

物质平衡法在气体钻井中的应用研究^{*}

张杰^{1,2,3} 廖忠会² 张磊² 王希勇² 蒋祖军²

(1. 中国石化西南分公司博士后工作站 2. 中国石化西南分公司工程技术研究院 3. 西南石油大学)

张杰等. 物质平衡法在气体钻井中的应用研究. 天然气工业, 2007, 27(2): 52-53.

摘要 空气钻井可以大幅度地提高钻井速度, 最大程度地保护和发现储层, 已经逐渐成为国内外钻井界研究应用的热点新技术之一。但是, 一个具体的气藏能否开展气体钻井, 将受到地层压力的严格限制。异常高压气藏经过长时间开采后, 地层压力通常会有大幅度的下降, 有可能满足气体钻井需要。为此, 以物质平衡法为基础, 建立了计算异常高压气藏地层压力的新方法, 并根据工程实际需要进行简化, 得出了简便、易于操作的计算公式。对川西地区主力气藏目前的地层压力进行了预测, 对该方法在实际应用中可能遇到的问题也进行了讨论, 给出了相应的建议。该预测方法简单、快捷, 不需要进行试井测试和复杂的试井解释, 计算精度能够满足实际气体钻井工程设计的要求。

关键词 钻井 高压气藏 压力预测 气藏工程 物质平衡 气体钻井

尽管国外现在已经能够在地层压力系数高达 1.6~1.8 的异常高压气藏开展气体钻井施工, 但是, 地层压力太高, 井底、井口压力无法得到有效控制, 容易造成钻井安全事故。因此, 出于安全考虑, 通常在进行气体钻井设计时, 都把地层压力作为判断一个气藏能否开展气体钻井的关键指标之一。对于异常高压气藏, 经过多年的开采, 地层压力会有较大幅度的降低, 但是目前的地层压力究竟是多少, 能否开展气体钻井, 是气体钻井设计之前必须弄清楚的参数。获取地层压力的方法和途径很多, 常用的方法是试井测试。尽管这种方法可以比较准确地解释出地层压力和其他地层参数, 但是, 在当前各个油气田生产任务都很重的情况下, 人们一般都不会采用这种会影响生产的方法来获取地层压力。一种直接的、简单的获取地层压力的方法就是物质平衡, 虽然运用物质平衡法得到的地层压力不如试井解释出的地层压力准确, 但是也是完全能够满足工程施工要求的。

一、异常高压气藏物质平衡方程的建立

对于一个统一的水动力学系统的气藏, 在建立物质平衡方程式时, 所作的基本假设如下。

(1) 气藏中的气, 水在任一压力下瞬间达成平衡。

(2) 气藏温度在开发过程不变。

(3) 不考虑毛细管力和重力。

(4) 各部位的采出量均衡。

在这些假设之下, 就可把储集天然气的多孔介质系统简化为一个储集气的地下容器。在这个地下容器内, 随着气藏的开采, 气、水的体积变化服从物质守恒原理, 即在地层压力下降 (Δp) 的过程中, 累积产出天然气和水在压力 (p) 下的地下体积 $G_p B_g + W_p B_w$, 应等于地层压力下降 (Δp) 而引起的地下天然气的膨胀量、束缚水的膨胀和气藏孔隙体积的减少引起的含气孔隙体积减少量以及天然累积水侵量之和。由此即可建立气藏的物质平衡方程式:

$$G_p B_g + W_p B_w = (GB_g - GB_{gi}) + GB_{gi} \left(\frac{C_w S_{wi} + C_i}{1 - S_{wi}} \right) \Delta p + W_e \quad (1)$$

式中: G 、 G_p 分别为原始可动储量、累积产气量 (0.0101 MPa 和 20 °C); B_{gi} 、 B_g 分别为地层原始、现在的天然气体积系数; B_w 为地层水的体积系数; C_w 、 C_i 分别为地层水、岩石的压缩系数, 1/MPa; S_{wi} 为地

^{*} 本文为中国石化科学技术研究开发项目“川西特殊复杂地层气体钻井技术应用研究”(编号: P06059)的研究成果。本文作者还有西南石油大学的陈平。

作者简介: 张杰, 1976 年生; 2005 年毕业于西南石油大学获油气井工程专业博士学位, 现在中国石化西南分公司博士后工作站从事气体钻井技术应用研究。地址: (618000) 四川省德阳市龙泉山北路 298 号。电话: 13309027629。E-mail: swpivip@163.com

层原始含水饱和度; W_e 、 W_p 分别为天然累积水侵量、累积产水量。

由式(1)整理,得:

$$G = \frac{C_p B_g - (W_e - W_p B_w)}{B_{gi} \left[\left(\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right) + C_i \Delta p \right]} \quad (2)$$

式中: $C_i = \frac{C_w S_{wi} + C_f}{1 - S_{wi}}$ 。

又因 $B_g = \frac{p_{sc} Z T}{p T_{sc}}$ $B_{gi} = \frac{p_{sc} Z_i T}{p_i T_{sc}}$

带入式(2),经过进一步的整理可以得到:

$$\frac{p}{Z} = \frac{p_i}{Z_i} \left(\frac{1 - G_p/G}{1 - C_i \Delta p - \omega} \right) \quad (3)$$

式中:水侵体积系数 $\omega = (W_e - W_p B_w)/V_{gi}$; 天然气占原始体积 $V_{gi} = G B_{gi}/(1 - S_{wi})$ 。

二、异常高压气藏物质平衡方程的简化

为了便于工程应用,将以上推导得到的方程式在一定误差范围内进行简化。

异常高压气藏与正常压力封闭气藏的主要区别在于,异常高压气藏压力高,地层压实不够彻底,在开采初期会产生再压实,因而压差项不能忽略,需要考虑 C_i 和 ω 的影响。但是,对于异常高压气藏来说,通常由于周围泥岩可能的再压实和有限封闭边水的弹性水侵很小,而与 C_i 相比可以忽略不计;另外,一般地,异常高压气藏的封闭性都比较好,水侵量不会太大, ω 项也可以忽略不计。因此式(3)可以简化为:

$$\frac{p}{Z} = \frac{p_i}{Z_i} \left(1 - \frac{G_p}{G} \right) \quad (4)$$

通常,对于一个特定的天然气藏,原始可动储量和当前累积产气量都是已知的,因此,式(4)等号右端是可以容易确定的。偏差因子(Z)是压力(p)的函数,可以采用试算法进行求解。

三、计算实例

某气藏主要产层平均深度为 2300 m,原始地层压力约为 45 MPa,地层压力系数接近 2.0,属于典型的异常高压天然气藏。该气藏天然气地质储量为 $180 \times 10^8 \text{ m}^3$,累计已经采出天然气 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。利

用式(4)可以计算得到,该气藏目前地层压力为 28.36 MPa,地层压力系数已经降到 1.23 左右(低于正常地层压力系数上限 1.5),已经属于正常天然气藏压力系统,开展气体钻井的风险相对较小。

应用本文建立的方法预测得到的结果与实际地层压力(30.67 MPa)比较接近,误差小于 10%,这种简便的预测方法完全可以满足气体钻井设计需要,具有很好的实际应用价值。

四、结 论

实际地层压力预测应该结合邻井生产资料,充分考虑油气层渗流对地层压力分布规律的影响,才能够获得比较准确的地层压力。但是,如果仅仅为了得到一个地层压力的参考值,以评价开展气体钻井的可行性,本文给出的简便方法足以满足实际工程需要,可以在一定范围内进行推广应用。

参 考 文 献

- [1] 李士伦,王鸣华,何江川,等.气田与凝析气田开发[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 黄炳光,冉新权,李晓平,等.气藏工程分析方法[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [3] 杨克明,徐进,等.川西坳陷致密碎屑岩领域天然气勘探成藏理论与勘探开发方法技术[M].北京:地质出版社,2004.
- [4] 陈元千.确定异常高压气藏地质储量和可采储量的新方法[J].新疆石油地质,2002(6).
- [5] 朱义东,等.异常高压气藏地质储量计算新方法[J].大庆石油地质与开发,2005(1).
- [6] 卢晓敏,等.气藏动态预测物质平衡法研究[J].天然气勘探与开发,1999(3).
- [7] 田文忠,等.异常高压油(气)藏物质平衡新方法的应用评价[J].西南石油学院学报,2005(3).
- [8] 唐雪清,译.储层压力分析[J].天然气勘探与开发,1996(4).
- [9] 徐文芹.确定储层压力的新途径[J].大庆石油地质与开发,2001(6).

(收稿日期 2006-06-13 编辑 钟水清)