

循环流化床锅炉内颗粒速度分布的实验研究

姬广勤, 陈新华, 金有海, 王建军

(中国石油大学(华东) 机电工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:为了研究操作参数对循环流化床锅炉内颗粒速度分布的影响,在冷态模型装置上使用 PV6A 型颗粒速度光纤测量仪、毕托管对循环流化床锅炉炉膛内的颗粒速度进行了测量与分析。结果表明:在流化风速为 2.57 m/s、循环质量流率为 0.58 kg/(m²·s)、一次风量为 2 300 m³/h、二次风量为 1 500 m³/h 时,循环流化床锅炉炉膛内颗粒浓度分布、压降、流化状态、质量循环都达到一个较稳定的水平,呈现典型的环核分布特征。

关键词:循环流化床锅炉;颗粒速度;质量流率

中图分类号:TK229.6+6 **文献标志码:**A

文章编号:1008-5548(2009)03-0005-04

Experimental Study of Particles Velocity Distribution in Circulating Fluidized Bed Boiler

Ji Guangqin, Chen Xinhua, Jin Youhai, Wang Jianjun
(College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: In order to study the effect of operation parameter on the particles velocity distribution in the circulating fluidized bed boiler, the particle velocity in circulating fluidized bed furnace was measured and analyzed using PV6A particle velocity measuring instrument and pitot tube. The results showed that the distribution of particle velocity, pressure drop, fluid state and circulating presented a more stable level when the flow speed was 2.57 m/s, the quality of circulation flow rate was 0.58 kg/(m²·s), the first air flow was 2 300 m³/h and the second air flow was 1 500 m³/h. The circulating fluidized bed displayed a bubble area in the bottom, rapid flow area, eddy flow in upper part and a typical core-annulus distribution in the downward flow zone of sidewall.

Key words: circulating fluidized bed boiler; particle velocity; mass rate

循环流化床锅炉(CFBB)炉膛内的颗粒运动分布状态直接关系到气固混合、热量及质量传递速率、床内构件磨损率等因素^[1-3],是研究锅炉炉膛内燃烧机理的重要基础之一。本实验中采用 PV6A 颗粒速度光纤测量仪,在冷态实验模型装置中较全面的测定 CFBB 炉膛内颗粒速度分布规律^[4],绘制了颗粒速

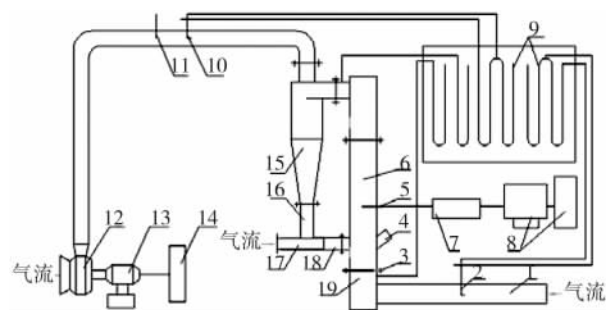
度分布曲线,总结出颗粒速度浓度沿径向及轴向的分布特点,为 CFBB 的结构改进尺寸优化提供一定的参考依据。

1 实验部分

1.1 实验装置

以工业锅炉原型进行 1:12 比例放缩,炉膛截面尺寸为 310 mm×266 mm,高为 2 150 mm。因此实验是在此范围内对流场作进一步的研究。

实验系统如图 1 所示,主要由引风机、控制系统、通风管道系统、CFBB 炉膛、蜗壳式旋风分离器、回料装置等组成。测量系统包括 PV6A 型颗粒速度测量仪、U 形管、毕托管、粒度分析仪等。由于炉膛、旋风分离器、回料装置均为有机玻璃制成,整个实验过程可视化。实验用床料为经过筛分的石英砂(中位粒径为 0.2 mm),整个实验装置为负压系统。



1—一次风口,2、10—毕托管,3—布风板,4—加料口,5—激光探头,6—炉膛,7—PV6A 仪,8—电脑,9—U 型管压差计,11—温度计,12—引风机,13—电动机,14—变频调节器,15—旋风分离器,16—立管,17—回料阀,18—闸阀,19—风箱。

图 1 颗粒速度测量的实验装置简图

Fig.1 Experimental unit of particle velocity measurement

床料由加料口加入,关闭回料阀,打开引风机并调节至一定风量,床料在炉膛内被流化,粒径较大的颗粒由于受重力作用被扬起后又落到布风板,活动区域主要集中在下部密相区;细小颗粒则由于曳力大于重力,部分碰到顶壁后反弹沿边壁下落,大部分则被带入旋风分离器在这里被捕集送回返料阀,再由松动风送入炉膛内完成一个循环,极细小的则由于旋风

收稿日期:2008-12-31, 修回日期:2009-03-09。

第一作者简介:姬广勤(1961-),男,高级工程师,博士,从事热动力工程的技术和管理工。电话:15963860390,E-mail:upclife@163.com。

分离器捕集不到而被带走排放到空气中;当立管中堆积一定高度的床料,打开回料阀并调节其开度大小,使整个系统处于稳定运行状态。

实验表明,流化风速等于 2.57 m/s 、循环质量流率为 $0.58 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、一次风量为 $2\,300 \text{ m}^3/\text{h}$ 、二次风量为 $1\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,循环流化床锅炉炉膛内颗粒浓度分布、压降、流化状态、循环的稳定性都达到一个最佳水平,呈现下部的鼓泡区^[5]、中部的快速流化区及上部的涡流与边壁下行流的典型环核分布状态^[6]。

1.2 实验方法

采用 PV6A 型颗粒速度测量仪测量炉膛内速度,采用 U 形管、毕托管测量壁面静压及管道中动压及压降以控制风速。

实验前,首先通过理论计算及实验观察确定炉膛内颗粒的运动方向,测量过程中将探针的测量方向对准颗粒的来流方向,连接电脑进行数据采集。采样次数为每点 8 次,每次 128 组数据,并由相关性分析剔除不合理数据以减小实验误差。图 2 为采样样本,为采样点 1 次采样所得。实验用石英砂粒径呈正态分布,其速度基本也呈对应的正态分布。测量点的布置如图 3 所示。

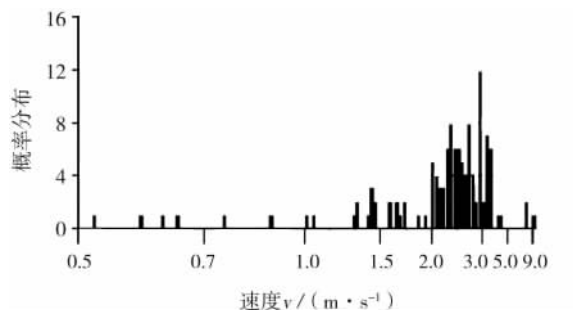


图 2 采样点的颗粒速度概率分布

Fig.2 Profile of single particle velocity

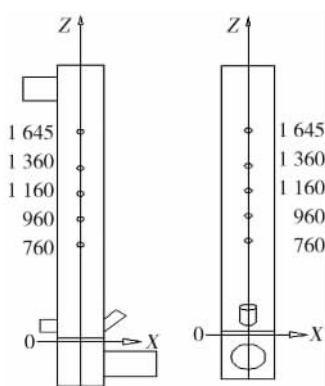


图 3 测量点布置

Fig.3 Measurement station

2 结果与分析

2.1 颗粒速度沿径向的分布特点

根据循环流化床炉膛的结构特点,分别在 X 向、

Y 向测量炉膛内的颗粒速度分布。实验结果表明,颗粒速度沿径向的分布呈现出不同的特点。

2.1.1 截面 X 方向的速度分布

图 4 是同种工况 5 个截面下 X 方向测量的颗粒速度沿径向的分布特点, X 轴为距二次风口侧壁的距离, Z 轴为颗粒的轴向速度。可以看出,不同高度的截面颗粒速度分布基本一致,炉膛中心处较大的区域内颗粒速度一致且较高,在近外边壁处颗粒速度陡然下降并在边壁处出现下行流,上行流与下行流界限明显,由于颗粒是在重力的作用下沉降,这部分区域流化风速小,对颗粒的曳力小于重力,而二次风对颗粒的扰动使得在不同界面的下行速度没有呈现有序的规律性,在实验中也可以明显观察出来;受二次风气流及炉膛排尘口的影响,在二次风口同侧颗粒速度不稳定,只有上行流且速度在 $z=760 \text{ mm}$ 处达到最大值,但在实验观察中也发现在内边壁也有少许下行流,因量太少而难以测量;在曳力和重力共同作用下,炉膛中心区域颗粒平均速度随着截面高度增加而略有增加,在二次风口一侧由于受二次风的影响显著,颗粒速度反而随着截面高度增加而降低。

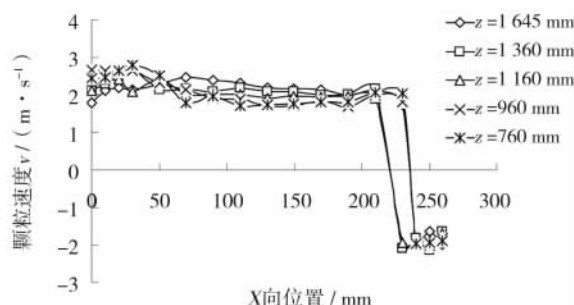


图 4 同工况下颗粒速度沿 X 向的分布

Fig.4 Profile of the X velocity at five axial positions under the same condition

2.1.2 截面 Y 方向的速度分布

图 5 是同种工况 5 个截面下 Y 方向测量的颗粒速度沿径向的分布特点。可以看出,炉膛中心区域呈上行流且颗粒速度大致相当,两边在边壁处呈下行

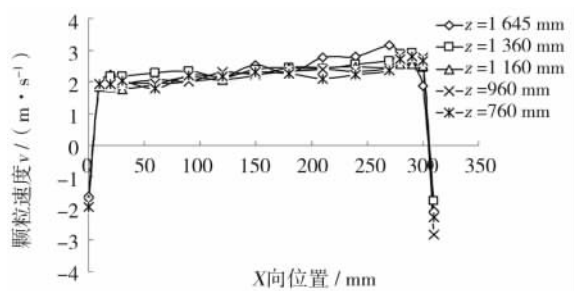


图 5 同工况下颗粒速度沿 Y 向的分布

Fig.5 Profile of the Y velocity at five axial positions under the same condition

流,上行流与下行流界限明显,在 Y 向整个截面内颗粒速度基本呈轴对称分布;图示右半部颗粒平均速度略大于左半部,原因是二次风以与壁面有一定夹角而不是垂直的方向进入炉膛内部,受其影响造成的右高左低。

2.2 不同工况下颗粒速度分布的特点

表 1 为实验中改变的操作参数变化范围。

表 1 实验工况			
Tab.1 Conditions of experiment			
工况	炉膛截面平均 风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	质量循环流率/ ($\text{kg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$)	二次风与一次 风量之比
1	2.15	0.40	0.69
2	2.48	0.28	0.38
3	2.77	0.55	0.26
4	3.39	0.41	0.33

2.2.1 不同工况下颗粒轴向速度的分布特点

图 6 是 $z=1\ 645\ \text{mm}$ 截面 Y 方向在 4 种工况下颗粒轴向速度的分布。可以看出,在工况 3 下炉膛内中心区域各点速度基本相同,分布最均匀,呈现明显的轴对称分布;从工况 1 到工况 2 到工况 3 炉膛中心区域的曲线越来越趋于平坦,这说明在一定范围内随着风速的增加和二次风与一次风比率的减小都使得循环流化床炉膛内颗粒速度分布更趋于平稳,原因是二次风是横向送入,风速远高于一次风的速度,二次风比率越高则在炉膛内的穿透能力越强,对炉膛内局部物料的初速度和流动方向影响也越大,造成在同一截面内颗粒轴向速度分布的不均匀增加;工况 4 下炉膛内颗粒速度呈现中心区域高、两边低的弧状分布,状态与典型的气力输送相似,边壁处的下行流形成环核结构,说明其处于快速流态化区域,一侧有下行流而另一侧没有,也正是快速流态化向气力输送转变的状态,这时二次风与一次风的比率对炉膛内颗粒轴向速度的影响变得较弱,而平均风速对颗粒速度的影响更加明显。

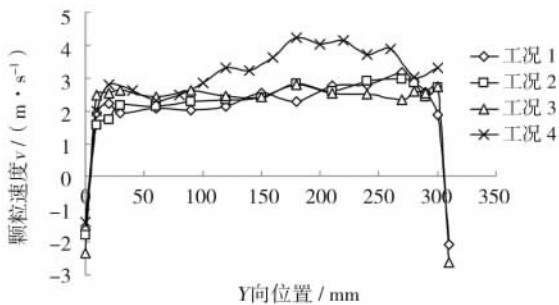


图 6 不同工况下颗粒速度沿 Y 向的分布

Fig.6 Profile of the Y velocity under different condition

图 7 是 $z=1\ 645\ \text{mm}$ 截面 X 方向在 4 种工况下颗粒轴向速度的分布。可以看出,工况 4 的轴向颗粒

速度明显高于工况 1、2、3,情况与 Y 方向相似,二次风入口一侧测不到下行流,原因是炉膛边壁处的轴向风速受二次风的影响仍然较高,而上部的颗粒从排尘口被带到旋风分离器也是没有形成下行流的原因之一。

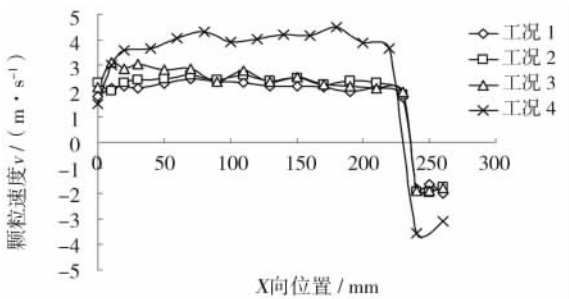


图 7 不同工况下颗粒速度沿 X 向的分布

Fig.7 Profile of the X velocity under different condition

2.2.2 同一截面在 4 种工况下颗粒轴向速度的分布特点

图 8~9 是 $z=760\ \text{mm}$ 截面 Y 、 X 方向在 4 种工况下颗粒轴向速度的分布。可以看出,在炉膛平均风速较低的工况下炉膛内颗粒速度分布越平稳,结合图 6 表现的炉膛平均风速呈递进关系,说明越靠近二次风口的区域受二次风影响越大,靠近二次风口的区域颗粒速度明显大于其他区域,说明二次风在炉膛内形成了一股速度明显较大的局部气流,使炉膛内颗粒平均滞留时间缩短。总结分析图 6~9 也可以看出质量循环流率越大,炉膛截面内颗粒速度分布越平稳,能部分抑制因二次风的扰动而引起颗粒速

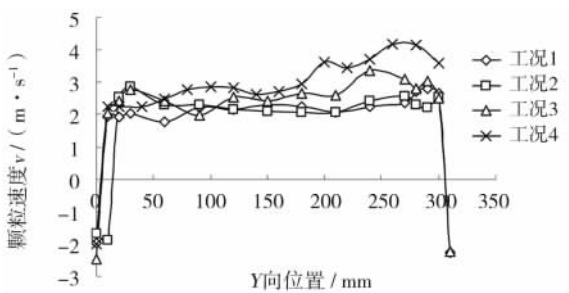


图 8 不同工况下颗粒速度沿 Y 向的分布

Fig.8 Profile of the particle Y velocity under different condition

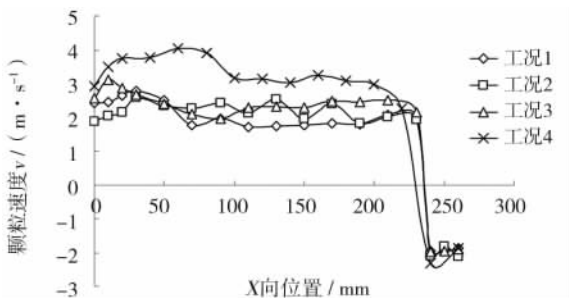


图 9 不同工况下颗粒速度沿 X 向的分布

Fig.9 Profile of the particle X velocity under different condition

度起伏较大的状况。

3 结论

1) 二次风对稀相区中下部颗粒速度的分布影响较为明显,随着高度增加,影响逐渐减弱;二次风与一次风量之比越大,炉膛内颗粒速度分布均匀性越差,使局部区域颗粒滞留时间与炉膛内平均颗粒滞留时间偏差越大;

2) 二次风平均风速越小,炉膛内颗粒速度分布越均匀,二次风的流入方向与开口位置也明显影响炉膛内的速度分布情况;

3) 质量循环流率增加可以减弱因二次风造成的颗粒速度分布的不均匀性,但质量循环流量受炉膛内

平均颗粒速度的影响较强。

参考文献(References):

- [1] 白丁荣,蒋大洲,金涌,等. 循环流化床颗粒内循环流动结构的实验研究[C]// 第六届全国流态化文集,武汉,1993:1-7.
- [2] 金涌,祝京旭,汪展文,等. 流态化工程原理[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [3] 巴苏 P,弗雷泽 A S. 循环流化床锅炉的设计与运行[M]. 北京:科学出版社,1994.
- [4] 马健,王恩禄,张伟,等. 循环流化床锅炉内颗粒速度测量技术的分析比较[J]. 锅炉技术,2005,2(36):33-36.
- [5] 林宗虎,魏敦崧,安恩科,等. 循环流化床锅炉[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [6] 石惠娴. 循环流化床环核结构速度分布 PIV 测试[J]. 水动力学研究与进展,2006,1(21):8-12.

第十届全国气溶胶年会暨第六届海峡两岸气溶胶会议通知(第一轮)

中国颗粒学会气溶胶专业委员会(<http://www.chiast.cn/>)定于 2009 年 7 月 26 日~8 月 1 日在吉林省长春市举行“第十届全国气溶胶年会暨第六届海峡两岸气溶胶会议”。本次会议由中国科学院地球环境研究所、吉林省气象局、中国科学院大气物理研究所、中国颗粒学会、吉林省气象学会主办。

一、会议内容:1)气溶胶物理化学特性及源解析;2)气溶胶测量与仪器分析;3)室内外气溶胶污染;4)气溶胶与人体健康;5)气溶胶的气候与环境影响;6)气溶胶控制技术。

二、会议日程:2009 年 7 月 26 日报到,7 月 27—28 日大会报告和会议交流,7 月 29 日—8 月 1 日野外考察。

三、大会特邀报告及专题讲座(待定):将邀请若干名国内外气溶胶研究著名学者做大会报告。

四、会议筹备日程表:2009 年 2 月 10 日,会议第一轮通知;2009 年 6 月 20 日,会议第二轮通知,会议论文接收截止(其中台湾论文摘要截止时间为 4 月 15 日);2009 年 7 月 20 日,会议第三轮通知。

五、会议收费:注册费:国内及港台会议代表为 1200 元,学生代表 800 元,包括资料费、专题讲座

费、会议费等;考察费用 900 元或 1300 元。住宿费用自理。

六、会议论文:会议接受未发表过的论文(电子版,中英文均可),请将论文传至:zjm@ieecas.cn(周家茂 电话:029-88326128)。会议上评选大会优秀论文。评审通过的英文论文推荐给《Particulogy》(SCIE)。论文收稿截止时间:6 月 20 日,其中台湾论文摘要截止时间为 4 月 15 日。

七、会务组成员:

曹军骥(中国科学院地球环境研究所)

电话:029-88326488

E-mail:cao@loess.llqg.ac.cn

高枳亭(吉林省气象局气象科学研究所)

电话:0431-87974341

E-mail:ztgtq@sina.com

崔桂云(中国科学院大气物理研究所)

电话:010-82995133

E-mail:cgy@tea.ac.cn

袁中新(高雄中山大学)

电话:+886-7-5252000 转 4409

E-mail:ycsngi@mail.nsysu.edu.tw