

颜中辉,王小杰,刘媛媛,等.东海多次波压制的关键技术[J].海洋地质前沿,2020,36(7):64-72.

东海多次波压制的关键技术

颜中辉^{1,2},王小杰^{1,2*},刘媛媛³,徐华宁^{1,2},杨佳佳^{1,2},杨长清^{1,2},杨传胜^{1,2}

(1 自然资源部油气资源和环境地质重点实验室,中国地质调查局青岛海洋地质研究所,青岛 266071;2 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室,青岛 266071;3 中国冶金地质总局地球物理勘查院,河北保定 071051)

摘要:东海陆架属于典型的浅水区,受海面、海底以及新近系底界面等强反射界面的影响,普遍发育多种类型多次波干扰,使得中深部地震反射信号被掩盖,影响了深部的成像品质。常规 SRME 或者 DWD 的方法无法有效地对多次波进行压制。笔者采用组合压制方法对东海陆架二维地震数据进行处理。首先针对海底相关短周期多次波使用 DWD 方法衰减;然后运用三维 GSMP 二维化方法去除跟地层相关的长周期多次波;最后残留的近远偏移距多次波分别用 PRIMAL 和高精度 RADON 变换进行压制。结果表明,这种组合思路能较好地解决东海多次波问题,使中深部有效反射信号得以呈现,有助于提升中生界的成像质量。

关键词:DWD 方法;GSMP;高精度 RADON;PRIMAL 方法;东海

中图分类号:P738 文献标识码:A DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.223

0 引言

海洋地震资料中,多次波的存在严重影响地震剖面的分辨率和信噪比。多次波的压制一直以来是海洋地震数据处理中的关键步骤和难点,有效地去除多次波可提高剖面的成像品质。目前多次波的衰减方法主要分为 2 大类^[1]:①基于有效波和多次波之间地震属性差异滤波方法^[2-4]。如确定性水层多次波压制方法 DWD (Deterministic Water-layer Demultiple),其思路是利用一次波和多次波在 τ - p 域周期的差异进行滤波,Radon 变换主要利用有效波和多次波速度差异以达到去除多次波的目的。②基于波动方程的预测减去法^[5-9]。主要包括波场

外推法、恒定内插法、反馈迭代法和逆散射级数法 4 种。此类方法考虑到复杂的波场传播,通过波场延拓或基于数据本身驱动,可以较好地预测出多次波。但这些方法又各有其优缺点^[10],预测反褶积利用多次波在地震记录中时差周期的规律性,具有预测补偿设置简单、运行速度快的优势^[11],对于崎岖海底产生的多次波,因其不完全符合周期性,多次波压制效果不佳,后来发展形成的 τ - p 域的预测反褶积对其做了改善,但在实际浅水资料应用中,有损伤有效信号的风险^[12];高精度 Radon 变换法是基于有效波速度与多次波速度的差异在 Radon 域进行压制,适用于衰减中远偏移距的多次波,对近道多次波压制效果不佳^[13-14];SRME (Surface-Related Multiple Elimination) 方法是近年来在海洋地震资料处理中应用广泛的多次波压制技术^[15-17],该方法不需要速度和层位等先验信息,通过数据驱动预测多次波,在道集上进行自适应相减达到去除多次波的效果,对长周期与自由表面有关的多次波衰减效果很好。但 SRME 方法对数据完整性有较强的依赖性,对近道多次波的预测效果不理想;稀疏反演一次波估计方法 EPSI (Estimation of Primaries by Sparse Inversion) 利用全波场的信息进行求解,由于没有自适应相减多次波的过程,可以减少对与多次

收稿日期:2019-12-27

资助项目:青岛海洋科学与技术国家实验室开放基金“多分量地震波逆时偏移拉伸校正及其并行”(QNL2016ORP0206);国家自然科学基金青年基金“东海外部陆架晚更新世以来两期古三角洲的时空展布特征及物源属性研究”(41706069);中国地质调查局项目“东海南部闽江-基隆凹陷中生界油气资源调查”(DD20190211)

作者简介:颜中辉(1986—),男,硕士,助理研究员,主要从事地震资料处理、多波多分量方面的研究工作。E-mail:zhonghui4564573@163.com

* 通讯作者:王小杰(1983—),女,博士,高级工程师,主要从事海洋地球物理调查研究工作。E-mail:xiaojie324@163.com

波发生重叠的有效信号的伤害, 目前该算法需要巨大的内存消耗和计算时间, 因此, 无法对实际数据进行工业应用^[18-19]。总体来说, 波动理论的多次波模型减去法对复杂介质中多次波预测困难较大, 而且对层间多次波的衰减效果较差, 因此, 在实际处理中, 并不适用于所有类型的数据, 处理效果具有局限性。多次波的去除需要多种技术方法配合使用, 通过多步去除最终达到消除多次波的目的。

针对东海陆架盆地浅水多次波的特点^[20], 本次多次波组合压制的思路是: 采用确定性水层多次波压制方法 DWD 来压制海底相关的短周期多次波^[21], 之后再利用 GSMP (General-Surface Multiple Prediction) 技术来压制跟地层相关的长周期多次波。GSMP 的优势在于压制倾斜界面的多次波效果比 SRME 效果更好^[22-23]。DWD 方法与 GSMP 方法的结合能够大部分解决本区的自由表面多次波问题。在此基础上, 再次拾取相对准确的速度, 基于一次波和多次波的速度、振幅差异, 利用高精度 Radon 变换和 PRIMAL (Post Radon Isolated Multiples Algorithm) 技术分别压制残留剩余的中远偏移距和近偏移多次波。通过这 4 种方法的组合, 较好地解决

了东海多次波问题, 为后续偏移成像提供了可靠的基础资料。

1 东海多次波特征分析

在东海中生界油气资源调查中, 目的层段包括白垩系和侏罗系的沉积序列, 其构造复杂, 岩性差异小, 火成岩较发育, 引起东海中深层的反射能量弱; 东海基本属于浅水区, 海底相关多次波发育严重, 反射系数较高的新生界底界面也是产生多次波的原因^[24], 尤其是中深层多次波能量较强。处理过程中可通过原始炮集、单次剖面、叠加剖面、速度谱及自相关分析, 基于其时间周期性、频谱特征及速度谱等地震属性识别多次波。总体来说, 东海多道地震资料上多见 2 类多次波:

第 1 类为跟海底相关的短周期多次波。从单炮记录和速度谱来看(图 1), 海底及地层以下会跟着一套同相轴, 速度低, 对应的叠加剖面显示(图 2)可见多阶的短周期的多次波, 对应的强反射界面以下会形成明显的振幅异常条带。这些短周期多次波覆盖了整个剖面, 并严重影响了速度拾取的准确性。

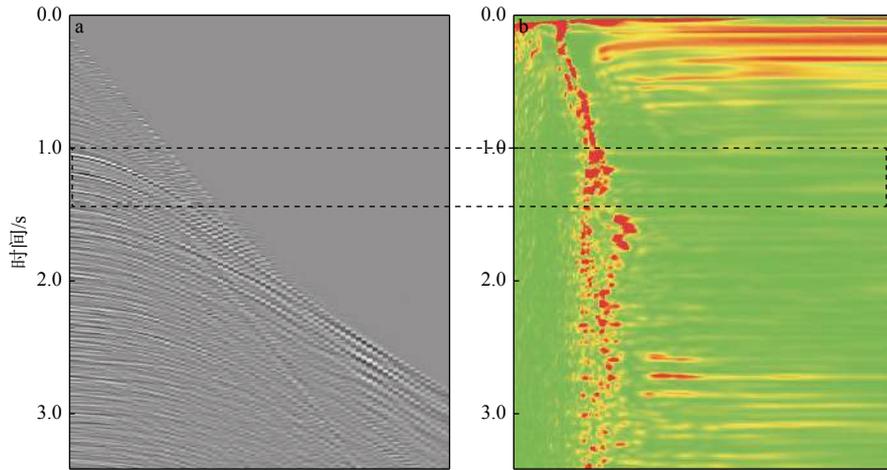


图 1 道集上海底相关多次波及速度谱

Fig.1 Correlation between the multiples related to sea-bottom and velocity profile in the CMP gather

第 2 类为新生界底界面的全程长周期多次波。从单炮记录和速度谱来看(图 3), 可见多次波引起的低速能量团, 其能量强, 速度低。叠加剖面显示(图 4)长周期的多次波具有强能量的特征。

东海陆架盆地多次波类型多样, 严重影响了中

深层的有效信号的成像, 在速度谱上也可见中生代地层的有效反射能量团完全被其掩盖, 尤其是在复杂构造的中深层地层, 由于海底新生代地层较平坦, 海底或新生代地层产生的多次波与中生界有效波存在斜交现象, 更难以区分和识别。

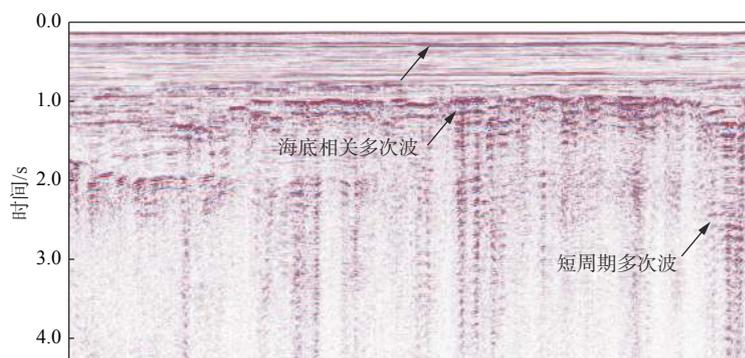


图2 叠加剖面上海底相关多次波

Fig.2 Correlation of multiples related to sea-bottom in the stack section

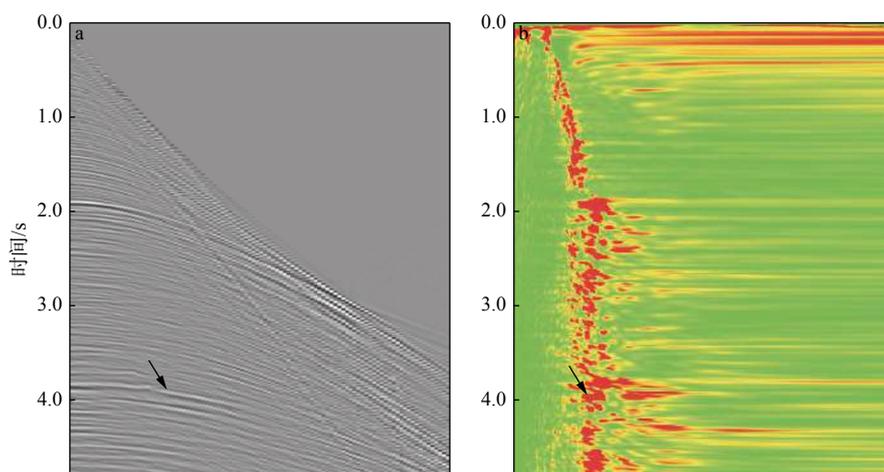


图3 道集上长周期多次波及速度谱

Fig.3 The long cycle multiples and velocity profile in the CMP gather

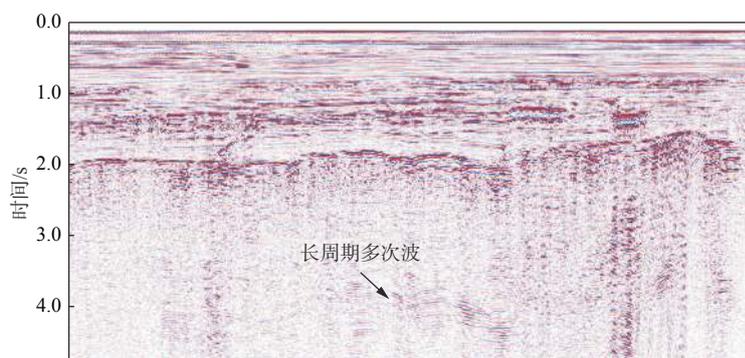


图4 叠加剖面上长周期多次波及速度谱

Fig.4 The long cycle multiple and velocity profile in the stack section

2 东海多次波压制关键技术

通过对东海多次类型的分析,结合多次波压制效果的不不断测试,在去除噪音的基础上采用DWD+GSMP组合方法,压制海底相关的多次波和地层相关的长周期多次波;对于残留的多次波,分别采用

高精度 Radon 技术和 PRIMAL 技术压制中远偏移距和近偏移距残留多次波。

2.1 DWD 压制技术

DWD 技术是近年来发展主要针对浅水多次波去除的一项技术^[21],跟传统反褶积相比,优势在于压制多次波的同时能做到保护有效信号。DWD 方

法首先在最小炮检距的自相关剖面做水速校正, 以此拾取零炮检距处海底双程旅行时间 $t(0)$; 然后再变换到 τ - p 域, 根据式(1)计算出 τ - p 域中射线参数 p 对应的海底周期, 将原始记录向下校正一个海底反射时间周期, 再乘以海底反射系数, 自适应相减后 τ - p 反变换, 可获得预测的水层多次波模型; 最后与原始数据在道域或者炮域进行自适应相减得到多次波压制结果。

假设地层为水平层状介质, 在 τ - p 域内, 对应的水层多次波在每个射线参数 p 上保持周期性, 对应水层多次波周期和射线参数 p 关系如下:

$$t(p) = t(0) \left(1 - p^2 v^2\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中: $t(0)$ 是零炮检距处海底双程旅行时间, s;

p 是射线参数;

v_0 是海水速度, m/s;

$t(p)$ 是 p 对应的水层周期。

2.2 GSMP 压制多次波技术

广义自由表面多次波预测技术 GSMP 是适用于崎岖海底的自由表面多次波预测技术^[22], 相比于传统的二维自由表面多次波压制技术 SRME, GSMP 基于反射点的真实位置进行模拟, 预测的多次波模型更准确。在海上二维采集过程中, 由于电缆受恶劣天气、海流等客观影响, 电缆中一远偏移距偏离测线方向形成羽角, 从而引起共反射点不聚焦, 无法满足 SRME 对数据规则化的要求, 导致多次波预测环节不准确。GSMP 技术正好可以解决此问题, 其对输入数据无规则化要求, 整个过程是数据驱动的, 不依赖于地下有关信息(速度、层位和构造等), 可衰减所有与表层有关的多次波。

GSMP 的具体实现过程主要分为 3 步, 包括道集的预处理、自由表面多次波的预测和自适应相减。预处理主要目的是去除球面扩散补偿, 把速度信息加入到数据道集中, 通过压制直达波或者切除直达波消除其对多次波预测的影响, 从而生成目标道头。多次波预测主要原理是根据数据偏移距、方位角信息, 基于目标道计算和搜索找到理想地震道褶积, 并将所有褶积的道叠加, 以 MCG(Multiple Contribution Gather) 的形式输出, 以此进行下一道运算, 完成多次波模型的预测。自适应相减是为了多次波压制彻底且不损伤有效信号, 可分频在曲波域进

行相减以达到更好的效果。

2.3 高精度 Radon 压制多次波技术

Radon 变换压制多次波的原理是基于有效波和多次波速度差异, 转化为时间差异来实现多次波的分离, 常规的 Radon 变换在二者速度差异较小的时候, 由于 Radon 域内能量的不聚焦, 导致分开不彻底, 同时伴有假频现象。高精度 Radon 变换方法在矩阵方程求解上引入了稀疏约束条件进行加权, 从而有效地解决了有限孔径和稀疏空间采样等问题^[10]。使有效波和多次波能量团较好的聚焦, 稀疏空间采样造成的假频现象一定程度上得到消除, 改善了有限孔径引起的分辨率降低现象, 更有利于有效信号的提取和多次波的压制。

传统抛物线 Radon 变换应用最小二乘方法来尽可能的逼近其变换的逆, 建立最小二乘离散正变换, 其数学表达式为:

$$M = (LL^H + \lambda^2 I)^{-1} LD \quad (2)$$

式中: D 为 f - x 数据; M 为 f - q 域数据; λ 为阻尼因子。

$$L = \exp(iwq_j x_k^2), j = 1, \dots, N_p, k = 1, \dots, N_x \quad (3)$$

$$L^H = \exp(-iwq_j x_k^2), j = 1, \dots, N_p, k = 1, \dots, N_x \quad (4)$$

最小二乘抛物线 Radon 变换中 $(LL^H)^{-1}$ 可以理解为是反褶积算子, 其对 Radon 域一次波和多次波能量聚焦有一定的帮助。但有限孔径产生边界问题的存在, 导致 Radon 域数据分辨率依然达不到理想的效果。另一方面, 同傅里叶变换、 f - k 变换类似, 离散空间采样不足引起的空间假频现象同样存在。高精度抛物线 Radon 变换, 其实现过程是在 Cauchy 准则下将 Radon 域下离散的 (τ, q) 点进行约束, 数学上是将非线性规则化对角矩阵 W 引入到最小二乘抛物线 Radon 变换的算子中, 从而实现 Radon 参数和截断时间变换结果的稀疏性约束, 提升有效波和多次波时差的分辨率。求解方程如下:

$$(LL^H + W^H W) M = LD \quad (5)$$

式中 W 矩阵可以认为是曲率参数 q 的权重向量, 根据 q 的所在区域选择权的大小, 将同相轴能量最强的频带体现出来, 提高 Radon 域能量团的聚焦性, 改善变换的分辨率。为使求解过程更为快速和准确, 采用共轭梯度法, 结合循环行列式, 将矩阵乘积

转换为向量褶积,从而加快计算速度,减少计算量,提供工作效率。

2.4 PRIMAL 压制多次波技术

PRIMAL 方法是基于振幅和频率差异对剩余多次波和绕射多次进行压制的技术。由于近偏移距的多次波时差与有效波时差相差很小, Radon 变换压制多次波在近偏移距往往达不到满意的效果。对于崎岖海底或者地层存在不整合面的时候,绕射多次波不满足顶点在零偏移距的位置,往常规的方法压制后有多次残留。PRIMAL 压制剩余多次波思路是:首先对有效波和多次进行分频处理;然后基于“分区”的概念,把道集按照一定的方向、一定的规则抽成若干个道集,并设定时间窗和振幅门限值,把多次波当成异常噪声进行衰减;最后重构数据得到压制剩余多次波的结果。

3 多次波压制效果分析

3.1 DWD 方法压制效果

东海资料为浅水数据,根据前面的分析,首先使用确定性水层多次波压制方法(DWD)压制跟海底相关的短周期多次波,DWD 技术关键参数在于海底周期时间的拾取,以及水速和海底反射系数的定义,尤其是海底周期为水速校正后所拾取的时间。图 5 为单炮记录多次波压制前后的对比图,可以看出,海底反射以下的能量较强的一阶多次得到

衰减,有效反射下跟随的“多轴”现象得到了消除(箭头所指),有效同相轴能量基本没有损失。图 6 为 DWD 压制前后的叠加剖面对比图,去除海底多次波后,有效反射得到突出,尤其是中深层的反射特征,多阶多次波去除后,剖面中波阻特征更加明显。

3.2 GSMP 方法压制效果

GSMP 方法主要是针对崎岖海底发展起来的自由表面多次波压制技术,相对于传统 SRME 技术,其优势在于对于倾斜界面发生的多次波,压制效果更好,由于东海陆架构造复杂,尤其是凹陷地区,地层起伏较大,多次波去除难度增大。前面已经对海底相关短周期多次波进行了衰减,因此,在 GSMP 处理过程中,需进行海底切除预处理,目的是不预测海底相关多次波,只预测跟地层相关的长周期多次波。其主要的关键参数为目标道的孔径和网格以及邻近点搜索算法的选择。

图 7a 为经过 DWD 压制多次波后的单炮记录,可以看出,箭头所指位置为新生界底界面(基底)的多次波,能量较强,并没有被衰减。从时间周期分析,炮集上多次波大约为地层反射时间的 2 倍,对应一阶多次能量较强,多阶多次能量由于传播时间关系能量很弱。图 7 为 GSMP 去除多次前后单炮记录对比,可以看出,长周期多次波得到较好的衰减,有效信号基本没有被伤害,去除后的炮集信噪比有了提升,但是中远偏移距仍旧残留有多次波。从叠加剖面压制效果分析(图 8),由于基底一阶多次波能量较强,成像很清晰,经过 GSMP 技术去除

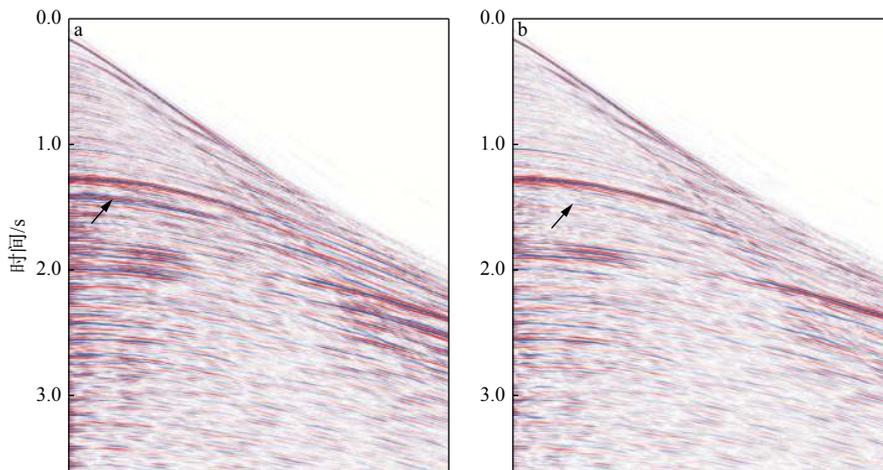


图 5 炮集上 DWD 压制前后对比

Fig.5 Comparison of profiles on the shot gather before and after DWD suppression

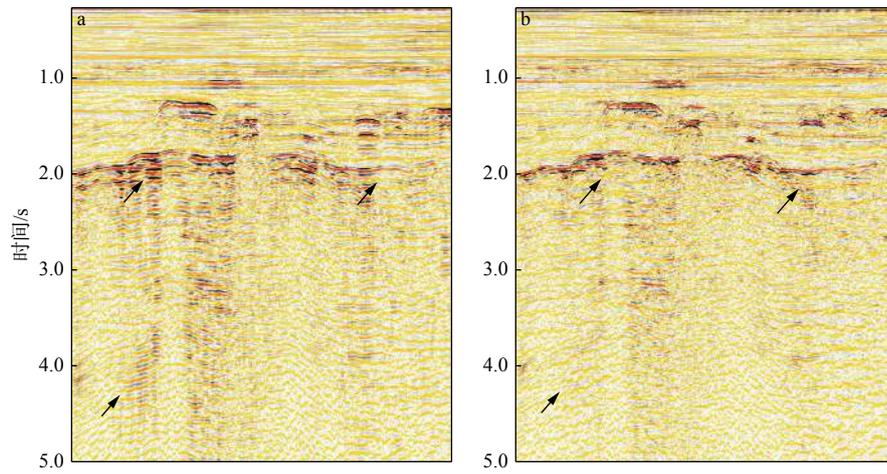


图 6 叠加剖面上 DWD 压制前后对比

Fig.6 Comparison of profiles on the stack section before and after DWD suppression

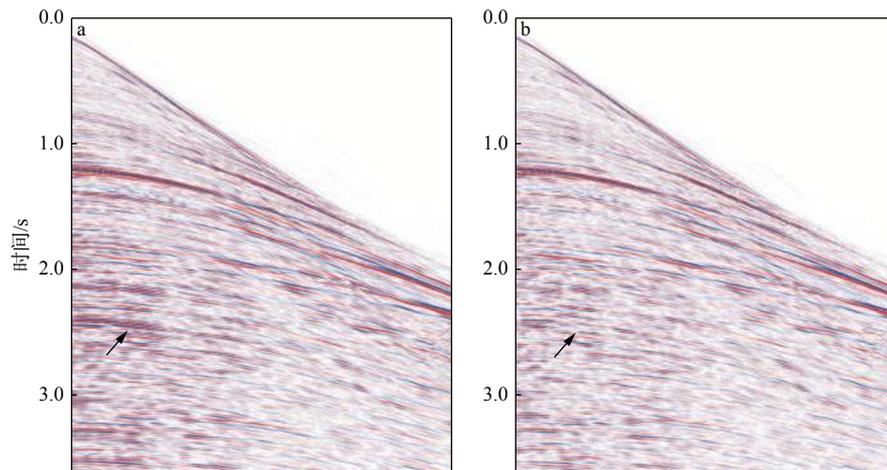


图 7 炮集上 GSMP 压制前后对比

Fig.7 Comparison of profiles on the shot gather before and after GSMP suppression

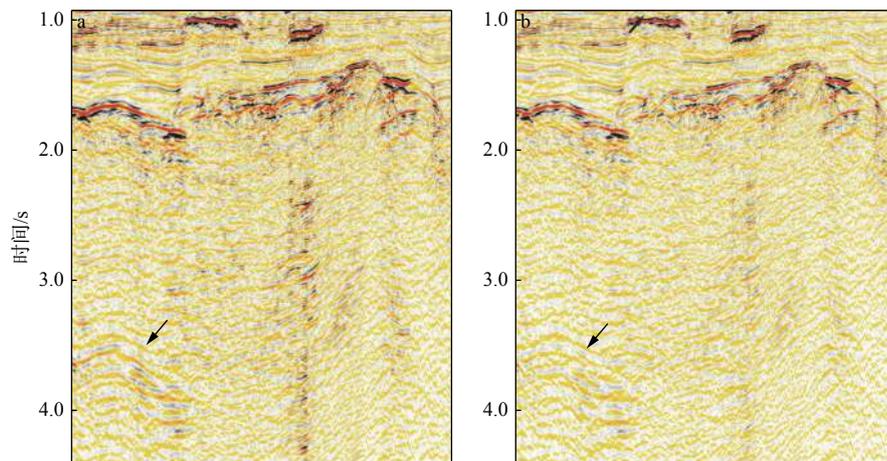


图 8 叠加剖面上 GSMP 压制前后对比

Fig.8 Comparison of profiles on the stack section before and after GSMP suppression

后, 叠加剖面上基底多次波得到压制, 中深层构造形态更加清楚。

3.3 高精度 Radon 变换压制效果

经过 DWD 和 GSMP 技术去除后的炮集在中远偏移距上仍旧存在残留多次波(图 9a), 高精度 Radon 刚好可以解决这个问题。由于 Radon 变换压制多次波技术主要是基于有效波和多次波速度的差异进行处理, 因此需要在 Radon 处理前进行精细的速度分析, 尽量提取出有效信号和多次的速度差异。为了得到更好的压制效果, 一般会先对道集进行插值处理, 目的是防止变换过程中产生假频。图 9 是经过 Radon 变换后炮集的压制前后对比图, 可以看出, 中深层的中远偏移距的多次波基本去除干净(图 9b), 道集信噪比更高, 有效波也得到了很

好的保护。图 10 是 Radon 变换后的叠加剖面对比图, 可以看出, 跟地层相关的长周期多次波压制效果明显, 有效波能量得到突出, 叠加剖面的信噪比得到明显改善。

3.4 PRIMAL 技术压制效果

在 PRIMAL 压制多次波流程中, 决定效果好坏的是“分区”的个数和给定的振幅阈值, 为了处理过程中不损伤浅层的有效信号, 通常的做法是对中深层形成一个切除保护, 同时提取多次波的主要频带进行处理。图 11、图 12 分别是 PRIMAL 压制剩余多次波前后道集、叠加剖面对比。可以看出, 残留的近偏移距多次波得到有效压制, 剖面上“竖条状”消失了, 有效同相轴更加清晰, 信噪比得到提高。

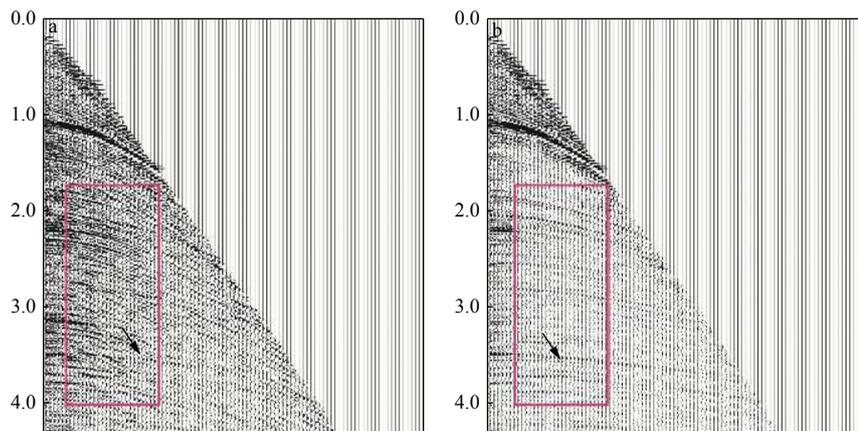


图 9 道集上 Radon 变换压制前后对比

Fig.9 Comparison of profiles on the shot gather before and after Radon transform suppression

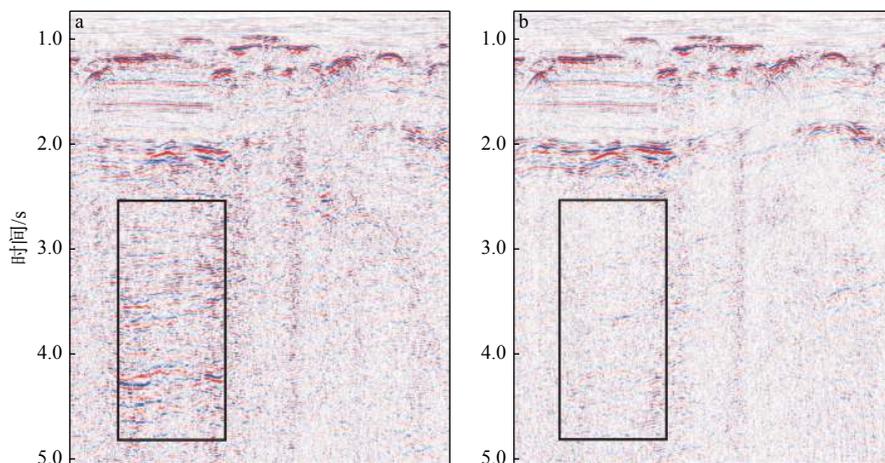


图 10 叠加剖面上 Radon 变换压制前后对比

Fig.10 Comparison of profiles on the stack section before and after Radon transform suppression

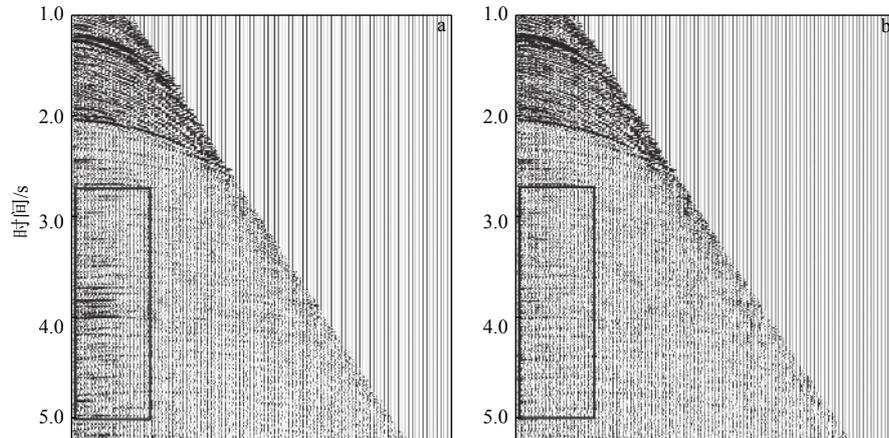


图 11 道集上 PRIMAL 压制前后对比

Fig.11 Comparison of the profiles on the shot gather before and after PRIMAL suppression

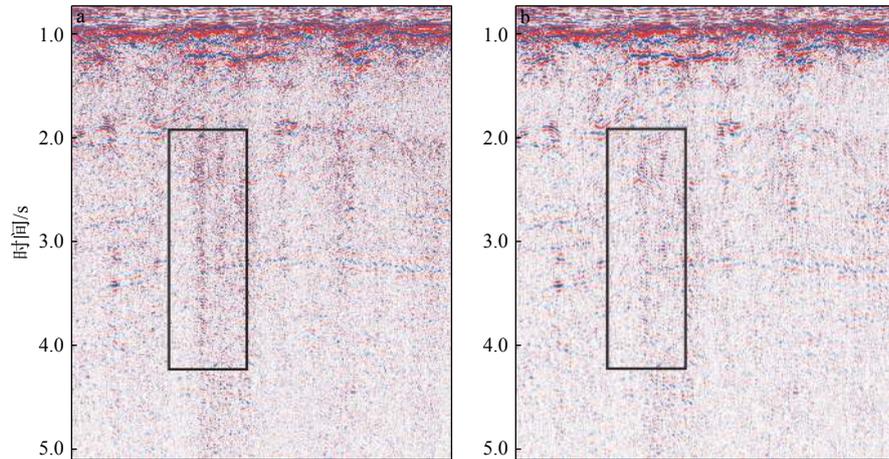


图 12 叠加剖面上 PRIMAL 压制前后对比

Fig.12 Comparison of the profiles on the stack section before and after PRIMAL suppression

4 结论

东海地震资料多次波发育类型较多,除了海底相关的多次波外,还存在强阻抗界面(新生界底界面)产生的长周期多次波,另外东海主要目的层在中生界,资料中深层信噪比较低,有效的反射能量弱,给多次波压制、目的层成像工作带来了极大困难。因此,需要对多次波彻底压制,才能使深部有效信号得到体现。本次处理综合利用各种多次波压制方法的优势,通过不断组合实验,内外切除及分频处理,形成了一套适合东海多道地震资料多次波压制的流程。处理效果表明,DWD+GSMP, RADON+PRIMAL 的组合方式能有效地去除海底相关多次波,减少了对有效信号的损害。

在海洋地震资料处理中,层间多次波压制是难点,东海资料部分测线存在层间多次,这套处理流程还达不到满意的压制效果,目前针对层间多次波压制都是基于三维数据,二维地震的层间多次压制需要进行攻关研究。

参考文献:

- [1] 刘俊, 吴淑玉, 陈建文, 等. 南海海崂山隆起浅水多次波压制及成像分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2017, 37(3): 111-119.
- [2] 李列, 谢玉洪, 李志娜, 等. 海上多次波压制与成像方法研究进展[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(1): 446-453.
- [3] Wang Y H. Multiple attenuation: coping with the spatial truncation effect in the Radon transform domain[J]. *Geophysical Prospecting*, 2003, 51(1): 75-87.
- [4] 胡天跃, 王润秋, 温书亮. 聚束滤波法消除海上地震资料的多次波[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(1): 18-23, 98.

- [5] 沈操. 基于波动方程的自由界面多次波压制 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2003.
- [6] 牛滨华, 沈操, 黄新武. 波动方程多次波压制技术的进展 [J]. 地球物理学进展, 2002, 17(3): 480-485.
- [7] 孙海龙, 王德利, 陈鑫, 等. 基于波场延拓的多次波压制技术及其改进 [J]. 世界地质, 2015, 34(1): 226-231.
- [8] 金德刚, 常旭, 刘伊克. 逆散射级数法预测层间多次波的算法改进及其策略 [J]. 地球物理学报, 2008, 51(4): 1209-1217.
- [9] 石颖, 井洪亮, 李莹. 反馈迭代法压制表面多次波效果分析 [J]. 地球物理学进展, 2012, 27(4): 1493-1500.
- [10] 郭梦秋, 赵彦良, 左胜杰, 等. 海上地震资料处理中的组合压制多次波技术 [J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(4): 537-544.
- [11] 张军华, 缪彦舒, 郑旭刚, 等. 预测反褶积去多次波几个理论问题探讨 [J]. 物探化探计算技术, 2009, 31(1): 6-10.
- [12] 郑旭刚. τ - p 域反褶积压制多次波方法研究 [D]. 青岛: 中国石油大学 (华东), 2009.
- [13] 刘喜武, 刘洪, 李幼铭. 高分辨率 Radon 变换方法及其在地震信号处理中的应用 [J]. 地球物理学进展, 2004, 19(1): 8-15.
- [14] 贾连凯, 吴时国, 赵昌奎. 多次波压制技术在南海北部陆缘深水区的应用 [J]. 地球物理学进展, 2014, 29(2): 920-930.
- [15] 杨佳佳, 潘军, 栾锡武, 等. 浅水多次波衰减技术在多道地震数据处理中的应用 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2019, 40(6): 1-8.
- [16] Verschuur D J, Prein R G. Multiple removal results from Delft University [J]. The Leading Edge, 2012, 18(1): 86-91.
- [17] Hargreaves N. Surface multiple attenuation in shallow water and the construction of primaries from multiples [J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2006: 2689-2693.
- [18] van Groenestijn G J A, Verschuur D J. Estimating primaries by sparse inversion and application to near-offset data reconstruction [J]. Geophysics, 2009, 74(3): 23-28.
- [19] 白兰淑, 刘伊克, 卢回忆. 稀疏反演多次波去除策略与效果分析 [J]. 地球物理学报, 2017, 60(12): 4801-4813.
- [20] 王惠东, 潘军, 颜中辉, 等. 东海陆架多次波特点及去除策略 [J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(4): 64-70.
- [21] 施剑, 刘江平, 陈刚, 等. 陆架浅水区自由表面多次波压制方法 [J]. 地球物理学进展, 2017, 32(2): 902-910.
- [22] 郭爱华, 叶月明, 臧梅, 等. 老爷庙火成岩发育区低信噪比资料处理关键技术探讨 [J]. 地球物理学进展, 2018, 33(3): 1043-1050.
- [23] 张振波, 轩义华, 刘宾. 基于各向异性理论的深水地震资料叠前处理技术 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2014, 44(3): 1031-1038.
- [24] 崔树果. 东海海域自由表面多次波压制方法研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.

KEY TECHNIQUES FOR MULTIPLE WAVE SUPPRESSION IN THE EAST CHINA SEA

YAN Zhonghui^{1,2}, WANG Xiaojie^{1,2*}, LIU Yuanyuan³, XU Huaning^{1,2},
YANG Jiajia^{1,2}, YANG Changqing^{1,2}, YANG Chuansheng^{1,2}

(1 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, MNR, Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China; 2 Function Laboratory of Marine Geo-Resource Evaluation and Exploration Technology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China; 3 Geophysical Exploration Academy of China Metallurgical Geology Bureau, Baoding 071051, Hebei, China)

Abstract: The East China Sea is a typical shelf sea covered by shallow water. Seismic data there is strongly affected by some reflection interfaces, such as the water surface, the sea floor, and the Neogene bottom boundary. Multiple waves are common and the middle to deep seismic reflection signals are always masked, so the quality of deep images is poor. Conventional SRME or DWD methods can not effectively suppress the multiple waves. In this paper, therefore, a combined suppression method is proposed for solving the problem. Firstly, the DWD method is used to attenuate the seabed-related short-cycle multiples. Then converted the 3D GSMP to 2D so as to remove the long-cycle multiples related to the layered underground strata. Residual near-offset multiples are suppressed using PRIMAL, while the mid-to-far offset multiples are suppressed with high-precision RADON transformation. The processing results of the two-dimensional data from the East China Sea shelf proves that the methods mentioned above may effectively solve the multiple wave problems in the East China Sea, particularly for the reflection signals from the middle and deep parts, and thus imaging quality of the Mesozoic is much improved.

Key words: DWD; GSMP; high precision Radon; PRIMAL; East China Sea