

煤对 $N_2 - O_2$ 混合气体吸附规律的试验研究

赵鹏涛, 黄渊跃, 方前程, 徐东方

(湖南省煤炭科学研究所, 湖南 长沙 410004)

摘要: 为研究空气代替 N_2 驱替煤层瓦斯的可行性, 基于高压容量法, 研究了煤对不同浓度配比的 $N_2 - O_2$ 混合气体的竞争吸附特性, 得到试验煤样对 $N_2 - O_2$ 混合气体竞争吸附规律以及煤对混合气体中 O_2 的吸附规律。研究表明: 煤对 $N_2 - O_2$ 二元混合气体的吸附常数介于煤对单组分的 N_2 与 O_2 的吸附常数之间, 并且随着 N_2 浓度的提高, 吸附常数也逐渐增大, 趋近于煤对单组分的 N_2 的吸附常数; 煤对混合气体中 O_2 的吸附量处于很低水平, 试验测试点范围内最大吸附量仅为 1 mL/g, 并没有达到自燃的界限。根据试验结果可知, 用空气代替 N_2 驱替煤层瓦斯是可行的。

关键词: 竞争吸附; $N_2 - O_2$ 混合气体; 吸附规律; 注气; 吸附常数

中图分类号: TD712 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2013)04-0057-03

Experiment Study on $N_2 - O_2$ Mixed Gas Adsorption Law of Coal

ZHAO Peng-tao, HUANG Yuan-yue, FANG Qian-cheng, XU Dong-fang

(Hunan Coal Scientific Research Institute, Changsha 410004, China)

Abstract: In order to study the feasibility that air replace the N_2 displacement out coal bed gas based on the high pressure volume method, the paper had a study on the coal competitive adsorption features of different concentration blended $N_2 - O_2$ mixed gas. The $N_2 - O_2$ mixed gas competitive adsorption law of the test coal samples and the coal adsorption law of O_2 in the mixed gas were obtained. The study showed that the coal adsorption constant of $N_2 - O_2$ two element mixed gas was between the adsorption constant of the single component N_2 and O_2 . With the N_2 concentration increased, the adsorption constant would be steadily increased and would be closed to the adsorption constant of the single component N_2 . The coal adsorption value of O_2 in the mixed gas would be in a low level, the max adsorption value within the test scope of the experiment was only 1 mL/g and would not reach the spontaneous combustion limit. The experiment results showed that air applied to replace N_2 displacement out coal bed gas was feasible.

Key words: competitive adsorption; $N_2 - O_2$ mixed gas; adsorption law; air injection; adsorption constant

0 引言

随着煤矿开采深度的增加, 煤矿瓦斯灾害日趋严重, 煤与瓦斯突出事故频繁发生, 因此, 研究煤与瓦斯突出防治技术显得非常重要。注氮驱替/置换煤层瓦斯防突技术^[1]在阳泉煤业(集团)股份有限公司取得了很好效果, 但是考虑到注纯 N_2 成本比较高, 并且井下很难保证充足的气源, 所以在实际应用中基本上是用空气(80%左右 N_2)代替 N_2 来置换解吸煤层甲烷^[2-4]。由于一

些矿区煤层具有较严重的自燃倾向, 因此用空气驱替/置换解吸煤层瓦斯是否会造成本层残留氧浓度的增加, 煤层氧气浓度的增加是否影响注气驱替/置换煤层瓦斯效果, 氧气浓度的增加是否对煤矿安全生产重大隐患, 要解决这些问题, 首先必须研究煤对 $N_2 - O_2$ 混合气体的吸附规律, 为煤层注入 $N_2 - O_2$ 混合气体置换煤层甲烷提供理论依据。因此, 笔者基于高压容量法^[5]研究煤对 $N_2 - O_2$ 混合气体的竞争吸附规律和煤对不同浓度氧气的吸附规律。

收稿日期: 2012-11-23; 责任编辑: 王晓珍

基金项目: 科技部科研院所技术开发研究专项资金资助项目(2011EG122210); 湖南省科技厅重点资助项目(2010SK2012)

作者简介: 赵鹏涛(1986—), 男, 湖南长沙人, 硕士。Tel: 13207313711, E-mail: zpt19861025@163.com

引用格式: 赵鹏涛, 黄渊跃, 方前程, 等. 煤对 $N_2 - O_2$ 混合气体吸附规律的试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(4): 57-59.

1 煤对 $N_2 - O_2$ 吸附规律试验

依据煤样对各组分气体吸附能力的差异^[6-7]，进而掌握试验煤样对不同浓度配成的 $N_2 - O_2$ 混合气体竞争吸附规律。利用计算机自动配气系统配置了 95% $N_2 + 5\% O_2$ 、90% $N_2 + 10\% O_2$ 和 80% $N_2 + 20\% O_2$ 三种不同浓度配比的混合气体。

考虑到试验过程中气样采集会造成吸附气体浓度的变化，在单组分-多组分置换解吸煤层瓦斯试验平台^[1-8]上采用了气体储罐装置（图1），以防止采集气样过程中煤样吸附罐内气体浓度的变化。

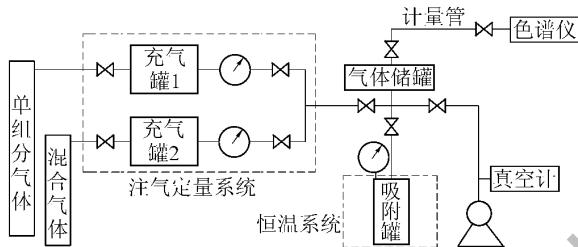


图1 吸附试验装置

2 煤对混合气体等温吸附试验参数计算

在煤对混合气体等温吸附试验过程中，为了分析空气置换解吸煤层瓦斯对煤的影响效应，须确定煤对混合气体各组分的等温吸附试验参数。因此，应计算混合气体的压缩因子、煤对各组分气体的等温吸附试验常数。为了方便标定各空间标准体积，定义了“阀5、阀6、阀7、阀9”之间的空间为第1部分公用管路体积，“阀2、阀4、阀9”之间的空间为第2部分公用管路体积。

2.1 压缩因子确定

当每组试验测试完成后，需要对所得的试验数据进行分析处理，以求得各组分气体的等温吸附方程，并绘制吸附等温曲线。对混合气体吸附试验数据进行处理时，首先要确定混合气体的压缩因子^[4-9-10]。主要采用 R-K 方程式（Redlich-Kwong）计算压缩因子 Z ^[11-13]：

$$Z = \frac{1}{1-h} - \frac{4.934}{T_r^{1.5}} \frac{h}{1+h}$$

$$h = 0.08664 P_r / (Z T_r)$$

$$T_r = T / \left(\sum_{i=1}^n y_i T_{ci} \right)$$

$$P_r = P / \left(\sum_{i=1}^n y_i P_{ci} \right) \quad (n = 1, 2, 3) \quad (1)$$

式中： T_r 为混合气体的对比温度，K； P_r 为混合气体的对比压力，Pa； T 为混合气体的温度，K； T_{ci} 为混合物中 i 组分的临界温度，K； P 为混合气体的压力，Pa； y_i 为 i 组分在混合物中的摩尔分数（组分浓度），%； P_{ci} 为混合物中 i 组分的临界压力，Pa。

吸附气体的临界温度和临界压力见表1。

表1 吸附气体的临界温度和临界压力

气体	临界温度/K	临界压力/Pa
O_2	154.8	5 076 630
N_2	126.2	3 394 560
CH_4	190.7	4 640 910

2.2 等温吸附试验参数计算方法

1) 充入吸附罐混合气体标准状态体积：

$$V_z = \left(\frac{P_1}{Z_1} - \frac{P_2}{Z_2} \right) \frac{273.2(V_r + V_p)}{0.101325(273.2 + t_i)} \quad (2)$$

式中： V_z 为第 i 次充入煤样吸附罐和第1部分公用管路的标准状态总体积， cm^3 ； P_1 、 P_2 为充气前后充气罐1、2的绝对压力，MPa； Z_1 、 Z_2 为在 P_1 、 P_2 和实验室温度 t_i 时混合气体的压缩因子； V_r 为充气罐2的标准体积， cm^3 ； V_p 为第2部分公用管路的标准体积， cm^3 。

2) 充入吸附罐混合气体各组分标准状态体积：

$$V_N = V_z C_N$$

$$V_O = V_z C_O \quad (3)$$

式中： V_N 、 V_O 为第 i 次充入煤样吸附罐和第1部分公用管路的 N_2 、 O_2 组分标准状态体积， cm^3 ； C_N 、 C_O 为充入的混合气体中 N_2 、 O_2 两种组分的浓度，%。

3) 吸附平衡后，吸附罐自由空间游离混合气体及各组分气体标准状态体积 V_i ：

$$V_i = \frac{273.2 P_i (V_1 + V_d)}{0.101325(273.2 + t_i) Z_i}$$

$$V'_N = V_i C'_N$$

$$V'_O = V_i C'_O \quad (4)$$

式中： P_i 为吸附平衡时吸附罐连通的自由空间绝对压力，MPa； V_1 为第1部分公用管路的标准体积， cm^3 ； V_d 为吸附罐内自由空间标准体积， cm^3 ； Z_i 为在 P_i 和吸附平衡时吸附罐温度 t_0 时游离气体的压缩因子； V'_N 、 V'_O 为第 i 次吸附平衡时煤样吸附罐自由空

间内的 N_2 、 O_2 组分标准状态体积, cm^3 ; C'_N 、 C'_O 为吸附平衡时气相色谱分析混合气体 N_2 、 O_2 组分浓度, %。

4) 吸附平衡后, 被煤样吸附的 N_2 、 O_2 组分气体标准状态体积 ΔV_{Ni} 、 ΔV_{Oi} :

$$\begin{aligned}\Delta V_{Ni} &= V_N - V'_N \\ \Delta V_{Oi} &= V_O - V'_O\end{aligned}\quad (5)$$

5) 单位质量的煤样对 N_2 、 O_2 组分气体的吸附量 V_{Ni} 、 V_{Oi} :

$$\begin{aligned}V_{Ni} &= \Delta V_{Ni} / m' \\ V_{Oi} &= \Delta V_{Oi} / m'\end{aligned}\quad (6)$$

式中 m' 为煤样干燥无灰基质量, g。

2.3 煤对不同配比浓度的 $N_2 - O_2$ 混合气体竞争吸附规律

试验煤样对 80% N_2 + 20% O_2 、90% N_2 + 10% O_2 、95% N_2 + 5% O_2 三种不同浓度配比的混合气体进行了竞争吸附试验, 其煤对不同浓度配比的 $N_2 - O_2$ 混合气体吸附规律以及对混合气体中 O_2 的吸附规律如图 2、图 3 所示。

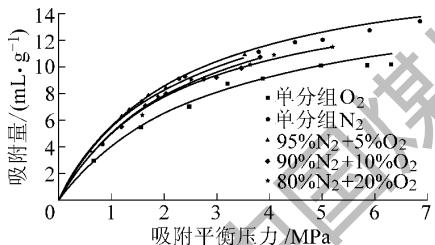


图 2 煤对单组分气体及 $N_2 - O_2$ 混合气体吸附规律

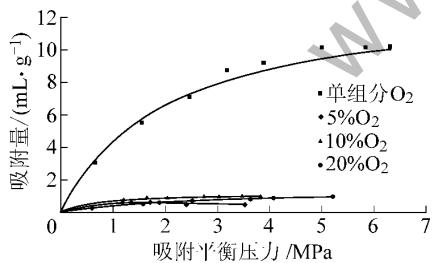


图 3 煤对 O_2 及不同浓度配比的混合气体中 O_2 吸附规律

从图 2、图 3 可以看出: ① 煤对二元混合气体的吸附随压力的增高而增加; ② 二元混合气体随着 O_2 浓度的提高, 煤对 O_2 的吸附量略有增加, 总体处于较低水平, 在试验点范围内, 煤对 O_2 的最大吸附量为 1 mL/g , 没有达到自然发火的临界值; ③ $N_2 - O_2$ 混合气体吸附总量等温线总是位于 N_2 和 O_2 单组分吸附等温线之间, 且随着 N_2 浓度配比的

增加而上升, 并逐步逼近单组分 N_2 的吸附等温线; ④ 随着 N_2 浓度配比的增加, 混合气体的极限吸附量呈增大趋势。

3 结语

1) 煤对混合气体中 O_2 的吸附量处于很低的水平, 试验测试点范围内最大吸附量仅为 1 mL/g , 没有达到自然发火的临界值, 对于煤矿的安全生产影响可以忽略不计。

2) 煤对 $N_2 - O_2$ 二元混合气体的吸附常数介于煤对单组分 N_2 与 O_2 的吸附常数之间, 并且随着 N_2 浓度的提高, 煤对混合气体的吸附常数也逐渐增大, 趋近于煤对单组分的 N_2 的吸附常数。

3) 煤对不同浓度配比的 $N_2 - O_2$ 混合气体的吸附常数相差较小, 又由于混合气体中氧气浓度较低, 所以在驱替/置换解吸煤层甲烷的试验中, 可以考虑用空气(含 80% 左右的 N_2) 代替纯 N_2 进行煤层置换解吸瓦斯试验。

参考文献:

- [1] 杨宏民. 井下注气驱替煤层甲烷机理及规律研究 [D]. 焦作: 河南理工大学 2010.
- [2] 马志宏, 郭勇义, 吴世跃. 注入二氧化碳及氮气驱替煤层气机理的实验研究 [J]. 太原理工大学学报, 2001, 32(4): 335-338.
- [3] 唐书恒, 杨起, 汤达祯, 等. 注气提高煤层甲烷采收率机理及实验研究 [J]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 545-549.
- [4] 唐书恒. 晋城地区煤储层特征及多元气体的吸附-解吸特性 [D]. 徐州: 中国矿业大学 2001.
- [5] MT/T752—1997. 煤的甲烷吸附量测定方法(高压容量法) [S].
- [6] 张晓东, 秦勇, 桑树勋. 煤储层吸附特征研究现状及展望 [J]. 中国煤田地质, 2005, 17(1): 16-29.
- [7] 张行周, 郭勇义, 吴世跃. 注气驱替煤层气技术探讨 [J]. 太原理工大学报, 2001, 31(3): 251-253.
- [8] 杨宏民, 张铁岗, 王兆丰, 等. 煤层注氮驱替甲烷促排瓦斯的试验研究 [J]. 煤炭学报, 2010, 35(5): 792-796.
- [9] 于宝种. 阳泉无烟煤对 $N_2 - CH_4$ 二元气体的吸附-解吸特性研究 [D]. 焦作: 河南理工大学 2010.
- [10] 任子阳. 阳泉无烟煤对 CH_4 、 CO_2 吸附特性研究 [D]. 焦作: 河南理工大学 2010.
- [11] 李艳云, 吴亚丽, 姚尚林, 等. 锡槽保护气体转子流量计的示值修正和量程选择及其在 900t/d 工程中的应用 [J]. 玻璃, 2007(1): 40-42.
- [12] 曹治觉, 郭愚, 曹科. 定容高压气体的压缩因子 [J]. 工程热物理学报, 1999, 20(1): 5-8.
- [13] 郑臣明, 王怀信, 马利敏. PT 状态方程虚拟临界压缩因子和斜率参数的确定 [J]. 工程热物理学报, 2005, 26(3): 373-375.