

天然气勘探

基于子波分解的含气性识别技术 在 CC 地区浅层气藏勘探中的应用

高 倩¹, 李仲东¹, 赵 爽²

(1. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 中国石化西南分公司, 四川 成都 610081)

摘要:利用子波分解技术将常规地震数据道分解成不同频率子波的集合,并以此为基础开展基于频谱异常的储层含气性检测。CC 地区目的层——沙溪庙组以一套河流—三角洲沉积为主,砂体单层厚度不大,多在 20 m 左右,且同一河道的不同位置以及相同位置的不同河道,其储层含气性迥异。基于传统地震数据的频谱分析由于受其分析时窗限制,其抗噪性和稳定性差,难以准确识别其含气性。为了能准确预测该地区不同期次,不同位置河道砂体的含气性,将基于子波分解的含气性识别技术加以应用,通过分析其得到的频谱异常发现,该地区含气河道砂岩具有明显的“低频共振,高频吸收衰减”特征,利用该特征不但能清晰区分当前高产井与干井,而且成为后期井位部署的主要依据。

关键词:子波分解;含气性识别;频谱异常;低频共振;高频吸收衰减

中图分类号:TE132.1⁺4

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2011)03-0549-05

引用格式:高倩,李仲东,赵爽.基于子波分解的含气性识别技术在 CC 地区浅层气藏勘探中的应用[J].天然气地球科学,2011,22(3):549-553.

0 引言

利用常规叠后地震数据开展含气性识别研究工作,常常由于分析方法受时窗大小的限制,难以摆脱“大时窗复合响应,小时窗噪声响应”的困境,而精度较低。自从 Geronimo 等^[1]利用分形插值函数成功地构造了正交、紧支、逼近阶为 2 的 GHM 多子波以来,多子波分解与重构技术受到关注,该技术是基于把单道地震数分解为对应的多个不同频率雷克子波,由于雷克子波是由振幅和主频(F_m)唯一确定的子波,可以解析,这为小时窗地震数据分析提供了条件。基于子波分解的含气性识别技术,就是利用子波分解的小时窗分析功能,实现陆相河道薄层砂体含气性检测功能。

1 基本原理

基于子波分解的含气性识别技术,即在子波分解后的地震道上开展目的层段地震波频谱分析,利

用其“低频共振,高频衰减”频谱异常来识别储层含气性,故其属于子波分解与低频共振,高频吸收衰减含气性检测 2 项技术联合运用。

1.1 子波分解的基本原理

多子波变换法,该法的发展与多锥形谱估算法有关^[2-4]。多子波变换,积分核函数的实分量和虚分量部分为不连续的有限时间序列 W_m ,它的能量集中在中心频率为 f_c 、带宽为 $2f_w$ ($f_u \leq f_c$) 的频带内,这些函数表现为偶数对和奇数对。多子波被定义为:

$$w_f^{(j)} = \{w_{f_\tau}^{(j)} + iw_{f_p}^{(j)}\} \quad (1)$$

式中: f 为中心频率; $w_{f_\tau}^{(j)}$ 是第 τ 个偶数子波; $w_{f_p}^{(j)}$ 是第 p 个奇数子波。每个多子波变换都可以写成:

$$w^{(j)}[s](f, t) = \int_{t-T/2}^{t+T/2} s(\xi) w_{f_\tau}^{(j)}(\xi - t) d\xi + i \int_{t-T/2}^{t+T/2} s(\xi) w_{f_p}^{(j)}(\xi - t) d\xi \quad (2)$$

即多子波变换数据 $w^{(j)}[s](f, t)$ 由与复基函数对的

$w_f^{(j)}$ 卷积产生。通过用多子波变换方法代替傅里叶变换方法,对第 j 个子波,协方差矩阵的元素可以定义为^[5]:

$$R_{nm}^{(j)}(f,t,p) = w^{(j)}[s_n][f,t+\tau(p,n)] \times w^{(j)}[s_m][f,t+\tau(p,m)] \quad (3)$$

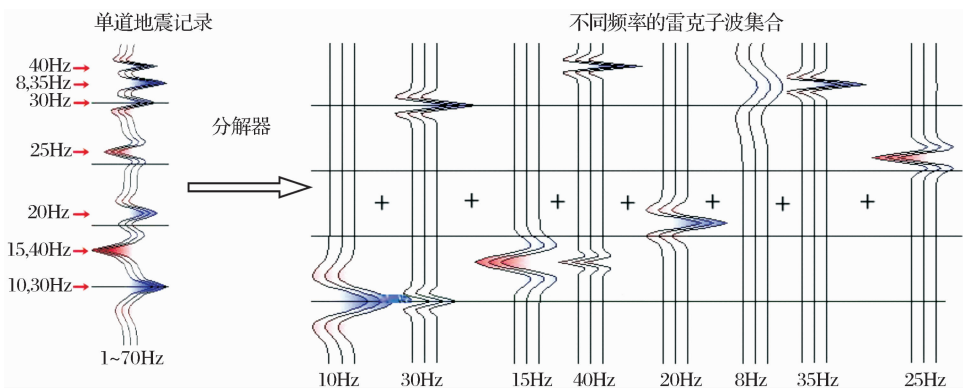


图1 子波分解流程示意

1.2 “低频共振,高频衰减”含气性检测原理

地层含不同流体对在其中传播的地震波吸收不同,特别是当储层含气后,对地震反射波中的高频成分吸收明显^[8],使其高频成分急剧衰减,产生高频成分“缺失”异常,而且会出现伴生的低频共振现象^[9]。其理论基础就是双相介质“低频共振,高频衰减”理论,根据 Biot 理论,若多孔介质的孔隙单元相互连通,则地震波在含流体的多孔介质中传播时^[10],由于流体和固体的振动相互作用与相互耦合,会使孔隙中的流体在孔隙空间流动(比如从一个孔隙向周围较大的孔隙空间流动),从而引起流体和固体颗粒的相对运动,导致波的振幅衰减。振幅衰减项 \tilde{A} 可表示为如下公式^[11-12]:

$$\tilde{A} = \frac{\eta \varphi^2}{K} \left(\frac{\partial U}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial t} \right) \quad (4)$$

式中: φ 为介质孔隙度; K 为介质渗透率; η 为流体粘滞系数; u 为介质固体位移; U 为介质液体位移。

从式(4)可以看出以下几点:

- (1) 在多相介质中,地震波的振幅衰减与介质的衰减系数及流体与固体的相对运动速度成正比。
- (2) 流体和固体颗粒相对运动速度很小时,也就是流体被骨架“锁住”时,地震波衰减最小而振幅最大。这种现象就是所谓的“共振”,它只存在于地震波的某一低频率段。
- (3) 随着频率增加,由于惯性作用,流体与固体之间的相对运动速度增大,在某一频率处,地震波衰

利用多子波变换的子波分解与重构技术就是基于把单道地震数分解为对应的多个不同频率雷克子波,也即是利用不同频率的雷克子波,通过不断迭代拟合来表征单道地震数据(图 1)。由于雷克子波是由振幅和主频(F_m)唯一确定的子波^[6],可以解析,故具有不可取代的优势^[7]。

减最大,而振幅最小。这种现象就是高频衰减。

(4) 由于石油和天然气粘滞系数远比水大,因而油气储层中地震波振幅衰减将是相当明显的。根据式(4)和实验室测试数据,多相介质和单相介质中地震波振幅衰减与频率的关系如图 2 所示,在 ab 段,含流体的多相介质的衰减要比不含流体的单相介质的衰减小得多;而 cd 段的衰减则要大得多^[13]。

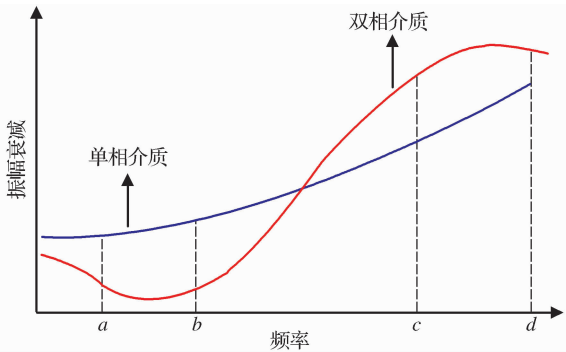


图2 多相介质与单相介质中地震波振幅衰减与频率之间的关系

中国石油天然气集团公司物探重点实验室牟永光对含气、含油和含水砂岩储层进行了模拟地震实验,观测它们在不同含油、气或含水饱和度下,地震波振幅的衰减情况(图 3)。从实验结果得出以下 3 条规律:①地震波振幅衰减随含气饱和度增加而急剧增大,特别是当含气饱和度在 10%~60%时,地震波振幅衰减率上升最快。②地震波振幅衰减随含油饱和度增加急剧增大,在 20%~60%时,地震波

振幅衰减率上升较快。③含水层地震波振幅衰减很小,而且随含水饱和度增加,几乎不发生变化。

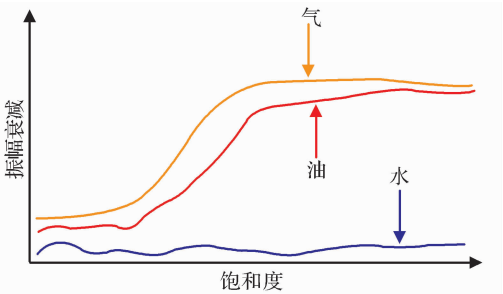


图 3 多相介质中地震波振幅衰减与流体饱和度的关系

2 实例应用

针对目的层沙溪庙组一段,应用基于子波分解的含气性检测技术,进行其含气性识别。该层属泛滥平原相沉积,储层以水上河道沉积为主,平均孔隙度达 9.6%,平均渗透率达 $1.51 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;含气饱和度平均达 74%,前期研究认为有利沉积相带上的优质砂岩储层控制着油气的富集,但钻井证实,在同一河道的不同位置以及在不同河道的相同位置,其砂体含气性存在重大差异。常规地震属性难以完全区分当前完钻井之间的差异(图 4 中 A 井、D 井为

研究区内高产井,而 B 井、C 井为研究区内干井,但它们具有相同的常规地震属性异常)^[14]。

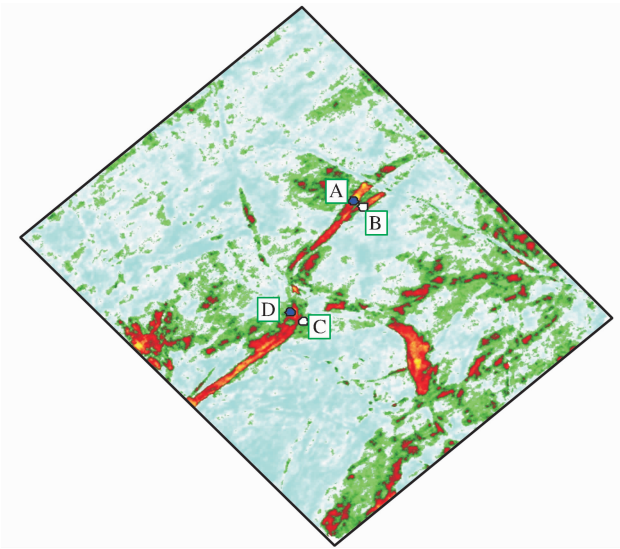


图 4 CC 地区沙溪庙组一段 A 砂体振幅属性异常

利用基于子波分解的含气性识别技术分析发现,研究区内 A 井、D 井等高产井在目的层段都有“低频共振,高频衰减”的特征,而 B 井、C 井等干井频谱异常特征不明显。这可以证实该含气性检测手段,对于 CC 地区沙一段储层的含气性预测有效(图 5)。

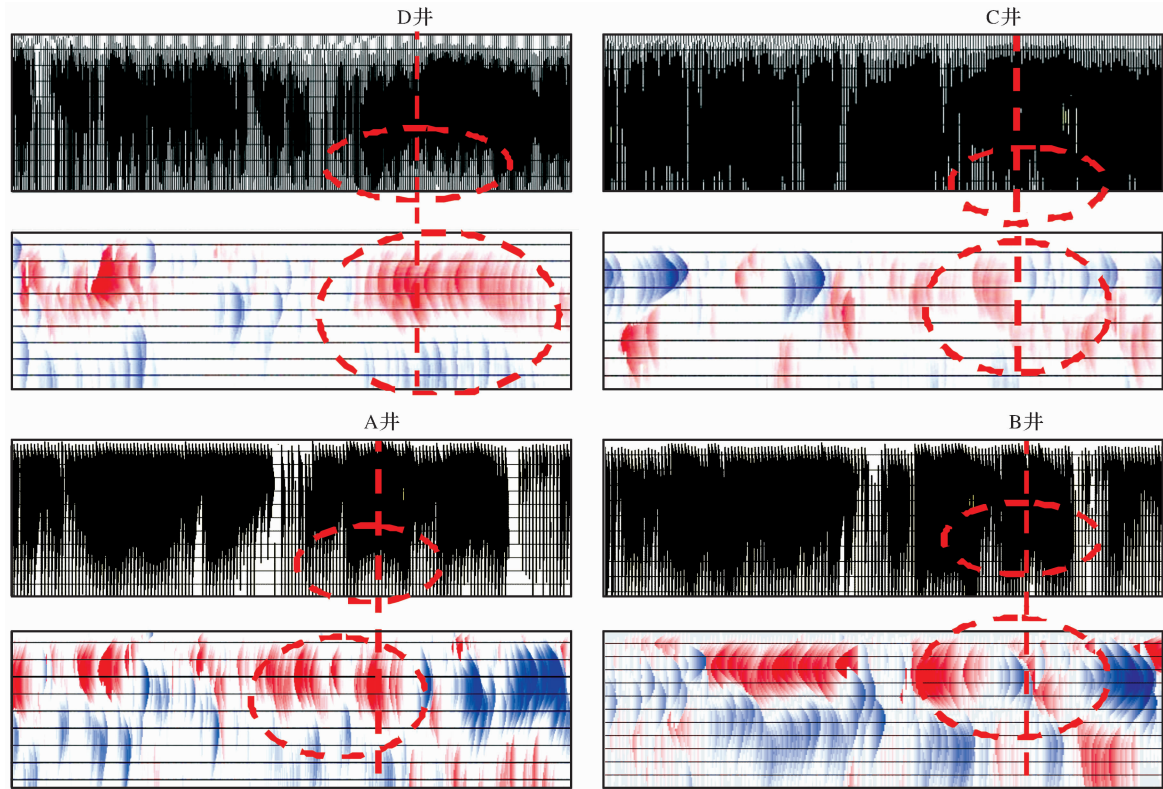
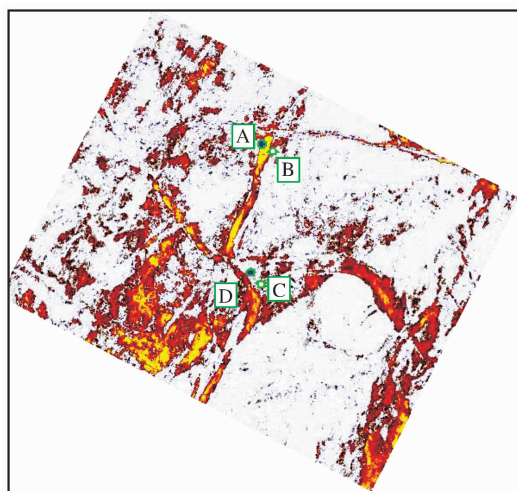


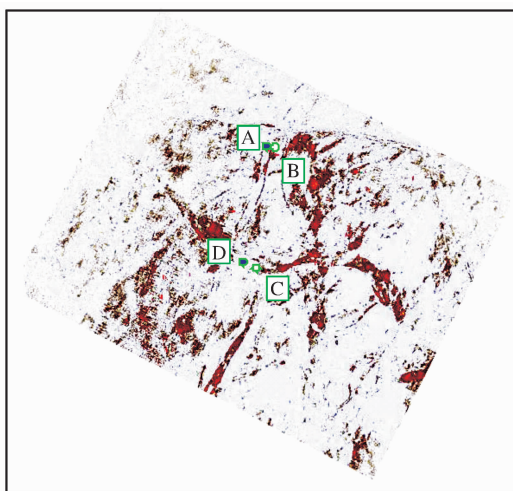
图 5 沙溪庙组一段典型井含气性检测剖面

图6是CC地区沙溪庙组一段A砂体的低频共振,高频衰减异常组图。图6a为低频能量共振异常,其中红色—黄色区域为低频能量共振异常区域,推测其与含气性有关;图6b为高频能量衰减异常,其中白色—粉白色区域为高频能量衰减异常区域(当然要根据砂体排除泥岩干扰区),推测其与含气丰度有关。理论上,只有储层中某区域,同时具备低

频共振异常与高频吸收异常时,才能说明其具有产气能力。联合分析图6a和图6b发现,在目的层段A井区以及D井区等均属“高频衰减,低频共振”区域,说明这2井区含气性好,而B井区以及C井区域不但低频共振现象不明显,同时高频能量剩余较多,没有出现明显衰减现象,说明其基本无产气能力,这与钻井揭示的产气情况十分吻合。



(a)低频能量共振异常



(b)高频能量衰减异常

图6 沙一段A砂体含气性检测

结合图6可进一步预测,在该目的层上发育的河道砂体,含气性存在差异,总体上看北东向的河道砂体含气性较南西向好,在图上表现为都存在低频共振异常,但北西向展布的河道砂体,高频衰减异常不明显,含气丰度可能较差。同时可预测,在目的层段研究区的东南角区域存在大面积低频共振,高频衰减含气异常,值得下一步勘探开发重视。

3 结论

(1)基于子波分解的含气性检测技术在该地区沙溪庙组应用效果显著,其含气频谱异常模式能准确区分高产井与干井,同时其预测结果在后期井位部署中起到了重要作用,经当前完钻井证实,其含气性预测结果准确可靠。

(2)子波分解技术,在保证地震数据信息真实性的前提下,充分利用雷克子波的可解析性,为小时窗地震属性分析提供了可靠的保证,值得进一步推广。

(3)“低频共振,高频衰减”频谱异常含气性识别技术,在子波分解后的地震数据体上开展,保证了其频谱异常小时窗分析的稳定性,使得含气性预测结果更加准确可靠。

(4)低频共振异常可能与砂体含气性有关,高频吸收衰减程度可能与含气丰度有关,但是低频共振可能受砂体物性和厚度影响,高频衰减可能受泥岩段发育程度影响,排除多解性还需要结合其他地球物理手段。

参考文献:

- [1] Geronimo J S, Hardin D P, Massopust P R. Fractal functions and wavelet expansions based oil several scaling functions[J]. Journal of Approximation Theory, 1994, 78(3): 373-401.
- [2] Bear L K, Pavlis G L. Multi-channel estimation of time residuals from broadband seismic data using multi-wavelets[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1999, 89(3): 681-692.
- [3] Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets[M]. Ladephia: Society for Industrial and Applied Mathetics, 1992.
- [4] Lebm J, Veaerli M. Balanced multiwavelets theory and design[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, 46(4): 1119-1125.
- [5] Shang Xiaoqing, Zhang Bin, Song Guoxiang. Image-based content of multi-wavelet denoising[J]. Signal Processing, 2004, 20(1): 98-100. [尚晓清, 张彬, 宋国乡. 基于图像内容的多子波去噪[J]. 信号处理, 2004, 20(1): 98-100.]

- [6] Dowine T R, Silverman B W. The discrete multiple wavelet transform and thresholding methods[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, 46(9): 2558-2561.
- [7] Zhao Shuang, Li Zhongdong, Xu Hongmei, *et al.* Multi-wavelet decomposition to detect the coal-bearing sandstone formation[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(9): 44-47. [赵爽, 李仲东, 许红梅, 等. 多子波分解技术检测含煤砂岩地层[J]. 天然气工业, 2007, 27(9): 44-47.]
- [8] Chen Fuli, Jin Yong, Zhang Shupin, *et al.* T₂ using nuclear magnetic resonance spectroscopy assessment of the original gas reservoir fluid saturation: The complex of Daqing deep volcanic gas reservoirs, for example[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(3): 412-417. [陈福利, 金勇, 张淑品, 等. 用核磁 T₂ 谱法评价原始气藏流体饱和度——以大庆深层火山岩复杂气藏为例[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(3): 412-417.]
- [9] Zhang Yingbo. Biot theory is applied to seismic exploration[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1994, 33(4): 31-38. [张应波. Biot 理论应用于地震勘探的探索[J]. 石油物探, 1994, 33(4): 31-38]
- [10] Zhou Mindu, Li Qinghe, Zhang Yuansheng. Two-phase media in the kinematic characteristics of seismic waves[J]. Plateau Earthquake, 1999, 11(4): 1-8. [周民都, 李清河, 张元生. 双相介质中的地震波运动学特征[J]. 高原地震, 1999, 11(4): 1-8.]
- [11] Gao Jianhu, Yong Xueshan. The use of seismic waves hydrocarbon detection[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(1): 47-50. [高建虎, 雍学善. 利用地震子波进行油气检测[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(1): 47-50.]
- [12] Liu Lanfeng, Liu Quanxin, Yong Xueshan, *et al.* Based on the generalized S transform the energy spectrum of low-frequency transient gas detection[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(2): 238-241. [刘兰锋, 刘全新, 雍学善, 等. 基于广义 S 变换的低频瞬态能量谱油气检测技术[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 238-241.]
- [13] Meng Cuiping, Zheng Yuanxin, He Youxiong. KLinversion hydrocarbon detection software in Jiangnan exploration area application[J]. Jiangnan Petroleum Science and Technology, 2007, 17(1): 14-17. [孟翠萍, 郑圆新, 何又雄. KLinversion 油气检测软件在江汉探区的应用[J]. 江汉石油科技, 2007, 17(1): 14-17.]
- [14] Zhao Shuang, Li Zhongdong, Xu Hongmei. Sub-frequency interpretation technique and its application in terrestrial sandstone seismic exploration in the application analysis[J]. Mineralogy and Petrology, 2006, 26(2): 106-110. [赵爽, 李仲东, 许红梅. 分频解释技术及其在陆相砂岩地层地震勘探中的应用分析[J]. 矿物岩石, 2006, 26(2): 106-110.]

Application of Gas-recognition Technology Based on Wavelet Decomposition to Shallow Gas Reservoir Exploration

GAO Qian¹, LI Zhong-dong¹, ZHAO Shuang²

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

2. Southwest Branch Company of SINOPEC, Chengdu 610081, China)

Abstract: We use the wavelet decomposition technology to resolve the conventional seismic data track into a collection of different frequency wavelets, and then check the gas-bearing reservoirs based on the spectrum anomaly detection. The Shaximiao sequence as an objective layer of CC area is a set of river-delta deposits with a single-storey sandstone thickness about 20 m. The reservoirs in the similar river in the different locations and the similar position in the different rivers have the different gas concentration. The traditional spectrum technology of seismic data is restrained by the window restriction so that the anti-noise and poor stability can not accurately identify the gas-bearing. In order to predict the gas-bearing areas in the different times and different locations, we firstly try to use the gas-recognition technology of wavelet decomposition to get the abnormal frequency spectrum. The gas-bearing river sandstones have the feature of “low-frequency resonance, high-frequency attenuation”. We use this feature not only to clearly test the distinction between current high-yield well and dry well, but also to provide a evidence for the further plot of drilling wells.

Key words: Wavelet decomposition; Gas-bearing identification; Spectral anomaly; Low frequency resonance; High-frequency attenuation.