

文章编号:1000-582X(2006)02-0083-03

电场对煤瓦斯吸附渗流特性的影响*

刘保县^{1,3},熊德国^{2,3},鲜学福³

(1. 西华大学 建筑与土木工程学院,四川 成都 610039; 2. 河南理工大学 资源及材料工程系,河南 焦作 454010;
3. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室,重庆 400030)

摘要:为了探讨地电场对包含在煤层中的瓦斯气体的储存、运移的作用以及如何利用电场来促进煤层气的渗流从而达到提高中国低压低渗煤层的煤层气抽放率等问题,研究了电场对煤瓦斯吸附渗流特性的影响.研究表明:静电场对煤瓦斯吸附特性的影响关键在于静电场的焦耳热效应使煤瓦斯系统温度升高和静电场增加煤表面吸附势阱的深度2种因素竞争的结果,当静电场增加煤表面吸附势阱深度占主导地位时,静电场使煤对瓦斯的吸附量增加,当静电场的焦耳热效应逐渐占主导地位时,静电场使煤对瓦斯的吸附量减少;外加静电场促使煤中瓦斯的渗流;交变电场作用使煤对瓦斯的吸附量减少;交变电场作用促使煤中瓦斯的渗流.

关键词:电场;吸附;渗流;煤;瓦斯

中图分类号:TD712.51

文献标识码:A

地电场的存在已经是公认的事实,在地表岩石圈中的地电场包括大地电场、自然电场和极化电场,在矿山开采中还包括工业游散电场.地电场对包含在煤层中的瓦斯气体的储存、运移究竟有何作用、是否可利用电场来促进煤层气的渗流从而达到提高中国低压低渗煤层的煤层气抽放率等诸多问题还有待进一步的探讨.

1 静电场对煤瓦斯吸附渗流特性的影响

1.1 静电场对煤瓦斯吸附特性影响

70年代原苏联学者 TapacoB^[1]开始研究地电场对煤层瓦斯吸附特性的影响,试图寻找一条治理瓦斯的新途径,研究表明,当通过煤的电流在0~300 μA时,煤对瓦斯的吸附量开始是逐步增加的,并且当电流为150 μA时增加到最大值,随后吸附量又随电流的增加而减小,不过该文并未阐述实验条件,也未对结果进行理论分析.随后艾鲁尼、塔拉索夫、杜云贵^[2]等研究认为静电场的作用提高了瓦斯吸附量,而徐龙君^[3]研究表明,四川省芙蓉矿务局白皎矿煤样在静电场作用下,吸附量是减小的.所以,静电场对煤吸附瓦斯的作用机

理还有待进一步研究.

瓦斯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,煤分子和瓦斯气体分子之间的引力越大,煤对瓦斯气体的吸附量越多.煤分子和瓦斯气体分子之间的作用力是德拜诱导力和伦敦色散力组成,由此形成吸引势.并且,瓦斯气体分子的热运动越剧烈,其动能越高,吸附瓦斯分子获得能量发生脱附可能性越大.文献[4]提出,影响瓦斯吸附的主要因素为:1)煤孔隙表面由分子间作用力构成的势阱的深浅;2)煤-瓦斯系统的温度.

1.1.1 静电场对煤表面吸附势阱的影响

静电场作用使煤和瓦斯气体分子同时被极化,极化后诱导偶极和诱导偶极相互作用,减少了煤分子和瓦斯分子间的作用势,增加了吸引力.其作用势能可用下式来表示^[4]:

$$E_k = -\frac{2}{3} \frac{\mu_c \mu_g^2}{BTR^6}, \quad (1)$$

式中, E_k 为煤与瓦斯气体分子间的作用势; μ_c 为煤分子的诱导电矩; μ_g 为瓦斯分子的诱导电矩; B 为 Boltz-

* 收稿日期:2005-09-24

基金项目:重庆市院士基金资助项目(7664)

作者简介:刘保县(1972-),男,河北保定人,西华大学副教授,博士,主要从事岩土力学与工程、安全技术工程的研究.

mann 常数; T 为绝对温标.

静电场的作用降低了煤和瓦斯分子作用的势能, 提高了两者之间的引力, 最终的结果是增加了煤表面吸附势阱的深度. 其宏观效果是提高瓦斯吸附量.

1.1.2 静电场对煤-瓦斯系统温度的影响

当煤-瓦斯系统处于外电场中时, 它们将耗散一部分电能, 使之转变成为热能, 即电介质损耗, 可用焦耳-楞次定律来描述^[4]:

$$P = \frac{U^2}{R} = i^2 R t, \quad (2)$$

式中, P 为电能转换成的热能; U 为加在物质上的电压; R 为物质的电阻; t 为电压作用的时间; i 为通过物质中的电流.

尽管有很多学者认为静电场在煤与瓦斯系统中的焦耳热效应可忽略, 但随着电流的增大, 焦耳热效应不容忽视.

根据热力学基本原理, 若假定物质比热容不随温度变化(温度变化较小时是合理的), 则有

$$\Delta T = \frac{P}{mc}, \quad (3)$$

式中, ΔT 为焦耳热引起的温度升高值; m 为物质的质量; c 为物质的比热容.

故

$$\Delta T = \frac{i^2 R t}{mc}. \quad (4)$$

因此, 焦耳热效应使煤-瓦斯系统的温度升高. 从而使煤对瓦斯的吸附量降低.

笔者认为静电场对煤与瓦斯吸附的影响关键在于以上 2 种影响因素的竞争结果, 当电流较小即静电场的焦耳热效应较弱时, 静电场增加煤表面吸附势阱的深度占主导地位, 从而使煤对瓦斯的吸附量增加. 但随电流的逐渐增大, 静电场的焦耳热效应逐渐占据主导地位, 从而使煤对瓦斯的吸附量减少. TapacoB 的实验结果“当通过煤的电流在 0~300 μA 时, 煤对瓦斯的吸附量开始是逐步增加的, 并且当电流为 150 μA 时增加到最大值”正是静电场作用使煤表面吸附势阱的深度增加比焦耳热效应的作用大, 使煤对瓦斯吸附量增大直到电流为 150 μA 时增加到最大值, 随后随电流的增加静电场的焦耳热效应占主导地位, 使煤对瓦斯吸附量又随电流的增加而减小. 而对于文献[2]和文献[3]相反的实验结果也是由于以上 2 种因素作用的结果.

根据以上分析认为, 煤样随电流增大对瓦斯吸附的全过程曲线的形式为如图 1 所示, 而文献[2-3]及 TapacoB 的实验结果只是本曲线的一部分.

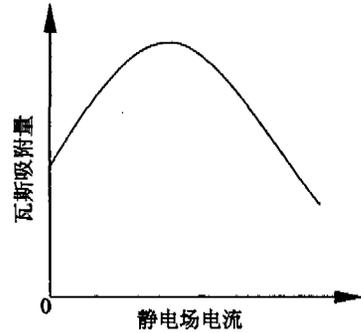


图1 静电场作用下煤瓦斯吸附的曲线

1.2 静电场作用下煤瓦斯渗流的特性

文献[2]研究了静电场作用下煤瓦斯渗流特性, 实验结果表明, 外加静电场促使煤中瓦斯的渗流.

2 交变电场对煤瓦斯吸附渗流特性的影响研究

2.1 交变电场对煤吸附瓦斯的影响

笔者实验研究了煤样在 0.8 kV、1.2 kV、1.6 kV 的交变电场作用下煤对瓦斯的吸附特性^[5](如图 2), 研究认为: 1) 在交变电场作用下, 各煤样吸附甲烷的量仍很好地遵从 Langmuir 方程; 2) 在交变电场作用下, 使煤吸附能力却减弱. 这是因为交变电场的作用使煤-瓦斯系统一方面由于电介质损耗提高了系统的温度, 另一方面又降低了煤表面的吸附势阱的深度, 从而使煤的吸附瓦斯量减少. 何学秋^[6]研究了交变电场对煤吸附特性的影响也有同样的结果.

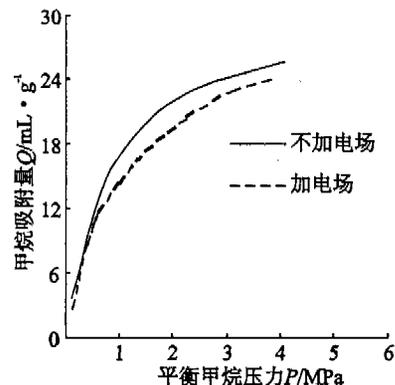


图2 交变电场作用对煤瓦斯吸附作用的影响

2.2 交变电场作用下煤瓦斯渗流特性

笔者实验研究了煤样在 0.8 kV、1.2 kV、1.6 kV 的交变电场作用下煤中瓦斯的渗流特性, 结果表明, 在交变电场作用下, 煤样的渗透率是增大的(如图 3 所示). 研究交变电场对煤层中瓦斯渗流的影响, 实质上是研究有交变电场作用时煤层里孔裂隙通道壁表层电荷对其中瓦斯吸附、解吸和运移的作用. 无论对于大的还是小的孔隙或裂隙, 其渗流通道表面一定要吸附一层瓦斯, 这就像河流两岸的粘滞层, 而减小了渗流通道面积. 交变电场的作用并没从实质上改变煤的结构, 而

主要是因为:1)交变电场的作用使煤体温度升高(焦耳热效应),并使煤表面吸附势阱由深变浅,从而使煤体对瓦斯吸附量减少,增大了渗流通道面积,最终使渗透率增大;2)交变电场的作用使煤对瓦斯的吸附量的减少,使得煤体由于吸附瓦斯而产生的膨胀变形减小,从而也使渗透通道面积增大,增大了煤体的渗透率。

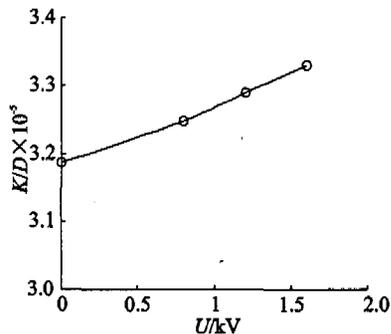


图3 煤样渗透率 K 与电压 U 的关系曲线

3 结论

1) 静电场对煤与瓦斯吸附的影响关键在于静电场的焦耳热效应使煤瓦斯系统温度升高和静电场增加煤表面吸附势阱的深度两种因素竞争结果。当静电场

增加煤表面吸附势阱的深度占主导地位时,静电场使煤对瓦斯的吸附量增加;当静电场的焦耳热效应逐渐占主导地位时,静电场使煤对瓦斯的吸附量减少。

2) 瓦斯流动方向上的外加静电场促使煤中瓦斯的渗流。

3) 交变电场作用使煤对瓦斯的吸附量减少。

4) 交变电场作用促使煤中瓦斯的渗流。

参考文献:

- [1] 重庆大学矿山工程物理研究所. 地电场对煤层瓦斯渗流影响的研究[R]. 重庆:重庆大学,1993
- [2] 杜云贵. 地球物理场中煤层瓦斯吸附、渗流特性研究[D]. 重庆:重庆大学,1993.
- [3] 徐龙君. 突出区煤的超细结构、电性质、吸附特征及其应用的研究[D]. 重庆:重庆大学,1996.
- [4] 何学秋,刘明举. 含瓦斯煤岩破坏电磁动力学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1995.
- [5] 刘保县. 延迟突出煤的物理力学特征和煤延迟突出机理研究[D]. 重庆:重庆大学,2000.
- [6] 何学秋. 交变电场对煤吸附瓦斯特性的影响[J]. 煤炭学报,1996,21(1):63-67.

Adsorption and Seepage Characteristics of Coal to Methane under Electric Field

LIU Bao-xian^{1,3}, XIONG De-guo^{2,3}, XIAN Xue-fu³

(1. School of Architecture and Civil Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2. Department of Resource and Material Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454010)

3. Key Laboratory for the Exploitation of Southwestern Resources & the Environmental Disaster Control Engineering Under the State Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: It is generally acknowledged that geoelectricity is subsistent. It should be father studied that how geoelectricity affects stockpile and seepage of gas in coal seam and whether or not electric field can be used to speed the seepage of coal gas, thereby gas pumping rate of low pressure and low seepage coal seam. Adsorption and seepage characteristics of coal to methane under electric field have been studied. The effect of direct current electric field on adsorption characteristics of coal to methane rests with the competition of two factors which are the deep of adsorption potential well, is increased and coal temperature is raised by Joule heat effect. Adsorption ability of coal is increased when it is the leading factor that the deep of adsorption potential well is increased, but adsorption ability of coal is decreased when it is the leading factor that coal temperature is raised. Seepage ability of coal is increased under direct current electric field; Adsorption ability of coal is decreased and seepage ability of coal is increased under alternating electric field.

Key words: electric field; adsorption; seepage; coal; methane