

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
E21B 49/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780023928.X

[43] 公开日 2009年7月8日

[11] 公开号 CN 101479442A

[22] 申请日 2007.5.11

[21] 申请号 200780023928.X

[30] 优先权

[32] 2006.5.19 [33] IT [31] MI2006A000995

[86] 国际申请 PCT/EP2007/004269 2007.5.11

[87] 国际公布 WO2007/134747 英 2007.11.29

[85] 进入国家阶段日期 2008.12.25

[71] 申请人 艾尼股份公司

地址 意大利罗马

[72] 发明人 E·贝雷塔 A·蒂亚尼

G·洛普雷斯蒂

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所
代理人 寇英杰

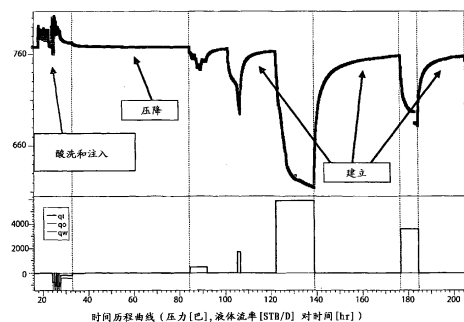
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 3 页

[54] 发明名称

用于零排放油气井的测试方法

[57] 摘要

一种用于测试零排放油气井以获取储层的一般性信息的方法，其包括以下步骤：以恒定流量或者以恒定流量的步骤向储层注入合适的液态或气态流体，所述流体与储层的油气和地层岩石相兼容，并且连续地充分测量井底处的流量和注入压力；关闭井，并且在下降周期(压降)期间测量压力和在不可能的情况下测量温度；解释所测得的压降数据以评估这些流体的平均静态压力(P_{av})和储层特性：实际渗透率(k)、导水率(kh)、平面不均质性或者阻渗层、以及真实表皮系数(S)；计算井的产能。



1. 一种用于测试零排放油气井以获取储层的一般性信息的方法，其包括以下步骤：

- 以恒定流量或者以恒定流量步骤向储层注入合适的液态或气态流体，所述流体与储层的油气和地层岩石相兼容，并且连续地充分测量井底处的流量和注入压力；

- 关闭井，并且在压降周期期间测量压力和可能的情况下测量温度；

- 解释所测得的压降数据以评估这些流体的参考压力 (P_{av}) 和储层特性：实际渗透率 (k)、导水率 (kh)、平面不均质性或者阻渗层、以及真实表皮系数 (S)；

- 计算井的产能。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其中：

注入的流体是选自水或碳氢化合物的液体。

3. 如权利要求 1 所述的方法，其中：

通过从总表皮系数 (S) 中减去双相表皮系数 (S^*) 获得真实表皮系数 (S)，其中所述双相表皮系数是由于储层中的流体的相互作用而引起的。

4. 如权利要求 1 所述的方法，其中：

从传统分析模型的第一次稳定中获得真实表皮系数 (S)。

5. 如权利要求 1 所述的方法，其中：

注入步骤和压降步骤的持续时间在 1 小时至 4 天之间。

6. 如权利要求 5 所述的方法，其中：

注入步骤和压降步骤的持续时间在 1 天至 2 天之间。

用于零排放油气井的测试方法

本发明涉及用于测试零排放油气井的方法，其目的在于类似于传统井测地获取储层的主要信息，同时无需在地面产生油气。

井测是油气田勘探和规划的基本手段，因为它能够提供各种与储层-井系统有关的动态信息。

而且，关于储层流体的数据（其可以在井测期间通过采样获得）极其重要，尤其是对于勘探或评估井而言。

无论是从操作还是从解释的角度来看，在石油工业中，传统井测方法都是一种固结方法。

井被诱导从待测水平面/储层进行供应。通常在流量逐渐增大的步骤中实施2次或3次压降。在每个阶段期间，所产生的油气流量保持不变，并且在分离器上得到测量。在供应阶段之后紧接着（通过井顶或井底上的阀门）将井封闭，出现一个压力建立过程。

在测试期间要用到压力和温度测量装置（P/T测试仪），这些装置位于井底且通常略高于生产面。在井测期间，通常不仅在地面上从分离器中而且还通过合适采样装置在井底获取储层流体的样品。

传统的测试是在临时（DST管线）或永久完成的勘探/评估或者开发/生产型井中实施的。

在所有的井未与地面管线连接的情况下，一旦生产测试过程中供应的油气在地面上被分离，那么它们就必须得到恰当处理。

测试期间在地面上产生的油气通常在火炬中被燃烧。与之相关地会产生二氧化碳（ CO_2 ）和硫酸（ H_2S ），其即使在非常低的浓度（百万分之几，ppm）的情况下也会对人类产生致命作用。测试期间，在所生产的油气中 H_2S 的存在会引发不可忽视的安全问题。

如果能够将所生产的油送到附近的处理中心、或者利用合适的燃烧器将其消除的话，那么可以将其储存在罐子（在岸的或者离岸的）

中。在任何情况下，气体都是在大气中燃烧。井测期间供应的油气体积可以非常重要。下面的表格示出了根据油气类型的实例和要执行的测试。

	传统测试
油井	100-1000m ³ (每生产 1m ³ 的油就有 100 - 1000m ³ 的相关气体)
气井	1-10·10 ⁶ m ³

除安全问题以外，还存在因油气燃烧产物排入大气引发的环境问题和涌入大海或保护区域的危险。

而且由于对所关心的大气排放物越来越敏感和越来越多限制的环境法规，环境和安全问题正变得越来越重要。哈萨克斯坦和挪威就处于当前具有强制要求零排放的法规的国家当中。

井测允许描述未知的“储层 + 井”系统。其原理是通过输入（供应流量）和测量系统反应作为输出（底部压力）来模拟“储层 + 井”系统。通过已知的和在文献中查到的固结分析（consolidated analytical）模型，这些压力和流量测量值给出该系统的间接表征。

传统井测的主要目标是：

- 采样以确定储层流体；
- 评价流体的参考压力（ P_{av} ）和储层特性（真实的平均渗透率 k 和导水率 kh ）；
- 量化对地层的破坏（表皮系数）。由于井周围的渗透率的局部减小和流形的几何效应，这种效应通过无量纲数（表皮系数）得到量化；
- 评估井的产能（油井的生产指数 PI - 气井的流动方程）；
- 评估可能存在的平面不均质性或者阻渗层。

已经发现了这样一种方法，其通过将流体注入要测试的井中而使得能够在无需在地面上生产出油气的情况下实现对油井的测试，因此避免了相关环境、安全和法规问题。

将流体注入储层的这种手段在石油工业中实际已被使用过，但是是为了其它目的：注入测试通常被用来评估地层的注入能力。注入通常发生于含水层，以及在任何情况下发生于专门用来注入和处理水的

井中。可直接测量的量是地层的注入指数和含水层中的导水率 (kh)。

为执行和解释注入测试而开发的方法被用于油气矿区，且相反地允许表征测试面在生产阶段的未来行为。

用于测试零排放油气井以获得储层的一般性信息的方法（本发明的目的）包括以下步骤：

- 以恒定流量或者在恒定流量步骤下向储层注入合适的液态或气态流体，所述流体与储层的油气和地层岩石相兼容；并且连续地充分测量井底处的流量和注入压力；

- 关闭井，并且在压降周期期间测量压力和可能的情况下测量温度；

- 解释所测压降数据以评估这些流体的平均静态压力 (P_{av}) 和储层特性：实际渗透率 (k)、导水率 (kh)、平面不均质性或者阻渗层、以及真实表皮 (S)；

- 计算井的产能。

现在更详细地描述形成根据本发明的方法的步骤。

开始两个步骤代表第一阶段（阶段 A）（注入和压降测试的实施）。

此阶段的目的是获取定流量注入周期和紧接在关闭井之后发生的压降期间的底部压力 (BHP, 井底压力) 的相关数据。

井在这段时间内以临时性 (DST 管线) 或者永久性方式完成以便进行油或气测试。

从所用技术/材料的角度来看，在传统测试与注入测试之间并无差别。地面设备的布局得到进一步简化。

必须根据目的借助实验室测试来选择注入流体（液态或气态），以便所述流体能够与油气和将要注入的地层兼容。尤其要避免在注入流体与流体和/或地层岩石相互作用后形成乳液或沉淀物。

注入流体的选择基于以下标准：

- 兼容性；

- 便宜且有效；

- 在油气被除去时，P,T 储层条件下的粘度和压缩系数的变化最

小。

建议将借助采样或在同一储层的其它井中获得的储层流体的重油样品用来进行兼容性研究。

注入流体优选为选自水或碳氢化合物（即柴油）的液体。

注入过程是在恒定流量下（或以恒定流量的步骤）进行的。为提高用于解释的数据的可靠性，建议不要超过裂缝流量以便将注入维持在本体条件下。

井的关闭（在井顶或者井底）以及下降压力的测量是在注入阶段之后进行的。在技术上可行的时候，建议在底部将井关闭以限制由储存和会影响所得数据的质量的其它干扰造成的影响。

注入周期和随后的压降的持续时间是可变的，且根据所要求的地层特性（ kh 和 Φ 等等）和具体的测试目标来确定。注入/压降测试的持续时间的大小与传统井测相同，即优选在 1 小时至 4 天之间，更优选在 1 天至 2 天之间。

持续时间的确定标准与传统井测的设计完全类似。

不能借助注入测试完成对储层流体的采样。在需要对流体进行采样时，必须求助于其它的具体采样方法（例如，WFT 采样（电缆地层测试））。

余下的步骤代表第二阶段（阶段 B）（数据解释）。

注入/压降数据的解释旨在实现传统井测的主要目标。

更具体地：

- 评估流体参考压力（ P_{av} ）和储层特性（实际平均渗透率 k 和导水率 kh ）；
- 量化对地层的破坏，表皮系数（ S ）；
- 评估井的产能（油井的生产指数 PI - 气井的流动方程）；
- 评估测试周期期间测试的可能存在的平面不均质性或者阻渗层。

如上所述，不能借助注入测试来完成采样。

优选地，数据解释过程如下所述：

- 评估 P_{av} 、 kh 和 k ；完全以传统方式对压降数据进行解释。可以利用工业上有售的任何一种井测分析软件或者通过应用井测理论的固结方程式（consolidated equations）来完成这种解释。

具体地，进行以下观察：

a. 一旦已超出注入流体所侵入的有限区域，压力扰动散布到含有油气矿的储层的未开采区域。显然，必须知道油气的热力学特性（PVT 数据）。

b. 在比形成于井周围的注入流体汇集带大的时间/调查范围上对油/气进行评估（ kh ）（且因此在净厚度 h 已知的情况下，对渗透率 k 进行评估）。所得参数因此代表未受污染且含有油气矿的区域。

- 表皮系数， S ：可通过压降的传统解释来评估总表皮。由于储层中的流体（注入的流体/油气）的相互作用，因此除传统井测中的表皮系数（ S ）之外，此数值还包括双相表皮（ S^* ）。

在未来的井的生产阶段中并不存在所述双相表皮，因此必须将所述双相表皮量化且将其从通过压降分析测得的总表皮中减去。

对所述双相表皮（ S^* ）的量化评估：

双相表皮的评估可以有如下所述的几种实现方式，其中可靠性依次下降：

a. 在注入周期相对较长，因此注入流体汇集带的范围足够大以致能够通过双对数曲线分析被辨别的情况下，采用（径向组合型的）传统分析模型就足够了。在这种情况下，与第一次稳定相关的表皮应被用作传统井测中的表皮系数（ S ）。注入流体的渗透率从所述第一次稳定中推断出。相反地，随后的第二次稳定代表油气的真实渗透率。

b. 在注入周期相对较短，只能检测到第二次稳定（未开采的油气区域）的情况下，双相表皮必须使用井测数字模拟器来评估，其中所述模拟器考虑了流体移动方程式和相对渗透率曲线。通过其中设定 $S=0$ 的数字模拟器，还能够再现注入和压降趋势。该模拟器所生成的对数据的传统解释产生一表皮值，该表皮值被证明只是双相表皮（ S^* ），因为在模拟器中已经设定 $S=0$ 。

c. 在没有数字模拟器的情况下，能够利用从径向组合中得到的表皮系数公式以一阶近似的方式评估双相表皮：

$$S^* = \frac{1-M}{M} \ln \frac{r_{interface}}{r_w}$$

其中，一旦已知流体粘度 (μ_{inj} 和 μ_{HC}) 和相对渗透率 (端点: $k_{rinj,max}$ 和 $k_{rHC,max}$)，则计算：

$$M = \frac{k_{rinj,max}(S_{or})}{\mu_{inj}} / \frac{k_{rHC,max}(S_{wi})}{\mu_{HC}}$$

可与注入体积相关地计算界面半径：

$$r_{interface} = \sqrt{\frac{V_{injected}}{\pi h \phi (1 - S_{or})} + r_w^2}$$

如传统井测中那样评估表皮系数 (S)：

除先前的项 a (其中 S 直接获得) 以外，表皮系数 (S) 都必须通过依据文献中查到的表皮公式从总表皮中减去分量 S^* 得到评估。在不出现几何表皮分量的简化情况下，所使用的公式为： $S = (S_t - S^*) M$ 。

建议利用数字模拟器来评估使得能够借助双对数曲线分析辨别与流体床相关的稳定的最小注入和压降持续时间，从而实现测试设计。如果在技术和经济上可行的话，这类测试可实现对表皮系数的直接测量。

- 井的产能：井的产能可通过文献中公开的关于瞬态 PI (油井) 的方程式或者流动方程式 (气井) 来计算。

例如，在油井的情况下：

$$PI_{transient} = \frac{kh}{1626 \mu_0 B_0 [\log \frac{kt}{\phi \mu_0 c_i r_w^2} - 3.23 + 0.87S]} \quad (\text{油田单位})$$

在气井的情况下：

$$\Delta m(p) = A q_{sc} + B q_{sc}^2$$

$$m(p) = 2 \int_{p_0}^p (p/zm) dp$$

其中：

$$A = \frac{711t}{kh} \left(\ln 2.246 \frac{kt}{\phi \mu_g c_i r_w^2} + 2S \right)$$

$$B = \frac{711t}{kh} 2D$$

这些方程式的参数都是已知的。方程式的系数 D 可从文献中评估出。

- 平面不均质性或者阻渗层：完全以传统方式对压降数据进行解释。

现在提供实例以更好地对本发明进行说明，所述实例不应被认为是对本发明的范围的限制。

实例

在下列实例中，在用酸冲洗之后进行短时间的注入测试，然后进行压降测试。随后在同一平面上进行传统的产能测试（图 1）。

在所有的操作期间，连续监视底部压力和温度以及生产和注入流量。

该实例示出了该方法在注入/压降测试中的应用，其用于与传统测试结果作比较。

输入数据：

石油物理参数：

孔隙度 (Φ): 0.08

净厚度 (h): 62.5m

井的半径 (r_w): 0.108m

流体表征: (PVT - 压力、体积、温度)

储层温度 T : 98.5°C

储层压力 P_{av} : 767 巴

油	注入流体: 海水
B_0 : 2.40 RB/STB	B_w : 1 RB/STB
μ_0 : 0.24 cP	μ_w : 0.32 cP
c_0 : 18.0×10^{-5} 巴 ⁻¹	c_w : 4.30×10^{-5} 巴 ⁻¹

根据标准相关系数估算出地层的压缩系数: $c_f = 7.93 \times 10^{-5}$ 巴⁻¹

油区 ($S_w = 0.1$ 且 $S_0 = 0.9$) 中的总压缩系数被计算为: $c_t = 24.6 \times 10^{-5}$

巴⁻¹。

建立和压降分析

在图 2 中示出了建立和压降的导数(双对数曲线)。利用无限均匀模型进行解释。

下面的表格(表 1)比较了从建立和压降的解释中得到的结果。负表皮值的出现是由于测试之前酸对碳酸盐层的溶解作用。

表 1: 压降和建立解释的主要结果:

	建立	压降
Fm 压力, 巴	767.1	767.1
P _{wf} , 巴	614.5	772.6
流量, m ³ /天	940	-65
kh (油区), mDm	230	230
k 平均值 (油), mD	3.7	3.7
Inv 半径, 米	125	nd
真实表皮, S	-3.2	nd
总表皮, S _t	nd	-3.3
持续时间, hr	16.9	6.0
PI, m ³ /天/巴	6.2	nd

双相表皮 (S*) 和真实表皮 (S) 的评估

为评估双相表皮 (S*) 和真实表皮 (S), 采取以下程序:

- 使用已知输入数据, 利用井测数字模型模拟与所进行的测试相对应的水流量的注入。特别地, 基于核心数据(图 3)形成一组相对渗透率曲线, 且储层中的原始含水饱和度等于 S_{wi} = 0.1。真实表皮被设为 S=0。

- 利用传统的井测分析模型分析由数字模拟器生成的压力数据。所获得的表皮值被证明不等于零。此表皮被称为双相表皮 (S*)。

- 为了计算真实表皮 (S), 已知总压降 (S_t) 和双相表皮 (S*), 使用下列公式: $S = (S_{tot} - S^*) M$ 。

基于注入和储层流体的粘度和相对渗透率值计算流动比 $M =$

0.24.

下列表格（表 2）示出了所进行的计算的结果：

表 2：总表皮、双相和真实值

表皮值 (压降解释)		
S_t	$S^*_{\text{numerical}}$	S
- 3.30	11.5	- 3.55

生产指数 (PI) 的评估

用于计算瞬态 PI 的方程式如下 (油田测量单位)：

$$PI_{\text{transient}} = \frac{kh}{162.6\mu_0 B_0 [\log \frac{kt}{\phi\mu_0 c_i r_w^2} - 3.23 + 0.87S]}$$

PI 是在时刻 t 时被计算的，其中所述 t 对应于用来确认这种分析的传统产能测试的持续时间。

借助下列公式计算传统产能测试 PI: $PI_{\text{transient}} = Q/\Delta p$ 。

生产指数的计算结果在下表中示出：

表 3：PI 的计算值与测量值的比较

从产能测试中测出的 PI	从压降中计算出的 PI	差
6.20	6.46	+4%

。

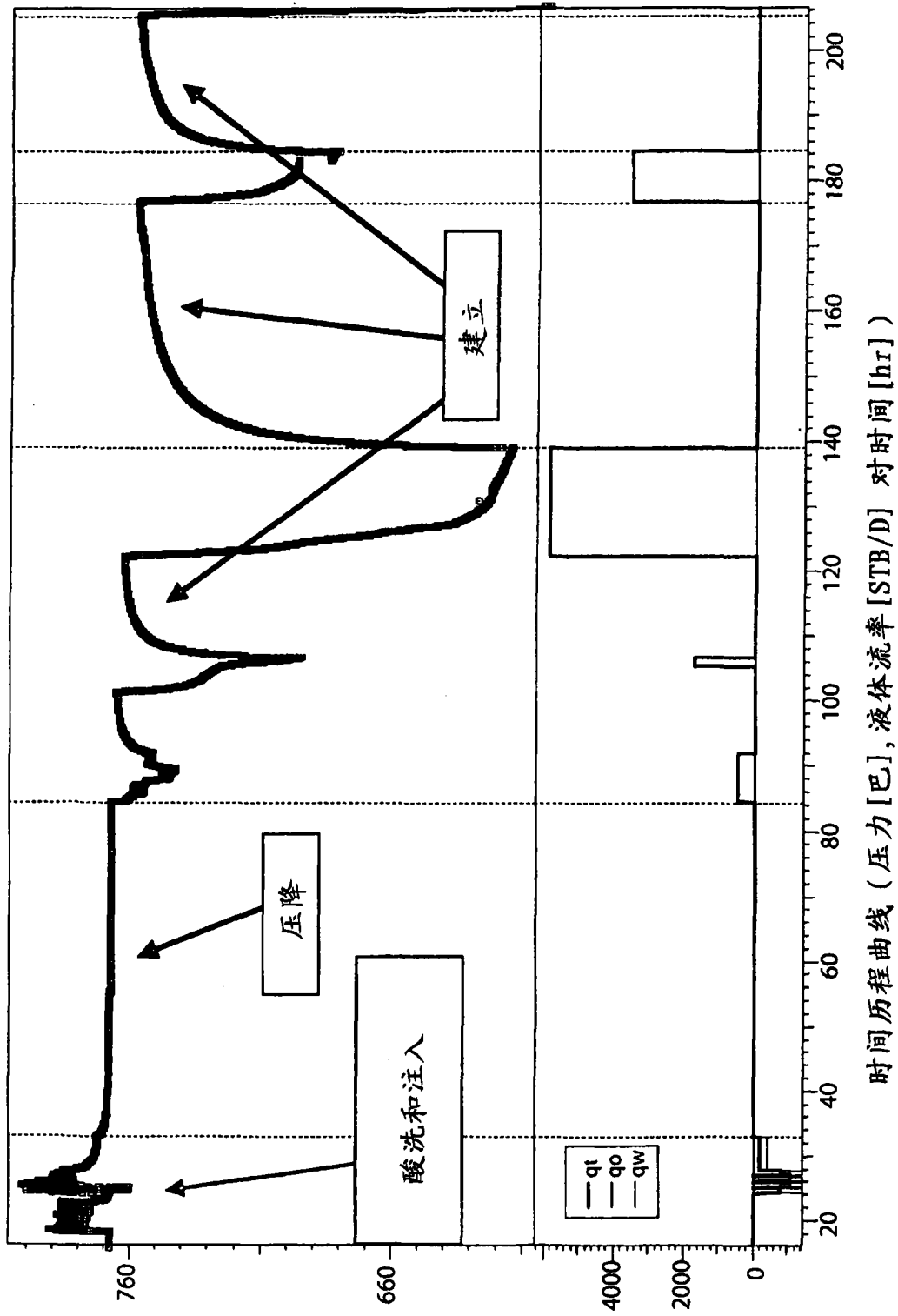
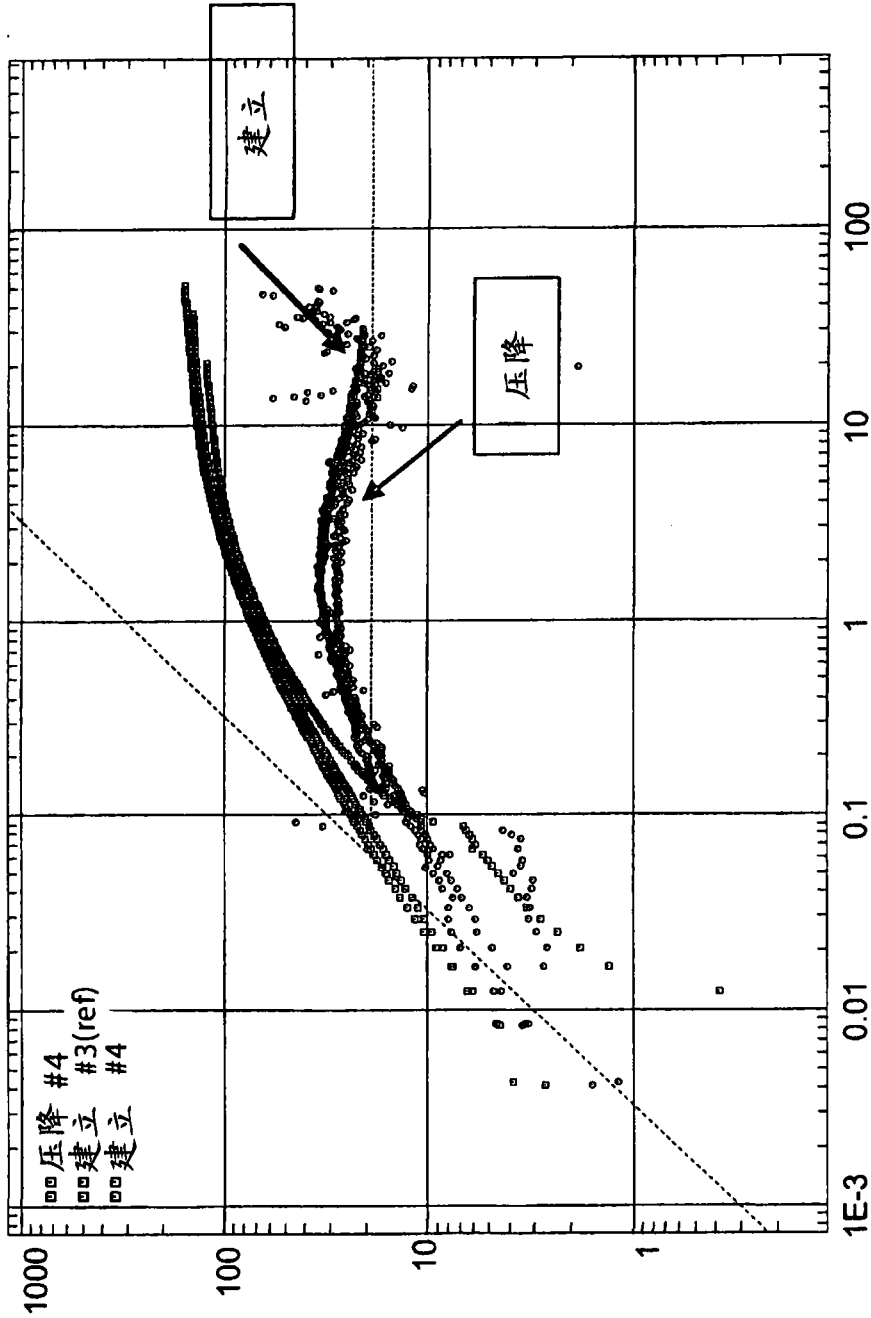


图 1



双对数曲线: 标准化的dp和dp' [巴]对dt

图 2

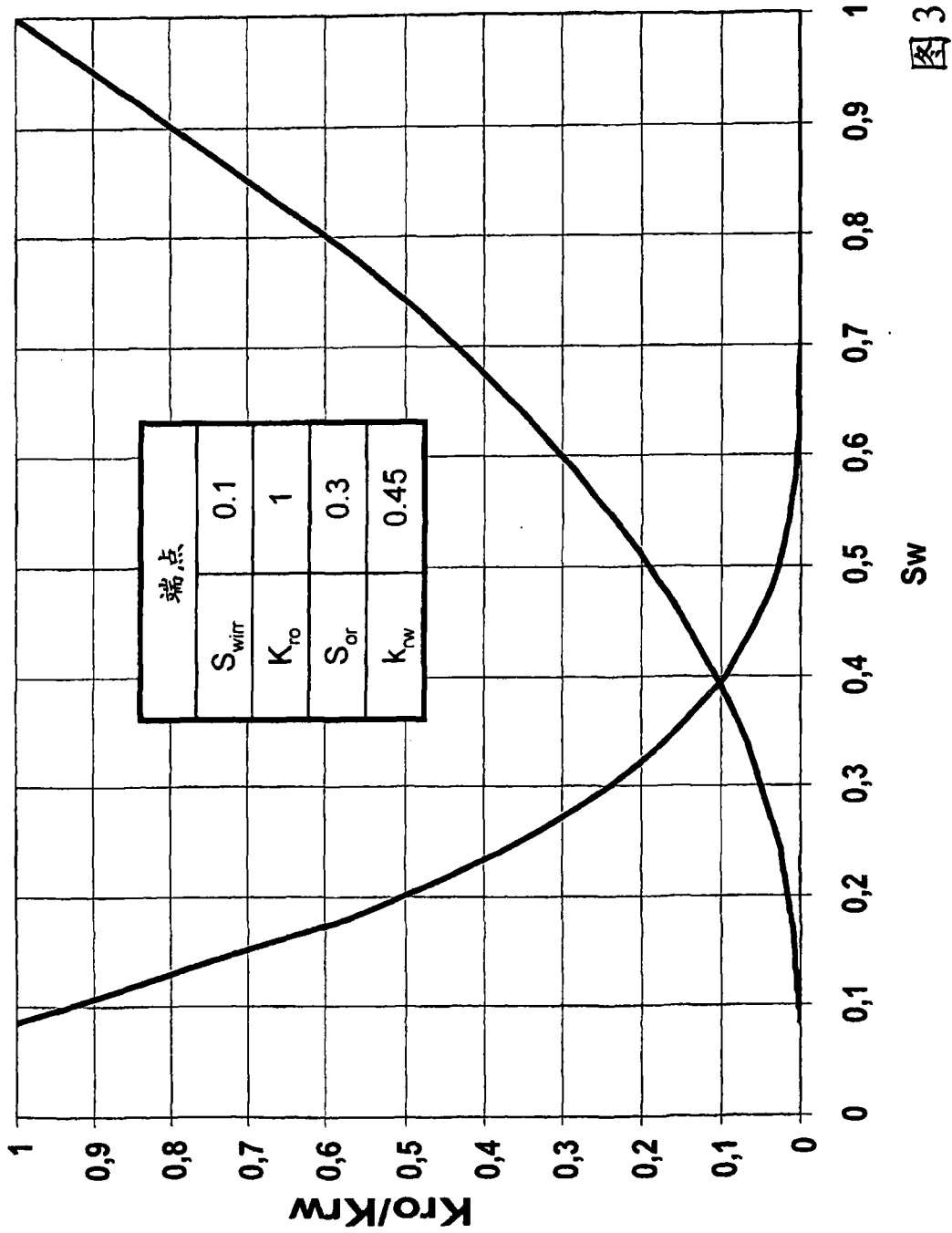


图 3