



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103410502 B

(45) 授权公告日 2016.03.16

(21) 申请号 201310335496.3

(22) 申请日 2013.08.05

(73) 专利权人 西南石油大学

地址 610500 四川省成都市新都区新都大道8号

专利权人 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司
中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司

(72) 发明人 彭小龙 王建峰 杜志敏 隋淑玲
杜玉山 张世明 刘学利 窦莲
苏海波 董亚娟 宋勇

(74) 专利代理机构 成都高远知识产权代理事务所(普通合伙) 51222

代理人 李高峡

(51) Int. Cl.

E21B 47/10(2012.01)

E21B 49/00(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102865059 A, 2013.01.09,

CN 102339339 A, 2012.02.01,

CN 102619502 A, 2012.08.01,

CN 102096107 A, 2011.06.15,

US 6023656 A, 2000.02.08,

US 2010154514 A1, 2010.06.24,

闫国亮等. 基于均匀化方法的周期性缝洞型介质渗透率的数值计算.《煤炭学报》.2011,第36卷(第9期),

李亚军等. 基于Darcy-Stokes耦合模型的缝洞型介质等效渗透率分析.《中国石油大学学报(自然科学版)》.2011,第35卷(第2期),

审查员 杨莹

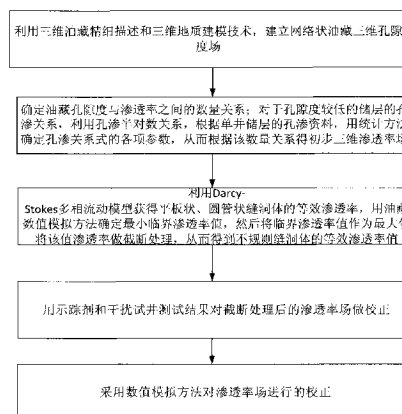
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的获取方法

(57) 摘要

本发明公开了一种网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的获取方法,首先建立网络状油藏三维孔隙度场,确定油藏孔隙度与渗透率之间的数量关系;获得平板状、圆管状缝洞体的等效渗透率,确定最小临界渗透率值,然后将临界渗透率值作为最大值将该值渗透率做截断处理,得到等效渗透率值;用示踪剂和干扰试井测试结果对截断处理后的渗透率场做校正;采用数值模拟方法对渗透率场进行的校正。本发明获取的渗透率对于油藏开发规律认识、油藏产量预测、生产层位优化与调整、井网井距优化与调整、研究剩余油采出规律、调剖堵水、注气注水方案具有决定性作用,降低油气藏的开采成本,提高油气藏采收率,最终达到增加油藏开发的经济效益的目的。



CN 103410502 B

1. 一种网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的获取方法,其特征在于:该网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的获取方法包括以下步骤:

第一,用岩石取心、测井解释获取单井剖面上的孔隙度,利用三维油藏精细描述和三维地质建模技术,建立网络状油藏三维孔隙度场;

第二,确定油藏孔隙度与渗透率之间的数量关系;对于孔隙度较低的储层的孔渗关系,利用孔渗半对数关系,根据单井储层的孔、渗资料,用统计方法确定孔渗关系式的各项参数,从而根据该数量关系得到初步三维渗透率场;

第三,利用 Darcy-Stokes 多相流动模型获得平板状、圆管状缝洞体的等效渗透率,用油藏数值模拟方法确定最小临界渗透率值,然后将临界渗透率值作为最大值将该渗透率值做截断处理,从而得到不规则缝洞体的等效渗透率值;

第四,用示踪剂和干扰试井测试结果对截断处理后的渗透率场做校正;

第五,采用数值模拟方法对渗透率场进行的校正。

2. 如权利要求 1 所述的获取网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的方法,其特征在于:用岩石取心、测井解释获取单井剖面上的孔隙度利用三维油藏精细描述和三维地质建模技术,建立网络状油藏三维孔隙度场采用如下步骤:

用岩石取心、测井解释获取单井剖面上的孔隙度,用岩样孔隙度校正测井孔隙度,然后得到单井剖面上连续的孔隙度分布,然后按小层计算平均值;

采用多点统计法,利用三维地震、测井、单井岩性剖面、区域古水文环境地理-资料建立沉积相和岩溶相模型;

以三维沉积相及岩溶相为控制,三维地震数据为约束,以单井孔隙度值作为确定值,采用随机建模方法预测井间孔隙度值。

3. 如权利要求 1 所述的获取网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的方法,其特征在于:孔隙度与渗透率之间具有半对数关系,即 $\phi = C_1 \ln K + C_2$,其中 ϕ 为孔隙度, K 为渗透率, C_1 和 C_2 为常数。

4. 如权利要求 1 所述的获取网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的方法,其特征在于:

所述第二步包括:统计油藏孔隙度和渗透率之间的数理关系;统计样品不考虑基岩孔隙;以微小裂缝、半充填溶洞、微小溶洞储层为主;不包括孔隙度极高的样品,即样品的孔隙度小于 10%,渗透率小于 10D;

所述第三步包括:基于 Darcy-Stokes 多相流动模型获得平板状、圆管状缝洞体的等效渗透率,用油藏数值模拟方法确定最小临界渗透率值,然后将临界渗透率值作为最大值将该渗透率值做截断处理,从而得到不规则缝洞体的等效渗透率值;据裂缝性油藏的渗流理论可知,当大尺度缝洞体的渗透率超过临界渗透率值以后,继续增加渗透率值对于油藏渗流规律的影响小;

所述第四步包括:用油藏数值模拟历史拟合方法结合示踪剂测试进一步校正渗透率,验证和调整临界渗透率值。

5. 如权利要求 1 所述的获取网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的方法,其特征在于:所述第三步的方法为:

步骤一,基于 Darcy-Stokes 多相流动模型获得平板状、圆管状缝洞体的等效渗透率:

$$\text{大裂缝采用平板状的等效渗透率计算公式: } \bar{k} = \frac{h^2}{12} \quad (1)$$

$$\text{圆管形溶蚀管道采用的等效渗透率计算公式: } \bar{k} = \frac{\phi r^2}{8} \quad (2)$$

式(1)~(2)中: \bar{k} -等效渗透率; h -裂缝宽度; ϕ -溶洞管道体积与岩块总体积之比,相当于溶洞孔隙度; r -溶洞管道半径;

步骤二,用油藏数值模拟方法确定最小临界渗透率值,然后将临界渗透率值作为最大值将该渗透率值做截断处理,从而得到不规则缝洞体的等效渗透率值;

步骤三,为了反映流动过程中驱替前缘的形态的变化,对大尺度缝洞体不同部位的渗透率按倍比关系调整。

6.如权利要求5所述的获取网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的方法,其特征在于:大尺度缝洞体内的流动服从自由流体流动规律,根据牛顿流体力学理论,管道不同部位的流速服从公式(3),可知流动管道中部的流速要高于管道边部的流速,针对不同的部位,在渗透率截断处理的基础上,依照公式(4)做倍比调整:

$$u^* = \frac{1}{2} \frac{h^2}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \left(\frac{y^2}{h^2} - \frac{y}{h} \right) \quad (3)$$

$$K(y) = \frac{6(y^2 - hy)}{(h^2 - 2h)} k_0 \quad (4)$$

式(3)~(4)中: u^* -流速, h -平板流动通道的厚度; p -压力; y -距流动通道壁面的距离,取值为: $0 \leq y \leq \frac{h}{2}$; k_0 -临界渗透率。

一种网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的获取方法

技术领域

[0001] 本发明属于网络状缝洞型油藏开采技术领域,涉及一种获取网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的方法,以提高油藏开发的针对性、合理性,最终提高油藏采收率,并降低油藏开采成本。

背景技术

[0002] 渗透率是反映油藏储层允许流体通过能力大小的参数,是评价储层渗透性,计算油井产能,对于评价储层渗透性,预测油气井产能,油藏开发方法的基础数据。渗透率参数非常重要,它的重要性贯穿于油气藏的整个开发历史,体现在每一开发环节。仅就获取渗透率的测试费用就体现其重要性:试井 10-20 万元/井;岩芯实验室测定,约 1 万元/样(包括取样费和测试费);试踪剂测试,20-100 万/井组。油藏三维渗透率场数据包括了油藏内任一位置的渗透率值,是以单井的渗透率测试数据为基础,结合三维地震、井间干扰测试、井间示踪剂测试、试井等测试结果,采用井间预测方法综合得到的数据体,对于全油藏开发非常关键,油藏开发规律认识、油藏产量预测、生产层位优化与调整、井网井距优化与调整、研究剩余油采出规律、调剖堵水、注气注水方案等等都需要全油藏的三维数据场。

[0003] 网络状缝洞型油藏是一种特殊的缝洞型油藏,具有复杂的储层介质特征,具有极强的非均质性,表现出多种流动规律(渗流、管流)。代表油藏如塔河缝洞型潜山油藏,塔里木轮古潜山油藏。储层的复杂性表现在三个方面:首先储集类型复杂,包括裂缝、溶洞、孔隙;其次每种储集体的尺度变化范围大,以裂缝介质为例,尺度范围就包括微米级到千米级;裂缝、溶洞空间组合关系复杂。网络状油藏非均质性更强,储集体与非储集体呈密宫状交叉分布,呈树枝状、网络状分布,故被学者命名为网络状油藏。缝洞型油藏储层的这些特征,使得井间的物性预测非常困难。尽管如此,经过多年的技术发展和积累,例如井震联合反演技术、多点统计预测技术、多波多分量地震属性分析技、地质和开发多学科协同等技术的应用,获取的孔隙度数据基本能够满足油藏经营管理需要,然而渗透率的准确性依然极低,很多区域的渗透率值只能凭空估算。主要原因有 2 方面:(1) 大尺度的裂缝和溶洞的渗透率很难预测,首先地下缝洞体的形态不可能认识清楚,而形态的稍微变化都能够导致渗透率参数大幅变化;其次,大尺度缝洞体内流体的流动规律遵循自由流体流动和管流流动规律,即使形态清楚,如果形态不规则,从理论上就不能得到相应的渗透率值,即使采用等效渗透率的概念,得到的渗透率值也是一个变化值。即使采用等效渗透率的概念,所得到的渗透率也不是定值,也与流速、流态相关;(2) 渗透率值的大小受多种地质因素影响,对这些因素变化反应非常敏感,所以全油藏三维渗透率场的建立是所有非均质性油藏普遍面临的技术难题,而网络状油藏的非均质性又远完超出一般类型的油藏,储层的井间渗透率预测更难。目前国内外还没有一套合理而且适用性强的方法能够得到这类油藏可靠的三维渗透率场。

发明内容

[0004] 针对缝洞型网络状油藏目前在三维渗透率获取所存在的困难,提出了一种用孔隙度获取缝洞型网络状油藏渗透率的方法。

[0005] 本发明实施例是这样实现的,一种网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的获取方法,该方法包括以下步骤:

[0006] 第一:利用三维油藏精细描述和三维地质建模技术,建立网络状油藏三维孔隙度场;

[0007] 第二:确定油藏孔隙度与渗透率之间的数量关系;对于孔隙度较低的储层的孔渗关系,利用孔渗半对数关系,根据单井储层的孔渗资料,用统计方法确定孔渗关系式的各项参数,从而根据该数量关系得到初步三维渗透率场;

[0008] 第三:利用 Darcy-Stokes 多相流动模型获得平板状、圆管状缝洞体的等效渗透率,用油藏数值模拟方法确定最小临界渗透率值,然后将临界渗透率值作为最大值将该渗透率值做截断处理,从而得到不规则缝洞体的等效渗透率值;

[0009] 第四:用示踪剂和干扰试井测试结果对截断处理后的渗透率场做校正;

[0010] 第五:采用数值模拟方法对渗透率场进行的校正。

[0011] 进一步的,用岩石取心、测井解释获取单井剖面上的孔隙度利用三维油藏精细描述和三维地质建模技术,建立网络状油藏三维孔隙度场采用如下步骤:

[0012] 用岩石取心、测井解释获取单井剖面上的孔隙度,用岩样孔隙度校正测井孔隙度,然后得到单井剖面上连续的孔隙度分布,然后按小层计算平均值;

[0013] 采用多点统计法,利用三维地震、测井、单井岩性剖面、区域古水文环境地理-资料建立沉积相和岩溶相模型;

[0014] 以三维沉积相及岩溶相为控制,三维地震数据为约束,以单井孔隙度值作为确定值,采用随机建模方法预测井间孔隙度值。

[0015] 进一步,孔隙度与渗透率之间具有半对数关系,即 $\phi = C_1 \ln K + C_2$, 其中 ϕ 为孔隙度, K 为渗透率, C_1 和 C_2 为常数。

[0016] 进一步,所述第二步骤包括:统计油藏孔隙度和渗透率之间的数理关系;统计样品不考虑基岩孔隙;以微小裂缝、半充填溶洞、微小溶洞储层为主;暂不考虑孔隙度极高的样品,即样品的孔隙度小于 10%,渗透率小于 10D;

[0017] 所述第三步骤包括:解决不规则大尺度缝洞体的渗透率值的测量难题。基于 Darcy-Stokes 多相流动模型获得平板状、圆管状缝洞体的等效渗透率,用油藏数值模拟方法确定最小临界渗透率值,然后将临界渗透率值作为最大值将该值渗透率做截断处理,从而得到不规则缝洞体的等效渗透率值。据裂缝性油藏的渗流理论可知,当大尺度缝洞体的渗透率超过临界渗透率值以后,继续增加渗透率值对于油藏渗流规律的影响很小;

[0018] 所述第四步骤包括:用油藏数值模拟历史拟合方法结合示踪剂测试进一步校正渗透率,验证和调整临界渗透率值。

[0019] 进一步,解决不规则大尺度缝洞体的渗透率值的测量难题,大尺度缝洞体是高孔高渗储层的主体,渗透率都极高,几何形态复杂,充填情复杂,其渗透率的测量难题是网络状缝洞型油藏三维渗透率场难以建立的根本原因,解决方法分为三个步骤:

[0020] (1) 基于 Darcy-Stokes 多相流动模型获得平板状、圆管状缝洞体的等效渗透率:

[0021] 大裂缝采用平板状的等效渗透率计算公式：
$$\bar{k} = \frac{h^2}{12} \quad (1)$$

[0022] 圆管形溶蚀管道采用的等效渗透率计算公式：
$$\bar{k} = \frac{\phi r^2}{8} \quad (2)$$

[0023] 式(1)~(2)中： \bar{k} -等效渗透率； h -裂缝宽度； ϕ -溶洞管道体积与岩块总体积之比，相当于溶洞孔隙度； r -溶洞管道半径；

[0024] (2)用油藏数值模拟方法确定最小临界渗透率值，然后将临界渗透率值作为最大值将该渗透率值做截断处理，从而得到不规则缝洞体的等效渗透率值；

[0025] (3)为了反映流动过程中驱替前缘的形态的变化，对大尺度缝洞体不同部位的渗透率按倍比关系调整；

[0026] 大尺度缝洞体内的流动服从自由流体流动规律，根据牛顿流体力学理论，管道不同部位的流速服从公式(3)，可知流动管道中部的流速要高于管道边部的流速；对于单相流动只需计算平均渗透率值，即采用公式(1)~(2)计算大尺度缝洞体的等效渗透率，但对于多相流动，则需要预测流体的分布，渗流透率场还需要反映大尺度缝洞体内不同部位的流速差异，所以针对不同的部位，在渗透率截断处理的基础上，依照公式(4)做倍比调整；

[0027]
$$u^* = \frac{1}{2} \frac{h^2}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \left(\frac{y^2}{h^2} - \frac{y}{h} \right) \quad (3)$$

[0028]
$$K(y) = \frac{6(y^2 - hy)}{(h^2 - 2h)} k_0 \quad (4)$$

[0029] 式(3)~(4)中： u^* -流速， h -平板流动通道的厚度； p -压力； y -距流动通道壁面的距离，取值为： $0 \leq y \leq \frac{h}{2}$ ； k_0 -临界渗透率。

[0030] 本发明获取的渗透率是开发油气藏需要的重要的参数；油藏开发规律认识、油藏产量预测、生产层位优化与调整、井网井距优化与调整、研究研究剩余油采出规律、调剖堵水、注气注水方案等等都需要全油藏的三维数据场，从而实现降低油气藏的开采成本，提高油气藏采收率，最终达到增加油藏开发的经济效益的目的。

附图说明

[0031] 图1为本发明实施例提供的网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的获取方法的流程图；

[0032] 图2为本发明实施例提供的用统计方法确定孔隙度与渗透率的数量关系图；

[0033] 图3为大尺度缝洞体渗透率的变化对于油藏渗流规律的影响；上图：油藏地质模型；下图：模拟计算的生产动态。

具体实施方式

[0034] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0035] 本发明提供了一种网络状缝洞型油藏的三维渗透率场的获取方法，以塔河 S48 缝

洞单元为例进行说明。以塔河缝洞型油藏 S48 缝洞单元为例说明本发明发明的实施方式。塔河缝洞型油藏 S48 缝洞单元,是典型的网络状缝洞型油藏,储层介质以裂缝和溶洞为主,基岩孔隙为无效孔隙。裂缝、溶洞的尺度变化大,在微米和千米级别,分充填和不充填。因为油藏类型特殊,三维地质建模困难,经过年研究,建立起油藏的三维孔隙度场,但缺少合理的三维渗透率场,极大地阻碍了油藏的科学开发。如图 1 所示,本发明所提的方法具体实现步骤如下:

[0036] 第一:利用三维油藏精细描述和三维地质建模技术,建立网络状油藏三维孔隙度场。这一过程如果用到这些已经成熟的先进方法,则建立孔隙度比较可靠,基本满足油藏经营管理的需要;井震联合反演技术、多点统计预测技术、多波多分量地震属性分析技、地质和开发多学科协同等技术的应用。这一过程还可以确定油藏储量及丰度、岩相及缝洞体的大致分布。具体包括以下步骤:用岩石取心、测井解释获取单井剖面上的孔隙度,用岩样孔隙度校正测井孔隙度,然后得到单井剖面上连续的孔隙度分布,然后按小层计算平均值;采用多点统计法,利用三维地震、测井、单井岩性剖面、区域古水文环境地理资料建立沉积相和岩溶相模型;以三维沉积相及岩溶相为控制,三维地震数据为约束,以单井孔隙度值作为确定值,采用随机建模方法预测井间孔隙度值。

[0037] 第二:确定油藏孔隙度与渗透率之间的数量关系,重点考虑孔隙度较低的储层的孔渗关系,实例中采用孔隙度在 0.5% -10% 范围的储层。孔渗关系采用半对数关系,即 $\phi = C_1 \ln K + C_2$, 根据单井储层的孔渗资料,用统计方法确定孔渗关系式的各项参数,从而根据该数量关系得到粗略的三维渗透率场。(见图 2)

[0038] $\phi = 0.28213 \ln(K) + 0.02041$

[0039]
$$K = \exp\left(\frac{\phi - 0.02041}{0.28213}\right)$$

[0040] 式中:K—渗透率,单位 mD

[0041] ϕ —孔隙度,小数;

[0042] 第三:将渗透率超过临界渗透率值做截断处理,临界渗透率为 80D 作为截断值,从而巧妙地解决了如何测定不规则大尺度缝洞体的渗透率这一技术难题。

[0043] 以塔河缝洞型油藏为例,当连续介质渗透率为 0.3D,大尺度缝洞体的临界渗透率为 80D,如果超过该值,油藏数值模拟的结果基本相近,80D 可作为油藏渗透率的截断值。如果联系到压裂缝渗流规律,可发现大尺度缝洞体的这种渗流特征与裂缝无限导流的渗流特征具有相同的原理。

[0044] 一般的大尺度缝洞体的渗透率值都远远大于截断渗透率值,将所有大尺度缝洞体的渗透率设为临界渗透率值,对于油藏数值模拟结果并不产生影响,既然如此就没有必要考虑大尺度缝洞体准确的渗透率究竟为多少。显然,如何测定大尺度缝洞体渗透率的技术难题也就得到解决。

[0045] 第四:解决不规则大尺度缝洞体的渗透率值的测量难题。大尺度缝洞体是高孔高渗储层的主体,渗透率都极高,几何形态复杂,充填情复杂,其渗透率的测量难题是网络状缝洞型油藏三维渗透率场难以建立的根本原因。解决方法分为三个步聚:

[0046] (1) 基于 Darcy-Stokes 多相流动模型获得平板状、圆管状缝洞体的等效渗透率:

[0047] 大裂缝采用平板状的等效渗透率计算公式：
$$\bar{k} = \frac{h^2}{12} \quad (1)$$

[0048] 圆管形溶蚀管道采用的等效渗透率计算公式：
$$\bar{k} = \frac{\phi r^2}{8} \quad (2)$$

[0049] 式(1)~(2)中： \bar{k} -等效渗透率； h -裂缝宽度； ϕ -溶洞管道体积与岩块总体积之比，相当于溶洞孔隙度； r -溶洞管道半径；

[0050] (2)用油藏数值模拟方法确定最小临界渗透率值，然后将临界渗透率值作为最大值将该值渗透率做截断处理，从而得到不规则缝洞体的等效渗透率值。该临界渗透率可以从另外一个角度加以理解，该临界渗透率值可认为是将大尺度缝洞体内的流动能够处理为无限导流的最小渗透率值。

[0051] 在此举例说明，油藏网格个数 $30 \times 1 \times 30$ ，网格尺寸 $10\text{m} \times 20\text{m} \times 5\text{m}$ ；如图3所示，溶洞管道渗透率分为9种情况分别模拟：0.3D, 1D, 5D, 20D, 50D, 200D, 500D, 2000D, 5000D等9种情况，微小缝洞区域的渗透率为0.3D，油藏底水能量充足，其压力恒定。采用定产液量生产，模拟的油井的井底流压。由模拟结果可以得到以下结论：“渗透率大到一定程度之后（对于本方案其值200D）对油藏的动态影响减弱”，在该实例中200D即为临界渗透率值。

[0052] (3)为了反映流动过程中驱替前缘的形态的变化（例如水驱前缘），对大尺度缝洞体不同部位的渗流透按倍比关系调整。

[0053] 大尺度缝洞体内的流动服从自由流体流动规律，根据牛顿流体力学理论，管道不同部位的流速服从公式(3)，可知流动管道中部的流速要高于管道边部的流速。对于单相流动只需计算平均渗透率值，即采用公式(1)~(2)计算大尺度缝洞体的等效渗透率，但对于多相流动，则需要预测流体的分布，渗流透率场还需要反映大尺度缝洞体内不同部位的流速差异，所以针对不同的部位，在渗透率截断处理的基础上，依照公式(4)做倍比调整：

[0054]
$$u^* = \frac{1}{2} \frac{h^2}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \left(\frac{y^2}{h^2} - \frac{y}{h} \right) \quad (3)$$

[0055]
$$K(y) = \frac{6(y^2 - hy)}{(h^2 - 2h)} k_0 \quad (4)$$

[0056] 式(3)~(4)中： u^* -流速， h -平板流动通道的厚度； p -压力； y -距流动通道壁面的距离，取值为： $0 \leq y \leq \frac{h}{2}$ ； k_0 -临界渗透率。

[0057] 第五：用示踪剂和干扰试井测试结果对截断处理后的渗透率场做校正；

[0058] 第六：采用数值模拟方法对渗透率场进行的校正。一般而言，只要孔隙度模型合理，通过上述三个步骤（第二~第五）得到的渗透率值与实际油藏的动态特征具有很好的相关性，为油藏数值模拟历史拟合奠定较好的基础。如果没有上述研究基础，油藏数值模拟的历史拟合很难完成；即使完成历史拟合，得到的渗透率场与实际地质情况不相吻合。然后通过油藏数值模拟进行修改，一般主要是进行整体大范围的倍数校正即可以得到比较满意的渗透率场数据。

[0059] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

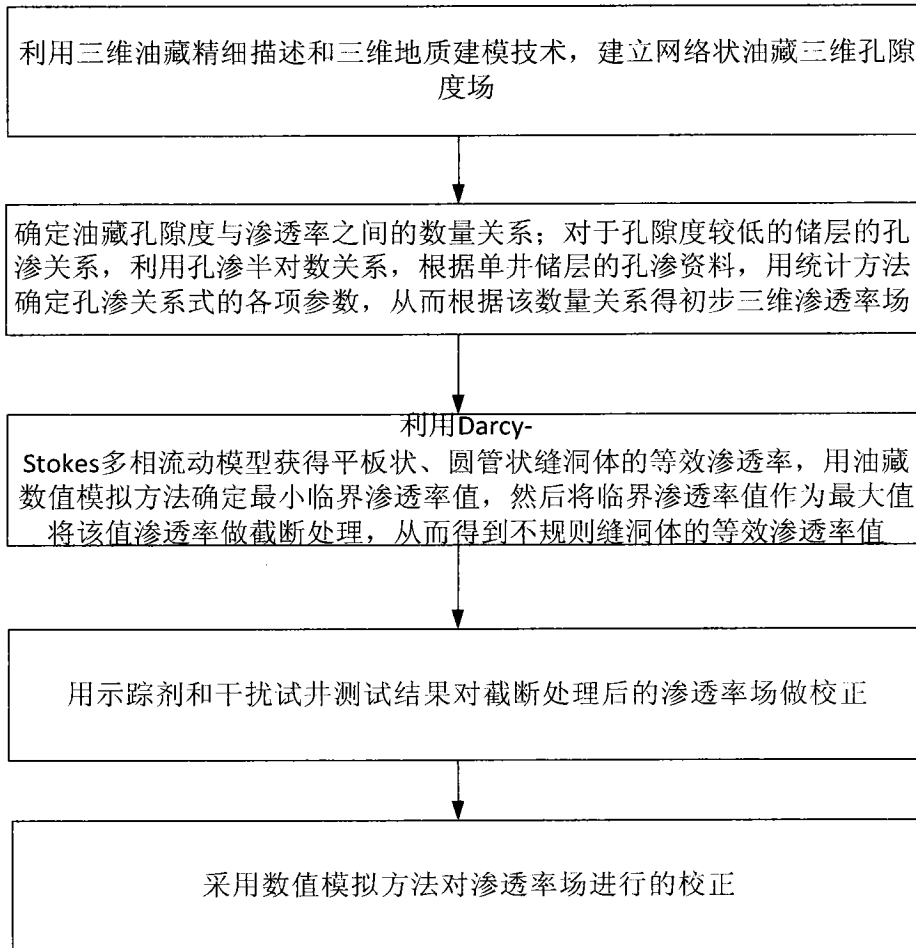


图 1

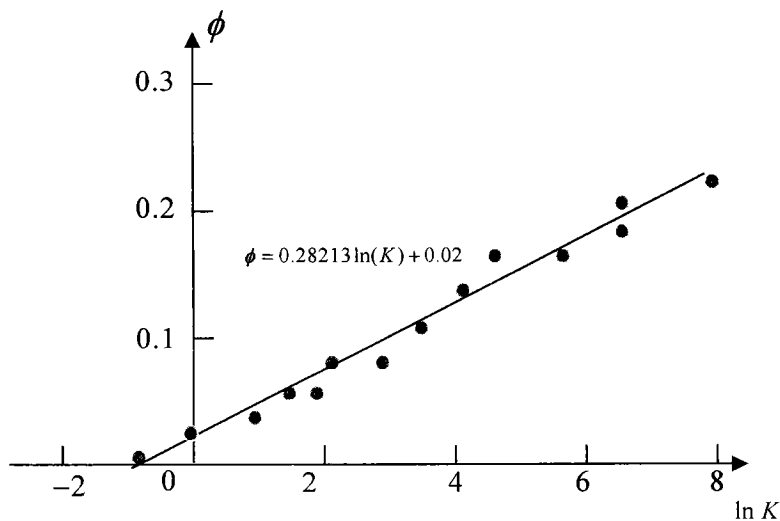


图 2

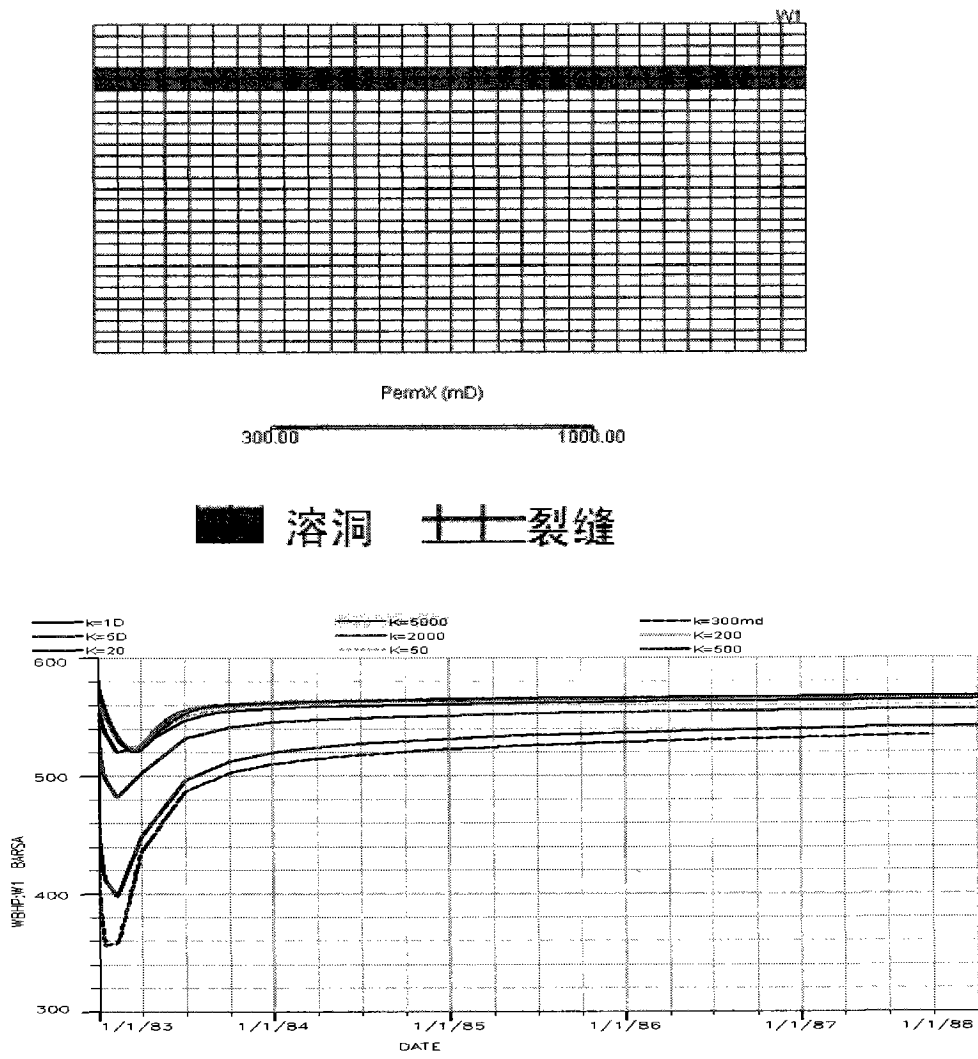


图 3