

# 锅炉燃煤所需理论空气量和烟气中水蒸气量的计算

Calculations of Theoretical Combustion Air Demand and  
Steam Vapour Amount in Flue - gas of Coal - fired Boiler

盛益平

(杭州半山发电有限公司,浙江 杭州 310015)

**摘要:**介绍了锅炉燃煤所需理论空气量和烟气中水蒸气量的计算公式及推导过程,认为按总空气量的水分计算,烟气中的水蒸气更符合实际,精度高。

**关键词:**燃煤锅炉;烟气;水蒸气量;理论空气量

**Abstract:** This paper introduces the calculating formulas and their derivation process for theoretical combustion air demand and steam vapour content in flue - gas. The author believes that the calculated steam vapour content in flue - gas based on moisture in total air amount is more realistic and in higher accuracy.

**Keywords:** coal - fired boiler; flue - gas; steam vapour amount; theoretical combustion air demand

**中图分类号:** TK229.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001 - 9898(2004)01 - 0009 - 02

烟气是燃料燃烧后的产物,燃料在锅炉内燃烧时,需经过一系列的化学变化,燃烧的实质是燃料与氧气发生化学反应并生成烟气。在现代大型火力发电厂中,煤粉燃烧所用的  $O_2$  直接来源于空气,为保证充分燃烧,进入炉膛的空气都是过剩的。烟气的主要成分有  $N_2$ 、 $O_2$ 、 $SO_2$ 、 $CO_2$ 、水蒸气,还有少量的  $CO$ 、 $SO_3$ 、 $H_2$ 、 $CH_4$  和其它碳氢化合物。

$N_2$  主要来自于空气,煤中也含有少量的氮; $O_2$  来源于过剩空气; $CO_2$ 、 $SO_2$  和  $SO_3$  主要是煤中的碳元素、硫元素与氧化合的生成物。另外,过剩空气中也有少量的  $CO_2$ 。水蒸气,一部分是煤中氢元素与氧反应的生成物,而另一部分是原煤中水分的蒸发,还有一小部分是随空气带入的。 $CO$ 、 $CH_4$ 、 $H_2$  和其它碳氢化合物是由于煤的不完全燃烧造成的。 $SO_3$  的生成是很少量的。在锅炉正常燃烧情况下形成的烟气中, $CO$ 、 $CH_4$ 、 $H_2$  和其它碳氢化合物以及  $SO_3$  的含量很少,在除尘器的一般工业试验研究中常常被忽略或者只考虑  $CO$ 。

**收稿日期:** 2003 - 07 - 01

**作者简介:** 盛益平(1971 - ),男,工程师,主要从事火电厂环境保护工作。

## 1 火电厂环境统计软件中关于水蒸气的计算公式

在火电厂环境统计软件指标解释一节中,水蒸气的计算公式为:

$$V_{H_2O_i} = B_i [0.1116 H_{ar} + 0.0124 W_{ar} + 0.0161(-1) V_{O_i}] / 3.6$$

式中  $B_i$  ——每台锅炉年平均负荷下 1 h 燃原煤量, t/h;

$H_{ar}$  ——燃煤收到基氢分;

$W_{ar}$  ——燃煤收到基水分;

——除尘器出口过剩空气系数;

$V_{O_i}$  ——燃烧 1 kg 煤的理论空气量,  $m^3/kg$ 。

统计公式中,空气带入炉膛的水蒸气仅考虑了过量部分,而未考虑总空气量中的水蒸气,下面对此进行分析。

## 2 理论空气量的计算

假定 1 kg 煤完全燃烧,空气中的氧和煤中能参加燃烧的氧(固有氧)全部被耗尽,此时所需要的空气量称理论空气量。

### 2.1 碳与氧的作用



$$12 \text{ kg} \quad 22.4 \text{ m}^3 \quad 22.4 \text{ m}^3$$

(在标准状态下,下同)

此式表明,12 kg C 完全燃烧时,需消耗 22.4  $m^3 O_2$ ,并生成 22.4  $m^3 CO_2$ ,所以 1 kg 碳完全燃烧消耗的  $O_2$  为  $22.4/12 = 1.8667 (m^3)$ 。

### 2.2 氢与氧的作用

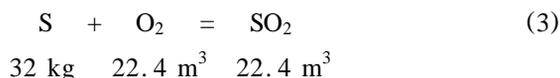


$$4.032 \text{ kg} \quad 22.4 \text{ m}^3 \quad 44.8 \text{ m}^3$$

由式(2)可知,1 kg  $H_2$  燃烧后要消耗  $O_2$  22.4/

$$4.032 = 5.5556 \text{ (m}^3\text{)}。$$

### 2.3 硫与氧的作用



由式(3)可知,1 kg S 燃烧时,需消耗  $\text{O}_2$   $22.4/32=0.7 \text{ (m}^3\text{)}。$

在1 kg 煤中含有  $\frac{C_{ar}}{100}$  kg 的碳、 $\frac{H_{ar}}{100}$  kg 的氢和  $\frac{S_{ar}}{100}$  kg 的硫,所以,1 kg 煤燃烧时,碳、氢、硫3种元素的需氧量为:  $(1.8667 \times \frac{C_{ar}}{100} + 5.5556 \times \frac{H_{ar}}{100} + 0.7 \times \frac{S_{ar}}{100}) \text{ m}^3。$

但这些氧并非完全来源于空气,因为1 kg 煤中还含有  $\frac{O_{ar}}{100}$  kg 的氧,这部分氧可与碳、氢、硫化合,因此,在计算空气需要量时,应将这部分氧量扣除。氧的分子量为32,故  $\frac{O_{ar}}{100}$  kg 的氧在标准状态下的体积为:  $\frac{22.4}{32} \times \frac{O_{ar}}{100} = 0.7 \times \frac{O_{ar}}{100} \text{ (m}^3\text{)}。$

这样,1 kg 煤燃烧所需的  $\text{O}_2$  为:

$$(1.8667 \times \frac{C_{ar}}{100} + 5.5556 \times \frac{H_{ar}}{100} + 0.7 \times \frac{S_{ar}}{100} - 0.7 \times \frac{O_{ar}}{100}) \text{ m}^3$$

由于空气中  $\text{O}_2$  的容积含量为21%,所以,1 kg 煤燃烧所需的理论空气量为:

$$V_{O_i} = \frac{1}{0.21} \times (1.8667 \times \frac{C_{ar}}{100} + 5.5556 \times \frac{H_{ar}}{100} + 0.7 \times \frac{S_{ar}}{100} - 0.7 \times \frac{O_{ar}}{100})$$

$$= 0.0889(C_{ar} + 0.375S_{ar}) + 0.265H_{ar} - 0.033O_{ar} \text{ (m}^3\text{)}$$

这是理想状态下燃烧所需的空气量,在实际燃烧过程中所需的空气量  $V_{O_i} > V_{O_i}$ 。

### 3 水蒸气量的计算

在标准状态下,空气的密度  $\rho_i = 1.293 \text{ kg/m}^3$ ,空气中水蒸气的含量  $d = 10 \text{ g/kg}$  空气,水蒸气的密度  $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 0.804 \text{ kg/m}^3$ 。

1 kg 煤在理论空气量下燃烧所生成的烟气体

积称理论烟气体积,它包括  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{N}_2$  和水蒸气等,在理论烟气体积中水蒸气有以下3个来源。

a. 煤中氢元素的氧化 由式(2)可知,1 kg  $\text{H}_2$  完全燃烧后生成  $44.8/4.032 = 11.11 \text{ (m}^3\text{)}$  的水蒸气,所以1 kg 煤中的氢燃烧后生成的水蒸气的体积为:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 11.11 \times \frac{H_{ar}}{100}$$

$$= 0.1111 H_{ar} \text{ (m}^3\text{/kg 煤)} \quad (4)$$

b. 燃煤中的水分 其体积为:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{W_{ar}}{100} \times \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$= 0.0124 W_{ar} \text{ (m}^3\text{/kg 煤)} \quad (5)$$

c. 随空气带入的水蒸气 其体积为:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}''' = \frac{d \times V_{O_i} \times \rho_i}{1000} \times \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$= \frac{10 \times V_{O_i} \times 1.293}{1000} \times \frac{1}{0.804}$$

$$= 0.0161 V_{O_i} \text{ (m}^3\text{/kg 煤)} \quad (6)$$

但在实际燃烧过程中,  $V_{O_i} > V_{O_i}$ ,因此随空气带进去的水蒸气应为:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}''' = \frac{d \times V_{O_i} \times \rho_i}{1000} \times \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$= 0.0161 V_{O_i} \text{ (m}^3\text{/kg 煤)}$$

式(4)、式(5)、式(6)相加即得到烟气中水蒸气的体积:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1111 H_{ar} + 0.0124 W_{ar} + 0.0161 V_{O_i} \text{ (m}^3\text{/kg 煤)}$$

因此,原火电厂环境统计软件关于烟气中水蒸气的计算公式:

$$V_{\text{H}_2\text{O}_i} = B_i / [0.1116 H_{ar} + 0.0124 W_{ar} + 0.0161(-1) V_{O_i}] / 3.6$$

应修改为:

$$V_{\text{H}_2\text{O}_i} = B_i / [0.1111 H_{ar} + 0.0124 W_{ar} + 0.0161 V_{O_i}] / 3.6$$

#### 参考文献:

- [1] 李桂中,李健宇,李锦文. 电力建设与环境保护 [M]. 天津:天津大学出版社,2000.
- [2] 蒋文举,宁平. 大气污染控制工程 [M]. 重庆:四川大学出版社,2001.

# 保护环境 利国利民