



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107526891 B

(45) 授权公告日 2020. 11. 10

(21) 申请号 201710735830.2

(22) 申请日 2017.08.24

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107526891 A

(43) 申请公布日 2017.12.29

(73) 专利权人 中海石油(中国)有限公司  
地址 100010 北京市东城区朝阳门北大街  
25号  
专利权人 中海石油(中国)有限公司北京研  
究中心

(72) 发明人 康晓东 张健 曾杨 唐恩高  
谢晓庆 石爻

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限  
公司 11245  
代理人 徐宁 谢斌

(51) Int.Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

E21B 43/22 (2006.01)

E21B 49/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106761621 A, 2017.05.31

CN 107066679 A, 2017.08.18

CN 106503407 A, 2017.03.15

审查员 冉凡坤

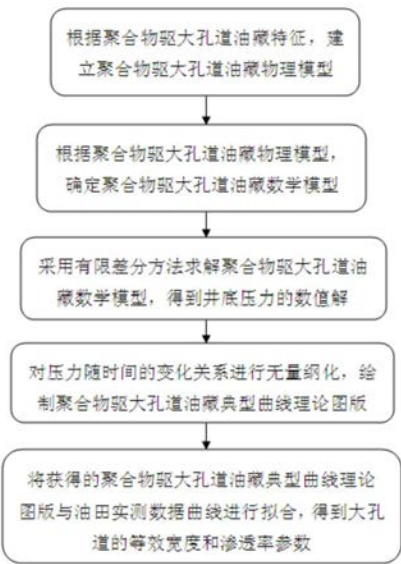
权利要求书4页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法

(57) 摘要

本发明公开了一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法,其特征在于:它包括以下步骤:1)根据聚合物驱大孔道油藏特征,建立聚合物驱大孔道油藏物理模型;2)根据步骤1)中获得的聚合物驱大孔道油藏物理模型,确定聚合物驱大孔道油藏数学模型;3)采用有限差分方法求解步骤2)中获得的聚合物驱大孔道油藏数学模型,得到井底压力的数值解;4)对压力随时间的变化关系进行无量纲化,绘制聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版;5)将步骤4)中获得的聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版与油田实测数据曲线进行拟合,得到大孔道的等效宽度、渗透率参数。



1. 一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法, 其特征在于, 它包括以下步骤:

- 1) 根据聚合物驱大孔道油藏特征, 建立聚合物驱大孔道油藏物理模型;
- 2) 根据步骤1) 中获得的聚合物驱大孔道油藏物理模型, 确定聚合物驱大孔道油藏数学模型;

所述步骤2) 确定聚合物驱大孔道油藏数学模型的具体过程如下:

①确定单相微可压缩液体的不稳定渗流微分方程:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{K(dP/dx)}{\mu_a} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{K(dP/dy)}{\mu_a} \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \phi_m C_m \frac{\partial P}{\partial t} \quad (1)$$

式中,  $P$  为地层压力;  $K$  为油层渗透率;  $\mu_a$  为聚合物的初始粘度;  $C_m$  为油层综合压缩系数;  $\phi_m$  为油层孔隙度;  $t$  为流体流动时间;  $x$  为横坐标方向距井中心距离;  $y$  为纵坐标方向距井中心距离;

②确定聚合物驱大孔道油藏数学模型的初始条件方程、内边界条件方程和外边界条件方程:

其中, 聚合物驱大孔道油藏数学模型的初始条件方程为:

$$P(x, y, t) \big|_{t=0} = P_0 \quad (2)$$

式中,  $P_0$  为原始地层压力;

聚合物驱大孔道油藏数学模型的内边界条件方程为:

$$Bq = 24C \frac{dP_{wf}}{dt} - \frac{2\pi KH}{\mu_a} \frac{P - P_{wf}}{\ln \frac{r_e}{r_w e^{-S}}} \quad (3)$$

$$P_{wf} - P_w \big|_{x=x_0, y=y_0} = \left( -S \times \left( \Delta x \frac{\partial P_w}{\partial x} + \Delta y \frac{\partial P_w}{\partial y} \right) \right)_{x=x_0, y=y_0} \quad (4)$$

式中,  $H$  为油层厚度;  $q$  为井流量;  $C$  为井筒储集系数;  $B$  为体积系数;  $S$  为储层表皮系数;  $P_{wf}$  为井底流压;  $P_w$  为井壁处的压力;  $r_w$  为井筒半径;  $r_e$  为外边界半径;  $x_0$ 、 $y_0$  分别为油井井底中心的横纵坐标;  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  差分微元;  $e$  为常数,  $e = 2.7182818$ ;

聚合物驱大孔道油藏数学模型的外边界条件方程为:

$$\lim_{\substack{x \rightarrow \infty \\ y \rightarrow \infty}} P(x, y, t) = P_0 \quad (5);$$

3) 采用有限差分方法求解步骤2) 中获得的聚合物驱大孔道油藏数学模型, 得到井底压力的数值解;

4) 对压力随时间的变化关系进行无量纲化, 绘制聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版;

5) 将步骤4) 中获得的聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版与油田实测数据曲线进行拟合, 得到大孔道的等效宽度和渗透率参数;

所述步骤1) 中建立的所述物理模型以井筒为对称中心, 两条大孔道对称分布于井筒两侧; 所述步骤1) 中的所述聚合物驱大孔道油藏特征包括: 储层水平、等厚、均质且各向同性; 大孔道的等效延伸长度为  $x_f$ ; 大孔道渗透率为  $K_f$ , 油层渗透率为  $K$ , 大孔道渗透率与油层渗透

率之比为 $\beta$ ,  $K_f$ 大于 $K$ ;大孔道的厚度为油层厚度 $H$ ,等效宽度为 $W_f$ ;沿着大孔道有流体交换,存在压降。

2.如权利要求1所述的一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法,其特征在于:所述步骤3)中,采用有限差分方法求解步骤2)中获得的聚合物驱大孔道油藏数学模型的具体过程如下:

①对步骤1)中的聚合物驱大孔道油藏物理模型在空间和时间进行网格划分;

②对不稳定渗流微分方程、初始条件方程、内边界条件方程和外边界条件方程进行差分离散化,即对(1)~(5)式进行差分离散化;

其中,离散后的渗流扩散方程为:

$$\frac{1}{x_{i+1/2} - x_{i-1/2}} \left[ \frac{K_{i+1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{i+1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i+1,j)}^{n+1} - P_{(i,j)}^{n+1}}{x_{i+1} - x_i} - \frac{K_{i-1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{i-1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i,j)}^{n+1} - P_{(i-1,j)}^{n+1}}{x_i - x_{i-1}} \right] +$$

$$\frac{1}{y_{j+1/2} - y_{j-1/2}} \left[ \frac{K_{j+1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{j+1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i,j+1)}^{n+1} - P_{(i,j)}^{n+1}}{y_{j+1} - y_j} - \frac{K_{j-1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{j-1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i,j)}^{n+1} - P_{(i,j-1)}^{n+1}}{y_j - y_{j-1}} \right] = \phi C_t \frac{P_{(i,j)}^{n+1} - P_{(i,j)}^n}{\Delta t} \quad (6)$$

式中, $i$ 、 $j$ 为对空间的离散; $n$ 为对时间的离散; $\Delta t$ 为时间步长, $\phi$ 为孔隙度,当 $\phi$ 的下标为 $f$ 时,即 $\phi_f$ 为大孔道的孔隙度,当 $\phi$ 的下标为 $m$ 时,即 $\phi_m$ 为油层的孔隙度;

其中式(6)中的 $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+\frac{1}{2}}$ 、 $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-\frac{1}{2}}$ 、 $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+\frac{1}{2}}$ 、 $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-\frac{1}{2}}$ 的取值按调和平均来确定,即:

$$\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i} = \frac{2}{(\mu_a)_i + (\mu_a)_{i+1}} \quad (7)$$

$$\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i} = \frac{2}{(\mu_a)_i + (\mu_a)_{i-1}} \quad (8)$$

$$\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j} = \frac{2}{(\mu_a)_j + (\mu_a)_{j+1}} \quad (9)$$

$$\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j} = \frac{2}{(\mu_a)_j + (\mu_a)_{j-1}} \quad (10)$$

Gauss-seidel迭代法求解方程(6),迭代方程式如下:

$$a_{i,j}P_{(i,j-1)}^{n+1} + b_{i,j}P_{(i-1,j)}^{n+1} + c_{i,j}P_{(i,j)}^{n+1} + d_{i,j}P_{(i+1,j)}^{n+1} + e_{i,j}P_{(i,j+1)}^{n+1} = -g_{i,j}P_{(i,j)}^n - 11.57\mu Bq_{i,j} \quad (11)$$

式中, $a_{i,j}$ 、 $b_{i,j}$ 、 $c_{i,j}$ 、 $d_{i,j}$ 、 $e_{i,j}$ 和 $g_{i,j}$ 均为中间变量:

$$a_{i,j} = \frac{\Delta x_{i,j}}{(\Delta y_{i,j} + \Delta y_{i,j-1})(u_a)_{i,j} + (u_a)_{i,j-1}} H_{i,j} K_{yi,j-\frac{1}{2}};$$

$$b_{i,j} = \frac{\Delta y_{i,j}}{(\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i-1,j})(u_a)_{i,j} + (u_a)_{i-1,j}} H_{i,j} K_{xi-\frac{1}{2},j};$$

$$c_{i,j} = -d_{i,j} - b_{i,j} - e_{i,j} - a_{i,j} - g_{i,j};$$

$$d_{i,j} = \frac{\Delta y_{i,j}}{(\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i+1,j})(u_a)_{i,j} + (u_a)_{i+1,j}} H_{i,j} K_{xi+\frac{1}{2},j};$$

$$e_{i,j} = \frac{\Delta x_{i,j}}{(\Delta y_{i,j} + \Delta y_{i,j+1})(u_a)_{i,j} + (u_a)_{i,j+1}} H_{i,j} K_{yi,j+\frac{1}{2}};$$

$$g_{i,j} = 277.78 H_{i,j} \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} \Phi C_t / \Delta t;$$

$q_{i,j}$ 是网格坐标为 $(i,j)$ 处的井流量,井点网格 $q_{i,j}=q$ ,非井点网格 $q_{i,j}=0$ ;  $P_{i,j}$ 是网格坐标 $(i,j)$ 处的地层压力;

对于内边界条件,将井当作所在网格的汇源项处理,由于井底附近压力梯度大,对内边界条件差分网格作线性化处理,得:

$$Bq_{i,j} = 0.54 \left( \frac{KH}{\mu} \right)_{i,j} \frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{wf}^{n+1}}{\ln \frac{r_e}{r_w} + S} - 24C \frac{P_{wf}^{n+1} - P_{wf}^n}{\Delta t} \quad (12)$$

式中: $\mu$ 为聚合物在任一时间时的粘度;

对外边界条件离散化得:

$$P_{1,j} = P_{m,j} = P_e \quad (j=1, 2 \cdots k) \quad (13)$$

$$P_{i,1} = P_{i,k} = P_e \quad (i=1, 2 \cdots m) \quad (14)$$

式中, $P_{1,j}$ 是网格坐标为 $(1,j)$ 处的地层压力; $P_{m,j}$ 是网格坐标为 $(m,j)$ 处的地层压力; $P_{i,1}$ 是网格坐标为 $(i,1)$ 处的地层压力; $P_{i,k}$ 是网格坐标为 $(i,k)$ 处的地层压力; $P_e$ 为外边界压力; $m$ 表示 $i$ 方向的网格数, $k$ 表示 $j$ 方向的网格数;

为便于差分计算求解,对压力梯度的处理方程如下:

$$\frac{\partial P}{\partial x}(i,j) = \frac{1}{2} \left( \left| \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{0.5(\Delta x_{i+1,j} + \Delta x_{i,j})} \right| + \left| \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{0.5(\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i-1,j})} \right| \right) \quad (15)$$

$$\frac{\partial P}{\partial y}(i, j) = \frac{1}{2} \left( \left| \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j}}{0.5(\Delta y_{i,j+1} + \Delta y_{i,j})} \right| + \left| \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{0.5(\Delta y_{i,j} + \Delta y_{i,j-1})} \right| \right) \quad (16)$$

③对上述差分方程组进行数值迭代求解,其中,差分方程组为不稳定渗流微分方程、初始条件、边界条件组成的方程组,求得聚合物驱大孔道油藏井底压力的数值解。

3.如权利要求2所述的一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法,其特征在于:所述网格为长方形或正方形,当为长方形网格时,  $r_e = 0.14\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ , 当为正方形网格时,  $r_e = 0.208 \Delta x$ 。

4.如权利要求1所述的一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法,其特征在于,所述步骤4)对压力随时间的变化关系进行无量纲化,其无量纲方程如下:

$$P_{wD} = \frac{\pi KH}{1.842 \times 10^{-3} \mu_a B q} (P_0 - P_w) \quad (17)$$

$$C_D = \frac{C}{2\pi(\phi_m C_m + \phi_f C_f) H r_w^2} \quad (18)$$

$$x_D = \frac{x}{r_w}, y_D = \frac{y}{r_w}, \beta = \frac{K_f}{K} \quad (19)$$

$$t_D = \frac{3.6 K t}{\mu(\phi_m C_m + \phi_f C_f) r_w^2} \quad (20)$$

$P_{wD}$ 为聚合物驱大孔道油藏井底压力无量纲化值; $C_D$ 为井筒储集系数无量纲化值; $x_D$ 为横坐标无量纲化数值; $y_D$ 为总坐标无量纲化数值; $t_D$ 为时间无量纲化数值; $C_f$ 为大孔道综合压缩系数; $C_m$ 为油层综合压缩系数; $\phi_f$ 为大孔道的孔隙度; $\beta$ 为渗透率比值。

5.如权利要求1所述的一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法,其特征在于,所述步骤5)中聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版与油田实测数据曲线的拟合过程如下:首先将基础数据输入编制的聚合物驱大孔道油藏理论图版程序中,基础数据包括油层的厚度、油层的孔隙度、油层的渗透率、综合压缩系数、表皮系数、井筒储集系数、注聚井注入量、体积系数、水相粘度、聚合物初始浓度、原始地层压力、井径、大孔道的宽度和大孔道的渗透率;接着通过调整油层的渗透率、表皮系数、井筒储集系数、大孔道的宽度以及大孔道的渗透率,计算得到理论压力和理论压力导数曲线;然后利用理论压力曲线、理论压力导数曲线和油田压力的实测数据,拟合理论压力曲线和实井压力曲线,以及理论压力导数曲线和实井压力导数曲线;最后根据拟合结果得到大孔道的宽度、渗透率参数。

## 一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法,属于试井技术领域。

### 背景技术

[0002] 海上砂岩油藏在长期注水开发过程中,油藏储层孔隙结构发生了较大变化,由于储层渗透率增大,孔喉半径增大,易在储层中形成高渗条带及特高渗透条带,即大孔道。大孔道的存在使得层间矛盾加剧,后期采取提高采收率手段注入的聚合物,沿大孔道中低效或无效循环使储层中的其它部位很难受效,严重影响驱油效率,致使平面上剩余油饱和度差异明显,聚合物驱开发效果明显变差。因此,聚合物驱大孔道油藏的识别以及确定它在油藏中的分布状况,对于采取相应措施对大孔道进行封堵、改善聚合物驱效果以及提高采收率具有重要意义。

[0003] 目前,识别大孔道的主要手段是试井资料识别、生产动态监测、示踪剂监测、测井资料识别。而大孔道识别过程中最敏感的开发参数就是产量和压力,利用压降测试资料通过试井手段判定大孔道的存在已有相关研究。史有刚、商志英采用注水井井口压降双对数曲线来诊断大孔道的存在,建立了存在大孔道水驱油藏试井理论模型。杨士荣利用压降试井测试方法,通过注水后压降双对数曲线的特征反映储层渗透率的变化情况。谷建伟提出了一种考虑大孔道与非大孔道区域相互耦合的注入井径向模型,通过注入井井底压力变化特征判断大孔道的发育面积和发育倍数。刘洪通过分析优势渗流通道基本形态,建立了优势渗流通道试井模型。李成勇在史有刚的基础上建立了不对称优势渗流通道试井解释数学模型。但他们建立的方法仅仅适应于注水油藏大孔道的识别,对注聚油藏并没有研究。

### 发明内容

[0004] 针对上述问题,本发明的目的是提供一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法,该方法能够准确地对油田实测数据进行解释,得到大孔道的相关参数,为大孔道的封堵提供数据支持,具有较强的矿场应用价值。

[0005] 为实现上述目的,本发明采取以下技术方案:一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法,其特征在于,它包括以下步骤:

[0006] 1) 根据聚合物驱大孔道油藏特征,建立聚合物驱大孔道油藏物理模型;

[0007] 2) 根据步骤1)中获得的聚合物驱大孔道油藏物理模型,确定聚合物驱大孔道油藏数学模型;

[0008] 3) 采用有限差分方法求解步骤2)中获得的聚合物驱大孔道油藏数学模型,得到井底压力的数值解;

[0009] 4) 对压力随时间的变化关系进行无量纲化,绘制聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版;

[0010] 5) 将步骤4)中获得的聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版与油田实测数据曲线进行拟合,得到大孔道的等效宽度和渗透率参数。

[0011] 所述步骤1)中建立的所述物理模型以井筒为对称中心,两条大孔道对称分布于井筒两侧;所述步骤1)中的所述聚合物驱大孔道油藏特征包括:储层水平、等厚、均质且各向同性;大孔道的等效延伸长度为 $x_f$ ;大孔道渗透率为 $K_f$ ,油层渗透率为 $K$ ,大孔道渗透率与油层渗透率之比为 $\beta$ , $K_f$ 远大于 $K$ ;大孔道的厚度为油层厚度 $H$ ,等效宽度为 $W_f$ ;沿着大孔道有流体交换,存在压降。

[0012] 所述步骤2)确定聚合物驱大孔道油藏数学模型的具体过程如下:

[0013] ①确定单相微可压缩液体的不稳定渗流微分方程:

$$[0014] \quad \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{K(dP/dx)}{\mu_a} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{K(dP/dy)}{\mu_a} \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \phi_m C_m \frac{\partial P}{\partial t} \quad (1)$$

[0015] 式中, $P$ 为地层压力; $K$ 为油层渗透率; $\mu_a$ 为聚合物的初始粘度; $C_m$ 为油层综合压缩系数; $\phi_m$ 为油层孔隙度; $t$ 为流体流动时间; $x$ 为横坐标方向距井中心距离; $y$ 为纵坐标方向距井中心距离;

[0016] ②确定聚合物驱大孔道油藏数学模型的初始条件方程、内边界条件方程和外边界条件方程:

[0017] 其中,聚合物驱大孔道油藏数学模型的初始条件方程为:

$$[0018] \quad P(x, y, t) |_{t=0} = P_0 \quad (2)$$

[0019] 式中, $P_0$ 为原始地层压力;

[0020] 聚合物驱大孔道油藏数学模型的内边界条件方程为:

$$[0021] \quad Bq = 24C \frac{dP_{wf}}{dt} - \frac{2\pi KH}{\mu_a} \frac{P - P_{wf}}{\ln \frac{r_e}{r_w e^{-S}}} \quad (3)$$

$$[0022] \quad P_{wf} - P_w |_{x=x_0, y=y_0} = \left( -S \times \left( \Delta x \frac{\partial P_w}{\partial x} + \Delta y \frac{\partial P_w}{\partial y} \right) \right)_{x=x_0, y=y_0} \quad (4)$$

[0023] 式中, $H$ 为油层厚度; $q$ 为井流量; $C$ 为井筒储集系数; $B$ 为体积系数; $S$ 为储层表皮系数; $P_{wf}$ 为井底流压; $P_w$ 为井壁处的压力; $r_w$ 为井筒半径; $r_e$ 为外边界半径; $x_0$ 、 $y_0$ 分别为油井井底中心的纵横坐标; $\Delta x$ 、 $\Delta y$ 差分微元; $e$ 为常数, $e=2.7182818$ ;

[0024] 聚合物驱大孔道油藏数学模型的外边界条件方程为:

$$[0025] \quad \lim_{\substack{x \rightarrow \infty \\ y \rightarrow \infty}} P(x, y, t) = P_0 \quad (5)。$$

[0026] 所述步骤3)中,采用有限差分方法求解步骤2)中获得的聚合物驱大孔道油藏数学模型的具体过程如下:

[0027] ①对步骤1)中的聚合物驱大孔道油藏物理模型在空间和时间进行网格划分;

[0028] ②对不稳定渗流微分方程、初始条件方程、内边界条件方程和外边界条件方程进行差分离散化,即对(1)~(5)式进行差分离散化;

[0029] 其中,离散后的渗流扩散方程为:

$$\begin{aligned}
[0030] \quad & \frac{1}{x_{i+1/2} - x_{i-1/2}} \left[ \frac{K_{i+1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{i+1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i+1,j)}^{n+1} - P_{(i,j)}^{n+1}}{x_{i+1} - x_i} - \frac{K_{i-1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{i-1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i,j)}^{n+1} - P_{(i-1,j)}^{n+1}}{x_i - x_{i-1}} \right] + \\
& \frac{1}{y_{j+1/2} - y_{j-1/2}} \left[ \frac{K_{j+1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{j+1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i,j+1)}^{n+1} - P_{(i,j)}^{n+1}}{y_{j+1} - y_j} - \frac{K_{j-1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{j-1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i,j)}^{n+1} - P_{(i,j-1)}^{n+1}}{y_j - y_{j-1}} \right] = \phi C_t \frac{P_{(i,j)}^{n+1} - P_{(i,j)}^n}{\Delta t} \quad (6)
\end{aligned}$$

[0031] 式中,  $i, j$  为对空间的离散;  $n$  为对时间的离散;  $\Delta t$  为时间步长,  $\phi$  为孔隙度, 当  $\phi$  的下标为  $f$  时, 即  $\phi_f$  为大孔道的孔隙度, 当  $\phi$  的下标为  $m$  时, 即  $\phi_m$  为油层的孔隙度;

[0032] 其中式 (6) 中的  $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+\frac{1}{2}}$ 、 $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-\frac{1}{2}}$ 、 $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+\frac{1}{2}}$ 、 $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-\frac{1}{2}}$  的取值按调和平均来确定, 即:

$$[0033] \quad \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i} = \frac{2}{(\mu_a)_i + (\mu_a)_{i+1}} \quad (7)$$

$$[0034] \quad \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i} = \frac{2}{(\mu_a)_i + (\mu_a)_{i-1}} \quad (8)$$

$$[0035] \quad \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j} = \frac{2}{(\mu_a)_j + (\mu_a)_{j+1}} \quad (9)$$

$$[0036] \quad \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j} = \frac{2}{(\mu_a)_j + (\mu_a)_{j-1}} \quad (10)$$

[0037] Gauss-seidel 迭代法求解方程 (6), 迭代方程式如下:

$$[0038] \quad a_{i,j} P_{(i,j-1)}^{n+1} + b_{i,j} P_{(i-1,j)}^{n+1} + c_{i,j} P_{(i,j)}^{n+1} + d_{i,j} P_{(i+1,j)}^{n+1} + e_{i,j} P_{(i,j+1)}^{n+1} = -g_{i,j} P_{(i,j)}^n - 11.57 \mu B q_{i,j} \quad (11)$$

[0039] 式中,  $a_{i,j}$ 、 $b_{i,j}$ 、 $c_{i,j}$ 、 $d_{i,j}$ 、 $e_{i,j}$  和  $g_{i,j}$  均为中间变量:

$$[0040] \quad a_{i,j} = \frac{\Delta x_{i,j}}{(\Delta y_{i,j} + \Delta y_{i,j-1})((u_a)_{i,j} + (u_a)_{i,j-1})} H_{i,j} K_{yi,j-\frac{1}{2}};$$

$$[0041] \quad b_{i,j} = \frac{\Delta y_{i,j}}{(\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i-1,j})((u_a)_{i,j} + (u_a)_{i-1,j})} H_{i,j} K_{xi-\frac{1}{2},j};$$



[0042]  $c_{i,j} = -d_{i,j} - b_{i,j} - e_{i,j} - a_{i,j} - g_{i,j};$

[0043]  $d_{i,j} = \frac{\Delta y_{i,j}}{(\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i+1,j})((u_a)_{i,j} + (u_a)_{i+1,j})} H_{i,j} K_{xi+\frac{1}{2},j};$

[0044]  $a_{i,j} = \frac{\Delta x_{i,j}}{(\Delta y_{i,j} + \Delta y_{i,j+1})((u_a)_{i,j} + (u_a)_{i,j+1})} H_{i,j} K_{yi,j+\frac{1}{2}};$

[0045]  $g_{i,j} = 277.78 H_{i,j} \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} \phi C_t / \Delta t;$

[0046]  $q_{i,j}$  是网格坐标为  $(i, j)$  处的井流量, 井点网格  $q_{i,j} = q$ , 非井点网格  $q_{i,j} = 0$ ;  $P_{i,j}$  是网格坐标  $(i, j)$  处的地层压力;

[0047] 对于内边界条件, 将井当作所在网格的汇源项处理, 由于井底附近压力梯度较大, 对内边界条件差分网格作线性化处理, 得:

[0048]  $Bq_{i,j} = 0.54 \left( \frac{KH}{\mu} \right)_{i,j} \frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{wf}^{n+1}}{\ln \frac{r_e}{r_w} + S} - 24C \frac{P_{wf}^{n+1} - P_{wf}^n}{\Delta t} \quad (12)$

[0049] 式中:  $\mu$  为聚合物在任一时间时的粘度;

[0050] 对外边界条件离散化得:

[0051]  $P_{1,j} = P_{m,j} = P_e \quad (j = 1, 2 \cdots k) \quad (13)$

[0052]  $P_{i,1} = P_{i,k} = P_e \quad (i = 1, 2 \cdots m) \quad (14)$

[0053] 式中,  $P_{1,j}$  是网格坐标为  $(1, j)$  处的地层压力;  $P_{m,j}$  是网格坐标为  $(m, j)$  处的地层压力;  $P_{i,1}$  是网格坐标为  $(i, 1)$  处的地层压力;  $P_{i,k}$  是网格坐标为  $(i, k)$  处的地层压力;  $P_e$  为外边界压力;  $m$  表示  $i$  方向的网格数,  $k$  表示  $j$  方向的网格数;

[0054] 为便于差分计算求解, 对压力梯度的处理方程如下:

[0055]  $\frac{\partial P}{\partial x}(i, j) = \frac{1}{2} \left( \left| \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{0.5(\Delta x_{i+1,j} + \Delta x_{i,j})} \right| + \left| \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{0.5(\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i-1,j})} \right| \right) \quad (15)$

[0056]  $\frac{\partial P}{\partial y}(i, j) = \frac{1}{2} \left( \left| \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j}}{0.5(\Delta y_{i,j+1} + \Delta y_{i,j})} \right| + \left| \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{0.5(\Delta y_{i,j} + \Delta y_{i,j-1})} \right| \right) \quad (16)$

[0057] ③对上述差分方程组进行数值迭代求解, 其中, 差分方程组为不稳定渗流微分方程、初始条件、边界条件组成的方程组, 求得聚合物驱大孔道油藏井底压力的数值解。

[0058] 所述网格为长方形或正方形, 当为长方形网格时,  $r_e = 0.14 \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ , 当为正方形网格时,  $r_e = 0.208 \Delta x$ 。

[0059] 所述步骤4) 对压力随时间的变化关系进行无量纲化, 其无量纲方程如下:

[0060]  $P_{wD} = \frac{\pi KH}{1.842 \times 10^{-3} \mu_a Bq} (P_0 - P_w) \quad (17)$

[0061]  $C_D = \frac{C}{2\pi(\phi_m C_m + \phi_f C_f) H r_w^2} \quad (18)$

$$[0062] \quad x_D = \frac{x}{r_w}, y_D = \frac{y}{r_w}, \beta = \frac{K_f}{K} \quad (19)$$

$$[0063] \quad t_D = \frac{3.6Kt}{\mu(\phi_m C_m + \phi_f C_f) r_w^2} \quad (20)$$

[0064]  $P_{wD}$ 为聚合物驱大孔道油藏井底压力无量纲化值; $C_D$ 为井筒储集系数无量纲化值; $x_D$ 为横坐标无量纲化数值; $y_D$ 为总坐标无量纲化数值; $t_D$ 为时间无量纲化数值; $C_f$ 为大孔道综合压缩系数; $C_m$ 为油层综合压缩系数; $\phi_f$ 为大孔道内孔隙度; $\beta$ 为渗透率比值。

[0065] 所述步骤5)中聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版与油田实测数据曲线的拟合过程如下:首先将基础数据输入编制的聚合物驱大孔道油藏理论图版程序中,基础数据包括油层的厚度、油层的孔隙度、油层的渗透率、综合压缩系数、表皮系数、井筒储集系数、注聚井注入量、体积系数、水相粘度、聚合物初始浓度、原始地层压力、井径、大孔道的宽度和大孔道的渗透率;接着通过调整油层的渗透率、表皮系数、井筒储集系数、大孔道的宽度以及大孔道的渗透率,计算得到理论压力和理论压力导数曲线;然后利用理论压力曲线、理论压力导数曲线和油田压力的实测数据,拟合理论压力曲线和实井压力曲线,以及理论压力导数曲线和实井压力导数曲线;最后根据拟合结果得到大孔道的宽度、渗透率参数。

[0066] 本发明由于采取以上技术方案,其具有以下优点:本发明通过建立聚合物驱大孔道油藏的物理模型和数学模型,利用有限元差分法得到聚合物驱大孔道油藏的井底压力数值解,绘制聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版,将聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版与油田实测数据曲线进行拟合,得到大孔道宽度、渗透率等参数,为选用合适堵剂进行大孔道的封堵、改善聚合物驱效果提高采收率提供数据支持。

## 附图说明

- [0067] 图1是本发明的整体流程示意图;
- [0068] 图2是本发明油藏简化物理模型的结构示意图;
- [0069] 图3是本发明水驱和聚驱时大孔道油藏典型曲线图版对比的示意图;
- [0070] 图4是本发明不同初始聚合物浓度影响下油藏试井解释典型曲线图版的示意图;
- [0071] 图5是本发明不同渗透率比值影响下油藏试井解释典型曲线图版的示意图;
- [0072] 图6是本发明不同大孔道宽度影响下油藏试井解释典型曲线图版的示意图;
- [0073] 图7是本发明油藏试井解释理论图版与实井测试数据拟合曲线的示意图。

## 具体实施方式

[0074] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0075] 如图1所示,本发明提出了一种聚合物驱大孔道油藏试井分析方法,其包括以下步骤:

[0076] 1) 根据聚合物驱大孔道油藏特征,建立聚合物驱大孔道油藏物理模型,该模型以井筒为对称中心,两条大孔道对称分布于井筒两侧(如图2所示);

[0077] 其中,聚合物驱大孔道油藏特征包括:储层水平、等厚、均质且各向同性;2条大孔道与井筒对称,大孔道的等效延伸长度为 $x_f$ ;大孔道渗透率为 $K_f$ ,油层渗透率为 $K$ ,大孔道渗

透率与油层渗透率之比为 $\beta$ ,  $K_f$ 远大于 $K$ ;大孔道的厚度为油层厚度 $H$ ,等效宽度为 $W_f$ ;沿着大孔道有流体交换,存在压降。

[0078] 2) 根据步骤1)中获得的聚合物驱大孔道油藏物理模型,确定聚合物驱大孔道油藏数学模型,具体过程如下:

[0079] ①确定单相微可压缩液体的不稳定渗流微分方程:

$$[0080] \quad \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{K(dP/dx)}{\mu_a} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{K(dP/dy)}{\mu_a} \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \phi_m C_m \frac{\partial P}{\partial t} \quad (1)$$

[0081] 式中, $P$ 为地层压力; $K$ 为油层渗透率; $\mu_a$ 为聚合物的初始粘度; $C_m$ 为油层综合压缩系数; $\phi_m$ 为油层孔隙度; $t$ 为流体流动时间; $x$ 为横坐标方向距井中心距离; $y$ 为纵坐标方向距井中心距离。

[0082] ②确定聚合物驱大孔道油藏数学模型的初始条件方程、内边界条件方程和外边界条件方程:

[0083] 其中,聚合物驱大孔道油藏数学模型的初始条件方程为:

$$[0084] \quad P(x, y, t) |_{t=0} = P_0 \quad (2)$$

[0085] 式中, $P_0$ 为原始地层压力;

[0086] 聚合物驱大孔道油藏数学模型的内边界条件方程为:

$$[0087] \quad Bq = 24C \frac{dP_{wf}}{dt} - \frac{2\pi KH}{\mu_a} \frac{P - P_{wf}}{\ln \frac{r_e}{r_w e^{-S}}} \quad (3)$$

$$[0088] \quad P_{wf} - P_w |_{x=x_0, y=y_0} = \left( -S \times \left( \Delta x \frac{\partial P_w}{\partial x} + \Delta y \frac{\partial P_w}{\partial y} \right) \right)_{x=x_0, y=y_0} \quad (4)$$

[0089] 式中, $H$ 为油层厚度; $q$ 为井流量; $C$ 为井筒储集系数; $B$ 为体积系数; $S$ 为储层表皮系数; $P_{wf}$ 为井底流压; $P_w$ 为井壁处的压力; $r_w$ 为井筒半径; $r_e$ 为外边界半径; $x_0$ 、 $y_0$ 分别为油井井底中心的纵横坐标; $\Delta x$ 、 $\Delta y$ 为差分微元; $e$ 为常数, $e=2.7182818$ ;

[0090] 聚合物驱大孔道油藏数学模型的外边界条件方程为:

$$[0091] \quad \lim_{\substack{x \rightarrow \infty \\ y \rightarrow \infty}} P(x, y, t) = P_0 \quad (5)$$

[0092] 3) 采用有限差分方法求解步骤2)中获得的聚合物驱大孔道油藏数学模型,得到井底压力的数值解,有限差分方法具体过程如下:

[0093] ①对步骤1)中的聚合物驱大孔道油藏物理模型在空间和时间进行网格划分;

[0094] ②对不稳定渗流微分方程、初始条件方程、内边界条件方程和外边界条件方程进行差分离散化,即对(1)~(5)式进行差分离散化:

[0095] 其中,离散后的渗流扩散方程为:

$$\begin{aligned}
[0096] \quad & \frac{1}{x_{i+1/2} - x_{i-1/2}} \left[ \frac{K_{i+1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{i+1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i+1,j)}^{n+1} - P_{(i,j)}^{n+1}}{x_{i+1} - x_i} - \frac{K_{i-1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{i-1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i,j)}^{n+1} - P_{(i-1,j)}^{n+1}}{x_i - x_{i-1}} \right] + \\
& \frac{1}{y_{j+1/2} - y_{j-1/2}} \left[ \frac{K_{j+1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{j+1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i,j+1)}^{n+1} - P_{(i,j)}^{n+1}}{y_{j+1} - y_j} - \frac{K_{j-1/2}^{n+1}}{(\mu_a)_{j-1/2}^{n+1}} \frac{P_{(i,j)}^{n+1} - P_{(i,j-1)}^{n+1}}{y_j - y_{j-1}} \right] = \phi C_t \frac{P_{(i,j)}^{n+1} - P_{(i,j)}^n}{\Delta t} \quad (6)
\end{aligned}$$

[0097] 式中, i、j 为对空间的离散; n 为对时间的离散;  $\Delta t$  为时间步长;  $\phi$  为孔隙度, 当  $\phi$  的下标为 f 时, 即  $\phi_f$  为大孔道的孔隙度, 当  $\phi$  的下标为 m 时, 即  $\phi_m$  为油层的孔隙度;

[0098] 其中  $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+\frac{1}{2}}$ 、 $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-\frac{1}{2}}$ 、 $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+\frac{1}{2}}$ 、 $\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-\frac{1}{2}}$  的取值按调和平均来确定, 即:

$$[0099] \quad \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i+1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i} = \frac{2}{(\mu_a)_i + (\mu_a)_{i+1}} \quad (7)$$

$$[0100] \quad \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{i-1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_i} = \frac{2}{(\mu_a)_i + (\mu_a)_{i-1}} \quad (8)$$

$$[0101] \quad \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j+1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j} = \frac{2}{(\mu_a)_j + (\mu_a)_{j+1}} \quad (9)$$

$$[0102] \quad \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-1} \cdot \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j}{\left(\frac{1}{\mu_a}\right)_{j-1} + \left(\frac{1}{\mu_a}\right)_j} = \frac{2}{(\mu_a)_j + (\mu_a)_{j-1}} \quad (10)$$

[0103] Gauss-seidel 迭代法求解方程 (6), 迭代方程式如下:

$$[0104] \quad a_{i,j} P_{(i,j-1)}^{n+1} + b_{i,j} P_{(i-1,j)}^{n+1} + c_{i,j} P_{(i,j)}^{n+1} + d_{i,j} P_{(i+1,j)}^{n+1} + e_{i,j} P_{(i,j+1)}^{n+1} = -g_{i,j} P_{(i,j)}^n - 11.57 \mu B q_{i,j} \quad (11)$$

[0105] 式中,  $a_{i,j}$ 、 $b_{i,j}$ 、 $c_{i,j}$ 、 $d_{i,j}$ 、 $e_{i,j}$  和  $g_{i,j}$  均为中间变量:

$$[0106] \quad a_{i,j} = \frac{\Delta x_{i,j}}{(\Delta y_{i,j} + \Delta y_{i,j-1})((u_a)_{i,j} + (u_a)_{i,j-1})} H_{i,j} K_{yi,j-\frac{1}{2}};$$

$$[0107] \quad b_{i,j} = \frac{\Delta y_{i,j}}{(\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i-1,j})((u_a)_{i,j} + (u_a)_{i-1,j})} H_{i,j} K_{xi-\frac{1}{2},j};$$

$$[0108] \quad c_{i,j} = -d_{i,j} - b_{i,j} - e_{i,j} - a_{i,j} - g_{i,j};$$

$$[0109] \quad d_{i,j} = \frac{\Delta y_{i,j}}{(\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i+1,j})(u_a)_{i,j} + (u_a)_{i+1,j}} H_{i,j} K_{xi+\frac{1}{2},j};$$

$$[0110] \quad a_{i,j} = \frac{\Delta x_{i,j}}{(\Delta y_{i,j} + \Delta y_{i,j+1})(u_a)_{i,j} + (u_a)_{i,j+1}} H_{i,j} K_{yi,j+\frac{1}{2}};$$

$$[0111] \quad g_{i,j} = 277.78 H_{i,j} \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} \Phi C_t / \Delta t;$$

[0112]  $q_{i,j}$  是网格坐标为  $(i,j)$  处的井流量, 井点网格  $q_{i,j}=q$ , 非井点网格  $q_{i,j}=0$ ;  $P_{i,j}$  是网格坐标  $(i,j)$  处的地层压力。

[0113] 对于内边界条件, 将井当作所在网格的汇源项处理, 由于井底附近压力梯度较大, 对内边界条件差分网格作线性化处理, 得:

$$[0114] \quad Bq_{i,j} = 0.54 \left( \frac{KH}{\mu} \right)_{i,j} \frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{wf}^{n+1}}{\ln \frac{r_e}{r_w} + S} - 24C \frac{P_{wf}^{n+1} - P_{wf}^n}{\Delta t} \quad (12)$$

[0115] 式中:  $\mu$  为聚合物在任一时间时的粘度; 对于长方形网格  $r_e = 0.14 \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ , 对于正方形网格  $r_e = 0.208 \Delta x$ 。

[0116] 对外边界条件离散化得:

$$[0117] \quad P_{1,j} = P_{m,j} = P_e \quad (j=1, 2 \cdots k) \quad (13)$$

$$[0118] \quad P_{i,1} = P_{i,k} = P_e \quad (i=1, 2 \cdots m) \quad (14)$$

[0119] 式中,  $P_{1,j}$  是网格坐标为  $(1,j)$  处的地层压力;  $P_{m,j}$  是网格坐标为  $(m,j)$  处的地层压力;  $P_{i,1}$  是网格坐标为  $(i,1)$  处的地层压力;  $P_{i,k}$  是网格坐标为  $(i,k)$  处的地层压力;  $P_e$  为外边界压力;  $m$  表示  $i$  方向的网格数;  $k$  表示  $j$  方向的网格数;

[0120] 为便于差分计算求解, 对压力梯度的处理方程如下:

$$[0121] \quad \frac{\partial P}{\partial x}(i,j) = \frac{1}{2} \left( \left| \frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{0.5(\Delta x_{i+1,j} + \Delta x_{i,j})} \right| + \left| \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{0.5(\Delta x_{i,j} + \Delta x_{i-1,j})} \right| \right) \quad (15)$$

$$[0122] \quad \frac{\partial P}{\partial y}(i,j) = \frac{1}{2} \left( \left| \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j}}{0.5(\Delta y_{i,j+1} + \Delta y_{i,j})} \right| + \left| \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{0.5(\Delta y_{i,j} + \Delta y_{i,j-1})} \right| \right) \quad (16)$$

[0123] ③对上述差分方程组进行数值迭代求解, 其中, 差分方程组为不稳定渗流微分方程、初始条件、边界条件组成的方程组, 求得聚合物驱大孔道油藏井底压力的数值解。

[0124] 4) 对压力随时间的变化关系进行无量纲化, 绘制聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版, 无量纲化方程如下:

$$[0125] \quad P_{wD} = \frac{\pi KH}{1.842 \times 10^{-3} \mu_a Bq} (P_0 - P_w) \quad (17)$$

$$[0126] \quad C_D = \frac{C}{2\pi(\phi_m C_m + \phi_f C_f) H r_w^2} \quad (18)$$

$$[0127] \quad x_D = \frac{x}{r_w}, y_D = \frac{y}{r_w}, \beta = \frac{K_f}{K} \quad (19)$$

$$[0128] \quad t_D = \frac{3.6Kt}{\mu(\phi_m C_m + \phi_f C_f) r_w^2} \quad (20)$$

[0129]  $P_{wD}$ 为聚合物驱大孔道油藏井底压力无量纲化值; $C_D$ 为井筒储集系数无量纲化值; $x_D$ 为横坐标无量纲化数值; $y_D$ 为总坐标无量纲化数值; $t_D$ 为时间无量纲化数值; $C_f$ 为大孔道综合压缩系数; $C_m$ 为油层综合压缩系数; $\phi_f$ 为大孔道内孔隙度; $\beta$ 为渗透率比值;

[0130] 如图3所示,为水驱和聚驱时大孔道油藏典型曲线图版对比的示意图;如图4所示,为不同初始聚合物浓度影响下油藏试井解释典型曲线图版的示意图;如图5所示,为不同渗透率比值影响下油藏试井解释典型曲线图版的示意图;如图6所示,为不同大孔道宽度影响下油藏试井解释典型曲线图版的示意图。

[0131] 5) 将步骤4)中获得的聚合物驱大孔道油藏典型曲线理论图版与油田实测数据曲线进行拟合,即可得到大孔道的等效宽度、渗透率参数(即为大孔道渗透率),对地层进行充分调剖,选择合适颗粒大小的堵剂对大孔道进行封堵,从而改善聚合物驱效果;

[0132] 在步骤5)中,首先将基础数据输入编制的聚合物驱大孔道油藏理论图版程序中,基础数据包括油层的厚度、油层的孔隙度、油层的渗透率、综合压缩系数、表皮系数、井筒储集系数、注聚井注入量、体积系数、水相粘度、聚合物初始浓度、原始地层压力、井径、大孔道的宽度和大孔道的渗透率,接着通过调整油层的渗透率、表皮系数、井筒储集系数、大孔道的宽度以及大孔道的渗透率,计算得到理论压力和理论压力导数曲线;然后利用理论压力曲线、理论压力导数曲线和油田压力的实测数据,拟合理论压力曲线和实井压力曲线,以及理论压力导数曲线和实井压力导数曲线;最后根据拟合结果得到大孔道的宽度、渗透率参数,并利用解释结果,对地层进行充分调剖,选择合适颗粒大小的堵剂对大孔道进行封堵,从而改善聚合物驱效果提高采收率。

[0133] 下面列举具体实施例:

[0134] 实施例

[0135] 实例数据取自渤海B油田某注聚井的压力降落数据,该油藏储层非均质强,孔隙度为0.31,平均渗透率为2000mD,试验井组从2013年8月实施转注聚,注入聚合物浓度为1500mg/L,自注聚以来,生产井见聚速度快,产聚浓度高,含水上升快,注聚效果下降,初步断定该井组存在大孔道。该注聚井于2016年3月2日进行了一次压降测试。

[0136] 采用所述聚合物驱大孔道油藏试井分析方法对渤海B油田某注聚井进行试井解释,本实施例中油田实测数据与理论图版拟合曲线(如图7所示),模型解释得到大孔道参数为: $\beta=4.4$ , $K_f=8850\text{mD}$ , $W_f=3.5\text{m}$ 。根据解释结果,对地层进行充分调剖,选择合适颗粒大小的堵剂对大孔道进行封堵,目前该井组含水得到有效控制,产聚浓度下降。

[0137] 上述各实施例仅用于说明本发明,其中各部件的结构、连接方式等都是可以有所变化的,凡是在本发明技术方案的基础上进行的等同变换和改进,均不应排除在本发明的保护范围之外。

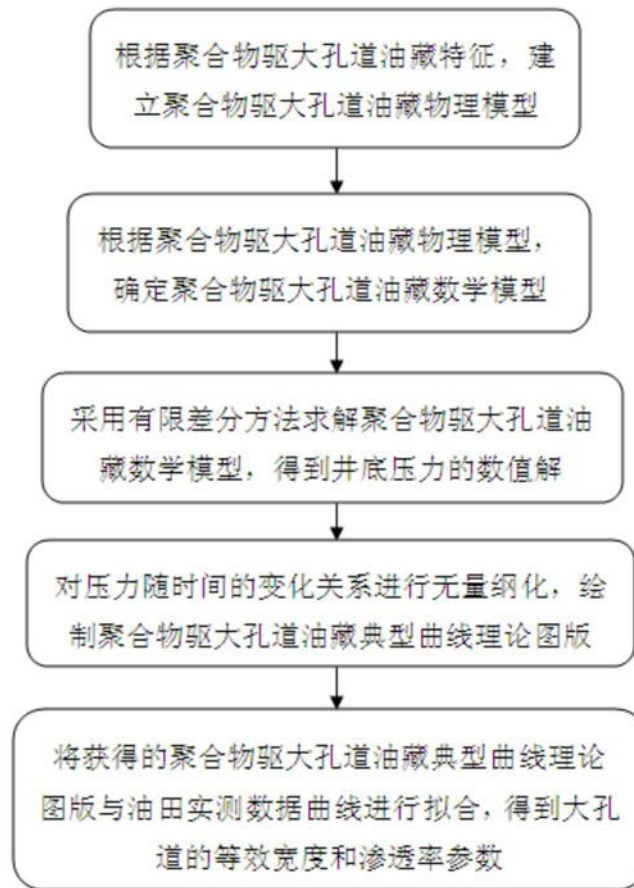


图1

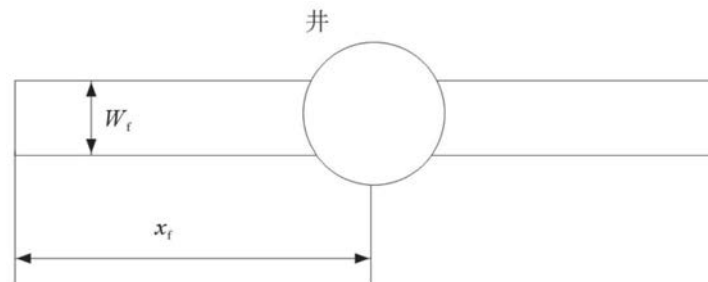


图2

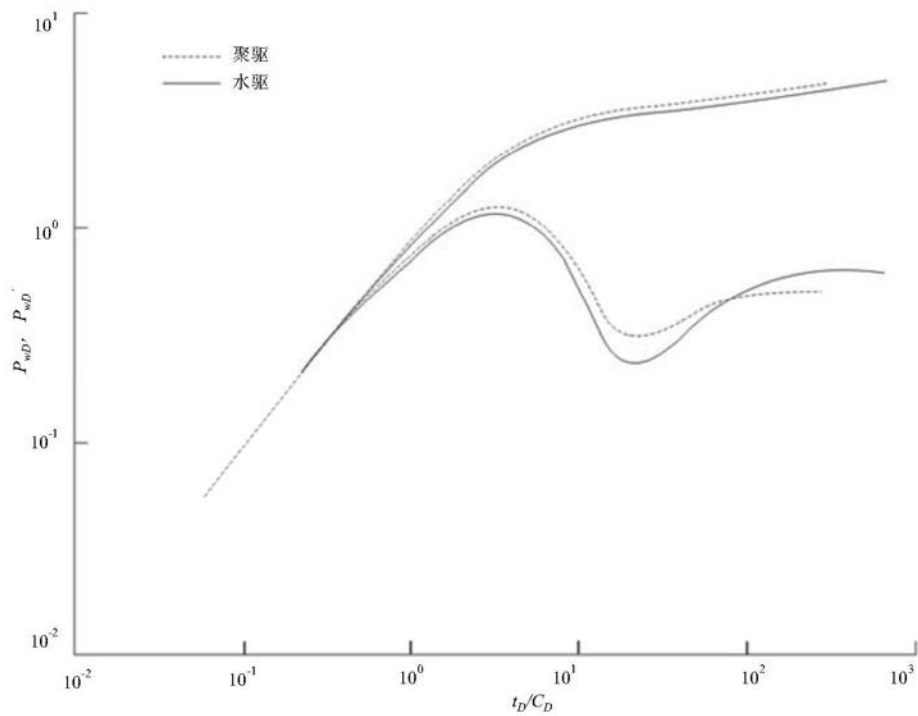


图3

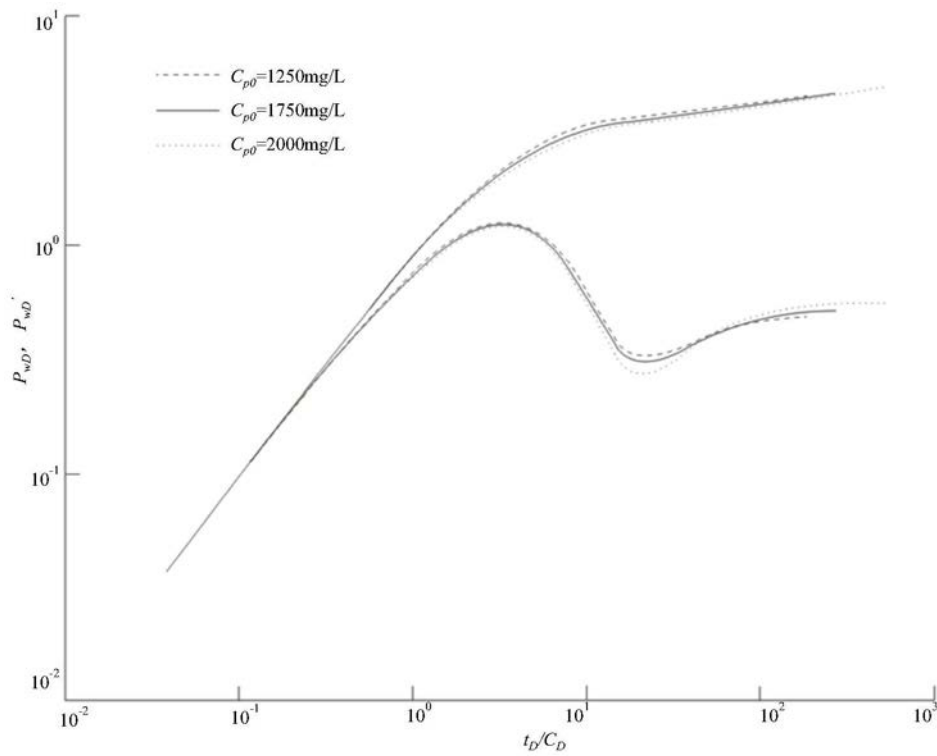


图4



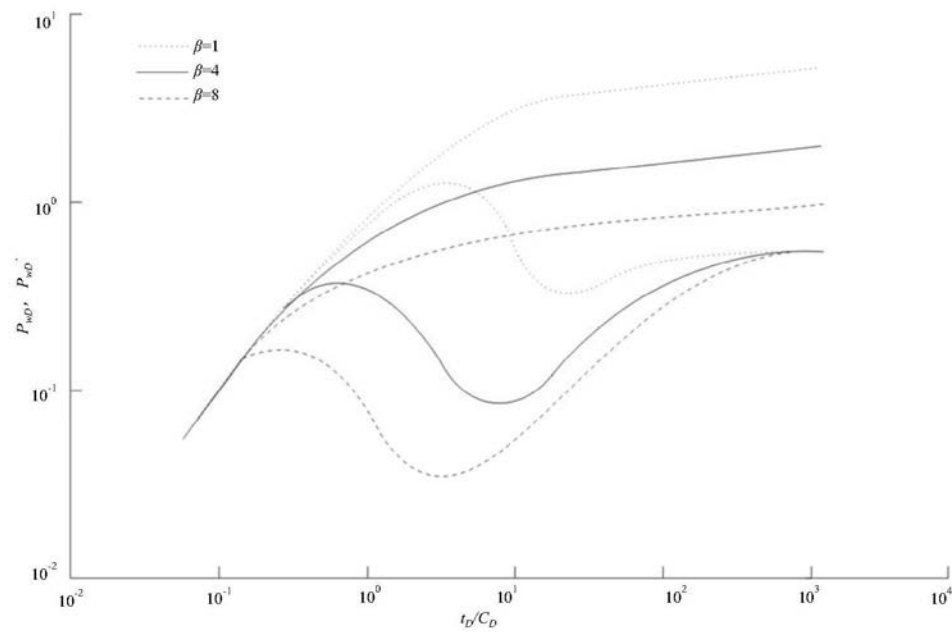


图5

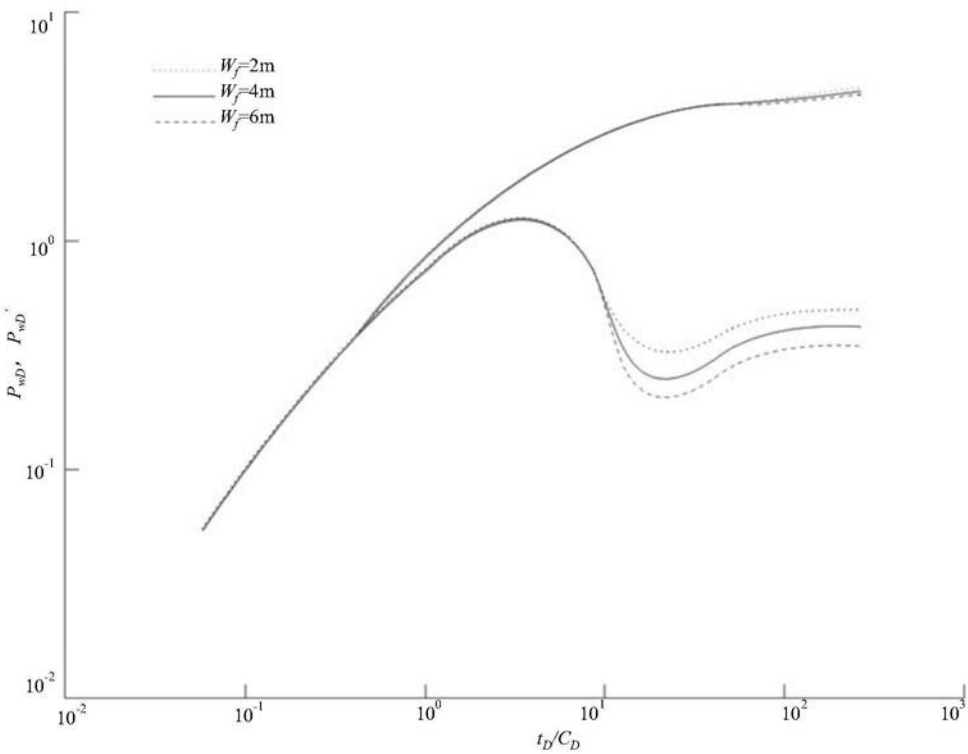


图6

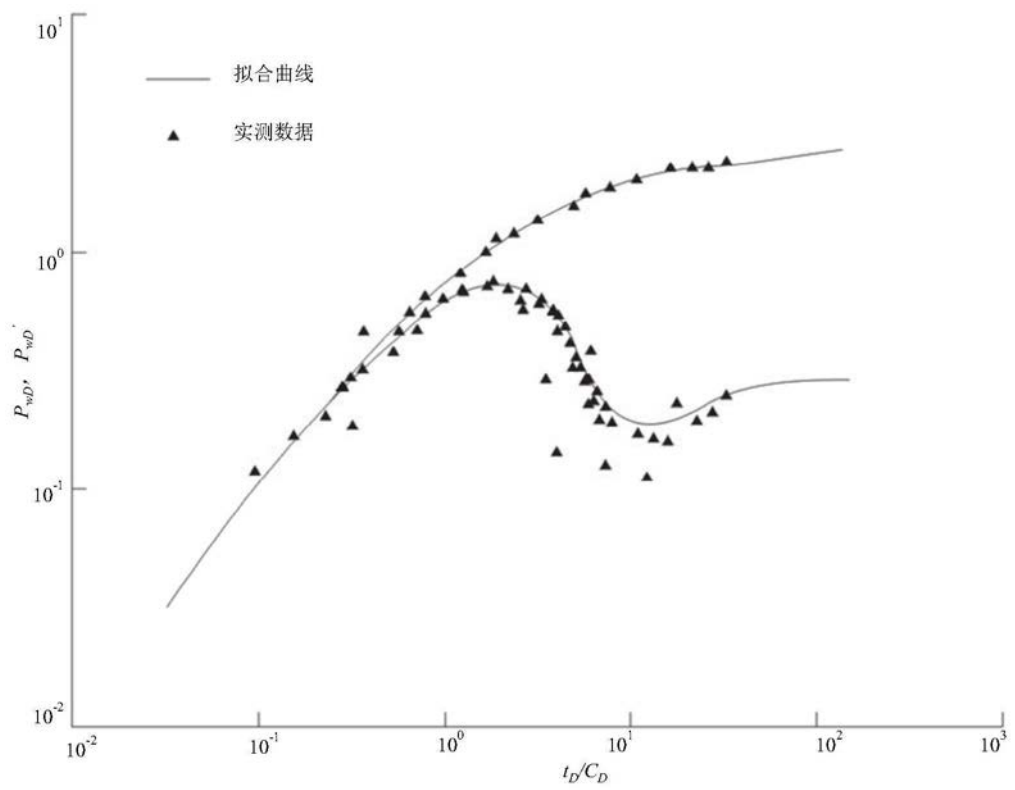


图7