

文章编号: 1673-3363-(2012)05-0746-04

注水煤瓦斯放散特性的研究

牟俊惠, 程远平, 刘辉辉

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

摘要 为了弄清煤层注水对瓦斯放散的作用机理, 结合现有的实验条件以煤样中水分含量对煤样瓦斯放散初速度的影响为切入点进行研究, 通过实验, 研究不同变质程度的煤样在不同含水率情况下瓦斯放散初速度的变化规律, 实验结果表明煤样的放散初速度与煤样内含水率呈对数关系。煤样中的水分减缓了瓦斯放散初速度, 煤样的变质程度越高, 水分对其的影响就越大, 且当煤样中含有 2%~7% 的水分时对煤样的瓦斯初始放散速度影响最大, 当煤样中的含水率大于 10% 时, 随着煤样中水分的增加, 水分含量对煤样瓦斯放散速度的影响越来越小。

关键词 注水煤; 解吸; 孔隙; 瓦斯放散初速度; 水分含量

中图分类号 TD 712

文献标识码 A

Research on Gas Diffusion Characteristic of Injected Water Coal

MOU Jun-hui, CHENG Yuan-ping, LIU Hui-hui

(National Engineering Research Center of Coal Gas Control, Faculty of Safety Engineering,
China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract In this paper, to find out the mechanism of coal seam water injection to the gas diffusion, according to the existing experimental conditions, the effect of moisture content of coal samples to the initial velocity of gas diffusion was taken as the breakthrough point for our research. Through the experiment, the initial velocities of gas diffusion of the coal samples with different metamorphic degrees in different moisture situations were studied. The experiment results show that the logarithmic relationship is existed between the initial velocity of coal gas diffusion and the moisture content, and the initial velocity of gas diffusion is alleviated due to the water content in coal sample. In addition, the higher the metamorphic degree of coal sample is, the bigger influence of the moisture is. Moreover, it has the biggest influence when the moisture of coal sample is around 2%~7%, and when the moisture of coal sample is over 10%, the increasing of moisture content has smaller and smaller influence to the initial velocity of coal sample.

Key words water injection coal; desorption; hole; initial velocity of gas diffusion; moisture content

煤层注水作为一种防治煤与瓦斯突出的措施于 20 世纪 30 年代最早在前苏联煤矿开始应用, 60 年代逐步在我国得以推广应用^[1]。到目前为止, 煤层注水防突已经取得了显著的成果, 国内外学者对其机理也做了很多的研究。

1960 年, 切尔诺夫提出液体使煤中的甲烷被封存的假说, 认为煤层的湿润促进了煤中孔隙被液体所堵塞, 从而使煤体有较高的瓦斯含量和较低的瓦斯放散速度。近年来, 国内研究表明注水对煤体中瓦斯起到一定封堵作用, 从而抑制了瓦斯放散^[2-5]。

收稿日期: 2012-01-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (5090468); 国家青年科学基金项目 (51004106)

作者简介: 牟俊惠 (1986-), 女, 山东省东营市人, 硕士, 从事煤矿瓦斯防治方面的研究。

E-mail: a12345mjh@126.com

Tel: 18795426522

如：刘建新^[3]等认为液态水可以把微孔隙中的瓦斯封堵起来，使工作面瓦斯涌出量减小。李平^[4]认为高压水对煤体中瓦斯起到一定的封堵作用，致使注水后瓦斯释放速度缓慢，瓦斯涌出量降低。魏国营等^[5]认为注水后水在微孔中为扩散过程，封堵瓦斯，使瓦斯由吸附状态转为游离状态更加困难。另外，秦文贵，张延松^[6]等研究了煤孔隙分布与煤层注水增量的关系。

但是煤层注水的防突机理一直以来没有得到定论，综合作用假说中关于煤层注水对瓦斯解吸特性的影响也分为 2 个方面：一种观点是煤层注水降低了煤体内瓦斯的解吸速度，并对瓦斯解吸起到了一定的封堵效应，进而避免了大量瓦斯的快速解吸，起到了防突的作用；另一种观点是煤层注水增加了煤层的透气性，加快了煤体瓦斯的解吸速度；同时在采用煤层注水防治煤与瓦斯突出时，合理科学的注水量一直没有量化^[7]。本文通过研究不同煤矿的煤样在不同的水分含量情况下的瓦斯放散初速度特性，分析煤层注水的防突的机理，这对于现场注水防突具有指导意义。

1 含水煤体特性

煤体是一种多孔介质，按照微孔填充理论煤体的微吸附空间是由许许多多的微吸附的子空间组成，子空间内只被一定类型的吸附质所占有，每一个子空间是由一些微孔组成，微孔的直径只是吸附质分子直径的几倍。被吸附的气体从这类微孔中析出，只有扩散作用，对吸附作用的影响不只是微孔的数量和大小，还在于煤体的空间内这些微孔的分布特性^[8]。

从吸附化学角度来讲，水分子具有明显极性，比甲烷更容易被煤体吸附^[9]，水分子首先是在煤体裂隙和大孔径中运移，然后由于毛细作用和扩散作用可进入直径小于 5 nm 的孔隙中，以多分子层的形式吸附在煤体中，并与煤的内表面牢固联系^[10]。

2 含水煤样的瓦斯放散规律研究

2.1 实验原理

在煤与瓦斯突出发生、发展过程中，就煤自身而言，人们公认的观点只有 2 个因素^[11]：①是煤的强度。强度越大越不容易破坏，突出的危险性就越小，相反，煤的强度越小越易破坏，其阻力就越小，破碎所需的能力就越小，突出危险性也就越大^[12]。②是煤的放散能力，在突出的最初一段时间内煤中

所含的瓦斯放散出的越多，在突出过程中就易形成携带煤体运动的瓦斯流，其突出危险性就越大^[13]；相反如煤中含有大量瓦斯，但在短时间内放出的量很小，那么这种煤虽含有大量瓦斯，但不易形成瓦斯流，即煤层的瓦斯所具有的初始释放瓦斯膨胀能较小^[14]，其发生突出的危险性就越小，所以煤层的初始瓦斯的放散量决定了煤层突出危险性的大小，因此我们就进行了不同矿区内的煤样在不同的含水率情况下，瓦斯放散初速度的变化规律。

在实验过程中，我们采用苏联学者提出的煤在 1 个大气压下吸附后 45~60 s 的瓦斯放散量与 0~10 s 内放散量的差值作为煤的瓦斯放散初速度^[15]。

$$\Delta P = P_2 - P_1 \tag{1}$$

式中： P_1 表示前 10 s 内煤中涌出瓦斯的压力； P_2 表示 60 s 内的总瓦斯压力； ΔP 表示的是水银柱毫米数表示的压差，用 mmHg 表示。

在现场的煤与瓦斯突出鉴定中，《煤矿安全规程》中明确提出瓦斯放散初速度的临界值是 10 mmHg，超过这一指标的煤矿即为突出矿井。

2.2 实验方案

我们选取了 8 个不同的煤样进行实验，这 8 个煤样涵盖了各种变质程度的煤种，其挥发分含量从 13.88%~42.45%，其中卧龙湖煤样是受火成岩侵蚀的代表性煤样。具体实验煤样的相关参数见表 1。

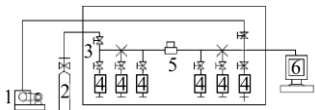
表 1 煤矿名称及取样地点
Table 1 Coal mine name and sample sites

煤矿名称	取样地点	挥发分%	煤样变质程度
卧龙湖煤矿	6101 风巷 6 煤 F13 点前 66.7m	13.88	贫煤
孔庄煤矿	4 人行下山开门点	42.45	长焰煤
袁一煤矿	1011 风巷 10 煤	22.98	焦煤
清大煤矿	1874 工作面 B ₂	21.74	瘦煤
祁南煤矿	6121 风巷	38.02	气煤
许疃煤矿	82 四中（人行下山）二层煤	26.92	焦煤
卧龙湖煤矿	6101 风联巷 F4 点前 18.7m6 煤	16.28	贫煤
界沟煤矿	71 煤	32.92	肥煤

在取样地点，我们分别选取具有代表性的煤样，在实验室制取了粒径 0.20~0.25 mm 的煤样，每一个煤矿的煤样制取 70 g，分成 10 个标本，力求每一个煤矿的 10 个标本中的煤样基本一样，以备后面的实验使用。

实验之前采用一次性杯子将煤样全部浸湿，然后在实验室内自然干燥，并运用干燥箱控制煤样的水分含量。对卧龙湖 6101 工作面风联巷 F₄ 点前 18.7 m 煤样，界沟 7₁ 煤煤样，许疃 6121 风巷煤样，袁

一矿 1011 风巷 10 煤煤样, 祁南矿煤样, 庞庄矿 7 煤 2#煤样进行一次性加水实验, 即在一次性加水后测定其瓦斯放散初速度的值, 然后和自然干燥煤样的瓦斯放散初速度值对比, 然后再测定其不同水分含量下的瓦斯放散初速度。对卧龙湖 6101 风巷 6 煤 F₁₃ 点前 66.7 m, 孔庄矿 4 人行下山开门点, 清大煤样 1874 工作面 B₂ 煤样这 3 个煤样则直接分别选取不同的水分含量时进行瓦斯放散初速度的测定, 其试验仪器采用全自动瓦斯放散初速度测定仪, 试验装置示意图见图 1^[16]。



1-真空泵 2-甲烷气体 3-电磁阀 4-煤样罐 5-传感器 6-计算机

图 1 WT-1 型瓦斯扩散速度测定仪
Fig.1 Measure schematic of Δp

2.3 实验数据处理及分析

在不同矿区的煤样在不同含水率下, 我们得到瓦斯放散初速度与水分含量的关系曲线图, 在 8 组煤样的图片中, 我们选取了其中 3 张具有代表性的关系图, 如图 2 所示。

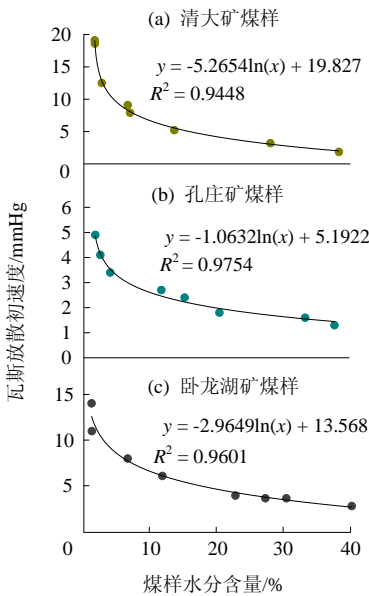


图 2 瓦斯放散初速度和水分含量关系曲线
Fig.2 The relative of initial velocity of gas diffusion and moisture

对比分析 3 个矿区的煤样在不同含水率下瓦斯放散初速度的曲线图, 可以发现初始时 (水分含量 2%~7%) 曲线的曲率很大, 随着煤样所含水分的增加, 曲线的曲率变得平缓, 实验所采用的煤样为不同变质程度的煤样, 可以得出水分对不同变质程度

煤的瓦斯放散初速度的影响是一致的。对 3 个矿区的煤样的放散初速度随煤样含水量变化的规律进行数值拟合, 其拟合的结果见表 2。

表 2 水分含量和瓦斯放散初速度关系

Table 2 The fitting relative result of moisture of initial velocity of gas diffusion

煤矿煤样	关系式	相关系数
清大	$y = -5.265\ln(x) + 19.827$	$R^2 = 0.9448$
孔庄	$y = -1.19\ln(x) + 5.6886$	$R^2 = 0.9807$
卧龙湖	$y = -2.965\ln(x) + 13.568$	$R^2 = 0.9601$

对比分析 3 个煤样的 a , b 值可以发现, 清大矿的煤样瓦斯放散初速度随着水分含量变化的变化率最大, 孔庄矿的变化率最小。清大矿的煤样挥发分含量为 21.74%, 属于瘦煤, 变质程度比较高; 孔庄矿煤样的挥发分含量为 42.45%, 属于长焰煤, 变质程度比较低。由此可见煤样的变质程度越高, 水分对煤样瓦斯放散初速度的影响就会越大。

卧龙湖矿煤样挥发分含量为 13.88%, 属于贫煤, 其变质程度比清大矿的煤样还要高, 但是卧龙湖煤矿是受火成岩侵蚀的煤矿, 其煤体性质发生了改变, 所以它的瓦斯放散初速度随水分含量变化的变化率没有清大矿大。

同时由拟合的结果, 我可以发现, 煤样的瓦斯放散初速度与煤样中水分的含量均符合对数关系, 可以采用下式表示:

$$y = a \ln(x) + b$$

式中: y 煤样的瓦斯放散初速度; a 待定系数; x 煤样的含水率, b 待定系数。

对所得对数函数式求导可得到瓦斯放散初速度随水分含量变化率的关系, 其关系曲如图 3。

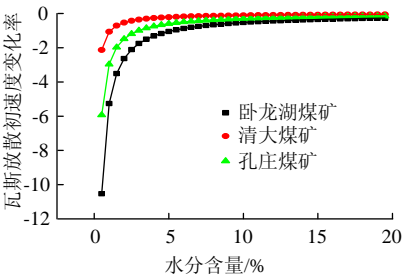


图 3 瓦斯放散初速度随水分含量变化率曲线

Fig.3 The increasae rate of initial velocity of gas diffusion to the moisture increasing

取 $K = \frac{y_{x+0.5} - y_x}{y_1 - y_{0.5}}$, 其中 K 为水分改变 0.5 个百

分点对应的瓦斯放散初速度变化率与第 1 个 0.5 百分点对应瓦斯放散初速度变化量的比值。 $y_{x+0.5}$ 表示

$x+0.5$ 个半百分点水分含量时的瓦斯放散初速度, y_x 表示 x 个百分点水分含量对应的瓦斯放散初速度, y_1 和 $y_{0.5}$ 分别表示 1 个百分点水分含量和 0.5 个百分点水分含量时的瓦斯放散初速度。

计算得水分含量为 7%~10% 时 K 值为 0.5%~0.95%, 此时的变化率已经很低, 曲线在水分含量为 7%~10% 时趋于平衡。水分含量继续增加瓦斯放散初速度改变量越来越小, 同时, 增加注水量要增大花费。所以, 在实际的生产过程中实施注水防突措施时并不是往煤层中注入的水越多越好, 其煤层的含水率控制 7%~10% 时为最佳的注水量。

4 结 论

1) 不同变质程度的煤样, 瓦斯放散初速度与煤样中的含水率均符合对数函数关系, 且当煤样中含水率为 2%~7% 时对瓦斯放散初速度影响最大, 随着煤样含水率的逐渐增大, 对瓦斯放散初速度影响越来越小。

2) 随着煤样变质程度的增加, 水分含量的变化对瓦斯放散初速度的影响率增大; 对于特殊变质程度的煤种, 比如火成岩侵蚀的煤样, 结果会略微有所差异。

3) 煤样注水后, 由于水分子封堵住了煤体中的一部分孔隙通道, 减缓了煤样的瓦斯放散速度。

4) 实施注水防突措施时并不是往煤层中注入的水越多越好, 其煤层的含水率控制 7%~10% 为最佳的注水量。

参考文献:

- [1] 吴继周. 略论煤层注水[J]. 煤矿安全, 1982, 13(2): 1-6.
WU Ji-zhou. A Brief Discussion on the Seam Water Infusion[J]. Safety in Coal Mines, 1982, 13(2): 1-6.
- [2] 切尔诺夫 О И, 罗赞采夫 Е С. 瓦斯突出危险煤层井田的准备[M]. 宋世钊, 于不凡, 译. 北京: 煤炭工业出版社, 1980.
- [3] 刘建新, 李志强. 煤巷掘进工作面水力挤出措施防突机理[J]. 煤炭学报, 2006, 31(2): 183-186.
LIU Jian-xin, LI Zhi-qiang. Protection against outburst mechanism of hydraulic extrusion measure in the front of coal road heading face[J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(2): 183-186.
- [4] 李平. 水力挤出技术在突出煤层中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(8): 45-47.
LI Ping. Application of hydraulic squeezing technology in coal seam with outburst[J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(8): 45-52.
- [5] 魏国营, 张书军, 辛新平. 突出煤层掘进防突技术研究[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(6): 100-104.
WEI Guo-ying, ZHANG Shu-jun, XIN Xin-ping. Study on Technology of Preventing coal and gas outburst during excavating in outburst coal bed[J]. China Safety Science Journal, 2005, 15(6): 100-104.
- [6] 秦文贵, 张延松. 煤孔隙分布与煤层注水增量的关系[J]. 煤炭学报, 2000, 25(5): 514-517.
QIN Wen-gui, ZHANG Yan-song. Relation of pore distribution of coal with water infusion increment in seams[J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(5): 514-517.
- [7] 肖知国, 王兆丰. 煤层注水防治煤与瓦斯突出机理的研究现状与进展[J]. 中国安全科学学报, 2009, 10(19): 150-158.
XIAO Zhi-guo, WANG Zhao-feng. Status and progress of studies on mechanism of preventing coal and gas outburst by coal seam infusion[J]. China Safety Science Journal, 2009, 10(19): 150-158.
- [8] 艾鲁尼 A T. 煤矿瓦斯动力现象的预测和预防[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992.
- [9] HAN F S, ANDREAS B, NIELS V W, et al. Experimental study of gas and water transport processes in the inter-cleat (matrix) system of coal: anthracite from qinshui basin[J]. International Journal of Coal Geology, 2010, 18: 128-138.
- [10] RALPH T Y. 吸附剂原理与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [11] 郭红玉, 苏现波. 煤层注水抑制瓦斯涌出机理研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(6): 928-931.
GUO Hong-yu, SU Xian-bo. Research on the mechanism of gas emission inhibition in water-flooding coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(6): 928-931.
- [12] BERVENO V. ESR investigation of gas diffusion in coals [J]. Fuel, 1998, 77: 791-793.
- [13] M P, S H, LIU S. Gas diffusion behavior of coal and its impact on production from coalbed methane reservoirs [J]. International Journal of Coal Geology, 2011, 86: 342-348.
- [14] 蒋承林. 煤层注水的防突机理分析[J]. 湘潭工学院学报, 1999, 14(3): 1-4.
JIANG C L. Analysis on the mechanism of outburst prevention in seam infusion[J]. XIANGTANMIN. INS, 1999, 14(3): 1-4.
- [15] 肖知国, 王兆丰, 陈立伟, 等. 煤层高压注水防治煤与瓦斯突出效果考察及机理分析[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2010, 29(3): 287-311.
XIAO Zhi-guo, WANG Zhao-feng, CHENG Li-wei, et al. Investigation and analysis of coal and gas outburst prevention effect and mechanism with high-pressure coal seam injection[J]. Journal of Henan polytechnic University: Nature Science Edition, 2010, 29(3): 287-311.
- [16] WU D M, ZHAO Y M, CHENG Y P, et al. ΔP index with different gas compositions for instantaneous outburst prediction in coal mines[J]. Mining Science and Technology, 2010, 20: 723-726.