

文章编号:1673—2677(2007)02—0031—02

新场气田气井井底压力计算

张建忠¹, 张志全¹, 于洋洋¹, 程红云², 李立武³, 王 辉⁴

(1. 长江大学石油工程学院, 湖北 荆州 434023; 2. 胜利油田分公司孤岛采油厂, 辽宁 东营 257000;
3. 吉林油田分公司乾安采油厂, 吉林 松原 131400; 4. 江汉油田分公司江汉采油厂, 潜江 433100)

摘 要:新场气田气井长期生产以来, 井底的压力下降情况不清楚。鉴于目前的供气紧张状况和工艺技术的限制, 无法测量出地下气层的压力。本文在参考了相关文献的基础上, 采用了平均法和 Cullender & Smith 方法, 成功地解决了求取井底静压和流动压力的问题, 有利于对比新场气田的合理产能及动态储量做出正确地价。

关键词:气井; 井底压力; 编程计算; 静止气柱; 流动气柱

中图分类号:TE332

文献标识码:A

在气藏工程和采气工艺中, 气井井底压力是一项十分重要的数据。为了取得这个数据, 一种方法是将压力计下入井底实测, 另一种则是通过测量井口的压力, 经过计算求得井底压力^[1]。

1 压缩系数 Z 值的计算

Z 值的求取有查图版法和直接计算法, 选用了直接计算法。计算法中又包括几种不同的方法。经过比较, 选用了 Robinson 法^[2]。

$$Z = 1 + (A_1 + A_2/T_{pr} + A_3/T_{pr}^3)\rho_{pr} + (A_4 + A_5/T_{pr})\rho_{pr}^2 + A_5A_6\rho_{pr}^5/T_{pr} + (A_7\rho_{pr}^2/T_{pr}^3)(1 + A_8\rho_{pr}^2\exp(-A_8\rho_{pr}^2)) \quad (1)$$

$$\rho_{pr} = 0.27p_{pr}/(ZT_{pr}) \quad (2)$$

式中, $A_1 - A_8$ 为常数, 其中

$$A_1 = 0.31506237; \quad A_2 = -1.0467099;$$

$$A_3 = -0.57832729; \quad A_4 = 0.53530771;$$

$$A_5 = -0.61232032; \quad A_6 = -0.104888137;$$

$$A_7 = 0.68157001; \quad A_8 = 0.68446549$$

1.1 求解思路

已知 P, T 欲计算系数 Z , 可将(1)、(2)两式联立解 ρ_{pr} , 再将 ρ_{pr} 回代到(2)式中, 即可求出 Z 值。

首先将两式相减得

$$F(\rho_{pr}) = \rho_{pr} - 0.27p_{pr}/T_{pr} + (A_1 + A_2/T_{pr} + A_3/T_{pr}^3)\rho_{pr}^2 + (A_4 + A_5/T_{pr})\rho_{pr}^3 + A_5A_6\rho_{pr}^6/T_{pr} + (A_7\rho_{pr}\rho_{pr}^3)(1 + A_8\rho_{pr}^3)\exp(-A_8\rho_{pr}^2) = 0 \quad (3)$$

用牛顿迭代法求解, 对式(3)求导得

$$F'(\rho_{pr}) = 1 + 2(A_1 + A_2/T_{pr} + A_3/T_{pr}^3)\rho_{pr} + 3(A_4 + A_5/T_{pr})\rho_{pr}^2 + 6A_5A_6/T_{pr}\rho_{pr}^5 + A_7/T_{pr}^3(3\rho_{pr}^2 + 3A_8\rho_{pr}^4 - 2A_8^2\rho_{pr}^6)\exp(-A_8\rho_{pr}^2) \quad (4)$$

1.2 求解过程

(1) 首先令 $Z = 1$, 用 $\rho_{pr} = 0.27P_{pr}/(ZT_{pr})$ 求 ρ_{pr} ;

(2) 用(3)式计算 $F(\rho_{pr})$;

(3) 用(4)式计算 $F'(\rho_{pr})$;

(4) 利用牛顿迭代格式求新的 ρ_{pr} 的数值

$$\rho_{pr}^{k+1} = \rho_{pr}^k - F(\rho_{pr})/F'(\rho_{pr})$$

(5) 将值 ρ_{pr} 迭代, 求 Z 值, 然后重复上述步骤, 直到 $F(\rho_{pr}) \approx 0$ 时为止;

(6) 将满足精度要求的回代到(2)式中求得 Z 值。

2 静止气柱井底压力计算

气井关井时, 油管和环形空间内的气柱都不流

收稿日期: 2007-01-22

作者简介: 张建忠(1981-), 男, 毕业于长江大学石油工程专业, 现为长江大学石油工程学院油气田开发工程专业在读硕士生。

动,井口压力稳定后,测量井口的最大关井压力,可以按静止气柱公式计算气层压力。

2.1 平均法^[2]

$$P_{ws} = P_u \exp(0.030415\gamma_g H / (TZ)) \quad (5)$$

$$T = (T_u + T_{ws})/2 \quad (6)$$

式中, P_{ws} 为井底压力, MPa; P_u 为井口压力, MPa; γ_g 为气体相对密度; H 为井口到气层的深度, m; T 为井筒内气体平均绝对温度, K; T_u, T_{ws} 为分别表示静止气柱的井口、井底绝对温度, K; P 为井筒气体的平均压力, MPa, $P = (P_u + P_{ws})/2$; Z 为井筒气体的平均偏差系数, $Z = (Z_u + Z_{ws})/2$; Z_u, Z_{ws} 分别表示静止气柱井口、井底条件下的气体偏差系数

2.2 Cullender & Smith 方法^[2]

将井深 H 等分为二, 即分为井口至井筒中点 ($H/2$), 中点至井底两段, 分别计算压力值。经过公式推导, 通过 I 值的间接计算来计算井底压力。对于井筒中点、地表和井底 3 个结点处, 分别用以下公式计算 I 值:

$$I_m = T_m Z_m / P_m \quad (7)$$

式中, P_m 为中点的未知压力; I_m 为在中点时的 I 值; Z_m 为中点条件下的偏差系数; T_m 为中点条件下的温度。

$$I_u = T_u Z_u / P_u \quad (8)$$

式中, P_u 为井口压力; I_u 为地表条件下的 I 值; Z_u 为地表的偏差系数; T_u 为地表温度。

$$I_{ws} = T_{ws} Z_{ws} / P_{ws} \quad (9)$$

式中, P_{ws} 为井底压力; I_{ws} 为井底条件下的 I 值; Z_{ws} 为井底的偏差系数; T_{ws} 为井底温度。

在井筒内的中间点和井底的压力值, 由以两个公式求得。

对于上段油管, 中间点压力的值为

$$P_m = P_u + 0.030415\gamma_g H / (I_m + I_u) \quad (10)$$

对于下段油管, 井底压力的值为

$$P_{ws} = P_m + 0.030415\gamma_g H / (I_m + I_{ws}) \quad (11)$$

根据这种思路, 应用 Visual Basic 分别编制出这两种方法的计算程序。

3 流动气柱井底压力计算

如果气井正在生产, 天然气在井筒内流动, 通过测量产气井井口的压力同样可以计算井底的压力。经过比较仍然选用了 Cullender 和 Smith 计算方法, 在计算流动气柱时, 解题思路与计算静止气柱类似, 也是分两段计算。只不过重新定义了 I 值的计算方法。

$$I = P / (TZ) / ((P/TZ)^2 + F^2) \quad (12)$$

其中 $F^2 = 1.324 \times 10^{18} f Q_u / d^5$ 式中, f 为摩擦系数; Q_u 为标准状态下气体流量, m^3/d ; d 为油管内径, m。

求解公式类似于静止气柱的计算公式:

$$P_{mf} = P_f + 0.030415\gamma_g H / (I_{mf} + I_f) \quad (13)$$

$$P_{wf} = P_m = P_{ms} + 0.030415\gamma_g H / (I_{ms} + I_{ws}) \quad (14)$$

式中, P_f, P_{mf}, P_{wf} 分别表示地表、中间点和井底的流动压力, MPa; I_f, I_{mf}, I_{wf} 分别是地表、中间点和井底的 I 值。

4 井底压力计算实例

以新 851 井为例简要介绍一下计算过程, 该井于 2003 年完钻, 射孔井段 1224 ~ 1230m, 2005 年 9 月份测量井口油管压力为 8.5 MPa, 日产天然气 $2.1 \times 10^4 m^3$, 气体的组份分析见表 1。

表 1 新 851 井气体组份分析 %

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	IC ₄	IC ₅	N ₂	CO ₂
93.74	0.94	0	0.03	0	4.82	0.47

通过组份分析, 首先计算出天然气的平均分子量为 16.89, 然后计算出它的相对密度为 0.5832。并且计算出它的假临界温度为 189.16K, 假临界压力为 4.5575MPa 油层中部深度取 122 m, 温度是 340.6K。由于该井正在生产, 因此用计算流动气柱的程序去计算, 将以上各值输入到编制好的程序中, 计算出该井的井底流动压 9.30195MPa。

5 结束语

在四川盆地川西凹陷中段新场大气田, 天然气的开发方兴未艾, 相关配套技术蓬勃发展。对于气井, 在不下压力计的情况下求取井底压力这一问题, 通过参考文献资料, 编制了这套程序, 圆满地解决了这一问题。不但能通过关井后的井口静压值求井底的静压力, 而且还能够通过计量生产气井的井口流压来计算井底的流动压力。

参考文献:

- [1] 唐泽尧, 吴继余, 徐中英. 气田开发地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [2] 杨继盛. 采气工艺基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [3] 钟孚勋, 贺伟, 冯曦. 气藏工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.