

突出煤层群综采工作面煤壁瓦斯涌出计算方法研究

桑 聪^{1,2,3} 李 伟^{1,2,3} 张 浪^{1,2,3} 王 恩^{1,2,3}

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院, 北京 100013; 2. 煤炭资源高效开采和洁净利用国家重点实验室, 北京 100013;
3. 北京市煤矿安全工程技术研究中心, 北京 100013)

摘 要: 为了研究突出煤层群综采工作面煤壁瓦斯涌出规律,以沙曲矿 24207 工作面煤壁为研究对象,分析了工作面煤壁瓦斯涌出特征;采用对工作面煤壁倾向长度微分的方法对其瓦斯涌出进行研究;构建了生产班和检修班突出煤层群综采工作面煤壁瓦斯涌出计算模型,得到了生产班和检修班煤壁瓦斯涌出量的计算方法。根据工作面长度及推进速度、煤壁初始瓦斯涌出强度及衰减系数和割煤机位置可求得任意时刻工作面煤壁瓦斯涌出量。为了验证公式的准确性,跟踪观测了沙曲矿 24207 工作面及其煤壁瓦斯涌出强度,生产班煤壁瓦斯涌出理论计算值与实测值相对误差为 3.77%,检修班相对误差为 14.65%,理论计算与实测数据较为符合。研究表明,在生产班煤壁瓦斯涌出增加并逐渐趋于稳定,在检修班煤壁瓦斯涌出量随煤壁暴露时间增加而迅速衰减。

关键词: 突出煤层群;综采工作面;煤壁;瓦斯涌出

中图分类号: TD712

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2016)09-0099-06

Study on gas emission calculation method of coal wall in fully-mechanized coal mining face in outburst seam group

Sang Cong^{1,2,3}, Li Wei^{1,2,3}, Zhang Lang^{1,2,3}, Wang En^{1,2,3}

(1. Mine Safety Branch, China Coal Research Institute Company Limited, Beijing 100013, China; 2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, Beijing 100013, China; 3. Beijing Research Center of Coal Mine Safety Engineering and Technology, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to study the gas emission law of coal wall in fully-mechanized coal mining face in the outburst seam group, taking the coal wall in No. 24207 coal mining face of Shaqu Mine as the study object, the paper analyzed the gas emission features of the coal wall in the coal mining face. A differential method of the coal wall trended length in the coal mining face was applied to the study on gas emission. A gas emission calculation model of the coal wall in the fully-mechanized coal mining face in outburst seam group was established for the production shift and the maintenance shift, and the calculation method of the gas emission amount in the coal wall was obtained for the production shift and the maintenance shift. According to the length of the coal mining face and the face pushing forward speed, the initial gas emission intensity of the coal wall, the attenuation coefficient and the coal shearer location, the gas emission amount of the coal wall in the coal mining face could be obtained at any time. In order to prove the accuracy of the formula, a tracing and survey was conducted on gas emission amount of No. 24207 coal mining face and the coal wall in Shaqu Mine. The theoretical calculation value of the gas emission from the coal wall during the production shift had a relative error of 3.77% to the actual measured value, the relative error of maintenance shift was 14.65%, and the theoretical calculation and the actual measured data were fitted. The study showed that the gas emission from coal wall during production shift would be increased and steadily be in stable, and the gas emission amount from coal wall during maintenance shift would be rapidly decreased with the exposed time of the coal wall increased.

Key words: outburst seam group; fully-mechanized coal mining face; coal wall; gas emission

收稿日期: 2016-05-22; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.09.018

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51504137); 北京市自然科学基金资助项目(2164075); 山西省自然科学基金资助项目(2013012007)

作者简介: 桑 聪(1987—),男,山东宁阳人,硕士。Tel: 18612195259, E-mail: sangcong0538@163.com

引用格式: 桑 聪,李 伟,张 浪,等.突出煤层群综采工作面煤壁瓦斯涌出计算方法研究[J].煤炭科学技术,2016,44(9):99-104.

Sang Cong, Li Wei, Zhang Lang, et al. Study on gas emission calculation method of coal wall in fully-mechanized coal mining face in outburst seam group[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(9): 99-104.

0 引言

综采工作面是高突矿井防治瓦斯的重点及关键所在^[1]。近年来,伴随着采煤设备的持续发展改进,采煤工作面产量稳步增长,工作面瓦斯涌出量也大幅增加,虽然工作面风量较以往有所增加,但是在有限风量限制条件下,工作面瓦斯超限问题还是时常发生^[2-3]。对突出煤层群而言,工作面瓦斯更是难以治理,瓦斯成为工作面安全生产的最大隐患。因此,对工作面瓦斯来源进行分析研究^[4]将有利于合理地治理突出煤层群综采工作面的瓦斯超限^[5]。

俞启香等^[6]指出煤壁和采落煤在暴露初始的瞬间涌出强度最大,以后随暴露时间的增长而呈负指数关系衰减,但是最重要的区别在于煤壁瓦斯涌出被所采煤层赋含瓦斯源源不断地补给。陈大力等^[7]对综采工作面回风巷生产班和检修班的瓦斯浓度进行了分析研究,统计结果中检修班回风巷瓦斯浓度明显小于生产班瓦斯浓度。谢生荣等^[8]根据工作面煤壁瓦斯涌出特点,计算了单位面积煤壁瓦斯累计涌出量,根据暴露时间确定了工作面煤壁的有效暴露面积,根据单位面积累计瓦斯涌出量和有效暴露时间计算了综采工作面煤壁的瓦斯涌出量。胡国忠等^[9]根据煤壁瓦斯涌出强度衰减理论,结合暴露时间计算了工作面煤壁的瓦斯涌出量。王志亮^[10]分析了综放工作面煤壁的瓦斯涌出特点,依据煤层瓦斯单向非稳态流动理论建立了煤壁涌出的数学模型,得出了综放工作面煤壁瓦斯涌出量计算方法。

工作面生产作业时,会有大量的瓦斯随着割煤从煤壁及落煤解吸、涌出到作业空间^[11]。工作面检修班时,工作面作业空间的瓦斯来源主要是工作面煤壁瓦斯涌出和采空区瓦斯涌出^[12-13]。较生产班而言,工作面检修时瓦斯涌出较少。

尽管目前对工作面煤壁瓦斯涌出进行的相关研究较多^[14-15],但都没有考虑到工作面不同位置的煤壁暴露时间不同对整个煤壁瓦斯涌出的影响。鉴于此,笔者将工作面煤壁倾向长度进行微分,根据生产班组及割煤机位置确定每微段煤壁的暴露时间,结合煤壁初始瓦斯涌出强度及煤壁瓦斯涌出强度衰减系数计算工作面煤壁不同时刻的瓦斯涌出量,以期对工作面瓦斯来源分析及工作面的瓦斯治理提供帮助。

1 工作面及上下邻近层地质概况

24207综采工作面是沙曲矿3+4号煤层北二采

区第7个倾向长壁综采工作面,属于突出煤层。综采工作面煤厚3.83~4.31 m,平均煤厚为4.15 m。工作面区域内煤层平均瓦斯含量为13.62 m³/t。24207综采工作面通风方式为两进一回的“Y”型通风。24207综采工作面通风系统及巷道布置如图1所示。

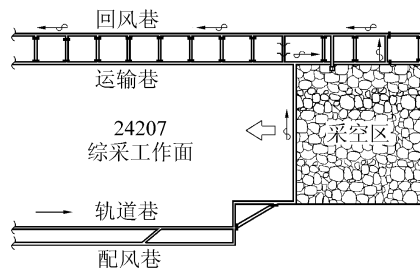


图1 24207综采工作面巷道布置及通风系统示意

Fig. 1 Roadway layout and ventilation system in No. 24207 coal mining face

24207综采工作面上部2号煤层平均厚度为1.1 m,煤层平均瓦斯含量为9.12 m³/t,为非突出煤层,2号煤与下部3+4号煤平均层间距为12.0 m;24207综采工作面下部5号煤平均厚度为3.6 m,煤层平均瓦斯含量为4.53 m³/t,为突出煤层,5号煤与上部3+4号煤平均层间距为5.0 m。综上所述,24207综采工作面可视为突出煤层群条件下的综采工作面。

2 综采工作面煤壁瓦斯涌出特征分析

煤壁瓦斯涌出是一个复杂的瓦斯运移过程。煤壁瓦斯涌出受到煤体瓦斯压力梯度分布和瓦斯含量梯度分布的影响,煤壁瓦斯涌出过程的本质就是煤体中瓦斯解吸-渗流-扩散的过程^[16-18]。随着煤壁暴露时间增长,煤体瓦斯压力梯度和瓦斯含量梯度不断变化,煤体瓦斯含量逐渐降低,单位面积煤壁的瓦斯涌出强度也随之降低。

较常规的掘进工作面煤壁瓦斯涌出而言,综采工作面煤壁的瓦斯涌出不单受暴露时间的影响,还受到工作面割煤作业的影响^[19]。随着割煤机的往返作业,上一个割煤循环中暴露的工作面煤壁在暴露一定时间后,就被新暴露的煤壁所替代。正常回采期间,割煤机在工作面两端之间往返移动作业,暴露的煤壁在割煤机通过之后被新的煤壁替代。当工作面检修时,割煤机有可能处于工作面任意位置,直接影响割煤机两侧煤体暴露时间与单位面积煤壁瓦斯涌出强度。

将每天综采工作面煤壁瓦斯涌出分为 2 个阶段进行讨论: ①工作面生产时, 采煤机持续工作, 工作面煤壁暴露时间短, 在生产过程中不断被新暴露煤壁所替代; ②工作面检修时, 工作面不再进行割煤作业, 综采工作面煤壁瓦斯涌出一直处于衰减过程^[20]。

3 生产班综采工作面煤壁瓦斯涌出计算

假设工作面区域内煤体瓦斯赋存均匀, 每平米煤壁初始瓦斯涌出强度为 v_0 , 综采工作面煤壁暴露时间 t 内每平米煤壁的瓦斯涌出强度 v 为

$$v = v_0(1 + t)^{-\beta} \quad (1)$$

式中: β 为综采工作面煤壁的瓦斯涌出强度衰减系数, min^{-1} 。

综采工作面开始进行生产作业时, 综采工作面煤壁均为前一生产班采煤机作业暴露的煤壁, 所以当采煤机从综采工作面一端推进到另一端时, 综采工作面煤壁皆为本生产班新暴露的煤壁, 煤壁的瓦斯涌出量最大。即若采煤机从综采工作面轨道巷端开始进行推进作业, 采煤机到达综采工作面运输巷端时, 综采工作面煤壁瓦斯涌出量达到峰值。以运输巷与 24207 综采工作面交点作为坐标原点建立平面笛卡尔坐标系, 如图 2 所示。

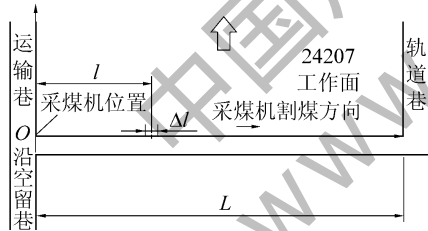


图 2 24207 综采工作面生产班煤壁最大瓦斯涌出示意

Fig. 2 Largest gas emission of coal wall in No. 24207

working face on production class

综采工作面区域内瓦斯赋存均匀, 则不同位置的煤壁瓦斯涌出强度衰减情况只受水平位置的影响, 不受竖直位置的影响。综采工作面长度为 L , 采高为 h , 工作面煤壁任一微段长度为 Δl , 微段煤壁与割煤机所在 O 点的距离为 l ($0 < l < L$), 采煤机从综采工作面一端作业至另一端所需时间为 T , 则 Δl 微段煤壁的瓦斯涌出量 Δv 为

$$\Delta v = v_0(1 + T\Delta l/L)^{-\beta} \Delta l h \quad (2)$$

综采工作面煤壁可看作由无数微段煤壁 Δl 组成, 整个综采工作面煤壁瓦斯涌出量即可视为全部微段煤壁瓦斯涌出量之和。对式(2)进行积分可得

生产班综采工作面煤壁瓦斯涌出量 v_w 为

$$v_w = \int_0^L v_0(1 + T\Delta l/L)^{-\beta} h dl \quad (3)$$

4 检修班综采工作面煤壁瓦斯涌出计算

检修班时, 综采工作面不进行割煤作业, 综采工作面煤壁的瓦斯涌出处于持续衰减状态。24207 综采工作面夜班采煤, 早班和中班进行机电、回采设备检修和沿空留巷支护工作。

假设综采工作面生产班结束时, 采煤机停在至综采工作面运输巷 l_1 处。为便于计算非生产班 24207 综采工作面煤壁瓦斯涌出, 以采煤机停止作业地点为坐标原点对综采工作面创建平面笛卡尔坐标系, 如图 3 所示。

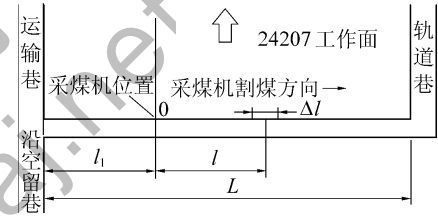


图 3 24207 综采工作面非生产班煤壁瓦斯涌出示意

Fig. 3 Gas emission of coal wall in No. 24207

working face on non-production class

采煤机停止作业瞬间, 其运输巷侧靠近采煤机的煤壁为新更替的煤壁, 暴露时间视为 0, 综采工作面轨道巷端煤壁暴露最长时间 t_{\max} 为

$$t_{\max} = T(1 + l_1/L) \quad (4)$$

在采煤机停止作业点轨道巷侧与采煤机距离 l ($0 \leq l \leq (L - l_1)$) 处的综采工作面煤壁暴露时间为

$$t_0 = T\left(\frac{2l_1 + l}{L}\right) \quad (5)$$

l 处长度为 Δl 微段煤壁瓦斯涌出量为

$$v_M = v_0 \left[1 + T\left(\frac{2l_1 + l}{L}\right) \right]^{-\beta} \Delta l h \quad (6)$$

停止生产作业时间 t_j 后, 在采煤机轨道巷侧任意位置 l 处微段煤壁 Δl 瓦斯涌出量为

$$\Delta v = v_0 \left[1 + t_j + T\left(\frac{2l_1 + l}{L}\right) \right]^{-\beta} \Delta l h \quad (7)$$

对式(7)积分, 则在综采工作面停止采煤作业 t_j 后, 采煤机轨道巷侧综采工作面煤壁瓦斯涌出量为

$$v_g = \int_0^{L-l_1} v_0 \left[1 + t_j + T\left(\frac{2l_1 + l}{L}\right) \right]^{-\beta} h dl \quad (8)$$

采取同样方法, 可求得在停止作业 t_j 后, 运输巷

侧煤壁瓦斯涌出量为

$$v_j = \int_0^{l_1} v_0 (1 + t_j + Tl/L)^{-\beta} h dl \quad (9)$$

将式(8)与式(9)求和,可得生产班停止作业 t_j 后,24207综采工作面煤壁瓦斯涌出量为

$$v_R = \int_0^{l_1} v_0 (1 + t_j + Tl/L)^{-\beta} h dl + \int_0^{L-l_1} v_0 \left[1 + t_j + T \left(\frac{2l_1 + l}{L} \right) \right]^{-\beta} h dl \quad (10)$$

若 l_1 为0,停止割煤作业时采煤机在运输巷端头,停止生产作业 t_j 后,24207综采工作面煤壁瓦斯涌出量计算公式简化为

$$v_R = \int_0^L v_0 (1 + t_j + 120l/L)^{-\beta} h dl \quad (11)$$

即 l_1 为0或 L 时,式(10)可简化为式(11)。

沙曲矿北翼24207综采工作面生产安排为“三八”工作制,早班(6:00—14:00)进行检修,中班(14:00—22:00)进行沿空留巷支护,晚班(22:00—6:00)进行采煤作业。

$$V = \begin{cases} \int_0^L v_0 (1 + T\Delta l/L)^{-\beta} h dl & (0:00 \leq H \leq 6:00 \cup 22:00 \leq H < 24:00) \\ \int_0^{l_1} v_0 (60H - 359 + Tl/L)^{-\beta} h dl + \int_0^{L-l_1} v_0 \left[60H - 359 + T \left(\frac{2l_1 + l}{L} \right) \right]^{-\beta} h dl & (6:00 < H < 22:00) \end{cases} \quad (15)$$

5 综采工作面煤壁涌出瓦斯测算与分析

综采工作面回采初期,工作面后方采空区范围较小且尚未初次来压,上下邻近层尚未受到采动影响,采空区上方尚未形成瓦斯流动导通裂隙,工作面瓦斯可看作全部为本煤层瓦斯。工作面采出率为95%,采空区遗煤较少。此外,工作面采用Y型通风,沿空留巷是通过混凝土充填泵充填墙体形成留巷,采空区漏风较小。考虑以上因素,在沿空留巷口下风侧10 m风流稳定处进行瓦斯浓度及风量测试,计算工作面瓦斯涌出量,作为初采期间综采工作面总的瓦斯涌出量。

5.1 综采工作面煤壁涌出瓦斯实测

5.1.1 生产班煤壁瓦斯涌出实测

工作面回采初期,生产班瓦斯涌出看作由煤壁瓦斯涌出及采落煤块瓦斯涌出组成。工作面采煤机匀速作业,生产班的落煤瓦斯涌出可看作一个稳定过程。工作面落煤瓦斯涌出量可由落煤瓦斯放散初速度、放散衰减系数及工作面产量实测求得。

生产班时($0:00 \leq H \leq 6:00$,或 $22:00 \leq H < 24:00$)一直进行生产作业,整个综采工作面煤壁瓦斯涌出量近似看作不变。整个综采工作面煤壁瓦斯涌出量为

$$v_W = \int_0^L v_0 (1 + 120l/L)^{-\beta} h dl \quad (12)$$

当综采工作面停止割煤作业时($6:00 < H < 22:00$),此时对应任意 H 时刻($6:00 < H < 22:00$),即综采工作面停止作业 t_j 时刻是

$$t_j = (H - 6) \times 60 \quad (13)$$

将式(13)代入式(10)简化得到检修班 H 时刻综采工作面煤壁瓦斯涌出量为

$$v_R = \int_0^{l_1} v_0 (60H - 359 + Tl/L)^{-\beta} h dl + \int_0^{L-l_1} v_0 \left[60H - 359 + T \left(\frac{2l_1 + l}{L} \right) \right]^{-\beta} h dl \quad (14)$$

将式(12)和式(14)合并,用分段函数表示。任意时刻,综采工作面煤壁的瓦斯涌出量为

对综采工作面涌出瓦斯及落煤涌出瓦斯进行测算,以计算综采工作面生产班煤壁瓦斯涌出量。工作面回采前10天,每天生产班(22:00—6:00)中的2:00及5:00各进行一次测量计算,工作面初采期间,由于煤壁暴露时间较长,回采工作的前7天,落煤涌出瓦斯、煤壁涌出瓦斯及综采工作面总的瓦斯量逐渐增加,第8—10日开始稳定。稳定后,实测稳定时期综采工作面落煤及总的瓦斯涌出量为5.58、10.36 m^3/min ,生产班综采工作面煤壁瓦斯涌出量为4.78 m^3/min 。

5.1.2 检修班煤壁瓦斯涌出实测

对检修班综采工作面煤壁瓦斯涌出量进行实测计算,测试方法同生产班综采工作面煤壁瓦斯测算方法。

在综采工作面回采第6~10 d的检修班,每隔30 min测算1次煤壁瓦斯涌出量。第6~10天,检修班初始时刻实测煤壁瓦斯涌出量分别为3.18、3.97、4.99、5.12和4.96 m^3/min 。第6~7天煤壁瓦斯涌出量明显小于第8~10天煤壁瓦斯涌出量,分析原因是由于回采前煤壁长时间暴露所致。取第

8~10天的煤壁瓦斯涌出量平均值 $5.02 \text{ m}^3/\text{min}$ 作为实测均值。

5.2 综采工作面煤壁瓦斯涌出理论计算

经过现场实际测试,24207 综采工作面单位面积煤壁初始瓦斯涌出强度为 $0.072 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$,综采工作面煤壁瓦斯涌出强度衰减系数为 $0.879 \text{ 67 min}^{-1}$ 。

将综采工作面煤壁瓦斯涌出相关参数代入式(15),计算得到生产班(22:00—6:00)的24207综采工作面煤壁稳定瓦斯涌出量为 $4.96 \text{ m}^3/\text{min}$ 。综采工作面不同时间煤壁瓦斯涌出变化趋势如图4所示。

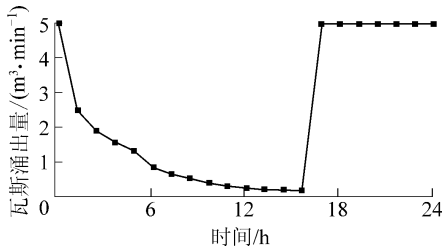


图4 24207 综采工作面煤壁瓦斯涌出变化

Fig.4 Gas emission of coal wall in No.24207 working face

由图4可以看出,生产班结束2 h之内,煤壁瓦斯涌出量迅速下降到生产班结束时的17.63%,之后煤壁瓦斯涌出量下降幅度变得缓慢。

5.3 煤壁瓦斯涌出计算公式正确性分析验证

为了验证工作面煤壁瓦斯涌出计算公式的准确性,对工作面煤壁瓦斯涌出实际测算值和理论计算值进行对比误差分析,见表1。

表1 综采工作面煤壁瓦斯涌出量对比误差

Table 1 Contrast error of gas emission amount from coal wall of fully-mechanized coal face				
时刻	实测平均值/ ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	理论计算值/ ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	绝对误差/ ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	相对误差/ %
6:00	5.02	4.96	0.06	1.25
6:30	1.99	1.89	0.10	5.47
7:00	1.42	1.33	0.09	6.52
8:00	0.99	0.87	0.12	13.41
9:00	0.76	0.66	0.10	14.65
10:00	0.55	0.54	0.01	1.23
12:00	0.38	0.39	-0.01	-1.71
14:00	0.37	0.31	0.06	20.43
16:00	0.31	0.26	0.05	17.95
18:00	0.25	0.23	0.02	7.25
20:00	0.23	0.20	0.03	15.00
22:00	0.26	0.18	0.08	44.44

实测生产班煤壁瓦斯涌出量为 $4.78 \text{ m}^3/\text{min}$,

理论计算 $4.96 \text{ m}^3/\text{min}$,理论计算值与实测平均值绝对误差为 $0.18 \text{ m}^3/\text{min}$ 相对误差为 3.77%。

在表1中,较大的相对误差及对应时刻分别为44.44%(22:00)、20.43%(14:00)、17.95%(16:00)、15.00%(20:00)及14.65%(9:00),其中22:00、14:00、16:00和20:00绝对误差分别为0.08、0.06、0.05、 $0.03 \text{ m}^3/\text{min}$ 4个时刻的相对误差较小,均小于 $0.10 \text{ m}^3/\text{min}$,由此可认为14.65%为理论计算公式的最大相对误差。

6 结 论

1) 综采工作面日常煤壁瓦斯涌出可分为2个阶段:生产班和非生产班。生产班时煤壁瓦斯涌出趋于均衡,非生产班综采工作面煤壁瓦斯涌出量随煤壁暴露时间增加而迅速衰减。

2) 综采工作面煤壁瓦斯涌出量除了受到煤壁初始瓦斯涌出强度、煤壁瓦斯涌出强度衰减系数等煤壁瓦斯涌出特性的影响外,还受到综采工作面推进速度、综采工作面长度及采煤机位置的影响。

3) 建立了综采工作面煤壁瓦斯涌出计算模型,理论计算结果与实际测试数据较为匹配,理论计算公式相对误差为14.65%,能够为综采工作面瓦斯来源分析及分源治理提供数据及理论支持。

4) 根据综采工作面煤壁初始瓦斯涌出强度、煤壁瓦斯涌出强度衰减系数及综采工作面长度、煤厚及推进度等相关参数可求得综采工作面任意时刻煤壁瓦斯涌出量。

参考文献(References):

[1] 张 浪,刘永茜.断层应力状态对煤与瓦斯突出的控制[J].岩土工程学报,2016,38(4):712-717.
Zhang Lang,Liu Yongqian.Stress control for coal and gas outburst on a fault plane[J].Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2016,38(4):712-717.

[2] 王金华.特厚煤层大采高综放开采关键技术[J].煤炭学报,2013,38(12):2089-2098.
Wang Jinhua.Key technology for fully-mechanized top coal caving with large mining height in extra-thick coal seam[J].Journal of China Coal Society,2013,38(12):2089-2098.

[3] 吕 伏,梁 冰,孙维吉,等.基于主成分回归分析法的回采工作面瓦斯涌出量预测[J].煤炭学报,2012,37(1):113-116.
Lyu Fu,Liang Bing,Sun Weiji et al.Gas emission quantity prediction of working face based on principal component regression analysis method[J].Journal of China Coal Society,2012,37(1):113-116.

- [4] 王兆丰,郭林聪,苏伟伟,等.基于瓦斯日报表的回采面瓦斯涌出来源定量分析[J].河南理工大学学报:自然科学版,2015,34(3):311-315.
Wang Zhaofeng,Guo Lincong,Su Weiwei,et al.A quantitative analysis method of gas emission source based on gas daily report in working face[J].Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science,2015,34(3):311-315.
- [5] 王海峰,程远平,吴冬梅,等.近距离上保护层开采工作面瓦斯涌出及瓦斯抽采参数优化[J].煤炭学报,2010,35(4):590-594.
Wang Haifeng,Cheng Yuanping,Wu Dongmei,et al.Gas emission and parameter optimization of gas extraction in mining face of short distance protective seam[J].Journal of China Coal Society,2010,35(4):590-594.
- [6] 俞启香,王凯,杨胜强.中国采煤工作面瓦斯涌出规律及其控制研究[J].中国矿业大学学报,2000,29(1):10-14.
Yu Qixiang,Wang Kai,Yang Shengqiang.Research on gas emission law and control of coal mining face in China[J].Journal of China University of Mining & Technology,2000,29(1):10-14.
- [7] 陈大力,秦永洋,赵俊峰.综采工作面瓦斯涌出规律及影响因素分析[J].煤矿安全,2003,34(12):7-10.
Chen Dali,Qin Yongyang,Zhao Junfeng.Gas emission law and its influencing factors in fully mechanized coal mining face[J].Safety in Coal Mines,2003,34(12):7-10.
- [8] 谢生荣,赵耀江.综采工作面的瓦斯涌出规律及涌出量的预测[J].太原理工大学学报,2005,36(5):553-556.
Xie Shengrong,Zhao Yaojiang.Prediction of gas emission and emission in fully mechanized coal mining face[J].Journal of Taiyuan University of Technology,2005,36(5):553-556.
- [9] 胡国忠,许家林,黄军碗,等.高瓦斯综放工作面的均衡开采技术研究[J].煤炭学报,2010,35(5):711-716.
Hu Guozhong,Xu Jialin,Huang Junwan,et al.Study on the technique of equilibrium mining for high gassy fully-mechanized top-coal caving face[J].Journal of China Coal Society,2010,35(5):711-716.
- [10] 王志亮.综放工作面煤壁瓦斯动态涌出计算方法研究[J].煤炭科学技术,2013,41(6):54-57.
Wang Zhiliang.Study on calculation method of gas dynamic emission from coal wall of fully mechanized caving face[J].Coal Science and Technology,2013,41(6):54-57.
- [11] 赵建会,孙榕涛.矿井回采工作面瓦斯涌出量预测新途径[J].西安科技大学学报,2011,31(6):708-710.
Zhao Jianhui,Sun Rongtao.A new way to forecast the gas emission in the working face of the coal mining face[J].Journal of Xi'an University of Science and Technology,2011,31(6):708-710.
- [12] 崔洪庆,樊帅帅,关金锋.采煤工作面瓦斯涌出量分源计算[J].中国安全科学学报,2015,25(10):78-83.
Cui Hongqing,Fan Shuaishuai,Guan Jinfeng.Calculation of methane emission from different sources at coal mining face based on monitoring data[J].China Safety Science Journal,2015,25(10):78-83.
- [13] 范满长,杨胜强,王国臣,等.综采工作面瓦斯来源与浓度分布单元法测定及分析[J].煤炭科学技术,2004,32(3):23-27.
Fan Manchang,Yang Shengqiang,Wang Guochen,et al.Element method measurement and analysis on gas resources and gas distribution in fully mechanized coal mining face[J].Coal Science and Technology,2004,32(3):23-27.
- [14] 曲方,刘克功,赵洪亮,等.基于煤壁瓦斯涌出初速度的综掘工作面瓦斯涌出量预测[J].煤矿安全,2004,35(8):1-4.
Qu Fang,Liu Kegong,Zhao Hongliang,et al.Methane emission rate prediction in fully-mechanized excavated faces based on initial speed of methane emission of coal wall[J].Safety in Coal Mines,2004,35(8):1-4.
- [15] 陈开岩,张占国,林柏泉,等.综放工作面抽放条件下瓦斯涌出及分布特征[J].采矿与安全工程学报,2009,26(4):418-422.
Chen Kaiyan,Zhang Zhanguo,Lin Baiquan,et al.Characteristics of gas emission and distribution of fully-mechanized top-coal caving face under gas drainage conditions[J].Journal of Mining & Safety Engineering,2009,26(4):418-422.
- [16] 杨茂林,薛友欣,姜耀东,等.离柳矿区综采工作面瓦斯涌出规律研究[J].煤炭学报,2009,34(10):1349-1353.
Yang Maolin,Xue Youxin,Jiang Yaodong,et al.Study on pattern of gas emission at fully-mechanized coal face in Liliu mining area[J].Journal of China Coal Society,2009,34(10):1349-1353.
- [17] 梁冰,刘蓟南,孙维吉,等.掘进工作面瓦斯流动规律数值模拟分析[J].中国地质灾害与防治学报,2011,22(4):46-51.
Liang Bing,Liu Jinnan,Sun Weiji,et al.Numerical simulation of flowing gas on heading face during coal mining[J].The Chinese Journal of Geological Hazard and Control,2011,22(4):46-51.
- [18] 魏建平,吴松刚,王登科,等.温度和轴向变形耦合作用下受载含瓦斯煤渗流规律研究[J].采矿与安全工程学报,2015,32(1):168-174.
Wei Jianping,Wu Songgang,Wang Dengke,et al.Seepage rules of loaded coal containing gas under the coupling effect of temperature and axial deformation[J].Journal of Mining & Safety Engineering,2015,32(1):168-174.
- [19] 桑聪,沙曲矿近距离煤层群主采工作面瓦斯涌出规律研究与应用[D].阜新:辽宁工程技术大学,2012:57-58.
- [20] 郭晓华,蔡卫,马尚权,等.基于稳态渗流的煤巷掘进瓦斯涌出连续性预测[J].煤炭学报,2010,35(6):932-936.
Guo Xiaohua,Cai Wei,Ma Shangquan,et al.Continuity prediction of gas emission during drivage in coal seam based on stable per colation[J].Journal of China Coal Society,2010,35(6):932-936.