

文章编号: 0253-9993(2012)02-0253-06

## 水锁对含瓦斯煤体的瓦斯解吸的影响

张国华<sup>1,2</sup> 梁 冰<sup>2</sup> 毕业武<sup>1</sup>

(1. 黑龙江科技学院 安全工程学院 黑龙江 哈尔滨 150027; 2. 辽宁工程技术大学 辽宁 阜新 123000)

**摘 要:** 受石油与天然气开采界水锁损害研究的启示, 利用自主研发的外液侵入条件下瓦斯解吸实验装置, 实验获得了 0.025% 渗透剂溶液侵入条件下对瓦斯自然解吸的影响。结果表明: 外液的侵入能够降低瓦斯的解吸量, 对于 2.0、1.5、1.0 和 0.5 MPa 四个含瓦斯压力水平而言, 在 1 h 以内能够将瓦斯解吸量降低 7%~26%, 在 12 h 时能降低 26%~41%, 说明利用水锁防止工作面瓦斯超限具有可行性。

**关键词:** 水锁; 瓦斯超限; 自然解吸; 渗透剂溶液

**中图分类号:** TD713.3      **文献标志码:** A

### Impact of water lock on gas desorption of coal with gas

ZHANG Guo-hua<sup>1,2</sup>, LIANG Bing<sup>2</sup>, BI Ye-wu<sup>1</sup>

(1. College of Safety Engineering, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China; 2. Liaoning Engineering Technical University, Fuxin 123000, China)

**Abstract:** Enlightenment by the study of water lock damage in oil and natural gas mining field, used independent research and development gas desorption experimental measuring device under external solution invasion, experiment obtained the 0.025% penetrant solution invasion influence to gas natural desorption. The results show that external solution invasion can reduce gas desorption quantity to gas pressure is 2.0, 1.5, 1.0 and 0.5 MPa says, external solution can make gas desorption quantity reduce 7%~26% in 1 h, and reduce 26%~41% in 12 h, indicated it has feasible that use water lock to prevent gas exceeding limit on coal face.

**Key words:** water lock; gas exceeding limit; natural desorption; penetrant solution

随着矿井开采深度的增加, 为了防止矿井瓦斯灾害的发生, 各矿井普遍采用瓦斯抽采技术, 同时针对低渗透率煤层, 则普遍采用深孔松动爆破、解放层卸压、水力压裂、水力割缝等增透措施<sup>[1-6]</sup>。然而在工作面回采过程中, 回采工作面瓦斯超限往往还是时有发生。对于工作面回采过程中的瓦斯超限而言, 其实质是由于单位时间内由含瓦斯煤体中涌出的瓦斯量过大, 利用正常通风无法及时外排而造成的, 因此解决问题的根本是如何降低含瓦斯煤单位时间内瓦斯的解吸量, 从而延缓瓦斯释放速度。

在石油与天然气开采界, 为了增加储层的渗透性, 常常实施水力压裂增透措施, 由此对储层会产生水锁损害, 即会因毛细管效应而在储层孔隙通道中产

生封堵效应, 从而降低所采流体资源的抽采率, 于是水锁作为对储层的损害而成了众多学者关注的焦点<sup>[7-13]</sup>。然而, 同一问题若从两个不同的角度来看, 将具有完全不同的实际意义, 水锁虽是石油与天然气开采界所急于破解的难题, 但它给我们的启示是其对孔隙通道的堵塞与对孔中流体资源运移的延缓作用, 若从降低含瓦斯煤单位时间内瓦斯的解吸量, 延缓瓦斯释放速度的角度出发加以利用, 无疑对防止工作面瓦斯超限具有十分重要的意义<sup>[14]</sup>。

据此, 笔者通过实验, 专门研究了水锁对含瓦斯煤中瓦斯解吸与释放量的影响, 进而提出了采用水锁防止工作面瓦斯超限的可行性, 以期高瓦斯工作面瓦斯超限灾害的防治提供参考。

收稿日期: 2011-03-21      责任编辑: 毕永华

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2011CB201206-2); 黑龙江省教育厅基金资助项目(11513098)

作者简介: 张国华(1971—), 男, 黑龙江讷河人, 教授, 博士研究生。Tel: 0451-89151971, E-mail: zgh710828131@163.com

## 1 实验方法与实验过程

### 1.1 实验方法

相对于含瓦斯煤体中的瓦斯而言,水锁的形成是在外液后置侵入的条件下而产生的。为探讨后置外液侵入后对瓦斯解吸的影响,需要通过对同一含瓦斯煤在自然环境条件下的自然解吸测定和有外液侵入后的自然解吸测定实验,来对比分析说明。

结合工作面落煤后含瓦斯煤体所处的环境状态,实验过程应满足以下 3 个条件:①含瓦斯煤体必须是处于吸附平衡状态的煤体;②外液的侵入相对于煤体中所含的瓦斯而言,一定要保证隶属于后置侵入;③由于工作面上的煤体暴露于空气之中,瓦斯从煤体中向外释放时所处环境压力与大气压力相当,因此在实验过程中要保证含瓦斯煤体处于大气环境压力或近大气环境压力条件下。

依据以上 3 个条件,笔者自主设计了外液侵入条件下瓦斯解吸实验测定装置,其构成如图 1 所示。

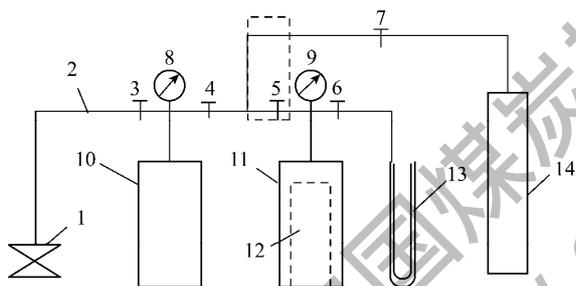


图 1 外液侵入条件下水锁实验装置

Fig. 1 Water lock experimental device under the conditions of external liquid invasion

1—真空泵;2—高压连接软管;3—7—控制阀;  
8,9—压力表;10—参考缸;11—样品缸;12—内置外液  
联动装置;13—压差计;14—气瓶

参照煤高压等温吸附实验(GB/T 19560—2008)中高压容量法的实验过程<sup>[15]</sup>,利用该系统很容易实现第 1 个条件。对于第 2 个条件,则需要利用内置外液联动装置(图 2)来实现。内置外液联动装置由装液缸、均布扩散器、托架组成,利用液体自重并通过倾斜来实现自动外液侵入。其原理:在装液缸中装入事先配置好的外液,在煤样瓶中装入实验煤样,并按图 2 的形式将煤样瓶放在托架下部,在托架中部放置均布扩散器,在托架上部放置装液缸,然后将整个内置外液联动装置放在样品缸内。在实验过程中,当需要使外液侵入含瓦斯煤体时,只要使内置外液联动装置连同样品缸一起倾斜一个角度,球形控制阀门便会自动打开,外液就会沿着装液缸底部的孔进入均布扩散器的内部,然后通过均布扩散器底部更小的孔均匀地

淋洒在煤样上,从而实现外液的侵入。同时,为防止外液对煤样产生浸泡,煤样瓶瓶底与样品缸缸底相距约 2 cm,且煤样瓶底部设置有底孔,以便多额外液流出。对于第 3 个条件,在实验过程中只需定时打开控制阀,与外界相通并达到外界压力,然后再连接压差计进行测定,即可实现,详细参见实验操作过程 1.2 节中的步骤(4)。

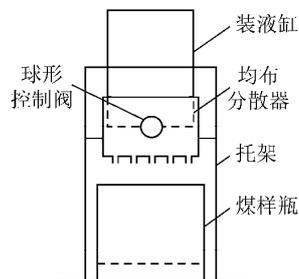


图 2 内置外液联动装置

Fig. 2 Internal settings external liquid linkage device

### 1.2 实验操作过程

利用该实验装置进行外液侵入条件下瓦斯解吸实验研究,其基本操作过程如下。

(1) 实验样品制备。实验样品主要包括煤样和外液两部分,本实验煤样取自黑龙江龙煤控股集团七台河分公司桃山煤矿一采区 85 号层高瓦斯回采工作面,为了尽可能保留煤样中原始的裂隙与孔隙,煤样粒度选用 20~30 mm,同时为了使效果更加明显,实验中采用质量为 2 kg 的大剂量煤样。外液则采用浓度为 0.025% JFC 渗透剂溶液,通过实验前的测试,其用量为 500 mL 时能够保证将煤样全面浸润。

(2) 将整个内置外液联动装置按图 2 连接后,将外液、煤样等装入相应的容器内,整体置入样品缸内,而后按图 1 进行系统连接,并检查系统的气密性,以确保实验在密闭条件下进行。

(3) 参照煤高压等温吸附实验中高压容量法的实验过程,通过真空泵对系统进行真空脱气,而后注入甲烷,并经过 24 h 使样品缸内瓦斯吸附达到平衡压力  $P_e$ 。

(4) 无外液侵入条件下含瓦斯煤体常压瓦斯解吸实验测定。打开控制阀 6 使样品缸中的瓦斯压力降到环境压力  $P_z$ ,然后连接上压差计 13,经过一段时间  $t$  记录下压差计的压差  $\Delta h_{i11}$ ,计算出压力差  $\Delta P_{i11} = \rho g \Delta h$ ,从而得到样品缸内的压力  $P_{i11} = P_z + \Delta P_{i11}$ ,而后通过拔掉压差计连接管使样品缸内的瓦斯压力重新降低到环境压力  $P_z$ ,再重新连接上压差计,并经过一段时间  $t$  再记录下压差计压差  $\Delta h_{i12}$  及计算出压力  $P_{i12}$ 。如此反复,可获得在以  $t$  为时间间隔的条件下,其各时间段内压差计的压力值  $P_{i1i}$ ,然后按下式可计算出无外

液侵入条件下各时间段内的瓦斯解吸量  $\Delta m_{1i}$ 。

$$\Delta m_{1i} = \frac{V_m V_t}{MRT} \left( \frac{P_{t1i}}{Z_{t1i}} - \frac{P_z}{Z_z} \right) \quad (1)$$

式中  $\Delta m_{1i}$  为无外液条件下第  $i$  个  $t$  时间段内单位质量煤所解吸出来的瓦斯量,  $\text{cm}^3/\text{g}$ ;  $V_m$  为甲烷气体摩尔体积  $22.4 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{mol}$ ;  $M$  为煤样的质量,  $\text{g}$ ;  $V_t$  为样品缸内自由空间的体积,  $\text{cm}^3$ ;  $R$  为气体常数,  $R = 8.735$ , 无量纲<sup>[16]</sup>;  $T$  为实验温度,  $\text{K}$ ;  $Z_{t1i}$ ,  $Z_z$  分别为  $P_{t1i}$  和  $P_z$  压力时所对应的甲烷气体压缩因子。

以上实验时间总体持续 12 h, 然后根据式(1) 计算各对应的瓦斯解吸量。

(5) 外液侵入后的含瓦斯煤体常压瓦斯解吸实验测定。在以上实验的基础上, 利用同一煤样, 关闭控制阀 6, 重新对样品缸注入甲烷, 并经过 24 h 使样品缸内瓦斯吸附达到平衡压力  $P_c$ 。而后将样品缸倾斜一个角度, 使内置外液联动装置的球形控制阀 3 打开, 并使外液淋洒到煤样上。

(6) 打开控制阀 6 使样品缸中的瓦斯压力降到环境压力  $P_z$ , 然后连接上压差计 13, 同步骤(4) 过程一样, 按式(1) 计算出有外液侵入条件下各时间段内

的瓦斯解吸量  $\Delta m_{2i}$ 。该过程总持续时间也是 12 h。

## 2 实验结果与分析

由于实测原始煤层的瓦斯压力为 2.2 MPa, 温度为 17 °C, 故实验环境温度仍然保持在 17 °C, 同时考虑到煤层开采过程中瓦斯释放的影响, 含瓦斯煤的瓦斯平衡压力则分别设定为  $P_c = 2.0, 1.5, 1.0, 0.5$  MPa 四个压力水平。在实验过程中, 时间间隔  $t = 10 \text{ min}$ , 即每隔 10 min 记录一次数据, 并重新拔下和连接压差计, 使样品缸与外界环境相通一次。

### 2.1 实验结果

通过实验, 获得在无外液和有外液侵入后且环境压力为常压的条件下, 不同瓦斯平衡压力水平条件下的瓦斯解吸量(表 1)。据此绘制出无外液侵入条件下自然解吸和外液侵入后自然解吸在不同瓦斯压力水平时, 每 10 min 时间段内的瓦斯解吸量对比曲线(图 3), 以及无外液侵入条件下在不同瓦斯压力水平时, 每 10 min 时间段内的瓦斯解吸量对比曲线(图 4) 和外液侵入后在不同瓦斯压力水平时, 每 10 min 时间段内的瓦斯解吸量对比曲线(图 5)。

表 1 无外液和有外液侵入条件下各时间段瓦斯解吸量实验数据

Table 1 Gas desorption quantity experimental data of each time section under external solution and no external solution invasion

时间 点/min	压力水平 2.0 MPa		压力水平 1.5 MPa		压力水平 1.0 MPa		压力水平 0.5 MPa	
	无外液	有外液	无外液	有外液	无外液	有外液	无外液	有外液
3	0.231 7	0.189 3	0.210 6	0.196 4	-	-	-	-
8	0.225 5	-	-	-	-	-	-	-
10	0.160 0	0.188 1	0.178 9	0.161 7	0.131 2	0.173 8	0.143 3	0.152 3
20	0.108 9	0.108 4	0.115 5	0.100 8	0.084 5	0.071 9	0.069 7	0.072 4
30	0.082 6	0.080 1	0.082 5	0.075 8	0.062 5	0.050 2	0.050 1	0.042 7
40	0.069 7	0.063 6	0.068 6	0.061 3	0.051 1	0.038 4	0.042 7	0.037 7
50	0.057 8	0.055 4	0.056 4	0.052 8	0.041 3	0.032 3	0.035 3	0.030 1
60	0.050 2	0.046 7	0.046 0	0.042 3	0.036 1	0.027 4	0.030 9	0.027 2
70	0.046 3	0.042 0	0.043 8	0.039 9	0.033 0	0.024 7	0.027 9	0.023 4
80	0.043 0	0.038 9	0.042 1	0.035 9	0.028 3	0.022 1	0.024 4	0.020 1
90	0.039 7	0.036 5	0.038 6	0.033 1	0.026 7	0.019 8	0.022 7	0.018 8
100	0.037 3	0.033 4	0.035 2	0.031 9	0.024 8	0.017 9	0.020 5	0.016 7
110	0.033 4	0.029 1	0.032 6	0.027 8	0.022 8	0.016 3	0.017 4	0.015 5
120	0.031 1	0.027 5	0.030 8	0.027 0	0.020 8	0.015 2	0.016 1	0.014 2
130	0.029 1	0.026 7	0.029 1	0.025 4	0.019 3	0.014 1	0.014 8	0.013 8
140	0.027 7	0.025 5	0.027 4	0.024 2	0.018 5	0.012 9	0.014 4	0.012 6
150	0.026 8	0.023 2	0.025 6	0.022 6	0.018 1	0.012 2	0.013 1	0.011 7
160	0.026 3	0.022 0	0.024 7	0.021 8	0.017 3	0.011 4	0.012 6	0.011 3
170	0.025 3	0.021 2	0.023 9	0.021 0	0.015 7	0.010 6	0.012 2	0.010 9
180	0.024 8	0.019 6	0.023 0	0.019 0	0.015 3	0.010 3	0.011 8	0.010 5
190	0.024 4	0.019 2	0.021 7	0.018 6	0.014 5	0.009 9	0.011 3	0.010 0
200	0.023 9	0.018 5	0.021 3	0.017 7	0.013 8	0.009 5	0.010 9	0.009 2

续表

时间 点/min	压力水平 2.0 MPa		压力水平 1.5 MPa		压力水平 1.0 MPa		压力水平 0.5 MPa	
	无外液	有外液	无外液	有外液	无外液	有外液	无外液	有外液
210	0.022 9	0.017 7	0.020 4	0.017 3	0.013 0	0.009 1	0.010 5	0.008 8
220	0.022 0	0.016 5	0.019 5	0.016 9	0.012 2	0.008 7	0.010 0	0.008 8
230	0.021 5	0.015 7	0.018 7	0.016 1	0.011 8	0.008 7	0.009 6	0.008 4
240	0.021 0	0.014 9	0.017 8	0.015 3	0.011 4	0.008 4	0.009 1	0.008 0
250	0.020 5	0.014 5	0.016 9	0.014 9	0.010 6	0.008 0	0.008 7	0.007 5
260	0.020 1	0.014 1	0.016 5	0.014 5	0.010 2	0.007 6	0.008 7	0.007 5
270	0.019 1	0.013 7	0.016 1	0.014 1	0.009 8	0.007 2	0.008 3	0.007 1
280	0.018 6	0.013 0	0.015 6	0.014 1	0.009 4	0.006 8	0.008 3	0.007 1
290	0.018 2	0.013 0	0.015 2	0.012 9	0.009 0	0.006 5	0.007 8	0.006 7
300	0.017 7	0.012 2	0.014 8	0.012 5	0.008 6	0.006 5	0.007 8	0.006 3
310	0.017 2	0.011 4	0.014 3	0.012 1	0.008 3	0.006 1	0.007 8	0.005 9
320	0.016 7	0.011 0	0.014 3	0.011 3	0.007 9	0.006 1	0.007 4	0.005 9
330	0.016 7	0.011 0	0.013 9	0.011 3	0.007 9	0.006 1	0.007 4	0.005 4
340	0.016 2	0.011 0	0.013 5	0.010 9	0.007 9	0.005 7	0.007 4	0.005 4
350	0.015 8	0.010 6	0.013 0	0.010 1	0.007 5	0.005 3	0.007 4	0.005 4
360	0.015 3	0.010 2	0.012 6	0.009 7	0.007 1	0.005 3	0.007 0	0.005 0
370	0.015 3	0.010 2	0.012 2	0.009 3	0.006 7	0.005 3	0.007 0	0.005 0
380	0.014 8	0.010 2	0.012 2	0.009 3	0.006 7	0.004 9	0.007 0	0.005 0
390	0.014 3	0.009 8	0.011 7	0.008 9	0.006 3	0.004 9	0.006 5	0.004 6
400	0.014 3	0.009 8	0.011 3	0.008 5	0.005 9	0.004 9	0.006 5	0.004 6
410	0.014 3	0.009 4	0.011 3	0.008 1	0.005 9	0.004 9	0.006 1	0.004 2
420	0.013 9	0.009 0	0.010 9	0.007 7	0.005 9	0.004 6	0.006 1	0.004 2
430	0.013 9	0.009 0	0.010 9	0.007 7	0.005 5	0.004 6	0.006 1	0.004 2
440	0.013 4	0.008 6	0.010 4	0.007 3	0.005 5	0.004 6	0.006 1	0.004 2
450	0.013 4	0.008 2	0.010 4	0.007 3	0.005 5	0.004 6	0.005 7	0.004 2
460	0.012 9	0.007 9	0.010 4	0.006 9	0.005 1	0.004 6	0.005 7	0.004 2
470	0.012 9	0.007 9	0.010 0	0.006 5	0.005 1	0.004 2	0.005 7	0.003 8
480	0.012 4	0.007 9	0.010 0	0.006 5	0.005 1	0.004 2	0.005 2	0.003 8
490	0.012 4	0.007 9	0.009 6	0.006 0	0.005 1	0.004 2	0.005 2	0.003 8
500	0.011 9	0.007 5	0.009 6	0.006 0	0.004 7	0.004 2	0.004 8	0.003 8
510	0.011 9	0.007 5	0.009 1	0.005 6	0.004 7	0.003 8	0.004 8	0.003 3
520	0.011 5	0.007 5	0.009 1	0.005 2	0.004 7	0.003 8	0.004 8	0.003 3
530	0.010 1	0.007 5	0.008 7	0.004 8	0.004 7	0.003 8	0.004 4	0.003 3
540	0.010 1	0.007 1	0.008 7	0.004 8	0.004 7	0.003 8	0.004 4	0.003 3
550	0.010 5	0.007 1	0.008 7	0.004 8	0.004 3	0.003 8	0.004 4	0.003 3
560	0.010 0	0.007 1	0.008 7	0.004 4	0.004 3	0.003 8	0.003 9	0.002 9
570	0.010 0	0.006 7	0.008 2	0.004 4	0.004 3	0.003 4	0.003 9	0.002 9
580	0.010 0	0.006 7	0.008 2	0.004 4	0.004 3	0.003 4	0.003 9	0.002 9
590	0.009 6	0.006 7	0.008 2	0.004 4	0.003 9	0.003 4	0.003 5	0.002 5
600	0.009 6	0.006 3	0.008 2	0.004 4	0.003 9	0.003 4	0.003 5	0.002 5
610	0.009 1	0.006 3	0.008 2	0.004 2	0.003 9	0.003 0	0.003 0	0.002 5
620	0.009 1	0.005 9	0.007 8	0.004 2	0.003 9	0.003 0	0.003 0	0.002 5
630	0.008 6	0.005 9	0.007 8	0.004 2	0.003 9	0.003 0	0.003 0	0.002 1
640	0.008 6	0.005 5	0.007 8	0.004 2	0.003 9	0.003 0	0.002 6	0.002 1
650	0.008 6	0.005 5	0.007 4	0.004 2	0.003 5	0.002 7	0.002 6	0.002 1
660	0.008 1	0.005 1	0.007 4	0.004 2	0.003 5	0.002 7	0.002 6	0.002 1
670	0.008 1	0.005 1	0.007 4	0.003 9	0.003 5	0.002 7	0.002 6	0.002 1
680	0.008 1	0.005 1	0.006 9	0.003 9	0.003 5	0.002 3	0.002 2	0.001 7
690	0.007 6	0.004 7	0.006 9	0.003 9	0.003 1	0.002 3	0.002 2	0.001 7
700	0.007 6	0.004 7	0.006 9	0.003 9	0.003 1	0.002 3	0.002 2	0.001 7
710	0.007 2	0.004 7	0.006 5	0.003 9	0.003 1	0.002 3	0.002 2	0.001 3
720	0.007 2	0.004 3	0.006 5	0.003 9	0.003 1	0.002 3	0.002 2	0.001 3

注:表中“-”代表该时刻未重新将压差计连接并记录相应的数据值。

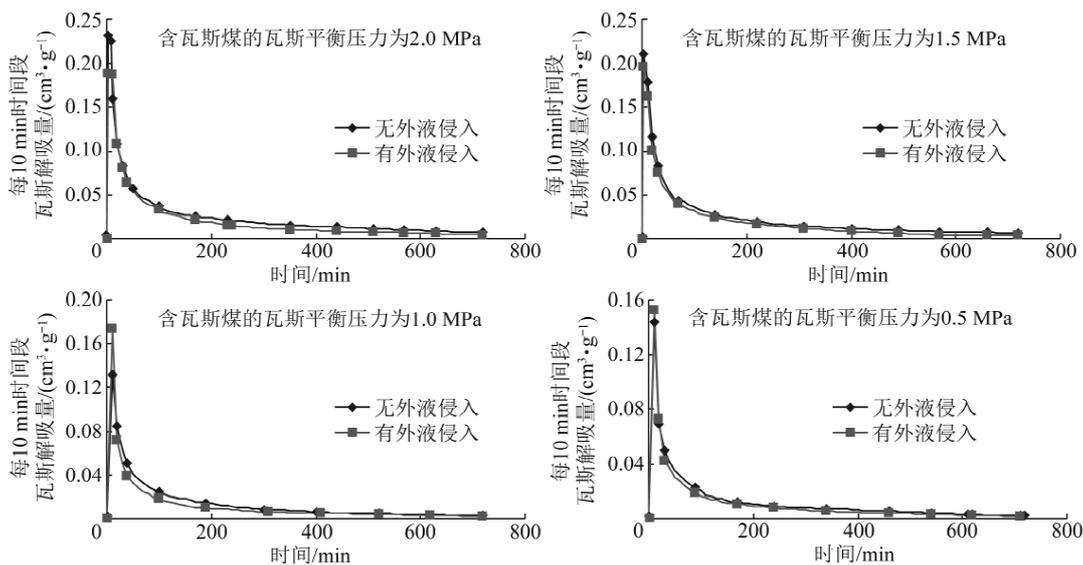


图 3 不同压力水平时瓦斯自然解吸量对比曲线

Fig. 3 Gas natural desorption quantity contrast curves under different pressure

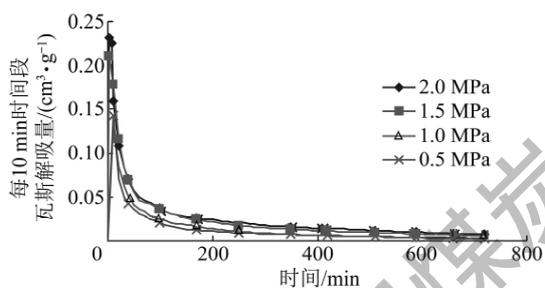


图 4 无外液侵入瓦斯自然解吸量对比曲线

Fig. 4 Gas natural desorption quantity contrast curves under no external solution invasion

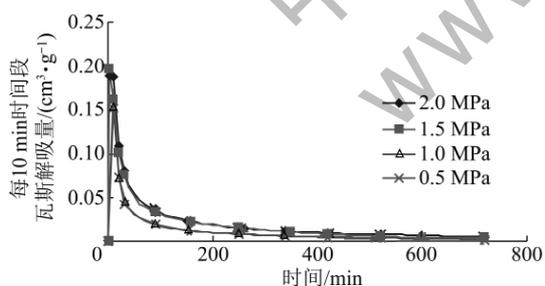


图 5 有外液侵入瓦斯自然解吸量对比曲线

Fig. 5 Gas natural desorption quantity contrast curves under external solution invasion

## 2.2 结果分析

结合以上实验数据及图 3 ~ 5 可知:

(1) 无论有无外液侵入,含瓦斯煤在自然状态下煤 10 min 内的解吸量均随着时间的延长而降低,而快速解吸则集中在前 1 h 之内;

(2) 含瓦斯煤所处的瓦斯压力水平越高,则每 10 min 内的瓦斯解吸量相对越大;

(3) 在有外液侵入的条件下,整体上均不同程度

地降低了瓦斯的解吸量,表明水锁的形成与存在,正是由于水锁的形成与存在才使瓦斯解吸量降低。在前 1 h 以内,瓦斯解吸量降低幅度较小,为 7% ~ 26%。随着时间的延长,瓦斯解吸量降低幅度逐步增加,在 12 h 时能降低 26% ~ 41%,相比较来看,含瓦斯压力水平越高其降低幅度越小;

(4) 在前 20 min 以内,局部表现为有外液侵入下的瓦斯解吸量要大于无外液侵入条件下的瓦斯解吸量。表明因外液的侵入,在瞬间内有促进瓦斯解吸现象的发生,即存在短期的液置气现象。

之所以外液侵入后会降低含瓦斯煤体的瓦斯解吸量,究其根本原因在于:对于煤这种多孔介质而言,外液侵入含瓦斯煤体之后,会在煤体孔隙的端部产生毛细现象,进而形成毛细管阻力,当孔隙内部与外部环境之间的压力差不足以克服该毛细管阻力时,便限制了孔隙内部瓦斯的外渗与运移,于是出现外液对瓦斯解吸具有降低作用。另外,之所以会在初期出现短期的液置气现象,是由于液体分子在固体表面的吸附能力要强于气体分子在固体表面的吸附能力,故在外液侵入煤体后,其液体分子会对原吸附于固体表面的瓦斯分子产生置换脱附作用,进而出现短期内外液侵入下的瓦斯解吸量要大于无外液侵入条件下的瓦斯解吸量的情况。

## 3 工程指导意义

结合工程实际,在含瓦斯压力比较高的条件下,一般均会采取瓦斯抽采的措施,使瓦斯压力降低到一定的压力水平然后进行正常回采,在该条件下,若工作面落煤过程中仍然存在瓦斯超限现象,可以在落煤

的同时采取喷洒渗透剂溶液的措施,利用其水锁效应来降低瓦斯的涌出量并延缓瓦斯的涌出释放速度,从而在时间上为利用正常通风排放瓦斯提供便利条件。虽然在喷洒渗透剂溶液过程中存在液置气并导致瞬间瓦斯解吸量增加,但由于喷洒溶液只是在局部进行,因此不足以导致工作面瓦斯整体超限。同时,还可以在瓦斯抽采的后期,利用部分抽采孔进行注液,利用其余孔继续抽采的方式,提前对预采煤体进行注液水锁,并在割煤过程中配以喷洒外液进行二次水锁的方式来防止工作面落煤过程中的瓦斯超限。

#### 4 结 论

(1) 无论有无外液侵入,含瓦斯煤体所处的瓦斯压力水平越高其瓦斯自然解吸量越大,快速解吸集中在前 1 h 之内,而后趋于减缓。

(2) 对含瓦斯煤体而言,在外液侵入后,能够在含瓦斯煤体中产生水锁效应,从而降低瓦斯的释放量并延缓瓦斯的释放速度,尤其含瓦斯压力水平在 1.0 MPa 及以下时,效果更为明显。

(3) 利用喷洒渗透剂溶液来防止工作面落煤过程中瓦斯超限具有可行性。

#### 参考文献:

- [1] 卢平,袁亮,程桦等.低透气性煤层群高瓦斯采煤工作面强化抽采卸压瓦斯机理及试验[J].煤炭学报,2010,35(4):580-585.  
Lu Ping, Yuan Liang, Cheng Hua, et al. Theory and experimental studies of enhanced gas drainage in the high-gas face of low permeability coal multi-seams[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(4): 580-585.
- [2] 代志旭.高压水力压裂技术在瓦斯综合治理中的研究与应用[J].煤炭工程,2010(12):82-84.  
Dai Zhixu. Research and application of high pressure hydraulic fracturing technology to mine gas comprehensive control[J]. Coal Engineering, 2010(12): 82-84.
- [3] 胡国忠,王宏图,范晓刚.邻近层瓦斯越流规律及其卸压保护范围[J].煤炭学报,2010,35(10):1654-1659.  
Hu Guozhong, Wang Hongtu, Fan Xiaogang. The law of methane gas leak flow in adjacent layer and its relief-pressure protection region[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(10): 1654-1659.
- [4] 张海宾,林柏泉,孟凡伟,等.多孔割缝后煤层变化规律对卸压效果影响的数值分析[J].煤炭工程,2010(11):71-73.  
Zhang Haibin, Lin Baiquan, Meng Fanwei, et al. Numerical analysis on seam variation law after multi boreholes cutting and cracking affected to pressure releasing effect[J]. Coal Engineering, 2010(11): 71-73.
- [5] 孙炳兴,王兆丰,伍厚荣.水力压裂增透技术在瓦斯抽采中的应用[J].煤炭科学技术,2010,38(11):78-81.  
Sun Bingxing, Wang Zhaofeng, Wu Hourong. Hydraulic pressurized cracking and permeability improvement technology applied to gas drainage[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(11): 78-81.
- [6] 张延明.低透气煤层深孔爆破预裂增透技术实践[J].中州煤炭,2010(10):11-13.  
Zhang Yanming. Practice on permeability-increasing technology by deep boreholes pre-split blasting technology in low permeability coal seams[J]. Zhongzhou Coal, 2010(10): 11-13.
- [7] 钟新荣,黄雷,王利华.低渗透气藏水锁效应研究进展[J].特种油气藏,2008,15(6):12-15.  
Zhong Xinrong, Huang Lei, Wang Lihua. Research progress of water lock effect in low permeability gas reservoirs[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2008, 15(6): 12-15.
- [8] 尚万宁,张耀刚,李治,等.气井储层水锁效应解除措施应用[J].天然气工业,2008,28(5):89-90.  
Shang Wannong, Zhang Yaogang, Li Zhi, et al. The application of relief measures for water lock effect in reservoirs of gas wells[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(5): 89-90.
- [9] 周小平,孙雷,陈朝刚.低渗透气藏水锁效应研究[J].特种油气藏,2005,12(5):52-54.  
Zhou Xiaoping, Sun Lei, Chen Chaogang. Study on water lock effect in low permeability reservoir[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2005, 12(5): 52-54.
- [10] 杨春虎,姚建,田冬梅,等.表面活性剂影响煤体瓦斯吸附解吸性能的实验研究[J].煤矿安全,2009(5):4-8.  
Yang Chunhu, Yao Jian, Tian Dongmei, et al. Experimental study on influence of surfactant on gas adsorption and desorption performance of coal[J]. Safety in Coal Mines, 2009(5): 4-8.
- [11] 疏壮志,杜志敏,刘建仪,等.碳酸盐裂缝性水驱气藏水锁实验研究[J].天然气工业,2004,24(6):89-92.  
Shu Zhuangzhi, Du Zhimin, Liu Jianyi, et al. Water lock experiments of carbonate fractured gas reservoirs with water drive[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(6): 89-92.
- [12] 阎荣辉,唐洪明,李皋,等.地层水锁损害的热处理研究[J].西南石油学院学报,2003,25(6):16-18.  
Yan Ronghui, Tang Hongming, Li Gao, et al. Study of heat treatment for formation water block damage[J]. Journal of South West Petroleum Institute, 2003, 25(6): 16-18.
- [13] 雷茹,任晓娟.低渗透砂岩气藏水锁伤害方式对比实验研究[J].岩性油气藏,2008,20(3):124-127.  
Lei Ru, Ren Xiaojuan. Experiment research on water lock damage in low-permeability sand gas reservoirs[J]. Lithologic Reservoirs, 2008, 20(3): 124-127.
- [14] 张国华,鲁婷,梁冰,等.基于水锁机理的瓦斯超限防治理论[J].黑龙江科技学院学报,2010,20(2):103-106.  
Zhang Guohua, Lu Ting, Liang Bing, et al. Theory on preventing and controlling gas exceeding limit based on water lock mechanism[J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science and Technology, 2010, 20(2): 103-106.
- [15] GB/T19560—2008.煤的高压等温吸附试验方法[S].
- [16] 马东民.煤层气吸附解吸机理研究[D].西安:西安科技大学,2008:37-38.  
Ma Dongmin. Research on the adsorption and desorption mechanism of coalbed methane[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2008: 37-38.