

链条炉飞灰沉积的数值模型与计算

王 苑 张 品 林鹏云 罗永浩
(上海交通大学 热能工程研究所,上海 200240)

摘 要: 工业锅炉的积灰结渣影响炉内燃烧和传热,降低锅炉热效率。针对工业锅炉积灰结渣问题,建立了考虑飞灰输运、碰撞和黏附过程的链条炉飞灰沉积三维数值模型,结合实验得到的链条炉床层表面飞灰析出特性,预测某时间段内炉膛内不同位置的飞灰沉积量和灰渣厚度。模型预测的结渣部位与实验测量结果一致,链条炉后拱和喉口上方对应的前墙和侧墙是积灰结渣严重的区域。模型预测的结渣厚度较实验测量值偏低,进一步准确测量床层表面飞灰析出量可以提高结渣厚度的预测精度。通过对模拟结果进行分析,提出了防止积灰结渣的措施。

关 键 词: 飞灰沉积模型; 数值模拟; 工业锅炉; 层燃; 飞灰析出

中图分类号: TK223 文献标识码: A

符号说明

A —颗粒表面积/ m^2 ;
 C_p —一定压比热容/ $J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$;
 d —颗粒直径/ m ;
 D_c —炉膛边界区域特征长度/ m ;
 f_{dep} —黏附率;
 h —对流换热系数/ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$;
 H —焓/ J ;
 m —颗粒质量/ kg ;
 M —组分源相/ $kg \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$;
 p —颗粒黏附率;
 p_{sur} —墙壁黏附率;
 S —质量源相/ $kg \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$;
 St_{eff} —有效 Stokes 数
 T —反应温度/ K ;
 u —气相或固相速度/ $m \cdot s^{-1}$;
 v —球壳体积/ m^3 ;
 Y —质量分数;
 ε_p —颗粒黑度;
 η_{imp} —碰撞率;
 λ_{eff} —固体有效导热率/ $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$;
 μ —气体或固体黏度/ $Pa \cdot s$;
 μ_{ref} —临界颗粒黏度/ $Pa \cdot s$;
 ρ —气相或固相密度/ $kg \cdot m^{-3}$;
 Ψ —修正因子;
 σ —斯蒂芬孙-玻尔兹曼常数/ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$

下标:

g —气相;
 i —固相组分;
 j — x, y, z 3 个方向;
 n —表层球壳;
 p —颗粒;
 s —固相。

引 言

工业锅炉是我国主要的煤炭利用方式之一。飞灰沉积造成的积灰结渣现象是工业锅炉运行中普遍存在又未能妥善解决的问题。积灰结渣会导致传热不良,降低锅炉热效率;通常受热面积灰 1 mm,热损失将增加 4% ~ 5% 左右。其次,积灰结渣会导致炉拱形状改变,无法正常发挥引燃和强化燃烧的作用。另外,灰渣掉落会引起灭火或设备损坏。因此,准确预测炉膛内飞灰沉积的位置、沉积量以及灰渣厚度是十分必要的。

工业锅炉的飞灰沉积是一个多因素综合作用过程,不仅取决于煤质特性,还与炉膛结构布置、炉内空气动力场、温度水平等密切相关。过去研究者使用“结渣指数判定方法”,利用实验曲线或经验式来判断煤种是否容易结渣,但这些经验式没有考虑燃烧工况对灰渣沉积的影响,预测的结果和实际偏差较大^[1]。近年来,学者们对飞灰沉积模型进行了研究,根据沉积机理,对飞灰的形成、输运、碰撞、黏附以及生长 5 个阶段分别建模^[2]。目前这些模型被应用于预测电站锅炉和生物质层燃炉的积灰结渣^[3-5]。层燃炉中床层和炉膛有不同的燃烧特性,飞灰颗粒从床层析出进入炉膛,在炉膛动力场和温度场的影响下撞击壁面。因此,计算层燃炉的飞灰沉积需要模型预测或实验测量飞灰从床层中析出的特性。Kær 等人在计算生物质层燃炉的飞灰沉积时^[5],床层表面析出飞灰的化学成分和粒径分布用实炉底灰的测量值代替,并假设飞灰析出沿炉排的流量分布与穿过床层的一次风速度成正比。

收稿日期: 2010 - 04 - 20; 修订日期: 2010 - 05 - 18

作者简介: 王 苑 (1981 -) 女,山东济南人,上海交通大学博士研究生。

本研究针对积灰结渣问题,建立了工业锅炉飞灰沉积的三维数值模型,预测一定时间段内炉膛内不同位置的沉积量和灰渣厚度。模型通过层燃子模型获得炉膛内的速度和温度初场,将实炉测量的床层析出飞灰的粒径、温度和质量流量分布作为边界条件,再结合飞灰输运、碰撞和黏附子模型计算出最终结果。

1 链条炉飞灰沉积的数值模型

链条炉飞灰沉积的数值模型包括层燃模型、飞灰输送模型、飞灰碰撞模型和飞灰黏附模型这 4 个子模型。

1.1 层燃模型

链条炉层燃模型包括床层燃烧和炉膛燃烧两部分。床层燃烧模型主要描述床层中气相和固相的守恒关系以及质量、能量交换。固相是床层建模的重点,固相质量和组分(水分、挥发分和焦炭)守恒方程可表示为:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho_s u_{j,s}) = -S_s \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho_s u_{j,s} Y_{i,s}) = -M_{i,s} \quad (2)$$

其中 $M_{i,s}$ 分别对应由于水分析出、挥发分析出和焦炭燃烧失去的质量, S_s 是 3 个组分失去的质量之和。能量守恒方程基于大颗粒煤燃烧的特点,建立了考虑颗粒内部温度梯度的离散模型。将颗粒划分为 10 层,颗粒表层球壳的能量守恒方程可表示为:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho_s v_n u_{s,j} \bar{C}_{p,n} T_n) - \frac{\partial}{\partial x_j}(\lambda_{s,eff} \frac{\partial T_n}{\partial x_j}) = Q_{rad,ss} - Q_{cond} - Q_{conv} - Q_{rad,sg} - H_s + Q_{ss} \quad (3)$$

方程右侧源相 $Q_{rad,ss}$ 代表固相之间辐射换热热量、 Q_{cond} 代表表面球壳传导给次表面球壳的热量、 Q_{conv} 代表气固对流换热热量、 $Q_{rad,sg}$ 代表气固辐射换热热量、 H_s 代表固体析出气体进入气相的携出焓、 Q_{ss} 代表固体燃烧异相反应进入固相的热量。内层球壳考虑导热作为唯一源相。炉膛燃烧采用了 $k-\varepsilon$ 模型描述气相湍流运动;采用 P-1 模型描述气相辐射;采用有限速率/涡扩散模型描述气相燃烧。床层和炉膛之间通过辐射换热和对流换热耦合计算。详细模型描述如文献[6]所示。

1.2 飞灰输运模型

飞灰颗粒在炉膛空间的运动采用随机轨道模型。颗粒的轨道方程为:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u_g - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho_g)}{\rho_p} + F_x \quad (4)$$

方程右侧的 3 项分别是颗粒受到的拖曳力、重力和其它作用力(如布朗力、升力、热泳力等)。其中气流瞬时速度 $u_g = \bar{u}_g + u'_g$ 。颗粒在流场中运动时与一系列的涡旋相互作用。每个涡旋由流体脉动速度 u' 、涡旋生存时间 τ 和涡旋的特征长度 L_e 表征。 τ 和 L_e 由当地的湍动能 k 和湍流能耗散率 ε 确定。与该涡旋对应的脉动速度可根据局部的湍动能 k 用随机取样方法得到。颗粒与涡旋作用时间由涡旋生存时间和颗粒穿过涡旋所需时间中较小者确定。假定在该时间内,气相的脉动速度不变。有了脉动速度和积分时间,颗粒在流场中运动的轨道可以求解出来。此模型需要计算大量的颗粒轨道(典型是 15 000 条)才能获得足够的信息计算颗粒碰撞率。

飞灰输运过程中的传热采用热平衡方程将颗粒温度与颗粒表面的对流和辐射传热建立关联:

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = hA_p(T_g - T_p) + \varepsilon_p A_p \sigma(T_g^4 - T_p^4) \quad (5)$$

1.3 飞灰碰撞模型

碰撞率是单位时间内进入炉膛边界的颗粒质量与和炉膛壁面碰撞的颗粒质量之比。飞灰颗粒与壁面的碰撞采用 Baxter 介绍的半经验模型描述^[7]。对于粒径大于 10 μm 的颗粒,其在炉膛边界区域受到的拖曳力和惯性力可以用有效 Stokes 数来衡量:

$$St_{eff} = \Psi \frac{\rho_p d_p u_p}{9\mu_g D_c} \quad (6)$$

对于 $St_{eff} > 0.14$, 可以求出碰撞率 η_{imp} :

$$\eta_{imp} = [1 + 1.25(St_{eff} - 0.125)^{-1} - 1.4 \times 10^{-2} \times St_{eff} - 0.125)^{-2} + 5.08 \times 10^{-5} (St_{eff} - 0.125)^{-3}]^{-1} \quad (7)$$

该模型适用于直径 10 μm 以上的颗粒,根据大颗粒煤析出飞灰的粒径测量结果,此模型适用。

1.4 飞灰黏附模型

黏附率是单位时间内黏附到壁面上的颗粒质量与在壁面发生碰撞的颗粒质量之比。Walsh 给出了综合考虑颗粒黏附能力和壁面黏附能力的颗粒群黏附率^[8],即:

$$f_{dep} = p(T_p) + [1 - p(T_p)]p_{sur}(T_{sur}) \quad (8)$$

其中,颗粒黏附率取决于颗粒黏度 μ_p 和临界颗粒黏度 μ_{ref} :

$$p(T_p) = \begin{cases} \mu_{ref}/\mu_p & \mu_p > \mu_{ref} \\ 1 & \mu_p \leq \mu_{ref} \end{cases} \quad (9)$$

临界黏度一般取值为 10⁵ Pa·s。颗粒黏度采

用 Frenkel 于 1946 年提出的黏度式:

$$\mu_p = AT_p \exp(10^3 B/RT_p) \quad (10)$$

其中 A 和 B 是与颗粒的氧化物含量有关的参数。

1.5 计算方法

对一台测试用的长 6 m, 宽 2.5 m, 高 7.2 m 的链条炉进行三维建模。根据锅炉炉体的对称性, 取沿炉排宽度方向的半个炉膛作为计算区域, 共划分 20 万网格。首先通过层燃模型计算床层和炉膛燃烧的初场。锅炉燃用动力二号煤, 炉排转速 0.002 m/s, 煤层厚度 10 cm, 过量空气系数 2.2, 均匀配风。计算收敛后得到炉膛的速度场和温度场。然后将床层析出飞灰的温度分布、质量流量和粒径分布作为飞灰运输模型的边界条件, 对 21 000 个飞灰颗粒进行跟踪, 得到不同时刻飞灰在贴近炉膛壁面的速度、温度、质量流量的分布。通过飞灰碰撞和黏附模型得到飞灰的碰撞率和黏附率, 两者相乘得到沉积率。最后通过结渣量对时间积分, 得到某时间段内飞灰的沉积量和灰渣厚度。

2 飞灰析出与沉积实验

为了向沉积模型提供准确的边界条件, 在测试用链条炉上对床层表面析出飞灰的成分、粒径和质量流量分布进行测量。实验工况如上所述。

链条炉床层表面飞灰析出质量流量分布采用硅碳棒测量方法^[9]。将 4 根 2 m 长的硅碳棒伸入链条炉床层上方的 4 个看火孔, 待 8 h 后取出, 通过实验前后对硅碳棒称重, 得到此时间段内 4 部分的积灰质量之比为 3:31:58:8。假设链条炉中煤灰的 10% 作为飞灰析出^[10]; 将炉排分为 4 段, 假设每段飞灰析出流量为定值, 可以得到飞灰在床层上方的质量流量分布。

从硅碳棒上取下灰样, 用 Mastersizer 2000 激光粒度分析仪测量 0.02 ~ 2 000 μm 范围内的粒径分布, 如图 1 所示。灰样粒径均在 10 μm 以上, 体积平均粒是 685.4 μm 。另外, 根据沉积模型需要, 假设析出的飞灰颗粒的温度等于对应的床层温度。

为了计算飞灰黏附模型中的颗粒黏度, 用电感耦合等离子体发射光谱仪测量硅碳棒外层灰样的元素组成。将元素含量换算成对应金属氧化物的含量如表 1 所示。

为了对预测结果进行验证, 在测试炉停炉大修时对累积运行 1 020 \pm 30 h 的结渣厚度进行测量。

选取侧墙 1、1.5、2、3 和 4 m 5 个高度, 每个高度取前中后三个点进行测量后取平均值; 选取前拱和前墙 1、1.5、2、3 和 4 m 5 个高度, 每个高度取 3 个点进行测量后取平均值。后拱和后墙同上。测量结果表明, 侧墙的喉口高度结渣严重, 渣层平均厚度 5 cm, 向上逐渐减少; 后拱的近喉口处结渣严重, 渣层平均厚度 3.5 cm; 前拱近喉口处结渣严重, 渣层平均厚度 3 cm, 渣层一直延伸到前墙, 并向上逐渐减少。

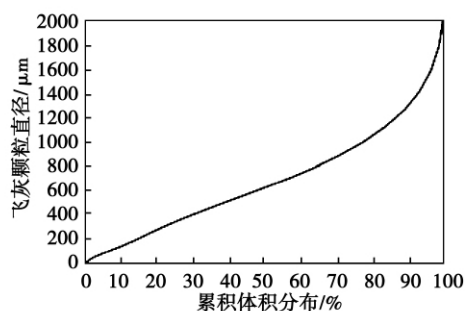


图 1 飞灰粒径累积分布

表 1 床层表面采集的动力二号煤飞灰的金属氧化物成分

样品	金属氧化物成分 / %					
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
动力二号飞灰	20.4	18.9	14.6	2.0	2.7	1.3

3 结果与讨论

3.1 组分浓度场、速度场和温度场

层燃数值模拟是飞灰沉积计算的基础。层燃计算得到的床层上方的组分浓度分布符合层燃理论中气体分布特征, 如图 2 所示: 二氧化碳曲线有两个峰, 中间部分呈马鞍形下陷, 对应床层燃烧最剧烈的区域; 一氧化碳曲线有一个峰, 处于二氧化碳曲线最小值的垂直线上; 氧气曲线的最小值也在此处。这表明层燃模型为飞灰沉积计算提供的初场是可用的。

层燃模型计算出的中心截面的速度场和温度场如图 3 所示。

3.2 拱区与壁面的飞灰沉积

通过沉积数值计算预测的三维炉膛飞灰沉积位置以及一个小时的灰渣厚度如图 4 所示。可以看出, 积灰结渣最严重的区域主要是后拱、喉口及其上方对应的侧墙以及前墙部分。

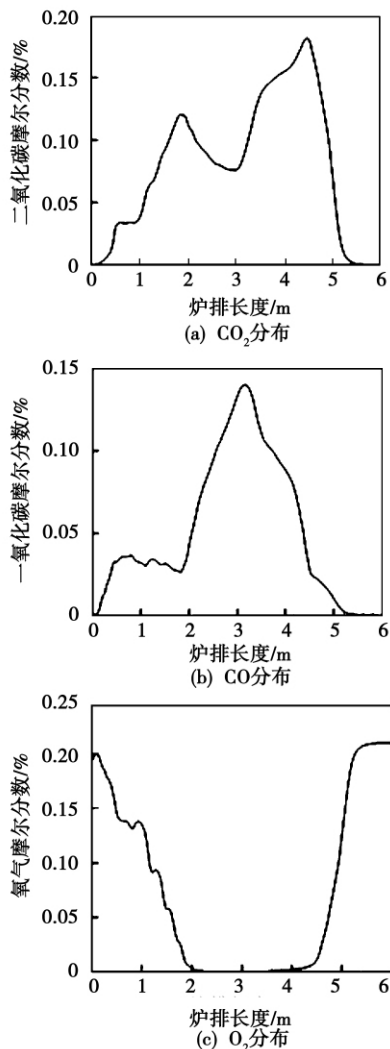


图2 链条炉中心截面的床层表面气体分布

对比预测结果与实验结果,结渣位置的预测与实验比较一致;结渣厚度的预测值与实验值处于同一数量级,但是数值偏低。推测原因是测试炉进煤采用分层煤斗,一次风易将覆盖在床层上部的煤屑吹起,增加了床层析出的飞灰量,即假设链条炉中煤灰的10%作为飞灰析出量可能是导致结渣预测偏低的原因。另外,前拱结渣的预测值偏低,这是由于对链条炉床层表面析出飞灰质量流量分布进行测量时,前部看火孔位置偏靠前,测得的飞灰析出量偏低,以此作为前拱下方区域的飞灰析出量时,导致预测的前拱飞灰沉积较少。

在数值模型预测的基础上,通过速度矢量场和温度场可以对积灰结渣位置、程度以及原因进行分析。低长的后拱将烟气引向前拱区,这种流动符合“再辐射”的拱理论,即煤的引燃热源主要来自后拱区燃烧生成的高温烟气,当烟气被引到前拱区时,

通过辐射和对流供热,使新煤引燃。同时,后拱的作用还能防止炽热的颗粒直接溢出喉口,使其落在新煤上造成对新煤热传导的热源。后拱在发挥这些强化引燃作用的同时不可避免会结渣。喉口是可燃气体强化燃烧的区域,气流湍流强度大,气流温度高;再加上飞灰的析出主要集中在炉排中部区域,因此高温烟气夹带飞灰碰撞壁面,造成侧墙积灰结渣几率高。前墙区域气流速度大,而且处于漩涡区的边缘,涡旋携带飞灰与壁面的碰撞几率大。

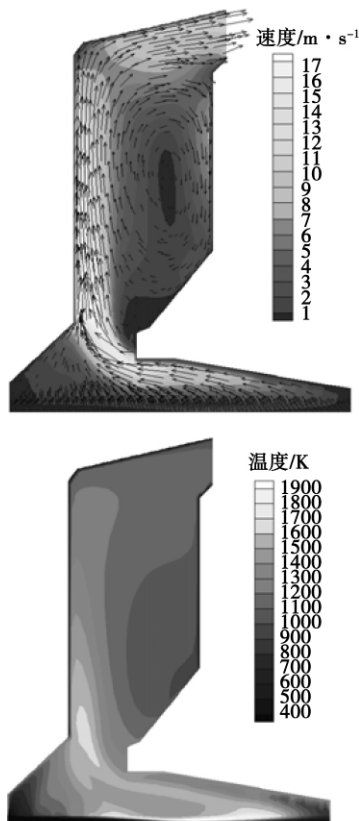


图3 链条炉中心截面速度矢量场和温度场

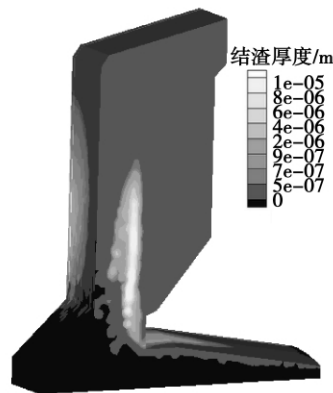


图4 三维链条炉中不同位置1h内的灰渣厚度

3.3 防止积灰结渣的措施

数值计算结果显示,链条炉的积灰结渣主要与煤质和炉膛内的动力场、温度场有关。再根据实炉跟班运行调试经验,对链条炉如何防止或减少积灰结渣提供如下分析和建议。

首先,链条炉结渣程度与煤质有关。煤灰化学成分对灰渣黏度、熔融特性具有重要的影响。 SiO_2 有利于形成低熔点化合物及共晶体,同时使黏度增加,在一定范围内加重结渣; Al_2O_3 在煤灰熔体熔融时起“骨架”作用,使熔融温度升高,有利于减轻结渣; Fe_2O_3 使熔融温度降低,加重结渣; CaO 是形成低熔融温度共熔体的重要组成部分,其在一定范围内增加会加重结渣。因此,在工业锅炉运行中要注意煤质的变化,煤的灰熔点一般要大于 $1\ 250\ ^\circ\text{C}$ 。另外,混合掺烧不同煤种,特别是混烧结渣性强和不易结渣的烟煤,是减轻结渣的有效途径。

第二,炉膛的正常燃烧对减少积灰结渣有重要意义。如果一次风太大,火焰上升很高,甚至直射后墙,会导致严重结渣;因此应当保持适当的过量空气系数,合理配风。如果炉膛漏风,造成火焰的充满度和搅拌混合情况恶化,使火焰中心升高或偏斜,会加速灰渣的形成;因此要减少漏风量,使炉膛负压不致过大。链条炉负荷变化时易造成烟气流动紊乱,建议首先调节风量,再调节燃料量。对高挥发煤,建议采用薄煤层、快送煤方式,这样可减少煤层上方气体沿炉排长度分布的不均匀性;对于低挥发煤,采用厚煤层、慢送煤方式,避免产生主前部断火,后部温火的现象;对高水分及高灰分的劣质煤,采用厚煤层,慢送煤方式,以保证前端着火稳定,后部燃烧良好。

第三,针对不同的结焦情况采取不同的措施。大面积结渣一般在锅炉全负荷或者超负荷运行时出现。此时的处理方法是将最后两个风室适当加大开度以提高空气过量系数、降低炉温。局部结渣的处理方法是将相应的风室关小,同时将相邻的一个或两个风室开大;这样改变各燃烧区的配风比例,同时又不影响整个床层的平均燃烧强度,因而不会影响锅炉出力。

第四,后拱设计时,不宜过低过长。

4 结 论

(1) 链条炉与电站锅炉飞灰沉积的计算方法不同。链条炉的沉积计算首先通过层燃子模型获得炉膛内的速度场和温度场,在此基础上将实炉测量的

床层析出飞灰的粒径、温度和质量流量分布作为计算的边界条件,通过飞灰运输、碰撞和黏附子模型计算出不同时刻、不同位置飞灰的累积沉积量和灰渣厚度。因此链条炉飞灰沉积模型预测的精度既与子模型的准确性有关,也与实验测量床层表面参数的准确性有关。

(2) 链条炉飞灰沉积模型预测的结渣部位与实验测量结果一致,链条炉后拱和喉口上方对应的前墙和侧墙是积灰结渣严重的区域。模型预测的结渣厚度较实验测量值偏低,进一步准确测量床层表面飞灰析出量可以提高结渣厚度的预测精度。

(3) 通过对模拟结果进行分析,链条炉的积灰结渣主要与煤质和炉膛内的速度场、温度场有关。因此,在运行中要注意煤质的变化,控制煤的灰熔点,适当混合掺烧;避免超负荷运行,选择适当的空气过量系数,合理配风,减少漏风量;在变负荷、变煤种或者变煤层厚度时采用相应的运行方式。

参考文献:

- [1] BULL D L. Ash deposition: a utility perspective//In: Benson SA, editor. Inorganic transformation and ash deposition during combustion [C]. New York: Engineering Foundation Press, ASME, 1992. 121 - 132.
- [2] WANG H F, HARB J N. Modeling of ash deposition in large-scale combustion facilities burning pulverized coal [J]. Progress in Energy and Combustion Science, 1997, 23: 267 - 282.
- [3] FAN JIAN REN, ZHA XU DONG. Simulation of ash deposit in a pulverized coal-fired boiler [J]. Fuel, 2001, 80: 645 - 657.
- [4] RICHARDS G H, SLATER P N, HARB J N. Simulation of ash deposit growth in a pulverized coal-fired pilot scale reactor [J]. Energy & Fuels, 1993, 7: 774 - 781.
- [5] KAER S, ROSENDAHL L, BAXTER L. Towards a CFD-based mechanistic deposit formation model for straw-fired boilers [J]. Fuel, 2006, 85: 833 - 848.
- [6] LIN PENG YUN, JI JUN JIE, LUO YONG HAO, et al. A non-isothermal integrated model of coal-fired traveling grate boilers [J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29: 3224 - 3234.
- [7] BAZTER L L, DESOLLAR R W. A mechanistic description of ash deposition during pulverized coal combustion: predictions compared with observations [J]. Fuel, 1993, 10: 1411 - 1418.
- [8] WALSH P M, SAYRE A N, LOEHDEN D O, et al. Deposition of bituminous coal ash on an isolated heat exchanger tube: effects of coal properties on deposit growth [J]. Progress in Energy and Combustion Science, 1990, 4: 327 - 346.
- [9] 兰泽全,曹欣玉,刘建忠等.黑液水煤浆燃烧试验研究[J].热能动力工程,2008,23(1):92-96.
- [10] YIN C G, ROSENDAHL L A, KAER S K. Grate-firing of biomass for heat and power production [J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2008, 6: 725 - 754.

(编辑 陈 滨)

gineering for Thermal Energy & Power. - 2011 ,26(2) . -202 ~206

On a 600 MW supercritical boiler performed was an inner and outer wall temperature measurement contrast experiment of the boiler with a purpose to comprehensively grasp the infurnace wall temperature conditions of the boiler superheater. During the test , the data showing the change of the internal and external wall temperatures were real-time acquired , and compared and analyzed with each other. The in-furnace wall temperature distribution of the superheater and the correlation law governing the internal and external wall temperatures etc. were thereby analyzed and studied. The internal and external wall temperature characteristics of the above-mentioned boiler superheater were obtained , including the fluctuation tendency of the tube wall temperatures inside and outside the furnace , the inside and outside load of the superheater , water/coal ratio and an identical regularity governing the fluctuation of the main steam temperature and the fluctuation tendency of the tube wall temperature difference ΔT inside and outside the furnace. The foregoing is of major significance for tube wall temperature monitoring and life diagnosis of 600 MW supercritical boiler superheaters in the future studies. **Key words:** supercritical boiler , superheater , wall temperature test , in-furnace tube wall , thermocouple

链条炉飞灰沉积的数值模型与计算 = **A Numerical Model for Calculating Fly-ash Deposition in a Chain Grate Stoker** [刊 ,汉] WANG Yuan , ZHANG Pin , LIN Peng-yun , et al(Thermal Energy Engineering Research Institute , Shanghai Jiaotong University , Shanghai , China , Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011 ,26(2) . -207 ~211

The ash deposition and slagging in an industrial purpose boiler affects the combustion and heat transfer in the furnace and lowers the thermal efficiency of the boiler. With a view to solving the problem of the ash deposition and slagging in the boiler , established was a three-dimensional numerical model for calculating the fly-ash deposition in a chain grate stoker with the fly-ash transmission , collision and cohesion process being taken into account. In combination with the fly-ash precipitation characteristics on the bed layer surface of a chain grate stoker obtained through tests , the fly-ash deposition amount and ash/slag thickness at different locations in the furnace in a time duration were predicted. The slagging locations predicted by using the model in question are in agreement with the test ones. The front and side wall corresponding to the rear arc and the upper portion of the chain grate stoker are regarded as the areas with serious ash deposition and slagging. The slagging thickness predicted by using the model is excessively lower than the test one. To measure the fly-ash amount precipitated at a higher precision can enhance the prediction precision of the slagging thickness. Through an analysis of the simulation results , measures for preventing the ash deposition and slagging were given. **Key words:** engineering thermophysics , fly-ash deposition model , numerical simulation , industrial purpose boiler , laminar combustion , fly-ash precipitation

内嵌逆流柱型风帽防漏特性的实验研究 = **Experimental Study of the Leakage Prevention Characteristics of a Built-in Counterflow Cylindrically-shaped Air Button** [刊 ,汉] YI Xiao-jiang , LU Qing-gang , ZHU Zhi-ping , et al(Engineering Thermophysics Research Institute , Chinese Academy of Sciences , Beijing , China , Post Code: 100190) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011 ,26 (2) . -212 ~215

For built-in counterflow cylindrically-shaped air buttons destined for the furnace air distributor of a 200 MW circulating fluidized bed boiler , water was used to simulate the bed material and the air chamber was artificially divided , forming a non-equilibrium pressure distribution in the air chamber and leading to a water leakage from the special-purpose air buttons. When the fluidized air quantities were 2640 3120 3600 and 4080 m³/h respectively and the