

文章编号: 1000-0550(2007)01-0021-08

干旱气候条件下陆相高分辨层序地层特征研究 ——以江汉盆地西南缘晚白垩世渔洋组为例

陈波¹ 张昌民¹ 韩定坤² 赵海涛¹ 赖志云¹

(¹ 油气资源与勘探技术教育部重点实验室 长江大学地球科学学院 湖北荆州 434023 ² 中国石油化工股份有限公司中南分公司 长沙 410117)

摘要 江汉盆地西南缘白垩系上统渔洋组地层旋回主要受气候因素的影响。研究区渔洋组是在干旱气候条件下沉积的洪水—漫湖沉积体系,其气候变化的特点是短暂洪水期与较长干旱的间洪水期交替变化,同时表现出不同级别的旋回,在气候越来越干旱的背景下,洪水期持续的时间就会越短,洪水的规模也越来越小。在短期的气候变化旋回下,地层沉积特征表现为洪水期沉积的水道、砂坪等微相与干旱的间洪水期泥坪微相互层。在中期气候变化旋回下,主洪水期持续时间长、规模大,沉积分布广泛,形成较厚的灰色水道砂岩沉积和灰色泥岩沉积夹薄层的红色泥坪沉积,间洪水期沉积为砂坪、混合坪与泥坪互层构成。长期旋回表现为每个中期主洪水期越来越小、水道沉积规模变小,间洪水期形成的红色泥坪厚度逐渐加厚,代表气候越来越干旱。研究区的这种地层旋回变化特征反映出气候是地层旋回的主控因素,不仅控制地层的短期旋回,同时控制地层的中长期旋回。这些特征具明显的等时性和可对比性,为油田开发过程中层序对比及油层划分提供了理论依据。

关键词 江陵凹陷 渔洋组 气候演变 洪水期 间洪水期 基准面变化

第一作者简介 陈波 男 1967 年出生 博士 副教授 层序地层学与油藏描述 E-mail: chpo@yangtzeu.edu.cn
中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

通常而言层序地层主要受沉积构造、物源供给、气候因素控制^[1],由于陆相盆地所特有的成盆条件和构造特征各不同,其层序地层的控制因素有其特殊性,但不同学者对陆相盆地层序地层的控制因素存在不同认识,归纳起来分为两类,其一是综合控制论,即强调湖平面的变化是控制层序发育、层序格架及体系域结构的直接因素,湖平面的变化是受构造沉降、气候变化和沉积物供给等因素综合影响的结果^[2,3,4]。其二是构造控制论,认为构造作用是陆相盆地层序发育的主控因素,构造比气候对陆相盆地层序的影响更大,范围更广,其动力学机制来源于地球内部的板块碰撞和俯冲引起的构造沉降等^[5]。事实上,由于陆相盆地本身的发育过程存在多样性,构造背景、气候条件、物源条件千差万别,因此就某一盆地或盆地中某一构造部位,其控制因素可能是综合的,也可能是单因素的,在单因素中既可以是构造控制,如一些断陷盆地,也可以是物源或气候控制的结果。下面以江陵凹陷白垩系上统渔洋组高分辨层序特征为例阐述气候控制下的层序特征。

白垩纪时期,燕山运动影响下江汉盆地及中国东部地区发育一系列坳陷盆地^[7],盆地构造稳定且沉

降速度缓慢,古地形平坦,气候干旱,地层很好的记录了气候演变。研究区位于江汉盆地西南缘(图 1),白垩系上统渔洋组为该地区的主要储层和含油层位。根据渔洋组高分辨率层序研究发现,气候不仅控制地层短期旋回的发育,中、长期旋回也受气候变化控制。

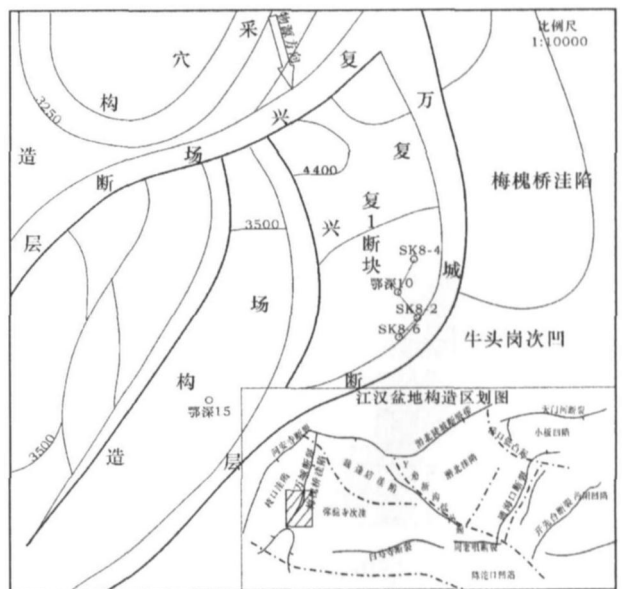


图 1 研究区位置及构造简图

Fig 1 The location and structural map of the study area

1 渔洋组沉积特征

根据区域资料及研究区 ES10 井、SK8-2 井等多口井岩心观察与钻井资料分析,在江汉盆地及周边地区渔洋组沉积为干旱气候环境下的洪水—漫湖沉积体系^[8-9],在研究区形成了一套棕色砂泥岩夹灰色砂泥岩沉积建造,发育水道、砂坪、泥坪、混合坪和远端五种微相类型。

(1) 水道微相

灰色中细砂岩沉积,粒度较粗,具正韵律特征,水道底部见冲刷面并充填泥砾,层理发育如槽状、波状、平行层理。反映水源充足,水动力能量大,应为洪水期时,充足的降雨量引发洪水携带周缘物源进入湖泊时在水流通道形成的沉积(图 2)。

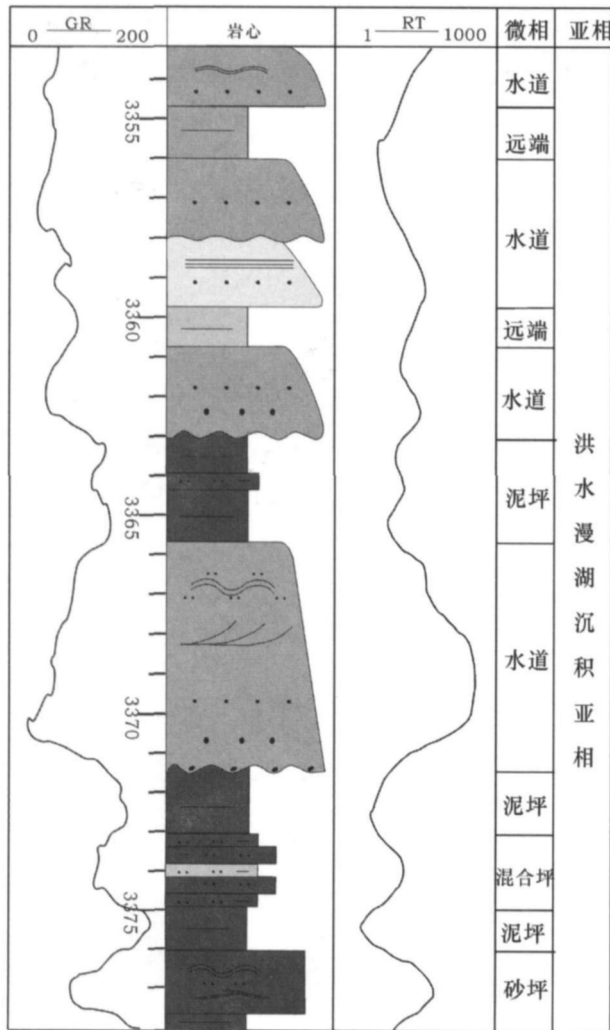


图 2 ES10井岩心沉积微相图

Fig 2 The feature of micro facies recognized from drill core (Well ES10)

(2) 砂坪微相

浅棕、红棕色细砂岩夹泥质粉砂岩沉积,具双向交错层理、波状层理和变形层理。为主洪水期后,湖平面逐渐下降,先期的水道沉积物或次级洪水期携带物在湖浪反复作用下沉积的棕红色粉细砂岩沉积。双向交错层理、波状层理等反映湖浪水动力能量较强(图 2)。部分取心见中一强的生物扰动构造,反映相对稳定的沉积环境。

(3) 泥坪微相

棕红色泥岩、粉砂质泥岩沉积(图 2)。泥坪厚度大,反映干旱蒸发持续时间长,泥岩的颜色反映水体较浅,氧化强度大,只是在洪水期处于水下,大部分时间出露在地表。在强烈的蒸发作用下,局部地区甚至出现小规模干盐湖沉积特征,形成部分蒸发岩如石膏沉积。

(4) 混合坪微相

棕红色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩沉积,表现为薄互层特征(图 2)。反映水动力条件较弱的沉积条件,主要位于枯水面附近沉积,相当部分时间出露地表。

(5) 远端微相

灰色、灰黑色、蓝灰色泥岩沉积,块状层理(图 2)。为水道尽头低能稳定水动力环境下悬浮总体形成的沉积,沉积特征与湖相泥岩相近。

上述五种沉积微相在平面上的分布如图 3 所示,

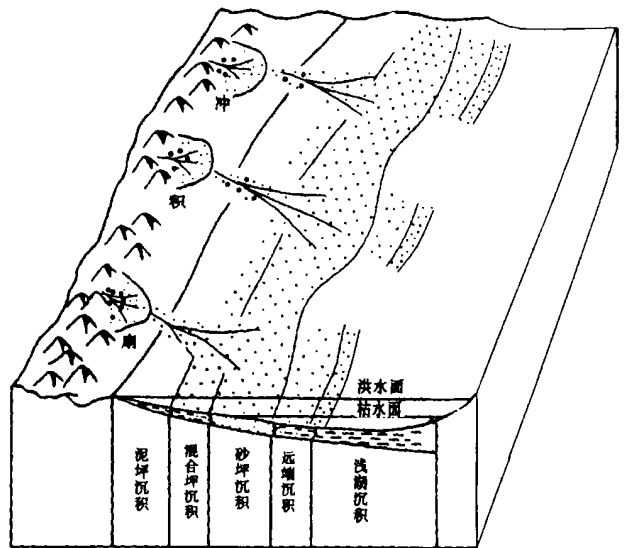


图 3 江汉盆地西南缘渔洋组沉积微相模式图

(据赵澄林修改)

Fig 3 The sedimentary model of Yuyang Formation southwest of Jianghan basin (after Zhao Chenglin)

泥坪、砂坪和混合坪微相平行湖岸分布, 水道沉积微相垂直于岸线分布。

2 地层基准面旋回的确定

根据 Cross 邓宏文^[10~12]等观点, 地层记录中不同级别的地层旋回记录了相应级次的基准面旋回。在每一级次的地层旋回内必然存在着能反映相应级次基准面旋回的“痕迹”。基准面旋回表现在相序与相组合的变化及旋回叠加样式的改变。我们在研究区渔洋组地层中识别出三种级别的地层旋回, 分别对应短期基准面旋回和中、长期基准面旋回^[13 14]。

2.1 短期基准面旋回的确定及特征

研究区渔洋组五种微相共有八种组合特征(图 4), 其中有五种微相组合的上升半旋回为水道微相(图 4a~e), 区别在于下降半旋回可以是泥坪微相, 也可以是混合坪—泥坪、砂坪—泥坪或砂坪—混合坪—泥坪组合, 部分取心井为远端微相, 水道沉积是在洪水期洪水携带大量沉积物进入盆地沿泄水通道沉积的产物, 泥坪、混合坪和砂坪是在间洪水期盆地逐渐干旱的环境下沉积的产物。此类短期旋回具有

不对称特征或对称特征, 显示上升期半旋回水道灰色砂岩沉积厚度与下降半旋回棕色砂泥岩沉积厚度互为消长关系, 代表水道沉积距岸线的远近。图 4a 显示是距岸线较近的沉积微相组合, 以上升半旋回为主, 水道砂体较厚, 底部具有冲刷面及充填泥砾, 为洪水期快速强水动力环境沉积的产物, 泥坪微相厚度小, 反映洪水过后, 湖平面快速下降, 可容空间迅速减小, 水体变浅或暴露地表后被氧化为棕红—紫红色。图 4b~图 4d 为对称性旋回, 上升半旋回与下降半旋回沉积厚度持平, 代表微相组合发育于枯水面附近, 为洪水期后湖平面缓慢下降, 可容空间下降较慢, 微相类型较全且向湖泊方向前积, 沉积位置距岸线较远。图 4e 为不对称旋回, 下降半旋回厚度大于上升半旋回, 远端微相发育, 靠近湖泊中心, 洪水水道在此位置水动力已较为微弱, 水道厚度小, 可见冲刷面但未见充填泥砾, 洪水期后湖平面变化对远端微相影响较小, 因此沉积了较厚的灰色泥岩。

缺失水道沉积微相的组合系列有三种(图 4f~图 4h), 上升半旋回为砂坪或混合坪微相, 代表短期旋回中一些小规模洪水期或季节性洪水期沉积的产

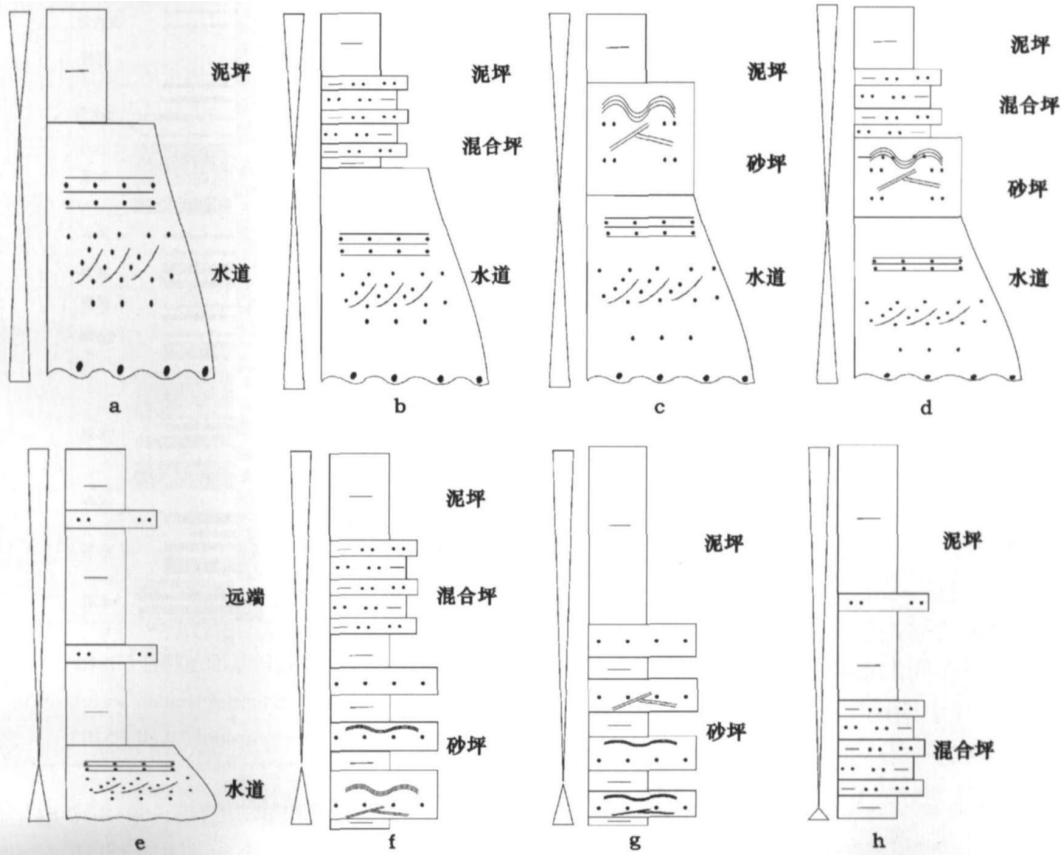


图 4 短期旋回沉积微相组合特征

物,洪水量小,湖盆水体在洪水期上升幅度小,盆地维持浅水沉积环境,洪水期携带的少量粗碎屑沉积物被改造成砂坪或混合坪沉积,沉积厚度薄,以互层或薄互层为主,湖盆整体水动力较低,主要为干旱气候环境下的沉积建造。下降半旋回均为棕色泥岩沉积建造,代表持续干旱气候的沉积。

综上所述,地层短期旋回显然与气候短期周期性变化有关。在洪水期,大量洪水入湖,迅速充满盆地,可容纳空间增至最大;同时入湖水量与洪水水流携带能力相关,较大规模的洪水期(主洪水期)持续时间长,入湖水量大,洪水携带大量的沉积物进入盆地,形成大规模以水道沉积为主的沉积微相组合。一些小规模的洪水期或季节性洪水期洪水量小,入湖水量和携带的沉积物量有限,湖盆水体上升幅度不大,可容纳空间增加较小,盆地处于浅水环境,入湖的沉积物在波浪的反复改造下以砂坪或混合坪沉积为主,水道沉积较少。在间洪水期,气候干旱,蒸发强度大,入湖碎屑物少,主要以枯水期的泥坪沉积为主。

在短期气候旋回的控制下形成如图 4 所示的八种短期地层旋回模式。

2.2 中期基准面旋回的确定及特征

中期地层旋回记录了中期基准面的变化,中期基准面变化代表中期气候旋回。中期地层旋回由若干个具相近变化规律的短期地层旋回组成。对于中期地层旋回,由于取芯资料有限更多的依靠钻井、测井资料进行,即利用取心井建立短期地层旋回测井响应模式,并对录井资料进行校准,建立微相应模式,在此基础上识别中期地层旋回。通过分析发现,在多个短期旋回的叠置中存在水道沉积特别发育的短期旋回和不发育的短期旋回,水道微相的发育代表洪水规模大、持续时间长,显然它不仅是一个短期旋回的洪水期,同时是中期气候旋回的主洪水期。从地层旋回的演化特征看,由一个主洪水期旋回和多个次一级洪水期旋回构成的多个短期旋回系列正是一个中期地层旋回的特征。因此一次大规模的水道沉积(主洪水期)即代表中期气候控制下基准面旋回的开始,而大段巨厚泥坪沉积(间洪水期)则标志着中期基准面旋回的结束。这种中期地层旋回演化特征在研究区的井剖面上非常明显(图 5)。

据此渔洋组共划分为 6 个中期旋回,目前钻井普遍揭示的有 4~5 个。如图 5 可以看出,4 个中期旋回特征基本相似,每一个中期旋回由主洪水期沉积的水道微相开始,由多个次级洪水期旋回(中期间洪水

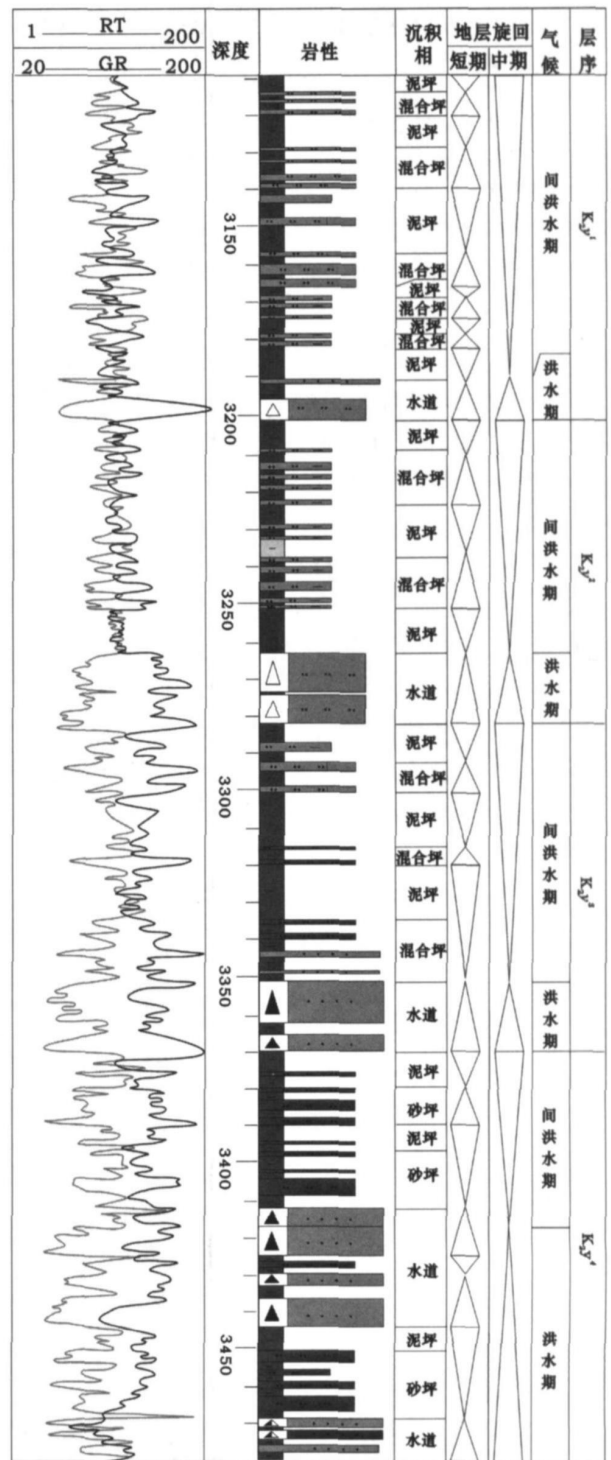


图 5 地层基准面特征 (ES10)

Fig 5 The feature of stratum base level in Yuyang Formation (Well ES10)

期)形成的干旱沉积建造结束。在 4 个地层旋回中,下部的 K₂y⁴层序由四个短期旋回组成,主洪水期有三个与水道微相有关的短期旋回构成,洪水期持续时

间长, 水道沉积规模大, 均为灰色细砂岩, 自然伽马呈钟型, 显示正韵律特征。间洪水期沉积主要为砂坪—泥坪微相组合, 其厚度大于水道沉积厚度, 反映出在中期气候旋回中, 主洪水期持续时间相对较长, 但与间洪水期的持续时间相比, 主洪水期持续时间是相当短暂的不对称旋回, 其特征与短期旋回一致。

从 K_2y^4 层序到 K_2y^1 层序主洪水期的水道沉积规模逐渐减小, 而间洪水期的干旱气候沉积的地层规模越来越大, 反映出渔洋组沉积时期是一个气候逐渐变的更加干旱的过程, 结合前人研究, 江陵凹陷渔洋组沉积之后为古近系沙市组沉积期, 形成一套灰白色蒸发岩夹紫红色泥岩及部分粉砂岩建造^[15,16], 气候较渔洋组更为干旱, 因此整个渔洋组为干旱长期气候旋回的一部分。

从上述分析可以看出, 渔洋组无论是短期地层旋回还是中、长期地层旋回都是在干旱气候背景下不同级别的洪水期与间洪水期周期性变化的控制下形成的, 这种特征在盆地范围具有统一性, 不同级别的旋回在不同范围内具有可对比性。根据江汉盆地地层年代数据^①, 渔洋组地层形成于 65~72.06 Ma 时限约 7 Ma 中期地层旋回的时限平均在 1~2 Ma 之间。根据王鸿祯等对陆相盆地层序级别的划分^[7], 中期地层旋回相当于三级层序 (1~3 Ma), 短期旋回时限

平均在 0.25~0.5 Ma 之间, 厚度为 25 m 左右, 相当于四级层序 (0.5 Ma 或 1 Ma), 地层和时间分辨率较高。

3 地层层序横向对比

结合短期旋回与中期旋回的划分标准, 在对全区单井旋回解释的基础上, 进行联井解释。即利用旋回等时对比原理建立工区层序对比格架 (图 6)。图 6 所示的四口井是在一个近 20 km² 的构造范围内, 对比剖面对研究区的两个主力含油层 K_2y^4 和 K_2y^3 进行了对比, 从对比剖面可以看出, 不仅中期旋回具有很好的对比性, 短期地层旋回也具有可比性, 但由于短期旋回的识别标志不是十分明显, 其对比主要以中期地层旋回为准, 辅助以短期旋回特征对油层进行划分和对比, 可靠地满足油田开发的需要, 油田开发过程也证实上述划分方案 (图 6)。同时还可以看到主洪水期沉积的水道砂体是研究区主要的储层沉积类型, 其中 K_2y^4 主洪水期持续时间长, 砂体横向分布广泛并侧向叠置, 而 K_2y^3 主洪水期持续时间短, 水道砂体发育程度不如 K_2y^4 层, 但间洪水期干旱气候沉积的泥坪沉积厚度大, 分布稳定, 构成良好的盖层, 因此上述两套地层构成良好的储、盖组合, 成为该地区主要的含油层系。

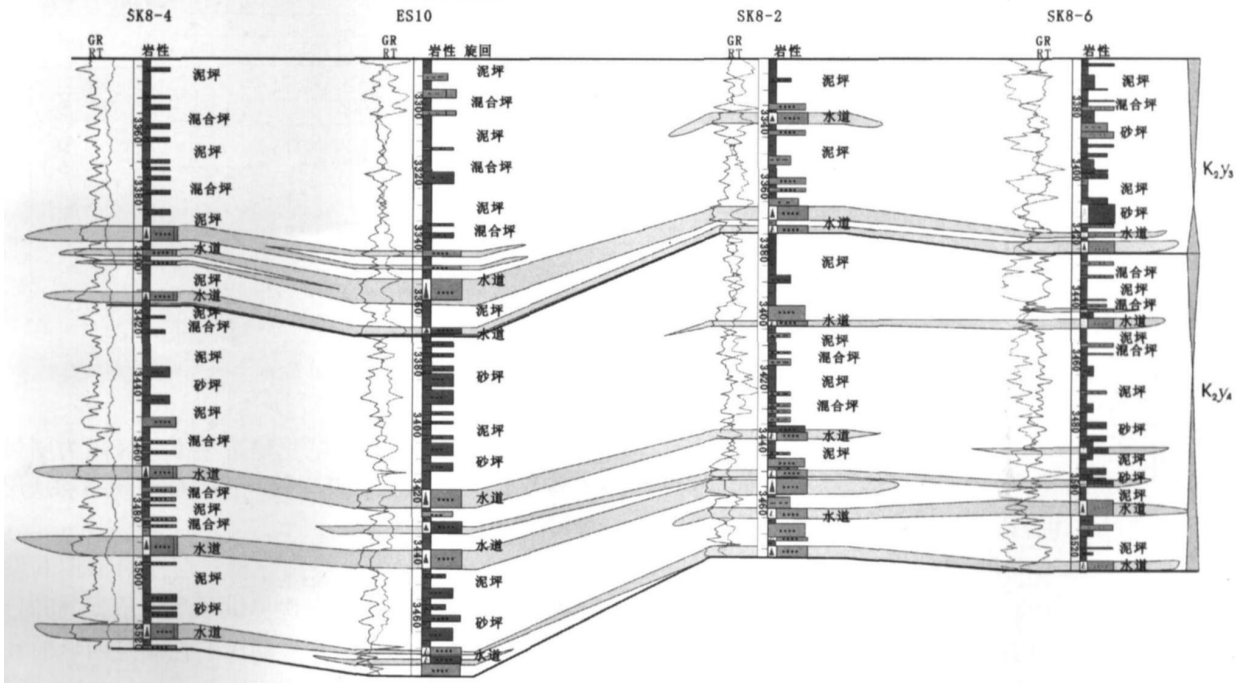


图 6 高分辨率地层格架建立(垂直物源方向)
Fig 6 High resolution sequence stratigraphy framework in the study area

① 严金泉, 许效松, 中国南方中生代构造—层序岩相古地理研究及编图

4 干旱气候控制下的层序模式

地球发展的历史表明,古气候的变化呈现一定的周期性变化,如全球冰期与间冰期的交替出现、盆地沉积所表现出的干旱、潮湿气候周期性变化等长期变化旋回。同时,在干旱气候环境下出现不同级次的周期性洪水期和干旱期,对层序的演化和形成也能起到控制作用。

根据研究区地层的旋回特征及其与气候周期性变化的关系,建立了干旱气候环境下高分辨率层序模式(图 7)。其特点如下:

(1)在短期气候旋回的作用下,地层的短期旋回分为两类,其一是与主洪水期形成的水道微相沉积有关的地层短期旋回,代表中期旋回的开始,其特点表现为洪水期盆地周缘洪水进入盆地,湖平面迅速升至洪水面,洪水携带的大量沉积物形成水道沉积;洪水期后(间洪水期),气候逐渐干旱,水体能量下降,前期水道沉积被后期湖浪改造形成砂坪、混合坪或泥坪沉积。其二是与次一级的洪水期或季节性洪水期沉积的短期旋回,盆地水体上升的空间有限,盆地沉积

范围萎缩,由于洪水量小,携带的沉积物量没有形成大量的水道沉积,其沉积物被随后的间洪水期的波浪改造,形成砂坪、混合坪等沉积体,平行于湖岸分带分布。并随着盆地的蒸干沉积较厚的泥坪沉积。

(2)中期气候旋回作用下,表现为主洪水期与间洪水期的交替作用,主洪水期形成大规模深水水道沉积及远端泥岩相,水道分布广,水道底部侵蚀作用强,间主洪水期主要是砂坪、泥坪等沉积,虽存在一些短期洪水作用形成的水道砂体,但整体以干旱环境下的棕红色细粒沉积为主。

(3)长期气候演变则表现为多个中期旋回代表的潮湿期和干旱期交替及沉积物规模的变化,研究区所在地层只是代表盆地长期旋回中向更干旱的气候条件演化的一部分。

(4)在干旱气候背景下,气候的演变是通过洪水期与间洪水期交替对地层产生作用的,在时间上,洪水期持续的时间在整个旋回中所占的比例是相当小的,无论是短期旋回还是中、长期旋回均如此,短暂的洪水期与持续的干旱期相伴,在地层剖面上表现出的特征是棕红色的岩性背景下间隔出现灰色的地层。

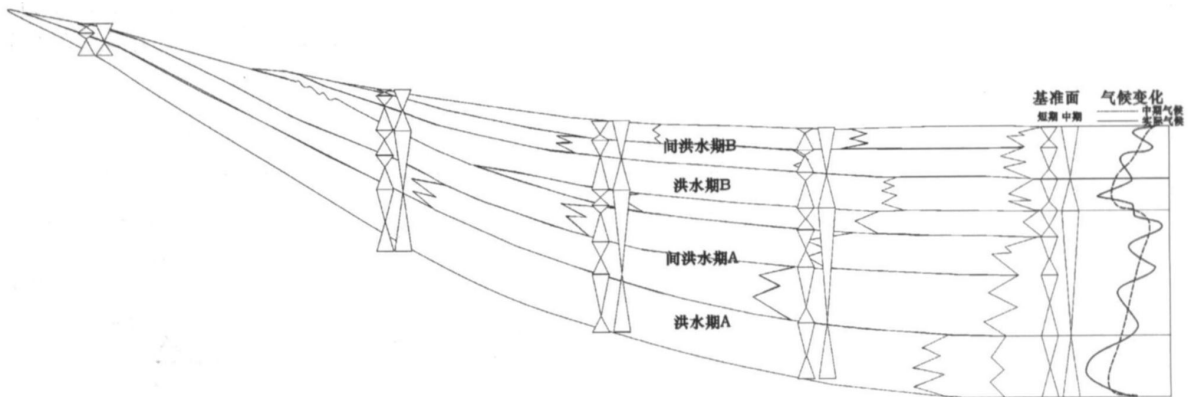


图 7 气候控制下层序充填模式

Fig 7 The sequence model under the climatic control as a main influential factor

5 结论

(1)通过上述分析发现,气候作为层序主控因素是存在的。在地形平坦,构造沉降缓慢的古地理环境,如坳陷盆地(不含坡折带)及断陷盆地缓坡带,可以形成气候控制下的高分辨率层序。

(2)气候控制层序的形成是通过不同级别旋回的气候条件周期性变化实现的,在研究区干旱气候条件下形成的不同级别的洪水期与间洪水期的交替变

化形成了层序内不同的沉积建造类型并表现为明显差异及等时性特征,并具有较高的时间分辨率和地层分辨率。

(3)气候控制的地层高分辨率层序对油田开发过程的小层或油层划分对比提供了理论依据,同时,不同级别的气候变化旋回对储层的控制是明显的和可预测的。

参考文献 (References)

1 Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive regressive cy

- cles Upper Cretaceous Western Interior U. S. A. In: Wilgus C. K. *et al* Sea level Changes: An integrated approach. SEPM Special Publication 42, 1988, 371~380
- 2 邓宏文, 王红亮, 阎伟鹏, 等. 河流相层序地层构成模式探讨. 沉积学报, 2004, 22(3): 373~379 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Yan Weipeng, *et al*. Architecture model of sequence stratigraphy in fluvial facies. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(3): 373~379]
 - 3 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~184 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xizhe. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base levels and their application. *Oil & Gas Geology*, 1996, 17(3): 177~184]
 - 4 顾家裕, 郭彬程, 张兴阳. 中国陆相盆地层序地层格架及模式. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 11~15 [Gu Jiayu, Guo Bincheng, Zhang Xinyang. Sequence stratigraphic framework and model of the continental basins in China. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(5): 11~15]
 - 5 顾家裕. 陆相盆地层序地层学格架概念及模式. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 6~10 [Gu Jiayu. Framework concepts and models of sequence stratigraphy in nonmarine petroleum basin. *Petroleum Exploration and Development*, 1995, 22(4): 6~10]
 - 6 冯有良, 李思田, 解习农. 陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式. 地学前缘, 2000, 7(3): 119~132 [Feng Youliang, Li Sitian, Xie Xinong. Dynamics of sequence generation and sequence stratigraphic model in continental rift subsidence basin. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 119~132]
 - 7 蔡希源, 李思田, 等. 陆相盆地高精度层序地层学——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践. 北京: 地质出版社, 2003, 69~71 [Cai Xiuyan, Li Sitian, *et al*. High Resolution Sequence Stratigraphy of Continental Basins: Basic Ideas, Methodology and Practice for Exploring Subtle Oil Pools. Beijing: Geological Publishing House, 2003, 69~71, 36~41]
 - 8 赵澄林. 沉积学原理. 北京: 石油工业出版社, 2001, 35~42 [Zhao Chenglin. Principles of Sedimentology. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001, 35~42]
 - 9 卢明国, 林畅松, 廖忠礼, 等. 江陵浅水一半深水坳陷湖盆层序地层学特征. 沉积学报, 2003, 21(2): 313~316 [Lu Mingguo, Lin Changsong, Liao Zhongli, *et al*. Characteristics of sequence stratigraphy of Jiangling shallow to semi-deep water depression lake basin. *Acta Geoscientia Sinica*, 2003, 21(2): 313~316]
 - 10 陈波, 陈恭洋, 等. 港东油田二区一断块高分辨率层序地层. 沉积学报, 2000, 18(2): 263~267 [Chen Bo, Chen Gongyang, Bao Jicheng. High resolution sequence stratigraphy of the first fault block, the Second Area of Gangdong Oilfield. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(2): 263~267]
 - 11 李江涛, 李增学, 郭建斌, 等. 高分辨率层序地层分析中基准面变化的讨论. 沉积学报, 2005, 23(2): 297~301 [Li Jiangtao, Li Zengxue, Guo Jianbin, *et al*. Discussion about base level changes in the analysis of high resolution sequence stratigraphy. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(2): 297~301]
 - 12 朱筱敏, 康安, 王贵文. 陆相坳陷型和断陷型湖盆层序地层样式探讨. 沉积学报, 2003, 21(2): 283~287 [Zhu Xiaomin, Kang An, Wang Guiwen. Sequence stratigraphic models of depression and faulted down lake basins. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(2): 283~287]
 - 13 纪友亮, 张善文, 冯建辉. 陆相湖盆古地形、可容空间的体积变化率与层序结构的关系. 沉积学报, 2005, 23(4): 631~638 [Ji Youliang, Zhang Shanwen, Feng Jianhui. Relationship between paleotopography and volumetric change rate of lacustrine basin to the sequence structure. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(4): 631~638]
 - 14 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义. 沉积学报, 2001, 19(2): 249~254 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base level cycles of terrigenous basin and its implications. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(2): 249~254]
 - 15 刘中戎, 王雪玲. 江陵凹陷西南部油气特征及油气富集规律分析. 江汉石油学院学报, 2005, 27(1): 21~23 [Liu Zhongrong, Wang Xueling. Hydrocarbon characteristics and its enrichment rule in the southwest of Jiangling Depression. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 2005, 27(1): 21~23]
 - 16 中国石油地质志. 卷九. 北京: 石油工业出版社, 1991, 59~60 [Petroleum Geology of China Vol. 9. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991, 59~60]

Characteristics of Lacustrine High-resolution Sequence Stratigraphy under Arid Climate: a case study of Yuyang Formation (Late Cretaceous) in Southwest of Jiangnan Basin

CHEN Bo¹ ZHANG Chang-min¹ HAN Ding-kun²
ZHAO Hai-tao¹ LAI Zhi-yun¹

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources Ministry of Education Yangtze University Jingzhou Hubei 434023
2. Zhongnan Petroleum Branch of SINOPEC Changsha 410117)

Abstract The sequence in Yuyang Formation of late Cretaceous in southwest of Jiangnan Basin is controlled by an arid climate. Due to the evolution of climate, the flood period and inter-flood period alternately occur. In short-term cycles, the sandstone of channel microfacies and sandflat microfacies deposits in flood period and the mudstone of mudflat microfacies deposits in inter-flood period. In mid-term cycles, there appear several assemblages of short-term sequence cycle. The main flood period usually lasts quite a long time with a large scale, so there deposits a set of thick grey sandstone of channel microfacies and mudstone of distal microfacies with interlayers of laminar red mudstone of mudflat microfacies. Moreover, there is a set of sandflat, mixed-flat and mudflat microfacies in the main inter-flood period. Different from the two cycles above, in long-term cycles, it has a trend that the scales of the channel decrease in main flood period while the thicknesses of red mudflat increase in inter-flood period. All these characters in mid- & long-term sequence cycle suggest the climate has a tendency to become more and more arid. In terms of the characters of sequences and microfacies in arid climate evolution, the authors build up a set of high-resolution stratigraphic sequence and make the stratigraphic correlation.

Key words Jiangnan Basin, Yuyang Formation, high-resolution sequence stratigraphy, flood period & inter-flood period, base level cycle