

文章编号: 1001-1986(2018)02-0049-05

# 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

陈冬冬

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

**摘要:** 围岩气异常涌出已成为严重威胁煤油气共生矿井安全高效开采的新的隐蔽致灾因素。以煤油气共生矿井围岩气储集层分布为基础, 结合对围岩气控气要素的分析, 提出了基于地质构造、岩性(砂岩透镜体和砂体上倾尖灭)、围岩气储集层分布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。采用该技术对黄陵二号煤矿 2 号煤层围岩气分布进行了区域综合预测, 将矿井围岩气区划为 I 级、II 级和 III 级, 并指出了矿井围岩气重点防范区域, 减少围岩气防御面积近 30%。

**关键词:** 煤油气共生矿井; 围岩气; 油型气; 区域预测

**中图分类号:** TD712 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2018.02.008

## Prediction technology of surrounding rock gas zones by multiple factor coupling in coal mines with coal-oil-gas coexistence

CHEN Dongdong

(Xi'an Research Institute Co. Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an 710077, China)

**Abstract:** Unusual gas emission from surrounding rock has been a serious threat to work safety and efficient mining in coal mines with coal-oil-gas coexistence. Based on surrounding rock gas reservoir distribution, combining with the analysis of the factors controlling gas occurrence, this paper puts forward a multi-factor coupling technology of regional prediction of surrounding rock gas on the basis of geologic structure, lithology, gas reservoir, and mining influence. Using the technology, the distribution of surrounding rock gas of coal seam 2 in Huangling coalmine No.2 was predicted, the zonation of surrounding rock gas was completed. The key areas to prevent surrounding rock gas were pointed out, the defense area of surrounding rock gas was reduced by nearly 30%.

**Keywords:** mine with coal-oil-gas coexistence; surrounding rock gas; oil-type gas; regional prediction

矿井涌出瓦斯主要来源于开采煤层、邻近煤层及围岩。通常情况下, 围岩瓦斯涌出在时间与空间上都比较均匀、涌出量较小, 但若围岩裂隙发育、生储气能力强, 其瓦斯聚集量往往较大, 当应力突然释放、裂隙导通时会引起围岩瓦斯的异常涌出, 这种现象在煤油气共生矿井表现的尤为突出<sup>[1]</sup>。我国的窑街矿区、焦坪矿区、黄陵矿区、子长矿区和彬长矿区属煤油气共生矿区<sup>[2-5]</sup>, 矿井采掘过程中时常发生油气异常涌(喷)出。围岩异常涌出气体导致

采掘面瓦斯浓度超限, 造成采掘停滞及接续紧张, 危及工人生命安全, 围岩气已成为严重威胁煤油气共生矿井安全高效开采新的隐蔽致灾因素<sup>[6]</sup>。

20 世纪 70 年代, 焦坪矿区开展了煤油气共生条件下煤炭安全开采的科学研究试验工作, 课题在煤油气共生矿井油气赋存规律、井下光学检测、油气浓度的影响因素、煤油气共生条件下的采煤和安全技术措施等方面进行了初步探索<sup>[7-8]</sup>。2005 年, 铜川矿务局针对顶板小街砂岩开展了高瓦斯油气伴生

收稿日期: 2017-05-03

基金项目: 中煤科工集团西安研究院有限公司科技创新基金项目(2016XAYZD10)

**Foundation item:** National Science and Technology Innovation Fund of Xi'an Research Institute of CCTEG(2016XAYZD10)

第一作者简介: 陈冬冬, 1985 年生, 男, 河南项城人, 助理研究员, 从事矿井地质及瓦斯综合防治方面的研究工作。E-mail: chendong6186@163.com  
引用格式: 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 coexistence [J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(2): 49-53.

易自燃厚煤层放顶煤开采瓦斯治理研究工作,通过地质勘探对围岩油气的赋存情况(含气层数量及垂向分布)进行了简要分析<sup>[9]</sup>。2016年,黄陵矿业公司通过测试矿区内2号煤层底板异常涌出气体的甲烷碳同位素、乙烷碳同位素及气成分等地球化学参数,研究表明:2号煤层底板异常涌出气体与煤层气(瓦斯)不同,其成因类型为油型气<sup>[10]</sup>,并以游离态的形式储存于煤层顶底板砂岩中。综合以上分析,国内外在煤油气共生矿井围岩气(油气)方面的研究文献相对较少,特别是在围岩气预测技术方面鲜有涉及。当前我国矿井瓦斯防治研究的主要对象依然是煤层瓦斯,现有煤层瓦斯区域预测的方法较多<sup>[11-12]</sup>。由于围岩气主要以游离态为主,故现有的矿井瓦斯区域预测方法不能直接用于围岩气区域预测。针对煤油气共生条件下矿井瓦斯防治的新形势和新特点,亟待研究煤油气共生矿井围岩气区域预测技术,以期指导煤油气共生矿井的围岩气(油气)防治工作,保障矿井的安全高效生产。笔者以黄陵矿区围岩气为研究对象,分析探讨煤油气共生矿井围岩气区域预测技术及影响因素。

## 1 研究区概况

### 1.1 矿区基本情况

黄陵矿区属煤油气共生矿区。矿区地处华北板块鄂尔多斯盆地陕北斜坡带庆阳单斜东南角,总体构造格架为褶皱包络面向北西缓倾斜的单斜构造,倾角一般 $2^{\circ}\sim 4^{\circ}$ ,含煤地层走向北东,倾向北西,倾角 $1^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ,构造变形微弱,构造形迹简单。矿区主采延安组2号煤层,煤层厚度0.05~6.75 m,平均3.12 m。

### 1.2 围岩气异常涌出

煤田勘查钻孔揭露矿区含油气钻孔近150个,其中,5个钻孔出现油气喷出或逸出<sup>[8]</sup>。气喷孔压力达0.4~2.0 MPa,喷气高度一般可达10 m之多。黄陵一号煤矿605进风巷、北二5H皮带巷、309进风巷、三盘区2号进风巷等多个地点发生了顶底板瓦斯喷孔现象。黄陵二号煤矿405回采面底板气异常涌出持续近24 h,累计涌出量约6.4万 $\text{m}^3$ ;413辅运巷掘进面顶板气异常涌出持续6 d,累计涌出量约为0.7万 $\text{m}^3$ ;201胶带巷掘进面底板气异常涌出持续7 d,累计涌出量为0.85万 $\text{m}^3$ ;201辅运巷掘进面底板气异常涌出持续36 d,累计涌出量约21万 $\text{m}^3$ ;409回采面底板气异常涌出持续6 d,累计涌出量约达16万 $\text{m}^3$ 。

### 1.3 围岩气储集层分布

根据矿区围岩气勘查结果,矿区内2号煤层顶板与底板主要分布有5个连续性较好的围岩气储集层(图1)。其中,油气储集层4个,即直罗组一段砂

岩、延安组二段砂岩(俗称“七里镇砂岩”,下同)、富县组下部砂岩、瓦窑堡组顶部砂岩;邻近煤层气储集层1个,即3号煤层<sup>[13]</sup>。

地层		类别	综合柱状	岩性
统	组			
中侏罗统	直罗组 $J_2z$	储集层	— — —	泥岩
			... ...	细粒砂岩
			.. ..	中粒砂岩
	延安组 $J_2y$	储集层	— — —	泥岩
			.... ....	粉砂岩
			— — —	泥岩
			.... ....	粉砂岩
			... ...	细粒砂岩
			— — —	泥岩
			— — —	细粒砂岩
			... ...	泥岩
			— — —	细粒砂岩
			— — —	泥岩
			... ...	细粒砂岩
			... ...	2号煤层
			... ...	3号煤层
下侏罗统	富县组 $J_3f$	储集层	— — —	泥岩
上三叠统	瓦窑堡组 $T_3w$	储集层	... ...	细粒砂岩
		储集层	... ...	细粒砂岩

图1 黄陵矿区地层柱状及围岩气储集层分布图

Fig.1 Stratigraphic column and distribution of surrounding rock gas reservoir in Huangling mining area

## 2 矿井围岩气赋存主控因素

### 2.1 褶曲构造

褶曲对瓦斯的赋存控制作用主要体现在当其封闭条件良好时,背斜轴部和向斜的转折端(斜坡)有利于瓦斯富集。矿区构造简单,总体构造格架是一个具有波状起伏的倾向北西的单斜构造。将矿井已发生围岩气异常涌出区域与对应储集层的顶板标高进行叠合,得出围岩气异常涌出区域的平面分布与褶曲形态关系密切,主要集中在背斜的轴部、背向斜转折端(斜坡)及构造高部位。

### 2.2 断裂构造

区内断裂发育较少,根据二维地震勘探和井巷采掘资料,黄陵二号煤矿井田共发育有6条规模较小的断层,断层走向一般为NE—SW,倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ,6条断层中,除1条断层的最大落差 $H<10\text{ m}$ 外,其他断层最大落差 $10\text{ m}<H<12.5\text{ m}$ ,延伸长度为1.80~3.80 km。勘查结果显示,在断层附近,煤层围岩瓦斯含量不高,但在局部发育的一些小裂隙可能沟通深部含气层,而导致局部瓦斯大量聚集。2014年4月25日凌晨,20501钻孔在底板以下29.8 m发生严重喷孔,在喷孔层位,发现裂隙存在(图2)。



图 2 20501 取心钻孔岩心裂隙图

Fig.2 Fractures in core taken from borehole 20501

### 2.3 储集层厚度

通常来讲, 储层厚度是影响油气含量的一个重要因素, 储层的厚度越大, 油气的储集空间就越大, 储集油气(瓦斯)的能力就越强。将异常涌出点与储

集层厚度进行叠合, 发现储层厚度大的地方, 并未发现大量瓦斯异常涌出。因此, 储层厚度与瓦斯异常涌出并无明显联系。

### 2.4 储集层岩性

储集层岩性决定着储层孔隙度、渗透率和成岩作用。一般情况下, 岩性越粗, 储层的孔隙度和渗透率就越好, 储集油气(瓦斯)的能力就越强, 反之越差。在井下施工的围岩气勘查钻孔中, 瓦斯涌出的钻孔主要出气层位的岩性主要为细粒砂岩, 且异常涌出点在平面上涌出不连续, 通过对井下取心孔做连井剖面后发现, 这些异常涌出点主要处于砂岩的上倾尖灭和砂岩透镜体中(图 3)。勘查表明, 砂岩上倾尖灭和砂岩透镜体分布极不均匀, 一般被泥岩所包围, 容易形成局部围岩气聚集带。

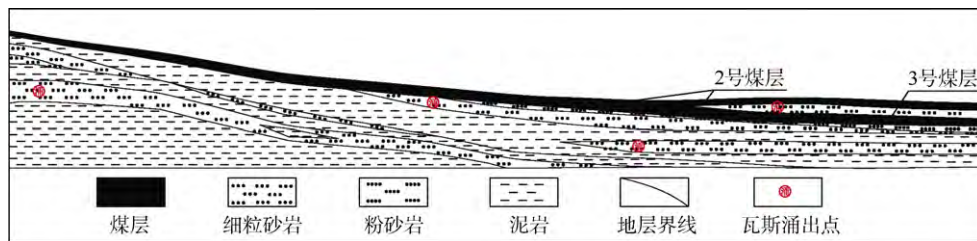


图 3 围岩气涌出点与岩性关系示意图

Fig.3 Schematic relationship between emission points of surrounding rock gas and lithology

### 2.5 封盖条件

盖层的好坏及分布直接影响着气体在储集层中的聚集和保存, 是含油气系统的重要组成部分。矿区延安组属于湖沼相沉积, 整体粒度较细, 泥岩、粉砂岩分布广泛, 容易形成良好的区域盖层。以富县组砂岩储集层的盖层为例, 盖层岩性以泥岩和粉砂质泥岩为主, 在二号煤矿井田东北部发育有少量粉砂岩, 说明富县组砂岩整体封闭条件较好, 有利于下部瓦斯的保存。将矿井范围内的围岩气异常涌出点位置与其相对应储集层的盖层厚度进行叠合, 发现异常涌出点的位置与盖层厚度关系并不明显。

### 2.6 烃源岩条件

研究区处于鄂尔多斯盆地南部, 下部三叠系延长组烃源岩具大面积分布、大面积生烃的特征, 特别是长 7 沉积时期的张家滩页岩, 是鄂尔多斯盆地主力烃源岩, 其分布范围控制了油气的聚集和分布。矿区内张家滩页岩发育, 该套地层生成的油气, 有一部分逸散并聚集到煤系内。

研究区下部烃源岩几乎全区展布, 为围岩气的生气源岩, 与围岩气的运移和储集(赋存)无明显关系。通过对上述围岩气赋存的影响因素的对比分析, 围岩气涌出部位主要集中在背斜的轴部、背向斜转折端、地层裂隙、构造高部位、砂岩上倾尖灭端和

砂岩透镜体等地质构造和岩性内, 因此, 围岩气赋存主要受到地质构造(背斜、地层裂隙、构造高部位)和岩性(砂岩上倾尖灭及砂岩透镜体等)因素控制。

## 3 围岩气区域综合预测技术

### 3.1 预测指标

考虑储集层为围岩气的载体, 因此, 为了煤油气共存矿井的围岩气防治更加有针对性, 围岩气预测指标的建立要综合考虑围岩气储集层的分布和围岩气控气要素, 结合对黄陵矿区围岩气赋存规律研究, 综合确定黄陵矿区围岩气预测指标为储集层分布、地质构造和岩性。通常认为, 在采动裂隙影响范围以外, 由于开采活动影响不到这些区域, 气体运移通道无法形成, 这些围岩气对采矿影响不大, 因此, 储集层分布需要重点考虑受采动影响的储集层范围, 包括主采煤层上部采动裂隙带影响高度和煤层下部采动裂隙带影响深度范围的围岩气储集层。同时, 受当前探测技术及手段的限制, 对于地层小型裂隙的预测尚无有效手段, 故预测时暂不考虑裂隙因素, 但在实际生产过程中要予以注意。因此, 地质构造预测要素主要为背斜(含背斜轴部、背向斜转折端)及构造高部位。建立的黄陵矿区围岩气预测指标体系如表 1 所示。

表 1 黄陵矿区围岩气预测指标体系

Table 1 Prediction index system of surrounding rock gas

目标层	指标层	影响因素
	储集层分布	煤层顶(底)板影响范围
采动 影响范围	地质构造	背斜 构造高部位
控气要素	岩性	砂岩透镜体 砂岩上倾尖灭

3.2 单一指标要素预测

围岩气区域预测的总体思路为先逐一对单一指标要素进行预测,最后再进行综合预测。以黄陵二号煤矿为例,单一要素预测方法简述如下。

3.2.1 基于储集层分布的围岩气预测

实测及数值模拟表明,采动影响下黄陵二号煤矿工作面采空区顶板裂隙带发育高度约为 60 m,底板卸压变形裂隙深度约为 40 m<sup>[14]</sup>。以此为基础,结合直罗组一段砂岩、延安组七里镇砂岩、3 号煤层、富县组下部砂岩、瓦窑堡组顶部砂岩等储集层在井田范围内的空间展布,对各储集层进行分区预测,圈定出 2 号煤层顶板 60 m 范围的直罗组一段砂岩和延安组七里镇砂岩,以及 2 号煤层底板 40 m 范围的 3 号煤层、富县组下部砂岩、瓦窑堡组顶部砂岩。

3.2.2 基于地质构造和岩性的围岩气预测

在黄陵二号煤矿井田范围内沿垂直于主要构造线方向做了 10 条连井剖面线,以满足全面反映黄陵二号煤矿井田范围的构造形态的需要,绘制连井剖面,预测井田范围内与构造相关的背斜轴部、构造高点,以及与岩性相关的砂岩透镜体的展布范围和砂岩上倾尖灭的位置。

3.3 围岩气区域综合预测

3.3.1 预测方法

在单一指标要素预测结果的基础上,建立了基于围岩气储集层分布和控气要素的黄陵矿区煤油气共存矿井围岩气区域综合预测方法。为了更好地表述区域综合预测结果,将区域综合预测结果划分为 I 级、II 级和 III 级,其中, I—III 级表征围岩气危害程度逐级增加, II 级和 III 级为矿井围岩气重点防范区域。

级区域 在主采煤层顶底板采动影响范围内有储集层分布,但未发现控气因素。

级区域 在主采煤层顶底板采动影响范围内有储集层分布,仅存在单一控气因素。

级区域 在主采煤层顶底板采动影响范围内有储集层分布,存在两种及以上控气因素。

需要说明的是若开采煤层受邻近煤层瓦斯涌出影响较大时,邻近煤层在参与区域综合预测时应作为控气要素。因此,结合黄陵矿区实际,进行 2 号

煤层围岩气综合预测时,将 3 号煤层作为控气要素。

3.3.2 预测结果

采用围岩气区域综合预测技术,以采动条件下直罗组一段砂岩、延安组七里镇砂岩、富县组下部砂岩、瓦窑堡组顶部砂岩储集层在 2 号煤层采动影响范围的区域预测为基础,结合地质构造(背斜、构造高部位)、岩性(砂岩透镜体、砂岩上倾尖灭)及 3 号煤层等控气因素的区域预测结果,进行了黄陵矿区黄陵二号煤矿 2 号煤层顶底板围岩气 3 级区域综合预测,绘制出了 2 号煤层顶底板围岩气综合预测分区图(图 5)。

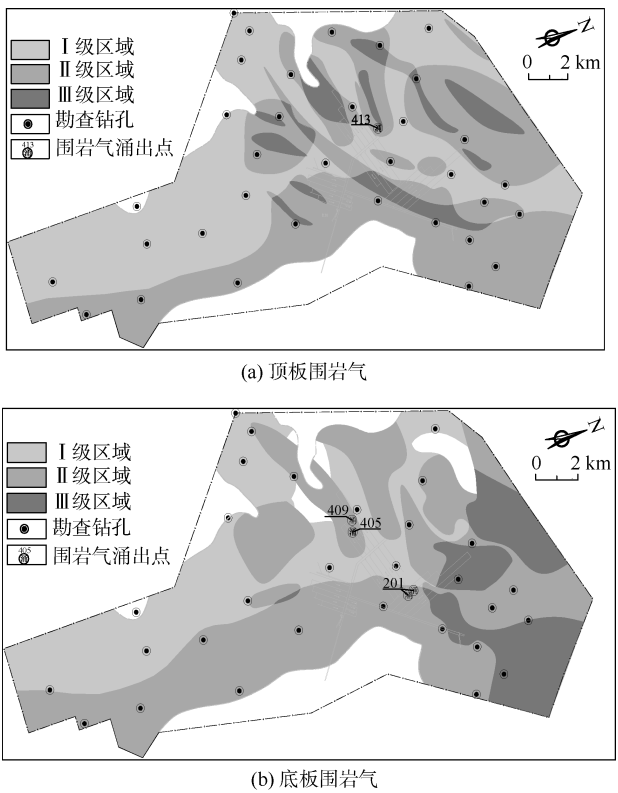


图 4 2 号煤层顶底板围岩气综合预测与区域划分图  
Fig.4 Comprehensive prediction and zonation of surrounding rock gas in the roof and floor of seam 2

通过图 4a 可以看出,二号煤矿 2 号煤层顶板围岩气 I 级区域分布范围较为广泛、II 级区域次之、III 级区域最小且较为分散;相对于顶板围岩气的分布,底板围岩气 II 级区域和 III 级区域较为集中、分布范围较大(图 4b),表明底板围岩气灾害较顶板更为严重。从目前矿井已发生的 5 次典型的围岩气异常涌出来看,4 次为底板气、1 次为顶板气,且底板涌出量往往较大(最大涌出量 21 万 m<sup>3</sup>);涌出地点全部处于 II 级和 III 级区域。矿井围岩气实际涌出情况与预测结果较为吻合,验证了围岩气预测技术的准确性与适用性。围岩气区域预测前,为了保障矿井的安全生产,将整个井田作为围岩气威胁区,采掘时均施工大量密

集钻孔进行围岩气抽采以防止围岩气异常涌出;研究结果预测了围岩气 I 级区域(其面积占整个井田 30%),该区域围岩气危险性较小,通过施工少量的探测钻孔,来预防围岩气的突出危险。因此,预测的 I 级区域减少围岩气防御面积近 30%。

#### 4 结 论

a. 煤油气共生矿井围岩气赋存主要受到地质构造(背斜和构造高部位)和岩性(砂岩上倾尖灭及砂岩透镜体等)等因素控制。建立了以储集层分布、地质构造和岩性为预测指标的围岩气区域预测体系;提出了基于煤油气共生矿井围岩气储集层分布、控气要素(构造和岩性)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。

b. 在黄陵二号煤矿进行了煤油气共生矿井围岩气区域预测技术的现场应用,结合黄陵二号煤矿 2 号煤层开采实际,预测了黄陵二号煤矿 2 号煤层顶底板围岩气分布区域,完成了 2 号煤层顶底板围岩气 I 级、II 级、III 级区域划分,指出了矿井围岩气重点防范区域,减少围岩气防御面积近 30%。预测结果与矿井围岩气实际涌出情况较为吻合,验证了预测技术的准确性与适用性。研究结果对于黄陵矿区的围岩气防治工作有着指导作用,对于类似条件矿井具有借鉴意义。

#### 参考文献

- [1] 林柏泉,崔恒信,矿井瓦斯防治理论与技术[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1998.
- [2] 孟贤正,靳全,周建民,等. 煤矿岩石与油气突出机理及预测的探讨[J]. 矿业安全与环保,2003,30(4):22-24.  
MENG Xianzheng, JIN Quan, ZHOU Jianmin, et al. Discussing on mechanism and prediction of coal and gas outburst[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2003, 30(4): 22-24.
- [3] 殷民胜,陈冬冬,郑凯歌. 基于混源气计算模型的煤油气共存采空区瓦斯定量分析[J]. 矿业安全与环保,2016,43(5):99-102.  
YIN Minsheng, CHEN Dongdong, ZHENG Kaige. Quantitative analysis of gob gas with coal-bed gas and oil-type gas coexistence based on calculation model of source-mixed gas[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2016, 43(5): 99-102.
- [4] 殷民胜. 黄陵矿业公司二号煤矿 201 工作面底板油型气治理技术研究[C]//全国煤矿瓦斯抽采利用与通风安全技术现场会煤矿瓦斯抽采与通风安全论文集. 北京:煤炭工业出版社,2013:88-93.
- [5] 王生全,孔令义. 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专业委员会第三次全国瓦斯地质学术研讨会. 北京:煤炭工业出版社,2003:103-107.
- [6] 唐恩贤. 矿井瓦斯与油型气共生灾害防治技术在黄陵矿区的探索与实践[J]. 矿业安全与环保,2016,43(1):81-84.  
TANG Enxian. Exploration and practice of prevention and control technology for mine gas and oil-type gas disasters in Huangling coal mining area[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2016, 43(1): 81-84.
- [7] 陕煤科技编辑部.《煤、油共生安全问题研究课题》材料之一:焦坪矿区油气赋存情况调查分析[J]. 陕西煤炭,1982(1):2-7.  
Shaanxi coal science and technology editorial department. The first material of the《Research subject on security issue in coal and oil-gas symbiotic mine》:The occurrence and analysis of the oil-gas in Jiaoping coal mining area[J]. Shaanxi Coal, 1982(1): 2-7.
- [8] 陕煤科技编辑部.《煤、油共生安全问题研究课题》材料之二:煤、油共生矿井中光学瓦斯检定器的应用及安全指标的确定[J]. 陕西煤炭,1982(1):7-10.  
Shaanxi coal science and technology editorial department. The second material of the《Research subject on security issue in coal and oil-gas symbiotic mine》:The application of the optical gas detector and the determination of safety indicators in coal and oil-gas symbiotic mine[J]. Shaanxi Coal, 1982(1): 7-10.
- [9] 宋志刚,黄河. 油气共生易自燃厚煤层放顶煤开采瓦斯治理与防灭火技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2009.
- [10] 唐恩贤. 黄陵矿区煤层底板异常涌出气体成因类型[J]. 煤田地质与勘探,2015,43(6):8-11.  
TANG Enxian. Genetic type of abnormal gas emission from coal seam floor in Huangling mining area[J]. Coal Geology & Exploration, 2015, 43(6): 8-11.
- [11] 李长兴,魏国营,王蔚,等. 瓦斯地质规律法在煤层瓦斯含量预测中的应用[J]. 煤矿安全,2014,42(12):145-148.  
LI Changxing, WEI Guoying, WANG Wei, et al. Application of gas-geology law method in prediction of coal seam gas content[J]. Safety in Coal Mines, 2014, 42(12): 145-148.
- [12] 马玉姣,程根银,赵东云. 神经网络技术在煤层瓦斯含量预测中的应用[J]. 煤炭工程,2010(1):117-119.  
MA Yujiao, CHENG Genyin, ZHAO Dongyun. Application of neural network technology to prediction of seam gas content[J]. Coal Engineering, 2010(1): 117-119.
- [13] 陈冬冬. 井上下综合勘查在围岩气储集层探测中的应用[J]. 煤炭技术,2016,35(12):137-139.  
CHEN Dongdong. Application of surface and underground comprehensive exploration in reservoir detection of surrounding rock gas[J]. Coal Technology, 2016, 35(12): 137-139.
- [14] 马功社,孙四清,郑凯歌,等. 采动效应下煤层底板变形破坏数值模拟研究[J]. 煤矿安全,2016,47(9):202-205.  
MA Gongshe, SUN Siqing, ZHENG Kaige, et al. Numerical simulation of deformation failure characteristics of coal seam floor in mining process[J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(9): 202-205.

(责任编辑 晋香兰)