

基于 Fluent 的扁平硐室采场粉尘浓度分布及运移规律研究

李 锋, 撒占友, 王 勇, 张海宁

(青岛理工大学 安全工程系, 山东 青岛市 266520)

摘 要:基于气固两相流理论及扁平型硐室采场特点,建立粉尘运移模型,运用 FLUENT 软件中的 $k-\varepsilon$ 双方程模型和离散相模型(DPM)对采场爆破后通风 20 min 内粉尘浓度变化,以及在不同入口风速下粉尘的运动轨迹进行了数值模拟。结果显示粉尘浓度分布受风流流场影响显著,爆破 0~50 s 时间内粉尘受回流作用聚集在硐室左侧隅角及边壁附近,50 s 之后粉尘开始由主风流带出硐室,60 s 后开始进入循环净排阶段,在 0~70 s 内粉尘浓度下降最快,70 s 以后采场内的粉尘主要是呼吸性粉尘,沉降时间较长。对粉尘运移的数值模拟显示,不同入口风速对粉尘的运移影响明显。

关键词:扁平硐室采场;粉尘浓度;粉尘运移;气固两相流;数值模拟

中图分类号:TD714 文献标识码:A
文章编号:1005-2763(2010)05-0077-04

Study on the Dust Concentration Distribution and Migration in Flat - type Chamber Stope Based on Fluent Software

Li Feng, Sa Zhanyou, Wang Yong, Zhang Haining

(Department of Safety Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao, Shandong 266520, China)

Abstract: Basing on the theory of gas - solid two - phase flow and the characteristics of flat - type chamber stope, the model of dust migration was established. $k - \varepsilon$ two - equation model and DPM (Discrete Phase Model) of fluent software was used to perform the numerical simulation no the dust concentration transformation in ventilation of 20 minutes after blasting and the movement locus of dust under different inlet wind speeds. The results showed that the flow field of airflow has a significant effect to the distribution of dust concentration. The dust gathers on the left corner of chamber and in the vicinity of chamber's side wall in 0~50 s after blasting, then, is carried away from the chamber by the main stream 50 s after blasting, and comes to the stage of the circular net emission after 60 s. The concentration of dust falls most quickly in 0~70 s, after 70 s it is mainly respirable dust, needing a long time to settle. The numerical simulation of dust

migration showed that the different inlet velocities have a significant effect to the dust migration.

Key Words: Flat - type cavern stope, Dust concentration, Dust migration, Gas - solid two - phase flow, Numerical simulation

爆破产生的粉尘是矿山作业的主要尘源之一,尤其在井下有限空间,具有浓度高且不易排出的特点。而大量粉尘长时间在采场内聚集,会严重影响工人的身体健康。本文以金属矿山最具代表性的扁平型硐室采场为基础,研究爆破后采场内的粉尘浓度分布及运移情况,对治理矿山粉尘、减少粉尘危害具有重要的意义。

1 气固两相流数学模拟的相关模型

FLUENT 中提供的两相流计算模型主要包括混合物模型、欧拉模型、VOF 模型、离散相模型等,总结起来是欧拉 - 欧拉法和欧拉 - 拉格朗日法。前者将气固两相看作相互独立又相互作用的两种流体。后者是将气体或液体看作背景流体,另外一相看作离散分布于背景流体中的颗粒或粒子^[1]。本文采用欧拉 - 拉格朗日法中的离散相模型,并应用随机轨道方法来考虑瞬时湍流速度对颗粒运动的影响,计算粉尘颗粒的运动规律以及浓度分布。离散相模型要求颗粒相的体积不能过大,即颗粒的局部体积浓度比要小于 10%^[2]。

2 几何模型的建立及边界条件的设定

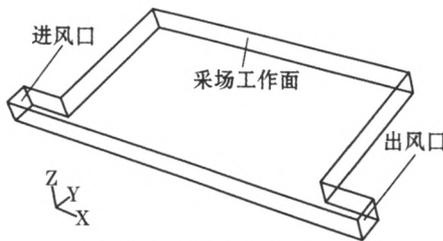
2.1 几何模型的建立

根据金属矿山采场的一般情况,将扁平硐室采场模型设为长为 30 m,宽为 15 m 的矩形,供风巷道的尺寸为 2.5 m × 2.5 m。用 GAMBIT 建立几何模型并进行网格划分(见图 1)。

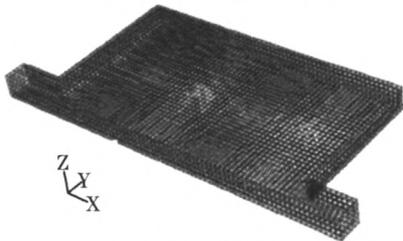
收稿日期:2009-12-03

基金项目:国家自然科学基金项目(50574050);建设部科技项目(04-2-015,06-k1-16)。

作者简介:李 锋(1983-),男,山东龙口人,硕士研究生,主要从事工矿灾害预防与控制研究,Email:lifeng525_2005@163.com。



(a) 扁平型硐室采场几何模型



(b) 扁平型硐室采场网格划分

图1 扁平型硐室采场几何模型及网格划分

2.2 边界条件的设定

将生成的网格导入到 FLUENT 中,并对几何模型设置边界条件。为探寻采场内粉尘浓度的分布情况,根据山东某金矿-340 m 水平 172 盘区采场特点,在风流湍流充分发展的情况下,模拟爆破后 20 min 内的粉尘浓度分布,详细设置参数见表 1,对粉尘源参数的设置见表 2^[2-7]。

表 1 相关模型及边界条件的参数设置

相关模型及边界条件	参数设置	相关模型及边界条件	参数设置
求解器	非耦合	入口风速	3 m/s
时间	非稳态	水力直径	2.5 m
湍流模型	标准 $k-\epsilon$ 模型	湍流强度	3.1%
离散相模型	开	出口边界类型	出流
入口边界类型	速度入口	壁面	捕捉、无滑移

表 2 粉尘源参数设置

颗粒源	参数设定	颗粒源	参数设定
材质	SiO ₂	分布指数	2.42
径粒分布	Rosin - Rammmler	初始速度	X - Velocity 0 m/s
射流源类型	面类型		Y - Velocity -6 m/s
			Z - Velocity 0 m/s
最小径粒	1.0×10^{-6} m	质量流率	$0.135 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$
中位径	5.9×10^{-5} m	湍流扩散模型	随机轨迹模型
最大径粒	1.0×10^{-4} m		

3 模拟结果及分析

3.1 粉尘浓度分布的模拟

为探寻爆破后粉尘在采场内的浓度分布规律,取 $Z=0.5 \text{ m}$, $Z=1 \text{ m}$, $Z=2 \text{ m}$ 作为基准平面,并观察 $Z=1 \text{ m}$ 平面各个时间段的粉尘浓度变化(见图 2)。

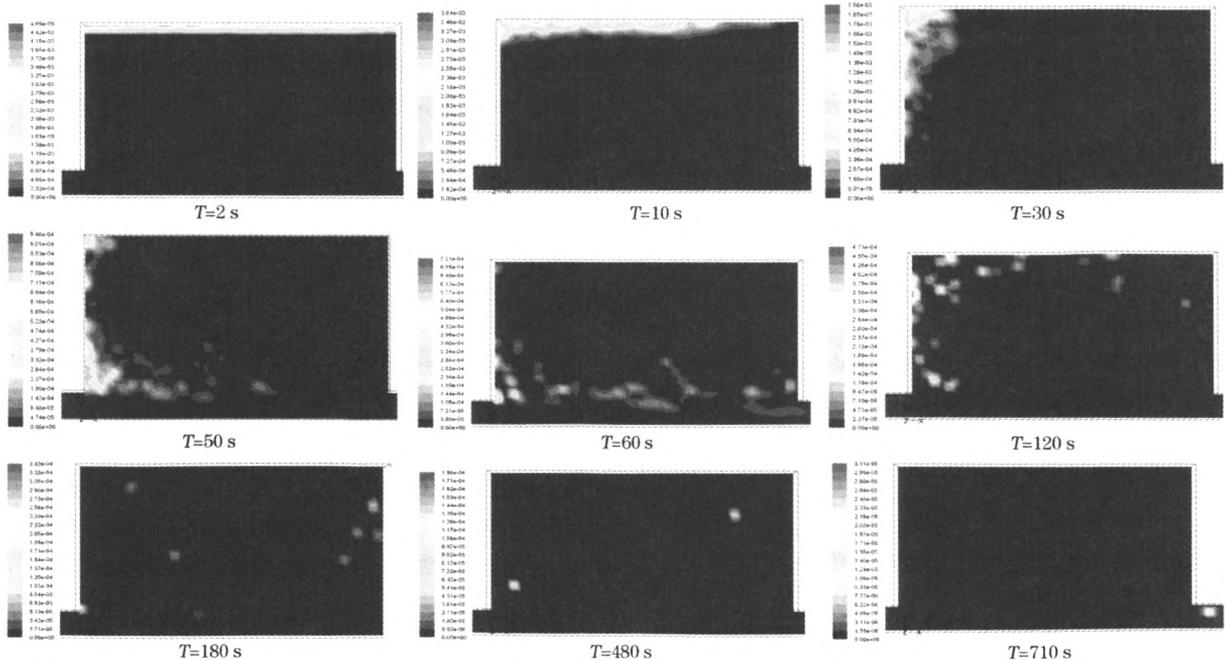


图 2 扁平型硐室采场粉尘浓度变化

从图 2 中可以看出,爆破后扁平型硐室采场粉尘浓度分布规律变化情况。

(1) 采场刚爆破后,粉尘从工作面喷入采场,此

时工作面附近聚集大量高浓度粉尘,浓度最大值约为 $4.65 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ 。

(2) 2~50 s 时间内,受距离工作面较近的回风

流影响,向硐室左侧的隅角处移动,由于硐室左侧区域风速较小,粉尘由于重力作用大量沉降,被边壁和底板捕捉。左侧隅角处的通风最困难,粉尘在其区域的浓度最高,始终在 $1.54 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ 以上。

(3) 50 ~ 60 s 时间内,粉尘受回流影响向靠近供风巷道的主流方向移动,其中一部分粉尘由主流直接带出硐室。在此期间仍有大量的粉尘被地面和壁面捕捉吸附。采场内粉尘浓度在 $3.24 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3 \sim 1.54 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ 之间。

(4) 60 ~ 710 s 时间内,粉尘进入一个循环净排期。一部分被主流带出硐室,另一部分粉尘又被带入回流中,围绕风流的涡旋运动,等运动到靠近主流区域时又有一部分被排出硐室,剩下的又进入回流中。期间大部分粉尘是难以沉降的呼吸性粉尘,这是因为呼吸性粉尘粒径较小,所受重力小,在空气中沉降的速度较慢,运动中更易受到空气浮力及风流脉动速度的影响。由于粉尘密度的下降,粉尘不再呈现连续状态分布,而是以不规则小块状聚集。

(5) 710 s 以后,硐室内的粉尘浓度已下降到 7 mg/m^3 以下,已满足作业环境的要求,可以进行正常的作业活动。

分别取 $Z=0.5 \text{ m}$, $Z=1 \text{ m}$, $Z=2 \text{ m}$ 平面,不同时刻对应的各平面内最高粉尘浓度的变化曲线见图 3。

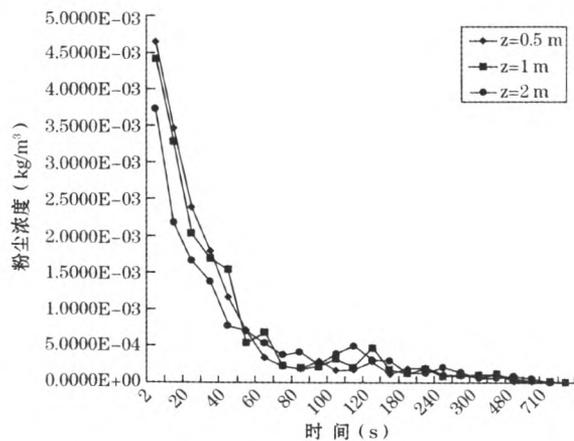


图 3 $Z=0.5 \text{ m}$, $Z=1 \text{ m}$, $Z=2 \text{ m}$ 平面上粉尘浓度最高点随时间变化曲线

从图 3 可以看出:

(1) 受重力影响,粉尘喷入采场之后,硐室下方粉尘浓度要高于硐室顶部浓度;

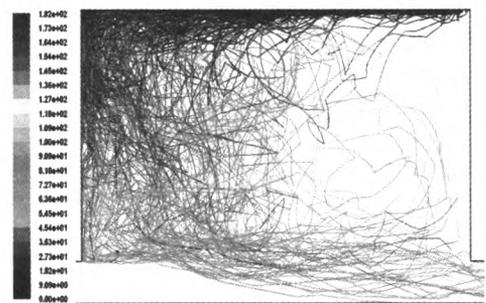
(2) 0 ~ 70 s 时间内,粉尘浓度下降速度明显,这主要是因为先沉降的粉尘其平均粒径较大,沉降速度快,容易被壁面捕捉。而剩下的部分主要是呼

吸性粉尘,粒径分布较小,沉降速度较慢,能够在硐室内飘移很长时间;

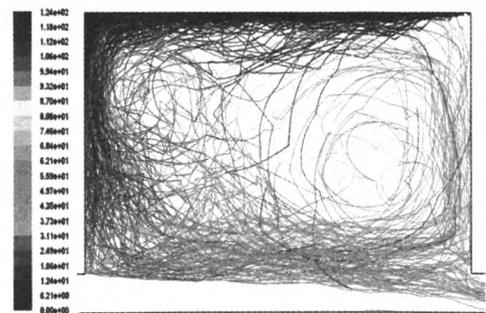
(3) 70 ~ 210 s 以后各个面在浓度分布上有一定波动性,但总体保持在 200 mg/m^3 左右,这是由于呼吸性粉尘沉降困难,一旦飞扬到工作面空间,需要很长时间和很长距离才会沉降。

3.2 粉尘运移的数值模拟

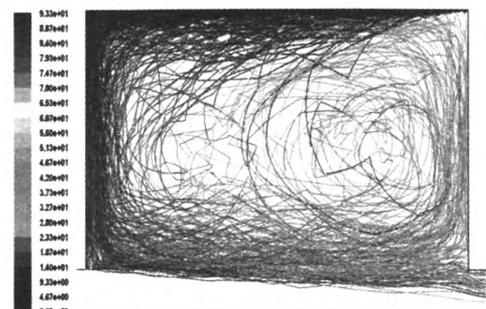
在其它条件不变的情况下,为改变供风巷道的入口风速,分别设置初始风速为 $0.5, 1.5, 3, 6 \text{ m/s}$,考虑颗粒相与连续相的耦合,利用随机轨道模型模拟粉尘的运动轨迹。图 4 左边的刻度表示粉尘在空间内停留的时间。从图 4 可以看出,不同的入口风速对粉尘的运动轨迹影响不同。供风巷道的风速越小,粉尘在采场工作面内停留的时间越长,粉尘受气相流场的影响越小。而初始风速越大的采场,粉尘在较短的时间内被捕捉、沉降或排出采场,在采场内的运动轨迹受气相流场的影响明显,从图 4 中的 b、c、d 中可看出明显的漩涡。



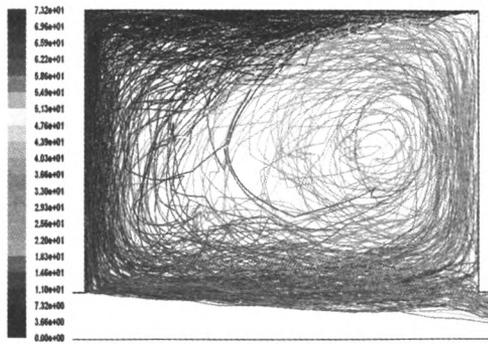
(a) 入口风速 0.5 m/s 时粉尘运动轨迹



(b) 入口风速 1.5 m/s 时粉尘运动轨迹



(c) 入口风速 3 m/s 时粉尘运动轨迹



(d) 入口风速 6 m/s 时粉尘运动轨迹

图 4 不同入口风速粉尘浓度运动轨迹

4 结 论

根据以上模拟结果,可以得出以下结论:

(1) 采场爆破后,粉尘受风流流场的影响明显,0~50 s 之内粉尘呈连续分布,并在回流带动下聚集在硐室左侧隅角及壁面附近,50 s 之后,粉尘开始由主流风带出硐室,60 s 后开始进入循环净排期;

(2) 0~70 s 内,粉尘浓度迅速下降,受重力等因素影响大量被捕捉吸附,70 s 后的粉尘主要是呼吸性粉尘,受风流脉动速度及摩擦影响,其浓度具有一定波动性;

(3) 供风巷道的风速对粉尘运动的影响明显,

风速越大,粉尘在采场内停留时间越短,受气相流场的影响越大;风速越小,其在采场内运动时间越长,受气相流场的影响较小;

(4) 模拟结果与现场实际基本一致,证明模拟具有一定的可靠性。利用数值模拟可减少人力物力方面的投资,对粉尘防治工作具有一定参考价值。

参考文献:

- [1] 牛 伟,蒋仲安,王晓珍,等.综放工作面粉尘浓度分布规律的数值模拟[J].中国矿业,2008,17(12):77~80.
- [2] 赵振保,翟慧兵,王 风.综放工作面粉尘运动的数值模拟及实验研究[J].北京理工大学学报,2008,28(12):1113~1116.
- [3] 刘 艾.矿井粉尘分布规律及防治措施[J].煤矿安全,2003,34(7):45~47.
- [4] 吴百剑.综采工作面粉尘分布规律研究[D].重庆:煤科总院重庆研究院,2008.
- [5] 李艳强,吴 超,易 斌,等.受限空间内粉尘流动的浓度分布模型及其数值模拟[J].中国安全科学学报,2007,(10):50~55.
- [6] 王晓珍,蒋仲安,刘 毅.抽出式通风煤巷掘进过程中粉尘浓度分布规律的数值模拟[J].中国安全生产科学技术,2006,(10):24~28.
- [7] 王晓珍,蒋仲安,王善文.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,(4):386~390.
- [8] 韩占忠,王 敬,兰小平.FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M].北京:北京理工大学出版社,2004.
- [9] 张镜剑,傅冰骏.岩爆及其判据和防治[J].岩石力学与工程学报,2008,27(10):2034~2042.
- [10] 王 斌,李夕兵,尹士兵,等.饱水砂岩动态强度的 SHPB 试验研究[J].岩石力学与工程学报,2010,29(5):1003~1009.
- [11] 曹 平,杨 慧,江学良,等.水岩作用下岩石亚临界裂纹的扩展规律[J].中南大学学报(自然科学版),2010,41(2):649~654.
- [12] 张有天.岩石水力学与工程[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [13] 赵阳升.矿山岩石流体力学[M].北京:煤炭工业出版社,1994.
- [14] 汤连生,张鹏程,王思敬.水-岩化学作用之岩石宏观力学效应试验研究[J].岩石力学与工程学报,2002,21(4):526~531.
- [15] 王学滨,宋维源,黄 梅,等.考虑水致弱化及应变梯度的断层岩爆分析[J].岩石力学与工程学报,2004,23(11):1815~1818.
- [16] 尤明庆.岩石试样的杨氏模量与围压的关系[J].岩石力学与工程学报,2003,22(1):53~61.
- [17] 张仁忠,令狐昌锦.瓮福磷矿 a 层矿和 b 层矿的混合选矿实践[J].化工矿物与加工,2007,(8):8~10.
- [18] 葛英勇,曾小波,甘顺鹏,等.中、低品位胶磷矿双反浮选研究[J].矿产保护与利用,2006,6(3):34~36.
- [19] 唐 云,张 覃.磨矿方式对瓮福磷矿矿石浮选指标的影响[J].矿业研究与开发,2001,2(1):22~24.
- [20] 唐 云,张 覃.TS 药剂在磷矿浮选中的作用研究[J].矿业研究与开发,2003,23(3):23~26.
- [21] 钱押林.某硅钙质磷块岩双反浮选工艺研究[J].化工矿物与加工,2006,(1):7~9.

(上接第 28 页)

(上接第 40 页)

1.67%, SiO₂ 品位为 18.00% 的 A 层矿,经过“一次粗选,一次扫选,两次精选”浮选流程,试验获得了 P₂O₅ 品位为 31.82%、MgO 品位为 0.92%、SiO₂ 品位为 12.63% 的综合精矿,其回收率为 80.24%。

参考文献:

- [1] 孙洪丽,岳 辉,刘全军.磷矿脱镁降硅进展及趋势[J].矿冶,2006,12(4):24~26.
- [2] 罗惠华,程 静,余爱萍.中低品位胶磷矿的选矿工艺研究[J].矿业工程,2007,6(3):40~42.