

乔柱, 谢祥, 揣媛媛, 等. 基于谱整形-双向滤波联合的小微断裂识别方法及应用[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(12): 83-87.

# 基于谱整形-双向滤波联合的小微断裂识别方法及应用

乔柱, 谢祥, 揣媛媛, 吴景超, 张德龙

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院, 天津 300459)

**摘要:**渤海油田勘探实践表明, 小微断裂精细识别是构造解释和发现规模性圈闭的关键。研究区处于多方向断裂叠合带, 地震资料品质差, 尤其是小微断裂剖面上断面不清晰、同相轴错断不明显。先利用复赛谱整形拓频技术改善小微断裂的分辨能力, 再通过自适应双向滤波, 改善小微断裂成像精度, 最终利用新的相干切片重新落实了构造区圈闭, 圈闭面积得到了大幅增加。钻井评价证实新增的圈闭是有效的, 获得了很好的油气发现。

**关键词:**渤海油田; 小微断裂; 复赛谱整形拓频; 自适应双向滤波

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.140

## 0 引言

随着渤海南部地区勘探程度越来越高, 规模性构造圈闭也越来越少, 勘探难度越来越大<sup>[1]</sup>。渤中 29 构造位于渤海南部黄河口凹陷北部陡坡带, 为渤南低凸起边界断层控制下复杂断块群, 周围 10 km 范围就有 3 个已开发小油田, 属于典型的勘探成熟区。近几年来, 对目标区进行了多轮构造解释, 仅揭示出规模较小的零星圈闭, 未发现规模性构造圈闭。如何在这种高勘探成熟区寻找大中型油田以带动周边小油田的开发, 提升开发体系的经济效益是本区取得勘探突破的关键<sup>[2]</sup>。

前人研究成果及区域动力学资料表明, 渤南地区处于 NNE 向郯庐右旋走滑断裂带渤南段和 NWW 向张家口-蓬莱左旋走滑断裂带相交产生的转换拉张应力场环境, 新近纪以来断裂活动强烈, 发育了密集的、多方向交织的、不同规模不同性质的断裂<sup>[3-5]</sup>。渤中 29 构造区处于这种复合应力区范围内, 主要由 NE、NW 向断层控制了整体构造格局, 被派生断裂复杂化。对于尺度较大的断层, 断层两

盘频率振幅差异明显, 其相干切片和最大似然就可以较好地识别<sup>[6-7]</sup>, 但对于小尺度断层常规方法识别困难。勘探实践证明, 小尺度断层对控圈控藏有一定作用, 提高小尺度断层精细识别是更好、更快地进行构造解释和发现规模性圈闭的关键。文晓涛等<sup>[8]</sup>利用方向性滤波和各向异性扩散对大的地质体成像取得较好的应用效果, 但利用类似方法会在提高地震资料信噪比的同时破坏反射结构的边缘信息和断层的尖锐性, 并且也没有一种系统的、全面的组合方法提高小断层的成像和识别。在学者大量研究的基础上, 本文针对如何提高小微断层的成像和识别, 提出了基于谱整形-双向滤波联合的小微断裂识别方法, 主要包括以下 3 方面内容: 提高地震资料分辨率, 过滤去噪降低噪音干扰及合适的断层识别技术<sup>[9-13]</sup>。为此, 针对小尺度复杂断裂带提出了一套地球物理联合技术对小微断裂进行识别, 运用该方法不仅提高了地震资料分辨率, 突出了小断层断面, 同时有效地压制了噪声, 改善了不同方向断层的断面清晰度, 最终有效指导了研究区的构造解释, 推动了规模性圈闭的发现。

## 1 复赛谱整形提频技术方法

为了精细识别小微断层, 需对叠后数据体进行拓频处理, 以提高地震资料的分辨率、改善小断层的识别能力。通过分析对比子波分解、时变分频反

收稿日期: 2020-09-23

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“渤海海域勘探新领域及关键技术研究”(2016ZX05024-003)

作者简介: 乔柱(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事油气勘探及石油地质方面的研究工作。E-mail: qiaozhu@cnooc.com.cn

褶积和复赛谱整形 3 种常用的拓频方法发现, 前两者主要改善了储层的分辨能力, 但会使同相轴连续性变好, 导致小断距断层更加难以识别, 降低了断层分辨能力, 而复赛谱整形技术在提高分辨率的同时增强了小断距断层两侧同相轴的差异, 有利于小微断裂的识别, 所以选择了复赛谱提频技术来提高小断层能力<sup>[14-15]</sup>。复赛谱提频技术可以使地震资料频谱拓宽, 地震剖面近零相位, 子波提取是该技术的关键, 首先在复赛谱域完成振幅谱的交互计算, 用其对最小、最大相位分量进行约束, 再利用最小熵准则和井曲线来判断和监控地震数据的零相

位化的合理性, 得到具有相同振幅谱和不同相位谱的混合相位子波。另外, 结合信噪比谱, 定义希望输出, 合理挖掘高频潜力, 用测井资料作为反褶积的质量控制, 监控提高分辨率的合理性, 从而找到分辨率和保真度之间的最佳平衡点, 得到零相位化谱展宽的地震数据。

最终, 针对本区小微断层断面不清晰、同相轴错断不明显的特征, 利用复赛谱拓频技术提高地震资料分辨率, 从处理前后对比来看(图 1), 处理后的地震资料频谱的高频端得到明显提高, 不同尺度断层的识别能力增强, 断面更清晰, 错断更明显。

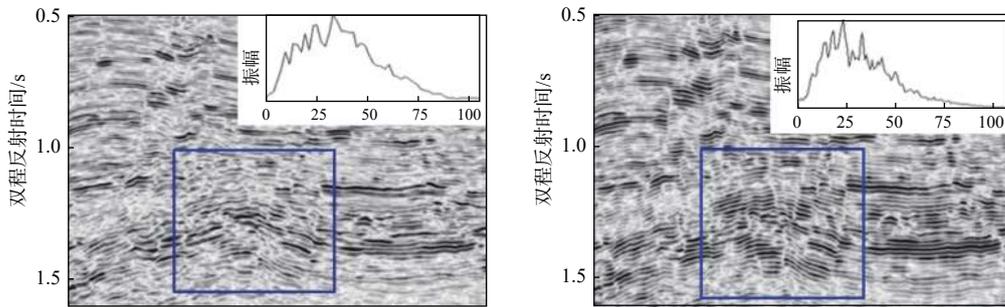


图 1 地震资料处理前(左)后(右)对比剖面

Fig.1 Comparative profiles before (left) and after (right) seismic data processing

## 2 自适应双向滤波基本流程

利用前面得到的提高分辨率的地震数据, 尝试寻找一种合适的滤波方法以求进一步改善断层的成像。通过深入地分析对比发现, 研究区地层呈现由 SW 往 NE 方向倾斜的斜坡区, 整体来说, 地层的倾向是与 NE 向断层方向一致, 而地层的走向是与 NW 向的断层一致, 所以选择依据采样点局部倾向和方位角变化, 沿着倾向、走向“双方向”进行滤波处理, 根据地震道之间采样点局部倾向和方位角来确定地层延伸倾斜方向来调整数据下一步的滤波处理方向(图 2), 这个计算和调整的过程就是自适应双向滤波<sup>[16]</sup>。

倾向、方位角用来衡量地层和构造的方位变化情况<sup>[17]</sup>。倾向通常可以指示研究区域内的不连续性, 而方位角通常可以突出研究区内的连续区域(保持同一方位)。倾向、方位角数据体的算法有很多, 主要有 2 类计算方式: 一类是基于梯度的, 一类是基于相位的。基于梯度的算法易受振幅变化的影响, 而基于相位的算法只采用地震道中的构造相位信息来计算, 相对而言会更精确一些, 所以本次

选用基于相位算法计算。

通过分析倾向、方位角属性发现, 倾向、方位角体较好地展现整体构造产状的变化, 在倾向属性体中白色值表示倾向比较小, 黑色值表示倾向比较大, 在方位体中黑色表示方位角最小, 与 y 轴正轴方向基本一致, 白色为方位角最大, 与 y 轴负轴方向基本一致。因此, 在倾向、方位角属性的基础上, 沿着倾向、走向 2 个方向对原始数据进行像素过滤去噪处理, 提高不同方向断层的图像清晰度, 并对去除谐噪和数据中的边界、边角等微小细节保持的较好, 从而增强小微断裂的刻画能力<sup>[18-20]</sup>。

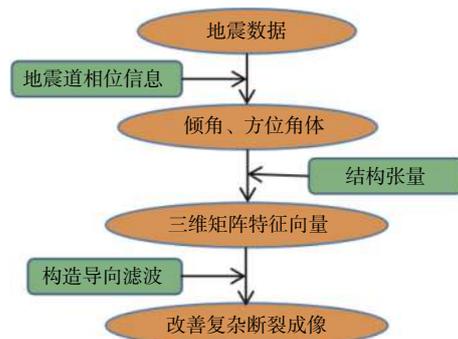


图 2 自适应双向滤波流程

Fig.2 Flow chart of adaptive bidirectional filtering

### 3 应用效果分析

从得到的最终的地震剖面可见(图 3), 原始地震数据存在的噪声明显减弱, 并且对复杂断裂带的断层成像更清晰, 小断层错断更明显。

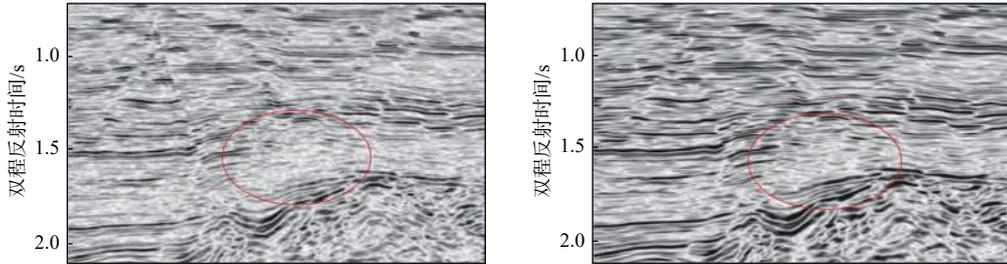


图 3 复杂断裂带滤波前(左)后(右)对比

Fig.3 Comparison of complex fault zone before (left) and after (right) filtering

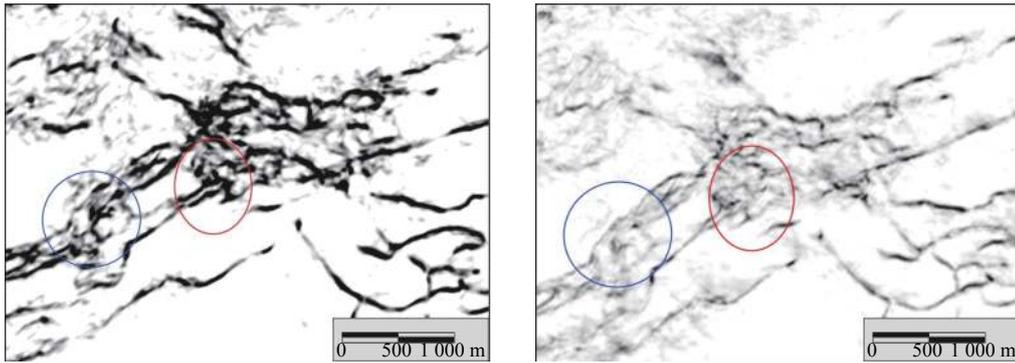


图 4 局部新(左)老(右)相干切片对比

Fig.4 Comparison of local new (left) and old (right) coherent slices

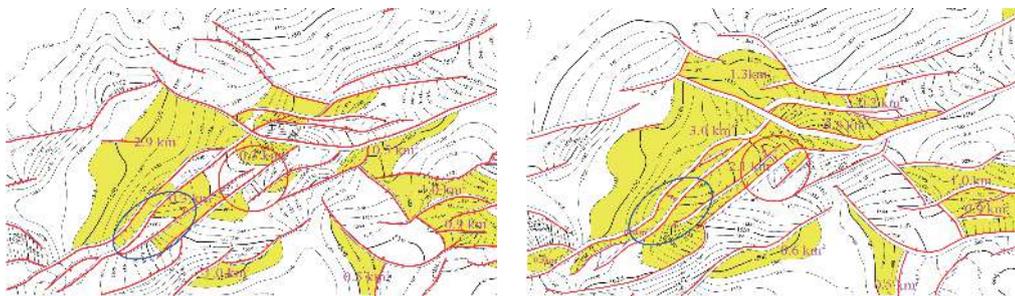


图 5 工区南部  $T_0$  层新(左)老(右)对比

Fig.5 Comparison of the new (left) and old (right) images of the  $T_0$  horizon in the southern part of the work area

最终利用复赛谱-自适应双向滤波方法得到的地震数据体进行全区的断层平面识别(图 6), 得到的方差切片对 NW 向断层明显增强, 复杂断裂带断层组合更加清楚,

小断层的识别能力也得到增强, 从渤中 29 构

利用基于拓频和滤波后的地震数据重新制作相干切片, 从局部新老相干切片对比可见(图 4), 新的相干切片对小断层的识别能力更强, 断层组合也更加清晰, 最终利用新的相干切片重新落实了构造区南部的圈闭(图 5), 使得研究区南部  $T_0$  层圈闭面积较老图增加了  $2.8 \text{ km}^2$ 。

造新老图对比来看(图 7),  $T_0^2$  总圈闭面积从  $25.7 \text{ km}^2$  增加到  $41.5 \text{ km}^2$ , 这样使得渤中 29 构造圈闭由星星点点到成群连片, 并且后期的钻井证实, 增加的这些圈闭是有效的, 获得了很好的油气发现(图 8)。

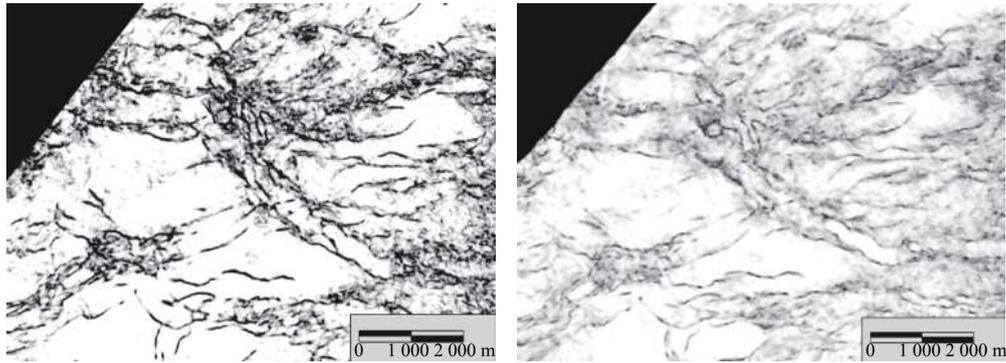


图 6 新 (左) 老 (右) 方差切片对比

Fig.6 Comparison of new (left) and old (right) variance slices

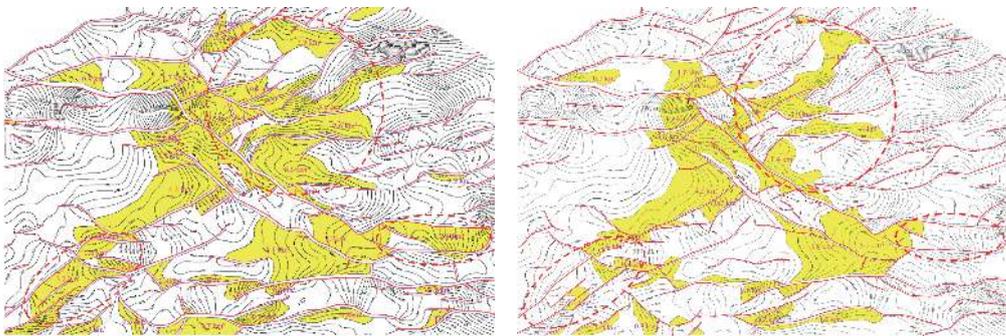


图 7 T<sub>0</sub><sup>2</sup> 层新 (左) 老 (右) 图对比

Fig.7 Comparison of new (left) and old (right) T<sub>0</sub><sup>2</sup> horizons

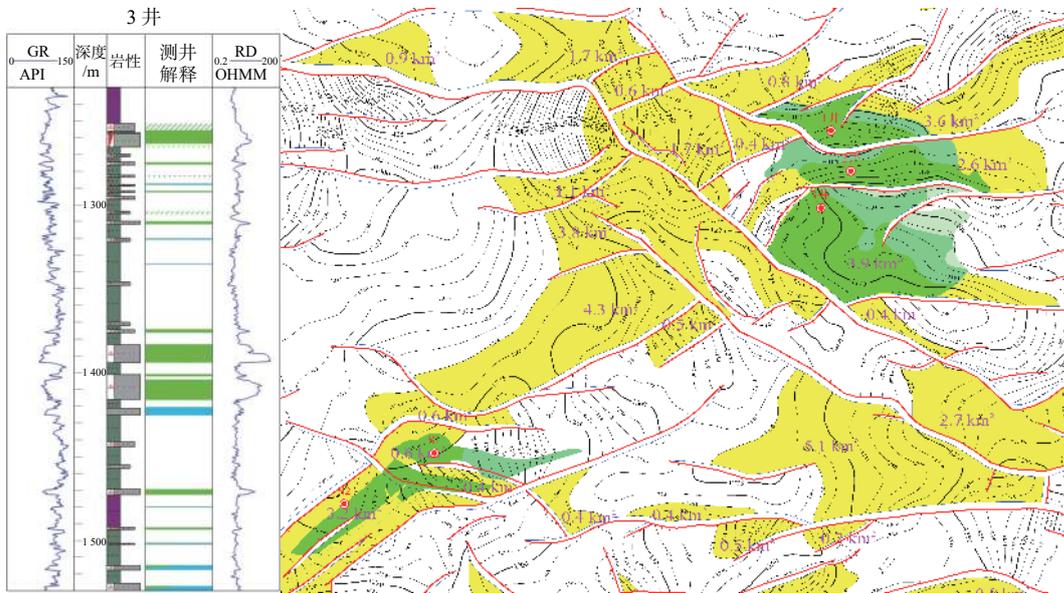


图 8 已钻井柱状图及含油面积

Fig.8 Well stratigraphic column and oil-bearing area map

### 4 结论

(1)通过精细分析小微断裂的地震响应特征,明确了小断层识别的关键是提高地震资料分辨率

和滤波去噪技术。

(2)基于谱整形-双向滤波联合的小微断裂识别方法得到的方差切片在复杂断裂带断层组合更加清楚,小断层的识别能力增强,并且本方法也适用于其他复杂破碎带的小微断层识别。

## 参考文献:

- [1] 詹润, 朱光, 杨贵丽, 等. 渤海海域新近纪断层成因与动力学状态[J]. 地学前缘, 2013, 20(4): 151-165.
- [2] 刘子藏, 王东林, 韦阿娟, 等. 官东高成熟探区中浅层精细勘探[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(3): 51-52.
- [3] 姜丽娜, 邹华耀. 郯庐断裂带渤中-渤南段新构造运动期断层活动与油气运聚[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 462-468.
- [4] 张婧, 李伟, 吴智平, 等. 郯庐断裂带渤南段构造特征及其控盆作用[J]. 地球科学, 2017, 42(9): 1549-1564.
- [5] 任健. 渤海海域走滑双重构造发育特征及成因机制[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2015.
- [6] 熊煜, 李久, 金宝强. 渤海古近系复杂断块油田精细构造解释技术在J油田中的应用[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(2): 30-33.
- [7] 马德波, 赵一民, 张银涛, 等. 最大似然属性在断裂识别中的应用: 以塔里木盆地哈拉哈塘地区热瓦普区块奥陶系走滑断裂的识别为例[J]. 天然气地球科学, 2018, 29(6): 817-825.
- [8] 文晓涛, 贺振华, 黄德济, 等. 基于方向性滤波的地质体突出显示[J]. Applied Geophysics, 2011, 8(4): 355-362.
- [9] 柯丹丹. 改进的各向异性扩散方法在图像去噪中的应用[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011.
- [10] 易院平, 桂志先, 冯舸, 等. 利用曲率属性进行小微断裂系统研究[J]. 科学技术与工程, 2017(11): 180-187.
- [11] 王彦君, 雍学善, 刘应如, 等. 小断层识别技术研究及应用[J]. 勘探地球物理进展, 2007, 30(2): 40-45.
- [12] 张威, 马超. 龙泉山西麓晚第四纪以来的沉积及构造意义[J]. 四川地震, 2019(4): 7-10.
- [13] 叶涛, 陈雷, 徐刚. 基于蚁群算法的地震断层识别方法[J]. 高技术通讯, 2018, 28(1): 29-38.
- [14] 张延庆, 魏小东, 王亚楠, 等. 谱分解技术在QL油田小断层识别与解释中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(5): 584-591.
- [15] 曾凡盛, 王兴春, 陈同俊. 谱分解和C3相干联合识别煤层小断层研究[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(1): 462-467.
- [16] 段友祥, 曹婧, 孙歧峰. 自适应倾角导向技术在断层识别中的应用[J]. 岩性油气藏, 2017, 29(4): 101-107.
- [17] 秦瑞, 白军, 郑超, 等. 基于分倾角扫描的相干属性在断层识别中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2016, 38(5): 656-659.
- [18] 贾雨婷, 文晓涛, 贺振华, 等. 基于图像信息的地震断层增强方法及其应用[J]. 宁夏工程技术, 2012, 11(4): 351-354.
- [19] 孙夕平, 杜世通, 汤磊. 相干增强各向异性扩散滤波技术[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(6): 651-655.
- [20] 方政, 胡晓辉, 陈永. 基于多方向中值滤波的各向异性扩散滤波算法[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(4): 195-199.

## APPLICATION OF SPECTRAL SHAPING-BIDIRECTIONAL FILTERING UNITED TECHNIQUE TO IDENTIFICATION OF SMALL AND MICRO FAULTS

QIAO Zhu, XIE Xiang, CHUAI Yuanyuan, WU Jingchao, ZHANG Delong

(Bohai Oilfield Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China)

**Abstract:** The exploration practice of Bohai Oilfield suggests that the recognition and identification of micro-faults are critical to tectonic interpretation and discovery of large traps. The study area of this paper is located in a superimposed zone of multi-directional faults, and the quality of seismic data is rather poor, and especially the micro-fractures and the axis in-phase faults are not so clear. To solve this problem, we firstly used the rematch spectrum shaping and frequency extension technology to improve the resolution of small micro-breaks, and then used the adaptive bidirectional filtering to improve the accuracy of micro-fracture imaging. Finally, the new coherent slices are used to re-implement the structural trap, and as the result, the areas of traps are greatly increased. Drilling verification suggests that the new approach is effective for oil and gas discoveries.

**Key words:** Bohai Oilfield; small scale faults; rematch spectrum shaping and frequency extension; adaptive bidirectional filtering