

文章编号: 1000-0550(2014)02-0198-07

松辽盆地东岭地区泉头组高频沉积旋回的叠加型式分析^①

梁定勇^{1,2} 伊海生¹ 邱余波¹ 蔡占虎¹

(1.成都理工大学沉积地质研究院 成都 610059; 2.海南省地质调查院 海口 570226)

摘要 根据自然伽马测井曲线计算的旋回厚度,采用 Fischer 图解识别高频旋回的叠加型式,试图揭示湖相沉积中 GR 测井曲线反映的泥质含量波动与气候旋回的关系。选择松辽盆地东岭地区顶底清楚,地层连续的 SN109 井泉头组测井曲线中作为实验数据,根据极值点法共识别出 1166 个高频沉积旋回,旋回厚度变化于 0.25~2.75 m 之间,旋回平均厚度为 0.62 m;根据 Fischer 图解,估算高频旋回的平均周期为 17.2 ka,中频旋回周期在 86.1~103.3 ka 之间,低频旋回周期在 305~416 ka 之间,分别与米兰科维奇旋回岁差周期 19~24 ka,轴斜率周期 85~140 ka,偏心率周期 350~400 ka 存在着对应关系,说明 SN109 井泉头组湖相沉积旋回的形成受米兰科维奇气候旋回机制的控制。

关键词 Fischer 图解 高频沉积旋回 自然伽马测井 泉头组 东岭地区

第一作者简介 梁定勇 男 1988 年出生 硕士研究生 沉积学 E-mail: liangdingyong@163.com

通讯作者 伊海生 E-mail: yhs@cdu.edu.cn

中图分类号 TE121.3 **文献标识码** A

0 引言

Fischer 图解法是通过高频旋回累加厚度偏差的曲线来识别沉积旋回组合型式,进而研究旋回形成机制的一种图解方法。它目前在碳酸盐潮坪环境中是研究沉积旋回在空间上的叠置规律和相对海平面变化的重要手段,同时对于旋回级次的划分以及其旋回地层对比也能起到很好的借鉴作用(Osleger *et al.*, 1991; Sadler *et al.*, 1993; 梅冥相, 1995)。

为了考察高频旋回的叠加样式与沉积物堆积速率之间的关系,根据伊海生^[1]的方法,将各个旋回地层单元厚度减去所有旋回地层单元厚度的平均值,这个差值就是该旋回地层单元的净加积量。以该旋回地层单元所有旋回地层单元净加积量的累积值作为纵坐标,以地层厚度为横坐标作出 Fischer 图表,该曲线形象表明了沉积物形成时的实际可容纳空间变化过程(图 1)。从图中可以看出,用 Excel 软件模拟出来的 Fischer 图解曲线类似于正弦函数曲线,该曲线沿横坐标轴作上下波动。零刻度线以上代表可容纳空间增加,零刻度线以下则表示可容纳空间减小。旋回厚度累积偏差曲线与零刻度线的交点指示沉积层序界面的位置,测井曲线通过旋回累计偏差计算不仅可以划分沉积旋回,还为

沉积层序界面的识别提供新的依据。

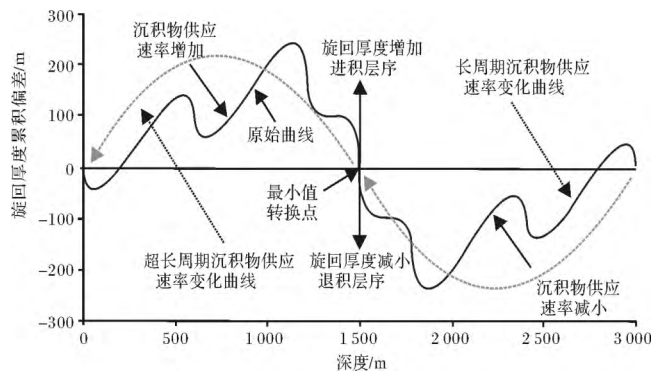


图 1 Fischer 图解基本原理(据伊海生, 2012)

Fig.1 Principles of Fischer plot(after YI Haisheng, 2012)

但是,由于传统的 Fischer 图解旋回分析技术只局限于连续的野外露头剖面,在没有露头或露头面积较小的沉积地质环境中应用受限,对一般油气田勘探区无岩芯或岩芯采收率低的探井,其应用也受到极大的限制。伊海生(2012)提出对自然伽马测井曲线采用极值点法计算,可以定量地求取任一地层段中高频沉积旋回的个数和厚度,从而将 Fischer 图解方法扩展到地下深部层序地层研究领域。本文通过此方法,引用松辽盆地 SN109 井自然伽马测井资料,对松辽盆地东岭地区泉头组湖相碎屑岩中的高频沉积旋回进行了精确划分,最后利用 Fischer

①国家自然科学基金项目(批准号: 41072084)与高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(编号: 20105122110013)联合资助
收稿日期: 2013-03-13; 收修稿日期: 2013-06-27

图解初步探讨该地区泉头组高频沉积旋回的叠加型式。

1 区域地质概况

东岭地区在断陷的形成与演化规律与长岭断陷其他地区具有相似性,经历了同裂陷、裂后热沉降和大规模构造反转3个发展演化阶段,形成了同裂陷层序和坳陷层序两套沉积层序^[2]。通过钻井、测井、地震等大量研究资料以及前人充分的野外工作表明,东岭地区地层自下而上依次主要发育有火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组和泉头组^[3]。其中泉头组各段岩性、岩相变化较大,一般在凹陷区厚度较大,在隆起区和盆缘地区厚度减薄。SN109井所在的东岭地区内泉头组发育较完整,厚度整体在800 m之间,主要为滨湖相、浅湖相和河流相的棕红色、褐色泥岩为主,以黑灰色、紫色砂岩与灰色泥质粉砂岩组成的交互式沉积为特点。区内泉头组可以划分出泉一段至泉四段:泉一段主要为灰、灰白色粉—细砂岩夹棕红色泥岩,局部砂砾岩,底部有棕色泥岩。厚度156 m,底深2 015 m;泉二段为上部为棕红色泥岩与灰黑色细砂岩互层,中部为棕红色泥岩夹棕褐色、深灰色砂岩,下部为砂泥岩互层。厚度203 m,底深1 859 m;泉三段上部为砂泥岩段,中部为砂岩段,下部主要为泥岩段。厚度269 m,底深1 656 m;泉四段为棕红色泥岩与灰色粉细砂岩不等厚互层。厚度93 m,底深1 387 m,顶深1 294 m。

2 高频沉积旋回的识别与计算

Fischer图解主要依据高频沉积旋回的平均旋回厚度累计偏差进行绘制,高频沉积旋回是指包括IV、V、VI级旋回在内的一系列与米兰科维奇天文周期有关的海平面振荡变化^[4]。Fischer图解不仅适用于碳酸盐岩,同样适用于碎屑岩。Mitchum与Van Wagoner(1991)在Goodwin和Anderson^[5]的“间断—加积作用旋回”(PAC)地层堆积作用理论假设的基础之上,提出了碎屑岩高频层序的概念。Van Wagoner(1990)对美国西部中生代地层和墨西哥湾盆地第三纪地层作了充分的研究,认为碎屑岩中同样存在着那种原先认为仅存在于碳酸盐岩中特征明显的不同级次的沉积旋回。硅质碎屑沉积岩中的沉积旋回可以分为四个级别(从二级到五级),在传统的测井资料、地震、岩芯与野外露头相结合的

条件下,较高频率的四级(0.1~0.2 Myr)和五级(0.01~0.02 Myr)旋回可以在碎屑岩中被识别出来,对应的地层单元可以命名为高频层序或准层序,打破了传统地震层序百万年的研究精度^[6]。其中五级旋回所对应的准层序,在野外露头上相当于Anderson和Goodwin(1990)建议的基本地层分析单元—米级旋回。Anderson^[5]和梅冥相^[7]称它们为“米级旋回”;Mitchum *et al.*^[8]将这类旋回称之为“高频层序”;它类似于Vail^[9]所定义的“准层序”和王鸿祯等^[10]所称的“小层序”。

“高频旋回”时间跨度周期为0.01~0.5 Ma。在许多介质中都可以发现这种高频旋回,比如沉积地层、测井曲线、生物体(特别是树木、珊瑚、软体动物)、冰核和溶洞方解石^[11]。由于自然伽马测井具有等间距测量的特点,而且纵向分辨率高、数据序列连续,可以作为我们检测米级高频旋回、识别相对海或湖平面变化趋势的资料来源^[11~13]。并且能够连续、敏感地追踪到所测地层的特征,以便于对沉积物的岩性、岩相、结构及构造等周期性变化有一个整体认识,为下阶段分析地层中、高频沉积旋回提供可靠的资料。自然伽马曲线对古气候变化有良好的记录,是反映内陆干旱盆地气候与环境变化良好的指示性指标^[14]。得益于自然伽马测井数据对地层中岩性变化响应积极,伊海生(2012)提出,可以采用一种新的计算方法,即极值点法,计算任意连续地层段沉积旋回的厚度和个数。通过Excel软件提供的数学函数程序,结合SN109井泉头组自然伽马测井曲线数据资料,利用极值点法计算旋回厚度并进行旋回个数统计的步骤如下:

(1) 通过一阶差分法,按深度由小到大依次求取自然伽马数据的差值。

(2) 采用Excel提供的IF函数,提取伽马测井数据的极值。峰值点间距与谷值点间距相等,但有一个相位差,二个峰值点或谷值点间距即为旋回厚度。

(3) 求取旋回厚度的平均值与标准差,应用剔除异常值法,剔除掉偏离的异常值,使数据中心化。

(4) 通过“Past”软件,选取“Regular interpolation”以及“Remove trend”选项,即采用线性内插法和线性趋势法对数据进行校正,求取等间距数据序列。

(5) 通过使数据归一化,可以削弱预处理过程中采用不同种参数带来的影响,尽量使计算结果的误差减到最小。实际计算过程中采用极值法处理,计算后的测井数据为正负值。

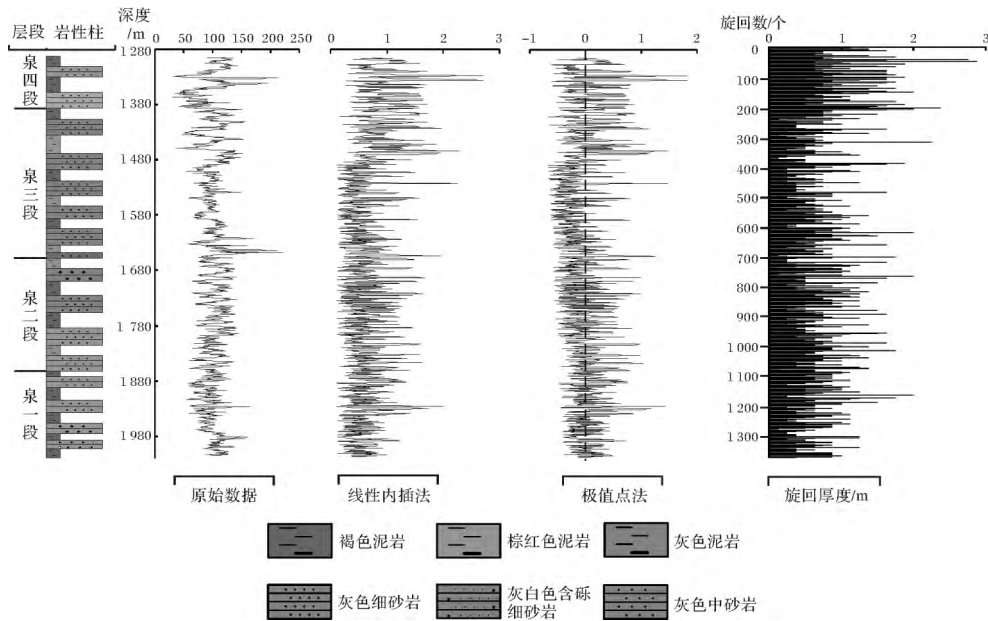


图 2 东岭地区 SN109 井应用自然伽马测井数据计算厚度及旋回数的处理流程
 Fig.2 Procedure of thickness calculation and cycle number counting from natural gamma ray logging data of Well SN109 in Dongling area of Songliao Basin

(6) 最后通过 Excel 软件提供的逻辑判别函数, 提取极值法处理过后的伽马测井数据序列正负偏差值, 计算出沉积旋回厚度并统计旋回个数。

东岭 SN109 井泉头组地层位于井深 1 294 ~ 2 015 m, 厚 721 m, 自然伽马变化范围在 30 ~ 339 API, 采集数据点 5 766 个, 测量间距 0.125 m, 高频旋回厚度变化在 0.25 ~ 2.75 m 之间, 平均旋回厚度为 0.62 m。计算结果显示东岭 SN109 井营城组共划分出 1 166 个高频沉积旋回, 其中揭示的泉一段 294 个; 泉二段 391 个; 泉三段 412 个; 泉四段 69 个 (图 2)。

3 旋回叠加样式分析

将东岭 SN109 井的 GR 测井数据按上文的方法经旋回计算, 再计算出旋回累计厚度偏差, 最后做出泉头组地层的 Fischer 图解 (图 3)。为了研究高频旋回的叠加样式和规律, 将泉头组中的泉一段到泉三段中部的 Fischer 图解做了放大处理。Fischer 图解的形状直接受到高频旋回的厚度变化的影响, 特别是在不同沉积环境的陆相湖盆中, 如湖盆中心和湖盆边缘在沉积物供应量上存在着巨大的体积分配差异。由于湖盆的收缩, 造成边缘相向湖盆中心迁移, 可能使高频旋回厚度变大, Fischer 图解幅度加大。当沉积环境基本相同时, 高频旋回的厚度才能反映可容纳空间

的相对大小变化。通过沉积相分析, 认为在一个组内部, 沉积环境的变化不大^[15]。在此基础上, 推算高频沉积旋回的个数和叠加型式, 由图可知:

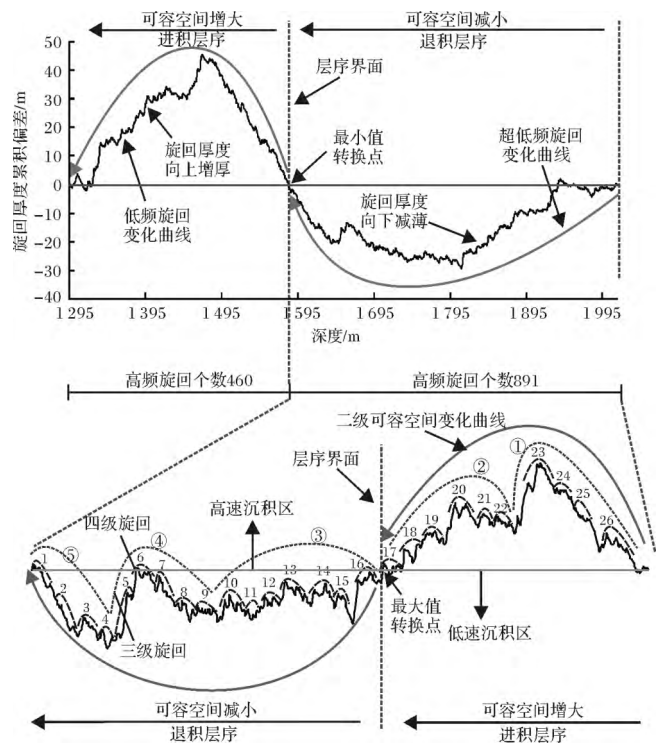


图 3 东岭地区泉头组层序地层划分及界面
 Fig.3 Division of sequence stratigraphy and sequence surfaces of the Quantou Formation in Dongling area

(1) 从图中的超低频旋回变化曲线可以看出, 泉头组经历了 1 次长周期的可容纳空间上升过程以及 1 次长周期的可容纳空间下降过程。层序界面(即旋回厚度最小值)出现在旋回数为 490~495 位置, 对应井深为 1 586~1 589 m, 对应地层为泉三段中部, 相应的岩性为灰白色细沙岩、褐色泥岩。另外, SN109 井的 Fischer 图解呈现出的不对称性, 即可容纳空间的上升是快速的, 而下降是缓慢的, 这一特点与突发湖平面变化特点相吻合^[15]。

(2) SN109 井泉头组共划分出 1 166 个高频旋回, 225 个五级旋回和 48 个四级旋回。图 3 中的放大部分的地层历经的时限大约为 6 Ma, 属于三级旋回(1.6~5.25 Ma)。通过对高频旋回的叠加型式进行分析, 在 SN109 井泉头组的三级层序下可以大致识别出 26 个四级旋回, 通常 4~6 个高频旋回构成一个五级旋回, 4~5 个五级旋回构成一个四级旋回。每一个五级旋回经历一个可容纳空间由小到大再减小的过程, 四级旋回及其四级旋回的叠加也具有相似的过程(图 4)。高频旋回的平均厚度为 0.62 m, 五级旋回的厚度在 2.48~3.12 m 之间, 四级旋回的厚度在 11.2~15.1 m 之间。早期泉头组年龄值主要有 100~119 Ma 和 120~98 Ma^[16], 泉头组的地层厚度为 721 m, 因此可以估算出平均沉积速度为 3.6 cm/ka, 从而

算得高频旋回的平均周期为 17.2 ka, 五级旋回的周期在 86.1~103.3 ka 之间, 四级旋回的周期在 305~416 ka 之间。根据 Berger^[17] 计算的地质历史时期米兰科维奇旋回周期的变化, 求得白垩纪时期的岁差周期为 19~24 ka, 轴斜率周期为 85~140 ka, 偏心率周期为恒定的 350~400 ka。可以看出两者存在对应关系, 说明 SN109 井泉头组的高频旋回受米兰科维奇旋回控制。

4 讨论

4.1 调频波与调幅波的对比

在砂泥岩旋回中, 假设砂泥岩的粒度不变, 沉积厚度越来越大, 那么在自然伽马测井曲线上变现出来的是一条频率不变, 幅度越来越大的曲线, 那么我们称这种波形为调幅波。而自然伽马曲线的波峰波谷对应的正好是泥岩和砂岩, 利用这一特性, 假设沉积厚度不变, 砂泥岩的粒度在砂泥岩旋回中越来越大, 那么在自然伽马曲线上变现出来的是一条幅度不变, 频率越来越大的曲线, 我们称这种波形为调频波。在砂泥岩沉积的进程中, 砂泥岩旋回向上变厚不一定对应着砂泥岩的粒度向上变粗, 相反有可能向上变细。通过自然伽马曲线, 利用深度和伽马值分别绘制出调幅波和调频波, 不仅能更好的对比砂泥岩旋回向

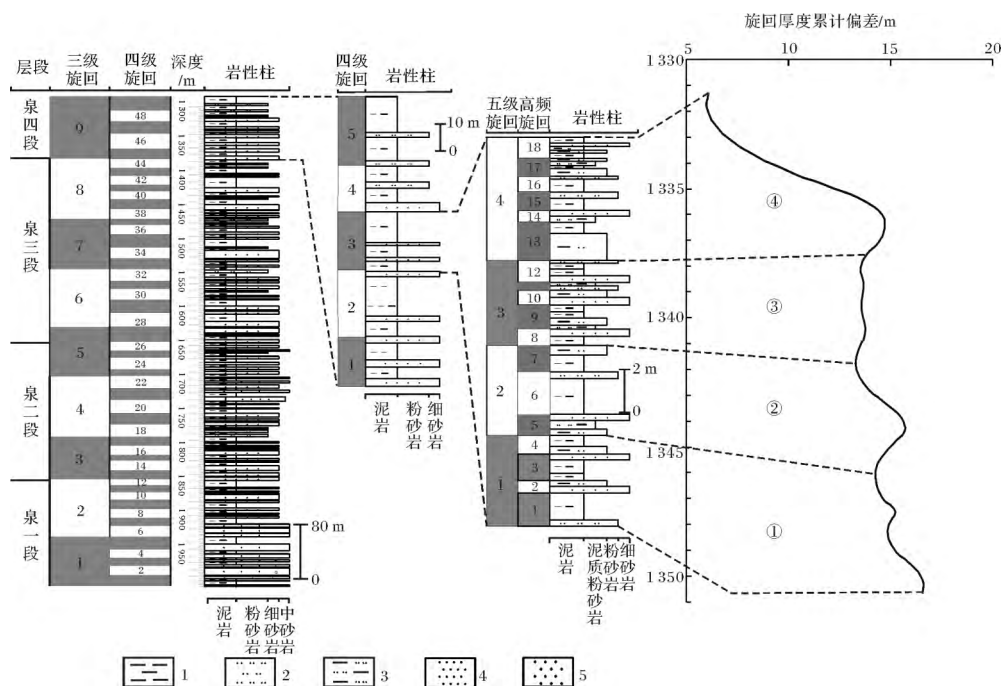


图 4 东岭地区泉头组高频旋回的叠加型式

Fig.4 High-frequency sedimentary cycle superposition type in Quantou Formation in Dongling area

1. 泥岩; 2. 粉砂岩; 3. 泥质粉砂岩; 4. 细砂岩; 5. 中砂岩

上变厚变薄和向上变粗变细的关系,还能更好的识别旋回地层叠加样式。下面,仅截取一小段数据绘制出调频图和调幅图,以更好地讨论沉积旋回的关系(图 5)。

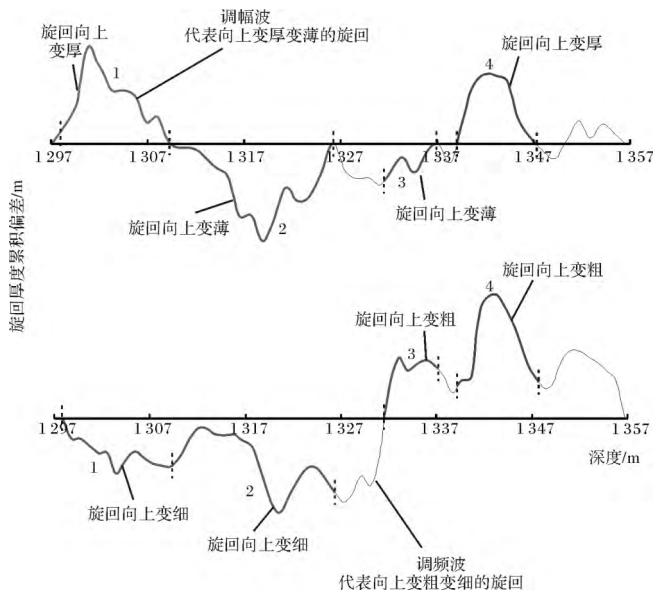


图 5 不同的旋回组合对比图

Fig.5 The comparison of different cycles combination

从图中可以看出:砂泥岩旋回有 4 种组合样式,对应图中的 1~4 种类型。其中第一种为旋回厚度向上变厚,但砂泥岩的粒度却随着厚度的增大而减小;第二种为旋回厚度向上变薄,砂泥岩的粒度也逐渐减小;第三种为旋回厚度向上变薄,砂泥岩的粒度却随着旋回厚度的减薄而加大;第四种为旋回厚度向上变厚,砂泥岩的粒度也向上变粗。通过两种旋回曲线的对比,更能直观的对比当时沉积期水动力条件和沉积速率之间的关系。

4.2 应用与局限性

(1) 高频旋回厚度累积偏差曲线并不一定能直接标定低频海平面变化幅度,但在地层序列中旋回厚度累积偏差曲线与零刻度线的交点指示沉积层序界面的位置,这就为应用测井曲线划分沉积旋回,进而判别三级沉积层序界面提供了理论依据^[1]。但值得注意的是:以岩性为标志所鉴定的沉积旋回不同于以测井数据为基准刻度的沉积旋回。根据测井曲线求得的沉积旋回并不见得是同一的岩相类型,可能在一个沉积旋回中包含 2 个或 2 个以上的岩相类型亦或者在同一个岩相中可能划分出多个沉积旋回。由此可见,本文中介绍的方法可以用在四级层序界面及更大的层序界面的划分。但对于次一级的层序划分,本文

中的方法还不够成熟^[18-20]。不过,在野外露头剖面研究欠缺的地区,在岩芯采收率不理想或无岩芯的探井中,可以用此方法对沉积层序进行初步对比研究;在开展沉积相研究、生物地层研究、地震地层方法研究的同时,也可以利用此方法对该地区高频沉积旋回进行初步探讨。

(2) 除了自然伽马曲线外,其他测井曲线,例如自然电位、声波等都能应用本文中的方法。利用不同测井曲线绘制旋回累积厚度偏差曲线进行对比研究,从而进行层序界面划分。另外根据单井高频旋回数据绘制的图解在划分沉积层序和识别高频旋回的叠加型式时,笔者根据 Fischer 图解划分出的层序界面和前人通过岩芯钻井资料划分出来的层序界面的误差不超过 10 m。当然笔者在拐点选取和层序界面的划分处具有一定的主观性。笔者认为,如果能对相邻区域多口钻井数据进行处理,最后作出 Fischer 图解进行对比分析则会大大降低这种主观因素的影响,为研究区域地层、高频沉积旋回堆叠样式及层序地层格架提供一种新的思路^[21]。

5 结论

(1) 利用极值法,借助东岭 SN109 井提供的自然伽马曲线资料,可以在东岭地区泉头组地层中共识别出高频沉积旋回 1 166 个,旋回厚度变化于 0.25~2.75 m 之间,旋回平均厚度为 0.62 m。三级层序界面出现在旋回数为 490~495 位置,对应井深为 1 586~1 589 m,对应地层为泉三段中部,相应的岩性为灰白色细沙岩、褐色泥岩。

(2) 借助 Fischer 图解对泉头组的高频旋回的叠加型式进行分析,可以从图中放大部分可以大致识别出 26 个四级旋回,通常 5~6 个高频旋回构成一个五级旋回,4~5 个五级旋回构成一个四级旋回。每一个五级旋回经历一个可容纳空间由小到大再减小的过程,四级旋回及其四级旋回的叠加也具有相似的过程。

(3) 高频旋回的周期为 17.2 ka,五级旋回周期在 86.1~103.3 ka 之间,四级旋回周期在 305~416 ka 之间,其形成受米兰科维奇旋回机制的控制。

参考文献 (References)

- 1 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, 13(4): 456-466 [Yi Haisheng. Application of well log cycle analysis in studies of sequence stratigraphy of carbonate

- rocks [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2011, 13(4): 456-466]
- 2 张弛, 吴朝东, 谢利华, 等. 松辽盆地东岭地区早白垩世小型断陷的充填特征与演化过程 [J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2012, 48(2): 253-261 [Zhang Chi, Wu Chaodong, Xie Lihua, *et al.* Filling characteristics and evolution analysis of the Early Cretaceous small fault depression in Dongling region, Songliao Basin [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2012, 48(2): 253-261]
 - 3 崔鸣, 朱战军, 王雁冰, 等. 松辽盆地东岭区块烃源岩成熟度 [J]. *断块油气田*, 2009, 16(4): 40-42 [Cui Ming, Zhu Zhanjun, Wang Yanbing, *et al.* Maturity of source rocks in Dongling area of Songliao Basin [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2009, 16(4): 40-42]
 - 4 李凤杰, 刘殿鹤, 郑荣才, 等. 四川盆地东北地区上二叠统层序地层特征研究 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(6): 1116-1123 [Li Fengjie, Liu Dianhe, Zheng Rongcai, *et al.* The sequence stratigraphic characteristics of Upper Permian in the northeastern Sichuan Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(6): 1116-1123]
 - 5 Anderson E I, Goodwin P W. The significance of meter scale allocycles in the quest for a fundamental stratigraphic unit [J]. *Journal of the Geological Society*, 1990, 147(3): 507-518
 - 6 陈留勤. 从准层序到米级旋回—层序地层学与旋回地层学相互交融的纽带 [J]. *地层学杂志*, 2008, 32(4): 447-454 [Chen Liuqin. From parasequences to meter-scale cycles: The connection between sequence stratigraphy and cyclostratigraphy [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2008, 32(4): 447-454]
 - 7 梅冥相, 徐德斌, 周洪瑞. 米级旋回层序的成因类型及其相序结构特征 [J]. *沉积学报*, 2000, 8(1): 43-48 [Mei Mingxiang, Xu Debin, Zhou Hongrui. Genetic types of meter-scale cyclic sequences and their fabric features of facies-succession [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 8(1): 43-48]
 - 8 Mitchum R M. High frequency stratigraphy [J]. *Sedimentary Geology*, 1991, 70(2/3/4): 215-307
 - 9 Vail P R, Wornardt W W. An integrated approach to exploration and development in the 90's: well log seismic sequence stratigraphy analysis, Gulf Coast Assoc [J]. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 1991, 41: 630-650
 - 10 王鸿祯, 史晓颖. 沉积层序及海平面旋回的分类级别旋回周期的成因讨论 [J]. *现代地质*, 1998, 12(1): 1-16 [Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles: a discussion on the mechanism of sedimentary cycles [J]. *Geoscience*, 1998, 12(1): 1-16]
 - 11 徐丽萍. 测井约束地震反演技术在塔河油田碎屑岩储层预测中的应用 [J]. *石油物探*, 2009, 48(11): 591-595 [Xu Liping. Application of log constrained seismic inversion for elastic reservoir prediction in Tahe oilfield [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2009, 48(11): 591-595]
 - 12 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. Two novel depth-domain frequency spectrum analysis methods for logging data and their application to sequence stratigraphy research [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 1999, 34(2): 57-64]
 - 13 郑兴平, 周进高, 吴兴宁. 碳酸盐岩高频层序定量分析技术及其应用 [J]. *中国石油勘探*, 2004(5): 26-30 [Zheng Xingping, Zhou Jingao, Wu Xingning. High-frequency sequence quantitative analysis technology of carbonate rock and its application [J]. *China Petroleum Exploration*, 2004(5): 26-30]
 - 14 刘泽纯, 陈晔, 袁林旺, 等. 应用自然伽马测井曲线反演 2.85MaB.P. 来古气候变化 [J]. *中国科学 (D 辑): 地球科学*, 2000, 30(6): 609-618 [Liu Zechun, Chen Ye, Yuan Linwang, *et al.* The application of natural Gamma logging curve to recovering palaeoclimatic changes from 2.85Ma B.P. [J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences*, 2000, 30(6): 609-618]
 - 15 程日辉, 王国栋, 王璞珺. 松辽盆地白垩系泉三段—嫩二段沉积旋回与米兰科维奇周期 [J]. *地质学报*, 2008, 82(1): 55-64 [Cheng Rihui, Wang Guodong, Wang Pujun. Sedimentary cycles of the Cretaceous Quantou-Nenjiang Formations and Milankovitch Cycles of the South Hole of the SLCORE-I in the Songliao Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(1): 55-64]
 - 16 Johan H V, George P. A astronomically forced variations in gamma-ray intensity: Late Miocene hemipelagic successions in the eastern Mediterranean Basin as a test case [J]. *Geology*, 1996, 24(1): 152-158
 - 17 Berger A, Loutch M F, Dehant V. Pre-Quaternary Milankovitch frequencies [J]. *Nature*, 1989, 342(9): 133
 - 18 Drummond C N, Wilkinson B H. A periodic accumulation of cyclic peritidal carbonate [J]. *Geology*, 1993, 21(11): 1023-1026
 - 19 Boss S K, Rasmussen K A. Misuse of Fischer plots as sea level curves [J]. *Geology*, 1995, 23: 221-224
 - 20 Burgess P M, Wright V P, Emery D. Numerical forward modeling of peritidal carbonate parasequence development implications for outcrop interpretation [J]. *Basin Research*, 2001, 13(1): 1-16
 - 21 龚大兴, 伊海生, 吴驰华, 等. 南盘江盆地二叠系高频沉积旋回的测井响应及海平面变化趋势 [J]. *地球物理学进展*, 2011, 26(1): 287-293 [Gong Daxing, Yi Haisheng, Wu Chihua, *et al.* High-frequency carbonate depositional cycles and its response to the gamma ray well logging data and sea-level change in Permian Nanpanjiang Basin [J]. *Progress in Geophysics*, 2011, 26(1): 287-293]

Analysis of High-frequency Sedimentary Cycle Superposition Type in Quantou Formation in Dongling Area of Songliao Basin

LIANG Ding-yong^{1 2} YI Hai-sheng¹ QIU Yu-bo¹ CAI Zhan-hu¹

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

2. Hainan Institute of Geological Survey, Haikou 570226)

Abstract: According to calculative cycle thickness by the natural gamma logging curve, using Fischer plots to identify the high-frequency sedimentary cycle Superposition type, trying to proclaim the relation between GR logs reflective fluctuation of clay content and climate cycle. Choosing well SN109 natural gamma logging curve which possess clearly top and bottom and continuous layers in Dongling area of Songliao Basin as experimental data. Using the extreme point method, 1 166 high-frequency depositional cycles can be identified. The thickness of these cycles change from 0.125 m to 2.75 m, the average is 0.62 m. According to Fischer plots, the estimation of the average period of high-frequency depositional cycles is 17.2 ka, the average period of medium-frequency depositional cycles is between 86.1~103.3 ka, the average period of low-frequency depositional cycles is between 305~416 ka, corresponding with 19~24 ka of the precession of equinox, 85~140 ka of the short eccentricity, and 350~400 ka of the long eccentricity of Milankovitch cycles, respectively. It is suggested that the production of lacustrine depositional cycles of Quantou Formation was controlled by the Milankovitch cycles.

Key words: Fischer plots; high-frequency depositional cycles; gamma ray well logging; Quantou Formation; Dongling area