

基于预测反褶积的海底鸣震压制方法

朱伟强^{1,2}, 王彦春¹, 莫延刚², 牟凤鸣²

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 中国石化胜利石油管理局物探公司, 山东东营 257100)

摘要:多次波问题是海洋地震勘探中最突出的问题之一, 多次波的存在影响地震成像的真实性和可靠性, 干扰地震资料的解释。尤其在海底起伏不平时的鸣震干扰, 至今还没有很有效的办法。研究提出的两步法预测反褶积压制海底鸣震方法, 就是利用基于精细海底调查的结果获得预测步长或由直达波、折射波反演求取预测步长, 在共炮点域和共检波点域分别应用预测反褶积来压制海底鸣震。该技术在理论和实际记录上均有很好的效果。

关键词:地震勘探; 预测反褶积; 海底鸣震

中图分类号: P631.425+46 **文献标识码:** A

目前, 滩浅海地区已成为我国热点勘探地区之一^[1]。浅海混响一般指海洋地震勘探的水层多次反射等混在一起的振荡, 包括水层多次波、次生干扰、海底鸣震等引起的交互干扰。由于浅海地区地表条件特殊, 地表条件的快速变化也使混响波的类型及产生机制变得异常复杂。海底鸣震的响应可以分为 3 类: ①为在震源附近震荡再向下传播; ②为在检波点附近震荡再被接收; ③为在海平面与海底之间震荡传播。最后一类由于在道集中与有效波视速度有明显差异, 多次覆盖技术可以对其进行有效的压制。对处理效果影响最大的是前 2 类, 特别是在起伏海底的情况下, 至今还没有很有效的办法^[2]。

用于压制多次波的方法可被分为 2 大类^[3,4]: 一类是基于有效波和多次波之间差异的滤波方法; 另一类是基于波动方程的预测减去法, 通过波动方程模拟波场或反演地震数据来预测多次波, 然后把它从原始地震数据中减去。

1 方法原理

在地震资料数字处理的预测反滤波问题中, 设计一个预测因子 $c(t)$, 对输入的地震记录 $x(t)$ 的过去值 $x(t-m)$, $x(t-m-1)$, \dots , $x(t-1)$ 和现在值 $x(t)$ 进行预测, 所得到的未来的预测值是海上鸣震等多次波干扰, 把它从包括一次反射和干扰的地震记录 $x(t+a)$ 中减去, 所得到的预测误差就是消除干扰后的一次反射信号。

设地震记录的数学模型为

$$x(t) = \zeta(t) * b(t) = \sum_{s=0}^{\infty} b(s) \zeta(t-s) \quad (1)$$

其中, 地震子波 $b(t)$ 满足最小相位条件, 反射系数 $\zeta(t)$ 是白噪声。

根据(1)式可以写出 $t+a$ 时的 $x(t+a)$ 表达式

$$x(t+a) = \sum_{s=0}^{a-1} b(s) \zeta(t+a-s) + \sum_{s=0}^{\infty} b(a+s') \zeta(t-s') \quad (2)$$

在(2)式中, 要计算等式右边第 1 项, 需要利用 $\zeta(t)$, $\zeta(t+a)$, \dots , 等 t 时刻以后未来的信息。在时刻 t , 这些值是未知的。因此, 用 t 时刻已有的信息不能估计出这一项的值。而(2)式等式右边

收稿日期: 2011-09-08

作者简介: 朱伟强(1966—), 男, 博士后, 高级工程师, 主要从事地震资料处理与方法研究工作。E-mail: zwqwx@sohu.com

第 2 项可以用 t 时刻及以前的信息估算出来。这个估算值为

$$\begin{aligned} \hat{x}(t+a) &= \sum_{l=0}^{\infty} \left(\sum_{s=0}^{\infty} b(s+a)a(l-s) \right) x(t-l) \\ &= \sum_{l=0}^{\infty} c(l)x(t-l) \end{aligned} \quad (3)$$

在确定预测因子 $c(l)$ 时,按照最小平方原理,使未来的预测值与实际的未来值 $x(t+a)$ 之间的预测误差平方和

$$\begin{aligned} Q &= \sum_{t=0}^{\infty} [x(t+a) - \hat{x}(t+a)]^2 \\ &= \sum_{t=0}^T \left[x(t+a) - \sum_{l=0}^T c(l)x(t-l) \right]^2 \end{aligned} \quad (4)$$

为最小,得到

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial c(s)} &= \\ -2 \sum_{t=0}^T \left[x(t+a) - \sum_{l=0}^m c(l)x(t-l) \right] x(t-s) \end{aligned} \quad (5)$$

(5) 式可以写成一个方程组

$$\sum_{l=0}^{\infty} r_{xx}(l-s)c(l) = r_{xx}(s+a) \quad (6)$$

把上述方程写成矩阵形式,得到

$$\begin{pmatrix} r_{xx}(0) & r_{xx}(1) & \cdots & r_{xx}(m) \\ r_{xx}(1) & r_{xx}(0) & \cdots & r_{xx}(m-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{xx}(m) & r_{xx}(m-1) & \cdots & r_{xx}(0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c(0) \\ c(1) \\ \vdots \\ c(m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{xx}(a) \\ r_{xx}(a+1) \\ \vdots \\ r_{xx}(a+m) \end{pmatrix} \quad (7)$$

由输入地震记录 $x(t)$ 求出自相关函数,解矩阵方程(8),既可求出预测因子 $c(l)$,然后用预测因子 $c(l)$ 与输入地震记录 $x(t)$ 进行褶积运算,得到未来 $t+a$ 时的预测值

$$\hat{x}(t+a) = \sum_{l=0}^m c(l)x(t-l) \quad (8)$$

这就是海上鸣震多次波干扰。

把未来的预测值从实际未来值中减去,得到预测误差

$$S(t+a) = x(t+a) - \hat{x}(t+a) \quad (9)$$

就得到了消除海上鸣震等多次波干扰的地震记录。

2 模型实验

我们选取一倾斜海底,假设海水速度为 1 000 m/s,密度为 1 000 kg/m³,海底速度为 1 500 m/s,密度为 2 000 kg/m³,炮点选在离海岸线 500 m 附近,垂直海岸线每隔 25 m 设一检波点,其示意图如图 1。

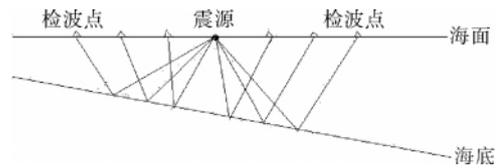


图 1 实验模型示意图

Fig. 1 The schematic diagram of the experiment model

图 2a 为图 1 实验模型所得到的模拟单炮记录,从图中可看出,存在明显的海底鸣震干扰(如箭头所示);图 2b 为图 2a 模拟单炮记录经常规预测反褶积后的记录,从图中可看出,多次波得到了一定的压制;图 2c 为图 2a 模拟单炮记录两步法预测反褶积后的记录,从图中可看出,海平面和海底之间震荡传播鸣震得到较好的压制。

图 3 为多次波压制前后叠加道对比图。从图中可以看出,经两步法预测反褶积后,多次波能量(约 600 ms 处)得到较好的压制,其效果明显好于常规预测反褶积。

3 实际数据处理

我们的实验工区内海水深度为 2~13 m,海底为岩石、沙子等,鸣震影响非常明显。图 4a 为原始单炮记录,从图中可以看出:单炮压制前,在 250~600 ms 时间段存在严重的鸣震干扰;常规预测反褶积后,鸣震干扰得到了一定的压制,如图 4b 所示;经过两步法预测反褶积后,子波压缩较好,鸣震得到了有效的压制,如图 4c 所示。

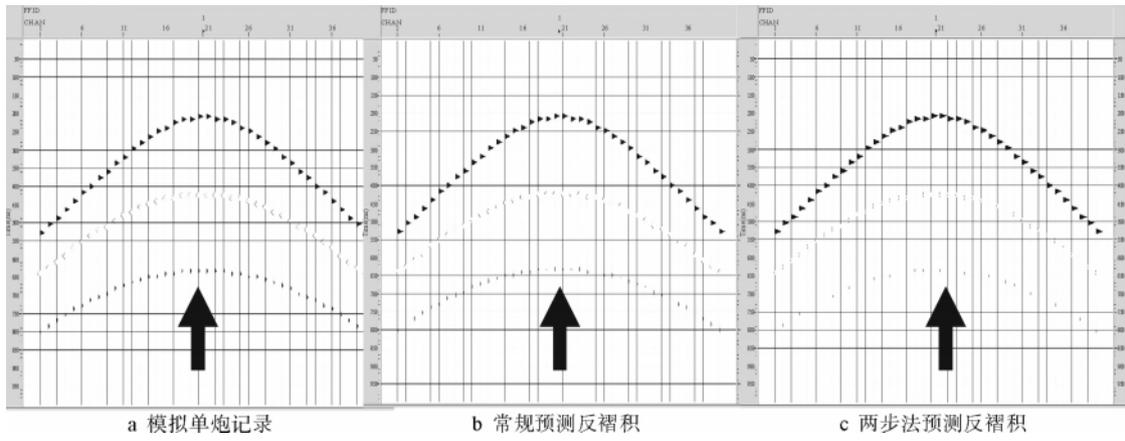


图 2 多次波压制前后模拟单炮记录

Fig. 2 Single shot record modeling before and after multiple attenuation

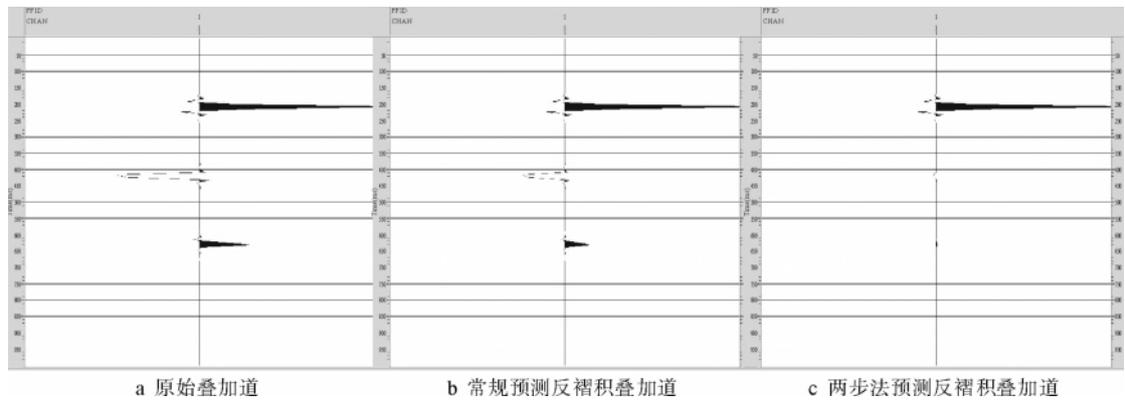


图 3 多次波压制前后叠加道

Fig. 3 Stack traces before and after multiple attenuation

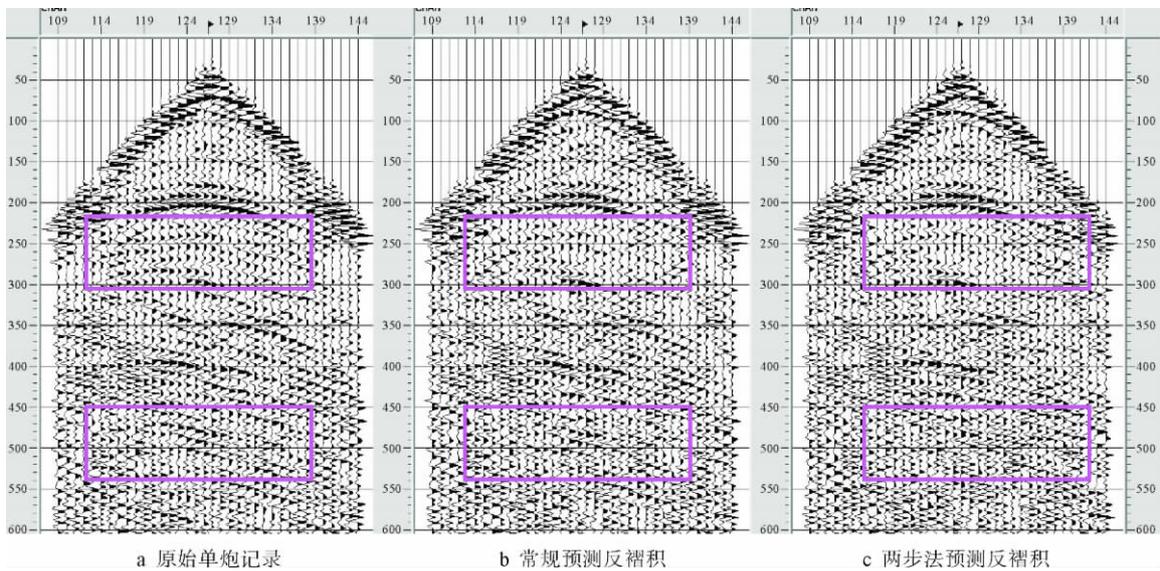


图 4 海底鸣震压制前后单炮记录对比

Fig. 4 Contrast of single shot records before and after reducing sea bottom reverberations

为了保持方法的可对比性,处理过程中没有进行任何去噪等手段,同时其他参数一致。图 5a 为初迭加剖面,在颜色框内存在明显的鸣震干扰,反射同相轴连续性差;图 5b 为常规预测反褶积后

的迭加剖面,部分多次波得到了压制;图 5c 为两步法压制海底鸣震后的叠加剖面,对比可以看出,两步法反褶积压制海底鸣震非常有效(如颜色框内所示)。

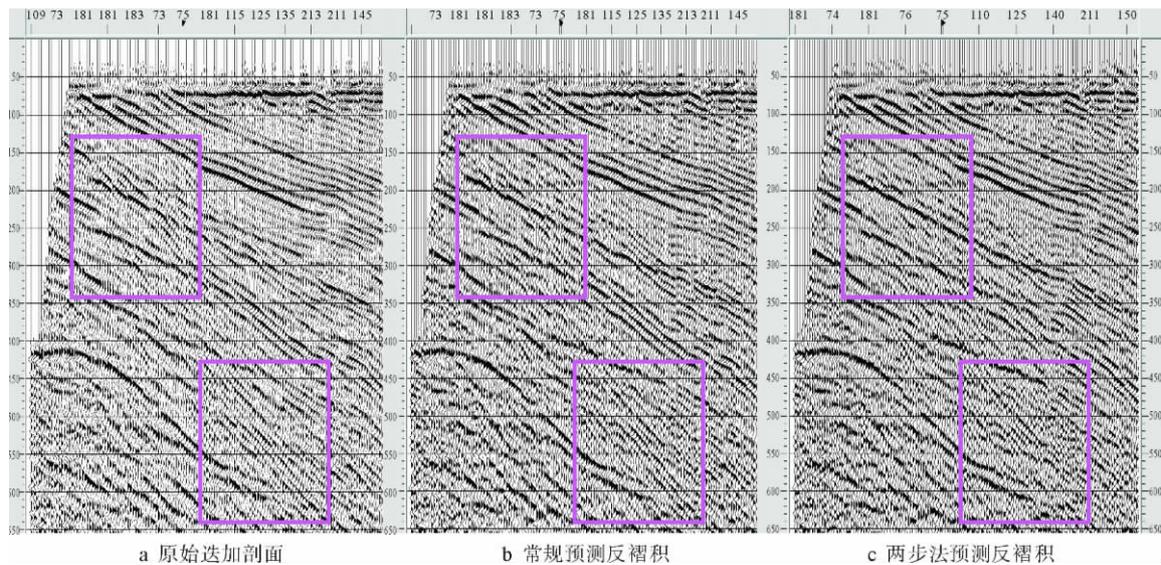


图 5 海底鸣震压制前后迭加剖面对比

Fig. 5 Contrast of superposition profiles before and after reducing sea bottom reverberations

4 结束语

文中所提出的两步法预测反褶积技术,就是在共炮点域和共检波点域分别应用预测反褶积消除海底鸣震,其中,预测步长的求取方法有 2 种:一是由基于精细海底调查的结果获得;二是由直达波或折射波反演求取。通过对实际资料的处理,较好的压制了海底鸣震,取得了明显效果。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 赵保宗, 孙永清, 李学聪. 基于波动方程的多次波压制方法应用研究[J]. 地球物理学进展, 2010, 25(1): 272-281.
- [3] 陈金海, 周国良, 徐金祥. 虚反射和海底鸣震干扰的消除[J]. 海洋石油, 2000, 20(3): 34-42.
- [4] Verschuur A J, Berkhou A J. Estimation of multiple scattering by iterative inversion, Part II: Practical aspects and examples[J]. Geophysics, 1997, 62(12): 1 596-1 611.

