

双锥燃烧室冷态流场的实验研究

王永英, 周建明, 杨晋芳

(煤炭科学研究总院 北京煤化工研究分院 北京 100013)

摘要: 根据五孔球形探针的测试原理, 对应用于高效煤粉工业锅炉的双锥燃烧室内部冷态流场进行了测量, 得出燃烧室内部流场是顺时针旋转并呈对称分布, 前锥的流场分布分为3层, 即边缘区、夹层区和中央区, 存在回流; 后锥流场随着出口锥形半径的逐渐缩小, 总速度不断增大, 不存在回流。同时也分析了流场分布对燃烧室燃烧性能的影响, 前锥流场的布局有利于实现煤粉的着火, 后锥流场影响煤粉和空气的混合流在炉膛的分布, 使其既能保持足够的射程, 又能防止气流冲刷壁面, 避免结焦。

关键词: 五孔球形探针; 燃烧室; 三维流场; 工业锅炉

中图分类号: TK221

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2012)02-0081-04

Experimental study on cold-condition flow field in double cones fine coal combustion chamber

WANG Yong-ying, ZHOU Jian-ming, YANG Jin-fang

(Beijing Research Institute of Coal Chemistry, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: Based on the testing principle of five-hole spherical probe, measure the cold-condition flow field in double cones fine coal combustion chamber. The results show that flow field in combustion chamber rotates clockwise and distributes symmetrically. The flow field of front cone involves three regions, marginal zone, central zone and zone between the two, and there is recirculation zone in front cone. The total velocity increases gradually with the narrowing of the outlet cone radius. The effect of the flow field distribution on combustion chamber performance of the combustor was also analyzed. The flow field of front cone is conducive to firing fine coal, and that of behind cone controls the distribution of mixed flow in the furnace, which not only guarantee the effective range, also prevent the flow impinging combustion chamber wall. All those help to prevent fine coal coking.

Key words: five-hole spherical probe; combustion chamber; three-dimensional flow field; industrial boiler

燃烧器是锅炉取得良好燃烧效果的主要设备, 对保证锅炉的安全运行和提高经济效益起着非常重要的作用。炉膛中的空气动力场和燃烧工况主

要是通过燃烧器的结构及布置来组织的^[1-3]。双锥燃烧室是应用在煤炭科学研究总院研发的高效煤粉工业锅炉上的新型燃烧器, 具有可快速点火、稳

收稿日期: 2012-02-14 责任编辑: 宫在芹

基金项目: 中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金重点项目(2011ZD002)

作者简介: 王永英(1986—), 女, 河北石家庄人, 煤炭科学研究总院在读硕士研究生, 主要从事煤粉燃烧器实验和模拟方面的工作。

引用格式: 王永英, 周建明, 杨晋芳. 双锥燃烧室冷态流场的实验研究[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(2): 81-84.

定燃烧的优点,组织的火焰能够实现炉膛自清洁。研究双锥煤粉燃烧室的内部流场,有利于了解和改善燃烧室的性能,将高效煤粉工业锅炉燃烧效率高和节能环保的优点更好地发挥。

测量燃烧室内部流场的常用技术有接触式测量(五孔球形探针、热线仪等)和非接触式测量(激光法、高速摄像图像分析法等)。作为一种简便直接的测量手段,五孔球形探针法简便易行,应用于工况稳定的流场测定,可以同时得到三维流场的气体流速、气流方向和静压的大小^[4-5]。利用五孔球形探针技术对6 t/h工业锅炉上所用的双锥燃烧室内部流场进行了测量,并详细分析了燃烧室内部流场的特点。

1 试验装置及测试

1.1 试验装置

双锥燃烧室主要由一次风管、二次风管、二次叶片、回流帽、前锥和后锥组成。图1为双锥燃烧室的基本结构。试验装置主要由一次风机、二次风机、风道、孔板流量计和燃烧室等部分组成。图2为测量设备连接示意。双锥燃烧室的双锥总长为1420 mm,其中前锥长750 mm,入口直径530 mm,出口直径300 mm,中心最大直径为750 mm。

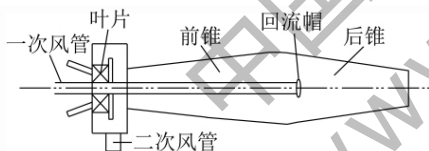


图1 双锥燃烧室结构

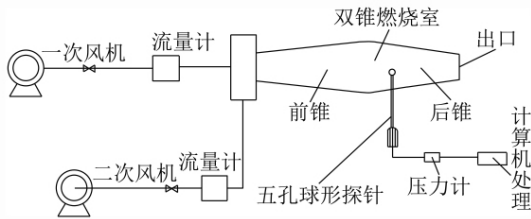


图2 测量设备连接示意

本试验仅研究双锥燃烧室结构对流场的影响,所以只进行了冷态研究,也未加入煤粉颗粒。试验中,一次风和二次风分别经风机、管道和流量计后进入燃烧室,一次风经由回流帽阻挡后反向流动,二次风经导向叶片后在燃烧室内旋转流动,最后经由后锥的出口流出燃烧室。

五孔球形探针伸入双锥燃烧室内部进行测量,输出的压力经由差压计读取后,输入计算机计算三维速度的数值。

1.2 测量原理

五孔球形探针是基于气体绕流球体的原理来测量流场的设备。五孔球形探针由球形的探针头、探针杆、活动角标、固定表盘和测压接头组成^[4],图3为五孔球形探针测定装置示意。

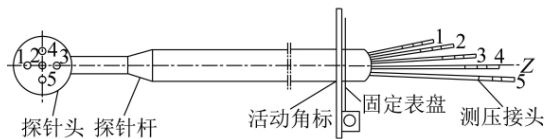


图3 五孔球形探针测定装置示意

测量时一般采用半对向测量法。首先1-3、2-4、4-5这3对孔各接一压力计,2号孔独自连接一个压力计,读取的压力值分别为 h_{1-3} 、 h_{2-4} 、 h_{4-5} 、 h_2 。启动工况测量时,将探针水平夹在支架上,使探针头部感受压力孔面正对来流,转动针杆的轴线,使 $h_{4-5} = 0$ 。工况稳定后,记录 h_{1-3} 、 h_{2-4} 、 h_2 的值^[4]。此时调整水平泡使水泡在中间位置后,在水平泡的固定表盘上即可确定来流方向在4、2、5平面内的偏斜角 α 。而决定三元空间流动的流速方向尚需要确定另外一个角度 β 来表示来流方向在1、2、3孔所在平面与2孔中心线的夹角,用1、2、3三孔感受的压力组成一个 β 角度校正系数 k_β 。

在实际计算时,通过预先标定 $k_\beta - \beta$ 曲线,可利用 k_β 值查 β 角的值,再由 β 根据 $k_{2-4} = f(\beta)$ 、 $k_2 = f(\beta)$ 和 $k_{1-3} = f(\beta)$ 曲线查得校正表中相应的值,可用公式(1)求出流动总速度和分速度数值。

$$V = \sqrt{\frac{1}{\rho_g} \frac{h_{1-3}}{k_{1-3}}} = \sqrt{\frac{1}{\rho_g} \frac{h_{2-4}}{k_{2-4}}} \quad (1)$$

$$V_t = V \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha$$

$$V_z = V \cdot \sin\beta$$

$$V_r = V \cdot \cos\beta \cdot \sin\alpha$$

式中, V 为总速度,m/s; V_t 为切向速度,m/s; V_z 为轴向速度,m/s; V_r 为径向速度,m/s; ρ_g 为被测介质的密度 kg/m^3 。

1.3 试验方案

为测得燃烧室内部的流场,在燃烧室的前锥和后锥共设立8排测孔,前后锥各取4排。依据锥形的尺寸布置每排测孔的具体位置,编号为8和5的测孔距离入口的轴向距离为100 mm和870 mm,前锥

4 排测孔以第 8 列测孔为起点轴向间距为 200 mm , 径向间隔 50 mm ,后锥 4 排测孔以第 5 列测孔为起点轴向间距为 150 mm ,径向间隔 100 mm。五孔球形探针测量时伸入测孔在锥体内部取点 ,不测量时用螺帽密封 ,保证了燃烧室的气密性。由各排位于中央的测孔深入燃烧室内部的测点 ,组成燃烧室的中心面。前锥区域内各截面测点的选取都避开了一次风管。具体测孔布局如图 4 所示。

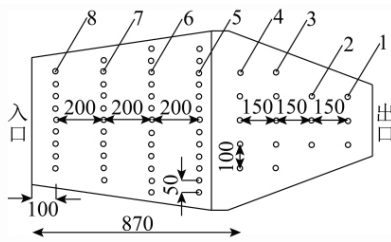


图 4 前后锥测孔位置

由于五孔球形探针只能应用于来流方向在探针正面锥角 $\pm 40^\circ$ 范围内气流速度的稳定流场测量^[6] ,因此在本试验中首先用飘带标示测点速度的方向 ,然后再用五孔球形探针进行测量 ,有利于快速准确地判定方向和输出数据。

2 试验结果与分析

后锥 4 个截面和前锥 4 个截面的径向速度 V_r 和切向速度 V_t 在二维平面的分布如图 5 和图 6 所示。

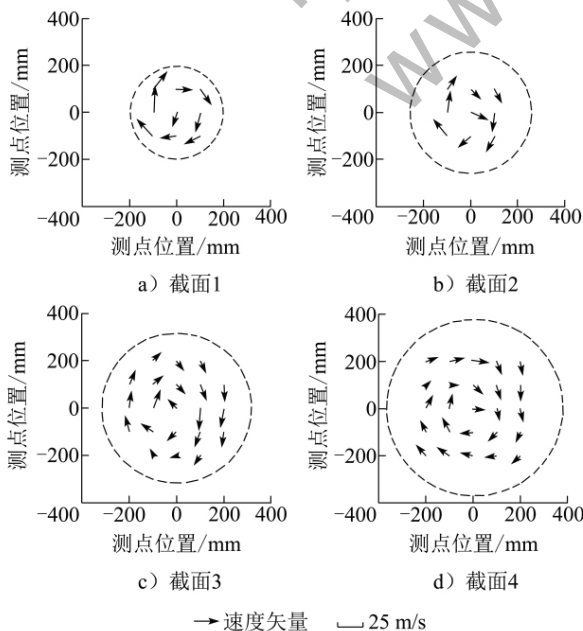


图 5 后锥各截面测点 V_t 、 V_r 分布

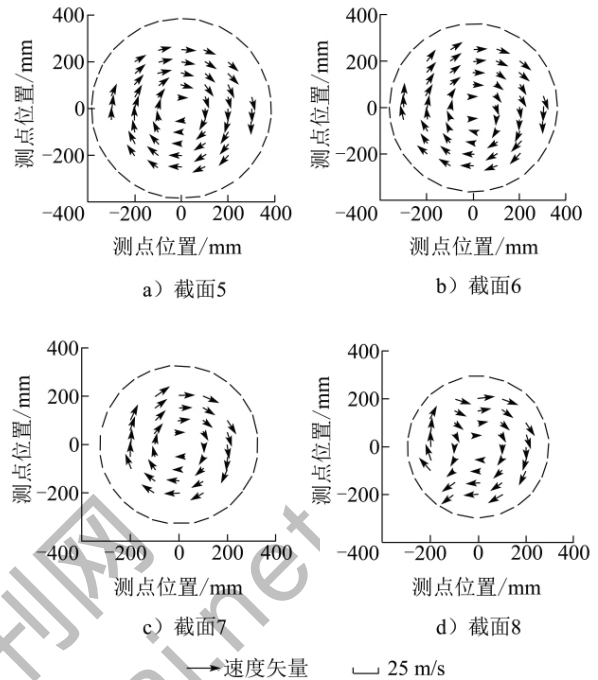


图 6 后锥各截面测点 V_t 、 V_r 分布

由图 5 和图 6 可知 ,在各平面内测点速度从截面边缘到中心均呈现顺时针方向的旋流。后锥 4 个截面内的测点速度随着截面半径的增大有减小的趋势。各点 V_t 和 V_r 的速度矢量总体关于截面圆心中心对称 ,这从测点的总速度和轴向速度的计算数值中也可以看出。截面 8 的对称性稍差 ,这是因为截面 8 较其它截面距离点火枪最近 ,受到点火枪对流场干扰的影响最大。

将后锥截面 4、3、2、1 上所有测点总速度 V 的平均值定义为该截面的速度均值 ,得到 4 个截面的均值见表 1。

表 1 后锥截面的速度均值

截面	4	3	2	1
速度均值 / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	11.4	13.5	17.4	21.8

由表 1 可以看出 ,沿轴向方向从截面 4 到截面 1 的速度均值不断增大。

8 个截面和中心面相交形成 8 列测点 ,中心面上这 8 列测点的轴向分速度 V_z 如图 7 所示。坐标轴数据表示测点位置 ,箭头长度表轴向分速度 V_z 的大小 ,箭头的方向表示 V_z 的方向 ,由于燃烧室流场分布的对称性 ,中心面的流场具有代表性 ,可反映燃烧室流场整个布局。

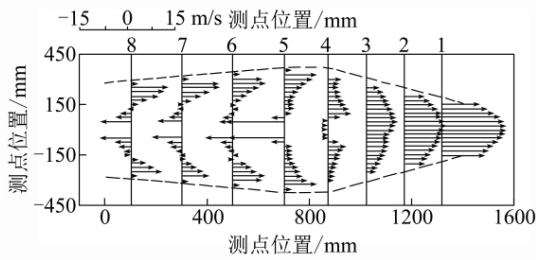


图7 中心面测点的轴向速度 V_z 分布

由图7可知,中心面在从第5列测点开始的前锥区域内 V_z 从边缘到中心由正值变为负值,出现了 $V_z < 0$ 的回流区。将测点 $V_z < 0$ 的测点在直径方向上计算的回流区长度见表2,从第5列测点到第6列测点之间的区域,回流区域由100 mm变为250 mm,这表明前锥内部从出现回流到回流增大到足够长度是在两列轴向距离200 mm的测点区域内迅速完成的。回流区域在第6列测点和第7列测点上均为250 mm,在第8列测点上略有减少,这表明在前锥第6、7、8列测点之间的区域内,回流区保持在200~250 mm,并朝前锥入口方向上减少。

表2 前锥各列测点 $V_z < 0$ 的长度

测点列	8	7	6	5
长度/mm	200	250	250	100

除壁面流速较小的区域外,存在回流区的前锥各列测点上按照 V_z 的速度大小将前锥分为三部分,从 $V_z > 8$ m/s 到壁面的区域为边缘区, $V_z < -3$ m/s 的区域为中央区,在它们之间的区域为夹层区。边缘区速度较大,主要为二次风形成的靠近壁面的流动,中央区主要实现煤粉的输送,夹层区为煤粉的燃烧区域。将第5、6、7、8列测点上的各区域在直径方向上的空间长度见表3,可以看出中央区在4列测点上均为100 mm,边缘区长度处在100~160 mm的范围内,而夹层区则在5、6、7、8列测点上不断减小。后锥区域内4列测点 $V_z > 0$,说明在后锥区域内不存在回流区。

表3 前锥各列测点3个区的长度

测点列	8	7	6	5
直径/mm	558	616	676	735
一次风管/mm	70	70	70	70
边缘区/mm	138	146	156	115
夹层区/mm	250	300	350	450
中央区/mm	100	100	100	100

双锥燃烧室上述的流场布局能充分发挥燃烧室的性能,其中前锥中央区携带煤粉顺利到达双锥前部的点火位置,边缘区源源不断地提供新鲜的二次风,并在前后锥交界面开始回流,卷吸一部分高温流体,为煤粉着火提供一定的能量供应。由于速度较大,还可以减少燃烧室内部壁面的结焦。而夹层区为煤粉的着火区域,为煤粉的着火提供足够的空间。前锥内部流场的布局为实现煤粉的着火提供有利条件。气流从后锥顺时针旋流流出,并且随着锥形出口的缩小不断被加速,这样能控制实际燃烧时燃料和气体的混合流在炉膛内螺旋前进的轨迹,保持一定的射流刚度,在炉膛深度方向上有足够的射程,防止混合流快速发散,有效防止气流刷壁。双锥燃烧室的上述特点使其成为适合中小型工业锅炉的粉煤燃烧室。

3 结 论

- (1) 燃烧室内部流场是顺时针旋转并呈对称分布,前锥的流场分布分为3区,即边缘区、夹层区和中央区,存在回流;后锥流场随着出口锥形半径的逐渐缩小,总速度数值不断增大,不存在回流。
- (2) 燃烧室流场分布对燃烧性能的发 挥产生影响,前锥流场的布局有利于实现煤粉的着火,后锥流场影响煤粉和空气的混合流在炉膛内的分布,使其保持足够的射程,防止气流冲刷壁面,避免结焦。

参考文献:

- [1] 黄跃春. 煤粉锅炉燃烧器的应用现状[J]. 电力建设, 1998(1): 8-10.
- [2] 周建明. 低挥发分煤粉燃烧新技术发展与应用[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(4): 54-57, 81.
- [3] 周光宇, 胡安谭, 云松. 直流燃烧器与旋流燃烧器的性能分析[J]. 电站系统工程, 2011, 27(6): 36-39.
- [4] 宗润宽, 卢泽, 苏艳霞, 等. 五孔球形探针旋流场测量的应用方法与误差探讨[J]. 实验室研究与探索, 2004(5): 29-32.
- [5] 凌志军. 对旋风机流场试验研究及数值模拟[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009.
- [6] 史永征, 郭泉, 潘树源. 应用五孔探针测量旋流燃烧器出口流场的研究[J]. 工业加热, 2007(6): 51-52.