

炉内废气循环气体浓度新模型检测方法研究

沈远胜¹, 刘永杰¹, 王德永¹, 李本文²

(1. 济南大学材料科学与工程学院, 济南 250022;

2. 东北大学材料电磁过程研究教育部重点实验室, 沈阳 110004)

[摘要] 通过分析炉内废气循环过程的特点, 在一定废气循环量的条件下, 建立了炉内废气容积流量与废气循环次数的定量数学关系, 建立了废气中氧气浓度与循环次数的定量数学关系。运用数学极限定律, 得出氧的极限浓度定量数学公式, 以此为基础, 建立了助燃剂中氧气的浓度以及可燃混合物中氧气的浓度定量数学关系式。并以此推导出其他成分浓度的计算数学模型, 为实际生产过程中不同环节的气体成分检测、分析建立了基础。

[关键词] 检测模型; 燃烧物; 燃烧比; 循环炉

[中图分类号] O659.37 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)05-0070-03

了解物质的浓度对于理解和解释某些物质性质与了解某些过程非常重要, 在诸多领域有不少实例。例如, 为了了解煤尘对环境的污染情况, 文献[1]采用无反射型模式对作用于煤堆的风速达到临界速度时, 煤颗粒漂浮的浓度进行了详细的理论分析, 并在特定条件下进行了模拟。文献[2]分析气象条件与污染物浓度值的关系, 提出了风速系数、垂直气温梯度系数和降雨时间系数等3个主要气象系数。文献[3]提出了微波测量悬浮体浓度的方法, 通过对介质分层的物理模型的研究, 提出了悬浮体的浓度与衰减量之间的理论公式。文献[4]通过对燃煤锅炉内部过程的详细分析, 提出了一种计算排放颗粒物浓度的经验公式, 建立了经验统计公式。

窑炉燃烧过程中气体成分对分析内部燃烧过程非常重要, 如果通过一定测量技术探测出其中一些成分浓度数值, 而对其他阶段的物质浓度能够通过确定的公式计算出, 通过分析可以针对具体情况进行改进, 这将有利于过程控制, 因此有利于内部的燃烧与传热。这对某些具有特定要求的场合也非常重要。本文针对废气循环这一特定情况进行详细分

析, 最终推导出某些成分浓度的计算数学模型。

1 不同阶段氧气浓度模型分析

在实际燃烧过程中, 并不是在燃烧比 $\alpha = 1$ 情况下进行, 而是在偏离 $\alpha = 1$ 情况下进行的, 即使 $\alpha = 1$ 情况下, 燃料也不可能完全燃烧, 烟气中总残余部分氧。该模型的物理结构参见图1。

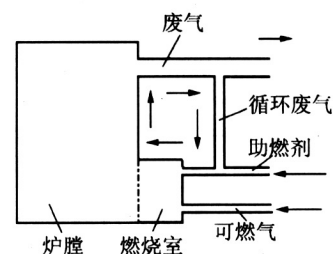


图1 废气循环示意图

Fig.1 The diagram of the recycled waste gas

令理论需要空气量为 L_0 , 实际用空气量为 L_n , 空气过剩系数为 α , 这里 $\alpha > 1$, 燃烧为完全燃烧, 在未采取循环燃烧时烟气生成量为 V_1 , 烟气中氧的浓度为 C 。空气用量与烟气生成量的单

位为 m^3/s 。当采用循环比为 K 的情况下（这里 $K < 1$ ），稳态过程时废气中氧的浓度推导如下。

未循环时，烟气总生成量为 V_1 ，烟气中氧的浓度为

$$C = \frac{0.21L_0(\alpha - 1)}{V_1} \quad (1)$$

第一次循环时，烟气总生成量为 $V_1(1 + K)$ ，其中氧的浓度为

$$C_1 = \frac{0.21L_0(\alpha - 1) + V_1KC}{V_1(1 + K)} \quad (2)$$

第二次循环时，烟气总生成量为 $V_1(1 + K + K^2)$ ，其中氧的浓度为

$$C_2 = \frac{0.21L_0(\alpha - 1)(1 + K) + V_2K^2C}{V_1(1 + K + K^2)} \quad (3)$$

第三次循环时，烟气总生成量为 $(1 + K + K^2 + K^3)V_1$ ，其中氧的浓度为

$$C_3 = \frac{0.2L_0(\alpha - 1)(1 + K + K^2) + V_1K^3C}{V_1(1 + K + K^2 + K^3)} \quad (4)$$

第 n 次循环时，烟气总生产量为 $(1 + K + K^2 + \dots + K^n)V_1$ ，烟气中氧的浓度为

$$C_n = \frac{0.21L_0(\alpha - 1) \times (1 + K + \dots + K^{n-1}) + V_1K^n C}{V_1 \times (1 + K + \dots + K^n)} \quad (5)$$

因为 $K < 1$ ，故当 $n \rightarrow \infty$ 时，烟气总生成量为 $V_1/(1 - K)$ ，烟气中氧的浓度为

$$C_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{0.21(\alpha - 1)L_0 \times (1 - K^n) + K^n C(1 - K)V_1}{V_1(1 - K^n)} = \frac{0.21(\alpha - 1)L_0}{V_1} \quad (6)$$

此时，助燃剂中氧的浓度 C' 为

$$C' = \frac{0.21(\alpha - K)L_0}{\alpha(1 - K)L_0 + KV_1} \quad (7)$$

此时，可燃混合物中氧的浓度 C'' 为

$$C'' = \frac{0.21(\alpha - K)L_0}{1 - K + \alpha(1 - K)L_0 + KV_1} \quad (8)$$

上面的公式为稳态情况下的结果，因此只能在稳态下才能应用。如果过程中循环比 K 或空气过剩系数 α 是变化的，过程为变工况的，或为非稳态的。对比公式 (1) 和 (6) 可以知道，烟气中氧的浓度受空气过剩系数 α 影响，根据公式 (1) 或公式 (6) 可以计算变空气过剩系数时烟气中氧的浓度。

变工况情况下助燃剂中氧的浓度根据公式 (9) 计算：

$$C''' = \frac{0.21\alpha L_0(1 - K) + V_1KC}{\alpha(1 - K)L_0 + KV_1} \quad (9)$$

变工况情况下可燃混合物中氧的浓度为

$$C'''' = \frac{0.21\alpha L_0(1 - K) + CV_1K}{(1 - K) + \alpha(1 - K)L_0 + KV_1} \quad (10)$$

以上两式中的参数 C 为变工况情况下计算出的烟气中氧的浓度，结合式 (9) 与式 (10)，就能计算变工况情况下助燃剂与可燃混合物中氧的浓度，对过程形成动态描述。

实际过程中，燃烧并不是按照理论燃烧过程进行的，氧的消耗量应该低于理论计算消耗的氧量，因此需要对公式 (9)、(10) 进行修整，令氧浓度的修整系数为 μ ，则公式 (9)、(10) 改写为如下形式：

烟气中氧的浓度为

$$C'''''' = \mu \frac{0.21L_0(\alpha - 1)}{V_1} \quad (11)$$

助燃剂中氧的浓度为

$$C'''''''' = \frac{0.21L_0[\alpha(1 - K) + K\mu(\alpha - 1)]}{\alpha(1 - K)L_0 + KV_1} \quad (12)$$

可燃混合物中氧的浓度为

$$C'''''''''' = \frac{0.21L_0[\alpha(1 - K) + K\mu(\alpha - 1)]}{1 - K + \alpha(1 - K)L_0 + KV_1} \quad (13)$$

2 其他可燃或不可燃物浓度模型分析

如果燃烧产物中其他可燃或不可燃物的浓度为 C_q ，而可燃气体中该物质浓度为 \hat{C}_q 。当采用循环比为 K 的情况下，助燃剂中其他可燃或不可燃物浓度（假设不可燃物和可燃物无分解化学变化）为

$$C'_q = \frac{V_1 C_q}{\alpha(1 - K)L_0 + KV_1} \quad (14)$$

而可燃混合气体中其他可燃或不可燃物浓度为

$$C''_q = \frac{V_1 C_q + \hat{C}_q}{1 + \alpha(1 - K)L_0 + KV_1} \quad (15)$$

其中 V_1 、 L_0 可以根据燃烧计算得到，其他参量经过仪表检测得到。

如果存在化学分解，需要对上面公式燃烧产物的浓度进行修整，引入修整系数 ϵ ，则公式 (14)、(15) 可以改写为如下形式：

$$C''''''_q = \frac{\epsilon V_1 C_q}{\alpha(1 - K)L_0 + KV_1} \quad (16)$$

$$C_q'' = \frac{\epsilon V_1 C_q + \widehat{C}_q}{1 + \alpha(1 - K)L_0 + KV_1} \quad (17)$$

3 结论与讨论

通过对气体成分的分析,建立了氧气浓度与其他物质浓度计算的数学模型,该模型针对一般废气循环的燃气窑炉,因此,经过特定气体检测并运用该模型就能知道其中一些重要物质的浓度,如混合可燃物中氧气的浓度、其他可燃物的浓度以及非可燃物的浓度,这为深入分析内部燃烧过程奠定了计算基础,也为改进内部燃烧提供了理论指导。

此外,此法推导出的公式具有简单、清晰的特点,如果测得出口废气中一些物质的浓度,就会迅速、准确地计算出其他部位物质的浓度。因此,对

于在生产过程中不能准确测量浓度的物质,或只想简单估算其中某些物质浓度的情况,本公式非常实用。

对于其他与该模型类似的过程,可以采用与该模型类似的思路进行分析,得出适用于特殊情况的数学模型,为对过程进行量化分析提供理论基础。

参考文献

- [1] 苗绿田,张 淮. 煤尘污染浓度数值模式的初步研究 [J]. 环境科学, 1984, 5 (1): 42~45
- [2] 黄宁萱. 不同气象条件下大气中气态污染物浓度值的相互关系 [J]. 环境科学, 1984, 5 (2): 48~52
- [3] 陈孟尧,赵克玉,许福永,等. 微波法测量悬浮体浓度 [J]. 兰州大学学报, 1984, 20 (1): 25~30
- [4] 沈 铎. 燃煤锅炉排放颗粒物的浓度计算. 世界环境 [J], 1985, (1): 25~25

The Research of the Detecting Means for the New Model of the Gas Density in Recycled Waste Gas Furnace

Shen Yuansheng¹, Liu Yongjie¹, Wang Deyong¹, Li Benwen²

(1. School of Material Science and Engineering, Ji'nan University, Ji'nan 250022, China;

2. Key Laboratory of National Education Ministry for Electromagnetic Processing of Materials, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

[Abstract] By analyzing the feature of the process for the recycled waste gas in furnace, let the volume of waste circulation be constant, the quantitative mathematical relations between the volume flow of waste gas and the recycled times of waste gas which goes into combustion-supporting air in furnace were built, and the quantitative mathematical relations between the density of oxygen in waste gas and the recycled times were built. By using the limit mathematic law, the quantitative mathematical formulation of the limit density of oxygen was gotten. On the basis of this, the quantitative mathematical formulations of oxygen density in combustion-supporting air and in flammable mixture were built. By using the similar methods, the mathematical calculating formulations of the density for other compositions were inferred. It provides the base for checking and analyzing the gas composition at different stages in real production process.

[Key words] tested model; combustion material; combustion ratio; recycling furnace