

文章编号: 1001—1749(2011) 01—0024—06

地震波形状描述技术及其在地震相分析中的应用

姚 爽¹, 阎建国^{1, 2}, 李雪峰¹, 赵 洲¹, 朱 强¹, 程 谦¹

(1 成都理工大学 信息工程学院, 四川 成都 610059,
2 成都理工大学 地球探测与信息技术教育部重点实验室, 四川 成都 610059)

摘 要: 地震波的波形变化及其分布规律, 是重要的地震参数之一。对地震波形中包含的地质信息加以分析和应用, 将有利于提高储层预测, 油藏描述精度和钻探成功率。以波形的形状进行分类, 并进行地震相和沉积相分析, 是目前应用较为广泛的一类地震属性分析的方法技术。在这类技术中, 其核心是波形的形状描述和刻画技术。这里以 Stratinagic 软件为例, 通过对构成地震波形状的主要参数(振幅、相位、频率) 对其波形状变化影响的细致分析和比较, 总结出了可以利用地震波的形状变化规律及形状描述方法, 探讨了依据该波形状分类在地震相分析中的效果和意义。

关键词: 地震相; 波形分类; 模型道; 种子文件
中图分类号: P 631. 4 **文献标识码:** A

0 前言

地震相是不同沉积体系的各级界面、岩性, 以及集合特征在地震剖面上的综合表现, 也可以理解为沉积相在地震剖面上表现的总和。地震相分析主要是针对目标层段通过某种地震反射特征进行分类描述, 得到与沉积相或储层特征相联系的地震相图(剖面、平面或体), 从而达到沉积相分析和储层预测的目的。可以利用来划相的地震反射特征(参数) 有很多, 但地震道波形是地震数据的本质^[1]。沉积相、岩相和储层特征等地质信息的变化, 总是对应着地震波形的某些变化。组成地震道波形状的参数主要是相位、频率、振幅及其这些参数随时间(采样点) 的变化率等。目前以波形的形状分类作为地震相划分的方法技术, 已得到较为广泛的应用, 并在沉积相分析和储层预测等方面取得了许多重要成果^[2]。然而, 人们对如何进行地震波形状的描述和重建, 以及依据该波形状进行分类划相中波形的形状变化, 对地震相结果的影响及实用意义等的研究不够, 从而在不同程度上影响到了

波形特征分析的进一步发展和应用。

作者在本文中选择目前应用比较广泛的 Paradigm 公司 Stratinagic 软件, 利用存储模型道的种子文件, 通过分别改变振幅、相位、频率及其变化率等, 细致地对比分析了组成波形形状的各参数的作用和对划相的影响, 总结出了一套描述和重建地震波形状的方法。并用实际资料, 分析说明了利用波形状进行地震相分析的优点和实用意义。这对今后地震波形结构特征分析及其应用的进一步研究, 有着重要的意义。

1 波形分类地震相分析技术

目前应用比较广泛的基于波形分类的地震相分析方法, 是一种地震道形状描述和分类的方法。其基本过程是针对目标层段, 首先应用自组织神经网络算法, 按波形形状得到一些能够代表目标层段波形特征的典型波形类型, 即模型道(见下页图 1(a)), 然后将每一实际地震道与模型道进行相关分析, 从而得到按类别划分并赋予一定颜色的地震

信号的变化和分布结果, 即地震相图 (见图 1 (b))。这种地震相图往往与沉积相或储层特征有着密切的联系, 展示了沉积或储层特征的空间分布规律。如图 1(b)中辫状地震相就清晰地显示了河道砂体的分布。

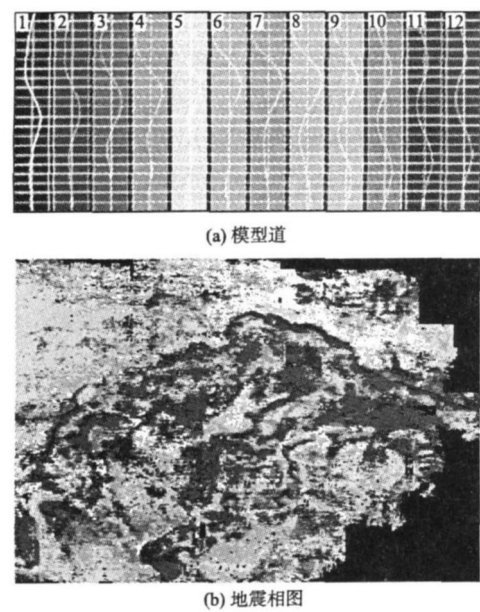


图 1 波形分类模型道及地震相图

Fig 1 Model trace and its corresponding facies map

自组织神经网络 (SOM) 是一种具有自学习功能的神经网络, 由输入层和输出层组成。在输入层中, 神经元在一维空间中排列; 而输出层的神经元可以是多维的, 且输出节点与邻域的其它节点广泛互连。神经网络在地震层段内, 对实际地震道进行训练, 通过几次迭代后, 神经网络构造合成地震道, 然后与实际地震数据进行对比。通过自适应试验和误差处理, 合成道在每次迭代后被改变, 在模型道和实际地震道之间寻找更好的相关 (见图 2)。

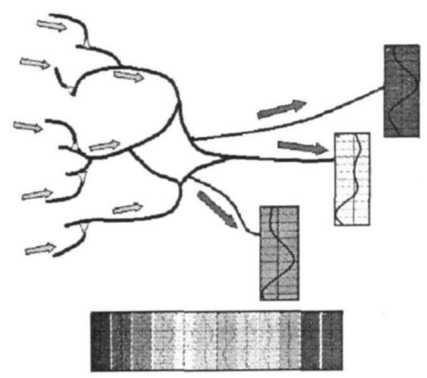


图 2 神经网络地震道分类模式

Fig 2 The neuronal network classification model

通过自组织的神经网络计算, 首先得到模型道。模型道是合成的, 由神经网络处理建造, 并且模型道的分类是渐进变化的, 不能产生突变。神经网络尊重分类序列的渐变过程, 但不是简单地从左到右或从右到左的变化。因此, 二个不同参数的计算结果也可能是很近似的, 除非一个模型道相对于另一个模型道有大的突变点。这些模型道的模版代表了在地震层段中, 整个区域内的地震信号形状多样性。地震信号中任何物理参数的变化, 总是对应着地震道形状的变化^[3]。

Stratimagic 软件提供了模型道文件 (种子点文件) 的编辑方法, 使得我们可以通过改变振幅、相位和频率等来改变某一模型道的波形形状, 为我们研究波形形状的描述方法提供了条件。

2 波形形状描述技术

2.1 构成波形形状的主要参数

描述波形的形状, 最重要的是要选择用什么参数, 来代表和刻画波形形状。一般来说, 波形的形状是由相位、振幅、频率及它们随时间 (采样点) 的变化率来决定的。因此决定波形形状的主要参数, 包括波峰和波谷个数、波通过时间轴的个数 (过零点数)、波峰和波谷的高度、波形的升降、凹凸以及极值点、拐点等。选取不同的参数, 采用不同的方法, 便形成了不同的波形形状的描述方法。

通过我们的研究认为, 比较好的波形状参数, 应该是综合了三种变化在一起的波形参数变化, 描述方法是波形形状重建的方法。

为说明可以找到这样一种方法, 比较我们所提出方法与现有方法的异同。我们利用 Stratimagic 软件, 通过实际资料, 较为仔细地比较分析了振幅、相位、频率等在描述波形形状中的作用和影响因素, 并最终建立起我们自己的波形形状重建方法。

2.2 波形形状变化的影响因素分析

选用某地区 433.3 km² 的三维地震资料为分析对象, 该地区主要钻遇的上太古界地层为本油气田的主要含油气地层, 是潜山构造, 且具有孔、洞、缝并存, 非均质程度较高的双重介质特点。选目的层位 H1, 以该潜山顶面为基准, 向下选取 40 ms 的等厚层 (Interval), 来研究潜山内部地震反射特征。

把波形分为六类, 迭代三十五次, 作者利用 Stratimagic 软件得到了其波形状代表的模型道 (如

图 3所示)和目的层段的地震相图 (见图 4)。

利用种子文件分类模式, 逐个改变参数, 得到如下结果。

2 2 1 振幅影响分析

首先验证用波形来分类, 与振幅的关系。选取图 3中第 2类波形为改变分析对象, 将其振幅减小 (振幅减小到原始值的 1/10 见表 1 图 5), 得到以此波形分类的地震相图 (见图 6)。由图 6与图 4比较, 发现第 2类波形的颜色区域没有变化。

2 2 2 频率影响分析

波形包络线不变, 把第 2类波形变成锯齿状曲线 (见图 7表 2), 结果如图 8所示 (见下页)。将图 8与图 4比较, 第 2类波形的颜色区域发生了一些细微的变化 (用椭圆圈出的区域)。这说明单一波形频率 (保持包络不变) 的改变, 对分类结果的影响也不大。

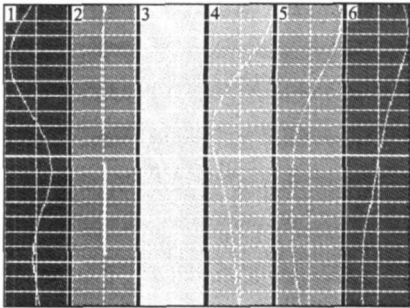


图 5 第 2类波形振幅减小后的模型道

Fig 5 The model trace with decrease the amplitude for NO. 2 wave trace



图 6 第 2类波形振幅减小后的地震相图

Fig 6 The seismic faciesmap with decrease the amplitude forNO. 2 wave trace

表 2 第 2类波形值变为锯齿状与原值比较

Tah 2 Compared the value with the saw toothed and the original ofNO. 2 wave trace

原始采样值	10 006122	- 13 03843	...	4 339458
锯齿状波形	10 006122	- 20 03843	...	3 339458

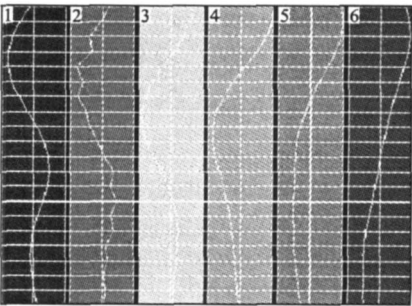


图 7 第 2类波形改为锯齿状的模型道

Fig 7 Themodel trace with the saw toothed waveform

2 2 3 零点影响分析

针对第 2类波形, 移动波形的零点 (见下页表 3及图 9), 分类结果如图 10(见下页)所示。将图 10与图 4比较, 可以发现第 2类波形区域有较明

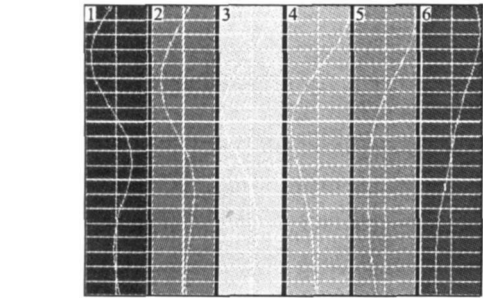


图 3 神经网络计算出的模型道

Fig 3 Themodel trace with neuronal network computing



图 4 神经网络自动分类的地震相图

Fig 4 The seismic facies map with neuronal network classification

表 1 第 2类波形值振幅减小与原值比较

Tah 1 Comparison with the decreased amplitude and the original ofNO. 2 wave trace

原始采样值	10 006122	- 0 86783	...	4 339458
波形振幅减小	1. 000612	- 0 086783	...	0 433945



图 8 第 2类波形改为锯齿状的地震相图
Fig 8 The seismic facies map with the saw toothed of NO. 2 wave trace

表 3 第 2类波形移动零点后值与原值比较

Tab 3 Compared the value with the moving zero point and the original of NO. 2 wave trace

原始采样值	10 006122	...	- 19 818892	- 7. 993094
移动零点	10 006122	...	- 23 818892	- 17 993094

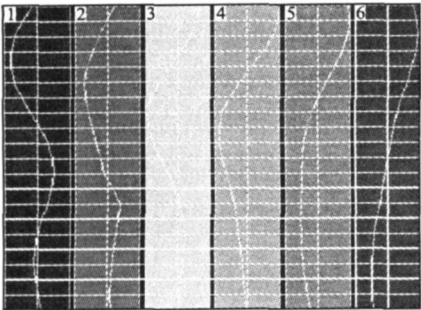


图 9 第 2类波形改变零点位置的模型道
Fig 9 The model trace with moving zero point



图 10 第 2类波形改变零点位置的地震相图
Fig 10 The seismic facies map with change the zero point

显的变化(用椭圆圈出的区域), 这说明了波形零点变化是影响地震相的一个重要因素。

2 2 4 相位影响分析

将第 2类波形整体上移二个采样点(见表 4及图 11)后, 分类结果见图 12。上移或下移波形相位

(见表 4), 相当于 40 ms 的等厚层内波形完全改变。将分类的结果图 12与图 4比较, 会发现已发生了很大变化(如图 12中用椭圆圈出的区域)。

表 4 第 2类波形上移后值与原值比较

Tab 4 Compared the value with the up and the original of NO. 2 class

原始采样值	10 006122	- 0 86783	- 13 038425	...
波形上移	- 13 038425	- 24 432360	- 33 268490	...

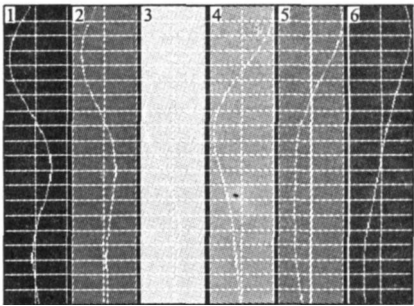


图 11 第 2类波形上移后模型道
Fig 11 The model trace with changing the shape of No. 2 class

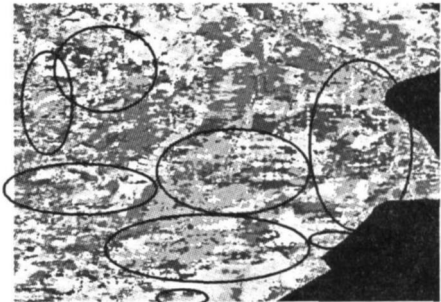


图 12 第 2类波形上移后地震图
Fig 12 The seismic facies map with changing the shape of No. 2 class

在分析第 2类波形各参数对分类的影响后, 进一步对第 1类、3类、4类、5类、6类波形也做了相应的分析, 所得结果与第 2类波形实验结果相似。以下就以第 6类波形相位影响为例。

将第 6类波形整体上移二个采样点(见表 5及下页图 13)后, 分类结果如下页图 14所示。上移

表 5 第 6类波形上移后值与原值比较

Tab 5 Compared the value with the up and the original of NO. 6 class

原始采样值	34 996536	38 481003	39 614807	...
波形上移	39 614807	38 048344	34 505867	...

或下移波形相位 (见表 5), 此 40 ms 的等厚层内波形改变。将分类的结果图 14 与图 4 比较, 也发生很大的变化 (如图 14 中用椭圆圈出的区域)。

2 3 波形形状描述及重建方法

通过以上实验发现, 利用 Stratinagic 软件确实是根据波形状分类, 波形变化其与振幅没有很大关系, 保持波形凹凸 (包络) 十分重要, 零点或波型曲线的拐点确定了波形的凹凸。

根据以上的分析和波形分类地震相得到的结果, 我们提出了一种构建地震波形的方法。即主要注重波形状的整体变化, 并不完全依靠构成波形的每个点的准确振幅数值值来进行波形的重建。

首先, 对采样点的逐点比较, 将振幅比例化, 比较变化率的大小, 正负等, 量化数据; 然后, 再重新建立各采样点, 连接采样点得到平滑的重建波形, 如图 15 所示。

(1) 设波形曲线为 $\{x_i\}$, 其中的采样点平均值为 x_0 对任意振幅 x_i 进行归一化, 见式 (1)。

$$\overline{x_i} = N (x_i - x_0) / \sum_i^N (x_i - x_0) \tag{1}$$

其中 N 为波形采样点个数。

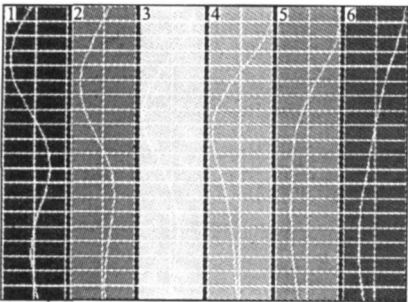


图 13 第 6 类波形上移后模型道

Fig. 13 The model trace with change the shape of No. 6 class

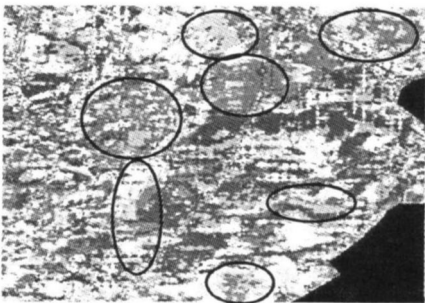


图 14 第 6 类波形上移后地震图

Fig. 14 The seismic facies map with change the shape of No. 6 class

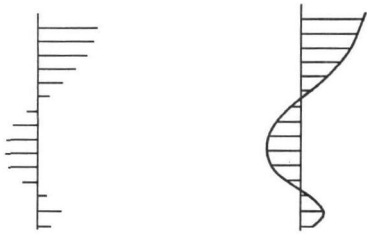


图 15 波形重建图示

Fig. 15 Reconstruct waveform shape

(2) 对同一道波形各采样点做相关比较。同一道波形各点相似性的量度是归一化相关系数, 即二个采样点线性关系的量度, 这一量度只考虑波形形状。给定一个长度为 N 的时间序列, 相邻的二个采样点 (x_i, x_{i+1}) 归一化相关系数 (C) 计算公式如式 (2):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \cdot x_{i+1}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N x_{i+1}^2}} \tag{2}$$

其中 长度 N 为在目的层选取的时窗。

3 形状描述技术在地震相分析中的应用

测井资料识别地层岩性的方法很多, 利用测井曲线的形状识别岩性 (如钟形、箱型) 就是其中的方法之一。而波形分类的地震相分析, 主要是利用波形的形状, 而与具体的振幅值无关。因此, 人们提出用测井曲线来约束地震波形的分类, 即在完成地震道的“无约束”分类后, 将测井曲线加入到地震模型道中参与分类。但是, 由于测井曲线和地震波形具有完全不同的响应模型, 因此, 这种分类常常得不到期望的结果。

根据测井曲线制作合成地震记录, 是常用的沟通地震波形和测井曲线的桥梁。然而, 由于测井数据和地震数据存在尺度的差别, 因此这种合成地震记录只能作为标定和约束的参考。为此, 我们提出按照测井响应特征, 直接编辑重建井旁道波形形状, 让其具有相对明确的地质含义, 然后取代对应位置的模型道参与“有约束”下的波形分类, 从而得到地质意义明确的地震相结果。

以某工区为例, 层位 G1 向下 40 ms 的等厚层段, 分类数为 10 类, 神经网络自动分类的地震相图如图 17 (a) 所示。井的位置显示是第 10 类波形的颜色, 第 10 类波形的颜色的区域为存储有利区域,

即第 10 类波形代表与井点位置相似的波形、相似的沉积意义和岩性。井旁道波形意义更明确, 用它来约束波形分类。取井附近五道实际波形, 求其平均, 生成一道新波形替代第 10 类波形 (见图 16 (b))。替代后地震相图上第 10 类波形的颜色的存储有利区域有一定的改变 (见图 17 (b)), 此划相结果与钻井规律相符, 由此验证此法使得有利储层分布范围更准确。

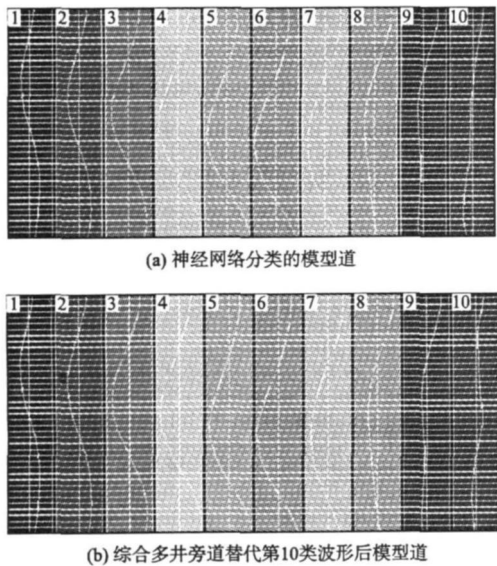


图 16 模型道 替代前后对比图

Fig. 16 The comparison of model trace before (a) and after (b) replacement of No. 10 class

4 结束语

根据以上的分析和实验结果, 我们总结出了描述波形形状的主要参数和重建波形形状的方法。用实例分析了影响波形形状的主要因素, 并说明了基于波形形状进行分类地震相的应用效果, 并指出了一种通过参考测井资料构建地质意义相对明确的波形曲线, 进行有约束地震相划分的方法。

作者在本文的研究结果, 对今后地震波形结构特征分析及其应用的进一步研究有着重要的意义。

参考文献:

[1] 陆基孟, 王永刚. 地震勘探原理 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2009

[2] 王龙军. 基于三维地震的地震相分析技术研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2008

[3] 帕拉代姆地球物理公司北京办事处. Stratigraphic 地震相分析软件介绍及培训教材 [M]. 北京: 帕拉代姆地球物理公司北京办事处, 2003

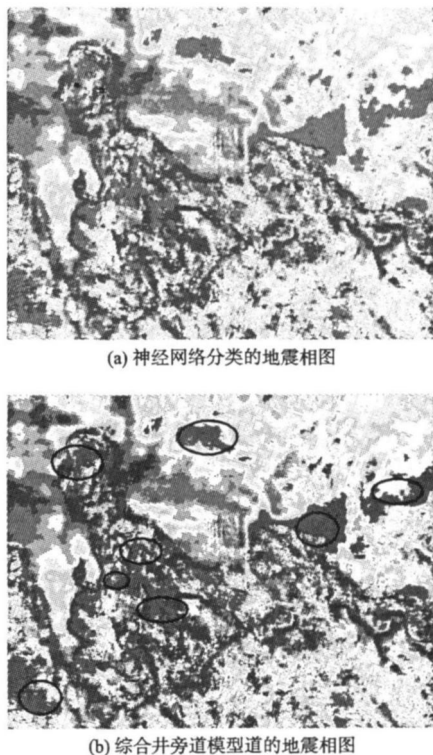


图 17 模型道 替代前后地震相对比图

Fig. 17 The comparison of seismic facies map before (a) and after (b) replacement of No. 10 class

[4] SLOSS L L. Stratigraphic models in exploration [J]. AAPG Bulletin, 1962, 46(7): 1050

[5] 张许良, 单菊萍, 彭苏萍. 煤层裂隙探测的地震波形分类技术研究 [J]. 河南理工大学学报, 2009, 28(3): 266

[6] 赵力民, 郎晓玲, 金凤鸣, 等. 波形分类技术在隐蔽油藏预测中的应用 [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(6): 53

[7] 邓传伟. 利用波形建立地震相 [J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(5): 539

[8] 朱剑兵, 赵培坤. 国外地震相划分技术研究新进展 [J]. 勘探地球物理进展, 2009, 32(3): 167

[9] 赖生华, 蒲秀刚, 杜贵荣. 沉积相地震波波形响应特征研究—以渤海湾盆地孤南注陷沙三中亚段中部为例 [J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 400

[10] 闫国华, 顾家柳, 戈立春. 波形的自动分类 [J]. 西北工业大学学报, 1996, 14(2): 294

[11] 邓传伟, 李莉华, 金银姬. 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

作者简介: 姚爽 (1982—), 女, 湖北宜昌人, 硕士, 主要从事油气地球物理勘探方面的研究工作, 目前研究方向为地震相分析。

velop Engineering Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 20

As carbonate rock reservoir is an important target of the oil-gas exploration fields, its change of wave fields characteristics are specially complex. In order to improve the recognition degree of the reservoir multi-wave seismic data, high-precision numerical simulation is one of the effective ways. Based on the isotropic elastic wave equation, this paper derived the P-S wave separation equation, adopted the high-order staggered-grid finite-difference technology to simulate seismic wave propagation in the carbonate rock reservoir media, acquired the total elastic wave fields of the reservoir model, separated the P wave and S wave information, and preserved the P-S wave energy information. This paper also combined with AVO technology to analyze the elastic wave AVO response characteristics in this type of carbonate rock reservoir, examined the simulation result based the reservoir model, and analyzed and researched the wave fields response characteristic and the propagation law, which provided the reference for the carbonate rock reservoir identification and prediction, and better met the practical needs of complicated oilfield exploration and development.

Key words carbonate rock; wave field characteristics; AVO technique; perfectly matched layer; forward modeling

SEISMIC WAVEFORM SHAPE DESCRIPTION TECHNIQUE AND ITS APPLICATION IN SEISMIC FACIES ANALYSIS

YAO Shuang¹, YAN Jian-guo^{1,2}, LI Xue-feng¹, et al (1. The College of Information Engineering Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. The Key Lab of Earth Exploration and Information Technology, Ministry of Education, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 24

In seismic attributes, the general variation of waveform and its distributed rule is most important seismic parameter. Picking and identifying the waveform information is of benefits to reservoir prediction, reservoir description and improving drilling successful rate. Using waveform to create seismic facies is to use neural network technique to quantitatively describe the general variation of seismic signal. The core of this technologies is the wave shape description and characterization techniques. Taking Stratigraphic for

example, by the detailed analysis and comparison with the influence over waveform shape changes caused by the main parameters (amplitude, phase and frequency) which make up of the waveform shape, this paper summarizes waveform shape variation and waveform shape description method which can be used and discusses the effect and significance wave shape classification in Seismic facies analysis.

Key words seismic facies; waveform classification; model trace; seed file

GROUND ROLL ATTENUATION IN TIME-FREQUENCY AND ITS APPLICATION

YANG Zhao-bin¹, ZHANG Ming-ji², JIA Zheng-hong³ (1. Geophysical Research Institute of BGP, CNPC, Zhuozhou Hebei 072750, China; 2. Changqing Branch in East Exploration of BGP, CNPC, Xian Shanxi 710021, China; 3. Geophysical Techniques Research center of BGP, CNPC, Zhuozhou Hebei 072750, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 30

Ground roll is a kind of strong noises in seismic data. Some methods are applied to attenuate ground roll such as frequency filter, F-K filtering, velocity filtering and so on, which have limitations because of the frequency dispersion of ground roll. A new method is proposed based on the ground rolls features that change with offsets, which includes (1) understanding the characteristics of ground roll with offsets by decomposing the zone data contained ground roll using Fourier or time-frequency analysis; (2) designing filters with different offsets and apply them to data; (3) Analyzing the removed noises by subtract them from raw data and research the filter parameters; (4) determining the optimal parameters in time-frequency and offset domain to ensure that we attenuate noise and preserve the low frequency signals. Good results are obtained when applying the method to high density seismic data.

Key words ground roll attenuation; time-frequency and offset domain; high density; single point receiver; filter

A TRUE AMPLITUDE SPLIT-STEP FOURIER PRE-STACK DEPTH MIGRATION BASED ON ONE-WAY WAVE EQUATION

XIE Jian-jian, WANG Xu-ben (Chengdu University of Technology, Key Lab of Earth Exploration and Information Technology of Ministry of Education, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 36