

# 塔里木盆地沙雅隆起

## 轮台凝析气藏气井见水时间预测

王利刚, 杨小腾, 金朝康, 吕晶, 张奎

(中国石油化工股份有限公司西北油田分公司雅克拉采气厂, 新疆库车 842017)

**摘要:** 轮台气藏是位于塔里木盆地沙雅隆起雅克拉断凸东段的底水凝析气藏, 气藏投入开发后气井见水严重, 预测气井见水时间对开发有重要指导意义。基于 Sobocinaki-Cornelius 方法, 利用已见水井数据, 校正无因次锥高与无因次时间的相关关系式。通过校正后的关系式, 计算已见水井 L5 井的见水时间与实际见水时间的误差为 9.24%; 计算出未见水井 L2 井见水时间为 12 年, 并对该结果合理性做了分析。

**关键词:** 气井; 见水时间; 轮台凝析气藏; 塔里木盆地

中图分类号: TE372

文献标识码: A

## Prediction of water breakthrough time for gas well in Luntai condensate gas field, Shaya uplift, Tarim Basin

Wang Ligang, Yang Xiaoteng, Jin Zhaokang, Lü Jing, Zhang Kui

(YaKeLa Gas Production Plant, SINOPEC Northwest Oilfield Company, Kuqa, Xinjiang 842017, China)

**Abstract:** Locating in the eastern Yakela fault of the Shaya uplift of the Tarim Basin, the Luntai gas pool is a condensate gas pool with bottom water. Water breaks through severely since production; hence the accurate prediction of water breakthrough time is critical for guiding development. Based on data from watered well, by means of Sobocinaki-Cornelius method, the relationship between dimensionless coning height and dimensionless coning time is corrected. The error between predicted and actual water breakthrough times in watered well L5 is 9.24%. The water breakthrough time in well L2 is predicted as 12 years, and the rationality of the result is analyzed.

**Key words:** gas well; water breakthrough time; Luntai condensate gas pool; Tarim Basin

20 世纪 50 年代, 应用砂岩物理模型 Sobocinaki-Cornelius 研究了油藏底水锥进过程与锥进时间的相关关系<sup>[1]</sup>; 李传亮教授根据达西定律, 基于底水锥进原理, 提出了无隔板与带隔板底水油藏见水时间的计算公式<sup>[2]</sup>; 朱圣举在前人研究基础上, 对原带隔板底水油藏见水时间的预报公式进行了改进<sup>[3]</sup>; 王会强等基于多孔介质中流体质点的渗流规律, 对底水油气藏双重不完善井的水锥突破时间进行了研究<sup>[4]</sup>; 徐耀东利用数值模拟方法, 推导出底水气藏的无因次锥高与无因次时间的相关关系式<sup>[1]</sup>。但因气藏属性参数不同, 前人推导的公式在轮台凝析气藏存在较大差异。本文在 Sobocinaki-Cornelius 方法的基础上, 通过已见水井数据, 校正无因次锥高与无因次时间的相关关系式, 建立了适合轮台凝析气藏的气井见水时间预测公式。

### 1 计算原理

#### 1.1 产量的折算

因塔里木盆地轮台气藏为凝析气藏, 地面的凝析油和干气在地下均以气态单项流动, 因此在计算时必须将地面凝析油、干气两相流体折算成视日产气量:

$$Q_{\text{气}} = Q_{\text{g}} + 24.056\gamma_{\text{o}}Q_{\text{o}}M_{\text{o}} \quad (1)$$

其中

$$M_{\text{o}} = 4.429\gamma_{\text{o}}Q_{\text{o}}/(1-\gamma_{\text{o}}) \quad (2)$$

式中:  $Q_{\text{气}}$  为视日产气量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $Q_{\text{g}}$  为日产气量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $\gamma_{\text{o}}$  为凝析油相对密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $Q_{\text{o}}$  为日产油量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $M_{\text{o}}$  为凝析油分子量。

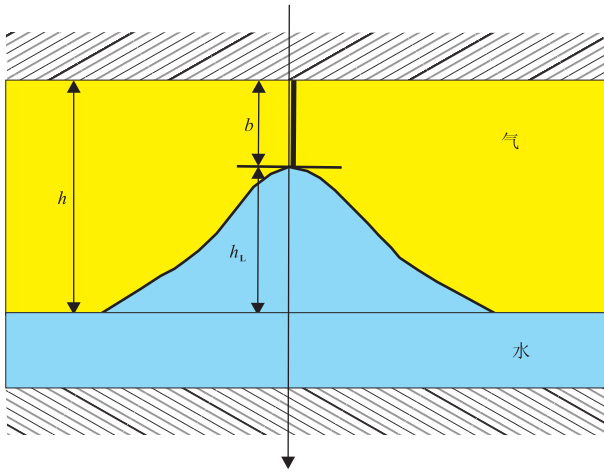
图1 水锥几何尺寸示意<sup>[1]</sup>

Fig.1 Geometry diagram of water cone

## 1.2 无因次锥高与无因次时间计算

如图1所示,地层含气高度为 $h$ ,气下面是底水;生产井完井段长度为 $b$ ,井底到气水界面的距离为 $h-b$ ,水锥体顶点距原始气水界面的高度为 $h_L$ 。参照Sobocinaki和Cornelius对油藏无因次锥高与无因次时间的定义,气藏无因次锥高( $Z$ )与无因次时间( $t_d$ )的定义为<sup>[1]</sup>:

$$Z = \frac{0.005\ 254(\rho_w - \rho_g)k_h h h_L}{\mu_g B_g W_{gt}} \quad (3)$$

$$t_d = \frac{0.000\ 418(\rho_w - \rho_g)k_h(1+M^\alpha)t}{\mu_g \phi h F_k} \quad (4)$$

式中: $\rho_w$ 为地层水密度, $g/cm^3$ ; $\rho_g$ 为天然气地下密度, $g/cm^3$ ; $k_h$ 为地层水平渗透率, $10^{-3}\ \mu m^2$ ; $F_k$ 为水平与垂直渗透率之比; $\mu_g$ 为天然气地层粘度, $mPa \cdot s$ ; $B_g$ 为天然气体积系数, $m^3/m^3$ ; $t$ 为时间, $d$ ; $\phi$ 为孔隙度; $M$ 为流度比, $\alpha$ 为指数,取值为 $M < 1$ 时, $\alpha = 0.5$ ; $M \geq 1$ 时, $\alpha = 0.6$ 。

Sobocinaki和Cornelius根据实验得到油藏水锥突破曲线,Kou和Desbrisay建立了一个精确拟合突破曲线的方程<sup>[1]</sup>:

$$t_d = \frac{Z(16+7Z-3Z^2)}{28-8Z} \quad (5)$$

在 $t_d$ 确定基础上,由公式(4)可以计算底水实际突破时间<sup>[1]</sup>:

$$t = \frac{\mu_g \phi h F_k t_d}{0.000\ 418(\rho_w - \rho_g)k_h(1+M^\alpha)} \quad (6)$$

Sobocinaki-Cornelius方法中无因次锥高与无因次时间的相关关系是根据油水两相实验得到的。由于气藏与油藏渗流规律的差异较大,利用该方法计算

的气藏底水锥进突破时间与实际突破时间存在较大的偏差,因此需要重新确定气藏无因次锥高与无因次时间的相关关系式。

## 2 公式推导

假设轮台气藏的无因次锥高( $Z'$ ), $Z' = \alpha Z$ ;无因次时间( $t_d'$ ), $t_d' = b t_d$ , $a, b$ 为校正系数。二者关系满足公式(5),则

$$t_d' = \frac{Z'(16+7Z'-3Z'^2)}{28-8Z'} \quad (7)$$

整理得公式:

$$t_d = \frac{\alpha Z(16+7\alpha Z-3\alpha^2 Z^2)}{b(28-8\alpha Z)} \quad (8)$$

将2口已见水井(L6和L7井)数据(表1)代入公式(8)。

表1 L6和L7井无因次锥高与无因次时间数据

Table 1 Dimensionless coning height and dimensionless coning time of wells L6 and L7

井号	无因次锥高	见水无因次时间
L6	0.25	63.02
L7	3.77	74.42

求得 $a=0.768\ 0$ , $b=0.003\ 4$ 。所以轮台气井无因次锥高与无因次时间关系为:

$$Z' = 0.768 Z \quad (9)$$

$$t_d' = 0.003\ 4 t_d \quad (10)$$

$$t_d = \frac{225.88Z(16+5.376Z-1.769Z^2)}{(28-6.144Z)} \quad (11)$$

利用另一口已见水井,检验结果准确性。L5井2007-11-25投产,2010-09-29见地层水,见水时间为1 039 d。

将校正后的 $t_d'$ (表2)代入公式(6),计算见水时间为943 d,与实际值相差96 d,误差9.24%。计算结果比较合理,说明该方法适合轮台气井见水时间预测。

表2 L5井无因次锥高与无因次时间数据

Table 2 Dimensionless coning height and dimensionless coning time of well L5

	无因次锥高	无因次时间
原始	1.02	0.71
校正后	0.78	207.93

### 3 实例计算

利用上述方法,对该构造上未见地层水井 L2 井进行见水时间预测。

该气藏水的密度为  $1.084 \text{ g/cm}^3$ ,地层气密度  $0.1887 \text{ g/cm}^3$ ,天然气粘度  $0.04787 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ,天然气体积系数  $0.003361 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,流度比  $0.5$ ,地层水平渗透率  $15.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,含气高度  $24.47 \text{ m}$ ,水锥体高度  $13.94 \text{ m}$ ,天然气产量  $77663 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

将以上数据依次代入公式(3)、(11)和(9)、(10),计算出校正后的无因次锥高和无因次时间(表3)。

表3 L2井无因次锥高与无因次时间数据  
Table 3 Dimensionless coning height and dimensionless coning time of well L2

	无因次锥高	无因次时间
原始	2.03	1.97
校正后	1.56	577.23

将校正后的无因次时间代入公式(6),计算得到见水时间为  $4362 \text{ d}$ 。

利用该方法计算 L2 井见水时间为  $12 \text{ a}$ ,现已稳定生产  $5.2 \text{ a}$ ,说明仍能稳定生产  $6.8 \text{ a}$ ,结果合理。分析认为主要有以下 2 点原因:

(1)构造位置优势。L2 井位于轮台凝析气藏的高部位,原始避水高度  $33.93 \text{ m}$ ,与已见水井避水高度相差  $6 \sim 15 \text{ m}$ ,到目前生产  $5.2 \text{ a}$  未见地层水。

(2)气藏水锥速度降低。轮台构造受见水影响,开井率低,见水井产能递减快,导致该构造采速下降,延缓了底水锥进速度。

### 4 结论

1)结合塔里木盆地轮台凝析气藏特点,将地面凝析油折合为气体体积,使计算结果更合理。

2)在 Sobocinaki-Cornelius 的方法基础上,利用校正系数,建立了适合轮台气藏的见水时间预测公式。

3)该方法简便快捷,能够较为准确地预测底水凝析气藏的见水时间,可以有效指导开发工作。

4)该方法忽略了凝析油析出的影响,所以计算结果存在一定误差,但都在工程允许误差范围内。

#### 参考文献:

[1] 徐耀东. 底水气藏气井见水时间预测方法[J]. 内蒙古石油化工,2012(2):149-151.

[2] 李传亮. 带隔板底水油藏油井见水时间预报公式[J]. 大庆石油地质与开发,1997,16(4):49-50.

[3] 朱圣举. 预测无隔板底水油藏油井见水时间的修正式[J]. 新疆石油地质,1999,20(1):56-57.

[4] 王会强,李晓平,杨琪,等. 底水气藏见水时间预测方法[J]. 新疆石油地质,2007,28(1):92-93.

(编辑 徐文明)

(上接第 11 页)

和测井响应特征进行了进一步的深入分析,在能谱测井和地球化学元素测井的基础上对测井曲线的响应特征进行了规律性的总结和探讨,并对鹰山组进行了精细划分。地层的横向对比表明,划分的鹰山组 4 个测井岩性段具有较好的可对比性,为后期鹰山组的精细分析及有利勘探目标优选奠定了较好的基础。

#### 参考文献:

[1] 黄隆基. 放射性测井原理[M]. 北京:石油工业出版社,1992.

[2] 魏国,赵佐安. 元素俘获谱(ECS)测井在碳酸盐岩中的应用探讨[J]. 测井技术,2008,32(3):285-288.

[3] 阳孝法,林畅松. 自然伽马能谱在塔中地区晚奥陶世碳酸盐岩层序地层分析中的应用[J]. 石油地球物理勘探,2010,45(3):384-391.

[4] 高志前,樊太亮,薛艳梅,等. 塔中地区加里东中期古地貌特征及沉积控制[J]. 大庆石油学院学报,2007,31(2):21-24.

[5] 蔡习尧,钱一雄,陈跃,等. 塔中地区中下奥陶统划分与对比[J]. 新疆石油地质,2007,28(3):292-295.

[6] 刘忠宝,谢华锋,于炳松,等. 塔中地区西部奥陶系岩溶发育特征及其与关键不整合面的关系[J]. 地层学杂志,2007,31(2):127-132.

(编辑 徐文明)