

# 几种叠前去噪方法

罗省贤\* 李录明

(成都理工学院)

## 摘 要

罗省贤,李录明. 几种叠前去噪方法. 石油地球物理勘探, 1997, 32(3): 411~417

叠前去噪是提高地震资料信噪比的重要步骤。由于各种规则干扰或随机噪声具有不同的特性, 所以必须采用不同的去噪方法。本文综合利用  $f-x$  域最小平方拟合法、波场延拓法、分频定向滤波法及 CT 变换等叠前去噪方法, 有效地消除了折射波、直达波、面波和声波等随机干扰及规则干扰, 并在实际应用中取得了很好的去噪效果。

**主题词** 叠前去噪 信噪比  $f-x$  域 波场延拓 分频 CT 变换

## ABSTRACT

Luo Xingxian and Li Luming. Some methods for prestack noise elimination. OGP, 1997, 32(3): 411~417

Prestack noise elimination is an important step for raising the signal/noise ratio of seismic data. Different noise elimination methods must be taken because various regular and random noises show their distinct properties. The reasonable use of prestack noise elimination methods such as least square fitting in  $f-x$  domain, wave field continuation, frequency-division directional filtering and CT transform can nicely remove random and regular noises including refraction wave, direct wave, surface wave, acoustic wave and so on. Satisfactory effect has been received in practical application.

**Subject heading:** prestack noise elimination, signal/noise ratio,  $f-x$  domain, wave field continuation, frequency division, CT transform

## 引 言

高信噪比、高分辨率是地震资料处理长期追求的目标,但高分辨率处理也需要以高信噪比为基础。因此,如何提高信噪比是人们十分关注的问题。而叠前去噪又是提高地震资料信噪比更为关键的步骤。在实际地震资料中,各种噪声具有各自的特点,不能期望某一种去噪方法可以理想地消除所有的噪声。因此本文综合利用下面一套叠前去噪方法:在叠前采用  $f-x$  域最小

\* Luo Xingxian, Department of Computer Engineering, Chengdu College of Science and Engineering, Chengdu City, Sichuan Province, 610059

本文于 1996 年 9 月 23 日收到,修改稿于同年 12 月 10 日收到。

平方拟合法消除随机噪声;采用波场延拓法进行波场分解,消除折射波、直达波等规则干扰;采用分频定向滤波法消除面波、声波干扰;采用CT变换法改善信噪比很低的记录质量。

### 叠前 $f$ - $x$ 域去噪

可以证明,在空间采样间隔足够小、且随机噪声数学期望为零的条件下,地震资料的  $f$ - $x$  域最小平方拟合逼近有效信号,而与噪声无关<sup>[1]</sup>。实际地震资料通常符合上述的条件。因而用  $f$ - $x$  域最小平方拟合法可以获得较好的去噪效果,但对弯曲的同相轴有损害。为此,本文提出了一种改进方法,可使该法应用于叠前去噪。

#### 基本方法

首先对炮点记录进行速度分析,得到正常时差校正速度  $v(t)$ ,再用  $v(t)$  对炮点记录进行动校正。然后,对校正后炮点记录进行  $f$ - $x$  域最小平方拟合。

设  $S_\omega(x_k)$  为地震道  $S_t(x_k)$  的一维傅氏变换。其中,  $k(k=0,1,2,\dots,m)$  为道序号,  $m$  为最大拟合道数。用  $n$  次多项式

$$\bar{S}_\omega(x_k) = \sum_{l=0}^n a_l x_k^l \quad (1)$$

对实际地震道  $S_\omega(x_k)$  进行最小平方拟合,可归结为解方程组

$$\sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^n a_l x_k^{l+j} = \sum_{k=0}^m S_\omega(x_k) x_k^j \quad (j=0,1,\dots,n) \quad (2)$$

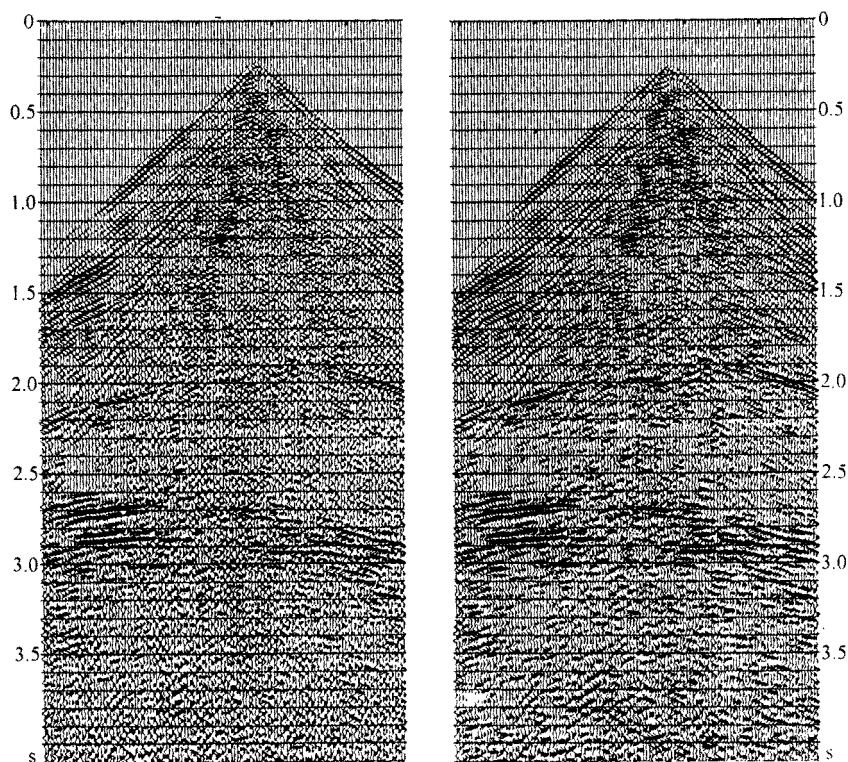


图1  $f$ - $x$  域去噪前(左)、后(右)的炮集记录

按  $S_w(x_k)$  的实部  $S_w^R(x_k)$  和虚部  $S_w^I(x_k)$  将方程组(2)分解为

$$\sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^n a_l^R x_k^{l+j} = \sum_{k=0}^m S_w^R(x_k) x_k^j \quad (3)$$

$$\sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^n a_l^I x_k^{l+j} = \sum_{k=0}^m S_w^I(x_k) x_k^j \quad (4)$$

解方程组(3)和(4),分别求得  $n$  次多项式拟合系数  $a_l^R$  和  $a_l^I$ ,由式(1)可得

$$\bar{S}_w(x_k) = \bar{S}_w^R(x_k) + i\bar{S}_w^I(x_k) = \sum_{l=0}^n a_l^R x_k^l + i \sum_{l=0}^n a_l^I x_k^l \quad (5)$$

再对  $\bar{S}_w(x_k)$  进行一维反傅氏变换,并用速度  $v(t)$  对去噪记录道进行反校正,可获得最终的去噪炮点记录。

### 效果

图1给出了  $f$ - $x$  域去噪前和去噪后的炮集记录,从图中可见,去噪后的记录信噪比有明显提高。

## 波场延拓法去噪

一般说来,直达波、折射波等线性规则干扰的能量较强。以往消除这些规则干扰波,通常采用线性切除的方法。但是,当它们与浅层反射波叠加在一起时,用线性切除的方法会损害浅层有效反射波。

为此,本文根据有效信号与线性规则干扰之间的时间差和速度差异,采用波场延拓法对有效信号与干扰进行波场分离,可在完整保存有效信号的同时消除噪声。

### 基本方法

根据频率波数域单平方根方程式

$$\frac{dR}{dz} = \frac{i\omega}{v_p(z)} \left[ 1 - \left( \frac{v_p(z)K_x}{\omega} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} R$$

采用相移法波场延拓公式

$$R(K_x, \Delta z, \omega) = R(K_x, 0, \omega) e^{iK_x \Delta z}$$

将炮集记录  $R(x, t)$  向下延拓。延拓速度  $v_p$  取线性干扰波的视速度,延拓步长  $\Delta z$  取浅层第一层界面的深度,据此完成一步延拓。由于线性规则干扰波与有效波存在时间差和速度差异,在延拓得到的波场中,线性干扰与有效波分离开,且位于时间轴的负区间内,而有效信号则位于时间轴正区间内。然后再按下式

$$R(K_x, 0, \omega) = R(K_x, \Delta z, \omega) e^{-iK_x \Delta z}$$

将时间轴正区间的波场反向延拓,即得到消除了线性规则干扰的炮集记录。

### 效果

图2和图3是波场延拓法去噪前(左)、后(右)的炮集记录。由图可见,经去噪后的记录信噪比均有很大提高,而且完全消除了折射波和直达波的干扰(图3右),浅层信号保留完好。另外,图2(右)和图1(右)相比,图2(右)上左侧的斜带规则干扰波被消除了,这说明波场延拓法在消除规则干扰波方面优于  $f$ - $x$  域去噪方法。



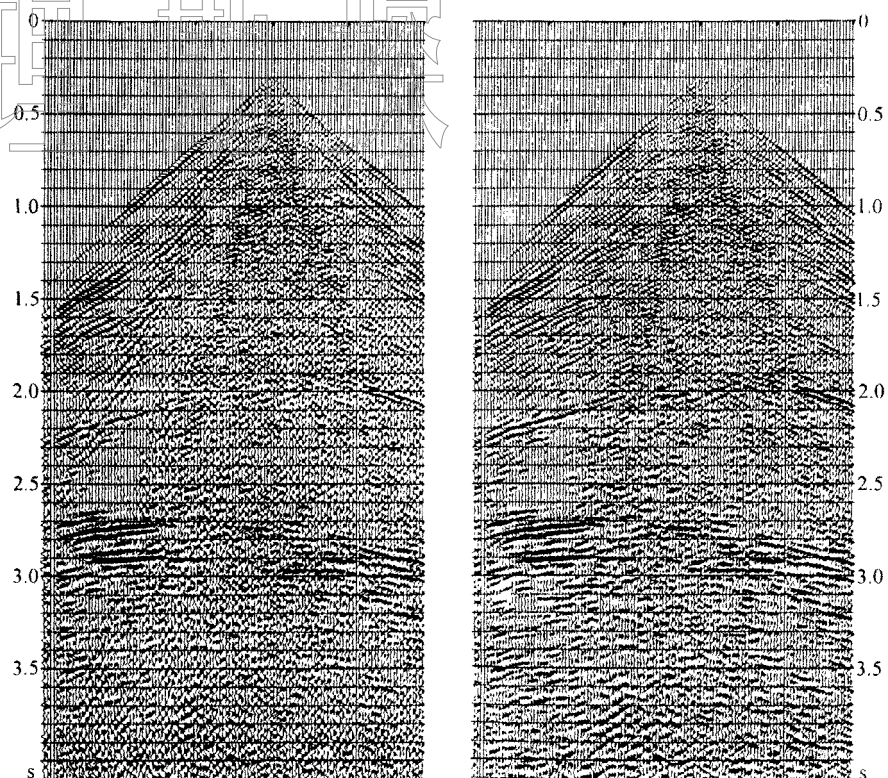


图 2 波场延拓法去噪前(左)、后(右)的炮集记录之一

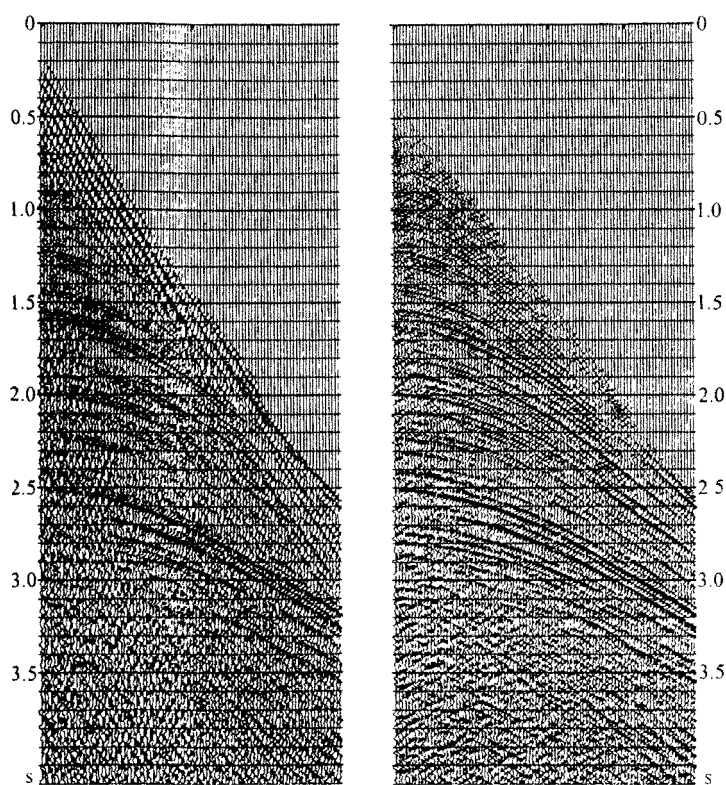


图 3 波场延拓法去噪前(左)、后(右)的炮集记录之二

## 分频定向滤波去噪

根据小波变换理论,对地震记录  $f(t)$  可用下式进行小波变换,即

$$F_g(b, s) = \frac{1}{s} \int_{-\infty}^{+\infty} g\left(\frac{b-t}{s}\right) f(t) dt \quad (6)$$

式中:  $s$  为尺度因子;  $b$  为位置参数;  $g$  为小波函数。然后,用下式进行信号重构,即

$$f(t) = \frac{1}{K_g} \int_{-\infty}^{+\infty} F_g(b-s) ds \quad (7)$$

式中,  $K_g = \frac{\sqrt{2\pi}}{\ln 2} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\hat{g}(\omega)}{\omega} d\omega$ , 而  $\hat{g}(\omega)$  是小波函数  $g(t)$  的傅氏变换。

由小波变换公式可知,采用不同的尺度因子  $s$  对地震信号进行小波变换,可将信号分解为相应的频带,从而实现对地震记录进行分频处理。

### 基本方法

根据小波变换原理,对地震信号可按不同频带进行分解。由于地震记录中的面波、声波等规则干扰的频带及存在位置均有明显特征,因此可根据其速度和时距曲线,在规则干扰频带范围内找到干扰出现的时间区段,进行分频定向滤波,清除干扰成分。然后,再按式(7)重构地震信号,便得到消除规则干扰后的地震信号。

### 效果

图 4 是分频定向滤波去噪前(左,含有面波干扰)、后(右)的理论炮集记录。由图可见,经去噪处理后消除了面波,有效反射波未受到损害。

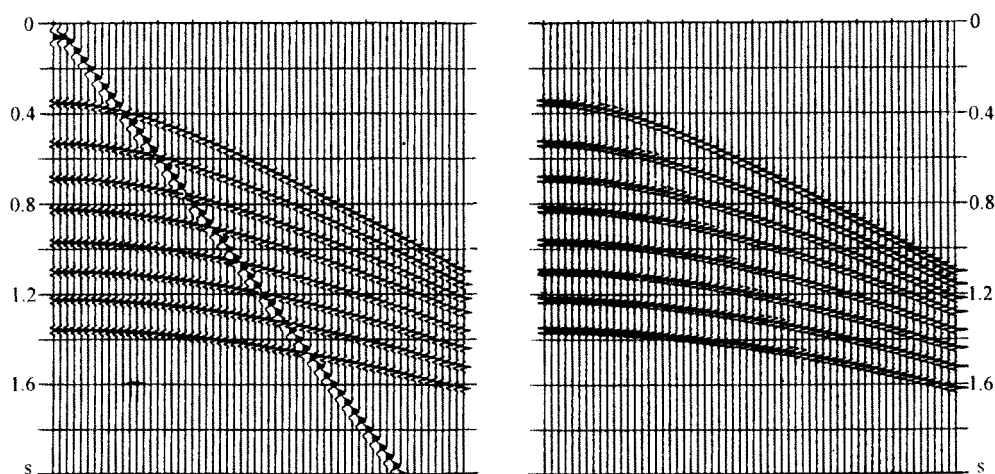


图 4 分频定向滤波去噪前(左)、后(右)的理论炮集记录

## CT 变换法去噪

CT 变换是一种投影变换,可将  $(x, t)$  域的记录变换到  $(\gamma, t)$  域,即慢度—时间域。在  $(\gamma, t)$  域可对不同类型和不同方向的波进行区分及处理,然后再反变换到  $(x, t)$  域,从而达到压制干

扰的目的。对于信噪比很低的记录,这种方法是一种有力的去噪手段。

### 基本方法

对炮集记录先进行速度分析,然后作动校正,再用下式进行 CT 正变换,即

$$F(\gamma, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, t + \gamma x) dx$$

式中,  $f(x)$  为记录道。

在  $(\gamma, t)$  域内保留以  $\gamma=0$  为中心的小  $\gamma$  值带内的有效信号,衰减或消除高  $\gamma$  值带的干扰信号,再作 CT 反变换,将  $(\gamma, t)$  域变换到  $(x, t)$  域,即

$$f(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F'(\gamma, t - \gamma x) d\gamma$$

式中

$$F'(\gamma, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(\gamma, t) K(t - \tau) d\tau$$

$$K(g\Delta t) = \begin{cases} \frac{1}{4\Delta t^2} & g = 0 \\ 0 & g \text{ 为偶数} \\ \frac{1}{\pi^2 g^2 \Delta t^2} & g \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (\Delta t \text{ 为采样率})$$

最后对  $f(x, t)$  进行反动校正,便得到去噪后的炮集记录。

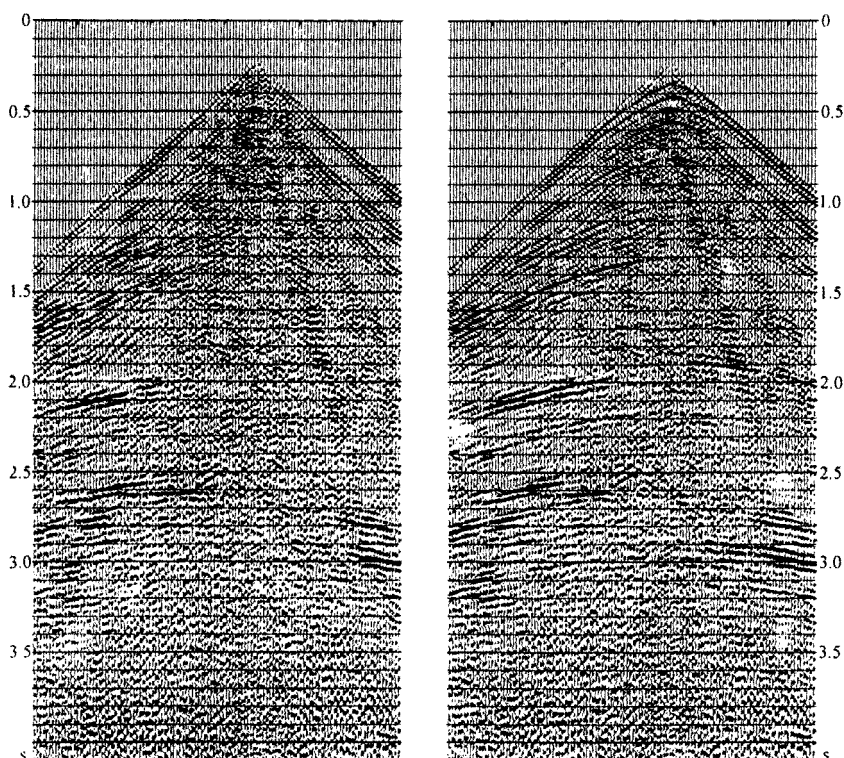


图5 CT 变换去噪前(左)、后(右)的 P 波炮集记录



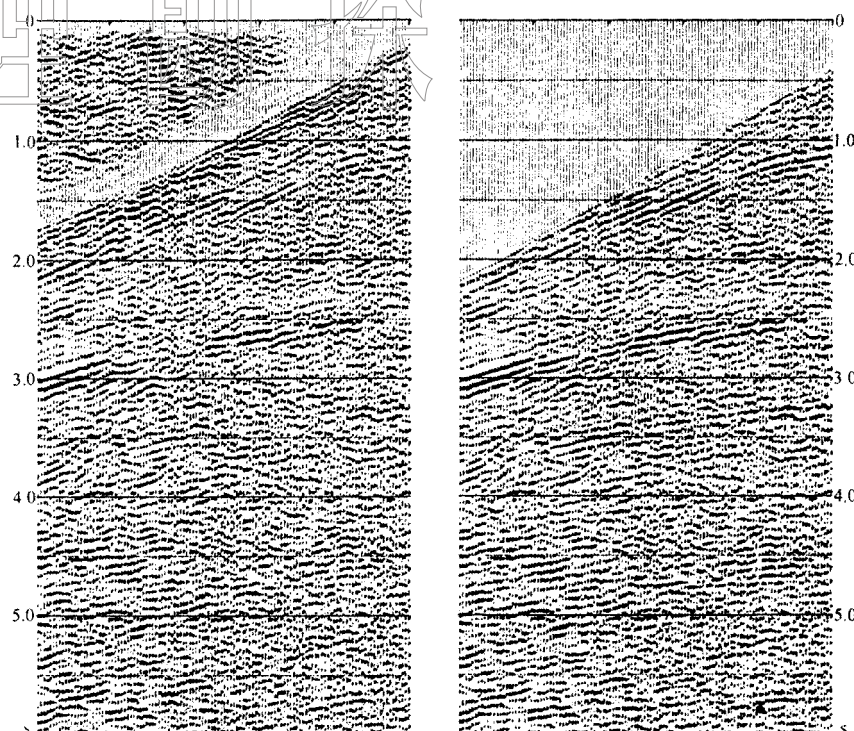


图 6 CT 变换去噪前(左)、后(右)的 P-SV 波炮集记录

### 效果

图 5 为 CT 变换去噪前(左)、后(右)的 P 波炮集记录,图 6 为 CT 变换去噪前(左)、后(右)的 P-SV 波炮集记录。从图中可见,经 CT 变换去噪后信噪比有明显提高,尤其是图 5(左)中 1.3、1.9、2.2s 等处隐约、模糊的同相轴,经去噪处理后清晰可辨。此外,CT 变换还可削弱或消除一种波型记录中含有的另一种波型分量,以实现不同波型分量的分离。

## 结 束 语

不同的去噪方法有不同的针对性,必然也有一定的局限性。一般小波变换分频去噪及波场延拓去噪法消除规则干扰效果较好; $f-x$  域去噪法主要用于消除随机噪声;而 CT 变换方法则对规则干扰或随机噪声有一定的压制作用,尤其是在处理低信噪比资料时,该方法更显示出其优势。但从保真度考虑,CT 变换法次于其它三种方法,延拓法保真度最高。因此在实际应用中,要根据噪声特点恰当地选用不同的去噪方法。

### 参 考 文 献

- 1 张山.  $f-x$  域内提高地震资料的信噪比. 石油地球物理勘探, 1992, 27(5): 648~654
- 2 罗省贤, 贺振华. 转换 P-SV 波叠前偏移. 石油地球物理勘探, 1991, 26(1): 465~472
- 3 朱光明等. 小波变换及其在一维滤波中的应用. 石油物探, 1993, 32(1): 1~10
- 4 焦俊如. 地震数据处理中的 CT 积分变换理论和实践. 石油地球物理勘探, 1990, 25(1): 10~20