

W 型火焰炉旋风分离器分离特性的实验研究

张 杰, 李争起, 靖剑平, 任 枫

(哈尔滨工业大学 能源科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: W 型火焰炉旋风分离器是一种利用旋风分离原理进行浓缩的煤粉浓缩器。在气固两相实验台上进行了分离器气固分配特性的实验研究。结果表明, 在乏气挡板开度为 100% 时, 乏气仅占总风量的 35%, 一次风浓颗粒浓度由入口处的 0.58 kg/kg 上升到 0.80 kg/kg, 煤粉浓缩效果较差。为此, 将乏气管直径由 80 mm 提高到 100 mm, 实验测得: 在乏气挡板开度 100% 时, 乏气占总风量的 65%, 一次风颗粒浓度上升到 1.58 kg/kg, 取得了较好的浓缩效果。

关 键 词: W 型火焰炉; 旋风分离器; 气固两相流; 乏气挡板; 煤粉浓缩

中图分类号: TK223.2 文献标识码: A

引 言

W 型火焰炉专为燃用低挥发分煤而设计, 在我国, 截止到 2003 年, W 型火焰锅炉现已投产 35 台, 在建 21 台; 机组容量一般为 300 MW, 最大容量达 660 MW。发展 W 型火焰锅炉对我国具有很高的现实意义^[1]。目前, 一些 W 型火焰锅炉还存在一定的问题, 如飞灰含碳量过高, 燃烧不稳定, NO_x 排放高等。为找到解决这些问题的途径, 对其燃烧器的气固分配特性进行了研究。

W 型火焰炉旋风分离器是 F & W 公司开发的一种煤粉浓缩器, 此旋风分离器与常见的旋风分离器有许多类似的地方, 因而, 在研究的过程中借鉴一些常见旋风分离器的研究成果。王海刚等人利用电容层析成像技术对旋风分离器内的颗粒浓度分布进行了研究^[2]。钱付平等利用雷诺应力运输模型对 Staimand 高效旋风分离器的气相流场进行数值模拟^[3]。在此基础上对旋风分离器的分离效率、压力损失进行了研究, 得出了不同条件下旋风分离器的分离性能。黄兴华等人采用 RNG $k-\epsilon$ 模型对一种切向入口旋风分离器进行了研究, 取得良好的效果^[4]。赵兵涛等人总结了旋风分离器气固分离模型的研

究^[5], 分析和比较了各种模型的建模思想和分析方法, 并展望了今后分离模型的发展趋势。

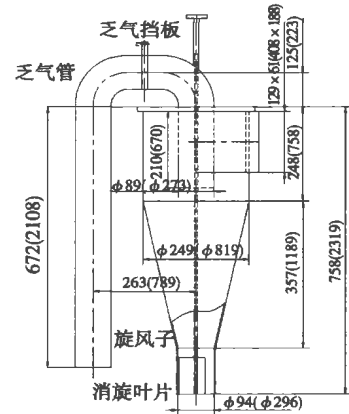


图 1 旋风分离器结构

1 W 型火焰炉旋风分离器及实验台简介

1.1 W 型火焰炉旋风分离器结构介绍

图 1 给出了 W 型火焰炉旋风分离器的结构及参数(括号中为原燃烧器的尺寸, 括号外为模化后的实验台尺寸), 主要包括以下几个部分: 旋风子、乏气管、乏气挡板和消旋叶片。由于主喷口和乏气管出口都通入到炉膛中, 在主喷口和乏气管出口处静压相同。一次风携带煤粉由切向进入分离器, 气流在旋风子内产生强烈的旋转, 大部分煤粉会在惯性力的作用下被甩向壁面, 经过数次的碰撞后, 颗粒开始沿着壁面做螺旋向下运动, 从而在壁面附近形成高煤粉浓度区域, 最终从主喷口流出, 少部分颗粒随气流从乏气口喷出。这样, 入口一次风分为两股, 其中一股携带大部分的煤粉从主喷口喷出, 形成浓煤粉气流; 另外一股携带少量的煤粉从乏气口喷出, 形成淡煤粉气流, 通常称为乏气。为达到较好的浓淡燃

收稿日期: 2006-04-18; 修订日期: 2006-06-12

基金项目: 2005 年度教育部新世纪优秀人才支持计划基金资助项目(NECT-04-0328); 国家 863 计划基金资助项目(2006AA05Z321)

作者简介: 张 杰(1981-), 男, 达斡尔族, 黑龙江齐齐哈尔人, 哈尔滨工业大学硕士研究生。

烧效果，一般要求主喷口与乏气喷口的一次风量各占 50%。

通过控制乏气挡板开度，可以在一定范围内改变乏气的流量，从而控制浓一次风的流量和煤粉浓度。图 2 为消旋器，是圆周上三等分角度的直叶片，深入到主喷口直段内，通过拉杆调节其位置。这样做可以将燃烧器主喷口出来的煤粉气流旋流度变小，使气流具有很好的刚性，能较好地穿过高温烟气，避免出现火焰上飘，发生“短路”，得到比较好的炉膛充满度^[6]。

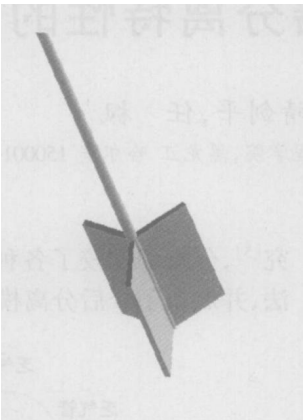


图 2 消旋叶片

1.2 实验台的设计准则及参数

为便于实验室研究，对原燃烧器进行模化缩小。相似模化主要考虑以下几个方面^[7]：

- (1) 满足单值性条件中的几何结构相似；
- (2) 保证颗粒入口粒度分布特性相似性；
- (3) 保证颗粒入口浓度相同；
- (4) 保证 Stokes 准则数相同；
- (5) 保证雷诺数 Re 处于第二模化区；(6) 保证颗粒傅鲁德数 F_{rp} 为常数。

分离器按照 1: 3.1375(80: 251)的比例缩小。设计时，主要考虑旋风子内部尺寸的相似。

使用激光粒度仪对实验用粉的粒径分布进行了测量，图 3 给出了粒径分布曲线。测得颗粒平均直径为 $9.88 \mu\text{m}$ 。颗粒密度 $2\ 200 \text{ kg/m}^3$ 。颗粒粒径分布满足模化要求。

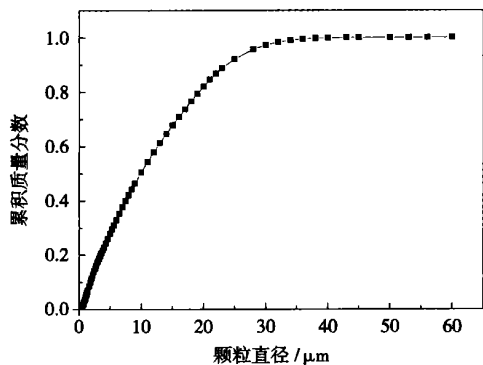


图 3 颗粒的粒径分布

气固两相实验系统图如图 4 所示。煤粉由绞龙给粉机给入。整个系统处于负压状态，风携带粉从入口进入，在入口段经过较好地混合和加速，进入到旋风子内。风粉在旋风子内通过旋转分离分成浓淡两股气流，两股气流分别经过旋风分离器，煤粉被收集下来；空气进入主风道与旁路风一起经除尘器，由风机排入大气。为模仿真实的旋风分离式浓淡煤粉燃烧装置运行状态，图 4 中乏气口静压测点与主喷口静压测点的静压相同。

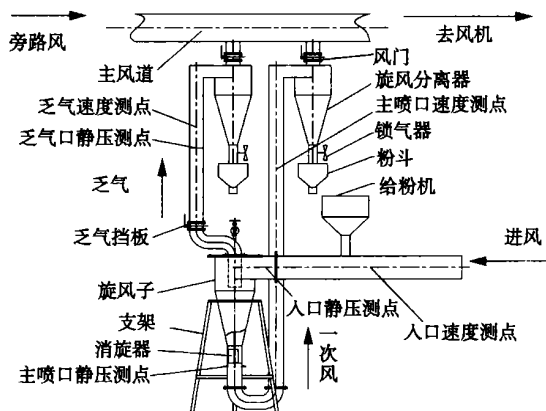


图 4 旋风分离器气固两相实验系统

为验证气固两相实验台的合理性，首先对直接排入空气的系统进行实验，与两相实验系统中进行的单相实验结果作对比，实验系统如图 5 所示。实验表明，两个系统所测得的乏气百分比基本相等。

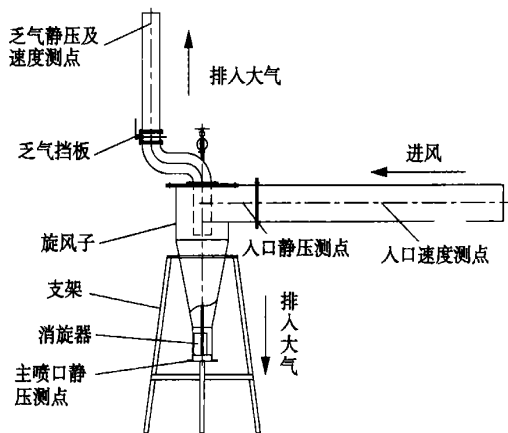


图 5 排空实验系统

2 单相实验结果及分析

单相实验主要考虑入口风速和乏气挡板开度对乏气百分比的影响。图 6(a)是在乏气挡板开度

100%的条件下,入口风速分别为 17.08 m/s、18.01 m/s、19.31 m/s 和 20.33 m/s 时得到的。从图中可知,入口风速对乏气所占的百分比的影响很小,其均值在 35%左右,即乏气量约占总气量的三分之一。这是由于主喷口侧和乏气口侧都处于自模化区,其阻力都是与速度的平方成正比,因此当入口的流速(流量)变化时,气体在两侧的分配就是按照二者阻力系数的一定关系进行。图 6(b)是在 20.33 m/s 的入口风速下,改变乏气挡板的开度为 0%、40%、60%、80%、100%时,乏气百分比与乏气挡板开度变化的关系。实验结果表明,随乏气挡板开度的减小,乏气百分比明显降低。

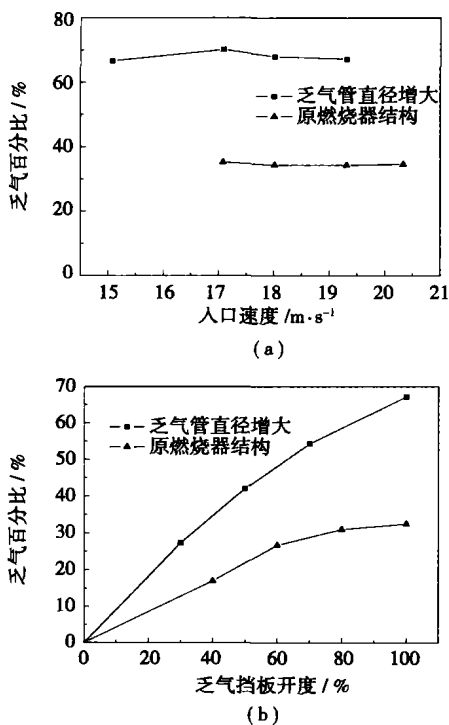


图 6 入口速度(a)及乏气挡板开度(b)对乏气百分比的影响

3 气固两相实验结果分析

所有实验都是在消旋叶片位置固定的条件下进行。主要进行极限情况乏气挡板 100%开度和 40%开度两个工况。为提高测量的准确性,多次测量求平均值。100%开度入口浓度的平均值为 0.58 kg/kg, 40%开度入口浓度的平均值为 0.60 kg/kg。

从表 1 中可以看出,在颗粒浓度为 0.58 kg/kg 的情况下,加入颗粒前后,气体在主乏两侧的分配变化不大,可近似认为不变。实验测得浓侧的粉量占

总粉量的 89.2%。浓缩前后,颗粒浓度从 0.58 kg/kg 提高到 0.80 kg/kg,由于乏气风量很小,所以浓缩效果较差。

将挡板开度减小至 40%时,乏气百分比降到 17%,浓侧的颗粒浓度降至 0.67 kg/kg,浓缩效果进一步降低。

在实际的运行当中,乏气挡板通常处于 30%~50%的开度,从上面的实验结果可以看出,旋风分离器的浓缩效果较差。在这样的工作状态下,其煤粉燃烧不符合浓淡燃烧的原理,引起了 NO_x 排放量过高,燃烧不稳定等问题。为提高浓缩效果,形成较好的浓淡燃烧,本文提出了合理的方案,进行分析对比。

4 改变乏气管直径后的实验

由于对原型的模化实验表明乏气的百分比很小(挡板开度最大时约为 35%),它的煤粉浓缩效果并不十分理想。为此,提出了扩大乏气管直径的方案,将乏气管直径由 80 mm 扩大到 100 mm,对改进后的系统进行了单相及气固两相实验。单相实验结果见图 6。如图 6(a)所示,改造后,入口风速对乏气百分比的影响依然很小,但改造后的乏气百分比与改造前相比明显增加;如图 6(b)所示,改造后的乏气百分比随乏气挡板开度的增加而增加,其增加幅度明显高于改造前的。

从表 2 的单相实验结果与两相实验结果的对比,可以得出,在相同的空气入口流速(流量)下,加入颗粒前后,其乏气的百分比变化很小,同样可以说明,加入颗粒对气相在浓侧和淡侧的分配影响很小,在工程范围内,可以不考虑颗粒对气相分配的影响,用单相实验的气相分配代替两相的气相分配。

在空气入口流量为 0.191 kg/s,入口颗粒浓度 0.58 kg/kg,乏气挡板 100%开度的情况下,对更改管径后的固相分离效率进行了测量。结果表明 90.4%的颗粒物从主喷口吹出,与乏气管径增大前对比,浓侧颗粒浓度从 0.80 kg/kg 提高到 1.58 kg/kg,明显地提高了浓缩效果。

通过以上的分析可以得出,原燃烧器在乏气管直径相应的增大后,通过调节乏气挡板可以在较大的范围内调节乏气风量和浓一次风的煤粉浓度,能够较好地适应电厂煤种变化,通过形成合理的浓淡气流来降低 NO_x 的排放和飞灰可燃物的含量。

表1 气固两相实验结果

挡板开度		入口颗粒质量	入口空气质量	乏气质量	颗粒浓度/ kg·kg ⁻¹			颗粒分离	乏气百分比
		流量/ kg·s ⁻¹	流量/ kg·s ⁻¹	流量/ m ³ ·s ⁻¹	入口	浓侧	淡侧	效率/ %	/ %
100%	单相	0	0.191	0.067	0	0	0	0	34.9
	两相	0.111	0.191	0.068	0.58	0.80	0.17	89.2	35.8
40%	单相	0	0.183	0.035	0	0	0	0	19.1
	两相	0.110	0.183	0.031	0.60	0.67	0.26	92.6	17.1

注: 颗粒分离效率= 浓侧的粉量/ 总给粉量

表2 改进后单相实验与气固两相实验的数据对比

挡板开度		入口颗粒质量	入口空气质量	出入口静	乏气质量	颗粒浓度/ kg·kg ⁻¹			颗粒分离	乏气百分比
		流量/ kg·s ⁻¹	流量/ kg·s ⁻¹	压差/ kPa	流量/ kg·s ⁻¹	入口	浓侧	淡侧	效率/ %	/ %
100%	单相	0	0.191	1.421	0.082	0	0	0	0	65.0
	两相	0.111	0.191	3.724	0.086	0.58	1.58	0.08	90.4	66.9

5 结 论

对W型火焰炉旋风分离器进行了实验研究, 基本掌握了其气固分配特性, 提出了改进方案, 得到以下结论:

(1) 入口气体流速对气体的分配影响很小; 在乏气挡板全开的情况下, 乏气占总风量的35%左右, 即其乏气与一次风的风量比接近1:2; 关小挡板, 淡侧的风量有比较明显的减小。当挡板从开度100%到开度40%, 风量由35%降到17%, 颗粒的分离效率由89%上升到92.6%, 浓侧颗粒浓度由0.80 kg/kg降至0.67 kg/kg, 浓缩效果较差。

(2) 单相实验与两相实验的对比表明, 加入颗粒后, 气相的分配变化很小, 因而可以得出, 颗粒相对气相在淡侧和浓侧的流量分配影响很小。

(3) 增大乏气管管径可以明显的增加乏气流量, 当乏气管直径由80 mm增加到100 mm, 在乏气挡板开度100%时, 乏气百分比达到65%, 而颗粒的分离效率为91%。与改造前相比, 浓侧颗粒浓度由0.80 kg/kg提高到1.58 kg/kg, 浓缩效果显著增加。

参考文献:

[1] 车刚, 徐通模, 许卫疆等. W型火焰炉冷态空气动力特性的测试研究[J]. 热能动力工程, 2001, 16(1): 19-22.
 [2] 王海刚, 刘石, 姜凡, 等. 电容层析成像技术在旋风分离器固体浓度测量中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(1): 174-179.
 [3] 钱付平, 章名耀. 旋风分离器分离性能的经验模型及数值预测[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2005, 35(1): 35-39.

[4] 赵兵涛, 沈恒根, 许文元, 等. 旋风分离器内气固分离模型的研究进展[J]. 中国粉体技术, 2003(6): 45-48.
 [5] 黄兴华, 王道连, 王如竹, 等. 旋风分离器中气相流动特性及颗粒分离效率的数值研究[J]. 动力工程, 2004, 24(3): 45-48.
 [6] 黄志强, 王军. 双旋风筒煤粉浓缩型燃烧器特性试验研究[J]. 广东电力, 2004, 17(3): 47-49.
 [7] 岑可法. 气固分离原理及技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999.

(辉 编辑)

书 讯

船用锅炉及压力容器检验

本书分三篇分别介绍了船用锅炉及压力容器的特点, 相关锅炉基础知识, 典型船用锅炉及压力容器的结构形式和主要受压部件, 制造厂工厂认可程序, 图纸审核要点, 产品制造检验要求, 船用锅炉机组和压力容器性能试验项目及要, 船用锅炉的水处理, 船用锅炉的运行与调节, 船用锅炉的常规维护保养和停炉保养, 船用锅炉常见的事故、故障及处理方法, 船用锅炉的安装检验, 营运中船用锅炉及压力容器的检验及修理方法等方面的相关知识。

读者对象: 船用锅炉相关技术人员
 2006年10月出版

perature of Coal X and C tends to go down as a result of an increase in salt content of the red water, during which under an identical salt content, the ash fusion temperature of Coal X drops by a relatively big margin and that of Coal Y tends to go down at the beginning and then go up followed by a go-down. After limestone ($Ca/S=2.0$) has been added, with an increase in the salt content of the red water, the ash fusion temperature of Coal X displays a tendency to first fall and then rise and there exists a minimum value among its four characteristic temperatures when the salt content of the red water is 10%. By contrast, the ash fusion temperatures of Coal C and Y undergo a change similar to the case when no limestone is added. However, the above change is relatively small. At a certain salt content (15%) and with an increase in added amount of limestone, the ash fusion temperature of Coal X and C will all first go down and then up, but for Coal X there is a significant change. The deformation and softening temperature of Coal Y rises while its hemispheric and flow temperature goes down first and then up. The research results provide a theoretical basis for the prevention of coking of bed materials when organic salty waste liquid is fired in a fluidized bed. **Key words:** fusion temperature, fusion characteristics, coking, weak reduction atmosphere

W 型火焰炉旋风分离器分离特性的实验研究 = **Experimental Investigation of the Separating Characteristics of a Cyclone Separator for a W Shaped Flame-based Boiler** [刊, 汉] / ZHANG Jie, LI Zheng-qi, JING Jian-ping, et al (College of Energy Science and Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(1). — 65 ~ 68

The cyclone separator for a W shaped flame-based boiler is a kind of pulverized coal concentrator operating on a cyclone separation theory. An experimental study of gas-solid distribution characteristics of the cyclone separator was conducted on a gas-solid two-phase flow test rig. The test results show that when the opening of the exhaust gas valve reaches 100%, the exhaust gas flow will only account for 35% of the total air flow. The concentration of primary air particles will rise from 0.58 kg/kg at the inlet to 0.80 kg/kg at the outlet, but the concentration effectiveness of pulverized coal was relatively poor. In view of this, the diameter of the exhaust gas tube was increased from 80 mm to 100 mm. It has been determined from a test that when the exhaust gas valve is fully opened (100%), the exhaust gas will account for 65% of the total air flow with the concentration of the primary air particles rising to 1.58 kg/kg, thus achieving a relatively good concentration effectiveness. **Key words:** W shaped flame-based boiler, cyclone separator, gas-solid two phase flow, exhaust gas valve, pulverized-coal concentration

基于神经网络和遗传算法的磨煤机结构和工作参数的优化 = **Optimization of Structural and Operating Parameters of a Ball Mill Based on a Neural Network and Genetic Algorithm** [刊, 汉] / CHANG Li, YANG Tao, YAO Shu-jian (College of Mechanical Science and Engineering under the Jilin University, Changchun, China, Post Code: 130025), LI Chun-ran (Shenyang Heavy Machinery Group Co. Ltd., Shenyang, China, Post Code: 110025) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2007, 22(1). — 69 ~ 72

The grinding power and capacity of a dual-in and dual-out ball mill are its very important performance parameters, which have a most sophisticated relationship with such parameters as ball mill structural ones, operating ones and the characteristics of the raw coal being ground. By using an artificial neural network, a mathematical model of the grinding power and capacity of the ball mill was established and with the help of a genetic algorithm the structural and operating parameters for the dual-in and dual-out ball mill were also optimized. The results of a calculation example show that with the effective length L of a roller being shortened from 6 m to 5 m and the effective diameter D from 4 m to 3.8 m, the inlet hot air temperature T_{12} of the ball mill will be lowered from 295 °C to 269.67 °C. But the volumetric flow rate Q_H of hot air at the inlet will be increased from 46.5 m³/s to 48.16 m³/s, and the grinding specific power consumption e_m of the target function will be reduced from 142.55 kWh/t to 121.13 kWh/t. The optimized design version may cause some operating parameters to rise or fall, depending on specific situations. However, it ameliorates the structural parameters of the ball mill with the target function being markedly improved. **Key words:** genetic algorithm, neural network, ball mill, structural parameter optimization, operating parameter optimization