文章编号：1000-2634(2005)06-0033-04

低渗透气藏储量早期预测*

邓绍强[1]，黄全华[1]，肖 莉[2]，何 巍[1]，余瑞青[3]，李永胜[4]
（1.西南石油学院，四川 成都 610500；2.大港油田勘探开发研究院；3.中石化西南分公司井下作业处；4.重庆气矿地质研究所）

摘要：气藏早期地质储量的确定对开发方案的制定、开发设施的设计以及气藏价值的评估十分重要，低渗透气藏早期地质储量的确定一直是一项比较难的工作。针对此问题，提出了利用流动物质平衡法、油藏影响函数法以及采气曲线法来早期预测低渗透气藏或单井控制地质储量。经过实例分析说明以上三种方法切实可行，还对三种方法自身的适用条件以及各自的优缺点进行了简要分析。

关键词：低渗透油气藏；储量预测；地质储量；流动物质平衡法；油藏影响函数法；采气曲线法
中图分类号：TE15 **文献标识码**：A

前 言

低渗透油气藏及其单井控制地质储量的确定一直是一项比较难的工作，尤其是对非均质性较强的低渗透气藏地质储量的确定将更加困难。目前用于气藏储量计算的方法可以分为静态法和动态法。静态方法主要指容积法，用这种方法确定气藏储量的时候往往需要关于气藏详细的地质资料；同时由于地层本身具有一定的非均质性，从而使得求取的地层参数往往不准确，所以用容积法确定的地质储量的精确性不高。动态方法主要有：物质平衡法、罗杰斯蒂函数法、压降法、采气曲线法等等。广义的物质平衡方法有赖于准确的地层压力，由于实际工作中不可能无限制地延长全气藏关井时间而等待井区之间压力平衡。对于典型低渗透气藏来说，由于储层本身渗透性差，在关井求取地层平均压力的过程中，地层各井区之间，不同的生产区域之间的压力很难趋于平衡，因此在短期的关井期间实测或根据实际测量资料计算的单井或区域地层压力不能准确反映地层的平均压力，而由此采用的物质平衡方法计算出来的动态储量将存在一定程度上的误差。而压降法和罗杰斯蒂函数法等其它方法也都存在诸多的应用限制因素，为此本文提出利用“流动物质平衡”法[1]、油藏影响函数法[2]以及采气曲线法来对低渗透气藏或单井控制地质储量进行早期预测。

1 方 法

1.1 流动物质平衡法

流动物质平衡法[1]是由 L Matter 等在 1998 年提出来的，根据渗流力学原理，封闭气藏气井相对稳定地以一定产量生产一定时间后，压力波将传到地层外边界，并且气体流动较快进入拟稳定态，其压降漏斗曲线如图1。

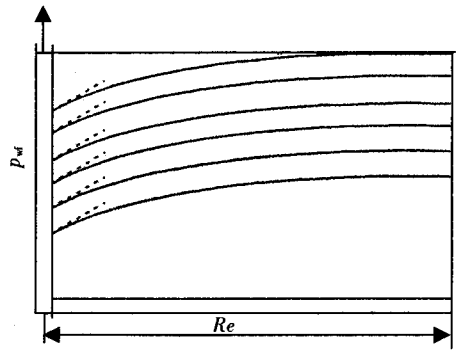

图1 压力波到达封闭边界后压降漏斗曲线

由图1可知，当气体流动进入拟稳定状态时在不同时间气井的压力降落曲线是彼此平行的，即在同一个时间段内地层压力的下降与井底流压下降值是几乎相等的。同时由于气井以稳定的产量进行生产，所以在井底流压和井口套压之间存在稳定的转

* 收稿日期：2004-10-27
基金项目：“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室开放基金项目(PLN0126)资助。
作者简介：邓绍强(1980-)，男(汉族)，重庆合川人，在读硕士研究生，主要从事油藏工程研究。

换关系，由此 L Matter 提出利用井口拟套压与井底拟流压来代替广义物质平衡中的拟地层压力即流动物质平衡公式：

$$p_{wfi}/Z_i = p_{wf}/Z(1 - G_p/G) \quad (1)$$

或者

$$p_{ci}/Z_i = p_c/Z(1 - G_p/G) \quad (2)$$

由此可求解地质储量（图 2）。

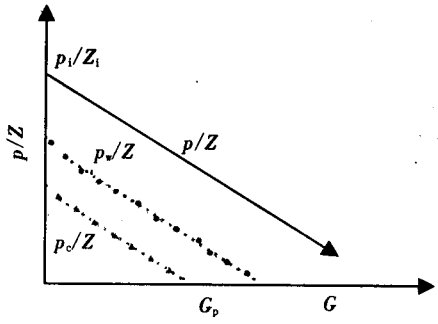

图 2 “流动物质平衡方程”求解地质储量示意图

1.2 油藏影响函数法

1964 年 K H Coats 等人首次提出了用于估算水侵动态的水体影响函数方法，1996 年黄全华在此基础上提出了油藏影响函数[2]，用于裂缝系统储量的早期预测，2003 年又将其推广应用到了气藏中[3]。油藏影响函数的定义为：地层中任意位置处，单位流体流量下地层压力的变化值，即

$$p_i - p(x,y,z,t) = \int_0^t q(x,y,z,t-\tau) \cdot \frac{\partial F(x,y,z,\tau)}{\partial \tau} d\tau \quad (3)$$

对气藏而言，我们用拟压力或者压力平方代替压力项时，在气井井底有

$$m_i - m_{wf}(t) = \int_0^t q(t-\tau) \frac{dF(\tau)}{d\tau} d\tau = \int \frac{dq(\tau)}{d\tau} F(t-\tau) d\tau \quad (4)$$

对于特殊非均质或低渗透的气藏 $F(t)$ 满足以下的级数形式[3]：

$$F(t) = a_0 t + \sum_{j=1}^{\infty} a_j (1 - e^{-b_j t}) = (a_0 t + \sum_{j=1}^{\infty} a_j) - \sum_{j=1}^{\infty} a_j e^{-b_j t} \quad (5)$$

式中，$a_0 \geq 0, a_j \geq 0, b_j \geq 0$ 为相应的常数。利用 $F(t)$—t 直线段的斜率即可以确定气藏的地质储量：

$$G = \frac{S_{gi}}{C_t B_{gi} F'} \quad (6)$$

1.3 采气曲线法

当气井生产进入稳定阶段之后，用试凑法进行生产历史拟合来估算气井地质储量的方法称为采气曲线法[4]。对于有限封闭气藏，结合物质平衡方程和气井产能方程可以推导出：

$$[p_i(1 - G_p/G)]^2 - p_{wf}^2 = Aq + Bq^2 \quad (7)$$

在(7) 式中，p_i, A, B 为已知的数值，由此式可以先根据地质资料先假设一个地质储量值，然后利用实际生产过程中的 q 和 G_p 值计算出相应的 p_{wf}，将所计算出的 p_{wf} 和实际生产过程中测试的 p_{wf} 值作于同一张图中，如果计算的 p_{wf} 与实际的 p_{wf} 相接近，则说明先假设的地质储量是正确的；如果计算的 p_{wf} 高于实际的 p_{wf}，则说明假设的地质储量偏大，反之，则假设的地质储量偏小。这样不断的试凑假设，直到所计算出的 p_{wf} 与实际值相接近为止。

综上所述，以上三种都可以利用气井生产过程中的流动数据，从而达到简便预测低渗透气藏早期地质储量的目的，但以上三种方法同时存在自己的一些适用条件。流动物质平衡法和采气曲线法都依赖于气藏的采出程度，采出程度越高其计算的储量越准确；同时采气曲线法还要依赖于地层流压的准确测定，以此能够预测相对准确的储量；而油藏影响函数法要求有相对准确的气井压力和相关的流体物性参数，以及其求解过程相对较繁杂一些，这给它的实际运用带来了一定的难度。但上述三种方法都具有相对较强的理论基础，只要满足一定条件都可以早期预测低渗气藏相对准确的地质储量。

2 实 例

某气田为一个典型的岩性圈闭气藏，气藏的构造平缓，储层有效厚度为 12.30 m，孔隙度为6.44%，渗透率为 1.93×10^{-3} μm^2，含气饱和度为 78.62%，并且该气藏具有较强的非均质性，这给储量的计算带来了一定的难度。该气藏南区从 1999 年 11 月 1 日投入开发，到 2004 年 6 月 30 日止已经累计采出天然气 10.359×10^8 m^3，采出程度为 8.6%，由于该区块目前投入的开发井较少仍处于试采阶段。我们利用了物质平衡方法（图 3，图 4）和油藏影响函数法（图 5）分别对该区块的一口单井和整个区块的储量进行了计算。

利用采气曲线法进行地质储量的计算，经过试凑假设得到当 A 井和南区的地质储量分别为 6.23

$\times 10^8$ m^{3}和 118.32 $\times 10^8$ m^{3}时，其计算的 p_{wf} 与实际的 p_{wf} 较为接近(图 6)。

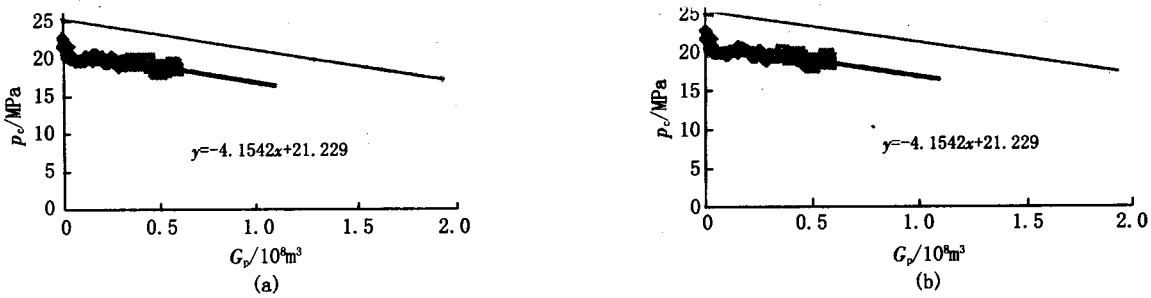

图 3　A 井流动物质平衡求解地质储量图

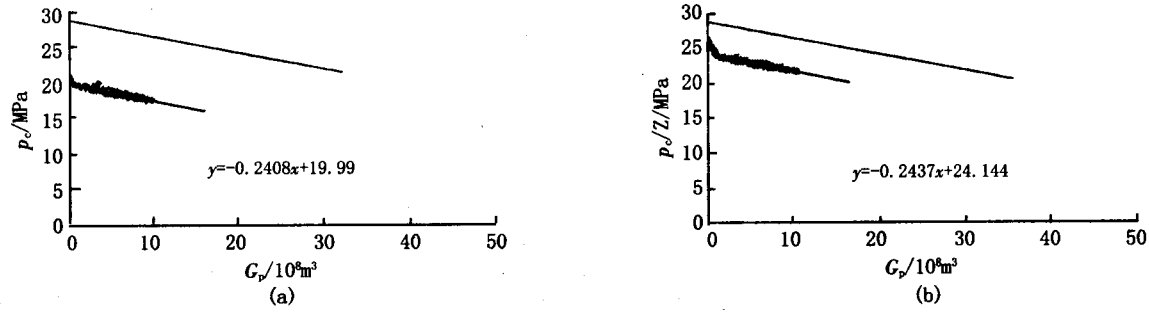

图 4　南区“流动物质平衡方程”求解地质储量图

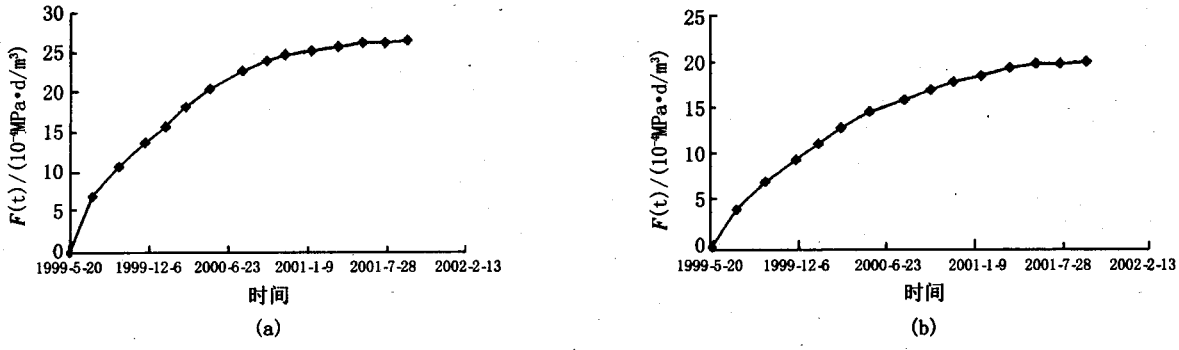

图 5　A 井和南区油藏影响函数曲线

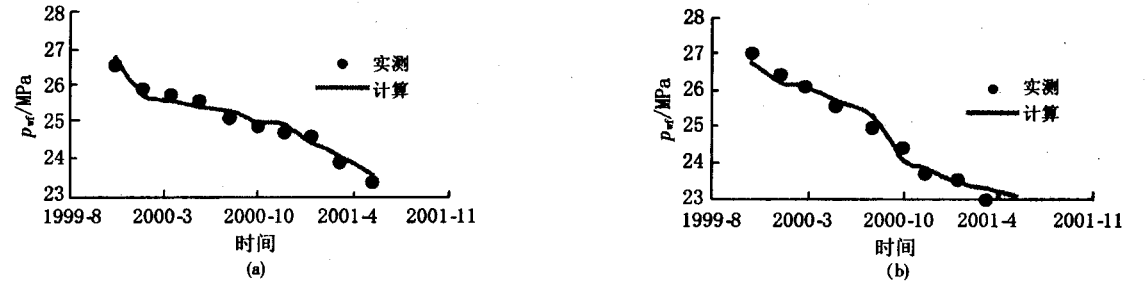

图 6　A 井和南区流压拟合曲线

将不同方法计算的储量结果列于表 1。从计算结果可以看出，流动物质平衡法、油藏影响函数法、采气曲线法以及罗杰斯蒂函数法计算的结果都比较接近，其中以油藏影响函数法和拟套压流动物质平衡法计算的结果更接近。实际计算中发现：由于流动物质平衡法和罗杰斯蒂函数法受采出程度的限制，所以其计算结果偏小。油藏影响函数法仅需短期生产历史数据即可实现地质储量的早期预测，其计算结果受采出程度影响不明显。为了较准确地早期预测低渗气藏地质储量，　(下转第 76 页)

(上接第 35 页)

建议利用拟套压流动物质平衡法和油藏影响函数法。

表 1 A 井与南区储量对比表

区块	地质储量/10^8m^3				
	流动物质平衡法(套压)	流动物质平衡法(拟套压)	油藏影响函数法	采气曲线法	罗杰斯蒂函数法
A 井	6.0402	6.3581	6.46	6.23	3.97
南区	113.3526	120.4903	123.95	118.23	112.53

3 结 论

(1) 针对低渗透气藏早期预测地质储量困难的问题,提出了应用流动物质平衡法、油藏影响函数法以及采气曲线法来预测低渗透气藏早期地质储量。

(2) 通过实际的应用说明三种方法都能够早期预测低渗透气藏或单井控制地质储量。

(3) 流动物质平衡法和试采曲线法简单快捷。

(4) 建议利用拟套压流动物质平衡法和油藏影响函数法进行预测低渗气藏地质储量的早期预测。

符号说明

G、G_p— 天然气地质储量、累积产气量,10^8m^3;q— 日产气量,$10^4m^3/d$;Z— 天然气偏差系数;p_{wf}— 流压,MPa;p_c— 套压,MPa; $F(t)$— 油藏影响函数,$10^{-4}MPa \cdot d/m^3$;t— 时间,日;F'— 油藏影响函数 $F(t)$ 对 t 的导数,MPa/m^3;C_t— 综合压缩系数,1/MPa;S_{gi}— 原始含气饱和度;B_{gi}— 天然气原始体积系数,1/MPa;下标 i— 表示原始地层条件或投产初期。

参考文献:

[1] L Matter, R McNeil. The "flowing" gas material balance [J]. JCPT, 1998, (2): 52 - 55.

[2] 黄全华. 应用油藏影响函数方法针对性研究四川盆地复杂裂缝性油气藏的动态[D]. 西南石油学院, 四川南充, 1996.

[3] 黄全华, 曹文江, 李士伦. 复杂裂缝性油气藏系统储量的早期预测[J]. 西南石油学院学报, 2000, 22(1): 20.

[4] 王鸣华. 气藏工程[J]. 北京: 石油工业出版社, 1997.

(编辑 蒋 红)