

文章编号:0253-9985(2012)04-0536-05

波形分类技术在鄂北薄砂岩储层预测中的应用

余刚¹,周小鹰¹,戴明刚¹,刘伟冬²

(1. 中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083; 2. 中国石油测井有限公司国际事业部,北京 102206)

摘要:在河流相砂体的沉积过程中,砂泥岩在空间上的位置、厚度方面可以形成多种岩性组合模式,因此其对应的地震反射波会有不同的波形。应用神经网络波形分类技术,可以对波形进行分析、归纳,从而实现在区域上预测砂体的沉积相分布状况。考虑到低分辨率的地震资料和薄砂层之间的矛盾,谨慎的保幅性提频处理是需要的,但须以更高的井-震相关性及不变的横向振幅关系为前提。针对鄂尔多斯盆地大牛地气田二叠系下石盒子组盒三段的沉积特征,采用神经网络波形分类技术对反映不同岩性组合模式的地震波形进行相关和归类,预测出了多种砂体沉积模式的平面展布趋势。通过与由实际钻井得到的砂体分布图进行对比,发现二者有较好的一致性,说明波形分类技术可以快速有效地预测砂体的分布规律并且对于薄砂体具有较好分辨能力。

关键词:河流相;波形分类;地震;砂体;大牛地气田;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE132.1

文献标识码:A

Application of seismic waveform classification technique in thin sandstones reservoir prediction in northern Ordos Basin

She Gang¹, Zhou Xiaoying¹, Dai Mingang¹ and Liu Weidong²

(1. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. International Business Division, CNPC Logging, Beijing 102206, China)

Abstract: During the deposition of fluvial sand body, various lithological assemblages can be formed due to different spatial distribution and thickness of sandstones and mudstones, and their corresponding seismic reflections have different waveform patterns. The technique of the neural network waveform classification can be used to analyze and summarize their seismic waveforms, and then predict regional distribution of sandstone sedimentary facies. Considering the low resolution of the seismic data and the thin thickness of sand layers, it is necessary to do a band spread processing with fidelity. However, this processing should be based on higher correlations between wells and seismic data and stable lateral amplitude trends. According to the sedimentary characteristics of the 3rd member of the Permian Xiashihezi Formation in Daniudi gas field in the Ordos Basin, we performed correlation and classification of seismic waveforms which reflect different lithological assemblages by using the neural network waveform classification technique, and predicted the distribution of several sandstone sedimentary models. Comparison with well data-based sandbody distribution map shows that they are consistent. The technique is quick and effective for sandbody prediction and has a better resolution for thin sand bodies.

Key words: fluvial faces, waveform classification, seismic, sand body, Daniudi gas field, Ordos Basin

目前,在储层预测中主要采用振幅、频率、相位属性及波阻抗反演等技术,但对于厚度小于理论分辨能力($\lambda/4$)的砂体,上述方法都无法有

效预测,需要采取非常规的预测技术。波形分类技术通过将各种地震道波形进行归类,并对比井点处目的层段砂泥组合与波形的关系,确定该波

收稿日期:2012-01-11;修订日期:2012-07-09。

第一作者简介:余刚(1976—),男,硕士、工程师,储层地球物理。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05045-002)。

形对应的储层沉积特征,借助薄砂体对波形的影响变化,达到通过波形变化间接预测薄储层的目的。波形分类技术的优势在于它包含了振幅、频率、相位的信息,能够较全面地反映储层的地质特征^[1]。近年来在储层预测中被广泛应用,效果较好。

1 基本原理

神经网络波形分类采用神经网络技术,通过对实际地震道进行训练,用神经网络算法经过多次迭代改变合成道,使合成道与实际地震道的相关性更好^[2-3]。具体做法是,在某一目的层内估算地震信号的可变性,利用神经网络算法对地震道形状进行分类,根据分类结果形成离散的“地震相”,并进行分类、认识地震信号横向变化的意义与钻井、测井曲线对比,对地震资料进行综合的地质解释,最终得出地震异常体平面分布图^[4-5]。

2 基本流程

1) 在地震数据精细标定和解释的基础上,分析和选取目的层段对应的地震反射波时窗,提取地震道波形作为输入因子。

2) 创建模型道,通过实验确定模型道的分类数以及迭代次数。

3) 利用神经网络算法对所有地震道进行分类处理,产生地震相图。

4) 分析模型道,比较分类处理后的模型道与实际的模型道。如果模型道太多或太少,返回到步骤2),适当减少或增加模型道,重复步骤3)和4),直到合适为止。

5) 井震综合地质分析,相同的波形在平面图上为同一种颜色,通过观察与井点处相同颜色的区域,评估该波形地震相所代表的地质相或测井相在平面上的分布状况,最终预测出目标地质体在平面上的展布规律,指导油气勘探与开发。

3 应用实例

3.1 目标区储层地质特征

大牛地气田 D11 井区下石盒子组为陆相河流相沉积,辫状河的心滩、曲流河的边滩等沉积是主要的砂体类型,为储层预测的主要目标^[6]。下石盒子组的盒三段为该区主要的产气层段,以砂岩为主夹杂少量紫棕、棕褐及灰绿色泥岩、粉砂质泥岩和少量碳质泥岩,沉积序列下部普遍含砾。储层以含砾粗砂岩、中-粗粒岩屑、石英及岩屑、长石、石英砂岩为主,沉积环境决定了盒三段储层薄,横向非均质性强^[7-15]。

3.2 目的层地震反射特征

地震资料的主频范围在 25 ~ 33 Hz, T_9^f 波标定在下石盒子组顶部附近,为盒三段顶部的一套强-弱振幅的反射,在整个目标区内, T_9^f 波能量和相位变化较大,同相轴不连续,出现频繁的分叉、合并现象(图 1a)。

3.3 地震资料的分辨力分析及优化

目标区 D11 井区的三维地震资料是密点采集处理的地震资料,道间距为 10 m × 10 m,覆盖次数为 90 次,目的层段的主频范围是 28 ~ 33 Hz, 1/4 波长分辨率在目的层的理论分辨厚度为 30 ~

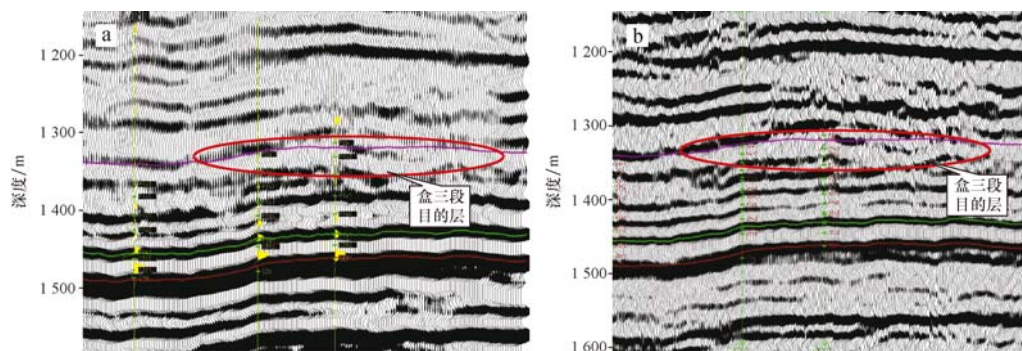


图1 优化处理前(a)与处理后(b)地震资料对比

Fig. 1 Comparison between seismic sections before a) and after b) optimization process

35 m,而盒三段的沉积环境决定了砂体厚度主要在10 m左右。

为了提升现有地震资料的分辨率以达到能够通过波形分类方法预测10 m左右砂层的目的,借助小道距和高覆盖次数的优势,在保证较高信噪比和保幅性的前提下,对数据做了优化,主要是进行了谱白化及谱平衡等处理,需要注意的是,处理参数选择上需要慎重,频带拓宽的范围须在信噪比允许的条件下进行,过高的频宽将导致谐波效应,丧失了数据的保真度。

经过处理,适当提高了资料的分辨率和信噪比(图1),主频范围拓展到25~50 Hz,理论预测厚度达到20 m左右,尽管还不能达到预测10 m厚度砂体的理论条件,但通过波形分类方法,用薄砂层对波形形态的影响能够间接地预测10 m厚的砂层,且效果较好。

3.4 波形分类与测井相对比

盒三段的沉积模式决定了盒三段砂体较薄,横向变化快,砂体在盒三段空间或时间上的发育状况,决定了其在测井上及地震反射上的响应特征。根据合成记录标定和精细解释结果,盒三段地层对应 T_0^f 波和 T_0^f 波向下22 ms时窗的范围内,对于空间上或时间上砂体的不同沉积模式,在

盒三段反射波的时窗范围内,地震反射波形主要可以归纳为4类,对应4种沉积模式^[2]。

1) 盒三段一亚段主河道沉积,地震反射特征为盒三段中、下段的中强反射, T_0^f 波为弱波谷或零值、强峰、弱谷的特征;测井响应特征以箱形、钟形为主,反映了盒三段形成初期水动力强、砂体沉积较好,砂体较厚(图2a)。

2) 盒三段二亚段主河道沉积,地震反射特征为盒三段上段的强或中强反射, T_0^f 波为强峰、强谷的特征;测井响应特征以箱形、漏斗形为主,反映了盒三段形成晚期河流较活跃,砂体供给充裕(图2b)。

3) 河漫滩沉积,地震反射波形为多种形式,但均具有弱振幅特征;测井响应特征为无起伏或局部有指状起伏,反映出砂体沉积较少,属于河道边部的河漫滩沉积(图2c)。

4) 泛滥平原沉积,地震发射以中强振幅的波谷为主, T_0^f 波为弱峰、中强谷;测井相为基本无起伏的直线,反映出盒三段以大套泥岩沉积为主(图2d)。

3.5 分类结果用于砂体分布的精细预测

通过沉积相(图3a)与波形分类图(图3b)的对比可以看出,波形分类结果同沉积相图在趋势

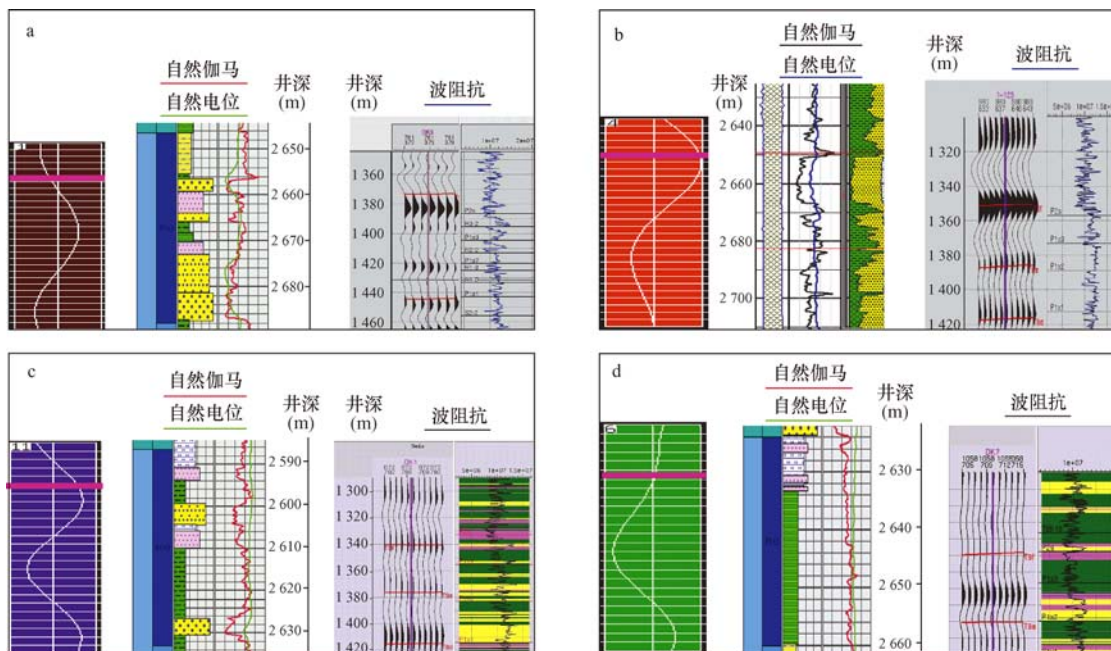


图2 波形分类同测井相应特征对比

Fig. 2 Comparison between waveform classification and logging facies

a. DK3井,盒3-1段,主河道; b. D1-1-123井,盒3-2段,主河道; c. DK1井,河漫滩; d. DK7井,泛滥平原

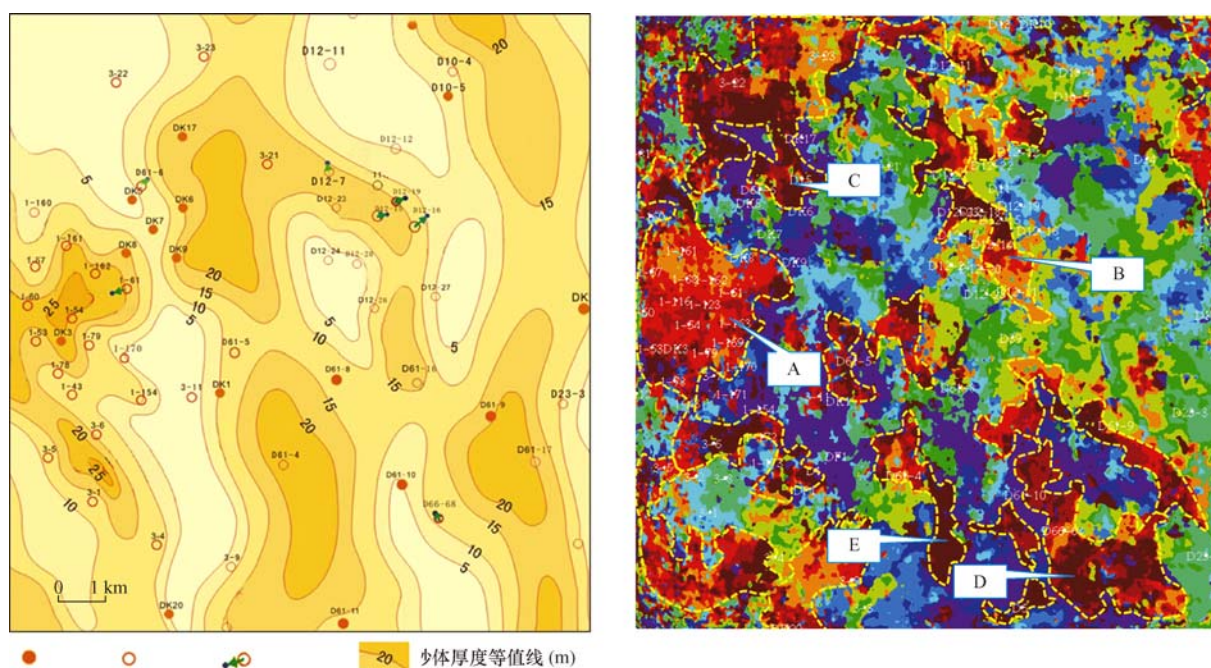


图3 沉积相与波形分类对比

Fig. 3 Comparison between sedimentary facies and waveform classification

a. 由测井解释成果预测的砂体沉积相; b. 由波形分类结果预测的砂体发育区分布

上有较好的一致性,主河道的展布都以北西-南东向为主要趋势,预测出的砂体富集区的位置与沉积相图一致,预测结果也与钻井结果一致,如图3b的A,B区,值得注意的是,这两区域的钻井数据较多,同时也为该区主要的产能井分布区。而图3b中C,D,E砂体富集区在位置上与沉积相图基本一致,而在砂体展布的形态、面积上与图3a有所不同。

通过分析,推测出主要是由于以下两点原因:

1) 砂体沉积相的预测是根据井的测井解释成果和对该区宏观的地质沉积模式的认识,而波形分类方法的砂体预测则完全依靠地震数据本身的波形信息,二者依据不同、方法不同,预测结果可能有所不同,但整体趋势上应该一致。

2) 在无井区域,沉积相图的预测依靠已知井的砂体厚度采取内插或外推的方式,这种方式存在一定的缺陷,即当样点数(井点数)不足时,内插和外推结果准确性会立刻降低;而波形分类出的预测方法也存在一定局限性,即层位解释的准确性、地震资料的分辨率和信噪比、同一波形可能代表不同沉积模式的多解性等。

两种预测结果可以相互印证、相互补充、相互修正,从而进一步落实砂体发育区,为下一步的开发井位部署降低了风险。

4 小结

1) 波形分类方法具有较好的砂体预测能力,其包含的地震反射信息较多,波形的每一个变化(图3b中的颜色变化)都代表了砂体沉积的空间变化。

2) 注意到波形分类预测的砂体展布在平面上连续性不好,仿佛河道砂体被分解的支离破碎,这是由于在沉积过程中河流的侵蚀、搬运及堆积作用3者往往在一条河的不同部位同时发生^[3],一条辫状河或曲流河的砂体沉积形态不容易完整的保存下来,但相对大的沉积环境、砂体的总体展布趋势以及局部的砂体富集区却可以定性地预测出来。

3) 波形分类方法的不足在于它是一种利用叠后数据波形变化的预测技术,同一种波形可能代表不同的沙泥组合模式,存在一定多解性;同时,不同的叠前道集叠加也可能形成同一种波形。在这种情况下,波形分类方法不适用,应当借助叠前道集分析技术来解决。

参考文献

- [1] 杨占龙,陈启林,沙雪梅,等. 关于地震波形分类的再分类

- 研究[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(3): 377-380.
- Yang Zhanlong, Chen Qilin, Sha Xuemei, et al. Reclassification research of seismic waveform classification[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(3): 377-380.
- [2] 邓传伟, 李莉华, 金银姬, 等. 波形分类技术在储层沉积微相预测中的应用[J]. 石油物探, 2008, 47(3): 262-265.
- Deng Chuanwei, Li Lihua, Jin Yinji, et al. Application of seismic waveform classification in predicting sedimentary microfacies[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2008, 47(3): 262-265.
- [3] 李雷涛, 肖秋红. 地震波形分类技术在地震相分析中的应用[J]. 天然气技术, 2010, 4(5): 4-7.
- Li Leitao, Xiao QiuHong. Application of seismic-waveform classification to seismic-facies analysis: an example from qingxichang area[J]. Natural Gas Technology, 2010, 4(5): 4-7.
- [4] 王锦程, 刘子藏, 李勇, 等. 地震波形分类技术在黄骀坳陷孔三段沉积体系分析中的应用[J]. 沉积与特提斯地质, 2011, 31(1): 80-84.
- Wang Jincheng, Liu Zicang, Li Yong, et al. The application of seismic waveform classification techniques to the depositional systems in the 3rd member of the Kongdian Formation, Huanghua depression[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2011, 31(1): 80-84.
- [5] 江青春, 王海, 李丹, 等. 地震波形分类技术应用条件及其在葡北地区沉积微相研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 135-140.
- Jiang Qingchun, Wang Hai, Li Dan. Application conditions of seismic waveform classification technique and its use in the study of sedimentary microfacies of Pubei area[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 135-140.
- [6] 关达, 张卫华, 管路平, 等. 相控储层预测技术及其在大牛地气田 D 井区的应用[J]. 石油物探, 2006, 45(3): 231-233.
- Guan Da, Zhang Weihua, Guan Luping, et al. Reservoir prediction under the constraint of seismic or sediment phase and application to DND gas field[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2006, 45(3): 231-233.
- [7] 刘忠群. 大牛地气田盒 3 段三维地震储层预测研究[J]. 勘探地球物理进展, 2008, 31(2): 133-136.
- Liu Zhongqun. Reservoir prediction of H3 segment in Daniudi gas field with 3-D seismic[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2008, 31(2): 133-136.
- [8] 刘保国, 刘力辉. 实用地震沉积学在沉积相分析中的应用[J]. 石油物探, 2008, 47(3): 266-271.
- Liu Baoguo, Liu Lihui. Application of applied seismic sedimentology in sedimentary facies analysis[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2008, 47(3): 266-271.
- [9] 许杰, 何治亮, 董宁, 等. 鄂尔多斯盆地大牛地气田盒 3 段河道砂岩相控储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(6): 692-696.
- Xu Jie, He Zhiliang, Dong Ning, et al. Facies-constrained reservoir prediction of P_1h^3 channel sandstone in Daniudi gasfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 692-696.
- [10] 陈昭佑, 王光强. 鄂尔多斯盆地大牛地气田山西组砂体组合类型及成因模式[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 632-639.
- Chen Zhaoyou, Wang Guangqiang. Assemblage types and genetic models of the Shanxi sandbodies in Daniudi gasfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 632-639.
- [11] 张广权, 陈舒薇, 郭书元. 鄂尔多斯地区东北部大牛地气田山西组沉积相[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 338-396, 403.
- Zhang Guangquan, Chen Shuwei, Guo Shuyuan. Sedimentary facies of the Shanxi Formation in Daniudi gas field, northeastern Ordos area[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 338-396, 403.
- [12] 张永贵, 刘振峰. 鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩气藏储层建模[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 560-567.
- Zhang Yonggui, Liu Zhenfeng. Reservoir modeling of tight gas sands in the Upper Palaeozoic of the northern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 560-567.
- [13] 张文旗, 王志章, 侯秀林, 等. 盖层封盖能力对天然气聚集的影响——以鄂尔多斯盆地大牛地气田大 12 井区为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 882-889.
- Zhang Wenqi, Wang Zhizhang, Hou Xiulin, et al. Influences of caprock sealing capacity on natural gas accumulation: an example from D-12 wellblock of Daniudi gas field in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(6): 882-889.
- [14] 刘双莲, 李浩, 周小鹰. 大牛地气田大 12-大 66 井区沉积微相与储层产能关系[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 45-49.
- Liu Shuanglian, Li Hao and Zhou Xiaoying. Relationship between sedimentary microfacies and reservoir productivity in Da12-Da66 wellblock, Daniudi gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 45-49.
- [15] 侯瑞云, 刘忠群. 鄂尔多斯盆地大牛地气田致密低渗储层评价与开发对策[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 118-128.
- Hou Ruiyun, Liu Zhongqun. Reservoir evaluation and development strategies of Daniudi tight sand gas field in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 118-128.

(编辑 高岩)