



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101680960 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 18

(21) 申请号 200880020397. 3

(22) 申请日 2008. 06. 12

(30) 优先权数据

11/763, 960 2007. 06. 15 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 12. 15

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/066755 2008. 06. 12

(87) PCT申请的公布数据

W02008/154640 EN 2008. 12. 18

(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 J·沃施伯尔尼 E·F·赫尔肯霍弗

(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 赵冰

(51) Int. Cl.

G01V 1/30 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 5638269 A, 1997. 06. 10, 全文.

US 5798982 A, 1998. 08. 25, 全文.

US 6016462 A, 2000. 01. 18, 全文.

US 6817218 B1, 2004. 11. 16, 全文.

US 2001/0044698 A1, 2001. 11. 22, 全文.

US 6654692 B1, 2003. 11. 25, 全文.

审查员 潘聪

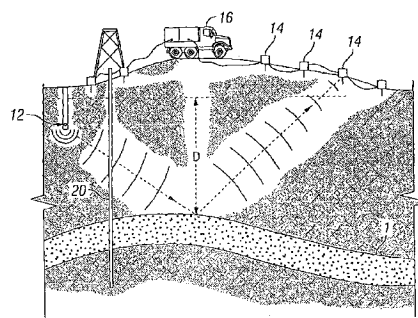
权利要求书 3 页 说明书 20 页 附图 24 页

(54) 发明名称

利用地震与井控制数据的统计比较优化幅值反演

(57) 摘要

一种用于得到增强的地震数据和优化的反演的反射率的方法包括根据对于感兴趣的地下区域的频带限制的井反射率计算统计井特性。通过把不同的地震处理序列应用到对应于感兴趣的地下区域的地震数据而计算经过处理的地震数据集。通过反演经过处理的地震数据集而计算反演的反射率组。根据反演的反射率组计算统计地震特性。统计差值测量结果 (SDM) 是在统计井特性与统计地震特性之间进行计算的。根据计算出的 SDM 选择最佳处理序列。通过处理对应于感兴趣的地下区域的地震数据而得到增强的地震数据。根据计算出的 SDM 得到最佳地震反演算法。使用最佳地震反演算法来反演地震数据, 以产生优化的反演的反射率组。



(现有技术)

1. 一种用于得到增强的地震数据和优化的反演的反射率的方法,该方法包括:
 - (a) 根据对应于感兴趣的地下区域的频带限制的井反射率计算多个统计井特性 SCs_{well} ;
 - (b) 通过把多个不同的地震处理序列应用到对应于感兴趣的地下区域的地震数据集的至少一部分而计算多个经过处理的地震数据集 ;
 - (c) 通过反演多个经过处理的地震数据集而计算多个反演的反射率组 ;
 - (d) 根据多个反演的反射率组计算多个统计地震特性 $SCs_{seismic}$;
 - (e) 计算在统计井特性 SCs_{well} 与多个统计地震特性 $SCs_{seismic}$ 之间的多个统计差值测量结果 SDM ;
 - (f) 根据计算出的统计差值测量结果 SDM 选择最佳地震处理序列 ;
 - (g) 通过利用最佳的地震处理序列来处理对应于感兴趣的地下区域的地震数据而得到增强的地震数据 ;
 - (h) 根据计算出的统计差值测量结果 SDM 选择最佳地震反演算法 ;和
 - (i) 使用最佳地震反演算法来反演地震数据,以产生优化的反演的反射率组。
2. 权利要求 1 的方法,其中不同的地震处理序列包括参数,以及在不同的处理序列之间至少参数的数值是不同的。
3. 权利要求 1 的方法,其中不同的地震处理序列的不同之处至少在于,在每个相应的地震处理序列内的处理步骤的次序不同。
4. 权利要求 1 的方法,其中不同的地震处理序列的不同之处至少在于,在每个相应的地震处理序列内的处理步骤的数目不同。
5. 权利要求 1 的方法,其中在步骤 (f) 中,在优化方案中利用统计差值测量结果 SDM,以预测最佳地震处理序列。
6. 权利要求 1 的方法,其中不使用从记录感兴趣的区域中的钻井所得到的井记录数据而计算频带限制的井反射率。
7. 权利要求 1 的方法,其中步骤 (a) 还包括以下步骤:
 - (i) 获取井记录数据 ;
 - (ii) 用井记录处理参数选择井记录处理算法 ;和
 - (iii) 通过使用井记录处理算法把井记录数据变换成频带限制的井反射率。
8. 权利要求 7 的方法,其中井记录数据是从在感兴趣区域中的钻井、类似地质设置、多个类似的井的平均值和统计模型中的一项获取的。
9. 权利要求 1 的方法,其中步骤 (f) 还包括确定统计差值测量结果 SDM 中的任一个是否在预定的标准内的步骤。
10. 权利要求 1 的方法,其中根据剪切的、压缩的和密度反射率的均方根 RMS 水平与在剪切的、压缩的和密度反射率之间的相关系数计算统计井特性 SCs_{well} 。
11. 权利要求 1 的方法,其中统计差值测量结果 SDM 响应于井反射率的 $S/(S+N)$ 对地震数据反射率的 $S/(S+N)$ 的比率,其中 $S/(S+N)$ 代表信号 / (信号 + 噪声) 。
12. 权利要求 8 的方法,其中统计井特性 SCs_{well} 在 Zoeppritz 反射率公式中被用来计算在幅值对偏移 AVO 集合中地震轨迹的预期的均方根 RMS。
13. 权利要求 1 的方法,其中统计差值测量结果 SDM 反比于井反射率的预期的 $S/(S+N)$

与地震数据反射率的 $S/(S+N)$ 之间的差值,其中 $S/(S+N)$ 代表信号/(信号+噪声)。

14. 一种用于得到增强的地震数据的方法,该方法包括:

- (a) 根据对应于感兴趣的地下区域的频带限制的井反射率计算统计井特性 SCS_{well} 组;
 - (b) 通过把多个不同的地震处理序列应用到对应于感兴趣的地下区域的地震数据集的至少一部分而计算多个经过处理的地震数据集;
 - (c) 通过利用地震反演算法用固定的参数组来反演多个经过处理的地震数据集而计算多个反演的反射率组;
 - (d) 根据多个反演的反射率组计算统计地震特性 $SCS_{seismic}$ 组;
 - (e) 计算在统计井特性 SCS_{well} 与统计地震特性 $SCS_{seismic}$ 之间的多个统计差值测量结果 SDM;
 - (f) 根据计算出的统计差值测量结果 SDM 选择最佳地震处理序列;和
 - (g) 使用最佳的地震处理序列和参数来处理地震数据,以得到增强的地震数据集。
15. 权利要求 14 的方法,其中地震反演算法的固定的参数组包含具有不同数值的参数。

16. 权利要求 14 的方法,其中步骤 (f) 包括:

- (h) 确定统计差值测量结果 SDM 是否在预定的标准内;和
- (i) 利用在步骤 (b) 中的不同的地震处理序列重复步骤 (b)-(f),直至统计差值测量结果 SDM 在预定的标准内为止。

17. 权利要求 16 的方法,其中步骤 (g) 包括:

- (j) 通过利用与处在预定的标准内的统计差值测量结果 SDM 相关联的地震处理序列来处理对应于感兴趣的地下区域的地震数据,得到增强的地震数据。

18. 权利要求 17 的方法,其中固定的参数组的不同之处至少在于,在每个相应的地震处理序列内的处理步骤的次序不同。

19. 权利要求 17 的方法,其中固定的参数组的不同之处至少在于,在每个相应的地震处理序列内的处理步骤的数目不同。

20. 权利要求 17 的方法,其中固定的参数组的不同之处至少在于,在不同的处理序列之间的系数值不同。

21. 一种用于得到优化的反演的反射率的方法,该方法包括:

- (a) 得到对应于感兴趣的地下区域的频带限制的井反射率;
- (b) 根据对应于感兴趣的地下区域的频带限制的井反射率计算多个统计井特性 SCS_{well} ;
- (c) 得到对应于感兴趣的地下区域的经过处理的地震数据;
- (d) 通过利用多个不同的地震反演算法来反演经过处理的地震数据集而计算多个反演的反射率组;
- (e) 根据反演的反射率组计算多个统计地震特性 $SCS_{seismic}$;
- (f) 计算在统计井特性 SCS_{well} 与统计地震特性 $SCS_{seismic}$ 之间的多个统计差值测量结果 SDM;
- (g) 根据计算出的统计差值测量结果 SDM 选择最佳地震反演算法;和
- (h) 使用最佳地震反演算法来反演地震数据,以产生优化的反演的反射率组。

22. 权利要求 21 的方法,还包括以下步骤:

(i) 计算对于反演的反射率的不确定性数值。

利用地震与井控制数据的统计比较优化幅值反演

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及地下构造的地震探测,更具体地,涉及使用井控制数据来改进地震处理和幅值反演的质量。

背景技术

[0002] 在最近 25 年期间,石油和天然气工业寻求从地震数据得到更多的地下特性信息 - 尤其是关于地下孔流、孔隙率、岩相、压力和几何结构的详细信息。这是部分地通过使用地震数据与井记录信息的组合来提高从地震数据估计出的地下特性的精度而完成的。这些努力通过改进的勘探成功率和开发井“最佳钻井位置 (sweet spot)”的选择而得到回报。这个成功在很大程度上是基于相对声阻 (在交界面处密度与压缩速度改变的乘积) 的复原。

[0003] 图 1 显示对其寻找详细地下信息的多个地下构造 10。地下构造 10 可包括一个或多个储层或生产区域。地震探查是通过使用地震声源 12 和接收机 14 在这个感兴趣的地下区域进行的。接收机 14 记录以波前从源 12 行进到地下构造 10 的声波,在地下构造 10 中声波的一部分被反射回接收机 14,并被记录为地震轨迹。记录车 16 常常被用来存储所记录的数据。另外,优选的是,钻井 20 穿过地下构造 10,记录工具在钻井 20 中工作,得到关于地下构造 10 的弹性特性的地下特性信息。

[0004] 图 2 是包括单个源 12 和以 2D 几何关系布置的多个接收机 14 的单个爆破 (shot) 剖面的示意图。该示意图显示射线路径几何关系 (垂直于传播波前),主要 (直接路径) 地震反射能量行进,从源位置到达反射点 22,然后回到接收机位置。显示了作为对于最大源 - 接收机距离的反射角的角度 θ_r 。

[0005] 爆破剖面是对于形成共同中点 (CMP) 集合所需的基局部震探查组成部分,如图 3 所示。在这个图中,显示了对于最接近的源 - 接收机对的反射角 θ_r 。CMP 轨迹集合是一系列爆破剖面轨迹的集合,它们具有不同的爆破到接收机的距离和共同的源或中点位置。如果地质层没有下倾的话,这个位置对应于共同的地下反射点 24。因为地质层常常具有复杂的结构, CMP 集合轨迹通过使用各种不同的成像和噪声抑制技术被处理成共同反射点 (CPR) 轨迹集合。这些集合是被输入到幅值反演算法的轨迹的典型集合。这些集合包含关于主反射强度或幅值如何在公共地质交界面处根据射线路径到达角而改变的信息。对于得到所观察的反射幅值的地下交界特性的反演需要许多到达角轨迹。

[0006] 图 4 描绘了幅值对偏移 (AVO) 主反射信号的卷积模型,图中显示轨迹的主反射信号幅值可能与在地质构造 10 之间的交界面 26 有怎样的关系。来自井记录的数据和从钻井 20 取得的岩芯显示,地质构造的物理特性典型地随不同的构造而不同。通过这些构造传播的声波对于构造的弹性特性,包括压缩速度 v_p 、剪切速度 v_s 、和密度特性 ρ 最敏感,而对它们的吸收特性的敏感程度较低。在两种构造之间的交界面处弹性特性的差别决定了反射的和透射的波前的幅值相对于向下的或到达的波前的幅值的大小。如图 4 所示,反射信号幅值的大小可以用三个弹性反射率或通过交界面的弹性特性的均值归一化的交界面弹性特

性的差值的加权和来近似。对于每个反射率的加权函数是如公式 (1) 描述的反射角的三角函数。

$$[0007] \quad A(\theta) \cong R_0 + G \cdot \sin^2 \theta + R_p \cdot \sin^2 \theta \tan^2 \theta \quad (1)$$

[0008] 其中 $A(\theta)$ = 以角度 θ 反射的幅值

$$[0009] \quad \theta [\text{平均界面角度}] = (\theta_{\text{refl}} + \theta_{\text{refr}}) / 2$$

$$[0010] \quad R_0 [\text{p- 阻抗反射率}] = \Delta v_p / 2v_p + \Delta \rho / 2\rho$$

$$[0011] \quad G [\text{梯度反射率}] = \Delta v_p / 2v_p - K (\Delta \rho / 2\rho + \Delta v_s / v_s)$$

$$[0012] \quad K = (2v_s / v_p)^2; \text{以及}$$

$$[0013] \quad R_p [\text{p- 反射率}] = \Delta v_p / 2v_p$$

[0014] 由许多构造界面构成的地质部分对于传播的地震波前起的作用将像由对于声波在界面之间行进所花费的时间间隔开的一系列反射率。主反射信号响应是通过用传播的小波的拷贝或波前扰动替代每个反射率,并被缩放反射率的幅值和正负号而被计算。表面记录的主响应是所有的时移位的缩放的小波或小波的卷积与界面反射率级数之和。在图 4 的底部的两个箭头表明 AVO 幅值反演的目标是把 AVO 轨迹变换成它们的分量反射率,而 AVO 幅值分析的目标是指生成反演的反射率的、在界面处的地质特性的改变。

[0015] 在钻到地质构造 10 中的钻井 20 中记录的井记录数据可被用来估计地质构造 10 的弹性和吸收特性并随后估计主反射信号幅值,作为全部记录的地震探查响应的一部分。井记录数据可被用来统计地表征预期的反射响应并提供处理质量度量,如下面说明的。

[0016] 对于与角度相关的幅值反演的基础工作是在 1950 年代,在那时 Bortfeld, R., 1961, Approximations to the reflection and transmission coefficients of plane longitudinal and transverse waves, Geophys, Prosp., v. 9, p. 485-502, 描述了对于 Zoeppritz 反射系数公式的线性化表达式。Lindseth, R. O., 1979, Synthetic sonic logs—a process for stratigraphic interpretation: Geophysics, 44, p3-26, 实现了对于阻抗的轨迹幅值的反演。此后不久,由 Ostrander, W. J., 1984, Plane-wave reflection for gas sands at nonnormal angles of incidence: Geophysics, 49, 1637-1648, 实现了定量 AVO 分析。

[0017] 随后,利用定量和定性幅值对偏移 (AVO) 反演来估计地下地质特性。幅值反演包括从通过增加反射角或爆破到接收机偏移而排序的公共地下反射点轨迹集合,预测一个或多个分量反射率 (与已知的小波进行卷积) 造成 AVO 反射响应的过程。

[0018] 图 5 显示在两个媒介 30 和 32 之间的单个界面、对于具有单位幅值到达的到达脉冲小波的反射角 θ_{refl} 和折射角 θ_{refr} 、以及和值与差值弹性特性,它们在确定反射幅值脉冲的强度时是重要的。还显示了媒介 30 具有特性 v_{p1} , v_{s1} 和 ρ_1 , 媒介 32 具有特性 v_{p2} , v_{s2} 和 ρ_2 。

[0019] 表 1 提供了用于确定在界面处反射幅值的因素。

[0020]

表 1: 用于确定在界面处反射幅值的因素

$$\text{界面反射率} = \Delta f(v_s, v_p, \rho) / g(v_s, v_p, \rho)$$

v_p = 媒介质压缩波速度
v_s = 媒介质剪切波速度
ρ = 媒介质密度
$\Delta v_s = v_{s2} - v_{s1}; v_s = (v_{s2} + v_{s1})/2$
$\Delta v_p = v_{p2} - v_{p1}; v_p = (v_{p2} + v_{p1})/2$
$\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1; \rho = (\rho_2 + \rho_1)/2$

[0021] 表 2 提供了通常在 AVO 反演中使用的、对于反射率的定义。应当指出, $\Delta f(\dots)$ 和 $g(\dots)$ 可以是媒介的差分和平均特性的不同的函数。

[0022]

表 2: 在 AVO 幅值反演中使用的反射率的定义		
反射率	符号	定义
p-阻抗	R_0	$\Delta v_p / 2v_p + \rho \Delta / 2\rho = \Delta(\rho v_p) / \rho v_p$
p-速度	R_p	$\Delta v_p / 2v_p$
混合剪切	R_{SH}	$2(v_s / v_p)^2 (\rho \Delta / 2\rho + \Delta v_s / v_s) = \Delta(\rho v_s^2) / (\rho v_p^2)$
梯度	G	$\Delta v_p / 2v_p - (2v_s / v_p)^2 (\rho \Delta / 2\rho + \Delta v_s / v_s) = R_p - 2R_{SH}$
密度	R_ρ	$\Delta \rho / 2\rho$
s-阻抗	R_{SI}	$\Delta v_s / 2v_s + \rho \Delta / 2\rho = \Delta(\rho v_s) / \rho v_s$
s-速度	R_s	$\Delta v_s / 2v_s$

[0023] 图 6 是使用完全 Zoeppritz 平面波反射系数公式 (1) 的、对于单个交界面的典型的 AVO 响应的图。图中显示, 对于典型的地质界面和在小的反射角下, 反射系数近似为常数。在接近 30° 的角度下反射系数典型地消失几个百分点, 以及在接近临界角的角度下, 反射系数接近于 1。对于精确的 Zoeppritz 公式有许多近似。这些近似是从 Zoeppritz 公式的复杂结构和从地震数据获取与处理方法可得到的与角度有关的幅值信息的类型导出的。

[0024] Aki-Richards 公式, 这是平面波 Zoeppritz 公式的线性化版本, 产生对于法线到次临界入射角和对于小的对比的交界面的主反射幅值的完美的近似。它也是作为许多幅值反演算法的基础的公式。根据图 5 中显示的几何关系和弹性媒介参数, 公式可被写为:

[0025]
$$A(\theta) \cong R_0 + G \sin^2 \theta + R_p \sin^2 \theta \tan^2 \theta \quad (1)$$

[0026] 其中 $A(\theta)$ = 以角度 θ 反射的幅值

[0027] θ [平均界面角度] = $(\theta_{\text{refl}} + \theta_{\text{refr}}) / 2$

[0028] R_0 [p-阻抗反射率] = $\Delta v_p / 2v_p + \Delta \rho / 2\rho$

[0029] G [梯度反射率] = $\Delta v_p / 2v_p - K(\Delta \rho / 2\rho + \Delta v_s / v_s); K = (2v_s / v_p)^2$

[0030] $R_p[\text{p- 反射率}] = \Delta V_p / 2V_p$

[0031] 以及 $V_p, V_s, \rho, \Delta V_p, \Delta V_s$ 和 $\Delta \rho$ 是在表 1 中定义的。

[0032] 公式 (1) 表明, 作为地下反射角的函数的 AVO 幅值是反射角的三角函数与三个反射率 R_0, G 和 R_p 的乘积之和。这些反射率又是在地下交界面处的压缩波速度、剪切波速度和密度特性的差值与均值的函数。梯度项 G 是牵涉到三个另外的反射率的和与乘积的特别复杂的反射率。另外, 在公式 (1) 中的角度是在交界面处入射角和折射角的平均值的函数。通常, 公式 (1) 可以通过使用其它三角函数和具有以下的显示的形式反射率来按公式计算:

[0033] 反射率 = $\Delta f(V_s, V_p, \rho) / g(V_s, V_p, \rho)$ (2)

[0034] 测得的幅值可以通过对于三个或更多个源到接收机偏移进行反射幅值测量和从与偏移有关的行进时间精确地测量过度的速度场以便估计反射角而被反演, 产生三个交界面反射率。

[0035] • 反射率模型

[0036]

$$A_i = R_0 + R_1 \sin^2 \phi_i + R_2 \sin^2 \phi_i \tan^2 \phi_i$$

[0037] 其中:

[0038] A_i = 在 ϕ_i 处测得的幅值

[0039] R_0 = 阻抗的改变 ($\Delta V_p, \rho$)

[0040] R_1 = 梯度系数

[0041] R_2 = V_p 的改变

[0042] ϕ_i = 反射角

[0043] • 反射器解

[0044]

$$\begin{bmatrix} R_0 \\ R_1 \\ R_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ANGLE} \\ \text{GEOMETRY} \\ (3 \times 3) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum A_i \\ \sum A_i \sin^2 \phi_i \\ \sum A_i \sin^2 \phi_i \tan^2 \phi_i \end{bmatrix}$$

[0045] 表 3

[0046] 表 3 显示用于幅值反演的非限制的、最小平方方法 (L2 模), 典型地被用来求解用于其幅值和角度通过数据处理方法进行估计的反射的反射率。L2 非限制的方法使得以下形式的误差函数最小化:

[0047] $E^2 = \sum (A_i - (R_0 + R_1 \sin^2 \theta_i + R_2 \sin^2 \theta_i \tan^2 \theta_i))^2$ (3)

[0048] 通过求解:

[0049] $\partial E^2 / \partial R_0 = 0$

[0050] $\partial E^2 / \partial R_1 = 0$

[0051] $\partial E^2 / \partial R_2 = 0$

[0052] 其中: A_i 和 θ_i = 事件幅值和反射角。

[0053] 定量幅值反演的目标是反演的属性的信噪比在小的空间距离上是可与堆叠部分响应的信噪比进行比较的。因为在定量地震幅值反演技术中预测的那些实践是熟知的, 很难单独用公式 (1) 定量地得到有用的幅值反演结果。主要误差源典型地包括由各种噪声和

在大反射角时入射角的不精确估计所影响的幅值。在具有有限的反射角范围和不正确的信号失真效果的有噪声的数据中,未限制的幅值反演将生成反演的反射率,与堆叠部分或 p- 阻抗部分相比,具有非常低的 S/N 比率。

[0054] 为了提高幅值反演结果的 S/N 比率,公式 (3) 通过使用其它误差模 (例如, L1 模) 和补充地震幅值信息的各种不同的约束条件来表示。该约束条件可以是硬约束条件 - 改变反射率公式中的形式或变量的那些,或是软约束条件 - 作为要被最小化的误差函数所包括的附加信息。

[0055] 在 1970 年代使用的 AVO 公式,用于较短的偏移获取几何结构和非幅值保留处理序列,用以下形式的公式对具有偏移的幅值进行建模:

$$[0056] \quad A(X) \cong R_0 + G \cdot X^2 \quad (4)$$

[0057] 其中: X = 爆破到接收机偏移。

[0058] 这个公式使用相对于公式 (1) 的“硬”约束条件,暗示 $\sin^2 \theta \tan^2 \theta$ 项是可忽略的,并且在单个标量常数内恒定和以小的反射角,平方的偏移是对于 $\sin^2 \theta$ 项的良好代理。去除了 NMO 的、非转移的 CMP 集合是对于处理后的幅值的 R_0 和 G 的最小平方拟合的通常的输入。 R_0 和 G 项的时间平均能量或包络差被用作为直接碳氢化合物指示,没有采用其他约束条件数据。

[0059] 以后从测得的速度场通过使用导致下式的直射近似来计算反射角:

$$[0060] \quad A(\theta_{st}) \cong R_0 + G \cdot \sin^2 \theta_{st} \quad (5)$$

[0061] 其中: θ_{st} = 对入射角的直射近似 = $\tan^{-1}(X/(t_0 V_{rms}))$ 。

[0062] 公式 (5) 暗示公式 (1) 的 $\sin^2 \theta \tan^2 \theta$ 项是可忽略的,以及直射角度是对于地下反射角的良好近似 - 当几乎没有速度加速时的良好假设。这个公式的使用也发起用于通过交叉绘制出与它的梯度的事件交截而检测异常事件行为的分析方法。

[0063] 但使用最小硬约束条件假设需要在跨越法线到临界角的角度范围上的幅值信息和在生成在本专利申请中使用的反演例子时使用的公式 (1) 的形式是:

$$[0064] \quad A(\theta) \cong R_0 - 2R_{SH} \cdot \sin^2 \theta + R_P \cdot \tan^2 \theta \quad (6)$$

[0065] 其中: $R_{SH} = \Delta(\rho V_s^2) / \rho V_p^2$

[0066] 为了补偿由于噪声和失真造成的 AVO 数据中的不适应性,关于在岩石压缩速度、剪切速度和密度与 V_p/V_s 项的形式之间的关系的假设通过改变在反射公式中的变量而导致公式 (1) 的反映这些“硬”约束条件的版本。这些硬约束条件包括经验关系,如 $A + BV_p = V_s$, 暗示:

$$[0067] \quad \Delta V_s/V_s = (BV_p/V_s) \Delta V_p/V_p \quad (7)$$

[0068] 其中 A 和 B 是常数。

[0069] Gardner 法则决定速度与密度之间的关系

$$[0070] \quad \rho = C V_p^K \quad (8)$$

[0071] 其中 C 和 K 是常数,被用来表示:

$$[0072] \quad \Delta \rho / \rho = K \Delta V_p / V_p \quad (9)$$

[0073] 当参数 $K = (2V_s/V_p)^2$ 被设置为常数时,公式 (1) 的其它表述可以借助于 p- 阻抗和剪切阻抗反射率结果表示。

[0074] 以数据加权的形式的软约束条件和衰减约束条件也被用于幅值反演,以便考虑到在地震幅值数据中的噪声和失真。加到公式 (3) 的软约束条件导致以下形式的误差函数:

$$\begin{aligned} [0075] \quad E^2 = & \sum W_i (A_i - (R_0 + R_1 \sin^2 \theta_i + R_2 \sin^2 \theta_i \tan^2 \theta_i))^2 + W_{c0} R_0^2 + W_{c1} R_1^2 + W_{c2} R_2^2 \\ [0076] \quad & + W_f f(R_0, R_1, R_2)^2 + \dots \quad (10) \end{aligned}$$

[0077] 其中: W_i = 幅值 A_i 的信噪比估计;

[0078] $W_{c0, c1, c2, f}$ = 加到反射率的衰减因子; 以及

[0079] $f(R_0, R_1, R_2)$ = 用于反射率的和值或差值的衰减因子。

[0080] 与利用公式 (10) 相关联的缺点是建立用于选择权重和衰减因子的标准。理想地, 如果幅值数据没有噪声或失真的话, 衰减权重应当是零, 而幅值权重因子等于 1。因为现场记录的爆破剖面常常是比信号多的噪声, 以及因为爆破剖面信号受到各种失真影响, 下面描述的数据处理的类型是在幅值反演之前非常想要的。

[0081] 地震数据的典型的现场记录爆破剖面包含被获取系统显著歪曲的主反射信号, 穿过地表从爆破点到接收机的传输效果, 和爆破产生的、环境和获取噪声的影响。图 7 是在通过和不通过初始噪声抑制步骤显示的正常移出 (NMO) 校正 (对于声波传播速度的校正) 后实际的爆破剖面图, 在初始噪声抑制步骤中主反射应当呈现为并行平坦放置的相干事件。如图 7 所示, 因为各种附加噪声 (在这种情形下, 地面滚动和倍数) 和将产生非常嘈杂的反演的反射率的信号失真影响, 很难检测真实数据主信号反射。

[0082] 图 8 是描绘会使得传播的地震小波和它的地下反射行为失真的某些重要的因素。影响因素包括地震源强度、源和接收机方向性、耦合、阵列特性和近表面分层、波前扩散或发散损失、非弹性吸收、层间多散射、局部地质倾斜、反射交界面的弯曲、横向地球非均匀性、传输系数损失、记录系统滤波和所要确定的地下反射系数。

[0083] 如下面在表 4 中显示的, 地震数据处理序列的目的是去除来自地震数据的倍数和其他噪声, 以及通过应用各种校正算法到地震探查数据而补偿获取和地球滤波对主反射的影响。某些步骤本身可包含子序列的步骤, 而其它步骤可以在具有不同的参数的序列中重复一次以上, 因为数据的信号和噪声结构变为更明显。

表 4: 处理/反演序列分量	
通用处理步骤	后迁移和预反演幅值调节步骤
获取几何结构分配	预堆成像 crp 集合
初始速度分析	CMP 噪声抑制*
数据规则化	小波频谱均衡*
[0084] 爆破/cmp 噪声抑制*	剩余事件对齐*
信号校正地球/记录	空间幅值平衡
小波均衡/去卷积*	偏移/角度幅值平衡
最后速度分析	角度/偏移选择静音*
CMP 噪声抑制*	幅值反演/不确定性*
预堆叠迁移/速度改善	

[0085] * = 步骤可以使用井记录统计

[0086] 幅值处理序列（在幅值反演之前的处理）的目的是对数据作出各种校正，同时还保留在空间和反射角或偏移方面主反射的相对幅值表现。这个特定的目的也可以定量地阐述为恢复地球平面波的单个标量常数内的幅值，频带限制的地下反射率，以使得在每个交界面处的响应对应于具有已知的相对幅值、相位和定时的小波与局部交界面反射系数的卷积。

[0087] 幅值处理序列可以具有 20 个或更多的步骤，包括在表 4 中列出的那些步骤。表 4 的左面的列包括在产生迁移的 CRP 集合的通用处理序列中典型的步骤，而右面的列列出在后迁移、预反演幅值调节序列中的步骤。重要的通用处理步骤包括几何结构分配、速度分析、数据规则化、在不同的域中噪声抑制的通道、信号失真校正、小波均衡校正、最后速度分析以及迁移或成像步骤。

[0088] 表 4 的右面列是预反演调节序列，它包括用于剩余噪声抑制、剩余事件时序（速度）校正、小波频谱均衡、剩余幅值平衡和部分 CRP 集合的数据角度 / 偏移静音的步骤。在幅值反演之前的预反演调节序列是重要的，因为通用处理序列（表 4 的左面一列）常常不适当地补偿各种获取和地球传输影响。

[0089] 而且，对于表 4 的两个列的处理步骤，用户（典型地，处理地质学家）需要选择用于实施特定的噪声或信号失真校正的每个处理步骤的参数和参数值。所选择的数值可以通过该步骤决定性地改变数据的输出幅值特性。例如，在去卷积步骤中，算子类型的选择（产生间隙或加白）、时间变化的程度、自相关设计门的尺寸、空间平均的程度和去卷积算子的长度可以大大地改变去卷积的数据的特性。来自所有的处理步骤的所选择的参数和参数值的组合将确定最后的幅值反演反射率的质量。

[0090] 最后，来自幅值处理序列的输出数据将针对幅值反演而被优化。在处理序列中的每个步骤和每个参数可以通过在整个数据集中对于步骤和参数值进行全局搜索而被优化。但对于 20 步骤序列，每个步骤具有 3 个参数，每个参数有 10 个可能的数值，数据集必须被

处理 10^{60} 次来搜索参数值空间,这是完全不实际的和开销不能容忍的建议。此外,即使在有可能生成 10^{60} 个输出数据集的情况下,建立用于选择优化的数据集的标准的问题仍旧存在。因此,由于在序列中的步骤的数目、在序列中的步骤的次序、在每个步骤中关键参数的数目、和对于执行各个步骤所需要的计算资源量,常规的实践是测试和选择在数据子集中的参数值,一次一个步骤。有经验的解译者或处理者然后通过检查各种质量控制 (QC) 显示而判断对于该步骤或步骤集合哪些参数值生成最高质量的输出数据。在堆叠部分 (在 CRP 集合中轨迹的和) 中空间相干的程度、在 CMP/CRP 集合中的相干性或经过处理的输出与从井控制得到的理论响应的相似性常常对于在 CRP 集合中的轨迹之间的幅值的小的横向变化非常敏感,因为来自一个步骤的输出影响参数值在后面的步骤中的效果,并且由于典型的 QC 产品不使用来自幅值反演的输出,针对单个处理步骤的参数选择判断可能相对于针对幅值反演的优化数据的顺序目标而表现为次优。

[0091] 图 9 显示在执行包括在表 4 中所包括的那些步骤的各种处理步骤后的单个 CMP 和 CRP 集合。应当指出,S/N 比率和信号 (平坦的事件) 的特性的显著改变作为数据顺序进到所指示的处理步骤。图 10 比较初始 NMO 校正后的爆破剖面与最终的预反演 CRP 集合,显示 S/N 比率、幅值分布和事件的相位特性已显著改变。图 10 动态地指示处理序列对于将被输入到幅值反演的主反射信号的特性有多大的影响。

[0092] 由于在技术上经历的那些是已知的,图 10 的左面的地震数据将生成带有噪声的幅值属性。但即使图 10 的右面显示的数据也可能生成带有噪声的反演的幅值属性。这是因为数据处理可能没有足够地补偿各种剩余获取和地球传输影响。事实上,当未校正时,在由这样的剩余影响引起的事件的相对时序 (速度)、幅值和相位的小的变化可导致反演的属性 (例如,梯度) 的 RMS 水平的 200% 到 400% 的误差。即使在这样的剩余影响是相当大时,它们可能很难用典型的依赖于在 CDP 或 CRP 域中事件连续性的视觉估计的处理 QC 方法来检测。

[0093] 在数据处理后,用户必须选择各种参数,用于幅值反演步骤本身 (例如,衰减参数和数据权重)。反演约束条件参数的选择常常强烈地影响从带有偏移的幅值的差值得出的那些反射率。用户典型地使用两个方法对来自幅值反演的输出进行质量控制:检查反演的反射率的公共深度点 (CDP) 空间相干,或分析反演的反射率与从现有的井控制计算出的反射率相比是如何接近。这些方法的任一项都不指示所选择的反演参数和约束条件是否是最佳的,而且这些标准也不保证在远离井控制的区域中的参数选择是最佳的。实际上,反演的参数常常受到另外的处理、统计分析和“校准”,以便提高它们的信噪比。这样的后反演分析不引入附加的不确定性和误差常常不能补偿不适当的处理。

[0094] 总之,如上所述,在传统的地震处理和幅值反演中有几个缺点。第一个缺点是幅值处理和反演序列因为差的参数选择可能是欠最佳的,这导致处在和远离井控制处反演的反射率的次最佳信噪比。第二个缺点是在井控制和远离井控制处可应用的对于感兴趣的区域的处理和反演参数的选择时缺乏用于 QC (质量控制) 的标准。

[0095] 在当前的幅值反演方法中的第三个缺点是对补充被包含在处理后的地震数据中的信息的各种约束条件的使用。优选地,最佳处理的 CRP 集合的相对幅值表现正比于与角度有关的交界面反射系数,所以需要最小硬或软约束条件信息,以便产生高信噪比 (S/N) 反演的属性。当处理后的地震数据具有差的质量时,反演算法本身必须受到强烈的约束限

制（经由衰减和加权参数），以产生反演的属性的现实数值。随着约束限制的权重增加，反演的属性变为更依赖于约束条件，而不太依赖于处理后的地震数据。这带来问题，即反演结果的精度远离其中不能应用约束条件的位置。

[0096] 本发明解决这些缺点。

发明内容

[0097] 参照图 21，本发明的一方面包括用于得到增强的地震数据和优化的反演的反射率的方法。该方法包括根据对应于感兴趣的地下区域的频带限制的井反射率计算多个统计井特性 (SCs_{well}) 的步骤。通过把多个不同的地震处理序列应用到对应于感兴趣的地下区域的地震数据集的至少一部分而计算多个处理的地震数据集。还通过反演多个经过处理的地震数据集而计算多个反演的反射率组。多个统计地震特性 (SCs_{well}) 是根据多个反演的反射率组计算的。多个统计差值测量结果 (SDM) 是在 SCs_{well} 与多个 $SCs_{seismic}$ 之间进行计算的。根据计算出的 SDM 选择最佳地震处理序列。通过利用最佳的地震处理序列来处理对应于感兴趣的地下区域的地震数据，得到增强的地震数据。然后根据计算出的 SDM 选择最佳地震反演算法。然后使用最佳地震反演算法来反演地震数据，以便通过使用最佳地震反演算法来反演增强的地震数据而产生优化的反演的反射率组。

[0098] 在所述方法中，不同的地震处理序列可包括参数，至少参数的数值在不同的处理序列之间是不同的。在所述方法中，不同的地震处理序列的不同之处至少在于，在每个相应的地震处理序列内的处理步骤的次序是不同的。在所述方法中，不同的地震处理序列的不同之处至少也可以在于，在每个相应的地震处理序列内的处理步骤的数目是不同的。

[0099] 在所述方法中，在优化方案中可以利用统计差值测量结果 (SDM) 来预测最佳地震处理序列。在所述方法中，可以不使用从记录感兴趣区域内的钻井得到的井记录数据而计算频带限制的井反射率。

[0100] 在所述方法中，计算多个统计井特性 (SCs_{well}) 可包括以下步骤：(i) 获取井记录数据；(ii) 用井记录处理参数选择井记录处理算法；和 (iii) 通过使用井记录处理算法把井记录数据转换成频带限制的井反射率。井记录数据可以从在感兴趣区域内的钻井、类似地质设置、多个类似的井的平均值和统计模型之一被获取。

[0101] 在所述方法中，选择最佳地震处理序列的步骤也可包括确定 SDM 中的任一个是否在预定的标准内的步骤。

[0102] 在所述方法中， SCs_{well} 可以根据剪切的、压缩的和密度反射率的 RMS 水平以及在剪切的、压缩的和密度反射率之间的相关系数进行计算。在所述方法中，SDM 响应于井反射率的 $S/(S+N)$ 对地震数据反射率的 $S/(S+N)$ 的比率。统计的井特性也可以在 Zoeppritz 反射率公式中用来，以计算 AVO 集合中地震轨迹的预期的 RMS。

[0103] 在所述方法中，SDM 可以反比于井反射率的预期的 $S/(S+N)$ 比率与地震数据反射率的 $S/(S+N)$ 比率之间的差值。

[0104] 参照图 22，本发明的再一方面是用于得到增强的地震数据的方法，增强的地震数据可被用于优化的反演反射率或其它目的。该方法包括根据对应于感兴趣的地下区域的频带限制的井反射率，计算统计井特性 (SCs_{well}) 组的步骤。通过把多个不同的地震处理序列应用到对应于感兴趣的地下区域的地震数据集的至少一部分而计算多个经过处理的地震

数据集。通过利用地震反演算法用固定的参数组来反演经过处理的地震数据集而计算多个反演的反射率组。统计地震特性 (SCs_{well}) 组是根据反演的反射率组计算的。统计差值测量结果 (SDM) 是在 SCs_{well} 组与多个 $SCs_{seismic}$ 组之间进行计算的。根据计算出的 SDM 选择最佳地震处理序列。地震数据通过使用最佳地震处理序列和参数而被处理,以产生增强的地震数据集。

[0105] 该方法还可包括确定 SDM 是否处在预定的标准内,以及重复利用地震处理序列的固定的参数组的计算和选择步骤,直至 SDM 差值在预定的标准内为止的步骤。该方法还可包括通过利用与处在预定的标准内的 SDM 相关联的地震处理序列来处理对应于感兴趣的地下地震数据而得到增强的地震数据的步骤。地震处理序列可包括参数,并且至少参数的数值在不同的处理序列之间可以是不同的。地震处理序列的不同之处至少可以在于,在每个相应的地震处理序列内的处理步骤的次序是不同的。地震处理序列的不同之处至少也可以在于,在每个相应的地震处理序列内的处理步骤的数目是不同的。

[0106] 本发明的一个目的是提供一种方法,其中数据处理步骤包括次序、参数和参数值被优化,以使得为了从幅值反演得到统计上相关的结果只需要最小附加约束条件信息。

[0107] 另一个目的是提供用于估计幅值处理和幅值反演质量的统计测量结果的方法。

[0108] 参照图 23,本发明的另一方面包括用于得到优化的反演反射率的方法。该方法包括得到对应于感兴趣的地下区域的频带限制的井反射率的步骤。根据井反射率计算多个统计井特性 (SCs_{well})。得到对应于感兴趣的地下区域的经过处理的地震数据。通过利用多个不同的地震反演算法反演经过处理的地震数据集而计算多个反演的反射率组。多个统计地震特性 (SCs_{well}) 是根据多个反演的反射率组计算的。多个统计差值测量结果 (SDM) 是在 SCs_{well} 与统计地质特性 $SCs_{seismic}$ 之间进行计算的。根据计算出的 SDM 选择最佳地震反演算法。地震数据通过使用最佳地震反演算法而被反演,以产生优化反演反射率组。

[0109] 在所述方法中,不同的反演算法可以具有包含不同的数值的参数。该方法还可包括计算对于反演的反射率的不确定性数值的步骤。

附图说明

[0110] 通过以下的说明、待决权利要求和附图,将更好地理解本发明的这些和其它目的、特征与优点,其中:

[0111] 图 1 显示对于其寻求地震信息的地下构造的示意性剖视图;

[0112] 图 2 是显示对于每个轨迹的中点和反射角的爆破剖面轨迹集合;

[0113] 图 3 是显示在中点和反射点之间的关系共同中点 (CMP) 集合;

[0114] 图 4 显示表示幅值反演与幅值分析的目的的幅值对偏移 (AVO) 地震数据的卷积模型;

[0115] 图 5 是显示确定反射幅值的因素的示意图;

[0116] 图 6 显示从法线到临界入射角的反射幅值的典型的变化;

[0117] 图 7 显示在噪声抑制处理步骤之前和之后施加的正常移出 (NMO) 的爆破剖面;

[0118] 图 8 是显示影响地震小波的幅值的各种因素的示意图;

[0119] 图 9 显示处理序列的各种步骤对于地震轨迹的集合的影响;

[0120] 图 10 显示包含噪声和信号失真以及被输入到幅值反演的、输出处理的后成像调

节的数据的输入爆破剖面；

[0121] 图 11 是用于确定从井记录和地震数据得到的统计差值测量结果的实施例的概貌；

[0122] 图 12 是描述在本发明的实施例中为了从井记录数据和地震数据产生优化的地震反射率组和统计差值测量结果 (SDM) 所采取的步骤的流程图；

[0123] 图 13 是显示为了利用优化的统计差值测量结果 (SDM) 产生增强的地震数据所采取的步骤的实施例的流程图；

[0124] 图 14 是显示用于利用统计差值测量结果 (SDM) 将增强的地震数据处理成地震数据集和相关的不确定性值的步骤的流程图；

[0125] 图 15 显示在对于 7 个不同类型的反射率的 4 个不同的井中测量的 RMS 水平的变化；

[0126] 图 16 显示在 7 个不同反射率对之间在 4 个不同的井中测量的相关系数的变化；

[0127] 图 17 显示使用 SDM 选择角度范围参数和选择反演衰减参数的例子；

[0128] 图 18 显示当被优化的衰减常数被用于反射率反演时，在反演的反射率输出中的改进；

[0129] 图 19A 和 19B 比较从未限制的 and 最佳限制的（衰减的）幅值反演得到的梯度部分和 RMS 水平；

[0130] 图 20 显示来自图 19 的未限制的 and 限制的（衰减的）梯度显示的 $S/(S+N)$ 估计。

[0131] 图 21 是描述在本发明的实施例中为了从井记录数据和地震数据产生优化的地震反射率组和统计差值测量结果 (SDM) 所采取的步骤的流程图；

[0132] 图 22 是描述在本发明的另一个实施例中为了从井记录和地震数据产生增强的地震数据和统计差值测量结果 (SDM) 所采取的步骤的流程图；以及

[0133] 图 23 是描述在本发明的另一个实施例中为了从井记录和地震数据产生优化的地震反射率组和统计差值测量结果 (SDM) 所采取的步骤的流程图。

具体实施方式

[0134] 本发明克服了在背景部分中描述的许多缺点。本发明的总体概貌显示于图 11。在从井控制与从反演的地震数据测量的统计结果之间的差值可以通过选择井记录处理、地震处理和反演参数的方法而被最小化。本发明是通过在多个处理步骤中利用在可能的参数范围内的地震数据的试验反演而实现的。利用相关系数和均方根 (RMS) 水平的函数的统计特性 (SC) 或替换地在反演的反射率组之间的互相关和自相关值被用来测量对于所选择的参数的“良好性”或统计距离测量 (SDM) (SDM 是在反演的地震数据和井数据的统计特性中的差值的度量值)。导致具有与井控制统计特性最佳匹配的统计特性的反演的反射率的那些参数被选择，其中优化在幅值处理和反演序列中的参数选择。

[0135] 图 12 是为了得到优化的反演的地震反射率组而可以采取的步骤的实施例的概貌流程图。在步骤 100，从井控制和 / 或地震数据中选择感兴趣的地下区域。在步骤 110，得到可被用来估计地下压缩波、剪切波和密度特性的井记录数据。接着，在步骤 120，从井记录数据中选择来自感兴趣的探查或开发的区域的井记录数据子集。在步骤 130，选择包括井记录处理序列的一个或多个井记录处理算法，每个具有相关联的处理参数。在步骤 140，通过

使用井记录处理序列把井记录数据子集转换成频带限制的井反射率。然后在步骤 150 对井反射率进行运算,获得井反射率的统计井特性 (SC_{well})。 $SC_{seismic}$ 典型地包括零滞后自相关和互相关的比率和 / 或相关系数与在包容在步骤 100 规定的感兴趣的时间 / 深度地区和感兴趣区域的间隔上不同的反射率之间的 RMS 水平。

[0136] SC_{well} 将包括可以从 AVO 幅值反演算法输出的以下的反射率的各种函数:

[0137]

反射率	符号	定义
p-阻抗	R_0	$\Delta V_P/2V_P + \Delta \rho/2\rho = \Delta(\rho V_P)/\rho V_P$
p-速度	R_P	$\Delta V_P/2V_P$
混合剪切	R_{SH}	$2(V_S/V_P)^2 (\Delta \rho/2\rho + \Delta V_S/V_S) = \Delta(\rho V_S^2)/(\rho V_P^2)$
梯度	G	$\Delta V_P/2V_P - (2V_S/V_P)^2 (\Delta \rho/2\rho + \Delta V_S/V_S) = R_P - 2R_{SH}$
密度	R_ρ	$\Delta \rho/2\rho$
s-阻抗	R_{SI}	$\Delta V_S/2V_S + \Delta \rho/2\rho = \Delta(\rho V_S)/\rho V_S$
s-速度	R_S	$\Delta V_S/2V_S$

[0138] 在步骤 160,收集从感兴趣的地下区域生成的地震数据,在图 12 的步骤 200,通过使用多个地震处理步骤 210 把地震数据处理成增强的地震数据。每个步骤 210 的目标是选择将对用于最终的幅值反演的增强的地震数据进行优化的处理步骤、参数和参数值。

[0139] 步骤 300 包含步骤 310-360,用于优化幅值反演参数并用于反演增强的地震数据,以输出优化的地震反射率组和相关联的不确定性数值。

[0140] 现在参照图 13,图中更详细地显示步骤 200 和 210。在步骤 205 选择对应于步骤 120 的井记录数据子集的地震数据子集。在步骤 215,如图 10 所示的那些处理步骤组被选择以处理在步骤 205 所选择的地震数据。每个处理步骤可以具有一个或多个处理参数,在许多情况下,步骤 215 可被用来优化那些处理步骤和 / 或在处理序列中的处理步骤的次序以及处理参数值。某些处理参数具有固定的数值,而其它处理参数可以具有要被优化的可变的数值。

[0141] 然后在步骤 220,通过使用来自 215 的第一试验步骤组和在处理序列中的参数值来处理在步骤 205 所选择的地震数据,以产生增强的地震数据。在步骤 225,通过使用所选择的固定反演参数组来反演这个增强的地震数据集,以产生相应的地震反射率组。在步骤 230,对这个反演的地震反射率组进行操作,达到具有与在步骤 150 从井记录数据确定的形式相同的形式的统计地震特性 ($SC_{seismic}$)。

[0142] 在步骤 240,通过使用统计特性 (SC) 与具有以下形式的公式的差值或比率,来计算统计差值测量结果 (SDM):

$$[0143] \quad SDM = \sum (SC_{well,i} - SC_{seismic,i})^2 / N$$

$$[0144] \quad \text{或 } SDM = \sum (SC_{well,i} / SC_{seismic,i} - 1)^2 / N \quad (8)$$

[0145] 其中 :N = 在地震数据子集中 CRP 的数目;

[0146] $SC_{well,i}$ = 在第 i 个 CRP 处的统计井特性；

[0147] $SC_{seismic,i}$ = 在第 i 个 CRP 处的统计地震特性。

[0148] 在步骤 245, 采用各种策略来选择新的试验参数值, 它将有效地定位 SDM 表面上的最小值。如果预期的 SDM 表面是简单的, 则对于参数值的网格的 SDM 的系统估计和重复步骤 220-240 可以有效地定位最佳的 (即, 最小的) SDM。作为替代, 在围绕试验参数值的区域中计算的数值的和 / 或分析的推导可被用来创建 SDM 表面的局部模型。这个模型然后被用来选择接近于建模的 SDM 表面的最小值的新的试验参数值组。

[0149] 在步骤 250, 选择对应于最佳 SDM 的处理参数值组。优选地, 在 SDM 之间进行内插的任意的步骤 248 可被用来进一步改善优化的参数值组。

[0150] 在步骤 260, 用在步骤 250 所选择的处理参数值组来处理整个地震数据集, 以产生增强的地震数据作为单个处理步骤 210 的输出。

[0151] 对于每个所选择的处理步骤组, 重复进行步骤 210, 以便产生增强的地震数据作为步骤 200 的总的输出和作为加到最后的幅值反演的输入。如图 12 所示, 地震数据可以通过几个不同的地震处理步骤被处理, 其中的某些步骤可以使用步骤 210 和图 13 的通常的 SDM 方法, 以及其中的另外的步骤可能不需要 SDM 方法, 以便优化用于反演的参数值。典型地, 初始处理步骤可以是非 -SDM, 而 SDM 步骤对于在这里的表 4 的右面列出的后成像步骤是重要的。通常, 步骤 210 用来通过使得增强的地震数据更容易反演而克服以前的处理参数选择的缺点。这减小了对于在图 14 的最后的幅值反演步骤中大的衰减权重和其它约束条件的要求。

[0152] 参照描述步骤 300 的图 14, 来自步骤 200 的增强的地震数据的最后的输出, 通过使用步骤 310-380 的优化的幅值反演流程, 对于反射率进行反演。在步骤 310, 得到来自步骤 200 的数据, 然后在步骤 320, 从步骤 200 的增强的经过处理的地震数据中选择增强的地震数据子集。这个选择的地震数据子集优选地对应于在步骤 150 选择的井记录数据子集。在第一优选的方式下, 地震数据子集的这个选择包括对应于与井记录数据相同的深度间隔的所有地震轨迹。作为替代, 地震数据的选择可以是整个地震数据探查的大量筛选后的子集。

[0153] 在步骤 330, 通过使用所选择的地震反演算法和试验的反演参数值组, 把来自 320 的增强的地震数据的这个子集反演成频带限制的反射率。正如这里讨论的, 幅值反演算法可以是几个公式表示法之一。

[0154] 在步骤 340, 对反演的反射率进行运算, 获得具有与步骤 150 的统计井特性 (SC_{well}) 相同的分析形式的统计地震特性 ($SC_{seismic}$)。在步骤 350, 步骤 150 的统计井特性 (SC_{well}) 被投影到地震 CRP 集合位置, 并与步骤 340 的统计地震特性 ($SC_{seismic}$) 相比较, 通过使用以上的公式 (8) 的形式之一, 产生对于试验幅值反演参数值的统计差值测量结果 (SDM)。

[0155] 对于步骤 360, 用试验反演参数值重复进行步骤 330-350, 用来定位最佳的 (最小的) SDM。优选的方法使用 CRP 的子集, 用反演参数值的网格对反演参数空间进行采样, 计算在网格上的 SDM, 然后在步骤 365 选择对应于最小的 SDM 的反演参数。

[0156] 在步骤 370, 整个增强的地震数据通过使用与步骤 365 的优化的 SDM 相关联的反演参数值组被反演, 以产生最佳的反演反射率组。

[0157] 在步骤 380, 对于每个反演的反射率计算反比于反演的反射率的 $S/(S+N)$ [信号 /

(信号 + 噪声)] 比率的不确定性数值。

[0158] 在步骤 390, 输出最佳的反演反射率组和相关联的不确定性, 供在其它幅值分析过程中使用。例如, 事件的交截和梯度属性可以互相交叉绘出, 以检测显著增加的碳氢化合物饱和水平的潜在区域。

[0159] 再次参照图 12, 将更详细地描述上述步骤中的每一个。在步骤 100, 选择感兴趣的地下或地质区域。在典型的感兴趣的天然气和石油区域中, 将进行钻井, 以便在各种感兴趣的地质构造中勘探或产生碳氢化合物。在附加的勘探或开发钻探的过程中, 地震数据被用来产生关于这些感兴趣的地质区域的附加信息, 由此提高钻出成功的井的概率。选择具有特征的弹性特性的感兴趣的区域, 导致幅值反演时的诊断地震响应。

[0160] 地下构造可包括一个或多个储层或产生区域。另外, 优选地, 井位于地下构造中, 记录工具在井中运行, 以得到关于地质构造的弹性特性的地下特性信息。同样地, 通过使用用来记录反射的声波的地震声源和接收机对感兴趣的地下区域进行地震探查。

[0161] 在步骤 110, 获取可被用来校准和增强地震数据的井记录。更优选地, 通过使用直接测量弹性特性的记录工具来得到井记录数据。作为例子, 而不是限制, 这些弹性特性包括压缩速度 (V_p)、剪切速度 (V_s) 和块密度 (ρ)。井记录数据的其它非限制例子可被用来当弹性记录数据不可用时, 帮助推导出弹性特性, 包括 γ 、电阻率和 NMR 记录。

[0162] 也可以不用直接记录钻井而得到弹性特性或统计资料。例如, 在类似的地质设置值中可以使用来自类似钻井或井记录数据库的数据。作为替代, 可以从创建伪井记录数据的统计沉积模型、地质模型或其它知晓的估计推出弹性特性或统计资料。当然, 本领域技术人员将意识到, 按照本发明, 也可以获得和使用其它类型的数据, 诸如岩芯数据。

[0163] 在步骤 120, 选择对应于来自步骤 110 的感兴趣的地下区域的井记录数据子集。作为替代, 可以从适合于地下或感兴趣的地质区域的上述其它源选择弹性特性或统计资料。此外, 当多个井穿透同一个感兴趣的区域并且井记录数据在这些井之间变化时, 来自多个井的统计资料可以在空间上被内插和外插到感兴趣的区域。作为替代, 感兴趣的区域可以被扩大, 以包括更大的地质部分。在这种情况下, 所投射的统计资料更可能是更大的感兴趣区域的特性, 并且不太可能以不利的方式偏离结果。

[0164] 在步骤 130, 选择井处理算法和它们的参数。这些算法中的某些算法可被用来把井记录数据子集变换成高信噪比的井记录数据。例如, 一系列算法可被用来校正钻井环境影响, 诸如钻井偏离、钻井大小、水泥粘结、钻管校正、线深度校正、温度影响、工具冲击响应等等。

[0165] 选择可被用来把高信噪比井记录数据变换成频带限制的反射率的其它算法。特别重要的井处理算法是把井记录数据向上定标成在要被反演的地震数据中存在的可比较的主要波长。例如, 基于等效媒介理论的 Backus 平均常常在井记录处理中被使用。另一所选择的算法是能够把作为深度的函数的高信噪比井记录数据变换成作为时间的函数的各种原始的反射率。计算出的反射率的例子包括密度、 p 阻抗、剪切阻抗、 p 速度、 s 速度、梯度反射率、混合剪切等等, 如在表 2 中规定的。

[0166] 可以使用另一井处理算法来把原始的反射率变换成具有与要被反演的地震数据 (表面地震数据、垂直地震剖面分布等等) 相同的带宽的频带限制的反射率。这个变换算法执行所选择的小波与原始的反射率的卷积。

[0167] 在步骤 140,井记录数据子集被变换成高信噪比的井记录数据,然后通过使用井记录处理算法再被变换成频带限制的反射率。作为在步骤 110 使用井记录数据的记录处理算法 130 得到频带限制的反射率的替代,原始的或频带限制的反射率可以替代地直接从上述的数据库、地质模型、地震模型或其它知晓的估计中得到。

[0168] 在步骤 150,然后对频带限制的井反射率进行运算,得到统计井特性 ($SC_{S_{well}}$)。这些特性是从足够大的深度间隔取得的,所以在感兴趣区域中它们的自然预期的空间变化是慢的,并且没有受到局部异常结构的强烈影响,这使得 $SC_{S_{well}}$ 在处理或反演质量控制中是更有用的。图 15 和 16 是对于在表 2 中列出的某些反射率从间隔开 10 公里的 4 个井测量的统计结果的例子。图 15 所示的 RMS 和图 16 所示的相关系数有相当小的变化程度,这表明它们可被用作为对这个区域的统计特性的输入。

[0169] 除了这些统计测量在这个区域中很慢变化以外,在不同的盆地的其它井中的测量结果对于相关系数和对于相对 RMS 水平也表现出非常相似的数值。这支持这些统计结果对于在非常远离井控制的盆地中 SC 的质量控制的使用。

[0170] 对于其中分量反射率在井之间更快速地变化的情况,必须把想要的统计特性在空间上内插或外插到感兴趣的 CRP 集合位置。因为反射率是相对幅值的函数,而不是绝对幅值的函数,统计特性 ($SC_{S_{seismic}}$) 优选地是无单位的比率。作为具体的例子,在两个反射率之间的统计井特性 (SC_{well}) 可以通过计算 p 阻抗的 RMS 与在包括在步骤 100 规定的感兴趣区域的深度范围上的梯度反射率的比率。这个比率被证明是 AVO 处理质量的极其诊断的和可预测的指示符。另一个有用的诊断的测量值是测得的 p 阻抗 (零偏移) 反射率与测得的梯度反射率的相关系数。这些测量值可以组合在一起,得到用反射率之一的自相关进行归一化的互相关,以产生本身可以在空间上预测的统计特性。在 p 阻抗与梯度之间的有用的相对统计特性包括:

$$[0171] \quad SC = \sigma_G / \sigma_{RO}$$

$$[0172] \quad SC = CC_{RO, G}$$

$$[0173] \quad \text{和 } SC = CC_{RO, G} \sigma_G / \sigma_{RO} = \Phi_{RO, G} / \Phi_{RO, RO}$$

[0174] 其中:SC = 在 p 阻抗与梯度之间的统计特性

[0175] σ_{RO}, σ_G = p 阻抗与梯度的 rms

[0176] $CC_{RO, G}$ = 在 p 阻抗与梯度之间的相关系数

[0177] $\Phi_{RO, G}$ = 在 p 阻抗与梯度之间的互相关

[0178] $\Phi_{RO, RO}$ = p 阻抗的自相关

[0179] 通常,来自两个或更多个反射率的互相关和自相关可以组合成协方差矩阵,其特性包括它的特征向量,可以是不同的地质环境的弹性特性的特征。在优选的模式中,选择一组两个或更多个反射率,在反射率之间计算包含所有的零记录自相关和互相关的协方差矩阵。这个矩阵的主特征向量的特征值产生统计特性,它自然地加权所有的反射率的统计效果,并可以预期它具有比起每个单个反射率的特性更小的空间和时间变化:

$$[0180] \quad SC_{well} = \text{理论特征值 [协方差 } (R_0, R_1, \dots R_N)] \quad (10)$$

[0181] 其中:SC_{well} = 统计井特性

[0182] $R_0, R_1, \dots R_N$ = 在地震幅值反演中感兴趣的反射率

[0183] 协方差 =

[0184] $(\Phi_{R_0, R_0} \Phi_{R_0, R_1} \Phi_{R_0, R_2} \dots \Phi_{R_0, R_N})$

[0185] $\Phi_{R_1, R_0} \Phi_{R_1, R_1} \Phi_{R_1, R_2} \dots \Phi_{R_1, R_N}$

[0186] $\dots \dots \dots \dots$

[0187] $\Phi_{R_N, R_0} \Phi_{R_N, R_1} \Phi_{R_N, R_2} \dots \Phi_{R_N, R_N})$

[0188] 另一个替代方案涉及计算在反射率对之间的互相关与自相关的比率（即，信噪比），然后以各种方式组合和加权它们，利用空间变化的期望差值。加权因子可被用来以下述方式偏置井特性，使其趋向于所选择的反射率组的信噪比：

$$[0189] \quad SC_{well} = \sum W_i (\Phi_{R_0, R_i} / \Phi_{R_0, R_0}) = \sum W_i (CC_{R_0, R_i} \sigma_{R_i} / \sigma_{R_0}) \quad (11)$$

[0190] 其中： W_i = 正比于统计测量值的信噪比的权重

[0191] R_0 = 具有高相关和信噪比的反射率

[0192] R_i = 第 i 个感兴趣的反射率

[0193] $\sigma_{R_0}, \sigma_{R_i}$ = R_0 和 R_i 反射率的 rms

[0194] CC_{R_0, R_i} = 在 R_0 与 R_i 反射率之间的相关系数

[0195] Φ_{R_0, R_i} = 在 R_0 与 R_i 反射率之间的互相关

[0196] Φ_{R_0, R_0} = R_0 反射率的自相关

[0197] 通过这两个公式 (10) 和 (11)，能够根据可以是在特定的地质设置值中感兴趣的那些反射率计算统计井特性 (SC_{well})。

[0198] 在步骤 160，例如，获取在感兴趣的地下上的地震数据，如以上对于步骤 100 描述的。这个地震数据可以是在各种地质设置值下获取的，包括在陆地、近海或深水位置，以及具有各种现场类型，包括 2D、3D、4D、VSP、多分量和时间滞后。优选地，这个地震数据通过密度源和接收机采样并使用爆破到接收机偏移被记录，允许在感兴趣的地下中的高角度地下反射（高达 60 度）。另一个非常想要得到的特性是利用高带宽源和小的接收机阵列。

[0199] 在步骤 200，使用一系列处理步骤 210 来处理地震数据。在步骤 200 优选地使得地震数据信噪比和带宽最大化，以得到增强的地震数据，其适合于作为对幅值反演的输入。具体地，生成地震幅值，它优选地处在频带限制的、平面波、与角度有关的地下反射率的单个标量常数内。这样的地震数据在幅值反演内将达到需要最小的约束条件的所希望的目标。

[0200] 幅值处理序列可以具有 20 个或更多的步骤，包括在表 4 中显示的那些步骤。主要地震处理步骤的非限制性例子典型地包括：

[0201] a) 调整地震数据；

[0202] b) 噪声抑制；

[0203] c) 校正各种地球传输 / 获取影响；

[0204] d) 去卷积；

[0205] e) 速度和各向异性估计；

[0206] f) 迁移；

[0207] g) 小波频谱均衡 / 去拉伸；

[0208] h) 小波相位均衡；

[0209] i) 剩余事件对准；

[0210] j) 空间幅值平衡；

[0211] l) 偏移幅值平衡；

[0212] m) 空间和时间滤波；

[0213] n) 偏移 / 角度选择和静音；以及

[0214] o) 反射率反演。

[0215] 这些处理步骤的总的目标,除了反演步骤以外,是从地震数据中去除噪声,和校正每个交界面处的响应,使得它对应于具有已知的幅值、相位和时序的小波与交界面的与角度有关的反射系数的卷积。因为步骤 g) 到 n) 和被用于这些步骤的参数值会显著影响反演步骤的结果,它们是用于步骤 300 的 SDM 方法的有竞争力的候选方案,以及仅仅改变这样的步骤的次序或执行某些选择的步骤而不执行其他步骤。对于其它预成像步骤,SDM 作为参数选择过程可以是非常低效的和无能的。

[0216] 再次参照图 13,将更详细地描述关于步骤 210 的示例性步骤组。在步骤 205,从步骤 160 的地震数据中选择包括对应于感兴趣区域的数据的地震数据集。优选地,这个地震数据子集包括步骤 160 的整个数据集(以及选择处理步骤来增强对应于感兴趣的地区的地震数据集)。还有可能选择来自步骤 160 的小的适当的地震数据子集,在另外的包括步骤 210 的步骤中处理。

[0217] 在步骤 215,选择地震处理步骤组。地震处理步骤包括处理要在一个或多个处理步骤中被优化的参数和参数值的步骤组。用于必须被选择的那些参数地震处理步骤的例子包括但不限于以上对于步骤 200 和在表 4 中列出的所有的处理步骤。选择还可以涉及步骤本身的选择,以及处理序列中的步骤的次序也可以变化。如上所述,一次优化所有的步骤中的所有参数在计算上是很难的。

[0218] 从以上的处理算法组,选择一个算法或算法的组合,使得它的参数在优化期间变化。例如,可以选择在去卷积算法中的参数用于优化,而用于干预处理步骤,即诸如噪声抑制和用于速度反演的参数保持不变。因此,在每个重要的步骤内,参数组被优化,而在其余步骤中的参数被设置和保持在固定数值。

[0219] 接着在步骤 220,通过使用所选择的地震处理步骤和至少一个可变参数值,而其它参数值是固定的,把地震数据子集处理成增强的地震数据。

[0220] 在步骤 225,通过使用所选择的幅值反演算法来反演增强的地震数据,它利用公式(2)或(6)或者 AVO 分析研究中使用的其它公式,和固定的反演参数组来生成反演的反射率。例如,反演算法可以是二项算法,它通过使用恒定的衰减参数来反演交截和梯度反射率。作为替代,三项反演算法可被用来产生三个所选择的反射率的组。本领域技术人员将意识到,在这个步骤中可以使用许多其它替代反演算法。

[0221] 在步骤 230,对反演的反射率进行运算,得到对于一组试验参数值的统计地震特性。优选地,被用于井数据的同一个特性算法被用于地震统计特性。被用于这个计算的反演反射率组是从感兴趣的同一区域选择的,作为步骤 100。来自 2D 或 3D 地震数据集所有的公共反射点集合(CRP)或它的子集是从感兴趣的地区选择的。对于每个 CRP,由在该 CRP 处的反演反射率计算统计特性。这些统计特性被平均,以产生对于特定的试验参数值组的单个统计特性。

[0222] 在来自步骤 150 的统计井特性与步骤 230 的统计地质特性(SC_{seismic})之间的差值是通过使用公式(8)计算的,以产生统计差值测量结果值(SDM),即,对于特定的试验处理参数值组的“统计差值测量结果”。对于本说明书,术语“良好性度量”指示统计地质特性

(SC_{seismic}) 与统计地质特性 (SC_{well}) 的相关。

[0223] 接着在步骤 245 选择要在试验处理算法中使用的新的试验处理参数值组,而其余的处理算法的参数值再次保持不变。重复步骤 220-240 的目的是找出对于试验参数值组的最佳 SDM。如果期望的 SDM 表面是简单的,则对于参数值的网格的 SDM 的系统估计可以有效地定位最小的 SDM。每个参数具有潜在的数值的预期范围,它们可被用于规定可能的参数值的网格。可能的参数值的网格被用来通过重复执行步骤 220-240 以计算在网格位置处的 SDM 值而创建 SDM 曲线或表面。

[0224] 如果预期 SDM 表面是非常复杂的,或当 SDM 表面是多维时,在围绕初始试验参数值的区域中计算的数值的和 / 或分析的推导结果可被用来创建 SDM 表面的局部模型。这个模型然后被用来选择接近于建模的 SDM 表面的最小值的参数值的新的试验组。本领域技术人员将意识到,可以使用许多其他技术来采样 SDM 表面,得出参数的数组。

[0225] 在步骤 245,采用各种策略来选择新的试验参数值,它们将有效地定位在 SDM 表面上的最小值。如上所述,如果预期的 SDM 表面是简单的,对于参数值的网格的 SDM 的系统估计和重复执行步骤 220-240 可以有效地定位最佳的 (最小的) SDM。在图 17 中的 SDM 曲线和表面都通过使用参数值的搜索网格而被生成。作为替代,在围绕初始试验参数值的区域中计算的数值的和 / 或分析的推导结果可被用来创建 SDM 表面的局部模型。这个模型然后被用来选择接近于建模的 SDM 表面的最小值的参数值的新的试验组。

[0226] 在步骤 250,选择处理对应于最佳 SDM 的参数值的组。图 17 是 SDM 如何可被用来选择对于特定的感兴趣的地区的数据选择 (角度静音) 参数的一个例子,该图显示 SDM 值作为不同角度静音值的函数的曲线。它规定了最大反射角,通过使得计算出的 SDM 最小化而积极地对幅值反演做出贡献。来自大于这个角度的反射角的幅值数据然后从 CRP 集合中被去除 (被静音)。

[0227] 在步骤 260,整个地震数据集用在步骤 250 中所选择的处理参数值组进行处理,产生增强的地震数据作为来自单个处理步骤 210 的输出。整个数据集仅仅通过所选择的步骤 210 被处理,它是对下一个所选择的步骤 210 的输入数据。

[0228] 再次参照图 14,该图中描述步骤 300,来自步骤 200 的增强的地震数据的最终输出通过使用步骤 310-380 的优化的幅值反演流程而对于反射率进行反演。在步骤 310 得到来自步骤 200 的数据,以及在步骤 320 从步骤 200 的增强的经过处理的地震数据中选择增强的地震数据子集。这个所选择的地震数据子集应当对应于在步骤 150 所选择的井记录子集。按第一优选的方式,地震数据子集的这种选择包括对应于与井记录数据相同的深度间隔的所有地震轨迹。作为替代,地震数据的选择可以是整个地震数据勘察的经过大量筛选后的子集。

[0229] 在步骤 330,增强的地震数据子集通过使用所选择的地震反演算法和试验的反演参数值组而被反演成频带限制的反演的反射率。在优选的例子中,反演算法可以是对于方程 (6) 的误差函数的受到约束的最小平方解,它需要衰减参数和数据加权参数的数值。通常,为了减小在地震数据中剩余噪声和信号失真的影响,通过选择衰减参数值和数据权重 (即,在方程 (6) 中的 W_i , W_c 和 W_f) 而使反射率互相约束。因为衰减趋于远离幅值数据的偏置结果,大的衰减权重是不希望的,许可地震幅值数据本身对于最终得到的反射率具有的影响少于全部影响。对于非常大的衰减因子,某些属性可以有效地被约束为其它属性的缩

放的版本。

[0230] 作为替代,不带有 R_2 项的方程 (6) 可被用来确定反演参数值。本领域技术人员将意识到,也可以使用其它反演算法,而不受这些例子限制。

[0231] 在步骤 340,然后对频带限制的地震反射率进行运算,得到等同于从井控制生成的和以上在步骤 150 中描述的各种统计地震特性。优选地,由于它的良好横向可预测性,所选择的 SC 将是反演地震反射率计算出的协方差矩阵的主要特征向量。

[0232] 在步骤 350,将统计地震特性与统计井特性进行比较,通过使用公式 (8) 的形式之一产生统计差值测量结果 (SDM)。

[0233] 在步骤 360,重复步骤 330-350,定位幅值反演参数值,它使得 SDM 优化(最小化)。用于这样做的策略类似于在步骤 245 中的策略。优选地,这个步骤是通过使用公式 (6) 对于可能的衰减参数值的网格进行试验幅值反演而实现的。SDM 是对于每个衰减参数值的输出,并分析数值的网格找出最小值。作为替代,可以分析 SDM 的推导结果作为参数值的函数,并且识别局部最小值,得到参数值的优化的组合。

[0234] 还可以检验 SDM,看它们是否对应于令人满意的衰减或处理参数。极其重要的标准是与最小 SDM 相关联的衰减参数的大小。在几乎相等的 SDM 值的两个局部最小值被定位的情形下,选择与最小衰减参数相关联的那个最小值。还可以使用的另一个标准是反演的反射率的空间相干性。这个标准必须结合其他标准一起使用,因为很可能反射率像梯度那样同时是非常空间相干的和非常错误的。再一个标准可以是 SDM 的大小。如果这些预定的标准中的任一标准不满足,则可以用新选择的处理算法和 / 或地震参数重复执行步骤 210-370,直至预定的标准满足为止。如果 SDM 足够低,则反演的地震反射率是令人满意的。

[0235] 可使用的其它优化参数搜索程序的例子,作为例子而不是限制,包括对误差表面采用泰勒级数表达式或牛顿近似的方法。本领域技术人员将意识到,可以利用许多其它方法来有效地搜索最佳 SDM,包括使用以前确定的、在感兴趣的区域中的反演参数。

[0236] 图 17 的右面显示对应于梯度和密度衰减参数值的网格的 SDM 数值的轮廓面。选择最小的 SDM 值和产生该数值的相关联的参数。最小值是图 17 中对应于 0.14 的密度衰减值和 0.06 的梯度衰减的最后闭合的轮廓,这些数值粗略地正比于如在井控制中测量的这些参数的相对 RMS 水平。SDM 表面表现出对于衰减参数值的小的改变有大的变化的事实,反映了试图不采用试验参数值而选择衰减参数的困难。事实上,因为根据使用空间相干性或绝对 RMS 水平的现有的质量控制方法很难选择衰减参数值,在许多反演算法中常常甚至不使用约束条件(在公式 (6) 中 $W_c = 0$)。

[0237] 在步骤 370,通过使用在步骤 360 中选择的反演参数值组来反演增强的地震数据,以产生优化反演的反射率组。

[0238] 图 18 显示对于合成数据集的未限制的(未衰减的)和限制的(衰减的)反演的 p 阻抗、混合剪切和 p 速度反射率。所显示的两种情况具有被添加到 CRP 集合信号轨迹的 50%和 100%噪声(相干和不相干)。因为 p 阻抗、混合剪切和 p 速度反射率信号在每个 DRP 处是相同的,并且互相高度相关,正确的结果应当是几乎相同的和空间上相干的反射率。如图 18 的顶部所示,对于 p 阻抗的未限制的反演产生良好的结果,而混合剪切和 p 速度反射率具有低信噪比,正如通过空间非相干和相当高的 RMS 数值所证实的那样。在图 18 的下面部分的显示表明:当通过使用 SDM 方法选择最佳衰减约束条件时,混合剪切和 p 速度反射率

的空间相干和相对 RMS 大大地改善。

[0239] 图 19A 和 19B 是真实地震数据例子,与在左面的未衰减的梯度部分与在右面的最佳衰减的梯度部分比较,其中最佳衰减的参数值是通过使用本专利的 SDM 方法被选择的。在顶部显示的梯度 RMS 水平的大的下降和空间相干性的大的增加都是 SDM 衰减的梯度部分比起未衰减的梯度部分具有高得多的信噪比的指示。

[0240] 不仅仅需要反演的反射率,而且也需要它们的不确定性 $((N+S)/S)$ 作为定量幅值分析技术的输入。在步骤 380,针对成对的反射率计算的 SDM 可被用来估计对于每个反演反射率的相对 $S/(S+N)$ 数值(不确定性⁻¹)。这些可以通过使用以下的公式计算针对地震反演反射率计算的统计特性(SC)与从井控制投影的 SC 之间的差值而得到:

$$[0241] \quad U_{R1} = SC_{well, R1R2} / ((SC_{well, R1R2} - SC_{seismic, R1R2}) + SC_{well, R1R2}) \quad (9)$$

[0242] 其中: U_{R1} = 与反射率 R_1 相关联的 $S/(S+N)$ 比率(不确定性⁻¹)

[0243] $SC_{well, R1, R2}$ = 来自井控制的、对于 $R1, R2$ 的 $\Phi_{R1, R2} / \Phi_{R1, R1}$ 互相关和自相关

[0244] $SC_{seismic, R1, R2}$ = 来自地震的、对于 $R1, R2$ 的 $\Phi_{R1, R2} / \Phi_{R1, R1}$ 互相关和自相关

[0245] 同样地,可以通过比较在受到限制的(衰减的,加权的)与未受限制的幅值反演之间在输出上的差值而估计它们。

[0246] 反射率之一的 SDM,优选地为 p 阻抗或堆叠反射率,相对于其 $S/(S+N)$ 估计的想要的 SDM 具有高的 $S/(S+N)$ 。它们利用在成对的轨迹之间的相同种类的统计特性来量化在每个反演的反射率中的不确定性。

[0247] 图 20 显示对于图 19 所示的梯度部分的 $S/(S+N)$ 的改变作为 CPR 和时间的函数。当 SDM 选择的衰减参数被选择用于反演时, $S/(S+N)$ 有大的增加。

[0248] 在步骤 390,输出优化的反演的地震反射率组和相关联的不确定性值。这些输出在各种幅值分析技术中被用来减小与地震数据驱动勘测和现场轮廓决定相关联的风险。

[0249] 虽然在上述的说明书中本发明是相对于本发明的某些优选实施例描述的,以及为了说明起见阐述了许多细节,但本领域技术人员将会看到,本发明易于作出改变,并且这里描述的某些其它细节可以做出很多变化而不背离本发明的基本原理。

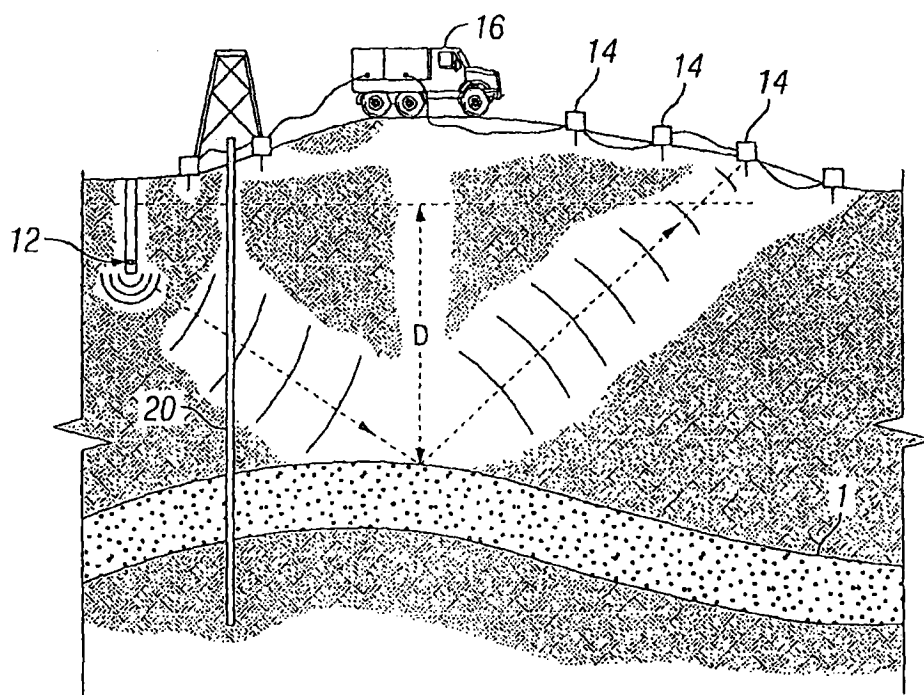


图 1 (现有技术)

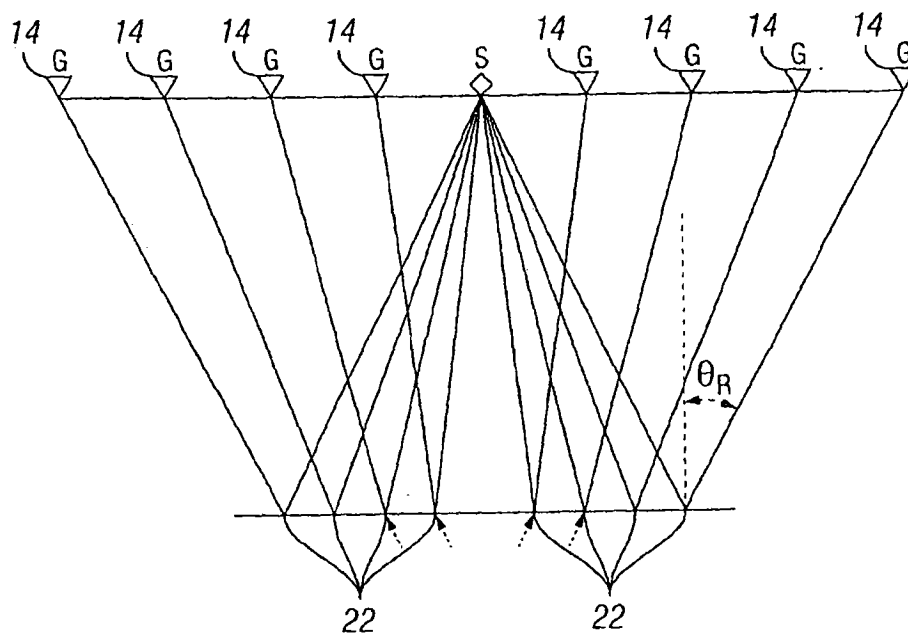


图 2 (现有技术)

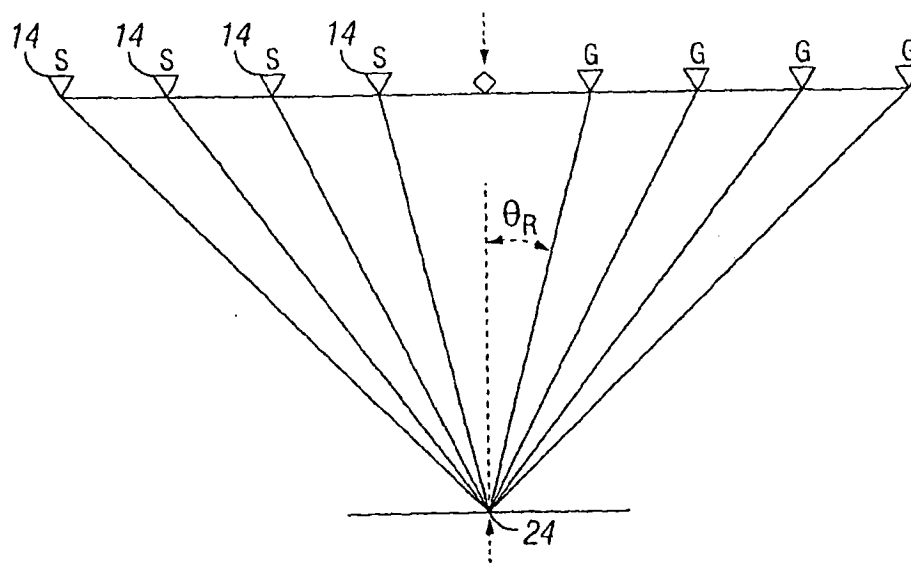


图 3 (现有技术)

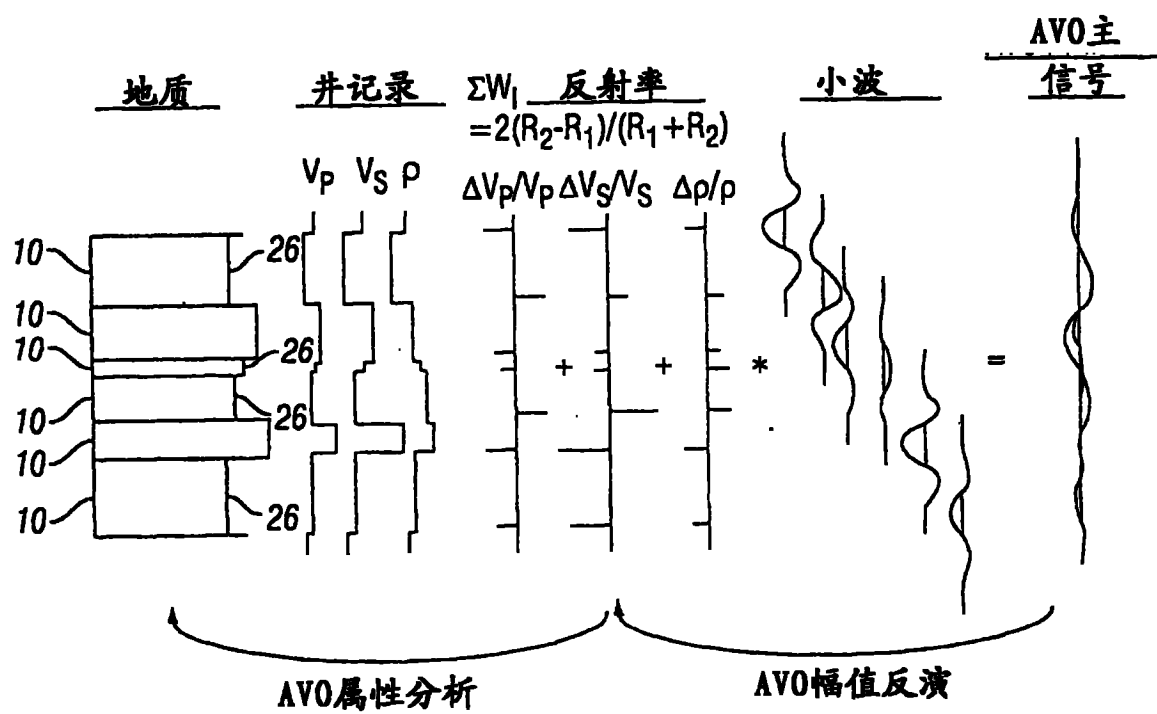


图 4

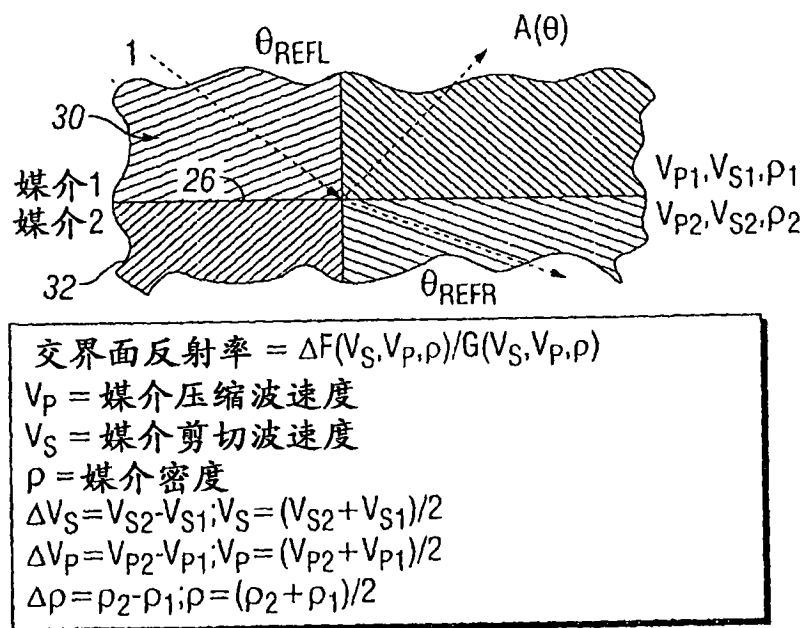


图 5

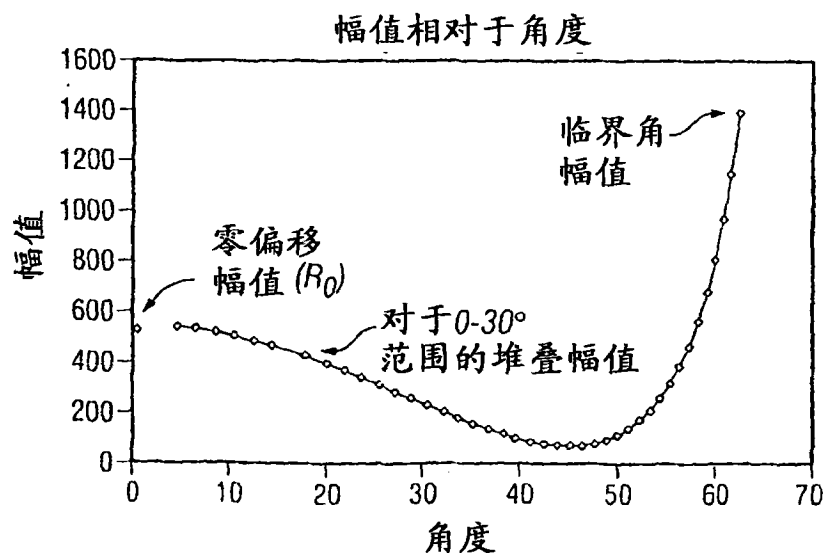


图 6

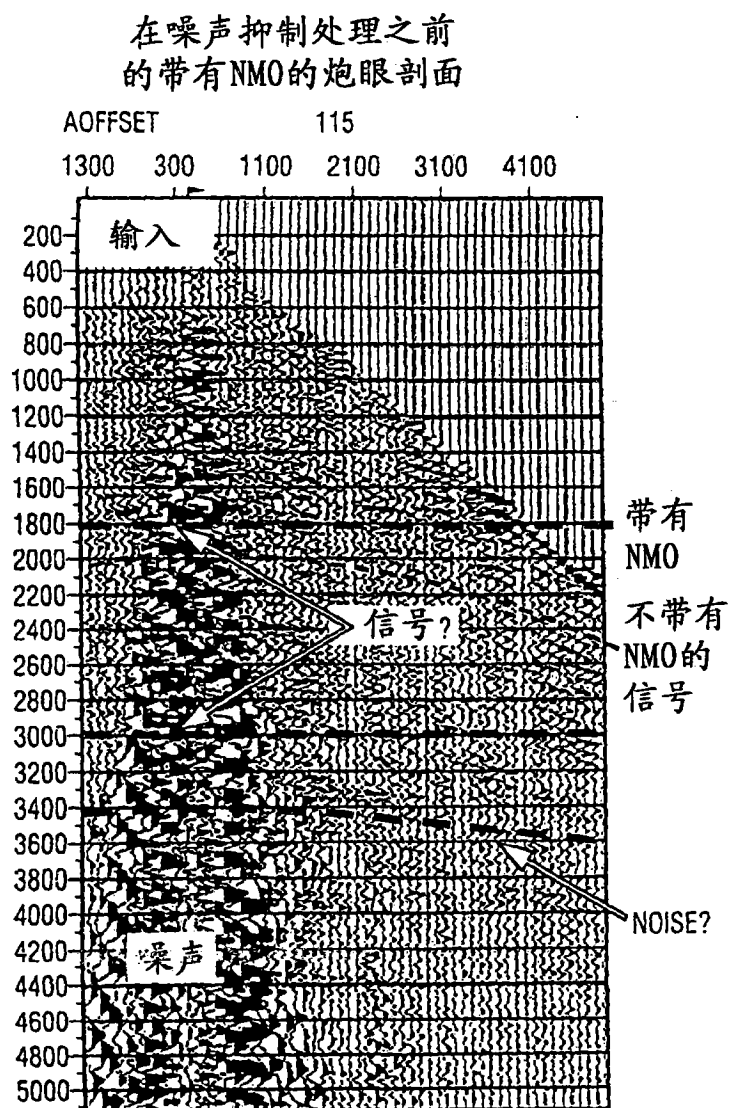


图 7A

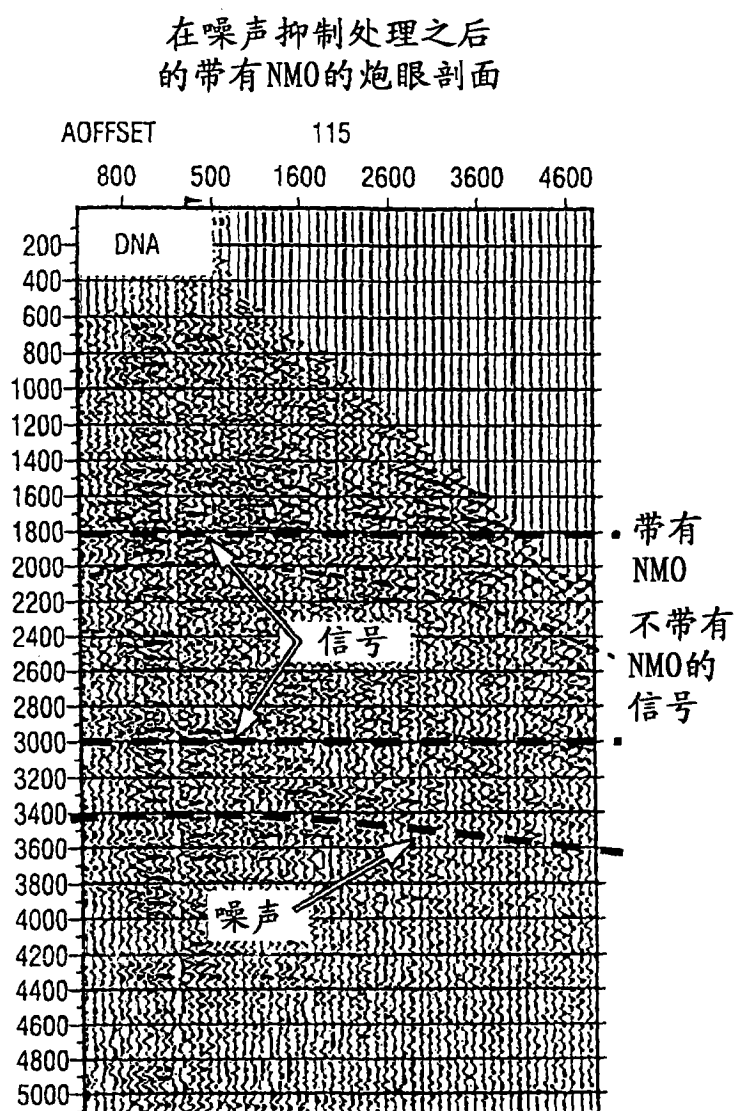


图 7B

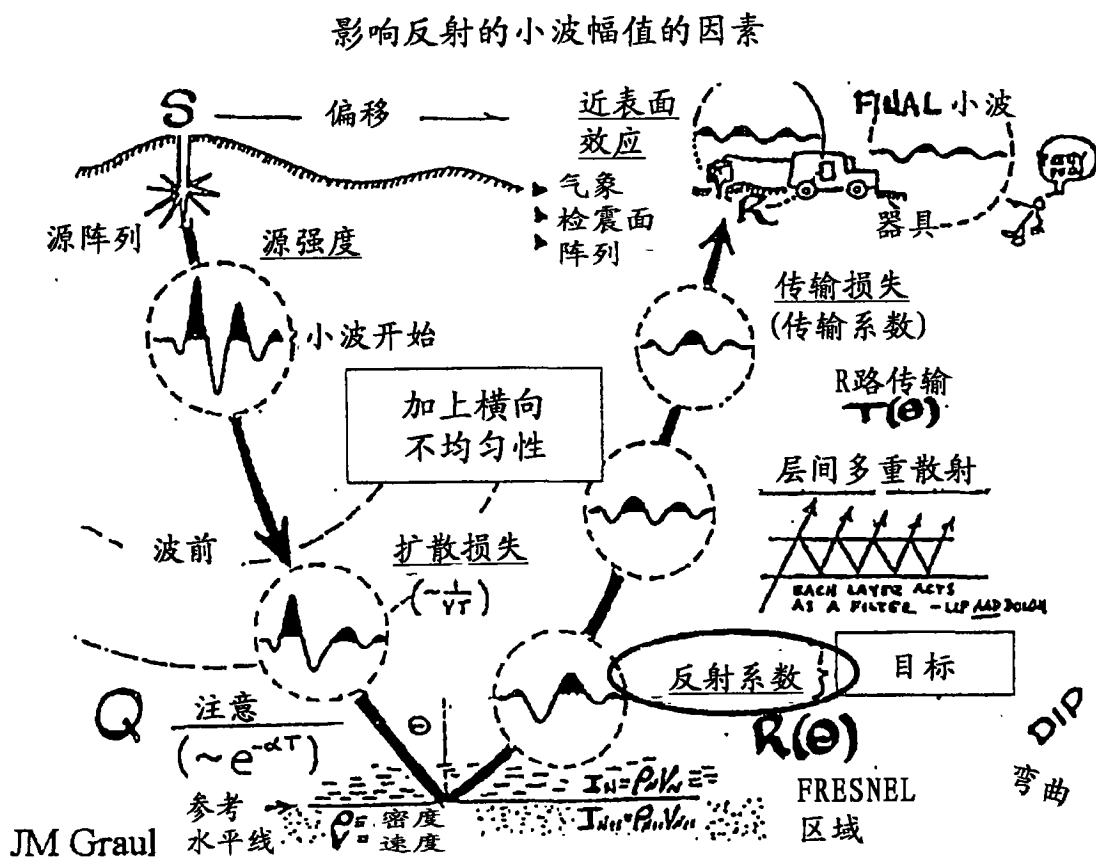


图 8

应用到CMP/CRP集合的处理序列

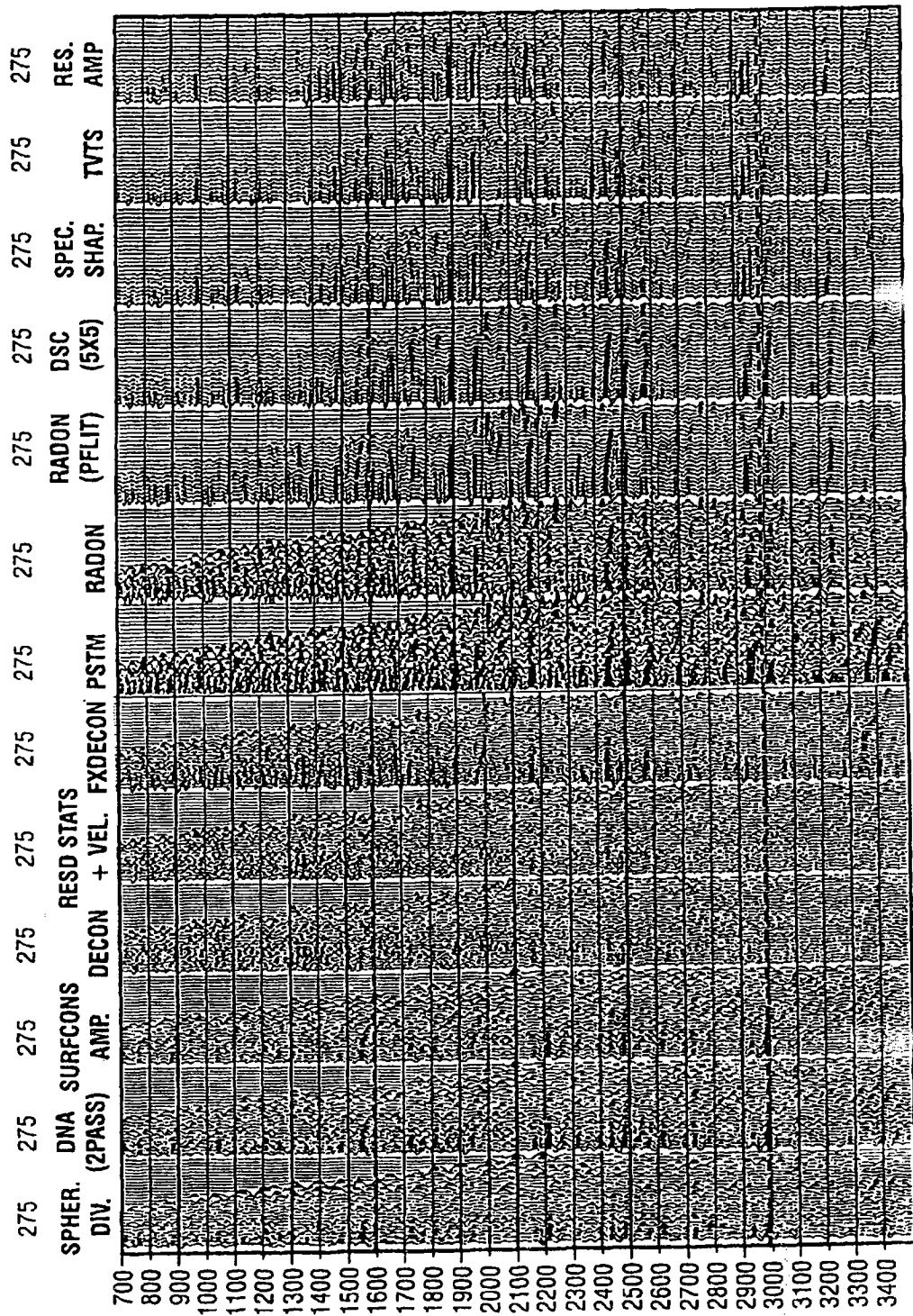


图 9

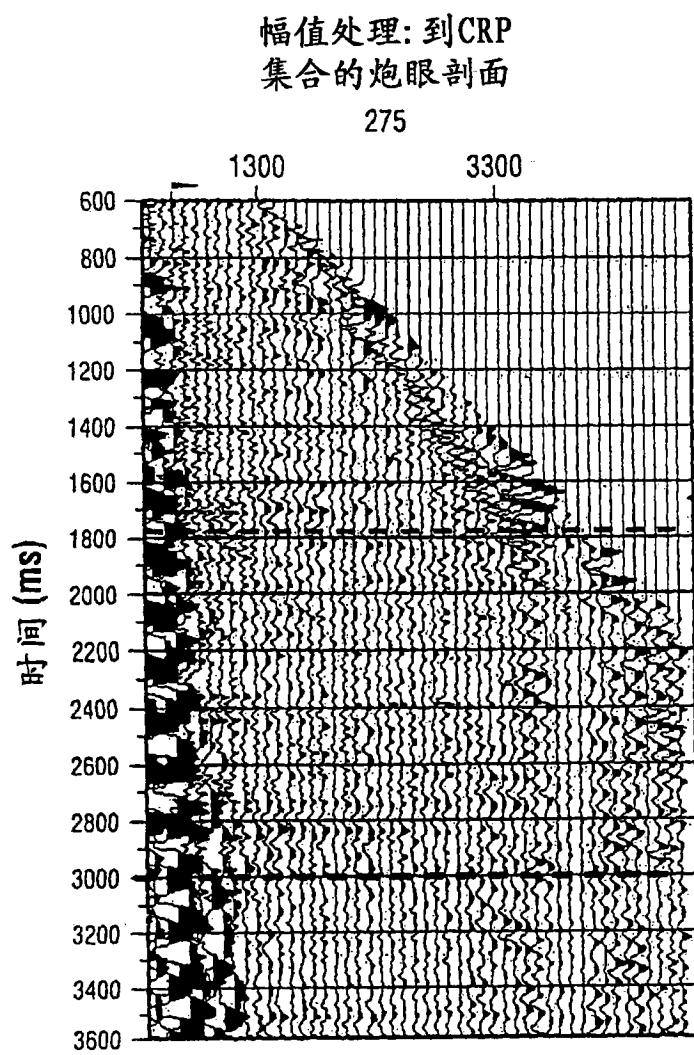


图 10A

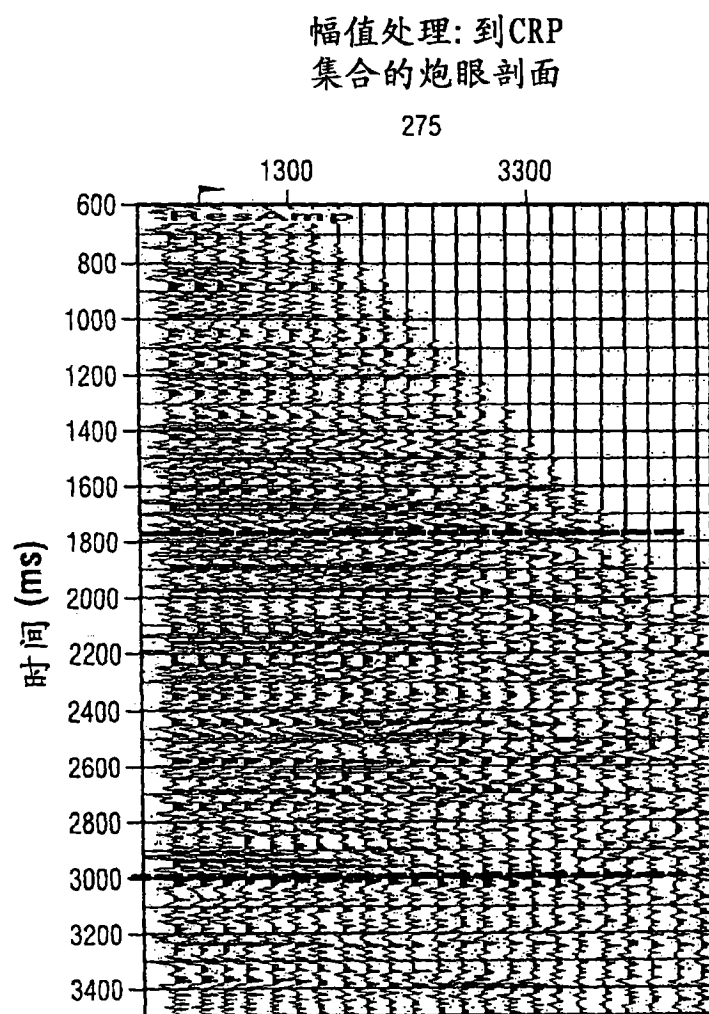


图 10B

处理和反演参数
优化方法的概貌

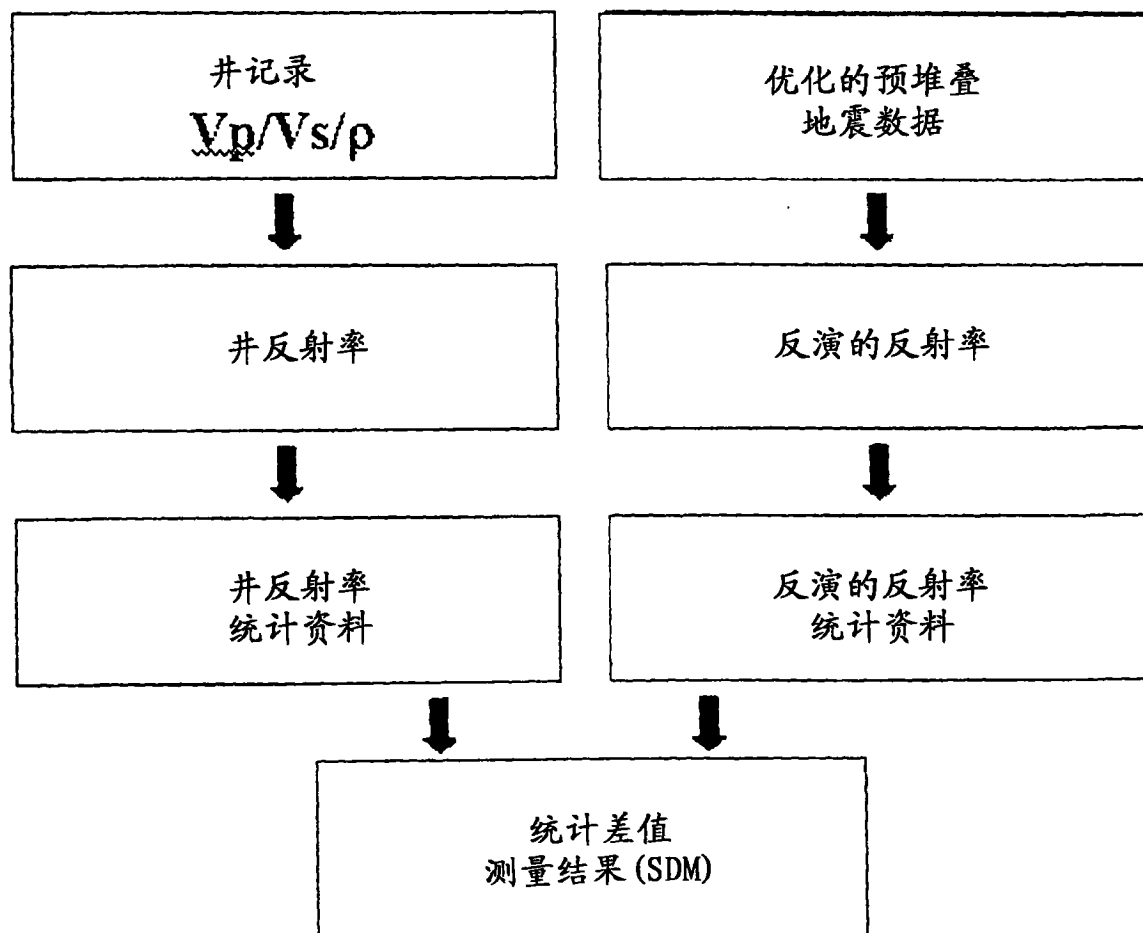


图 11

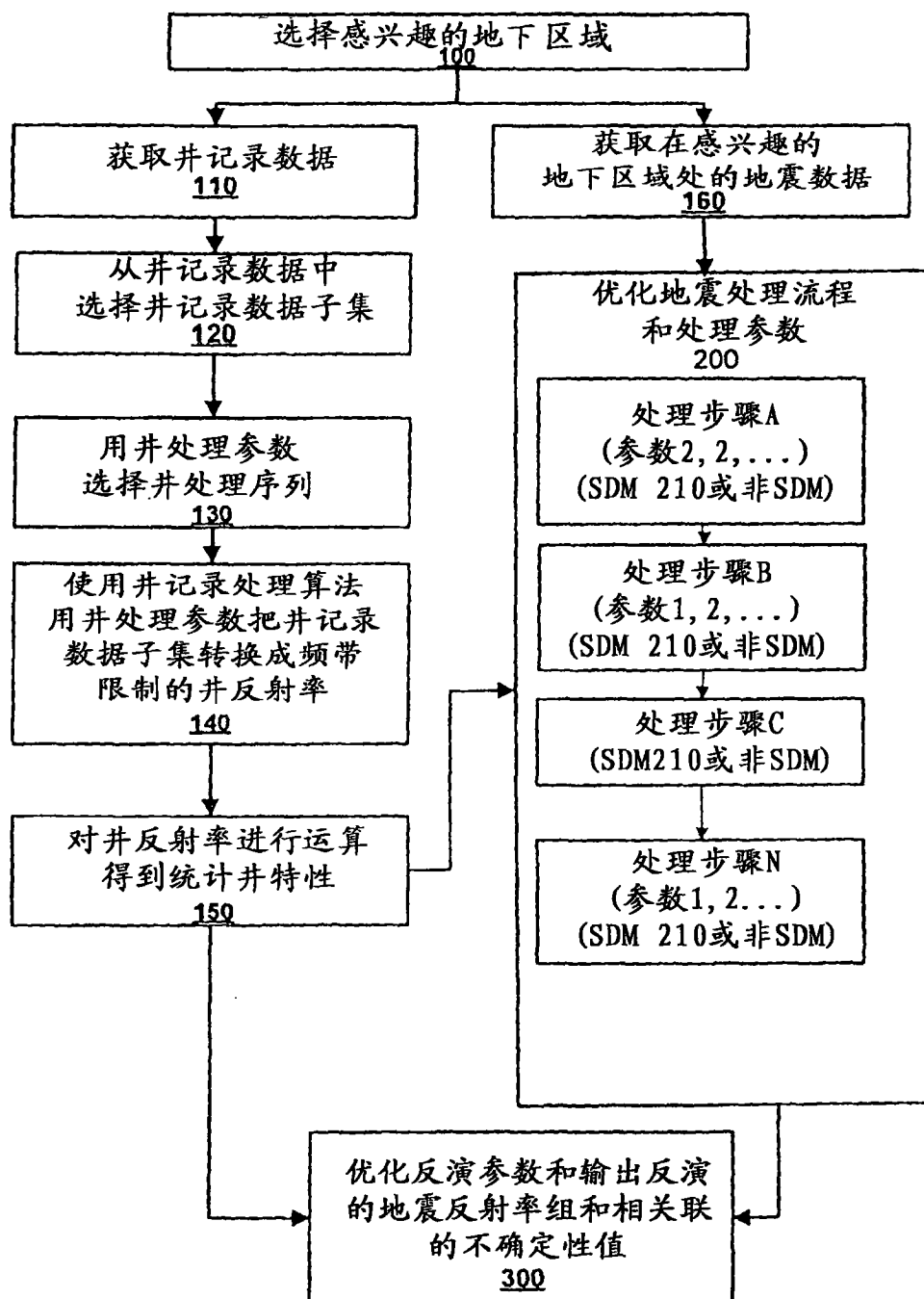


图 12 优化的处理和反演流程的概貌

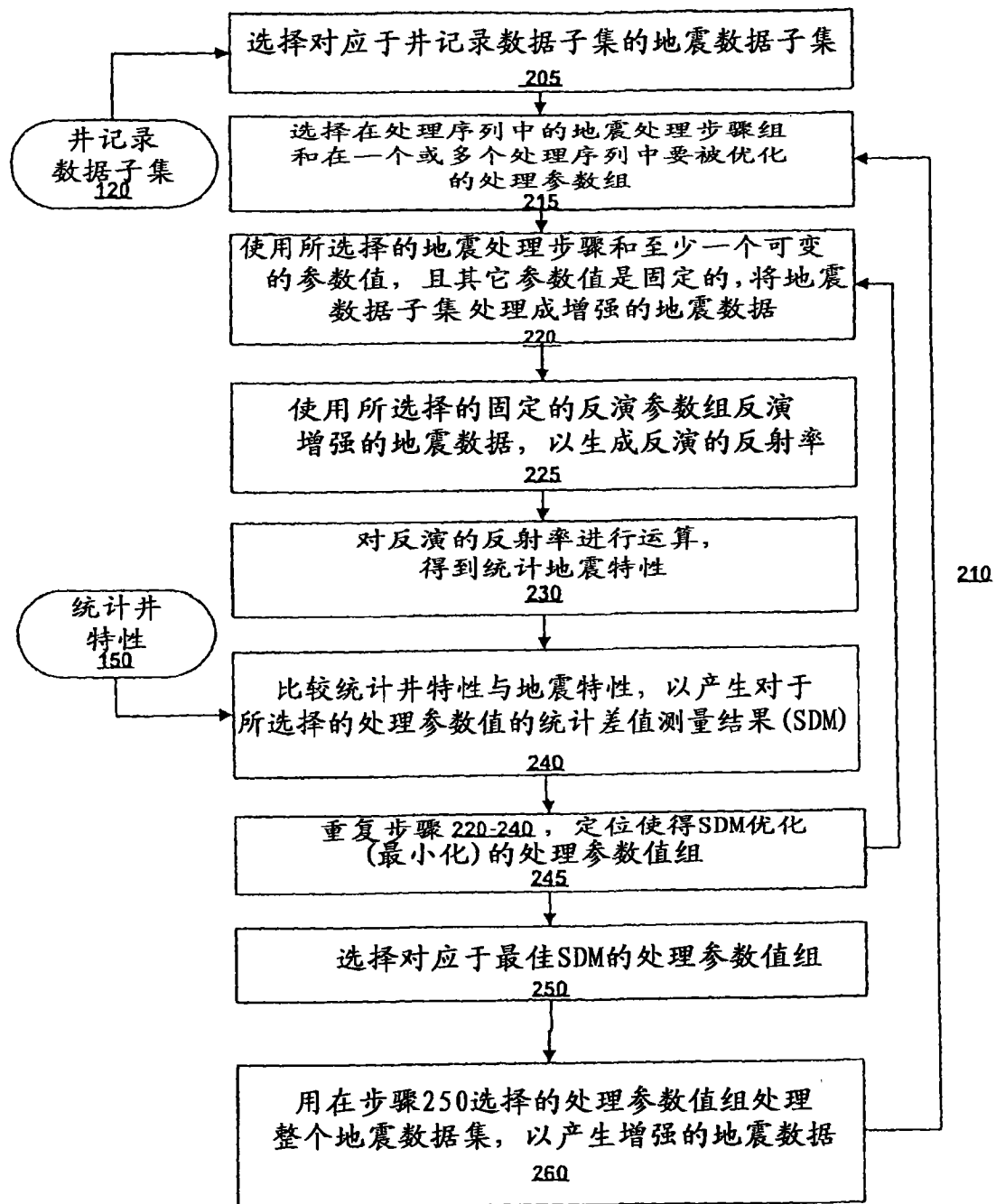


图 13 优化地震处理流程和处理参数 (步骤 210)

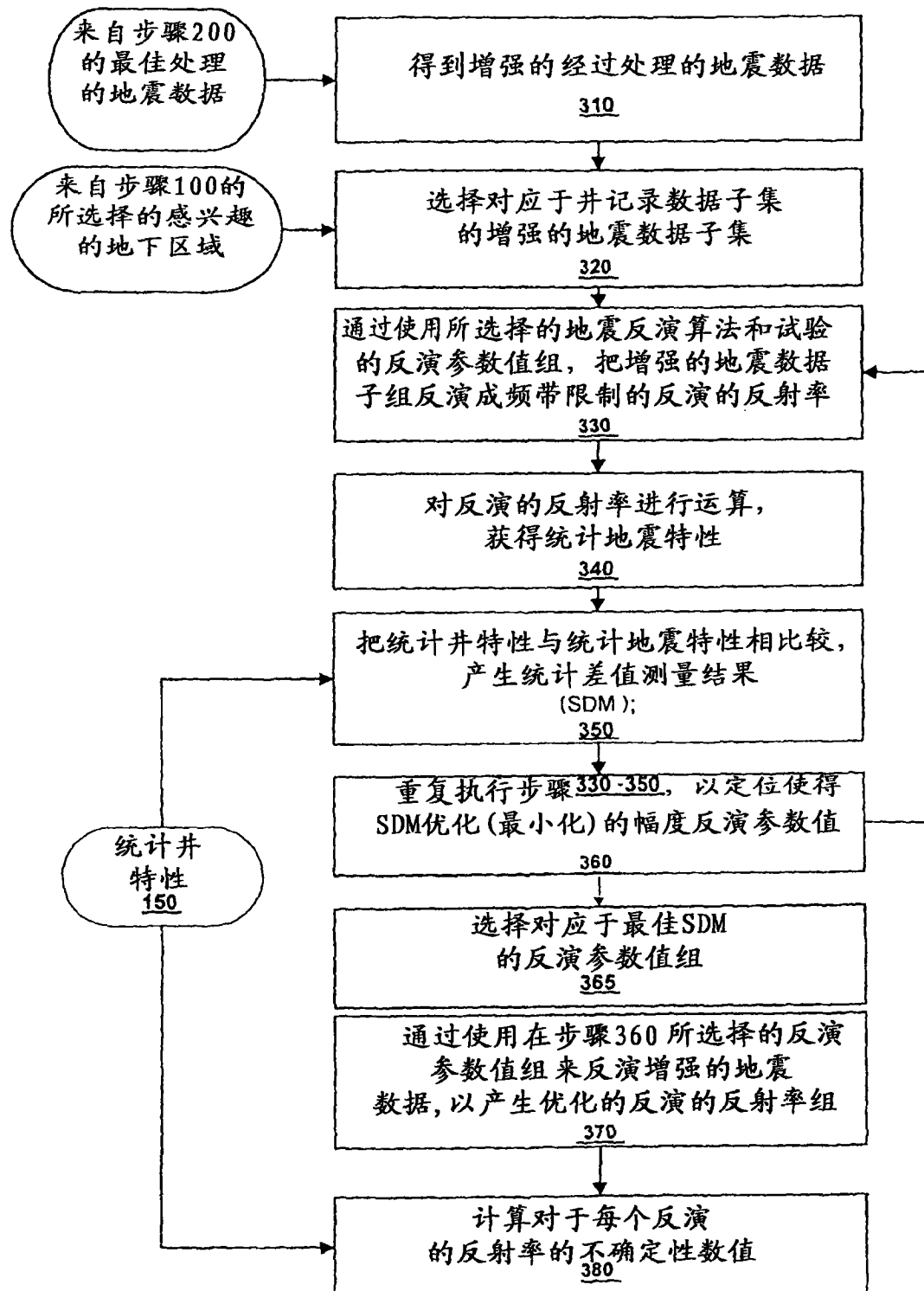


图 14 优化的幅度反演流程 (步骤 300)

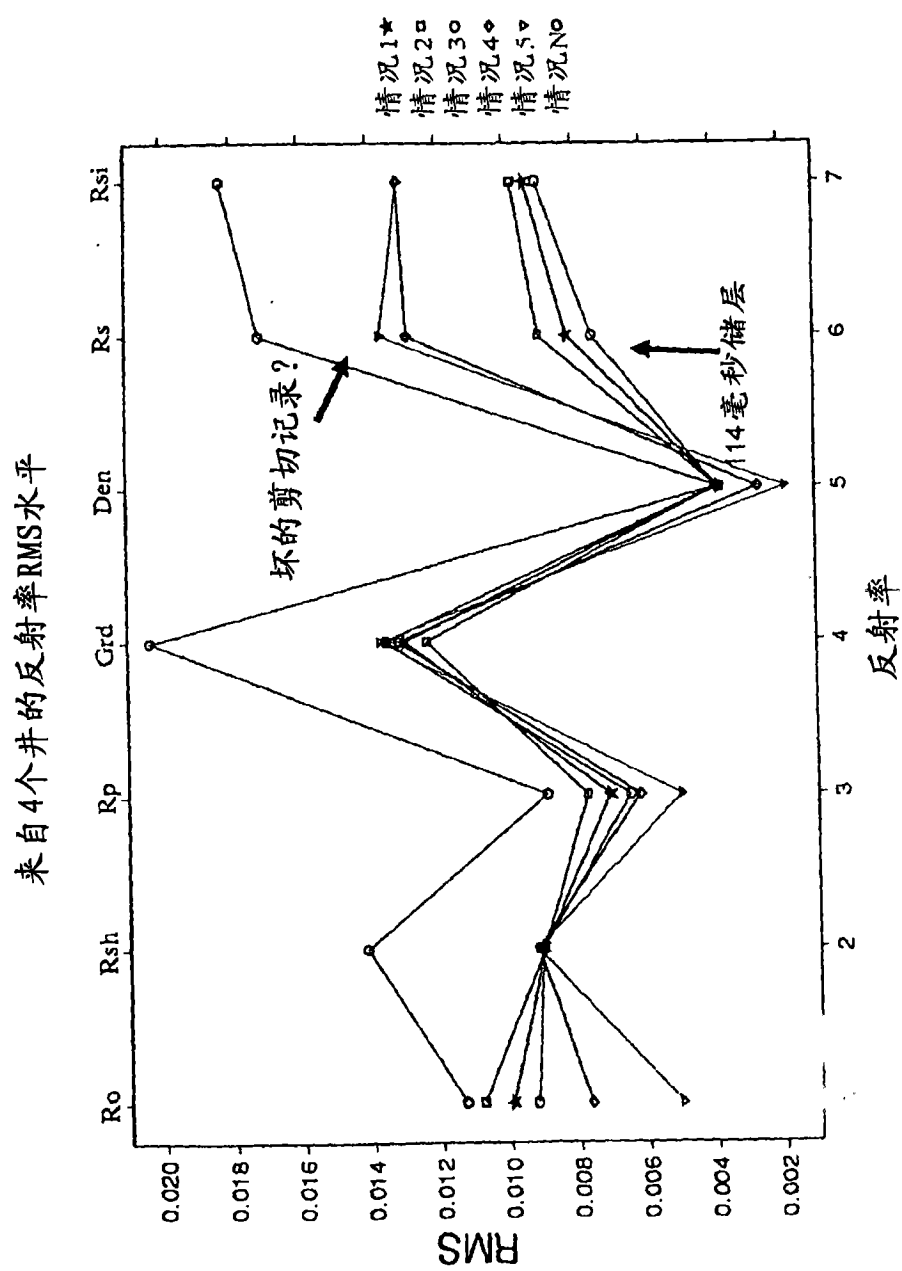


图 15

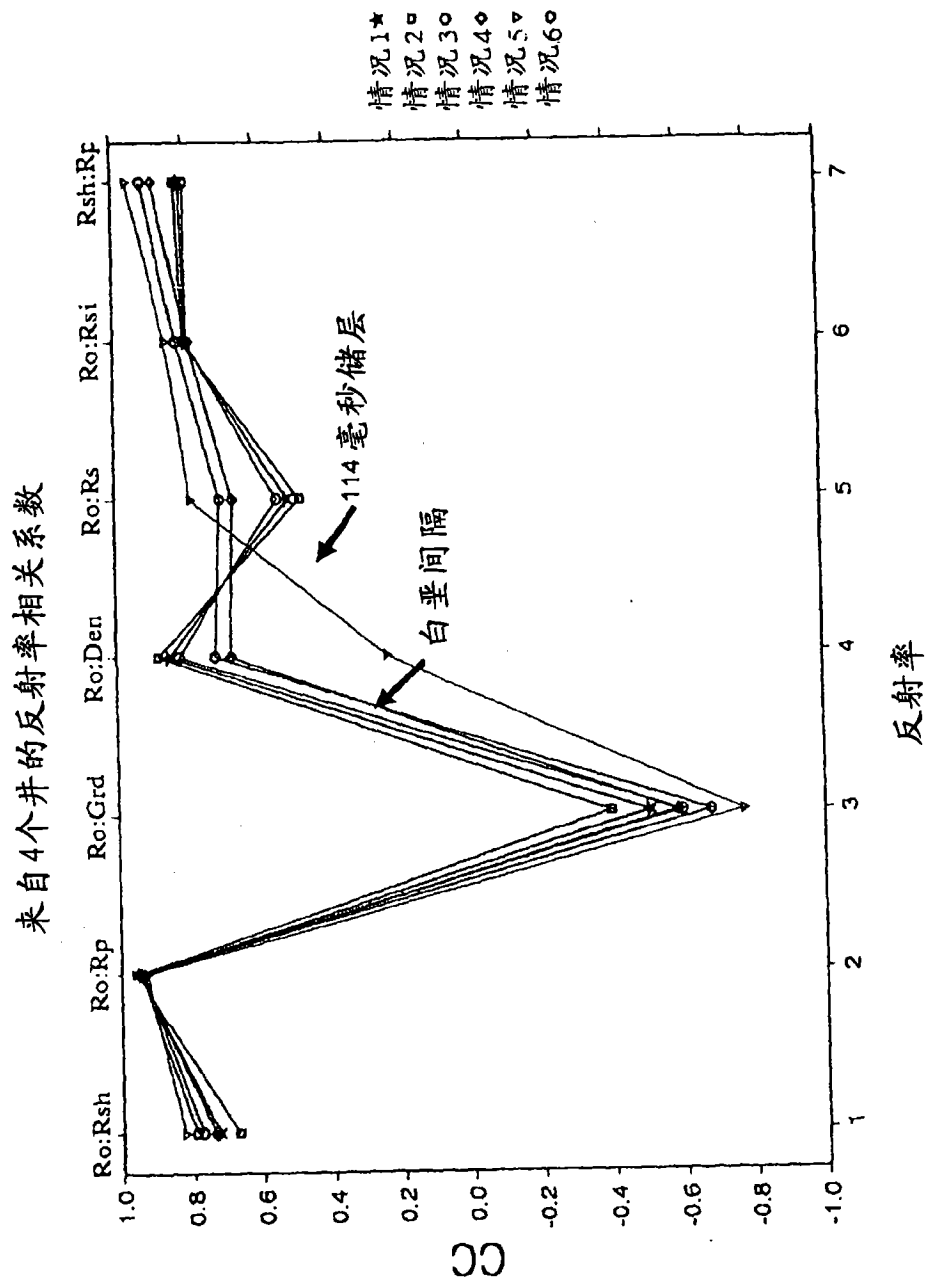
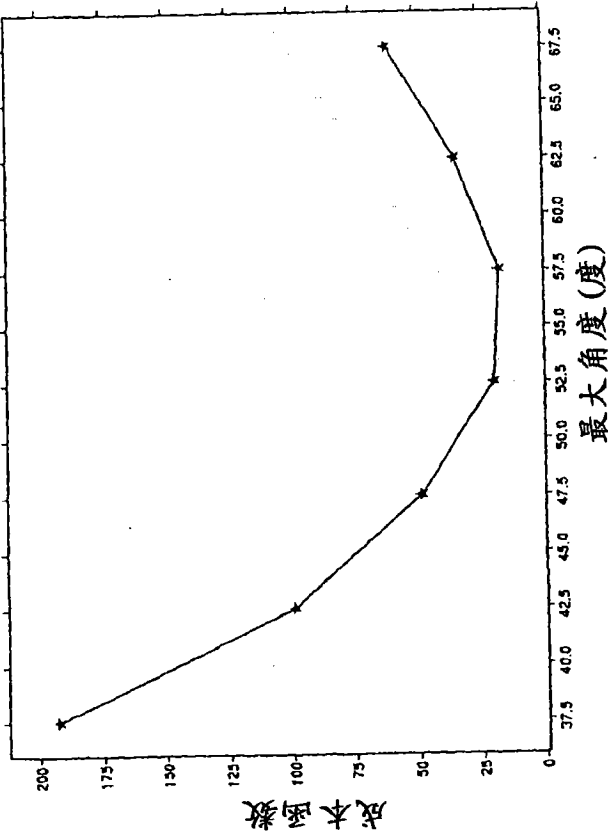


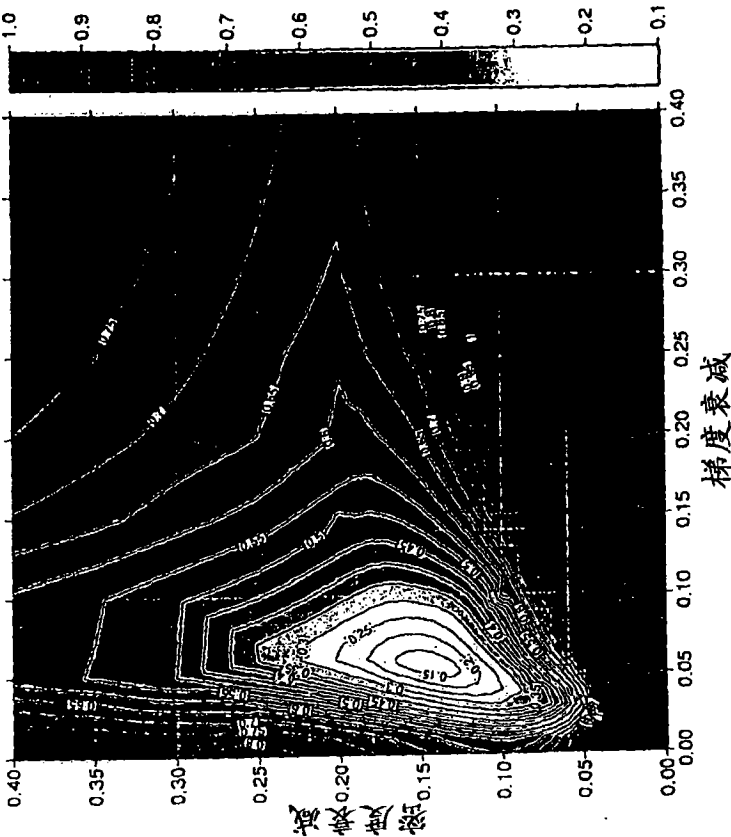
图 16

使用统计差值测量结果进行参数优化的例子

成本函数相对于最大角度



一个参数例子:
最大输入角度范围



第二个参数例子:
衰减的最小平方

图 17

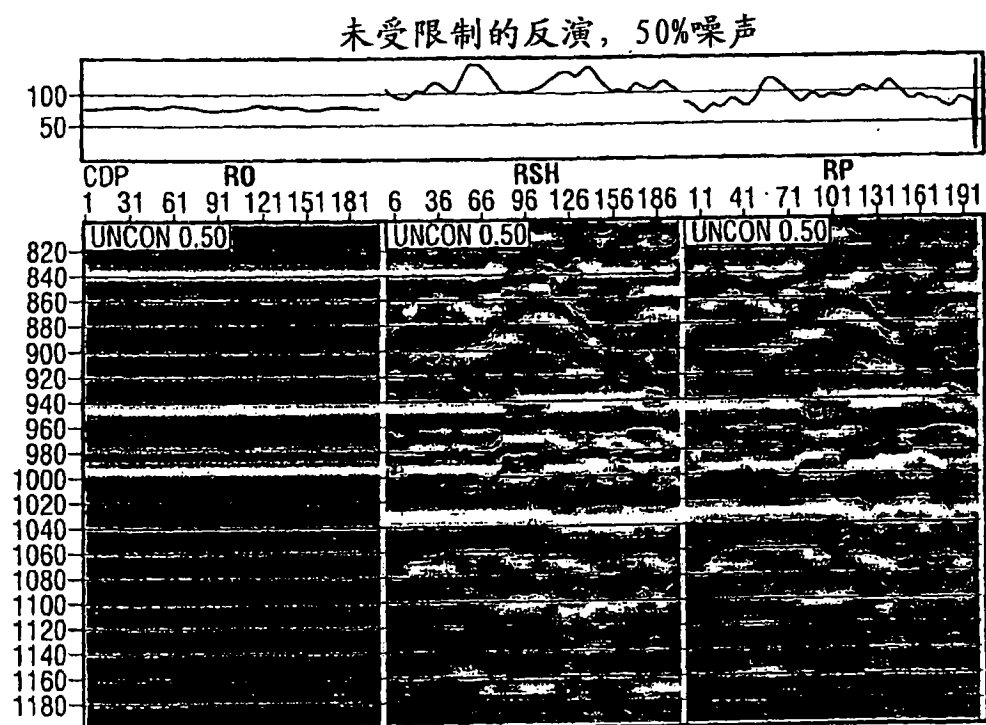


图 18A

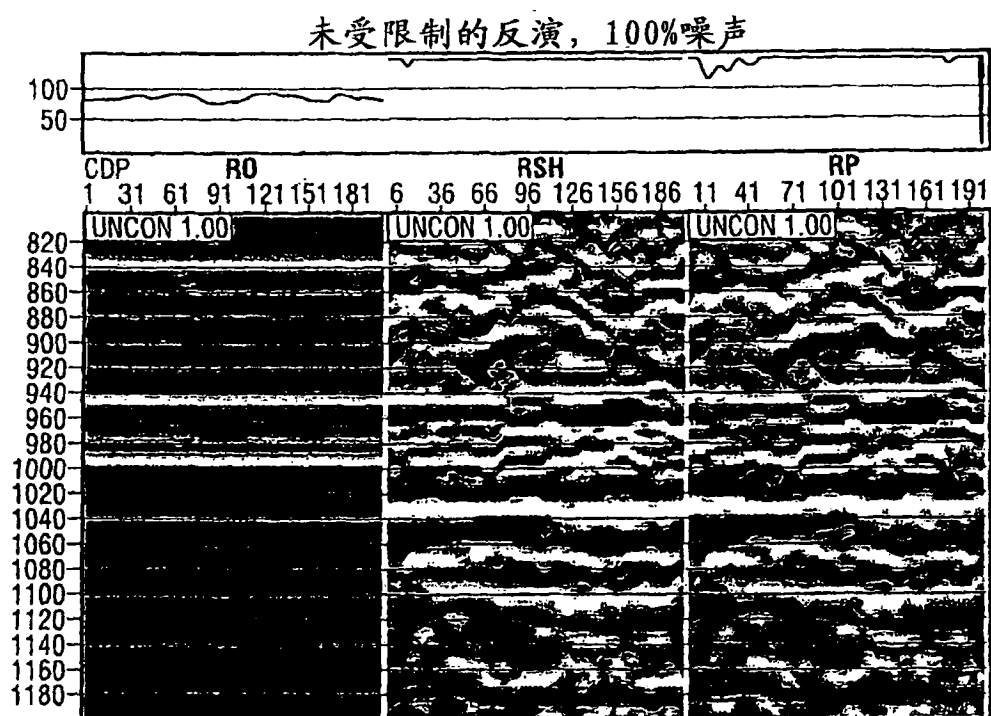


图 18B

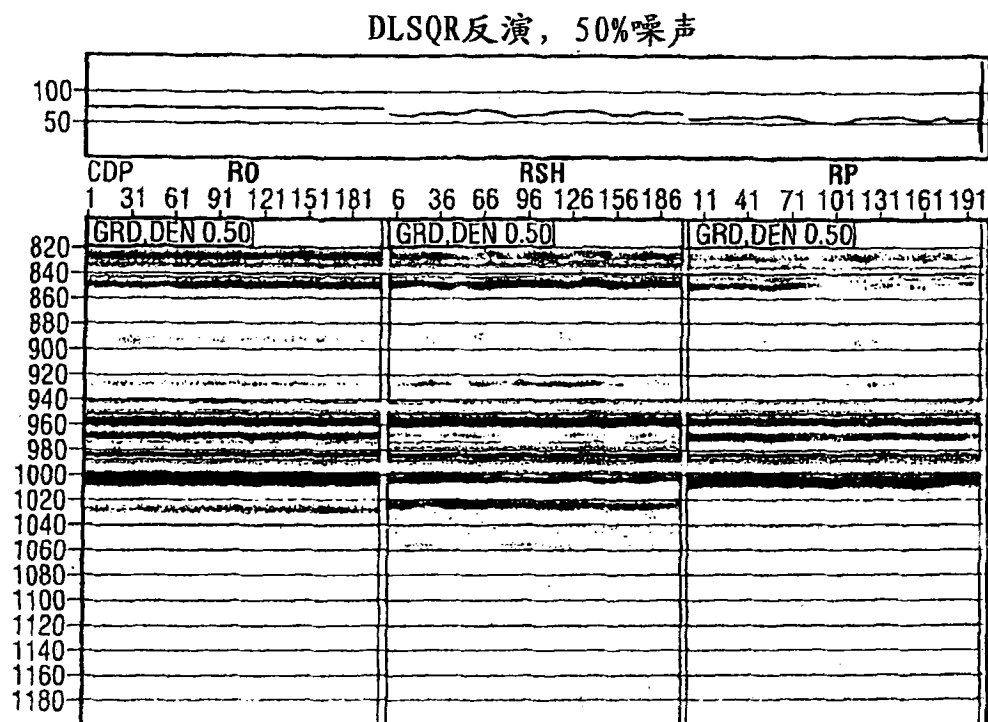


图 18C

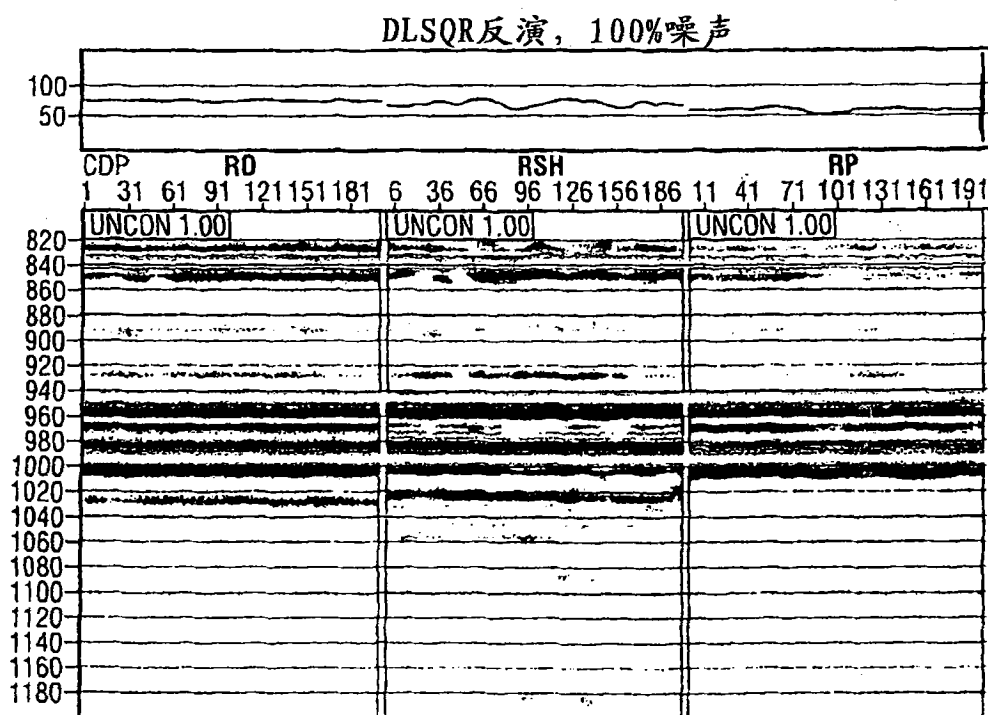


图 18D

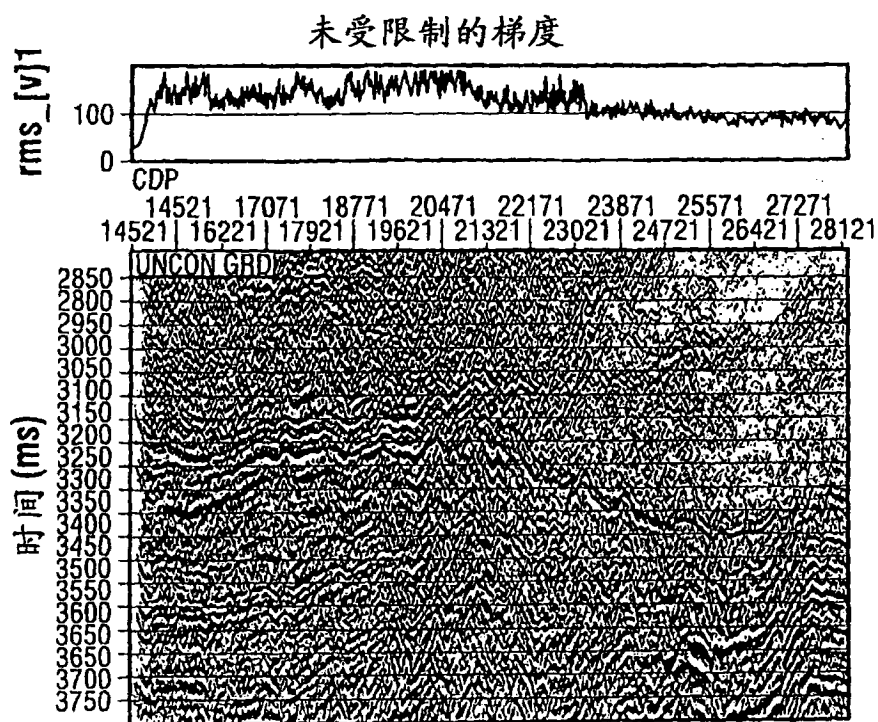


图 19A-1

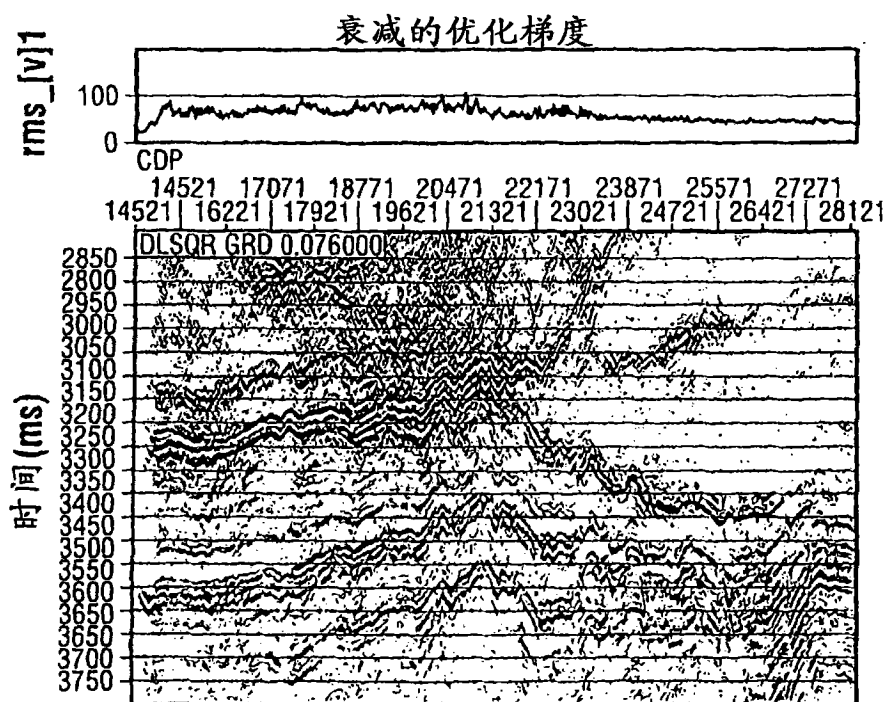


图 19A-2



图 19B-1



图 19B-2

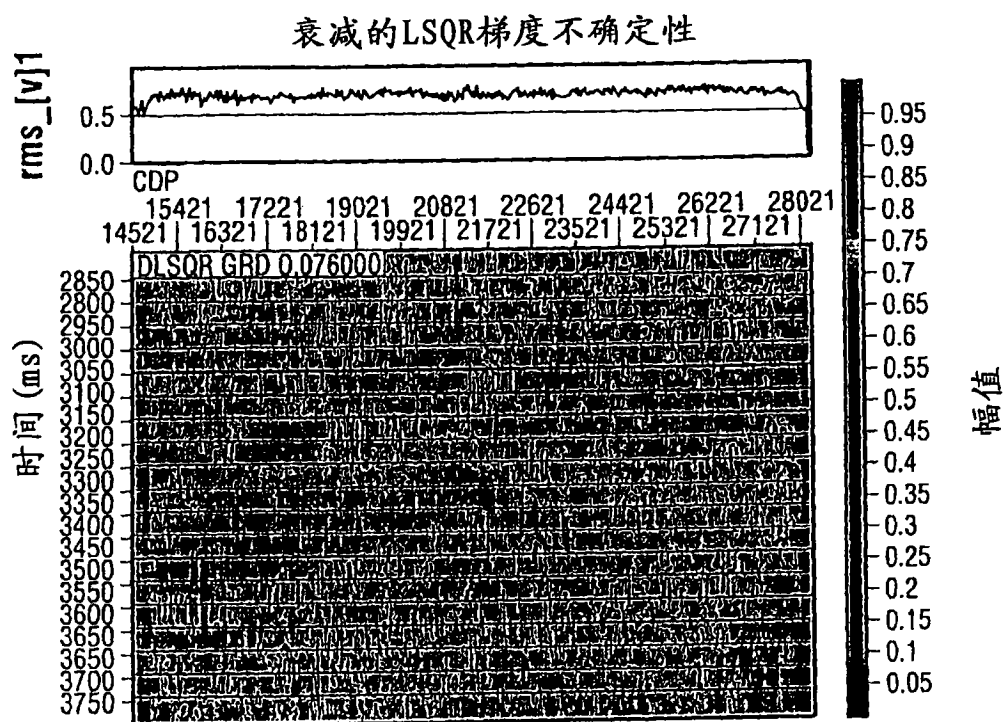


图 20

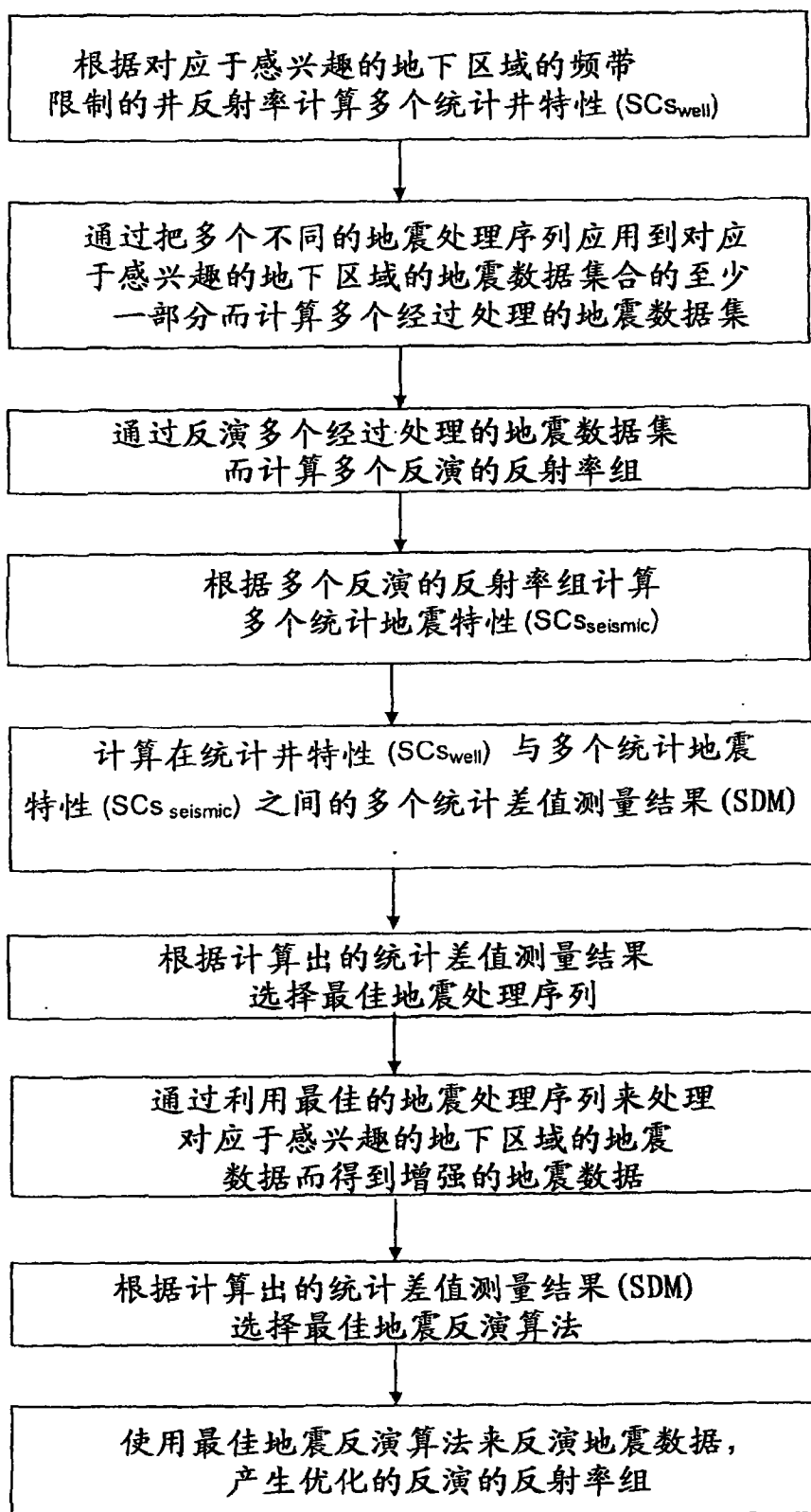


图 21

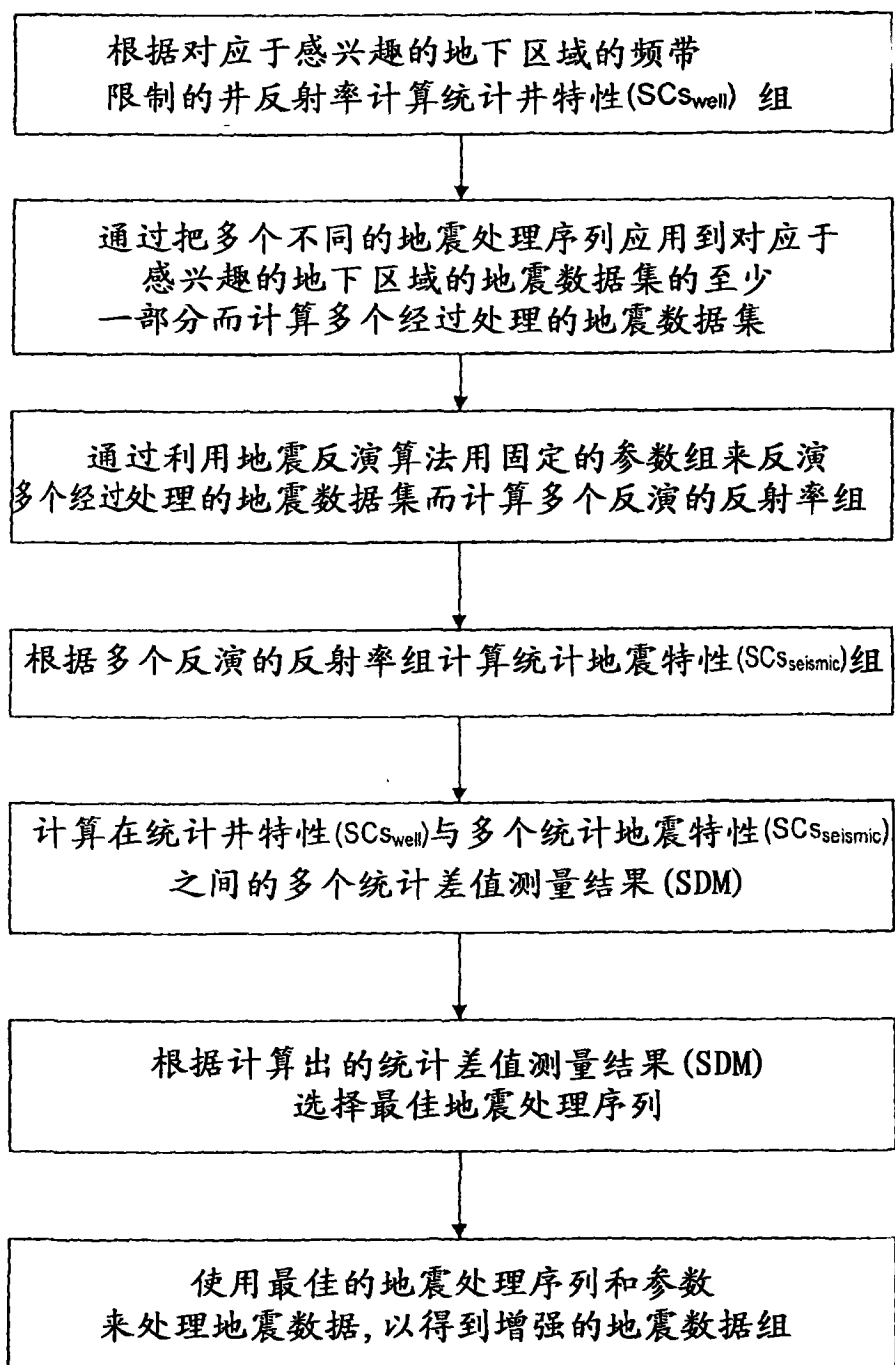


图 22

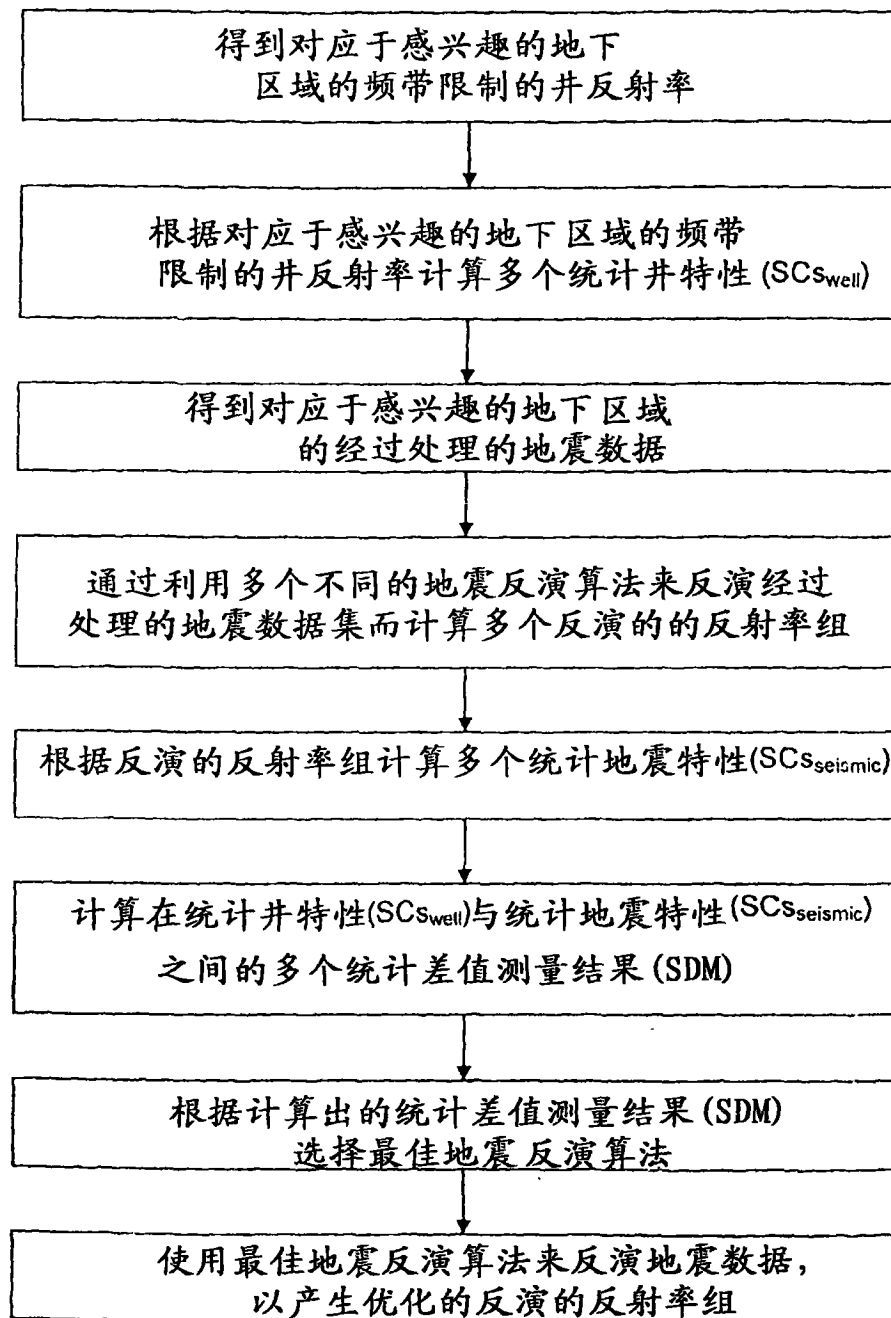


图 23