

地震数据体的频率信息在岩性预测中的应用
——以松辽盆地孤店地区泉四段为例

刘彦君¹, 国洪伟², 马朋善³, 宋 炜⁴

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 吉林油田公司 勘探开发研究院, 吉林 松原 138000;
3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 4. 石油大学(北京), 北京 102249)

摘要:地震数据体中含有能够反映地质情况的丰富地震信息,如振幅、频率、相位、波形等,用其可以有效地进行储层预测。主要对频率信息的地质解释进行研究,首先在精细频谱分析及分频扫描滤波试验的基础上,研究了不同频率的信号对不同厚度地层的敏感程度,建立了不同频率的调谐振幅与钻井岩性对应关系,然后以此为质量控制手段,对包含多种频率综合响应的地震数据进行分频处理,提取能够有效反映储层的频率信息,作了岩性预测。利用该法对松辽盆地孤店地区主力油层——泉四段进行分频处理,优选了每一目的层的最佳分频体,作了地震属性岩性分析及岩性反演,取得了较好效果。

关键词:地震数据体;频率;分频扫描;储层预测

中图分类号: TE132.1⁺4 文献标识码: A 文章编号: 1672-1926(2008)02-0266-06

0 引言

地震数据体中含有丰富的与岩性和储层物性有关的地质信息,频率信息只是众多地球物理属性之一。而地震数据又是多种频率信号的综合叠加响应^[1-4],根据目前的研究表明,不同频率信号对不同

厚度的地层响应敏感度不同,一般来说,低频信息对厚层具有调谐响应,中高频信息对薄层有调谐响应^[5],即当储层厚度与其检测的反射波频率的调谐厚度相等或相近时,由于反射波波峰与波峰、波谷与波谷相加出现调谐作用而使反射波能量最强。根据储层砂岩的厚薄变化会引起频率变化的关系来预测

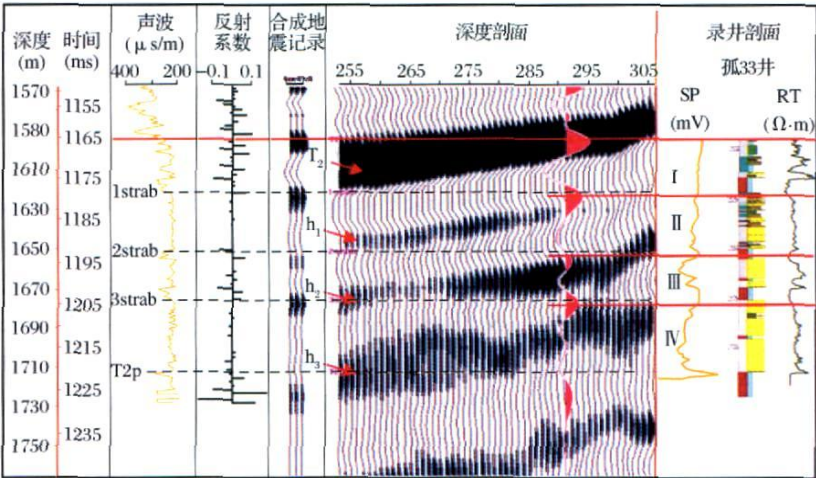


图 1 泉四段扶余油层储层合成地震记录标定

砂岩的分布,已有诸多研究^[5-7],但在如何准确确定有效频率体方面还有待深入研究。

本文利用频率信息和不同频段的处理结果对松辽盆地孤店地区主力油层——泉四段不同地层进行了地震属性岩性预测试验研究。首先针对研究区内发育的3个砂组进行了精确地震地质标定,然后以各层的反射特征、地质岩性标定结果、不同位置地震资料的频谱分析及不同频率的调谐振幅与钻井岩性对应关系为质量控制手段,对数据体进行滤波处理;

在此基础上,利用地震属性参数提取、水平切片地质解释、分频扫描、单频体扫描切片分析、波阻抗反演等技术开展本区的岩性预测。

1 储层合成记录标定

进行储层精细标定,建立储层与地震之间的对应关系,是利用地震属性进行岩性预测的重要前提,针对目的层段泉四段,本文采取了深度域合成记录方法进行标定。具体是利用合成记录计算出的井旁

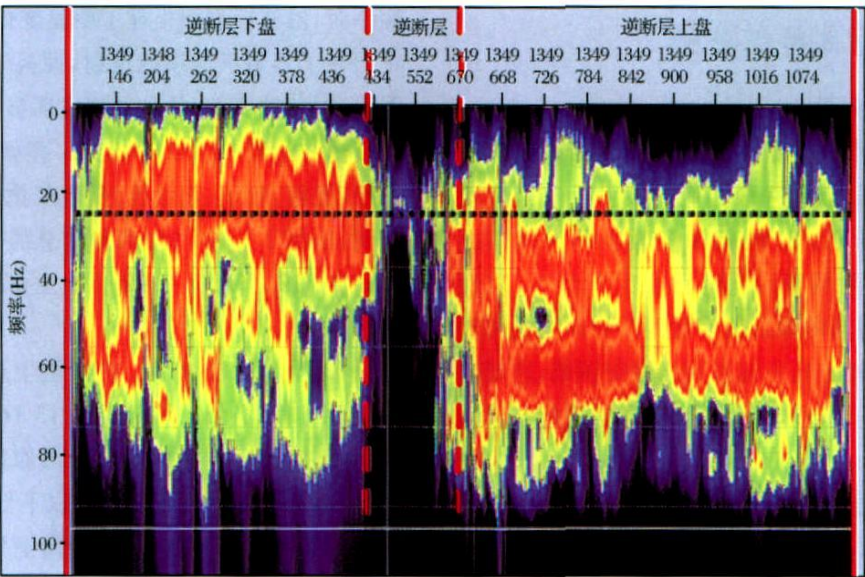


图2 泉四段地震剖面频谱分析

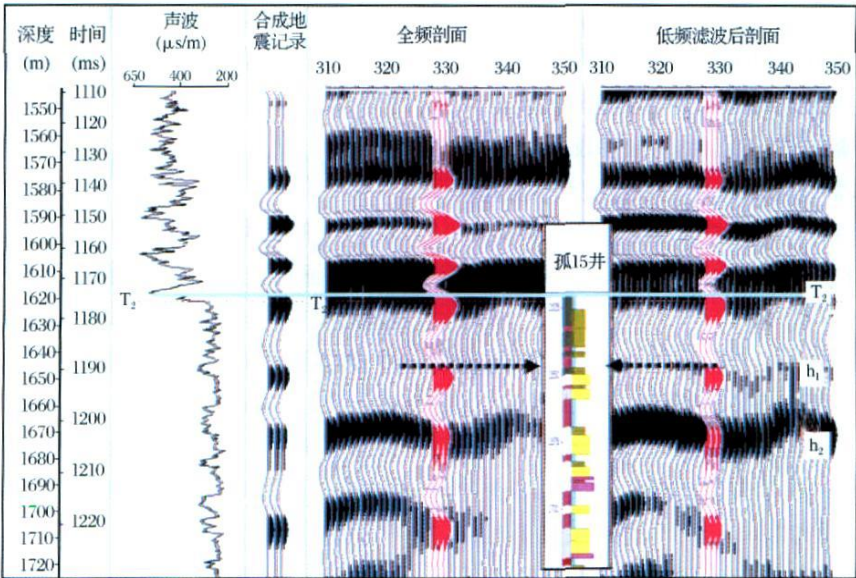


图3 频率滤波试验前后对比剖面

速度,将时间域剖面转换成深度域剖面,与同一比例的岩性综合录井剖面进行直接对比,直观地反映

出某个反射同相轴所反映的砂组顶面反射,并且可以确定是多厚的地层的综合响应,为井震对比提供

了一种准确、直观的联系手段,建立了目的层段地震与地质之间对应关系,给地震反射同相轴赋予了一定的地质和岩性意义,为下一步的地震属性分析及储层反演预测提供了可靠依据(图1)。

通过标定,从总体上具有如下对应关系: T_2 反射同相轴对应于 I 砂组 1、2 小层; T_2 反射层以下波谷对应于 I 砂组 3、4 小层; T_2 反射层以下第一个反射同相轴(h_1)对应于 II 砂组; T_2 反射层以下第二个反射同相轴(h_2)对应于 II 砂组。

2 地震数据体特征分析

2.1 地震特征分析

在精细标定的基础上,分析主要目的层泉四段的地震反射特征,以便采取相应的技术手段来进行处理。如图1所示: T_2 同相轴全区表现为极强振幅、高连续的反射特征;在 T_2 强反射背景下,岩性和厚度变化所引起的该层段反射振幅横向变化相对很微弱,利用属性分析方法预测岩性很困难,这就需要通过某种技术手段来突出其微弱振幅变化与岩性变化的相关性。

h_1 : 表现为连续性较好,频率较高,振幅较弱,尤其在逆断层下盘,常呈现为空白反射特征,受到 T_2 反射层强低频能量的影响较大,给属性分析带来一定的困难;在逆断层上盘,该同相轴连续性较好,频率较高,振幅较强,横向上表现为频繁的振幅强弱变化。以上特征表明泉头组沉积末期沉积环境相对比较稳定,代表滨浅湖相低能环境及河湖过渡地震相特征。

h_2 : 表现为振幅中等,连续性差,频率较低,并且横向振幅变化较大,常呈现出交差、合并、分叉等波组特征,反映了全区动荡不定的高能河流相沉积环境。

2.2 地震频率分析

2.2.1 地震频谱分析

从地震数据频谱分析结果(图2)来看,泉四段扶余油层逆断层上盘与下盘的频谱有较大差别,逆断层上盘的地震频率比下盘的频率高一些。 T_2 反射层上盘主频为 62~64 Hz,频宽 8~95 Hz;下盘主频为 57~59 Hz,频宽为 8~92 Hz。逆断层下盘低频信息丰富,中低频能量强,高频能量相对较弱,使得下盘地震垂向分辨率相对较低。上盘 25 Hz 以下低频能量非常弱,中高频信息能量集中。并且逆断层附近低频和高频信息损失严重,无法利用有效的地震信息来准确预测逆断层附近岩性的变化。因此

针对上下两盘采取分区进行属性分析方式。

2.2.2 滤波试验分析

鉴于以上频谱分析结果,我们对扶余油层地震剖面进行了滤波试验分析。

(1)下盘滤波试验。以 5 Hz 为步长进行低频滤波试验,在依次滤除 10、15、20 Hz 以下频率时,滤波后的剖面扶余油层上部空白反射仍无明显变化,仍为空白反射,下部 2 个同相轴表现为较明显的振幅变化。而横向特征无明显改变。当滤除 25 Hz 以下频率时,滤波后剖面出现了明显变化,上部空白反射中出现了零星不连续的反射,而且下部变化也非常明显,同相轴变细,并且复波也明显分开(图3)。当低切滤波达到 30 Hz 时, h_1 、 h_2 振幅明显增强,同时属性(振幅、频率、连续性)横向变化丰富。以上试验表明,压制了 h_1 同相轴高频信息的低频范围主要在 20~30 Hz 之间,而 8~20 Hz 主要压制了下部反射特征。

(2)上盘滤波试验。在断层上盘重复以上的滤波试验过程,当依次将 10 Hz、15 Hz、20 Hz 的频率滤掉后,滤波后剖面各同相轴与原始频率剖面没有明显的差别,在滤除了 30 Hz 以下低频时,开始出现滤波后剖面振幅的增强,但横向上仍无明显的变化(如频率、相位等方面)。因此分析认为上盘原始资料本身缺失 30 Hz 以下的低频成份,而是以中、高频成份为主要成份,高频能量较强。所以,针对上盘滤除 30 Hz 以下低频成份对上盘的储层反演和属性分析不会有大的影响。

3 地震属性岩性预测

3.1 I 砂组属性分析

前面标定表明:I 砂组 1、2 小层对应于 T_2 同相轴。 T_2 为区域标准层,是强波阻抗界面和强振幅、高连续的时代界面。其强的波阻抗和丰富的低频信息,几乎掩盖了 1、2 小层砂岩所引起的振幅等属性的变化。鉴于此原因,根据前面所做的滤波试验结果分析,对其进行截频处理,我们最终根据试验将 T_2 同相轴 25 Hz 以下的低频信息进行压制,突出能够更好地反映 1 砂组砂岩所引起的变化的高频信息能量。另外通过各种属性对比和井标定分析,发现低频压制后的 T_2 反射层均方根振幅能够较好地反映 1 砂组砂岩分布。因此最终采取低频压制后的数据体提取 T_2 反射层的振幅进行岩性预测。

3.2 II砂组5小层砂岩分布

通过储层标定和统计分析,我们发现 T_2 以下第一个同相轴(h_1)的起跳时间距 T_2 的时差在各井点处差别较大。然而通过与II砂组各小层发育情况进行标定和对比,发现 h_1 与 T_2 的时间差,与II砂组上部砂岩(5小层砂岩)是否发育具有良好的对应关系。就是 h_1 与 T_2 时差的大小可以很好地反映II砂组5小层砂岩的分布范围。而 h_1 与 T_2 的时差大小的变化就是 T_2 以下波谷的频率的变化。总结其规律如下:时差大,频率低,反映II砂组上部5小层砂岩不发育;时差小,频率高,反映II砂组上部5小层砂岩发育。

通过与钻井标定和统计分析比较,符合率达85%,因此,我们利用所提取的波谷的瞬时频率属性,再结合其它属性信息来预测II砂组5小层砂体的分布趋势。

3.3 II砂组和II砂组有利砂体分布属性预测

根据统计分析结果,在利用 T_2 作为标准层,向下做沿层属性提取时势必出现穿时现象,从而造成解释上的错误和多解性。因此我们针对II、II砂组采取统一开窗,扩大开窗范围进行分频扫描分析,预测有利砂体的分布,然后结合沿层切片和单频体扫描切片进行综合分析,确定有利砂体的分布层段。主要采取以下方法:

分频扫描解释技术。分频扫描解释技术是基于不同频率对不同厚度的地层敏感程度不同,即高频对薄层有调谐响应——分辨薄层,低频对厚层有调谐响应——分辨厚层。因此可以通过地震数据的频谱分解分析方法提高对较小地质体或较薄储层的识别能力。

单频体扫描切片分析。该方法是对单一频率的数据体,沿标准层进行层拉平,然后以一定的时间间隔做水平切片进行地震属性分析。这种方法是分频扫描方法和沿层水平切片解释方法的综合运用,是对单一频率体的不同时刻进行切片扫描分析。

3.4 有利砂体分布趋势预测

根据统计结果,确定下盘分频扫描分析的时窗为($T_2+12\text{ ms}$)到($T_2+48\text{ ms}$)之间。扫描的频率区间为20~90 Hz,从20 Hz扫描切片开始,以5 Hz为步长逐张分析,扫描到35 Hz时,如图4a所示,在孤40井—孤15井之间存在着一个透镜状的砂体,该砂体向北、南、东3个方向尖灭。通过对比沿层水

平切片分析,发现与 $T_2+26\text{ ms}$ 的切片所反映的形态一致,因此确定该砂体反映的是II砂组砂体变化趋势。

地震剖面特征(图4b):ini ne405地震测线上,表现出反射轴振幅向西由强变弱、尖灭的特征,向东受断层切割;tr293地震测线上,表现出反射轴向南北方向尖灭。通过标定,该砂体对应孤40井II砂组厚层的细砂岩。在西北倾斜坡的构造背景下,向东又受反向正断层切割,具有形成岩性圈闭的条件。另外,孤18井区东侧,表现为砂体由北向南变薄的趋势,与该处南倾的斜坡配置,也易于形成断层—岩性圈闭。

4 不同频段地震数据体反演处理

利用三维高精度反演技术,充分挖掘地震数据体中的波阻抗信息,进行砂岩预测,是目前能够对岩性体进行定量识别描述的唯一技术手段,所以,利用前期处理的地震数据进行目的层段有针对性的反演,十分必要。在Jason反演中主要注意标准化处理、声速曲线重构、子波选取、储层标定等几个方面的关键环节。

首先利用原始全频地震数据体进行扶余油层反演处理,从反演连井剖面来看(图5a),I砂组预测砂岩与钻井不符合,表现为高波阻抗值,并且过于连续,受 T_2 反射波阻的高阻抗影响大;下部II—IV砂组砂岩反演结果与钻井符合率较高,并且横向上变化丰富,符合河流相的沉积特征。

针对I砂组反演存在的问题,再根据前面的地震剖面特征和频谱分析,我们认为I砂组受 T_2 反射波阻的低频成分和强波阻抗的影响较大,压制了高频成分能量。为此根据滤波试验结果,采取了对原始数据体低频压制的方法进行反演处理试验,利用压制了25 Hz以下低频信息后的地震数据体进行反演处理,得到的反演剖面如图5b所示。I砂组预测砂岩与钻井符合情况良好。II—IV砂组总体变化不很明显,能量有所降低,横向上变化不如原始剖面反演结果丰富,但II砂组个别层段砂岩表现得过于连续,不符合该区的地质特征。因此,我们通过对多次试验处理结果的效果对比分析,最终决定针对I砂组采取25 Hz以上频段的数据体进行反演处理和解释;针对II—IV砂组,采取原始数据体进行反演处理和解释。

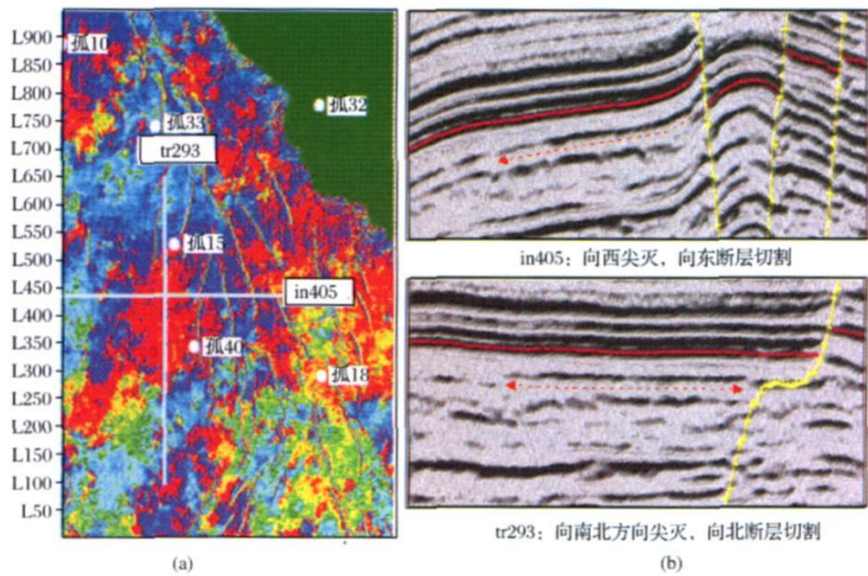


图4 分频扫描方法预测有利砂体分布趋势

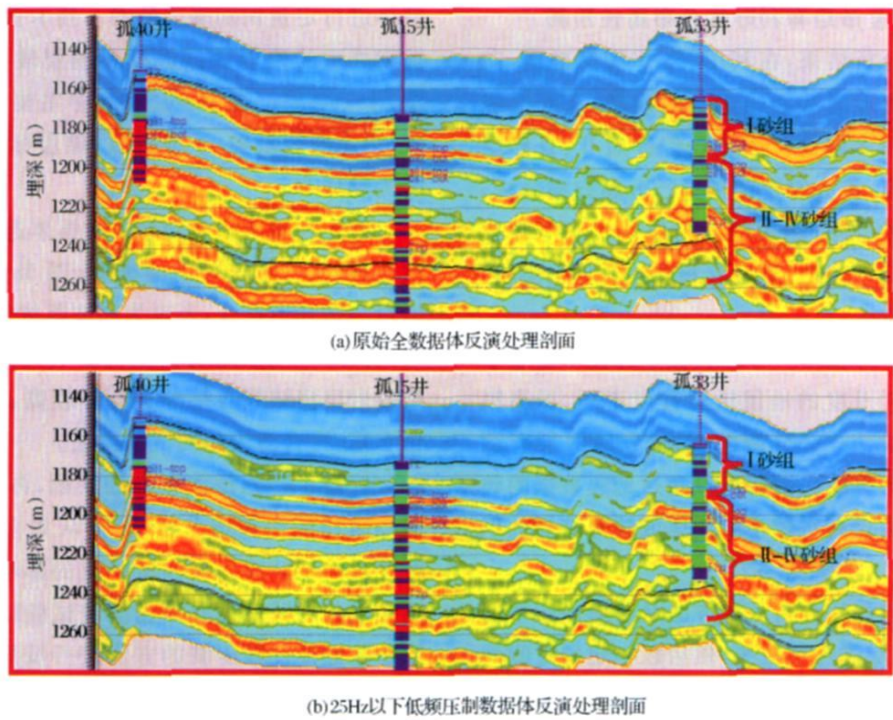


图5 不同频段地震数据体反演处理剖面对比分析

5 结语

(1)在进行低频信息压制和截频时,去掉的低频信息无疑也是有效信息,也是地震反射的综合响应分量之一,但有时在特定条件下,低频信息掩盖了更为有效的信息,在有限地震分辨率的条件下,为了突出更为有效的地震信息,有必要进行去粗取精的处

理技术手段,以达到储层预测的目的。

(2)可以直接提取地震频率信息进行岩性预测,也可以利用分频扫描等方法进行预测,利用后者目前也取得了较好的成效,但地震属性信息是具有相关性的,不是相互孤立的,因此,应根据不同地区的地质条件和地质特点,对多种属性信息进行综合对比,找出储层岩性相关性强的敏感属性,并采取各种

属性信息综合分析的方法进行岩性预测。

参考文献:

[1] 陈遵德. 储层地震属性优化方法[M] . 北京: 石油工业出版社, 1998: 119-145.

[2] 王玉梅, 季玉新, 李东波, 等. 应用地震属性技术预测 A 地区储层[J] . 石油物探, 2001, 40(4): 69-76.

[3] 黄绪德, 袁明德, 等. 地震数据处理[M] . 北京: 石油工业出版社, 1994.

[4] 李在光, 杨占龙, 刘俊田 等. 多属性综合方法预测含油气性及其效果[J] . 天然气地球科学, 2006, 17(5): 727-730.

[5] 胡光义, 王加瑞, 武士尧. 利用地震分频处理技术预测河流相储层[J] . 中国海上油气, 2005, 17(4): 237-241.

[6] 黄安敏, 裴建翔, 陈志宏, 等. 油气储层预测技术在琼东南盆地 BD13 区的应用[J] . 天然气地球科学, 2006, 17(4): 518-522.

[7] 高建虎, 雍学善, 刘洪. 频率域储层预测技术研究[J] . 天然气地球科学, 2007, 18(6): 808-812.

Application of the Frequency Information of Seismic Data in Predicting Sandstone Reservoirs

LIU Yan-jun¹, GUO Hong-wei², MA Peng-shan³, SONG Wei⁴

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Exploration and Development, Ji Lin Oilfield Company, Songyuan, 138001, China;

3 Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China;

4. China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Reservoir geological information can be predicted effectively by abundant geophysical information in seismic data, which include amplitude, frequency, phase, wave, etc. Based on the fine frequency spectrum analysis and the test of filter scan, this paper studies the sensitivity of different frequency signals and different strata thickness and establishes the correlation between drilling lithology and the tune amplitude of different frequencies. Through adjusting different frequency times and processing the frequency spectrum of seismic data, the efficiency frequency can be used to predict lithology effectively in seismic inversion and attributes analysis. By this method, the main oil reservoirs of different layers of the Quan 4 member were successfully predicted and analyzed in the Gudian area.

Key words: Seismic data; Frequency; Frequency spectrum analysis; Reservoir prediction.

(上接第 182 页)

algal reefs, distributed in the west side of the Luliang uplift, the south slope of the Yimeng uplift, and the north side of the central palaeohigh. There exist two kinds of ecological characteristics, one is algae growing vertically and forming algal stromatolite, the other is algae binding plaster and forming algae lime mud sphere. Influenced by diagenesis, the origin biological pores and intergranular pores of the reefs nearly disappeared completely. But the dolomitization is common, intracrystalline pores and intracrystalline dissolved pores are well developed, the physical property is good, and the drilled wells have good deliverability. Dolomitized reefs are high-quality reservoirs and are a new target for the Early Palaeozoic gas exploration.

Key words: Ordos basin; Ordovician; Reef; Algal mound (Gonidial layer); Gas.