

改进的波场外推海底多次波压制方法

李丽君

(胜利油田物探研究院, 山东东营 257100)

摘要: 海洋地震数据中的海底多次波可以由波场外推的方法得到, 然后将之从原始数据中减去, 即可达到衰减多次波的目的。该方法除了海水深度参数以外几乎不需要任何先验信息, 并且具有良好的保幅特性, 因而得到广泛应用; 然而, 在实际应用中, 该方法在压制微屈多次波和鸣震方面仍然不尽如人意。提出了一种改进的波动方程多次波衰减方法, 即不考虑水底反射系数问题, 而是利用时空变的最小二乘匹配滤波的方法压制多次波, 并在理论和实际数据中得到验证。

关键词: 波动方程; 多次波; 自适应衰减

中图分类号: P631 文献标识码: A

基于波动方程预测的多次波衰减技术方兴未艾, 由于其良好的多次波压制效果和有效波反射特征保护的性能, 在压制海底多次波方面得到广泛应用。基于波动方程的多次波压制方法目前主要分为3种, 即波场外推法、反馈环法和反散射级数法^[1], 这里主要介绍一种波场外推的波动方程多次波压制技术。在复杂海底地区应用波场外推方法压制与海底有关的多次波时, 可能会遇到的问题有: ①不能很好预测微屈多次波, 尤其是震源一侧的微屈多次波; ②在浅水区域, 对于表现为鸣震的短周期多次波压制不够成功。这些问题可以通过一种改进的自适应滤波方法, 用迭代处理的思路得到改善。

1 方法原理

把地震数据做如下描述:

$$S = P + M_1 + M_2 + \dots + M_i + N \quad (1)$$

式中: S 为地震记录;

P 为一次波场;

M_i 为不同阶次的多次波波场;

N 为其他噪音。

利用波场外推波动方程方法, 使地表记录到的地震波场在海水层中再传播一个双程旅行时, 这样原来的一次反射波变为二次反射波, 每个特定阶次的多次波阶数加一, 然后从原始波场中减去上述过程得到的多次波来达到衰减多次波的目的。Morley (1983) 对波场延拓预测多次波进行比较深入的分析, 在他的博士论文里推导了基于波动方程的预测海底多次波的算子, 采用了一个简化形式, 实现了多次波预测^[2]; Wiggins (1988) 在 Morley 的基础上, 进一步完善了预测方法。Wiggins 通过上行波场和下行波场重建海底反射系数, 预测出与海平面有关的多次波, 包括海底多次波和部分微屈多次波^[3]。这种方法将海平面接收到的记录, 通过波场延拓到海底界面, 对延拓到海底的记录作多次波衰减处理, 然后再通过波场延拓回到海平面而达到衰减多次波的目的。由于在反射系数恢复过程中所遇到的挑战(海底地形和系数剧烈变化), 使得该方法只能适应比较简单的海底所产生的多次波。

在这儿, 我们不做反射系数恢复的尝试, 而是设计一个时空变的最小二乘匹配滤波算子来反演多次波。这种方法在知道海底深度的情况下, 排除海底反射系数变化和地形复杂性干扰, 可以较

收稿日期: 2010-11-30

作者简介: 李丽君(1972—), 女, 工程师, 主要从事地震资料处理解释工作。E-mail: lljun19720310@yahoo.cn

好地预测与海底有关的多次波。

由于诸多限定条件和算法固有的不稳定性,在实际数据中的反演是一个非常复杂的过程。介质性质的差异必然导致一次波和多次波传播路径的复杂性。有关地层物理参数的信息都包含在地震数据中,要提取这些信息就要知道这些物理现象的细节问题^[4]。

下行延拓方程:

$$P^+(x, y, z_m, \omega) = W^+(x, y, \Delta z_m, \omega) * P^+(x, y, z_{m-1}, \omega) \quad (2)$$

上行延拓方程:

$$P^-(x, y, z_{m-1}, \omega) = W^-(x, y, \Delta z_m, \omega) * P^-(x, y, z_m, \omega) \quad (3)$$

式中: P^+ 、 P^- 为下行和上行波场;

W^+ 、 W^- 定义下行和上行空间脉冲响应或称为空间子波。

因此,空间频率域的波场外推可以用一系列沿着三维空间轴的卷积来表达。波场延拓响应由 $W(x_r - x_s, y_r - y_s, \Delta z, \omega)$ 给出。

恒速介质内的波场延拓可以在 $k - \omega$ 域用相移的方法进行。

为了补偿在地层 (z_m, z_{m-1}) 中传播对地震波的影响,给出一个针对任意频率的算子,于是,下行延拓方程:

$$\langle P^+(x, y, z_m, \omega) \rangle = F^+(x, y, z_{m-1}, \omega) * P^+(x, y, z_{m-1}, \omega) \quad (4)$$

上行延拓方程:

$$\langle P^-(x, y, z_{m-1}, \omega) \rangle = F^-(x, y, \Delta z_m, \omega) * P^-(x, y, z_m, \omega) \quad (5)$$

式中: $F^\pm(x, y, z_m, \omega)$ 为逆波场外推算子;

F 和 W 互为反算子。

在 $k - \omega$ 域中,

$$W^\pm(k_x, k_y, \Delta z, \omega) \times F^\mp(k_x, k_y, \Delta z, \omega) = 1 \quad (6)$$

即:

$$F^\mp(k_x, k_y, \Delta z, \omega) = 1/W^\pm(k_x, k_y, \Delta z, \omega) \quad (7)$$

但是,在实际情况下,这种指数增长的算子是不可接受的,因此,这种计算也不可能实现。一种解决方案是最小平方反演:

$$F = \frac{W^*}{|N|^2 + |W|^2} \quad (8)$$

该算法类似于一个双边的最小平方反褶积。

在自适应衰减多次波时,我们采用一种更为稳

健的最小二乘估算方法,替代反射系数恢复的做法。合并各频率成分,把预测的多次波反变换到时间域:

$$M(x, y, z_m) = FT^{-1}F_m \quad (9)$$

然后在最小二乘意义下估算出滤波算子,使得减去多次波后的数据能量最小。

$$E = \sum_{x, y, z_m} [P_0(x, y, z_m) - a_m * M(x, y, z_m)]^2 \rightarrow \text{最小} \quad (10)$$

式中: P_0 为输入数据;

a_m 为滤波算子。

滤波过程可以用一个标准的维纳整形滤波, a_m 是一个子波反褶积滤波器,把它应用到地震数据上即可得到多次波衰减后的数据。

在实际应用中,为了改善炮点一侧微屈多次波和鸣震的压制效果,我们可以采用一个迭代处理思路。首先在共炮点记录上预测并通过下面方式去求维纳滤波算子 a_m :

$$E_s = \sum_{x, y, z_m} [P_{0r}(x_r, y_r, z_m) - a_m * M_r(x_r, y_r, z_m)]^2 \rightarrow \text{最小} \quad (11)$$

在共炮点记录压制多次波后,把输出作为输入数据,在共检波点域重复上述步骤, a_m 由下式得到,

$$E_r = \sum_{x, y, z_m} [P_{0s}(x_s, y_s, z_m) - a_m * M_s(x_s, y_s, z_m)]^2 \rightarrow \text{最小} \quad (12)$$

2 应用实例

下面用 1 个理论数据和 2 个实际数据验证本文所述方法的实用性。

首先以红海模型数据为例。图 1 左边记录为模拟记录,中间为应用本方法衰减多次波后的记录,右边为多次波衰减前后的差值。可以看到,本方法对与海底有关的多次波具有较好的压制效果,尤其是 2.8 s 左右的微屈多次波,压制效果明显;另外,该方法对有效波的保护非常好,从差值记录上看不到有效波的能量。但是也应该注意,3.1 s 的多次波为近海底界面的长程多次波,该同相轴与海底无关,因此没有得到压制,而且,记录上仍然存在残余的海底多次波,这是所有波动方程方法的局限性,可以结合其他多次波衰减方法来改善多次波压制效果。

图 2 是某海上地震记录,在原始记录(左)上

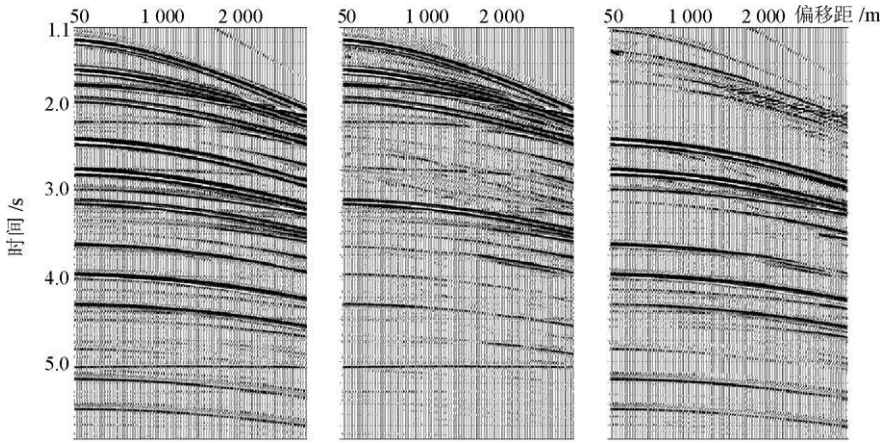


图 1 红海模型数据多次波压制前(左)后(中)及差值

Fig. 1 Synthetic data of Red Sea model (left), result of multiples attenuation (middle) and the difference

包含有大量的与海底有关的多次波, 2.0 s 与 2.2 s 处分别存在海底多次波以及与海底和近海底反射层有关的微屈多次波; 中间是经本文方法压制多次波以后的记录, 右边为差值记录。从图 2 可以看出, 海底多次波以及与海底和近海底反射层有关的微屈多次波得到了很好压制。图 3 是该地区资料的叠加剖面。左边为多次波衰减前剖面, 中间是用本方法压制多次波以后得剖面, 右边是减去的多次波。可以看出, 多次波得到了很好的压制, 有效波成像效果明显变好。

图 4 是浅海地区地震资料的处理效果对比。左边为原始记录, 中间为用本方法衰减多次波后

的结果, 右边为压制掉的噪音。由于本地区水深在 20 ~ 30 m 左右, 海底多次波表现为鸣震噪音, 强鸣震噪音一方面掩盖了有效波能量, 另一方面破坏了有效波的特征。经过波场外推方法压制多次波后, 水波和鸣震噪音得到很好压制, 有效波的特征明显得到改善。

3 结论

(1)波场外推方法结合自适应衰减技术压制与海底有关的多次波, 并采用炮域和共检波点域的迭代处理, 可以压制包括水波、海底多次波、微

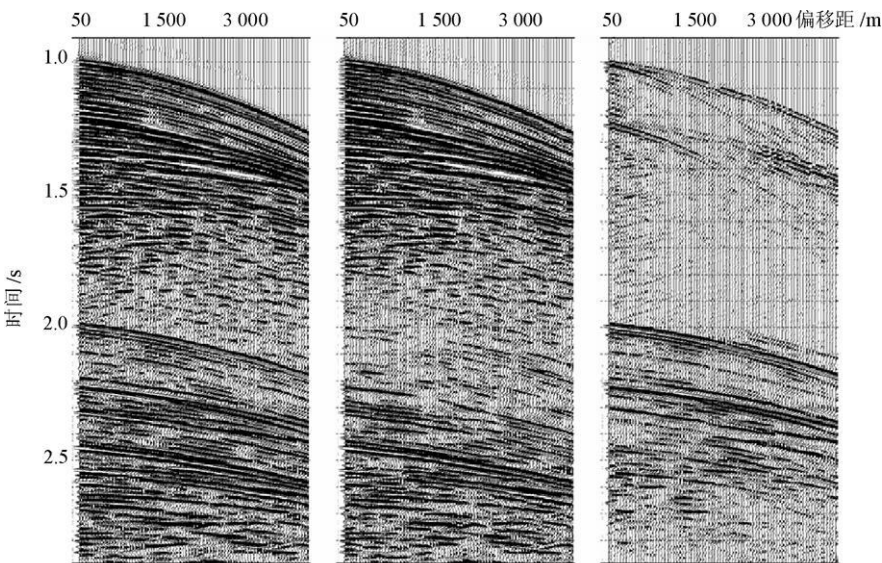


图 2 海上地震记录多次波压制前(左)后(中)及差值

Fig. 2 Marine data (left), result of multiples attenuation (middle) and their difference

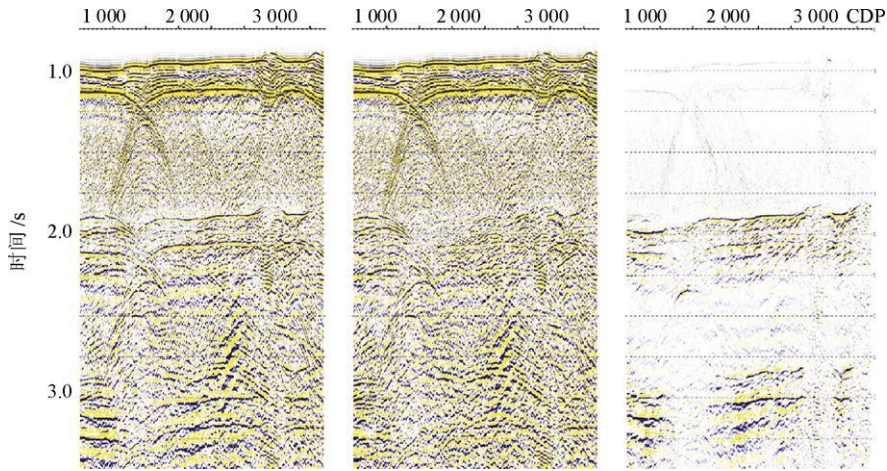


图 3 实际数据多次波压制前(左)后(中)叠加剖面及差值

Fig.3 Comparison of stack sections before (left) and after (middle) multiples attenuation and their difference

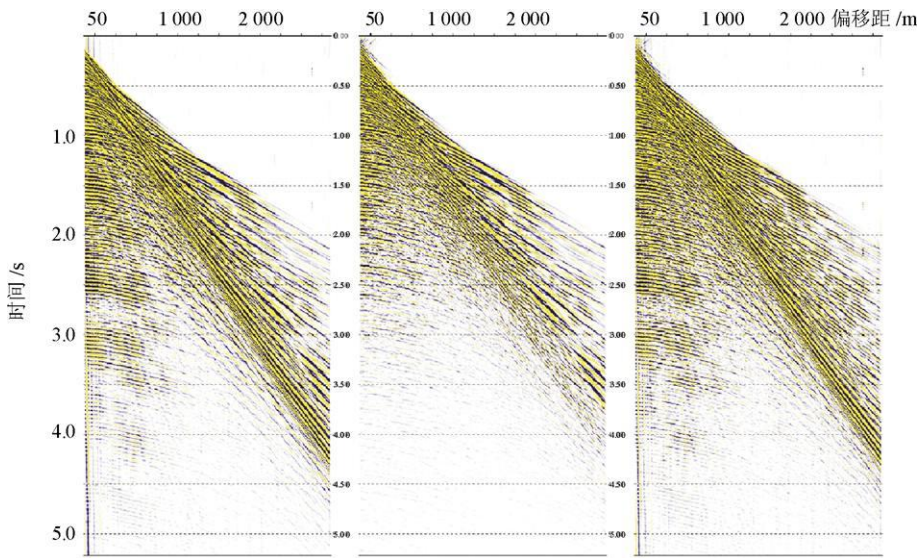


图 4 实际数据鸣震压制前(左)后(中)及差值

Fig.4 Shallow marine data (left), result of ringing attenuation (middle) and their difference

屈多次波和鸣震噪音在内的几种噪音,同时兼顾有效波的保护。

(2)最小二乘方法计算滤波算子,避开反射系数恢复过程,更加适应复杂海底情况。

(3)波动方程技术压制近偏移距多次波效果较好,结合与之作用互补的基于时差的多次波衰减技术可以取得更好的多次波压制效果。

参考文献:

[1] 赵保宗,孙永清,李学聪,等. 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.

[2] Morley L. Predictive deconvolution in short-receiver space [J]. Geophysics, 1983, 48(5): 515-531.

[3] Wiggins J W. Attenuation of complex water-bottom multiples by wave-equation-based prediction and subtraction[J]. Geophysics, 1988, 53(12): 1 527-1 539.

[4] Verschuur A J, Berkhout A J. Estimation of multiple scattering by iterative inversion, Part II: Practical aspects and examples[J]. Geophysics, 1997, 62(12): 1 596-1 611.

[5] Bemth H, Sonneland L. Wavefield extrapolation techniques for prestack attenuation of water reverberations[J]. Geophysics, Extended Abstracts, 1983; 264-265.

[6] Hardy R J J, Hobbs R W. A strategy for multiple suppression [J]. First Break, 1991; 139-144.

[7] Julien P, Raoult J J. Adaptive subtraction of emulated Multiples [J]. Geophysics, Extended Abstracts, 1989; 1 118-1 121.

AN ACOUSTIC DETECTION METHOD FOR UNDERWATER RIPRAP—AN EXAMPLE FROM THE ARTIFICIAL ISLAND IN THE GULF OF BOHAI

CHU Hongxian, BAI Dapeng, SHI Huijie, YIN Yanhong

(Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land Resources, Qingdao 266071, China;

Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: Acoustic methods of depth survey and bottom profiler array parameter measurement were used to detect underwater riprap, taking the artificial island in the Gulf of Bohai as the case history. The thickness and distribution pattern of the riprap were revealed. Data show that the calculation of the thickness of seabed riprap should take the erosion and siltation of the artificial island into account. The thickness of the riprap in the erosional seabed can be directly used to judge the change in submarine topography. In the siltation area, however, the siltated sediments should be deducted to monitor the topographic changes.

Key words: underwater riprap; depth; bottom profile; deposit; thickness

(上接第 64 页)

IMPROVED WAVE FIELD EXTRAPOLATION TECHNIQUES FOR MULTIPLE WAVE ATTENUATION

LI Lijun

(Shengli Geophysical Exploration Institute Dongying 257100, Shandong, China)

Abstract: In marine geophysical survey, the attenuation of multiple waves is a critical task. Multiple reflections related to water bottom in marine seismic data can be predicted by a combination of numerical wave field extrapolation through the water layer and the estimation of the water bottom multiples. The attenuation of the multiples could be made by subtraction of the predicted wave field from the original record. The proposed method requires almost no any precondition and has a perfect function of amplitude protection. However, there may encounter some drawbacks. For examples, it may behave poorly in the presence of pegleg multiples especially the source side pegleg; and it is weak in overcoming ringing noise. All of these problems can be mitigated by modification of algorithms. In this paper the success of the proposed algorithms has been demonstrated on both numerical experiments and field data processing.

Key words: wave equation; multiple; adaptive subtraction