

综掘工作面粉尘运移特性分析及防治技术优化

刘子文^{1,2,3}

(1. 中煤科工集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 抚顺 113122; 2. 煤矿灾害防控全国重点实验室, 辽宁 抚顺 113122; 3. 煤矿火灾及瓦斯防控国家矿山安全监察局重点实验室, 辽宁 抚顺 113122)

摘 要: 为解决综掘工作面粉尘污染问题, 采用理论分析、数值模拟及现场监测方法, 探究粉尘受力特征、扩散机制及其与风流场的耦合作用规律, 并通过风量比参数优化实验寻求高效控尘方案。研究表明: 将正压供风风筒径向与轴向分风比例优化为8:2时控尘效果最佳, 迎头粉尘平均质量浓度由377.2 mg/m³降至30.2 mg/m³, 巷道整体粉尘浓度大幅降低, 除尘风机净化效率提升至74.6%。现场应用表明, 该方案能有效抑制粉尘扩散, 掘进司机处粉尘浓度降幅超91%。研究结论为高效粉尘防治提供参考。

关键词: 综掘工作面; 粉尘运移规律; 风量比例; 粉尘防治; 数值模拟

中图分类号: TD714

文献标志码: A

文章编号: 1008-0562(2025)05-0520-08

Analysis of dust migration characteristics and optimization of prevention and control technology in excavation face

LIU Ziwen^{1,2,3}

(1. China Coal Technology & Engineering Group Shenyang Research Institute, Fushun 113122, China; 2. State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Prevention and Control, Fushun 113122, China; 3. Key Laboratory of National Mine Safety Supervision Bureau of Coal Mine Fire and Gas Prevention and Control, Fushun 113122, China)

Abstract: In order to solve the problem of dust pollution in fully mechanized excavation face, theoretical analysis, numerical simulation and on-site monitoring methods were used to explore the characteristics of dust stress, diffusion mechanism and its coupling with airflow field, and an efficient dust control scheme was sought through the optimization experiment of air volume ratio parameters. The results show that the dust control effect is the best when the ratio of radial and axial air distribution of the positive pressure air supply duct is optimized to 8:2. The average dust mass concentration at the head is reduced from 377.2 mg/m³ to 30.2 mg/m³, the overall dust concentration of the roadway is greatly reduced, and the purification efficiency of the dust removal fan is increased to 74.6%. The field application of this scheme can effectively inhibit the dust diffusion, and the dust concentration at the driver of the roadheader decreases by more than 91%. The research conclusions provide a reference for efficient dust prevention and control.

Keywords: excavation face; dust migration law; air volume ratio; dust control; numerical simulation

0 引言

随着煤炭开采机械化程度的提高, 局部生产区域粉尘浓度超标问题日趋严重。高浓粉尘一直是威胁煤矿从业人员健康的灾害之一^[1-3]。长期暴

露于高浓度粉尘环境中, 作业人员吸入呼吸性粉尘(PM₁₀及以下)后, 可引发尘肺病、慢性阻塞性肺病等职业性疾病^[4-5]。因此, 科学治理粉尘, 降低作业环境的粉尘浓度, 对保障从业人员职业健康, 推动煤矿行业可持续发展具有重要意义^[6-8]。

收稿日期: 2024-12-31 修回日期: 2025-03-14 接受日期: 2025-04-05 责任编辑: 张雯

基金项目: 国家自然科学基金项目(52174229)

作者简介: 刘子文(1991-), 男, 黑龙江 双鸭山人, 硕士, 工程师, 主要从事煤矿粉尘防治方面的研究。E-mail: 13238051887@163.com

近年来,诸多学者对煤矿粉尘运移规律开展了研究。胡方坤等^[9]建立了压入式通风条件下掘进面全尺寸巷道模型,采用非定常离散相模型解算,得出掘进开始后0~5 min的粉尘浓度分布图像。施国华等^[10]采用数值模拟的方法对风筒不同出风距离时的风流分布及粉尘浓度分布进行分析,并对掘进机高压外喷雾降尘系统的喷雾压力、流量、方向进行了优化。张琦等^[11]基于风流场和颗粒场特点,利用FLUENT软件对综采工作面粉尘浓度运移规律进行数值模拟,提出了“三阶梯”现象,用以指导现场工作和防尘作业。周全超等^[12]利用FLUENT软件模拟压入式通风方式下巷道中粉尘分布情况,以及抽、压组合式通风方式下粉尘分布规律及降尘效果,并通过现场实测验证了数值模拟的准确性。雷猛等^[13]分析了截割产生20 s、40 s、80 s后综采面不同空间位置的粉尘分布及运移轨迹,并通过现场实测验证模拟结果的准确性。DU等^[14]利用计算流体动力学(CFD)软件模拟超大型综采工作面中的气流和粉尘运动,并提出了喷雾除尘剂或化学除尘剂等减少粉尘的措施。于海里等^[15]采用Realizable湍流模型,结合数值模拟分析不同风速扰动下装载冲击产生尘运移规律,探究了抑尘运移方法及其防治粉尘污染的作用效果。

综上,现有研究虽在粉尘分布模拟及特定参数优化方面取得进展,但对粉尘运移与风流场耦合机制的研究深度不足,尤其缺乏针对风量分配比例等关键参数的定量优化研究,难以支撑高效、精准的控尘系统设计。因此,本文建立综掘工作面粉尘基本特性与风流场的耦合关系模型,开展粉尘运移规律数值模拟研究,聚焦风量分配比进行定量优化分析,提出并验证基于最优风量比的综掘工作面高效捕尘系统,为煤矿综掘工作面的安全、高效生产提供理论与技术支撑。

1 综掘工作面粉尘基本特性

1.1 工程背景

位于山西蒲县的富家凹煤业11309工作面,主采11号煤层,顶板为泥岩、中粒砂岩,底板为铝质泥岩、K₁石灰岩。煤层厚度为2.15~3.2 m,含1层夹矸,厚度为0~0.1 m。煤层结构简单。11309回风顺槽设计长为1 800 m,宽为5 m,高为3 m,根据水文地质资料可知,掘进工作面无突水危险性。

1.2 综掘工作面粉尘来源分析

为分析综掘工作面粉尘来源,综合考虑井下作业区域与设备运行期间的人员安全,在11309回风顺槽综掘工作面设置测点,分别位于迎头、掘进机司机操作位及除尘风机后方20 m处。

通过长期粉尘分布的监测,得到11309回风顺槽综掘工作面粉尘来源如下。

(1) 截割煤岩产生尘。综掘机截割煤岩是掘进工作面主要产尘源,工作面使用EBZ-260掘进机,功率大,截割能力为12 t/min,截割冒落煤岩粉尘被压入供风风流快速吹散。

(2) 围岩冒落及转载点产生尘。巷道掘进施工导致顶板及两帮塌落煤块,局部围岩发生错位挤压、断裂、坍塌,煤层冒落形成粉尘。在掘进工作面正常生产工序过程中也会产生大量粉尘。

(3) 外部巷道粉尘侵入。由于掘进工作面压入式风机布置在三采区南胶带巷的新鲜风流中,该胶带巷在煤炭运输过程中(如转载、跌落、碰撞)会产生粉尘颗粒。这些粉尘随压入式风机吸入的新鲜风流被带入掘进工作面,构成部分外来尘源。

综上,有效控制掘进机截割产生,减弱掘进迎头粉尘扩散是综掘工作面粉尘防治的关键。若在迎头附近形成能够覆盖巷道全断面的风幕,且风流速度方向均为指向迎头的轴向,则掘进迎头粉尘被风幕阻挡在迎头最前端,不向后方扩散。通过前置除尘风机吸尘口,将高浓粉尘高效抽出净化,可以在源头解决巷道粉尘污染和难治理问题,有效改善综掘工作面作业环境。

1.3 综掘工作面粉尘基本特性

(1) 粉尘受力分析

综掘工作面粉尘是由掘进机截割煤层产生的,在压入风流的作用下粉尘颗粒之间、粉尘颗粒与风流之间不断发生撞击,使粉尘颗粒受到多种作用力。作用于粉尘颗粒的平衡方程^[16]为

$$m_p \frac{du_p}{dt} = +F_g + F_b + \sum F_0, \quad (1)$$

式中: m_p 为粉尘颗粒质量,mg; u_p 为粉尘颗粒运动速度,m/s; F_b 为流体阻力,由粉尘颗粒与风流相对运动产生,N; F_g 为粉尘颗粒的重力,N; $\sum F_0$ 为粉尘颗粒受到的其他力,包括附加质量力、Magnus力、热泳力、Saffman力以及布朗力等,N,由于相对较小,本文忽略不计。

为便于分析和计算,假设粉尘颗粒假设为球体,其重力为

$$F_g = \frac{\pi}{6} d_p^3 \rho_p g, \quad (2)$$

式中: d_p 为粉尘粒径, m; ρ_p 为粉尘密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, 取 9.81 m/s^2 。

流体阻力为

$$F_b = \frac{1}{8} \pi C_D d_p^2 \rho_f |u_f - u_p| (u_f - u_p), \quad (3)$$

式中: ρ_f 为流体密度, kg/m^3 ; u_f 为流体速度 m/s ; u_p 为颗粒速度, m/s ; C_D 为粉尘颗粒的阻力系数, 计算式为

$$C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re_p} + \frac{a_3}{Re_p^2},$$

$$Re_p = \frac{\rho_f d_p |u_f - u_p|}{\mu},$$

式中: Re_p 为颗粒雷诺数; a_1 、 a_2 、 a_3 为常数; μ 为流体动力黏度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

C_D 受到 Re_p 的影响, Re_p 与颗粒粒径相关, 不同粒径颗粒的阻力计算方法如下。

①亚微米颗粒 ($d_p < 1 \mu\text{m}$), $Re_p \ll 1$, 阻力为

$$F_b = 3\pi\mu d_p (u_f - u_p)。$$

②细颗粒 ($1 \mu\text{m} \leq d_p \leq 40 \mu\text{m}$), $Re_p \in [0.1, 10]$, 粉尘颗粒的阻力系数

$$C_D = \frac{24}{Re_p} (1 + 0.15 Re_p^{0.678}),$$

阻力为

$$F_b = \frac{1}{8} \pi C_D d_p^2 \rho_f |u_f - u_p| (u_f - u_p)。$$

③粗颗粒 ($d_p > 40 \mu\text{m}$), $Re_p > 100$, 粉尘颗粒的阻力系数 $C_D \approx 0.44$, 阻力为

$$F_b = \frac{1}{2} C_D \rho_f A_p |u_f - u_p| (u_f - u_p)。$$

为预测粉尘运移轨迹, 求解粉尘在巷道中的扩散范围、沉降位置和时间, 为通风除尘系统设计提供理论依据, 将式 (2)、式 (3) 代入式 (1), 可得

$$\frac{du_p}{dt} = \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p} g - \frac{3}{4} \frac{C_D \rho_f}{\rho_p d_p} |u_f - u_p| (u_f - u_p)。 \quad (4)$$

(2) 粉尘扩散分析

湍流风流中粉尘颗粒运动状态见图 1。不同粒径的粉尘在湍流风流中的运动状态如下。

①粗粒粉尘颗粒 ($d_p > 40 \mu\text{m}$) 主要受到自身重力和风流作用力影响, 其重力普遍大于风流作用力, 因此在巷道中的运动范围较小, 通常能够在

短时间内沉降。

②细粒粉尘颗粒 ($1 \mu\text{m} \leq d_p \leq 40 \mu\text{m}$) 除了受到自身重力和风流作用力影响, 还受到风流场中紊乱气流影响, 在巷道内扩散时很难快速沉降, 随着巷道气流增加半径扩散, 运动路线相对较长, 风流场对其影响相对较大。

③亚微粉尘颗粒 ($d_p < 1 \mu\text{m}$) 不仅受到自身重力、风流作用力、风流场中紊乱气流的影响, 还受到粉尘颗粒之间的碰撞影响。亚微粉尘颗粒在巷道内扩散时受到自身重力影响较小, 受风流场中紊乱气流的影响较大, 其扩散区域与风流场中风流的运动轨迹类似, 很难沉降。

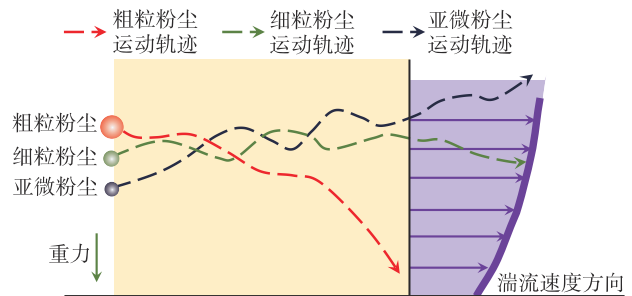


图 1 湍流风流中粉尘颗粒运动状态

Fig.1 motion state of dust particles in turbulent airflow

2 综掘工作面粉尘运移规律

2.1 粉尘运移规律模型的构建

基于 Fluent 软件建立几何模型, 模拟流体流动情况, 见图 2。湍流模型选用 Realizable k - ϵ 湍流方程, 模拟参数见表 1。采用分离式求解算法 SIMPLE 求解压力-速度。

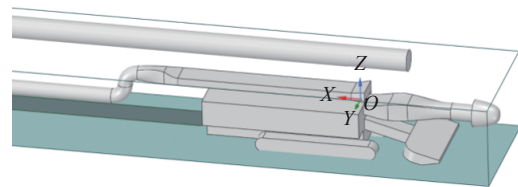


图 2 几何模型

Fig.2 geometric model

表 1 模型参数

Tab.1 model parameters

边界条件	取值
正压风筒风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	13.49
吸尘风道风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	-14.58
巷道尾部出口压力/Pa	0

2.2 风流场分布特征

正压风筒中心垂直切面的速度分布见图 3。风流从正压风筒喷出后, 沿巷道壁面流动, 在迎头附

近由于流动受限,沿着迎头壁面向下流动,进而扩散流动。风流在正压风筒出口的流速为13.49 m/s,流出正压风筒后,由于射流效应卷吸周围空气,风速逐步衰减。风筒与巷道侧壁相邻一侧流动受限,无法卷吸周围空气,衰减变缓,形成附壁流动,即流动贴附壁面流动,贴附流动长度约为3.2 m。

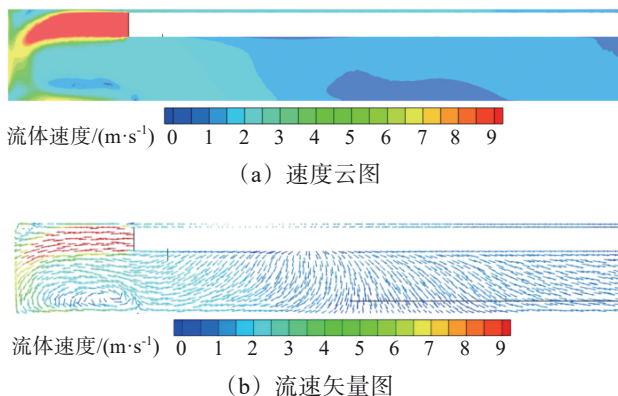


图3 正压风筒的中心垂直切面处的速度分布

Fig.3 velocity distribution at the vertical section of the center of the positive pressure air duct

距离巷道底板1 m处平面的速度分布见图4。从正压风筒出来的风流,与迎头壁面碰撞后,沿迎头壁面向四周扩散开,朝回风方向流动。部分风流在负压作用下进入负压吸尘风道。在吸风口附近,风流流动主要受除尘风机吸尘口吸力作用影响,形成回流。

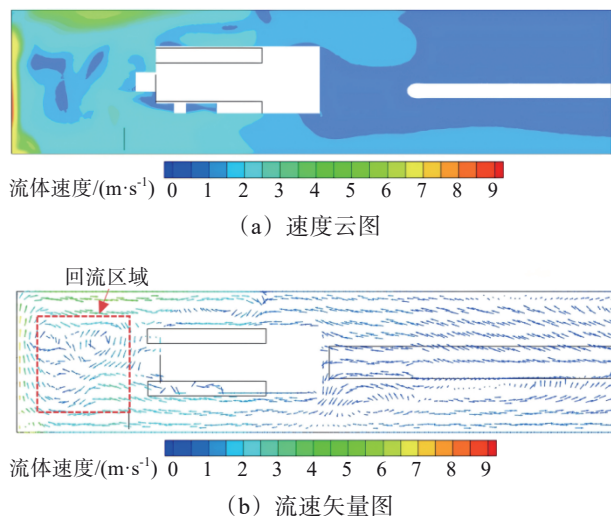


图4 距离巷道底板1 m处平面的速度分布

Fig.4 velocity distribution on the plane 1 m away from the floor of the roadway

巷道各横向截面流速矢量图见图5,可见漩涡现象比较明显。巷道掘进迎头部区域受到送风和

吸尘风道吸力作用影响,形成一大一小两个方向相反的漩涡,巷道中部以顺时针漩涡为主。在巷道尾部区域,由于回风气流以单向排风为主,流体径向速度分量与轴向速度分量方向趋于一致,漩涡现象逐步减弱,甚至消失。

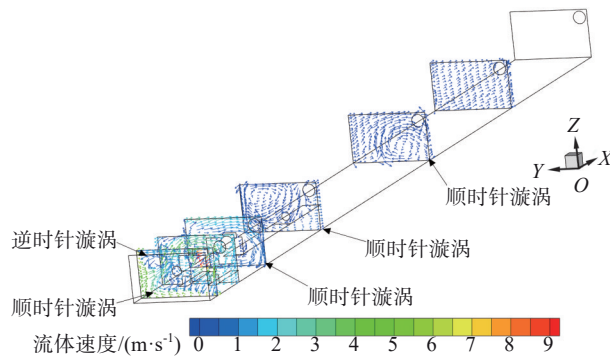


图5 巷道各横向截面流速矢量图

Fig.5 vector diagrams of flow velocity at transverse section of the roadway

2.3 粉尘运移规律

在连续性风流流动分析的基础上,对离散相颗粒进行分析。正压风筒的中心垂直切面处的粉尘质量浓度 C 分布见图6。

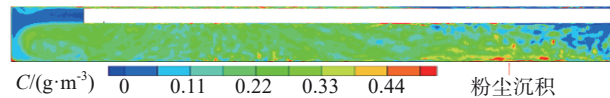


图6 正压风筒的中心垂直切面处的粉尘质量浓度分布

Fig.6 dust mass concentration distribution at the vertical cross-section of the center of the positive pressure air duct

由图6可以看出,粉尘在迎头产生后,其质量浓度沿着巷道逐渐减小。粉尘颗粒密度为 $1\,500\text{ kg/m}^3$,空气密度为 1.20 kg/m^3 ,存在较大的密度差,因此粉尘颗粒在巷道运移过程中不断沉积于巷道底部。距离巷道底板1 m处的粉尘质量浓度分布见图7,可以看出巷道粉尘质量浓度基本呈现相同的分布规律,距离掘进迎头越远,粉尘质量浓度越小,掘进机司机位置附近粉尘质量浓度较高。

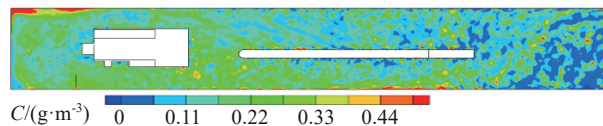


图7 距离巷道底板1 m处平面处的粉尘质量浓度分布

Fig.7 distribution of dust mass concentration at the plane 1 m away from the floor of the roadway

掘进迎头至巷尾各断面平均粉尘质量浓度见图8。

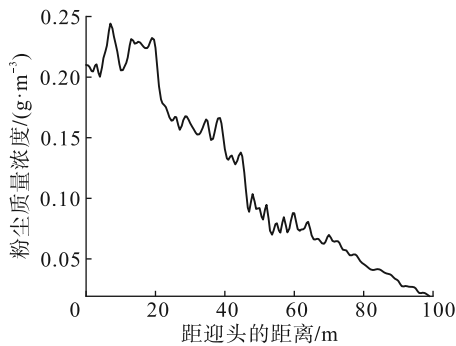


图8 掘进迎头至巷尾各断面平均粉尘质量浓度

Fig.8 average dust mass concentration at each section from the front of the tunneling to the end of the alley

由图8可知,从掘进迎头到巷道尾部粉尘质量浓度逐步降低。断面最大平均粉尘质量浓度为 0.25 g/m^3 ,最大值不在截割部,而在距离截割部5 m位置。这是由于正压风筒吹风对截割部扰动和冲刷,促使粉尘脱离截割部。粉尘从截割部至巷尾运输的过程中,部分粉尘被除尘风机吸尘口吸入,其余粉尘在向巷尾运移过程中逐步沉积在巷

道底板或者从巷道回风出口排出。

3 防治措施及效果评价

3.1 综掘工作面高效捕尘系统构建

控制综掘工作面正压供风风筒最前端出口风量,使正压供风风筒的大部分风量侧向排放到巷道,将负压除尘系统吸尘口前移至掘进机截割部附近,使负压除尘系统吸入风量远远大于掘进工作面正压供风风筒出口风量,该风量差由径向风幕的风流进行补偿,从而改变掘进机司机作业空间风流方向^[17-19],实现控尘、积尘、除尘。

由于正压供风风筒最前端出口风量较小,减弱风流对粉尘扩散影响,在掘进迎头少量压入式风流对高浓粉尘区域起到扰动效果,形成高浓含尘气流,受掘进机身负压吸尘口的作用影响,含尘气流向吸尘口处流动,形成扰动拨流效果。综掘工作面高效捕尘系统示意图9。

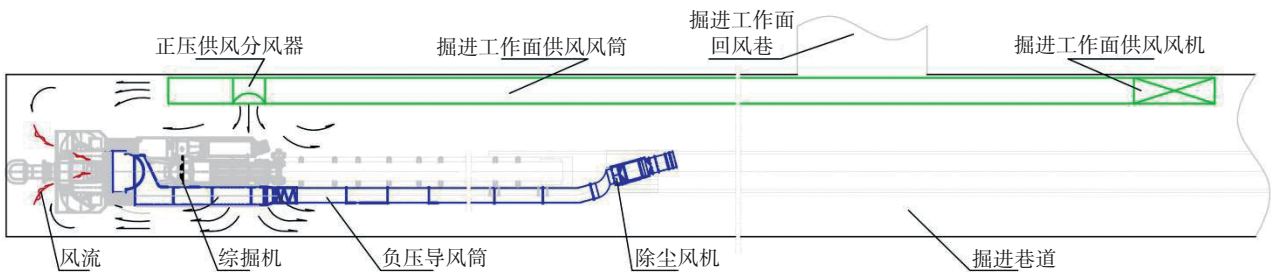


图9 综掘工作面高效捕尘系统示意

Fig.9 schematic of the high-efficiency dust collection system for the comprehensive excavation working face

3.2 综掘工作面高效捕尘系统参数确定及应用

调节正压供风风筒的径向与轴向的风量比(9:1、8:2、7:3、6:4),通过数值模拟与现场实测,对比分析风流场分布特征(风速衰减、流场结构)及粉尘控制效果的敏感性,巷道风流流线见图10。风量比为9:1时,轴向出流速度由初始(未分风时)的 13.49 m/s 降至 1.35 m/s ,因风速过小,轴向风流刚流出口即被径向风流卷吸,无法对迎头粉尘形成有效扰动。

风量比为8:2时,轴向出流速度为 2.65 m/s ,此时径向补风主导流场,轴向风流对迎头附近空气形成适度扰动,但轴向风流在距出口一定距离后仍被径向风流卷吸;径向风量主导的附壁射流形成稳定风幕,覆盖巷道断面,轴向风量的适度扰动可将高浓度粉尘引导至吸尘口,避免局部积聚。

风量比为7:3与6:4时,轴向出流速度分别升至 4.05 m/s 、 5.39 m/s ,轴向风流形成贴附射流并主导流场,在巷道中部形成局部漩涡流动,导致风流紊乱,粉尘易随漩涡扩散。综上,径向与轴向的风量比为8:2时,径向风幕的稳定性与轴向风流的导尘能力实现最优平衡。

不同径向和轴向风量比例的粉尘质量流率见表2。距离底板1 m平面不同径向和轴向风量比例的粉尘质量浓度见图11。在径向与轴向的风量比为8:2时,轴向风流扰动迎头粉尘并引导粉尘向吸尘口运移,径向补风形成风幕,阻隔粉尘向巷道后方扩散。掘进机司机附近粉尘质量浓度从无分风调控时的 0.4 g/m^3 降至 0.1 g/m^3 ,作业环境显著优化,且能维持迎头风量平衡,粉尘被约束在迎头附近。该比例下,除尘系统降尘率达74.6%,较径向主导工况提升了14.6%。径向风幕的封控作

用与轴向风流的导尘作用协同，既缩小粉尘扩散范围，又提升吸尘效率，巷道尾部排尘浓度同步降低，粉尘治理效果显著增强。

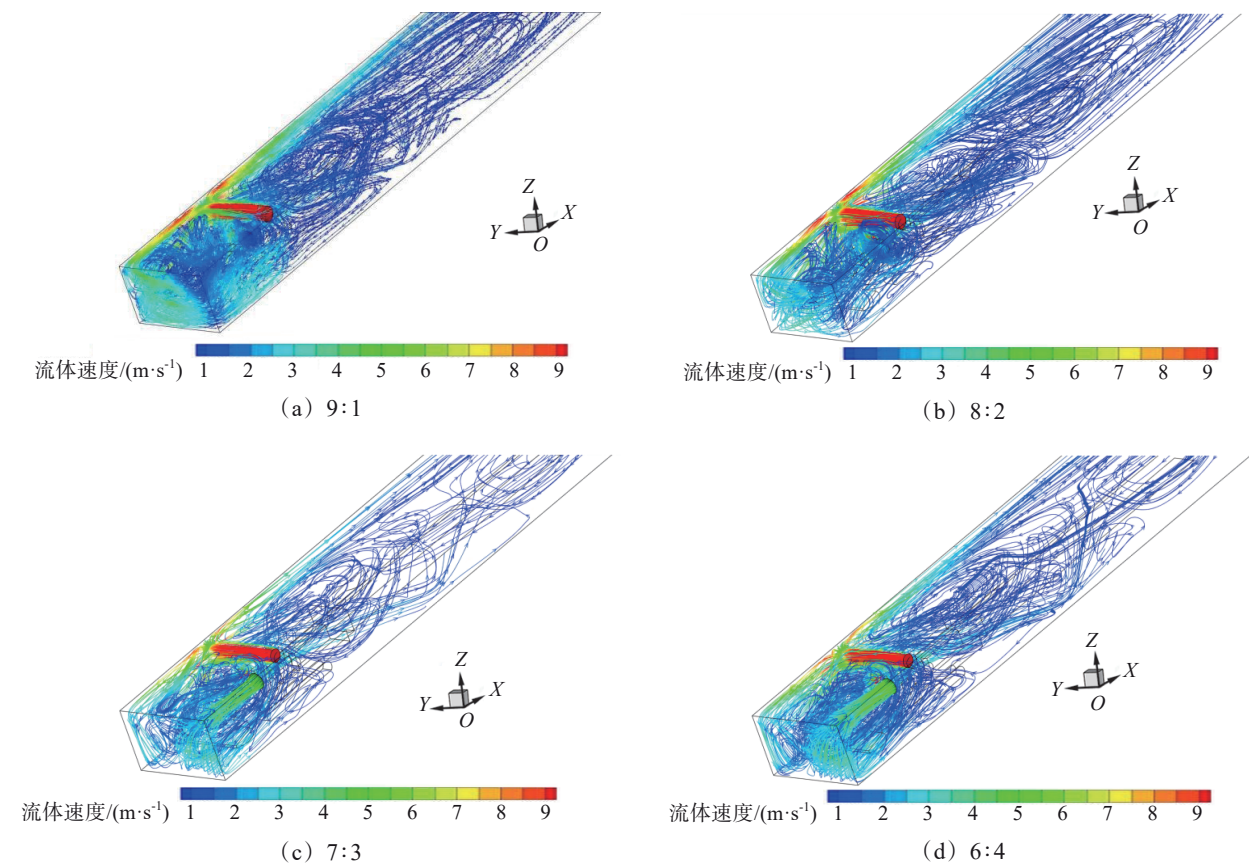


图 10 不同风量比例下巷道风流流线
Fig.10 roadway air flow lines under different air volume ratios

表 2 不同径向和轴向风量比例下粉尘质量流率
Tab.2 dust mass flow rate under different radial and axial air volume ratios

径向、轴向风量比例	粉尘质量流率/(mg·s ⁻¹)			
	巷道回风流出口处	巷道底板	除尘风机吸尘口处	悬浮区域
9:1	2.76	706.00	1 890.00	401.00
8:2	0	432.00	2 238.00	330.00
7:3	4.00	858.00	1 780.00	358.00
6:4	1.21	1 091.00	1 770.00	137.00

针对 11309 回风顺槽，依据其供风量参数，将优化后的捕尘系统应用于现场实践，选用 KCS-310DX 湿式除尘风机（额定处理风量为 310 m³/min，匹配巷道供风需求），设置正压供风风筒的径向和轴向风量比为 8：2。现场应用结果表明，大部分粉尘被风幕抑制在工作面迎头，向外扩散粉尘较少，掘进机司机处粉尘质量浓度

较低。

未布置捕尘系统与布置捕尘系统后粉尘浓度对比见图 12。布置捕尘系统后，掘进机司机处粉尘质量浓度由 377.2 mg/m³降低至 30.2 mg/m³，降低了 92.0%；除尘风机后方 20 m 处粉尘平均质量浓度由 195.2 mg/m³降低至 16.2 mg/m³，降低了 91.7%。

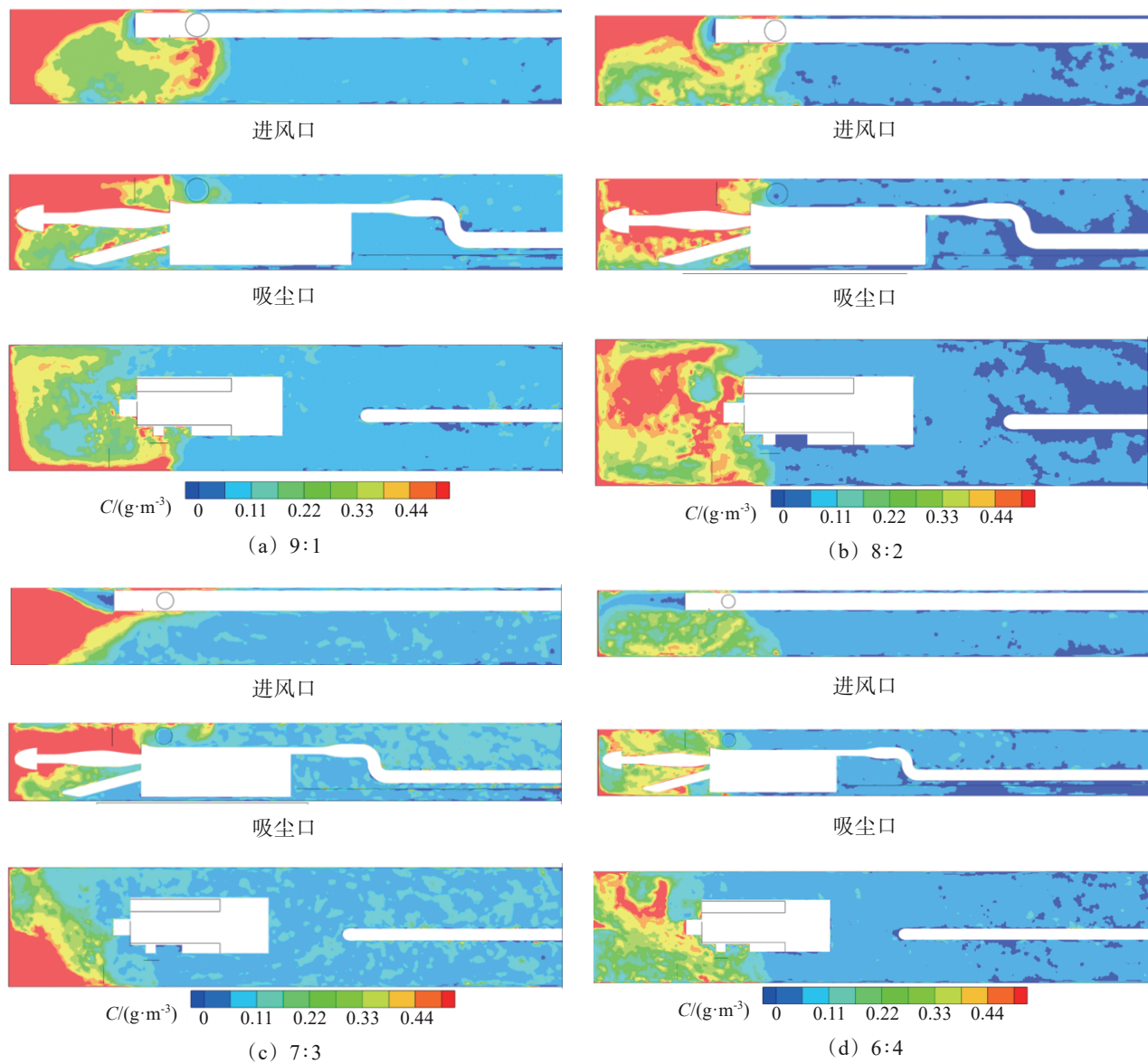


图 11 距离底板 1 m 平面不同径向与轴向风量比的粉尘质量浓度

Fig.11 dust mass concentration of different radial and axial air volume ratios on the plane 1 m from the bottom plate

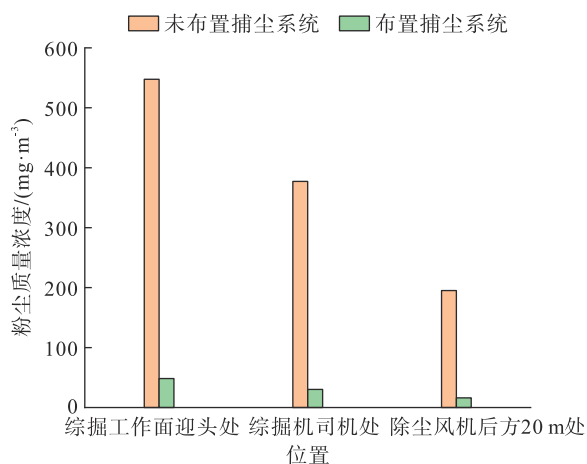


图 12 粉尘质量浓度对比

Fig.12 comparison of dust mass concentration

4 结论

(1) 提出了径向-轴向分风调控高效捕尘系统, 通过风幕阻隔与轴向风流定向输尘协同作用, 在径向、轴向风量比例为 8:2 时, 对迎头高浓度粉尘的降尘率达 74.6% (较常规单一供风工况提升 14.6%)。

(2) 数值模拟结果表明, 综掘工作面迎头粉尘浓度最高, 沿程向巷尾递减; 粉尘运移受重力、风流湍流共同驱动, 本文捕尘系统通过风幕封控和轴向导尘协同作用, 显著抑制湍流对粉尘的扩散扰动。

参考文献(References):

- [1] 袁亮. 煤矿粉尘防控与职业安全健康科学构想[J]. 煤炭学报, 2020, 45(1): 1-7.
YUAN Liang. Scientific conception of coal mine dust control and occupational safety[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(1): 1-7.
- [2] 周文东, 崔宴伟, 王和堂, 等. 煤矿井下采掘机械截割产尘机理研究进展[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2025, 65(3): 414-432.
ZHOU Wendong, CUI Yanwei, WANG Hetang, et al. Research progress on the mechanisms of dust generation during cutting by mining and tunneling machines in underground coal mines [J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2025, 65 (3): 414-432.
- [3] 张锁, 许茂业, 董俊亮, 等. 综采工作面割煤作业粉尘运移扩散规律模拟[J]. 西安科技大学学报, 2023, 43(6): 1079-1087.
ZHANG Suo, XU Maoye, DONG Junliang, et al. Simulation of dust migration and diffusion law in coal cutting operation at fully mechanized coal mining face[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2023, 43(6): 1079-1087.
- [4] 毕秋苹. 综掘工作面内外双旋流风幕控尘实验研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2023: 21-25.
- [5] 张凯铭. 综掘工作面粉尘运移规律与风幕控尘除尘技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2020: 15-19.
- [6] ZHOU G, LIU Y W, SHAO W Q, et al. Multi-factor orthogonal optimization and engineering application of turbulent wind curtain intelligent control dust removal system in large cross-section anchor excavation underground space[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2025, 162: 106643.
- [7] WANG X G, ZHAO J B, LI Y F, et al. Optimized design and performance evaluation of long-pressure-short-extraction ventilation and dust removal system based on the Coanda effect[J]. Frontiers in Artificial Intelligence, 2025, 8: 1565889.
- [8] NIE W, ZHANG Z H, BAO Q, et al. Application of a polymer-amino acid foam dust suppressant to control coal dust: experimental and theoretical studies[J]. Separation and Purification Technology, 2025, 364: 132457.
- [9] 胡方坤, 王帅领, 王德明, 等. 基于CFD非定常模拟分析掘进面粉尘运移规律研究[J]. 中国煤炭, 2013, 39(3): 105-108.
HU Fangkun, WANG Shuailing, WANG Deming, et al. Unsteady simulation analysis of dust movement law at driving face based on CFD[J]. China Coal, 2013, 39(3): 105-108.
- [10] 施国华, 马威, 张建斌, 等. 综掘工作面粉尘运移规律及其控降尘技术研究[J]. 矿业安全与环保, 2013, 40(3): 25-28.
SHI Guohua, MA Wei, ZHANG Jianbin, et al. Research on dust migration law and its removal technology in fully mechanized heading face[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2013, 40(3): 25-28.
- [11] 张琦, 白若男, 马骁, 等. 综采工作面风流-粉尘运移规律的数值模拟[J]. 工业安全与环保, 2015, 41(12): 96-99.
ZHANG Qi, BAI Ruonan, MA Xiao, et al. Numerical simulation on wind-dust migration regularity in fully-mechanized working face[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2015, 41 (12): 96-99.
- [12] 周全超, 杨胜强, 蒋孝元, 等. 综掘工作面粉尘分布规律及通风除尘优化研究[J]. 工矿自动化, 2019, 45(11): 70-74, 92.
ZHOU Quanchao, YANG Shengqiang, JIANG Xiaoyuan, et al. Research on dust distribution law and optimization of ventilation and dust reduction on fully mechanized heading face[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(11): 70-74, 92.
- [13] 雷猛. 基于时间尺度的综采工作面粉尘运移规律研究[J]. 煤矿安全, 2019, 50(3): 185-188.
LEI Meng. Study on Dust migration laws of fully mechanized mining face based on time scale[J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50 (3): 185-188.
- [14] DU T, NIE W, CHEN D W, et al. CFD modeling of coal dust migration in an 8.8-meter-high fully mechanized mining face[J]. Energy, 2020, 212: 118616.
- [15] 于海里, 侯庆亮, 李敬国, 等. 风流扰动下煤炭装载冲击粉尘运移规律与抑尘技术研究[J]. 中国矿业, 2024, 33(2): 208-216.
YU Haili, HOU Qingliang, LI Jingguo, et al. Study on the transport law of coal loading impact dust and dust suppression technology under airflow disturbance [J]. China Mining Magazine, 2024, 33 (2): 208-216.
- [16] 刘云秋, 白永亭. 基于通风除尘的大采高综采工作面粉尘治理技术应用研究[J]. 中国煤炭, 2022, 48(增刊1): 76-80.
LIU Yunqiu, BAI Yongting. Application research on dust control technology of fully mechanized mining face with large mining height based on dust removal by ventilation [J]. China Coal, 2022, 48 (Suppl.1): 76-80.
- [17] 莫金明, 马威. 大采高综采工作面负压除尘微雾净化装置应用研究[J]. 煤炭学报, 2023, 48(3): 1267-1279.
MO Jinming, MA Wei. Negative-pressure dust removal and micro-mist purification device application in fully-mechanised mining faces with a large mining height[J]. Journal of China Coal Society, 2023, 48 (3): 1267-1279.
- [18] 杨英兵, 康永. 补连塔煤矿低采高半煤岩巷负压除尘系统的应用[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(增刊2): 110-114.
YANG Yingbing, KANG Yong. Analysis and research on negative pressure dust removal system of half coal and rock roadway with low mining height in Bulianta Coal Mine[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(Suppl.2): 110-114.
- [19] 龚晓燕, 魏民杰, 陈龙, 等. 综掘工作面风流调控装置与射流风幕综合调控粉尘场优化分析[J]. 煤矿安全, 2024, 55(10): 214-220.
GONG Xiaoyan, WEI Minjie, CHEN Long, et al. Optimization analysis of dust field under the comprehensive control of air flow control device and jet air curtain at fully mechanized excavation face[J]. Safety in Coal Mines, 2024, 55 (10): 214-220.