

# 钻屑瓦斯解吸指标临界值的确定及应用

孔胜利<sup>1,2</sup> 程龙彪<sup>1,2</sup> 王海锋<sup>1,2</sup> 周红星<sup>1,2</sup>

(1. 中国矿业大学 煤矿瓦斯治理国家工程研究中心 江苏 徐州 221116; 2. 中国矿业大学 安全工程学院 江苏 徐州 221116)

**摘要:** 为准确界定预测突出危险性的钻屑瓦斯解吸指标临界值,基于钻屑瓦斯解吸指标物理意义的解释和实验室条件下对屯兰煤矿2号煤层煤样解吸规律的分析,阐述了钻屑瓦斯解吸指标、瓦斯解吸量与平衡压力之间的关系;综合理论计算与现场实际情况,确定了屯兰煤矿2号煤层“高压、低含量”的突出特征及其临界突出压力,并计算获得突出危险性预测钻屑瓦斯解吸指标 $K_1$ 的临界值为 $0.18 \text{ mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{0.5})$ , $\Delta h_2$ 的临界值为95 Pa,现场应用表明,所确定的临界值对突出危险性的预测更为准确,能够更好地保证矿井生产安全。

**关键词:** 煤与瓦斯突出; 突出危险性; 钻屑瓦斯解吸指标; 临界值

**中图分类号:** TD713 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2014)08-0056-04

## Determination and Application on Critical Value of Drilling Cuttings Gas Desorption Indices

KONG Sheng-li<sup>1,2</sup>, CHENG Long-biao<sup>1,2</sup>, WANG Hai-feng<sup>1,2</sup>, ZHOU Hong-xing<sup>1,2</sup>

(1. National Engineering and Research Center for Coal Gas Control, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China;

2. School of Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** In order to define the critical value of drilling cuttings gas desorption indices which predicted gas outburst risk, based on the physical meaning explanation of drilling cuttings gas desorption indices and the desorption regulation of the No. 2 coal seam in Tunlan Coal Mine, the relationship of the indices, the gas desorption quantity and the gas pressure were obtained. Through the theoretical calculation and actual mining situation, the outburst of the No. 2 coal seam was characterised by high gas pressure and low gas content. The critical value of gas pressure which could indicate the outburst was given. The critical value of drilling cuttings gas desorption indices were calculated  $0.18 \text{ mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{0.5})$  for  $K_1$  and 95 Pa for  $\Delta h_2$ . The field application showed that the identified critical value was more accurate for the outburst prediction, which could better guarantee the safety mining.

**Key words:** coal and gas outburst; outburst risk; drilling cuttings gas desorption indices; critical value

## 0 引言

突出危险性预测是防治煤与瓦斯突出工作的重要环节,在2个“四位一体”综合治理的原则下,突出危险性预测分为区域突出危险性预测和局部突出危险性预测。区域突出危险性预测是在采掘活动前,对煤层区域进行的突出危险性预测。局部突出危险性预测则是在采掘活动时,对工作面前方较小范围内煤体突出危险性进行预测,也是对区域瓦斯

治理措施的效果验证,其采用的主要预测指标有钻屑瓦斯解吸指标、钻屑量指标、钻孔瓦斯涌出初速度等。钻屑瓦斯解吸指标由于能够较好地反映煤层瓦斯含量,且井下测定方便,因此应用最为广泛。《防治煤与瓦斯突出规定》中对钻屑瓦斯解吸指标也给出了参考的临界值<sup>[1]</sup>,但由于我国矿区分布范围广,煤体差异性大,不同煤种对瓦斯的吸附能力也存在较大区别<sup>[2]</sup>,在利用钻屑瓦斯解吸指标进行突出危险性预测前,有必要确定出合理的临界值。为此,

收稿日期:2014-03-16;责任编辑:赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.08.015

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2014ZDP08)

作者简介:孔胜利(1987—),男,安徽合肥人,博士研究生。Tel: 15062191301 E-mail: kslcone@126.com

引用格式:孔胜利,程龙彪,王海锋,等.钻屑瓦斯解吸指标临界值的确定及应用[J].煤炭科学技术,2014,42(8):56-59,64.

KONG Sheng-li, CHENG Long-biao, WANG Hai-feng et al. Determination and Application on Critical Value of Drilling Cuttings Gas Desorption Indices[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(8): 56-59, 64.

不少学者进行过大量研究,代表性的有王佑安<sup>[3]</sup>依据统计学原理提出了“三率法”确定指标临界值;杜泽生<sup>[4]</sup>在发展“三率法”的基础上提出了“四率法”;文献[5-7]采用灰色理论对确定指标临界值进行了尝试;刘洋等<sup>[8]</sup>探讨了利用质量控制图确定指标临界值的可行性。上述方法大多是根据现场大量实测数据,通过分析指标对发生突出时预测的准确性来界定,但根据当前《防治煤与瓦斯突出规定》的要求和“先抽后采”的瓦斯治理方针<sup>[9]</sup>,局部突出危险性预测只能在采用区域措施且经效果检验有效之后才能进行,此时煤层突出危险性已基本消除,现场难以提供发生突出时预测的基础数据,为指标临界值的确定带来了困难。因此,笔者以西山煤田屯兰煤矿2号煤层为例,采用理论分析和试验相结合的方法,根据钻屑瓦斯解吸指标与煤样吸附解吸特性的内在联系,结合现场瓦斯赋存规律和突出动力现象,在实验室条件下对突出预测敏感指标临界值的确定进行了探讨,以实现在无突出实例的情况下,对钻屑瓦斯解吸指标临界值的准确界定。

## 1 试验矿井概况

屯兰煤矿位于山西省西山煤田中部,太原地区西南,2002年正式投产,设计生产能力400万t/a,主要含煤地层为上石炭统太原组和下二叠统山西组,可采煤层自上而下分别为山西组2号、4号煤层和太原组8号、9号煤层,屯兰煤矿煤系地层柱状图如图1所示。屯兰煤矿为典型的近距离煤层群开

地层系统				厚度/m	煤层柱状	岩 性
界	系	统	组			
古 生 界   <						

图1 屯兰煤矿煤系地层柱状图

采2号煤层为矿井的首采煤层,随着开采向深部的延深,瓦斯含量不断增大,实测瓦斯压力可达1.46MPa,突出危险性也不断增强,在其埋深相对较深的南五采区已发生5次突出动力现象。瓦斯灾害对矿井的生产安全造成了极大的威胁,加强瓦斯突出预测,保证防治措施有效尤为必要。

## 2 钻屑瓦斯解吸指标与煤体解吸特征

### 2.1 钻屑瓦斯解吸指标

钻屑瓦斯解吸指标包括 $K_1$ 和 $\Delta h_2$ , $K_1$ 通过WTC瓦斯突出参数测定仪测定,其原理是定容条件下通过测定解吸气体的压力,计算单位质量煤样在 $t_i$ 时刻的瓦斯解吸量 $Q_i$ ,并认为 $Q_i$ 与煤样自暴露时刻起至读取第 $i$ 个数据的时间 $t_i$ 的关系可用巴雷尔公式( $Q_i = K_1 \sqrt{t_i}$ )进行描述,采用最小二乘法通过式(1)推算得出 $K_1$ 。当 $t_i = 1$ 时, $Q_i = K_1$ ,即 $K_1$ 在物理意义上表征的是单位质量煤样自暴露时刻起,第1min内的瓦斯解吸量。

$$K_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n (Q_i \sqrt{t_i}) - \sum_{i=1}^n Q_i \sum_{i=1}^n \sqrt{t_i}}{n \sum_{i=1}^n t_i - \left( \sum_{i=1}^n \sqrt{t_i} \right)^2} \quad (1)$$

式中 $n$ 为瓦斯解吸量测定的次数,一般取10。

钻屑瓦斯解吸指标 $K_1$ 在现场测定过程中要求自煤样暴露时刻起开始计时,筛取粒径为1~3mm的钻屑煤样放入WTC瓦斯突出参数测定仪中密封开始测定,按仪器提示输入测定时间和钻孔长度后,自动计算并显示 $K_1$ 值。

钻屑瓦斯解吸指标 $\Delta h_2$ 的测定同样自煤样暴露时刻起开始计时,筛取粒径为1~3mm的钻屑煤样约10g,放入MD-2解吸仪中,在第4min开始时将解吸仪的三通阀调整至测定状态,待第5min结束时读取解吸仪中U型管的水柱压差,根据U型管的设计尺寸,可获得单位质量煤样在自暴露时刻起第4~5min内的解吸量 $Q_{4-5}$ 与 $\Delta h_2$ 的换算关系为

$$Q_{4-5} = 0.0083 \Delta h_2 / m \quad (2)$$

式中 $m$ 为测定钻屑的质量,一般取10g。

### 2.2 煤体解吸特征的测定

由钻屑瓦斯解吸指标物理意义和测定原理可知,二者均是描述煤样解吸特性的参数,且有着相应的实际物理意义。因此可通过对煤样解吸特性的分析,获得突出压力条件下煤样的解吸特征,进而得到钻屑瓦斯解吸指标预测突出危险性的合理临界值。

1) 煤样制备及测定方法。根据试验要求<sup>[10]</sup>, 结合井下生产情况, 在现场 12407 工作面采集 2 号煤层块状煤样, 密封, 经破碎、筛分选择粒径 1~3 mm 的煤为试验煤样。称取 50 g 试验煤样放入带有压力表的煤样罐中密封, 将煤样罐在 60 ℃ 恒温水浴条件下脱气 8 h 后, 充入纯甲烷至不同压力, 再将充气后的煤样罐放入 30 ℃ 恒温水浴槽中平衡, 当压力表数值稳定不变时, 即可认为煤样达到吸附平衡状态, 记录压力表的读数为吸附平衡压力。使用 MJ-3 瓦斯解吸速度测定仪, 对平衡后的煤样进行解吸特性的测定, 采用排水法记录不同时刻的瓦斯解吸量, 连续观测数据 120 min。

2) 解吸特征分析。实验室条件下, 测定了不同吸附平衡压力下的解吸数据, 获得的累计解吸量与解吸时间变化关系如图 2 所示。在不同平衡压力下解吸曲线有一定的规律性, 累计瓦斯解吸量与解吸时间呈类抛物线正相关。曲线的导数即解吸速率, 在图 2 中直观地表现为曲线的陡缓。对于单条解吸曲线来说, 累计解吸量随着解吸时间的延长而不断累加, 解吸速度逐渐衰减。对于不同吸附平衡压力下的解吸曲线来说, 吸附平衡压力越高则其同一时刻下累计解吸瓦斯量越大, 且在初期的解吸速率越快。解吸初期不同时刻的瓦斯解吸量统计见表 1。

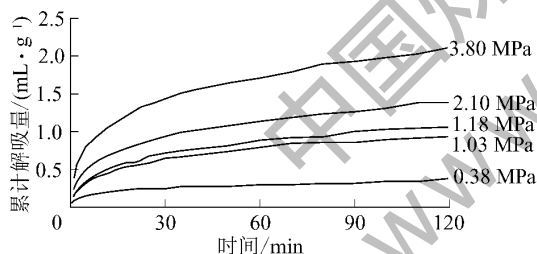


图 2 不同吸附平衡压力下煤样的解吸曲线

表 1 解吸初期不同时刻的瓦斯解吸量统计

平衡压力/MPa	瓦斯解吸量/(mL·g <sup>-1</sup> )				(Q <sub>1</sub> /Q <sub>120</sub> )/(Q <sub>3</sub> /Q <sub>120</sub> )/%	
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4-5</sub>	Q <sub>120</sub>	%	%
0.38	0.08	0.13	0.03	0.38	21.05	34.21
1.03	0.15	0.30	0.07	0.95	15.79	31.58
1.18	0.17	0.30	0.08	1.09	15.60	27.52
2.10	0.25	0.43	0.10	1.44	17.36	29.86
3.80	0.38	0.65	0.15	2.13	17.84	30.52

注: Q<sub>1</sub>、Q<sub>3</sub>、Q<sub>4-5</sub>、Q<sub>120</sub> 分别为单位质量煤样在自暴露时刻起第 1、3、4~5、120 min 时的瓦斯解吸量。

由表 1 可以看出, 煤样在第 1 min 内的瓦斯解吸量占前 120 min 内累计解吸总量的 15.60%~21.05%, 平均为 17.52%, 而其解吸时间仅占总时

间的 0.83%; 前 3 min 内的瓦斯解吸量占累计解吸总量的 27.52%~34.21%, 平均为 30.74%, 其解吸时间仅占总时间的 2.5%。由此可知煤样的初期解吸对解吸总量的贡献很大, 是描述煤样解吸特征的重要阶段。

在试验条件不变的情况下, 同一煤样在不同时段内的瓦斯解吸量取决于吸附平衡压力, 通过对不同时段瓦斯解吸量与吸附平衡压力的拟合发现, 二者均较好地符合乘幂函数关系(图 3), 拟合相关系数在 0.98 以上, 与文献[11-12]获得的钻屑瓦斯解吸指标 K<sub>1</sub> 与吸附平衡压力呈乘幂函数相关的结论一致, 这表明可用拟合得到的式(3)计算屯兰煤矿 2 号煤层煤样在不同吸附平衡压力下的 Q<sub>1</sub> 和 Q<sub>4-5</sub>。

$$\begin{cases} Q_1 = 0.150 2P^{0.693 4} \\ Q_{4-5} = 0.066 2P^{0.613 1} \end{cases} \quad (3)$$

式中 P 为吸附平衡压力, MPa。

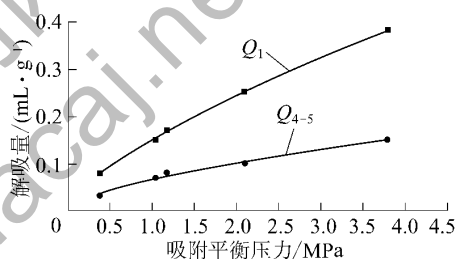


图 3 初期瓦斯解吸量与吸附平衡压力的关系

### 3 钻屑瓦斯解吸指标临界值的确定

由第 2.2 节得到的煤样的瓦斯解吸量与吸附平衡压力的函数关系, 考虑钻屑瓦斯解吸指标与瓦斯解吸量的对应关系, 可获得钻屑瓦斯解吸指标与吸附平衡压力的关系。在现场应用中, 煤层原始瓦斯压力可等同视为实验室条件下的吸附平衡压力, 再结合煤层瓦斯赋存规律、现场生产中发生的动力现象、煤体自身强度等因素, 分析确定煤层的临界突出压力后, 利用获得的钻屑瓦斯解吸指标与吸附平衡压力的关系, 就能得到作为突出预测判别准则的钻屑瓦斯解吸指标临界值。

确定钻屑瓦斯解吸指标临界值, 首先需要对煤层的临界突出压力进行分析。《防治煤与瓦斯突出规定》中给出的突出危险性判定的瓦斯压力、瓦斯含量分别为 0.74 MPa 和 8.00 m<sup>3</sup>/t, 利用间接法计算 2 号煤层在规定临界值条件下对应的瓦斯压力、瓦斯含量分别为 1.34 MPa 和 5.40 m<sup>3</sup>/t。

煤的普氏系数影响着诱发煤体发生突出的最小

瓦斯压力, 文献 [13] 给出了突出瓦斯压力最小值  $T_{\min}$  与煤的普氏系数  $f$  经验公式为:  $T_{\min} = 2.79f + 0.39$ 。俞启香<sup>[14]</sup>通过对 26 个突出矿井煤层突出统计资料分析, 得出了挥发分  $V$  和  $f$  的关系为  $T_{\min} = 0.5 + 0.085Vf$ 。屯兰煤矿煤样的普氏系数为 0.411, 挥发分为 19.84%, 由上述公式计算得到屯兰煤矿 2 号煤层诱导发生突出的最小瓦斯压力分别为 1.54 和 1.19 MPa, 对应的瓦斯含量分别为 8.60 和 7.44  $\text{m}^3/\text{t}$ 。

此外, 在生产过程中 2 号煤层共发生过 5 起明显的瓦斯涌出异常及动力现象, 这些动力现象是界定最小突出压力的有力依据。现场多次测定了 2 号煤层的瓦斯压力, 利用田靖安等<sup>[15]</sup>提出的“安全线法”得到瓦斯压力  $T$  与埋深  $H$  的关系为

$$T = 0.0043H - 0.226 \quad (4)$$

根据发生动力现象位置及对应标高下的瓦斯压力和瓦斯含量, 见表 2。

表 2 动力现象位置及对应标高下的瓦斯压力和瓦斯含量

位置	标高/m	瓦斯压力/ MPa	瓦斯含量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ )
12503 回风巷 840 m	+700	1.70	9.36
12503 回风巷 848 m	+700	1.70	9.36
12503 回风巷 1 090 m	+690	1.75	9.49
12503 轨道巷 842 m	+700	1.70	9.36
12503 运输巷 870 m	+710	1.65	9.18

对比上述结果, 发现理论计算得到的诱导突出瓦斯的最小压力和现场动力现象发生点的瓦斯压力, 均大于《防治煤与瓦斯突出规定》中给出的瓦斯压力临界值 0.74 MPa, 对应的瓦斯含量则与规定的临界值 8  $\text{m}^3/\text{t}$  接近, 这表明, 屯兰煤矿 2 号煤层具备“高压、低含量”的突出特征, 考虑一定的安全系数和管理上的要求, 将屯兰煤矿 2 号煤层在瓦斯含量为 8  $\text{m}^3/\text{t}$  时, 所对应的瓦斯压力 1.34 MPa 作为临界突出压力。将其带入式 (3)、式 (2) 中, 获得突出预测钻屑瓦斯解吸指标  $K_1$  的临界值为 0.18  $\text{mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{0.5})$ ,  $\Delta h_2$  的临界值为 95 Pa。

#### 4 预测效果分析

在屯兰煤矿生产中, 主要采用  $K_1$  和钻屑量指标  $S$  作为突出危险预测指标, 收集统计了南五采区运输巷掘进过程中  $K_1$  和  $S$  的实测值如图 4 所示。南

五采区为屯兰煤矿的深部采区, 瓦斯压力大, 含量高, 从突出预测指标实测数据来看, 在煤层赋存稳定, 无构造影响时,  $K_1$  平均在 0.11  $\text{mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{0.5})$  左右稳定波动。2008 年 11 月 5 日, 当掘进至 4 号联络巷前 560 m 处时, 由于受一组落差为 0.6 ~ 2.3 m、倾角为 50° ~ 65° 的小断层群影响,  $K_1$  突然增大, 达到 0.40  $\text{mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{0.5})$ , 超出笔者确定的临界值 0.18  $\text{mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{0.5})$ , 但仍低于《防治煤与瓦斯突出规定》中给出的临界值。此外, 钻屑量指标  $S$  的突然增大, 打钻施工过程中出现的抱钻、顶钻等异常现象, 进一步验证了该处存在的突出危险性。这表明笔者确定的临界值相比于规定的临界值更为严格, 对突出预测的准确性也更高, 能够更好地保障生产安全, 避免潜在的突出隐患。在采取施工排放钻孔等局部防突措施之后, 现场实测  $K_1$  显著降低, 巷道掘进安全顺利地通过该地质构造段。

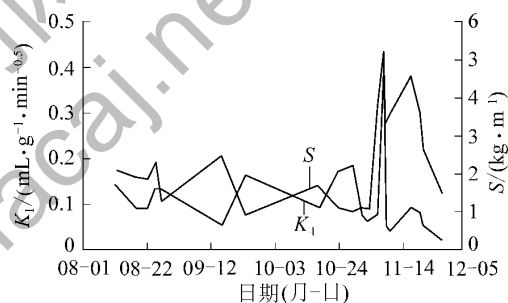


图 4 南五采区运输巷掘进期间指标  $K_1$  和  $S$  实测值

#### 5 结 论

1) 实验室条件下, 屯兰煤矿 2 号煤层煤样不同吸附平衡压力下的瓦斯解吸量与解吸时间呈类抛物线正相关, 且在前 3 min 内的瓦斯解吸量平均约占累计总量的 30.74%, 对应的时间比例仅为 2.5%。初期解吸量对解吸总量的贡献量很大, 是描述煤样解吸特征最重要的阶段。

2) 对试验数据的拟合可发现, 屯兰煤矿 2 号煤层煤样在不同吸附平衡压力下的第 1 min 解吸量  $Q_1$  和第 4 ~ 5 min 瓦斯解吸量  $Q_{4-5}$  与吸附平衡压力  $P$  存在乘幂函数关系, 其中  $Q_1 = 0.1502P^{0.6934}$ ,  $Q_{4-5} = 0.0662P^{0.6131}$ 。

3) 屯兰煤矿 2 号煤层的突出危险性具有“高压、低含量”的特征, 综合比较理论计算的最小突出压力和现场发生动力现象处的临界瓦斯压力, 考虑一定的安全系数和管理上的要求, 将屯兰煤矿 2 号 (下转第 64 页)

气高峰期时间和维持解吸时间明显延长,控压效果明显。因此,在煤层气井不稳定解吸阶段排采过程中,要合理地控制套压,防止因压降过快而导致产气量的下降。

#### 参考文献:

- [1] 秦勇,袁亮,胡千庭,等.我国煤层气勘探与开发技术现状及发展方向[J].煤炭科学技术,2012,40(10):1-6.
- [2] 申宝宏,雷毅.我国煤矿区非常规能源开发战略思考[J].煤炭科学技术,2013,41(1):16-20.
- [3] 袁亮,薛俊华,张农,等.煤层气抽采和煤与瓦斯共采关键技术现状与展望[J].煤炭科学技术,2013,41(9):6-11,17.
- [4] 马东民.煤层气井采气机理分析[J].西安科技学院学报,2003,23(2):156-159.
- [5] 郭大立,贡玉军,李曙光,等.煤层气排采工艺技术和展望[J].西南石油大学学报:自然科学版,2012,34(2):91-98.
- [6] 程伟,张磊,王平等.煤层气井抽采制度及配套工艺研究[J].煤炭科学技术,2013,41(12):67-70,75.
- [7] 康永尚,赵群,王红岩,等.煤层气井开发效率及排采制度的研究[J].天然气工业,2007,27(7):79-82.
- [8] 李金平,汤达祯,许浩,等.低煤阶煤层气抽采特征及影响因素分析[J].煤炭科学技术,2013,41(12):53-56.
- [9] 郭盛强.成庄区块煤层气井产气特征及控制因素研究[J].煤炭科学技术,2013,41(12):100-104.
- [10] 康永尚,邓泽,刘洪林.我国煤层气井排采工作制度探讨[J].天然气地球科学,2008,19(3):423-426.
- [11] 杨秀春,李明宅.煤层气排采动态参数及其相互关系[J].煤田地质与勘探,2008,36(2):19-23.
- [12] 刘升贵,郝耐,王建强.煤层气水平井产能控制因素分析与排采实践[J].煤炭学报,2012,37(6):957-960.
- [13] 陈振宏,王一兵,杨焦生,等.影响煤层气井产量的关键因素分析:以沁水盆地南部樊庄区块为例[J].石油学报,2009,30(3):409-416.
- [14] Li Guo-fu, MENG Zhao-ping. Researches on Hydro-frac Induced Reservoir Damage to Anthracite Coal Seams of Southern Qingshui Basin [C]//The 2007' International Symposium on Safety Science and Technology 2007:2805-2808.
- [15] 秦勇,姜波,王继尧,等.沁水盆地煤层气构造动力条件耦合控藏效应[J].地质学报,2008,82(10):1355-1362.
- [16] 秦勇,傅雪海,韦重韬,等.煤层气成藏动力条件及其控藏效应[M].北京:科学出版社,2012:20-22.
- [17] 傅雪海,秦勇,韦重韬,等.QNDN1井煤层气排采的流体响应分析[J].天然气工业,2010,30(6):48-51.
- [18] 段品佳,王芝银,翟雨阳,等.煤层气排采初期阶段合理降压速率的研究[J].煤炭学报,2011,36(10):1689-1692.
- [19] 陈振宏,王一兵,孙平.煤粉产出对高煤阶煤层气井产能的影响及其控制[J].煤炭学报,2009,34(2):229-232.
- [20] 郑玉柱,韩宝山.煤层气采收率的影响因素及确定方法研究[J].天然气工业,2005,25(1):120-123.

#### (上接第59页)

煤层在瓦斯含量为  $8 \text{ m}^3/\text{t}$  时,所对应的瓦斯压力 1.34 MPa 作为临界突出压力。

4) 根据确定的临界压力,结合获得的钻屑瓦斯解吸指标与煤样解吸特性的关系,确定屯兰煤矿2号煤层突出危险性预测钻屑瓦斯解吸指标  $K_1$  临界值为  $0.18 \text{ mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{0.5})$ ,  $\Delta h_2$  临界值为 95 Pa,现场应用表明:与《防治煤与瓦斯突出规定》中给出的临界值相比,实验室条件下利用煤体初期解吸量与突出压力的关系,计算获得的突出预测钻屑解吸指标临界值对突出危险性的预测更为准确,能够更好地保证矿井的生产安全。

#### 参考文献:

- [1] 国家煤矿安全监察局.防治煤与瓦斯突出规定[M].北京:煤炭工业出版社,2009.
- [2] 陈振宏,王一兵,宋岩,等.不同煤阶煤层气吸附、解吸特征差异对比[J].天然气工业,2008,28(3):30-32.
- [3] 王佑安,王魁军.工作面预测敏感指标确定方法探讨[J].煤矿安全,1996,27(7):29-30.
- [4] 杜泽生,罗海珠,孙波,等.基于四率法的煤与瓦斯突出预测敏感指标的确定[J].煤炭科学技术,2010,38(7):44-47.
- [5] 朱运华,侯锦秀,陈永超,等.基于灰色关联分析法确定突出敏感指标[J].煤矿开采,2007,12(3):11-13.
- [6] 胡云强,陈金玉,钱晓虎,等.煤与瓦斯突出敏感指标及其临界值的确定[J].煤炭科学技术,2008,36(11):59-62.
- [7] 延如波,牛雅莉,李金书,等.基于灰色理论确定煤与瓦斯突出预测敏感指标[J].河南工程学院学报:自然科学版,2009,21(4):5-7.
- [8] 刘洋,徐幼平,张萌博.质量控制图方法在突出敏感指标确定中的应用[J].煤矿安全,2012,43(1):86-88.
- [9] 马丕梁,蔡成功.我国煤矿瓦斯综合治理现状及发展战略[J].煤炭科学技术,2008,36(12):7-11.
- [10] 赵东,冯增朝,赵阳升.煤层瓦斯解吸影响因素的试验研究[J].煤炭科学技术,2010,38(5):43-46.
- [11] 胡千庭,文光才,徐三民.工作面突出预测敏感指标及临界值确定方法的研究[J].煤炭工程师,1998(S0):8-10.
- [12] 王永文,吴世跃,董国民,等.钻屑解吸指标与瓦斯压力关系的应用[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2010,29(3):396-399.
- [13] 北票矿务局瓦斯组,辽宁省煤炭研究所.北票煤田煤层煤与瓦斯突出危险性若干问题的探讨[J].煤矿安全,1975,6(4):10-15.
- [14] 俞启香.煤层突出危险性的评价指标及其重要性排序的研究[J].煤矿安全,1991,22(9):11-14.
- [15] 田靖安,王亮,程远平,等.煤层瓦斯压力分布规律及预测方法[J].采矿与安全工程学报,2009,26(4):481-485.