

混合相位反褶积在地震资料处理中的应用

伊振林^{1,2}, 王润秋¹, 宋常洲³, 李青⁴, 回王琇⁵, 苏向光²

1. 中国石油大学资源与信息学院; CNPC 物探重点实验室, 北京 102249
2. 大庆油田勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163712
3. 石油物探局研究院, 河北涿州 072751
4. 塔里木油田勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000
5. 大庆油田采油六厂信息中心, 黑龙江大庆 163114

摘要 实际地震资料处理中的子波是混合相位, 对此提出一种改进的混合相位反褶积流程。在地震道中抽取一个标准道, 利用谱模拟的方法求出地震子波的自相关; 利用计算子波的自相关, 设计了一个最小相位的滤波器, 增加一个延迟量于自相关函数主对角线上, 将最小相位滤波器分解为一个长度很短的滤波器和一个长度较长滤波器的褶积, 得到一系列混和相位的子波和混和相位滤波器; 将这些混和相位滤波器与原始地震道进行褶积, 选出最佳的混和相位滤波器。通过理论模型与实际地震资料对比, 证明混和相位反褶积优于最小相位反褶积。

关键词 混合相位子波; 反褶积; 滤波器

中图分类号 P631.4

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)01-0078-04

Application of Mix-phase Deconvolution in Seismic Data Processing

YI Zhenlin^{1,2}, WANG Runqiu¹, SONG Changzhou³, LI Qing⁴, HUI Wangxiu⁵, SU Xiangguang²

1. Key Geophysical Laboratory of CNPC; College of Resource and Information, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
2. Exploration and Development Research Institute, Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163712, Heilongjiang Province, China
3. Geophysical Research Institute, Bureau of Geophysical Prospecting, Zhuozhou 072751, Hebei Province, China
4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, Kuerle 841000, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China
5. Information Center, No. 6 Oil Production Company, Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163114, Heilongjiang Province, China

Abstract Mixed-phase deconvolution is proposed to process the seismic data, with a new flowchart of the mix-phase deconvolution, based on the fact that the seismic wavelet is a mix-phase wavelet. Firstly, the amplitude spectrum of the seismic wavelet is fitted by least squares method according to the relationship between the autocorrelation of the seismic records and the autocorrelation of the seismic wavelet, and then the autocorrelation of the seismic wavelet is computed anew. Secondly, a minimum phase filter is designed by using computed autocorrelation of the seismic wavelet, a delay is added to the dominant diagonal of the autocorrelation function, a minimum phase filter is decomposed into a short filter and is convoluted with a longer filter, resulting in a series of mixed phase wavelets and a mixed phase filter. Finally, the resulted mixed phase filter is convoluted with raw seismic traces, and an optimal mixed phase filter and an associated mixed phase wavelet are selected. The model test and the real data processing show that the mixed phase deconvolution is better than the minimum phase deconvolution.

Keywords mixed-phase wavelet; deconvolution; filter

收稿日期: 2009-07-24

作者简介: 伊振林, 博士后, 研究方向为地球物理、储层预测和油藏描述, 电子信箱: yzl_7675@sina.com

随着勘探技术不断发展,对地震资料处理提出了更高的要求^[1],由此出现了一系列提高地震资料分辨率的方法。例如,黄小晶等分别在 1989 年、1990 年提出了混合相位未知脉冲的最小平反褶积的改进方法^[2-3];易宗富等 1994 年提出了一种适用于混合相位未知脉冲的反褶积方法^[4];Milton J. Porsani 等 1998 年提出了混合相位反褶积的概念^[5]。在借鉴前人成果的基础上,本研究提出一种混合相位反褶积流程,并在理论模型和实际资料中进行验证。

1 混合相位反褶积实现

考虑一个实际的、因果的混合延迟脉冲 $p_t=\{p_0, p_1, p_2, \dots, p_N\}$ 的 Z -变换:

$$P(Z)=\sum_{j=0}^N p_j Z^j \quad (1)$$

假定 $P(Z)$ 在单位圆上没有零点,在单位圆内有 β 个零点,而在单位圆外有 $N-\beta$ 个零点。于是, $P(Z)$ 可被分解为一个最小相位分量 $A(Z)$ 和一个最大相位分量 $Z^\beta B(Z^{-1})$:

$$P(Z)=\hat{p}_0 A(Z) Z^\beta B(Z^{-1}) \quad (2)$$

式中, $\hat{p}_0$ 为由下式定义的 $\hat{p}_i$ 最小相位延迟脉冲的第一个样点。

$$A(Z)=1+a_1 Z^{-1}+a_2 Z^{-2}+\dots+a_{N-\beta} Z^{N-\beta} \quad (3)$$

$$B(Z^{-1})=1+b_1 Z^{-1}+b_2 Z^{-2}+\dots+b_\beta Z^{-\beta} \quad (4)$$

与 p_t 具有相同的振幅谱(即自相关函数)的最小延迟脉冲是 $\hat{p}_t=\{\hat{p}_0, \hat{p}_1, \hat{p}_2, \dots, \hat{p}_N\}$, 由下式给出:

$$\hat{p}_t=\hat{p}_0 a_t^* b_t \quad (5)$$

其 Z 变换为

$$\hat{P}(Z)=\hat{p}_0 A(Z) B(Z) \quad (6)$$

从式(2)可得:

$$P(Z)=\hat{P}(Z) \frac{Z^\beta B(Z^{-1})}{B(Z)} \quad (7)$$

即混合延迟脉冲是最小延迟脉冲与一个全通滤波器的褶积。

计算脉冲 $p(t)$ 的反滤波器 h_t , 使得

$$h_t * p_t = \delta_t = \begin{cases} 1 & t=0 \\ 0 & t \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

注意到最小延迟脉冲 $\hat{p}_t$ 的反向滤波器 $\hat{h}_t$ 的 Z 变换是稳定的和因果的, 即

$$\hat{H}(Z)=\frac{1}{\hat{P}(Z)}=\frac{1}{\hat{p}_0} \frac{1}{Z(A)} \frac{1}{B(A)}=\frac{1}{\hat{p}_0} C(Z) D(Z) \quad (9)$$

式中, $C(Z)$ 和 $D(Z)$ 分别为 $c_t=a_t^{-1}$ 和 $d_t=b_t^{-1}$ 的 Z 变换。

脉冲 p_t 反滤波器具有 Z 变换:

$$H(Z)=\frac{1}{P(Z)}=\frac{1}{\hat{p}_0} \frac{1}{Z(A)} \frac{Z^\beta}{B(Z^{-1})}=\frac{1}{\hat{p}_0} C(Z) Z^\beta D(Z^{-1}) \quad (10)$$

$$H(Z)=\hat{H}(Z) \frac{Z^\beta D(Z^{-1})}{D(Z)}=\hat{H}(Z) \frac{B(Z)}{Z^\beta B(Z^{-1})} \quad (11)$$

即这个混合相位反滤波器等于一个最小相位反滤波器与一个全通滤波器的褶积。混合相位反褶积的实现如图 1 所示。

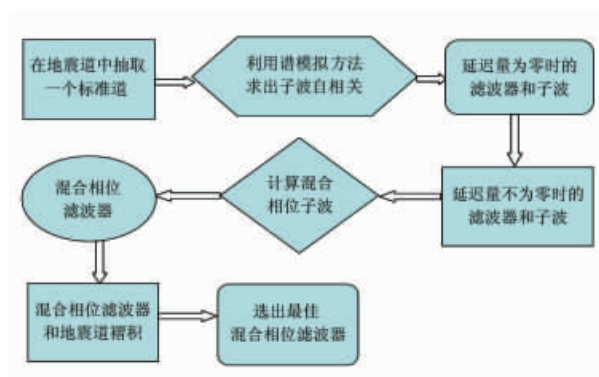


图 1 混合相位反褶积实现

Fig. 1 Procedure of mix-phase deconvolution

2 模型处理

图 2 是假设的地下反射系数序列, 形成图 3 的模型地震道, 从中抽取某一道, 作为标准道。为了得到子波的自相关, 应用谱模拟方法^[6], 根据地震道的振幅谱, 模拟出子波的振幅谱如图 4 所示。图 5 是地震道的自相关和模拟自相关, 在拟合时, 须把握好拟合尺度, 既不要过拟合, 也不要欠拟合, 过拟合、欠拟合将不能真实反映原始地震道。图 4(a) 为拟合正常的情况, 图 4(b) 拟合得不够。可以看出, 拟合正常的子波振幅谱能够很好地与原始地震道自相关相吻合(图 5(a)), 而拟合不好的子波振幅谱则不能很真实反映出原始地震道的自相关(图 5(b)), 这对褶积效果的影响很大。

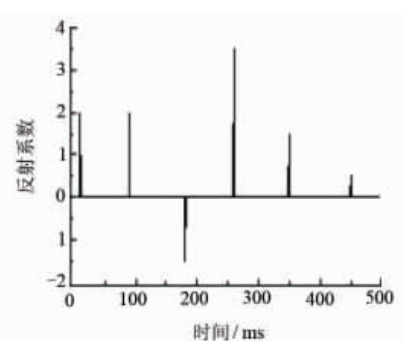


图 2 模型反射系数序列

Fig. 2 Reflection coefficient sequence of the model

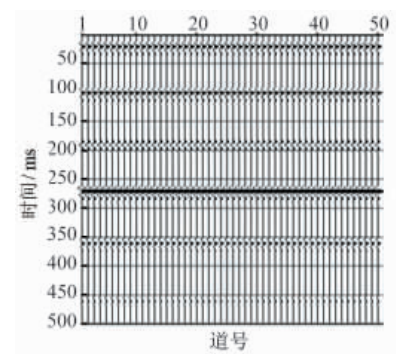
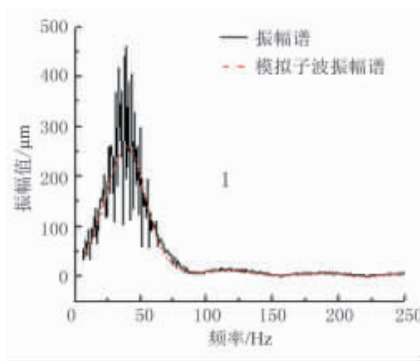
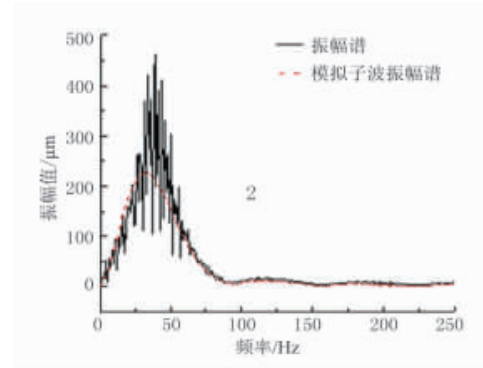


图 3 地震道模型

Fig. 3 Seismic traces model



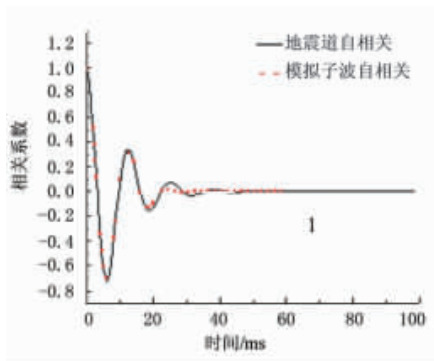
(a)



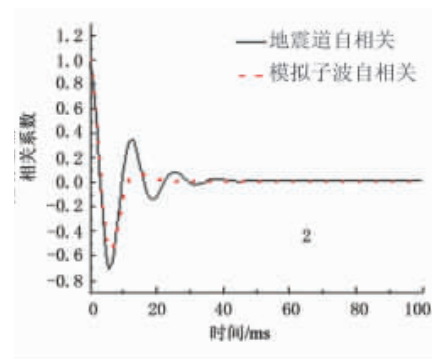
(b)

图 4 某道振幅谱及其模拟子波振幅谱

Fig. 4 Amplitude spectrum of seismic trace and simulation wavelet



(a)



(b)

图 5 地震道的自相关及其模拟子波自相关

Fig. 5 Autocorrelation of seismic trace and simulation wavelet

根据上述方法对理论模型进行处理,反褶积后的地震道如图 6 和图 7 所示。可以看到,利用混合相位反褶积后的地震道明显优于利用最小相位反褶积后的地震道。

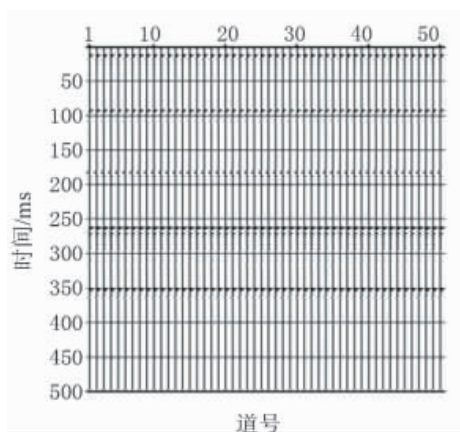


图 6 最小相位反褶积后的结果

Fig. 6 Minimum phase deconvolution of the model

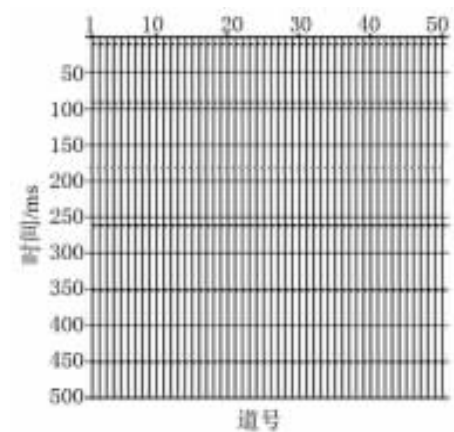


图 7 混合相位反褶积结果

Fig. 7 Mixed phase deconvolution of the model

3 实际资料处理

为了证明该方法对地震资料处理的效果,对某地区的叠前资料进行了处理,通过反褶积后,剖面的分辨率有所提高,但最小反褶积在提高分辨率的同时,信噪比有所降低,而混和相位反褶积后信噪比优于最小相位反褶积(图 8)。

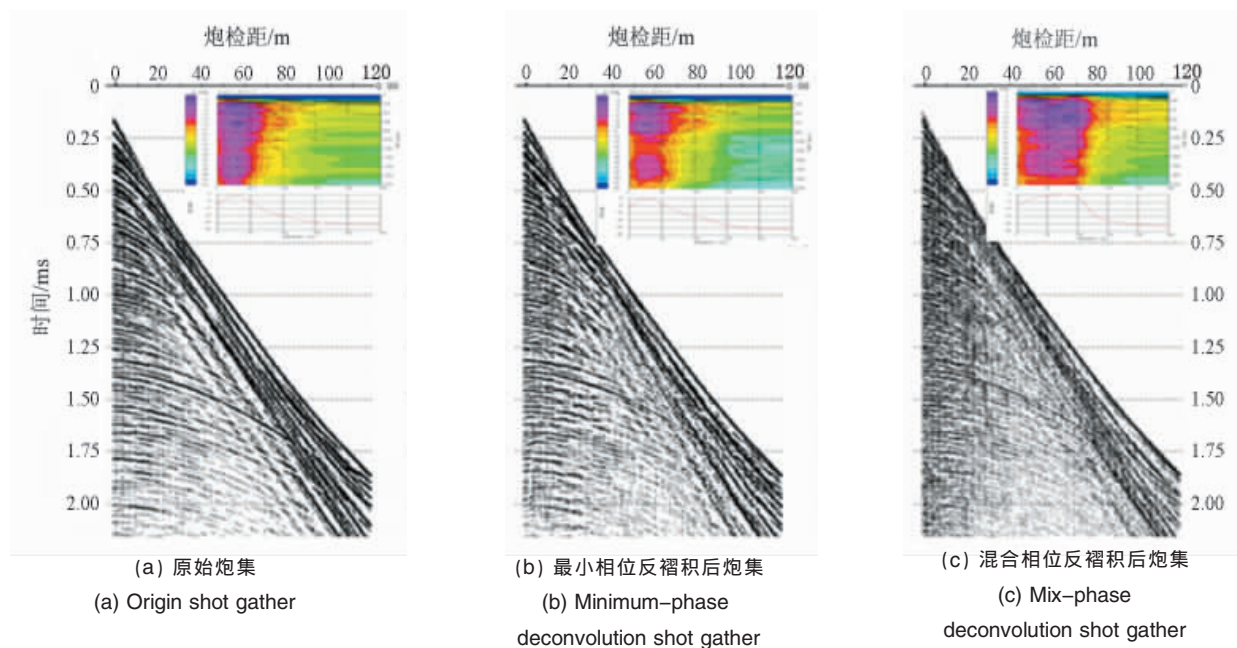


图 8 叠前资料最小相位反褶积和混合相位反褶积
Fig. 8 Pre-stack seismic data of minimum phase deconvolution and mixed phase deconvolution

4 结论

在进行混合相位反褶积的过程中，子波的提取很重要，子波自相关拟合的优劣将直接关系到以后的褶积效果。在计算过程中，由于涉及最小二乘解问题，所以如何得到稳定的精确解是要着重注意的问题。总之，混合相位反褶积方法的研究表明，这种方法是提高地震资料分辨率有效和实用的处理技术，对理论模型资料和叠前实际资料的处理可取得很好效果。

参考文献 (References)

- [1] 杨占龙, 陈启林, 郭精义, 等. 模型正演与地震资料品质分析. 天然气地球科学, 2005, 16(5): 641-646.
Yang Zhanlong, Chen Qilin, Guo Jingyi, et al. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(5): 641-646.
- [2] 黄小晶. 一种适用于有限长度混合相位未知脉冲的最小平方反褶积

新方法[J]. 石油地球物理勘探, 1989, 24(5): 497-503.

Huang Xiaojing. Oil Geophysical Prospecting, 1989, 24(5): 497-503.

- [3] 黄小晶. 混合相位未知脉冲反褶积的一种改进方法[J]. 石油地球物理勘探, 1990, 25(1): 39-44.

Huang Xiaojing. Oil Geophysical Prospecting, 1990, 25(1): 39-44.

- [4] 易宗富, 周华兴. 一种适用于混合相位未知脉冲的反褶积方法, 西南石油学院学报, 1994, 16(1): 17-22.

Yi Zongfu, Zhou Huaxing. Chinese Journal of Computation Physics, 1994, 16(1): 17-22.

- [5] Porsani M J, Ursin B. Mixed-phase deconvolution [J]. Geophysics, 1998, 63(2): 637-647.

- [6] 赵波, 俞寿朋, 聂勋碧, 等. 谱模拟反褶积方法及其应用 [J]. 石油地球物理勘探, 1996, 31(1): 101-115.

Zhao Bo, Yu Shoupeng, Nie Xunbie, et al. Oil Geophysical Prospecting, 1996, 31(1): 101-115.

(责任编辑 朱宇)

·学术动态·

“核电站新技术交流研讨会”征文

中国电机工程学会将于 2010 年 8 月主办“核电站新技术交流研讨会”。

征文内容包括：核电站安全运行管理与实践；核电站建设过程中的安全管理和质量保证；核电工程建设项目管理创新与实践；核电站建造技术创新与实践；核电设计技术引进、消化、吸收、再创新；核电用大型铸锻件与关键设备制造国产化；设备成套管理与实践；核电站调试技术与创新。

全文截稿时间为 2010 年 6 月 30 日。大会网站：http://www.csee.org.cn/data/2009/1230/article_4405.htm。

联系人：魏毓璞；电话：0533-6282968；传真：0533-6282968；电子信箱：rd8856@vip.163.com。

