

改进型液排渣煤粉燃烧器实验研究

余立新, 孙文超, 吴承康

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘 要: 对传统的液排渣型锅炉煤粉燃烧器进行了优化设计, 并用五孔探针对改进后的燃烧室流场进行了冷态试验研究, 测定了空气动力场特性。并对不同配风参数进行了热态实验, 测量了室内温度场分布。试验表明, 燃烧室有较高的燃烧强度和灰渣熔化率, 该燃烧室内的温度水平基本达到国外同类设备水平。这些为液排渣锅炉煤粉燃烧器设计的进一步完善和工业试验提供了基础。

关键词: 液排渣锅炉煤粉燃烧器; 空气动力场; 燃烧强度; 灰渣熔化率

中图分类号: TK229.6⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1006-8740(2001)01-0035-04

Experimental Study of a Retrofit Slagging Coal Combustor

YU Li-xin, SUN Wen-chao, WU Cheng-kang

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract An optimum design of a conventional slagging boiler coal combustor is presented. The structure of the aerodynamic field in the combustor has been studied with a five-hole probe, and the temperature distribution has also been carried out. It is shown that the combustor has a high intensity of combustion and slagging ratio, and the temperatures basically come up to standards of foreign similar systems. These lay a foundation for the further improvement of slagging boiler coal combustors and industrial tests.

Keywords: slagging boiler coal combustor; aerodynamic field; intensity of combustion; slagging ratio

煤粉旋风燃烧技术出现于 20 世纪 40 年代。美国最先研制出带有煤粉旋风燃烧器的电站锅炉。此种燃烧方式热强度高, 燃烧稳定, 燃烧效率高, 因而受到各国的重视。由于这种燃烧方式燃烧温度高, 灰渣大部分被燃烧室所捕集, 并成液态排出, 具有高温清洁等特点, 60 年代以来, 液排渣旋风燃烧技术已逐渐应用于其他工业和技术部门, 达到以煤代油的目的, 较典型的如美国 TRW 公司的卧式旋风燃烧器^[1,2]。这种燃烧器用高氧助燃, 高温预热, 完全是为了适应磁流体发电(MHD)的需要。我国从 80 年代起, 也开始将液排渣旋风燃烧器应用于工业炉窑中, 如铜精矿冶炼炉、钢锭加热炉等。

传统的液排渣旋风燃烧器必须使壁温高于灰熔点几百度, 以保证能通过排渣孔连续排渣, 从而获得高捕渣率和高燃烧效率。由于温度很高, 必然产生较高 NO_x 并导致耐火材料较严重的磨损。本研究将燃烧室火焰出口由缩口改成中心火焰出口管, 以增强燃烧室的气流回流量, 加强附壁燃烧效应, 使燃烧更稳定、完全, 同时可提高捕渣率。其次是应用了分级燃烧的概念, 即在燃烧室进行贫氧燃烧, 降低 NO_x 的生成量, 使其产生洁净的高温强还原性火焰, 此火焰进入熔化炉后再供氧进行富氧燃烧, 以强化炉料的熔化而又减轻炉衬耐火材料的负担。

收稿日期: 1999-10-18; 修回日期: 1999-12-29。

基金项目: “九五”国家重点科技攻关资助项目。

作者简介: 余立新(1968-), 男, 在职博士研究生。

1 实验系统

通过对各种液排渣旋风燃烧器的分析研究, 本实验确定燃烧器采用卧式圆柱状燃烧室带中心火焰出口管的基本结构, 见图 1。采用卧式结构是因为卧式旋风燃烧器的容积热负荷比立式的高得多, 有利于煤粉的完全燃烧。采用中心火焰出口管是该改进型燃烧器与普通液排渣旋风燃烧器的明显区别。增加中心管后, 燃烧室的附壁燃烧效应增强, 有利于提高燃烧热强度, 同时, 燃烧室中气流回流量增加, 更有利于灰渣的捕集并增强煤粉附壁燃烧的效果。

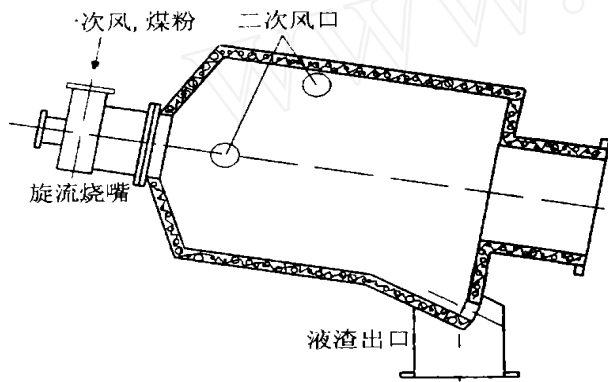
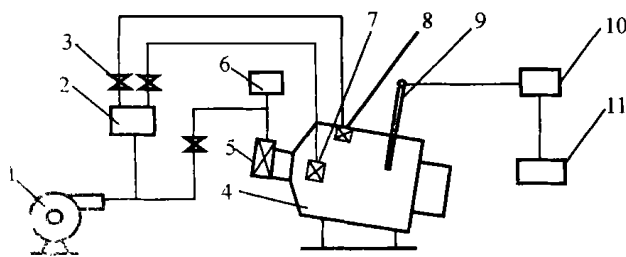


图 1 燃烧器结构简图

实验系统包括: 预热供风系统、供煤机构、旋风燃烧器及冷/热态测量系统, 见图 2。其中旋风燃烧器采用轴向布置的煤粉旋流烧嘴, 以利于在一次风入口处形成较大旋涡稳燃区; 其壁面结构采用水冷式, 在水冷壁表面焊有均匀布置的长 15 mm 左右的销钉, 并填上耐火材料, 以利于灰渣在内壁面上凝结成一层能自动修补缺损的保护壳, 保护水冷壁面不受侵蚀。旋风燃烧器内径 $\Phi = 460$ mm, 长 $L = 830$ mm。



- 1. 风机 2. 空气预热系统 3. 调节阀 4. 旋风燃烧器
- 5. 一次风入口 6. 供煤系统 7. 前二次风入口
- 8. 后二次风入口 9. 五孔探针/热电偶
- 10. 传感器 11. 数据采集处理系统

图 2 实验系统示意图

冷态流场测量用五孔探针, 热态温度测量用铂铑-铂热电偶。

2 实验结果和分析

2.1 燃烧室空气动力场测量

旋风燃烧器内煤粉燃烧的热强度在很大程度上取决于炉内的空气动力场分布。对于本燃烧器而言, 由于其旋流强度较大, 流场比较复杂, 很难用解析法或数值求解分析其流场。为此, 在冷态测试的基础上, 通过调整一、二次风量的配比, 以获得室内合理的流场分布, 即尽可能增加燃烧室中气流回流量, 以利于提高煤粉燃尽度和灰渣的捕集率。

本实验中, 一次风为冷风, 沿轴向螺旋式送入, 二次风为热风, 分前后两路由切向送入, 前二次风入口位于 $x = 240$ mm 处, 后二次风入口 $x = 400$ mm。在表 1 所示的实验参数下, 测量了燃烧室内的流场分布。测量结果见图 3、图 4。

表 1 实验参数

| | 温度/K | 速度/($m \cdot s^{-1}$) | 流量/($m^3 \cdot h^{-1}$) |
|------|------|-------------------------|---------------------------|
| 一次风 | 300 | 15.43 | 200 |
| 前二次风 | 600 | 33.89 | 345 |
| 后二次风 | 600 | 25.05 | 255 |

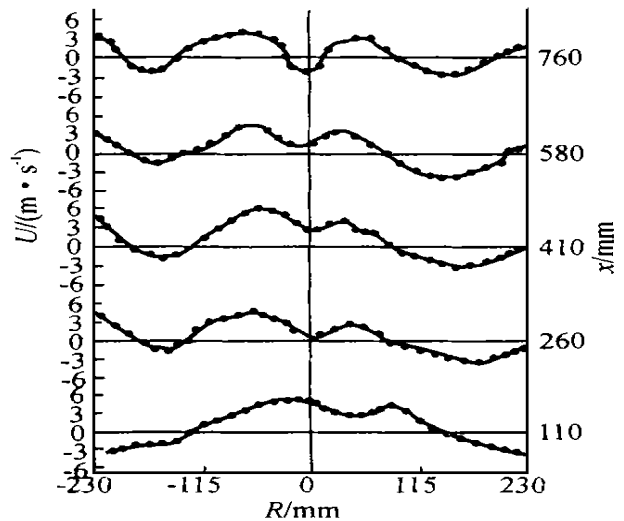


图 3 轴向速度分布图

2.1.1 轴向速度分布

实验表明, 对于燃烧室内的轴向速度分布, 中心回流区的存在与否和燃烧室出口直径 (D_1) 与燃烧室内径 (D_0) 之比 (D_1/D_0) 有关。文献 [3] 指出, 当燃烧室火焰出口为缩口时, 只有在 $D_1/D_0 = 0.4$ 时, 才出现中心回流, 但其深度很浅, 大约只有 $(0.8 \sim 1.5)D_0$ 。而文献 [4] 指出, 在 $D_1/D_0 = 0.8$ 的情况下, 尚未出现中心回

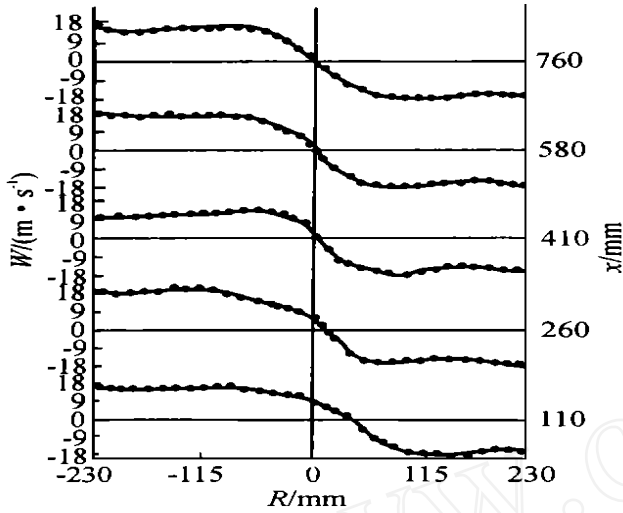


图4 切向速度分布图

流区,且在轴线上出现较强正流。本实验增加中心火焰出口管后,无论在什么工况下,燃烧室出口都有一个中心回流区,且在燃烧室入口端均存在扩散回流区。二次风的强烈扩散和沿一次风轴向存在的反向压力梯度,是形成扩散回流区的主要原因。适当降低上游二次风量或使二次风入口向下游方向移动,或减小一次风入口角度,均有助于减少扩散回流区。

对燃烧室内部流场而言,燃烧室出口直径 D_1 是非常重要的因素。随着 D_1/D_0 的增大,中心回流区地大,从而阻止在轴线附近尚未燃尽的煤粉或灰渣直接喷出,有利于提高燃尽率和捕渣率。但增大 D_1 必然会减少环型回流区截面积,从而减少环型回流量,这又不利于燃尽率和捕渣率的提高。本实验取 $D_1/D_0=0.45$ 。

从图3可以看出,轴向速度剖面存在着中心回流区,并与环型回流区相连,增大了回流面积,有利于颗粒分散和气流的混合。由于二次风入口不是沿圆周均匀分布的,轴向速度并不中心对称,在靠近二次风口半周侧($R > 0$)的回流区比远离二次风口的半周侧($R < 0$)的回流区大,这是由于旋转二次风的加入造成的。

2.1.2 切向速度分布

不同实验工况下,测得各截面(x 不同)的切向速度分布具有良好的相似性。从图4可以看出,切向速度几乎是轴向速度的5倍。切向速度最大值所在位置 $r_m \sim 0.33R_0$,其中 $R_0=0.5D_0$ 。在 $r < r_m$ 时,切向速度随径向坐标 r 几乎呈线性增加;而在 $r > r_m$ 时,切向速度随 r 增大而逐渐减小。同时,切向速度分布在近壁面出现第二峰值,从而保证了气流相对于熔渣壁上的煤粉颗粒有很高的速度,使之能进行高强度燃烧。同时,高速旋转的贴壁气流又为燃料颗粒和熔渣迅速着膜创造

良好条件,从而可获得高强度燃烧和高捕渣率。

2.2 热态实验

由于本燃烧器是用于熔化废钢铁料,为了减少钢铁的烧损,进入熔化炉的火焰应是还原性的,这就要求严格控制进入燃烧室的一、二次风量,控制其总量为理论空气量的80%左右。同时燃用的煤种应选用挥发分较大的煤种。实验中燃烧的是大同混合烟煤,其元素分析和低位发热量见表2。

表2 大同混合烟煤特性表

| | | | | |
|----------|----------|----------|-----------------------------|----------|
| $C^y/\%$ | $H^y/\%$ | $O^y/\%$ | $N^y/\%$ | $S^y/\%$ |
| 71.36 | 3.93 | 7.51 | 0.72 | 1.12 |
| $W^y/\%$ | $A^y/\%$ | $V^y/\%$ | $Q_{dw}/(MJ \cdot kg^{-1})$ | |
| 2.44 | 12.92 | 24.43 | 27.46 | |

2.2.1 燃烧室温度分布

实验结果如图5所示。从图中可以看出,燃烧室壁面最高温度高达1893 K,壁面出口温度亦达到1873 K,大于灰渣的熔点,能够满足液态排渣的要求。同时,在燃烧室的回流区,其最低温度(燃烧室头部)为1913 K,最高温度为2193 K,出口温度为2133 K。国外研制的液排渣燃烧器中,不同形式的燃烧室出口温度相差很大,为1800~2300 K^[1,2,5],由此可以看出,本燃烧器的温度水平基本达到国外同类设备水平。比较图3和图5可以看出,随着回流区面积的增大,在轴向方向上,温度逐渐上升,在炉膛出口处,由于散热作用,温度有所回落。

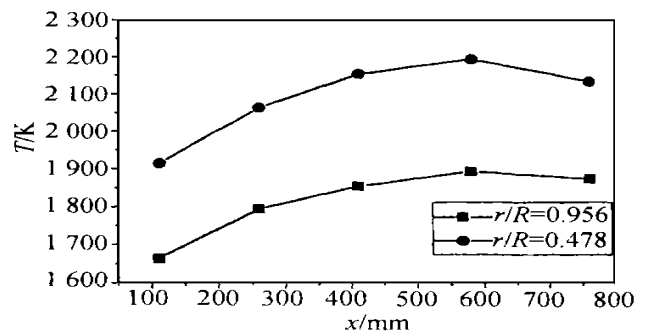


图5 燃烧室内温度分布曲线

2.2.2 一次风对燃烧的影响

实验中观察到,在其他参数不变时,将一次风量由 $150 m^3/h$ 增大到 $250 m^3/h$,燃烧室出口火焰温度略有提高,上升了20 K,但燃烧室回流区的最高温度反而下降了50 K,同时火焰中心向燃烧室出口方向移动,火焰透明度降低。很显然,一次风率增加,燃烧室中轴附近轴向速度明显增大,同时由于一次风的直接冲击,轴向的环型回流区作用有所减弱。在燃烧室其他结构

不变条件下,增加一次风,即提高煤粉初始轴向速度,减少了煤粉在燃烧室内停留的时间,使煤粉不能充分热解燃烧,因此,用增加一次风率的方法不能达到强化燃烧的目的。

2.2.3 二次风对燃烧的影响

二次风的进口位置直接影响燃烧室内的流场分布,进而对燃烧产生影响。热态试验表明,随着二次风率的增加,即相应于二次风进口由根部向中部移动,燃烧室壁面温度逐渐上升,燃烧强度增强,当二次风量由 $195 \text{ m}^3/\text{h}$ 上升至 $255 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,燃烧室头部近壁温度由 1609 K 上升到 1663 K 。由此可以看出,虽然进气位置对切向速度影响不大,但对于轴向速度,中部进气可以在头部形成较强的近壁回流,从而强化煤粉燃烧。

2.2.4 二次风温度对燃烧器性能的影响

在热态实验时,当一、二次风温均为 300 K 时,炉膛温度大大降低,燃烧室内最高温度只有 1933 K ,实验后检查炉膛,发现炉前侧壁有结渣,同时,一次风和二次风入口均有结焦现象,排渣口有堵塞;将二次风温加热至 600 K ,其他参数不变,燃烧室内最高温度上升了 260 K ,一、二次风入口均未结渣,同时灰渣以液态形式从排渣口排出。这说明,二次风的初温对燃烧器的性能有极大的影响。但二次风温度过高,必然要增大预热供风系统的功率,消耗大量的电能,这又不利于节能。从实验结果分析,当二次风温度加热到 600 K 时,能达到液态排渣的要求,同时又能保证二次风口不结焦。

3 结 论

1) 与传统的缩口旋风燃烧器相比,改进后的燃烧

器的室内流场具有更大的回流区,附壁燃烧效应增强,更有利于灰渣的捕集并增强煤粉附壁燃烧的效果。

2) 在本实验中,一次风率的增加并不能强化燃烧;将二次风入口由根部适当向中部方向移动,有助于在头部形成较强的近壁回流,从而强化煤粉燃烧。

3) 二次风温度对燃烧器性能有极大的影响。实验发现,当二次风初始温度达到 600 K 时,二次风口没有结焦现象,同时能使灰渣以液态形式排出。

4) 试验结果表明,燃烧室有较高的燃烧强度和灰渣熔化率,本燃烧室内的温度水平基本达到国外同类设备水平。

致谢 在试验过程中,得到了广州能源所陈恩鉴研究员等的热情支持与帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] Stanel J C, Gerding R B. RW 's Entrained Slagging Coal Combustion[R]. 5th International Coal Utilization Conference, 1982, 5: 38-54
- [2] Stanel J C, Sheppard D B, Petrill F M. Retrofit Slagging Coal Combustor Ready for Commercialisation in 1986 [J]. Modern Power Systems, 1984, 4(3): 47-53
- [3] 李成之,郭伯伟,衣忠德. 旋风燃烧器等温流场某些特点的研究[J]. 工程热物理学报, 1990, 11(2): 215-218
- [4] 李荣先,李 勇,张会强,等. 旋风筒内强湍流流动的试验研究[A]. 中国工程热物理学会燃烧学术会议论文集[C]. 宜昌: 1995: V- 1~ 6
- [5] Tom io Suzuki, Takeo Yoshigae, Palter D C. *et al* Development of a Low- NO_x Emission Slagging Combustor[J]. Combustion Science and Technology. 1993, 93: 111-128