

文章编号: 1001- 6112(2002)01- 0077- 03

温、压控制水溶气释放的模拟实验方法研究

张云峰

(大庆石油学院 石油勘探系, 黑龙江 安达 151400)

摘要: 在研究影响天然气在地层水中溶解能力各种因素的基础上, 分析了造成水溶相天然气释放的地质条件。通过物理模拟实验, 不仅证明水溶气在运移过程中析出的游离气量的大小主要受温度、压力的控制, 并获得了温度、压力变化时, 单位体积饱和天然气的地层水析出游离气量的回归方程, 为估算气藏中水溶释放气贡献量研究基础数据提供了计算方法。

关键词: 模拟实验; 水溶气; 温度; 压力

中图分类号: TE132. 2

文献标识码: A

天然气在其生成、运移和聚集的过程中, 始终与地层水处于同一系统内。而在这一过程中天然气与地层水就会发生相互作用并溶解于水, 这是区别于液态石油的一个重要物理特征。根据郝石生等^[1,2]、付晓泰等^[3]的实验研究, 天然气在地层水中的溶解量是相当可观的。

水溶相天然气在运移过程中, 由于温度、压力等地质条件的改变, 过饱和时便可将其中一部分天然气释放出来成为游离气, 并在有利的圈闭中(低势区)聚集成藏。因此, 天然气的溶解作用及水溶释放气量的估算方法等问题, 越来越受到石油地质工作者的重视。

1 水溶气释放的地质条件

付晓泰等^[3]通过实验研究认为, 天然气在地层水中的溶解主要有两种机理, 一种是天然气分子与水分子作用形成水合分子; 另一种则是天然气分子填充在水分子的间隙中。无论是哪一种机理, 它们的溶解度大小都应受到温度和压力变化的影响。压力增大, 天然气在地层水中的总溶解度增大; 反之则减小。温度对其影响相对较为复杂, 当温度小于80℃左右时, 天然气溶解度随温度升高而减小; 当温度大于80℃左右时, 溶解度随温度升高而逐渐增大。造成这一现象的原因可由两种溶解机理对天然

气总溶解度的贡献大小(图1)得到解释。矿化度对天然气在地层水中的溶解度影响主要表现在对间隙填充形式上, 矿化度升高, 被其填充的水分子间隙数目增多, 造成天然气分子所能填充的水分子间隙数目相对减小, 从而使得以间隙填充形式的天然气溶解度减小; 相反, 天然气在地层水中的溶解度随矿化度减小而增大。但矿化度对天然气溶解度的影响较温度和压力的影响小。

由上述分析可以看出, 地层水中天然气溶解度应是其所处温度、压力和矿化度的函数。水溶相天然气在运移过程中, 由于地质条件的改变, 如沿断层

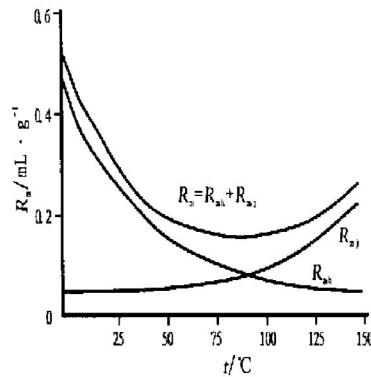


图1 两种溶解机理对甲烷总溶解度的贡献
 R_m 为总溶气量; R_{mb} 为水合溶气量;
 R_{mj} 为孔隙填充溶气量

Fig. 1 Contribution of two different dissolution mechanisms to total solubility of methane

收稿日期: 2000-11-13; 修订日期: 2002-01-26.

基金项目: 中国石油天然气集团公司中青年科技创新基金项目(20011)和黑龙江省杰出青年基金项目(00A003).

作者简介: 张云峰(1968—), 男(汉族), 河北定州人, 博士生、讲师, 主要从事石油天然气地质方面的研究。

垂向运移、或由于地壳抬升，使得含水层隆起或地层水基准面区域性或局部性的降低，均因温度和压力条件逐渐降低，导致地层水中溶解的天然气由未饱和-饱和-过饱和而释放出来。

为了进一步地研究温度、压力对水溶气释放气者进行了定量化物理模拟实验。

2 模拟实验

2.1 实验原理

将天然气样注入装满地水的溶解室内，并使之达到一定压力。通过温控系统将溶解室温度升至指定温度并达恒温，使气样与地层水在一定温度和压力条件下相互作用达到溶解平衡；然后，逐渐减压，则水溶相天然因溶解度变化而有部分气体析出，测量压降以及析出的离气量。改变水中的的矿化度、温度，再作类似实验，最终研究其变化规律。

2.2 实验装置及步骤

实验装置由进液、进气系统、抽真空系统、恒温系统、减压系统、测样系统、气水溶解系统 6 部分组成(图 2)。其核心部分即水溶解室及其外部的恒温室为透明的有机玻璃筒制成，目的是可以直接观察水溶气析出游离气的变化过程。溶解室设计压力为 5.0 MPa，温度在 80 °C 以内。

一次实验由 4 个基本步骤来完成，即：

a) 进样：将配好(根据气田水文地质资料或直接用地层水)的矿化水注入溶解室，抽真空，再将气样注入溶解室，并使之压力增加到指定值；

b) 恒温：启动恒温系统，使溶解室的温度升至指定温度并恒温；

c) 溶解：经过足够长的时间(一般 6 小时以上)，使气样在溶解室与矿化水相互作用而溶解；

d) 减压，计量游离出的气量：打开减压系统，使压力缓慢下降，使矿化水中过饱和的天然气析离出来，并记录压力每下降 Δp 时析出的游离气量。

2.3 实验结果及分析

实验过程中发现，当气样注进装满地层水的溶解室并达到一定压力时，溶解室内出现一气顶，而且压力越大气顶体积越大，当气体释放掉，压力降至常压时，溶解室又被水充满，说明地层水有一定可压缩性。因此，为提高实验准确性和精度，计算过程中考虑了水的压缩系数。

假定溶解室容积为 V_0 、压力为 p_0 ，注满地层水后再注入天然气使之压力升至 p_1 ，由于地层水被压缩，体积减小到 V_1 ，则溶解室顶部出现体积为 $V_0 - V_1$ 游离气顶。 V_1 可以由下式求得：

$$V_1 = V_0 e^{-C(p_1 - p_0)} \quad (1)$$

式中：C 为水的压缩系数，小数； V_0 为压力为 p_0 时水的体积， m^3 ； V_1 为压力为 p_1 时水的体积， m^3 。

压力 p_1 降至 p_2 时，地层水体积 V_2 ，游离气顶 $V_0 - V_2$ ，假设进入溶解室内的初始总气量为 n mol，压力 p_1 下溶解 n_{1A} mol，顶部游离气为 n_{1B} mol；压力下降到 p_2 时，溶解 n_{2A} mol，通过气体流量计释放 n_{2C} mol，溶解室剩余游离气 n_{2B} mol，则

$$n_{1A} + n_{1B} = n \quad (2)$$

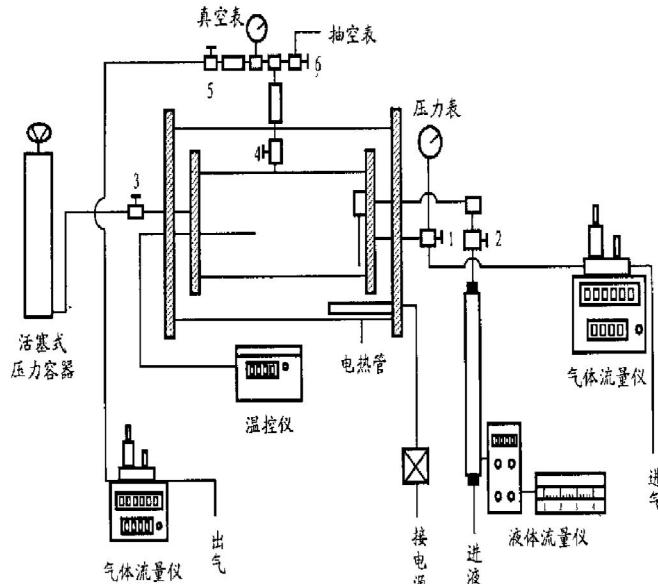


图 2 水溶释放气量测试装置

Fig. 2 Experiment equipment for measuring the amount of gas released from water

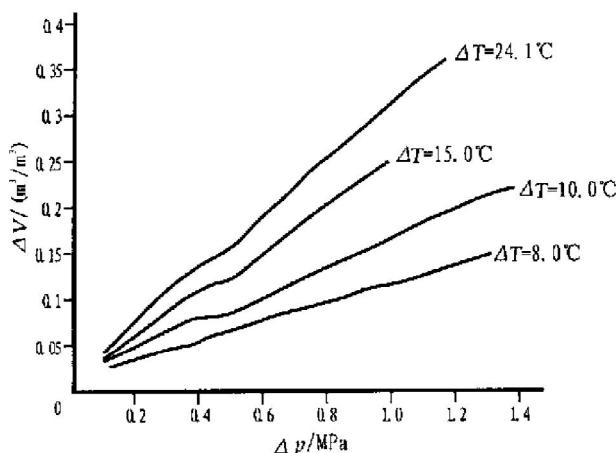
图3 析离气量 ΔV 与压降 Δp 、温降 ΔT 关系图

Fig. 3 A relationship among the released gas ΔV , pressure Δp and temperature ΔT

$$n_{2A} + n_{2B} + n_{2C} = n \quad (3)$$

由(2)、(3)式得 $n_{1A} + n_{1B} = n_{2A} + n_{2B} + n_{2C}$

则压力下降 $\Delta p = p_1 - p_2$ 时可得释离量为:

$$n_{1A} - n_{2A} = n_{2B} + n_{2C} - n_{1B} \quad (4)$$

根据范德华方程:

$$(p + \frac{n^2 a}{V^2})(V - nb) = nRT \quad (5)$$

式(5)中 a 、 b 为与物质各类有关的特性参数, 可以求得 n_{1B} 和 n_{2B} , 而 n_{2C} 可由气体流量计直接读出体积 V_{2C} , 再由范德华方程求出 n_{1B} 和 n_{2B} 在一个大气压下的体积分别为 V_{1B} 和 V_{2B} 。

于是压力下降 Δp 时释放出游离气的体积为:

$$\Delta V = V_{2B} + V_{2C} - V_{1B} \quad (6)$$

通过对不同矿化度地层水所作实验数据进行处理, 得到每组实验的甲烷释放气量与温差、压降之间的回归方程式。如对松辽盆地西部斜坡进行配水实验, 水型为碳酸氢钠, 矿化度为 $6.769.97 \text{ mg/kg}$, 根据实验数据绘制单位体积地层水析离出的气量与压降及温降的关系曲线(图3), 并从中拟合得到的回

归方程为:

$$\begin{aligned} \Delta V = & 0.000919 \Delta T + 0.00144 \Delta p \\ & + 0.000019 \Delta T^2 + 0.228 \Delta p^2 \\ & + 0.0103 \Delta p \times \Delta T - 0.004306 \quad (7) \\ r = & 0.9519 \end{aligned}$$

式中: ΔV 为单位体积地层水释放出的甲烷体积, m^3/m^3 ;

Δp 为压力下降幅度, MPa;

ΔT 为温差, $^\circ\text{C}$;

r 为回归方程的相关系数。

由式(7)可以看出, 由于压实作用, 水溶气相自凹陷气源中心沿斜坡从高势区向低势区运移, 水溶气释放出游离相天然气, 在圈闭中聚集成藏。如果能估算自源岩区至气藏运移的地层水体积, 根据两区之间的压力差和温差, 便可利用式(7)计算水溶气在运移过程中由于温度、压力变化而析出的天然气量。

3 结论

a) 利用物理模拟实验方法, 研究水溶气释放受温度和压力条件的控制作用是可行的, 并通过实验结果可以定量研究温、压降低时单位体积地层水释放出的天然气量。

b) 气藏的形成过程比较复杂, 不仅在温度、压力条件上存在差异, 构造条件、水文地质条件也不尽相同, 本文中的模拟实验结果仅适用于松辽盆地北部西部斜坡区, 存在一定的局限性, 但为其它水溶释放气研究提供了一种可行计算方法。

参考文献

- [1] 郝石生, 张振英. 天然气在地层水中的溶解度变化特征及地质意义[J]. 石油学报, 1993, 14(2): 12- 21.
- [2] 郝石生, 黄志龙, 杨家琦. 天然气运聚平衡及其应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 25- 50.
- [3] 付晓泰, 王振平, 卢双筋. 气体在水中的溶解机理及溶解度方程[J]. 中国科学 B辑, 1996, 26(2): 124- 130.

MODELING EXPERIMENT OF THE AMOUNT OF RELEASED WATER-SOLUBLE GAS CONTROLLED BY TEMPERATURE AND PRESSURE

ZHANG Yunfeng

(Department of Petroleum Prospecting, Daqing Petroleum College, Anda, Heilongjiang 151400, China)

(to be continued on page 84)