

文章编号:1671-251X(2021)01-0067-07

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020050057

# 白龙山煤矿 10201 工作面合理挡风帘长度确定

崔传发

(郑州信息科技职业学院 建筑工程学院, 河南 郑州 450000)



扫码移动阅读

**摘要:**针对白龙山煤矿 10201 工作面漏风严重和上隅角瓦斯浓度偏高的问题,利用 Fluent 软件对进风侧不同挡风帘长度下工作面风量和瓦斯浓度、采空区瓦斯分布和自燃氧化带的变化规律进行了数值模拟研究,结果表明:在工作面距进风巷 0~80 m 范围内,随着挡风帘长度增加,工作面风量逐渐增加;在工作面距进风巷 0~190 m 范围内,随着挡风帘长度增加,工作面瓦斯浓度逐渐下降;挡风帘可降低采空区回风侧浅部和中部的瓦斯浓度,而对于采空区进风侧和回风侧深部区域,挡风帘会使瓦斯浓度有所上升;在进风侧设置挡风帘会使采空区进风侧自燃氧化带宽度变大、采空区回风侧自燃氧化带宽度减小,且随着挡风帘长度增加,采空区进风侧自燃氧化带逐渐向工作面靠近。根据数值模拟结果,确定合理挡风帘长度为 5 m,应用结果表明:挂帘后工作面有效风量增加,瓦斯体积分数平均值为 0.521%,降幅达 13.5%,一氧化碳体积分数平均值为 2.26%,降幅为 8.1%,降低了上隅角瓦斯超限和采空区自然发火的危险性。

**关键词:**采空区漏风; 瓦斯超限; 挡风帘; 采空区; 瓦斯浓度; 自燃氧化带

中图分类号:TD712.6      文献标志码:A

## Determination of reasonable length of wind-blocking curtain in 10201 working face of Bailongshan Coal Mine

CUI Chuanfa

(School of Architectural Engineering, Zhengzhou Vocational University of Information and  
Technology, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:**In order to solve the problems of serious air leakage and high gas concentration in the upper corner of 10201 working face of Bailongshan coal mine, Fluent software based numerical simulation studies are carried out to obtain the change law of working face air volume and gas concentration, the change law of gas distribution and spontaneous combustion oxidation zone in the air inlet side with different lengths of wind-blocking curtains. The results showed that in the range of 0-80 m from the working face to the inlet lane, the air volume of the working face gradually increase. In the range of 0-190 m from the working face to the inlet lane, the gas concentration of the working face gradually decreases with the increase of the length of the wind-blocking curtain. The wind-blocking curtain can reduce the gas concentration in the shallow and central part of the return side of the mining area. But for the deep part of the inlet side and return side of the mining area, the wind-blocking curtain will increase the gas concentration. The installation of the wind-blocking curtain on the inlet side is able to increase the width of the spontaneous oxidation zone on the inlet side of the mining area, reduce the width of the spontaneous oxidation zone on the return side of the mining area. As the length of the windshield increases, the spontaneous combustion oxidation zone on the inlet side of the mining area gradually approaches the working face. The numerical simulation results show that the reasonable length of wind-blocking curtain is 5 m. The application results

收稿日期:2020-05-22;修回日期:2021-01-14;责任编辑:盛男。

作者简介:崔传发(1989—),男,河南周口人,助教,硕士,主要研究方向为矿井瓦斯防治与资源利用,E-mail:snw0226@163.com。

引用格式:崔传发.白龙山煤矿 10201 工作面合理挡风帘长度确定[J].工矿自动化,2021,47(1):67-73.

CUI Chuanfa. Determination of reasonable length of wind-blocking curtain in 10201 working face of Bailongshan Coal Mine[J].  
Industry and Mine Automation,2021,47(1):67-73.

show that after the curtain installation, the effective air volume of the working face increases, the average gas volume fraction is 0.521% with a decrease of 13.5%, the average carbon monoxide volume fraction is 2.26% with the decrease of 8.1%, and the risk of gas overrun in the upper corner and spontaneous fire in the mining area is reduced.

**Key words:** air leakage in mining area; gas overrun; wind-blocking curtain; mining area; gas concentration; spontaneous combustion oxidation zone

0 引言

采空区漏风是工作面安全回采的重要隐患之一<sup>[1]</sup>。采空区漏风不仅会导致工作面有效风量降低、上隅角瓦斯浓度增加、温度上升,同时也是引发采空区煤自燃的必要条件,严重危及井下作业人员的安全<sup>[2-3]</sup>。设置挡风帘具有成本低、易操作等特点,成为最常见的防治采空区漏风的方法。王小龙<sup>[4]</sup>、邢纪伟等<sup>[5]</sup>针对上隅角瓦斯超限问题,提出通过设置挡风帘来减小工作面漏风,从而降低上隅角瓦斯浓度。陈亚忠<sup>[6]</sup>通过现场实测吊挂挡风帘前后的工作面风量和瓦斯体积分数,发现挂帘后二者降幅分别为 88.5%,76.2%。王云龙等<sup>[7]</sup>利用有限元法对采空区进行数值模拟,得出设置挡风帘可减小采空区自燃危险区域的宽度。高建良等<sup>[8]</sup>研究了挡风帘长度对采空区瓦斯和自燃“三带”分布的影响,结果表明,随着挡风帘长度增加,采空区瓦斯浓度增加,采空区进风侧自燃氧化带逐渐向工作面移动,采空区中部自燃氧化带的宽度明显减小。张学博等<sup>[9]</sup>研究发现挡风帘可使“U+L”型通风工作面采空区瓦斯浓度上升,采煤机附近瓦斯浓度降低。

白龙山煤矿 10201 工作面漏风严重且上隅角瓦斯浓度偏高,本文以该工作面为研究背景,利用 Fluent 软件模拟不同挡风帘长度下采空区流场,分析挡风帘长度对工作面漏风、工作面瓦斯浓度、采空区瓦斯分布及自燃氧化带范围的影响规律,从而确定工作面合理挡风帘长度,并对挂帘前后工作面风量及上隅角瓦斯和一氧化碳浓度进行现场考察。

1 采空区流场数学模型

1.1 基本假设

模型中流体视为不可压缩流体;采空区视为各向同性的多孔介质;采空区气体流动符合达西定律,扩散运动遵循菲克定律;忽视采空区温度和非定常因素对流场的影响。

1.2 采空区气体流动控制方程

(1) 质量守恒方程。当不考虑流体密度的变化时,多孔介质渗流场质量守恒方程为

$$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = S_m \tag{1}$$

式中: $\rho$  为采空区气体密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $v_i$  为  $i(i=x,y,z)$  方向渗流场达西速度分量,  $\text{m/s}$ ;  $S_m$  为质量源项,  $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ 。

(2) 动量守恒方程。定常流动动量守恒方程在一个惯性参考系(没有加速度)内可表示为

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial(\rho v_x v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_x v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_x v_z)}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x}(\mu \frac{\partial v_x}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu \frac{\partial v_x}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu \frac{\partial v_x}{\partial z}) - \frac{\partial p}{\partial x} + S_x \\ \frac{\partial(\rho v_y v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_y v_z)}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x}(\mu \frac{\partial v_y}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu \frac{\partial v_y}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu \frac{\partial v_y}{\partial z}) - \frac{\partial p}{\partial y} + S_y \\ \frac{\partial(\rho v_z v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_z v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z v_z)}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x}(\mu \frac{\partial v_z}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu \frac{\partial v_z}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu \frac{\partial v_z}{\partial z}) - \frac{\partial p}{\partial z} + S_z \end{aligned} \right. \tag{2}$$

式中: $\mu$  为流体的动力黏度,  $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ;  $p$  为采空区内静压力,  $\text{Pa}$ ;  $S_i$  为  $i$  方向动量源项,  $\text{N}/\text{m}^3$ 。

(3) 组分输运方程。对于定常流场,采空区气体组分输运方程为

$$\frac{\partial(\omega_j v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\omega_j v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\omega_j v_z)}{\partial z} - \left[ \frac{\partial}{\partial x}(D_j \frac{\partial \omega_j}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(D_j \frac{\partial \omega_j}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(D_j \frac{\partial \omega_j}{\partial z}) \right] = F_j \tag{3}$$

式中: $\omega_j$  为组分  $j$  的质量分数;  $D_j$  为组分  $j$  的扩散系数,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;  $F_j$  为组分  $j$  的生产率,  $1/\text{s}$ 。

1.3 多孔介质模型

在 Fluent 中,使用以经验假设为主的流动阻力即动量源项来表征多孔介质属性,对于各向同性多孔介质,动量源项包括黏性损失项(式(4)中等号右边第一项)和惯性损失项(式(4)中等号右边第二项)。

$$S_i = -\frac{\mu}{\alpha} v_i - C \frac{1}{2} \rho |v| v_i \tag{4}$$

$$\alpha = \frac{d_p^2}{150} \frac{n^3}{(1-n)^2} \tag{5}$$

$$C = \frac{3.5}{d_p} \frac{(1-n)}{n^3} \tag{6}$$

式中: $\alpha$  为渗透性系数,  $\text{m}^2$ ;  $C$  为惯性阻力系数,  $1/\text{m}$ ;  $v$  为渗流场达西速度,  $\text{m/s}$ ;  $d_p$  为介质调和平均

均粒径, $m$ ;  $n$  为孔隙率。

2 采空区物理模型

2.1 基本假设

在数值模拟中忽略工作面的采煤机、刮板输送机等设备,对工作面、采空区进行以下简化:忽略矿井周期来压等特殊情况,只考虑通风、高抽巷抽采及挡风帘对采空区漏风规律及自燃“三带”的影响;在不影响工程精度及基本规律的前提下,为了建模方便,将采空区简化为梯台体,将进风巷、回风巷、高抽巷空间视为长方体;将液压支架视为只有惯性损失项的多孔介质;假设已进入采空区部分的高抽巷未发生坍塌;认为设置挡风帘后,挡风帘部分不存在漏风。

2.2 物理模型

白龙山煤矿10201工作面开采的C7+8号煤层属于高瓦斯自燃煤层,工作面内煤层平均有益厚度为4.65 m,夹矸平均厚度为0.57 m,煤层厚度稳定,可采性指数为1。工作面倾向平均长219.2 m,设计风量1 200 m<sup>3</sup>/min,在回风巷上方25 m内错30 m位置施工有3 m×3 m高抽巷用于工作面卸压瓦斯治理,结合埋管抽采治理上隅角瓦斯,高抽巷抽采流量为48 m<sup>3</sup>/min,埋管抽采流量为36 m<sup>3</sup>/min。根据采煤工作面实际情况,利用SCDM软件建立回采工作面采空区物理模型,参数见表1,并利用ICEM对模型进行结构化网格划分,如图1所示。

表1 模型参数

Table 1 Model parameters

| 参数                       | 数值         |
|--------------------------|------------|
| 进回风巷(长×宽×高)/(m×m×m)      | 50×5×3     |
| 工作面(长×宽×高)/(m×m×m)       | 220×5×3    |
| 液压支架(长×宽×高)/(m×m×m)      | 220×3×3    |
| 未进入采空区高抽巷(长×宽×高)/(m×m×m) | 44×3×3     |
| 已进入采空区高抽巷(长×宽×高)/(m×m×m) | 36×3×3     |
| 采空区底部(长×宽×高)/(m×m×m)     | 220×220×3  |
| 采空区上部(长×宽×高)/(m×m×m)     | 220×220×47 |
| 垮落角/(°)                  | 73         |
| 断裂角/(°)                  | 63         |

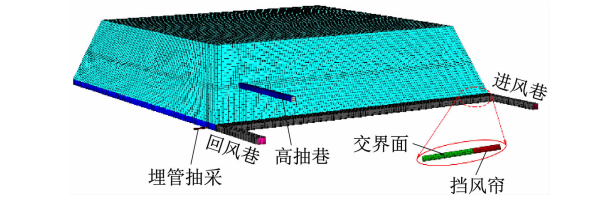


图1 采空区物理模型及网格划分

Fig. 1 Physical model and mesh division of goaf

2.3 边界条件及参数设置

(1) 边界类型设置。进风巷入口边界条件为速度入口,风速设为1.33 m/s;回风巷、高抽巷和埋管抽采出口边界条件为自由出口;工作面与采空区交界面分为2个部分,设置挡风帘部分为固壁边界,未设置挡风帘部分为内部边界;其余边界设为默认固壁边界。

(2) 多孔介质参数设置。根据采空区“O”形圈理论<sup>[10]</sup>,可近似拟合出采空区垮落碎胀系数<sup>[11]</sup>:

$$K_P = K_{P,\min} + (K_{P,\max} - K_{P,\min}) \times \exp(-a_1 l_1 (1 - \exp(-\xi_1 a_0 l_0)))$$

(7)

式中: $K_{P,\min}$ 为压实后的垮落碎胀系数,取1.15; $K_{P,\max}$ 为初始垮落碎胀系数,取1.5; $a_0, a_1$ 分别为距离固壁和工作面的衰减率,分别取0.268、0.036 8; $l_0, l_1$ 分别为采空区任意点距固壁和工作面边界的距离,m; $\xi_1$ 为控制“O”形圈模型分布形态的调整数(应小于1),取0.233。

采空区孔隙率为

$$n = 1 - \frac{1}{K_P}$$

(8)

(3) 源项设置。工作面瓦斯源项主要包括工作面瓦斯涌出和采空区遗煤瓦斯涌出,分别为14.7、24.9 m<sup>3</sup>/min。假设工作面 and 采空区瓦斯为均匀涌出,采空区3 m以上岩层无瓦斯涌出和氧气消耗,瓦斯密度取0.716 7 kg/m<sup>3</sup>,则工作面瓦斯质量源项为3.326×10<sup>-5</sup> kg/(m<sup>3</sup>·s),采空区瓦斯质量源项为2.048×10<sup>-6</sup> kg/(m<sup>3</sup>·s)。

在不考虑温度变化时,氧气源项即遗煤耗氧速率。

$$\epsilon = -\rho_{O_2} \lambda (c - c_0)$$

(9)

式中: $\epsilon$ 为遗煤耗氧速率,kg/(m<sup>3</sup>·s); $\rho_{O_2}$ 为氧气密度,取1.429 kg/m<sup>3</sup>;  $\lambda$ 为与温度和煤样有关的实验常数,取7.436×10<sup>-6</sup> s<sup>-1</sup>;  $c$ 为氧气体积分数; $c_0$ 为遗煤氧化所需最低氧气体积分数,取2%。

3 数值模拟结果分析

3.1 工作面风量及瓦斯浓度变化

挡风帘长度对工作面风量的影响如图2所示,其中 $\Delta Q$ 为漏风量,“+”代表漏入工作面,“-”代表漏出工作面。可看出在工作面距进风巷0~170 m范围内工作面风量逐渐减小,在170 m至工作面回风口范围内,采空区向工作面涌出瓦斯风流,工作面风量逐渐增大;在工作面距进风巷0~80 m范围内,工作面风量随挡风帘长度增加而逐渐增加;在工作面距进风巷80 m之后,挡风帘长度对工作面风量的影响较小;在工作面距进风巷170 m处工作面

风量最小,不同挡风帘长度下最大漏风量均为 125 m<sup>3</sup>/min,进回风巷风量均相差 83 m<sup>3</sup>/min。

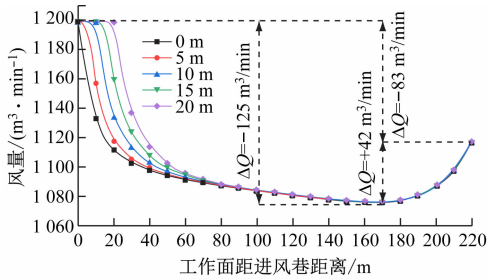


图 2 不同挡风帘长度下工作面风量变化曲线

Fig. 2 Variation curves of air volume in working face under different wind-blocking curtain lengths

挡风帘长度对工作面瓦斯浓度的影响如图 3 所示。可看出工作面进风侧设置挡风帘可有效降低工作面瓦斯浓度;在工作面距进风巷 0~190 m 范围内,随着挡风帘长度增加,工作面瓦斯浓度逐渐下降;在工作面距进风巷 190~220 m 范围内,是否设置挡风帘对该区域瓦斯浓度影响较大,而挡风帘长度对瓦斯浓度影响较小;当挡风帘长度为 0 即不设置挡风帘时,工作面上隅角最大瓦斯体积分数为 0.42%,设置 5 m 挡风帘后上隅角最大瓦斯体积分

数降至 0.37%,降幅达 12%左右,当挡风帘长度增加至 10,15,20 m 时,挡风帘长度对上隅角最大瓦斯浓度影响不大。

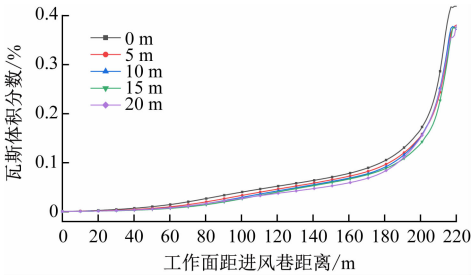


图 3 不同挡风帘长度下工作面瓦斯浓度变化曲线

Fig. 3 Variation curves of gas concentration in working face under different wind-blocking curtain lengths

3.2 采空区瓦斯分布

不同挡风帘长度下采空区瓦斯分布云图如图 4 所示。从走向上来看,采空区瓦斯浓度整体上随采空区深度增加逐渐上升,由于高抽巷和上隅角埋管的抽采作用,在采空区回风侧存在一个瓦斯聚集区,瓦斯体积分数达 30%左右;从倾向上来看,采空区回风侧瓦斯浓度整体上大于采空区进风侧;挡风帘长度对采空区瓦斯分布规律的影响较小。

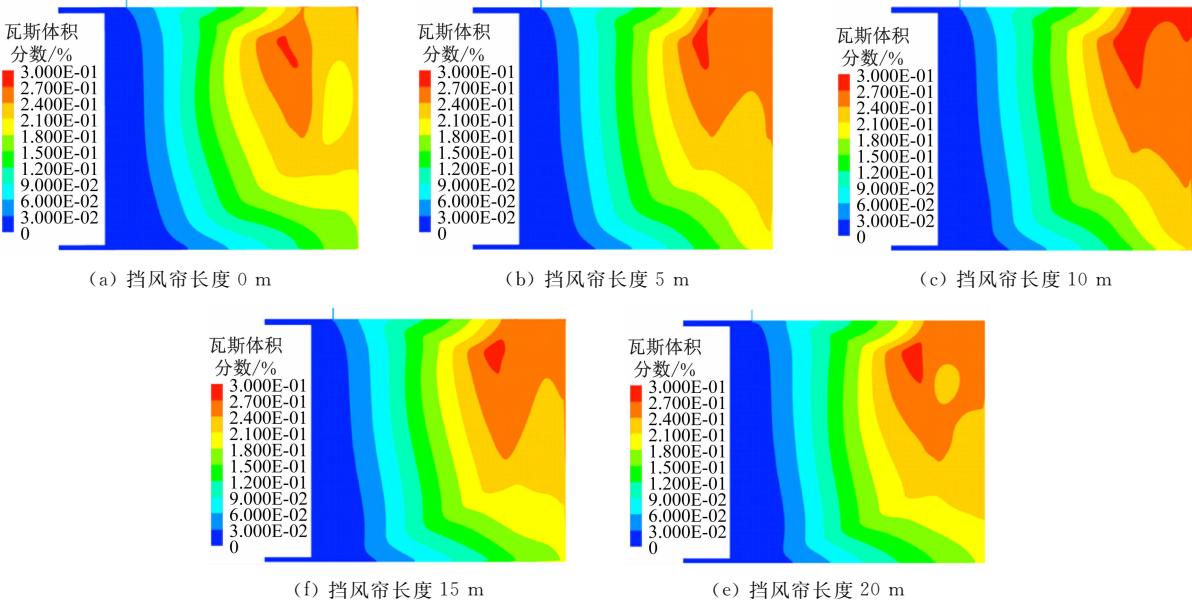


图 4 不同挡风帘长度下采空区瓦斯分布云图

Fig. 4 Cloud charts of gas distribution in goaf under different wind-blocking curtain lengths

不同挡风帘长度下采空区进风侧和回风侧瓦斯浓度变化曲线如图 5 所示。由采空区进风侧瓦斯浓度变化曲线可看出,在采空区深度为 0~140 m 范围内,采空区进风侧瓦斯浓度随挡风帘长度增加逐渐升高,这是由于挡风帘可有效降低进风侧漏风量,漏风量越小对采空区瓦斯的稀释作用就越弱;在采空区深度为 140~220 m 范围内,采空区进风侧瓦斯浓度随挡风帘长度增加呈先升高后降低的趋势,当挡风帘长度为 10 m 时,该区域瓦斯体积分数最

高可达 23%左右。由采空区回风侧瓦斯浓度变化曲线可看出,在采空区深度为 0~10 m 范围内,采空区回风侧瓦斯浓度因上隅角埋管抽采作用而快速降低,受挡风帘长度影响较小;在采空区深度为 10~130 m 范围内,挡风帘长度为 0 时,采空区回风侧瓦斯浓度最高,而当挡风帘长度分别为 5,10,15,20 m 时,采空区回风侧瓦斯浓度随挡风帘长度增加呈先升高后降低的趋势,挡风帘长度为 20 m 时,采空区回风侧瓦斯浓度最小;在采空区深度为 130~

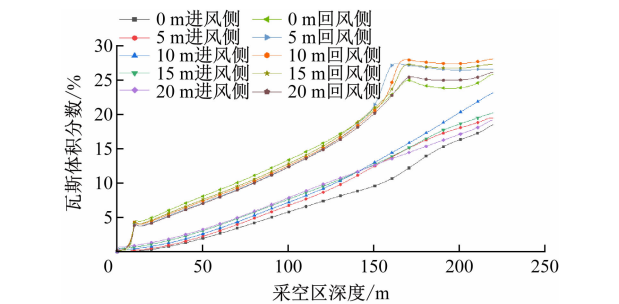


图5 不同挡风帘长度下采空区两侧瓦斯浓度变化曲线

Fig.5 Variation curves of gas concentration in both sides of goaf under different wind-blocking curtain lengths

170 m 范围内,采空区回风侧瓦斯浓度与挡风帘长度并无明显关系;在采空区深度为 170~220 m 范围内,采空区回风侧瓦斯浓度随挡风帘长度增加呈先升高后降低的趋势,当挡风帘长度为 10 m 时采空区回风侧瓦斯浓度最大,当挡风帘长度为 0 时采

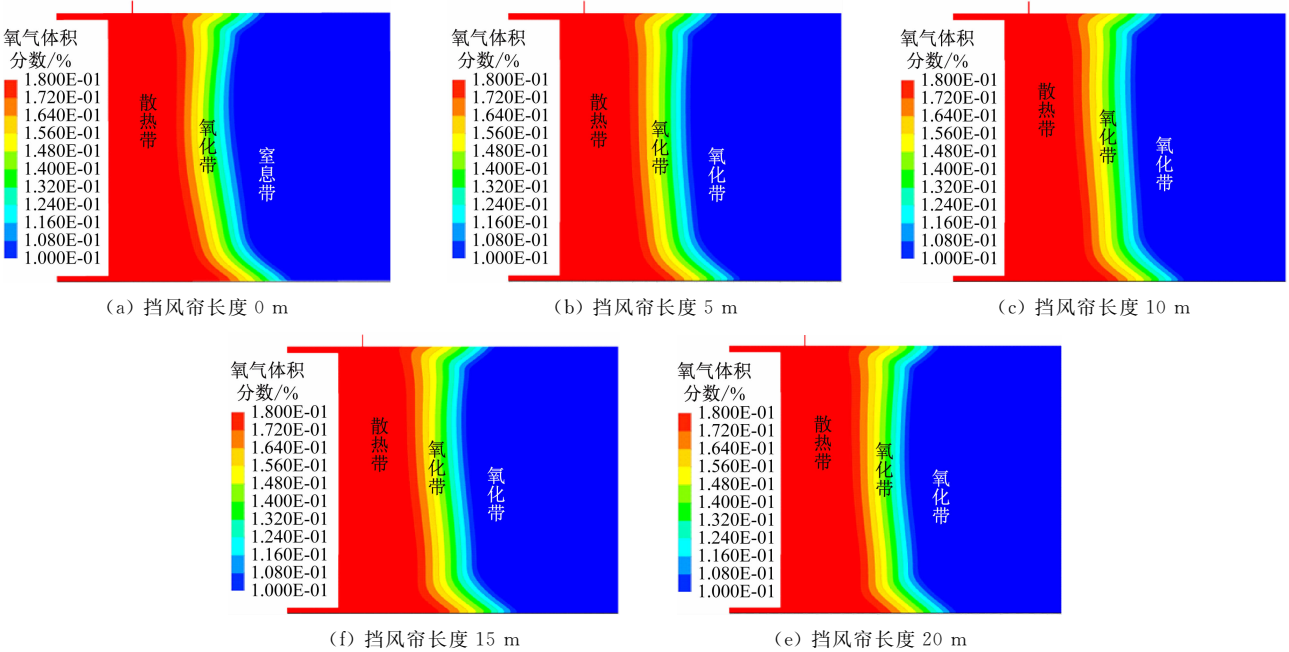


图6 不同挡风帘长度下采空区氧气分布云图

Fig.6 Cloud charts of oxygen distribution in goaf under different wind-blocking curtain lengths

不同挡风帘长度下采空区进风侧和回风侧氧气浓度变化曲线如图 7 所示。根据氧气体积分数指标,可划分出不同挡风帘长度下采空区进风侧和回

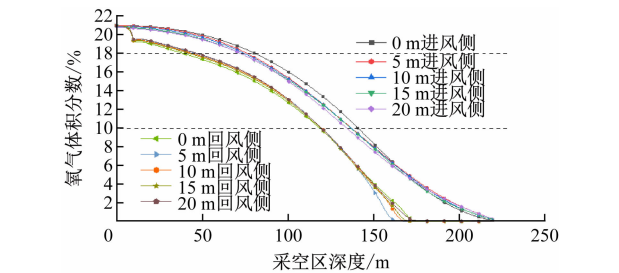


图7 不同挡风帘长度下采空区两侧氧气浓度变化曲线

Fig.7 Variation curves of oxygen concentration in both sides of goaf under different wind-blocking curtain lengths

空区回风侧瓦斯浓度最小。

### 3.3 采空区自燃氧化带

采空区自燃“三带”划分指标有采空区内部漏风风速、氧气体积分数和测点升温特征 3 种,其中氧气体积分数指标因其数据准确、可操作性强、代价低等优点而被广泛使用,因此本文选择氧气体积分数指标来划分采空区自燃“三带”,即氧气体积分数大于 18%为散热带,氧气体积分数在 10%~18%之间为氧化带,氧气体积分低于 10%为窒息带<sup>[12-13]</sup>。

不同挡风帘长度下采空区氧气分布云图如图 6 所示。可看出采空区自燃氧化带即氧气体积分数为 10%~18%区域呈条带状;采空区进风侧和回风侧自燃氧化带向采空区深部凸起,且采空区回风侧自燃氧化带宽度大于进风侧。

风侧自燃氧化带范围,见表 2。

表 2 不同挡风帘长度下采空区自燃氧化带划分

Table 2 Division of spontaneous combustion oxidation zone in goaf under different wind-blocking curtain lengths

| 挡风帘长度/m | 采空区进风侧/m |         | 采空区回风侧/m |         |
|---------|----------|---------|----------|---------|
|         | 自燃氧化带范围  | 自燃氧化带宽度 | 自燃氧化带范围  | 自燃氧化带宽度 |
| 0       | 81~141   | 60      | 39~118   | 79      |
| 5       | 76~137   | 61      | 46~120   | 74      |
| 10      | 74~137   | 63      | 44~120   | 76      |
| 15      | 72~137   | 65      | 42~119   | 77      |
| 20      | 71~134   | 63      | 47~120   | 73      |



从表 2 可看出,采空区回风侧自燃氧化带宽度整体大于采空区进风侧,这是由于高抽巷和上隅角埋管抽采的扰动效应使得采空区回风侧漏风流局部加速,自燃氧化带宽度有所增加;采空区回风侧进入自燃氧化带的时间较采空区进风侧早;在进风侧设置挡风帘使得采空区进风侧自燃氧化带宽度变大,而采空区回风侧自燃氧化带宽度减小;当挡风帘长度分别为 5,10,15,20 m 时,采空区进回风侧自燃氧化带宽度随挡风帘长度增加呈先增大后减小的趋势,且均在挡风帘长度为 15 m 时自燃氧化带宽度最大;随着挡风帘长度增加,采空区进风侧自燃氧化带逐渐向工作面靠近,即进入自燃氧化带时间变早,而挡风帘长度对采空区回风侧自燃氧化带的影响主要体现在进入自燃氧化带的位置,但并无明显规律。

#### 4 现场应用效果

根据数值模拟结果发现,挡风帘对工作面风量和瓦斯浓度影响较大,对采空区瓦斯浓度和自燃氧化带的影响较小。考虑到挡风帘越长则实施难度越大,在保证有效降低上隅角瓦斯浓度的前提下,尽量减小挡风帘长度,确定在白龙山煤矿 10201 工作面进风侧布置 5 m 挡风帘,略大于进风巷宽度,如图 8 所示。

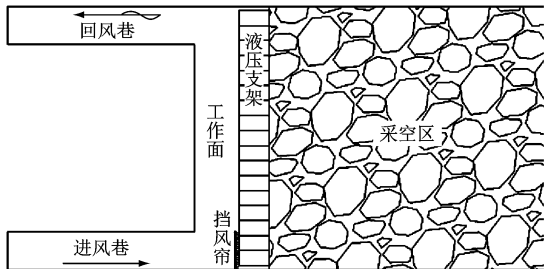


图 8 白龙山煤矿 10201 工作面挡风帘布置

Fig. 8 Layout of wind-blocking curtain in 10201 working face of Bailongshan Coal Mine

为验证白龙山煤矿 10201 工作面进风侧挡风帘的应用效果,在挡风帘布置前后,对工作面进行风量测定和上隅角瓦斯及一氧化碳浓度监测。

风量测定共布置 10 个测点,测定结果如图 9 所示。可看出在布置 5 m 挡风帘后,工作面距进风巷 0~86 m 范围内风量有明显增加,工作面距进风巷约 5 m 处风量增加  $60 \text{ m}^3/\text{min}$ ;在工作面距进风巷 86 m 之后风量变化不大;在工作面距进风巷 167 m 处工作面风量最小。

从 2018 年 10 月 5 日至 11 月 4 日,对工作面上隅角瓦斯及一氧化碳浓度进行为期 30 d 的监测,监测值均取早中晚三班最大值,结果如图 10 所示。可

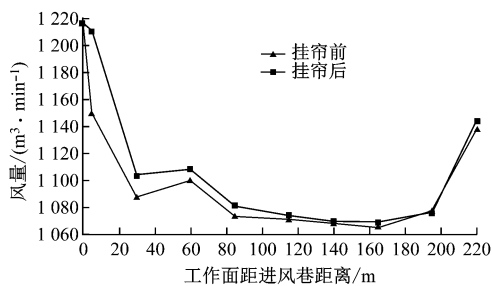


图 9 挂帘前后风量对比

Fig. 9 Comparison of air volume before and after hanging wind-blocking curtain

看出在设置挡风帘前,瓦斯体积分数平均值为 0.602%,一氧化碳体积分数平均值为 2.46%;于 2018 年 10 月 15 日布置挡风帘后,瓦斯体积分数平均值为 0.521%,降幅达 13.5%,一氧化碳体积分数平均值为 2.26%,降幅为 8.1%。

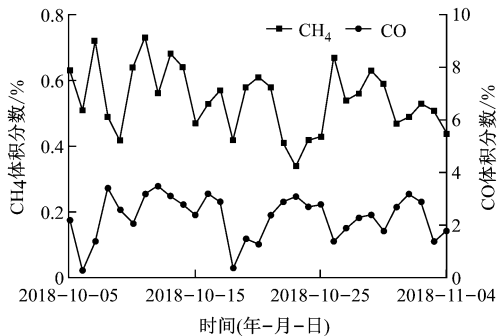


图 10 上隅角瓦斯和一氧化碳体积分数变化曲线

Fig. 10 Variation curves of gas and carbon monoxide volume fraction in upper corner

#### 5 结论

(1) 在工作面距进风巷 0~80 m 范围内,工作面风量随挡风帘长度增加而逐渐增加,而在工作面距进风巷 80 m 之后,挡风帘长度对工作面风量的影响较小;当不设置挡风帘时,工作面上隅角最大瓦斯体积分数为 0.42%,而设置 5 m 挡风帘后上隅角最大瓦斯体积分数降至 0.37%,降幅达 12%左右,当挡风帘长度增加至 10,15,20 m 时,挡风帘长度对上隅角最大瓦斯浓度影响不大。

(2) 挡风帘可降低采空区回风侧浅部和中部(采空区深度小于 130 m)的瓦斯浓度,进而减小采空区瓦斯向工作面涌出,而对于采空区进风侧和回风侧深部(采空区深度大于 170 m)区域,挡风帘会使瓦斯浓度上升。

(3) 在进风侧设置挡风帘会使采空区进风侧自燃氧化带宽度变大,而采空区回风侧自燃氧化带宽度减小;随着挡风帘长度增加,采空区进风侧自燃氧化带逐渐向工作面靠近,即进入自燃氧化带时间变早,而挡风帘长度对采空区回风侧自燃氧化带的影

响主要体现在进入自燃氧化带的位置,但并无明显规律。

(4)在白龙山煤矿10201工作面进风侧布置5 m挡风帘,增加了工作面有效风量,瓦斯体积分数平均值为0.521%,降幅达13.5%,一氧化碳体积分数平均值为2.26%,降幅为8.1%,降低了上隅角瓦斯超限和采空区自然发火的危险性。

参考文献(References):

[1] 褚廷湘,余明高,杨胜强,等.煤岩裂隙发育诱导采空区漏风及自燃防治研究[J].采矿与安全工程学报,2010,27(1):87-93.  
CHU Tingxiang, YU Minggao, YANG Shengqiang, et al. Air leaking induced by well developed coal fractures and prevention of spontaneous combustion in goaf[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010,27(1):87-93.

[2] 杨胜强,徐全,黄金,等.采空区自燃“三带”微循环理论及漏风流场数值模拟[J].中国矿业大学学报,2009,38(6):769-773.  
YANG Shengqiang, XU Quan, HUANG Jin, et al. The "three zones" microcirculation theory of goaf spontaneous combustion and a numerical simulation of the air leakage flow field [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2009, 38(6): 769-773.

[3] 王东江,杨胜强,刘松,等.采空区漏风对煤自燃危险性的影响[J].煤矿安全,2011,42(5):129-132.  
WANG Dongjiang, YANG Shengqiang, LIU Song, et al. Influence of air leakage in goaf on risk of coal spontaneous combustion[J]. Safety in Coal Mines, 2011,42(5):129-132.

[4] 王小龙.回采工作面上隅角瓦斯治理技术[J].煤炭科学技术,2011,39(增刊1):42-44.  
WANG Xiaolong. Gas control technology of working face upper corner[J]. Coal Science and Technology, 2011,39(S1):42-44.

[5] 邢纪伟,邬剑明.低瓦斯矿井上隅角瓦斯超限原因分析及治理技术[J].煤炭技术,2016,35(1):188-190.  
XING Jiwei, WU Jianming. Management technology and cause analysis of upper corner gas overrun in low gas mine[J]. Coal Technology, 2016,35(1):188-190.

[6] 陈亚忠.挂帘技术在防治采空区自燃中的应用[J].科技展望,2014(7):114-115.  
CHEN Yazhong. Application of curtain technology in prevention and control of spontaneous combustion in goaf[J]. Technology Outlook, 2014(7):114-115.

[7] 王云龙,贾宝山,林立峰.设置挡风墙对采空区自燃“三带”分布的影响[J].能源技术与管理,2012(1):

25-27.  
WANG Yunlong, JIA Baoshan, LIN Lifeng. Influence of setting up windbreak on distribution of spontaneous combustion "three zones" in goaf[J]. Energy Technology and Management, 2012(1): 25-27.

[8] 高建良,刘明信,王立峰.风帘长度对采空区瓦斯体积分数及自燃“三带”分布的影响[J].安全与环境学报,2015,15(3):142-146.  
GAO Jianliang, LIU Mingxin, WANG Lifeng. Impact of the wind-curtain length on the gas volume fraction and the distribution of the spontaneous combustion of "the three zones" in the goaf[J]. Journal of Safety and Environment, 2015,15(3):142-146.

[9] 张学博,张帆.“U+L”型通风综采面合理挡风帘长度确定[J].中国安全生产科学技术,2016,12(1):163-168.  
ZHANG Xuebo, ZHANG Fan. Determination on reasonable length of wind curtain for "U+L" type ventilation in fully mechanized face [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2016,12(1):163-168.

[10] 钱鸣高,许家林.覆岩采动裂隙分布的“O”形圈特征研究[J].煤炭学报,1998,23(5):20-23.  
QIAN Minggao, XU Jialin. Study on the "o shape" circle distribution characteristics of mining induced fractures in the overlaying strata[J]. Journal of China Coal Society, 1998,23(5):20-23.

[11] 李宗翔,衣刚,武建国,等.基于“O”型冒落及耗氧非均匀采空区自燃分布特征[J].煤炭学报,2012,37(3):484-489.  
LI Zongxiang, YI Gang, WU Jianguo, et al. Study on spontaneous combustion distribution of goaf based on the "O" type risked falling and non-uniform oxygen [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(3): 484-489.

[12] 褚廷湘,余明高,杨胜强,等.基于FLUENT的采空区流场数值模拟分析及实践[J].河南理工大学学报(自然科学版),2010,29(3):298-305.  
CHU Tingxiang, YU Minggao, YANG Shengqiang, et al. Numerical simulation analysis and practice of air flow field in goaf based on FLUENT[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 2010,29(3):298-305.

[13] 桑乃文,杨胜强,宋亚伟.平行钻孔有效抽采半径及合理钻孔间距研究[J].工矿自动化,2019,45(6):58-62.  
SANG Naiwen, YANG Shengqiang, SONG Yawei. Research on effective drainage radius and rational borehole spacing of parallel boreholes [J]. Industry and Mine Automation, 2019,45(6):58-62.