(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101932954 B
(45)授权公告日 2013.04.10

(21)申请号 200880125871.9

(22)申请日 2008.12.19

(30)优先权数据
12/022,332 2008.01.30 US

(85)PCT申请进入国家阶段日
2010.07.29

(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2008/087643 2008.12.19

(87)PCT申请的公布数据
WO2009/097065 EN 2009.08.06

(73)专利权人 雪佛龙美国公司
地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 张立波 E·F·里茨什

(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 高青

(51)Int.Cl.
G01V 1/00(2006.01)
G01V 1/28(2006.01)

(56)对比文件
GB 2432936 A,2007.06.06, 摘要,第1页的第10行到第2页的第4行,第3页的第7行到第3页的第19行,第16页的第19行到第18页的第22行;.

GB 2432936 A,2007.06.06, 全文.

US 6549854 B1,2003.04.15, 摘要,第1列的第10行到第2列的第49行,第3列的第26行到第第5列的第46行,第6列的第1行到第第6列的第15行,第6列的第60行到第7列的第52行,附图1到附图4;.

US 6549854 B1,2003.04.15, 全文.

US 2004/230379 A1,2004.11.18, 全文.

M.T.HOUCK. "Estimating uncertainty in interpreting seismic indicators". 《The Leading Edge》.1999, 第18卷第320页岛第325页.

M.T.HOUCK. "Estimating uncertainty in interpreting seismic indicators". 《The Leading Edge》.1999, 第18卷第320页岛第325页.

审查员 杨永康

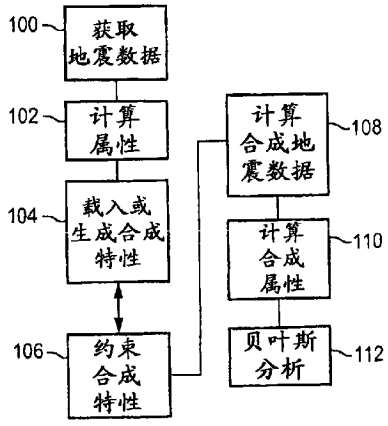
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 5 页

(54)发明名称

地下预测方法和系统

(57)摘要

预测地质层的地下特性的方法包括:获取包括感兴趣地质层的地下区域的地震数据;计算在该地质层的至少一部分上测量的地震数据的地震属性;确定代表地质层的内部一致岩石特性;利用这些岩石特性来生成地质层的相同部分的模型;从该模型中计算合成地震数据;从这些合成地震数据中计算相同属性;以及使用贝叶斯分析,从在给定模型的情况下模拟属性的概率中预测在给定测量属性的情况下实际地下特性的概率。



CN 101932954 B

1. 一种预测地质层的地下特性的方法，所述方法包含：

获取包括所述地质层的地下区域的地震数据；

从所获取的地震数据中计算振幅随偏移变化 AVO 地震属性；

物理约束代表所述地质层的至少一部分的假设物理特性的模拟数据；

从物理约束的模拟数据中计算合成地震数据；

根据所计算的合成地震数据来计算合成 AVO 地震属性；以及

应用使用至少两个所计算的合成 AVO 地震属性的贝叶斯分析来预测在给定测量的地震属性的情况下特定地下特性的概率。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述模拟数据包含伪井。

3. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述约束包含保证所述假设物理特性对应于物理上可能的地质层。

4. 如权利要求 1 所述的方法，进一步包含：将从沉积所述地质层的地质环境中得到的地质约束应用于所述模拟数据。

5. 如权利要求 4 所述的方法，其中，所述应用地质约束包含：根据沉积的环境来分类所述模拟数据。

6. 如权利要求 4 所述的方法，其中，所述应用地质约束在生成所述模拟数据之前或生成所述模拟数据期间进行。

7. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述至少两个 AVO 地震属性选自如下构成的组：振幅、斜率、梯度、曲率、截距、近角、远角、近叠加、和远叠加。

8. 如权利要求 1 所述的方法，进一步包含：向用户显示所计算的合成 AVO 地震属性和所计算的 AVO 地震属性，使得以图像形式图形地传递包括所计算的 AVO 地震属性的物理解释的概率的贝叶斯分析结果。

9. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述特定地下特性包含流体类型。

10. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述特定地下特性包含感兴趣层的净厚度。

11. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述特定地下特性包含感兴趣层的孔隙度。

12. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述特定地下特性包含感兴趣层的岩性。

13. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述物理约束在生成所述模拟数据之前或生成所述模拟数据期间进行。

14. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述物理约束在生成所述模拟数据之后进行。

15. 一种用于预测地质层的地下特性的系统，所述系统包含：

存储器，被配置成存储包括从包括所述地质层的地下区域中获取的地震数据的数据；

处理器，被配置和安排成从所获取的地震数据中计算振幅随偏移变化 AVO 地震属性，从模拟数据中计算合成地震数据，计算与所计算的合成地震数据相对应的合成 AVO 地震属性，并通过使用与所计算的合成地震数据相对应的至少两个所计算的合成 AVO 地震属性，将贝叶斯分析应用于来自所获取的地震数据的所计算的 AVO 地震属性来预测特定地下特性的概率。

16. 如权利要求 15 所述的系统，进一步包含用户界面，所述用户界面被配置和安排成允许用户输入所选参数以便控制所述系统。

17. 如权利要求 16 所述的系统，其中，所述用户界面是图形用户界面，并且所述用户可

以使用所述图形用户界面来输入所选参数，以便将地质约束应用于所述模拟数据。

18. 如权利要求 16 所述的系统，其中，所述用户界面是图形用户界面，并且所述用户可以使用所述图形用户界面来输入所选参数，以便控制所述系统显示所述贝叶斯分析的结果的方式。

地下预测方法和系统

技术领域

[0001] 本发明一般涉及模拟地下特征，更具体地涉及使用数据与模拟地震数据之间的概率比较来分析地震数据。

背景技术

[0002] 地震数据获取是获得有关地下特征的信息的最常见手段。通常，在一组规则网格点上依次生成声波信号，并经由位于地表或地表以下的检测器来记录由具有不同弹性的地下特征之间的界面引起的反射信号。通常，将检测器类似地安排在规则网格中，该规则网格可以与源地点的网格一致。由检测器记录的信号被叫做地震道。然后，将地震道分类成多个集合（可能在一些初步处理之后），使得特定集合中的地震道代表来自大致同一地下反射点的反射。因此，这样的共同反射点集合中的每个地震道具有不同的源，并且被不同的接收机记录。这通常通过反射点的地理位置以及通过源与检测器之间的距离（偏移）来识别。因为反射振幅取决于信号投射在界面上的角度，并且因为这个角度取决于源－检测器偏移，所以反射振幅是偏移相关的。可以利用该偏移（或入射角）相关性来确定地下区域中的岩石的特性。

发明内容

[0003] 本发明的实施例的各个方面提供了一种预测地质层的地下特性的方法，所述方法包括：获取包括所述地质层的地下区域的地震数据；从所获取的地震数据中计算地震属性；物理约束代表所述地质层的至少一部分的假设物理特性的模拟数据；从物理约束的模拟数据中计算合成地震数据；根据所计算的合成地震数据来计算合成地震属性；以及应用使用所计算的合成地震属性的贝叶斯 (Bayesian) 分析来预测给定测量的地震属性的特定地下特性的概率。

[0004] 本发明的实施例的各个方面提供了一种用于预测地质层的地下特性的系统，所述系统包括：存储器，被配置成存储包括从包括所述地质层的地下区域中获取的地震数据的数据；处理器，被配置和安排成从所获取的地震数据中计算地震属性，从模拟数据中计算合成地震数据，计算与所计算的合成地震数据相对应的地震属性，并使用所计算的与所计算的合成地震数据相对应的地震属性，将贝叶斯分析应用于来自所获取的地震数据的所计算的地震属性。

[0005] 本发明的实施例的各个方面可以包括用用于执行上述方法或用于控制上述设备的计算机可执行指令编码的计算机可读介质。

[0006] 本发明的实施例的各个方面可以包括并入了上述设备并被配置和安排成依照上述方法来提供设备控制的系统。这样的系统可以并入，例如，被编程成允许用户依照所述方法或其它方法来控制设备的计算机。

[0007] 通过参考附图对下述说明部分和所附权利要求书加以考察，本发明的这些和其它目的、特性、和特征，以及结构的相关元件和部件组合的操作方法和功能，和制造的经济

性将变得更加清楚，所有附图形成本说明书一部分，其中，相同标号表示各个图中的相应部件。然而，显而易见，这些附图只是为了例示和描述的目的，并未打算作为限制本发明的定义。正如在说明书和权利要求书中使用的那样，“一个”、“一种”、和“该”的单数形式也包括复数对象，除非上下文清楚地另有所指。

附图说明

[0008] 图 1 例示了依照本发明的实施例的系统的例子；

[0009] 图 2 是用于实现依照本发明的方法的系统的实施例的示意图；

[0010] 图 3 是例示依照本发明的实施例的方法的动作的流程图；

[0011] 图 4 是用在依照本发明的实施例的方法中的多个合成地球物理特性的图的例示；

[0012] 图 5A 和 5B 例示了可以用在依照本发明的实施例的方法中的地质约束；以及

[0013] 图 6A 和 6B 例示了在依照本发明的实施例的方法中从合成地球物理特性中计算的属性的图形显示。

具体实施方式

[0014] 如上所述，振幅随偏移变化（“AVO”）的测量结果可被用作识别预期可以钻井找到烃资源的地下区域的直接烃指标。实际上，难以区分含石油、天然气或盐水的区域。表面上似乎识别出石油或天然气的信号也同样有可能仅仅指示无资源岩石特征。因此，本发明人认为，提供用于解释 AVO 数据的附加工具以降低与昂贵钻井活动相关联的风险是有用的。

[0015] 图 1 示意性地例示了依照本发明的实施例的共同反射点集合系统的例子。尽管所例示的例子与海洋环境有关，但原则上，相同的手段可同样好地适用于基于陆地的地震勘探。由船只运送或拖曳的震源阵列 12，例如，气枪或气枪阵列用于生成穿过海洋传播并撞击在海底 14 上的声能脉冲。该声能继续穿过海底物质并冲击感兴趣区中起强反射器作用的特征 16。它可以是，例如，不同岩石层之间的界面、盐丘的表面、或流体界面。

[0016] 反射能量（箭头）返回到表面，并被可以由该船只拖曳或由单独的船只拖曳的检测器（在本案中为水听器）阵列 18 检测。可以认为每个检测器相对于震源具有特定偏移。偏移最小的那些检测器（在该图中，右侧的检测器 18）被认为是“近的”，而偏移最大的那些检测器被认为是“远的”。因为反射信号的行进时间随偏移增大而增大，因此要应用时间校正，使得在每个地震道上同时显示反射信号，而与偏移无关。

[0017] 为了从复合地震信号中提取信息，常见的做法是计算各种类型的属性。这些属性可以与集合的单独地震道有关，例如，地震道的最大反射振幅。或者，它们可以与集合整体有关，例如，平均振幅（叠加）、振幅随偏移变化的斜率（梯度）、或振幅随偏移变化的二阶导数（曲率）。同样，包括截距和截距梯度等的属性也可以应用在本发明的实施例中。

[0018] 如图 2 示意性例示，在检测器 18 上收集的数据可以被收集和存储在，例如，数据存储设备 20 中。可以使存储的数据可用于处理器 22，诸如可编程通用计算机。处理器 22 包括界面部件，诸如显示器 24 和图形用户界面 26。图形用户界面可以用于显示数据和处理后的数据产物，并允许用户在用于实现本发明各个方面的选项中进行选择。

[0019] 如图 3 的流程图所例示，预测地下特性的方法从如上所述获取地震数据开始 (100)。然后，处理器从所获取的地震数据中计算 (102) 地震属性。计算的属性可以包括，

例如，斜率或梯度、曲率、截距、近角、远角、近叠加、和远叠加，而其它属性对于本领域的普通技术人员来说是显而易见的。

[0020] 生成或载入 (104) 受调查地质层的至少一部分的假设物理特性。在特定方法中，生成若干伪井，例如，数百个或数千个伪井。图 4 例示了具有各种构成的 800 个伪井的例子。在图 4 中，为每个伪井示出了密度分布，但伪井可以包括诸如 V_p、V_s、密度、孔隙度、泥质含量 (V_{shale})、饱和度、孔隙流体类型的物理特性或其它特性。

[0021] 伪井可以使用部分随机手段生成。代替使用其中任何特定物理模型都同样有可能的简单随机手段，可以通过物理约束来约束伪井的生成 (106)。该约束可以发生在生成之前，或可替代地，可以在以后约束纯随机伪井（例如，通过除去具有约束之外的特性的井）。应该明白，先约束，然后生成这些井可能更有效，但任何一种手段都应被认为在本发明的范围之内。

[0022] 代替生成伪井，可以从以前现有的数据集中收集伪井数据。在这种手段中，附加地处理数据，使得它们更好地模拟感兴趣区域的实际特性可能是有用的。例如，数据集可能包括在比感兴趣深度浅的给定深度的伪井。在这种情况下，可以使用已知技术来转换伪井数据，使得它们与感兴趣深度相适应。

[0023] 在生成的伪井、现有数据、或转换后的数据的情况下，可能存在与非物理条件（例如，负泊松比）相对应的数据。物理约束的应用可被用来除去这样的非物理数据。

[0024] 此外，包括地质约束也可能有用，地质约束可以包括，例如，存在物质的沉积环境的预备知识的位置。在这种情况下，该知识可以允许建模者确定关于有可能存在什么类型的物质、以及各层有可能具有什么关系的信息。例如，风成沉积环境趋向于包括相对没有粘土和相对容易被分类的砂岩。相反，三角洲砂岩趋向于含粘土较高。为了使假设物理特性与所获取的地震数据的分析更相关，所生成的砂岩的类型至少部分取决于受调查区域包括风沉积物质还是河流三角洲沉积物质，并且可根据沉积环境的细节被进一步加以区分。这种类型的约束可以应用于数据的生成，或可以应用于对数据集进行的分类操作，以保证数据趋向于反映地质事实。

[0025] 在特定例子中，如图 5A 所示，加积环境可能产生锯齿结构，并且可能对应于河漫滩沉积环境。相比之下，图 5B 例示了有可能底部陡峭并且向上变细的点坝（原来可能是河流或潮汐）的退积模型。在实现过程中，包括用户可以用其选择特定模型以及与该模型相关的参数的图形用户界面可能是有用的。例如，这些参数例如是要生成的伪井的总数、伪井开始的深度、要在模式内生成的层数（例如，锯齿层的数量或变细序列层的数量）和递增厚度。如有必要或有用，可以输入其它参数。

[0026] 在可获得本地信息（例如，来自中心或来自附近井的缆线数据）的一种可替代手段中，可以将该信息用作模型的地球物理约束的基础。同样，在可获得的情况下，可以使用本地信息和沉积环境信息的组合。

[0027] 一旦已经生成经地球物理约束的物理特性，则使用正演模拟来计算合成地震数据 (108)，即，合成地震图。也就是说，对于伪井，使用模型来计算与测量数据相对应的地震数据集。作为这个过程的一部分，用于确定合成数据的计算可以将各种小波用作地震波的模型。小波可以是，例如，从测量的地震数据中计算的。可替代地，可以根据理论考虑来计算它们。

[0028] 适当小波的一个例子是 40Hz（赫兹）雷克 (Ricker) 小波。应该明白，小波参数是可变的，例如，小波长度可以在大约 40-200ms 之间变化，小波带宽可以在大约 10Hz 和大约 50Hz 之间。在特定实现中，本发明人发现，60ms，40Hz 小波可以提供有用结果。

[0029] 在与地震属性的初始计算 (102) 类似的过程中，使用与伪井相对应的合成地震数据集来计算地震属性 (110)。也就是说，可以像通过标准地震勘探技术实际获取它们那样来处理合成数据，以确定斜率、截距、和 / 或其它相关属性。具体地讲，可以处理合成数据以确定与实际数据相同的属性，这趋向于帮助两者之间的直接比较。

[0030] 一旦可获得合成属性，就使用与所计算的合成地震数据相对应的所计算的地震属性，将贝叶斯分析应用于 (112) 来自所获取的地震数据的所计算的地震属性。这样的贝叶斯分析的一个例子显示在下面的方程 1 中：

[0031] $P(l_1, t|s, g) = P(s, g|l_1, t)*P(l_1, t)/P(s, g)$ 方程 1

[0032] 其中，$P(l_1,t)$ 是第一种类型和厚度 t 的层（例如，气砂层）的概率，而 s 和 g 表示叠加和梯度属性。也就是说，该方程规定，在给定一对特定叠加和梯度值的情况下找到厚度 t 的气砂层的概率等于在给定厚度 t 的气砂层的情况下测量特定叠加和梯度的概率乘以找到厚度 t 的气砂层的概率再除以测量特定叠加和梯度的概率。

[0033] 尽管上面的方程与找到特定类型和特定厚度的层的可能性有关，但原则上它适用于任何特定地质特性。也就是说，烃的存在性（即，如下面关于图 6A 和 6B 所讨论的那样，天然气对比石油对比盐水对比背景的可能性）、孔隙度、饱和度、净值与总值比、和地震数据的其它解释可以受相同方法支配。

[0034] 一个实施例包括可以允许视觉比较以及定量计算的比较的图形用户界面。如图 6A 和 6B 所示，可以显示合成数据的视觉表示。在所示的例子中，显示了二维属性空间，具体地说，叠加相对于梯度。在属性空间中画出了合成井，并将其分解成含天然气的井 202、含石油的井 204、含盐水的井 206、或什么都不含的井 208（即，背景）。图 6A 显示了每个井的标绘图，而图 6B 使用代表该类型物质的概率边界（即，P10/P50/P90 等值线）的椭圆来例示相同数据。实际属性对的视觉比较允许用户迅速地确定该属性对是否落在感兴趣的椭圆之一内，以及该属性对单独地在一个椭圆内还是在包含在不止一个椭圆中的重叠区域内。可替代地，或与定量视觉显示相结合地，可以作出定量比较，并可以产生每个结果的更精确的概率，并使它可用于显示或可用于另外的计算。

[0035] 对于如上所述的任何一种感兴趣特性，都可以生成类似的椭圆。例如，可以按与用于流体类型识别相似的方式得出厚度、孔隙度、净值与总值比。此外，类似的方法可以用于比较不同的地质模型，并可以生成概率分布图。例如，可以根据叠加和振幅数据来生成流体概率分布图，而根据各种地震属性来生成净厚度分布图。

[0036] 应明白，生成伪井、分析地震数据、正演模拟合成地震数据、以及贝叶斯分析的各种功能可以被实现为公用软件程序的模块，或可以被实现为单独的软件程序。在使用单独软件程序的情况下，确保公用数据格式，或提供将数据从一种格式转换成另一种格式的数据格式变换模块可能是有用的。

[0037] 在可应用于上面实施例的变体中，可以应用设阈值操作，从而忽略极低的概率。同样，上述实施例的任何一个都可以包括迭代步骤，由此根据该方法的先前迭代的结果来校正先前信息的估计。例如，在概率分析指示实际地震数据非常有可能指示特定地质结构的

情况下，该结构可以形成用于生成新的一组伪井的地质约束。

[0038] 尽管为了例示的目的，已经根据当前被认为最实际和优选的实施例对本发明作了详细描述，但应理解，这样的细节只是为了该目的，并且本发明不局限于所公开的实施例，相反，趋向于涵盖在所附权利要求书的精神和范围内的修改和等效安排。例如，尽管本文提及了计算机，但它可以包括通用计算机、专用计算机、被编程成执行该方法的 ASIC、计算机阵列或网络、或其它适当计算设备。作为进一步的例子，应理解，本发明的设想是，可以尽可能地将任何实施例的一个或多个特征与任何其它实施例的一个或多个特征相组合。

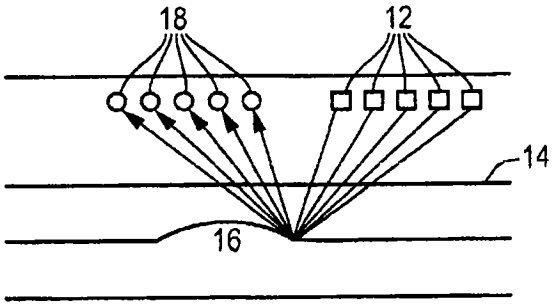

18
12
14
16

图 1

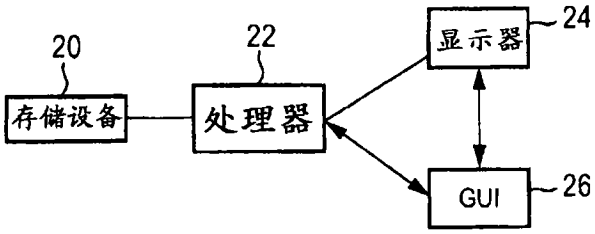

20
存储设备
22
处理器
显示器
24
GUI
26

图 2

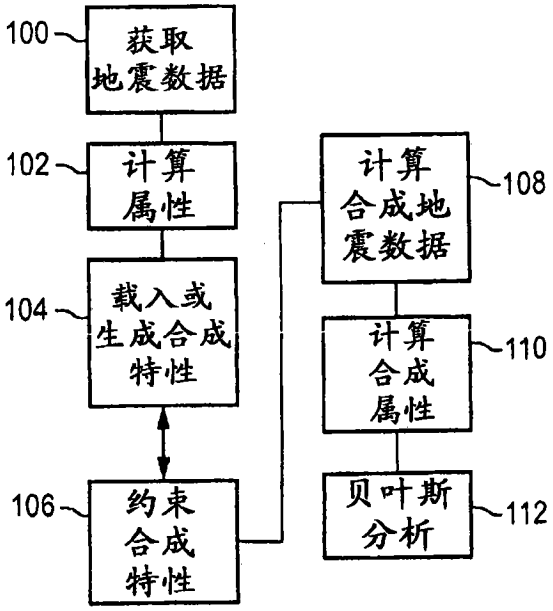

100
获取地震数据
102
计算属性
104
载入或生成合成特性
106
约束合成特性
计算合成地震数据
108
计算合成属性
110
贝叶斯分析
112

图 3

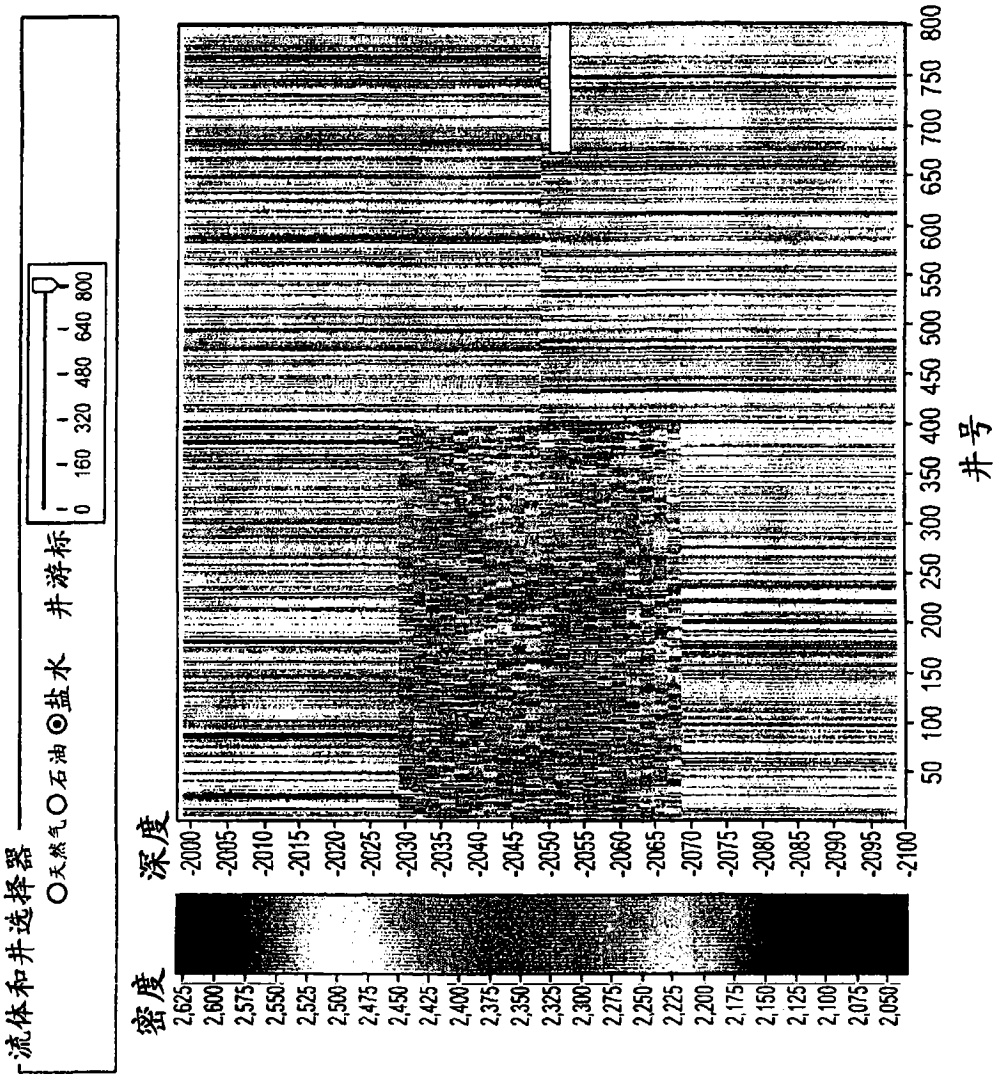

流体和井选择器
○天然气○石油◉盐水 井游标
0 160 320 480 640 800
密度
深度
井号
2,625 2,600 2,575 2,550 2,525 2,500 2,475 2,450 2,425 2,400 2,375 2,350 2,325 2,300 2,275 2,250 2,225 2,200 2,175 2,150 2,125 2,100 2,075 2,050
-2000 -2005 -2010 -2015 -2020 -2025 -2030 -2035 -2040 -2045 -2050 -2055 -2060 -2065 -2070 -2075 -2080 -2085 -2090 -2095 -2100
50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800

图 4

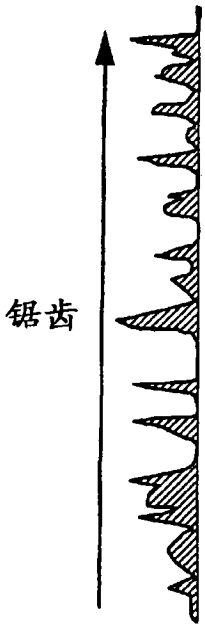


图 5A

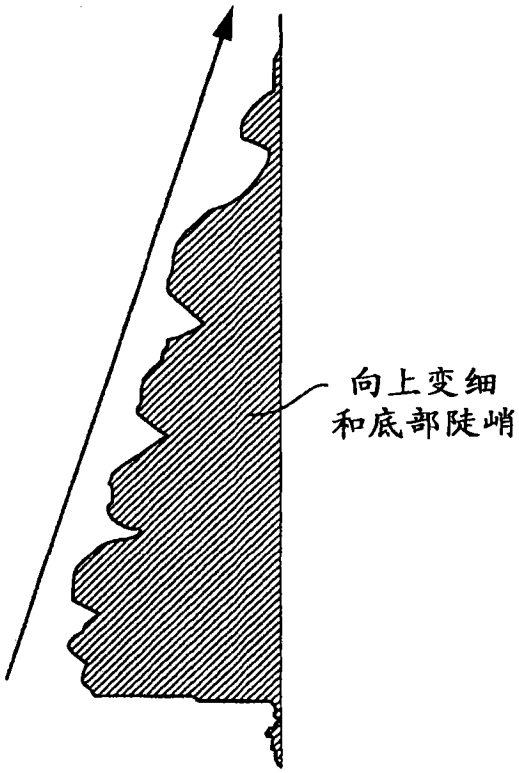


图 5B

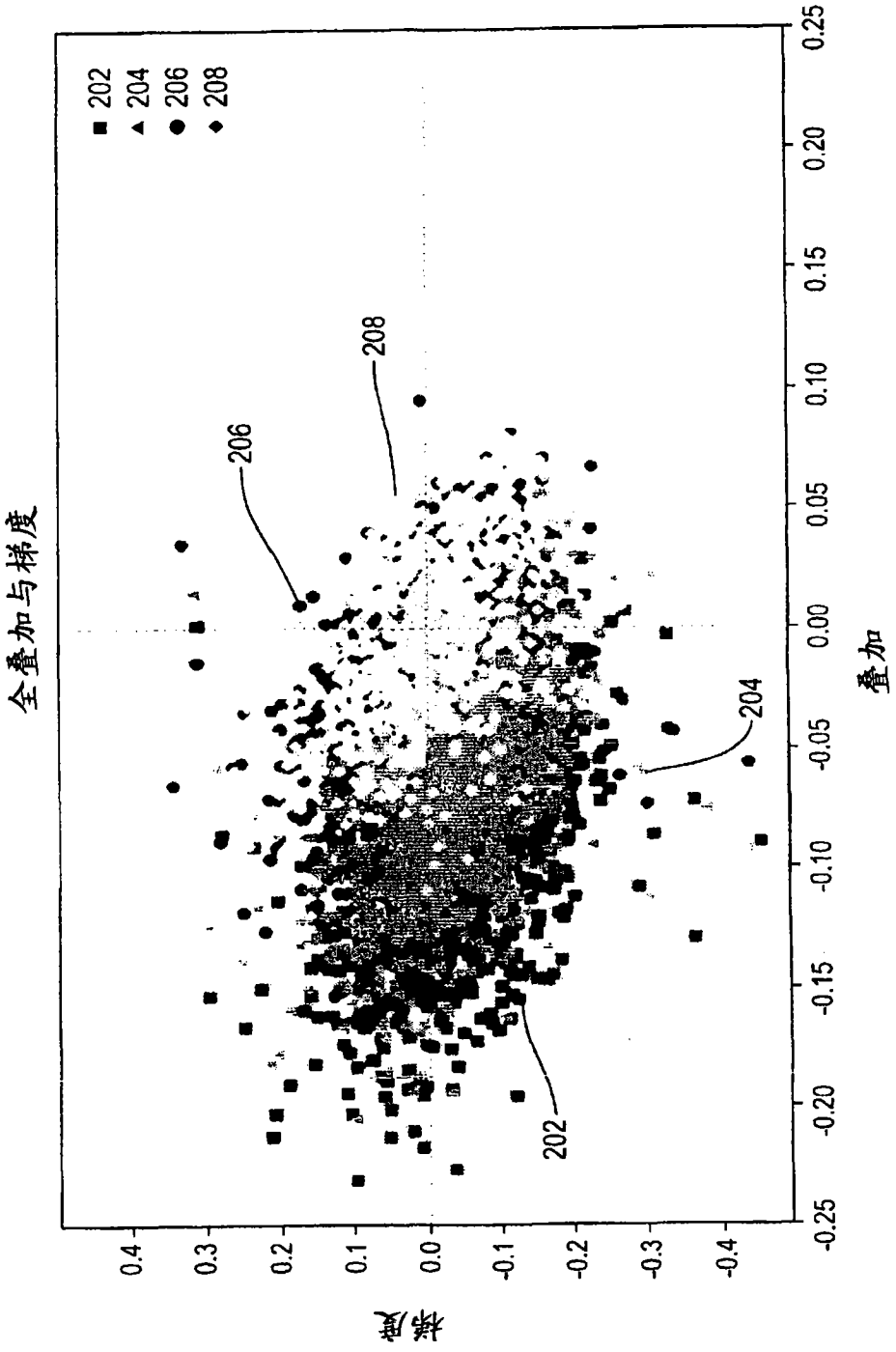

202
204
206
208
全叠加与梯度
梯度
叠加
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
-0.05
-0.10
-0.15
-0.20
-0.25

图 6A

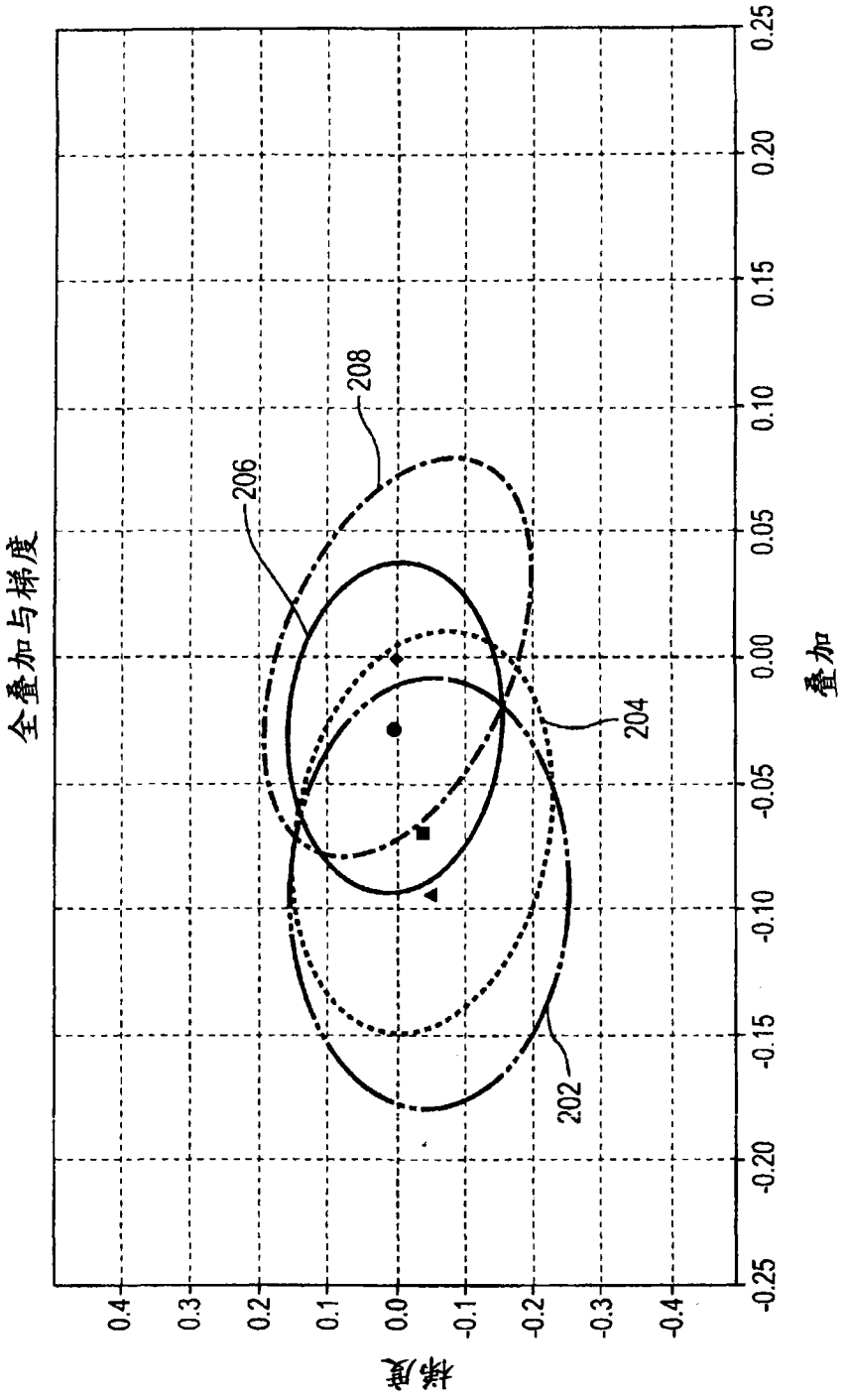

全叠加与梯度
梯度
叠加
208
206
204
202
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
-0.05
-0.10
-0.15
-0.20
-0.25

图 6B