

# 基于压降法测定预抽煤层瓦斯穿层钻孔有效影响半径的应用

陆俊翔<sup>1</sup>, 罗文柯<sup>1,2\*</sup>, 王成龙<sup>1</sup>, 黄妍<sup>1</sup>

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;

2. 湖南科技大学 煤炭安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 预抽煤层瓦斯穿层钻孔有效影响半径是实施科学治理瓦斯的基础, 以淮北集团邹庄煤矿煤层地质为研究背景, 采用压降法对矿井四采区  $7_2$  和  $8_2$  煤层进行瓦斯穿层钻孔有效影响半径的测试, 并利用 Origin 对穿层钻孔有效影响半径与抽采时间的变化关系进行分析, 得出穿层钻孔有效影响半径与抽采时间的函数关系式。结果表明: 预抽时间为 1, 2, 3 个月时,  $7_2$  煤层穿层钻孔有效影响半径分别为 3.0, 3.5 和 4.0 m,  $8_2$  煤层穿层钻孔有效影响半径分别为 2.5, 3.0 和 3.5 m。分别以 4.0 和 3.5 m 为邹庄煤矿  $7_2$  和  $8_2$  煤层穿层钻孔布置间距可有效防止煤与瓦斯突出事故, 为煤层开采提供安全保障。

**关键词:** 煤与瓦斯突出; 瓦斯抽采; 压降法; 有效影响半径; 邹庄煤矿

中图分类号: X936 文献标志码: A 文章编号: 1672-9102(2021)03-0048-06

## Application of Pressure Drop Method to Measure Effective Influence Radius of Gas Penetration Drilling in Pre-drainage Coal Seam

LU Junxiang<sup>1</sup>, LUO Wenke<sup>1,2\*</sup>, WANG Chenglong<sup>1</sup>, HUANG Yan<sup>1</sup>

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

2. Hunan Key Laboratory of Coal Safety Mining Technology, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** The effective impact radius of gas penetration drilling in pre-drainage coal seam is the basis of scientific gas control. Based on the coal seam geology of Zouzhuang Coal Mine of Huaibei Group as the research background, this paper tests the effective impact radius of gas penetration drilling in coal seam  $7_2$  and  $8_2$  in the fourth mining area of the mine by pressure drop method. Origin is used to analyze the relationship between the effective impact radius and the extraction time, and the functional relationship between the effective impact radius and the extraction time is obtained. Results show that when the pre-pumping time is 1, 2, 3 months, the effective impact radius of the borehole in the  $7_2$  coal seam is 3.0, 3.5 and 4.0 m respectively, and the effective impact radius of the borehole in the  $8_2$  coal seam is 2.5, 3.0 and 3.5 m respectively. Taking 4.0 and 3.5 m respectively as the spacing of boreholes in  $7_2$  and  $8_2$  coal seams of Zouzhuang Coal Mine can effectively prevent coal and gas outburst accidents, and provide safety guarantee for coal seam mining.

**Keywords:** coal and gas outburst; gas drainage; pressure drop method; effective radius of influence; Zouzhuang Coal Mine

我国是一个“富煤、贫油、少气”的国家, 随着经济的快速发展, 对煤炭资源的需求一直位居世界第

—<sup>[1]</sup>.但随着我国浅部煤层逐步枯竭,煤层开采以 25~50 m/a 的速度向深处延伸.由于开采深度增加,煤层瓦斯动力灾害明显提升<sup>[2]</sup>.为了消除突出煤层在开采过程中发生煤与瓦斯突出(以下简称突出)事故,减少人员与财产的损失,根据《防治煤与瓦斯突出细则》要求,须在实施两个“四位一体”(区域防突四位一体和局部防突四位一体)后方可安全开采<sup>[3]</sup>.其中预抽煤层瓦斯是区域防突的关键性技术措施,但在瓦斯抽采过程中,穿层钻孔的间距设计一直是现场技术人员难以精准掌握的课题.若穿层钻孔间距布置过大,容易出现卸压盲区,导致突出事故发生;若穿层钻孔间距布置过小,则会增大穿层钻孔的工程量,增加治理的时间与成本<sup>[4]</sup>.因此,如何科学合理地确定穿层钻孔的有效影响半径,是现场与科研院所的研究人员迫切需要解决的问题.

林柏泉<sup>[5]</sup>等建立水力割缝煤体多场耦合模型,对水力割缝钻孔周围瓦斯流场的变化进行了数值模拟研究;吴有增<sup>[6]</sup>等根据质量守恒定律、Fick 定律以及 Darcy 定律建立“瓦斯流动模型”确定有效抽采半径;杨宏民<sup>[7]</sup>等在对寺家庄矿 15<sup>#</sup>煤层进行抽放有效影响半径的过程中,使用瓦斯流量法优化矿井的抽放设计方案,消除其突出危险性;肖乔<sup>[8]</sup>在测定四川某矿 K1 煤层排放钻孔的有效影响半径时,采用“施工 1 组钻孔,考察 2 项指标(钻屑解析指标与瓦斯含量)”的布孔工艺,确保了结果的准确性;曹佐勇<sup>[9]</sup>采用 COMSOL Multiphysics 模拟分析了近距离突出煤层水力冲孔钻孔周围煤体瓦斯压力与孔径之间的时空演化规律,并建立了基于质量守恒定律的有效影响半径理论计算公式.

钻孔有效抽采半径是指在一定时间内从钻孔中能抽出煤层气的有效距离,钻孔有效影响半径是指在规定时间内,该半径范围内的瓦斯压力或瓦斯含量降低到安全允许值<sup>[10]</sup>.利用压降法测定钻孔间距时,在测试钻孔周围不同距离布置观测孔,每间隔一定时间测定观测钻孔的瓦斯压力值,将所得的瓦斯压力值绘制成瓦斯压力变化趋势图,当钻孔在一个确定时间内连续测定得到的瓦斯压力下降 10% 以上,则证明所测钻孔位于被测钻孔的影响范围之内<sup>[11]</sup>.本文以邹庄煤矿 7<sub>2</sub> 煤和 8<sub>2</sub> 煤为研究背景,利用压降法测定穿层钻孔的有效影响半径,并以实测有效影响半径作为矿井的穿层钻孔布置间距,为煤矿的安全生产提供了有利保障.

## 1 压降法测量原理与钻孔布置

在钻孔抽采影响范围内,煤层的瓦斯压力会不断降低.根据这个原理,在抽采钻孔周边不同距离布置相应的压力测试钻孔,通过测试钻孔内瓦斯压力变化,结合距抽采钻孔的距离即可确定该钻孔的有效影响半径<sup>[12]</sup>.

### 1.1 工程概况

邹庄煤矿位于宿州西南,淮北濉溪境内,隶属安徽神源煤化工有限公司.南北长约 6.5 km,东西长约 3~5 km,井田面积约 29.68 km<sup>2</sup>,设计年产量为 240 万 t.矿井服务年限为 50.4 a,考虑到天然焦开采后可增加矿井服务年限 5.5 a,矿井的总服务年限为 55.9 a.

四采区位于矿井西南部,南坪向斜的西翼南段.整体形状为向东倾斜的单斜构造,地层倾角 18°~41°,一般 30°左右.在四采区内,主采 7<sub>2</sub> 煤和 8<sub>2</sub> 煤.7<sub>2</sub> 煤位于下石盒子组下部,由于岩浆岩侵入穿插,使煤层结构复杂化,含 1~2 层夹矸.8<sub>2</sub> 煤位于下石盒子组下部,上距 7<sub>2</sub> 煤 0.79~18.84 m,平均 9.60 m,煤厚 0.74~5.24 m,平均 2.37 m.煤层结构简单,个别钻孔含 1 层夹矸,夹矸为炭质泥岩.可采指数 1.0,变异系数 42.03%,为全区可采的较稳定煤层.

### 1.2 测试钻孔的布置及施工参数

在 7401 底抽巷的 8<sup>#</sup> 钻场内施工 1 个抽采钻孔(1<sup>#</sup>)和 8 个测压钻孔(2<sup>#</sup>~9<sup>#</sup>),对四采区 7<sub>2</sub> 煤的底板岩巷穿层钻孔的有效影响半径进行实测,其中 2<sup>#</sup>~9<sup>#</sup>测压钻孔到 1<sup>#</sup>抽采钻孔的法线距离分别为 2.0,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5,5.0,5.5 m,如图 1 所示.

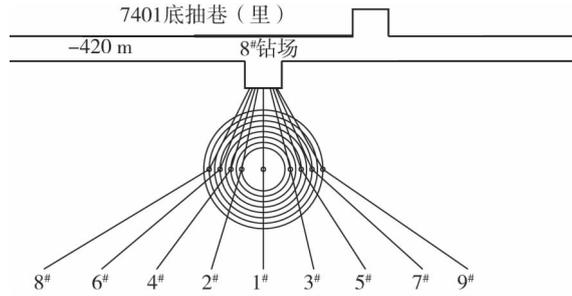


图1 四采区7<sub>2</sub>煤抽采与测压钻孔布置

根据项目实施方案,7<sub>2</sub>煤抽采与测压钻孔施工参数如表1所示.

表1 四采区7<sub>2</sub>煤抽采与测压钻孔施工参数

孔号	方位角/(°)	倾角/(°)	见煤深度/m	穿煤深度/m	终孔深度/m
1#	0	28.8	39.3	3	42.3
2#	右2.40	28.8	39.3	3	42.3
3#	左3.20	28.7	39.4	3	42.4
4#	0	32.7	37.4	3	40.4
5#	0	24.7	41.7	3	44.7
6#	右4.70	28.7	39.4	3	42.4
7#	左5.50	28.7	39.5	3	42.5
8#	0	35.3	36.2	3	39.2
9#	0	22.8	43.2	3	46.2

在7401底抽巷的14#钻场内施工1个抽采钻孔(1#)及6个测压钻孔(2#~7#),对四采区8<sub>2</sub>煤的底板岩巷穿层钻孔有效影响半径进行实测,2#~7#测压钻孔到1#抽采钻孔的法线距离分别为2.0,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5 m.在测定8<sub>2</sub>煤瓦斯压力时,由于上邻近层7<sub>2</sub>煤的煤层厚度较大,层间距小,瓦斯压力将受到7<sub>2</sub>煤瓦斯压力的影响,且因8#钻场7<sub>2</sub>煤测试时有效影响半径未达到5和5.5 m,故在14#钻场测定8<sub>2</sub>煤穿层钻孔有效影响半径时取消这2个有效距离实测钻孔,改为测定7<sub>2</sub>煤瓦斯压力变化情况的8#与9#钻孔,即a#和b#钻孔,如图2所示.

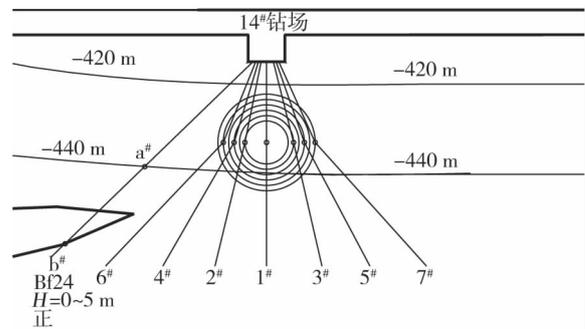


图2 四采区8<sub>2</sub>煤抽采与测压钻孔布置

根据项目实施方案,8<sub>2</sub>煤抽采与测压钻孔施工参数如表2所示.

表2 四采区8<sub>2</sub>煤抽采与测压钻孔施工参数

孔号	方位角/(°)	倾角/(°)	见煤深度/m	穿煤深度/m	终孔深度/m
1#	0	21.5	33.4	1.5	34.9
2#	右2.70	21.5	34.8	1.8	36.6
3#	左3.50	21.5	34.9	1.8	36.7
4#	0	26.1	31.6	1.5	33.1
5#	0	16.7	35.6	1.6	37.2
6#	右5.30	21.5	34.9	2.0	36.9
7#	左6.20	21.4	35.0	2.0	37.0
a#	右39.9	29.7	38.5	6.0	44.5
b#	右39.9	60.7	38.5	6.0	44.5

## 2 压降法测量结果与分析

### 2.1 原始瓦斯压力测定结果

在7<sub>2</sub>煤2#~9#,8<sub>2</sub>煤2#~7#,a#与b#测压钻孔施工完毕后装上压力表,每天晚上定时观测各测压钻孔

的瓦斯压力数据,经过 20 d 的观测周期,测压钻孔压力趋于稳定,即可获得各钻孔所测定的原始瓦斯压力值,测定结果如表 3 所示。

表 3 四采区 7<sub>2</sub> 煤、8<sub>2</sub> 煤各钻孔原始瓦斯压力测定结果

7 <sub>2</sub> 煤钻孔	瓦斯压力/MPa	8 <sub>2</sub> 煤钻孔	瓦斯压力/MPa
2 <sup>#</sup>	0.63	2 <sup>#</sup>	0.63
3 <sup>#</sup>	0.61	3 <sup>#</sup>	0.62
4 <sup>#</sup>	0.60	4 <sup>#</sup>	0.32
5 <sup>#</sup>	0.60	5 <sup>#</sup>	0.62
6 <sup>#</sup>	0.63	6 <sup>#</sup>	0.40
7 <sup>#</sup>	0.65	7 <sup>#</sup>	0.65
8 <sup>#</sup>	0.65	a <sup>#</sup>	0.65
9 <sup>#</sup>	0.65	b <sup>#</sup>	0.65

## 2.2 卸压后穿层钻孔有效影响半径测定结果与分析

在各钻孔的原始瓦斯压力稳定后,将连接瓦斯抽采管路的 1<sup>#</sup> 抽采钻孔的闸阀打开进行瓦斯抽采。同时,每天晚上观测 1 次各测压钻孔的瓦斯压力,并将观测数据如实记录在观测表格中,瓦斯压力观测数据按照 1,2,3 个月的时间周期进行分析。

### 2.2.1 四采区 7<sub>2</sub> 煤穿层钻孔有效影响半径的测定结果与分析

位于 8<sup>#</sup> 钻场 7<sub>2</sub> 煤的测定钻孔,施工开始于 2019 年 3 月 7 日的 14:50,全部钻孔封孔完成时间为 2019 年 3 月 9 日 20:10。2019 年 3 月 30 日开始进行瓦斯抽采,同时记录 3 个月内各钻孔的瓦斯压力,并分析其变化情况。7<sub>2</sub> 煤 2<sup>#</sup>~9<sup>#</sup> 各钻孔瓦斯压力变化情况如图 3 所示。

根据图 3 及测定结果,以 3 次以上测压钻孔瓦斯压力降低幅度大于 10% 为有效影响半径判定标准,按照 1,2,3 个月的时间周期分析:

1) 抽采时间 1 个月.时间周期为 2019 年 3 月 30 日—4 月 30 日,连续 3 d 观测到的数据经计算,2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup> 和 4<sup>#</sup> 测压钻孔的瓦斯压力降低幅度分别为 45%,35% 和 15%,均大于 10%,说明 7<sub>2</sub> 煤穿层钻孔 1 个月的有效影响半径达到 4<sup>#</sup> 测压钻孔边界,有效影响半径  $R_{1月} = 3.0$  m。

2) 抽采时间 2 个月.时间周期为 2019 年 3 月 30 日—5 月 31 日,连续 3 d 观测到的数据经计算,2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>,4<sup>#</sup> 和 5<sup>#</sup> 测压钻孔的瓦斯压力降低幅度分别为 68%,51%,32% 和 18%,均大于 10%,说明 7<sub>2</sub> 煤穿层钻孔 2 个月的有效影响半径达到 5<sup>#</sup> 测压钻孔边界,有效影响半径  $R_{2月} = 3.5$  m。

3) 抽采时间 3 个月.时间周期为 2019 年 3 月 30 日—6 月 30 日,连续 3 d 测定到 2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>,4<sup>#</sup>,5<sup>#</sup> 和 6<sup>#</sup> 测压钻孔的瓦斯压力降低幅度分别为 76%,63%,48%,34% 和 14%,均大于 10%,说明 7<sub>2</sub> 煤穿层钻孔 3 个月的有效影响半径达到 6<sup>#</sup> 测压钻孔边界,有效影响半径  $R_{3月} = 4.0$  m。

### 2.2.2 四采区 8<sub>2</sub> 煤穿层钻孔有效影响半径的测定结果与分析

位于 14<sup>#</sup> 钻场 8<sub>2</sub> 煤的测定钻孔,施工开始于 2019 年 5 月 8 日的 8:50,全部钻孔封孔完成时间为 2019 年 5 月 12 日 11:30。2019 年 5 月 31 日开始进行瓦斯抽采,同时记录 3 个月内各钻孔的瓦斯压力,并分析其变化情况。8<sub>2</sub> 煤 2<sup>#</sup>~7<sup>#</sup> 各钻孔瓦斯压力变化情况如图 4 所示。

根据图 4 及测定结果,以 3 次以上测压钻孔瓦斯压力降低幅度大于 10% 为有效影响半径判定标准,按照 1,2,3 个月的时间周期分析:

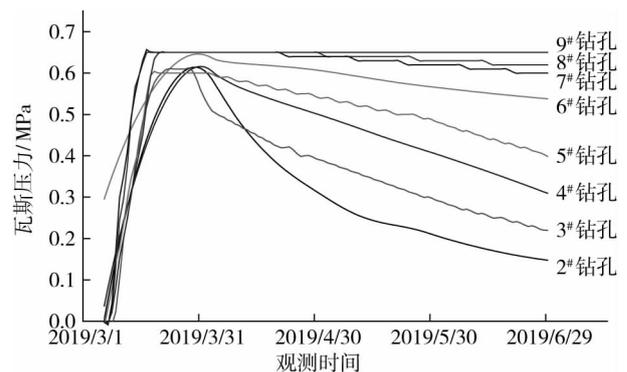


图 3 四采区 7<sub>2</sub> 煤各钻孔瓦斯压力变化曲线

1)抽采时间1个月.时间周期为2019年5月31日—6月30日,连续3d观测到2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>测压钻孔的瓦斯压力降低幅度分别为35%,16%,均大于10%,说明8<sub>2</sub>煤穿层钻孔1个月的有效影响半径达到3<sup>#</sup>测压钻孔边界,有效影响半径  $R_{1月} = 2.5\text{ m}$ .

2)抽采时间2个月.时间周期为2019年5月31日—7月31日,连续3d测定到2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>,4<sup>#</sup>测压钻孔的瓦斯压力降低幅度分别为48%,31%和18%,均大于10%,说明8<sub>2</sub>煤穿层钻孔2个月的有效影响半径达到4<sup>#</sup>测压钻孔边界,即有效影响半径  $R_{2月} = 3.0\text{ m}$ .

3)抽采时间3个月.时间周期为2019年5月31日—8月30日,连续3d测定到2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>,4<sup>#</sup>,5<sup>#</sup>测压钻孔的瓦斯压力降低幅度分别为62%,44%,30%,17%,均大于10%,说明8<sub>2</sub>煤穿层钻孔3个月的有效影响半径达到5<sup>#</sup>测压钻孔边界有效影响半径  $R_{3月} = 3.5\text{ m}$ .

综上分析得到7<sub>2</sub>煤、8<sub>2</sub>煤在卸压后预抽煤层瓦斯穿层钻孔有效影响半径测定结果,如表3所示.

表3 四采区7<sub>2</sub>煤、8<sub>2</sub>煤卸压后穿层钻孔有效影响半径

抽采时间	7 <sub>2</sub> 煤层/m	8 <sub>2</sub> 煤层/m
1个月	3.0	2.5
2个月	3.5	3.0
3个月	4.0	3.5

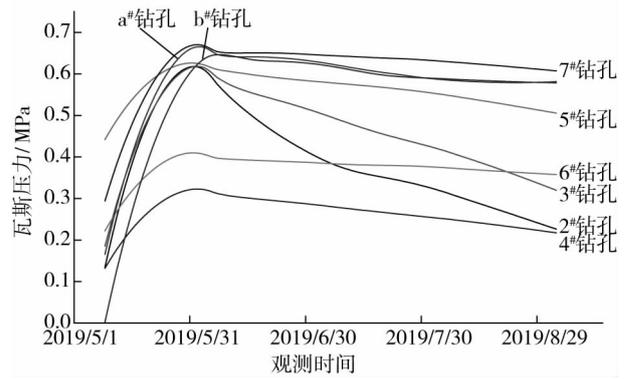


图4 四采区8<sub>2</sub>煤各钻孔瓦斯压力变化曲线

### 3 穿层钻孔有效影响半径与抽采时间的测定结果分析

#### 3.1 抽采时间与穿层钻孔有效影响半径的函数关系式

决定系数  $R^2$  为回归平方和与总离差平方和的比值,表示总离差平方和中可以由回归平方和解释的比例,这一比例越大越好,模型越精确,回归效果越显著. $R^2$  介于0~1,越接近1,回归拟合效果越好.7<sub>2</sub>和8<sub>2</sub>煤层抽采时间与有效影响半径的测量数据如表4所示.

表4 四采区7<sub>2</sub>和8<sub>2</sub>煤穿层钻孔有效影响半径与抽采时间

7 <sub>2</sub> 煤		8 <sub>2</sub> 煤	
抽采时间/d	有效影响半径/m	抽采时间/d	有效影响半径/m
9	2.5	11	2.0
19	3.0	24	2.5
37	3.5	47	3.0
65	4.0	74	3.5

利用 Origin 拟合出函数关系,如图5和图6所示,并通过决定系数  $R^2$  解释函数关系的合理性.

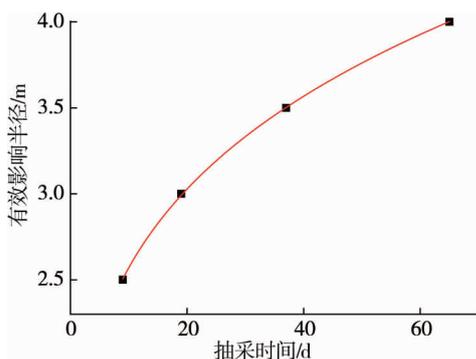


图5 四采区7<sub>2</sub>煤抽采时间与有效影响半径函数拟合

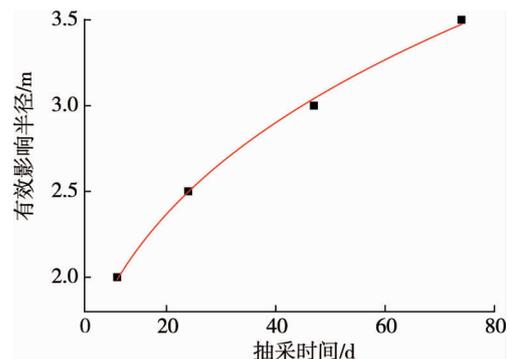


图6 四采区8<sub>2</sub>煤抽采时间与有效影响半径函数拟合

1) 四采区 7<sub>2</sub>煤拟合函数关系式为

$$r = 1.489\ 87t^{0.236\ 67}. \quad (1)$$

式中: $r$ 为有效影响半径,m; $t$ 为抽采时间,d.

式(1)中, $a=1.489\ 87$ ,标准误差 0.009 19; $b=0.236\ 67$ ,标准误差 0.001 74.拟合幂函数关系式的决定系数  $R^2=0.999\ 85$ .决定系数  $R^2$  接近于 1,证明 7<sub>2</sub>煤穿层钻孔有效影响半径与抽采时间存在幂函数关系.

2) 四采区 8<sub>2</sub>煤拟合函数关系式为

$$r = 0.984\ 19t^{0.293}. \quad (2)$$

式(2)中, $a=0.984\ 19$ ,标准误差 0.036 7; $b=0.293$ ,标准误差 0.009 91.拟合幂函数关系式的决定系数  $R^2=0.996\ 94$ .决定系数  $R^2$  接近于 1,证明 8<sub>2</sub>煤穿层钻孔有效影响半径与抽采时间存在幂函数关系.

### 3.2 穿层钻孔有效影响半径与抽采时间的一般函数关系式

依据四采区 7<sub>2</sub>和 8<sub>2</sub>煤穿层钻孔有效影响半径与抽采时间的函数关系式可知,在煤层赋存条件一定、穿层钻孔周围煤层透气性与预抽量成正比的情况下,根据对瓦斯流动的相关分析,穿层钻孔有效影响半径  $r$ (m)与抽采时间  $t$ (d)之间符合幂函数关系,即

$$r = at^b. \quad (3)$$

式中: $a, b$ 为常数.

## 4 结论

1) 以 4.0 和 3.5 m 分别作为 7<sub>2</sub>和 8<sub>2</sub>煤层的有效影响半径能保障煤层安全开采,实践证明了压降法可为穿层钻孔间距布置提供理论依据.

2) 在煤层赋存条件一定的情况下,穿层钻孔有效影响半径与抽采时间存在幂函数关系,利用其关系可有效预测煤层瓦斯抽采效率,减少煤矿开采过程中人力与物力等投入成本.

### 参考文献:

- [1] 武强,涂坤,曾一凡,等.打造我国主体能源(煤炭)升级版面临的主要问题与对策探讨[J].煤炭学报,2019,44(6):1625-1636.
- [2] 唐永志.淮南矿区煤炭深部开采技术问题与对策[J].煤炭科学技术,2017,45(8):19-24.
- [3] 胡胜勇,周福宝,夏同强,等.超前顶板巷卸压消突技术的试验及应用研究[J].中国煤炭,2010,36(3):90-92.
- [4] 郭勇飞.基于钻孔瓦斯抽采流量方法的煤层瓦斯抽采半径研究[J].能源与节能,2020(9):13-15.
- [5] 林柏泉,赵洋,刘厅,等.水力割缝煤体多场耦合响应规律研究[J].西安科技大学学报,2017,37(5):662-667.
- [6] 吴有增,孟磊,姜耀东.考虑扩散-渗流作用的瓦斯流动模型及抽采半径确定[J].中国矿业,2015,24(1):100-103.
- [7] 杨宏民,夏会辉,陈立伟.本煤层顺层钻孔抽放影响半径的测定研究[J].煤,2011,20(3):1-2.
- [8] 肖乔,孙臣,张宪尚,等.四川某矿 K1 煤层排放钻孔有效影响半径测定技术研究[J].煤炭技术,2020,39(6):110-112.
- [9] 曹佐勇,王恩元,何学秋,等.近距离突出煤层群水力冲孔卸压瓦斯抽采及效果评价研究[J/OL].采矿与安全工程学报:1-9[2021-01-06]. <https://doi.org/10.13545/j.cnki.jmse.2020.0206>.
- [10] 刘军,李宁,吴锦旗,等.不同孔径排放钻孔有效影响半径的时空响应[J].中国安全生产科学技术,2019,15(8):82-87.
- [11] 徐宁,程仁辉.余吾煤业瓦斯抽采钻孔合理间距研究[J].煤炭科技,2020,41(5):116-120.
- [12] 杨宏民,刘冠鹏,刘军.穿层钻孔与顺层钻孔抽采半径差异性研究[J].河南理工大学学报(自然科学版),2016,35(2):149-155.