

烟气分布器对半干法脱硫塔流场的影响

林 军^{1,2}, 王 凡^{2*}, 张 凡², 钟儒刚¹, 都基峻² (1.北京工业大学能源与环境学院, 北京 100022; 2.中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 通过计算流体力学(CFD)方法, 采用 $K-\epsilon$ 双方程模型, 对半干法脱硫塔内部流场进行数值模拟, 研究几种不同类型的烟气分布器对流场分布的影响。结果表明, 脱硫塔体内部增设烟气分布器时明显改变流场的分布, 通过改变烟气分布器的结构, 实现烟气流动的速度矢量、压力梯度和能量在脱硫塔体内部均匀分布, 增加脱硫剂与 SO_2 接触的几率, 提高脱硫塔反应效率。研究结果为脱硫塔体内部结构的优化提供了依据。

关键词: 半干法烟气脱硫; 脱硫; 烟气分布器; 数值分析; 流场

中图分类号: X701.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2006)02-0129-04

Influence of flue gas distributor on flow field of semi-dry desulphurization reactor. LIN Jun^{1,2}, WANG Fan^{2*}, ZHANG Fan², ZHONG Ru-gang¹, DU Ji-jun² (1.College of Energy Source and Environmental Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2.Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China). *China Environmental Science*, 2006,26(2): 129~132

Abstract: Through the technique of calculating flow dynamic (CFD), adopting $K-\epsilon$ -2-equation model, the numerical simulation of the flow field in semi-dry desulphurization reactor was carried out to study the influence of flue gas of distributors of several different types on the flow field distribution. The distribution of flow field changed obviously when the flue gas distributors was set up in the desulphurization reactor. Through changing the structure of flue gas distributor to realize the even distribution of vectors of velocity, gradient of pressure drop, and energy in the desulphurization reactor. The contact rate of desulphurization agent with SO_2 was increased and the reaction efficiency of desulphurization reactor was enhanced. The study results supplied the basis of optimization of the structure of desulphurization reactor.

Key words: semi-dry flue gas desulphurization; desulphurization; flue gas distributor; numerical analysis; flow field

研究烟气脱硫塔内部流场及反应规律对进一步优化脱硫塔设备参数, 控制脱硫化学反应, 提高脱硫效率非常重要^[1]。通过对脱硫塔内部流场进行数值分析, 得到的结果可用于指导脱硫塔设备的优化和设计^[2]。

烟气分布器对脱硫塔体内部流场的分布起着决定性的作用, 可使三相流体在脱硫塔内均匀分布, 消除烟气在塔体内形成的死区, 保持多相流体的稳定性^[3]。对烟气分布器的选取, 一般是以实验室数据为基础, 通过经验关联式进行计算和设计。目前, 多数工作还仅限于对宏观流体力学特性的观察和测定。受测试手段和测试条件的限制, 得到的多相流场中速度、浓度等数据并不十分可靠^[4]。应用 CFD 方法, 通过 $K-\epsilon$ 双方程模型可以分析脱硫反应塔体内部的烟气流场分布状况, 用来指导

脱硫塔内部的设备优化^[5,6]。

本研究对烟气分布器进行设计, 使气、液、固三相在脱硫塔体内均匀分布, 提高 SO_2 与固体脱硫剂颗粒的接触几率^[7,8], 提高石灰、循环应用飞灰的利用率, 达到提高脱硫效率的目的。

1 烟气分布器

半干法烟气脱硫技术采用 $\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等钙基碱性物质作为脱硫吸收剂, 通过旋转喷雾或吸收剂和增湿水雾分别进入脱硫塔体的方法, 使烟气与雾滴、吸收剂混合。从锅炉排出的原烟气经烟气分布器后进入半干法烟气脱硫塔, 与喷雾

收稿日期: 2005-11-25

基金项目: 国家“863”项目(2001AA642030-3)

* 责任作者, 副研究员, fanwangsd@yahoo.com

增湿水以及脱硫剂混合。 CaO 在湿烟气条件下较容易生成活性的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 使烟气中的 SO_2 与脱硫剂直接参加反应; 同时, 水分蒸发过程中吸收烟气的热量, 达到脱硫反应的最佳温度, 并可获得最佳脱硫效果^[9]。

烟气分布器在高温腐蚀性介质下工作, 要求其结构简单、方便喷涂耐磨材料、阻力损失低、保证气流有良好的稳定性并防止产生流动死区。

Makarytchev S V 等^[10]提出的旋转锥床是一种有效的烟气分布器, 但动力消耗和维修量较大, 不适用于半干法烟气脱硫分布器。图 1A 和图 1B 是 2 种典型的同心圆锥筒体烟气分布器, 这种类型的分布器几乎没有阻力, 可大大减小布气临界压降。

通过烟气分布器各同心圆锥筒体的烟气量为:

$$Q_i = Q \frac{\tan^2 \theta_i - \tan^2 \theta_{i-1}}{\tan^2 \theta_N} \quad (1)$$

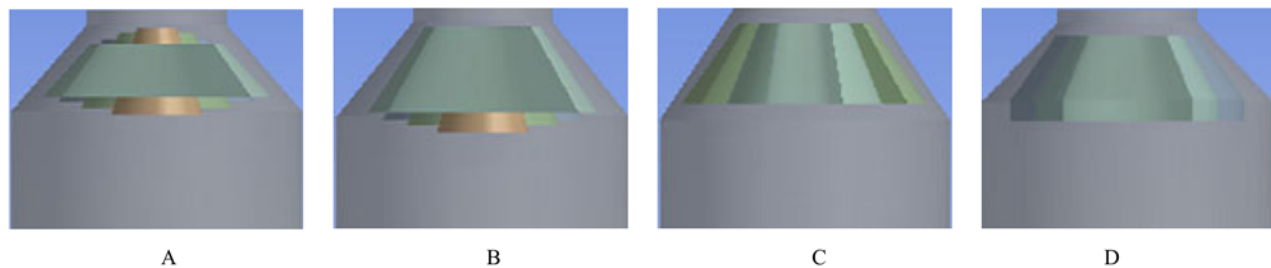


图 2 设计的烟气分布器

Fig.2 Patterns of flue gas distributor designed for semi-dry flue gas desulphurization

2 数值分析

2.1 基本假设

半干法烟气脱硫塔内吸收剂颗粒、增湿水雾和烟气混合物的流动非常复杂, 并伴增湿雾滴的蒸发、脱硫吸收剂对 SO_2 的吸附和钙基碱性成分与 SO_2 气体之间的异相反应。为了研究的方便, 对脱硫塔体内部的多相流体作如下简化: 烟气为均匀的多组分气体; 流体为定常流动; 不考虑烟气与外界的热交换, 气体和颗粒无热交换; 脱硫塔壁为绝热层; 忽略颗粒之间以及颗粒与烟气分布器的相互作用。

式中: Q 是烟气的总流量; θ_i 是第 i 个圆锥筒体偏离中心线的角度; N 是圆锥筒体的个数。

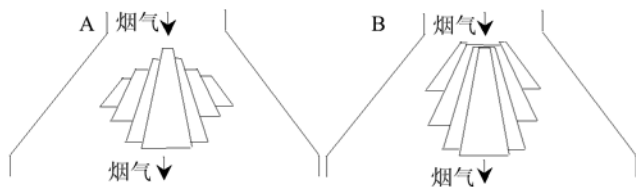


图 1 常见的烟气分布器结构示意图

Fig.1 Construction of commonly employed flue gas distributors

图 2 为 4 种不同结构的同心圆锥筒体烟气分布器。其中图 2A 和图 2B 分别对应图 1A 和图 1B; 图 2C 是由几个高度相同的同心圆锥组成的圆锥筒体; 图 2D 是在图 2C 中的同心圆锥体下方加导向分布板, 使流经烟气分布器后的均匀多相流体保持稳定。

2.2 初始条件与边界条件

采用 Cartesian (x, y, z) 坐标, 速度矢量 $U=U(u, v, w)$; 脱硫塔进口烟气速度视为均匀定常流动, $u_0=0, v_0=0, w_0=17\text{m/s}$; 出口压力 0; 烟气温度 375K; 进口直径 4.3m; 脱硫塔体直径 9.0m; 烟气密度 1.7kg/m^3 ; 运动黏度系数 $1.85 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ 。出口方向 $\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial y} = 0$ 。

2.3 控制方程

建立 $K-\varepsilon$ 双方程数学模型, 对塔内烟气和脱硫剂混合流体进行模拟。描述塔体内部气相流动的模型方程有:

连续性方程

$$\nabla \cdot (\rho U) = 0 \tag{2}$$

动量方程

$$\rho \frac{\partial(U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \times U) = -\nabla \cdot P + \nabla \cdot \tau + \rho U g \tag{3}$$

式中： U 为速度矢量； P 为压力，Pa； τ 为剪切应力； ρ 为流体的密度。

根据经验公式计算， K 取值为 $0.005 \times \frac{\rho V_0^2}{2}$ ，

其中 V_0 为脱硫塔进口烟气的平均速度。 ε 的取值为 $0.1K^2$ 。

3 结果与分析

图 3 是数值分析得到的脱硫塔二维烟气流场，其中图 3A 是空塔流场速度分布，烟气在塔体的中部下行速度最大，接近进口流速 17m/s；而在靠近壁面处下行流速最小，烟气分布很不均匀。这种流场影响烟气中的 SO₂ 和脱硫剂接触的几率，降低脱硫反应效率。图 3B 是在脱硫塔体内部增加烟气分布器后的二维流场分析结果，和图 3A 相比，增加烟气分布器后明显提高烟气流场分布的均匀程度。

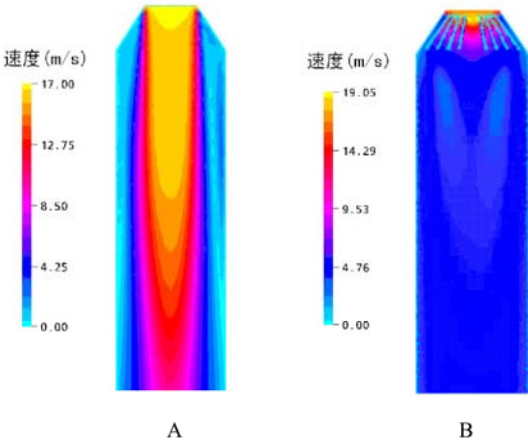


图 3 烟气分布器对烟气流场的影响
Fig.3 Effect of flue gas distributor on flue field pattern

对比图 2 中 4 种不同的烟气分布器流场数值发现，调节 θ_i 角度和圆锥筒体的尺寸能提高脱硫

塔体内部流场的均匀分布程度。图 4 是图 2 中 A、B、C 3 种烟气分布器对流体流场影响的速度矢量等值线分布。3 种烟气分布器产生的流体压力梯度等值线分布如图 5 所示。由图 4，图 5 可见，对于图 2 中的 A、B、C 3 种烟气分布器，随着脱硫塔体高度的增加，内部流场趋向不稳定，靠近塔体中间的速度矢量减小，而靠近塔体壁面的速度矢量有增大的趋势。

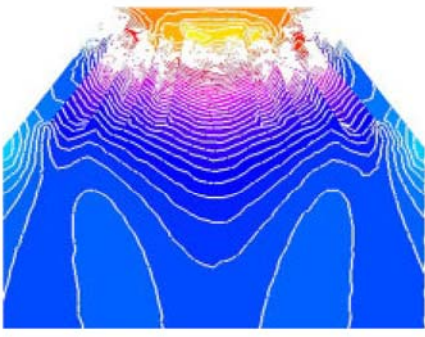


图 4 烟气速度矢量等值线分布
Fig.4 Contour of velocity vector

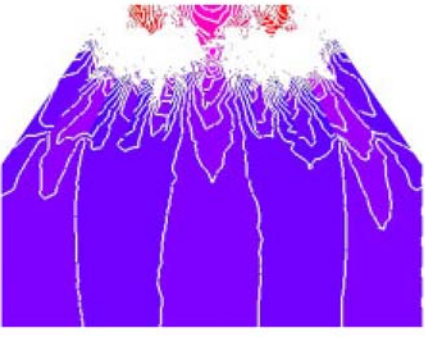


图 5 压力梯度等值线分布
Fig. 5 Contour of total pressure gradient

速度与压力梯度流场数值分析结果表明，在烟气分布器下方布置导流分布板有利于进一步提高烟气流场的稳定程度，如图 2D 所示。导流分布板沿烟气流动方向，施加在分布板上的压力梯度较小，产生的阻力可以忽略不计。

图 6 为烟气分布器内的湍流动能等值线分布，图 7 是湍流能量耗散等值线分布。由图 6，图 7 可见，湍流动能和能量耗散变化主要发生在烟气分布器壁面处，而在分布器的上方和下方则变化较小。

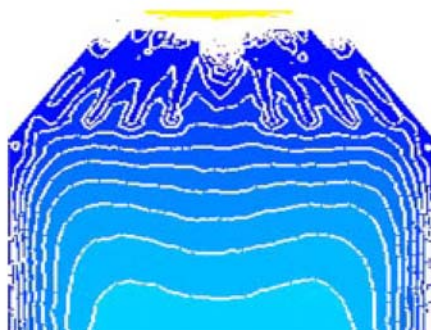


图6 湍流动能

Fig.6 Contour of turbulence kinetic energy

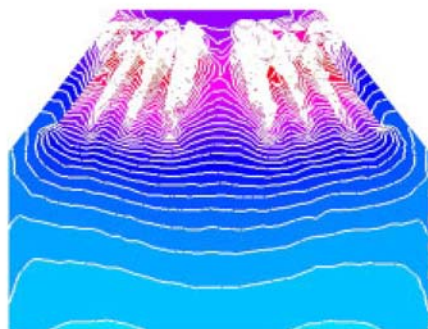


图7 湍流能量耗散

Fig.7 Contour of turbulence eddy dissipation

4 结论

4.1 数值模拟结果表明,增加烟气分布器后明显提高脱硫塔内烟气流场分布的均匀程度,提高烟气中的 SO_2 与脱硫剂的碰撞几率。

4.2 在烟气分布器下方增加导流分布板有利于

提高烟气流场的稳定程度,对脱硫塔内部设备的优化有重要作用。

参考文献:

- [1] 李少华,张本贤,于静梅,等.除尘脱硫塔内气固两相流动数值模拟 [J]. 东北电力学院学报,2003,23(2):1-5.
- [2] 仇中柱,徐吉浣,张中鹤.燃煤工业锅炉湿式旋流烟气脱硫装置的数值模拟法优化设计 [J]. 热能动力工程,2001,16(11):653-655.
- [3] 冯伯华.化学工程手册 [M]. 第5版.北京:化学工业出版社,1991.
- [4] 张政,谢灼利.流体-固体两相流的数值模拟 [J]. 化工学报,2001,52(1):1-11.
- [5] 罗运柏,胡宗定.烟气脱硫三相流化床反应器的数学模拟与预测放大 [J]. 化工学报,2002,53(2):122-127.
- [6] 周山明,金保升,仲兆平.大型烟气脱硫塔的流体动力学模拟及优化设计 [J]. 东南大学学报(自然科学版),2005,35(1):105-110.
- [7] 唐庆,徐旭常.排烟增湿脱硫活化反应器内液滴-脱硫剂颗粒碰撞的数值模拟 [J]. 工程热物理学报,1996,17(3):367-370.
- [8] 曾芳,陈力,李晓芸.湿式脱硫塔流场数值计算 [J]. 华北电力大学学报,2002,29(2):106-110.
- [9] 颜岩,彭晓峰,贾力,等.循环流化床烟气脱硫过程特性分析 [J]. 应用基础与工程科学学报,2003,11(1):77-85.
- [10] Makarytchev S V, Langrish T A G, Fletcher D F. CFD analysis of spinning cone columns: prediction of unsteady gas flow and pressure drop in a dry column [J]. Chemical Engineering Journal, 2002,87:301-311.

作者简介:林军(1968-),男,山东武城人,副研究员,硕士,主要从事大气污染防治技术和机理研究.发表论文10余篇。