

文章编号:1671-251X(2015)02-0065-03

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.02.018

苏恒,杨勇,陈莲芳,等.压力和温度对瓦斯扩散规律的影响研究[J].工矿自动化,2015,41(2):65-67.

压力和温度对瓦斯扩散规律的影响研究

苏恒¹, 杨勇², 陈莲芳¹, 赵军²

(1. 河南理工大学 安全科学与工程学院, 河南 焦作 454003;

2. 河南能源化工集团 鹤煤五矿, 河南 鹤壁 458000)

摘要:针对瓦斯吸附解吸法测定瓦斯扩散系数时局限于颗粒煤、无法施加围压且气体压力不能任意设定等问题,采用规则块煤结合气相色谱分析法测定瓦斯在块煤中的扩散系数,分析了不同气体压力、温度下块煤瓦斯扩散规律。实验结果表明,随着气体压力的增大,煤基质吸附气体增加且发生膨胀变形,从而孔隙减小,扩散阻力增大,扩散系数减小;随着温度的升高,气体分子运动速度增大,扩散动力增强,扩散系数变大。

关键词:压力; 温度; 瓦斯扩散规律; 气相色谱; 扩散系数

中图分类号:TD712.6

文献标志码:A

网络出版时间:2015-02-03 15:22

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150203.1522.018.html>

Research of influence of pressure and temperature on gas diffusion law

SU Heng¹, YANG Yong², CHEN Lianfang¹, ZHAO Jun²

(1. College of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

2. Hebi No.5 Mine, Henan Energy and Chemical Industry Group Co., Ltd., Hebi 458000, China)

Abstract:For problems that gas adsorption-desorption method for determining gas diffusion coefficient is limited to coal particle and cannot apply confining pressure and set pressure arbitrarily, regular lump coal combined with gas chromatography analysis method was used to determine gas diffusion coefficient in lump coal, and gas diffusion law under different gas pressure and temperature was analyzed. The experimental results show that with increase of gas pressure, gas adsorbed by coal matrix increases and the coal matrix expand, thus pore decreases, diffusion resistance increases and diffusion coefficient decreases; with increase of temperature, movement speed of gas molecule increases, diffusion power enhances and diffusion coefficient increases.

Key words:pressure; temperature; gas diffusion law; gas chromatography; diffusion coefficient

0 引言

瓦斯扩散规律是煤层瓦斯含量测定、煤与瓦斯突出预测预报、采落煤瓦斯涌出和煤层气开发等方面的关键问题之一^[1],研究不同主控因素下的瓦斯扩散规律具有重要意义。扩散系数是研究煤层瓦斯扩散规律的重要参数,其反映了瓦斯在煤的微小孔隙中运移快慢的能力。参考文献[2-3]采用瓦斯吸附解吸法测定扩散系数,然而该方法局限于对颗粒煤的瓦斯扩散规律进行研究,属于开放性实验,仅研

究不同含水率、温度条件下的瓦斯扩散规律,无法对实验煤样施加围压且气体压力为恒定大气压而不能任意设定。本文采用规则块煤结合气相色谱分析法测定瓦斯在煤体中的扩散系数,研究不同压力、温度下瓦斯扩散规律。

1 实验装置

压力、温度条件下扩散系数测定实验装置主要由围压控制单元、温度控制单元、气体压力控制单元和瓦斯扩散测定单元组成,其结构如图1所示。该

装置的工作原理:将制备的块煤装入煤样罐岩心夹持器中,将 CH₄ 引入气室 1,将 N₂ 引入气室 2,调节 2 个气室压力使之平衡,然后利用气相色谱测定 2 个气室 CH₄ 和 N₂ 的浓度作为初始浓度,经过一定扩散时间后再次利用气相色谱测定 2 个气室 CH₄ 和 N₂ 浓度,得到气体组分浓度与扩散时间的关系。

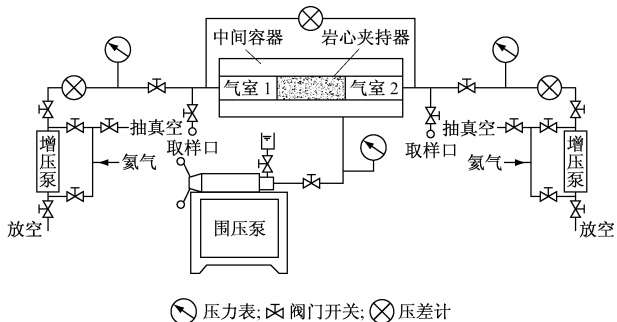


图 1 扩散系数测定实验装置结构

(1) 围压控制单元主要由围压泵、岩心夹持器、中间容器及压力表等组成。围压泵采用液压原理设计而成。岩心夹持器内分为岩心室与环压室,由密封套隔绝。被测煤样将岩心室分隔成 2 个扩散气室,用于充装不同气体以满足扩散系数测定需求。岩心夹持器设计最大压力为 70 MPa,最小分辨率为 0.1 MPa,岩心室密封岩心所用的密封套采用硅橡胶压制,最高耐温为 270 ℃。

(2) 温度控制单元采用外加热套方式控制岩心夹持器温度,温度控制精度可达 0.3 ℃,设计最高温度为 160 ℃。该方式克服了采用干燥恒温箱外加热方式升温慢及无法实现内部岩心温度检测的弊端,同时避免了采用内加热方式的岩心夹持器体积大、样品装卸不方便的缺点。

(3) 气体压力控制单元主要包括气体增压泵、阀门开关、压力表与压差计等部件。气体增压泵在测试气源压力较低的情况下提供气源压力。非稳态扩散系数的测定要求不同扩散气室气体具有相同的初始压力,通过调节阀门开关使流向扩散气室的气体产生稳定流速,最终稳定在所需测试压力上。该测试压力控制精度为 0.1 kPa。

(4) 瓦斯扩散测定单元主要由不同气体的扩散气室、气体自动进样器、气相色谱等装置组成。在不同扩散气室的气体压力平衡后采集气样,利用气相色谱分析气体浓度,根据气体组分浓度与扩散时间的关系计算扩散系数。

另外,对测试气路管线、扩散气室抽真空,提高扩散气体的浓度,防止空气的干扰。

2 煤样制备及扩散系数计算

2.1 煤样制备

以鹤壁矿区煤样为实验对象,考察不同气体压力、温度条件下块煤瓦斯扩散规律。采用统一直径为 2.5 cm、厚度为 1.2 cm 的圆盘煤样,通过烘干和抽真空,排除其内孔隙水和残留气体,以免影响实验精度。

2.2 扩散系数计算

若煤样两端气室的 CH₄ 浓度差为 C ,小孔平均长度为 h ,则浓度梯度为 C/h 。采用煤样两端扩散气室中游离 CH₄ 浓度为扩散浓度^[4],则由菲克定律可得扩散系数为

$$D = \frac{h}{AC} \frac{dn}{dt} \quad (1)$$

式中: A 为孔片的面积; n 为 CH₄ 扩散量; t 为扩散时间。

假定煤样厚度为 L ,面积为 S ,则求得的扩散系数为有效扩散系数,将式(1)经过积分整理得

$$D = \frac{\ln[(C_{10} - C_{20})/(C_{1t} - C_{2t})]}{Bt} \quad (2)$$

式中: C_{10}, C_{20} 分别为第 1 次测定时气室 1 和气室 2 的 CH₄ 浓度; C_{1t}, C_{2t} 分别为 t 时刻测定时气室 1 和气室 2 的 CH₄ 浓度; $B = \frac{S}{L} \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right)$, V_1, V_2 分别为气室 1 和气室 2 的体积。

3 不同压力、温度下的瓦斯扩散规律

3.1 实验数据

分 2 组进行实验,所用气体纯度 $\geq 99.995\%$ 。第 1 组温度和围压分别设定为 25 ℃,20 MPa,在不同气体压力(6.5,8.5,10.5,12.5 MPa)条件下进行扩散系数测定;第 2 组气体压力和围压分别设定为 5,15 MPa,在不同温度(20,30,40,50 ℃)条件下进行扩散系数测定。不同实验条件下 CH₄ 扩散系数测定结果见表 1。

3.2 实验结果

3.2.1 压力对块煤瓦斯扩散规律的影响

保持温度为 25 ℃、围压为 20 MPa 不变的条件下,气体压力与扩散系数关系如图 2 所示。随着压力由 6.5 MPa 升至 12.5 MPa,扩散系数由 $2.11 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 减少至 $1.14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$,即随着气体压力的增大,瓦斯扩散系数减小。压力对瓦斯扩散

表1 不同实验条件下CH ₄ 扩散系数测定结果					
围压/ MPa	温度/ ℃	气体压力/ MPa	CH ₄ 体积分数/%		CH ₄ 扩散系数/ (cm ² ·s ⁻¹)
			气室1	气室2	
20	25	6.5	97.52	0.71	2.11×10 ⁻⁸
20	25	8.5	98.02	1.16	1.46×10 ⁻⁸
20	25	10.5	98.92	0.78	1.24×10 ⁻⁸
20	25	12.5	98.86	0.59	1.14×10 ⁻⁸
15	20	5.0	99.88	0.03	1.21×10 ⁻⁸
15	30	5.0	99.90	0.05	1.45×10 ⁻⁸
15	40	5.0	99.84	0.04	1.73×10 ⁻⁸
15	50	5.0	99.80	0.06	2.23×10 ⁻⁸

的影响主要体现在其对扩散介质和扩散物质的影响:① 压力对扩散介质的影响。随着气体压力的增加,煤对CH₄的吸附性增强,煤基质吸附气体时发生内向膨胀变形,从而孔隙减小,扩散阻力增大,扩散系数降低,与实验结果相对应。② 压力对扩散物质的影响。气体分子在多孔介质中的扩散与分子的平均自由程有关。由热力学可知^[5-6],当温度不变、气体压力增加时,分子的平均自由程减小,而减小CH₄分子的平均自由程可增加CH₄气体的扩散能力^[6],则扩散系数增大,与实验现象矛盾。但最终气体压力与扩散系数的关系受主控因素制约。实验结果表明,压力对扩散系数影响的主控因素为煤基质的收缩、膨胀变形。

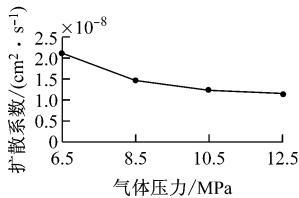


图2 恒定温度、围压下气体压力与扩散系数关系

3.2.2 温度对块煤瓦斯扩散规律的影响

保持气体压力为5 MPa、围压为15 MPa不变的条件下,温度与扩散系数关系如图3所示。随着温度由20℃逐渐增大至50℃,扩散系数相应地由1.21×10⁻⁸ cm²/s增至2.23×10⁻⁸ cm²/s,即随着

温度的增加,扩散系数增大。扩散的实质是分子在浓度梯度下的运动,分子运动论阐明了气体的温度为分子平均动能大小的标志^[7],随着温度升高,分子运动速度增大,扩散速度增加,扩散系数变大。

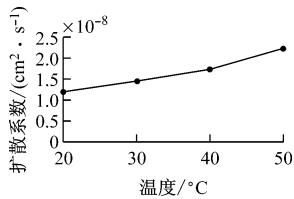


图3 恒定气体压力、围压下温度与扩散系数关系

4 结论

- (1) 随着气体压力的增大,煤基质吸附气体增加,煤基质发生内向膨胀变形,扩散介质通道变狭窄,使扩散阻力增大,扩散系数呈下降趋势。
- (2) 随着温度的升高,扩散物质本身获得能量,扩散动力增强,扩散系数变大。

参考文献:

[1] 唐旭. 温度、水分对颗粒煤瓦斯扩散动力特性影响的实验研究[D]. 焦作:河南理工大学,2013.

[2] 何学秋,张力. 外加电磁场对瓦斯吸附解吸的影响规律及作用机理的研究[J]. 煤炭学报,2000,25(6): 614-618.

[3] 李志强,段振伟,景国勋. 不同温度下煤粒瓦斯扩散特性试验研究与数值模拟[J]. 中国安全科学学报,2012,22(4):38-42.

[4] 郝石生,黄志龙,杨家琦. 天然气运聚动平衡及其应用[M]. 北京:石油工业出版社,1994:3-55.

[5] 孙维吉. 不同孔径下瓦斯流动机理及模型研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2007.

[6] 何学秋,聂百胜. 孔隙气体在煤层中扩散的机理[J]. 中国矿业大学学报,2001,30(1):1-4.

[7] 吴世跃. 煤层中的耦合运动理论及其应用——具有吸附作用的气固耦合运动理论[M]. 北京:科学出版社,2009.