

高位定向钻孔分层布置与瓦斯抽采效果分析

王永文¹, 姚宁平², 王海龙¹, 张杰^{*2}, 闫志强¹, 王建强², 贾晓峰¹, 杜学明¹

(1. 山西汾西矿业(集团)有限责任公司, 山西介休 032000;

2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西西安 710077)

摘要: 为了提高顶板高位定向钻孔在采空区及上隅角瓦斯治理的效果, 提出了高位定向钻孔分层布孔方案, 在曙光煤矿开展现场试验, 对不同层位高位定向钻孔瓦斯抽采数据和高位定向钻孔整个瓦斯抽采周期内瓦斯抽采效果分析研究, 结果表明高位定向钻孔在整个抽采周期内瓦斯抽采效果总体呈波动状态, 中间孔段由于处于顶板裂隙带内, 瓦斯抽采效果较稳定, 两端孔段由于处于钻孔造斜孔段未进入顶板裂隙带内及受前后钻场钻孔搭接影响, 瓦斯抽采效果波动较大。为提高高位定向钻孔瓦斯抽采效果, 可采用大角度开孔或大角度螺杆马达造斜以降低造斜孔段长度, 并增加相邻两钻场钻孔搭接长度, 从而降低两端孔段比例, 提高中间孔段比例。

关键词: 高位定向钻孔; 采空区; 瓦斯抽采; 分层布置; 抽采周期

中图分类号: TD712; P634.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2022)04-0117-07

Layered layout of high-level directional boreholes and analysis of gas drainage effect

WANG Yongwen¹, YAO Ningping², WANG Hailong¹, ZHANG Jie^{*2},

YAN Zhiqiang¹, WANG Jianqiang², JIA Xiaofeng¹, DU Xueming¹

(1. Shanxi Fenxi Mining (Group) Co., Ltd., Jiexiu Shanxi 032000, China;

2. Xi'an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: In order to improve the effect of high-level directional drilling in the roof on the goaf and upper corner gas control, a layered arrangement of high-level directional boreholes was proposed, and field tests were carried out in Shuguang Coal Mine. Analysis of gas drainage data of high-level directional boreholes at different depth, and gas drainage effect of high-position directional boreholes in the entire gas drainage cycle showed that gas drainage effect of high-position directional boreholes fluctuated throughout the entire drainage cycle in general. Drainage effect was relatively stable over the middle hole section since it was located in the roof crack zone; while gas drainage effect fluctuated greatly over both top and bottom hole sections since they were located in the build-up sections of the drill holes and did not enter the roof fissure zone, and were affected by the overlap of the drainage holes from the front and rear drill sites. In order to improve gas drainage effect of high-position directional drilling, a large entry angle or a high-bent mud motor can be used to reduce the length of the build-up hole section and increase the overlap length of the drainage holes from the two adjacent drilling sites so as to reduce the proportion of both top and bottom hole sections, and increase that of the middle hole section.

Key words: high-level directional drilling; mined-out area; gas drainage; layered layout; drainage cycle

收稿日期: 2021-10-18; 修回日期: 2022-03-17 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.04.018

第一作者: 王永文, 男, 汉族, 1968年生, 总工程师, 正高级工程师, 矿业工程专业, 硕士, 主要从事瓦斯地质与防治水研究工作, 山西省介休市, hxkwyw@163.com。

通信作者: 张杰, 男, 汉族, 1983年生, 副研究员, 硕士, 从事定向钻进技术与装备研究工作, 陕西省西安市高新区锦业一路82号, zhangjie@cctegxian.com。

引用格式: 王永文, 姚宁平, 王海龙, 等. 高位定向钻孔分层布置与瓦斯抽采效果分析[J]. 钻探工程, 2022, 49(4): 117-123.

WANG Yongwen, YAO Ningping, WANG Hailong, et al. Layered layout of high-level directional boreholes and analysis of gas drainage effect[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(4): 117-123.

0 引言

瓦斯灾害是煤矿重大自然灾害之一,严重威胁、制约着矿井安全生产^[1-2]。随着矿井开采深度的增大,矿井瓦斯涌出量增大,采空区瓦斯涌出现象加剧,治理不善极易造成瓦斯超限,严重制约着煤矿安全生产。据统计,高瓦斯矿井采空区瓦斯涌出量占比可达40%~50%^[3]。采空区瓦斯涌出易引起回风巷瓦斯超限,威胁矿井安全生产。因此,高效抽采采空区瓦斯对保障工作面安全生产意义重大^[4]。国内采空区瓦斯治理方法目前主要有:高抽巷和高位钻孔。高抽巷是布置在所采煤层顶板裂隙带内专用瓦斯抽采的巷道,存在岩巷施工成本高,掘进周期长等不足;高位钻孔是在开采煤层顶板施工瓦斯抽采钻孔,将钻孔布置在裂隙带内,治理采空区瓦斯。定向高位钻孔施工采用定向钻进技术,具有钻孔轨迹可控的优点,在治理采空区瓦斯具有显著优势,不仅单孔深度大,而且有效孔段比例高。近年来,随着定向钻进技术与装备的不断发展,已在全国多个矿区推广采用顶板高位定向钻孔进行采空区瓦斯治理,取得了显著的效果^[5-10]。笔者采用“三带”分布理论和采动裂隙“O”型圈理论对顶板高位定向钻孔层位采取分层布置,通过现场试验,分析了高位定向钻孔在抽采周期内不同阶段瓦斯抽采的效果。

1 工作面概况

曙光煤矿1226工作面可采走向长度1300 m,工作面宽度180 m,根据相邻工作面瓦斯抽采情况,预计1226工作面回采期间最大瓦斯涌出量8 m³/min,采空区瓦斯涌出量约占总涌出量的60%,采空区瓦斯为主要瓦斯涌出来源。1226工作面2号煤层平均厚度2.85 m,倾角1°~4°,最大瓦斯压力0.28 MPa,已有地质资料显示2号煤层顶板地层主要为泥岩、砂岩和1号煤层。1226工作面采用沿空留巷“Y”型通风方式,巷道布置及通风方式如图1所示。

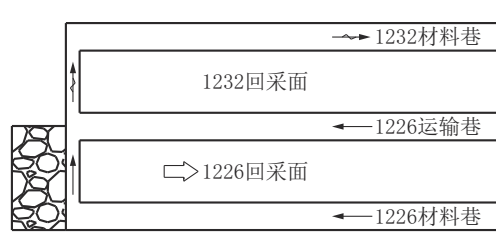


图1 1226工作面巷道布置和通风方式示意

Fig.1 Roadway layout and ventilation in No.1226 working face

2 钻孔布孔层位设计

钻孔布孔层位是影响后期钻孔瓦斯抽采效果的关键因素,根据“三带”分布理论和采动裂隙“O”型圈理论,钻孔布孔层位设计时应主要考虑钻孔沿工作面走向和倾向2个方向的布置。

2.1 沿工作面走向

根据“三带”分布理论,在工作面回采期间,煤层顶板岩层由下到上依次会产生垮落带、裂隙带和弯曲下沉带,裂隙带内裂隙发育充分,且地层相对稳定有利于保持钻孔完好,一般都将高位定向钻孔布置在顶板裂隙带内。

根据煤层开采后垮落带及裂隙带高度计算的的经验公式^[11-12]:

$$H_m = \frac{100\sum M}{4.7\sum M + 19} \pm 2.2 \quad (1)$$

$$H_l = \frac{100\sum M}{1.6\sum M + 3.6} \pm 5.6 \quad (2)$$

式中: H_m ——垮落带最大高度,m; H_l ——裂隙带最大高度,m; M ——煤层厚度,m。

由式(1)和(2)计算出垮落带最大高度为11.0 m,裂隙带最大高度为40.8 m,结合曙光煤矿普通高位钻孔布孔经验数据,确定布孔层位为上中下3层,分别距离2号煤层23.0、20.0和17.0 m,钻孔剖面布孔如图2所示,目标层为中砂岩和砂质泥岩。

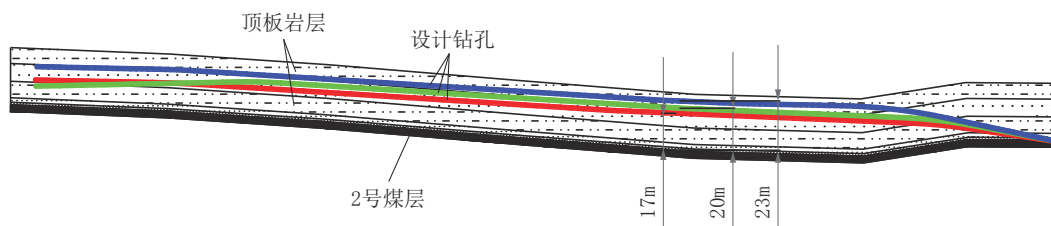


图2 钻孔剖面布孔示意

Fig.2 Profile of drilling holes

2.2 沿工作面倾向

根据采动裂隙“O”型圈理论,随着工作面的推进,采空区顶板离层裂隙不断增大,采空区中部离层裂隙最发育,当工作面推进一定距离时,采空区中部离层裂隙趋于压实,离层裂隙发育开始下降,而采空区四周离层裂隙在煤壁支撑作用下仍能保持,形成一个闭合环形的离层裂隙发育“O”型裂隙圈^[13],其随回采工作面的推进逐渐增大并始终存在。采动裂隙“O”型圈是采空区瓦斯聚集场所和瓦斯涌出的主要通道,在回风流的作用下,瓦斯主要聚集在工作面回风侧“O”型圈区域,为了保证采空区及上隅角瓦斯治理效果,一般选择在靠近回风巷一侧的“O”型圈内进行钻孔布置。钻孔水平间距应根据单孔瓦斯有效抽采半径进行确定,避免钻孔间距过大或过小造成瓦斯抽采效果差或钻孔工程量增加^[14-17]。结合经验数据设计钻孔间距为 10 m,分别距离回风巷 35、25 和 15 m,钻孔平面布孔如图 3 所示。

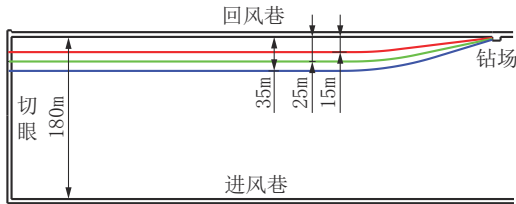


图 3 钻孔平面布孔示意

Fig.3 Plan layout of drilling holes

3 瓦斯抽采效果分析

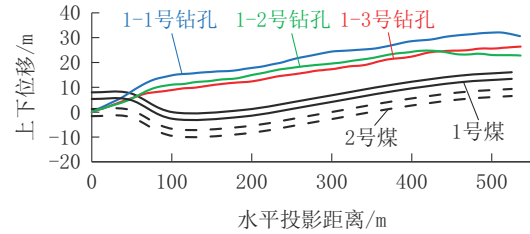
3.1 高位定向钻孔施工情况

在曙光煤矿 1226 工作面运输巷,施工 2 个钻场 6 个顶板高位定向钻孔,钻孔深度最小 537 m,最大 801 m,终孔孔径 153 mm,总进尺 3762 m。钻孔布孔层位见表 1,钻孔实钻轨迹剖面/平面投影如图 4、图 5 所示。

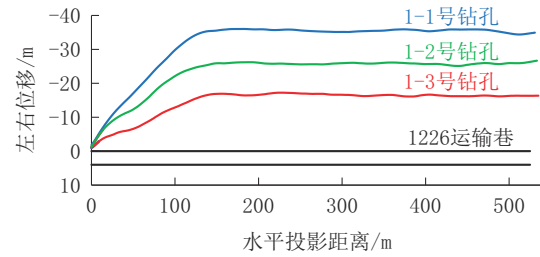
表 1 各钻孔施工数据

Table 1 Borehole drilling data

孔号	孔深/m	垂距/m	平距/m
1-1	537	23	35
1-2	537	20	25
1-3	537	17	15
2-1	639	23	35
2-2	801	20	25
2-3	711	17	15



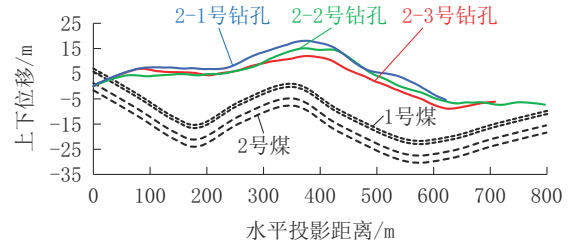
(a) 各钻孔实钻轨迹剖面



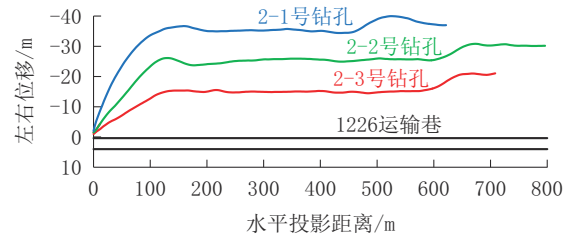
(b) 各钻孔实钻轨迹平面投影

图 4 1 号钻场各钻孔实钻轨迹剖面/平面投影

Fig.4 Vertical/plan projection of drilling trajectories from 1# drilling site



(a) 各钻孔实钻轨迹剖面



(b) 各钻孔实钻轨迹平面投影

图 5 2 号钻场各钻孔实钻轨迹剖面/平面投影

Fig.5 Vertical/plan projection of drilling trajectories from 2# drilling site

3.2 高位定向钻孔抽采效果分析

1 号钻场 3 个高位定向钻孔接抽起止时间为 2019 年 6 月 15 日—11 月 7 日,累计抽采 146 天,1-1 号钻孔瓦斯抽采浓度最大 70.0%,平均瓦斯抽采浓度 50.0%;1-2 号钻孔瓦斯抽采浓度最大 80.0%,平均瓦斯抽采浓度 24.0%;1-3 号钻孔瓦斯抽采浓度

最大80.0%，平均瓦斯抽采浓度11.0%。上述3个钻孔平均瓦斯抽采浓度28.4%。

1-1号钻孔瓦斯抽采纯量最大2.67 m³/min，平均瓦斯抽采纯量1.66 m³/min；1-2号钻孔瓦斯抽采纯量最大1.39 m³/min，平均瓦斯抽采纯量0.85 m³/min；1-3号钻孔瓦斯抽采纯量最大1.38 m³/min，平

均瓦斯抽采纯量0.57 m³/min。上述3个钻孔平均瓦斯抽采纯量1.03 m³/min。

从1号钻场各钻孔瓦斯抽采浓度和纯量曲线图6和图7中可以看出，1-1号钻孔瓦斯抽采效果最好。

从1号钻场各钻孔瓦斯抽采浓度曲线与实钻轨迹

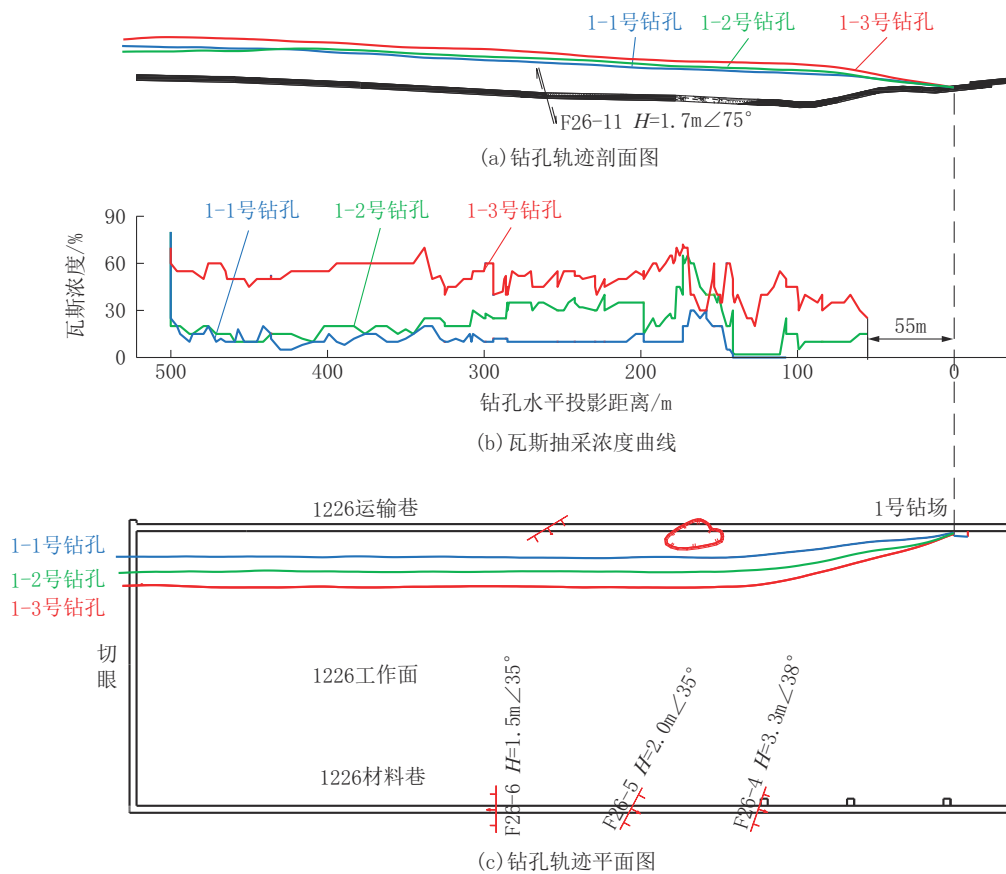


图6 1号钻场各钻孔瓦斯抽采浓度曲线与实钻轨迹

Fig.6 Gas drainage concentration curves and actual drilling trajectories of the holes from 1# drilling site

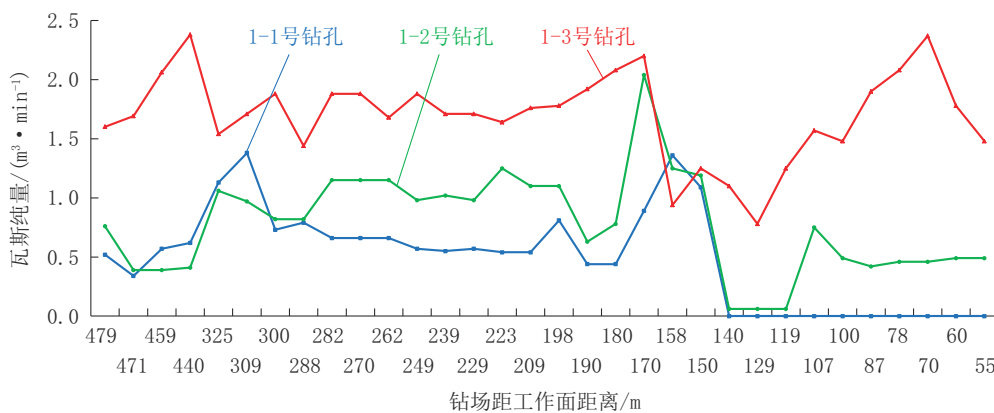


图7 1号钻场各钻孔瓦斯抽采纯量曲线

Fig.7 Gas extraction scalar curves of the holes from 1# drilling site

迹图中(图6)可以看出,该钻场距离工作面切眼最近,在工作面回采初期,由于采空区区域面积小,顶板裂隙发育不充分,导致高位定向钻孔在工作面回采初期未检测到瓦斯;随着工作面向前推进,采空区区域面积不断扩大,顶板裂隙发育丰富,裂隙高度逐渐增大,与高位定向钻孔实现导通,此时高位定向钻孔开始检测到瓦斯,瓦斯抽采效果显现并逐渐达到稳定状态;随着工作面的继续推移,高位定向钻孔所处层位逐渐降低由裂隙带进入垮落带,由于空气进入钻孔导致瓦斯抽采浓度逐渐降低。

2号钻场3个高位定向钻孔接抽起止时间为2019年10月11日—2020年3月7日,累计抽采149天,2-1号钻孔瓦斯抽采浓度最大80.0%,平均瓦斯

抽采浓度46.3%;2-2号钻孔瓦斯抽采浓度最大80.0%,平均瓦斯抽采浓度45.8%;2-3号钻孔瓦斯抽采浓度最大80.0%,平均瓦斯抽采浓度38.9%。上述3个钻孔平均瓦斯抽采浓度43.7%。

2-1号钻孔瓦斯抽采纯量最大 $3.33 \text{ m}^3/\text{min}$,平均瓦斯抽采纯量 $1.56 \text{ m}^3/\text{min}$;2-2号钻孔瓦斯抽采纯量最大 $3.39 \text{ m}^3/\text{min}$,平均瓦斯抽采纯量 $1.53 \text{ m}^3/\text{min}$;2-3号钻孔瓦斯抽采纯量最大 $3.02 \text{ m}^3/\text{min}$,平均瓦斯抽采纯量 $1.29 \text{ m}^3/\text{min}$ 。上述3个钻孔平均瓦斯抽采纯量 $1.46 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

从2号钻场各钻孔瓦斯抽采浓度和纯量曲线图8和图9中可以看出,3个钻孔瓦斯抽采效果相当,2-1号钻孔瓦斯抽采效果最好。

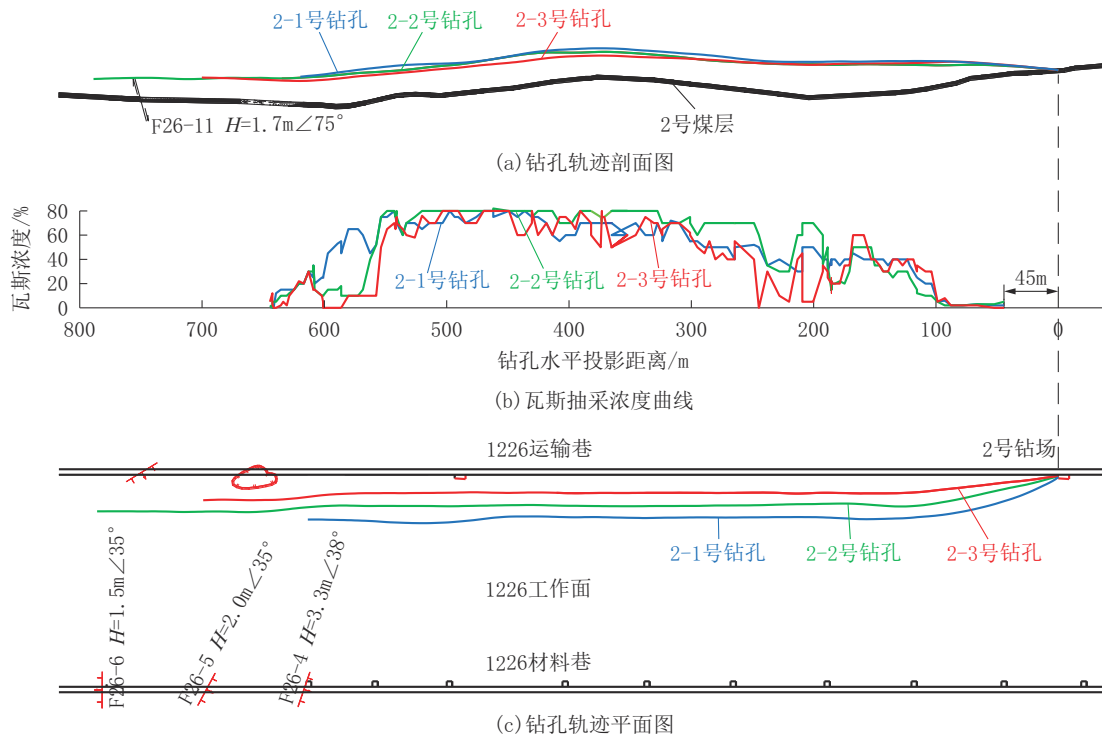


图8 2号钻场各钻孔瓦斯抽采浓度曲线与实钻轨迹

Fig.8 Gas drainage concentration curves and actual drilling trajectories of the holes from the 2nd drilling site

从2号钻场各钻孔瓦斯抽采浓度和纯量曲线图8和图9中可以看出,3个钻孔瓦斯抽采浓度和纯量曲线整体都呈先逐渐增大,中间区域稳定,最后逐渐减小的趋势。从整个工作面钻场布置情况分析,1号钻场距离工作面切眼最近,其次为2号钻场,因此1号钻场各钻孔在工作面回采初期由于采空区区域范围小,顶板裂隙发育不充分,各钻孔初期未检测到瓦斯,由于2号钻场钻孔轨迹对1号钻场钻孔轨迹

造斜爬坡段进行了搭接,导致在搭接区域受1号钻场钻孔瓦斯抽采的影响,2号钻场钻孔在接抽初期瓦斯浓度和纯量呈逐渐增大的趋势。

综上所述,高位定向钻孔瓦斯抽采效果在整个抽采周期内呈波动状态,中间孔段瓦斯抽采效果较稳定,两端孔段由于受钻孔布孔层位及前后钻场各钻孔搭接影响呈波动上升和波动下降趋势。可见为了提高高位定向钻孔瓦斯抽采浓度和纯量,应增大

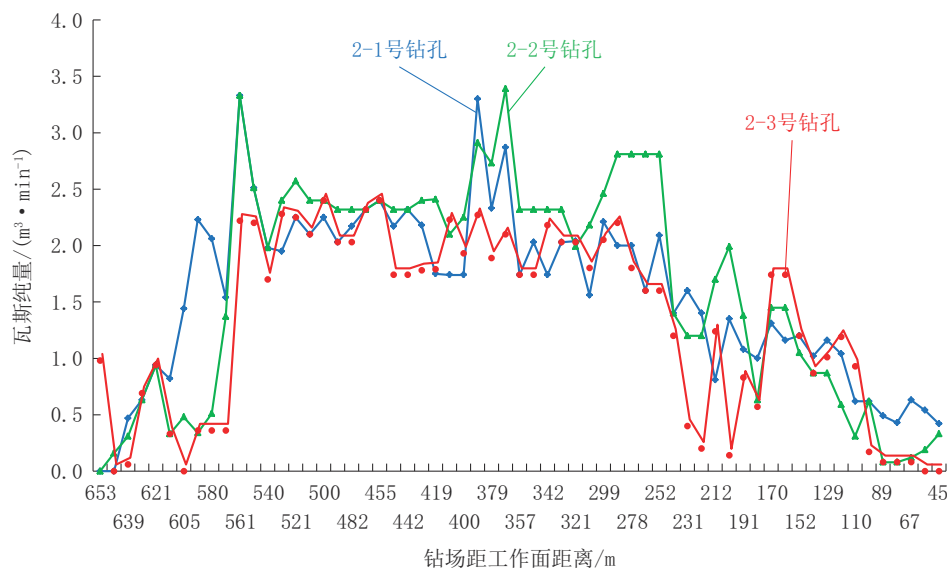


图9 2号钻场各钻孔瓦斯抽采纯量曲线

Fig.9 Gas extraction scalar curves of the holes from 2[#] drilling site

高位定向钻孔中间孔段比例,降低两端孔段比例。

4 结论

(1)高位定向钻孔瓦斯抽采效果由于受布孔层位及相邻两钻场钻孔轨迹之间的搭接影响,整个高位钻孔中间孔段瓦斯抽采效果最佳且最稳定,因此应增大高位定向钻孔中间孔段占比,减少造斜孔段占比。

(2)为提高高位定向钻孔中间孔段占比,可采用大角度开孔或大角度螺杆马达快速造斜,从而降低造斜孔段占比,提高中间孔段占比。

(3)在工作面回采初期,由于顶板垮落范围小,顶板裂隙发育高度低,为了提高该区域瓦斯抽采效果,建议将该区域钻孔布孔层位降低。

参考文献(References):

- [1] 陈开岩,张占国,林柏泉,等.综放工作面抽采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 and Safety Engineering, 2009, 26(4): 418-422.
- [2] 张铁岗.矿井瓦斯综合治理技术[M].北京:煤炭工业出版社,2001.
ZHANG Tiegang. Comprehensive Control Technology of Mine Gas[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2001.
- [3] 郝光生,陈宾,申凯.采空区顶板高位定向钻孔差异化布置与抽采效果分析[J].煤炭科学技术,2018,46(8):101-106.
HAO Guangsheng, CHEN Bin, SHEN Kai. Analysis on differential layout and gas drainage effect of high position directional borehole in roof of goaf[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(8): 101-106.
- [4] 刘泽功.高位巷道抽放采空区瓦斯实践[J].煤炭科学技术,2001,29(12):10-13.
LIU Zegong. Practice of gas drainage in gob of high roadway[J]. Coal Science and Technology, 2001, 29(12): 10-13.
- [5] 王鲜,许超,李泉新,等.淮南矿区顶板复杂地层中高位定向钻孔钻进工艺研究[J].煤炭科学技术,2018,46(11):145-150.
WANG Xian, XU Chao, LI Quanxin, et al. Study on high-level directional borehole technology in complex roof stratum of Huainan Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(11): 145-150.
- [6] 李平,童碧,许超.顶板复杂地层高位定向钻孔成孔工艺研究[J].煤田地质与勘探,2018,46(4):197-201.
LI Ping, TONG Bi, XU Chao. Study on hole-forming technology of high-level directional borehole in complicated roof strata [J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(4): 197-201.
- [7] 石浩.大直径高位定向长钻孔瓦斯抽采技术及应用[J].煤炭科学技术,2018,46(10):190-195.
SHI Hao. Gas drainage technology and its application of large diameter and high directional long drilling [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(10): 190-195.
- [8] 赵建国,刘建林,董昌乐,等.顶板高位大直径定向钻孔扩孔新技术探索[J].煤炭科学技术,2018,46(4):40-45.
ZHAO Jianguo, LIU Jianlin, DONG Changle, et al. New reaming technology for high position and large diameter directional drilling in roof [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(4): 40-45.

- 40-45.
- [9] 赵建国. 煤层顶板高位定向钻孔施工技术与发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(6):137-141.
ZHAO Jianguo. Construction technology and development tendency of high level directional drilling in seam roof[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(6):137-141.
- [10] 张杰. 煤矿井下复杂岩层跟管定向钻进技术研究[J]. 钻探工程, 2021, 48(4):73-78.
ZHANG Jie. Research on directional drilling technology for complex rock strata in coal mines [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(4):73-78.
- [11] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2017.
State Bureau of Coal Industry. Rules for Coal Pillar Setting and Coal Pressing Mining in Buildings, Water Bodies, Railways and Main Shafts and Lanes[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2017.
- [12] 许武, 夏玉成, 杜荣军, 等. 导水裂隙带预计经验公式的“三性”探究[J]. 矿业研究与开发, 2013, 33(6):63-76.
XU Wu, XIA Yucheng, DU Rongjun, et al. Study on three properties of the empirical formula for estimating the height of water-flowing fractured zone[J]. Mining Research and Development, 2013, 33(6):63-76.
- [13] 钱鸣高, 许家林. 覆岩采动裂隙分布的“O”形圈特征研究[J]. 煤炭学报, 1998, 23(5):467-469.
QIAN Minggao, XU Jialin. Study on the “O Shape” circle distribution characteristics of mining induced fracture in the overlying strata[J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(5):467-469.
- [14] 姚宁平, 张杰, 张国亮, 等. 晋城矿区井下梳状钻孔瓦斯抽采技术体系[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(2):88-91.
YAO Ningping, ZHANG Jie, ZHANG Guoliang, et al. System of gas drainage technology of comb-like directional drilling in Jincheng mining area [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(2):88-91.
- [15] 张杰, 姚宁平, 李乔乔. 煤矿井下定向钻进技术在矿井地质勘探中的应用[J]. 煤矿安全, 2013, 44(10):131-134.
ZHANG Jie, YAO Ningping, LI Qiaoqiao. Application of directional drilling technology in mines geological exploration[J]. Safety in Coal Mines, 2013, 44(10):131-134.
- [16] 许超. 淮南复杂顶板高位孔强造斜定向钻进技术实践[J]. 煤矿安全, 2019, 50(9):151-154.
XU Chao. Directional drilling technology of strong deflection of high-level borehole in complicated stratum of roof in Huainan Mining Area[J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50(9):151-154.
- [17] 宋传祥, 贾楠生, 季文森, 等. 定向钻进技术与装备在穿层定向长钻孔中的应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(8):83-88.
SONG Chuanxiang, JIA Nansheng, JI Wenmiao, et al. Application of directional drilling technology and equipment in cross-bed directional long hole drilling[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(8):83-88.

(编辑 荐华)