

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<sup>1</sup>, 张志全<sup>1</sup>, 于洋洋<sup>1</sup>, 程红云<sup>2</sup>, 李立武<sup>3</sup>, 王 辉<sup>4</sup>

(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<sup>[1]</sup>。

## 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<sup>[2]</sup>。

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

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

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  $\rho_{pr}$ , 再将  $\rho_{pr}$  回代到(2)式中, 即可求出  $Z$  值。

首先将两式相减得

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

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  $\rho_{pr}$ ;
- (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  $\rho_{pr}$  的数值  $\rho_{pr}^{k+1} = \rho_{pr}^k - F(\rho_{pr})/F'(\rho_{pr})$
- (5) 将值  $\rho_{pr}$  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 and 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<sup>[2]</sup>

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

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

式中,  $P_{ws}$  为井底压力, MPa;  $P_u$  为井口压力, MPa;  $\gamma_g$  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<sup>[2]</sup>

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  $F^2 = 1.324 \times 10^{18} f Q_w / d^5$  式中,  $f$  为摩擦系数;  $Q_w$  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:

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

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

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 <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	IC <sub>4</sub>	IC <sub>5</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
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.