

doi: 10.11731/j.issn.1673-493x.2020.01.011

# 煤油气共生矿井瓦斯含量主控因素分析及工作面瓦斯治理<sup>\*</sup>

徐 刚<sup>1,2</sup>, 王云龙<sup>1</sup>, 张天军<sup>1,2</sup>, 潘红宇<sup>1,2</sup>, 韩亚伟<sup>3</sup>

(1. 西安科技大学 安全科学与工程学院 陕西 西安 710054;

2. 西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室 陕西 西安 710054; 3. 陕西省崔家沟煤矿 陕西 铜川 727007)

**摘 要:** 针对崔家沟煤矿煤油气共生、瓦斯含量分布复杂、瓦斯涌出不均的特点,在分析瓦斯含量影响因素的基础上,采用灰熵关联分析法确定影响瓦斯含量的主控因素,通过顶板岩层含油强度研究2303工作面瓦斯含量分布规律,提出2303工作面瓦斯治理方案并进行应用。结果表明:顶板岩层含油强度与瓦斯含量的灰熵关联度最大为0.993 3,是影响崔家沟煤矿4<sup>-2</sup>号煤层瓦斯含量的主控因素;根据顶板含油强度可将2303工作面划分为2个瓦斯含量分布单元;采取高位钻孔与顶板走向长钻孔相结合的工作面瓦斯治理方案可有效降低高瓦斯含量分布单元回采时回风流中的瓦斯浓度,能有效确保工作面的安全高效回采。

**关键词:** 煤油气共生; 顶板岩层含油强度; 瓦斯赋存; 灰熵关联分析; 瓦斯治理

中图分类号: X936; TD712

文献标志码: A

文章编号: 1673-193X(2020)-01-0066-07

## Analysis on main controlling factor of gas content in coal-oil-gas coexisting mine and gas control in working face

XU Gang<sup>1,2</sup>, WANG Yunlong<sup>1</sup>, ZHANG Tianjun<sup>1,2</sup>, PAN Hongyu<sup>1,2</sup>, HAN Yawei<sup>3</sup>

(1. College of Safety Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an Shaanxi 710054, China;

2. Key Laboratory of Western Mine Exploitation and Hazard Prevention of Ministry of Education, Xi'an Shaanxi 710054, China;

3. Cuijiagou Coal Mine of Shaanxi Province, Tongchuan Shaanxi 727007, China)

**Abstract:** Aiming at the characteristics of coal-oil-gas coexisting, complex distribution of gas content and uneven gas emission in Cuijiagou coal mine, on the basis of analyzing the influence factors of gas content, the main controlling factor affecting the gas content was determined by using the grey entropy correlation analysis method. The distribution laws of gas content in 2303 working face was studied through the oil-bearing strength of roof stratum. Finally, the gas control scheme of 2303 working face was proposed and applied. The results showed that the maximum grey entropy correlation between the oil-bearing strength of roof stratum and the gas content was 0.993 3, which was the main controlling factor affecting the gas content of No. 4<sup>-2</sup> coal seam in Cuijiagou coal mine. According to the oil-bearing strength of roof, the 2303 working face could be divided into two gas content distribution units. The gas control scheme of working face with the combination of high-level borehole and roof directional long borehole could effectively reduce the gas concentration in the return flow during the mining of high gas content distribution units, and effectively ensure the safe and efficient mining of the working face.

**Key words:** coal-oil-gas coexisting; oil-bearing strength of roof stratum; gas occurrence; grey entropy correlation analysis; gas control

## 0 引言

瓦斯治理问题是我国煤炭工业可持续发展中面临

的重要挑战之一<sup>[1-2]</sup>,特别是当矿区存在煤、油共生的情况,瓦斯治理问题则显得愈发复杂。井田中油气层的存在使局部形成瓦斯聚集区,当工作面回采到附近时,

收稿日期: 2019-07-27

<sup>\*</sup> 基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0807805, 2018YFC0808303); 陕西省自然科学基金研究计划项目(2019JM-072); 西安科技大学博士后启动金项目(2018QDJ053); 西安科技大学教育教学改革与研究项目(JG18017)

作者简介: 徐 刚, 博士, 副教授, 主要研究方向为瓦斯防治。

通信作者: 王云龙, 硕士研究生, 主要研究方向为矿井瓦斯防治。

煤层中的瓦斯及其附近的油气会一同突然涌入工作面中<sup>[3]</sup>,给工作面的生产带来安全隐患;此外,矿井空气中油气成分可能会改变瓦斯爆炸极限的上下限,增加瓦斯爆炸发生的几率<sup>[4-5]</sup>。自 1972 年焦坪矿区为解决煤层中含有油气的问题开展了油、气条件下采煤研究试验工作以来<sup>[6]</sup>,煤炭相关工作者、科研机构针对煤、油共生矿井作了大量研究。王生全在灰色关联分析的基础上,采用 BP 神经网络建立了含油气煤层瓦斯涌出量预测模型<sup>[7]</sup>;陈冬冬结合黄陵二号矿的实际情况,提出了基于矿井围岩气储集层分布、控气要素和煤炭开采采动影响等多因素耦合下的煤油气共生矿井围岩气区域综合预测技术<sup>[8]</sup>;宋文健等从煤炭与油气资源分布、赋存规律出发,分析了油气井保护煤柱留设的重要性<sup>[9]</sup>;延长石油集团在靖边开展油、煤、盐综合利用,并由联合国指定为清洁煤技术示范和推广项目<sup>[10]</sup>。但针对煤油气共生矿井中油气存在对瓦斯含量分布影响及专项瓦斯治理技术研究较少,基于此,根据崔家沟煤矿煤、油共生的地质条件,采用灰熵关联分析法确定影响煤层瓦斯含量的主控因素,并以 2303 工作面为例研究顶板含油强度与瓦斯含量分布的关系,同时针对煤层顶板岩层中含有油气易导致瓦斯大量聚集的实际情况制定顶板走向长钻孔与高位钻孔结合的瓦斯治理方案,以期为此类矿井瓦斯治理提供一定指导。

## 1 矿井概况

陕西省崔家沟煤矿地处黄陇侏罗纪煤田焦坪矿区内中南部,位于陕西省铜川市西北方向,该矿设计产能 2.1 Mt/a,核定产能 1.95 Mt/a,井田地面标高 +1 242 ~ +1 723 m,为高瓦斯矿井。本区含煤地层为侏罗系中统延安组,共含煤 4 组 9 层。自上而下依次编号为 1, 2<sup>-1</sup>, 2<sup>-2</sup>, 3<sup>-1</sup>, 3<sup>-2</sup>, 3<sup>-3</sup>, 4<sup>-1</sup>, 4<sup>-2</sup>, 4<sup>-2下</sup> 煤层,含煤系数为 14.0%。4<sup>-2</sup> 煤层为可采煤层,其余均不可采,煤层厚度 0 ~ 24.5 m,平均厚度 11 m。该区煤层赋存较稳定,直接顶板以粉砂岩为主,部分地段相变为泥岩、炭质泥岩;煤层底板以灰色、灰黑色泥岩为主,部分砂质泥岩,偶有细砂岩。矿井煤系地层综合柱状如图 1 所示。

据以往勘探及生产揭露资料,崔家沟井田地层从永坪组、延安组到直罗组上、下段的砂岩中,均发现油气。在平面上,油气层分布主要受岩性控制,多为砂岩透镜体,连续性差,剖面上具有上倾消失的特点<sup>[11]</sup>。岩层中油气的存在会阻挡瓦斯的扩散,形成瓦斯聚集区,同时也污染工作面环境,损坏开采设备等,从而威胁矿井安全生产。

系	统	组	段	柱状图	岩层厚度/m	岩石名称
侏罗系	中统	延安组	第 3 段		0~139.00 66.06	粗粒砂岩或砂砾岩、泥岩、砂质泥岩和粉砂岩
			第 2 段		0~31.42 18.60	中粗粒砂岩夹泥岩
			第 1 段		0~94.45 55.88	中~粗粒砂岩,以石英为主
			富县组		0~55.81 25.12	炭质泥岩砂质泥岩泥岩
	下统	永坪组			0~43.29 10.87	砂质泥岩、泥岩、粉砂岩
三叠系	上统	永坪组			不详	中~细粒砂岩与泥岩

图 1 煤系地层综合柱状

Fig. 1 Comprehensive stratigraphic map of coal seams

## 2 瓦斯含量影响因素选取及关联度分析

### 2.1 影响因素选取

崔家沟煤矿为煤油气共生矿井,该矿瓦斯含量较低,但是影响因素却非常复杂。由于崔家沟煤矿地处第四系,上覆黄土层厚度较薄,所以埋深与上覆基岩厚度相差不大,故本文选取了埋深对于瓦斯含量的影响,便没有考虑上覆基岩厚度。同时除了地质构造、顶板岩性、煤层厚度、底板标高等因素对煤层瓦斯含量有影响外,上覆岩层的含油强度也是影响煤层瓦斯含量不可忽视的因素。因此,本文选取地质构造(断层( $X_1$ ))、褶皱( $X_2$ ))、顶板岩性(岩石质量指标  $RQD$ ( $X_3$ ))、单轴抗压强度( $X_4$ ))、煤层埋藏深度( $X_5$ ))、煤层厚度( $X_6$ ))、底板标高( $X_7$ ))、含油强度( $X_8$ ))等指标对煤层瓦斯赋存特征进行研究。

### 2.2 影响指标量化

选取的指标中既有定量指标,也有定性指标。其中,定量指标可通过崔家沟煤矿《煤矿生产地质报告》直接获取,而定性指标则需要通过相应方法予以量化处理。

断层、褶皱为定性指标,根据数量化理论可将其转化为二分变量从而进行量化,即用“1”和“0.5”分别表示断层的“存在”和“不存在”。

含油强度指煤层顶板之上砂岩含油等级,是以顶板岩层的富油性、含油厚度结合有机质含量来选取。可以将含油强度分为5级,即大量、较多、含油、少量、微量<sup>[12]</sup>,具体量化结果见表1。对瓦斯含量的各影响指标数据进行统计,具体见表2。

### 2.3 灰熵关联分析法

为改善单一评价方法的不足,采用灰色关联度分析与熵值法相结合的灰熵关联分析法<sup>[13]</sup>,该方法综合运用信息熵权和灰色关联度分析方法使各指标对瓦斯含量的影响评价更客观合理。

表1 含油强度等级量化值

Table 1 Quantized values of oil-bearing strength grades

含油强度等级	大量	较多	含油	少量	微量
含油特征	岩芯全部均匀饱满,有大量油珠滴落	岩芯全部均匀含油,有少量油珠滴落	岩芯不均匀含油,表面有油渗出	岩芯斑状,不含油,表面呈油浸状	肉眼看不出油迹,但有油味
评分	5	4	3	2	1

表2 瓦斯含量影响指标参数

Table 2 Influence index parameters of gas content

孔号	地质构造		顶板岩性		埋深/m	煤厚/m	底板标高/m	含油强度等级	瓦斯含量/( $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ )
	断层	褶皱	RQD/%	抗压强度/MPa					
C3	0.5	0.5	25.6	13.9	458.71	6.47	1 050.47	3	0.66
C8	0.5	0.5	80.0	11.0	657.72	14.34	925.32	2	0.33
C10	0.5	0.5	67.5	40.1	290.92	16.84	1 261.93	5	1.10
C12	0.5	0.5	81.0	10.5	412.45	15.57	1 138.40	1	0.17
C19	0.5	1	68.0	18.2	384.15	11.49	1 200.07	5	1.50
C21	0.5	1	18.6	23.5	319.62	7.54	1 056.80	5	4.56
BK21	1	0.5	60.0	12.5	605.28	13.14	921.43	1	0.24
C27	0.5	1	18.3	9.6	217.46	2.63	1 155.23	1	0.11
C28	0.5	0.5	62.5	33.2	450.09	6.19	969.14	2	0.47
C29	0.5	0.5	63.0	14.2	260.46	6.12	1 013.74	2	0.4
C34	1	1	78.5	18.5	445.23	5.66	971.77	4	0.88
C42	0.5	1	60.5	11.3	673.29	12.43	899.87	1	0.22
C44	0.5	0.5	18.3	7.6	457.18	7.08	986.40	1	0.03
C45	0.5	1	72.5	16.5	688.83	3.68	870.90	3	0.74
杏1	0.5	1	23.5	13.2	483.17	0.64	1 046.14	3	0.619
杏2	1	0.5	22.5	9.7	438.86	4.06	952.99	2	0.511
扩8	0.5	0.5	70.0	9.6	494.85	7.90	947.52	1	0.053
扩22	0.5	0.5	60.1	10.5	709.57	9.30	907.78	1	0.128
B1	1	0.5	47.3	21.4	735.65	8.45	859.44	5	1.30
B3	1	0.5	82.0	18.5	707.80	24.2	835.98	5	0.97
B4	0.5	1	25.1	16.5	769.77	15.5	797.90	4	0.85
B5	1	0.5	23.5	16.7	771.70	1.70	762.99	3	0.75
B6	0.5	1	72.5	16.2	502.31	7.77	939.75	3	0.76
B7	0.5	0.5	79.5	19.5	452.00	6.38	1 004.71	5	0.97

#### 2.3.1 灰色关联分析法

灰色关联分析法是在不确定系统中分析各影响因素与参考值变化规律接近程度的一种方法,两者的变化规律越一致,其关联度越高<sup>[14]</sup>。瓦斯含量与各影响因

素间的关系并不明确,处于灰色阶段,用灰色关联法分析其关联性具有一定的科学性。

建立以  $m$  个钻孔评价对象和  $n$  个瓦斯含量影响指标结合而成的原始评价矩阵  $P$  如式(1)所示:

$$P = \begin{Bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mn} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

设参考数列为  $x_0$  (即瓦斯含量数列), 比较数列为  $x_j$ 。为了消除各数据量纲、标度类型的不同, 需要将初始

$$\varepsilon_j(k) = \frac{\min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| + \rho \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)|}{|x_0(k) - x_j(k)| + \rho \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)|} \quad (3)$$

式中:  $\varepsilon_j(k)$  为影响因素中第  $j$  个指标序列的第  $k$  个值与参考序列的第  $k$  个值的灰关联系数;  $x_0(k)$  为参考序列瓦斯含量的第  $k$  个值;  $x_j(k)$  为比较数列影响因素中第  $j$  个指标序列的第  $k$  个值;  $\min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)|$  为均值化后两级最小差;  $\max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)|$  为均值化后两级最大差;  $\rho$  为分辨系数。

### 2.3.2 $\rho$ 值的选取

$\rho$  为灰色关联分析法中的分辨系数, 通常计算取  $\rho = 0.5$ , 但这种取法忽略了不同影响因素与参考数列的变化规律不同, 所以  $\rho$  应该为动态取值, 不同的指标取不同的  $\rho$  值, 可以使计算出的关联度更加可靠。本文根据参考文献[15]对  $\rho$  进行取值, 如式(4)~(5)所示。

$$\text{记 } \alpha(k) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |x_0(k) - x_j(k)| \quad (4)$$

$$\text{并记 } \beta(k) = \frac{\alpha(k)}{\max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)|} \quad (5)$$

分以下情况对  $\rho$  进行取值:

1) 当  $\frac{1}{\beta(k)} > 3$  时, 一般取  $\rho = 1.5\beta(k)$  来消除比较

数列中异常值对关联度的影响。

2) 当  $2 \leq \frac{1}{\beta(k)} \leq 3$  时, 一般取  $\rho = 2\beta(k)$ 。

3) 当  $0 < \frac{1}{\beta(k)} < 2$  时,  $\rho$  可在  $[0.8, 1]$  中任意取值。

4) 当  $\beta(k) = 0$  时,  $\rho$  可在  $(0, 1]$  中任意取值。

根据上文方法, 由计算可知, 各指标均符合情况

1), 为了方便计算, 所以均对  $\rho$  取值为 0.2。

### 2.3.3 灰熵关联度计算

熵值法是一种客观对指标进行赋权的方法, 其根据系统内信息值的不确定性来确定熵值, 并由熵值来计算各影响因素权重<sup>[16]</sup>。这种方法可以克服主观评价的缺点, 增强影响因素权重的准确度和信任度。将熵值引入灰色关联法中可以更加明确不同指标与瓦斯含量的关联性。

灰关联系数分布映射密度值  $U_j(k)$  如式(6)所示<sup>[17]</sup>:

$$U_j(k) = \frac{\varepsilon_j(k)}{\sum_{k=1}^m \varepsilon_j(k)} \quad (6)$$

数列均值化, 如式(2)所示:

$$x(k) = \frac{p_i(k)}{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m p_i(k)} \quad k=1, 2, \dots, m \quad (2)$$

灰关联度系数的计算公式如式(3)所示:

则不同指标的灰关联熵  $H_j$  如式(7)所示:

$$H_j = - \sum_{i=1}^m U_j(k) \ln U_j(k) \quad (7)$$

不同指标的灰熵关联度  $E_j$  如式(8)所示:

$$E_j = \frac{H_j}{\ln m} \quad (8)$$

各影响因素灰熵关联度统计见表3。

表3 影响因素灰熵关联度

Table 3 Grey entropy correlation degree of influencing factors

指标层	灰关联熵	灰熵关联度	排序
断层	3.142 7	0.988 9	5
褶皱	3.147 7	0.990 5	2
RQD	3.144 8	0.989 5	3
抗压强度	3.141 0	0.988 4	6
埋深	3.135 9	0.986 7	8
煤厚	3.136 6	0.987 0	7
底板标高	3.144 6	0.989 4	4
含油强度等级	3.156 7	0.993 3	1

## 2.4 煤层瓦斯赋存影响因素关联度分析

由表3灰熵关联度计算结果可知, 崔家沟煤矿4<sup>-2</sup>煤层瓦斯含量的影响因素中, 各指标与瓦斯含量之间的灰熵关联度均大于0.98, 说明所选取因素确实对煤层瓦斯含量的大小有影响, 两者关联性高; 对各影响因素灰熵关联度进行排序  $E_8 > E_2 > E_3 > E_7 > E_1 > E_4 > E_6 > E_5$ , 说明顶板岩层中含油强度对崔家沟煤矿4<sup>-2</sup>煤层瓦斯含量的影响最大, 其次依次为褶皱、顶板RQD、底板标高、断层、顶板抗压强度、煤层厚度、埋藏深度。这主要是因为崔家沟煤矿4<sup>-2</sup>煤层顶板含有不同程度的油气层, 由于油气层的存在, 阻挡了瓦斯继续向上扩散运移, 造成瓦斯聚集, 形成瓦斯富集区。

## 3 2303工作面瓦斯含量及油气分布特征

2303工作面是崔家沟煤矿二水平三盘区第2个工作面, 该工作面地面标高为+1 456~1 723 m, 走向长度1 670 m, 倾向长度200 m, 煤层厚度4~20 m, 平均厚度

12 m。根据钻孔柱状及地质报告显示,该工作面距 2303 联巷 500 m 范围内煤层顶板为少量含油区,工作面 500 ~ 1 670 m 范围内煤层顶板为大量含油区;煤矿井下瓦斯含量实际测定结果也表明,工作面北部瓦斯含量为 4.65 m<sup>3</sup>/t,南部瓦斯含量为 3.51 m<sup>3</sup>/t。因此 2303 工作面顶板岩层含油强弱与瓦斯含量分布有较好的对应关系,如图 2 所示,并根据煤层顶板岩层含油强弱可将 2303 工作面划分为 2 个瓦斯含量分布单元。

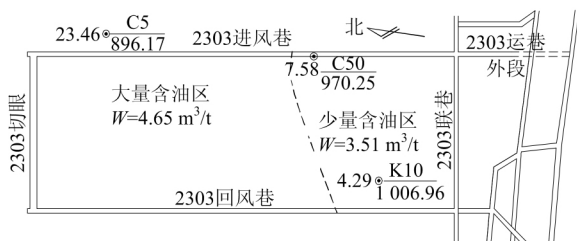


图2 2303工作面瓦斯含量及油气分布示意

Fig.2 Schematic diagram of gas content and oil and gas distribution in 2303 working face

#### 4 2303 工作面瓦斯治理技术

由于崔家沟煤矿煤层顶板砂岩中油气层的存在,瓦斯大量聚集在煤层顶板上方 2~5 m 处,与煤层间距小,随时可能涌入工作面中,给工作面的正常生产造成巨大的安全生产隐患。针对此情况,本文以 2303 工作面为实例,在高瓦斯含量分布区采取高位钻孔与顶板走向长钻孔结合的瓦斯治理措施并对抽采效果进行考察。

针对顶板裂缝带高度为 33~110 m,提出高位钻孔措施治理。在 2303 回风巷距切眼 80 m 处起共布置 18 个钻场,相邻钻场相距 80 m,每个钻场规格为深×宽×高为 4 m×4 m×3 m,开孔位置如图 3 所示,孔径 φ113 mm,具体布置参数见表 4。

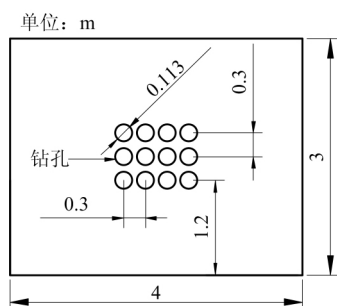


图3 高位钻孔开孔位置示意

Fig.3 Schematic diagram of opening positions with high-level borehole

在高位钻孔布置的基础上,考虑到缩短工程量、节约工程成本,用定向长钻孔代替高抽巷。由于工作面煤层向两边延伸逐渐变薄,故设计钻场位于 2303 综放面

表4 高位钻孔布置参数

Table 4 Arrangement parameters of high-level boreholes

钻孔编号	距回风巷/m	钻孔倾角/(°)	钻孔方位角/(°)	终孔距回风巷/m	孔长/m	终孔高度/m
1	1.55	19.29	11.3	20	107.8	35
2	1.85	19.29	16.6	30	110.1	35
3	2.15	19.29	21.8	40	113.2	35
4	2.45	19.29	26.6	50	117.2	35
5	1.55	24.23	14.04	25	112.5	45
6	1.85	24.23	19.29	35	115.1	45
7	2.15	24.23	24.23	45	118.5	45
8	2.45	24.23	28.81	55	122.7	45
9	1.55	28.81	16.6	30	118.0	55
10	1.85	28.81	21.8	40	120.9	55
11	2.15	28.81	26.6	50	124.6	55
12	2.45	28.81	30.96	60	128.9	55

回风巷内距停采线 500 m 处,规格深×宽×高为 4 m×10 m×3.5 m;设计顶板定向钻孔 2 个,工程量约 1 500 m,孔径 φ142 mm,定向长钻孔施工效果良好,轨迹发生较小偏移。钻场平面布置及开孔位置如图 4 所示,具体布置参数见表 5。高位钻孔与定向长钻孔终孔位置均位于煤层顶板之上,终孔位置如图 5 所示,整体施工如图 6 所示。

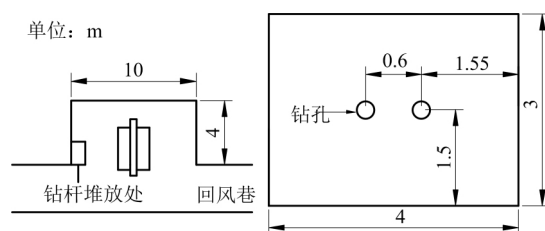


图4 定向钻孔钻场平面布置及开孔位置

Fig.4 Plane arrangement of drilling filed and opening positions with directional borehole

表5 定向长钻孔布置参数

Table 5 Arrangement parameters of directional long boreholes

孔号	钻孔直径/mm	孔深/m	终孔距煤层顶板/m	终孔距回风巷/m
1号	142	750	5	15
2号	142	750	5	25

在 2303 工作面开切眼到距切眼 410 m(区段(I))只进行了高位钻孔、插管抽采的布置,虽然可以解决工作面瓦斯问题,但由于抽采率低,加快生产时面临着工

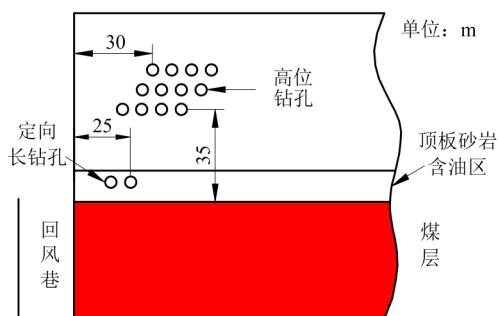


图 5 高位钻孔与定向钻孔终孔位置

Fig. 5 Final hole positions of high-level borehole and directional borehole

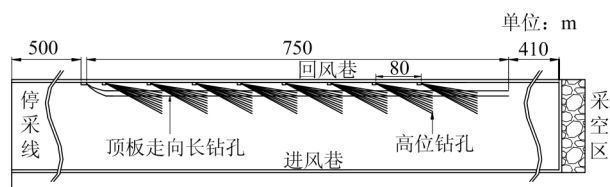


图 6 高位钻孔与顶板走向钻孔整体布置

Fig. 6 Overall arrangement of high-level boreholes and roof directional boreholes

作面瓦斯超限问题,严重制约着工作面产量。距开切眼 410 m 到距停采线 500 m(区段(Ⅱ))在高位钻孔基础

表 6 2303 工作面瓦斯抽采情况对比

Table 6 Comparison of gas extraction situation in 2303 working face

区段	瓦斯涌出量 $/(m^3 \cdot min^{-1})$	风排瓦斯量 $/(m^3 \cdot min^{-1})$	高位钻孔抽采		顶板走向长钻孔		插管抽采		工作面瓦斯 抽采率/%	日产量 $/(t \cdot d^{-1})$
			纯瓦斯量 $/(m^3 \cdot min^{-1})$	抽采 浓度/%	纯瓦斯量 $/(m^3 \cdot min^{-1})$	抽采 浓度/%	纯瓦斯量 $/(m^3 \cdot min^{-1})$	抽采 浓度/%		
I	24.5	7.5	11	25	—	—	6	12	69.4	4 500
II	25	3	8	30	8.5	35	4.5	12	88.0	6 500
III	21.5	4	12	25	—	—	5.5	12	81.4	6 500

## 5 结论

1) 使用灰熵关联分析法对崔家沟煤矿 4<sup>-2</sup>煤层瓦斯含量的主控因素进行分析,顶板岩层含油强度灰熵关联度最大为 0.993 3,为影响瓦斯含量的主控因素,其余影响因素按灰熵关联度排序依次为褶皱、顶板 RQD、底板标高、断层、顶板抗压强度、煤层厚度、埋藏深度。

2) 通过 2303 工作面瓦斯含量及油气分布实际情况分析,证实顶板岩层含油强弱与瓦斯含量分布有较好的对应关系,并根据煤层顶板岩层含油强弱将 2303 工作面划分为 2 个瓦斯含量分布单元。

3) 针对顶板岩层含油、瓦斯大量聚集对工作面造成安全隐患问题,对 2303 工作面顶板瓦斯聚集区采用高

位加入顶板走向长钻孔,大大提升了工作面瓦斯抽采率,使工作面日产量达到设计标准,并有效解决了顶板瓦斯含量较高、顶板放顶煤遗煤较多、工作面风速过快等问题。回风流瓦斯浓度由 0.5%~0.75% 下降至 0.3%~0.45%,确保了工作面安全高效回采。在距停采线 500 m 以内(区段(Ⅲ))由于其瓦斯含量低,只进行高位钻孔、插管抽采便可满足工作面产量标准与瓦斯抽采。2303 工作面风排瓦斯量变化情况如图 7 所示,加入顶板走向场钻孔前后工作面抽采情况对比见表 6。

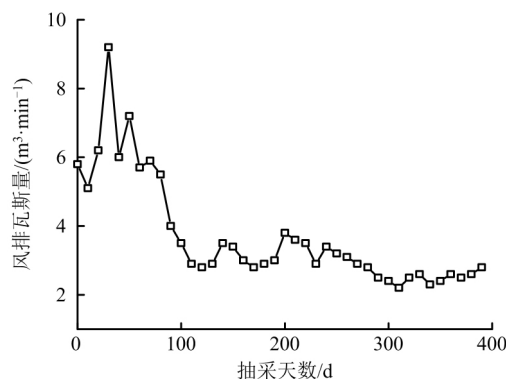


图 7 工作面风排瓦斯量变化情况

Fig. 7 Variation of amount of gas discharged by wind in working face

位钻孔与顶板走向长钻孔结合的治理方案,有效降低了工作面风排瓦斯量,使回风流瓦斯浓度由 0.5%~0.75% 下降至 0.3%~0.45%,工作面日产量由 4 500 t/d 上升到 6 500 t/d。

## 参考文献

- [1] 钱鸣高,许家林,王家臣.再论煤炭的科学开采[J].煤炭学报,2018,43(1):1-13.  
QIAN Minggao, XU Jialin, WANG Jiachen. And theory of coal mining science [J]. Journal of Coal, 2018, 43(1): 1-13.
- [2] 袁亮,林柏泉,杨威.我国煤矿水力化技术瓦斯治理研究进展及发展方向[J].煤炭科学技术,2015,43(1):45-49.  
YUAN Liang, LIN Baiquan, YANG Wei. Research progress and development direction of gas control in China's coal mine hydraulic

- technology [J]. Coal Science and Technology 2015 43(1):45-49.
- [3] 孟昭平. 铜川焦坪矿区油气显示及成因探讨[J]. 西安矿业学院学报, 1989(1):51-56.
- MENG Zhaoping. Exploration on oil and gas display and genesis in Jiaoping mining area of Tongchuan [J]. Journal of Xi'an Mining University, 1989(1):51-56.
- [4] 孙四清. 煤油气共存矿井掘进工作面底板油型气涌出机理探讨[J]. 矿业安全与环保, 2017 44(4):90-94.
- SUN Siqing. Discussion on the mechanism of suet oil type gas emission on the working face of coal and oil co-existing mine [J]. Mining Safety and Environmental Protection 2017 44(4):90-94.
- [5] 封华, 徐永亮, 任万兴. 焦坪矿区油气伴生特性及其对瓦斯爆炸极限的影响[J]. 矿业快报, 2007(7):53-55.
- FENG Hua, XU Yongliang, REN Wanxing. Oil-gas associated characteristics in Jiaoping mining area and its influence on gas explosion limit [J]. Mining Express 2007(7):53-55.
- [6] 煤、油共生条件下采煤安全生产技术措施——《煤、油共生安全问题研究课题》材料之五[J]. 陕煤科技, 1983(2):1-3.
- Technical measures for coal mining safety production under the condition of coal and oil co-existence—research topic on coal and oil co-existence safety issues, material No. 5 [J]. Shaanxi Coal Science and Technology, 1983(2):1-3.
- [7] 王生全. 煤油气共生矿井的采面瓦斯涌出预测[J]. 煤田地质与勘探, 2003(3):13-16.
- WANG Shengquan. Prediction of gas emission in coal and gas co-existing mine [J]. Coal Geology & Exploration 2003(3):13-16.
- [8] 陈冬冬. 煤油气共生矿井围岩气多因素耦合区域预测技术——以鄂尔多斯盆地黄陵矿区为例[J]. 煤田地质与勘探, 2018 46(2):49-53.
- CHEN Dongdong. Prediction technology of surrounding rock gas zones by multiple factor coupling in coal mines with coal-oil-gas co-existence [J]. Coal Geology & Exploration 2018 46(2):49-53.
- [9] 宋文健, 王伯生, 李辉, 等. 生产油气井受煤矿采动影响分析与合理煤柱留设技术研究[J]. 煤炭工程, 2018 50(11):18-21.
- SONG Wenjian, WANG Bosheng, LI Hui, et al. Analysis on the influence of coal mining on production oil and gas wells and research on reasonable coal pillar retention technology [J]. Coal Engineering, 2018 50(11):18-21.
- [10] 赵亮. 油气煤盐综合利用的新途径[J]. 化工管理, 2015(22):99.
- ZHAO Liang. New approach to comprehensive utilization of oil, gas, coal and salts [J]. Chemical Enterprise Management, 2015(22):99.
- [11] 王生全. 煤油气共生矿井的瓦斯地质及安全开采技术[C]//中国煤炭学会. 瓦斯地质研究与应用——中国煤炭学会瓦斯地质专业委员会第三次全国瓦斯地质学术研讨会. 北京: 中国煤炭学会, 2003:5.
- [12] 梁少剑. 焦坪矿区煤层气资源特征[D]. 西安: 西安科技大学, 2015.
- [13] 田林钢, 马成功, 王绪. 基于 AHP-熵权法的水利工程业主风险模糊评价[J]. 人民黄河, 2017 39(12):117-122, 130.
- TIAN Lingang, MA Chenggong, WANG Xu. Fuzzy risk assessment of water conservancy project owners based on ahp-entropy weight method [J]. People's Yellow River 2017 39(12):117-122, 130.
- [14] 温廷新, 孙红娟, 张波, 等. 煤与瓦斯突出预测的 QGA-LSSVM 模型[J]. 中国安全生产科学技术, 2015 11(5):5-12.
- WEN Tingxin, SUN Hongjuan, ZHANG Bo, et al. QGA-LSSVM model for coal and gas outburst prediction [J]. Journal of Safety Science and Technology 2015 11(5):5-12.
- [15] 东亚斌, 段志善. 灰色关联度分辨系数的一种新的确定方法[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2008(4):589-592.
- DONG Yabin, DUAN Zhishan. A new method for determining the resolution coefficient of grey relational degree [J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology (Natural Science Edition) 2008(4):589-592.
- [16] 杨力, 王蕾. 基于熵值法和支持向量机的煤矿应急救援能力评价模型[J]. 中国安全生产科学技术, 2015 11(9):113-119.
- YANG Li, WANG Lei. Evaluation model of coal mine emergency rescue capability based on entropy method and support vector machine [J]. Journal of Safety Science and Technology 2015 11(9):113-119.
- [17] 李胜, 宁志勇, 朱小强, 等. 基于灰色理论预测五阳矿未受采动影响煤层瓦斯含量[J]. 科技导报, 2012 30(32):71-74.
- LI Sheng, NING Zhiyong, ZHU Xiaoliang, et al. Prediction of gas content in coal seam without being perturbed by mining influence in Wuyang mine based on gray theory [J]. Science & Technology Review 2012 30(32):71-74.

(责任编辑: 郭利)