

地震相分析及其在石油勘探中的应用

尹青¹, 万朝大², 刘伟君², 林春保³

(1. 德阳西钺地质服务有限公司, 四川 德阳 618000; 2. 云南省地质工程勘察总公司, 昆明 650051;
3. 中石化石油工程西南有限公司 录井二分公司, 成都 610027)

摘要: 地震相分析是根据地震资料解释环境背景和岩相, 其目的是进行区域地层解释, 确定沉积体系、岩相特征和解释沉积发育史, 最后预测有利生油区和储集相带。针对传统地震相分析中一些信号分析理论存在的不足, 文章介绍了6种新的地震相分析方法及其在石油勘探中的应用实例。

关键词: 地震相; 地震相分析; 地震相分析的应用

中图分类号: P631.4; P618.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2011)01-0079-06

0 引言

地震相分析是20世纪70年代末发展起来的一种利用地震资料进行地质解释的地质方法^[1]。随着地震勘探技术的飞跃发展和地震相分析工作的不断深入, 研究方法越来越多。由于传统地震相分析方法存在很多缺陷和不足, 满足不了目前石油勘探开发的需要。因此, 本文介绍了几种非传统地震相分析方法, 它们都是针对传统地震相分析中的某一缺陷或不足提出的新方法。

1 地震相及地震相分析

地震相这一名词来源于沉积相, Sloss(1962)认为“相是一定岩层生成时的古地理环境及其物质表现的总和”^[2]。因此, 地震相可以理解为沉积相在地震剖面上表现的总和。正如Sheriff(1982)所说, “地震相是由沉积环境(如海相或陆相)所形成的地震特征”^[3]。同时, 根据Brown(1980)对地震相的认识可知地震相内的反射层代表地层层面、有地层意义的不整合面或可能的流体接触面^[4]。而地震相分

析则是“根据地震资料解释环境背景和岩相”^[5], 其目的就是进行区域地层解释, 确定沉积体系, 岩相特征和解释沉积发育史, 最后预测有利生油区和储集相带。

地震相分析^[6]包括对地震资料的识别和沉积环境的理解, 二者互为因果, 缺一不可。其分析内容大致可概括为两个方面: 一方面, 地震相分析必须掌握沉积体系在三维空间分布的特点, 了解各种沉积环境模式, 地层组合模式, 沉积发育模式等等, 才能进行地震地层学的解释; 另一方面, 要掌握地震勘探的基本原理, 了解各项地震参数所代表的地质意义(地震参数主要指反射结构、连续性、外部几何形态、振幅、频率和层速度等)。

而地震相分析技术^[7]就是运用人工神经网络分析技术、时频分析方法、分层技术和主组分分析(PCA)等技术和方法, 对地震属性及所反映的地质特征进行分析解释, 得到与地震相对应的沉积相, 从而划分出有利储集相带。

2 地震相分析方法

2.1 基于地貌学的自动化地震相分析

地震地貌学是使用地震数据对绘制在沉积面上

收稿日期: 2009-09-07 改回日期: 2010-12-16

作者简介: 尹青(1983), 女, 山西太原人, 硕士, 2010年毕业于成都理工大学信息工程学院应用地球物理专业, 主要从事地质录井、测井资料解释和研究工作。通讯地址: 成都理工大学研究生公寓榕树园5单元F11号; 邮政编码: 610059; E-mail: yinqing_19830126@163.com

的古地貌进行的研究^[8]。在基于地貌学的自动化地震相分析中,地震相被定义为在一个正常地震采样率(如 4 ms)条件下,被局限在地震薄层中沉积相的地震描述,这使得地震相分析不同于传统更厚层沉积层序的地震相分析。一个理想的地震相分析工具应该能够使用地震数据来处理信息,对于一个基于地貌学的地震相分析,地震成像图(岩层切片)必须在沉积面上提取,以便沉积体系的平面-立体形态实现最大化保存。

基于地貌的自动化地震相分析的一个优点是它具有在三维地震体中很快、很详细追踪沉积(地层)特征的能力,它主要是通过监督性学习来实现。监督性学习包括把实验沉积相(地质学家根据肉眼观察识别出来的)变成用随意数字(1, 2, 3 等)所标记的相类,如果结果是满意的,通过实验学到(获得)的准则能够适用于整个地震数据组,实现自动化的沉积相制图^[8]。假设一个地层特征与潜在的油气生产有关,那么这个工具对开发设计和圈闭构制也是有用的。例如,在一个地震地层切片中,深切河谷堆积(IVF)砂岩(层)、河道砂岩(层)和泛滥平原页岩(层)显示出了不同的地貌特征。从基于地貌学的神经网络的训练中所学到的有规律的连续切片显示(以 1 个 4 ms 的采样率)能帮助我们很快地生成包括 3 种地震相的地震岩相数据体,而地震岩相数据体又很容易地被再分成代表 3 种岩相的 3 种子数据体,假设勘探区域有 90% 油气储量是从 IVF 和其他低位体系储层中开采出来的,因此这些结果将有益于在这个区域进行远景勘探和加密钻探^[9]。

2.2 基于三维多属性体分类的地震相分析

由于三维多属性地震相分类是在样点-样点方法的基础上进行的,因此它对区间定义不如地震道形状分析敏感。一般而言,分析的区间可能会明显地比实际储集带更大,甚至有可能在整个时窗内把地震体进行分类。然而,应该充分利用输入数据的数值来提高有效硬件的性能和使用。针对上述情况,Victor linari (2003)提出了基于三维多属性体分类的地震相分析方法^[10]。

体分类技术要求输入多个三维地震属性体,输出则是单个三维地震相分类体。在三维地震相分类体中,每一个地震样点分配一种地震相分类号和一种颜色。我们假设,如果两个样点以相似值为特征,那么他们就会有相同的相类,因此,这两种样点很可能反映一种相似的地质环境。我们有两种选择过程(分层和主组分分析(PCA))可能被用来提高分类结

果。它们的使用依赖于数据类型和分类目的。

通过将地震区间划分为更薄层(或微层),然后再对每一层指定代表值,分层就减少了数据,这个过程也被认为是地震模块化。在一定准则的基础上确定层界,同时这一准则要适用于地震属性中的一种。例如,层界可能和地震振幅体的波峰或波谷一致,或被置于声阻抗地震道中的拐点处。这个技术能帮助“同步”输入地震属性中,而且这些地震属性有不同的频率成分或被转换成相互有关的时间。而在一些情况下,我们是通过利用从每一个地震属性体中独立选取的层所定义的层段来提高不同地震属性的“同步性”。

PCA 是一个在多维数据中找到主要方向和决定数据最佳转变和旋转的数学程序,以便我们能够在这些主要方向上表示 PCA。从输入的地震属性体中得到的地震样点被映射到多维图上,而在这些点上维数与输入体是相对应的;于是,在数据群中会发现主数据趋势(主轴),并且数据取样也被映射到主轴上。这个程序的输出是一系列叫 PCA 组分的新三维体,然后按照它们对数据变化性的贡献数值来对 PCA 组分进行归类。影响最小的 PCA 组分包括噪声和冗余信息,并且通常会将他们排除在接下来的程序之外。

分级分类是三维多属性地震相分类的主要方法,它是自动的,并且要分两步完成。第一步,在多维图的基础上定义输入数据中有意义的子集,并且在这一步中每一个子集分配一种典型的聚类节点,然后按照这些子集在多维图上的位置来安排这些子集,同时指定一个分类号和一种颜色。第二步,就是在欧几里德几何学距离的基础上,将合适的子集分派给单独样点。

但分级和 PCA 这两种不同多属性体分类方法各有利弊。分类方法有更低的垂向分辨率和要求在解释层段内对整个复杂地震相进行详细的分析来预测岩性和流体含量,而交会图的使用能使解释更可靠。而 PCA 分类技术能提高垂向分辨率和允许在井校准的基础上直接进行油气预测。但它缺少使相分类结果与输入地震属性有联系的能力,并且阻止了更进一步的定量分析。因此,我们只有将这两种方法结合使用才能使解释更可靠和准确。

以委内瑞拉马拉开波湾拉帕尔马区域的角塔 I 的大量砂岩储层为例^[5],通过使用三维多属性地震相分类方法能够使我们进行更详细的地层解释和流体预测,并且也使得解释结果更可靠、更具有说明

性。在这种分类中使用的三维方法允许我们进行进一步基于三维体可视化和储层容积分析。地震相体的解释导致我们在角塔I的大量砂岩层段内识别出几个新的远景油气区。

2.3 Stratimagic 地震相分析

由于应用地震属性计算、反演等传统地震属性技术往往丢失两类基本信息:地震信号的总体变化及其变化的规律^[11],因此,近几年国内外研发了一种比较有代表性的地震相分析系统,即 Stratimagic 地震相划分软件进行地震相分析^[1]。该软件在地震相分析中的核心部分即采用神经网络的非线性分类技术对选取的目的层段的地震波形进行统计分类,通过多次迭代计算出模型道,然后将模型道与实际地震道进行对比,通过自适应试验和误差处理在模型道与实际地震道之间寻找最佳的相关性,从而得到地震相平面图。

目前,Stratimagic 地震相分析主要开展了以下工作^[1]:①了解研究区的总体沉积格局、海相沉积和陆相沉积的分布情况、总体的沉积特征及其变化;②调查研究区内的地震反射特点、处理参数、干扰因素等,以去伪存真;③利用软件进行地震相划分;④利用肉眼对目的层地震相参数反射结构、几何形态、反射振幅、反射频率、反射连续性等进行分析,并制作地震相平面图;⑤将软件地震相划分结果与肉眼划分结果进行对比,找出相同和不同之处,进行分析,在钻井沉积相分析的基础上,找出地震相与沉积相的对应关系,将地震相转化为沉积相。其中,第①项和第②项是基础性工作。该方法已在勘探中得到了广泛应用,成为地层和岩性圈闭识别的重要手段之一。

以伊通地堑 L3 井区双阳组一段为例^[1],由于伊通地堑 L3 井区主要产油层为双阳组一段(双一段),其砂体横向变化快,具有典型的“源近流短”沉积特征,相邻井的砂体特征及其含油性各异,给进一步勘探带来很大困难。因此,利用 Stratimagic 地震相分析技术对砂体的沉积特征及其分布进行了精细刻画。通过应用 Stratimagic 地震相分析,结合断陷盆地的沉积特点,由地震相的平面特征和反射特征推测:研究区双一段地层主要为一套扇三角洲—湖相沉积;I号断层附近以及I号和II号断层的东部交汇处主要为扇三角洲发育区;中西部主要为前扇三角洲湖相沉积。在该区地震相表现为中振幅、帚状发散,中振幅、S型前积相和中振幅、平行反射结构,波形具有明显的分区性;以湖泊沉积体系的扇三角洲相为主,靠近断层附近发育多个水下扇,L3井

区中西部以湖相沉积为主,水下扇的河道沉积是双阳组一段的主力储层。这些结论对在该地区进行进一步勘探开发具有重要意义,并且也提供了可靠而准确的地质信息。

2.4 波形分类地震相分析

传统的地震相分析方法是利用地震反射振幅强弱、连续性好坏、频率高低、反射几何外形和内部结构等属性编制地震相图,进行地震相向井间沉积相的转换^[12-14]。这种方法不但费时费力,而且人为性较大,具有一定的不确定性,其精度很难满足隐蔽油气藏勘探开发对沉积(微)相研究的需要^[12]。而利用地震波形特点进行地震相分类能够消除利用单一地震属性参数分析带来的局限性,可以满足勘探阶段对沉积微相和隐蔽油气藏研究的需求,是解决井间沉积(微)相的一种先进的解释辅助工具,在三维工区具有良好的应用前景。

波形分类地震相分析采用神经网络和模式识别技术,对某一层段内的实际地震数据道逐道对比其波形特征和地震属性特征,细致刻画其横向变化,从而得到地震异常平面分布规律,即地震波形分类图^[12,15-18]。地震波形分类分析主要适用于平行结构、地层厚度变化较小、构造比较简单的地区,因为在这些地方沿标准层往下或往上开窗进行波形分类分析时,能保持在等时格架内不穿越地震道,效果较好。目前,用波形分类地震相分析方法得到的地震相平面图直观且色彩丰富,开始在沉积相研究中日益受到重视,并且在国内的初步应用中取得了较好的效果。

而对于地层厚度变化较大的地区,如盆地边部的楔状地层,由于不等厚,统一开窗常常导致穿轴引起的穿时现象,造成研究精度下降。另外,在构造复杂地区,因影响因素多,最好先进行目标保持振幅处理,以便取得较好的效果。

随着勘探开发的不断深入,研究的目的层厚度越来越小,利用波形分类进行地震相分析时,识别的最小时窗范围应大于 $\lambda/4$,要想获得较好的效果,目的层最小时窗范围应大于 $\lambda/2$ ^[12]。

利用地震波形分类进行定量地震相分析有以下3个突出特点:一是无需井资料;二是能够快速地对整个数据进行快速扫描,确定具有异常特征的目的区域后再进行更细的研究工作;三是与传统地震相分析相比,增强了定量性与客观性^[19]。但是利用地震相研究和预测砂体时存在多解性,必须结合钻井地质成果才能进行正确解释^[19-20]。

地震波形分类的成功应用^[12]是在吉林探区大老爷府地区青一段二砂层组。通过运用波形分类地震相分析技术,从地震微相图中可以看出,大老爷府地区主体构造上三角洲朵叶形态清晰可见。值得注意的是在主体构造的西南和东北两个方向的无井区存在树枝状形态,这是人工划相得不到的平面形态。通过地震微相的细致刻画和沉积微相的转换可以预测工区西南和东北角存在水下分流河道砂体,T2*顶面构造图显示,乾136井—老12井—线为向SW倾的斜坡,与西南方向的分流河道砂体配置,形成上倾尖灭岩性圈闭,由NW向断层沟通来自凹陷区的油气,可形成岩性油藏。

2.5 神经网络微地震相分析

传统地震相分析在垂向上时间厚度较大,往往忽视单个反射同相轴的沉积意义。而振幅和连续性变化的单个反射同相轴在陆相盆地往往使研究人员感兴趣;在平面上由于人工识别地震相的琐碎及费时,各种地震相经常解释为大范围的分布,并且这种人工解释的地震相分布内部有无变化经常被有意或无意地忽略掉。总之,传统地震相分析的精度和准确性满足不了目前油田储层的要求,而利用神经网络微地震相分析技术进行地震相分析能弥补上述传统地震相分析的不足之处^[21]。

不同于常规的对时间厚度较大储层的地震相分析,神经网络微地震相分析采用神经网络分析技术^[22],在三维地震数据体的一个感兴趣的层段内训练和估计地震波形信号的可变性,同时进行信号分析学习和叠代来构造合成的地震道,然后与实际地震数据进行对比。通过自适应实验和误差处理,反复迭代并相应地改变合成地震道,在模型道和实际地震道之间寻找更好的相关,最终建立反映三维数据体层段内所有地震道变化特征的、具有代表性的、离散的、具有沉积相意义的合成地震波形信号(即地震模型道)。根据实际地震道与地震模型道的相似拟合度对实际地震道进行分类,不同的类型赋予不同的颜色,以期得到三维数据体层段的具有沉积相指示的微地震相分布^[10,21]。

神经网络微地震相分析主要研究反射界面横向稳定程度与地层连续性的一个地震反射同相轴波形微小变化特征,目的是要确定由于储层沉积微相、岩性、储集特性、流体组分不同引起的地下较薄储层的横向变化,利用这种微地震相分析得到的微地震相图可以识别河道、砂坝、扇体等几何形状复杂的储层的分布^[21]。

以塔河油田四区为例^[23],利用神经网络微地震相分析方法得到该储层的微地震相分布,并清楚地显示了北部的三角洲平原和南部的三角洲前缘亚相。其中平原亚相里可识别出分流河道、泛滥平原等;三角洲前缘亚相里可识别出河口坝、水下分流河道等。而对全区该前积层层位附近厚度为20 ms的包含S-S'波谷的层段应用神经网络微地震相分析,得到三角洲前积层该期次的模型道为12的微地震相分布,显示了该期前积界面发育的多个水下分流河道和砂坝。由此可知,神经网络分析得到的微地震相能非常清晰地勾画出河道、砂坝等微相,并且在垂向上和横向上可靠、快速地刻画了储层。这对寻找油气藏提供了有效、便捷的方法。

2.6 基于S变换的地震相分析技术

S变换是时频分析方法中的一种,将S变换的时频分析引入地震相分析能更全面准确地描述地震相特征,从而为沉积相环境识别提供较关键的地震信息。由于短时窗傅里叶变换、Gabor变换、小波变换以及Cohen类时频等这些信号分析理论有各自的不足,如短时窗傅里叶变换(STFT)受窗函数的影响,Cohen类受交叉项的干扰^[24-25]。为此,Stockwell(1996)等提出了一种较新的时频分析工具——S变换^[25-26]。

S变换综合了短时窗傅里叶变换和小波变换的优点,同Cohen类一样,提供时间和频率的联合函数,以时间和频率为变量来描述信号的能量密度或者信号的强度,但S变换不像Cohen类变换那样会受交叉项的干扰,同时S变换还具有较高的时频分辨率。而对于规模较小的地震相体,在时间剖面上是很难识别其层序内的地震相参数(特别是频率)随旅行时变化情况的^[25]。

一维正S变换的定义为^[25,27]:

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{f^2(\tau-t)^2}{2}} e^{-2\pi f t} dt \quad (1)$$

式中, $h(t)$ 是 t 的连续信号函数, S 表示 $h(t)$ 的S变换, τ 是高斯窗 $\exp[-\frac{f^2(\tau-t)^2}{2}]$ 在时间轴上的位置。

S变换可以用连续小波变换 $W(\tau, d)$ 表示:

$$S(\tau, f) = e^{-2\pi f \tau} W(\tau, d) \quad (2)$$

$$W(\tau, d) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) w(t - \tau, d) dt \quad (3)$$

式中,母小波定义为

$$w(t, f) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2 f^2}{2}} e^{-2\pi f t} \quad (4)$$

公式(2)中的 $e^{-i2\pi f t}$ 为相位因子,起到相位校正作用,这是常规小波变换所不具备的特性, $1/f$ 相当于尺度因子, τ 相当于小波变换的平移因子。S 变换不是小波变换,因为 S 变换中的母小波不满足零均值的容许性条件,即 $\int_{-\infty}^{\infty} w(t, f) dt$ 不等于 0。但是 S 变换中的窗函数必须满足归一化条件。即

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{f^2(\tau-a)^2}{2}} d\tau = 1 \quad (5)$$

由(5)式可得

$$\int_{-\infty}^{\infty} S(\tau - t) d\tau = H(f) \quad (6)$$

式中, $H(f)$ 为 $h(t)$ 的傅里叶变换。由公式(6)可得出, S 变换确实是一种局部谱的表示。可推导出一维 S 变换的逆变换为

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S(\tau, t) d\tau \right] e^{i2\pi f t} df \quad (7)$$

公式(7)说明 S 变换的逆变换是傅里叶变换。这种关系使得 S 变换和傅里叶变换有着直接的联系。S 变换具有无损可逆性和线性化性质等。

对于附加有噪声的数据,经过其他变换后噪声会影响时频分辨率(即受交叉项的干扰),而经过 S 变换后时频分辨率不受噪声的影响,因此,在时频域中时频分辨率能得到提高。

通过理论模型和实际资料的地震相分析^[24]可得出:通过理论模型的地震相分析, S 变换时频分析相对 Cohen 类时频分析具有较好的时频分辨率;相对地震信号的时间域表示, S 变换时频联合表示更能反映地震相的特征;通过单道和多道 S 变换时频表示可以对地震相特征作局部细节的刻画和总体描述。

3 结论

通过对上述 6 种地震相分析新方法及其应用的介绍,可以得出以下几点认识:

(1) 这 6 种方法所采用的技术不同,基于地貌学的自动化地震相分析、Stratimagic 地震相分析、波形分类地震相分析、神经网络微地震相分析都采用了神经网络技术,基于三维多属性体分类的地震相分析采用了分层和主组分分析技术,而基于 S 变换的地震相分析采用了时频分析技术。

(2) 基于地貌学的自动化地震相分析、基于三维多属性体分类的地震相分析、Stratimagic 地震相分析、波形分类地震相分析、神经网络微地震相分析、

基于 S 变换的地震相分析技术,这 6 种分析方法各有侧重,都是针对传统地震相分析方法的某一不足之处提出来的新方法,对不同油藏勘探区域具有不同的作用。

(3) 针对不同的要求和实际情况,我们可以采用不同的方法进行地震相分析以获得与地震相对应的更准确和细致的沉积相,推测出储层的分布范围,从而对储层进行更精确和全面的解释,指导我们的勘探和开发。

(4) 对复杂油气田的勘探,我们应该同时使用多种地震相分析方法,结合储层的地质特征对不同方法得出的结果进行比较和分析,选择不同方法的优点来合理解释储层。

参考文献:

- [1] 王晓平,陈波,臧殿光,等.地震相分析技术在伊通地堑储层沉积特征分析中的应用[J].石油物探,2008,47(2):173-178.
- [2] Sloss L L. Stratigraphic models in exploration[J]. AAPG Bulletin, 1962, 46.
- [3] Sheriff R E. Structural interpretation of seismic data[M]. AAPG, 1982.
- [4] Brown L F, William L Fisher. Seismic stratigraphy interpretation and petroleum exploration[M]. AAPG Continuing Education Course Note Series, 1980.
- [5] Vail P R. Seismic recognition of depositional facies on slopes and rises[J]. AAPG Bulletin, 1977, 61(5):837.
- [6] 徐怀大,王世凤,陈开远.地震地层学解释基础[M].武汉:中国地质大学出版社,1990.
- [7] 程耀清,蔡冬梅.地震相技术应用实例[J].石油地球物理勘探,2007,42(增刊):79-82.
- [8] Hongliu Zeng. Seismic geomorphology-based facies classification[J]. The Leading Edge, 2004(7):644-646.
- [9] Hongliu Zeng. Geomorphology-based, automated seismic facies analysis[J]. SEG Annual Meeting Expanded Technical Program Abstracts with Biographies, 2002, 72: 613-616.
- [10] Victor linari, Kostia Azbel, Manuel Poupon. Seismic facies analysis based on 3D multiattribute volume classification, La Palma Field, Maracaibo, Venezuela[J]. The Leading Edge, 2003: 32-36.
- [11] 潘少伟,杨少春,陈旋,等.吐哈盆地红台地区中侏罗统地震相分析[J].石油地球物理勘探,2008,43(4):425-429.
- [12] 陈方鸿,王树平,李志政.三维可视化地震相分析在沉积相研究中的应用[J].石油勘探与开发,2005,32(3):73-75.
- [13] 李阳.胜利油田油藏综合地球物理研究现状及展望[J].石油勘探与开发,2004,31(3):10-13.
- [14] 张万选.陆相地震地层学[M].北京:石油工业出版社,1993.
- [15] 赵力民.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):53-55.
- [16] 赵力民.利用 Stratimagic 波形研究冀中探区大王庄地区岩性

- 油藏[J]. 石油学报, 2002, 23(4): 33-36.
- [17] 张延章. 地震微相分析技术在大港滩海探区的应用[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(4): 58-60.
- [18] 凌云研究组. 基本地震属性在沉积环境解释中的应用研究[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(4): 642-653.
- [19] 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.
- [20] 孙景民, 庞雄奇, 岳仲金, 等. 勘探单项目风险分析技术[J]. 资源·产业, 2005, 7(4): 53-57.
- [21] 杨勇, 别爱芳, 杨彩娥, 等. 神经网络微地震相分析方法及应用[J]. 地球学报, 2005, 26(5): 483-486.
- [22] 包约翰. 自适应模式识别与神经网络[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 169-188.
- [23] 杨勇, 别爱芳, 杨彩娥, 等. 微地震相分析在河流储层精细描述中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22(6): 69-70.
- [24] 张贤达, 保铮. 非平稳信号分析与处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 53-70.
- [25] 邹文, 陈爱萍, 贺振华, 等. 基于 S 变换的地震相分析技术[J]. 石油物探, 2006, 45(1): 48-51.
- [26] Stockwell R G, Mansinha L, Lowe R P. Localization of the complex spectrum: The Stransform[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1996, 44(4): 998-1001.
- [27] 邹文, 陈爱萍, 顾汉明. 联合时频分析技术在地震勘探中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2004, 27(4): 246-250, 259.

Seismic phase analysis and the application to oil prospecting

YIN Qing¹, WAN Chao da², LIU Wen jun², LIN Chun bao³

(1. Xiyue Geological Services Ltd, Deyang 618000, Sichuan, China;

2. Yunnan Geological Prospecting General Co. Kunming 650051, China;

3. The 2nd Sublog Co. of the Southwest Sub Sino Petroleum Engineering Co. Ltd, Chengdu 610027, China)

Abstract: Seismic facies analysis is based on seismic data and applied to explaining sedimentary environment and lithofacies aiming at regional stratigraphic interpretation and definition of sedimentary system and lithofacies character, and interpretation of sedimentary developmental history, and finally prediction of the favorable oil-generating areas and reservoir facies belt. Directing to insufficiency of signal analysis theory with respect to the traditional seismic facies analysis at present this article introduces six new seismic facies analysis methods and their application to the petroleum exploration.

Key Words: seismic facies; seismic facies analysis; the seismic facies analysis application