

## • 煤田物探 •

## 小波变换用于高分辨率三瞬参数提取研究

张志禹 (西北工业大学 西安 710072)

高静怀 (中国科学院地球物理研究所 北京 100101)

秦卫阳 顾家柳 (西北工业大学 西安 710072)

**摘要** 以小波变换为基础,给出了一种高分辨率三瞬参数提取方法。模型计算和实际应用表明,该方法与其它方法相比,具有精度高、抗干扰能力强等优点。

**关键词** 小波变换 三瞬参数 提取

**中国图书资料分类法分类号** P631.443

**作者简介** 张志禹 男 31岁 博士 振动冲击与噪声

## 1 引言

瞬时振幅、瞬时频率和瞬时相位(三瞬)对研究地下构造和获取岩性信息有着重要的意义。尽管三瞬参数的提取方法早已有人研究<sup>[1]</sup>,但提高三瞬参数的计算精度以及高分辨率三瞬参数提取一直是很活跃的研究课题。

求三瞬参数常用 Hilbert 变换求出与实信号对应的解析信号,再利用解析信号的实部和虚部求三瞬参数。如将这些参数用于常规地震剖面的解释,其精度完全可以满足要求。但对高分辨率地震勘探,特别是对薄层的研究,其精度就不够了。文献[2]给出了一种高分辨率地震剖面的三瞬参数提取方法,即用地震信号  $x(t)$  的导数  $x'(t)$  求三瞬参数,这种方法确实对提高分辨率和识别薄层有一定的效果,但

对于含噪声的信号,可能会产生较大的误差。因地震记录是一离散的时间序列,当有不规则的噪声时,对其求导会产生误差。此外,希尔伯特变换的抗干扰能力也较差<sup>[3]</sup>。

小波变换是近年来发展起来的一种时间-尺度域分析技术,文献[3]给出了用小波变换方法求实信号对应的解析信号及三瞬参数的方法(简称小波变换方法)。用这种方法计算三瞬参数比用 Hilbert 变换方法有较高的精度和较强的抗干扰能力<sup>[3]</sup>。笔者在本文中提出一种基于小波变换技术计算高分辨率三瞬参数的方法,给出了模型及实际资料算例,并与文献[2]所给方法作了比较。

## 2 方法原理

通常对于一个给定的实地震道  $x(t)$  以及相应

## THE APPLICATION OF CARMA MODEL IN EVALUATING THE INFLUENCE CAUSED BY DEWATERING ON SPRING FLOW RATE

Feng Lijun (Xi'an Branch, CCRI)

**Abstract** Controlled auto-regressive moving average(CARMA) model is a kind of linear dynamic model used for describing the relationship between input and output in stochastic phenomenon. Takeing Shuanggou Spring Area in Daliuta Coal Field as example, spring flow rate has been predicted by using this model under both natural and dewatering conditions. And based on the above forecast result, the influence caused by dewatering on spring flow has been evaluated.

**Keywords** spring; flow rate; mine drainage; control problems; regression analysis; mathematical models

的 Hilbert 变换,可以形成与之相对应的复数道:

$$R(t) = x(t) + iy(t), \quad (1)$$

$$y(t) = \frac{1}{\pi} \cdot x(t), \quad (2)$$

式中  $y(t) = x(t)$  的 Hilbert 变换。

由此可得常规三瞬参数的数学表达式:

$$\text{瞬时振幅 } A(t) = [x^2(t) + y^2(t)]^{1/2}; \quad (3)$$

$$\text{瞬时相位 } \theta(t) = \arctg \frac{y(t)}{x(t)}; \quad (4)$$

$$\text{瞬时频率 } \omega(t) = \dot{\theta}(t). \quad (5)$$

对高分辨率地震勘探来说,特别是对薄层的研究,高分辨率三瞬参数的求取是很重要的。因  $x(t)$  的频谱为  $i\hat{\omega}$ ,显然比  $x(t)$  的主频要高,分辨率也要比  $x(t)$  高,因此用  $x(t)$  来求取三瞬参数,分辨率会更高。

如果一个小波函数  $g(t)$  是解析的,且满足

$$g(t) \in l^1(R, dt) \cap l^2(R, dt),$$

$$\hat{g}(\omega) \in l^1(R \setminus \{0\}, \frac{d\omega}{|\omega|}) \cap l^2(R \setminus \{0\}, \frac{d\omega}{|\omega|}).$$

若把函数  $s(t) \in l^2(R, dt)$  的小波变换定义为:

$$S(b, a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} g\left(\frac{t-b}{a}\right) s(t) dt, \quad (6)$$

则有如下的关系成立<sup>[3]</sup>,

$$\frac{1}{C_g} \int_0^{+\infty} S(t, a) \frac{da}{a} = s(t) + iH[s(t)], \quad (7)$$

$$C_g = \int_0^{+\infty} \frac{g(\omega)}{\omega} d\omega < \infty,$$

式中  $H[s(t)] = s(t)$  的 Hilbert 变换。

在高分辨率三瞬参数提取中,令  $s(t) = x(t)$ ,则时间导数  $x(t)$  的小波变换可表示为

$$D(b, a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} g\left(\frac{t-b}{a}\right) x'(t) dt \\ = -\frac{1}{a^2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) g'\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (8)$$

令  $u(t) = \operatorname{Re} \left[ \frac{1}{C_g} \int_0^{+\infty} D(b, a) \frac{da}{a} \right]$ ,

$$v(t) = \operatorname{Im} \left[ \frac{1}{C_g} \int_0^{+\infty} D(b, a) \frac{da}{a} \right], \quad (9)$$

就可得到对  $x(t)$  作小波变换后的三瞬参数表达式,

$$\text{瞬时振幅 } A(t) = (u^2(t) + v^2(t))^{1/2}, \quad (10)$$

$$\text{瞬时相位 } \theta(t) = \arctg \frac{v(t)}{u(t)}, \quad (11)$$

$$\text{瞬时频率 } \omega(t) = \dot{\theta}(t). \quad (12)$$

由三瞬参数表达式可以看出,用小波变换对  $x(t)$  求三瞬参数,是把对地震记录的求导转化为对具有精确解析表达式的小波函数求导,从而避免了直接对地震记录求导时,由于记录中所含噪声而带来的误差。此外,我们知道 Hilbert 变换方法对噪声很敏感,也就是说,当用 Hilbert 变换方法计算三瞬参数时,即使是相对于有效信号幅度很小的噪声也对瞬时频率等参数影响很大。利用小波变换方法计算这些参数时,只要恰当地选择小波函数,这时有效波在时间-尺度域的能量分布空间( $V$ )维数较低,而干扰波的能量分布在时间-尺度域一个较大的子空间  $V$  中,当我们在  $V$  中计算瞬时参数时(必要时还可对  $V$  中低信噪比的分量作去噪处理),噪声就得到了压制,计算精度就提高了。

### 3 算例分析

为了验证方法的正确性和可靠性,首先给出一个正弦信号  $x(t) = \sin(30\pi t)$ ,用公式(8)和(9)计算与  $x(t)$  相对应的解析信号,结果如图 1 所示。由图中可以看出,解析信号的实部和虚部分别是余弦和正弦信号,说明计算结果与理论相一致。然后采用主频为 25 Hz 的雷克子波对楔型模型计算合成记录(图 2)。再根据合成记录计算楔型模型的三瞬参数,并分别比较无噪声和有噪声情况下,用小波变换方法和用 Hilbert 变换方法计算三瞬参数的差异。

图 3 是瞬时振幅和瞬时频率,图中的三条曲线分别是:1—用常规方法计算出原记录(图 2)的瞬时振幅(图 3a)和瞬时频率(图 3b);2—用小波变换方法求出时间导数记录的瞬时振幅和瞬时频率;3—用 Hilbert 变换方法计算时间导数记录的瞬时振幅和瞬时频率。计算时, Hilbert 滤波因子的长度取 801 个点,小波函数为改造的 Morlet 小波<sup>[3]</sup>。由图 3 可知,时间导数记录的瞬时振幅比原记录的瞬

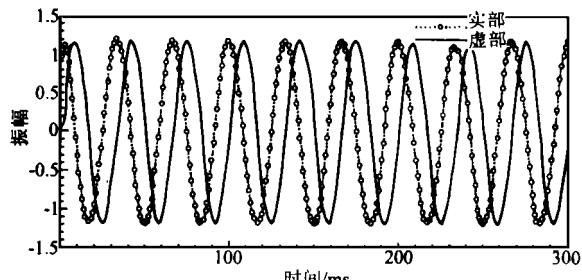


图 1 解析信号的实部和虚部

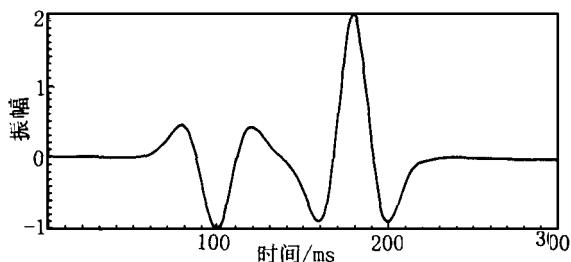


图 2 楔型模型的合成地震记录

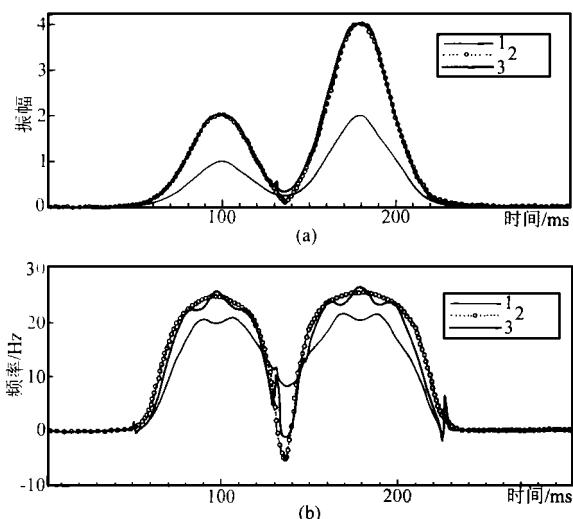


图 3 无噪声时计算的瞬时振幅(a)和瞬时频率(b)

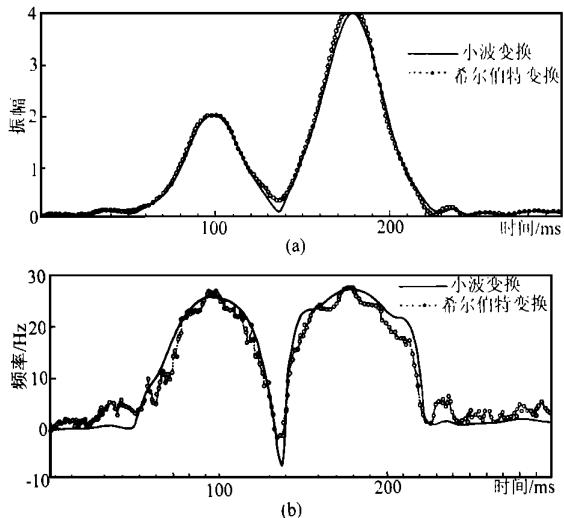


图 4 含噪声时计算的瞬时振幅和瞬时频率

时振幅要强,时间导数记录的瞬时频率的宽度比原记录的要宽,且主频有所提高。在没有噪声情况下,对于时间导数的瞬时振幅,两种方法计算出的结果差异不大;但对瞬时频率,两种方法算出的结果稍有

差异,用小波变换方法得到的瞬时频率较接近理论结果,且较稳定;用 Hilbert 变换方法计算出的瞬时频率误差较大。

为了研究在有噪声情况下,两种方法计算三瞬参数的差异,对原记录加 10% 的随机噪声后,分别用 Hilbert 变换方法和小波变换方法计算其时间导数记录的三瞬参数(图 4)。在用 Hilbert 变换方法计算之前,对原记录作了低通滤波。

从图中可以看出,用小波变换方法求出的时间导数记录的三瞬参数比用 Hilbert 变换方法计算出的结果精度高、误差小。

用上述方法处理实际资料,也得到了明显的效

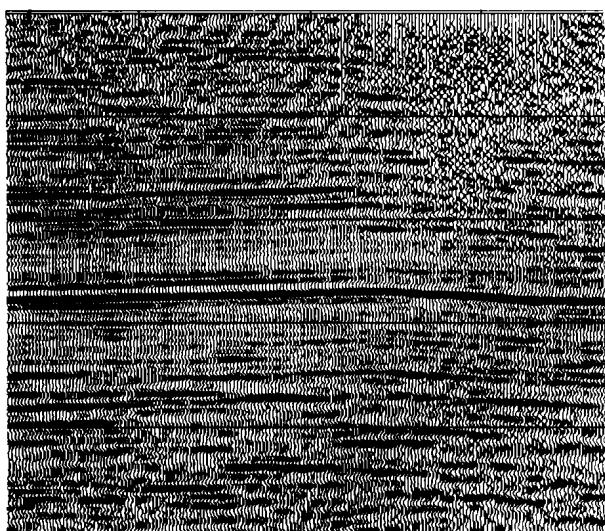


图 5 实际水平叠加时间剖面

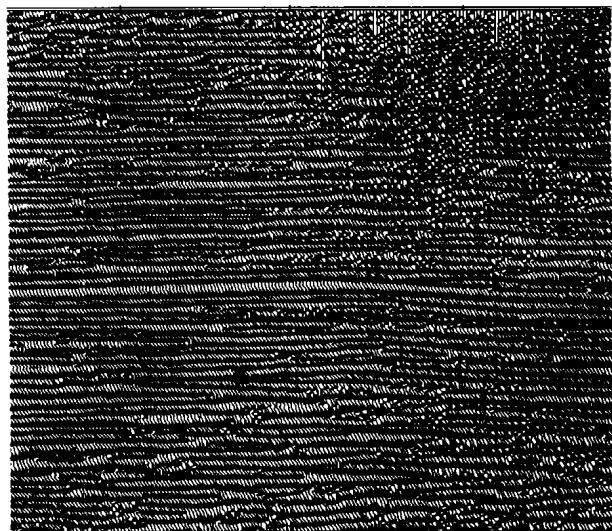


图 6 瞬时相位剖面

果。图5是某油田的一条水平叠加剖面,图6是用本文方法计算出的瞬时相位剖面。由二图可以看出,剖面质量得到了明显的改善。

## 4 结论

理论与实际应用表明,用小波变换方法对导数记录计算三瞬参数,其分辨能力确实要高于常规方法,与 Hilbert 变换方法相比较,小波变换方法具有精度高、抗噪能力强等优点,特别适用于实际地震资

料处理。

## 参考文献

- 程乾生·希尔伯特变换与信号的包络,瞬时相位和瞬时频率·石油地球物理勘探,1979;14(3):1~14
- 刘财等·高分辨率复数道分析方法·石油地球物理勘探,1995;增刊1
- 高静怀等·小波变换与信号瞬时特征分析·地球物理学报,1997;40(6)

收稿日期(1997-05-29)

## APPLICATION OF WAVELET TRANSFORMATION TO EXTRACT THREE INSTANTANEOUS PARAMETERS WITH HIGH RESOLUTION

Zhang Zhiyu( Northwestern Polytechnical University)

Gao Jinghuai( Geophysical Institute of Chinese Academy of Science)

Qing Weiyang Gu Jialiu( Northwestern Polytechnical University)

**Abstract** Based on the wavelet transformation, an extraction method of three instantaneous parameters with high resolution is given. Both the model calculation and the application of practical data indicate that this method has the advantages such as the higher precision and stronger antinoise performance comparing with other methods.

**Keywords** wavelet transformation; three instantaneous; abstractions

## “中国西北侏罗纪煤盆地及其聚煤规律研究” 项目获‘97煤炭工业部科技进步二等奖

该项目包括“西北聚煤区中生代含煤地层研究”和“西北侏罗纪聚煤盆地形成演化与聚煤规律研究”两项成果,属煤炭部“八五”重点科研项目,由煤炭科学研究总院西安分院地质所完成,1995年底通过部级鉴定。

项目对我国西北聚煤区近 50 个侏罗纪沉积盆地(总面积约  $72.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ )的含煤地层层序、岩石地层单位、主要含煤层段及含煤性、动植物化石群及组合带、盆地的大地构造背景及构造样式、含煤地层的沉积体系及成因相构成、盆地的充填序列及演化阶段、构造应力场、盆地的岩相古地理轮廓及煤层发育特点等进行了较全面地系统研究,主要取得如下成果:

a. 在实现不同盆地岩石地层单位(组)的年代地层(阶)对比的基础上,指出西北早、中侏罗世存在两个聚煤期:第1期是赫唐(Hettangian)一普林斯巴赫期(Pliensbachian);第2期是阿连(Aalenian)一巴柔期(Bajocian),其间有大约 8 Ma 的聚煤间断。第1聚煤期在托阿尔期(Toarcian)的中断和第2聚煤期在巴通期(Bathonian)的消亡是古气候在这两个地质时段的升温事件造成的。

b. 西北侏罗纪聚煤中心位于北纬 40° 以北、东经 91° 以

西的新疆北部。它的形成是中生代连续发展演化的大型沉积盆地与上述两个聚煤期匹配叠加的产物。聚煤作用自该中心出发,向南、向东迁移,这种迁移受沉积盆地的成盆期、盆地内部沉积体系类型与成煤期古气候最佳匹配的制约。

c. 西北地区有前渊、前渊-克拉通、山间、走滑-拉分等 4 类原型的侏罗纪聚煤盆地。按大地构造背景和性质的差异,又将走滑-拉分盆地分为阿尔金式和祁连式。它们既是一种构造样式,也是一种沉积实体。不同原型的盆地聚煤特征各不相同,据煤炭资源潜力分析,除阿尔金式走滑-拉分盆地外,其他原型的盆地,都可能成为资源密度大于  $1000 \times 10^4 \text{ t}/\text{km}^2$  的富煤盆地,并可找到资源密度在  $2000 \times 10^4 \text{ t}/\text{km}^2$  甚至  $5000 \times 10^4 \text{ t}/\text{km}^2$  以上的富煤带或富煤区段。

该项目将西北侏罗纪聚煤盆地的整体性研究提高到了一个新的水平。丰富了中国煤田地质理论。研究成果对于指导西北地区煤炭资源预测、煤田地质勘探、煤矿生产、煤层气或油气资源以及其他沉积矿产的找寻都有重要的指导意义。

(煤炭科学研究总院西安分院 张泓)