水锅炉的参数系列

| 供热量 Q<br>( $\times 10^4$<br>大卡/时) | 出水温度 $t_{cs}$ / 进水温度 $t_{js}$ (°C) |   |          |    |          |    |          |    |         |         |
|-----------------------------------|------------------------------------|---|----------|----|----------|----|----------|----|---------|---------|
|                                   | 95 / 70                            |   | 115 / 70 |    | 130 / 70 |    | 150 / 90 |    | 150/110 | 180/110 |
|                                   | 出水压力 P (公斤力/厘米 <sup>2</sup> )      |   |          |    |          |    |          |    |         |         |
|                                   | 4                                  | 7 | 7        | 10 | 7        | 10 | 13       | 16 | 16      | 25      |
| 5                                 | △                                  |   |          |    |          |    |          |    |         |         |
| 10                                | △                                  |   |          |    |          |    |          |    |         |         |
| 20                                | △                                  |   |          |    |          |    |          |    |         |         |
| 30                                | △                                  | △ |          |    |          |    |          |    |         |         |
| 60                                | △                                  | △ | △        |    |          |    |          |    |         |         |
| 120                               |                                    | △ | △        |    | △        |    |          |    |         |         |
| 240                               |                                    | △ | △        | △  | △        | △  |          |    |         |         |
| 360                               |                                    | △ | △        | △  | △        | △  |          |    |         |         |
| 600                               |                                    | △ |          | △  | △        | △  | △        |    |         |         |
| 900                               |                                    |   |          | △  |          | △  | △        | △  |         |         |
| 1200                              |                                    |   |          | △  |          | △  | △        | △  |         |         |
| 2500                              |                                    |   |          |    |          |    | △        | △  | △       | △       |
| 5000                              |                                    |   |          |    |          |    |          | △  | △       | △       |
| 10000                             |                                    |   |          |    |          |    |          | △  | △       | △       |

注：△表示已有锅炉系列。

我国工业锅炉的型号按下法表示：

| 第一部分 |   |    | 第二部分   |    |        | 第三部分 |      |   |
|------|---|----|--------|----|--------|------|------|---|
| △△   | △ | ×× | —      | ×× | / ×××  | —    | △    | × |
|      |   |    | 蒸发量    |    | 介质出口温度 |      | 设计次序 |   |
| 燃烧方式 |   |    | 介质出口压力 |    | 燃料种类   |      |      |   |
| 型式代号 |   |    |        |    |        |      |      |   |

型号由三部分组成，各部分之间用短划线相连。

型号的第一部分表示锅炉型式、燃烧方式和蒸发量（或产热量）。

第一段用两个汉语拼音字母代表锅炉本体型式，其字母和意义见表 1-3、表 1-4、表 1-5。

表1-3 火管锅炉型式代号

| 锅炉本体型式 | 代 号     | 锅炉本体型式 | 代 号     |
|--------|---------|--------|---------|
| 立式水管   | LS(立、水) | 卧式内燃   | WN(卧、内) |
| 立式火管   | LH(立、火) |        |         |

表1-4 水管锅炉型式代号

| 锅炉本体型式 | 代 号     | 锅炉本体型式 | 代 号     |
|--------|---------|--------|---------|
| 单锅筒立式  | DL(单、立) | 双锅筒横置式 | SH(双、横) |
| 单锅筒纵置式 | DZ(单、纵) | 纵横锅筒式  | ZH(纵、横) |
| 单锅筒横置式 | DH(单、横) | 强制循环式  | QX(强、循) |
| 双锅筒纵置式 | SZ(双、纵) |        |         |

表1-5 快装锅炉型式代号

| 锅炉本体型式  | 代 号     | 锅炉本体型式  | 代 号     |
|---------|---------|---------|---------|
| 快装式锅筒纵置 | KZ(快、纵) | 快装式锅筒立置 | KL(快、立) |
| 快装式锅筒横置 | KH(快、横) | 快装式强制循环 | KQ(快、强) |

注：新标准决定，取消快装锅炉型式代号。

第二段用一个汉语拼音字母代表燃烧方式，其字母意义见表1-6。

表1-6 锅炉燃烧方式代号

| 燃烧方式     | 代 号   | 燃烧方式   | 代 号   |
|----------|-------|--------|-------|
| 固定炉排     | G (固) | 下饲炉排   | A (下) |
| 活动手摇炉排   | H (活) | 往复推饲炉排 | W (往) |
| 链条炉排     | L (链) | 沸腾炉    | F (沸) |
| 抛煤机      | P (抛) | 半沸腾炉   | B (半) |
| 抛煤机、倒转炉排 | D (倒) | 室燃炉    | S (室) |
| 振动炉排     | Z (振) | 旋风炉    | X (旋) |

型号的第二部分表示蒸汽（或热水）参数，共分两段，中间以斜线分开。第一段用阿拉伯数字代表介质出口表压力（公斤力/厘米<sup>2</sup>）；第二段用阿拉伯数字代表介质（过热蒸汽或热水）出口温度（℃）。如供应饱和蒸汽（饱和温度），则无斜线和第二段数字。

型号的第三部分表示燃料种类和设计次序，也分两段。第一段用汉语拼音字母代表燃料种类，见表1-7；第二段用阿拉伯数字代表设计次序，和第一段连续书写。原型设计无第二段。

表1-7 燃料种类代号

| 燃料种类 | 代 号   | 燃料种类 | 代 号   |
|------|-------|------|-------|
| 无烟煤  | W (无) | 气    | Q (气) |
| 贫 煤  | P (贫) | 木 材  | M (木) |
| 烟 煤  | A (烟) | 稻 糠  | D (稻) |
| 劣质烟煤 | L (劣) | 甘蔗渣  | G (甘) |
| 褐 煤  | H (褐) | 煤矸石  | S (石) |
| 油    | Y (油) |      |       |

例如，KZL 4—13—W 型表示快装式、锅筒纵置、链条炉排、蒸发量为 4 吨/时、蒸汽出口压力为 13 公斤力/厘米<sup>2</sup>的饱和蒸汽、燃用无烟煤、原型设计的锅炉。

## 第一节 燃料的元素组成和特性

我国锅炉的燃料主要是煤，极少使用油或天然气。这些燃料都是有机碳化物或碳氢化合物，在高温下它们能与空气中的氧发生燃烧反应，放出大量的热量。

锅炉常用燃料(对煤和油来说)的基本成分有碳(C)、氢(H)、硫(S)、氧(O)、氮(N)等元素，但燃料不是这些成分的机械混合物，而是一种极为复杂的化合物。此外，还包含一定数量的水分(W)和灰分(A)。

碳、氢、硫是燃料中的可燃放热成分，其他成分为无用杂质。

### 一、元素的成分特性

#### 1. 碳

碳是燃料的主要可燃成分。1 公斤碳完全燃烧时能放出 8100 大卡的热量。与其他可燃成分比较，碳的着火温度较高，燃料中含碳量越多，在炉子中越不容易着火燃烧。如无烟煤含碳量比烟煤高，所以无烟煤就比烟煤难着火燃烧。

碳以二种状态存在于煤中，一为游离碳，另一为碳氢化合物。煤干馏时析出的挥发物，就是由碳氢化合物的分解所形成的，如甲烷、氢等。煤中碳的含量随煤形成年代的增长而增加。碳占可燃成分的百分比在 50~95% 范围内变动。

#### 2. 氢

氢是燃料中另一种重要的可燃成分。1 公斤氢完全燃烧时能放出 30000 大卡的热量，比碳高 2.7 倍。在燃料中氢与碳以化合物形式存在，这些化合物加热时能形成可燃气挥发出来，

所以燃料中含氢越多，就越容易着火和燃烧。煤中的含氢量随年代变化，年代越久的煤（如无烟煤）含氢量就越少，因而也越难着火燃烧。

### 3. 硫

燃料中的硫分两部分，一部分为可燃硫，它可以燃烧并放出热量；另一部分为不可燃硫，如硫酸盐中的硫，它不参加燃烧。1公斤硫完全燃烧时能放出2600大卡的热量。硫的燃烧产物是二氧化硫( $\text{SO}_2$ )和三氧化硫( $\text{SO}_3$ )气体，与烟气中的水蒸气相遇能化合成亚硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_3$ )和硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )气体，若凝结在锅炉金属受热面（如省煤器、空气预热器）上会产生腐蚀。二氧化硫及三氧化硫由烟囱排入大气时，会对人体和动、植物带来危害，它是燃料中的一种有害成分。在燃煤中，硫约占可燃成分的0~8%。含硫量少的煤，对大气污染就较少，不可燃硫都残存于灰中。

### 4. 氮和氧

它们都是燃料的内部杂质，不能燃烧，但习惯上仍包含在可燃成分内。由于它们的存在，使燃料中真正可燃烧成分降低，燃料燃烧时放出热量减少。

煤中含氮量一般较少，不超过可燃成分的1~2%。在大气下燃烧时，生成的氮化物含量很少，认为绝大多数氮在烟气中呈游离状态。

煤中含氧量随燃料种类不同而异，一般约占可燃质成分的10~20%。氧不仅对煤的热值毫无作用，而且由于它和氢化合，还使煤的发热量下降。因而煤的含氧量越多，热值就越低。随着煤的年龄增长，氧的含量就降低。但是，含氧量多的煤一般都具有较好的着火性能。

### 5. 灰分

灰分是指夹杂在燃料中不能燃烧的固体矿物杂质，是燃料的主要杂质。它是在燃料形成、开采以及运输过程中掺入燃料中的。燃料中灰分增多，可燃成分相应减少，使燃料燃烧困难，燃烧时放出热量减少，并且灰分还增加了燃烧时的热量损失，同时也增加了运输费用。此外，灰分中的一部分飞灰在锅炉中随着烟气流经锅炉的受热面和引风机，造成这些设备的磨损。燃用灰分多的燃料，受热面容易积灰，若灰熔点过低，炉排和炉内受热面会结渣，破坏锅炉正常的燃烧和传热过程，所以燃用多灰分的煤时，锅炉的工作条件是不利的。飞灰排入大气中，又将对环境造成污染。煤的灰分差别甚大，多的甚至可达50~60%。

## 6. 水分

煤中的水分由内水分和外水分两部分组成，内、外水分的总和称全水分。

水分也是燃料中的杂质。它的存在，不仅降低了燃料中可燃成分的含量，而且在燃烧过程中，因水分气化而吸收一部分热量，降低炉膛温度，使燃烧着火困难，故越湿的煤越难着火。同时由于水分在燃料燃烧后形成烟气中的水蒸气，增加了烟气体积，使得排烟带走的热量损失增加，因而降低锅炉效率。但在某种程度上，比如对于链条炉来说，煤中含有适量的水分使碎煤和煤块粘在一起，能使漏煤和飞灰减少，同时由于水分蒸发能疏松煤层，使煤粒间空隙加大，减少通风阻力。

各类煤的水分含量差别很大，可以在5~60%范围内变化。

## 二、元素分析基质

元素分析的基质有应用基（以符号 $y$ 标在元素右上角）、干燥基(g)、可燃基(r)、分析基(f)。

入炉时煤的元素成分称为应用基元素成分，即是炉前煤分

析所得的元素组成:

$$C^y + H^y + O^y + N^y + S^y + A^y + W^y = 100\% \quad (1-1)$$

燃料中的水分是经常变动的,如开采情况、贮存和气候等原因都会使燃料的水分变动。同一种煤当水分变动后,应用基成分中的其他元素含量也将变动。为了表示同一种煤比较稳定的成分含量,人为地将燃料中的水分扣除,就得到燃料的干燥基成分:

$$C^g + H^g + O^g + N^g + S^g + A^g = 100\% \quad (1-2)$$

煤在开采、贮存、运输等过程中,灰分也是变化的,灰分的变化同样也会使其他元素含量的百分数变化,在排除水分和灰分的影响后得到燃料的稳定成分组成,此时称可燃基成分:

$$C^f + H^f + O^f + N^f + S^f = 100\% \quad (1-3)$$

煤在化验室进行分析时,将实际应用的煤在化验室条件下风干(去除外水分)而得的分析成分,称为分析基元素成分:

$$C^t + H^t + O^t + N^t + S^t + A^t + W^t = 100\% \quad (1-4)$$

煤质的应用基、干燥基、可燃基、分析基之间的关系可用表 1-8 表示。

表1-8 煤质分析四种基质间的关系

| 碳<br>C                                                  | 氢<br>H | 氧<br>O | 氮<br>N | 硫 S |     | 灰分 A | 全水分 |     |
|---------------------------------------------------------|--------|--------|--------|-----|-----|------|-----|-----|
|                                                         |        |        |        | 可燃硫 | 不燃硫 |      | 内水分 | 外水分 |
| 可燃基组成 $C^f + H^f + O^f + N^f + S^f = 100\%$             |        |        |        |     |     |      |     |     |
| 干燥基组成 $C^g + H^g + O^g + N^g + S^g + A^g = 100\%$       |        |        |        |     |     |      |     |     |
| 分析基组成 $C^t + H^t + O^t + N^t + S^t + A^t + W^t = 100\%$ |        |        |        |     |     |      |     |     |
| 应用基组成 $C^y + H^y + O^y + N^y + S^y + A^y + W^y = 100\%$ |        |        |        |     |     |      |     |     |

进行锅炉热工计算时为应用基成分，若已知燃料其它基质时，可进行基质间的换算，即乘上换算因数。各基质之间的换算因数如表 1-9 所示。

表1-9 燃料各种基质之间的换算因数

| 已知燃料<br>基 质 | 欲 求 燃 料 基 质                   |                               |                         |                               |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
|             | 应用基(y)                        | 分析基(f)                        | 干燥基(g)                  | 可燃基(r)                        |
| 应用基(y)      | 1                             | $\frac{100 - W^f}{100 - W^y}$ | $\frac{100}{100 - W^y}$ | $\frac{100}{100 - W^y - A^y}$ |
| 分析基(f)      | $\frac{100 - W^y}{100 - W^f}$ | 1                             | $\frac{100}{100 - W^f}$ | $\frac{100}{100 - W^f - A^f}$ |
| 干燥基(g)      | $\frac{100 - W^y}{100}$       | $\frac{100 - W^f}{100}$       | 1                       | $\frac{100}{100 - A^g}$       |
| 可燃基(r)      | $\frac{100 - W^y - A^y}{100}$ | $\frac{100 - W^f - A^f}{100}$ | $\frac{100 - A^g}{100}$ | 1                             |

例如，已知燃料分析基元素成分  $C^f$ 、 $H^f$ 、 $S^f$ ...，欲将其换算为应用基元素成分  $C^y$ 、 $H^y$ 、 $S^y$ ...时，只要在表 1-9 上查取换算因数  $\frac{100 - W^y}{100 - W^f}$ ，欲求基质等于已知基质乘上换算因数，即

$$C^y = C^f \times \frac{100 - W^y}{100 - W^f} ;$$

$$H^y = H^f \times \frac{100 - W^y}{100 - W^f} ;$$

$$S^y = S^f \times \frac{100 - W^y}{100 - W^f} ;$$

.....

## 第二节 煤的燃烧特性成分

以上各种成分是通过元素分析得到的，可作为锅炉设计或



试验计算时的原始数据。判断煤在锅炉中燃烧的特性，通常用工业分析成分。煤的工业分析成分包括水分(W)、灰分(A)、挥发分(V)、固定碳(FC)和发热量(Q)等。

## 一、煤的工业分析

### 1. 水分

工业分析水分和元素分析水分的意义是相同的，将煤的试样在  $105\sim 110^{\circ}\text{C}$  温度下干燥一个半小时至恒重，所失去的水分称为全水分。水在 1 大气压下  $100^{\circ}\text{C}$  时即行气化，故煤样在  $105\sim 110^{\circ}\text{C}$  温度条件下干燥，它的内水分和外水分都将失去。将煤试样在  $45\sim 50^{\circ}\text{C}$  的温度下干燥八小时，所失去的水分称外水分。

### 2. 灰分

将干燥的煤试样，在  $800\pm 15^{\circ}\text{C}$  的温度下，在马弗炉中灼烧至恒重。灼烧后残渣的重量占试样重量的百分数，即为煤的灰分。

### 3. 挥发分

将煤加热时，首先放出水分；继续加热到一定温度时，有碳和氢或碳和氧的气体化合物逸出，如甲烷( $\text{CH}_4$ )、氢气等。这种气体称挥发分，可以燃烧，它在可燃基中所占的百分比用  $V'$  表示。

挥发分极容易燃烧，煤中挥发分含量多，则着火容易，且燃烧时有长的火焰；挥发分少，则着火温度高，着火也困难。

煤的挥发分是这样测定的：将分析煤样放入已预先加热到  $900\pm 10^{\circ}\text{C}$  的马弗炉中，加热 7 分钟后，迅速取出，在空气中冷却 5 分钟，然后放入干燥器中冷却至室温，称重。

$$V' = \frac{\Delta G - G_f}{G} \times 100\% \quad (1-5)$$