

不同倾角底板穿层钻孔瓦斯抽采流量衰减规律研究

吕有厂^{1,2},朱传杰³

(1. 中国平煤神马能源化工集团有限责任公司 炼焦煤资源开发及综合利用国家重点实验室,河南 平顶山 467099;
2. 中国平煤神马能源化工集团有限责任公司 能源化工研究院,河南 平顶山 467099;3. 中国矿业大学 安全工程学院,江苏 徐州 221116)

摘要:为了研究钻孔倾角对瓦斯抽采流量演化规律的影响,采用现场试验的方法,根据平煤十二矿底板穿层钻孔布置情况,研究了 17 种不同倾角下抽采钻孔周围的残余瓦斯压力分布情况,并现场实测了瓦斯抽采流量。研究发现,钻孔抽采流量呈 3 种演化规律,即负指数衰减、正指数衰减及先增大后呈负指数衰减;此外,靠近两侧倾角较大的钻孔的瓦斯抽采流量较高,而且标高较低的掩护掘进穿层钻孔的瓦斯抽采流量要高于治理下部穿层钻孔的瓦斯抽采纯量。

关键词:穿层钻孔;瓦斯抽采;钻孔倾角;瓦斯灾害

中图分类号:TD712 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2017)07-0074-06

Study on attenuation law of gas drainage flow in borehole passed through seam with different inclined floor

Lyu Youchang^{1,2}, Zhu Chuanjie³

(1. State Key Lab of Coking Coal Resource Development and Comprehensive Utilization, China Pingmei Shenma Energy & Chemical Group Co., Ltd., Pingdingshan 467099, China; 2. Research Institute of Energy and Chemical Industry, China Pingmei Shenma Energy & Chemical Group Co., Ltd., Pingdingshan 467099, China; 3. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In order to study the borehole inclination affected to the evolution law of the gas drainage flow, according to the borehole layout passed through the seam along the floor in Pingmei No. 12 Mine, a site test method was applied to study the residual gas pressure distribution conditions around the gas drainage boreholes under 17 different inclinations and the gas drainage flow was measured at the site. The study showed that there were three evolution laws occurred in the gas drainage flow of the boreholes, which was negative index attenuation, positive index attenuation and negative index attenuation with increasing first and then decreasing. In addition, the gas drainage flow of the boreholes near two high inclination was high and the gas flow of the boreholes passed through the driving seam with a low elevation was higher than the gas drainage pure volume from the boreholes passed through underneath strata.

Key words: borehole passed through seam; gas drainage; borehole inclination; gas hazard

0 引 言

煤层瓦斯抽采是治理煤矿瓦斯灾害的根本性措施,其中底板穿层抽采作为区域性瓦斯防治措施,常被用于煤巷掘进条带预抽或工作面网格抽采^[1-4]。底板穿层钻孔的布置与本煤矿工作面顺层抽采钻孔有很大不同,每个钻孔的方位角、倾角和见煤长度都不同^[5]。特别是钻孔倾角的变化会使得每个钻孔

所受的应力有很大不同,而应力又会对瓦斯解吸、渗流和运移产生非常大的影响,最终导致各个钻孔的瓦斯抽采流量(纯量)有很大差异,从而造成局部瓦斯抽采不均^[6-8]。因此,研究不同倾角钻孔的瓦斯抽采流量衰减规律,对指导底板穿层瓦斯抽采钻孔的布置具有指导意义。

以往学者对钻孔瓦斯抽采流量的自然排放规律进行了较多的研究,发现其基本符合负指数衰减趋

收稿日期:2017-03-08;责任编辑:王晓珍 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2017.07.014

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51474211);中国博士后基金资助项目(155200)

作者简介:吕有厂(1964—),男,河南淮阳人,教授级高级工程师,博士。E-mail:anq021@126.com

引用格式:吕有厂,朱传杰.不同倾角底板穿层钻孔瓦斯抽采流量衰减规律研究[J].煤炭科学技术,2017,45(7):74-79.

Lyu Youchang, Zhu Chuanjie. Study on attenuation law of gas drainage flow in borehole passed through seam with different inclined floor[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(7): 74-79.

势^[9]。但实际上钻孔在抽采负压作用下的衰减规律研究更为重要,它直接决定了煤层的实际瓦斯抽采量,无论实验室或现场实际抽采都表明,其同样服从负指数函数分布规律^[10]。此外,瓦斯抽采流量还对应力的影响非常敏感,包括地应力和采动应力,尹光志等^[11]研究发现瓦斯抽采流量随煤层支承压力的增加呈负指数规律衰减。除了应力外,煤层的瓦斯抽采量还由煤层的原始瓦斯压力、抽采负压以及煤层渗透性决定^[12]。王兆丰等^[13]通过对伏岩煤业瓦斯抽采流量的现场实测,并结合理论分析研究发现,造成瓦斯抽采量衰减的主要原因为钻孔封孔漏气及煤层瓦斯压力的减小,当钻孔封孔质量不好时,在抽采过程中混合抽采量几乎不随时间延长而衰减,而是维持在某一固定值上下波动。瓦斯抽采流量还与钻孔影响半径密切相关,甚至有研究人员提出采用瓦斯抽采流量法确定本煤层钻孔有效影响半径^[14-15]。

以上研究实际上都是从煤层的自身性质或抽采参数角度出发,正如前述,瓦斯钻孔的设计参数同样重要,笔者着重研究底板穿层钻孔抽采中,钻孔倾角对瓦斯抽采衰减规律的影响,通过现场监测瓦斯抽采流量,分析不同倾角条件下钻孔的抽采流量演化规律的差异,以期为煤矿底板穿层瓦斯抽采钻孔的合理设计提供参考。

1 试验地点及钻孔布置情况

1.1 试验地点

十二矿已₁₅-31020工作面位于矿井西翼三水平中部,东邻北山工业广场保护煤柱,南邻已₁₅-17220工作面,西邻十矿和十二矿边界线,北部为未开采区域。设计工作面倾斜长度213 m,设计走向长度910

m,可采走向长度735 m,煤厚3.3 m,煤层密度为1.31 t/m³,煤层倾角平均12°,可采储量67.7万t。为治理已₁₅-31020工作面下部区域及掩护已₁₅-31020进风巷掘进,设计在西翼第四瓦斯治理巷向工作面上部煤层施工穿层抽采钻孔。西翼第四瓦斯治理巷设计总长783 m,西翼第四瓦斯治理巷采用锚网索支护,巷道规格:净宽×净高=4.4 m×3.2 m。已₁₅与已₁₆₋₁₇煤层层间距平均为5.0 m左右。

1.2 钻孔布置

目前,十二矿从西翼第四瓦斯治理巷开口向里35 m(终采线向外20 m)处开始,每6 m设计1组钻孔,每组18个孔,平均孔深39 m,总孔深702 m,孔径89 mm。钻孔控制范围为已₁₅-31020进风巷下帮轮廓线外15 m至已₁₅-31020进风巷上帮向工作面方向64 m,共79 m,孔深以见已₁₅煤层顶板0.5 m为准。

首先施工掩护已₁₅-31020进风巷掘进钻孔,终孔控制范围为已₁₅-31020进风巷两帮轮廓线外各15 m,掩护掘进穿层钻孔共施工9个(10—18号)平均孔深35 m,总孔深315 m。已₁₅-31020进风巷掩护钻孔施工500 m后再施工控制工作面帮钻孔,采面帮钻孔施工顺序与掩护已₁₅-31020进风巷掘进钻孔相同。此外,施工治理下部穿层钻孔9个(1—9号),用于治理工作面瓦斯。

由于本次试验主要考察煤层钻孔在未采取强化增透措施下的原始抽采情况,因此,考察的18个钻孔不再采取水力冲孔或其他强化抽采措施。试验钻孔的设计参数与现有钻孔保持一致。西翼第四瓦斯治理巷治理已₁₅-31020工作面下部穿层预抽钻孔的整体布置情况如图1所示,钻孔设计参数见表1和表2。

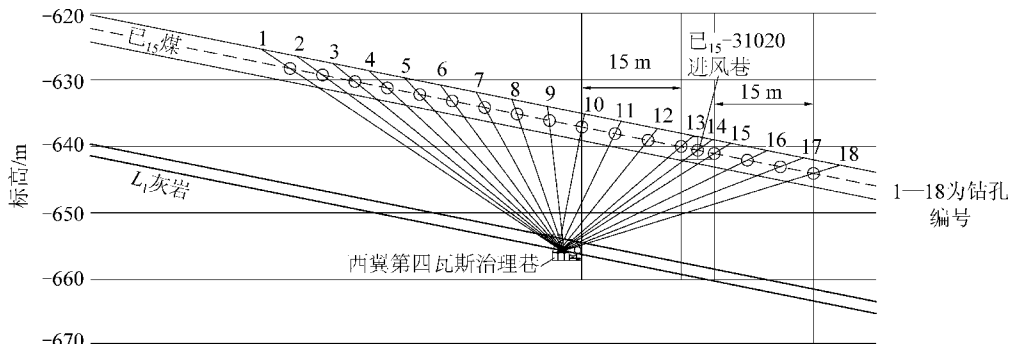


图1 西翼第四瓦斯治理巷治理已₁₅-31020工作面下部穿层预抽钻孔布置

Fig. 1 Layout of lower pre-drainage cross boreholes for J₁₅-31020 working face at west No. 4 gas control roadway

表1 西翼第四瓦斯治理巷治理下部穿层钻孔参数

Table 1 Parameters of cross boreholes for lower gas control at west No. 4 gas control roadway

孔号	水平角/ (°)	倾角/ (°)	钻孔直径/ mm	方位角/ (°)	预计孔深/ m
1	0	146	89	214.5	53
2	0	144	89	214.5	48
3	0	141	89	214.5	43
4	0	137	89	214.5	39
5	0	133	89	214.5	35
6	0	127	89	214.5	30
7	0	119	89	214.5	28
8	0	109	89	214.5	25
9	0	96	89	214.5	21

表2 西翼第四瓦斯治理巷掩护掘进穿层钻孔参数

Table 2 Parameters of cross boreholes for dig covering at west No. 4 gas control roadway

孔号	水平角/ (°)	倾角/ (°)	钻孔直径/ mm	方位角/ (°)	预计孔深/ m
10	0	87	89	34.5	20
11	0	74	89	34.5	20
12	0	61	89	34.5	22
13	0	50	89	34.5	23
14	0	41	89	34.5	25
15	0	33	89	34.5	29
16	0	28	89	34.5	33
17	0	23	89	34.5	36
18	0	19	89	34.5	40

2 瓦斯流量测试方法

现场试验采用孔板流量计测定各个瓦斯抽采钻孔的瓦斯抽采流量, LQJ-40型孔板流量计和U型压差计如图2所示。LQJ系列孔板流量计在设计 and 生产中增加了旁路, 并在旁路上安装了阀门。正常使用时, 阀门是常开的。在需要测量时关闭阀门, 使介质完全通过孔板以达到测量目的。测试周期为从打钻封孔联网抽采开始后80天。

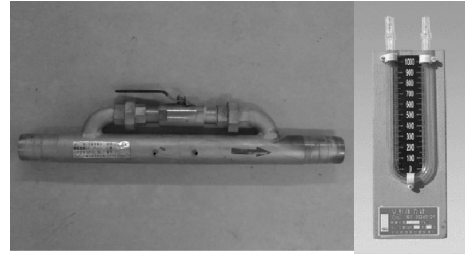


图2 孔板流量计及压差计实物

Fig. 2 Orifice meter and differential manometer

在同一管路截面条件下, 气体的流量越大, 产生的压差也越大, 因而可以通过测量压差来确定气体流量。混合气体流量 q 由下式计算^[16]:

$$q = 0.001kb\delta_p\delta_T\sqrt{10\Delta h}$$

式中: k 为孔板流量计系数, $k = 189.76a_0mD^2$, a_0 为标准孔板流量系数, m 为孔板截面与管道截面的面积比; D 为抽风管路直径, m; b 为瓦斯浓度校正系数, $b = 1/\sqrt{1 - 0.00446x}$, x 为混合气体中瓦斯体积分数, %; δ_p 为压力校正系数, $\delta_p = \sqrt{0.133P_T/760}$, P_T 为孔板上风端测得的绝对压力, MPa; δ_T 为温度校正系数, $\delta_T = \sqrt{293/(273 + T)}$, T 为测试时的环境温度, °C; Δh 为孔板两侧的静压差, MPa, 由现场实际测定获取。

因此, 抽采的纯瓦斯流量 q_w , 采用下式计算:

$$q_w = xq$$

此外, 孔板流量计在安装时要注意孔板与瓦斯的同心度, 不能装偏。在钻场内安装流量计时, 应保证孔板前后各1 m段应平直, 不要有阀门和变径管。在抽采巷瓦斯管末端安装流量计应保证孔板前后各5 m段应平直, 不要有阀门和变径管。

3 现场实测瓦斯抽采流量演化规律

进行开采层瓦斯抽采时, 一般都进行钻孔瓦斯流量的测定和考察, 包括自然涌出量和抽采量。实测结果表明, 煤层钻孔瓦斯涌出量一般呈现随时间的延长而衰减的变化规律, 基本符合负指数方程^[17]:

$$q_t = q_0e^{-\alpha t}$$

式中: q_0 为钻孔的初始瓦斯流量; q_t 为排放瓦斯时间为 t 时的钻孔瓦斯流量, m^3/\min ; α 为钻孔瓦斯流量衰减系数, d^{-1} ; t 为瓦斯排放时间, d。

以往的研究还发现一些钻孔的瓦斯流量的变化量呈现另外的规律, 即初始流量较小, 随着时间的延长, 逐渐增加至最大值, 然后再衰减, 上升的速度也

不同。

图3和图4分别为现场实测的西翼第四瓦斯治理巷治理下部和掩护掘进穿层钻孔瓦斯抽采纯量,共18组(其中第12个钻孔未能检测到瓦斯流量,实际只有17个钻孔数据)。通过观测可以发现,瓦斯抽采流量分为以下3种形式:

1)抽采流量呈指数衰减趋势(钻孔1、3、4、6、7、11、15、18),指数函数的幂指数呈负值,而且各个钻

孔的衰减系数波动较大,并无明显规律性。

2)抽采流量虽然也呈指数衰减趋势(钻孔13、14、16、17),但是衰减的速率有很大不同,其指数函数的幂指数为正值。

3)抽采流量呈先增大(联网抽采至第22—25天),然后呈指数衰减趋势(钻孔2、5、8、9、10),尽管以往其他研究人员观测到类似的规律,但是通常初始增大的时间很短,本次增大周期达到了20多天。

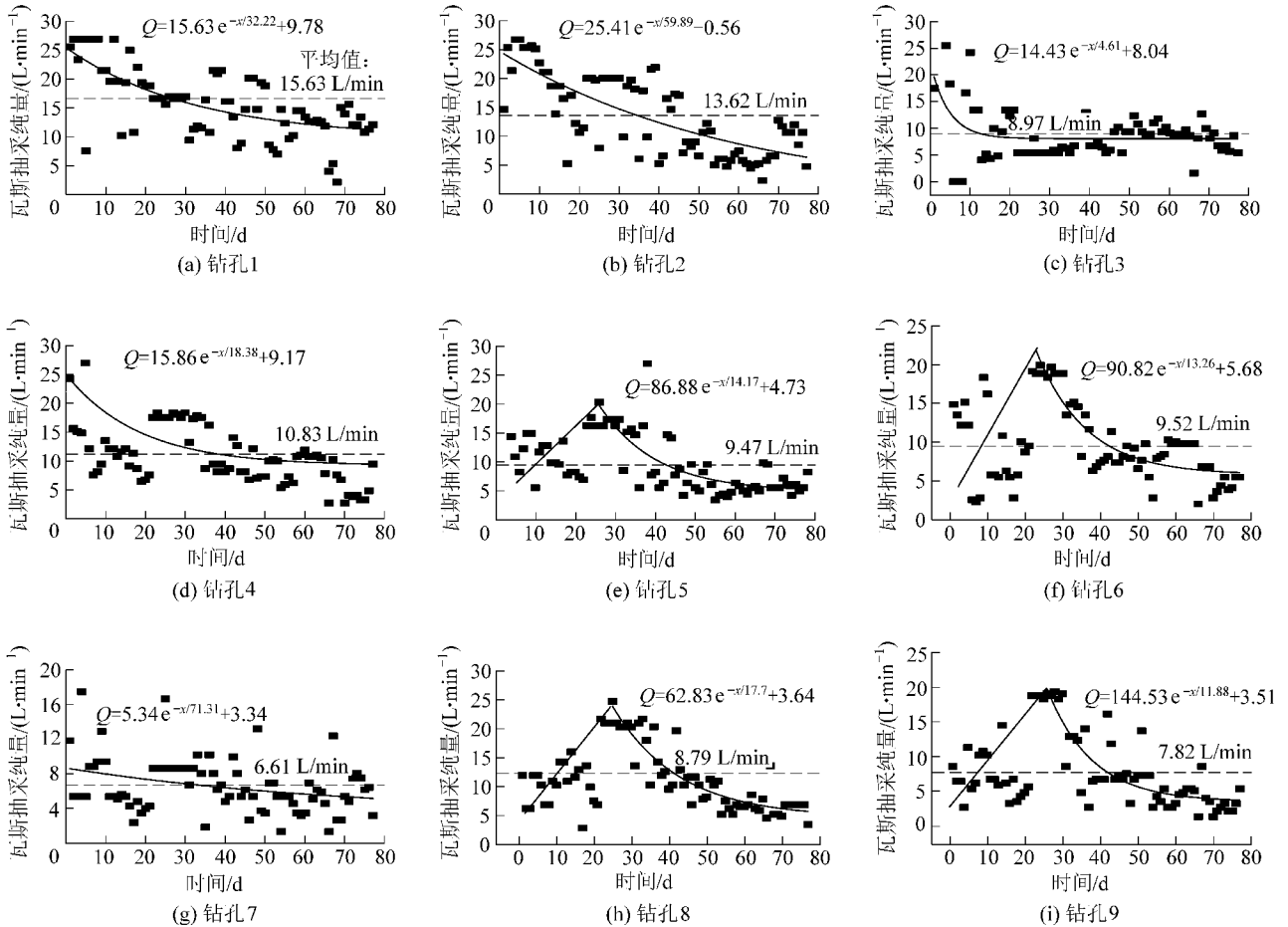


图3 西翼第四瓦斯治理巷治理下部穿层钻孔瓦斯抽采流量

Fig. 3 Gas drainage flow rate of cross boreholes for lower gas control at west No. 4 gas control roadway

图5对比了西翼第四瓦斯治理巷治理下部穿层钻孔和掩护掘进穿层钻孔的平均瓦斯抽采流量,总体上呈现以下规律:

1)靠近两侧的钻孔的瓦斯抽采流量较高,特别是1号和18号钻孔瓦斯抽采流量分别为15.63、14.56 L/min,其中靠近中间的钻孔7、8、9、10的抽采流量相对较低。这主要是因为两侧

钻孔的有效抽采半径大,相应的现场实测的瓦斯抽采流量也较大。

2)掩护掘进穿层钻孔的瓦斯抽采流量要高于治理下部穿层钻孔的瓦斯抽采纯量,大部分掩护掘进穿层钻孔的平均瓦斯抽采流量都在10 L/min以上,只有10号钻孔的平均瓦斯抽采流量为7.72 L/min。

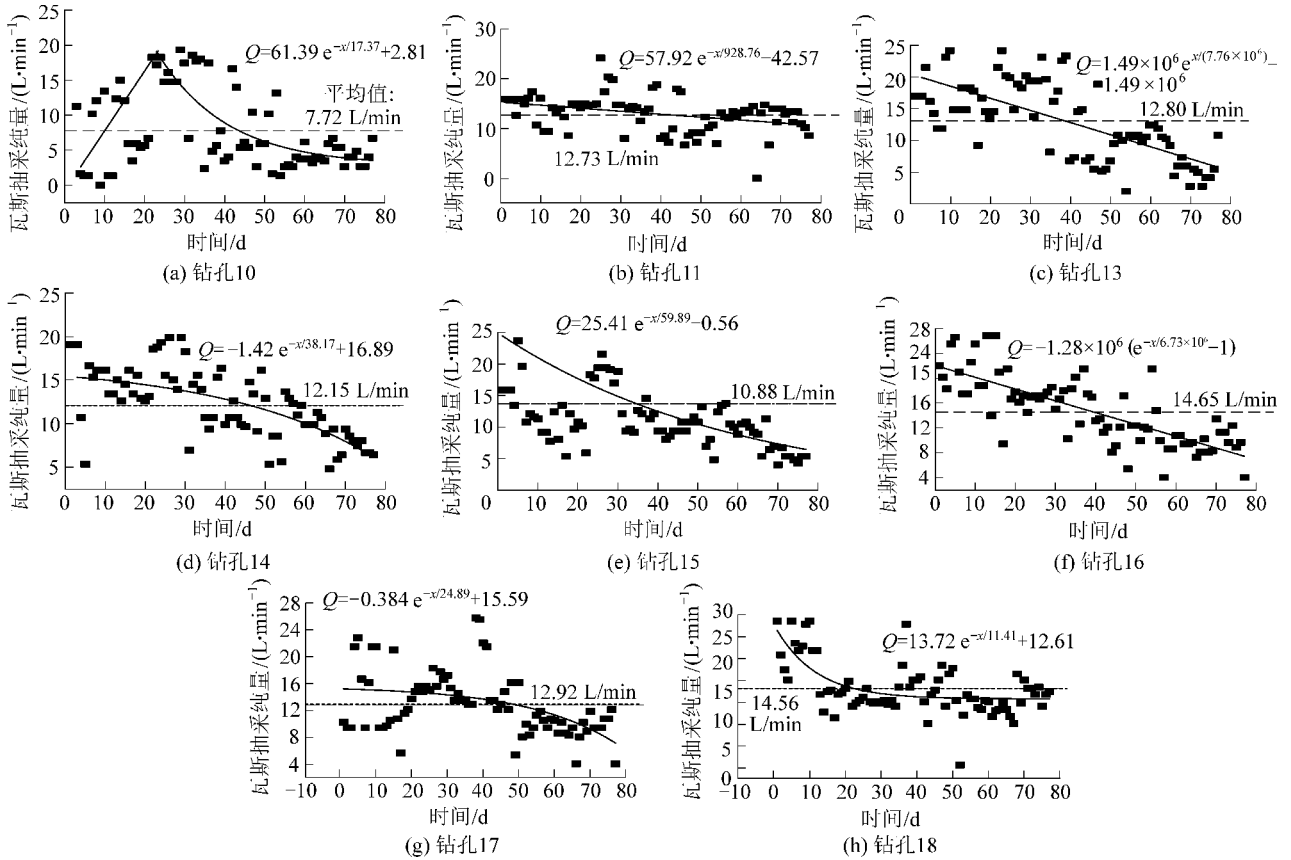


图4 西翼第四瓦斯治理巷掩护掘进穿层钻孔瓦斯抽采流量

Fig. 4 Gas drainage flow rate of cross boreholes for dig covering at west No. 4 gas control roadway

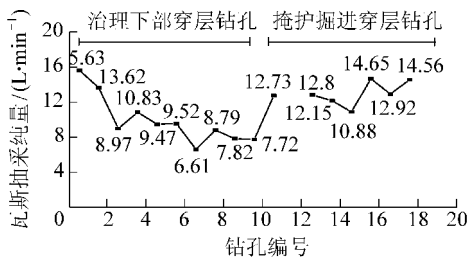


图5 各个钻孔的平均瓦斯抽采纯量

Fig. 5 Average gas drainage flow rate of different cross boreholes

4 结 论

1) 平煤十二矿底板穿层钻孔瓦斯抽采钻孔流量呈3种演化规律,即抽采流量呈负指数衰减趋势,各个钻孔的衰减系数波动较大,并无明显规律性;抽采流量虽然也呈正指数衰减趋势;抽采流量呈先增大(联网抽采至第22—25天),然后呈指数衰减趋势。

2) 在平煤十二矿底板穿层抽采钻孔中,靠近两

侧倾角较大的钻孔的瓦斯抽采流量较高,而且标高较低的掩护掘进穿层钻孔的瓦斯抽采流量要高于治理下部穿层钻孔的瓦斯抽采纯量。

参考文献 (References):

- [1] 周 勇.煤层群底板穿层钻孔瓦斯抽采半径考察研究[J].矿业安全与环保,2016,43(2): 102-105.
Zhou Yong. Research on gas drainage radius of crossing boreholes in floor of coal seam group [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2016, 43(2): 102-105.
- [2] 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.
- [3] 王中华.深部底板穿层钻孔抽采半径优化[J].煤炭技术,2015, 34(10): 144-147.
Wang Zhonghua. Optimization on drainage radius of deep bottom borehole [J]. Coal Technology, 2015, 34(10): 144-147.
- [4] 窦怡飞.张集煤矿6煤底板穿层钻孔预抽瓦斯技术研究[D].淮南:安徽理工大学,2014.

- [5] 李波,孙东辉,张路路.煤矿顺层钻孔瓦斯抽采合理布孔间距研究[J].煤炭科学技术,2016,44(8):121-126,155.
Li Bo, Sun Donghui, Zhang Lulu. Study on rational space between gas drainage boreholes passing through seam in coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(8): 121-126, 155.
- [6] 董贺,王佰顺,李春亭.穿层预抽钻孔倾角与煤层气抽采效果关系的研究[J].中国安全生产科学技术,2015,11(2):99-104.
Dong He, Wang Baishun, Li Chunting. Study on relationship between angle of penetration boreholes for predrainage in coal seam and gas drainage effect[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11(2): 99-104.
- [7] 肖福坤,樊慧强,刘刚,等.不同瓦斯钻孔倾角影响下煤岩单轴抗压强度研究[J].地下空间与工程学报,2013,9(S2):1822-1826.
Xiao Fukun, Fan Huiqiang, Liu Gang, et al. Research on uniaxial compressive strength of coal and rock under the influence of different degassing hole's angle[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2013, 9(S2): 1822-1826.
- [8] 张峰瑞,肖福坤,申志亮,等.单轴压缩状态下瓦斯抽采钻孔破裂规律的实验研究[J].黑龙江科技大学学报,2016,26(1):17-20.
Zhang Fengrui, Xiao Fukun, Shen Zhiliang, et al. Experimental research on law behind fracture of coal with gas drainage borehole under uniaxial compression[J]. Journal of Heilongjiang University of Science & Technology, 2016, 26(1): 17-20.
- [9] 刘军.预抽钻孔负压沿孔长变化特性及对瓦斯抽采效果影响研究[D].焦作:河南理工大学,2014.
- [10] 袁梅,许江,李波波,等.不同抽采条件煤体瓦斯流量物理模拟试验[J].煤炭技术,2016,35(6):127-129.
Yuan Mei, Xu Jiang, Li Bobo, et al. Physical simulation experiment of gas flow in coal body under different drainage conditions[J]. Coal Technology, 2016, 35(6): 127-129.
- [11] 尹光志,何兵,李铭辉,等.采动过程中瓦斯抽采流量与煤层支承压力的相关性[J].煤炭学报,2015,40(4):736-741.
Yin Guangzhi, He Bing, Li Minghui, et al. Coupling mechanism between flow rate of gas drainage and coal seam abutment stress under mining conditions[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(4): 736-741.
- [12] 周福宝,夏同强,刘应科,等.地面钻井抽采卸压煤层及采空区瓦斯的流量计算模型[J].煤炭学报,2010,35(10):1638-1643.
Zhou Fubao, Xia Tongqiang, Liu Yingke, et al. A calculation model for gas flow rates in surfaces boreholes extracting gas from pressure-relieved seams and gobbs[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(10): 1638-1643.
- [13] 王兆丰,轩朴实,杨宏民,等.伏岩煤层瓦斯抽采钻孔流量衰减规律及原因分析[J].煤矿安全,2013,44(12):160-162.
Wang Zhaofeng, Xuan Pushi, Yang Hongmin, et al. Gas extraction drilling flow attenuation laws and reasons analysis in Fuyan coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44(12): 160-162.
- [14] 孙玉峰,许卫国,龚巍峥.基于瓦斯流量法的瓦斯抽采半径确定方法[J].煤矿机械,2014,35(8):137-139.
Sun Yufeng, Xu Weiguo, Gong Weizheng. Determination of gas drainage radius based on gas flow method[J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(8): 137-139.
- [15] 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.
- [16] 林柏泉,张建国.矿井瓦斯抽采理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007.
- [17] 林柏泉.矿井瓦斯防治理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2010.
- [18] 吴拥政.回采工作面双巷布置留巷定向水力压裂卸压机理研究及应用[D].北京:煤炭科学研究总院,2016.
- [19] 冯彦军,陈金宇,司林坡.综放工作面水力预裂初次放顶技术及应用[J].煤炭技术,2017,36(3):30-32.
Feng Yanjun, Chen Jinyu, Si Linpo. Hydraulic fracturing in first caving of fully mechanized caving face[J]. Coal Technology, 2017, 36(3): 30-32.
- [20] 富向.井下点式水力压裂增透技术研究[J].煤炭学报,2011,36(8):1318-1321.
Fu Xiang. Study of underground point hydraulic fracturing increased permeability technology[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(8): 1317-1321.
- [17] Fan J, Dou L, He H, et al. Directional hydraulic fracturing to control hard-roof rockburst in coal mines[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2012, 22(2): 177-181.

(上接第26页)

Xia Binwei, Yang Chong, Lu Yiyu, et al. Effect of faults on hydraulic fracture propagation in coal seam[J]. Journal of China University of Petroleum; Natural Science Edition, 2016, 40(1): 92-99.

- [16] 于斌,段宏飞.特厚煤层高强度综放开采水力压裂顶板控制技术[J].岩石力学与工程学报,2014,33(4):778-785.
Yu Bin, Duan Hongfei. Study of roof control by hydraulic fracturing in full-mechanized caving mining with high strength in extra-thick coal layer[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(4): 778-785.

- [17] Fan J, Dou L, He H, et al. Directional hydraulic fracturing to control hard-roof rockburst in coal mines[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2012, 22(2): 177-181.