

文章编号:1673-8926(2011)04-0009-03

煤层气的开采机理研究

李传亮¹,彭朝阳²

(1.西南石油大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室; 2.中国石油煤层气有限责任公司)

摘 要:煤层气为自生自储型非常规天然气资源。为了更好地开发煤层气,需要深入研究煤层气的开采机理。煤层气赋存于煤岩层的割理和基质孔隙中,以吸附状态为主,且与地层水共存。煤层气从孔隙壁面上解吸下来之后,才能被开采。开采地层水导致地层压力下降,进而导致煤层气解吸成为自由气,解吸后的煤层气沿割理渗流至井底后被采出地面。煤层气的开采过程包括脱气、解吸和渗流 3 个阶段。扩散不是煤层气的开采机理。

关键词:煤层气;割理;基质;吸附;解吸;脱气;扩散

中图分类号:P618.11

文献标识码:A



煤层气的开发已进入工业化时代,但其开发理论的研究却明显滞后于开发实践。煤层气的开采机理依然不是十分清楚,明显制约着开发实践的健康发展。

煤层气的赋存状态以吸附为主,其开采过程通常分为 3 个阶段:解吸、扩散和渗流^[1-3]。但根据笔者的研究,扩散并不是煤层气的开采机理,煤层气的开采过程应为:出溶(脱气)、解吸和渗流。

1 赋存状态

煤层气是一种非常规天然气,没有圈闭,也没有盖层,属于自生自储类型。煤岩层既是烃源层,又是储集层,煤层气在煤岩层生成后就地储集。

煤岩层没有盖层,就无法聚集自由气,煤层气是靠吸附作用附着在孔隙壁面而保存下来的(图 1)。煤岩层通过基质收缩和地应力作用产生了大量的多尺度裂缝(割理)^[4],割理把煤岩层切割成大量的基质岩块,基质岩块中发育有大量的基质孔隙。煤岩层的比表面积(比面)很大,如褐煤的比面约为 200 m²/g,为煤层气的吸附赋存提供了物质条件。

煤岩层富含沉积有机质,它们在热压作用和微

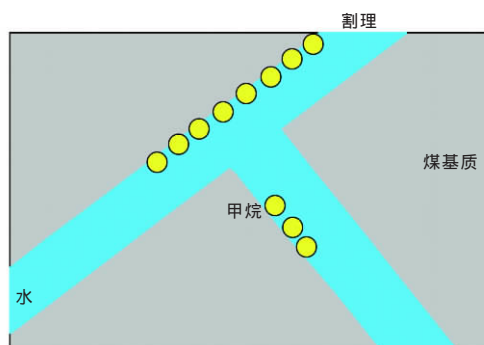


图 1 煤层气赋存状态示意图

Fig. 1 Sketch of coalbed methane occurrence

生物的作用下,生成了大量的甲烷等低分子气体。甲烷分子被排入割理或基质孔隙中,而割理和基质孔隙充满了地层水,由于甲烷在地层水中的溶解度极低,因此,大量的甲烷分子被迫吸附在孔隙壁面上,只有少量的甲烷溶解于地层水中。甲烷分子与水分子大小相当,且平衡共存。吸附的甲烷分子呈分散状态,若生成的甲烷分子增多,就会聚集成连续相气泡(自由气)。由于煤岩层的亲水特性^[5],气泡生成后便会在浮力的作用下向上运移出煤岩层^[6],从而散失掉。没有盖层,煤岩层是很难聚集自由气的。

煤岩层的地层水饱和了甲烷分子,是甲烷的饱和水溶液。煤岩层中的地层水比煤岩层之外的地层

收稿日期:2011-05-31;修回日期:2011-06-15

第一作者简介:李传亮,1962 年生,男,博士,教授,主要从事油藏工程的教学和科研工作。地址:(610500)四川省成都市西南石油大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室。电话:(028)83033291。E-mail:ellipe@qq.com

水溶解了更多的甲烷分子,因此,其甲烷浓度更高一些。在浓度差的作用下,煤层地层水中的甲烷分子就会不断向外扩散,并散失在煤层之外的地层之中,甚至扩散至地面散失掉。

煤层不断生成甲烷气,扩散作用和自由气的运移又使甲烷气不断散失,生成与散失保持着一种动态的平衡。如今的煤层气,是散失之后的剩余气。

2 吸附规律

煤层没有自由气,只有散失之后的剩余吸附气。如何采出呈吸附状态的甲烷气体,是煤层气开发能否成功的关键。开发吸附气的第一步,就是将吸附气从孔隙壁面上解吸下来,然后采出煤层。

根据液相吸附理论,甲烷的吸附量与甲烷在地层水中的浓度(溶解气水比)满足下面的液相 Langmuir 方程^[7]

$$c_{ad} = c_{adm} \frac{bc_m}{1 + bc_m} \quad (1)$$

式中: c_{ad} 为煤层气的吸附量, cm^3/g ; c_{adm} 为煤层气的饱和吸附量, cm^3/g ; c_m 为煤层气在地层水中的浓度, m^3/m^3 ; b 为煤层气的液相吸附系数,无因次。

由式(1)可以看出,煤层气的吸附量随甲烷浓度增高而增大,但最终趋于一个极限数值——饱和吸附量 c_{adm} (图2)。

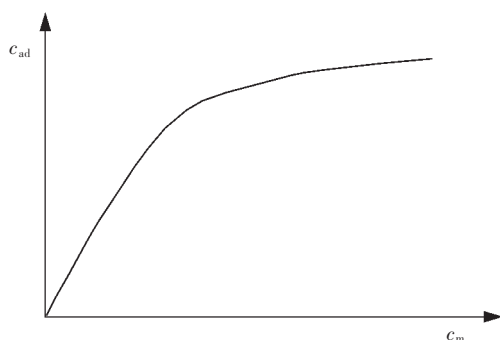


图2 煤层气液相吸附曲线

Fig. 2 Adsorption curve of coalbed methane to rock in liquid

煤层气的饱和吸附量是衡量煤层气开采潜力的关键参数,其值越高,开采潜力就越大。优质煤岩层的饱和吸附量可达 $50 \text{ cm}^3/\text{g}$ 以上,即 1 t 煤中的吸附气可达 50 m^3 以上。由于散失的原因,煤层层的实际生气量远远大于饱和吸附量。

甲烷在地层水中的浓度随温度、压力和矿化度的变化而变化,地层条件下的甲烷浓度通常很小,一般低于或在 $1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 左右^[8]。根据式(1),要想使

甲烷从孔隙壁面上解吸下来,可以通过降低地层水的甲烷浓度来实现,即在井底降低甲烷浓度,让煤层中的煤层气解吸,然后再扩散至井底而被采出(图3)。

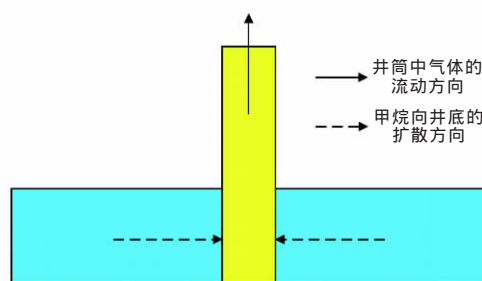


图3 煤层气开采示意图

Fig. 3 Sketch of flow of coalbed methane

通过扩散作用将解吸下来的煤层气运移至井底并开采出来,理论上可行实际上却不可行。因为目前尚没有在井底有效降低甲烷浓度的好方法,而且甲烷在地层水中的溶解度和扩散系数(约为 $14.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ ^[9])都很小,不能有效传质。

3 排水采气

排水采气或抽水采气^[3]就是指通过开采地层水进而开采煤层气的方法,其开采过程分为3个阶段:脱气、解吸和渗流。

3.1 脱气

地层水饱和了甲烷分子,甲烷的浓度(溶解气水比)随地层压力的变化曲线与原油的溶解气油比曲线类似,近似为一条直线(图4),可以用下面的方程描述^[10]

$$c_m = \alpha p \quad (2)$$

式中: α 为甲烷的溶解系数, $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{MPa})$; p 为地层压力,MPa。

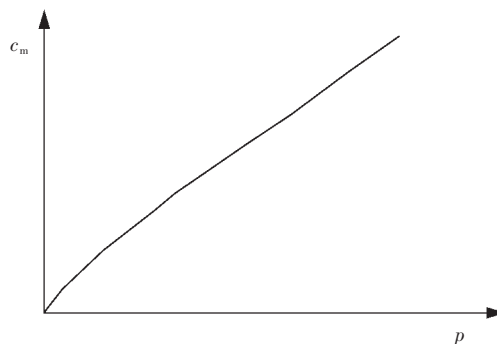


图4 煤层气在水中的溶解曲线

Fig. 4 Solution curve of coalbed methane in formation water

从煤层中开采地层水,地层压力会下降,因此

就会有气体从地层水中脱出(出溶),从而形成连续的自由气(图 5)。

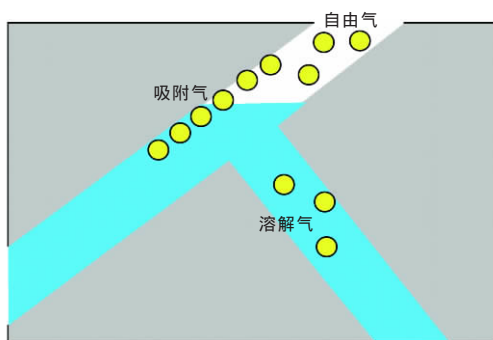


图 5 地层水脱气形成自由气

Fig. 5 Free gas through degas from formation water

3.2 解吸

(1) 气相解吸

自由气一旦形成,气相压力与吸附气之间就建立起了新的平衡关系。根据气相吸附理论,甲烷的吸附量与地层压力满足下面的气相吸附 Langmuir 方程^[7]

$$c_{ad} = c_{adm} \frac{ap}{1+ap} \quad (3)$$

式中: a 为煤层气的气相吸附系数, MPa^{-1} 。

由式(3)可以看出,煤层气的吸附量随地层压力增高而增大(图 6)。若想解吸吸附气,就必须降低地层压力。因此,开采煤层气的一个必要条件就是先排水降低地层压力,压力降低后吸附气便会解吸而成为自由气。

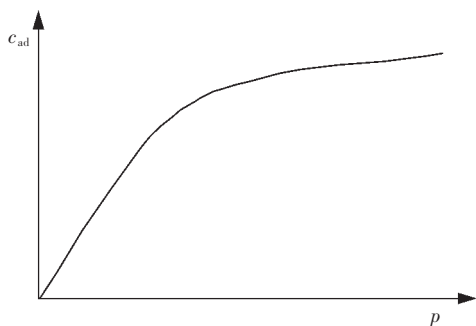


图 6 煤层气气相吸附曲线

Fig. 6 Adsorption curve of coalbed methane to rock in gas

(2) 液相解吸

根据式(2),压力下降之后,地层水的甲烷浓度就会随之降低;而按照式(1),甲烷的吸附量会减小,解吸量就会增加。把式(2)带入式(1)可以得到

$$c_{ad} = c_{adm} \frac{b\alpha p}{1+b\alpha p} \quad (4)$$

由式(4)可以看出,在被地层水饱和的孔隙中,

甲烷的吸附量随地层压力的降低而降低。因此,在开采地层水之后,将有一部分吸附气被解吸下来。解吸的甲烷分子无法溶解在水中(因为水已经饱和),只有进入自由气,使自由气体积增大。

3.3 渗流

煤层气解吸成自由气之后,就会按照渗流规律从高压区向井底附近的低压区流动,流入井筒后被采出地面。通常认为,煤层气被解吸之后,先从小孔隙扩散至割理,然后再渗流到井底。其实,这种观点是不正确的。根据 Fick 定律^[11],扩散是从高浓度区向低浓度区的传质现象,需要浓度差或浓度梯度的驱动,而自由气的浓度不论压力高低皆为 100%,是不能产生扩散现象的。因此,自由气的传质是流动行为,而不是扩散行为。压力梯度导致流动,浓度梯度则导致扩散。

目前,煤层气的开采均采用排水采气的方法进行,即完井之后先大排量采水,地层压力下降到一定程度之后,煤层气便大量产出。扩散的速度太慢,靠扩散开采煤层气目前尚不具有经济价值。开采煤层气的最有效方法就是排水采气法。

4 结论

- (1) 煤层气是以吸附状态存在于煤岩层中的天然气,且与地层水平衡共存。
- (2) 开采地层水导致的地层压力下降,有利于煤层气解吸而形成自由气。
- (3) 靠扩散作用不能有效开采煤层气,排水采气是目前最有效的煤层气开采方法。
- (4) 煤层气的开采过程分为脱气、解吸和渗流 3 个阶段,而不是解吸、扩散和渗流 3 个阶段。

参考文献:

- [1] 卢福长,武晓玲,唐文忠.扩散作用对煤层气可采性的影响[J].断块油气田,2010,7(5):17-18.
- [2] 陈富勇,琚宜文,李小诗,等.构造煤中煤层气扩散-渗流特征及其机理[J].地学前缘,2010,17(1):195-201.
- [3] 苏喜立,唐书恒,姜法.煤层气的赋存运移机理及产出特征[J].河北建筑科技学院学报,1999,16(3):67-71.
- [4] 张胜利,李宝芳.煤层割理的形成机理及在煤层气勘探开发评价中的意义[J].中国煤田地质,1996,8(1):72-77.
- [5] 李传亮.地下没有亲油的岩石[J].新疆石油地质,2011,32(2):197-198.
- [6] 李传亮,李冬梅.渗吸的动力不是毛管压力[J].岩性油气藏,2011,23(2):114-117.
- [7] 天津大学物理化学教研室.物理化学(下):(下转第 19 页)

Evaluation methods for unconventional hydrocarbon resources

GUO Qiu-lin¹, ZHOU Chang-qian¹, CHEN Ning-sheng¹, HU Jun-wen¹, XIE Hong-bing^{1,2}

(1. *Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China;*

2. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: The unconventional hydrocarbon resources are different from the conventional hydrocarbon resources in the aspects of accumulation mechanism, occurrence, distribution, exploration and development method, etc. As the strategic supplements of conventional resources, the unconventional hydrocarbon resources are becoming highly valued. But now, an effective evaluation system is not yet built up for the evaluation of unconventional hydrocarbon resources in our country. Based on the accumulation mechanism and distribution characteristics of the unconventional hydrocarbon resources, five evaluation methods for unconventional hydrocarbon resources are introduced, including: analogy method, the major method of USGS; stochastic simulation method, the new developed method of USGS; reserve estimation method for single well, the typical statistical method; prediction method of hydrocarbon spatial distribution, the special statistical method; prediction method of continuous tight sandstone gas reservoirs, the special genetic method. These evaluation methods provide theoretical basis for the evaluation of the unconventional hydrocarbon resources and the new national hydrocarbon resource.

Key words: unconventional hydrocarbon resources; analogy method; stochastic simulation method; statistical method; genetic method

(本文编辑:郭言青)

(上接第 11 页)

第二版[M].北京:高等教育出版社,1983:162-179.

版社,1999:128.

[8] 秦同洛,李荡,陈元千.实用油藏工程方法[M].北京:石油工业出版社,1989:26.

[10] 何更生.油层物理[M].北京:石油工业出版社,1994:84.

[9] 张厚福,方朝亮,高先志,等.石油地质学[M].北京:石油工业出

[11] 孔祥言.高等渗流力学[M].合肥:中国科技大学出版社,1999:380-381.

Research on the flow mechanism of coalbed methane

LI Chuan-liang¹, PENG Chao-yang²

(1. *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;*

2. *Coalbed Methane Co. Ltd., PetroChina, Beijing 100082, China*)

Abstract: Coalbed methane is an unconventional natural gas resource of self-generating and self-preserving. In order to develop the gas properly, it is necessary to study deeply the flow mechanism of coalbed methane. Coalbed methane is stored in the cheats of coalbed and pores of coal matrix, which is in the form of adsorption and coexists with formation water in coals. Coalbed methane must be desorbed from the pore wall before developed. Production of water from coalbed results in the drop of pressure, which leads to the desorption of coalbed methane to free gas. The coalbed methane desorbed flows to well bottom along cheats in coals and then is developed to ground surface. The development of coalbed methane can be divided into three stages: degassing, desorption and flowing. Diffusion is not a part of flow mechanism of coalbed methane.

Key words: coalbed methane; cheat; matrix; adsorption; desorption; degas; diffusion

(本文编辑:于惠宇)