

分频解释技术在刻画河道砂体中的应用 ——以苏乃诺尔地区为例

张明学, 时筱淞

东北石油大学地球科学学院, 黑龙江大庆 163318

摘要 为研究区内疏网井区沉积相划分, 分析沉积环境, 本文采用分频解释技术对区块进行处理分析。分频解释技术采用离散傅里叶变换将地震数据由时间域转换到频率域, 在频率域观察砂岩横向不连续性, 从而对河道砂体进行横向预测。基于分频解释技术原理, 以苏乃诺尔研究区大二段高位体系域晚期地层为例, 对河道砂体进行刻画。相较于传统的地震属性, 分频属性对识别河道砂体边界特征、平面展布形态、横向不连续性等有良好的作用, 对疏井区沉积相划分有较好的指导作用。结果表明, 苏乃诺尔大二段高水位体系域晚期地层主要发育网状河三角洲, 在疏网井区发育网状分流河道特征, 特征明显, 克服了无井约束的问题。

关键词 分频; 苏乃诺尔; 河道砂体; 沉积相

中图分类号 TE121.3

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.10.006

Applications of Frequency Division Interpretation Technique in Depicting Channel Sand Body: Taking Area of Sue Nenol as Example

ZHANG Mingxue, SHI Xiaosong

College of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, Heilongjiang Province, China

Abstract In order to study sedimentary facies partition of sparse well area, and analyze the sedimentary environment, frequency division interpretation technology is used for processing analysis, the purpose is to solve the above problems. Frequency division interpretation technique converts seismic data from time domain into the frequency domain using the discrete Fourier transform method in order to observe sandstone transverse discontinuity, which plays a role of lateral prediction. Based on the principle of frequency division interpretation technique, it depicts the channel sand body in the HST of the second section of Damoguaihe late formation in Sue Nenol. Comparing with conventional seismic attributes, frequency division has a good response to identify channel sand body boundary, plane distribution morphology, and lateral discontinuity. It is a better guide for the classification of sedimentary facies on sparse well area. Finally, the conclusion is that the HST of the second section of Damoguaihe late formation in Sue Nenol mainly developed in Anastomosing River Delta. In sparse well area, it developed the features of distributary channels, characteristic is very clear and it overcomes the problem of non-well constraint.

Keywords frequency division; Sue Nenol; channel sand body; sedimentary facies

0 引言

地震属性是叠前或叠后地震资料经过数学变换得到有关地震波的动力学特征、运动学特征、几何学特征、统计学特征的技术, 通过提取存储、可视化等手段观察属性特征, 从而寻找特殊地质体。在实际工作中, 传统地震属性在寻找和预测砂体方面多以振幅类和能量类属性为主^[1], 但随着勘探开

发的需要, 对岩性的横向预测要求越来越高, 而传统属性对岩性的预测作用有一定局限性。分频解释技术是在频率域通过调谐振幅来识别砂体横向变化规律, 在一定程度上高于常规地震主频所对应的 1/4 波长的时间分辨结果, 从而进行砂体解释, 尤其是对河道砂体边界的刻画更为精确, 是一种有效的应用技术。该技术的特点满足了勘探开发、布置有利目

收稿日期: 2012-12-26; 修回日期: 2013-01-15

作者简介: 张明学, 教授, 研究方向为层序地层学与构造, 电子信箱: zmxperson@126.com

标的需要^[2],并对疏井区沉积相的划分有一定指导意义^[3]。故本次采用分频解释技术针对苏乃诺尔地区大二段高水位域晚期地层进行分频解释。

1 分频解释技术

1.1 原理

分频技术是指采用离散傅里叶变换法将地震资料由时域转换成频域的过程,利用地层厚度变化在频谱上的调谐效应来计算储层的时间厚度,达到横向预测目的。分频解释技术则采用此种方法对转换后的资料进行地质解释,辅助目的层段沉积相划分及储层预测研究。

设时间为 t , 频率为 f , 地震资料时域 $z(t)$ 向频域 $Z(f)$ 转换^[4]

$$Z(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} z(t) e^{i2\pi ft} dt \quad (1)$$

由离散傅里叶变换,得到频率为 β 时的振幅值 $Amp(\beta)$

$$Amp(\beta) = \sum_{j=0}^{N-1} amp(j) e^{2\pi i j \beta / N} \quad (2)$$

其中, $amp(j)$ 为时域地震道第 j 个采样点对应的振幅大小; N 为采样点个数。

由欧拉公式

$$e^{i\alpha} = \cos\alpha + i\sin\alpha \quad (3)$$

式(2)可变为

$$Amp(\beta) = \sum_{j=0}^{N-1} amp(j) [\cos(2\pi j \beta / N) + i\sin(2\pi j \beta / N)] \quad (4)$$

将式(4)写为

$$Amp(\beta) = |Amp(\beta)| e^{i\phi(\beta)}$$

其中, $|Amp(\beta)|$ 为振幅谱, $\phi(\beta)$ 为相位谱。

由分频原理可以看到,分频技术将地震体通过转换产生一系列频率范围内的振幅调谐体(tuning cube),当地震体调谐频率与振幅调谐体频率相等时,则对任意振幅调谐体的刻画相当于在该频率值下的地层厚度,对单一厚度地层进行描述。在实际工作中,首先将地震数据体进行目标层段的抽取工作,抽取目标段楔状体,并以此楔状体为基础数据,进行时间域与频率域转换,转换成频率体,再对其频率体进行调谐处理,观察不同频率的切片振幅特征,寻找特殊地质体,并观察砂岩厚度在横向上的变化规律。

1.2 应用实例

苏乃诺尔地区位于贝西北、嵯岗隆起东南部,实验区内东北部为霍多莫尔构造,东南部为苏德尔特构造带,东部为断陷特征,西部地层超覆于贝西斜坡。物源方向为北西向及北东向。研究目的层段为大磨拐河组二段高位体系域晚期地层,与高水位早期、中期及进入晚期的开始阶段相比,湖盆沉积范围逐渐收缩,贝西洼槽逐渐进入网状河三角洲相沉积、辫状河三角洲及深浅湖沉积体系。研究目的层段主要以网状河三角洲平原及网状河三角洲前缘最为发育。基于研究区内沉积背景,对苏乃诺尔地区大二段高位域晚期地层进行分频属性解释。

(1) 平面特征。本次对大二段高水位域晚期地层进行了传统振幅属性^[5]和分频属性的提取,两者对比可见,传统振幅类属性如平均振幅(图1(a))和均方根振幅属性(图1(b)),在研究区贝西次凹处有河道的特征,但界限及延伸长度范围相对不明显,断层影响尤为严重,刻画精度低;而本次分频属性提取研究区目标段20Hz与40Hz频率切片(图1(c)、图1(d)),观察振幅特征,可以看到在相同位置处出现了界限清晰的河道特征,而且断层影响较小,分辨率更高,甚至能分辨分流河道间微相,从而体现了分频属性的优越性。

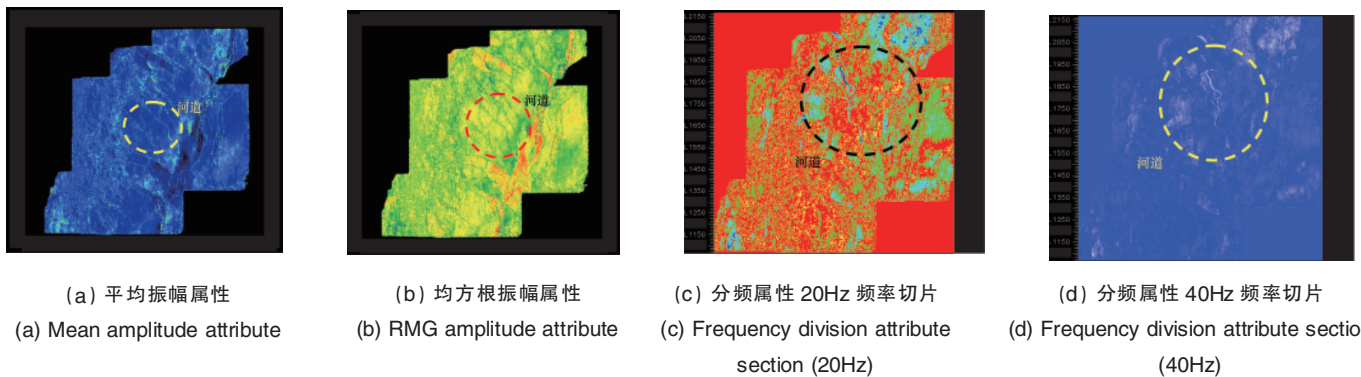


图1 属性平面特征

Fig. 1 Plane characteristics of attributes

在目的层段提取属性的平面图件观察到河道形态,并自下而上提取1100、1080、1060、1040ms地震切片(图2),由地震切片可见,在贝西次凹处振幅显著增强,形态为河道延伸形态。

(2) 剖面特征。对实验区地震数据体经过离散傅里叶变

换,转换到频域范围,截取来自实验区Line1700(图3(a))、Line1880线(图3(b))0~200Hz频率范围剖面,可以看到,在频率为100Hz附近可见明显的分界,研究区地震资料主频达到35Hz,因此在上部频率为30~50Hz范围内可见振幅高值,图3标注的河道内深蓝色的部分代表河道特征。

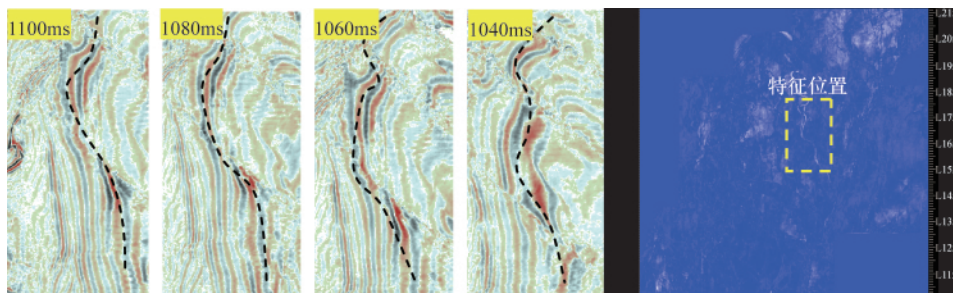


图 2 时间域地震切片及特征位置

Fig. 2 Seismic section in time domain and feature location

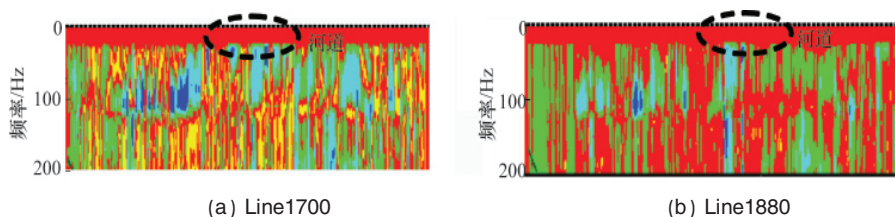


图 3 频率剖面

Fig. 3 Frequency profile

在贝 53 井地震剖面大二段高水位体系域晚期地层可以看出,由于河道砂发育的影响,剖面局部振幅显著增强(如图 4 中标注的河道砂),呈现高幅形态,结合井上岩性剖面,在对应层段主要发育中细砂岩及粉砂岩(图 5),以网状河三角洲平原亚相中分流河道和分流河道间微相最为发育,从而验证了分频属性的合理性。

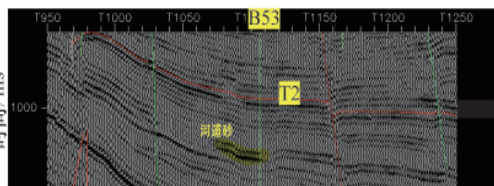


图 4 Line1700 地震剖面

Fig. 4 Line1700 seismic profile

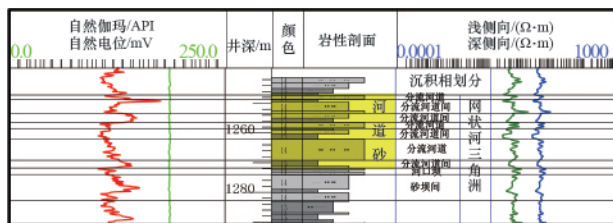


图 5 贝 53 井岩性剖面

Fig. 5 Lithologic section of well B53

2 分频属性指导沉积相划分

苏乃诺尔地区大磨拐河组地层分为大一段及大二段地层,大一段由早期的低水位体系域逐渐过渡到水进体系域,后期进入到高水位体系域;大二段地层由高水位体系域早期

及中期逐渐过渡到高位体系域晚期。以大二段高水位体系域晚期沉积为背景,对目标层段进行沉积相划分。

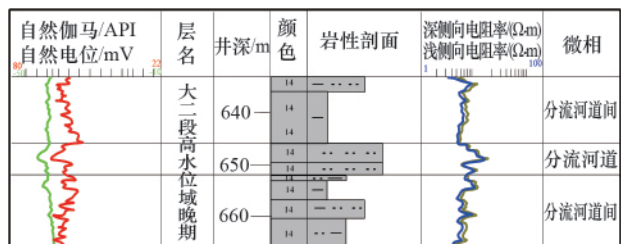
2.1 单井相划分

从单井岩性可以看到,大二段高位体系域晚期地层多以网状河三角洲平原亚相及前缘亚相为主^[9],平原亚相可进一步分为分流河道和分流河道间两个微相,分流河道以中细砂岩、粉砂岩为主,电测曲线呈箱型及齿化箱型(图 6(a));分流河道间以泥岩及粉砂质泥岩为主,可见少量泥质粉砂岩,电测曲线为低值、起伏较小(图 6(b))。前缘亚相进一步分为河口坝及远砂坝两个微相,河口坝发育在网状河水下分支河口处,以砂体单层厚度大为标志,岩性以中细砂岩为主,电测曲线为中高幅值漏斗型或指型(图 6(c));远砂坝发育于网状河水下分流河道末端,岩性多以浅灰色砂岩、粉砂岩及少量浅灰色砂质泥岩、泥质粉砂岩为主,自然电位曲线多为漏斗型^[7](图 6(d))。

2.2 平面沉积相划分

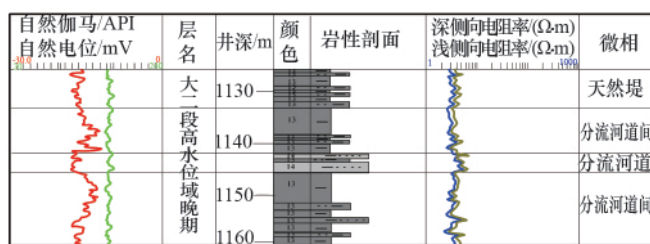
大二段高水位域晚期地层沉积过程中,南部湖盆沉积范围逐渐萎缩,物源不断由北向南供给,向南部湖盆快速推进,它占据了湖盆大部分地区,并且河道经过较长的距离在盆地的缓坡彼此交织,进而形成网状河三角洲沉积体系。

从平面分频属性可以看出,在工区北部及中部振幅为高值,并且呈河道延伸形态,尤其是在无单井岩性约束的空白带,河道特征尤为明显,根据研究区沉积背景,该河道特征为网状河分流河道,网状分流河道具有低坡度、小弯度、彼此交织成网状;而在相邻河道间,振幅呈低值,定为分流河道间沉积环境。由上述的单井岩性加以验证,在河道部位或临近河道处,单井岩性多以中砂岩及粉砂岩为主,沿河道砂体较为发育,分流河道间岩性多以泥岩、粉砂质泥岩为主。



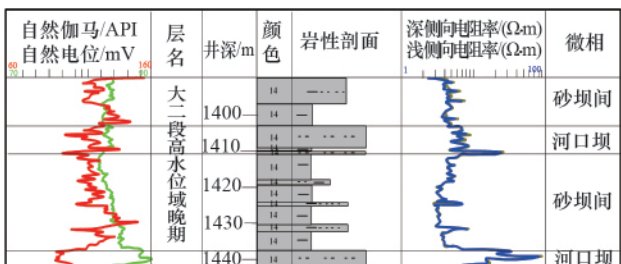
(a) 贝 37 井分流河道

(a) Distributary channel of well B37



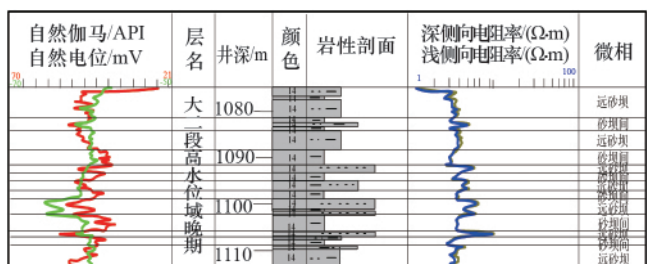
(b) 贝 7 井分流河道间

(b) Inter-distributary channel of well B7



(c) 贝 54 井河口坝

(c) Mouth bar of well B54



(d) 贝 38 井远砂坝

(d) Distal bar of well B38

图 6 单井相划分

Fig. 6 Classification of single well facies

根据分频属性刻画特征,结合单井岩性特征,最终对研究区大二段高位体系域晚期地层进行平面相划分(图7),划

分为:网状河三角洲平原和网状河三角洲前缘2个亚相,分流河道、分流河道间、河口坝、远砂坝4个微相。

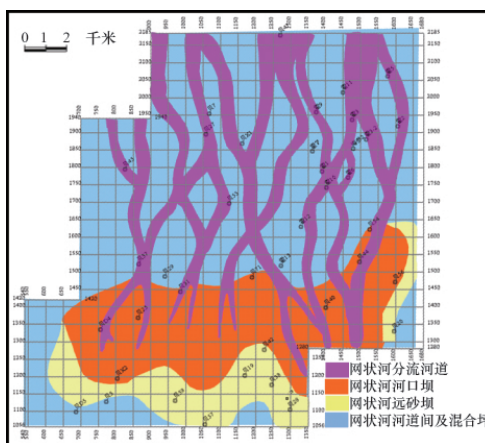
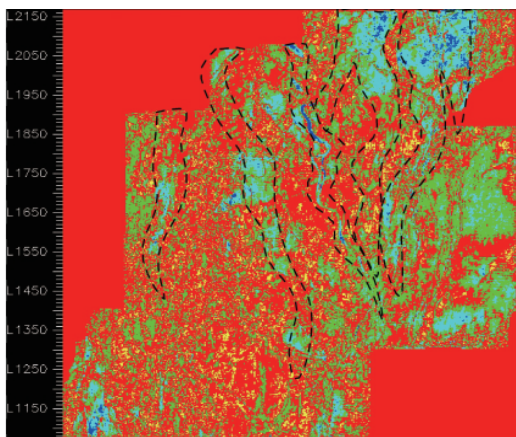


图 7 苏乃诺尔地区大二段高位域晚期地层分频切片(20Hz)(a)及平面相划分(b)

Fig. 7 Frequency division section (20Hz) (a) and the plane sedimentary facies classification (b) in the HST of the second section of Damoguaihe late formation in Sue Nenol

3 结论

通过对苏乃诺尔地区大二段高位域晚期地层进行分频属性的提取及解释工作,揭示了贝西次凹地区目的层段河道发育及展布特征,发现多条分流河道。并且,在河道刻画方面,分频属性比传统振幅类属性对河道砂体的刻画更为直观,边界识别更为清晰,受断层影响小,具有较高的分辨能力,有效地识别了河道砂体在横向上的展布规律。由此可见,

分频解释技术在河道砂体刻画中有很好的预测效果,特别适合对无井约束的空白地带或井网较疏地区沉积特征的识别与划分。该方法可为油气勘探开发提供有利的钻探目标。

参考文献 (References)

- [1] 姜秀清. 储层地震属性优化及属性体综合解释 [D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2006: 50-74.
Jiang Xiuqing. The optimization of reservoir seismic attributes and the

- comprehensive interpretation of attribute-body[D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2006: 50-74.
- [2] 卢春红, 纪友亮, 潘春孚. 地震属性在沉积相研究中的应用——以莱阳凹陷白垩系莱阳组水南段为例[J]. 特种油气藏, 2012, 19(5): 38-39.
Lu Chunhong, Ji Youliang, Pan Chunfu. Special Oil & Gas Reservoir, 2012, 19(5): 38-39.
- [3] 柯兰梅, 马永强, 尹太举, 等. 分频解释技术在储层预测中的应用[J]. 复杂油气藏, 2010(2): 47-48.
Ke Lanmei, Ma Yongqiang, Yin Taiju, et al. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2010(2): 47-48.
- [4] 冯斌, 赵峰华, 王淑华. 地震分频解释技术在河道砂体预测中的应用[J]. 地球科学进展, 2012, 27(5): 510-514.
Feng Bin, Zhao Fenghua, Wang Shuhua. Advances in Earth Science, 2012, 27(5): 510-514.
- [5] 杨飞, 赵政权. 利用地震属性进行砂岩储层横向预测 [J]. 物探化探计算技术, 2012, 34(4): 415-416.
Yang Fei, Zhao Zhengquan. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 34(4): 415-416.
- [6] 胡玉双, 张媛, 冯玉良. 海拉尔盆地贝尔凹陷大磨拐河组沉积体系特征及演化规律[J]. 科学技术与工程, 2010, 24(10): 5853-5855.
Hu Yushuang, Zhang Yuan, Feng Yuliang. Science Technology and Engineering, 2010, 24(10): 5853-5855.
- [7] 李占东, 李阳, 张海翔, 等. 海拉尔盆地乌尔逊-贝尔凹陷大磨拐河组油气成藏条件[J]. 石油实验地质, 2011, 33(5): 482-483.
Li Zhandong, Li Yang, Zhang Haixiang, et al. Petroleum Geology & Experiment, 2011 33(5): 482-483.

(责任编辑 刘志远)

·学术动态·

2013 年度国家自然科学基金项目 限项申请规定

1) 各类型项目限项申请规定

申请人(不含参与者)同年只能申请 1 项同类型项目。上年度获得资助的项目负责人,本年度不得申请同类型科学基金项目。

2) 高级专业技术职务(职称)人员申请和承担项目总数限为 3 项的规定

具有高级专业技术职务(职称)的人员,申请(包括申请人和主要参与者)和正在承担(包括负责人和主要参与者)以下类型项目总数合计限为 3 项:面上项目、重点项目、重大项目、重大研究计划项目(不包括集成项目和指导专家组调研项目)、联合基金项目、青年科学基金项目、地区科学基金项目、优秀青年科学基金项目、国家杰出青年科学基金项目(申请时不限项)、国际(地区)合作研究项目(特殊说明的除外)、科学仪器基础研究专项项目、国家重大科研仪器设备研制专项(自由申请类项目)、优秀国家重点实验室研究专项项目,以及资助期限超过 1 年的委主任基金项目和科学部主任基金项目等。

3) 作为负责人限获得 1 次资助的项目类型

青年科学基金项目、优秀青年科学基金项目、国家杰出青年科学基金项目。

4) 不具有高级专业技术职务(职称)人员的限项申请规定

作为申请人申请和作为负责人正在承担的项目数合计限为 1 项;在保证有足够的时间和精力参与项目研究工作的前提下,作为主要参与者申请或者承担各类型项目数量不限。

5) 不受申请和承担项目总数限制的项目类型

创新研究群体项目、国家基础科学人才培养基金项目、海外及港澳学者合作研究基金项目、数学天元基金项目、国际(地区)合作交流项目、国际(地区)学术会议项目、科普项目、重点学术期刊专项基金项目、青少年科技活动专项项目、委托任务及软课题研究项目、资助期限 1 年及以下的其他类型项目,以及项目指南中特殊说明不限项的项目等。

详情见:<http://www.nsf.gov.cn/nsfc/cen/xmzn/2013xmzn/xxgd.html>。