

文章编号: 1001-1749(2023)04-0428-07

地震波形分类技术在大情字井地区 薄砂体预测中的应用

王雷¹, 袁立川¹, 孟庆岩², 柯钦¹, 汪存圣³, 王玉柱¹, 王思宇¹, 刘滨莹¹

(1. 东方地球物理公司研究院 地质研究中心, 涿州 072750;

2. 东方地球物理公司 大庆物探二公司, 松原 138000; 3. 桂林理工大学, 桂林 541004)

摘要: 受限于地震资料分辨率, 薄砂体预测存在不确定性, 一个地震波形多是由两期或者多期砂体叠置干涉形成, 因此用振幅、频率等常规属性难以准确描述单期砂体平面非均质性特征。这里采用地震波形分类技术, 以松辽盆地南部大情字井地区青一段3砂组为例, 通过分析井震标定合成记录, 研究三角洲外前缘相带不同砂体叠置模式下地震波形变化规律, 建立研究区四种典型砂体叠置模式, 利用自组织神经网络技术, 选择合适的时窗, 经过多次迭代, 确定波形分类总数为8种, 使每种砂体叠置模式对应两个地震模型道, 从而根据时窗内不同地震波形的空间分布, 精细描述不同砂体叠置模式的平面非均质性特征。与其他属性和地质统计学反演预测的砂体厚度符合率相对比, 波形分类预测符合率远高于振幅类属性和频率类属性, 并与井震反演预测符合率相当, 说明地震波形分类在三角洲外前缘相带砂体预测中是一种高效准确的技术方法。

关键词: 神经网络; 地震波形分类; 薄砂体; 叠置模式

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.04.03

0 引言

随着勘探开发工作的深入, 经济可采储量落实难度日益加大, 松辽盆地中浅层剩余资源劣质化严重。剩余资源的勘探重点, 已经从三角洲内前缘相带转入到储层相对不发育外前缘相带。青一段是松南中浅层的主要生烃层系, 目的层被烃源岩包夹, 成藏模式为自生自储型。大情字井地区是松辽盆地南部青一段外前缘相带重要的勘探区带, 目前钻遇该勘探区带青一段探井16口, 均见油气显示, 但都没有获得工业突破, 主要原因是储层薄、物性差, 因此有利储层是该地区成藏的关键。

外前缘相带探井钻遇砂岩统计结果显示, 青一

段Ⅲ砂组为基本发育两期砂体叠置, 单期砂体厚度仅为2 m~8 m, 在研究区曾采用层间振幅、频率、相位以及小时窗地层切片等属性, 效果都不理想。曾洪流等^[1]指出, 当一个砂体在地震资料上不能表现为一个独立反射时, 单岩性层与反射同相轴一般没有一一对应关系, 地震振幅极性和强度取决于相邻地震沉积学最小作图单元平均岩性间的波阻抗差大小和方向。因此, 不能够简单用一种地震属性识别单期砂体。

笔者研究意义在于通过利用地震波形分类技术, 建立大情字井地区青一段3砂组薄砂体叠置模式与地震波形之间的关系, 半定量的识别薄砂体厚度平面分布关系, 为青一段岩性油藏井位部署提供依据。

收稿日期: 2022-03-18

基金项目: 中国石油“十四五”科研课题(2021DJ3503)

第一作者: 王雷(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事地震资料解释及地震地质综合研究工作, E-mail: wanglei9@cnpc.com.cn。

1 地震波形分类技术

前人针对薄砂体预测难题探索了许多方法,刘化清等^[2]基于地震沉积学方法,通过高精度层序格架、地层切片和振幅-频率融合技术实现了薄砂体定性和半定量的预测;侯斌等^[3]利用地质统计学反演方法,提高了反演结果与已钻井的符合精度,并通过变差函数,模拟了薄砂体的横向变化;章雄等^[4]通过波形指示反演,利用地震波形相似性代替了变差函数,提高了薄砂体横向预测精度。但以上方法多是力求通过提高地震或反演剖面的分辨率来识别单砂体,方法本身或多或少地改变了原始地震波形态,最终导致了薄砂体预测的多解性。

地震波形分类是基于原始地震资料进行地震相分析的主要技术方法,该方法基本原理由法国 G. Sibille^[5]于 1984 年正式提出,并由法国帕勒代姆公司于 1999 年将该技术应用到商业软件 Stratimagic 中。地震波形分类技术发展至今,已经被广泛应用于多物源沉积相带划分、火山岩体、礁滩体、河道砂体识别^[6-11]。

采用的地震波形分类技术,是应用 Geoeast 软件平台波形聚类模块。该模块主要是应用自组织映射神经网络(SOM)技术对地震道形状(地震信号的总体变化)进行分类。首先划分几种典型的地震道形状,每一实际地震道被赋予一种基于相似性的典型形状;神经网络在给定层段内对实际地震道进行训练,输入样本的每个维度通过权值与网格上的神经元相连,而神经元之间互不相连,通过欧式距离来度量神经元的敏感度,最敏感的神经元作为最佳匹配。假设训练样本 $x(t)$ 的维度为 N ,计算 i 位置上神经元连接权值 $m_{ij}(t)$ 与训练样本 $x_i(t)$ 之间的欧式距离^[12],即

$$d(t) = \left[\sum_{i=1}^N (x_i(t) - m_{ij}(t))^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

选择最近的神经元作为最佳匹配单元,学习速率为 α ,领域函数为 h ,更新邻近神经元,即

$$m_{ij} = m_{ij} + \alpha h(m_{\text{winner}}, m_{ij})(x_i(t) - m_{ij}) \quad (2)$$

以最佳匹配单元为中心,其一定区域内的神经元会受影响,区域外的神经元不会受到影响,领域函数 h 可定义为

$$h = \begin{cases} 1, & \sqrt{(i-n)^2 + (j-m)^2} \leq r \\ 0, & \sqrt{(i-n)^2 + (j-m)^2} > r \end{cases} \quad (3)$$

通过数次迭代后构建合成地震道,并与实际地震道进行对比,通过自适应实验和误差处理修改合

成道,最终得到与实际地震道相关性更好的模型道,最后赋予模型道地质意义,建立地震相与沉积相的联系。

影响该技术的关键因素主要有:①确定分析时窗;②建立地质模型与地震波形之间对应关系;③确定波形分类数。

地震波形分类技术适用于分辨多套薄砂体地质组合,能够快速计算薄砂体平面分布规律,它具有三个优势:①较常规属性可描述地质现象更多,每一种典型波形可对应的沉积相地质意义明确;②地质规律更接近真实,全程运算不需要井参与,避免由于井分布不均引起的统计性误差;③人工参与少,运算速度快,能够迅速及精细的评价储层平面非均质性特征。

2 技术应用

2.1 研究区概况

大情字井地区位于松辽盆地南部西南物源体系扇三角洲外前缘相带(图 1),该区构造活动弱,断层相对不发育,地层厚度变化相对较小,青一段 3 砂组处于水进体系域发育期,三角洲外前缘沉积相带较稳定,开展大面积储层预测地质基础好。根据现有地震资料识别单砂体难度大,单砂层厚度小于地震最小分辨厚度,单期砂体厚度仅为 2 m~8 m,而研究区地震资料最小分辨厚度为 11 m(图 2),单砂体在该地震资料上不能表现为一个独立反射,利用振幅、频率、相位等属性识别薄砂层精度低。采用的波形分类技术将识别单砂层转变为通过地震波形识别砂层组合关系,从而半定量的预测目的层砂岩厚度。

2.2 实施关键步骤

应用基于地震资料波形分类技术预测薄砂体主要有三个关键步骤:①精细地震地质标定,确定分析时窗;②总结砂体叠置模式,建立地质模型与地震波形之间对应关系;③确定波形分类数。

2.2.1 时窗选取

合适的时窗是利用波形分类技术达到真实描述地质体分布的重要参数之一,若选择时窗层段太大,则目的层可能包含太多相序,计算的结果将无法解释;若时窗层段太小,则不能真实地反映相变引起的波形变化,成果图件颜色也会发生畸变。时窗选取的关键是首先应该了解地质体所在的大致深度、发育厚度及此深度对应的速度^[2]。经精细地震地质标定和统计,大情字井地区青一段 III 砂组主要发育两期河道砂体,大体具有退积型沉积序列,经深时转换标定到地震剖面上,分布在 1.5 个地震反射同相

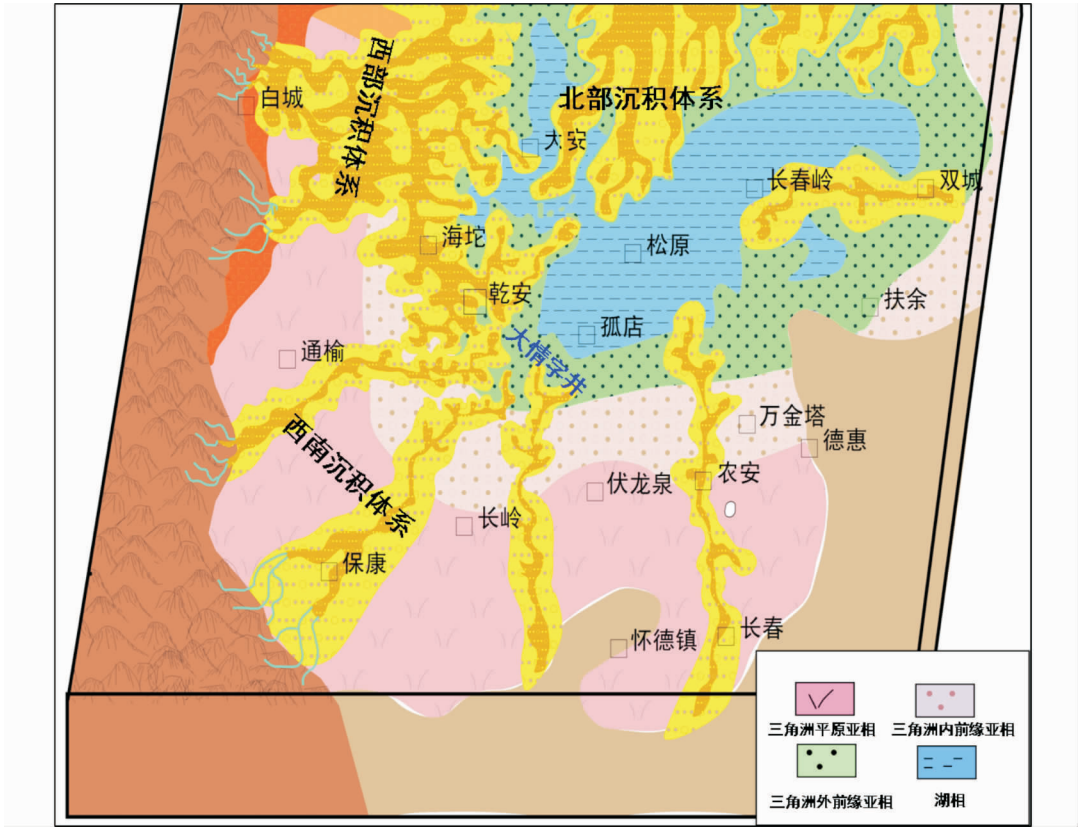


图 1 松辽盆地南部沉积体系分布示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the distribution of sedimentary systems in the southern part of the Songliao basin

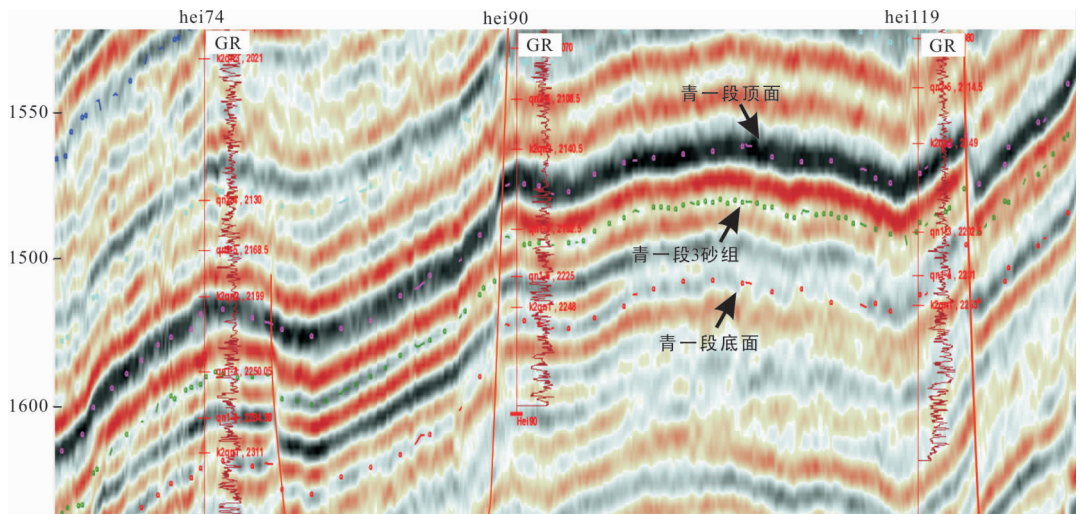


图 2 大情字井地区青一段地震剖面

Fig. 2 Seismic profile of the Qingyi section in the Daqingzijing area

轴内,最佳时窗约为 30 ms。

2.2.2 砂体叠置模式分析

通过统计研究区目的层段探井钻遇砂岩测井曲线特征,总结了大情字井地区三角洲前缘相带青一段 3 砂组两期砂体 4 种典型叠置模式(图 3)。

1)“厚砂—薄泥—厚砂”。一般为两期三角洲

内前缘相带水下分流河道叠置,砂层沉积厚度大,砂层叠置总厚度在 12 m 以上,泥岩隔层小于 4 m。模型为两个厚砂层叠置,砂层叠置总厚度大于地震资料调谐厚度(11 m),单井地震标定,上部砂层位于界面顶部强波峰反射下的零相位,第二套砂层位于波谷内部,基本不可识别。由于上、下两套砂岩顶底

砂体叠置模式				
剖面特征				
波形特征				
代表井	hei121 hei116 hei96 hei123 hei121	Q134 Q132 hei89-6 hei117 Qing3	hei148 Qing6 Qing138-7 Q135 Qing3	Q138 hei119 Q262 Q133-1 Q138-4

图3 典型砂体叠置模式与地震波形对应关系图

Fig. 3 Relationship between typical sand body overlay patterns and seismic waveforms

四个界面的干涉作用,因此形成了波谷拉伸明显、波形上呈平直单弧形的低频弱波谷地震反射特征,基本不能够单独识别两个厚砂层。

2)“中砂—中泥—中砂”。一般发育在三角洲内前缘相带边部,砂岩叠置总厚度在8 m~12 m,泥岩隔层在4 m~6 m之间。模型为两个中厚砂层叠置,叠置总厚度大于地震资料调谐厚度(11 m),由于泥岩隔层的加大,下部砂层顶界面有微弱波峰显现,形成了两波谷夹弱波峰的高频双轨地震反射特征。

3)“薄砂—厚泥—中砂”。一般发育在三角洲外前缘相带内,测井相是上薄下厚,为退积型沉积序列,砂岩叠置总厚度一般在6 m~8 m之间,上部砂岩减薄到1 m左右,泥岩隔层在6 m~8 m之间。模型为上薄砂下厚砂叠置,叠置总厚度小于地震资料调谐厚度(11 m),随着上部砂层减薄,顶部波峰下半个相位具有下拉特征,砂层位于波峰下半个相位内,下部砂层位于波谷内。由于泥岩隔层占比超过砂岩,则地震波形表现为不对称的下强上弱地震反射特征,这种波形能够定性的反映两期砂体上薄下厚的特征。

4)“无砂—厚泥—薄砂”。一般发育在三角洲外前缘相带边部,为单层砂岩,厚度在4 m以下。模型为仅下部砂岩发育的单层4 m砂岩,小于地震资料调谐厚度(11 m),砂组内波峰出现,砂岩层位于波峰到波谷的零相位,泥岩隔层占主导地位,地震波

形表现为双谷夹强峰特征。

2.2.3 波形分类数确定

正确的波形分类数取决于目的层段厚度和解释人员对地震数据的认识程度,分类数过大,结果过于详细,超过15类,通常很难解释,分类数过小,则结果过于粗糙,无法反映研究区沉积类型全貌^[3]。通过利用自组织神经网络技术把目的层段地震波形进行归类,通过多次迭代,认为波形分类数为8类适合本区薄储层预测,既包括全部已知井目的层标定下来的波形形态,又能够利用砂体叠置模型的进行描述。这样每种叠置模式细分为2个波形,每一种波形用不同的颜色表示,共划分为8类,各典型地震道波形按照顺序渐变排列,然后每一种典型地震道对应一种颜色,颜色也是渐变的,形成地震波形全区可描述的颜色覆盖,以此将砂岩厚度的平面分布预测出来(图4)。

3 应用效果

3.1 图件分析

预测结果显示(图5),①红色区域主要分布于研究区西南部和中部一狭窄条带,对应地震波形为拉伸明显的单弱振幅波谷反射特征;②黄色区域主要分布在红色区域东南外围,对应地震波形为强振幅波谷—弱振幅波峰—强振幅波谷反射特征;③绿

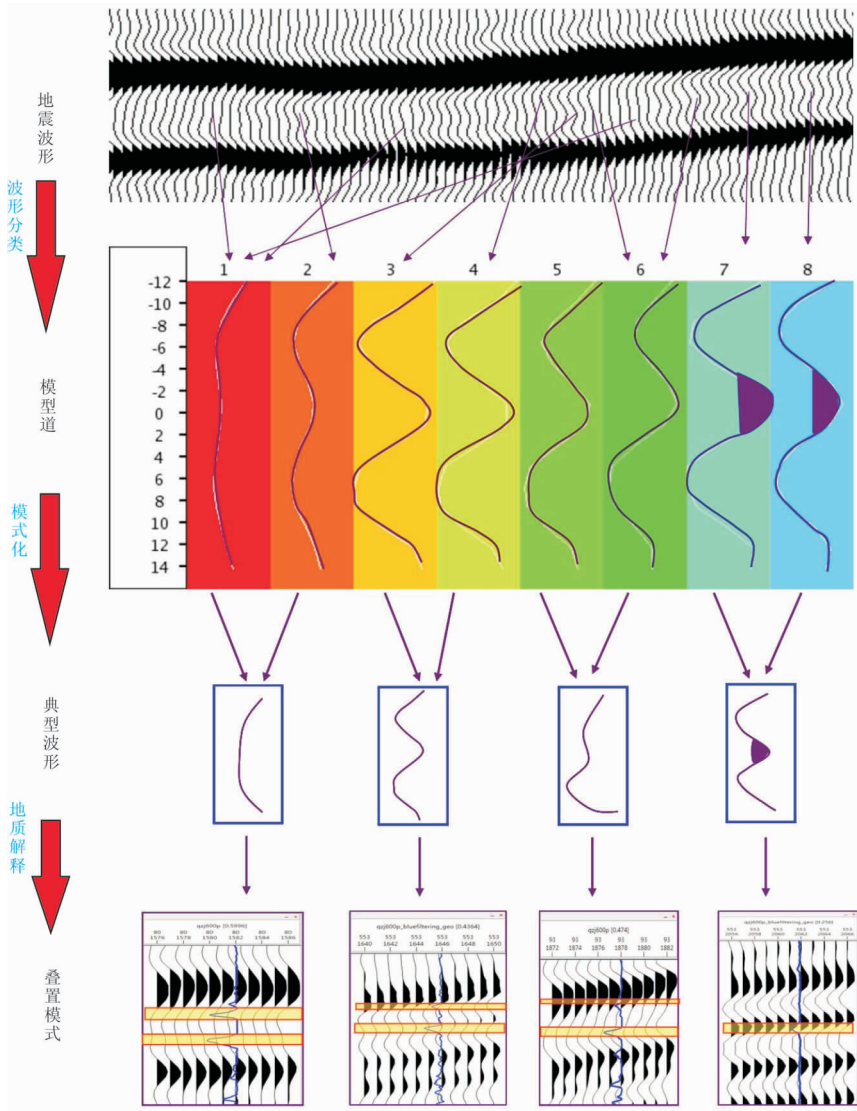


图 4 自组织神经网络运算示意图

Fig. 4 Schematic diagram of self-organizing neural network operation

色区域零星分布在东部黄色区域外围,对应地震波形为不对称的弱振幅波谷—弱振幅波峰—强振幅波谷反射特征;④蓝色区域广泛分布于研究区东西两个地区,对应地震波形为双轨强振幅波谷夹强振幅波峰反射特征。

预测结果砂体总体上呈向东北方向减薄趋势,符合西南物源地质认识。工区南部是 12 m 以上“厚砂夹薄泥”低频弱波谷反射分布区,工区中北部是 8 m~12 m“中砂夹中泥”高频双波谷弱波峰反射分布区,工区东部是 8 m~6 m“薄砂—厚泥—中砂”下强上弱波谷分布区,工区西部是 6 m~2 m“厚泥夹薄砂”单砂层高频双波谷强波峰反射分布区。

3.2 与其他属性图件的对比

在无井参与运算情况下,仅依靠地震资料,振幅属性仅能反映砂岩由厚减薄的大体趋势,波形分类

属性地质意义要较单一振幅属性更加明确,并且在反映细节上(图 6),波形分类属性的对井符合率(84%)要远高于振幅属性(67%)和频率类属性(63%);将波形分类属性与地质统计学反演进行对比,波形分类属性逼近了井震反演的对井符合率(90%),由于不受井控分布及异常井的影响,波形分类属性在无井区的预测更加可信。两项对比结果显示,在薄砂层预测应用技术中,波形分类技术是一种高效可靠的方法。

4 结论

1) 在地震波形分类技术应用过程中,时窗选取和波形分类数是两个关键参数。时窗应刚好适合简化地质模型总厚度并大于地震波形最小可分辨程

- [4] 章雄,张本健,梁虹,等.波形指示叠前地震反演方法在致密含油薄砂层预测中的应用[J].物探与化探,2018,42(3):545-554.
ZHANG X,ZHANG B J,LIANG H, et al. The application of pre-stack inversion based on seismic waveform indicator to the prediction of compact and thin oilbearing sand layer[J]. Geophysical and Geochemical Exploration,2018,42(3):545-554. (In Chinese)
- [5] SIBILLE G,KESKES N,FONTAINE L, et al. Enhancement of the perception of seismic facies and sequences by image analysis techniques[Z]. SEG Annual International Meeting,54th,1984(7):12-17.
- [6] 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 Q C,WANG H,LI D, et al. Application conditions of seismic waveform classification technology and its application in sedimentary microfacies research in northern Portugal[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(1):135-140. (In Chinese)
- [7] 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 C W,LI L H,JIN Y J, et al. Application of waveform classification technology in reservoir sedimentary microfacies prediction[J]. Petroleum Geophysical Prospecting,2008,47(3):262-265. (In Chinese)
- [8] 王玉学,丛玉梅,黄见,等.地震波形分类技术在河道预测中的应用[J].资源与产业,2006,8(2):71-74.
WANG Y X,CONG Y M,HUANG J, et al. Application of seismic waveform classification technology in river channel prediction[J]. Resources and Industries,2006,8(2):71-74. (In Chinese)
- [9] 唐华凤,王璞珺,姜传金,等.波形分类方法在松辽盆地火山岩相识别中的应用[J].石油地球物理勘探,2007,42(4):441-444.
TANG H F,WANG P J JIANG C J, et al. Application of waveform classification method in volcanic facies identification in Songliao basin[J]. Petroleum Geophysical Prospecting,2007,42(4):441-444. (In Chinese)
- [10] 殷积峰,李军,谢芬,等.波形分类技术在川东生物礁气藏预测中的应用[J].石油物探,2007,46(1):53-57.
YIN J F,LI J,XIE F, et al. Application of waveform classification technology in the prediction of Chuan-dong bioreef gas reservoir[J]. Petroleum Geophysical Prospecting,2007,46(1):53-57. (In Chinese)
- [11] 井涌泉,范洪军,陈飞,等.基于波形分类技术预测河流相砂体叠置模式[J].地球物理学进展,2013,29(3):1163-1167.
JING Y Q,FAN H J,CHEN F, et al. Prediction of river phase sand body superposition model based on waveform classification technology [J]. Progress in Geophysics,2013,29(3):1163-1167. (In Chinese)
- [12] 张葵,郑晓东,李劲松,等.基于SOM和PSO的非监督地震相分析技术[J].地球物理学报,2015,58(9):3412-3423.
ZHANG Y,ZHENG X D,LI J S, et al. Unsupervised seismic facies analysis technology based on SOM and PSO[J]. Chinese Geophys,2015,58(9):3412-3423. (In Chinese)

Application of neural network seismic waveform classification technology in thin Sand Body prediction

WANG Lei¹, YUAN Lichuan¹, MENG Qingyan², KE Qin¹, WANG Cunsheng³,
WANG Yuzhu¹, WANG Siyu¹, LIU Binying¹

(1. BGP Inc, Zhuozhou 072750, China;

2. BGP Daqing No. 2 Geophysical Prospecting Company, Songyuan 138000, China;

3. Guilin university of technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Due to the resolution of seismic data, there is uncertainty in the prediction of thin sand bodies. A seismic waveform is formed mainly by two or more sand body superimposed interference stages. Therefore, it is difficult to accurately describe single-stage sand bodies with conventional properties such as amplitude and frequency. In this paper, the neural network seismic waveform classification technology is used to study the variation law of seismic waveforms under different sand body superposition modes, and the typical sand body superposition pattern in the study area is established, and the appropriate time window is selected for self-organizing learning of seismic waveforms, according to the time window. The spatial distribution of different seismic waveforms and the planar heterogeneity characteristics of different sand body superposition modes are described in detail. The method was applied to predict the thin sand body of the Qing section III sand group in the Daqingzijing area in the southern Songliao Basin and achieved good results.

Keywords: neural network; seismic waveform classification; thin sand body; overlay mode