

海洋资料多次波组合衰减技术及应用

张兴岩, 朱江梅, 杨薇, 于宏, 刘洋波

(中海油能源发展钻采工程研究院 地球物理研究所, 广东 湛江 524057)

摘 要: 多次波的压制是海洋地震资料处理中的重要步骤。海洋地震勘探中的多次波一般都异常发育且较难压制, 压制多次波的好坏直接决定了处理结果的质量。目前压制多次波的方法有很多种, 但不同的方法基于不同的理论, 具有不同的针对性。单一的方法压制多次波往往不能针对所有多次波, 达不到理想的效果。笔者使用组合衰减多次波技术, 综合了 SRME、拉东变换、LIFT 去噪对海洋实际地震数据的多次波进行压制, 取得了较好的效果。

关键词: 多次波; SRME; 拉东变换; LIFT

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2011)04-0511-05

在海洋地震勘探中, 多次波的存在会影响地震成像的真实性和可靠性, 并严重影响地震解释工作, 多次波压制是提高地震资料处理成果质量的重要步骤之一。自 20 世纪 50 年代以来, 出现了多种压制多次波的技术, 虽然它们分别基于不同标准区分多次波和一次波, 但总的来说压制多次波的方法分为两类: ①几何地震学方法或几何滤波类方法, 基于有效波和多次波之间的可分离性和其他差异性(如多次期性、时差差异等)预测与压制多次波, 比较典型的方法有预测反褶积、正常时差变换叠加 $f-k$ 变换、 $\tau-p$ 变换、抛物线拉东变换和聚束滤波等; ②波动方程预测减去法, 基于弹性波动理论, 通过模拟或反演方法预测原始数据中的多次波, 继而从原始数据中通过匹配法减去所预测的多次波。虽然压制多次波的方法有很多, 但由于不同压制多次波的方法其原理不同, 针对性也有所不同, 因此使用一种方法压制多次波在实际应用中很难取得理想的效果。

目前, 人们普遍采用的是组合的方法; 笔者讨论三种不同的压制多次波的方法, 即自由表面相关多次波衰减(SRME)、拉东(Randon)变换衰减多次波、智能滤波技术 LIFT(leading intelligence filter technology)去多次波。当海底存在复杂地貌时, 大量表面多次波发育, 而且一次波和多次波差异不明显, 常规的第一类多次波压制方法往往难以取得理想效果。SRME 即使在多次波产生条件比较复杂的情况下, 该方法仍能十分有效地压制表面多次波, 并保留一次波能量; 但在处理实际数据时, 受源点和检波器空间分布限制, 并不是所有的表面多次波都可以得

到衰减。如缺少近偏移距道集、空间采样率不足等因素都会影响 SRME 方法的有效性。对于与反射界面时差大的全程多次波, 拉东滤波可以有效地压制; 但对于时差较小的多次波, 压制效果有待提高, 但利用 LIFT 技术可以有效衰减近道多次波, 是一种新的噪声和多次波衰减技术。

笔者基于 SRME、拉东变换、LIFT 去噪的方法原理, 并将其组合应用于海洋实际地震数据的多次波压制, 取得了较好的效果。

1 多次波的识别

多次波的识别是指对处理的地震数据运用合理有效的多次波分析手段, 认识并掌握数据中多次波的类型和特点。这一步很重要, 它引导着我们在处理过程中衰减多次波与多次波处理过程中去掉一些参数的设置。判定多次波存在的主要依据为: ①叠加剖面上产生二次或多次波反射的反射界面(图 1a); ②道集动校正后同相轴向下弯曲, 近道一阶多次波出现的时间约为同一界面一次波时间的两倍(图 1b); ③速度谱上, 速度与一次波速度大致相同(图 1c), 图中括号内数字, 前者为走时, 后者为波速。

2 方法原理

2.1 自由表相关多次波衰减(SRME)

SRME 方法是一种自适应的多次波压制方法, 预测算子即为原始地震数据, 无需任何地下先验信息, 无需进行人工干预。SRME 方法由多次波预测和多次波衰减两步组成。

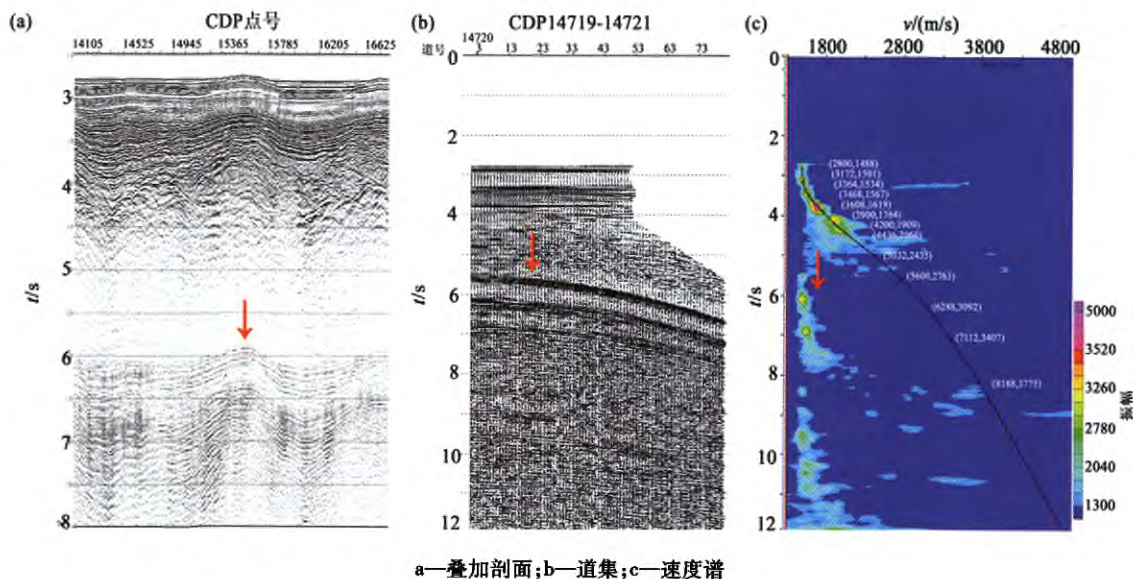


图1 多次波在叠加剖面、道集、速度谱上的特征

(1) 多次波预测。自由表面相关多次波的预测就是由原始叠前数据与自身沿着自由表面进行时间—空间褶积；主要是通过共炮集与共检波点集在时间—空间域褶积预测多次波。

与自由表面相关的多次波 M 与实际地震记录 D 和一次波 P 之间的关系可表示为

$$M = -S^{-1} * D \otimes P, \quad (1)$$

式中, S 为震源子波; $\otimes$ 是一种包括 2D 叠前褶积和多种相关的算法, 则一次波估算为

$$P = D + S^{-1} * D \otimes P. \quad (2)$$

在计算前, 由于一次波和震源子波是未知的, 因而实际的迭代过程分为模型和分离两步。在迭代开始之前, 一次波用实际记录代替, 反子波则用最小化能量的假定统计估算。忽略子波项后, 实际的迭代过程为

$$P^0 = D, \quad (3)$$

$$M^n = -D \otimes P^{n-1}, \quad (4)$$

$$P^n = D - f^n * M^n, \quad (5)$$

式中, n 表示第 n 次迭代; f 为自适应滤波反褶积。

(2) 多次波衰减。预测出多次波后便可以在原始地震记录上减去计算出来的多次波结果, 得到去除多次波以后的地震记录。相减一般采取自适应相减技术, 主要是利用最小能量准则减掉预测的多次波。通常应用自适应最小平方减去方法, 分两步实现:

(1) 计算自适应因子 f (采用最小二乘平方算法)

$$f = \min(\|d - f * m\|)^2. \quad (6)$$

(2) 应用自适应因子, 然后相减

$$m' = f * m, \quad (7)$$

$$d' = d - m', \quad (8)$$

其中, d 为实际数据; m 为多次波; d' 为消除多次波后的数据。

2.2 拉东变换

拉东变换是应用很广的一项实用技术, 自从 1917 年拉东提出后, 已在医学、物理学、天文学等许多领域得到了广泛应用。

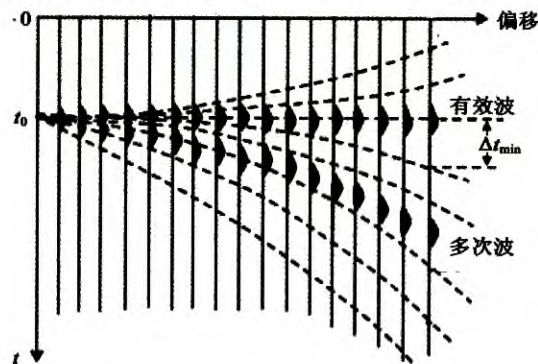


图2 高精度拉东变换去多次波原理

拉东变换又称为倾斜叠加或投影, 就是沿着特定路径对介质的某个特性进行线积分。选定一叠前道集记录 (炮集、CMP 道集均可), 用一次波速度进行动校, 此时, 有效波能量对应于水平同相轴, 多次波因校正量不足, 呈向下弯曲的近似于抛物线形态 (图 2)。对该道集进行抛物线拉东变换, 沿抛物线迹进行求和, 得到 τ - p 域中与一次波和多次波分别对应的能量团; 在 τ - p 域中对数据的处理, 实质上就是一个切除的过程, 即切除多次波的能量团, 进行抛物线拉东反变换, 得到了消除多次波后的道集记录。为了保证一次反射波不被当作多次波压制, 控制被视为多次波同向轴的弯曲程度。定义一个表示经过动校的 CMP 道集内同向轴弯曲程度的最小时差值

$\Delta t_{\min}$; 它为 CMP 道集内最大偏移距与最小偏移距处同一 t_0 同向轴的时差, 大于该时差范围内的弯曲同向轴被视为多次波, 应予压制, 小于 $\Delta t_{\min}$ 的同向轴则应保留。

2.3 智能滤波技术(LIFT)衰减多次波

LIFT 技术不是一个单一的模块, 而是一种思想。LIFT 技术的思想是在去除的噪声中再提取非常微弱的有效信号, 然后重构数据, 其关键点是怎样在去除的噪声中把有效信号提取出来, 反之就是怎样在有效信号中把噪声提取出来, 做法可以反复多次, 直到认为把噪声衰减到可以接受的程度。

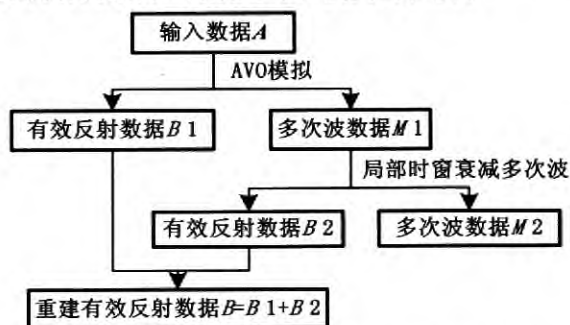


图3 衰减近道多次波 LIFT 技术的基本原理

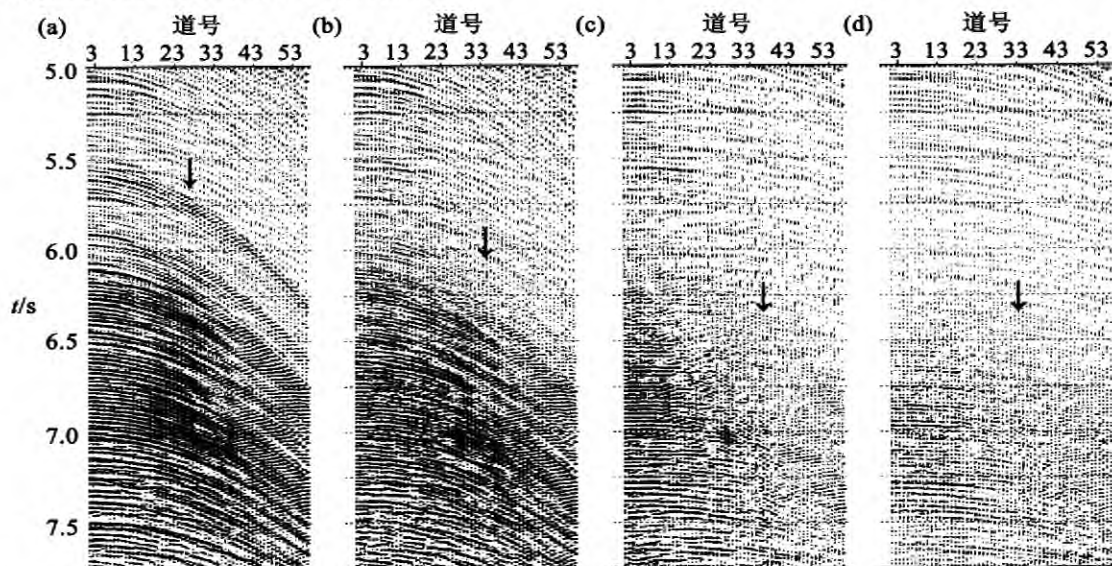
LIFT 技术是基于同一反射层反射信号振幅具有规律性的 AVO 理论, 其基本原理如图 3 所示。首先根据佐普里兹 (Zoeppritz) 方程的近似公式, 对输入数据 A 提取 AVO 属性及其反射系数, 并根据提取的 AVO 属性及其反射系数和相应的 P 波速度去模拟一次反射波, 得到包含大部分一次反射波的数据 B1 和包含大部分多次波以及极少一次反射波数据 M1, 为了达到信号保真的目的, 再对数据 M1 进行多次波压制, 得到多次波 M2 和有效反射波 B2,

再把 B1 和 B2 相加得到最终压制剩余近道多次波的结果 B。

3 应用实例分析

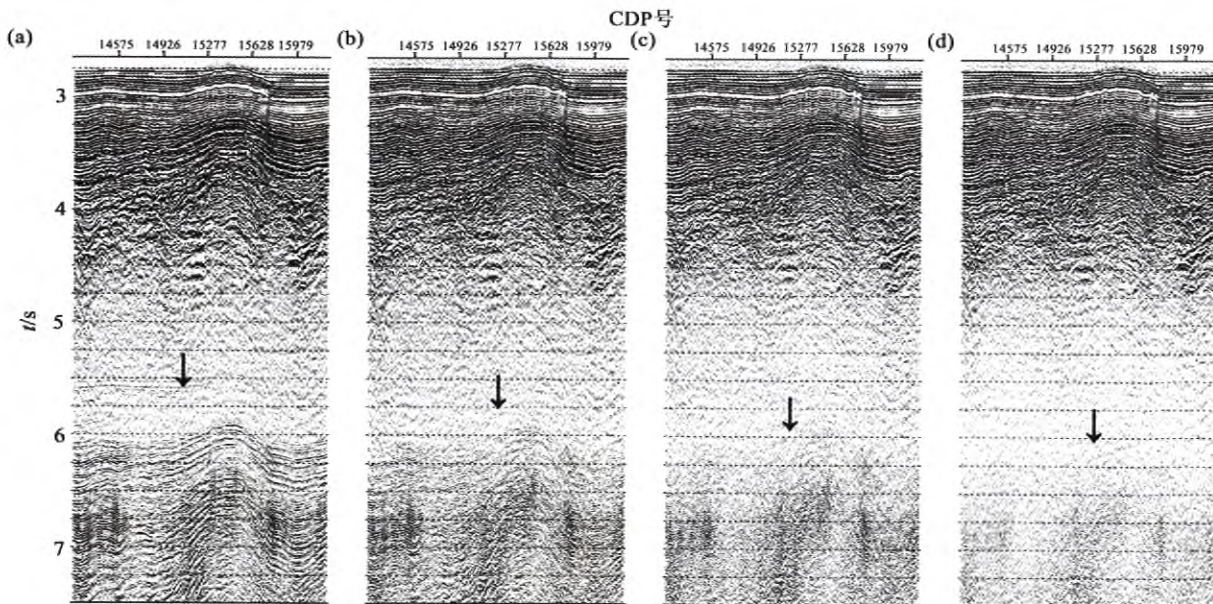
在南海海域某二维工区, 该工区海底较深, 海底有一定的起伏, 从 CDP 道集 (图 4a) 和叠加剖面中 (图 5a) 可以看到海底多次波、层间多次波和长周期多次波异常发育。笔者采用 SRME、拉东变换、LIFT 组合去多次波, 使得多次波逐步衰减。图 4b 为 SRME 去多次波后道集, 图 5b 为 SRME 去多次波后叠加剖面, 采用 SRME 去多次波后, 道集上的多次波有了一定的衰减, 尤其是海底多次波 (图 4b), 但是由于 SRME 自身的局限性, 并不是所有的表面多次波都可以得到衰减, 残存多次波仍然较强; 图 4c 为 SRME 和拉东变换组合去多次后道集, 图 5c 为 SRME 和拉东变换组合去多次波后叠加剖面, 拉东变换去多次波能有效的压制对于与反射界面时差大的远道多次波, 但对近道多次的衰减不理想; 图 4d 为 SRME、拉东变换、LIFT 组合去多次后道集, 图 5d 为 SRME、拉东变换、LIFT 组合去多次波后叠加剖面, 经过 LIFT 滤波后近道多次波得到了有效的压制; 从 CDP 道集和叠加剖面中都可以看到, 多次波逐步衰减, 最终多次波得到了有效的压制, 说明采用 SRME + 拉东变换 + LIFT 组合衰减多次波获得了理想的叠加效果。

图 6a 为去多次前速度谱, 图 6b 为 SRME 去多次波后速度谱, 图 6c 为 SRME 和拉东变换组合去多次波后速度谱, 图 6d 为 SRME、拉东变换、LIFT 组合去多次波后速度谱, 图中括号内数字, 前者为走时,



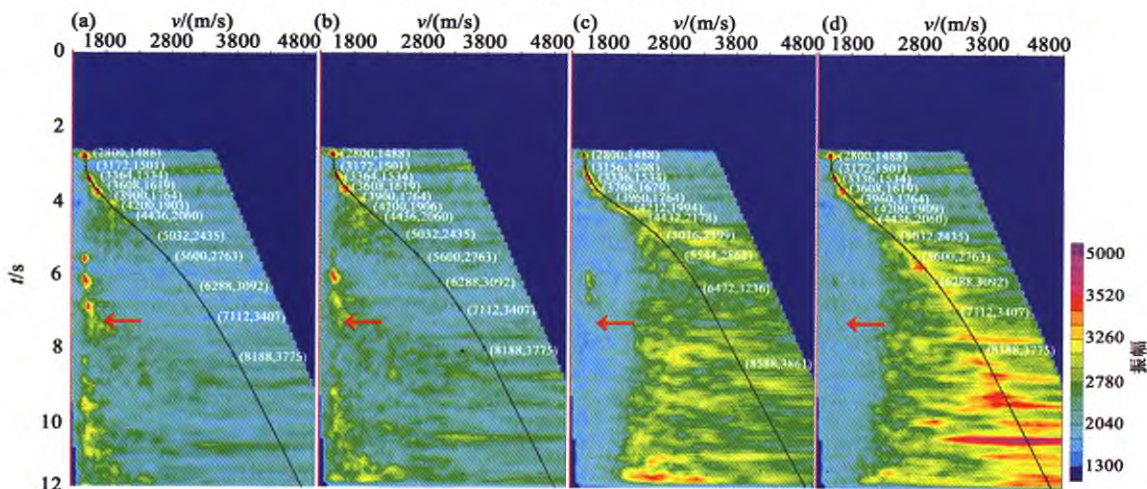
a—CDP 道集; b—SRME 去多次波后道集; c—SRME 和拉东组合去多次波后道集; d—SRME、拉东、LIFT 组合去多次波后道集

图4 不同方法去多次波前后的道集



a—叠加剖面;b—SRME 去多次波后叠加剖面;c—SRME 和拉东组合去多次波后叠加剖面;d—SRME、拉东、LIFT 组合去多次波后叠加剖面

图 5 去多次波前后的叠加剖面



a—去多次前速度谱;b—SRME 去多次波后速度谱;c—SRME 和拉东变换组合去多次波后速度谱;d—SRME、拉东变换、LIFT 组合去多次波后速度谱

图 6 去多次波前后的速度谱

后者为波速。从速度谱上看,在 SRME、拉东变换去多次波、LIFT 衰减多次波的过程中,速度谱上多次波能量逐渐被衰减,最终得到了有效压制。

4 结束语

综上所述,SRME、拉东变换、LIFT 去多次各有优、缺点,使用单一的方法去除多次波很难达到预期效果。笔者针对南海某区实际资料,把 SRME、拉东变换、LIFT 三种方法组合去多次,是一种较全面的压制多次波技术。

建议在使用本方法之前,要对所地震数据中存在的多次波进行详细分析和识别,选择合适的参数,若参数选择不当会产生两种后果,一是多次波压制

不干净,二是伤害有效波。

参考文献:

- [1] 李东升,帕提慢.利用波动方程预测减去法压制海洋地震资料中的多次波[J].石油地球物理勘探,2007,42(增刊):58-60.
- [2] 黄新武,牛滨华,刘光,等.基于数据一致性原理预测与压制自由表面多次波的效果分析[J].石油地球物理勘探.2009,44(4):409-410.
- [3] 万欢.高保真多次波剔除法及其在海上地震资料处理中的应用[J].中国海上油气,2005,17(3):163-166.
- [4] 贾丽华,吴长江,罗焱鑫,等.地震资料高分辨率处理技术[J].石油物探,2002,41(4):484-488.
- [5] 罗小明,牛滨华,于延庆,等.海上某区二维地震多次波的识别和压制[J].现代地质,2003,17(4):474-475.
- [6] 王汝珍.多次波识别与衰减[J].勘探地球物理进展,2003,26

- (5-6):423-425.
- [7] 张军华,吕宁,雷凌,等. 抛物线拉东变换消除多次波的应用要素分析[J]. 石油地球物理勘探,2004,39(4):398-400.
- [8] 王维红,崔宝文. 双曲 Radon 变换法多次波衰减. 新疆石油地[J]. 2007,28(3):363-365.
- [9] 李凌云. 应用 Radon 变换消除多次波[J]. 石油天然气学报, 2006,28(4):264-266.
- [10] 李来林,魏大力. LIFT 去噪方法在地震资料处理中的应用[J]. 石油物探,2007,46(2):193-195.
- [11] 郭全仕,张卫华,黄华昌,等. 高精度拉东变换方法及应用[J]. 石油地球物理勘探,2005,40(6):622-627.

GROUP TECHNOLOGY OF ANTIMULTIPLE IN MARINE SEISMIC DATA PROCESSING AND ITS APPLICATION

ZHANG Xing-yan, ZHU Jang-mei, YANG Wei, YU Hong, LIU Yang-bo

(Institute of Geophysics, CNOOC Energy Technology & Services-Oilfield Engineering Academy, Zhanjiang 524057, China)

Abstract: Antimultiple processing is an important step in marine seismic data processing. The multiple waves in marine seismic data are generally rather strong and very difficult to suppress, so the suppression of multiple waves decides the quality of processing results. There are many ways to suppress multiple waves; nevertheless, different approaches are based on different theories and have different targets. A single method can not suppress all multiple waves and hence fails to achieve the desired results. The authors employed the combined multiple wave attenuation technology, which combines SRME, radon transform and lift denoising to suppress multiple waves in actual marine seismic data, and has achieved good results.

Key words: multiple wave; SRME; radon transform; lift denoising

作者简介: 张兴岩(1982-),男,汉族,江苏徐州铜山县人,2008年毕业于中国矿业大学资源学院物探专业,硕士研究生,现工作于中海油能源发展钻采工程研究院地球物理研究所,从事地震数据处理工作,公开发表学术论文数篇。