

致密碳酸盐岩缝洞型有水气藏的储量计算

——以四川盆地下二叠统气藏为例*

陆正元 王洪辉

(成都理工学院, 四川成都 610059)

张高信 王守冲

(四川石油管理局川东开发公司, 重庆 630021)

四川盆地下二叠统缝洞型气藏为致密碳酸盐岩单一缝洞气藏, 地下总空间体积不大, 地层水水体有限, 区域上没有连片水体存在, 因而气藏中地层水弹性能量可不予考虑, 地层水的产出不应视为边水或底水的侵入, 而是气藏中天然气弹性驱动的结果。据此将由气水共同占据的单一缝洞气藏作为一个整体, 并可认为在气水产出过程中气藏储集空间保持不变, 运用物质平衡法原理推导出有水缝洞型气藏的储量计算方法 $G = \frac{(W_p/B_g) + G_p P_i/Z_p}{P_i/Z_i - P/Z}$ 。对于未产气只产水的缝洞系统, 通过一段时间的排水, 可利用该方法判断水体上方的天然气储量。

关键词 致密碳酸盐岩 缝洞型 有水气藏 储量计算 物质平衡法

第一作者简介 陆正元 男 32岁 副教授(博士) 煤田、油气地质勘探与开发

缝洞型气藏储集空间分布具有高度非均质性, 目前储量计算主要采用弹性二相法和压降法, 而压降法是标定探明储量的主要方法。采用压降法的前提是气藏处于封闭状态, 没有边水或底水活动, 即气藏的储气空间在开发过程中保持不变, 天然气产出完全依赖于自身弹性膨胀。

实际上大部分缝洞型气藏开发中不同程度地产出地层水, 习惯称为有水气藏。现场压降法储量计算中通常忽略水体的大小, 但地层水的产出却改变了地下储集天然气的空间体积, 因而影响储量的计算精度。本文以四川盆地下二叠统缝洞型气藏为例, 推导出封闭性有限范围储集体——缝洞系统有水气藏动态储量计算方法。

1 地质特征

1.1 极不均质且范围不大的缝洞空间展布

四川下二叠统碳酸盐岩基质岩块总体上为低孔、低渗, 不具备油气储渗价值, 缝洞不发育时应归入非储层范畴。地下天然气储渗空间主要为裂缝和溶洞, 钻遇缝洞发育带则产出高产流体。缝洞具有极不均质的空间分布, 干井附近可钻遇高产气井, 已枯竭的气井附近可钻获仍保持原始地层压力的新气井; 同层内各生产井之间可能互不连通, 但不同层的生产井却可能具

* 本文为“油气藏地质及开发工程”国家重点试验室资助项目(9603)

有统一的压力连通关系。通常将由地下裂缝网络及其所连接的溶孔、溶洞并被不渗透致密岩体所包围,在开发中具有统一压力的连通体系称为缝洞系统^[1]。缝洞系统是下二叠统中油气勘探开发的最小单元,实际上具有油气藏的概念,应作为天然气探明储量计算的基本单元。

1.2 缝洞系统中水体不大,地层水能量极为有限

四川盆地下二叠统普遍为多缝洞系统,相互之间为致密岩体分隔,如典型的川南纳溪构造1994年底钻穿或钻达下二叠统的47口井中,22口井为干层,获气井25口分属23个缝洞系统,其中21口井为单井缝洞系统,说明下二叠统天然气储量的高度分散性。单一缝洞系统的储集空间体积不大,决定了其中地层水的水体不大,区域上没有连片水体,地层水本身弹性能量极为有限。缝洞型气藏中地层水的产出主要是缝洞系统中有限水体之上天然气弹性驱动的结果,产水井可以通过排水找气方法获得水体之上的天然气^[2]。

2 计算方法

四川盆地下二叠统有水缝洞型气藏有其特殊性,不能采用具有边水或底水对气藏水侵的物质平衡法计算储量。根据前述缝洞型气藏的地质特征,在不考虑岩石弹性膨胀的情况下,当地下水气共存的单一缝洞系统,在某一生产时间内采出一定量的天然气和地层水体积后,地层压力由 P_i 降为 P ,而地下缝洞系统的总储集空间保持不变,据此可以得出有水缝洞型气藏的物质平衡方程为:

$$G B_{gi} + W B_{wi} = (G - G_p) B_g + (W - W_p) B_w \quad (1)$$

式中 G, W 为压力为 P_i 时缝洞系统的天然气和地层水储量/ m^3 ; G_p, W_p 为压力由 P_i 降为 P 时缝洞系统的累计产出气量和水量/ m^3 ; B_{gi}, B_g 为压力为 P_i 和 P 时天然气的体积系数; B_{wi}, B_w 为压力为 P_i 和 P 时,地层水的体积系数。

考虑到缝洞系统中水体有限,压力变化引起的地层水弹性能量不大,可以近似地忽略地层水体积系数的变化,平衡方程(1)可简化为:

$$(G_p B_g) + W_p = G (B_g - B_{gi}) \quad (2)$$

该式物理意义是,缝洞型气藏中天然气和地层水的产出主要为地下天然气弹性膨胀所致,气藏开发为有限封闭空间的弹性气驱,从而导出有水缝洞型气藏储量计算公式为

$$G = \frac{(G_p B_g) + W_p}{B_g - B_{gi}} \quad (3)$$

由于天然气体积系数可表示为

$$B_g = \frac{P_{sc} Z T}{P T_{sc}} \\ B_{gi} = \frac{P_{sc} Z_i T}{P_i T_{sc}} \quad (4)$$

式中 P_{sc}, T_{sc} 为标准条件下的气体压力(0.101 325 MPa)和温度(293K); P, T 为地层条件下的气体压力/MPa和温度/K; Z, Z_i 为分别是地层压力为 P 和 P_i 时的天然气压缩因子。

将 B_g, B_{gi} 代入式(3),整理得

$$G = \frac{(W_p / B_g) + G_p}{P_i / Z_i - P / Z} P_i / Z_i \quad (5)$$

若封闭性缝洞型气藏中没有地层水产出,则(5)式可写成

$$G = \frac{G_p}{P_i/Z_i - P/Z} P_i/Z_i \quad (6)$$

这就是常用的天然气储量压降法计算公式。当地层产出水量不大时,缝洞型储量计算中可以不考虑产出水体,直接应用压降法公式(6)。但是,当缝洞型气藏中产出水量较大(与产气量相比)时,公式(5)和(6)两者必然相差很大,利用常规纯气藏压降法计算的储量显然偏低,不能代表地下真实气藏储量。对于类似四川下二叠统中的这种定容封闭性有水气藏应采用式(5)计算储量。

生产过程中有多个不同阶段测压资料的情况下,可借鉴常规压降法储量计算方法,建立 P/Z 与 $(W_p/B_g) + G_p$ 之间的线性关系,当 P/Z 等于零时的 $(W_p/B_g) + G_p$ 的值就是地下缝洞型气藏的控制地质储量,这样可消除一部分因测量引起的随机误差。

3 应用实例

3.1 D22 井系统

D22 井位于 DX 构造顶部(图 1),1975 年 12 月在该井下二叠统测试日产气 $16.44 \times 10^4 \text{ m}^3$,日产水 15 m^3 ,1975 年 12 月 18 日投产后,产水量逐渐上升,仅生产半年即被水淹,水淹后间歇产气。1978 年 6 月 12 日在 D22 井之南所钻 D24 井下二叠统,测试过程中产出地层水 $23.54 \times 10^4 \text{ m}^3$,动态观察证明 D24 井畅喷时,D22 井关井压力明显下降,证明二者属同一缝洞系统。另外在 D22 井南北稍低部位先后完钻的 D7、D21 井下二叠统也是高产水井,是否与 D22 井连通不详。通常认为 DX 构造下二叠统储层中以水为主,仅残存一小气顶,D22 井位于气水界面附近,地层水极为活跃,估计 D22 井系统天然气储量为 $0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。但若考虑到气藏驱动能量为弹性气驱,则实际储量远高于此值。

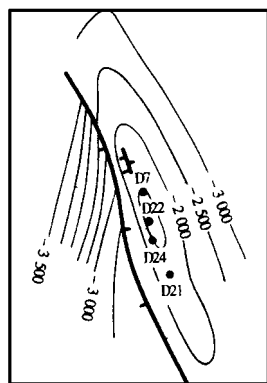


图 1 D22 井位置图

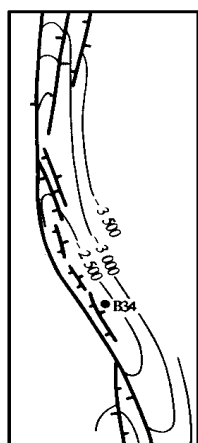


图 2 B34 井位置图

D22 井下二叠统原始地层压力约 39.23 MPa,生产过程中有两次比较可靠的关井地层压力测量。统计不同地层压力时该系统(包括 D24 井)的累计产气量、累计产水量,建立 D22 井系统的 P/Z 与 $(W_p/B_g + G_p)$ 的线性回归关系为:

$$P/Z = 37.6259 - 4.6467 \times 10^{-8} [(W_p/B_g) + G_p]$$

相关系数为 -0.9999,具有很好的线性关系。据此计算该系统水体之上储集有 $8.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气。正是这一较大储量天然气的存在才使得该系统在采出大量气水后,仍保持很高的地层压力。

由于 D22 井井下有大致落鱼,排水难度很大,几番修井均未成功。我们研究认为可通过 D24 井排出地层水,降低气水界面,从而可使 D22 井变成纯气井。

3.2 B34 井系统

B34 井位于构造顶部(图 2),1978 年钻至下二叠统顶部井喷产水报废。进一步勘探价值不大。由于 B34 井钻井放喷中累计喷水达 $22.77 \times 10^4 \text{ m}^3$,每日喷水达 3000~10000 m^3 被认为背斜内气藏已受到破坏。我们根据地层压力和产水动态等资料论证,则认为 B34 井系统中可能存在可观天然气,通过排水可以获得钻井不曾发现并

难以钻遇的天然气。这一论证意见为生产单位采纳并实施, B34 井从 1991 年 1 月 26 日开始排水, 经过近 2 年的产纯水阶段后, 到 1993 年 10 月底排水 $264\ 525\ \text{m}^3$, 累计采气 $140.2 \times 10^4\ \text{m}^3$, 天然气稳定产量已达 $1.3 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$, 初步证实该井系统中存在较为可观天然气储量。

B34 井下二叠统未能获得可靠的原始地层压力资料, 我们采用排水找气过程中多次关井测量的地层压力、累计产气量和产水量等资料计算该系统储量, 建立如下的线性回归关系

$$P/Z = 39.8\ 601 - 7.668 \times 10^{-8} [(W_p/B_g) + G_p]$$

相关系数为 -0.933 , 说明线性关系密切。据此求得 B34 井缝洞系统储量为 $5.20 \times 10^8\ \text{m}^3$ 。证明在该系统开展排水找气工作的正确性, 相信通过进一步排水, 气产量将越来越高。

4 结束语

局限小范围封闭性有水缝洞型气藏的储量计算应考虑产出水量。利用物质平衡法推导出有水缝洞型气藏储量计算方法, 可为正确评价产水缝洞系统含气性和水淹井进一步挖掘提供依据。对于产水井或气水同产井, 应收集好产出气量和水量, 并获取不同阶段的地层压力, 这样才能保证天然气储量计算的精度。

致谢: 本研究得到罗蛰潭、陈立官教授指导, 特此致谢!

参 考 文 献

- 1 张继铭编. 中国石油地质志(卷 10)四川油气区. 北京: 石油工业出版社, 1989. 187~ 205
- 2 陈立官, 李鸿智, 刘文碧等. 试论在川南阳新统中找气的新途径——排水找气. 天然气工业, 1986, 6(3): 35~ 41

RESERVE CALCULATION OF FRACTURE-CAVED WATER-BEARING GAS RESERVOIRS IN DENSE CARBONATE ROCKS

——AN EXAMPLE OF LOWER PERMIAN GAS POOLS

Lu Zhengyuan Wang Honghui

Zhang Gaoxin Wang Shouchong

(Chengdu Institute of Technology, Chengdu, Sichuan) Sichuan Development Co., Sichuan Petroleum Administration

Abstract

The fracture-caved gas reservoirs of Lower Permian in Sichuan Basin are a kind of dense carbonate monotonic fracture-caved reservoirs. The total subsurface space volume of the reservoirs is not large, the formation water body is limited and no areal continuous water exists. The elastic drive energy of formation water in the reservoirs would be negligible, formation water outflow is the result of gas elastic drive rather than the intrusion of edge water or bottom water. On this base, the water-gas reservoir of monotonic fracture-cave type could be considered as a whole, and the reservoirs space would remain unchanged. Thus the reserve calculating equation of the reservoir could be deduced: $G = \frac{G_p}{P_i/Z_i - P/Z} P_i/Z_i$. As for those produce water only, this equation could also be used to calculate the gas reserve above formation water after a period of water outflow.