

# 一种准确的井中三分量微地震初至拾取方法

An Accurate Method to Pick Up the First Break of Three Component Microseismic in Borehole

陈雨茂<sup>1</sup> 林松辉<sup>1</sup> 左建军<sup>1</sup> 武小杰<sup>1</sup> 魏国华<sup>1</sup> 宋吉杰<sup>2</sup> 盛文波<sup>1</sup>

Yumao Chen<sup>1</sup> Songhui Lin<sup>1</sup> Jianjun Zuo<sup>1</sup> Xiaojie Wu<sup>1</sup> Guohua Wei<sup>1</sup> Jijie Song<sup>2</sup> Wenbo Sheng<sup>1</sup>

1.胜利油田物探研究院

中国·山东 东营 257000;

2.中国石油化工股份有限公司油田勘探开发事业部

中国·北京 100728

1. Geophysical Research Institute of Sinopec  
Shengli Oilfield,

Dongying, Shandong, 257000, China;

2. Oil Field Exploration & Development

Department Sinopec,

Beijing, 100728, China

**【摘要】**井中微地震数据采集基本使用三分量检波器记录微地震信号,三分量微地震记录中包含了丰富的震源信息。井中微地震采集过程中检波器通常垂直放置、XY分量传感器的朝向是随机分布,因而造成XY分量记录的极性也是随机的,且Z分量的极性与震源跟检波器在垂向上的相对位置有关。因此,观测到的微地震事件XYZ分量能量不均衡,同向轴不连续。现有的初至拾取技术中仅仅选择单一的某一分量,利用其同向轴的连续性拾取初至。在微震事件信噪比较低时同向轴连续性更无法保证,无法拾取到准确的初至。针对上述问题,文章对三分量微震事件进行主分量分解,将三个分量的能量集中到主分量上,提高微震事件的同向轴的连续性和微震事件的初至拾取精度。

**【Abstract】**The well microseismic data acquisition basically uses the three-component seismometer to record the microseismic signal, the three-component microseismic record contains the rich source information. In the process of microseismic acquisition in wells, the geophone is usually placed vertically and the orientation of XY component sensors is randomly distributed, so the polarity recorded by XY component is also random, and the polarity of Z component is related to the relative position of the source and the geophone in vertical direction. Therefore, the observed XYZ component of the microseismic event is energy unbalanced and coaxial axis discontinuous. In the existing first-to-pick technology, only a single component is selected, and the first-to-pick is obtained by using the continuity of the same axis. When the signal and noise of microseismic events are relatively low, the coaxial continuity cannot be guaranteed and the accurate first arrival cannot be picked up. In order to solve the above problems, the principal component decomposition of three-component microseismic events is carried out in this paper, and the energy of the three components is concentrated on the principal component, so as to improve the continuity of the coaxial axis of the microseismic events and the first-arrival pickup accuracy of the microseismic events.

**【关键词】**井中微地震;三分量;初至拾取;主分量分解

**【Keywords】**microseism in well; three components; first arrival pick;  
principal component decomposition

**【DOI】**10.36012/etr.v2i1.1036

## 1 引言

自20世纪60年代初以来,微地震监测技术被广泛应用于油气藏动态监测、地热动态监测、煤田动态监测、工程动态监测等领域。近年来,该项技术除了大量应用于地热、碳酸盐、

岩油气藏的监测之外,还被用于油田生产监测、自然裂缝活动监测,追踪流体驱动前沿,以达到提高产能的目的<sup>[1]</sup>。多分量地震数据成功用于定位压裂裂隙,使得此项技术成为石油工业不可或缺的技术之一。利用该项地震技术可以精确地测量附近井注入流体、气体、聚合物或其他材料而产生岩石断裂时

的声发射的震中(微震的震中),从而定位裂缝的空间位置<sup>[3]</sup>。

由于油藏环境下地震检波器的带宽性能和布设方面存在一些技术问题,微地震监测在油气行业的应用进展较慢。进入20世纪80年代中期,上述问题大部分都得到了解决。由于该方法具有高分辨率覆盖和低成本收益比等优势,利用微地震监测描述油气藏越来越受到人们的重视<sup>[3]</sup>。20世纪90年代此项技术倍受青睐,先后有挪威阿莫科(Amoco)公司、菲利浦(Phillip)公司、美国联合太平洋资源公司、ARCO公司、美国能源部Sandia国家实验室、日本JAPEx研究中心(HDR)等研究机构对该项技术进行研究,为微地震监测技术在油气工业中广泛应用奠定了理论和实验基础<sup>[4]</sup>。随着计算机技术的发展和水平的提高,人们可利用计算机自动识别微地震信号,并实时给定震源空间位置,使得用微地震监测方法实时监测油田油、水井生产动态再次成为人们关注的焦点<sup>[5]</sup>。于是一些切实可行的微地震监测方法应运而生,计算机判别标准和实时定位理论也取得了新的进展。与此同时,中国的大庆油田、华北油田、中原油田参照国际先进理论与技术方法开发的实用微地震检测技术也投入了实际应用,经近百口井的实际观测表明,观测结果可靠,可以作为注水、调剖、井网布局与调整的依据<sup>[6]</sup>。

微地震定位结果的准确性主要取决于微地震事件的初至拾取精度<sup>[7]</sup>,文章对三分量微震事件进行主分量分解,将三个分量的能量集中到主分量上,提高微震事件的同向轴的连续性和微震事件的初至拾取精度。

## 2 主分量分解技术

对于一个三分量检波器上接收到的一段三分量微地震数据 $[x(i), y(i), z(i)]$ 。其中 $i=1, 2, \dots, N$ ,代表微地震事件有效范围的采样点数。这段数据的协方差矩阵写为

$$M = \begin{bmatrix} \text{cov}(x, x) & \text{cov}(y, x) & \text{cov}(z, x) \\ \text{cov}(x, y) & \text{cov}(y, y) & \text{cov}(z, y) \\ \text{cov}(x, z) & \text{cov}(y, z) & \text{cov}(z, z) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 cov 代表协方差运算, $x(i)$ 与 $y(i)$ 的协方差可以表示为:

$$\text{cov}(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x(i) - \text{mean}(x)][y(i) - \text{mean}(y)] \quad (2)$$

其中 mean 为均值,

$$\text{mean}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i) \quad (3)$$

求取矩阵的 M 的三个特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 及其对应的三个特征向量 $V_1, V_2, V_3$ ,其中 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ ,最大特征值 $\lambda_1$ 对应的特

征向量 $V_1$ 认为是该微地震事件的偏振方向;主分量分解过程中保持主分量剖面与 Z 分量剖面极性一致,则特征向量 $V_1$ 的第三分量 $V_1(3) > 0$ 。如果 $V_1(3) < 0$ ,则令:

$$V_1 = -V_1 \quad (4)$$

微地震记录主分量,即第一分量表示为:

$$p_m = \begin{bmatrix} x(1) & y(1) & z(1) \\ x(2) & y(2) & z(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x(n) & y(n) & z(n) \end{bmatrix} \times [V_1(1) \ V_1(2) \ V_1(3)] \quad (5)$$

微地震记录第二分量 $P_2$ 、第三分量 $P_3$ 分别由下式计算:

$$p_2 = \begin{bmatrix} x(1) & y(1) & z(1) \\ x(2) & y(2) & z(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x(n) & y(n) & z(n) \end{bmatrix} \times [V_2(1) \ V_2(2) \ V_2(3)] \quad (6)$$

$$p_3 = \begin{bmatrix} x(1) & y(1) & z(1) \\ x(2) & y(2) & z(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x(n) & y(n) & z(n) \end{bmatrix} \times [V_3(1) \ V_3(2) \ V_3(3)] \quad (7)$$

按照同一处理方法实现其余三分量检波器的主分量分解,获得该微地震事件主分量分解后的剖面。

分解后的微地震主分量记录极性与 Z 分量记录一致且相对稳定,进一步通过对比分析进行极性反转,使得所有记录极性相同,从而保证了微地震记录同向轴的连续性,以及初至拾取结果的准确性<sup>[8]</sup>。

## 3 方法应用

建立如图1所示的井中三分量微地震初至拾取流程,针对实际工区的三分量微地震信号(见图2)进行处理。对原始微地震记录进行去直流、去异常值、带通滤波等去噪处理<sup>[9]</sup>,得到如图3所示的记录。常规的初至拾取方法是根据标注4中的 X 分类(强分量)进行初至拾取,但是该方法在标注7的位置处出现同向轴不连续,影响了初至拾取精度<sup>[10]</sup>。

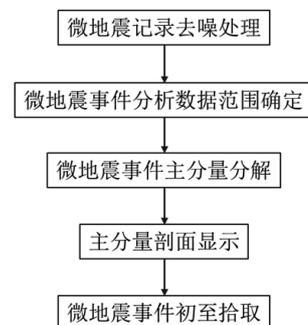
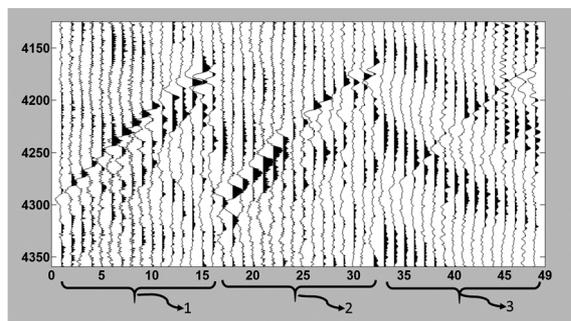


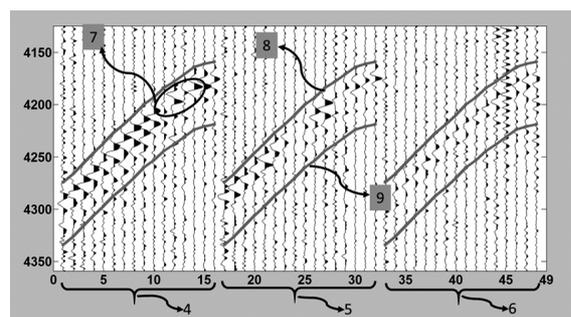
图1 文章处理流程



标注 1 为 X 分量;标注 2 为 Y 分量;标注 3 为 Z 分量

图 2 原始三分量井中微地震记录

在如图 3 所示的剖面上手工确定微地震事件起跳点(标注 8 对应线段),并根据该微地震事件的特点确定 30ms 的有效数据分析时窗(时窗下限如标注 9 线段所示),确定微地震事件有效分析范围<sup>[11]</sup>。



标注 4 为 X 分量同时为常规初至拾取中用的分量;标注 5 为 Y 分量;标注 6 为 Z 分量;标注 7 为常规初至拾取过程中初至不连续区域;标注 8 为手工拾取的初至起跳点连成的线段;标注 9 为根据微地震事件特点在手工拾取初至的基础上延时 60 个采样点(30ms)确定的对应线段

图 3 去噪后的微地震记录

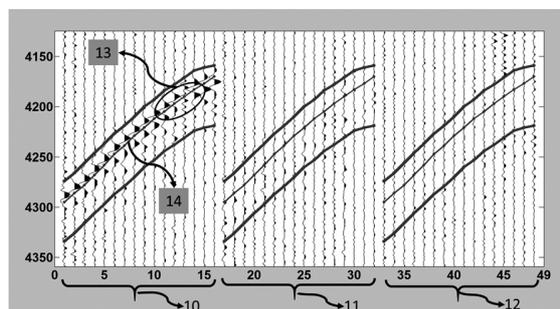
将图 3 中的每一级建波对应三分量记录(XYZ 分量)通过主分量分解技术,获取该微地震事件第一分量、第二分量和第三分量剖面,其中第一分量剖面为主分量剖面(见图 4 标注 10),对比原始三分量数据中的强分量剖面(见图 3 标注 4),处理后的主分量剖面同向轴连续性增强(见标注 13 与标注 7),可以有效提高拾取的微地震事件精度<sup>[12]</sup>。

在主分量剖面(见图 4 标注 10)通过拾取波谷的形式可准确确定微地震事件的初至(见图 4 标注 14)。

## 4 结语

文章提供了一种井中三分量微地震事件初至准确拾取方

法。该方法对拾取的三分量微地震事件进行主分量分解,将三个分量的能量集中到主分量上显示,提高微地震事件同向轴的连续性和微地震事件初至拾取精度。



标注 10、11、12 分别为分解后的第一分类(主分量)、第二分类和第三分量剖面;标注 13 为标注 7 对应的同向轴不连续区域;标注 14 为利用主分量确定的微地震事件初至

图 4 主分量分解后的微地震记录

## 参考文献

- [1]李文杰,魏修成,宁俊瑞,等.一种改进的利用程函方程计算旅行时的方法[J].石油地球物理勘探,2008(5):589-594+487.
- [2]董世泰,高红霞.微地震监测技术及其在油田开发中的应用[J].石油仪器,2004(5):5-8+65.
- [3]温书亮,牛滨华,傅旦丹,等.渤海三维多分量地震勘探水平分量方位校正[J].吉林大学学报(地球科学版),2004(1):142-145.
- [4]周建新,姚姚.海上多波地震勘探检波器方位误差校正[J].中国海上油气.地质,1999(5):51-54.
- [5]陈林,骆毅.用单炮测定井下三分量检波器水平分量的方位——一个实例的研究[J].石油物探,1987(1):51-62.
- [6]宋维琪.水力压裂裂缝微地震监测技术[M].北京:中国石油大学出版社,2008.
- [7]单联瑜,刘连升.三维高阶快速步进波前重构旅行时计算精度分析[J].石油地球物理勘探,2007(4):413-417+488+358.
- [8]帅培勤,刘建中.微地震监测技术在地下资源开发和矿山安全中的应用[J].科技创新导报,2010(34):101+103.
- [9]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(5):31-35+9.
- [10]段建华,王保利,朱红娟,等.微地震监测数据压缩技术[J].物探与化探,2014,38(5):1018-1023.
- [11]裴琳.微地震监测技术在地下工程中应用研究[J].工程地球物理学报,2008(5):554-559.
- [12]刘振武,撒利明,巫芙蓉,等.中国石油集团非常规油气微地震监测技术现状及发展方向[J].石油地球物理勘探,2013,48(5):843-854.