

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016年1月21日 (21.01.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/008100 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01V 1/28 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/082257
- (22) 国际申请日: 2014年7月15日 (15.07.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (72) 发明人; 及
- (71) 申请人: 杨顺伟 (YANG, Shunwei) [CN/CN]; 中国广东省深圳市罗湖区贝丽南路金丽豪苑鹏庆阁1609 杨顺伟, Guangdong 518020 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,

JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(54) Title: THREE-DIMENSIONAL SEISMIC ANISOTROPIC MEDIUM REVERSE TIME MIGRATION IMAGING METHOD AND DEVICE

(54) 发明名称: 一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法及装置

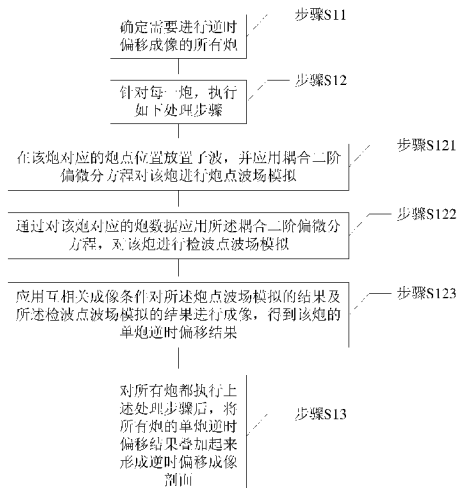


图 1 / FIG.1

- Step S11 Determine all shots requiring reverse time migration imaging
- Step S12 Perform the following steps for each shot
- Step S121 Place a sub-wave at a shot point position corresponding to the shot, and conduct shot point wave field simulation on the shot by using a coupling second-order partial differential equation
- Step S122 Conduct wave detection point wave field simulation on the shot by applying the coupling second-order partial differential equation to shot data corresponding to the shot
- Step S123 Image the result of the shot point wave field simulation and the result of the wave detection point wave field simulation by using a mutual correlation imaging condition so as to obtain a single-shot reverse time migration result of the shot
- Step S13 After performing the above steps on all shots, superimpose the single-shot reverse time migration results of all the shots to form a reverse time migration imaging profile

(57) Abstract: A three-dimensional seismic anisotropic medium reverse time migration imaging method and device, used in the technical field of reflected wave seismic data processing, the method comprising: determining all shots requiring reverse time migration imaging (S11); performing the following steps for each shot (S12): placing a sub-wave at a shot point position corresponding to the shot, and conducting shot point wave field simulation on the shot by using a coupling second-order partial differential equation (S121); conducting wave detection point wave field simulation on the shot by applying the coupling second-order partial differential equation to shot data corresponding to the shot (S122); and imaging the result of the shot point wave field simulation and the result of the wave detection point wave field simulation by using a mutual correlation imaging condition so as to obtain a single-shot reverse time migration result of the shot (S123); after performing the above steps on all shots, superimposing the single-shot reverse time migration results of all the shots to form a reverse time migration imaging profile (S13). The present invention employs a stable coupling second-order partial differential equation to realize differential solving of a wave equation, thus solving the problem of inconsistent calculation caused by the change of the symmetrical axis inclination angle of a TTI medium, and finally solving the problem of rapid changes in the imaging of a three-dimensional complex structure.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2016/008100 A1

一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法及装置，应用于反射波地震数据处理技术领域，该方法包括：确定需要进行逆时偏移成像的所有炮（S11）；针对每一炮，执行如下处理步骤（S12）：在该炮对应的炮点位置放置子波，并应用耦合二阶偏微分方程对该炮进行炮点波场模拟（S121）；通过对该炮对应的炮数据应用所述耦合二阶偏微分方程，对该炮进行检波点波场模拟（S122）；应用互相关成像条件对所述炮点波场模拟的结果及所述检波点波场模拟的结果进行成像，得到该炮的单炮逆时偏移结果（S123）；对所有炮都执行上述处理步骤后，将所有炮的单炮逆时偏移结果叠加起来形成逆时偏移成像剖面（S13）。由于采用了稳定的耦合二阶偏微分方程实现波动方程的差分求解，其能够解决 TTI 介质对称轴倾角突变引起的计算不稳定问题，并最终解决速度急剧变化的三维复杂构造成像问题。

一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法及装置

技术领域

本发明涉及反射波地震数据处理技术领域，具体地，涉及一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法及装置。

背景技术

地球介质的地震各向异性被证实是普遍存在的，但地震勘探常常把地球近似看作是各向同性介质。在过去，这种近似能够简化地震处理解释的问题和公式，但是在追求精细油藏探测的今天，忽略某些地震介质（如薄互层砂岩储层介质、层状页岩介质、碳酸盐岩中的裂缝-溶洞型储层介质以及裂隙发育的火成岩储层介质）存在的各向异性可能会使地震处理解释产生较大的误差，在地震资料处理中这种误差的其中一个表现为偏移后断层产生的错位。因此研究各向异性地震勘探技术相当必要而且紧迫。

此外，现有技术在对称轴倾角参数剖面的突变位置存在计算不稳定问题，导致计算出现异常值，使得计算报错退出。

发明内容

本发明实施例的主要目的在于提供一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法及装置，以解决现有技术中在进行炮点波场模拟时，在对称轴倾角参数剖面的突变位置存在计算不稳定的问题。

为了实现上述目的，本发明实施例提供一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法，包括：

确定需要进行逆时偏移成像的所有炮；

针对每一炮，执行如下处理步骤：

在该炮对应的炮点位置放置子波，并应用耦合二阶偏微分方程对该炮进行炮点波场模拟；

通过对该炮对应的炮数据应用所述耦合二阶偏微分方程，对该炮进行检波点波场模拟；

应用互相关成像条件对所述炮点波场模拟的结果及所述检波点波场模拟的结果进行成像，得到该炮的单炮逆时偏移结果；

对所有炮都执行上述处理步骤后，将所有炮的单炮逆时偏移结果叠加起来形成逆时偏移成像剖面；

其中，所述耦合二阶偏微分方程为：

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = (1+2\varepsilon)H_2 p + H_1 q + \frac{\varepsilon-\delta}{\sigma} H_1 (p-q) \\ \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = (1+2\delta)H_2 p + H_1 q - \frac{\varepsilon-\delta}{\sigma} H_2 (p-q) \\ H_1 = \sin^2 \theta \cos^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \sin^2 \theta \sin^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \cos^2 \theta \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \\ \sin^2 \theta \sin 2\phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + \sin 2\theta \sin \phi \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} + \sin 2\theta \cos \phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \\ H_2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - H_1 \end{array} \right.$$

所述方程中， δ 、 ε 分别为成像空间对应的 Thomson 各向异性参数；

θ 、 ϕ 分别为成像空间对应的对称轴倾角参数和对称轴方位角参数。

本发明还提供一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像装置，包括：

炮确定模块，用于确定需要进行逆时偏移成像的所有炮；

单炮处理模块，用于针对每一炮，执行如下处理步骤：

在该炮对应的炮点位置放置子波，并应用耦合二阶偏微分方程进行炮点波场模拟；

获取该炮对应的炮数据，并应用所述耦合二阶偏微分方程进行检波点波场模拟；

应用互相关成像条件对所述炮点波场模拟的结果及所述检波点波场模拟的结果进行成像，得到该炮的单炮逆时偏移结果；

叠加成像模块，用于对所有炮都执行上述处理步骤后，将所有炮的单炮逆时偏移结果叠加起来形成逆时偏移成像剖面；

其中，所述耦合二阶偏微分方程为：

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = (1+2\varepsilon)H_2 p + H_1 q + \frac{\varepsilon-\delta}{\sigma} H_1 (p-q) \\ \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = (1+2\delta)H_2 p + H_1 q - \frac{\varepsilon-\delta}{\sigma} H_2 (p-q) \\ H_1 = \sin^2 \theta \cos^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \sin^2 \theta \sin^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \cos^2 \theta \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \\ \sin^2 \theta \sin 2\phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + \sin 2\theta \sin \phi \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} + \sin 2\theta \cos \phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \\ H_2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - H_1 \end{array} \right.$$

所述方程中， δ 、 ε 分别为成像空间对应的 Thomson 各向异性参数；

θ 、 ϕ 分别为成像空间对应的对称轴倾角参数和对称轴方位角参数。

借助于上述技术方案，本发明采用了稳定的耦合二阶偏微分方程实现波动方程的差分求解，能够解决介质对称轴倾角突变引起的计算不稳定问题，并最终解决速度急剧变化的三维复杂构造成像问题。本发明所述的方法具有计算效率高、成像效果好、以及易于实现的优点，适合于逆时偏移商业化软件的开发以及工业化生产的需要。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 是本发明提供的三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法流程示意图；

图 2 是本发明提供的某地震各向异性介质地区的逆时偏移炮点波场模拟快照；

图 3 是本发明提供的炮点波场快照；

图 4 是本发明提供的检波点波场快照；

图 5 是本发明提供的单炮逆时偏移结果；

图 6 是本发明提供的某地震各向异性介质地区的逆时偏移成像结果；

图 7 是本发明提供的忽略各向异性倾角参数的逆时偏移成像结果；

图 8 是本发明提供的忽略所有各向异性参数的各向同性逆时偏移成像结果；

图 9 是图 6 的局部放大图；

图 10 是图 7 的局部放大图；

图 11 是图 8 的局部放大图；

图 12 是本发明提供的将逆时偏移的结果与速度模型叠合显示的结果；

图 13 是本发明提供的三维地震各向异性介质逆时偏移成像装置结构示意图；

图 14 是本发明实施例提供的三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法流程示意图。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

在实现本发明的过程中，发明人发现：

基于全声波方程的有限差分偏移方法（也叫逆时偏移方法，或 RTM 方法）通过在时间-

空间域用显示高阶有限差分算法直接求解全声波偏微分方程，真实地模拟了波的传播现象。该方法完全遵守波动方程，不存在倾角限制，可适用于速度场的急剧变化，在三维复杂构造成像方面具备明显优势，成像精度高。由于逆时偏移算法是在时空域中直接模拟地震波的传播，使它更加易于应用于复杂变化的垂直横向各向同性和倾斜横向各向同性等各向异性介质中的成像问题。

在地下介质存在各向异性特征时，地震波在地下介质中的传播方式是不一样的，基于上述发现，本发明提供了一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法，如图 1 所示，包括：

步骤 S11，确定需要进行逆时偏移成像的所有炮；

步骤 S12，针对每一炮，执行如下处理步骤：

步骤 S121，在该炮对应的炮点位置放置子波，并应用耦合二阶偏微分方程对该炮进行炮点波场模拟；

步骤 S122，通过对该炮对应的炮数据应用所述耦合二阶偏微分方程，对该炮进行检波点波场模拟；

步骤 S123，应用互相关成像条件对所述炮点波场模拟的结果及所述检波点波场模拟的结果进行成像，得到该炮的单炮逆时偏移结果；

步骤 S13，对所有炮都执行上述处理步骤后，将所有炮的单炮逆时偏移结果叠加起来形成逆时偏移成像剖面；

其中，所述耦合二阶偏微分方程为：

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = (1 + 2\varepsilon) H_2 p + H_1 q + \frac{\varepsilon - \delta}{\sigma} H_1 (p - q) \\ \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = (1 + 2\delta) H_2 p + H_1 q - \frac{\varepsilon - \delta}{\sigma} H_2 (p - q) \\ H_1 = \sin^2 \theta \cos^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \sin^2 \theta \sin^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \cos^2 \theta \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \\ \sin^2 \theta \sin 2\phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + \sin 2\theta \sin \phi \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} + \sin 2\theta \cos \phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \\ H_2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - H_1 \end{array} \right.$$

所述方程中， p 、 q 为耦合波场， x 、 y 、 z 为空间轴坐标， t 为时间轴坐标， δ 、 ε 分别为成像空间对应的 Thomson 各向异性参数；

θ 、 ϕ 分别为成像空间对应的对称轴倾角参数和对称轴方位角参数。

应用本发明提供的三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法能够解决对称轴倾角突变时

计算不稳定的问题。图 2 是应用本发明得到的某地震各向异性介质地区的逆时偏移炮点波场模拟快照与对称轴倾角参数 θ 叠合显示的结果，可以看到，在对称轴倾角参数 θ 剖面右边存在突变，传统的方程在进行模拟的时候，在该突变位置存在计算不稳定的问题。而本发明提出的方程能够解决该不稳定问题，从图 2 中可以看出，地震波顺利通过了该突变位置，不存在计算不稳定问题。

图 3 所示为应用本发明得到的炮点波场快照实例。

图 4 所示为应用本发明得到的检波点波场快照实例。

图 5 所示为应用本发明得到的单炮逆时偏移结果实例。

图 6 所示为应用本发明得到的某地震各向异性介质地区的逆时偏移成像剖面结果。

图 7-12 所示为某地震各向异性介质地区的逆时偏移成像结果。其中图 7 为忽略各向异性倾角参数的逆时偏移结果，图 8 为忽略所有各向异性参数的各向同性逆时偏移结果。通过对比图 6-8 可知，逆时偏移成像结果明显优于后两个结果，特别是高速体的边界成像正确，而后两个结果在高速体边界的成像方面存在误差，可见逆时偏移对于复杂构造成像的重要性。将上述三个结果进行放大，得到图 9-11 的结果，可以看到在高速体边界的成像上，逆时偏移是最清晰的，特别是倾角较大的边界，与各向同性逆时偏移的结果都存在较大误差。图 12 将逆时偏移的结果与速度模型叠合显示，可以看到该结果能够反映真实地下构造。

本发明采用了稳定的耦合二阶偏微分方程实现波动方程的差分求解，能够解决介质对称轴倾角突变引起的计算不稳定问题，并最终解决速度急剧变化的三维复杂构造成像问题。本发明所述的方法具有计算效率高、成像效果好、以及易于实现的优点，适合于逆时偏移商业化软件的开发以及工业化生产的需要。

相应的，本发明提供一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像装置，如图 13 所示，该装置包括：

炮确定模块 1401，用于确定需要进行逆时偏移成像的所有炮；

单炮处理模块 1402，用于针对每一炮，执行如下处理步骤：

在该炮对应的炮点位置放置子波，并应用耦合二阶偏微分方程进行炮点波场模拟；

获取该炮对应的炮数据，并应用所述耦合二阶偏微分方程进行检波点波场模拟；

应用互相关成像条件对所述炮点波场模拟的结果及所述检波点波场模拟的结果进行成像，得到该炮的单炮逆时偏移结果；

叠加成像模块 1403，用于对所有炮都执行上述处理步骤后，将所有炮的单炮逆时偏移结果叠加起来形成逆时偏移成像剖面；

其中，所述耦合二阶偏微分方程为：

$$\begin{cases} \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = (1+2\varepsilon)H_2 p + H_1 q + \frac{\varepsilon-\delta}{\sigma} H_1 (p-q) \\ \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = (1+2\delta)H_2 p + H_1 q - \frac{\varepsilon-\delta}{\sigma} H_2 (p-q) \\ H_1 = \sin^2 \theta \cos^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \sin^2 \theta \sin^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \cos^2 \theta \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \\ \sin^2 \theta \sin 2\phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + \sin 2\theta \sin \phi \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} + \sin 2\theta \cos \phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \\ H_2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - H_1 \end{cases}$$

所述方程中， δ 、 ε 分别为成像空间对应的 Thomson 各向异性参数；

θ 、 ϕ 分别为成像空间对应的对称轴倾角参数和对称轴方位角参数。

实施例

本实施例提供一种将本发明的三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法应用于商业化软件的具体实施例，如图 14 所示，具体包括如下步骤：

步骤 A1，在本地存储所有炮数据，以及成像空间对应的深度域速度场、Thomson 各向异性参数、对称轴倾角参数和对称轴方位角参数；

步骤 A2，从任务列表中确定当前要处理的炮，读取该炮对应的炮数据，以及成像空间对应的深度域速度场、Thomson 各向异性参数、对称轴倾角参数和对称轴方位角参数，并且针对该炮执行如下处理：

步骤 A21，在该炮对应的炮点位置放置子波，应用耦合二阶偏微分方程进行炮点波场模拟（应用该方程可使得在对称轴倾角突变时计算稳定），将得到的炮点波场模拟结果存储于本地；

步骤 A22，对该炮对应的炮数据应用耦合二阶偏微分方程，实现检波点波场模拟，将得到的检波波场模拟结果存储于本地；

步骤 A23，应用互相关成像条件对步骤 A21 得到的炮点波场模拟结果及步骤 A22 得到的检波点波场模拟结果进行成像，得到该炮的单炮逆时偏移结果，并存储于本地；

步骤 A3，判断任务列表中的是否还有未进行处理的炮，若是，则循环执行步骤 A2（包括步骤 A21~步骤 A23）；否则，执行步骤 A4；

步骤 A4，将所有炮的单炮逆时偏移结果叠加起来形成逆时偏移成像剖面，输出结果。

为了提高本实施例中步骤 A23 的处理速度，可在执行步骤 A21 时，根据设定的时间间隔

对炮点波场模拟结果分步进行压缩，然后将各个时间间隔对应的压缩结果存储于本地，之后在执行步骤 A23 时，可分线程同步对炮点波场模拟结果的压缩包进行解压缩，然后再应用互相关成像条件对炮点波场模拟结果和检波点波场模拟结果进行成像。由于采用了分步压缩和分线程同步解压缩，提高了单炮处理的速度，进而提高了整个过程的处理效率。

综上所述，本发明实施例提供的三维 TTI 地震各向异性介质逆时偏移成像方法及装置具有以下有益效果：

(1) 采用了稳定的耦合二阶偏微分方程实现波动方程的差分求解，能够解决 TTI 介质对称轴倾角突变引起的计算不稳定问题，并最终解决速度急剧变化的三维复杂构造成像问题；

(2) 具有计算效率高、成像效果好、以及易于实现的优点，适合于逆时偏移(RTM)商业化软件的开发以及工业化生产的需要。

以上所述的具体实施例，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施例而已，并不用于限定本发明的保护范围，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

1、一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像方法，其特征在于，包括：

确定需要进行逆时偏移成像的所有炮；

针对每一炮，执行如下处理步骤：

在该炮对应的炮点位置放置子波，并应用耦合二阶偏微分方程对该炮进行炮点波场模拟；

通过对该炮对应的炮数据应用所述耦合二阶偏微分方程，对该炮进行检波点波场模拟；

应用互相关成像条件对所述炮点波场模拟的结果及所述检波点波场模拟的结果进行成像，得到该炮的单炮逆时偏移结果；

对所有炮都执行上述处理步骤后，将所有炮的单炮逆时偏移结果叠加起来形成逆时偏移成像剖面；

其中，所述耦合二阶偏微分方程为：

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = (1 + 2\varepsilon) H_2 p + H_1 q + \frac{\varepsilon - \delta}{\sigma} H_1 (p - q) \\ \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = (1 + 2\delta) H_2 p + H_1 q - \frac{\varepsilon - \delta}{\sigma} H_2 (p - q) \\ H_1 = \sin^2 \theta \cos^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \sin^2 \theta \sin^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \cos^2 \theta \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \\ \sin^2 \theta \sin 2\phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + \sin 2\theta \sin \phi \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} + \sin 2\theta \cos \phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \\ H_2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - H_1 \end{array} \right.$$

所述方程中， δ 、 ε 分别为成像空间对应的 Thomson 各向异性参数；

θ 、 ϕ 分别为成像空间对应的对称轴倾角参数和对称轴方位角参数。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：对设定时间间隔的炮点波场模拟结果进行压缩。

3、一种三维地震各向异性介质逆时偏移成像装置，其特征在于，包括：

炮确定模块，用于确定需要进行逆时偏移成像的所有炮；

单炮处理模块，用于针对每一炮，执行如下处理步骤：

在该炮对应的炮点位置放置子波，并应用耦合二阶偏微分方程进行炮点波场模拟；

获取该炮对应的炮数据，并应用所述耦合二阶偏微分方程进行检波点波场模拟；

应用互相关成像条件对所述炮点波场模拟的结果及所述检波点波场模拟的结果进行成像，得到该炮的单炮逆时偏移结果；

叠加成像模块，用于对所有炮都执行上述处理步骤后，将所有炮的单炮逆时偏移结果叠

加起来形成逆时偏移成像剖面；

其中，所述耦合二阶偏微分方程为：

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = (1+2\varepsilon)H_2 p + H_1 q + \frac{\varepsilon-\delta}{\sigma} H_1 (p-q) \\ \frac{1}{v_{pz}^2} \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} = (1+2\delta)H_2 p + H_1 q - \frac{\varepsilon-\delta}{\sigma} H_2 (p-q) \\ H_1 = \sin^2 \theta \cos^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \sin^2 \theta \sin^2 \phi \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \cos^2 \theta \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \\ \sin^2 \theta \sin 2\phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} + \sin 2\theta \sin \phi \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} + \sin 2\theta \cos \phi \frac{\partial^2}{\partial x \partial z} \\ H_2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - H_1 \end{array} \right.$$

所述方程中， δ 、 ε 分别为成像空间对应的 Thomson 各向异性参数；

θ 、 ϕ 分别为成像空间对应的对称轴倾角参数和对称轴方位角参数。

4、根据权利要求 3 所述的装置，其特征在于，还包括：

压缩模块，用于对设定时间间隔的炮点波场模拟结果进行压缩。

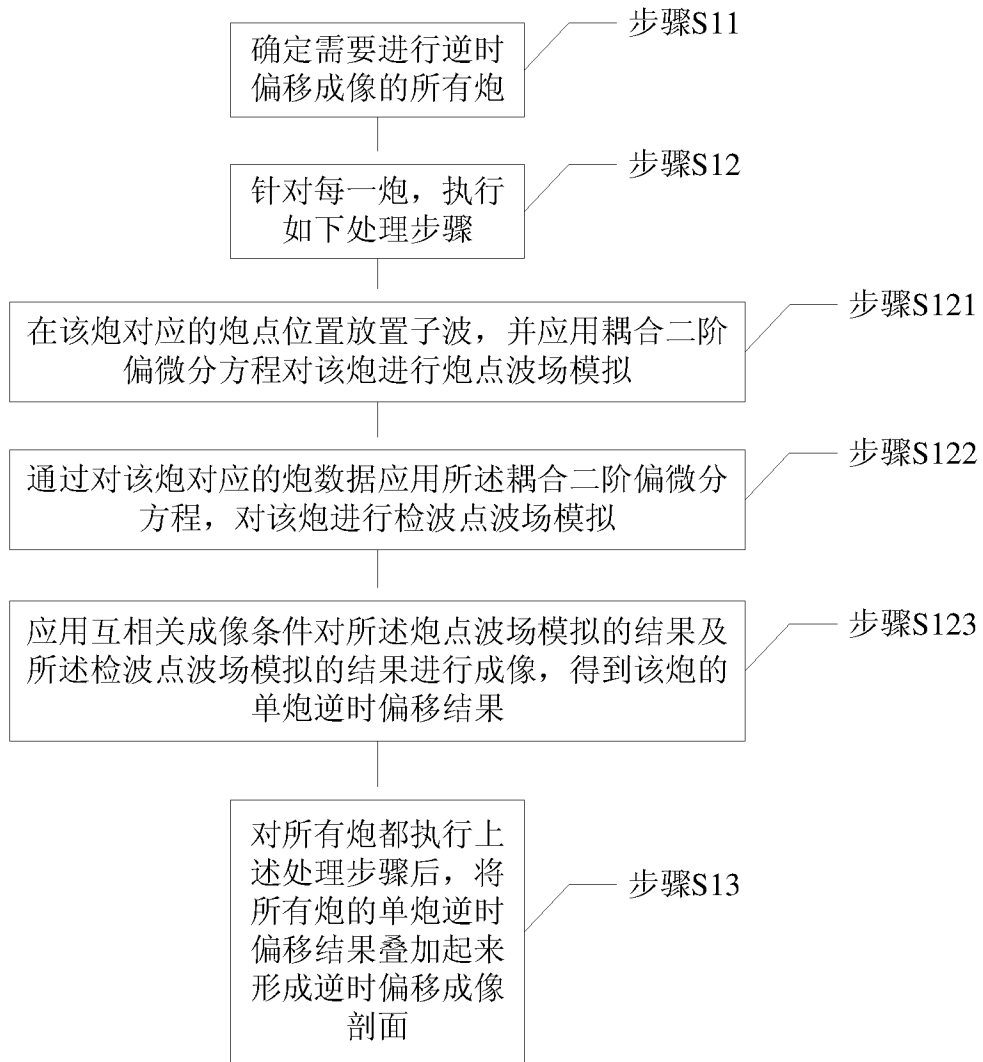


图 1

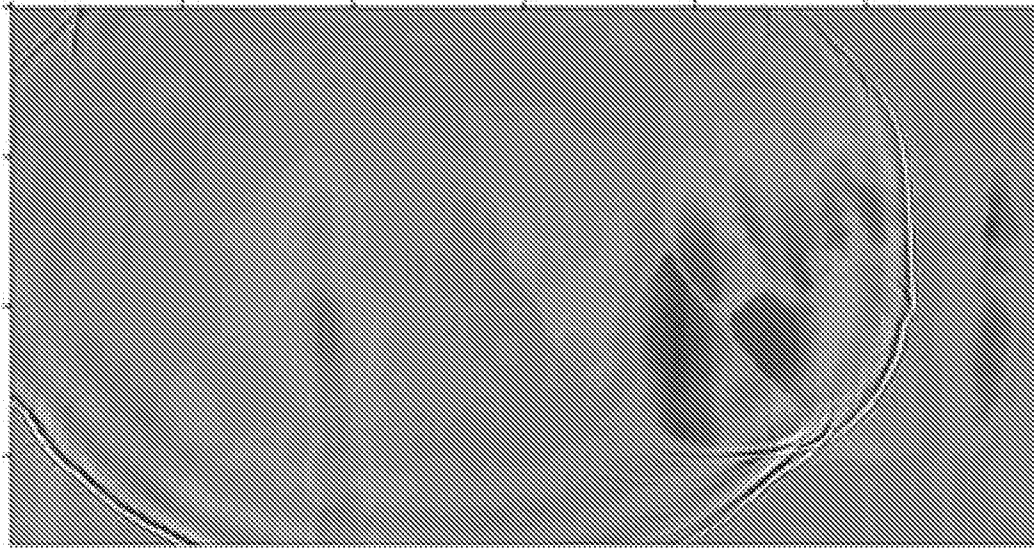


图 2

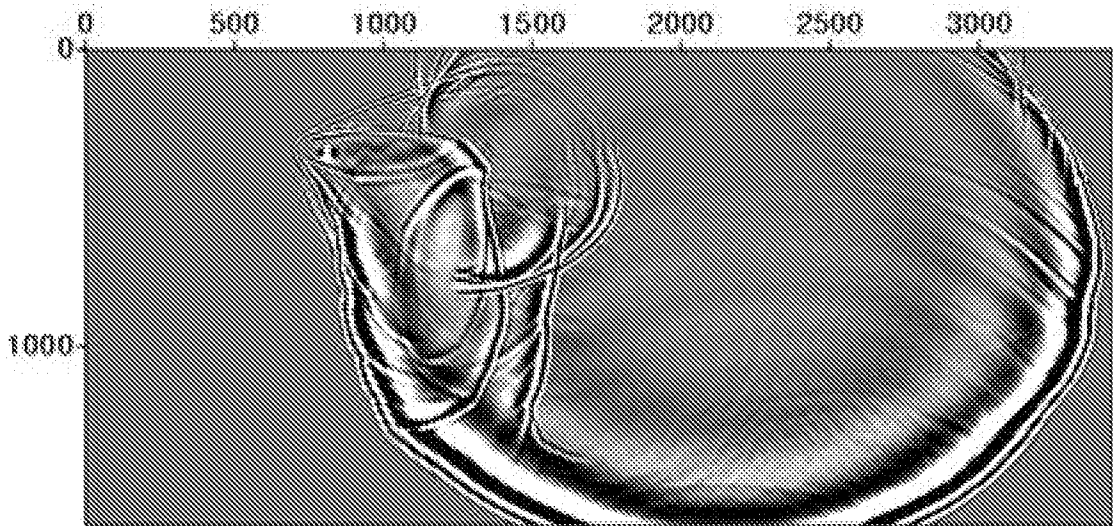


图 3

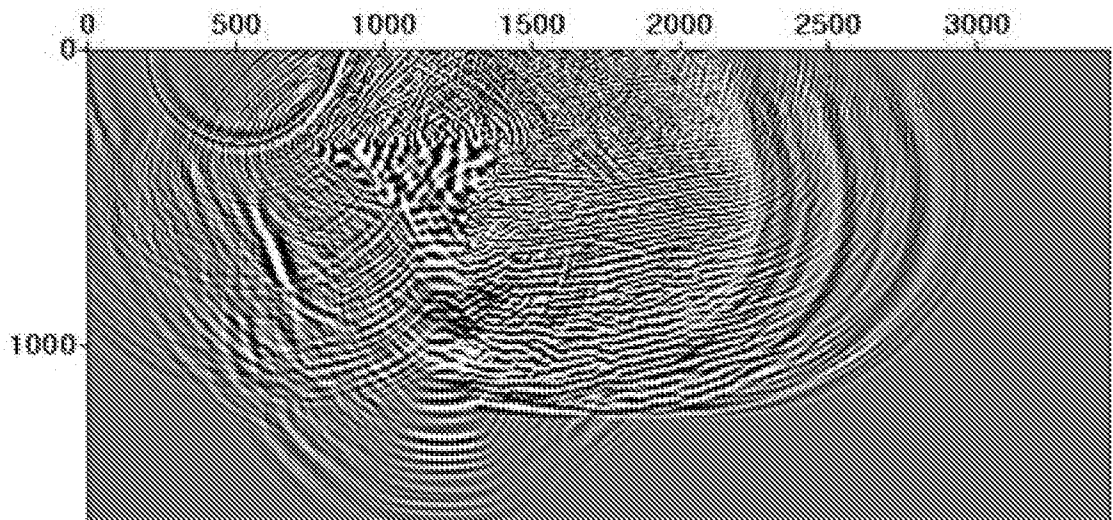


图 4

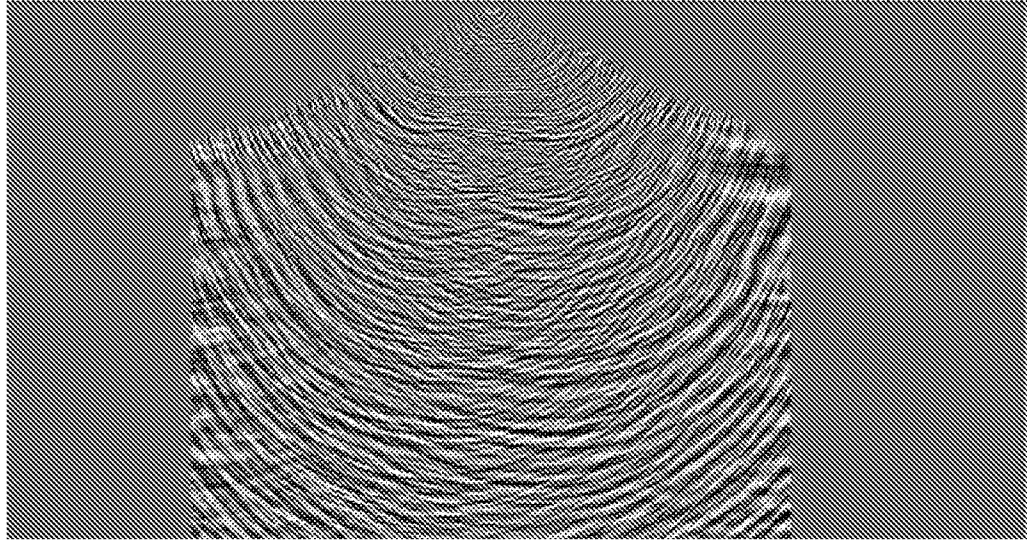


图 5

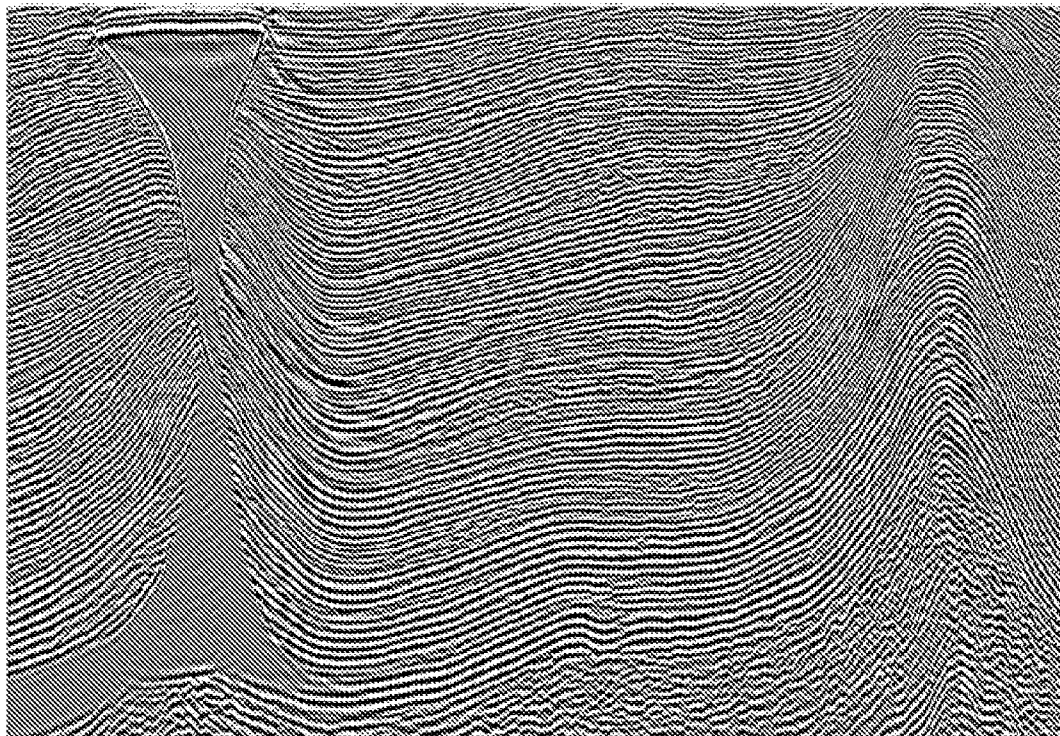


图 6

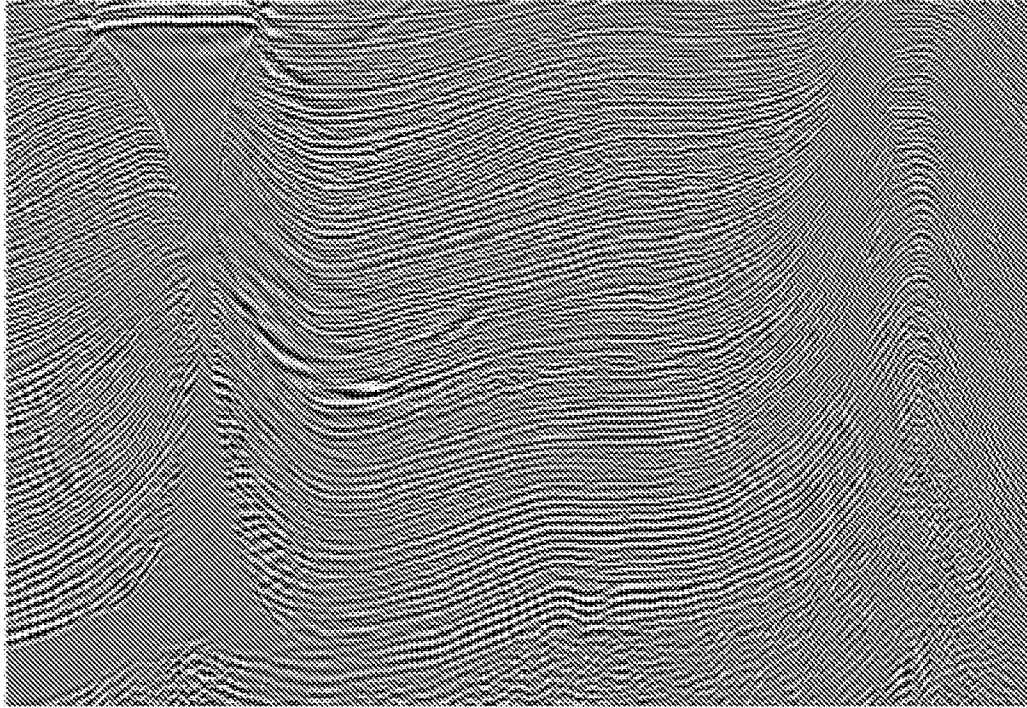


图 7

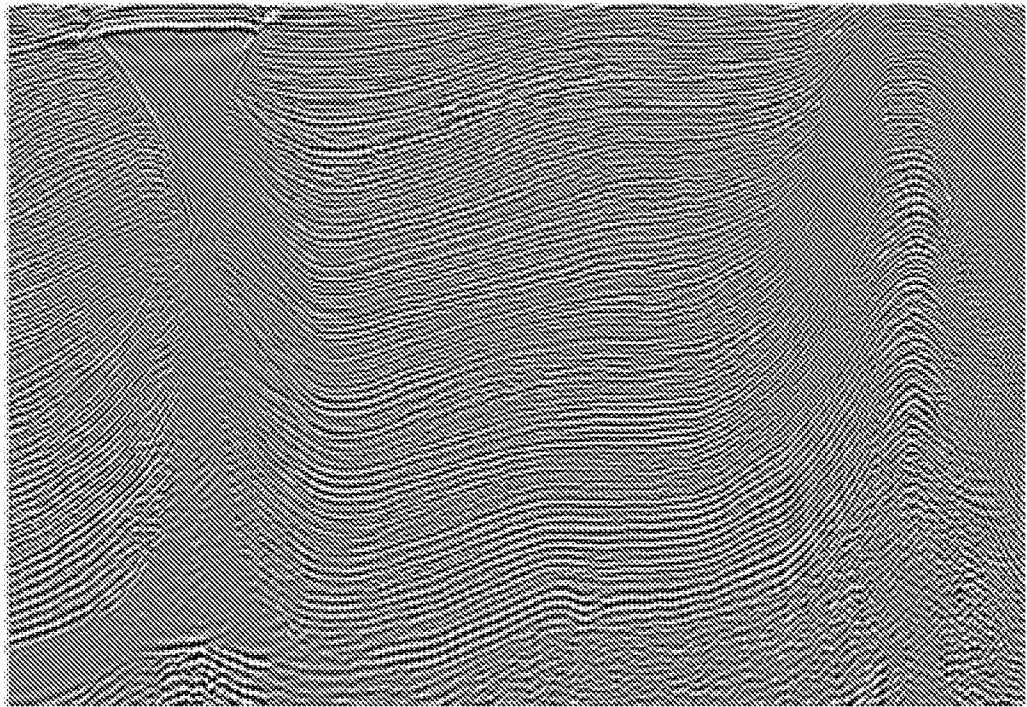


图 8

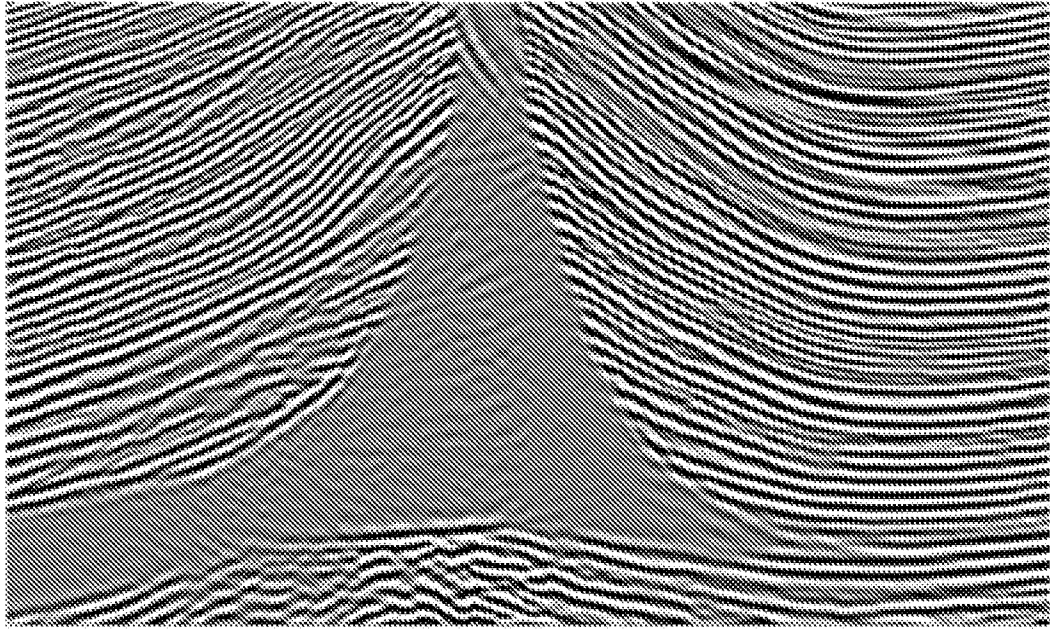


图 9

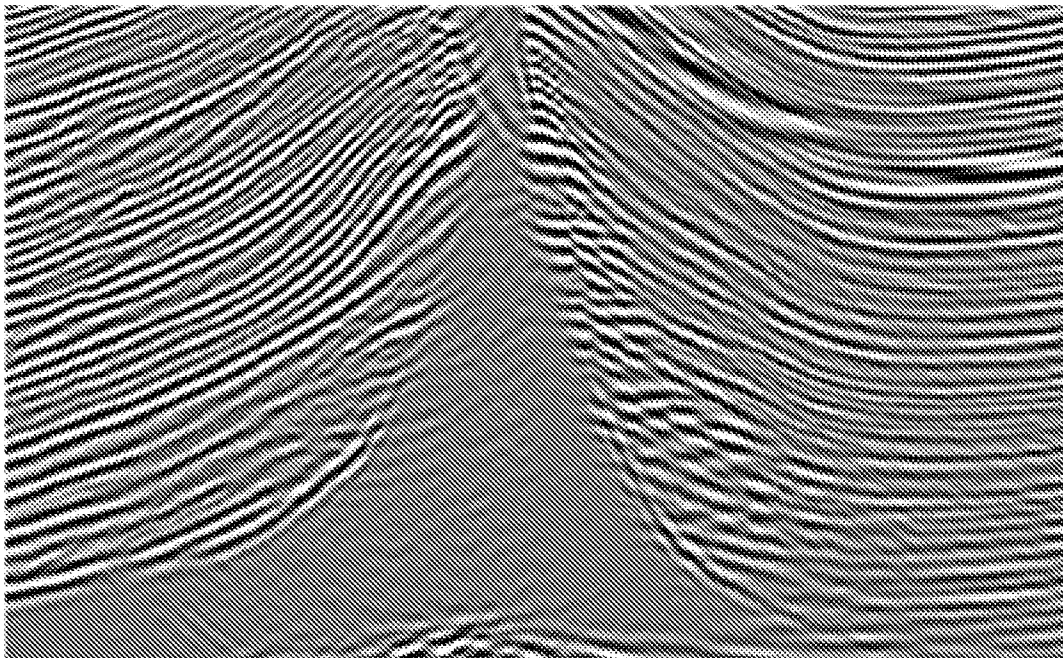


图 10

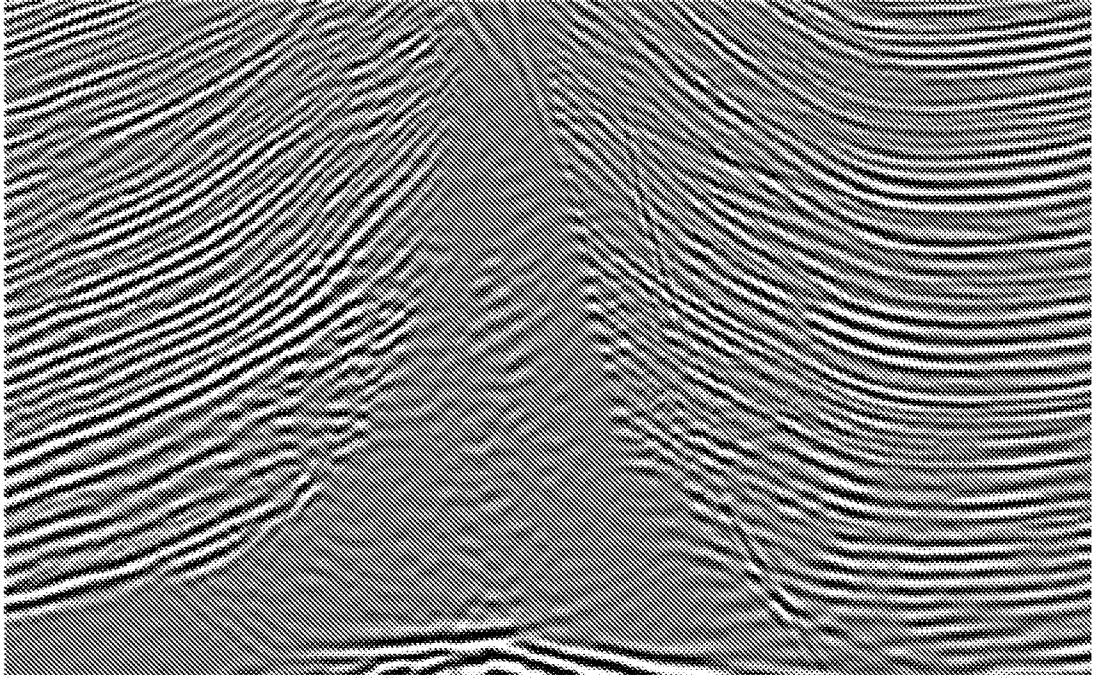


图 11

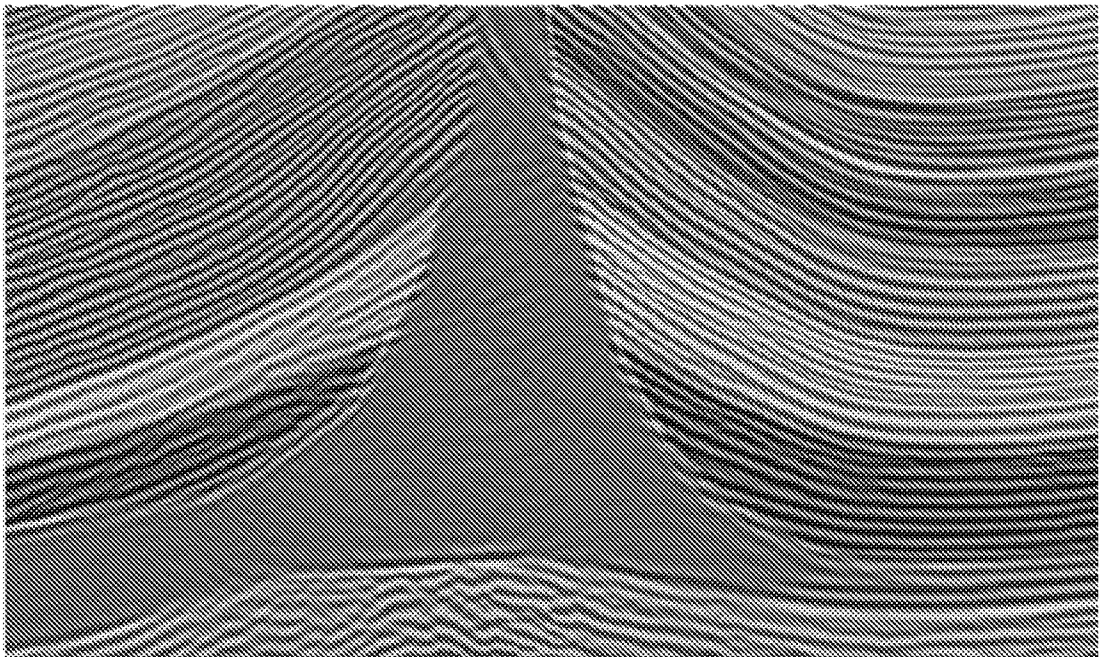


图 12

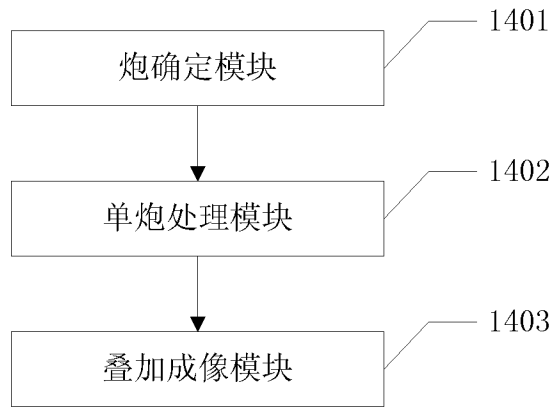


图 13

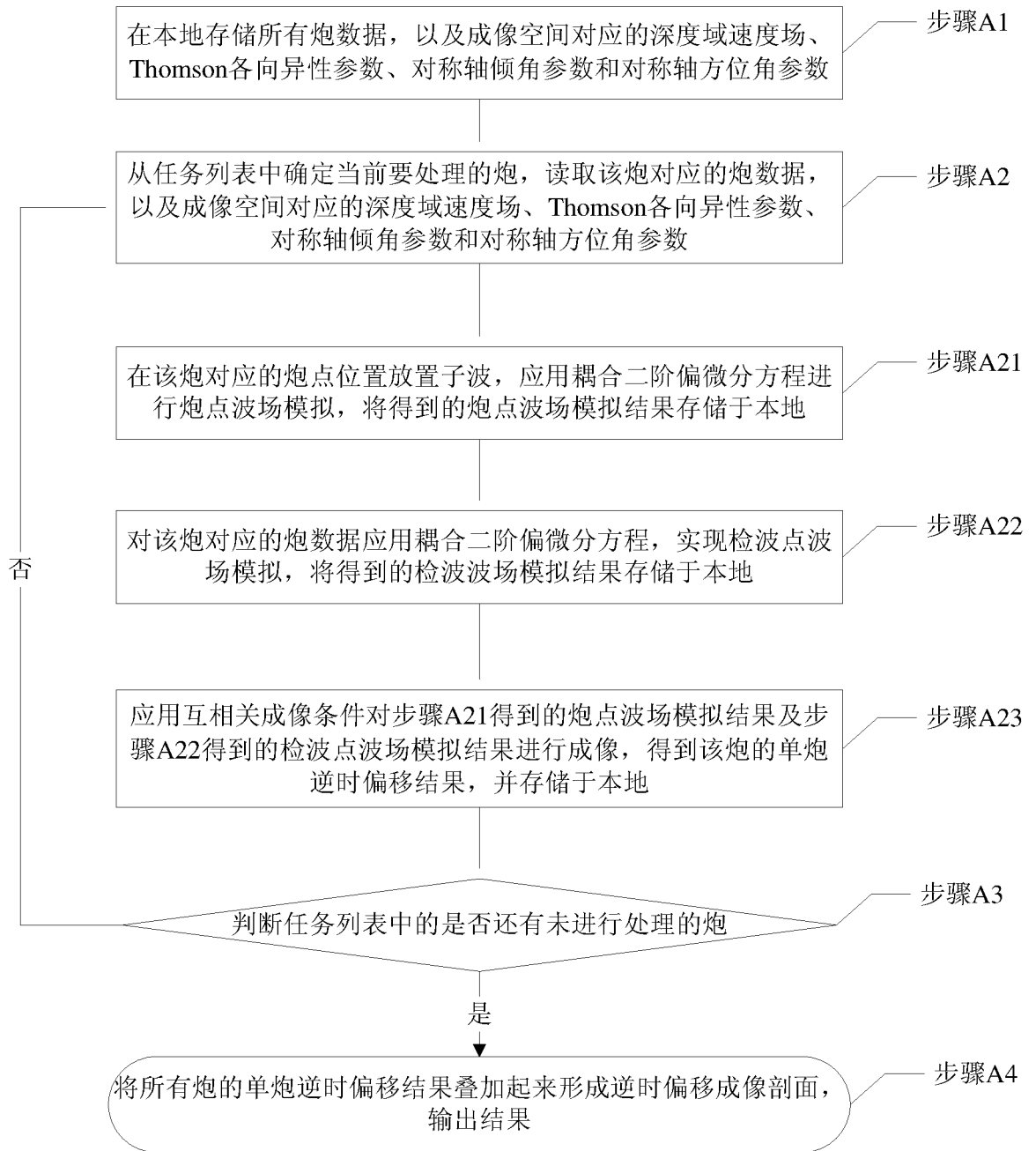


图 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2014/082257

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V 1/28 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01V 1/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, EPODOC, WPI: anisotrop??, RTM, reverse, migrat???, two, second, order, earthquake, reverse time migration,
imaging

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	ZHANG, Yan et al. "Review of prestack reverse-time migration in TTI media" Progress in Geophysics, vol. 28, no. 01, 28 February 2013 (28.02.2013) ISSN; ISSN: 1004-2903, pages 409-420	1-4
Y	FLETCHER, Robin P. et al. "Reverse time migration in tilted transversely isotropic (TTI) media" GEOPHYSICS, vol. 74, no. 06, 31 December 2009 (31.12.2009), ISSN: ISSN: 0016-803, pages 179-187	1-4
A	CN 103777238 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL SINOPEC GEOPHYSICAL RES INST et al.) 07 May 2014 (07.05.2014) the whole document	1-4
A	CN 101630014 A (CHINA NAT PETROLEUM CORP et al.) 20 January 2010 (20.01.2010) the whole document	1-4

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search
16 March 2015

Date of mailing of the international search report
30 March 2015

Name and mailing address of the ISA
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No. (86-10) 62019451

Authorized officer
BAO, Xuri
Telephone No. (86-10) 82245127

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2014/082257

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2014028030 A1 (LANDMARK GRAPHICS CORPORATION) 20 February 2014 (20.02.2014) the whole document	1-4
A	US 2013060544 A1 (BAKKER, PETRUS MARIA et al.) 07 March 2013 (07.03.2013) the whole document	1-4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2014/082257

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103777238 A	07 May 2014	None	
CN 101630014 A	20 January 2010	CN 101630014 B	05 October 2011
WO 2014028030 A1	20 February 2014	CA 2881807 A1	20 February 2014
		AU 2012387658 A1	26 February 2015
US 2013060544 A1	07 March 2013	AU 2011252076	10 April 2014
		WO 2011141440 A1	17 November 2011
		CA 2797434 A1	17 November 2011
		AU 2011252076 A1	08 November 2012
		GB 2492922 A	16 January 2013

<p>A. 主题的分类</p> <p>G01V 1/28(2006.01) i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																				
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>G01V1/-</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNABS, CNTXT, CNKI, EPODOC, WPI:地震, 各向异性, TTI, 逆时偏移, 成像, 二阶, 2阶, 两阶; seismic, TTI, anisotrop??, RTM, reverse, migrat???, two, second ,order</p>																				
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>张岩 等. "TTI介质叠前逆时偏移成像研究综述" 地球物理学进展, 第第28卷卷, 第第1期期, 2013年 2月 28日 (2013 - 02 - 28), ISSN: ISSN: 1004-2903, 第409-420页</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>FLETCHER, Robin P. 等. "Reverse time migration in tilted transversely isotropic (TTI) media" GEOPHYSICS, 第第74卷卷, 第第6期期, 2009年 12月 31日 (2009 - 12 - 31), ISSN: ISSN: 0016-8033, 第179-187页</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103777238 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2014年 5月 7日 (2014 - 05 - 07) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101630014 A (中国石油天然气集团公司 等) 2010年 1月 20日 (2010 - 01 - 20) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2014028030 A1 (LANDMARK GRAPHICS CORPORATION) 2014年 2月 20日 (2014 - 02 - 20) 全文</td> <td>1-4</td> </tr> </tbody> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	张岩 等. "TTI介质叠前逆时偏移成像研究综述" 地球物理学进展, 第第28卷卷, 第第1期期, 2013年 2月 28日 (2013 - 02 - 28), ISSN: ISSN: 1004-2903, 第409-420页	1-4	Y	FLETCHER, Robin P. 等. "Reverse time migration in tilted transversely isotropic (TTI) media" GEOPHYSICS, 第第74卷卷, 第第6期期, 2009年 12月 31日 (2009 - 12 - 31), ISSN: ISSN: 0016-8033, 第179-187页	1-4	A	CN 103777238 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2014年 5月 7日 (2014 - 05 - 07) 全文	1-4	A	CN 101630014 A (中国石油天然气集团公司 等) 2010年 1月 20日 (2010 - 01 - 20) 全文	1-4	A	WO 2014028030 A1 (LANDMARK GRAPHICS CORPORATION) 2014年 2月 20日 (2014 - 02 - 20) 全文	1-4
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
Y	张岩 等. "TTI介质叠前逆时偏移成像研究综述" 地球物理学进展, 第第28卷卷, 第第1期期, 2013年 2月 28日 (2013 - 02 - 28), ISSN: ISSN: 1004-2903, 第409-420页	1-4																		
Y	FLETCHER, Robin P. 等. "Reverse time migration in tilted transversely isotropic (TTI) media" GEOPHYSICS, 第第74卷卷, 第第6期期, 2009年 12月 31日 (2009 - 12 - 31), ISSN: ISSN: 0016-8033, 第179-187页	1-4																		
A	CN 103777238 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2014年 5月 7日 (2014 - 05 - 07) 全文	1-4																		
A	CN 101630014 A (中国石油天然气集团公司 等) 2010年 1月 20日 (2010 - 01 - 20) 全文	1-4																		
A	WO 2014028030 A1 (LANDMARK GRAPHICS CORPORATION) 2014年 2月 20日 (2014 - 02 - 20) 全文	1-4																		
<p><input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p>																				
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p> <p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&” 同族专利的文件</p>																				
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2015年 3月 16日</p>		<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2015年 3月 30日</p>																		
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国</p> <p>传真号 (86-10)62019451</p>		<p>授权官员</p> <p>鲍旭日</p> <p>电话号码 (86-10)82245127</p>																		

C. 相关文件		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	US 2013060544 A1 (BAKKER, PETRUS MARIA 等) 2013年 3月 7日 (2013 - 03 - 07) 全文	1-4

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/082257

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	103777238	A	2014年 5月 7日	无			
CN	101630014	A	2010年 1月 20日	CN	101630014	B	2011年 10月 5日
WO	2014028030	A1	2014年 2月 20日	CA	2881807	A1	2014年 2月 20日
				AU	2012387658	A1	2015年 2月 26日
US	2013060544	A1	2013年 3月 7日	AU	2011252076	B2	2014年 4月 10日
				WO	2011141440	A1	2011年 11月 17日
				CA	2797434	A1	2011年 11月 17日
				AU	2011252076	A1	2012年 11月 8日
				GB	2492922	A	2013年 1月 16日