

文章编号:1673-5005(2010)01-0034-03

基于时频分析的地震道集校平技术应用

慎国强^{1,2}, 王玉梅², 孟宪军², 陆文凯³, 李霞²

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 胜利油田 物探研究院, 山东 东营 257022;
3. 清华大学 信息科学技术学院, 北京 100084)

摘要:依据现代信号分析理论,对叠前地震道集剩余动校正量的消除技术进行研究,在模型数据和实际数据的试验基础上,探讨基于时频分析技术的叠前道集校平方法。结果表明:通过对地震信号进行时频分解,并在信号重构时完成高精度的剩余动校正量的消除,处理前后信号振幅不变,道集同相性增强,叠加后信号有效频带变宽;利用近偏移距地震道的叠加道作为模型道,在有效消除剩余时差和校平同相轴的同时,避免了叠前道集动校拉伸畸变对模型道的影响,保证了技术实现的精度;该方法在消除叠前道集中剩余动校正量方面具有较强的实用性。

关键词:时频分析;模型道;道集校平;剩余动校正量

中图分类号:P 631.4 文献标志码:A

Application of seismic gather flattening technique based on time-frequency analysis

SHEN Guo-qiang^{1,2}, WANG Yu-mei², MENG Xian-jun², LU Wen-kai³, LI Xia²

(1. College of Geo-Resources and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, China;
2. Geophysical Research Institute of Shengli Oilfield, Dongying 257022, China;
3. School of Information Science and Technology of Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In terms of the modern signal analysis theory and the experiment of model data and actual data, the method based on time-frequency analysis to conduct pre-stack gather smoothing was discussed through the research of eliminating the residual normal moveout (NMO) of the pre-stack gather. The results show that the amplitude remains unchanged after processing, gather in phase increases, and the effective frequency band of the post-stack signal broadens by time-frequency decomposition seismic signal and high-accuracy elimination residual NMO in signal reconstruction. Using sub-stack of near-offset seismic gather as a model trace, the impact of the dynamic stretching distortion on the model trace is avoided when the residual moveout is eliminated effectively and the event is flattened, thus the accuracy of the technology can be ensured. This method shows practicalness for eliminating the residual NMO in the pre-stack gather.

Key words: time-frequency analysis; model trace; gather flattening; residual normal moveout

叠前地震反演是目前油气藏描述过程中的一项重要技术,它以叠前地震道集的AVA特征分析为基础^[1]。叠前地震资料剩余动校正量的存在,在进行地震属性提取和地震反演时,会导致属性分析和反演精度的可靠性降低^[2-3]。为了提高叠前属性和反演的基础资料精度,必须消除道集中的剩余动校正量,常规的剩余速度分析和高次项动校正技术在大多数情况下不能满足要求。针对这种状况,笔者采用其他消除

剩余动校正量的方法和思路^[2,4],研究基于时频分析的叠前道集剩余动校正量估计和消除技术。

1 时频分析道集校平原理

常用的时频分析工具有短时 Fourier 变换、小波变换和 S 变换等^[5]。其中,与连续小波变换、短时 Fourier 变换相比,S 变换有其独特的优点。S 变换除了窗函数随着频率改变之外和短时 Fourier 变换

收稿日期:2009-08-11

基金项目:国家科技支撑项目(2006BAB03B02)

作者简介:慎国强(1973-),男(汉族),河南新密人,高级工程师,硕士,主要从事地震资料特殊处理和储层综合描述工作。

是一样的,这使得 S 变换在频域比短时 Fourier 变换具有更高的分辨率。

S 变换满足下面的关系式:

$$\int_{-\infty}^{\infty} S(\tau, f) d\tau = H(f). \quad (1)$$

式中, $S(\tau, f)$ 为信号 $h(t)$ 的 S 变换; $H(f)$ 为信号 $h(t)$ 的 Fourier 变换; τ 和 f 分别为时间和频率,均为实数。函数 $h(t) \in L^2(\mathbf{R}), L^2(\mathbf{R})$ 表示实数域上的平方可积函数空间。

对于一个地震道 $x(t)$, 应用上述方法可产生一个二维时频谱图 $X(t, \omega)$, 对于二维地震数据, 时频分析的结果为三维数据体。记一个三维的共成像点道集为 $g(t, x, y)$, t 为时间, x, y 为大地坐标。记对应 (x, y) 的地震动道的偏移距为 $o(x, y)$ 。

1.1 模型道的建立

一般情况下, 人们采用共成像点道集的叠加道来作为模型道^[4], 但为了减少动校正的拉伸畸变对模型道的影响, 只利用近偏移距地震道的叠加道作为模型道。记近偏移距地震道的集合为 $I_m = \{o(x, y) < L\}$, 其中 L 为给定的偏移距阈值。所形成的模型道为

$$m(t) = \sum_{I_m} g(t, x, y). \quad (2)$$

1.2 剩余动校正量的估计

对模型道 $m(t)$ 和任一地震道 $g(t, x_0, y_0)$ 先进行时频分解, 分别得到 $M(t, f)$ 和 $G(t, f, x_0, y_0)$ 。在时频域中, 对任一时间点 t_0 , 沿频率轴得到一个向量作为特征, 即对应模型道的特征为 $M(t_0, f)$, 地震道的特征为 $G(t_0, f, x_0, y_0)$ 。将地震道 $g(t, x_0, y_0)$ 上的每一点和模型道之间的剩余动校正量记为 $\Delta t(t, x_0, y_0)$, 利用时延估计技术, 对每一个频率分量 f 估计出该地震道上每一点和模型道之间的剩余动校正量, 即

$$\begin{aligned} \max_{\Delta t(t, x_0, y_0)} (C(\Delta t(t, x_0, y_0))) = \\ \sum_t \left\{ \sum_f [G(t + \Delta t(t, x_0, y_0), f, x_0, y_0) M(t, f)] \right\}. \end{aligned} \quad (3)$$

该式即是求待校正地震道和模型道在同一频率分量上的互相关。令待校正地震道沿模型道在某一时刻 t 附近来回移动, 使式(3)的互相关达到最大时移即为该时刻 t 的最佳剩余动校正量。在实际剩余动校正量的求取过程中采用沿 t 轴滑动时窗的方法, 同时考虑地震同相轴在时间上前后顺序的约束关系, 即判断求取的剩余动校正量是否造成了串相位。一般情况下, 利用事先给定的剩余动校正量的值域范围, 使目标函数式(3)在该值域范围内达到最大化,

可以得到一个比较精确的剩余动校正量。

1.3 剩余动校正量的消除

利用上一步得到的剩余动校正量, 对于地震道上的每一点, 在时频域中补偿剩余动校正量对应的相位, 得到修正后的频谱为

$$R(f, x_0, y_0) = \sum_t \{G(t, f, x_0, y_0) \exp(-i\Delta t(t, x_0, y_0)f)\}. \quad (4)$$

最后利用修正后的频谱重构得到消除剩余动校正量后的地震道为

$$r(t, x_0, y_0) = \text{IFFT}(R(f, x_0, y_0)). \quad (5)$$

式中, $\text{IFFT}(\cdot)$ 为一维反傅里叶变换。

2 数据处理试验

为了验证方法的有效性, 将所提出的方法应用于合成数据和实际数据处理。

2.1 人工合成数据处理

图 1 是一个人工合成地震道集, 该道集存在剩余动校正, 并叠加了信噪比为 30 dB 的噪声。图 2 中给出了该道集对应的模型道和对该模型道进行 S 变换的振幅谱, 图 3 是利用所提出方法对该道集进行剩余动校正后的结果。对比图 1 和图 3, 可以清楚地看到经过校正后的剩余动校正量得到了很好的消除。

图 1 人工合成地震道集

Fig. 1 Manual synthetic seismic gathers

图 2 模型道及其 S 变换振幅谱

Fig. 2 Model gathers and its S transform amplitude spectrum

图3 消除剩余动校正量的道集

Fig.3 Gathers after eliminating residual NMO

2.2 实际数据处理

在模型数据处理的基础上,进一步通过实际地震资料的处理对所提方法开展了有效性测试。图4

为剩余动校正量消除前、后对应的相同的连续5个道集,其中每个道集有18道数据,采样率为4ms,每个道集显示了1.72~2.22s的数据。从图中可以看出剩余动校正量得到了有效的消除。

将图4中的第二个道集的数据进行叠加,得到了一个叠加道。图5(a)部分显示了第二道集处理前、后的叠加道。对应两个叠加道的振幅谱显示在图5(b)。虚线是校正后的叠加道及其振幅谱,实线是处理前的叠加道及其振幅谱。从图中可以看出,经过本方法消除剩余动校正量后,叠加道的分辨率得到提高,而且处理后叠加道的振幅谱较之处理前的得到了增强,也说明处理后原始地震数据中的剩余动校正量得到了有效的消除。

图4 剩余动校正量消除效果对比

Fig.4 Effect comparison before and after eliminating residual NMO

上为叠前地震属性和反演提供了良好的基础保障,通过后续更进一步开展反演试验模型应用工作,验证了经过该技术校平后的道集数据有助于提高叠前属性分析的精度。

图5 剩余动校正量消除前后的叠加道及振幅谱

Fig.5 Stacked gathers and amplitude spectrum before and after eliminating residual NMO

对上述叠加道进行S变换。图6为剩余动校正量消除前、后叠加道的S变换振幅谱。可以看出经过本方法处理后,叠加道的有效频带变宽,幅度增强,说明共成像道集经过本方法处理后同相性增强,原始道集中的剩余动校正量得到了有效的消除。

叠前地震道集的校平处理,从原始资料的品质

图6 剩余动校正量消除前后的S变换振幅谱

Fig.6 S transform amplitude spectrum before and after eliminating residual NMO

3 结论

(1)通过对地震信号进行时频分解,并在信号重构时完成高精度的剩余动校正量的消除,处理前

(下转第45页)