

文章编号:1671-251X(2020)11-0059-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020060058

瓦斯抽采钻孔有效抽采半径测定方法研究

刘殿平¹, 马文伟^{2,3}

- (1. 开滦能源化工股份有限公司 吕家坨矿业分公司, 河北 唐山 063199;
2. 煤科集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110016;
3. 煤矿安全技术国家重点实验室, 辽宁 抚顺 122113)



扫码移动阅读

摘要:针对现有瓦斯抽采钻孔有效抽采半径测定方法存在测定工艺复杂且准确性较低的问题,提出了以抽采钻孔瓦斯流量负指数衰减规律为基础、以工作面抽采达标指标为判据的有效抽采半径测定方法,推导出了以抽采率表示的钻孔有效抽采半径计算公式。通过测定煤层的抽采钻孔瓦斯流量衰减规律得到百米钻孔瓦斯初始抽采量和抽采钻孔瓦斯涌出衰减系数,结合工作面抽采达标判据,依据抽采率确定煤层在不同抽采时间所对应的钻孔有效抽采半径;当工作面瓦斯涌出量主要来自于邻近层及围岩时,以工作面的绝对瓦斯涌出量为判据确定工作面瓦斯抽采率,进而计算有效抽采半径;当工作面瓦斯涌出量主要来自于本煤层时,以设计抽采率和可解吸瓦斯量为指标进行有效抽采半径的计算;当开采突出煤层时,工作面原始瓦斯压力大于0.74 MPa或原始瓦斯含量大于8 m³/t时,以原始瓦斯压力或原始瓦斯含量计算工作面瓦斯抽采率,进而计算有效抽采半径。现场测试结果验证了该方法的正确性。

关键词:瓦斯抽采;抽采钻孔;有效抽采半径;瓦斯抽采率;残余瓦斯含量
中图分类号:TD712 文献标志码:A

Research on determination method of effective drainage radius of gas drainage borehole

LIU Dianping¹, MA Wenwei^{2,3}

- (1. Lvjiatuo Mining Branch, Kailuan Energy and Chemical Co., Ltd., Tangshan 063199, China;
2. CCTEG Shenyang Research Institute, Shenyang 110016, China;
3. State Key Lab of Coal Mine Safety Technology, Fushun 122113, China)

Abstract: In order to solve the problems of complex process and lower accuracy in current determination method of effective drainage radius of gas drainage borehole, a determination method of effective drainage radius was put forward, which is based on the law of negative exponential attenuation of gas flow in boreholes and taking the index of gas extraction standard on working face as criterion. The calculation formula of effective drainage radius of boreholes in terms of drainage rate was derived. The initial gas drainage volume and gas emission attenuation coefficient of hundreds of meters borehole are obtained by measuring the attenuation law of gas flow in the coal seam, combined with the criterion of gas extraction standard on working face, the effective drainage radius of borehole corresponding to different drainage time of coal seam is determined according to the drainage rate: when the gas emission amount of the working face mainly comes from the adjacent strata and surrounding rock, the absolute gas emission of working face is taken as the criterion to determine the gas drainage rate of the working face, and then the effective drainage radius is calculated; when the gas emission amount of the working face mainly comes

收稿日期:2020-06-18;**修回日期:**2020-10-16;**责任编辑:**张强。
基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045-004-001)。
作者简介:刘殿平(1966—),男,河北唐山人,高级工程师,工程硕士,主要从事煤矿瓦斯灾害防治方面的研究工作, E-mail: liudianping@kailuan.com.cn。
引用格式:刘殿平,马文伟. 瓦斯抽采钻孔有效抽采半径测定方法研究[J]. 工矿自动化,2020,46(11):59-64.
LIU Dianping, MA Wenwei. Research on determination method of effective drainage radius of gas drainage borehole[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(11): 59-64.

from the coal seam, the effective drainage radius is calculated with the design drainage rate and the desorption gas quantity as the index; when the outburst coal seam is mined, the original gas pressure of the working face is greater than 0.74 MPa or the original gas content is greater than 8 m³/t, the gas drainage rate is calculated by measuring the original gas pressure or the original gas content, and then the effective drainage radius is calculated. The field test results verify the correctness of the method.

Key words: gas drainage; drainage borehole; effective drainage radius; gas drainage rate; residual gas content

0 引言

钻孔预抽煤层瓦斯是目前进行煤层消突的重要措施,而抽采钻孔间距的布置是影响瓦斯抽放效果的重要因素,瓦斯抽采钻孔间距的设计应当以煤层瓦斯有效抽采半径为依据^[1-3]。目前,煤层瓦斯有效抽采半径的测定方法主要有理论计算方法、数值模拟方法和现场测定方法三类。理论计算和数值模拟方法方面,朱南南等^[4]基于瓦斯径向非稳定流方程,采用自模拟方法求出近似解,建立了有效抽采半径表达式。刘三钧等^[5]基于瓦斯压力和瓦斯含量的关系推导出了瓦斯压力变化与瓦斯抽采率的关系,提出了基于瓦斯含量的相对压力测定有效半径的方法。王兆丰等^[6]提出了利用变系数非线性瓦斯渗流方程快速精确测定瓦斯抽采半径的数值计算方法。鲁义等^[7]利用数值模拟计算方法得出了顺层瓦斯抽采钻孔的抽采半径。李子文等^[8]建立了钻孔抽采量与时间的指数函数关系,并推导出了抽采半径的计算公式,建立了抽采半径与煤层参数和抽采时间的数学关系。现场测定方法方面,以相关规程要求为前提^[9],学者们提出了众多的测定方法。李书文等^[10]提出以瓦斯流量为基础测定有效抽采半径和有效影响半径的方法,并进行了现场测试。徐东方等^[11]提出压力降低法是现场测定瓦斯抽采影响半径及有效抽采半径最直接、简单的方法。舒龙勇等^[12]提出以残余瓦斯压力为有效抽采半径界定的新指标,结合瓦斯压力分布模型,提出有效抽采半径的快速测定方法。还有众多学者在现场测定有效抽采半径方面也进行了大量的研究^[13-15],为现场测定钻孔瓦斯有效抽采半径提供了有效参考。

理论计算及数值模拟方法可以方便快速地计算出煤层的有效抽采半径,但所需参数的选取具有一定的经验性,提出的模型有一定的假设性条件,因此,现场一般会采用瓦斯压力降低法进行测定,但该方法的应用也会受多种条件的影响,例如钻孔是否能平行施工、钻孔封孔是否完好、钻孔内水压是否能准确测定等。针对以上问题,笔者提出了一种以瓦斯流量为基础、结合抽采后残余瓦斯含量进行钻孔

瓦斯有效抽采半径测定的方法,以期能够优化抽采钻孔布置,提高矿井瓦斯抽采效率,实现矿井安全生产。

1 有效抽采半径理论计算

通过钻孔进行瓦斯抽采时,瓦斯在煤体瓦斯压力和抽采负压共同影响下向钻孔流动。研究发现^[16],钻孔有效抽采范围可近似认为是以钻孔为中心的圆形区域,钻孔有效抽采范围计算模型如图 1 所示。图 1 中, r_1 为有效抽采半径,m; r_2 为钻孔半径,m; L 为抽采钻孔煤层段长度,m。

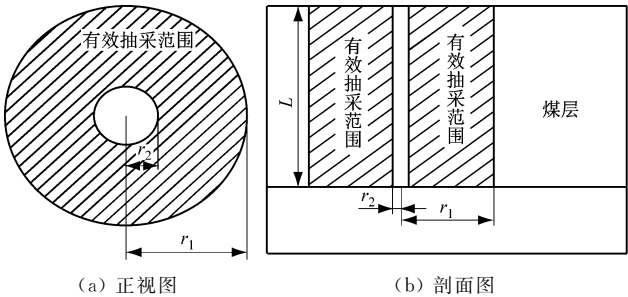


图 1 钻孔有效抽采范围计算模型

Fig. 1 Calculation model for effective drainage range of borehole

根据相关研究及大量的现场数据可知,在抽采负压稳定的条件下,抽采钻孔瓦斯流量衰减符合负指数衰减规律,可表示为^[16-17]

$$q_T = q_0 \exp(-\alpha T) \tag{1}$$

式中: q_T 为抽采时间为 T (单位为 d)时百米钻孔的瓦斯抽采量,m³/(hm·min); q_0 为百米钻孔瓦斯初始抽采量,m³/(hm·min); α 为抽采钻孔瓦斯涌出衰减系数,d⁻¹。

对式(1)在抽采时间 T 内进行积分,得到百米钻孔 T 时间内的累计抽采瓦斯量,计算公式为

$$Q_1 = \int_0^T (24 \times 60) q_T dT = \int_0^T 1440 q_0 \exp(-\alpha T) dT \tag{2}$$

由图 1 可知抽采钻孔煤层段长度为 L ,则 T 时间内钻孔瓦斯抽采总量为

$$Q_L = \frac{Q_1 L}{100} = 14.4 L \int_0^T q_0 \exp(-\alpha T) dT \tag{3}$$

依据图 1 所示的钻孔有效抽采范围计算模型,得到抽采钻孔有效抽采范围内煤量 Z 的计算公式为

$$Z = \pi(r_1^2 - r_2^2)L\rho \tag{4}$$

式中: Z 为抽采钻孔有效抽采范围内的煤量,t; ρ 为煤的密度,t/m³。

已知煤体的原始瓦斯含量为 W_0 ,则有效抽采范围内煤体的瓦斯储量 Q_0 的计算公式为

$$Q_0 = ZW_0 = \pi(r_1^2 - r_2^2)L\rho W_0 \tag{5}$$

煤层的瓦斯抽采率为

$$\eta = \frac{Q_L}{Q_0} = \frac{14.4q_0}{\pi(r_1^2 - r_2^2)\rho W_0} \int_0^T \exp(-\alpha T) dT = \frac{14.4q_0(1 - \exp(-\alpha T))}{\pi(r_1^2 - r_2^2)\alpha\rho W_0} \tag{6}$$

对式(6)进行变换,可得钻孔瓦斯有效抽采半径为

$$r_1 = \sqrt{\frac{14.4q_0(1 - \exp(-\alpha T))}{\pi\alpha\rho W_0\eta} + r_2^2} \tag{7}$$

煤体瓦斯抽采率 η 为煤体中抽采的瓦斯量占煤体原始瓦斯量的比值^[16-17],即

$$\eta = \frac{W_0M_z - W_cM_z}{W_0M_z} = 1 - \frac{W_c}{W_0} \tag{8}$$

式中: W_c 为煤体残余瓦斯含量,m³/t; M_z 为煤体质量,t。

2 有效抽采半径测定方法

分析钻孔瓦斯有效抽采半径的表达式可知,在测定出钻孔瓦斯初始抽采量 q_0 和钻孔瓦斯涌出衰减系数 α 的基础上,确定煤层瓦斯抽采率 η 后即可计算出不同抽采时间 T 内的钻孔瓦斯有效抽采半径 r_1 。

煤层的瓦斯抽采率是确定工作面瓦斯抽采达标的重要判断依据,《煤矿瓦斯抽采基本指标》和《煤矿瓦斯抽采达标暂行规定》中提出根据工作面的瓦斯来源确定抽采达标的判定指标,见表 1^[18-19]。表 1 中, Q 为工作面绝对瓦斯涌出量,m³/min; M 为工作面日产量,t; W_j 为煤的可解吸瓦斯量,m³/t; P_0 为煤层原始瓦斯压力,MPa。

当工作面的瓦斯涌出量主要来自于邻近层或围岩时,按照表 1 所示的判定指标,依据工作面瓦斯涌出量的大小即可判定抽采达标所要求的最低抽采率,将抽采率代入式(7),即可计算出在所要求抽采率条件下不同抽采时间所对应的有效抽采半径。

当工作面的瓦斯涌出量主要来自于开采层时,依据工作面的产量,以煤的可解吸瓦斯量为判定指

表 1 采煤工作面瓦斯抽采达标的判定指标
Table 1 Criterion index of gas extraction standard in coal mining face

瓦斯涌出主要来源	判断依据	$\eta/\%$
邻近层或围岩	$5 \leq Q < 10$	≥ 20
	$10 \leq Q < 20$	≥ 30
	$20 \leq Q < 40$	≥ 40
	$40 \leq Q < 70$	≥ 50
	$70 \leq Q < 100$	≥ 60
	$100 \leq Q$	≥ 70
瓦斯涌出主要来源	判断依据	$W_j/(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$
开采层	$M \leq 1000$	≤ 8
	$1\,001 \leq M \leq 2\,500$	≤ 7
	$2\,501 \leq M \leq 4\,000$	≤ 6
	$4\,001 \leq M \leq 6\,000$	≤ 5.5
	$6\,001 \leq M \leq 8\,000$	≤ 5
	$8\,001 \leq M \leq 10\,000$	≤ 4.5
	$M > 10\,000$	≤ 4
瓦斯涌出主要来源	判断依据	$\eta/\%$
突出煤层	$P_0 \geq 0.74 \text{ MPa}$	$\geq 1 - \sqrt{0.74/\sqrt{P_0}}$
	$W_0 \geq 8 \text{ m}^3/\text{t}$	$\geq 1 - 8/W_0$

标。将工作面的设计抽采率代入式(7)进行不同抽采时间条件下的有效抽采半径计算,按照计算结果进行现场抽采,测定抽采后煤层的瓦斯含量,从而计算煤的可解吸瓦斯量,判定是否满足表 1 所示指标。煤的可解吸瓦斯量计算公式为^[19]

$$W_j = W - W_c \tag{9}$$

式中: W 为抽采后的瓦斯含量,m³/t; W_c 为煤在标准大气压力下的残余瓦斯含量,m³/t。

W_c 的计算公式为

$$W_c = \frac{0.1ab}{1 + 0.1b} \times \frac{100 - A_d - M_{ad}}{100} \times \frac{1}{1 + 0.31M_{ad}} + \frac{n}{\rho} \tag{10}$$

式中: a, b 为煤体的吸附常数; A_d 为煤的灰分,%; M_{ad} 为煤的水分,%; n 为煤体孔隙率,%。

当工作面开采煤层为突出煤层时,有效抽采范围内煤层的残余瓦斯含量或残余瓦斯压力必须降到煤层始突深度处的瓦斯含量或瓦斯压力以下。若没能考察出煤层始突深度处的瓦斯含量或瓦斯压力,则必须将抽采后煤层的残余瓦斯含量降到 8 m³/t 以下,或将抽采后煤层的残余瓦斯压力降低到 0.74 MPa 以下才能达标。因此,开采煤层为突出煤层时,抽采率需满足表 1 所示指标,将抽采率代入式(7)中即可计算突出煤层不同抽采时间条件下的

有效抽采半径。

3 工程试验

3.1 试验地点概况

某矿 140502 工作面位于-967 m 水平 1405 采区,开采 5 号煤层,工作面底板标高为-980~-990 m,走向长度为 1 700 m,倾斜长度为 220 m,煤层平均厚度为 6.5 m,平均倾角为 11°。预测该工作面的瓦斯涌出量为 2.49 m³/t,主要来自于开采层,工作面日产量为 13 500 t,工作面绝对瓦斯涌出量为 23.33 m³/min。

3.2 试验过程

在 140502 工作面机巷一定范围无构造的区域内施工钻场,在钻场内施工 1 个抽采钻孔,钻孔施工时,按照标准 GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》,取该处钻孔内原始煤体进行原始瓦斯含量 W_0 的测试,同时测定该煤体密度 ρ ,煤体

的吸附常数 a, b 值,孔隙率 n ,煤的水分 M_{ad} 和灰分 A_d 等基础参数。根据测定结果,通过式(10)计算煤在标准大气压力下的残余瓦斯含量 W_c 。

抽采钻孔施工完毕后,封孔并通过单孔多气体参数测定装置接入抽采管路进行抽采,每天记录钻孔抽采量及抽采瓦斯浓度,共统计 60 d 的数据。将抽采的瓦斯纯量数据以负指数关系进行拟合,确定抽采钻孔瓦斯涌出衰减特性。根据衰减特性确定钻孔初始瓦斯涌出量及钻孔瓦斯涌出衰减系数,结合抽采率计算有效抽采半径。

抽采结束后,在有效抽采半径位置处施工 6 个考察钻孔,测定煤层残余瓦斯含量,利用残余瓦斯含量反算抽采率和煤的可解吸瓦斯量,并结合表 1 所示指标,进行对比验证。

3.3 试验结果

依据煤层基础参数测定结果,代入式(10)计算可得到 W_c ,测试和计算结果见表 2。

表 2 煤层基础参数及标况下残余瓦斯含量

Table 2 Basic parameters of coal seam and residual gas content under standard conditions

$W_0/(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	$\rho/(\text{t} \cdot \text{m}^{-3})$	$n/\%$	$a/(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	b/MPa^{-1}	$M_{ad}/\%$	$A_d/\%$	$W_c/(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$
5.9	1.38	4.32	16.93	0.87	2.01	20.16	3.28

统计 60 d 单孔瓦斯流量数据,可得单孔百米钻孔瓦斯抽采纯量衰减特性曲线,如图 2 所示,结果符合负指数关系。

$$q_T = 0.196\exp(-0.05T), \quad R^2 = 0.84 \quad (11)$$

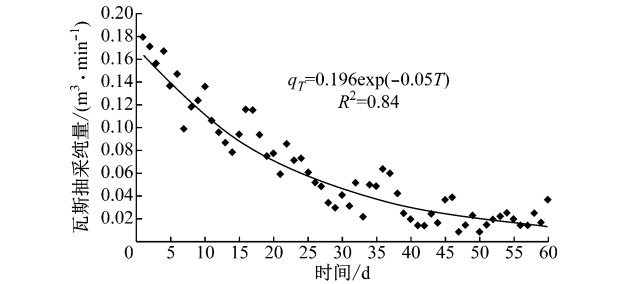


图 2 单孔百米钻孔瓦斯抽采纯量衰减规律
Fig. 2 Attenuation law of gas drainage net quantity in single 100 m borehole

根据单孔百米钻孔瓦斯抽采纯量衰减规律可知,百米钻孔瓦斯初始抽采量为 0.196 m³/(hm·min),抽采钻孔瓦斯涌出衰减系数为 0.05 d⁻¹。

按照该矿 140502 工作面的设计要求,顺层钻孔抽采率为 35%,根据式(7)计算可得不同抽采时间条件下的有效抽采半径,结果见表 3。

根据钻孔瓦斯涌出衰减系数计算出极限抽采时间为 58 d^[16],故按抽采 60 d 进行设计,抽采钻孔的布置间距约为 4.54 m。

表 3 不同抽采时间条件下的有效抽采半径计算值
Table 3 Calculation values of effective drainage radius under different extraction time

抽采时间/d	30	60	90
有效抽采半径/m	2.06	2.27	2.31

3.4 结果验证

抽采 60 d 后,在距抽采钻孔间距为 2.27 m 前后施工考察钻孔分别采取煤样,按照 GB/T 23250—2009《煤层瓦斯含量井下直接测定方法》进行煤层抽采后残余瓦斯含量的测定,钻孔取样点布置如图 3 所示,测定结果见表 4。按照式(8)计算抽采率,在实际抽采 60 d 的情况下,在距抽采钻孔 2.2 m 处的抽采率为 36.9%;在距抽采钻孔 2.3 m 处的抽采率为 35.6%,达到了设计要求的 35%;在距抽采钻孔 2.4 m 处的抽采率为 30.5%,未达到设

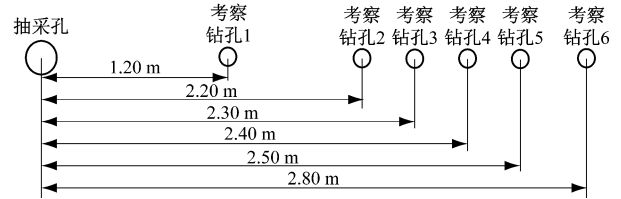


图 3 考察钻孔残余瓦斯含量取样点布置
Fig. 3 Layout of sampling points of residual gas content in inspecting boreholes

计要求。可见,按照该煤层工作面的设计要求,抽采率需在 35% 以上,抽采 60 d 情况下的有效抽采半径为 2.30~2.40 m。虽然实际测试结果与式(7)所计算出的结果有些许偏差,但误差相对较小,符合工业应用条件,验证了有效抽采半径测定方法的有效性。同时,该工作面日产量为 13 500 t,瓦斯涌出主要来自于开采层,通过式(9)计算出煤的可解吸瓦斯量 W_j 也小于 $4\text{ m}^3/\text{t}$,满足表 1 所规定的采煤工作面瓦斯抽采应达到的指标。

表 4 距抽采钻孔不同间距时的残余瓦斯含量及抽采率计算结果

Table 4 Calculation results of residual gas content and drainage rate at different intervals from drainage borehole		
距抽采钻孔间距/m	$W_c/(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	$\eta/\%$
1.2	1.21	79.5
2.2	3.72	36.9
2.3	3.90	35.6
2.4	4.10	30.5
2.5	4.96	15.9
2.8	5.11	13.4

4 结论

(1) 以抽采钻孔瓦斯流量衰减规律为基础,推导出了钻孔瓦斯有效抽采半径计算公式,即通过测定煤层的抽采钻孔瓦斯流量衰减规律得到百米钻孔瓦斯初始抽采量和抽采钻孔瓦斯涌出衰减系数,依据抽采率计算不同抽采时间条件下的有效抽采半径。

(2) 基于行业标准和规范提出了钻孔瓦斯有效抽采半径的测定方法,当工作面瓦斯涌出量主要来自于邻近层及围岩时,以工作面的绝对瓦斯涌出量为判据确定工作面瓦斯抽采率,进而计算有效抽采半径;当工作面瓦斯涌出量主要来自于本煤层时,以设计抽采率和可解吸瓦斯量为指标进行有效抽采半径的计算和验证;当开采突出煤层时,工作面原始瓦斯压力 P_0 大于 0.74 MPa 时,以 $1-\sqrt{0.74/\sqrt{P_0}}$ 为抽采率进行有效抽半径的计算,工作面原始瓦斯含量 W_0 大于 $8\text{ m}^3/\text{t}$ 时,以 $1-8/W_0$ 为抽采率进行有效抽采半径的计算。

(3) 通过现场试验测定某矿 140502 工作面顺层钻孔瓦斯有效抽采半径,计算可得抽采 60 d 的有效抽采半径为 2.27 m。通过在距抽采钻孔 2.27 m 位置前后不同间距布置考察钻孔进行煤层抽采后残余瓦斯含量的测定,反算考察钻孔处的抽采率,以该

抽采率结合煤的可解吸量为指标进行有效抽采半径的验证,证明了有效抽采半径测定方法的正确性。

参考文献(References):

[1] 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出细则[M]. 北京:煤炭工业出版社,2019.
National Coal Mine Safety Supervision Administration. Detailed rules for prevention of coal and gas outburst [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing Home,2019.

[2] 俞启香. 煤矿瓦斯防治[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1992.
YU Qixiang. Mine gas prevention [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1992.

[3] 王魁军,张兴华. 中国煤矿瓦斯抽采技术发展现状与前景[J]. 中国煤层气,2006,3(1):13-16.
WANG Kuijun, ZHANG Xinghua. Current status and prospects of CMM drainage technologies in China [J]. China Coalbed Methane,2006,3(1):13-16.

[4] 朱南南,张浪,范喜生,等. 基于瓦斯径向渗流方程的有效抽采半径求解方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2017,45(10):105-110.
ZHU Nannan, ZHANG Lang, FAN Xisheng, et al. Study on the solution method of effective extraction radius based on gas radial seepage equation[J]. Coal Science and Technology,2017,45(10):105-110.

[5] 刘三钧,马耕,卢杰,等. 基于瓦斯含量的相对压力测定有效半径技术[J]. 煤炭学报,2011,36(10): 1715-1719.
LIU Sanjun, MA Geng, LU Jie, et al. Relative pressure determination technology for effective radius found on gas content [J]. Journal of China Coal Society,2011,36(10): 1715-1719.

[6] 王兆丰,周少华,李志强. 瓦斯抽采钻孔有效抽采半径的数值计算方法[J]. 煤炭工程,2011,43(6):82-84.
WANG Zhaofeng, ZHOU Shaohua, LI Zhiqiang. Numerical calculation method of effective drainage radius for gas drainage borehole [J]. Coal Engineering,2016,43(6):82-84.

[7] 鲁义,申宏敏,秦波涛,等. 顺层钻孔瓦斯抽采半径及布孔间距研究[J]. 采矿与安全工程学报,2015, 32(1):156-162.
LU Yi, SHEN Hongmin, QIN Botao, et al. Gas drainage radius and borehole distance along seam[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2015, 32(1):156-162.

[8] 李子文,林柏泉,郭明功,等. 基于一维径向流动确定钻孔瓦斯抽采有效影响半径[J]. 煤炭科学技术,

- 2014,42(12):62-64.
- LI Ziwen, LIN Baiquan, GUO Minggong, et al. Determination on effective influence radius of gas drainage through borehole based on one-dimensional radial flow[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(12):62-64.
- [9] 国家安全生产监督管理局, 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2016.
- State Administration of Work Safety, National Coal Mine Safety Supervision Administration. Coal mine safety regulations[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2016.
- [10] 李书文, 张智峰, 宣德全. 基于瓦斯抽采流量法确定本煤层钻孔有效影响半径[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(4):43-45.
- LI Shuwen, ZHANG Zhifeng, XUAN Dequan. Determination on effective influence radius of in-seam borehole based on gas drainage flow method[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4):43-45.
- [11] 徐东方, 王兆丰. 压降法测定钻孔的抽放影响半径试验研究[J]. 煤矿安全, 2009, 40(5):1-3.
- XU Dongfang, WANG Zhaofeng. Experimental investigation on pressure falling method measuring the boreholes influence radius [J]. Safety in Coal Mines, 2009, 40(5):1-3.
- [12] 舒龙勇, 樊少武, 张浪, 等. 基于临界残余瓦斯压力的有效抽采半径确定方法[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(10):81-85.
- SHU Longyong, FAN Shaowu, ZHANG Lang, et al. Method to determine effective gas drainage radius based on critical residual gas pressure[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(10):81-85.
- [13] 魏国营, 秦宾宾. 煤体钻孔瓦斯有效抽采半径判定技术[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2013, 32(6):754-758.
- WEI Guoying, QIN Binbin. Technology for determining effective drainage radius of coal seam drill hole [J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 2013, 32(6):754-758.
- [14] 徐青伟, 王兆丰, 徐书荣, 等. 多煤层穿层钻孔瓦斯抽采有效抽采半径测定[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(7):83-88.
- XU Qingwei, WANG Zhaofeng, XU Shurong, et al. Measurement on effective gas drainage radius of boreholes passed through multi seams [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(7):83-88.
- [15] 袁奎, 何启林, 李同锁, 等. 正明矿穿层钻孔有效抽放半径的研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(1):92-97.
- YUAN Kui, HE Qilin, LI Tong suo, et al. Study on effective drainage radius of layer drilling at Zhengming Mine [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2014, 10(1):92-97.
- [16] 周世宁, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存与流动理论[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997.
- ZHOU Shining, LIN Baiquan. Theory of coal seam gas occurrence and flow [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1997.
- [17] 余陶, 卢平, 孙金华, 等. 基于钻孔瓦斯流量和压力测定有效抽采半径[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(4):596-600.
- YU Tao, LU Ping, SUN Jinhua, et al. Measurement of effective drainage radius based on gas flow and pressure of boreholes[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(4):596-600.
- [18] AQ 1026—2006 煤矿瓦斯抽采基本指标[S].
- AQ 1026-2006 Basic index of coal mine gas drainage and exploitation[S].
- [19] 国家安全生产监督管理总局, 国家发展和改革委员会, 国家能源局, 国家煤矿安全监察局. 煤矿瓦斯抽采达标暂行规定[EB/OL]. (2011-10-16)[2020-05-18]. <http://www.safehoo.com/Laws/Trade/Coal/201110/202475.shtml>.
- State Administration of Work Safety, National Development and Reform Commission, National Energy Administration, State Administration of Coal Mine Safety. Interim provisions on reaching the standard of gas drainage in coal mines [EB/OL]. (2011-10-16)[2020-05-18]. <http://www.safehoo.com/Laws/Trade/Coal/201110/202475.shtml>.