

# 微地震方法检测镇泾油田长 8 油藏 压裂、注水效果分析

王国顺<sup>1</sup>, 刘建中<sup>2</sup>, 柳林旺<sup>1</sup>

(1. 中国石油化工股份有限公司华北分公司研究院, 郑州 450006; 2. 北京科若思技术开发股份有限公司, 北京 100087)

[摘要] 介绍了在镇泾油田使用微地震监测方法监测油田压裂、注水获得的可以分辨出初至符号的微地震信号, 依据微地震的初至符号做出震源机制解, 检测压裂、注水监测的可靠性及压裂、注水效果。结果表明, 监测的裂缝方向、注水前缘方向与微地震震源机制节面方向一致, 监测结果是可靠的。此项研究提供了一个来自微地震监测本身, 可以检测微地震监测结果是否可靠的方法, 为那些深度较大、难以取得其他旁证的压裂、注水监测提供了重要检测手段。

[关键词] 微地震; 裂缝; 注水效果; 注水前缘方向

[中图分类号] TE19 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)04-0040-05

## 1 前言

微地震监测技术是直接记录地下微地震, 以对地下裂缝、应力状态、压力分布进行判断的技术<sup>[1]</sup>。地下广泛分布着地震, 震级越小, 频度越大; 微地震是指 -2 级以下震级的地震。由于微地震是自然发生或人类施工诱发的应力场调整, 是地下裂缝相对活动的产物, 无需人类激发, 因此, 微地震监测技术又被称为无源微地震监测技术。国内广泛使用微地震监测技术监测油田压裂、注水过程, 以判断压裂、注水效果, 压裂裂缝方向, 注水前缘优势方向。在油田开发、可溶性矿开采、核废料处理、矿山安全监测等领域均有重要应用。困扰在人们面前的一个重要问题是监测结果来自地下几百至几千米, 正确性没有旁证。

依据记录到的微地震波初至符号, 可以做出震源机制解, 为油田压裂裂缝、注水前缘监测结果提供了一个由监测资料本身给出的旁证, 既可以用来判断压裂、注水效果, 又可以判断压裂、注水前缘方向的正确性, 解决了微地震监测领域的一个重要难题<sup>[2]</sup>。

由于震源机制结果不依赖于地下的速度模型, 仅与监测台站位置有关, 如果一个震源节面方向沿

着监测到的人工裂缝方向或注水前缘方向, 就可以证明监测给出的方向是正确的。

压裂希望出现新缝, 监测到张性震源机制, 表示压裂效果好; 注水希望沿着老缝, 监测到剪切性震源机制, 表示注水效果好。

## 2 现场监测

由监测结果获得可以分辨出初至符号的地震波形是做出震源机制结果的前提, 如何从地面监测中获得可以分辨出初至符号的微地震波形是实施此项技术的关键。提高监测水平、合理的仪器设计是必由之路。北京科若思技术开发股份有限公司在野外监测中记录到了质量良好的微地震波形, 从而为做出震源机制解提供了可能。

由微地震记录做出的震源机制性质可以分为两类: 张性震源机制, 剪切性震源机制。张性震源机制表示压裂、注水过程中出现新缝; 两条震源节面包围区内的初至符号是负号, 两条震源节面包围区外的初至符号是正号, 两条震源节面的平均方向是张开裂缝方向。剪切性震源机制表示压裂、注水过程中, 裂缝扩展沿着老缝; 两条震源节面把初至符号切成彼此相

[收稿日期] 2012-02-14

[作者简介] 王国顺(1977—), 男, 河南郑州市人, 高级工程师, 主要从事石油开发方面的工作; E-mail: shunguowang@163.com

对的4个区,两条震源节面的一条是裂缝方向,另一条是辅助节面。记录到的初至符号越多,对节面走向的约束就越强,震源机制结果也越可靠。

镇泾油田深度2 000 m,用微地震监测技术及研发的仪器在镇泾油田监测了油田压裂、注水施工过程,多次记录到清晰的微地震波形,做出震源机制。

### 3 红河 26-7 井压裂的记录波形与震源机制

红河 26-7 井是压裂井,图 1 是红河 26-7 井

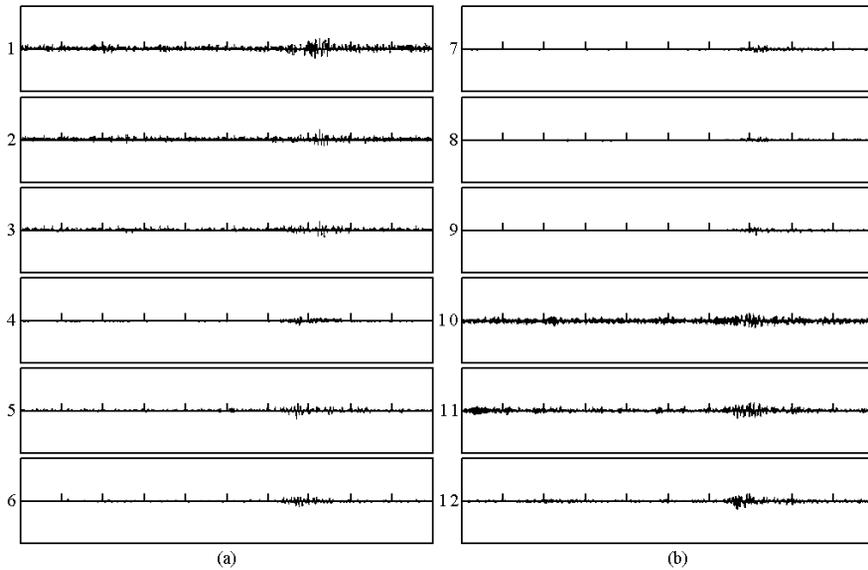


图 1 红河 26-7 井压裂时记录到的微地震波形

Fig. 1 Waveform of microseismic of Honghe 26-7 hydraulic fracturing

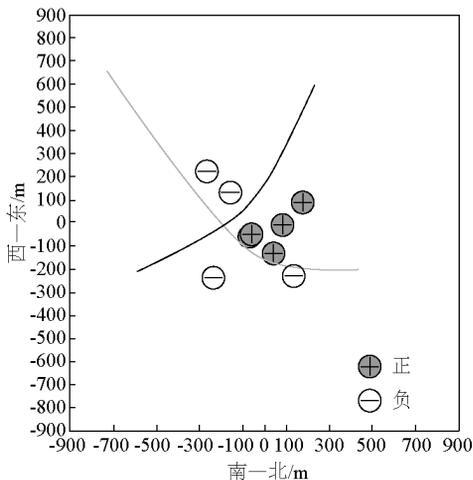


图 2 红河 26-7 井压裂时记录到的微地震波形的震源机制结果

Fig. 2 Mechanism of microseismic of Honghe 26-7 hydraulic fracturing

压裂时记录到的微地震波形。12 道记录信号,有 9 道可以看清初动,从而做出震源机制结果(见图 2)。图 2 表明的震源机制结果是剪切性质,有两条节面,把初至为正、为负的监测点切分到 4 个象限,初至为正、为负的监测点呈对角分布。这表明压裂裂缝沿着老裂缝扩展,压裂效果不好。图 3 是监测给出的人工裂缝方向,为北西向。比较图 2、图 3,图 2 中两条节面中的一条(灰色)沿着人工裂缝方向,证明由微地震监测结果获得的人工裂缝方向是可靠的。

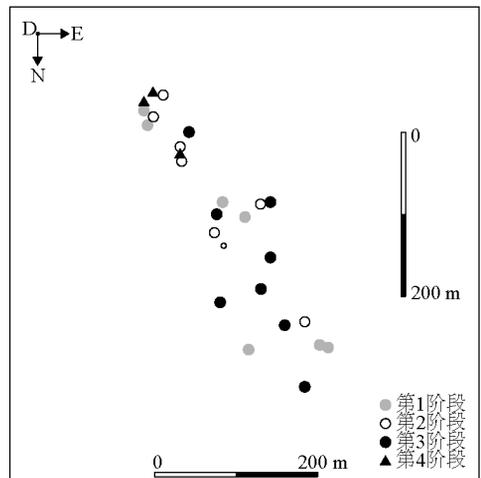


图 3 红河 26-7 井压裂裂缝方向

Fig. 3 Direction of hydraulic fracturing of Honghe 26-7

#### 4 红河 371 井压裂记录到的波形及震源机制

红河 371 井是压裂井,图 4 是红河 371 井压裂记录到的波形,由此作出红河 371 井压裂的震源机制(见图 5)。红河 371 井的震源机制是张性震源,人工裂缝沿着新缝张开,压裂效果较好。初动为正、

为负的记录点分别沿一条线分布,分布着负号监测点的一条线是膨胀节面,应该是张开裂缝的走向方向。图 6 是微地震监测给出的红河 371 井的人工裂缝方向,比较图 5、图 6,震源节面中的膨胀节面大体沿着人工裂缝方向,证明监测到的人工裂缝方向是正确的。图 6 中画圈的点是做出震源机制节面的点。

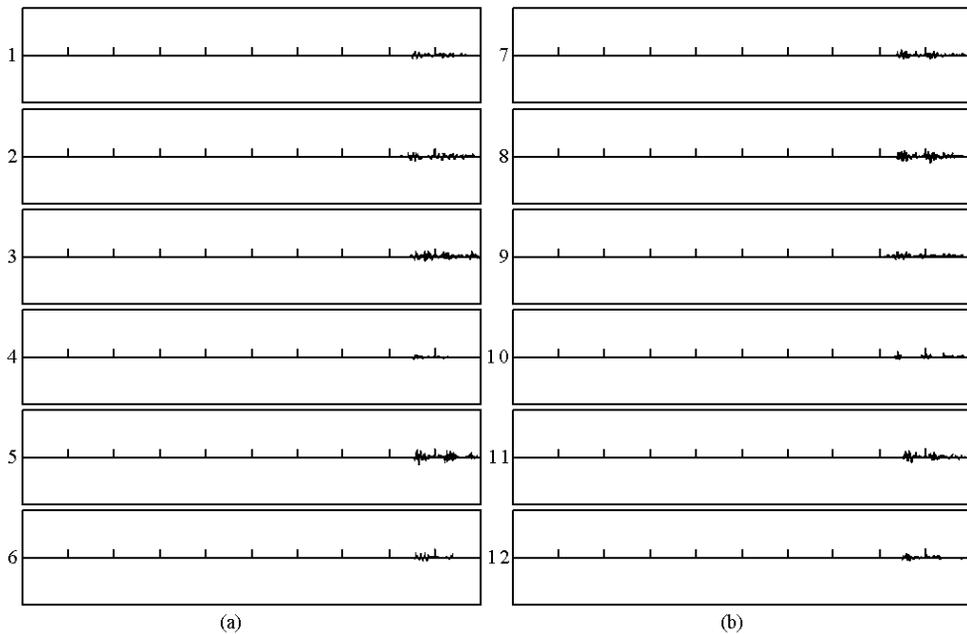


图 4 红河 371 井压裂时记录到的微地震波形

Fig. 4 Waveform of microseismic of Honghe 371 hydraulic fracturing

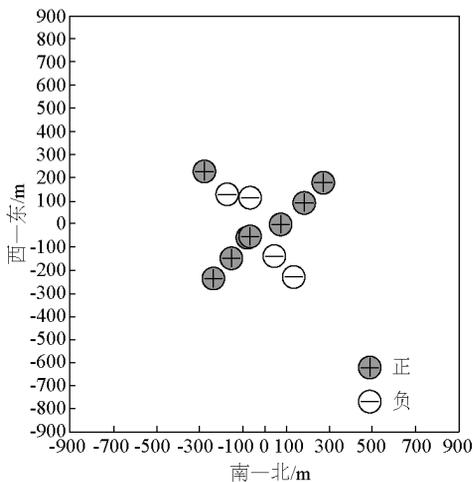


图 5 红河 371 井压裂记录波形的震源机制图

Fig. 5 Mechanism of microseismic of Honghe 371 hydraulic fracturing

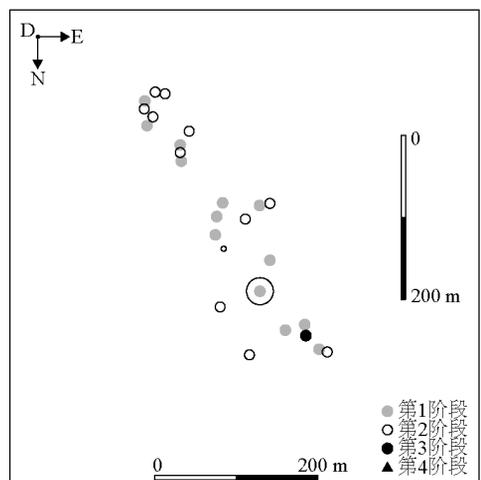


图 6 红河 371 井压裂裂缝方向

Fig. 6 Direction of hydraulic fracturing of Honghe 371

## 5 镇泾 21 井注水记录到的波形及震源机制

镇泾 21 井是注水井,图 7 是监测镇泾 21 井注水记录到的微地震波形。12 道信号中有 9 道可以分辨出初动符号,做出震源机制(见图 8)。图 8 表明的震源机制是剪切性质,有两条节面,把初动为

正、为负的监测点切分到 4 个象限,初动为正、为负的监测点呈对角分布。这表明压裂裂缝沿着老裂缝扩展,注水效果较好。图 9 是监测给出的注水前缘方向,为北西西向。比较图 8、图 9,图 8 中两条节面中的一条(灰色)沿着注水前缘方向,证明由微地震监测结果获得的注水前缘方向是可靠的。

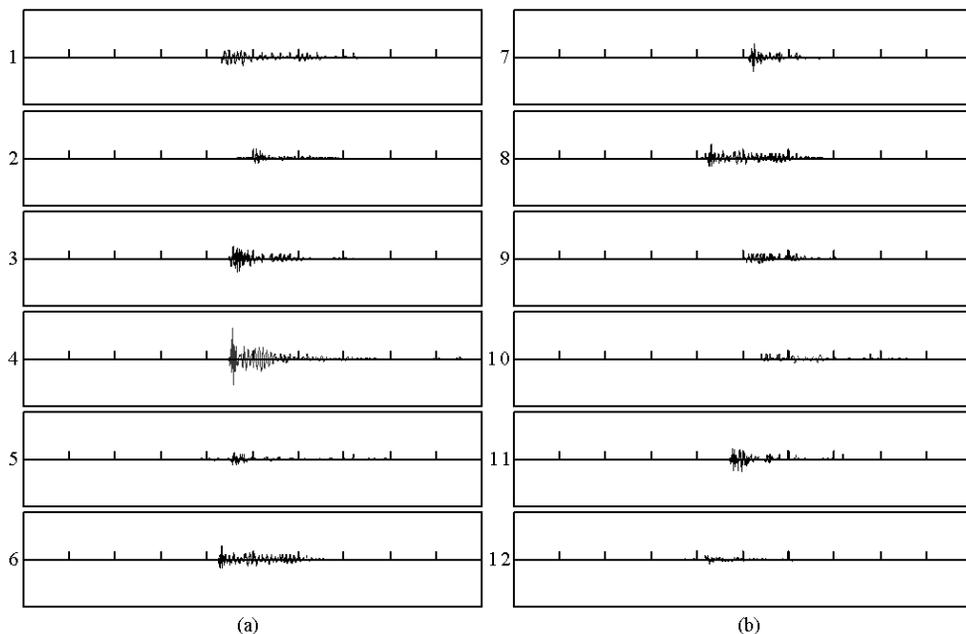


图 7 镇泾 21 井注水记录到的微地震波形

Fig. 7 Waveform of microseismic of Zhengjing 21 water-flooding

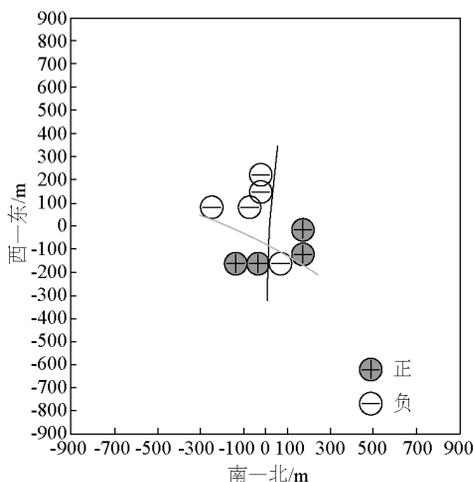


图 8 镇泾 21 井注水的震源机制结果

Fig. 8 Mechanism of microseismic of Zhengjing 21 water-flooding

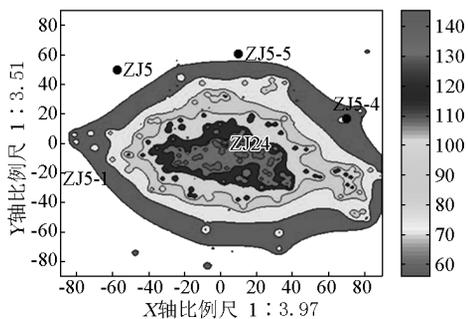


图 9 镇泾 21 井注水前缘方向

Fig. 9 Direction of Zhengjing 21 water-flooding

## 6 结语

该研究解决了微地震监测领域的一个重要难题,由微地震监测资料本身为微地震监测结果的可靠性提供了旁证,促进了微地震监测技术的发展。

用地面微地震监测记录结合震源机制结果可以判断压裂、注水效果,可以提高油田开发效益。

用地面微地震监测记录给出的震源机制结果可以判断压裂、注水方向的可靠性,提高了微地震监测技术的适用领域。

#### 参考文献

- [1] 刘建中,孙庆友,许国明. 油气田储层裂缝研究[M]. 北京:石油工业出版社,2008.
- [2] 许忠淮,刘玉芬,张郢珍. 京、津、唐、张地区地震应力场的方向特征[J]. 地震学报,1979,1(2):121-132.

## Analysis of using microseismic monitoring to verify fracturing and waterflood on reservoir Chang 8 of Zhengjing Oilfield

Wang Guoshun<sup>1</sup>, Liu Jianzhong<sup>2</sup>, Liu Linwang<sup>1</sup>

(1. Institute of North China Oilfield Branch Company of SINOPEC, Zhengzhou 450006, China;

2. Beijing Traverse Technology and Development Co., Ltd., Beijing 100087, China)

[**Abstract**] This paper describes arrival time of microseismic signals, which were obtained from monitoring fracturing and waterflood and were used to interpolate mechanisms of micro-earthquake and verify reliability of fracturing and waterflood monitoring. It shows that fracture orientation, waterflood front geometry, and microseismic mechanism nodal plane are consistent, and monitoring results are reliable. This study depicts a self-check approach to verify dependability of microseismic mapping itself, and it is an important measurement method for fracturing and waterflood projects of deep formations when no alternative verifications are viable.

[**Key words**] microseismic; fracture; waterflood performance; waterflood front