



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104634713 A

(43) 申请公布日 2015. 05. 20

(21) 申请号 201310571567. X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 11. 13

G01N 15/08(2006. 01)

(71) 申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街
22号

申请人 中国石油化工股份有限公司胜利油
田分公司地质科学研究院

(72) 发明人 邴绍献 苏映宏 王华 张海燕

李东玻 颜子 梁保红 徐永春
孙成龙 李浩

(74) 专利代理机构 济南日新专利代理事务所

37224

代理人 崔晓艳

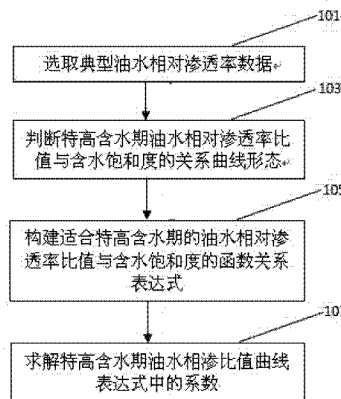
权利要求书3页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法

(57) 摘要

本发明提供一种特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法,该方法包括:选取能反映区块或油藏储层物性的典型油水相对渗透率数据;判断特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线的形态;构建适合特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线的函数关系表达式;应用最小二乘法求解特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线的函数关系表达式中的系数。该特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法对特高含水期相渗比值曲线的非线性规律进行数学表征,为推导适合于特高含水期的油藏工程计算方法奠定基础,从而准确评价特高含水油藏水驱开发效果及预测指标变化趋势,指导油田开发生产实践。



1. 特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法,其特征在于,该特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法包括:

步骤 1,选取能反映区块或油藏储层物性的典型油水相对渗透率数据;

步骤 2,判断特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线的形态;

步骤 3,构建适合特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线的函数关系表达式;

步骤 4,应用最小二乘法求解特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线的函数关系表达式中的系数。

2. 根据权利要求 1 所述的特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法,其特征在于,在步骤 2 中,在半对数坐标下,特高含水期油水相对渗透率比值的对数与含水饱和度的变化关系,不再遵循中高含水阶段的线性规律。

3. 根据权利要求 1 所述的特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法,其特征在于,在步骤 2 中,绘制油水相对渗透率比值的对数 $\ln(K_{ro}/K_{rw})$ 与含水饱和度 S_w 的关系曲线,特高含水期油水相渗比值的对数随含水饱和度的增大而减小,当含水饱和度 S_w 趋近于最大含水饱和度 S_{wmax} 或为 1,对应残余油饱和度 S_{or} 或为 0 时,油相渗透率趋近于 0,油水相渗比值的对数趋向于 $-\infty$,油水相渗比值曲线呈现出向下弯曲的特征。

4. 根据权利要求 3 所述的特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法,其特征在于,在步骤 3 中,研究油水相渗比值曲线特高含水期下弯段自身变化规律及其与中高含水期线性规律延长段的数学关系,在多种数学表达式中,选取随着自变量的增大,因变量逐渐减小的函数表达式,拟合油水相渗透率变化曲线,选择拟合精度最高的表达式作为特高含水期油水相对渗透率比值的表达式。

5. 根据权利要求 4 所述的特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法,其特征在于,在步骤 3 中,研究特高含水期油水相渗比值曲线下弯段与中高含水阶段线性规律延长段差值与含水饱和度关系发现,两者符合较好的指数变化规律,在中高含水期油水相渗比值与含水饱和度线性关系的基础上,组合指数形式的关系式来构建油水相渗比值曲线下弯段的数学表达式:

$$\ln(K_{ro}/K_{rw}) = a - bS_w + ce^{S_w} \quad (\text{公式 1})$$

或表示为:

$$K_{ro}/K_{rw} = ae^{-bS_w + ce^{S_w}} \quad (\text{公式 2})$$

式中:

a、b、c—系数。

6. 根据权利要求 5 所述的特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法,其特征在于,在步骤 4 中,针对公式 1,令:

$$r = \left| \ln(K_{ro}/K_{rw}) - (a - bS_w + ce^{S_w}) \right| \quad (\text{公式 3})$$

对于数据序列 $(S_{wi}, \ln(K_{roi}/K_{rwi}))$, $i=1, 2, 3, \dots, n$, 由于这些数据点不都在一条直线上,因此余项平方和 R 大于 0,即:

$$R = \left(\sum_{i=1}^n r_i \right)^2 = \sum_{i=1}^n [\ln(K_{roi} / K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})]^2 > 0 \quad (\text{公式 4})$$

根据最小二乘法原理,当且仅当系数 a、b、c 能够使 R 最小,即系数能使数据点的误差平方和最小时,它们的值即为原方程的解。根据这个原理,可建立如下偏微分方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial R}{\partial a} = \sum_{i=1}^n \{2[\ln(K_{roi} / K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})] \cdot (-1)\} = 0 \\ \frac{\partial R}{\partial b} = \sum_{i=1}^n \{2[\ln(K_{roi} / K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})] \cdot S_{wi}\} = 0 \\ \frac{\partial R}{\partial c} = \sum_{i=1}^n \{2[\ln(K_{roi} / K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})] \cdot e^{S_{wi}}\} = 0 \end{cases} \quad (\text{公式 5})$$

即:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \ln(K_{roi} / K_{rwi}) - na + b \sum_{i=1}^n S_{wi} - c \sum_{i=1}^n e^{S_{wi}} = 0 \\ \sum_{i=1}^n [\ln(K_{roi} / K_{rwi}) \cdot S_{wi}] - a \sum_{i=1}^n S_{wi} + b \sum_{i=1}^n (S_{wi})^2 - c \sum_{i=1}^n (S_{wi} \cdot e^{S_{wi}}) = 0 \\ \sum_{i=1}^n [\ln(K_{roi} / K_{rwi}) \cdot e^{S_{wi}}] - a \sum_{i=1}^n e^{S_{wi}} + b \sum_{i=1}^n (S_{wi} \cdot e^{S_{wi}}) - c \sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}})^2 = 0 \end{cases} \quad (\text{公式 6})$$

令:

$$y_i = \ln(K_{roi} / K_{rwi})$$

$$m1 = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i s_{wi}) - \sum_{i=1}^n (y_i) \cdot \sum_{i=1}^n (s_{wi})}{n \sum_{i=1}^n (s_{wi}^2) - (\sum_{i=1}^n s_{wi})^2}$$

$$m2 = \frac{\sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}}) \cdot \sum_{i=1}^n (S_{wi}) - n \sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}} \cdot S_{wi})}{n \sum_{i=1}^n (S_{wi}^2) - (\sum_{i=1}^n S_{wi})^2}$$

$$m3 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i) - m1 \sum_{i=1}^n (s_{wi})}{n}$$

$$m4 = \frac{\sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}}) + m2 \sum_{i=1}^n (s_{wi})}{n}$$

$$m5 = \sum_{i=1}^n (e^{2S_{wi}}) + m2 \sum_{i=1}^n (s_{wi} \cdot e^{S_{wi}}) - m4 \sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}})$$

$$m6 = \sum_{i=1}^n (y_i e^{S_{wi}}) - m1 \sum_{i=1}^n (s_{wi} \cdot e^{S_{wi}}) - m3 \sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}})$$

则方程组公式 6 的解为:

$$\begin{cases} a = m_3 - m_4 \cdot c \\ b = -m_1 - m_2 \cdot c \\ c = m_6 / m_5 \end{cases}$$

。

特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法

技术领域

[0001] 本发明涉及油田开发技术领域,特别是涉及到一种特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线(简称特高含水期油水相渗比值曲线)的表征方法。

背景技术

[0002] 国内关于油水两相渗流规律的研究很多,主要集中在相渗曲线的影响因素、相对渗透率曲线的计算方法和相渗曲线特征三方面,而专门针对特高含水期油水两相相对渗透率比值曲线研究较少。国外关于相渗曲线的研究与国内基本相同。

[0003] 在实验室中,用水驱替原油作出的油相和水相相对渗透率的比值与含水饱和度的关系曲线,称为油水两相相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线(简称油水相渗比值曲线)。在半对数坐标下,随着含水饱和度的增加,油相与水相相对渗透率比值的对数($\ln(K_{ro}/K_{rw})$)呈现三段式变化的特征,即低含水阶段曲线形态呈现出下凹特征、中高含水阶段呈现出线性特征、特高含水期呈现出向下弯曲的特征。

[0004] 一直以来,室内相渗实验的注入倍数是 30PV-50PV,特高含水阶段数据点少,特征反应不充分;而且油水相渗比值曲线研究停留在特高含水阶段的线性规律,并据此推导了分流量曲线、甲(乙)型水驱特征曲线、含水与采出程度关系曲线、含水上升率与含水关系曲线等一系列油藏工程计算方法。在指导中高含水阶段矿场开发实践中得到了很好的应用,而在特高含水期表现出明显的不适应性。如,部分单元特高含水期出现水驱曲线向上弯曲的非线性特征,而传统的甲型、乙型水驱特征曲线均为线性规律,无法用于此类单元的可采储量标定及开发效果评价等等。为此我们发明了一种新的特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法,解决了以上技术问题。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种可以准确评价特高含水油藏水驱开发效果及预测指标变化趋势的特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法。

[0006] 本发明的目的可通过如下技术措施来实现:特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法,该特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法包括:步骤1,选取能反映区块或油藏储层物性的典型油水相对渗透率数据;步骤2,判断特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线的形态;步骤3,构建适合特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线的函数关系表达式;步骤4,应用最小二乘法求解特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线的函数关系表达式中的系数。

[0007] 本发明的目的还可通过如下技术措施来实现:

[0008] 在步骤2中,在半对数坐标下,特高含水期油水相对渗透率比值的对数与含水饱和度的变化关系,不再遵循中高含水阶段的线性规律。

[0009] 在步骤2中,绘制油水相对渗透率比值的对数 $\ln(K_{ro}/K_{rw})$ 与含水饱和度 S_w 的关系曲线,特高含水期油水相对渗透率比值的对数随含水饱和度的增大而减小,当含水饱

和度 S_w 趋近于最大含水饱和度 S_{wmax} 或为 1, 对应残余油饱和度 S_{or} 或为 0 时, 油相渗透率趋近于 0, 油水相渗比值的对数趋向于 $-\infty$, 油水相渗比值曲线呈现出向下弯曲的特征。

[0010] 在步骤 3 中, 研究油水相渗比值曲线特高含水期下弯段自身变化规律及其与中高含水期线性规律延长段的数学关系, 在多种数学表达式中, 选取随着自变量的增大, 因变量逐渐减小的函数表达式, 拟合油水相渗透率变化曲线, 选择拟合精度最高的表达式作为特高含水期油水相对渗透率比值的表达式。

[0011] 在步骤 3 中, 研究特高含水期油水相渗比值曲线下弯段与中高含水阶段线性规律延长段差值与含水饱和度关系发现, 两者符合较好的指数变化规律, 在中高含水期油水相渗比值曲线与含水饱和度线性关系的基础上, 组合指数形式的关系式来构建油水相渗比值曲线下弯段的数学表达式:

$$[0012] \quad \ln(K_{ro}/K_{rw}) = a - bS_w + ce^{S_w} \quad (\text{公式 1})$$

[0013] 或表示为:

$$[0014] \quad K_{ro}/K_{rw} = ae^{-bS_w + ce^{S_w}} \quad (\text{公式 2})$$

[0015] 式中:

[0016] a、b、c—系数。

[0017] 在步骤 4 中, 针对公式 1, 令:

$$[0018] \quad r = \left| \ln(K_{ro}/K_{rw}) - (a - bS_w + ce^{S_w}) \right| \quad (\text{公式 3})$$

[0019] 对于数据序列 $(S_{wi}, \ln(K_{roi}/K_{rwi}))$, $i=1, 2, 3, \dots, n$, 由于这些数据点不都在一条直线上, 因此余项平方和 R 大于 0, 即:

$$[0020] \quad R = \left(\sum_{i=1}^n r_i \right)^2 = \sum_{i=1}^n [\ln(K_{roi}/K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})]^2 > 0 \quad (\text{公式 4})$$

[0021] 根据最小二乘法原理, 当且仅当系数 a、b、c 能够使 R 最小, 即系数能使数据点的误差平方和最小时, 它们的值即为原方程的解。根据这个原理, 可建立如下偏微分方程组:

$$[0022] \quad \begin{cases} \frac{\partial R}{\partial a} = \sum_{i=1}^n \{2[\ln(K_{roi}/K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})] \cdot (-1)\} = 0 \\ \frac{\partial R}{\partial b} = \sum_{i=1}^n \{2[\ln(K_{roi}/K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})] \cdot S_{wi}\} = 0 \\ \frac{\partial R}{\partial c} = \sum_{i=1}^n \{2[\ln(K_{roi}/K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})] \cdot e^{S_{wi}}\} = 0 \end{cases} \quad (\text{公式 5})$$

[0023] 即:

$$[0024] \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^n \ln(K_{roi}/K_{rwi}) - na + b \sum_{i=1}^n S_{wi} - c \sum_{i=1}^n e^{S_{wi}} = 0 \\ \sum_{i=1}^n [\ln(K_{roi}/K_{rwi}) \cdot S_{wi}] - a \sum_{i=1}^n S_{wi} + b \sum_{i=1}^n (S_{wi})^2 - c \sum_{i=1}^n (S_{wi} \cdot e^{S_{wi}}) = 0 \\ \sum_{i=1}^n [\ln(K_{roi}/K_{rwi}) \cdot e^{S_{wi}}] - a \sum_{i=1}^n e^{S_{wi}} + b \sum_{i=1}^n (S_{wi} \cdot e^{S_{wi}}) - c \sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}})^2 = 0 \end{cases} \quad (\text{公式 6})$$

[0025] 令：

$$[0026] \quad y_i = \ln(K_{r_{oi}}/K_{r_{wi}})$$

$$[0027] \quad m1 = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i s_{wi}) - \sum_{i=1}^n (y_i) \cdot \sum_{i=1}^n (s_{wi})}{n \sum_{i=1}^n (s_{wi}^2) - (\sum_{i=1}^n s_{wi})^2}$$

$$[0028] \quad m2 = \frac{\sum_{i=1}^n (e^{s_{wi}}) \cdot \sum_{i=1}^n (s_{wi}) - n \sum_{i=1}^n (e^{s_{wi}} \cdot s_{wi})}{n \sum_{i=1}^n (s_{wi}^2) - (\sum_{i=1}^n s_{wi})^2}$$

$$[0029] \quad m3 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i) - m1 \sum_{i=1}^n (s_{wi})}{n}$$

$$[0030] \quad m4 = \frac{\sum_{i=1}^n (e^{s_{wi}}) + m2 \sum_{i=1}^n (s_{wi})}{n}$$

$$[0031] \quad m5 = \sum_{i=1}^n (e^{2s_{wi}}) + m2 \sum_{i=1}^n (s_{wi} \cdot e^{s_{wi}}) - m4 \sum_{i=1}^n (e^{s_{wi}})$$

$$[0032] \quad m6 = \sum_{i=1}^n (y_i e^{s_{wi}}) - m1 \sum_{i=1}^n (s_{wi} \cdot e^{s_{wi}}) - m3 \sum_{i=1}^n (e^{s_{wi}})$$

[0033] 则方程组公式 6 的解为：

$$[0034] \quad \begin{cases} a = m3 - m4 \cdot c \\ b = -m1 - m2 \cdot c \\ c = m6 / m5 \end{cases}$$

[0035] 本发明中的特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法，通过研究相渗比值曲线特高含水期下弯段自身变化规律及其与中高含水期线性规律延长段的数学关系，构建适合特高含水阶段的相渗比值曲线与含水饱和度的函数关系表达式。并确定最佳求解方法对表达式中各项系数进行求解，从而实现特高含水期相渗比值曲线的数学表征。本发明开展了大量的 1000PV 条件下的油水相渗实验，对特高含水期相渗比值曲线的非线性规律进行数学表征，为推导适合于特高含水期的油藏工程计算方法奠定基础，从而准确评价特高含水油藏水驱开发效果及预测指标变化趋势，指导油田开发生产实践。

附图说明

[0036] 图 1 为本发明的特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法的一具体实施例的流程图；

[0037] 图 2 为本发明的一具体实施例中的油水相对渗透率与含水饱和度关系曲线图；

[0038] 图 3 为本发明的一具体实施例中的相渗比值曲线下弯段与线性规律延长段差值与含水饱和度关系曲线图。

具体实施方式

[0039] 为使本发明的上述和其他目的、特征和优点能更明显易懂，下文特举出较佳实施例，并配合所附图式，作详细说明如下。

[0040] 如图 1 所示，图 1 为本发明的特高含水期油水相渗比值曲线非线性关系表征方法的流程图。

[0041] 在步骤 101，选取能反映区块或油藏储层物性的典型油水相对渗透率数据。在一实施例中，选取典型油水两相渗流曲线，能够准确反映区块或油藏储层物性，见表 1。

[0042] 表 1G7-27-J234 井相渗曲线数据表

Sw	Krw	Kro
0.4564	0.119	0.671
0.4869	0.139	0.532
0.5094	0.156	0.446
0.5264	0.169	0.387
0.5407	0.181	0.342
0.5525	0.191	0.308
0.5680	0.206	0.266
0.5853	0.224	0.226
0.5985	0.238	0.198
0.6103	0.252	0.175
0.6203	0.265	0.157
0.6286	0.276	0.143
0.6471	0.304	0.112
0.6728	0.348	0.081
0.6902	0.384	0.062
0.7033	0.416	0.050
0.7136	0.444	0.041
0.7220	0.469	0.034
0.7288	0.492	0.029
0.7348	0.513	0.025

[0043]

0.7419	0.542	0.020
0.7499	0.578	0.015
0.7561	0.611	0.012
0.7612	0.641	0.009
0.7653	0.668	0.007

[0044]

[0045] 流程进入到步骤 103。

[0046] 在步骤 103，判断特高含水期油水相对渗透率比值与含水饱和度关系曲线（简称特高含水期油水相渗比值曲线）的形态。在半对数坐标下，特高含水阶段相渗比值的对数 $\ln(Kro/Krw)$ 与含水饱和度 Sw 的变化关系，若不遵循中高含水阶段的线性规律，则继续步骤 105。

[0047] 在一实施例中，绘制相渗比值的对数 $\ln(Kro/Krw)$ 与含水饱和度 Sw 的关系曲线，见图 2。特高含水阶段相渗比值的对数随含水饱和度的增大而减小，当含水饱和度 (Sw) 趋

近于最大含水饱和度 S_{wmax} 或为 1 (对应残余油饱和度 S_{or} 或为 0) 时,油相渗透率趋近于 0,油水相渗比值的对数趋向于 $-\infty$,相渗比值曲线呈现出向下弯曲的特征。流程进入到步骤 105。

[0048] 在步骤 105,构建适合特高含水阶段相渗比值曲线与含水饱和度的函数关系表达式。研究相渗比值曲线特高含水期下弯段自身变化规律及其与中高含水期线性规律延长段的数学关系,在多种数学表达式中,选取随着自变量的增大,因变量逐渐减小的函数表达式,拟合油水两相渗透率变化曲线,选择拟合精度最高的表达式作为特高含水期油水两相渗透率比值的表达式。

[0049] 在一实施例中,研究特高含水阶段相渗比值曲线下弯段与中高含水阶段线性规律延长段差值与含水饱和度关系发现,两者符合较好的指数变化规律,在一实施例中,为 $y=1E-13e38.47x$,见图 3。因此,在中高含水阶段相渗比值曲线与含水饱和度线性关系的基础上,组合指数形式的关系式来构建相渗比值曲线下弯段的数学表达式:

$$[0050] \quad \ln(K_{ro}/K_{rw}) = a - bS_w + ce^{S_w} \quad (\text{公式 1})$$

[0051] 或表示为:

$$[0052] \quad K_{ro}/K_{rw} = ae^{-bS_w+ce^{S_w}} \quad (\text{公式 2})$$

[0053] 式中:

[0054] a、b、c—系数。流程进入到步骤 107。

[0055] 在步骤 107,应用最小二乘法求解特高含水期油水两相渗透率比值曲线表达式中的系数。

[0056] 针对公式 1,令:

$$[0057] \quad r = \left| \ln(K_{roi}/K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}}) \right| \quad (\text{公式 3})$$

[0058] 对于数据序列 $(S_{wi}, \ln(K_{roi}/K_{rwi}))$, $i=1, 2, 3, \dots, n$,由于这些数据点不都在一条直线上,因此余项平方和 R 大于 0,即:

$$[0059] \quad R = \left(\sum_{i=1}^n r_i \right)^2 = \sum_{i=1}^n [\ln(K_{roi}/K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})]^2 > 0 \quad (\text{公式 4})$$

[0060] 根据最小二乘法原理,当且仅当系数 a、b、c 能够使 R 最小,即系数能使数据点的误差平方和最小时,它们的值即为原方程的解。根据这个原理,可建立如下偏微分方程组:

$$[0061] \quad \begin{cases} \frac{\partial R}{\partial a} = \sum_{i=1}^n \{2[\ln(K_{roi}/K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})] \cdot (-1)\} = 0 \\ \frac{\partial R}{\partial b} = \sum_{i=1}^n \{2[\ln(K_{roi}/K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})] \cdot S_{wi}\} = 0 \\ \frac{\partial R}{\partial c} = \sum_{i=1}^n \{2[\ln(K_{roi}/K_{rwi}) - (a - bS_{wi} + ce^{S_{wi}})] \cdot e^{S_{wi}}\} = 0 \end{cases} \quad (\text{公式 5})$$

[0062] 即:

$$\begin{cases}
 \sum_{i=1}^n \ln(K_{roi}/K_{rwi}) - n\bar{a} + b \sum_{i=1}^n S_{wi} - c \sum_{i=1}^n e^{S_{wi}} = 0 \\
 \sum_{i=1}^n [\ln(K_{roi}/K_{rwi}) \cdot S_{wi}] - a \sum_{i=1}^n S_{wi} + b \sum_{i=1}^n (S_{wi})^2 - c \sum_{i=1}^n (S_{wi} \cdot e^{S_{wi}}) = 0 \\
 \sum_{i=1}^n [\ln(K_{roi}/K_{rwi}) \cdot e^{S_{wi}}] - a \sum_{i=1}^n e^{S_{wi}} + b \sum_{i=1}^n (S_{wi} \cdot e^{S_{wi}}) - c \sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}})^2 = 0
 \end{cases} \quad (公式 6)$$

[0064] 令：

$$[0065] \quad y_i = \ln(K_{roi}/K_{rwi})$$

$$[0066] \quad m1 = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i \cdot S_{wi}) - \sum_{i=1}^n (y_i) \cdot \sum_{i=1}^n (S_{wi})}{n \sum_{i=1}^n (S_{wi}^2) - (\sum_{i=1}^n S_{wi})^2}$$

$$[0067] \quad m2 = \frac{\sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}}) \cdot \sum_{i=1}^n (S_{wi}) - n \sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}} \cdot S_{wi})}{n \sum_{i=1}^n (S_{wi}^2) - (\sum_{i=1}^n S_{wi})^2}$$

$$[0068] \quad m3 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i) - m1 \sum_{i=1}^n (S_{wi})}{n}$$

$$[0069] \quad m4 = \frac{\sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}}) + m2 \sum_{i=1}^n (S_{wi})}{n}$$

$$[0070] \quad m5 = \sum_{i=1}^n (e^{2S_{wi}}) + m2 \sum_{i=1}^n (S_{wi} \cdot e^{S_{wi}}) - m4 \sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}})$$

$$[0071] \quad m6 = \sum_{i=1}^n (y_i e^{S_{wi}}) - m1 \sum_{i=1}^n (S_{wi} \cdot e^{S_{wi}}) - m3 \sum_{i=1}^n (e^{S_{wi}})$$

[0072] 则方程组公式 6 的解为：

$$[0073] \quad \begin{cases} a = m3 - m4 \cdot c \\ b = -m1 - m2 \cdot c \\ c = m6 / m5 \end{cases}$$

[0074] 在一实施例中，a=61.21 ;b=119.55 ;c=-73.01。

[0075] 则，特高含水期油水两相相渗比值曲线的表达式为：

$$[0076] \quad \ln \frac{k_{ro}}{k_{rw}} = 61.21 + 119.55 S_w - 73.01 e^{S_w}。$$

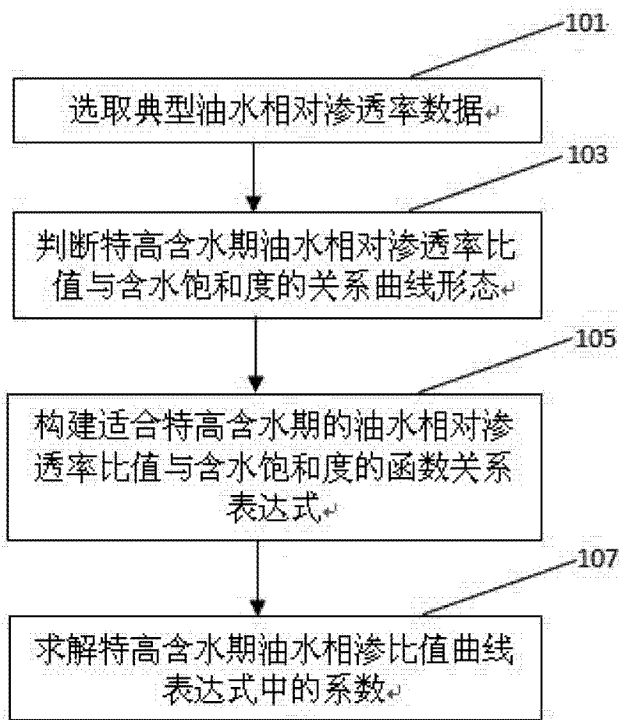


图 1

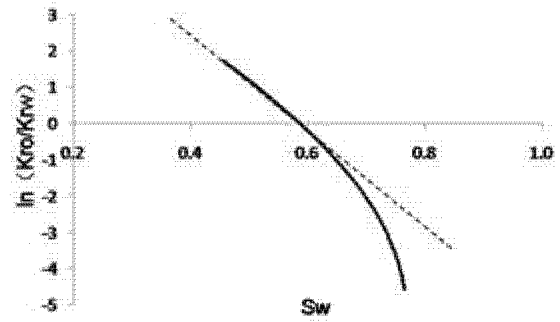


图 2

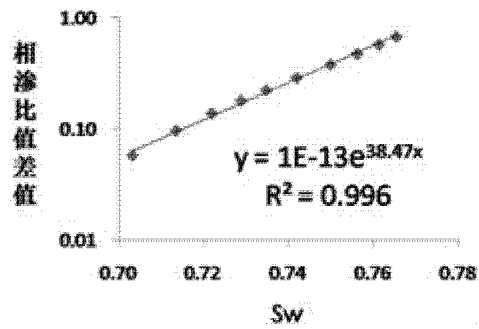


图 3