

文章编号: 1000-0550(2010) 03-0481-08

鄂尔多斯盆地姬塬地区长 8 油层组高分辨率层序分析¹

廖 一¹ 郑荣才¹ 王成玉² 王海红² 韩永林² 王昌勇¹

(1 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;
2 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院 西安 710021)

摘要 以高分辨率层序地层学原理为指导,利用钻井岩芯、测井和岩矿分析等资料,对鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长 8 油层组进行沉积相和基准面旋回划分,将其确定为浅水三角洲沉积体系,划分为 2 个中期 (MSC1 和 MSC2) 和 6 个短期 (SSC1~SSC6) 基准面旋回。研究表明:长 8₂ 沉积期研究区主要为湖域扩大的三角洲前缘及前三角洲沉积环境;长 8₁ 沉积期,研究区主要为三角洲平原沉积环境;分析了不同级别的基准面旋回叠加式样与沉积相展布、演化规律之间的关系,并与正常沉积的三角洲层序发育特征进行了对比。在此基础上,以短期旋回为单元,建立了高分辨率层序地层格架和编制了长 8₁ 和长 8₂ 的层序—岩相古地理图,得出相对正常的三角洲而言,浅水三角洲沉积体系具有 A/S(可容纳空间/沉积物补给)较小、河口坝不发育、有利储层发育的微相为长距离延伸的分流河道砂体和分流河道砂体主要发育在短期上升半旋回的结论。

关键词 鄂尔多斯 姬塬 浅水三角洲 长 8 油层组 高分辨率层序地层学
第一作者简介 廖一 男 1985 年出生 硕士研究生 沉积学和石油地质学 E-mail: liaodayi@yahoo.com.cn
中图分类号 P539 **文献标识码** A

0 前言

姬塬地区位于鄂尔多斯盆地西部,区域构造属于伊陕斜坡,与天环坳陷毗邻(图 1)。通过对该地区上三叠统延长组长 8 油层组岩心的详细观察描述,识别出多种层理和层面等原生沉积构造,根据各类沉积构造的发育程度和组合规律,认为长 8 油层组沉积特征明显有别于长 4+5 长 6 长 7 等油层组^[1-3],属于典型浅水三角洲沉积体系^[4]。浅水三角洲是一种特殊的三角洲类型,它是指在水体浅、地形平缓部位形成的以分流河道为主体的三角洲类型,其沉积作用和砂体展布受湖平面升、降和物源方向控制明显^[5],对油气成藏有着重要的意义^[6-8]。针对这一特点,本项目研究以 Cross 的高分辨率层序地层学理论和技术方法为指导思想和研究思路^[9],按陆相盆地基准面旋回发育规律和层次性^[10-11],对姬塬地区长 8 油层组开展高分辨率层序分析,建立等时地层格架和对砂体进行详细解剖和预测。

1 高分辨率层序划分

众所周知,层序划分是层序分析的基础,界面是划分层序和确定层序成因类型的依据^[10-13]。层序划

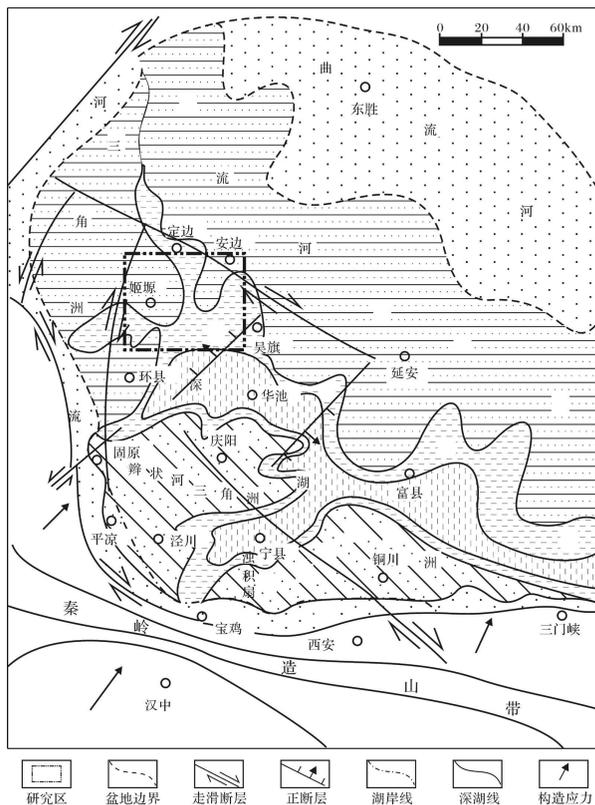


图 1 鄂尔多斯盆地晚三叠世中期沉积—构造格局及研究区位置图(据陈全红, 2006 略作修改)
Fig 1 Sketch map of Late Triassic paleogeographic and tectonic framework in Jiuyan Ordos Basin (Modified from Chen Quan-hong, 2006)

¹ 国家重大专项(编号: 2008ZX05000-003-01)的成果。
收稿日期: 2009-06-01; 收修改稿日期: 2009-06-20

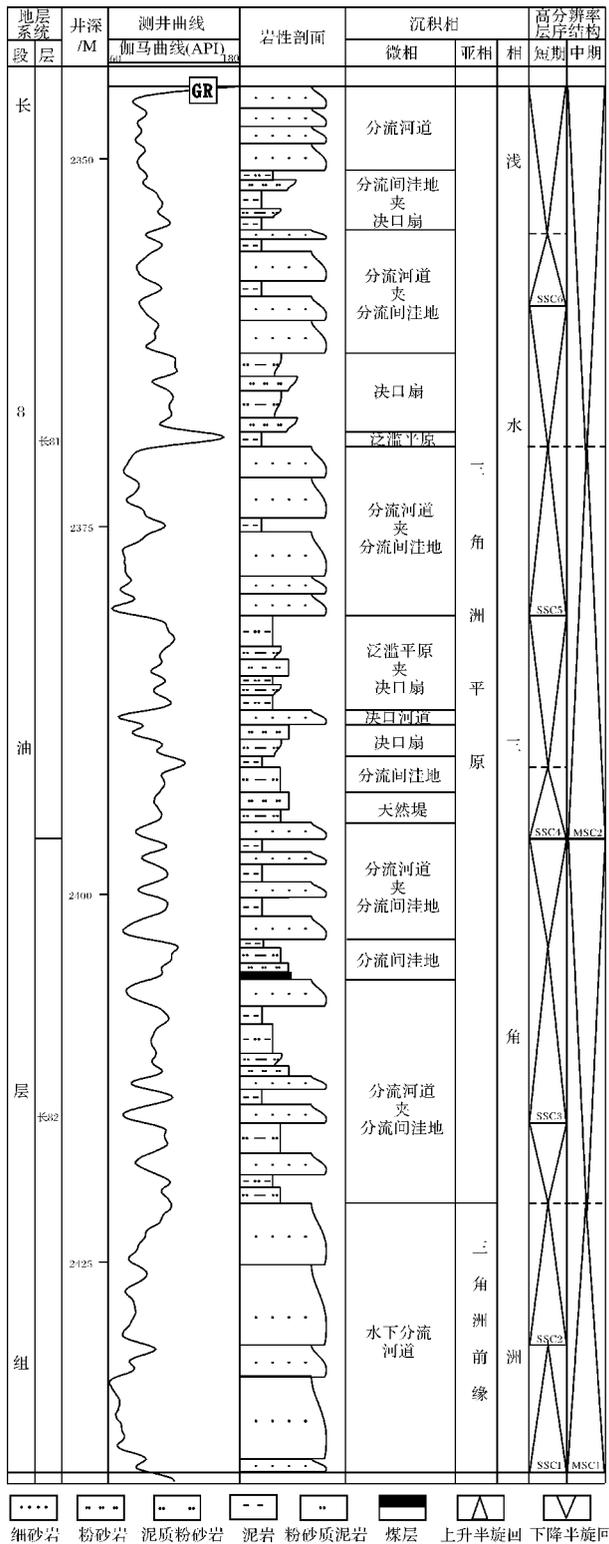


图 2 姬塬地区长 8 油层组沉积相和高分辨率层序地层综合柱状图 (罗 11 井)

Fig 2 The structure of sedimentary sections of the Interval 8 of Yanchang Formation in Jiuyan area (From Well L11)

及其它分析化验结果则是层序界面识别的关键。根据对研究区长 8 油层组岩心资料描述和测井资料分析, 识别出长 8 油层组的层序界面和区域对比标志主要有: ①覆盖长 8₁顶部的长 7₃底部凝灰岩; ④长 8₁底部和长 8₂底部区域性的侵蚀冲刷面及岩性和岩相转换面 (图 2); ④长 8₁和长 8₂内部的小型冲刷面。

针对姬塬地区长 8 油层组层序发育具有同时受构造、气候、物源、A/S 值变化和地层自旋回过程等因素控制的特点, 以基准面旋回级别划分和命名原则为基础^[10], 同时考虑层序界面性质、级别、结构与叠加样式, 将姬塬地区长 8 油层组划分为 2 个中期 (MSC1 和 MSC2) 和 6 个短期 (SSC1~SSC6) 基准面旋回 (图 2)。

2 基准面旋回特征

2.1 短期基准面旋回特征

研究区长 8 油层组短期基准面旋回厚度一般为近十米至十余米, 根据层序界面的类型和结构特征, 可划分为向上“变深”非对称型 (以下简称 A 型) 和向上“变深复变浅”的对称型 (以下简称 C 型) 2 种基本类型和 5 种亚类型^[11]。

2.1.1 向上“变深”非对称型

此类型主要发育在近物源区的位置或物源供给较充分的河流沉积区, 形成于沉积物供给率远大于至大于可容纳空间增长率的超补偿和过补偿沉积条件下 ($A/S \ll 1$ 和 $A/S < 1$), 为长 8 油层组最发育的短期基准面旋回层序结构类型, 特点是层序中仅保存基准面上半旋回沉积记录, 下降半旋回表现为冲刷侵蚀状态, 测井曲线呈钟形或厢形 (图 3), 代表基准面缓慢上升和快速下降的强烈非均衡地层过程。根据可容纳空间和沉积物供给比值的变化, 此类型可进一步细分为低可容纳空间 (A₁型) 和高可容纳空间 (A₂型) 两种亚类型: 前者形成于水浅流急和 $A/S \ll 1$ 的条件下, 出现在浅水三角洲平原和前缘的上游部位, 以发育上半旋回连续叠置的分流河道砂体为主, 砂体间被冲刷面分割, 一般不发育泥质隔层 (图 3a), 岩性主要为粗一中粒岩屑石英砂岩, 少量为长石石英砂岩和岩屑砂岩, 单个砂体往往具有向上“加深”变细的沉积序列; 后者主要形成于水体相对较深但流动较缓和 $A/S < 1$ 的条件下, 出现在浅水三角洲前缘中下游的水下分流河道沉积区, 岩性组合相对较复杂, 由细一中粒岩屑石英砂岩、粉砂岩和泥岩有序叠置组成向上变细“加深”的沉积序列, 底部与下伏地层大多数呈岩性突变的冲刷接触关系, 层序中不仅中下部的河

分的关键在于不整合面的识别, 综合应用测井、岩心

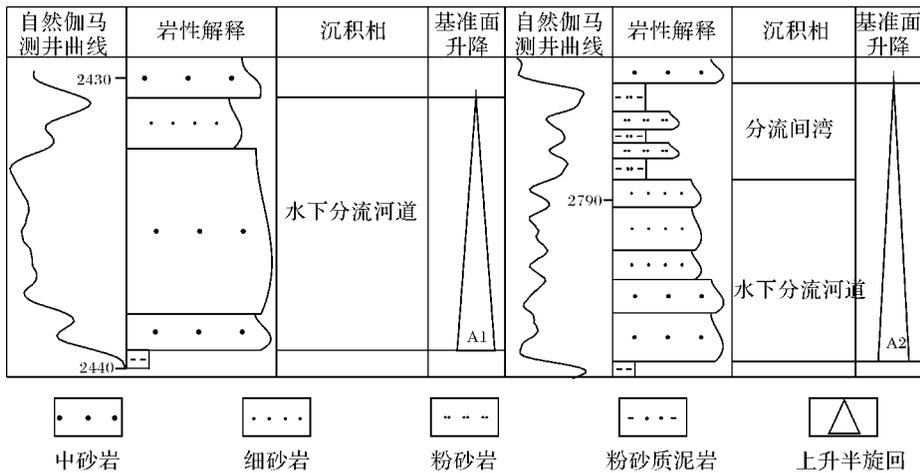


图 3 长 8 油层组向上 "变深" 非对称型短期基准面旋回结构
 a 低可容纳空间 A₁ 型 (罗 11 井, 长 82); b 高可容纳空间 A₂ 型 (耿 166 井, 长 8)

Fig 3 Profile of up-deepening non-symmetric short-term base-level cycles of Interval 8 of Yanchang Formation in Jiyuan area

道砂体保存较完整, 上部细粒的堤岸沉积也可得到不同程度的保存 (图 3b)。

2.1.2 对称型旋回结构

此类型层序形成于沉积物供给率等于或略小于可容纳空间增长率 ($A/S \geq 1$) 的条件下, 为长 8 油层组常见的另一类短期旋回层序结构, 主要特点为: ①层序中发育有两种界面类型, 其一为层序底、顶界的小型冲刷面或相关整合面, 其二为层序内的短期洪泛面; ④上升和下降半旋回由粗变细变粗的沉积记录保存较完整, 对应的测井曲线为钟形→平直→漏斗形组合形式; ④按层序内上升与下降半旋回厚度的变化状况, 可进一步细分为 3 个亚类型 (图 4), 其一为上

升半旋回厚度为主的不完全对称型 (C₁型), 其二为上升与下降半旋回厚度近于相等的近完全—完全对称型 (C₂型); 其三为下降半旋回厚度为主的不完全对称型 (C₃型)。

2.1.3 短期旋回层序分布模式

姬塬地区长 8 油层组不同类型的短期旋回层序的空间分布具有很强的分带性, 遵循可容纳空间机制确定的 A/S 比值条件: ① A 型层序发育在浅水三角洲平原及前缘的河道位置, 其中 A₁ 型发育在主河道活动区, A₂ 型主要发育在分流河道活动区; ④ C 型层序主要分布在三角洲平原的分流间洼地、三角洲前缘分流河道的中、下游及河口坝沉积区 (图 5); ④垂直

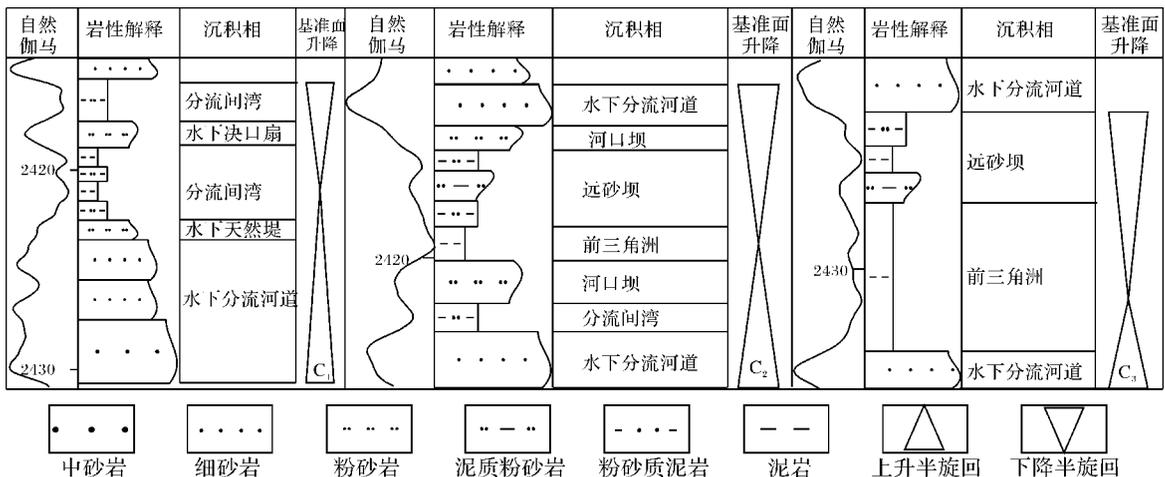


图 4 长 8 油层组对称型短期基准面旋回结构

a C₁ 型 (罗 11 井, 长 81); b C₂ 型 (罗 17 井, 长 81); c C₃ 型 (罗 17, 长 82)

Fig 4 Profile of several symmetric short-term base-level cycles of Interval 8 of Yanchang Formation in Jiyuan

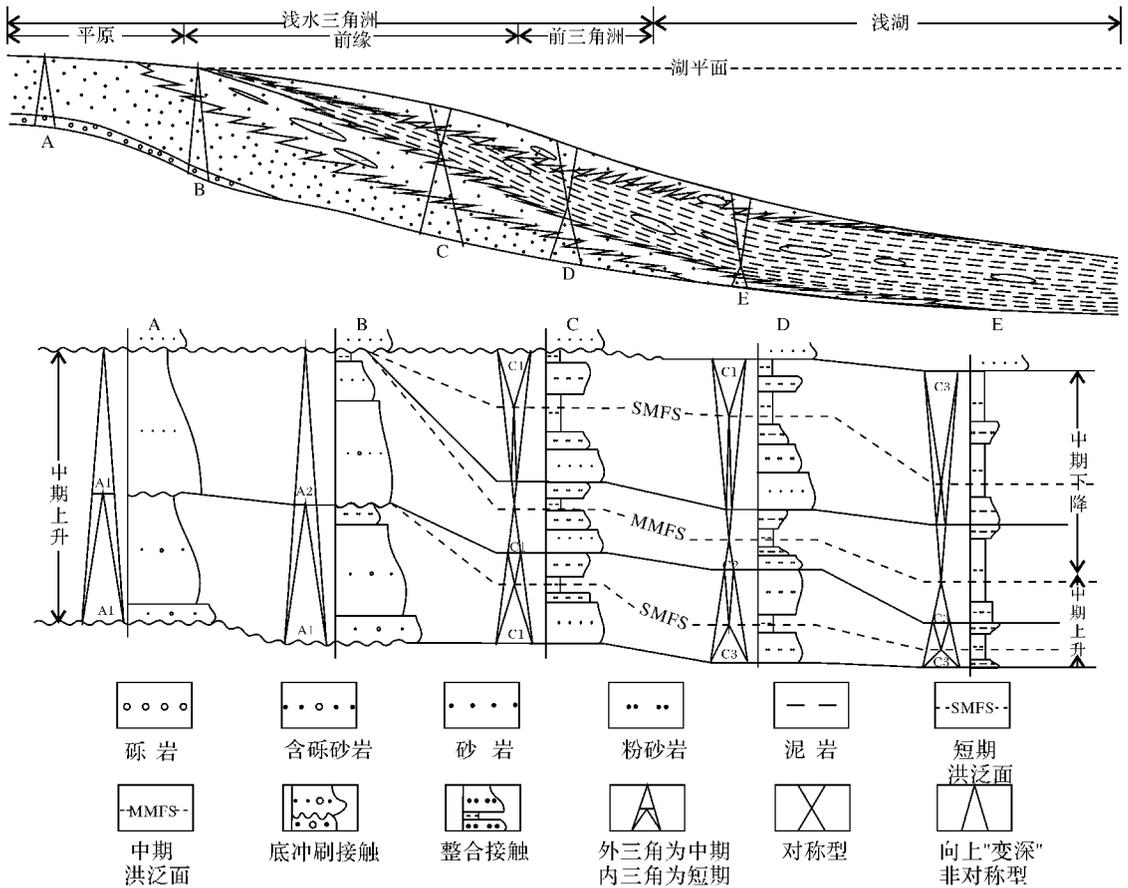


图 5 浅水三角洲各沉积相带基准面旋回结构和砂体分布模式图

Fig 5 Base-level cycles and sandbody distribution of shallow-water delta in parallel provenance

物源方向,在同一层序的水上分流河道→水下分流河道上游→水下分流河道中、下游→河口坝(或分流间湾)→前三三角洲的沉积相分带序列中,依次出现 A₁型→A₂型→C₁型→C₂→C₃型层序结构类型的变化和分布规律(图 6)。

2.2 中期基准面旋回特征

长 8 油层组中期准面旋回层序厚度一般为数十米至近百米,根据界面类型划分为 MSC1 和 MSC2 两个中期旋回层序,此二层序的结构都属于上升和下降半旋回沉积记录都得到较好保存的对称型(C型)层序(图 2),主要特征为:① 分别都由 3 个短期旋回层序按一定的方式叠置组成,其上升半旋回为 A 型→C₁型,或单一的 C₁型短期旋回层序叠置样式,对应的沉积相演化为连续叠置的河道砂体→分流间泥岩组成向上逐渐加深变细的湖进序列,或由天然堤→分流间→决口扇微相的泥、粉砂岩薄互层组成的不明显湖进序列。下降半旋回为单一的 C₂型→C₃型或短期旋

回层序叠置样式,对应的沉积相演化为分流间湾(或前三三角洲)→决口扇(或远砂坝→河口坝)微相的泥岩、粉—细砂岩组成向上变浅加粗的湖退序列,顶部偶尔夹有分流河道砂体,顶界面大多为低幅下切的侵蚀冲刷面;④ 顺物源方向,对应浅水三角洲平原→前缘→前三三角洲相带分布,中期旋回的结构分部具有 A 型→C₁型→C₂型→C₃型的演化序列,此特征与 MSC1 和 MSC2 叠加组成的三角洲生长旋回中,作为储层骨架砂体的水下分流河道主要发育各中期基准面上升半旋回中,而作为次要储层砂体的河口坝发育于下降半旋回中的沉积演化特征是一致的(图 5)。

2.3 浅水三角洲与正常三角洲层序特征的比较

浅水三角洲的定义是相对水体较深的正常三角洲而言,二者在受沉积物供给速率和可容空间变化规律所影响的沉积特征方面有明显区别^[4-8],尤其是高分辨率层序特征上的差别更大。

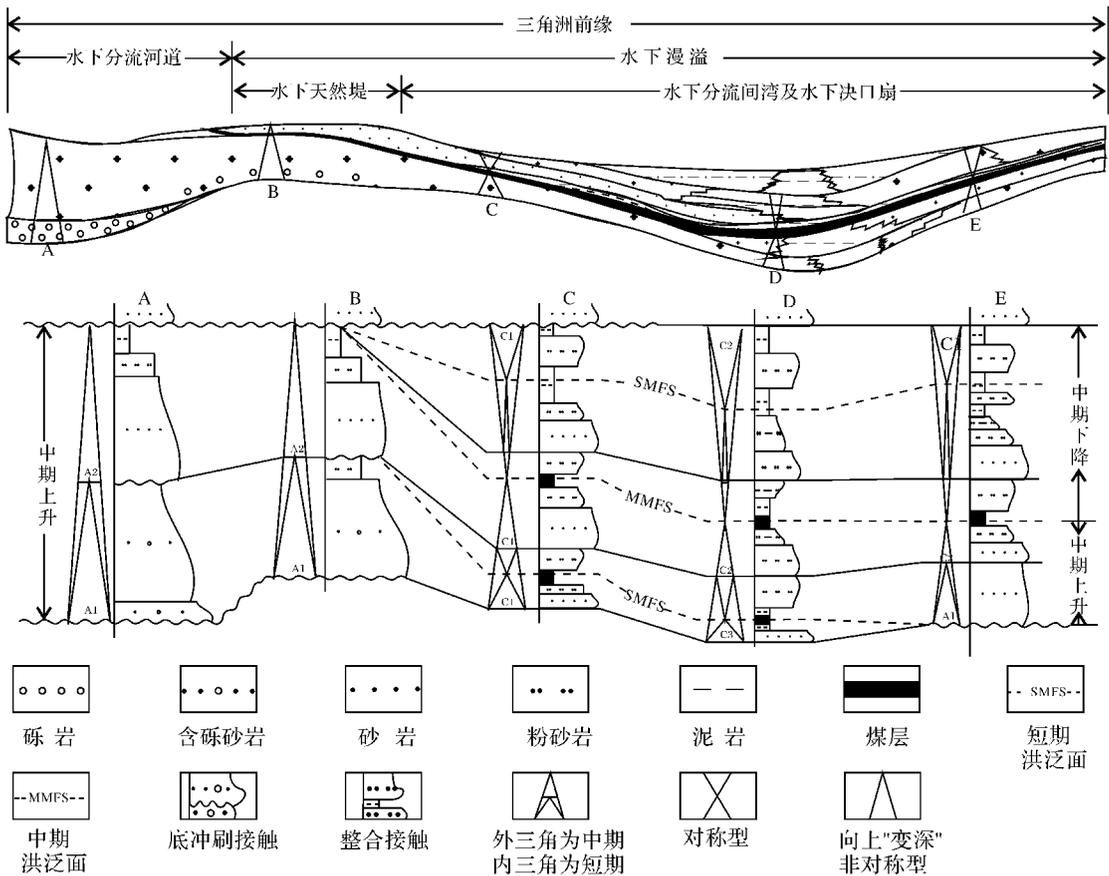


图 6 浅水三角洲垂直物源方向基准面旋回结构和砂体分布模式

Fig 6 Base-level cycles and sandbody distribution of shallow-water delta in vertical provenance

2.3.1 正常三角洲层序发育特征

发育正常三角洲的沉积盆地地形相对较陡, 水体相对较深, A/S 比值一般比较大, 盆地总体处于弱补偿至欠补偿状态, 层序发育具有以下特征: ① 短期旋回层序中发育 A 型、B 型和 C 型 3 种层序结构类型及其亚类型; ② 在 3 种层序类型中以 C 型层序最为发育, 在三角洲各相带都广为分布, 而 A 型层序发育不多, 一般出现在三角洲平原心滩或主河道活动区, B 型层序发育在河口位置及前三角洲位置; ③ A 型层序中 A_2 型更为发育, C 型层序中 C_1 、 C_2 、 C_3 种亚类型都比较发育。

2.3.2 浅水三角洲层序发育特征

发育浅水三角洲的盆地地形十分平缓, 倾角很小和水体很浅, A/S 比值一般比较小, 盆地总体处于补偿或过补偿状态, 一般以河流的进积作用为主。由于水体浅, 湖平面升、降和湖平面波动对 A/S 比值影响强烈, 因而具有与正常三角洲不同的层序特征: ① 由于 A/S 比值较低, 短期旋回层序中只发育 A 型和 C_1 型层序结构类型, 不发育 B 型层序; ② A 型层序结构

类型在三角洲平原分流河道及三角洲前缘水下分流河道位置都很发育, 尤以发育有较多的 A_1 型层序为特征; ③ C 型层序中 C_1 型层序最为发育, 其次是 C_2 型层序, 主要发育在分流间洼地和分流间湾附近, C_3 型层序发育相对较少, 且主要分布在近河口的前三三角洲附近。

3 层序地层格架与层序—岩相古地理特征

3.1 层序地层格架

多级次基准面识别与划分是高分辨率地层格架建立的基础^[10-11], 在对岩心剖面和测井剖面的精细沉积相和高分辨率层序分析的基础上, 运用旋回等时对比法则, 以旋回层序的二分时间单元分界线 (层序界面和洪泛面) 为优选时间地层等时对比位置^[12-13], 以最具等时对比意义的短期旋回层序为等时地层对比单元^[14], 对姬塬地区长 8 油层组进行了高分辨率层序地层等时对比, 并建立了等时层序地层格架 (图 7)。层序地层格架内研究区长 8 油层组砂体的发育

具有如下 2 个特点: ① 基准面上升期、由强烈主动沉积作用形成的各类成因砂体 (如充填下切河谷的河道砂体) 更有利于优质储层的发育, 不仅砂体厚度大, 孔隙度和渗透率值也比较高; ④ 基准面下降期、由强迫进积作用形成的各类成因砂体厚度明显减小, 砂体的侧向连续性和连通性变差, 含泥量或泥质夹层增多、分选变差而非均质性增高, 孔隙度和渗透率值也降低。

3.2 层序—岩相古地理

在建立等时地层格架对比图的基础上, 选择四级层序为成图单元, 编制了相当于中期基准面旋回的层序—岩相古地理图 (图 8), 利用该技术编制的层序—岩相古地理图更具有等时性、成因连续性和实用性^[15]。发现姬塬地区长 8 油层组沉积期岩相古地理面貌有如下几个特征:

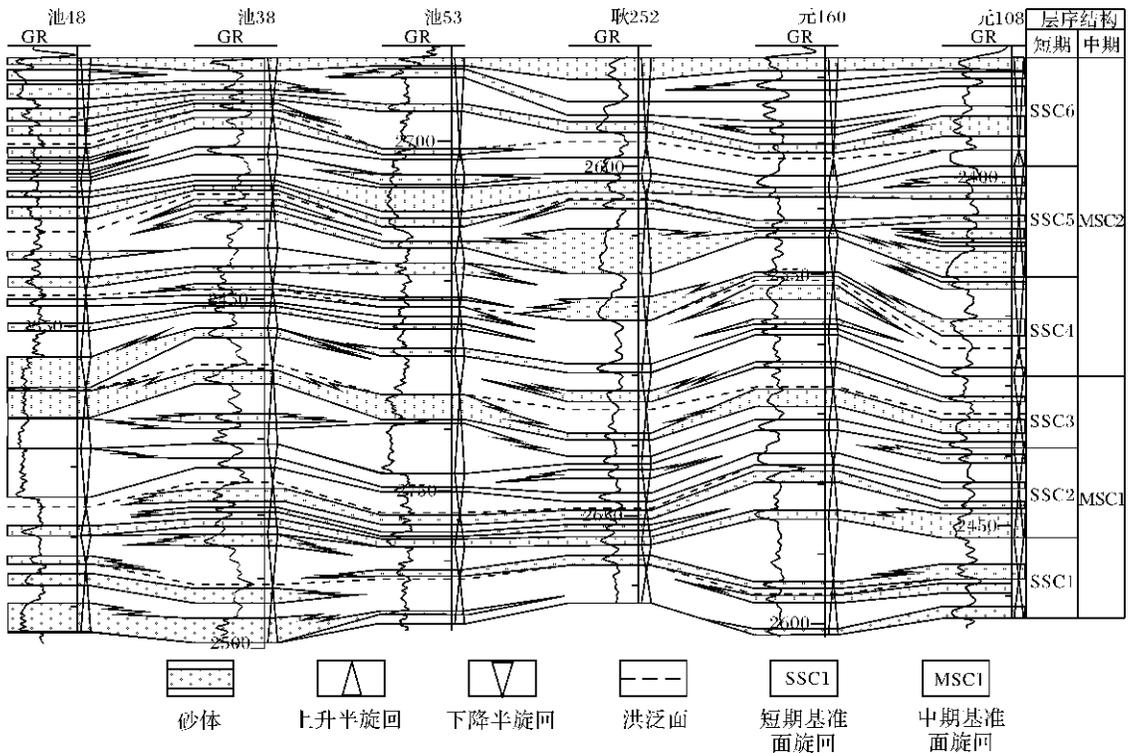


图 7 长 8 油层组层序地层对比和地层格架图 (剖面位置见图 8)

Fig 7 The sequence stratigraphic correlation and framework of Interval 8 of Yanchang Formation

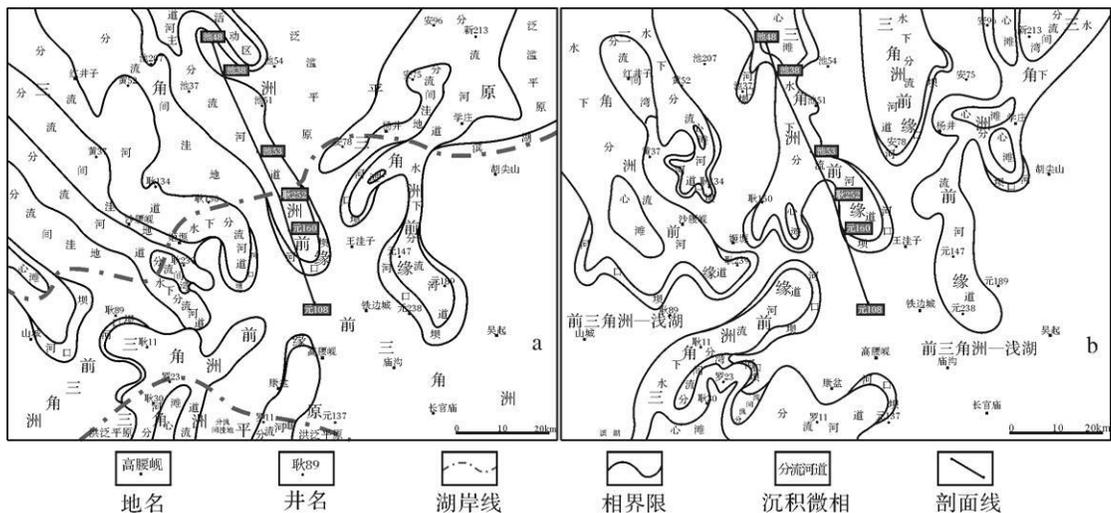


图 8 姬塬地区长 8 油层组层序—岩相古地理图 (a MSC2 b MSC1)

Fig 8 Sequence-based lithofacies-paleogeography map of Interval 8 of Yanchang Formation in Jiyuan area

¹ 发育有北东部、北西部和南部 3 个浅水三角洲扇体, 以北西部的扇体规模为最大, 其余依次为北东部和南部的扇体;

④ 3 个浅水三角洲扇体的前缘水下分流河道很发育, 自物源区方向呈长条状向湖泊方向长距离延伸, 于低湖水位期在湖泊的中心部位发生交汇 (图 8a), 显示了受湖平面波动引起的岸线大幅度摆动和物源方向对浅水三角洲沉积特征的强烈控制作用;

(四) 由于浅水三角洲前缘水体较浅, 可容空间相对较小, 河流的能量较强, 以水下分流河道进积作用为主, 其所携带的沉积物的量较多, 因此浅水三角洲扇体前缘的水下分流河道砂体在向前延伸的过程中不仅对河口坝砂体有强烈的侵蚀作用, 而且往往可直接进积超覆在前三角洲泥岩之上, 致使河口坝几乎不发育。

4 结论

晚三叠世长 8 油层组沉积期, 鄂尔多斯盆地姬塬地区经历了前期沉积充填作用, 地形趋于平缓, 河流作用减弱, 主要发育浅水三角洲沉积, 其沉积及高分辨率层序具有以下特征:

(1) 长 8 沉积期, 湖泊水体浅, 而沉积物供给充足, 湖盆长期处于补偿—过补偿状态, A/S 比值小, 主要发育 A 型和 C 型层序, 不发育 B 型层序。

(2) A 型层序主要发育在三角洲河道附近, C_1 型和 C_2 层序主要发育在分流间洼地和分流间湾附近并以 C_1 型结构为主, C_3 型层序主要发育在前三角洲附近。

(3) MSC2 三角洲砂体明显较 MSC1 时期向湖盆方向推进, 体现了浅水三角洲以进积作用为主的沉积特征。

参考文献 (References)

- 1 陈全红, 李文厚, 郭艳琴, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组浊积岩体系及油气勘探意义 [J]. 地质学报, 2006, 80(5): 656-663 [Chen Quanhong, Li Wenhou, Guo Yanqin, et al. Turbidite systems and the significance of petroleum exploration of Yanchang Formation in the Southern Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 656-663]
- 2 郑荣才, 王昌勇, 李虹, 等. 鄂尔多斯盆地白豹—华池地区长 6 油层组物源区分析 [J]. 岩性油气藏, 2007, 1(1): 20-25 [Zheng Rongcai, Wang Changyong, Li Hong, et al. Provenance analysis of Chang 6 oil-bearing formation of Baibao-Huachi region in Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 1(1): 20-25]
- 3 刘化清, 廖建波, 房乃珍, 等. 鄂尔多斯盆地环县地区长 6 沉积体系展布特征 [J]. 沉积学报, 2005, 23(4): 584-588 [Liu Huaqing, Liao Jianbo, Fang Naizhen, et al. Distribution characteristics of the Chang 6 sedimentary system (Triassic) in Huanxian Area Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(4): 584-588]
- 4 韩永林, 王成玉, 王海红, 等. 姬塬地区长 8 油层组浅水三角洲沉积特征 [J]. 沉积学报, 2009, 27(6): 1057-1067 [Han Yonglin, Wang Chengyu, Wang Hahong, et al. Sedimentary characteristics of shallow-water deltas in Chang-8 Subsection of Yanchang Formation, Jiyuan area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(6): 1057-1067]
- 5 楼章华, 卢庆梅, 蔡希源, 等. 湖平面升降对浅水三角洲前缘砂体形态的影响 [J]. 沉积学报, 1998, 16(4): 27-31 [Lou Zhanghua, Lu Qingmei, Cai Xiyuan, et al. Influence of lake level fluctuation on sandbody shapes at shallow-water delta front [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(4): 27-31]
- 6 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布 [J]. 沉积学报, 2008, 82(6): 813-825 [Zhou Caineng, Zhao Wenzhi, Zhang Xinyang, et al. Formation and distribution of shallow-water deltas and central-basin sandbodies in large open depression lake basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 82(6): 813-825]
- 7 姚光庆, 马正, 赵彦超, 等. 浅水三角洲分流河道砂体储层特征 [J]. 石油学报, 1995, 16(1): 24-31 [Yao Guangqing, Ma Zheng, Zhao Yanchao, et al. Reservoir characteristics of distributary channel sandbodies of shallow water delta [J]. Acta Petrolei Sinica, 1995, 16(1): 24-31]
- 8 朱伟林, 李建平, 周心怀, 等. 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探 [J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 575-582 [Zhu Weilin, Li Jianping, Zhou Xinhuai, et al. Neogene shallow water deltaic system and large hydrocarbon accumulations in Bohai Bay, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4): 575-582]
- 9 Cross T A, Lessen M A. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high resolution stratigraphic correlation [R]. Accepted for Publication in Norwegian Petroleum Society Forening Conference Volume 1996 1-24
- 10 郑荣才, 彭军, 吴朝荣, 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义 [J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249-255 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249-255]
- 11 郑荣才, 尹世名, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析 [J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369-375 [Zheng Rongcai, Yin Shiming, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 369-375]
- 12 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 [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U. S.: High-resolution sequence stratigraphy [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89-97]
- 13 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 [J]. 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 [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 177-184]
- 14 郑荣才, 柯光明, 文华国. 高分辨率层序分析在河流相砂体等时对比中的应用 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2004, 31(6): 641-647 [Zheng Rongcai Ke Guangming Wen Huaguo Isochronic correlation of fluvial sandbodies by high-resolution sequence technique [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2004, 31(6): 641-647]
- 15 田景春, 陈洪德, 覃建雄, 等. 层序-岩相古地理图及其编制 [J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(1): 6-12 [Tian Jingchun Chen Hongde Qin Jianxiong *et al.* Case study of sequence-based lithofacies-paleogeography research and mapping of south China [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2004, 26(1): 6-12]

Analysis of High-Resolution Sequence Stratigraphy in Chang-8 Subsection of Yanchang Formation, Jiyuan Area of Ordos Basin

LAO Yi¹ ZHENG Rong-cai¹ WANG Cheng-yu²
WANG Hai-hong² HAN Yong-lin² WANG Chang-yong¹

(1. State Key Laboratory for Oil and Gas Deposit Geology and Development Project, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

2. Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oil-field Company of CNPC, Xi'an 710021)

Abstract With the theory of high-resolution sequence stratigraphy, the base-level cycles in Chang-8 oil set of Yanchang Formation in Jiyuan area of Ordos Basin are recognized as 2 middle-term cyclic sequences (MSC1 and MSC2) and 6 short-term cyclic sequences (ssc1-ssc6) and the sedimentary environment is a shallow-water delta by utilizing the data of well logging, core and rock and mineral analysis. The results indicate that the delta front and predelta of expanded lake developed in Chang-8₂ and delta plain appeared in Chang-8₁ of Jiyuan area. The relationship among the cyclic stacking pattern of various grade of base-level and the distribution and evolution of sedimentary facies are analyzed and the delta of Jiyuan area is compared with the normal delta. A high-resolution sequence stratigraphic framework and stratigraphic-lithofacies palaeogeographic maps of Chang-8₁ and Chang-8₂ are established by taking the short-term cyclic sequence as unit. Compared with the normal delta, the shallow-water delta is characterized by its low A/S , no mouth bar and the microfacies where favorable reservoirs developed is the sandbodies of distributary channel which extended long and mainly developed in the period of the rising half cyclic sequences of short-term.

Key words Ordos Basin; Jiyuan area; Chang-8 oil set; shallow-water delta; high-resolution sequence stratigraphy