

文章编号: 1006-6535(2007)04-0068-04

注水水质对低渗油藏开发指标的影响研究

吴 锋¹, 李晓平¹, 廖伍彬², 杨 洋³

(1. 西南石油大学, 四川 成都 610500; 2. 中海油基地采油技术服务公司, 天津 塘沽 300452;
3. 中海油有限公司上海分公司, 上海 200030)

摘要:基于水质对低渗透油藏储层渗流物性影响的实验研究, 结合渗流力学理论, 建立了注水水质与相对渗透率的关系。在此基础上, 采用油藏工程理论和方法, 分析了注水水质对低渗透油藏开发动态和开发指标(包括油藏含水变化规律、驱油效率、波及系数、采出程度和水驱动用储量等)的影响, 此研究结果可能对油藏注水设计产生重大影响。

关键词:注水水质; 低渗透油类; 相对渗透率; 驱油效率; 波及系数; 采出程度

中图分类号: TE348 **文献标识码:** A

引 言

大量注水油田开发实践证明, 注水水质对油藏开发指标具有一定的影响, 尤其在低渗透油藏中, 注水水质直接关系到油藏开发效果。参考前人对注水水质对开发效果的影响所作的大量研究^[1-5], 通过水质适应程度系数^[6], 结合注水油藏开发指标计算方法^[7,8], 定量分析了注水水质对低渗透油藏开发动态和开发指标的影响。

1 水质适应程度系数与相对渗透率

水驱过程中, 油水相对渗透率的变化直接引起开发指标的变化。因此, 首先要建立注水水质适应程度系数与相对渗透率之间的关系。

1.1 相对渗透率比与含水饱和度的关系

研究表明, 相对渗透率比与 S_w 存在以下关系^[10]:

$$\ln \frac{K_{ro}}{K_{rw}} = -bS_w + \ln a \quad (1)$$

式中: K_{ro} 、 K_{rw} 分别为油、水相对渗透率; S_w 为含水饱和度; a 、 b 为回归系数。

1.2 水质适应程度系数与相对渗透率比的关系

不同的水质驱替时会产生与之相对应的相对

渗透率数据, 由式(1)可获得不同水质对应的回归系数 a 和 b 。再利用系数回归方法得到水质适应程度系数与 a 、 b 之间的关系, 然后即可建立水质适应程度系数与相对渗透率之间的关系。

$$\frac{K_{ro}}{K_{rw}} = e^{f_1(w_q) + f_2(w_q)S_w} \quad (2)$$

式中: w_q 为水质适应程度系数; $f_1(w_q)$ 、 $f_2(w_q)$ 分别为 w_q 的回归函数。

2 水质对油藏开发指标影响

以某油田低渗透试验区注水开发试验为例, 分析水质对各种开发指标的影响。在该试验区通过岩心实验及回归方法得到:

$$\frac{K_{ro}}{K_{rw}} = e^{(-20.1w_q + 25.662) + (31.611w_q - 41.561)S_w} \quad (3)$$

2.1 水质对含水率变化的影响

对于水驱开发, 由分流方程^[9]和式(3), 可推导出不同水质条件下 f_w 与 S_w 关系:

$$f_w = \frac{1}{1 + \mu_R e^{[(-20.1w_q + 25.662) + (31.611w_q - 41.561)S_w]}} \quad (4)$$

式中: μ_R 为水油粘度比, 且 $\mu_R = \mu_w / \mu_o$, μ_w 和 μ_o 分别为油和水的粘度, mPa·s; f_w 为含水率, %。

由式(4)可以作出 f_w 和 S_w 关系曲线(图1)。

收稿日期: 2007-04-18; 改回日期: 2007-05-08

基金项目: 本文为油气藏地质及开发工程国家重点实验室基金项目(项目编号为 PLN0141)部分成果

作者简介: 吴锋(1980-), 男, 2002年毕业于西南石油学院石油工程专业, 获硕士学位, 现为西南石油大学油气田开发专业在读博士研究生。

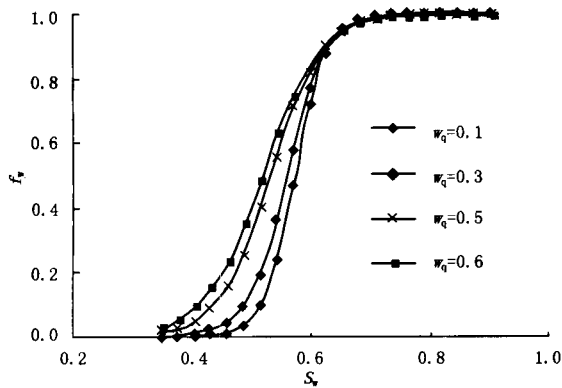


图1 受水质影响的 f_w-S_w 关系曲线

由图1可看出,当 S_w 低于65%时,含水率随水质适应程度系数的增大而增大;当 S_w 高于65%时,水质对含水率几乎无影响。

2.2 水质对驱油效率的影响

由式(1)和分流方程^[9]可得:

$$S_{we} = \ln[\mu_o(1-f_w)/(a\mu_w f_w)]/b \quad (5)$$

$$S_{wa} = S_{we} + \frac{1}{bf_w} \quad (6)$$

式中: S_{we} 、 S_{wa} 分别为水驱前缘和波及区平均含水饱和度。

由此可得:

$$E_D = 1 - (B_{oi}/B_o)[(1-S_{wa})/(1-S_{we})] \quad (7)$$

式中: B_o 、 B_{oi} 分别为原油体积系数和原始体积系数; E_D 为油藏水驱的驱油效率。

利用式(4)~(7),可以作出水驱驱油效率与水质适应程度系数的关系曲线(图2)。

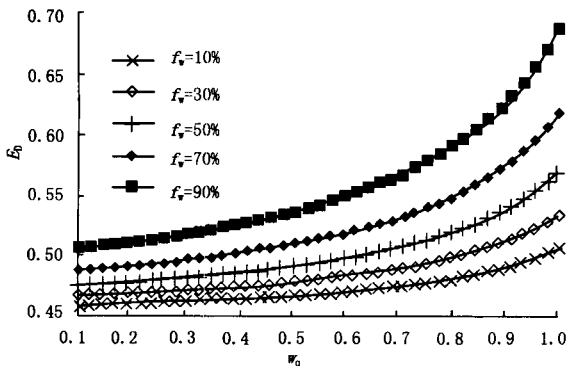


图2 水质对驱油效率的影响

由图2可看出,在一定的含水率下,随着水质适应程度系数的增加,驱油效率增大,且水质适应程度系数相同时,含水率越高,驱油效率越高。

3 水质对波及系数的影响

3.1 水质对面积波及系数的影响

M.R.Fassihi总结了Dyes(戴伊斯)等人所作的平面二维物理模型所得到的平面波及系数与采出含水率的关系^[10],推导出平面波及系数公式:

$$\frac{1-E_p}{E_p} = [a_1 \ln(M+a_2) + a_3]f_w + a_4 \ln(M+a_5) + a_6 \quad (8)$$

式中: E_p 为油藏平面波及系数; M 为流度比,且 M

$$= \frac{K_{ro}(\bar{S}_w)/\mu_o + K_{rw}(\bar{S}_w)/\mu_w}{K_{ro}(S_{we})/\mu_o}; a_i (i=1,2,3,4,5,6)$$

为与井网类型有关的系数。

利用式(4)、(8)和(9),作出交错井网下的面积波及系数关系曲线(图3)。

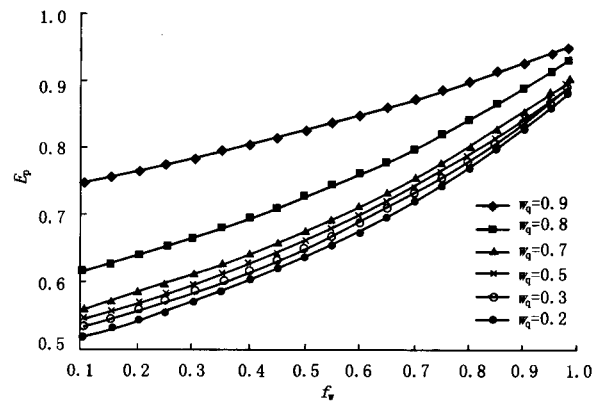


图3 水质对面积波及系数的影响

由图3可看出,水质适应程度系数0.7是注水开发中要达到的一个最低的标准,只有当大于该值时,改善水质才对波及系数较大影响。

3.2 水质对垂向波及系数的影响

垂向波及系数的计算公式为^[11]:

$$Y = \frac{(F+0.4)(18.948-2.499V_k)}{10^{(V_k)}(M+1.137-0.8094V_k)} \quad (10)$$

式中: F 为水油比, m^3/m^3 ; E_z 为垂向波及系数; V_k 为渗透率变异系数。

$$Y = b_1 E_z^{b_2} (1-E_z)^{b_3}$$

$$f = f_w/(1-f_w)$$

$$f(V_k) = -0.6891 + 0.9735V_k + 1.6453V_k^2$$

$$b_1 = 3.33408857, b_2 = 0.77373482, b_3 = -1.2258594。$$

利用式(4)和(10),可以做出不同水质时垂向波及系数与含水率的关系曲线(图 4、5)。

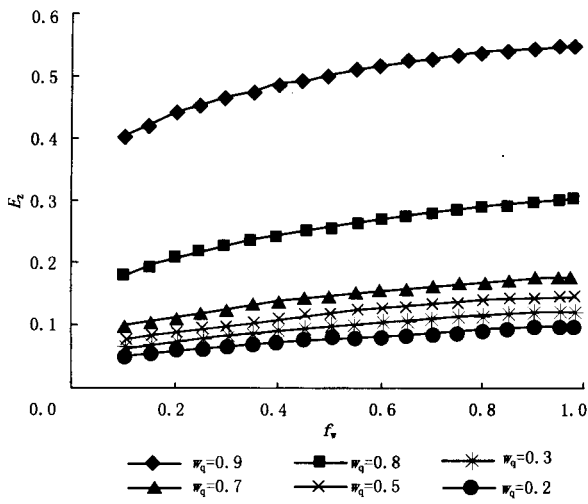


图 4 水质对垂向波及系数的影响($\beta = 1.0$)

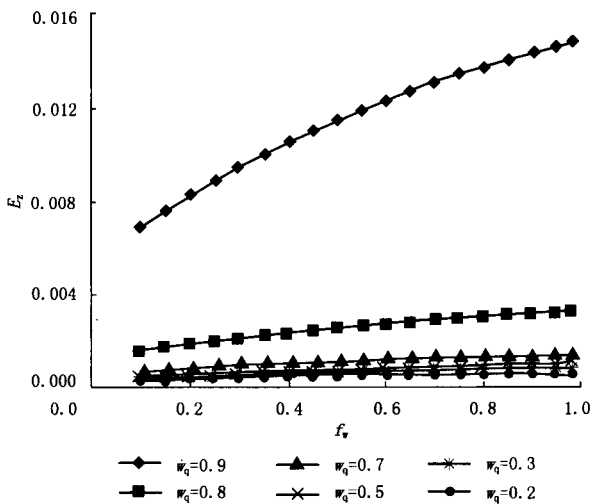


图 5 水质对垂向波及系数的影响($\beta = 0.5$)

图 4、图 5 是油水粘度比为 4, 变异系数分别为 1.0 和 0.5 时, 水质对垂向波及系数的影响。比较图 4、5 可知, 当油藏非均质性较强时, 任何水质的垂向波及系数都是非常低的, 即使水质适应程度系数达 0.9 时, 垂向波及系数也仅为 1.6%; 当油藏非均质性较弱, 水质适应程度系数为 0.9 时, 其垂向波及系数最高可达 55%。由此可以证明, 注水水质和油藏非均质性均为影响注水垂向波及系数的重要因素。

5 水质对采收率的影响

根据水驱油理论, 对分流量方程求导可得:

$$f'_{w|S_{we}} = \frac{(\mu_w/\mu_o)bae^{bs_{we}}}{[1 + (\mu_w/\mu_o)ae^{-bs_{we}}]^2} \quad (11)$$

式中: $f'_{w|S_{we}}$ 为含水率的导数。

根据威尔吉方程^[12], 可得:

$$\bar{S}_w = S_{we} + [1 - f_w(S_{we})]/f'_{w|S_{we}} \quad (12)$$

$$R = (\bar{S}_w - S_{wi})/(1 - S_{wi}) \quad (13)$$

式中: R 为采出程度, %; \bar{S}_w 为平均含水饱和度; S_{wi} 为束缚水饱和度。

由式(11)~(13)及式(3)、(4)可推出含水率 f_w 与采出程度 R 的关系式:

$$R = -\frac{1}{1 - S_{wi}} \left[\frac{1}{f_2(w_q)} + S_{wi} + \frac{1}{f_2(w_q)} f_1(w_q) \frac{\mu_w}{\mu_o} \right] - \frac{1}{f_2(w_q)(1 - S_{wi})} \ln F - \frac{1}{f_2(w_q)(1 - S_{wi})} \frac{1}{F} \quad (14)$$

利用式(4)和(14), 做出在不同水质条件下采出程度与水油比的关系曲线(图 6)。

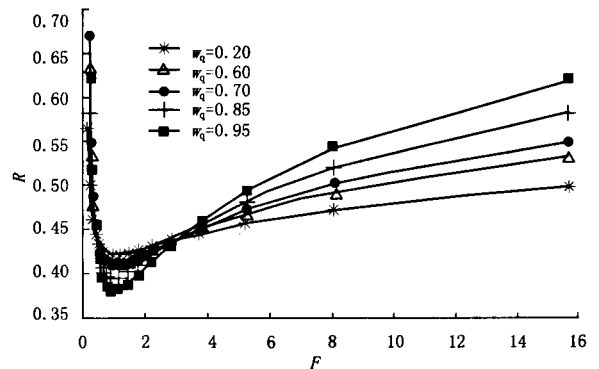


图 6 不同水质适应程度下的采出程度曲线

由图 6 可看出, 不同水质条件下采出程度与水油比的关系曲线可以分为 3 个阶段: 当水油比小于 0.5 时(即含水率低于 30%), 随着含水率的增加, 采出程度几乎直线下降, 且该阶段采出程度与水质适应程度系数无关; 当水油比在 0.5~2.8 时(即含水率为 30%~70%), 随着含水率的增加, 采出程度增加, 这一阶段内随着水质适应程度系数的增加, 采出程度反而降低; 当水油比大于 2.8 时(即含水率大于 70%), 随着含水率的增加, 采出程度增加, 这一阶段内, 含水率相同时, 随着水质适应程度系数的增加, 采出程度提高。

6 结论

(1) 以水质对储层渗流物性影响实验研究资料为基础, 结合渗流力学理论, 建立了注水水质与

相对渗透率的关系,为研究注水水质对开发指标的影响提供了研究方法和理论基础。

(2) 根据水质与相对渗透率的关系,采用油藏工程理论和方法,获得了注入水水质对油藏开发动态和开发指标的影响研究方法及其影响规律关系曲线。

(3) 利用本文研究成果对试验区水质对油藏采出程度的影响规律进行了研究,取得了与生产实际相符合的结果,具有较高的实用价值,并可能对油藏,特别是低渗透油藏的注水设计产生重要影响。

参考文献:

- [1] 冯宝峻,刘东升. 注污水对开发效果的不良影响[J]. 大庆石油地质与开发,1987,6(2):49~54.
- [2] 熊敏,周明才. 临盘油田高含水期改善注水开发效果的途径探讨[J]. 油气采收率技术,1996,3(3):45~49.
- [3] 邓英尔,刘慈群. 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[J]. 石油勘探与开发,1998,25(6):36~39.
- [4] 杨正明,邱勇松,等. 注入水中的悬浮颗粒对特低渗透油藏开发效果的影响[J]. 石油勘探与开发,2002,29(4):106~108.
- [5] 杨正明 邱勇松等 注入水的水质对特低渗透油藏开发井网的影响[J]. 特种油气藏,2002,9(4):36~38.
- [6] 唐海 赵金州,等. 注入水水质对储层适应程度评价方法研究[J]. 大庆石油地质与开发,2003,22(6):33~35.
- [7] 相天章,等. 新区油田注水开发指标计算方法[J]. 特种油气藏,2002,9(2):45~46.
- [8] 陈元千. 水驱油田开发指标的预测方法[J]. 断块油气田,1998,5(3):29~33.
- [9] 何更生. 油层物理[M]. 北京:石油工业出版社,1994:247~248.
- [10] Dyes A. B., Caudle B H. and Erichson R A. Oil production after breakthrough—as influenced by mobility ratio [J]. Trans., AIME, 1954, 201: 81~86
- [11] Fassihi, M. R. New correlations for calculation of vertical coverage and areal sweep efficiency, SPERE, Nov. 1986: 604~606.
- [12] [美]克雷格 F F. 张朝深,等译. 油田注水开发工程方法[M]. 北京:石油工业出版社,1981:58~64.

编辑 董志刚