

基于数值模拟的链条锅炉煤层燃烧分区特性分析

杜海亮 张敏 王苑 罗永浩

(上海交通大学热能工程研究所, 上海 200240)

摘要: 链条锅炉大颗粒煤的层燃过程与煤粉燃烧差异很大, 为了对燃煤链条锅炉煤层燃烧特性和机理进行深入分析, 本文应用二维稳态层燃模型对链条锅炉燃烧过程进行了模拟计算, 并与实验结果进行了比较。对比发现模拟计算值与实验值符合较好, 说明模型能准确反映床层的燃烧特性。同时对不同煤种的水分析出线、挥发分析出线、焦炭氧化区、焦炭气化区和灰渣区进行分析对比, 发现不同煤种燃烧分区的差异性, 与煤质特性及燃烧工况等因素有关。

关键词: 链条锅炉; 数值模拟; 燃烧分区; 煤层

中图分类号: TK16 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.07.015

引言

我国的能源结构以煤为主, 2013年我国能源消费总量约为37.50亿吨标准煤, 其中煤炭占能源消费总量的比重为66.0%^[1]; 燃煤工业锅炉每年耗煤约5亿吨, 是仅次于燃煤电厂的第二大耗煤大户^[2]; 燃煤链条锅炉应用广泛, 但效率较低, 平均实际运行效率在65%左右, 具有10%~15%的节能潜力^[3-5]。

燃煤链条锅炉运行时, 煤层随炉排移动进入炉膛后受到上部热量的辐射, 表层的煤先受热干燥, 挥发分析出燃烧, 随后煤层火焰峰面向下传播, 煤层中下部煤粒的水分和挥发分析出过程依次进行, 整个煤层经历着火、焦炭燃烧以及气化等一系列复杂的物理化学反应。通过链条锅炉煤层内部燃烧特性的深入分析, 对提高锅炉燃烧效率意义重大, 前人在这方面做了很多有意义的工作。Grumell等对链条炉煤层燃烧过程进行了系统的实验研究^[6], 通过测量煤层气氛、温度等参数将煤层分为引燃区、燃烧区和燃尽区三部分, 分析了影响煤层燃烧的主要影响因素; 包括燃料种类、灰分、水分、一次风速、煤的膨胀、煤层阻力和炉排温度等影响因素。克诺烈曾对链条

炉排锅炉煤层表面沿炉排移动方向的气体成分进行过系统的研究^[7], 其通过分析燃料层上的气体, 测量燃料层下空气的速度和燃料层本身的温度场三者结合的方法, 把链条炉排上燃料层的燃烧过程划分为三个区域: 挥发物析出区、焦炭气化区和焦炭燃烧区; 陈运铨在克诺烈煤层燃烧方案进行分析的基础上提出了改进方案^[8], 在理论上划定燃烧过程的不同区域, 阐明各区域的特点; 同时根据多相燃烧热力学理论提出较全面的图解分析, 说明了在不同运行条件下的燃烧状态, 认为不存在清晰的挥发分析出界面。

本文应用层燃数值模型, 通过模拟计算, 得到不同煤种的水分析出线、挥发分析出线、焦炭氧化区、焦炭气化区和灰渣区, 并与传统床层分区方法进行对比。探讨了不同煤种燃烧分区的差异性与煤质特性及燃烧工况等因素的关系。

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。床层部分模型主要描述床层中气相和固相的守恒关系和质量、能量的交换。

1.1 固相守恒方程

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:

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

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

式中: ρ_s —固体密度, kg/m³; $u_{j,s}$ —固相表观速度, m/s; $Y_{i,s}$ —固体组分, 即水分、挥发分和焦炭的质量分数; $M_{i,s}$ —对应由于水分析出、挥发分析出和焦炭燃烧失去的质量, kg/(m³·s); S_s —三个组分失去

收稿日期: 2015-11-06; 修订日期: 2015-11-19

基金项目: 国家科技支撑计划项目课题(2014BAA02B02), 上海市科委基础课题(14JC1403200)

作者简介: 杜海亮(1987-), 男, 湖北汉川人, 上海交通大学博士研究生。

的质量之和 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ 。能量守恒方程基于大颗粒煤燃烧的特点。将颗粒划分为十层, 颗粒表层球壳的能量守恒方程可表示为:

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

式中: v_n —表面球壳占整个球体的体积分数; $\bar{C}_{p,n}$ —表层球壳的平均比热容 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; T_n —球体外表面温度 K ; $\lambda_{s,eff}$ —固体有效导热率 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; 源相 $Q_{rad,ss}$ 、 Q_{cond} 、 Q_{conv} 、 $Q_{rad,sg}$ 、 H_s 、 Q_{ss} —固相之间辐射换热量、表面球壳传导给次表面球壳的热量、气固对流换热量、气固辐射换热量、固体析出气体进入气相的携出焓以及固体燃烧异相反应进入固相的热量 W 。

1.2 气相、固相物理化学过程模型

煤燃烧的物理化学过程主要分为三个过程, 即水分析出、挥发分析出与燃烧, 焦炭燃烧与气化。

1.2.1 水分析出

水分蒸发的过程可分为两个步骤。在环境温度小于 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 受到传质控制, 当环境温度大于 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 吸收的热量直接使得水分蒸发, 因此水分蒸发速率表述为:

$$R_{water} = \begin{cases} S \cdot D_m (C_{w,s} - C_{w,g}) & \text{if } T_n < 100\text{ }^\circ\text{C} \\ Q/H_{evp} & \text{if } T_n \geq 100\text{ }^\circ\text{C} \end{cases} \quad (4)$$

式中: S —颗粒表面积 m^2 ; $C_{w,s}$ —固体表面的水汽密度 kg/m^3 ; $C_{w,g}$ —气相中的水汽密度 kg/m^3 ; D_m —表面传质系数 m/s ; Q —颗粒的吸热量 W ; H_{evp} —水的蒸发潜热 J/kg 。

1.2.2 挥发分析出与燃烧

挥发分析出速率 R_{vol} 根据一阶反应来计算:

$$R_{vol} = A \exp\left(-\frac{E}{RT_s}\right) \rho_s Y_{vol} \quad (5)$$

式中: A 、 E —挥发分析出的指前因子和活化能 J/kmol ; 它们的数值由热重分析得到。 T_s —颗粒温度 K ; R —气体常数 J/kmol ; Y_{vol} —挥发分质量分数。

挥发分析出后的燃烧速率受反应速率和气体混合速率的影响, 表示为 $R = \min(R_{lam}, R_{min})$ 其中 R_{lam} 为层流反应速率 $\text{mol}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$; R_{min} 为气体混合速率 $\text{mol}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ [9]。

1.2.3 焦炭燃烧子模型

焦炭燃烧是煤燃烧过程中的主要部分。基于缩

核模型, 焦炭的反应活性主要取决于化学反应速率、气膜扩散速率和灰层扩散速率。

$$R = \frac{M_{char} \alpha S}{M_{O_2}} \rho_{O_2} Y_{O_2} \frac{1}{k_r^{-1} + k_m^{-1} + k_{ash}^{-1}} \quad [10] \quad (6)$$

式中: M_{O_2} 、 M_{char} —氧气和焦炭的分子量; α —每摩尔氧气消耗的焦炭摩尔量; ρ_{O_2} —氧气的密度 g/L ; Y_{O_2} —氧气的浓度 kg/m^3 ; k_r —动力燃烧速率 m/s ; k_m —氧化剂的气膜扩散速率 m/s ; k_{ash} —氧化剂在灰壳内的扩散速率 m/s 。

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; 详细模型描述见文献 [11]。

2 实验验证与建模

为了对模型计算结果进行验证, 应用单元体炉实验台进行层燃实验。二维稳态模型用欧拉法描述链条锅炉燃烧特征, 单元体用拉格朗日法描述链条锅炉燃烧特征, 通过时间模拟距离, 两者相互对应。

层燃单元体炉炉体分上下两部分, 下部放置煤框, 长、宽、高均 20 cm 。设置 4 个抽气孔, 最上部用于抽取煤层表面烟气成分, 其余 3 个分别用于测量煤层表面温度、煤层中间温度和煤层底部温度。空气由罗兹风机通过流量计控制自下方送入单元体炉, 实验台其它细节如文献 [12] 所述, 如图 1 所示。

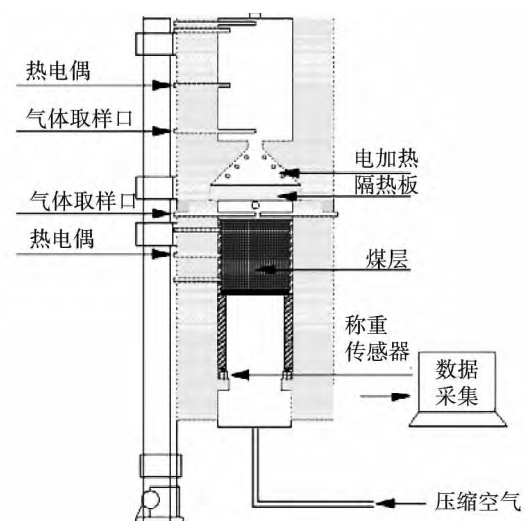


图 1 层燃单元体炉示意图

Fig. 1 Schematic diagram of a laminar combustion monoblock boiler

模型建模如图 2 所示。炉排长度为 6 m ,高度为 0.6 m ,其中床层区域高 0.1 m ,缓冲区高 0.04 m ,炉膛区域高 0.46 m 。炉膛被内墙分割成 30 个单元体空间 ,最左侧的第一个单元体空间将墙壁设置成恒定高温 ,可以对新煤辐射热量 ,模拟单元体炉的辐射引燃;其余单元体空间的墙壁设置成绝热。网格全部为矩形网格 ,总数约为 1.3 万。模型计算采

用神木煤和阳泉煤 ,煤质分析如表 1 所示。



图 2 层燃建模示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the establishment of a model for laminar combustion

表 1 煤质分析

Tab. 1 Analysis of coal quality

煤种	工业分析 /%				元素分析 /%					热值 $Q_{net,ar}$ /MJ · kg ⁻¹
	M_{ar}	A_{ar}	V_{ar}	FC_{ar}	C_{ar}	H_{ar}	S_{ar}	N_{ar}	O_{ar}	
神木	10.9	9.64	27.86	51.60	62.42	3.75	0.56	0.72	12.01	23.94
阳泉	3.2	24.79	8.30	63.71	62.48	2.62	1.39	0.88	4.64	24.00

对神木煤进行层燃实验和数值模拟计算 ,煤层厚度均为 0.1 m 。实验和模拟对比煤层表面 O₂、CO₂和 CO 浓度分布 ,如图 3 所示。床层表面气氛的模拟计算值与实验符合较好 ,说明模型能准确反映床层的燃烧特性 ,可以应用模型对床层燃烧特性进行分析研究。

燥、热解、着火 ,火焰锋面向下传播 ,然后热量通过导热和辐射传至下部煤层。这样综合原煤自左向右水平移动速度和热量自上向下垂直移动速度矢量之和 ,就形成了 OJ、O₁N、O₂K 这 3 条固相组分析出线与炉排的夹角 ,夹角角度与炉排移动速度和床层的传热速度均有关系。这 3 条倾斜线表明了链条锅炉床层的传热、传质以及着火传播特性。

3 结果与讨论

焦炭氧化区域的不规则形状是由床层前后部反应特性不同造成的。在引燃以及燃烧初期 ,反应处于动力控制区 ,即温度是决定反应速率的主要因素;碳颗粒依靠自上而下传递的热量进行反应 ,因此焦炭氧化区域的前部与 3 条固相组分析出线一样是斜向下的。但在反应中后期 ,氧化反应经历旺盛阶段 ,发出大量的热 ,制约反应的不再是温度 ,而是氧气浓度 ,即进入扩散控制区;接触氧气越充足的部位燃尽越快 ,即“燃尽扩散速度”是由下而上的 ,因此焦炭氧化区域的后部是斜向上发展的。

本研究对神木烟煤和阳泉无烟煤的层燃过程进行了数值模拟计算 ,神木烟煤煤层厚度 0.12 m ,阳泉无烟煤煤层厚度 0.16 m ,过量空气系数均 1.5 ,配风方式分别为均匀配风和推迟配风。对模拟结果取水分质量分数、挥发分质量分数开始显著变化时的等值线 ,得到水分析出线和挥发分析出线;对灰分质量分数取等于出口平均灰渣含碳量时的等值线 ,得到灰渣析出曲线;剩余区域中以自由氧浓度为初始氧浓度的 5% 作为焦炭气化区与氧化区的分界线^[8] ,得到床层燃烧分区如图 4 所示。

焦炭气化区域位于氧化区的上方。一次风由下部风仓送入床层 ,在焦炭氧化区消耗了绝大部分氧气 ,同时产生大量的热和二氧化碳。于是在氧化区上方 ,高温缺氧的环境、充足的二氧化碳满足了焦炭吸热还原反应的发生 ,形成了气化区域。气化区的温度比氧化区的温度低 ,因此氧化区的上边界是温度最高的等温线。

图 4(a) 和图 4(b) 中 OJ 是水分析出线; O₁N 是挥发分析出线; O₂K 是焦炭析出线 ,即焦炭开始氧化反应的前沿 ,O₂K(W) O₆O₅O₂ 包围的狭长地带即焦炭氧化区; 曲线 O₂O₅O₄ 包围的是焦炭气化区; O₄O₅O₆(W) 是灰渣析出前沿。从图中可知水分析出线、挥发分析出线及焦炭析出线都与炉排具有一定夹角 ,这是由于原煤从左侧煤闸门进入炉膛 ,同时床层的传热是从上至下 ,上部煤层首先受到炉膛火焰、高温烟气以及高温炉墙的热辐射 ,上层原煤干

灰渣区域的分布也如上所述 ,灰渣析出上方边界受炉膛换热影响 ,因此是沿炉排运动方向自上而下的;灰渣析出下方边界受氧气浓度影响 ,因此是沿炉排运动方向自下而上的。上层灰渣和下层灰渣之

间是未燃尽的焦炭层,含灰量多的煤种在此时更加难以燃尽。

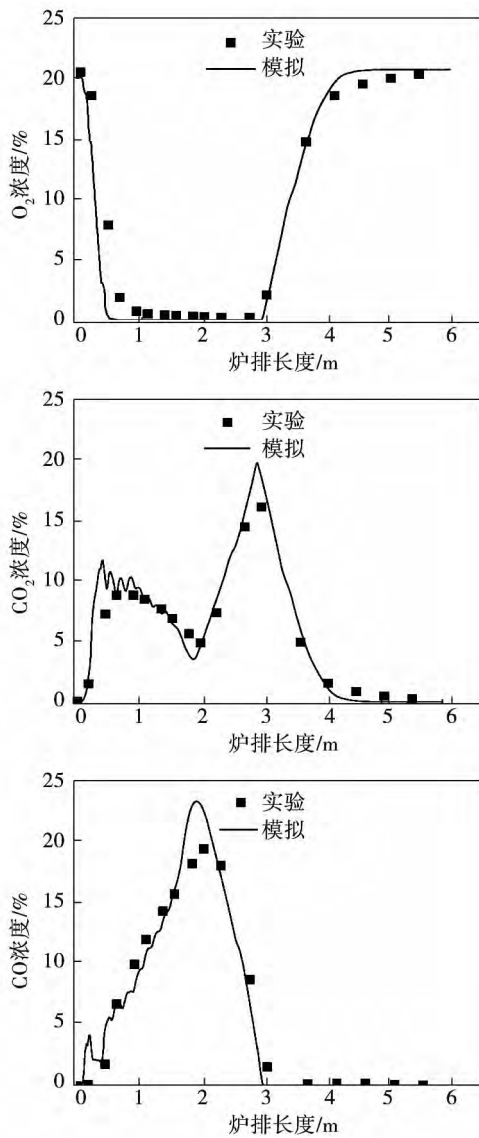


图 3 神木煤模型计算结果与实验数据对比图
Fig. 3 Comparison of the results calculated by using the model for Shenmu-originated coal with the test data

对比图 4 (a) 和图 4 (b) 发现,神木煤水分析出线 O₁N 和挥发分析出线 O₂J 之间的距离要大于阳泉煤两者的距离。由表 1 煤质数据可知,神木煤的水分为 10.9%,而阳泉煤只有 3.2% 水分,这样神木煤需要更长时间干燥。两者另一个差异是图 4 (b) 阳泉煤在燃尽区出现了灰渣“垫层”现象,即床层底部也出现了灰渣层,与床层上部的灰渣层一起包裹着床层中部的未燃尽碳;而图 4 (a) 神木煤没有出现此

现象。这与煤层厚度和配风方式有关:阳泉煤煤层较厚,床层上部更接近高温炉拱和烟气,受到炉膛的辐射热量较大,有利于加快反应;同时推迟配风使床层尾部的氧气浓度大,有利于下部焦炭氧化反应;而床层中部受热较上部少,接触氧气较下部少,加上阳泉煤灰分量大,为 24.79%,因而中部焦炭燃尽慢。

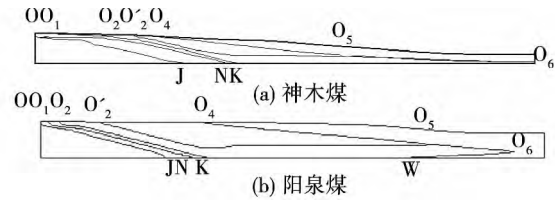


图 4 神木煤和阳泉煤的床层燃烧分区图
Fig. 4 Chart showing the bed combustion zone division of Shenmu-originated coal and Yangquan-originated one

图 4 (a) 和图 4 (b) 的床层燃烧分区与克诺烈和陈运铎的分区方案有部分差异。如图 5 (a) 所示,克诺烈方案中^[7],O₁N 是挥发分析出线,O₂K 是焦炭气化反应前沿,即挥发分析出区域之后紧接的就是焦炭气化区域,氧化区只存在于床层中后部的 O₃KW₅O₆O₄ 区域。克诺烈认为床层的中前部不存在氧化区,这可能是中前部风室配风极少时的特殊情况。前部给风较少时,氧量在挥发分热解燃烧阶段已耗尽,剩余焦炭无法氧化。如图 5 (b) 所示,文献 [8] 中灰渣区域在床层的最上端和最下端一直向前延伸到焦炭气化反应的前沿,这说明焦炭在引燃之后剧烈燃烧,尤其床层上端和下端,仅走过很短距离即燃尽。陈运铎认为床层表面煤层在经历引燃和焦炭氧化燃烧很短的过程后,在床层前部即燃尽,这也是床层燃烧极为剧烈的特殊情况。

床层燃烧分区的特性决定了床层表面气体产物的组分分布特点。因此结合床层表面气体产物分布特点和床层分区特性,对床层的燃烧特性可以进行更为深入的分析,同时使得分析过程更加清晰和直观。

神木烟煤和阳泉无烟煤对应工况下的床层表面气体组分分布如图 6 所示。

O₂ 沿炉排方向的变化如下:床层预热干燥区对应的 O₂ 体积分数约为 21%,这说明 O₂ 此时穿过床层时没有被消耗,燃料预热干燥阶段不需要 O₂;挥发分析出点 O₁ 附近对应着 O₂ 开始下降,O₂ 主要参

与挥发分的燃烧和焦炭的氧化反应;气化区初始点 O_2 附近对应 O_2 降到零,即在此后的一段床层区域内,送入的 O_2 在穿过一段床层厚度后即降为零,床层表面 O_2 严重不足;气化区结束点 O_5 对应着 O_2 从零开始回升,随着焦炭的逐步燃尽,过剩的 O_2 越来越多,直到 O_2 恢复到近 21%。

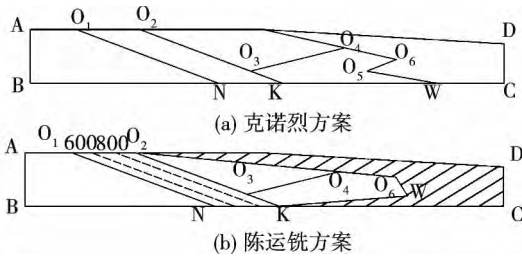


图5 克诺烈和陈运铄床层燃烧分区示意图
Fig.5 Schematic diagram of the bed combustion zone division of the version proposed by Г. Ф. Кнопpe and CHEN Yun-xian

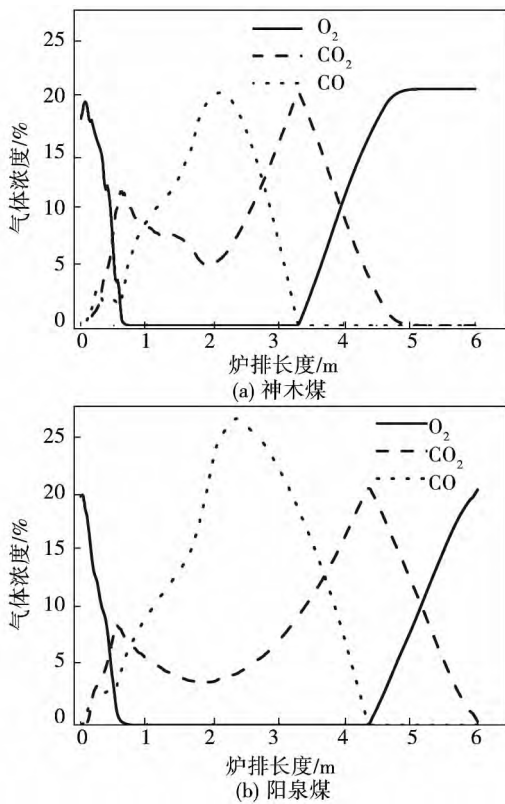


图6 神木煤和阳泉煤的床层表面气体组分分布图

Fig.6 Distribution of gas constituents on the surface of the bed of Shenmu-originated coal and Yangquan-originated one

CO_2 沿炉排方向的变化如下: CO_2 自挥发分析出 O_1 点开始从零上升,由于挥发分燃烧和焦炭氧化反应都会生成 CO_2 ,因此在气化区出现之前 CO_2 充分发展,直到气化区初始 O_2 点, CO_2 第一次达到最大值;之后在焦炭氧化与气化共存的这段床层中,随着氧化区对气化区制约关系的变化, CO_2 经历了先减小后增大的过程:共存的前、中期,氧化区燃烧剧烈,耗氧多,供热量大,产生的 CO_2 与上层的焦炭发生强烈的吸热还原反应;共存的后期,随着气化区焦炭量变少,气化反应减弱, CO_2 开始回升,在气化区结束点 O_5 点 CO_2 第二次达到最大值;随后,焦炭氧化反应随着焦炭燃尽逐渐减弱, CO_2 的生成量逐渐减少,直至降为零。

CO 沿炉排方向的变化如下: CO 自挥发分析出 O_1 点开始从零上升,上升的前半段主要由挥发分析出和焦炭的氧化反应产生;上升的后半段主要由焦炭的还原反应产生,并在气化最强烈的位置达到最大值;之后随焦炭减少、气化反应减弱而下降,直到气化区域结束降为零。

床层可以根据床层表面气体特性简单的划分为3个区段:引燃区、燃烧区和燃尽区。 CO_2 第一次达到最大值点时对应的垂直线作为引燃区和燃烧区的分界线; CO_2 第二次达到最大值点时对应的垂直线作为燃烧区和燃尽区的分界线。总体观察床层表面气体分布,两端 O_2 过剩,中部可燃性气体过剩,说明均匀配风的方式需要根据床层燃烧特性进行调整。

4 结论

本研究针对链条锅炉层燃的特点建立了链条锅炉二维稳态模型,应用单元体实验台对模型计算的准确性进行了校验。基于数值模拟对不同煤种床层燃烧特性和机理进行了深入的研究分析和比较,结果表明:

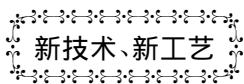
- (1) 依据数值模拟计算结果,得到的燃烧分区示意图可以准确反映链条锅炉床层燃烧分区的特点。同时分析了该图中水分析出线、挥发分析出线、焦炭氧化区、焦炭气化区和灰渣区的特点;
- (2) 不同煤种水分析出线、挥发分析出线、焦炭氧化区和气化区均有差异,这与煤种的水分含量、灰分含量及煤层厚度等因素均有关系。水分含量高的神木煤水分析出距离长,而灰分含量高的阳泉煤在

尾部难以燃尽,形成灰渣垫层现象。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴-2014 [M]. 北京: 中国统计出版社 2014.
National Bureau of Statistics of China, China statistical yearbook-2014 [M]. Beijing: China Statistics Press 2014.
- [2] 李俊东, 韩殿营, 李耀荣 等. 在用燃煤链条炉排锅炉的节能改造[J]. 工业锅炉 2010(2): 20-24.
LI Jun-dong, HAN Dian-ying, LI Yao-rong et al. Energy-saving reconstruction of a coal-fired chain grate boiler in service [J]. Industrial Boiler 2010(2): 20-24.
- [3] 何心良. 我国工业锅炉使用现状与节能减排对策探讨[J]. 工业锅炉 2010(3): 1-8.
HE Xin-liang. Status quo of the use of industrial boilers in China and exploratory study of the countermeasures for energy conservation and emissions reduction [J]. Industrial Boiler 2010(3): 1-8.
- [4] 赵钦新, 王善武. 我国工业锅炉未来发展分析[J]. 工业锅炉, 2007(1): 1-9.
ZHAO Qin-xin, WANG Shan-wu. Analysis of the development of industrial boilers in the future in China [J]. Industrial Boiler 2007(1): 1-9.
- [5] 王善武. 我国工业锅炉节能潜力分析与建议[J]. 工业锅炉, 2005(1): 1-16.
WANG Shan-wu. Energy-saving potential analysis of industrial boilers in China and suggestions [J]. Industrial Boiler 2005(1): 1-16.
- [6] E. S. Grumell, A. C. Dunningham. Combustion of Fuel on a Traveling Grate [J]. Journal of the Institute of Fuel, 1938(12): 87-95.
- [7] 克诺烈著, 马毓义, 扈维珍, 译. 锅炉燃烧过程 [M]. 电力工业出版社, 1956.
Г. Ф. Кнорре, translated by MA Yu-yi, HU Wei-zhen. Boiler combustion process [M]. Electric Power Industry Press, 1956.
- [8] 陈运铄. 链条炉燃料层燃烧过程的初步分析[J]. 浙江大学学报, 1963(2): 1-22.
CHEN Yun-xian. Preliminary analysis of the fuel bed combustion process in a chain grate boiler. Journal of Zhejiang University, 1963(2): 1-22.
- [9] 赵坚行. 燃烧的数值模拟 [M]. 北京: 科学出版社 2002.
ZHAO Jian-xing. Numerical simulation of combustion [M]. Beijing: Science Press 2002.
- [10] 斯穆特 L D, 史密斯 P J. 煤的燃烧与气化 [M]. 傅维标, 译. 北京: 科学出版社, 1992.
L. D. Smoot, P. J. Smith. Coalcombustion and gasification [M]. Beijing: Science Press, 1985.
- [11] 季俊杰. 燃煤链条锅炉燃烧的数值建模及配风与炉拱的优化设计 [D]. 上海交通大学, 2008.
JI Jun-jie. Numerical modeling of the combustion in a coal-fired chain grate boiler and optimized design of the air distribution and arch of the boiler [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University 2008.
- [12] 杜海亮, 张 品, 罗永浩, 等. 不同配风方式下层燃炉煤层 NO_x 析出特性研究[J]. 热能动力工程 2013 28(1): 86-92.
DU Hai-liang, ZHANG Pin, LUO Yong-hao, et al. Study of the precipitation characteristics of NO_x in the coal bed of a laminar combustion boiler under different air distribution modes [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2013 28(1): 86-92.

(刘 瑶 编辑)



涡轮驱动集装箱船

据《Motor Ship》2015年10月刊报道, GTT、CMA、CGM、DNV(挪威船级社)和GL(德国劳氏船级社)已经公布了新百万集装箱船 - PERFECT(机舱无活塞式发动机的高效集装箱船)技术和可行性研究材料。

该概念船以LNG(液化天然气)作为燃料燃气轮机和汽轮机联合电力驱动,即COGES(燃气轮机和汽轮机联合的综合电力推进系统)动力船。这些船级社都声称,该推进装置设计理念有潜力,可提供比现有二冲程低速柴油机驱动20 000 teu(标准集装箱)超大型集装箱船更高效的集装箱船设计。

现有陆路天然气先进燃蒸联合循环电站的效率已超过60%,高于二冲程低速柴油机最高效率52%。此外,COGAS系统功率密度更高。

对集装箱船采用COGES推进系统的效果进行全面分析和研究。分析表明,除了能提高效率、减少排放外,采用COGES系统提高了机械系统布置灵活性并扩大了舱容。

(吉桂明 摘译)

油田废液煤浆的燃烧特性及反应动力学分析 = **Combustion Characteristics of Coal Slurry in the Waste Liquid in Oil Fields and Their Reaction Kinetic Analysis** [刊, 汉] XIANG Yi (National Key Laboratory on Energy Source Clean Utilization , Zhejiang University , Hangzhou , China , Post Code: 310027) , PANG De-xin , ZHOU Jian-ping , LIN Sen-ming (Engineering Technology Company , Xinjiang Oil Field Corporation , Karamay , China , Post Code: 834000) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 , 31(7) . -86 ~91

By using the thermogravimetry , studied respectively were the ignition and combustion characteristics of coal slurry in waste liquid in oil fields and common coal-water slurry and determined were a series of combustion characteristic indexes. In this connection , the reaction kinetic parameters were obtained by using the reaction order model ($n = 3$) . It has been found that the combustion thermogravimetric curves of the coal slurry in waste liquid in oil fields and common coal-water slurry will always experience their water loss stages , mass stabilization stage , ignition and combustion stage as well as the burn-out stage. Both differential thermogravimetric curves have two weight loss peaks , respectively representing the rapid water loss process and volatile and fixed carbon combustion and reaction process. The ignition temperature , burn-out temperature and combustion activated energy of the coal slurry in waste liquid in oil fields are all lower than those of the common coal-water slurry , however , other various combustion characteristic indexes are superior to those of the latter , thus indicating that the alkaline metal ions in the waste liquid in oil fields play an obvious role in enhancing the combustion performance of coal-water slurry. **Key words:** waste liquid in oil fields , coal-water slurry , thermogravimetry , combustion characteristic index , parameters in reaction kinetics

基于数值模拟的链条锅炉煤层燃烧分区特性分析 = **Numerical Simulation-based Analysis of the Combustion Zone-division Characteristics of the Coal Bed in a Chain Grate Boiler** [刊, 汉] DU Hai-liang , ZHANG Min , WANG Yuan , LUO Yong-hao (Thermal Energy Engineering Research Institute , Shanghai Jiaotong University , Shanghai , China , Post Code: 200240) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 , 31(7) . -92 ~97

The laminar combustion process of coal in large granules in a chain grate boiler is greatly different from that of pulverized coal. To analyze in depth the combustion characteristics of coal bed and their mechanisms in a coal-fired chain grate boiler , a two-dimensional steady laminar combustion model was employed to conduct a simulation calculation of the combustion process in the boiler and perform a comparison with the test results. It has been found that the simulation results are in a relatively good agreement with the test ones , indicating that the model can accurately reflect the combustion characteristics of the coal bed and at the same time , an analysis and comparison were made of the frontal surface of the precipitation of the water content and volatile content , coke oxidation zone , gasification zone and ash and slag zone of various coal ranks. It has been found that the difference in combustion zone division of various coal ranks has something to do with such factors as the characteristics of coal quality and combustion conditions etc. **Key words:** chain grate boiler , numerical simulation , combustion zone-division , coal bed