

考虑优势通道发育的层状水驱油藏 开发指标预测方法

陈红伟¹,冯其红^{1*},张先敏¹,王相²,周文胜³,耿艳宏³

(1.中国石油大学(华东)石油工程学院,山东 青岛 266580; 2.常州大学石油工程学院,
江苏 常州 213016; 3.中海油研究总院,北京 100027)

摘要:高含水期层状水驱油藏普遍发育优势通道,与常规油藏渗流特征不同,注入水在优势通道中的流动可视为高速非达西渗流,但现有的层状水驱油藏开发指标预测方法尚未考虑优势通道的影响。为此,基于油藏工程和渗流力学理论,考虑注入水在优势通道中的高速非达西渗流,推导并建立了层状水驱油藏开发指标预测方法。该方法可以计算优势通道发育的层状水驱油藏的含水率和采出程度等开发指标,定量反映优势通道渗透率和厚度对油藏开发动态的影响。实例分析表明,随着优势通道渗透率和厚度的增大,油藏层间矛盾更加突出,小层中正常储层的采出程度降低,优势通道中注水量增大,注水利用率降低,油藏整体开发效果变差。该方法准确地反映了优势通道发育的层状水驱油藏的生产特征,可用于指导该类油藏的开发调整。

关键词:层状水驱油藏 开发指标预测 优势通道 高速非达西渗流 层间矛盾

中图分类号:TE341

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2017)04-0072-06

A method of development index prediction for multi-layer waterflooding reservoir with preferential flow path

Chen Hongwei¹, Feng Qihong¹, Zhang Xianmin¹, Wang Xiang², Zhou Wensheng³, Geng Yanhong³

(1.School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum(East China), Qingdao City, Shandong Province, 266580, China; 2.School of Petroleum Engineering, Changzhou University, Changzhou City, Jiangsu Province, 213016, China; 3.CNOOC Research Institute, Beijing City, 100027, China)

Abstract: Large numbers of preferential flow paths exist in the multi-layer waterflooding reservoirs in high water cut stage. Being different with general oil reservoirs, the injection water obeys high velocity non-Darcy flow in the preferential flow paths. However, the present methods of development index prediction for the multi-layer waterflooding reservoirs do not take the preferential flow paths into account. Based on reservoir engineering theory and fluid mechanics in porous medium, considering the high velocity non-Darcy flow of injection water in the preferential flow paths, a method of development index calculation for multi-layer waterflooding reservoir was derived and proposed. This method can calculate the development indices such as water cut and oil recovery degree. It can reflect the effect of permeability and thickness of the preferential flow paths on production performance quantitatively. Results present that the interlayer contradiction increases with the increasing of permeability and thickness of the preferential flow paths. The recovery degree of normal reservoirs in the layer decreases. The injected water volume of the preferential flow path becomes larger, resulting in lower utilization factor of water injection and worse development effect. This method can exactly reflect the production characteristic of multi-layer-

收稿日期:2017-04-06。

作者简介:陈红伟(1990—),女,河北唐山人,在读博士研究生,从事油气田开发理论与系统工程研究。联系电话:15553241585, E-mail: chenhwpc@163.com。

*通讯作者:冯其红(1969—),男,四川南充人,教授,博导。联系电话:(0315)86981915, E-mail: fengqihong@126.com。

基金项目:国家科技重大专项“海上高含水期油藏大井距井网加密矢量优化与注采结构调整技术”(2016ZX05025001-006), 教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT1294)。

er waterflooding reservoir with preferential flow path and it can be used to guide the development adjustment for this kind of reservoir.

Key words: multi-layer waterflooding reservoir; development index prediction; preferential flow path; high velocity non-Darcy flow; interlayer contradiction

层状水驱油藏经过长期高速注水开发,储层中易发育优势通道,注入水在优势通道中的流动可视为高速非达西渗流^[1]。在预测高含水期层状水驱油藏开发指标时,应考虑优势通道的影响^[2-3]。中外学者利用渗流力学理论及油藏工程方法,对层状水驱油藏开发指标预测方法进行了大量的研究^[4-8]。现有的开发指标预测方法基本建立在达西定律的基础上,也有部分学者考虑了流体非达西渗流,建立并完善了层状水驱油藏开发指标预测方法。其中,邓英尔等建立了具有启动压力梯度的油水两相渗流理论及开发指标计算方法^[9];冯其红等建立考虑启动压力梯度的层状油藏开发指标预测方法^[10]。但是,考虑了流体非达西渗流的指标预测方法主要是针对油藏存在启动压力梯度的情况,尚未考虑到流体在优势通道中高速非达西渗流的情况,无法为优势通道发育的层状水驱油藏的开发调整提供依据^[11-13]。

为此,针对优势通道发育的层状水驱油藏,考虑注入水在优势通道中的高速非达西渗流,基于油藏工程和渗流力学理论,推导并建立了层状水驱油藏开发指标预测方法,预测油藏的含水率及产液比例等指标的动态变化,定量地反映优势通道渗透率和厚度对油藏开发效果的影响。

1 开发指标预测方法

1.1 假设条件

针对优势通道发育的层状水驱油藏,其基本假设条件为:①油藏纵向由 $N+M$ 个独立性质的小层组成,其中有 N 个小层发育优势通道, M 个小层为正常储层;②驱替为非活塞式驱替,忽略重力和毛管压力的影响;③层间无窜流;④不考虑岩石和流体的压缩性;⑤对于优势通道发育的小层,假设优势通道与该小层中的正常储层并联;⑥正常储层中流体的流动符合达西定律,优势通道中流体的流动为高速非达西渗流;⑦优势通道中仅存在残余油。

1.2 优势通道中流量的计算

注入水在优势通道中的流动为一维高速非达西流动,流动相为水相,其流动方程^[1,14-15]为

$$V_d = -\frac{K_d K_{rw}(S_{or})}{\mu_w} \times \left(\frac{dp}{dx}\right)^n \quad (1)$$

优势通道中流体流量的表达式为

$$Q_d = A_d V_d = -\frac{A_d K_d K_{rw}(S_{or})}{\mu_w} \times \left(\frac{dp}{dx}\right)^n \quad (2)$$

根据边界条件

$$\begin{cases} p|_{x=L} = p_p \\ p|_{x=0} = p_i \end{cases} \quad (3)$$

对式(2)积分,得到优势通道中注入水高速非达西流动流量的表达式为

$$Q_d = \frac{A_d K_d K_{rw}(S_{or})}{\mu_w} \times \left(\frac{p_i - p_p}{L}\right)^n = \frac{A_d K_d K_{rw}(S_{or})}{\mu_w} \times \left(\frac{\Delta p}{L}\right)^n \quad (4)$$

1.3 小层注入量的计算

针对发育优势通道的小层 i ,注入水在小层 i 中的流动可分为注入水流入优势通道和在正常储层中进行非活塞式水驱油两部分。因此,发育优势通道的小层 i 的总注水量为小层 i 的优势通道中流体流量与小层 i 的正常储层中流体流量之和,即

$$Q_{yi} = Q_{di} + Q_{ni} \quad (5)$$

根据达西定律可知,小层 i 的正常储层中流体流量^[16-17]的表达式为

$$Q_{ni} = \frac{(A_i - A_{di})K_i(p_i - p_p)}{\int_0^L \lambda^{-1} dx} = \frac{\Delta p}{R_{li}} \quad (6)$$

其中

$$R_{li} = \frac{1}{(A_i - A_{di})K_i} \int_0^L \lambda^{-1} dx \quad (7)$$

随着水驱油过程的不断进行,注采井间的渗流阻力不断变化。小层 i 的正常储层未见水时,注采井间存在油水两相区和油相区,小层 i 的正常储层见水后,注采井间仅存在油水两相区,则小层 i 的正常储层渗流阻力可表示为

$$R_{li} = \begin{cases} \frac{1}{(A_i - A_{di})K_i} \left[\int_0^{r_f} \frac{1}{\frac{K_{ro}(x)}{\mu_o} + \frac{K_{rw}(x)}{\mu_w}} dx + \frac{\mu_o(L - r_f)}{K_{ro}(S_{wc})} \right] & r_f < L \\ \frac{1}{(A_i - A_{di})K_i} \int_0^L \frac{1}{\frac{K_{ro}(x)}{\mu_o} + \frac{K_{rw}(x)}{\mu_w}} dx & r_f \geq L \end{cases} \quad (8)$$

针对无优势通道发育的小层*j*,注入水在小层*j*中全部进行非活塞式水驱油。小层*j*的总注水量表达式为

$$Q_j = \frac{A_j K_j (p_i - p_p)}{\int_0^L \lambda^{-1} dx} = \frac{\Delta p}{R_j} \quad (9)$$

同理,对于无优势通道发育的小层*j*的渗流阻力可以写成

$$R_j = \begin{cases} \frac{1}{A_j K_j} \left[\int_0^{r_i} \frac{1}{\frac{K_{ro}(x)}{\mu_o} + \frac{K_{rw}(x)}{\mu_w}} dx + \frac{\mu_o(L-r_i)}{K_{ro}(S_{wc})} \right] & r_i < L \\ \frac{1}{A_j K_j} \int_0^L \frac{1}{\frac{K_{ro}(x)}{\mu_o} + \frac{K_{rw}(x)}{\mu_w}} dx & r_i \geq L \end{cases} \quad (10)$$

对于共有*N+M*个小层的层状水驱油藏,其中有*N*个小层发育优势通道,*M*个小层为正常储层,则该油藏总注水量为

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_{yi} + \sum_{j=1}^M Q_j = \sum_{i=1}^N \left[\frac{A_{di} K_{di} K_{rw}(S_{or})}{\mu_w} \left(\frac{\Delta p}{L} \right)^n + \frac{\Delta p}{R_{li}} \right] + \sum_{j=1}^M \frac{\Delta p}{R_j} \quad (11)$$

1.4 注采压差的确定

若层状水驱油藏定井底流压生产时,注水井和生产井之间的注采压差为

$$\Delta p = p_i - p_p \quad (12)$$

若层状水驱油藏定注入量生产时,注采压差和注入量为非线性关系,利用牛顿迭代法^[18]对式(11)求解得到注采压差。

定义函数为

$$f(\Delta p) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{A_{di} K_{di} K_{rw}(S_{or})}{\mu_w} \times \left(\frac{\Delta p}{L} \right)^n + \frac{\Delta p}{R_{li}} \right] + \sum_{j=1}^M \frac{\Delta p}{R_j} - Q \quad (13)$$

对式(13)求导得

$$f'(\Delta p) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{n A_{di} K_{di} K_{rw}(S_{or})}{\mu_w (r_e - r_w)} \times \left(\frac{\Delta p}{L} \right)^{n-1} + \frac{1}{R_{li}} \right] + \sum_{j=1}^M \frac{1}{R_j} \quad (14)$$

则牛顿迭代法求取注采压差的迭代表达式为

$$\Delta p_{iter+1} = \Delta p_{iter} - \frac{f(\Delta p)}{f'(\Delta p)} \quad (15)$$

当 $|\Delta p_{iter+1} - \Delta p_{iter}| \leq 10^{-5}$ 时,迭代停止,认为 Δp_{iter+1} 为使式(13)结果为0的解,即为注水井和生产井之间的注采压差。

1.5 开发指标的计算

由于优势通道中仅剩余残余油,因此注入水仅在正常储层中进行非活塞式水驱油。根据物质平衡原理,小层*i*的正常储层单位微元中,单位时间内注入水的增加量等于该微元的产油量^[19],即存在的关系式为

$$(A_i - A_{di}) \bar{\phi}_i dx \frac{dS_w}{dt} = (Q_{yi} - Q_{di}) df_{wli} \quad (16)$$

对式(16)积分可得

$$L_{fi} = \frac{\int_0^i (Q_{yi} - Q_{di}) dt}{(A_i - A_{di}) \bar{\phi}_i} f'_{wli}(S_w) \quad (17)$$

当 $L_{fi} \leq L_i$ 时,小层*i*的正常储层未见水,此时小层*i*的产水量为优势通道中的水量,因此小层*i*的含水率为

$$f_{wyi} = \frac{Q_{di}}{Q_{yi}} \quad (18)$$

当 $L_{fi} \geq L_i$ 时,小层*i*的正常储层见水,此时小层*i*的产水量为优势通道的水量与正常储层的产水量之和。根据含水饱和度和含水率、含水率导数之间的关系以及式(17),可以计算得到正常储层出口端的含水率^[20]。因此小层*i*的含水率为

$$f_{wyi} = \frac{Q_{di} + f_{wli} Q_{li}}{Q_{yi}} \quad (19)$$

针对无优势通道发育的小层*j*,注入水全部进行非活塞式水驱油,可以得到

$$L_{fj} = \frac{\int_0^i Q_j dt}{A_j \bar{\phi}_j} f'_{wj}(S_w) \quad (20)$$

当 $L_{fj} \leq L_j$ 时,小层*j*未见水,含水率为0;当 $L_{fj} \geq L_j$ 时,小层*j*见水,同理,根据含水饱和度和含水率、含水率导数之间的关系以及式(20),可以计算得到无优势通道发育的小层*j*出口端的含水率^[20]。假设生产井的生产指标可以由具有*N+M*个小层的层状水驱油藏的出口端指标加权平均计算得到,则生产井的含水率为

$$f_w = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{yi} f_{wyi} + \sum_{j=1}^M Q_j f_{wj}}{\sum_{i=1}^N Q_{yi} + \sum_{j=1}^M Q_j} \quad (21)$$

随着开发过程的进行,各小层的渗流阻力、劈分水量不断发生变化,因此需要设置一定的生产时间迭代步长 Δt ,通过迭代计算油藏的开发指标。对于开发一段时间的层状水驱油藏,需要根据当前的含水饱和度确定各小层的累积注水量^[20],再迭代计算油藏开发指标(图1)。

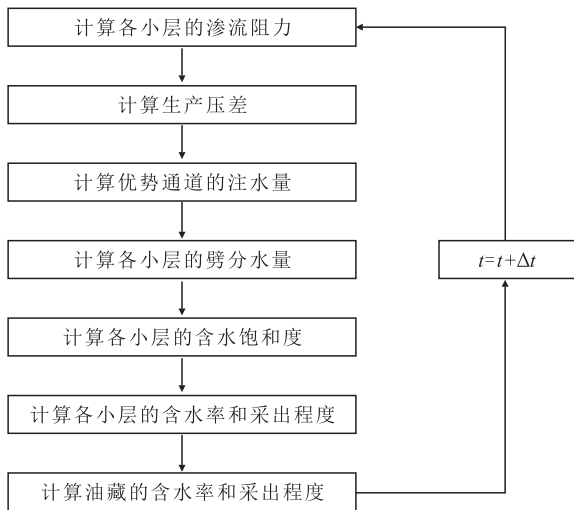


图1 考虑优势通道发育的层状水驱油藏开发指标预测流程

Fig.1 Flow chart of development index prediction for multi-layer waterflooding reservoir with preferential flow path

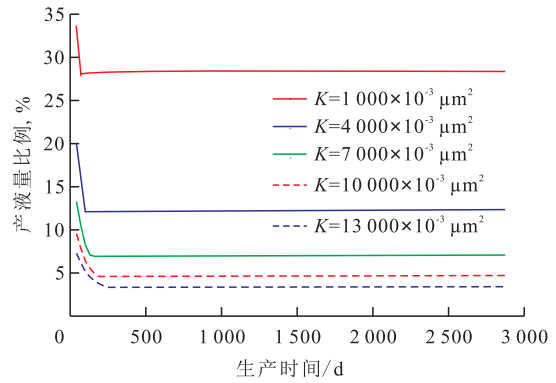
2 实例分析

为了便于分析优势通道对油藏开发效果的影响,建立纵向上2个小层的非均质油藏,渗透率分别为 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $70 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,各层的有效厚度均为3 m,油相粘度为 $10 \text{ mPa}\cdot\text{s}$,水相粘度为 $1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$,注水量为 $200 \text{ m}^3/\text{d}$,保持注采平衡。第1小层为正常储层,第2小层发育优势通道。优势通道中注入水的高速非达西渗流指数为0.7。

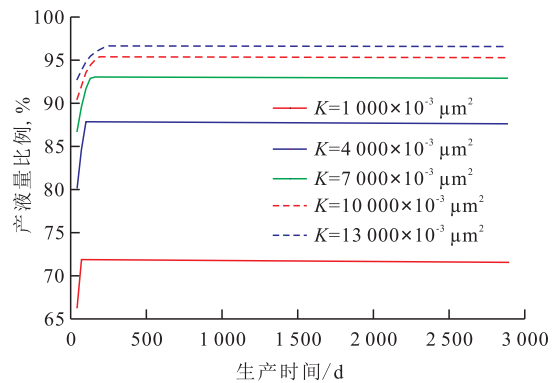
为了分析优势通道渗透率及优势通道厚度对油藏开发效果的影响,根据建立的考虑优势通道发育的层状水驱油藏开发指标预测方法,计算优势通道渗透率分别为 $1\,000 \times 10^{-3}$, $4\,000 \times 10^{-3}$, $7\,000 \times 10^{-3}$, $10\,000 \times 10^{-3}$ 和 $14\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以及优势通道厚度占第2小层厚度比例分别为1%, 5%, 10%和15%时的油藏开发指标,分别预测小层产液量比例、小层含水率、小层采出程度和总采出程度,分析油藏的开发动态。

2.1 优势通道对层间矛盾的影响

计算结果(图2,图3)表明,随着油藏开发的不断进行,发育优势通道的小层(第2小层)产液量比例逐渐增大,小层中正常储层(第1小层)产液量比例逐渐降低,发育优势通道的小层抑制了小层中正常储层的生产,增大了层间干扰。随着优势通道渗透率及厚度的增大,发育优势通道的小层与小层中正常储层之间的产液量比例差异增大,层间矛盾更加突出。



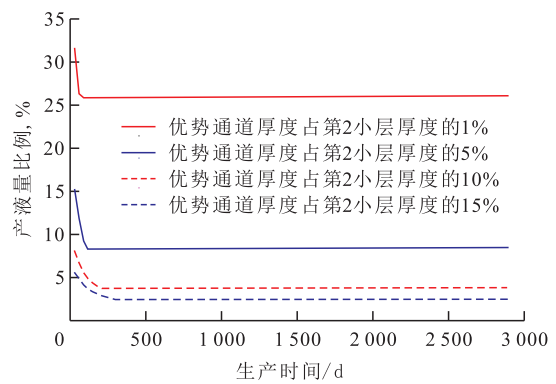
a—第1小层



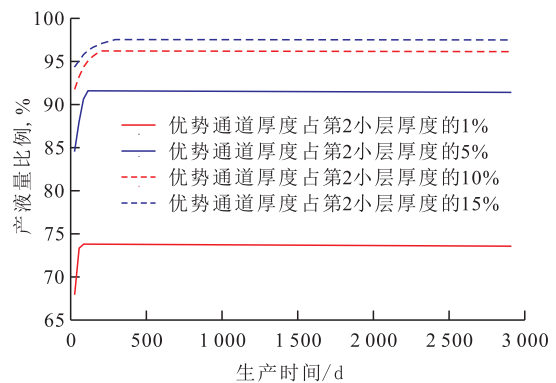
b—第2小层

图2 优势通道渗透率对各层产液量比例的影响

Fig.2 Effect of permeability of preferential flow path on fluid production proportion in each layer



a—第1小层



b—第2小层

图3 优势通道厚度对各层产液量比例的影响

Fig.3 Effect of thickness of preferential flow path on fluid production proportion in each layer

2.2 优势通道对油藏其他层开发效果的影响

计算结果(图4)表明,油藏采用定产液量生产时,随着优势通道渗透率及优势通道厚度的增大,越来越多的注入水进入发育优势通道的小层,导致小层中正常储层的吸水量降低,延长了小层中正常储层的见水时间,降低了小层中正常储层的含水率。同时,随着优势通道渗透率及厚度的增大,小层中正常储层受到注入水的驱替程度减小,导致小层中正常储层的采出程度降低。

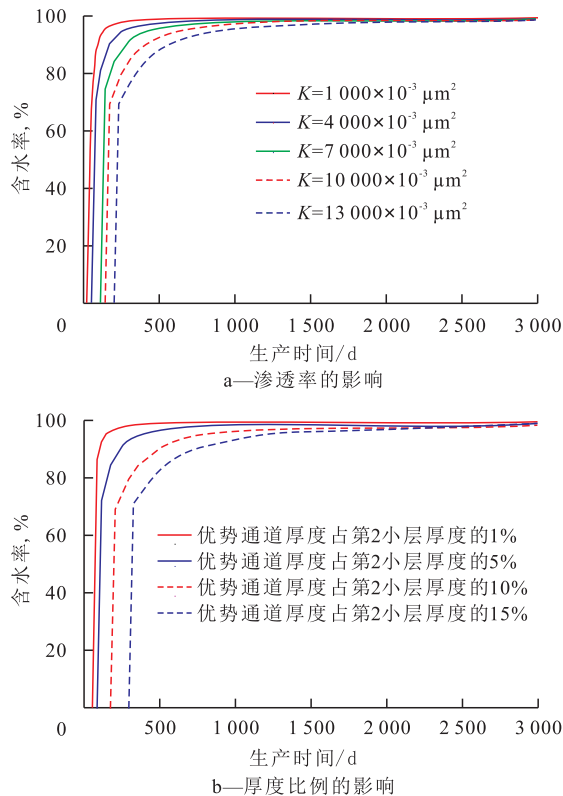


图4 优势通道对油藏小层中正常储层含水率的影响
Fig.4 Effect of preferential flow path on water cut of normal reservoirs in layer

2.3 优势通道对油藏整体开发效果的影响

计算结果(图5)表明,随着优势通道渗透率及厚度的增大,优势通道中的注水量增大,油藏注入水的利用率降低,从而使油藏整体的采出程度降低,影响油藏整体开发效果。

综合以上分析表明,随着优势通道渗透率及优势通道厚度的增大,发育优势通道的层状水驱油藏层间差异更加明显,层间矛盾更加突出,优势通道中注水量增大,注水利用率降低,导致油藏的开发效果变差。

因而,针对优势通道发育的油藏,可以采用堵水调剖技术对优势通道进行封堵,以降低层间差异,减少注入水在优势通道中的循环量,达到改善油藏开发效果的目的。

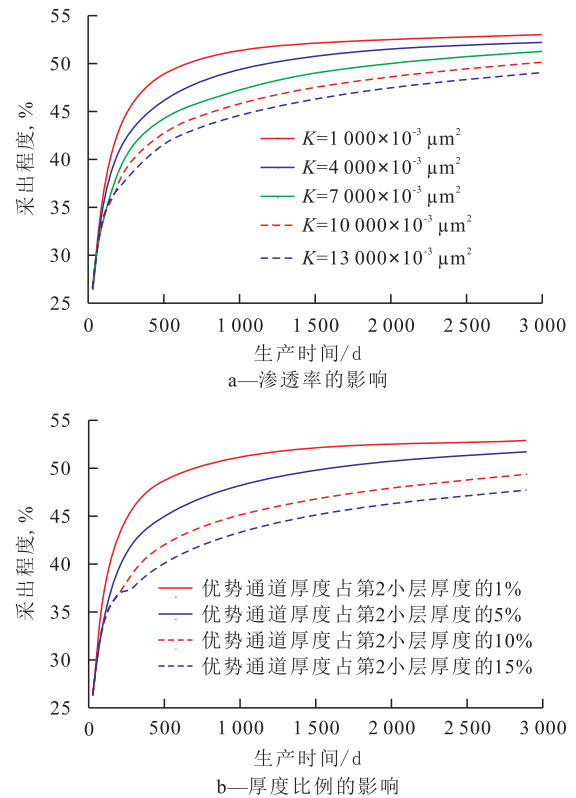


图5 优势通道对油藏整体开发效果的影响
Fig.5 Effect of preferential flow path on development performance

3 结论

针对高含水期层状水驱油藏优势通道发育的情况,考虑注入水在优势通道中的高速非达西渗流,建立了考虑优势通道发育的层状水驱油藏开发指标预测方法。利用该方法计算了油藏的含水率和采出程度等生产指标,分析了优势通道渗透率和厚度对油藏开发效果的影响。结果表明,在定注水量生产时,随着优势通道渗透率和厚度的增大,油藏的层间矛盾更加突出,优势通道中注水量增大,注水利用率降低,油藏整体开发效果变差,开发规律与实际相符,验证了该方法的准确性和实用性。该方法还可用于指导优势通道发育的层状水驱油藏的开发调整。

符号解释:

V_d ——优势通道中的流体的渗流速度,cm/s; K_d ——优势通道的绝对渗透率, μm^2 ; $K_w(S_{or})$ ——残余油的水相相对渗透率; μ_w ——水相粘度,mPa·s; $\frac{dp}{dx}$ ——压力梯度,0.1 MPa/cm; p ——压力,0.1 MPa; x ——单位距离,cm; n ——渗流指数,其值为0.2~1; Q_d ——优势通道中的流体流量,

cm^3/s ; A_d ——优势通道的渗流截面积, cm^2 ; p_p ——生产井井底流压, 0.1 MPa; p_i ——注水井井底流压, 0.1 MPa; L ——注采井距, cm; Δp ——生产压差, 0.1 MPa; Q_{vi} ——小层 i 的总注水量, cm^3/s ; Q_{di} ——小层 i 的优势通道中流体流量, cm^3/s ; Q_{li} ——小层 i 的正常储层中流体流量, cm^3/s ; A_i ——小层 i 的渗流横截面积, cm^2 ; A_{di} ——小层 i 中发育的优势通道的渗流截面积, cm^2 ; K_i ——小层 i 的正常储层绝对渗透率, μm^2 ; λ^{-1} ——小层 i 的平均视粘度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; R_{li} ——小层 i 的渗流阻力; K_{ro} ——油相相对渗透率; K_{rw} ——水相相对渗透率; S_{wc} ——束缚水饱和度; μ_o ——油相的粘度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; r_i ——水驱前缘位置, cm; Q_j ——无优势通道发育的小层 j 的注水量, cm^3/s ; A_j ——无优势通道发育的小层 j 的渗流横截面积, cm^2 ; K_j ——无优势通道发育的小层 j 的绝对渗透率, μm^2 ; R_j ——无优势通道发育的小层 j 的渗流阻力; Q ——油藏总注水量, cm^3/s ; N ——发育优势通道的小层个数; M ——正常小层的个数; K_{di} ——小层 i 中优势通道的绝对渗透率, μm^2 ; $f(\Delta p)$ ——含有注采压差的函数; $iter$ ——牛顿迭代法求解时的迭代步数; Δp_{iter+1} ——第 $iter+1$ 个迭代步的注采压差, 0.1 MPa; Δp_{iter} ——第 $iter$ 个迭代步的注采压差, 0.1 MPa; $\bar{\phi}_i$ ——小层 i 中正常储层的平均孔隙度; S_w ——含水饱和度; t ——生产时间, s; Δt ——生产时间迭代步长, s; f_{wi} ——小层 i 中正常储层的含水率; L_{fi} ——水驱前缘位置, cm; f_{wi} ——发育优势通道小层 i 的含水率; f_{wj} ——无优势通道发育的小层 j 的含水率; f_w ——生产井的含水率。

参考文献:

- [1] 崔传智, 杨勇, 曹刚, 等. 疏松砂岩油藏大孔道中高速非达西渗流对产能的影响分析[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(3): 122-125.
Cui Chuanzhi, Yang Yong, Cao Gang, et al. Effect of high velocity non-Darcy flow on productivity in wormhole of unconsolidated sandstone reservoirs[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(3): 122-125.
- [2] 喻鹏, 卢宗盛. 高凝油油藏剩余油分布规律研究[J]. 特种油气藏, 2016, 23(2): 81-84.
Yu Peng, Lu Zongsheng. Residual oil distribution in high pour-point reservoir[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(2): 81-84.
- [3] 惠钢, 王友净, 李佳鸿, 等. 中—高含水期低渗透储层优势渗流通道研究——以温米油田温西一区块三间房组储层为例[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(6): 74-79.
Hui Gang, Wang Youjing, Li Jiahong, et al. Research on dominant flow path of low permeability reservoir in medium-high water cut period: A case study of the Sanjianfang Formation of Wenxil block in Wenmi oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(6): 74-79.
- [4] 方文超, 姜汉桥, 李俊健, 等. 基于不确定性研究的油田开发后期指标预测方法[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(5): 94-98.

- Fang Wenchao, Jiang Hanqiao, Li Junjian, et al. A prediction method for oilfield development indices during later period based on uncertainty research[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5): 94-98.
- [5] 宋考平, 吴玉树, 计秉玉. 水驱油藏剩余油饱和度分布预测的 φ 函数法[J]. 石油学报, 2006, 27(3): 91-95.
Song Kaoping, Wu Yushu, Ji Bingyu. A φ -function method for estimating distribution of residual oil saturation in water drive reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(3): 91-95.
- [6] 张顺康, 刘炳官, 钟思瑛, 等. 多层油藏水驱开发理论模型[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(6): 734-737.
Zhang Shunkang, Liu Bingguan, Zhong Siying, et al. Theoretical method for waterflooding development of multi-zone reservoir[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(6): 734-737.
- [7] El-Khatib N A F. Waterflooding performance of communicating stratified reservoirs with log-normal permeability distribution[J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 1999, 2(6): 542-549.
- [8] El-Khatib N A F. Waterflooding performance in inclined communicating stratified reservoirs[J]. SPE Journal, 2012, 17(1): 31-42.
- [9] 邓英尔, 刘慈群. 具有启动压力梯度的油水两相渗流理论与开发指标计算方法[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(6): 36-39.
Deng Ying'er, Liu Ciqun. Theory of oil-water flow through porous media and calculation of development indexes with starting pressure gradient included[J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25(6): 36-39.
- [10] 冯其红, 王守磊, 韩晓冬, 等. 考虑启动压力的层状油藏开发指标计算方法[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2015, 37(2): 87-92.
Feng Qihong, Wang Shoulei, Han Xiaodong, et al. Calculation method of development indexes for multilayered reservoir with starting pressure included[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2015, 37(2): 87-92.
- [11] 全洪慧, 陈建波, 别旭伟, 等. 利用油田开发资料重新认识油气成藏: 以渤海湾盆地南堡 35-2 油田馆陶组为例[J]. 石油实验地质, 2016, 38(5): 592-599.
Quan Honghui, Chen Jianbo, Bie Xuwei, et al. Re-recognition of hydrocarbon accumulation regularity based on oilfield development data: A case study of the Guantao Formation in NB35-2 oilfield, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(5): 592-599.
- [12] 周锡生, 赵玉武, 郑晓旭, 等. 龙虎泡油田高含水期注水开发调整技术[J]. 大庆石油地质与开发, 2015, 34(1): 51-55.
Zhou Xisheng, Zhao Yuwu, Zheng Xiaoxu, et al. Water flooding adjustment techniques for Longhupao Oilfield at high-watercut stage[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2015, 34(1): 51-55.
- [13] 韩大匡. 关于高含水油田二次开发理念、对策和技术路线的探讨[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(5): 583-591.
Han Dakuang. Discussions on concepts, countermeasures and technical routes for the redevelopment of high water-cut oilfields[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(5): 583-591.

(下转第 104 页)