

考虑非均匀介质辐射特性对煤粉炉 总体模拟的影响分析*

邢华伟¹, 邓先和¹, 柳朝晖², 郑楚光²

(1. 华南理工大学传热强化与过程节能教育部重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 华中科技大学煤燃烧国家重点实验室)

摘 要: 基于均匀颗粒辐射特性模型及非均匀颗粒辐射特性模型两种情况, 利用数值计算方法对大型三维炉膛的温度场进行了模拟, 分析了由于颗粒辐射特性均匀化对模拟结果造成的影响。

关键词: 辐射特性; 数值计算; 温度场; 炉膛

中图分类号: TK121 **文献标识码:** A

本文从炉内子过程——辐射传热中介质辐射特性模型出发, 对某厂 300MW 锅炉的缩腰配风方式下的实际运行工况进行了三维流动、传热和燃烧的综合数值模拟, 比较了均匀介质辐射特性模型和非均匀介质辐射特性模型下的温度场, 分析了由于颗粒辐射特性均匀化对模拟结果造成的影响。

1 介质辐射特性计算模型的建立

1.1 炭、飞灰及未燃尽炭辐射特性计算模型

Mie 理论^[1]是球形颗粒光散射和吸收的通用理论, 可适用于任意尺寸和任意光学常数的颗粒。它给出了颗粒散射、消光及吸收效率的计算公式

$$\text{散射效率 } Q_{\text{sca}} = \frac{2}{x^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) [|a_n|^2 + |b_n|^2] \quad (1)$$

$$\text{消光效率 } Q_{\text{ext}} = \frac{2}{x^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \text{Re}(a_n + b_n) \quad (2)$$

$$\text{吸收效率 } Q_{\text{abs}} = Q_{\text{ext}} - Q_{\text{sca}} \quad (3)$$

其中, 散射系数为

$$a_n = \frac{m\Psi_n(mx)\Psi'_n(x) - \Psi_n(x)\Psi'_n(mx)}{m\Psi_n(mx)\zeta'_n(x) - \zeta_n(x)\Psi'_n(mx)}$$
$$b_n = \frac{\Psi_n(mx)\Psi'_n(x) - m\Psi_n(x)\Psi'_n(mx)}{\Psi_n(mx)\zeta'_n(x) - m\zeta_n(x)\Psi'_n(mx)}$$

式中, $m = n + ik$ 为球粒子相对其周围介质的复折射率; $x = \alpha = \pi D/\lambda$ 为粒子尺寸参数, 用 x 表示是强调其变量特性; $\Psi_n(x)$ 和 $\zeta_n(x)$ 为 Riccati-Bessel 方程^[1]。

* 基金项目: 广东省博士后基金资助项目

收稿日期: 2000-09-18; 作者简介: 邢华伟 (1972 ~), 男, 博士后; 研究方向: CFD、强化传热、燃烧。

1.2 烟黑辐射特性计算模型

由于煤粉炉内烟黑所占体积份额很小,一般产生在火焰附近,对整个炉膛辐射的影响相对炭、飞灰及未燃尽炭要小的多,因此可以考虑采用简化处理. Lee S.C.、余其铮和 Tien C.L.^[2]的研究表明,很多材料、多种油、多种塑料所产生的烟黑的复折射率基本相同,由此可以估计国内外煤燃烧所生成的烟黑粒子的复折射率差别不大. 本文采用哈尔滨工业大学^[3]利用中烟黑粒子的复折率数^[4],给出的极为简便的计算烟黑粒子系的 Planck 平均吸收系数,如下式所示. 在温度 300~1 700 °C 范围内,烟黑粒子系的吸收系数与粒径无光且随温度增大而增大:

$$K_{aP} = [-0.267(T + 273.15)^2 + 2000(T + 273.15) - 486500]f_v \quad (4)$$

1.3 气体辐射特性计算模型

燃烧过程中产生的多种气体具有较强的吸收和发射作用,因此在炉膛辐射换热计算中必须考虑气体的辐射性能. 对气体辐射特性的计算比较成熟,本文采用工程上用得比较多的 Edwards 指数宽带模型^[5]. 给出了气体辐射的总发射率和总吸收率计算公式

$$\epsilon_g = \sum_{k=1}^n \epsilon_{\eta_k} \left[f \left(\frac{T_g}{\eta_{0k} - \Delta\eta_k/2} \right) - f \left(\frac{T_g}{\eta_{0k} + \Delta\eta_k/2} \right) \right] \quad (5)$$

$$\alpha_g = \sum_{k=1}^n \epsilon_{\eta_k} \left[f \left(\frac{T_w}{\eta_{0k} - \Delta\eta_k/2} \right) - f \left(\frac{T_w}{\eta_{0k} + \Delta\eta_k/2} \right) \right] \quad (6)$$

T_g 为气体温度, T_w 为辐射源温度, n 为波带数, f 为黑体辐射百分比函数, η_0 是波带中心波数, $\Delta\eta$ 是波带宽, 下标 k 表示第 k 个波带.

2 计算对象及工况

本文针对某厂 300 MW 锅炉的缩腰配风方式下的实际运行工况,进行三维流动、传热和燃烧的综合数值模拟,来比较均匀介质辐射特性和非均匀介质辐射特性对炉内的温度场、炉膛出口烟温偏差的影响. 炉膛结构如图 1 所示. 缩腰配风工况下的煤样、各喷口的风速等均按热态实验测得值给定,计算使用的网格为 $60 \times 45 \times 122$,如图 2、3 所示,辐射网格为 $20 \times 23 \times 42$. 在炉膛上方设有四排屏式受热面,并通过校正其对流换热系数来保证屏式受热面的总对流换热热量.

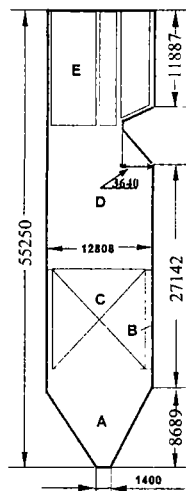


图 1 300 MW 锅炉炉膛几何结构

3 计算结果及分析

本文对下面两种辐射特性模型进行数值模拟并比较由此而产生的炉内温度场的差异,它们是:

模型 1: 均匀介质辐射特性模型: 取整个炉膛空间内吸收系数为 0.3 m^{-1} , 颗粒的散射系数为 0.13 m^{-1} , 火焰区吸收系数取为 0.7 m^{-1} ;

模型 2: 如前所述的非均匀介质辐射特性模型. 图 4、5 分别给出两种辐射特性模型下的炉膛中心剖面烟气温度分布和炉膛出口断面(末级过热器后)的共中央烟气温度分布,由图可见,在煤粉火炬的下方两侧有高温区域存在(对应于燃烧器 A 的位置),且其底部

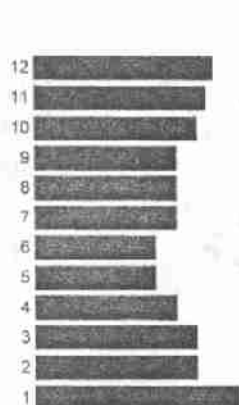


图 2 缩腰配风方式示意图

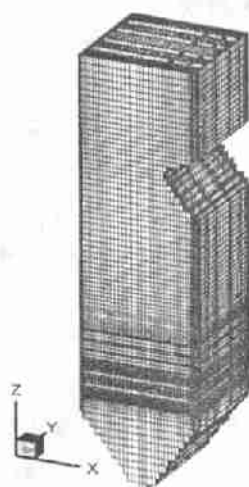


图 3 炉膛网格划分

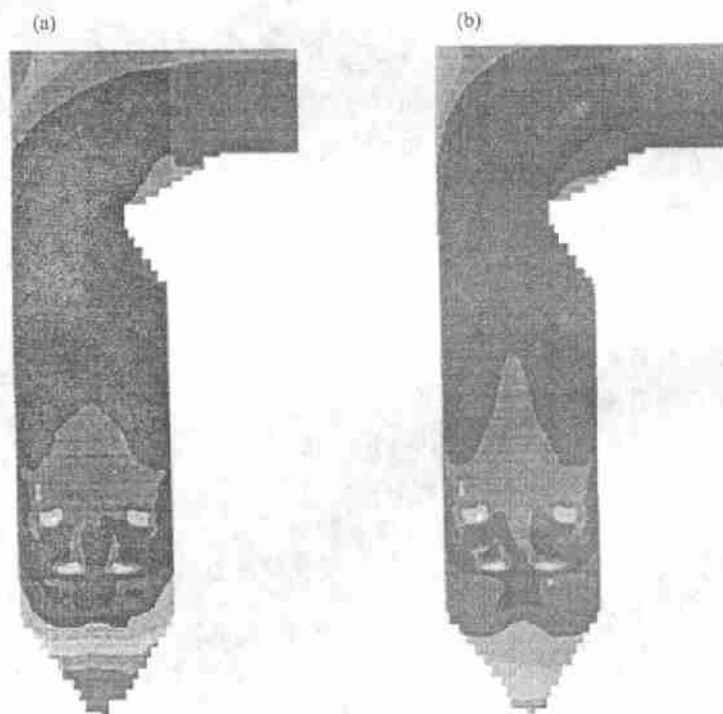


图 4 炉膛中心断面烟气温度分布

(a) 均匀辐射特性模型; (b) 非均匀辐射特性模型

有向下延伸的高温火炬, 这对炉内整体火焰的稳定性有利; 比较两图发现, 采用模型 1 预测得到图的炉膛出口气流的温度比模型 2 均匀, 采用模型 2 时, 可以发现沿炉膛轴线方向上气流温度的衰减很慢, 在炉膛中央, 形成一股直接冲向炉膛出口的高温气流, 并且炉膛出口截面的温度分布极其不均匀. 同时可以发现, 在火焰区下方即灰斗区域, 采用模型 1

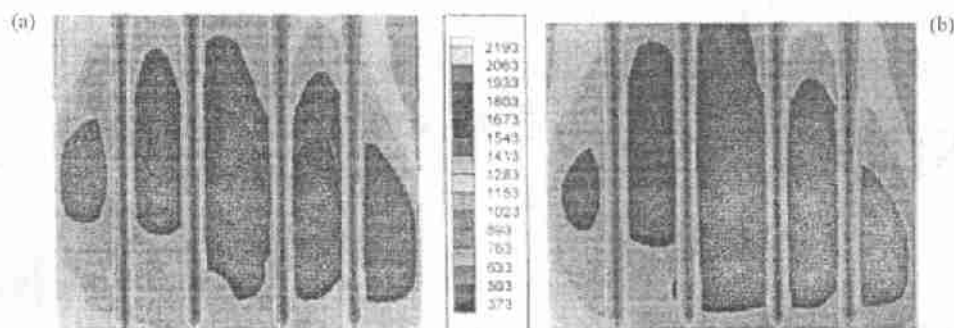


图5 炉膛出口断面烟气温度分布

(a) 均匀辐射特性模型; (b) 非均匀辐射特性模型

计算得到气流整体温度水平显著偏低, 而该区域气流温度对下一次风甚至整个炉膛内的火焰稳定燃烧具有关键作用, 这种温度偏低在分析炉膛内的燃烧稳定性时往往会使人作出错误的判断。在火焰中心, 产生上述分歧的根本原因在于: 将炉膛内部极度不均匀分布的颗粒辐射特性视作均匀的。各种颗粒在炉膛空间内由气流携带作螺旋上升运动时, 受离心力的影响, 形成了中心低而近壁面处高的颗粒浓度分布, 因而在炉膛轴线附近, 构成了颗粒的吸收和散射作用均较弱的相对透明的区域, 最终导致了上述炉膛出口的高温烟气流。在灰斗和火焰中心区域, 颗粒的浓度亦很低, 模型 1 高估了该区域的颗粒吸收和散射作用, 从而计算得到的灰斗区域的辐射散热过强而火焰中心的辐射吸热过强, 由此预测得到的温度分布亦不合理。

参考文献:

- [1] BOHREN C F, HUFFMAN D R. Absorption and scattering of light by small particles[M]. Wiley-Interscience, 1983.
- [2] LEE S C, 余其铮, TIEN C L. Radiation properties of soot diffusion flames[J]. J Q S R T, 1982, 4: 27.
- [3] 刘林华, 余其铮, 阮立明, 等. 煤粉燃烧产物的辐射特性[J]. 动力工程, 1996, 16(6): 14 ~ 21.
- [4] LEE S C, TIEN C L. Optical constants of soot in hydrocarbon flames[C]. 18th Symp. (Int.) on Combustion, Combustion Institute, Pittsburgh, 1986.
- [5] EDWARDS D K, et al. Thermal radiation by combustion gases[J]. Int J Heat Mass Transfer, 1973, 16: 25 ~ 40.

Analysis of Considering Influence of Non Uniform Radiative Properties of Media on Pulverised Furnace Process Modeling

XING Hua-wei^{*}, DENG Xian-he, LIU Zhao-hui, ZHENG Chu-guang

Abstract: Based on two different radiative property model, nonuniform and uniform model, this paper analyses the influence of radiative property models on furnace temperature field through numerical method owing to using uniform model.

Keywords: radiative property; numerical method; temperature field; furnace

^{*} Educational Ministry's Key Laboratory of Heat Transfer Enhancement and Energy Conservation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China