

\* 1

## 定向拦截钻孔施工技术研究及应用

李振福

(山西省晋煤集团 寺河矿,山西 晋城 048205)

**摘要:**定向钻孔孔内失稳严重影响着其抽放效率,会导致覆盖区域内瓦斯抽放不彻底、煤体残余瓦斯含量较高的问题出现,在巷道掘进过程中,煤体冒落导致大量瓦斯瞬间释放,会造成回风流瓦斯浓度升高,存在重大安全隐患。针对这一问题提出了定向拦截钻孔施工方案,即避开失稳区域重新施工定向钻孔对原有钻孔形成有效拦截,为瓦斯产出创造新的通道。在寺河矿东井区5310工作面设计了3种不同方案进行了试验,同时基于覆盖煤体瓦斯抽放效率、巷道风排瓦斯量等指标对施工方案进行了优选。结果表明,分支居于不同层位的定向拦截钻孔覆盖区域煤体瓦斯抽放效率增幅最大,达到12.29%;同时巷道掘进过程中风排瓦斯量降幅最大,达到20.6%,证实了这一方案为最优方案。

**关键词:**钻孔失稳;定向拦截钻孔;抽放效率;风排瓦斯量

中图分类号:TD82

文献标识码:A

## Directional Interception Drilling Construction Technology and Application

LI Zhenfu

(Sihe Mine, Jincheng Coal Group, Jincheng 048205, China)

**Abstract:** The instability in directional drilling seriously affects the drainage efficiency, resulting in incomplete gas drainage and high residual gas content in the coverage area. In the tunneling process, there is a major safety hazard of instantaneous release of a large amount of gas and increasing gas concentration in the return airflow caused by coal body collapse. A directional interception drilling construction scheme was proposed, which could avoid the unstable area and reconstruct. The effective drilling is formed by the directional drilling to create a new channel for the gas. In the 5310 working face of eastern area of Sihe Mine, three different schemes were tested and were optimized based on some indicators, including gas drainage efficiency and the gas ventilation volume. The results show that, the gas drainage efficiency increases most to 12.29% in the coal body covered with boreholes with the directional interception at different levels; meanwhile, during the excavation process, the gas ventilation volume decreases most to 20.6%, which confirms the scheme optimal.

**Key words:** drilling instability; directional interception drilling; drainage efficiency; gas ventilation volume

寺河矿作为高瓦斯高突出矿井,其瓦斯一直是制约其生产衔接、产能释放的重要因素。经过十几

年的积累,矿井在瓦斯治理工艺、技术、装备等方面取得了长足发展,瓦斯治理手段日益升级、瓦斯治理

\* 收稿日期:2018-08-30

作者简介:李振福(1980—),男,河南商丘人,硕士,工程师,从事矿井通风及瓦斯抽放的技术管理工作。

经验日趋丰富,由最初的国产钻孔局部覆盖为主逐步发展为如今的以定向钻孔区域覆盖为主、国产钻孔局部补充为辅的瓦斯治理模式,瓦斯抽采总量和抽放效率连年攀升,瓦斯治理成效显著。定向钻机的大规模推广应用使得定向长钻孔的施工<sup>[1-3]</sup>、大面积的煤层瓦斯预抽成为可能,但在实际生产过程中由于定向钻孔施工后煤体应力状态发生变化,孔内失稳<sup>[4-7]</sup>现象频现,这就会造成钻孔的抽放效率大打折扣,导致煤体瓦斯残余量较高,在掘进过程中煤体冒落会伴随大量的瓦斯瞬间释放,极易造成回风流瓦斯浓度升高甚至瓦斯超限事故,严重威胁着矿井的安全生产。为了最大程度地避免出现上述问题,结合生产实际做出了定向拦截钻孔施工方案,即避开失稳区域重新施工钻孔对原有钻孔覆盖区域瓦斯进行拦截,相当于为瓦斯产出创造了新通道。拦截钻孔的施工能够延长覆盖区域的抽放时间,提高瓦斯抽采量及瓦斯抽放效率,进一步降低煤体瓦斯含量,降低掘进过程中的风排瓦斯量<sup>[8-10]</sup>,为队组创造安全的作业环境。

### 1 现有瓦斯抽采模式下定向钻孔布孔方式及原则

目前寺河矿定向钻孔主要用于本煤层的超前区域覆盖或在底板岩巷施工穿层钻孔对上覆邻近煤层进行覆盖,本煤层超前区域覆盖主要是在顺槽巷道施工定向钻孔覆盖邻近综采工作面,现以东井区

5310工作面为例来说明其布孔方式。作为5309工作面的附属巷道,53094巷随着5309工作面的圈定而到位且先后服务5309、5310两个工作面,由于其紧邻5310工作面,因此在巷道内布置钻场施工本煤层定向钻孔对其进行覆盖。相邻两个钻场之间的距离要根据钻孔覆盖情况来确定,以不留空白带为宜;每个钻场的钻孔个数以及单个钻孔的分支个数根据钻孔实际覆盖能力来确定,原则上每条分支孔间距以15m左右为宜。对于孔深则要求覆盖到工作面另一侧远端巷道即53102巷轮廓线外30m~50m(上行钻孔30m,下行钻孔50m)。对于布孔层位来说,由于目前寺河矿主采的3#煤层厚度约为6m且赋存稳定,为了使钻孔做到全断面覆盖,原则上要求主孔居于煤层中部并间隔50m进行探顶底作业,在达到全断面覆盖要求的同时兼顾地质构造探测、煤层走向摸排的功能。5310工作面部分定向钻孔布置(钻孔实际轨迹)平面图,见图1,图中“○”代表探顶位置,“△”代表探底位置。

定向钻孔主孔沿煤层中上部布置并按设计施工探顶探底分支,以53094巷17#横川千米钻场4#孔为例来说明其钻孔剖面轨迹。53094巷17#横川千米钻场4#孔设计4条分支,设计孔深429m,实际施工4条分支且达到设计深度429m,其钻孔布置剖面图见图2。

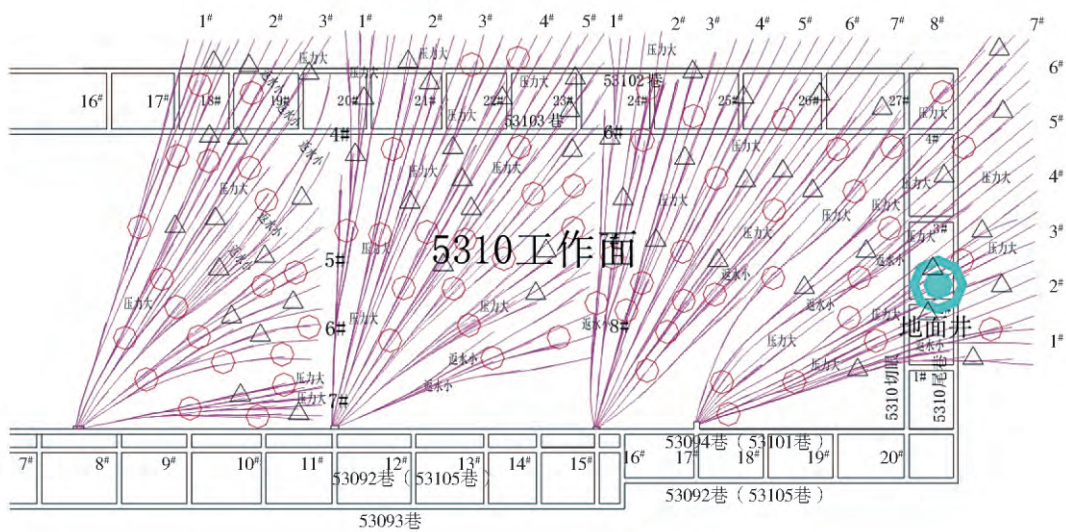


图1 5310工作面定向钻孔布置平面图  
Fig.1 Directional drilling boreholes layout in 5310 working face

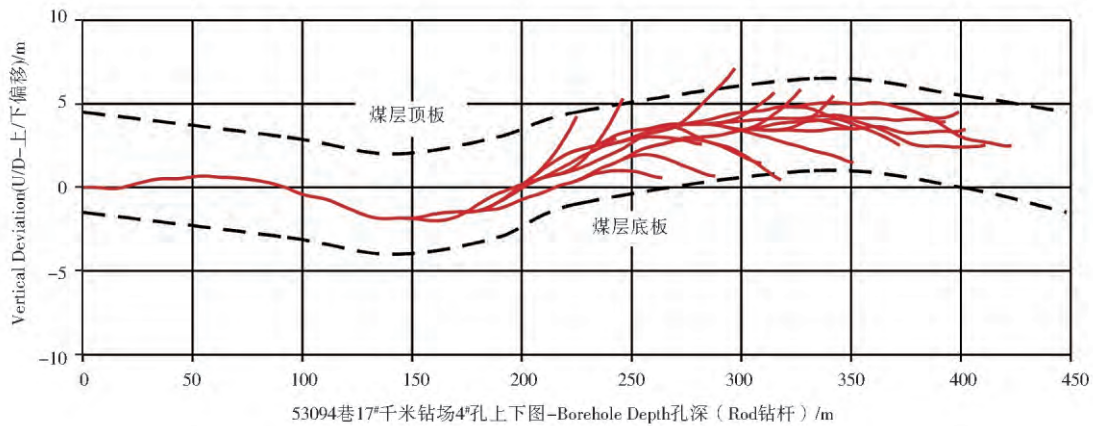


图 2 53094 巷 17# 横川千米钻场 4# 钻孔剖面图

Fig. 2 Profile map of No. 4 drilling boreholes in Yokogawa Kilometers drilling area in 53094 roadway

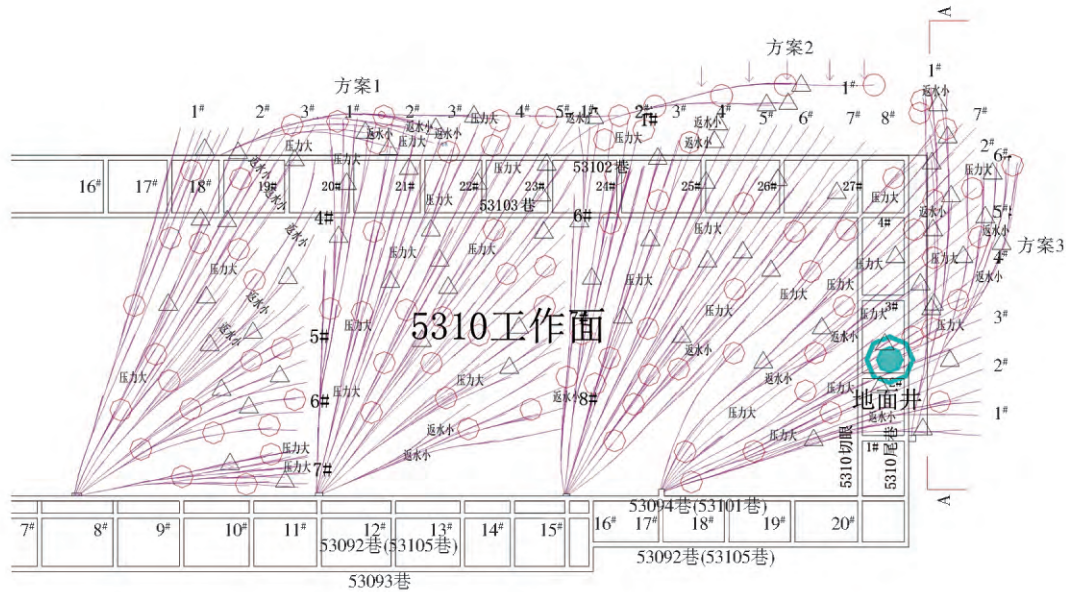


图 3 定向拦截钻孔布置平面图

Fig. 3 Directional interception drilling boreholes layout

## 2 拦截钻孔施工方案及布孔原则

### 2.1 拦截钻孔施工方案

为避免定向钻孔孔内失稳导致钻孔覆盖区域内瓦斯抽放不彻底、抽放效率低下、煤体瓦斯残余含量高、后期掘进过程中风排瓦斯量大等问题的出现,设计了 3 种定向拦截钻孔施工方案并在寺河矿东井区 5310 工作面不同区域进行了施工。方案一:拦截钻孔覆盖原有钻孔末端区域,即从平面上看两钻孔要形成交叉,剖面上要求拦截钻孔居于煤层中部

(53102 巷 18# 千米钻场);方案二:拦截钻孔覆盖在原有钻孔末端以外 5 m~10 m 区域,对覆盖区域外部瓦斯进行拦截,即从平面上看两钻孔相离,剖面上要求拦截钻孔居于煤层中部(53102 巷 23# 千米钻场);方案三:拦截钻孔覆盖原有钻孔末端区域,即从平面上要求两钻孔形成交叉,剖面上要求拦截钻孔分支分别居于煤层上、下不同层位(5310 尾巷 1# 千米钻场)。定向拦截钻孔平面布置示意图如图 3 所示,不同布孔方案的钻孔剖面示意图见图 4、图 5。



图4 定向拦截钻孔剖面示意图(方案1、2)  
Fig. 4 Profile map of directional interception drilling boreholes (plan 1 and 2)



图5 定向拦截钻孔剖面示意图(方案3)  
Fig. 5 Profile map of directional interception drilling boreholes (plan 3)

2.2 拦截钻孔布孔原则

要对原有钻孔覆盖区域瓦斯形成有效拦截,就方案1与方案3来说,要求拦截钻孔与被拦截钻孔在煤体内部形成立体交叉即钻孔直接连通或两者通过裂隙连通,也就是说在平面图上看两钻孔要形成

交叉,在经过交叉点连线的剖面上同一位置处两钻孔要等高或高度相近。就方案2来说,剖面上钻孔要尽可能的覆盖整个煤层断面,以便最大限度的拦截外部瓦斯,阻止其进入掘进区域。

现以5310尾巷1#定向拦截钻孔(方案三)为例来详细说明其布孔原则,定向拦截钻孔在布孔过程中要避免开巷道掘进形成的动压区,因此1#孔第一条分支(最左侧分支)布置在5310尾巷轮廓线外20m处。在平面图(图3)上看其与原有钻孔将形成交叉且交叉点连线基本呈一直线,沿交差点做剖面(A-A剖面)来分析两钻孔高度的位置关系。在A-A剖面图上53094巷17#横川千米钻场定向钻孔将以点状分布,定向拦截钻孔的最佳设计及施工方案即是钻孔高度要尽可能的靠近绝大多数点,只有这样才能尽可能的确保两钻孔直接连通或裂隙连通。各钻孔分支在该剖面上的投影以及该长度所对应的钻孔高度如表1所示(所有数据转换为同一基准点)。

表1 各分支在A-A剖面上投影长度及对应高度

Table 1 Projection length and height of each branch on A-A profile

序号	投影	对应高度/m	序号	投影	对应高度/m	序号	投影	对应高度/m
1	84	3.01	13	131	4.12	25	229	5.14
2	84	1.84	14	132	5.06	26	235	4.05
3	85	4.02	15	148	5.13	27	247	5.57
4	98	4.85	16	150	3.84	28	249	5.07
5	100	4.17	17	162	3.68	29	249	3.57
6	108	4.21	18	162	2.78	30	263	4.97
7	108	4.11	19	176	5.54	31	281	5.1
8	109	4.03	20	185	2.97	32	282	7.21
9	110	5.21	21	191	4.42	33	287	3.54
10	119	4.06	22	192	3.85	34	302	6.2
11	120	2.64	23	205	3.26	35	320	5.25
12	128	2.00	24	207	5.34	36	323	4.3

根据以上数据绘制出各定向钻孔在A-A剖面上所处的位置关系见图6,同时根据剖面上定向钻孔的位置设计并施工了1#定向拦截钻孔,其余拦截钻孔设计方案类似,其剖面图及原有钻孔在A-A截面上位置相互关系见图6。

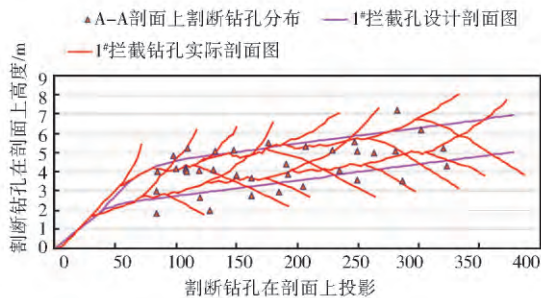


图6 拦截钻孔与原有钻孔在A-A截面上的位置关系  
Fig. 6 Position relationship between the interception boreholes and original boreholes on A-A cross-section

3 拦截钻孔抽放效果对比及方案优选

在53102巷18#、23#以及5310尾巷1#千米钻场分别按方案一、方案二、方案三施工了定向拦截钻孔对53094巷11#、15#、17#千米钻场钻孔进行拦截,在钻孔施工后以及巷道掘进期间分别对覆盖区域钻孔抽放量以及风排瓦斯量数据进行了收集分析,并根据分析结果优选出了最佳拦截钻孔施工方案。

3.1 拦截钻孔施工前后各区域抽放效率对比

各区域定向拦截钻孔按照设计方案施工后分别对拦截钻孔抽放量进行了跟踪观测,结合被拦截钻孔的抽放量数据做出了不同方案下抽放量随时间的变化曲线见图7—图9。

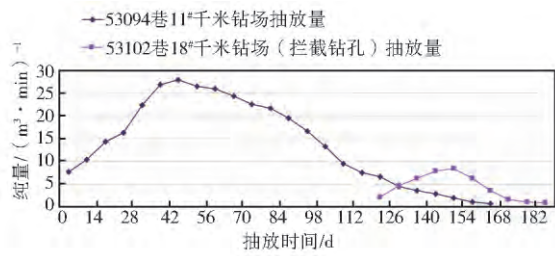


图 7 53094 巷 11# 千米钻场及 53102 巷 18# 千米钻场拦截钻孔抽放量变化曲线

Fig. 7 Gas drainage variation of interception boreholes of No. 11 kilometers drilling area of 53094 roadway and No. 18 kilometers drilling area of 53102 roadway

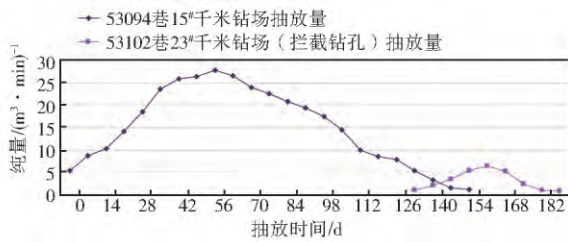


图 8 53094 巷 15# 千米钻场及 53102 巷 23# 千米钻场拦截钻孔抽放量变化曲线

Fig. 8 Gas drainage variation of interception boreholes of No. 15 kilometers drilling area of 53094 roadway and No. 23 kilometers drilling area of 53102 roadway

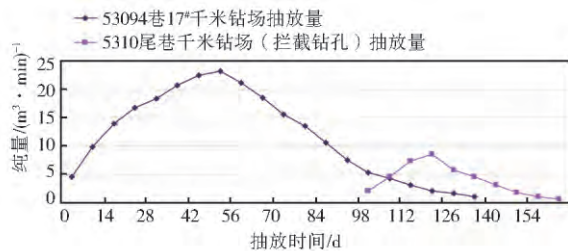


图 9 53094 巷 17# 千米钻场及 5310 尾巷 1# 千米钻场拦截钻孔抽放量变化曲线

Fig. 9 Gas drainage variation of interception drilling of No. 17 kilometers drilling area of 53094 roadway and No. 1 kilometers drilling area of 53102 roadway

抽放数据表明,各区域分别按照既定方案施工拦截钻孔后区域煤体瓦斯抽放量分别增加了 431 222.4 m<sup>3</sup>、286 473.6 m<sup>3</sup>、398 361.6 m<sup>3</sup>,相应的抽放效率分别提高了 9.49%、6.19%、12.29%。

### 3.2 拦截钻孔覆盖前后巷道掘进过程中平均风排瓦斯量对比

巷道掘进过程中风排瓦斯量与回风探头数据相关,分别汇总了拦截钻孔覆盖区域与未覆盖区域相同掘进距离内风排瓦斯量的变化情况如下表 2。

表 2 拦截钻孔覆盖前后掘进过程中风排瓦斯量变化情况  
Table 2 Gas ventilation volume variation in the driving process before and after interception drilling

序号	拦截钻孔未覆盖区域	方案 1 覆盖区域	方案 2 覆盖区域	方案 3 覆盖区域
1	1.5	1.15	1.4	1.4
2	2.9	1.15	1.6	1.25
3	1.2	1.25	1.35	1.5
4	1.9	1.55	1.25	1.05
5	1.35	1.6	1.75	1.2
6	2.05	1.55	1.6	1.1
7	1.25	1.35	1.15	1.15
8	1.85	2.4	2.35	1.75
9	1.6	1	1.8	1.2
10	2.4	1.4	1.6	0.9
11	1.8	1.55	1.55	1.7
12	1.25	1	1.25	1.35
13	1.95	1.4	2.2	1.5
14	1.55	1.6	1.35	1.55
15	1.45	1.55	1.4	1.45
16	1.6	1.1	1.75	1.35
17	1.35	2.1	1	1.5
均值	1.7	1.45	1.55	1.35
降幅		0.25	0.15	0.35
占比		14.7	8.8	20.6

由上表可以看出,相比较拦截钻孔未覆盖区域而言,在按照既定方案施工的拦截钻孔覆盖区域掘进巷道过程中风排瓦斯量分别下降 0.25 m<sup>3</sup>/min、0.15 m<sup>3</sup>/min、0.35 m<sup>3</sup>/min,分别占原有风排瓦斯量的 14.7%、8.8%、20.6%。

通过对拦截钻孔覆盖区域瓦斯抽采效率以及巷道掘进过程中风排瓦斯量的对比可以看得出,按照方案 3 施工的拦截钻孔覆盖区域瓦斯抽采效率增幅最大、风排瓦斯量降幅最大,因此认定方案 3 即钻孔分支分别居于煤层上、下不同层位的设计方案为此次对比试验中的最优施工方案。

## 4 结论

1) 定向拦截钻孔的施工强化了覆盖区域的瓦斯抽采,覆盖区域内煤体瓦斯抽放效率提高了 9.49%~12.29%。

2) 定向拦截钻孔覆盖后降低了区域煤体瓦斯含量,使得巷道掘进过程中风排瓦斯量下降了 0.15 m<sup>3</sup>/min~0.35 m<sup>3</sup>/min,降幅为 8.8%~20.6%。

3) 基于覆盖区域瓦斯抽采效率以及巷道掘进过

程中风排瓦斯量两个指标对定向拦截钻孔施工方案进行了优选,认定钻孔分支分别居于煤层上、下不同层位的设计方案为最优设计。

4)此次设计方案对比试验在硬煤发育区域进行,对于其它煤体结构而言拦截钻孔最优设计方案还有待探讨。

#### 参考文献:

- [1] 李泉新,石智军,史海岐. 煤矿井下定向钻进工艺技术的应用[J]. 煤田地质与勘探,2014,45(2):85-88,92.  
LI Quanxin,SHI Zhijun,SHI Haiqi. The Application of Directional Drilling Technology in Coal Mine[J]. Coal Geology and Exploration, 2014,45(2)85-88,92.
- [2] 姚宁平,张杰,李泉新,等. 煤矿井下定向钻孔轨迹设计与控制技术[J]. 煤炭科学技术,2013,41(3):7-11,46.  
YAO Ningping,ZHANG Jie,LI Quanxin,*et al.* Tracing Design and Control Technology of Directional Drilling Borehole in Underground Mine[J]. Coal Science and Technology,2013,41(3):7-11,46.
- [3] 郝世俊. 煤矿井下定向钻进技术的发展[J]. 煤田地质与勘探,2004,32(2):57-59,46.  
HAO Shijun. The Development of Horizontal Directional Drilling in Coal Mines[J]. Coal Geology & Exploration, 2004,32(2):57-59,46.
- [4] 王永龙,翟新献,孙玉宁. 松软突出煤层钻孔护壁力学作用机理[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版),2012,32(4):50-55.  
WANG Yonglong,ZHAI Xinxian,SUN Yuning. Analysis of Mechanism of Borehole Wall Protection in Soft Coal Seams with Outburst Threat[J]. Journal of Anhui University of Science and Technology:Natural Science,2012,32(4):50-55.
- [5] 韩颖,张飞燕. 煤层钻孔失稳机理研究进展[J]. 中国安全生产科学技术,2014,10(4):114-119.  
HAN Ying,ZHANG Feiyan. Progress in Research on Instability Mechanism of Coalbed Borehole[J]. Journal of Safety Science and Technology,2014,10(4):114-119.
- [6] 杨磊,李义敬,张旭. 煤层瓦斯抽采钻孔失稳的延迟效应分析[J]. 煤矿安全,2013,44(9):178-181.  
YANG Lei,LI Yijing,ZHANG Xu. Delayed Effect Analysis of Gas Extraction Boreholes Instability in Coal Seam[J]. Safety in Coal Mines,2013,44(9):178-181.
- [7] 王振,梁运培,金洪伟. 防突钻孔失稳的力学条件分析[J]. 采矿与安全工程学报,2008,25(4):444-448.  
WANG Zhen,LIANG Yunpei,JIN Hongwei. Analysis of Mechanics Conditions for Instability of Outburst-Preventing Borehole[J]. Journal of Mining & Safety Engineering,2008,25(4):444-448.
- [8] 王中伟,许家林,吴仁伦. 双尾巷在大采长综放面瓦斯治理中的应用[J]. 煤矿安全,2010,(433)23-26.
- [9] 陈凯,杨胜强,刘亚东. 石港矿 15109 综放工作面初采期瓦斯涌出特征分析[J]. 煤矿安全,2012,43(12)157-160.  
CHEN Kai,YANG Shengqiang,LIU Yadong. Gas Emission Feature Analysis in No. 15109 Fully Mechanized Caving Face of Shigang Coal Mine During Initial Mining Period[J]. Safety in Coal Mines,2012,43(12):157-160.
- [10] 宋卫华,李泽幼,韩延龙,等. 高瓦斯综放工作面高抽巷合理层位的确定[J]. 煤炭科学技术,2017,45(4):72-76.  
SONG Weihua,LI Youze,HAN Yanlong,*et al.* Determination on Rational Layer Position of High Level Gas Drainage Gateway for High Gassy Fully-mechanized Top Coal Caving Mining Face[J]. Coal Science and Technology,2017,45(4):72-76.

(编辑:刘新光)