



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103282908 A

(43) 申请公布日 2013. 09. 04

(21) 申请号 201280004241. 2

G01V 99/00 (2009. 01)

(22) 申请日 2012. 05. 10

(30) 优先权数据

61/484, 398 2011. 05. 10 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 06. 20

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2012/037227 2012. 05. 10

(87) PCT申请的公布数据

W02012/154912 EN 2012. 11. 15

(71) 申请人 雪佛龙美国公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 J·索恩 B·比洛多 J-B·克拉沃

(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 11038

代理人 李晓芳

(51) Int. Cl.

G06F 19/00 (2011. 01)

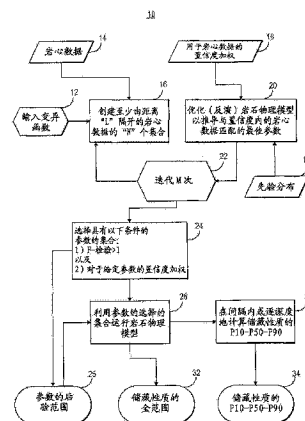
权利要求书2页 说明书7页 附图8页

(54) 发明名称

用于表征储藏层评估不确定性的系统和方法

(57) 摘要

提供了一种使用独立的数据空间自助以定量地推导 P10、P50 和 P90 储藏性质日志和纬向平均值的方法。该方法至少使用假定是正确的“基准”数据集，并且确定提供最优解以将日志分析拟合到岩心数据的可能的输入参数值的分布。在一个实施例中，独立的数据空间自助方法可以应用于确定孔隙度和饱和度的不确定性。



1. 一种用于表征碳氢化合物储藏层评估不确定性的计算机执行的方法,包括:
  - 将包括基本上空间相关的数据的岩石物理参考数据输入到计算机中;
  - 挑选数据的  $N$  个子集,所述数据的  $N$  个子集基本上比该岩石物理参考数据更少空间相关,但是仍表示岩石物理参考数据;
  - 利用计算机对数据的  $N$  个子集的每一个应用自助过程以从数据的  $N$  个子集的每一个获得自助数据集;
  - 对于自助数据集的每一个,利用计算机反演岩石物理模型以生成优化的岩石物理模型输入参数值的集合,其中该反演步骤包括在用户定义的范围内改变岩石物理模型的模型输入参数值,以使得岩石物理模型匹配的输出是对岩石物理参考数据的最佳拟合;
  - 利用计算机集中优化的岩石物理模型输入参数的集合;
  - 利用计算机对优化的岩石物理模型输入参数的集合和对岩石物理参考数据的对应拟合执行统计显著性检验;
  - 利用计算机重复自助过程和反演步骤  $M$  次以生成优化的岩石物理模型输入参数的  $M \times N$  个集合;
  - 利用计算机从优化的岩石物理模型输入参数的  $M \times N$  个集合中选择那些以预定的标准满足统计显著性的优化的岩石物理模型输入参数的集合;
  - 利用计算机使用优化的岩石物理模型输入参数的选择的集合对碳氢化合物储藏层内的多个数据执行岩石物理模型;
  - 利用计算机从由优化的岩石物理模型输入参数的不同集合产生的值的分布中确定表示选择的储藏不确定性的选择的百分位。
2. 如权利要求 1 所述的计算机执行的方法,其中选择步骤包括选择优化的岩石物理模型输入参数,包括使用  $F$  检验。
3. 如权利要求 1 所述的计算机执行的方法,其中确定表示选择的储藏不确定性的选择的百分位的步骤包括选择  $P10$ 、 $P50$  和  $P10$  百分位。
4. 如计权利要求 1 所述的算机执行的方法,其中确定空间相关性的步骤由变异函数分析完成。
5. 一种用于表征碳氢化合物储藏层评估不确定性的系统:
  - 包括岩石物理参考数据的数据源;
  - 可操作地与数据源通信的计算机处理器,该计算机处理器被配置来访问岩石物理参考数据和响应于岩石物理参考数据执行计算机可执行代码,该计算机可执行代码包括:
    - 第一代码,用于访问岩石物理参考数据;
    - 第二代码,用于将变异函数应用到采样岩石物理数据以选择数据的  $N$  个子集,该数据的  $N$  个子集基本上比采样岩石物理数据更少相关;
    - 第三代码,用于对数据的  $N$  个子集的每一个应用空间自助过程以从数据的  $N$  个子集的每一个中获得多个自助数据集;
    - 第四代码,用于对于数据的  $N$  个子集的每一个反演岩石物理模型以生成优化的岩石物理模型输入参数值的集合,其中反演代码在用户定义的范围内改变岩石物理模型的模型输入参数值以使得岩石物理模型的输出在预定的阈值内与岩石物理参考数据匹配;
    - 第五代码,用于收集优化的岩石物理模型输入参数值的集合;

第六代码,用于对优化的岩石物理模型输入参数值的每个集合执行统计显著性检验;

第七代码,用于使得空间自助过程和反演重复 M 次以生成优化的岩石物理模型输入参数值的 MxN 个集合;

第八代码,用于从优化的岩石物理模型输入参数值的 MxN 个集合中选择那些以预定的标准满足统计显著性检验的优化的岩石物理模型输入参数值的集合;

第九代码,用于利用优化的岩石物理模型输入参数值的选择的集合执行岩石物理模型;以及

第十代码,用于确定表示选择的储藏不确定性的选择的百分比。

6. 一种用于表征碳氢化合物储藏层评估不确定性的计算机执行的方法,包括:

经由计算机访问岩石物理参考数据;

经由计算机推导岩石物理模型输入参数的先验不确定性分布和现场数据对岩石物理参考数据的校准的非唯一性;

经由计算机利用在预定公差内拟合多个岩石物理参考数据的岩石物理模型输入参数的先验不确定性分布推导多个岩石物理模型解;

经由计算机从多个岩石物理模型解推导输入模型参数的后验分布;以及

经由计算机应用岩石物理模型输入参数的后验分布以推导选择的岩石物理模型输出的先验不确定性分布。

## 用于表征储藏层评估不确定性的系统和方法

[0001] 对相关申请的优先权利要求和交叉引用

[0002] 本专利申请要求 2011 年 5 月 10 号提交的、题为“System and Method for Characterizing Formation Evaluation Uncertainty”的美国专利申请序列号 No. 61/484,398 的优先权,并且涉及题为“System and Method of Using Spatially Independent Subsets of Data to Calculate Property Distribution Uncertainty of Spatially Correlated Reservoir Data”的美国专利申请序列号 No. 13/297,092、题为“System and Method of Using Spatially Independent Subsets of Data To Determine the uncertainty of Soft-Data Debiasing of Property Distributions for Spatially Correlated Reservoir Data”的美国专利申请序列号 No. 61/560,091、以及题为“Method of Using Spatially Independent Subsets of Data to Calculate Vertical Trend Curve Uncertainty of Spatially Correlated Reservoir Data”的美国专利申请序列号 No. 13/297,070,其全部内容通过引用合并于此。

### 技术领域

[0003] 本发明一般涉及用于表征储藏层评估不确定性的系统和方法,具体地,涉及用于空间自助(bootstrap)以表征储层评估的不确定性的系统和方法。

### 背景技术

[0004] 通过利用涉及诸如水体盐度、温度、颗粒的密度、矿物成份等等之类的岩石物理参数的岩石物理模型,储藏性质可以由例如线缆、随钻测井(LWD)或过套管测井等等的测井日志和对诸如孔隙度、饱和度等等之类的所期望的最终储层性质的测井日志得到。一般可以以等式 1 的形式表示此类岩石物理模型的示例:

[0005]  $\text{Reservoir Property}_n = f(\log_1 \dots \log_k \text{Param}_1 \dots \text{Param}_n)$  (等式 1)

[0006] 可以由等式 2 的形成表示用于孔隙度的具体示例:

[0007] 
$$\text{Porosity} = \frac{\text{RHOB}_{\text{grain}} - \text{RHOB}_{\text{log measured}}}{\text{RHOB}_{\text{grain}} - \text{RHOB}_{\text{fluid}}} \quad (\text{等式 2})$$

[0008] 其中  $\text{RHOB}_{\text{grain}}$  和  $\text{RHOB}_{\text{grain}}$  是实验室测量或最优估计的参数,并且其中  $\text{RHOB}_{\text{log measured}}$  是测井日志测量本身。

[0009] 这些等式中的可能许多等式无论逐一(确定性的逐步逼近法)或同时(以利用诸如 ELAN™ 或 MinSolve™ 之类的建模工具的概率方式同时反演所有等式),都必须被求解以适当地表征储层性质的一个。这需要对进入模型的所有参数(即,“输入模型参数”)的了解,其中一些参数可能引入模型不确定性并且可能最终增加体积不确定性。

[0010] 对确定储量评估的不确定性和发展有效的不确定性管理计划来说,体积不确定性的准确评估是关键。传统的用于估计储藏性质的不确定性的蒙特卡罗法可以导致不确定性的高度主观的估计,因为它们是由输入模型参数不确定性计算出来的。典型地,这需要岩石物理学家基于从岩心分析或已发表的文献中获得的值的范围来估计输入模型参数的不

确定性范围。

[0011] 传统的“自助”方法虽然客观,但是错误地假定收集的每个性质数据是独立的测量。“自助”一般是指统计重新取样法,该方法使得数据的不确定性能够从数据本身估计,换言之,给定独立的观察量  $Z_i, i=1, \dots, n$  和计算的统计量  $S$ ,例如,平均值,什么是  $S$  的不确定性?这可以按以下步骤完成:(1)利用置换从原始数据中抽出  $n$  个值  $z_i, i=1, \dots, n$ ;(2)从“自助”的采样中计算统计数量  $S'$ ;以及(3)重复  $L$  次以建立  $S$  中的不确定性的分布。

[0012] 因此传统方法需要对于给定输入模型参数的范围的准确的“先验”知识,并且它们不保证储藏性质的结果范围与从参考数据(例如岩心数据)中测量或推断的范围相匹配。传统方法可能需要多次昂贵和费时的迭代并且其可能不会产生准确的储量估计。

## 发明内容

[0013] 提供一种用于表征碳氢化合物储藏层评估不确定性的计算机实现的方法。该方法包括以下步骤:访问岩石物理参考数据;推导岩石物理模型输入参数的先验不确定性分布和对岩石物理参考数据的现场数据的校准的非唯一性;利用在预定的公差内拟合多个岩石物理参考数据的岩石物理模型输入参数的先验不确定性分布推导多个岩石物理模型解;从多种岩石物理模型解推导输入模型参数的后验分布;以及应用岩石物理模型输入参数的后验分布来推导选择的岩石物理模型输出的先验不确定性分布。

[0014] 在另一个实施例中,用于表征碳氢化合物储藏层评估不确定性的计算机实现的方法包括以下步骤:输入包括基本空间相关的数据的岩石物理参考数据;选择数据的  $N$  个子集,该数据的  $N$  个子集的每一个基本上比岩石物理参考数据更少地空间相关,但是仍然表示岩石物理参考数据;以及对数据的  $N$  个子集的每一个应用自助过程以从数据的  $N$  个子集的每一个获得自助数据集。对于每一个自助数据集,所述方法还包括:反演岩石物理模型以生成优化的岩石物理模型输入参数值的集合的步骤,其中反演步骤包括在用户定义的范围之内改变岩石物理模型的模型输入参数值以使得岩石物理模型匹配的输出生最佳地拟合岩石物理参考数据;收集优化的岩石物理模型输入参数的集合;对优化的岩石物理模型输入参数的集合执行统计显著性检验以及与岩石物理参考数据的相应拟合;重复自助过程和反演步骤  $M$  次以生成优化的岩石物理模型输入参数的  $M \times N$  个集合;从优化的岩石物理模型输入参数的  $M \times N$  个集合中选择那些以预定的标准满足统计显著性的优化的岩石物理模型输入参数的集合;对碳氢化合物储藏层之内的多个数据利用优化的岩石物理模型输入参数的选择的集合,来运行岩石物理模型;以及从由优化的岩石物理模型输入参数的不同集合产生的值分布确定表示选择的储藏不确定性的选择的百分比。

[0015] 在另一个实施例中,所述方法利用独立的数据空间自助以定量地推导  $P_{10}$ 、 $P_{50}$  和  $P_{90}$  储藏性质日志和纬向平均值。该方法至少利用假定是正确的“基准”数据集(例如,岩心数据),并且确定提供最优解的可能的输入参数值的分布以将日志分析拟合到岩心数据。在一个实施例中,独立的数据空间自助方法可以应用于确定孔隙度和饱和度的不确定性。

[0016] 在另一个实施例中,提供一种用于表征碳氢化合物储藏层评估不确定性的系统。该系统包括具有岩石物理参考数据的数据源,和可操作地与数据源通信的计算机处理器,该计算机处理器具有被配置来访问岩石物理参考数据和响应于岩石物理参考数据运行计算机可执行代码的处理器。在一个实施例中,计算机可执行代码包括:第一代,用于访问

岩石物理参考数据；第二代码，用于将变异函数(variogram)应用到采样岩石物理数据以选择数据的N个子集，该数据的N个子集基本上比采样岩石物理数据更少相关；第三代码，用于对数据的N个子集的每一个应用空间自助过程以从数据的N个子集的每一个中获得多个自助数据集；第四代码，用于对于数据的N个子集的每一个反演岩石物理模型以生成优化的岩石物理模型输入参数值的集合，其中反演代码在用户定义的范围内改变岩石物理模型的模型输入参数值以使得岩石物理模型的输出在预定的阈值内与岩石物理参考数据匹配；第五代码，用于收集优化的岩石物理模型输入参数值的集合；第六代码，用于对优化的岩石物理模型输入参数值的每个集合执行统计显著性检验；第七代码，用于使得空间自助过程和反演重复M次以生成优化的岩石物理模型输入参数值的MxN个集合；第八代码，用于从优化的岩石物理模型输入参数值的MxN个集合中选择那些以预定的标准满足统计显著性检验的优化的岩石物理模型输入参数值的集合；第九代码，用于利用优化的岩石物理模型输入参数值的选择的集合运行岩石物理模型；以及第十代码，用于确定表示选择的储藏不确定性的选择的百分比。

[0017] 本发明为用户提供表征储藏性质不确定性的能力，同时：(1) 不需要输入模型参数的范围的准确的“先验”知识(物理可能的范围是全部所需的)；以及(2) 不运行冗长的Monte-Carlo 或其它相似类型的模拟以提供与参考数据(例如，岩心数据)匹配的参数的范围。

[0018] 本发明依赖于自助技术并且包括采取参考数据(例如，岩心数据)的子集、利用测井日志和参考数据反演岩石物理模型、并且在用户定义的范围内改变输入模型参数值以使得岩石物理模型的输出与参考数据匹配。有利地，这会产生其中岩石物理模型输出(例如孔隙度)对岩石物理参考数据统计良好的参数的集合。此结果可以通过反演或其它已知的优化技术来实现。

[0019] 通过多次重复本发明的步骤，可以生成输入模型参数的多个集合，从而产生对于每一个输入模型参数的后验分布。在此过程的结尾，我们拥有对于所有模型参数的后验不确定性分布的集合，而不需要具有准确的先验不确定性分布。

## 附图说明

[0020] 参考如附图示出的具体实施例作出本发明的描述。附图仅描述了本发明典型的实施例，因此不认为是对其范围的限制。

[0021] 图1示出了根据本发明的实施例的用于表征储藏层评估不确定性的方法。

[0022] 图2示出了根据本发明的实施例的用于输入变异函数和岩心数据参数的用户界面。

[0023] 图3示出了根据本发明的实施例的用于输入用于优化岩石物理模型参数的先验参数范围的用户界面。

[0024] 图4a和4b是从图1的步骤22的示范输出；图4a是根据本发明的F-检验直方图，以及图4b示出了对于图1的步骤16和20的MxN=100次迭代的示范性空间自助的优化的岩石物理模型输入参数。

[0025] 图5示出了根据本发明的用于优化的岩石物理模型输入参数的示范性直方图。

[0026] 图6示出了根据本发明的利用优化的岩石物理模型输入参数通过岩石物理模型

确定的用于选择的储藏性质的示范性测井日志。

[0027] 图 7 示出了对于选择的储藏层性质的示范性测井日志和相关岩心采样数据。

### 具体实施方式

[0028] 现在参考附图描述本发明的用于表征储藏层评估不确定性的实施例。本发明可以作为硬件和软件的任何一个或组合来实施,包括但是不限于系统(包括计算机处理器)、方法(包括计算机实现的方法)、装置、布置、计算机可读介质、计算机程序产品、图形用户界面、网络入口、或有形地固定在计算机可读存储器中的数据结构。诸如 CD、预先记录的盘或存储有程序代码的计算机程序存储介质之类的利用计算机处理器的制品也属于本发明的精神和范围之内。

[0029] 本发明的应用包括但是不局限于地下碳氢化合物储藏中的孔隙度和饱和度的表征。附图仅仅示出了本发明的典型的实施例,并且因此不认为是对其范围和广度的限制。

[0030] 图 1 示出了根据本发明的用于表征储藏层评估不确定性的示范性方法 10。通常,本发明的方法包括以下步骤:访问岩石物理参考数据;推导岩石物理模型输入参数的先验不确定性分布和现场数据对岩石物理参考数据(诸如但是不限于岩心、更准确的日志集合、完整的日志套等)的校准的非唯一性,诸如但是不限于测井日志、线缆日志和随钻测井(LWD)数据;利用在给定公差内拟合多个岩石物理参考数据的岩石物理模型输入参数的先验不确定性分布推导多个岩石物理模型解;从多种岩石物理模型解推导输入模型参数的后验分布;以及应用岩石物理模型输入参数的后验分布来推导选择的岩石物理模型输出的先验不确定性分布。

[0031] 在一个实施例中,所述方法首先包括分别在步骤 12 和 14 提供相关长度  $L$  和选择的岩石物理参考数据(例如,岩心数据、采样数据,等等),以在步骤 16 创建在空间上独立的(即,至少隔开相关长度  $L$  的)随机选择的岩石物理参考数据的  $N$  个子集。步骤 14 包括提供岩石物理参考或采样数据,其例如可以包括套管井采样或已经在网格中分配的采样。这些采样仅代表可用总体的部分采样,因为存在可以是有限数目的钻孔或有限数目的岩心(例如,从钻孔提取的)。因此,从采样中收集的数据可以是相关的,其包括利用某一相关度表征的数据。因此,存在不确定性,因为可用的部分采样仅仅是要被表征的较大体积的岩石(例如,在整个区域中)的一小部分,并且收集的采样内的数据是相关的,即非独立的。即使采样的数目可以相对较大,因为采样是从彼此接近的位置收集的,所以大量采样也可以是非独立的并且也可以不代表要被表征的较大体积。

[0032] 在另一个实施例中,本方法的步骤 12 包括输入变异函数以从包含非独立的或相关的数据的采样总体中选择独立数据的集合。二维空间中的变异函数一般标记为  $2\gamma(\delta x, \delta y)$ ,其中  $\gamma(\delta x, \delta y)$  称为半变异函数。变异函数是将空间独立性程度描述为空间随机现场的两个点之间的分离的函数  $(\delta x, \delta y)$  或随机过程  $Z(x, y)$  的函数。在步骤 16 中使用变异函数以创建基本上比相关的采样数据的初始集合在空间上更少相关的性质数据的  $N$  个子集,以便应用自助过程。需要  $N$  个子集(其中  $N$  大于 2)以便实现在统计上有意义的结果。

[0033] 可以从许多源生成变异函数。例如,通过分析原始采样数据(例如,采样岩心数据)和分析作为距离函数  $(\delta x, \delta y)$  的采样数据的相关性可以生成变异函数。也可以从概念模

型中生成变异函数。然而,在本情况下,通过利用距离分析原始采样数据相关性来生成变异函数。然而,可以理解,也可以使用其它用于生成变异函数的方法。例如,当采样数据相对接近时,认为它们是非独立的,但是随着距离增加,采样数据中的非独立性或相关性减小。换句话说,距离由变异函数调整。在一个方向中的变异函数距离或相关长度可以不等于在另一个方向中的变异函数距离。在这方面,变异函数是椭圆的,因为变异函数沿着东西方向的变化不同于变异函数沿着北南方向的变化。

[0034] 变异函数具有也称协方差的伽马值。当使用正常的分数时,该伽马值从零到一变化。当使用诸如标准偏差之类的正常的分数变换时,在由标准偏差归一化时,伽马值等于一。因此,一般假定如果伽马值大于一,则认为采样数据是独立的。另一方面,如果伽马值小于一,则采样数据是非独立的或相关的。伽马值越接近于零,采样数据越非独立或相关。

[0035] 根据采样数据可以由用户选择伽马值阈值。例如,如果采样数据高度相关,则选择大于一的伽马值阈值将消除导致对采样数据的自助过程没用的大量数据点。另一方面选择接近于零的伽马值阈值将留下最相关的采样数据,其也将导致对相关的采样数据的自助操作不那么有用。因此,选择伽马值阈值以达到折衷以便不滤出采样数据的大部分,但是同时选择不高度相关的采样数据以便获得有意义的自助结果。因此,可以从介于零和近似一之间的范围中选择伽马值。然而,为了达到好的折衷,可以选择在大约 0.3 到大约 1 之间的伽马值。在本示例中,选择大约 0.5 的伽马值作为阈值。因此,滤出具有小于大约 0.5 的伽马值的采样数据同时使用具有大于大约 0.5 的伽马值(例如,大约 0.5 和 1.0 之间)的采样数据。

[0036] 再参考图 1,步骤 16 可以通过本领域技术人员所知的自助来执行以生成“空间自助的”岩心数据集。可以从数据库或其他电子存储媒体访问、或经由如图 2 所示的用户界面 40 提供输入相关长度数据和 / 或岩心参考数据。经由界面 40 提供的参数和数据一般涉及不确定岩心校准。界面 40 可以包括用于指定以下参数的输入栏:相关长度(也称为孔隙度变化的垂直变异函数范围) 42、自助的数目 44、种子 46、岩心孔隙度性质 48、岩心权重性质 50、岩心水饱和度性质 52、测量深度性质 54、饱和度欠拟合度岩心水饱和度的权重性质 56、优化颗粒密度 59 和颗粒密度欠拟合度权重参数 57。

[0037] 在一个实施例中,在步骤 12 中利用变异函数定义基本上空间较少相关或独立的性质数据的  $N$  个子集之后,本发明的方法在步骤 16 随机地选择空间独立的性质数据的一个集合。在步骤 16 处,自助过程可以被应用于空间独立的数据的  $N$  个子集的每一个。

[0038] 自助是一般应用到统计重新取样方案的名称,所述方案允许从数据本身评估数据中的不确定性。自助一般对估计统计参数(例如,平均值、方差)的分布是有用的,而不使用正常理论(例如,  $z$ -统计、 $t$  统计)。当没有解析形式或正常理论时,可以使用自助来帮助估计感兴趣的统计的分布,因为该自助方法可以应用于大部分随机量,例如,方差和平均值的比率。存在各种执行自助的方法,诸如通过利用重新取样的情况,包括用 Monte Carlo 算法重新取样、参数自助、重新取样残余、高斯过程回归自助、等等。

[0039] 例如,在重新取样方法中,给定  $n$  个独立观察量  $z_i$ , 其中  $i=1, \dots, n$ , 和计算的统计参数  $S$ , 例如平均值,利用重新取样自助方法可以确定计算的统计参数  $S$  (例如,平均值)中的不确定性。在这种情况下,  $z_{b_j}$  的  $n_b$  值,  $j=1, \dots, n_b$  (其中  $n_b$  是等于独立观察量的给定数目  $n$  的自助值的数目),通过置换从原始数据中取出以获得自助重新取样。

[0040] 再参考图 1, 在步骤 16 中生成的岩心数据的  $N$  个子集然后在步骤 20 中用于优化在储藏岩石物理模型中使用的模型参数, 以便匹配由岩石物理计算的储藏性质的输出, 其中对选择的岩心数据测量的储藏性质非常相同。任何在本领域已知的优化 / 反演例程, 诸如颗粒群集 (swarm) 或遗传算法, 可用于执行步骤 20。在一个实施例中, 在步骤 19, 优化例程使用先验的上下边界用于每个模型参数。用于模型参数的这样的范围可以通过如图 3 所示的用户界面选择, 并且可以包括模型参数 61-85 (例如水的含盐量), 或它的子集。为了计算效率 (例如, CPU 时间), 单独地提供用于图 3 中的模型参数的先验的范围, 并且其与物理学的基本定律一致, 例如, 颗粒密度不能是负的。注意先验的范围不代表模型参数的最终分布, 像在蒙特 - 卡罗法中一样。

[0041] 在另一个实施例中, 矿物分析可用于计算指定的模型参数的极限。根据另一个实施例, 在步骤 18, 可以在每个岩心测量中分配置信度级或加权, 并且将其作为“岩心权重”应用到反演的值。岩心权重可以被用于生成更实际的模型参数以及岩石物理模型的储藏性质输出和对选择的岩心数据测量的储藏性质之间的更好的拟合。然后在步骤 22 将步骤 16 和 20 迭代  $M$  次, 以生成优化的岩石物理模型输入参数的  $M \times N$  个集合。

[0042] 接着, 对于参数的  $M \times N$  个集合, 即, 对于每个运行的  $M \times N$ , 本发明的方法包括提供统计指示的步骤 24, 例如, 执行岩石物理模型的储藏性质输出和来自选择的岩心数据的对应的储藏性质之间拟合得如何良好的统计显著性的检验。一个目标是拒绝对岩石物理参考数据的不良拟合的解。在一个实施例中, 可以步骤 24 通过计算  $F$  检验来执行。在步骤 24, 通过  $F$  检验值可以将岩石物理模型输入参数的  $M \times N$  个集合分级 (从置信度的高质量到置信度的低质量)。图 4b 中示出了示范列表。如上所述, 步骤 18 可用来提供置信度加权信息以自动地选择 (或取消选择) 或加权参数的  $M \times N$  个集合中的任何一个。可以取消选择或选择在给定置信度间隔之外的参数。

[0043] 再参考图 1, 在步骤 26, 然后利用最优参数的  $M \times N$  个集合的每一个, 即, 岩石物理模型输入参数 25 的后验范围, 运行岩石物理模型, 导致 (a)  $F$  检验  $> 1$  和 (b) 是对于给定参数具有置信度加权, 以生成选择的储藏输出性质曲线。接下来, 运行步骤 28, 以通过分类对于每个性质类型的岩石物理模型输出并且从此分类的列表中选择第 10、第 50 和第 90 百分位值, 来从每个深度处的  $N$  个选择的岩石物理模型输出中计算  $P_{10}$ 、 $P_{50}$ 、和  $P_{90}$  储藏性质。可替换地, 可以通过分类在对于指定的性质类型的岩石物理模型输出的间隔之内的平均值, 以从此分类的列表中确定哪些参数集合 (在其中选择的岩石物理模型输出运行) 创建了第 10、第 50 和第 90 百分位值, 来在给定的间隔内从选择的岩石物理模型输出中计算  $P_{10}$ 、 $P_{50}$ 、和  $P_{90}$  储藏性质。从这些  $P_{10}$ 、 $P_{50}$ 、 $P_{90}$  运行输出的、逐间隔选择的、在所有间隔内组合的岩石物理模型是最终的  $P_{10}$ 、 $P_{50}$ 、和  $P_{90}$  岩石物理模型。

[0044] 图 5-7 显示本发明的最终结果。图 5 是在指定的置信度加权内与岩石物理参考 (岩心数据) 匹配的岩石物理模型 (诸如颗粒密度、水的含盐量, 等等) 的储藏模型参数  $RHO\_HCX\_INT$ 、 $m\_exponent$ 、 $n\_exponent$  和  $nphi\_mat$  的直方图 500、510、520 和 530 的集合。

[0045] 图 6 是来自岩石物理模型的储藏性质  $PHI\_conf\_1$  和  $VSH\_conf\_1$  (诸如孔隙度、饱和度等等) 的每一个的三个测井日志的集合, 其表示利用测量的测井日志和参数的  $M \times N$  个集合运行的岩石物理模型的  $M \times N$  运行当中的  $P_{10}$ - $P_{50}$ - $P_{90}$ 。因此这些  $P_{10}$ - $P_{50}$ - $P_{90}$  储藏性质在我们对于岩心数据 (ref) 给出的置信度加权的边界内。图 7 是示出基本上在  $P_{10}$ - $P_{50}$ - $P_{90}$

分布之内的有关岩心采样(由  $x'$  s 表示)的测井日志。

[0046] 图 8 显示了用于表征碳氢化合物储藏层评估不确定性的系统 800。该系统包括数据源 810、用户接口 820 和计算机处理器 814。计算机处理器 814 与该数据源 810 可操作地通信并且被配置为访问岩石物理参考数据并且响应于岩石物理参考数据执行计算机可执行代码。在一个实施例中,计算机可执行代码包括是个代码或模块元件:第一代码 816,用于访问岩石物理参考数据;第二代码 818,用于将变异函数应用到采样岩石物理数据以选择数据的  $N$  个子集,该数据的  $N$  个子集基本上比采样岩石物理数据更少相关;第三代码 820,用于对数据的  $N$  个子集的每一个应用空间自助过程以从数据的  $N$  个子集的每一个中获得多个自助数据集;第四代码 822,用于对于数据的  $N$  个子集的每一个反演岩石物理模型以生成优化的岩石物理模型输入参数值的集合,其中反演代码在用户定义的范围内改变岩石物理模型的模型输入参数值以使得岩石物理模型的输出在预定的阈值内与岩石物理参考数据匹配;第五代码 824,用于收集优化的岩石物理模型输入参数值的集合;第六代码 826,用于对优化的岩石物理模型输入参数值的每个集合执行统计显著性检验;第七代码 827,用于使得空间自助过程和反演重复  $M$  次以生成优化的岩石物理模型输入参数值的  $M \times N$  个集合;第八代码 828,用于从优化的岩石物理模型输入参数值的  $M \times N$  个集合中选择那些以预定的标准满足统计显著性检验的优化的岩石物理模型输入参数值的集合;第九代码 830,用于利用优化的岩石物理模型输入参数值的选择的集合执行岩石物理模型;以及第十代码 832,用于确定表示选择的储藏不确定性的选择的百分比。

[0047] 用户接口 812 可以包括一个或多个如图 2 和 3 所示的用于输入变异函数、参考数据、和先验模型输入参数范围的显示器或屏幕。接口 812 也可以包括用于有选择地显示表示选择的储藏不确定性的选择的百分位的屏幕。

[0048] 除如上所述的本发明的实施例之外,可以在不脱离本发明的基本范围的情况下设计本发明的实施例。例如,应当理解,本发明预期任何实施例中的一个或多个元件可以与另一个实施例的一个或多个元件组合。因此预期如上所述的实施例是说明性的且没有限制,并且所附的权利要求书被解释为包括落入发明的精神和范围之内内的所有实施例、应用和修改。

10

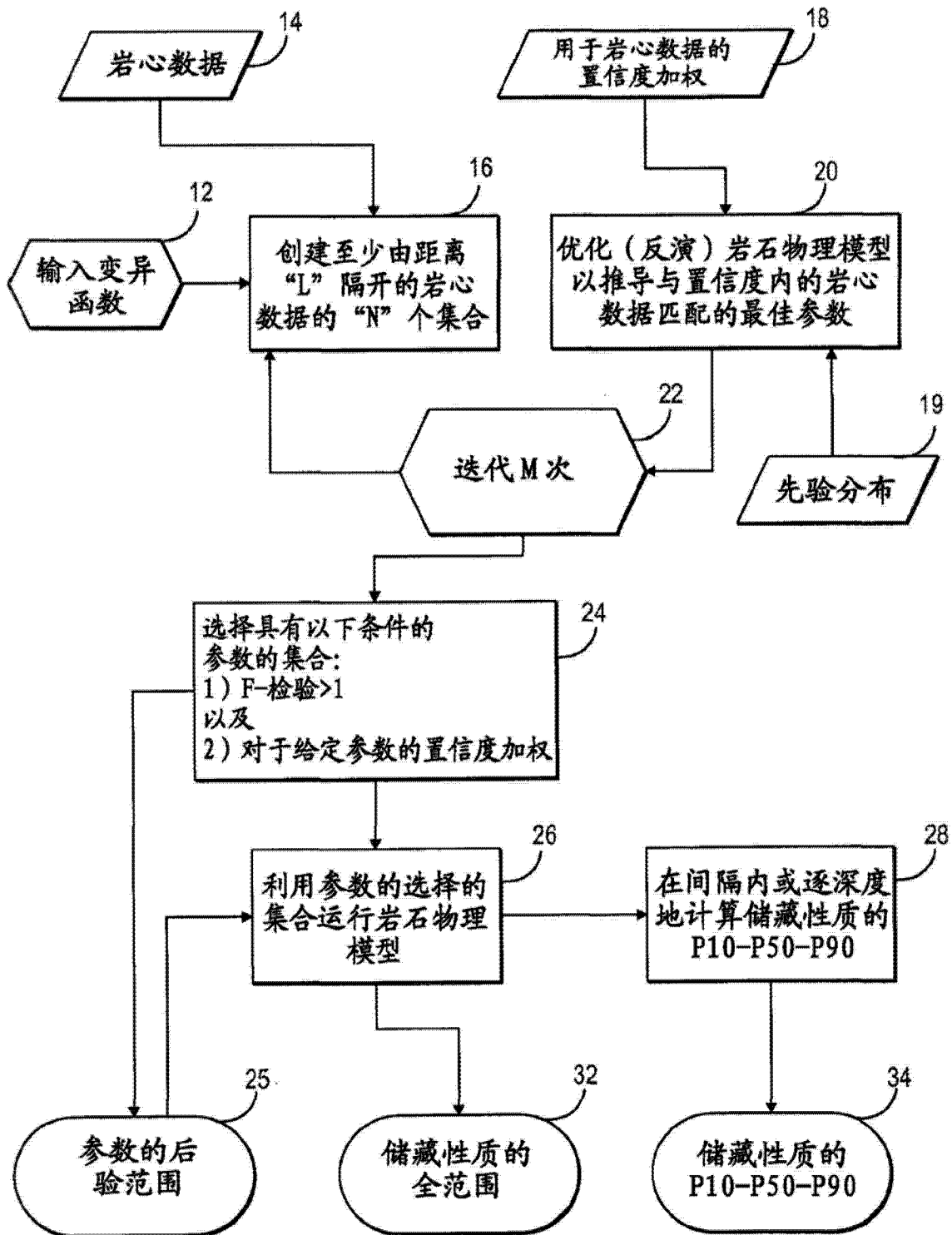


图 1

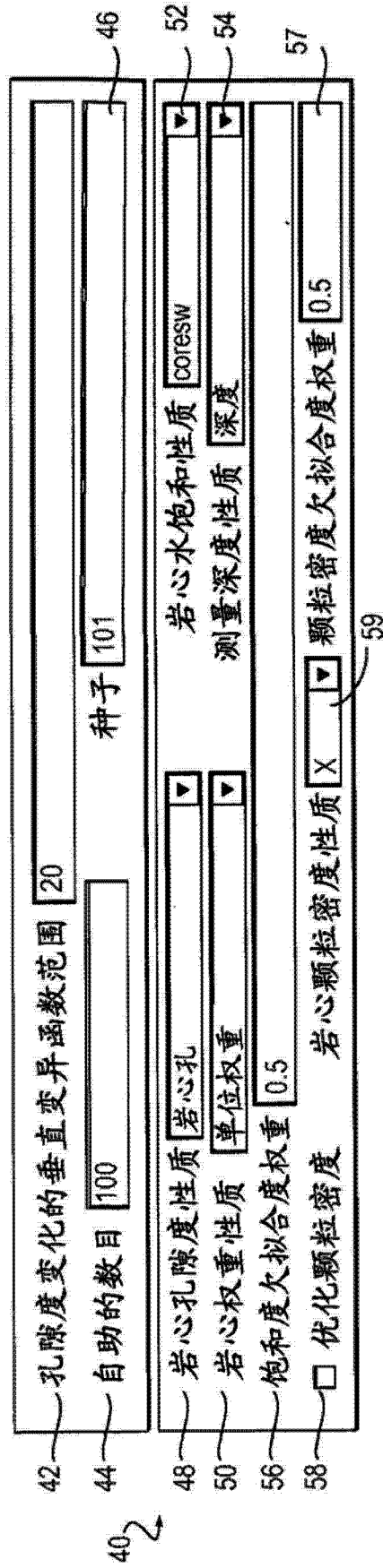


图 2

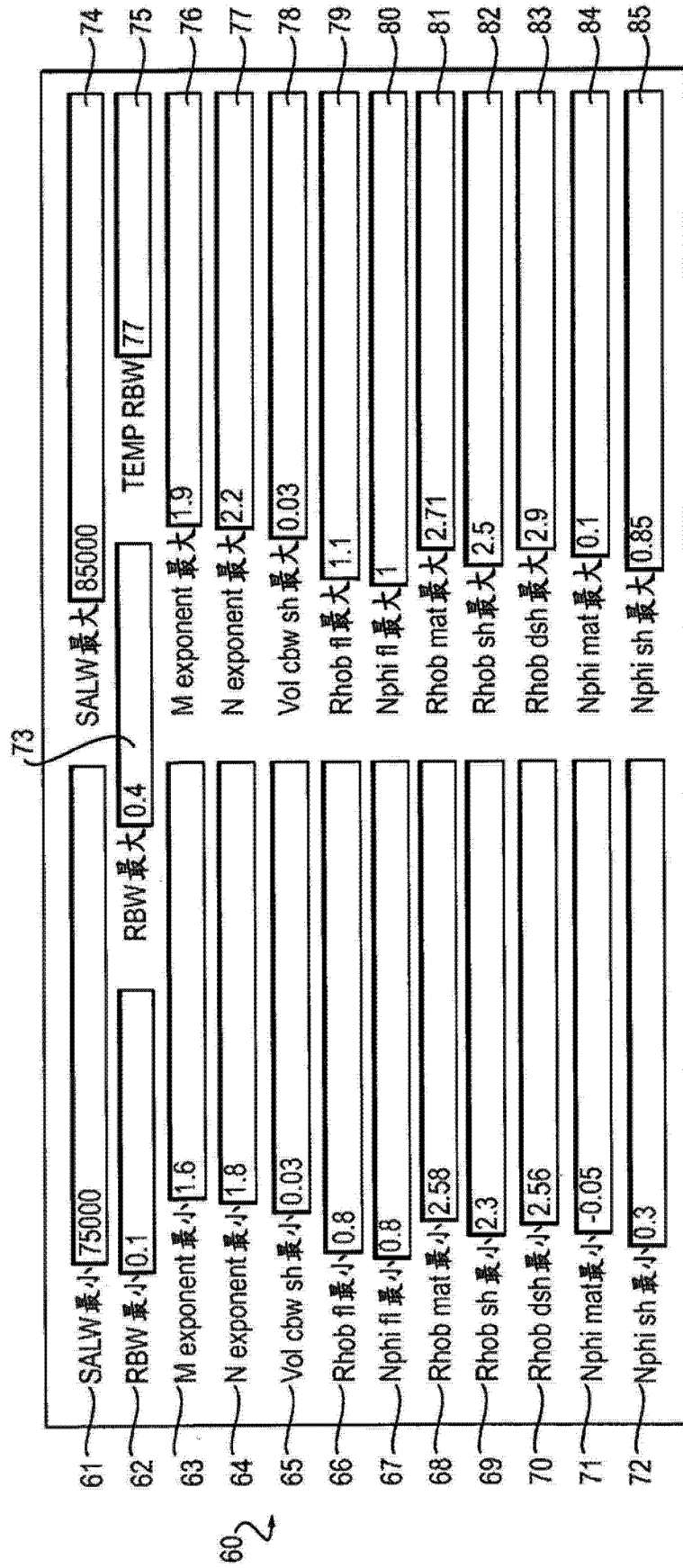


图 3

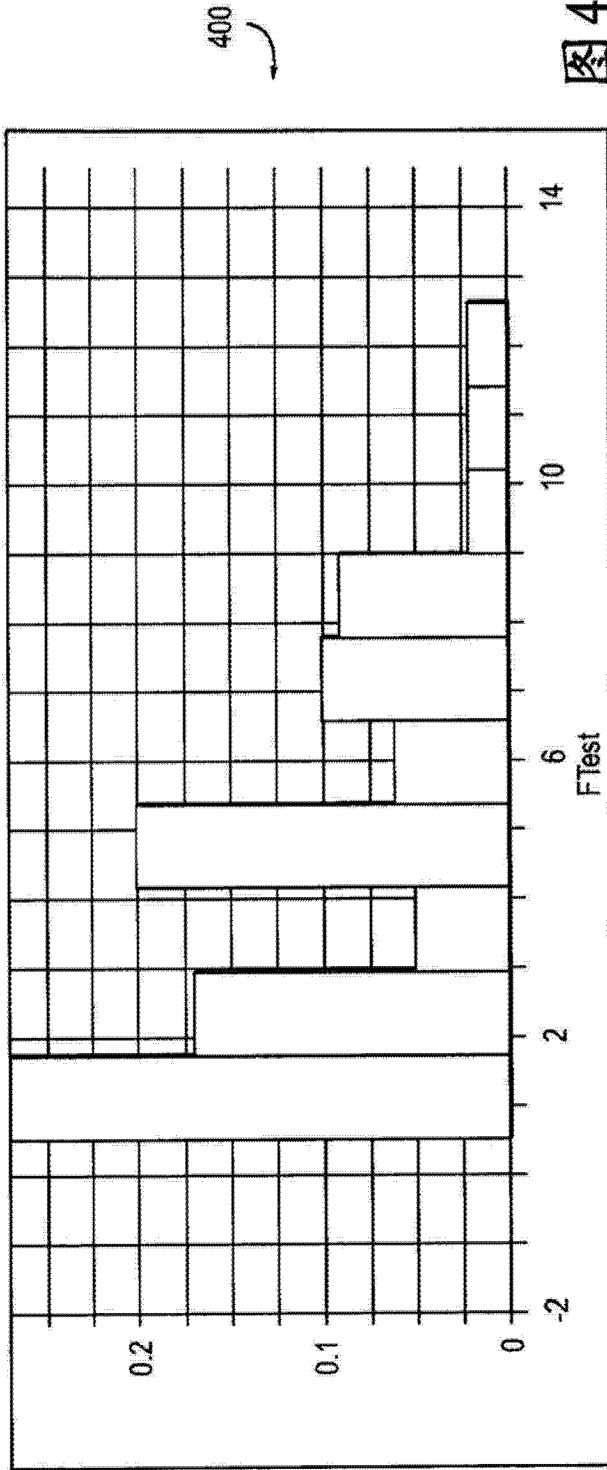


图 4A

#	FTest	RHO_HCX_INT	RWB	SALW	m_exponent	n_exponent	nphi_mat	nphi_sh_well_01	rhob_dsh	rhob_mat	rhob_sh_well_01	vol_cbw_sh
运行1	4.309.9	0.861599	0.271992	76313.2	1.74292	2.00114	0.1	0.312676	2.72505	2.59214	2.3007	0.0303044
运行2	1.29263	0.85	0.199851	75000	1.70901	2.09251	-0.0419274	0.317795	2.61736	2.58154	2.3764	0.202349
运行3	195.672	0.85	0.264321	83218	1.78807	2.15414	-0.05	0.364756	2.75228	2.58	2.41572	0.0422053
运行4	7.36343	0.85	0.349812	75000	1.68887	2.1874	-0.0359839	0.650665	2.57736	2.58	2.34554	0.171369
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
运行98	1.80365	0.85	0.176041	84878.3	1.82745	2.0978	-0.05	0.307019	2.9	2.71	2.33985	0.084825
运行99	18.8439	0.949782	0.226446	75934.9	1.86341	2.14749	0.1	0.388235	2.86453	2.60263	2.34603	0.0385747
运行100	7.70475	0.932035	0.226578	84701.6	1.84031	1.97993	-0.05	0.398314	2.78689	2.71	2.31897	0.193968

图 4B

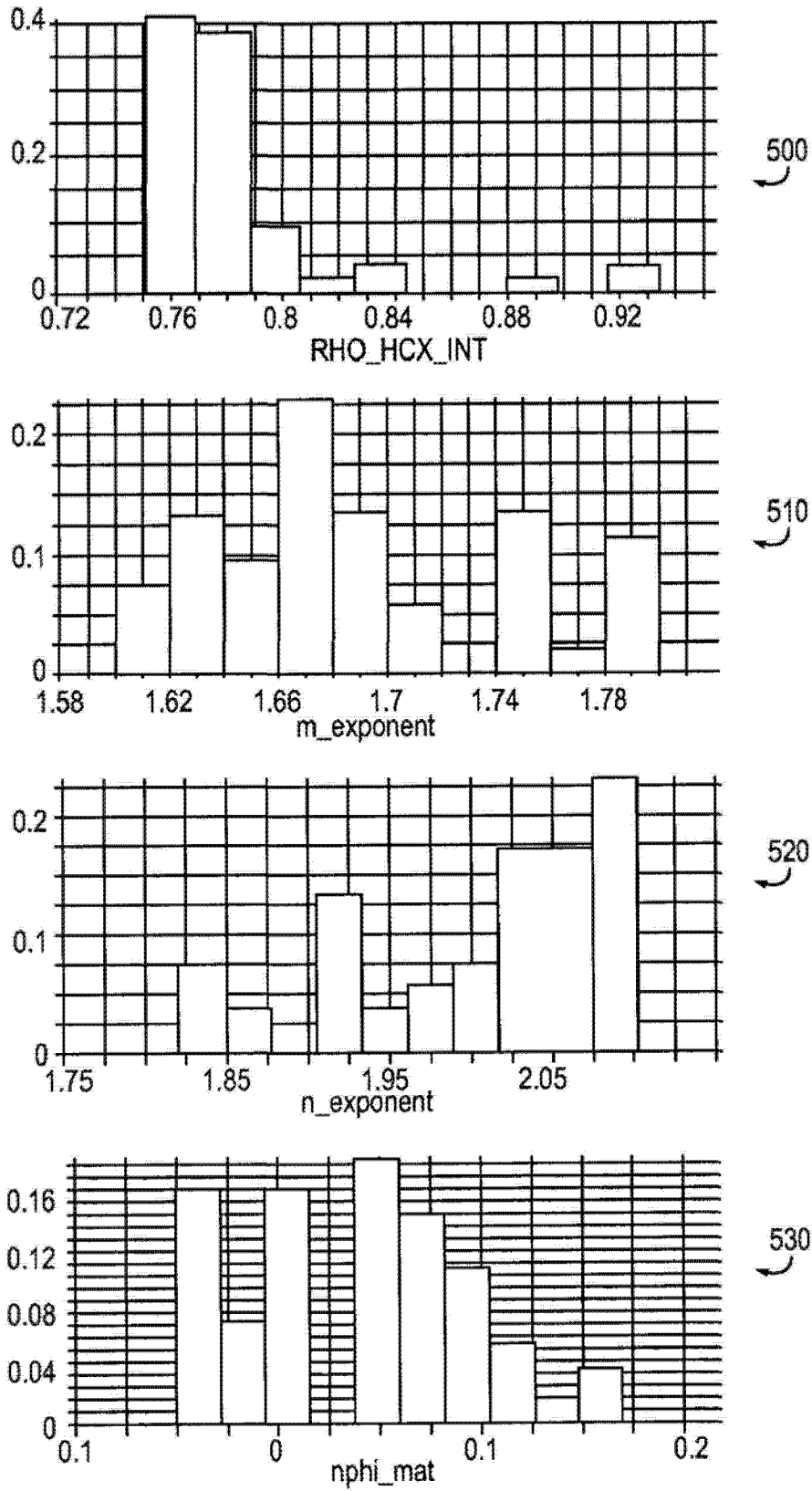


图 5

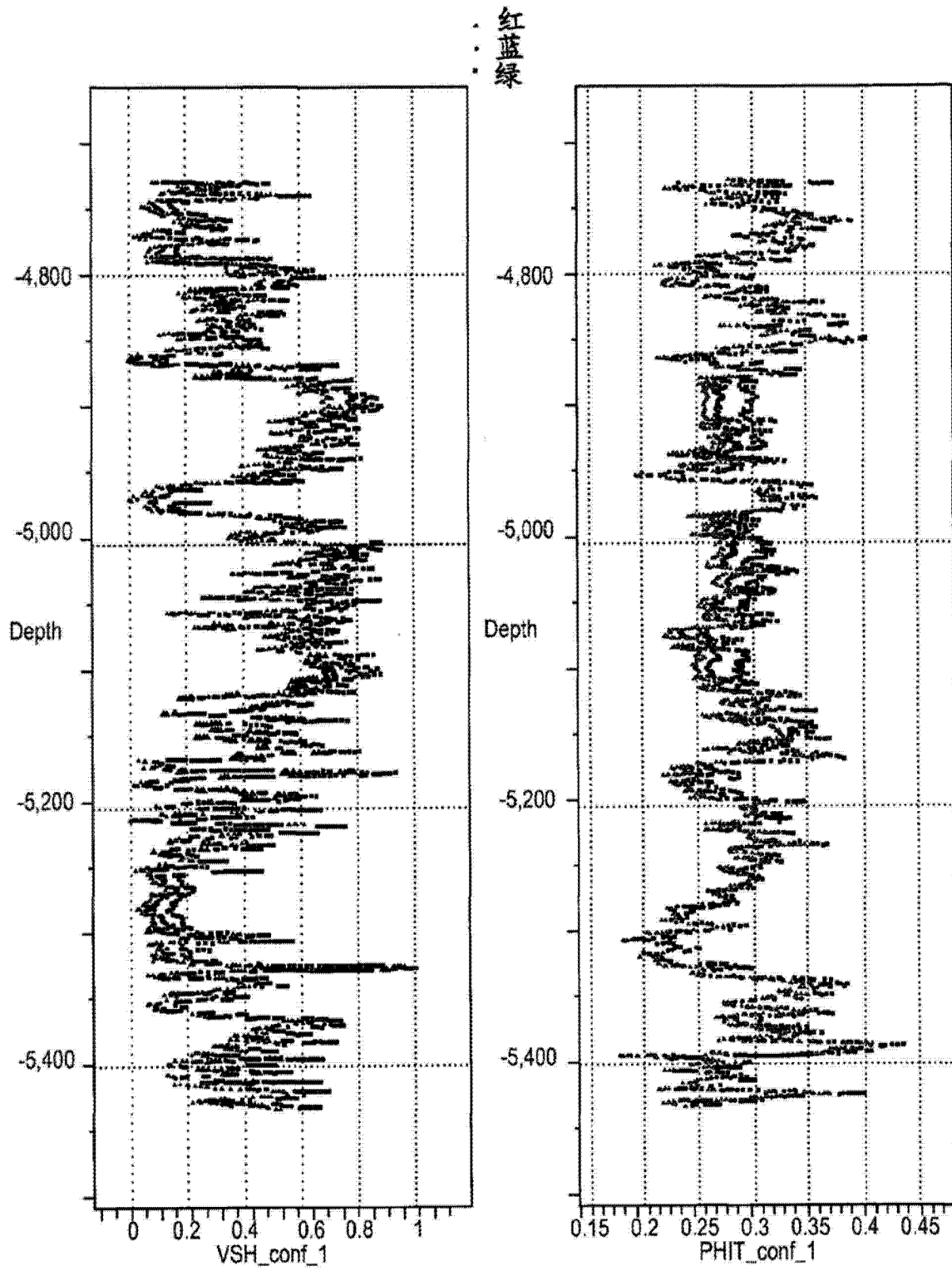


图 6

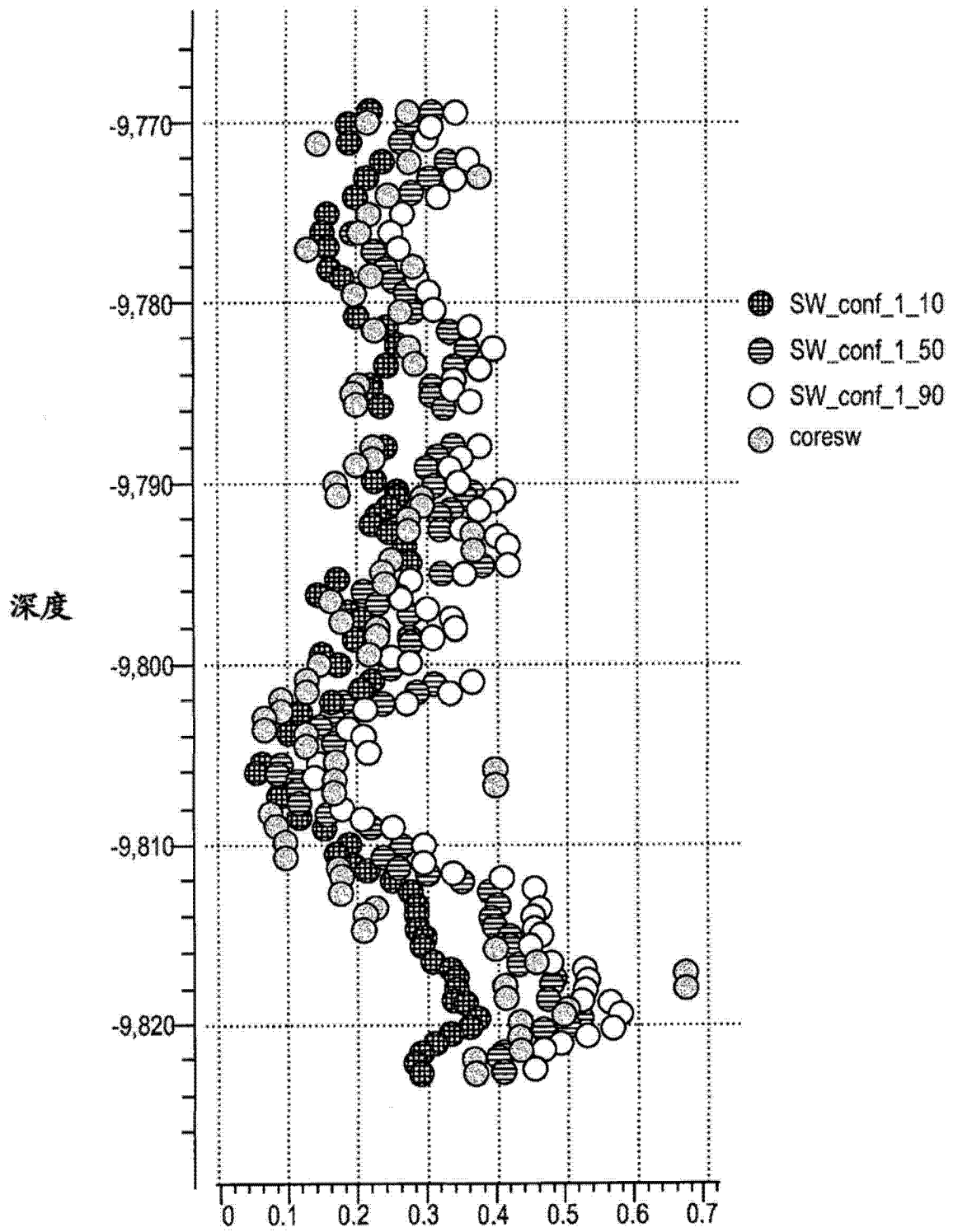


图 7

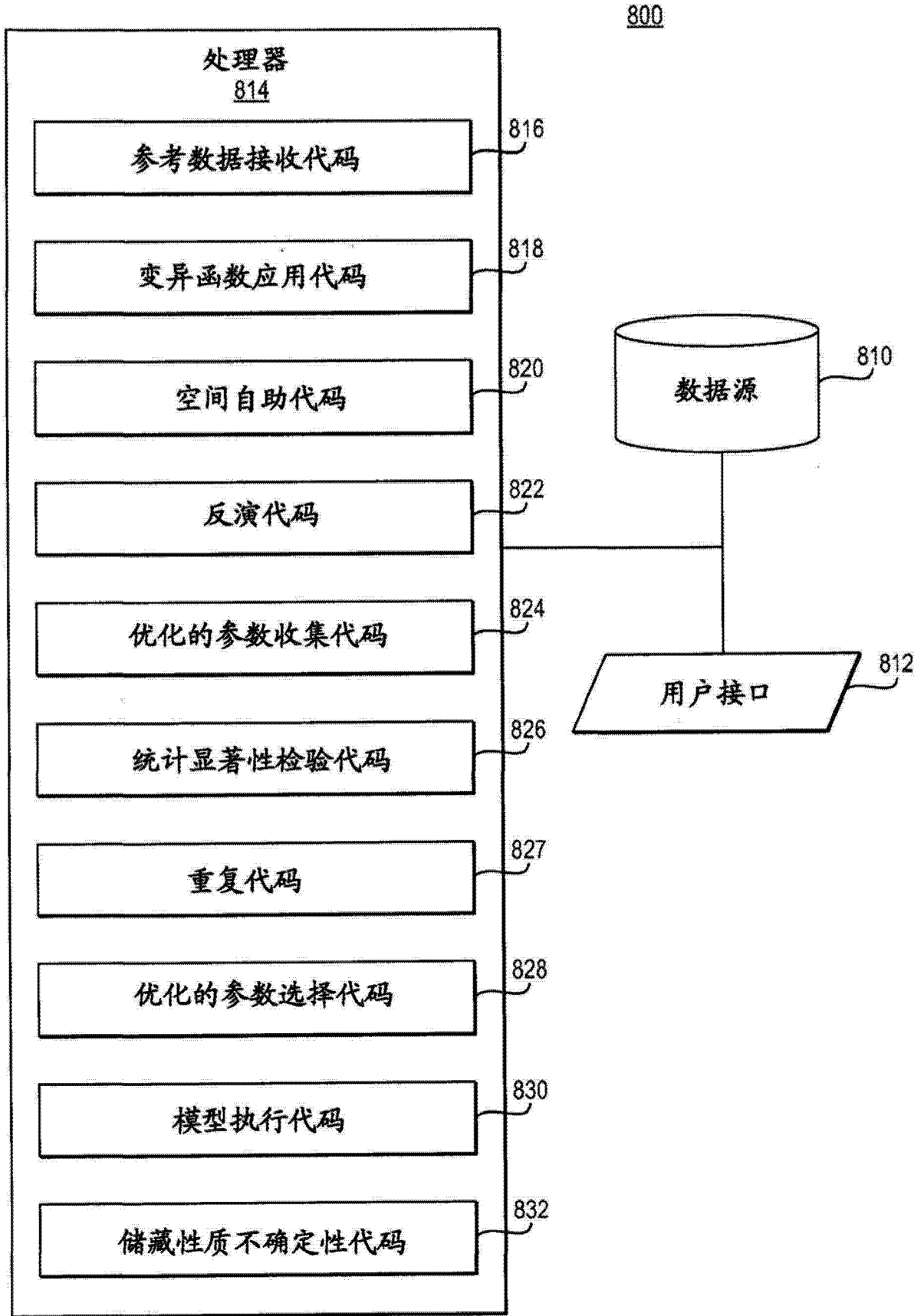


图 8