



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108956415 B

(45)授权公告日 2020.03.17

(21)申请号 201810546641.5

(22)申请日 2018.05.31

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108956415 A

(43)申请公布日 2018.12.07

(73)专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 李曹雄 林緬 江文滨 姬莉莉
曹高辉

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.
G01N 15/08(2006.01)

(56)对比文件

CN 103760089 A,2014.04.30,
CN 107449706 A,2017.12.08,
CN 107631973 A,2018.01.26,
CN 107941670 A,2018.04.20,
US 6021662 A,2000.02.08,
CN 108829950 A,2018.11.16,
Gaohui Cao等.A 3D coupled model of
organic matter and inorganic matrix for
calculating the permeability of shale.
《Fuel》.2017,第204卷第129-143页.

审查员 李思源

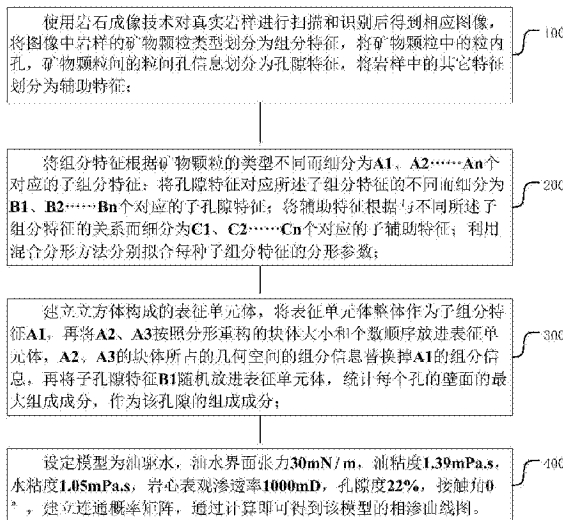
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种针对非常规储层样品的相对渗透率曲线计算方法

(57)摘要

本发明提供一种针对非常规储层样品的相对渗透率曲线计算方法,包括如下步骤:使用岩石成像技术对真实岩样进行扫描和识别后得到相应图像,将图像中岩样的矿物颗粒类型划分为组分特征,将矿物颗粒中的粒内孔,矿物颗粒间的粒间孔信息划分为孔隙特征,将岩样中的其它特征划分为辅助特征;利用混合分形方法分别拟合每种特征的分形参数;建立立方体构成的表征单元体,对各特征按照分形重构的块体大小和个数顺序放进表征单元体,建立连通概率矩阵,通过计算即可得到该模型的相渗曲线图。本发明使用混合分形单元法提取分形特征,能够快速计算非常规岩石样品相渗曲线。



1. 一种针对非常规储层样品的相对渗透率曲线计算方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤100,使用岩石成像技术对真实岩样进行扫描和识别后得到相应图像,将图像中岩样的矿物颗粒类型划分为组分特征,将矿物颗粒中的粒内孔,矿物颗粒间的粒间孔信息划分为孔隙特征,将岩样中的其它特征划分为辅助特征;

步骤200,将组分特征根据矿物颗粒的类型不同而细分为A1、A2……An个对应的子组分特征;将孔隙特征对应所述子组分特征的不同而细分为B1、B2……Bn个对应的子孔隙特征;将辅助特征根据与不同所述子组分特征的关系而细分为C1、C2……Cn个对应的子辅助特征;利用混合分形方法分别拟合每种子组分特征的分形参数;

步骤300,建立立方体构成的表征单元体,将表征单元体整体作为子组分特征A1,再将A2、A3按照分形重构的块体大小和个数顺序放进表征单元体,A2、A3的块体所占的几何空间的组分信息替换掉A1的组分信息,再将子孔隙特征B1随机放进表征单元体,统计每个孔的壁面的最大组成成分,作为该孔隙的组成成分;

步骤400,设定模型为油驱水,油水界面张力30mN/m,油粘度1.39mPa.s,水粘度1.05mPa.s,岩心表观渗透率1000mD,孔隙度22%,接触角0°,建立连通概率矩阵,通过计算即可得到该模型的相渗曲线图;

计算所述相渗曲线的公式为:

$$k_{rw}(j) = \frac{\sum_{i=1}^j C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times P_{2,i} \times \left(32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} P_{3,i} + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} P_{3,i} + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} P_{3,i-1} \right)}{\sum_{i=1}^m C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times \left(32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \right)}$$

$$k_{ro}(j) = \frac{\sum_{i=j}^m C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times (1 - P_{2,i}) \times \left[32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} (1 - P_{3,i}) + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} (1 - P_{3,i}) + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} (1 - P_{3,i-1}) \right]}{\sum_{i=1}^m C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times \left(32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \right)}$$

$$S_{rw}(j) = \frac{\sum_{i=1}^j C_i \lambda_i^2 N_i P_{2,i}}{\sum_{i=1}^m C_i \lambda_i^2 N_i}$$

其中,每级孔对应的等效孔径为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_m$,每级孔对应的个数分别为 $N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_m$;在排序后的连通概率矩阵中使用连通孔隙概率算法得到第i级连通概率 $P_{1,i}$;模型为非润湿相驱替润湿相,在第i级的 N_i 各孔中,驱扫概率为 $P_{2,i}$,使每级孔中驱扫成功的孔隙个数为 $P_{2,i} \times N_i$,驱扫概率 $P_{2,i}$ 通过真实岩心压汞曲线和孔隙成像结果综合分析给出;第i级孔导通概率为 $P_{3,i}$, $k_{rw}(j)$ 为润湿相相对渗透率, $k_{ro}(j)$ 为非润湿相相对渗透率, $S_{rw}(j)$ 为润湿相饱和度, C_i 为第i级孔隙形状因子;其中 $1 \leq j \leq m$ 且j为整数;

当驱替动力大于不等径孔隙连接处阻力时,孔隙导通($P_{3,i} = 1$),否则孔隙不能导通($P_{3,i} = 0$),影响 $P_{3,i}$ 的参数包括毛细力、润湿性、驱替压力、孔隙等效直径和界面张力参数。

2. 根据权利要求1所述的相对渗透率曲线计算方法,其特征在于,

对于所述组分特征,如果子组分特征A1、A2……An的块体大小分布符合分形特征,则先提取A1的块体大小分布频谱,使用混合分形方法对A1的块体大小分布频谱进行拟合,得到

相应A1的混合分形参数AF1,使用混合分形参数AF1重构出A1的块体大小分布频谱得到等同于A1的块体大小分布频谱;依次对A2、A3做同样处理。

3. 根据权利要求2所述的相对渗透率曲线计算方法,其特征在于,

对于所述组分特征,如果子组分特征A1、A2……An的块体大小分布不符合分形特征,则直接统计A1、A2、……An的面积或体积占比,即Ai的占比为

$$\varphi_{Ai} = \frac{V_{Ai}}{\sum_{j=1}^n V_{Aj}}$$

其中 φ_{Ai} 为Ai的面积或体积占比, V_{Ai} 为Ai的面积或体积,j为整数。

4. 根据权利要求1所述的相对渗透率曲线计算方法,其特征在于,

对于所述孔隙特征,提取子孔隙特征B1的孔隙等效直径分布频谱,使用混合分形方法对B1的孔隙等效直径分布频谱进行拟合,得到B1的混合分形参数BF1,使用混合分形参数BF1重构出B1的孔隙等效直径分布频谱,得到等同于B1的孔隙等效直径分布频谱;依次对B2、B3做同样处理。

5. 根据权利要求1所述的相对渗透率曲线计算方法,其特征在于,

所述的分形参数包括迭代次数i,分形标度F,第i次迭代产生的孔隙/块体边长 λ_i ,最大孔隙/块体边长 λ_{max} ,第i次迭代中产生的孔隙/块体个数 N_i ,第i次迭代中不参与迭代的孔隙/块体个数 $N_{i-soild}$ 。

6. 根据权利要求1所述的相对渗透率曲线计算方法,其特征在于,

所述A2、A3采用随机的方式放进表征单元体空间内,且其中任意块体占用空间互不重叠;

所述B1采用随机的方式放进表征单元体空间内,且其中所述B1所占的空间可以和任意块体占用的空间相互重合;

统计所述B1所占的空间中各个子组成特征A1、A2……An的占比,以赋予所述B1最大占比的组成成分所对应的矿物性质。

7. 根据权利要求1所述的相对渗透率曲线计算方法,其特征在于,

所述B1采用随机的方式放进表征单元体空间内,统计所述B1所占的空间中各个子组成特征A1、A2……An的面积和体积所占比例,等比例赋予所述B1壁面矿物性质;所述壁面性质包括壁面润湿性和壁面粗糙度。

8. 根据权利要求1所述的相对渗透率曲线计算方法,其特征在于,

将所述B1和所述C1综合,按照等效直径从大到小排序,等效直径相同时,按对应毛管力从大到小排序,构造连通概率矩阵,所述连通概率矩阵第一列为等效直径,第二列为等效直径所对应的个数,第三列连通概率,第四列为该行驱扫概率,第五列为该行导通概率,第六列为该行壁面性质。

一种针对非常规储层样品的相对渗透率曲线计算方法

技术领域

[0001] 本发明属于石油开采领域,特别是涉及一种基于岩心成像的获取非常规储层样品的相对渗透率曲线的计算方法。

背景技术

[0002] 非常规储层作为一种有潜力的勘探目的层,具有广阔的开发前景。以页岩、致密砂岩为代表的非常规储层孔隙结构复杂,孔隙种类众多,不同尺度特征不一,非均质性较强,流体在非常规储层中运移规律复杂。特别是在开发过程中,由于钻井液、压裂液、地层水和非常规储层中的油气资源相互影响,非常规储层中的多相流一直是国内外学者和工程师关注的重点和难点。现有的各种技术方案对计算量巨大,需要建立一种快速计算非常规储层样品相对渗透率的新方法,以探寻非常规储层两相流的渗流规律。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种基于岩心成像的获取非常规储层样品的相对渗透率曲线的计算方法。

[0004] 特别地,本发明提供一种针对非常规储层样品的相对渗透率曲线计算方法,包括如下步骤:

[0005] 步骤100,使用岩石成像技术对真实岩样进行扫描和识别后得到相应图像,将图像中岩样的矿物颗粒类型划分为组分特征,将矿物颗粒中的粒内孔,矿物颗粒间的粒间孔信息划分为孔隙特征,将岩样中的其它特征划分为辅助特征;

[0006] 步骤200,将组分特征根据矿物颗粒的类型不同而细分为A1、A2……An个对应的子组分特征;将孔隙特征对应所述子组分特征的不同而细分为B1、B2……Bn个对应的子孔隙特征;将辅助特征根据与不同所述子组分特征的关系而细分为C1、C2……Cn个对应的子辅助特征;利用混合分形方法分别拟合每种子组分特征的分形参数;

[0007] 步骤300,建立立方体构成的表征单元体,将表征单元体整体作为子组分特征A1,再将A2、A3按照分形重构的块体大小和个数顺序放进表征单元体,A2、A3的块体所占的几何空间的组分信息替换掉A1的组分信息,再将子孔隙特征B1随机放进表征单元体,统计每个孔的壁面的最大组成成分,作为该孔隙的组成成分;

[0008] 步骤400,设定模型为油驱水,油水界面张力30mN/m,油粘度1.39mPa.s,水粘度1.05mPa.s,岩心表观渗透率1000mD,孔隙度22%,接触角0°,建立连通概率矩阵,通过计算即可得到该模型的相渗曲线图。

[0009] 在本发明的一个实施方式中,对于所述组分特征,如果子组分特征A1、A2……An的块体大小分布符合分形特征,则先提取A1的块体大小分布频谱,使用混合分形方法对A1的块体大小分布频谱进行拟合,得到相应A1的混合分形参数AF1,使用混合分形参数AF1重构出A1的块体大小分布频谱得到等同于与A1的块体大小分布频谱;依次对A2、A3做同样处理。

[0010] 在本发明的一个实施方式中,对于所述组分特征,如果子组分特征A1、A2……An的

块体大小分布不符合分形特征,则直接统计A1、A2、……An的面积或体积占比,即Ai的占比为

$$[0011] \quad \varphi_{Ai} = \frac{V_{Ai}}{\sum_{j=1}^n V_{Aj}}$$

[0012] 其中 φ_{Ai} 为Ai的面积或体积占比, V_{Ai} 为Ai的面积或体积,j为整数。

[0013] 在本发明的一个实施方式中,对于所述孔隙特征,提取子孔隙特征B1的孔隙等效直径分布频谱,使用混合分形方法对B1的孔隙等效直径分布频谱进行拟合,得到B1的混合分形参数BF1,使用混合分形参数BF1重构出B1的孔隙等效直径分布频谱,得到等同于B1的孔隙等效直径分布频谱;依次对B2、B3做同样处理。

[0014] 在本发明的一个实施方式中,所述的分形参数包括迭代次数i,分形标度F,第i次迭代产生的孔隙/块体边长 λ_i ,最大孔隙/块体边长 λ_{\max} ,第i次迭代中产生的孔隙/块体个数 N_i ,第i次迭代中不参与迭代的孔隙/块体个数 $N_{i-\text{solid}}$ 。

[0015] 在本发明的一个实施方式中,所述A2、A3采用随机的方式放进表征单元体空间内,且其中任意块体占用空间互相不重叠;

[0016] 所述B1采用随机的方式放进表征单元体空间内,且其中所述B1所占的空间可以和任意块体占用的空间相互重合;

[0017] 统计所述B1所占的空间中各个子组成特征A1、A2……An的占比,以赋予所述B1最大占比的组成成分所对应的矿物性质。

[0018] 在本发明的一个实施方式中,所述B1采用随机的方式放进表征单元体空间内,统计所述B1所占的空间中各个子组成特征A1、A2……An的面积和体积所占比例,等比例赋予所述B1壁面矿物性质;所述壁面性质包括壁面润湿性和壁面粗糙度。

[0019] 在本发明的一个实施方式中,将所述B1和所述C1综合,按照等效直径从大到小排序,等效直径相同时,按对应毛管力从大到小排序,构造连通概率矩阵,所述连通概率矩阵第一列为等效直径,第二列为等效直径所对应的个数,第三列连通概率,第四列为该行驱扫概率,第五列为该行导通概率,第六列为该行壁面性质。

[0020] 在本发明的一个实施方式中,计算所述相渗曲线的公式为:

$$[0021] \quad k_{rw}(j) = \frac{\sum_{i=1}^j C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times P_{2,i} \times \left(32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} P_{3,i} + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} P_{3,1} + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} P_{3,i-1} \right)}{\sum_{i=1}^m C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times \left(32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \right)}$$

$$[0022] \quad k_m(j) = \frac{\sum_{i=1}^m C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times (1 - P_{2,i}) \times \left[32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} (1 - P_{3,i}) + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} (1 - P_{3,1}) + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} (1 - P_{3,i-1}) \right]}{\sum_{i=1}^m C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times \left(32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \right)}$$

$$[0023] \quad S_{rw}(j) = \frac{\sum_{i=1}^j C_i \lambda_i^2 N_i P_{2,i}}{\sum_{i=1}^m C_i \lambda_i^2 N_i}$$

[0024] 其中,每级孔对应的等效孔径为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_m$,每级孔对应的个数分别为 $N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_m$;在排序后的连通概率矩阵中使用连通孔隙概率算法得到第 i 级连通概率 $P_{1,i}$;模型为非润湿相驱替润湿相,在第 i 级的 N_i 各孔中,驱扫概率为 $P_{2,i}$,使每级孔中驱扫成功的孔隙个数为 $P_{2,i} \times N_i$,驱扫概率 $P_{2,i}$ 通过真实岩心压汞曲线和孔隙成像结果综合分析给出;第 i 级孔导通概率为 $P_{3,i}$, $k_{rw}(j)$ 为润湿相相对渗透率, $k_{ro}(j)$ 为非润湿相相对渗透率, $S_{rw}(j)$ 为润湿相饱和度, C_i 为第 i 级孔隙形状因子;其中 $1 \leq j \leq m$ 且 j 为整数。

[0025] 在本发明的一个实施方式中,当驱替动力大于不等径孔隙连接处阻力时,孔隙导通($P_{3,i}=1$),否则孔隙不能导通($P_{3,i}=0$),影响 $P_{3,i}$ 的参数包括毛细力、润湿性、驱替压力、孔隙等效直径和界面张力参数。

[0026] 本发明是基于真实岩石的成像技术,利用岩石孔隙空间的分形特性,使用混合分形单元法提取分形特征,将孔隙壁面赋予不同润湿参数,使用连通概率,驱扫概率,导通概率共同构建基于三维混合分形的两相流模型。该模型能够有效表征不同尺度下的非常规岩石样品孔隙结构特征,能够快速计算非常规岩石样品相渗曲线。与传统方法相比,该方法涵盖信息多(孔隙分布、润湿性)、计算速度快,便于工程应用,为获得非常规储层相对渗透率开辟了一种新方法。

附图说明

[0027] 图1是本发明一个实施方式评价方法流程图;

[0028] 图2是本发明一个实施方式得到的相渗曲线图。

具体实施方式

[0029] 如图1所示,本发明一个实施方式公开一种针对非常规储层样品的相对渗透率曲线计算方法,包括如下步骤:

[0030] 步骤100,使用岩石成像技术对真实岩样进行扫描和识别后得到相应图像,将图像中岩样的矿物颗粒类型划分为组分特征,将矿物颗粒中的粒内孔,矿物颗粒间的粒间孔信息划分为孔隙特征,将岩样中的其它特征划分为辅助特征;

[0031] 这里的岩石成像技术包括但不限于SEM(扫描电子显微镜),FIB-SEM(聚焦离子束),Micro-CT(微计算机断层扫描技术),nano-CT、背散射扫描电镜等技术。

[0032] 在上述各成像技术中,既可以只采用一种方式成像后进行分析,也可以同时采用两种以上的成像技术进行结合分析,因为有的成像技术观测范围广,有的成像技术精度高,可以综合起来得到块体大小分布和孔隙分布。

[0033] 岩石可以是页岩、致密砂岩或者其它非常规储层岩样。

[0034] 步骤200,将组分特征根据矿物颗粒的类型不同而细分为 A_1, A_2, \dots, A_n 个对应的子组分特征;将孔隙特征对应所述子组分特征的不同而细分为 B_1, B_2, \dots, B_n 个对应的子孔隙特征;将辅助特征根据与不同所述子组分特征的关系而细分为 C_1, C_2, \dots, C_n 个对应的子辅助特征;利用混合分形方法分别拟合每种子组分特征的分形参数;

[0035] 在划分时,将岩样图像中的矿物,如,有机质块体、黄铁矿块体、石英,长石,蒙脱石等一类矿石类型统一划分为组分特征,并可对该组分特征中的每个具体矿物按子组分特征 A_1 、子组分特征 A_2 、子组分特征 A_3, \dots, A_n 的编号进行细分类;将图像中的粒间孔、粒内孔等

孔隙全部划分为孔隙特征中,其中根据孔隙的分布位置如有机质块体中的有机孔,黄铁矿块体中的孔,基质中的无机孔等,按子孔隙特征B1、子孔隙特征B2、子孔隙特征B3……Bn进行细分类;辅助特征是除前述两种特征外的其它特征,如裂纹特征、密度特征,本实施方式是以裂缝作为辅助特征,裂缝根据类型可分为自然裂缝和人工裂缝,其根据裂缝密度、缝长、缝宽等信息将辅助特征分为子辅助特征C1、子辅助特征C2、子辅助特征C3、……Cn。

[0036] 步骤300,建立立方体构成的表征单元体,将表征单元体整体作为子组分特征A1,再将A2、A3按照分形重构的块体大小和个数顺序放进表征单元体,A2、A3的块体所占的几何空间的组分信息替换掉A1的组分信息,再将子孔隙特征B1随机放进表征单元体,统计每个孔的壁面的最大组成成分,作为该孔隙的组成成分;

[0037] 立方体的边长可以为0.4mm,对于组分特征,如果子组分特征A1、A2……An的块体大小分布符合分形特征,则先提取A1的块体大小分布频谱,使用混合分形方法对A1的块体大小分布频谱进行拟合,得到相应A1的混合分形参数AF1,使用混合分形参数AF1重构出A1的块体大小分布频谱得到等同于与A1的块体大小分布频谱;依次对A2、A3做同样处理。

[0038] 对于组分特征,如果子组分特征A1、A2……An的块体大小分布不符合分形特征,则直接统计A1、A2、……An的面积或体积占比,即Ai的占比为

$$[0039] \quad \varphi_{A_i} = \frac{V_{A_i}}{\sum_{j=1}^n V_{A_j}}$$

[0040] 其中 φ_{A_i} 为Ai的面积或体积占比, V_{A_i} 为Ai的面积或体积,j为整数。

[0041] 子组分特征A2、A3采用随机的方式放进表征单元体空间内,且其中任意块体占用空间互相不重叠。

[0042] 对于孔隙特征,提取子孔隙特征B1的孔隙等效直径分布频谱,使用混合分形方法对B1的孔隙等效直径分布频谱进行拟合,得到B1的混合分形参数BF1,使用混合分形参数BF1重构出B1的孔隙等效直径分布频谱,得到等同于B1的孔隙等效直径分布频谱;依次对B2、B3做同样处理。

[0043] 孔隙特征B1同样采用随机的方式放进表征单元体空间内,且其中子孔隙特征B1所占的空间可以和任意块体占用的空间相互重合;统计子孔隙特征B1所占的空间中各个子组成特征A1、A2……An的占比,以赋予子孔隙特征B1最大占比的组成成分所对应的矿物性质。

[0044] 另一对B1赋予壁面性质的方法是:对子孔隙特征B1赋予壁面性质,过程如下:将子孔隙特征B1采用随机的方式放进表征单元体空间内,统计所述B1所占的空间中各个子组成特征A1、A2……An的面积和体积所占比例,等比例赋予所述B1壁面性质;壁面性质包括壁面润湿性和壁面粗糙度。

[0045] 其中的分形参数包括迭代次数i,分形标度F,第i次迭代产生的孔隙/块体边长 λ_i ,最大孔隙/块体边长 λ_{\max} ,第i次迭代中产生的孔隙/块体个数 N_i ,第i次迭代中不参与迭代的孔隙/块体个数 $N_{i-\text{solid}}$ 。

[0046] 在构造连通概率矩阵时,将子孔隙特征B1和子辅助特征C1综合,按照等效直径从大到小排序,等效直径相同时,按对应毛管力从大到小排序,构造完成的连通概率矩阵中,其第一列为等效直径,第二列为等效直径所对应的个数,第三列连通概率,第四列为该行驱扫概率,第五列为该行导通概率,第六列为该行壁面性质。

[0047] 即每级孔对应的等效孔径为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_m$, 每级孔对应的个数分别为 $N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_m$; 在排序后的连通概率矩阵中使用连通孔隙概率算法得到第 i 级连通概率 $P_{1,i}$; 模型为非润湿相驱替润湿相, 在第 i 级的 N_i 各孔中, 驱扫概率为 $P_{2,i}$, 使每级孔中驱扫成功的孔隙个数为 $P_{2,i} \times N_i$, 驱扫概率 $P_{2,i}$ 通过真实岩心压汞曲线和孔隙成像结果综合分析给出; 第 i 级孔导通概率为 $P_{3,i}$, 当驱替动力大于不等径孔隙连接处阻力时, 孔隙导通 ($P_{3,i} = 1$), 否则孔隙不能导通 ($P_{3,i} = 0$), 影响 $P_{3,i}$ 的参数有毛细力, 润湿性, 驱替压力、孔隙等效直径, 界面张力等参数。

[0048] 步骤400, 设定模型为油驱水, 油水界面张力 30mN/m , 油粘度 $1.39\text{mPa}\cdot\text{s}$, 水粘度 $1.05\text{mPa}\cdot\text{s}$, 岩心表观渗透率 1000mD , 孔隙度 22% , 接触角 0° , 建立连通概率矩阵, 通过计算即可得到该模型的相渗曲线图。

[0049] 计算相渗曲线的公式为:

$$[0050] \quad k_{rw}(j) = \frac{\sum_{i=1}^j C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times P_{2,i} \times \left(32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} P_{3,i} + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_1}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} P_{3,1} + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} P_{3,i-1} \right)}{\sum_{i=1}^m C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times \left(32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_1}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \right)}$$

$$[0051] \quad k_{ro}(j) = \frac{\sum_{i=j}^m C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times (1 - P_{2,i}) \times \left[32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} (1 - P_{3,i}) + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_1}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} (1 - P_{3,1}) + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} (1 - P_{3,i-1}) \right]}{\sum_{i=1}^m C_i \frac{\lambda_i^2}{32} \times \left(32 \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + 2 \times 32 \frac{\lambda_i^2 N_1}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} + \dots + 2 \times 32 \frac{\lambda_{i-1}^2 N_{i-1}}{A} \frac{\lambda_i^2 N_i}{A} \right)}$$

$$[0052] \quad S_{rw}(j) = \frac{\sum_{i=1}^j C_i \lambda_i^2 N_i P_{2,i}}{\sum_{i=1}^m C_i \lambda_i^2 N_i}$$

[0053] $k_{rw}(j)$ 为润湿相相对渗透率, $k_{ro}(j)$ 为非润湿相相对渗透率, $S_{rw}(j)$ 为润湿相饱和度, C_i 为第 i 级孔隙形状因子; 其中 $1 \leq j \leq m$ 且 j 为整数, 其它的参数参见前述限定。

[0054] 如图2所示, 图中左侧则低至高的曲线为水相相渗曲线, 而由左侧向右侧月逐渐降低的曲线为油相相渗曲线, 其中的点为实验值, 可以验证本方法计算相渗曲线结果有效。

[0055] 本实施方式是基于真实岩石的成像技术, 利用岩石孔隙空间的分形特性, 使用混合分形单元法提取分形特征, 将孔隙壁面赋予不同润湿参数, 使用连通概率, 驱扫概率, 导通概率共同构建基于三维混合分形的两相流模型。该模型能够有效表征不同尺度下的非常规岩石样品孔隙结构特征, 能够快速计算非常规岩石样品相渗曲线。与传统方法相比, 该方法涵盖信息多(孔隙分布、润湿性)、计算速度快, 便于工程应用, 为获得非常规储层相对渗透率开辟了一种新方法。

[0056] 下表为相渗方法下一种优选的连通矩阵示意:

[0057]

孔隙等效直径	个数	连通概率	驱扫概率	导通概率	类型
$\lambda_B(A1)-1$	NA1-1	PA1(B(A1)-1)	PA2(B(A1)-1)	PA3(B(A1)-1)	A1
$\lambda_B(A1)-2$	NA1-2	PA1(B(A1)-2)	PA2(B(A1)-2)	PA3(B(A1)-2)	A1
$\lambda_B(A2)-1$	NB3-1	PB1(B(A2)-1)	PB2(B(A2)-1)	PB3(B(A2)-1)	A2
$\lambda_B(A3)-1$	NA2-1	PA1(B(A3)-1)	PA2(B(A3)-1)	PA3(B(A3)-1)	A3
$\lambda_B(A1)-3$	NB3-2	PB1(B(A1)-3)	PB2(B(A1)-3)	PB3(B(A1)-3)	A1
$\lambda_B(A2)-2$	NA1-3	PA1(B(A2)-2)	PA2(B(A2)-2)	PA3(B(A2)-2)	A2

[0058] 其中块体 $\lambda_B(A1)-1$ 代表 λ_B 孔隙赋予子组分特征A1性质之后的第一个孔隙的等效直径, $\lambda_B(A1)-2$ 代表 λ_B 孔隙赋予子组分特征A1性质之后的第2个孔隙的等效直径,块体 $\lambda_B(A2)-1$ 代表 λ_B 孔隙赋予子组分特征A2性质之后的第一个孔隙的的等效直径。

[0059] 孔隙等效直径满足第一列从大到小。直径相等时使用毛细力比大小,非润湿相驱替润湿相时毛细力从大到小排,润湿相驱替非润湿相时毛细力从小到大排。

[0060] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

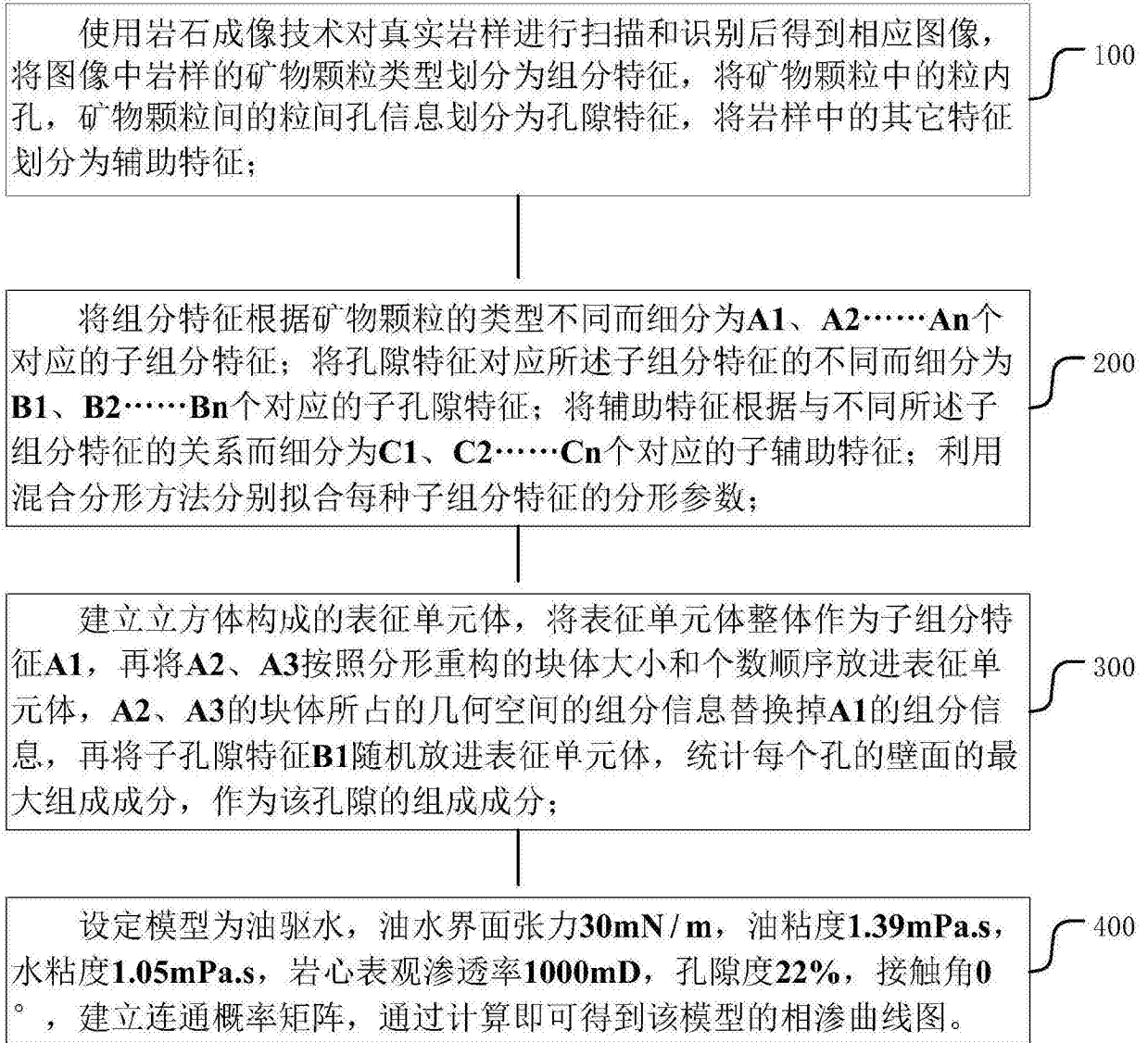


图1

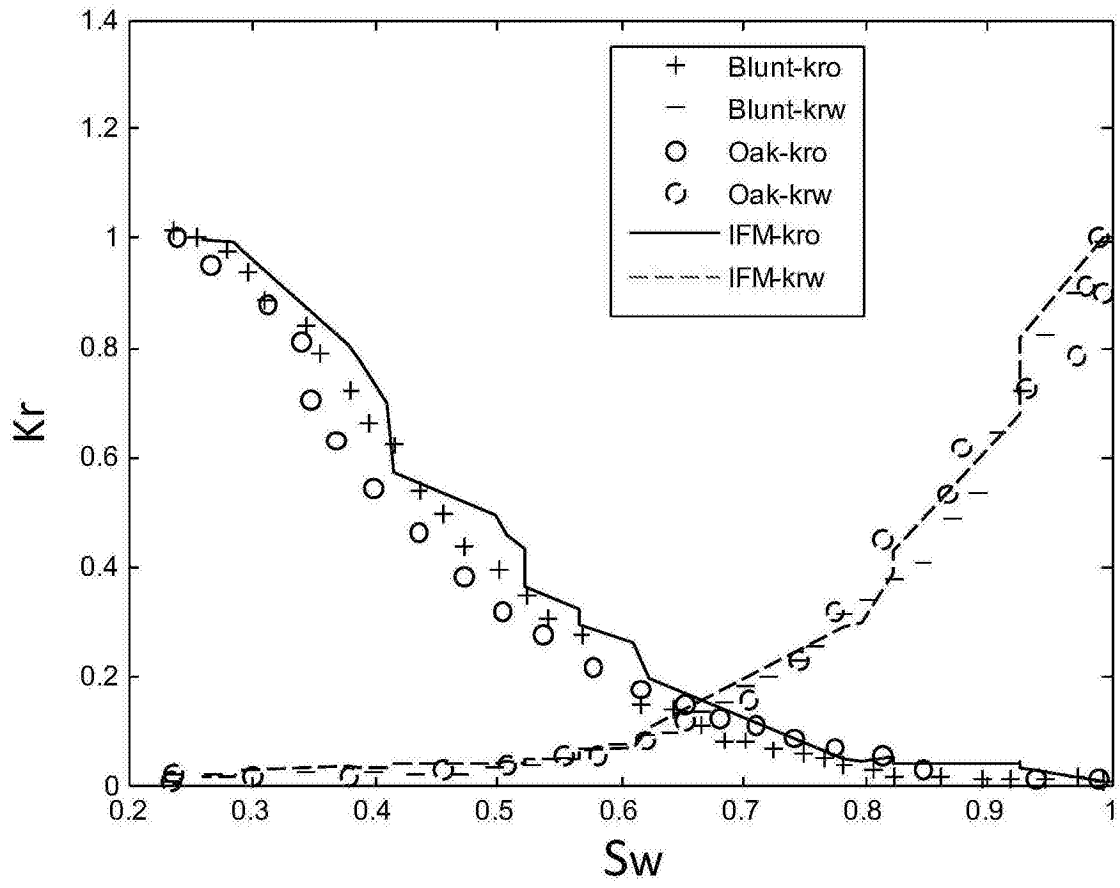


图2