



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103733089 B

(45)授权公告日 2016.10.12

(21)申请号 201280039667.1

(22)申请日 2012.04.18

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103733089 A

(43)申请公布日 2014.04.16

(30)优先权数据
13/210,269 2011.08.15 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.02.14

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2012/034057 2012.04.18

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/025266 EN 2013.02.21

(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 P·S·舒尔茨 C·J·霍尔汀

(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.

G01V 1/28(2006.01)

G01V 1/30(2006.01)

G06F 19/00(2011.01)

审查员 王叶

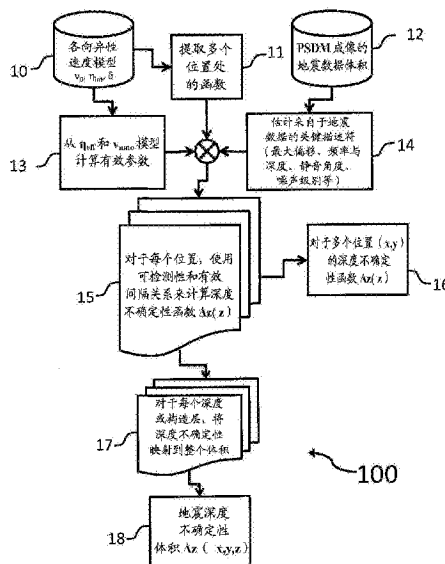
权利要求书1页 说明书7页 附图8页

(54)发明名称

用于包括不确定性估计的地下表征的系统和方法

(57)摘要

公开了一种用于进行包括深度和结构非确定性估计的地下表征的系统和方法。在一个实施例中,该方法可以包括基于地震数据确定用于在地震数据道集中的时差的可检测性阈值并且计算深度不确定性函数,其中深度不确定性函数表示用于分析地震数据的解释的误差估计。在另一个实施例中,该方法可以包括从地震数据中接收深度不确定性体积和至少一个解释的地层,对于解释的地层的每一个基于深度不确定性体积提取深度不确定性笼,以及对于解释地层的每一个模拟由深度不确定性笼约束的多种实现。多种实现可以用于分析至少一个解释的地层的几何或结构性质的改变。改变可以被绘制为至少一个分布并且可以用来进行P10、P50和P90估计。



1. 一种用于根据地震数据进行地下表征的计算机执行的方法,所述方法包括:
 - a. 在计算机处理器处从地震数据中接收深度不确定性体积和至少一个解释的地层;
 - b. 对于所述至少一个解释的地层的每一个,基于深度不确定性体积提取深度不确定性笼;
 - c. 对于所述至少一个解释的地层的每一个,模拟由深度不确定性笼约束的多种实现;以及
 - d. 对于所述至少一个解释的地层的几何或结构性质的改变,分析多种实现。
2. 如权利要求1所述的方法,还包括:将多种实现的改变绘制为至少一个分布。
3. 如权利要求2所述的方法,还包括:基于至少一个分布做出P10、P50和P90估计中的任何一个。
4. 一种用于根据地震数据进行地下表征的系统,所述系统包括:
 - a. 数据源,包含表示地震数据、深度不确定性体积和从深度不确定性体积提取的深度不确定性笼的数据;
 - b. 至少一个计算机处理器,被配置为与数据源通信并执行结构不确定性模块,所述结构不确定性模块用于基于深度不确定性体积产生地震数据中的至少一个解释的地层的多种实现,并且对于所述至少一个解释的地层的几何或结构性质的改变,分析所述多种实现;以及
 - c. 用户界面。

用于包括不确定性估计的地下表征的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明一般涉及利用地震数据对地下地层表征的方法和系统,并且具体地涉及用于基于各向异性的地震速度模型估计解释的地下的深度或结构的不确定性的地下表征的方法和系统。

背景技术

[0002] 油气前景评估和油气田开发需要地下特征的准确表征。通过地下结构的地震采集一般产生时域数据,其然后被迁移到例如深度图像数据。迁移过程必然包括关于弹性波通过地下材料和结构的传播速度的某些假设。此外,一般在地质地层中存在一定程度的各向异性。也就是说,尽管可以利用井数据确定垂直速度,但是利用多偏移地震勘探技术估计的速度将一定与测量的垂直速度略有不同。最后,因为基于测量或估计的关于各向异性的速度和程度的假设可能是不正确的,所以在结果的深度图像中都有某些固有的不确定性,成像的事件的深度和事件的构造解释二者的不确定性。

[0003] 从地球物理测量中获得的地下模型是固有地不唯一的。地球物理测量在分辨力方面是有限的,并且涉及尺度的许多数量级。测量的不确定性来自于各种源,包括信噪比、数据获取参数选择、处理算法、或上述的速度和各向异性参数选择。因此在估计模型结果时理解不确定性的程度是重要的。也就是说,重要的是在关于影响不确定性的速度、各向异性或其它因素的假设下定量理解模型对给定变化或一组变化敏感到何种程度。对不确定性和可能表征的范围的理解允许数据解释者做出关于储量估计、井位和计数、开发情况、二次恢复策略和最终影响恢复和项目经济性的其它因素的商业决策。

发明内容

[0004] 这里描述的是用于计算机执行的用于根据地震数据进行地下表征的方法的各种方式的实施方式。在一个实施例中,所述方法可以包括从各向异性地震速度模型、至少一个速度函数、和来自于地震数据的关键描述符中接收有效参数和性质;基于地震数据确定用于在地震数据道集(gather)中时差(moveout)的可检测性阈值;以及基于所述可检测性阈值、有效参数和性质、和至少一个速度函数计算深度不确定性函数,其中深度不确定性函数表示用于分析地震数据的解释的误差估计。

[0005] 在另一个实施例中,所述计算机执行的方法可以包括接收来自于地震数据的深度不确定性体积和至少一个解释的地层;基于深度不确定性体积提取用于至少一个解释的地层的每一个的深度不确定性笼;以及模拟由深度不确定性笼约束的用于至少一个解释的地层的每一个的多个实现。多个实现可以被用于分析至少一个解释的地层的几何或结构性质的变化。变化可以被绘制为至少一个分布并且可以用来做出P10、P50和P90估计。

[0006] 附加实施例包括被配置为执行这里描述的方法的系统 and 制品。

[0007] 提供以上概要部分以引入在下面详细描述部分进一步描述的简化形式的构思选择。概要不被预期标识要求保护的的主题的关键特点或基本特征,也不意指用于限制要求保

护的主题的范围。此外,要求保护的主体不局限于解决在此公开的任何部分表明的任何或全部缺点的实施方式。

附图说明

[0008] 参考以下说明书、权利要求书和附图,本发明的这些及其它特征将变得更好理解,其中:

[0009] 图1是示出了根据本发明的实施例的方法的流程图;

[0010] 图2是示出了根据本发明的实施例的用于使用可检测性的方法的流程图;

[0011] 图3示出了由根据本发明的方法计算的示范性时差曲线;

[0012] 图4示出了包括由根据本发明的方法计算的小波厚度的示范性时差曲线;

[0013] 图5示出了由根据本发明的方法计算的示范性速度曲线;

[0014] 图6示出了由根据本发明的方法计算的示范性深度不确定性曲线;

[0015] 图7是示出了根据本发明的实施例的方法的流程图;以及

[0016] 图8示意地示出了用于执行根据本发明的实施例的方法的系统。

具体实施方式

[0017] 可以在被计算机运行的系统和计算机方法的一般上下文中描述并执行本发明。此类计算机可执行指令可以包括程序、例程、对象、组件、数据结构、和可以用于执行特定任务并处理抽象数据类型的计算机软件技术。本发明的软件实施方式可以以用于各种计算平台和环境中的应用的不同语言编码。应当理解,本发明的范围和基本原理不局限于此任何特定计算机软件技术。

[0018] 此外,本领域技术人员将理解,可以利用硬件和软件配置的任何一个或组合实践本发明,包括但不限于具有单个和/或多处理器的计算机、手持设备、可编程的消费电子设备、微型计算机、大型计算机等等的系统。也可以在分布式计算环境中实践本发明,其中由经由一个或多个数据通信网络链接的服务器或其它处理设备执行任务。在分布式计算环境中,程序模块可以位于本地和包括存储装置设备的远程计算机存储介质中。本发明也可以被实践为井下传感器或测量设备的一部分或实验室测量设备的一部分。

[0019] 同时,诸如CD、预先记录的盘或其它等效设备之类的利用计算机处理器使用的制品可以包括记录在其上用于指导计算机处理器便于本发明的实施和实践的计算机程序存储介质和程序装置。此类设备和制品也涵盖在本发明的精神和范围之内。

[0020] 现在参考附图,将描述本发明的实施例。可以以许多方式执行本发明,例如包括作为系统(包括计算机处理系统)、方法(包括计算机执行的方法)、装置、计算机可读媒介、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。下面讨论本发明的若干实施例。附图仅仅示出了本发明的典型的实施例并且因此不认为限制它的范围和广度。

[0021] 本发明涉及通过基于非均匀和/或各向异性速度模型的不确定性估计深度或结构的不确定性来利用地震数据表征地下。为了此说明书的目的,术语速度具体是指声波能量或p波的传播速度。但是,本分析可以同等效力地被应用于横波能量或s波。在此文献中,各向异性速度是指各向异性和非均匀性。各向异性速度模型的不确定性来源于基于到达时间

与源-接收器偏移或角度的曲率(通常叫时差)中的小扰动的可检测性的速度分辨率的限制。

[0022] 将时域中的获取的地震数据变换或迁移到深度域中的处理使用速度模型。通常,在地震勘探中每组类似的源-接收器偏移轨迹被一起迁移。不同的源-接收器偏移的组能因此被再分类以显示迁移的地震数据中的每个输出位置处的源-接收器偏移轨迹的连续体。在估计用在迁移中的速度模型中,可以应用于验证结果模型是准确的一个因素是平坦道集(gather)的存在。也就是说,由于特定地震反射面的响应被在相同的地震轨迹地点处跨全部源-接收器偏移在相同的深度处指示,从而指示没有时差。应当注意,这里描述的方法不局限于偏移域共同图像道集,但是可以在地下角和地下角加上方位角道集、偏移域加上方位角、和其它道集方法方面得到应用。

[0023] 由于理想的速度模型将产生平坦道集,因此一般假定平坦道集暗示各向异性速度模型是正确的。但是,实际上平坦道集的产生不一定暗示模型是完美的,因为有可能由于数据固有的噪声、有限的源-接收器偏移范围、和地震小波的宽度,时差干扰是不可检测的。换句话说,平坦道集对于准确的速度模型是必要但不充分条件。此外,对于给定数据集,很可能存在全部产生显然平坦道集但是也将产生用于地下结构的不同实现的不同的速度模型。导致的结构的差异可以是以致烃类储层似乎是或大或小并且用于选择的井位的目标间隔可以在深度方面不同。两个因素都可以产生井位和钻头深度的不适当的选择,影响储层的最终生产力和经济价值。

[0024] 以上的讨论暗示利用叠前深度偏移算法处理地震数据。但是,本领域有经验的人员将意识到也可以利用叠后深度偏移算法处理地震数据。虽然叠后深度偏移已知不如叠前深度偏移准确,但是可以利用任一类型算法采用此发明的某些特征。在此发明中叠后深度偏移算法的使用排除迁移的偏移(或方位角)与深度道集的分析;但是,存在诸如图像相干性之类的其它方法判断可接受的解的范围以便实践此发明。

[0025] 为了完全表征用于所考虑的给定地下体的速度场,速度数据可能需要在各个方向是已知的。使用的通常术语包括指示垂直速度(在地球中垂直的地震波速)的 v_v 、指示在地球中行进的地震能量的接近偏移时差速度的 V_{nmo} 、表示地球中的地震能量的水平速度与 V_{nmo} 之间的差的 η 、表示地球中的地震能量的垂直速度与 V_{nmo} 之间的差的 δ 、以及表示地球中的地震能量的垂直和水平速度之间的差的 ϵ 。表示各向异性的参数 η 、 δ 、和 ϵ 为本领域技术人员所知。此外,本领域有经验的人员将理解,如果地球中速度的对称轴不垂直,而是以任意倾角和走向角倾斜,则沿着对称轴的速度可以被上述说明书的垂直速度代替。垂直于对称轴的速度然后将被上述说明书的水平速度代替。

[0026] 图1是示出了使用可检测性准则以从地震数据和各向异性速度模型中确定深度不确定性的本发明的方法100的流程图。此实施例可以以例如各向异性速度模型10以及PSDM地震数据体12开始,各向异性速度模型10可以从测井数据、井核数据、地震数据或一些其它数据中获得,PSDM地震数据体12可以由波方程法、Kirchhoff型方法、或一些其它的迁移方法迁移。地震数据也可以是叠后偏移数据并可以是2D或3D。

[0027] 利用各向异性速度模型,本发明的此实施例在步骤11处在多个空间位置处提取函数,其中位置通常在2D情况中用 x 或在3D情况中用 (x, y) 识别。可以提取的函数是例如 v_v (垂直速度)、 η_{int} (间隔 η)、以及 δ 的深度函数, δ 也是间隔函数。本领域技术人员将理解,这些函

数也可以以其他方式获得,诸如从区域地质模型,并且它们也可以是恒定值,即对于全部深度具有相同的值。

[0028] 各向异性速度模型也可以用于在步骤13处计算所谓的有效参数和性质。这些参数和性质可以包括作为有效的 η 的 η_{eff} 、作为间隔NMO速度的 V_{nmo} 、以及作为有效NMO速度的 V_{nmo} 。所有三个这些参数可以在三维中变化。

[0029] 参数 η_{eff} 和 V_{nmo} 将给定地震事件的时差描述为覆盖层的复合效果,并且可以被写为形成:

$$[0030] \quad t_h^2 = t_0^2 + \frac{X^2}{V_{\text{nmo}}^2} - \frac{2\eta_{\text{eff}}X^4}{V_{\text{nmo}}^2[t_0^2V_{\text{nmo}}^2 + (1+2\eta_{\text{eff}})X^2]} \quad \text{等式1}$$

[0031] 其中 t_0 是零偏移截距时间, X 是偏移,以及 t_h 是在该偏移处的到达时间。此公式可以被称为各向异性时差方程。本领域技术人员将理解,可以确定角度道集类似关系。

[0032] 有效时差速度 V_{nmo} 、间隔时差速度 V_{nmo} 、和垂直间隔 v_0 被关联为:

$$[0033] \quad v_{\text{nmo}}^2(t_2) = \frac{t_2V_{\text{nmo}}^2(t_2) - t_1V_{\text{nmo}}^2(t_1)}{t_2 - t_1} \quad \text{等式2}$$

$$[0034] \quad v_{\text{nmo}} = v_0\sqrt{1 + 2\delta} \quad \text{等式3}$$

[0035] 再次参考图1,在步骤14处地震数据用于估计关键描述符。这些关键描述符是可以由本领域技术人员容易地估计或确定的地震数据的特性。它们可以包括例如最小和最大偏移、角度静音、在浅深度和在最大深度处的数据中的最高可使用频率、最大深度、和信号相对于噪声的一般级别。一旦确定这些关键描述符,地震数据对方法100的其余部分是不需要的。

[0036] 参数和性质被从步骤11、13、和14传递到步骤15,其计算对于每个空间位置的深度不确定性函数 $\Delta z(z)$ 。此计算使用可检测性的构思,其是测量不平坦时差是否是可检测的度量。可检测性计算产生边界速度和 η 曲线($V_{\text{nmoL0}}, \eta_{\text{effL0}}$) and ($V_{\text{nmoHI}}, \eta_{\text{effHI}}$)。在图3和4中可以看到在单个位置(x, y)处生成的时差曲线和由此边界速度和 η 曲线的到达时间 t_0 的示例,其中图3中的曲线30示出如同完全平坦的准确时差,曲线32示出在可检测性的低(L0)端处的时差,以及曲线34示出在可检测性的高(HI)端处的时差。图4示出相同的曲线40、42、和44,但是也具有加厚的曲线44以表示半小波厚度 $\lambda/2$,其有助于示出为什么难以检测落入由可检测性准则计算的边界之内的非平坦时差。在图5中可以看到在时间上限制 V_{nmo} 曲线的示例,其中曲线54表示产生诸如图3中曲线30之类的平坦时差曲线的有效 V_{nmo} ,曲线50表示将产生诸如图3中的曲线34之类的时差曲线的 V_{nmoHI} ,以及曲线52表示将产生诸如图3中的曲线32之类的时差曲线的 V_{nmoL0} 。

[0037] 再次参考图1,步骤15将使用边界速度和 η 曲线来计算深度不确定性函数 $\Delta z(z)$ 。为此,由边界曲线表示的有效性质可以首先被转换为间隔性质。此处理可以被描述为:

$$[0038] \quad v_{\text{nmo}} = f(V_{\text{nmo}}), \eta_{\text{int}} = g(v_{\text{nmo}}, \eta_{\text{eff}}), \text{ and } \delta = e(\eta_{\text{int}}) \quad \text{等式4}$$

[0039] 其中 f 、 g 、和 e 是将有效性质转换成间隔性质的函数。

[0040] 对于函数 f ,一个选择是使用等式2的稳定形式,其是从有效时差速度 V_{nmo} 转变成间隔时差速度 V_{nmo} 所应用的迪克斯方程。此示例不意味着是限制的;其它速度转换法在本发明的范围之内。

[0041] 对于函数 g ,基于在考虑之中的数据集的特性选择若干选项中的一个。这些选项可

以包括使用交会图和曲线拟合以导出特定于当前速度模型的关系g的版本、使用基于从多个速度模型的估计中观察和学习的区域行为以类似于第一选项的方式导出的关系、或通过归纳的类似Dix关系的稳定化:

$$[0042] \quad \eta_{int}(t_0, t_1) = \frac{\left(\frac{\int_0^{t_1} v_{nmo}^2 d\tau}{t_1}\right)^2 (\eta_{eff}(t_1) - \eta_{iso}(t_1)) - \left(\frac{\int_0^{t_0} v_{nmo}^2 d\tau}{t_0}\right)^2 (\eta_{eff}(t_0) - \eta_{iso}(t_0))}{\int_{t_0}^{t_1} v_{nmo}^4 d\tau} \quad \text{等式5}$$

[0043] 其中

$$[0044] \quad \eta_{iso}(t_1) = \frac{1}{8} \left[\frac{t_1 \int_0^{t_1} v_{nmo}^4 d\tau}{\left(\int_0^{t_1} v_{nmo}^2 d\tau\right)^2} - 1 \right] \quad \text{等式6}$$

[0045] 本领域技术人员可以认识到可以用来导出g的其它方法。这些示例并不意味着限制。

[0046] 对于函数e, 经验关系可以用来从 η_{int} 导出 δ 。在井数据不被并入各向异性速度估计问题时, 在实践中通常使用这类关系。这些经验关系之一的具体示例是:

$$[0047] \quad \delta = \frac{\eta_{int}}{3} \quad \text{等式7}$$

[0048] 但是可以基于对地下特定岩层的认识使用其它关系。

[0049] 当已经对可检测性的高低边界计算了 V_{nmo} 和 δ 时, 可以使用等式3计算垂直速度 V_{oL0} 和 V_{oHI} 。注意 V_{oL0} 和 V_{oHI} 是时间 t_0 的函数。深度函数 $Z_{L0}(t_0)$ 和 $Z_{HI}(t_0)$ 可以通过到允许全部边界曲线被从时间转变成深度的在 t_0 内的积分而由 V_{oL0} 和 V_{oHI} 计算。结果的区间深度模型 $Z_{L0}(z)$ 和 $Z_{HI}(z)$ 是由输入速度模型计算的深度函数, 而不是如由边界函数计算的深度。

[0050] 一旦计算出 $Z_{L0}(z)$ 和 $Z_{HI}(z)$ 后, 作为深度的函数的深度不确定性 $\Delta z(z)$ 由下列计算:

$$[0051] \quad \Delta z(z) = Z_{HI}(z) - Z_{L0}(z) \quad \text{等式8}$$

[0052] 在方法100的步骤16处, 用于每个空间位置的 $\delta z(z)$ 可以输出到存储设备或显示设备。用于单个位置的 $\delta z(z)$ 的示例可以在图6中的曲线60中看出, 其示出 $Dz(z)/2$, +/- 误差估计。在步骤17处, $\delta z(z)$ 也可以被映射到深度不确定性体积 $\Delta z(x, y, z)$, 其然后在步骤18处输出。深度不确定性体积仅仅从地震数据的分析中给出在体积中任一点处的深度不确定性的估计。深度不确定性体积可以由离散深或通过使用适合的构造层构成。

[0053] 以上分析被描述用于特定的各向异性对称性、VTI媒介。当适合于TTI的等式被替代时, 分析对TTI(“倾斜、横向、各向同性的”)媒介同样有效。在TTI媒介中, 对称轴变得与纵轴不同, 并且有关间隔和有效性质的等式被归纳以适应此区别。

[0054] 图1的步骤15涉及的可检测性计算在图2用方法200解释。此计算对于全部期望的零偏移截距时间 t_0 和多个空间位置的每一个生成边界速度和 η 曲线, (V_{nmoL0} 、 η_{effL0})和(V_{nmoHI} 、 η_{effHI})。在步骤20中, 接收输入。此输入可以包括图1的步骤13中的有效参数、图1的步骤11的速度函数和图1的步骤14的关键描述符。方法200然后从首先期望的、在步骤21设置的 t_0 开始。对于此, 基于地震数据关键描述符中的可用频率信息计算最大可用频率 f_{max} 。这可以基于从对浅速度确定的 f_{max} 和对最大深度确定的 f_{max} 计算的线性趋势进行或可以从作为关键描述符提供的时间或深度上的 f_{max} 函数中选择。步骤21也计算在这此 t_0 处角度静音内的 X_{max} 最大偏移或可以将 X_{max} 从关键描述符设置到最大偏移。如果图1的步骤13没有计算用于此 t_0 的需要的有效参数 η_{eff} 、 V_{nmo} 、和 V_{nmo} , 则它们也可以使用图1的步骤13说明的计算

在步骤21处被计算。

[0055] 再次参考图2,在步骤23处计算可检测性阈值D。此阈值可以基于先验知识或可以基于地震数据的信噪比计算,其是关键描述符、和在步骤22处计算的 f_{\max} 中的一个。例如,阈值可以被设置为 $D=(\tau, \tau/2, \tau/3, \text{或} \tau/4)$ 其中 $\tau=1/f_{\max}$,取决于数据是否分别是强噪声的、有噪声的、正常的、或干净的。

[0056] 在步骤24中,对于此 t_0 计算 V_{nmoL0} 、 η_{effL0} 、 V_{nmoHI} 、和 η_{effHI} 。这可以例如由下列处理进行:

[0057] -对于由关键描述符提供的最小偏移与来自于步骤22的并由速度模型计算的 X_{\max} 之间的每一个偏移,计算基础到达时间 t_{base} ;

[0058] -通过在有效NMO速度 V_{nmo} 的范围(诸如从 $0.7*V_{\text{nmo}}$ - $1.2*V_{\text{nmo}}$ 的范围)和有效 η_{eff} 的范围(诸如从0.0到0.3的范围)内扫描来计算对于每个偏移的测试到达时间 t_{test} 并且使用等式1计算 t_{test} ;

[0059] -计算每个 t_{test} 和 t_{base} 之间的差并且保持最大的负差和正差,分别 Δt_{test}^- 和 Δt_{test}^+ ;

[0060] -如果 Δt_{test}^- 和 Δt_{test}^+ 之间的总差小于可检测性阈值D,则与 t_{test} 相关联的 V_{nmo} 、 η_{eff} 对在不不确定性之内,因为它的剩余时差是不可检测的;

[0061] -当通过扫描过程识别在不不确定性之内的全部 V_{nmo} 、 η_{eff} 对时,得到最小与最大 V_{nmo} 值并且称那些为 V_{nmoL0} 和 V_{nmoHI} 。与那些 V_{nmo} 值成对的 η_{eff} 值将是 η_{effL0} 和 η_{effHI} 。

[0062] 在步骤25处,处理可以移到下一个 t_0 并且重复步骤22-24。一旦达到期望的最大时间,处理可以移到步骤26,其中产生用于所有 t_0 的边界速度和 η 曲线(V_{nmoL0} 、 η_{effL0})和(V_{nmoHI} 、 η_{effHI})以传递以用于图1的步骤15中的进一步计算。

[0063] 如上所述的图2的方法200是本发明的一个方面并且不意欲限制。设置可检测性阈值和计算边界速度和 η 的其它方法落入此方法的范围之内。

[0064] 由图1的方法100产生的深度不确定性体积 $\Delta z(x, y, z)$ 可以直接由地震分析员和解释员使用并且也可以用于确定结构不确定性,如图7中的方法700说明的。此方法使用深度不确定性体积和一个或多个解释的地震层以产生位于深度不确定性边界之内的多个结构实现。这些多个实现可以帮助地下的几何和结构性质的分析。

[0065] 方法700在步骤70处接收 $\Delta z(x, y, z)$ 并且在步骤71处从地震数据接收解释的地层。在步骤72处,对于从对其执行不确定性分析的成像的地震数据体积 $Z_{\text{hzn}}(x, y)$ 中解释的每一个地层 i ,在解释的表面上的每个点处从 $\Delta z(x, y, z)$ 提取深度不确定性,假定为 $\Delta Z_{\text{hzn}}(x, y)$ 。此量可以被称为用于此地层 i 的不确定性的“笼(cage)”,因为它描述地层在安全地保持在不确定性限制之内时可以在深度方面被扭曲的容许限制。

[0066] 在步骤74处,地层被以多种方式在深度方面扭曲以创建地层的唯一实现、或实际版本,每个在它的深度结构方面与最初解释的地层不同,但是保持限制在由以上分析产生的深度不确定性的约束范围内。本领域技术人员将理解,可以以许多方式进行地层的扭曲。一个方法是从用于解释的地层 $Z_{\text{hzn}}(x, y)$ 的不确定性笼, $\Delta Z_{\text{hzn}}(x, y)$ 开始,其中我们丢弃下标 i ,并且理解我们指代第 i 个解释的地层,并且其中对应的分析可以对于另一个解释的地层进行。可以创建适合于此地层的偏差表面 $D(x, y)$,以使得对于每一个位置 (x, y) ,偏差表面由 $|D(x, y)| \leq \Delta Z_{\text{hzn}}(x, y)/2$ 限制,并且其中 $D(x, y)$ 遵循下列规则。偏差表面用于根据关

系 $R_{hzn}(x,y)=Z_{hzn}(x,y)+D(x,y)$ 创建地层表面的可替换实现,其中R是可替换实现。可以数学地创建偏差表面,以便遵循倾斜面,或它可以利用诸如通过模仿覆盖地层的结构走向之类的地质驱动模型来创建。通过生成 $D(x,y)$ 的可替换版本获得多种可替换的实现。利用下标j,我们将第j个实现表示为 $R_{hznj}(x,y)=Z_{hzn}(x,y)+D_j(x,y)$ 。其中这些地层被扭曲以创建唯一实现的方式被迫遵循特定的规则。三个规则的示范性集合列于如下。可以生成其它规则以进一步约束容许的实现集合。

[0067] 每个实现必须描绘用于地质上合理的地层的深度结构。深度结构是否是地质上合理的取决于本领域技术人员将认识的沉积环境和地下的后续地质史。此规则可以充当对于来自于数学地创建的偏差表面的实现的否定标准。它也可以是对于地质上创建的偏差表面的构造约束,例如它模仿覆盖的地层的等厚度线轮廓。

[0068] 在被添加以创建每个新实现的构造特征中的空间变化,例如波动,在复杂性方面必须不超过原始的解释的地层。此规则也可以被陈述为,在地层谱的空间波数的范围内的谱振幅的分布 $A(k_x,k_y)$ 应当在每个实现中类似于原始地层的谱。

[0069] 表面不连续性在原始解释不存在的地方不能被产生,并且在原始解释存在的地方必须被保持。

[0070] 一旦创建地层实现的集合,它们可以在步骤73被输出到数据存储装置、显示设备、和/或进一步处理。例如,它们可以传递到步骤75用于继续分析。

[0071] 继续分析集中于地层的一些特定几何或结构性质的变化,其可以根据每个实现而不同。例如,当执行油气储量计算时,可以为每个实现计算外溢点轮廓之内的容器体积、柱高度、和溢出点轮廓的面积。

[0072] 可以为每个实现计算其它性质。在步骤77处由构造表面的多种实现计算的每个性质可以被图解描绘为分布,根据其,每个性质的P10和P90估计可以在步骤76处产生。这些P10和P90估计也可以被输出到数据存储器和/或显示设备。

[0073] 图8示意地示出了用于执行方法的系统800。系统包括可以包括数据存储装置或计算机存储器等的数据源/存储设备82。设备82可以包含各向异性速度模型、地震数据、与速度模型有关的参数、与地震数据有关的参数、和/或深度不确定性体积。来自设备82的数据可以对诸如可编程的通用计算机之类的处理器84适用。处理器84被配置为运行可以执行深度不确定性方法的处理模块86,可以与可检测性模块85交互。处理器84也可以运行结构不确定性模块87。系统可以包括诸如用户界面88之类的接口组件,并且用于根据本发明的实施例执行以上描述的变换。用户界面88可以被使用以显示数据和处理后的数据产品并且允许用户在执行方法的各种选项当中选择。举例来说并且不限制,在处理器84上计算的深度不确定性体积和/或多种结构实现可以被显示在用户界面88上、存储在数据存储设备或存储器82上、或既显示又存储。

[0074] 尽管在上述说明书中已经相对于它的某些优选实施例描述此发明,并且为了例示已经阐述许多细节,但是本领域技术人员将清楚,本发明易于改变并且在没有脱离本发明的基本原则的情况下,这里描述的某些其它细节可以显著地变化。此外,应当理解,在这里示出或描述的结构特征或方法步骤也可被用于其它实施例。

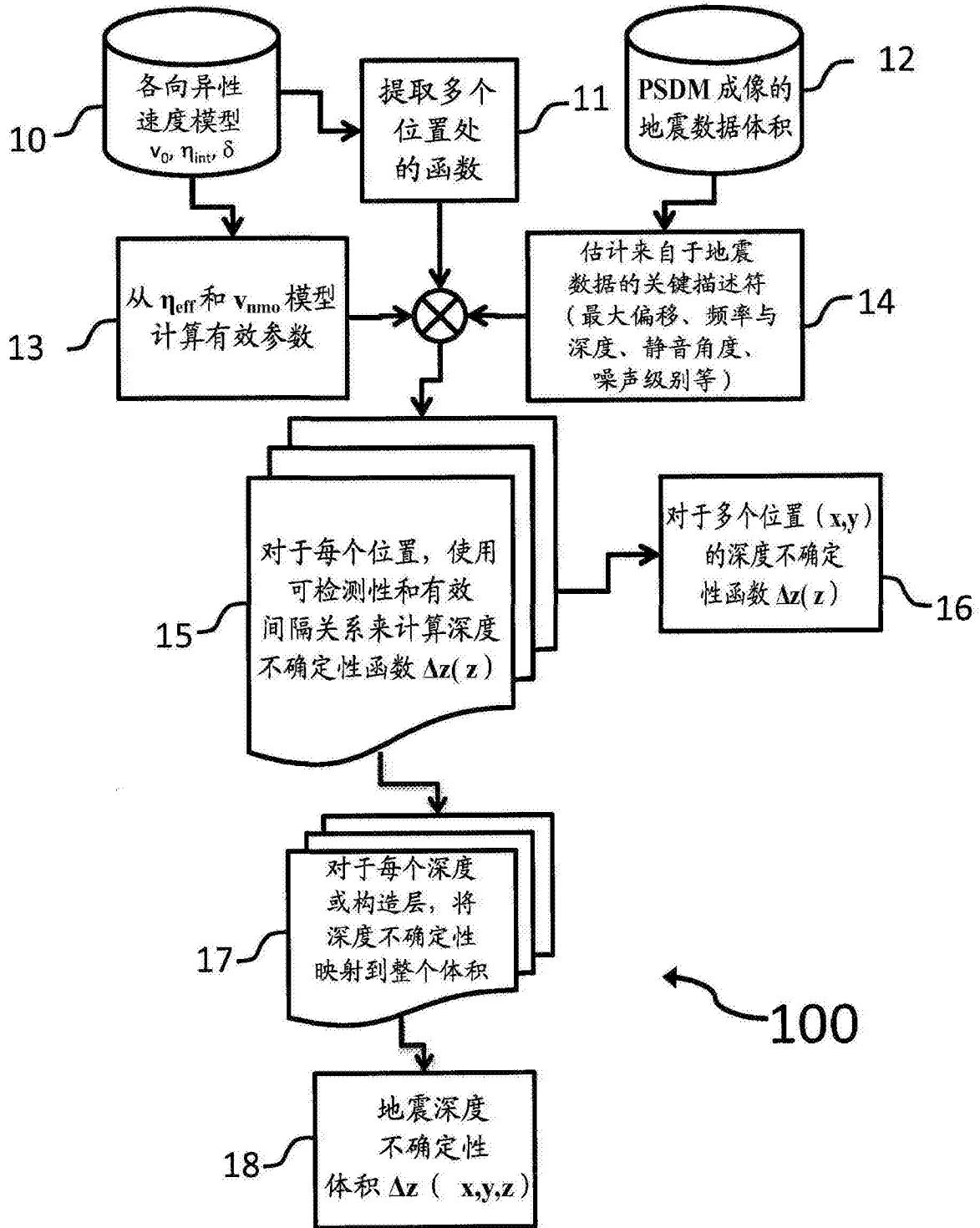


图1

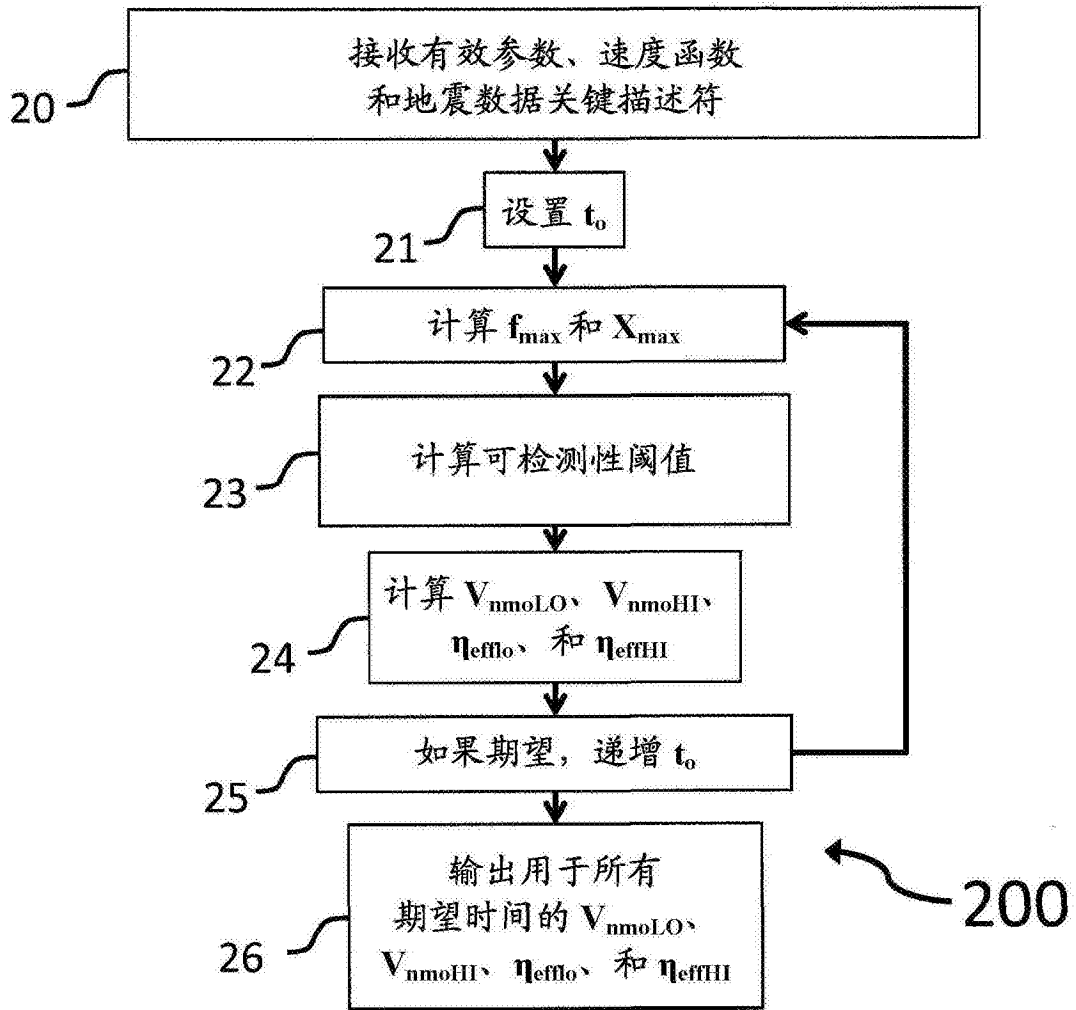


图2

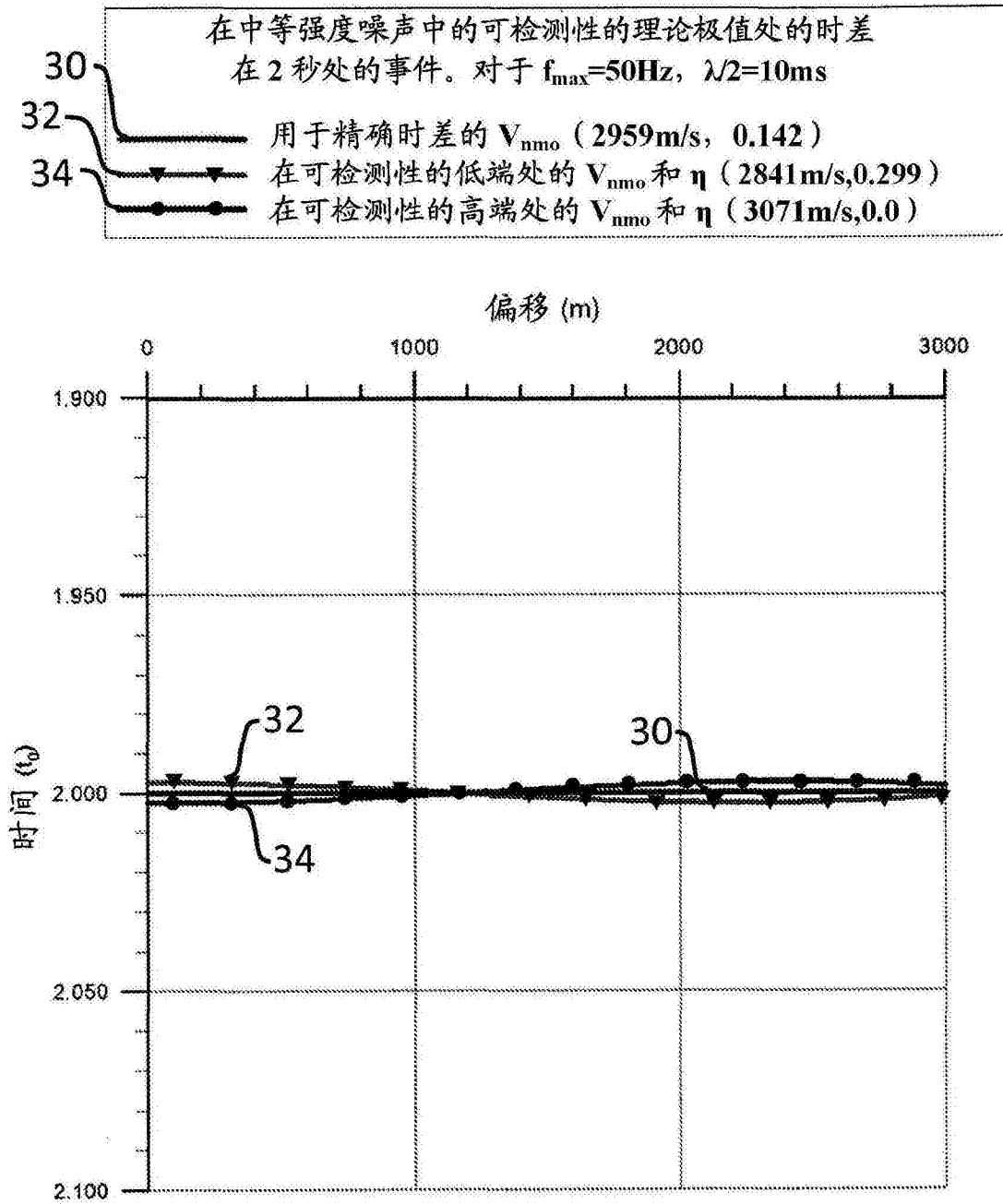


图3

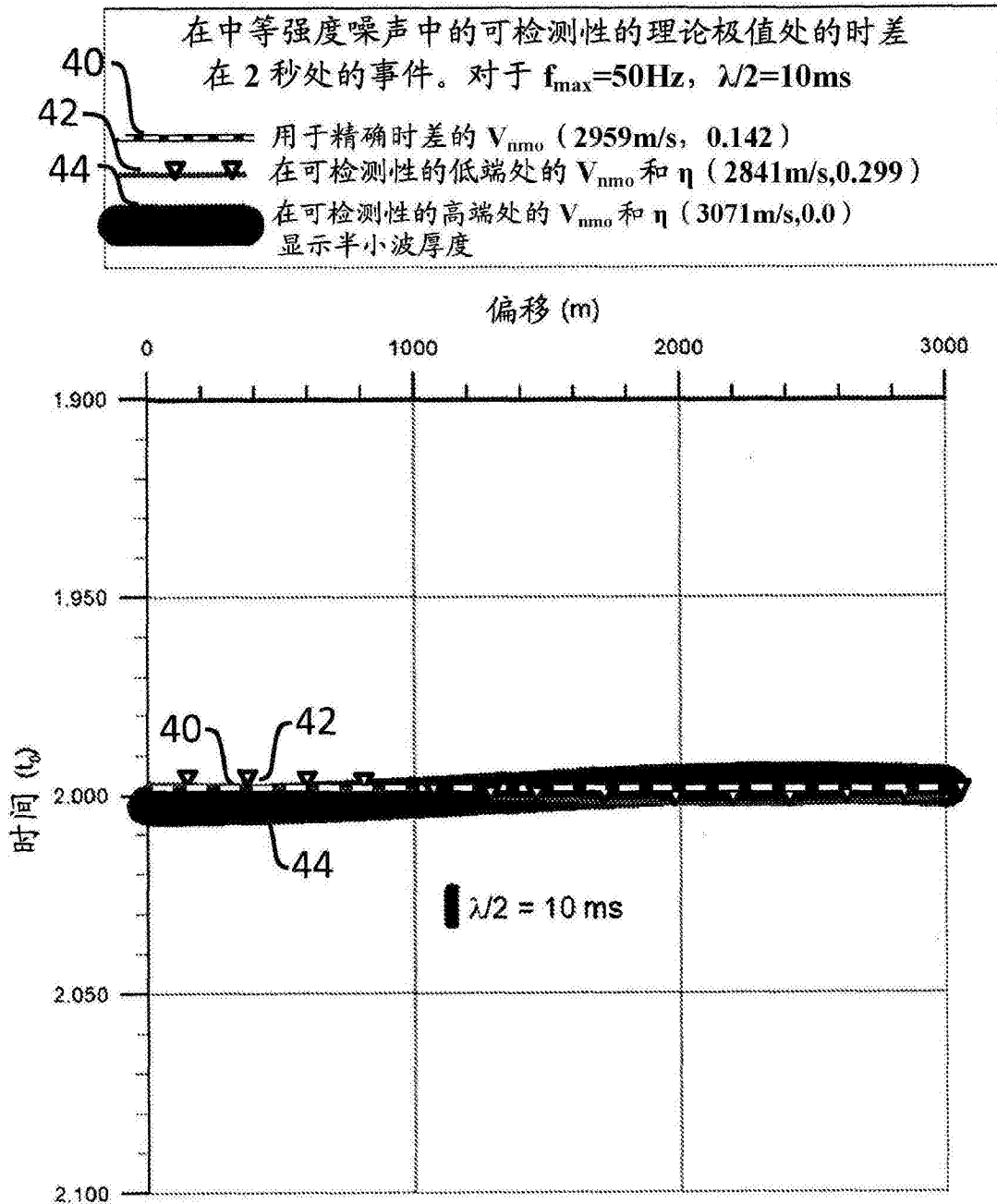


图4

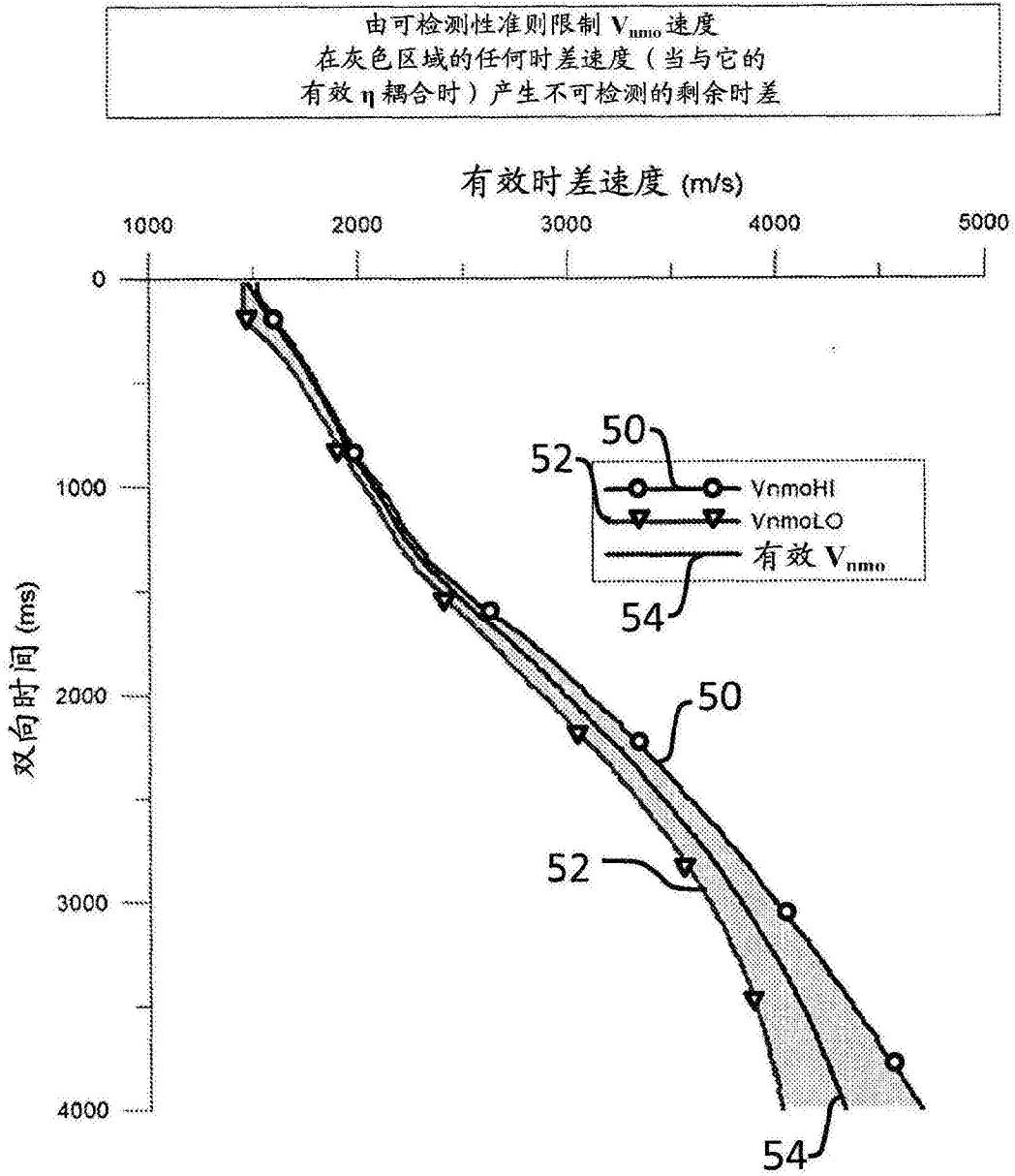


图5

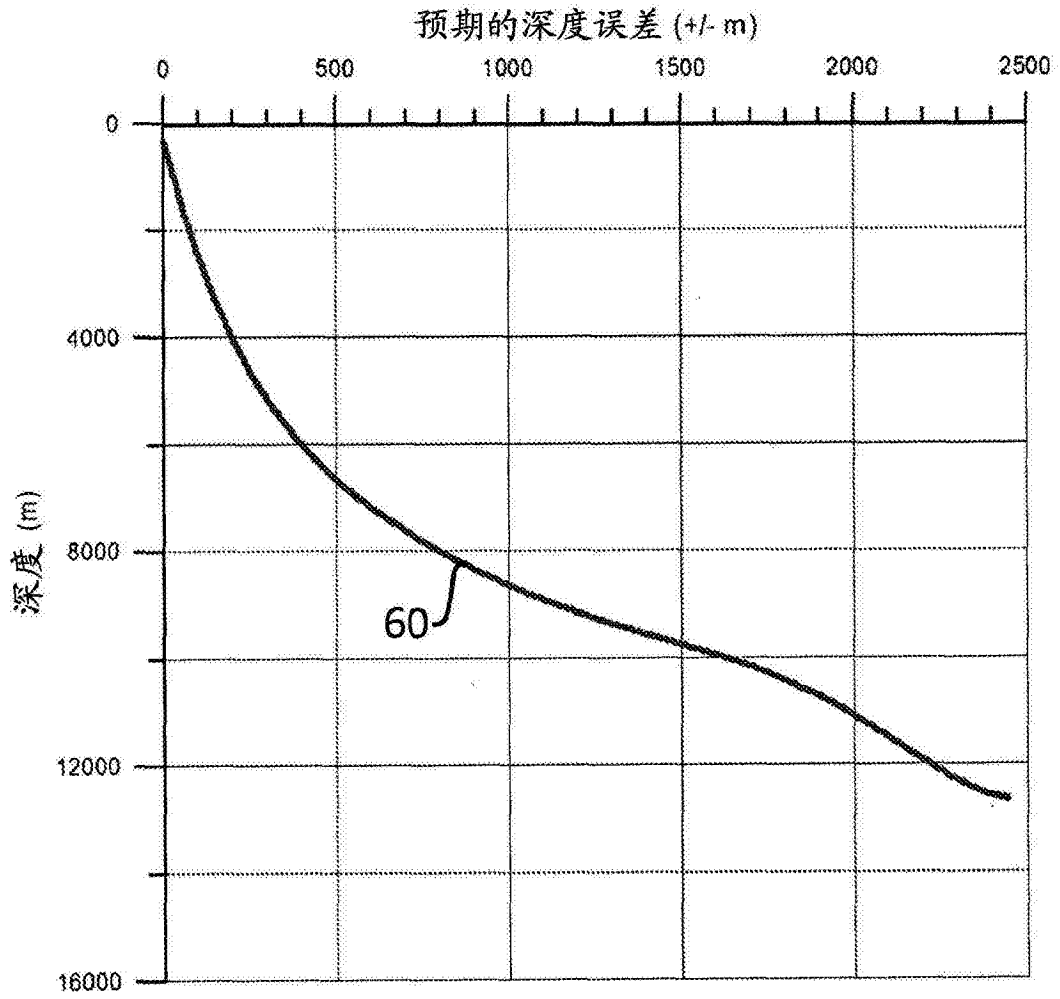


图6

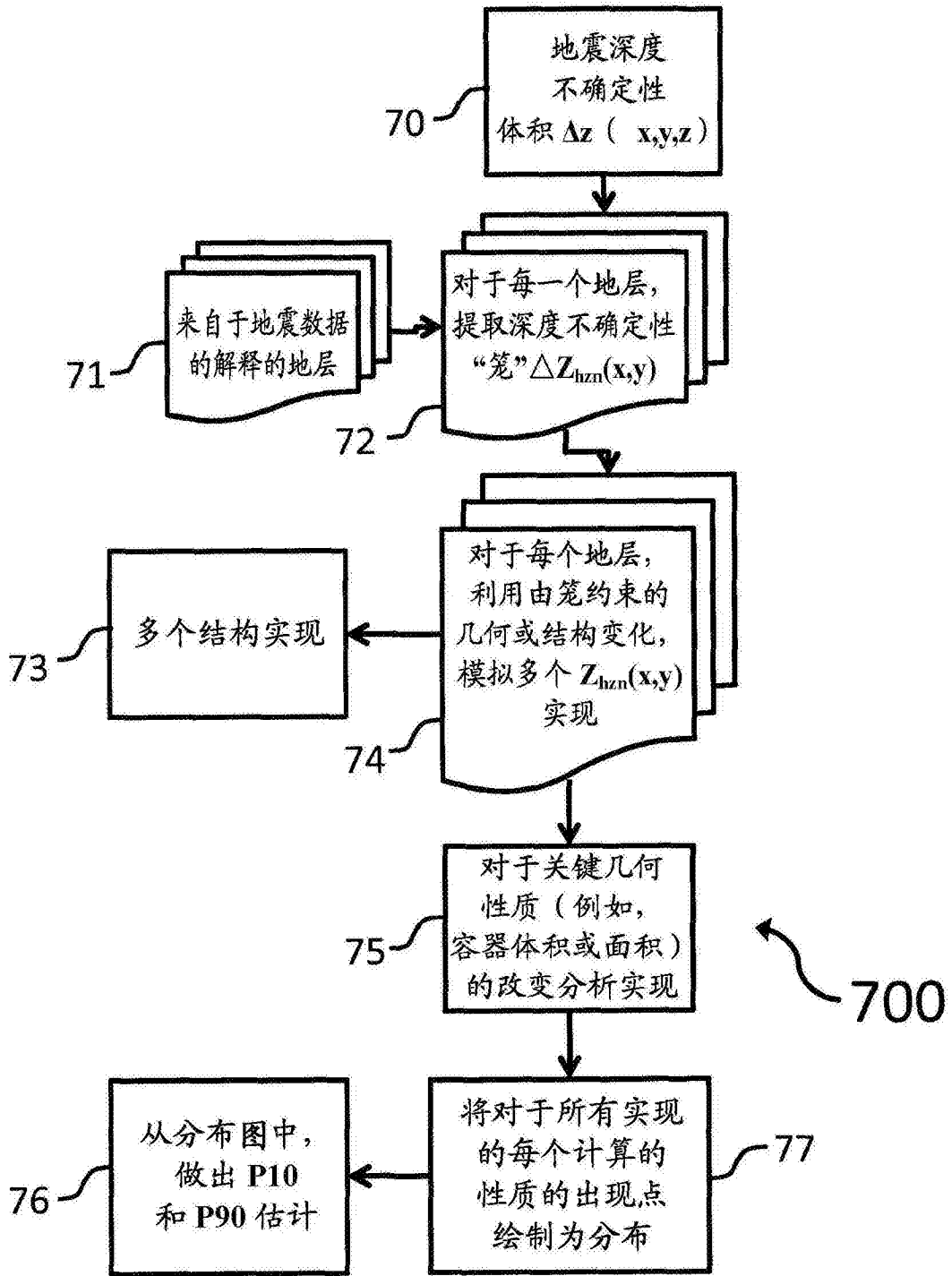


图7

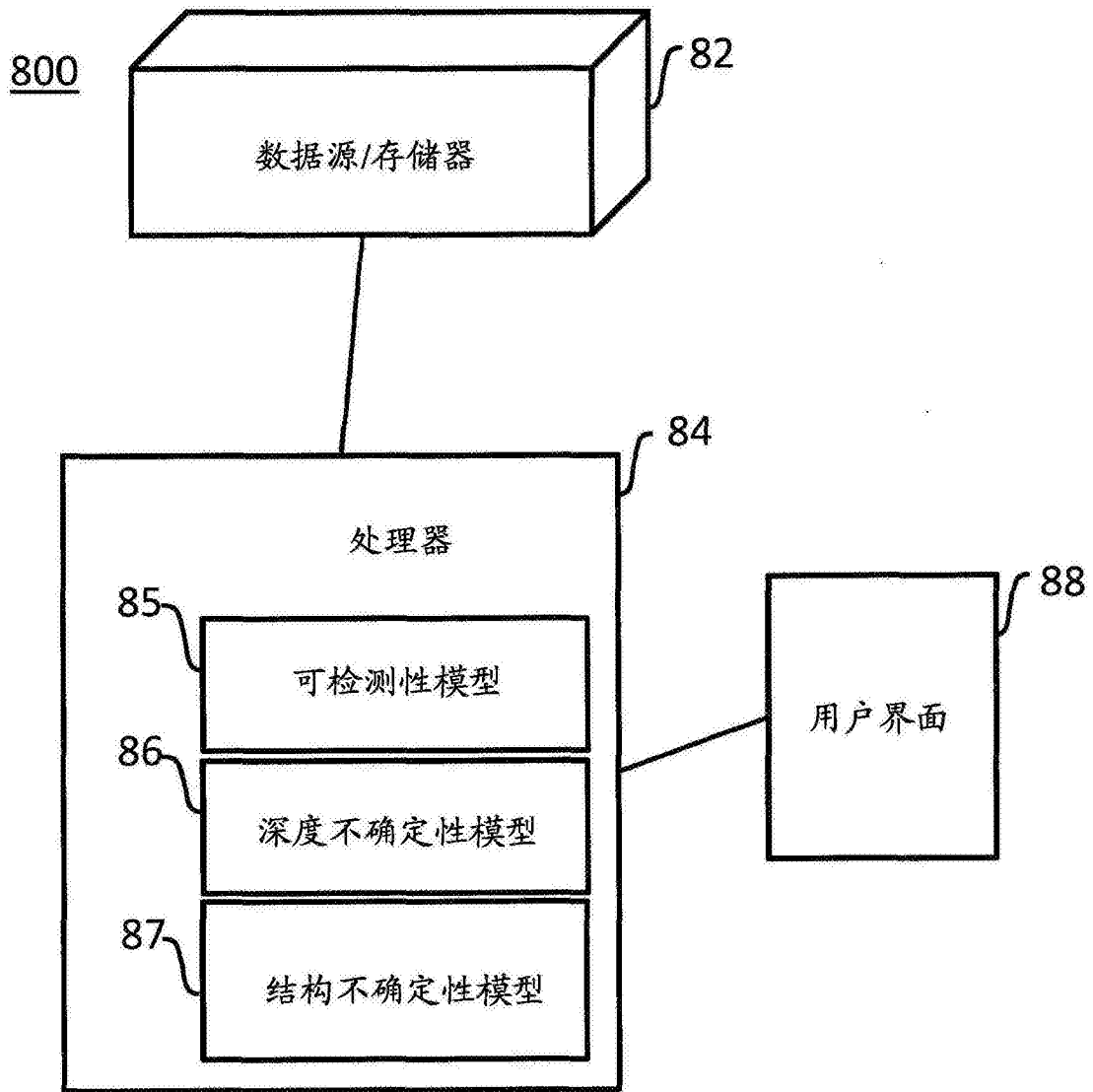


图8