

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2018.01.011

子波相关沉积相相控处理在 川东南官渡地区的应用

萧惠中^{1,2,3}, 周大森^{1,2,3}

(1. 国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广州 510075;

2. 广州海洋地质调查局, 广州 510760;

3. 成都理工大学地球物理学院, 成都 610059)

摘要: 文章利用子波沉积相预测方法,在井旁的地震记录中提取出研究目的层的优势相所对应的地震子波,经研究发现,沉积相的改变和地震子波的变化存在一定的关联。利用从井中提取到该优势相的地震子波对研究目的层进行相关计算,就能够预测这种优势相。分别提取在不同沉积微相控制下生成且彼此重叠的砂体,有助于实现对单一砂体的识别,这对砂体十分发育的川东南河流相沉积区会有重要的研究价值和实用价值。

关键词: 沉积相;井旁地震记录;地震子波;相控处理;川东南官渡地区

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A

0 引言

相控处理就是按照沉积微相对某些地球物理参数的控制规律,对地震反演得到的参数剖面和数据体做进一步处理,以获得沉积微相剖面和数据体。相控的目的就是把地震反演的参数剖面按一定规律转换成能反映沉积微相展布的沉积相特征剖面,当该特征剖面所表征的优势沉积微相与储层含油气岩性相对应时,就可用沉积微相定量预测岩性的分布^[1-3]。从理论上讲,按照每种沉积微相与地球物理参数的关系和相控数学规律,可把每种沉积微相的参数信息从参数剖面或数据体中分别提取出来,以实现“沉积微相的分离处理”^[4-5]。

在川东南地区,用地震波主特征参数和波阻抗联合进行沉积相的预测研究和沉积相的划分已取得初步成效;但由于沉积相形成的复杂性,目前该方法还很难对沉积相进行准确的定量预测和划分,其在

实际生产处理中有局限性。相控技术目前主要有2种方法,其一是用沉积相对油气有利区块进行约束,其二是用已知井的沉积相来控制未知相带的划分,这两种方法对沉积相正确的划分都很重要^[6-7]。

目前沉积相的研究基本上采用“三相”法,也就是将地震相的模式与区域地质的沉积规律进行对比,然后再结合单井相的分析结果实现目的层段的地震相向沉积相转换。该方法是勘探阶段纵向有利勘探层和有利勘探位置比较有效的方法。利用地震进行沉积相的预测,有3种预测方法:①根据利用已知井统计出各种沉积微相的类型与地层速度或波阻抗的关系,而后经过数学方法拟合得到有利油气藏的沉积相与这些参数随着深度变化的规律,直接用参数采用多次滤波来预测沉积相;②利用统计得到的优势沉积相地震波型与剖面的地震波型进行相关的分析,由于沉积相变化会引起地震波型特征的变化,当沉积相与速度、波阻抗等地层参数存在一定的关系时,地震波型与沉积微相就存在对应关系;③在井旁的地震记录中,提取出优势相所对应的地震子

收稿日期: 2016-12-16; 改回日期: 2017-04-05; 责任编辑: 赵庆

基金项目: 国土资源部海底矿产资源重点实验室项目(编号:GZH201200508)资助。

作者简介: 萧惠中(1988—),男,助理工程师,硕士,现从事海洋地球物理调查及其技术方法研究等工作。通信地址:广东省广州市黄埔区广海路188号大院,广州海洋地质调查局技术方法研究所;邮政编码:510760;E-mail: 694438423@qq.com

波,经研究发现沉积相的变化和子波的变化存在一定关联度,因此利用该优势相的地震子波对所研究的剖面进行相关分析,也可预测这种优势相。本文在川东南官渡地区采用的相控处理方法是第三种,即子波相关沉积相预测方法^[8]。

1 子波相关沉积相预测方法

(1) 子波振幅谱计算

理论研究表明,在地震波反射系数是白噪音的情况下,地震记录功率谱与子波功率谱相等。通常将多道的地震记录平均功率谱当作是子波的功率谱。实际的子波提取中,常常采用多道的平均相关谱作为子波的振幅谱。

可以证明:

$$r_{x_i x_j}(t) = T_{ww}(t) \quad (1)$$

在式(1)中, $r_{x_i x_j}(t)$ 是第 i 道地震记录的互相关, $T_{ww}(t)$ 是子波的自相关。频率域中,式(1)为:

$$|R_{x_i x_j}(\omega)| = |R_{ww}(\omega)| = |B(\omega)|^2 \quad (2)$$

因此,应用多道平均相关谱统计来提取子波振幅谱公式是:

$$|R(\omega)| = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^{N-1} |R_{x_i x_{i+1}}(\omega)|^2} \quad (3)$$

求互相关函数的时候,应该对该函数作指数衰减,为:

$$T_{x_i x_{i+1}}(\tau) = T_{x_i x_{i+1}}(\tau) \cdot \exp(-\beta \tau^2) \quad (4)$$

式(4)中, $T_{x_i x_{i+1}}(\tau)$ 是作指数衰减后的互相关函数, τ 为相关的变量, β 为衰减的系数。对函数作指数衰减的主要目的是为了使地层的反射系数自相关更加逼近 $\delta(t)$ 函数。

(2) 子波相位谱计算

在通常子波提取的方法中,一般假设子波为最小相位或者是零相位。若子波为零相位,则:

$$\varphi_w(\omega) = 0 \quad (5)$$

因此可直接利用多道平均方法去求子波振幅谱,经过傅氏变换后可得到零相位子波。假设子波满足最小相位,那么根据最小相位实序列因果性,该子波的相位谱和该子波对数振幅谱互为 Hilbert 变换对:

$$\varphi_{min}(\omega) = \frac{1}{2\pi} p \int_{-\pi}^{\pi} \ln |B(\omega)| \cos\left(\frac{0-\omega}{2}\right) d\omega \quad (6)$$

式(6)中, $\varphi_{min}(\omega)$ 是最小相位子波的相位, $|B(\omega)|$ 是子波的振幅谱, P 是柯西(Cauchy)主值。利用式(6)可求得最小相位子波相位谱,再利用相位值和振

幅谱就能够求得最小相位的子波实序列。

然而,实际的子波通常都是混合相位的。对于这种情况,采用了展开相位计算来计算地震道的连续相位谱。展开相位谱的值可表示为:

$$\arg[x(e^{j\omega})] = \text{Arg}[X(e^{j\omega})] + 2\pi l_e \quad (7)$$

等式成立,则所求展开相位为:

$$\text{Arg}[x(e^{j\omega_1})] + 2\pi l_e(\omega_1) \quad (8)$$

在得到地震道的相位谱连续曲线后,对多道相位谱曲线进行求和取平均即可得到子波的相位谱。 N 道地震记录的平均相位谱可以表示为:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_{x_i}(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_{H_i}(\omega) + \varphi_{w_i}(\omega) \quad (9)$$

式(9)中, $\varphi_{x_i}(\omega)$ 是第 i 道地震记录的展开相位谱, $\varphi_{H_i}(\omega)$ 是第 i 道地震记录中的反射系数的相位谱成分, $\varphi_{w_i}(\omega)$ 是子波相位谱。

可以证明:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_{H_i}(\omega) \Rightarrow 0 \quad (10)$$

则有

$$\varphi_{w_i}(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_{x_i}(\omega) \quad (11)$$

显然,地震道数越多,统计特性就会越好,所求得的子波相位值精度也会越高。

最后,将所求得的子波振幅谱与相位谱通过反傅氏变换后就可得到子波的序列,它是在没有任何相位特征假设条件下从多道地震记录中统计提取出来的子波。

2 子波提取实验

图 1 为最小相位子波提取实验,第 1 道是反射系数序列,第 2 道是理论子波,第 4 道是反演子波,第 3 道和第 5 道分别是理论子波和反演子波的合成记录。可以看到反演子波与理论子波的误差很小,理论子波和反演子波的合成记录误差同样很小。

图 2 为用零相位子波反演实验,第 1 道是反射系数序列,第 2 道是理论子波,第 4 道是反演子波,第 3 道和第 5 道分别是理论子波和反演子波的合成记录。可以看到反演子波与理论子波的误差很小,理论子波和反演子波的合成记录误差同样很小。

图 3 为最小相位子波和零相位子波不同噪音下的反演结果,可见噪音对反演结果的影响不大。

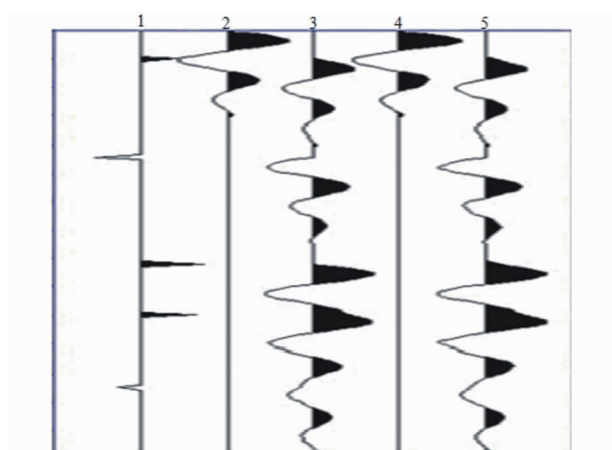


图 1 最小相位子波反演实验

Fig. 1 Inversion test of the least phase wavelet

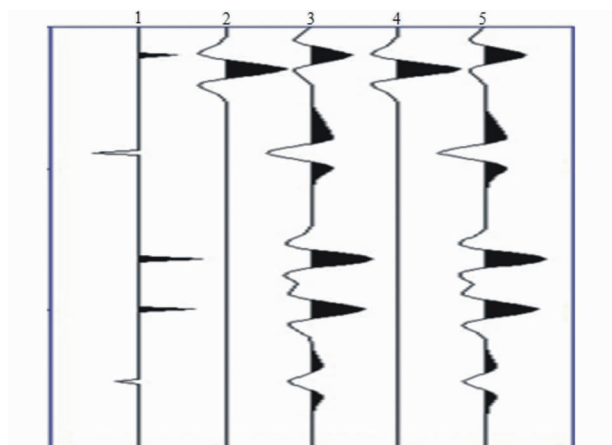


图 2 零相位子波反演实验

Fig. 2 Inversion test of zero phase wavelet

3 主特征参数剖面特征及井旁子波提取

主特征参数的提取克服了傅氏分析长时窗及瞬时分析刻画局部信息的不足,主特征参数计算可提取子波的主极值,能够更好地反映地质体岩性、物性等引起的差异。

图 4 为 373 测线二维主振幅剖面,图中官 8 井(Guan8 井)中有 3 个边滩沉积相,分别对应时间剖面中的 1 043 ms、1 077 ms 和 1 108 ms,且时间厚度分别是 12 ms、10 ms 和 14 ms。3 个边滩沉积相分别对应主振幅剖面 1 000~1 100 ms 时间段 3 个强能量值。图 5 为从官渡地区 373 测线中提取的滩相子波。

图 6 为 386 测线二维主振幅剖面,图中官 16 井(Guan16 井)中有 4 个边滩沉积相,分别对应时间剖面中的 1 086 ms、1 093 ms、1 098 ms 和 1 112 ms,时间厚度分别是 7 ms、2 ms、3 ms 和 6 ms。4 个边滩沉积相分别对应主振幅剖面 1 000~1 200 ms 时间段中部的 4 个主振幅,可看到井中边滩沉积相的主振幅呈中弱能量,横向的变化较大。图 7 为从官渡地区 386 测线中提取的滩相子波。

4 实际应用

官渡构造带位于四川盆地川东南赤水地区东部,构造带总体呈 NNW 向展布,系川东高陡褶皱带

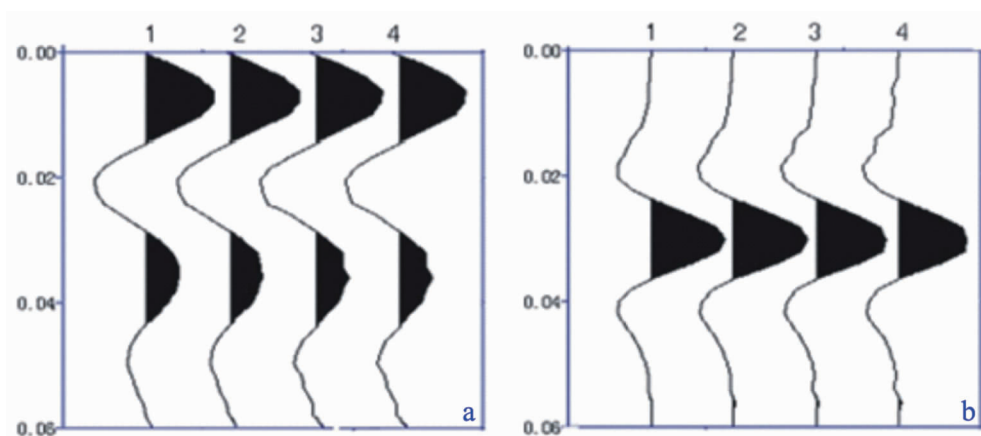


图 3 最小相位子波(a)和零相位子波(b)不同噪音下的反演结果

Fig. 3 Inversion of the least phase wavelet (a) and zero phase wavelet(b) under different noise condition

1. 加 10% 噪音; 2. 加 20% 噪音; 3. 加 30% 噪音; 4. 加 40% 噪音

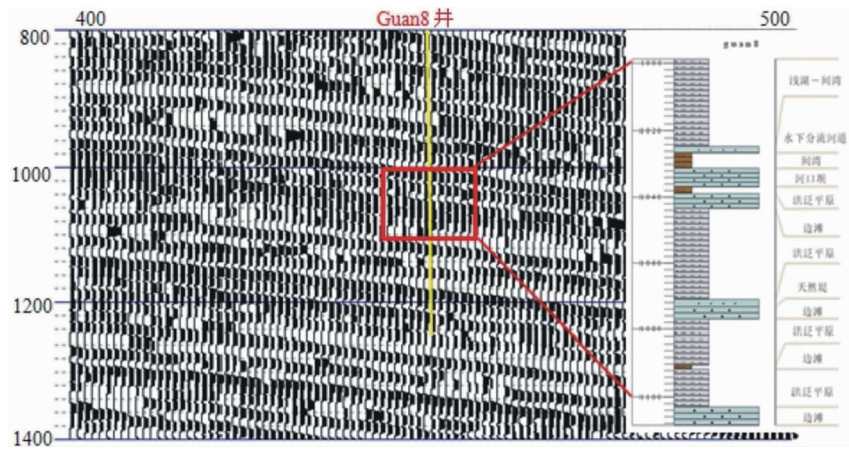


图 4 373 测线过官 8 井主振幅剖面(横向为 cdp 号,纵向为时间 ms)
Fig. 4 Section of the principal amplitude of well Guan 8
through which the line 373 passes

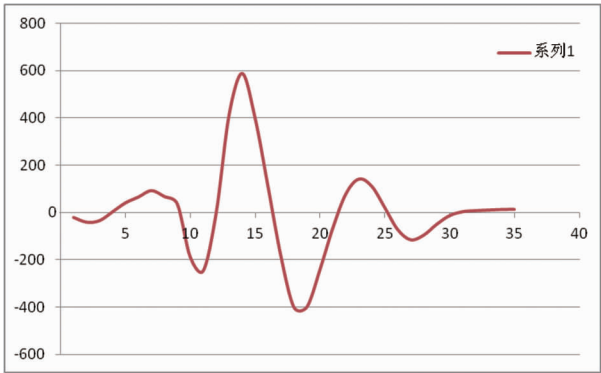


图 5 373 测线中提取的滩相子波
Fig. 5 Wavelet of floodland extracted from line 373

向南西方向帚状延伸的一部分。通过前期勘探及油气成藏研究,官渡地区具有良好的成油地质条件,烃源岩发育,陆相、海相烃源岩兼有。从目前的钻井分析,有官 3、官 8、官 9、官 10 等多口井见油气显示,尤其在陆相地层中已获工业油气流。本区储层较为发育,有海相、陆相多套储层,陆相主要有下沙溪庙组和须家河组碎屑岩储层,海相主要有雷口坡组、嘉陵江组孔隙-裂缝型储层以及茅口组岩溶缝洞型储层。根据官渡地区须家河组有利油气藏的沉积相主要分布于边滩中,本文利用子波相关方法预测沉积相,预测控制边滩砂体的分布,这对砂体十分发育的以河

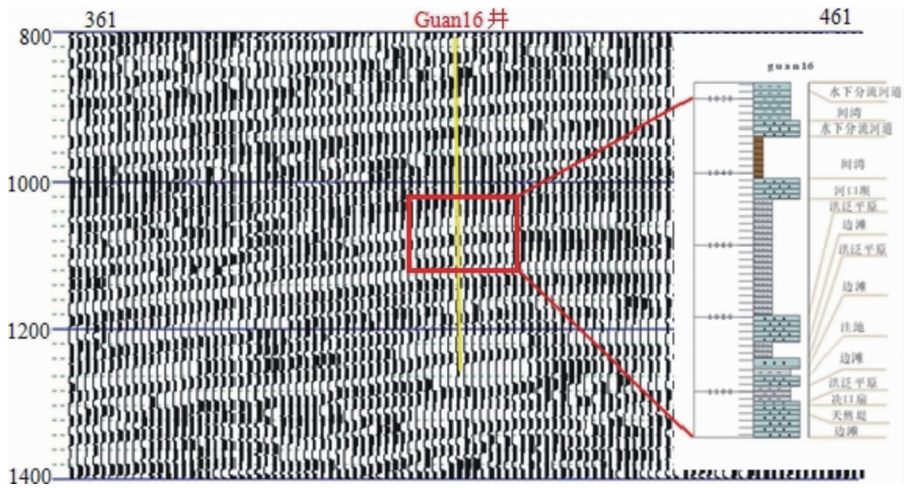


图 6 386 测线过官 16 井主振幅剖面(横向为 cdp 号,纵向为时间 ms)
Fig. 6 Section of the principal amplitude of well Guan 16
through which the line 386 passes

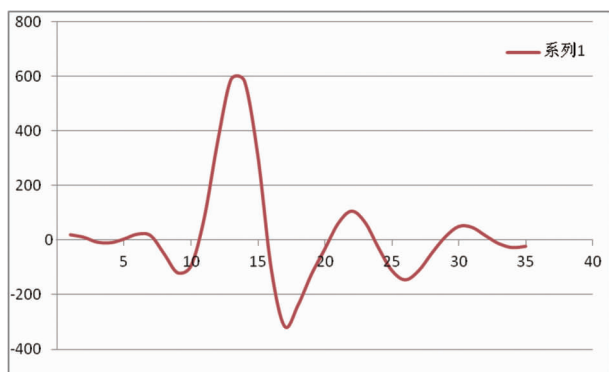


图 7 386 测线中提取的滩相子波

Fig. 7 Wavelet of floodland extracted from line 386

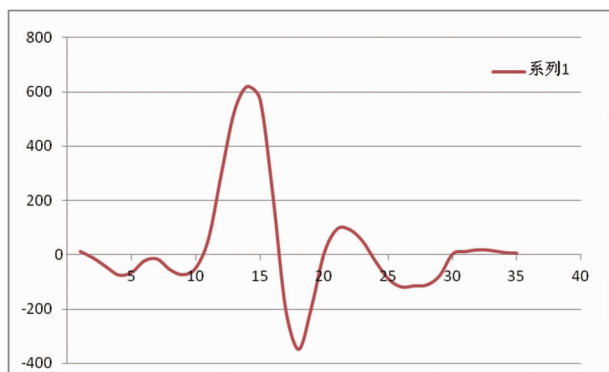


图 8 4 个井统计的滩相平均子波

Fig. 8 Average wavelet of floodland of 4 wells

流相沉积为主的工区有重要的研究意义和实用价值^[6]。图 8 是官渡地区须家河组 4 个过井剖面地震记录中统计得到的滩相平均子波,应用该优势相的地震子波对所研究的剖面进行相关处理,就可预测这种优势相。

图 9 为过官 16 井(Guan16)NE386 测线须家河组剖面经过子波沉积相控处理后得到的微相剖面,图中红、黄色表示的是优势滩相(边滩)区域,红色表示的是优势滩相(边滩)特征的一级,黄色表示的是优势滩相(边滩)特征的二级。从剖面可以看到边滩相较薄,且边滩相的横向走向连续性较好,符合沉积规律。图中黄色线圈定的部位就是官 16 井发现气层的位置,可以看到在该位置有一层不错的边滩相。

图 10 为须家河组四段经过子波沉积相控处理后得到的微相平面切片展布规律图,边滩相主要分布于须家河组四段,图中的红色与黄色区域分别表示的是一级和二级边滩相,可看出在须家河四段边滩相的分布区域。

5 结论

(1)该方法只能用于同一个沉积环境的地区,且随着地层深度的不同,各沉积相对应地震相也会不同,因此,对不同的地层进行沉积相预测时,必须提取该层位的地震子波。

(2)在同一沉积环境区域,如果有多个井,可以对不同井同一沉积层位提取出来的地震子波做相关处理,把相关性好的地震子波求和取平均值作为沉积相预测的子波。

(3)在利用子波相关沉积相预测方法时,准确提取到优势滩相是关键,但由于钻井原始资料的缺失及中下部地层的钻井少等原因,要想较准确地得到不同目的层的滩相子波较困难。

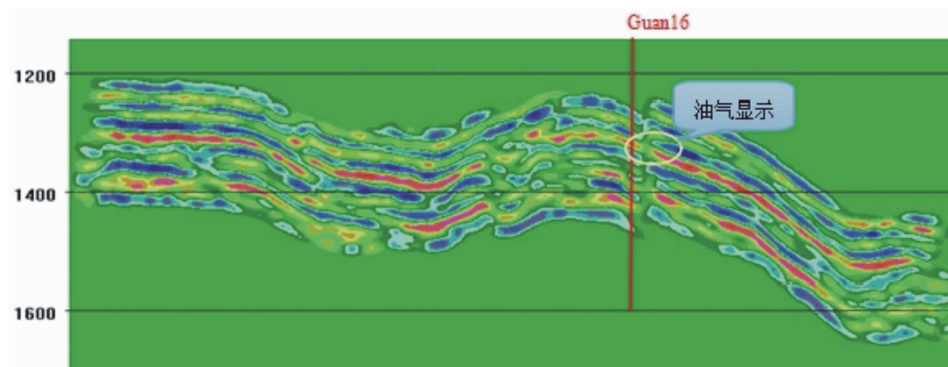


图 9 NE386 须家河组子波沉积相预测剖面

Fig. 9 Predicted section of wavelet sedimentary facies of Xujiahezi formation from NE line 386

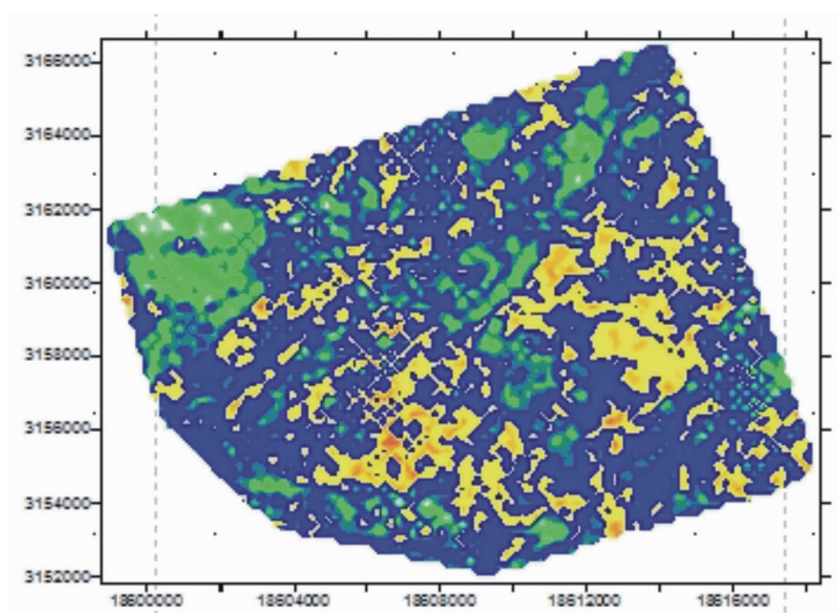


图10 须家河组四段三维沿层沉积相切片图

Fig. 10 3D slicing diagram along layer of the 4th member of Xujiahezi formation

(4)子波相关沉积相预测只是众多储层预测方法之一,在该地区实际的储层预测工作中,要综合沉积相、地震相、相控处理、储层特征、裂缝预测、地震属性和波组抗反演结果,有利于对川东南地区有利储集层区块进行划分及评价。

(5)论文研究的技术方法已形成可应用于实际生产的储层预测软件,可处理显示任意数据格式的三维数据体和二维数据体。在本次沉积相预测方法中,井旁采用反演方法取得优势相子波,无井剖面采用展开相位谱方法提取子波,反演可以得到正确的井旁子波。实验研究中取得的反演子波是稳定的,无井剖面展开相位谱方法提取的子波符合地震波的传播规律。

参考文献:

[1] 高林,杨勤勇,地震属性技术的新进展[J].石油物探,2004,43(增刊):10-16.

[2] 王开燕,徐清彦,张桂芳,等.地震属性分析技术综述[J].地球物理学进展,2013,28(2):0815-0823.

[3] 张延玲,杨长春,贾曙光.地震属性技术的研究和应用[J].地球物理学进展,2005,20(4):1129-1133.

[4] Barnes A E. Seismic attributes past, present, and future[J]. Expanded Abstracts of 69th Annual Internet SEG Mtg. 1999: 892-895.

[5] Chopra S, Marfurt K J. 地震属性的历史回顾:上[J].赵剑敏,译.油气地球物理,2006,4(3):60-65.

[6] 施泽进,王长城.官渡三维区相控分析及储层预测[R].成都:成都理工大学,2007.

[7] 施泽进,王长城.川东南地区重点层位储层沉积相研究[R].成都:成都理工大学,2009.

[8] 夏庆龙,赵志超,赵宪生.渤海浅部储层沉积微相与地球物理参数关系的研究[J].天然气工业,2004,24(5):51-53.

Application of phase processing of wavelet-related sedimentary facies to Guandu area in the southeast Sichuan province

XIAO Huizhong^{1,2,3}, ZHOU Dasen^{1,2,3}

(1. *Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510075, China;*

2. *Guangzhou Marine geological survey, Guangzhou 510075, China;*

3. *College of Geophysics, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)*

Abstract: The wavelet-related sedimentary facies method is used to extract superior facies of target layer corresponding to wavelet from seismic recorder beside the well. Research shows that there is certain correlation change of the sedimentary facies change of seismic wavelet. Correlation calculation of target layer by superior phase seismic wavelet extracted from well can predict the superior phase. Extraction of sand bodies which are overlapped and formed under micro-sedimentary facies is helpful to recognize single sand body thus is valuable for study and practice use in the southeast Sichuan province where sand bodies are well developed in river sedimentary areas.

Key Words: Sedimentary facies; seismic recorder beside well; seismic wavelet; phase-control processing; the southeast Sichuan province