

# MPS 磨新型静动叶结合组合式 旋转煤粉分离器研究

孔文俊 栾庆富 张明春  
程尚模 娄新生 韩才元 (华中理工大学)  
何纪山 严沛鸿 (北京电力设备总厂)

[摘要]本文提出了静动叶片组合式旋转煤粉分离器的设计思想,就不同的静动叶片安装方向进行了初步的试验研究。试验结果验证了这一设计原则,从而为开发一种新型粗粉分离装置奠定了理论基础。

关键词 煤粉制备 旋转分离器 动静叶片 煤粉细度

分类号 TK 223.25

## 1 前言

随着国内火电机组的发展,特别是 300 MW、600 MW 引进机组的相继投产,中速磨煤机作为电站重要辅机,因其具有系统简单、占地面积少、省电、钢耗少和操作方便,噪音低等优点,将在 300 MW 以上机组中取代钢球磨煤机。在中速磨煤机系列中,MPS 磨煤机又因其磨辊磨损均匀、使用寿命长、运行经济性好、出力大等优点而具有广阔的发展前景。

目前,MPS 磨煤机存在的一个突出的问题是当它配用常规的离心式挡板分离器时,分离出来的煤粉普遍偏粗,煤粉细度  $R_{90}$  一般在 20% 以上,有的达 35%,甚至更大。这样的煤粉细度是不能保证无烟煤、贫煤等低挥发分煤种的着火与稳燃;当燃用烟煤时,如果为了环保的需要而在这样的煤粉细度下采用分

级燃烧法时,将使得燃尽条件进一步恶化,且不能有效地抑制  $\text{NO}_x$  的排放量。因此,挡板式离心分离器已不能适应大容量机组对制粉系统的高要求,人们寄希望于旋转式煤粉分离器。

应用旋转分离器的前提是,所选择的破碎设备必须适合于细磨,由于 MPS 磨煤机研磨件的几何形状以及辊和盘的直接接触碾磨,可磨度为哈氏 30,这样很难磨的煤也是适合细磨的。旋转分离器固然在技术上较为复杂,但它不仅能细磨,而且适应性大,调节范围广,适应的煤种范围也大,对挥发分为 6%(可燃基)的无烟煤也是适用的<sup>[1]</sup>,可以认为旋转分离器是 MPS 磨磨制无烟煤,贫煤等低挥发分煤种的理想选择。

在我国,电厂中已运行的 MPS 磨煤机采用旋转煤粉分离器的例子还未见报导过,但国内的水泥厂已有引进的带旋转分离器的

收稿日期 1994-09-12

MPS磨机。例如,衡阳市白水泥厂的带桨叶式旋转分离器的MPS—180型生料磨。图1为桨叶式旋转分离器的原则性示意图。桨形叶片

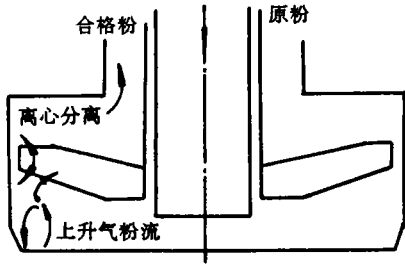


图1 桨叶式旋转分离器示意图

用螺钉紧固于旋转转子上,经过磨机粉碎后的物料随输粉气流一道进入分离器,被转动的分离器叶片带动旋转,载流气体中的颗粒在叶片产生的强大离心力作用下,粗细颗粒发生分离,粗颗粒由于质量大,受到的离心力也大,迅速移向分离器筒壁并返回磨盘被重新碾磨。合格的细粉则穿过叶片随气流一道通过出粉口进入一次风管。这种桨叶式旋转分离器在国外已成功用于电厂制粉系统中的MPS磨煤机上,他们的实验室结果表明<sup>[2]</sup>,这种分离器的分离效果在转动频率为70%,磨煤机出力为30 t/h时,煤粉细度为 $R_{90} = 12\%$ , $R_{200} < 1\%$ 。但是,这种分离器有它的不足之处,主要表现为:(1)粗颗粒的回落是沿壁滑回磨盘的,这将导致分离器与磨煤区之间出现太高的物料内循环量,不利于磨料层的形成;(2)国外的实验结果还表明,当 $R_{90} = 12\%$ 后,进一步提高转速,并不能再显著地提高煤粉细度。这对于要求煤粉细度极细,且要求最大可能减少煤粉中粗颗粒的场合也是欠佳的。

## 2 我国MPS磨煤机新型旋转煤粉分离器的研究

目前,国外MPS磨煤机旋转煤粉分离器已经经历了几代的发展,其型式也由叶轮式发展到了静动叶片结合的组合式旋转煤粉分离器<sup>[3,4,5]</sup>,我国新型旋转煤粉分离器的研究必须在国外已有经验基础上高起点地进行,克服现有型式的旋转煤粉分离器的一些缺陷和不足,在指标和性能上达到甚至超过国外的先进水平。

### 2.1 新型旋转煤粉分离器的设计原则

档板式离心分离器的特点是都有一个能卸粗粉的内锥体,分离器分离出来的不合格煤粉颗粒能沿内锥体从中心返回磨盘被重新碾磨。对具有中心落煤管的MPS中速磨煤机而言,这种中心回粉方式使得被分离下来的粗颗粒与原煤一道返回磨盘,从而减少了磨料在磨煤机内的内循环量,改善了磨机内磨料层的形成条件,并减轻了对磨煤机的总压损。这种中心回粉方式值得借鉴。

档板式离心分离器中,颗粒的分离是通过重力和速度以及切向档板区域内的绕流而实现的。旋转分离器中,对细度起主要影响的除了在档板式离心分离器中的重力和速度外,还由于叶片的旋转使离心力场得以加强,从而分离作用增强了。研究新型粗粉分离器应同时吸收两者的优点。另一方面,我们在从事燃烧器的研究过程中发现,当煤粉气流通过不良流线体后粗煤粉颗粒由于本身的惯性将保持近似直线运动,使其运动轨迹与气体流线产生偏离而发生粉气分离<sup>[6]</sup>,从而有利于煤粉的着火与燃烧。这一现象提醒我们,在旋转煤粉分离器的研制过程中,我们可以利用粗细颗粒分流这一原理,合理地设计旋转转子适当的叶片形状和安装角度,利用碰撞原理将粗颗粒更有效地分离出去。

我们将上述思想应用到旋转煤粉分离器的结构设计中,目的是更有效和更充分地利用离心分离和碰撞分离原理来进行粗细粉

的分离,以便获得好的分离效果。下面详细分析基于这一思想而设计的新型静动叶片结合的组合式旋转煤粉分离器的设计原理。

图2(a)为组合式旋转煤粉分离器内颗粒受力分析示意图。从磨煤机出来的气粉流进入分离器区域,在通过静止的导流片后气粉混合物发生旋转,叶片轮旋转方向与导流方向相反。因此,在叶片轮旋转作用下,细颗粒由于质量小而改变原来的旋转方向,发生旋流并随叶片运动方向继续运动,与气流一道

穿过旋转叶片轮,进入输粉管路。粗颗粒则由于质量大而具有较大的惯性,不易改变原来的运行方向,将以近似直线运动方向继续前进,与叶片碰撞而被分离出去。另一方面,进入叶片间的颗粒,随着叶片轮的旋转在叶片间作圆周运动,此时颗粒同时受到气流曳引产生的向心力  $F_n$  和旋转叶片产生的离心力  $F_c$  的作用。当颗粒所具有的离心力  $F_c$  大于所受到的曳引阻力  $F_n$  时,颗粒将向外壁飞逸,从气粉流中分离出去。

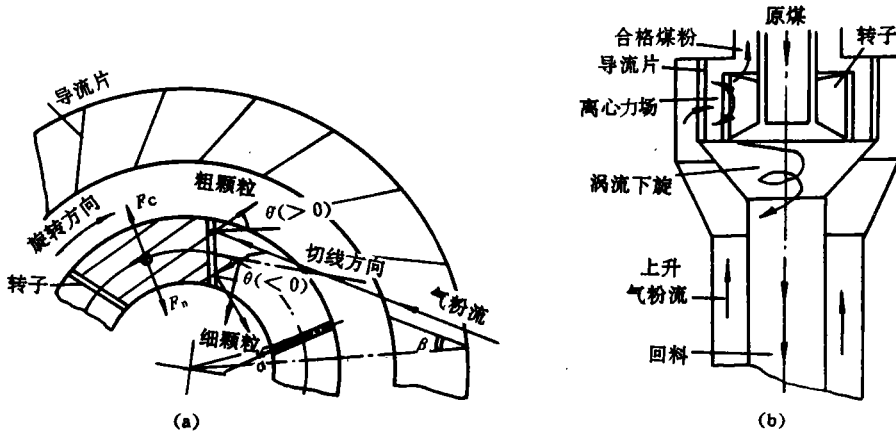


图2 新型静动叶结合组合式旋转煤粉分离器示意图  
(a) 颗粒受力分析图; (b) 分离器本体示意图

进一步的分析表明,颗粒所受到的离心力为:

$$F_c = \frac{\pi}{6} d_p^3 (\rho' - \rho'') \frac{V_t'^2}{R} \propto d_p^3 V_t'^2 \quad (1)$$

气流对颗粒产生的曳引力为:

$$F_n = C_D \frac{\pi}{4} d_p^2 \rho'' \frac{V_r'^2}{2} \propto d_p V_r'^2 \quad (2)$$

以上两式中,  $d_p$ —颗粒直径;  $\rho'$ ,  $\rho''$ —颗粒与气流的密度;  $V_t'$ —分离器叶片切向速度;  $V_r'$ —气流径向速度;  $C_D$ —阻力系数;  $R$ —分离器叶片的旋转半径。

从式(1)和式(2)可以看出,颗粒越粗,或者转速越高,则  $F_c$  越大;风量越小,  $V_t'$  越小,  $F_n$  越小,在这种情况下,分离效果越好。

颗粒与叶片相撞过程中(图2(a)),当碰撞作用发生在沿运动方向转子叶片节圆切线的外侧( $\theta > 0$ )时,颗粒将被旋转分离出去;而当碰撞作用发生在沿运行方向转子叶片节圆切线的内侧( $\theta < 0$ )时,则颗粒为合格产品,将与输粉气流一道穿过叶片由出粉口排入一次风管。因此,旋转叶片的安装角  $\alpha$  的选取,对于

分离器的分离效果有直接的影响。就影响分离性能而言,最佳  $\alpha$  角度可以由理论推导得出,推导的依据是当转子叶片安装角处于最佳位置时,颗粒与叶片碰撞(指  $\theta > 0$  的颗粒)后,其径向速度矢量应为最小。不过,分离器转子叶片处于这个位置时,叶片的磨损是最严重的。因此,实际设计中应顾及叶片的磨损,稍稍偏离最佳安装位置,偏离的程度应由实验确定。在分离性能良好的前提下,冲刷磨损有明显的改善。导向叶片的安装角  $\beta$  也是影响分离性能的重要因素,设计中也应顾及颗粒经过导流片后的流动型线问题。

### 2.2 新型静动叶片结合的组合式旋转煤粉分离器结构设计

根据上述思想,我们设计了同时吸收档板式分离器及浆叶式旋转分离器优点的静动叶片结合的组合式旋转煤粉分离器。图 2(b) 为组合式旋转分离器本体部分模化试验装置结构示意图。整个分离器本体由固定的导向叶片、旋转的动叶片以及回粉锥三部分组成。叶片形状为板状直片条,叶片尺寸和数量的确定须按模化试验结果选定。开始时可按通常经验设计,然后由试验结果进行优选。我们的试验结果表明,叶片尺寸和数量都有一个最佳值,偏离这一最佳值后,则分离器某一性能的改善是以其它性能指标的下降为代价。例如,叶片太长时,则气粉流在分离区停留时间长,出口煤粉细度  $R_{90}$  有一定程度的下降,但却使得分离器出力和效率明显下降,因此使用分离器的经济性降低。我们的组合式分离器的结构尺寸是在考虑了这些因素之后才确定的。

## 3 试验验证

模化试验验证的目的主要是为了验证静动叶结合的方式及转子旋转的方向是否合

理,关于组合式分离器分离特性的试验研究将另文介绍。

模化试验系统如图 3 所示。分离器转子由调速电机带动,进风口处装设笛形管测量系统风量,阻力由自行设计的、不易堵灰的全压管测量。整个系统在负压下运行,各处接头用橡胶密封圈加密封胶带封牢,以消除漏风对试验结果的影响。分离器出口的合格煤粉由大型旋风沉降室收集。所有非标准测量元件均须经过标定,得出修正系数。模拟介质为链条炉除尘器的干灰,其粒度分布为  $R_{200} = 19\%$ ,  $R_{125} = 35\%$ ,  $R_{105} = 41\%$ ,  $R_{97} = 44.7\%$ ,  $R_{88} = 48\%$ ,  $R_{74} = 54\%$ 。

首先将动、静叶片按图 2(a) 所示结构安装好。当转子顺时针方向旋转(图 2(a) 所标旋转方向)时,颗粒与动叶片间存在碰撞分离作用。当将带动转子旋转的调速电机三相

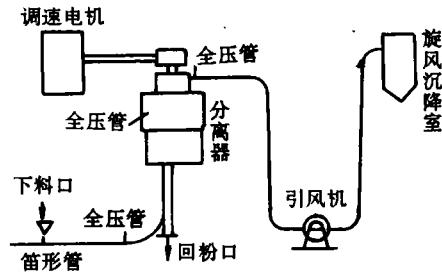


图 3 试验系统布置示意图

电源反接时,转子按逆时针方向旋转,此时转子与颗粒间碰撞作用几乎为零,转子的旋转使气粉流的旋转加速,因此只存在离心分离作用。表 1 为按图 2(a) 所示动静叶片安装方向、改变转子旋转方向条件下所得的试验结果。从表 1 的试验数据可以看出,当转子顺时针方向旋转时,在碰撞分离和旋流离心分离同时作用下,粗颗粒飞逸出分离区而被分离出去,回粉量多且粗,在 90% 转速时,循环倍

率为 1.96,分离器出力较大,出口粉细度  $R_{90} < 10\%$ ,均匀性指数大于 1.0,说明分离效果好,回粉中,不合格粉所占比例很大,经筛分,回粉  $R_{90} > 90\%$ , $R_{200} > 58\%$ ,所有这些指标都说明前述设计思想是合理的。作为对比,表 1 的数据也告诉我们,当转子逆时针方向旋转时,转子旋转方向与气流旋转方向一致,叶片的作用仅仅是使旋流离心力有所加强,叶片对颗粒的碰撞分离几乎不存在,分离出来的回粉量较少,且含有较多的细粉,这是不合理的。同时,这种情况下,分离器出口煤粉细度竟达  $R_{90} = 15\%$ ,显然达不到设计要求。可见,静动叶结合组合式旋转分离器中碰撞分离器中碰撞分离作用取得好的分离效果。

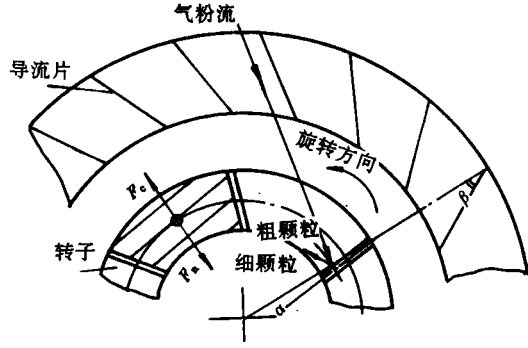


图 4 静动叶片安装方向相同时颗粒受力分析图

表 1 静动叶按图 2(a) 所示方向安装时试验结果

项目	转子按图 2(a) 方向(顺时针)旋转			转子旋转方向与图 2(a) 方向相反		
	50	70	90	50	70	90
转速(%)	50	70	90	50	70	90
阻力(Pa)	950	1200	1500	630	720	890
回粉 $R_{90}(\%)$	92	95	94	80	78	84
出口粉 $R_{90}(\%)$	20	10	4	32	20	15
均匀性指数	1.3	1.5	1.8	1.2	1.3	1.25
循环倍率	1.64	1.81	1.96	1.5	1.94	1.92

为考察导流片的导向作用,我们改变导流片的安装方向,使静动叶片安装方向一致。转子逆时针方向旋转时,其受力分析如图 4 所示。在同样结构条件下改变转子旋转方向,两种情况下试验结果如表 2 所示。表 2 所得试验结果的试验工况同表 1。从表 2 可以看出,转子顺时针方向旋转时,旋转转子不存在对颗粒的碰撞分离作用,此时气粉流在旋流

离心力作用下粗细颗粒发生分离,结果表明,在高转速情况下,能取得理想的分离效果,但转速高时,功耗大。转子逆时针方向旋转时(图 4 所示旋转方向)时,颗粒与叶片间存在碰撞分离作用。此时的碰撞分离作用与图 2(a) 情况不同,从图 4 所示的颗粒运行轨迹可以看出,不论颗粒粗细,与叶片碰撞后都被撞进了叶片空间而穿过叶片被气流带出了分离器而达不到将粗颗粒分离出去的目的。因此,此时的分离效果很差,几乎没有什么效果,从表 2 可以看出,此时的回粉虽然很粗,量却很少。从表 1 和表 2 的对比结果可见,高转速时,离心力的作用占主导地位。而低转速时,碰撞分离作用明显。安装方向确定好后,应该合理地选取安装角度。具体的  $\alpha$  与  $\beta$  角度的选取,需根据物料的特性,按理论推导出的最佳角度,再通过对比试验综合确定。正确的导流片安装方向是取得好的分离效果的关键。比较表 1 和表 2,按图 2 设计分离器转子时,能取得好的分离效果,但阻力较大。而按图 4 设计转子时,当旋转方向与图 4 相反时,也能在高转速时取得好的分离效果,且阻力较小。具体设计须进行综合经济比较。

表 2 静动叶按图 4 所示方向安装  
时试验结果(工况同表 1)

项目	转子按图 4 方向 (逆时针)旋转			转子旋转方向与 图 4 方向相反		
	50	70	90	50	70	90
转速(%)	50	70	90	50	70	90
阻力(Pa)	750	900	1200	450	480	520
回粉 $R_{90}$ (%)	98	97	94	96	94	90
出口粉 $R_{90}$ (%)	45	40	34	34	16	8
均匀性指数	1.1	1.15	1.2	1.2	1.4	1.6
循环倍率	1.06	1.16	1.22	1.34	1.61	1.93

### 4 结 论

1 本文提出了组合式旋转煤粉分离器的设计思想,所进行的试验表明,合理的静动叶片安装方向和正确的转子旋转方向、旋转速度以及适宜的静动叶片安装角度和叶片宽度是组合式旋转分离器取得好的分离效果的关键。

2 组合式旋转煤粉分离器是一种配 MPS 中速磨煤机的新型粗粉分离器,它分离效果好,能最有效地减少合格煤粉中的粗颗粒,从而为 MPS 中速磨煤机的广泛应用提供

了广阔的前景。

3 在实际工程应用中,分离器转子安装在空心轴上,轴承可采用四点支承方式,可用润滑脂和稀油润滑,并由润滑油循环回路提供润滑。当磨煤机在正压状态工作时,为防止漏粉,保护轴承,应在落煤管与转子之间通入密封空气,密封空气系统由具有空气密封槽的可再润滑的填料圈组成。使用旋转分离器时还应考虑安装空间的要求,一般采用垂直吊装方式,这样维修迅速,所需场地最小。

### 参 考 文 献

- 1 Dibowski G, Kieffer D, Knoll H. Babcock-Walzenschüsselmühlen mit flügelsichtern für steinkohle. Babcock-Mitteilung Nr. 163
- 2 Strauß K, Thelen F. Brennstoffaufbereitung als beitrage zur NO<sub>x</sub>-Minderung. VGB Kraftwerkstechnik, 1989, 69 (2), 207~211
- 3 Heitmüller W, Schuster H. NO<sub>x</sub>-arme kohlenstaubfeuerungen und deren komponenten. Babcock-Mitteilung Nr. 189 Stand: Frühjahr 1988
- 4 Schüller U. Stand der Mahltechnik in kraftwerken. VGB Kraftwerkstechnik, 1990, 70(7), 577~595
- 5 Albrecht W. NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Kohlenstaubflammen. VGB Kraftwerkstechnik, 1992, 72(7), 614~621
- 6 钱壬章,郑远平,陈维汉,陈鸿恩. 粉煤燃烧新概念——粉气分离. 工程热物理学报, 1991, 12(3), 320~323

作者简介: 孔文俊,男,1968年3月生,1987年9月考入华中理工大学动力系电厂热能动力工程及其自动化专业学习,1991年7月本科毕业并取得学士学位。1991年9月考入华中理工大学研究生院电厂热能动力工程及其自动化专业学习,1993年9月直攻博士,师从程尚模教授,将于1996年夏季博士毕业并取得博士学位。  
通讯地址:武汉华中理工大学动力系,430074

欢 迎 刊 登 广 告

PFBC 联合循环中燃气轮机的变工况性能 = The Off-design Performance of a Gas Turbine in a PFBC Combined Cycle [刊, 中]/Zhao Shihang, Xu Fusheng (Tsinghua University), Chen Xiaoping (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(2): 65~69

With a pressurized fluidized bed combustion combined cycle (PFBC-CC) serving as an example set up was a mathematical model for the off-design performance calculation of a pressurized fluidized bed boiler and gas turbine system. In addition, an analysis was conducted of the off-design performance of the gas turbine in the PFBC system. **Key words:** pressurized fluidized bed, PFB boiler, gas turbine, off-design performance

双室内循环流化床煤气化系统的冷态实验研究 = A Cold-state Experimental Study on a Gasifier with Two Fluidized Beds [刊, 中]/Li Zhi, Xu Guoliang, Qian Renzhang (Huazhong University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(2): 70~74

This paper describes the setting-up of a cold-state model of a gasifier with two fluidized beds. An experimental study was performed of the two major factors affecting the operation of the gasifier, i. e. particle circulation technique between the two beds and fluidized bed expansion characteristics. As a result, obtained were the characteristics of the particle circulation between the two beds and the fluidized bed expansion under different operating conditions. Also analyzed were the various factors which influence the gasifier operation, such as fluidization speed, bed static height, auxiliary gas flow rate, etc. **Key words:** twin fluidized bed, coal gasification, bed expansion, particle circulation

MPS 磨新型静动叶结合组合式旋转煤粉分离器 = A Study on a New Type of Pulverized Coal Classifier with Static Flaps and Rotating Blades for a MPS Mill [刊/中]/Kong Wenjun, Luan Qingfu, Zhang Minchun, Cheng Shangmo, Han Caiyuan (Huazhong University of Science & Technology), He Jishan, Yan Peihong (Bei Jing Electrical Power Equipment General Works) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(2): 75~80

Described in this paper is a new concept for designing a rotary type pulverized coal classifier, featuring the combination of static flaps and rotating blades. Model tests of the classifier with different mounting directions of static and rotary blades have been completed. The test results justify the design principle adopted, thus providing a theoretical basis for the development of a new type of classifier, **Key words:** pulverized coal preparation, rotary type classifier, static flaps and rotating blades, pulverized coal fineness

稳燃腔煤粉燃烧器对不同煤种燃烧稳定性的研究 = A Study of the Combustion Stability of Pulverized Coal Burners with a Combustion stabilization Cavity When Firing Various Kinds of Coals [刊/中]/Chen Gang, Qiu Jihua, Zhang Zhiguo, Li Fujin, Sun Xuexin (Huazhong University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(2): 81~84

With the help of a three-dimensional particle dynamic analyzer a measurement was performed of the return flow zone flow field of a pulverized coal burner equipped with a combustion stabilization cavity and a comparison was made of the return flow zone characteristics at various locations of a bluff body. The authors practice has shown that through an adjustment of the location of the bluff body and the change of some structural dimensions of the abovesited burner it is possible to achieve a significant improvement of the combustion stability when burning various kinds of coals. **Key words:** boiler, pulverized coal burner with a combustion stabilization cavity, coal property variation

高浓度水煤浆流动的滑移现象及其管内流动特性的影响 = The Slip Phenomenon of Coal Water Mixture