

文章编号:0253-9993(2013)02-0336-06

## 基于液相调节的除尘器阻力特性

李小川<sup>1,2</sup>, 胡亚非<sup>1</sup>, 张 巍<sup>1</sup>, 陈明军<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学 化工学院, 江苏 徐州 221008; 2. 徐州众凯机电设备制造有限公司, 江苏 徐州 221004)

**摘 要:**以节流型自激式水幕除尘器为研究对象,通过对节流强度 $\alpha$ 、总阻力损失 $h$ 和节流液位差 $\Delta H$ 等的研究,探讨了液相调节作用下除尘器的阻力特性,得出除尘器 $\alpha$ 值与气体流速 $v$ 呈线性关系, $\alpha-v$ 曲线斜率受除尘器内部设备阻力的影响,阻力系数越大,斜率越小;除尘器 $h-v$ 曲线是直线和抛物线的组合体,当初始节流强度 $\alpha_0 > 0$ 且 $v$ 较小时,体现出明显的抛物线特性,当 $\alpha_0 < 0$ 或 $\alpha_0 > 0$ 且 $v$ 较大时, $h-v$ 曲线体现出直线特性;液相通过自身流动性来改变气液两相的受力平衡,达到调节除尘器阻力的目的。

**关键词:**除尘器;节流强度;总阻力损失;节流液位差;液相流动性

中图分类号:TD714.4 文献标志码:A

## Resistance characteristics of dust separator based on liquid phase adjustment

LI Xiao-chuan<sup>1,2</sup>, HU Ya-fei<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, CHEN Ming-jun<sup>1</sup>

(1. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Xuzhou Zhongkai Mechanical & Electric Equipment Co., Ltd., Xuzhou 221004, China)

**Abstract:** Throttle-type self-excitation dust separator was chosen as the study object. Through the study of dust separator's throttle strength value  $\alpha$ , total pressure loss value  $h$  and throttle liquid-level difference value  $\Delta H$ , the dust separator resistance characteristics, based on adjustment of liquid phase, was explored. The primary conclusions are as follows: there is linear relationship between  $\alpha$  value and gas velocity value  $v$ . And the slope of  $\alpha-v$  curve is affected by the equipment resistance coefficient in dust separator. The slope value reduces with the increase of equipment resistance value. The dust separator  $h-v$  curve is made up of straight line and parabola. When the initial throttle strength value  $\alpha_0 > 0$  and the gas velocity  $v$  is on the small side, the  $h-v$  curve exhibits a parabolic distribution obviously. Whereas if the initial throttle strength value  $\alpha_0 < 0$  or  $\alpha_0 > 0$  and the gas velocity  $v$  is on the great side, the  $h-v$  curve exhibits a linear distribution. The equilibrium condition of force is changed by the self-fluidity of liquid-phase; as the result, the resistance characteristics of dust separator are adjusted by that.

**Key words:** dust separator; throttle strength; total pressure loss; throttle liquid-level difference; liquid-phase fluidity

湿式除尘器具有较好的除尘效果,在矿物开采、加工、利用等高产生尘环节应用极为广泛<sup>[1-5]</sup>。蒋仲安等<sup>[6-7]</sup>从气流冲击液面产生凹液面的深度为切入点研究了气流量与产生液滴量的关系,并对脱水器性能进行了研究。陈维民等<sup>[8]</sup>通过实验得出了矿用湿式除尘器阻力与速度成线性关系的结论。两相流动阻

力的研究集中在化工领域,如液相表面特性改变及复杂通道情况下气液两相流摩擦阻力特性<sup>[9-12]</sup>,气液分层流动问题<sup>[13-14]</sup>,及气液两相流动的数值计算等<sup>[15-17]</sup>。由于除尘器内部气液两相流动的随机性和复杂性,其研究方法与上述内容有较大区别,但气相压力和液相液位差等物理参数在工况确定的情况下

也具有一定的规律性,或能客观反映除尘器内部阻力变化情况。随着计算机多点实时连续测试和变频调速技术的发展,除尘器性能特性测试具备了更加宽泛的试验条件,笔者已对湿式除尘器内部压力分布、气液耦合特性和工业现场的应用等进行了研究<sup>[18-20]</sup>,在此基础上选择应用于某输煤皮带转载点的节流型自激式水幕除尘器为对象,通过对除尘器节流强度 $\alpha$ 、总阻力损失 $h$ 和节流液位差 $\Delta H$ 等随气体流速的变化关系进行研究,以期探讨液相流动性对除尘器阻力特性的调节作用,对湿式除尘器阻力特性的研究进行扩展与补充。

## 1 除尘器原理及阻力特性

节流型自激式水幕除尘器结构原理如图1所示,含尘气流在通风机吸力作用下由进气口流入除尘器,气流经导流板引导至节流板末端完成加速,在节流口对除尘液面形成冲击,产生高速运动的除尘液滴,大量液滴以一定角度向接触腔运动,形成除尘水幕,捕捉固相粉尘,最后清洁气体经排气口排出。通过改变水床高度调节节流口初始过流面积,采用多页栅脱水器降低排气口液滴夹带量。

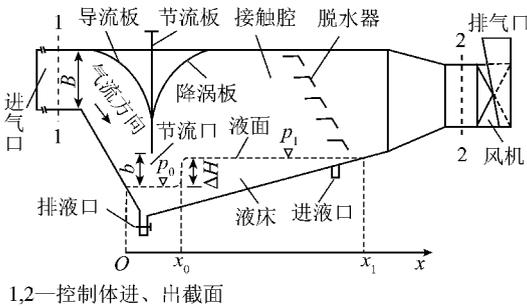


图1 节流型自激式水幕除尘器结构

Fig. 1 Structure chart of the throttle-type self-excitation dust separator

### 1.1 节流强度

节流强度是节流口加速含尘气流能力的度量<sup>[19]</sup>,用除尘器入口过流面积 $S(S=BL)$ 与节流板末端所在的过流面积 $s(s=bL)$ 表示,即

$$\alpha = (S - s)/S = (B - b)/B \quad (1)$$

其中, $L$ 为除尘器宽度,m; $B$ 为进气口高度,m; $b$ 为节流板至节流口液面的垂直高度(图1),m。 $b$ 随除尘器流量的变化而变化,当系统运行工况确定时, $b$ 值相对稳定,只在某一较小范围内波动,通过节流口观察窗显示的液位高度的均值可得 $b$ 值,除尘器进气速度为0时的节流强度记为初始节流强度 $\alpha_0$ ,此时节流板竖直截面的高度记为初始过流高度 $b_0$ ,当液位超过节流板最低点时 $b$ 为负值。

### 1.2 除尘器阻力特性

除尘器通过节流板将低速气流加速,实现静压能与动压能的相互转换,带来很大的气相压头损失 $h_p$ ,此外脱水器阻力 $h_T$ 和除尘器入口局部阻力 $h_f$ 等共同构成除尘器总阻力损失 $h$ ,即

$$h = h_p + h_T + h_f \quad (2)$$

气流静压能和动压能随过流面积的变化而相互转换,某选定控制体阻力损失需用全压差进行计算。

$$h_i = \left( P_{i1} + \frac{\rho v_{i1}^2}{2} \right) - \left( P_{i2} + \frac{\rho v_{i2}^2}{2} \right) \quad (3)$$

其中, $h_i$ 为某选定控制体阻力损失,Pa; $P_{i1}, P_{i2}$ 分别为控制体进、出截面的静压力,Pa; $v_{i1}, v_{i2}$ 分别为控制体进、出截面的气流均速,m/s; $\rho$ 为气体密度,kg/m<sup>3</sup>,这里视为不可压缩流体。控制体阻力损失也可用阻力系数 $\xi_i$ 和流体速度 $v_i$ 表示。

$$h_i = \xi_i \frac{\rho v_i^2}{2} \quad (4)$$

除尘器内部气流场非常复杂, $h_f$ 可选择式(3)进行准确计算。由于节流口处液面随入口气流速度的变化而变化,导致 $\alpha$ 值发生改变,节流阻力 $h_p$ 不能简单用式(3),(4)表示。文献[8]从气液比出发推导出除尘器阻力与风量近似成正比,该研究将阻力主要影响因素归结于气液比,但由于除尘器结构、风量、液位等因素直接影响气液比,同时气液比的准确测试较为困难,因此对 $h_p$ 影响因素的研究还有待加强。由于液滴的夹带直接影响脱水器的阻力系数,因此 $h_T$ 也不能简单用式(4)进行计算。

### 1.3 节流液位差

除尘器运行时由于节流作用使节流口液面与除尘腔液面产生一定的液位差,定义为节流液位差 $\Delta H$ (图1)。通过分析可知

$$\Delta H = \frac{1}{\gamma} (\bar{p}_0 - \bar{p}_1) = \frac{1}{\gamma} \left( \frac{1}{x_0} \int_0^{x_0} p_0 dx - \frac{1}{x_1 - x_0} \int_{x_0}^{x_1} p_1 dx \right) \quad (5)$$

式中, $p_0, p_1$ 分别为节流口和除尘腔液面上方的静压力; $\bar{p}_0, \bar{p}_1$ 分别为静压力均值,Pa; $x_0, x_1$ 分别为节流口和除尘腔液面在 $x$ 方向的最大刻度,m; $dx$ 为微分量; $\gamma = \rho g$ ,其中, $g$ 为重力加速度,kg/s<sup>2</sup>。

由式(5)可知, $\Delta H$ 的大小等于节流产生的气相总阻力损失 $h_p$ ,也包括气流激发液滴等动量传递活动产生的阻力能损失。

## 2 实验方案与数据

除尘器长×入口宽×入口高为2.0 m×0.4 m×0.2 m,节流板末端距除尘腔最低点130 mm,入口设

置  $\phi 200$  mm 的均速装置和测速仪,用平均流速法测量除尘器入口流速(本文气体流速皆指入口流速),微差压传感器测量除尘器 1-1,2-2 截面处的静压力,通过固定在节流口前后两侧的刻度尺测量节流液位差  $\Delta H$ ,用变频器调节除尘器流速,并设置补水过程对实验中丢失的水分进行补充,保证实验的准确性。

实验 1:为了解空气介质条件下,除尘器阻力随气体流速变化的特性,在除尘腔底部铺设不同厚度的光滑泡沫板代替液床,保持节流板高度为 130 mm,测量有、无脱水器情况下不同  $b_0$  值时除尘器 1-1,2-2 截面之间的总阻力损失-气体流速的关系( $h-v$ ),如图 2 所示,除尘器阻力系数变化情况见表 1。

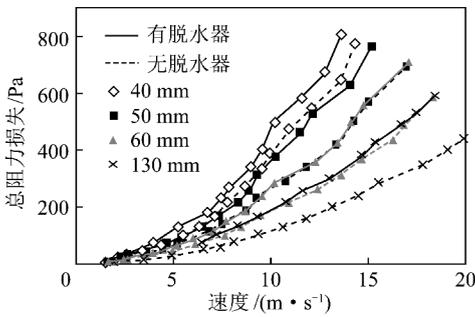


图 2 空气介质中,不同  $b_0$  时除尘器的  $h-v$  曲线

Fig. 2 Dust separator  $h-v$  curves in different  $b_0$  value on air medium

表 1 不同  $\alpha$  值时,有、无脱水器的情况下除尘器阻力系数  
Table 1 Dust separator resistance coefficient on different  $\alpha$  value and with or without dehydrator

$b_0 /$ mm	$\alpha$	总阻力系数 $\xi$		脱水器阻 力系数 $\xi_T$	有脱水器 时 $\xi/\xi_T$
		有脱水器	无脱水器		
130	0.35	2.877	1.74	1.137	2.53
80	0.60	3.349			2.89*
60	0.70	3.994	2.845	1.149	3.48
50	0.75	5.135	3.938	1.197	4.29
40	0.80	6.875	5.737	1.138	6.04

注: \* 为估计值,以  $\xi_T = 1.16$  计算。

实验 2:为了解气-水介质条件下,除尘器阻力随气体流速变化的特性,保持节流板高度为 130 mm,通过改变  $b_0$  值调节  $\alpha_0$  值,在有、无脱水器情况下测量除尘器节流强度-气流速度关系( $\alpha-v$ )和  $h-v$  关系,如图 3,4 所示。

### 3 结果分析与讨论

#### 3.1 空气介质条件下除尘器阻力特性

由图 2 可知,空气介质条件下随气体流速的增大,除尘器  $h-v$  关系满足式(4)(抛物线特性),且  $\alpha$

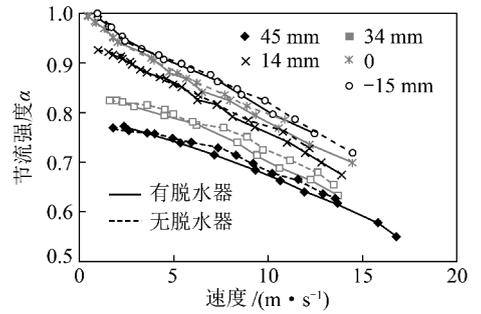
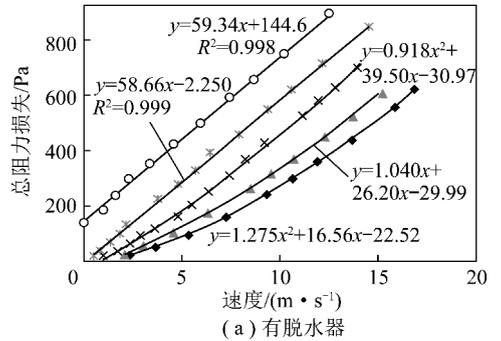
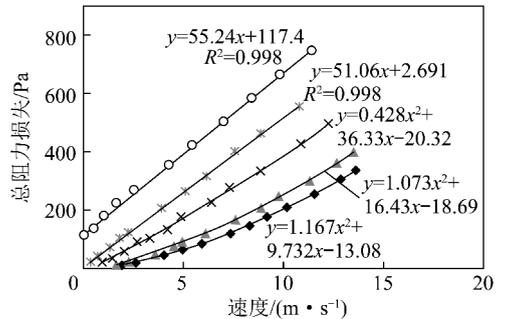


图 3 气-水介质中,不同  $b_0$  时的  $\alpha-v$  关系

Fig. 3 Dust separator  $\alpha-v$  curves in different  $b_0$  value on air-water medium



(a) 有脱水器



(b) 无脱水器

◆ 45 mm ▲ 34 mm × 14 mm \* 0 ○ -15 mm

图 4 气-水介质中,不同  $b_0$  时除尘器的  $h-v$  曲线

Fig. 4 Dust separator  $h-v$  curves in different  $b_0$  value on air-water medium

越大,曲线开口越小,相同  $\alpha$  值时,无脱水器的曲线开口较有脱水器时大,说明脱水器增加了除尘器的总阻力。

在空气介质条件下除尘器阻力的  $h_p, h_T, h_f$  项满足式(4),对同一入口的参考速度,总阻力系数  $\xi$  为各阻力系数项之和,由此可用有、无脱水器情况下的总阻力系数之差计算脱水器阻力系数  $\xi_T$ 。由表 1 可以看出,除尘器总阻力系数  $\xi$  随着  $\alpha$  值的增大而增大,而脱水器阻力系数  $\xi_T$  基本不变,平均值为 1.160。

与脱水器阻力系数不变相比,随着  $\alpha$  的变化,除尘器总阻力系数  $\xi$  变化很大,当  $\alpha = 0.35$  时,  $\xi/\xi_T = 2.53$ ,而当  $\alpha = 0.80$  时,  $\xi/\xi_T = 6.04$ ,可见,在空气介质条件下,节流阻力是影响除尘器总阻力的最主要因素。

### 3.2 气-水介质条件下除尘器阻力特性及影响因素

在气-水介质条件下,除尘器阻力除受本身结构的影响外,还与气体流速、液相流动性和激发液滴量等因素有关,这里着重讨论结构以外的影响因素。

#### 3.2.1 节流强度的影响因素

由3.1节可知,节流强度直接影响除尘器总阻力。观察发现,在气-水介质条件下, $\Delta H$ 值随入口流速的增加而增大,而 $\alpha$ 值则随气体流速的增加而下降。如图3所示,当 $v < 16.5$  m/s时,有、无脱水器 $\alpha-v$ 曲线的截距非常接近,有脱水器时斜率较无脱水器时小,但二者的 $\alpha-v$ 曲线都能用近似线性关系表示,即

$$\alpha = -kv + \alpha_0 \quad (6)$$

其中, $k$ 为与除尘器结构特点有关的系数,s/m。当有脱水器时, $k$ 值较大;无脱水器时, $k$ 值较小。

由 $\alpha-v$ 曲线的线性关系可得:在除尘器结构确定的情况下, $\alpha$ 值的变化只与气体入口速度 $v$ 有关,即在气流对液面冲击速度一定时,节流强度保持不变;而由 $\alpha-v$ 曲线斜率的差异性可以得出:当除尘器内部阻力设备发生变化时, $\alpha-v$ 曲线的斜率将随之变化,设备阻力系数越大, $\alpha-v$ 曲线的斜率越小。

#### 3.2.2 气-水介质条件下除尘器阻力特性

在气-水介质条件下,有、无脱水器时除尘器 $h-v$ 曲线相似,但与空气介质条件下有很大不同。由图4可知,当 $b_0$ 较大时, $\alpha_0$ 较小, $h-v$ 曲线体现出二次曲线关系,随着 $b_0$ 减小, $\alpha$ 值随之增大,二次关系逐渐削弱,线性关系逐渐凸现,由曲线拟合数据可知,当 $b_0 = 45$  mm时,有、无脱水器时拟合曲线二次项系数分别为1.275和1.167;而当 $b_0 = 0$ 时,有、无脱水器时拟合曲线的线性相关度都高达0.998,随着 $b_0$ 进一步降低到-15 mm(此时属于水浴除尘),拟合曲线线性相关度同样高达0.998。这一现象与文献[8]中所述 $h-v$ 曲线是直线型有所不同。

在气-水介质条件下,除尘腔中气液比将随气体流速的变化而变化,且液相流动规律复杂,直接测量气液比很难。根据3.2.1节中 $\alpha$ 仅与气体流速有关的结论,现假设在相同气体流速的情况下,除尘器节流阻力和液滴激发量保持不变,则可将图4中有、无脱水器的 $h-v$ 拟合曲线相减,得到一组曲线来间接反映气-水介质条件下脱水器阻力 $h_T$ 的情况,如图5所示。由图5可知,不同 $b_0$ 的情况下, $h_T$ 随气体流速近似呈线性增长。

#### 3.2.3 液相流动性对除尘器阻力的影响

液相流动性是指液体在外加力场作用下引起的宏观运动,除尘器运行时,在节流口前后液面分别加

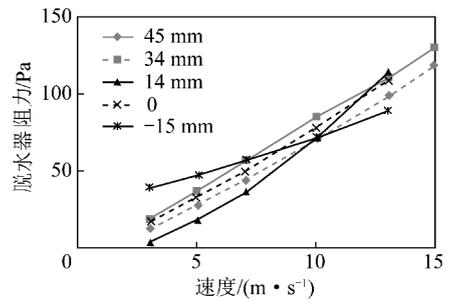


图5 气-水介质中,不同 $b_0$ 时脱水器的 $h_T-v$ 曲线

Fig. 5 Dehydrator  $h_T-v$  curves in different  $b_0$  value on air-water medium

载了大小不同的静压力场,导致节流液位差 $\Delta H$ 的存在,且随着气体流速的增大, $\Delta H$ 不断增大。

$\Delta H$ 的变化导致 $\alpha$ 值发生改变,而 $\alpha$ 值又直接影响除尘器总阻力系数,即 $\Delta H$ 的变化必然引起除尘器阻力损失规律的变化。由图4可以看出,除尘器 $h-v$ 曲线由气体介质情况下的二次曲线变为气-水介质条件下的二次曲线和一次曲线的组合体。在气-水介质条件下,当 $\alpha_0$ 较小时,气体过流面积较大,与液相接触量较少,气-水两相流流型为层状流,气相阻力呈现出类似气体流过固体边壁的特性,与空气介质时相近,特别是在气体流速较小的情况下这种特性体现较为明显;当速度增大到一定值后,除尘器 $h-v$ 曲线体现出直线特性,图4(a)中,当速度 $v$ 分别大于7.2,10.5和11.8 m/s时, $b_0 = 45, 34$ 和14 mm曲线的斜率都有较大程度的变小,体现出直线特性,在图4(b)中也有同样的趋势。

当 $\alpha_0$ 增大时,气体过流面积减小,与液相接触几率增大,相同速度的激发液滴量明显增大,气-水两相流流型为波状流、弹状流甚至搅混流,为保证速度 $v$ 恒定,除尘风机出力增加的同时,液相通过增大 $\Delta H$ 来降低 $\alpha$ 值,此时,气相静压升高,动压降低,除尘器的总阻力损失升高。与不增大 $\Delta H$ 值相比,增大 $\Delta H$ 值时液滴激发量减小,节流口的局部阻力损失有所下降,这里节省的部分能量一方面用来维持速度 $v$ ,另一方面用于抵消因 $\alpha_0$ 增大引起的液滴增加和由此带来的脱水器等阻力的增加,图4中 $b_0 = 0$ 和 $b_0 = -15$  mm两曲线的直线特性说明了这一点。

二次曲线特性随 $b_0$ 减小逐渐弱化的现象是由液相流动性的影响范围决定的。当 $\alpha_0$ 和 $v$ 都较小时,气体流过液相表面对液相的作用力较小,液体流动性体现微弱, $\Delta H$ 改变量小, $h-v$ 曲线体现出二次曲线特性;当 $\alpha_0$ 较小、 $v$ 较大时,由于气体流速的增大,对液相表面作用力明显增大,液体流动性体现较为充分, $\Delta H$ 的改变增大, $h$ 中二次项特性所占比例随着一次

项的增加而减弱;而当  $b_0=0$  时(此时  $\alpha_0=0$ ),气相一开始就对液相产生作用,使液相流动性的调节作用得以体现,由平衡原理可知,只有当除尘器阻力  $h$  与其主导因素  $v$  呈直线关系时,才能使  $\Delta H$  达到相对稳定的状态,所以  $h-v$  曲线呈直线型。

由图5中脱水器  $h_T-v$  曲线的线性关系可知,当气体流速增加时,如  $\Delta H$  不发生改变,除尘器总的阻力损失则按二次关系增长,但  $\Delta H$  与流速达不到线性平衡时,必然借助自身的流动性使  $\Delta H$  增大,此时节流口处局部阻力损失通过减小气相动压和降低液滴激发量而降低,能量因此向脱水器等其他设备有所转移,用以增加脱水器静压,维持气流的通过速率。由于脱水器的存在,使气液两相平衡点发生转移,式(6)中  $k$  值大小变化的原因就得到了进一步证实。这一结论为除尘器的整体设计特别是除尘风机流量和压力等参数的选择提供了参考。

## 4 结 论

(1) 在空气介质条件下,除尘器  $h-v$  特性满足抛物线关系,并受节流强度  $\alpha$  影响,脱水器阻力系数  $\xi_T$  基本不变(约 1.160),而除尘器总阻力系数  $\xi$  与  $\xi_T$  的比值随  $\alpha$  值在 2.53~6.04( $\alpha=0.34\sim 0.80$ )。

(2) 除尘器结构确定时, $\alpha$  值与气流速度  $v$  具有较好的线性关系, $\alpha-v$  曲线的斜率在一定范围内受除尘器内部设备阻力大小的影响,阻力系数越大,斜率越小。

(3) 在气-水介质条件下,除尘器  $h-v$  特性是直线和抛物线的组合体。当  $\alpha_0$  较大、速度  $v$  较小时,体现出明显的抛物线特性;当  $\alpha_0<0$  或  $\alpha_0>0$  而速度  $v$  较大时,除尘器  $h-v$  曲线体现出了直线特性。

(4) 液相通过自身流动性来改变节流液位差  $\Delta H$ 、流型和液滴激发量等达到气液两相的受力平衡,从而完成调节除尘器阻力的目的,这对以往类似除尘器  $h-v$  曲线是直线特性的研究有所补充。

## 参考文献:

- [1] 刘建,姚海飞,魏传光,等.掘进工作面湿式离心除尘器的结构优化及数值模拟[J].煤炭学报,2010,35(3):424-428.  
Liu Jian, Yao Haifei, Wei Chuanguang, et al. The structural optimization and numerical simulation of wet centrifugal precipitator at working face of diving airway[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(3):424-428.
- [2] Petav Razi E, Kingman S, Lowndes I. Particulates from mining operations: a review of sources, effects and regulations[J]. Minerals Engineering, 2005, 18(12):1183-1199.
- [3] Mi T, Yu X M. Dust removal and desulphurization in a novel venturi scrubber[J]. Chemical Engineering and Processing: process Intensification, 2012, 62(12):159-167.
- [4] Ali Majid, Yan Changqi, Sun Zhongning, et al. Dust particle removal efficiency of a venturi scrubber[J]. Annals of Nuclear Energy, 2013, 54(4):178-183.
- [5] Economopoulou A A, Harrison R M. Graphical analysis of the performance of venturi scrubbers for particle abatement, part I: rapid collection efficiency evaluation[J]. Aerosol Science Technology, 2007, 41:51-62.
- [6] 蒋仲安,金龙哲,杜翠凤.湿式除尘器中脱水装置性能的理论 and 实验[J].北京科技大学学报,2001,23(3):196-198.  
Jiang Zhong'an, Jin Longzhe, Du Cuifeng. Theoretical and experimental investigation of the characteristic of dewater equipment on wet scrubbers[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2001, 23(3):196-198.
- [7] 蒋仲安,金龙哲,陈立武,等.掘进巷道粉尘控制技术的研究[J].中国安全科学学报,1999(1):11-15.  
Jiang Zhong'an, Jin Longzhe, Chen Liwu, et al. Study of dust control technology on tunnelling[J]. China Safety Science Journal, 1999(1):11-15.
- [8] 陈维民.掘进工作面自激式除尘器除尘机理的研究[J].中国矿业大学学报,1993(3):67-73.  
Cheng Weimin. The mechanism study of dust capture of self-impingement scrubber in heading face[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1993(3):67-73.
- [9] Yang Kejun, Cao Shuyou, Liu Xingnian. Flow resistance and its prediction methods in compound channels[J]. Acta Mech. Sin., 2007, 23:23-31.
- [10] 夏国栋,王敏,鹿院卫,等.表面活性剂添加对气液两相流摩擦阻压降特性的影响[J].化工学报,2004,55(5):727-731.  
Xia Guodong, Wang Min, Lu Yuanwei, et al. Influences of surfactant on frictional pressure drop in gas-liquid flow[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2004, 55(5):727-731.
- [11] 许晶禹,吴应湘,李东晖.液相物性对气液两相管流型和压降影响的研究[J].应用基础与工程科学学报,2005,13(2):111-119.  
Xu Jingyu, Wu Yingxiang, Li Donghui. The effects of liquid properties on flow pattern transition and pressure drop during gas-liquid pipe flow[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2005, 13(2):111-119.
- [12] 周玉铭,何奇善,张军.复杂通道内流体压降与流量分配特性研究[J].西安交通大学学报,2003,37(1):49-52.  
Zhou Yuming, He Qishan, Zhang Jun. Research on the distributions of differential pressure and mass flow rate of fluid in complex pipeline system[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2003, 37(1):49-52.
- [13] 袁文麒,刘遂庆.管道充水工况下气液两相流瞬态数值模拟[J].同济大学学报(自然科学版),2010,38(5):709-715.  
Yuan Wenqi, Liu Suiqing. Transient numerical modeling of gas-liquid two-phase flow in water-filling pipelines[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2010, 38(5):709-715.
- [14] 李明川,崔桂香.有气相注入的管内气液分层流数值模拟[J].工程力学,2002,19(6):78-81.  
Li Mingchuan, Cui Guixiang. Numerical simulations of gas-liquid

- stratified flow in a horizontal pipe with gas injection through wall [J]. *Engineering Mechanics*, 2002, 19(6): 78-81.
- [15] 王晓瑾, 彭炯, 陈晋南, 等. 除尘脱硫装置气液两相流场的数值模拟[J]. *北京理工大学学报*, 2006, 26(4): 356-360.  
Wang Xiaojin, Peng Jiong, Chen Jinnan, et al. Numerical simulation of gas-liquid two-phase flow in the scrubber for FGD[J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2006, 26(4): 356-360.
- [16] 李彩亭, 李思民, 曾光明, 等. 矩形斜板湿法除尘塔气液两相流数值模拟[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2008, 35(5): 72-75.  
Li Caiting, Li Simin, Zeng Guangming, et al. Numerical simulation of the gas-liquid two-phase flow in the tower with sloping plates for wet dusting and FGD[J]. *Journal of Hunan University(Natural Sciences)*, 2008, 35(5): 72-75.
- [17] 李立清, 胡蕾, 黄贵杰, 等. 环栅喷淋泡沫塔欧拉-离散相模型三相除尘模拟[J]. *中国电机工程学报*, 2012, 32(5): 68-77.  
Li Liqing, Hu Qiang, Huang Guijie, et al. Numerical simulation of three-phase flow in the scrubber for a cascade-ring foam tower using a combined euler-discrete phase model method[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2012, 32(5): 68-77.
- [18] 熊建军, 骆振福, 卓卫民, 等. 两相对流自激式水幕除尘器内压力分布研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2010, 39(6): 902-906.  
Xiong Jianjun, Luo Zhenfu, Zhuo Weimin, et al. Research on pressure distribution in dust chamber of two phase convective flow self-oscillating water curtain dust removal system[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2010, 39(6): 902-906.
- [19] 李小川, 胡亚非, 蒋炎炎, 等. 基于脉动压力时均值的除尘器气液耦合研究[J]. *煤炭学报*, 2011, 36(8): 1412-1416.  
Li Xiaochuan, Hu Yafei, Jiang Yanyan, et al. Study of gas-liquid coupling in dust separator based on time-averaged value of pulsatile pressure[J]. *Journal of China Coal Society*, 2011, 36(8): 1412-1416.
- [20] 李小川, 胡亚非, 杨进成, 等. 新型湿式除尘器在烧结厂粉尘抑制中的实践[J]. *环境污染与防治*, 2012, 34(8): 83-85.  
Li Xiaochuan, Hu Yafei, Yang Jincheng, et al. The application of wet dust separator in sintering plant for dust suppression[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2012, 34(8): 83-85.

## 欢迎订阅 2013 年《煤炭学报》杂志

《煤炭学报》是由中国煤炭学会主办、面向国内外发行的煤炭科学技术方面的综合性学术刊物。主要刊载煤田地质与勘探、煤矿开采、矿山测量、矿井建设、煤矿安全、煤矿机械工程、煤矿电气工程、煤炭加工利用、煤矿环境保护、煤炭经济研究等方面的科研成果和学术论文。

《煤炭学报》刊载的论文具有较高的学术价值和文献收藏价值,被 Ei、IEA Coal Abstract CD-Room、中国科学引文数据库、PJK、科学技术文摘速报、Coal Highlights、中国学术期刊文摘等国内外 20 多种重要文摘检索系统所收录。1992 年荣获首届全国优秀科技期刊评比二等奖,获中国科学技术协会优秀学术期刊二等奖,获北京市新闻出版局、北京市科学技术期刊编辑学会全优期刊奖。1996 年荣获第二届全国优秀科技期刊评比一等奖,获中国科学技术协会优秀科技期刊一等奖。1999 年荣获由中华人民共和国新闻出版总署颁发的“首届国家期刊奖”。2001 年入选“中国期刊方阵”,并被评为“双奖期刊”。2008 年获“中国精品科技期刊”称号。2009 年获“新中国 60 年有影响力的期刊”称号。2004, 2007, 2010, 2011, 2012 年 5 次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号。2006 年至 2012 年获中国科协精品科技期刊工程项目资助。

《煤炭学报》受到广大作者、读者的爱护和支持,也受到各级部门的重视,在学术水平上具有较高的地位,很多单位都将在《煤炭学报》发表的文章作为作者学术水平考核指标之一。

《煤炭学报》为月刊,176 页,每册订价 58 元,全年总订价 696 元。欲订阅者可直接向本编辑部索取订单,编辑部随时办理订阅手续。

本刊地址:北京市和平里煤炭科学研究总院内《煤炭学报》编辑部 邮政编码:100013

联系电话:(010)84262930-806 联系人:王婉洁

E-mail:mtxbwwj@tom.com,mtxb@vip.163.com