

复合油藏产量计算方法分析及内区污染规模判别

刘全刚¹, 郭小哲², 王晓超¹, 韩立杰², 崔国亮¹

1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300452

2. 中国石油大学(北京)石油工程学院 北京 102249

通讯作者:Email: guoxiaozhe@cup.edu.cn

项目支持:中海油能源发展工程技术公司项目“疏松砂岩储层压裂特征研究”(ZX2021ZCGCF5997)

引用:刘全刚,郭小哲,王晓超,等. 复合油藏产量计算方法分析及内区污染规模判别[J]. 油气井测试,2022,31(2):7-12.

Cite: LIU Quangang, GUO Xiaozhe, WANG Xiaochao, et al. Analysis of production calculation methods for composite reservoirs and discrimination of pollution scale in inner zone[J]. Well Testing, 2022, 31(2): 7-12.

摘要 井筒作业或储层长期驱替导致近井范围渗透率降低,形成内区与外区复合油藏。为明确内区规模对产液量的影响,分析对比了渗流阻力法、附加阻力法和调和平均法 3 种产量计算方法。结果表明:3 种不同的产量计算方法仅存在很小的误差;对产量的影响中,当污染程度较大时即使较小的内区半径也会产生大幅的产量降低;不同的原始储层渗透率和原油黏度,由内区规模的不同导致的产量下降幅度基本一致。在污染规模判别中,基于“外污染”和“内污染”特征,提出了以产量下降 50% 为界线的 7 个污染规模判别标准,为分析油井产量大幅下降的原因提供了技术支持。

关键词 复合油藏;储层污染;外污染;内污染;产量计算;非均质油藏;判别标准;油层保护

中图分类号:TE328 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.02.002

Analysis of production calculation methods for composite reservoirs and discrimination of pollution scale in inner zone

LIU Quangang¹, GUO Xiaozhe², WANG Xiaochao¹, HAN Lijie², CUI Guoliang¹

1. CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China

2. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

Abstract: Wellbore operation or long-term reservoir displacement reduces the permeability of strata near the wellbore, forming a composite reservoir with inner and outer zones. To clarify the influence of inner zone size on liquid production, three production calculation methods, i. e. seepage resistance method, additional resistance method and harmonic mean method, were analyzed and compared in this paper. The results show that the three production calculation methods have only small errors. When the pollution scale is large, even a small inner zone radius may lead to a significant decline of production. Under different conditions of original reservoir permeability and crude oil viscosity, the production declines caused by different inner zone sizes are basically the same. For the discrimination of pollution scale, based on the features of “outer pollution” and “inner pollution”, seven discrimination criteria of pollution scale with the production decline of 50% as the boundary were proposed, which provides technical support for analyzing the reasons for sharp decline of well production.

Keywords: composite reservoir; reservoir pollution; outer pollution; inner pollution; production calculation; heterogeneous reservoir; discrimination criteria; reservoir protection

复合油藏指的是单井附近的地层在径向上储层物性存在着较大幅度变化的储层,具体是指存在着内区和外区的渗透率差异的油藏,其形成的原因除了地质原生外,多数是钻完井、增产措施或者生产工艺等对地层的污染或者改造^[1-3],导致了近井区与远井区的物性变化,也就是渗流理论中的渗透

率突变问题。

特别是近井污染形成的内区渗透率降低会直接导致渗流阻力大幅增加,驱油能量过多损耗,从而引起油藏的产液量减少,降低油井开采效果。

复合油藏渗流模型常常通过建立渗流数学模型,然后进行 Laplace 变换,形成无量纲形式的特征

曲线^[4-6],用以解释分区半径、储层物性和压力变化,求解过程复杂,特别是对产能预测的相关研究较少,认识和剖析内区大小和污染程度对产量的影响的研究更少。

对复合油藏的研究多集中在压力分析方面,李顺初等^[7-8]建立了考虑井筒储集和表皮效应及三种外边界条件-定压外边界、封闭外边界和无穷大边界下的油层压力分布数学模型;付春权等^[9]建立任意形状复合油藏有限导流垂直裂缝井不稳定渗流的数学模型,采用有限元方法对其进行求解获得井底压力随时间的变化规律;蔡明金等^[10]针对内外区同时压裂的复合油藏,建立并求解了多区复合油藏点源模型,求得了内外区同时压裂两区复合油藏的无因次井底压力的表达式;唐浩等^[11]以分离变量法为求解手段,考虑了物性参数不等的两区界面之间的流动,有效求得了不同区域内压力随时间变化的精确解析解。在产能计算方面,基于渗透率突变的渗流阻力串联理论是基础^[12];刘方玉等^[13]建立了复合储层的气井稳定产能方程;付春权等^[14]应用有限元法建立了复合油藏的压裂井产能模型,绘制了典型产能曲线;杨龙等^[15]针对圆形封闭复合油藏提出了预测产量的标准曲线图版。

基于以上分析,采用渗流阻力串联法、附加阻力方法及渗透率调和平均法 3 种便捷方法对产量进行求解对比,并分析内区半径和污染程度对产量的影响,由此制定污染规模的判别标准,为油井产量大幅降低提供分析方法和技术支持。

1 物理模型

假设深度为 2 000 m 的圆形地层中心一口生产井,边界半径 200 m,井底半径 0.1 m,储层渗透率 1 000 mD,孔隙度 0.28,原始含油饱和度 0.6,束缚水饱和度 0.4,有效厚度 30 m,储层饱和压力 8 MPa,地下原油黏度 150 mPa·s,近井区域受到污染形成复合油藏,内区半径 20 m,污染程度 80%,原始地层压力 20 MPa,井底以 10 MPa 定压生产。模型假设单相液体稳定渗流(见图 1)。通过不同计算方法计算油井的产量,分析内区变化对产量的影响。该模型形成了典型的复合油藏,外区渗透率为储层渗透率 1 000 mD,内区渗透率按污染程度折算为 200 mD。

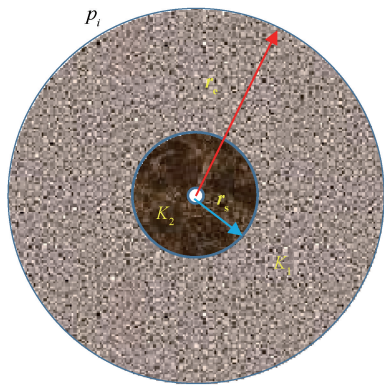


图 1 复合油藏物理模型示意图

Fig. 1 Physical model of composite reservoir

2 产量计算方法

对于存在内区污染油井的产量计算采用以下 3 种方法来简单方便处理。

2.1 渗流阻力法

沿着流体运动方向总的渗流阻力可以看成是外区和内区渗流阻力的串联^[12],即

外区渗流阻力

$$R_1 = \frac{\mu}{2\pi K_1 h} \ln \frac{r_e}{r_s} \quad (1)$$

式中: R_1 为外区渗流阻力, Pa·s/m³; μ 为地下原油黏度, Pa·s; K_1 为外区渗透率, m²; h 为油层厚度, m; r_e 为供给半径, m; r_s 为内区半径, m。

内区渗流阻力

$$R_2 = \frac{\mu}{2\pi K_2 h} \ln \frac{r_s}{r_w} \quad (2)$$

式中: R_2 为内区渗流阻力, Pa·s/m³; K_2 为内区渗透率, m²; r_w 为井底井筒半径, m。

总的渗流阻力

$$R = R_1 + R_2 \quad (3)$$

式中: R 为总渗流阻力, Pa·s/m³。

则有

$$q = \frac{p_i - p_w}{R} \quad (4)$$

式中: q 为流量, m³/s; p_i 为原始地层压力, Pa; p_w 为井底流压, Pa。

整理得到油井产量公式

$$q = \frac{2\pi h (p_i - p_w)}{\mu} \times \frac{K_1 K_2}{K_2 \ln \frac{r_e}{r_s} + K_1 \ln \frac{r_s}{r_w}} \quad (5)$$

2.2 附加阻力法

复合油藏用表皮系数分析内区对产量的影响

研究较多,谭志亮^[16-17]分析了表皮系数对生产的影响,研究表皮系数的求取和修正方法,由于污染区的渗透率降低,井底流压 p_w 比理想情况更低,造成井底流压增加了一个附加压降 Δp_{skin} ,用表皮系数 S 表示该附加压降为^[18]

$$\Delta p_{\text{skin}} = \frac{q\mu}{2\pi K_1 h} S \quad (6)$$

式中: Δp_{skin} 为附加压降,Pa; S 为表皮系数,无量纲。
真实井底压力为

$$p_{\text{wreal}} = p_w + \Delta p_{\text{skin}} \quad (7)$$

式中: p_{wreal} 为真实井底压力,Pa。

则压差和流量的关系式为

$$p_i - p_{\text{wreal}} = \frac{q\mu}{2\pi K_1 h} \ln \frac{r_e}{r_w} \quad (8)$$

整理得到

$$p_i - p_w = \frac{q\mu}{2\pi K_1 h} \left(\ln \frac{r_e}{r_w} + S \right) \quad (9)$$

根据 Hawkins 公式求解表皮系数表达式为

$$S = \left(\frac{K_1}{K_2} - 1 \right) \ln \frac{r_s}{r_w} \quad (10)$$

则得到产量表达式

$$q = \frac{2\pi K_1 h (p_i - p_w)}{\mu \left[\ln \frac{r_e}{r_w} + \left(\frac{K_1}{K_2} - 1 \right) \ln \frac{r_s}{r_w} \right]} \quad (11)$$

整理得到

$$q = \frac{2\pi h (p_i - p_w)}{\mu} \frac{K_1}{\ln \frac{r_e}{r_s} + \frac{K_1}{K_2} \ln \frac{r_s}{r_w}} \quad (12)$$

2.3 调和平均法

把复合油藏的内区和外区的渗透率应用加权平均方法处理为等效均质油藏,然后应用裘比公式可以方便求解。渗透率的平均方法中调和平均最为适用,因为调和平均不会由于外区的渗透率过大而使平均渗透率过大,而当内区渗透率为“0”时,会保证平均渗透率为“0”^[19]。

应该自然对数进行调和平均加权,得到平均渗透率 K 为

$$K = \frac{\ln \frac{r_e}{r_s} + \ln \frac{r_s}{r_w}}{\ln \frac{r_e}{r_s} \ln \frac{r_s}{r_w} + \frac{K_1}{K_2}} \quad (13)$$

式中: K 为平均渗透率, m^2 。

整理得

$$K = \frac{K_1 K_2 \ln \frac{r_e}{r_w}}{K_2 \ln \frac{r_e}{r_s} + K_1 \ln \frac{r_s}{r_w}} \quad (14)$$

代入裘比公式得产量公式

$$q = \frac{2\pi h (p_i - p_w)}{\mu} \times \frac{K_1 K_2}{K_2 \ln \frac{r_e}{r_s} + K_1 \ln \frac{r_s}{r_w}} \quad (15)$$

最后的表达式与渗流阻力法一致。

3 计算方法对比

调和平均法和渗流阻力法分析的原理不同,但最后结果是一致的,附加阻力法表达式有所不同,针对图1的物理模型,三种方法的计算结果见表1。

表1 三种产量计算结果表

Table 1 Production calculation results by three methods

方法	无污染产量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	有污染产量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
渗流阻力法	142.77	37.68
附加阻力法	142.77	37.04
调和平均法	142.77	37.68

对于无污染地层,三种计算方法都变形为裘比公式,计算结果都是一样的;当存在给定物理模型中的污染时,附加阻力法计算的产量相比另外两种方法结果偏小,但误差仅为1.7%,因此,现场计算产量时三种方法都是可靠的。

从表1的结果中可知,该物理模型的污染规模造成了73.61%的产量下降,对油井的开采效果影响是严重的。

4 内区对压降的损耗

物理模型是典型的平面径向流形式,如果内区没有受到污染,其压力分布公式为

$$p(r) = p_i - \frac{p_i - p_w}{\ln \frac{r_e}{r_w}} \ln \frac{r_e}{r} \quad (16)$$

式中: $p(r)$ 为距离井底 r 处的地层压力,Pa; r 为距井底距离,m。

由压力分布公式可知,压力沿径向 r 的分布呈现漏斗形状,即近井压降幅度要明显大于远井,能量主要消耗在近井区域。不同半径 r 内的压降比例见表2。

表 2 不同半径 r 区域内压降比例表

Table 2 Pressure drop ratio in areas with different radii

r/m	$p(r)/\text{MPa}$	$p(r)-p_w/\text{MPa}$	$(p(r)-p_w)/(p_i-p_w)/\%$
1	13.03	3.03	30.29
10	16.06	6.06	60.59
20	16.97	6.97	69.71
50	18.18	8.18	81.76
100	19.09	9.09	90.88
200	20.00	10.00	100.00

由表 2 可知,压降的 80%消耗在近井 50 m 地层中,10 m 以内区域消耗压降高达 60% 以上,由此可见,内区的渗透率降低对油井的生产有极大影响。

5 内区对产量的影响

内区的污染规模主要包括内区半径和内区污染程度,分别计算这两个参数对产量变化的影响。

5.1 内区半径的影响

应用渗流阻力法计算不同内区半径引起的产量变化(图 2)。

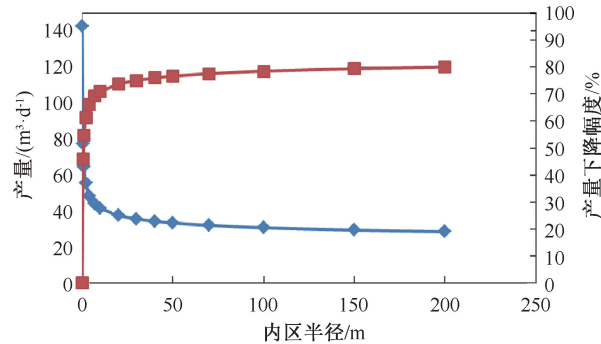


图 2 不同内区半径对产量的影响

Fig. 2 Effect of different inner zone radii on production

由图 2 可知,与压降损耗的特点相一致,近井很小范围存在污染都会对产量造成较大的影响,1 m

区域的污染可以使产量降低 50% 以上,20 m 区域的污染导致产量会降低高达 70%。由此,对于污染程度达到 0.8 的内区复合油藏,分析油井产量的影响至关重要。至于范围多大倒是次要的。而且内区半径对产量的影响程度与原渗透率和原油黏度无关。

5.2 内区污染程度的影响

同样,应用渗流阻力法计算不同污染程度对产量的影响(图 3)。

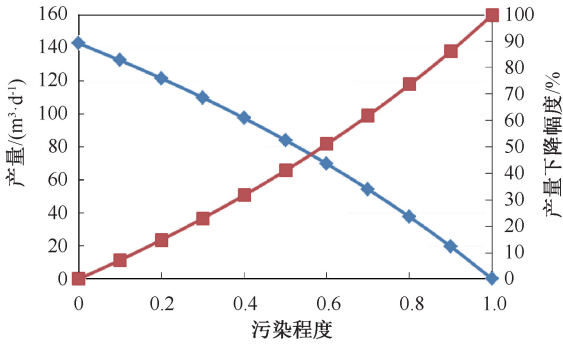


图 3 不同污染程度对产量的影响

Fig. 3 Effect of different pollution scales on production

从图 3 可以看出,污染程度对产量的影响与内区半径有所不同。污染程度越大对产量的影响也越大,两者基本呈线性关系,因此,评价复合油藏内区对产量的影响时,内区渗透率的变化是十分关键的。同样的,污染程度对产量的影响与原渗透率和原油黏度无关。

6 污染规模判别

不同的内区半径和污染程度对应的产量降低幅度见表 3。

表 3 不同污染规模条件下的产量降低幅度表

Table 3 Production decline under different pollution scales

污染半径/m	污染程度/%								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	2.30	5.03	8.32	12.37	17.47	24.11	33.07	45.86	65.58
1	3.26	7.04	11.49	16.80	23.25	31.24	41.41	54.79	73.16
2	4.20	8.97	14.45	20.81	28.27	37.15	47.91	61.19	78.01
4	5.12	10.82	17.22	24.45	32.67	42.13	53.10	66.00	81.37
7	5.85	12.26	19.33	27.15	35.85	45.61	56.60	69.10	83.42
10	6.31	13.15	20.61	28.77	37.73	47.61	58.57	70.79	84.50
20	7.19	14.84	23.00	31.73	41.07	51.11	61.93	73.60	86.25
30	7.70	15.80	24.33	33.35	42.87	52.95	63.65	75.01	87.10
40	8.05	16.46	25.25	34.45	44.08	54.18	64.78	75.92	87.65
50	8.33	16.97	25.95	35.28	44.98	55.08	65.61	76.58	88.04
70	8.74	17.73	26.97	36.49	46.29	56.39	66.79	77.52	88.58
100	9.17	18.51	28.03	37.73	47.61	57.68	67.95	78.43	89.11
150	9.66	19.39	29.20	39.08	49.04	59.07	69.18	79.38	89.65
200	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00

从表3中可以看出,当污染程度大于0.8时,即使较小的内区半径也会带来产量的大幅下降;若内区半径达到20 m时,中等的污染程度,油井产量也会下降50%以上;若污染程度小于0.5时,内区半径在20 m以上时,产量会下降30%;如果污染程度小于0.3时,油井产量下降幅度相对会小一些。

张利军等^[20]通过精细试井解释有效识别储层非均质性,其方法较为复杂,本文结合污染规模对产量影响的程度分析,考虑内区渗透率降低的原因,应用定性与定量相结合的方法判别内区污染规模,从“外污染”和“内污染”两个方面分类判别。

“外污染”是指通过井筒对近井的内区造成的污染,例如:钻完井、酸化、压裂、修井等;“内污染”是指流体在储层中的流动带来的污染,例如:出砂、聚合物胶团、胶质和沥青质的胶结、压降应力敏感等。“外污染”一般形成的内区范围小,但污染程度大,形成时间短;“内污染”一般情况是形成时间较长,污染程度小,但内区半径较大。

因此,设定内区污染规模判别标准如下:

(1)明确有“外污染”作业,油井产液量下降幅度快速达到50%以上,判别结果为:污染半径1 m以内,污染程度0.8以上。

(2)明确有“外污染”作业,油井产液量初期较高,随后下降达到50%以上,判别结果为:污染半径10 m以内,污染程度0.6~0.7。

(3)明确有“外污染”作业,油井产液量下降不到50%,判别结果为:污染半径20 m以内,污染程度低于0.6。

(4)无明确“外污染”作业,油井产液量慢速下降,下降幅度高达到50%以上,判别结果为:污染半径40 m以内,污染程度大于0.6。

(5)无明确“外污染”作业,油井产液量快速下降,下降幅度高达到50%以上,判别结果为:污染半径10 m以内,污染程度0.7以上。

(6)无明确“外污染”作业,油井产液量普通下降幅度达到50%左右,判别结果为:污染半径20 m以内,污染程度0.5~0.7。

(7)内污染时,油井产液量下降,下降幅度没有超过50%,判别结果为:污染半径大于20 m,污染程度低于0.5。

以上不同污染规模可采用酸洗、酸化、压裂、解堵等方式进行改造。

7 结论

(1)计算复合油藏产量时,渗流阻力法与自然对数渗透率调和平均法殊途同归,得到相同的公式形式。

(2)渗流阻力法、附加阻力法与调和平均法在计算复合油藏产量时误差很小,每种方法都是可靠的。

(3)污染程度对产量的影响很大,污染程度越大,即使小的内区半径也会带来产量的大幅降低。

(4)“内污染”带来的污染程度一般不会太高,“外污染”一般产生的内区半径较小。

(5)污染半径带来的产量下降幅度呈现自然对数关系,污染程度产生的产量下降幅度基本是线性关系。

致谢:感谢中海油能源发展工程技术公司对该研究的支持。

参考文献

- [1] 郑俊德,张英志,任华,等. 注聚合物井堵塞机理分析及解堵剂研究[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 108-111.
ZHENG Junde, ZHANG Yingzhi, REN hua, et al. Blockage mechanism and blockage reducer for polymer-injection well [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(6): 108-111.
- [2] 姜瑞忠,崔永正,胡勇,等. 基于储层物性时变的聚合物驱数值模拟[J]. 断块油气田, 2019, 26(6): 751-755.
JIANG Ruizhong, CUI Yongzheng, HU Yong, et al. Numerical simulation of polymer flooding considering reservoir property time variation [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2019, 26(6): 751-755.
- [3] 徐有杰,刘启国,王瑞,等. 复合油藏压裂水平井复杂裂缝分布压力动态特征[J]. 岩性油气藏, 2019, 31(5): 161-168.
XU Youjie, LIU Qiguo, WANG Rui, et al. Pressure transient of fractured horizontal well with complex fracture distribution in composite reservoir [J]. Lithologic Reservoirs, 2019, 31(5): 161-168.
- [4] 廖新维. 现代试井分析[M]. 石油工业出版社, 2002. 9.
- [5] 高杰,冯青,黄子俊,等. 海上油田压裂充填井三区复合渗流模型及敏感性分析[J]. 油气井测试, 2018, 27(6): 8-13.
GAO Jie, FENG Qing, HUANG Zijun, et al. Three-zone composite seepage model for fracpack wells in offshore oilfields and its sensitivity analysis [J]. Well Testing, 2018, 27(6): 8-13.
- [6] 吴浩君,姜永,王迪. 多层复合油藏试井解释模型建立[J]. 油气井测试, 2019, 28(3): 1-6.
WU Haojun, JIANG Yong, WANG Di. Foundation of well

- test interpretation model for composite reservoirs with multi-layers[J]. Well Testing, 2019,28(3):1-6.
- [7] 李顺初,刘平礼,赵立强. 复合油藏储层中压力分布的求解[J]. 西南石油学院学报,2000,22(4):76-81.
LI Shunchu, LIU Pingli, ZHAO Liqiang. Solution of composite reservoir pressure distribution mode [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2000,22(4):76-81.
- [8] 李顺初,刘平礼,赵立强,等. 复合油藏中不同边界条件下的井底压力分析[J]. 西南石油学院学报,2002,24(5):32-34.
LI Shunchu, LIU Pingli, ZHAO Liqiang, et al. The analysis of bottom pressure in complex reservoir with different boundary conditions [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2002,24(5):32-34.
- [9] 付春权,尹洪军,贾俊飞. 复合油藏垂直裂缝井压力动态分析[J]. 大庆石油学院学报,2008,32(2):113-119.
FU Chunquan YIN Hongjun JIA Junfe. Pressure behavior analysis of vertically fractured well in composite reservoir [J]. Journal of Daqing Petroleum University, 2008,32(2):113-119.
- [10] 蔡明金,张福祥,彭建新,等. 复合油藏内外区同时压裂试井模型研究[J]. 石油化工应用,2013,32(4):13-16.
CAI Mingjin, ZHANG Fuxiang, PENG Jianxin, et al. Well test analysis on single well with a vertical fracture in composite reservoir considering inner and exterior zone fracturing[J]. Petrochemical Industry Application, 2013,32(4):13-16.
- [11] 康浩,宋新民,雷征东,等. 基于分离变量法的渗透率突变地层非稳态渗流研究[J]. 甘肃科技纵横,2020,49(9):12-15.
KANG Hao, SONG Xinmin, LEI Zhengdong, et al. Study on unsteady seepage in formation with permeability change based on separated variable method[J]. Gansu Science and Technology, 2020,49(9):12-15.
- [12] 郭小哲. 地下储层渗流力学[M]. 石油工业出版社,2018. 11.
- [13] 刘方玉,蒋凯军,马华丽,等. 复合储层气井稳定产能方程的应用与分析[J]. 大庆石油地质与开发,2007,26(2):50-54.
LIU Fangyu, JIANG Kaijun, MA Huali, et al. Application and analysis on steady productivity equation of gas well in compound formation [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing,2007,26(2):50-54.
- [14] 付春权,尹洪军,贾俊飞. 复合油藏压裂井产能的有限元分析[J]. 大庆石油学院学报,2008,32(2):116-120.
FU Chunquan, YIN Hongjun, JIA Junfe. Productivity analysis of fractured wells in two-area composite reservoir by finite element method[J]. Journal of Daqing Petroleum University, 2008,32(2):116-120.
- [15] 杨龙,王晓冬,李雪梅. 复合油藏 Fetkovich 产量-时间标准曲线计算的新方法[J]. 特种油气藏,2003,10(3):53-59.
YANG Long, WANG Xiaodong, LI Xuemei. New calculation method of Fetkovich production-time standard curve for complex reservoir [J]. Special Oil And Gas Reservoir, 2003,10(3):53-59.
- [16] 谭志亮. 强非均质气藏确定完井表皮的方法与应用[J]. 油气井测试,2017,26(2):16-19.
TAN Zhi Liang. Method of completion well skin determination on severe heterogeneous reservoir and its application [J]. Well Testing, 2017,26(2):16-19.
- [17] 谭志亮. XX-6 井 DST3 高表皮系数分析及措施建议[J]. 油气井测试,2016,25(3):32-34.
TAN Zhi Liang. Analysis of high skin factor to xx-6 dst3 and its corresponding stimulation suggestion [J]. Well Testing, 2016,25(3):32-34.
- [18] 张琪. 采油工程原理与设计[M], 中国石油大学出版社,2006. 12.
- [19] 韩大匡,陈钦雷,闫存章. 油藏数值模拟基础[M], 石油工业出版社,1993. 2.
- [20] 张利军,刘新光,梁斌. 精细试井解释识别储层非均质性特征[J]. 油气井测试. 2017,26(1):27-29.
ZHANG Lijun LIU Xinguang LIANG Bin. Detailed well testing interpretation to discern heterogeneous characterization of reservoir[J]. Well Testing, 2017,26(1):27-29.

编辑 穆立婷

第一作者简介:刘全刚,男,1978 年出生,高级工程师。2005 年毕业于中国石油大学(北京)油气田开发专业,硕士学位。主要从事油田开发、增产增注措施及提高采收率技术研究工作。电话:13821660416, Email:liuqg@cnooc.com.cn。通讯地址:天津市滨海新区闸北路滨海新村西区合作楼,邮政编码:300452。