

文章编号:1671-251X(2021)02-0098-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020060055

近距离煤层群综采工作面瓦斯治理优选措施

薛彦平^{1,2}



扫码移动阅读

- (1. 中煤科工集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 抚顺 113122;
2. 煤矿安全技术国家重点实验室, 辽宁 抚顺 113122)

摘要:相对于单一煤层或其他煤层群开采,近距离煤层群在开采过程中邻近层受到开采层应力影响更为剧烈,瓦斯更容易通过发育的裂隙涌入开采层,造成开采层工作面瓦斯积聚。现有的针对近距离煤层群的瓦斯治理研究主要侧重于单一措施参数的确定及效果分析,没有深入研究瓦斯治理措施在时间、空间层面之间的联系,对综合瓦斯治理措施的优选组合、具体参数的确定依据及措施采取后的效果分析不够深入。针对上述问题,以阳煤一矿 81403 综采工作面为研究对象,通过数值模拟方式分析了近距离煤层群条件下开采应力分布及演化过程,研究了上覆岩层破坏及裂隙发育变化规律,得到了 81403 综采工作面瓦斯主要来源为煤层解吸瓦斯、上邻近层卸压瓦斯、采空区瓦斯等,针对不同瓦斯涌出源头和特点,优先采取顺层预抽+高抽巷+高位钻孔+采空区埋管的瓦斯抽采措施,即在开采前充分预抽减少煤层解析瓦斯量,通过高位钻孔、高抽巷处理邻近层瓦斯涌入,采用埋管治理上隅角瓦斯局部聚集,在时间和空间上形成综合的治理体系,从而达到瓦斯治理目的。实际应用结果表明,工作面回采期间瓦斯抽采率达到了 89.9%,回风巷及上隅角瓦斯体积分数保持在 1%以下,保证了工作面的安全回采。

关键词:综采工作面; 近距离煤层群; 采动覆岩; 开采应力; 裂隙发育; 瓦斯抽采; 高位钻孔; 埋管治理

中图分类号:TD712 文献标志码:A

Optimal measures for gas control on fully mechanized working face of close-distance coal seam group

XUE Yanping^{1,2}

- (1. CCTEG Shenyang Research Institute, Fushun 113122, China;
2. State Key Laboratory of Coal Mine Safety Technology, Fushun 113122, China)

Abstract: Compared with single coal seam or other coal seam group, the mining process of the close-distance coal seam group is more likely to be affected by the stress of the adjacent seam. Moreover, the gas is more likely to gush into the coal seam through the developed fissures, causing gas accumulation on the working face of the mining seam. The existing gas control research for close-distance coal seam group mainly focuses on the determination of single measure parameters and effect analysis, without in-depth research of the relationship between gas management measures in time and space. The researches on the optimal combination of comprehensive gas management measures, the basis for determining specific parameters and the effect analysis after the measures being taken are not sufficient enough. In order to solve the above problems, taking the 81403 fully mechanized working face of No. 1 Coal Mine of Yangquan Coal Industry (Group) Co., Ltd. as the research object, the paper analyzes the stress distribution and evolution process of mining under the conditions of close-distance coal seam group through numerical simulation. The research studies the overlying rock destruction and fissures development change law, and

收稿日期:2020-06-18;修回日期:2020-12-15;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:薛彦平(1988—),男,山西吕梁人,助理研究员,主要从事煤矿瓦斯灾害防治方面的工作,E-mail:343489308@qq.com。
引用格式:薛彦平. 近距离煤层群综采工作面瓦斯治理优选措施[J]. 工矿自动化,2021,47(2):98-103.

XUE Yanping. Optimal measures for gas control on fully mechanized working face of close-distance coal seam group[J]. Industry and Mine Automation,2021,47(2):98-103.

proposes that the main sources of gas on the 81403 fully mechanized working face are coal seam desorption gas, pressure relief gas in upper adjacent coal seam and goaf gas, etc. Based on the different gas emission sources and characteristics, the paper proposes the gas extraction measures of bedding pre-extraction + high extraction roadway+high borehole+buried pipes in the extraction area. Before mining, pre-extraction is applied to reduce the amount of coal seam desorption gas. High extraction roadway and high borehole are used to deal with gas gush from adjacent coal seam. Buried pipes are used to control local gas accumulation in the upper corner. The measures form a comprehensive management system in time and space so as to achieve the purpose of gas control. Practical application results show that the gas extraction rate reaches 89.9% on the working face, and the gas volume fraction of the return airway and upper corner is kept below 1%, ensuring the safe mining of the working face.

Key words:fully mechanized working face; close-distance coal seam group; mining overburden; mining stress; fissures development; gas extraction; high borehole; buried pipe treatment

0 引言

相对于单一煤层或其他煤层群开采,近距离煤层群在重复采动条件下,覆岩破坏、裂隙发育及瓦斯分布运移更为复杂,由此带来的瓦斯治理问题也更为复杂^[1-3]。文献[4-5]通过数值模拟、现场试验等方法研究了定向长钻孔在近距离煤层群中的抽采参数设计及应用效果。文献[6]对煤层群抽采巷布置进行了优化研究。文献[7]通过模拟及比较的方法研究了顺层钻孔布置参数及抽采效果。文献[8]对近距离煤层群条件下采空区动态拖管瓦斯抽采技术进行了分析研究。文献[9]对近距离煤层群上行开采瓦斯治理措施进行了探讨。文献[10-11]采用数值模拟、现场实践等方法对近距离煤层群下行开采应力分布及瓦斯治理措施进行了研究。以上研究侧重于单一措施参数的确定及效果分析,或多措施结合时只对应力或瓦斯等单一层面的影响进行分析,对瓦斯治理措施在时间、空间层面之间的联系的研究不够深入,对综合瓦斯治理措施的优选组合、具体参数的确定依据及措施采取后的效果分析研究较少^[12-15]。针对上述问题,本文以山西阳泉煤业集团有限责任公司一矿(以下简称阳煤一矿)81403综采工作面为研究对象,通过数值模拟方式,分析了近距离煤层群条件下开采应力分布及演化过程,在此基础上优选出适合该工作面瓦斯涌出特点的治理措施,为顺层钻孔、穿层钻孔、高抽巷等具体参数的确定提供依据,同时探讨了各措施在时间和空间上的交互关系,旨在保证工作面回采安全,为近似赋存情况煤层提供参考。

1 近距离煤层综采工作面基本情况

阳煤一矿 81403 综采工作面位于 15 煤层北条带十四采区西北部,东部为十四采区主巷,南部为

81405 综采工作面,西部为十六采区,北部为其他 2 个整合煤矿。上覆 12 煤层平均厚度为 2.7 m,最小煤层层间距为 30 m。81403 综采工作面煤层赋存相对稳定,工作面走向长度为 1 300 m,倾向长度为 180 m,采高为 4.5 m。通过分源法预测得出综采工作面绝对瓦斯涌出量为 28.6 m³/min,相对瓦斯涌出量为 6.1 m³/t。

2 采动覆岩结构变化模拟分析

瓦斯治理措施制定的根本依据是瓦斯涌出来源的分析与确定,而在下伏煤层开采过程中,采动覆岩结构的变化及裂隙的发育是影响瓦斯涌出的根本因素。通过数值模拟方法可以直观地观察在开采过程中上覆岩层的变化过程,并对“三带”高度进行估算测量,与计算数值进行验证比较,研究裂隙等发育变化规律,为钻孔设计等抽采瓦斯治理措施的制定提供理论基础。

2.1 模拟基础模型建立

阳煤一矿 81403 综采工作面岩层赋存地质条件较为复杂,根据该工作面煤层的具体赋存情况,为了提高模拟的整体性,在模型建立的过程中将厚度较小、岩性较为接近的岩层合并为同一模拟岩层,并根据相关研究资料补充其相关力学性质。按照工作面前进方向,模型长度设置为 300 m,高度设置为 100 m,模型最小单位为 300×100=30 000 个。工作面标高为 590~640 m,上覆岩层自重应力设置为 5.6 MPa,水平方向的位移为 0。工作面开采步距为 5 m,模拟的总步数设置为 40,总模拟回采长度为 200 m。数值模拟岩体力学参数见表 1。

2.2 采动覆岩结构及移动破坏过程

随着工作面的推进,采空区顶板垮落,上覆岩层逐步垮塌稳定,在岩层内达到新的应力平衡,并形成了垮落带、断裂带和弯曲下沉带。采动覆岩移动破

表 1 数值模拟岩体力学参数
Table 1 Numerical simulation mechanical parameters of rock mass

名称	厚度/m	模型密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	抗压强度/ MPa	弹性模量/ GPa	泊松比
砂质泥岩	20.4	29.30	18.8	15.3	0.27
细粒砂岩	13.6	16.80	45.6	25.5	0.25
砂岩	8.3	13.30	24.5	14.6	0.25
12 煤层	2.7	12.10	18.6	5.2	0.20
泥岩	3.5	15.80	18.9	11.8	0.25
砂质泥岩	11.2	23.20	31.1	14.7	0.30
砂岩	6.8	19.60	21.7	43.6	0.27
石灰岩	7.0	22.24	69.2	48.8	0.25
15 煤层	4.5	13.60	18.2	5.6	0.20
泥岩	6.2	20.40	17.1	12.6	0.25
石灰岩	15.8	27.80	71.7	47.8	0.25

坏过程以及产生的裂隙分布对采空区瓦斯抽采影响较大,是瓦斯治理措施研究的重要方向。利用 RFPA 2D 对阳煤一矿 81403 综采工作面开采过程中覆岩破坏过程进行模拟,如图 1 所示。根据软件生成的覆岩垮落破坏及裂隙变化情况,选取图像清晰、变化明显、具有代表性的几组模拟图像,分析讨论工作面上覆岩层“三带”变化及裂隙发育规律。

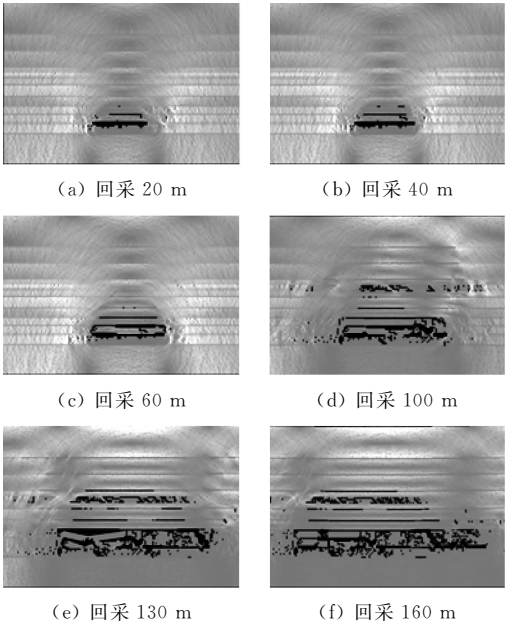


图 1 工作面覆岩破断跨落模拟过程

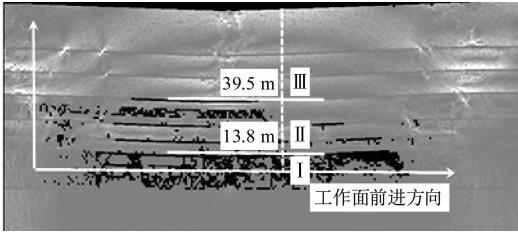
Fig. 1 Simulation process of overlying rock fracture collapse on working face

利用数值模拟分析可以较为直观地显示工作面回采过程中覆岩的变化过程及裂隙的发育情况。从图 1 可看出,在工作面回采初期,上覆岩层的力还处于相对稳定的状态,没有较大幅度的位移及破坏;当

工作面回采至 40 m 时,采空区上覆岩层垂直裂隙得到发育,顶板有垮落的迹象;当工作面回采至 60 m 时,基本顶形变形态相对明显,周期运动呈现发展趋势,裂隙在横向、纵向上不断发育,以纵向裂隙为主的发育已于上覆 12 层煤出现连通,形成了能供瓦斯运移的通道;当工作面推进到 100 m 时,工作面开采对上覆 12 层煤的影响明显,12 煤层出现了水平和剪切应力作用下的破坏,瓦斯运移通道充分形成;当工作面回采至 130 m 时,大面积垮落明显,回采到 160 m 时,“三带”的发育范围逐渐趋于稳定,高度和区域动态形成一个比较合理的区间,动态过程显现清晰。

2.3 “三带”演化结构分析

工作面回采至 200 m 时“三带”分布如图 2 所示。从图 2 可看出,在煤层开采过程中,上覆岩层的形变从下而上不断发展,裂隙、断裂等破坏形式相继发生,形成瓦斯流动的良好通道。当工作面开采至 200 m 时,上覆岩层稳定,形成了较为完整的“三带”分布,其中垮落带模拟高度为 13.8 m 左右,断裂带模拟高度为 13.8~39.5 m,弯曲下沉带为 39.5 m 以上直至地表。



I—垮落带;II—断裂带;III—弯曲下沉带。

图 2 工作面回采至 200 m 时“三带”分布

Fig. 2 Distribution of "three zones" in 200 m working face

3 综合瓦斯治理措施优选

瓦斯治理措施主要有引导风流法、瓦斯抽采法、风压调解法、充填置换法等,瓦斯治理措施优选的核心是根据瓦斯来源分析,确定工作面回采过程中瓦斯来源,并对措施参数进行合理确定。根据阳煤一矿矿井瓦斯涌出量预测可知,81403 综采工作面瓦斯主要来源是煤层解吸瓦斯、上邻近层卸压瓦斯、采空区瓦斯等,针对不同瓦斯涌出源头采取顺层钻孔预抽+高抽巷+高位钻孔+采空区埋管的瓦斯抽采措施,在开采前充分预抽减少煤层解析瓦斯量,通过高位钻孔、高抽巷处理邻近层瓦斯涌入,采用埋管治理上隅角瓦斯局部聚集,在时间和空间上形成综合的治理体系,从而达到瓦斯治理目的。

3.1 顺层钻孔预抽

81403 综采工作面顺层钻孔采用平行布置的方式,如图 3 所示。利用百米钻机通过进风巷和回风巷对本煤层施工水平钻孔预抽煤层瓦斯,按照抽采钻孔影响范围使抽采影响区域覆盖整个开采空间。工作面钻孔间距为 3 m,钻孔采用交错布置方式,下排钻孔距离底板 1.5 m,上排钻孔与下排钻孔间距为 1.5 m,钻孔直径为 113 mm,进风巷钻孔深度为 110 m,回风巷道钻孔深度为 80 m。

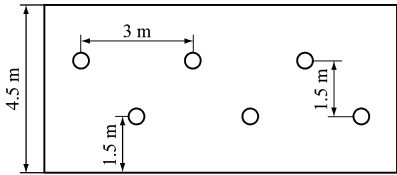


图 3 工作面顺层钻孔布置

Fig. 3 Bedding borehole layout along working face

3.2 高抽巷

高抽巷处于开采工作面和上覆煤层中间,既能对采空区瓦斯聚集的“O”形圈内的瓦斯进行聚集抽采,也能对上覆煤层涌入的瓦斯起到拦截抽采的作用。模拟确定煤层顶板垮落带高度为 13.8 m,断裂带高度为 39.5 m,高抽巷最佳布置位置取垮落带高度的 1.5 倍,距离开采煤层 20 m。确定高抽巷水平位置的主要依据:既要保证其处于垮落带范围,又要兼顾工作面通风的影响,高抽巷在回风巷的水平投影长度必须不小于防止瓦斯巷道被破坏的水平投影长度;在采空区距离回风巷 20~40 m 的区域,瓦斯聚集的体积分数最高,通过计算及结合本矿其他工作面开采经验,在水平位置上,将高抽巷布置在距离回风巷 25 m 的位置,如图 4 所示。

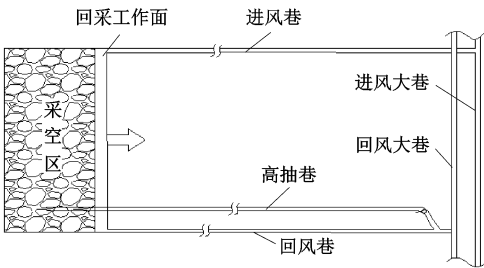


图 4 高抽巷平面布置

Fig. 4 Plane layout of high extraction roadway

3.3 综采工作面高位钻孔

由于高抽巷的影响范围及煤层透气性、地质条件等多方面原因影响,高抽巷不能完全达到对上覆煤层和采空区瓦斯的抽采,这样就需要高位钻孔来补充,从而提高整体的抽采效果。高位钻孔抽采瓦斯也是利用了受到采动影响而发育的裂隙,将钻孔施工在断裂带内,可以对其间瓦斯进行有效的抽采,

降低其向工作面涌出的瓦斯量。钻孔高度的确定既要考虑抽采效果,又要兼顾钻孔施工的效率 and 工程的难易性,钻孔应该布置在垮落带的上部 and 断裂带的中下部,这样抽采的效果最好。由图 2“三带”模拟分析可知断裂带高度为 13.8~39.5 m,钻孔垂高布置在距离开采煤层顶板以上 18~30 m 范围较合适,钻场间距设计为 60~80 m,钻孔水平投影搭接长度约为 30 m,则钻孔施工长度为 100 m 左右。工作面高位钻孔剖面图如图 5 所示。

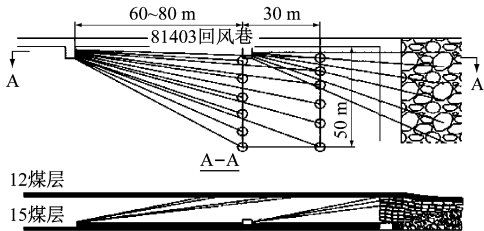


图 5 工作面高位钻孔剖面图

Fig. 5 High borehole profile on working face

3.4 采空区埋管抽采

对采空区埋管抽采瓦斯来说,抽采预留管路位置对抽采效果起关键作用,81403 综采工作面采空区涌出带和过渡带的深度为 15~20 m,结合本矿其他工作面开采实践,确定抽采口最佳位置为距离工作面 20 m 处,预留抽采口高度确定为 2.5 m。

4 瓦斯治理效果分析

4.1 采前预抽钻孔效果

工作面回采前共预抽 6 个月,单孔最大瓦斯体积分数为 90%,单孔最大抽采纯量为 1.12 m³/min,共抽采瓦斯 3.36 Mm³,预抽率达到 48.6%。预抽后测定煤层可解析瓦斯含量为 2.98 m³/t,工作面设计日回采煤量为 3 600 t,符合《煤矿安全规程》中可解析瓦斯含量小于 6.0 m³/t 的预抽达标要求。

4.2 回采涌出治理效果

统计 81403 综采工作面 2019-06-01—10-30 回采期间瓦斯抽采纯量,如图 6 所示,高抽巷平均抽采纯量为 12.9 m³/min,平均瓦斯体积分数为 36.1%,抽采纯量占抽采总纯量的 62.9%;穿层钻孔平均抽采纯量为 5.1 m³/min,平均瓦斯体积分数为 51.2%,抽采纯量占抽采总纯量的 24.9%;采空区埋管平均抽采纯量为 2.5 m³/min,平均瓦斯体积分数为 6.7%,抽采纯量占抽采总纯量的 12.2%,平均瓦斯抽采率达 89.9%,满足《煤矿安全规程》中规定的工作面瓦斯抽采率大于 40%的要求。表明根据模拟数据基础制定的抽采措施符合实际工作需要,保证了抽采的有效性。

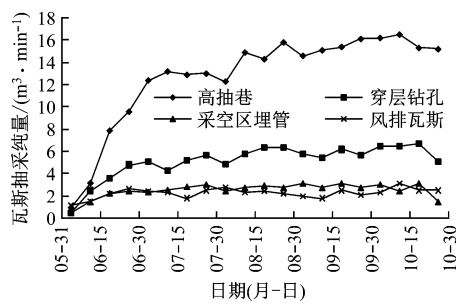


图 6 工作面回采期间瓦斯抽采纯量随时间变化曲线
Fig. 6 Change curves of gas extraction volume with time during face stopping

4.3 上隅角及回风巷治理效果

工作面回采期间回风巷、上隅角瓦斯体积分数如图 7 所示。81403 工作面 2019-06-01 开始回采，在开采初期抽采效果相对较差，上隅角瓦斯体积分数处于一个相对较高的水平，随着抽采措施实施，效果逐渐显现，回风巷及上隅角瓦斯体积分数都符合《煤矿安全规程》要求，瓦斯体积分数小于 1%，并处于一个较低的区间。这样充分验证了通过本煤层预抽、高抽巷抽采、工作面高位钻孔、采空区埋管抽采综合瓦斯治理措施在时间和空间上的应用，能够保证工作面的安全回采。

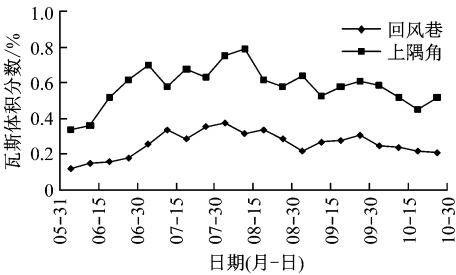


图 7 工作面回采期间回风巷、上隅角瓦斯体积分数
Fig. 7 Gas volume fraction in air return airway and upper corner during face stopping

5 结论

(1) 通过模拟上覆岩层图像的变化，分析出了“三带”的大致高度及分布范围，垮落带模拟高度为 13.8 m 左右，断裂带模拟高度为 13.8~39.5 m，弯曲下沉带为 39.5 m 以上直至地表，为瓦斯抽采措施制定提供了数据基础。

(2) 根据近距离煤层赋存特点，制定了顺层预抽钻孔、高抽巷抽采、高位钻孔、采空区埋管抽采等综合瓦斯治理措施。实际应用表明，工作面回采期间，高抽巷平均抽采纯量为 12.9 m³/min，穿层钻孔平均抽采纯量为 5.1 m³/min，采空区埋管平均抽采纯量为 2.5 m³/min，平均瓦斯抽采率达 89.9%。回风巷及上隅角瓦斯保持在 1% 以下，符合安全回采

相关要求。

参考文献 (References):

[1] 袁亮. 我国深部煤与瓦斯共采战略思考[J]. 煤炭学报, 2015, 49(4): 728-735.
YUAN Liang. Strategic thinking of simultaneous exploitation of coal and gas in deep mining [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 49(4): 728-735.

[2] 徐小奔, 胡祖祥, 邢立奋, 等. 综采工作面上覆岩层位移特征相似模拟[J]. 工矿自化, 2020, 46(1): 85-89.
XU Xiaoben, HU Zuxiang, XING Lifan, et al. Similar simulation of overburden displacement characteristics of fully mechanized mining face [J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(1): 85-89.

[3] 梁冰, 秦冰, 孙福玉, 等. 煤与瓦斯共采评价标体系及评价模型的应用[J]. 煤炭学报, 2015, 40(4): 728-735.
LIANG Bing, QIN Bing, SUN Fuyu, et al. Application of evaluation index system of coal and gas co-extraction and evaluation model [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(4): 728-735.

[4] 韩兵. 基于定向钻进技术的综合立体瓦斯抽采模式[J]. 工矿自动化, 2019, 45(2): 12-16.
HAN Bing. Comprehensive three-dimensional gas drainage mode based on directional drilling technology [J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(2): 12-16.

[5] 陈功华, 魏泽云, 梁道富, 等. 近距离煤层群高位定向长钻孔瓦斯抽采实践[J]. 矿业安全与环保, 2019, 46(5): 66-69.
CHEN Gonghua, WEI Zeyun, LIANG Daofu, et al. Gas drainage by high position directional long borehole in close distance coal seam group [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2019, 46(5): 66-69.

[6] 李锋. 突出煤层群矿井保护层和抽采巷层位优化分析[J]. 中国煤炭, 2019, 45(2): 118-121.
LI Feng. Optimization analysis of protective layer and gas extraction roadway layer of outburst coal seam group [J]. China Coal, 2019, 45(2): 118-121.

[7] 张波, 谢雄刚, 许石青. 某矿顺层钻孔瓦斯抽采及布孔参数数值模拟[J]. 工矿自动化, 2018, 44(11): 49-56.
ZHANG Bo, XIE Xiong-gang, XU Shi-qing. Numerical simulation on gas drainage and borehole arrangement parameters of bedding borehole in a coal mine [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(11): 49-56.

[8] 黄炳, 李荣欣, 周松元, 等. 近距离煤层群条件下采空区动态拖管瓦斯抽采技术[J]. 煤矿安全, 2018, 49(10): 66-68.

HUANG Bing, LI Rongxin, ZHOU Songyuan, et al. Dynamic dragging pipe gas extraction technology for goaf in closed distance coal seam group [J]. Safety in Coal Mines, 2018,49(10):66-68.

[9] 廉常军,郭城铭,邓照玉,等. 高瓦斯突出煤层群首采保护层立体式瓦斯综合治理技术及应用[J]. 煤矿开采,2019,24(1):124-127.

LIAN Changjun, GUO Chengming, DENG Zhaoyu, et al. Spatial gas control technology and application of first mining protective layer of coal seam group with high gas outburst [J]. Coal Mining Technology, 2019,24(1):124-127.

[10] 赵灿,程志恒,孔德中,等. 近距离煤层群下行开采底板应力分布与瓦斯抽采技术研究[J]. 煤炭工程, 2019,51(7):109-113.

ZHAO Can, CHENG Zhiheng, KONG Dezhong, et al. Study on stress distribution of floor and gas drainage technology in downward mining of close distance coal seam group[J]. Coal Engineering, 2019, 51(7):109-113.

[11] 苏伟伟. 近距离下邻近煤层群开采采空区瓦斯治理技术[J]. 中国安全科学学报, 2018,28(12):83-88.

SU Weiwei. Technology for controlling gas in goaf of contiguous lower adjacent coal seam group[J]. China Safety Science Journal,2018,28(12):83-88.

[12] 袁欣鹏,梁冰,孙维吉,等. 煤层群覆岩断裂带煤与瓦斯共采协同机制研究[J]. 中国矿业大学学报,2020, 49(2):289-295.

YUAN Xinpeng, LIANG Bing, SUN Weiji, et al. Synergistic mechanism of co-mining coal and gas in overburden strata fissure zone[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2020, 49(2): 289-295.

[13] 唐龙,周宗彬,周金朋,等. 近距离“三软”煤层群重复采动应力分布数值模拟[J]. 煤炭与化工, 2019, 42(4):5-7.

TANG Long, ZHOU Zongbin, ZHOU Jinpeng, et al. Close range numerical simulation of repeated mining stress distribution in "three soft" coal seam groups[J]. Coal and Chemical Industry,2019,42(4): 5-7.

[14] 张学超. 高瓦斯煤层群瓦斯综合抽采技术研究[J]. 中国煤炭, 2018,44(9):108-112.

ZHANG Xuechao. Research on comprehensive gas extraction technology in high-gassy coal seam group [J]. China Coal,2018,44(9):108-112.

[15] 周银波,黄继磊,王思琪,等. 下伏被保护层双重采动影响下覆岩瓦斯富集规律[J]. 工矿自动化, 2020, 46(4):23-27.

ZHOU Yinbo, HUANG Jilei, WANG Siqu, et al. Strata gas enrichment rules under double mining influence of underlying protected seam[J]. Industry and Mine Automation,2020,46(4):23-27.