

## 天然气地球物理勘探

# 时频分析技术及其在识别含气层中的应用 ——以川中某地区雷口坡组雷 3 含气层为例

田仁飞, 曹俊兴, 方磊

(成都理工大学信息工程学院, 四川成都 610059)

**摘要:** 针对 Wigner-Ville 变换中交叉项对信号时频分析的分辨率有较大的干扰, 采用改进了的平滑 Wigner-Ville 变换处理技术, 来分析雷克子波合成记录的时频特征, 能够提高时频分析在时间和频率上的分辨率。在实际应用中首先对川中某地区井旁雷口坡组的地震道做频谱分析, 统计其主要频率分布, 然后提取地震分频剖面, 研究分频剖面与实测含气层和气测异常层之间的对应关系, 结果表明, 该区由含气引起的强振幅(能量)主要集中在 30~40 Hz 频率段, 与实测井含气层能够较好地相对应。

**关键词:** 平滑 Wigner-Ville 变换; 时频分析; 分频技术; 雷口坡组; 含气层

**中图分类号:** TE132.1<sup>+</sup>4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2008)02-0272-04

## 0 引言

近年来以双线性时频分析方法为代表的时频分析技术被大量引入地震信号分析和处理领域<sup>[1]</sup>, Cohen<sup>[2]</sup>研究发现各种双线性时频分析都是 Wigner-Ville 变换的不同形式, 很多学者<sup>[3]</sup>在理论和实际应用中都证明了 Wigner-Ville 变换在时间和频率的分频率要优于短时傅氏变换, 但是, Wigner-Ville 变换存在交叉项也严重干扰了其应用效果。

本文采用的平滑处理在一定程度上消除了 Wigner-Ville 变换交叉项的干扰, 并基于平滑 Wigner-Ville 变换的频谱分析提取分频剖面。分频技术可以整体揭示地层的纵向变化规律<sup>[4]</sup>、沉积相带的空间演变模式<sup>[5]</sup>, 还能指导人们进行储集层厚度展布的描绘与分析、单砂体级别薄互层的定量检测<sup>[6,7]</sup>等并取得很好的效果。雷口坡组是川中地区重要的储层、产油气层之一, 依据岩类组划分可以分为 4 段, 雷一亚段是主要的产层<sup>[8,9]</sup>。

近几年来, 随着勘探和研究的深入, 在川中地区几口井中试获油气, 在雷三段也获得气测异常, 甚至获得了工业气井, 因此, 对全面研究雷三段储层特征, 找出有利的勘探区具有非常重要的意义。本文利用不同频率的分频剖面研究实测含气层与之对应

关系, 以期为研究该区域油气储存特征, 提供了一种新的研究思路。

## 1 基于平滑 Wigner-Ville 变换的时频分析

### 1.1 平滑 Wigner-Ville 变换的原理

Cohen<sup>[2]</sup>发现各种时频分析都是 Wigner-Ville 变换的不同形式, 可以统一起来, 成为 Cohen 类双线性时频分析, 其信号的 Wigner-Ville 变换定义为:

$$W_z(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} z\left(t + \frac{\tau}{2}\right) z^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-i2f\tau} d\tau \quad (1)$$

式中  $z(t)$  是  $s(t)$  的解析信号, 即

$$\begin{aligned} z(t) &= s(t) + is(t) \otimes h(t) \\ &= s(t) + i \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{s(\mu)}{t - \tau} d\mu \\ &= s(t) + iH[s(t)] \end{aligned} \quad (2)$$

$H[s(t)]$  是实信号  $s(t)$  的 Hilbert 变换。

在 Wigner-Ville 变换的表达式中信号  $s(t)$  出现了 2 次, 故称之为双线性时频变换。如果令信号

$$s(t) = s_1(t) + s_2(t) \quad (3)$$

则有

$$W_s(t, f) = W_{s_1}(t, f) + W_{s_2}(t, f) + 2\text{Re}\{W_{s_1 s_2}(t, f)\} \quad (4)$$

其中

$$W_{s_1 s_2}(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1\left(t + \frac{\tau}{2}\right) s_2^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-i2f\tau} d\tau \quad (5)$$

式(4)中前两项是自项,第三项是交叉项。

交叉项的出现常常导致时频平面上出现伪影现象。交叉项是实的,混杂于自项成分之中,并且其幅度是自项成分的2倍。交叉项是振荡型的,每2个信号分量就会产生一个交叉项。交叉项的存在严重地干扰着对 Wigner-Ville 分布的解释,当信号变得非常复杂时, Wigner-Ville 分布甚至变得毫无意义。

由于 Wigner-Ville 变换具有良好的时频聚集特性,但是交叉项又恰是其主要缺陷。因此,减小交叉项干扰就成了 Wigner-Ville 变换性能改进的主要目标。本文直接对 Wigner-Ville 变换  $W_s(t, f)$  进行平滑操作,即可得到平滑 Wigner-Ville 变换(SWV):

$$SWV_s(t, f) = W_s(t, f) * G(t, f) \quad (6)$$

这里,  $*$  表示对时间和频率的二维卷积,而  $G(t, f)$  是平滑滤波器。

## 1.2 信号设计及时频分析

雷克子波是地震信号分析中常用且非常典型的信号,分析雷克子波构成信号的时频特征不仅可以检验该方法的正确性,而且具有一定的实际指导意义。设雷克子波为

$$\text{ricker}(t) = A(1 - 2\pi^2 f_0^2 t^2) e^{-\pi^2 f_0^2 (t - t_0)^2} \quad (7)$$

式中  $A$ 、 $f_0$  和  $t_0$  分别表示雷克子波的振幅、主频和延迟时。

本文取主频为 10 Hz、20 Hz、35 Hz 所对应的时间  $t_0$  分别为 0.1 s、0.25 s、0.4 s,振幅  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  分别取 5、8、10 雷克子波合成的信号(图1),对该信

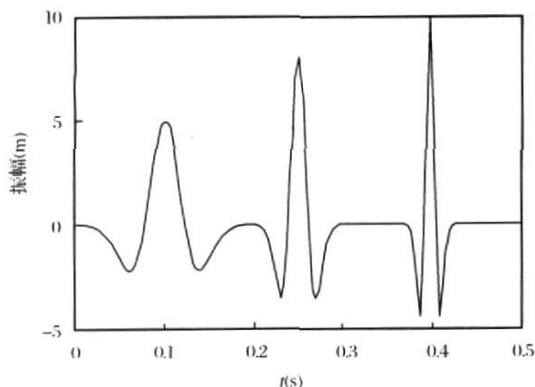


图1 3个不同主频雷克子波

号采用  $dt=0.001$  s 进行离散,可得到离散的时间序列信号。图2是3个不同主频雷克子波频域的振幅谱图。图3是基于平滑 Wigner-Ville 变换的时频分析法得到的时频谱。

从图1可知信号振幅与时间的关系,但无法看出其频率特性。由图2可知信号振幅与频率的关系,但这2图无法反映振幅随时间和频率之间变化关系。从图3可以看出,信号振幅(能量)随时间和频率的变化都能够清楚的反映出来,而且具有很好的时间和频率分辨率。

由此可知,应用平滑 Wigner-Ville 变换做时频分析是可行的。

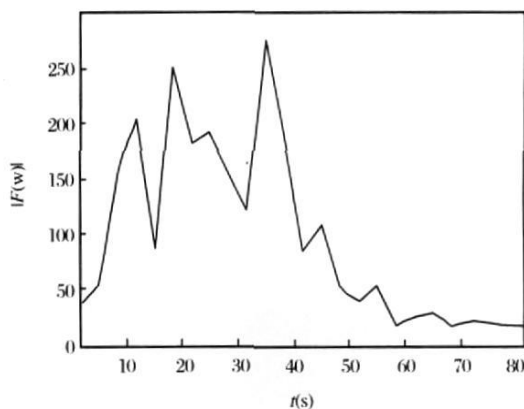


图2 3个不同主频雷克子波振幅谱

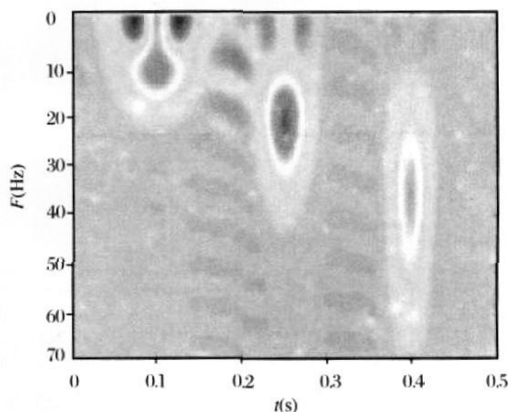


图3 平滑 Wigner-Ville 变换的时频谱

## 2 分频技术的应用及效果

地震分频技术是一项基于时频分析法提取特定频率的储层解释技术,一般是对各道记录进行频率扫描,从而了解反射波的各个频率的能量分布情况及频带的宽度,确定频带范围,然后按反射波在频带内的能量分布,确定分频频带。该技术不仅能够实现对地震数据的频率特性分析,而且还可以细致地分析地震信号的时变特性,揭示地震数据的内涵,更

有利于实现地震数据的精细解释。

本文用基于平滑 Wigner-Ville 变换的时频分析法对川中某地区雷 3 含气层的几条过井地震剖面进行了分频试验研究。

首先结合试油气情况,从该区三维地震资料提取了井旁地震道,对井旁地震道进行单道频谱分析,确定雷口坡组井旁地震道的频带范围及主要频率,

然后对井旁地震道进行时频分析,提取主要频率的分频剖面,最后分析分频剖面与含油气层的响应特征。由于篇幅有限,本文仅以一口气测异常井为研究实例。

实测气测异常井的井位位于三维地震数据体的 inline521、xline873 测线交点,从三维数据体中抽取如图4inline521测线,以xline873为中心,前后各

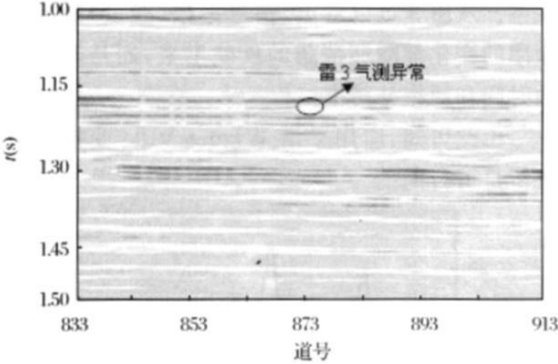


图 4 inline521 测线过井地震剖面

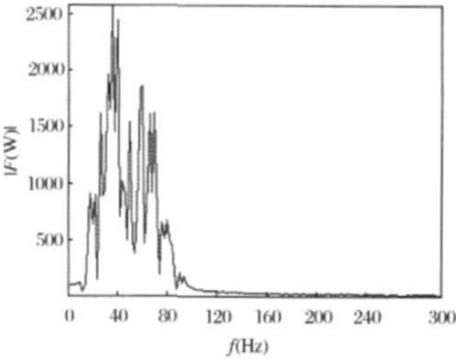


图 5 井旁地震道振幅谱

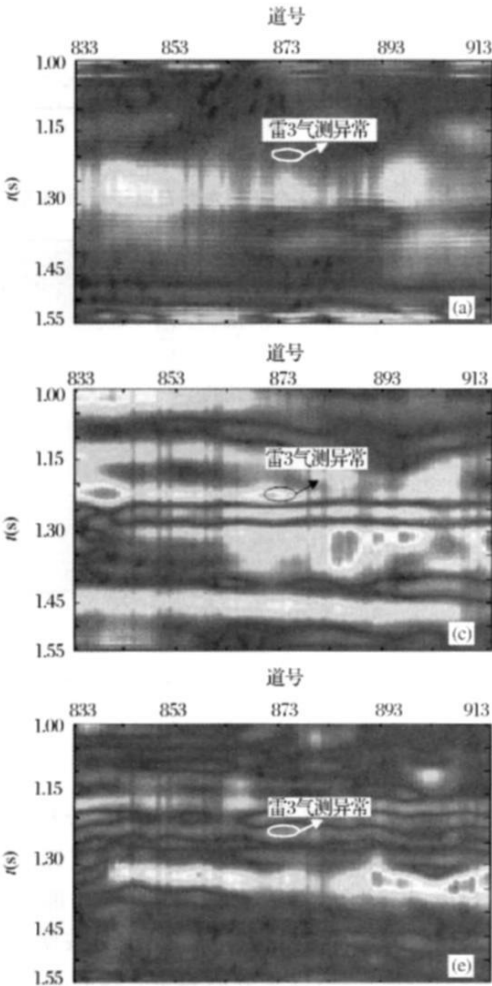


图 6 分频剖面

(a)  $f=10\text{Hz}$ ; (b)  $f=20\text{Hz}$ ; (c)  $f=30\text{Hz}$ ; (d)  $f=40\text{Hz}$ ; (e)  $f=50\text{Hz}$ ; (f)  $f=60\text{Hz}$

提取40道,共81道地震记录做时频分析。

由图5可知,频带范围主要集中在10~80 Hz,在此范围内存在几个较高的峰值频率,为了对比研究,选取了频率分别为10 Hz、20 Hz、30 Hz、40 Hz、50 Hz、60 Hz的基于平滑Wigner-Ville变换分频剖面(图6)。

由图6可知:随着频率的增大,气测异常层雷3的振幅(能量)逐渐增强,在30 Hz和40 Hz时,振幅最强;随后,振幅逐渐减弱,特别是在30 Hz时,气测异常的井位置在时间和频率上都有很好的分辨率。说明该研究区,由气层引起的振幅(能量)主要集中在30~40 Hz,对该区其它过井地震道做分频处理也得到类似的结果。

### 3 结论与认识

(1)基于Wigner-Ville变换的时频分析技术在实际应用中,由于常规变换存在的交叉项严重地干扰了时间域、频率域的分辨率,但通过加平滑窗可改进该技术的这一缺陷。

(2)对几个不同主频的雷克子波合成的记录做时频分析,证实了对Wigner-Ville变换进行平滑处理能够较好地消除交叉项干扰,提高了时间和频率域的分辨率。该方法即方便又易于实现,只要对原有的Wigner-Ville变换选择合适的平滑滤波器函数,就能够很好地消除交叉项的干扰。

(3)将该方法用于分频处理中,对川中某地区井

旁地震道做时频分析,分析了实测含气层和气测异常区域的时频特征,揭示了地层中含气时,不同频率的变化规律。

(4)该技术可为研究含气储层提供了很好的指导作用,值得进一步探索和研究。特别是找出含气储层与不同频率的分频谱变化规律的物理机制是下一步研究的核心问题。

#### 参考文献:

- [1] Steeghs T P H, *et al.* Local Power Spectra and Seismic Interpretation[M]. Doctoral Dissertation: Delft University of Technology, 1997.
- [2] Cohen L. Time-Frequency Analysis[M]. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1995.
- [3] Tagluka M E, Cakmakb E D. Analysis of the time-varying energy of brain responses to an oddball paradigm using short-term smoothed Wigner-Ville distribution[J]. Journal of Neuroscience Methods, 2005, 143 (3): 197-208.
- [4] 张延章,尹寿鹏,张巧玲等.地震分频技术的地质内涵及其效果分析[J].石油勘探与开发,2006,33(1):64-71.
- [5] 周金保.沉积微相研究成果在濮城油气田滚动勘探中的应用[J].石油勘探与开发,2004,31(4):68-70.
- [6] 郭晓龙,欧阳永林,张秀平,等.小波变化参数在苏里格气田的实际应用[J].天然气地球科学,2007,18(3):418-421.
- [7] 胡光义,王加瑞,武士尧等.利用地震分频处理技术预测河流相储层[J].中国海上油气,2005,17(4):237-241.
- [8] 魏国齐,刘德来,张林,等.四川盆地天然气分布规律与有利勘探领域[J].天然气地球科学,2005,16(4):437-442.
- [9] 雷雪,李忠,翟中华,等.川中地区中三叠统雷口坡组构造特征及解释方法探讨[J].石油物探,2005,44(2):137-141.

## Time-Frequency Analysis and Its Application in Gas-Bearing Reservoirs: A Case from the Lei 3 Gas-Bearing Reservoir of Leikoupo Formation in a Area of Central Sichuan

TIAN Ren-fei, CAO Jun-xing, FANG Lei

(College of Information Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Aimed at Wigner-Ville transformation crossterms badly interfering signals' resolution in the time-frequency analysis, the improved smoothed Wigner-Ville transformation is employed to analyze the time-frequency characteristics of the Ricker wavelet synthesis record. It is proved that it can improve the time-frequency analysis in the time and frequency resolution. This method is used to spectral decomposition technology. First, the spectrum analysis was used to analyze the near well Leikoupo Formation in central Sichuan and to analyze its main frequency distribution, then the seismic spectral decomposition profiles were extracted, and finally, the corresponding relationship between the seismic spectral decomposition profiles and the practically measured gas reservoirs or gas abnormality was analyzed. The results show that the strong amplitude (energy) caused by gas is mainly concentrated in the frequencies of 30-40Hz, and it matches very well with the practically measured wells.

**Key words:** Smoothed Wigner-Ville transformation; Time-frequency analysis; Spectral decomposition technology; Leikoupo Formation; Gas-bearing reservoir