

文章编号: 0253—9985(2009)06—0689—03

异常高压气藏有限封闭水体能量评价

胡俊坤^{1,2}, 李晓平², 李 琰¹, 叶 亮¹, 任 科¹

(1 西南石油大学 研究生部, 四川 成都 610500)

2 西南石油大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610500)

摘要: 提出了一种评价异常高压气藏有限封闭水体能量的新方法。此方法是在广义物质平衡方程的基础之上, 结合异常高压气藏的生产动态, 计算出异常高压气藏有限封闭水体的水体倍数, 从而对气藏的水体能量进行评价。通过对新场气田新 3 井的实例计算, 得出有限封闭水体的水体倍数为 0.080 5。文章论证了此方法的可靠性和有效性。

关键词: 封闭水体; 水体能量; 物质平衡方程; 异常高压气藏

中图分类号: TE122.3 **文献标识码:** A

Evaluation of energy of restricted and closed aquifer in over pressured gas reservoirs

Hu Junkun^{1,2}, Li Xiaoping², Li Yan¹, Ye Liang¹, Ren Ke¹

(1 Graduate School of Southwest Petroleum University Chengdu Sichuan 610500 China 2 State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation Southwest Petroleum University Chengdu Sichuan 610500 China)

Abstract: A new method for evaluating the energy of restricted and closed aquifer in over pressured gas reservoirs is proposed in this paper. Based on the generalized material balance principle and in combination with performance of over pressured gas reservoirs, this new method can be used to calculate multiple of aquifer—the ratio of aquifer volume to pore volume of gas bearing zones—for a restricted and closed aquifer in over pressured gas reservoirs. Then the aquifer energy can be evaluated by using the multiple of aquifer. By applying the method to the well X-3 in Xin Chang gas field, we evaluated the aquifer energy for the reservoirs based on a calculated aquifer multiple of 0.080 5 for the restricted and closed aquifer. The case study shows that this new method is reliable and effective.

Key words: restricted and closed aquifer; aquifer energy; material balance equation; over pressured gas reservoir

压力系数一般用符号 α 表示, 当 α 大于 1.2 时, 地层压力为异常高压, 所属气藏为异常高压气藏。一些气藏与周围水体 (边水、底水) 之间保持良好的连通关系, 当从气藏采出天然气时, 边底水会因气藏压力的下降而侵入气藏, 从而驱替气藏中的天然气, 该类气藏被称作水驱气藏。水驱气藏开采到一定程度就会产水, 气藏产水会增加气井举升难度, 提高气藏的废弃压力, 从而降低气藏的采收率。边底水的侵入, 使得气藏的开采动态变得复杂起来^[1,14]。因此为了更好的开发好水驱气藏, 对水体能量的研究就显得十分重要。本文

主要研究异常高压气藏有限封闭水体能量, 即水体与外界不连通, 没有外来水体的补充, 水体能量有限的封闭水体能量。

目前水体能量研究方法分 3 种^[2]: 第一种是地质描述, 它是通过描述水体分布范围来评价水体能量的大小^[3], 该方法受地震分辨率的制约。第二种是动态法^[4], 该方法将物质平衡理论与气藏的具体开发地质特征相结合, 它可以充分的利用气藏的动态数据, 工作量不大但可信度较高。第三种方法是数值模拟研究^[4], 该方法精度高, 可是工作量也相对较大。本文主要是利用动态法对

收稿日期: 2009—05—08

第一作者简介: 胡俊坤 (1984—), 男, 硕士研究生, 油气田开发。

异常高压气藏有限封闭水体能量进行评价。

1 理论研究

从气藏的物质平衡方程可得出, 开采到任何一个时刻, 剩余天然气占有的孔隙体积, 加上被地层束缚水和岩石弹性膨胀占据的孔隙体积, 再加上水侵占据的孔隙体积, 应当等于气藏的原始体积^[5], 即:

$$GB_{gi} = (G - G_p) B_g + GB_g \left[\frac{C_w S_{wi} + C_f}{1 - S_{wi}} \right] \Delta P + (W_e - W_p B_w) \quad (1)$$

(1) 式两边同除以 GB_{gi} 可得:

$$1 = (B_g/B_{gi}) [1 - (G_p/G)] + \left[\frac{C_w S_{wi} + C_f}{1 - S_{wi}} \right] \Delta P + (W_e - W_p B_w) / GB_{gi} \quad (2)$$

由气体状态方程可得^[6]:

$$B_{gi} = Z_i TP_{sc} / T_{sc} P_i \quad (3)$$

$$B_g = Z TP_{sc} / T_{sc} P \quad (4)$$

将 (3) 式、(4) 式代入 (2) 式, 可得:

$$1 = \frac{P_i/Z_i}{P/Z} \left[1 - \frac{G_p}{G} \right] + \left[\frac{C_w S_{wi} + C_f}{1 - S_{wi}} \right] \Delta P + \left[\frac{W_e - W_p B_w}{GB_{gi}} \right] \quad (5)$$

Dake(1978)认为当水体为封闭水体, 水层很小时, 油气藏的压降会很快传递到整个油气藏和水层系统^[7-8]。此时, 天然水域对气藏的累积水侵量, 可视为与时间无关, 并表示为:

$$W_e = V_{pw} (C_w + C_f) \Delta P \quad (6)$$

水体能量的大小通常是用水体倍数 (n) 来反映, 它是水体与气区的孔隙体积 (包括自由气与束缚水两部分) 之比^[9-10], 即:

$$n = V_{pw} / [GB_{gi} / (1 - S_{wi})] = V_{pw} (1 - S_{wi}) / GB_{gi} \quad (7)$$

$$V_{pw} = nGB_{gi} / (1 - S_{wi}) \quad (8)$$

将 (8) 式代入 (6) 式得:

$$W_e = nGB_{gi} (C_w + C_f) \Delta P / (1 - S_{wi}) \quad (9)$$

将 (9) 式代入 (5) 式得:

$$1 = \frac{P_i/Z_i}{P/Z} \left[1 - \frac{G_p}{G} \right] + \left[\frac{C_w S_{wi} + C_f}{1 - S_{wi}} \right] \Delta P + n \left[\frac{C_w + C_f}{1 - S_{wi}} \right] \Delta P - \frac{W_p B_w}{GB_{gi}} \quad (10)$$

式 (10) 也可以表达为:

$$1 = \frac{P_i/Z_i}{P/Z} \left[1 - \frac{G_p}{G} \right] + \left[\frac{(C_w S_{wi} + C_f) + n(C_w + C_f)}{1 - S_{wi}} \right] \Delta P - \frac{W_p B_w}{GB_{gi}} \quad (11)$$

令:

$$\Psi = (P_i/Z_i) / (P/Z) \quad (12)$$

$$R = G_p/G \quad (13)$$

$$m = (W_p B_w) / (GB_{gi}) \quad (14)$$

$$k = \frac{(C_w S_{wi} + C_f) + n(C_w + C_f)}{1 - S_{wi}} \quad (15)$$

将 (12) 式、(13) 式、(14) 式、(15) 式代入 (11) 式整理得:

$$(m+1) - (1-R)\Psi = k\Delta P \quad (16)$$

令:

$$Y = (m+1) - (1-R)\Psi \quad (17)$$

则有:

$$Y = k\Delta P \quad (18)$$

由此可见, 对于有限封闭水体, Y 与 ΔP 之间存在直线关系, 直线斜率与水体倍数、岩石压缩系数、地层水压缩系数、束缚水饱和度等参数有关。

由 (15) 式可计算出水体倍数 n

$$n = [k(1 - S_{wi}) - (C_w S_{wi} + C_f)] / (C_w + C_f) \quad (19)$$

2 应用实例

新场气田^[11-13 14]须家河组二段气藏原始地层压力平均 80.78 MPa, 原始压力系数为 1.61~1.73, 平均 1.68, 说明须二气藏属异常高压气藏。本文以新 3 井作为研究对象, 新 3 井所在气藏, $S_{wi} = 0.1632$, $C_f = 10.568 \times 10^{-4} \text{ MPa}^{-1}$, $C_w = 4.6478 \times 10^{-4} \text{ MPa}^{-1}$ 。根据动态法的理论, 结合新 3 井现场生产及实验室所取资料, 作出新 3 井水体能量分析图, 即 Y 与 ΔP 的关系曲线 (图 1)。

由图可得 $k = 0.0015$, 即 $Y = 0.0015 \Delta P$ 。由式 (19) 可得水体倍数 $n = 0.0805$ 。即对于新 3 井而言, 封闭水体的地下体积与气区的孔隙体积 (包括自由气与束缚水两部分) 之比为 0.0805。计算所得水体倍数较小, 反应了气藏水体封闭的特点, 水体能量有限。这一特点与新 3 井的实际生产动态吻合较好, 从而也说明了该方法的有效性。

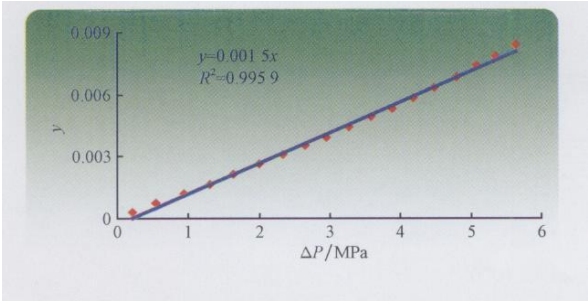


图 1 新 3 井水体能量分析

Fig 1 Diagram showing the aquifer energy in well X in 3

3 结论

1) 相对于正常压力系统气藏, 异常高压气藏有限封闭水体能量计算较复杂, 随着压力的降低, 含气区储层的再压实和岩石颗粒的弹性膨胀作用及束缚水的弹性膨胀不能忽略, 否则将引起较大的误差。

2) 可以运用本方法的思路对异常高压油藏有限封闭水体能量进行评价。

符号注释:

B_{gi} B_g 分别为原始气藏压力 P_i 及目前气藏压力 P 的气体体积系数, 无量纲;

B_w 表示地层水的体积系数, 无量纲;

C_{ri} C_w 分别为岩石压缩系数和地层水压缩系数, MPa^{-1} ;

G G_p 分别为天然气原始地质储量和累计产气量, $10^8 m^3$;

n 表示水体倍数;

P_i 表示原始地层压力, MPa ;

P_s 表示标准状况下的压力, MPa ;

P 为开采到某一时刻的地层压力, MPa ;

S_w 为束缚水饱和度, %;

T_s 表示标准状况下的温度, K ;

T 为开采到某一时刻的气藏温度, K ;

V_{pw} 表示水体的地下体积, $10^8 m^3$;

W_e W_p 分别为累计水侵量和累计产水量, $10^8 m^3$;

Z_i Z 分别表示原始条件和开采到某一时刻下的天然气偏差因子, 无量纲;

ΔP 表示压降, MPa 。

参 考 文 献

1 李传亮. 油藏工程原理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003

2 丁良成. 气藏有限封闭水体能量的评价方法 [J]. 新疆石油地质, 2006 27(5): 591 ~ 592

3 王鸣华. 气藏工程 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997

4 冈秦麟. 气藏开发应用基础方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997

5 陈元千. 油藏工程计算方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991

6 黄炳光, 冉新权, 李晓平. 气藏工程分析方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004

7 Dake L P. Fundamentals of Reservoir Engineering [J]. Amsterdam: Elsevier 1978

8 塔雷克, 艾哈迈德. 油藏工程手册 [M]. 冉新权, 何江川, 译. 北京: 石油工业出版社, 2002

9 李传亮. 气藏水侵量的计算方法研究 [J]. 新疆石油地质, 2003 24(5): 430 ~ 431

10 李士伦, 王鸣华, 何江川. 气田与凝析气田开发 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004

11 叶军, 陈昭国. 川西新场大型气田地质特征与预测关键技术 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(3): 384 ~ 391

12 魏力民, 柳梅青. 川西新场蓬莱镇组层序地层研究与储层横向预测 [J]. 石油与天然气地质, 2000 21(3): 220 ~ 225

13 郑祥克, 何顺利, 王昔彬, 等. 新场蓬莱镇异常高压气藏气体单相渗流实验特征 [J]. 石油与天然气地质, 2007 28(1): 88 ~ 91

14 王占国. 异常高压对储层物性的影响 [J]. 油气地质与采收率, 2005 12(6): 31 ~ 33

(编辑 高 岩)

(上接第 688 页)

17 焦尊生, 萨达姆 R C 怀俄明州 Laramide 类盆地中的异常地层压力圈闭及其在天然气勘探开发中的意义 [J]. 断块油气田, 1994 1(6): 27 ~ 44

18 傅献群, 沈文霞, 姚天扬. 物理化学 (第四版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990 17 ~ 19

19 李传亮. 地层抬升会导致异常高压吗? [J]. 岩性油气藏, 2008 20(2): 124 ~ 126

20 宋世谟, 庄公惠, 王正烈. 物理化学 (第 3 版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993 44

21 张数球, 刘传喜, 刘正中. 异常高压气藏产能特征分析——以四川盆地河坝场构造飞三气藏河坝 1 井为例 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(3): 376 ~ 382

22 李仲东, 郝蜀民, 李良, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界压力封存箱与天然气的富集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2007 28(4): 466 ~ 472

23 李仲东, 郝蜀民, 李良, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界气藏与深盆气藏特征对比 [J]. 石油与天然气地质, 2009 30(2): 149 ~ 155

(编辑 李 军)