

doi: 10.11918/j.issn.0367-6234.2015.08.021

综放面多尘源粉尘分布规律数值模拟及实测

王洪胜¹, 谭聪², 蒋仲安¹, 张义坤¹, 王明¹

(1.北京科技大学 土木与环境工程学院, 100083 北京; 2.北京市劳动保护科学研究所, 100054 北京)

摘要:为解决综放工作面粉尘浓度高的问题,掌握各作业工序粉尘浓度空间分布规律,有效指导粉尘控制工作,依据气固两相流理论,运用 Fluent 软件对综放工作面割煤、移架、放顶煤、转载各工序单独及同时作业时的粉尘分布规律进行数值模拟,并与现场实测数据进行对比分析。结果表明:割煤作业粉尘沿采煤机机道扩散的同时向人行道空间扩散,需在滚筒尘源处控尘,并在采煤机外侧采取水幕帘除尘措施;移架作业时人行道粉尘浓度高于机道粉尘浓度,需在机道空间和人行道空间均设置架间喷雾;放煤作业粉尘沿人行道空间分布较大,需在放煤口采取隔尘措施;转载点局部风速大,粉尘影响范围较广,应采取密封等措施,还应在放煤和割煤作业之间增加全断面喷雾降尘装置。

关键词:综放工作面;多尘源;粉尘;分布规律;数值模拟

中图分类号: TD714.2

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2015)08-0106-07

Numerical simulation and field measurement of dust distribution for multi-source dust at fully mechanized caving face

WANG Hongsheng¹, TAN Cong², JIANG Zhongan¹, ZHANG Yikun¹, WANG Ming¹

(1.School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, 100083 Beijing, China;

2.Beijing Municipal Institute of Labour Protection, 100054 Beijing, China)

Abstract: To lower dust concentration at fully mechanized caving faces, master spatial distribution rules of dust in various operation processes, and effectively direct dust control, the thesis, on the basis of gas-solid two-phase flow theory, carried out the numerical simulations with Fluent software to trail the dust distribution rules of coal cutting, support moving, sub-level caving, and transshipping at fully mechanized caving faces in single and multiple processes, and the results of which were made comparison with the site data. The findings were as follows. Coal-cutting dust spreads not only along the chute of shearer, but to footway, thus dust control near the drum and water curtain for dust reduction are necessary. Dust concentration of footway is higher than that of chute when moving supports, therefore, mist spray between supports should be equipped both in footway and chute. Considering the higher dust concentration of sub-level caving at the footway, dust separation should be done in the drawing opening. Higher air velocity at partial area of transpersite and a widespread effect of dust require the measures like sealing be adopted. In addition, full-section spraying devices should be installed between processes of sub-level caving and coal cutting.

Keywords: fully mechanized caving face; multi-source dust; coal dust; distribution rule; numerical simulation

综放工作面是煤矿井下最大的产尘场所,粉尘浓度高达 $1\ 500\ \text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 以上,远远超过国家有关卫生标准,严重威胁煤矿工人的身心健康,还大大恶化了工作条件,加大了机械设备的磨损,还有煤尘爆炸的危险^[1-3]。同时,综放工作面生产工序多、尘源多、

现场条件复杂,粉尘治理难度较大。因此,研究综放工作面各尘源粉尘分布规律,对于有针对性地采取合理的粉尘治理措施有重要的指导意义。

数值模拟作为一种简便、经济、实用的研究方法,在粉尘控制方面得到广泛应用。Alam^[4]利用 Fluent 模拟了巷道设备运行条件下的粉尘分布及运动规律,Witt 等^[5]针对传输装置产生的扬尘,利用计算机动态流体模型预测其运动轨迹。在国内,蒋仲安等^[6]针对综采工作面粉尘运动规律进行了数值模拟研究,程卫民等^[7]针对综掘工作面粉尘控制进行

收稿日期: 2014-05-21.

基金项目: 国家自然科学基金(51274024).

作者简介: 王洪胜(1976—),男,博士研究生;

蒋仲安(1963—),男,教授,博士生导师.

通信作者: 蒋仲安, jza1963@263.net.

了数值模拟,秦跃平等^[8]针对综掘面粉尘运移进行了数值模拟,赵振保等^[9]针对综放面粉尘分布进行了数值模拟,并取得了一定的成果.其他学者也在粉尘运移数值模拟方面做了大量工作^[10-14],但这些研究仅探讨了工作面整体粉尘分布情况,未能详细研究各个尘源的粉尘分布规律.本文采用数值模拟和现场实测的方法,深入探讨了综放工作面割煤、移架、放顶煤、转载 4 大工序单独作业以及同时作业时的粉尘分布规律,为综放工作面单尘源降尘和多尘源降尘的有机结合提供了技术支持.

1 模型的建立

1.1 气固两相模型的确定

粉尘在空气流场中的运动本质上属于气固两相流运动^[15-17].气固两相流理论主要有 3 种观点:第 1 种是将粉尘颗粒作为拟流体,假设其在空间中有连续的速度、温度分布及等价的输送性质,将粉尘颗粒相与气体相均在欧拉坐标系下处理;第 2 种是在欧拉坐标系下考察气体相的运动,而将粉尘颗粒作为离散相,在拉格朗日坐标系下研究粉尘颗粒相的运动;第 3 种是将流体作为拟颗粒,从单颗粒尺度上描述流体微团的运动特征,将气相和粉尘颗粒相均在拉格朗日

坐标系下处理.本文采用第 2 种观点,建立欧拉—拉格朗日模型,将工作面风流作为背景流体,用欧拉法进行求解;将粉尘看作离散分布于风流中的颗粒,运用拉格朗日法对粉尘的运动轨迹进行求解.

1.2 几何模型的建立

某矿某综放工作面,煤层平均厚度 14.44 m,采高 3.9 m,平均放煤高度 10.54 m,平均控顶距 6 m,倾斜长 207 m,走向长 1 932.6 m,工作面设计风量 2 087 m³·min⁻¹.采用单一走向长壁后退式综合机械化低位放顶煤开采,用 Eickhoff SL-500AC 型采煤机落煤、装煤,42×1000×268AFC 2×1050KW TTT 型前部刮板运输机和 42×1250×268AFC 2×1050KW TTT 型后部刮板运输机运煤,ZF15000/27.5/42 型低位放顶煤支架支护顶煤、顶板.进风巷中设有皮带机、转载机、移动变电站、各部开关、自动控制站、乳化液泵站、喷雾泵站等;回风巷为运输巷.

根据现场实际简化模型,将采煤机机身、电缆槽视为规则的长方体,摇臂简化为与实际外形相近的规则状,滚筒简化为圆柱体加圆柱型截齿,液压支柱简化为规则圆柱体,建立一个长 120 m、宽 6 m、高 3.9 m 的长方体计算区域,利用 GAMBIT 建立采煤机割煤时的三维几何模型,如图 1 所示.

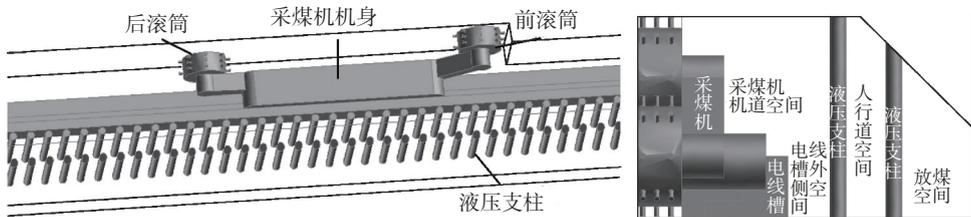


图 1 综放工作面三维几何模型

1.3 数值模拟参数的设置

将网格模型导入 Fluent 中,根据该综放面的实际情况及相关实际测量数据,结合数值模拟方法及

所确定的数学模型,设置相关参数,如表 1 所示.选择标准 $k-\epsilon$ 两方程模型,采用 SIMPLEC 算法,进行数值模拟计算.

表 1 数值模拟主要参数设定

项目	名称	参数设定	项目	名称	参数设定
计算模型设定	求解器	非耦合求解法	粉尘源参数设定	最大粒径/m	100×10 ⁻⁶
	湍流模型	$k-\epsilon$ 双方程模型		中粒径/m	25×10 ⁻⁶
	能量方程	关闭		分布指数	1.93
	离散相模型	打开		粉尘初始速度/(m·s ⁻¹)	2
边界条件设定	入口边界类型	速度入口	割煤产生强度/(kg·s ⁻¹)	0.045	
	入口速度/(m·s ⁻¹)	1.5	移架产生强度/(kg·s ⁻¹)	0.023	
	水力直径/m	3.258	放煤产生强度/(kg·s ⁻¹)	0.009	
	湍流强度/%	3.609	转载产生强度/(kg·s ⁻¹)	0.012	
粉尘源参数设定	出口边界类型	自由流出	湍流扩散模型	随机轨道模型	
	DPM 边界	捕获	颗粒轨道跟踪次数	1 000	
	剪切边界	无滑移	积分时间尺度常数	0.15	
	壁面粗糙高度/m	0.1	相间耦合频率	10	
求解参数设定	壁面粗糙常数	0.5	计算步数	12 000	
	喷射源类型	面尘源	时间步长	0.01	
	颗粒流数量	10	阻力特征	球形颗粒	
	材质	低挥发性煤	压力-速度耦合方式	SIMPLEC 算法	
求解参数设定	粒径分布	R-R 分布	离散格式	二阶迎风	
	最小粒径/m	1.0×10 ⁻⁶	收敛标准	10 ⁻³	

2 模拟结果及分析

2.1 工作面流场分布规律

通过 Fluent 软件进行流场解算,综放工作面风速矢量图和各断面风速云图如图 2,3 所示.由图 2,3 可知:1) 液压支柱的阻碍作用使得采煤机机道空间的风速较大,在整个流场中占主导作用;液压支柱间的人行道空间风速较小,局部出现大的扰动;液压支柱后方放煤空间风速也较小,风速变化也较明显.2) 在采煤机的阻碍作用下,采煤机附近的流场出现了较大扰动,风流产生绕流,采煤机上方风流速度增加较大;在采煤机的上风侧和下风侧,工作面的流场分布相对比较稳定.3) 由于井下粉尘的扩散主要受空气流速的影响,通过风流流场的模拟可知:在采煤机附近风速较大,极易将粉尘吹散开,因此,必须在采煤机滚筒点采取措施,在粉尘还未扩散开前进行降尘;移架作业产生的粉尘随着风流在机道扩散,需要采取全断面降尘措施;放煤作业产生的粉尘一旦扩散至液压支柱空间,由于该部分空间风流流速变化大,流场极不稳定,很不利于降尘工作,因此,必须采取措施防止放顶煤产生的粉尘向液压支架间及采煤机道扩散.

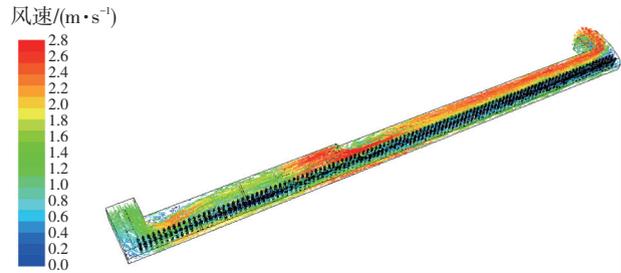


图 2 综放工作面风速矢量图

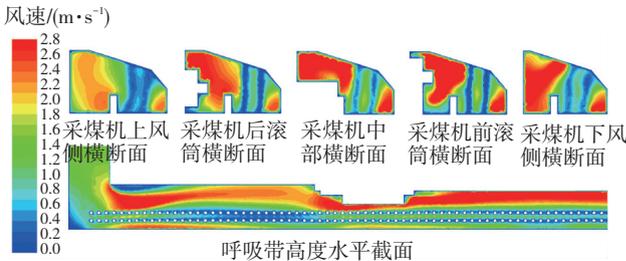


图 3 综放工作面各断面风速分布云图

2.2 割煤粉尘分布规律的模拟结果

采煤机割煤过程中的产尘,一方面是采煤机截齿对煤体的截割破碎产尘,另一方面是煤块在下落过程中破碎及冲击气流产尘.分别在采煤机前后滚筒上设置尘源.通过跟踪大量粉尘的扩散轨迹,得到粉尘浓度空间分布,如图 4 所示.图 5 为采煤机道呼吸带高度沿线($y=2.0\text{ m}, z=1.6\text{ m}$)、电线槽外侧呼吸带高度沿线($y=3.2\text{ m}, z=1.6\text{ m}$)、以及液压支柱

间人行道呼吸带高度沿线($y=4.2\text{ m}, z=1.6\text{ m}$)粉尘浓度沿程变化(采煤机中部在 $x=40\text{ m}$ 处).

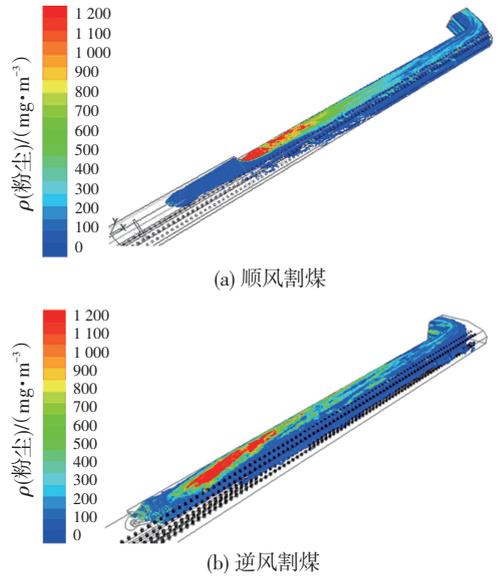
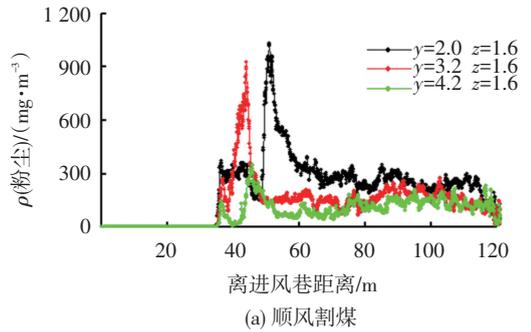
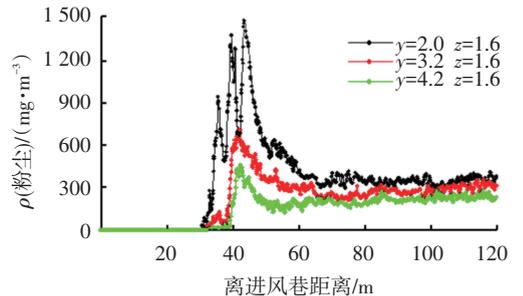


图 4 割煤粉尘浓度空间分布



(a) 顺风割煤



(b) 逆风割煤

图 5 割煤粉尘浓度沿程分布

由图 4、5 可以看出:1) 采煤机割煤产生的粉尘大部分沿着前煤壁随风流扩散,少数粉尘向后方液压支柱间扩散.这是由于靠近煤壁侧风速较大,且风流比较稳定,粉尘也主要沿着煤壁向回风巷飘散.2) 在采煤机附近粉尘浓度出现峰值,且采煤机道空间粉尘浓度峰值比人行道大很多;而在采煤机下风向整个工作面空间的粉尘浓度迅速降低,并最终达到稳定状态.原因是采煤机占据了工作面几乎一半的断面,风速在采煤机附近几乎增加 1 倍,大量大粒径粉尘被风流吹扬扩散开.同时由于采煤机的阻碍作用,风流方向在此向人行道侧偏转,增强了粉尘从

滚筒处向人行道的扩散;在采煤机下风向,风速减小,风向再次稳定,大部分大粒径粉尘逐渐沉降,小粒径粉尘继续随风流飘散,粉尘浓度也逐渐趋于稳定.3)顺风割煤时,在采煤机道呼吸带沿线,在后滚筒位置($x = 34 \text{ m}$)处,粉尘浓度开始迅速增加到 $400 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,在采煤机下风向 15 m 处,粉尘浓度再次急剧增加,达最大值 $1\ 200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.随后开始缓慢下降,最终稳定在 $300 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右.在电线槽外侧呼吸带高度沿线,粉尘在采煤机中部位置达到最大值 $1\ 100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 后,逐渐下降,最终稳定在 $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右.在液压支柱间的人行道内,采煤机附近浓度也略有增加,最大峰值为 $400 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,然后缓慢降至 $150 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右.但随着距离的增加,人行道粉尘浓度又略微有增加的趋势.说明风流对割煤粉尘的扩散起决定作用,在进行防降尘设计时,应该充分考虑风流的影响.4)逆风割煤粉尘浓度分布规律与顺风割煤基本一致,只是在采煤机附近粉尘浓度最大值比顺风割煤大,达 $1\ 500 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右.

2.3 移架粉尘分布规律的模拟结果

在割煤作业上风向 20 m 位置设置粉尘源,该尘源在工作面机道上方顶板处,为一长 3.5 m 、宽 0.3 m 的细长面尘源.模拟计算得粉尘浓度空间分布如图 6 所示.图 7 为电线槽外侧呼吸带高度沿线($y = 3.2 \text{ m}$, $z = 1.6 \text{ m}$)以及液压支柱间人行道呼吸带高度沿线($y = 4.2 \text{ m}$, $z = 1.6 \text{ m}$)粉尘浓度沿程变化.

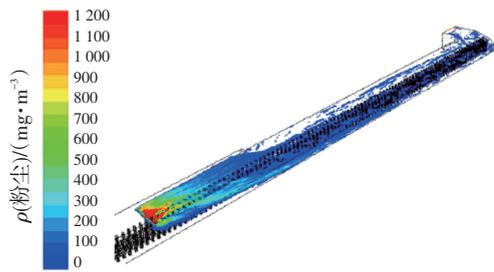


图 6 移架粉尘浓度空间分布

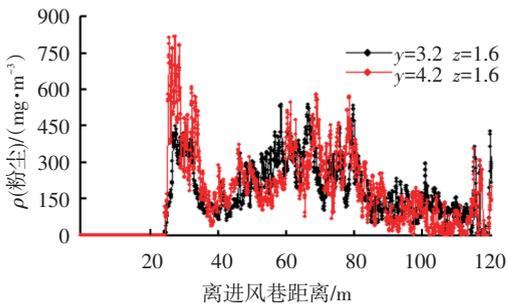


图 7 移架粉尘浓度沿程分布

由图 6,7 可以看出:1)移架产生粉尘后,粉尘迅速向移架作业下风向的全断面扩散.在扩散过程中,部分粉尘扩散至底板沉降;部分粉尘与前后壁及顶板发生碰撞后被反弹回气流中,继续随着气流向工

作面下风向扩散;大部分粒径较小的粉尘在风流的作用下一直运动到回风巷,随回风被排出工作面.2)在移架作业附近,粉尘浓度较大.在移架作业下风向 20 m 由于采煤机对风流的影响,风速变大,流场也变得极不稳定,不利于粉尘的沉降,因此,该段的粉尘浓度也较大,在采煤机下风向,随着风流流场逐步趋于稳定,大颗粒粉尘逐渐沉降,粉尘浓度也逐渐降低.3)在人行道呼吸带高度,移架处粉尘浓度最大,达 $775 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,随后粉尘浓度逐渐降低,最后稳定在 $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右.在液压支柱与电线槽之间的机道呼吸带高度,由于风速相对于人行道较大,粉尘迅速被吹散开,因此,该线上的峰值相对较小,只有 $300 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右,在 50 m 后(采煤机后)机道粉尘浓度逐渐与人行道内的浓度趋于一致.

2.4 放顶煤粉尘分布规律的模拟结果

在割煤作业上风向 30 m 处的放顶煤液压支柱后方设置一长 2 m 、宽 0.3 m 的面尘源.粉尘浓度空间分布如图 8 所示.图 9 为电线槽外侧呼吸带高度沿线($y = 3.2 \text{ m}$, $z = 1.6 \text{ m}$)以及液压支柱间人行道呼吸带高度沿线($y = 4.2 \text{ m}$, $z = 1.6 \text{ m}$)粉尘浓度沿程变化.

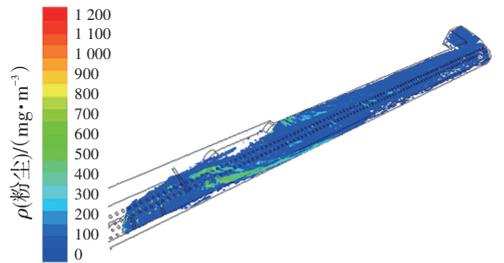


图 8 放顶煤粉尘浓度空间分布

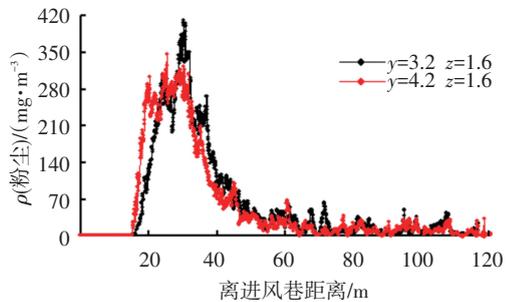


图 9 放顶煤粉尘浓度沿程分布

由图 8,9 可知:1)放顶煤作业产生粉尘后,粉尘迅速向液压支柱间的人行道扩散,由于人行道处风速较小,并且放顶煤尘源离底板较近,一部分粉尘沉降在底板上,另一部分粉尘则扩散至采煤机机道,在机道风流的吹散作用下又逐渐弥漫在整个工作面.2)放顶煤作业时,在作业点附近粉尘浓度较大.由于前方煤壁侧风速较大,液压支柱空间风速较小,粉尘基本上都是沿液压支柱空间扩散.在采煤机附近,由于采煤机对风流的阻碍,风流在此偏转,横向冲刷后

方液压支柱空间,从而也带动粉尘扩散至整个作业面空间.3)在人行道呼吸带高度,放煤处粉尘浓度最大,达 $345 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,随后粉尘浓度逐渐降低,最后稳定在 $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右.这主要是因为放顶煤在液压支柱后方,液压支柱空间风速相对较小,粉尘不易被吹散开,大部分粒径较大的粉尘则沉降较快.而未能迅速沉降的粉尘粒径均相对较小,也更容易随风流向回风巷飘散.4)放顶煤作业过程中,在其下风向 10 m 范围内粉尘浓度较大,因此,应该在放煤孔处进行降尘的同时加强对底板和液压支架底座的洒水,增强其对粉尘的捕获能力.

2.5 转载点粉尘分布规律的模拟结果

按照实际生产中的布局,在工作面进风口前后转载处分别设置两个点尘源,模拟计算得粉尘浓度空间分布如图 10 所示.图 11 为电线槽外侧呼吸带高度沿线($y=3.2 \text{ m}, z=1.6 \text{ m}$)以及液压支柱间人行道呼吸带高度沿线($y=4.2 \text{ m}, z=1.6 \text{ m}$)粉尘浓度沿程变化.

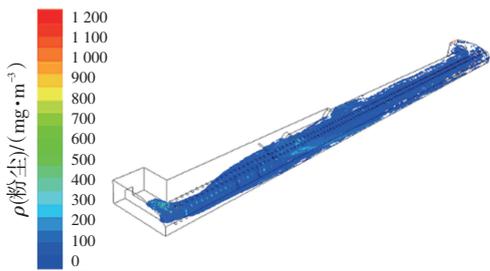


图 10 转载点粉尘浓度空间分布

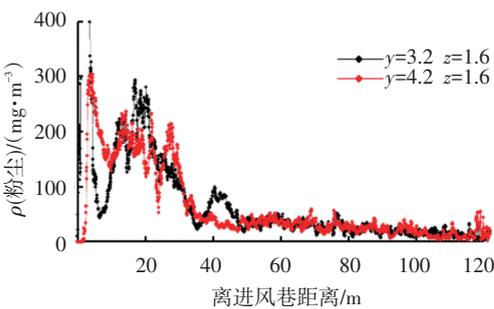


图 11 转载点粉尘浓度沿程分布

由图 10,11 可知:1)转载点处产生的粉尘除了部分沉降被底板捕获外,大部分粉尘随着风流向整个工作面空间扩散,一直随着风流穿过整个工作面进入回风巷,对整个工作的作业均会产生影响.这主要是由于转载点处在进风巷与工作面的交汇点,风流在此方向发生 90° 偏转,局部风速较大,转载产生的粉尘极易被风流吹散开并随着风流迅速扩散开.2)在转载点处粉尘浓度急剧增加到最大值 $400 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,然后又缓慢下降,在离转载点 35 m 后基本稳定在 $50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右.3)由于转载点处的粉尘影响着割煤、移架、放煤等整个工作面的作业,转载点处的粉尘治理也是综放工作面粉尘治理的重点,应在转载点处粉尘源头控制住

粉尘,防止其随风扩散.

2.6 多尘源粉尘分布规律的模拟结果

在井下实际生产过程中,各个工序在时间上并没有明确的界限,一般都是多个甚至全部工序同时作业.因此,工作面粉尘浓度实际是多个尘源共同作用的结果.为了能够更真实地模拟井下实际粉尘扩散分布规律,分别在转载点、放煤孔、移架处、割煤点设置尘源,模拟计算在多尘源作用下的综放工作面粉尘浓度分布规律.在多工序共同作业下,工作面粉尘扩散空间分布和浓度沿程变化如图 12,13 所示.

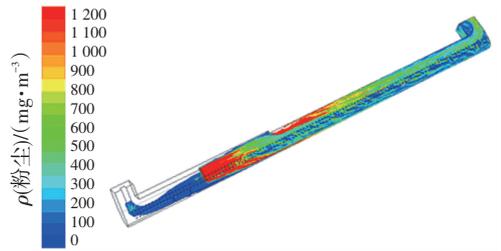


图 12 多尘源粉尘浓度空间分布

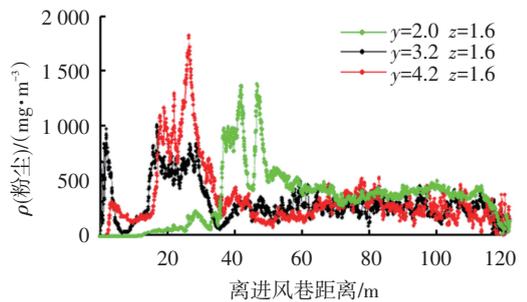


图 13 多尘源粉尘浓度沿程分布

由图 12,13 可知:1)转载点和放顶煤作业产生的粉尘沿人行道扩散较多,而移架和割煤产生的粉尘则主要是沿着采煤机道空间扩散,特别是割煤作业,越靠近前煤壁粉尘浓度越大.因此,移架和割煤是综放工作面粉尘控制的重点.但由于转载和放顶煤其粉尘扩散空间正好是工人的工作区域,对转载和放煤粉尘的控制也非常重要.2)在多尘源作用下,综放工作面的粉尘浓度叠加效应十分明显,风流每经过 1 个尘源点,工作面粉尘浓度就显著增加,特别是经过采煤机割煤后,工作面的粉尘浓度明显高于单个尘源作用下的浓度.3)电线槽外侧及人行道呼吸带高度沿线,在转载点尘源($x=3 \text{ m}$)作用下,粉尘浓度出现第 1 个峰值,随后粉尘浓度有所下降;经过放顶煤尘源($x=15 \text{ m}$)后,粉尘浓度再次急剧增加;经过移架尘源后粉尘浓度达到峰值,然后又迅速下降;在随后的扩散过程中有缓慢上升的趋势.在采煤机道,转载、放煤、移架作业对其粉尘浓度影响均较小.而在割煤作业点,粉尘浓度出现急剧增加,并且之后保持在较高值,说明割煤作业的主要影响区域是采煤机道空间.

3 现场实测结果

根据 GBZ/T192.1—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,在该矿该综放工作面人行道(割煤作业为电线槽外侧)呼吸

带高度沿程布置多个测点,采用 AKFC-92A 粉尘采样仪对割煤、移架、放顶煤、转载及多工序同时作业时的粉尘浓度进行测定.各个数据均测量 3 次取平均值,模拟结果与实测数据对比如图 14 所示.

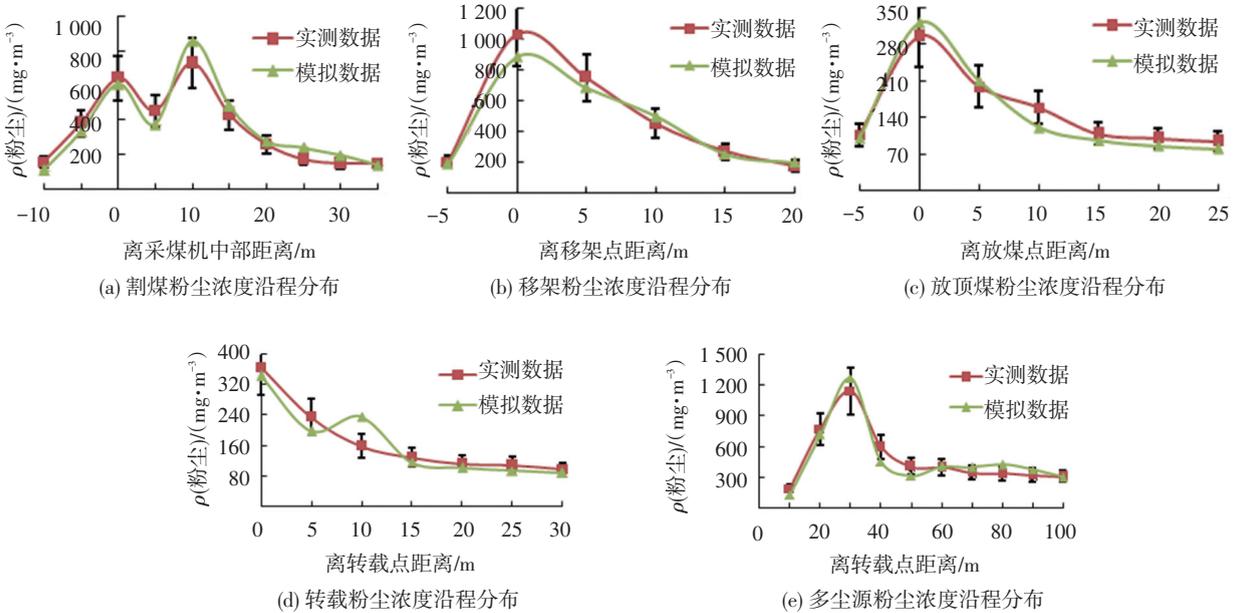


图 14 实测数据与模拟数据对比

由于综放工作面粉尘浓度受煤层赋存条件、采煤工艺、粉尘控制措施、测量误差等多方面因素影响,在实际测量中粉尘浓度偏差往往较大,根据多次重复测定结果及以往粉尘浓度测定经验,在此取 ±20% 的实测误差区间.从图 14 可以看出,在各个单工序作业以及多工序作业中,模拟结果中人行道呼吸带高度粉尘浓度分布曲线与现场实测数据分布规律基本吻合,粉尘浓度峰值出现的位置也完全一样.模拟数值基本均在实测数据的允许误差范围内,二者的吻合度较高,误差较小,不影响数值模拟结果的可信性,说明用数值模拟的方法研究相关参数对综采割煤粉尘运移的影响是可行的.通过数值模拟的方法研究综放工作面粉尘浓度分布规律,更能直观地了解整个工作面空间的粉尘分布情况,从而为粉尘治理工作提供技术参考.

移架作业人行道粉尘浓度高于机道粉尘浓度,需在机道空间和人行道空间均设置架间喷雾;放煤作业粉尘沿人行道空间分布较大,需在放煤口采取隔尘措施,防止粉尘逸散;转载点局部风速大,粉尘影响范围较广,应采取密封等措施防止粉尘向工作面飘散.

3) 综放工作面多工序共同作业时,工作面空间粉尘浓度分布较复杂,粉尘浓度叠加效应较明显.防降尘工作中,针对各尘源采取不同措施的同时,应在放煤作业和割煤作业之间增加全断面喷雾装置,在所有作业工序的下风向也应适当布置几道全断面喷雾装置,还应常洒水保持工作面湿润性,增强对粉尘的捕获作用.

4 结论

参考文献

1) 粉尘浓度分布规律的数值模拟结果和现场实测数据基本相同,用数值模拟的方法研究综放工作面粉尘分布情况具有较高的可信度.

2) 综放工作面各工序作业的粉尘浓度分布规律各不相同:割煤作业产尘量最大,粉尘主要沿采煤机道扩散,部分粉尘向人行道空间扩散.因此,在加强滚筒尘源处粉尘控制的同时,也应在采煤机外侧采取水幕帘降尘措施,阻止割煤粉尘向人行道扩散;

[1] KURNIA J C, SASMITO A P, MUJUMDAR A S. Dust dispersion and management in underground mining faces [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2014, 24(1):39-44.

[2] ONDER M, ONDER S, AKDAH T. Statistical analysis of dust conditions at mechanized and conventional longwall faces in GLI underground mines [J]. Madencilik, 2007, 46(3):3-8.

[3] QUANG V P. The determination of coal dust emission and percentage of quartz in coal dust emission during the cutting anthracite coal by shearing and bottom blade of the plow [J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009, 1(1): 250-256.

- [4] ALAM M M. An integrated approach to dust control in coal mining face areas of a continuous miner and its computational fluid dynamics modeling [D]. Carbondale: Southern Illinois University Carbondale, 2006.
- [5] WITT P J, CAREY K G, NGUYEN T V. Prediction of dust loss from conveyors using computational fluid dynamics modeling[J]. Applied Mathematical Modeling, 2002, 26: 297-309.
- [6] 刘毅,蒋仲安,蔡卫,等.综采工作面粉尘运动规律的数值模拟[J].北京科技大学学报,2007,29(4):351-353.
- [7] 谭聪,蒋仲安,陈举师,等.综采割煤粉尘运移影响因素的数值模拟[J].北京科技大学学报,2014,36(6):716-721.
- [8] 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流降尘方式研究[J].北京科技大学学报,2011,33(7):790-794.
- [9] 赵振保,翟慧兵,王凤.综放工作面粉尘运动的数值模拟及试验研究[J].北京理工大学学报,2008,28(12):1113-1116.
- [10] JANKOWSKI R A, COLINET J F. Update on face-ventilation research for improved longwall-dust control[J]. Mining Engineering, 2000,52(3):45-52.
- [11] ROUT K T, MASTO R E, PADHY P K, et al. Dust fall and elemental flux in a coal mining area [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2014,144:443-455.
- [12] PARRA M T, VILLAFRUELA J M, CASTRO F, et al. Numerical and experimental analysis of different ventilation systems in deep mines [J]. Building and Environment, 2006, 41: 87-93.
- [13] BELLE B K, DU P J. Recent advances in dust control technology on South African underground coal mines [J]. Journal of the Mine Ventilation Society of South Africa, 2002,55(4):138-144.
- [14] 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.
- [15] DI SARLI V, RUSSO P, SANCHIRICO R, et al. CFD simulations of dust dispersion in the 20 L vessel: effect of nominal dust concentration [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2014, 27(1): 8-12.
- [16] VAN WACHEM B G M, ALMSTEDT A E. Methods for multiphase computational fluid dynamics [J]. Chemical Engineering Journal, 2003,96(1/2/3):81-98.
- [17] SASMITO A P, BIRGERSSON E, LY H C, et al. Some approaches to improve ventilation system in underground coal mines environment-a computational fluid dynamic study [J]. Tunnel Underground Space Technol, 2013, 34: 82-95.

(编辑 刘 彤)

(上接第 95 页)

增加限值条件后的最终优化计算汇水时间为 11 min,计算洪峰流量为 0.236 m³/s.可见,通过增加参数的限值可使优化参数组合更符合实际.

对比实例一和实例二的参数调试过程,采用粒子群优化算法,无需设计人员有较多的建模工程经验,即可快速获得适宜的等价模型参数组合,减少设计人员工作量且无需对参数的影响进行大量分析.

4 结 语

采用模型技术对雨水管网设计方案校核的前提是必须实现模型参数的“设计条件等价”.本文依据推理公式法的基本假设提出 SWMM 产汇流模型参数的等价化原理,并通过实例验证了等价原理实施的可行性.采用非线性权值递减粒子群优化算法可快速实现参数的等价优化,在无法获取全部产汇流参数的情况下,辅助模型技术在雨水管网设计方案校核中的应用,具有一定的实际价值.

值得注意的是,虽然当前推理公式法设计参数可通过经验或理论公式计算^[1],对于较小的子汇水区,地表产汇流计算精度较高,但由于设计条件的不确定性,模型计算结果与设计条件之间允许存在一定的误差,采用模型参数的等价优化同样可验证设计参数的合理性,即当优化模型计算结果与设计条件偏差较大时,往往是由于方案选取的设计参数不符合工程实

际,而通过模型计算可辅助设计参数的选取.

参 考 文 献

- [1] 周玉文. 排水管网理论与计算[M].1版.北京:中国建筑工业出版社,2000:126-173.
- [2] GB 50014—2006 室外排水设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [3] 王磊. 基于模型的城市排水管网积水灾害评价与防治研究[D].北京:北京工业大学,2010.
- [4] ROSSMAN A. Storm water management model user's manual [M]. Washington D C:USEPA, 2010:33-55.
- [5] ENGMAN E T. Roughness coefficients for routing surface runoff [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1986, 112(1):35-46.
- [6] 周玉文,余永琦,李阳,等. 城市雨水管网系统地面径流损失规律研究[J]. 沈阳建筑工程学院学报,1995(2):133-137.
- [7] DURRANS S R. Durrans stormwater conveyance modeling and design[M]. Waterbury:Heastad Press,2003:477-527.
- [8] HORTON R E. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity[J]. Soil Science Society of America Proceedings, 1940, 5: 399-417.
- [9] 陈贵敏,贾建援,韩琪.粒子群优化算法的惯性权值递减策略研究[J].西安交通大学学报,2006(1):61-64.
- [10] SHI Y, EBERHART R. Empirical study of particle swarm optimization [M]. Washington: Evolutionary Computation, 1999: 1945-1950.

(编辑 刘 彤)