

王振. 突出煤体的瓦斯解吸特征及其影响因素分析[J]. 矿业安全与环保, 2017, 44(1): 102-105.

文章编号: 1008-4495(2017)01-0102-04

突出煤体的瓦斯解吸特征及其影响因素分析

王 振

(中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400039)

摘要:在适宜的外界条件下,煤体中的吸附瓦斯迅速解吸为游离瓦斯后可释放出巨大的能量,从而产生强烈的气体动力效应。通过理论分析得出影响瓦斯解吸速度的重要因素——瓦斯的浓度梯度和孔壁产生的能垒。在一定的煤层条件下,吸附瓦斯浓度梯度取决于外部裂隙中高压瓦斯的释放速度,而孔壁的能垒与煤体的粒度关系密切。研究分析了不同吸附压力和煤样颗粒对瓦斯解吸特征的影响,得出瓦斯解吸速度和解吸量随孔隙压力和煤体破坏程度变化的规律。

关键词:煤与瓦斯突出;瓦斯解吸;浓度梯度;能垒

中图分类号:TD713;TD712

文献标志码:A

网络出版时间:2017-02-07 18:12

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20170207.1812.030.html>

Analysis on Gas Desorption Characteristics and Influence Factors of Outburst Coal

WANG Zhen

(China Coal Technology and Engineering Group Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China)

Abstract: Under proper outside conditions, the absorbed gas in the coal will quickly desorb into free gas, release enormous energy and thus produce a strong gas dynamic effect. Through the theoretical analysis, the key factors affecting the gas desorption velocity – the gas concentration gradient and the pore wall energy barrier were obtained. Under certain conditions of coal seams, the concentration gradient of the absorbed gas depended on the release velocity of the high-pressure gas in the external fracture, and there was a close relation between the energy barrier of pore wall and the particle sizes of coal. In this paper, analysis was carried out on the influence of different adsorption pressures and particle sizes of coal samples upon the gas desorption features, and the change rule of the gas desorption velocity and quantity with the pore pressure and the damage degree of coal was obtained.

Keywords: coal and gas outburst; gas desorption; concentration gradient; energy barrier

煤是一种复杂的多孔介质,是天然的吸附体,煤中的瓦斯主要以吸附状态存在^[1]。吸附状态的瓦斯具有极大的潜能,但其不能产生瓦斯压力,因此也不能对外做功而成为突出的动力。只有当吸附状态的瓦斯转变为游离态后,才能释放出破碎与抛掷煤体的能量。因此,煤中瓦斯的解吸特征指标是反映瓦斯气体在煤与瓦斯突出过程中作用大小的重要指标。如果煤放散瓦斯的速率较小,放散过程平稳,放散量小,就不会产生明显的动力效应,瓦斯在突出过程中的作用也就较小;反之,瓦斯内能的释放形式比

较集中,在适宜的外界条件下可能产生强烈的气体动力效应。突出煤体即构造煤的强度较低,孔裂隙结构发育,有利于瓦斯的赋存,其瓦斯含量较高,因而瓦斯膨胀能也较大,突出危险性大^[2-7]。研究突出煤体瓦斯的解吸规律,对于煤与瓦斯突出的探测预防,以及煤层气开发和利用等都具有重要的现实意义。

1 瓦斯在煤体中的赋存状态

研究表明^[8-9],瓦斯气体在煤内表面的吸附是物理吸附,其本质是煤表面分子和瓦斯气体分子之间相互吸引的结果。煤分子对瓦斯气体分子的吸引力越大,煤对瓦斯气体的吸附量就越大。瓦斯在煤体中的吸附平衡是动态平衡。所谓动态平衡是指吸附达到平衡时,吸附仍在进行,相应的解吸(脱附)也在进行,只是吸附速度等于解吸速度而已,上述过程可

收稿日期:2016-07-01;2016-12-01 修订

作者简介:王 振(1980—),男,山东德州人,博士,副研究员,主要从事矿山安全技术方面的科研工作。E-mail: cumtwangzhen@126.com。

表示为:

孔、裂隙空间的瓦斯分子 $\xrightleftharpoons[\text{解吸}]{\text{吸附}}$ 孔、裂隙表面的瓦斯分子

目前,国内外常采用朗缪尔吸附理论来解释瓦斯在煤层中的吸附与解吸特性,朗缪尔吸附等温线方程式如下^[10-11]:

$$V = \frac{abp}{1 + bp} = \frac{ap}{p + p_L} \quad (1)$$

式中: a 为单位质量的煤的表面覆盖满单分子层时的吸附量,也称最大吸附量、朗缪尔体积, m^3/kg ; V 为单位质量的煤在气体压力为 p 时吸附瓦斯的体积, m^3 ; p_L 为朗缪尔压力, $p_L = 1/b$, Pa ; b 为吸附系数。

煤体发达的孔隙结构为其吸附瓦斯创造了条件,瓦斯在煤层中赋存形态和分布见表1。

表1 瓦斯在煤层中赋存形态和分布

赋存位置	赋存形态	比例/%
裂隙、大孔和块体空间内	游离、水溶态	8~12
裂隙、大块和块体内表面	吸附	5~12
显微裂隙和微孔隙	吸附	75~80
芳香层缺陷内	替代式固溶体	1~5
芳香碳晶体内	填隙式固溶体	5~12

2 瓦斯在煤中的解吸过程及其影响因素分析

2.1 瓦斯在煤中的解吸过程

瓦斯在煤中的吸附过程由下列三步组成:①外扩散,吸附质分子从气流到吸附剂颗粒外表面的扩散;②内扩散,吸附质分子沿着吸附剂的通道深入到其内表面的扩散;③发生于内吸附表面上的吸附过程本身。由于吸附过程本身进行得极快,几乎瞬间完成,因此吸附平衡过程主要取决于外扩散与内扩散的速度。解吸是吸附的逆反过程。

瓦斯在煤体中的扩散速度,符合菲克定律^[12-13]:

$$J = -D \frac{\partial W}{\partial X} \quad (2)$$

式中: J 为扩散速度, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; W 为煤体瓦斯浓度, m^3/t ; D 为煤体瓦斯扩散系数, m^2/d 。

2.2 影响瓦斯解吸速度的因素分析

由瓦斯的扩散过程可知,在同一煤体中,瓦斯的解吸速度取决于煤体中的瓦斯浓度梯度和孔壁产生的能垒。瓦斯浓度梯度是瓦斯分子扩散的驱动力,孔壁的能垒则阻碍了瓦斯分子的扩散。

瓦斯浓度梯度取决于瓦斯解吸过程中煤体内部微孔和外部裂隙中的瓦斯含量的差值。在一定的煤层条件下,煤体微孔中吸附的瓦斯量是一定的。所以,外部裂隙中高压瓦斯的瞬间释放是导致瓦斯迅

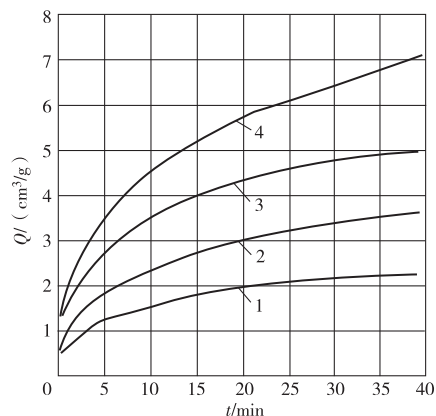
速解吸的决定性因素。而孔壁的能垒与煤体的孔隙结构即煤体的粒度关系密切。煤体孔隙通道的阻力由煤的原生物质、变质环境以及构造破坏所决定。在破碎煤块中,瓦斯自吸附表面流入裂隙,扩散通道的长短(微孔到裂隙的距离)取决于煤块中孔裂隙的密度(平均距离)。因此,煤块的颗粒尺寸和其中孔裂隙的密度是影响瓦斯解吸速度的重要因素。

3 突出煤层瓦斯解吸特征的试验分析

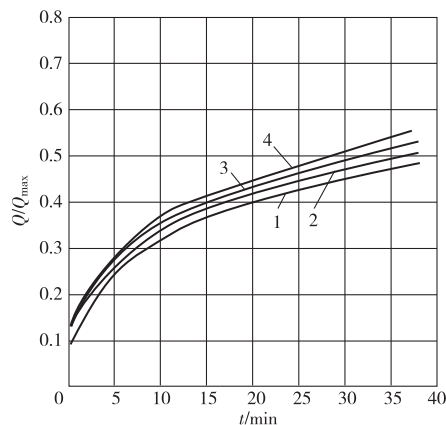
基于以上分析,通过容量法高压吸附实验研究了不同粒度和不同吸附压力下突出煤样的瓦斯解吸特征^[14-15],实验的条件与煤样突然暴露在空气中的情况基本一致。

3.1 吸附压力对瓦斯解吸特征的影响

实验结果表明,同一煤样在不同的平衡压力下解吸瓦斯,其解吸量(Q)和解吸速度(v)与瓦斯压力(p)成正比,即压力高的煤样瓦斯解吸量大,解吸速度快;而同一煤样在不同压力下的解吸率($Q/Q_{\max}$)基本相同,没有明显出现因压力而异的情况(见图1~2)。



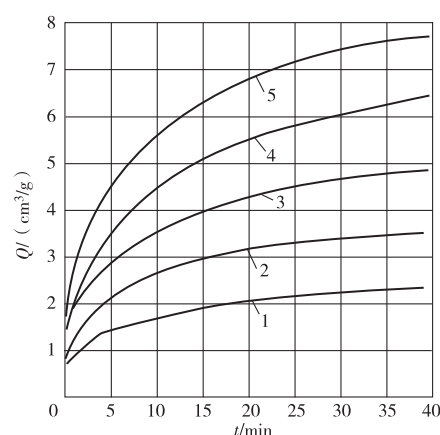
(a) 解吸量



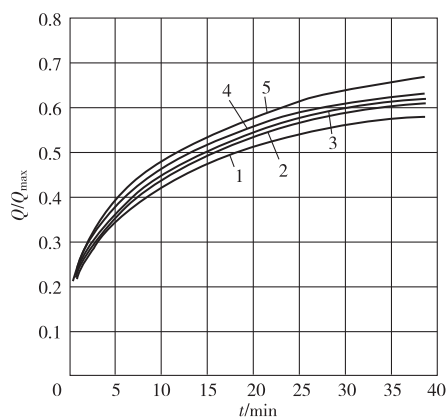
(b) 解吸率

1—0.294 MPa; 2—0.615 MPa; 3—1.063 MPa; 4—1.739 MPa。

图1 同一煤样在不同压力下的瓦斯解吸量和解吸率(鱼田堡4号煤层顶煤)



(a) 解吸量



(b) 解吸率

1—0.217 MPa; 2—0.497 MPa; 3—0.660 MPa;
4—1.091 MPa; 5—1.558 MPa。

图2 同一煤样在不同压力下的瓦斯解吸量和解吸率(鱼田堡4号煤层槽口煤)

3.2 煤样粒度对瓦斯解吸特征的影响

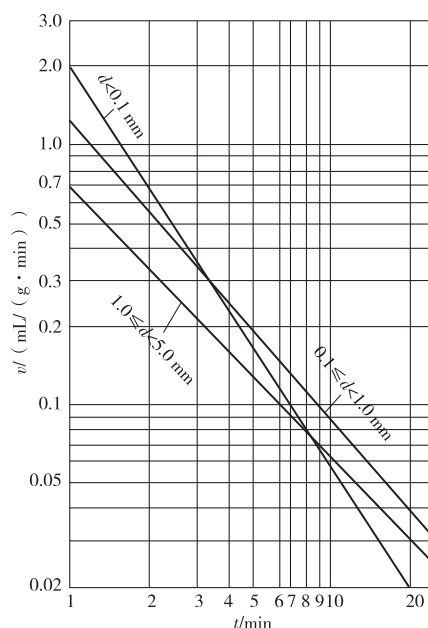
大粒度的煤,微孔隙表面(吸附中心)至煤表面的距离大,瓦斯涌出所经过的裂隙距离较长,因此一般情况下,粒度大的煤样瓦斯解吸过程较慢,解吸速度小,如图3(a)所示(图中 d 为煤样粒径)。

同一煤样在相同的解吸压力下,粒度小者在相同的解吸时间内其解吸率更高(如图3(b)所示),粒度小于0.1 mm的煤样,其瓦斯解吸率在30~60 s内可达30%~80%,大部分吸附瓦斯可以在10~20 min内解吸出来。

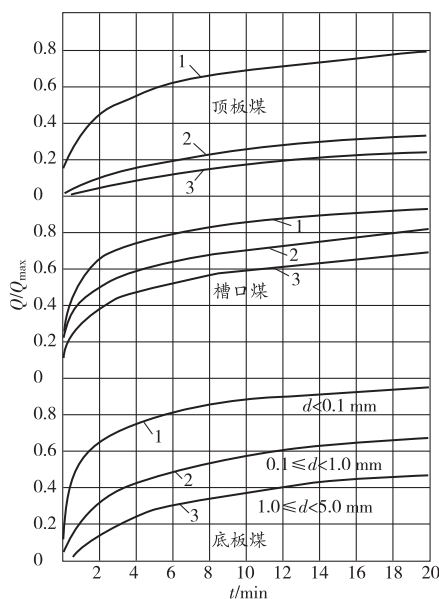
4 结论

1) 吸附状态的瓦斯具有极大的潜能,但只有当其转变为游离态后,才能对外做功而释放出破碎与抛掷煤体的能量。

2) 瓦斯的解吸速度取决于煤体中的瓦斯浓度梯度和孔壁产生的能垒。瓦斯浓度梯度是瓦斯分子扩散的驱动力,孔壁的能垒则阻碍了瓦斯分子的扩散。



(a) 解吸速度



(b) 解吸率

图3 不同粒度煤样在相同瓦斯压力下的瓦斯解吸速度和解吸率

3) 同一煤样在不同的平衡压力下解吸瓦斯,其解吸量和解吸速度与瓦斯压力成正比,即压力高的煤样瓦斯解吸量大,解吸速度快;而同一煤样在不同压力下的解吸率基本相同。

4) 大粒度的煤,微孔隙表面(吸附中心)至煤表面的距离大,瓦斯涌出所经过的裂隙距离较长,因此同一煤样在相同的解吸压力下,粒度大的煤样瓦斯解吸过程较慢,解吸量和解吸速度均较小;粒度小者在相同的解吸时间内其解吸率更高。

参考文献:

- [1] 李建铭. 煤与瓦斯突出防治技术手册[K]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [2] 张红日, 张文泉. 构造煤特征及其与瓦斯突出的关系[J]. 山东矿业学院学报, 1995, 14(4): 343-348.
- [3] 孙贤斌, 孙东玲. 突出预测指标 K_1 和 f 值确定临界值试验研究[J]. 矿业安全与环保, 2000, 27(4): 23-25.
- [4] 富向, 王魁军, 杨天鸿. 构造煤的瓦斯放散特征[J]. 煤炭学报, 2008, 33(7): 775-779.
- [5] 富向. 最小突出压力下瓦斯瞬时放散速度指标的实验研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2005.
- [6] 杨其奎, 王佑安. 煤屑瓦斯扩散理论及其应用[J]. 煤炭学报, 1986(3): 87-94.
- [7] 陈瑞端. 煤层瓦斯涌出规律及其深部开采预测的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 1996.
- [8] 何学秋. 交变电磁场对煤吸附瓦斯特性的影响[J]. 煤炭学报, 1996, 21(1): 63-67.
- [9] 张力, 何学秋, 王思元, 等. 煤吸附特性的研究[J]. 太原

理工大学学报, 2001, 32(4): 449-451.

- [10] LANGMUIR I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids [J]. J. Amer. Chem. Soc., 1916, 38: 2221-2295.
- [11] LANGMUIR I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum [J]. J. Amer. Chem. Soc., 1918, 40: 1361-1403.
- [12] 周世宁. 瓦斯在煤层流动的机理[J]. 煤炭学报, 1990, 15(1): 61-67.
- [13] 何龙庆, 林继成, 石冰. 菲克定律与扩散的热力学理论[J]. 安庆师范学院学报(自然科学版), 2006, 12(4): 38-39.
- [14] 孙重旭. 煤样解吸瓦斯泄出的研究及突出煤层煤样瓦斯解吸的特点[Z]. 重庆: 煤炭科学研究院重庆研究所, 1981.
- [15] 曹焱林. 高压吸附下的瓦斯放散初速度研究[J]. 煤矿安全, 2004, 35(9): 4-6.

(责任编辑: 李 琴)

(上接第 101 页)

3 结论

1) 依据理论分析及相似模拟方法, 得到综放工作面采出率的确定方法, 工作面推进速度与采出率近似满足二次抛物线函数关系。

2) 工作面推进速度与采空区应力降低区宽度近似满足负指数函数关系; 工作面推进速度与采空区漏风量近似满足抛物线函数关系。

3) 依据数值模拟、相似模拟及理论分析, 得到防止遗煤自燃的最低工作面推进速度及提高工作面推进速度是否有利于防止遗煤自燃的函数表达式。工作面推进速度与采空区氧化带宽度近似满足抛物线函数关系。

4) 依据理论分析得到了判定提高工作面推进速度是否有利于遗煤自燃防治的方法。工作面推进速度越小, 关系曲线越平缓, 工作面推进速度的提高越有利于遗煤自燃的防治。

参考文献:

- [1] 秦波涛, 王德明. 矿井防灭火技术现状及研究进展[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(12): 80-85.

- [2] 张春, 题正义, 李宗翔. 综放采空区遗煤厚度的分布规律及模拟研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(6): 203-207.
- [3] 庄楚强, 吴亚森. 应用数理统计基础[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002.
- [4] 张春, 题正义, 李宗翔. 采空区加荷应力场及其多场耦合研究[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(3): 50-54.
- [5] 张春, 题正义, 李宗翔. 综放支承压力峰值位置的理论与回归分析[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(9): 88-93.
- [6] 谢广祥, 常聚才, 华心祝. 开采速度对综放面围岩力学特征影响研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(7): 963-967.
- [7] 高建良, 王海生. 采空区渗透率分布对场流的影响[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(3): 85-89.
- [8] 邓军, 孙战勇. 综放面自燃危险区域及最小推进速度确定[J]. 西安科技学院学报, 2002, 22(2): 119-122.
- [9] 李宗翔, 许端平, 刘立群. 采空区自然发火“三带”划分的数值模拟[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2002, 21(5): 55-79.
- [10] 张春, 题正义, 李宗翔. 综放采空区遗煤自燃的三维数值模拟研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(5): 15-21.

(责任编辑: 卫 蓉)