

新疆鄯善油田 S3 砂层组高频旋回的识别与划分

邱余波¹, 伊海生^{1,2}, 张军³, 文军¹, 吴驰华¹

1. 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059
2. 成都理工大学; 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059
3. 中国石油天然气股份有限公司吐哈油田分公司鄯善采油厂, 新疆鄯善 838202

摘要 在油田开发过程中, 同一时期沉积的小层砂体, 即单砂体, 是油气开发的基本单元, 也是储集层沉积旋回研究的主体。小层的划分和对比多以地层中出现的砂体为参照, 而砂体在空间的分布通常是变化的, 这就增加了小层划分的不确定性。本文采用自然伽马测井曲线, 应用滑移窗频谱分析技术, 通过鄯善油田多口井的对比分析, 在三间房组 S3 砂层组识别出了 6 个旋回界面, 5 个高频旋回。旋回界面的出现与旋回波长的频谱峰特征突变界面相对应, 而旋回波长受沉积物沉积速率的控制, 与地层中岩性的变化以及砂体的发育没有直接关系, 这解决了以岩性为标志划分油层的诸多问题。旋回的厚度在几米至十几米之间, 与小层的沉积旋回级别十分接近, 而且由沉积速率突变识别出的旋回界面在区域内具有等时性, 划分出的高频旋回也可进行横向上的对比, 可作为油田小层划分与对比的重要地质参数和依据。

关键词 鄯善油田; 频谱分析; 自然伽马曲线; 高频旋回; 小层划分与对比

中图分类号 TE121.3+4

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.24.007

Detection and Classification of High-frequency Cycles in the S3 Sand Member of Shanshan Oil Field, Xinjiang

QIU Yubo¹, YI Haisheng^{1,2}, ZHANG Jun³, WEN Jun¹, WU Chihua¹

1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China
2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China
3. Tuha Oilfield Company, Shanshan Oil Production Plant, China National Petroleum Corporation, Shanshan 838202, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Abstract In an oilfield, the sublayers, sedimented at the same time, are the elementary units of its oil/gas development, as well as the main body of the sedimentary cycles of the reservoir bed. In the classification and correlation of sublayers, a sand body in the reservoir is usually taken as the reference. But the distribution of sand bodies in a strata space is often variable, which increases the uncertainty of the classification of sublayers. In this paper, the natural GR curves are used and the method of the evolutive spectral analysis is applied. Through the comparative analysis of several wells in Shanshan oil field, 6 cycle boundaries and 5 high-frequency cycles are identified in the S3 Sand Member of Sanjianfang Formation. The appearance of cycle boundaries is consistent with the abrupt interface of the cyclic wavelength peak in the frequency spectrum. The cyclic wavelength is found to be controlled by the sedimentation rate, but has not direct relation with the lithological change and the appearance of the sandbody. So this method can be used to deal with the classification of oil layers marked by lithology. The thicknesses of these cycles range between several meters and ten or more meters. They are very close to the cycle scale of a sublayer, and these cycle boundaries detected by an abrupt change of the sedimentation rate are isochronous in the regional geologic domain. These high-frequency cycles can also be laterally compared and be considered as an important geologic

收稿日期: 2011-06-24; 修回日期: 2011-08-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(40972084); 教育部博士点基金项目(20105122110013)

作者简介: 邱余波, 研究方向为沉积学与旋回地层学, 电子信箱: qiyubo1983@163.com; 伊海生(通信作者), 教授, 研究方向为沉积地质学, 电子信箱: yhs@cdut.edu.cn

parameter and a criterion in the classification and the correlation of sublayers in the oilfield development.

Keywords Shanshan oil field; spectral analysis; natural GR curves; high-frequency cycle; classification and correlation of sublayer

0 引言

沉积地层不仅具有成层性,而且具有旋回性。在油田开发过程中,同一时期沉积的小层砂体,即单砂体,是油气开发的基本单元,也是储集层沉积旋回研究的主体^[1-2]。由于现阶段陆上地震资料的频率分布范围为 10—70Hz,主频率多为 30—50Hz,缺少高频成分,分辨率较低,很难检测油田范围内单砂体级的小规模旋回,而测井曲线不但分辨率高,达米级尺度,而且能够敏感、连续地反映所测地层的特征。沉积物的结构、构造、岩性及岩相等周期性变化均记录在测井数据中,因此测井曲线是现阶段分析地层中高频沉积旋回的主要资料^[3],也是小层划分与对比最重要的资料来源。

小层的划分和对比多以地层中出现的砂体为参照,而砂体在空间的分布通常是变化的,比如在横向上尖灭或在垂向上叠置增厚,这就增加了小层划分的不确定性。因此,定量的、可以克服砂体突变等问题的小层划分方法显得尤为重要。

伊海生^[4-5]在进行旋回地层研究时提出,地层序列中的砂-泥旋回的厚度即(旋回波长)受沉积物沉积速率的控制,旋回波长的突变界面也即沉积物沉积速率的突变界面是地层划分的重要标志,而且沉积速率的突变在区域内具有等时性,因此可以进行横向的对比。在各种测井曲线中,自然伽马测井(GR)曲线最能敏感地反映岩性尤其是泥、砂含量变化,有效记录地层序列中沉积旋回和沉积环境的特点^[6-8]。利用滑移窗频谱分析方法^[9-10],对 GR 数据在深度域进行递进扫描,可以很好地识别出砂-泥旋回波长的突变界面,进而可以直观、定量地检测和标定旋回界面,以进行地层的等时划分与对比。由于旋回界面的出现受旋回波长(沉积旋回厚度)控制,而旋回波长受沉积速率控制,与砂体是否发育没有直接关系,这就可以克服在划分油层时砂体突变所遇到的问题。

通过对吐哈盆地台北拗陷丘陵油田、鄯善油田大量油水井不同井段的 GR 数据进行滑移窗频谱分析,发现采样间距为 0.125m 的原始测井曲线中砂-泥旋回波长大多在 1.5—4.5m,而由旋回波长的突变界面识别出的高频沉积旋回厚度在几米至十几米之间,这与油田开发单元中小层的沉积旋回级别十分接近,而且这些高频旋回可以进行横向对比,为油田生产过程中小层的精细划分与对比提供了重要的地质参数和依据。

1 区域地质背景

吐哈盆地是一个以中生代沉积为主体的内陆沉积盆地,以北缘深断裂与博格达等山系为界,南以康古尔塔格断裂与觉罗塔格山毗邻。吐哈盆地划分为 3 个一级构造单元,即吐鲁番拗陷、哈密拗陷和了墩隆起。台北凹陷位于吐鲁番

拗陷的北部,是吐鲁番拗陷最重要的次级构造单元^[11]。鄯善油田位于台北凹陷鄯善弧形构造带的弧顶部位,为一较完整的背斜构造。在侏罗系共发现七克台组、三间房组和西山窑组 3 套含油层系,其中三间房组油层厚度最大,含油性最好,是鄯善油田主力产层^[12]。

在油田开发过程中,三间房组划分为上、下两个油层组,5 个砂层组,16 个砂层,25 个小层。根据各个小层砂体的展布特征,S3 砂层组中的 S34-1、S34-2 两个小层砂体发育,厚度大,且连续性好,孔渗值相对较高,是三间房下油组主力产油层系^[13]。但是,S3 砂层组小层砂体存在多种不同的划分方案^[13-14],油田现场使用的也是自己的一套划分标准。目前,油田含水上升较快,自然递减得不到有效的控制,因此,对主力产油层系 S3 砂层组进行等时、定量的高频旋回划分就显得十分必要和重要。

S3 砂层组位于下油组顶部,为一套灰色砂岩、泥岩及灰色、褐色泥质粉砂岩沉积,厚度 80m 左右,与上、下地层都为整合接触,顶部为上油组的 S2 砂层组,底部为 S4 砂层组(图 1)。

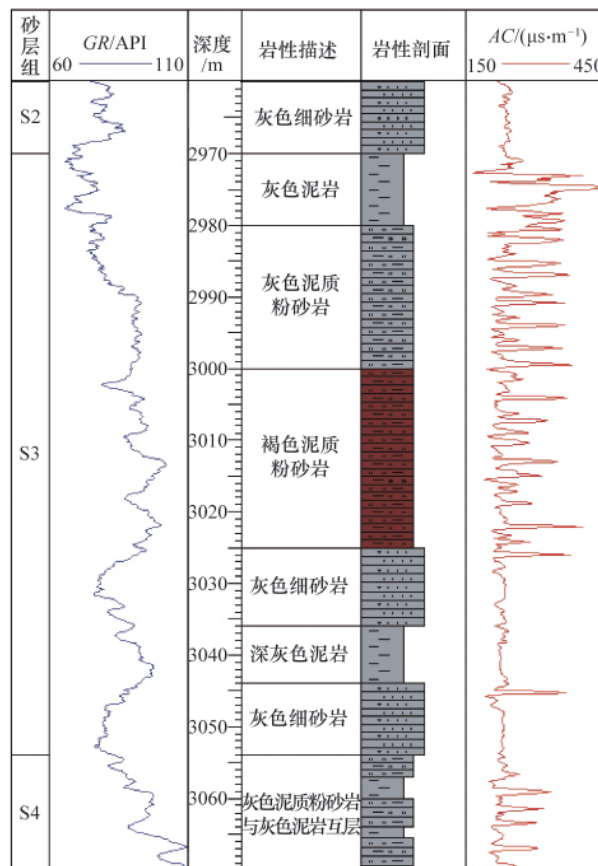


图 1 TC1 井单井剖面图

Fig. 1 Profile of single well TC1

全油田分为东 I 区、东 II 区、东 III 区、西 I 区、西 II 区、西 III 区和西 IV 区 7 个开发区块(图 2)。

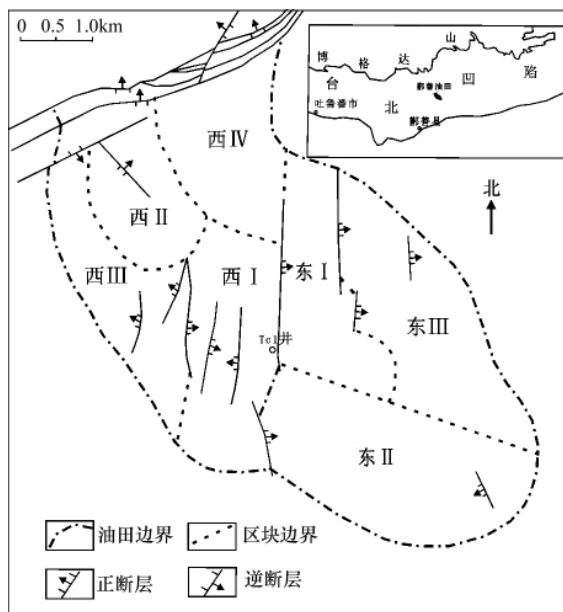


图 2 鄯善油田分区示意图
Fig. 2 Division of the Shanshan oil field

2 选取资料

图 3 为鄯善油田某钻井剖面示意图。鄯善油田自 20 世纪 80 年代末被发现以来,经过 20 年的勘探开发,积累了大

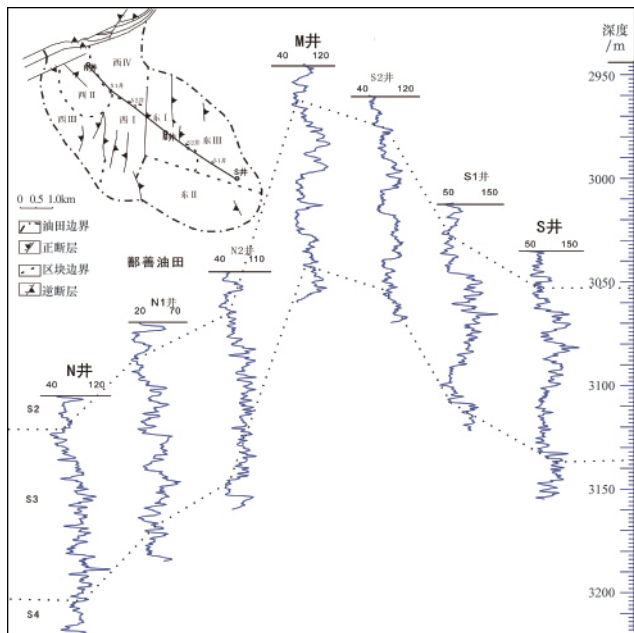


图 3 鄯善油田钻井剖面示意图(单位:API)
Fig. 3 Drilling section chart of the Shanshan oil field (unit: API)

量的钻、测井资料,具备利用测井资料进行高频旋回研究的良好条件。为了验证高频沉积旋回横向延伸的稳定性,以及对识别出的高频旋回进行横向对比,本文在对鄯善油田大量油水井 S3 砂层组进行分析的基础上,沿油田长轴方向选取了一条剖面进行研究(图 3),并选取该剖面中位于油田中部且为油田三间房组构造高点的 M 井进行重点处理与分析。为了说明旋回界面的出现与岩性变化和砂体发育的关系,在北部选取了一口 S3 砂层组中砂体不发育的 N 井,在南部选取了一口 S3 砂层组中砂体较发育的 S 井进行分析处理,与 M 井划分的沉积旋回进行横向上的对比与研究。考虑到断层对沉积旋回的影响,所选的 3 口井都未钻遇断层,以便更准确地识别原始的旋回界面。

3 数据处理与成图

根据钻、测井分层数据,M 井 S3 砂层组位于井段 2971—3052m,厚度为 81m;N 井 S3 砂层组位于井段 3130—3214m,厚度为 84m;S 井 S3 砂层组位于井段 3062—3147m,厚度为 85m。分析过程中为了观察 S3 砂层组顶底界线位置频谱峰的变化,验证上下砂层组的界面,测井数据采集的长度分别延伸到 S2 砂层组和 S4 砂层组。测点间距为 0.125m,GR 曲线数值单位为 API。

滑移窗频谱分析采用 Analyseries 软件^[10],测井数据处理流程如下:

- (1) 采用线性内插法对 GR 原始数据进行校正,保证数据序列为等间距,若原始数据已经为等间距序列,则可取消此项;
- (2) 采用一阶导数法消除低频波干扰;
- (3) 采用 Blackman-Turkey 滑移窗频谱分析程序,调用 Parzen 窗口,窗口数量取 150,窗口大小取默认值;
- (4) 按文本格式导出数据,为使特征频谱峰及频谱峰组合更加突出,对新数据序列采用一阶差分计算,即取相邻两个深度点的差值进行数据中心化处理;
- (5) 选取 Excel 中的堆积折线图模式,绘制滑移窗频谱分析图。

由于实际 GR 曲线是由若干振幅和波长不同的简谐波组合而成,因此做出来的滑移窗频谱图,在旋回内部可能出现多个振幅不同的频谱峰,这就导致在划分旋回时,有的旋回界面很难准确地被识别,而且对于不同的研究者也可能具有一定的多解性。而在一条频谱峰曲线中,频谱峰振幅最强的主峰最能代表地层的旋回特征,因此,在每一个窗口对应的频谱曲线中,将频谱峰振幅最强的主峰提取出来,做一个频谱峰主峰的变化图,这样就可以更加客观、准确地识别出旋回界面。

M 井 S3 砂层组滑移窗频谱分析结果及主峰变化如图 4 所示,其中 CB1—CB6 表示旋回界面;M 井、N 井、S 井滑移窗频谱分析对比结果如图 5 所示。

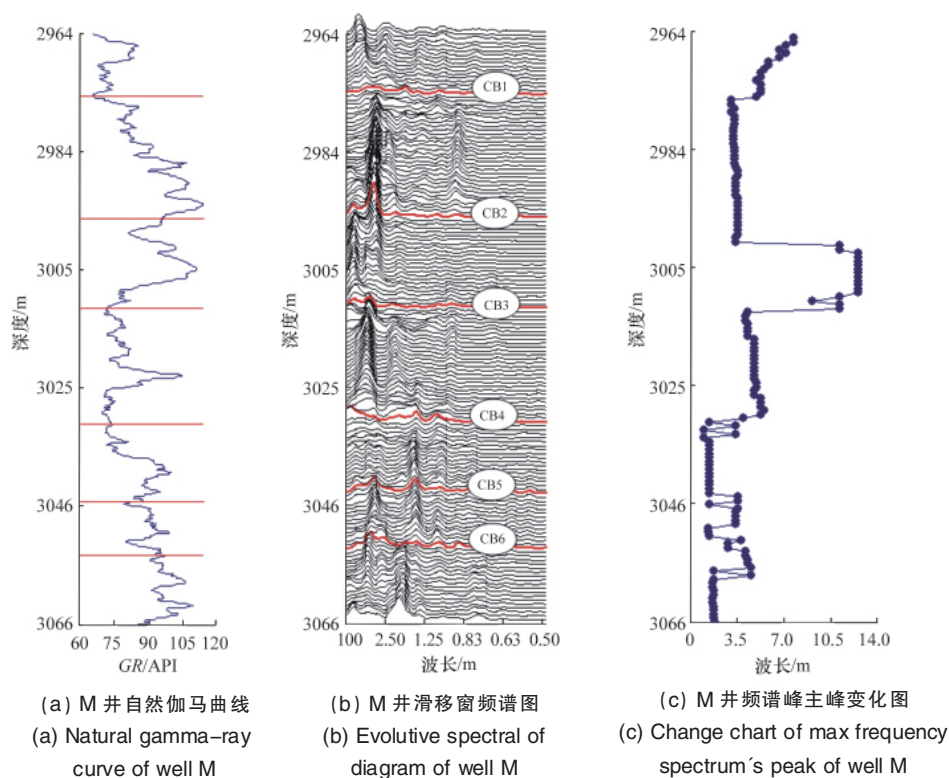


图 4 M 井 S3 砂层组自然伽马测井数据滑移窗频谱分析图

Fig. 4 Evolutive spectral analysis diagrams of natural gamma-ray logs from S3 Sand Member of well M

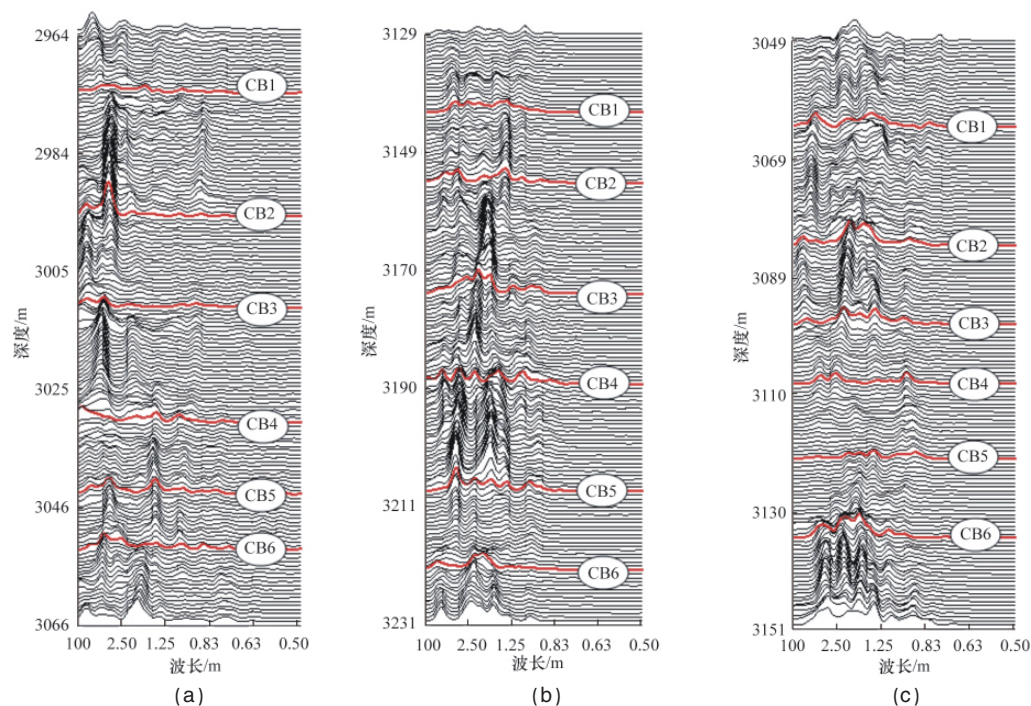


图 5 油田中部 M 井(a)、北部 N 井(b)和南部 S 井(c)S3 砂层组自然伽马测井数据滑移窗频谱分析图

Fig. 5 Evolutive spectral analysis diagrams of natural gamma-ray logs from S3 Sand Member of well M (a) well N (b) and well S (c)

4 高频旋回的识别及划分

(1) 由图 4 可以看出, M 井三房组 S3 砂层组沉积旋回

中, 频谱特征分布主要以双峰型为主, 也有多峰型组合形式, 还可见到平坦状频谱分布曲线, 旋回的波长主要变化于

1.5—12.5m 之间。根据旋回特征频谱峰以及旋回谱系在深度域的转换面、间断面判断,结合频谱峰主峰的变化,M 井 S3 砂层组可识别出 6 个旋回界面,从上到下分别标定为 CB1—CB6,存在 5 个高频旋回(从上到下分别标定为 HC1—HC5),旋回厚度在 9.6—19.7m 之间。

(2) 根据 M 井频谱峰组合及频谱峰主峰的变化趋势,S3 砂层组可以分为两部分。第 1 部分为 CB6—CB4,旋回波长总体上逐渐减小,说明沉积物沉积速率在逐渐变小,至 CB4,旋回波长发生突变,突然增大,表明该处为一沉积间断面;第 2 部分为 CB4—CB1,旋回厚度总体上也是逐渐减小的,说明沉积物沉积速率也在逐渐变小。第 1 部分可以细分为两个旋回(HC4、HC5),第 2 部分可以细分为 3 个旋回(HC1、HC2、HC3)。在第 2 部分中,在 CB3 处旋回波长发生突变,由 4.3m 突变为 12.5m,表明沉积物沉积速率突然增大,说明在这一时期,该区沉积物物源急剧增加,供应充足。

(3) N 井与 S 井相距近 6km,基本横穿了整个鄯善油田,由图 5 可以看出,3 口井三间房 S3 砂层组都可以划分出 5 个高频旋回。在油田中南部又选了其他几口井进行研究,同样划分出 5 个高频旋回,由此可以推测整个鄯善油田三间房组 S3 砂层组存在 5 个高频旋回,而且可以进行横向对比,因此可以作为油田油、水井小层砂体划分与对比的重要依据。

5 讨论

(1) M 井 CB1 与 CB6 界面对应的井深分别为 2975、3055m,与用岩性标准划分出的地层界线(2971—3052m)并不完全重合,而是有一定偏差。通过观察可以发现,CB1 为一明显的频谱峰转换界面,界面上、下的频谱特征截然不同,而且频谱峰的主峰在 2975m 处也发生了较大幅度的跳跃,因此本文把 M 井 S3 砂层组的顶界面定在 2975m 处。CB6 也为一明显的频谱峰转换面,界面以下的频谱峰主峰及峰群发生了显著的变化,因此把 S3 砂层组的底界面定在 3055m 处。与此相同,除 S 井的 CB1 与 S3 砂层组顶的地层界线大致相同以外,其余的旋回界面与地层界线都有一定偏差(图 5)。

(2) 旋回界面与地层界线有一定偏差,并不完全重合,这与目前层序地层学划分的层序界面有所差异。这是因为地层分段界线上、下岩性常有明显的变化,但旋回频谱峰的出现与否取决于砂岩—泥岩旋回厚度的变化,而后者受控于沉积速率。当沉积物供应量增加时,砂岩—泥岩旋回单元的厚度增加,旋回频谱峰对应的波长变大,反之则减小。

(3) 结合滑移窗频谱图与频谱峰主峰变化图可以看到,M 井 CB1、CB3、CB4、CB5 与主峰峰值突变的井深是对应的,而 CB2 与 CB6 却不完全一致。为了更准确地识别旋回界面,本文在确定旋回界面时,以频谱峰的特征即主峰和峰群的变化为主,以主峰变化为辅。当旋回波长的特征频谱峰不能清楚地识别旋回界面时,需要参照主峰的变化确定旋回界面,但是当旋回波长的频谱峰组合能够清楚、准确地识别旋回界面时,仍以频谱峰组合的突变面为旋回界面。

(4) 旋回波长的大小与旋回的厚度没有直接的关系。例如:M 井 HC2 的旋回波长是 S3 砂层组层段最大的,平均为 12.5m,相比之下 HC1 的旋回波长在 3.2m 左右,但是 HC1 的厚度却远大于 HC2。这说明在 HC2 期间,沉积物供应充足,沉积速率很快,但是沉积时间不长;在 HC1 期间,沉积物供应量减少,沉积速率变小,但是沉积时间较长,故 HC1 厚度大于 HC2。

(5) 图 4 中,HC1 对应的井段,泥质含量逐渐减少,砂质成分逐渐增多,但是总的沉积速率却相对较稳定;图 5 中,在 S3 层段砂体不发育的 N 井同样可以很明显地识别出 5 个旋回。这说明旋回界面的出现与岩性没有直接关系,而是受沉积物供应量和沉积速率的控制,即在旋回内部沉积物供应量及沉积速率较稳定或逐渐变化,在旋回界面处,沉积速率发生突变,然后进入下一旋回。用这一研究方法进行沉积旋回以及小层划分,还可以很好地解决小层对比过程中遇到砂体的突变(尖灭或增厚)而难于操纵的问题。

(6) 根据前人的研究,S3 砂层组可以分为 S31、S32、S33、S34 这 4 个砂层,其中 S34 可进一步划分为 S34-1、S34-2 两个小层,但对 S33 的划分方案略有不同^[13-14]。是把 S33 单独作为一个小层,还是把 S33 细分为 S33-1、S33-2 两个小层,没有统一的标准。结合本文的分析与讨论,第一部分的 HC4、HC5 可与砂层 S34 的 S34-1、S34-2 两个小层相对应,第二部分的 HC1—HC3 分别对应于砂层 S31、S32、S33。因此本文认为把 S33 单独作为一个小层更为合理。

6 结论

测井曲线纵向分辨率高,达米级尺度,而且能够敏感、连续地反映所测地层的特征,是现阶段分析地层中高频沉积旋回的主要资料,也是小层划分与对比最重要的资料来源。利用滑移窗频谱分析方法,对 GR 数据在深度域进行递进扫描,可以很好地识别出砂—泥旋回波长的突变界面,进而可以直观、定量地检测和标定高频旋回界面,以进行地层的等时划分与对比。

通过对鄯善油田中部构造高点的 M 井、北部 N 井,南部 S 井以及油田中南部多口井的 S3 砂层组进行滑移窗频谱分析,都可以识别出 5 个高频旋回。旋回波长在 1.5—12.5m 之间,大多集中在 1.5—4.5m,由旋回波长的突变界面识别出的高频沉积旋回厚度在几米至十几米之间,与油田开发单元中小层的沉积旋回级别十分接近。

旋回界面的出现与旋回波长的频谱峰特征突变界面相对应,而旋回波长受沉积物沉积速率控制,与地层中岩性的变化以及砂体的发育没有直接的关系,这就很好地解决了砂体突变等以岩性为标志划分油层的诸多问题。

参考文献 (References)

- [1] 王贵文, 邓清平, 唐未清. 测井曲线频谱分析方法及其在沉积旋回研究中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 93-95.

- Wang Guiwen, Deng Qingping, Tang Weiqing. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(1): 93-95.
- [2] 郭秀蓉, 程守田, 刘星. 油藏描述中的小层划分与对比——以垦西油田 K71 断块东营组为例[J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 55-58.
Guo Xiurong, Cheng Shoutian, Liu Xing. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(2): 55-58.
- [3] 李凤杰, 王多云, 程微. 应用自然伽马曲线反演陇东地区延安组沉积旋回[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2004, 31(5): 473-477.
Li Fengjie, Wang Duoyun, Cheng Wei. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2004, 31(5): 473-477.
- [4] 伊海生. 测井曲线旋回分析在碳酸盐岩层序地层研究中的应用[J]. 古地理学报, 2011(待发表).
Yi Haisheng. *Journal of Palaeogeography*, 2011(in publish).
- [5] 伊海生. 地层记录中旋回层序界面的识别方法及原理 [J]. 沉积学报, 2011(待发表).
Yi Haisheng. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011(in publish).
- [6] 方雪芹, 刘德菊, 田军, 等. 测井资料在松辽盆地岩性储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2007, 46(5): 496-500.
Fang Xueqin, Liu Deju, Tian Jun, et al. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2007, 46(4): 496-500.
- [7] 陈茂山. 测井资料的两种深度域频谱分析方法及其在层序地层研究中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 1999, 34(2): 57-64.
Chen Maoshan. *Oil Geophysical Prospecting*, 1999, 34(1): 57-64.
- [8] 李庆谋. 测井曲线 Milankovitch 周期分析与应用 [J]. 地球物理学报, 1996, 39(5): 699-704.
Li Qingmou. *Acta Geophysica Sinica*, 1996, 39(5): 699-704.
- [9] Yang C S, Baumfalk Y A. Application of high-frequency cycle analysis in high-resolution sequence stratigraphy [J]. *Geological Society*, 1997, 123: 181-203.
- [10] Paillard D, Labeyrie L, Yiou P. Analyseries 1.0: A macintosh software for the analysis of geographical time-series[J]. *Eos*, 1996, 77: 379.
- [11] 韩涛, 王辉, 彭仕宓, 等. 鄯善油田三间房组油藏油水界面分布状态的主导因素分析 [J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(12): 21-25.
Han Tao, Wang Hui, Peng Shimi, et al. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2007, 22(12): 21-25.
- [12] 李劲峰, 曲志浩, 孔令荣, 等. 鄯善油田三间房组油层微观水驱油特征[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(5): 422-425.
Li Jinfeng, Qu Zhihao, Kong Lingrong, et al. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1999, 20(5): 422-425.
- [13] 刘林玉. 新疆鄯善油田三间房组的小层对比 [J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(3): 25-32.
Liu Linyu. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2000, 20(3): 25-32.
- [14] 李家华, 陈文武, 公学成, 等. 丘陵-鄯善交界区域三间房组地层划分及砂体展布特征研究[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(2): 186-190.
Li Jiahua, Chen Wenwu, Gong Xuecheng, et al. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2010, 32(2): 186-190.

(责任编辑 刘志远)

·学术动态·

“2012 结构计算与岩土力学国际学术会议”征文

由北京农业工程学会、中国农业大学主办,云南农业大学承办的“2012 结构计算与岩土力学国际学术会议”拟于 2012 年 3 月 24—25 日在昆明召开。

征文范围: 结构计算(结构的材料数值建模,基于性能的结构计算,组合结构体系计算理论与方法研究,误差估计和自适应方法,多尺度建模及计算,计算机代数在有限元中的应用,结构健康监测与评估,结构的形态及其优化理论,结构分析与设计软件研究);岩土力学(土的本构关系研究,环境岩土工程,土动力学与地震工程,特殊土工程,边坡、大坝工程,岩土试验与测试技术,地下工程,岩土工程的计算机仿真技术,道路与桥梁工程,污染土的修复理论及技术);水利工程(灌溉排水理论与新技术,精准灌溉技术研究,生态灌区建设,生态节水与高效用水,水土资源可持续利用与保护,设施农业中的水土环境研究,农业供水工程与饮水安全);水土保持(生态退化机制与修复,土壤侵蚀机制与模型,水利水土保持生态修复,水土保持与生态农业建设,农业资源污染分析、预测与控制,区域生态环境监测与评价,水土保持植被建设);水土资源规划与管理(灌区建设与现代化管理,水土资源承载力研究区域水土资源平衡研究,水土资源综合利用)。

论文截止日期:2011 年 11 月 14 日。

联系电话:010-51528400;电子信箱:scgm_ei@126.com。

会议网站:www.scgm-conference.org。