

# 水平浓淡煤粉燃烧器的研究

(上海理工大学) 安恩科

(西安交通大学) 徐通模

[摘要] 文中对四角布置的水平浓淡煤粉燃烧器进行了试验研究和理论分析,并与 WR 燃烧器进行了对比性研究。结果表明:水平浓淡燃烧器比 WR 燃烧器的着火提前、着火稳定性的调节范围更宽广。同时,深入分析了浓淡煤粉燃烧器稳定着火的机理,对最佳煤粉浓度进行了定量分析,计算结果与本试验数据的偏差为 17.4%。

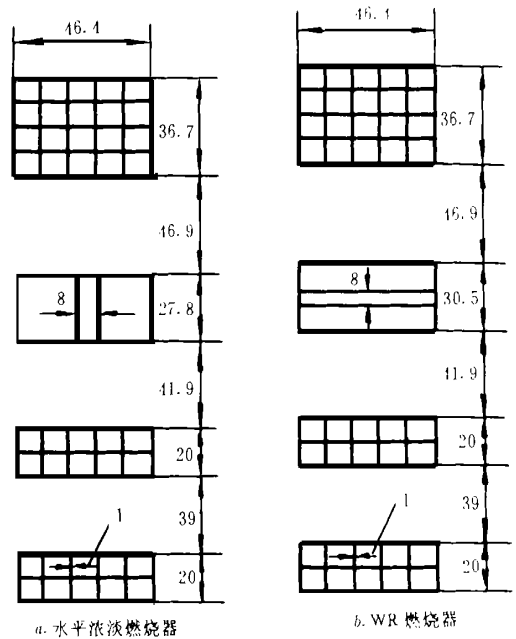
关键词 水平浓淡燃烧器 WR 燃烧器 最佳浓淡比 最佳煤粉浓度

中图分类号 TK244.11

## 1 前言

水平浓淡燃烧器具有良好的低负荷着火稳定性、防止结渣和高温腐蚀以及低 NO<sub>x</sub> 排放特性,因而应用广泛。但到目前为止,对水平浓淡燃烧器的基础研究数据尚不足<sup>[1]</sup>,本文对水平浓淡燃烧器进行了深入的研究,并与相同喷口戴面和相同结构尺

寸的 WR 燃烧器进行了对比性分析。



a. 水平浓淡燃烧器  
b. WR 燃烧器

图 2 煤粉燃烧器

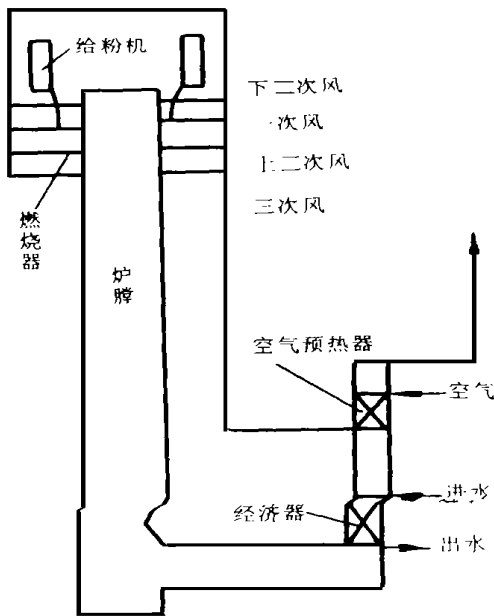


图 1 试验系统

## 2 试验简介

图 1 是 1MW 的锅炉试验台系统图。锅炉的炉膛是向下布置的,炉膛横截面尺寸为 770 mm×630 mm,高度为 4200 mm。水平浓淡燃烧器和 WR 燃烧器如图 2 所示。试验采用宜宾无烟煤,煤质资料如表 1 所示。对于炉膛的高度,以横截面的当量直径为基准进行了无量纲化,基准取燃烧器一次风的喷口中心。炉膛温度用铂铑铂热电偶测量,数据由计算机通过 IMP 板采集,浓淡燃烧器的富燃料煤粉气流的煤粉浓度与淡燃料煤粉气流的煤粉浓度之比定义为浓淡燃烧器的煤粉浓度浓淡比(简称浓淡比)。

表1 宜宾无烟煤资料

$W_{ad}$	$A_{ad}$	$V_{ad}$	$C_{ad}$	$Q_{net.v.ad}$
1.49	38.07	9.74	50.7	20 562kJ/kg

### 3 试验结果与分析<sup>[1]</sup>

图3是水平浓淡燃烧器燃烧宜宾无烟煤时,在不同的浓淡比条件下炉膛中心的烟气温度沿高度的分布曲线。从图上可以看出,当一次风的浓淡比从1.1增大到4.92,炉膛中心火焰温度以及炉膛中燃烧器区域的温度水平随之增大,并达到最大值,然后,随着浓淡比继续增大到6.08,炉膛的火焰中心温度以及炉膛的温度水平都降低了。

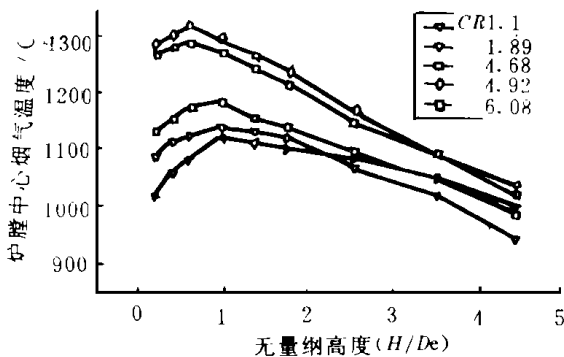


图3 烟气温度与无量纲高度的关系  
(水平浓淡燃烧器燃烧宜宾无烟煤)

富燃料煤粉气流的煤粉浓度与炉膛火焰中心温度的关系如图4所示,从图上看出,水平浓淡燃烧器的富燃料煤粉气流的煤粉浓度为1.03 kg/kg(C/A)时,炉膛的火焰中心温度为最高。

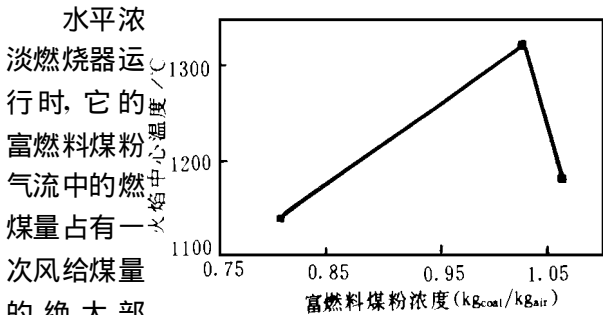


图4 火焰中心温度与富燃料煤粉浓度的关系

煤粉气流的煤粉浓度增加,在富燃料煤粉气流的着火区域,一方面是挥发分的浓度也在增加,煤粉气流的着火温度就降低<sup>[3~5]</sup>,煤粉气流的着火热需求有减小的趋势;另一方面是富燃料煤粉气流中煤粉量的增加,煤粉气流的着火热需求有增大的趋势。这两种因素的共同作用就使得其在某一煤粉浓度时,煤粉气流的着火热需求为最小,煤粉气流的着火点离喷口最近,炉膛的温度水平最高,该煤粉浓度就称为水平浓淡燃烧器富燃料煤粉气流的最佳煤粉浓度,此时的浓淡比就是水平浓淡燃烧器的最佳浓淡比。

通过试验与分析,水平浓淡燃烧器的最佳浓淡比4.92,水平浓淡燃烧器富燃料煤粉气流的最佳煤粉浓度1.03 kg/kg(C/A)。

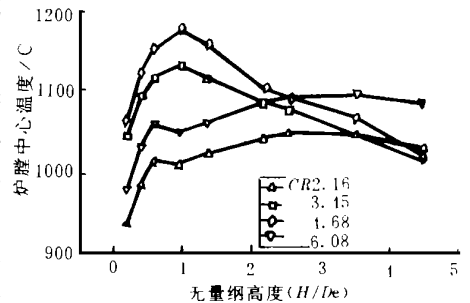


图5 烟气温度沿高度的关系  
(WR 燃烧器燃烧宜宾无烟煤)

图6是WR燃烧器燃烧宜宾无烟煤时炉膛中心烟气温度沿高度的分布与浓淡比之间的关系曲线。WR燃烧器的富燃料煤粉气流的煤粉浓度与炉膛火焰中心温度的关系如图7所示。

根据与水平浓淡燃烧器相类似的分析和试验可知,WR燃烧器的最佳浓淡比为4.68,它的富燃料煤粉气流的最佳煤粉浓度为1.02 kg/kg(C/A)。

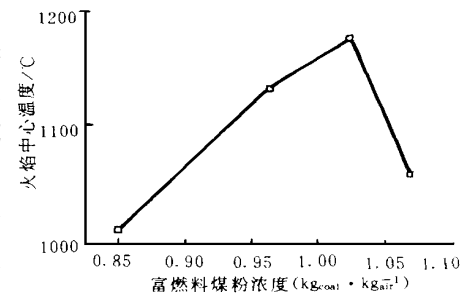


图6 火焰中心温度与富燃料煤粉浓度的关系

在WR燃烧器试验的各个工况下,由于炉膛温度水平相对较低,着火点相对推迟,对于浓淡比为2.16和6.08的工况,炉内温度分布显示出燃烧已处于不正常状况,即WR燃烧器对浓淡比敏感。

对比图4和图6,进一步发现,在相同的试验条件下,(1)水平浓淡燃烧器的炉膛温度水平比WR

燃烧器的炉膛温度水平要高 100 °C 左右; (2) 水平浓淡燃烧器的炉膛火焰中心位置, 在最佳煤粉浓淡比运行时, 无量纲高度为 0.583, 在远离最佳煤粉浓淡比运行时, 无量纲高度为 0.965; 而 WR 燃烧器的炉膛火焰中心位置, 在最佳煤粉浓淡比运行时, 无量纲高度为 0.965; 在远离最佳煤粉浓淡比运行时, 无量纲高度大于 0.965。

这是因为, 对于一次风富燃料喷口, 一方面水平浓淡燃烧器的喷口高度是 WR 燃烧器喷口高度的 2 倍多, 富燃料射流与高温烟气的卷吸量向火侧大于背火侧, 而且向火侧所特有的上游旋转火球对富燃料射流的冲击混和对着火热的贡献很大, 所以, 富燃料射流与高温烟气的热交换速度, 水平浓淡燃烧器的比 WR 燃烧器的较大; 另一方面, 水平浓淡燃烧器的喷口宽度不及 WR 燃烧器喷口宽度的一半, 所以, 在横向, 水平浓淡燃烧器富燃料射流的轴线浓度, 水平浓淡燃烧器的比 WR 燃烧器的衰减快, 即质量交换强烈。

#### 4 最佳煤粉浓度的定量分析

煤粉气流的着火热  $Q_i$ :

$$Q_i = m_k (C_k + \mu C_c) (T_i - T_0) \quad (1)$$

煤粉气流的煤粉浓度与着火温度的关系参照文献 [4], 由绝热系统中煤粉气流的燃烧给出。

释热<sup>[5]</sup>由下式决定

$$\theta_1(\theta) = \tau / (\tau + e^{1/\theta}) \quad (2)$$

散热由下式决定

$$\theta_2(\theta) = (\theta - \theta_{OB}) / \vartheta \quad (3)$$

式中:  $\theta = RT/E$  无量纲温度,  $E$  为煤的活化能,  $R$  一气体常数,  $\theta_{OB}$  一煤粉着火时的气体无量纲温度;

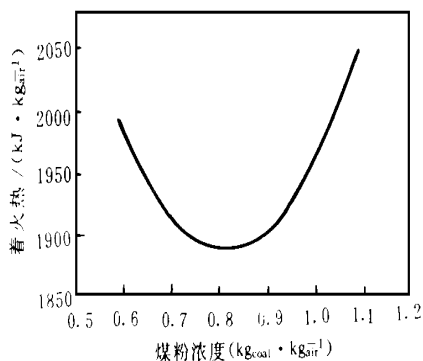


图 7 着火热与煤粉浓度的关系

$\tau = k_0 / \alpha$ ,  $k_0$ —煤的动力常数,  $\alpha$ —空气质量交换系数;

$\vartheta = Rqu / (EC_p)$  无量纲折算发热量,  $q$ —对应 1 摩尔空气煤的发热量,  $\mu$ —煤粉浓度,  $C_p$ —空气比热;

在稳定工况下:

$$\theta_1(\theta) = \theta_2(\theta) \quad (4)$$

当煤粉气流到达着火状态时:

$$d(\theta_1(\theta)) / d\theta = d(\theta_2(\theta)) / d\theta \quad (5)$$

对式(1)、(4)、(5)联立求解, 就可得到煤粉气流的着火温度与煤粉浓度的关系。本文对宜宾无烟煤的燃烧进行了计算, 计算参数参照文献<sup>[6]</sup>, 计算结果如图 7 所示。该计算结果也证明了浓淡燃烧器富燃料煤粉气流的最佳煤粉浓度的存在。对宜宾无烟煤, 其最佳煤粉浓度的计算值为 0.85 kg/kg(C/A) 左右。

此值与宜宾无烟煤最佳煤粉浓度的试验结果偏差为 17.4%。

#### 5 结论

在本文的试验条件下:

(1) 水平浓淡燃烧器的炉膛温度水平明显提高, 水平浓淡燃烧器比 WR 燃烧器的着火提前;

(2) 水平浓淡燃烧器对浓淡比的变化不敏感, 水平浓淡燃烧器比宽调节比 WR 燃烧器稳定着火的范围更宽广。

#### 参考文献

- 1 安恩科. 浓淡煤粉燃烧器的试验研究与数值模拟, 博士论文, 西安: 西安交通大学, 1997
- 2 许晋源, 徐通模. 燃烧学. 机械工业出版社, 1990
- 3 郭晓宁. 煤粉空气混合物的着火温度与浓度关系的物理分析和计算. 动力工程, 1982, (2): 32~37.
- 4 乌里斯JI A 著. 热力燃烧理论. 陈丹之译. 1957.
- 5 傅维标. 高温气体射流点燃煤粉—空气混合物的研究. 燃烧科学与技术, 1984, (2, 3): 17~25.
- 6 维列斯基 T B 赫兹马梁JI M 著. 煤粉燃烧动力学. 朱皓强译. 南京工学院出版社, 1986.

作者简介 安恩科, 男, 1962 年生, 1997 年 8 月热能工程专业毕业。从事风机、循环流化床、煤粉燃烧器等研究, 目前还进行 EHD 强化换热研究。(200093 上海军工路 516 号)

(Harbin Institute of Technology), Wang Qing, et al(Northeast Electrical Power Institute //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 33 ~ 36

On China's first oil shale circulating fluidized bed boiler performed was an industrial test of the U-type material return device regulating characteristic. Studied were the start-up characteristics of the U-type material return device and the effect of fluidized air and slackening air flow rate on the work performance of the said device. In addition, the required fluidized air flow and the minimal slackening air flow rate for the stable operation of the material return system are also proposed. Discussed is the combination regulation mode of fluidized air and slackening air for attaining a fine regulating quality of the U-type material return device. The study results may be helpful in guiding the operation of the oil shale circulating fluidized bed boiler and also serve as useful reference data for the operation of large-sized circulating fluidized bed boilers. **Key words:** U-type material return device, nonmechanical valve, circulating fluidized bed boiler, regulation, oil shale

水平浓淡煤粉燃烧器的研究 = A study of Horizontal Dense-dilute Pulverized Coal Burners [刊, 中] / An Enke, Xu Tongmo (Shanghai University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 37 ~ 39

An experimental study and theoretical analysis has been conducted of horizontal dense-dilute pulverized coal burners installed in a tangentially fired boiler. A comparison with WR burners has shown that the horizontal dense-dilute burners enjoy an earlier than expected ignition and a more wide regulation range of ignition stability. Moreover, an in-depth analysis has been performed of the mechanism of stable ignition of the dense-dilute pulverized coal burners. Conducted also is a quantitative analysis of the optimum pulverized coal concentration. The calculation results deviate from those of the experimental data by 17.4%. **Key words:** horizontal dense-dilute burners, WR burner, optimum dense-dilute ratio, optimum pulverized coal concentration

密封间隙气流振荡流场的动态压力测试 = The Dynamic Pressure Measurement of a Gas Excitation Flow Field in a Seal Clearance. [刊, 中] / He Lidong, Zhu Zhenyou, Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(1). — 40 ~ 42

An experimental study is conducted of the dynamic characteristics of gas flow pulsation in a turbine machinery seal clearance from the view point of fluid-solid interaction. Described in this paper are a test rig and a data acquisition and analysis system. An analysis of the seal gas flow excitation mechanism provides a theoretical basis for the selection of the cut-off frequency of a filter and the sampling frequency of the data acquisition system. The study focuses on the piping transmission characteristics in the course of the gas flow dynamic pressure measurement with the test results of four groups of different types of seal construction being discussed. **Key words:** seal, dynamic measurement, vibration, gas

压缩机特性线的系数拟合法 = A Coefficient Fitting Method for Compressor Characteristic Curves [刊, 中] / Cui Maopei (Dalian University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1998, 13(6). — 43 ~ 46

The coefficient fitting method for compressor characteristic curves can be used to make a quick inquiry of compressor characteristic parameters and perform the off-design calculation of gas turbines. By utilizing the shape similarity of compressor characteristic curves and the gradual variation of the compressor shape and location the algebraic polynomial function relationship of the compressor characteristic parameters can be constructed by a method featuring a two-step in succession and one dimensional fitting. This simplifies the off-design calculation and is regarded as a practical method with a relatively high precision. Specific calculation examples with a detailed description are also given in the paper along with some calculation block diagrams. **Key words:** compressor, characteristic curves fitting, boundary line, iteration