

浓淡偏差射流稳定煤粉火焰的燃烧试验研究

盛昌栋 崔和平 韩才元

(华中理工大学煤燃烧国家重点实验室)

[摘要]利用一种新型煤粉浓淡偏差射流燃烧器,在单火嘴燃烧试验台上对浓淡偏差射流燃烧性能进行的热态模拟试验及其结果。试验结果表明:采用局部浓缩的方法提高煤粉浓度,以改变一次风射流中的煤粉浓度分布实现浓淡偏差燃烧,可以有效地强化和稳定燃烧,并具有良好的低负荷稳燃性能。

关键词 煤粉燃烧 火焰稳定 高浓度

分类号 TQ534

0 引言

高效低污染地实现煤粉的燃烧过程,是目前各种燃烧技术所共同追求的目标大量的试验研究和实际应用表明,高浓度煤粉燃烧技术,可以有效地抑制 NO_x 污染物的生成,减轻污染,是一种行之有效的低 NO_x 燃烧技术^{[1][2]},此外,在强化和稳定煤粉燃烧过程方面,和热烟气回流技术(如钝体燃烧器、旋流预燃室、大速差射流燃烧器等技术)一样,被普遍认为是最便宜、最容易实现的措施。近年来,这项技术在国内外受到高度重视,并在燃煤发电机组特别是大型机组上得到广泛的应用。

高浓度煤粉燃烧的实现方法很多,在有关文献^{[1][2][3]}中已有大量的介绍,一般按照煤粉浓缩的方式分成两类:一类是增加一次风气流中的煤粉量,实现煤粉高浓度输送进

入炉膛燃烧;一类是对常规煤粉浓度的一次风气流在进入炉膛之前进行浓缩,实现所谓的浓淡偏差燃烧。本文采用一种新型煤粉浓淡偏差射流燃烧器^[4],利用一定的装置对一次风煤粉空气流施行局部的浓缩,以改变整个一次风射流的煤粉浓度分布,实现浓淡偏差燃烧。在实验室的单火嘴燃烧试验台上,对煤粉浓淡偏差射流强化和稳定燃烧的性能进行了热态模拟试验研究。

1 高浓度稳定煤粉火焰的理论分析

稳定煤粉火焰的关键是强化煤粉气流着火燃烧过程的初始阶段,而煤粉浓度与这一阶段的两个过程即加热到着火,火焰传播均有密切的关系。

* 国家攀登计划资助项目

收稿日期 1994-04-04

本文联系人 盛昌栋 男 430074 湖北省武汉市

1.1 煤粉浓度与着火热

着火热即煤粉气流加热到着火温度所需要的热量,它主要用于加热煤粉、空气及使煤中水分蒸发和过热。着火热可由下式计算[4]:

$$Q_{zh} = (VCa + Cr)(T_1 - T_0) + (W^r/100) [2510 + Cw(T_1 - 100)] + q_0 \quad (1)$$

式中 V 为单位燃料相对的一次风量; Ca 、 Cr 、 Cw 分别为空气、燃料及水蒸汽的比热; T_1 、 T_0 分别为混合物的着火温度与初始温度; W^r 为燃料水分; q_0 为分解热。

忽略水分的气化、过热热量和分解热,以单位质量(1kg)煤粉计,着火热公式可简化成下式:

$$Q_{zh} = Q_r + Q_a = Cr(T_1 - T_0) + CaV(T_1 - T_0) \quad (2)$$

式中 Q_r 、 Q_a 分别为煤粉、空气的吸热。煤粉吸热在着火热中所占的份额 R_r

$$R_r = Q_r/Q_{zh} = 1 - 1/(1 + kC_0) \quad (3)$$

其中, $K = Cr/Ca = \text{const}$, $C_0 = 1/V$ 为煤粉浓度。

由式(1)、(2)可以看出,增加煤粉浓度,着火热减少。

假定:一般取 $Cr = 1.129 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $Ca = 1.394 \text{ kJ}/\text{Nm}^3 \cdot \text{K}$, 空气的密度取 $1.293 \text{ kg}/\text{Nm}^3$, 一般运行值 $C_0 = 0.5 \text{ kg 煤粉}/\text{kg 空气}$, 按式(3)计算,煤粉吸热所占的份额 R_r 约为 30%; 当煤粉浓度提高一倍($C_0 = 1.0 \text{ kg 煤粉}/\text{kg 空气}$)时,煤粉吸热所占的份额 R_r 增加为约 50%。可以看出,增加煤粉浓度,煤粉吸热所占的份额显著提高,相应的空气吸热所占的份额显著地降低,因而着火热明显减少。

1.2 煤粉浓度与着火温度

文献[5]的研究表明,煤粉浓度增加,煤粉气流的着火温度 T_1 降低,因而着火热也减少,加速了煤粉气流的着火。

1.3 煤粉浓度与火焰传播速度

文献[6]对煤粉浓度与火焰传播速度之间的关系做了研究,得出如下关系式

$$S_0 = \frac{[\lambda(T_f - T_0)/\delta + \beta\omega\sigma\alpha\varphi T_f^2/\rho_s]}{[Ca\rho_a + C_w](T_1 - T_0)} \quad (4)$$

式中 ω 为煤粉浓度。显然煤粉浓度提高时,火焰传播速度将增大。

煤粉气流加热到着火过程可用着火热和着火温度表征,而火焰传播过程可用火焰传播速度来表征。综合以上分析可以得出结论:提高煤粉浓度有利于煤粉气流的着火和火焰稳定。

2 试验台装置

试验是在单火嘴燃烧试验台上进行的。试验台系统示意图如图1所示,其风口位置由上而下为二、二、一、二次风,风源为普通离心风机。冷风经空气预热器、电加热、分配器

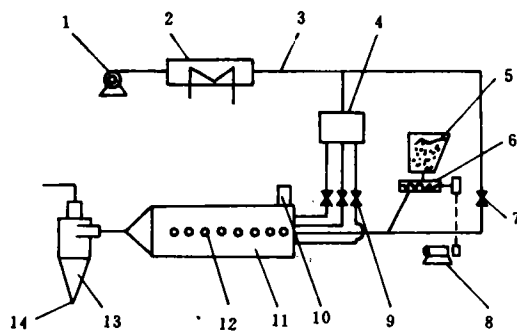


图1 单火嘴燃烧试验台系统示意图

1. 离心风机
2. 电加热器
3. 风管
4. 二次风分配器
5. 煤粉仓
6. 给粉绞龙
7. 一次风阀
8. 直流电机
9. 二次风阀
10. 热电偶(观察窗)
11. 燃烧室本体
12. 测孔
13. 旋风分离器
14. 飞灰取样孔

后分别送到一、二次风喷口。煤粉经给粉绞龙后落入一次风管,绞龙用直流电动机驱动,通过调节电动机转速可改变一次风气流的煤粉浓度各风管均用经过标定的笛形管(和微压

计)来测量和控制风量。燃烧室沿程开有测孔,可同时进行温度和浓度的测量,试验中用热电偶测量沿燃烧室轴线的温度分布,在最后一个测孔插入探头进行氧量测量,根据燃烧剩余氧量配风以调整燃烧。试验台上部开有观察窗,由此可以直接观察到燃烧器出口的火焰状况,以了解着火和燃烧情况,试验时还在此加装一支裸露热电偶用以测量燃烧器出口附近的横向火焰温度分布。

试验时为了进一步了解燃烧状况,还进行飞灰取样。飞灰由旋风分离器下的取样孔取出。

试验中所用的煤粉燃烧器是一种新型浓淡偏差射流燃烧器的缩小模型,其简单示意图如图 2

3 试验研究

为了研究煤粉浓淡偏差射流燃烧器的燃烧特性及局部高煤粉浓度强化和稳定燃烧的性能,试验在两种不同的煤粉浓度下进行;同时,作为对比,还做了直流射流燃烧器的试验。试验的内容如下:

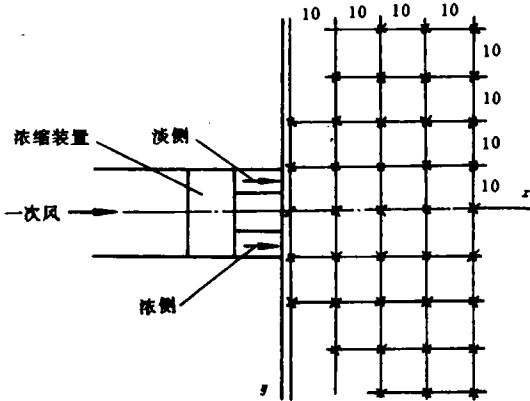


图 2 燃烧器示意图及其出口附近温度分布测量的测点布置

3.1 试验工况

工况 1:采用浓淡偏差燃烧器,试验时给粉机(绞龙)的负荷为 95%,经计算,对应的一次风煤粉浓度为 0.80 kg 煤粉 /kg 空气;

工况 2:类似于工况 1,给粉机的负荷为 70%,一次风煤粉浓度为 0.55 kg 煤粉 /kg 空气;

工况 3:采用直流射流燃烧器,给粉条件如工况 1,即一次风煤粉浓度为 0.80 kg 煤粉 /kg 空气。

为保证三种工况结果的可比性,试验时合理配风以保持相同的过剩氧量(约 9%),使燃烧条件近似。

3.2 煤种

保证各工况试验结果可比的最基本条件 是煤种相同。试验所用煤种为焦作丹河电厂炉前煤:分析结果为: $Mar = 1.69\%$, $Aar = 26.82\%$, $Var = 11.00\%$,低位发热量 $Q_{net,ar} = 23836 \text{ kJ/kg}$ 。

3.3 测量内容及测量结果

(1) 三种工况下,燃烧室沿轴线温度分布的测量,其结果绘成曲线如图 3 所示。

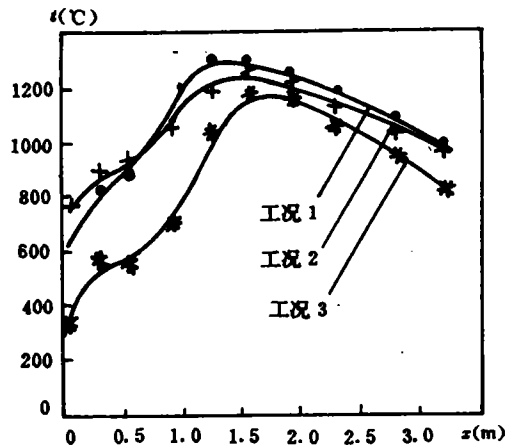


图 3 燃烧室轴线上的温度分布

(2) 三种工况的飞灰取样及其含碳量的测量。含碳量分析的结果记录在表 1 中,表中

表 1 飞灰含碳量的测量结果

工 况	工况 1	工况 2	工况 3
含碳量(%)	44.01	52.53	59.01

的数值为对应各工况下飞灰样的平均值。

(3) 为了探讨煤粉浓淡偏差射流内部的着火机理,在工况 1、2 下,测量燃烧器出口附近的温度分布,其测点布置如图 2 所示,所有测点均在燃烧器水平对称面上。由于打开观察窗盖后吸入大量冷空气而使燃烧失稳,工况 3 时未做此项测量。测量结果绘成曲线如图 4。

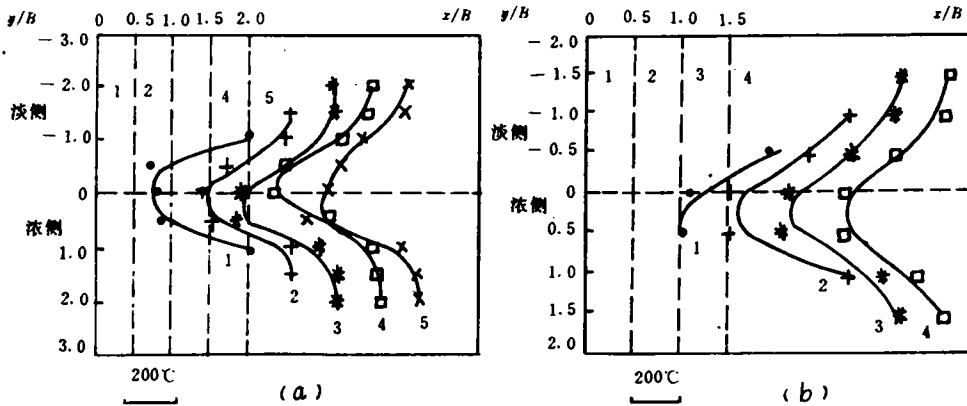


图 4 燃烧器出口附近区域温度分布

4 试验结果的分析与讨论

在此之前的冷态模拟试验研究^[7]表明,一次风煤粉气流经所用的这种新型煤粉燃烧器浓缩后,浓侧煤粉浓度可达来流的近 1.5 倍,淡侧则几乎保持不变,而浓、淡侧之间的浓度相应降低。热态试验时也可以清楚地观察到射流的这种浓淡差别。这样

煤粉浓度

工况 1:一次风 0.80 kg 煤粉/kg 空气,浓侧约 1.20 kg 煤粉/kg 空气,淡侧 0.80 kg 煤粉/kg 空气

工况 2:一次风 0.55 kg 煤粉/kg 空气,浓侧约 0.83 kg 煤粉/kg 空气,淡侧 0.55 kg 煤粉/kg 空气

(1) 强化和稳定燃烧性能

试验中,工况 1 和工况 3 采用了相同的

一次风煤粉浓度,由图 3 的曲线可以清晰地看出,采用对一次风气流进行局部浓缩而实现浓淡偏差燃烧(工况 1)以后,整个煤粉射流的着火和燃烧稳定的状况得到明显的改善。仅按初始一次风的煤粉浓度,采用文献[5]中所介绍的方法估算,着火温度约在 800~900℃ 之间,那么实现浓淡偏差燃烧后,射流的着火点提前了近 500 mm,煤粉着火得到大大的强化。另外,燃烧室最高温度位置也提前了近 500 mm;工况 1 燃烧室各测点的温度均比工况 3 高出 100℃ 以上,炉内温度水平提高,较早地着火和达到最高温度、较高的炉内温度水平使煤粉的燃烧得到了有力的强化。着火和燃烧的强化确保了燃烧的稳定,这也可以用实验时所观察的情况直观地说明:当打开炉顶观察窗测温时,工况 1 的燃烧区域明亮。火焰稳定,而工况 3 的燃烧区域会因

大量冷风的吸入逐渐变暗而失稳。另外,即使采用低得多的一次风煤粉浓度(工况2),浓淡偏差射流的燃烧稳定性也比直流射流(工况3)好得多。因此,煤粉浓淡偏差射流有明显的强化和稳定燃烧的性能。

(2) 低负荷的稳燃能力

在工况1的基础上,将给粉机负荷降低25%,则一次风的煤粉浓度由工况1的0.80 kg煤粉/kg空气下降到0.55 kg煤粉/kg空气,下降30%,这时依然可以实现稳定的燃烧。由图3看,着火点和最高温度点稍稍后移,炉内温度水平有所降低,但相差并不大。需要说明的是,图3中工况2的前3个测点温度较工况1高,这可能是工况2测量紧接着工况1进行,炉墙温度不断升高,铠装热电偶测温受炉墙辐射影响的结果,这仅仅是实验台的缺陷造成的。实验时的观察和对燃烧器出口附近区域温度分布的测量则表明着火和燃烧状况有所变差,尽管如此还是比一次风煤粉浓度较高的工况3(直流射流)好得多。因而可以说明煤粉浓淡偏差射流具有良好的低负荷稳定燃烧的能力。

(3) 煤粉浓度的影响

由工况1和工况2的结果比较可见,使用煤粉浓淡偏差射流,初始一次风煤粉浓度越高强化和稳定燃烧的效果越好。当然,这一结果适用的浓度范围有待于进一步的研究。本试验采用的煤粉浓度与电厂实际使用值一致,而试验台与实际电厂锅炉相比,燃烧条件差得多,因此可见,煤粉浓淡偏差射流作为一种稳定和强化煤粉燃烧的手段,具有良好的应用前景。

此外,表1所示的飞灰含碳量的测量结果也可以说明以上三点。虽然所用的飞灰取自旋风分离器以下,所取飞灰颗粒较粗,且试验台容量小煤粉燃尽度低,因而含碳量较高,但工况3 > 工况2 > 工况1,飞灰含碳量的降低是相当明显的,这进一步揭示了采用一次

风局部浓缩实现浓淡偏差以强化和稳定燃烧的优越性能,并不失为一种安全,经济的燃烧技术。

(4) 浓淡偏差煤粉流内部的着火特性

为了进一步了解煤粉浓淡偏差射流的燃烧特性和射流内部的着火机理,试验中还测量了火焰根部即燃烧器出口附近区域的温度分布,其结果如图4所示。可以看出:

a、横向上的最低温度出现在稍偏于浓侧的轴线附近;

b、在 $Y/B < 1.0 \sim 1.5$ (Y 为 Y 方向到轴线的距离, B 为燃烧器喷口宽度)的范围之内,浓侧温度低于淡侧相应点温度,而 $Y/B > 1.0 \sim 1.5$ 以后,浓侧温度高于淡侧相应点的值,离喷口越远处,这一转变越靠近轴线;

c、图(b)与(a)相比可见一次风煤粉浓度越低,相同横截面这种转变位置越远。

这些现象可作如下解释:当射流离开喷口后,将受炉膛辐射加热并卷吸高温烟气加热。在 $Y/B < 1.0 \sim 1.5$ 范围内,射流外部卷吸的高温烟气难以到达,所以这一加热作用很小,而以煤粉吸收辐射的加热作用为主。但高浓度时辐射衰减快,辐射加热被外侧煤粉屏蔽,作用也不大,因而浓侧升温较淡侧慢些。轴线附近,卷吸的高温烟气更难以到达,辐射也被屏蔽,因而温度极低。在此以外的区域,既可吸收卷吸热量,煤粉又能接受辐射加热,气温较高,越向外,气温越高,在 $Y/B = 1.5$ 附近,温度一般能达到800℃以上。当然,一次风煤粉浓度越低,浓、淡侧加热条件越相近,转变位置也越远。

在 $Y/B > 1.0 \sim 1.5$ 以外的区域,浓、淡两侧卷吸加热相差不大,而浓侧煤粉浓度高局部吸收辐射多,升温更快,而此处煤粉浓度较高,着火温度低,因而比淡侧提前着火,浓侧外侧煤粉着火以后,其燃烧对其内侧和不远的淡侧起到加热和点火作用,因此,整个一次风射流的着火提前了,这是局部提高煤粉

浓度强化和稳定燃烧的根本点。

(5) 提高煤粉浓度的条件

局部提高一次风射流的煤粉浓度,可以改善煤粉气流的着火和燃烧条件,但提得过高,需加热的煤粉更多,射流内部浓侧温度低会削弱浓侧外部的点火作用,使浓侧升温速度降低而减缓着火,同时,淡侧因含空气相对较多,升温速度也慢,因此从整个煤粉射流看,着火条件改善的程度会随浓度差的增加而减小,甚至没有效果,这样,强化煤粉气流特别是浓侧气流的加热条件是必要的,这或许是美国WR燃烧器^[1]出口加装钝体的原因之一。煤粉浓度影响的定量研究有待于进一步的深入。

5 结论

1. 局部提高一次风的煤粉浓度形成浓淡偏差燃烧,射流浓侧具备了优越的着火条件,对淡侧起到引燃作用,使整个一次风射流的着火性能大大改善,具有良好的强化和稳定燃烧的性能。

2. 在电厂使用的煤粉浓度范围内,一次风煤粉浓度越高,浓淡偏差燃烧的效果越好。

3. 煤粉浓淡偏差燃烧技术有较强的低负荷稳定燃烧的能力。

4. 煤粉浓淡偏差燃烧具有安全和经济的特点,结合低NO_x污染特性,它是一种简单易行的高效低污染燃烧技术。

参 考 文 献

- 1 何佩敖等编著. 煤粉燃烧器的设计及运行. 机械工业出版社,北京,1987,12
- 2 曾汉才. 高浓度煤粉燃烧理论和技术. 华中电力,1991(1)
- 3 徐明厚. 正交湍流射流及高浓度煤粉燃烧过程的研究. 华中理工大学博士学位论文,1992,5
- 4 王致均等. 锅炉炉内过程. 科技文献出版社重庆分社,1980
- 5 郭晓宁. 煤粉空气混合物的着火温度与浓度关系的理论分析与计算. 动力工程,1982(2)
- 6 Stambuleanu A. 工业火焰的燃烧过程. 机械工业出版社,1983
- 7 崔和平、盛昌栋等. 煤粉浓度可调浓淡偏差燃烧器PDA冷态试验报告. 华中理工大学煤燃烧国家重点实验室,1993,5

分散式动态数据采集器

英国输力强仪器公司最近推出一种分散式动态数据采集器VIMP. 根据不同的机器状态监测的需要,有16和32个测量通道两种型式可供选择。该仪器的主体是一个密封的铸铝壳金属扁平盒,内部装有该公司专门研制的各种大规模逻辑阵列电路芯片,全部采用功耗较低的CMOS器材,最大功耗为15W。其采样速率为100kHz,输入信号带宽为20kHz、动态范围130dB,特点是测量精度高,可靠性好,安装方便和使用灵活。

VIMP数采器在生产现场靠近被监测机器安装,接受来自位移、速度、加速度传感器的振动信号及转速信号,为传感器提供电源、抗混滤波和信号预处理,同时也可对采集的机器振动、电厂事故录波、变电站动态参数等远程信号进行在线监测和控制。若干块(最多可为30块)VIMP还可通过安装于微机内的SNET网络卡和双绞电缆,与微机构成计算机局部网络系统,传输速率为163kb/s,距离可达1.5km,加网络扩展器后可延至5km。VIMP采集的机器动态数据通过局部网络可传输至主计算机,用软件进行机器状态分析及精密故障诊断。

(汪家铭 供稿)

…… Yuan Jianwei, Li Feng, Zhang Jun, Ma Yuyi (*Huazhong University of Science and Technology*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 110~115

The coal char reactivity and burn-out time are directly determined by the specific surface area and pore properties of the coal char. A multitude of factors exercise an influence on the specific surface area and pore properties, and the interrelationship between these factors has been found to be rather complicated. In this paper a grey correlation analysis method is applied to ascertain the relationship between these influencing factors and the measured coal char specific surface area and pore properties of various kinds of coals. It is found that moisture, volatile matter and minerals have a greater effect on coal char specific surface area while vitrinite, fixed carbon and ash a greater effect on coal char pore properties. **Key words:** *coal char, specific surface area, pore properties, grey correlation analysis*

△ **A Thermal-state Experimental Investigation on Pulverized-coal Flame Stabilization Using an Off-stoichiometric Jet** …… Sheng Changdong, Cui Heping, Han Caiyuan (*National Coal Combustion Laboratory under the Huazhong University of Science and Technology*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 116~121

This paper deals with a thermal-state simulation test during which a new type of burner was employed to investigate the performance of the off-stoichiometric pulverized coal combustion conducted in a single burner furnace. The analysis of the test results has shown that through the use of a local concentration method to enhance pulverized coal concentration the distribution of the latter in the primary air jet may be changed to realize the off-stoichiometric combustion, thereby effectively intensifying and stabilizing the combustion process along with the achievement of low-load stabilized combustion. **Key Words:** *pulverized coal combustion, flame stabilization, high concentration*

△ **An Experimental Study on the Heat Transfer Properties of a Simulated Hydride Heat Exchanger Used as a Vehicular Air Conditioner** …… Yan Mi, Chen Changpin, Wang Xinhua, Wang Qidong (*Materials Science and Technology Department of Zhejiang University*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 122~126

A heat transfer test under the condition of a hydrogen non-absorption cycle was performed on a simulated and author-designed and fabricated hydride heat exchanger intended for use as a vehicular air conditioner. A formula governing the relationship between heat transfer factor, air flow resistance, Nu and Re has been deduced. Proposed in this paper is also a method for the further enhancement of the reactor heat transfer factor. All the above provides a solid basis for the proper design of vehicular hydride-based air conditioning reactors. **Key words:** *hydrogen-receiving alloy, heat exchanger, heat transfer*

**Edited and Published by Harbin Marine
Boiler & Turbine Research
Institute and Editorial Staff
of this Journal**

Printer: Printing House of Harbin Institute
of Technology
Address: P. O. Box 77, Harbin China

Cable: 6511, Harbin China
Post Code Number 150036

ISSN1001-2060
Periodical Registration:
CN23-1176/TK

Distributed by China International
Book Trading Corporation,
P. O. Box 399, Beijing, China