

考虑凝析油析出时的底水凝析气藏 见水时间预测新方法*

张烈辉¹ 严谨² 李允¹ 李晓平¹ 罗涛³ 胡勇³ 钟兵³ 陈军¹

(1. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油学院 2. 西南石油学院研究生部

3. 中国石油西南油气田分公司)

张烈辉等. 考虑凝析油析出时的底水凝析气藏见水时间预测新方法. 天然气工业, 2004; 24(7): 74~75

摘要 底水凝析气藏气井见水时间预测通常忽略了凝析油析出的影响, 因此造成预测结果与实际结果有较大差异。为了更好地开发底水凝析气藏, 需考虑析出的凝析油的影响。为此, 文章在一定的简化条件下, 根据描述水锥现象的相对简单的解析模型来讨论水锥的形成, 推导出底水凝析气藏在凝析油析出时的见水时间预测公式。通过实例分析说明在对底水凝析气藏见水时间的预测时必须考虑凝析油的影响。该公式为深入研究水锥的机理以及控制见水时间等提供了有力的依据, 这对做好底水凝析气藏的生产管理工作是十分有帮助的。

关键词 凝析油气田 底水 锥进 凝析油 时间 预测

对于开采底水油(气)藏, 人们最关心的问题是生产井何时见水, 以便适时地采取应对措施。而对于凝析气藏, 当地层压力下降到露点压力时, 地层中出现凝析油液相, 则地下为油、气、水三相, 使渗流过程复杂化。此外凝析气藏一旦见水, 如果生产压差过大, 水将进入气藏造成水锁, 由于毛管力的作用, 水锁很难解除, 这将大大降低凝析气藏的生产能力。因此凝析气藏见水时间的预测显得更为重要。

模型建立

在具有底水的气藏中部分钻开一口气井, 原始气水接触面是水平的。在零时刻并以某个产量开始生产, 使气水接触面向井中锥进(见图1)。

为了求解这个问题, 在推导过程中作如下假设:
①均质地层; ②水驱气以活塞方式进行, 并在水侵入的地区中形成滞留的不流动的气体饱和度; ③忽略毛管力和重力, 流动主要由粘性力来控制; ④气和水具有恒定的粘度和密度; ⑤钻开深度相对于气层的厚度来说是比较小的; ⑥气和水的流动受达西定律支配; ⑦水锥外面气层中的压力梯度也作用于水锥内面的水; ⑧凝析油在地下不流动。

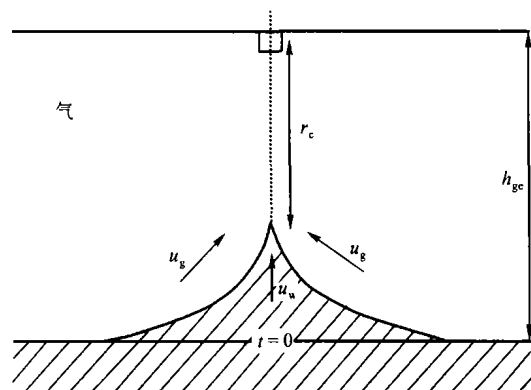


图1 计算水锥突破的流动图形

对于浅的钻开深度, 流体向井的运动可以认为是球状的。根据达西定律, 对于球状流的气相的压力梯度(P_g), 表示为:

$$\frac{dP_g}{dr} = -u_g(r) \frac{\mu_g}{K_{giw}} \quad (1)$$

由于假定这个压力梯度对水锥的水也起作用, 因此对于水锥顶点处的水的体积速度为:

$$u_w(r_c) = -\frac{K_{wgr}}{\mu_w} \frac{dP_g}{dr} = \frac{K_{wgr}}{\mu_w} \frac{\mu_g}{K_{giw}} u_g(r_c) \quad (2)$$

* 本文是中国石油天然气集团公司“九五”重点科技工程项目“有水气藏油藏工程方法研究”的部分研究成果, 该项目2003年获国家科技进步二等奖。

作者简介: 张烈辉, 教授, 博士生导师, 1967年生; “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室研究人员, 主要从事特殊油气藏渗流、复杂油气田开发及油气藏数值模拟方面的教学和科研工作。地址: (610500) 四川省成都市新都区。电话: (028) 83032736。E-mail: zlhdyzbn@163.com

在孔隙介质中, $u_w(r_c)$ 在 dt 时间内移动的距离为:

$$dr = u_w(r_c) \cdot dt / \phi \quad (3)$$

考虑原生水饱和度(S_{wi})、残余气饱和度(S_{gr})和 dt 时间内地下反凝析油饱和度的变化量(dS_o), 则

$$dt = \frac{\phi(1 - S_{wi} - S_{gr} - dS_o)}{u_w(r_c)} dr \quad (4)$$

$$\text{又} \quad \frac{dS_o}{dt} = \frac{q_g dC}{2\pi r_b h \phi dr}$$

$$\text{则} \quad \left[1 + \frac{q_g dC}{2\pi r_b h u_w(r_c)} \right] dt = \frac{(1 - S_{wi} - S_{gr})}{u_w(r_c)} dr \quad (5)$$

而凝析油阻塞半径(r_b)的计算公式为:

$$r_b = 101 \frac{q_g}{h} \sqrt{\frac{\mu_g Z T y t}{S_{oc} \phi K p_R}} \quad (6)$$

认为投产前气水界面为水平, 且 $r_c = h_{gc}$ (当 $t = 0$), 则式(5)积分得水锥突破时间:

$$t_{bt} + \frac{r_c(h-b)M_{gw}dC\sqrt{S_{oc}\phi K p_R}}{101q_g\sqrt{\mu_g Z T y}}\sqrt{t_{bt}} = \int_0^{h_{gc}} \frac{\phi(1 - S_{wi} - S_{gr})}{u_w(r_c)} dr \quad (7)$$

$$\text{令} \quad B = \frac{r_c(h-b)M_{gw}dC\sqrt{S_{oc}\phi K p_R}}{101q_g\sqrt{\mu_g Z T y}}$$

将式(7)整理得:

$$t_{bt} + B\sqrt{t_{bt}} = M_{gw} \frac{1 - S_{wi} - S_{gr}}{1 - S_{wi}} \int_0^{h_{gc}} \frac{\phi(1 - S_{wi})}{u_g(r_c)} dr \quad (8)$$

式(8)的右边积分项表示水相质点从原始气-水界面直接移动到井底所需要的时间。当该气井在地层条件下产出气量 $q_g B_g$ 等于半径为 h 的球体的一半时, 该气相质点到达井底。所以式(8)的积分项可写为:

$$\int_0^{h_{gc}} \frac{\phi(1 - S_{wi})}{u_g(r_c)} dr = \frac{2\phi(1 - S_{wi})\pi h^3}{3q_g B_g} \quad (9)$$

将式(9)代入式(8)得:

$$t_{bt} + B\sqrt{t_{bt}} = M_{gw} \frac{2(1 - S_{wi} - S_{gr})\pi h^3}{3q_g B_g} \quad (10)$$

$$\text{令} \quad C = M_{gw} \frac{2(1 - S_{wi} - S_{gr})\pi h^3}{3q_g B_g}$$

则水锥的突破时间为:

$$t_{bt} = \frac{1 - 2\sqrt{B^2 + 4C} + B^2 + 4C}{4} \quad (11)$$

如果不考虑地层中凝析油的析出, 则水锥的突破时间为:

$$t_{bt} = M_{gw} \frac{2(1 - S_{wi} - S_{gr})\pi h^3}{3q_g B_g} \quad (12)$$

实例计算

某凝析气藏原始地层压力为 31.654 MPa, 气藏

温度 326.75 K, 原始气体的粘度 0.00337 mPa·s, 原始气体偏差系数 1.059, 气层厚度 40.9 m, 射孔深度 10 m, 气层孔隙度 0.13, 气层有效渗透率 $1.542 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 气体的体积系数 0.009, 残余气饱和度 0.10, 在 S_{gr} 下的水相相对渗透率为 0.3, 在 S_{wir} 下的气体相对渗透率为 0.8, 原生水饱和度 0.25, 凝析油的临界饱和度 0.35, 气井以 $10 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 生产, 把有关数据代入式(11), 得气井得见水时间为 902 d; 如果不考虑凝析油影响, 则得气井的见水时间为 938 d, 而该井实际上 885 d 见水。由此可见, 底水凝析气藏见水时间的预测必须考虑凝析油的影响。

结论及建议

(1) 本文是基于一个简化的渗流模型而导出的水锥突破时间的计算公式, 但还是反映了控制水锥突破的主要参数, 可作为估算水锥突破时间的基本参考指标。

(2) 当地层压力低于露点压力时, 地层中析出的凝析油对气藏的见水时间有一定影响, 计算时必须考虑凝析油饱和度的变化量。

(3) 流度比(M_{gw})及 S_{wi} 、 S_{gr} 、 h 均是控制见水时间的重要参数。

符号说明

b 为射孔深度, m; B_g 为气体体积系数, km^3/m^3 ; dC 为单位气体中凝析油的变化量, m^3/m^3 ; h 为气藏有效厚度, m; h_{gc} 为气水界面到气层顶部的距离, m; K 为气藏的有效渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; K_{wgr} 为在残余气饱和度下, 水层中水相的渗透率; K_{gw} 为在原始水饱和度下, 气层中气相渗透率; M_{gw} 为气/水流度比, $M_{gw} = \frac{K_{gw}/\mu_g}{K_{wrg}/\mu_w}$; p_R 为油藏压力, MPa; q_g 为气井的稳定产气量, m^3/d ; r 为径向半径, m; r_b 为凝析油的阻塞半径, m; r_c 为水锥顶点与井间的距离, m; r_e 为气井的供给半径, m; S_o 为凝析油的饱和度, f; S_{oc} 为凝析油的临界饱和度, f; T 为油藏温度, K; u_g 为气体的体积速度, m^3/s ; y 为反凝析因子, $\text{m}^3/(\text{MPa} \cdot \text{m}^3)$; Z 为气体偏差系数; ϕ 为气藏有效孔隙度, f; μ_g 为地层气体粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 。

参 考 文 献

- 1 Muskat M. Physical principle of oil production, first edition, Mc Graw-Hill Book Company, Inc
- 2 张烈辉, 贺伟. 裂缝性底水气藏单井水侵模型. 天然气工业, 1994; 14(6)
- 3 黄炳光, 刘蜀知编著. 实用油藏工程与动态分析方法. 北京: 石油工业出版社, 1998

(收稿日期 2004-04-22 编辑 韩晓渝)