

MPS 磨煤机旋转分离器两相阻力特性的试验研究

娄新生 张明春 孔文华俊 周怀春 郑楚光 程尚模
(华中理工大学动力工程系)

〔摘要〕 本文简要分析了 MPS 磨煤机旋转分离器内部两相流动阻力的形成原理,实验研究了风量、转速以及浓度等主要因素对分离器两相流动阻力的影响关系,从阻力特性角度提出了旋转分离器设计的基本原则。

关键词 旋转分离器 两相流动 阻力特性 试验研究

分类号 O359;TK223.25

1 概述

MPS 磨煤机是一种性能优良、适合于磨制劣质煤、并在国内外获得广泛应用的中速磨煤机。我国于 1986 年引进这项技术,取得了不少好的运行经验。考虑到其适于磨制硬度大的无烟煤的优点及我国无烟煤储量丰富的特点,国家“八五”计划中提出研制与系列 MPS 磨煤机配套使用的煤粉分离器的课题。

通常用于中速磨煤机的几种分离器中,惯性式和重力式分离器因其出口煤粉细度很粗而首先被排除。我国现在生产的用于 MPS 磨煤机的离心式分离器具有尺寸较小、结构简单、调节性能优良及出口均匀性好的优点,在用于制备烟煤的经验中也显示出良好的性能。但是一般情况下其细度 R_{90} 仅能达到(17~25)%左右,满足不了无烟煤燃烧 $R_{90} < 10\%$ 的要求。如果非要通过调节挡板的方式来达到 R_{90} 的要求,会出现出力严重不足,而且阻力过大的问题。

旋转分离器是体积小、出口粉细且均匀、阻力较小、调节性能好的一种性能优良的分离器。国外运行经验表明,其出口粉细度 R_{90} 可达(3~5)%,而其它各项指标都能很好地满足系统的要求。这里,阻力特性是其工作性能中重要一项。“八五”攻关协议中,对阻力特性也提出了严格的要求。为此,我们对旋转分离器阻力特性进行了研究。

2 旋转分离器两相流动阻力特性分析

在两相流场中,由于固相粒子与气相间相互作用以及粒子本身之间相互作用,阻力的特性将与单纯气相流场有所不同。在气粉流经过分离器时,气粉流除作垂直的上升运动外,还因离心力的作用在水平面内作圆周运动。就具体的颗粒而言,其受力情况更为复杂。由于颗粒粗细不均,所受的惯性力与离

收稿日期 1994-09-09

心力也不一样,速度各异,彼此间有扩散、碰撞作用;同时,颗粒自身形状不规则,流场中存在着压力、速度梯度,颗粒本身会产生回返、旋转,并伴有升力效应。另外,因为干燥,流体还具有一定的温度,存在着热泳现象。所有这些作用都可能导致流线弯曲,流速分布发生变化,甚至产生漩涡,从而引起分离器内部的阻力损失。其中引起旋转分离器内部阻力损失的最主要的因素是离心力场的作用产生的压差损失、转子与气粉流碰撞所产生的碰撞损失以及由于转子带动气粉流旋转形成漩涡流场损失。

3 实验原理及实验装置

实验采用如图 1 所示的实验装置。三相调速电机通过皮带轮及皮带带动传动轴、分离器的叶片旋转。电机的转速由速度控制器控制而使其转速可以在一定范围内变化,所以分离器叶片的转速也可以在一定范围内变动。气流通过风机的带动,由分离器的下部

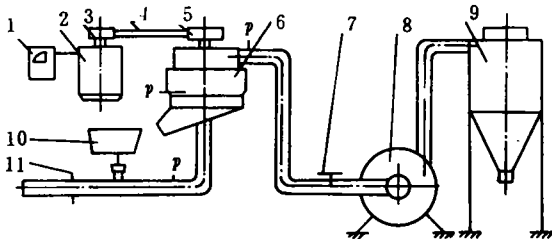


图 1 回转煤粉分离器实验系统
结构示意图

1. 电机调速控制器 2. 交流电动机 3、5. 皮带轮 4. 传动皮带 6. 分离器本体 7. 风量调节挡板 8. 离心风机 9. 旋风沉降室 10. 螺旋给粉机 11. 笛形管

进口进入磨煤机。经过模拟的磨煤机本体及 24 片周向均匀布置,倾斜角为 45 度的导向叶片,进入旋转分离器。这时进入分离器本体的气流的倾斜角度及其流动特征与实际磨煤

机分离器内的流动情况相似。然后气流穿过叶片,由于叶片的旋转运动,带动气流旋转,气流中大颗粒煤粉由于离心力的作用而被分离出来,甩到分离器的内壁,回落到侧边粗粉回落斗。在实际的磨煤机中是回到磨盘上继续被碾磨,以便再被分离。在气粉流穿过叶片的时候,叶片对煤粉颗粒产生了撞击,使部分较大的颗粒产生分离,而回落到中间粗粉回落斗。这样,气粉流被二次分离,穿过叶片的气粉流中,煤粉细度就比较小了,它通过了分离器的出口,离开分离器。

分离器本体的设计是在充分考虑相似模化的基础上,与 MPS 磨煤机配套的旋转分离器以 1:7.5 的比例缩小建立的。根据相似理论推导出了分离器模拟试验所必须满足的相似准则和相似条件。其中,相似准则有雷诺准则(Re)、欧拉准则(Eu)、傅鲁德准则(Fr)、斯托克斯准则(Stk)、努谢尔特准则(Nu)和普朗特准则(Pr)相似条件包括模型结构、煤粉分布特性、物理参数以及分离器转子转速等的相似。

这里, Re 直接影响着流体流动的运动特征,在模拟实验过程中,应该得到满足,但是根据自模化原理,如果原型和模型都处于自模化区,则满足要求,而不必要求 Re 完全相等。事实上,由配套的磨煤机 MPS-190 的风量为 $13.0 \text{ Nm}^3/\text{s}$ 和北京电力设备总厂提供的结构尺寸可知,当以分离器内壁直径和落煤管外径之差为特征尺寸时,分离器内部流场中气体流动的雷诺数值在 $(1 \sim 5) \times 10^5$ 范围内,处于第二自模区,因此,只要找到此自模化区就可满足模型和实物相似时 Re 和 Eu 的要求。通过自模区实验发现,当 $Re \geq 6.6 \times 10^4$,在不同分离器转子转速和 101858 Pa 、 16 C 条件下, Eu 接近常数,表明模型在此工况下已进入自模化区,此时对应的系统风量为 $2016 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。

Stk 是两相流动的重要相似准则。在 Stk

中,包含着气流对颗粒的阻力系数、颗粒直径和设备的结构尺寸,通常情况下,阻力系数是难于确定的,它随各个点的空间位置而异,但文献^[3]指出,当气体流动达到自模后,气流的湍流特性也基本达到自模,气流脉动对颗粒运动的影响也可得到近似相似。因此,旋转分离器模化实验中,其内部其流处于自模状态后, Stk 的相似要求可以近似满足。

分析表明,只要模型的转子角速度为实物的 2.74 倍,就可满足 Fr 准则的要求;另外,只要流体内部的气体流动满足相似要求,实验过程中模型与设备的进出口的相似可不严格满足。

考虑到在火力发电厂磨煤机和分离器的运行过程中,粗细煤粉的混合流体在分离器内的温度分布较为均匀,而且温度较低,而分离器内的分离主要是由颗粒所受到的离心力、自身惯性力的差异以及叶片的打击作用引起的,因此,旋转分离器的模化试验中可以不计温度变化、传热损失和能量方程的影响,从而可以放宽实验过程中 Nu 和 Pr 的限制,在一般大气条件下进行。

有关颗粒的特性,本文通过采用与实物内部多相流中具有相同的颗粒直径和相同的颗粒浓度以及相同的颗粒分布来满足相似约束条件的,并在实验中使用煤灰替代煤粉作为给粉和被分离的对象。煤灰容易得到,而且其物性与煤粉接近,便于筛分。

实验过程中,用笛形管 1 测量流过系统的风量,考虑到系统的良好密闭性,笛形管测得的风量即为通过转子分离器段的流量。用全压管测量分离器工作段进出口全压差即为阻力损失。实验中分别采用变转速、变风量、变浓度进行测试。为进行比较,同时进行了单相(即 0 浓度)试验。

4 实验结果及分析

实验结果如图 2、图 3、图 4 所示。

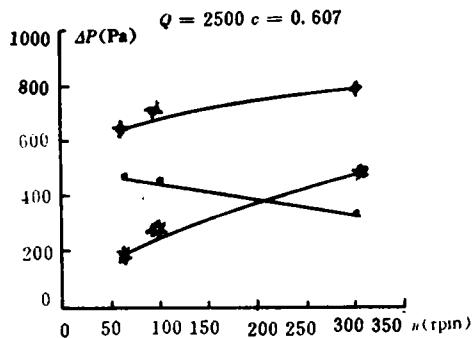


图 2 分离段阻力与转速的关系

—○— 单相 —×— 两相 —*— 差值

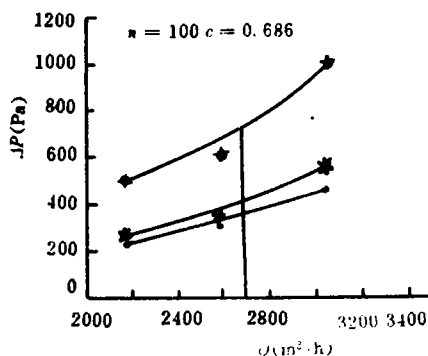


图 3 分离段阻力与风量的关系

—○— 单相 —×— 两相 —*— 差值

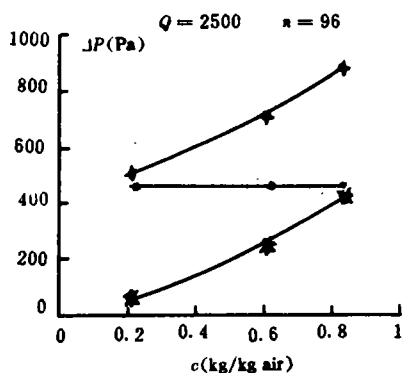


图 4 分离段阻力与浓度的关系

—○— 单相 —×— 两相 —*— 差值

图 2 为固定风量($Q = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$)及浓度($C = 0.607 \text{ kg/kg air}$),阻力随转速的变化关系。从图中可以看出,单相阻力随转速的增加而减小。两相阻力明显地高于单相阻力,它随转速的增加而增加,而且两者之间的差距也随着转速的增加而增加。表明随着转速的增大,浓度对阻力的影响是增加的。这主要是因为高浓度下,颗粒与叶片的撞击作用以及颗粒间的相互作用受叶片转速及相应的流场强度变化的缘故。

图 3 所示为固定转子转速 $n(100 \text{ rpm})$ 和浓度 $C(0.686 \text{ kg/kg air})$,阻力特性随转速的变化关系。两相阻力和单相类似,也是随着风量的增大而增大。在 $2700 \text{ m}^3/\text{h}$ 前,阻力随风量变化较该风量之后为缓慢。两相与单相阻力之差随风量的变化而近似呈直线递增关系。表明风量增加,浓度对阻力的影响是加大的。

图 4 所示为固定风量 $Q(2500 \text{ m}^3/\text{h})$ 和转速 $n(96 \text{ rpm})$ 随浓度的变化关系。由于浓度 C 的变化和单相阻力没有关系,所以图中单相阻力为一条平行于横轴的直线。两相阻力随浓度的增大而呈近似直线地增加。从两者之差来看,浓度越大,其对阻力的影响程度越大。

总的说来,

(1)颗粒间相互作用越强,或者颗粒与叶片或气体间作用越强,两相阻力越大。因此,

无论是由于转速增加、风量加大还是浓度加大,都会使这几种作用加强而使得颗粒相对阻力的影响增大,其结果是总的阻力直线增大。

(2)综观所有测试工况,可以看出,该分离器工作段阻力一般不超过 800 Pa ,且阻力随转速和风量的变化较平稳,表明该分离器结构具有良好的阻力特性。

5 结束语

实验及分析表明,该分离器结构具有良好的阻力特性。单从阻力特性角度来看,旋转分离器宜在较低的转速、风量、浓度下运行。但其设计还要综合考虑细度、分离效率、均匀性指数、循环倍率等各项指标的情况下进行优化设计,而阻力随转速及风量的变化而变化较平缓的特性是一个有利条件。

参 考 文 献

- 1 夏金安. 旋转气固多相流的数值模拟及回转煤粉分离器的实验与理论研究. 华中理工大学博士论文, 1993 年 9 月
- 2 娄新生. 旋转分离器的实验研究及其 CAD. 华中理工大学硕士论文, 1993 年 6 月
- 3 岑可法. 锅炉燃烧试验研究方法及测量技术. 水利电力出版社, 1987 年

(渠源 编辑)

作者简介: 娄新生,男,27岁,1990年毕业于东南大学动力工程系电厂热能动力工程专业,1993年获华中理工大学工学硕士学位。现在华中理工大学煤燃烧国家重点实验室攻读博士学位,研究方向包括:MPS磨煤机旋转分离器的特性及其计算机辅助设计,火焰图像处理及燃烧故障诊断等。(430074 湖北省武汉市武昌喻家山)

氢燃联合循环中两种回热网络的优化与比较=The Optimization and Comparison of Two Kinds of Regenerative Network in a Combined Hydrogen and Gas Turbine Cycle[刊,中]/Xiong Mengqing, Gu Ruiying, Liu Xianbao(Xi'an Architectural University of Science & Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power.-1996,11(3):129~133

In a combined hydrogen and gas turbine cycle the heat capacity of gas turbine exhaust is greater than that of compressed air and considerably greater than that of hydrogen. The gas turbine exhaust is first divided into two flows, which are utilized to respectively preheat the compressed air and hydrogen, and then the two flows are united to heat the regenerative network of low-temperature hydrogen. Such an approach as compared with the regenerative network, under which the gas turbine exhaust first preheats the compressed air and then preheats hydrogen, can effectively increase the entry temperature of the hydrogen turbine, thereby augmenting the specific power output and thermal efficiency of the combined cycle and reducing the fuel hydrogen consumption. In this paper a process energy combination method is used to conduct the optimization analysis of two kinds of regenerative network. In addition, a quantitative comparison is performed of the combined cycle performance of the regenerative network after using the two kinds of optimization. Key words: liquid hydrogen, combined cycle, hydrogen turbine, gas turbine, process energy combination

不同宽度扭带传热与阻力特性试验研究=An Experimental Study of Different-width Twisted Band Heat Transfer and Resistance Characteristics[刊,中]/Wang Zening, Zhou Qiangtai(Southeastern University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996,11(3):134~138

An experimental study has been conducted of the heat transfer and resistance characteristics of different-width twisted bands for a vortex flow device with inner-tube twisted bands. Also obtained is a fitting equation of heat transfer and resistance. Key words: twisted band, intensified heat transfer, turbulent flow heat transfer

无烟煤飞灰循环增压流化床燃烧试验研究=Experimental Investigation on Anthracite Combustion Characteristics in a Pressurized Fluidized Bed with Fly-ash Recycling[刊,中]/Liu Qianxin, Liu Kunlei, Zhang Mingyao(Heat Engineering Research Institute of Southeastern University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996,11(3):139~142

Yangquan anthracite combustion test was conducted on a SEU-PFBC plant. Studied was the effect on combustion efficiency of fluidizing speed, fluidized bed depth and temperature. Test results show that a combustion efficiency of 99.8% can be attained with the use of recycled fly-ash. Key words: fluidized bed, combustion/pressurization, fly-ash recycling

MPS 磨煤机旋转分离器两相阻力特性的试验研究=An Experimental Study on the Two-phase Resistance Characteristics of a MPS Grinding Mill Rotating Separator[刊,中]/Lou Xinsheng, Kong Wenjun, Zhang Mingchun, Luan Qingfu(Central China University of Science & Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996,11(3):143~146

The authors give a brief analysis of the mechanism of formation of two-phase flow resistance within the rotating separator of a MPS grinding mill. An experimental study is performed as to the effect on the above-cited resistance of such main factors as air flow rate, rotating speed and coal concentration, etc. From the viewpoint of resistance characteristics proposed is the basic principle to be followed during the design of rotating separators. Key words: separator, coal grind-

ing mill, resistance characteristics

火焰中形成的二氧化氮和氧化亚氮=Nitrogen Dioxide and Nitrogen Monoxide Formed in a Combustion Flame[刊,中]/Zhong Beijing(Qinghua University), P. V. Rosliakov(Moscow Power Engineering Institute)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996, 11(3): 147~153

Studied in this paper is the process of formation in a boiler furnace of nitrogen dioxides and nitrogen monoxides and their emission levels resulting from the combustion of various fuels. Also discussed are the transformation relationship between various constituents of nitrogen oxides and the main factors influencing the formation and emission levels of nitrogen dioxides and nitrogen monoxides. Key words: boiler, combustion, nitrogen oxide, nitrogen dioxide

C语言在锅炉热力计算中的应用=The Use of C Language for a Boiler Thermodynamic Calculation[刊,中]/Zhao Guangbo, Lin Jincheng, Liu Wentie, Zhu Qunyi, Ruan Genjian(Harbin Institute of Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996, 11(3): 154~157

This paper deals with the data structure of boiler thermodynamic calculation program prepared through the use of C language, the block diagram of the thermodynamic calculation program, the basis for the preparation of the thermodynamic calculation program, the thermodynamic calculation program screen menu and its use as well as the specific features of the thermodynamic calculation program, etc. The above-cited program can be more conveniently employed for the thermodynamic calculation of grate-fired and fluidized bed-fired industrial steam boilers and hot-water boilers. Key words: C language, boiler, thermodynamic calculation

全功能课题起停模块软件的研制=The Development of a Total-function Start/Stop Module Software[刊,中]/Sun Xidong(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996, 11(3): 158~159

With the help of gas turbine total-function computer-based controls realized is a comprehensive automation of the gas turbine start-up, operation and protection. As a sequential control software of the gas turbine start-up the start/stop module can after checking and verifying the preconditions of gas turbine start-up conduct the gas turbine start-up in accordance with the gas turbine start-up program. Also described are the hardware basis of the gas turbine start/stop module and the software preparation process. Key words: start/stop module, total-function control, gas turbine

420 t/h 同心正反切圆锅炉燃烧优化的数值计算=Numerical Calculation of the Optimization of a 420 t/h Boiler Combustion System with Concentric Tangential and Anti-tangential Air Feeding[刊,中]/Xu Minghou, Hu Tailai, Yuan Jianwei, Zeng Hancan(Huazhong University of Science & Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996, 11(3): 160~164

With the 420 t/h boiler of a 125 MW unit, which features furnace concentric tangential and anti-tangential air feeding, serving an object of study a numerical computation was performed of the boiler in-furnace aerodynamic field, temperature field, pulverized coal particle trajectory under various operating conditions. The cause of the boiler slagging is analyzed with proper measures for reducing the slagging and attaining an efficient combustion process being proposed. Key words: pulverized coal combustion, slagging, numerical calculation