



CSTAM 2012-B03-0074

低渗油藏直井水平井五点井网开发物理模拟

沈瑞，胡志明，高树生，熊伟，段宝江，赵芳

中国石油勘探开发研究院廊坊分院

第七届全国流体力学学术会议

2012年11月12—14日 广西·桂林

低渗油藏直井水平井五点井网开发物理模拟

沈瑞, 胡志明, 高树生, 熊伟, 段宝江, 赵芳

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007)

摘要 为了评价低渗透油藏直井水平井联合井网中, 直井注水平井采和水平井注直井采两种注采方式的开发效果, 根据相似理论, 制作了油藏比例模型, 进行了直井、水平井开发单相流体渗流实验, 以及五点井网油水两相渗流实验。结果表明, 在弹性驱动条件下, 定产量生产时, 生产初期直井生产井的井底压力下降较快; 定井底流压生产时, 产量与时间呈指数函数关系变化, 水平井的初始产量较高, 而且产量递减速度较慢。对比两种注采方式的开发效果可知, 直井注水平井采的注采方式采出程度较高, 开发效果较好。

关键词 低渗透, 物理模拟, 五点井网, 水驱, 水平井

引言

随着水平井钻井技术的发展及钻井成本的大幅降低, 水平井与直井联合布井方式越来越多地应用到油田实际生产中。目前, 关于水平井物理模拟方面主要以电模拟为主要手段^[1-3], 但是该方法只能模拟单相流体渗流的情况, 而关于水驱条件下水平井生产动态物理模拟方面的研究也主要采用人工填砂模型, 其渗透率通常都在 $200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上, 无法反映低渗透油藏的渗流规律。笔者借鉴前人在水平井渗流物理模拟方面研究成果的基础上^[4-8], 针对低渗透油藏的低孔隙度、低渗透率特点, 以低渗透砂岩露头为基础, 设计了相应物理模型和实验方案, 研究了低渗透油藏直井水平井五点井网单相流体、及油水两相渗流规律。

1 相似准则与模型设计

1.1 相似准则

取直井水平井五点井网的 1/4 单元, 四周为封闭边界, 根据镜像反映法以及产量劈分原理, 则可以反映出完整的直井水平井五点井网。五点井网的 1/4 单元如图 1 所示, 其油水两相渗流控制方程为式(1)~式(4):

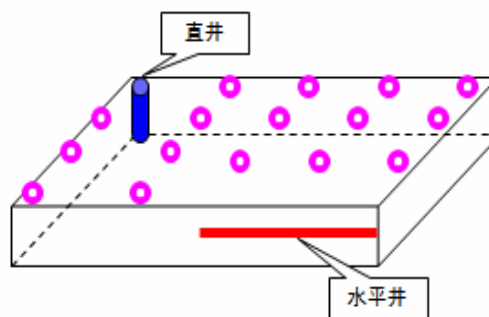


图1 物理模型示意图

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho_o k_o \Delta y \Delta z}{\mu_o} \frac{\partial p_o}{\partial x} \right) \Delta x + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho_o k_o \Delta x \Delta z}{\mu_o} \frac{\partial p_o}{\partial y} \right) \Delta y + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\rho_o k_o \Delta x \Delta y}{\mu_o} \frac{\partial p_o}{\partial z} \right) \Delta z + q_o = \Delta x \Delta y \Delta z \frac{\partial(\phi \rho_o S_o)}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho_w k_w \Delta y \Delta z}{\mu_w} \frac{\partial p_w}{\partial x} \right) \Delta x + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho_w k_w \Delta x \Delta z}{\mu_w} \frac{\partial p_w}{\partial y} \right) \Delta y + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\rho_w k_w \Delta x \Delta y}{\mu_w} \frac{\partial p_w}{\partial z} \right) \Delta z + q_w = \Delta x \Delta y \Delta z \frac{\partial(\phi \rho_w S_w)}{\partial t} \quad (2)$$

$$q_o = \frac{2\pi \rho_o k_o h (p_o - p_{wf})}{\mu_o} \frac{1}{\ln \frac{4r_e}{L} + \frac{h}{L} \ln \frac{h}{2\pi r_w}} \delta(x - x_p) \delta(y - y_p) \quad (3)$$

$$q_w = \frac{\rho_w q_l}{4} \delta(x) \delta(y) + \frac{2\pi\rho_w k_w h (p_w - p_{wf})}{\mu_w} \frac{1}{\ln \frac{4r_e}{L} + \frac{h}{L} \ln \frac{h}{2\pi r_w}} \delta(x - x_p) \delta(y - y_p) \quad (4)$$

饱和度方程:

$$S_o + S_w = 1 \quad (5)$$

$$p_{lD} = \frac{p_l k_{row} h}{q_l \mu_w}, \text{ 其中 } l=o \text{ 或 } w;$$

初始条件:

$$p_o|_{t=0} = p_{oi} \quad (6)$$

$$g_{lD} = \frac{g_l k_{row} h x_R}{q_l \mu_w}, \text{ 其中 } l=o \text{ 或 } w.$$

$$S_w|_{t=0} = S_{wi} \quad (7)$$

无因次参量:

边界条件:

$$\mu_{oD} = \frac{\mu_o}{\mu_w}, \quad \rho_{oD} = \frac{\rho_o}{\rho_w},$$

$$\frac{\partial p_l}{\partial x} = 0, \frac{\partial p_l}{\partial y} = 0, \quad l=o, w \quad (8)$$

$$c_{lD} = \frac{c_l q_l \mu_w}{k_{row} h}.$$

式中: ρ_o 、 ρ_w 分别为油相密度和水相密度, kg/m^3 ; k_o 、 k_w 分别为油相有效渗透率和水相有效渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$; p_o 、 p_w 分别为油相和水相压力, MPa; A_x 为横截面积, m^2 ; q_o 、 q_w 分别为油和水的汇源项, kg/d ; S_o 、 S_w 分别为含油饱和度和含水饱和度, 无量纲; μ_o 、 μ_w 分别为油的粘度和水的粘度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; Φ 为孔隙度, 无量纲, h 为油藏厚度, m 。

含水饱和度和相对渗透率归一化:

$$\overline{S_w} = \frac{S_w - S_{cw}}{1 - S_{cw} - S_{ro}} = \frac{S_w - S_{cw}}{\Delta S},$$

采用方程分析法对式(1)~式(4)进行无量纲化, 无因次自变量、因变量、参量如下所述[9-13]。

$$\overline{S_o} = \frac{S_o - S_{ro}}{\Delta S}, \quad k_{oD} = \frac{k_o}{k_{cow}},$$

$$k_{wD} = \frac{k_w}{k_{row}}.$$

无因次自变量:

把上述各式代入到式(1)~式(8)即可得到:

$$x_D = \frac{x}{x_R}, \quad y_D = \frac{y}{y_R}, \quad z_D = \frac{z}{h},$$

$$t_D = \frac{q_l t}{\phi \Delta x_D y_R h \Delta S}.$$

无因次因变量:

$$\begin{aligned} & \frac{x_R}{y_R} \frac{\partial}{\partial x_D} \left(\frac{\rho_{oD} k_{oD} \Delta y_D \Delta z_D}{\mu_{oD}} \frac{\partial p_{oD}}{\partial x_D} \right) \Delta x_D + \frac{y_R}{x_R} \frac{\partial}{\partial y_D} \left(\frac{\rho_{oD} k_{oD} \Delta x_D \Delta z_D}{\mu_{oD}} \frac{\partial p_{oD}}{\partial y_D} \right) \Delta y_D + \\ & \frac{x_R y_R}{z_R} \frac{\partial}{\partial z_D} \left(\frac{\rho_{oD} k_{oD} \Delta x_D \Delta y_D}{\mu_{oD}} \frac{\partial p_{oD}}{\partial z_D} \right) \Delta z_D = \Delta x_D \Delta y_D \Delta z_D \rho_{oD} S_o (C_{fD} + C_{oD}) \frac{\partial p_{oD}}{\partial t_D} \\ & + \Delta x_D \Delta y_D \Delta z_D \rho_{oD} \frac{\partial S_o}{\partial t_D} - \frac{2\pi\rho_{oD} k_{oD} (p_{oD} - p_{wD})}{\mu_{oD}} \frac{1}{\ln 8r_{eD} - 2 \ln 2\pi r_{wD}} \delta(x_D - x_{pD}) \delta(y_D - y_{pD}) \end{aligned} \quad (9)$$

1) 基金资助项目

2) Email: shenrui523@126.com

$$\begin{aligned}
 & \frac{x_R}{y_R} \frac{\partial}{\partial x_D} \left(\rho_{wD} k_{oD} \Delta y_D \Delta z_D \frac{\partial p_{wD}}{\partial x_D} \right) \Delta x_D + \frac{y_R}{x_R} \frac{\partial}{\partial y_D} \left(\rho_{wD} k_{oD} \Delta x_D \Delta z_D \frac{\partial p_{wD}}{\partial y_D} \right) \Delta y_D + \\
 & \frac{x_R y_R}{z_R} \frac{\partial}{\partial z_D} \left(\rho_{wD} k_{oD} \Delta x_D \Delta y_D \frac{\partial p_{wD}}{\partial z_D} \right) \Delta z_D + \frac{\rho_{wD}}{4} \delta(x_D) \delta(y_D) \\
 & + \frac{2\pi \rho_{wD} k_{wD} (p_{wD} - p_{pD})}{\mu_{wD}} \frac{1}{\ln 8r_{eD} - 2 \ln 2\pi r_{wD}} \delta(x_D - x_{pD}) \delta(y_D - y_{pD}) \\
 & = \Delta x_D \Delta y_D \Delta z_D \rho_{wD} S_w (C_{fD} + C_{wD}) \frac{\partial p_{wD}}{\partial t_D} + \Delta x_D \Delta y_D \Delta z_D \rho_{wD} \frac{\partial S_w}{\partial t_D}
 \end{aligned} \tag{10}$$

无量纲饱和度方程:

$$\bar{S}_o + \bar{S}_w = 1 \tag{11}$$

无量纲初始条件:

$$p_{oD} \Big|_{t_D=0} = p_{oiD} \tag{12}$$

$$\bar{S}_w \Big|_{t=0} = \bar{S}_{wi} \tag{13}$$

无量纲边界条件:

$$\frac{\partial p_{lD}}{\partial x_D} = 0, \frac{\partial p_{lD}}{\partial y_D} = 0, \quad l=o, w \tag{14}$$

$$\pi_{14} = \frac{\rho_{o0}}{\rho_{w0}}, \quad \pi_{15} = \frac{p_{o0} k_{row} h}{q_l \mu_w},$$

$$\pi_{16} = \frac{p_{w0} k_{row} h}{q_l \mu_w}, \quad \pi_{17} = \frac{p_{oi} k_{row} h}{q_l \mu_w},$$

$$\pi_{18} = \frac{p_{wf} k_{row} h}{q_l \mu_w}, \quad \pi_{19} = \frac{c_o q_l \mu_w}{k_{row} h},$$

$$\pi_{20} = \frac{c_w q_l \mu_w}{k_{row} h}, \quad \pi_{21} = \frac{c_\phi q_l \mu_w}{k_{row} h}$$

其中, x_R 、 y_R 分别为长度和等效宽度, m;
 S_{cw} 、 S_{ro} 分别为束缚水饱和度和残余油饱和度,
无量纲; k_{cwo} 、 k_{row} 分别为束缚水条件下的油有效
渗透率和残余油条件下的水有效渗透率, $10^3 \mu\text{m}^2$ 。

从以上分析中可以得到以下 21 个无因次
量:

$$\pi_1 = \frac{y_R}{x_R}, \quad \pi_2 = \frac{x_R}{z_R}, \quad \pi_3 = \frac{k_{cwo}}{k_{row}},$$

$$\pi_4 = \frac{S_{ro}}{\Delta S}, \quad \pi_5 = \frac{S_{cw}}{\Delta S}, \quad \pi_6 = \frac{k_o}{k_{cwo}},$$

$$\pi_7 = \frac{k_w}{k_{row}}, \quad \pi_8 = \frac{x_p}{x_R}, \quad \pi_9 = \frac{y_p}{y_R},$$

$$\pi_{10} = \frac{r_e}{x_R}, \quad \pi_{11} = \frac{r_w}{x_R},$$

$$\pi_{12} = \frac{S_{wi} - S_{cw}}{\Delta S}, \quad \pi_{13} = \frac{\mu_o}{\mu_w},$$

每个相似准数的物理物理意义在文献[14]
中进行了阐述。

表 1 各物理量含义及其量纲

| 参变量 | 物理意义 | 量纲 |
|----------|-----------|----------------------------------|
| x_R | 油藏长度 | L |
| y_R | 油藏宽度 | L |
| h | 油藏厚度 | L |
| L | 水平井水平段长度 | L |
| x_p | 水平井井横坐标 | L |
| y_p | 水平井井纵坐标 | L |
| r_e | 等效供给半径 | L |
| r_w | 井筒半径 | L |
| ρ_o | 油的密度 | ML ⁻³ |
| ρ_w | 水的密度 | ML ⁻³ |
| C_o | 油的压缩系数 | M ⁻¹ LT ² |
| C_w | 水的压缩系数 | M ⁻¹ LT ² |
| C_f | 岩石孔隙的压缩系数 | M ⁻¹ LT ² |
| k_o | 油的有效渗透率 | L ² |
| k_w | 水的有效渗透率 | L ² |
| Φ | 岩石的孔隙度 | 1 |
| μ_o | 油的粘度 | ML ⁻¹ T ⁻¹ |

1) 基金资助项目

2) Email: shenrui523@126.com

| | | |
|----------|---------|-----------------|
| μ_w | 水的粘度 | $ML^{-1}T^{-1}$ |
| p_o | 油相压力 | $ML^{-1}T^{-2}$ |
| p_w | 水相压力 | $ML^{-1}T^{-2}$ |
| p_i | 原始地层压力 | $ML^{-1}T^{-2}$ |
| p_{wf} | 生产井井底流压 | $ML^{-1}T^{-2}$ |
| S_{wi} | 原始含水饱和度 | 1 |
| q_I | 注水井注入流量 | L^3T^{-1} |

表 1 给出了直井水平井五点井网油水两相渗流系统相关的 24 个物理量及其量纲, 根据 π 定理, 在选定三个独立基本变量之后, 可以确定直井水平井联合五点井网油水两相渗流的相似准数一共 21 个。与方程分析法得到的相似准数个数是一样的。

1.2 模型设计

根据推导的相似准则, 将实际井网单元按比例缩小, 设计实验模型和实验数据, 油藏参数和模型参数如表 2 所示。实验模型的基质为取自四川的天然砂岩露头, 文献[15]中对比了该类天然露头与长庆油田 I 类低渗砂岩储层的孔喉特征参数, 二者的中值压力、喉道均值、以及分选系数等均较为接近, 从数据上说明了所选用的低渗天然露头与长庆油田 I 类低渗储层在孔喉特征方面的相似之处, 同时也说明了该天然露头模型可以有效的模拟 I 类低渗透储层的渗流特征。物理模型的井及压力传感器的位置如图 1 所示, 圆圈代表传感器, 模型采用树脂封装低渗透天然砂岩露头制作而成, 模型耐压 1.2MPa。

表 2 油藏原型参数与实验模型参数

| 物理量/单位 | 原型值 | 模型值 |
|-----------------------------|-------|-----------|
| 长度/m | 300 | 0.3 |
| 宽度/m | 250 | 0.25 |
| 厚度/m | 30 | 0.03 |
| $k_{row}/10^{-3}\mu m^2$ | 0.45 | 0.45 |
| $k_{cwo}/10^{-3}\mu m^2$ | 0.98 | 0.98 |
| 孔隙度/% | 16.5 | 16.5 |
| 水的粘度/mPa.s | 1 | 1 |
| 油的粘度/mPa.s | 2.08 | 2.08 |
| 油的密度/(kg/m ³) | 790 | 790 |
| 水平井水平段长度/m | 150 | 15 |
| 原始含水饱和度/% | 36 | 36 |
| 残余油饱和度/% | 17.82 | 17.85 |
| 初始压力/MPa | 24 | 0.12 |
| 注水井注水流量/(m ³ /d) | 11.52 | 0.0000144 |

2 实验装置与实验方法

2.1 实验装置

低渗油藏压裂水平井开发物理模拟系统由注入系统、模型本体、产出系统及测控系统构成(图 2)。注入系统包括双缸 ISCO 泵、中间容器及管阀部件, 其作用是向模型本体注入模拟油, 保证模型具有一定初始压力, 以及在水驱实验中, 向模型持续注水。模型本体所模拟的原型为三维地层, 包括油层, 上下盖层以及四周封闭边界。产出系统主要运用精密电子天平完成产出液体的计量。测控系统由 16 通道巡检仪、压力传感器以及计算机组成, 其作用是对压力及流量信号进行采集和处理, 可以自动记录模型出口的产液量、不同时期模型入口和模型不同位置的的压力变化规律。

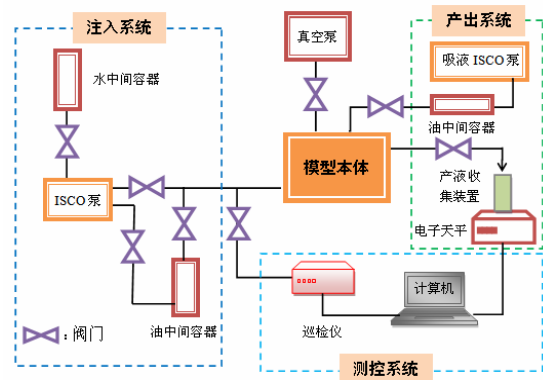


图 2 实验装置

2.2 实验方法

- 1) 将物理模型用真空泵抽真空, 并饱和模拟地层水。
- 2) 充分饱和和模拟地层水后, 将连接模型的出口阀门全部关闭, 并向模型注入一定量的模拟地层水, 待模型内压力平衡后, 使其具有初始压力 0.12MPa。
- 3) 将吸液 ISCO 泵设置为定流量吸液状态。
- 4) 打开直井, 进行单相流体直井定产量开采实验。
- 5) 重复步骤 1)~3), 打开水平井, 进行单相流体水平井定产量开采实验。
- 6) 重复采步骤 1)和 2), 打开直井, 并用电子天平记录出口流量, 进行单相流体直井定压开采。

7) 重复采步骤 1)和 2), 打开水平井, 并用电子天平记录出口流量, 进行单相流体水平井定压开采。

8) 采用驱替 ISCO 泵向模型连续注入模拟油, 制造模型的束缚水。

9) 采用驱替 ISCO 泵通过直井向模型连续注水, 同时打开水平井, 用量筒计量水平井的产油和产水体积, 秒表记录实验时间, 进行直井注水平井开采实验。

10) 选择另一个物理模型, 重复步骤 1)~8), 用驱替 ISCO 泵通过水平井向模型内注水, 同时打开直井, 进行水平井注直井开采实验。

3 实验结果与分析

3.1 单相流体定产量开采实验

图 3 对比了直井和水平井在定产量 0.005ml/s 上产时的井底压力曲线, 可见, 生产

初期, 直井生产井的井底压力下降很快, 而水平井下降较慢; 生产一段时间后, 渗流近似达到拟稳态, 井底压力呈线性关系下降。

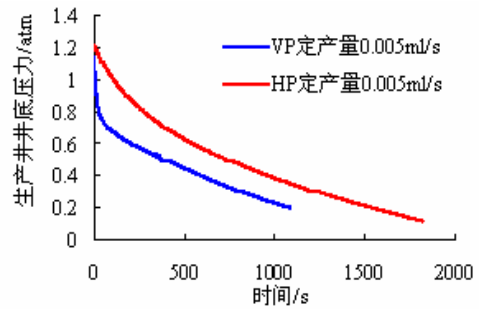


图 3 井底压力变化曲线

图 4 展示了水平井定流量 0.005ml/s 生产时模型的压力分布变化情况, 可以看出, 随着生产时间的增加, 近井区域的压力梯度越来越大, 低压区域越集中在水平井附近。

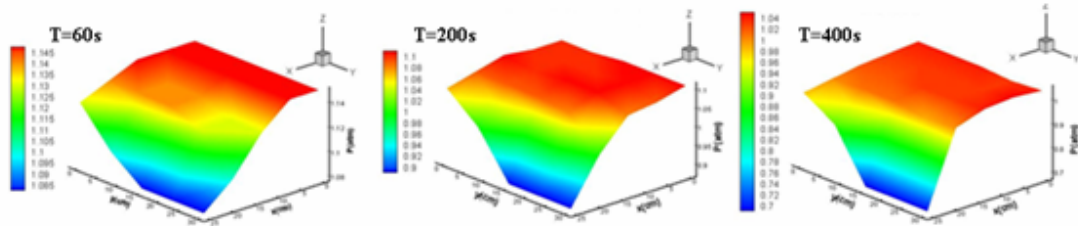


图 4 模型压力分布图

3.2 单相流体定压开采

图 5 展示了直井和水平井单相流体定压开采的产量对比曲线, 可以看出, 生产初期, 水平井的产量较高, 然后产量逐渐递减, 当实验时间 $t > 60s$, 产量在 0.006ml/s 左右; 而直井的产量在实验开始几秒钟内, 就迅速下降到 0.01ml/s, 然后产量保持稳定。

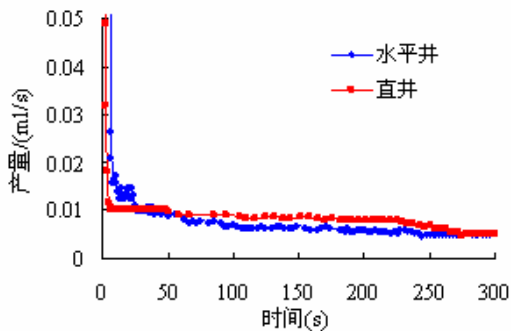


图 5 产量变化曲线

将实验获得的产量数据采用式(1)形式的指数函数进行拟合, 所得的参数列于表 1。式(1)

中 $y-y_0$ 代表产油量, A 的物理意义是初始产油量, D 的物理意义是产量递减速度。从表 1 可以看出, 水平井定压生产的初始产量是直井的约 10 倍, 而且递减速度也较慢, 产生如此差异的原因主要是两种井型与油藏接触面积不同而造成的。

$$y - y_0 = A \cdot e^{-Dt} \quad (6)$$

表 3 拟合曲线的系数

| | $y_0/(ml/s)$ | $A/(ml/s)$ | $D/(1/s)$ | R^2 |
|-------|--------------|------------|-----------|--------|
| 直井产量 | 0.0081 | 0.1116 | 0.5556 | 0.9656 |
| 水平井产量 | 0.0058 | 1.2016 | 0.4762 | 0.9891 |

3.3 两种注采方式下的水驱实验

图 6 分别给出了直井注水平井采(VIHP)和水平井注直井采(HIVP)两种注采方式的采出程度及含水率变化曲线, 对比两图可知, 与水平井注直井采相比, 直井注水平井采的注采方式生产井见水较早, 但含水率上升速度较慢; 当含水率达到 98%时, 直井注水平井采的采出程度为 27.71%, 累积注入孔隙体积 0.44PV, 水

平井注直井采的采出程度为 25.73%，而累积注入孔隙体积却达到了 0.61PV，因此，从注水利用率方面来看，直井注水平井采的注采方式开发效果更佳。

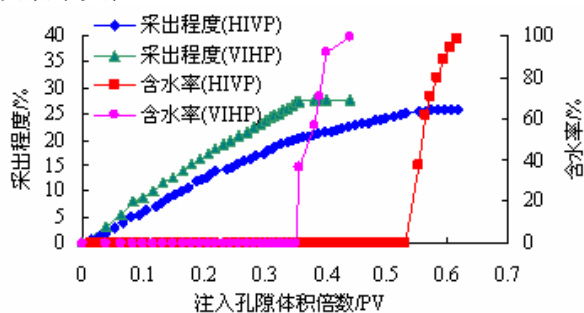


图6 采出程度及含水率变化曲线

4 结论

(1) 首次采用天然露头建立了低渗透油藏水平井开发大尺寸物理模型，并进行了低渗透油藏直井、水平井弹性开采，以及直井注水平井采和水平井注直井采两种注采方式的物理模拟实验研究。

(2) 对于单相流体定产量开采实验，生产初期，直井生产井的井底压力下降较快，而水平井下降较慢；生产一段时间后，二者的井底压力均呈线性关系下降。对于单相流体定井底压力开采实验，产量与时间呈指数函数关系变化，水平井的初始产量比直井高，而且产量递减速度较慢。

(3) 通过对比直井注水平井采和水平井注直井采的油水两相渗流实验结果可知，在水驱条件下，直井注水平井采的开发效果较好。

参考文献

- 1 吴晓东, 隋先富, 安永生, 等. 压裂水平井电模拟实验研究[J]. 石油学报, 2009, 30(5): 740-743.
- 2 张凤喜, 吴晓东, 隋先富, 等. 基于电模拟实验的低渗透油藏压裂水平井产能研究[J]. 特种油气藏, 2009, 16(2): 90-93.

- 3 高海红, 曲占庆, 赵梅. 压裂水平井产能影响因素的实验研究[J]. 西南石油大学学报, 2008, 30(4): 73-76.
- 4 王家禄, 江如意, 蒋志祥, 等. 侧钻水平井开采剩余油的三维物理模拟研究[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 50-56.
- 5 王家禄, 江如意. 侧钻水平井提高石油采收率的油藏物理模拟[J]. 中国科学(E辑), 2003, 33(3): 280-288.
- 6 Hadia N, Chaudhari L, Sushhanta K Mitra, et al. Experimental investigation of use of horizontal wells in waterflooding[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2007, 56(4):303-310.
- 7 Hadia N, Chaudhari L, Sushhanta K Mitra, et al. Experimental investigation of use of horizontal wells in waterflooding[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2007,56(4):303-310.
- 8 Al-Hashim H S. Performance of horizontal injection-horizontal production wells in a five spot pattern: experimental approach[J]. Petroleum Science and Technology, 27(9): 933-942.
- 9 Bai Yuhu, Zhou Jifu, Li Qingping. Designing of partial similarity models and evaluation method in polymer flooding experiment[J]. Transport in Porous Media, 2008, 75(12): 401-412.
- 10 Bai Yuhu, Li Jiachun, Zhou Jifu et a. Sensitivity analysis of dimensionless parameters for physical simulation of water-flooding reservoir[J]. Science in China ser.E, 2005, 48(4): 441-453.
- 11 Zhou Jifu, Li Jiachun. An optimization approach to the similarity criteria of flows and its application[J]. Progress in Natural Science, 2006, 16(3): 241-247.
- 12 Shen Pingping. Flow and transport of oil and water in porous media[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004:115-116.
- 13 孔祥岩, 陈峰磊, 裴柏林. 水驱油物理模拟理论和相似准则[J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(6): 56-60.
- 14 白玉湖. 复杂油气藏渗流体系模拟及其相似准则的敏感性分析[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
- 15 沈瑞, 胡志明, 熊伟, 等. 低渗透砂岩油藏水平井开发物理模拟研究[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(5):112-115.

Physical Simulation of 5-Spot Combination Pattern of Vertical Well and Horizontal Well in Low Permeability

SHEN Rui, HU Zhiming, GAO Shusheng, XIONG Wei, DUAN Baojiang, ZHAO Fang

(PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development-Langfang, Langfang, Hebei 065007, China)

Abstract For evaluating development effects of in combination well patterns of low permeability reservoirs, on the base on the similarity theory, the scaled models of vertical well injecting-horizontal well producing pattern and horizontal well injecting-vertical well producing pattern were made. Experiments that the single fluid developed by vertical well and horizontal well were done. And experiments of the oil-water two-phase flow in

5-spot pattern were done, too. The development effects of vertical well and horizontal well in the elastic drive in low permeability reservoirs were compared. And the development effects of vertical well injecting-horizontal well producing pattern and horizontal well injecting-vertical well producing pattern were compared. Results shows when wells product by constant oil production in the elastic drive, the bottom hole pressure of vertical wells decreases faster than the one of horizontal wells in the initial stage. When wells product by constant bottom hole pressure in the elastic drive, the oil production and time change exponentially and the initial production of horizontal wells is higher. But the production decline rate of horizontal wells is faster than the one of vertical wells. Through comparing development effects of two kinds of injection-production pattern, the recovery percent of the vertical well injecting-horizontal well producing pattern is high, and its development effect is better.

Key words low permeability, physical model, 5-spot pattern, waterflooding, horizontal well