

文章编号: 1001-1749(2023)06-0726-12

改进的完备经验模态分解和 FWEO 能量 在南海油气识别中的应用

赵品恒^{1,3}, 周怀来^{1,2,3}, 王元君^{1,2}, 邬蒙蒙^{1,3}

(1. 成都理工大学 地球物理学院, 成都 610059;

2. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059;

3. 地球勘探与信息技术教育部重点实验室(成都理工大学), 成都 610059)

摘要: 传统希尔伯特变换(Hilbert-Huang transform, HHT)是一种识别精度较差的时频分析方法,存在端点效应和模态混叠等问题。改进的完备经验模态分解(Improve Complete Ensemble Empirical Mode Docomposition, ICEEMD)可以将复杂的地震信号分解为一系列单分量信号,较好地解决模态混叠问题,但结合希尔伯特变换提取的瞬时振幅和瞬时频率,对处理实际地震数据仍然有严重的端点效应。FWEO(Frequency-weighted Energy Operator)是一种非负频率权重算子,其结合 TK 能量差分算法和 Hirbert 变换复分析思想,具有比 Hilbert 变换更高的时间分辨率。但由于算法本身的原因,FWEO 能量只能应用于单分量信号,不能直接应用于复杂的地震数据。因此,这里结合改进的完备经验模态分解方法和 FWEO 能量分离算法的优点,提取南海某工区实际地震记录的瞬时振幅和频率信息,并将预测结果与测井数据对比,预测吻合程度好、识别精度高、证明该方法可以准确地反映储层特征。

关键词: FWEO 能量; ICEEMD; 模态混叠; 瞬时属性; 储层预测

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-1749.2023.06.05

0 引言

随着时代发展,对能源需求增大,对于地震勘探的技术要求也日趋提高。针对愈发复杂的地质条件和构造模式,对于掌握和精确提取地震资料的三瞬信息就显得尤为重要^[1]。三瞬参数的提取已广泛应用于石油天然气储层预测及刻画领域,能有效地反应储层的特征相关属性。当地震波穿过含气砂岩地层时高频能量衰减剧烈,而低频能量衰减相对较小,因此可通过瞬时频率来反映储层的岩性特征,瞬时振幅与反射系数相关性好,在含油气区域地层对应

的反射强度明显与非含油气区域相异^[2]。

近些年,经验模态分解(EMD)^[3]被广泛研究应用在地震信号时频分析处理中,但因模态混叠和端点效应等问题导致该方法不能较好地适用在地震数据中。Wu 等^[4-6]在此算法(EMD)的基础上,改进得到了集合经验模态分解(EEMD),在一定程度上克服了这些问题。Yeh^[7]进一步改进算法得到互补集合经验模态分解算法(CEEMD),提高了信号重构精度和计算效率,但该方法仍有残余噪声的问题存在。因此 Colominalet 等^[8]提出改进完备经验模态分解(ICEEMD),该方法所得的模态分量是由其局部均值来确定,可克服模态混叠问题^[9]。虽然改

收稿日期: 2022-01-13

基金项目: 四川省科技厅重点研发计划项目(21ZDYF2939)

第一作者: 赵品恒(1995-),男,硕士,主要从事油气地球物理勘探研究, E-mail:214381535@qq.com。

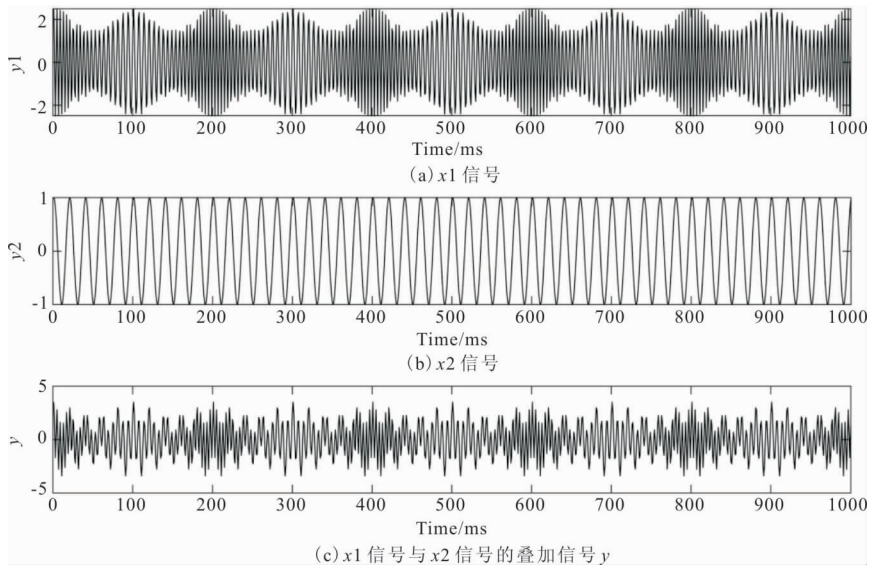


图 1 模拟信号

Fig. 1 Analog signal

进后的希尔伯特-黄 (ICEEMD-Hilbert) 在提高地震资料分辨率、消除噪音等方面取得了良好的应用效果,但其提取的三瞬参数仍然会存在端点效应等问题,从而导致解释结果误差较大^[10-11]。

TK 能量算法^[12-14]是一种利用差分运算来求取瞬时属性的方法,具有操作简单、有效性高等优势,但缺陷是会出现负值。于是 O'Toole^[15]提出频率加权能量算子,即 FWE0。相较于 TK 能量,其不存在负值,在瞬时能量追踪上有更高的精度,具有更强的鲁棒性^[16-17];FWE0 与 TK 都是只适用于单分量信号的算子,因此通过 ICEEMD 方法对地震信号分解后可以满足 FWE0 的应用条件。

笔者分别用改进的希尔伯特-黄 (ICEEMD-Hilbert) 和 ICEEMD-FWE0 算法,在南海某工区提取瞬时振幅剖面和瞬时频率剖面进行比较分析,结合测井资料对比得出,ICEEMD 算法和 FWE0 能量分离算法组合提取的瞬时属性,能够更加准确地反映含气储层信息。

1 方法原理

1.1 ICEEMD 方法

ICEEMD 在提取 IMF 分量时是加入了特殊噪声 $E_k(\omega^i)$,抑制模态混叠,增强抗干扰性。其实现步骤如下:

1) 首先对原始信号加入零均值单位协方差高斯白噪声 $x^i = x + \varepsilon_0 \omega^i$,EMD 分解得到第 1 个残差:

$$r_1 = (1/I) \sum_{i=1}^I M[x + \varepsilon_0 E_1(\omega^i)] \quad (1)$$

2) 第 1 个模态:

$$IMF_1 = x - r_1 \quad (2)$$

3) 第 2 个残差和模态:

$$r_2 = (1/I) \sum_{i=1}^I M[r_1 + \varepsilon_1 E_2(\omega^i)] \quad (3)$$

$$IMF_2 = r_1 - r_2 \quad (4)$$

4) 当 $k = 3, \dots, K$ 时,IMF 分量为:

$$r_k = (1/I) \sum_{i=1}^I M[r_{k-1} + \varepsilon_{k-1} E_k(\omega^i)] \quad (5)$$

$$IMF_k = r_{k-1} - r_k \quad (6)$$

筛选终止阈值为:

$$s = \sum_{i=1}^n \left[\frac{|IMF_{i-1}(t) - IMF_i(t)|^2}{IMF_{i-1}^2(t)} \right] \quad (7)$$

式(7)中,经过多次试验, s 的值一般在 0.05~0.1 之间效果最好。

对于 ICEEMD 方法的边界条件的做法是:①当信号经过样条插值时,对于样值点的第一个和最后一个点,通常采取式(1)将它们同时作为最大值和最小值;②式(2)根据最近的极值点将它们作为最大值或者最小值,旨在保证最大值和最小值之间的交替性。

上述表达式中, x 为原始信号, $M(\cdot)$ 代表局部平均值运算符, $E_k(\cdot)$ 代表 EMD 分解出的第 K 个 IMF 分量。

为了测试 ICEEMD 方法在分解信号方面的机能,模拟一个复合信号来测试。合成的复合信号由

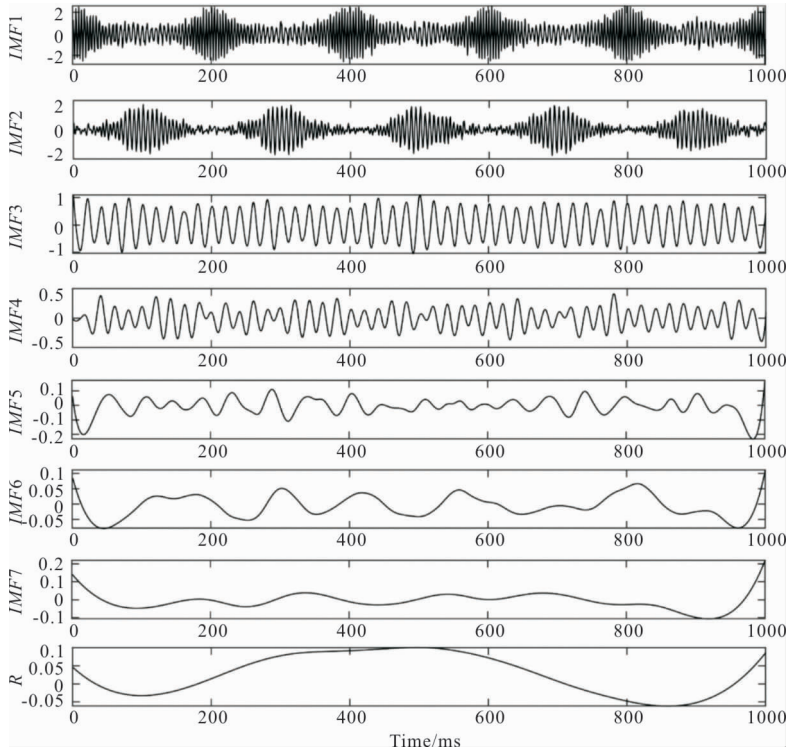


图 2 EMD 分解的结果

Fig. 2 Results of EMD

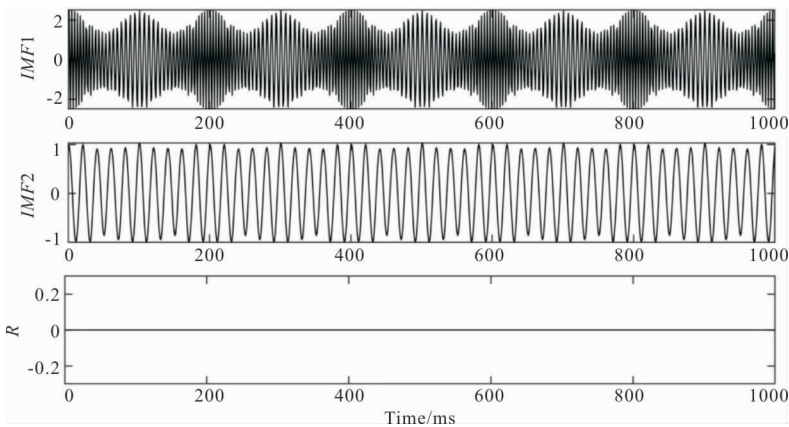


图 3 ICEEMD 分解的结果

Fig. 3 Results of ICEEMD

$x_1 = (2 + 0.5\cos(20\pi t)) * \cos(400\pi t + 10\sin(10\pi t))$ 和 $x_2 = \cos(100\pi t)$ 组成,如图 1(c)所示。分别对其作 EMD 和 ICEEMD 处理,结果如图 2 和图 3 所示。从图 2 可知,分解结果中 7 个 IMF 分量和 1 个残差 R ,且可以明显看出从 IMF2 分量就开始出现模态混叠现象;然后从 IMF3~IMF7 这 5 个分量都受到 IMF2 的影响。从图 3 可知,ICEEMD 方法可以完全把合成信号分离出来,从残差 R 上可以看到,分离信号没有任何的损失,因此证明 ICEEMD 方法比常规的经验模态分解更好。

1.2 频率加权能量分析

FWEO 是计算的信号倒数的包络,它通过追踪信号瞬时能量来消除噪声分量,并且它从频率和振幅两个角度估计信号的瞬时信息,因此能更准确地跟踪信号的瞬时能量变化,与希尔伯特变换相比更简单。

信号的瞬时能量通常以包络形式表征,被定义为:

$$s[x(t)] = |x(t) + jH[x(t)]|^2 \quad (8)$$

其中: $x(t)$ 分别表示信号; $H[\cdot]$ 表示希尔伯特变

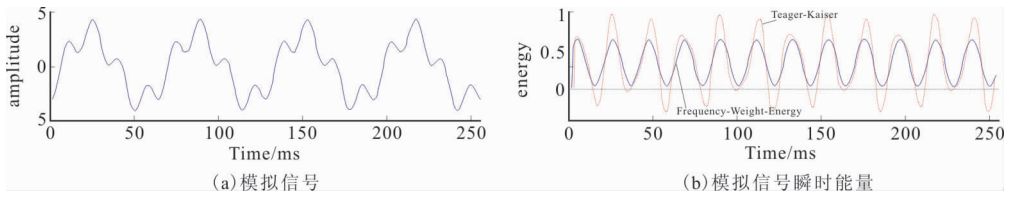


图 4 模拟信号及其瞬时能量图

Fig. 4 Analog signal and its instantaneous energy diagram

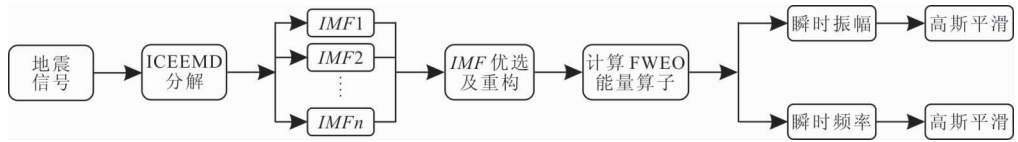


图 5 ICEEMD-FWEO 流程图

Fig. 5 Flow chart of ICEEMD-FWEO

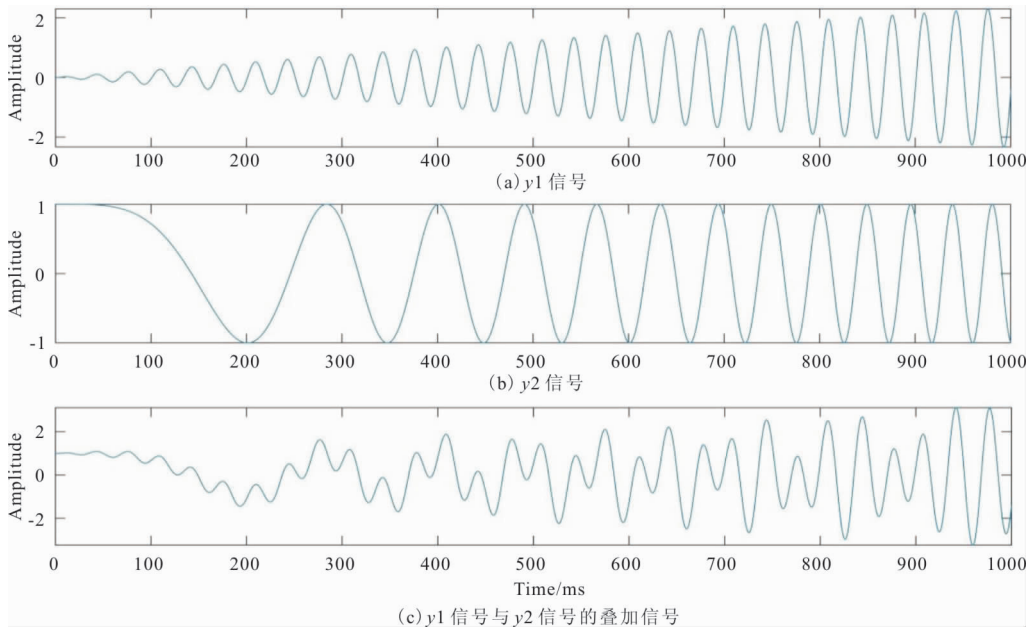


图 6 模拟信号

Fig. 6 Analog signal

换。对于信号 $x(t)$ 应该是一个简单谐波,即具有以下形式:

$$x(t) = A\cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (9)$$

为了得到频率域信息,在式(9)用导函数引入加权滤波,则算子定义为:

$$E[x(t)] = \frac{|x'(t) + jH[x'(t)]|^2}{x^2(t) + H[x'(t)]^2} \quad (10)$$

其离散形式为:

$$E[x(n)] = \frac{1}{4}[x^2(n+1) + x^2(n-1) + h^2(n+1) + h^2(n-1)] - \frac{1}{2}[x(n+1)x(n-1) +$$

$$h(n+1)h(n-1)] \quad (11)$$

其中: $x(n)$ 和 $h(n)$ 分别表示离散的信号和离散的希尔伯特变换。

为了突出 FWEO 相对于 TK 的优势,于是通过对比分析两种方法跟踪模拟信号瞬时能量效果,得到如图 4 的结果。从图 4 可以明显地看出,TK 能量算子计算得到的瞬时能量具有较多没有实际物理意义的能量负值,而 FWEO 方法计算得到的瞬时能量没有能量负值的产生。

笔者结合 ICEEMD 和 FWEO 能量算子,首先将地震剖面逐道进行 ICEEMD 分解,提取反映烃类信息最多的一个或几个 IMF 分量剖面进行分析;然

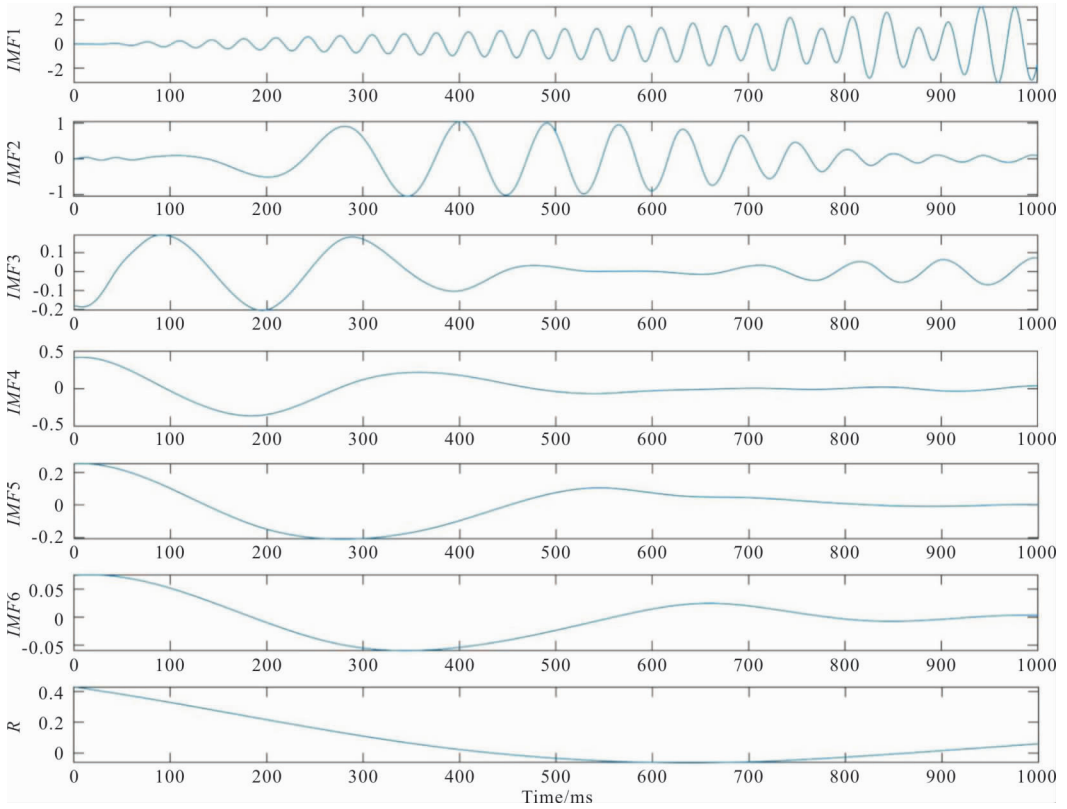


图 7 ICEEMD 方法分解的 IMF 分量: IMF 1~IMF 6 和一个残差 R

Fig. 7 Decomposition of each component of the ICEEMD method: IMF 1 to 6 and a residual R

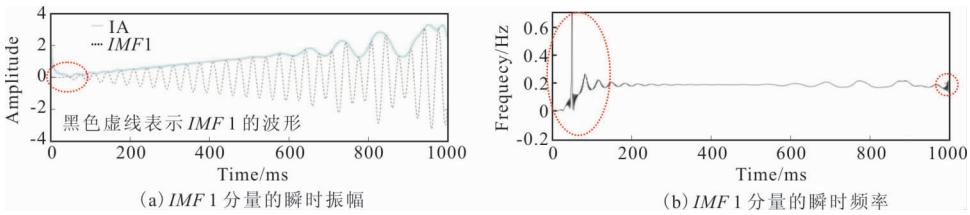


图 8 ICEEMD-Hilbert 方法提取的瞬时属性

Fig. 8 Transient attributes extracted by ICEEMD-Hilbert method

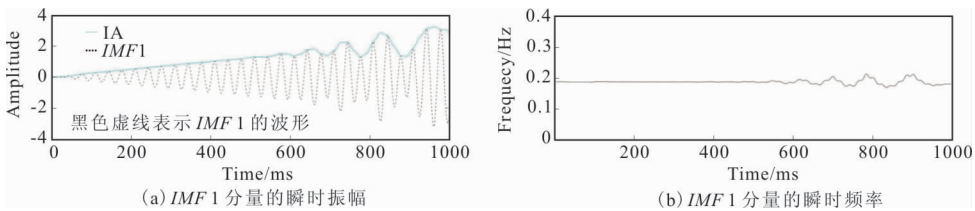


图 9 ICEEMD-FWEO 方法提取的瞬时属性

Fig. 9 Transient attributes extracted by ICEEMD-FWEO method

后利用 FWEO 算子分别计算其瞬时频率 $\omega(t)$ 和瞬时振幅 $a(t)$; 最后为了更好地表征分量特性及烃类信息, 对 ICEEMD-FWEO 得到的瞬时谱进行了高斯平滑。具体的流程如图 5 所示。

2 模型测试

笔者模拟一个如下表达式的复合信号来测试该

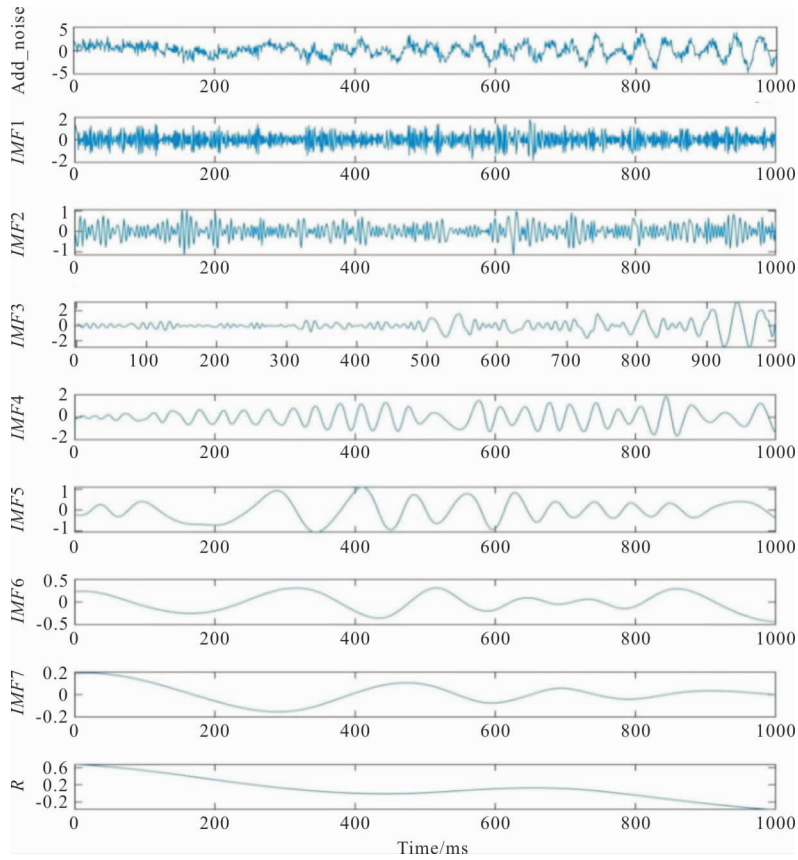


图 10 ICEEMD 方法分解的 IMF 分量:

IMF 1~IMF 6 和一个残差 R 以及加噪信号

Fig. 10 Decomposition of each component of the ICEEMD method:

IMF 1 to 6 ,a residual R and add_noise signal

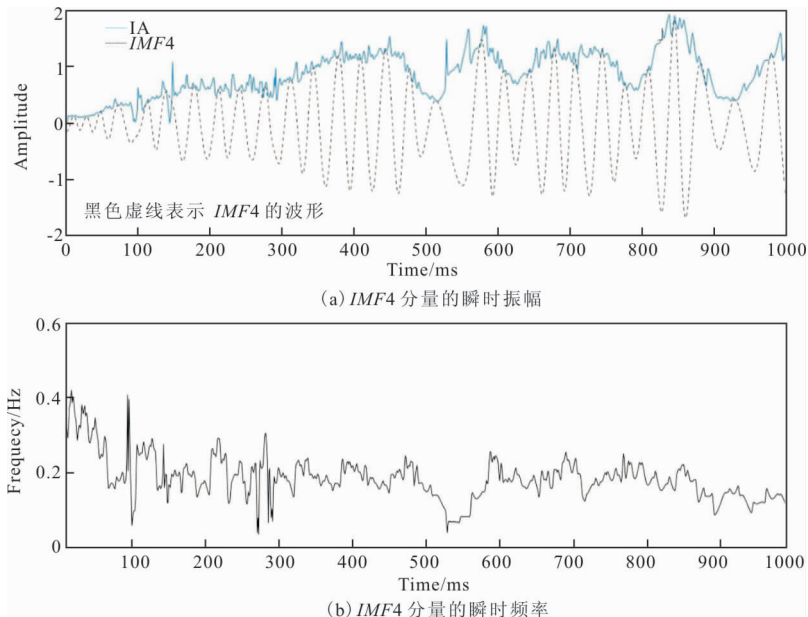


图 11 ICEEMD-Hilbert 方法提取的瞬时属性

Fig. 11 Transient attributes extracted by ICEEMD-Hilbert method

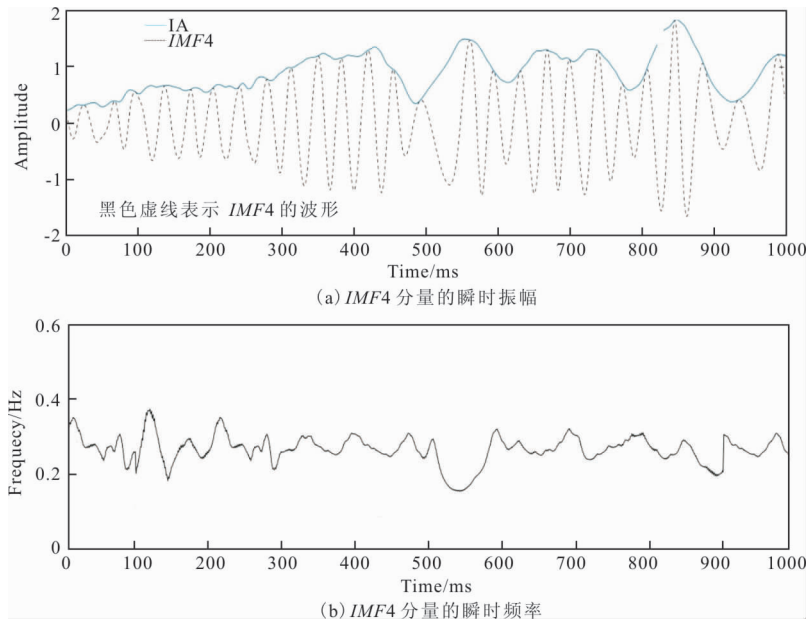


图 12 ICEEMD-FWEO 方法提取的瞬时属性

Fig. 12 Transient attributes extracted by ICEEMD-FWEO method

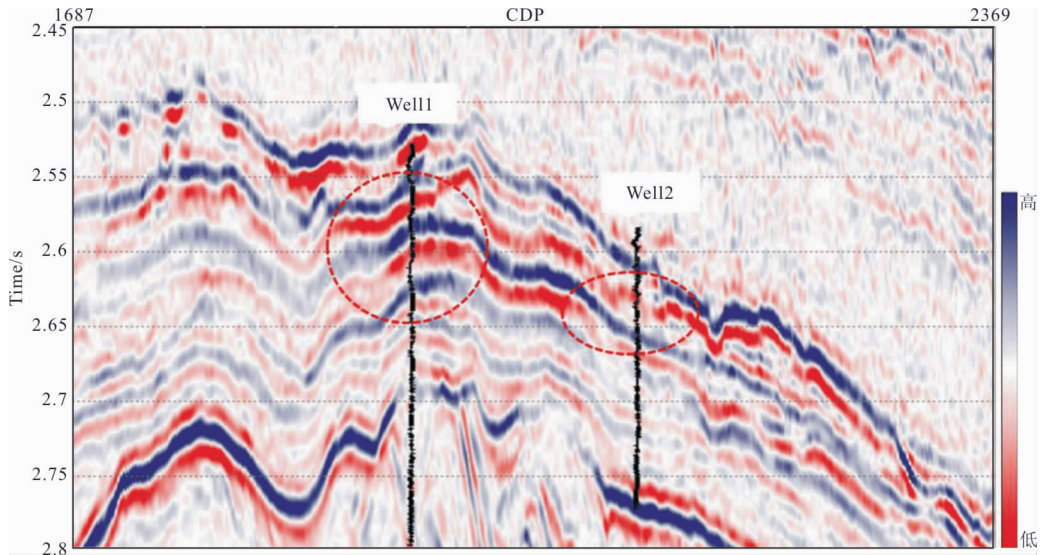


图 13 连井剖面

Fig. 13 Even well profile

方法:

$$\begin{cases} y_1 = 4\sin\left(\frac{\pi t}{50}\right)\sin(6\pi t) & t \in [1 \ 10] \\ y_2 = \cos\left(\frac{\pi t^2}{4}\right) & t \in [1 \ 10] \end{cases}$$

将 y_1 与 y_2 相加得到如图 6 所示,然后对其使用 ICEEMD 方法分解(图 7),分解为 $IMF1 \sim IMF6$ 以及一个残差 R ,其中迭代次数为 200。于是分别使用本文方法和 ICEEMD-Hilbert 方法,对 $IMF1$ 分量求取各个的瞬时振幅和瞬时频率,得到的结果

分别如图 8、图 9 所示。

图 8(a)、图 9(a)中虚线为 $IMF1$ 分量波形图。在图 8(a)中,红色虚线椭圆中,也就是 $0 \text{ ms} \sim 80 \text{ ms}$ 处,出现明显的端点效应。同样地,在图 9(b)中, $0 \text{ ms} \sim 100 \text{ ms}$ 的首段以及 $990 \text{ ms} \sim 1000 \text{ ms}$ 末端也发生了端点效应。这是由于 Hilbert 变换窗口效应导致的瞬时振幅出现突变现象。反观图 9,用本文方法提取的瞬时振幅和瞬时频率都没有在端点处发生突变。

为了测试方法的抗噪性,在图 6(c)上加入了

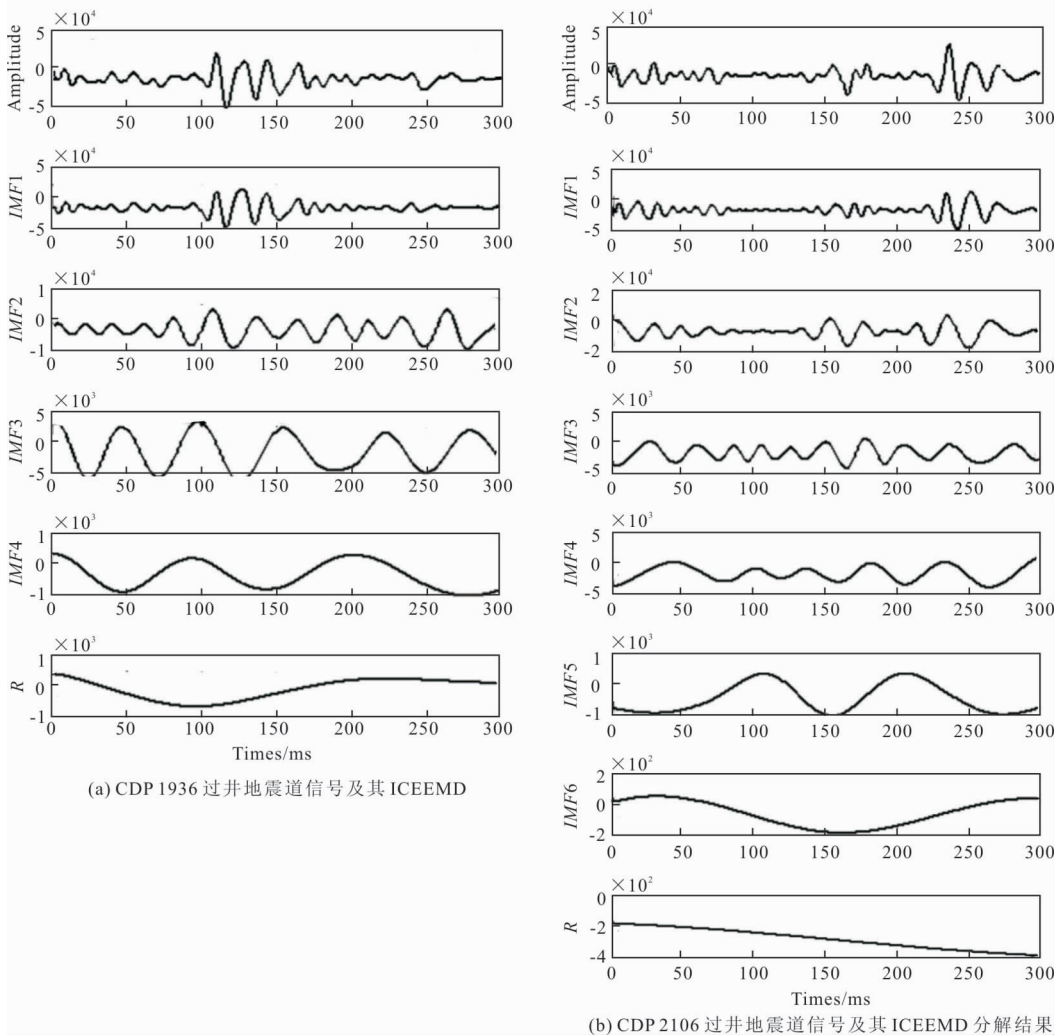


图 14 两条过井地震道及其 ICEEMD 分解结果

Fig. 14 Two well-intersecting seismic traces and their ICEEMD decomposition results

SNR=20 的高斯白噪声,对其进行 ICEEMD 分解后得到图 10 所示。分别使用本文方法和 ICEEMD-Hilbert 方法,对 IMF4 分量求取各个的瞬时振幅和瞬时频率,得到的结果见图 11 和图 12。

图 11(a)、图 12(a)中虚线为 IMF4 分量波形图。从图 12 中可以清晰地看到,笔者使用 ICEEMD-FWE0 方法提取的瞬时属性很好地压制了噪声,并且端点处也没有发生突变。反观图 11 使用 ICEEMD-Hilbert 方法提取的瞬时振幅和瞬时频率被噪声干扰,具有较差的鲁棒性。因此,测试信号处理结果表明,使用 FWE0 算子代替 Hilbert,在追踪信号的瞬时能量时具有更高的实用性。

3 应用分析

为了测试本文方法的实际有效性,选取中国南

海某工区作为研究对象(图 13)。工区某连井剖面共 683 道,采样间隔为 2 ms。图 13 中包含 2 口井,曲线为密度曲线,红色虚线椭圆代表着储层位置。抽取两条井旁地震道,分别进行 ICEEMD 分解,结果如图 14 所示。分别求取井旁地震道与各自的 IMF 分量的相关系数,如表 1 所示。

对比图 14 以及表 1 可以发现,IMF1 与原始井旁地震道相关性最大,于是抽取每道的 IMF1 分量来代替原始地震剖面进行属性分析,其中 IMF1 分量剖面如图 15 所示。在图 15 中我们可以清楚地发现,储层位置的细节信息要比原始地震剖面更丰富,而且红色虚线椭圆处的储层地震响应特征要更强。于是,分别使用 ICEEMD-Hilbert 方法以及本文方法来提取其各自的瞬时属性。

瞬时振幅可以反映信号能量强度。实际地震记录的瞬时振幅通常用于表征地层连续性和储层流体

表 1 过井地震道与其 IMF 分量的相关性

Tab. 1 Correlation of over-well seismic traces and their IMF components

	IMF1	IMF2	IMF3	IMF4	IMF5	IMF6	IMF7
CDP 1936	0.9066	0.2782	0.1575	0.0361	0.0168		
CDP 2103	0.8759	0.3902	0.1832	0.0521	0.0093	0.0079	-0.0058

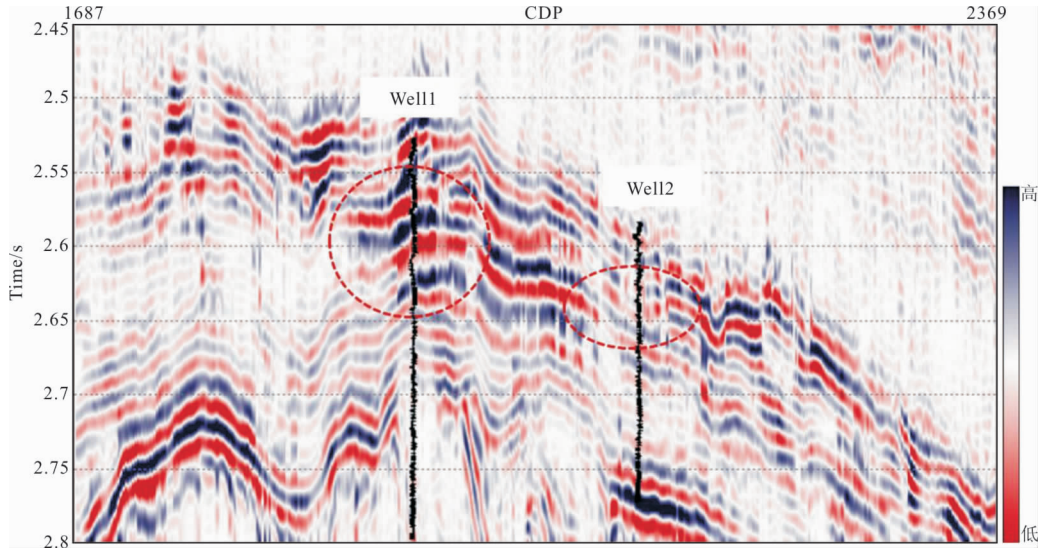


图 15 IMF1 分量剖面

Fig. 15 IMF1 profile

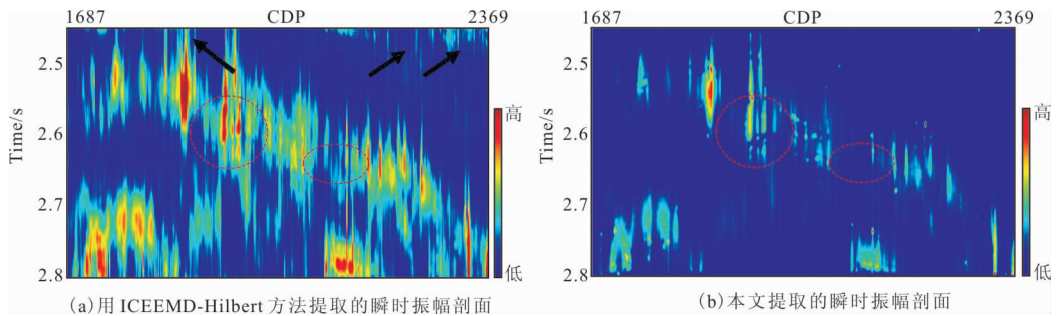


图 16 瞬时振幅剖面图

Fig. 16 Instantaneous amplitude profile

和岩性的横向变化。强振幅通常与储层相对应，所以据此属性可观察到储层的位置和形状。从图 16 中可以明显看出，使用 FWEO 算子比 Hilbert 有更高的时间分辨率，尤其是在储层的位置，即红色虚线椭圆处，储层处的地震响应更加强烈。同时在图 16 (a)中，黑色箭头所指的地方有很明显的端点效应，反观本文方法提取的瞬时振幅剖面上则没有。因此笔者利用 FWEO 算子代替 Hilbert 变换在实际地震数据求取瞬时振幅有更高的时间分辨率，可以更好地应用于储层的识别与刻画。

图 17 为两种方法提取的瞬时频率剖面，瞬时频

率作为识别油气的原理是，瞬时频率反映的是地震目的层段瞬时主频随着岩性的变化而改变。当瞬时频率经过含油气的储层时，由于高频能量被吸收，导致地震波经过储层位置时，其瞬时频率会变小，图 17 中储层位置处，红色代表低瞬时频率值。我们可以从图 17 中清楚地发现，本文方法提取的瞬时频率剖面在 2.553 s ~ 2.558 s、2.56 s ~ 2.579 s 以及 2.615 s ~ 2.62 s 左右分别为 gas1、gas2 和 gas3，这与图中左侧的钙质曲线相吻合，而且相较于 ICEEMD-Hilbert 方法有更高的分辨率。反观图 17(a)，使用 ICEEMD-Hilbert 方法只能识别一套

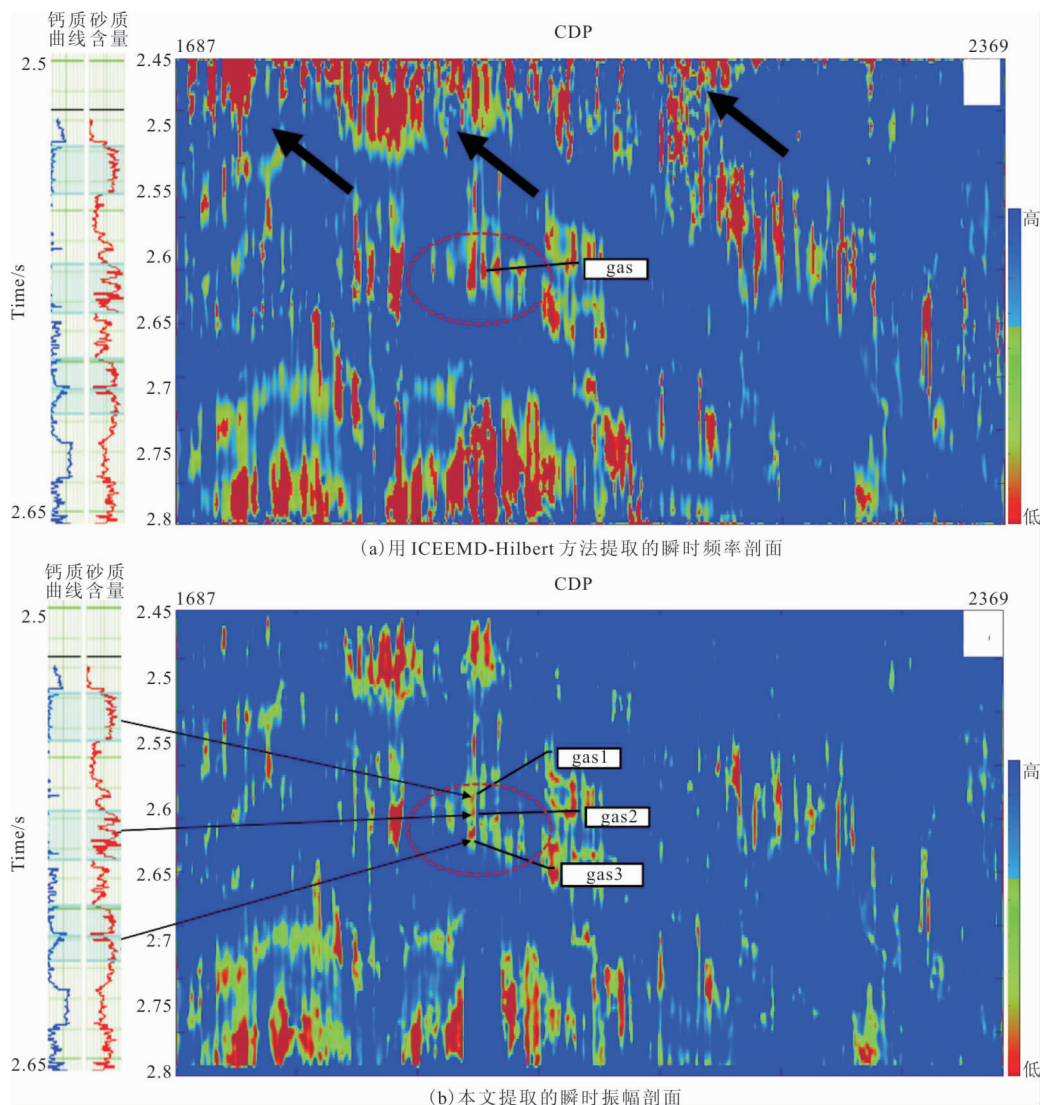


图 17 瞬时频率剖面图

Fig. 17 Instantaneous frequency profile

气层,分辨率不高,无法准确识别储层的精细构造,而且在图 17(a)中黑色箭头中可以发现有明显的端点效应。在图 16 和图 17 中存在挂面现象,横向变化不自然,其原因可能是地震数据在经过 ICEEMD 方法分解时,由于终止阈值为 0.2,才会出现部分 IMF 分量有端点效应造成的。因此,笔者使用 ICEEMD 方法结合 FWE0 算子,在实际应用中提取瞬时属性具有一定的实用性,可以更好地用于储层预测。

4 结论及建议

1)笔者使用 ICEEMD 方法将复杂的地震信号,分解为一系列从高频到低频的 IMF 分量,并且选取

相关性大于 0.8 以上的 IMF 分量代替原始地震信号进行提取其瞬时属性,因此正确选择 ICEEMD 分解后的 IMF 分量,是基于 ICEEMD 的分析方法进行烃类检测的前提。

2)相较于 Hilbert 变换,采用 FWE0 算子在时间上有更高的分辨率,不仅解决了 Hilbert 变换由于窗口效应导致的端点效应,而且在瞬时能量追踪上克服了负值的出现。相比于希尔伯特变换,计算速度更快,更适合数量庞大的地震数据分析。

3)笔者使用 ICEEMD 结合 FWE0 算子,在实际地震数据中提取瞬时属性相较于 Hilbert 变换,可以更好地刻画储层位置。

参考文献:

- [1] CASTAGNA J P, SUN S, SIEGFRIED R W. Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons[J]. *The Leading Edge*, 2003, 22(2):120-127.
- [2] WU S, LIU Z, LIU B. Enhancement of lidar backscatters signal to noise ratio using empirical mode decomposition method [J]. *Optics Communications*, 2006, 267(1):137-144.
- [3] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [J]. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1998, 454(1971):903-995.
- [4] WU X, HUANG N E. Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method [J]. *Advances in Adaptive Data Analysis*, 2009, 1(01):1-41.
- [5] XUE Y J, CAO J X. Seismic signal attenuation analysis based on the combination of empirical mode decomposition and wavelet transform[J]. *Oil Geophysical Exploration*, 2016, 51(06):1148-1155+1050-1051.
- [6] 薛雅娟, 曹俊兴. 聚合经验模态分解和小波变换相结合的地震信号衰减分析[J]. *石油地球物理勘探*, 2016, 51(06):1148-1155+1050-1051.
- XUE Y J, CAO J X. Analysis of seismic signal attenuation by combining aggregated empirical modal decomposition and wavelet transform [J]. *Petroleum Geophysical Exploration*, 2016, 51(06):1148-1155+1050-1051. (In Chinese)
- [7] JR YE H, JS SHIEH, NE HUANG. Complementary ensemble empirical mode decomposition: a novel noise enhanced data analysis method[J]. *Advances in Adaptive Data Analysis*, 2010, 2(2).
- [8] COLOMINAS M A, SCHLOTTHAUER G, TORRES M E. Improved complete ensemble EMD: A suitable tool for biomedical signal processing [J]. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2014(14):19-29.
- [9] 杨凯. 基于 ICEEMD 的地震信号去噪[J]. *工程地球物理学报*, 2017, 14(06):648-657.
- YANG K. Seismic signal denoising based on ICEEMD [J]. *Journal of Engineering Geophysics*, 2017, 14(06):648-657. (In Chinese)
- [10] 李斌, 陈学华, 贺振华, 等. 基于多尺度加窗希尔伯特变换的地震资料体边缘检测[J]. *石油物探*, 2015, 54(03):345-349.
- LI B, CHEN X H, HE Z H, et al. Edge detection of seismic data body based on multi-scale plus window Hilbert transform [J]. *Petroleum Physical Exploration*, 2015, 54(03):345-349. (In Chinese)
- [11] 薛雅娟. 地震信号时频分析及其在储层含气性检测中的应用研究[D]. 成都:成都理工大学, 2014.
- XUE Y J. Research on seismic signal time-frequency analysis and its application in reservoir gas content detection[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2014. (In Chinese)
- [12] XUE Y J, CAO J X, TIAN R F. EMD and Teager-Kaiser energy applied to hydrocarbon detection in a carbonate reservoir [J]. *Geophysical Journal International*, 2014, 197(I):277-291.
- [13] 宗宇雷, 任修坤, 李珂, 等. 基于 TK 能量算子的 OFDM 时延估计算法[J]. *计算机应用研究*, 2017, 34(11):3399-3401+3404.
- ZONG Y L, REN X K, LI K, et al. OFDM time delay estimation algorithm based on TK energy operator [J]. *Computer Application Research*, 2017, 34(11):3399-3401+3404. (In Chinese)
- [14] 陈奎, 徐钊. 基于互 TK 能量算子的到达时间差估计 [J]. *计算机工程*, 2010, 36(14):84-86.
- CHEN K, XU Z. Arrival time difference estimation based on mutual TK energy operator [J]. *Computer Engineering*, 2010, 36(14):84-86. (In Chinese)
- [15] OTOOLE J M, TEMKO A, STEVENSON N. Assessing instantaneous energy in the EEG: a non-negative, frequency-weighted energy operator [M]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2014.
- [16] 唐贵基, 丁傲, 王晓龙, 等. 基于 ASSD-MOMEDA-FWEO 相结合的滚动轴承故障诊断[J]. *自动化仪表*, 2021, 42(12):8-14.
- TANG G J, DING A, WANG X L, et al. Fault diagnosis for rolling bearing based on ASSD-MOMEDA-FWEO [J]. *Process Automation Instrumentation*, 2021, 42(12):8-14. (In Chinese)
- [17] 丁金玲, 胡俊锋, 林凤涛. 基于 WPD-FWEO 的轴承故

障特征增强方法[J]. 机床与液压, 2020, 48(11): 194—199.

DING J L, HU J F, LIN F T. Fault feature enhance-

ment method for rolling bearing based on WPD—FWEO[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2020, 48

(11): 194—199. (In Chinese)

Application of improved complete empirical mode decomposition and FWEO energy to oil and gas identification in the South China sea

ZHAO Pinheng^{1,3}, ZHOU Huailai^{1,2,3}, WANG Yuanjun^{1,2}, WU Mengmeng^{1,3}

(1. Chengdu University of Technology, Geophysical Institute, Chengdu 610059, China;

2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu 610059, China;

3. Key Laboratory of Earth Exploration and Information Technology of Ministry of Education (Chengdu University of Technology), Chengdu 610059, China)

Abstract: The traditional Hilbert—Huang transform (HHT) is a time—frequency analysis method with poor recognition accuracy and suffers from endpoint effects and modal aliasing. The improved Complete Empirical Mode Decomposition (ICEEMD) can decompose complex seismic signals into a series of single—component signals, which can better solve the problem of modal aliasing. However, the instantaneous amplitude and instantaneous frequency extracted by the combined Hilbert transform still have serious endpoint effects on the processing of real seismic data. FWEO(Frequency—weighted Energy Operator) is a non—negative frequency—weighted operator that combines TK energy difference algorithm and the Hilbert transform complex analysis idea, and has higher time resolution than the Hilbert transform. However, due to the algorithm itself, the FWEO energy can only be applied to single—component signals and not directly to complex seismic data. Therefore, this paper combines the advantages of the improved complete empirical mode decomposition method and FWEO energy separation algorithm to extract the instantaneous amplitude and frequency information of the actual seismic records in a work zone in the South China Sea and compares the prediction results with the logging data with good prediction agreement and high recognition accuracy, which proves that the method can accurately reflect the reservoir characteristics.

Keywords: FWEO energy; ICEEMD; modal aliasing; instantaneous properties; reservoir prediction