

张巨峰,施式亮,谢亚东,等. 基于瓦斯地质单元划分的突出精准防控实践[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2022, 37(1):10-16. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.01.002

ZHANG J F, SHI S L, XIE Y D, et al. Practice of Precise Outburst Prevention and Control Based on Gas Geological Unit Division [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2022, 37(1):10-16. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.01.002

基于瓦斯地质单元划分的突出精准防控实践

张巨峰^{1,2*}, 施式亮², 谢亚东³, 柳光磊⁴, 杨峰峰¹, 苗在全³, 张 Jian 江³

(1.陇东学院 能源工程学院,甘肃 庆阳 745000;2.湖南科技大学 资源环境与安全工程学院,湖南 湘潭 411201;
3.靖远煤电股份有限公司 魏家地煤矿,甘肃 白银 730913;4.兴义民族师范学院 物理与工程技术学院,贵州 兴义 562400)

摘要:瓦斯地质单元是研究煤层瓦斯地质规律和防治煤与瓦斯突出的基础,为了使矿井防突措施更加有效,瓦斯抽采效率更高,基于甘肃靖远矿区魏家地煤矿井田瓦斯地质特征和煤层瓦斯参数,对井田进行了瓦斯地质单元划分,并对工作面进行了突出危险区域划分,建立了3个瓦斯等级.根据工作面不同的瓦斯等级和突出危险性有针对性地实施顺层钻孔、上隅角埋管、上出口中位钻孔、顶板岩石走向高位钻孔和地面钻井等瓦斯抽采措施,构建了矿井突出精准防控的瓦斯抽采模式,并在东102工作面进行了工业试验.结果表明:工作面通过实施等级抽采的突出精准防控措施,煤层残余瓦斯量最高为 $5.86\text{ m}^3/\text{t}$,残余瓦斯压力最高为 0.58 MPa ,采用钻屑解吸指标法得出最大钻屑量 S_{max} 为 3.7 kg/m ,且施工预测钻孔时,也没有出现瓦斯喷孔、卡钻和夹钻等异常现象.经防突效果检验,消除了工作面突出危险性,保障了矿井安全高效生产.

关键词:瓦斯赋存;地质单元划分;突出防治;精准防控

中图分类号:X936;TD712 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2022)01-0010-07

Practice of Precise Outburst Prevention and Control Based on Gas Geological Unit Division

ZHANG Jufeng^{1,2}, SHI Shiliang², XIE Yadong³, LIU Guanglei⁴,
YANG Fengfeng¹, MIAO Zaiquan³, ZHANG Jianjiang³

(1. School of Energy Engineering, Longdong University, Qingyang 745000, China;

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

3. Weijiadi Coal Mine, Jingyuan Coal Power Co., Ltd., Baiyin 730913, China;

4. School of Physics and Engineering Technology, Xingyi Normal University for Nationality, Xingyi 562400, China)

Abstract: Gas geological unit is the basis of studying coal seam gas geological law and preventing coal and gas outburst. In order to make mine outburst prevention measures more effective and gas drainage efficiency higher, based on the gas geological characteristics and coal seam gas parameters of Weijiadi Coal Mine in Jingyuan mining area of Gansu Province, the gas geological unit of the mine field is divided, and the outburst risk area of the working face is divided, and three gas grades are established. According to the different gas grades and outburst risk of working face, the gas drainage measures such as bedding drilling, upper corner buried pipe, upper outlet middle drilling, roof rock strike high drilling and surface drilling are implemented, and the gas drainage mode of

收稿日期:2020-08-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51974120; 51774135; 51704110); 甘肃省自然科学基金资助项目(21JR11RM049); 庆阳市科技计划项目资助(QY2021A-F026)

*通信作者, E-mail: jufeng6100229@126.com

precise prevention and control of mine outburst is constructed. The industrial test is carried out in east 102 working face. Results show that the maximum amount of residual gas in coal seam is $5.86 \text{ m}^3/\text{t}$, the maximum pressure of residual gas is 0.58 MPa , and the maximum amount of drilling cuttings S_{\max} is 3.7 kg/m by using the drilling cuttings desorption index method. In addition, there are no abnormal phenomena such as gas jet hole, sticking and clamping during the construction prediction drilling. Through the outburst prevention effect test, the outburst risk of the working face is eliminated, and the safe and efficient production of the mine is guaranteed.

Keywords: gas occurrence; geological unit division; outburst prevention and control; precise prevention and control

我国煤炭资源赋存复杂,随着开采深度的纵向延伸,一些高瓦斯矿井的突出危险性越来越严重^[1],部分中小型煤炭企业发展较为粗放,消耗高、产出低,一些措施的实施不够精准.瓦斯突出防控也存在这样的问题,为了贯彻落实突出煤层“应抽尽抽”的瓦斯抽采原则,企业往往将能用的抽采措施全部用上,增加了煤炭生产成本,而且可能因抽采不当,引发采空区、煤柱等区域煤炭自燃,甚至引发瓦斯爆炸等事故.为此,通过基于瓦斯地质单元的煤层瓦斯突出危险区域划分,优化抽采方案,精准施工抽采钻孔,实现瓦斯抽采可靠、抽采达标的目标^[2-3],保障矿井安全生产.

瓦斯地质单元划分最早由原焦作工学院瓦斯地质研究所提出,认为煤层因受地质因素制约突出区域分布不均匀,呈带状,为了研究其规律性,按一定标准综合划分不同等级的区域,即瓦斯地质单元划分^[4].此后,国内很多学者^[5-8]通过进行瓦斯地质单元划分,研究了瓦斯地质规律,分析了煤层瓦斯赋存的影响因素及受控条件,为矿井瓦斯突出防控提供了理论依据.基于魏家地煤矿井田瓦斯地质单元划分,根据煤层瓦斯含量和瓦斯压力圈定瓦斯突出危险区域,确定工作面瓦斯危险等级,实施相应瓦斯抽采措施,探讨构建突出精准防控的抽采模式.

1 井田概况

魏家地煤矿井田属甘肃靖远矿区宝积山煤田的一部分,井田从西至东由宝积山向斜及其次生的1[#]背斜、2[#]向斜、3[#]背斜和4[#]向斜组成,含煤地层为中下侏罗系,主采煤层为一煤层和三煤层,一煤层瓦斯含量为 $0.13 \sim 10.22 \text{ m}^3/\text{t}$,平均 $3.04 \text{ m}^3/\text{t}$,在 F_3 断层以南由浅至深,瓦斯含量为 $0.91 \sim 10.22 \text{ m}^3/\text{t}$; F_3 断层以北由浅至深,瓦斯含量为 $0.13 \sim 4.02 \text{ m}^3/\text{t}$.三煤层瓦斯含量为 $0.12 \sim 4.79 \text{ m}^3/\text{t}$,平均 $2.31 \text{ m}^3/\text{t}$, F_3 断层以南瓦斯含量偏高,以北瓦斯含量偏低,由浅至深瓦斯含量呈现由小到大的规律.2[#]向斜轴部及靠近 F_3 断层上下盘 $100 \sim 150 \text{ m}$ 的区域瓦斯含量偏高.1989年12月14日,原中国统配煤矿总公司以中煤基字[678]号文批复魏家地煤矿为煤与瓦斯突出矿井,一煤层和三煤层均为突出煤层.矿井自投产以来共发生煤与瓦斯突出事故15次.

2 矿井瓦斯地质单元划分

2.1 瓦斯地质单元划分原则

目前,瓦斯地质单元划分仍没有统一的标准,主要依靠专家实践经验,因此,不同的专家划分结果也不同.但是,随着人们对瓦斯地质研究的深入^[9-11],瓦斯地质单元划分原则也形成了一些共识:

1) 通常按2个级别对瓦斯地质单元确定划分等级,首先划分一级地质单元,然后再在一级地质单元的基础上划分二级地质单元,以求划分的精确性.

2) 通过瓦斯区域边界控制线确定瓦斯地质单元边界.

3) 一般同一区域内的瓦斯地质单元划分或使用单一指标,或使用综合指标,但标准应统一.

4) 瓦斯地质单元划分与瓦斯地质图绘制应同时进行,最终一并体现在瓦斯地质图上.

2.2 魏家地煤矿瓦斯地质单元划分标准

魏家地煤矿井田煤层分布均匀,厚度变化不大,顶板、底板岩层致密,透气性差,有利于瓦斯封存;整个

井田处于同一水文地质单元,水系统为瓦斯封存提供了良好条件;井田内延展长度超过 6 000 m 的大型断层发育,成为瓦斯地质单元边界的圈定线.根据瓦斯地质单元划分标准,基于矿井煤层瓦斯含量及井田内大型断层初步确定瓦斯地质单元边界控制线,确定一级地质单元 I,II,III,然后再在一级单元划分的基础上,以煤层瓦斯含量 t 和瓦斯压力 P 具体确定二级地质单元.当 $t < 6 \text{ m}^3/\text{t}$, $P < 0.74 \text{ MPa}$ 时,区域圈定为二级单元 I_1, II_1, III_1 ; 当 $6 \text{ m}^3/\text{t} \leq t < 10 \text{ m}^3/\text{t}$, $P \geq 0.74 \text{ MPa}$ 时,区域圈定为二级单元 I_2, II_2, III_2 ; 当 $t \geq 10 \text{ m}^3/\text{t}$, $P \geq 0.74 \text{ MPa}$ 时,区域圈定为二级单元 I_3, II_3, III_3 .

2.3 魏家地煤矿瓦斯地质单元划分

根据魏家地煤矿井田瓦斯地质单元划分标准,井田最终划分为地质单元 I,II,III,如图 1 所示.

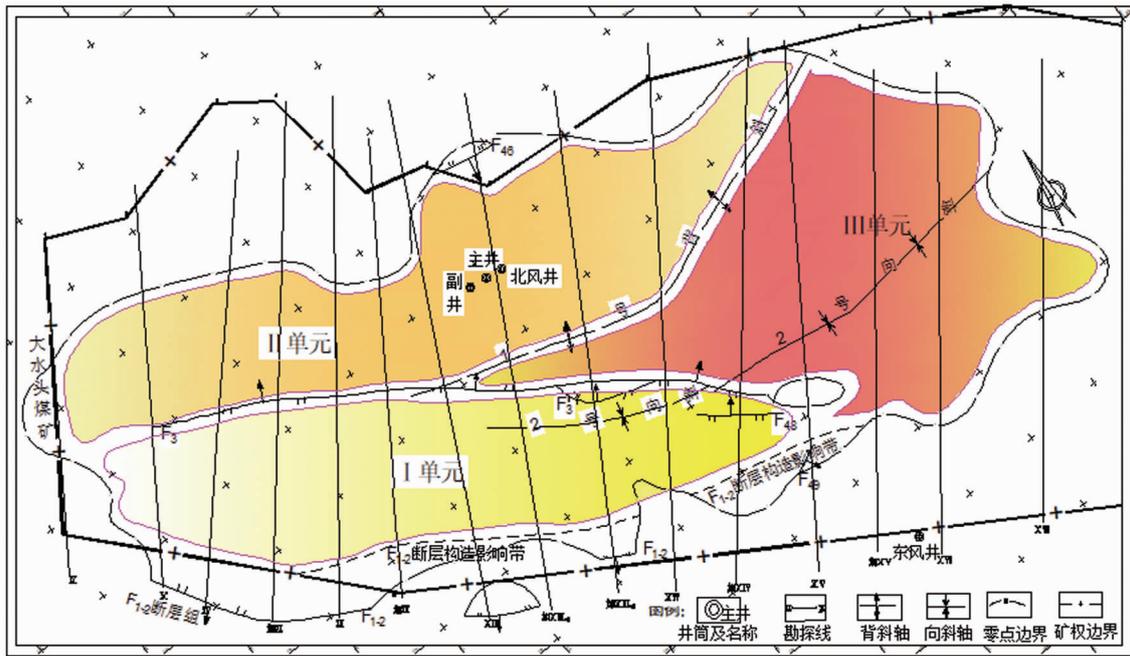


图 1 魏家地矿煤层地质构造

1) 瓦斯地质单元 I 是由 F_{1-2} 断层组、 F_3 断层组与 1# 背斜组成的边界控制线圈定的区域.其中, F_{1-2} 由 F_1, F_2 和中间诸多断层组成,是井田南部边缘的外来推覆体,基本与井田走向方向保持一致,但对下盘煤层产生了严重破坏,影响了井田南翼. F_3 断层西起于 X 线以东,是一个被 F_{1-2} 断层组覆盖的隐蔽逆断层,向西以 55° 斜切 1# 背斜,全长 4 100 m,根据区域瓦斯含量和瓦斯压力,又划分为 I_1, I_2, I_3 二级地质单元.

2) 瓦斯地质单元 II 是由 F_{46} 断层与 F_3 断层组成的边界控制线圈定的区域. F_{46} 东由 X IX 线进入,西至加 X III-2 线与 X IV 线之间,以 $N55^\circ W$ 穿过井田形成井田北东部. F_{48} 断层是一个由 SW 向 NE 推覆并与 F_3 对冲的逆断层,位于 F_3 断层以南,并与 F_3 断层基本平行.根据区域瓦斯含量和瓦斯压力,又划分为 II_1, II_2, II_3 二级地质单元.

3) 瓦斯地质单元 III 由 1# 背斜、 F_{48} 断层与 2# 向斜组成的边界控制线圈定的区域, F_{48} 断层倾角 $55^\circ \sim 65^\circ$,是一个由 NE 向 SW 推覆的压扭性逆断层,断面倾向 NE,长约 650 m,根据瓦斯含量与瓦斯压力,又划分为 III_1, III_2, III_3 二级瓦斯地质单元.

3 突出精准防控步骤及瓦斯抽采模式

3.1 瓦斯地质单元与瓦斯等级对应确定

瓦斯地质单元是为了研究区域瓦斯地质规律,通过区域边界控制线和大型地质构造圈定的单元区域,但是区域单元内瓦斯含量和瓦斯压力差异性又特别大,为此,将区域边界控制线和大型地质构造圈定的区

域确定为一级地质单元,并在此基础上,根据煤层瓦斯含量和瓦斯压力确定二级地质单元.瓦斯等级是以煤层瓦斯含量和瓦斯压力为基础,结合地质因素确定为 3 个等级,具体见表 1.

表 1 回采工作面瓦斯等级与瓦斯地质单元对照

企业等级	煤层瓦斯含量/(m^3/t)	煤层瓦斯压力/MPa	瓦斯地质单元	突出危险性
一	$t < 6$	$P < 0.74$	I_1, II_1, III_1	无危险性
二	$6 \leq t < 10$	$P \geq 0.74$	I_2, II_2, III_2	具有突出危险性
三	$t \geq 10$	$P \geq 0.74$	I_3, II_3, III_3	突出危险性严重

3.2 突出精准防控步骤及方法

矿井煤与瓦斯突出精准防控是建立在时间和空间综合属性基础上的一项系统防控工程,基于井田瓦斯地质特征的基础上划分瓦斯地质单元,并进行突出危险性预测,划分瓦斯突出危险区域,根据工作面瓦斯等级,结合矿井“抽-采-掘”接续关系,从时空角度优化瓦斯抽采措施,形成一套基于瓦斯地质单元的突出精准防控模式,具体路线如图 2 所示.

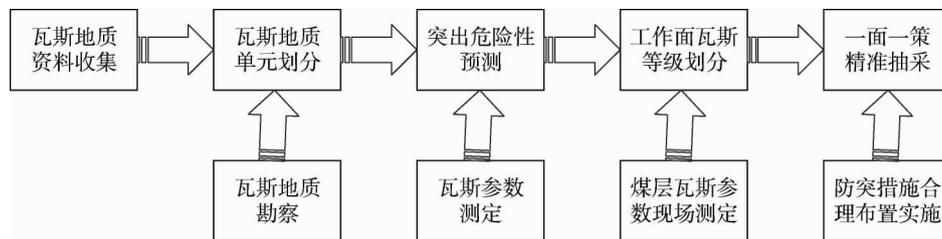


图 2 突出精准防控步骤

- 1) 收集煤层瓦斯含量和压力、抽-掘-采接续部署等矿井地质资料.
- 2) 根据井田地质构造、瓦斯含量、瓦斯压力等划分瓦斯地质单元.
- 3) 通过现场进行煤层瓦斯含量、瓦斯压力、最大钻屑量等参数测定,预测区域突出危险性.
- 4) 基于划分的瓦斯地质单元和煤层瓦斯参数(瓦斯含量、瓦斯压力),确定工作面瓦斯等级(一级、二级、三级).
- 5) 根据区域突出危险性严重程度和瓦斯等级,有针对性、精准地进行瓦斯抽采,部署合理的突出防治方案.

3.3 突出精准防控的瓦斯抽采模式

瓦斯抽采方案的合理设计是突出精准防控的关键环节,防治突出的主要方法是瓦斯抽采,包括顺层钻孔、底板岩巷穿层钻孔、采空区上隅角埋管抽采、顶板岩石走向高位钻孔、上出口中位钻孔、地面钻井等抽采方法.根据工作面瓦斯等级,精准防突的具体措施:

- 1) 等级一:顺层钻孔瓦斯抽采、上隅角埋管抽采、上出口中位钻孔瓦斯抽采,解决工作面瓦斯问题.
- 2) 等级二:顺层钻孔瓦斯抽采、上隅角埋管抽采、上出口中位钻孔瓦斯抽采、顶板岩石走向大直径高位钻孔瓦斯抽采,并配备瓦斯分源抽采系统,进行减突和消突.
- 3) 等级三:顺层钻孔瓦斯抽采、上隅角埋管抽采、上出口中位钻孔瓦斯抽采、顶板岩石走向大直径高位钻孔瓦斯抽采、地面钻井瓦斯抽采,并配备瓦斯分源抽采系统,进行减突和消突,采煤工作面瓦斯综合抽采示意图如图 3 所示.

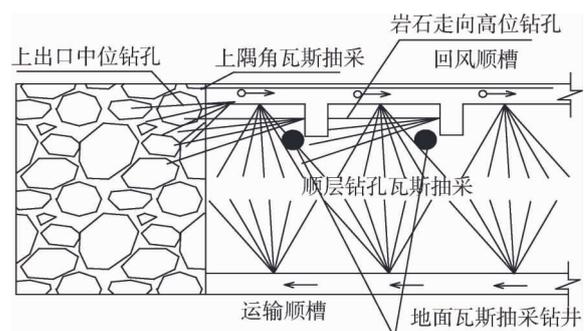


图 3 采煤工作面瓦斯综合抽采

4 突出危险区域划定及精准防控实践

4.1 试验区域

东 102 工作面走向长 920 m, 倾向长 135 m, 煤层厚度为 5.00~39.55 m, 平均 15.4 m, 煤层倾角 0~25°, 平均 13°, 瓦斯含量为 4.68~10.17 m³/t, 瓦斯最大压力为 1.88 MPa, 坚固性系数 f 值为 0.31, 煤层具有突出危险性, 采用 U 形通风, 综放开采工艺。

4.2 区域突出危险性划定

东 102 工作面的 3/4 位于 F_{1-2} 断层组构造影响带内, 因 F_{1-2} 断层组推覆、挤压, 煤层破坏严重, 起伏不平, 呈鸡窝状, F_{1-2} 断层组构造影响带区域突出危险性严重。沿工作面走向, 煤层瓦斯含量和瓦斯压力随煤层厚度的变薄呈现减小的趋势, 突出危险性也相对变小。基于瓦斯地质单元划分, 东 102 工作面突出危险性圈定如图 4 所示, 工作面区域瓦斯等级如图 5 所示。

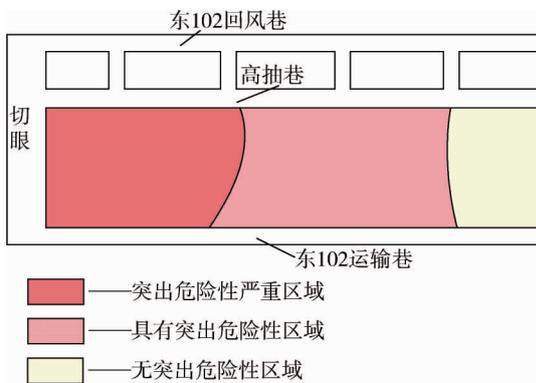


图 4 工作面突出危险性分布

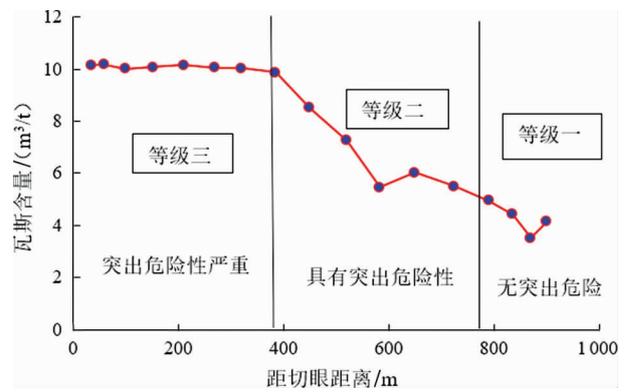


图 5 东 102 工作面区域瓦斯等级

1) 瓦斯等级三区域: 距切眼约 400 m 范围内, 煤层瓦斯含量为 10.00~10.17 m³/t, 瓦斯最大压力为 1.88 MPa, 突出危险性严重。

2) 瓦斯等级二区域: 距切眼 400~800 m 范围内, 煤层瓦斯含量为 5.50~9.86 m³/t, 瓦斯压力为 0.74~1.00 MPa, 具有突出危险性。

3) 瓦斯等级一区域: 距工作面出口约 150 m 范围内, 煤层瓦斯含量为 4.15~4.96 m³/t, 瓦斯压力小于 0.74 MPa, 区域无突出危险性。

4.3 抽采可行性分析

煤层瓦斯抽采的可行性是指在原始透气性条件下进行预抽的可能性, 主要通过煤层透气性系数 (λ) 和钻孔瓦斯流量衰减系数 (α) 衡量, 抽采难易程度表如表 2 所示。

表 2 瓦斯抽采难易程度

难易程度	α/d^{-1}	$\lambda/(m^3/(atm^2 \cdot d))$
容易抽采	<0.003	>10
可以抽采	0.003~0.050	0.1~10
较难抽采	>0.050	<0.1

魏家地煤矿煤层透气性系数为 0.213~0.700 m³/(atm²·d), 钻孔瓦斯流量衰减系数为 0.032~0.053 d⁻¹, 煤层属于可以抽采型。

工作面采用综采放顶煤采煤工艺, 全部垮落法管理顶板, 采空区丢失遗煤多, 大量解吸瓦斯为采空区瓦斯稳定抽采提供了条件。因此, 开采煤层和采空区抽采是可行的。

4.4 突出精准防控的瓦斯抽采措施实施

根据东 102 工作面突出危险区域划分和瓦斯等级, 对照表 1, 在距工作面切眼 400 m 范围内布置 2 口

地面钻井进行瓦斯预抽,实施区域防突措施的实施,当井下采煤工作面推过钻井后,地面钻井仍可以进行采空区瓦斯抽采.同时,井下联合顺层钻孔、上隅角埋管抽采、中位钻孔、高位钻孔或高位瓦斯抽采巷等瓦斯抽采措施,形成井上井下立体式瓦斯抽采模式^[12-16],实现高瓦斯工作面高效防突.具体见图 6 所示.

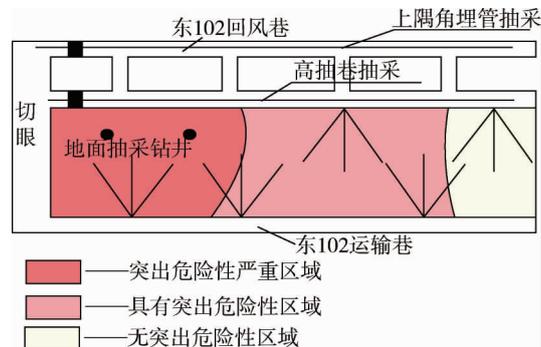


图 6 工作面瓦斯抽采措施布置

5 突出精准防控效果考察

5.1 防突效果检验指标

“抽采达标”是我国煤矿瓦斯治理十六字方针的关键,是矿井瓦斯抽采设计和防突措施效果检验的重要内容^[17-21].根据《防治煤与瓦斯突出规定》《煤矿安全规程》《煤矿瓦斯抽采基本指标》《靖远煤业集团“一通三防”技术规范》可知,魏家地煤矿防突效果检验的抽采达标应满足:

1) 瓦斯预抽率 $\eta \geq 40\%$.

2) 煤层残余瓦斯量 $W_{CY} < 6 \text{ m}^3/\text{t}$, 瓦斯压力 $P_{CY} < 0.74 \text{ MPa}$, 钻孔施工时无瓦斯喷孔、无顶钻、无卡钻等现象.

3) 最大钻屑量 $S_{\max} < 4 \text{ kg/m}$, 预测钻孔无喷孔、无卡钻、无夹钻现象.

5.2 防突效果考察

1) 通过实施地面钻井与井下钻孔联合的立体式瓦斯抽采措施,预抽时间达 1 a 以上,最长为 1.25 a, 抽采前后的瓦斯参数测定见表 3.

表 3 工作面不同区域瓦斯参数对比

所属区域	取样地点	瓦斯压力/MPa		瓦斯含量/(m^3/t)		抽采率/%
		原始	残余	原始	残余	
等级三	距切眼 151 m	1.88	0.58	10.08	5.86	41.87
等级三	距切眼 240 m	1.62	0.56	10.05	5.18	48.46
等级二	距切眼 470 m	1.48	0.56	7.25	4.05	44.14
等级二	距切眼 535 m	1.02	0.48	5.45	2.88	47.16
等级一	距出口 85 m	0.72	0.46	4.32	2.18	49.54
等级一	距出口 60 m	0.68	0.30	3.51	2.06	41.31

由表 3 可知,通过实施精准防突抽采措施后,煤层瓦斯抽采率最低为 41.31%,大于 40%,满足抽采达标指标(1)的要求.

2) 抽采后,煤层残余瓦斯量最高为 $5.86 \text{ m}^3/\text{t}$, 小于 $6 \text{ m}^3/\text{t}$, 残余瓦斯压力最高为 0.58 MPa , 小于 0.74 MPa , 满足抽采达标指标(2)的要求.

3) 采用钻屑解吸指标法,测得最大钻屑量 $S_{\max} = 2.8 \sim 3.7 \text{ kg/m}$, 施工预测钻孔过程中,无瓦斯喷孔、无卡钻、夹钻等异常现象,满足抽采达标指标(3)的要求.

综上可知,东 102 工作面经过精准防控措施的实施,实现了瓦斯抽采达标,突出消除的效果.

6 结论

1) 基于魏家地煤矿井田地质特征,运用瓦斯地质理论,井田划分为3个一级瓦斯地质单元,并在一级单元的基础上,根据瓦斯含量和瓦斯压力,又划分3个二级地质单元。

2) 基于瓦斯地质单元和煤层瓦斯含量、瓦斯压力等参数,确定瓦斯等级,划分工作面的突出危险性区域,确定工作面突出危险性与瓦斯等级的对应关系。

3) 基于东102工作面突出危险性和瓦斯等级,实施工作面精准防突瓦斯抽采措施的实施,经防突效果考察,实现了瓦斯抽采达标、工作面突出消除的效果。

参考文献:

- [1] 张津嘉,许开立,王贝贝.特别重大煤矿瓦斯爆炸事故致因分析及管理模式研究[J].中国安全科学学报,2016,26(2):73-78.
- [2] 唐恩贤,党利鹏,闫国锋.基于时空属性的黄陵矿区瓦斯精准化预抽实践[J].煤炭科学技术,2018,46(8):87-92.
- [3] 唐恩贤,李川.黄陵矿区瓦斯“精准抽采”技术管理体系建设的探索与实践[J].煤矿安全,2019,50(1):144-148.
- [4] 王璐明,崔洪庆,钟福平,等.丁集矿11-2煤层瓦斯赋存规律及瓦斯地质单元划分[J].煤矿安全,2015,46(11):156-159.
- [5] 李云波,张腾飞,宋党育,等.基于多重分形奇异性理论的瓦斯地质规律预测方法——以淮南矿区潘一矿为例[J].煤炭学报,2018,43(12):3436-3446.
- [6] 侯海海,张玉贵,邵龙义,等.煤与瓦斯突出矿井瓦斯地质单元特征研究[J].煤炭科学技术,2013,41(s2):203-206.
- [7] 雷东记,李钰魁,张玉贵,等.基于地质单元的邹庄矿瓦斯异常区划分[J].煤田地质与勘探,2015,43(3):15-21.
- [8] 钟福平,白万备,林辰,等.淮南煤田潘一矿瓦斯地质单元划分[J].煤炭科学技术,2014,42(10):57-61.
- [9] 孔胜利,杨洋,贾音,等.煤层瓦斯赋存特征及其关键地质因素影响研究[J].煤炭科学技术,2019,47(7):53-58.
- [10] 孙学阳,张齐,夏玉成,等.韩城矿区煤炭资源有利开采区块辨识的原理与方法[J].煤炭科学技术,2020,48(11):232-240.
- [11] 王亮,郑思文,赵伟,等.淮北煤田煤与瓦斯突出灾害差异性和控制因素研究[J].煤炭科学技术,2020,48(10):75-83.
- [12] 张巨峰,余岚,杨日丽,等.高瓦斯煤层顺层钻孔瓦斯抽采与注水防尘一体化技术实践[J].煤炭技术,2018,37(4):159-160.
- [13] 张巨峰,马志鹏,杨峰峰,等.低渗厚煤层开采采空区瓦斯分布规律数值模拟研究[J].陇东学院学报,2019,30(5):35-39.
- [14] 张巨峰,杨峰峰,雷武林,等.低透气性高瓦斯长距离工作面瓦斯综合防治技术[J].陇东学院学报,2016,27(3):101-105.
- [15] 刘云峰,张巨峰,谢亚东,等.高位钻孔采空区瓦斯抽采与洒浆防灭火技术实践[J].煤炭科学技术,2013,41(4):53-56.
- [16] 李艳奎,吴世跃,安省伟,等.瓦斯综合治理“一面一策”标准研究——西山煤电矿井回采工作面瓦斯分级治理标准[J].太原理工大学学报,2015,46(1):55-59.
- [17] 董洪凯.高突矿井瓦斯抽采防突评价体系的构建及应用[J].煤炭科学技术,2016,44(2):84-88.
- [18] 张巨峰,施式亮,鲁义,等.矿井瓦斯与煤自燃共生灾害:耦合关系、致灾机制、防控技术[J].中国安全科学学报,2020,30(10):149-155.
- [19] 徐雪战,邹云龙.矿井瓦斯抽采达标效果在线评判系统及应用[J].煤矿安全,2019,50(11):95-98.
- [20] 梁文勤.基于达标抽采量的顺层预抽钻孔抽采半径确定方法[J].煤矿安全,2019,50(5):19-22.
- [21] 张巨峰,施式亮,鲁义,等.大数据下瓦斯与煤自燃共生灾害智能预警系统:数据特征、应用架构、关键技术[J].中国安全科学学报,2021,31(9):60-66.