

断陷湖盆陆相层序中高频层序的米氏旋回成因探讨^{*}

胡受权¹, 郭文平²

(1. 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275;

2. 中山大学城市与区域研究中心, 广东 广州 510275)

摘 要: 以泌阳断陷湖盆下第三系核三上段为例, 通过单井高频层序分析, 将其划分出 3 个层序 9 个体系域, 发育 4 类 13 个小层序组, 其中可识别的小层序达 50 多个; 采用滤波技术和傅里叶变换, 对单井自然电位 (SP) 测井曲线进行技术处理, 获取其沉积旋回曲线和频谱曲线, 以了解优势旋回的分布及旋回时限。研究结果显示, 泌阳断陷湖盆的高频层序是由米氏旋回所驱动的古气候周期性波动所形成的。亦即, 古气候是影响陆相层序发育的一个重要因素, 其周期性变化是源于米氏旋回的驱动力 (即米兰柯维奇天文旋回)。米兰柯维奇天文旋回包括偏心率旋回、倾斜率旋回和岁差旋回, 这几个轨道参数所驱动的古气候变迁, 分别形成了周期为 10 万 a (或 40 万 a)、4 万 a 及 2 万 a 的高频层序, 即小层序组、小层序及小层单元。

关键词: 米氏旋回; 高频层序; 频谱分析; 沉积旋回; 陆相层序; 断陷湖盆

中图分类号: TE121.3⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2002) 06-0091-04

古气候是影响陆相层序发育的一个重要因素, 其作用机理是通过影响物源及湖平面变而产生效应。据 Pelmutter 等^[1]的研究, 在某一特定地区的特定期间内, 古气候波动与余弦曲线的特定相态有关, 并可将古气候旋回划分为 6 期, 即最热期 (A)、最冷期 (C)、变冷期 (B1 和 B2) 及变热期 (D1 和 D2)。对余弦函数求导结果表明, 古气候变化率在两个气候端元 (即最热期 A 和最冷期 C) 最小, 而在过渡段变化最迅速 (即变冷过渡期 B 和变热过渡期 D)。因此, 在端元气候条件下风化作用与搬运作用往往处于平衡状态, 所形成的小层单元及小层序简单、小层序类型单一; 而在过渡气候条件下则可能形成多种类型的小层序组及丰富多彩的小层序和小层单元。

被绝大多数地学工作者普遍承认并广泛接受的是, 古气候周期性变化是源于天文旋回的驱动力, 这一规律最早是由南斯拉夫学者米兰柯维奇 (Milankovitch) 所认识的, 他于 1992 年提出了古气候变化的天文假说 (即米兰柯维奇天文旋回假说)^[2,3]。米氏旋回假说主要考虑了偏心率 (e)、倾斜率 (ϵ) 及岁差 (p) 3 个地球轨道参数, 正是由于这几个地球轨道参数的周期性变化, 导致了日照量的周期性变化, 故而引起了古气候的周期性变迁, 进而

影响陆相断陷湖盆基准面的上下波动, 控制着陆相层序的形成及其构型特征。

通常地, 偏心率旋回 (e) 包括一个 10 万 a, 另一个为 40 万 a, 其它较长的频率也可能存在, 但目前尚不能肯定 (A.G. Fischer 和 D.J. Bottjer, 1991); 倾斜率旋回 (ϵ) 为 4 万 a; 岁差旋回 (p) 约 2 万 a^[4]。这几个轨道参数所驱动的古气候变迁信息, 将如实地记录于陆相层序中, 分别形成周期为 10 万 a (或 40 万 a)、4 万 a 及 2 万 a 的高频层序, 即小层序组、小层序及小层单元。

1 陆相层序中高频层序划分

层序 (sequence) 是层序地层学的基本单位和研究重点, 延时 0.3 ~ 3 Ma^[5]。Maill 等^[6]认为, 大多数层序都是由构造因素所造成的。泌阳断陷湖盆中的层序起因于盆缘主干控盆边界断裂构造脉动性所引起的可容空间旋回, 一个陆相层序对应于一个显著的可容空间旋回, 跨时 0.5 ~ 3 Ma^[7,8]。

泌阳断陷湖盆下第三系核三上段划分了 3 个层序 (S4、S5 和 S6), 除 S6 顶界为沉积间断面 (即陆上暴露面) 外, 其它层序界面皆为沉积相不连续面 (界面上下具显著的“跳相”现象), 测井曲线上显示电性突变特征。在高分辨率的三维地震剖面

^{*} 收稿日期: 2002-04-05

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (994113); 国家“油气藏地质及开发工程”重点实验室开放基金资助项目 (PLN9922)

作者简介: 胡受权 (1964 年生) 男, 副教授; 通讯联系人: 郭文平; E-mail: ee07@zsu.edu.cn

上可清晰地见到层序界面之下的局部削截现象, 层序界面之上的上超现象亦较为普遍, 因为该 3 个层序均缺乏低水位体系域, 在层序界面之上直接覆盖着水进体系域的沉积体系。3 个层序 (S4、S5、S6) 跨时分别为 1.08、1.40、1.02 Ma^[7,8]。

小层序组 (parasequence sets) 是构成体系域的单元, 是由一系列小层序 (parasequence) 按特定方式叠置而成, 其基本类型有: 进积小层序组、低位加积小层序组、退积小层序组和高位加积小层序组。通常根据钻井、测井资料, 按小层序的堆叠形式划分小层序组, 其顶、底界面特征不甚明显, 且多为渐变界面。

小层序 (parasequence) 是构成体系域的基本单元, 在内陆湖盆条件下可采用短暂湖泛层 (湖相泥质岩) 作为划分小层序的理想顶界面。在常规反射地震剖面上不能识别小层序, 但在钻孔密集区可以依靠测井、岩芯等资料进行小层序的划分和对比研究。因为在无障壁阻隔的同一湖盆中, 每一次短暂的湖泛都会对盆地各处沉积物产生影响, 在沉积物中留下一个个可供对比研究的地层记录节拍。假如后期不被剥蚀而失去节拍, 小层序是可以进行对比研究的。

组成小层序的组构单元是一系列相对整合且彼此有成因联系的小层单元, 厚度一般小于 10 m, 平面分布范围不超过 30 km, 跨时小于 1 万 a。特定的小层单元在成分、结构或沉积构造方面有其独特性, 其以弱侵蚀面、无沉积面或可与之对比的整合面 (称层面) 为界。识别小层单元及其界面的标志有: ① 结构变化; ② 地层终止 (即地层尖灭); ③ 以生物潜穴、植物根须或土壤带为标志的准整合面。

小层单元 (beds) 作为层序地层构成的最基本单元, 其界面是略经侵蚀的到无沉积的, 形成时间短, 连续性差, 但该类界面基本上可将新、老地层分开, 就其所涉及的范围而言, 实质上是近于等时的。此外, 这些小层单元的界面所代表的时间间隔可能比这些小层单元本身的跨时大得多。因此, 一般可以利用小层单元这级最小的层序地层单元对盆地广大地区进行年代地层对比研究, 以达到精确分析地层的目的。

研究表明, 泌阳断陷湖盆下第三系核三上段可划分出 3 个层序 9 个体系域, 发育 4 类 13 个小层序组, 其中可识别的小层序达 50 多个 (图 1)。

在实际工作中, 首先根据钻孔岩芯并结合电测曲线, 对目的层段的岩性相进行观察研究; 其次划出陆相层序最基本单元——小层单元; 再次对小层

单元进行沉积微相研究; 最后标定小层序界面并厘定小层序单元。按小层序的堆叠方式, 将其归并为不同的小层序组, 在此基础上, 根据沉积基准面原理^[9], 便可进行体系域分析及陆相层序划分。

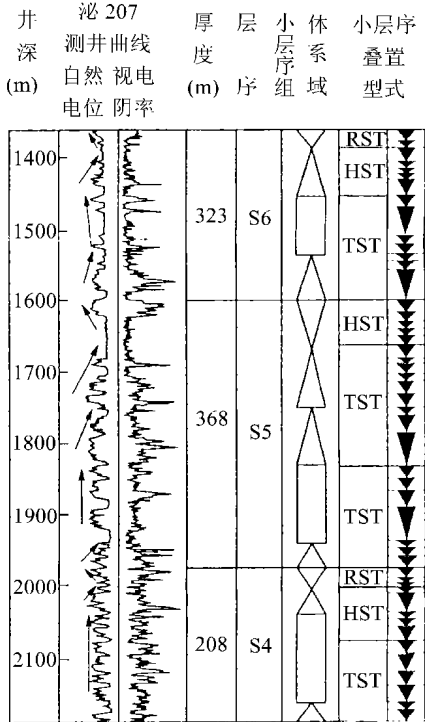


图 1 泌阳断陷下第三系核三上段单井高频层序分析

Fig 1 Singal well analysis of high frequency sequence about the upper member of Eh₃ in Biyang fault-depression

2 高频层序中米氏旋回信息分析

为了准确地捕获高频层序中米氏旋回信息, 对泌阳断陷湖盆泌 207 井和泌 223 井核三上段自然电位 (SP) 测井曲线分别进行了滤波技术处理 (图 2), 获取低频、中频和高频旋回曲线^[10]。其中, 低频旋回曲线上呈现 3 个主要旋回, 平均跨时 1.17 Ma, 与本层段所划的 3 个层序恰好吻合; 中频旋回曲线上发育 15~16 个旋回, 平均跨时约 23 Ma, 与本层段所划的小层序组数量基本吻合; 高频旋回曲线上显示 50 余个旋回, 相当于本层段所划的小层序数量。为了进一步探索小层序组及小层序中蕴藏着的古气候旋回信息, 再对泌 207 井及泌 223 井核三上段自然电位 (SP) 测井曲线的中、高频信息进行傅里叶变换处理, 获得其相应的频谱曲线 (图 3a), 再经滤波技术处理后, 可了解优势旋回的分布及旋回时限 (图 3b)。

就泌 207 井而言, 高频旋回中优势旋回有 4 个, 其频率分别为 0.015、0.118、0.228 和 0.428 min⁻¹, 故其波长分别为 66.67、8.50、4.39 和 2.33 m, 按该

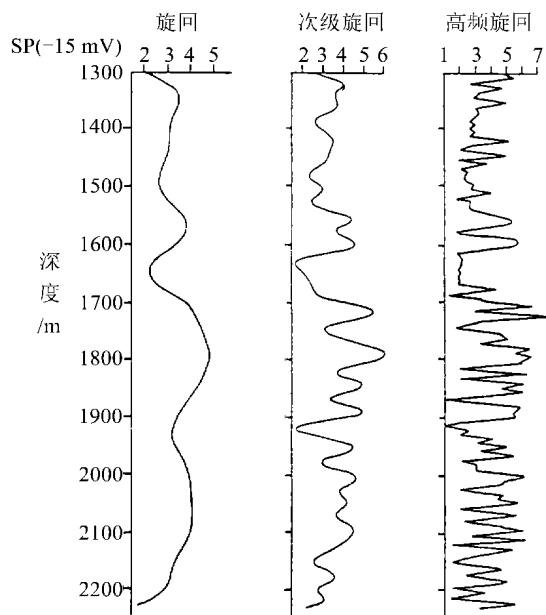


图 2 泌阳断陷泌 207 井核三上段
(1 300~2 220m) 沉积旋回分析

Fig 2 Sedimentary cyclicity analysis of the upper member of Eh₃ in well B207 of Biyang fault depression

井平均沉积速率为 2.31×10^{-4} m/a 计算, 这 4 个优势旋回的时限分别为 28.86、3.67、1.90 和 1.01 万 a。就泌 223 井来论, 高频旋回中优势旋回也有 4 个, 其频率分别为 0.015、0.110、0.225 和 0.398 min^{-1} , 故其波长分别为 66.67、9.99、4.44 和 2.51 m, 按该井平均沉积速率为 2.4×10^{-4} m/a 计算, 这 4 个优势旋回的时限分别为 27.78、4.16、1.86 和 1.05 万 a。综上可见, 泌阳断陷湖盆高频层序中记录着 4 个优势旋回, ①旋回周期为 28.86~27.78 万 a, 与米氏旋回的偏心率周期 ($e=10$ 或 40 多万 a) 相当; ②旋回周期为 3.67~4.16 万 a, 与米氏旋回的倾斜率周期 ($\epsilon=4$ 万 a) 相当; ③旋回周期为 1.90~1.86 万 a, 与米氏旋回的岁差周期 ($p=2$ 万 a) 相当; ④旋回周期为 1.02~1.05 万 a, 与米氏旋回的岁差半周期相当。由此可以断定, 泌阳断陷湖盆的高频层序是由地球轨道旋回所驱动的古气候周期性变迁所形成的。简言之, 古气候周期性变迁决定着陆相层序中高频单元的发生、发展和定格。

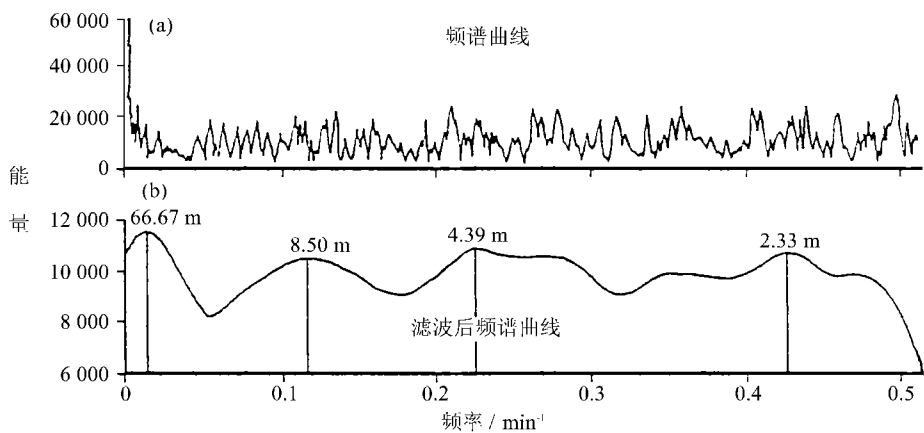


图 3 泌阳断陷泌 207 井核三上段 (1 300~2 220 m) 自然电位曲线频谱分析

Fig 3 SP spectral analysis of the upper member of Eh₃ in well B207 of Biyang fault depression

3 结 论

研究结果表明, 断陷湖盆的高频层序是由米氏旋回所驱动的古气候周期性波动所形成的。亦即, 古气候是影响陆相层序发育的一个重要因素, 其周期性变化是源于米氏旋回的驱动力 (即米兰柯维奇天文旋回)。米兰柯维奇天文旋回包括偏心率旋回、倾斜率旋回和岁差旋回, 这几个轨道参数所驱动的古气候变迁, 分别形成了周期为 10 万 a (或 40 万 a)、4 万 a 及 2 万 a 的高频层序, 即小层序组、小层序及小层单元。

参考文献:

[1] PERLMUTTER M A, MATTHEWS M D. Global cyclostratigraphy—a model //CROSS T A, ed. Quantitative dynamic stratigraphy[m] . Prentice Hall, 1989; 233—260.
[2] 吴瑞棠, 张守信. 现代地层学[M] . 北京: 中国地质大学出版社, 1989.
[3] 赵锡文. 古气候学概论[M] . 北京: 地质出版社, 1992.
[4] FISCHER A G, BOTTJER D J. Orbital forcing and sedimentary sequence[J] . J Sedimentary Petrology, 1991, 61 (7): 1063—1069.
[5] VAIL P R, AUDEMARD F, BOWMAN S A, et al. The

stratigraphic signatures of tectonics, eustacy—an sedimentology and overview //EINSELE G, et al. ed. Cycles and events in stratigraphy[M] . Heidelberg, Springer-Verlag, 1991: 617—659.

[6] MIALL A D. Stratigraphic sequences and their chronostratigraphic correlation[J] . J Sedimentary Petrology, 1991, 61: 497—505.

[7] 胡受权, 颜其彬. 泌阳断陷双河—赵凹地区陆相层序地层学模式[J] . 地质科学, 1998, 33(4) : 435—446.

[8] 胡受权, 颜其彬, 张永贵. 陆相层序界面识别的岩石地球化学标志探讨[J] . 石油学报, 1999, 20(1): 24—29.

[9] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J] . 石油与天然气地质, 1995, 16(2) : 89—97.

[10] 胡受权, 郭文平, 杨凤根, 等. 试论控制断陷湖盆陆相层序发育的影响因素[J] . 沉积学报, 2001, 19(2): 256—262.

Discussion on Milankovitch Orbit Cycle in High Frequency Sequence of Terrigenous Sequence in Fault depressed Lacustrine Basin

HU Shou quan¹, GUO Wen ping²

(1. Department of Earth Sciences, Sun Yat sen(Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China; 2. Center of Urban and Regional Studies, Sun Yat sen(Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: A case study of the upper member of Eh₃ in Biyang fault depression is conducted. By singal well analysis of high frequency sequence, the upper member of Eh₃ of Biyang fault depression can be classified into three terrigenous sequences and nine systems tracts, or into four basic types and thirteen parasequence sets, of which there are fifty recognizable parasequences. Using SP log curve treated with mathematical transformation, the sedimentary cyclicity curve and spectral curve can be obtained to find out characteristics of dominant cyclicity. The research results show that high frequency sequences in Biyang fault depression were controlled by paleoclimatical cyclic transformation, which was caused by Milankovitch orbit cycle. Milankovitch orbit cycle consists of accentricity, inclination and procession of equinoxes which lead to palaeoclimatical cyclic transformation and fom high frequency sequence, namely parasequence sets, parasequence, and beds with cycles of 1×10^5 , 4×10^4 , 2×10^4 years, respectively.

Key words: Milankovitch orbit cycle; high frequency sequence; spectral analysis; sedimentary cyclicity; terrigenous sequence; fault depressed lacustrine basin