



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104199090 B

(45)授权公告日 2017.03.29

(21)申请号 201410416239.7

审查员 葛栩宏

(22)申请日 2014.08.22

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104199090 A

(43)申请公布日 2014.12.10

(73)专利权人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)
西源大道2006号

(72)发明人 费高雷 魏会东 胡光岷

(74)专利代理机构 成都宏顺专利代理事务所

(普通合伙) 51227

代理人 周永宏

(51)Int.Cl.

G01V 1/28(2006.01)

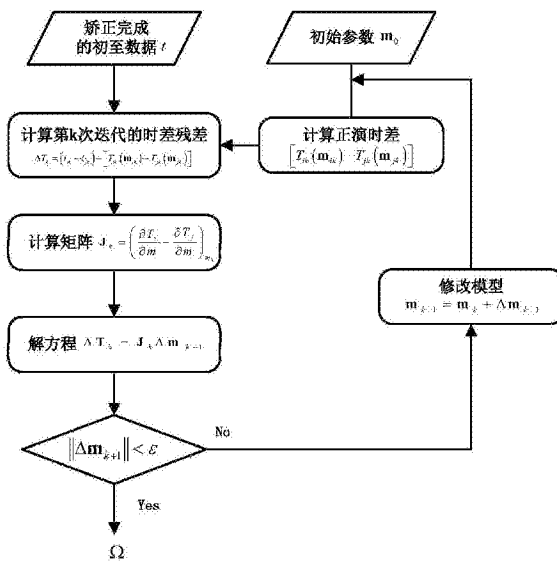
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法

(57)摘要

本发明提供了一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法,基于地球物理微地震线性化定位方法和各向异性的平均速度模型进行建模,实现了三维空间各向异性速度模型的构建和优化求解,相比传统的层状速度模型,本发明的速度模型更接近于模拟实际的地层速度,求解过程更为简便合理,同时本发明也防止了层状速度模型因射线追踪的差异化带来的误差;本发明建立了工区范围内指定检波器对的观测时差与计算走时差之间的残差向量,在此之上建立起了优化求解模型,通过对该模型进行迭代可以获得速度模型的最小二乘解,该最小二乘解可以反演出最优的速度模型,以此速度模型为基础能实现准确的裂缝事件定位。



1. 一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法,其特征在于,包括S1:速度模型的建立、S2:速度模型求解和S3:速度模型矫正;

所述S1:速度模型的建立,包括以下步骤:

S11:地面监测微地震工区速度模型的构建;

S12:地面监测微地震速度模型的参数构建:

$$\bar{v}(\theta, \varphi; \mathbf{m}) = \bar{v}_0 \times [1 + m_1 \sin(\theta) + m_2 \sin^2(\theta)] \times [1 + m_3 \sin(\varphi) + m_4 \sin^2(\varphi)];$$

其中, \mathbf{m} 表示向量,且 $\mathbf{m} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$, m_1, m_2, m_3, m_4 表示参数, θ 表示空间径向夹角, φ 表示水平横向夹角;

S13:地面监测微地震速度模型参数反演时差矩阵的建立:

$$\begin{aligned} \Delta T_i &= [t_i - t_0 - T_i(x_0, y_0, z_0)] - [t_j - t_0 - T_j(x_0, y_0, z_0)] \\ &= (t_i - t_j) - [T_i(x_0, y_0, z_0) - T_j(x_0, y_0, z_0)] \end{aligned}$$

其中, i 表示检波器 i , j 表示检波器 j , t_i 表示检波器 i 接收到的事件初至, t_j 表示检波器 j 接收到的事件初至, T_i 表示检波器 i 的计算走时, T_j 表示检波器 j 的计算走时, t_0 表示震源起震时刻;

所述S2:速度模型的求解,包括以下步骤:

S21:初始化,对初至数据进行矫正,选取具有稳定合理初至时间点的检波器,并获取对应的初至时间 t ,估计出初始的平均速度 \bar{v}_0 ,设定初始化参数 m_0 的值;

S22:计算正演时差: $T_i(m) - T_j(m)$;

所述正演走时为: $T(\mathbf{m}) = d(\theta, \varphi) / \bar{v}(\theta, \varphi; \mathbf{m})$;

其中, $\bar{v}(\theta, \varphi; \mathbf{m})$ 表示平均速度, $d(\theta, \varphi)$ 表示传播距离;

S23:计算时差残差: $\Delta T_i = (t_i - t_j) - [T_i(m) - T_j(m)]$;

S24:计算偏导数矩阵 \mathbf{J} :

$$\mathbf{J} = \begin{pmatrix} \frac{\partial T_i}{\partial m_1} & \frac{\partial T_j}{\partial m_1} \\ \frac{\partial T_i}{\partial m_2} & \frac{\partial T_j}{\partial m_2} \\ \frac{\partial T_i}{\partial m_3} & \frac{\partial T_j}{\partial m_3} \\ \frac{\partial T_i}{\partial m_4} & \frac{\partial T_j}{\partial m_4} \end{pmatrix}, \quad l = 1, 2, 3, 4;$$

S25:求解方程 $\Delta T = \mathbf{J} \Delta \mathbf{m}$,计算当前参数: $m_{k+1} = m_k + \Delta \mathbf{m}$;

其中, ΔT 表示向量, $\Delta T = \{\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \dots, \Delta T_n\}$;

S26:判断两次迭代的参数差值 $\|\Delta \mathbf{m}\|$ 是否满足迭代停止条件 ϵ ,满足条件则停,不满足条件则修改 $m_{k+1} = m_k + \Delta m_{k+1}$,继续从步骤S22进行迭代循环;

所述S3:速度模型的矫正,通过选用其他射孔的地震资料对当前射孔建立的速度模型进行矫正,具体通过求取平均值对当前射孔反演出的速度模型参数进行矫正。

2. 根据权利要求1一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法,其特征在于,所述步骤S3,还可以通过第三射孔验证测试方法对当前射孔反演出的速度模型参数进行矫正。

3. 根据权利要求1一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法,其特征在于,步骤S11具体包括以下分步骤:

S111:射孔点附近径向平面方向建模 $\bar{v} = f(\theta) \times \bar{v}_0$;

S112:层状平面结构中的水平横向运动方向建模 $\bar{v} = f(\varphi) \times \bar{v}_0$;

S113:耦合速度模型 $\bar{v} = f(\theta) \times f(\varphi) \times \bar{v}_0$ 。

4. 根据权利要求3一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法,其特征在于, $\theta \in [0, \pi/2]$ 。

5. 根据权利要求3一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法,其特征在于, $\varphi \in [0, 2\pi]$ 。

一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法

技术领域

[0001] 本发明属于微地震监测领域,具体涉及地面监测微地震定位的速度模型。

背景技术

[0002] 微地震监测定位技术是从地热开发行业兴起的一门新技术,自20世纪70年代该技术提出以来,微地震监测技术已经被广泛的应用到了油气藏动态监测、煤田动态监测、地热工程动态监测等诸多方面,并取得良好的应用效果。目前在非常规油气开发过程中主要通过压裂措施来增加油田的产量,压裂措施对于低渗透油田、碳酸盐油田的增产,效果十分明显。由于压裂活动造成地下的岩石断裂,通常情况下很难确定压裂所产生出的裂缝的空间位置和特性,因此微地震监测技术作为一种能够保证实时数据采集的监测定位技术,已经被广泛应用到了压裂微地震信号处理当中,用于监测定位裂缝的空间位置和走向。

[0003] 目前,油田增产中采用的微地震压裂裂缝监测手段主要有两种,分别是:井中监测和地面监测。井中监测是指:在进行压裂井作业之前,在压裂井附近的微地震监测井布置检波器,监测获取压裂井附近的微地震信号。地面监测是指:在进行压裂作业的工区,按照一定方式在地面排布检波器,通过地面检波器获取地下压裂过程中的微地震信号。

[0004] 井中监测方法要求压裂井附近必须有监测井,同时这种方法占用井资源、生产成本比较高,除此之外还对观测仪器的空间横向分辨率有要求,因此具体实施时监测条件比较苛刻。地面监测虽然也存在受环境噪音影响大,观测点位置影响定位精度等缺点,但是随着信号处理技术的发展以及地面检波器性能的提高,地面监测微地震的定位精度也在不断提高,地面监测压裂微地震定位将会借助其低成本优势成为未来的发展趋势。

[0005] 通常情况下,影响地面监测微地震定位精度的因素主要有:观测系统、采样间隔、初至精度、速度模型和定位方法等。随着信号处理技术的发展,高性能的检波器越来越多的应用到微地震地面监测中来,同时由于多种优化的微地震初至识别方法(例如能量比法、AIC法等),采用自动拾取结合人工交互拾取的初至已经能够较合理的减小误差。对于通过上述流程采集处理后的地震数据,制约地面监测微地震定位精度发展的主要因素就在于速度模型的建立和定位方法的选用。

[0006] 由于地面监测微地震定位的速度模型是对工区内的地下空间速度传播过程所进行的模拟,根据工区地下空间的岩石物理特性和应力特性,对工区内的微地震波传播的区域进行简化模拟并建立合理的速度模型,将极大的提高微地震定位的精度,降低定位过程操作的复杂度,为实时压裂监测提供技术保障。

发明内容

[0007] 为解决现有技术存在的上述问题,本发明提出一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法。

[0008] 本发明具体的技术方案为:一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法,具体包括:S1:速度模型的建立、S2:速度模型求解和S3:速度模型矫正;

[0009] 所述S1:速度模型的建立,包括以下步骤:

[0010] S11:地面监测微地震工区速度模型的构建;

[0011] S12:地面监测微地震速度模型的参数构建:

$$[0012] \quad \bar{v}(\theta, \varphi; \mathbf{m}) = \bar{v}_0 \times [1 + m_1 \sin(\theta) + m_2 \sin^2(\theta)] \times [1 + m_3 \sin(\varphi) + m_4 \sin^2(\varphi)];$$

[0013] 其中,m表示参数, θ 表示空间径向夹角, φ 表示水平横向夹角;

[0014] S13:地面监测微地震速度模型参数反演时差矩阵的建立:

$$[0015] \quad \Delta T_i = [t_i - t_0 - T_i(x_0, y_0, z_0)] - [t_j - t_0 - T_j(x_0, y_0, z_0)]$$

$$[0016] \quad = (t_i - t_j) - [T_i(x_0, y_0, z_0) - T_j(x_0, y_0, z_0)];$$

[0017] 其中,i表示检波器i,j表示检波器j, t_i 表示检波器i接收到的事件初至, t_j 表示检波器j接收到的事件初至、 T_i 表示检波器i的计算走时, T_j 检波器j的计算走时, t_0 表示震源起震时刻;

[0018] 所述S2:速度模型的求解,包括以下步骤:

[0019] S21:初始化,对初至数据进行矫正,选取具有稳定合理初至时间点的检波器,并获取对应的初至时间t,处理工区内的井内速度,估计出初始的平均速度 \bar{v}_0 ,设定初始化参数 m_0 的值;

[0020] S22:计算正演时差: $T_i(m) - T_j(m)$;

[0021] 所述正演走时为: $T(\mathbf{m}) = d(\theta, \varphi) / \bar{v}(\theta, \varphi; \mathbf{m})$;

[0022] 其中, $\bar{v}(\theta, \varphi; \mathbf{m})$ 表示平均速度, $d(\theta, \varphi)$ 表示传播距离;

[0023] S23:计算时差残差: $\Delta T_i = (t_i - t_j) - [T_i(m) - T_j(m)]$;

[0024] S24:计算偏导数矩阵J:

$$[0025] \quad \mathbf{J} = \begin{pmatrix} \frac{\partial T_i}{\partial m_1} & \frac{\partial T_j}{\partial m_1} \\ \frac{\partial T_i}{\partial m_2} & \frac{\partial T_j}{\partial m_2} \\ \frac{\partial T_i}{\partial m_3} & \frac{\partial T_j}{\partial m_3} \\ \frac{\partial T_i}{\partial m_4} & \frac{\partial T_j}{\partial m_4} \end{pmatrix}, \quad l=1,2,3,4;$$

[0026] S25:求解方程 $\Delta T = \mathbf{J} \Delta \mathbf{m}$,计算当前参数: $m_{k+1} = m_k + \Delta \mathbf{m}$;

[0027] 其中, ΔT 表示向量, $\Delta T = \{\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3 \dots \Delta T_n\}$;

[0028] S26:判断两次迭代的参数差值 $\|\Delta \mathbf{m}\|$ 是否满足迭代停止条件 ε ,满足条件则停,不满足条件则修改 $m_{k+1} = m_k + \Delta m_{k+1}$,继续从步骤S22进行迭代循环;

[0029] 所述S3:速度模型的矫正,具体通过选用其他射孔的地震资料对当前射孔建立的速度模型进行矫正,通过求取平均值或第三射孔验证测试方法对当前射孔反演出的速度模型参数进行矫正。

[0030] 进一步地,所述步骤S11地面监测微地震工区速度模型的构建,具体包括以下分步骤:

[0031] S111:射孔点附近径向平面方向建模 $\bar{v} = f(\theta) \times \bar{v}_0$;

[0032] S112:层状平面结构中的水平横向运动方向建模 $\bar{v} = f(\varphi) \times \bar{v}_0$;

[0033] S113:耦合速度模型 $\bar{v} = f(\theta) \times f(\varphi) \times \bar{v}_0, \theta \in [0, \pi/2]$ 。

[0034] 本发明的有益效果是:本发明提供的一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法,基于地球物理微地震线性化定位方法和各向异性的平均速度模型进行建模,实

现了三维空间各向异性速度模型的构建和优化求解,通过合理的速度模型函数选取,具有以下优点:

[0035] 1.本发明的速度模型是通过研究空间速度的各向异性在径向运动与水平横向运动耦合作用的结果,相比传统的层状速度模型,本发明的速度模型更接近于模拟实际的地层速度,求解过程更为简便合理,同时本发明也防止了层状速度模型因射线追踪的差异化带来的误差;

[0036] 2.本发明建立了工区范围内指定检波器对的观测时差与计算走时差之间的残差向量,在此之上建立起了优化求解模型,通过对该模型进行迭代可以获得速度模型的最小二乘解,该最小二乘解可以反演出最优的速度模型,以此速度模型为基础能够实现准确的裂缝事件定位;

[0037] 3.通过本发明建立的速度模型,充分利用了地层速度的各向异性特性,能够在监测工区内环境噪音影响比较大的情况下,帮助提高裂缝压裂事件点定位的准确性,同时由于速度模型采用微地震定位的线性化方法,简化了计算复杂度,为工区内压裂实时监测提供了技术保障。本发明避免了在工区中采用高成本的井中监测方法,减少了微地震监测成本。

附图说明

[0038] 图1地面监测微地震定位流程图。

[0039] 图2径向夹角速度模型示意图。

[0040] 图3水平横向夹角速度模型示意图。

[0041] 图4时差残差计算示意图。

[0042] 图5地面监测微地震速度模型的参数反演流程图。

具体实施方式

[0043] 本发明提供了一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法,主要涉及从数据预处理流程到事件定位流程中必须的速度模型的S1建立、S2求解和S3矫正过程,以下是本发明的详细技术方案。

[0044] 所述S1:速度模型的建立包括以下步骤:

[0045] S11:地面监测微地震工区速度模型的构建;

[0046] 考虑到地面监测地震定位工区的实际情况,我们认为,工区内速度传播主要受到地层的各向异性影响,该影响主要来自于:应力场作用、裂缝定向排列效应以及裂缝与薄互层之间产生的组合效应。

[0047] 由于地震波在各向同性介质中与在横向各向同性介质中的特性之间具有许多类似之处,在这两种情况下,径向平面中的波动与层状平面结构中的水平横向运动解耦;在解耦以后的结构中,地震波的传播性质可以用相当简单的解析表达式来描述。各向异性结构对地震波的传播所产生的效应就可以被近似的表示为径向运动与水平横向运动互相耦合的结果。所以,我们采用各向异性的平均速度对工区内的地下空间建立空间速度模型,其主要是将工区内的地层速度的各向异性解耦为以下两个方向进行模拟:

[0048] S111:射孔点附近径向平面方向建模;

[0049] 本发明采用了空间对称的平均速度模型对工区范围内的速度进行模拟。速度模型总体特征如图2所示,该模型是一个空间上的倒锥形,倒锥形的顶点为地面监测微地震工区内的射孔点S,S所在竖直的锥高线SO是整个速度模型的对称轴,SO对称轴上的速度为工区井内估计出的初始平均速度 \bar{v}_0 ,A,B,C是在空间上任意三个点,其中A,B在同一个圆弧上(即具有同样的空间径向夹角 θ_1),C在另一圆弧上(径向夹角为 θ_2),根据速度的各向异性性质,我们假定过SC直线的点,对于射孔点S的平均速度是关于空间径向夹角 θ_2 的函数,所以在监测工区内,径向方向夹角对速度各向异性的影响可以简单的表示为:

$$[0050] \quad \bar{v} = f(\theta) \times \bar{v}_0, \theta \in [0, \pi/2] \quad (0-1)$$

[0051] S112:层状平面结构中的水平横向运动方向建模;

[0052] 由于地层速度各向异性对速度的影响不仅表现在空间径向,也存在于水平横向上,因此在建立速度模型时也应考虑这部分速度的影响,图3是对图2的倒锥形速度模型沿着O-S方向做出的俯视图。以射孔点S的地理坐标(x,y)为坐标原点建立坐标系,俯视图上任意与x轴夹角为 φ 的空间点,在该方向上的速度将受到水平方向各向异性的影响,为此建立如下形式的速度模型来描述速度随水平方向夹角的变化:

$$[0053] \quad \bar{v} = f(\varphi) \times \bar{v}_0, \varphi \in [0, 2\pi] \quad (0-2)$$

[0054] S113:耦合速度模型;

[0055] 根据速度各向异性的性质,地层速度各向异性是在空间径向和水平横向上耦合作用的结果,我们结合工区井内估计出的初始平均速度 \bar{v}_0 ,可以得到耦合平均速度模型:

$$[0056] \quad \bar{v} = f(\theta) \times f(\varphi) \times \bar{v}_0, \theta \in [0, \pi/2], \varphi \in [0, 2\pi] \quad (0-3)$$

[0057] S12:地面监测微地震速度模型的参数构建;

[0058] 通过以上步骤的分析和构建过程,我们构建出了速度各向异性耦合模型的隐函数表达式(0-3),为了对微地震监测工区内的事件和检波器之间传播的平均速度进行模拟,我们提出了以下用于实际定位微地震监测工区内的事件的参数模型:

[0059] 对于工区内任意空间检波器点R(x,y,z),我们总能求解出检波器点R相对于空间射孔点S(x,y,z)的空间径向夹角 θ 和水平横向夹角 φ ,考虑到,空间射孔点S所在直线的平均速度表示为工区井内估计出的初始平均速度 v_0 ,同时为了防止定位方程发生畸变,所以将参数化的耦合速度模型定义为:

$$[0060] \quad \bar{v}(\theta, \varphi; \mathbf{m}) = \bar{v}_0 \times \left[1 + m_1 \sin(\theta) + m_2 \sin^2(\theta) \right] \times \left[1 + m_3 \sin(\varphi) + m_4 \sin^2(\varphi) \right] \quad (0-4)$$

[0061] 其中, $\theta \in [0, \pi/2]$, $\varphi \in [0, 2\pi]$, $\mathbf{m} = (m_1, m_2, \dots, m_4)$,下文对(0-4)参数化的速度模型表示为: $\bar{v}(\theta, \varphi; \mathbf{m}) = \bar{v}_0 \times g(\theta, \varphi; \mathbf{m})$ 。

[0062] S13:地面监测微地震速度模型参数反演时差矩阵的建立;

[0063] 为了求解上述步骤提出的参数化地震工区耦合速度模型,需要对初至或者走时进行正演逼近,在典型的地面监测微地震工区应用条件下,地面监测微地震定位过程中并不要求也不容易获取到起震时刻 t_0 。为了充分利用到检波器组之间的初至信息,考虑到地面

监测检波器的数量和位置特征,我们采取如下方法计算时差矩阵:

[0064] 具体计算如图4所示:

[0065] 在进行残差计算的过程中,计算相隔较远的两组检波器*i*,*j*的走时差的残差。

[0066] 两组检波器走时差的残差(如图4所示):

$$\begin{aligned} \Delta T_i &= [t_i - t_0 - T_i(x_0, y_0, z_0)] - [t_j - t_0 - T_j(x_0, y_0, z_0)] \\ [0067] \quad &= (t_i - t_j) - [T_i(x_0, y_0, z_0) - T_j(x_0, y_0, z_0)] \end{aligned} \quad (0-5)$$

[0068] 其中,*i*表示检波器*i*,*j*表示检波器*j*,*t_i*表示检波器*i*接收到的事件初至,*t_j*表示检波器*j*接收到的事件初至、*T_i*表示检波器*i*的计算走时,*T_j*表示检波器*j*的计算走时,*t₀*表示震源起震时刻;经过上述处理得到的结果,可以不用对震源起震时刻*t₀*进行求解,同时充分利用了检波器的初至信息。

[0069] S2:地面监测微地震速度模型的参数反演求解步骤,完整的求解流程图,如图5所示,具体步骤如下:

[0070] S21:初始化:对人工—机器联合拾取的初至数据进行矫正,选取具有稳定合理初至时间点的检波器,并获取对应的初至时间*t*。处理工区内的井内速度,估计出初始的平均速度 \bar{v}_0 ,设定初始化参数*m₀*的值;

[0071] S22:计算正演时差:根据给定的参数*m₀*以及当前的检波器位置算出空间径向夹角 θ 和水平横向夹角 φ 代入到步骤S12中建立的速度模型 $\bar{v}(\theta, \varphi; \mathbf{m})$,计算出平均速度 \bar{v} 和传播距离*d*,不妨假设,正演走时为: $T(\mathbf{m}) = d(\theta, \varphi) / \bar{v}(\theta, \varphi; \mathbf{m})$,通过计算出正演走时,选取*i*,*j*两组检波器,得到两组检波器的正演走时差:*T_i*(*m*) - *T_j*(*m*);

[0072] S23:计算时差残差:采用步骤S13中时差矩阵的建立过程,我们选取上述的两组检波器对应的实际拾取初至*t_i*,*t_j*,与第二步计算出的正演走时差一起计算出时差的残差: $\Delta T_i = (t_i - t_j) - [T_i(m) - T_j(m)]$;

[0073] S24:计算偏导数矩阵*J*:按照微地震定位的线性化推导,对正演时差求参数对应的偏导数,填入到*J*矩阵当中: $\mathbf{J} = \begin{pmatrix} \frac{\partial T_i}{\partial m_l} & \frac{\partial T_j}{\partial m_l} \\ \frac{\partial T_i}{\partial m_l} & \frac{\partial T_j}{\partial m_l} \end{pmatrix}, \quad l=1,2,3,4$;

[0074] S25:求解矩阵方程 $\Delta T = \mathbf{J} \Delta \mathbf{m}$,计算当前参数: $m_{k+1} = m_k + \Delta \mathbf{m}$;

[0075] S26:判断两次迭代的参数差值 $\|\Delta \mathbf{m}\|$ 是否满足迭代停止条件 ϵ ,满足条件则停止迭代,输出参数为 Ω 的速度模型。不满足条件则继续从第二步进行迭代循环;

[0076] S3:地面监测微地震速度模型射孔正演矫正;

[0077] 由于地面监测微地震工区内采集的地震资料通常不止一个射孔点,所以可以通过选用其他射孔的地震资料对当前射孔建立的速度模型进行矫正,具体步骤可以按照步骤S25所述步骤求取另一射孔的速度模型参数,对于两组参数建立的速度模型,可以通过求取平均值或者第三射孔验证测试等方法对当前射孔反演出的速度模型参数进行矫正。

[0078] 本发明的有益效果是:本发明提供了一种地面监测微地震定位的速度模型构建与求解方法,基于地球物理微地震线性化定位方法和各向异性的平均速度模型进行建模,实现了三维空间各向异性速度模型的构建和优化求解,通过合理的速度模型函数选取,具有以下优点:

[0079] 1、本发明的速度模型是通过研究空间速度的各向异性在径向运动与水平横向运动耦合作用的结果,相比传统的层状速度模型,本发明的速度模型更接近于模拟实际的地层速度,求解过程更为简便合理,同时本发明也防止了层状速度模型因射线追踪的差异化带来的误差;

[0080] 2、本发明建立了工区范围内指定检波器对的观测时差与计算走时差之间的残差向量,在此之上建立起了优化求解模型,通过对该模型进行迭代可以获得速度模型的最小二乘解,该最小二乘解可以反演出最优的速度模型,以此速度模型为基础能够实现准确的裂缝事件定位;

[0081] 3、通过本发明建立的速度模型,充分利用了地层速度的各向异性特性,能够在监测工区内环境噪音影响比较大的情况下,帮助提高裂缝压裂事件点定位的准确性,同时由于速度模型采用微地震定位的线性化方法,简化了计算复杂度,为工区内压裂实时监测提供了技术保障。本发明避免了在工区中采用高成本的井中监测方法,减少了微地震监测成本。

[0082] 本领域的普通技术人员将会意识到,这里所述的实施例是为了帮助读者理解本发明的原理,应被理解为本发明的保护范围并不局限于这样的特别陈述和实施例。对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的权利要求范围之内。

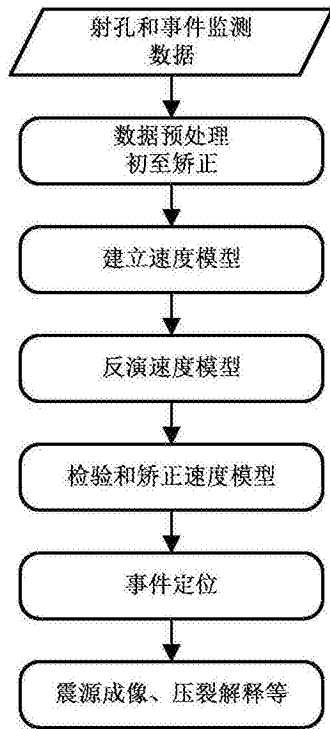


图1

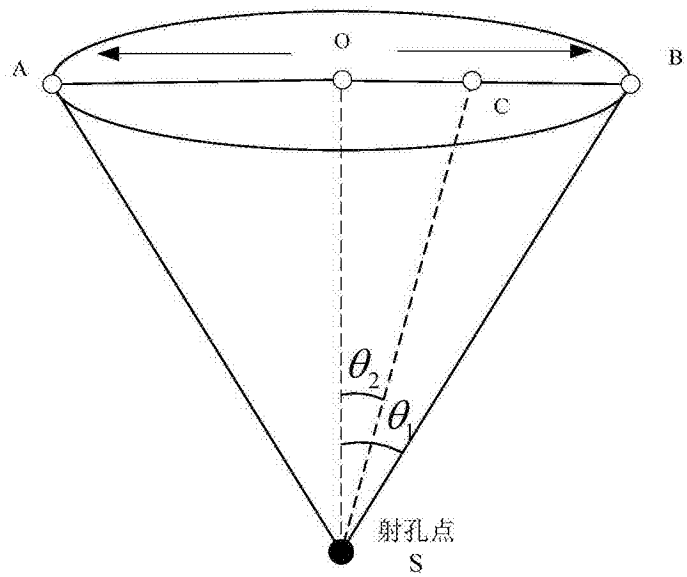


图2

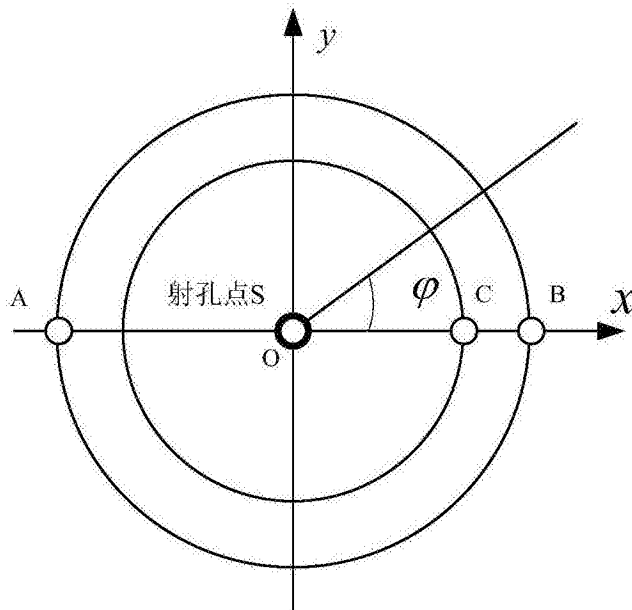


图3

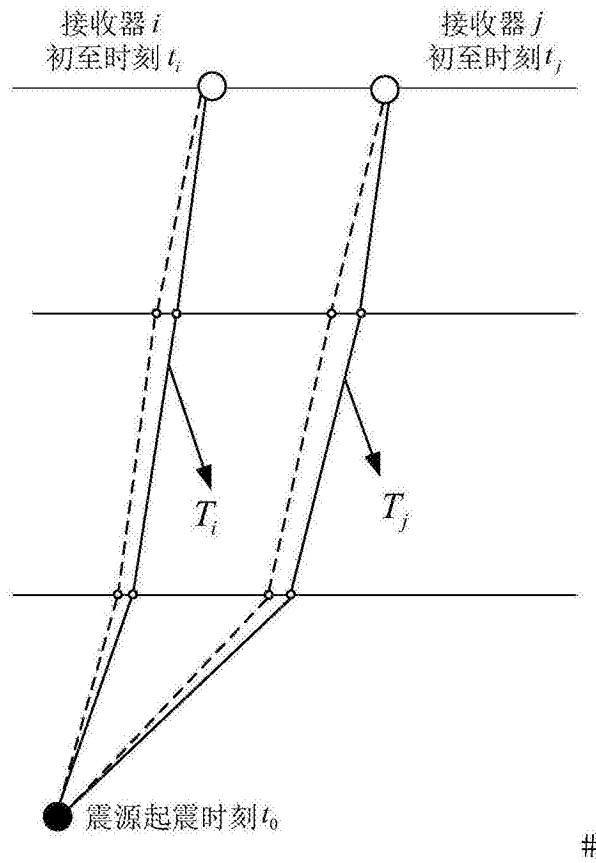


图4

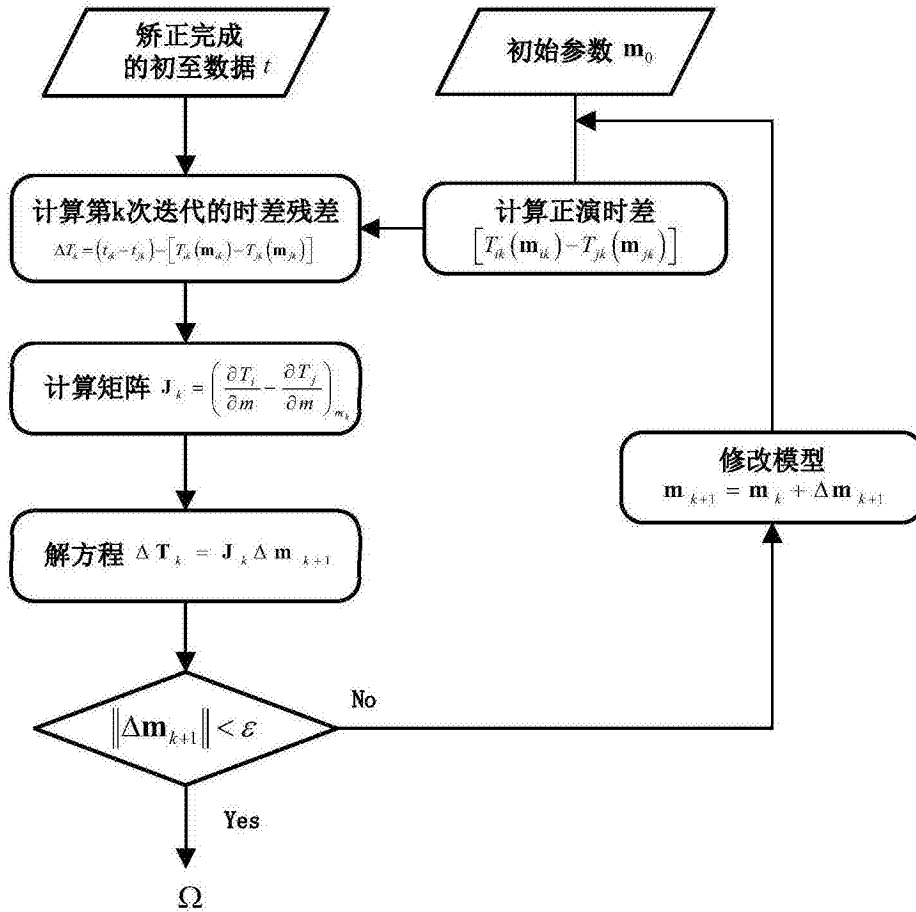


图5