

通风条件影响长压短抽掘进面粉尘扩散的仿真实验

聂文, 马骁, 程卫民, 周刚, 刘阳昊

(山东科技大学 矿业与安全工程学院, 矿山灾害预防控制国家重点实验室, 山东 青岛, 266590)

摘要: 为了提高长压短抽掘进面通风除尘效果, 通过仿真实验确定通风条件影响风场运移及粉尘扩散的规律。研究表明: 风场运移规律为压风口与迎头距离、压抽比越大, 抽风口与迎头距离、压风量越小, 越利于形成风速方向均指向掘进面迎头的控尘风场, 形成控尘风场的压风口与迎头最小距离为 25 m。粉尘扩散规律为随着测点与迎头距离的增大, 粉尘质量浓度整体呈现减小或波动性减小趋势; 抽风口与迎头距离越小, 迎头粉尘扩散能力越小; 随着压风口与迎头距离增大、压抽比减小, 迎头粉尘扩散能力逐渐减小并趋于稳定, 压抽比为 0.75 时距迎头 5~39 m 的有人作业区域全尘、呼尘平均降尘率已增至 95.56% 和 94.31%; 随着压风量增大, 迎头粉尘扩散能力先减小后增大, 其中压风量为 250 m³/min 时扩散能力最小。

关键词: 通风条件; 长压短抽; 掘进面; 风场运移; 粉尘扩散; 仿真实验

中图分类号: TD714.41

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2015)09-3346-08

Simulation experiment on effects of ventilation conditions on dust diffusion of the forced with long duct fan accompanied with short duct exhaustor in heading face

NIE Wen, MA Xiao, CHENG Weimin, ZHOU Gang, LIU Yanghao

(Key Laboratory of Mine Disaster Prevention and Control, College of Mining and Safety Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: In order to improve the dust removal effect of the forced with long duct fan accompanied with short duct exhaustor in heading face, the effect of ventilation conditions on wind field migration and dust dispersion was determined by the simulation experiment. The results show that the more distance between pressure tuyere and tunnelling place and press extraction ratio, the less distance between exhaust port and tunnelling place and press wind volume. It is beneficial to the formation of the dust control wind flow field to point to the tunnelling place; the minimum distance between pressure tuyere and tunnelling place of the dust control wind flow field formation is 25 m. Dust diffusion law is that with the increase of the distance between measuring point and tunnelling place, dust mass concentration shows a trend of decrease or volatility reduces as a whole; the less distance between exhaust port and tunnelling place, the less ability

收稿日期: 2014-11-08; 修回日期: 2015-01-20

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金煤炭联合重点支持项目(U1261205); 国家自然科学基金面上项目(51474139); 国家青年基金资助项目(51404147); 中国博士后科学基金资助项目(2015M570602); 山东省科技发展计划项目(2013GSF12004); 山东科技大学矿业与安全工程学院科研创新团队(2012ZHTD06) (Project (U1261205) supported by the Key Program of the Coal Joint Funds of the National Natural Science Foundation of China; Project (51474139) supported by the General Program of the National Natural Science Foundation of China; Project (51404147) supported by the National Natural Science Foundation for Young Scientists of China; Project (2015M570602) supported by the China Postdoctoral Science Foundation; Project (2013GSF12004) supported by the Shandong Provincial Foundation for Development of Science and Technology; Project (2012ZHTD06) supported by the Scientific Research Innovation Team of College of Mining and Safety Engineering in Shandong University of Science and Technology)

通信作者: 周刚, 博士, 副教授, 从事矿井通风与粉尘防治研究; E-mail: sdniewen@163.com

of dust diffusion of tunneling place; with the increase of the distance between pressure tuyere and tunnelling place and the decrease of press extraction ratio, the ability of dust diffusion of tunneling place gradually decreases and reaches some constants; when press extraction ratio is 0.75 and the distance between 5–39 m, the average dust rate of the total coal dust worker operation area and respirable dust is 95.56% and 94.31%, respectively; with the increase of press wind volume, the ability of dust diffusion of tunneling place decreases and then increases, and when the press wind volume is 250 m³/min, the ability of dust diffusion is the least.

Key words: ventilation conditions; forced with long duct fan accompanied with short duct exhaustor; heading face; wind field migration; dust diffusion; simulation experiment

掘进面产生的高质量浓度粉尘一直是困扰我国煤矿安全高效开采的难题,据实测,掘进面尤其综掘面不采用防尘措施时,迎头粉尘质量浓度可高达 3 g/m³ 以上,严重威胁了煤矿的安全高效开采及矿工的健康^[1-2]。掘进面的防尘方式主要有喷雾降尘、泡沫降尘及通风除尘等,其中,长压短抽是非煤与瓦斯突出矿井掘进面较常用的通风除尘方式,抽风机为除尘风机,该方式中,影响除尘效果的重要因素是通风条件,若压风量、压抽比(压风量与抽风量的比)等通风条件设置不合理,未能在迎头附近形成控尘风流场,除尘风机将无法有效吸入迎头粉尘净化,致使粉尘大量向外扩散^[3-7]。国内外学者在研究通风条件影响长压短抽掘进面粉尘扩散方面主要有现场实测、数值模拟及实验测定 3 种方式,其中,现场实测易受现场生产限制,测定时间及通风条件设置较难得到充分保证;数值模拟在数学模型及边界条件参数设置方面难免会有一定误差,致使数值模拟结果很难完全符合现场实际情况;实验测定方面,国内外学者多是通过相似实验进行,实验通风条件参数设置也较为简单,因此,现有研究成果较难系统、准确地得出通风条件影响长压短抽掘进面粉尘扩散的规律,现场也一直未达到理想的通风除尘效果^[8-14]。为此,本文作者进行通风条件影响长压短抽掘进面粉尘扩散的仿真实验,以期为掘进面的粉尘有效防治提供理论指导。

1 粉尘在掘进面中的扩散理论分析

在掘进面中,推动粉尘运动的基本动力是气流运动,描述气固两相流体的全部物理现象应是气体及粉尘运动方程,粉尘沿巷道的扩散可简化为等强度源一维纵向扩散,从 $t=0$ s 开始,在某处连续加入粉尘扩散质,扩散方程如下^[15-17]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + V \cdot \frac{\partial \rho}{\partial x} = K \cdot \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} \quad (1)$$

式中: K 为综合扩散系数; ρ 为平均粉尘质量浓度, mg/m³; V 为平均流速, m/s; t 为扩散时间, s。

$$K = D_1 + D_t \quad (2)$$

式中: D_1 为纵向流速分布不均引起的纵向扩散系数; D_t 为径向质量浓度引起径向分子扩散系数(D_1 、 D_t)。

不可压缩黏性气体运动方程^[5,17]:

$$\rho_g \frac{dU_g}{dt} = F - \nabla P + \mu_g \Delta U_g \quad (3)$$

式中: U_g 为气体的运动速度矢量, m/s; F 为单位体积上气体的质量力矢量, N/m³; P 为气体的压力矢量, Pa; ∇P 为压力梯度; μ_g 为气体黏度, Pa·s。

球形尘粒在忽略外力作用下的运动方程^[5,16]为

$$\frac{1}{6} \pi d_p^3 \rho_p \frac{dU_p}{dt} = \frac{1}{8} \pi C_p d_p^2 \rho_p U_r |U_r| \quad (4)$$

式中: d_p 为尘粒直径, m; C_p 为阻力系数; U_p 为尘粒运动速度矢量, m/s; U_r 为气体与尘粒间相对速度, m/s, 即: $U_r = U_g - U_p$ 。

2 仿真实验系统与方案设计

2.1 仿真实验系统设计

为了确定通风条件影响长压短抽掘进面粉尘扩散规律,以山东科技大学模拟实验矿井掘进面为基础,设计长压短抽掘进面气载粉尘扩散仿真实验系统如图 1 所示。仿真实验系统巷道是长 × 宽 × 高为 41 m × 3.45 m × 3.25 m 的半圆拱区域,断面积为 9.93 m²,底板铺设宽 0.6 m 的铁轨,在距实验掘进面迎头 60 m 的井底车场大巷处布置 1 台功率 30 kW、最大出风量 547 m³/min 的压入式风机,在距迎头 34 m 的铁轨处布置 1 台功率 37 kW、最大吸风量为 422 m³/min 的除尘风机,2 风机由装有 ATV61HD37N4Z 型无级变频器的变频调速控制开关分别控制,实现驱动、无级调速,并均连接直径 0.8 m 的矿用负压风筒,压风筒和抽风

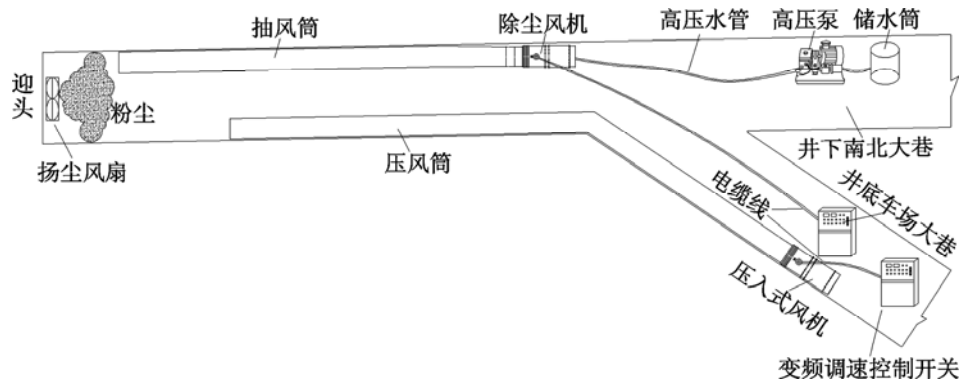


图 1 仿真实验系统

Fig. 1 Simulation experiment system

筒分别沿巷道两壁布置,压风口、抽风口底端均距底板 1.6 m,与迎头距离可调,实验时,布置在井下南北大巷处的 3D2-S135/28 型三柱塞高压泵将储水筒中的水增压至 2 MPa 后送至除尘风机。在迎头处设置出风量 $64 \text{ m}^3/\text{min}$ 的扬尘风扇,起尘源作用。

2.2 实验方案设计

设计测定压风量、压抽比及压、抽风口与迎头距离等通风条件影响长压短抽掘进面风流场运移及粉尘扩散的仿真实验方案。

2.2.1 通风条件设置

首先设定实验基础通风条件:压风量 Q_F 为断面积约 10 m^2 掘进面常用的 $200 \text{ m}^3/\text{min}$ 、压抽比 Y 为 1.25、抽风口与迎头距离 L_E 为 3 m,并根据如下条件依次进行实验:步骤 1) 设定 Q_F 为 $200 \text{ m}^3/\text{min}$, Y 为 1.25, L_E 为 3 m,压风口与迎头距离 L_F 分别为 10, 15, 20, 25 和 30 m,以确定在距迎头 5.0 m(工人约与迎头的最小距离)断面处可形成风流方向均指向迎头控尘风流场的压风口与迎头最小距离 L_{\min} 。步骤 2) 设定 Q_F 为 $200 \text{ m}^3/\text{min}$, Y 为 1.25, L_F 为 L_{\min} , L_E 分别为 1, 2, 3, 4 和 5 m。步骤 3) 设定 Y 为 1.25, L_F 为 L_{\min} , L_E 为 3 m,由于实验掘进面断面积 S 为 9.93 m^2 ,根据国家相关规定,煤巷掘进面应符合 $15S < Q_F < 240S$,即 Q_F 范围为 $148.95 \sim 2383.2 \text{ m}^3/\text{min}$,因此,设定 Q_F 分别为 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 和 $500 \text{ m}^3/\text{min}$ 。步骤 4) 设定 Q_F 为 $200 \text{ m}^3/\text{min}$, L_F 为 L_{\min} , L_E 为 3 m, Y 分别为 1.50, 1.25, 0.75 和 0.50。

2.2.2 测风点设置

为了掌握实验掘进面整体的风流场运移状况,设置了 4 个测风断面,分别距迎头 0.5, 5.0, 20.0 和 32.0 m;并设置了 x - y 坐标系,其中,压风筒指向抽风筒、底板指向顶板分别为 x 、 y 轴正方向,每个断面上设置 7 个测风点 A~G,分别用坐标表示为(0.500,

0.500), (1.725, 0.500), (2.950, 0.500), (0.500, 1.550), (1.725, 1.550), (2.950, 1.550) 和 (1.725, 2.500), 单位为 m。采用 TSI 8347-VELOCICALC 风速流量表测定不同测点的风速大小,并利用红彩带测定风速方向。断面测风点设置如图 2 所示。

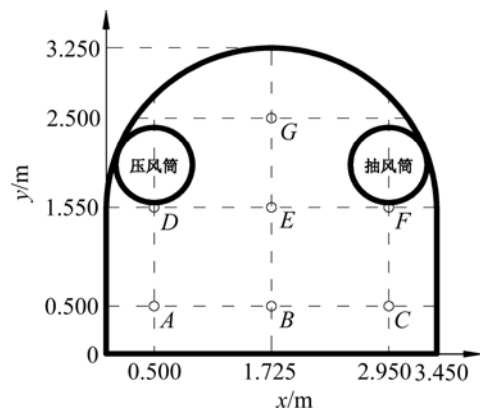


图 2 断面测风点设置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the setting wind velocity of measure point of each section

2.2.3 测尘点设置

设置了 8 个测尘断面,分别距迎头 2.5, 3.5, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 30.0 和 39.0 m,在每个断面距巷道底板 1.55 m(工人呼吸高度)处的中间位置设置 1 测尘点,采用 CCHZ-1000 全自动粉尘测定仪测定粉尘质量浓度,扬尘量约为 5 g/s 。

3 风流场运移仿真实验结果分析

掘进面风流是粉尘运动的载体,风流场运移对粉尘扩散起着重要作用,因此,首先进行风流场运移的仿真实验。以设置的通风条件依次进行实验,首先测

定步骤 1)不同 Q_F 时各测点风速, 如表 1 所示。从表 1 可见: 风速方向采用以下图标表示: “ ” 为指向迎头方向, “ ” 为逆向迎头方向, “→” 为由压风筒一侧指向抽风筒一侧, “←” 为由抽风筒一侧指向压风筒一侧, “↑” 为由巷道底板指向顶板, “↓” 为由巷道顶板指向底板。

由表 1 可知: L_F 由 10 m 增大至 30 m 时, 在距迎头 0.5 m 断面处, 风速逐渐减小, 由 L_F 为 10 m 时的 0.91~2.25 m/s 减小至 25 m 时的 0.03~0.28 m/s, 在距迎头 5.0 m 断面处, 风流方向由紊乱逐渐趋向稳定, 并在 L_F 为 25 m 时形成了均指向迎头方向流动且较为稳定的控尘风流场, L_F 为 30 m 时 7 个测点 A~G 的风速与 L_F 为 25 m 时基本一致, 这说明 L_F 的增大使压风在巷道内的扩散更为充分均匀, L_{min} 为 25 m; 当 L_F 为 10~15 m 时, 由于 Y 为 1.25, Q_F 大于抽风量 Q_E , 20% 的压风由压风口吹出, 在距迎头 20.0 m 断面处, 形成了均逆向迎头方向流动且较为稳定的风流场; 在距迎头 32.0 m 的断面处, 受除尘风机出风口高速压风的影响, 风流场较为紊乱。

测定实验步骤 2)~4)中不同 L_E , Q_F 和 Y 时各测点风速, 分别如表 2~4 所示, 从表 2~4 可见: 距迎头 5.0 m 断面测点风速以分析控尘风流场的形成状况。从表 2 还可见: 距迎头 0.5 m 断面测点风速以分析抽风口影响范围。

由表 2~4 可知:

1) L_E 为 1~5 m 时, 随着 L_E 增大, 在距迎头 0.5 m 断面处, 与抽风口相近的(2.950, 1.550)测点, 风速急剧减小, 由 L_E 为 1 m 时的 1.14 m/s 急剧减小至 5 m 时的 0.07 m/s, 说明抽风口风流场的影响范围较小; 在距迎头 5.0 m 断面处, L_E 的增大逐渐扰动了控尘风流场, L_E 为 1~4 m 时, 风流方向均指向迎头, L_E 为 1~3 m 时, 风速在 0.27~0.29 m/s 区间内, L_E 为 4 m 时, 该区间增大至 0.25~0.30 m/s, 说明 L_E 的增大不利于形成控尘风流场。

2) Q_F 为 150~250 m^3/min 时, 在距迎头 5.0 m 断面处, 均可形成控尘风流场, 但风速波动区间随着 Q_F 的增大而增大; Q_F 增大至 300 m^3/min 后, 该断面处的风速方向已发生紊乱, 说明 Q_F 的增大不利于形成控尘风流场。

3) Y 为 0.5~1.5 时, 在距迎头 5.0 m 断面处均形成了控尘风流场, 但风速的波动区间由 Y 为 1.5 和 Q_E 为 133 m^3/min 时的 0.22~0.24 m/s 逐渐增大至 Y 为 0.5 和 Q_E 为 400 m^3/min 时的 0.59~1.13 m/s, 说明 Y 的减小不利于形成控尘风流场。

表 1 不同 L_F 时各测点风速

Table 1 Wind velocity of measure point in different distances of pressure tuyere and tunnelling place m/s

断面与迎头之间的距离/m	L_F/m	测点风速						
		A	B	C	D	E	F	G
0.5	10	↓	→			→		→
		1.58	1.21	0.91	2.25	1.29	1.04	1.25
		2.48	0.64	1.83	5.02	0.86	2.04	0.82
		0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08
5.0	10	→				→		→
		0.08	0.03	0.13	0.07	0.05	0.19	0.04
		0.94	0.61	0.49	1.23	0.75	0.67	0.72
		1.62	0.93	1.35	2.76	1.42	1.79	1.36
20.0	15	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07
		→				→		→
		0.07	0.03	0.14	0.08	0.04	0.19	0.03
		→	→			→		→
32.0	15	0.19	0.28	0.04	0.32	0.46	0.51	0.44
		0.81	0.27	0.52	1.63	1.05	0.71	1.02
		←		←	←			←
		1.35	0.86	1.63	1.35	1.02	1.81	0.99
20.0	20	→				→		→
		0.08	0.04	0.15	0.08	0.04	0.18	0.04
		→			→	→		→
		0.11	0.17	0.03	0.13	0.28	0.24	0.27
5.0	25	0.29	0.28	0.27	0.29	0.28	0.27	0.29
		1.79	0.77	1.93	3.62	1.29	2.35	1.26
		→				→		→
		0.07	0.05	0.16	0.07	0.06	0.18	0.05
20.0	25	→			→	→		→
		0.11	0.16	0.03	0.13	0.29	0.24	0.26
		0.28	0.28	0.27	0.29	0.28	0.28	0.29
		1.52	0.76	1.57	2.68	1.03	1.72	1.02
32.0	30	→				←		←
		0.46	0.09	0.31	0.57	0.11	0.45	0.10

表 2 不同 L_E 时各测点风速

Table 2 Wind velocity of measure point in different distances of exhaust port and tunnelling place m/s

断面与迎头之间的距离/m	L_E/m	测点风速						
		A	B	C	D	E	F	G
0.5	1		→	↑	→	→		→
		0.18	0.26	0.21	0.19	0.51	1.14	0.53
5.0		0.29	0.28	0.28	0.29	0.28	0.27	0.29
0.5	2		→		→	→		→
		0.14	0.20	0.17	0.15	0.31	0.36	0.33
5.0		0.29	0.27	0.28	0.29	0.28	0.27	0.28
0.5	4		→		→	→		→
		0.05	0.12	0.04	0.06	0.14	0.11	0.13
5.0		0.25	0.28	0.29	0.28	0.28	0.30	0.28
0.5	5		→	→	↑	→	→	→
		0.03	0.05	0.03	0.04	0.07	0.07	0.06
5.0		0.23	0.31	0.28	0.26	0.33	1.86	0.34

表 3 断面距迎头 5.0 m 处不同 Q_F 时各测点风速

Table 3 Wind velocity of measure point in different pressed air volume in the distance of 5.0 m of heading face m/s

$Q_F/(m^3 \cdot min^{-1})$	测点风速						
	A	B	C	D	E	F	G
150	0.21	0.21	0.20	0.22	0.22	0.21	0.22
200	0.29	0.28	0.27	0.29	0.28	0.27	0.29
250	0.59	0.32	0.24	0.85	0.46	0.26	0.44
300		→	→		→	→	→
	0.95	0.67	0.49	2.38	0.96	0.63	0.92
350		→			→		→
	1.18	0.83	0.64	2.95	1.37	0.76	1.34
400		→					
	1.46	1.02	0.73	2.56	1.85	0.91	1.84
450		→					
	1.83	1.27	0.85	3.34	2.14	0.97	2.09
500		↓	→		→		→
	2.36	1.42	0.94	3.76	2.38	1.15	2.40

表 4 断面距迎头 5.0 m 处不同 Y 时各测点风速

Table 4 Wind velocity of measure point in different press extraction ratio in the distance of 5.0 m of heading face m/s

Y	测点风速						
	A	B	C	D	E	F	G
1.50	0.23	0.22	0.22	0.24	0.23	0.23	0.23
1.25	0.29	0.28	0.27	0.29	0.28	0.27	0.29
0.75	0.43	0.42	0.42	0.54	0.48	0.46	0.49
0.50	0.73	0.65	0.59	1.13	0.67	0.62	0.67

4 粉尘扩散仿真实验结果分析

实验用粉尘为 0.045 mm 筛子筛选后的煤尘，首先测定与实验系统相同断面面积掘进面常用的 Q_F 为 200 m^3/min 和 L_F 为 10 m 及未开启除尘风机时实验掘进面各测点的原始粉尘质量浓度，然后，以此为基础，测定实验掘进面在不同 L_F, L_E, Q_F 和 Y 通风条件下各测点的粉尘质量浓度。表 5 所示为各测点原始粉尘质量浓度，图 3 所示为不同通风条件下各测点粉尘质量浓度曲面。

表 5 各测点原始粉尘质量浓度

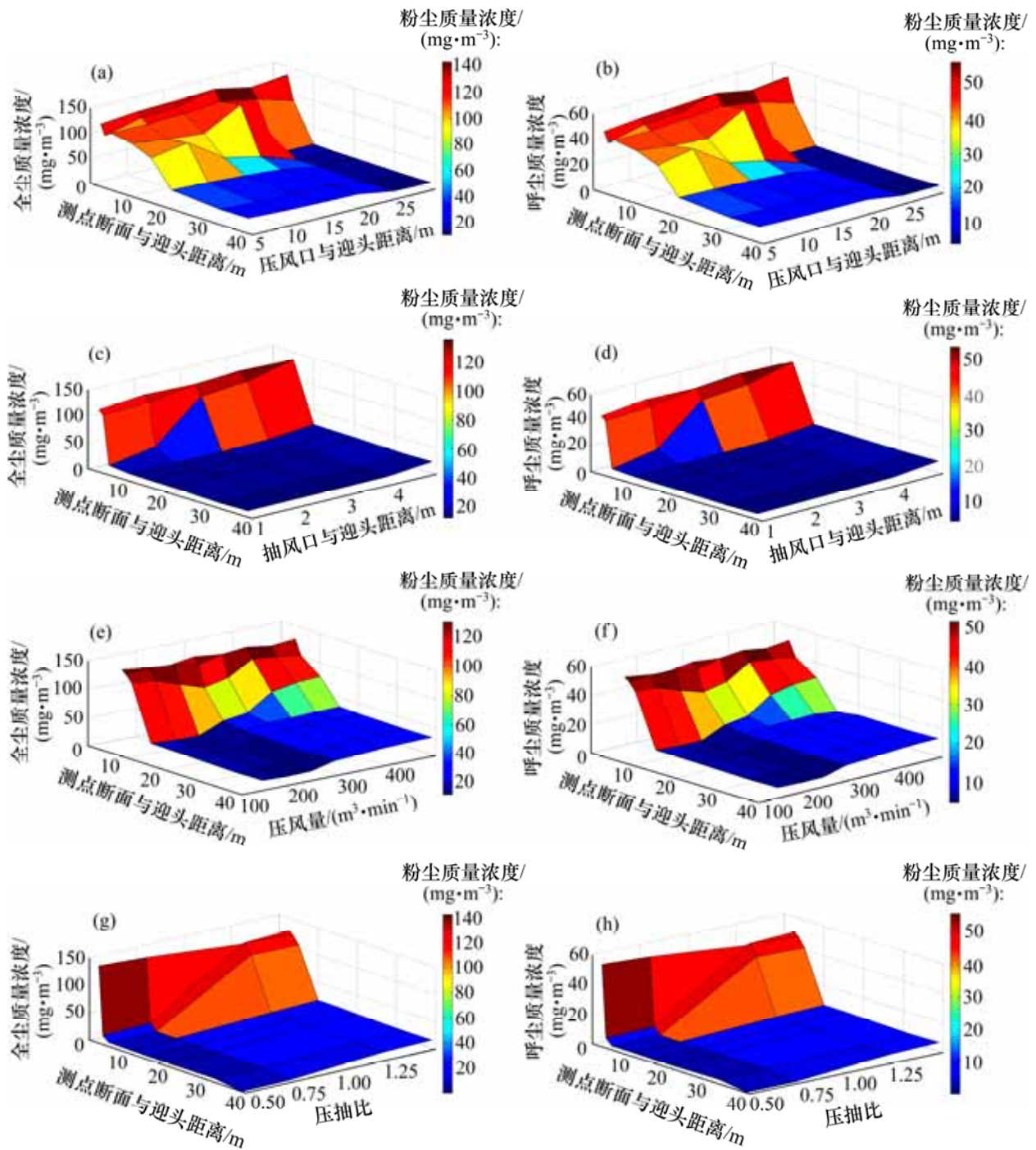
Table 5 Original dust mass concentration of measure points mg/m^3

煤尘性质	测点与迎头距离/m							
	2.5	3.5	5.0	10.0	15.0	20.0	32.0	39.0
全尘	238.6	227.5	213.5	224.5	187.3	172.5	141.9	126.3
呼尘	93.3	89.1	83.8	88.3	73.9	68.2	56.3	50.3

由表 5 与图 3 可知：

1) 不同 L_F, L_E, Q_F 和 Y 通风条件下，在距迎头 2.5~39.0 m 的实验掘进面范围内，随着测点与迎头距离的增大，粉尘质量浓度整体呈现减小或波动性减小趋势。

2) 当 L_F 为 5~30 m 时，在距迎头 5.0~39.0 m 的有人作业区域 6 个测点，全尘、呼尘的平均降尘率先由



(a) L_F -全尘; (b) L_F -呼尘; (c) L_E -全尘; (d) L_E -呼尘; (e) Q_F -全尘; (f) Q_F -呼尘; (g) Y -全尘; (h) Y -呼尘

图3 不同通风条件下各测点粉尘质量浓度曲面

Fig. 3 Curved surface of dust mass concentration of measure point under different ventilation conditions

L_F 为 5 m 时的 63.82% 和 62.74% 分别增大至 25 m 时的 84.77% 和 83.50%, 后又缓慢增大至 30 m 时的 86.82% 和 85.36%。在 L_F 由 5 m 增大至 20 m 中, 在距迎头 10.0 m 测点处, 全尘、呼尘质量浓度分别在 106.4~127.8 mg/m^3 和 41.9~50.2 mg/m^3 范围内波动, 当 L_F 为 25 m 时, 全尘、呼尘质量浓度分别急剧减小至 15.1 mg/m^3

和 5.9 mg/m^3 ; 当 L_F 为 30 m 时, 全尘、呼尘质量浓度分别急剧减小至 13.8 mg/m^3 和 5.4 mg/m^3 ; 在距迎头 5.0 m 测点处, 当 L_F 为 5~30 m 时, 全尘、呼尘的质量浓度分别在 85 mg/m^3 和 33 mg/m^3 以上, 质量浓度较高; 说明随着 L_F 增大, 迎头粉尘的扩散能力逐渐减小并在 L_F 为 25 m 后趋于稳定, 仅增大 L_F 形成的控尘风

流场控尘效果有限值。

3) 当 L_E 为 1~5 m 时, 随着 L_E 增大, 有人作业区域 6 个测点的全尘、呼尘平均降尘率由 L_E 为 1 m 时的 92.13% 和 90.57% 分别逐渐减小至 5.0 m 时的 77.59% 和 75.11%, 距迎头 5.0 m 测点处粉尘质量浓度不断增大, 全尘、呼尘浓度分别由 L_E 为 1 m 时的 18.2 mg/m³ 和 7.0 mg/m³ 增大至 5 m 时的 136.8 mg/m³ 和 53.7 mg/m³。

4) Q_F 为 150~500 m³/min 时, 随着 Q_F 增大, 有人作业区域 6 个测点的全尘、呼尘平均降尘率由 Q_F 为 150 m³/min 时的 80.98% 和 79.83% 先分别逐渐增大至 250 m³/min 时的 88.98% 和 87.25%, 后波动减小至 500 m³/min 时的 72.57% 和 71.32%; 在距迎头 5.0 m 测点处, 全尘、呼尘质量浓度也是先分别减小至 250 m³/min 时的 79.8 mg/m³ 和 31.3 mg/m³, 后分别波动增大至 500 m³/min 时的 102.4 mg/m³ 和 39.9 mg/m³。这主要是由于在 Q_F 增大至 250 m³/min 中, 在距迎头 5.0 m 断面处形成的控尘风流场风速不断增大, 使迎头粉尘的扩散能力不断减小, 压风量增大至 300 m³/min 后, 在该断面处已无法形成控尘风流场, 致使迎头粉尘的扩散能力又基本呈现增大的趋势。

5) Y 为 0.5~1.5 时, 随着 Y 减小, 迎头粉尘扩散能力不断减小, 有人作业区域 6 个测点的全尘、呼尘平均降尘率由 Y 为 1.5 时的 81.72% 和 80.81% 分别增大至 Y 为 0.75 时的 95.56% 和 94.31%, 再缓慢增大至 Y 为 0.5 时的 96.80% 和 95.22%; 在距迎头 5.0 m 测点处, Y 由 1.5 减小至 0.75 时, 全尘、呼尘质量浓度分别由 121.3 mg/m³ 和 47.6 mg/m³ 减小至 19.8 mg/m³ 和 7.5 mg/m³, 当 Y 为 0.5 时, 全尘、呼尘质量浓度分别缓慢减小至 17.2 mg/m³ 和 6.7 mg/m³, 迎头粉尘的扩散能力已基本趋于稳定。

5 结论

1) 设计进行了 L_F , L_E , Q_F 和 Y 这 4 种通风条件影响长压短抽掘进面粉尘扩散的仿真实验, 确定了不同通风条件下推动粉尘运动的风流场运移及粉尘扩散规律。

2) 风流场运移规律为 L_F 越大, L_E 越小, Q_F 越小, Y 越大, 越利于形成风速方向均指向掘进面迎头的控尘风流场, L_{\min} 为 25 m。

3) 粉尘扩散规律为在距迎头 2.5~39.0 m 的实验掘进面范围内, 随着测点与迎头距离的增大, 粉尘质量浓度整体呈现减小或波动性减小趋势; L_E 越小, 迎

头粉尘扩散能力越小, 距迎头 5.0~39.0 m 的有人作业区域全尘、呼尘平均降尘率由 L_E 为 1 m 时的 92.13% 和 90.57% 分别减小至 5 m 时的 77.59% 和 75.11%; 随着 L_F 增大, Y 减小, 迎头粉尘扩散能力逐渐减小并趋于稳定, Y 为 0.75 时有人作业区域全尘、呼尘的平均降尘率已分别增至 95.56% 和 94.31%; 随着 Q_F 增大, 迎头粉尘扩散能力先减小后增大, 其中 Q_F 为 250 m³/min 时扩散能力最小。

参考文献:

- [1] 聂文, 程卫民, 周刚, 等. 掘进面喷雾雾化粒度受风流扰动影响实验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2012, 41(3): 378-383.
NIE Wen, CHENG Weimin, ZHOU Gang, et al. Experimental study on spray atomized particle size affected by airflow disturbance in heading face[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2012, 41(3): 378-383.
- [2] 秦跃平, 张苗苗, 崔丽洁, 等. 综掘面粉尘运移的数值模拟及压风分流降尘方式研究[J]. 北京科技大学学报, 2011, 33(7): 790-794.
QIN Yueping, ZHANG Miaomiao, CUI Lijie, et al. Removal modes with the forced ventilation shunt in a fully mechanized workplace[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2011, 33(7): 790-794.
- [3] 李小川, 胡亚非, 张巍, 等. 湿式除尘器综合运行参数的影响[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(2): 862-866.
LI Xiaochuan, HU Yafei, ZHANG Wei, et al. Study of dust suppression by atomized water from high-pressure sprays in mines[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(2): 862-866.
- [4] 陈贵, 王德明, 王和堂, 等. 大断面全岩巷综掘工作面泡沫降尘技术[J]. 煤炭学报, 2012, 37(11): 1859-1864.
CHEN Gui, WANG Deming, WANG Hetang, et al. The technology of controlling dust with foam for fully mechanized excavation face of large cross-section rock tunnel[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(11): 1859-1864.
- [5] 李雨成. 基于风幕技术的综掘面粉尘防治研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学安全科学与工程学院, 2010: 27-36.
LI Yucheng. Study on control of dust at driving fully mechanized face based on air curtain technology[D]. Fuxin: Liaoning Technology University. College of Safety Science and Engineering, 2010: 27-36.
- [6] CHENG Weimin, NIE Wen, QI Yudong, et al. Research on diffusion rule of dust pollution in coal mine whole-rock fully mechanized workplace[J]. Journal of Convergence Information Technology, 2012, 7(22): 728-736.
- [7] 聂文, 程卫民, 于岩斌, 等. 全岩机掘面压风空气幕封闭除尘系统的研究与应用[J]. 煤炭学报, 2012, 37(7): 1165-1170.

- NIE Wen, CHENG Weimin, YU Yanbin, et al. The research and application on whole-rock mechanized excavation face of pressure ventilation air curtain closed dust removal system[J]. *Journal of China Coal Society*, 2012, 37(7): 1165–1170.
- [8] Torano J, Torno S, Menéndez M, et al. Auxiliary ventilation in mining roadways driven with roadheaders: Validated CFD modelling of dust behaviour[J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2011, 26(1): 201–210.
- [9] 王辉, 蒋仲安, 杜翠凤, 等. 综掘巷道粉尘体积分数分布的现场实测与数值模拟[J]. *辽宁工程技术大学学报(自然科学版)*, 2011, 30(3): 345–348.
- WANG Hui, JIANG Zhongan, DU Cuifeng, et al. Field study and numerical research on dust concentration distribution in the excavation tunnel[J]. *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science)*, 2011, 30(3): 345–348.
- [10] Klemens R, Kosinski P, Wolanski P, et al. Numerical study of dust lifting in a channel with vertical obstacles[J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2001, 14(6): 469–473.
- [11] Konorev M M, Nesterenko G F. Present-day and promising ventilation and dust-and-gas suppression systems at open pit mines[J]. *Journal of Mining Science*, 2012, 48(2): 322–328.
- [12] Nazif H R, Basirat T. Development of boundary transfer method in simulation of gas-solid turbulent flow of a riser[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2013, 37(4): 2445–2459.
- [13] Bhaskar R. Experimental studies of dust dispersion in mine airways[J]. *Mining Engineering*, 1988, 40(3): 191–195.
- [14] 徐景德, 周心权. 有源巷道中粉尘运移与浓度分布规律的实验研究[J]. *湘潭矿业学院学报*, 1999, 14(2): 1–6.
- XU Jingde, ZHOU Xinquan. The experimental study on dust transport and concentration distribution in airways with dust source[J]. *Journal of Xiangtan Mining Institute*, 1999, 14(2): 1–6.
- [15] 杨春朝, 章易程, 欧阳智江, 等. 基于流场模拟的真空清扫车吸尘口的参数设计[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2012, 43(9): 3704–3709.
- YANG Chunzhao, ZHANG Yicheng, OUYANG Zhijiang, et al. Numerical modeling on fluid-solid coupling for the waterproof coal pillar design[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2012, 43(9): 3704–3709.
- [16] Serafin J, Bebcak A, Bernatik A, et al. The influence of air flow on maximum explosion characteristics of dust-air mixtures[J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2013, 26(1): 209–214.
- [17] Silvester S A, Lowndes I S, Hargreaves D M. A computational study of particulate emissions from an open pit quarry under neutral atmospheric conditions[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(40): 6415–6424.

(编辑 罗金花)