

# 夹心风对炉内热负荷分布的影响

郭宏生 徐通模 惠世恩 许晋源

(西安交通大学)

〔摘要〕通过试验研究了四角布置切向燃烧锅炉炉膛内的热负荷分布情况,比较了投入与不投入夹心风时炉内热负荷分布的变化。试验在一小型热态模拟试验台上进行,使用了一种自制的辐射式热流计。试验所用燃料为铜川贫煤。结果表明,投入夹心风后炉内热负荷沿炉膛高度方向的衰减速度加快。

关键词 辐射 传热 燃烧

分类号 224.1

## 1 前言

锅炉炉膛中火焰对炉壁有强烈的传热过程,研究火焰与周围壁面的换热过程对于燃烧设备的设计及运行都有极为重要的意义。

迄今为止,在锅炉炉膛的设计中都是采用较为成熟的零维模型<sup>[1]</sup>。这一模型可以根据受热面积较为准确地给出炉膛内总的传热量,计算出炉膛出口的烟气温度。然而,将整个炉膛作为零维的整体处理无法给出各个炉壁上的热负荷分布状态,以更为合理地布置受热面,正确选择受热面的材料,避免超高压锅炉炉膛受热面 DNP 的发生。

炉内热负荷分布情况与燃烧过程紧密相关,而燃烧过程又与燃烧器的形式密切相关。一些研究者曾经对炉膛内热负荷分布进行了研究,多是针对运行中的设备来测量炉壁上的热负荷分布,燃烧器一般是传统的煤粉燃烧器<sup>[2-3]</sup>。

近年来,随着电力工业的不断发展,各种

新型煤粉燃烧器不断涌现。这些新型燃烧器对于稳定炉内燃烧,提高燃烧效率等都是十分有益的<sup>[4]</sup>。夹心风燃烧器是这些新型燃烧器的一种,它是将常规的直流煤粉燃烧器的一次风口改由三个直立的长方形喷口所替代,两侧分别为向火侧及背火侧一次风口,中间是一股高速二次风射流,即所谓的夹心风,如图 1 所示<sup>[5-6]</sup>。

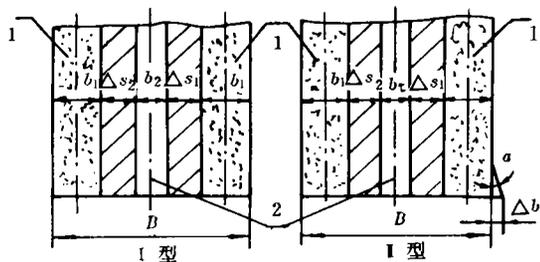


图 1 夹心风燃烧器喷嘴示意图

在一次风喷嘴中间设置一高速夹心风射流,从而增加了一次风射流的刚度,有效地防

收稿日期 1993-10-25 收修改稿 1993-12-25

本文联系人 郭宏生 男 33 付教授 710049 西安咸宁路 28 号

止了气流贴壁现象。夹心风还可及时地供氧于着火后的煤粉气流，增强了燃烧的扩展及后期的燃尽程度。同时，高速的夹心风也提高了炉内的湍动程度，强化了混合过程，改善了着火条件。

对于夹心风燃烧器的混合及燃烧过程曾有不少人进行了试验及理论研究<sup>[7-8]</sup>。然而，夹心风燃烧器对炉内传热过程的影响以前研究甚少。本文在实验室内一小型热态试验台上进行了试验研究，比较了投入与不投入夹心风对炉内辐射热负荷分布的影响。

## 2 试验系统

试验是在一小型热态四角布置切向燃烧炉膛内进行的。炉膛内未布置水冷壁，接近于绝热炉膛。横截面积为  $770 \times 630 \text{ mm}^2$ ，高为  $4200 \text{ mm}$ 。图 2 是试验系统图。

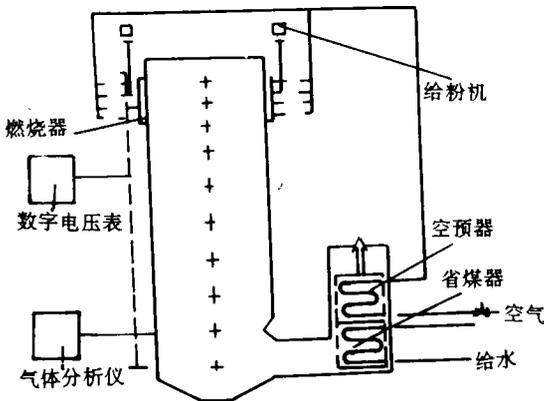


图 2 试验系统

燃烧器是 2121 型。一次风喷口为带单折边的夹心风 II 型燃烧器，如图 1 所示。燃烧器布置在炉膛四个角上，假想切圆直径为  $70 \text{ mm}$ ，炉内气流逆时针方向旋转(图 3)。

空气由一离心式风机送入总风管，经过空气预热器后再分别引入各次风管。每根风

管上均装有调节阀门及测速管，以调节和测量风速及风量。每个角上配置一台螺旋式给粉机，以将煤粉引入一次风管。

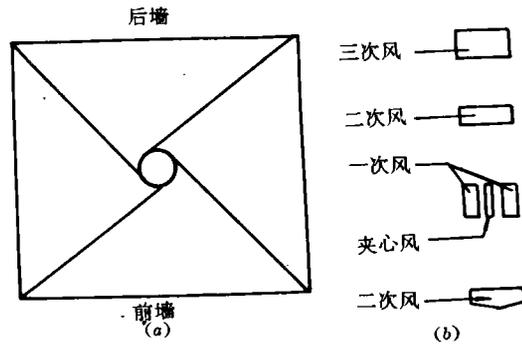


图 3 燃烧器及其布置

试验中共在后墙上安装了 16 只热流计，以测量火焰投射到炉墙上的热负荷分布。其位置如图 4 所示

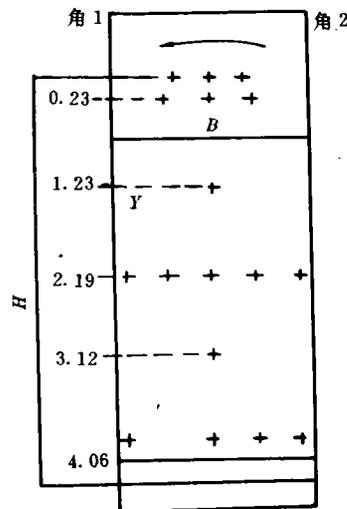


图 4 热流计位置

所用热流计是我们自行研制的一种简易、固定式辐射热流计<sup>[9]</sup>，如图 5 所示。吸热体前装有一块石英玻璃可以隔离对流传热

量,保证所测量为纯辐射热负荷。使用前在实验室对热流计进行了标定,考虑了石英玻璃透射率的影响。每只热流计分别固定于一个测点,这样可以在较短时间内记录所有测点数据,保证所有测点基本在同一时间内记录数据。

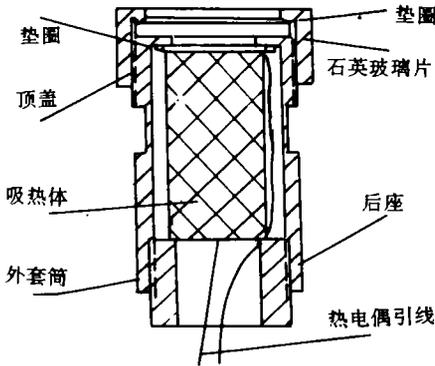


图 5 辐射式热流计

沿炉膛高度方向布置了十对双铂铑热电偶,以测量沿炉膛高度方向的温度分布。在炉膛出口利用一水冷的烟气取样管抽取烟气,通过奥氏分析仪分析烟气成分。

燃料的点火使用了一小型油枪。首先用一小火炬点燃油枪,待炉膛温度上升到某一恒定值之后,开始将煤粉引入一次风管。然后逐渐抽出油枪,待炉膛温度再次恒定之后开始试验。

在每一个工况下,热流计和热电偶的读数连续扫描三次,取其平均值作为最后的试验结果。

试验所用燃料为铜川贫煤,  $R_{90} = 15\%$ , 煤质特性参数如表 1 所给。

表 1 煤质参数

W <sub>f</sub>	A <sub>f</sub>	C <sub>f</sub>	H <sub>f</sub>	O <sub>f</sub>	S <sub>f</sub>	N <sub>f</sub>	V <sub>f</sub>	Q <sub>ar</sub>
0.56	35.75	49.38	3.37	7.41	3.05	0.48	14.09	21.24 MJ/kg

表 2 试验工况

工况	$\alpha$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_s$	夹心风
1	1.49	25.0	32.0	42.0	34.0	开
2	1.39	25.0	32.0	42.0	0.0	关
3	1.29	25.0	31.0	40.0	32.0	开
4	1.28	25.0	31.0	40.0	0.0	关

本文共进行了四个工况的试验。保持相同的一、二、三次风速,观察投入与不投入夹心风时热负荷分布的变化;使得一、二、三次风速保持基本相同,并将过量空气系数也调到基本相同,再观察热负荷分布的变化。表 2 给出了试验工况参数( $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$  及  $W_s$ ,分别是一、二、三次风及夹心风风速, m/s;  $\alpha$  是过量空气系数)。

### 3 试验结果

图 3 ~ 13 给出了各个工况下炉壁上热负荷的分布。图中座标  $x$ 、 $y$  均为无因次座标。如图 4 所示,  $x$  是离开角 1 的距离与炉壁宽度  $B$  之比,  $y$  为距离燃烧器一次风喷口的垂直距离与炉膛断面当量直径之比,  $\eta_x$  是沿炉壁宽度热负荷不均匀系数分布,即局部辐射热流密度与该高度上沿宽度方向各点平均辐射热流密度之比;  $\eta_h$  表示沿炉壁高度方向的热负荷不均匀系数,即炉壁中央某点的局部辐射热流密度与沿炉壁高度方向炉壁中央位置各点平均辐射热流密度之比。气流在炉内逆时针方向旋转,即图 4 中箭头所示。

#### 3.1 保持相同的一、二、三次风速,关闭与开启夹心风时炉内热负荷分布的比较

图 6 中给出了在同样的一、二、三次风速条件下,保持相同的给煤量,关闭(过量空气系数  $\alpha = 1.39$ )与开启夹心风(过量空气系数  $\alpha = 1.49$ )时燃烧器区域沿炉壁宽度的热负

荷不均匀系数分布。

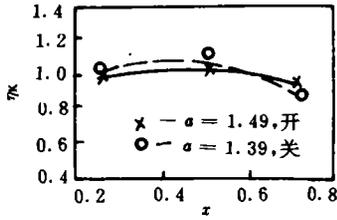


图6 沿炉壁宽度热负荷不均匀系数分布,  $y = 0.23$

图7是相应两个工况下该区域沿炉壁宽度的热负荷分布。

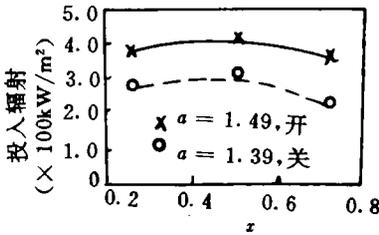


图7 沿炉壁宽度热负荷分布,  $y = 0.23$

由图6和图7中可以发现,两种情况下的热负荷不均匀系数分布略有差异,关闭夹心风时稍不对称,似乎略向下邻角偏移一点。这是由于高速夹心风射流的投入加强了炉内湍动程度,强化了炉内燃烧过程,从而提高了炉内温度水平,使一次风煤粉气流着火点稍有提前,导致了开启夹心风时炉内燃烧器区域的热负荷分布更为对称一点。从图7中亦可明显看出,开启夹心风时热负荷明显高于关闭夹心风时。

图8和图9给出了在炉膛中部及出口区域沿炉壁宽度方向热负荷不均匀系数的分布,显示出两个工况差别不大,均对称于炉膛中央位置。

图10是两个工况下沿炉壁高度方向的热负荷不均匀系数分布。可以发现,开启夹心

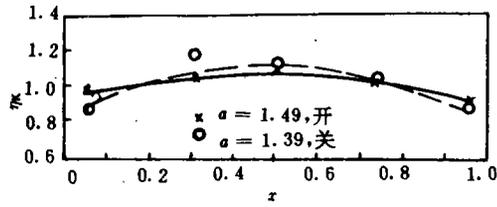


图8 沿炉壁宽度热负荷不均匀系数分布,  $y = 2.19$

风时沿炉壁高度方向的热负荷衰减速率明显快于关闭夹心风时,这说明夹心风的投入增强了炉内的湍动程度,适时地供氧于着火后的煤粉气流,强化了煤粉燃烧过程,使得焦炭颗粒的燃尽速度加快。

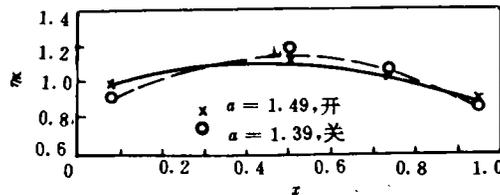


图9 沿炉壁宽度热负荷不均匀系数分布,  $y = 4.06$

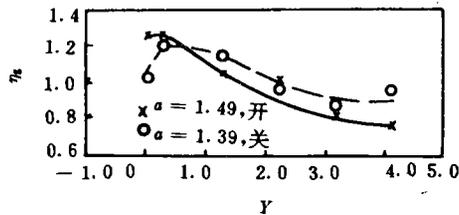


图10 沿炉壁高度热负荷不均匀系数分布

### 3.2 同样过量空气系数下热负荷分布的比较

图11是保持基本相同的一、二、三次风速,调节给粉量,达到关闭与开启夹心风过量

空气系数基本相同(分别为 1.29 及 1.28)时,燃烧器区域沿炉壁宽度热负荷不均匀系

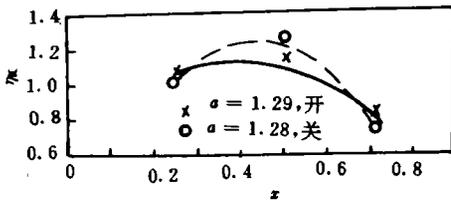


图 11 沿炉壁宽度热负荷不均匀系数分布,  $y = 0.23$

数的分布。可以发现,开启夹心风时热负荷分布更为对称一点。这是由于保持相同的各次风速和基本相同的过量空气系数,意味着开启夹心风时一次风粉混合物中煤粉浓度稍高一点,加之夹心风对炉内燃烧过程的强化,因而使着火点提前。

图 12 是两个工况下炉膛中部区域热负荷不均匀系数的分布。两个工况下均基本对称于炉膛中央位置。

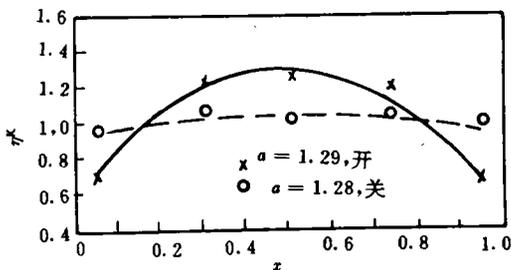


图 12 沿炉壁宽度热负荷不均匀系数分布,  $y = 2.19$

图 13 给出了这两个工况下沿炉膛高度方向的热负荷分布。再一次显示了投入夹心风后沿炉膛高度方向的热负荷衰减速度加快,充分说明夹心风可以强化炉内燃烧过程,加快碳粒的燃尽速率。

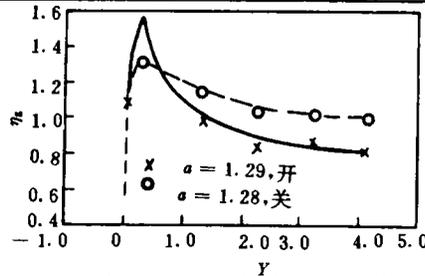


图 13 沿炉壁高度热负荷不均匀系数分布

#### 4 结论

夹心风燃烧器增强了炉内的湍动程度,适时地供氧于着火后的煤粉气流,强化了煤粉燃烧过程,使焦炭颗粒的燃尽速度加快,提高了炉内温度水平。从而导致了在燃烧器区域沿炉壁宽度方向的热负荷分布更为对称,使得沿炉壁高度方向的热负荷衰减速率加快。

#### 参 考 文 献

- 1 陈学俊等. 锅炉原理. 机械工业出版社, 1986
- 2 徐旭常. 火焰三元传热过程数学模拟在电站锅炉中的应用. 工程热物理学报, 1980, 13(2), 143~164
- 3 Guo Hongsheng et. al. Experimental investigation of radiation flux distribution in a pulverized coal tangentially fired furnace, 6th Miami Int. Symposium on Heat and Mass Transfer, 1990. 12
- 4 中国电力企业联合会新型煤粉燃烧器调查组. 新型煤粉燃烧器在我国火电厂的应用. 1989. 9
- 5 徐通模等. 夹心风 I 型燃烧器的研究. 西安交通大学学报, 1986, 20(6): 9~19
- 6 李冠华. 夹心风燃烧器在电站锅炉上的试验研究及应用. 电力技术, 1988, (4): 10~13
- 7 西安交通大学. 新型夹心风燃烧器炉内动力工况的试验研究. 技术交流, 1985, (6)
- 8 吴小华等. 夹心风直流燃烧器射流空气动力特性数值研究. 动力机械与工程热物理(论文集), 西安交通大学出版社, pp. 335~339, 1989
- 9 郭宏生等. 一种简易可行的辐射式热流计. 热力发电, 1993, (5): 57~61 (渠源沥 编辑)

flow as well as horizontal tube diameter on the operating performance of the pneumatically controlled L valve slag removal mechanism. **Key Words**: *pressurized fluidized bed boiler, slag removal mechanism pneumatic control*

- △ **An Experimental Study of Embedded Tube Heat Transfer and Heat Resistance Control in a High-temperature Fluidized Bed**……Yan Weiping. (*North China Institute of Electric Power*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 25~30

Presented and analysed in this paper is the surface temperature of a horizontally embedded tube in a high-temperature fluidized bed and the experimental result regarding the effect of power bed material on the embedded tube outer side heat transfer coefficient. It has been shown that the heat transfer factor is closely related to the surface temperature, but the degree of correlation depends on the particle diameter and sieve range adopted. The adding of powder bed material will lead to an increase in heat transfer coefficient, but the degree of increase is also related to the controlled heat resistance.

**Key words**: *high-temperature fluidized bed, embedded-tube heat transfer coefficient, surface temperature, particle diameter*

- △ **The Effect of Tertiary Air on In-furnace Thermal Load Distribution**……Guo Hongsheng, Xu Tongmo (*Xi'an Jiaotong University*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 31~35

An experimental study has been conducted of the thermal load distribution in a tangentially fired boiler furnace with burners installed at the four corners of the boiler. The variation of the thermal load distribution is compared for cases with or without the use of tertiary air. With the help of a self-made radiation type heat-flux meter the test has been performed on a small-size hot-state simulation test rig with lean coal of Tongchuan serving as the test fuel. The test results have shown that the injection of tertiary air can lead to a quickening of the damping tempo of the infurnace thermal load along the furnace height. **Key words**: *radiation heat transfer, combustion*

- △ **The Study and Application of Self-forming Type Coal for Industrial Boilers**……Hui Shi'en (*Xi'an Jiaotong University*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 36~40

With a view to solving the problem of an increasing amount of fine coal dust, fly ash and unburned coal siftings loss and serious atmospheric pollution the author has proposed the fabrication of a type of self-forming coal and its combustion mode. As a result of a great deal of experimental investigations the main factors affecting the self-forming coal without binding agents have been ascertained. The said coal has found wide applications in industrial production and undergone further experimental verification in its practical use. **Key words**: *industrial boiler, self-forming coal, study*

- △ **Some Comments on the Feedwater Deaeration of Small-sized Industrial Boilers**……Gao Yang (*Beijing Petro-Chemical Engineering Co*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 41~44 **Key words**: *boiler, deaeration, thermal deaeration*

- △ **An Analytical Solution of Irreversible Aerodynamic Parameters of Variable Specific Heat**……Yu Qing, et al. (*Harbin Institute of Technology*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 45~48