

低渗透纵向非均质油层水驱波及规律实验研究

沈瑞¹, 赵芳^{1,2}, 高树生¹, 胡志明¹, 段宝江³

(1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100190;

3. 中海油能源发展有限公司采油技术服务分公司, 天津 300452)

摘要: 多层非均质油藏普遍存在层间矛盾, 导致低渗透层动用程度、水驱波及程度及采收率低, 纵向非均质性严重影响了低渗透油藏的高效开发。通过单岩心水驱油、岩心组合模型水驱油实验, 结合多层非均质油层注水量劈分公式和水驱波及系数计算方法, 研究了渗透率级差对水驱波及规律的影响。结果表明: 岩心组合模型的吸水量分配符合多层非均质油藏吸水量劈分理论公式, 岩心组合模型可以较为准确地反映非均质油藏的水驱波及规律; 随着岩心组合模型渗透率级差的增大, 高渗透层的吸水量比例逐渐增加, 当渗透率级差大于9时, 注入水几乎无法波及低渗透层。

关键词: 非均质性 水驱波及系数 低渗透 岩心组合模型

中图分类号: TE34

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)04-0091-03

非均质性是储层存在的普遍特性, 纵向非均质性是指储层或砂体之间控制流体储集和流动的地质因素的差异, 包括形成于各种沉积环境的砂体在垂向上交互出现的规律性或旋回性、以及隔层的发育和分布。砂体间的非均质性对油田注水开发效果的影响非常突出^[1], 开发过程中常出现层间干扰、单层突进、注采不平衡等矛盾和问题。多层岩心水驱油实验结果表明, 由于储层存在非均质性, 多层油藏各层动用程度差异较大^[2-8]。笔者在前人研究的基础上, 通过单岩心和岩心组合模型水驱油实验, 结合吸水量分配理论及水驱波及系数计算方法, 研究了纵向非均质性影响下的注入水分配规律和水驱波及系数变化规律。

1 实验设计

实验条件包括: 实验温度为地层温度(50℃), 实验用水为模拟地层水, 实验用油为50℃时粘度为2.1 mPa·s的模拟油。

实验方法包括: 选择不同渗透率的岩心, 先分别对每个岩心进行水驱油和相对渗透率实验, 实验后进行洗油处理, 测量孔隙度和渗透率等参数, 并组合起来进行水驱油实验。岩心组合模型水驱油实验流程如图1所示, 所选岩心渗透率级差为1.7~9.0, 平均渗透率约为 $0.015 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表1)。

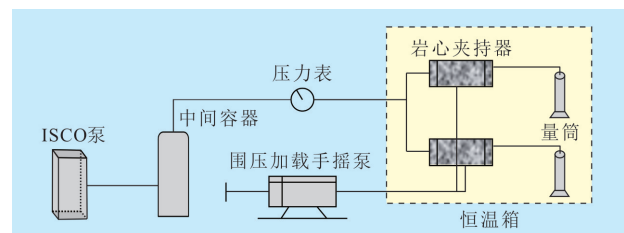


图1 岩心组合模型水驱油实验流程

表1 岩心组合模型水驱油实验岩心基础数据

岩心号	水测渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	渗透率级差	平均渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$
1-1	0.024	1.7	0.019
1-2	0.014		
2-1	0.018	3.0	0.012
2-2	0.006		
3-1	0.029	5.8	0.017
3-2	0.005		
4-1	0.019	7.7	0.011
4-2	0.003		
5-1	0.028	9.0	0.015
5-2	0.003		

2 实验结果分析

2.1 吸水量分配

以第2组岩心(表1)为例, 根据2个岩心的油水

收稿日期: 2013-05-13。

作者简介: 沈瑞, 男, 博士, 从事油气藏开发与数值模拟研究。联系电话: (010)69213314, E-mail: shenrui523@126.com。

基金项目: 国家科技重大专项“低渗、特低渗油藏开发技术界限研究”(2008ZX05013-003)。

相对渗透率曲线及多层非均质油层注水量劈分公式^[9]计算了高渗透层和低渗透层的吸水量,由高渗透层的吸水量比例实测值与理论计算值对比(图2)可以看出,两者较为接近,由此说明岩心组合模型可以较为准确地反映非均质油藏的水驱波及规律,同时也可以根据单岩心的油水相对渗透率曲线估算不同渗透率级差、变异系数等组合模型各层吸水量比例。

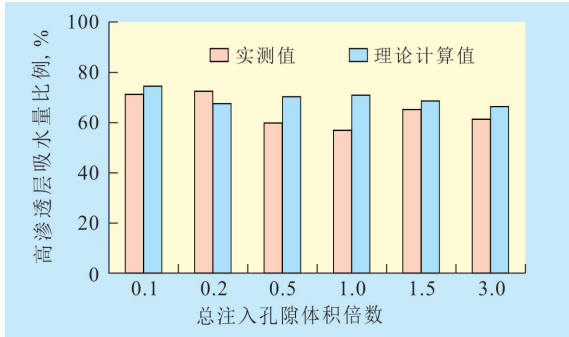


图2 高渗透层吸水量比例实测值与理论计算值对比

由不同渗透率级差岩心组合模型的平均吸水量比例(图3)可以看出,随着岩心组合模型渗透率级差的增大,高渗透层吸水量比例呈逐渐增加的趋势,当渗透率级差大于7时,高渗透层的平均吸水量比例超过90%。

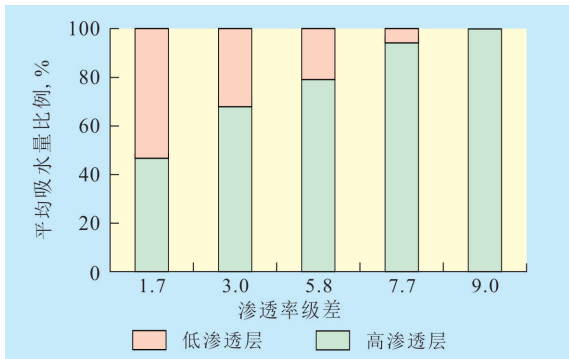


图3 不同渗透率级差岩心组合模型的平均吸水量比例

2.2 水驱波及系数

根据 Welge 提供的基于 Buckley-Leverett 理论的采收率求解方法,以无因次累积注水量函数求解原油采收率的公式^[10]为

$$E_R = (S_{we} - S_{wc}) + (1 - f_{we})W_{id} \quad (1)$$

式中: E_R 为原油采收率; S_{we} 和 S_{wc} 分别为水驱前缘含水饱和度和束缚水饱和度; f_{we} 为水驱前缘含水率; W_{id} 为无因次累积注水量。

W_{id} 可直接从 Buckley-Leverett 理论获得,即

$$xA\phi = W_{id} \frac{df_w}{dS_w} \quad (2)$$

$$W_{id} = \frac{W_i}{xA\phi} \quad (3)$$

式中: x 为水驱前缘移动的距离, m; A 为水驱前缘横截面积, m^2 ; ϕ 为孔隙度; W_i 为累积注水量, m^3 ; f_w 为含水率; S_w 为含水饱和度。

当 $x = L$ 时,则

$$W_{id} = \frac{W_i}{LA\phi} = \frac{1}{\frac{df_w}{dS_w}} \quad (4)$$

式中: L 为岩心长度, m。

驱油效率可表示为

$$E_D = \frac{S_{oi} - S_{or}}{S_{oi}} = 1 - \frac{S_{or}}{S_{oi}} \quad (5)$$

式中: E_D 为驱油效率; S_{oi} 为油藏中原始含油饱和度; S_{or} 为残余油饱和度。

根据驱油效率和原油采收率即可求解水驱波及系数为

$$E_V = \frac{E_R}{E_D} \quad (6)$$

式中: E_V 为水驱波及系数。

根据式(1)一式(6),结合单岩心和岩心组合模型的实验数据,分别计算每个组合模型中单岩心水驱油实验时的水驱波及系数及其平均值,以及岩心组合模型的总体水驱波及系数,其中在计算岩心组合模型水驱波及系数时,根据式(1)计算采收率,驱油效率采用单岩心的驱油效率值。

对比单岩心的平均水驱波及系数(组合模型中高、低渗透岩心单独水驱波及系数的平均值)和组合模型的水驱波及系数(图4)可知,在不同渗透率级差条件下,岩心组合模型水驱波及系数小于单岩心水驱波及系数平均值,并且随着渗透率级差的增大,水驱波及系数的损失率越大,水驱波及系数损失率与渗透率级差近似呈指数关系(图5),说明纵向非均质性越强,水驱波及系数越小,而且当渗透率级差大于5时,水驱波及系数将降低10%以上,当渗透率级差大于9时,注入水几乎无法波及低渗透层,导致水驱波及系数损失率接近30%。

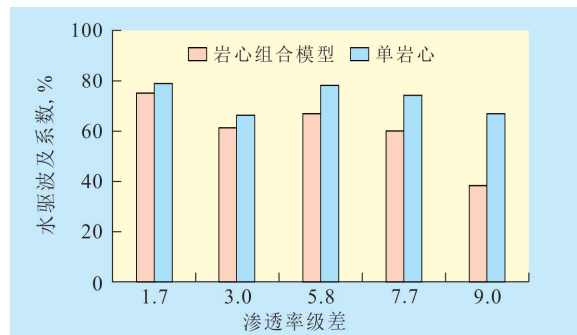


图4 单岩心与岩心组合模型水驱波及系数对比

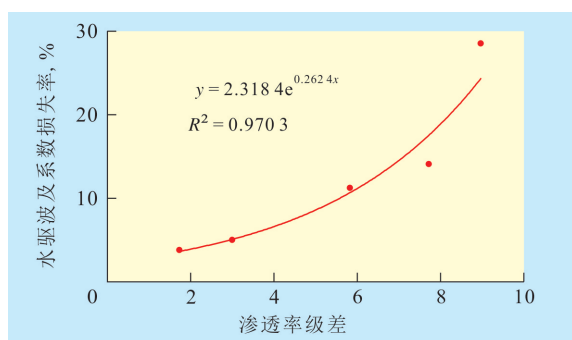


图5 水驱波及系数损失率与渗透率级差的关系

3 结论

岩心组合模型的实测吸水量分配符合多层非均质油藏吸水量劈分理论公式,岩心组合模型可以较为准确地反映非均质油藏的水驱波及规律。随着岩心组合模型渗透率级差的增大,高渗透层的吸水量比例逐渐增加,当渗透率级差大于7时,高渗透层的吸水量比例超过90%。纵向非均质性越强,水驱波及系数越小,当渗透率级差大于9时,注入水几乎无法波及低渗透层。

参考文献:

- [1] 王伦雨.中低渗透油层层间非均质性对提高采收率影响[D].大庆:大庆石油学院,2006:5-8.
- [2] 邓瑞健.储层平面非均质性对水驱油效果影响的实验研究[J].大庆石油地质与开发,2002,21(4):16-19.
- [3] 苏玉亮,李涛.平面非均质性对特低渗透油藏水驱油规律的影响[J].油气地质与采收率,2009,16(1):69-71.
- [4] 宋广寿,高辉,高静乐,等.西峰油田长8储层微观孔隙结构非均质性与渗流机理实验[J].吉林大学学报:地球科学版,2009,39(1):53-58.
- [5] 于春生,李闯,乔国安,等.纵向非均质油藏水驱油实验研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(1):84-86.
- [6] 王瑞飞,孙卫.特低渗透砂岩微观模型水驱油实验影响驱油效率因素[J].石油实验地质,2010,32(1):93-97.
- [7] 林光荣,刘秋兰,刘学刚,等.利用组合模型研究储层非均质性对驱油效率的影响[J].武汉工业学院学报,2009,28(3):18-21.
- [8] 殷代印,翟云芳,卓兴家.非均质砂岩油藏周期注水的室内实验研究[J].大庆石油学院学报,2000,24(1):82-84.
- [9] 周英芳,方艳君,王晓冬,等.多层油藏非活套水驱驱替效率研究[J].油气地质与采收率,2009,16(1):86-89,93.
- [10] Welge H J. Predicting displacement efficiency from water-cut or gas-cut field data[C]. SPE 5313, 1975.

编辑 经雅丽

(上接第90页)

参考文献:

- [1] 李新红,王萍,胡景双,等.高集油田微构造特征及成因类型分析[J].复杂油气藏,2009,2(2):16-19.
- [2] 黎明.高集油田高6断块水淹层测井评价与剩余油分布研究[D].青岛:中国海洋大学,2011.
- [3] 单宇.高6断块开发效果评价及提高开发效果技术研究[D].秦皇岛:燕山大学,2011.
- [4] 董冬,陈洁,邱明文.河流相储集层中剩余油类型和分布规律[J].油气采收率技术,1999,6(3):39-46.
- [5] 李春英,吴晓东,李淑霞.特高含水深度开发阶段调整挖潜技术政策界限——以胜坨油田坨28断块沙二段7—8单元为例[J].油气地质与采收率,2010,17(6):97-100.
- [6] 王军.中原油田濮53断块流动单元划分与剩余油分布研究[D].北京:中国地质大学(北京),2007.
- [7] 徐全.榆树林油田升382井区扶杨主力油层流动单元及剩余油研究[D].大庆:大庆石油学院,2007.

- [8] 尹太举,张昌民,张尚峰,等.基于流动单元的储层评价及剩余油预测[J].中国科学:D辑 地球科学,2008,38(2):110-116.
- [9] 王端平,杨勇,牛栓文,等.东辛复杂断块油藏层块分类评价方法与调整对策[J].油气地质与采收率,2012,19(5):84-87.
- [10] 王延忠.埕东油田东区二次开发潜力及措施探讨[J].油气地质与采收率,2010,17(1):86-89.
- [11] 张继腾,李中洲,陈喜萍.以沉积微相研究为基础结合构造部位挖潜剩余油[J].断块油气田,1999,7(5):41-44.
- [12] 蔡忠,曾发富.临南油田沉积微相模式及剩余油分布[J].石油大学学报:自然科学版,2000,24(1):44-47.
- [13] 刘伟,罗小刚.细分沉积微相研究剩余油分布规律[J].科学技术与工程,2011,11(27):6705-6709.
- [14] 孙孟茹,高树新.胜坨油田二区沉积微相特征与剩余油分布[J].石油大学学报:自然科学版,2003,27(3):26-29.
- [15] 冉启佑.剩余油研究现状与发展趋势[J].油气地质与采收率,2003,10(5):49-51.

编辑 常迎梅