



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103675911 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201410004759. 7

(22) 申请日 2014. 01. 06

(71) 申请人 中国石油大学(华东)

地址 266580 山东省青岛市经济技术开发区
长江西路 66 号

(72) 发明人 杜启振 陈刚

(74) 专利代理机构 北京汇泽知识产权代理有限公司 11228

代理人 张瑾

(51) Int. Cl.

G01V 1/28(2006. 01)

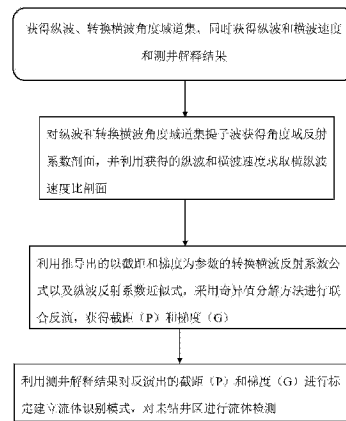
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于纵波和转换横波联合反演截距和梯度的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于纵波和转换横波联合反演截距和梯度的方法。该方法包括以下步骤:获得纵波、转换横波角度域道集,同时获得纵波和横波速度和测井解释结果;对纵波和转换横波角度域道集提取子波获得角度域反射系数剖面,并利用获得的纵波和横波速度求取横纵波速度比剖面;利用推导出的以截距和梯度为参数的转换横波反射系数公式以及纵波反射系数近似式,采用奇异值分解方法进行联合反演,获得截距和梯度;利用测井解释结果对反演出的截距和梯度进行标定建立流体识别模式,对未钻井区进行流体检测。本发明充分利用接收到的多分量地震场信息,减少了反演过程的多解性,提高了反演过程的稳定性,为油气预测提供了一种可靠的方法。



1. 一种基于纵波和转换横波联合反演截距和梯度的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤 1:获得纵波、转换横波角度域道集,同时获得纵波和横波速度和测井解释结果;

步骤 2:对纵波和转换横波角度域道集提取子波获得角度域反射系数剖面,并利用获得的纵波和横波速度求取横纵波速度比剖面;

步骤 3:利用以截距 (P) 和梯度 (G) 为参数的转换横波反射系数公式以及纵波反射系数近似式,采用奇异值分解方法进行联合反演,获得截距 (P) 和梯度 (G);

步骤 4:利用测井解释结果对反演出的截距 (P) 和梯度 (G) 进行标定建立流体识别模式,对未钻井区进行流体检测。

2. 根据权利要求 1 所述的基于纵波和转换横波联合反演截距和梯度的方法,其特征在于,步骤 1 的具体方法如下:

基于野外采集的地震资料,利用地震成像方法提取叠前地震角道集数据;

基于野外测井的测井资料,获得纵波和横波速度以及测井解释结果。

3. 根据权利要求 1-2 所述的基于纵波和转换横波联合反演截距和梯度的方法,其特征在于,步骤 2 的具体方法如下:

利用叠前地震地质标定方法获得纵波和转换横波角度域道集中的子波,然后利用最小平方脉冲反褶积方法去除纵波、转换横波角度域道集的子波,获得纵波、转换横波角度域反射系数;

利用测井资料获得的横波和纵波速度相除获得横纵波速度比剖面。

4. 根据权利要求 1-3 所述的基于纵波和转换横波联合反演截距和梯度的方法,其特征在于,步骤 3 具体方法如下:

以截距 (P) 和梯度 (G) 为参数的纵波反射系数近似公式:

$$R_{pp}(\theta) = P + G \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} (\tan^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (1.1)$$

$$\text{其中, } P = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta v_p}{v_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right), G = \frac{1}{2} \frac{\Delta v_p}{v_p} - 2 \left(2 \frac{\Delta v_p}{v_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right) + \frac{\Delta \sigma}{(1-\sigma)^2};$$

V_p 、 ΔV_p 分别是上、下层纵波平均速度和上、下层纵波速度差, θ 是纵波入射角、透射角的平均;

以截距 (P) 和梯度 (G) 为参数的转换横波反射系数近似公式:

$$R_{ps}(\theta) = -\frac{V_p \tan \varphi}{2V_s} \left[2P + \left(\sin^2 \theta - \frac{V_p}{V_s} \cos \theta \cos \varphi \right) G - \frac{1}{4} \left(4 + 2 \sin^2 \theta - 2 \frac{V_p}{V_s} \cos \theta \cos \varphi \right) \frac{\Delta V_p}{V_p} \right]$$

其中 θ 、 φ 分别为纵波入射角与透射角的平均值、转换波反射角与透射角的平均值, V_p 、 V_s 、 ρ 分别是上下层纵波速度、横波速度、密度的平均值, V_p 、 V_s 、 ρ 是上下层纵波速度差、横波速度差、密度差;

通过利用提子波后获得的纵波和转换横波角度域反射系数和计算出的横纵波速度比剖面,采用奇异值分解方法 (SVD) 解下面的系统方程进行联合反演,获得截距 (P) 和梯度 (G):

$$\begin{bmatrix} R_{pp}(\theta_1) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{pp}(\theta_n) \\ R_{ps}(\theta_1) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{ps}(\theta_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & B(\theta_1) & C(\theta_1) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & B(\theta_n) & C(\theta_n) \\ D(\theta_1) & E(\theta_1) & F(\theta_1) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ D(\theta_n) & E(\theta_n) & F(\theta_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ G \\ \frac{\Delta V_p}{V_p} \end{bmatrix}$$

其中, $B(\theta_i), C(\theta_i)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 分别为不同角度 θ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) R_{pp} 方程式中 $G, \frac{\Delta V_p}{V_p}$ 前的系数,

$D(\theta_i), E(\theta_i), F(\theta_i)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 分别为不同角度 θ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) R_{ps} 方程式中 $P, G, \frac{\Delta V_p}{V_p}$ 前的系数,

$R_{pp}(\theta_i), R_{ps}(\theta_i)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 分别为不同角度 θ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 的纵波和转换横波反射系数。

5. 根据权利要求 1-4 所述的基于纵波和转换横波联合反演截距和梯度的方法, 其特征在于, 步骤 4 具体方法如下:

首先对反演的截距 (P) 和梯度 (G) 剖面 and 过该剖面井的测井解释结果进行标定, 即依据测井解释结果, 把截距 (P) 和梯度 (G) 剖面上的油气层和水层在反演的截距 (P) 和梯度 (G) 剖面上对应标定, 可以依据油气和水层在该截距 (P) 和梯度 (G) 剖面上的显示现象, 对未钻井区截距和梯度剖面上的油层和气层进行预测, 获得有利钻井区。

一种基于纵波和转换横波联合反演截距和梯度的方法

技术领域

[0001] 本发明属于地球物理勘探领域,具体地,涉及一种基于纵波和转换横波联合反演截距和梯度的方法。

背景技术

[0002] 振幅随偏移距变化 (Amplitude Versus Offset) 是通过研究反射振幅随偏移距变化关系来获取速度、密度等岩性参数,进而进行油气储层预测的一项技术。利用 Shuey (1985) 公式提取相应的截距 (P) 和梯度 (G) 或者它们的组合参数可以有效的进行油气识别和流体预测。其中,截距 (P) 剖面,即直垂入射反射系数剖面,具有较高的信噪比和分辨率,在近似零炮检距处垂直入射、反射,不会产生转换横波,可视为纵波剖面。梯度 (G) 剖面与泊松比有关,含有反射界面上下地层岩性变化的信息,截距 (P) 和梯度 (G) 是很好的油气指示和流体预测参数。

[0003] 但是,传统提取截距 (P) 和梯度 (G) 的方法仅仅依赖于纵波资料,难以克服提取过程中的不稳定性 and 提取结果的多解性;另外一个方面,多分量地震资料记录到了丰富的地震波场信息,可以弥补单纯利用纵波方法的不足,减少反演过程的多解性,增加反演结果的稳定性,为油气预测提供可靠的方法。本发明综合利用纵波和转换横波联合提取截距 (P) 和梯度 (G),充分利用接收到的多分量地震波场信息,减少了反演过程的多解性,提高了反演过程的稳定性,为油气预测提供了一种可靠的方法。

发明内容

[0004] 为了克服单独使用纵波资料反演截距 (P) 和梯度 (G) 参数的不足,本发明提供了一种基于纵波和转换横波联合反演截距 (P) 和梯度 (G) 的方法;充分利用纵波、转换横波波场信息,在以截距 (P) 和梯度 (G) 为参数的纵波反射系数近似式 (Shuey, 1985) 基础上,进一步推导出了以截距 (P) 和梯度 (G) 为参数的转换横波反射系数近似式,利用获得的纵波和转换横波角道集,采用奇异值分解方法进行联合反演,获得截距 (P) 和梯度 (G)。

[0005] 为实现上述目的,本发明的技术方案如下:

[0006] 基于纵波和转换横波联合反演截距和梯度的方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤 1:获得纵波、转换横波角度域道集,同时获得纵波和横波速度和测井解释结果

[0008] 步骤 2:对纵波和转换横波角度域道集提取子波获得角度域反射系数剖面,并利用获得的纵波和横波速度求取横纵波速度比剖面

[0009] 步骤 3:利用推导出的以截距 (P) 和梯度 (G) 为参数的转换横波反射系数公式以及纵波反射系数近似式,采用奇异值分解方法进行联合反演,获得截距 (P) 和梯度 (G)

[0010] 步骤 4:利用测井解释结果对反演出的截距 (P) 和梯度 (G) 进行标定建立流体识别模式,对未钻井区进行流体检测

[0011] 相对于现有技术,本发明具有如下的有益效果:本发明综合利用纵波和转换横波

联合提取截距 (P) 和梯度 (G), 充分利用接收到的多分量地震波场信息, 减少了反演过程的多解性, 提高了反演过程的稳定性, 为油气预测提供了一种可靠的方法。

附图说明

- [0012] 图 1 是纵波和转换横波联合提取截距 (P) 和梯度 (G) 方法流程图;
- [0013] 图 2 是进行纵波和转换横波联合提取截距 (P) 和梯度 (G) 的层状模型数据;
- [0014] 图 3a 是由 Zoeppritz 方程直接合成的纵波角度域道集 (0-38°);
- [0015] 图 3b 是由 Zoeppritz 方程直接合成的转换横波角度域道集 (0-38°);
- [0016] 图 4a 是用最小平方脉冲反褶积原理去掉图 3a 中纵波角度域道集的子波得到的纵波角度域反射系数;
- [0017] 图 4b 是用最小平方脉冲反褶积原理去掉图 3b 中转换横波角度域道集的子波得到的转换横波角度域反射系数;
- [0018] 图 5a 是纵波和转换横波联合提取的截距 (P) 和仅利用纵波提取的截距 (P) 与截距 (P) 真实值的比较;
- [0019] 图 5b 是利用纵波和转换横波联合提取的梯度 (G) 和仅利用纵波提取的梯度 (G) 与梯度 (G) 真实值的比较;
- [0020] 图 6a 是由 Zoeppritz 方程直接合成的纵波角度域道集 (0-38°) 并加有 25dB 背景噪声;
- [0021] 图 6b 是由 Zoeppritz 方程直接合成的转换横波角度域道集 (0-38°) 并加有 25dB 背景噪声;
- [0022] 图 7a 是用最小平方脉冲反褶积原理去掉图 6a 中纵波角度域道集的子波得到的纵波角度域反射系数;
- [0023] 图 7b 是用最小平方脉冲反褶积原理去掉图 6b 中转换横波角度域道集的子波得到的转换横波角度域反射系数;
- [0024] 图 8a 在输入角道集中加入随机噪声情况下, 纵波和转换横波联合提取的截距 (P) 和仅利用纵波提取的截距 (P) 与截距 (P) 真实值的比较;
- [0025] 图 8b 在输入角道集中加入随机噪声情况下, 利用纵波和转换横波联合提取的梯度 (G) 和仅利用纵波提取的梯度 (G) 与梯度 (G) 真实值的比较。

具体实施方式

- [0026] 如图 1 所示, 基于纵波和转换横波联合反演截距 (P) 和梯度 (G) 的方法, 包括如下步骤:
- [0027] (1)、获得纵波、转换横波角度域道集, 同时获得纵波和横波速度和测井解释结果; 具体方法如下:
- [0028] 基于野外采集的地震资料利用地震成像方法提取叠前地震角道集数据;
- [0029] 基于野外测井的测井资料获得纵波和横波速度以及测井解释结果;
- [0030] (2)、对纵波、转换横波角度域道集提取子波获得角度域反射系数剖面, 并利用获得的纵波和横波速度求取横纵波速度比剖面; 具体方法如下:
- [0031] 利用叠前地震地质标定方法 (慎国强. 叠前地震反演方法及影响因素研究

[J]. 2013) 获得纵波和转换横波角道集中的子波, 然后采用最小平方脉冲反褶积原理去除纵波、转换横波角度域道集的子波, 获得纵波、转换横波角度域反射系数。

[0032] 通过 Zoeppritz 方程 (参见《地震波理论与方法》, 孙成禹, 第 65 页公式 3-2-7), 利用测井纵波速度、横波速度以及密度参数, 可以获得正演的纵波和转换横波井旁角度域地震道, 该纵波和转换横波角道集与实际获得的叠前纵波和转换横波角道集对比可以估算实际获得的角道集里面的子波。然后在子波已知情况下采用最小平方脉冲反褶积方法 (李振春的《地震数据处理方法》第 67 页) 去除纵波、转换横波角度域道集的子波, 获得纵波、转换横波角度域反射系数。

[0033] 利用测井资料获得的横波和纵波速度相除获得横纵波速度比剖面。

[0034] (3)、利用推导出的以截距 (P) 和梯度 (G) 为参数的转换横波反射系数公式 (公式 1.5) 以及 Shuey (1985) 纵波反射系数近似式 (公式 1.1), 采用奇异值分解方法进行联合反演, 获得截距 (P) 和梯度 (G); 具体方法如下:

[0035] Shuey (1985) 将 Aki 和 Richard (1980) 推导的纵波反射系数近似式改写为以截距 (P) 和梯度 (G) 为参数的公式:

$$[0036] \quad R_{pp} = P + G \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} (\tan^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (1.1)$$

[0037] 其中, $P = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta v_p}{v_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right)$, $G = \frac{1}{2} \frac{\Delta v_p}{v_p} - 2 \left(2 \frac{\Delta v_p}{v_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right) + \frac{\Delta \sigma}{(1-\sigma)^2}$; V_p 、 ΔV_p 分别是上、

下层纵波平均速度和上、下层纵波速度差, θ 是纵波入射角、透射角的平均。

[0038] 以截距 (P) 和梯度 (G) 为参数, 推导转换横波反射系数近似公式 (公式 1.5)。Aki 和 Richard 等 (1980) 给出了转换横波反射系数近似式:

[0039]

$$R_{ps}(\theta) = -\frac{V_p \tan \varphi}{2V_s} \left[\left(1 - 2 \frac{V_s^2}{V_p^2} \sin^2 \theta + 2 \frac{V_s}{V_p} \cos \theta \cos \varphi \right) \frac{\Delta \rho}{\rho} - \left(4 \frac{V_s^2}{V_p^2} \sin^2 \theta - 4 \frac{V_s}{V_p} \cos \theta \cos \varphi \right) \frac{\Delta V_s}{V_s} \right] \quad (1.2)$$

[0040] 其中 θ 、 φ 分别为纵波入射角与透射角的平均值、转换波反射角与透射角的平均值, V_p 、 V_s 、 ρ 分别是上下层纵波速度、横波速度、密度的平均值, ΔV_p 、 ΔV_s 、 $\Delta \rho$ 是上下层纵波速度差、横波速度差、密度差。

[0041] 在各向同性介质中, 泊松比与纵横波速度比的关系式:

$$[0042] \quad \frac{V_s^2}{V_p^2} = \frac{1-2\sigma}{2(1-\sigma)} \quad (1.3)$$

[0043] 其中, V_p 、 V_s 、 σ 分别为上下层纵波速度、横波速度、泊松比的平均值, σ 是 V_p 、 V_s 的函数。对 1.2 式两边微分并整理可以得到:

$$[0044] \quad \frac{\Delta V_s}{V_s} = \frac{\Delta V_p}{V_p} - \frac{1}{4} \frac{V_p^2}{V_s^2} \frac{\Delta \sigma}{(1-\sigma)^2} \quad (1.4)$$

[0045] 将 1.4 式代入 1.2 式中并整理得下式:

[0046]

$$R_{ps} = -\frac{V_p \tan \varphi}{2V_s} \left[2P + (\sin^2 \theta - \frac{V_p}{V_s} \cos \theta \cos \varphi)G - \frac{1}{4} (4 + 2 \sin^2 \theta - 2 \frac{V_p}{V_s} \cos \theta \cos \varphi) \frac{\Delta V_p}{V_p} \right]$$

(1.5)

[0047] 为了克服单独使用纵波资料反演截距 (P) 和梯度 (G) 参数的不足, 充分利用纵波、转换横波波场信息, 联立公式 1.1 式和公式 1.5 式, 用 SVD (奇异值分解) 方法进行联合反演截距和梯度:

$$[0048] \begin{bmatrix} R_{pp}(\theta_1) \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{pp}(\theta_n) \\ R_{ps}(\theta_1) \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{ps}(\theta_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & B(\theta_1) & C(\theta_1) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & B(\theta_n) & C(\theta_n) \\ D(\theta_1) & E(\theta_1) & F(\theta_1) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ D(\theta_n) & E(\theta_n) & F(\theta_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ G \\ \frac{\Delta V_p}{V_p} \end{bmatrix}$$

[0049] 其中, $B(\theta_i), C(\theta_i)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 分别为不同角度 θ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) R_{pp} 方程式中 $G, \Delta V_p/V_p$ 前的系数, $D(\theta_i), E(\theta_i), F(\theta_i)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 分别为不同角度 θ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) R_{ps} 方程式中 $P, G, \Delta V_p/V_p$ 前的系数, $R_{pp}(\theta_i), R_{ps}(\theta_i)$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 分别为不同角度 θ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 的纵波和转换横波反射系数。

[0050] 上述反演截距和梯度的表达式可归纳为:

[0051] $y = Ax$

[0052] 其中, y 为角度域准反射系数矩阵, x 为需要提取的属性参数矩阵, A 为属性参数 x 前系数矩阵。

[0053] 利用奇异值方法进行 AVO 反演可求得属性参数 x 矩阵, 即

[0054] $x = U \Lambda^{-1} V^T y$

[0055] 其中, U, V 是对矩阵 A 进行奇异值分解得到的 AA^T 的特征值, Λ 是对矩阵 A 进行奇异值分解得到的 AA^T 奇异值矩阵。

[0056] (4)、利用测井解释结果对反演出的截距 (P) 和梯度 (G) 进行标定建立流体识别模式, 对未钻井区进行流体检测; 具体方法如下:

[0057] 首先对反演的截距 (P) 和梯度 (G) 剖面 and 过该剖面井的测井解释结果进行标定, 即依据测井解释结果, 把截距 (P) 和梯度 (G) 剖面上的油气层和水层在反演的截距 (P) 和梯度 (G) 剖面上对应标定, 可以依据油气和水层在该截距 (P) 和梯度 (G) 剖面上的显示现象, 对未钻井区截距和梯度剖面上的油层和气层进行预测, 获得有利钻井区。

[0058] 通过对 Mahmoudian and Margrave (2004) 提出的四层模型进行测试, 图 5 是联合纵波和转换横波提取截距 (P) 和梯度 (G) 属性和利用单纵波提取截距 (P) 和梯度 (G) 属性与截距 (P) 和梯度 (G) 真实值的对比图, 对比发现联合反演的截距 (P) 和梯度 (G) 有更高的

精度,特别是梯度(G)属性;图8是在输入的角度集数据有噪声的情况下,联合纵波和转换横波提取截距(P)和梯度(G)属性和利用单纵波提取截距(P)和梯度(G)属性与截距(P)和梯度(G)真实值的对比图,对比发现联合反演的截距(P)和梯度(G)有更高的精度,特别是梯度(G)属性,而且联合对背景噪声有一定的压制。

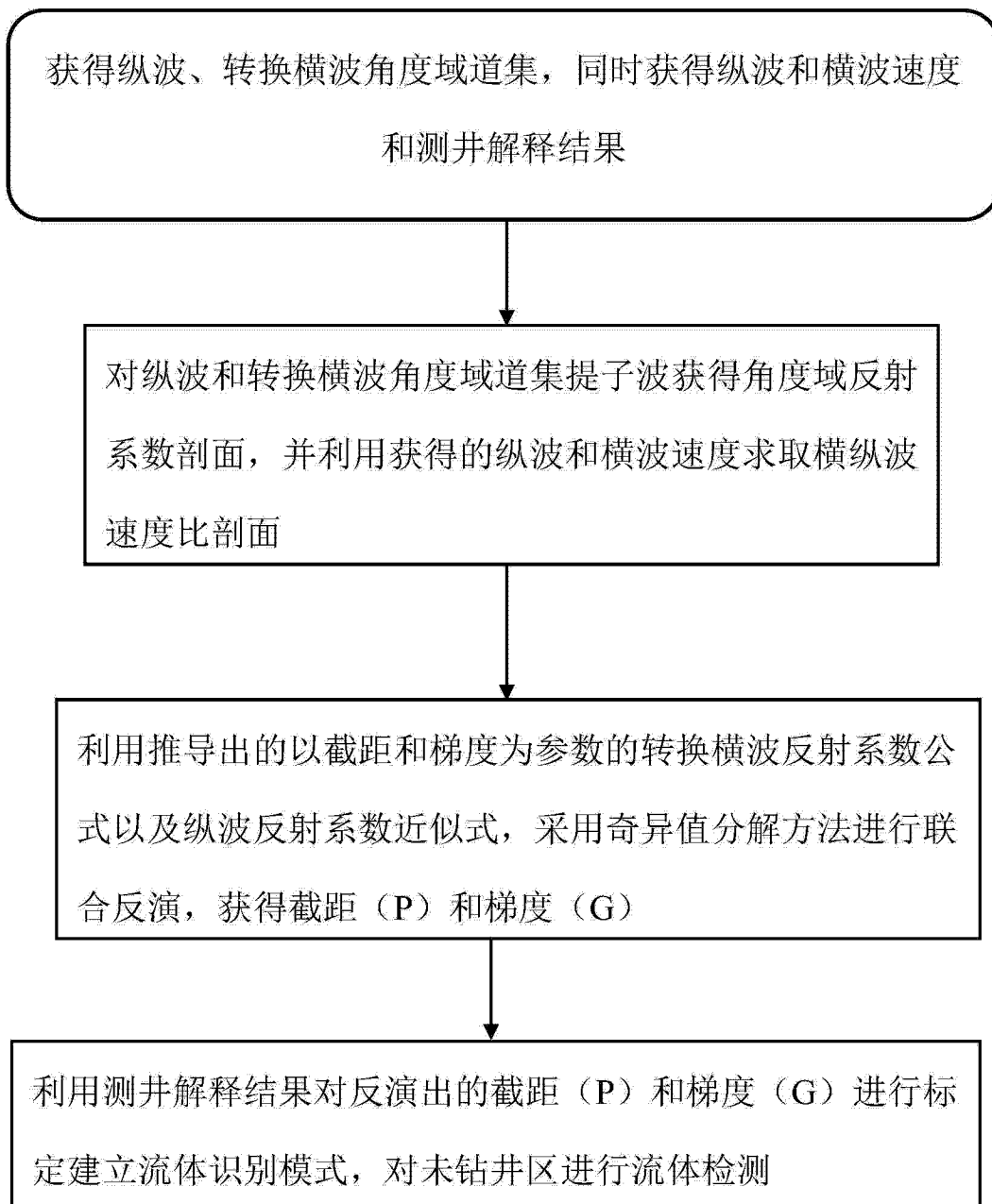


图 1

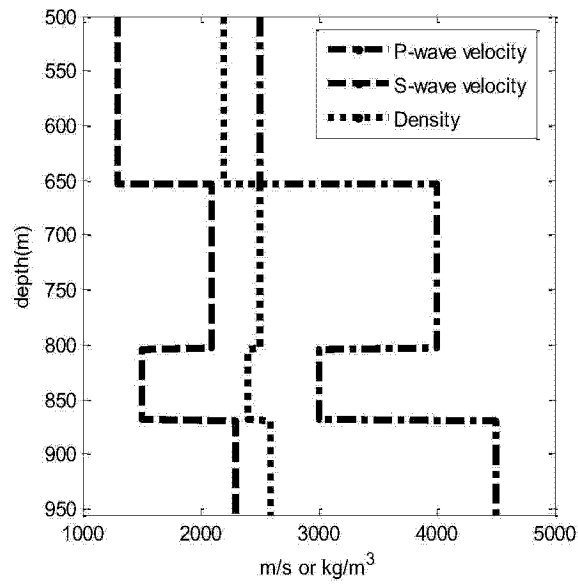


图 2

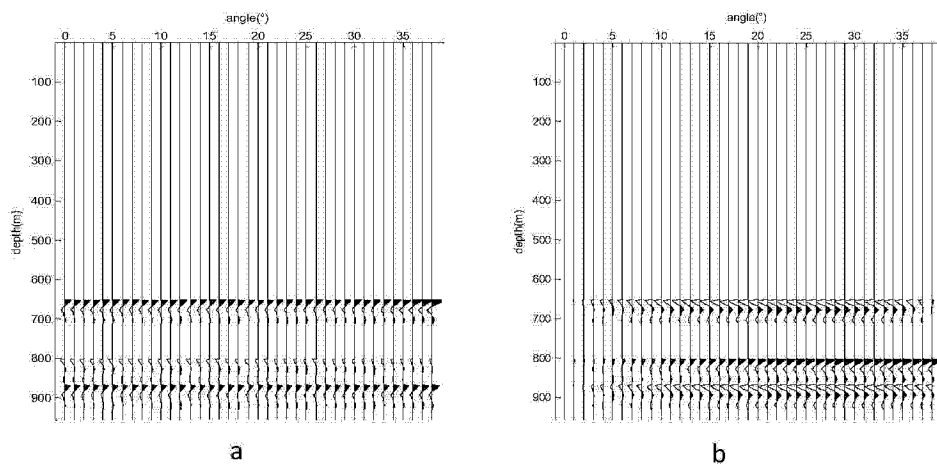


图 3

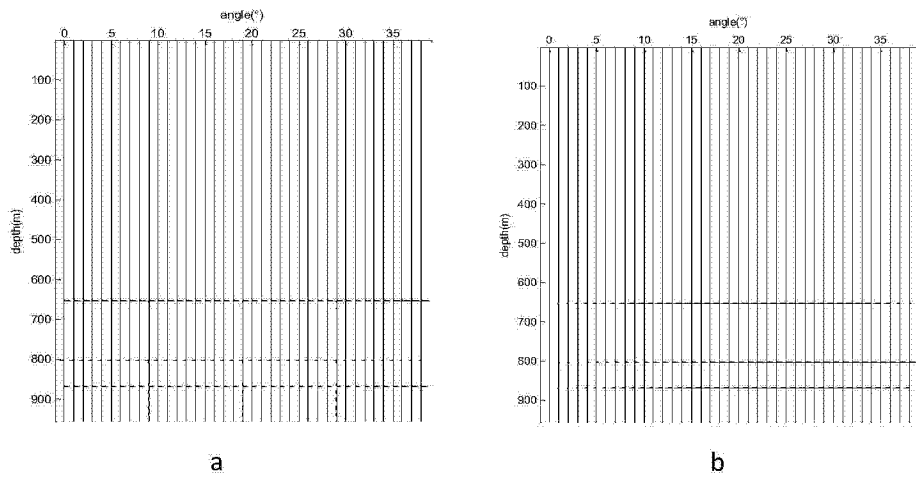


图 4

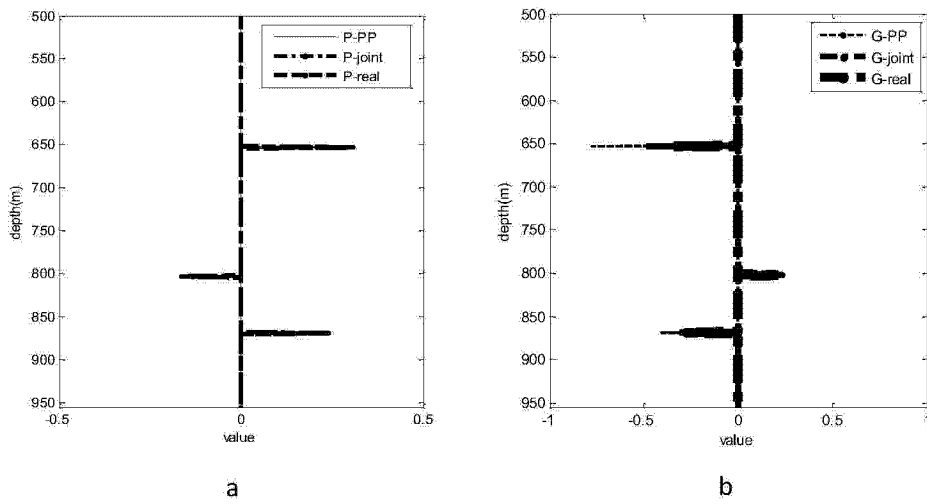


图 5

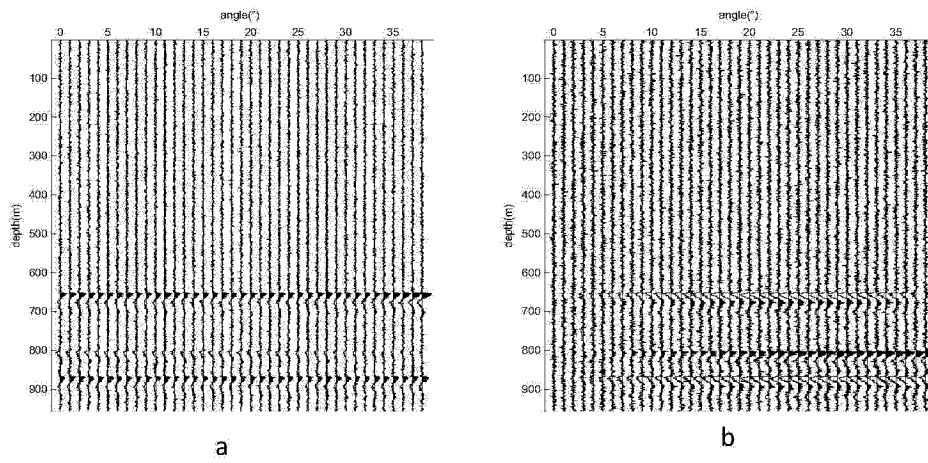


图 6

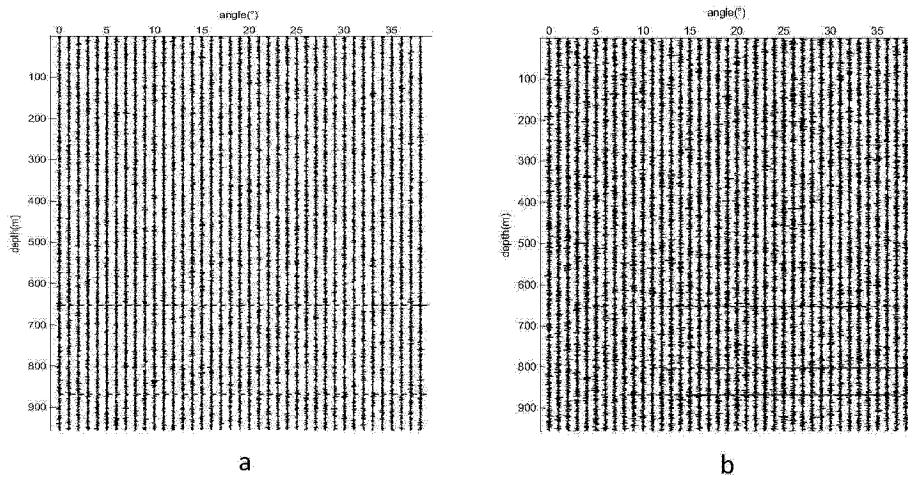


图 7

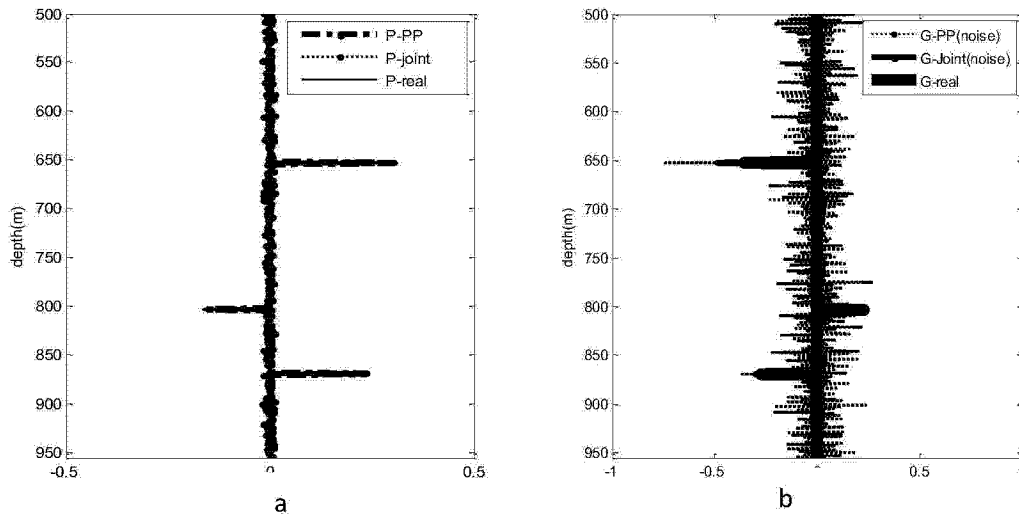


图 8