

下行床弧面气固快速分离器内的颗粒运动

都林, 姚建中, 林伟刚

(1. 中国科学院过程工程研究所多相反应实验室, 北京 100080)

摘要:采用二维相位多普勒颗粒分析仪(PDPA)对下行床弧面气固快速分离器内颗粒相的流动进行了定量测量,得到了分离器内颗粒运动向量图、体积通量分布和粒径分布。颗粒通过气固惯性的差别、弧面、挡板的碰撞导向和浓缩作用实现气固分离。弧面附近颗粒体积通量有较宽的分布,但主要集中在靠近弧面处,对分离有利。在横向气相曳力和湍流扩散的作用下,在弧面附近小颗粒向外围扩散,粒度分布逐渐形成双峰特征。减小喷嘴宽度,可以减弱颗粒向外围扩散的程度,提高分离效率。

关键词:下行床;气固分离器;相位多普勒颗粒分析仪(PDPA)

中图分类号: TQ028.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-606X(2003)06-0481-05

1 前言

针对煤炭拔头工艺中半焦和油气在下行床下端快速分离的要求,郭慕孙等^[1]提出了一种弧面气固快速分离装置。前期研究表明^[2],该分离器具有结构简单、高效、低阻的特点,分离效率受结构参数、操作参数的影响。本文针对某一典型分离器结构、工况,采用先进的二维相位多普勒颗粒分析仪,测量了分离器内颗粒运动,探讨了该分离器内颗粒流动特点及气固分离机理。

2 实验设备和测试系统

实验采用由美国 Aerometrics 公司生产的二维相位多普勒颗粒分析仪 PDPA(phase Doppler particle analyzer),其测量原理是当运动的颗粒通过相交的两束相干光时,散射光发生多普勒频移,根据频移与运动速度成正比的关系得到颗粒速度,根据相位差得到颗粒粒径大小。PDPA 可以同时测量通过测量体的粒子的速度和该粒子的大小^[3],具有非接触式测量、空间分辨率高、频率响应快等优点。目前已用于复杂的两相流动测量^[4-9]。

实验装置见图 1。空气压缩机 8 提供气源,经球阀 5、转子流量计 4,气体将料仓 2 中下落的玻璃珠带走,玻璃珠的进料率由阀门 3 定量控制,9 是一根压力平衡管,以确保进料率的稳定。经过上行和下行两段加速,气固两相流进入分离器 1,分离出来的玻璃珠掉入密封的料槽 7,未分离的玻璃珠由布袋 6 收集。10 是分离器 1 中的 PDPA 测试段。

气固快速分离器 1 冷态模型结构及部分尺寸见图 2。整个分离器用有机玻璃制成,但前后两个测量面采用玻璃材料。分离器主体外形是长方体,宽 $D=150$ mm,总高 350 mm,厚度 70 mm。分离器有 3 个内构件:1 是方形喷嘴,长 $L=100$ mm,宽 $d=15$ mm;2 是弧面,由左右两个一样的圆弧面构成,半径 $R=45$ mm,圆心角 $i_1=75^\circ$;3 是挡板,分离器内左右各有一个,每个挡板由上、下两个一样的圆弧面 3a,3b 组成,半径 $r=30$ mm,圆心角 $i_2=75^\circ$ 。挡板 3 与弧面 2 的相对距离 $H_0=35$

收稿日期:2003-04-10,修回日期:2003-05-20

基金项目:国家 863 计划项目(编号:2001AA529010);中国科学院多相反应开放室基金资助项目

作者简介:都林(1977-),男,安徽省桐城市人,硕士研究生,化学工艺专业。

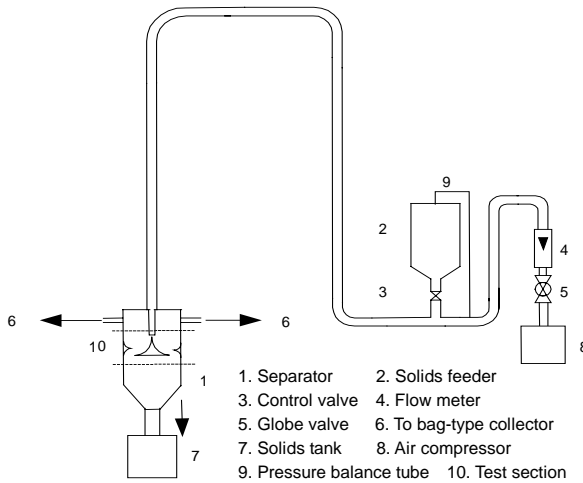


图1 实验设备简图
Fig.1 Schematic drawing of experimental apparatus

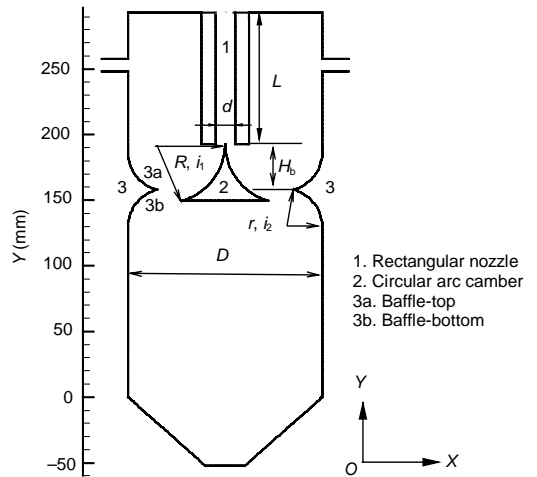


图2 分离器几何尺寸
Fig.2 Physical dimensions of separator

mm. 气固流动近似认为是 XY 平面内的二维流动, 并且左右对称. PDPA 测量高度在 $Y=140\sim 190$ mm、厚度为 35 mm 中截面上弧面、挡板附近的气固两相流动.

实验所用物料是玻璃珠, 密度 2500 kg/m^3 , 粒径分布见图 3. 图中给出了 PDPA 测得的喷嘴出口处一点的颗粒数粒径直方分布图, 算术平均粒径 $67\text{ }\mu\text{m}$, 体积平均粒径 $76\text{ }\mu\text{m}$, 曲线 a 表示由 PDPA 得到的颗粒体积累积分布, 曲线 b 表示 COULTER LS230 激光粒度分析仪测得的颗粒体积累积分布, 两者相差不大, 说明 PDPA 粒径测量基本正确. 本实验测量了在喷嘴出口平均风速 3.7 m/s 、雷诺数 $Re=6000$ 、颗粒质量流率 5.33 g/s 的情况下, 颗粒在分离器中的运动规律.

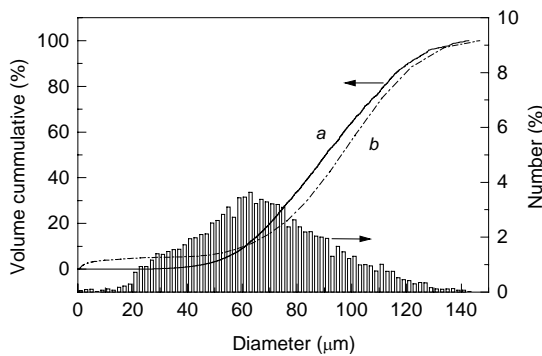


图3 颗粒粒度分布曲线
Fig.3 Particle size cumulative distribution profiles

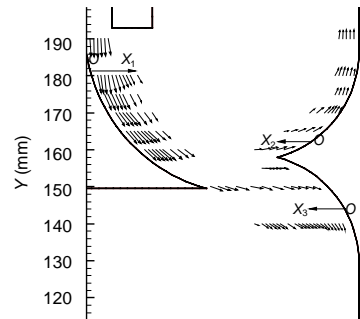


图4 颗粒在分离器中速度向量图
Fig.4 Particle velocity vectors

3 结果及分析

3.1 弧面及挡板附近颗粒的运动

二维 PDPA 测出了分离器中颗粒横向和竖直向下的平均速度, 经速度合成, 得到颗粒在分离器中速度向量图, 见图 4. 从图中可见, 竖直向下运动的颗粒从喷嘴喷出以后, 靠近弧面的颗粒与弧面发生碰撞, 在弧面的作用下, 改变运动方向, 沿着弧面向下运动, 一部分颗粒离开弧面, 依

靠惯性和重力的作用，并在下挡板的导向下，继续向下，进入分离器下部的料槽被收集；另有一部分颗粒在气流的夹带作用下，沿着挡板的上表面向上运动，此部分颗粒被气体夹带出去。由此可见，气固两相流在弧面、挡板的作用下，使颗粒发生碰撞，改变颗粒运动方向，对颗粒的分离起了导向作用。

3.2 弧面附近颗粒体积通量分布

图 5 表示在不同截面高度处弧面附近的颗粒体积通量分布，体积通量表示为单位时间通过单位测量体横截面积的颗粒体积。X₁ 轴的定义见图 4，坐标表示测量点到弧面的水平距离。从图 5(a)~(d)体积通量分布可看出，颗粒在离开喷嘴沿着弧面向下运动的过程中，由于颗粒惯性以及弧面碰撞导向的作用，颗粒主要集中在靠近弧面的区域，离开弧面越远，体积通量越低，这有助于气固两相的分离。

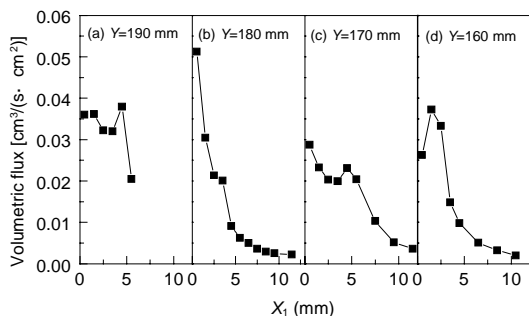


图 5 颗粒在弧面附近的体积通量分布
Fig.5 Particle volumetric flux distribution near circular arc camber

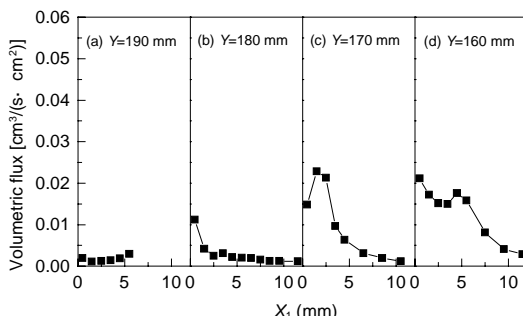


图 6 颗粒在弧面附近的横向体积通量分布
Fig.6 Particle volumetric flux distribution near circular arc camber in the cross direction

为了考察横向曳力和湍流脉动对颗粒水平扩散的影响，图 6 给出了弧面附近颗粒水平体积通量分布。由图 6(a)可见，喷嘴出口处，颗粒横向体积通量很少，基本分布在喷嘴出口宽度的范围内，运动到 Y=180 mm 时，颗粒体积通量出现了较宽范围分布，离开弧面较远的颗粒，虽横向体积通量较小，但此部分颗粒由于在弧面外围运动，未能与弧面碰撞，被气体夹带出去的可能性增加。而且随着颗粒向下运动，远离弧面的颗粒横向体积通量有所增加。这是由于喷嘴射流引起的横向湍流脉动以及气相横向曳力，造成颗粒横向的扩散。为了考察扩散对分离效率的影响，进行了在相同的喷嘴出口平均流速下不同喷嘴宽度(分别为 9, 15, 25 mm)的分离效率实验，见图 7。由图可见，喷嘴宽变窄，分离效率增加。原因可能是喷嘴宽度减小，颗粒向外围的扩散也减少了，分离效率得到了提高。

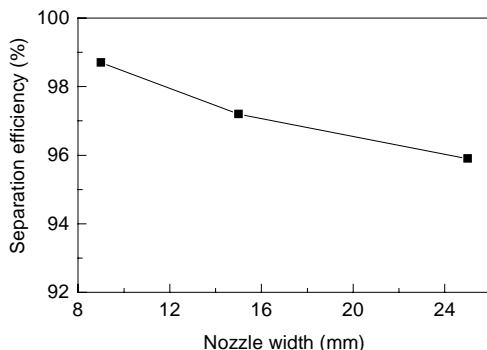


图 7 喷嘴宽度对分离效率的影响
Fig.7 Effect of nozzle width on separation efficiency

3.3 挡板附近颗粒体积通量分布

图 8 表示在不同截面高度处挡板附近的颗粒体积通量分布 A, B, C; X₂, X₃ 轴的定义见图 4，坐标表示测量点到挡板的水平距离。从图 8(a)的 A 分布曲线可看出，颗粒集中在下挡板附近。这说明，

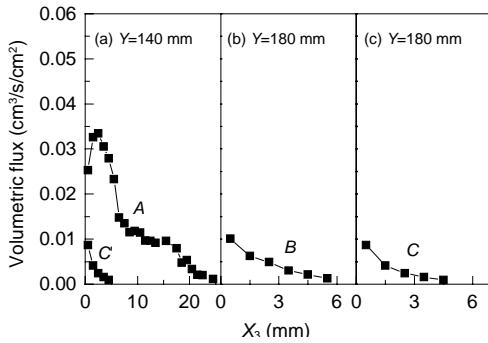


图 8 颗粒在挡板附近的体积通量分布
Fig.8 Particle volumetric flux distribution near baffle

在颗粒离开弧面后,由于自身的惯性以及下挡板的导向作用,原来集中在弧面附近的颗粒已转移集中到了下挡板附近,且愈靠近壁面,体积通比愈大,这些颗粒将在重力的作用下,沉降收集下来.从B,C的体积通量分布可看出,与能分离下来的A相比,挡板上部颗粒体积通量要小得多.并且,颗粒也主要集中在上挡板壁面附近,这些颗粒将被气流夹带而不能分离.若将图8(c)中的颗粒体积通量分布C绘于图8(a)中得到C',从A,C'的对比中可以看出这种分离器的气固分离效率仍然达到了较高的水平.

3.4 沿弧面不同高度的颗粒粒度分布

图9给出了沿弧面不同高度($Y=180, 160$ mm)颗粒粒径分布的变化,该图清楚得显示了颗粒粒径分布由单峰到双峰的变化过程:在弧面附近,颗粒呈单峰分布,随着离弧面距离的增加,小颗粒的含量也逐渐增多,当达到某一距离时,颗粒分布出现双峰特征(在远离弧面处小颗粒占据了较多的份额).这种变化说明了小颗粒从喷嘴喷出以后不断向外扩散的特征,在气流的作用下,部分小颗粒就可能被夹带出去.

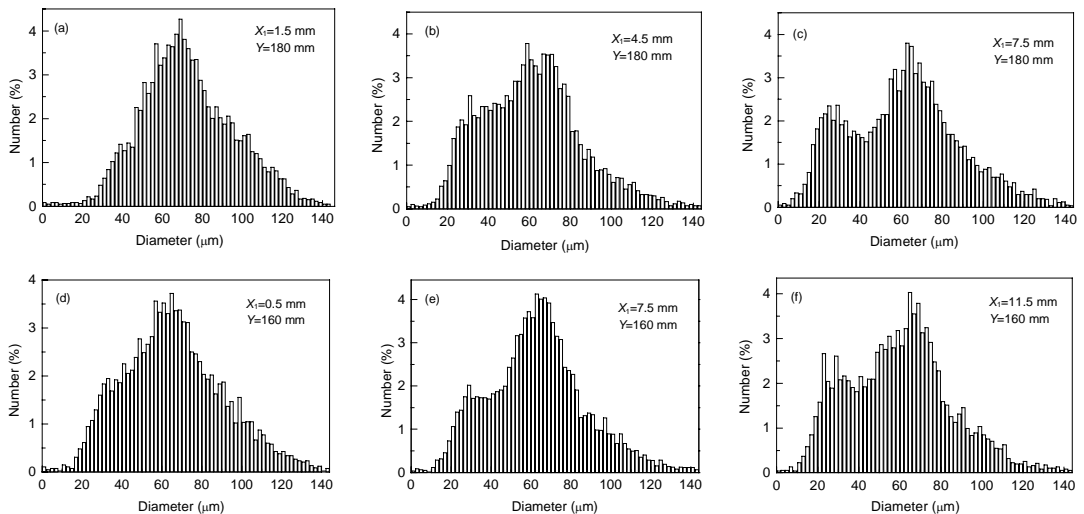


图 9 截面颗粒粒度分布的变化
Fig.9 Particle size distributions at different points

4 结论

采用二维相位多普勒颗粒分析仪对下行床气固快速分离器内弧面、挡板附近的颗粒运动进行了研究,得到了颗粒的运动图像、体积通量分布和粒径分布.分析表明,颗粒通过气固两相惯性的差别、弧面和挡板的浓缩、碰撞作用实现与气相的分离.颗粒从方形喷嘴喷出以后,由于射流的横向湍流脉动和横向曳力的作用,造成了部分颗粒在外围运动,被气流夹带未能分离下来.通过减小喷嘴宽度,可以减少颗粒的横向扩散,提高分离效率.

参考文献 :

- [1] 郭慕孙, 姚建中, 林伟刚, 等. 循环流态化碳氢固体燃料的四联产装置 [P]. 中国专利: 01218480.2, 2002-01-30.
- [2] 李松庚, 林伟刚, 姚建中. 下行床弧面锥体气固分离装置的分离效率实验 [J]. 过程工程学报, 2002, 2(1): 12-16.
- [3] Bachalo W D, Houser M J. Phase/Doppler Spray Analyzer for Simultaneous Measurements of Drop Size and Velocity Distributions [J]. Optical Engineering, 1984, 23(5): 583-590.
- [4] 梁绍荣, 严建华, 邱坤赞, 等. 鳍片管气固两相绕流特性 PDA 测试及数值模拟 [J]. 中国电机工程学报, 1997, 17(4): 230-233.
- [5] 范卫东, 章明川, 高继慧, 等. 百叶窗浓缩器内气固两相流动 PDPA 试验研究 [J]. 燃烧科学与技术, 2001, 7(3): 214-218.
- [6] 李彦, 刘青波, 苏剑涛, 等. 利用 3D-PDA 系统对四角切燃锅炉炉膛上部的气固两相流场冷态测量研究 [J]. 激光杂志, 2000, 21(5): 53-55.
- [7] 陈涛, 罗纲, 周力行. 轴向切向进风强旋气粒流动的 PDPA 研究 [J]. 燃烧科学与技术, 1997, 3(4): 340-343.
- [8] Sommerfeld M, Qiu H H. Detailed Measurements in a Swirling Particulate Two-phase Flow by a Phase-Doppler Anemometer [J]. Int. J. Heat and Fluid Flow, 1991, 12(1): 20-28.
- [9] 孙国刚, 钱贵华, 李静海. 循环流化床稀相流动局部空隙率的测量 [J]. 化工冶金, 1996, 17(3): 242-247.

Particle Flow Patterns in a Gas-Solid Separator with Cambered Surface for Cocurrent Downflow Reactors

DU Lin, YAO Jian-zhong, LIN Wei-gang

(Multi-phase Reaction Laboratory, Institute of Process Engineering, CAS, Beijing 100080, China)

Abstract: The particle flow patterns in a gas-solid separator for cocurrent downflow reactors have been studied with a phase Doppler particle analyzer (PDPA), which allows the measurement of particle size and velocity simultaneously. Volumetric flux, particle size distribution and particle velocity vectors are obtained. It is found that the internal components including the rectangular nozzle, circular arc camber and baffles play important roles in the gas-solid separation process. Particles are separated from gas phase due to the gas-solid inertia difference and the collision between the particles and the internal components. Although volumetric flux has a wide distribution in the cross direction, particles are mainly concentrated near the camber surface. Due to turbulent dispersion and drag force in the cross direction, small particles gradually move away from the cambered surface, leading to double-peak distributions of particle size, which influences the collection efficiency of particles. By reducing nozzle width, separation efficiency can be improved.

Key words: downflow; gas-solid separator; the phase Doppler particle analyzer(PDPA)