

## 循环流化床锅炉用旋风分离器性能的实验研究

惠胜利, 姬广勤, 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:** 结合水煤浆流化-悬浮燃烧的特点, 通过全面测定循环流化床锅炉用旋风分离器在不同操作参数下的分离效率, 研究了入口气速、入口颗粒浓度、入口颗粒物性等对旋风分离器的压降和分离性能的影响规律。实验结果表明, 影响旋风分离器分离性能的主要物性参数是颗粒的中位粒径、密度, 在入口颗粒的中位粒径相差较大时分离性能主要受粒径的影响, 而当入口颗粒粒径相差较小时密度对分离器分离性能的影响则更为显著。

**关键词:** 水煤浆; 循环流化床锅炉; 旋风分离器; 分离性能

中图分类号: TK229.6

文献标识码: A

文章编号: 1008-5548(2008)02-0042-03

## Investigation on Separation Performance of Cyclone Separator Used in Circulating Fluidized Bed Boiler

Hui Shengli, Ji Guangqin, Jin Youhai, Wang Jian-jun

(College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum (East China), Dongying 257061, China)

**Abstract:** According to the characteristics of fluidize-suspension burning of coal water mixture in circulating fluidized bed boiler, the effects of entrance air velocity and concentration, physical property of particle on separation performance were studied by measuring separation efficiency and pressure drop of cyclone separator used in the circulating fluidized bed boiler under different operation parameters. Based on the measured results, the main factors which effect separation performance are size and concentration of inlet particle. Size of inlet particle is more important to effect separation performance when particle size is more difference, the effect of concentration of inlet particle to separation performance will distinct when inlet particlesize is similar.

**Key words:** water coal mixture; circulating fluidized bed boiler; cyclone separator; separation performance

分离器是循环流化床锅炉的主要部件之一, 其主要作用是将大量的固体物料从气流中分离出来, 然后送回炉膛, 建立炉内物料循环, 保证燃料和脱硫剂多次循环、反复燃烧和反应<sup>[1]</sup>。这样, 才有可能达到

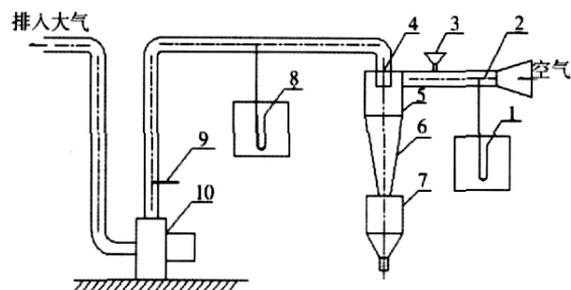
理想的燃烧效率和脱硫效率, 锅炉才得以满负荷运行。它的分离效率、流阻与整个锅炉的燃烧、脱硫、循环倍率及自身能耗等均存在着直接的关系, 对整个锅炉设计与稳定运行起着至关重要的作用<sup>[2]</sup>。

水煤浆是煤炭深加工的新型产品, 是由约 65%~70%的煤粉和 29%~34%的水及 1%左右的化学添加剂制备成的浆体, 俗称高浓度水煤浆, 简称水煤浆, 是以煤代油的新型清洁燃料。由于其有价格低廉、环保效果好、易于储存运输等优点, 目前在工业中得到广泛的推广应用<sup>[3]</sup>。水煤浆流化-悬浮燃烧过程不同于煤, 在该过程中水煤浆在床料的加热下, 完成水分析出、爆破破碎、挥发分析出及着火燃烧, 其燃烧的过程中伴随着浆滴的不断凝聚和爆破, 因此在燃烧过程当中颗粒的粒径和密度是不断变化的<sup>[4]</sup>。

本实验中主要结合水煤浆流化-悬浮燃烧过程的特点, 通过改变旋风分离器入口流速、颗粒的入口浓度以及颗粒物性对循环流化床锅炉用旋风分离器的分离性能的影响律进行了实验研究, 为以后的工业应用奠定基础。

## 1 实验装置与方法

实验装置如图 1 所示, 主要包括引风机、通风管道、分离器本体、测量装置、加尘装置等。分离器的结构尺寸为比例 1:12 的工业实型冷态模型, 分离器是直切式入口, 分离器的相关尺寸如图 2 所示, 筒体



1—U形管压差计; 2—毕托管; 3—进料口; 4—排气芯管  
5—柱段; 6—锥段; 7—灰斗; 8—U形管压差计; 9—温度计  
10—引风机。

图 1 实验装置

Fig.1 Pilot unit

收稿日期: 2007-07-30。

第一作者简介: 惠胜利(1981-), 男, 陕西西原人, 硕士研究生。从事气固相分离的研究。电话: 13789831937, 0546-8391920。

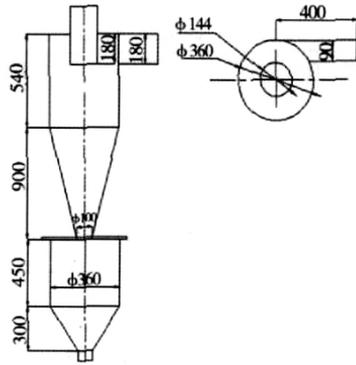


图2 分离器的相关尺寸

Fig.2 Correlative size of cyclone separator

及灰斗都是由壁厚 5 mm 的有机玻璃制成。整个装置系统在负压下操作。

本实验中主要是对直切式旋风分离器的分离性能进行实验研究。旋风分离器的入口流量由引风机上的变频调速器调节并由毕托管测量。旋风分离器的总压降为入口静压和排气管中的静压之差。实验入口流量控制在 950~1350 m<sup>3</sup>/h, 分别对滑石粉、催化剂、煤灰、煤粉和沙子 5 种不同物性物料的分离性能进行了对比, 另外还对滑石粉在入口浓度为 5、10、20、30 g/m<sup>3</sup> 下的分离性能进行了对比实验。实验中每组取 4 个流量进行测量, 每个流量下测量 2 次。

## 2 实验结果及分析

### 2.1 旋风分离器阻力特性

实验分别对直切式旋风分离器在 4 种不同入口流量下的总压降进行了测量, 测量结果如图 3 所示。可以看出, 直切式旋风分离器的总压降随着入口流量的增加是不断增大的, 二者之间的关系为

$$\Delta P = \xi \frac{\rho V^2}{2g}$$

其中,  $\xi$  为阻力系数。阻力系数和入口流量的关系如

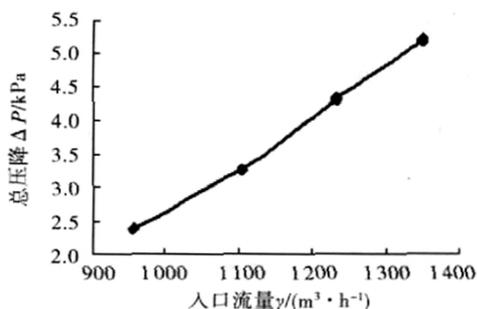


图3 总压降随入口流量变化曲线图

Fig.3 Curve of total pressure drop change with inlet flux

图 4 所示, 由图可以看出随着流量的变化阻力系数的变化很小, 其平均值为 14.93。

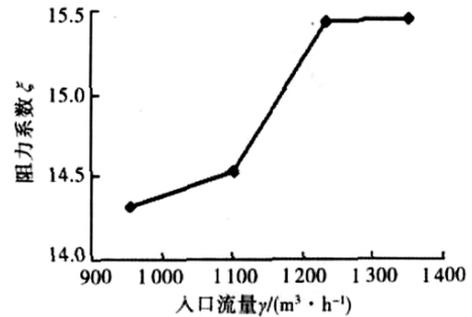


图4 阻力系数随入口流量的变化曲线

Fig.4 Curve of drag index change with inlet flux

### 2.2 旋风分离器的效率

#### 2.2.1 总效率

旋风分离器入口颗粒浓度为 10 g/m<sup>3</sup>, 分离物料为滑石粉, 中位粒径为 11  $\mu\text{m}$  时分离器的分离性能随入口流量的变化关系曲线如图 5。可以看出, 随着入口流量的增加滑石粉的分离效率增加, 但随着入口流量的增大, 流量的变化对分离性能的影响也越来越小。结合上面的压降曲线可以看出, 增加入口流量可以提高分离性能, 但也会使分离器的压降升高, 而且当流量增加到一定程度以后, 如果再增加流量, 分离器阻力的增加速度会大于分离效率的增加速度, 所以不能为了提高效率而一味增加入口流量。

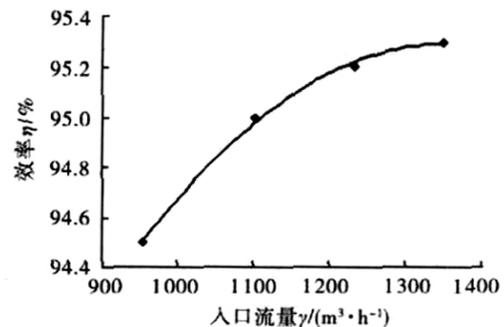


图5 入口流量和效率关系曲线

Fig.5 Curve of inlet flux and efficiency relation

#### 2.2.2 粒级效率

旋风分离器入口颗粒浓度为 10 g/m<sup>3</sup>, 入口流量为 1351 m<sup>3</sup>/h, 分离物料为滑石粉, 其中位粒径为 11  $\mu\text{m}$  的时候分离器的粒级效率如图 6 所示。

由图可以看出, 对于小于 10  $\mu\text{m}$  的颗粒, 分离器的粒级效率随着颗粒粒径的增大而增大, 此时分离器的粒级效率均小于 1, 即 10  $\mu\text{m}$  以下的颗粒分离器都不能完全分离下来; 对于大于 10  $\mu\text{m}$  的颗粒其粒级效率均为 1, 即分离器可以将大于 10  $\mu\text{m}$  的颗

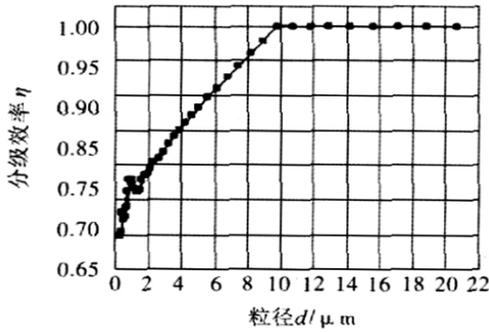


图6 旋风分离器粒级效率

Fig.6 Grade efficiency of cyclone separator

粒全部分离下来。

### 2.3 入口浓度对分离性能的影响

实验对滑石粉在4种不同入口浓度下的分离性能进行了对比，入口浓度对分离性能的影响见图7。可以看出，入口浓度从 $5\text{ g/m}^3$ 增大到 $20\text{ g/m}^3$ 过程中，分离效率随着浓度的增加而增大，但是当入口浓度增加到 $30\text{ g/m}^3$ 的时候，分离效率较 $20\text{ g/m}^3$ 有所下降。而旋风分离器在小浓度下，随着入口浓度的增加，分离空间内部颗粒的凝聚作用增强，加上分离下来的大颗粒对小颗粒的夹带作用就可以使分离器的分离效率增加，但是当浓度增加到一定程度时，分离空间内部颗粒的相互碰撞作用增加，气流对颗粒的返混夹带作用也增强，这样也就使分离器的分离效率降低。从上面的分析就可以看出，入口颗粒浓度应该在 $20\sim 30$ 之间时分离器的性能达到最佳。

### 2.4 颗粒物性参数对分离性能的影响

实验中采用的5种不同物料的中位粒径和密度如表1所示。5种物料分离效率随入口流量变化的关系曲线如图8，其中物料的入口浓度均为 $10\text{ g/m}^3$ 。

结合图8和表1可以看出，当中位粒径相差较大时，分离效率随着颗粒粒径的增大而增加；而当中位粒径相差较小时，密度对分离效率的影响就表现得更加明显，比如催化剂、煤灰和煤粉，3种物料中位粒径相差不大，但密度有差异，从图7可以看出3者

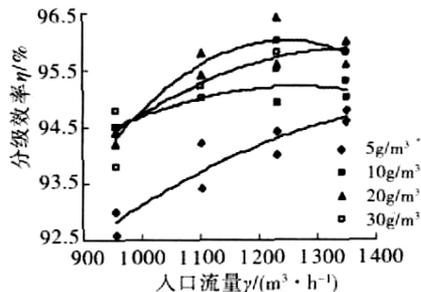


图7 入口浓度对分离性能的影响

Fig.7 Separating property changed with inlet concentration

表1 实验用各种物料的物性参数

Tab.1 Property parameters of experiment materials

物料	中位粒径 $d/\mu\text{m}$	真密度 $/(g\cdot\text{cm}^{-3})$
滑石粉	11	2.84
催化剂	16	3.05
煤灰	24	2.12
煤粉	34	1.9
沙子	481	2.4

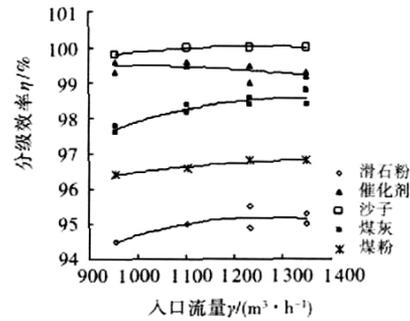


图8 入口颗粒物性对总效率的影响

Fig.8 Total efficiency change with inlet grain property

的分离效率是中位粒径最小的催化剂最高。旋风分离器主要靠颗粒的离心力对颗粒进行分离，而离心力主要受气体流速和颗粒质量的影响，根据质量计算公式： $m = v^3$ 可知，颗粒的粒径和质量成三次方关系，因此，当颗粒粒径相差较大的时候粒径对分离效率的影响很大，而当粒径相差较小时颗粒的密度对分离性能的影响则更加明显。

## 3 结论

1) 旋风分离器的分离性能受入口颗粒物性参数的影响很大，对于入口物料的中位粒径相差较大的物料，分离效率随粒径的增大而增加，而对粒径相差较小的物料，密度对分离效率的影响更为明显。

2) 在小浓度范围内，分离效率随着入口浓度的增加而增大，但当浓度增加到一定值以后分离效率就开始下降，入口颗粒浓度在 $20\sim 30\text{ g/m}^3$ 之间时分离器的性能达到最佳。

3) 该旋风分离器可以将中位粒径大于 $10\ \mu\text{m}$ 的颗粒全部收集。

### 参考文献(References):

[1] 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: 1-15.  
 [2] 邵李凤. 循环流化床锅炉简介[J]. 浙江电力, 1997(6): 68-70.  
 [3] 李春贵. 洁净煤燃烧——水煤浆应用技术[J]. 大众科技, 2005(9): 82-84.  
 [4] 姜秀民, 王玉峰, 崔志刚, 等. 水煤浆流化悬浮高效洁净燃烧技术研究与应用[J]. 化学工程, 2006, 34(1): 62-65.