

· 处理技术 ·

# 微地震信号的偏振—位置对比法震相分离技术

朱卫星<sup>\*①</sup> 宋维琪<sup>②</sup> 修金磊<sup>③</sup> 朱雪梅<sup>④</sup>

(①中海油田服务股份有限公司, 河北燕郊 065201; ②中国石油大学(华东)资信学院, 山东东营 257061;

③胜利油田物探研究院, 山东东营 257000; ④北京新思软件技术有限公司, 北京 100008)

朱卫星, 宋维琪, 修金磊, 朱雪梅. 微地震信号的偏振—位置对比法震相分离技术. 石油地球物理勘探, 2009, 44(4): 425~429

**摘要** 针对微地震信号的特点, 本文设计了改进的二维  $f-k$  滤波, 并与自适应极化滤波相结合, 提出了偏振—位置对比法追踪波的跟踪分量, 实现信号的震相分离。在设计  $f-k$  滤波因子时, 通过计算相邻道的滑动时窗内信号的互相关系数, 确定时窗的视速度范围; 在设计自适应极化滤波因子时, 针对复杂波场波的期望方向不确定问题, 本文通过计算相邻道的偏振投影互相关系数, 确定波的跟踪分量; 把常规极化滤波因子中的期望方向选为跟踪分量的方向, 滤波后的信号分别向跟踪分量上进行投影, 即可实现信号的震相分离。理论模型和实际资料的处理效果表明, 该方法可明显改善信号分离效果。

**关键词** 微地震 偏振—位置对比 震相分离 二维滤波 自适应极化滤波

## 1 引言

微地震信号是指水力压裂、油气采出、注水、注气、热驱等石油工程作业时, 地下应力场变化导致的岩层裂缝或错断所产生的地震波。微地震监测技术就是对上述生产活动中所产生的微地震信号进行观测分析<sup>[1,2]</sup>, 以求获得有关裂缝和储层信息。微地震信号通常利用有限的正交非对称的三分量检波器接收, 由于此信号能量弱、信噪比低, 微震记录道数少, 震源不确定, 水平分量记录和波的到达方向不一致, 致使垂直分量和水平分量监测到的波型难以分离。

针对微震信号的上述特点, 本文研究了波的偏振—位置对比法震相分离技术, 该方法综合利用介质质点运动轨迹和波的传播方向追踪波<sup>[3]</sup>。常规地震中追踪波的方法是利用波的位置对比法追踪波的跟踪分量, 达到分离信号震相的目的, 但当波场复杂时, 波的全矢量将严重偏离固定分量, 此时运用波的位置对比追踪波的方法将没有任何效果。而综合波的两类方向特性的偏振—位置对比法能够最大限度地追踪波的跟踪分量, 即使波场复杂时也能很好地

提高信号的信噪比, 清晰地分离出信号的各种震相。

1981年, 加尔彼林提出了同时综合利用介质质点运动轨迹和波的传播方向的偏振—位置相关法<sup>[3]</sup>。他根据一个点上三分量检波器的信号, 计算出每个时间间隔各个方向上质点振动的投影, 其中与相邻道(相邻点)的投影互相关最大定义为这些道在这个时间间隔内某个同相轴的跟踪分量。然而, 如果信号的信噪比太低、能量较弱, 用这种方法求跟踪分量就会产生很大的误差, 从而导致信号分离时产生振幅畸变。为此, 在加尔彼林偏振—位置对比法的基础上, 笔者提出了与自适应极化滤波相结合的偏振—位置对比法。该方法首先利用改进的二维滤波进行波的位置对比追踪, 然后利用自适应极化滤波进行波的偏振对比追踪, 并将这两种滤波后的三分量微震信号分别向期望方向投影, 即可合成跟踪分量的综合地震记录, 实现信号的震相分离。

## 2 基本原理

### 2.1 改进的二维滤波方法

野外采集到的微地震记录可以表示为时间  $t$  和空间  $z$  的二元函数, 即

\* 河北省三河市燕郊镇海洋北院中海油服开发工程所, 065201

本文于2008年7月30日收到, 修改稿于2009年2月10日收到。

$$g = g(z, t) \quad (1)$$

对式(1)进行离散二维傅氏变换,得到它的二维谱  $G(k, f)$ , 其二维离散形式为

$$G_{mn} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} g_{mn} \exp \left[ -i2\pi \left( \frac{m}{M}p + \frac{n}{N}q \right) \right] \quad (2)$$

式(2)中:  $M$  为一条测线上的微地震道数;  $N$  为时间域的采样点数;  $G_{mn}$  为  $g(z, t)$  的二维离散波频谱, 它的两个自变量分别是波数  $k = mge = \frac{m}{M}$  和频率  $f = ngd = \frac{n}{N\Delta}$ 。频率和波数之比称为视速度<sup>[5]</sup>, 其大小可由式(3)确定

$$V^* = \frac{f}{k} = \frac{nM}{mN\Delta} \Delta \quad (3)$$

式中:  $\Delta$  为道间距离, 称为空间采样间隔;  $Z = M \Delta$  为测线的长度;  $\Delta$  为时间域的采样间隔;  $T = N\Delta$  为信号的记录长度。

通过二维 FFT, 反映在  $f-k$  平面上的微地震信号和线性干扰波就位于不同的区域。给定速度域的滤波门限, 由式(3)就可确定滤波的范围。

本文通过计算相邻道的最大互相关系数, 扫描出滑动时窗内的视速度值, 便可确定滤波速度的上下限(图 1)。若设计二维窄通带  $f-k$  滤波因子, 实现变速  $f-k$  滤波, 则可压制噪声, 保留有效信号, 减小非线性干扰对偏振参数估计的影响。在对时窗进行二维 FFT 变换时, 可利用时窗扩展技术, 在时窗的纵横向上采用补零的方法消除时空域的混叠和漏频, 提高频率波数域的分辨率, 减小信号的畸变。

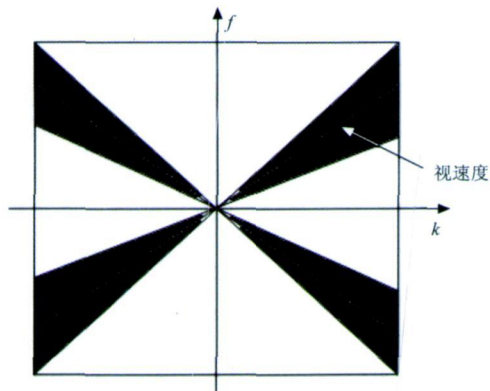


图 1 滑动时窗内信号的速度滤波范围

## 2.2 自适应极化滤波

每一种波形、每一种震相都有自己的偏振特点。在一个测点上, 不同波形、不同震相的波动先后或同时到达、相干叠加, 构成一个复杂的地震记录。根据

特定震相的特点, 保留其偏振方向的振动, 压制其他方向的振动, 这种方法称为极化滤波<sup>[6~9]</sup>。文献[10]对极化滤波做了详尽的阐述, 并且进行了改进, 即分别在时间和空间方向上进行两次极化滤波。但该方法两次使用的极化滤波因子仍然是常规滤波因子, 没有真正实现自适应极化滤波。

常规的极化滤波通常选择固定的  $x, y, z$  作为期望方向, 取滑动时窗, 选择适当的窗长, 首先计算时窗内质点振动轨迹的偏振主方向, 并求出偏振主方向和期望方向之间的夹角, 然后利用下式来构建极化滤波因子, 即

$$f(t) = \eta(t) \cos^q \theta(t) \quad (4)$$

式中: 指数  $p, q$  分别为控制极化程度的加权值和控制极化方向的加权值, 并分别控制偏振系数和夹角的期望效应;  $\cos \theta(t) = \mathbf{I}(t) \cdot \mathbf{E}$ ,  $\mathbf{I}(t)$  为偏振主方向,  $\mathbf{E}$  是期望滤波方向。利用式(4)即可消除非线性极化波, 保留线性极化波。若同时令  $p=0$ , 则可以压制偏离期望方向的线性极化波, 达到分离波场的目的。

当波场比较复杂时, 尤其是对于复杂介质下采集的微震信号, 对于同一个分量的各道记录, 波的全矢量方向将严重偏离固定分量。如果选择固定的分量作为期望方向构建极化滤波因子, 则滤波后信号的振幅将发生畸变, 而且信号的同相轴也不连续, 甚至完全达不到震相分离的目的。为此, 本文提出了与自适应滤波相结合的偏振一位置对比法, 即把期望方向选为波的跟踪分量的方向, 追踪出每个波的跟踪分量记录, 实现自适应极化滤波, 即可达到消除非线性极化波, 提高信噪比的效果。

### 2.2.1 跟踪分量的确定

所谓跟踪分量, 是指一个给定的波具有最大信噪比的空间分量<sup>[3]</sup>。本文借鉴加尔彼林的偏振位置相关法, 确定每个波的跟踪分量。设有一线性偏振信号, 可写出其在偏振方向的投影为

$$S(t) = z(t) \cos \varphi + x(t) \cos \psi \sin \varphi + y(t) \sin \psi \sin \varphi \quad (5)$$

式中,  $\varphi$  和  $\psi$  分别是坐标系中确定偏振方向的偏离垂线的倾斜角和水平面内的方位角。待求同相轴(该线性偏振信号)的跟踪分量定义为相邻道上偏振投影与  $S(t)$  互相关最大的信号分量。

本文根据每道三分量检波器的信号, 计算出每个时间间隔各个方向上质点振动的投影, 找出与相邻道的投影互相关最大的方向, 定义为每道在这个

时间间隔内的跟踪分量的方向。求取每道微震信号的跟踪分量时,在每个时间间隔内计算每组 $(\varphi_i, \psi_j)$  ( $0^\circ \leq \varphi_i \leq 180^\circ, 0^\circ \leq \psi_j \leq 180^\circ$ )对应的 $S_{\varphi_i, \psi_j}(t)$ ,同时在相邻道、相同的时间间隔内计算每组 $(\varphi_i, \psi_j)$  ( $0^\circ \leq \varphi_i \leq 180^\circ, 0^\circ \leq \psi_j \leq 180^\circ$ )对应的 $S_{\varphi_i, \psi_j}(t)$ ,然后计算每个 $S_{1i}$ 与每个 $S_{2j}$ 的互相关系数,即

$$R_{S_{\varphi_{1i}, \psi_{1j}}(t), S_{\varphi_{2i}, \psi_{2j}}(t)}(\tau) = \sum_{k=1}^{nw} S_{\varphi_{1i}, \psi_{1j}}(x_k) S_{\varphi_{2i}, \psi_{2j}}(x_k + \tau) \quad (6)$$

式中: $nw$ 为选取的时窗长度; $R_{S_{\varphi_{1i}, \psi_{1j}}(t), S_{\varphi_{2i}, \psi_{2j}}(t)}(\tau)$ 为计算出的相邻道偏振投影的互相关系数。通过对偏振方向的倾斜角和方位角分别设定增量 $\Delta\varphi$ 和 $\Delta\psi$ ,再找出最大的投影互相关系数对应的偏振方向,即可求出该时间间隔内信号的跟踪分量。

### 2.2.2 自适应极化滤波

求出每个时间间隔内的跟踪分量以后,就可以设计自适应极化滤波。设计滤波因子时,把期望方向选为跟踪分量的方向,有利于压制非线性噪声。

### 2.3 微地震信号的震相分离

通过两种方向性滤波之后的微地震信号,消除了非线性干扰波,再把三分量微地震信号分别向跟踪分量上投影,合成跟踪分量的综合地震记录。在该地震记录上,微地震信号的各种震相得到了有效分离,合成跟踪分量的公式为

$$S'(t) = z'(t)\cos\varphi_s(t) + x'(t)\cos\psi_s(t)\sin\varphi_s(t) + y'(t)\sin\psi_s(t)\sin\varphi_s(t) \quad (7)$$

式中: $\varphi_s, \psi_s$ 分别为偏振方向的垂直倾斜角和水平方位角; $z', x', y'$ 分别是滤波后的微震三分量记录; $S'$ 即为跟踪分量记录。

### 2.4 偏振参数的选择

由式(4)可知,决定极化滤波的参数主要有时窗长度、控制极化程度的加权值 $p$ 和控制极化方向的加权值 $q$ ,以及求取偏振方向的垂直倾斜角和水平方位角增量 $\Delta\varphi$ 和 $\Delta\psi$ 。选取合适的极化滤波参数可以使滤波效果得到明显改善。通常选择时窗大于或等于微地震信号一个周期的长度, $q$ 值通常选为1~5, $p$ 值越大压制非线性干扰的效果越明显, $p$ 变小时压制非线性干扰的效果不是很明显,但当取 $p=0$ 时,式(4)就成了波场分离公式。利用投影相关法求取偏振方向的垂直倾斜角和水平方位角的增量时,通过试算不同的增量,发现增量越小,效果越好,

但同时也造成了计算速度慢。为此,本文先从大的增量开始,逐步减小增量,直到满足信号处理的要求为止。通过试算可以看出,当选择倾斜角和方位角的增量为 $10^\circ$ 时,基本上能够满足处理的需要。

## 3 理论模型的试算

为了验证本文方法的正确性,利用水平层状介质模型进行了验证。模拟采用单源的微地震源,10级三分量( $z, x, y$ )分量检波器接收,并利用射线追踪法合成微地震记录,如图2和图3所示。在图2中,前10道为 $z$ 分量记录,中间10道为 $x$ 分量记录,后10道为 $y$ 分量记录,图3~图6数据的排列顺序与图2相同。图4~图6分别是改进的 $f-k$ 滤波、自适应极化滤波和偏振—位置对比联合滤波的结果。从图中可以看出,对微震资料采用自话应极

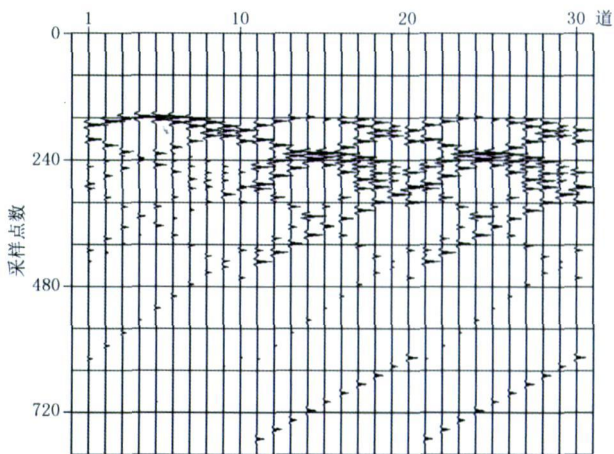


图2 微地震模拟记录

图中前10道为 $z$ 分量;中间10道为 $x$ 分量;后10道为 $y$ 分量

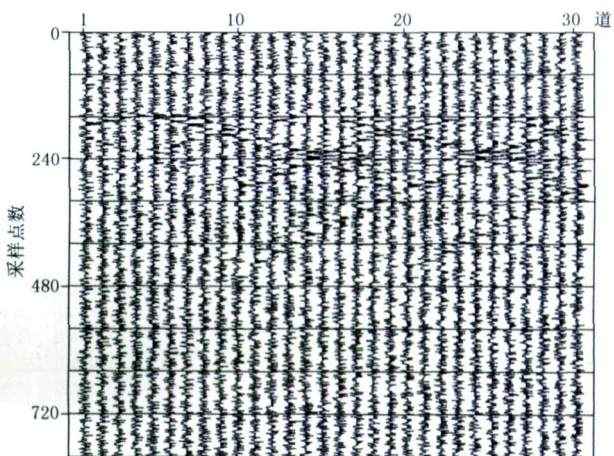


图3 对图2的合成记录加入35%的随机噪声的结果



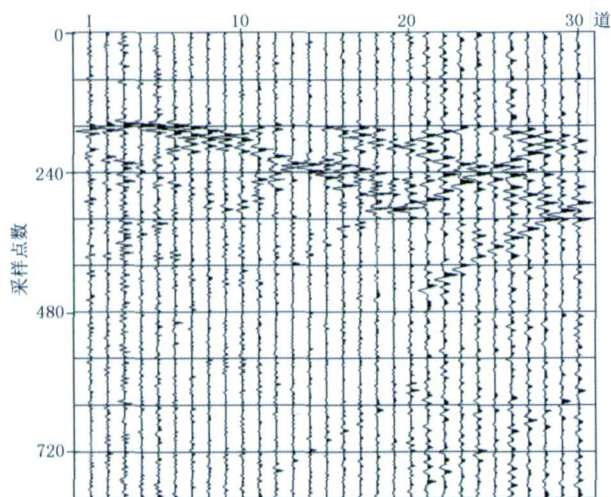
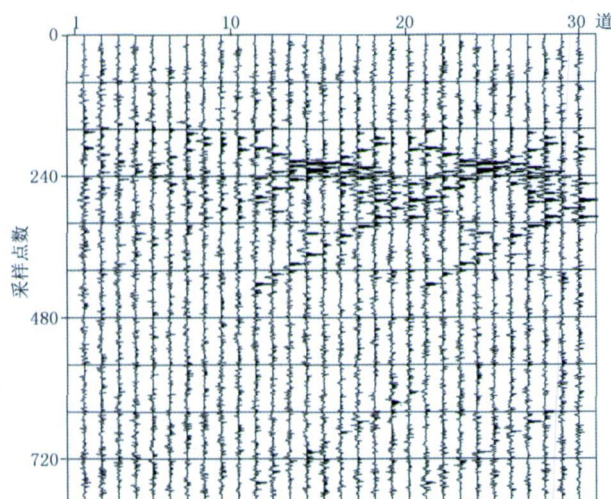
图4 改进的  $f-k$  滤波后的结果

图5 自适应极化滤波处理后的结果

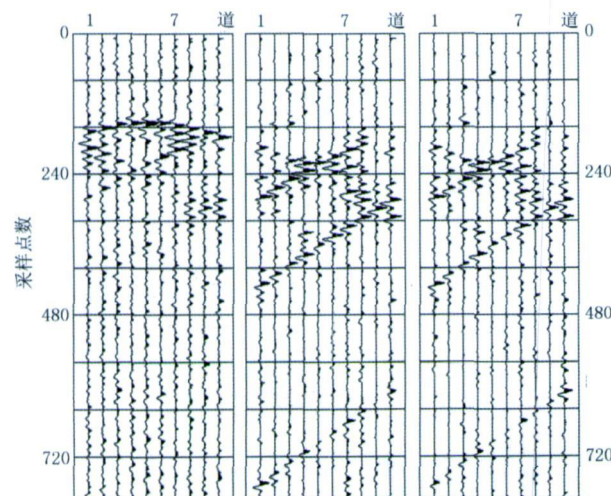


图6 改进的偏振—位置对比联合滤波处理的结果

化滤波的噪声压制效果较差(图5),而采用改进的  $f-k$  滤波虽然压制噪声的效果较好,但有效信息容易发生畸变。把以上两种方法结合起来,避免各自的缺点,发挥彼此的长处,处理效果则更加明显(图6)。图7是偏振—位置对比联合法震相分离的结果,从图中可以看出,改进后的方法使各种信号分别向其真正的跟踪分量投影,最大程度地减小了信号的畸变,分离出的各种信号震相的信噪比也得到了明显提高。与图2原始模拟记录相比,处理后的各种震相也得到了较好的分离。

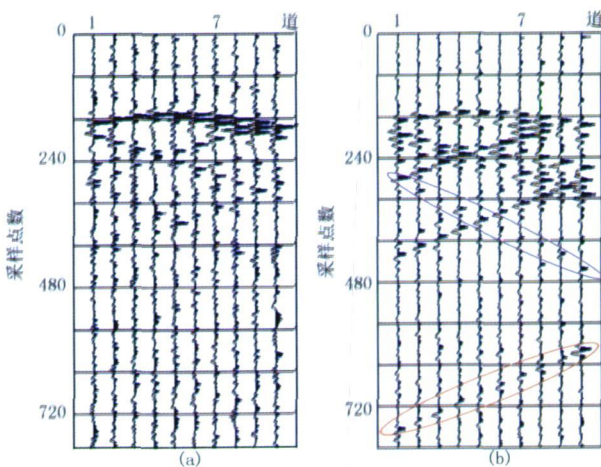


图7 偏振—位置对比联合法震相分离的结果

(a)常规偏振—位置对比联合法震相分离结果;  
(b)改进的偏振—位置对比联合法震相分离结果

#### 4 实际资料处理结果分析

为了进一步验证本文方法的效果,对实际资料进行论证分析。图8为胜利油田地球物理勘探开

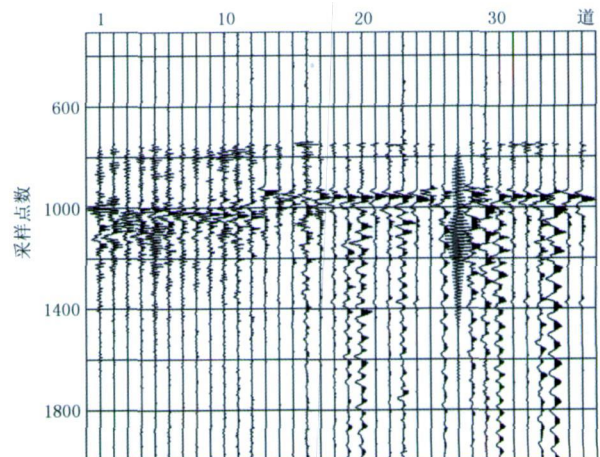


图8 压裂微地震监测记录



发公司于2007年在吉林油田施工监测的压裂微地震资料(数据的排列方式为:前12道为 $z$ 分量记录,中间12道为 $x$ 分量记录,后12道为 $y$ 分量记录)。定性分析此原始资料,只能大致确定直达纵波、横波位置,其信噪比非常低,难以对各震相做出可靠的分离判断。笔者分别利用以上处理流程对该资料进行震相分离后,其效果得到了明显的改善(图9,图10),信号的各种震相得到了清晰的识别分离。

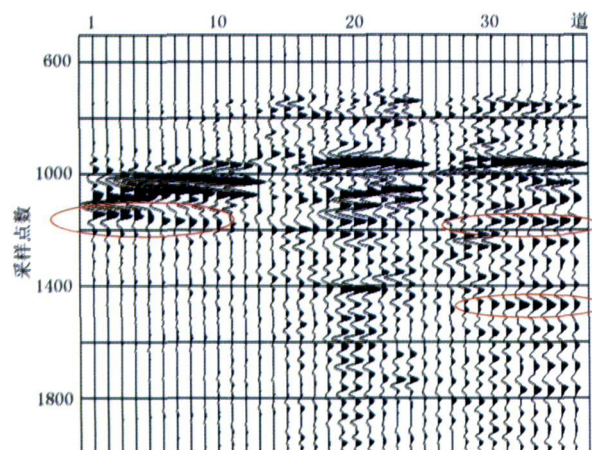


图9 偏振—位置对比联合法处理的结果

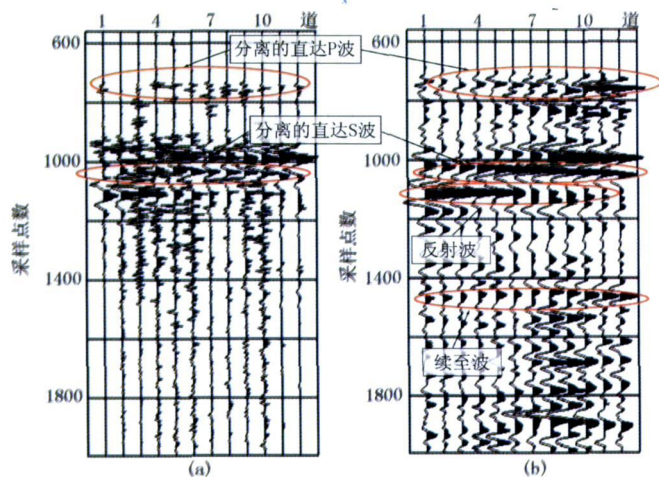


图10 偏振—位置对比联合法震相分离的结果

(a)常规的震相分离方法;(b)改进的震相分离方法

## 5 结束语

鉴于微地震信号能量弱、信噪比低,仅采用改进的 $f-k$ 滤波虽能够有效压制随机噪声,但有效信号容易发生畸变,而采用自适应极化滤波,其压噪效果也不理想。本文针对微震震源的随机性导致了水平分量记录波的到达方向的随机性,将常规的极化滤波选择固定分量作为期望方向(容易导致处理后的振幅发生畸变),改为把跟踪分量作为期望方向,并将以上两种滤波方法结合起来,再把三分量微地震信号分别向跟踪分量上投影,合成跟踪分量的综合地震记录,从而实现了信号的震相分离。

## 参考文献

- [1] 梁兵,朱广生.油气田勘探开发中的微震监测方法.北京:石油工业出版社,2004
- [2] 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,2002,41(2):226~231
- [3] 加尔彼林著;何樵登,杨宝俊译.地震勘探偏振法.北京:石油工业出版社,1989
- [4] 董寻虎,武延祥.改进的二维滤波技术在浅层地声探测中的应用.声学技术,1996,15(6):16~17
- [5] 李亚安,穆林.二维滤波技术在浅地层地声信号处理中的应用.应用声学,1995,14(2):38~41
- [6] 赵鸿儒,孙进忠,唐文榜等.全波震相分析.北京:地震出版社,1991
- [7] 黄中玉,高林,谢大进等.三分量数据的偏振分析及其应用.石油物探,1996,35(2):9~16
- [8] Azikl, Perelberg and Scott C Hornbostel. Applications of seismic polarization analysis. *Geophysics*, 1994,59(1):119~130
- [9] Benhama A et al. Study and application of spatial dimensional filtering in three component recordings. *Geophysical Prospecting*, 1988,36(6):570~582
- [10] 宋维琪,孙英杰,朱卫星.微地震资料频率域相干一时间域偏振滤波方法.石油地球物理勘探,2008,43(2):161~167

(本文编辑:金文昱)

## 作者介绍

**袁三一** 博士研究生, 1983 年生; 2006 年本科毕业于江汉石油学院勘查技术与工程专业; 现就读于中国石油大学(北京)资源与信息学院, 主要从事地球物理反演、地震资料处理与解释一体化和复杂介质波动方程数值模拟等领域的学习和研究; 曾获 SEG 教育基金奖、孙越崎科技教育基金优秀学生奖。

**李国栋** 博士研究生, 1978 年生; 2003 年本科毕业于辽宁工业大学测控技术及仪器专业, 2007 年获中科院国家授时中心测试计量技术及仪器专业硕士学位; 现在中科院声学所东海站攻读博士学位, 研究方向为水声定位技术。

**杨勤勇** 高级工程师, 1964 年生; 1985 年本科毕业于武汉地质学院石油物探专业, 2006 年获吉林大学地球探测与信息技术专业博士学位; 主要从事地球物理实验、地震成像和油藏综合地球物理技术研究及科技管理工作。

**安勇** 博士, 讲师, 1973 年生; 1996 年本科毕业于石油大学(华东)应用地球物理专业, 2005 年获中国科学院地质与地球物理研究所固体地球物理专业博士学位; 现在中国石油大学(北京)资源与信息学院从事信号分析和处理、地震数据处理和反演方面的教学与科研工作。

**黄新武** 副教授, 1972 年生; 1994 年本科毕业于江汉石油学院物探专业, 1999 年获石油大学(北京)地球探测与信息技术专业博士学位; 现在中国地质大学工程技术学院从事地震波传播理论、多次波压制及近地表校正等领域的教学与科研工作。

**李彦鹏** 高级工程师, 中国地球物理学会、SEG 及 EAGE 会员, 1970 年生; 1991 年本科毕业于江汉石油学院物探专业, 2000 年获同济大学固体地球物理专业(理学)硕士学位; 主要从事多波多分量地震勘探和井中地震勘探技术研究, 发表论文 30 余篇, 曾获“傅承义青年科技奖”和“孙越崎青年科技奖”; 现任中国石油东方地球物理公司井中地震中心总工程师。

**朱卫星** 硕士, 1982 年生; 2005 年本科毕业于中国石油大学(华东)勘查技术与工程专业, 2008 年在该校研究生院获地球探测与信息技术专业硕士学位; 现在中海油田服务股份有限公司从事开发地震方面的研究工作。

**张繁昌** 副教授, 1972 年生; 1994 和 1998 年先后获石油大学(华东)应用地球物理专业学士和硕士学位, 2004 年获该校地质资源与工程专业博士学位; 一直致力于地球物理反演方法、信号处理和储层预测等方面的研究, 参与国家自然科学基金、国家 863、973 等多项科研课题研究, 发表论文十余篇; 现在中国石油大学(华东)地球资源与信息学院从事石油物探领域的教学和科研工作。

**孙章庆** 博士研究生, 1982 年生; 2006 年本科毕业于吉林大学勘查技术与工程专业, 2008 年获该校地球探测与信息技术专业硕士学位; 现在该校地球探测科学与技术学院攻读博士学位, 研究方向为地震波传播理论与成像技术。

**熊晓军** 讲师, 1980 年生; 2001 年本科毕业于西南石油学院勘查技术与工程专业, 2004 年获该院地球探测与信息技术专业硕士学位, 2007 年获成都理工大学地球探测与信息技术专业博士学位; 现在成都理工大学信息工程学院从事地震正、反演方法等领域的研究与教学工作。

**崔海峰** 工程师, 博士研究生, 1976 年生; 2000 年本科毕业于西北大学地质学专业, 2003 年获西北大学构造地质学专业硕士学位, 现为成都理工大学能源学院在读博士生; 一直在中国石油勘探开发研究院西北分院从事地质构造分析及综合研究工作。

**宫健** 高级工程师, 1969 年生; 1990 年毕业于江汉石油学院应用化学专业, 2003 年获浙江大学地质工程专业硕士学位; 一直从事石油地质及地震资料处理等方面工

作, 现同时在中国石油大学(华东)攻读博士学位。

**李红星** 博士, 讲师, 1981 年生; 2002 年本科毕业于吉林大学勘查技术与工程专业, 2005 和 2008 年先后获该校地球探测与信息技术专业硕士学位和固体地球物理专业博士学位; 现在东华理工大学核工程技术学院从事复杂介质波场特征与海洋地震、声学探测等领域教研工作。

**陆宝立** 工程师, 1972 年生; 1997 年本科毕业于华东地质学院物探专业, 2006 年获中国石油大学(北京)资源与信息学院石油地质专业硕士学位; 现在吉林油田勘探开发研究院物探分院从事地震资料解释与储层预测工作。

**何建军** 副教授, 博士, 1967 年生; 1987 年本科毕业于成都地质学院石油地质专业, 2008 年获成都理工大学地球探测与信息技术专业博士学位; 曾在四川石油管理局从事石油地质与勘探工作; 现在成都理工大学从事计算机应用领域的教学与科研工作。

**周东红** 高级工程师, 1968 年生; 1990 年本科毕业于石油大学(华东)物探专业, 2008 年获西南石油大学地质工程硕士学位; 主要从事构造解释及综合研究、物探方法研究等工作; 现任渤海油田勘探开发研究院总地球物理师。

**张军华** 博士, 教授, 1965 年生; 1987 年本科毕业于华东石油学院物探专业, 1995 年和 2002 年先后获石油大学(华东)应用地球物理专业硕士学位和地球探测与信息技术专业博士学位; 一直致力于地震资料处理和解释方法研究; 编著《地震数据处理方法》和《地震属性分析技术》等专著, 在专业期刊及会议上发表论文 50 篇; 现在中国石油大学(华东)地球资源与信息学院从事物探专业教研工作。

**骆遥** 硕士, 1982 年生; 2005 年本科毕业于中国地质大学(北京)地球物理专业, 2008 年在中国科学院地质与地球物理研究所获空间物理专业硕士学位; 现在中国国土资源航空物探遥感中心从事航空地球物理勘探工作。

**孙建国** 博士生导师, 教授, 长江学者, 1956 年生; 1978 年毕业于长春地质学院物探专业, 1981 年获该院电法勘探专业硕士学位, 1991 年在德国 Clausthal 工业大学地球物理研究所获德国自然科学(地球物理专业)博士学位; 主要从事地下波动理论与成像技术、地震资料处理方法与解释技术、钻孔电磁波法、岩石物理学和可视化技术在地球物理领域的应用等方面的教学和研究工作。

**李文杰** 博士, 1966 年生; 1988 年本科毕业于江汉石油学院物探专业, 1993 年获石油大学(北京)地震数据处理专业硕士学位, 2004 年获中国石油大学(北京)应用地球物理专业博士学位; 一直致力于地震数据处理与方法研究, 现就职于中国石化石油勘探开发研究院。

**康南昌** 教授级高级工程师, 中国石油东方地球物理公司地质总监, 1963 年生; 1982 年本科毕业于武汉地质学院地质专业, 2005 年获中国地质大学矿场与普查专业博士学位; 一直从事地震资料解释与综合研究工作; 现任东方地球物理公司研究院总地质师。

**郑华生** 高级工程师, 1967 年生; 1986 年毕业于四川石油财经学校工业会计专业, 1998 年获河南财经学院经济管理学士学位, 2005 年获卡尔加里大学 MBA 硕士学位; 先后在原石油物探局及东方地球物理公司担任出纳、会计、项目财务总监、国际勘探事业部财务经营部主任、国际部副总经理及总经理等职务; 现任中国石油东方地球物理公司总经理助理兼国际勘探事业部总经理。

**王西文** 教授级高级工程师, 1956 年生; 2000 年在中国科学院地球物理研究所获理学博士学位; 现任中油股份勘探开发研究院西北分院副院长, 从事地震数据处理方法及应用、精细储层预测技术及应用等方面的研究。

ing seismic wavelet and eliminating ringing; based on near-surface model created by 3-C uphole survey and in the aid of computation of statics of PS converted wave at receiver, the accurate S-wave statics at shot and receiver points were finally obtained, making the PS converted wave better imaging that greatly improved the imaging precision in gas chimney area.

**Key words:** PS converted wave, S-wave, anisotropy, gas chimney

1. BGP, Zhuozhou City, Hebei Province, 072751, China

**Seismic phase separation technique of micro-seismic signal by polarization-position correlation.** Zhu Weixing<sup>1</sup>, Song Wei-qi<sup>2</sup>, Xiu Jin-lei<sup>3</sup> and Zhu Xue-mei<sup>4</sup>. *OGP*, 2009, 44(4): 425~429

In view of the character of seismic signal, the paper designed improved f-k filtering and presented polarization-position correlation to trace the traced component of waves in combination with adaptive polarization filtering, realizing seismic phase separation of signal. When designing the f-k filtering factor, the region of the apparent velocity in the time-window was determined by computing cross-correlation coefficient of signal in the sliding window of adjacent traces; when designing the adaptive polarization filtering factor, the paper determined the traced component of waves by computing the cross-correlation coefficient of polarization projection in adjacent traces because of uncertainty problem of waves' anticipated direction in wavefield; selecting the anticipated direction of conventional polarization filtering factor as the direction of traced component, the filtered signal was projected into traced component respectively, which achieved the seismic phase separation of signal. The theoretical model and practical data processing showed that the method is able to dramatically improve the results of signal separation.

**Key words:** micro-seismic, polarization-position correlation, seismic phase separation, 2D filtering, adaptive polarization filtering

1. COSL Department of Oilfield Production, Sanhe City, Hebei Province, 065201, China

2. College of Earth Resource and Information, China University of Petroleum, Dongying City, Shandong Province, 257061, China

3. Room of New Exploration Zone, GRI of Shengli

Oilfield, Dongying City, Shandong Province, 257061, China

4. Beijing Xinsi Software Technology Co., Ltd., Beijing City, 100008, China

**Prestack three-term inversion based on conjugate direction substitution and realization.** Zhang Fanchang<sup>1</sup>, Yin Xing-yao<sup>1</sup> and Yin Hai-yan<sup>1</sup>. *OGP*, 2009, 44(4): 430~435

The information of strata such as P- and S-wave velocities and density is contained in prestack seismic data. Using prestack seismic inversion to acquire the information in seismic data is able to reveal the nature of lithology and pore fluid. Taking the relationship between seismic CRP gather data and strata parameters formed by plane waves propagating in layered elastic half-space, the paper presented prestack three-term inversion based on Powell's conjugate direction substitution. Without requiring solution and storage of large and complicated first- and second-order derivative, the method greatly improved the ill-conditioned problem of three-term inversion by normalization of objective function, and compressed the solution space as well. The usage of new substitution strategy in direction substitution process effectively prevented the linear correlation in searching direction. At the same time, the split inversion strategy for low and high frequencies was presented in implementing the inversion, which both guarantees the stability and precision of inverted results when prestack seismic data are lower S/N ratio and greatly improved convergent speed. The method has been tested with theoretical model and used in practical work zone of oilfield, laid the foundation for lithologic recognition and favorable reservoir prediction by fully using prestack seismic data.

**Key words:** prestack inversion, conjugate direction, Powell's algorithm, three-term inversion

1. College of Earth Resource and Information, China University of Petroleum, Dongying City, Shandong Province, 257061, China

**Travel-time computation based on linear interpolation and narrow-band technique.** Sun Zhang-qing<sup>1,2</sup>, Sun Jian-guo<sup>1,2</sup> and Han Fur-xing<sup>1,2</sup>. *OGP*, 2009, 44(4): 436~441

In order to solve the problem that it is difficult to deal with both the computational precision and