

## 煤矿智能化掘进技术与装备专题

**【编者按】**巷道掘进是煤矿开采建设中的重要生产环节之一,目前我国煤矿每年巷道掘进量超过 8 000 km,多采用悬臂式掘进机施工。相对综采工作面技术水平的快速高度院校发展,掘进技术与装备发展滞后,采掘接续紧张,阻碍了煤矿科学产能的进一步提升。“十一五”以来,国内各高等院校、科研院所以及掘进装备研制企业,积极开展快速支护、连续掘进、智能导航以及自动截割等方面研究,取得了显著成果,一定程度上引领了我国乃至世界范围综掘未来发展方向。提高掘进效率与安全作业是当前掘进技术发展的主要方向,因此应在系统装备集成、智能控制、快速掘进等方面继续开展深入研究。为展现近年来煤矿掘进工程领域取得的新理论、新技术、新装备等成果,推进煤矿掘进技术进步,我刊于 2018 年第 12 期组织策划了“煤矿智能化掘进技术与装备”专题,报道了综掘装备自动定位、在线监测、远程可视化操控以及工作面临时支护与粉尘治理等方面的最新研究成果及进展。本次专题共录用论文 16 篇,限于版面,本期刊登 8 篇,其余择期刊登。在此衷心感谢各位作者为此专题撰稿,特别感谢辽宁工程技术大学张强教授、中国矿业大学(北京)吴森教授、中煤科工集团太原研究院有限公司王学成副研究员、西安科技大学张旭辉教授在专题组稿、撰稿等方面给予的大力支持与帮助!

## 掘进机负压降尘装置设计及性能分析

张强<sup>1,2</sup>, 韩东<sup>1</sup>, 张旭<sup>1</sup>, 田莹<sup>1</sup>, 王琛淇<sup>1</sup>, 王聪<sup>1</sup>

(1. 辽宁工程技术大学机械工程学院, 辽宁阜新 123000;

2. 矿物加工科学与技术国家重点实验室, 北京 102628)



扫码移动阅读

**摘要:**为解决掘进巷道粉尘危害人员健康问题,提出一种内置于掘进机炮头的负压降尘装置的总体设计方案,对其负压部分进行详细设计与计算,得到所需负压为 2 786.76 Pa。采用离散元 EDEM 软件建立吸尘截割头截割模型,对 3 组不同吸尘孔径方案进行吸尘效果的模拟仿真,统计吸尘孔内统计区煤尘、岩尘累计质量,以及截割产尘总量,经过数值计算得到 3 个方案除尘率。仿真结果表明:孔径为 25 mm 的方案 3 除尘效果最佳,可以达到 90%;孔径 20 mm 的方案 2 次之,为 86%;孔径为 15 mm 的方案 1 为 80%。因而,设计的掘进机负压降尘装置最佳孔径为 25 mm。此负压降尘装置方案可以实现对掘进过程中灰尘的有效吸附,为掘进机吸尘提供新的方法与理论指导。

**关键词:**负压除尘;掘进机;EDEM 软件仿真;降尘装置

中图分类号:TD421

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)12-0001-07

## Design and performance analysis of negative pressure dust control device of roadheader

ZHANG Qiang<sup>1,2</sup>, HAN Dong<sup>1</sup>, ZHANG Xu<sup>1</sup>, TIAN Ying<sup>1</sup>, WANG Chenqi<sup>1</sup>, WANG Cong<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. State Key Laboratory of Mineral Processing, Beijing 102628, China)

收稿日期:2018-08-03;责任编辑:赵瑞 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.12.001

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51504121,51774161,51804151);辽宁省自然科学基金资助项目(201602362);辽宁省高等学校创新人才支持计划资助项目(L2017020);大学生创新创业训练计划资助项目(201710147000292);矿物加工科学与技术国家重点实验室开放课题资助项目(BGRIMM-KJSKL-2017-20)

作者简介:张强(1980—),男,辽宁鞍山人,教授,博士生导师。E-mail:415564476@qq.com

引用格式:张强,韩东,张旭,等.掘进机负压降尘装置设计及性能分析[J].煤炭科学技术,2018,46(12):1-7.

ZHANG Qiang, HAN Dong, ZHANG Xu, et al. Design and performance analysis of negative pressure dust control device of roadheader[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(12): 1-7.

**Abstract:** In order to solve the problem of dust endangering people's health, this paper puts forward a general scheme of negative pressure dust control device of roadheader built into gun head. The negative pressure part was designed and calculated in detail, and the required negative pressure is 2 786.76 Pa. The discrete element software EDEM was used to establish the cutting model of the dust-collecting cutting head and simulate the dust-collecting effect of three groups of different dust-collecting aperture schemes. The accumulative quality of coal dust and rock dust in the statistical area and the total dust production by cutting were calculated. The dust removal rate of the scheme was obtained by numerical calculation. The simulation results show that; the third scheme with aperture of 25 mm is the best one, which can reach 90%, and the aperture of 20 mm with the second scheme is 86% and the first scheme with aperture of 15 mm is 80%. Therefore, the optimum aperture of the negative pressure dust control device designed is 25 mm. The scheme of vacuum dedusting device can effectively adsorb the dust in the process of tunneling and provide a new method and theoretical guidance for the dust collection of the tunneling machine.

**Key words:** negative pressure dust removal; roadheader; EDEM software simulation; dust control device

## 0 引 言

随着煤矿巷道掘进机械化的发展,巷道的掘进功率不断增大,随之产生的岩石粉尘与煤炭飞尘也随之增大,大量的呼吸性粉尘以及小粒径粉尘随风流扩散,导致巷道内粉尘浓度居高不下。粉尘所具有的某些物理化学性质对工作人员的健康以及采掘工作的安全与效率都埋下了隐患。一方面大量的煤尘具有爆炸性,我国煤矿的开采条件差导致了煤尘爆炸危险普遍存在,倘若爆炸发生,将造成严重的人员财产损失。另一方面,矿井粉尘中含有大量的呼吸性粉尘(粒径 $<5\ \mu\text{m}$ )可长时间悬浮于空气中且难以沉降,煤矿工人长期暴露在这样的的工作环境导致肺部沉积大量小粒径粉尘,严重威胁工作人员的身体健康<sup>[1-2]</sup>。

针对粉尘治理这一世界难题,众多专家学者在控尘技术以及除尘技术方面做了大量研究。肖远见等<sup>[3]</sup>提出一种新型的可调位置且能随综掘机掘割时前后移动、截割部万向复合运动的机载式除尘装置,并对除尘装置的结构和与综掘机相配套的方式进行研究。王群星<sup>[4]</sup>利用微元法分析了圆形管道内泡沫流体的流变特性和速度分布特征,建立了圆形管道泡沫流体速度分布方程,为泡沫发生器结构的设计与优化提供理论指导。刘伟<sup>[5]</sup>采用三维  $k-\varepsilon$  紊流模型和气相湍流-颗粒相湍流模型,基于控制容积法和有限单元法,采用 SIMPLE、TDMA 和 Gauss-Seidel 相结合的方法,以 FLUENT 软件为计算平台对封闭前后综掘面的风流场和粉尘场进行了数值模拟,建立了液体喷嘴射流分裂与雾化机理数学模型,提出了单水喷雾降尘机理和湿式振弦喷雾降尘机理。刘春洋<sup>[6]</sup>利用数值模拟方法对掘进工作面压入式通风条件下粉尘分布情况进行仿真研

究,得到掘进机影响下的粉尘分布规律,依据现有的除尘措施,结合气水雾化的优点,提出了一种环流气水雾化除尘装置。高伦<sup>[7]</sup>为研究掘进巷道内不同通风方式和通风除尘、风幕控尘、超微细水雾除尘等技术条件下粉尘运移规律及降尘效果,依据井下巷道掘进设计原则结合每种降尘技术原理,制定了综合试验台。杨延龙<sup>[8]</sup>研究了掘进工作面产尘与扩散机理,建立了长压短抽混合式通风 Standard  $k-\varepsilon$  模型和附壁风筒旋流通风 Realizable  $k-\varepsilon$  模型,利用 FLUENT 软件对这 2 种通风方式进行数值仿真模拟,选用 SIMPLE 解法对掘进巷道粉尘二次飞扬进行数值模拟。代江娇<sup>[9]</sup>为研究某掘进巷道通风系统的风筒参数对除尘效率的影响,分析气固两相流基本理论,建立气固两相流控制方程,对地面模拟巷道内压入式、抽出式和长压短抽式通风系统进行试验研究,应用 Fluent 软件对各通风系统模型进行数值模拟,最终得到除尘效率最高的工作参数。齐占波等<sup>[10]</sup>根据煤矿工作面的施工工艺和粉尘浓度,提出一种将除尘风机置于掘进机本体上,并在截割部两侧安装 2 个吸尘口的新方案,大幅减少工作面粉尘的浓度。刘增平等<sup>[11]</sup>为解决掘进工作面粉尘浓度过高的难题,研制了适用于岩石机械化掘进工作面的高效除尘系统和风幕控尘装置,确定了较优参数,并设计了可实现近距离三维吸尘且随机移动的高效抽尘净化装置。卢春锋<sup>[12]</sup>分析掘进工作面除尘现状,提出了将泡沫除尘技术、气水联动喷雾装置应用在余吾煤业公司掘进工作面除尘系统的方案,有效提高了除尘效率,满足了掘进工作面的生产需要。宋作文等<sup>[13]</sup>介绍了一种结构简单、使用方便、除尘效果好的掘进机装载部除尘装置的新型装置,从源头上治理了粉尘污染。李祥松<sup>[14]</sup>研究了掘进机内喷雾喷嘴,利用理论与试验相结合的方式,在深

入阐述了雾化除尘机理的基础上,分析了已有喷嘴的弊端,进而设计出能够克服这些弊端的新型喷嘴结构。聂文等<sup>[15]</sup>利用数值模拟、现场实测等方法,研究应用一种多径向旋流风控除尘方法。杨成龙<sup>[16]</sup>通过对湿式除尘理论分析、现代制造技术应用和面向工程化的集成创新,开发出一种综掘巷道掘进头湿式除尘系统代替原有除尘装置,从控尘、捕尘、降尘等多手段进行除尘。王富强<sup>[17]</sup>设计了将除尘系统集成于掘进机之上的EBZ260TY型高性能掘进机,并对其进行了模拟巷道测试,对测试数据进行了研究分析,同时经过流场分析提出优化措施。王开德等<sup>[18]</sup>分析了除尘风筒位置对工作面流场规律、粉尘分布规律和除尘效率影响,并利用数值分析软件FLUENT进行数值模拟,得出除尘风筒距离掘进工作面5 m降尘效果最为明显的结论。梁爱春<sup>[19]</sup>对液动除尘器的液压调速特性进行了试验研究,探索出了旁路节流调速系统压力-流量-转速关系的特性曲线;对除尘器的基本性能进行了试验研究,探索出了风量、负压、噪声等与通风机转速的变化关系;通过风量、喷雾压力、雾化喷嘴型号3个因素进行正交试验,获得了除尘器最佳运行工况的最优匹配参数。胡方坤<sup>[20]</sup>结合东欢坨矿-690 m南翼运输大巷的实际情况,运用CFD模拟技术对不同通风条件下全岩综掘面的粉尘运移规律及除尘效果进行分析。郭永文<sup>[21]</sup>对神东矿区长距离、大断面巷道掘进工作面通风除尘技术开展持续的研究,在长期调研、分析、评价的基础上,成功建立一套适合神东矿区掘进工作的通风除尘技术,使工作面粉尘质量浓度从1 000 mg/m<sup>3</sup>以上降到符合煤矿职业卫生要求。

目前对于掘进巷道的粉尘治理方面的研究大多侧重于通风条件、通风风筒参数或者不同技术参数组合对于巷道内粉尘场风流场以及除尘效果的影响,或者喷雾降尘机理及新型喷嘴结构设计,对于如何在有限空间内产生较少粉尘的同时,又可以达到有效降尘目的方面的研究尚不多见。针对这一问题,笔者设计了一种内置于炮头、新型高效的,尤其针对易产尘工作面的掘进机负压降尘装置,旨在利用负压吸附掘进机截割过程中产生的粉尘,有效防止粉尘的扩散,并避免对掘进工作面环境的二次污染,对保障煤矿井下作业人员的身心健康和 workplaces 的作业安全,实现煤炭行业稳步发展具有深远意义。

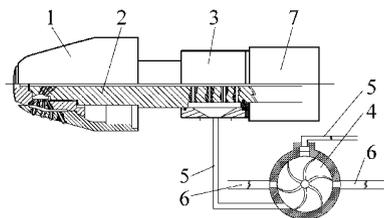
## 1 掘进机炮头内置负压降尘装置设计

### 1.1 降尘装置的功能要求

笔者提出的负压降尘装置的方案主要内置于掘进机炮头内部,总体工作装置主要分为收集装置与处理含尘气体装置。其功能主要是在掘进机进行截割时能将截割煤壁产生的煤尘、岩尘以及呼吸性粉尘在最短的时间内吸入降尘装置,即在粉尘还未开始大量扩散时就被吸入装置。

### 1.2 降尘装置总体结构设计

针对现有掘进机除尘装置的不足,设计出了一种内置于炮头的负压降尘装置,具体结构如图1所示。



1—吸尘式炮头;2—中空花键轴;3—含尘气体收集器;4—降尘过滤器;5—负压式气体管道;6—液体管道;7—行星轮减速器壳体

图1 掘进机负压降尘装置总体结构

Fig. 1 Overall structure of negative pressure dust control unit of roadheader

掘进机负压降尘装置主要由吸尘式炮头、中空花键轴、含尘气体收集器、降尘过滤器、负压式气体管道、液体管道以及含尘液体排放器组成,其中降尘过滤器由进尘口、排气口、进液口、排液口及搅拌叶轮组成。吸尘式炮头与中空花键轴通过吸尘式炮头内花键与中空花键轴外花键实现花键连接,中空花键轴穿过含尘气体收集器实现中空花键轴的径向固定,含尘气体收集器通过螺栓连接与行星齿轮减速器壳体实现固定连接。

在降尘装置的末端设有外部负压泵,为整个装置提供负压。当掘进机进行作业时,截割所产生的粉尘散布于空气中,此时,降尘装置在吸尘式炮头的吸尘口形成负压,含尘气体经吸尘式炮头吸尘孔与中空花键轴前端吸尘孔进入中空花键轴轴线空腔,之后经含尘气体收集器包围段的中空花键轴排尘孔进入到含尘气体收集器中。含尘气体被收集以后,经含尘气体收集器排尘口通过负压式气体管道运送到位于降尘过滤器上部的进尘口,经过降尘过滤器的过滤作用,含尘气体与过滤所用液体,被转化为干净的气体 and 含尘液体。被过滤的气体由排气口排出,含尘液体则经

含尘液体排放器的排液孔排放到掘进机前的铲板上,又可对前端铲板运移煤岩进行降尘。

### 1.3 降尘装置的主要参数设计

负压降尘装置主要针对截割头截割处的粉尘进行捕捉处理。掘进条件为:采用 $\phi 700$  mm截割头,截割速度为80 mm/min。

#### 1.3.1 风量计算

为了防止粉尘在管道内沉积或者堵塞,必须要考虑到各种粉尘的性质与其最低流速。一般地,煤尘的运输速度为20~30 m/s,为了适应粒径较大或灰尘密集情况,设计时选取最低流速为30 m/s。风量的计算见式(1)。

$$Q = \frac{\pi D^2 v}{4} \quad (1)$$

其中: $Q$ 为流量, $\text{m}^3/\text{min}$ ;  $D$ 为水平输料管的直径, $\text{m}$ ;  $v$ 为管道内气体流速, $\text{m/s}$ 。设计取 $D=0.036$  m,  $v=30$  m/s,则 $Q=1.83$   $\text{m}^3/\text{min}$ 。

#### 1.3.2 负压计算

1) 水平管沿程静压损 $\Delta p_m$ 为

$$\Delta p_m = p_0 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{\beta \mu L v_0^2}{D}} \right) \quad (2)$$

其中: $p_0$ 为一个大气压, $p_0=1.013 \times 10^5$  Pa;  $\beta$ 为经验系数,对于吸送式两相流 $\beta=1.5 \times 10^{-7}$ 为常数;  $L$ 为水管的长度, $\text{m}$ ;  $v_0$ 为吸尘孔出气流速度;  $\mu$ 为单位时间通过输料管有效断面的固体质量 $G_s$ 与气体质量 $G_a$ 之比:

$$\mu = \frac{G_s}{G_a} = \frac{Q_s \gamma_s}{Q \gamma_a} \quad (3)$$

式中: $Q_s$ 为物料流量;  $\gamma_s$ 为固体密度, $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\gamma_a$ 为气体密度, $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

吸尘孔出气流速度 $v_0$ 经验公式为

$$v_0 = \alpha \sqrt{\gamma_s + BL^2} \quad (4)$$

其中: $\alpha$ 为与物料粒度大小有关的系数,查表取 $\alpha=10$ ;  $B$ 为经验系数,取 $(2 \sim 5) \times 10^6$ ,对于输送干燥粉料取小值。经计算得到水平管沿程静压损 $\Delta p_m=217.01$  Pa。

2) 加速压损 $\Delta p_{qd}$ 为

$$\Delta p_{qd} = 0.12 v_0^2 (1 + 0.72 \mu) \quad (5)$$

经计算得 $\Delta p_{qd}=192.01$  Pa。

3) 局部压损 $\Delta p_n$ 为

$$\Delta p_n = C \Delta p_m \quad (6)$$

其中, $C$ 为与吸嘴结构有关的系数,取0.10~0.25,这里 $C$ 取0.25。经计算得 $\Delta p_n=54.25$  Pa。

4) 空气管道的压损 $\Delta p_e$ 。在吸送结构中取 $\Delta p_e$ 为1960 Pa。所以,吸尘装置总的压力损失 $\Delta p_T$ 为

$$\Delta p_T = \Delta p_e + \Delta p_{pd} + \Delta p_m + \Delta p_n \quad (7)$$

计算得 $\Delta p_T=2423.27$  Pa。系统的负压应大于总压力损失,考虑到设计误差及输送条件改变时的安全性,一般取负压 $p_z=1.15 \Delta p_T=2786.76$  Pa。

5) 吸尘装置功率计算。

$$N = Q p_z / (6120 \eta g) \quad (8)$$

其中, $\eta$ 为吸尘装置总效率,取0.5~0.7。经计算得 $N=0.17$  kW。

## 2 煤壁截割模型建立及仿真参数设定

### 2.1 煤壁截割模型建立

1) 煤壁模型建立。利用CATIA软件建立煤壁的三维模型,以相应格式导入EDEM中,在EDEM中添加煤、岩石、钢3种材料,具体参数设计见表1。根据煤岩实际组成利用EDEM的颗粒工厂采用4种颗粒进行填充,分别为大煤块颗粒、小煤块颗粒、煤尘以及岩尘颗粒,颗粒模型如图2所示,图2a为长轴50 mm,短轴为30 mm的大煤块颗粒模型,图2b为长轴35 mm,短轴为24 mm的小煤块颗粒模型,图2c为粒径为1 mm的煤尘颗粒模型,图2d为粒径为0.05 mm的岩尘颗粒模型。同时设置图2a、图2b、图2c三种颗粒材料为煤,图2d颗粒的材料为岩石。颗粒之间采用Hertz-Mindlin黏结模型进行颗粒黏结,模拟煤壁的物理状态。当颗粒在某一时刻 $t_{\text{BOND}}$ 被黏结起来,在这之前颗粒通过默认的Hertz-Mindlin黏结模型产生相互作用,然后黏结力 $F_n$ 、 $F_t$ 和 $T_n$ 、 $T_t$ 随着时步的增加,按照式(8)从零开始叠加。

表1 煤岩与几何体材料参数

Table 1 Material parameters of coal, rock and geometry

材料	煤	岩石	钢铁
泊松比	0.35	0.30	0.36
剪切模量/Pa	$9.455 \times 10^{10}$	$2.7 \times 10^{10}$	$8 \times 10^{10}$
密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	2 673	2 560	7 800
恢复系数	0.5	0.5	0.7
静摩擦因数	0.6	0.5	0.2
滚动摩擦因数	0.05	0.01	0.01

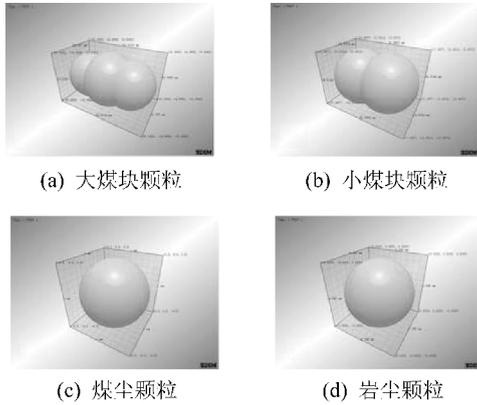


图2 煤岩颗粒模型

Fig. 2 Coal and rock particle model

$$\begin{cases} \delta F_n = -v_n S_n A \delta t \\ \delta F_t = -v_t S_t A \delta t \\ \delta T_n = -\omega_n S_t J \delta t \\ \delta T_t = -\omega_t S_n \frac{J}{2} \delta t \end{cases} \quad (9)$$

式中: $\delta$ 为变化符号; $v_n$ 和 $v_t$ 为颗粒的法向和切向速度; $S_n$ 和 $S_t$ 分别为法向和切向刚度; $A$ 为接触区域面积, $A = \pi R_B^2$ ; $J$ 为黏结键截面极惯性矩, $J = \pi R_B^2/2$ ; $R_B$ 为黏结半径; $\delta t$ 为时步; $\omega_n$ 和 $\omega_t$ 分别为法向和切向角速度。当法向和切向应力超过某个定义的值时,黏结就被破坏。因此,定义法向和切向应力的最大值如下:

$$\begin{cases} \sigma_{\max} < \frac{-F_n}{A} + \frac{2T_t}{J} R_B \\ \tau_{\max} < \frac{-F_t}{A} + \frac{T_n}{J} R_B \end{cases} \quad (10)$$

在完成煤壁填充后4种小颗粒之间形成黏结键,便可以形成一个由众多小单元组成的煤壁物理模型。当黏结的颗粒群受到外部作用力时,依据离散单元法,根据牛顿第二定律在单位时间步长内对颗粒的位移与转角进行更新,此时黏结键上会受到力与力矩的作用,当达到设定的黏结键最大法向应力 $\sigma_{\max}$ 和切向应力 $\tau_{\max}$ 时,黏结键断裂,以此来模拟煤壁的截割过程。颗粒黏结参数设置如下:法向刚度系数 $4 \times 10^7$  N/m;切向刚度系数 $4 \times 10^6$  N/m;最大正应力 $2.1 \times 10^6$  Pa;最大剪应力 $2.1 \times 10^6$  Pa。

2)掘进机截割头模型建立。利用CATIA软件建立带有吸尘孔的掘进机截割头模型,保存相应的igs仿真模型导入到EDEM软件中,设置其材料为钢铁,设置截割部截割转速50 r/min,行进速度80

mm/min。仿真模型如图3所示。

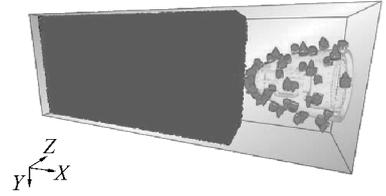


图3 掘进机截割头模型

Fig. 3 Roadheader cutting model

## 2.2 仿真参数设定

添加模型运动形式为New Dynamic 0 Linear Rotation和New Dynamic 1 Linear Translation,开始运动时间设置为0 s开始。设置旋转运动时,先由几何体Detail模块中获取截割部的质心坐标,然后根据集合体位置定义Y、Z方向的起止位置都为质心坐标,X方向起止点分别为500 mm与0 mm。旋转速度设置为50 r/min;设置直线运动时其初始速度为80 mm/min。根据软件EDEM2.7中的simulator模块中的Time Step设定2个选项,选取此次仿真试验的Simulation Time为20 s,再按照EDEM2.7软件开发商的参照设置Fixed time step为30%。数据输出时间间隔越小,计算机记录的数据会越多,此次仿真试验选取数据输出时间间隔应为0.1 s。此次仿真为减少计算处理颗粒与颗粒间碰撞的时间,最佳的网格单元边长为颗粒最小半径的2倍。本次模拟仿真试验将grid size设定为2倍的颗粒最小半径。

## 3 负压降尘装置降尘性能仿真

### 3.1 仿真方案设计

为寻求最佳吸尘孔径尺寸,探究吸尘孔径大小对除尘效果的影响,特建立孔径分别为1、20、25 mm的掘进机截割部模型,探究同转速、同行进速度下孔径大小对除尘效果的影响。具体方案见表2。

表2 降尘性能仿真方案设计

Table 2 Simulation scheme design of dust control performance

方案编号	截割部转速/ (r · min <sup>-1</sup> )	行进速度/ (mm · min <sup>-1</sup> )	孔径/ mm
1	50	80	15
2	50	80	20
3	50	80	25

### 3.2 仿真结果分析

利用EDEM的后处理模块在仿真模型中划分统计区,统计在吸尘孔内分区的煤尘以及岩尘颗粒

累积质量,进而计算出其除尘率,其中统计区内煤尘累积质量如图4所示。

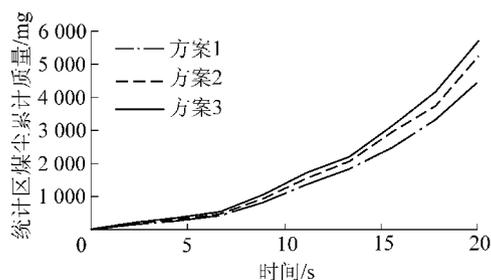


图4 统计区内煤尘累积质量

Fig. 4 Cumulative quality of coal dust in statistical area

随着时间的增加,煤尘的累积质量不断增加,20 s时方案3的煤尘累积质量最大,为4 863.80 mg,方案2次之,为5 228.59 mg,方案1最低,为4 863.80 mg。统计区内岩尘累积质量如图5所示。

随着时间的增加,岩尘的累积质量也不断增加,20 s时方案3的岩尘累积质量最大,为0.059 4 mg,

方案2次之,为0.056 8 mg,方案1最低,为0.052 8 mg。截割产尘具体数据见表3,3组方案截割产生的粉尘总质量分别为6 057.43、6 046.23、6 079.82 mg,经计算得到3个方案的除尘率,其中方案3的除尘率最高为90%,方案2次之为86%,方案1为80%。故而本次设计的负压将尘装置孔径大小为25 mm。

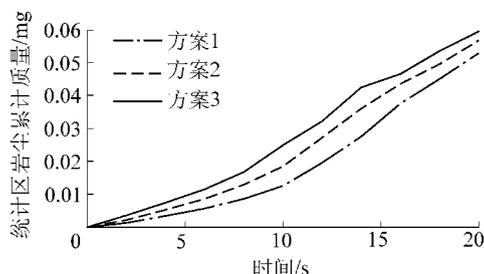


图5 统计区内岩尘累积质量

Fig. 5 Accumulated mass of rock dust in statistical area

表3 不同孔径下负压降尘装置吸尘结果

Table 3 Dust absorption results of negative pressure dust control device under different pore sizes

方案序号	统计区内煤尘质量/mg	统计区内岩尘质量/mg	产生粉尘总质量/mg	除尘率/%
1	4863.80	0.05	6057.43	80
2	5228.59	0.06	6046.23	86
3	5471.78	0.06	6079.82	90

## 4 结 论

1) 提出一种掘进机负压降尘装置的总体设计方案,并对其负压部分进行设计计算。

2) 采用 EDEM 离散元软件建立除尘截割头仿真模型,进行工作过程仿真模拟,其中孔径为 25 mm 的方案3除尘效果最佳,除尘率为90%,由此确定最佳吸尘效果的孔径尺寸为25 mm。

3) 掘进机负压降尘装置可有效吸附掘进机掘进过程的灰尘,有效保障煤矿井下作业人员的身心健康和工作场所的作业安全。

### 参考文献 (References):

[1] 郭明明,杨泽军.煤矿粉尘研究现状[J].中州煤炭,2016(11): 46-49.  
GUO Mingming, YANG Zejun. Status quo of research of coal mine dust [J]. Zhongzhou Coal, 2016 (11): 46-49.

[2] 郝秀峰.浅谈我国煤矿粉尘的危害与防尘措施[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2014(2): 112-113.  
HAO Xiufeng. The harm of coal mine dust and its dust prevention measures in China [J]. Management and Technology of SMEs,

2014 (2): 112-113.

[3] 肖远见,邹德均,赵东.综掘机机载除尘装置的研究与应用[J].矿业安全与环保,2016,43(2): 110-112.  
XIAO Yuanjian, ZOU Dejun, ZHAO Dong. Research and application of built-in aspirating devices in comprehensive road-headers [J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2016, 43 (2): 110-112.

[4] 王群星.掘进工作面泡沫除尘及关键技术研究[D].太原:太原理工大学,2015.

[5] 刘伟.综掘工作面高效除尘技术及工艺研究与实践[D].青岛:山东科技大学,2010.

[6] 刘春洋.掘进工作面环流气水雾化除尘装置的研究[D].太原:太原理工大学,2015.

[7] 高伦.掘进巷道综合降尘实验平台设计研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2014.

[8] 杨延龙.掘进工作面旋流通风流场CFD仿真及控尘能力研究[D].太原:中北大学,2017.

[9] 代江娇.掘进面通风系统及干式除尘器流场特性研究[D].太原:太原理工大学,2017.

[10] 齐占波,吴浩,汪晓光.岩巷掘进机除尘系统方案的研究[J].煤炭技术,2008(11): 13-14.  
QI Zhanbo, WU Hao, WANG Xiaoguang. Research of rock road-header's wiping off dust project [J]. Coal Technology, 2008

- (11): 13-14.
- [11] 刘增平,孙京凯,聂文,等.岩石机械化掘进工作面高效除尘系统[J].煤矿安全,2012,43(3):69-72.  
LIU Zengping, SUN Jingkai, NIE Wen, *et al.* Efficient dust removal system on rock mechanization heading Face[J].Safety in Coal Mines,2012,43(3):69-72.
- [12] 卢春锋.煤矿掘进工作面除尘系统的优化[J].山东工业技术,2014(14):71-72.  
LU Chunfeng.Optimization of dust removal system in coal mining face [J].Shandong Industrial Technology,2014(14):71-72.
- [13] 宋作文,王志强,王红亮,等.掘进机装载部除尘装置在掘进工作面的设计与应用[J].科技与创新,2015(17):84-85.  
SONG Zuowen,WANG Zhiqiang,WANG Hongliang,*et al.* Design and application of the dust removal device in the driving machine of the driving machine[J].Science and Technology & Innovation,2015(17):84-85.
- [14] 李祥松.掘进机喷嘴除尘机理分析与试验研究[J].煤炭工程,2015,47(7):130-132,135.  
LI Xiangsong.Mechanism analysis and experimental research on dust removing of roadheader spray nozzle[J].Coal Engineering,2015,47(7):130-132,135.
- [15] 聂文,魏文乐,刘阳昊,等.岩石机掘面多径向旋流风控除尘方法的研究与应用[J].中南大学学报:自然科学版,2016,47(10):3612-3619.  
NIE Wen,WEI Wenle,LIU Yanghao,*et al.* Research on dust control and removal method of multi-direction rotational air curtain at rock mechanized excavation face and its application [J].Journal of Central South University:Natural Science Technology,2016,47(10):3612-3619.
- [16] 杨成龙.一种综掘巷道掘进头湿式除尘系统的研究[J].神华科技,2016,14(5):23-26.  
YANG Chenglong. Research on wet dedusting system in the heading end of some comprehensive tunneling[J].Shenhua Technology,2016,14(5):23-26.
- [17] 王富强.EBZ260掘进机载除尘系统测试分析[J].煤炭工程,2017,49(6):135-138.  
WANG Fuqiang. Test and analysis of dust removal system integrated in EBZ260 roadheader [J].Coal Engineering,2017,49(6):135-138.
- [18] 王开德,宁洪进,刘茂喜.综掘工作面快速掘进流场与粉尘数值分析[J].煤炭科技,2017(3):71-74.  
WANG Kaide, NING Hongjin, LIU Maoxi. Numerical analysis of flow field and dust in quick driving face of fully-mechanized driving face [J]. Coal Science & Technology Magazine, 2017(3):71-74.
- [19] 梁爱春.机载液动除尘技术的研究与应用[D].北京:煤炭科学研究总院,2009.
- [20] 胡方坤.长压短抽全岩综掘面通风除尘的数值模拟与实践研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2014.
- [21] 郭永文.神东矿区掘进巷道长压短抽通风除尘技术[J].煤矿安全,2017,48(S1):15-19.  
GUO Yongwen.Long pressure short drainage dust removal by ventilation technology in Shendong Mining Area tunneling roadway [J].Safety in Coal Mines,2017,48(S1):15-19.
- [22] 周乃如,朱凤德.气力输送原理与设计计算[M].郑州:河南科学技术出版社,1981:148-153.