

The Effect of Temperature and Pressure on Shale Adsorption Capability

Shaobin Guo, Yinsen Sun, Yigang Wang, Zuxin Xu

School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing
Email: guosb58@126.com

Received: Nov. 10th, 2011; revised: Dec. 9th, 2011; accepted: Dec. 13th, 2011.

Abstract: In order to study the effect of both temperature and pressure on shale adsorption capability, this paper selected organic-rich shale samples of Upper Paleozoic Taiyuan formation in Ordos Basin and then made isothermal adsorption test of difference temperature for shale sample. Based on the test data, the isothermal adsorption curves were established at different temperature points. Research is discovered that the shale adsorption quantity are decreased with increasing temperatures under isotonic condition. Affection of pressure is greater than temperature for shale adsorption under the integrated influence of temperatures and pressures in lowness temperature and pressure area, the adsorption quantity of shale are increased with temperature and pressure. Affection of temperature is greater than pressure for shale adsorption in higher temperature and pressure area, the adsorption quantity of shale is decreased.

Keywords: Isothermal Adsorption; Temperature; Pressure

温度和压力对泥页岩吸附性能的影响

郭少斌, 孙寅森, 王义刚, 徐祖新

中国地质大学(北京)能源学院, 北京
Email: guosb58@126.com

收稿日期: 2011年11月10日; 修回日期: 2011年12月9日; 录用日期: 2011年12月13日

摘要: 为了研究不同温度和压力共同对泥页岩吸附性能的影响, 本文通过选取鄂尔多斯盆地上古生界太原组富有机质泥页岩样品进行了不同温度下的等温吸附实验, 得到不同温度点的等温吸附曲线。研究发现, 在等压条件下, 泥页岩吸附甲烷气量随着温度的增加呈线性减少, 在温度和压力的综合作用下, 在较低温度和压力区, 压力对泥页岩吸附能力的影响大于温度的影响, 随着温度和压力的增加泥页岩吸附甲烷气量增大; 在较高温度和压力区, 温度对泥页岩吸附能力的影响大于压力的影响, 泥页岩吸附甲烷气量减少。

关键词: 等温吸附; 温度; 压力

1. 引言

随着我国国民经济快速发展, 对能源、尤其是清洁能源的需求持续增加。目前我国一次性能源消费结构中天然气所占比例远低于世界平均水平。为进一步缓解我国油气的供需矛盾, 积极寻找新的接替能源势在必行。从全球不可再生能源勘探开发的现状分析发现, 页岩气是最现实的常规油气资源的重要接替资源

之一。页岩气是指以吸附和游离状态赋存于富有机质泥页岩地层中, 具有商业价值的生物成因和热成因的非常规天然气。由于泥页岩中所含的溶解气量极少, 故页岩气总资源量可近似分解为吸附气总量与游离气总量之和^[1,2]。 $Q_{\text{总}} \approx Q_{\text{吸}} + Q_{\text{游}}$ 。 $Q_{\text{总}}$: 页岩气资源量; $Q_{\text{吸}}$: 吸附气资源量; $Q_{\text{游}}$: 游离气资源量。

关于吸附气含量的获取也是页岩气资源评价中面临的主要问题, 目前普遍采用等温吸附实验方法获

取吸附气含量。等温吸附实验在煤层气含气量测试中应用较成熟^[3-9]，前人大量的研究工作证明，在等温情况下泥页岩不同压力的吸附解吸现象基本上符合Lang-muir等温吸附方程，因此，当前的泥页岩室内含气量测试中也应用此法。在此理论基础上，人们研究了不同压力情况下不同 TOC 含量对泥页岩的吸附气量的影响、不同 R_o 对泥页岩吸附气量的影响等，但是在不同温度和压力条件下，对泥页岩吸附气量变化规律的研究相对较少，一般在研究压力和温度对泥页岩吸附性能影响时，也是对这两个因素分开进行讨论的，没有一个整体研究思路，然而实际研究中泥页岩随着埋深的变化，以及采收条件的变化，其储层温度和压力常常是一起变化的，因此研究温度和压力综合作用对泥页岩吸附特性的影响显得尤为重要。基于以上考虑，作者采集了鄂尔多斯盆地上古生界太原组富含有机质的泥页岩，在不同温度点下进行等温吸附实验，根据实验和计算结果探讨温度和压力综合作用对泥页岩吸附性能的影响。

2. 温度对泥页岩吸附性能的影响

温度对脱附起活化作用，温度越高，游离气越多，吸附气越少。物理吸附是放热反应，存在着随吸附温度升高吸附量减小的特点，所以在低温下吸附过程更容易进行。为了考察温度对泥页岩吸附性能的影响程度，选择了鄂尔多斯盆地上古生界太原组同一取样点富有机质泥页岩样进行有机碳含量(TOC)、镜煤反射率(R_o)和等温吸附实验。TOC 和 R_o 测试由中石化石油勘探开发研究院无锡实验地质研究所完成，测试结

果 TOC 为 4.50%， R_o 为 1.07。等温吸附由中国石油勘探开发研究院廊坊分院非常规油气实验室完成，实验的最高压力为 10.16 MPa，实验分别在 46°C、60°C、75°C、80°C、90°C 温度下进行，吸附气量是指吸附甲烷气量，其等温吸附曲线见图 1。

图 1 表明：同一样品在等压力条件下，泥页岩的吸附气量均随温度升高而降低，在 46°C~90°C 范围内，随温度升高吸附气量的变化趋势明显，总体下降，说明温度对饱和吸附量的影响很大。压力较低时，此次实验低于 4 MPa，温度与吸附气含量呈线性负相关关系(图 1)，压力越低，相关性越好，压力大于 5 MPa 时，温度与吸附气量线性关系不明显，但温度越高吸附气量显著降低。可见，温度对泥页岩吸附能力的影响不容忽视，因此吸附实验只有在储层温度下进行，才能真实反映泥页岩的吸附特性。

3. 压力对泥页岩吸附性能的影响

压力是影响泥页岩的吸附/解吸能力的重要因素。一般而言，在未达到最大吸附量之前，增大压力，吸附速度大于解吸速度，表现为吸附气量增加，直至吸附气量将达到饱和。反之压力降低又促使吸附甲烷气解吸，压力降低到临界解吸压力以下后，甲烷气才能从泥页岩中大量解吸出来。一般情况下，只有当压力降到接近大气压时，泥页岩层系中的甲烷才可能完全解吸出来。

同一样品在等温度条件下。泥页岩吸附甲烷气量开始随着压力增大而显著增加，等吸附甲烷气量达到饱和后又随着压力增大而趋于平稳。

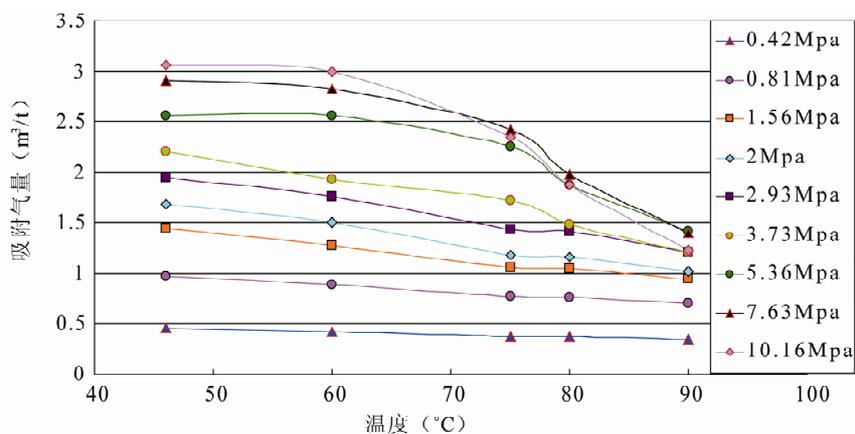


Figure 1. Fitting curve of temperature and gas content under isotonic condition
图 1. 等压力条件下温度与吸附气量拟合曲线

温度和压力对泥页岩吸附性能的影响

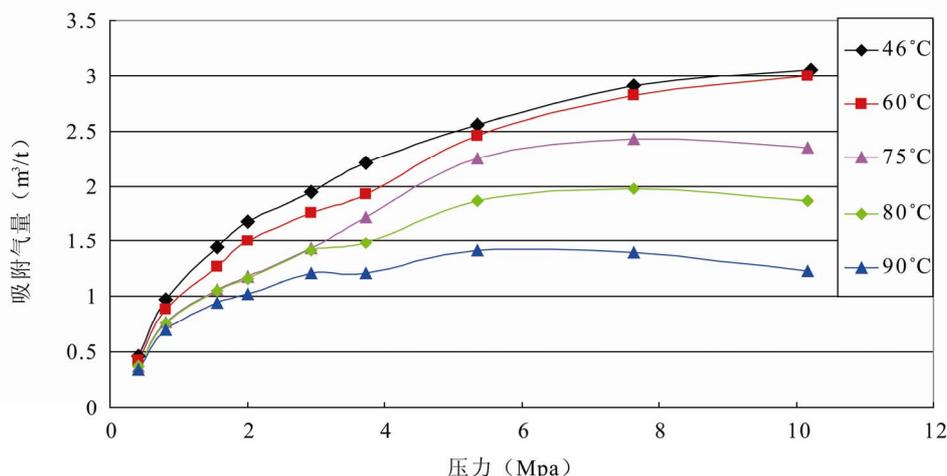


Figure 2. Fitting curve of pressure and gas content under isothermal conditions
图 2. 等温度条件下压力与吸附气量拟合曲线

4. 温度和压力综合作用下泥页岩的吸附性能

地层中温度、压力的变化与深度有关，具有一定的变化规律，一般情况下，地表常温带温度为 15°C~20°C，地层埋深每增加 100 m，温度增高 3°C；从地表算起，埋深每增加 100 m，储层压力增加 1 MPa。根据此规律可以推算出不同深度泥页岩储层对应的温度和压力。

根据图 1、2 可见：在等压条件下，泥页岩吸附甲烷气量随着温度的增加呈线性减少，在温度和压力的综合作用下，在较低温度和压力区，压力对泥页岩吸附能力的影响大于温度的影响，随着温度和压力的增加泥页岩吸附甲烷气量增大；在较高温度和压力区，温度对泥页岩吸附能力的影响大于压力的影响，泥页岩吸附甲烷气量减少。

富有机质泥页岩含气量总体随压力的增加而增加，其中，吸附气在低压条件下增加较快，当压力达到一定程度后，增加速度明显减缓，而游离气仍然在明显增加，并成为页岩气的主体。温度增加会降低富有机质页岩的吸附能力，任何富有机质页岩在高温条件下吸附能力都会明显下降，温度升高 1 倍，吸附能力下降近 2 倍。即随着地温的不断增加，富有机质泥页岩的吸附能力不断下降，游离气的比例会不断增加。

5. 结论与认识

1) 在等压条件下，泥页岩吸附甲烷气量随着吸附温度的升高而减少，压力越大这种变化趋势越大。在

等温条件下，泥页岩吸附甲烷气量开始随着压力增大而增加，等吸附甲烷气量达到饱和后又随着压力增大而趋于平稳。

2) 在温度和压力综合作用下，在较低温度和压力区，压力对泥页岩吸附能力的影响大于温度的影响；随着温度和压力的增加，泥页岩吸附甲烷气量增大，在较高温度和压力区，温度对泥页岩吸附能力的影响大于压力的影响，泥页岩吸附甲烷气量减少。

参考文献 (References)

- [1] 李玉喜, 乔德武, 姜文利等. 页岩气含气量和页岩气地质评价综述[J]. 地质通报, 2011, 30(3): 308-317.
- [2] 王飞宇, 贺志勇, 孟晓辉等. 页岩气赋存形式和初始原地气量(OGIP)预测技术[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(33): 501-510.
- [3] A. Hildenbrand, B. M. Krooss, A. Busch, et al. Evolution of methane sorption capacity of coal seams as a function of burial history: A case study from the Campine basin, NE Belgium. International Journal of Coal Geology, 2006, 66(1-2): 179-203.
- [4] N. B. Waechter, G. L. Hampton III and J. C. Shipps. Overview of coal and shale gas measurement: Field and laboratory procedures. International Coalbed Methane Symposium, 2004. http://corelab.com/rd/entradageo/pdf/EntradaGeo_pdf/Overview%20of%20Coal%20and%20Shale%20Gas%20Measurement-Alabama%202004.pdf
- [5] 钟玲文, 郑玉柱, 闫争荣等. 煤在温度和压力综合作用下的吸附性能及含气量预测[J]. 煤炭学报, 2002, 27(6): 581-584.
- [6] 张庆玲, 崔永君, 曹利戈. 煤的等温吸附实验中各因素影响分析[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(2): 16-19.
- [7] 张群, 崔永君, 钟玲文等. 煤吸附甲烷的温度-压力综合吸附模型[J]. 煤炭学报, 2008, 33(11): 1272-1278.
- [8] 张天军, 许鸿杰, 李树刚等. 温度对煤吸附性能的影响[J]. 煤炭学报, 2009, 34(6): 802-805.
- [9] 王鹏刚. 不同温度下煤层气吸附/解吸特征的实验研究[D]. 西安科技大学, 2010.