

基于子波相位谱扫描法的子波求取方法*

A WAVELET ESTIMATION METHOD BASED ON THE WAVELET PHASE SPECTRUM SCANNING

刘金俊¹ 王修田² 徐世浙³ 张训华¹

(¹ 国土资源部海洋地质研究所 青岛 266071)

(² 青岛海洋大学 青岛 266003)

(³ 浙江大学 杭州 310027)

关键词 子波求取,子波相位谱扫描法,Z变换

准确地求取地震子波是非常有意义的。因为通过了解子波在地层中的变化可以使我们获得很多地质信息,而且已知子波就可以求得地层反射系数,准确地求取地层反射系数是反演地层各种参数的必要条件。现在几种主要的子波估算方法主要有应用同态理论估算地震子波、用展开相位谱方法估算地震子波、四阶协方差函数法提取地震子波。

应用同态理论估算地震子波的核心是取几道(或几个时窗)的对数谱的算数平均值做为子波的对数谱,再经同态过程的逆过程得到地震子波的估计值。由地震道的褶积模型可知,地震道是由子波与地层反射系数序列的褶积,在频域其频谱是相乘关系,因此,地震道的对数谱是子波的对数谱与地层反射系数的对数谱之和。由于地层反射系数可以看作是一个随机序列,因而其对数谱也可以看作是一个随机序列。取

几个地震道的对数谱的算数平均值就可以压制地层反射系数序列的对数谱的影响并认为它就是子波的对数谱。已知子波的对数谱就可以通过反变换求得估算的地震子波。因为反射系数的对数谱,虽经算术平均受到了很大压制,但无法保证压制到零。它用这种方法估算的子波,相对于振幅谱而言,相位谱的误差比较大。

给定一个地震道,要求构成地震道的子波,只要能利用地震道的信息求出子波的振幅谱和相位谱问题就解决了。求子波相位谱的困难在于相位谱存在着多值性。而展开相位谱是唯一的。由于地层反射系数

* 原地矿部行业基金资助项目 HY979803 号及“九五”国家专项课题联合资助项目 HY126-03-16 号。

收稿日期:2000-03-15;修回日期:2000-04-10



序列的展开相位谱可视为一个随机序列,因此可认为将若干个子波相似的地震道的展开相位谱叠加的结果即是子波的展开相位谱,由子波的振幅谱和子波的展开相位谱经付氏反变换就可以求得估算的地震子波。

近年来,一种利用高阶协方差函数来估算地震子波的方法被提出并得到了发展。这种方法要求地层反射系数是非高斯、平稳的随机序列,可采用迭代方法进行计算。在文献[2]中还在上述方法的基础上提出了一种四阶协方差函数模拟退火方法。

本文提出了子波相位谱扫描法,模型试算证明该方法具有良好的效果。

1 子波相位谱扫描法估算地震子波的原理

根据地震道的褶积模型,地震道 $W(t)$ 是地震子波 $b(t)$ 与地层反射系数 $\xi(t)$ 的褶积,即:

$$\text{在时间域: } W(t) = b(t) * \xi(t) \quad (1)$$

则在频率域,地震道的振幅谱为子波振幅谱与地层反射系数振幅谱之积,地震道的相位谱为地震子波的相位谱与地层反射系数的相位谱之和,即:

$$A_x(f) = A_b(f) \cdot A_\xi(f) \quad (2)$$

$$\varphi_x(f) = \varphi_b(f) + \varphi_\xi(f) \quad (3)$$

由于地层反射系数序数的振幅谱近似为白噪声,因此地震道的振幅谱与子波的振幅谱是非常相似的。大量模型实验表明将地震道的振幅谱经滤除高频部分后与子波的振幅谱是非常接近的,所以可作为子波的振幅谱。子波的振幅谱与同系列子波的最小相位谱存在希尔伯特变换关系,由子波的振幅谱通过希尔伯特变换可以得到最小相位子波 $b_{\min}(n)$:

$$b_{\min}(n) = (b_0, b_1, b_2 \dots b_n \dots b_N)$$

其 Z 变换为:

$$B_{\min}(Z) = b_0 + b_1 Z + b_2 Z^2 + \dots + b_n Z^n + \dots b_N Z^N \quad (4)$$

进行因式分解可得到:

$$B_{\min}(Z) = b_0 (Z - \alpha_1) (Z - \alpha_2) \dots (Z - \alpha_n) \dots (Z - \alpha_N) \quad (5)$$

假如我们将(5)中的一个因式 $Z - \alpha_n$ 以 $1 - \alpha_n Z$ 代替,则该 $N+1$ 点子波的振幅谱未变,而其相位谱发生了变化,逐一进行这种代换就可以求出同振幅谱的所有子波,这样的子波共有 2^N 个,其中一个就是我们所要求取的构成地震道的子波,问题是如何把它识

别出来。我们采用的方法是逐一计算从原地震道的相位谱中减掉这一系列某一子波的相位谱之后地震道的方差模 $VARI\ MAX$, $VARI\ MAX = \sum X_i^2 / (\sum X_i)^2$, X 为地震道的采样值。当所减掉的相位谱恰为所求子波的相位谱时,方差模达到最大值,因此也就可以判定该子波就是所要求取的构成原地震道的子波。

子波相位谱扫描法还可将非零相位地震道转换为零相位地震道^[1]。

2 模型实验

2.1 最小相位子波构成的地震道

图1为由最小相位子波构成的地震道中求取子波的效果。由此图可看出,对于最小相位子波构成的地震道该方法具有良好的效果和很好的抗噪能力。图中横坐标 t 及纵坐标 A 分别代表时间和振幅(以下同)。

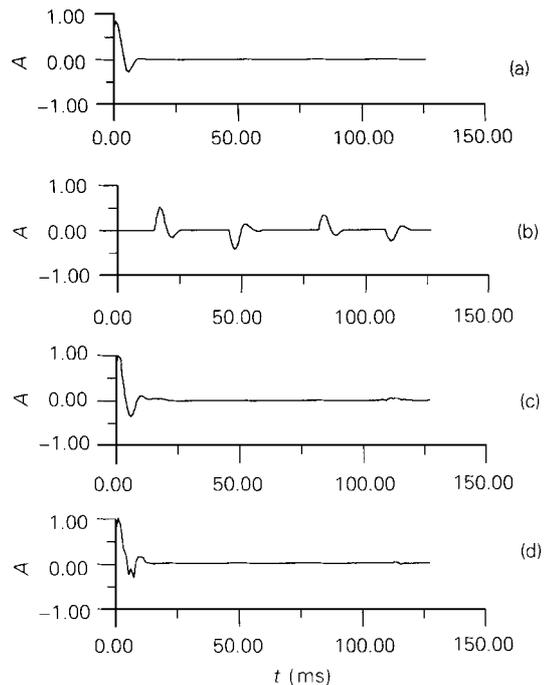


图1 构成地震道的地震子波(a)地震道模型(b)及不加噪时求得的地震子波(c)及加噪30%时所求得的地震子波(d)

2.2 最大相位子波构成的地震道

图2为由最大相位子波构成的地震道中求取子波的效果。由此图可看出,对于最大相位子波构成的

地震道该方法具有较好的效果和一定的抗噪能力。

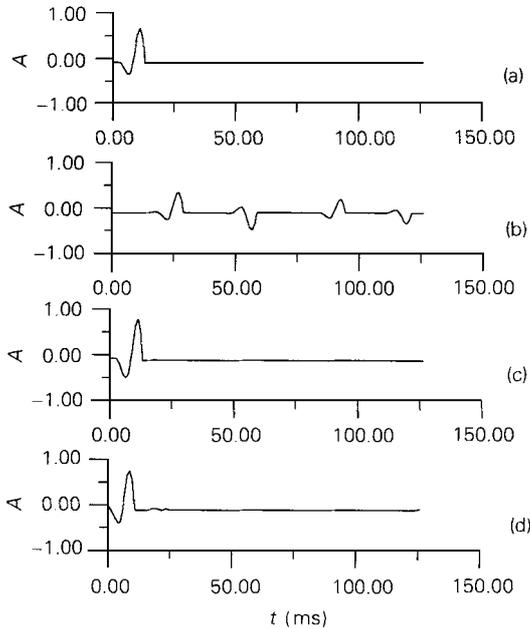


图2 构成地震道的地震子波(a) 地震道模型(b)及不加噪时求得的地震子波(c)及加噪 10%时求得的地震子波(d)

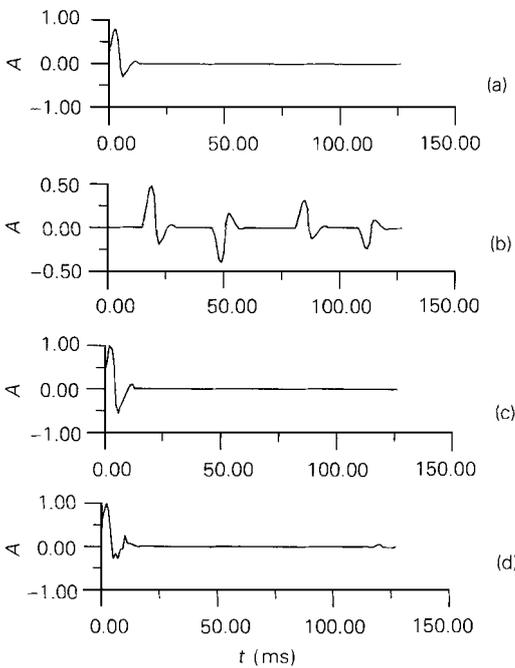


图3 构成地震道的接近最小相位地震子波(a) 地震道模型(b)及由无噪(c)和加噪 20%(d)的接近最小相位的混合相位地震道所求得的地震子波

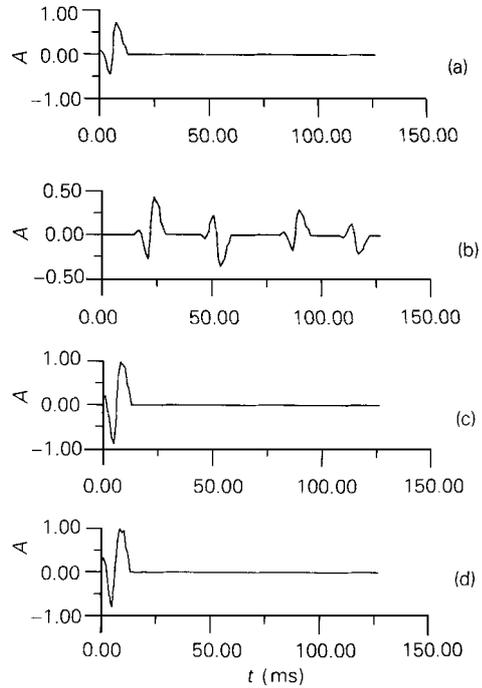


图4 构成地震道的接近最大相位地震子波(a) 地震道模型(b)及由无噪(c)和加噪 10%(d)的接近最大相位的混合相位地震道所求得的地震子波

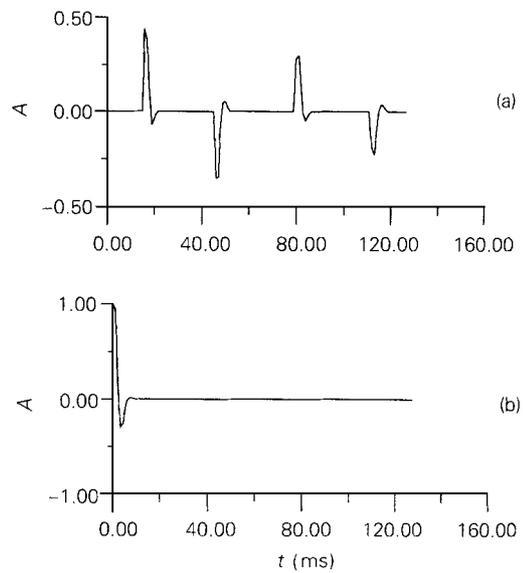


图5 为子波主频依次降低 20 Hz 的地震道(a)及所求得的子波(b)

2.3 混合相位子波构成的地震道

图 3、图 4 为由混合相位子波构成的地震道中求取子波的效果。由此图可看出,对于接近最小相位子波构成的地震道该方法具有良好的效果和很好的抗噪能力,而对于接近最大相位子波构成的地震道该方法具有较好的效果和一定的抗噪能力。

2.4 子波主频有变化的地震道

图 5 为由子波主频有变化的子波构成的地震道中求取子波的效果。由此图可看出,对于主频有变化的子波构成的地震道该方法具有良好的效果。

3 结论

从上述理论及模型实验的结果来看,子波相位谱取去法估算子波的方法无论对于最小相位子波、最

大相位子波、混合相位子波构成的地震道及子波主频有变化的地震道都适用,且对于最小相位及接近最小相位的混合相位地震道容噪能力较强,对于最大相位及接近最大相位的混合相位地震道容噪能力较差。由于实际的地震子波主要是最小相位的地震子波和接近最小相位的混合相位的地震子波,因此本方法是估算子波的一种新的有效方法。

参考文献

- 1 刘金俊等。海洋地质与第四纪地质,1999,19(4):89~96
- 2 Danilo, R. Velis and Tadeusz, J. Urych. *Geophysics*, 1996, 61(6):1939~1948

(本文编辑:李本川)