

# 风门开启角度对矿井风流的影响规律研究

吴昱楼<sup>1,2</sup>, 陈彪<sup>1,2</sup>, 王四现<sup>1,2</sup>, 吕小权<sup>1,2</sup>, 田芯宇<sup>3</sup>

1. 长沙矿山研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012;
2. 金属矿山安全技术国家重点实验室, 湖南 长沙 410012;
3. 湖南科技大学资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201



**摘要:**为进一步探究风门开启角度对矿井风流沿程流动时流场的影响规律,采用井下现场测量与数值模拟相结合的方法,研究了风门不同开启角度下风流流动特性的变化规律。研究表明:(1)风门前后测点风速先增大后减小,且风门开启角度越小,风流沿程流动过程中速度波动幅度越明显,波动影响范围越大,当风门开启角度小于 $30^{\circ}$ 时,风门前测点风速会出现突降后急速拉升的现象;(2)风门开启角度越小,对风流沿程流动的阻碍范围越大,机械能损失越严重,测段通风阻力越大;(3)测段通风阻力变化幅度与风门开启角度之间无明显线性规律;(4)风门开启角度越小,对风流流动过程影响越剧烈,沿程风量损失越大,风量相对变化幅度增大。

**关键词:**流动特性;风门开启角度;沿程流动;波动幅度;机械能损失;通风阻力

中图分类号:TD72 文献标志码:A 文章编号:1005-2518(2025)04-0911-08 DOI: 10.11872/j.issn.1005-2518.2025.04.380  
引用格式:吴昱楼,陈彪,王四现,等.风门开启角度对矿井风流的影响规律研究[J].黄金科学技术,2025,33(4):911-918.WU Yulou, CHEN Biao, WANG Sixian, et al. Study on the Influence Law of Damper Opening Angle on Mine Wind Flow[J]. Gold Science and Technology, 2025, 33(4): 911-918.

矿井通风系统是地下矿山安全开采的重要保障之一,其不仅向井下工作面提供新鲜空气,稀释和排出有毒有害气体,保障作业环境安全可靠,还在矿井灾害防治、隐患排除及应急救援中有着不可或缺的作用(Ni et al, 2011; 刘剑等, 2016a, 2020; Jia et al, 2020; 张庆华等, 2020)。风门作为矿井通风系统的重要构筑物之一,对风流的流动路径、风量分配和通风阻力平衡等方面有着不可忽视的影响,深入研究风门对矿井通风系统的影响,对于优化通风设计、提高通风效率和保障矿井安全具有重要意义。

矿井通风阻力作为关键技术参数,其数值变化直接影响井下空气质量和通风系统运行成本,对安

全生产效能和经济效益具有双重调控作用(白子靖, 2016)。获取通风阻力的方法主要有摩擦阻力系数法(马恒等, 2011)和现场测量法(葛少成等, 2000; 蒋仲安等, 2012; 张树川, 2014),但获得的结果往往存在一定误差,数据可靠性无法判断(秦跃平等, 2015),这是因为涡流导致的湍流脉动特性(刘剑等, 2016b)的影响。湍流高摩擦阻力的产生与涡流息息相关(Kravchenko et al, 1993),本质是涡流运动时能量的耗散(Qi et al, 2019),而在井下长直巷道中,局部涡流的产生与发展往往与风门关系密切。因此,研究风门开启角度对风流沿程流动过程的影响对于完善通风系统理论具有重要意义。

为分析风门如何调控矿山通风状态,多数学者

收稿日期:2024-12-02;修订日期:2025-04-15

基金项目:中国五矿集团有限公司国家重点实验室专项资金项目“矿山智能装备失效分析验证与提升安全保障技术”(编号:2024GZKJ02)资助

作者简介:吴昱楼(1994—),男,河南信阳人,工程师,从事矿山安全技术研究工作。E-mail: 534269148@qq.com

© Editorial Department of Gold Science and Technology (CC BY-NC-ND)

采用数值模拟方法(张延军等,2020;盛典,2022;赵越超,2022;尚文天,2023)或以矿山巷道为实例(胡建华等,2021;伊新,2023),研究风门对矿井通风流场特性的影响。以往研究发现,风门主要通过改变开启角度、开闭速度和入口风速等因素来影响矿井通风系统的状态(周煜凯,2022;邓立军等,2023),且各因素间存在多元非线性关系。此外,因矿山井下巷道壁面的不平整及管路铺设等,在研究矿井风流传播特性时,还需考虑风门漏风特性(梁婷婷,2023)以及风门开启角度和不同风速(鹿广利等,2021)对风流流场特征的影响,这些研究为深入了解风门在通风系统中的作用机制提供了重要依据。

综上所述,风门的存在和运行状态直接关系到井下风量分配和通风阻力平衡,随着矿井开采深度的增加及采掘工作面位置的不断变化,通风系统需要不断优化调整,风门对矿井通风系统的影响研究显得更加必要。以往研究更多侧重于分析风门后流场结构的变化、风速波动幅度及波动影响范围等,对不同风门开启角度下风流流动特性的变化规律研究较少。鉴于此,通过现场测量矿山井下风门前后的通风参数,结合数值模拟,分析风门开启角度对巷道风速、通风阻力和风量的影响,能够为矿山井下风门的安装、调节和通风系统优化提供理论依据。

## 1 现场试验及数值模拟

### 1.1 现场试验概况

试验选取湖南省某矿山井下长直巷道(以下称为试验巷道)进行通风参数测定,该巷道断面形状为三心拱,为避免其他因素的影响,试验选取的巷道支护类型与该断面形状相同,测量风门不同开启角度(90°、75°、60°、45°、30°和15°)对巷道风流流动速度、沿程阻力和巷道风量的影响。

试验时选取风门前后50 m左右平整断面作为测段首端与末端,在风门前后不同位置分别测量风流参数。为保证测量数据的准确性,试验时采用点测法,将测点横截面划分为9等份,待风流稳定后测量每等份中心点的数据,为避免误差,每个数据测3次取平均值。试验巷道、风门形状和横截面测点布置如图1所示。

### 1.2 数值模拟

(1)巷道物理模型。根据现场试验巷道的参数建立巷道模型,依据风门开启角度的不同共构建了6个模型,开启角度分别为15°、30°、45°、60°、75°和90°。为了更好地分析风流经过风门前后流场的变化情况,结合现场试验结果设定进风巷道长度为10 m,出风巷道长度为50 m,入口风速预设3 m/s。巷道和风门模型如图1所示,模型以巷道长为x轴方向,巷道断面宽为y轴方向,巷道断面高为z轴方向,模拟时使用ANSYS Fluent 2022R1进行解算。

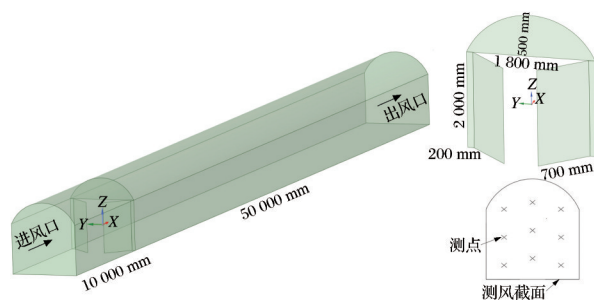


图1 巷道及风门模型

Fig. 1 Model of roadway and damper

(2)模拟条件设定。矿井通风系统中空气密度变化很小(齐艺裴,2021),模拟时将风流设定为黏性不可压缩流体,空气密度设定为常数,设定风流与巷道壁面之间不存在热交换,风流仅由入口进入且巷道无漏风情况,巷道壁面粗糙度不发生变化等(宋莹等,2016)。由此建立适用于湍流的雷诺时均形式的质量守恒方程、动量守恒方程和标准k-ε湍流模型方程进行风流沿程流动过程的解算。巷道模型包括一个风流入口和一个风流出口,分别作为模型边界的出入口,巷道壁面基于简化模型需求设定,初始化时设置从全域(all-zones)开始计算,详细设定条件见表1。

表1 巷道模型边界条件设定

Table 1 Setting of boundary conditions for alleyway model

边界条件	条件设定
入口类型	Velocity-inlet
出口类型	Pressure-outlet
巷道壁面	无滑移边界
边界粗糙度	0
计算方法	速度—压力耦合的SIMPLE算法

## 2 结果分析

### 2.1 风门开启角度对风速的影响

为探究风门前后风流流场的变化,通过现场实测和数值模拟对风流在巷道流动时的速度变化进行分析,研究风门不同开启角度对风流沿程流动速度的影响。

如图2所示,实测和模拟风速沿程变化趋势相近,风流移动至风门前后,风速和传播状态会随风门开启角度的不同发生变化。由于现场实测时风门附近流场紊乱且测点间距受限,因此基于模拟结果分析风速沿程变化机理。

由模拟结果可知,风门开启角度对流场演化具有显著调控作用。当风门开启角度大于 $30^{\circ}$ 时,截面面积变化产生的局部阻力对风速的影响较小,风流在风门前后速度变化较规律,呈缓增→衰减→振荡→平稳的变化过程;当风门开启角度小于 $30^{\circ}$ 时,截面面积变化产生的局部阻力会导致风速出现激增→衰减→缓增→衰减→振荡→平稳的变化过程,对风流传播状态影响较大。

将风流传播过程划分为3个主要阶段,分析风

速变化原因。第一阶段风流沿巷道传播至风门前(即由 $-10\text{ m}$ 传播至 $0\text{ m}$ ),因截面面积变小,风流被压缩,部分动能转化为静压能,阻碍风流移动,风门开启角度越小,局部阻力越大,风速波动越明显。当风门开启角度大于 $30^{\circ}$ 时,局部阻力小于风流因截面面积变小增加的动能;当风门开启角度小于 $30^{\circ}$ 时,局部阻力骤增导致风门前静压急剧升高,后方动能不足以克服阻力,形成瞬时回流,导致风速出现减小现象。第二阶段风流传播至风门间截面,由图3中风流流场变化可以看出,风流的传播曲线逐渐向风门截面中心靠拢并绕过风门的阻碍,因巷道风量不变,通风截面减小,风流因惯性突破阻力区,风流流速急速拉升。第三阶段风流通过风门截面移动至巷道,截面面积突增,风流积聚的能量迅速释放,流场变化剧烈,风流传播的速度和状态在短距离内会发生较大波动,并随着移动距离的增加逐渐恢复平稳。

### 2.2 风门开启角度对测段风阻的影响

通风阻力即是测段两端的压力变化差值,本质为风流传播过程中的能量耗散(鲜林等,2010;Gao et al,2018),阻力大小为单位体积风流流经巷道时

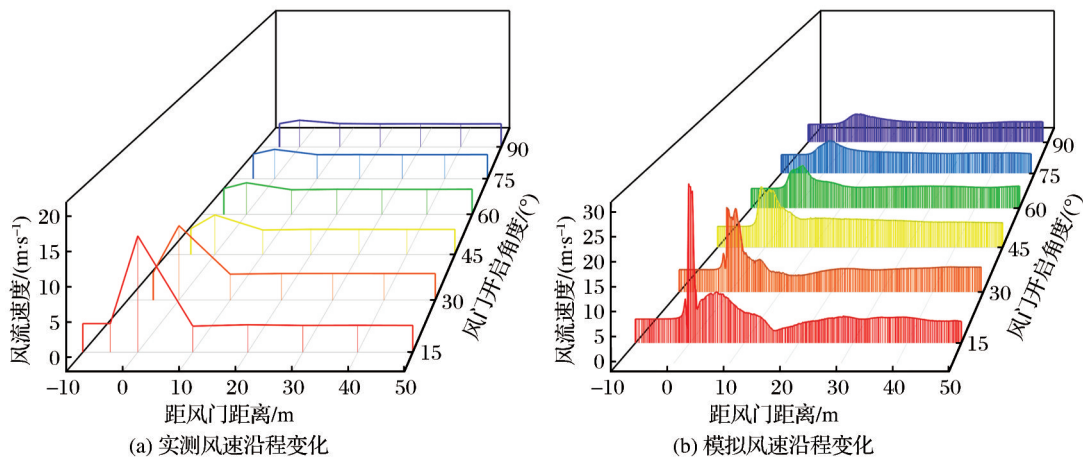


图2 风速沿程变化

Fig.2 Variation of wind speed along the way

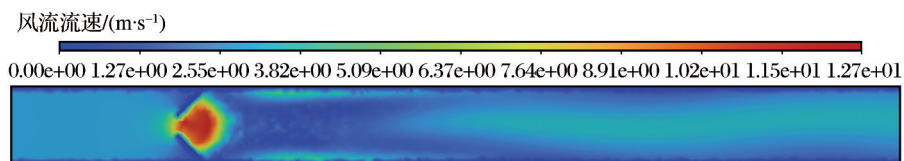


图3 风流沿程状态变化

Fig.3 State change of wind flow along the way

的机械能损失(秦跃平等,2020)。物理学中,质点发生非弹性碰撞时会发生能量转化,导致机械能降低。风流在巷道沿程流动过程中(张国枢,2011),由于流体质点自身的惯性力、流体层间的内摩擦力及巷道壁面对风流的扰动等,流体相邻质点间存在速度差异,因此无数质点相互碰撞造成机械能损失。

为分析风流通过风门前后阻力的变化,采用现场试验研究风门开启角度对测段巷道通风阻力变化的影响,结果如图4所示。

(1)现场试验时测段通风阻力为测段首端与末端压力变化差值,变化趋势如图4(a)所示。由图4(a)可以看出,通风阻力与风门开启角度大小成反比,随着风门开启角度变小,测段风阻逐渐增大。

(2)为动态分析风门开启角度变化对测段阻力的影响幅度,引入阻力变化幅度的概念(当前风门开启角度与上一角度对应的测段阻力的相对变化),变化趋势如图4(b)所示。由图4(b)可知,阻力变化幅度与风门的开启角度之间没有明显的规律。

风流经过风门后,由于截面面积剧变,风门后方风流紊乱加剧,速度、压力和密度等产生相应变化,涡流、壁面摩擦和质点不规则运动等影响因素之间的相互作用导致阻力变化幅度与风门的开启角度之间呈非线性关系。

为了更好地分析测段通风阻力的变化原因,从机械能损失的角度进行说明:

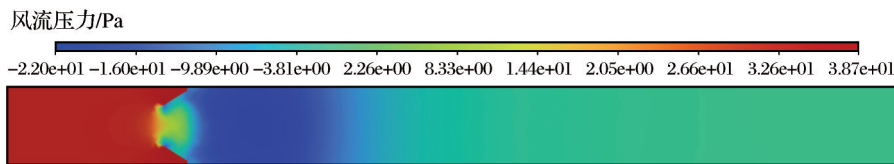


图5 风流沿程压力变化

Fig. 5 Pressure change of wind flow along the way

另一方面,风门改变风流的流动路径,通过风门前后,小部分风流会直接撞击风门,另一部分风流流线会发生弯曲和变形,且风门开启角度越小流线弯曲和变形程度越剧烈,流体各质点之间相互作用力越大,动能转化为热能的过程越剧烈,机械能损耗越严重;风流经过风门后,其紊流程度增加,风流质点运动轨迹混乱无序,流体微团之间的碰撞和

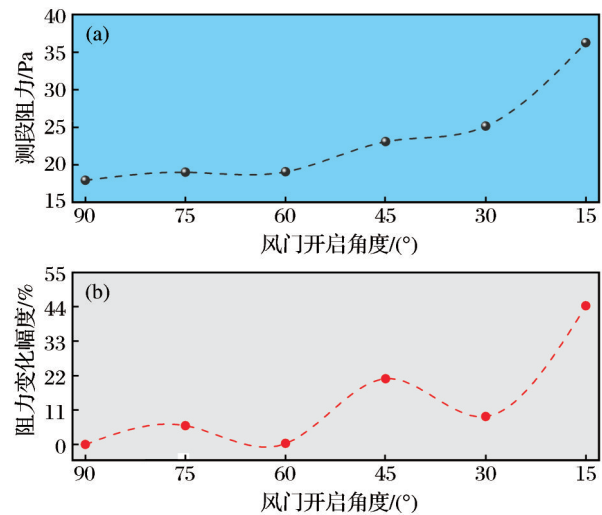


图4 测段阻力变化

Fig. 4 Resistance change of the measurement section

注:阻力变化幅度为连续2个风门开启角度对应的测段阻力的相对变化,即 $(H_{\text{当前角度}} - H_{\text{上一角度}}) / H_{\text{上一角度}}$ ,当风门开启角度为 $90^\circ$ 时,阻力变化幅度记为0, $H$ 为阻力

一方面,由风流压力沿程变化(图5)可以看出,风流在通过风门的过程中,动压和静压之间发生相互转换,转换过程中会出现机械能损耗:风流接近风门时,有效通风面积减小,风流被压缩,局部阻力系数增大,风门前方静压升高,风流通过风门时会消耗自身动能克服较高的静压;在风门后方,局部静压降低,风流从高压区流向低压区时能量重新分配,分配过程中会造成部分能量损失。

混合更加频繁,能量消耗加剧。

此外,在风门边缘,风流会出现边界层分离现象。边界层分离会产生旋涡,旋涡的形成与扩散等均需要消耗额外的能量,且旋涡复杂的旋转运动会干扰风流的正常流动,导致机械能损耗。

### 2.3 风门开启角度对风量的影响

由现场试验风量变化(图6)可以看出,测点风

量变化受风门开启角度的影响较大,风门开启角度越小,测点风量越小。为分析测段风量与风门开启角度之间的变化关系,引入风量相对变化的概念(测段末端与测段首端风量差与首端测量风量的比值),由图6可知,风门开启角度减小,影响风流沿程流动的因素增多,测段阻力增大,风量相对变化幅度越大。

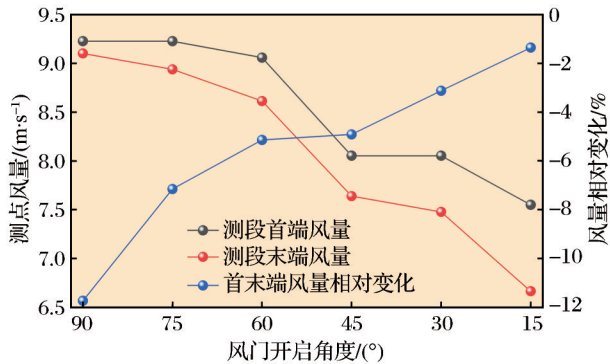


图6 测点风量变化

Fig. 6 Changes of air volume at measurement points

注:风量相对变化为测段末端与测段首端风量差与首端测量风量的比值,即 $(Q_{\text{测段末端}} - Q_{\text{测段首端}}) / Q_{\text{测段首端}}$ , $Q$ 为风量

在井下现场试验时,风门开启角度变小,巷道沿程阻力变大,迫使部分风量分散至其他巷道。根据图7所示的模拟结果,风流沿程流动状态由层流

逐渐转为湍流,影响区域会随风门开启角度的变小而增大。由于受截面面积变化的影响,风门前后流场结构变化较大,下游一定范围内流场不稳定,风流扩散引起风流各质点不规则运动,其中与风流沿程流动方向不一致的质点均会阻碍风流传播,降低巷道风量。

此外,风流通过风门前后流场状态逐渐转变,在惯性力的作用下出现主流区域与巷道壁面脱离的现象,在风门边缘与壁面之间形成旋涡区,风流分布更为复杂。一方面,主流风流会带动旋涡运动,旋涡外围流体被带走,新的流体不断补充进去,持续影响风流的流动;另一方面,旋涡也会对主流风流产生反向的作用力,使主流风流的速度降低,持续地对测点风量造成影响。

### 3 结论

(1) 风流流动速度波动特征随风门开启角度的变化而变化,风门开启角度越小,风流沿程流动速度变化趋势和波动幅度越明显,流场震荡影响范围越远。当风门开启角度大于 $30^\circ$ 时,风门前后风速先增后减,风速变化较规律,变化过程较平稳;当风门角度开启角度小于 $30^\circ$ 时,风流流动至风门前风

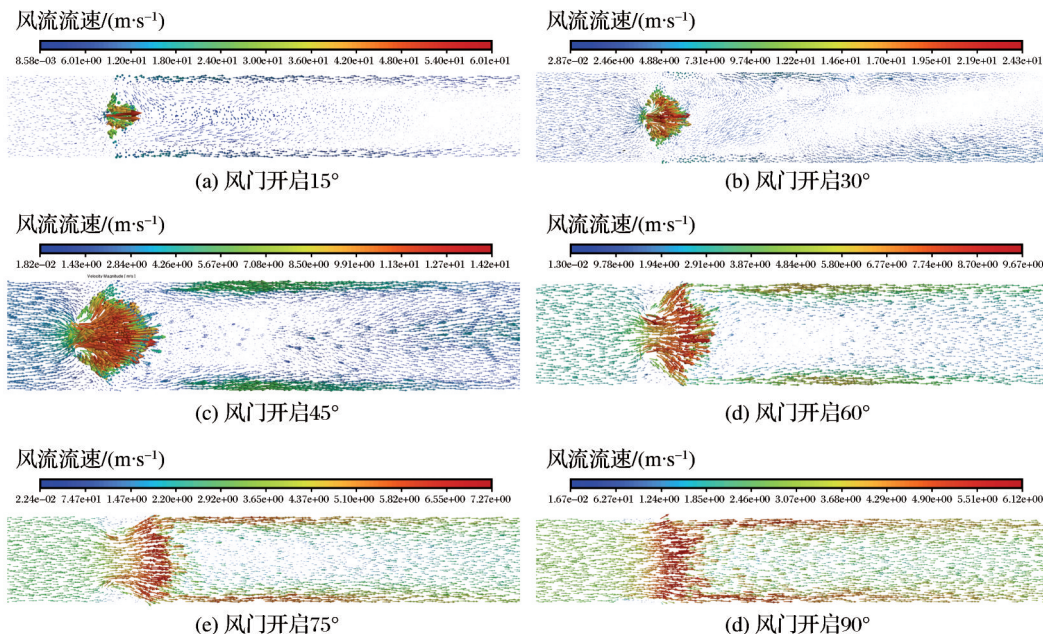


图7 不同风门开启角度时风流流场变化

Fig. 7 Changes in the flow field of the wind flow at different damper opening angles

速会出现突降后急速拉升的现象。

(2)风门开启角度对测段通风阻力影响较大,风门开启角度越小,风门对风流的阻碍范围越大,风流沿程流动时机械能损失越严重,测段风阻越大;受涡流、壁面摩擦和质点运动等多种因素的影响,测段通风阻力变化幅度与风门开启角度之间呈非线性关系。

(3)风门边缘与壁面之间有旋涡存在,旋涡区风流方向及风流各质点运动不规则,影响巷道风量。风门开启角度越小,沿程风量损失越大,风量相对变化幅度越明显。矿山在实际生产中可通过加大风门开启角度以降低阻力,并在风门后方加装导流板抑制涡流,减少沿程风量损失。

(4)此次试验和模拟分析了长直巷道中风门开启角度对矿井风流的影响规律,而实际巷道条件更为复杂,需进一步研究不同类型巷道的风流流动特性和风流场中湍流的发展演变过程,以便为后续研究巷道风流流态提供理论支持。

#### 参考文献 (References):

Gao R, Fang ZY, Li AG, et al, 2018. A novel low-resistance tee of ventilation and air conditioning duct based on energy dissipation control [J]. *Applied Thermal Engineering*, 132: 790-800.

Jia J Z, Jia P, Li Z, 2020. Theoretical study on stability of mine ventilation network based on sensitivity analysis [J]. *Energy Science and Engineering*, 8(8): 2823-2830.

Kravchenko AG, Choi H, Moin P, 1993. On the relation of near-wall streamwise vortices to wall skin friction in turbulent boundary layers [J]. *Physics of Fluids A*, 5 (12) : 3307-3309.

Ni W Y, Liu B K, Gai W M, 2011. The research on integrated visual information management system of the mine ventilation and safety [J]. *Procedia Engineering*, 26: 2070-2074.

Qi Y P, Yang F, Zhao H Z, et al, 2019. Analysis of the vortex characteristics during roadway ventilation [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 371 (2) : 022013.

白子靖, 2016. 井巷通风阻力降低措施分析 [J]. *能源与节能*, (6) : 6-7.

Bai Zijing, 2016. Analysis of reducing measures of ventilation resistance in roadway [J]. *Energy and Energy Conservation*, (6) : 6-7.

邓立军, 尚文天, 刘剑, 等, 2023. 风门开闭对矿井风流影响规律模拟试验研究 [J]. *安全与环境学报*, 23 (8) : 2759-2769.

Deng Lijun, Shang Wentian, Liu Jian, et al, 2023. Simulation experimental study on the effect of air door opening and closing on the wind flow law of mine [J]. *Journal of Safety and Environment*, 23 (8) : 2759-2769.

葛少成, 刘雅俊, 贾宝山, 2000. 锚喷巷道通风阻力系数的计算式研究 [J]. *辽宁工程技术大学学报 (自然科学版)*, 19 (5) : 466-469.

Ge Shaocheng, Liu Yajun, Jia Baoshan, 2000. The research on calculating formula of coefficient of frictional resistance of bolting and shotcreting roadways [J]. *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition)*, 19 (5) : 466-469.

胡建华, 赵阳, 周坦, 等, 2021. 矿山通风巷道风门后的风速分布特性研究 [J]. *矿冶工程*, 41 (4) : 1-5, 10.

Hu Jianhua, Zhao Yang, Zhou Tan, et al, 2021. Characteristics of wind speed distribution behind air door in underground ventilation drift [J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 41 (4) : 1-5, 10.

蒋仲安, 宋洋洋, 丁伟, 等, 2012. 平煤八矿丁一风井通风阻力测定与结果分析 [J]. *中国安全生产科学技术*, 8 (9) : 11-16.

Jiang Zhong'an, Song Yangyang, Ding Wei, et al, 2012. Resistance measure and analysis on Dingyi ventilating shaft in Pingdingshan group 8th mine [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 8 (9) : 11-16.

梁婷婷, 2023. 矿井风门漏风特性实验研究 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学.

Liang Tingting, 2023. Experimental study on air leakage characteristics of mine damper [D]. Fuxin: Liaoning Technical University.

刘剑, 2020. 矿井智能通风关键科学技术问题综述 [J]. *煤矿安全*, 51 (10) : 108-111, 117.

Liu Jian, 2020. Overview on key scientific and technical issues of mine intelligent ventilation [J]. *Safety in Coal Mines*, 51 (10) : 108-111, 117.

刘剑, 宋莹, 李雪冰, 等, 2016a. 基于LDA的均直巷道断面突扩风速分布规律实验研究 [J]. *煤炭学报*, 41 (4) : 892-898.

Liu Jian, Song Ying, Li Xuebing, et al, 2016a. Experimental study on wind speed distribution of the straight roadway and sudden enlarged sections based on LDA [J]. *Journal of China Coal Society*, 41 (4) : 892-898.

刘剑, 李雪冰, 陈廷凯, 等, 2016b. 矿井定常湍流脉动对通风阻力测试影响的理论分析 [J]. *中国安全生产科学技术*, 12 (5) : 22-25.

Liu Jian, Li Xuebing, Chen Tingkai, et al, 2016b. Theoretical analysis on influence of steady turbulence fluctuation on ventilation resistance measurement in mine [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 12

- (5):22-25.
- 鹿广利,田梦雅,周浩,2021.风门对矿井火灾烟气流动特性影响的数值模拟研究[J].中国安全生产科学技术,17(2):53-58.Lu Guangli, Tian Mengya, Zhou Hao, 2021. Research on numerical simulation of damper effect on smoke flow characteristics of mine fire[J].Journal of Safety Science and Technology, 17(2):53-58.
- 马恒,徐超,李宗翔,等,2011.矿井通风井巷摩擦风阻的计算与研究[J].安全与环境学报,11(5):172-174.Ma Heng, Xu Chao, Li Zongxiang, et al, 2011. Calculation and study of the roadway friction resistance of mine ventilation [J].Journal of Safety and Environment, 11(5):172-174.
- 齐艺裴,2021.巷道风流能量耗散机理及粉尘输运动力学模型研究[D].北京:中国矿业大学(北京).Qi Yipei, 2021. Research on energy dissipation mechanism and dust transport motion mechanism of roadway [D]. Beijing: China University of Mining and Technology(Beijing).
- 秦跃平,齐艺裴,赵恒泽,等,2020.均直巷道通风能量耗散机理[J].煤炭学报,45(增刊1):353-360.Qin Yueping, Qi Yipei, Zhao Hengze, et al, 2020. Energy dissipation mechanism of ventilation in straight roadway[J].Journal of China Coal Society, 45(Suppl.1):353-360.
- 秦跃平,吴彪,毕永华,等,2015.基于百米风阻的工作面阻力测定结果分析[J].矿业安全与环保,42(1):90-93. Qin Yueping, Wu Biao, Bi Yonghua, et al, 2015. Analysis on resistance determination results in working face based on hectometer ventilation resistance[J].Mining Safety and Environmental Protection, 42(1):90-93.
- 尚文天,2023.矿井风流扰动识别研究[D].阜新:辽宁工程技术大学. Shang Wentian, 2023. Research on the identification of mine wind flow disturbance[D]. Fuxin: Liaoning Technical University.
- 盛典,2022.基于FLUENT的煤矿井下风门通风系统研究[J].煤炭技术,41(5):149-151.Sheng Dian, 2022. Research on ventilation system of air door in coal mine based on FLUENT[J].Coal Technology, 41(5):149-151.
- 宋莹,刘剑,李雪冰,等,2016.矿井巷道风流平均风速分布规律的试验与模拟研究[J].中国安全科学学报,26(6):146-151.Song Ying, Liu Jian, Li Xuebing, et al, 2016. Experiment and numerical simulation of average wind speed distribution law of airflow in minetunnel[J].China Safety Science Journal, 26(6):146-151.
- 鲜林,高朋杰,2010.矿井通风阻力测定结果分析与对策措施[J].中国安全生产科学技术,6(1):100-103.Xian Lin, Gao Pengjie, 2010. Analysis and countermeasures of measuring result for ventilation resistance in mine[J].Journal of Safety Science and Technology, 6(1):100-103.
- 伊新,2023.联动风门在矿井通风线路优化中的应用[J].矿业装备,(8):130-131.Yi Xin, 2023. Application of linkage damper in mine ventilation line optimization[J].Mining Equipment, (8):130-131.
- 张国枢,2011.通风安全学[M].徐州:中国矿业大学出版社. Zhang Guoshu, 2011. Ventilation safety[M].Xuzhou: China University of Mining and Technology Press.
- 张庆华,姚亚虎,赵吉玉,2020.我国矿井通风技术现状及智能化发展展望[J].煤炭科学技术,48(2):97-103.Zhang Qinghua, Yao Yahu, Zhao Jiyu, 2020. Status of mine ventilation technology in China and prospects for intelligent development [J]. Coal Science and Technology, 48(2):97-103.
- 张树川,2014.矿井通风系统阻力测定方法及误差分析[J].矿业安全与环保,41(2):93-96.Zhang Shuchuan, 2014. Ventilation resistance measurement method and error analysis of mine ventilation system[J].Mining Safety and Environmental Protection, 41(2):93-96.
- 张延军,杜冬杰,许鹏,等,2020.基于FLUENT的侧卷式风门的数值模拟研究[J].煤矿机械,41(3):31-33.Zhang Yanjun, Du Dongjie, Xu Peng, et al, 2020. Numerical simulation study on side rolling damper based on FLUENT [J]. Coal Mine Machinery, 41(3):31-33.
- 赵越超,2022.反向风门对掘进巷道回风瓦斯运移特征影响实验研究[D].北京:中国矿业大学(北京). Zhao Yuechao, 2022. Experimental study on the influence of reverse damper on return air gas migration characteristics of roadway [D]. Beijing: China University of Mining and Technology(Beijing).
- 周煜凯,刘剑,邓立军,等,2022.风门开闭动态过程对矿井风流影响规律研究[J].中国安全生产科学技术,18(12):58-66.Zhou Yukai, Liu Jian, Deng Lijun, et al, 2022. Research on influence of dynamic process of dampers opening and closing on air flow in mine[J].Journal of Safety Science and Technology, 18(12):58-66.

## Study on the Influence Law of Damper Opening Angle on Mine Wind Flow

WU Yulou<sup>1,2</sup>, CHEN Biao<sup>1,2</sup>, WANG Sixian<sup>1,2</sup>, LV Xiaoquan<sup>1,2</sup>, TIAN Xinyu<sup>3</sup>

1.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha 410012, Hunan, China;

2.State Key Laboratory of Metal Mine Safety Technology, Changsha 410012, Hunan, China;

3.School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, Hunan, China

**Abstract:** To further investigate the impact of the damper opening angle on the flow field within the mine's air flow, this study examined variations in wind speed, pressure, and air volume along the air flow under different damper opening angle in a long straight roadway. This was achieved through a combination of underground field measurements and numerical simulations. The study aimed to summarize the patterns of wind flow characteristics and analyze the underlying causes. The findings indicate that: (1) Wind flow velocity fluctuations are influenced by the damper opening angles. Specifically, wind speed at measurement points before and after the damper initially increases and then decreases. The smaller the damper opening angle, the more pronounced the amplitude of velocity fluctuations, and the greater the extent to which the fluctuation range is affected by the wind flow. When the damper opening angle exceeds 30°, wind speed changes exhibit greater regularity and stability. Conversely, when the opening angle is less than 30°, wind speed in front of the damper briefly decreases before rapidly increasing. (2) The opening angle of the damper significantly affects the ventilation resistance within the measurement section. A smaller damper opening angle results in a greater obstruction to wind flow, thereby intensifying the conversion of kinetic energy into thermal energy, as well as dynamic pressure into static pressure. This leads to a more pronounced mechanical energy loss and an increase in wind resistance within the measurement section. (3) Due to the interplay of factors such as eddy currents and wall friction, there is no clear linear relationship between the change in ventilation resistance and the damper opening angle. (4) The air volume at the measuring point is substantially influenced by the damper opening angle. A smaller opening angle exacerbates the irregular movement of wind flow particles and the impact of vortex areas on the wind flow process, resulting in greater air volume loss along the path, a decrease in air volume at each measuring point, and an increase in the relative change amplitude of the air volume.

**Key words:** flow characteristics; damper opening angle; flow along the way; volatility amplitude; loss of mechanical energy; ventilation resistance