

杨 振, 韦成龙, 彭 璐. 单道地震的子波整形问题探讨[J]. 华南地震, 2017, 37 (1):35-41. [YANG Zhen, WEI Chenglong, PENG Lu. A Discussion of Wavelet Shaping Based on Single-channel Seismic Survey[J]. South china journal of seismology, 2017, 37(1):35-41.]

单道地震的子波整形问题探讨

杨 振¹, 韦成龙¹, 彭 璐²

(1. 国土资源部海底矿产资源重点实验室 广州海洋地质调查局, 广州 510075;

2. 中国石化石油物探技术研究院, 南京 211103)

摘要: 在海洋地质调查中, 高分辨率数字单道地震是一种必不可少的调查手段。单道地震采用单一震源激发地震子波, 会使震源子波旁瓣较多, 地震剖面出现大量同相轴, 从而影响地震解释。为了能够有效压制地震子波旁瓣, 利用同态反褶积估算地震子波, 基于估算子波进行俞氏子波整形处理, 提高剖面的分辨率。经过仿真实验和实际资料分别验证了同态法估算子波和利用估算子波进行子波整形的可行性。

关键词: 单道地震; 地震子波; 子波整形; 复赛谱

中图分类号: P315

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2017) 01-0035-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.01.006

A Discussion of Wavelet Shaping Based on Single-channel Seismic Survey

YANG Zhen¹, WEI Chenglong¹, PENG Lu²

(1. *Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China;* 2. *Sinopec Geophysical Research Institute, Nanjing 211103, China*)

Abstract: In marine geology survey, high-resolution digital single-channel survey is an important method. Single-channel seismic usually adopts single-source to produce a wavelet. Based on this way, the source-wavelet appears a lot of sidelobe, which leads to the produce of a plenty of in-phase axis, thus affect the seismic interpretation. For suppressing the wavelet's sidelobe effectively, the paper uses homomorphic deconvolution to estimate wavelet, and dose wavelet shaping processing to improve the vertical resolution of the seismic by using the statistical wavelet. The feasibility of using homomorphic deconvolution to reconstruct the seismic wavelet is proved by the simulation experiment. In the end, it is shown in practice that the statistical wavelet has brought good application effect in wavelet shaping processing.

Keywords: Single-channel seismic survey; Wavelet; Wavelet shaping; Cepstrum domain

收稿日期: 2016-05-26

基金项目: 国家专项项目课题(GZH201200508); 国土资源部海底矿产资源重点实验室开放基金项目(KLMMR-2013-A-17)

作者简介: 杨 振(1986-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事海洋油气、天然气水合物地震资料处理。

E-mail: 542644088@qq.com.

0 引言

在海洋工程勘探、海洋井场调查及海洋区域调查中,为了能够迅速有效的揭示海底浅地层结构、活动断裂等特征,同时能够节约成本,高分辨率数字单道地震是一种必不可少的调查手段。海洋多道地震一般采用多枪组合方式激发地震子波,能够有效压制震源子波旁瓣。而单道地震采用的是单一震源(气枪震源、电火花震源)激发震源子波,同时单道地震的震源激发频率较高^[1]。这种采集模式往往会使震源子波旁瓣较多,从而导致最终成果数据存在大量的同相轴,进而影响构造解释。

针对单道地震所遇到的这种问题,常规的方法主要采用预测反褶积来压缩子波^[2],提高剖面的分辨率。如果预测反褶积的尺度掌握不好,往往会带来更多的同相轴,仅仅是视频率提高,会产生许多假的同相轴。本文利用子波整形处理在多道地震中应用广泛,可控性较强,使用比较灵活,可通过子波整形的期望输出进行调整,使得子波整形过程可控^[3-4]。子波整形处理的关键就是如何得到一个准确的子波。对于经典的二阶子波提取方法(自相关法、希尔伯特变换法)^[5-7],它们是基于子波为最小相位子波和噪声为高斯白噪声序列的假设。研究表明,在实际地震资料中的地震子波往往都是混合相位子波^[8-9],所以基于最小相位假设的子波提取方法提取的子波是不准确的,从而利用所提取子波进行子波整形也是不准确的^[10-13]。本文利用

同态法从地震数据估算地震子波^[14],同态法是一种混合相位子波提取方法,它不依赖于二阶统计方法的假设(最小相位假设),是一种接近实际地震资料的子波提取方法。因此利用同态法估算的子波进行俞氏子波整形处理,可以较为准确的压制地震子波旁瓣,提高地震剖面的分辨率。

1 同态法基本原理

T.J.Ulrych 提出了利用同态反褶积的方法估算子波,其认为在复赛谱域地震子波分布在低频部分,反射系数分布在高频部分,通过滤波技术将其区分从而得到子波^[15]。

同态法的主要原理是基于子波和反射系数序列在复赛谱上的可分离性,将子波分离出来。

地震记录褶积模型在频率域表示为

$$x(\omega)=w(\omega)\xi(\omega) \quad (1)$$

其中, $w(\omega)$ 是地震子波的频谱, $\xi(\omega)$ 是反射系数的频谱, $x(\omega)$ 是地震记录的频谱,对式(1)取对数谱,将其转化为线性系统:

$$\ln x(\omega)=\ln w(\omega)+\ln \xi(\omega) \quad (2)$$

对(2)做反傅里叶变换可以得到:

$$\tilde{x}(t)=\tilde{w}(t)+\tilde{\xi}(t) \quad (3)$$

在复赛谱中,子波部分集中在原点附近,反射系数序列集中在远离原点的地方。因此可以将子波分离出来,从而将子波估算出来。同态法提取子波的计算过程见图 1。

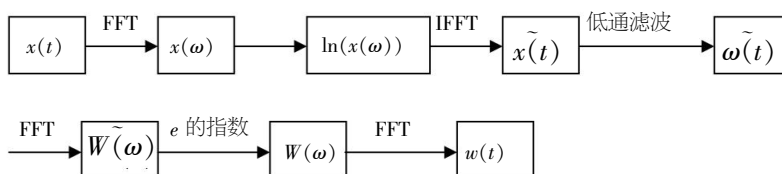


图 1 同态法提取子波计算流程

Fig.1 The calculation process of extract wavelet by using the homomorphic method

2 同态法估算子波仿真

根据褶积模型,利用经典的混合相位子波,即改进的 Morlet 子波^[16]来进行同态法的仿真实验。其表达式为:

$$w(t)=e^{imt-0.5*(ct)^2} \quad (4)$$

其中, m 为中心角频率,为 4π , $i^2=-1$,当 $t<0$, $c=2$; $t>0$, $c=4$ 。反射系数序列为高斯白噪声序列。利用上述同态法就可以得到复赛谱(如图 2 所示),

并利用复赛谱估算混合相位子波,由于傅里叶变换产生的是对称性谱,取其对数并反傅里叶变换所得复赛谱同样是呈近似对称分布的。同态法提取子波的仿真如图 3 所示结果。

图 3 中, (a)Wavelet 是混合相位子波, (b) Reflectance 是高斯白噪声序列, (c) Seismic 为上述混合相位子波和高斯白噪声序列褶积的理论地震记录, (d) Extract Wavelet 是基于同态法估算的混合相位子波。原始输入子波(a)Wavelet 和同态法估算的子

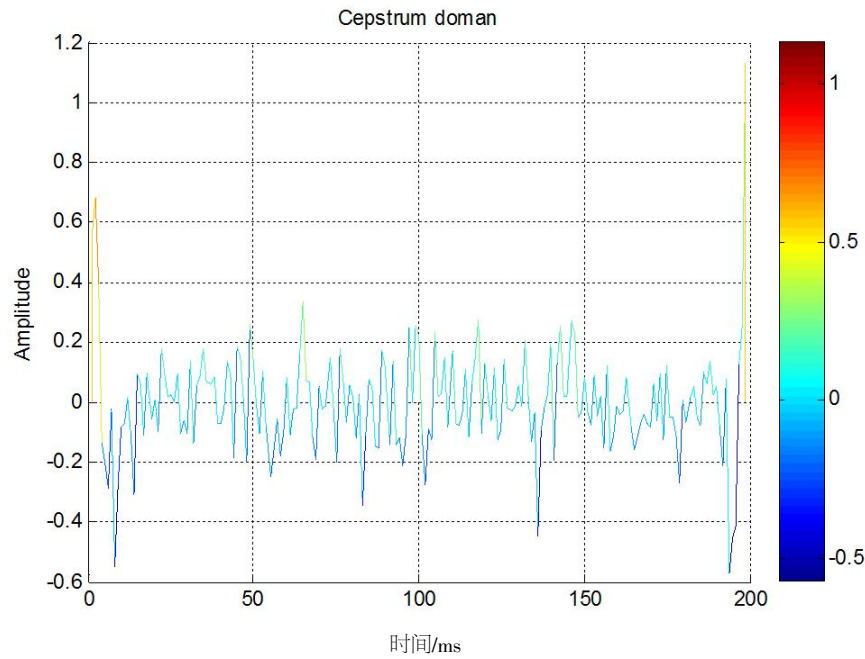


图 2 仿真实验中模拟地震数据的复赛谱

Fig.2 The cepstrum doman of simulated seismic data in the simulation results

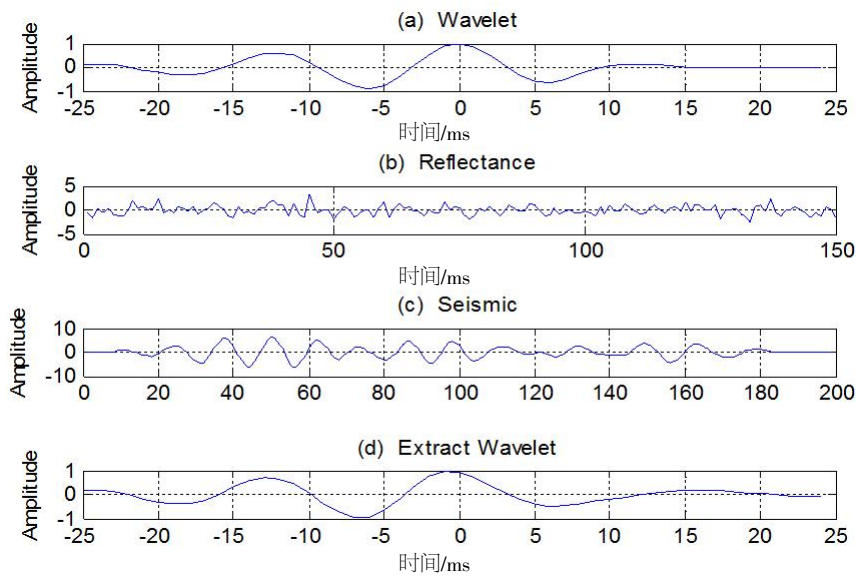


图 3 基于同态法估算的混合相位子波

Fig.3 The mixed phase wavelet based on the homomorphic method to estimate

波(d)Extract Wavelet 的相关系数达到 0.965 6。说明基于同态法估算的混合相位子波是准确有效的。

3 单道地震资料的子波整形

在单道地震采集中没有像多道地震那样采用组合震源压制震源子波的旁瓣，因此单道地震的震源激发的子波会有比较大的旁瓣，这就导致了最终单道剖面会有很多的同相轴，难辨真假。选取南海某探区的单道成果数据作为原始数据，如

图 4 所示，从单道数据中可以看出：虽然它的同相即多又非常连续，但是剖面中的同相轴的粗细程度有相似性，存在一些周期性的假同相轴。因此需要对它进行子波整形处理，剔除那些不可靠的同相轴。具体流程如图 5 所示，地震资料中含有地震子波和反射系数，地震子波是相对不变的，而反射系数是相对变化的，因此利用同态法提取子波，每一道的复赛谱中地震子波对应的复赛谱是相对稳定的，而反射系数对应的复赛谱是相对变化的。因此选取一定数量的地震道求取其平均

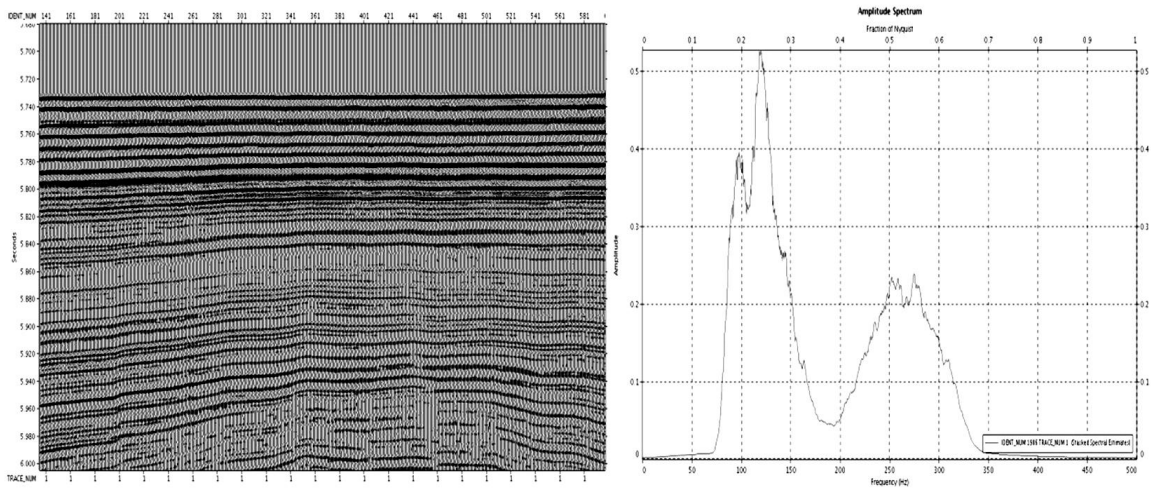


图 4 原始单道数据及其频谱
Fig.4 The original single-channel seismic data and its frequency spectrum

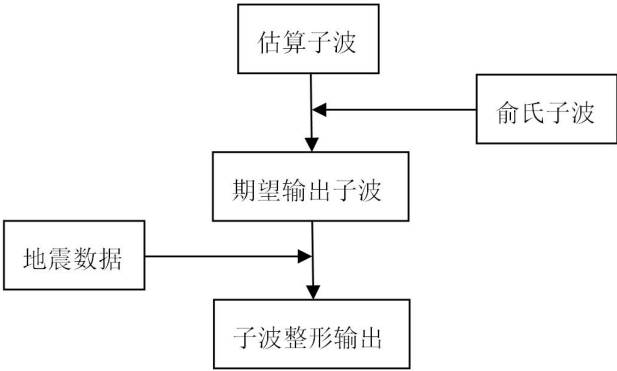


图 5 子波整形流程
Fig.5 The process of the wavelet shaping

复赛谱，可以加强地震子波的复赛谱，减弱反射系数的复赛谱。针对该单道数据，选取构造变化平缓处的一百道地震数据来统计子波。根据同态法的算法可以得到如图 6 所示的子波。可以看出所估算子

波的频谱和原始输入数据的频谱(如图 4 所示)是一致的，间接的证明了所估算子波的正确性。
图 7 中为输入的目标子波，即俞氏宽频子波^[10]，及其频谱，较之于传统的雷克子波有其明显的优

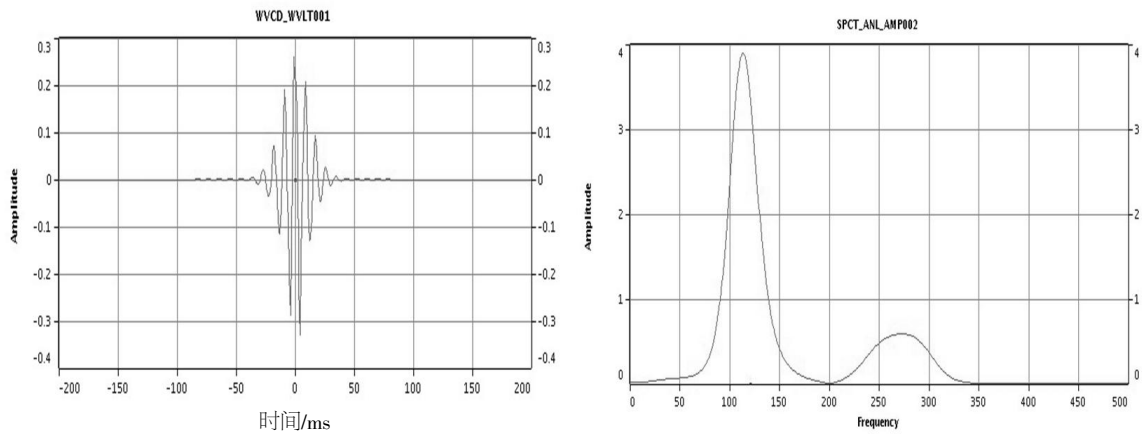


图 6 基于高阶双谱统计的地震子波子波
Fig.6 The statistics of seismic wavelet based on the homomorphic method and its frequency spectrum

势,在相同条件下,俞氏子波主峰窄,其旁瓣较小,频带宽,而且分辨率较高。

如图 7 所示的目标子波作为子波整形的期望子波,将图 6 所示的估算子波进行子波整形可以得到如图 8 所示的期望输出子波及其频谱。

将图 8 中所示的期望输出子波对应的褶积算子用于原始实际数据,进行反褶积处理可得到图 9 所示结果,左图和右图分别是子波整形前、后的剖面。可以看出子波整形前后的剖面发生了非常大的变化。子波整形后的剖面少了很多同相轴,

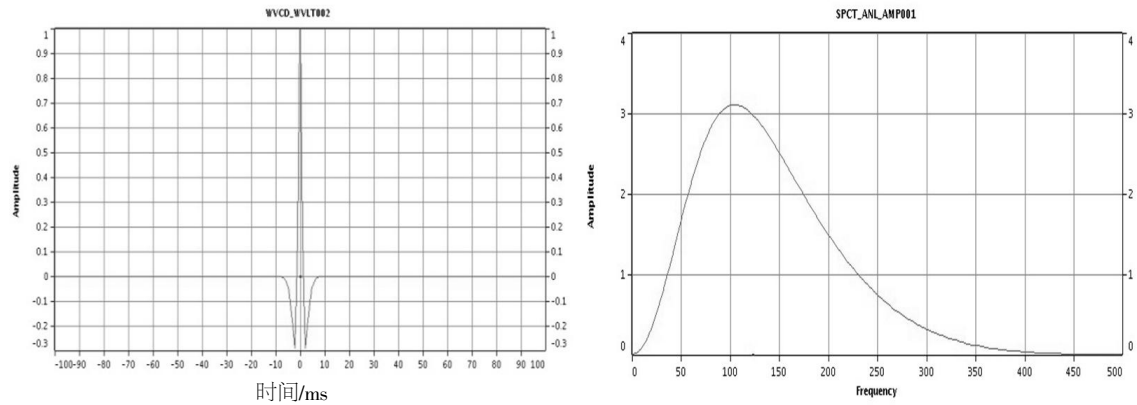


图 7 目标子波及其频谱

Fig.7 The target wavelet and its frequency spectrum

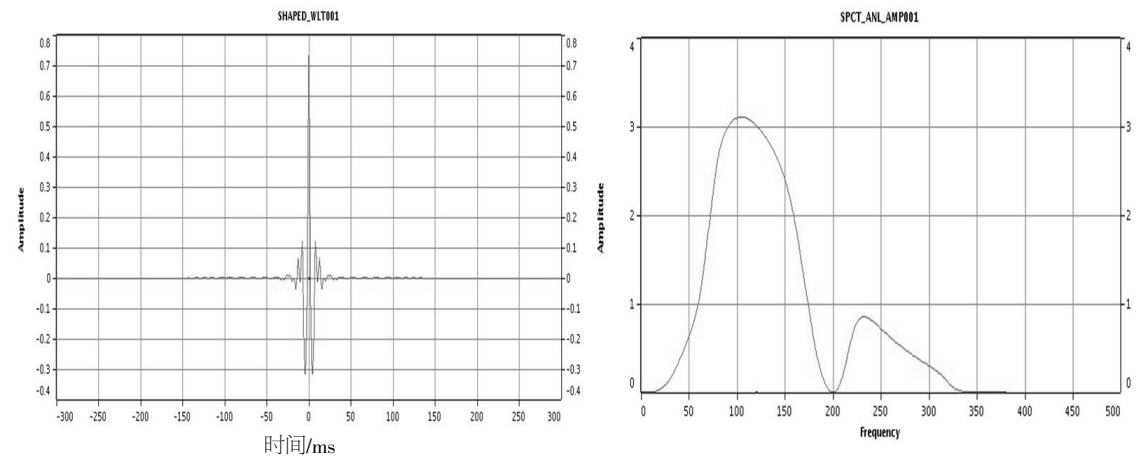


图 8 期望输出子波及其频谱

Fig.8 The output wavelet expected and its frequency spectrum

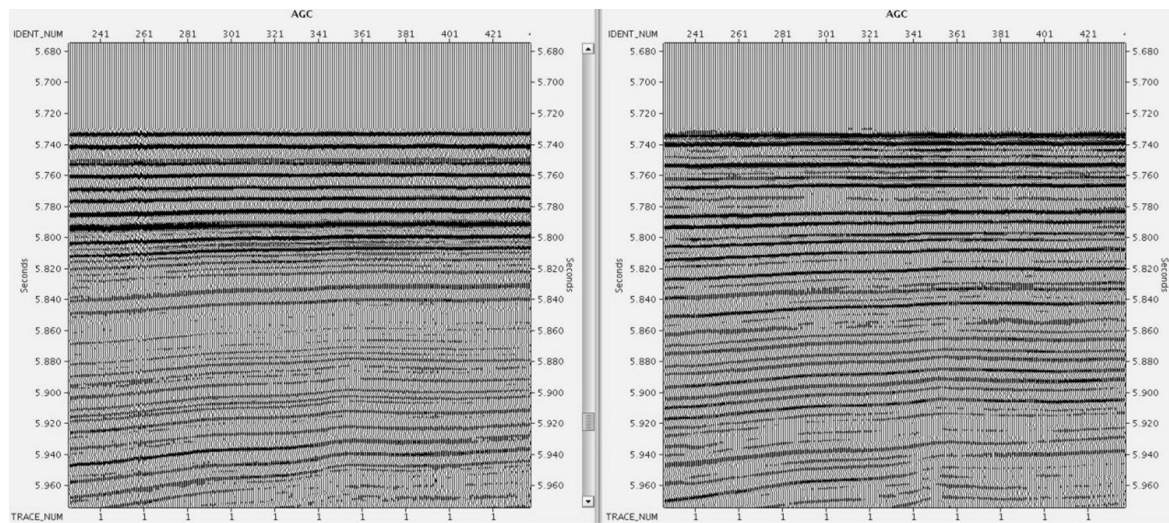


图 9 子波整形前 (左) 和子波整形后 (右) 的剖面对比

Fig.9 The profile contrast before and after the wavelet shaping

而且剖面层次性也有了非常明显的提高。

从子波整形前后的自相关谱 (如图 10 所示) 也可以看出, 经过子波整形, 自相关谱上周期性的东西变少了, 反映到剖面上就是一些假的同相轴的有效压制。

从图 9 中可以看出, 经过基于同态法的子波整形后, 剖面的分辨率得到了明显的提高, 剖面中一些假的层位得到了压制, 整个剖面的观感得到了很大的提升同时剖面的分辨率也得到了加强, 为后期的解释工作提供了便利。从整形前后的振

幅谱 (图 11 所示) 经过子波整形处理后的频带变化不大 (主频部分为 200HZ 以下), 确保了子波整形的正确性。

4 结语

高分辨率单道往往采用的是单一震源激发, 往往会导致地震子波旁瓣较多, 从而影响成果剖面观感, 本文利用同态法估算地震子波, 进行俞氏子波整形处理, 能够有效压制子波旁瓣, 提高地震剖面的分辨率。

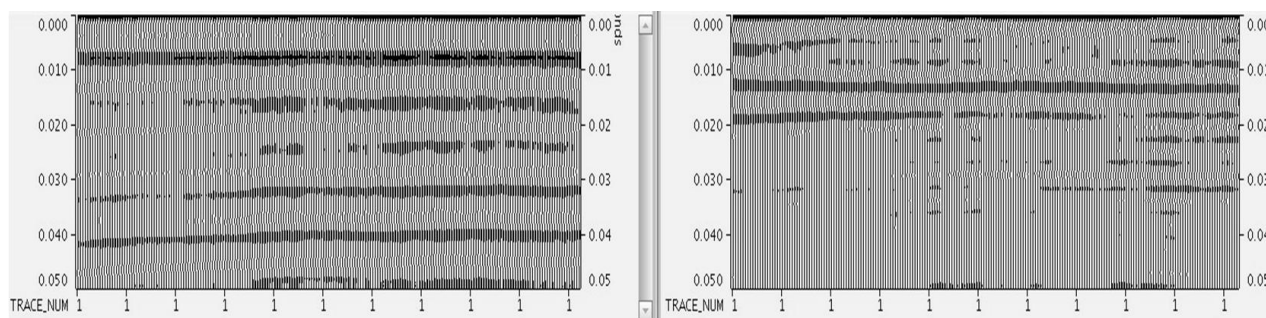


图 10 子波整形前(左)和子波整形后(右)的自相关谱的对比

Fig.10 The autocorrelation spectrum contrast before and after the wavelet shaping

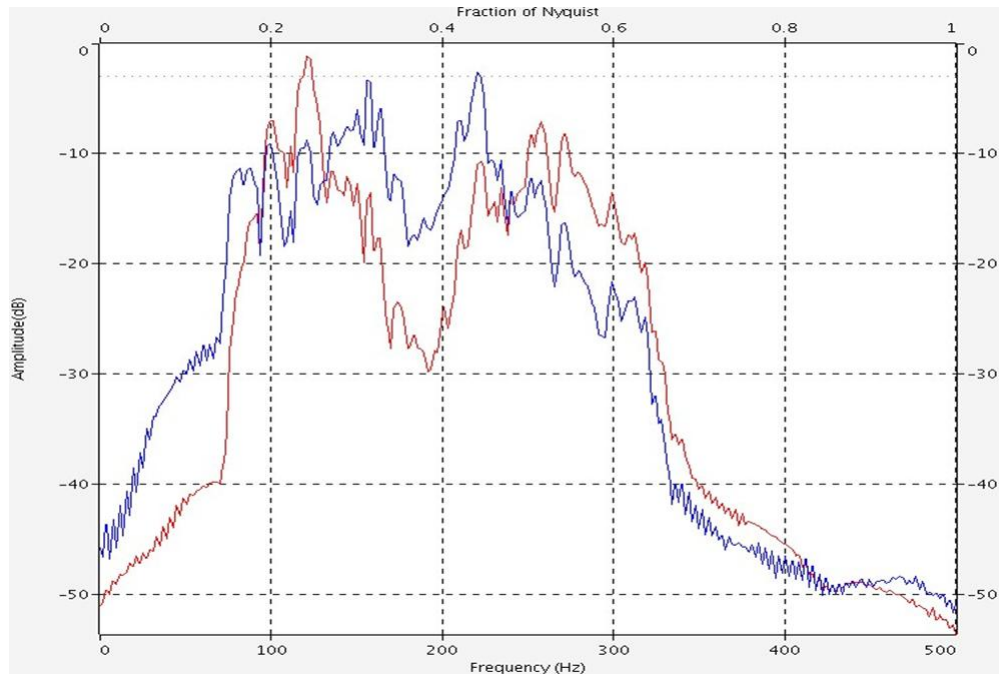


图 11 子波整形前(红)和子波整形后(蓝)的频谱对比

Fig.11 The spectrum contrast before and after the wavelet shaping

传统的子波估算(自相关法、功率谱法)都是基于子波为最小相位假设的, 但是实际数据中的子波却是混合相位的, 该方法有效规避了传统子波估算方法中的相位问题, 能够估算一个准确的子波。

本文通过仿真实验, 输入子波和估算的子波

的相关系数达到 0.965 6, 验证了基于同态法估算子波的准确性。

所以, 基于同态法估算地震子波, 并进行俞氏子波整形, 能够有效压制单一震源激发产生的假同相轴, 从而为后期的解释工作提供便利。

参考文献:

- [1] 褚宏宪, 杨 源, 张晓波, 等. 高分辨率单道地震调查数据采集技术方法[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28 (12): 70-74.
- [2] 李丽青, 陈泓君, 彭学超, 等. 海洋区域地质调查中的高分辨率单道地震资料关键处理技术[J]. 物探与化探, 2011, 35 (1): 86-92.
- [3] 蔡希玲. 俞氏子波在地震数据处理中的应用研究[J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35 (4): 497-507.
- [4] 朱宝山, 燕利芳, 巨朝晖, 等. 俞氏子波整形反褶积在提高地震资料分辨率中的研究与应用[J]. 工程勘察, 2014 (2): 92-98.
- [5] 杨培杰, 印兴耀. 地震子波提取方法综述[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43 (1): 123-127.
- [6] 梁光河. 地震子波提取方法研究[J]. 石油物探, 1998, 37 (1): 31-39.
- [7] 高少武, 赵 波, 贺振华, 等. 地震子波提取方法研究进展[J]. 地球物理学进展, 2009, 24 (4): 1 384-1 391.
- [8] Connolly P. Elastic Impedance [J]. The Leading Edge, 1999, 18 (4): 438-452.
- [9] 崔庆辉, 芮拥军, 尚新民, 等. 混合相位地震子波提取及应用[J]. 石油物探, 2011, 50 (5): 481-486.
- [10] 杨 振, 文鹏飞, 彭 璐, 等. 基于高阶双谱的子波整形方法[J]. 物探与化探, 2015, 39 (5): 1 027-1 031.
- [11] Lazear G D. Mixed phase wavelet estimation using fourth order cumulants [J]. Geophysics, 1993, 58 (7): 1 042-1 051.
- [12] Velis D R, Ulrych T J. Simulated annealing wavelet estimation via forth order cumulant matching [J]. Geophysics, 1996, 61 (6): 1 939-1 948.
- [13] Matsuoka T, Ulrych T J. Phase estimation using the bispectrum [J]. Proceedings of IEEE, 1984, 72 (10): 1 403-1 411.
- [14] 李国发, 彭苏萍, 高日胜, 等. 复赛谱域提取混合相位子波的方法[J]. 天然气工业, 2005, 25 (1): 85-87.
- [15] Ulrych T J, Velis D R, Scacchi M D. Wavelet estimation revisited[J]. The Leading Edge, 1995, 14 (11): 1 139-1 142.
- [16] 张海燕, 李庆忠. 几种常用解析子波的特性分析[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42 (6): 651-657.