

# Numerical Simulation Research on Influencing Factors Affecting Dust Movement in Roadway

Zhan Shi Yifei Zhao Ziyi Zhang Lei Fang

School of Emergency Management and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing, 100000, China

## Abstract

According to the actual situation of a mine tunnelling, this paper establishes a model through reasonable simplification, grasps the main parts, and establishes a dust movement model based on the theory of gas-solid two-phase flow. through the numerical simulation of the dust movement under different boundary conditions and initial conditions, the movement and distribution of dust are studied, and the distribution characteristics of dust concentration in the excavation roadway are grasped, so as to clarify the factors that lead to the increase of dust concentration and the wind speed conditions that are conducive to dust removal and dust reduction provide a basis for actual dust control work.

## Keywords

dust particles; build model; wind speed

## 影响巷道粉尘运移的影响因素数值模拟研究

施展 赵艺菲 张子屹 方磊

中国矿业大学(北京)应急管理与安全工程学院, 中国·北京 100000

## 摘要

论文根据某矿井下掘进巷道的实际情况,通过合理简化,抓住主要部分,建立模型,依据气固两相流理论,建立粉尘运动模型。通过对不同边界条件及初始条件情况下的粉尘运动状况进行数值模拟,对粉尘的运移及分布规律进行研究,掌握粉尘浓度在掘进巷道内的分布特点,从而明确导致粉尘浓度上升的影响因素以及有利于排尘降尘的风速条件,为实际的粉尘控制工作提供依据。

## 关键词

粉尘颗粒; 构建模型; 风速

## 1 引言

煤矿作为中国的主体能源,在中国能源结构上占有重大比例,这也确立了煤在中国能源无可替代的地位。近年来,随着科技进步,社会的发展,国家能源的需求日益增大,这也给煤矿的开采使用提出了巨大的任务。

## 2 煤矿粉尘浓度超标背景下的治理方法

在这种背景下,煤矿井下生产效率大幅提高的同时也导致局部粉尘浓度严重超标。作为矿井高产尘地点的掘进工作面,在煤矿开采的过程会产生高浓度的局部粉尘,浓度高达  $1000\text{mg}/\text{m}^3$  以上。就目前来看,煤矿的粉尘已经成为中国最大的职业危害之一。第一,高浓度的粉尘第一会严重威胁工人的身心健康,长期吸入高浓度的粉尘会诱发尘肺病等高危职业病。同时,高浓度的粉尘也会加速机械的磨损,

缩短机械的使用寿命,大大增加了煤矿的生产成本。第二,在高浓度的粉尘环境中,存在煤尘爆炸的风险,易造成严重的生产事故,造成人员与财产的损失。因此,在此类严峻形势的推动下,如何防治矿井煤尘,减少其对于矿井生产的影响,已经成为了当下煤矿行业急需研究的重点问题<sup>[1]</sup>。

目前,在煤矿生产过程中主要的防尘、降尘方法主要有通风除尘、煤层注水、喷雾降尘、泡沫除尘等。为取得更好的除尘效果,进一步了解掘进工作面粉尘的运移规律和时空分布,是能否实现掘进工作面高效除尘的基础。在实际生产过程中,掘进工作面往往是一条独头巷道,通风系统一般是由矿用局部通风机和风筒组成的,其作用是引入进风巷道内的新鲜风流对掘进工作面产生的粉尘进行稀释和排出。通风风速和粉尘粒径对独头巷道中煤尘的运移、分布、排出生产生巨大影响。

## 3 建立模型

模型以实际现场煤矿掘进工作面为对象,根据掘进工

【作者简介】施展(2000-),男,中国安徽池州人,在读本科生,从事矿井煤尘研究。

作面的实际情况,进行构建模型,并进行一定简化处理,再利用 FLUENT 流体仿真软件,利用 DPM 模型模拟独头巷道掘进工作面煤尘颗粒在不同风速下的运动轨迹与分布状况。为了更加合理地模拟掘进工作面现场情况,在数值模拟之前进行了一定的假设。

①巷道内大气温度湿度相对稳定,忽略温湿度变化造成的影响。

②忽略重力作用造成的空气流速变化。

③将粉尘颗粒视为密度相同的球体。

④忽略颗粒之间的作用,考虑颗粒与壁面的碰撞。

## 4 设定边界条件与模型参数

设定掘进工作面工作时粉尘产生量为 0.006kg/s,在模拟过程中粉尘微粒以恒定的质量率 0.006kg·s<sup>-1</sup> 流入巷道内。在此仿真分析中,粉尘颗粒的粒径服从 Rosin-Rammler 分布,粉尘粒径范围在 1.8×10<sup>-6</sup>~1×10<sup>-4</sup>,1.15×10<sup>-5</sup> 平均粒径,其他具体参数如表 1 所述。

表 1 模型参数

参数	数值
巷道尺寸/m	25×4×3
风管直径/m	0.74
送风管长度/m	23
粉尘密度/kg·s <sup>-1</sup>	1250
空气密度/kg·m <sup>-3</sup>	1.225
空气粘度/m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	1.79×10 <sup>-5</sup>

## 5 使用模型

工作面粉尘运移、扩散以及分布问题属于多相流问题中的气固两相流问题。离散相模型(DPM——Discrete Phase Model),Fluent 中对气固两相颗粒流问题的模拟,主要采用其自带的离散相模型(DPM——Discrete Phase Model)。此模型是以欧拉—拉格朗日方法为基础建立的<sup>[2]</sup>。其把流体作为连续介质,在欧拉坐标系内加以描述,对此连续相求解输送方程,而把粉尘颗粒群作为离散体系,通过积分拉氏坐标系下的颗粒作用力微分方程来求解离散相颗粒的轨道,可以计算出这些颗粒的轨道以及由颗粒引起的热量/质量传递。

同时,在计算中,相间耦合以及耦合结果对离散相轨道、连续相流动的影响均可考虑进去。当计算颗粒的轨道时,Fluent 跟踪计算颗粒沿轨道的热量、质量、动量的得到与损失,这些物理量可作用于随后的连续相的计算中去。于是,在连续相影响离散相的同时,也可以考虑离散相对连续相的作用。交替求解离散相与连续相的控制方程,直到二者均收敛(二者计算解不再变化)为止,这样就实现了双向耦合计算,从而得到工作面的压力场、风流速度场、每个位置粉尘粒子的运动状态以及粉尘的浓度分布。

## 6 模拟结果与分析

### 6.1 模型的构建

巷道内气固两相的分布特征掘进工作面粉尘入口质量流率不变,送风管送风速度设置为 10m/s。通过 fluent 仿真模拟分析,得到了粉尘随时间的运移规律及时空变化。

随着时间的推移,粉尘颗粒在巷道中随气流不断扩散,直至充满巷道。同时,在巷道内的粉尘分布是随着风流变化而变化,在粉尘在 2s 时开始产生,粉尘在通风管风流作用下偏移原本的运动方向,向一侧集中,形成高浓度地区。新鲜风流从送风管中流出后由巷道后方排出,将新鲜空气污染形成污风,同时巷道内的粉尘浓度也不断上升,使工作环境变差。在巷道中间位置形成一个较窄的污染面,粉尘在其位置集中在通风管的对侧,而在风管附件粉尘浓度较低<sup>[3]</sup>。

### 6.2 粉尘颗粒大小对于巷道内粉分布的影响

模型中粉尘颗粒的粒径服从 Rosin-Rammler 分布,改变掘进工作面产生颗粒的粒径平均值,从而得到不同颗粒粒径对粉尘运移的影响,分别改变模型中粉尘颗粒的粒径为 2×10<sup>-5</sup> 和 5×10<sup>-5</sup>。

### 6.3 送风风速对巷道内粉尘分布的影响

改变掘进工作面送风管送风速度 7m/s、10m/s、13m/s,分析送风管风流出口速度对独头巷道内掘进产生粉尘颗粒浓度随时间变化状况,设粉尘颗粒进入巷道内的速度为 0,由掘进壁面上的圆形区域内对外喷出,喷出的粉尘量保持固定为 0.006kg/s,保持恒定。

掘进工作面风速不变的作用下,越靠近掘进面,粉尘浓度有先增大后减小的趋势。这是因为在巷道前端,粉尘刚进入巷道内部还未有效的扩散。而粒径较大的粉尘颗粒能在风速较大的情况下随着风流运移,但是随着风流向巷道后方流动,有效断面增大,巷道内的风速逐渐减小,粒径较大的粉尘因为自身重力较大,在自身重力作用下发生沉降,巷道后方粉尘浓度逐渐降低。对比于同一距离下不同送风风速的粉尘浓度分布发现,送风速度越大,巷道后方的粉尘浓度却越小。在靠近掘进面位置,7m/s 时的粉尘浓度与 13m/s 的粉尘浓度都大于 10m/s,因此对于风速过大或过小都会导致粉尘在掘进面处加快传播,造成污染面增大。

粉尘主要集中在巷道的中下部且在平面区域呈三角形,随着与出口距离的增加,粉尘扩散加剧。在风速为 7m/s 时粉尘大量在巷道内积聚,粉尘无法快速排出,造成环境快速恶化,严重危害掘进作业的安全生产与工作人员的身心健康。当送风速度增加到 10m/s 时,气流对粉尘颗粒的曳力增加,模拟结果中显示为红色的高浓度粉尘区域面积减少,表明此时的掘进机后方送风管一侧粉尘浓度开始降低;当送风速度为 13m/s 时,气流对粉尘颗粒的曳力加强使其能够起到主要作用,颗粒受到风流的作用大于其他力,使其定向朝逃离方向在掘进工作面附近颗粒聚集现象明显减弱。掘进机后方送风管一侧粉尘浓度明显低于另一侧。由上述分析可知,

增大送风速度能够减少粉尘颗粒在掘进工作面的积聚,缩短粉尘滞留巷道内的时间,降低巷道内粉尘浓度。

## 7 结语

论文利用 Euler-Lagrange 模型,探讨了掘进工作面产尘粒径和不同送风速度两个影响因素对巷道内粉尘颗粒运移规律及分布进行了数值模拟和分析。研究表明:粉尘粒径越小,扩散作用越强,易在航带内扩散,形成多处高浓度区域,不利于粉尘防治。巷道内粉尘分布受掘进工作面送风速度变化影响较大。当送风速度为 7m/s 时,粉尘在掘进机前端积聚,粉尘无法及时排出。当增大送风速度时,由于风流对粉尘颗粒的曳力增大,能够快速吹散掘进机前端积聚的高浓度粉尘,加快粉尘排出巷道的速度。同时,在巷道后方送风筒一侧粉尘浓度明显低于巷道另一侧。

综上所述,控制煤尘粒径大小可以改变粉尘扩散的范

围及高浓度区域分布,提高工作面送风速度能够快速有效的排出巷道内的粉尘,降低巷道内粉尘浓度,保证安全生产,减少工人患尘肺病的概率,提高生产效率。但在生产过程中,要注意风速应当选取最优值防止产生二次扬尘,同时要采取多种措施控制其产生煤尘的粒径,增强除尘效率,同时提高一线工人工作中的舒适度<sup>[4]</sup>。

## 参考文献

- [1] 张文昌,夏昭林.职业卫生与职业医学[M].石家庄:科学出版社,2008.
- [2] 蒋仲安,金龙哲,袁绪忠,等.掘进巷道中粉尘分布规律的实验研究[J].煤炭科学技术,2001(3):43-45.
- [3] 王冕.掘进巷道流场结构及粉尘沉降规律相似模拟研究[J].矿业安全与环保,2021,48(3):56-61.
- [4] 尚治州.大采高综采工作面呼吸带风流及粉尘运移数值模拟研究[D].西安:西安科技大学,2020.

(上接第 105 页)

援组织。国家也需要管理好这些救援组织,统一领导,提高救援人员的综合素质,保证在灾难发生后可以有效应对。

## 参考文献

- [1] 郭德勇,刘金城,姜光杰.煤矿瓦斯爆炸事故应急救援响应机制[J].煤炭学报,2006,31(6):697-700.
- [2] 张军波,杨程涛.煤矿瓦斯爆炸应急救援力量需求计算模型[J].中国煤炭,2016,42(7):86-88+104.
- [3] 焦宇,周心权,谭国庆.煤矿特别重大瓦斯爆炸事故应急救援及决策实施效果评价原则[J].煤矿安全,2009,40(8):116-119.

- [4] 许胜铭,景国勋.煤矿瓦斯爆炸事故的应急救援物资调度模型研究[J].安全与环境学报,2015,15(5):104-107.
- [5] 王立新,张伟国,陈庆松,和龙庆兴.煤矿发生瓦斯爆炸事故 王儒林巴音朝鲁现场指挥抢险救援和善后处理等工作[J].吉林劳动保护,2013(4):8-9.
- [6] 徐和甜,董刚.“3·22”辽阳灯塔煤矿瓦斯爆炸公务员救治——解放军201医院紧急医学救援纪实[J].人民军医,2012,55(8):4.
- [7] 黄成顺.“11.30”瓦斯爆炸事故及在抢险救援过程中发生突发事件的处理[J].科技风,2011(9):254+259.