

doi:10.11720/wtyht.2015.4.28

杨城增,冯永强,童庆佳,等.加减法去噪技术压制线性干扰——以鄂尔多斯黄土塬地震资料为例[J].物探与化探,2015,39(4):830-836.
http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.4.28

Yang C Z, Feng Y Q, Tong Q J, et al. The addition-subtraction method for removing linear noise: A case study of the seismic data in Ordos loess plateau[J].
Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(4): 830-836. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.4.28

加减法去噪技术压制线性干扰 ——以鄂尔多斯黄土塬地震资料为例

杨城增¹, 冯永强¹, 童庆佳², 王祥春³

(1. 中石化华北分公司勘探开发研究院, 河南 郑州 450006; 2. 东方地球物理公司研究院, 陕西 西安 710021; 3. 中国地质大学(北京) 地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 由于鄂尔多斯黄土塬探区的地貌特点和表层复杂的地震地质条件, 所采集的地震资料存在很强的多组线性干扰波, 要消除这些线性干扰, 提高地震信号的信噪比是地震资料处理中的一个重要环节。笔者主要针对该区原始地震资料中存在的各类线性干扰波、多组面波等波场进行分析研究, 基于线性干扰波的线性特性、倾角特性和相干性, 采用加减法去噪技术进行压制。与 $f-k$ 倾角滤波处理结果对比分析表明, 加减法是压制线性干扰能力很强的一种高保真方法, 提高了处理质量, 效果显著。

关键词: 黄土塬; 线性干扰; $f-k$ 倾角滤波; 加减法

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2015)04-0830-07

在地震资料处理中, 对数据的净化去噪处理是一个很重要的环节。地震资料中存在各种类型的干扰波, 尤其是各类线性干扰波, 对地震数据处理剖面效果影响很大, 所以, 在叠前必须对数据进行压制噪声处理。在鄂尔多斯盆地南部的地震数据采集, 普遍存在低频线性干扰波, 这严重影响单炮记录质量, 如果解决不好会对后续处理产生很大的影响, 严重时会造成叠加剖面上出现断面假象。因此, 必须去除线性干扰, 提高资料处理质量。

随着地震勘探由构造向岩性勘探不断深入, 地震保幅处理要求越来越高, 地震处理中压制各种干扰也变得尤为重要。而地震勘探技术的进步, 使压制噪声的方法多种多样, 尤其是针对线性干扰的压制更是在不断更新, 如 $f-k$ 滤波、双向预测法、自动追踪 SVD 法、噪声减去法、 $\tau-p$ 变换法、均衡干扰能量法等^[1-9], 其方法基于 $t-x$ 和 $f-k$ 域。尽管这些压制线性干扰的方法趋于成熟, 但仍存在三个技术问题: ①信噪分离能力不足; ②压制线性干扰的能力不足; ③存在折叠噪声、混波和挂面条带异常等负效

应。因此, 在地震资料处理中, 这些方法的应用受到了限制。笔者依据线性干扰的相干特征, 采用加减法压制技术, 较好地解决了黄土塬区地震勘探的线性干扰问题, 为后续的精细地震成像奠定了基础。

1 原始资料概况

鄂尔多斯盆地南部探区位于黄土塬地区, 地形极其复杂, 沟壑纵横, 地表起伏异常剧烈, 地表高程在 900~1 750 m 之间变化, 局部高差在几十米到上百米; 其次, 该区黄土覆盖厚、植被密集, 水系较为发育。这些地表条件给地震勘探的资料采集造成很大困难, 也对资料品质产生较大影响(图 1), 为鄂南工区地震资料的处理带来了静校正、多次波、线性干扰以及振幅一致性等一系列难题。

地震勘探所采集到的数据中包含有各类噪声和有效信号。噪声大体可以归纳为两类: 随机噪声和相干噪声。相干噪声包括线性干扰、交混回响和多次波, 陆地地震资料的相干噪声主要有多次折射、线性干扰、面波等^[9-12]。由于鄂南探区存在的复杂地

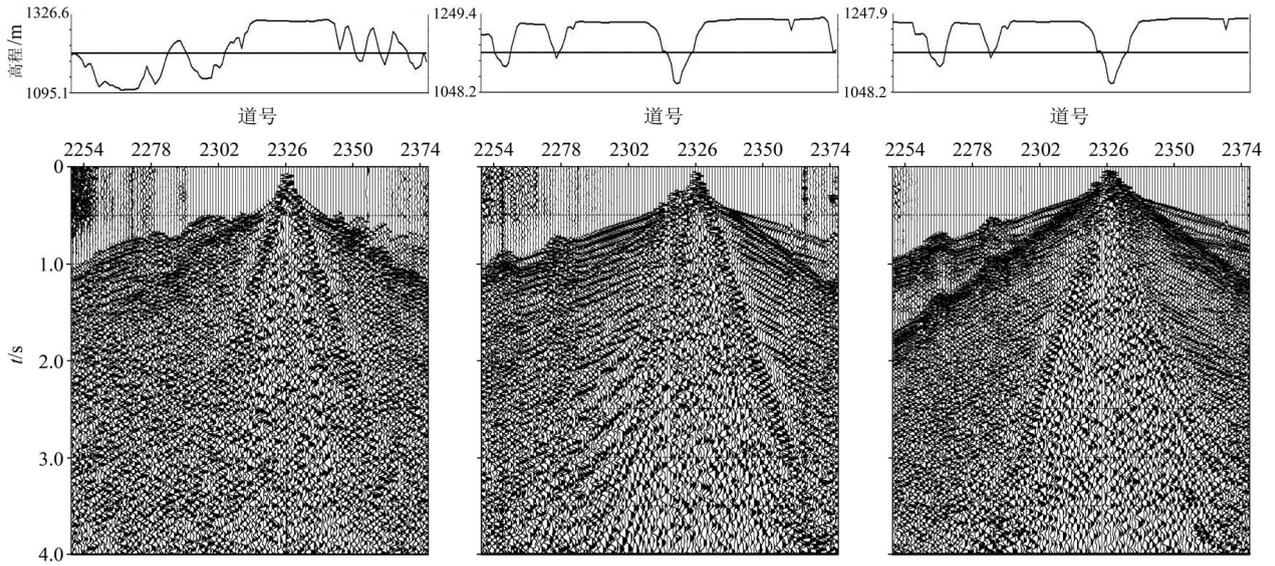


图1 塬(左)、坡(中)、沟(右)的高程曲线以及原始地震记录

表条件、低降速层的垂向厚度变化、横向速度变化异常,导致地震波在地下传播时会形成相当复杂的地震波场;潜水面和高速层之间的速度界面或波阻抗界面产生了多种类型的地震波,如直达波、深浅层折射波、深浅层多次折射波、多组面波、反射波等^[8-13]。图2是针对鄂南黄土地震典型的单炮记录所进行的地震波类型分析,图中①为深层折射,②为深层多次折射,③为浅层折射,④为浅层多次折射,阴影区

域为面波发育区。

由于该区资料线性干扰特别发育,影响地震资料的信噪比、分辨率和叠加效果,所以,在地震资料处理中必须要采取有效手段压制线性干扰,为后续地震处理提供较好的叠前道集数据^[14-17]。笔者针对鄂尔多斯黄土地震资料所采用的加减法是目前地震资料处理中压制线性斜干扰行之有效的手段之一。

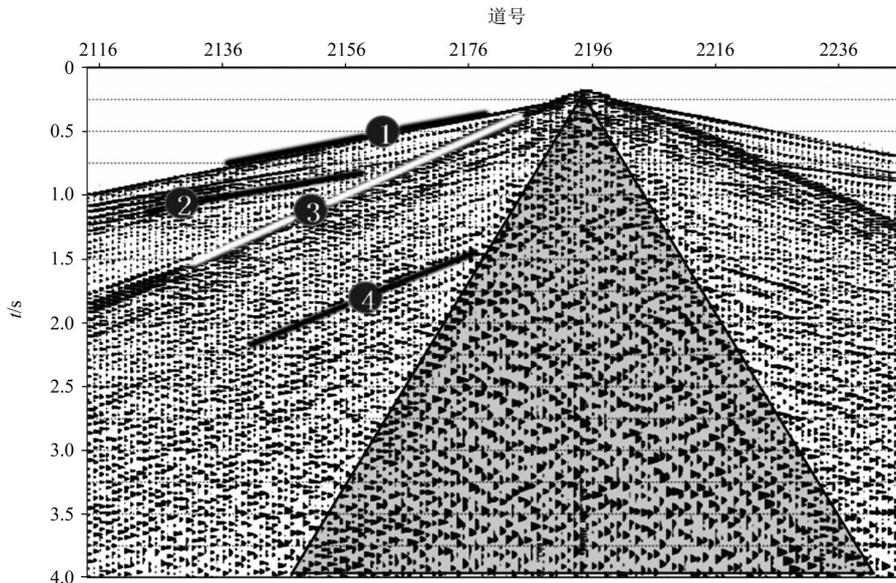


图2 线性干扰波场分析

2 原理

2.1 $f-k$ 去噪方法存在的问题

在黄土地震资料处理中,去除线性干扰常用的方法是 $f-k$ 倾角滤波法,其思路是依据 $t-x$ 域相干线性同相轴倾角差异,在频率波数 $f-k$ 域将它们分

开,通过 $f-k$ 滤波从资料中去除那些干扰能量^[10]。但在实际地震资料处理中存在一些弊端,比如傅氏变换的常规应用会产生折叠噪声、空间假频,这些都会造成 $f-k$ 域倾角滤波的效果不理想;同时, $f-k$ 倾角滤波在叠加剖面上会产生混波,在炮集上会出现挂“面条带”现象等(图3)。

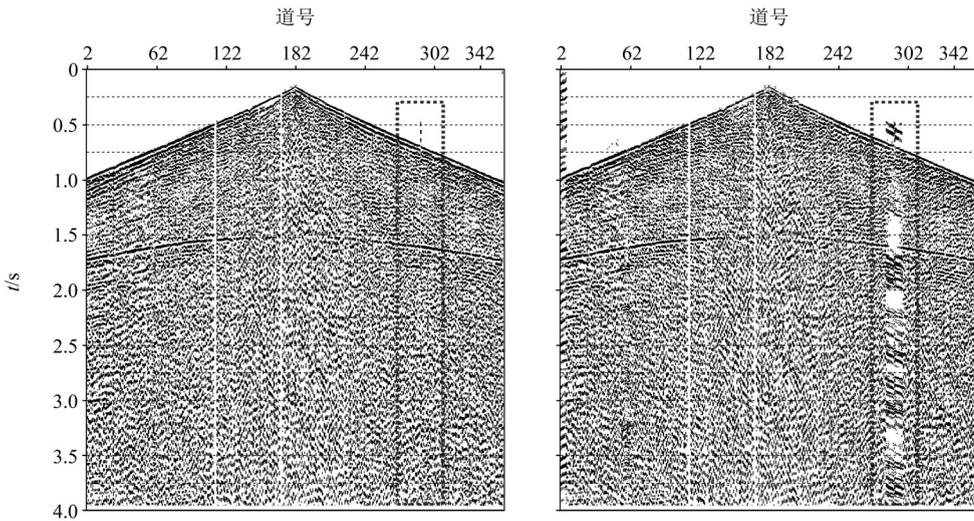


图3 原始道集(左)与 $f-k$ 倾角滤波(右)产生的挂“面条带”现象

2.2 加减法的基本原理

依据线性干扰产生机理和惠更斯原理,线性干扰具有很强的相干性。加减法主要是利用它的这一特点,通过在地震道集上作互相关分析,提取地震资料中相干性好的信号道,将此信号道从原始资料中作加减,得到无损有效反射、相对保幅的信息,使信噪比大幅度提高^[18]。该方法是分两步实现的,具体过程如下。

(1)在原始炮记录上,给定道宽和时窗长度,沿着倾角范围,依次计算时窗内所有道的平均互相关,拾取相干值高于门限值的波形,作为输出“子波”,计算互相关的公式为

$$\gamma_{xy}(\tau) = \sum_{i \neq j}^M \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_{i,n+\tau} y_{j,n}, \quad (1)$$

式中: $\gamma_{xy}(\tau)$ 为互相关值, τ 为延迟时, M 为道宽, N 为时窗样点数, x, y 为两个地震信号道, i, j 分别是地震信号道 x, y 的采样点。垂向移动时窗,依次计算

窗口内所有道、所有样点的相关值,提取相关值大的信号,得到整个输入道的相干信号分量。

(2)从原始数据中减去提取的相干信号,计算公式为

$$f_{out}(x, t) = (1 - |w_l|) \times A_{in}(x, t) + w_l \times B_{ext}(x, t), \quad (2)$$

式中: $A_{in}(x, t)$ 为输入原始地震信号道, $B_{ext}(x, t)$ 为提取的相干信号道, $f_{out}(x, t)$ 为输出的地震信号, w_l 为权重系数。

假如原始地震信号由线性干扰和剩余信号组成,依据式(2)进行计算,得到输出地震信号中包含线性干扰和剩余信号的比例随权重系数的变化(图4)。由图4可以看出:当 $w_l=0$ 时,输出地震信号包含了所有的线性噪声和所有的剩余信号,即输出地震信号就是原始地震信号;当 $w_l=-0.5$ 时,输出地震信号仅含有 50% 的剩余信号,不包含线性干扰能量,相干线性噪声去除的效果最好,此时为最佳参数。

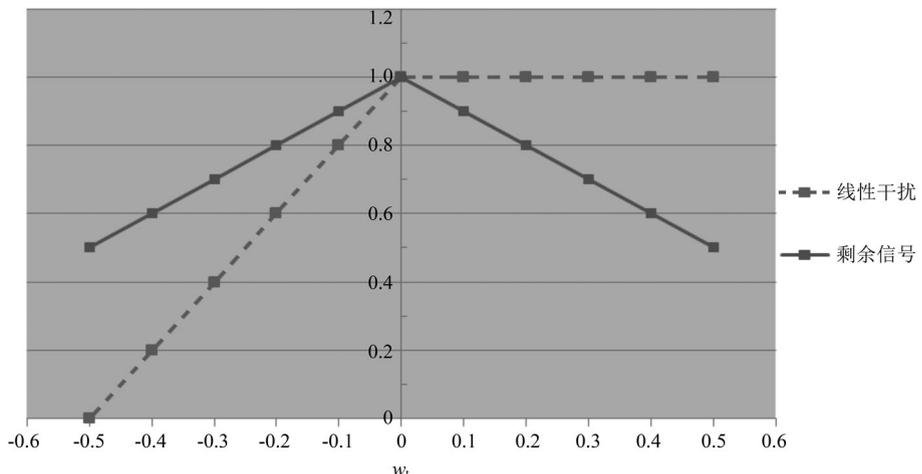


图4 输出地震信号的比例随权重系数的变化

3 应用实例

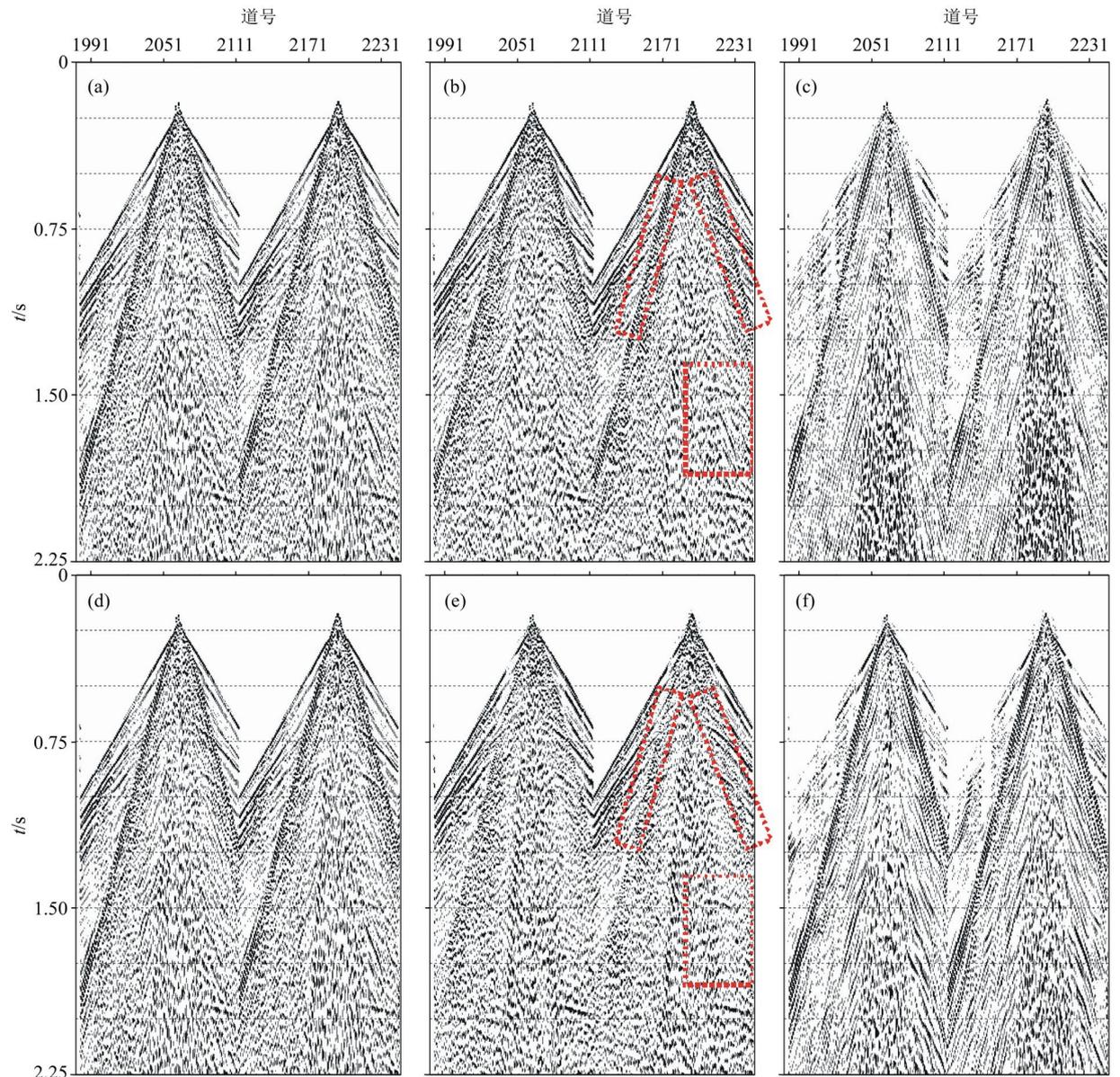
在地震资料处理中,加减法在叠前去噪中得到了广泛应用。以鄂南某黄土塬工区的地震资料处理为例,分析加减法和常规 $f-k$ 倾角滤波压制线性干扰的有效性。

图 5 为加减法和 $f-k$ 方法压制线性干扰波效果对比。从输出道集看,两种方法都提高了道集的信噪比,而加减法比 $f-k$ 倾角滤波去除的线性噪声更干净、更彻底,潜水面折射和多次折射得到了更好地衰减,突出了有效反射。图 6 给出了两种方法对塬、坡、沟炮记录道集的处理效果对比。这是在塬、坡、

沟地表条件下单炮的一个排列,从横向上看,加减法对信噪比的改善更加明显;纵向上,加减法对塬、坡、沟资料信噪比的改善程度依次增强。

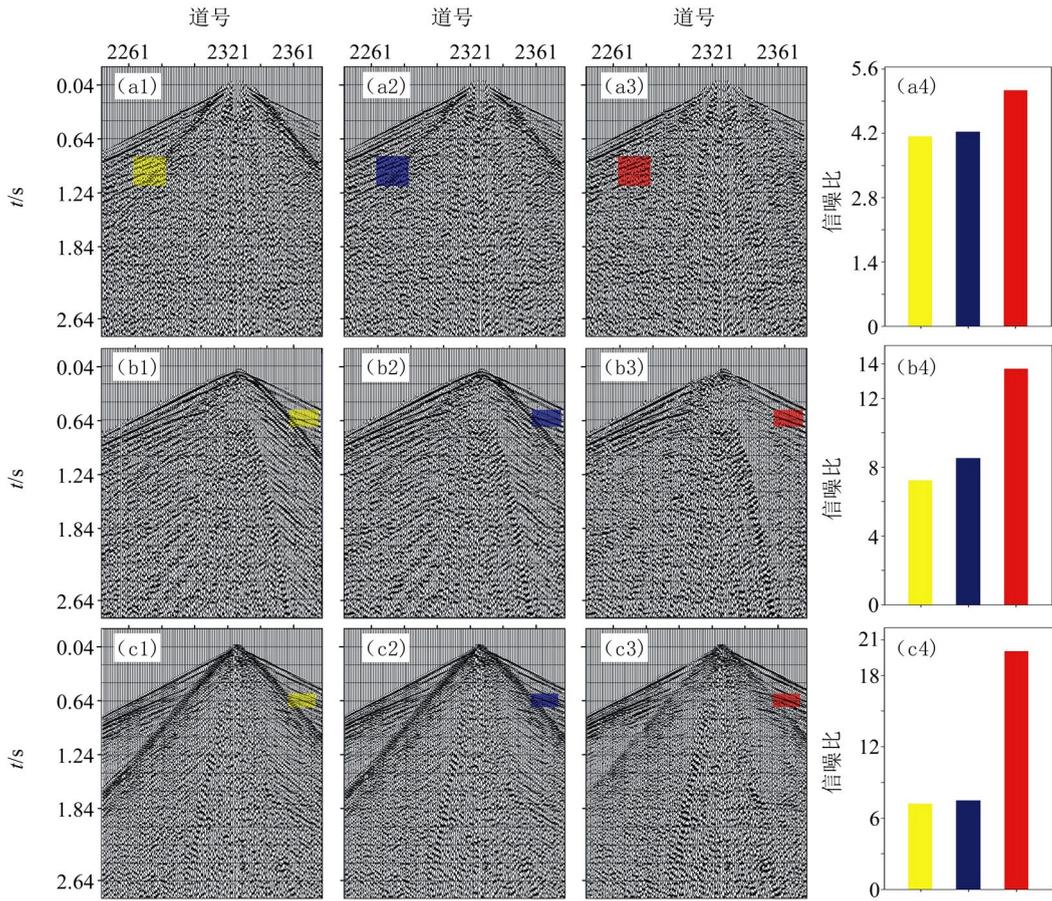
图 7 是两种方法的去噪效果频谱分析。由图 7 的频谱图看出,黑色圈表示线性干扰在 $f-k$ 谱的呈现,原始道集的线性干扰十分严重, $f-k$ 倾角滤波后的道集残留部分线性干扰,而加减法对线性干扰的去除效果更佳,几乎无残留。

由叠加剖面(图 8)可以看出。采用 $f-k$ 滤波方法去噪后,叠加剖面还残存有比较强的线性干扰影子和假频;采用加减法压制线性干扰的叠加剖面效果有了明显的改善,有效反射波组连续性变好。



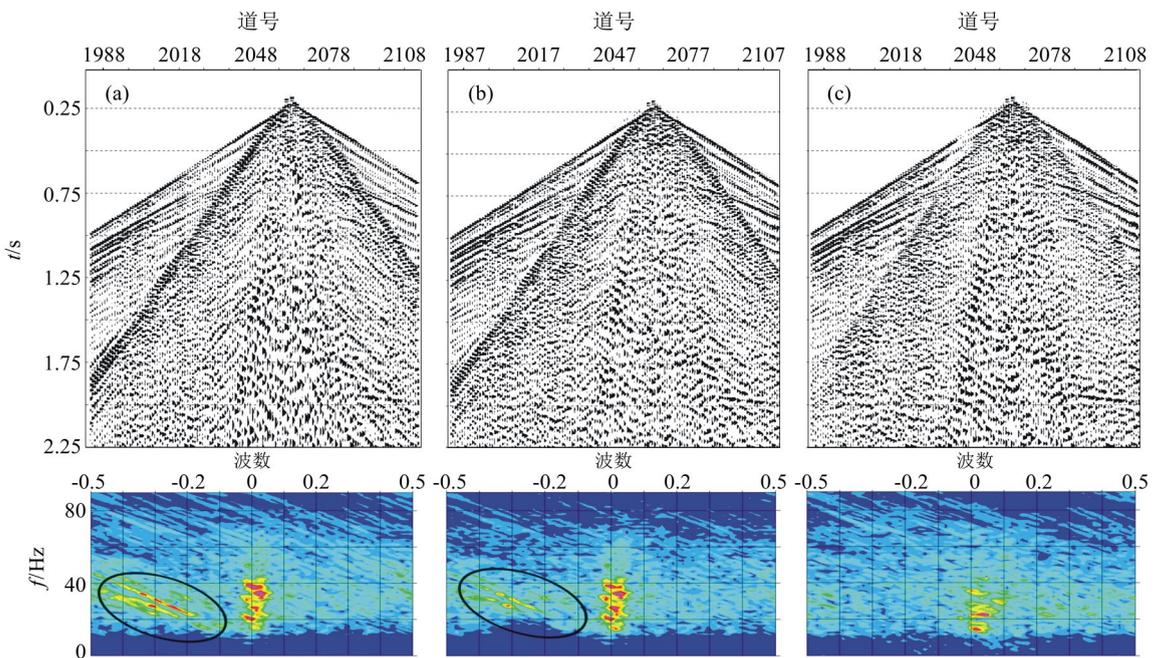
a—原始道集;b— $f-k$ 倾角滤波的输出道集;c—去除的线性噪声;d—原始道集;e—加减法的输出道集;f—去除的线性噪声

图 5 加减法和 $f-k$ 方法压制线性干扰波效果对比分析



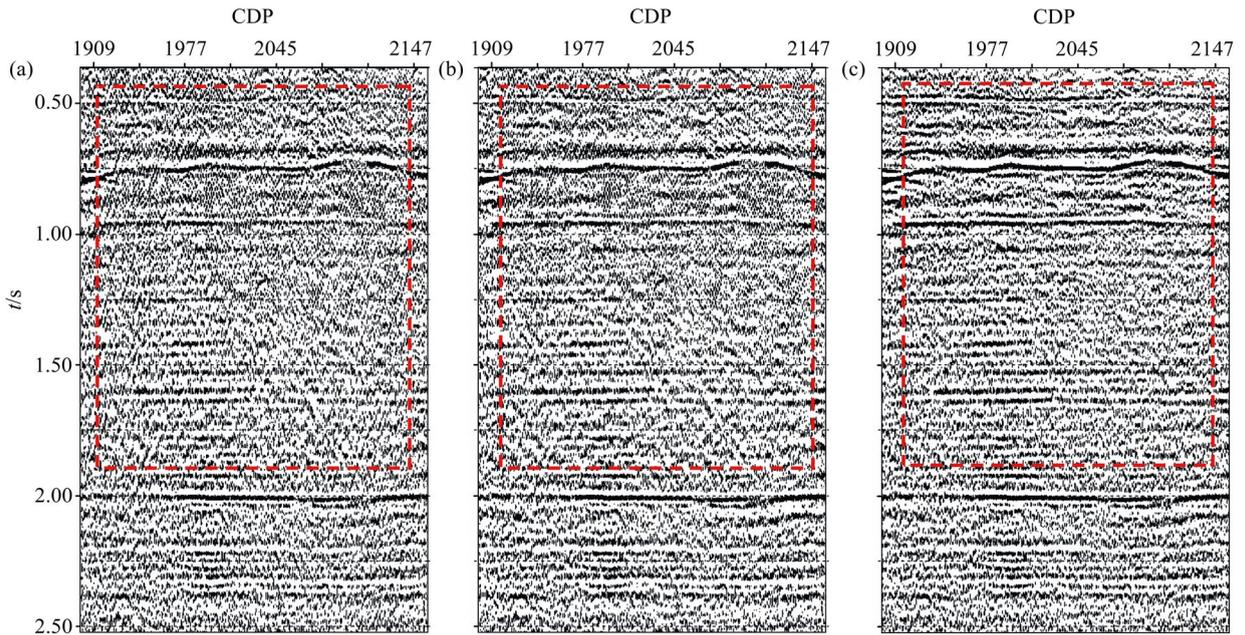
a1—原地形下的原始道集;a2—a1 数据进行 $f-k$ 倾角滤波后的道集;a3—a1 数据进行加减法滤波后的道集;a4—a1、a2、a3 道集分别对应的信噪比;b1—坡地形下的原始道集;b2—b1 数据进行 $f-k$ 倾角滤波后的道集;b3—b1 数据进行加减法滤波后的道集;b4—b1、b2、b3 道集分别对应的信噪比;c1—沟地形下的原始道集;c2—c1 数据进行 $f-k$ 倾角滤波后的道集;c3—c1 数据进行加减法滤波后的道集;c4—c1、c2、c3 道集分别对应的信噪比

图 6 $f-k$ 倾角滤波及加减法对原、坡、沟道集数据的处理效果对比



a—原始道集及对应的 $f-k$ 频谱;b— $f-k$ 倾角滤波后的道集及对应的 $f-k$ 频谱;c—加减法去噪后的道集及对应的 $f-k$ 频谱

图 7 加减法和 $f-k$ 方法去噪效果频谱分析对比



a—原始叠加剖面;b— $f-k$ 倾角滤波后的叠加剖面;c—加减法去噪后的叠加剖面

图 8 加减法和 $f-k$ 方法去噪后的叠加剖面对比

4 结论

(1) 对比两种方法的叠前道集、道集信噪比、 $f-k$ 谱和叠加剖面可知,加减法对黄土塬线性干扰的去噪效果明显优于 $f-k$ 倾角滤波法。

(2) 由信噪比的改善效果分析可知,加减法对鄂南工区沟底的数据提升效果最明显,其次是半坡的地震数据对塬上资料的改善程度最弱,加减法的去噪效果改善程度与原始资料的信噪比高低有关。

(3) 由叠加剖面分析可知,加减法对黄土塬资料 2 s 以上的记录改善最明显,深层资料效果不明显,这个结论与线性干扰在地震记录上的发育区有关。

(4) 依据加减法的去噪原理,去除了具有较强相干性的线性干扰,得到没有损害有效反射的地震资料,改善了地震资料的处理质量,保证了地震资料的叠加效果,做到了相对保真、保幅,满足地震资料的处理和解释要求。

致谢:衷心感谢金东民、陈振忠等各位老师的指导和帮助,一并致谢提供宝贵资料和意见的同事们。

参考文献:

[1] 詹毅,赵波.自动追踪 SVD 压制线性干扰方法的改进[J].石油地球物理勘探,2008,43(2):158-160.
 [2] 甘其刚,彭大钧.叠前时空域线性干扰的衰减及应用[J].石油物探,2004,43(2):123-125.

[3] 齐莉.用均衡干扰能量法压制线性干扰[J].石油地球物理勘探,1995,30(5):711-716.
 [4] 曾波,赵旭.噪音减去法压制线性干扰[J].油气地球物理,2010,8(3):12-15.
 [5] 孙明,林君. $\tau-p$ 变换去除金属矿地震资料中的线性干扰[J].物探与化探,2001,25(6):432-436.
 [6] 张雅纯,唐文榜. $\tau-p$ 变换压制线性干扰的应用[J].石油物探,1994,33(2):102-106.
 [7] 苑益军,徐林.叠前线性干扰自动追踪 SVD 压制方法[J].现代地质,2007,21(4):733-737.
 [8] 武克奋.双向预测法压制线性干扰波和多次波[J].石油物探,2005,44(5):458-460.
 [9] 徐照营,徐梦婕,谭勇.陆上地震低频线性干扰形成机制及采集压制方法[J].工程地球物理学报,2012,9(6):659-665.
 [10] 涅.伊尔马兹.地震资料分析——地震资料处理、反演和解释(上册)[M].北京:石油工业出版社,2006.
 [11] 何樵登.地震勘探原理和方法[M].北京:地质出版社,1986.
 [12] 何樵登.地震波理论[M].北京:地质出版社,1988.
 [13] 陈立胜.鄂尔多斯盆地地震资料线性噪声衰减技术[D].西安:西安石油大学,2007.
 [14] 王有新.应用地震数据处理方法[M].北京:石油工业出版社,2009.
 [15] 李庆忠.走向精确勘探的道路[M].北京:石油工业出版社,1993.
 [16] 许胜利,林正良,费永涛,等.地震叠前线性干扰自动拾贝和压制技术[J].油气地质与采收率,2005,12(2):36-42.
 [17] 胡天跃.地震资料叠前去噪技术的现状与未来[J].地球物理学进展,2002,17(2):219.
 [18] Paradigm 地球物理公司.Echos 处理手册[内部资料].Paradigm 地球物理公司,2011.

The addition-subtraction method for removing linear noise: A case study of the seismic data in Ordos loess plateau

YANG Cheng-Zeng¹, FENG Yong-Qiang¹, TONG Qing-Jia², WANG Xiang-Chun³

(1. Exploration and Development Research Institute, North China Branch of SINOPEC, Zhengzhou 450006, China; 2. Research Institute of BGP, Xi'an 710021, China; 3. Key Laboratory of Geo-detection, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Because of the topography characteristics and the complicated surface seismic geological conditions of the exploration area in Ordos Loess Plateau, the seismic data acquired have strong multiple sets of linear noise. The elimination of the linear noise and the improvement of SNR of seismic signal is one of the key problems in seismic data processing. In this paper, the authors conducted a comprehensive analysis and study of all types of linear noise as well as the multiple sets of surface waves. Based on the linear noise's linear characteristics, dip features and coherence properties, the authors used the addition-subtraction method to remove the linear noise. A comparative analysis shows that this means is a high-fidelity method that has a strong capability for suppressing linear noise and improving the quality of data processing, thus showing a significant effect.

Key words: loess plateau; linear noise; $f-k$ dip filter; addition-subtraction method

作者简介: 杨城增(1986-),男,工程师,从事地震资料处理的生产和研究工作。