

垂直浓淡煤粉燃烧器内气固两相流的数值模拟

赵振宁¹, 童家麟¹, 叶学民², 王晶晶¹

(1. 华北电力科学研究院有限责任公司 北京 100045; 2. 华北电力大学 能源动力与机械工程学院 河北 保定 071003)

摘 要: 采用了高效降低 NO_x 燃烧技术的垂直浓淡煤粉燃烧器得到用户的广泛应用, 其分离性能是降低 NO_x 的关键因素, 它不仅受导流板角度、弯头角度和分隔板长度的影响, 也与煤粉粒径密切相关。以某垂直浓淡煤粉燃烧器为研究对象, 采用数值模拟对一次风通过浓淡燃烧器后煤粉气流分布规律进行了模拟, 分析了弯头角度、导流板角度、分隔板长度和煤粉粒径对分离效果的影响。结果表明: 弯头角度对分离性能起决定性的作用, 角度大于 60° 时, 浓侧煤粉浓度已接近于 1; 导流板角度增加时, 浓淡煤粉分离性能得到优化, 但同时又增加了浓淡侧的速度偏差, 最大速度偏差达到 30 m/s; 分隔板过短不利于煤粉分离; 过长又增加了速度偏差; 大粒径的颗粒的分离性能是小粒径的 1.12 倍; 真实的煤粉气流由于富含小颗粒, 实际更加难以分离。研究所得结论可为该燃烧器的设计和运行提供参考。

关 键 词: 垂直浓淡煤粉燃烧器; 导流板; 弯头; 分隔板; 粒径; 分离效果; 数值模拟

中图分类号: TK223.23; O242 文献标识码: A

引 言

为满足国家环保制订的 NO_x 排放的最新标准^[1] 2012 年起国内大部分的火电厂都必须增设脱硝装置。为了减小脱硝系统的规模、降低运行成本并保证最终脱硝系统出口 NO_x 的浓度, 一般需要先通过燃烧的方法把脱硝系统入口的 NO_x 浓度控制在 400 mg/m^3 以下^[2]。煤粉燃烧器是锅炉燃烧系统中的关键设备, 不但对锅炉燃烧的可靠性和经济性起着主要作用, 还对 NO_x 的生成量起关键作用。经过特殊设计的低 NO_x 燃烧器, 降低着火区的温度和氧气浓度, 实现空气分级燃烧, 是抑制 NO_x 生成的重要途径。

垂直浓淡煤粉燃烧器作为低 NO_x 燃烧器的一种, 由于具有煤粉浓度可调, 能够满足高效、稳燃、防结渣和抑制 NO_x 生成等优点而日益受到广泛应用^[3-4]。随着数值计算方法的普及, 国内学者对浓淡煤粉燃烧器内气固两相流特性的研究增多, 但多

集中在弯头的影响或者是燃烧器中的某一个部件^[5-9], 如撞击块、文丘里、百叶窗等且对浓淡燃烧器分离煤粉效果的研究^[10-12], 而全面研究这些部件协调作用的文献尚未见报道。

实际上, 低 NO_x 燃烧器最终分离煤粉的效果必然是弯头与燃烧器自身分离综合作用的效果, 因而, 把它们当作一个整体来综合研究非常有必要。为此, 本研究以某垂直浓淡煤粉燃烧器为研究对象, 采用数值模拟方法对其分离煤粉的规律进行模拟, 分析导流板、弯头角度、分隔板长度和煤粉粒径对分离器效果的综合影响, 以期今后分析类似问题提供借鉴。

1 研究对象概况

张家口电厂 3 号机组为国产 300 MW 亚临界纯凝汽式机组, 2011 年采用双尺度燃烧技术对锅炉进行了改造, 将原有燃烧器改造为垂直浓淡煤粉燃烧器, 其结构原理如图 1 所示。受离心力作用, 风粉混合气流在弯头内进行了初步的浓淡分离后, 进一步由燃烧器内的导流板继续分离, 形成浓淡两股煤粉气流, 由于稳燃钝体是上下两侧, 浓淡一次风以不同的角度进入炉膛燃烧。浓淡分离效果随着导流板角度和弯头角度的不同而变化。一、二次风采用不同的射流方向: 下端部风及一次风射流方向为顺时针方向, 二次风为逆时针方向, 二者的配合最终使切圆旋转方向为逆时针方向。为保证燃烧器的运行安全, 在节点功能区还采用了较大的贴壁风组件, 同时, 在主燃烧器上方 5~6 m 处布置 4 层分离 SOFA 燃尽风, 以提高煤粉的燃尽程度。

2 数学模型及数值计算方法

2.1 气相流动的数学模型

浓淡煤粉燃烧器内气相流动基本属于无旋或弱

收稿日期: 2012-02-07; 修订日期: 2012-02-13

作者简介: 赵振宁(1973-), 男, 内蒙古乌兰察布人, 华北电力科学研究院有限责任公司高级工程师。

旋的绕钝体流动^[13],因此选用 RNG $k-\varepsilon$ 模型对气相流动进行模拟计算,该模型可以很好地反映气相流动。RNG $k-\varepsilon$ 模型来源于严格的统计技术,其在直角坐标系中的偏微分方程组为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_g \varphi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_g u \varphi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_g v \varphi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho_g w \varphi) = \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial z}) + S_\varphi \quad (1)$$

式中: x, y, z —坐标轴的三个方向; u, v, w —沿 x, y, z 三个坐标轴方向的分速度; ρ_g —气体的真实密度; φ —通用变量; Γ_φ —通用系数; S_φ —源相。

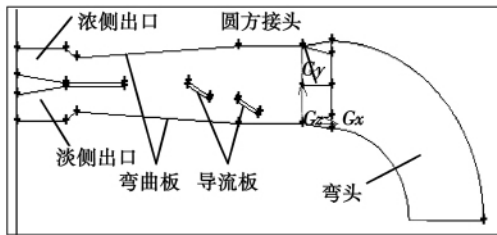


图 1 燃烧器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the structure of a burner

方程的求解采用 SIMPLE 算法,入口边界为速度入口边界条件,假设来流速度充分发展且分布均匀;出口边界为压力出口边界条件。对于壁面附近的区域,用标准壁面函数法修正^[6]。

2.2 颗粒相流动的数学模型

在充分考虑气固两相流动实际特性的条件下,颗粒相做如下处理:

- (1) 考虑了颗粒相与连续相的相间耦合;
- (2) 考虑了重力,大气压力,气流曳引阻力对颗粒相运动轨迹的影响;
- (3) 颗粒相在壁面处满足没有能量损失的完全弹性碰撞条件^[7];
- (4) 不考虑热泳力,布朗力对颗粒相运动轨迹的影响;
- (5) 颗粒相假定为大小均匀的球形,对其跟踪使用随机轨道模型,考虑颗粒相的湍流扩散,计算了颗粒的随机轨道及沿轨道的变化经历。在直角坐标系下的运动方程为:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{du_p}{dt} = \frac{1}{\tau_\tau}(\bar{u}_g + u'_g - u_p) + \frac{\sum F_x}{m_p} \quad (2)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{dv_p}{dt} = \frac{1}{\tau_\tau}(\bar{v}_g + v'_g - v_p) + \frac{\sum F_y}{m_p} \quad (3)$$

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{dw_p}{dt} = \frac{1}{\tau_\tau}(\bar{w}_g + w'_g - w_p) + \frac{\sum F_z}{m_p} \quad (4)$$

式中: $\bar{u}_g, \bar{v}_g, \bar{w}_g$ —连续相沿 x, y, z 三个坐标轴方向的时均分速度; u'_g, v'_g, w'_g —连续相沿 x, y, z 三个坐标轴方向的脉动分速度; u_p, v_p, w_p —颗粒相为沿 x, y, z 三个坐标轴方向的分速度; $\tau_\tau = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu f}, f = \frac{C_D Re}{24}$; C_D —湍流脉动下的颗粒阻力系数; m_p —颗粒相的质量; F 是使颗粒周围流体加速而引起的附加作用力^[10]。

2.3 网格划分

由于模型结构的复杂性,在划分网格时将模型划分为 4 个部分,弯头和主燃烧器用 Hex/Wedge 网格划分,混合室用六面体结构化网格划分,圆方接头用四面体非结构化网格划分,总网格数大约为 40 万个。通过对不同数量级的网格进行模拟计算以及对网格的敏感性无关性检验,最后确定该网格密度符合要求,大量使用结构化网格有利于提高数值计算的速度和迭代收敛速度。迭代计算的残差为 10^{-3} 数量级,可以满足计算精度要求。模型及网格划分如图 2 所示。

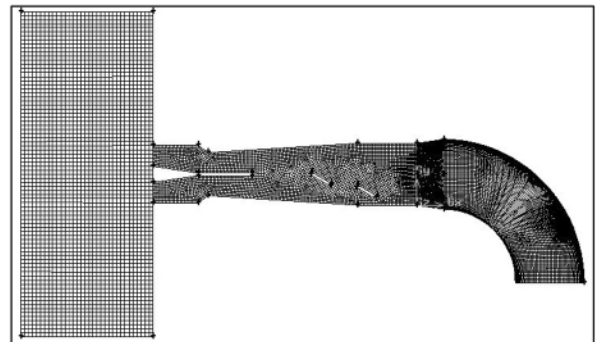


图 2 燃烧器网格划分示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the mesh division of a burner

2.4 计算工况

为了研究不同前置弯头角度和导流板角度对燃烧器内两相流动及煤粉颗粒分离能力的影响,以导流板角度 $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 80^\circ, 90^\circ$ 和弯头角度 $\theta = 10^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$, 进行了正交数值模拟试验,共 24 个工况;计算条件尽可能接近实际工况:进口气流速度 26 m/s,煤粉颗粒粒径 50 μm ,流量为 4.18 kg/s,此时煤粉浓度为 0.813 kg/m^3 。

为了研究分离器分隔板长度对分离效果的影响,选择了对分隔板长度 L 最短长度 0 cm 和最大长度 85.2 cm,两种工况进行模拟计算,并与原设计分离器分隔板长度 L 为 41.2 cm 时的工况进行了

比较。

为揭示该分离器对不同粒径的煤粉的分离效果,选择对粒径为 100 μm 的煤粉和真实煤粉在弯头角度 θ = 10°、导流板角度 α = 30°的分离器内流动进行了数值模拟计算,并与原粒径为 50 μm 煤粉的流动情况进行了对比。

3 数值模拟结果

3.1 弯头对分离效果的影响

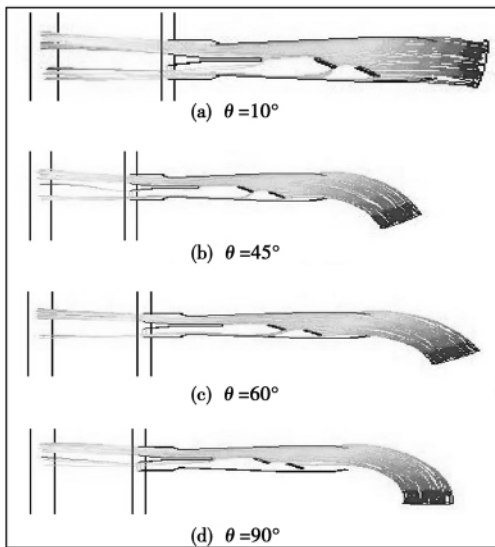


图3 导流板角度为 30°时的颗粒相运动轨迹示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the particle-phase movement trajectory when the angle of the flow guided plate is set at 30°

图3是描述导流板角度 α 为 30°时带有不同结构前置弯头的浓淡煤粉分离器内的颗粒相轨迹,图4显示了各工况下燃烧器出口浓淡侧气流的速度偏差。非常明显的是,煤粉气流在通过弯头后,在离心力与弯头的挤压力的共同作用下,密度大、惯性大的煤粉大都集中在了流道的外侧,随着弯头角度 θ 的增加,这种分离煤粉的能力呈上升趋势,当弯头角度 θ 为 90°时,在淡一次风出口甚至已经基本看不到离散相的轨迹。由图4可知,随着弯头角度的增加,浓淡侧速度偏差略有减少。这是因为,由于弯头离心力作用产生的强二次流使主流中的高速流体沿着弯头的对称横剖面向外壁流动,弯头角度越大,高速气体越集中于分离器上部,但由于分离器上部弯曲板的存在,偏向淡侧的弯曲板使得更多密度小、惯性小

的高速气体转向淡侧,从而使得气体在流经弯曲板后,淡侧的气体速度增加,而浓侧的气体速度有所减小。

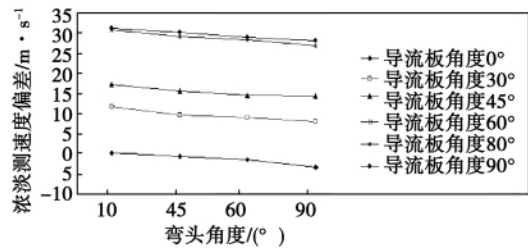


图4 不同弯头与导流板角度条件下浓淡侧风速偏差

Fig. 4 Air speed deviation at the bias combustion side under the condition of various elbows and different flow guided plate angles

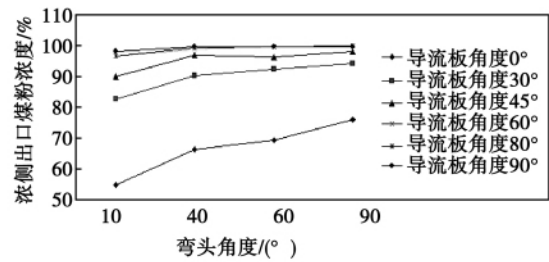


图5 浓侧煤粉浓度随弯头的变化规律

Fig. 5 Law governing the change of the pulverized coal concentration at the dense combustion side with the elbow

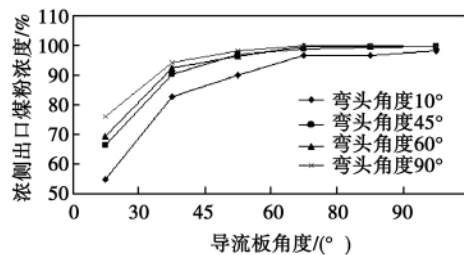


图6 浓侧煤粉浓度随导流板角度的变化规律

Fig. 6 Law governing the change of the pulverized coal concentration at the dense combustion side with the flow guided plate angle

为了更好地分析弯头对分离效果的影响,定义通过浓侧出口的颗粒质量占总质量的百分比为浓侧的煤粉浓度,图5显示了燃烧器浓侧出口煤粉浓度随弯头角度变化的规律。可以看出,其它导流板角度下燃烧器分离煤粉的能力与导流板角度为 30°时

趋势非常类似,当弯头角度大于 60°时分离器的分离能力基本没有明显变化。

3.2 导流板的影响

浓侧煤粉浓度随导流板角度的变化规律,如图 6 所示。从中可见,各种弯头条件下的规律趋于一致,浓侧出口煤粉浓度都随着导流板角度的增加而增加,增加的趋势在 60°后变缓。显然,当导流板角度增大时,一方面由于导流板对煤粉颗粒的阻挡,使煤粉颗粒在惯性作用下与气相分离,导流板的相互作用将煤粉颗粒带一直引入浓侧喷口,增强分离效果;另一方面,导流板角度增大后又使一次风更偏向于浓侧,同时,大角度导流板后的逆压梯度区增大,导流板之间的不连续流道的面积随之增加,使浓侧通过导流板间隙流向淡侧的气流减少,从而增大了浓淡侧一次风的速度偏差,这对提高燃烧器喷嘴寿命、提高煤粉燃烧的稳定性、减少结渣和高温腐蚀和降低 NO_x的排放都是不利的^[14]。

图 7 为弯头角度 10°,导流板角度分别为 30°和 90°时的静压分布图,从中可知,当导流板角度为 30°时,分离器压降仅为 2 kPa,而导流角度升高到极限值 90°时,压降达到了 3 kPa,这是由于气流进入淡侧时流通面积缩小后再扩张,存在节流损失,导流板角度增大,使得淡侧气流的流通面积更为缩小,气流节流损失增加,从而使得分离器压降增大。较大的压降阻碍了一次风通过分离器的能力,要求磨煤机增大出力,可能会影响机组的正常运行^[15]。

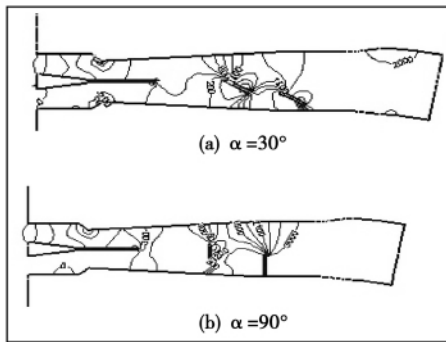


图 7 不同导流板角度下的静压分布图
Fig. 7 Static pressure distribution chart at various flow guided plate angles

3.3 分隔板对分离效果的影响

为了研究分离器分隔板长度对分离效果的影响,选择了分隔板长度 L 分别为 0 cm 和 85.2 cm 两种工况进行模拟计算,选择 L 为 85.2 cm 是因为此时分隔板与导流板刚好相连,并与原设计分离器分

隔板长度 L 为 41.2 cm 做了比较。图 8 分别为 $L=0$ cm 和 $L=85.2$ cm 时的静压分布图。由图 8 (a) 可知,由于分隔板离导流板距离过远,在分隔板前,浓淡侧静压趋于一致,大量携带煤粉的一次风绕流导流板从浓侧转向淡侧,且完全不受分隔板的阻碍,使得分离器的速度偏差减小,分离效果变差。在此工况下,浓侧煤粉浓度为 0.76,压降 1.95 kPa,浓淡侧速度偏差 10.6 m/s。分隔板过长,分离效果略有增强。由文献 [16] 可知,对煤粉浓缩起到关键作用的是两级导流板,由于导流板的对煤粉颗粒的阻挡,浓煤粉在导流板表面形成一条高浓度浓缩带,导流板与分隔板的相互配合将煤粉颗粒带一直引入到浓侧喷口,因此导流板与分隔板之间遮盖度和间距的配合将直接影响颗粒带的走向。这对分离器分离煤粉起主要作用。分隔板长度加大,阻碍了进入浓侧的一次风绕流导流板,浓淡侧速度偏差增大,但空气黏度携带,对分离器分离煤粉起次要作用,故分离效果只是略有增强。由图 8 (b) 可知,分离器阻力也有所加大。在该工况下,浓侧出口煤粉浓度为 0.83,压降为 2.2 kPa,浓淡侧速度偏差达到了 15.1 m/s,大大高于原设计分离器的压降和速度偏差。原设计分离器浓侧出口煤粉浓度为 0.81,压降为 2 kPa,速度偏差为 11.4 m/s。图 9 为不同分隔板长度下的颗粒相运动轨迹示意图。

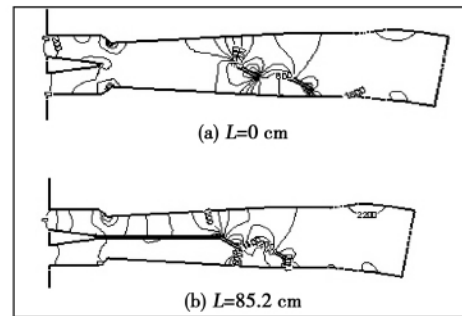


图 8 不同分隔板长度下的静压分布图
Fig. 8 Static pressure distribution chart at different partition plate lengths

3.4 粒径对分离效果的影响

为揭示该分离器对不同粒径的煤粉的分离效果,选择对 100 μm 的煤粉和真实煤粉在弯头角度 $\theta = 10^\circ$ 、导流板角度 $\alpha = 30^\circ$ 的分离器内流动进行了数值模拟计算,保持分离器其它边界条件不变。选择该工况的原因是,此时淡侧出口处煤粉浓度较高,更换粒径后,可以明显地观察浓度变化。真实煤粉颗粒粒径按 Rosin - Rammmler 分布,最小直径 20

μm ,最大直径 $200 \mu\text{m}$,平均粒径 $50 \mu\text{m}$,煤粉均匀性指数为 1.1。图 10(a) 和图 10(b) 分别为 $50 \mu\text{m}$ 和 $100 \mu\text{m}$ 两种粒子在该工况下的离散相轨迹。可以看出 ,分离器对 $100 \mu\text{m}$ 粒子的分离效果略好于对 $50 \mu\text{m}$ 粒子的分离效果。这是因为 $100 \mu\text{m}$ 大粒子由于惯性大 ,在管道内不易随气流湍流发生弥散 ,很少能跟随气流绕过导流板进入淡侧。显然 ,颗粒越大 ,分离效果越明显。该工况下 , $100 \mu\text{m}$ 煤粉的分离效果为 $50 \mu\text{m}$ 煤粉分离效果的 1.12 倍。同时浓淡侧速度偏差亦有所减少 ,这是由于 $100 \mu\text{m}$ 粒子由于惯性大 ,不易随浓侧气流加速 ,从而使浓侧出口一次风风速有所降低 ,该工况下运输 $100 \mu\text{m}$ 粒子的浓淡侧速度偏差仅为 7.83 m/s ,运输 $50 \mu\text{m}$ 粒子的速度偏差为 11.4 m/s 。

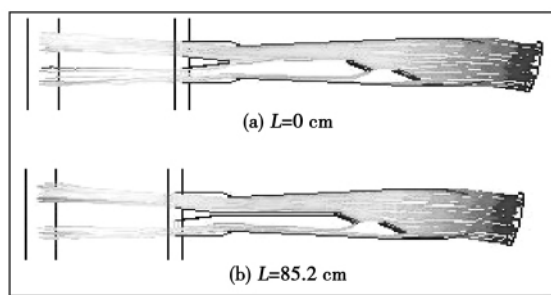


图 9 不同分隔板长度下的颗粒相运动轨迹示意图

Fig. 9 Schematic drawing of the particle phase movement trajectories at different partition plate lengths

图 10(c) 为真实煤粉的轨迹 ,由图可知 ,对该颗粒的分离效果不如对 $50 \mu\text{m}$ 粒子的分离效果。因为真实煤粉中存在着大量粒径小于 $50 \mu\text{m}$ 的粒子 ,小粒子能通过导流板间隙进入淡侧 ,减弱了分离器的分离效果。在此工况下 ,浓侧出口煤粉浓度为 0.70 。该分离器 $50 \mu\text{m}$ 浓侧出口煤粉浓度为 0.81 。

4 应用效果

张家口电厂 3 号炉的实际应用中 ,导流板运行角度为 30° ,分隔板长度 L 为 41.2 cm ,弯头均为 90° 。根据数值模拟结果可知 ,该条件下分离器可以在保证较好浓淡分离效果的前提下 ,能较好地控制了浓淡侧的速度偏差 ,达到降低 NO_x 的目的。这与数值模拟的结果一致。改造后 ,机组在 300 MW 负荷、氧量 6% 的条件下 , NO_x 排放量大为降低 ,浓度仅为 226.79 mg/m^3 ,取得了非常好的效果 ,也进一

步验证了数值模拟的准确性和指导性。

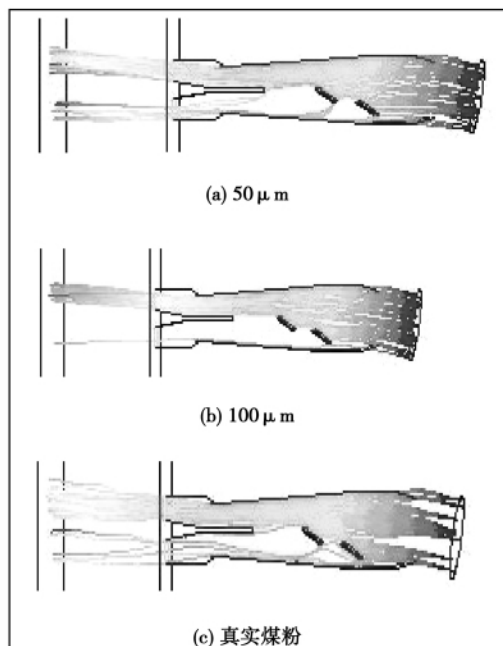


图 10 不同粒径下的离散相轨迹示意图

Fig. 10 Schematic drawing of the discrete phase movement trajectories at different particle diameters

5 结 论

采用数值模拟的方法对有不同导流板角度、弯头角度和分隔板长度的浓淡分离器内的气固流动特性进行了模拟 ,数值模拟结果表明:

(1) 弯头的角度对浓淡分离器分离煤粉的能力起着决定作用 ,分离效果随弯头的角度单调递增 ,角度越大 ,浓淡分离的效果越显著。在角度大于 60° 后 ,由于浓侧出口煤粉浓度已接近于 1 ,继续增大弯头角度 ,对分离效果的增强影响不大。且增加弯头角度可以抑制部分速度偏差。

(2) 导流板的角度对浓淡分离器性能的影响没有弯头明显 ,但仍不可忽略。导流板角度增大 ,分离器分离效果增强。但过大的导流板角度会急剧增大浓淡侧的速度偏差 ,导流板角度为 90° 时 ,浓淡侧速度偏差达到了 30 m/s ;同时也加大分离阻力 ,阻力较正常运行加大了 1 kPa 。这对于分离器的运行都是不利的。选择合适的导流板角度显得尤为重要。

(3) 分隔板过短分离效果降低 ,浓淡侧风速趋于平衡。分隔板过长浓淡分离效果略有增强 ,但分离器阻力增加 ,风速差亦显著增加。

(4) 粒径大小对分离器的性能也有很大的影响。大颗粒的分离效果较小颗粒增加 0.12 倍 ,浓淡

侧风速越趋于平衡。真实煤粉由于富含小颗粒,而使分离效果下降,仅为均匀粒子的86%。

(5) 弯头角度过大,会导致煤粉对弯头管壁的冲击作用增强,弯头磨损加剧。优化导流板的角度,可以在减小弯头磨损的条件下,也可以取得不错的分离效果,这需要设计人员根据实际情况更好地设计分离器。

参考文献:

- [1] B13223-2011. 火电厂大气污染物排放标准[S]. GB13223-2011. Standard for emissions of atmospheric pollutants in thermal power plants [S].
- [2] 李宝义,赵振宁. 低 NO_x 燃烧技术在电厂中的应用[J]. 华北电力技术 2006(11):21-23
LI Bao-yi, ZHAO Zhen-ning. Application of the low NO_x combustion technologies in power plants [J]. North China Electric Power, 2006, 11: 21-23.
- [3] 陈鸿伟,冯兆兴,安连锁,等. 水平浓淡燃烧器气固流动特性试验研究[J]. 中国电机工程学报 2007(11):11-15.
CHEN Hong-wei, FENG Zhao-xing, AN Lian-suo, et al. Experimental study of the gas-solid flow characteristics of a horizontal bias combustion burner [J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering 2007, 11: 11-15.
- [4] 夏振海,张新育,樊建人,等. 可调煤粉浓淡燃烧器的数值模拟[J]. 燃烧科学与技术 2000(3):214-217.
XIA Zhen-hai, ZHANG Xin-yu, FAN Jian-ren, et al. Numerical simulation of a adjustable pulverized coal bias combustion burner [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2006(3): 214-217.
- [5] 周昊,岑可法,樊建人,等. 弯头对煤粉浓淡分离器工作特性影响的数值模拟研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(1): 132-135.
ZHOU Hao, CEN Ke-fa, FAN Jian-ren, et al. Numerical simulation study of the influence of the elbow on the operating characteristics of a pulverized coal bias combustion separator [J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering 2003, 23(1): 132-135.
- [6] 于静梅,陈永辉,杨柳,等. 可调燃烧器内风煤两相流的数值模拟[J]. 洁净煤技术 2009, 15(1):74-77.
YU Jing-mei, CHEN Yong-hui, YANG Liu, et al. Numerical simulation of the air-coal two-phase flow in an adjustable burner [J]. Clean Coal Technology 2009, 15(1): 74-77.
- [7] 康张阳,杨荣,郭春笋. 具有偏流块的弯管文丘里管组合浓淡燃烧器数值分析[J]. 节能 2011(7):40-44.
KANG Zhang-yang, YANG Mo, GUO Chun-sun. Numerical analysis of a bias combustion burner in combination with an elbow Venturi tube having a deflection flow piece inside [J]. Energy Conservation 2007, 7: 41-44.
- [8] 荆有印,齐永霞,赵全表,等. 水平浓淡燃烧器内气固两相流的数值模拟[J]. 动力工程学报 2005, 25(1):65-67.
JING You-yin, QI Yong-xia, ZHAO Quan-biao, et al. Numerical simulation of the gas-solid two-phase flow inside a horizontal pulverized coal bias combustion burner [J]. Journal of Power Engineering 2005, 25(1): 65-67.
- [9] 严祯荣. 偏流块对特定煤粉燃烧器喷口的浓淡分离和 NO_x 排量的影响[J]. 动力工程 2006, 26(5):641-645.
YAN Zhen-rong. Effect of a bumping separator (BS) on the rich-lean flow separation and NO_x emissions quantity at the spout of a specific pulverized coal burner [J]. Journal of Power Engineering, 2006, 26(5): 641-645.
- [10] 江山,张京伟,吴崇健,等. 基于FLUENT的90°圆形弯管内部流场分析[J]. 中国舰船研究 2008, 3(1):37-41.
JIANG Shan, ZHANG Jing-wei, WU Chong-jian, et al. Analysis of the flow field inside a 90° round elbow bend based on the software Fluent [J]. Chinese Ship Research 2008, 3(1): 37-41.
- [11] 周志军,林震,苟湘,等. 文丘里浓淡煤粉燃烧器的分离特性和阻力特性研究[J]. 热力发电 2006(11):11-13.
ZHOU Zhi-jun, LIN Zhen, GOU Xiang, et al. Study of the separation and resistance characteristics of a Venturi tube bias pulverized coal burner [J]. Thermal Power Generation, 2006, 11: 11-13.
- [12] 刘泰生,叶恩清,陈灿,等. 百叶窗式水平浓淡燃烧器叶片结构改进的试验和数值模拟研究[J]. 动力工程学报, 2003, 23(6):213-216.
LIU Tai-sheng, YE En-qing, CHEN Can, et al. Experimental and numerical simulation study of the structural improvement of the vanes of a louver type horizontal bias burner [J]. Journal of Power Engineering 2003, 23(6): 213-216.
- [13] 周力行. 湍流两相流动与燃烧的数值模拟[M]. 北京:清华大学出版社,1991.
ZHOU Li-xing. Numerical simulation of two-phase turbulent flow and combustion [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1991.
- [14] 安恩科,杨震,宋谦,等. 浓淡煤粉燃烧器双通道速度差对 NO_x 排放的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版) 2009, 37(4):537-539.
AN En-ke, YANG Zhen, SONG Qian, et al. Effect of the dual-channel velocity difference in a bias pulverized-coal burner on its NO_x emission [J]. Journal of Tongji University (Natural Science Edition) 2009, 37(4): 537-539.
- [15] 杨龙滨,李争起,陈立哲,等. 叶片倾角及弯管对百叶窗浓淡分离器分离特性影响的工业试验[J]. 动力工程, 2003, 23(6): 2819-2822.
YANG Long-bin, LI Zheng-qi, CHEN Li-zhe, et al. Industrial test of the influence of the blade inclination angle and elbow bend on the separation characteristics of a louver concentrator [J]. Power Engineering 2003, 23(6): 2819-2822.
- [16] 孙悦,孙绍增,李争起,等. 煤粉浓淡器内气固两相流动特性的数值模拟[J]. 机械工程学报 2004, 40(3):35-39.
SUN Yue, SUN Shao-zeng, LI Zheng-qi, et al. Numerical simulation of the gas-solid two-phase flow characteristics of a pulverized-coal concentrator [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(3): 35-39.

(陈滨 编辑)

1%. The foregoing can provide certain basis for optimization of the profile of an inertia particle separator. **Key words:** inertia particle separator , modeling software , profile , gas-solid two phase flow

垂直浓淡煤粉燃烧器内气固两相流的数值模拟 = **Numerical Simulation of the Gas-solid Two-phase Flow Inside a Vertical Bias Pulverized Coal Burner** [刊 , 汉]/ZHAO Zhen-ning , TONG Jia-lin , WANG Jing-jing (School of Energy , Power and Mechanical Engineering , North China Electric Power Science Research Institute Co. Ltd. , Beijing , China , Post Code: 100045) , YE Xue-min (North China University of Electric Power , Baoding , China , Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(5) . - 572 ~ 577

As a high efficiency combustion technology to reduce NO_x , vertical bias pulverized coal burners obtain wide-ranging applications with each passing day , of which the separation performance is regarded as the key factor for reducing NO_x , not only influenced by the angle of the flow guide plate and elbow and the length of the partition plate but also closely related to the particle diameter of the pulverized coal. With a vertical bias burner serving as an object of study , numerically simulated was the law governing the distribution of the air flow after the primary air has passed through the bias burner and analyzed was the influence of the elbow angle , flow guide plate angle , partition plate length and pulverized coal particle diameter on the separation effectiveness. The research results show that the elbow angle plays a decisive role on the separation performance. When the elbow angle is bigger than 60 degrees , the pulverized coal concentration at the rich side has been already close to 1. When the flow guide plate angle increases , the bias separation performance will be optimized. However , in the meantime , it will also increase the speed deviation between the rich and lean side. The maximum speed deviation reaches 30 m/s. An excessively short partition plate will not be favorable to the separation of the pulverized coal while an excessively long partition plate will increase the speed deviation. The particle separation performance of pulverized coal in a big particle diameter will be 1.12 times that in a small particle diameter. The real pulverized coal and air flow will be more difficult to be separated because it is rich in pulverized coal particles in a small diameter. The foregoing can offer reference for design and operation of the burner and its kind. **Key words:** vertical bias pulverized coal burner , flow guide plate , elbow , partition plate , particle diameter , separation effectiveness , numerical simulation

1000 MW 机组干式排渣系统对锅炉效率影响的试验研究 = **Experimental Study of the Influence of the Dry Type Deslagging System of a 1000 MW Unit on the Boiler Efficiency** [刊 , 汉]/GAO Ji-lu , LENG Jie (Academy of Electric Power Sciences , Liaoning Provincial Electric Power Co. Ltd. , Shenyang , China , Post Code: 110006) , XU Hua , WANG Shi-neng (Southwest Electric Power Designing Institute , China Electric Power Engineering Consul-