

# 伪多道匹配滤波技术及其在地震数据匹配中的应用

李书瑜<sup>1</sup>, 鲍伟<sup>1</sup>, 王士昆<sup>1</sup>, 王雪静<sup>1</sup>, 付嘉玮<sup>1</sup>, 马继涛<sup>2</sup>

(1. 中石化江苏油田物探研究院, 南京 211103;

2. 中国石油大学(北京)地球物理学院物探系, 北京 102249)

**摘要:** 不同油田区块、不同时期地震数据受采集参数的影响, 存在振幅、频率、相位和到时等差异, 匹配滤波是消除这些差异的关键技术之一。笔者给出了伪多道匹配滤波技术, 相对传统方法, 可以对地震数据之间的振幅、频率、相位和到时差异进行更好地调整, 改进地震数据的匹配效果。然后对该方法的原理进行了系统介绍, 基于单道地震数据对该方法进行了测试, 并对不同震源采集地震数据进行了匹配拼接处理。最后基于互相关、时频分析等手段对拼接前后数据的一致性进行了分析, 验证了方法的优势。

**关键词:** 匹配滤波; 伪多道; 差异; 一致性分析

**中图分类号:** P631.443

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.03.05

## 0 引言

油田区块在地震勘探过程中, 由于不同区块的地震数据在采集时间、采集仪器(如震源、检波器)、采集参数(如道间距、炮间距)、地表条件等方面存在差异, 使得地震数据在振幅、频率、相位和到时, 以及最终处理得到的资料品质等方面都有可能存在差异。这些差异会对地震资料解释等过程带来困扰。连片处理能一定程度上消除区块间的地震资料品质差异, 而匹配滤波是连片处理最为关键的技术之一。

地震数据连片处理一般分为两个步骤, 首先在各个区块内根据各自的数据特征, 针对性地进行叠前去噪、振幅补偿、反褶积和静校正等处理, 在合理统一处理参数的前提下, 采用一系列地表一致性处理过程, 消除振幅不均衡、子波不一致、区域性剩余静校正等影响, 提高单区块内地震资料的信噪比, 为区块间的匹配整合奠定基础。之后进行基于匹配滤波的地震数据拼接整合, 通过在不同区块拼接处选

取重叠的地震数据, 求取匹配滤波器, 并将所得滤波算子应用于地震数据。滤波算子可以对不同区块地震数据的差异进行调整, 使得存在差异的不同区块地震数据得到较好的匹配和拼接。

笔者对连片处理的第二个关键步骤—匹配滤波展开系统的研究。地震数据匹配滤波一般采用最小平方滤波法, 该方法是由维纳<sup>[1]</sup>在1947年首次提出, 因此又称其为维纳滤波。该方法假设滤波之后的输出与给定期望之差的平方最小, 建立方程可以进行滤波算子的求解, 该问题是一个线性反演问题, 基于Levinson算法可以进行快速求解<sup>[2]</sup>。

在维纳滤波的基础上, Schneider、Wiggins 和 Robinson、Laster 和 Linville 等给出了多道匹配滤波的方法<sup>[3-5]</sup>, 引入旁道对地震数据的匹配滤波进行约束, 改进单道匹配效果, 该方法的理论基础仍是最小二乘法, 所求的算子仍是 Wiener-Levinson 算子。1987年, Brotzr、Maschall 和 Knecht<sup>[6]</sup>对两种不同震源采集得到的地震数据(可控、炸药)进行了一致性匹配滤波处理, 取得了一定效果; 1992年,

收稿日期: 2023-02-11

第一作者: 李书瑜(1972—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事苏北盆地油气勘探综合研究与评价工作, E-mail: lisy.jsyt@sinopec.com.cn.

Rick Wallace、F. David Gray 等<sup>[7]</sup>使用网状匹配滤波法,改善了不同工区地震数据拼接的效果。

国内学者对不同工区地震数据的匹配滤波,依据如下思路展开了系统和深入的研究。

1)在前期不同工区地震数据精细处理的基础上,直接进行匹配滤波处理。在此方面,陈繁勤等<sup>[8]</sup>在处理流程和参数一致情况下,基于匹配滤波算法进行了拼接处理;宋玉龙等<sup>[9]</sup>对浅滩海地震资料和陆地资料进行了匹配拼接处理;邬达理等<sup>[10]</sup>给出了各种匹配算法的串联处理思路;史增园等<sup>[11]</sup>提出了消除振幅差异的双向振幅拼接方法。

2)对不同工区地震数据的子波差异进行校正,再进行匹配滤波处理。该思路主要针对不同震源采集地震数据进行的匹配处理,将子波整形和匹配滤波相结合,先校正不同震源数据的相位差异,再基于匹配滤波对其他差异进行调整。如陈志刚等<sup>[12]</sup>、汶小刚等<sup>[13]</sup>、郑鸿明等<sup>[14]</sup>、周立宏等<sup>[15]</sup>、牛建国等<sup>[16]</sup>、邹云超(2015)<sup>[17]</sup>、梁鸿贤<sup>[18]</sup>采用各种不同的策略对不同震源数据的子波进行差异校正,提高不同震源数据的一致性,之后再行拼接处理。

3)将匹配滤波方法和其他校正方法相结合,改进匹配效果。由于匹配滤波对地震数据同相轴有一定的扭曲作用,先利用互相关、均方根振幅比等方法对不同工区数据之间的时间和振幅差异进行校正,之后再基于匹配滤波对其他差异进行调整,这样会一定程度上减少匹配滤波对地震数据同相轴的扭曲作用。如邓怀群等<sup>[19]</sup>对不同时期采集的地震数据进行互均化处理,分别对数据进行了时移校正、匹配滤波、振幅校正和速度校正,以完成数据之间的匹配拼接;云美厚等<sup>[20]</sup>给出了一种互均衡处理技术,直接从叠后记录入手,采用最小平方算法求取空变匹配滤波算子,并将匹配滤波算子作用于数据,达到一致性处理的目的。

匹配滤波在表层相关多次波压制领域,也有非常重要的应用。表层相关多次波压制中相减采用的是基于能量最小准则的匹配滤波方法,基于该准则的匹配滤波方法有单道、多道匹配等算法,并以此发展出了不同的改进算法。1993年,Monk<sup>[21]</sup>提出利用多次波的数学导数道,考虑预测多次波和实际多次波之间的时间、振幅和相位差异,改善匹配滤波效果的约束互均衡算法,即伪多道算法;Yanghua Wang,李鹏等<sup>[22-23]</sup>对伪多道算法加以改进,考虑了地震记录的横向分布特征,利用横向同相轴对有效波的能量进行约束,进一步

改进了匹配滤波效果。

由以上研究可以看出,不同震源、不同采集参数、陆地和海洋等区域采集得到的地震数据,对其进行预处理后的匹配拼接处理,都是基于最小二乘匹配维纳滤波思想。笔者将多次波自适应相减中使用的伪多道匹配技术引申到多工区地震数据的匹配拼接中,该方法利用地震道的数学变换道进行约束实现匹配,考虑了不同地震数据之间子波、相位、时移、振幅等方面的变化,可以降低对数据一致性的要求,具有较强的适应性和稳定性,可以很好地提升地震数据匹配滤波效果,提高多工区、不同时期、不同震源采集的地震数据一致性。

## 1 方法原理

### 1.1 常规匹配滤波算法原理

匹配滤波方法假设滤波因子匹配后两个数据差值的平方和最小,并以此求取滤波因子,并将求得的滤波因子作用于地震数据完成匹配。该算法原理简单,运算速度快且求解稳定。该匹配滤波器可以表示为:

$$p(t) = y(t) - f(t) * x(t) \quad (1)$$

此处的  $y(t)$  为目标记录道,  $x(t)$  为被匹配记录道,  $f(t)$  是使地震道  $x(t)$  接近于期望输出  $y(t)$  的算子,  $*$  表示褶积,  $p(t)$  是残差。式(1)可以改写为矩阵与向量的相乘形式,即:

$$p = y - Mf \quad (2)$$

其中,  $M$  为  $x(t)$  所对应的褶积矩阵。

为使得匹配结果和目标地震道更为接近,需使残差  $p$  的能量在最小平方意义下最小,可以建立能量为  $E$  的目标函数,

$$E = \|y - Mf\|^2 \quad (3)$$

对其求导,可以得到如下线性方程:

$$M^T M f = M^T y \quad (4)$$

对该线性方程进行求解即可得到匹配滤波算子  $f$ ,

$$f = (M^T M + \mu I)^{-1} M^T y \quad (5)$$

其中,  $\mu$  为使矩阵求逆稳定所加的阻尼因子。

### 1.2 伪多道匹配滤波算法原理

伪多道匹配滤波法是利用地震道的数学伴随道作为约束实现匹配算子的求取,数学伴随道包括导数道、希尔伯特变换道、希尔伯特变换道的导数道。数学变换道的约束可以修正数据之间的时间、振幅、和相位的差异。

仍采用 1.1 中的变量,  $y(t)$  为目标记录道,

$x(t)$ 为被匹配的记录道,假设匹配道  $x(t)$ 和目标道  $y(t)$ 之间存在着振幅、相位和时间差异,依据傅里叶变换公式,可以将匹配道  $x(t)$ 表示为如下频率域形式:

$$x(t) = \int A(\omega) \cos(\omega t + \phi) d\omega \quad (6)$$

且,

$$x^H(t) = \int A(\omega) \sin(\omega t + \phi) d\omega \quad (7)$$

其中,  $x^H(t)$ 代表实数地震道的希尔伯特变换(地震道的虚部),而  $x(t)$ 即为实数地震道。若匹配道和目标道的子波之间存在振幅、相位差异,则可以将目标道  $y(t)$ 写为:

$$y(t) = \int \alpha(\omega) \exp[i(\omega t + \phi - b)] d\omega \quad (8)$$

其中,  $\alpha(\omega) = BA(\omega)$ ,  $B$ 为一个振幅差异系数,  $b$ 为一个常数相移。可将式(8)进一步写为:

$$y(t) = B[A(\omega) \exp[i(\omega t + \phi)]] (\cos b - i \sin b) d\omega \quad (9)$$

因此,依据式(9),可以将目标道写为如下形式:

$$y(t) = B \cos b \cdot x(t) + B \sin b \cdot x^H(t) \quad (10)$$

若匹配道和目标道之间还存在时移量  $\tau$ ,可以将式(10)进一步改写为:

$$y(t) = B \cos b \cdot x(t + \tau) + B \sin b \cdot x^H(t + \tau) \quad (11)$$

如果两个地震道的时移量  $\tau$ 很小,可将式(11)泰勒展开,并只取展开式前两项,可得:

$$y(t) \approx B \cos b \cdot [x(t) + \tau x'(t)] + B \sin b \cdot [x^H(t) + \tau x^{H'}(t)] \quad (12)$$

其中,  $x'(t)$ 为  $x(t)$ 的导数道,  $x^{H'}(t)$ 为  $x^H(t)$ 的导数道。将式(12)的系数项进行重新整理,可得:

$$y(t) \approx f_1 x(t) + f_2 x'(t) + f_3 x^H(t) + f_4 x^{H'}(t) \quad (13)$$

其中,

$$\begin{cases} f_1 = B \cos b & f_2 = B \tau \cos b \\ f_3 = B \sin b & f_4 = B \tau \sin b \end{cases} \quad (14)$$

由式(13)可以看出,目标道可以近似视为匹配道及其对应数学运算道的加权和,对应的数学运算道包括导数道、希尔伯特变换道、以及希尔伯特变换道的导数道。只要将式(13)的四个系数项求取出,即可以得到匹配道的滤波算子,将其作用到匹配道及其对应的数学运算道中,就可以得到匹配之后的结果,以完成带有时差、振幅、和相位差异的不同工区地震数据的拼接。

伪多道匹配算法的推导过程和单道自适应匹配算法类似,匹配过程本质上仍是单道对单道的匹配算法。与单道匹配滤波算法类似,伪多道匹配滤波

算法可以建立如下目标函数:

$$p(t) = y(t) - \sum_{i=1}^4 f_i(t) * x_i(t) \quad (15)$$

其中,  $x_i(t)$ 代表式(13)中的匹配道及数学变换道,  $f_i(t)$ 代表式(13)中的各个匹配滤波器。

经数学推导,可以建立线性方程组求解得到四个滤波算子。设  $x(t)$ 的褶积矩阵为  $M_1$ ,  $x'(t)$ 的褶积矩阵为  $M_2$ ,  $x^H(t)$ 的褶积矩阵为  $M_3$ ,  $x^{H'}(t)$ 的褶积矩阵为  $M_4$ ,可以通过下式求取滤波算子  $f_1 \sim f_4$ ,

$$\begin{bmatrix} M_1^T M_1 & M_1^T M_2 & M_1^T M_3 & M_1^T M_4 \\ M_2^T M_1 & M_2^T M_2 & M_2^T M_3 & M_2^T M_4 \\ M_3^T M_1 & M_3^T M_2 & M_3^T M_3 & M_3^T M_4 \\ M_4^T M_1 & M_4^T M_2 & M_4^T M_3 & M_4^T M_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1^T y \\ M_2^T y \\ M_3^T y \\ M_4^T y \end{bmatrix} \quad (16)$$

通过对矩阵方程(16)求解最小二乘解得到滤波器  $f_1 \sim f_4$ ,然后将求得的滤波器  $f_1 \sim f_4$ 代入式(13),作用到被匹配的地震数据中即可得到多道匹配滤波算法匹配结果。

## 2 数据示例

### 2.1 单道计算和对比分析

两个单道记录分别来自不同工区相同位置的地震道记录。如图1所示,其中,图1(a)为目标地震道,图1(b)为匹配道。两个地震道的振幅存在很大差异,且波形存在一定差异。分别基于常规匹配算法和伪多道匹配算法对图1(b)地震数据进行匹配处理。图2给出了对图1(b)匹配道进行数学运算得到的一系列地震道记录。可以看出,地震数据的导数道对地震数据做了升频处理,高频成分相对丰富;而希尔伯特变换道求取的是地震数据的一个包络,它消除了地震数据局部的抖动,挖掘了地震数据的相位信息。因此基于地震数据导数道、希尔伯特变换道,以及希尔伯特变换道组成的多道记录进行匹配处理,可以较好地校正两个地震道之间存在的频率、相位等差异。

图3给出了常规方法和伪多道匹配方法的匹配结果。将匹配结果与图1(a)对比,可以看出伪多道匹配方法的结果在波形细节方面和目标地震道更加吻合。为进一步定量分析匹配结果的准确性,将两个匹配结果和目标地震道分别进行了振幅、频谱和互相关对比分析。图4为振幅包络分析结果,可以

明显看出,绿线所代表的伪多道匹配方法的振幅和目标地震道包络振幅(红线)更为接近,表明该方法匹配结果更佳;图 5 为计算互相关结果,也可以明显看出,在零延迟时,伪多道匹配结果和目标地震道的互相关数值,要明显比常规方法互相关数值大,说明伪多道匹配结果和目标地震道更加吻合;图 6 为时频谱分析结果,可以看出伪多道匹配结果时频谱和目标地震道的时频谱更加接近,表明了伪多道匹配算法的准确性。

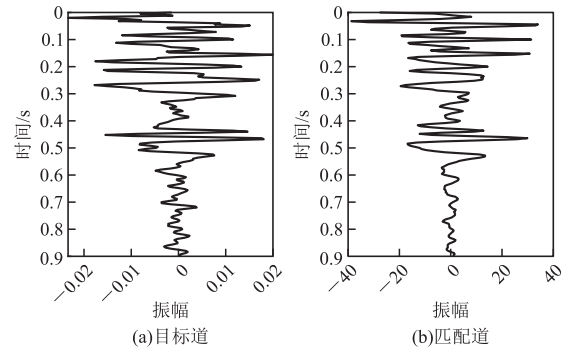


图 1 单道匹配地震道  
Fig. 1 Single seismic trace

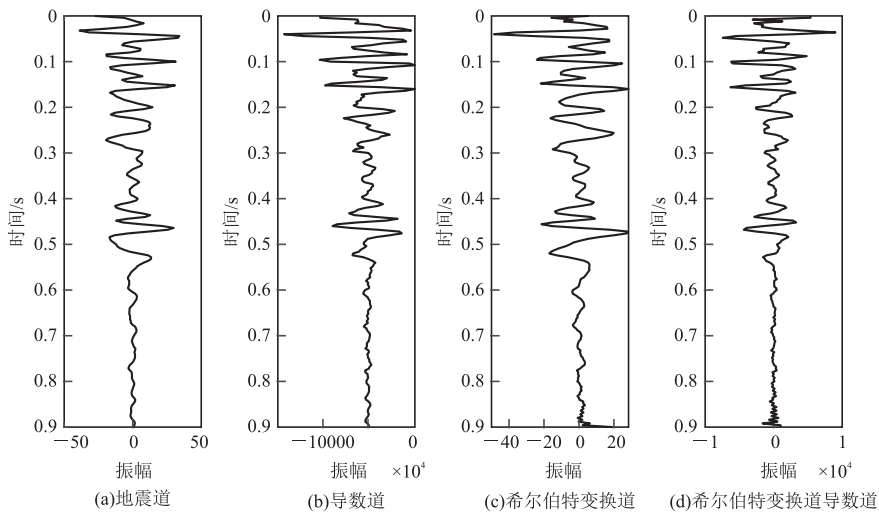


图 2 各个数学变换道展示  
Fig. 2 The mathematical transformation traces

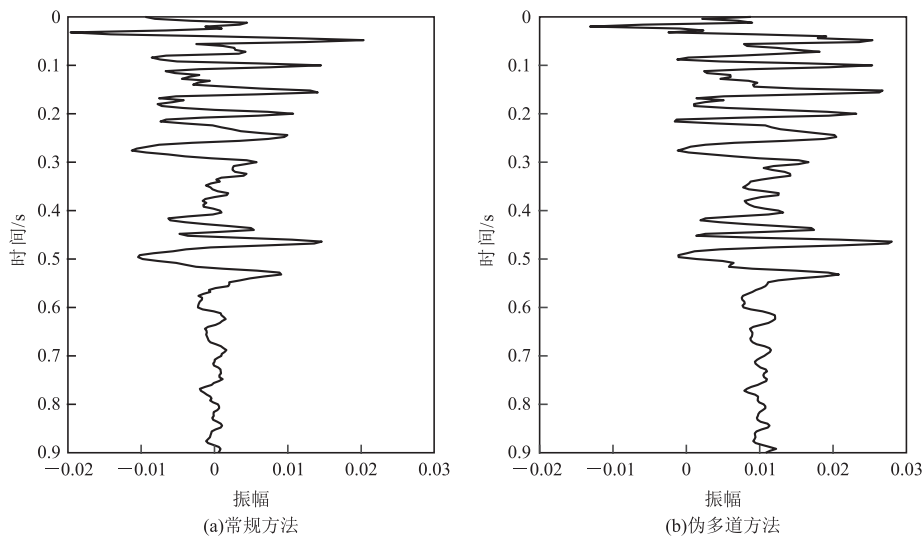


图 3 常规方法和伪多道方法匹配结果  
Fig. 3 The matched result of traditional and pseudo-multichannel methods

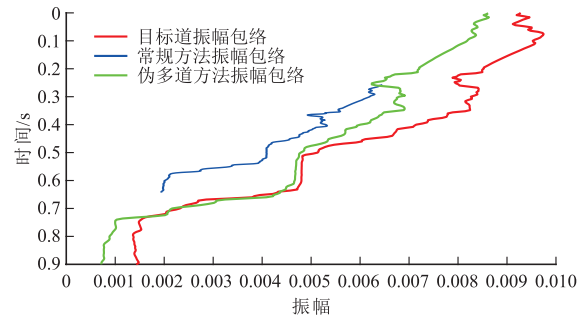


图 4 匹配结果的振幅包络对比

Fig. 4 Amplitude envelope comparison of matched results

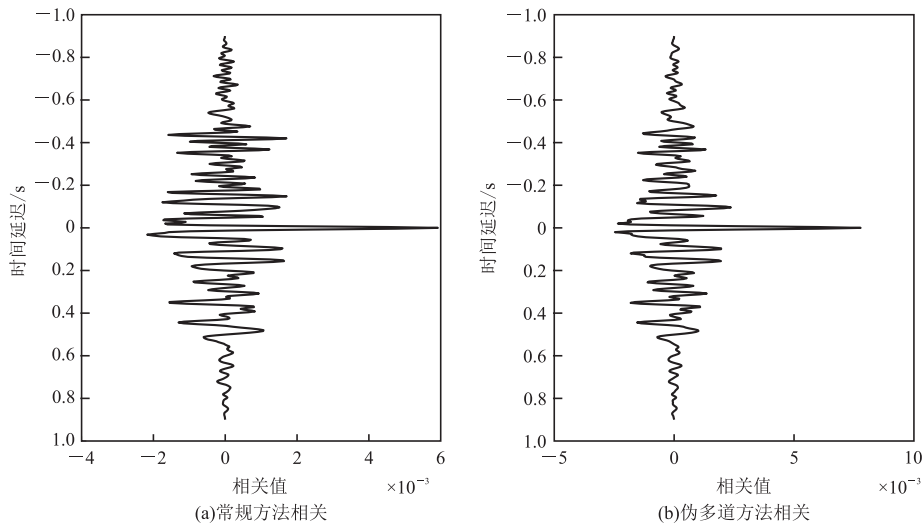


图 5 互相关结果对比

Fig. 5 Comparison of cross-correlation results

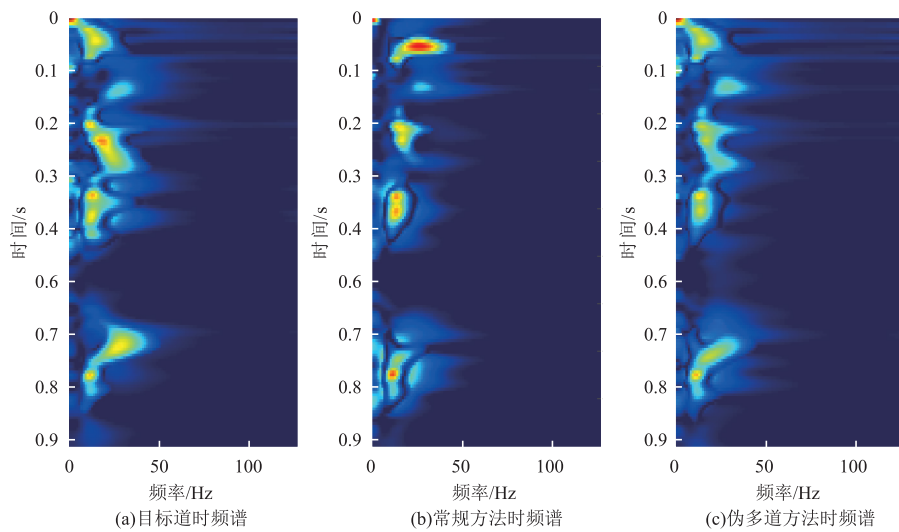


图 6 时频谱对比

Fig. 6 Comparison of time frequency spectrum

## 2.2 剖面匹配对比

以两个工区数据的匹配处理为例,基于上述伪多道方法进行匹配处理,以进一步验证本文方法的有效性。选取的两个工区为不同震源采集的地震数据,一个是炸药震源(图 7),一个是可控震源(图 8)。炸药震源数据横向的连续性较好,可控震源只有部分区域有数据。受到震源性质的影响,炸药震源激发采集数据子波为最小相位或混合相位,可控震源激发采集数据子波为零相位,因此两个数据子波具有明显的相位差异。传统思路是分别提取炸药震源和可控震源的子波,求取可控震源数据子波向炸药震源子波靠拢的匹配因子,并将该因子作用于可控震源数据,实现两个数据的匹配拼接处理。但由于笔者采用的可控震源数据横向连续性较差,提取子波质量不可靠,因此采用基于重叠数据求取匹配因子的方法进行匹配处理,同时考虑地震数据的时变性,纵向采用多个窗口求取匹配因子。

首先选取两个工区重叠位置的数据。从图 7 和图 8 中可以看出,虽然两个数据横测线号(Xline)基本一致,但由于可控震源数据大部分区域浅层没有信号,因此可以选择的与炸药震源重叠的数据并不多。在此选取了横测线号为 2 253~2 270 之间区域的数据作为重叠数据,并基于该数据求取伪多道匹配因子。同时,考虑到地震数据由浅到深的时变性,将地震数据分为三个窗口求取滤波算子,并分别作用到浅、中、深三部分。具体运算时,将伪多道匹配算法求取得到的浅、中、深三组滤波算子分别作用到对应时间段的全部数据中,并将得到的结果组合到一起,得到最终的匹配结果。

图 9 为两个数据直接拼接之后的结果,左侧为可控震源数据,右侧为炸药震源数据,图 7、图 8 和图 9 中黑线所标注的是可控和炸药震源的拼接位置。可以看到,由于子波的差异,两部分地震数据同相轴存在明显的错断,尤其在约 0.7 s 位置处,两个数据之间存在明显的时间和相位差异。图 10 为基于本文算法进行匹配处理后的结果,可以看到拼接后两侧数据同相轴一致性明显增强,特别是 0.7 s 位置,匹配消除了时间和相位差异。此外,两侧数据能量的一致性增强。如箭头所示 0.6 s 处的同相轴,匹配之前可控震源数据振幅偏弱,匹配后振幅和炸药震源一致,能量横向一致性增强,说明本匹配滤波方法可以保持和改善地震数据横向的变化特征。

图 11 为匹配前后两个数据的互相关对比,可以明显看出图 11(a)匹配之前零延迟处互相关数值横

向连续性差,说明两个数据在匹配之前相关度不高,直接拼接有明显的拼接痕迹;而图 11(b)匹配之后的互相关中,零延迟处互相关数值横向连续性明显增强,说明两个数据的相关性变好,可以进行拼接。图 12、图 13 为匹配前后数据的频谱和时频谱对比,可以看到匹配后可控震源数据的频谱和炸药震源趋于一致,且匹配后两个数据的时频谱一致性增强。

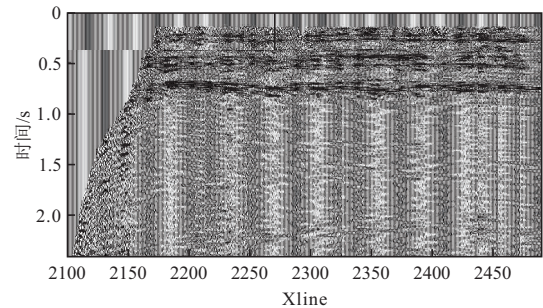


图 7 炸药震源数据  
Fig. 7 Dynamic seismic data

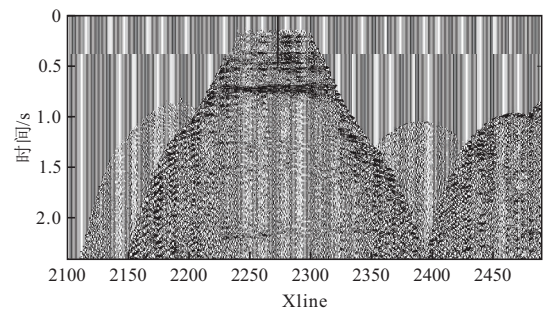


图 8 可控震源数据  
Fig. 8 Vibroseis seismic data

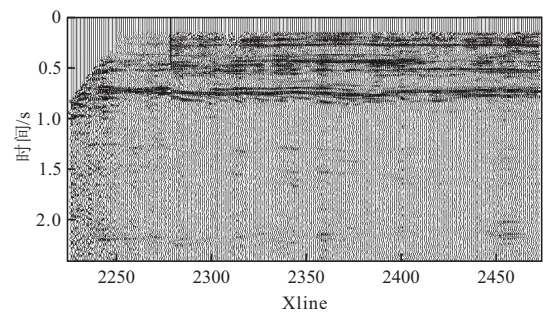


图 9 直接拼接结果  
Fig. 9 Direct merge result

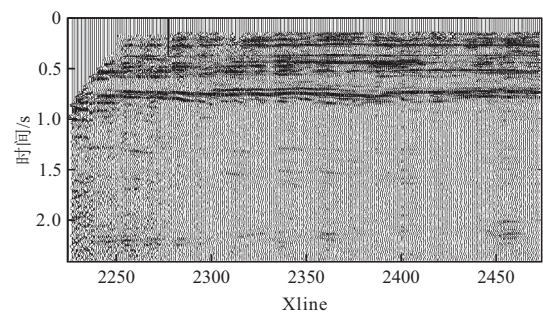


图 10 匹配拼接结果  
Fig. 10 Merge result after matching

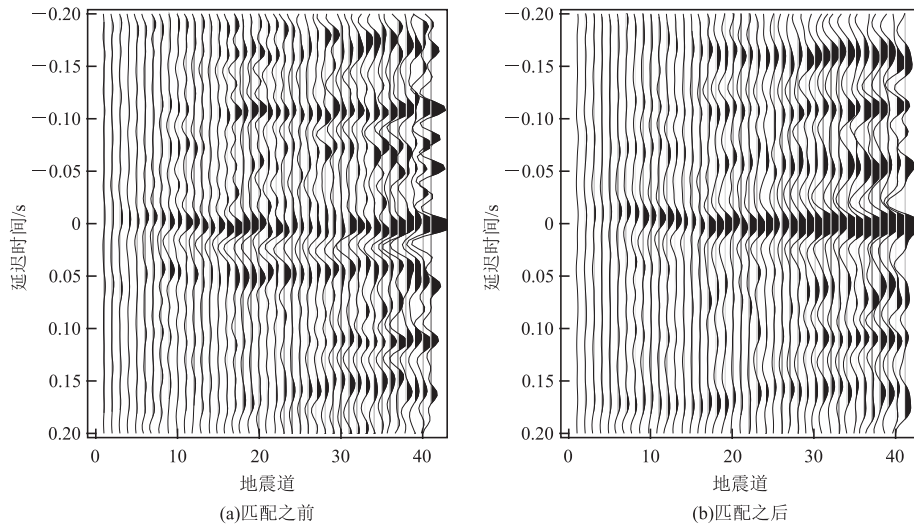
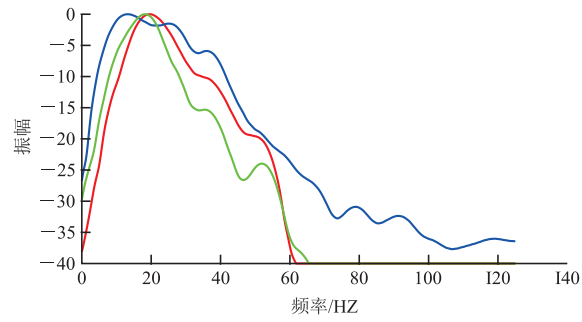


图 11 互相关分析

Fig. 11 Cross-correlation analysis



红色—炸药震源数据,蓝色—匹配前可控震源数据,绿色—匹配后可控震源数据

图 12 匹配结果频谱分析

Fig. 12 The spectrum of matched result

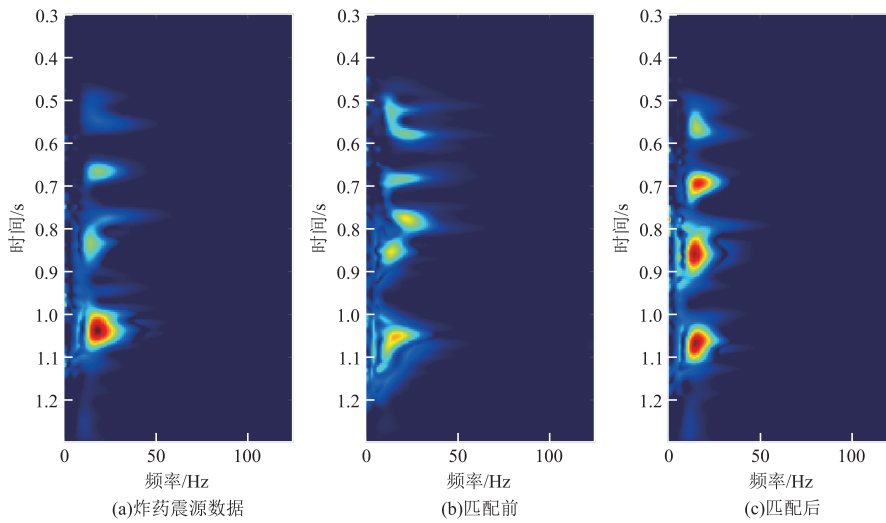


图 13 匹配结果时频分析

Fig. 13 Time-frequency analysis of matching results

### 3 结论和建议

笔者给出了一种基于伪多道匹配滤波的多工区地震数据匹配拼接方法,以单道匹配滤波为例,展示了伪多道匹配滤波相对常规匹配滤波方法的优势,伪多道匹配滤波无论在匹配后数据与目标数据的波形一致性方面,还是在振幅、频谱等方面,均比常规方法匹配结果有较大改善。笔者还给出了两种不同震源采集地震数据匹配滤波的结果,并以匹配前后的互相关、频谱和时频谱对匹配结果的有效性进行了分析。综合本文内容,可以给出如下结论和建议:

1)伪多道匹配滤波方法生成了被匹配道的数学扩展道,即导数道、希尔伯特变换道以及希尔伯特变换道的导数道,充分挖掘了地震数据的频率、相位等信息,利用多道匹配滤波算法,将被匹配地震道及其数学扩展道与目标地震道进行匹配,可以对数据之间的时差、振幅和相位差异进行校正,得到更好的匹配效果。

2)在完成不同工区地震数据的匹配之后,可以基于互相关、振幅包络、频谱以及时频谱分析等手段对匹配的结果进行质控,互相关可以分析两个数据的整体一致性,振幅包络可以分析两个数据从浅到深振幅变化的一致性,频谱以及时频谱分析可以分析两个数据的频率一致性,从而较为系统细致地分析数据匹配拼接效果。

3)在不同工区地震数据的匹配滤波处理时,考虑到地震数据的空变和时变性,可以分位置、分时窗求取地震数据的匹配滤波算子,即选取信噪比较好空间位置的重叠地震数据求取滤波算子,并基于空间位置进行空间插值处理,得到空变的滤波器;同时纵向分时窗求取滤波算子,得到时变滤波器,将其作用到地震数据、并将结果组合形成最终的匹配结果。

#### 参考文献:

[1] WEINER N. Extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1949.

[2] LEVINSON N. A heuristic exposition of wiener's mathematical theory of prediction and filtering[J]. Journal of Mathematics and Physics, 1947, 26(1/2/3/4): 110-119.

[3] SCHNEIDER W A, LARNER K L, BURG J P, et al. A new data-processing technique for the elimination of ghost arrivals on reflection seismograms[J]. Geophys-

ics, 1964, 29(5): 783-805.

[4] ROBINSON E A. Predictive decomposition of seismic traces[J]. Geophysics, 1957, 22(4): 767-778.

[5] LASTER S J, LINVILLE A F. Application of multi-channel filtering to the separation of dispersive modes of propagation[J]. Journal of Geophysical Research, 1966, 71(6): 1669-1701.

[6] BRÖTZ R, MARSCHALL R, KNECHT M. Signal adjustment of vibroseis and impulsive source data[J]. Geophysical Prospecting, 1987, 35(7): 739-766.

[7] WALLACE, R., F. D. GRAY. Network match filters: a least-squares technique for minimizing [C]. SEG Annual Meeting, 1992: 1112-1115.

[8] 林必荣, 李培基, 陈繁勤. 三维地震资料的区块拼接方法及效果[J]. 石油地球物理勘探, 1995, 30(增刊1): 156-159.

LIN B R, LI P J, CHEN F Q. Block mosaic method and effect of three-dimensional seismic data[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1995, 30(Suppl 1): 156-159. (In Chinese)

[9] 宋玉龙. 滩浅海地区地震勘探存在问题及其解决方法[J]. 石油物探, 2005, 44(4): 343-347.

SONG Y L. Problems of seismic survey in neritic area and resolved methods[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(4): 343-347. (In Chinese)

[10] 郭达理, 姜游, 陈竹梅. 串联匹配滤波法在混合震源资料处理中的应用[J]. 石油物探, 2006, 45(6): 611-614.

WU D L, JIANG Y, CHEN Z M. Application of cascade matched filtering in mixed source data processing[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(6): 611-614. (In Chinese)

[11] 史增园, 王旭谦, 易淑昌. 多区块三维地震拼接振幅匹配方法研究[C]. 中国石油学会 2017 年物探技术研讨会论文集. 2017: 1121-1123.

SHI Z Y, WANG X Q, YI S C. Research on amplitude matching method of multi-block 3D seismic data [C]. Proceedings of Geophysical Exploration Technology Symposium, Chinese Petroleum Society. 2017: 1121-1123. (In Chinese)

[12] 唐恩德, 宋锡熊, 陈志刚. 多种震源联合激发地震数据的处理方法[J]. 石油地球物理勘探, 1997, 32(增刊1): 148-156.

TANG E D, SONG X X, CHEN Z G. Processing method of seismic data jointly excited by multiple sources[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1997, 32(Suppl 1): 148-156. (In Chinese)

[13] 汶小刚, 曹新领, 郭志斌, 等. 不同震源数据在资料处

- 理中的拼接[J]. 陕西煤炭, 2007, 29(1): 29—30.
- WEN X G, CAO X L, GUO Z B, et al. Concatenation of different source data in data processing[J]. Shanxi Coal, 2007, 29(1): 29—30. (In Chinese)
- [14] 娄兵, 郑鸿明, 蒋立. 地震测线的拼接技术[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(3): 208—210.
- LOU B, ZHENG H M, JIANG L. Splicing technology of seismic survey lines[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22(3): 208—210. (In Chinese)
- [15] 王西文, 周立宏. 三维地震资料拼接中的地震子波处理[J]. 石油物探, 2002, 41(4): 448—451.
- WANG X W, ZHOU L H. Wavelet transform used in the concatenation of 3-D seismic data sets[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2002, 41(4): 448—451. (In Chinese)
- [16] 赵明秋, 牛建国. 连接不同震源数据的匹配滤波技术[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(增刊 1): 136—140.
- ZHAO M Q, NIU J G. Matching filtering technology for connecting different seismic source data[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(S1): 136—140. (In Chinese)
- [17] 邹云超. 匹配滤波技术在煤田地震资料处理中的应用[J]. 煤炭技术, 2015, 34(4): 99—102.
- ZOU Y C. Application of matched filtering technology in coalfield seismic data processing[J]. Coal Technology, 2015, 34(4): 99—102. (In Chinese)
- [18] 梁鸿贤. 基于初至信息的可控震源和炸药震源地震资料匹配滤波技术[J]. 石油物探, 2018, 57(2): 231—236.
- LIANG H X. Matching filter of vibroseis and dynamic source seismic data using first arrival information[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2018, 57(2): 231—236. (In Chinese)
- [19] 邓怀群, 刘雯林, 王晓琦. 时间推移地震技术[J]. 勘探家, 1999, 4(3): 40—44.
- DENG H Q, LIU W L, WANG X Q. Time lapse seismic technology[J]. China Petroleum Exploration, 1999, 4(3): 40—44. (In Chinese)
- [20] 云美厚, 丁伟, 王开燕, 等. 地震资料一致性处理方法研究与初步应用[J]. 石油物探, 2006, 45(1): 65—69.
- YUN M H, DING W, WANG K Y, et al. Study and primary application on consistency processing of seismic data[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(1): 65—69. (In Chinese)
- [21] MONK D J. Wave equation multiple suppression using constrained cross equalization[C]. 53rd EAEG Meeting, Florence, Italy. European Association of Geoscientists & Engineers, 1991: 725—736.
- [22] WANG Y. Multiple subtraction using an expanded multichannel matching filter[J]. Geophysics, 2003, 68(2): 346—354.
- [23] 李鹏, 刘伊克, 常旭, 等. 均衡拟多道匹配滤波法在波动方程压制多次波中的应用[J]. 地球物理学报, 2007, 50(6): 1844—1853.
- LI P, LIU Y K, CHANG X, et al. Application of the equipoise pseudomultichannel matching filter in multiple elimination using wave-equation method[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2007, 50(6): 1844—1853. (In Chinese)

## Pseudo-multichannel matching and its application in seismic data matching

LI Shuyu<sup>1</sup>, BAO Wei<sup>1</sup>, WANG Shikun<sup>1</sup>, WANG Xuejing<sup>1</sup>, FU Jiawei<sup>1</sup>, MA Jitao<sup>2</sup>

(1. Sinopec Jiangsu Oilfield Geophysical Exploration Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. College of Geophysics, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China)

**Abstract:** Due to the differences in acquisition parameters of seismic data in different oil fields, there are differences in amplitude, frequency, phase time, etc. Matched filtering is one of the key technologies to eliminate these differences. This paper presents the pseudo-multi-channel matching filter technology, which can better adjust the amplitude, frequency, phase and arrival time differences between seismic data in different working areas and improve the matching effect of seismic data. The principle of the method is introduced systematically, and the method is tested and analyzed based on single-channel seismic data. This method matches and stitches two seismic datasets acquired by different sources. Finally, the consistency of the data before and after stitching is analyzed using cross-correlation and time-frequency analysis, and the advantages of the method are verified.

**Keywords:** match filter; pseudo-multi-channel; difference; consistence analysis