

# 定量预测清蜡周期方法的探讨

韩志国 李玉仁

(大庆石油管理局)

本文推导了建立在层流模型上的清蜡周期的定量计算方法,对影响结蜡的某些因素作了定量解释。从计算公式和图例可以看出:含蜡量越高、管壁和杆壁粗糙度越大及溶解油气比越大,越易结蜡。当流速高于某一值时,结蜡量与流速成反比。从实际井例验证认为,文中推荐的清蜡周期预测(28.3天)方法与实际清蜡周期(30天)是吻合的。

**主题词** 油井 定量 预测 结蜡 周期 计算方法 清蜡

作者韩志国,1966年生。1988年毕业于大庆石油学院,现在采油四厂工程技术大队工作,助理工程师。李玉仁,1940年生。1967年毕业于东北石油学院,现任采油四厂工程技术大队高级工程师。

油井结蜡是普遍存在的现象。此现象对油井的正常生产有消极影响,应当在适当时候将蜡晶清掉,因此,有必要预测结蜡周期。本文试图用定量方法来确定井液在层流状态时的清蜡周期。

## 结蜡过程分析

油井结蜡其主要原因是流体从油层流到井底再沿井筒上升到井口的过程中,压力和温度逐渐下降。压力下降的结果是使溶解在原油中的天然气逸出,造成原油对蜡质溶解能力的下降;温度下降造成原油对蜡质溶解度降低。两种结果都会使溶解在原油中的蜡质结晶析出,并粘附在粗糙的抽油杆、油管壁上。由于是层流,粘附在抽油杆上、油管上的蜡晶又会不断吸附原油中析出的蜡,聚集直至长大。

## 定量推导过程

由于沿井筒方向上温度和压力的不断变化,故组成流体的组分也不断变化。

设地面产油量为 $Q_0$ ,地面含蜡率为 $f_w$ , $S_a$ 为溶解油气比(指在压力 $P$ 和温度 $T$ 下溶解于相当 $1\text{m}^3$ 地面脱气原油中的天然气,折算到标准状态下的体积)。

因此在 $P$ 、 $T$ 状态下溶解在流体中的气量为 $M_g$ ,

$$M_g = Q_0 \cdot S_a \cdot G_s \quad (1)$$

式中  $G_g$  ——天然气的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

所以  $P, T$  状态下原油含蜡率  $f_y$  为

$$f_y = G_o Q_o f_p / (G_i Q_o + Q_o S_a G_g) = G_o f_p / (G_i + S_a G_g) \quad (2)$$

式中  $G_o$  ——纯油密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$G_i$  ——  $P, T$  状态下的原油密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

若蜡质组分在流体中均匀分布, 在结蜡管段处, 其单位体积内蜡质组分分布的质量—分布密度为  $F_d$

$$F_d = V G_i f_y f_o / V = G_i f_y f_o \quad (3)$$

$$f_o = \frac{B_o + S_a Z P_a T / (P T_a)}{B_o + Z P_a T / (P T_a) \times (S_p - S_a) + R} \quad (4)$$

式中  $V$  ——结蜡管段处流体的体积,  $\text{m}^3$ ;

$f_o$  ——  $P, T$  状态下, 油流体积与流体体积之比,  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;

$B_o$  ——  $P, T$  状态下原油体积系数,  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;

$Z$  ——天然气的压缩因子, 无因次;

$P_a$  ——标准状态下的压力, 取 98.066 5kPa;

$T_a$  ——标准状态下的温度, 取 293.15K;

$S_p$  ——生产油气比,  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;

$R$  ——水油比,  $\text{m}^3/\text{m}^3$ 。

设油管粗糙度为  $e_t$ , 以  $e_t$  为半径差的环形区域的体积的一半为凹凸不平的起伏所占, 则另一半在单位时间内捕集的蜡量为  $M_p$

$$\begin{aligned} M_p &= 0.5 Q_o F_d \Delta V \\ &= 0.5 Q_o F_d \pi L [(D_i + 2e_t)^2 - D_i^2] / 4 \\ &= 0.5 \pi Q_o F_d L (D_i e_t + e_t^2) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{其体积 } V_p = M_p / G_p = 0.5 \pi Q_o F_d L (D_i e_t + e_t^2) / G_p \quad (6)$$

式中  $G_p$  ——蜡的密度, 取 920  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$L$  ——结蜡管段长度,  $\text{m}$ 。

$$\text{设 } A_t = 0.5 \pi Q_o F_d (D_i e_t + e_t^2) / G_p \quad (7)$$

$$\text{则 } V_t = A_t L \quad (8)$$

该体积在单位时间内吸附在油管壁上的厚度为  $x_t$ , 则

$$\begin{aligned} \pi L [(D_i + 2x_t)^2 - D_i^2] / 4 - V_t &= 0 \\ \pi x_t^2 + \pi D_i x_t - A_t &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$x_t = \frac{-\pi D_i + \sqrt{(\pi D_i)^2 + 4\pi A_t}}{2\pi} \quad (10)$$

同理, 单位时间内聚集在抽油杆上蜡的体积为  $V_r$

$$V_r = 0.5 \pi Q_o F_d L (D_r e_r + e_r^2) / G_p = A_r L \quad (11)$$

式中  $D_r$  ——实用抽油杆直径(此处应指接箍直径),  $\text{m}$ 。

所以抽油杆上的结蜡速度为  $x_r$

$$x_r = \{ -\pi D_i + [(\pi D_i)^2 + 4\pi A_r]^{1/2} \} / 2\pi \tag{12}$$

若沉积在油管和抽油杆壁上蜡的总厚为  $h$  时,油井不能正常生产,则清蜡周期为  $\tau$

$$\tau = h / 2(x_o + x_r) \tag{13}$$

以上计算较为粗略。若精确计算应考虑单位时间内沉积在杆壁上和管壁上的体积虽然相等,但由于直径的逐渐变化,因而结蜡速度逐渐变化。故可用迭代法将每次有效直径代入式(8)和式(11)计算每次蜡沉积厚度,直至累加厚度接近不能正常生产时的厚度。

### 结 论

从式(7)、(11)、(12)可以说明如下问题:

1. 结蜡速度与原油组成有关,从上述公式可以看出,含蜡量越高,越易结蜡。
2. 管壁和杆壁粗糙度越大,越易结蜡,如图1所示。从图1还可看出,当流速高于某一值时,结蜡量与流速成反比。这是因为流动状态由层流变为紊流时,流体对管壁蜡晶的冲刷力大于管壁对蜡晶的吸附力的缘故。

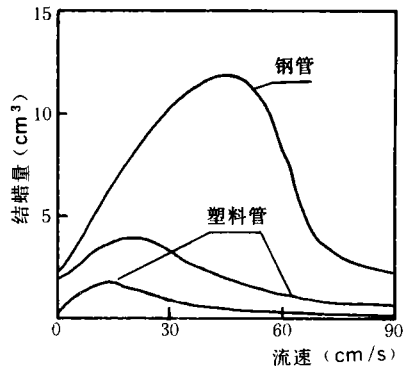


图1 流速与结蜡量的关系

3. 溶解油气比越大,越易结蜡。这是因为在流体上升过程中,压力降到饱和压力之后,气体边分离边膨胀,产生吸热现象,使流体温度降低,有利于蜡的结晶和析出。

图2是其它参数不变,清蜡周期和溶解油气比的关系曲线。图3为溶解油气比  $S_a$  和初始结晶温度关系曲线。可以看出,溶解油气比越大,初始结晶温度越低,越易结蜡。

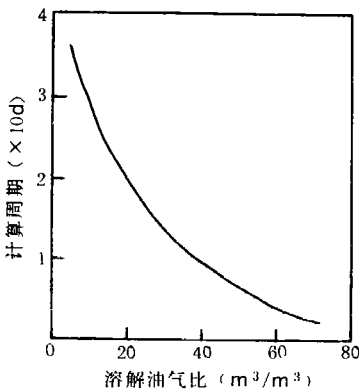


图2 溶解油气比( $m^3/m^3$ )

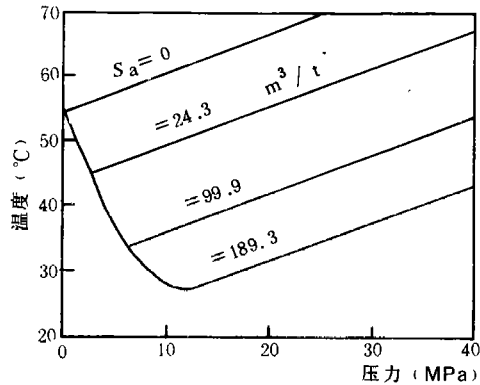


图3 初始结晶温度和压力、溶解油气比的关系

## 几点说明

从上面的叙述不难看出,本文公式推导是建立在下面两个假设上的:

1. 油管、抽油杆只能在以粗糙度为半径差的环形区域内捕集蜡晶。这是因为粗糙度值(数量级为  $10^{-5}\text{m}\sim 10^{-3}\text{m}$ )远大于分子作用半径(数量级为  $10^{-10}\text{m}$ )。

2. 层流时,蜡晶是逐层、均匀地吸附在油管或抽油杆表面上的。

本文推导时没有考虑管壁、杆壁对蜡晶的吸附力以及流体对管壁、杆壁的冲刷力。因此,在紊流状态时,应当以  $Q_0$  的单调递减函数代替式(5)中的  $Q_0$  加以校正。

本文虽定量探讨了结蜡机理,但由于影响结蜡因素较多,探讨也是不全面的,因此希望同行给予批评、指正。

## 现场实例

例如杏 5-2 丙-43 井日产液  $Q_y=23\text{t/d}$ , 日产油  $Q_o=17\text{t/d}$ , 油气比为  $80\text{m}^3/\text{t}$ , 井口油压  $P_i=0.23\text{MPa}$ , 井口产液温度为  $t_1=24.6^\circ\text{C}$ , 该井含蜡  $f_D=20\%$ , 纯油密度  $G_o=848.5\text{kg/m}^3$ , 天然气密度  $G_g=0.7\text{kg/m}^3$ , 井液密度  $G_y=884.3\text{kg/m}^3$ , 该井泵深  $B_s=995.8\text{m}$ , 油井初始结蜡点深度  $h=600\text{m}$ , 此时温度  $t_2=45^\circ\text{C}$ , 油管内径  $D_i=62\text{mm}$ , 抽油杆接箍直径  $D_r=46\text{mm}$ , 杆壁和管壁粗糙度  $e=0.15\text{mm}$ , 预测清蜡周期。

解得结蜡初始点的压力  $P_{\infty}$  近似为

$$P_{\infty}=P_i+hG_y=0.23+600\times 883.4\times 9.8\times 10^{-6}=5.24(\text{MPa})$$

所以结蜡管段处平均压力  $P$  为

$$P=(P_i+P_{\infty})/2=2.872(\text{MPa})$$

求该平均压力和平均温度  $t=(t_1+t_2)/2$  下的溶解油气比  $S_0$  和体积系数  $B_0$ 。

该原油 API 密度为  $35.25\text{kg/m}^3$

$$\delta_0=G_o(1-3.644\times 10^{-3})=0.61$$

当原油密度  $G_o$  小于  $876.2\text{kg/m}^3$  时

$$C_1=0.0178$$

$$C_2=1.187$$

$$C_3=23.931$$

$$C_4=4.67\times 10^{-4}$$

$$C_5=1.1\times 10^{-5}$$

$$C_6=1.337\times 10^{-9}$$

溶解油气比  $S_0$  为

$$S_0=0.1781C_1\delta_0(0.145P)^{C_2}\exp[(C_3\text{API})/(1.8t+32)]=18.7(\text{m}^3/\text{m}^3)$$

体积系数  $B_0$  为

$$B_0=1+5.615C_4S_0+\text{API}/\delta_0(1.8t-28)(C_5+5.61C_6S_0)=1.018(\text{m}^3/\text{m}^3)$$

水油比  $R=0.30\text{m}^3/\text{m}^3$ 。

压缩因子可用迭代法或查图版得  $Z=0.975$ 。

(下转第 90 页)

~50t,不含水,有效期达1501d,增油22766t,减水18855m<sup>3</sup>。

(2)明105井。该井位于断层附近,射开S<sub>2</sub>上<sup>1</sup>和S<sub>2</sub>下<sup>2-4</sup>层,进行全井合采。其中S<sub>2</sub>上<sup>1</sup>深度1515.0~1517.8m,2.8m/1层,为负压吸水裂缝水淹层,同时出砂严重,使S<sub>2</sub>下<sup>2-4</sup>油层的油倒灌进S<sub>2</sub>上<sup>1</sup>。由于层间压差大,无法下封隔器卡封生产,油井日产油下降到1.3t,含水87%。用112复合堵剂封堵S<sub>2</sub>上<sup>1</sup>后,日产油17.5t,不含水。该井累计增油4726t,减水1561m<sup>3</sup>。

### 三、结论

1. 122复合堵剂是一种非选择性堵剂,主要用于封堵油水井管外串槽和各种单一出水层;
2. 本封堵技术原理可靠,封堵强度大,成功率高,有效期长;
3. 122复合堵剂材料来源广、价格低,单井材料费约0.5~1.0万元。

(本文收到日期:1992年7月15日)

[本文责任编辑 霍启汉]

—————  
(上接第85页)

P、T状态下原油的密度G<sub>t</sub>为

$$G_t = G_o - 7.01 \times 10^{-4} = 848.49(\text{kg/m}^3)$$

P、T状态下原油含蜡量f<sub>y</sub>由(2)式得f<sub>y</sub>=19.7%

$$f_o \text{ 由(4)式得 } f_o = 0.515\text{m}^3/\text{m}^3$$

$$F_d \text{ 由(3)式得 } F_d = 86.15\text{kg/m}^3$$

蜡密度取G<sub>w</sub>=920kg/m<sup>3</sup>。

依据式(7)、(10)、(11)和(12)可算出杆壁和管壁上的结蜡速度分别为

$$x_t = 1.634 \times 10^{-9}\text{m/s}$$

$$x_r = 1.634 \times 10^{-9}\text{m/s}$$

所以清蜡周期τ为

$$\tau = \frac{(62-46) \times 10^{-3}}{1.634 \times 10^{-9} + 1.634 \times 10^{-9}} = 2.433 \times 10^6(\text{s}) = 28.3(\text{d})$$

实际上该井正常生产30天后卡泵。

(本文收到日期:1992年4月6日)

[本文责任编辑 万冰蓉]

### 参 考 文 献

- [1] 王鸿勋等:《采油工艺原理》,石油工业出版社,1984年4月
- [2] 陈家琅:《水力学》,石油工业出版社,1985年4月
- [3] M. Vazquez and H. D. Beggs: Correlations for Fluid Physical Property Prediction, JPT, 1986. 3
- [4] D. L. Katz et al.: 《Handbook of Natural Gas Engineering》, McGraw Hill Book Co. Inc., New York, 1959