doi: 10.11720/wtyht.2020.1465

贺文,蔡加铭,宋志华,等.基于 TK 能量的峰值频率在沉积旋回划分中的应用[J].物探与化探,2020,44(6):1336-1344.http://doi.org/10. 11720/wtyht.2020.1465

He W, Cai J M, Song Z H, et al. Sedimentary cycle division using peak frequency of time-frequency Teager-Kaiser energy [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(6):1336–1344. http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1465

基于 TK 能量的峰值频率在沉积旋回划分中的应用

贺文1,蔡加铭1,宋志华2,李海银1,张浩1,黄孔智1,管延斌1

(1.中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司研究院,河北 涿州 072751;2.中国石油新疆油 田公司勘探事业部,新疆 克拉玛依 834000)

摘要: 沉积旋回分析在地层学理论研究和石油勘探开发中起着重要的作用。依据测井曲线的形态定性划分是常规的沉积旋回划分方法,在井点位置处这种旋回划分较为准确,但在无井之处的沉积旋回划分则主要依靠地质认识,具有较强的主观性。地震资料中蕴含了丰富的与沉积旋回有关的信息,利用其时频属性曲线可以进行沉积旋回划分。本文选用具有较好时频分辨能力的广义S变换方法计算时频属性曲线,并将该方法应用于正旋回、反旋回、正反旋回以及反正旋回四种沉积旋回模型,模型的旋回划分结果验证了时频谱峰值频率属性进行沉积旋回划分的有效性;但在实际地震资料应用中,时频谱的时间分辨率不高。基于时频谱的Teager-Kaiser 能量谱,提高了时频分析结果的时间定位性和聚焦性,基于 Teager-Kaiser 能量谱属性的沉积旋回划分可以更好刻画地质结构的变化和薄互层结构。将该方法应用于新疆某油田侏罗系的沉积旋回划分,其划分结果与井资料的沉积旋回划分结果吻合较好,验证了方法的可靠性。

0 引言

时频分析是研究非平稳信号的重要手段^[1],它 们在地震勘探中有着广泛的应用^[2-3],如地震波能 量吸收衰减补偿、储层预测、地震旋回分析、属性提 取等在各个领域都得到了广泛的应用。S变换是介 于短时傅里叶变换和小波变换之间的一种时频分析 方法,具备小波变换的多分辨率特性,克服了短时傅 里叶变换不能调节分析窗口的缺点,不需要满足小 波容许条件,变换结果与傅里叶谱保持直接的联 系^[4]。广义S变换改造了标准的S变换,使它能根 据实际应用中非平稳信号的频率分布特点和时频分 析的侧重点,灵活地调节小波随频率尺度的变化趋 势,不但可以进一步加快或减慢小波的时宽随信号 频率变换的速度,而且使小波的振幅呈现多种变化 特征,使广义S变换能够更好地适应具体信号的分析和处理^[5]。

Teager 能量算子是由 Teager 等人提出的一种能 量操作算子^[6],Kaiser 于 1990 年在 Teager 能量算子 的基础上提出了对于单频信号分析的局部离散化非 线性能量密度算法,称之为 Teager-Kaiser 能量算 子^[7],用于研究非线性过程中的语音识别和噪声压 制等^[8-9]。由于 Teager-Kaiser 能量算子对于单频信 号是严格成立的^[10],而地震信号是由多种频率成分 组成的非平稳信号,具有复杂的时变性,所以要对地 震信号进行频谱分解成单频信号才可以进行 Teager-Kaiser 能量计算。

沉积记录中表现出来的旋回性很早就引起了人 们的注意,沉积旋回性分析在地层学理论研究和沉 积矿产勘探中有着重要的意义^[11]。为了得到某个 地区的地层层序认识,就需要对该地区进行沉积旋

收稿日期: 2019-09-30; 修回日期: 2020-10-11

基金项目:国家自然科学基金重点项目(11931013);中国石油天然气股份公司重大科技专项"新疆和吐哈油田勘探开发关键技术研究与应用" 子课题"宽频高密度勘探关键技术研究与应用"(2017E-0411)

作者简介: 如此下数据),男,工程师,理学硕士,主要从事地震资料处理及解释方法研究工作。

回划分。传统的高分辨率层序地层学分析方法,主 要是依据各级层序界面在钻井、钻井剖面和取心结 果中确定识别标志,对关键井进行测井相识别和测 井沉积旋回划分的定性研究^[12-13]。这种方法对井 位置的沉积旋回划分较准确,但是在无井的地方则 只能通过地质规律从井点处外推,容易受到主观因 素的影响,进而可能无法得到相对准确的沉积旋回 划分结果。

由于地震资料不受井点位置的限制,本文通过 对地震信号进行时频分析,并把时频谱变换到时频 域 Teager-Kaiser 能量谱,进而求取时频域 Teager-Kaiser 能量峰值频率属性曲线,对其结果用于沉积 旋回划分。关于这方面的工作,前人涉及的不多。 本文通过对四种沉积模型的时频属性的计算,验证 了基于广义S变换时频属性曲线划分沉积旋回的可 靠性;然后对实际地震资料进行处理,以井旁地震道 作为研究对象,根据其尺度的大小,选择合适的滤波 器对计算的基于 Teager-Kaiser 能量算子的峰值频率 属性曲线进行分频滤波,再进行长期旋回和短期旋 回的划分,测井资料的验证效果良好。实际应用证 明,本文的方法具有较高的精度和可靠性,且不受 井点位置的制约,有利于研究地层横向变化的特征。

1 技术方法

1.1 广义S变换

广义S变换通过引入两个参数,改造了标准的 S变换^[4]。信号 *h*(*t*)的广义S变换^[5]为:

$$GST(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)\psi(t - \tau, f) dt$$
$$= \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) \frac{\lambda |f|^{p}}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\lambda^{2} f^{2p}(t - \tau)^{2}}{2}\right] \cdot \exp(-2\pi i ft) dt , \qquad (1)$$

两个参数 $\lambda \ \pi_p$ 是式(1)中广义 S 变换窗函数的两 个调节因子。相比于 Gabor 变换、S 变换,广义 S 变 换的两个调节因子可灵活调节小波随频率尺度 f 的 多种非线性变化特征^[14],使得广义 S 变换更好地适 应具体复杂时变信号的处理和分析。

1.2 Teager-Kaiser 能量算子

对于单频地震能量密度, Teager-Kaiser 能量算 子的表达式^[6]为:

$$E = \frac{1}{2}\rho\omega^{2}A^{2} = 2\pi^{2}\rho f^{2}A^{2}, \qquad (2)$$

式中:E 为地震能量,A 为振幅, ω 为角频率, ρ 为密度,f 为频率; ϕ 新福, μ 为振幅, ω 为角频率; ϕ 为密

ser 推导出了离散形式的信号能量表达式^[7]:

$$E = \frac{1}{2}mv^{2}A^{2} \approx x^{2}[n] - x[n+1] \times x[n-1] , (3)$$

式中:m 是物体的质量,x[n]是离散时间信号的采 样序列。式(2)和式(3)的差别之处在于地震能量 密度中的 ρ 和弹簧模型中的质量 m,两者在本质上 是相同的,因此利用式(3)计算地震信号的 Teager-Kaiser 能量,而式(3)对于单频信号是严格成立的。 将广义 S 变换与 Teager-Kaiser 能量算子进行结合, 计算地震波的瞬时能量谱,展布地震能量的时频分 布特征。离散地震信号各单频的 Teager-Kaiser 能量 计算公式如下:

 $E_{j,k} = [\operatorname{GST}(j,k)]^2 - \operatorname{GST}(j+1,k) \times \operatorname{GST}(j-1,k)$ (4)

式中:*j*为时间样点号,*k*为频率样点号。对于一道 地震数据,进行广义S变换时频分析就可得到时频 谱。对时频谱的每一道数据(每一单频分量)应用 上述 Teager-Kaiser 能量算子,便得到 Teager-Kaiser 能量分布。

2 沉积模型试算

沉积旋回是指沉积作用和沉积条件按相同的次 序不断重复沉积而组成的一个层序[15]。通常细颗 粒沉积速率小,形成的沉积层较薄,粗颗粒沉积速率 大.形成的沉积层较厚:层理结构中尺度变化及变化 的方向性决定了其地震响应频率成分的不同。时频 分析是地震层序分析的重要手段,阐明了各级地震 层序体内部的精细结构,并预测其物质成分^[16]。 时频分析提供了时间域和频率域联合分布的信息. 地质上的旋回性对应着地震数据上时频域的变化特 征。为了探索时频分析技术在沉积旋回方面的分析 效果,设计了如下4种典型的沉积旋回模型,其速度 参数由实际测井资料的统计得到[17],砂岩速度范围 为3000~3400 m/s, 泥岩的速度约为2500~2900 m/s。单层砂岩速度分别为 3 000、3 050、3 100、 3150、3200、3250、3300、3350、3400m/s,与之对应 的时间厚度依次为 16、24、32、40、48、56、64、72、80 ms;单层泥岩的速度分别为2500、2550、2600、 2650、2700、2750、2800、2850、2900 m/s, 与之对应 的时间厚度依次为 12、18、24、30、36、42、48、54、60 ms,子波为主频 25 Hz 的雷克子波,在地质上为砂 岩、泥岩呈互层发育。

2.1 正旋回

正旋回模型,砂岩、泥岩呈现互层发育,单层厚

度随深度从深到浅逐渐变薄。该模型反映了自下而 上水动力条件从强到弱、沉积物颗粒由粗变细的退 积型沉积环境。图1为正旋回模型及其地震响应。 时频分析结果清晰地指示出正旋回的时频特征,频 率随厚度减小而增大,即旋回顶部富含高频成分、底 部富含低频成分。

2.2 反旋回

反旋回模型,砂岩、泥岩呈互层发育,单层厚度 随深度从深到浅逐渐变厚,反映了水动力条件自下 而上从弱到强、沉积物颗粒由细到粗的进积型沉积 环境。图 2 为反旋回模型及其地震响应。时频分 析结果清晰地指示出反旋回的时频特征,频率随厚



a—速度模型;b—反射系数;c—合成地震记录;d—时频谱

a-velocity model; b-reflection coefficient; c-synthetic; d-time-frequency spectrum

图 1 正旋回模型及其地震响应





a—速度模型;b—反射系数;c—合成地震记录;d—时频谱

a-velocity model; b-reflection coefficient; c-synthetic; d-time-frequency spectrum

图 2 反旋回模型及其地震响应

Fig.2 Inverse cycle model and its seismic response

度增大而减小,即旋回顶部富含低频成分、底部富含 高频成分。

2.3 反正旋回

反正旋回模型,砂岩、泥岩互层组的厚度,由深 至浅先增大再减小。先进行反旋回沉积再进行正旋 回沉积,反映了一种进积—退积复合沉积环境。图 3为反—正旋回模型及其地震响应。时频分析结果 表明由深到浅,频率变化趋势为高→低→高,即旋 回顶部和底部富含高频成分,中间富含低频成分。

2.4 正反旋回

正反旋回模型中,砂岩、泥岩互层组的厚度,从 深到浅先减小再增大。先进行正旋回沉积再进行反 旋回沉积,反映了一种退积—进积复合沉积环境。 图4为正—反旋回模型及其地震响应。时频分析结 果清晰地指示出由深到浅,频率变化趋势为低→高 →低,表明旋回的顶部和底部富含低频成分,中间富



a-速度模型;b-反射系数;c-合成地震记录;d-时频谱

a-velocity model; b-reflection coefficient; c-synthetic; d-time-frequency spectrum

图 3 反正旋回模型及其地震响应

Fig.3 Inverse-normal cycle model and its seismic response



-velocity model;b-reflection coefficient;c-synthetic;d-time-frequency spectrum

图 4

Fig.4 Normal-inverse cycle model and its seismic response

正反旋回模型及其地震响应

含高频成分。

2.5 旋回模型试算

应用时频属性划分沉积旋回的主要思想是取单 道信号进行时频分析,在时频谱信息中求取能够描 述沉积旋回变化规律的敏感属性(本文选择的敏感 属性为峰值频率属性)。然后根据峰值频率属性曲 线做镜像图,具体是在峰值频率属性曲线的最大值 位置处沿时间轴绘制其对称曲线,然后画出"三角 形",根据三角形判断沉积旋回的类型^[18]。图 5 为 反正旋回、正反旋回模型及其峰值频率属性镜像图, 显然,应用地震数据的峰值频率属性曲线划分沉积 旋回比较准确。其中,旋回模型的左侧蓝色曲线为 峰值频率属性曲线,右侧红色曲线为该峰值频率属 性曲线的镜像曲线。

峰值频率属性曲线在时间方向上一定程度反映 了地质结构的变化,但是对地层微观结构的变化和 时间的定位不够精准。如图5所示的反正旋回模型 砂岩、泥岩互层组的厚度,由深至浅先增大再减小, 由深到浅,频率变化趋势为高→低→高。但是在每 一个砂泥岩组内,砂岩和泥岩厚度变化的不同在峰 值频率曲线上无法精准定位。正反旋回模型亦有相 同的结论。为了得到时频谱上反映地层微观结构变 化的信息,本文在广义S变换时频分析的结果上引 入 Teager-Kaiser 能量算子。具体实现过程是:利用 式(4) 对图 6a、6c 所示的广义变换时频谱进行计算,求取时频域 Teager-Kaiser 能量谱如图 6b、6d 所示。在时间方向上 Teager-Kaiser 能量谱和广义S变换谱的低频变化趋势一致,但是 Teager-Kaiser 能量 谱在细节上表征了在砂泥岩组内,砂岩和泥岩厚度 变化的不同,更具刻画薄层结构的变化。

3 应用实例

在模型试算之后,将上述方法应用于实际地震数据,选取新疆某油田侏罗系七克台组和三间房组为作为研究对象。取工区内测井资料较为完整的 M 井的井旁道进行处理,如图 7a 中的红色位置为井旁道位置。井旁地震道的广义 S 变换时频谱如图 7b 所示。图 7b 中时频谱时间样点位置的振幅谱极大值对应的频率值为其峰值频率,所有时间样点位置的峰值频率就构成了峰值频率属性曲线,如图 7c 所示。很显然,峰值频率属性曲线在时间方向上一定程度反映了地质结构的变化和薄互层结构,但是对地层微观结构的变化和时间的定位不够精准。

为了得到时频谱上反应地层微观结构变化的信息,在广义S变换时频分析的结果上应用 Teager-Kaiser 能量算子。在得到 Teager-Kaiser 能量谱后,同求取峰值频率属性曲线方法类似,求取时频



a-反正旋回模型;b-模型 a 的峰值频率镜像图;c-正反旋回模型;d-模型 c 的峰值频率镜像图

—inverse-normal cycle model;b—peak frequency mirror image of model a;c—normal-inverse cycle model;d—peak frequency mirror image of model c 图 5 反正旋回模型及其峰值频率镜像图、正反旋回模型及其峰值频率镜像图

图 5 及正版凹候空及其峰值频举税够图、正及版凹候空及其峰值频举税够图

Fig.5 Inverse-normal cycle model and its peak frequency mirror image, normal-inverse cycle model

万方数据

and its peak frequency mirror image



a-反正旋回时频谱;b-反正旋回 TK 能量谱;c-正反旋回时频谱;d-正反旋回 TK 能量谱

a-inverse-normal cycle time-frequency spectrum; b-inverse-normal cycle TK energy spectrum; c-normal-inverse cycle time-frequency spectrum; d-normal-inverse cycle TK energy spectrum



a—地震剖面;b—井旁道时频谱;c—井旁道峰值频率曲线

-seismic profile; b-seismic trace time-frequency spectrum cross well; c-peak frequency curve cross well

图 7 地震剖面、井旁道时频谱及峰值频率属性曲线

Fig.7 Seismic profile, seismic trace time-frequency spectrum cross well and peak frequency curve

Teager-Kaiser 峰值频率属性曲线(图 8)。很显然, 图 8a 中时频域 Teager-Kaiser 能量谱相比图 7b 的广 义 S 变换时频谱具有更高的时间分辨率,图 8b 中时 频域 Teager-Kaiser 峰值频率曲线相比于图 7c 的广 义 S 变换峰值频率属性曲线具有更高的时间定位 性,更能**表布魏据**结构的变化和薄互层地层的微观

a-

结构特征。

3.1 中、长期旋回划分效果

利用图 8b 所示的时频域 Teager-Kaiser 峰值频 率曲线进行沉积旋回划分。首先对该曲线进行分频 滤波。根据需要研究的沉积旋回级别(周期 T),进 而确定所要求取的沉积旋回曲线的中心频率(F=

44 卷

1/T)。由此设计带通滤波器。图 8c 中蓝色曲线为 对该曲线进行低通滤波后的属性曲线、图 8d 中蓝色 曲线为对该曲线进行带通滤波后的中频分量属性曲 线,红色曲线为该曲线的镜像曲线。图 9c、9d 分别 为根据滤波后的属性曲线图 8c、8d 进行中期、长期 旋回划分结果。根据前人研究成果以及时深标定对 过井地震剖面图进行了解释如图 9e 所示,其中图 9e 中的绿色实线为对应于图 9a 的分层界面,红色 虚线为对应于图 9a 基于岩性进行解释的最大湖泛 面。基于本文方法的长期旋回划分结果(图 9d),可



a-T-K 能量谱;b-T-K 峰值频率曲线;c-曲线 b 低频分量;d-曲线 b 中频分量;e-曲线 b 高频分量

a-T-K energy spectrum; b-T-K peak frequency curve; c-low frequency component of b; d-intermediate frequency component of b; e-high frequency component of b

图 8 T-K 能量谱、T-K 峰值频率曲线及其分频曲线





a—地质分层、岩性及基于岩性划分的旋回;b—短期旋回;c—中期旋回;d—长期旋回;e—过井地震剖面

a-geological stratification, lithology and cycle based on lithology division; b-short-term cycle; c-medium-term cycle; d-long-term cycle; e-seismic profile

图 9 基于前人结果及时深标定对过井地震剖面解释结果

万方数据 Cross-well section interpretation results based on time depth calibration and previous results

以识别图 9a 中 4 个最大湖泛面,分别为 mfs1、mfs2、 mfs3、mfs5,而且在界面 SB1 至 SB3 部分,界面 SB5 至 SB6 部分和基于岩性解释的长期旋回划分结果 (图 9a 长期旋回划分结果)具有较高的一致性。基 于本文方法的中期旋回划分结果(图 9c),可以识别 图 9a 中 5 个(全部)最大湖泛面,而且在界面 SB1 至 SB6 和基于岩性解释的长期旋回划分结果(图 9a 长期旋回划分结果)吻合。验证了文中的方法用于 中期、长期旋回划分的可靠性。

3.2 短期旋回划分效果

选择井旁道时频域 Teager-Kaiser 峰值频率属性 曲线的高频分量(图 8e)进行沉积旋回划分。如图 9b 所示,基于文中方法短期旋回划分的结果和基于 岩性短期旋回划分的结果进行对比。本文方法短期 旋回划分结果(图 9b)可以识别图 9a 中 5 个(全部) 最大湖泛面。在界面 SB1 至 SB2 部分,本文方法短 期旋回划分结果和基于岩性的短期旋回划分的结果 精度相当,但是在界面 SB2 至界面 SB4 部分,本文 的短期旋回划分结果精度略低于基于岩性短期旋回 划分结果。在界面 SB4 至界面 SB5 部分,本文的短 期旋回划分结果和基于岩性短期旋回划分结果和 当。在界面 SB5 至界面 SB6 部分,本文的短期旋回 划分结果略低于基于岩性短期旋回划分结果,略高 于基于岩性短长期旋回划分结果。

4 结论

1)针对文中设计的理论模型,应用基于广义S 变换时频谱峰值频率属性曲线进行沉积旋回划分与 设计的理论模型相吻合。

2) 实际资料应用中, 在时频谱上应用 Teager-Kaiser 能量算子, 可以得到进一步反映地层微观结构变化的信息, 求取的 Teager-Kaiser 峰值频率属性曲线为后续的沉积旋回划分提供精度较高的基础数据。

3) 通过对 Teager-Kaiser 峰值频率属性曲线进行 分频滤波, 基于滤波后的数据进行沉积旋回划分的 方法, 可以得到基于地震资料的分级沉积旋回划分 结果, 减少了人为的主观因素, 提高了旋回划分的可 靠性。

4) 在低勘探程度地区因测井资料比较少或分 布不均匀导致难以确定层序界面的情况下,可以求 取基于 Teager-Kaiser 能量属性的峰值频率属性方法 进行沉积旋回划分,进而为地层沉积期次划分和地 层精细对化物频参考。

参考文献(References):

[1] 张贤达,保铮.非平稳信号分析与处理[M].北京:国防工业出版社,1998.

Zhang X D, Bao Z. Nonstationary signal analysis and processing [M].Beijing:National Defense Industry Press, 1998.

- [2] 刘葵,刘招军,朱建伟,等.时频分析技术在石油地球物理勘探 中的应用[J].世界地质,2000,19(3):282-284.
 Liu K,Liu Z J,Zhu J W, et al. Application of time-frequency analysis in geology[J].Global Geology,2000,19(3):282-284.
- [3] 杨培杰,印兴耀,张广智.希尔伯特—黄变换地震信号时频分析 与属性提取[J].地球物理学进展,2007,22(5):1595-1590.
 Yang P J,Yin X Y,Zhang G Z.Seismic signal time-frequency analysis and attributes extract based on HHT[J].Progress in Geophysics,2007,22(5):1595-1590.
- [4] Stockwell R G, Mansinha L, Lowe R P. Localization of the complex spectrum: the S transform [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1996, 44(4):998 - 1001.
- [5] 陈学华,贺振华,黄德济.基于广义S变换的地震资料高效时频 谱分解[J].石油地球物理勘探,2008,43(5):530-534. Chen X H,He Z H,Huang D J.High efficient time-frequency spectrum decomposition of seismic data based on generalized S transform[J].OGP,2008,43(5):530-534.
- [6] Teager H, Teager S.Evidence for nonlinear production mechanisms in the vocal tract [J]. Speech Production & Speech Modeling, 1990, 55:241-261.
- [7] Kaiser J F.On a simple algorithm to calculate the 'energy' of a signal[J].IEEE ICASSP,1990:381 – 384.
- [8] Jabloun F, Cetin A E, Erzin E. Teager energy based feature parameters for speech recognition in car noise[J].IEEE Signal Processing Letters, 1999, 6(10):258 - 261.
- [9] Nehe N S, Holamber R S.Power spectrum difference teager energy features for speech recognition in noisy environment [C]//IEEE Region 10 Colloquium and the Third International Conference on Industrial and Information Systems, 2008;1-5.
- [10] Matos D, Marfurt K J. Wavelet transform Teager-Kaiser energy applied to a carbonate field in Brazil[J]. The Leading Edge, 2009, 28 (6):708-713.
- [11] 刘振峰,郝天珧,范国章.沉积旋回的地球物理研究[J].石油实验地质,2004,26(3):258-262
 Liu Z F, Hao T Y, Fan G Z. Geophysical study of sedimentary cycles[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(3):258-262.
- [12] 高永进.砂砾岩体沉积旋回划分方法及对比方法——以济阳坳 陷盐家地区沙四段上亚段为例[J].油气地质与采收率,2010, 17(6):6-11.

Gao Y J. Sedimentary cycle division and correlation of sand-conglomerate body in upper Sha IV Formation of Yanjia area, Jiyang depression[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(6):6-11.

 [13] 徐敬领,王贵文,刘洛夫.利用小波深频分析方法研究地层沉积 旋回[J].中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(5):1-5
 Xu J L, Wang G W, Liu L F.Study of sedimentary reservoir cycles using wavelet depth-frequency analysis method[J].Journal of China University of Petroleum: Edition of Nature Science, 2009, 33
(5):1-5.

- [14] 黄捍东,冯娜,王彦超,等.广义S变换地震高分辨率处理方法 研究[J].石油地球物理勘探,2014,49(1):82-88.
 Huang H D, Feng N, Wang Y C, et al. High-resolution seismic processing based on generalized S transform[J].OGP,2014,49(1): 82-88.
- [15] 徐敬领,王贵文,刘洛夫,等.应用 Hilbert-Huang 变换方法研究
 等时小层划分及对比[J].石油地球物理勘探,2010,45(3):
 423-430.

Xu J L, Wang G W, Liu L F, et al. Application of Hilbert-Huang transform to study classification and correlation of isochrones sub-stratum[J].OGP,2010,45(3):423-430.

- [16] 邹才能,张颖.油气勘探开发实用地震新技术[M].北京:石油 工业出版社,2002.
 Zou C N,Zhang Y.New seismic techniques of exploration and development of oil and gas [M].Beijing:Petroleum Industry Press, 2002.
- [17] Liu Y L, Yang G Q, Cao W J. The division of sedimentary cycle based on HHT[C]//SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2015:1902-1906.
- [18] 蕙晓宇,刘洪.HHT 方法在研究地震旋回体中的应用[J].吉林 大学学报:地球科学版,2007,37(3):624-628.
 Xi X Y,Liu H.The application of HHT method in study of seismic cycle[J].Journal of Jilin University:Earth Science Edition,2007, 37(3):624-628.

Sedimentary cycle division using peak frequency of time-frequency Teager-Kaiser energy

HE Wen¹, CAI Jia-Ming¹, SONG Zhi-Hua², LI Hai-Yin¹, ZHANG Hao¹, HUANG Kong-Zhi¹, GUAN Yan-Bin¹ (1. Geophysical Research Institute of BGP, CNPC, Zhuozhou 072751, China; 2. Exploration Department, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay 834000, China)

Abstract: Sedimentary cycle analysis plays an important role in stratigraphic theory research and petroleum exploration and development.Qualitative division of logging curves is a conventional method for dividing sedimentary cycles, which is more accurate at wellbore locations, but the division of sedimentary cycles in non-wellbore locations mainly depends on geological knowledge and has strong subjectivity.Seismic data contain abundant information related to sedimentary cycles.Sedimentary cycles can be divided by using time-frequency attribute curves.In this paper, the generalized S-transform method with better time-frequency resolution is used to calculate the time-frequency attribute curve, and the method is applied to four sedimentary cycle models; normal cycle, inverse cycle, normal-inverse cycle and inverse-normal cycle.The results of cycles division of the model validate the validity of the peak frequency attributes of timefrequency spectrum in the division of sedimentary cycles; However, in the practical application of seismic data, the time resolution of time-frequency spectrum is not high.Teager-Kaiser energy spectrum based on time-frequency spectrum improves the time positioning and focusing of time-frequency analysis results.The division of sedimentary cycles based on Teager-Kaiser energy spectrum attributes can better depict the changes of geological structure and thin interbedded structure.The method is applied to the Jurassic sedimentary cycle division of an oil field in Xinjiang.The results of the division are in good agreement with those of the well data, which verifies the reliability of the method.

Key words: sedimentary cycle; time-frequency analysis; generalized S transform; Teager-Kaiser energy; peak frequency

(本文编辑:叶佩)