

考虑多孔介质界面吸附作用的凝析气藏 真实组成计算模型

周守信¹ 徐严波² 李士伦² 孙雷²

(1. 中国海洋石油研究中心 2. 西南石油学院石油工程学院)

周守信等. 考虑多孔介质界面吸附作用的凝析气藏真实组成计算模型. 天然气工业, 2004; 24(7): 83~85

摘要 文章建立了考虑多孔介质界面吸附现象影响的真实组成相平衡计算模型, 可以计算在任何温度、压力、多孔介质比表面下的凝析气藏的真实组成, 论述了吸附作用对井流体组成的影响程度和特征, 并用实例计算了我国一凝析气藏油气的原始真实组成。研究结果表明, 在考虑吸附的影响时, 计算的地下真实组成与井流物的组成还存在着很大的差别。

关键词 凝析油气田 多孔介质 吸附 成分 数学模型

在实际生产中, 人们往往认为在单一气相状态下, 气相的组成即是油气的原始组成。也就是说, 测试的流体组成即认为是油气的总组成, 但事实上在储层这种多孔介质表面还吸附很多的烃类的分子。吸附相烃类的组成和自由气相的烃类的组成是不同的; 同时, 随着压力的变化, 吸附在多孔介质表面的烃类分子的组成在变化。为了更好地预测烃类体系的相行为, 本次研究认为油气的原始组成应为气相和吸附相构成共同组成。

计算模型

1. 假设条件

要建立考虑多孔介质吸附现象作用、适合于凝析气藏烃类体系的(气相、吸附相)两平衡计算物料平衡方程, 首先应给出以下基本假设条件: ①在开采的过程中, 地层的温度保持不变; ②在油气藏的开采的前后, 烃孔隙空间是定容的, 即忽略岩石的膨胀对烃类孔隙体积的影响; ③研究的气相、吸附相两体系为一封闭物系(与环境无物质交换的物系); ④气相、吸附相两相之间的相平衡过程是瞬间完成的; ⑤考虑吸附现象作用对油气体系相平衡的影响。

2. 数学模型

设烃类体系由自由气相、吸附相两相体系构成, 体系由 N_c 种物质组成, 总摩尔数为 1, 总组成为 Z_i ($i=1, 2, \dots, N_c$), 平衡时气相摩尔数为 V , 其组成为 Y_i ($i=1, 2, \dots, N_c$), 吸附相摩尔数为 A , 其组成为 X_i^a

($i=1, 2, \dots, N_c$), 可以推导出以下物料平衡方程:

$$X_i^a = Y_i / K_i^{VA} \quad (1)$$

$$Z_i = \frac{(K_i^{VA} - 1)V + 1}{K_i^{VA}} Y_i \quad (2)$$

$$\sum Z_i = \sum \frac{(K_i^{VA} - 1)V + 1}{K_i^{VA}} Y_i = 1 \quad (3)$$

$$\sum X_i^a = \sum \frac{Y_i}{K_i^{VA}} = 1 \quad (4)$$

热力学平衡常数由空穴溶液^[1]吸附模型给出:

$$K_i^{VA} = \frac{Y_i}{X_i^a} = \gamma_i^a \frac{N_m^s N_i^{s, \infty}}{N_m^{s, \infty} b_i} \frac{\exp(a_{iv})}{1 + a_{iv}} \times \exp\left[\left(\frac{N_i^{s, \infty} - N_m^{s, \infty}}{N_m^s} - 1\right) \ln(\gamma_i^a x_i^a)\right] / \phi_i^V p \quad (i=1, 2, \dots, N_c) \quad (5)$$

在实际计算中, 逸度由 PR 状态方程计算。其他相关参数及计算方法参见相关文献[2~4], a_{iv} 、 b_i 、 $N_i^{s, \infty}$ 由单组分吸附数据拟合得到, 拟合方程如下:

$$p = \left(\frac{N_i^{s, \infty} \theta}{b_i (1 - \theta)}\right) \exp\left(\frac{a_{iv}^2 \theta}{1 + a_{iv} \theta}\right) \quad (6)$$

$$\theta = i / N_i^{s, \infty} \quad (7)$$

在计算混合气体与吸附相的相平衡时, 设气体混合物体系中有 N_c 个组分, 并设空穴是一个“假组分”, 则“体系”中共有 $N_c + 1$ 个“组分”, 其吸附平衡关系式如下:

$$y_i \phi_i p = \gamma_i^a x_i^a \frac{N_m^s N_i^{s, \infty}}{N_m^{s, \infty} b_i} \frac{\exp(a_{iv})}{1 + a_{iv}} \times$$

作者简介: 周守信, 1975年生, 博士; 2003年毕业于西南石油学院油气田开发专业, 主要从事气田及凝析气田开发等方面的研究工作。电话: (010)84522243。E-mail: zhoushx2@cnooc.com.cn, zhshx2000@sohu.com

$$\exp\left[\left(\frac{N_i^{s,\infty} - N_m^{s,\infty}}{N_m^{s,\infty}} - 1\right) \ln(\gamma_v^s x_v^s)\right] \quad (i=1,2,\dots,N_c) \quad (8)$$

活度系数由下式表达:

$$\ln \gamma_i^s = -\ln\left(\sum_{j=1}^{N_c+1} \frac{x_j^s}{1+a_{ij}}\right) + \left[1 - \left(\sum_{j=1}^{N_c+1} \frac{x_j^s}{1+a_{ij}}\right)^{-1}\right] \quad (i=1,2,\dots,N_c+1) \quad (9)$$

对于空穴:

$$a_{iv} = 0 \quad (10)$$

交互作用系数:

$$a_{iv} = \frac{a_{iv} + 1}{a_{iv} + 1} - 1 \quad (i,j = 1,2,\dots,N_c+1) \quad (11)$$

气体混合物最大饱和吸附量:

$$N_m^{s,\infty} = \sum_{i=1}^{N_c} x_i^a N_i^{s,\infty} \quad (12)$$

空穴溶液模型中各组分的组成(考虑空穴的组成):

$$x_i^s = \frac{x_i^a N_m^{s,\infty}}{N_m^{s,\infty}} \quad (i = 1,2,\dots,N_c) \quad (13)$$

空穴溶液模型中空穴的组成:

$$x_v^s = 1 - \sum_{j=1}^{N_c} x_j^s \quad (14)$$

归一化条件:

$$\sum_{j=1}^{N_c+1} x_j^s = \sum_{j=1}^{N_c} x_j^a = \sum_{j=1}^{N_c} y_j = 1.0 \quad (15)$$

计算实例及结果分析

针对该区某井测试的井流物组成,计算了在多孔介质吸附影响下的真实总组成,计算参数是: C_1 为 0.71649, C_2 为 0.10658, C_3 为 0.06354, iC_4 为 0.02159, nC_4 为 0.01997, iC_5 为 0.01068, nC_5 为 0.00996, C_6 为 0.01536, C_7 为 0.00977, C_8 为 0.0081, C_9 为 0.00606, C_{10} 为 0.00283, C_{11+} 为 0.00907。计算结果如表 1 所示。

表 1 在多孔介质吸附影响下的总组成计算结果表

序号	组分名	总组成 (小数)	气相组成 (小数)	吸附相组成 (小数)	真实组成与 原组成之差 (小数)	各组分含量 的变化 (%)
1	C_1	0.6650	0.71649	0.4399	-0.0515	-7.7
2	C_2	0.1148	0.10658	0.1508	0.0082	7.2
3	C_3	0.0693	0.06354	0.0944	0.0057	8.3
4	iC_4	0.0239	0.02159	0.0337	0.0023	9.7
5	nC_4	0.0227	0.01997	0.0348	0.0028	12.0
6	iC_5	0.0124	0.01068	0.0198	0.0017	13.9
7	nC_5	0.0120	0.00996	0.0210	0.0021	17.0
8	C_6	0.0195	0.01536	0.0378	0.0042	21.2
9	C_7	0.0128	0.00977	0.0262	0.0031	23.7
10	C_8	0.0115	0.0081	0.0264	0.0034	29.6
11	C_9	0.0096	0.00606	0.0253	0.0036	36.9
12	C_{10}	0.0053	0.00283	0.0163	0.0025	46.6
13	C_{11+}	0.0212	0.00907	0.0736	0.01213	57.2

由计算结果可以看出:考虑吸附作用时,计算的原始真实总组成与不考虑吸附作用的总组成有很大的差别。计算的结果发生了显著的变化,在恢复的真实总组成中,甲烷的组成百分数与以前用的测试组成百分数相比明显降低,将低了 7.7%;其他的组成百分数则都增大;组分越重,增加的百分比越大, C_{11+} 增加了 57.2%。由此可见,虽然多孔介质对重质组分的吸附量相对较少,但是,由于凝析气的重质

组分本来很少,吸附现象对重质组分的影响却最大。

而在实际生产工作中,往往用井流物的组成作为地层流体的真实组成,来做各种 PVT 实验,又用状态方程模拟这些实验的结果,以这些研究结果为基础,来指导开发实践是不科学的。因为这种实验的结果与真实的油气藏中的相态变化过程有很大的差距,油气藏中的流体组成和性质在不断的发生着变化。从而导致了油气藏中的露点、定容衰竭、等组

成膨胀、乃至相图的形态,都与实验结果有很大的出入。

结论与建议

通过本次研究,可以得出如下结论与建议。

(1)井流物测试的组成不能代替凝析气藏的真实组成,要得到真实组成,考虑多孔介质界面吸附的影响十分必要。

(2)考虑多孔介质界面吸附时,恢复计算的真实总组成与井流物的组成有很大的差别。在总组成中,除甲烷的组成百分数减少外,其他的组成百分数都增大;组分越重,增加的百分比越大。

(3)建议继续研究有液相吸附时的原始真实组成的恢复计算,以及有束缚水存在时真实组成的恢复计算。

符号说明

a_{ij} 交互作用系数,无因次; $a_{i,v}$ 为 i 组分的回归常数,无因

次; γ_i 为吸附相中空穴溶液 i 组分的活度系数,无因次; $N_i^{v,\infty}$ 为 i 组分的回归常数,表示最大吸附量, $\text{kg} \cdot \text{mol}(\text{吸附质})/\text{kg}(\text{吸附剂})$; $N_m^{v,\infty}$ 为混合气体的最大饱和和吸附量, $\text{kg} \cdot \text{mol}(\text{吸附质})/\text{kg}(\text{吸附剂})$; b_i 为 i 组分的回归常数, $\text{kg} \cdot \text{mol}(\text{吸附质})/(\text{kg} \cdot \text{Pa})(\text{吸附剂})$; x_i^v 为吸附相中空穴溶液 i 组分的组成,无因次小数; N_m^v 为混合气体的吸附量, $\text{kg} \cdot \text{mol}(\text{吸附质})/\text{kg}(\text{吸附剂})$; i 为某一组分; v 指空穴。

参考文献

- 1 Myers A L. Fundamentals of adsorption. United Engineering Trustees Inc, 1984
- 2 魏影编译. 石油化工设计数据手册(上、下册). 北京:石油工业出版社, 1989
- 3 里德 R C, 普劳斯尼茨 J M, 波林 B E. 气体和液体性质. 北京:石油工业出版社, 1994
- 4 周守信. 多孔介质特征描述及其界面现象对凝析气藏开发动态的影响研究(博士论文). 西南石油学院, 2003

(收稿日期 2004-04-09 编辑 韩晓渝)

(上接 79 页)

- 3 Kossack, Munkerud. Experimental and theoretical investigations of gas injection into a as condensate. Proceedings of 4th European Symposium on Enhanced Oil Recovery, 1987; 10: 27~29
- 4 Ulysses de Ribeiro Augusto Lino. Compositional and phase behavior experimental and theoretical work on hydrocarbon mixtures and several solvents. SPE 59343, 2000
- 5 Koseack C A, Opdal S T. Recovery of condensate from a heterogeneous reservoir by the injection of a slug of meth-

ane followed by nitrogen. SPE18265, 1988

- 6 Siregar S, Hagroort J, Ronde H. Nitrogen injection vs gas cycling in rich retrograde condensate - gas reservoirs. SPE22360, 1992; 281~291
- 7 Douglas E Kenyon, G Alda Behie. Third SPE comparative project: gas cycling of condensate reservoirs. JPT, 1987; 981~997
- 8 杨宝善. 凝析气藏开发工程. 北京:石油工业出版社, 1995

(收稿日期 2004-03-25 编辑 韩晓渝)