文章编号:1673-5005(2008)06-0001-05

基于小波变换基准面恢复的砂砾岩期次划分与对比

鲜本忠^{1,2},王永诗3

(1.中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249; 2.中国石油大学 资源与信息学院,北京 102249;
 3.中石化胜利油田 地质科学研究院,山东 东营 257015)

摘要:针对砂砾岩地层古生物标志及标志层缺乏、地层划分对比困难的问题,初步探索出一种在地质背景和复合基 准面原则约束下,利用测井曲线小波变换时频分析进行砂砾岩体沉积基准面恢复,进行其期次细分及井间对比的方 法。以渤海湾盆地车镇凹陷北部陡坡带广泛发育的砂砾岩体为例,通过对三、四级基准面曲线的恢复,有效地实现 了井间等时地层对比。研究表明,自然伽马或声波时差等测井信号小波变换后得到的多尺度小波系数周期性的振 荡特征与各级层序旋回具有较好的对应关系,其高频成分的多级叠加可以较好地反映基准面变化特征,指导砂砾岩 体期次的精细划分与对比。

关键词:小波变换;测井信号;沉积基准面;层序地层;砂砾岩;车镇凹陷中图分类号:P 539.2 文献标识码:A

Division and correlation of glutenite sedimentary cycles based on base-level restoration using wavelet transform

XIAN Ben-zhong^{1,2}, WANG Yong-shi³

State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
 School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
 Geological Scientific Research Institute, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257015, China)

Abstract: Strata division and correlation is difficult for glutenite lacking paleaobiological fossils and lithological marker horizons. A new method of division and correlation of glutenite's sedimentary cycles based on the base-level restoration using wavelet transform of logging data was preliminarily put forward according to geological setting and composite base-level principle. Taking Chezhen depression in Bohai Bay Basin as an example, the 3rd and 4th base-level curves were restored and isochronous sequence stratigraphy correlation between different wells was realized. The results show that the periodical vibrancy of multi-scale wavelet coefficient resulted from wavelet transform of gamma ray log or interval transit time logging data respond to different scale sequence cycles, and the composite of high-frequency wavelet coefficients represent the base-level change characteristics and may be used to classify and correlate glutenite sedimentary cycles.

Key words: wavelet transform; logging data; sedimentary base level; sequence stratigraphy; glutenite; Chezhen depression

在中国东部中一新生代和西部古一中生代含油 气盆地碎屑岩储层中,砂砾岩(泛指砾岩、含砂砾岩 和含砾砂岩,下同)储层分布广泛^[13]。随着勘探的 深入,砾岩体的油气勘探开发得到广泛重视,也取得 了巨大突破^[33]。因为砂砾岩体中生物化石缺乏,传 统的生物化石结合岩电关系进行地层划分的方法不 再适用,且岩层厚度大,岩性差异不明显,横向全区 对比难。因为地层划分与对比是沉积、构造和油藏 描述、开发方案设计的基础,沉积期次的精细划分和 对比已成为当前制约砂砾岩油气藏勘探开发的瓶颈 技术。目前在对砾岩体的构造描述时,只能粗略地 描述其包络面形态特征,无法描述其内部结构及由

收稿日期:2008-06-18

基金项目:国家科技攻关项目(2003BA613A-02)和山东省自然科学基金项目(Q2003E01)。

作者简介:鲜本忠(1973-),男(汉族),重庆涪陵人,副教授,博士,从事沉积学与层序地层学方面的研究。

其形成的多个流动单元^[6]。前人对砂砾岩体期次 划分的研究中,曾尝试过地震时频分析等技术^[78]。 由于这种技术依赖于地震信号分辨率,对深层及砂 砾岩等复杂岩性的分辨率很低,难以满足油气勘探 开发的需要。近年来,通过测井曲线小波变换和沃 尔什变换开展常规砂泥岩层序地层自动划分研究取 得较大进展^[9-11]。笔者在三维地震资料和宏观地质 背景分析的基础上,利用特定测井信号小波变换恢 复各井沉积基准面曲线,在单井标定和三维地震三 级层序解释的基础上进行砂砾岩体期次的精细划分 和井间对比。

1 测井信号小波变换恢复基准面

1917 年 Barrel 指出地层层序是基准面穿越地 表上升与下降运动过程的地质记录^[12-13]。沉积基 准面为分隔沉积作用和侵蚀作用的理论均衡面^[14], 地形、海平面升降、基底沉降、沉积物补给等速率的 变化导致基准面变化。基准面的升降变化对层序地 层的发育模式具有直接地控制作用,在基准面变化 的时间域内,可供沉积物堆积的可容纳空间在不断 变化,由此导致沉积物的保存、剥蚀、过路不留和非 补偿等 4 种地质作用的发生,反映了地球表面与力 求其平衡的地表过程间的不平衡程度^[15]。

恢复沉积基准面曲线,有助于进行层序地层划 分对比、层序级别确定、盆地的构造和沉积演化史分 析^[16]。但是,基准面恢复难度很大,近年来部分学 者利用构造沉降分析^[17]、费希尔图解法^[18]对其恢 复方法进行了有益探索。对米兰柯维奇周期的研究 表明,气候的周期变化记录于沉积地层中,反映在碎 屑岩的厚度、粒度、丰度、有机质含量及沉积物的结 构上^[18-19]。这为用数学方法从测井曲线中识别基 准面提供了依据。

1.1 砂砾岩测井响应及测井曲线选择

测井数据中蕴藏着丰富的地质信息,可从不同 侧面反映海平面变化、古环境、古地理、古气候等地 层形成条件和影响因素。笔者利用自然伽马测井 (GR)和声波时差(Δt)数据进行小波分析。

按照充填物粗细、成分、含量的多少,本区砂砾 岩分为3类:细砾石充填砾岩 GR 值低、孔隙大,自 由流体含量高;砂砾充填砾岩中基质主要由大小混 杂的砾石和各种不同粒级的砂粒组成,GR 值较高, 孔隙较小,自由流体含量较低;砂泥质充填砾岩中泥 质含量增高,泥、砂、砾混杂堆积,分选极差,GR 值 高,孔隙小,自由流体含量低^[20]。由于砂砾岩沉积 剖面中杂基和泥质含量对沉积环境变化敏感,分析 GR 值在砂砾岩剖面中的周期性变化特征,实际上 就是分析沉积环境演化的周期性变化,所以 GR 曲 线能用来进行高频地层旋回性研究^[17]。

由于岩石物理性质的差异,不同类型的砂砾岩 中声波传播速度存在较大差异,这在 Δt 曲线上有明 显体现。石油地质研究中, Δt 曲线常用来研究岩石 的孔隙度。在正常埋藏压实条件下, Δt 对数与其深 度呈线性关系。随埋深增大,孔隙度和 Δt 值减小。 这一关系常造成一种误解,认为孔隙度(或 Δt 值) 是埋深的函数,事实上,沉积岩孔隙度的变化主要是 机械压实的结果,除埋深所体现的负荷压力因素外, 沉积环境、沉积速率、沉积物粒度、岩石组合情况、排 液条件等都对压实效应产生重要影响,因此,利用 Δt 数据研究探测其形成环境的演化规律也是理想 的选择^[21]。

1.2 基准面恢复的思路和方法

基准面恢复的技术流程如下:

(1)选择资料较全、研究程度较高的关键井,根据地震、测井、岩心及成像测井等资料进行层序地层初步划分,识别二、三级层序界面。

(2)选择合适母小波对关键井自然伽马(GR)、 声波时差(Δt)等测井信号进行连续或离散小波变换处理,输出深(时)频图谱及高、低频小波变换系数。

(3)根据地震等层序划分结果,结合时频谱图 初步确定各级层序界面,总结不同旋回的频谱特征 及模型,初步判断不同尺度变换系数的层序地层旋 回意义,识别出对应二、三、四、五级层序旋回的高频 小波变换系数。

(4)在此基础上,对其余井的测井信号进行小 波变换处理和特征小波变换系数提取,根据复合基 准面原则利用不同高频小波系数进行基准面曲线恢 复(图1)。

上述讨论中引入了复合基准面的原则。通常认 为,基准面变化曲线是一条不同频率成分叠加在一 起的复合曲线,且长波信号的幅度远大于短波信号, 变化快的低幅信号显示不清或根本显示不出来^[16]。 Mitchum 等^[22]用不同周期和振幅的正弦曲线相叠 加的模型阐述了不同级别海平面旋回的叠加,认为 具有较小振幅的高频四级或五级旋回和具有较大振 幅的低频三级旋回进行叠加,得到的复合曲线保留 了低频三级旋回的基本形态,又反映了高频旋回较 小幅度的振动。笔者对应用较广的二、三级沉积基 准面进行恢复,并根据基准面曲线中旋回的级别和 幅度实现不同等级的等时地层单元的逐级对比。



图1 利用测井曲线小波变换 恢复基准面的技术流程



1.3 测井信号小波变换分析

小波变换是一种在傅氏变换的基础上发展起来 的数学理论和方法,它克服了傅氏变换时域分辨力 差的缺点,在时域和频域同时具有较好的局部化特 性,因而特别适于处理时变信号^[23]。小波变换具有 多分辨率(多尺度)和利于检测信号的瞬态或奇异 点的特点,其意义在于将一维的时间函数展布为一 个二维参数空间(a, b),从而形成一种能在时间 (或空间)坐标位置 b 和尺度(时间周期或空间范 围)a上具有变化的相对振幅的一种度量。小波系 数的数值揭示了小波函数与时间函数的相似程度, 其实质可理解为要分析的函数与小波的协方差。

以渤海湾盆地车镇凹陷车古 25 井为例说明利 用小波变换的方法。利用 MATLAB 环境下编程对 其 CR 进行小波变换分析,得到基于 morlet 或 db5 为小波母函数的 3.75 ~ 5.0 km 的 GR 数据和不同 尺度下的低、高频小波系数重构曲线(图 2)。

其中,低频成分体现了信号自身的特征,而高频 成分则与噪声或扰动联系在一起。通过小波变换过 程,可以将原始信号的高频成分和低频成分分解开, 同时分解出来的低频成分能够继续分解为次一级的 低频成分和高频成分。如此往复,一个长度为 N 的 信号,最多可以分解为 log₂N 层。该井 3.75~5.0 km 的 CR 共6002 个信号(每隔 0.125 m 一个),最 多可以分解为 12 层。

车古 25 井资料丰富,具有连续 FMI 成像测井 和大量常规测井资料。在成像测井及岩心标定下, 利用三维地震资料层序地层解释结果,结合小波变 换给出的时频谱图特征,可以对其进行各级层序界 面识别,将沙河街组划分为3个二级层序和6个三 级层序。其中,沙三段和沙四段各为一个二级层序, 沙三段又可分为沙三下、沙三中2个完整的三级旋 回和沙三上1个不完整的三级旋回。结合该井小波 变换输出的高频小波系数特征,可以初步确定其第 12,11,9,7 尺度的高频小波系数分布具有二、三、 四、五级(层序)旋回的地质意义。



Fig. 2 GR logging data and its high and low frequency wavelet transform coefficients character of well Chegu 25

1.4 基准面的恢复

有了上述关于几个尺度高频小波系数的沉积旋 回意义的认识后,可依据复合基准面原则进行基准 面恢复。为了进一步验证和推广该基准面恢复方 法,对车镇凹陷多井进行了基准面的恢复,发现该方 法具有普遍有效性,尤其是对利用传统的生物化石 与岩电关系非常难以划分地层或沉积旋回的砂砾岩 体发育区仍然有效,这为砂砾岩体沉积旋回的精细 划分、内部结构的准确解剖提供了重要的方法支持。 下面以位于砂砾岩体发育区的车古 26 井为例进行 基准面的恢复(图3)。

车古 26 并位于渤海湾盆地车镇凹陷北部陡坡 带车 3 鼻状构造内,于 3.683 km 处钻穿古近系进入 太古界片麻岩地层。除了底部 3.62 ~ 3.683 km 为 断层角砾岩沉积,上部 2.0 km 以下砾岩广泛发育, 井深 2.0 ~ 3.683 km 井段间砾岩累积厚度在 1.2 km 左右,尤其是 2.4 ~ 2.93 km 井段,砾岩单层厚度 大,泥岩隔层薄而少。

通过对尺度参数的缩放,可以对三级旋回(层 序)内部进行次级的四级、五级旋回的识别^[24]。对 车古 26 井的测井曲线小波变换研究表明,该井 1.98~3.71 km 井段可以识别出 2 个二级旋回、5 个 三级旋回、19 个四级旋回、76 个五级旋回,第 12, 11,9,7 尺度的小波变换系数可以分别代表二、三、 四、五级沉积旋回。两个二级旋回对应于砂砾岩与 红层泥岩发育的沙四段和厚层砾岩夹少量薄层灰色 泥岩的沙三段两个二级层序,可以进一步划分为5 个三级层序(图3)。







利用本文基准面恢复的思路,将具有三级旋回 意义的第11尺度小波变换系数扩大3倍振幅后和 比其低级的第9尺度小波变换系数进行叠加,恢复 了代表三级沉积基准面旋回的复合曲线(图3左数 第5条曲线)。叠加后的曲线保持了长周期波的基 本形态,又体现了短周期波的波动特征。同理,也可 以进行四级沉积基准面曲线的恢复(图3左数第6 条曲线)。恢复出来的基准面曲线的基本形态与 d9 曲线相似,但加入了 d7 曲线的特征,表现出清晰的 周期性和小幅振荡性。

基准面约束下的砂砾岩体沉积期次 划分与对比

利用上述基准面恢复的方法,可以对多口井的 测井曲线进行沉积基准面的恢复,从而可实现基准 面约束下的等时性地层对比和层序内部结构的认 识,尤其是有助于解决长期约束砂砾岩体油气勘探 与开发的砂砾岩体等特殊岩性体沉积旋回划分对 比^[25]和内部结构解剖的问题。

图4 为在基准面约束下,车古 25 井和车古 26 井沙三段、沙四段地层的精细对比结果(碍于图件 制作精度,仅给出了二、三、四级层序单元的对比结 果)。 由于车古 26 井位于鼻状构造的高部位,而车古 25 井位于车西洼陷的深洼区,前者存在早期地层缺 失现象。受两井所处地势高差的控制,车古 25 井沙 三下地层可识别出 2 个三级旋回,而车古 26 井仅可 识别出 1 个明显的三级旋回。此外,车古 25 井沙三 上、沙三中地层也比车古 26 井多发育 1~2 个准层 序组。但是,沙四段地层的发育情况与上述差别明 显,车古 26 井沙四段地层厚度较大,且沙四上地层 中比车古 25 井多发育 1 个准层序组,说明在沙四段 沉积时期,车古 26 井所处地势较车古 25 井相对较 低,到沙四段沉积后,车古 25 井区开始快速沉降,才 开始真正成为深洼区。





3 结 论

(1)通过恢复沉积基准面曲线,可以进行层序 地层划分、层序级别确定、井间层序对比和盆地的构 造、沉积演化史分析。

(2)测井信号小波变换后得到的多尺度小波系数周期性振荡特征,与各级层序旋回具有一定的对应关系,小波变换分解出的高频成分的叠加可以较好地反映基准面的变化特征。

(3)渤海湾盆地车镇凹陷古近系第 11,9,7 层 高频成分小波系数的变化周期分别与三、四、五级层 序旋回相对应。

参考文献:

- [1] 赵澄林,刘孟慧,胡爱梅,等.特殊油气储层[M].北 京:石油工业出版社,1997:153-183.
- [2] 李嵘. 准噶尔盆地西北缘二叠系储层特征及分类[J]. 石油与天然气地质, 2001,22(1):78-81.

LI Rong. Characteristics and classification of Permian reservoirs in northwestern margin of Junggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001,22(1):78-81..

[3] 雷振宇,卞德智,杜社宽,等.准噶尔盆地西北缘扇体形成特征及油气分布规律[J].石油学报,2005,26
 (1):8-12.

LEI Zhen-yu, BIAN De-zhi, DU She-kuan, et al. Characteristics of fan forming and oil-gas distribution in westnorth margin of Junggar Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005,26(1):8-12.

- [4] 李丕龙. 陆相断陷盆地油气地质与勘探(卷二)[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
- [5] 何玲娟, 乔文龙, 张明. 典型逆掩断裂带油气富集规 律与准噶尔盆地西北缘勘探思路[J]. 新疆地质, 2003,21(3):321-324.

HE Ling-juan, QIAO Wen-long, ZHANG Ming. The regularity of hydrocarbon-rich in typical overthrust fault zone and idea for exploration of northwesten margin of Junggar Basin[J]. Xinjiang Geology, 2003,21(3):321-324.

- [6] 于建国. 砂砾岩体的内部结构研究与含油性预测[J]. 石油地球物理勘探,1997,32(增1):15-20.
 YU Jian-guo. Study on inner structure and oil-bearing prediction of sandstone and conglomerate bodies[J]. Oil Geophysical Prospecting,1997,32(sup 1):15-20.
- [7] 刘传虎,刘福贵,李卫忠.时频分析方法及在储层预测中的应用[J].石油地球物理勘探,1996,31(增1):
 11-20.

LIU Chuan-hu, LIU Fu-gui, LI Wei-zhong. Time-frequency analysis and its application on reservoir prediction [J]. Oil Geophysical Prospecting, 1996, 31 (sup 1):11-20.

- [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 Zhao-jun, ZHU Jian-wei, et al. Application of time-frequency analysis in geology[J]. World Geology,2000,19(3):282-285.
- [9] 房文静,范宜仁,邓少贵,等. 高斯小波用于测井层序 地层自动划分的研究[J]. 中国石油大学学报:自然科 学版, 2007,31(2):55-58,72.
 FANG Wen-jing, FAN Yi-ren, DENG Shao-gui, et al. Application of Gauss wavelet to demarcate log stratigraphic sequence automatically[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2007,31 (2):55-58,72.
- [10] 史清江,王延江,孙正义,等.小波变换和沃尔什变 换在测井曲线分层中的联合应用[J].中国石油大学 学报:自然科学版,2006,30(2):138-142.
 SHI Qing-jiang, WANG Yan-jiang, SUN Zheng-yi, et

al. Joint application of wavelet transform and Walsh transform for automatic segmentation of well logs [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006,30(2):138-142.

- [11] 杨怀宇,陈世悦,刘继山,等.准噶尔盆地乌-夏地区二叠系夏子街组层序格架[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(3):1-6. YANG Huai-yu, CHEN Shi-yue, LIU Ji-shan, et al. Sequence framework in Xiazijie formation of Permian in Wu-xia area of Junggar Basin[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2008, 32(3):1-6.
- BARRELL J. Criteria for the recognition of ancient delta deposits [J]. Geological Society of American Bulletin, 1917,23(3):377-446.
- [13] CROSS T A, LESSENGER M A. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high resolution stratigraphic correlation [M]//GRAD-STEIN F M, SANDVIK K O, MILTON N J. Sequence stratigraphy concept and applications. Amsterdam: Elsevier, 1996;171-196.
- [14] CROSS L L. Sequences in the cratonic interior of North America [J]. Geological Society of American Bulletin, 1963,74(2):93-114.
- [15] CROSS T A, HOMEWOOD P W. Amanzgressly'role in founding modern stratigraphy [J]. Geological Society of American Bulletin, 1996,109(12):1617-1630.
- [16] 邓宏文,王洪亮,李熙吉. 层序地层地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3):177-183.
 DENG Hong-wen, WANG Hong-liang, LI Xi-ji. Recognition, correlation technique of base-level and its application[J]. Oil and Gas Geology, 1996, 17(3):177-183.
- [17] 秦玉娟, 贾振远, 蔡忠贤. 海平面变化定量研究[J].
 地球科学——中国地质大学学报,1997,22(5):460-465.

QIN Yu-juan, JIA Zhen-yuan, CAI Zhong-xian. Quantitative study of sea level change [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 1997, 22 (5):460-465.

[18] 樊太亮,李庆谋. 沉积基准面变化分析技术及其应用[J]. 石油与天然气地质, 1997,18(2):108-114.
 FAN Tai-liang, LI Qing-mou. Analysis techniques of sedimentary base-level and their application [J]. Oil and Gas Geology, 1997,18(2):108-114.

(下转第11页)

度及朝阳沟注水油田低渗透储层结垢问题[J].油田 化学,2003,20(1):4-6.

ZHAO Zi-gang, XU Qi, SHI Lian-jie, et al. Solubilily of CaCO₃ in water at high temperatures and high pressures and scaling problems in water flooding low permeable reservoirs of Chaoyanggou in Daqing [J]. Oilfield Chemistry, 2003,20(1):4-6.

 [4] 下士举. 低渗透储层含油性分析[J]. 油气井测试, 2004,13(1):66-69.
 BIAN Shi-ju. Analysis for oil content of low permeability

reservoirs[J]. Well Testing,2004,13(1):66-69.

[5] 王夕宾,钟建华,王勇. 濮城油田南区沙二上 4-7 砂 层组低渗透储层流动单元研究[J].中国石油大学学 报;自然科学版,2006,30(1);12-16.

WANG Xi-bin, ZHONG Jian-hua, WANG Yong. Characteristics and genesis of low-permeability eservoir, 4-7 sand sets of the upper 2nd member of Shahejie group in south of Pucheng Oilfield [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006, 30(1): 12-16.

[6] 张绍东,王绍兰,李琴,等.孤岛油田储层微观结构特 征及其对驱油效率的影响[J].石油大学学报:自然科 学版,2002,26(3):47-54.

ZHANG Shao-dong, WANG Shao-lan, LI Qin, et al. Characteristics of reservoir and their effects on oil displacement efficiency in Gudao Oilfield[J]. Journal of the

(上接第5页)

- [19] GOLDHAMMER P K, DUNN P A, HARDIE L A. High-frequency glacio-eustatic sea level oscillations with Milankovitch characteristics recorded in middle Triassic platform carbonates in northern Italy [J]. American Journal of Science, 1987,287(9):853-892.
- [20] 吕希学,肖焕钦,田美荣,等.济阳坳陷陡坡带砂砾 岩体储层测井识别及描述技术[J].浙江大学学报: 理学版,2003,30(3):332-336.

LU Xi-xue, XIAO Huan-qin, TIAN Mei-rong, et al. On the well-logging identification and description technique of the glutinite reservoir bed in the escarp regions of Jiyang depression [J]. Journal of Zhejiang University(Science Edition), 2003,30(3):332-336.

- [21] 周瑶琪,吴智平.地层间断面的时间结构研究[M]. 北京:地质出版社,2000:4-23.
- [22] MITCHUM R M J, van WAGONER J C. High-frequency sequences and their stacking patterns: sequencestratigraphic evidence of high —frequency eustatic cycles [1]. Sediment Geol, 1991,70(2):131-164.
- [23] 余继峰,李增学. 测井数据的小波变换及其地质意义

University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002,26(3):47-54.

- [7] 郑浚茂,庞明.碎屑储集岩的成岩作用研究[M].武 汉:中国地质大学出版社,1989.
- [8] 徐北煤,卢冰. 硅质碎屑岩中碳酸盐胶结物及其对储 集层的控制作用的研究[J]. 沉积学报,1994,12(3): 56-66.

XU Bei-mei, LU Bing. The study of diagenetic carbonate in siliciclsastic rock and it's control on the reservoir[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994,12(3):56-66.

[9] 庄松生, 左燕春, 黎琼. 苏北溱潼凹陷戴南组二段成岩 作用与次生孔隙预测[J]. 矿物岩石, 1998, 18(4):64-71.

> ZHUANG Song-sheng, ZUO Yan-chun, LI Qiong. Diagenesis and predictioning secondary pore for second member of Dainan formation in Qintong depression of north Jiangsu province [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1998, 18(4):64-71.

[10] 游俊,郑浚茂. 黄骅坳陷中北区深部储层物性影响因素分析[J]. 现代地质,1999,13(3):350-354.
 YOU Jun, ZHENG Jun-mao. Factors of affecting the reservoir physical properties of deep strata in the Huanghua depression [J]. Geoscience, 1999,13(3):350-354.

(编辑 徐会永)

[J]. 中国矿业大学学报,2003,32(3):34-38.

YU Ji-feng, LI Zeng-xue. Wavelet transform of logging data and its geological significance [J]. Journal of China University of Mining Technology, 2003,32(3):34-38.

[24] 李江涛, 余继峰, 李增学. 基于测井数据小波变换的 层序划分[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(2):48-50.

> LI Jiang-tao, YU Ji-feng, LI Zeng-xue. The demarcating of stratigraphic sequence based on wavelet transform of well-logging data [J]. Coal Geology & Exploration, 2004,32(2):48-50.

[25] 孙永壮.东营凹陷胜坨地区沙河街组沉积体系及其 油气源特征[J].中国石油大学学报:自然科学版, 2006,30(6):24-30.

> SUN Yong-zhuang. Depositional system and its hydrocarbon characteristics of Shahejie group of Shengtuo region in Dongying depression [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006,30(6):24-30.

> > (编辑 徐会永)