

# 链条锅炉复合燃烧炉内特性的数值模拟研究

赛庆毅<sup>1</sup>, 严浩文<sup>1</sup>, 张忠孝<sup>1</sup>, 陈宝明<sup>2</sup>

(1. 上海理工大学 能源与动力工程学院 上海 200090; 2. 华之邦科技股份有限公司 上海 200090)

**摘要:** 本研究以某化工厂1台35 t/h链条锅炉为物理模型,使用Fluent软件计算流体力学软件对链条锅炉采用复合燃烧技术改造前后炉内速度场和温度场特性进行数值模拟计算。计算结果表明:链条锅炉采用复合燃烧改造后,煤粉气流可以明显加强炉内的扰动,炉内温度分布更加均匀,火焰在炉膛内充满度更好,炉内烟气温度整体升高了约100~200 K,高温区达到1 500~2 000 K,提高了链条锅炉的热效率和锅炉出力。

**关键词:** 链条锅炉; 复合燃烧; 速度场; 温度场; 数值模拟

中图分类号: TK229.6<sup>+</sup>1 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.09.0011

## 引言

链条锅炉运行稳定、操作简单等优点使得其在我国得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>,其数量占工业锅炉的65%<sup>[2]</sup>。我国大多数链条锅炉炉膛容积热负荷一般在230~350 kW/m<sup>3</sup>,取值偏小,炉膛水冷度大,引起实际运行中锅炉炉膛温度偏低,从而造成链条锅炉着火性能较差,运行热效率偏低以及出力不足等问题<sup>[3]</sup>。为了实现工业锅炉行业的节能减排的目标,这些问题亟需得到解决。

复合燃烧是将两种或两种以上的不同燃烧方式共同应用在同1台锅炉上,实现燃料高效燃烧的一种技术<sup>[4]</sup>。姜少军、刘亮等人研究表明,针对工业锅炉进行复合燃烧改造是改善锅炉的燃烧性能,提高锅炉热效率,增强锅炉煤种适应性的一种行之有效的方法<sup>[5-6]</sup>;李元章将层燃和室燃两种燃烧方式结合应用在8台型号为DZL4-1.25-A II型卧式快装锅炉上<sup>[7]</sup>,改造结果表明,锅炉热效率平均提高了17%;常少卿等人针对1台型号为SZD10-13的抛煤机链条炉进行复合燃烧技术改造<sup>[8]</sup>,改造结

果表明,锅炉热效率提高了12%。这些研究表明了链条锅炉采用复合燃烧技术改造的可行性和经济性,但都没能在理论上对复合燃烧技术进行深入的分析。

本文利用Fluent软件对链条锅炉采用复合燃烧技术改造前后炉膛内的速度场和温度场进行计算,通过对比改造前后炉内速度场和温度场特性,分析了链条锅炉采用复合燃烧技术改造的优越性,为复合燃烧技术的工业应用和推广提供可靠的理论依据。

## 1 物理模型及网格划分

### 1.1 物理模型

本文的模拟对象是某化工厂1台型号为UG-35/5.3-M3的链条锅炉,其炉排长度为8.5 m( $x$ 方向),炉排宽度为4.52 m( $y$ 方向),炉高为13 m( $z$ 方向)。复合燃烧改造是在原链条锅炉两侧墙中间部位各增加一只煤粉燃烧器喷口,煤粉喷口位置在炉膛侧面沿炉排长度方向2.5 m,炉排上方0.6 m处;煤粉喷口直径为180 mm;煤粉喷口将煤粉在炉膛侧面沿着垂直于炉排运行方向喷入炉膛内部。锅炉燃煤煤种为II类烟煤,煤质的工业分析和元素分析如表1所示。

### 1.2 网格划分

本文研究区域为链条炉排上煤层表面到炉膛出口处,因为炉膛关于 $y=2.26$  m处截面对称,为了加快计算进度,减少模型网格数,本文选取一半炉膛作为计算区域。数值模拟采用Ansys前处理软件ICEM来建立模型并对其划分网格。针对链条锅炉复杂的结构特点,本文采用了对复杂空间适应性强

收稿日期: 2015-09-21; 修订日期: 2016-04-26

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAA07B00)

作者简介: 赛庆毅(1975-),男,山东文登人,上海理工大学讲师。

通讯作者: 张忠孝(1959-),男,上海理工大学教授。

的非结构化四面体网格<sup>[9]</sup>;同时,在下侧炉膛入口、煤粉喷口以及炉膛出口处流场变化比较大的区域,采用了局部网格加密。链条锅炉网格模型示意图如

图 1 所示。其中,改造前链条炉锅炉模型网格生成数为 387 727 个,复合燃烧改造后链条炉锅炉模型网格生成数为 429 771 个。

表 1 煤质的工业分析和元素分析

Tab.1 Industrial and elemental analysis of coal quality

工业分析 / %				元素分析 / %					$Q_{net,ar} /$
$M_{ar}$	$A_{ar}$	$V_{ar}$	$FC_{ar}$	$C_{ar}$	$H_{ar}$	$S_{ar}$	$N_{ar}$	$O_{ar}$	$MJ \cdot Kg^{-1}$
14.08	21.04	22.28	42.60	49.8	2.86	0.8	0.94	5.6	19.699

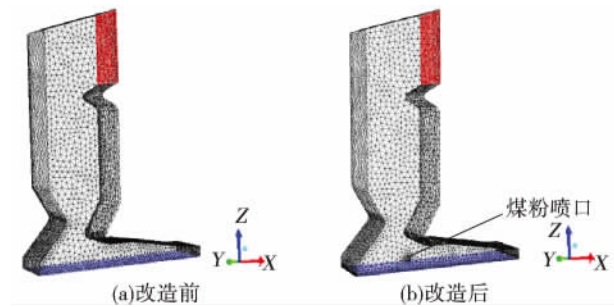


图 1 链条锅炉网格模型示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the grid model for chain grate boilers

炉内水冷壁和前后拱壁面采用无滑移、温度边界条件,水冷壁温度设为 500 K,前拱温度设为 700 K,后拱设为 800 K,壁面辐射率均为 0.8。在模拟链条锅炉复合燃烧改造后炉内燃烧时,保证燃料量与改造前链条锅炉燃料量相同,通过喷口送入炉内的煤粉量占总燃料量的 20%,采用热烟气输送煤粉,烟气温为 400 K,烟气中氧含量为 9%,送粉速度为 20 m/s。

求解离散方程组的压力和速度耦合问题采用 SIMPLE 算法,压力项离散采用 PRESTO 格式,其它项的离散格式均为二阶迎风格式。收敛标准为能量、辐射传热项计算残差小于  $10^{-6}$ ,其余各项技术残差小于  $10^{-3}$ 。

## 2 数学模型及计算方法

### 2.1 数学模型

链条锅炉复合燃烧包括炉排上煤层的层燃燃烧和炉内煤粉的悬浮燃烧两种燃烧方式,它涉及到气固两相湍流流动、气相燃烧、固相燃烧以及辐射换热等多种复杂的过程。本文借助 Fluent 软件对链条锅炉复合燃烧改造前后炉内气体流动特性以及燃烧特性进行数值模拟研究。为了使所研究的问题简单化,本文将链条炉排沿炉排运动方向平均分成 8 等份,采用组分运输模型将这 8 等份对应位置床层上燃烧产生的烟气中  $O_2$ 、 $CO$ 、 $CH_4$  和  $CO_2$  等各种气体组分的平均浓度、温度以及速度作为炉膛下侧的入口边界条件,采用标准  $k-\epsilon$  双方程模型模拟湍流流动<sup>[10]</sup>,采用 P-1 模型计算辐射传热,采用离散型模型(DPM 模型)模拟煤粉颗粒的燃烧<sup>[11]</sup>。

### 2.2 边界条件及计算方法

炉膛下侧入口采用速度入口边界条件,炉膛出口采用压力出口边界条件,出口压力定为  $-25 Pa$ ,

## 3 结果与分析

### 3.1 热态流场分析

图 2 分别为链条锅炉采用复合燃烧技术改造前后炉膛内  $y = 2.26 m$  (炉膛中心对称面) 处截面的速度分布图。从图 2(a) 和图 2(b) 中可以看出,沿炉膛高度方向炉膛内整体的气流速度均是先增大后减小,在前后拱形成的喉口处气流速度达到最大值。这是由于炉膛的截面积沿炉膛高度方向上先减小后扩大,喉口处炉膛的截面积最小,因此气流速度达到最大值。改造前,链条锅炉喉口截面处气流最大速度为  $7 \sim 10 m/s$ ,采用复合燃烧技术改造后,链条锅炉喉口截面处气流最大速度达到  $10 \sim 13 m/s$ 。这是由于有两股高速的烟气流携带煤粉喷入炉膛,使得炉内烟气流加强,改造后链条锅炉喉口处的气流明显强于改造前链条锅炉。气流的加强,有利于主燃区各种气体组分之间的混合,进一步促进碳颗粒和可燃性气体的燃烧,从而降低机械和化学不完全燃烧热损失。

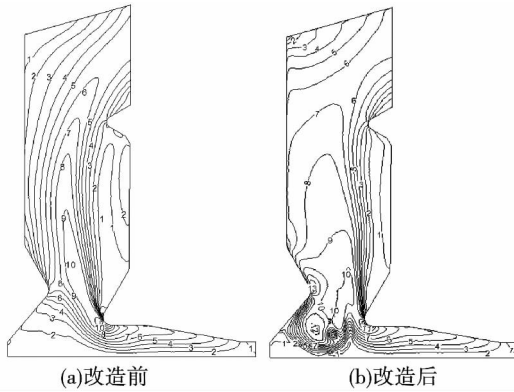


图 2 链条锅炉炉膛内  $y = 2.26$  m 处截面的速度分布图

Fig. 2 Chart showing the distribution of the velocity in a section at a location of  $y = 2.26$  m inside the furnace of a chain grate boiler

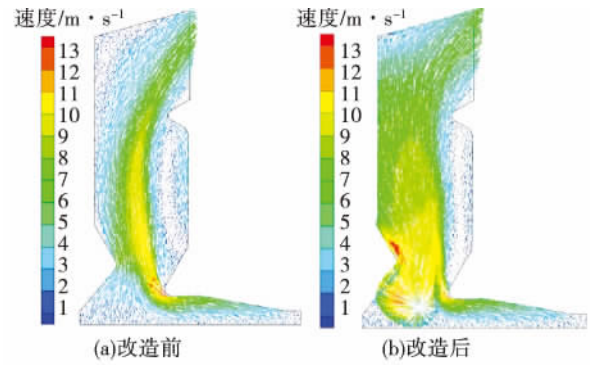


图 3 链条锅炉炉膛内  $y = 2.26$  m 处截面的速度矢量图

Fig. 3 Chart showing the velocity vectors in a section at a location of  $y = 2.26$  m inside the furnace of a chain grate boiler

图 3 分别为链条锅炉采用复合燃烧技术改造前后炉膛内  $y = 2.26$  m 处截面的速度矢量图。从图 3 (a) 和图 3 (b) 中可以看出,在前后拱的配合下,炉内气流呈现出明显的 C 形流动轨迹。后拱处的高温烟气流沿着后拱不断的向前冲刷,不仅能提高前拱的温度,而且高温烟气流可以携带未燃尽的高温碳颗粒,高温碳颗粒落在新加入的煤层上,可以加快新煤层的干燥、挥发分的析出及着火燃烧过程。从图 3 (a) 和图 3 (b) 中还可以清晰地看出,改造前的链条锅炉炉膛内气流流经喉口后,在后拱的上部区域和炉膛顶部左侧区域产生了两个明显的回流区。采用复合燃烧技术改造后,由于有煤粉从两侧墙喷口高速喷入,炉膛内气流速度增强,强大的气流速度压迫炉膛内的回流区,使其相对于改造前链条锅炉的回流区较小。

图 4 分别为链条锅炉采用复合燃烧技术改造前后炉膛内  $z = 0.6$  m 处(煤粉喷口中心高度)截面的流线图。对比图 4 (a) 和图 4 (b) 可以看出,煤粉气流从两侧墙喷口相向高速喷入炉膛,由于喷射的速度足够大,使得煤粉气流在距离喷口附近 1 m 内,气流方向没有发生很大的变化,在接近炉膛中心线( $y = 2.26$  m)处,由于煤粉气流与炉内烟气气流的共同作用,在炉膛中心线两侧形成了明显的回流区,回流区的气流加强了炉内的扰动,促进了炉内煤粉、可燃性气体和空气之间的混合,这对强化炉内的燃烧十分有利。

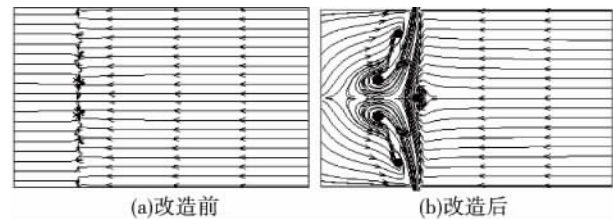


图 4 链条锅炉炉膛内  $z = 0.6$  m 处截面的流线图  
Fig. 4 Chart showing the streamlines in a section at a location of  $z = 0.6$  m inside the furnace of a chain grate boiler

### 3.2 温度场分析

图 5 分别为链条锅炉采用复合燃烧技术改造前后炉膛内  $y = 2.26$  m 处截面的温度分布图。从图 5 (a) 中可以看出,随着链条炉排的运动方向,炉排上方烟气温度约从 800 K 逐渐升高到约 1 700 K;在接近排渣口处,温度又降低到约 1 000 K。这是因为煤层随着炉排向前运动时,依次经历着煤粉的干燥、挥发分的析出、燃烧,焦炭的燃烧以及燃尽的过程,在煤层干燥时,炉排上温度较低;当挥发分析出燃烧以及焦炭燃烧时,炉排上温度快速上升;而当燃料燃尽时,炉排下部空气依然在不断的送入炉内,使得炉排上的温度又有所降低。

从图 5 (a) 和图 5 (b) 中还可以看出,在采用复合燃烧技术改造前后的链条锅炉两个模型中,炉膛内高温区都集中在炉膛的中下部区域,改造前链条锅炉高温区温度约为 1 500 ~ 1 800 K,文献 [12] 研究表明,35 t/h 链条炉炉膛内高温区温度范围为

1 500 ~ 1 900 K 这与本文模拟结果基本一致。采用复合燃烧技术改造后链条锅炉中,高温区温度约为 1 500 ~ 2 000 K。煤粉从两侧喷口喷入炉膛后,在煤粉干燥和挥发分析出的过程中,煤粉气流需要从周围的烟气中吸收热量,从而在煤粉喷口对应的炉膛中心位置处形成一个相对低温区域,温度约为 1 500 K。低温区域的下侧,由于靠近炉排,煤粉能充分吸收来自炉排上煤层燃烧产生的热量,并与炉排下方送入的空气混合,最先燃烧起来,温度达到 2 000 K;同时,煤粉的燃烧提高了炉内的温度,可以为新加入煤层的着火提供有利的条件。随着烟气上升,由于流动混合以及水冷壁吸热,温度逐渐降低至炉膛出口处。改造前链条锅炉中烟气温度降低至约 1 000 ~ 1 300 K,复合燃烧改造后链条锅炉烟气温度降低至约为 1 300 ~ 1 400 K。张瑞华等人通过热力计算的方法得出<sup>[13]</sup>,复合燃烧改造后,1 台总蒸发量为 30 t/h 的链条炉上炉膛出口烟温为 1 308.3 K,与本文模拟结果相符合。从整体上看,复合燃烧链条锅炉炉内烟气温度比改造前的炉内烟气温度高约为 100 ~ 200 K,并且复合燃烧链条锅炉温度分布更加均匀,火焰在炉膛内充满度更好,这与张永祥的数值模拟结果和杨明新等人的工程试验研究结果较为一致<sup>[14-15]</sup>。从上述分析可知,复合燃烧链条锅炉强化了新加入煤层的着火性能,增强了锅炉煤种的适应性,对提高链条锅炉的热效率以及锅炉出力非常有利。

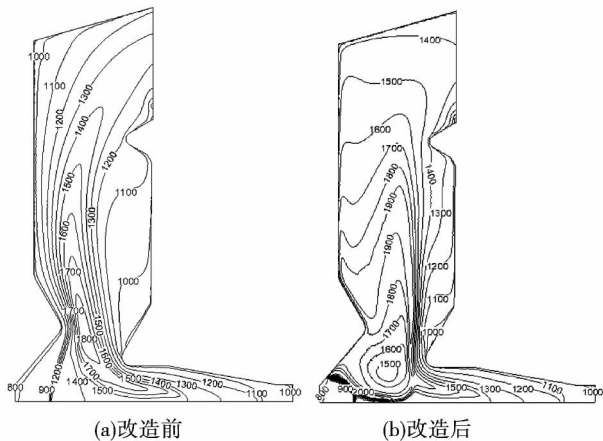


图 5 链条锅炉炉膛内  $y = 2.26$  m 处截面的温度分布图

Fig. 5 Chart showing the distribution of the temperature in a section at a location of  $y = 2.26$  m inside the furnace of a chain grate boiler

#### 4 实际运行情况

##### 4.1 模拟结果验证

热态工业试验时,锅炉负荷为 35 t/h,燃煤为设计煤种,悬浮燃烧煤粉量占总燃料量的 20%,煤粉燃烧器前管道上的阀门开度为 75%,经测试得,两侧炉前煤粉管道内煤粉气流速度分别为 18.56 和 19.06 m/s,均近似为 20 m/s,由于受现场测试条件的限制,试验时,只选取了沿炉膛高度方向上的 10 个测点,测点坐标分别为 (2.5, 0, 2.0)、(2.5, 0, 4.0)、(2.5, 0, 6.0)、(2.5, 0, 8.0)、(2.5, 0, 10.0)、(2.5, 4.52, 2.0)、(2.5, 4.52, 4.0)、(2.5, 4.52, 6.0)、(2.5, 4.52, 8.0)、(2.5, 4.52, 10.0),每个测试点记录三组数据,数据处理时取平均值,试验测试值相对平均值的误差均小于 5%。

图 6 为链条锅炉采用复合燃烧技术改造前后沿炉膛高度方向上炉内各个截面温度测点试验测试值与截面的平均温度数值模拟计算结果对比情况。图中测试值为炉膛左右侧墙对称测点的平均值。从图中可以看出,计算值和实测值存在一定的差异,实测值相对计算值整体偏低,这是由于:一方面试验时,热电偶长度的限制,无法伸到炉膛中心;另一方面,链条炉存在比较严重的漏风情况,使得炉内温度整体偏低。但是本文的模拟结果与实测结果总体趋势相类似,且计算值与实测值误差在 10% 以内,因此可以认为本文建立的燃烧模型可以较好的反应链条锅炉炉内燃烧特性。

##### 4.2 实际锅炉运行效果

表 2 为上述型号为 UG-35/5.3-M3 的链条锅炉采用复合燃烧技术改造前后的部分测试数据。从表 2 中可以看出,锅炉蒸汽压力保持 5.3 MPa 不变,蒸汽温度提高了 2 °C,蒸汽流量从改造前的 29 t/h 提高到了 35 t/h,达到设计值,锅炉出力提高了 20.7%;复合燃烧改造后,排烟温度从 128 °C 升高到 130 °C。虽然排烟温度略有升高,飞灰含碳量基本保持不变,但炉渣含碳量下降了 5.4%,且炉渣量大大减少。综合考虑,锅炉效率由原来的 68% 提高到了 79%,实现综合节煤率约为 10%。

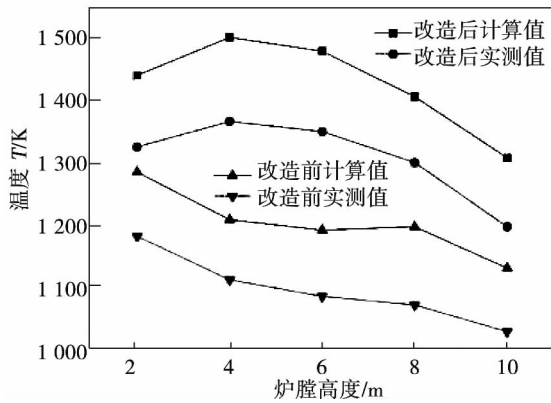


图 6 温度实测值与计算值对比

Fig.6 Contrast of the temperature values actually measured with those calculated

表 2 改造前后部分测试数据

Tab.2 Part of test data before and after the reconstruction

测试项目	改造前	改造后
蒸汽压力/MPa	5.3	5.3
蒸汽温度/°C	484	486
蒸汽流量/t · h <sup>-1</sup>	29	35
排烟温度/°C	128	130
炉渣含碳量/%	13.5	8.1
飞灰含碳量/%	3	3
锅炉效率/%	68	79
综合节煤率/%	-	10

## 5 结 论

本文对 1 台型号为 UG-35/5.3-M3 的链条锅炉复合燃烧改造前后炉膛内的流动以及燃烧特性进行了数值计算,通过对模拟出的炉膛内的流速场和温度场加以分析,得出了以下结论:

(1) 复合燃烧改造前后,炉内气流均呈现明显的 C 形流动轨迹,且气流速度在喉口处达到最大值,改造前后链条锅炉喉口截面处的平均速度分别约为 7~10 m/s、10~13 m/s。气流的增强,加强主燃区气流混合,促进碳颗粒和可燃性气体的燃烧,从而降低机械和化学不完全燃烧热损失;

(2) 复合燃烧改造后,由于煤粉气流从两侧墙高速喷入炉膛内,强大的气流压迫后拱上方和炉膛顶部的回流区,使得改造后链条锅炉炉膛内后拱上

方和炉膛顶部的回流区相对改造前较小;而高速的煤粉气流喷入炉膛内,在炉膛中心线两侧形成回流区,加强了炉内的扰动,促进了炉内气流混合,对强化炉内燃烧十分有利;

(3) 复合燃烧改造后,炉膛内高温区温度为 1 500~2 000 K,炉膛内整体温度比改造前炉内温度高约 100~200 K,炉内温度分布更均匀,火焰在炉膛内充满度更好。因此,链条锅炉采用复合燃烧技术改造不仅强化了新加入煤层的着火性能,增强了锅炉的煤种适应性,而且可以大大提高链条锅炉的热效率和锅炉出力。

## 参考文献:

[1] 杜坤杰,沈士兴,等.煤粉复合燃烧技术在链条炉排工业锅炉上的应用与改进[J].工业锅炉,2012,(6):34-36.  
DU Kun-jie, SHEN Shi-xing, et al. Applications of the pulverized coal complex combustion technology in chain-grate stoker industrial boilers and its improvement [J]. Industrial Boiler, 2012, (6): 34-36.

[2] 许铭涛.拱形与配风方式对链条炉燃烧性能影响的数值模拟研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2013.  
XU Ming-tao. Numerical simulation study of the influence of the arch shape and air distribution mode on the combustion performance of a chain grate boiler [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2013.

[3] 谢启强.某小型燃煤工业锅炉的节能改造分析[J].能源工程,2011,(6):61-63.  
XIE Qi-qiang. Analysis of the energy-saving modification of a small-sized coal-fired industrial boiler [J]. Energy Source Engineering, 2011, (6): 61-63.

[4] 徐鹏飞.煤粉—流化床复合燃烧数值模拟[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.  
XU Peng-fei. Numerical simulation of the pulverized coal-fluidized bed complex combustion [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.

[5] 姜少军,孙庆斌.应用复合燃烧技术改造链条锅炉[J].锅炉制造,2004,(3):58-59.  
JIANG Shao-jun, SUN Qing-bin. Reconstruction of a chain grate boiler by using the complex combustion technology [J]. Boiler Manufacturing, 2004, (3): 58-59.

[6] 刘亮,夏侯国伟,等.一种链条炉粉煤复合燃烧增容节能改造方案[J].电站系统工程,2004,20(2):46-48.  
LIU Liang, XIAHOU Guo-wei, et al. A version for the capacity-augmentation energy-saving reconstruction of a chain grate boiler in complex combustion of pulverized coal [J]. Power Plant System Engineering, 2004, 20(2): 46-48.

[7] 李元章.复合燃烧技术在链条锅炉上的应用[J].节能,2002,

(5): 37 - 39.  
 LI Yuan-zhang. Applications of the complex combustion technologies in chain grate boilers[J]. Energy Saving 2002 (5): 37 - 39.

[8] 常少卿,于天军,等. 复合燃烧技术在抛煤机链条锅炉上的应用[J]. 应用能源技术 2000 (3): 12.  
 CHANG Shao-qing ,YU Tian-jun ,et al. Applications of the complex combustion technologies in spreader feeder chain grate boilers [J]. Applied Energy Source Technology 2000 (3): 12.

[9] 秦 岭. 电站锅炉数值计算建模及网格划分的讨论[J]. 能源工程 2009 (4): 13 - 16.  
 QIN Ling. Model established for numerical calculation of utility boilers and discussions concerning the grid division [J]. Energy Source Engineering 2009 (4): 13 - 16.

[10] 钟礼今,张殿平,等. 700 MW 四角切圆锅炉低 NO<sub>x</sub> 燃烧的数值模拟[J]. 热能动力工程 2015 30(1): 118 - 123.  
 ZHONG Li-jin ZHANG Dian-ping ,et al. Numerical simulation of the low NO<sub>x</sub> combustion in a 700 MW tangentially-fired boiler [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2015 , 30(1): 118 - 123.

[11] 钟用禄,曾过房,等. 660 MW 旋流对冲锅炉低 NO<sub>x</sub> 燃烧优化数值模拟[J]. 热能动力工程 2015 30(1): 108 - 112.  
 ZHONG Yong-lu ZENG Guo-fang ,et al. Numerical simulation of the optimization of the low-NO<sub>x</sub> combustion of a 660MW swirling opposed-firing Boiler [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2015 30(1): 108 - 112.

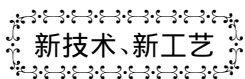
[12] 杨 茹,何军飞,等. 链条燃煤工业锅炉燃烧优化的数值模拟研究[J]. 工业安全与环保 2014 40(4): 90 - 93.  
 YANG Ru ,HE Jun-fei ,et al. Numerical simulation study of the optimization of the combustion in a coal-fired chain grate industrial boiler [J]. Industrial Safety and Environmental Protection , 2014 40(4): 90 - 93.

[13] 张瑞华,李 晗,等. 负荷分配对链条炉排加煤粉复合燃烧锅炉热力特性的影响[J]. 电站系统工程,2001,17(5): 269 - 270.  
 ZHANG Rui-hua ,LI Han ,et al. Influence of the load distribution on the thermodynamic characteristics of a chain grate pulverized coal complex combustion boiler [J]. Power Plant System Engineering 2001 ,17(5): 269 - 270.

[14] 张永祥. 链条炉内复合燃烧性能优化数值模拟研究[D]. 武汉: 华中科技大学 2013.  
 ZHANG Yong-xiang. Numerical simulation study of the optimization of the complex combustion performance of a chain grate boiler [D]. Wuhan: Central China University of Science & Technology 2013.

[15] 杨明新,吴少华,等. 链条炉排加煤粉复合燃烧技术[J]. 热能动力工程,1996,11(1): 20 - 24.  
 YANG Ming-xin ,WU Shao-hua ,et al. A combustion technique featuring the combination of a traveling grate and pulverized coal firing [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power , 1996 ,11(1): 20 - 24.

( 刘 瑶 编辑 )



### MGT6100/6200 燃气轮机的高压涡轮

据《Gas Turbine World》2014 ~ 2015 年年度手册报道,被设计成 1 个铸件的单件中间机匣结构支承燃烧室和驱动燃气发生器压气机的 2 级高压涡轮。

高压涡轮的所有静叶和动叶都利用压气机排气被内部冷却; 涡轮轮盘也被内部空气冷却。

第一列动叶是不带叶冠的,它们的顶部区域装有耐磨边缘,以便减少顶部间隙损失。

第二列动叶具有被夹紧联锁的叶冠。

在叶片上的主动间隙控制系统被设计成确保在整个负荷内高的效率。

主动间隙控制也有助于优化性能。精确致动的液压活塞设计将转子轴向地移动几个 mm,这和圆锥形通流部分结合,在过渡工况运行时提供了打开涡轮内间隙的能力。

在稳态运行时,转子移向相反的方向,以便关闭涡轮内的间隙,从而增加了效率和输出功率。

( 吉桂明 摘译 )



words: wind turbine blade ,aeroelastic tailoring ,modal

700 °C 亚临界无再热发电机组技术的经济性分析 = **Analysis of the Cost-effectiveness of the 700 °C Subcritical Reheat-less Power Generation Unit Technology** [刊 ,汉] /QU Ke-nan ,YAN Wei-ping ,MENG Yan ( College of Energy Source ,Power and Mechanical Engineering ,North China University of Electric Power ,Baoding ,China , Post Code: 071003) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(9) . -58 ~62

When the steam temperature can not further increase ,to increase the main steam pressure and adopt a reheat cycle can enhance the thermal efficiency of the thermal cycle of a unit. However ,with an increase of the pressure ,the energy consumption rate of the feedwater pumps ,wall thickness of the pressure components and the investment in the metal materials will all increase by a great margin. A reheat system will not only make the initial investment increase substantially but also force the pressure loss of the system and the heat dissipation loss in the pipelines to increase and heighten the operation difficulty. When the main steam temperature attains a level of 700 °C ,under the precondition of the basic parameters being identical ,the cost-effectivenesses of a 18 MPa/720 °C 1 000 MW subcritical reheat-less natural cycle unit and a 35 MPa/700 °C /720 °C 1 000 MW ultra-supercritical primary reheat unit were analyzed and contrasted and the feasibility of designing a 700 °C subcritical reheat-less unit was also exploratorily investigated. The calculation results based on the Carnot cycle in the thermodynamics show that the heat rate of the steam turbine of a unit without any reheat will increase by 465.73 kJ/(kW · h) and the power supply coal consumption rate will increase by 13.15 g/(kW · h) when compared with those of a primary reheat unit. Such economic factors as the prices of Ni-base high temperature steel materials for use at or above 700 °C ,the unit price of standard coal ,loan interest rate and annual operation hours of the units etc. were taken into account in a comprehensive way and the balances of annual investment costs in both units converted in various numbers of years in operation were also compared. The comprehensive cost-effective analytic results show that the cost-effectiveness of the subcritical reheat-less unit in the number of years of the whole service life will be obviously superior to that of an ultra-supercritical primary reheat unit. **Key words:** 700 °C ,reheat-free ,thermal efficiency ,cost-effectiveness

链条锅炉复合燃烧炉内特性的数值模拟研究 = **Numerical Simulation and Study of the In-furnace Compound Combustion Characteristics of a Chain Grate Boiler** [刊 ,汉] /SAI Qing-yi ,YAN Hao-wen ,ZHANG Zhong-xiao ( Shanghai University of Science and Technology ,Shanghai ,China ,Post Code: 200090) ,CHEN Bao-ming ( Huazhibang Science and Technology Stock-holding Co. Ltd. ,Shanghai ,China ,Post Code: 200090) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(9) . -63 ~68

With a 35 t/h chain grate boiler in a chemical plant serving as the physical model ,the CFD software Fluent was adopted to perform a numerical simulation and calculation of the characteristics of the speed field and temperature field in the furnace of a chain grate boiler before and after the reconstruction by using the compound combustion technology. The calculation results show that after the reconstruction by using the compound combustion technology ,

the pulverized coal and air flow in the chain grate boiler can obviously enhance the disturbance in the furnace ,the distribution of the temperature in the furnace will be more uniform ,the filling degree of the flame in the furnace will be better ,the temperature of the flue gases in the furnace will increase by about 100 to 200 K as a whole and attain 1 500 to 2 000 K in the high temperature zones ,thus enhancing the thermal efficiency and capacity of the chain grate boiler. **Key words:** chain-grate boiler ,compound combustion ,speed field ,temperature field ,numerical simulation

300 MW 循环流化床锅炉稀相区的传热研究 = **Study of the Heat Transfer in the Sparse Phase Zones of a 300 MW Circulating Fluidized Bed Boiler** [刊 ,汉 ]/SUO Jiang-shun ,CUI Zhi-gang ( College of Electrical and Power Engineering ,Taiyuan University of Science and Technology ,Taiyuan ,China ,Post Code: 030024) ,HOU Zhi-fu ( Shanxi Pingshuo Gangue Power Generation Co. Ltd. ,Shuozhou ,China ,Post Code: 036800) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(9) . -69 ~74

The heat transfer in a CFD boiler burning gangue was studied. With a 300 MW CFD boiler in Shanxi Pingshuo Power Plant serving as an example ,the core-annulus model and particle cluster update model were used to model establish and calculate the distribution of the heat transfer coefficient in the sparse phase zones as the focus. The model thus established has taken account of the actual characteristics of the distribution of the temperature in the circulating fluidized bed in the furnace and was corrected and updated according to the data of the temperature actually measured on the spot. Finally ,changes of the convection and radiation heat exchange coefficient at various loads along the height of the furnace were studied. It has been found that when the boiler is operating at a relatively high load ,the fluctuation in load has relatively small influence on the time-averaged particle cluster wall surface covering share and therefore ,so does the fluctuation in load on the convection heat exchange inside the furnace. The deviation of the temperature in the annulus zones in the furnace along the height of the circulating fluidized bed will somehow decrease and has bigger influence on the radiation heat exchange than on the convection heat exchange. With an increase of the load ,the decline of the convection heat exchange coefficient along the height of the furnace will increase while the decline of the radiation heat exchange coefficient along the height of the furnace will decrease. At a high load ,the total in-furnace heat exchange coefficient along the height of the furnace will decrease by around 25% while at a low load will decrease by about 28% . At a high load ,the temperature difference in the furnace along the height of the furnace will become smaller and the heat transfer will be more stable. **Key words:** underpants-leg type CFD boiler ,gangue ,sparse phase zone ,heat transfer coefficient

基于 LCA 的燃煤锅炉 FGD 超低排放对资源消耗与环境影响评价 = **Resource Consumption of the Ultra Low Emissions from a Coal-fired Boiler in the Process of Flue Gas Desulfurization ( FGD) and Evaluation of the Impact on the Environment Based on the Life Cycle Assessment ( LCA)** [刊 ,汉 ]/HAN Tao ,PAN Wei-guo ,WANG Wen-huan ( Shanghai University of Electric Power ,Shanghai ,China ,Post Code: 200090) ,DING Cheng-gang ( Power Plant Environmental Protection Engineering Co. Ltd. ,Shanghai Electrical Group Corporation ,Shang-