

# 基于数值模拟的综采工作面通风除尘风速优化

蒋仲安 张中意 谭 聪 罗俊峰 闫 鹏

(北京科技大学 土木与环境工程学院 北京 100083)

**摘 要:** 为解决煤矿综采工作面粉尘质量浓度较高的问题,以邢东矿 2225 综采工作面为研究对象,在建立综采工作面数学模型的基础上,利用 FLUENT 软件进行数值模拟,以分析风速对综采工作面粉尘运移规律的影响。研究结果表明:在一定风速范围内,随着风速的增大,综采工作面的平均粉尘质量浓度会逐渐减小,但是风速过大也会对工作的环境和条件造成负面影响,因此应确定进风口风速 2 m/s 为最优风速,在不影响工作环境的条件下使粉尘质量浓度达到最小。

**关键词:** 综采工作面; 粉尘质量浓度; 风速优化; 最优风速

**中图分类号:** TD714

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-2336(2014)10-0075-04

## Optimization on Air Velocity for Ventilation and Dust Control of Fully - Mechanized Coal Mining Face Based on Numerical Simulation

JIANG Zhong - an ZHANG Zhong - yi TAN Cong LUO Jun - feng YAN Peng

(School of Civil and Environment Engineering University of Science and Technology Beijing Beijing 100083 China)

**Abstract:** In order to solve the high dust mass concentration problem of the fully - mechanized coal mining face in coal mine taking No. 2225 fully - mechanized coal mining face of Xingdong Mine as a study object, based on the mathematics model a fully - mechanized coal mining face was established. The FLUENT software was applied to the numerical simulation to analyze the air velocity affected to the dust migration law of the fully - mechanized coal mining face. The study results showed that in a certain air velocity scope, with the air velocity increased, the average dust mass concentration of the fully - mechanized coal mining face would steadily reduced. But the air velocity too high would also cause a negative influence to the working environment and condition. Therefore, an air velocity of 2 m/s at the air inlet was determined as the optimized air velocity and under the condition of working environment not influenced, the dust mass concentration would be minimum.

**Key words:** fully - mechanized coal mining face; dust mass concentration; air velocity optimization; optimum air velocity

## 0 引 言

随着我国采煤技术的不断发展,采煤工艺的机械化程度越来越高,现在综采工作面的采煤、落煤、破碎、溜煤等各个工序都已经实现了机械一体化生产。随着采煤工艺机械化程度的提高,综采工作面的粉尘质量浓度也变得越来越大,现在综采工作面割煤时粉尘质量浓度能够达到 4 000 ~ 8 000 mg/m<sup>3</sup>,有的甚至更高,煤矿粉尘有 60% 都来自采煤工作面<sup>[1-3]</sup>。煤矿粉尘一方面会对工人的身体健康

造成严重威胁,尤其是呼吸性粉尘,长期吸入会导致尘肺病发生;另一方面煤尘爆炸是煤矿生产的主要灾害之一。2005 年 11 月,黑龙江省龙煤集团某煤矿发生特别重大煤尘爆炸事故。因此,煤矿粉尘治理刻不容缓。不少学者根据气固两相流理论对综采工作面的粉尘运移规律进行了研究,并取得了成果<sup>[4-6]</sup>,为煤矿粉尘的防治提供了理论依据。为了解决综采工作面粉尘质量浓度高的问题,笔者对不同风速条件下的工作面粉尘质量浓度进行数值模拟,从而设计出工作面的最优风速,以期对工作面的

收稿日期:2014-05-13;责任编辑:王晓珍 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2014.10.018

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51274024)

作者简介:蒋仲安(1963—),男,浙江诸暨人,教授,博士生导师。通信作者:张中意 E-mail:465055164@qq.com

引用格式:蒋仲安,张中意,谭 聪,等.基于数值模拟的综采工作面通风除尘风速优化[J].煤炭科学技术,2014,42(10):75-78.

JIANG Zhong - an ZHANG Zhong - yi TAN Cong et al. Optimization on Air Velocity for Ventilation and Dust Control of Fully - Mechanized Coal Mining Face Based on Numerical Simulation [J]. Coal Science and Technology 2014 42(10):75-78.

粉尘防治提供理论依据。

## 1 数学模型的建立

1) 气固两相模型的确定。工作面粉尘运动规律的数学模型,本质上属于气固两相流运动。该研究采用气固两相流理论中的欧拉-拉格朗日模型<sup>[7-8]</sup>,即将工作面风流作为背景流体,在欧拉坐标系下考察气体相的运动,用欧拉法进行求解;而将工作面粉尘颗粒作为离散相,视为离散分布于风流中的颗粒,在拉格朗日坐标系下研究粉尘颗粒相的运动,用拉格朗日法对粉尘的运动规律进行求解。

为方便模型的建立和求解,对综采工作面的数学模型提出如下基本假设:①视综采工作面的粉尘颗粒为连续介质,满足质量、能量和动量守恒等物理定律;②综采工作面流场边界和流体内部无强大热源,忽略热交换,视为定常等温场;③采空区的漏风量忽略不计;④工作面视为定常流动,即工作面的风量不会随着时间的变化而变化。

2) 模型的建立。邢东矿 2225 综采工作面走向长 683 m,倾斜长 99.6 m。煤层平均厚度 3.9 m,采用一次采全高采煤工艺。采用 MXG500/1130-WD 型双滚筒采煤机穿梭采煤,前滚筒割顶煤,后滚筒割底煤,滚筒旋转截齿机械落煤。工作面断面面积 15 m<sup>2</sup>,风量 960 m<sup>3</sup>/min,风速 1 m/s,温度 17℃。由于综采工作面实际情况十分复杂,所以根据现场实测的数据对工作面做出相应简化,以方便模型的建立:①综采工作面简化为 100.0 m×3.5 m×5.0 m 的立方体空间;②将采煤机简化为矩形和圆柱形的组合体;③将液压支架简化为圆柱形支柱,电缆槽简化为矩形;④其他的一些设备忽略不计(如水管)或者简化为平面(如刮板输送机)。

根据上述模型,在 GAMBIT 软件中建立 2225 综采工作面的物理模型并进行网格划分。利用离散相模型对粉尘的运移规律进行数值模拟,选择标准  $k-\varepsilon$  两方程模型,利用瞬时稳态求解器和 SIMPLEC 算法对模拟进行计算<sup>[9-15]</sup>,具体参数设定如下:

求解器	分离求解器
湍流模型	$k-\varepsilon$ 双方程模型
滚筒速度/(rad·s <sup>-1</sup> )	0.5
入口速度/(m·s <sup>-1</sup> )	0.5、1、1.5、2、2.5、3、4
水力直径/m	3.7
湍流强度/%	3.28
压力-速度耦合	SIMPLEC 算法

收敛标准	10 <sup>-3</sup>
最小粒径/m	1.85×10 <sup>-6</sup>
最大粒径/m	1.0×10 <sup>-4</sup>
分布指数	1.93
喷射源质量流速/(kg·s <sup>-1</sup> )	0.006
湍流扩散模型	随机轨道模型

## 2 数值模拟结果分析

### 2.1 综采工作面流场分布规律

在欧拉-拉格朗日气固两相模型中,采用欧拉法在欧拉坐标系下解算工作面中的气场流动。经过现场对 2225 综采工作面风速的测量,确定模型进口风速为 1 m/s,采煤机滚筒的转速为 0.5 rad/s,打开重力场,利用 FLUENT 对工作面呼吸带水平断面风流沿程分布进行模拟,如图 1 所示。

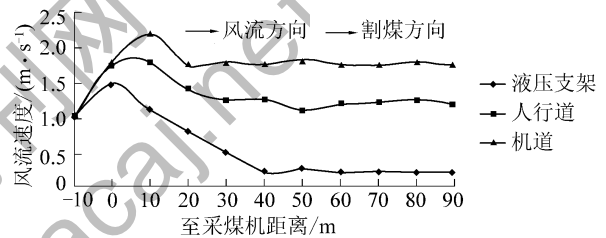


图 1 工作面呼吸带水平断面风流速度沿程分布

从图 1 可知:①进口附近的风速比较稳定,基本在 1 m/s 左右,当风流遇到采煤机之后,风流分布逐渐紊乱,风速也变大,在采煤机下侧位置风速达到最大值 2.2 m/s 左右,并且在此处有涡流产生,之后风流趋于稳定。这主要是因为采煤机处工作面的断面面积突然变化,导致风流不稳定,风速变大;另一方面采煤机滚筒的转动对附近的风流也产生影响,使之产生紊流和涡流。②在整体上,工作面机道附近的风流明显大于液压支架附近的风流,这主要是由于工作面的液压支架比较密集,风流阻力比较大,只有一小部分风流流动到此,风速在 0.2 m/s 左右,不利于粉尘的扩散。

### 2.2 粉尘质量浓度分布规律

对工作面的流场分布进行模拟之后,在采煤机滚筒附近(工作面的主要尘源)加入尘源,利用拉格朗日模型对工作面割煤时粉尘在风流中的质量浓度进行数值模拟,如图 2 所示。

由图 2 可知:①机道附近粉尘质量浓度在采煤机下风侧 3 m 处达到了一个峰值,在下风侧 10 m 处达到了粉尘质量浓度最大值,为 1 400 mg/m<sup>3</sup>左右,之后粉尘质量浓度逐渐降低,在下风侧 25 m 左右时

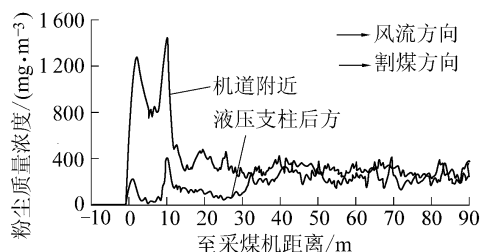


图2 工作面割煤沿程粉尘质量浓度分布

达到一个比较稳定的状态,粉尘质量浓度为  $300 \sim 400 \text{ mg/m}^3$ , 主要是因为采煤机下风侧的风速比较大,而且有紊流,采煤机在割煤时产生的粉尘在此处被风流吹起,粉尘质量浓度比较大,之后风速有所下降,风流也趋于稳定,大颗粒粉尘在重力作用下逐渐沉降,使粉尘质量浓度降低;②在液压支架后方空间,粉尘质量浓度在采煤机下风侧 10 m 位置达到了一个峰值,之后逐渐降低,在下风侧 30 m 处又逐渐上升,最后稳定在  $200 \sim 300 \text{ mg/m}^3$ ;这主要是在采煤机附近机道风速较大,粉尘不易向支架后方扩散,粉尘分布规律基本上和机道附近相似,但是粉尘质量浓度远低于机道粉尘质量浓度,之后工作面的风流趋于稳定,粉尘会逐渐向支架后方空间扩散,使此处的粉尘质量浓度有所增加。

### 2.3 风速对工作面粉尘运移规律的影响

对在不同风速下的粉尘运移规律进行数值模拟,得出最优的风速条件,使工作面的粉尘质量浓度有所降低,又不至于过高增加经济投入,从而改善工作面的工作环境。2225 综采工作面现场测量的进风口风速为  $1 \text{ m/s}$ ,对进风口速度  $v = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0 \text{ m/s}$  分别进行数值模拟,得出工作面粉尘质量浓度在不同风速条件下的分布规律,模拟结果如图 3 所示。

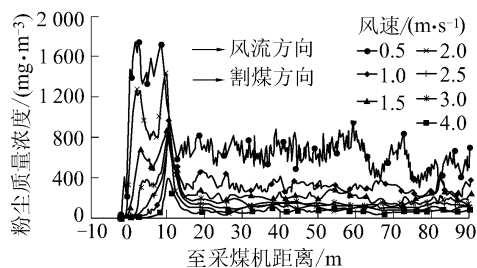


图3 不同风速条件下粉尘质量浓度分布

采煤机位于工作面 -40 m 位置时,由图 3 可知:①在不同的风速条件下,粉尘在工作面的沿程变化规律基本相似,都是在采煤机下风侧大概 10 m 位置粉尘质量浓度达到了最大值,之后粉尘质量浓度逐渐降低,最后在下风侧大概 30 m 处达到了一个比

较稳定的状态;②随着风速的增加,工作面中粉尘质量浓度的最大值和最后稳定状态的浓度都逐渐降低,在风速  $0.5 \sim 2 \text{ m/s}$  变化比较大,风速达到  $2 \text{ m/s}$  以上时粉尘质量浓度变化不大;主要是由于随着风速的增大,粉尘会随着风流快速扩散到回风巷中,导致工作面的粉尘质量浓度(尤其是呼吸性粉尘质量浓度)降低;但是随着风速的增大,尘源的产尘量也会随着增加,当风速增加到一定程度时粉尘的沿程分布浓度会达到一个平衡状态,粉尘质量浓度的降低有所减少,最终导致粉尘质量浓度沿程分布变化不大;考虑到实际工作面中由于喷雾、注水等因素导致工作面环境比较潮湿,而且在工作面中沉降的粉尘绝大部分为大颗粒粉尘,在风速作用下粉尘的扬尘效果不明显,所以忽略扬尘对粉尘质量浓度沿程分布的影响。

根据对不同风速条件下粉尘运移规律的数值模拟可知,当风速在  $2 \text{ m/s}$  时粉尘质量浓度的最大值和稳态值都有了大幅下降,当风速高于  $2 \text{ m/s}$  时,粉尘质量浓度下降不太明显。根据瓦斯涌出量、二氧化碳涌出量、工作面工作人数等工作面需风量影响因素计算出的需风量分别为  $893, 108, 37, 64 \text{ m}^3/\text{min}$ ;2225 综采工作面的断面面积为  $15 \text{ m}^2$ ,有效通风断面面积为  $10.5 \text{ m}^2$ (根据经验值,有效通风断面面积的系数为 0.7),当风速为  $2 \text{ m/s}$  时,需风量为  $1260 \text{ m}^3/\text{min}$ ,能够满足上述条件的需风量。综上所述,当风速为  $2 \text{ m/s}$  时,综采工作面的粉尘质量浓度大幅降低,而且  $2 \text{ m/s}$  的风速对工作面的正常生产不会造成太大的影响,因此在实际的工程应用可以将  $2 \text{ m/s}$  作为综采工作面的最优风速。

### 3 现场粉尘质量浓度测定

根据 GBZ/T 192.1—2007《工作场所空气中粉尘测定》及相关文献粉尘采样点布置方法,对邢东矿 2225 综采工作面的粉尘质量浓度进行现场实际测量,在工作面采煤机割煤时沿程布置多个测点,采用 AKFC-92A 粉尘采样仪对顺风割煤时粉尘质量浓度进行测定,每个点测 4 次,结果取算术平均值。模拟与实测结果对比如图 4 所示。

由图 4 可知,在粉尘运移规律上,测量数据和模拟数据基本吻合,都是在采煤机下风侧某处粉尘质量浓度达到最大值,之后逐渐降低,最终稳定在一个状态,大概在  $400 \text{ mg/m}^3$  左右。也有部分数据不是特别吻合,如粉尘质量浓度最大值和位置等都有

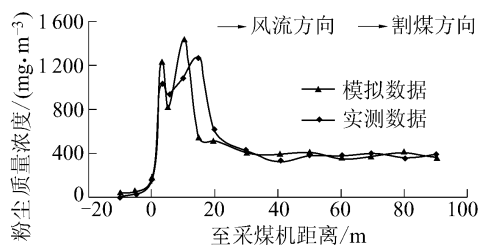


图4 模拟与实测粉尘质量浓度对比

所差异。主要原因为:一方面数值模拟建立的模型是工作面简化的理想模型,和实际的工作面有所差别;另一方面在实际测量粉尘质量浓度时,由于井下条件所限,测量数据时会存在一定的误差。综合考虑,两者之间的误差是可以接受的,说明数值模拟的结果是可信的,即根据风速对综采工作面粉尘运移规律的影响,可以将 $2\text{ m/s}$ 的风速作为工作面的最优风速,从而降低粉尘质量浓度,改善工作环境。

#### 4 结 论

1) 综采工作面的风流在采煤机附近会产生紊流,其他区域的风流比较稳定,符合层流特性,机道附近的风流明显大于液压支架后方空间的风流。

2) 综采工作面中的粉尘质量浓度会在采煤机下风侧大概 $10\text{ m}$ 位置达到最大值,之后逐渐降低,在 $25\sim 30\text{ m}$ 位置达到一个比较稳定的状态;机道附近的粉尘质量浓度大于液压支架后方空间的粉尘质量浓度,在风流稳定区域两者之间的差距比较小。

3) 不同的风速条件下,综采工作面的粉尘运移规律在总体上是-致的,随着风速的逐渐增大,粉尘质量浓度会逐渐降低,风速达到 $2\text{ m/s}$ 以上时,由于尘源的产尘量增大,粉尘质量浓度的降低效果不是很明显,因此可以将 $2\text{ m/s}$ 的进风口风速作为综采工作面的最优风速。

4) 综采工作面的粉尘质量浓度居高不下,对工作环境和工人健康造成了不良影响,因此需要对粉尘问题进行综合治理,经过相关研究确定了风速对综采工作面沿程粉尘质量浓度分布规律的影响,对粉尘的防治具有指导意义,再结合其他粉尘防治措施(如喷雾降尘等)进行综合治理,能够有效改善综采工作面的工作环境。

#### 参考文献:

- [1] 刘毅,蒋仲安,蔡卫.综采工作面粉尘浓度分布的现场实测与数值模拟研究[J].煤炭科学技术,2006,34(4):80-82.
- [2] 牛伟,蒋仲安,刘毅.综采工作面粉尘运动规律数值模拟

及应用[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2010,29(3):358-360.

- [3] 谢耀社,姜学云.负压降尘技术及其应用[J].中国矿业大学学报,2003,32(5):567-570.
- [4] 杨胜来.综采工作面粉尘运移和粉尘浓度三维分布的数值模拟研究[J].中国安全科学学报,2001,11(4):61-64.
- [5] 苗飞,赵磊磊.综放工作面粉尘运动规律数值模拟及现场实测[J].中州煤炭,2011(5):11-13.
- [6] 时训先,蒋仲安,周妹娟.等.综采工作面粉尘分布规律的实验研究[J].煤炭学报,2008,33(10):1117-1121.
- [7] 王晓珍,蒋仲安,王善文.等.煤巷掘进过程中粉尘浓度分布的数值模拟[J].煤炭学报,2007,32(4):386-390.
- [8] Mohammad Masroor Mlam. An Integrated Approach to Dust Control in Coal Mining Face Areas of a Continuous Miner and Its Computational Fluid Dynamics Modeling[D]. America: Southern Illinois University Carbondale, 2006: 30.
- [9] 蒋仲安,陈举师,王晶晶.等.胶带输送巷道粉尘运动规律的数值模拟[J].煤炭学报,2012,37(4):559-563.
- [10] 杜翠凤,王辉,蒋仲安.等.长压短抽式通风综掘工作面粉尘分布规律的数值模拟[J].北京科技大学学报,2010,32(8):957-962.
- [11] 陈举师,蒋仲安,杨斌.等.破碎硐室粉尘浓度空间分布规律的数值模拟[J].煤炭学报,2012,37(11):1865-1870.
- [12] 蒋仲安,姜兰,陈举师.露天矿潜孔打钻粉尘浓度分布规律数值模拟[J].深圳大学学报:理工版,2013,30(3):313-318.
- [13] 蒋仲安,万善福,孙佳.基于粒子系统的爆破烟尘运动的模型研究[J].北京科技大学学报,2007,29(2):25-29.
- [14] 秦跃平,张苗苗,崔丽洁.等.综掘工作面粉尘运移的数值模拟及压风分风降尘方式研究[J].北京科技大学学报,2011,33(7):790-794.
- [15] 周江.西石门铁矿皮带运输粉尘运动规律数值模拟及控制的研究[D].北京:北京科技大学,2010:54-60.

#### (上接第56页)

- [3] 张百胜,杨双锁,康立勋.等.极近距离煤层回采巷道合理位置确定方法探讨[J].岩石力学与工程学报,2008,27(1):97-101.
- [4] 周启为.王村矿极近距离煤层开采技术[J].煤炭科学技术,2006,34(3):6-10.
- [5] 武忠,李日官.极近距离煤层回采巷道布置研究[J].煤矿开采,2002,7(4):14-15,18.
- [6] 鲁岩,高杰,刘长友.等.近距煤层同采巷道优化布置研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(6):798-801.
- [7] 张炜,张东升,陈建本.等.极近距离煤层回采巷道合理位置确定[J].中国矿业大学学报,2012,41(2):183-187.
- [8] 李化敏,刘明举,康全玉.下分层及近距离煤层回采巷道布置问题研究[J].煤矿设计,1998(6):7-8.
- [9] 黄艳利,张吉雄,范军.等.近距离煤层回采巷道合理布置方案[J].煤矿安全,2009,40(9):66-67.
- [10] 马全礼,李洪,白景志.极近距离下位煤层工作面巷道布置及其支护方式[J].煤炭科学技术,2006,34(9):37-39.