

# 基于多分量信号分析的微地震声源定位基础研究

车小花<sup>1,2</sup>, 王 怡<sup>1,2</sup>, 乔文孝<sup>1,2</sup>, 贺海龙<sup>3</sup>, 解 辉<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 北京市地球探测与信息技术重点实验室, 北京 102249;  
3. 中国石油集团测井有限公司华北事业部, 河北任丘, 062552)

**摘要:** 当今世界上对油气田增产以及非常规油气田开发时, 应用最广泛最有效的石油工程技术方法是水力压裂。评价水力压裂效果的最成功的方法是微地震监测。国内目前在这方面仍处于起步阶段。通过数值模拟方法, 研究不同位置的压裂导致微地震源产生的弹性波场特征, 采用相邻井中二分量接收信号进行微地震源反演模拟研究。结合纵波横波的传播时间以及偏振特性等信息, 追踪微地震波传播路径, 计算声源位置, 确定压裂裂缝的前沿, 从而达到评估压裂效果的目的。数值模拟结果表明, 该方法在微地震监测的声源定位方面有较高的精确度, 在微地震监测的反演中有一定的借鉴意义。

**关键词:** 压裂; 微地震; 声源; 传播特性; 模拟

中图分类号: TB533

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2014)-04-0285-07

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2014.04.001

## A study of micro-seismic source localization based on multi-component signal analysis

CHE Xiao-hua<sup>1,2</sup>, WANG Yi<sup>1,2</sup>, QIAO Wen-xiao<sup>1,2</sup>, HE Hai-long<sup>3</sup>, XIE Hui<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Key Laboratory of Earth Prospecting and Information Technology, Beijing 102249, China;

3. Division of Northern China, China Petroleum Logging CO. LTD., Renqiu 062552, Hebei, China)

**Abstract:** Nowadays, the hydraulic fracturing is the most widely applied and most effective way to develop and promote the productivity of oil and gas fields in the world. Micro-seismic monitoring is considered to be the most successful method to evaluate the hydraulic fracturing. However, in China, the application and research on this aspect are still at the initial stage. Numerical simulation is done in this paper to study on the acoustic field characteristics of fractures at different locations and to simulate the two-component micro-seismic monitoring in neighboring wells. The time-arrival properties of P-wave and S-wave, as well as their polarization properties are studied together to improve the veracity and reliability in micro-seismic monitoring. The numerical simulation shows a good accuracy in source localization provided by this approach, which is expected to be a reliable method in improving the performance of micro-seismic monitoring.

**Key words:** hydraulic fracturing; micro-seismic; acoustic source; propagation properties; simulation

## 0 引言

在油气田的开发中, 为了尽可能多地开发工业性油气层, 提高产量, 人们经常对低孔、低渗型储层进行水力压裂操作。压裂操作可以在地下形成人工裂缝, 从而改善地层的渗流条件, 疏通堵塞, 达

到提高油井产能的目的。水力压裂技术在目前世界上老油田增产和非常规油气田开发中被广泛应用并且也是最为有效的技术措施, 在油气田的勘探开发中具有至关重要的作用<sup>[1]</sup>。在压裂过程中, 裂缝产生的微地震波可以看成是一种声发射现象<sup>[2]</sup>。声发射现象在裂缝的扩展边缘处表现得最为强烈, 因此可以用追踪声发射源的方法对裂缝的边缘进行定位, 从而达到监测裂缝产生、扩展的目的。微地震监测技术在国外已经初步形成应用技术, 而在国内还处于起步阶段。由于微地震事件在时间和空间上的分布十分复杂, 其发生时间不可知, 并且声发射信号比较微弱, 而背景噪声干扰比较严重, 因此为了得到更好的信噪比, 测量范围不宜超过 1 km

收稿日期: 2014-02-27; 修回日期: 2014-05-17

基金项目: 国家自然科学基金(11204380、11374371、11134011 和 61102102)、国家油气重大科技专项(2011ZX05020-009)、中国石油科技创新基金(2013D-5006-0304)和中国石油天然气集团公司(2011B-4001、2011A-3903)资助项目。

作者简介: 车小花(1976—), 女, 山东海阳人, 博士, 副研究员, 研究方向为声波测井和岩石物理。

通讯作者: 车小花, E-mail: aclab@cup.edu.cn

范围<sup>[3]</sup>。大多数微地震产生的信号频率范围在200~1500 Hz之间,持续的时间小于1 s,能量通常为里氏-3~+1级<sup>[2,4]</sup>。因此微地震信号很容易受到地层衰减和井下噪声的影响,实际应用中监测范围多在600 m以内<sup>[5,6]</sup>。微地震监测分为地面监测和井中监测<sup>[3]</sup>。所谓地面监测,就是在目标压裂井周围的地面上布置检波器记录信号,进行微地震监测;所谓井中监测,就是在目标压裂井临近的一口或几口井中布置接收阵列,进行微地震监测。典型的井中压裂监测是由放置在距离压裂井600 m以内的井孔中的8个接收器组成的接收阵列进行微地震监测<sup>[5,6]</sup>。

由于微地震信号的能量微弱,地面监测不可避免地存在信噪比低、可靠性差的缺点。井间监测已经成为压裂监测的主要方法。目前国内外已有基于阵列信号波程差的定位方法最主要的缺陷之一是只能比较准确地测量声源的距离,而无法准确定位声源的方向;二是需要接收阵列中接收器数量较大,并按照一定的要求进行空间排布才能够得到有效的精度,这一点由于实际环境空间限制而很难得到满足;三是求解声源位置的过程需要复杂计算,没有充分利用偏振特性,效率不高,不利于实时压裂监测。

本文中使用的声源定位方法结合三分量接收信号的纵波和横波的抵达接收器时间的差值以及信号的波矢量分析,可以快速、准确地对震源进行定位,效率较高。

## 1 研究问题的思路

本文工作基于声发射源定位对压裂裂缝进行监测,尤其侧重于井中监测问题。微地震事件发生在实施了压裂操作的地层中,裂缝产生的微地震波就可以看成是一种声发射现象。声发射其实是一种对应变能进行释放的物理过程,通过裂缝的发生和扩展等形式,进行应力再分布,一部分的应变能以应力波的形式发射。故在压裂裂缝的扩展过程中伴随有声发射现象发生,我们称之为微地震事件<sup>[7]</sup>。由于声发射现象在裂缝的边缘处表现最强烈,因此可以用追踪声发射源的方法对裂缝的扩展边缘进行定位,从而达到监测裂缝产生、生长的目的。本文对基于纵横波到时之差和纵波的波矢量分析的定位方法进行了研究和数值模拟。所提出的微地震源定位的中心思想是结合纵波和横波的到时信息以及微地震波的偏振特性来定位。利用同一个微地震源激发的纵波和横波的抵达接收器的时间之差

计算震源到接收器的距离,并通过判定其纵波和横波的偏振方向对波传播方向进行校准,从而对微地震源进行追踪定位。

在实际监测过程中,三分量接收器布置在监测井中接收微地震信号。由于微震信号微弱,一般监测与压裂井的距离不超过600 m<sup>[5,6]</sup>。因此,接收器总能够位于最佳测量位置,即和微地震源位于同一地层内。这样不仅方便对微地震信号的分析处理,也能得到更高的信噪比,是进行微地震监测的最佳位置。因此,在基础研究中,将介质模型简化为媒质是无限大均匀各向同性介质。声发射源近似为点声源,检波器尺度相对于波长可以忽略不计,本文物理模型如图1所示。压裂裂缝的声发射使得声源周围介质发生剪切运动而产生压缩波(P波)和剪切波(S波),可以用检波器探测到这些波动信息。

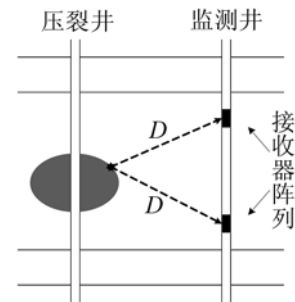


图1 压裂监测模型图

Fig.1 Model of hydraulic fracturing monitoring

## 2 声源定位的方法

### 2.1 利用纵波和横波到时之差计算声源到接收器的距离

接收器监测到微地震波抵达时,其纵波和横波由于传播速度的差异,到达接收器的时间不同。虽然微地震事件具有随机性,其发生时间不可知,但是通过某一个微地震声源激发的纵波和横波到时之差,可以得到声源到探头的距离<sup>[5,6]</sup>。图1中,若已知媒质波速,假设 $T_p$ 为某一个微地震声源信号的纵波传播时间, $T_s$ 为其横波传播时间, $V_p$ 为介质的纵波波速, $V_s$ 为介质的横波波速, $\Delta T$ 为测量得到的纵波到时与横波到时之差,对于同一个探头,它到震源的距离 $D$ 可以确定如下:

$$D = T_s V_s = T_p V_p = \frac{D(V_p - V_s)}{V_p - V_s} \quad (1)$$

$$D = \frac{D V_p - D V_s}{V_p - V_s} = \frac{T_s V_s V_p - T_p V_p V_s}{V_p - V_s} = \frac{(T_s - T_p) V_p V_s}{V_p - V_s} \quad (2)$$

$$\Delta T = T_s - T_p \quad (3)$$

$$D = \frac{\Delta T V_P V_S}{V_P - V_S} \quad (4)$$

然而，从接收器阵列的接收波形中识别来自相同声源的波包并不容易。若无法准确识别出同一个微地震源发出的纵波和横波波包，那么就无法提取到时并计算差值  $\Delta T$ ，故无法精确定位。对此，本文通过对比不同波包信号的偏振方向来识别出同一个声源的纵波和横波。我们知道，同源的纵波和横波的偏振特性是纵波的质点振动方向和波传播方向相同，而横波的质点振动方向和波传播方向垂直。因此，同源的纵波和横波偏振方向是互相垂直的。这样，对接收波形中的每个波包成分进行偏振方向分析，依次比较不同波成分的偏振方向，通过检测互相垂直的偏振方向来识别同一个震源激发的纵波和横波，进而提取到时差值。

### 2.2 微地震波传播方向的确定

微地震源到接收器的方位角，可以通过接收器收到的纵波的质点偏振性质确定。由于纵波的质点振动方向与波传播方向一致，因此确定纵波质点运动方向就确定了波传播的方向。同样，由于横波的质点运动方向与波传播方向垂直，因此，通过对横波的波矢量分析也能确定波传播的方向<sup>[8]</sup>。这样可以充分利用三分量探头接收到的微地震信号包含的信息。微地震信号中的纵波的波矢量分析如图 2 中三维直角坐标系模型所示。对于三分量声波检测探头，可以记录到图 2 所示波矢量在三个正交方向上的信息。图 2 中曲线表示纵波抵达探头的时质点的质点振动轨迹，以探头位置为原点，取三分量探头自身三轴为直角坐标系的坐标轴，对质点的位移矢量  $\mathbf{s}$  进行正交分解，该矢量在  $x$  轴的投影向量为  $\mathbf{s}_1$ 、在  $y$  轴的投影向量为  $\mathbf{s}_2$ 、在  $z$  轴投影向量为  $\mathbf{s}_3$ 。波矢量  $\mathbf{s}$  与垂直轴的夹角为  $\theta$  (仰角)，矢量  $\mathbf{s}$  在  $xy$  平面的投影与  $x$  轴的夹角为  $\varphi$  (方位角)，通过几何关系，用  $\varphi$  就可以求得纵波的方位。纵波分量信息可以由探头测得， $\mathbf{s}_1$  振幅即探头  $x$  轴纵波振幅，记为  $A_1$ ； $\mathbf{s}_2$  振幅即探头  $y$  轴的纵波振幅，记为  $A_2$ ； $\mathbf{s}_3$  振幅即探头  $z$  轴的纵波振幅，记为  $A_3$ 。那么仰角  $\theta$ 、方位角  $\varphi$  与纵波各个分量振幅的关系为：

$$\tan \theta = \frac{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}}{A_3} \quad (5)$$

$$\theta = \arctan \left( \frac{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}}{A_3} \right) \quad (6)$$

$$\varphi = \arctan \left( \frac{A_2}{A_1} \right) \quad (7)$$

由此可见，只要已知固体介质中的纵波和横波

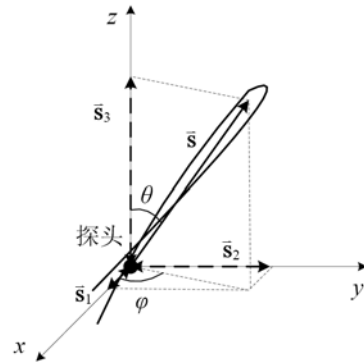


图 2 纵波质点运动矢量模型  
Fig.2 Particle movement vector of P-wave

速度，就可以通过三分量探头确定声源的方位和距离，从而换算声源的位置。适当增加探头个数可以减少误差。本文定位方法要求精确的地层弹性波速度作为输入参数来计算声源位置，并且需要知道接收探头的具体位置和探头参考线的方向。本文的数值模拟研究的是二维问题，接收器设置为二分量接收，但信号处理和定位方法和上文所述一致，仅仅是维度降为二维。

## 3 数值模拟研究

为了对微地震的声场特征进行分析，本文用二维交错网格有限差分对微震声场的传播进行数值模拟，用不分裂的完全匹配层 NPML 处理边界问题。由于实际微地震事件产生的信号必定包含纵波和横波信息，因此，在数值模拟中，使用偶极声源同时激发纵波和横波模拟微地震波。而且微地震信号的特点是主频在 200~1500 Hz 之间的短促脉冲波形，所以数值模拟中，加载声源使用主频为 1 kHz 的雷克子波。计算区域大小为 200 m × 200 m，介质纵波波速为 6280 m/s，横波波速为 3080 m/s。接收器设置为二分量接收质点振动速度信号，分别为质点振动速度的水平分量  $V_x$  和垂直分量  $V_z$ 。

### 3.1 单个点声源的定位

首先研究单个点声源的简单模型情况，其声场分析如图 3 所示。单个点声源产生的声场的模拟波场快照如图 3(a)所示，其中纵坐标表示介质垂直深度；横坐标表示介质水平方向。图 3(a)中黑点标注为声源位置，黑色粗直线标注为接收器所在的井孔。每隔 0.5 m 设置一个接收点，模拟多个接收探头。从图 3(a)中清晰可见声源激发的纵波和横波，在边界处，波信号被完全吸收，说明边界吸收效果不错。

对相距为 0.5 m 的 399 个接收器接收的微地震

信号做波矢量分析, 结合其偏振特性, 可以追踪微地震波的传播路径。在方向确定上, 由于波矢量分析的特点, 结果具有对称性, 这时需要结合监测井和压裂井的位置、压裂射孔段的深度位置、接收探头分布的位置等已知信息, 正确判别弹性波信号传播方向。接收器阵列中的多个探头均可以独立判定信号来源方向, 它们追踪路径的交点便是声源的位置, 如图 3(c)所示。此外, 结合偏振分析和纵波、横波到时之差计算声源到接收探头的距离, 就可以精确得到声源点的坐标位置。图 3(b)为二分量接收器接收到的微地震波形, 参照图 3(a)波场快照, 先抵达的为纵波, 后抵达的为横波, 在  $x-z$  两个方向的分量结合式(5)~(7)进行偏振分析, 可以确定波矢量方向, 提取纵波的到时与横波的到时之差以式(1)~(4)计算声源到接收器的距离。图 3(c)是在  $200\text{ m} \times 200\text{ m}$  范围内对单点声源的反演结果。对比图 3(a)与图 3(c), 黑点标注为实际声源位置, 虚线为各个接收器的追踪路径, 图 3(c)中圆圈标记为反演定位的声源位置, 可见基于所有接收器的反演结果都和实际相吻合。一般实际测量中, 接收阵列设置接收器数量为 8 个, 每个接收器之间的距离一般为  $5\text{ m}$  左右<sup>[5,6]</sup>, 随着测量仪器从下到上移动, 接收器阵列足以满足压裂段的测量条件进行反演定位。

而接收器阵列排布对定位精确度的影响将通过下面的例子进行说明。

### 3.2 垂直方向两个微地震源的定位

对于水力压裂的微地震监测来说, 随着裂缝扩展, 一般会有多个微地震源同时存在, 那么对于多个微震源的识别又是一方面的问题。下面通过一个简单的例子来说明解决方法。当两个声源同时存在时, 其声场分析见图 4 所示。波场快照如图 4(a)所示, “•” 标记为两个不同的微地震源, “\*” 标记为三个接收阵列垂直分布。在定位数据处理时主要有两个方面的问题, 一是不同声源发出的波形识别, 二是避免不同声源波形之间的混叠影响定位精确性。图 4(b)是从上到下三个接收阵列的接收波形, 阵列与声源的水平距离均为  $160\text{ m}$ , 每个阵列中相邻接收器间距均为  $5\text{ m}$ 。

由图 4(b)显示三个阵列的接收波形可见, 在和震源处于同一深度的接收阵列监测信号不佳, 两个声源激发的波形叠加在一起, 难以分辨, 而在震源上方和下方两个阵列接收到的信号数据都比较理想, 可以清晰识别两个声源的波形。由于体波的偏振特性, 同一个声源激发的纵波和横波的偏振方向互相垂直, 因此, 可以通过对比互相垂直的偏振方

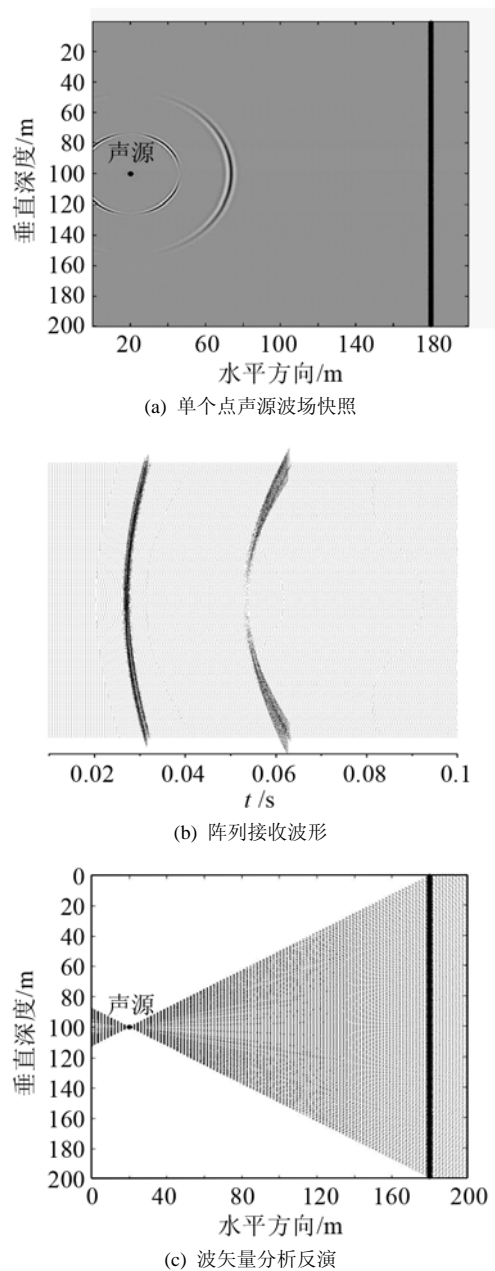
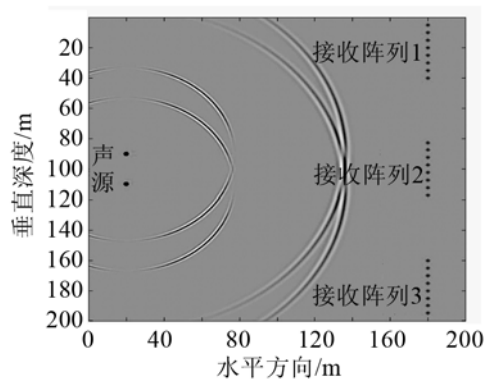


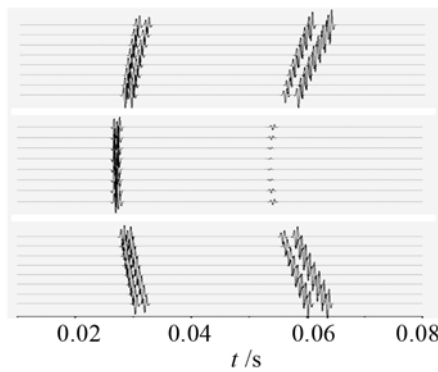
图3 单点声源声场分析

Fig.3 Acoustic field analysis of a single point source

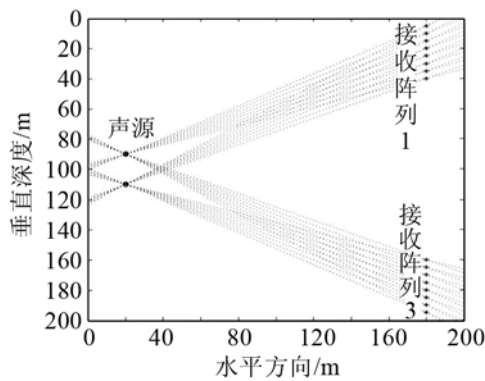
向从而识别出同一个声源激发出的波形, 通过式(4)~(7)可以分别定位, 反演结果如图 4(c)和图 4(d)所示。由图 4(c)可见, 在压裂声源上方和下方的接收阵列接收信号能够清晰分辨两个不同的声源, 定位效果十分精确。而图 4(d)是与压裂源处在同一深度的接收阵列反演结果, 可以看出由于该阵列与两个声源位于同一深度, 因此两个声源的波形混叠严重, 完全无法识别, 从而无法准确定位。由此可见, 在对水力压裂进行微地震监测的时候, 应该采用在压裂井段上方或者下方的微地震波形数据, 而避免使用在压裂井段同深度采集数据。此外, 接收器阵列的排布间距不宜过大, 一般以  $5\text{ m}$  为宜, 若



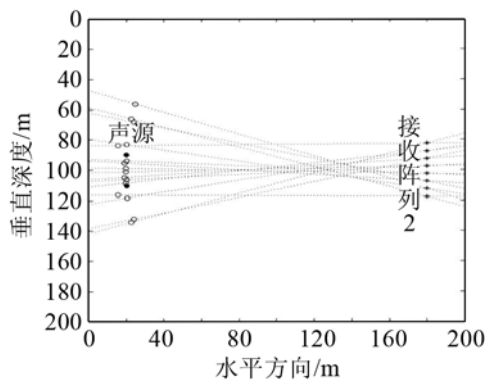
(a) 两个声源的波场快照



(b) 三个接收阵列的接收波形



(c) 位于震源上下方的接收阵列定位结果



(d) 位于震源高度的阵列定位

图 4 垂直两个点声源声场分析

Fig.4 Acoustic field analysis of 2 point sources

间距过大, 超过 10 m, 那么一个阵列 8 个接收器将跨越 80 m 的范围, 在采集过程中容易有部分接收器位于压裂段相同的深度, 无法有效反演, 使得数据采集效率降低; 若接收器间距过小, 小于 1 m, 那么一个阵列的范围不超过 8 m, 每个接收器采集数据的差异很小, 不利于互相校正, 数据处理的效率也会下降。

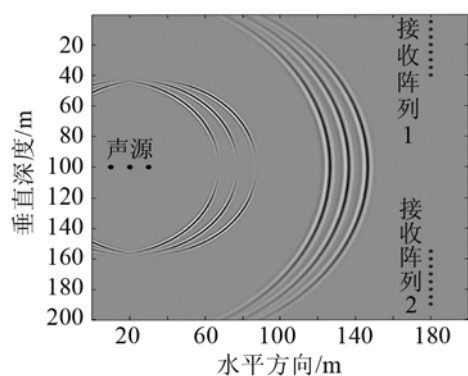
由此例可知, 若遇到介质裂缝比较密集的区域, 接收器间距过大将会影响测量结果, 此时应该选取较小的间隔, 使其能够让阵列避免跨越裂缝, 从而得到较高的精确度。

### 3.3 水平方向三个微地震源的定位

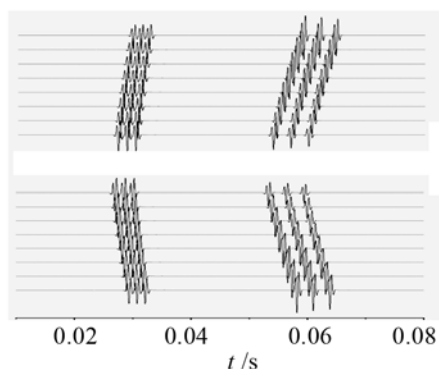
在水力压裂的过程中, 随着裂缝的生长, 会不断产生新的微地震源, 对于微地震源的定位, 需要能识别不同的震源, 同时还要提高精确度。我们模拟了沿着裂缝扩展产生的三个微地震源, 如图 5 所示。图 5(a)为三个震源模型的波场快照, 可以看出其激发的纵波横波依次传播开来。在距离 180 m 的监测井中, 在压裂段的上方和下方各布置了一组接收器阵列, 每个阵列由 8 个接收器组成, 间距为 5 m。

两组接收器接收波形如图 5(b)所示。由于纵波波速快, 所以抵达接收器时各个震源激发的纵波靠得比较近, 横波波速慢, 所以抵达接收器时各个震源激发的横波清晰地拉开。在反演数据处理中, 只要不同震源的微地震波没有完全混叠在一起就能够实现快速反演定位。两个接收器阵列各自进行反演, 利用二分量信号振幅确定微地震波的方位角, 利用纵波和横波的偏振特性, 确定微地震波传播方向, 利用同一个震源激发的纵波和横波的到时之差, 结合地层波速信息, 计算震源的距离。反演结果如图 5(c)和图 5(d)所示, 定位的结果与实际位置良好的重合。

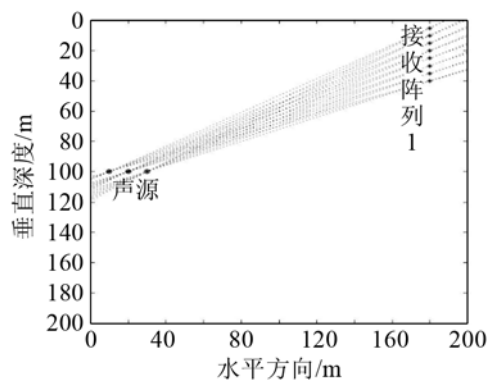
对于计算结果的精确性, 下面对比了两个阵列的定位误差, 并与两次定位结果综合后的结果误差进行了对比。由于两个不同阵列定位的结果存在不同程度的误差, 若将两者取平均, 能将误差进一步降低。图 6 比较了直接计算的误差与综合处理后的误差。图 6(a)是反演定位结果的局部放大图, 其中“o”标记了两个接收阵列直接定位的结果, 与图中坐标标记的实际声源点位置误差在 0.15 m 范围内; “•”标记为将两个阵列结果综合取平均后的定位结果。图 6(b)对直接定位和平均后定位的结果做了误差分析, “+”为震源上方第一阵列的反演误差, “o”为震源下方第二阵列的反演误差, “\*”为两个阵列反演定位结果取平均后的误差值。



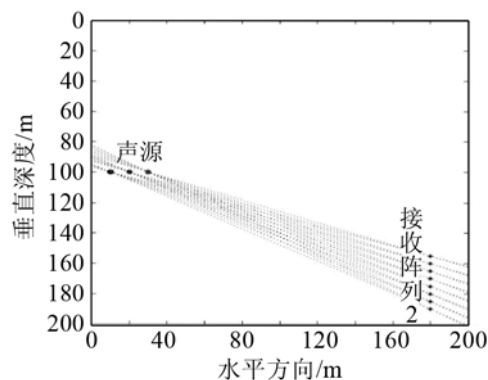
(a) 多声源波场快照



(b) 接收波形



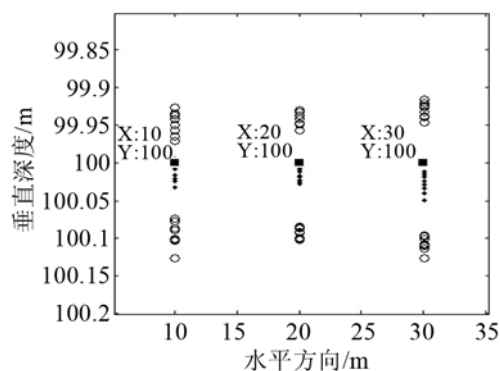
(c) 阵列 1 反演定位



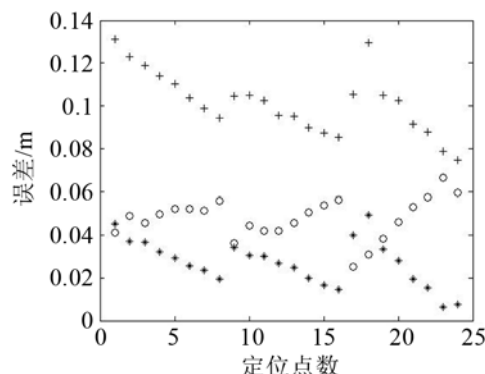
(d) 阵列 2 反演定位

图 5 多个压裂声源的声场分析

Fig.5 Acoustic field analysis of multiple micro-seismic sources



(a) 定位结果对比



(b) 误差比较

图 6 定位误差分析

Fig.6 Error analysis of Localizing results

由于每个阵列的 8 个接收器对同一个微地震源进行反演, 就得到 8 个结果, 故 3 个震源得到的反演结果有 24 个点。可见, 第一阵列定位的误差范围在 0.15 m 以内, 第二阵列定位的误差范围在 0.1 m 以内, 而综合两者的结果平均后得到的定位误差几乎都在 0.05 m 以内, 定位精度大大提高。由此可见, 在实际测量的过程中, 为了得到更高的定位精度, 应在压裂段的上方和下方进行多次测量, 将结果综合以降低误差, 得到更好的压裂定位结果。

### 4 结 论

水力压裂是目前全球关于油气田增产和非常规油气田开发时应用最广、最为重要有效的石油工程技术。本文数值模拟了单个和不同位置的多个点声源产生的微地震波场特征, 研究了相邻井中微地震监测的效果。

数值研究表明, 结合微地震源激发弹性波的偏振特性及其纵波到时与横波到时之差, 可以精确地反演声源位置。通过误差分析显示, 该方法精确度很高, 在 200 m 范围内定位误差不超过 0.1 m, 能够精确评价压裂裂缝扩展状态, 本文结果对于微地

震监测中的反演研究有参考意义。

本文的地层模型尚比较简单, 后续还将尽快开展针对复杂地层(非均匀、各向异性)情况下的微地震声源定位基础研究。

### 参 考 文 献

- [1] 易新民, 唐雪萍, 梁涛, 等. 利用测井资料预测判断水力压裂裂缝高度[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(5): 21-24.  
YI Xinmin, TANG Xueping, LIANG Tao, et al. Prediction and assessment of fracture height of hydraulic fracturing with logging data[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2009, 31(5): 21-24.
- [2] 刘百红, 秦绪英, 郑四连, 等. 微地震监测技术及其在油田中的应用现状[J]. 勘探地球物理进展, 2005, 28(5): 325-329.  
LIU Baihong, QIN Chuying, ZHENG Silian, et al. Microseismic monitoring technology & application status in oil field[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2005, 28(5): 325-329.
- [3] 张山, 刘清林, 赵群, 等. 微地震监测技术在油田开发中的应用. 石油物探[J]. 2002, 41(2): 226-231.  
ZHANG Shan, LIU Qinglin, ZHAO Qun, et al. Application of microseismic monitoring technology in development of oil field[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2002, 41(2): 226-231.
- [4] 赵斌. 井下压裂作业过程监测技术研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2011.  
ZHAO Bin. Process monitoring underground fracturing technique[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2011.
- [5] Les Bennett. The Source for hydraulic fracture characterization[J]. Oilfield Review, Winter 2005/2006: 42-57.
- [6] Joel H. Le Calvez, Les Bennett, et al. Monitoring microseismic fracture development to optimize stimulation and production in aging fields[J]. The Leading Edge, 2005, 24(1): 72-75.
- [7] 巴晶, 刘力强, 马胜利. 岩石力学试验中的声发射源定位技术[J]. 无损检测, 2004, 26(7): 342-366.  
BA Jing, LIU Liqiang, MA Shengli. A summary on acoustic emission source location methods in rock mechanics experiment[J]. Nondestructive Testing, 2004, 26(7): 342-366.
- [8] 夏媛媛, 李仕雄, 吕清勇, 等. 基于Matlab的偏振分析在微地震三维定位中的应用[J]. 金属矿山, 2010, 405(3): 119-121.  
XIA Yuanyuan, LI Shixiong, LÜ Qingyong, et al. Application of polarization analysis to microseismic three-dimensional positioning based on matlab[J]. Metal Mine, 2010, 405(3): 119-121.

### • 简 讯 •

## 2014年水声对抗技术学术交流会在成都举行

由水声对抗技术重点实验室和 underwater information and control laboratory 联合主办的“2014年水声对抗技术学术交流会”于2014年6月25~27日在四川省成都市举行。中国科学院院士张仁和研究员出席会议并担任大会主席, 水声对抗技术重点实验室主任孟昭文研究员、水下信息与控制重点实验室李伟研究员以及来自水声、水声对抗和鱼雷等领域的有关专家出席了会议。来自相关领域多家军地科研院所、高等院校的60余名科研人员、研究生参加了会议。

本次学术交流会收到论文103篇, 涉及水声、水声对抗及鱼雷领域的7个研究方向。学术交流会分大会报告和专题交流报告两部分。张仁和院士、皇甫立研究员、陈亚林研究员、董阳泽研究员等受邀做了精彩的大会报告, 51篇论文进行了专题交流。

本次会议提供了一个良好的交流平台, 进一步加强了相关领域不同学科之间研究人员的交流, 集中反映了当前我国水声、水声对抗及鱼雷领域的最新研究水平, 促进了相关领域研究的进一步发展。



水声对抗技术重点实验室