

文章编号:1005-8907(2010)02-146-04

时频分析精细划分欢喜岭地区地层层序

董洁¹ 陈世悦¹ 袁波²

(1.中国石油大学地球资源与信息学院,山东 东营 257061;2.新疆油田分公司勘探开发研究院,新疆 乌鲁木齐 830011)

基金项目:中国石油天然气股份公司“油气勘探超前共性科技项目”(07-01C-01-04)资助

摘要 高精度层序地层学研究的关键是各级层序界面的识别与确定。时频分析技术与传统的层序划分方法相比,具有一定的优越性,该技术可以将微小沉积旋回体的时频差异显示出来,减小人为因素的影响,为高精度层序地层的定量划分提供依据。文中以辽河西部凹陷欢喜岭-鸳鸯沟地区高精度层序地层格架建立为例,综合运用研究区地震和测井资料,借助测井连续小波变换和地震时频分析技术来确定具有等时意义的层序界面。应用结果表明,利用测井连续小波变换和地震时频分析技术进行层序旋回划分是较为可靠和实用的,辽河凹陷欢喜岭-鸳鸯沟地区沙河街组共发育5个具有等时意义的层序界面,可以将其划分为6个三级层序。

关键词 时频分析;高精度层序地层;沉积旋回;小波变换

中图分类号:P631

文献标识码:A

Fine classification of stratigraphic sequence with time-frequency analysis in Huanxiling Area

Dong Jie¹ Chen Shiyue¹ Yuan Bo²

(1.Faculty of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, China; 2.Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, CNPC, Urumqi 830011, China)

Abstract: The key of high-resolution sequence stratigraphy study is the identifying and ascertaining of each sequence boundary. Compared with the methods of conventional sequence dividing, time-frequency analysis technology exhibits the superiority in showing the time-frequency difference of small sedimentary cycles, which decreases the influence of human factor and provides the reference for the quantitative division of high-resolution sequence stratigraphy. Taking high-resolution sequence stratigraphy framework, established in Huanxiling-Yuanyanggou Area in the western depression of Liaohe, as an example, this paper confirms the isochronic sequence boundaries by the seismic time-frequency analysis method and logging continuous wavelet transform technique in terms of seismic and well logging data. The research result shows that it is reliable and practical to divide the sequence and cyclic through the utilizing of the method and technique. Five isochronic sequence boundaries have been developed in Shahejie Formation of Huanxiling-Yuanyanggou Area, which can be divided into six third-order sequences.

Key words: time-frequency analysis, high-resolution sequence stratigraphy, sedimentary cycle, wavelet transform.

传统的高分辨率层序划分法,主要是依据各级层序界面在钻井剖面上的识别标志,以及测井、地震上的响应特征定性进行的^[1-2],具有一定的局限性,人为因素影响很大。近几年发展起来的时频分析技术^[3-8],在层序地层学界面的识别中,能起到很好的辅助作用,它综合地质、测井和地震资料,将一维的时间域测井数据或地震数据变换到二维时频域,实现信号时频局部化,提取地层的时频特征,进而获得有关层序的旋回性等地质信息。

1 区域地质概况

辽河盆地位于华北地台东北隅,属渤海湾裂谷系的北部分支,属新生代大陆裂谷盆地。研究区位于西部凹陷中南段(见图1),为辽河油田的重点探区之一,具有十分优越的石油地质条件。该区基底为太古界、中生界,沉积地层从下至上依次为房身泡组、沙河街组、东营组及新近系,其中沙河街组是该区主要的油气富集层位。沙河街组四段沉积时期为裂谷张裂期;沙三段沉

引用格式:董洁,陈世悦,袁波.时频分析精细划分欢喜岭地区地层层序[J].断块油气田,2010,17(2):146-149.

Dong Jie, Chen Shiyue, Yuan Bo. Fine classification of stratigraphic sequence with time-frequency analysis in Huanxiling Area[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2010, 17(2):146-149.

积时期为裂谷深陷期,具有较大的油气勘探潜力;沙二段沉积时期湖盆水域面积变小,湖泊水动力增强;沙一段沉积期进入稳定沉降期,以浅湖沉积为主。

2 层序地层划分

沉积物在沉积过程中具有周期循环的特点,其岩性、粒度、层理厚度的变化亦具方向性,这种薄层结构特征变化的方向性,决定了其物理响应中频率成分的不同,通过对测井数据进行连续小波变换和对地震道记录进行三维时频分析^[9],局部放大凸显突变点,进而识别各级层序界面,建立工区地层格架。

2.1 基于测井资料的小波变换及层序划分

测井信号纵向分辨率高,提供的地层各种岩性参数的常规信号(电阻率、自然伽马等)具有旋回性特点,是海平面、气候等周期性变化的一种反映。由多个不同周期沉积旋回叠加的测井曲线,通过小波变换,将其中的频率结构展示出来,同时探测到各个频率段之间的突变点或突变区域,揭露地质上形成环境的变化。研究表明,经过小波变换后,通过考察多种伸缩尺度的周期性震荡特征,可与各级层序界面建立一定的对应关系,作为测井层序分析的依据。

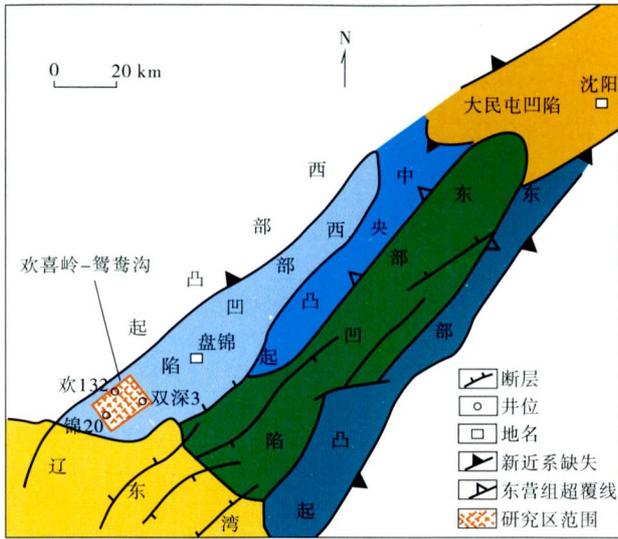


图 1 工区位置及构造

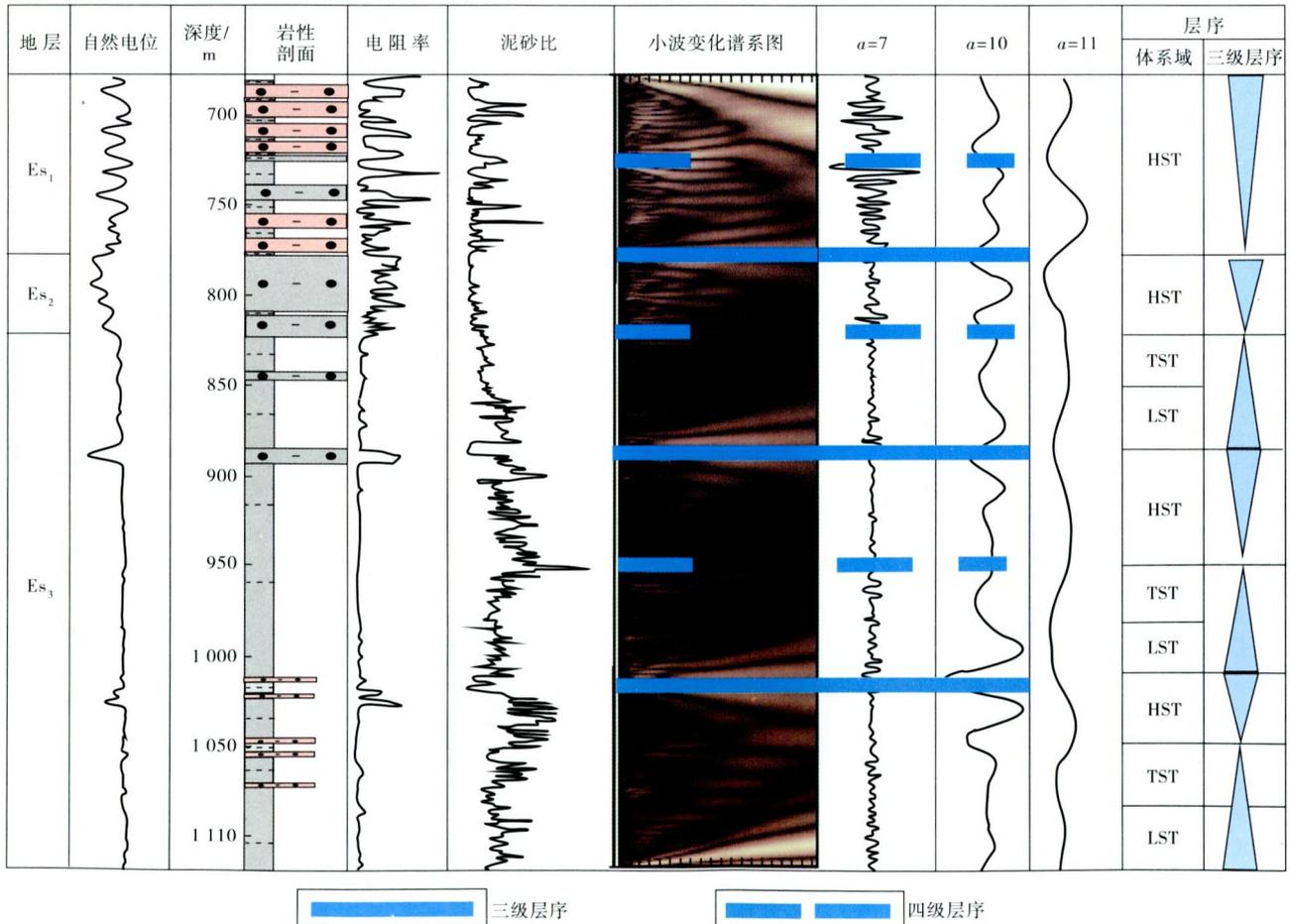


图 2 欢 617 井高精度层序地层划分综合柱状图

在陆相碎屑岩沉积中,自然伽马、视电阻率和自然电位曲线都能够较好地反映地层泥砂质量分数的变化,对测井数据进行小波变换,可以将存在差异的微小沉积旋回体识别出来。以研究区欢 617 井为例(见图 2),对自然电位曲线进行采样,采样间距为 0.27 m,采样点数为 1 600 个。应用 Matlab 软件对视电阻率采样数据进行 Morlet 一维连续小波变换,得到谱系图,一维连续小波变换求出尺度 a 为 7,10,11 的系数曲线。

从尺度 $a=7$ 和 $a=10$ 的 2 条系数曲线观察到,欢 617 井沙河街组地层中小波系数曲线存在 3 个明显的界限,即在横轴采样点序数 796(778 m)、1660(886 m)和 2652(1 010 m)处,它们将整个目的层段分成四大部分。在尺度 $a=10$ 的系数曲线每一部分表现出一个完整的长周期振荡旋回,这与单井的三级层序地层单元相吻合;在尺度 $a=7$,还可以区分出中短周期的振荡旋回,可以作为体系域的划分标志。

层序界面标定后,建立欢 617 井高精度层序地层划分综合柱状图(见图 2),图中小波变换谱系图颜色由浅到深代表小波系数从高值到低值,相应的频率由低值到高值的变化。沙三中下部是连续性较好的 2 个完整旋回,在谱系图中一个完整的三级层序显示为频率由低值到高值再到低值的变化。其他 3 个三级层序不完整是由于欢 617 井处于盆地的边缘,后期盆地抬

升遭受改造所致。在每一个三级层序的完整旋回体中,频率由低值到高值再到低值的变化,可以从中进行四级准层序组的划分,频率由低值到高值,对应着低水位体系域(LST)和水进体系域(TST),频率由高值到低值,对应着高水位体系域(HST),体系域的级别与准层序组相当。

通过小波变换的应用,最终将欢 617 井划分出 4 个三级层序,对研究区内其他井进行层序划分的结果基本一致,说明利用小波变换划分三级层序比较可靠,可以作为沙河街组地层层序细分的有力证据。

2.2 基于地震资料的时频分析及层序划分

地震资料中地震波频率可以反映沉积岩石体的厚度和沉积岩颗粒的粗细,低频信息对应颗粒较粗的岩石成分或沉积厚度较大的地层,高频信息对应颗粒较细的岩石成分或沉积厚度较薄的地层。根据旋回性质,可以分为正向旋回、反向旋回和混合型旋回;分别对应水进型旋回、水退型旋回和水进—水退或水退—水进型旋回^[10]。

本次研究选取了欢喜岭—鸳鸯沟地区垂直于构造走向的一条连井地震时频剖面:欢 627—欢 617—欢 59—欢 141—欢 120—欢 42—欢 3(见图 3)。以图 3 中欢 617 井为例,地震时频旋回柱的沙三段下部和中部(SQ2、SQ3)有 2 个完整的进积—退积型旋回,显示为

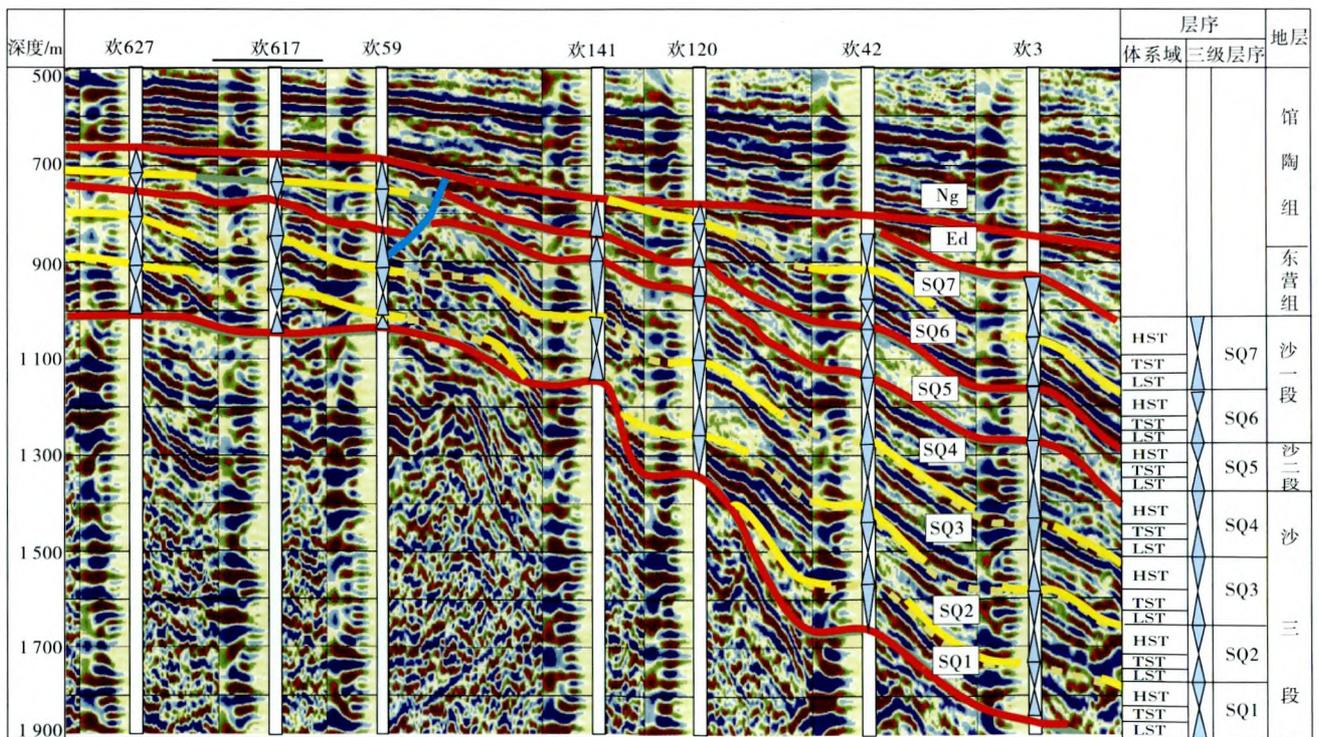


图 3 欢 627—欢 3 连井地震时频剖面

相对的低频到高频再到低频的频率变化;与单井泥砂比曲线和测井曲线小波时频变换结果相吻合,相当于层序二和层序三;沉积物颗粒呈粗—细—粗的变化趋势,相应的地层层理厚度变化为厚—薄—厚,层序一在此处不发育。沙三段上部为退积型旋回,显示为相对的低频到高频,缺失进积型旋回,是由于后期的地层抬升,使层序四的高水位体系域被剥蚀掉,与上覆地层呈不整合接触。

沙二段在时频旋回柱上显示为相对的低频到高频,这种特征在全区西斜坡上台阶到下台阶洼陷处一样,为一个退积型旋回。发育了层序五的低水位体系域和水进体系域。与单井泥砂比曲线和测井曲线小波变换结果大体一致,与自然电位曲线小波变换有点出入,显示为进积型旋回,可能是由于欢 617 井位于西斜坡的上台阶,沙二段地层相对较薄,经受后期的构造改造影响所致。

沙一段在时频旋回柱上为一个退积型旋回,显示为相对的低频到高频,对应着层序六的低水位体系域和水进体系域。沙一段的层序七,在此处由于后期的地层抬升、剥蚀而不存在。

3 结论

1)小波分析的突出优点是可以通过小取样步长刻画信号高频部分的任意微小细节,减少人为因素的影响,通过小波变换可识别出微小差异的沉积旋回体,精确标定三级、四级和五级层序。

2)通过单井与连井地震剖面时频分析,点线结合识别地层旋回性,精细划分地层层序,可精细识别到四级准层序组,具有非常好的可操作性和实用性。

3)借助测井小波时频变换和地震时频分析,结合泥砂比、取心等资料确定欢喜岭—鸳鸯沟地区沙河街组共发育 6 个三级层序(SQ1—SQ6),其中 SQ2 相当于沙四段上部,SQ3、SQ4 和 SQ5 分别与沙三段下、中、上亚段相对应,SQ6 相当于沙二段和沙一段下部,SQ7 相当于沙一段中上部。

参 考 文 献

- [1] 夏雨,陈世悦,杨俊生.准噶尔盆地乌夏地区二叠系层序地层特征研究[J].断块油气田,2008,15(1):18-21.
Xia Yu,Chen Shiyue,Yang Junsheng. Sequence stratigraphy characteristics of Permian in Wuxia Area,Junggar Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field,2008,15(1):18-21.
- [2] 朱永进,刘玲利,赵睿,等.普光气田飞仙关组层序地层划分[J].断块油气田,2009,16(2):1-4.

- Zhu Yongjin,Liu Lingli,Zhao Rui,et al. Sequence stratigraphic classification of Feixianguan Formation in Puguang[J]. Fault-Block Oil & Gas Field,2009,16(2):1-4.
- [3] 蔡希源,李思田.陆相盆地高精度层序地层学[M].北京:地质出版社,2003.
Cai Xiyuan,Li Sitian. High-resolution sequence stratigraphy of continental sedimentary basin[M]. Beijing:Geology Publishing House,2003.
- [4] 张军华,王永刚,杨国权,等.地震旋回体的概念及应用[J].石油地球物理勘探,2003,38(3):281-284.
Zhang Junhua,Wang Yonggang,Yang Guoquan, et al. Concept and application of seismic cycle characteristics [J]. Oil Geophysical Prospecting,2003,38(3):281-284.
- [5] 余继峰,李增学.测井数据小波变换及其地质意义[J].中国矿业大学学报,2003,32(3):336-339.
Yu Jifeng,Li Zengxue. Wavelet transform of logging data and its geological significance[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2003,32(3):336-339.
- [6] 董波.时频分析在地层旋回性分析中的应用[J].华北地震科学,2004,22(4):16-19.
Dong Bo. The application of time-frequency analysis in the study of strata cyclicity [J]. North China Earthquake Sciences,2004,22(4):16-19.
- [7] 胡受权,郭文平,邵荣松.泌阳断陷下第三系上段高频层序中米兰柯维奇天文旋回信息[J].矿物岩石,2000,20(3):29-34.
Hu Shouquan,Guo Wenping,Shao Rongsong. The information of milankovitch orbit cycle in high frequency of the upper member of Eh3 in Biyang fault-depression[J]. Journal of Mineralogy and Petrology,2000,20(3):29-34.
- [8] 刘葵,刘招君,朱建伟,等.时频分析在石油地球物理勘探中的应用[J].世界地质,2000,19(3):282-285.
Liu Kui,Liu Zhaojun,Zhu Jianwei,et al. Application of time-frequency analysis in geology [J]. World Geology,2000,19(3):282-285.
- [9] 吴国忱,康仁华,印兴耀.三维时频分析方法在地震层序分析中的应用[J].石油大学学报:自然科学版,2000,24(1):81-84.
Wu Guochen,Kang Renhua,Yin Xingyao. Application of 3D time-frequency analysis method to seismic sequence analysis [J]. Journal of the University of Petroleum,China;Edition of Natural Science,2000,24(1):81-84.
- [10] 李乐天,译.层系结构解释中地震资料时间谱分析方法[J].国外油气勘探,1990,2(1):56-64.
Li Letian,translated. The method of seismic spectrum analysis in structural explanation of series of strata [J]. Oil & Gas Exploration Overseas,1990,2(1):56-64.

收稿日期:2009-05-18;改回日期:2010-01-05。

作者简介:董洁,女,1984年生,在读硕士研究生,研究方向为沉积学及岩相古地理。E-mail:upcbfq@126.com。

(编辑 王淑玉)