水合物气藏降压开采数学模型*

陈科1.2 刘建仪2 张烈辉2 贺卫东3 程晓艳4

(1.中国石化西南石油局油气测试中心 2."油气藏地质及开发工程"国家重点实验室・西南石油大学
3.四川石油管理局地质勘探开发研究院 4.中国石油西南油气田分公司川中油气矿)

陈科等.水合物气藏降压开采数学模型.天然气工业,2006,26(1):93-94.

摘 要 文章建立了新的降压分解模型来模拟水合物气藏的降压分解过程。新模型把水合物气藏划分为水 合物区、分解区和分解完全区,研究了气、水两相流动,并考虑了整个储层温度的变化。预测结果表明,分解前缘处 压力降和温度降急剧;分解区和分解完全区的温降比水合物区的温降更快;分解区内往井底方向,水合物饱和度逐 渐降低、天然气饱和度是逐新增大、水饱和度先增加后降低;水饱和度存在波峰并与水合物分解前缘同向移动。

主题词 水合物 气薰 压力降 两相流动 模型 多孔介质

一、物理模型

新模型认为在整个多孔介质中是均一孔隙度。 在降压分解初期,分解前缘把气藏分成两大部分:分 解区为 0 < r < l(t),水合物区为 l(t) < r < L;随着分 解前缘往外边界移动一段时间,分解区内靠近井底 的区域形成了分解完全区(图 1)。





二、数学模型

(1)气水两相渗流方程和水合物分解方程

$$\frac{1}{r}\frac{\partial(r\rho_g v_g)}{\partial r} + m_g = \frac{\partial(\phi\rho_g S_g)}{\partial t}$$
(1)

$$\frac{1}{r}\frac{\partial(r\rho_{w}v_{w})}{\partial r} + m_{w} = \frac{\partial(\phi_{\rho_{w}}S_{w})}{\partial t} \qquad (2)$$

$$-m_{\rm b} = \partial(\phi \rho_{\rm b} S_{\rm b}) / \partial t \tag{3}$$

式中:m_g、m_w分别为单位体积水合物分解生成的天 然气和水的质量流量;m_b为地层降压而引起的单位 体积水合物分解的质量流量。

3个参数之间的相互关系是:

$$m_{\rm h} = m_{\rm g} + m_{\rm w} \tag{4}$$

$$m_{\rm g} = m_{\rm h} \frac{M_{\rm g}}{N_{\rm h}M_{\rm w} + M_{\rm g}} \tag{5}$$

式中:Nh 为水合物数。

流速(v,)可由达西定律求得:

$$v_{1} = -(KK_{r}/\mu)\partial p/\partial r \qquad (6)$$

初始条件和边界条件: $p = p_{e}; S_{b} = S_{h}^{\circ}; S_{*} = S_{*}^{\circ}; S_{s} = S_{s}^{\circ}; p(0,t) = p_{G}, 当 r = 0 且 t \ge 0; \partial p(L, t)/\partial r = 0, 当 r = L 且 t \ge 0.$

(2)水合物气藏的温度方程

在分解区和分解完全区,主要是天然气和水两 相的流动,因此可以忽略在分解区和分解完全区的 热传导而只考虑天然气和水的热对流:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = v_g \frac{\partial T_1}{\partial r} + v_w \frac{\partial T_1}{\partial r} = 0$$
 (7)

在水合物区,由于水合物还没有分解,所以没有 游离天然气和水,因此不考虑热对流而只考虑水合 物的热传导:

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial T_2}{\partial r} \right) \tag{8}$$

式中:a为水合物区的热扩散系数,m²/s;T1为分解

作者简介:陈科,1980年生,硕士;现从事油气田开发、天然气水合物方面的研究。地址:(618000)四川省德阳市泰山北路 淮河街 11 号。电话:(0838)2404261。E-mail:itisck@163.com

^{*}本文获中国石油天然气集团公司创新基金项目"天然气水合物相态行为及动力学研究"资助(编号:04E7047)。

初始和边界条件: $T_1(r(t),t) = T_2(r(t),t) = T_2(r(t),t) = T_0(t); T_2(L,t) = T_2(r,0) = T_e$ 。

三、实例计算

将新模型预测的水合物分解过程中水合物分解 前缘的位置以及累计产气量与 Berea 砂岩的实验测 定数据进行比较,两者匹配的较好。

由图 2-a、b 可知,在降压分解过程中分解前缘 处有一个急剧的压力降和急剧的温度降。分解区和 分解完全区的温降比水合物区的温降更快是因为分 解区和分解完全区天然气和水的对流传热量大于水 合物区水合物的热传导量。

由图 2-c 所示,在降压分解过程中分解区内从 分解前缘处往井底方向水合物饱和度是逐渐降低 的,直到进入分解完全区内水合物完全分解。

由图 2-d 所示,在水合物气藏的降压分解过程 中分解区内从分解前缘处往井底方向水饱和度是先 增加后降低的,直到进入分解完全区内就趋于稳定 值。分解区内的波峰是因为水的流度低于天然气的 流度,生成的水则会暂时"堆积"在靠近分解前缘处 的分解区内,并与水合物分解前缘同向移动。

由图 2-e 所示,在降压分解过程中分解区内从 分解前缘处往井底方向天然气饱和度是逐渐增大, 直到进入分解完全区内就趋于稳定值。由图 2-f 可见,在多孔介质的降压分解过程中分解前缘随着



图 2 降压分解过程各参数分布和多孔介质中水合物分解前缘位置曲线图

时间的增大逐渐向外边界移动。

四、结论

(1)建立的新模型把水合物气藏划分为水合物 区、分解区和分解完全区,研究了气、水相的流动,并 在模拟水合物分解过程时考虑了整个储层温度变化。

(2)新模型表明,在多孔介质的降压分解过程 中,分解前缘处压力、温度降急剧;分解区和分解完 全区的温降比水合物区的温降更快;分解区内往井 底方向水合物饱和度逐渐降低、天然气饱和度逐渐 增大、水饱和度先增加后降低;水饱和度存在波峰并 与水合物分解前缘同向移动。

(3)将新模型预测结果与实验测定结果进行比较,匹配性较好,证明了所建立新模型的正确性。



- [1] MARSHALL D R, SAITO S, KOBAYASHI R. Hydrates at high pressure; Part I, methane-water, argon-water, and nitrogen-water systems[J]. A. I. Ch. E. Journal, 1964(10); 202 – 205.
- [2] 刘建仪,杜志敏,等.一个新的水合物生成条件预测模型 [J].天然气工业,2004(12).
- [3]喻西崇,赵金洲,邬亚玲.地层多孔介质中水合物生成条件的预测[J].天然气工业,2002(11).
- [4] CLARKE A M, DARVISH M P. A method to predict equilibrium conditions of gas hydrate formation in porous media[J]. Ind. Eng. Chem. Res, 1999, 38:2485-2490.
- [5] YOUSIF M H, et al. Experimental and theoretical investigation of methane-gas-hydrate dissociation in porous media[M]. PE Reserv. Eng, 1991.

(收稿日期 2005-09-29 编辑 韩晓渝)