

文章编号: 1673—9620 (2008) 01—0037—03

加热炉内流动特性的 PIV 研究^{*}

徐学慧, 郭 强

(江苏工业学院 机械与能源工程学院, 江苏 常州 213016)

摘要: 为研究加热炉平焰旋流烧嘴下方燃烧速度场的主要机理, 采用相似和模化理论建立了冷态实验模型 (1:1); 采用粒子激光测速 (PIV) 技术对烧嘴下方的主要燃烧速度场进行了测量, 得出在旋流强度为 1.76、空气与煤气的流量比为 13.68 时的速度场; 速度场主要由回流区和贴附射流区组成; 同时探讨了两个区域径向速度和轴向速度的分布特性, 得出了二维速度分布规律。为后续热态实验研究打下基础。

关键词: 加热炉; 平焰旋流烧嘴; 冷态实验; 速度场; PIV

中图分类号: TK 175

文献标识码: A

PIV Research about Flowing Characteristic in Furnace Process

XU Xue-hui, GUO Qiang

(School of Mechanical and Energy Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: To study the dominant mechanism of combustion speed field under flat-flame burner in furnace process, a cold model was established by similarity and modeling theory (1:1); the leading combustion speed field under burner was measured by Particle Image Velocimetry (PIV) technique. Speed field is obtained at the state which whirl strength is 1.76 and air/coal gas=13.68. The speed field is composed of back flow region and joint jetting region. At the same time, the paper discusses the distributing characteristic of radial velocity and axial velocity in the two regions, and educes two dimension velocity distributing rule. The next heat test will be based on it.

Key words: furnace process; flat-flame whirl flow burner; the cold model test; speed field; PIV

加热炉内烟气的流场与燃烧器型式、空气消耗系数及炉子结构等因素有关。组织合理的加热炉内烟气流场结构对促使燃料完全燃烧、减少烟气中氮氧化物排放, 起着重要的作用。而分析烧嘴出口处的烟气流动特性, 有助于研究炉内流场特性和优化流场结构, 进而对于节能和环保具有重要意义。

平焰旋流燃烧器是目前在加热炉中使用较普遍的燃烧器型式之一。它利用旋转气流的离心作用, 使气流沿一个喇叭形的扩张口旋转展开后形成圆盘

形的薄层火焰。旋转的气流从喷口出流后, 除了具有一般射流的径向与轴向速度分量外, 还具有较大的圆周向 (切向) 速度分量。因此当旋转强度比较大时, 流体将在轴向上出现逆压力梯度, 因而在喷嘴出口附近出现回流区^[1]。它的出现增强了对高温烟气的卷吸量, 使得助燃空气、燃料气与高温烟气的混合更强烈, 增大火焰的稳定性, 使着火点靠近喷口, 甚至在扩张段内形成火焰。射流扩张口段增

* 收稿日期: 2007—09—10

作者简介: 徐学慧 (1968—), 女, 内蒙古包头人, 硕士, 高级工程师。

加卷吸使混合更强烈。尽管不少有关平焰燃烧流场的报道,但仅仅停留在局部点速度、压力的测量上^[2,3],及数值模拟求解上^[4],没有对流场内的速度分布特性进行详细分析。

笔者建立了加热炉平焰旋流燃烧的冷态模型,应用非接触流场测量 PIV 技术^[5~7]对烧嘴出口处的冷态速度场进行测量,发挥 PIV 技术无扰动流场测量的优势,测量并讨论烧嘴下方主要燃烧区的速度分布特点,研究回流区、射流区对燃烧的影响。为下一步研究实验条件下合理的空气消耗系数、乃至为进一步研究热态流场,优化热态流场结构奠定基础。

1 实验模型与测试系统

本次的平焰燃烧冷态实验模型是以热态实验炉模型为基准,按照相似理论,用等温介质模拟非等温过程的原则而设计的。平焰燃烧冷态实验模型与测试系统由炉体、PIV 测量系统、燃烧器、烟雾发生器、送引风系统等组成,见图 1。其中炉体由有机玻璃制成,尺寸是以热态实验炉为基准,模型的几何相似比选为 1,其长:宽:高=1 800:1 044:800。平焰燃烧器为自己研制的液化石油气平焰燃烧器,结构如图 2 所示。该燃烧器是将助燃空气旋转,产生切向速度,在喇叭形扩张口内与直吹下来的燃气混合后而使其燃烧。模型的冷空气分别模拟助燃空气和液化石油气。实验测量了模拟液化石油气空气流量为 $26.3 \text{ m}^3/\text{h}$ 、助燃空气流量为 $360 \text{ m}^3/\text{h}$;燃烧器旋流强度为 1.76;喇叭形扩张口的曲率半径为 150 mm 工况下的速度场特性。PIV 测量系统是美国 TSI 公司的产品,主要由激光器、同步器、CCD 镜头及图像处理系统组成。其中激光器系统是由两台 YAG120-15E 激光器及光路调整系统封装成一体的,输出激光波长为 532 nm。最大输出功率 120 mJ/pulse,激光功率以及两脉冲时间间隔均可以连续地调节,本实验中采用的两脉冲间隔是 60 ns。CCD 相机的分辨率是 $1\,660 \times 1\,220$ 像素,在本实验中其测量区域为 $350 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$,具体测量位置如图 2 所示。实验中所用的示踪粒子是由 TSI 公司配带的 9308 烟雾发生器产生的,所产生的烟雾平均粒径约为 $5 \mu\text{m}$,这种粒径的粒子有较好的流动跟随性和光学散射性,对流场的跟随性一般在 95% 以上,作为气相场的示踪粒子比较合适。为了得到较均匀、连续的示踪粒子,发烟机产生的烟雾通过较长的管

道由送风机送入炉体中。测量时使片光源通过烧嘴轴心,连续拍摄 48 张照片。然后对 48 帖瞬时值取其平均值,仅对平均值进行分析、讨论。

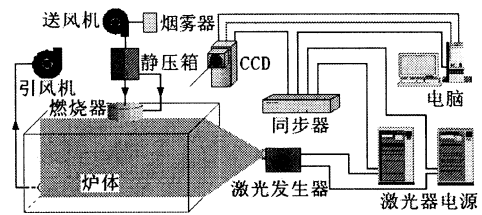


图 1 测试模型图

Fig 1 Sketch of test model

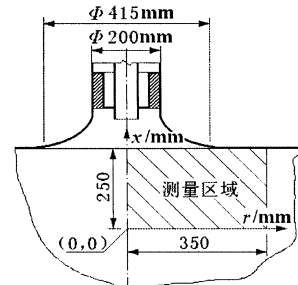


图 2 烧嘴结构及测量区域图

Fig 2 Sketch of measure region

2 实验结果及结果分析

图 3 是通过 PIV 测量得出的速度矢量图。由图可知,扩张口处混合气体在强旋流下,使射流径向充分扩张,形成贴壁射流。同时,沿轴向在烧嘴中心产生较大的回流区。两区中间有一个明显的界限。回流区顶部的宽度为 110 mm,沿轴向逐渐增加,侧边依斜线向下延伸,可见在烧嘴中心处出现负压。如果在热态炉中,就是高温烟气的大量回流。回流区外围的贴附射流区,厚度为 40 mm,在向外围延展的途中速度不断衰减。这样一个贴附射流区在热态炉中就会形成一个以烧嘴为中心向四周伸展的圆盘形火焰加热炉顶,可使炉内工件均匀受热。

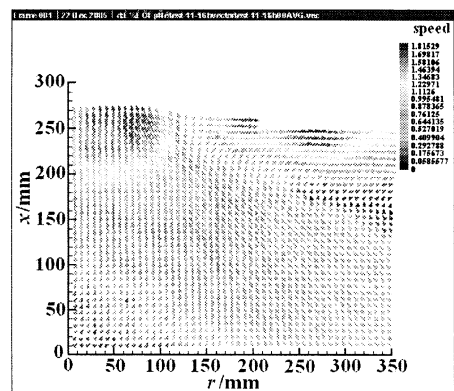


图 3 速度矢量图

Fig 3 Sketch of velocity vector

轴向速度 u 的最大值为 1.7 m/s ，出现在烧嘴出口中心处；轴向速度沿轴向变化规律见图 4。在回流区内，轴向速度沿轴向呈线性 ($u=A+Bx$) 分布，而且离烧嘴中心线越近，其斜率越大，直至烧嘴中心线斜率达到最大值。 A 、 B 值见表 1。在回流区以外，轴向速度沿轴向呈二次曲线 ($u=A+B_1x+B_2x^2$) 分布。 A 、 B_1 、 B_2 值见表 2。其最大值均出现在烧嘴下方 75 mm 处；而且离烧嘴中心线越远，炉顶 ($x=250\text{ mm}$) 轴向速度越接近 0。

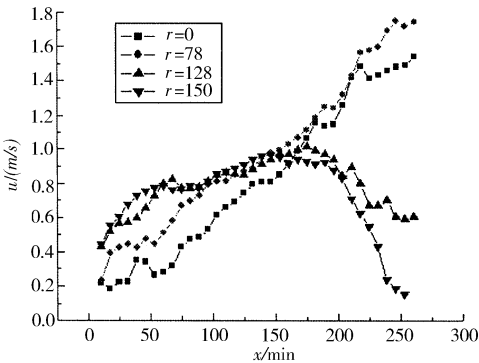


图 4 轴向速度变化规律图

Fig 4 Sketch of axial velocity changing rule

表 1 回流区内轴向速度斜率、截距

Tabal 1 Slope intercept of axial velocity in back flow region		
r	A	B
0	0 010 52	0 006 01
78	0 184 68	0 005 87

表 2 回流区外二次曲线的 A 、 B_1 、 B_2 变化表

Tabal 2 Changing table about A 、 B_1 、 B_2 of conic beyond back flow region			
r	A	B_1	B_2
128	0 345 21	0 008 11	$-2\ 774\ 57\times 10^{-5}$
150	0 319 11	0 010 36	$-4\ 209\ 05\times 10^{-5}$

径向速度的变化规律见图 5。每条曲线均有最低、最高两个峰值，径向速度最小值处即为回流区边界。径向速度最大值为 1.8 m/s ，出现在距烧嘴中心 270 mm 处，对于热态炉即为火焰盘的半径。在回流区内，径向速度为负值，而在贴附射流区，随着距炉顶距离的增加，径向速度最大值逐步减小，直至到 40 mm 处脱离贴附射流区。

3 结 论

①利用该平焰燃烧实验模型，通过 PIV 测试，

对强旋流下单烧嘴湍流预混平焰燃烧速度场所进行的实验研究表明：该流场由回流区和贴附射流区组成；用 PIV 对湍流速度场的测试研究方法是可行的。②在冷态实验工况下，准确地得出了主要燃烧区的轴向、径向速度分布特性。③分析表明，利用冷态实验模型，能够进行强旋流下速度场的实验研究，为下一步进行不同空气消耗系数下冷态速度场的实验研究，乃至进一步进行热态实验，分析热态流场，确定合理的空气消耗系数奠定了基础。

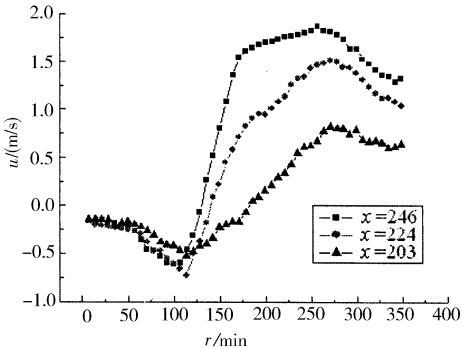


图 5 径向速度变化规律图

Fig 5 Sketch of radial velocity changing rule

参考文献:

[1] 韩昭谔. 燃料及燃烧 [M]. 修订 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 1994 80—87

[2] 王璋保, 陶保国. 液化石油气平焰烧嘴的试验研究 [J]. 工业加热, 2000, 2: 23—26.

[3] 温良英, 刘成全. 炉顶平焰供热的炉子热工特性研究 (I) — 流场冷态试验 [J]. 工业炉, 1996, 18 (1): 3—7

[4] 温良英, 刘成全, 徐楚韶. 平展流燃烧过程的数值模拟 [J]. 重庆大学学报, 2000, 23 (5): 149—151

[5] Papadopoulos G, Bryant R A, Pitts W M. Flow characterization of flickering methane/ air diffusion flames using particle image velocimetry [J]. Experiments in Fluids, 2002, 33: 472—481.

[6] 孙鹤泉, 康海贵, 李广伟. PIV 的原理与应用 [J]. 水道港口, 2002, 23 (1): 42—45

[7] 郁伟, 臧述升, 周见广. 燃烧流场测量的 PIV 应用初步研究 [J]. 燃气轮机技术, 2002, 15 (4): 39—41.