

涡流风幕抽吸控尘系统数值模拟与应用

聂文,程卫民,姚玉静,周刚,王刚,杨俊磊

山东科技大学矿山灾害预防控制教育部重点实验室,山东青岛 266510

摘要 涡流风幕抽吸控尘系统可有效控制气载粉尘的扩散。为了解决综掘工作面粉尘浓度过大的难题,分析了涡流风幕的形成机制,并根据气固两相流理论和气体-粉尘颗粒两相流动的特性,建立求解综掘工作面涡流风幕抽吸控尘流场粉尘扩散规律的 $k-\varepsilon-\Theta-k_p$ 数学模型;采用基于同位网格的 Simple 算法,利用 Fluent 软件对综掘工作面粉尘浓度的空间分布规律进行了数值模拟,模拟结果显示,涡流风幕抽吸控尘流场能有效地将粉尘封闭在掘进头至掘进机司机前方 0.5m 的空间内。根据模拟结果和工作面现场的实际条件,设计了由附壁风筒和抽尘净化装置构成的综掘工作面涡流风幕抽吸控尘系统,该系统在综掘工作面应用后,有效地降低了工作面现场的粉尘浓度。

关键词 采矿环境工程;综掘工作面;涡流风幕;抽吸控尘; $k-\varepsilon-\Theta-k_p$ 数学模型;数值模拟

中图分类号 TD714+2

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.09.007

Numerical Simulation of Vortex Air Curtain Suction Dust Control System and Its Applications

NIE Wen, CHENG Weimin, YAO Yujing, ZHOU Gang, WANG Gang, YANG Junlei

Key Laboratory of Mine Disaster Prevention and Control, Ministry of Education; Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, Shandong Province, China

Abstract The system of suction dust control via vortex air curtain can effectively control the spread of gas load dust. In order to solve the problem of large dust concentration in a fully mechanized excavation face, the forming mechanism for the dust resistance of vortex air curtain is studied based on the phase flow theory and the characteristics of gas-dust particle two-phase flow. The mathematical model of $k-\varepsilon-\Theta-k_p$ is established and used to solve the diffusion law of suction dust control via vortex air curtain. And based on the Simple algorithm with a grid, the pretreatment software Fluent is adapted to conduct the numerical simulation on the spatial distribution law of dust concentration in a fully mechanized excavation face. The simulation result shows that a lot of dust could effectively enclose in a range of 0.5m from tunneling place to the front of road header driver via vortex air curtain suction dust control. According to the simulation results and the actual conditions of working face on-site, the system of suction dust control via vortex air curtain in a fully mechanized excavation face is designed. The system is composed of pane wall of fan drum and dust-removing and cleaning device. After applying vortex air curtain suction dust control system to a fully mechanized excavation face, the average sedimentation rate of the whole dust and respirable dust are as high as 94.4% and 93.7%, respectively, which effectively reduces the dust concentrations on work-site locations face in a fully mechanized excavation face, and achieves a good dust fall effect. The promising development prospect of vortex air curtain suction dust control system for solving the problem of the large dust concentration in a fully mechanized excavation face are adequately explained through the discussion.

Keywords mining environmental engineering; fully mechanized excavation face; vortex air curtain; suction dust control; $k-\varepsilon-\Theta-k_p$ mathematical model; numerical simulation

收稿日期:2011-02-14;修回日期:2011-02-24

基金项目:国家自然科学基金项目(51074100);山东省自然科学基金项目(51074100)

作者简介:聂文,博士研究生,研究方向为矿井通风与防尘,电子信箱:sdniewen@163.com;程卫民(通信作者,中国科协所属全国学会个人会员登记号:E381290070M,E520001749L),教授,研究方向为矿山灾害预测与防治,电子信箱:chengmw@163.com

0 引言

综掘工作面的高浓度粉尘一直是威胁煤矿安全高效生产的重大危险源,不仅污染了工作面环境,增大了煤矿发生粉尘爆炸的可能性,而且严重危害了作业人员的身心健康^[1-3]。事实证明,利用附壁风筒和抽尘净化装置形成的涡流风幕抽吸气流,控制捕吸粉尘,是一种可以控制粉尘扩散的有效方法。综掘工作面涡流风幕抽吸控尘流场是一个十分复杂的流动过程,影响因素众多,很难通过模型实验和现场实测直接获得,因此数值模拟对该流场的研究显得十分重要。现阶段,有关掘进工作面涡流风幕抽吸控尘流场的模拟多为二维的情况,三维模拟也仅限于较简单的形成,未考虑掘进设备对风流和粉尘扩散的影响,不能准确地反映综掘工作面涡流风幕抽吸控尘流场粉尘的扩散规律^[3-5]。为了更加准确地模拟涡流风幕抽吸控尘系统的控尘效果,本文建立了与现场实际情况较为相符的物理模型,采用可靠的 $k-\varepsilon-\Theta-k_p$ 数学模型进行数值模拟,以此为依据,设计适用于综掘工作面的涡流风幕抽吸控尘系统,并在现场进行实际应用,取得了较好的控尘效果。

1 涡流风幕形成机制

图 1 为掘进巷道中附壁风筒所成涡流风幕的气流流线图,对于某一巷道断面上任意位置处体积为 V_1 、 V_2 的含空气体,由贝努利方程

$$p_1 + \rho g z_1 + \frac{\rho U_1^2}{2} = p_2 + \rho g z_2 + \frac{\rho U_2^2}{2} \quad (1)$$

其中, p_1, p_2 为流体静压, Pa; ρ 为流体密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; z_1, z_2 为标高, m; U_1, U_2 为流体速度, m/s 。

对于巷道为水平且同一断面的流体, $z_1 = z_2$ 。则有

$$p_1 + \frac{\rho U_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho U_2^2}{2}$$

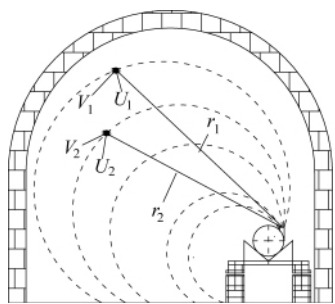


图 1 涡流风幕气流流线图

Fig. 1 Streamlined diagram of vortex air curtain

由图 1 可知,由于 $r_1 > r_2$,因此 $U_1 > U_2$,即 V_1 处的静压小于 V_2 处的静压,使得 V_2 处的含空气体流向 V_1 处,从而产生附壁效应。根据上述原理,若将压入式风筒直吹掘进头的送风方式改为沿巷道壁的径向风流,以一定速度吹向巷道的周壁及整个巷道断面,并且不断向综掘工作面的迎头推进,在除尘风机吸风口吸入含尘空气产生轴向速度的共同作用下,便可

形成一股具有较高动能的螺旋状气流,从而在掘进机司机前方建立可阻挡粉尘向外扩散的涡流风幕,以封闭掘进机工作时产生的粉尘,再通过抽出式风筒吸入除尘器中得以净化,这样可大大提高抽尘效率,降低综掘工作面的粉尘浓度^[3-4,6]。

2 计算模型和模拟条件

2.1 数学模型及其数值解法

针对配有附壁风筒综掘工作面涡流风幕抽吸控尘流场的特点,根据气固两相流理论和气体-粉尘颗粒两相流动的特性,组合欧拉-欧拉法 (Euler-Euler Model) 和欧拉-拉格朗日法 (Euler-Lagrange Model) 建立求解综掘工作面粉尘空间扩散规律的 $k-\varepsilon-\Theta-k_p$ 数学模型,推导颗粒相应力的表达式及适合于描述颗粒流动的封闭方程组^[7-9]。湍流气相-湍流颗粒相的两相控制方程组如下。

气相连续性方程:

$$\frac{\partial(\alpha \rho)_q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \rho U_i)_q}{\partial x_i} = -\frac{\partial}{\partial x_i} [(\alpha \rho)' U'_{i,q}] \quad (2)$$

其中,下标 q 为气相; α 为气相所占控制体积分分数; U 为速度矢量, m/s ; t 为时间, s ; i 为张量的指标符号, $i=1, 2, 3$ 。

颗粒似密度连续方程:

$$\frac{\partial(\alpha \rho)_p}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \rho U_i)_p}{\partial x_i} = -\frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha_p \rho_p)' U'_{i,p} \quad (3)$$

气相动量方程:

$$\frac{\partial(\alpha \rho U_j)_q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \rho U_j U_i)_q}{\partial x_i} = -\alpha_q \frac{\partial p}{\partial x_j} + \alpha_q \rho_q g_j + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + \beta_j (U_{j,p} - U_{j,q}) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha_q \rho_q \overline{U'_{i,q} U'_{j,p}}) \quad (4)$$

$$\tau_{ij} = \mu_q \left[\left(\frac{\partial U_{i,q}}{\partial x_j} + \frac{\partial U_{j,q}}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial U_{k,q}}{\partial x_k} \right] \quad (5)$$

颗粒动量方程^[10-11]:

$$\frac{\partial(\alpha \rho U_j)_p}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \rho U_j U_i)_p}{\partial x_i} = -\alpha_p \frac{\partial p}{\partial x_j} + \rho_p g_j + \frac{\partial \Pi_{ij}}{\partial x_i} + \beta_j (U_{j,q} - U_{j,p}) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha_p \rho_p \overline{U'_{i,p} U'_{j,p}}) - \frac{\partial}{\partial x_i} (U_{j,p} \overline{(\alpha_p \rho_p)' U'_{i,p}} + U_{i,p} \overline{(\alpha_p \rho_p)' U'_{j,p}}) \quad (6)$$

颗粒温度 Θ 方程^[12]:

$$\frac{3}{2} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha \rho \Theta)_p + \frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha \rho U_i \Theta)_p \right] = \Pi_{ij} \frac{\partial U_{j,p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\Gamma_\Theta \frac{\partial \Theta}{\partial x_i} \right] - \gamma - \frac{3}{2} \alpha_p \rho_p \overline{U'_{i,p} \Theta} - \frac{3}{2} \frac{\partial}{\partial x_i} (\Theta \overline{(\alpha_p \rho_p)' U'_{i,p}} + U_{i,p} \overline{(\alpha_p \rho_p)' \Theta'}) \quad (7)$$

式(3)~式(7)中,下标 p 为颗粒相, j 和 k 为张量的指标符号; β_j 为气粒间拽力系数在 j 方向上的分量; p 为压力, Pa; γ 为碰撞能消散, $\gamma = 3(1-e^2)\alpha_p \rho_p g_\Theta \left[\frac{4}{d_p} \sqrt{\frac{\Theta}{\pi}} - \frac{\partial U_{k,p}}{\partial x_k} \right]$, e 为颗粒碰撞恢复系数, $e=1.0$ 时,颗粒之间为弹性碰撞,为不耗散能量; $e=0$ 时,颗粒之间为完全非弹性碰撞; $0 \leq e < 1$ 时,颗粒以非弹性碰

撞形式耗散能量^[5,13-14]; Γ_θ 为颗粒温度输运系数; $\Pi_{i,j} = -p_p + (\xi_p - \frac{2}{3}\mu_p)\delta_{i,j} \frac{\partial U_{k,p}}{\partial x_k} - \mu_p (\frac{\partial U_{i,p}}{\partial x_i} + \frac{\partial U_{j,p}}{\partial x_j})$, ξ_p 为颗粒相整体黏度; μ 为剪切黏度。

气相湍能 k 方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\alpha_q \rho_q U_{j,q} k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_c}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_p - \alpha_q \rho_q \varepsilon \quad (8)$$

气相湍能耗散率 ε 方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\alpha_q \rho_q U_{j,q} \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_c}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} [C_1(G_k + G_p) - C_2 \alpha_q \rho_q \varepsilon] \quad (9)$$

其中, $G_i = \mu_{q,i} \left(\frac{\partial U_{i,q}}{\partial x_j} + \frac{\partial U_{j,q}}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_{i,q}}{\partial x_j}$, $G_p = \frac{2\alpha_p \rho_p}{\tau_p} (C_p \sqrt{k(k_p + \Theta)} - k)$, $\mu_c = \mu_q + \mu_{q,i}$, $\mu_{q,i} = C_\mu \alpha_q \rho_q \frac{k^2}{\varepsilon}$ 。

颗粒湍能 k_p 方程^[13-14]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_p \rho_p k_p) + \frac{\partial}{\partial x_k} (\alpha_p \rho_p U_{p,k} k_p) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{\mu_{p,t}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial k_p}{\partial x_k} \right) + G_{kp} - \alpha_p \rho_p \varepsilon_p + \frac{\partial}{\partial x_k} \left(k_p \frac{\mu_{p,t}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \alpha_p \rho_p}{\partial x_k} \right) \quad (10)$$

式(8)~式(10)中,湍流模型常数 C_1 、 C_2 、 C_μ 、 σ_k 和 C_p 分别为 1.44、1.92、0.09、1.0 和 0.85^[10-13,15-16]。

建成模型后,首先基于有限容积法、利用混合差分格式对偏微分方程组进行离散化,然后利用混合差分格式和基于同位网格的 Simple 算法对综掘工作面气体-粉尘颗粒的两相流动进行数值求解。

2.2 物理模型

应用 Fluent 自带的前处理软件 Gambit 建立综掘工作面涡流风幕抽吸控尘系统的等比例物理模型(图 2)。该模型由巷道、掘进机、压入式风筒(包含附壁风筒)和抽出式风筒 4 部分组成。巷道为 20m×4m×3m 的长方体。掘进机分为机身、截割臂和截割头 3 部分,总长度为 8.5m,机身为 5m×2.2m×1.8m 的长方体,其中轴线距压入式风筒一侧的巷道壁 2.2m;截割臂长 2.6m,其中轴线距地面 1.8m;截割头为一长 0.9m、直径 1.0m 的圆柱体。压入式风筒是一距掘进头 6m、长 14m 和直径 0.6m 的圆柱体,风筒中轴线距地面 1.2m,距最近的巷道壁 0.4m;压入式风筒的后半部分为附壁风筒,附壁风筒总长 8m,沿附壁风筒径向每 1m 开一长 0.6m、宽 0.05m 的出风条隙,出风条隙共有 8 条;压入式风筒压风量为 280m³/min,轴向出口出风量为 112m³/min,径向条隙出风量为 168m³/min,径向出风流向上垂直于巷道顶板,轴向出风与径向出风量之比

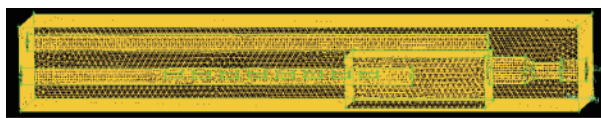


图 2 划分网格后的物理模型

Fig. 2 Physical model after plotting its grid

4:6。抽出式风筒为圆柱体,距掘进头 3.5m,长 16.5m,直径 0.6m,中轴线距地面 2.2m,抽风量为 225m³/min。采用 Gambit 对建立的物理模型进行网格划分,本模型的网格 Interval size 取 100 整体六面体网格。

2.3 边界条件和颗粒源参数

将用 Gambit 建成的物理模型导入 Fluent,并对物理模型的边界条件和粉尘源参数进行设置,如表 1 所示。

表 1 边界条件和颗粒源主要参数

Table 1 Main parameters of boundary conditions and particle source

项目	名称	参数设置
边界条件	压入式风筒出风速度/(m·s ⁻¹)	16.50496
	轴向出口出风速度/(m·s ⁻¹)	6.60198
	径向条隙出风速度/(m·s ⁻¹)	11.66667
	湍流动力能量/(m ² ·s ⁻²)	0.8
	湍流扩散比率/(m ² ·s ⁻³)	0.8
	出口边界类型	OutFlow
粉尘源参数	粉尘中位径/m	4.57×10 ⁻⁶
	分布指数	1.77
	粉尘初始速度/(m·s ⁻¹)	0
	粉尘质量流率/(kg·s ⁻¹)	0.015
	颗粒温度/(m ² ·s ⁻²)	0.08

3 模拟结果分析

沿工作面巷道 x 、 y 和 z 轴正方向每隔一定距离设置一显示综掘工作面粉尘浓度空间分布规律的数值模拟结果剖面图。图 3 为综掘工作面粉尘浓度的总体变化趋势图。显示粉尘浓度总体变化趋势的坐标如下:沿巷道 x 轴正方向为 0.1、2.5、7、8.5、10、14.5、19.9m,沿巷道 y 轴正方向为 0.1、1.4、2.7、3.9m,沿巷道 z 轴正方向为 0.1、1.95、2.9m。同时,为了能反映有人作业位置处的粉尘浓度,列出了 $x=7m$ (掘进机司机所在位置)和 $z=1.55m$ (除司机外其他作业工人呼吸高度)两个位置处断面的粉尘浓度具体模拟结果图,如图 4 所示。

为了分析方便,将粉尘浓度单位换算为 mg/m³ 进行分析。巷道内粉尘浓度最高处为 2250mg/m³,该位置在掘进头壁面处,由于所截巷道断面距掘进头最近处为 0.1m,未将该位置直接展示出来。由图 3 和图 4 可以看出,粉尘主要集中在 $x=0-6.5m$ 的范围内,在掘进机司机位置处,粉尘浓度已降到 113mg/m³ 以下;在 $x=0-6.5m$ 的范围内,由于受压风方向的影响, $y=0-2m$ 范围内的粉尘浓度明显高于 $y=2-4m$ 范围内的粉尘浓度,粉尘浓度最高值出现在 $y=1.4m$ 断面上的截割头附近,达 1460mg/m³;掘进机司机以外作业人员呼吸高度处的粉尘主要集中在 $x=0-5.5m$ 的范围内,在该区域 $x=7.2-20m$ 的范围内,粉尘浓度均在 113mg/m³ 以下;涡流风幕抽吸控尘流场能有效地将粉尘封闭在掘进头至掘进机司机前方 0.5m 的空间内,控尘效果较好。

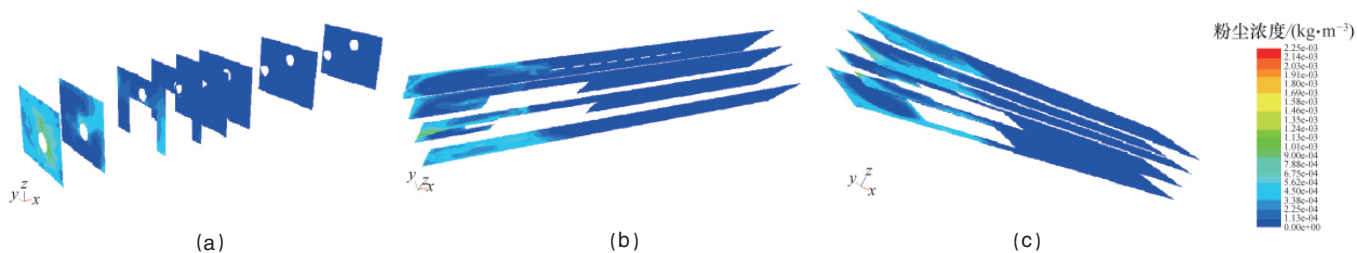


图3 沿巷道 x (a), y (b), z (c) 方向粉尘浓度的总体变化趋势

Fig. 3 Schematic diagram of trend of changes on the x (a), y (b), z (c) direction of dust concentration along roadway

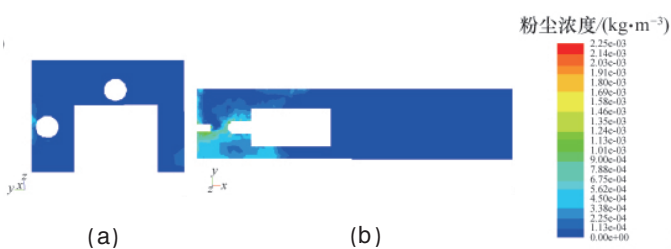


图4 工人呼吸位置断面处的粉尘浓度

Fig. 4 Dust concentration at worker respiration spot

4 涡流风幕抽吸控尘系统设计

根据以上模拟结果和综掘工作面现场的实际条件, 设计由附壁风筒和抽尘净化装置构成的涡流风幕抽吸控尘系统。

4.1 附壁风筒的设计

为了便于附壁风筒的拆卸和移动, 设计的附壁风筒每节长 1m, 沿风筒径向开一长 0.6m、宽 0.05m 的出风口, 每节风筒可以采用柔质风筒互相连接。在最后一节附壁风筒轴向出口处设置一风阀, 掘进时, 关闭风阀, 使大部分风流从附壁风筒径向出风口流出, 变成旋转风流的涡流风幕向工作面供风; 停机后, 风阀打开, 恢复向工作面直接供风。一般用 6—10 节附壁风筒串联, 与压入式风筒相连, 风筒的轴向出口端距掘进头的距离小于 $5\sqrt{S}$ (S 为巷道断面积, m^2)。图 5 为单节附壁风筒示意图。

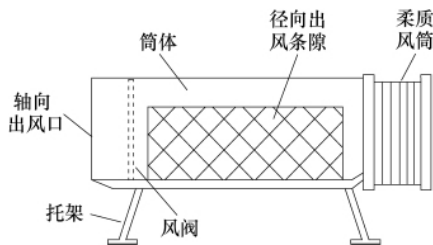


图5 单节附壁风筒示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the structure of single pane wall of fan drum

4.2 抽尘净化装置的设计

抽尘净化装置由新型吸尘罩、旋转输风器、柔性负压风筒和湿式振弦除尘风机等设备组成, 图 6 为综掘工作面抽尘

净化装置结构示意图。掘进头产生尘由吸尘罩吸入, 流经旋转输风器、柔性风筒、消音器等设备, 最后在湿式振弦除尘风机内被捕获沉降。

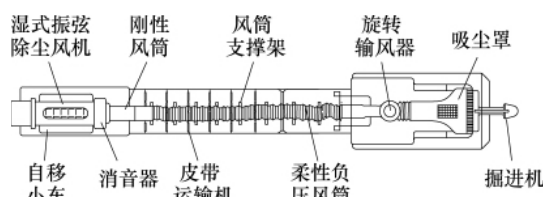


图6 抽尘净化装置结构示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the structure of dust-removing and cleaning device

吸尘罩安装于掘进机机体顶部的护板上, 靠近滚筒, 高度小于 0.4m, 避免阻挡司机视线。吸尘罩通过柔性负压风筒与旋转输风器连接, 组成旋转吸风装置, 可随掘进机截割臂一同旋转或前移, 保证吸尘罩始终与尘源保持一固定距离, 以有效地吸入粉尘。吸尘罩为一种前宽后窄的扁平结构, 宽部长度大于掘进机机体顶部长度; 吸尘罩宽部与窄部的连接处为流线形圆弧设计, 以降低局部通风阻力, 减少连接部位的积尘, 提高吸尘效果。吸尘罩前部、顶部、两侧及下部均布置有吸尘口, 总吸尘面积大于 $0.45m^2$, 可有效吸入掘进机周围粉尘。旋转输风器也位于掘进机机体顶部, 高度小于 0.4m, 通过柔性风筒、刚性风筒与连有消音器的湿式振弦除尘风机相接。湿式振弦除尘风机与消音器依靠自移小车进行移动。

5 现场应用效果分析

设计的涡流风幕抽吸控尘系统在高庄煤矿 3_下506 运输巷综掘工作面进行了应用, 3_下506 运输巷综掘工作面的煤尘具有爆炸危险性, 爆炸指数为 39.12%。该掘进巷道形状为梯形和矩形, 断面积为 $12.285m^2$, 局部通风方式为长压短抽式, 压入风量约为 $275m^3/min$, 在压入式风筒的末端安装 8 节带有风阀的附壁风筒, 轴向出口出风量为 $110m^3/min$, 径向条隙出风量为 $165m^3/min$; 抽出式风机为湿式振弦除尘风机, 抽出风量约为 $220m^3/min$ 。

在 3_下506 运输巷综掘工作面不采用防尘设施和采用涡流风幕抽吸控尘系统两种状况下, 分别测定各有人作业地点

的粉尘浓度,具体数据如表 2 所示。在表 2 中,1# 测点为司机处,2# 测点为转载机下风侧处,3# 测点为伸缩皮带机下风侧处,4# 测点为距掘进头 200m 处。

表 2 应用涡流风幕抽吸控尘系统前后的粉尘浓度

Table 2 Dust concentration before and after using suction dust control system via vortex air curtain

测点	应用前粉尘		应用后粉尘		降尘率/%	
	浓度/(mg·m ⁻³)		浓度/(mg·m ⁻³)		全尘	呼尘
	全尘	呼尘	全尘	呼尘	全尘	呼尘
1#	314.1	106.4	14.6	5.2	95.4	95.1
2#	200.5	69.4	12.8	5.1	93.6	92.7
3#	212.4	75.7	12.5	5.0	94.1	93.4
4#	186.4	64.0	10.7	4.2	94.3	93.4
降尘率平均值/%					94.4	93.7

由表 2 可知,应用涡流风幕抽吸控尘系统后,工作面现场各测点的粉尘浓度相对于未采取任何防尘措施时大大降低,各测点全尘和呼尘的平均降尘率分别高达 94.4% 和 93.7%;粉尘浓度最高的掘进机司机处,全尘和呼尘的浓度也仅为 14.6 和 5.2mg/m³,距掘进头 200m 处的全尘和呼尘浓度也分别降至 10.7 和 4.2mg/m³,已接近国家《煤矿安全规程》规定的粉尘最高允许浓度;这说明涡流风幕抽吸控尘系统起到了明显的降尘作用,能够有效地将掘进机截割头产尘控制在空气幕以里的掘进头处,以进行集中除尘。

6 结论

(1) 分析了阻尘涡流风幕的形成机制,并根据气固两相流理论和气体-粉尘颗粒两相流动的特性,建立了求解综掘工作面涡流风幕抽吸控尘流场粉尘扩散规律的 $k-\epsilon-\theta-k_p$ 数学模型,对传统的双流体模型进行了改进。同时,根据有限容积法、混合差分格式,提出了基于同位网格的 Simple 算法作为气体-粉尘颗粒两相流动的数值解法。

(2) 由模拟结果可知,涡流风幕抽吸控尘流场能有效地将粉尘封闭在掘进头至掘进机司机前方 0.5m 的空间内,控尘效果较好;采用 Fluent 软件进行模拟计算,为涡流风幕抽吸控尘系统的设计提供了更为有力的理论依据和计算方法。

(3) 根据模拟结果和综掘工作面现场的实际条件,设计了由附壁风筒和抽尘净化装置组成的综掘工作面涡流风幕抽吸控尘系统,该系统在综掘工作面应用后,对全尘和呼尘的平均降尘率分别高达 94.4% 和 93.7%,有效地降低了工作面现场各作业点的粉尘浓度。

参考文献 (References)

[1] 程卫民, 刘向升, 阮国强, 等. 煤巷锚掘快速施工的封闭控尘理论与技术工艺[J]. 煤炭学报, 2009, 34(2): 203-207.
Cheng Weimin, Liu Xiangsheng, Ruan Guoqiang, et al. Journal of China Coal Society, 2009, 34(2): 203-207.

[2] 聂文, 程卫民, 郭允相. 综掘面空气幕封闭式除尘系统的应用

[J]. 煤矿安全, 2009, 40(3): 19-22.
Nie Wen, Cheng Weimin, Guo Yunxiang. Safety in Coal Mines, 2009, 40(3): 19-22.

[3] 张景松, 闫小康, 王凯, 等. 环形旋转射流屏蔽抽吸流场的数值模拟[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(2): 173-177.
Zhang Jingsong, Yan Xiaokang, Wang Kai, et al. Journal of China University of Mining & Technology, 2006, 35(2): 173-177.

[4] 梁爱春, 金小汉, 郭胜均. 涡流控尘系统与湿式旋流除尘系统复合除尘效果影响因素试验[J]. 矿业安全与环保, 2009, 36(3): 4-6.
Liang Aichun, Jin Xiaohan, Guo Shengjun. Mining Safety and Environmental Protection, 2009, 36(3): 4-6.

[5] 王晓珍, 蒋仲安, 王善, 等. 煤巷掘进过程中粉尘浓度分布规律的数值模拟[J]. 煤炭学报, 2007, 32(4): 386-390.
Wang Xiaozhen, Jiang Zhong'an, Wang Shan, et al. Journal of China Coal Society, 2007, 32(4): 386-390.

[6] 王义江, 杨胜强, 于宝海, 等. 白集煤矿区域可控循环风系统的理论分析与试验[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(5): 24-27.
Wang Yijiang, Yang Shengqiang, Yu Baohai, et al. Journal of Safety and Environmen, 2005, 5(5): 24-27.

[7] Gidaspow D. Multiphase flow and fluidization: Continuum and kinetic theory descriptions[M]. New York: Academic Press, 1994.

[8] Soo S L. Particulate and continuum multiphase fluid dynamics [M]. London: Hemisphere Publishing Corporation, 1989.

[9] 张全, 鄂加强, 谢铠, 等. 高炉风口多股流喷吹粉煤与空气流动数值模拟[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(5): 453-457.
Zhang Quan, E Jiaqiang, Xie Kai, et al. Journal of China University of Mining & Technology, 2001, 30(5): 453-457.

[10] 王晓瑾, 薄以匀, 陈晋南, 等. SHG-II-Z 型除尘脱硫装置三维三相流场的数值模拟[J]. 计算机与应用化学, 2006, 23(3): 198-201.
Wang Xiaojin, Bo Yiyun, Chen Jinnan, et al. Computers and Applied Chemistry, 2006, 23(3): 198-201.

[11] 陆慧林, 刘文铁, 别如山, 等. 增湿活化反应器内气-液滴-固三相流场的数值模拟[J]. 工程热物理学报, 2001, 22(S1): 197-200.
Lu Huilin, Liu Wentie, Bie Rushan, et al. Journal of Engineering Thermophysics, 2001, 22(S1): 197-200.

[12] 周刚. 综放工作面喷雾降尘理论及工艺技术研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2009.
Zhou Gang. Research of theory about dust prevention by water-cloud and relevant techniques for fully-mechanized caving coal face [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2009.

[13] 马云东, 罗根华, 郭昭华. 转载点粉尘颗粒扩散运动规律的数值模拟[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 16-18.
Ma Yundong, Luo Genhua, Guo Zhaohua. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(2): 16-18.

[14] 聂文. 综掘工作面封闭式除尘系统的应用[D]. 青岛: 山东科技大学, 2010.
Nie Wen. Application and research on closed-end dust removal system of comprehensive mechanized heading face [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2010.

[15] Zhou L X, Xu Y. Simulation of swirling gas-particle flows using an improved second-order moment two-phase turbulence model[J]. Powder Technology, 2001, 116(2-3): 178-189.

[16] Zhou L X. Two-fluid models for simulating turbulent gas-particle flows and combustion[J]. Multiphase Science and Technology, 1999(11): 37-57.

(责任编辑 刘志远)