

进风宽度对增压锅炉气流特性影响的数值分析

张亮¹, 刘明珠¹, 张迪²

(1. 中国船舶重工集团公司第七〇三研究所 黑龙江 哈尔滨 150078; 2. 哈尔滨工业大学 机械学院 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 针对增压锅炉切向固定叶片式旋流燃烧器的气流特性进行了深入的数值模拟, 并将常温常压工况下的模拟结果与试验流动阻力值及文献[11]的中心回流区边界进行对比, 验证了研究时所选计算模型的正确性。分析不同进风宽度下的回流区分布、速度分布及阻力系数在增压工况下的计算结果得出: 几何相似且其它结构参数不变时, 进风宽度与旋流强度呈单值对应关系; 当风口扩角一定且旋流强度在1~1.35之间时, 可形成有利于燃料着火与稳定燃烧的中心回流区; 随着进风宽度的增加, 气流分布的均匀性变差, 中心回流区的最大轴向回流速度(绝对值)变小, 主流区最大轴向速度变大, 沿流动方向各截面的轴向速度均呈“M”型分布, 切向速度均呈“N”型分布; 阻力系数与旋流强度呈良好的正比例线性关系, 这与文献[15]的结论一致, 进一步证明了所选计算模型的合理性。

关键词: 进风宽度; 气流特性; 数值模拟; 旋流燃烧器

中图分类号: TK223; O242

文献标识码: A

引言

船用增压锅炉具有炉膛体积小、重量尺寸指标低及容积热负荷高等优点^[1], 是目前大型水面舰船的主要蒸汽动力装置。增压锅炉采用旋流燃烧器, 其特点在于利用涡轮增压机组为炉膛提供高压、高密度、高温度的助燃空气, 使燃烧得到进一步强化^[2]。因此, 如何形成良好的炉内气流特性成为了决定燃烧质量的关键因素。影响旋流燃烧器气流特性的主要因素包括: 稳燃器位置、风口结构及旋流强度等。目前, 研究工作多集中于考察常压下不同因素对气流特性的影响^[3~9], 但对于增压条件下旋流燃烧器气流特性的研究还非常有限^[10~11]。

本研究以单个切向固定叶片式旋流燃烧器为研究对象建立数学模型, 采用数值模拟的方法着重考察了不同进风宽度对增压条件下气流回流区分布、速度分布及阻力系数等气流特性的影响。研究结果为增压锅炉旋流燃烧器的设计与优化提供了重要

依据。

1 计算模型

1.1 物理模型及简化

切向固定叶片式旋流燃烧器由切向固定叶片式调风器、简单扩口、稳燃器(开孔)和喷油器构成, 如图1所示, 并假设:

(1) 不考虑炉膛内燃烧器之间的影响, 研究对象为单一燃烧器。在保证回流区充分发展而不受壁面影响的情况下, 假定其在足够大的圆柱型炉膛空间内(直径 $D=1\text{ m}$, 长 $L=1\text{ m}$)工作;

(2) 为求接近真实流场, 建模过程中考虑叶片厚度、稳燃器厚度对流动的影响, 但不考虑对流场影响甚微的连接螺栓等零部件。

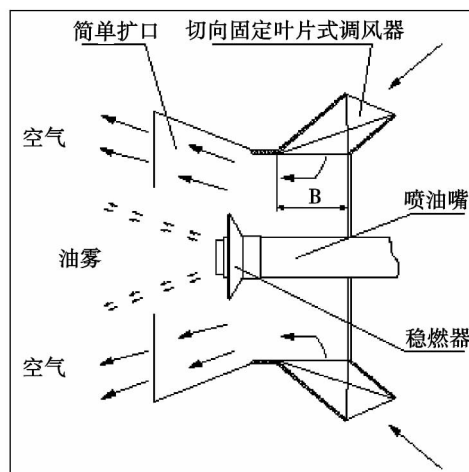


图1 切向固定叶片式旋流燃烧器模型示意图

Fig. 1 Schematic drawing of the model for a tangentially fixed blade type swirling burner

1.2 数学模型

本研究所有计算的工况进口 Re 数数量级均已达到 10^6 , 旋流强度达到0.8~1.8, 已属于充分发展

收稿日期: 2012-12-07; 修订日期: 2013-02-21

作者简介: 张亮(1983-), 男, 天津人, 中国船舶重工集团公司第七〇三研究所工程师。

的高 Re 数旋流流动。由于标准 $k-\varepsilon$ 模型中假定粘度系数 μ_t 是各向同性的标量, 而实际上高 Re 数旋流中的 μ_t 是各向异性的。因此选用针对平均流动中的旋转及旋流流动提出的 RNG $k-\varepsilon$ 模型进行数值模拟, 并获得了满意的模拟结果^[12]。

RNG $k-\varepsilon$ 模型通过修正湍动粘度和增加反映主流时均应变率项, 得到了新的 k 方程和 ε 方程:

k 方程:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + \rho \varepsilon$$

ε 方程:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{1\varepsilon}^* \varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

上述控制方程各变量的含义和系数值可参考文献[12]。

1.3 网格划分

根据 1.1 所述的物理模型及简化方法进行旋流燃烧器的三维建模, 并将其划分为叶片通道、稳燃器、简单扩口和炉膛等 4 个独立区域。划分网格时各部分独立进行, 并对稳燃器及中心回流区等速度梯度和压力梯度变化剧烈的区域进行局部加密处理。同时, 由于结构的不规则性, 各部分均采用非结构化网格划分方案, 最终生成的几何模型和计算网格如图 2 所示。

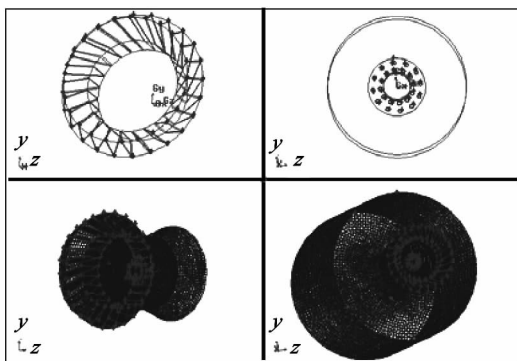


图2 几何模型及网格生成示意图

Fig. 2 Schematic drawing of the geometric model and mesh generation

1.4 定解条件

(1) 入口边界条件: 采用速度入口, 假设每个叶片均匀进风, 方向垂直于进口截面, 空气流量通过增

压锅炉全负荷工况下燃油消耗量计算得出, 空气流量除以入口总面积即为进口速度大小。

(2) 出口边界条件: 采用压力出口, 回流湍流强度 1%, 水力直径 1 m。

(3) 壁面边界条件: 采用标准的无滑移固体壁面边界条件, 即壁面处的切向速度和法向速度均为零。

(4) 计算工况: 以增压锅炉实际运行最高负荷为模拟工况, 流体介质为空气、流量 $2.982 \text{ m}^3/\text{s}$ 、压力 0.3 MPa、温度 160°C 、密度 2.42 kg/m^3 、运动粘度 $1.01 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

当气体的马赫数 < 0.3 时, 按不可压缩流体所带来的误差小于 2%^[13], 属工程计算误差允许范围, 而本研究所有计算工况的马赫数均小于 0.3, 因此将空气按不可压缩流体处理。

2 模型验证

模型验证以进风宽度为 100 mm 的切向固定叶片式燃烧器常温常压 ($P = 0.101 \text{ MPa}$, $T = 20^\circ\text{C}$) 运行时测得空气流经燃烧器的流动阻力与相同工况下数值模拟得出的流动阻力作比较。对比试验与模拟结果: 其中流动阻力的试验值为 1543.88 Pa , 模拟值为 1588.3 Pa , 二者的相对误差为 -2.8% , 属于合理的工程计算误差范围, 证明了本研究所选计算模型的准确性。

此外, 由于缺乏必要的试验手段而无法得到增压锅炉实际运行时的等温流场, 所以根据文献[11]提供的数据, 利用前述计算模型进行模拟验证, 并将计算出的中心回流区边界与文献[11]中的结果进行对比, 如图 3 所示, 计算出的中心回流区边界与文献[11]的结果高度吻合, 从另一角度证明了所选计算模型的合理性。

3 进风宽度对气流特性影响分析

为考察进风宽度单一因素对气流特性的影响及增加对比性, 本研究在模拟计算过程中, 保持燃烧器整体几何相似及计算工况相同, 只改变切向固定叶片调风器的进风宽度, 计算方案如表 2 所示。

3.1 回流区分布

中心回流区的存在可以将高温烟气的热量传递给主流区的燃料气流, 使之迅速达到着火温度进而

稳定燃烧。外回流区的边界即为气流扩散角,该扩散角影响着燃油雾化气流与助燃空气的混合,过大将使雾化气流与空气的早期混合不够强烈,过小将会增加炭黑的生成对燃烧不利。

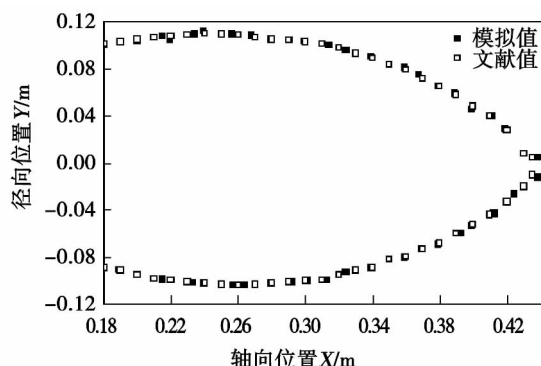


图3 中心回流区边界对比

Fig. 3 Comparison of the boundaries of the central return flow zone

表1 计算方案

Tab. 1 Calculation version

方案	进风宽度/mm	其它参数
1	60	
2	80	叶片倾角 40°、叶片数目 24、稳燃器
3	100	倾角 60°、扩口长度 120 mm、扩口角
4	120	度 21°
5	140	

表2 不同进风宽度下的旋流强度

Tab. 2 Swirling intensity under various air inlet widths

进风宽度/mm	旋流强度
60	1.80
80	1.35
100	1.08
120	0.90
140	0.77

中心回流区的大小及由外回流区边界构成的气流扩散角主要由旋流强度和风口扩角决定。旋流强度 Ω 是旋转动量矩 M 与轴向动量 K 之比的无因次数,仅与燃烧器结构尺寸相关。因此,对于本研究中几何相似且其它结构参数不变的旋流燃烧器,进风宽度与旋流强度呈单值对应关系,计算结果在表3中列出。

切向固定叶片式调风器的风口出口截面旋流强

度为:

$$\Omega = \frac{(d_0 - d_1)^2 \cos \alpha}{d_0 \pi L \sin(\alpha + \frac{180}{z})}$$

式中: d_0 —喉口直径; d_1 —中心管直径; L —叶片长度; α —叶片倾角。

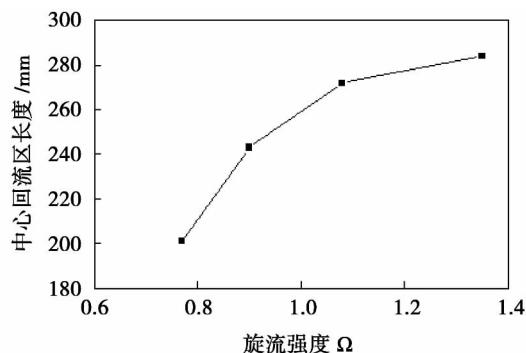


图4 旋流强度对中心回流区长度的影响

Fig. 4 Effect of the swirling intensity on the length of the central return flow zone

图4和图5分别为中心回流区长度、中心回流区最大直径与旋流强度之间的关系。计算结果表明:当风口扩角一定时,随着气流旋流强度的增大,中心回流区的长度和最大直径均变大。当旋流强度为1.8时,回流区在计算区域内已经无法形成封闭气流,这是由于旋流衰减过慢导致,此时形成的火焰将会冲刷后墙造成局部高温及燃烧不完全;当旋流强度为0.77时,形成的回流区过小长度仅为201 mm,最大直径也仅为178 mm,这种情况下容易导致燃油雾化气流因缺氧而产生热裂解,形成不完全燃烧。综合比较,当旋流强度在1~1.35之间时,回流区长度及最大直径的变化较小,长度在270 mm左右,最大直径为190 mm左右。此时形成的中心回流区有利于燃料着火及稳定燃烧。

图6为气流扩散角和旋流强度之间的关系。计算结果表明:当风口扩角一定时,随着气流旋流强度的增大,气流扩散角有显著的增大。根据试验结果^[14]:增压锅炉要求火焰短小、燃油雾化角为60°左右。当旋流强度为1.35~1.8时,气流扩散角大于燃油雾化角,虽然此时轴向速度衰减较快,火焰长度较短,但形成的中心回流区不利于燃油与空气的早期混合;当旋流强度小于1时,气流扩散角过小,将导致轴向速度衰减较慢,燃烧火焰变长;当旋流强度为1~1.35时,气流扩散角比燃油雾化角小10°~

15°左右,可形成适合于增压燃烧的中心回流区。这与文献[15]提到的气流扩散角应比燃油雾化角小10°~25°的结论是一致的。

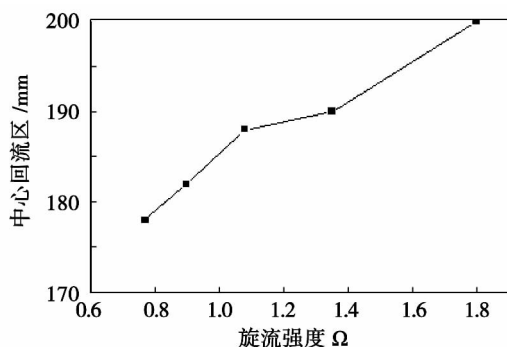


图5 旋流强度对中心回流区最大直径的影响

Fig. 5 Effect of the swirling intensity on the maximal diameter of the central return flow zone

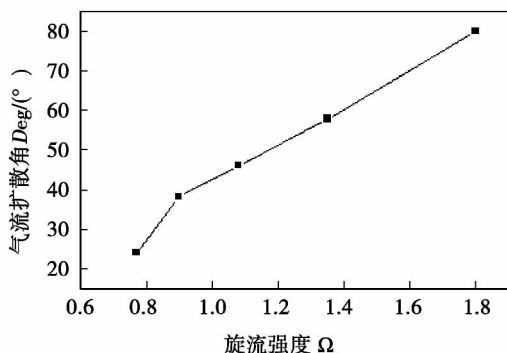


图6 旋流强度对气流扩散角的影响

Fig. 6 Effect of the swirling intensity on the diffusion angle of the air flow

3.2 速度分布

燃烧器出口截面速度分布越均匀,越有利于燃料气流与空气的均匀混合及燃料的燃尽,通常以速度不均匀系数 ε 来表征分布的均匀性。

速度不均匀系数 ε :

$$\varepsilon = \sigma_u / \bar{u}$$

式中: $\bar{u} = \sum u_i / n$, 出口截面均匀分布的 n 个测点

速度的算术平均值; $\sigma_u = \sqrt{\frac{\sum (u_i - \bar{u})^2}{n}}$, 速度分布的均方根偏差。

图7为不同进风宽度燃烧器风口出口截面的速度不均匀系数。从中可以看出,随着进风宽度的增加,风口出口截面的速度不均匀系数也在增加。速

度不均匀系数越小,表示气流分布的均匀性越好。当进风宽度小于100 mm时,速度不均匀系数变化范围很小,气流分布均匀性较好;当进风宽度大于100 mm时,速度不均匀系数显著增加,气流分布均匀性变差。

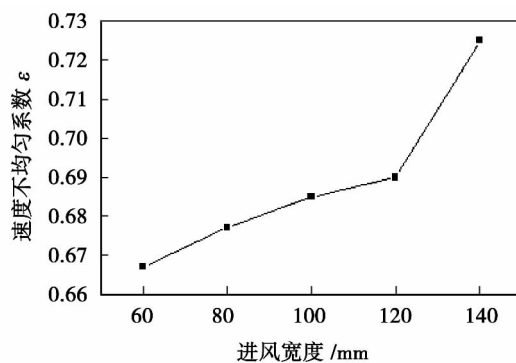


图7 不同进风宽度下的速度不均匀系数

Fig. 7 Non-uniform velocity coefficient under various air inlet widths

图8为不同进风宽度沿流动中心线轴向速度的变化规律。图中横坐标采用无量纲数 L/D (D 为风口出口截面直径), 纵坐标为轴向速度 u (m/s)。计算结果表明: 随着进风宽度的增大, 中心回流区的最大轴向回流速度(绝对值)减小, 主流区最大轴向速度增大, 且中心回流区的相对位置前移。当进风宽度为60 mm时, 主流区的最大轴向速度为负, 说明中心回流区不封闭, 这与3.1节中的结论是一致的。

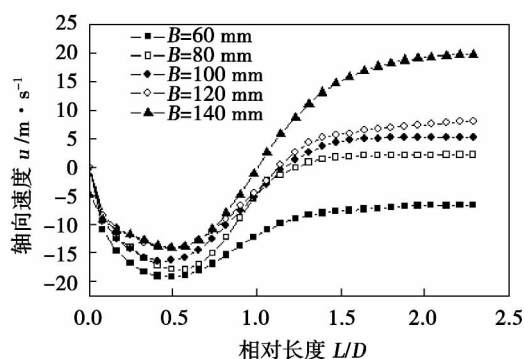


图8 进风宽度对中心线轴向速度的影响

Fig. 8 Effect of the air inlet width on the axial velocity along the centreline

结合图9和图10说明沿流动方向各截面的速度分布规律。由于不同进风宽度下, 沿流动方向各截面的速度分布规律基本一致。因此, 主要选用进

风宽度为 100 mm 时各截面速度分布作说明,其中图 9 为轴向速度分布,图 10 为切向速度分布。

图 9 为离喷油器出口截面轴向距离 x 分别为 0、180、300、450 和 600 mm 时,旋流器中心截面上轴向速度 u 的径向分布。图中纵坐标采用无量纲数 r/R (R 取风口出口截面半径);横坐标为轴向速度 u ; $x=0$ 、180、300、450 和 600 mm 处截面分别为风口进口、风口出口、回流区内部、回流区边界及回流区外部。

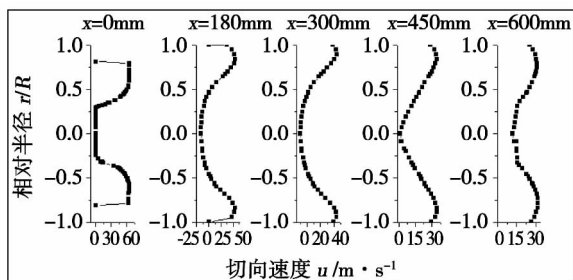


图 9 轴向速度分布

Fig. 9 Axial velocity distribution

由图 9 可看出, $x=0$ mm 截面的中心轴线附近的 $u=0$, 这是因为在模拟过程中已将喷油器壁面作无滑移壁面边界条件处理导致; $x=180$ 和 300 mm 截面的中心轴线附近出现负速度 ($u < 0$), 这说明该区域已进入中心回流区; $x=450$ mm 截面中心回流区轴向速度重新变为 0, 这说明此时回流区已结束; $x=600$ mm 截面中心轴线附近的负速度区域已消失, 主流速度变为正向。可见, 随着旋流调风器出口距离 x 的增加, 中心回流区的速度先增大再减小, 外部的旋转射流高速区则逐渐外扩。总体来看, 轴向速度相对于中心轴线呈“M”型分布, 并围绕中心轴线具有较强的对称性。

图 10 为离喷油器出口截面轴向距离 x 分别为 0、180、300、450 和 600 mm 时, 旋流器中心截面上切向速度 v 的径向分布(图中横坐标为切向速度 v , 其它各项与图 9 一致)。

从图 10 中可以看出, 当气流进入回流区后, 切向速度出现了一正、一负两个峰值。随着旋流调风器出口距离 x 的增加, 最大切向速度逐渐减小并向调风器中心轴线靠近, 总体呈“N”型分布。造成这种切线速度分布的主要原因是由于气流在周向的旋转运动形成了一上、一下两个漩涡, 进而卷吸附近的主流空气。而随着流动的持续进行, 气流的周向旋转

会逐渐减弱, 形成的两个漩涡也逐渐变小直至最终消失。

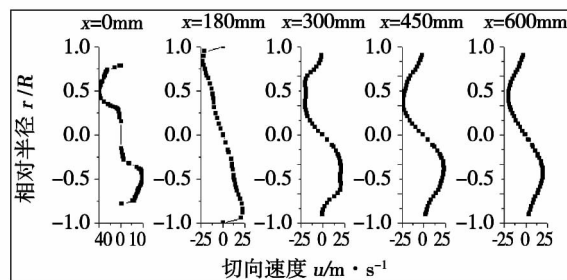


图 10 切向速度分布

Fig. 10 Tangential velocity distribution

3.3 阻力系数

空气流经燃烧器喷射至炉膛必须克服流动阻力。旋流燃烧器流动复杂, 主要以局部阻力为主, 流动阻力的大小可用阻力系数 ξ 表示, 即:

$$\xi = \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho w_2^2} + \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2$$

式中: p_1 、 p_2 —气流入口和喉口截面处静压; w_2 —喉口截面处的平均流速; A_1 、 A_2 —气流入口和喉口截面面积;

一般燃烧器在运行过程中多处于自模区, 故不必考虑 Re 数对阻力系数的影响, 只需考虑旋流强度与阻力系数之间的关系, 如图 11 所示。

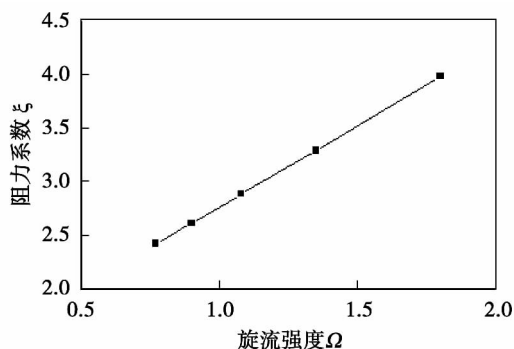


图 11 阻力系数与旋流强度的关系

Fig. 11 Relationship between the resistance coefficient and the swirling intensity

模拟结果表明: 切向固定叶片式调风器的阻力系数与旋流强度呈良好的线性关系, 且随着旋流强度的增加而变大, 这与文献 [15] 的结论是一致的。当旋流强度为 1.08 (即进风宽度 100 mm) 时, 计算所得的调风器阻力系数为 2.88, 与根据实际增压锅

炉运行经验估算的阻力系数 2.9 非常接近。上述结果也进一步证明了本研究所选用计算模型的合理性。

4 结 论

(1) 将常温常压 ($P = 0.101 \text{ MPa}$, $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) 工况下数值模拟的结果分别与流动阻力试验值及文献 [11] 中的中心回流区边界作对比, 得出流动阻力及中心回流区边界符合良好的结论, 证明了本研究所采用计算模型的正确性。

(2) 燃烧器几何相似且其它结构参数不变时, 进风宽度与旋流强度呈单值对应关系。当风口扩角一定且旋流强度在 1 ~ 1.35 之间时, 可形成有利于燃料着火与稳定燃烧的中心回流区。

(3) 随着进风宽度的增加, 气流分布的均匀性变差, 中心回流区的最大轴向回流速度 (绝对值) 减小, 主流区最大轴向速度增大, 但沿流动方向各截面的速度分布规律是一致的, 即轴向速度呈“M”型分布, 切向速度呈“N”型分布。

(4) 切向固定叶片式调风器的阻力系数与旋流强度呈良好的正比例线性关系, 这与文献 [15] 的结论是一致的, 从而进一步证明了本研究所选用计算模型的合理性。

参考文献:

- [1] 李章, 张宁, 刘祥源. 舰用增压锅炉装置 [M]. 北京: 海潮出版社, 2000.
LI Zhang, ZHANG Ning, LIU Xiang-yuan. Warship-purposed supercharged boiler device [M]. Beijing: Sea Tide Press, 2000.
- [2] 杜晓建, 陈明, 刘丽华等. 炉膛压力对增压锅炉热力参数的影响 [J]. 热能动力工程, 2010, 25(6): 635-638.
DU Xiao-jian, CHEN Ming, LIU Li-hua, et al. Influence of the pressure in the furnace of a supercharged boiler on its thermal parameters [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2010, 25(6): 635-638.
- [3] Ying Huang, Vigor Yang. Effect of swirl on combustion dynamics in a lean-premixed swirl-stabilized combustor [J]. Proceedings of the Combustion Institute, 2005, 30(18): 1775-1784.
- [4] Sommerfeld M, Qiu H H. Characterization of particle-laden confined swirling flows by phase-doppler [J]. Anemometry Numerical Calculation, 1993, 15(19): 1093-1127.
- [5] Kwang Y K. Calculation of strongly swirling turbulent round jet with recirculation by algebraic stress model [J]. Int Heat and Fluid Flow, 1988, 9(1): 62-63.
- [6] 谭辉平, 赵坚行. 煤粉锅炉旋流燃烧器的气动热力性能数值分析 [J]. 南京航空航天大学学报, 2001, 33(1): 82-85.
TAN Hui-ping, ZHAO Jian-xing. Numerical analysis of the aerodynamic and thermodynamic performance of the swirling burner of a pulverized coal-fired boiler [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2001, 33(1): 82-85.
- [7] 朱柳捐, 顾伯勤, 陈晔. 水煤浆旋流燃烧器空气动力场的数值模拟 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(17): 39-43.
ZHU Liu-juan, GU Bo-qin, CHEN Ye. Numerical simulation of the aerodynamic field of a coal slurry swirling burner [J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering, 2007, 27(17): 39-43.
- [8] Kurose R, Ikeda M, Makino H. Combustion characteristics of high ash coal in a pulverized coal combustion [J]. Fuel, 2001, 80(10): 1447-1455.
- [9] Dong J K, Jih I. Effect of ambient gas density on spray characteristics of swirling liquid sheets [J]. Journal of Propulsion and Power, 2007, 23(3): 603-611.
- [10] 宋印东, 姚寿广. 增压燃油锅炉冷态等温流场数值模拟 [J]. 江苏船舶, 2005, 22(2): 25-44.
SONG Yin-dong, YAO Shou-guang. Numerical simulation of the cold-state isothermal flow field inside a supercharged oil-fired boiler [J]. Jiangsu Shipbuilding, 2005, 22(2): 25-44.
- [11] 宋晨希, 杨冬, 罗毓珊等. 燃油增压锅炉配风器三维流动特性数值模拟 [J]. 华北电力大学学报, 2010, 37(6): 74-80.
SONG Chen-xi, YANG Dong, LUO Yu-shan, et al. Numerical research of 3-D flow characteristics of an air distributor in an oil-fired supercharged boiler [J]. Journal of North China University of Electric Power, 2010, 37(6): 74-80.
- [12] Yakhot V, Orszag S A. Renormalization group analysis of turbulence: basic theory [J]. Scient Comput, 1986, 1(10): 3-11.
- [13] Merle C, Potter David C, Wigget. Mechanics of Fluids [M]. Beijing: China Machine Press, 2008.
- [14] Wang Yong-tang, Wu Shao-hua, Chen Ming, et al. Experimental study on atomization characteristics of gas/liquid coaxial swirling nozzle in pressurized space [J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(35): 110-116.
- [15] 徐旭常, 毛剑雄, 曾瑞良等. 燃烧理论与燃烧设备 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
XU Xu-chang, MAO Jian-xiong, ZENG Rui-liang, et al. Combustion theory and equipment [M]. Beijing, China: Mechanical Industry Press, 1990.

(丛敏 编辑)

In the light of complex systems of which the state parameters was changing with time ,put forward was a multi-dimensional state monitoring method based on the big data and asynchronous information fusion with the state parameters of the object being established to reflect the operating state of the equipment items. Through a case analysis of the ash deposition and fouling degree of the heating surfaces of a utility boiler ,by employing the algorithm in question ,a dual model and data fusion were used to enhance the modeling precision and multi-dimensionally analyze the noise caused by a change in the quality of coal when it is filtered. On this basis ,the pollution degree index was established to effectively reflect the extent of the ash deposition on the heating surfaces. **Key words:** big data ,state monitoring ,ash and foul inspection and measurement ,radiant heating surface

蒸汽过冷水下加热噪声声源试验及分析 = Experiment and Analysis of the Noise Sources Caused by Heating Supercooling Water Under the Water Surface by Steam [刊 ,汉] YUAN Li-fen ,YUAN Yi-chao ,YUAN Jian , et al(College of Energy Source and Power Engineering ,Shanghai University of Science and Technology ,Shanghai , China ,Post Code: 200093) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(6) . -596 ~599

Analyzed were the main noise sources when heating supercooling water under the water surface by steam. Through an experiment to heat water under the water surface by steam ,studied was the variation law governing the noise when heating water under the water surface by steam. The research and analytic results show that the noise caused by heating water under the water surface is mainly from the burst of the steam bubbles. The sound pressure level A of the noise is directly related to the supercooling degree of water and attains its maximum value when the supercooling degree is around 35 °C to 40 °C. The above-mentioned sound pressure level A will increase with an increase of the steam flow rate. At a given flow rate ,it will become smaller with an increasing growth of the hole opening area.

Key words: direct steam heating ,steam bubble ,noise ,supercooling degree ,nozzle head

进风宽度对增压锅炉气流特性影响的数值分析 = Numerical Analysis of the influence of the Air Inlet Width on the Flow Characteristics of the Swirling Burners in a Supercharged Boiler [刊 ,汉] ZHANG Liang ,LIU Ming-zhu (CSIC No. 703 Research Institute ,Harbin ,China ,Post Code: 150078) ZHANG Di (College of Mechanical Engineering ,Harbin Institute of Technology ,Harbin ,China ,Post Code: 150001) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(6) . -600 ~605

A numerical simulation study was performed in detail of the flow characteristics of the tangentially fixed blade type swirling burners in a supercharged boiler and the simulation results under the normal temperature and pressure condition were compared with the flow resistance value in the test and the boundary of the central return flow zone provided in the literature No. 11 ,thus it is verified that the calculation model chosen by the authors is correct. It has been found by analyzing the calculation results of the return flow zone distribution at various air inlet widths ,velocity distribution and resistance coefficient under the pressure boosting condition that when the geometrical dimensions are similar and other structural parameters are kept unchanged ,the air inlet width will assume a single-value corresponding relationship. When the diffusion angle at the air outlet is constant and the swirling intensity is between 1 and 1.35 ,a central return flow zone will be formed and favorable to the ignition of the fuel and the stability of the combustion. With an increase of the air inlet width ,the uniformity of the air distribution will get worse ,the maximum axial return flow speed (absolute value) in the central return flow zone will become smaller ,the maximum axial speed in the main flow zone will become bigger ,the axial speeds in various sections along the flow direction will totally assume a "M"-shaped distribution ,the tangential speeds will all take on a "N"-shaped distribution ,the resistance coefficient will exhibit a good positive proportional relationship with the swirling flow intensity. The foregoing is identical to those given by the literature No. 15 ,further proving that the calculation model chosen by the authors is rational. **Key words:** air inlet width ,flow characteristics ,numerical simulation ,swirling burner

铜合成炉余热锅炉热平衡测试与分析 = **Testing and Analysis of the Heat Balance of a Copper Synthesizer Waste Heat Recovery Boiler** [刊 ,汉] YAN Bing ,XIE Kai (College of Energy Science and Engineering ,South China University ,Changsha ,China ,Post Code: 410083) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(6) . -606 ~610

The flue gas treatment capacity of a copper synthesizer waste heat recovery boiler is regarded as one of the main factors limiting the enhancement of the yield of the synthesizer. Through a heat balance testing and analysis of a synthesizer waste heat recovery boiler ,proposed was a heat balance iterative algorithm for calculating the heat balance characteristics of a waste heat recovery boiler. The research results show that when the synthesizer is under the continuous and stable operating condition ,the effective heat utilization coefficient and comprehensive heat exchange coefficient of the waste heat recovery boiler can be regarded as constants and the logarithmic mean temperature differ-