

文章编号: 1006-6616 (2007) 01-0070-08

鄂尔多斯盆地马岭油田高分辨率层序地层分析及沉积体系研究

王春宇¹, 张志国², 李兆明², 张林炎¹, 张洪彬³, 杨志国³

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 长庆油田采油二厂地质研究所, 庆阳 745100;
3. 辽河油田兴隆台采油厂, 盘锦 124010)

摘要: 按照基准面旋回原理, 将马岭油田侏罗系延安组和富县组划分为 2 个长期、6 个中期、22 个短期旋回层序; 较为详细地介绍了基准面旋回对沉积相的控制作用; 长期旋回基准面的变化可以影响和控制河流种类、发育规模和相组合模式, 中期旋回的上升半旋回和下降半旋回可能发育同一种河流相类型; 在综合岩心、录井、测井及单井相的分析基础上, 识别出该区辫状河、曲流河和网状河 3 种沉积类型。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 马岭油田; 高分辨率层序地层; 基准面旋回; 沉积体系
中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A

高分辨率层序地层学是美国学者 Cross 在 Vaill 等人的经典被动大陆边缘层序地层学基础上发展起来的层序地层学新学派, 它以全新的思路及技术方法系统的提出了地层学的新概念及新模式, 其理论的核心是: 在基准面旋回变化过程中, 由于可容纳空间与沉积物补给通量比值 (A/S) 的变化, 相同沉积体系域或相域中发生沉积物的体积分配作用, 导致沉积物的保存程度、地层堆积样式、相序、相类型及岩石结构发生变化。这些变化是基准面旋回中所处的位置和可容纳空间的函数。它强调 4 个基本原理, 即地层基准面原理、体积划分原理、相分异原理、旋回等时对比原理^[1~4]。本文拟在以上理论体系的基础上, 对马岭油田侏罗系延安组—富县组进行精细的高分辨率层序地层划分及与沉积关系的研究。

1 地质背景

马岭油田构造位置位于鄂尔多斯盆地南部西倾大单斜的构造背景上 (图 1), 油田所在的构造是由古地貌控制的一个平缓鼻状背斜带, 油藏类型属于构造—岩性油藏, 开采层位为侏罗系直罗组和延安组的延 6、延 7、延 8、延 9、延 10 共六个油层组, 油藏埋深 1297 ~ 1570m, 油层平均有效厚度 5.3 米, 早期沉积主要是受古地貌控制的填平补齐式沉积, 后期则演变为泛滥平原分流河道沉积^[5], 因而除部分油层 (如延 10¹、延 10²、延 9) 分布面积相

收稿日期: 2006-04-14

基金项目: 长庆油田研究项目《马岭油田中三区储层精细建模和油藏工程》资助成果。

作者简介: 王春宇 (1982-), 男, 中国地质科学院硕士研究生, 主要从事储层建模与石油工程专业研究。E-mail: spuniverse@sina.com.

对较大外, 其余均零星分布。

2 高分辨率层序地层划分

高分辨率层序地层的划分是以岩心、三维露头、测井等资料为基础, 岩心、露头是转换面识别标志的根本依据, 测井地层剖面及其对应的测井曲线记录了不同级别的地层旋回, 相应的反映出不同级别的基准面变化旋回^[9]。因此, 通过不整合界面的识别、旋回叠加样式的变化、相序及相组合的改变和沙、泥岩层厚度旋回性等, 可以进行测井层序划分^[7]。经过研究区钻井、露头、测井资料的详细分析, 以岭 215 井为例 (图 2), 将该区侏罗系延安组—富县组划分出全区可对比的 2 个长期旋回 (LSC1, LSC2), 6 个中期旋回 (MSC1, MSC2, MSC3, MSC4, MSC5, MSC6) 和 22 个短期旋回 (图 2)。

发育于延安组—富县组以及延安组—直罗组之间的两次大的不整合面可以作为长期的层序界面。这两次不整合面在测井曲线上都容易识别, 前者以界面处声波值的突然增大为标志 (图 3-A), 后者以延 6 煤的向上终止为标志 (图 3-B)。整合面将延安组和富县组分开, 富县组地层, 即 MSC6 独立形成一个只有上升半旋回的长期旋回 LSC2; 延安组 MSC1~MSC5 组成长期旋回 LSC1。长期层序基本相当于地层组级别。

该区区域性发育的煤层为中期层序界面的划分提供了得天独厚的条件。河流相中煤层主要发育于稳定的沼泽、湿地中, 各中期旋回基准面下降的后期, 由于可容纳空间变小, 河道淤塞, 地形变得平缓, 植物茂盛, 逐渐形成沼泽相, 此后如果基准面继续下降, 则成煤停止—发育土壤层—剥蚀。

(1) MSC1 旋回: 基准面上升半旋回, 初期可容纳空间增长较缓, 短期旋回以对称型样式存在, 有低幅度的升降, 沉积物以网状河道的粉细沙岩为主; 之后可容纳空间增长速率加快, 但沉积物补给量仍小于可容纳空间的增长量, 发育曲流相的沙坝顶部, 沉积作用以连续的退积作用方式进行, 当基准面上升达最高点位置时形成以长段河漫为代表的中期转换面 (短期旋回 4 至短期旋回 5 之间)。之后开始下降, 中期旋回中的短期旋回不对称, 以连续发育的下降半旋回为主, 沉积物补给量稍变大, 只在基准面下降晚期形成河床沉积, 之后基准面停止下降, 在稳定的沼泽环境中形成煤层。

(2) MSC2 旋回: 初期基准面上升较快, 短期旋回叠加样式以连续发育的上升半旋回为主, 沉积物补给量远小于可容纳空间的增长量, 沉积物以泥质为主, 中期上升半旋回晚期沉

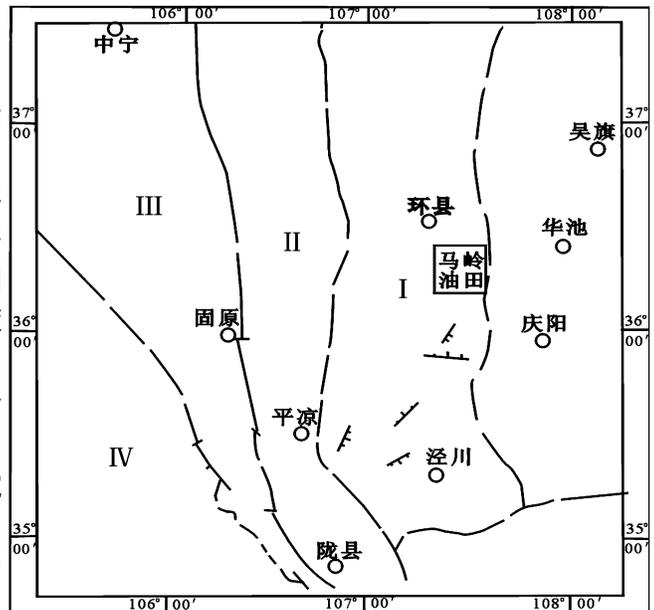


图 1 研究区构造位置图

Fig. 1 Tectonic location map of the study area

- I. 天池-环县拗陷; II. 鄂尔多斯西缘逆冲推覆带;
III 六盘山压剪盆地; IV. 北祁连褶皱系

积物补给量稍有增加，出现厚度不大的曲流沙坝沉积，短期旋回叠加以加积为主；其后网状河发育的湿地沉积指示基准面下降变缓与沉积物补给速率的减小，最后基准面下降缓慢停滞进入稳定的煤沼泽发育期。

(3) MSC3 旋回：基准面迅速上升，沉积物补给量不足，以泥质为主，测井显示微弱的上升不对称短期旋回，之后叠加样式变为加积，基准面上升达最高点位置，转换面在短期旋回 15 与短期旋回 16 之间；之后中期基准面开始下降，可容纳空间增量逐渐减小而沉积物补给量增高，沉积作用很快由退积状态进入快速加积状态，沉积厚层的曲流河道中沙岩，由于可容纳空间较大，基准面下降幅度较小，很难穿越沉积界面，因此中期下降半旋回沉积物保存较完整；最后基准面下降逐渐停止，中期旋回结束于煤层。

(4) MSC4 旋回：以短期旋回连续的沉积为主要的叠加样式，中期旋回上升初期，沉积物补给量充足，而可容纳空间增长量有限 ($A \delta \ll 1$)，因而各个短期层序大多数仅保存上升半旋回早中期的沉积物，由连续叠置的河道沙坝组成层序，具有低可容纳空间向高可容纳空间向上“变深”非对称型旋回结构变化的叠加样式，基准面上升到最高点，发育泛滥平原亚相，之后基准面下降到沼泽相停止，以煤层作为中期下降半旋回的顶部。

(5) MSC5 旋回：可容纳空间增长量 (A) 接近或略大于沉积物补给量 (S)，中等的可容纳空间刚可接纳注入的所有沉积物，无论是中期基准面上升期或下降期，都以发育具二分时间单元分界线的、具完整地层旋回性的对称型旋回为主，本中期旋回由于 S、A 值都不大，所以沙体厚度都不大。中期旋回下部以不整合为界，上部为煤层为顶界。

(6) MSC6 旋回：沉积物补给量略小于基准面上升期可容空间增量，沉积作用以弱进积进行，水深保持不变或略加深。因富县期末期有一次大的侵蚀作用面，所以基准面

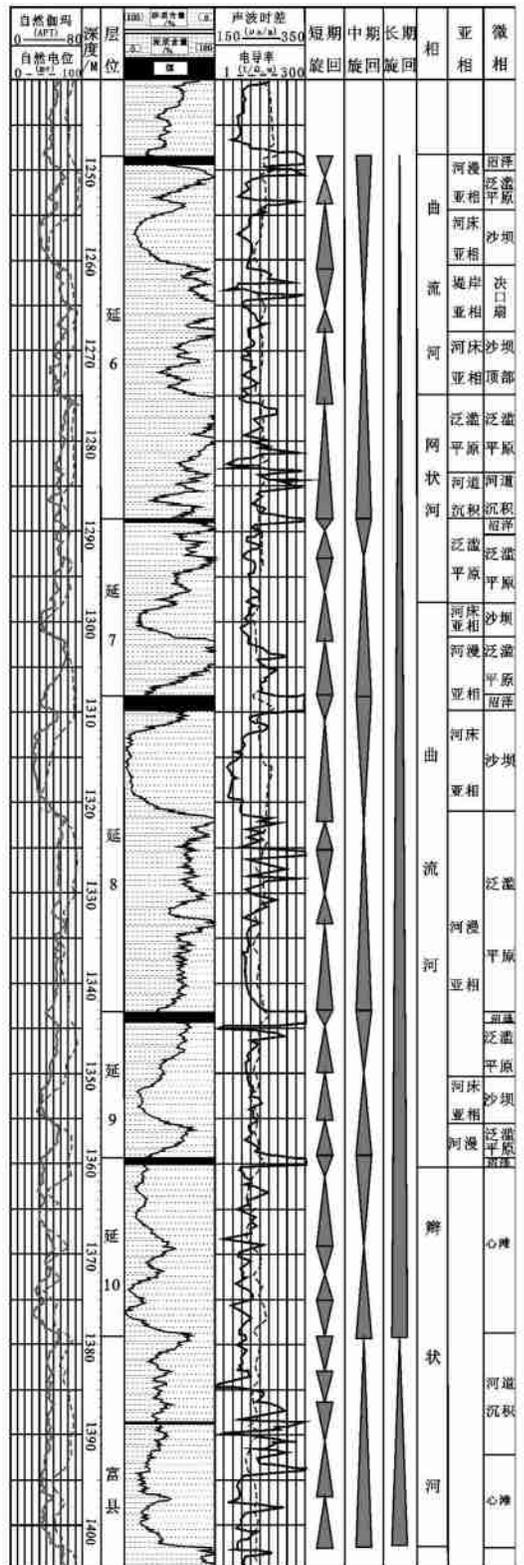


图 2 岭 215 井高分辨层序地层旋回划分

Fig. 2 Cycles of high-resolution sequence stratigraphy of well Ling 215

下降的下降半旋回可能仍有沉积作用发生，也可能沉积作用停止，中期层序缺少下降半旋回；短期层序自下而上的叠加样式，由上升半旋回为主的不完全对称型，向对称型变化，最后又变为以上升半旋回为主的不完全对称型，代表由退积向弱加积的转换。

在研究区单井沉积相和高分辨率层序地层精细分析、划分的基础上，以中期洪泛面和层序界面为等时地层对比框架，以短期旋回为等时地层对比单元建立了短时间尺度的层序地层格架（图 4）。以中 311—中 301-4 井为例，测线方向大致垂直于古水流方向，这有利于在剖面中清楚地展示出各基准面旋回中相组合的横向变化（图 5）。

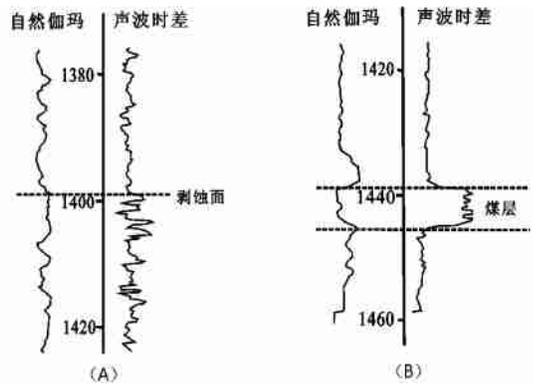


图 3 测井识别的层序界面

Fig 3 Sequence boundaries recognized by well log

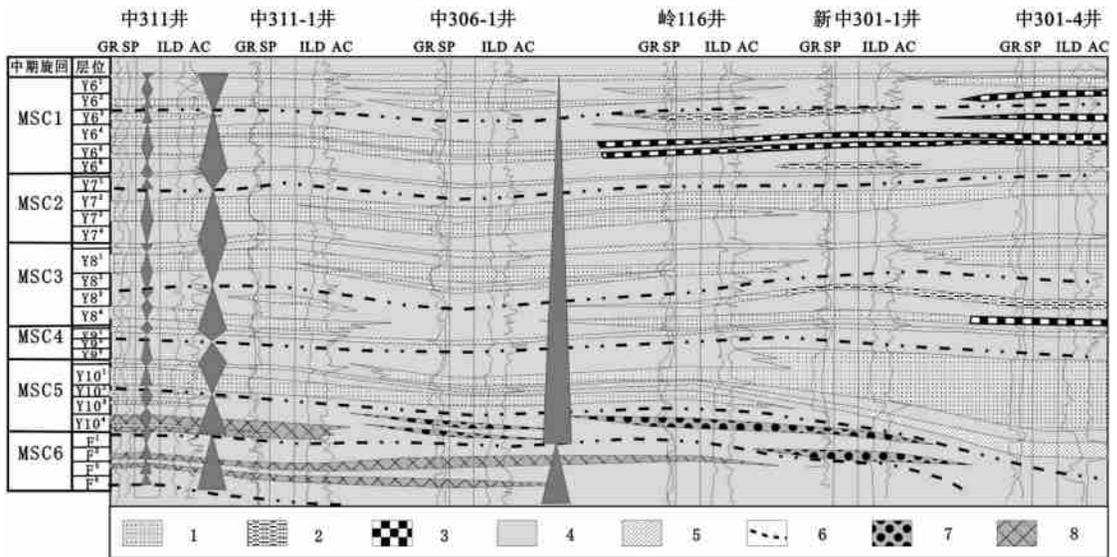


图 4 研究区高分辨率层序划分剖面图

Fig 4 Section of high-resolution sequence partitioning of the study area

- 1. 沙坝； 2. 天然堤； 3. 决口扇； 4. 泛滥平原； 5. 沼泽； 6. 转换面； 7. 心滩； 8. 河道沉积

3 基准面旋回对沉积相的控制作用

在基准面旋回及其伴随的可容纳空间的变化过程中，岩石记录的地层学和沉积学响应遵循能量守恒定律，由此导致沉积物体积分配作用，沉积物体积的变化又必然发生“相”的分异作用，这就是高分辨率层序地层学中的相分异原理^[4]。这里主要分析在基准面变化周期中的单个相性的改变，基准面的级别不一样，其影响的规模和范围也不一样。

3.1 长期旋回对河流沉积相的控制作用

在陆相沉积中，长期旋回基准面的变化可以影响和控制河流种类、发育规模和相组合模

式。

以长期旋回 LSC1 为例, 由于长期剥蚀, 地表由河道下切侵蚀形成的槽谷状地区, 在中期基准面重新上升时是率先产生可容纳空间的位置, 也通常是被河道沙体优先充填的位置, 河流以辫状河为主, 沙体呈侧向延伸受到下切河道边界限制的透镜状或扁豆状, 由于位于长期旋回的初期, 所以可容纳空间小, 只保留下部较粗的部分; 基准面上升中期, 可容纳空间增大, 河流类型变为曲流河沉积为主, 河道不再局限在小的范围内, 该时期河道宽阔, 沉积物粒度中等, 呈大面积层状沉积 (如 MSC3); 长期基准面的上升晚期, 基准面的上升伴随着地下水面的上升, 在河间地区发育差的泄水盆地, 形成河间湖泊、沼泽或湿地, 河流沉积中开始出现网状河沉积。

3.2 中期旋回对河流沉积相的控制作用

高可容纳空间与低可容纳空间形成的河道沙体, 其几何形态、侧向连续性、相互截切程度, 底形类别与保存程度、底部滞留沉积厚度与类型等均有明显差异: 比较 MSC1 (延 6) 与 MSC3 (延 8), 高可容纳空间下发育的 MSC1 (延 6), 沙体厚度小, 不连续, 剖面上呈小的透镜体; 而低可容纳空间形成的 MSC3 (延 8) 沙体分布广, 厚度大, 连续性好, 往往形成好的储层。

中期旋回的上升半旋回和下降半旋回可能发育同一种河流相类型。如中期旋回的上升与下降半旋回都可能发育网状河, 但都靠近中期界面 (MSC1 与 MSC2 分界, 延 7¹ 期与延 6⁶ 期都为网状河沉积), 网状河是 A、S 值都比较小的产物, 由于靠近中期界面, 可容纳空间变化不大, 水动力条件弱, 沉积补给量极少, 这一切都在特定的地形、构造、气候等因素条件下形成的。再如, 中期旋回的上升与下降半旋回都可能发育曲流河 (MSC3, 延 8), 但两个半旋回的曲流河道沉积的特征区别很大, 上升半旋回河道侧向迁移快, 横向连续性差; 下降半旋回河道宽阔, 横向连续性好, 由于基准面连续下降, 沙体受到多次冲刷, 所以分选好, 河道测井曲线有时可呈弱的反旋回特征。

对同一种相类型, A、S 值的细微变化可导致亚相类型及组合的很大变化。

4 沉积体系分布与演化

综合岩心、录井、测井分析, 本区单井分析自下而上主要识别出辫状河、曲流河和网状河三种沉积相类型。

4.1 沉积体系分布

延 10 及富县组以发育辫状河为主, 一般可分为心滩和河道沉积两个微相, 本区心滩按形态与河流流向的关系可分为纵向沙坝、横向沙坝和斜列 (向) 沙坝三种。心滩微相粒度较粗, 岩相类型以中沙岩为主, 顶、底部与泥岩呈突变接触, 渐变粒序不明显。

延 9-延 7² 以及延 6⁴-延 6¹ 以发育曲流河沉积相为主, 一般可分为河床、堤岸、河漫三个亚相和河床滞留沉积、曲流沙坝、沙坝顶部、天然堤、决口扇、泛滥平原、河漫沼泽等微相类型。本区沉积微相以曲流沙坝、沙坝顶部、泛滥平原、河漫沼泽等微相为主, 局部发育天然堤、决口扇微相, 河床滞留沉积较少 (表 1)。河床亚相发育于河流沉积的早期, 正粒序特征, 沙岩厚度大。其中, 曲流沙坝微相粒度较粗, 岩相类型以中沙岩为主, 沙坝顶部微相粒度较细, 岩相类型主要为细沙岩—粉沙岩。堤岸亚相岩相以粉沙岩—细沙岩为主, 粒序具有反韵律或复合韵律特征, 决口扇微相沙体厚度较大, 而天然堤微相沙体厚度较小。泛滥平

表 1 沉积微相的垂向模式

Table 1 Vertical pattern of sedimentary microfacies

河流沉积标准模式 (沃克, 1976)		中三区延安组+富县组沉积相垂向模式		主要发育层段
相	微相	亚相	微相	
辫状河	心滩		心滩 (横向、纵向、斜向)	延 10、富县组
	河道沉积		河道沉积	
曲流河	泛滥平原	河漫亚相	河漫沼泽	延 9-延 7 ² 延 6 ⁴ -延 6 ¹
			泛滥平原	
	天然堤	堤岸亚相	天然堤	
			决口扇	
	沙坝顶部	河床亚相	沙坝顶部	
	曲流沙坝		曲流沙坝	
河床滞留沉积	河床滞留沉积			
网状河	河道		河道	延 6 ⁶⁺ 、延 7 ¹
	泛滥平原		泛滥平原	

原微相以泥岩—粉沙岩为主, 河漫沼泽微相以煤岩、泥岩为主。

延 7 油组上部及延 6 油组下部主要发育网状河, 本区主要发育厚层泛滥平原沉积和网状河道沉积, 河道沉积粒度较细, 分选好, 岩相类型主要为细沙岩—粉沙岩, 网状河沉积总体体现为“泥包沙”。

4.2 沉积体系的演化

富县期: 随着中期基准面的升降, 河道经历发育、繁盛到萎缩的过程。富 3 期发育两条河道, 走向分别为近东西及北西—南东方向, 河道较窄, 弯度较小, 两河道交汇于中 5 井附近, 心滩发育在河道中心, 规模小, 平面上呈椭圆形, 其余为河道沉积, 富 2 期河流集中在工区西南角, 平行发育两条河道, 富 1 期复又发育两条河道, 走向分别为北西—南东方向及近东西方向, 河道较窄, 弯度较小, 以河道沉积为主。

延 10 期: 基准面升降的幅度不大, 地壳运动相对稳定, 同时可能受富县末古侵蚀地貌影响, 河流集中发育在东南部位, 流向基本一致, 为北东—南西方向, 河道宽度和沉积厚度都相对稳定。

延 9 期: 发育北西—南东方向主河道, 接受近东西向河流汇入, 受地形影响河道发育不规则, 沙坝微相普遍发育, 随后工区东西部各发育一条河流, 东部河流呈北西方向, 河道较宽在岭 116-1 中 307-岭侧 10 发生大角度转向, 主河道转弯处相态也发生变化, 为沙坝顶部微相, 其余部位为曲流沙坝微相, 沿凹岸外侧天然堤微相发育; 西部河道较窄, 为低弯度河流, 主要发育曲流沙坝微相。

延 8 期: 随基准面上升工区东西部各发育一条河流, 东部河流呈北西方向, 河道较宽, 曲流沙坝发育在河道中部, 中 301-4、岭 10、新中 307、岭 116-4、岭侧 10、岭 116-6 井区为沙坝顶部微相, 河流西岸窄范围内发育天然堤; 西部河流由两条窄河道交汇而成, 河道内主要发育沙坝微相, 靠近中 304-6 一线发育天然堤微相 (图 6), 基准面靠近地表, 可容空间小, 洪泛沼泽发育, 河道狭窄, 多发育沙坝顶部微相, 天然堤宽度变大, 中 307-2 井区发育决口扇微相 (图 7), 基准面下降, 河道变宽, 为近东西方向, 主要为河床亚相曲流沙坝微

相, 仅岭 116-5 井、岭侧 116-5 井等位于河道凹岸的井区为天然堤微相, 中 303-5 井、中 303-3 井区发育决口扇微相 (图 5)。

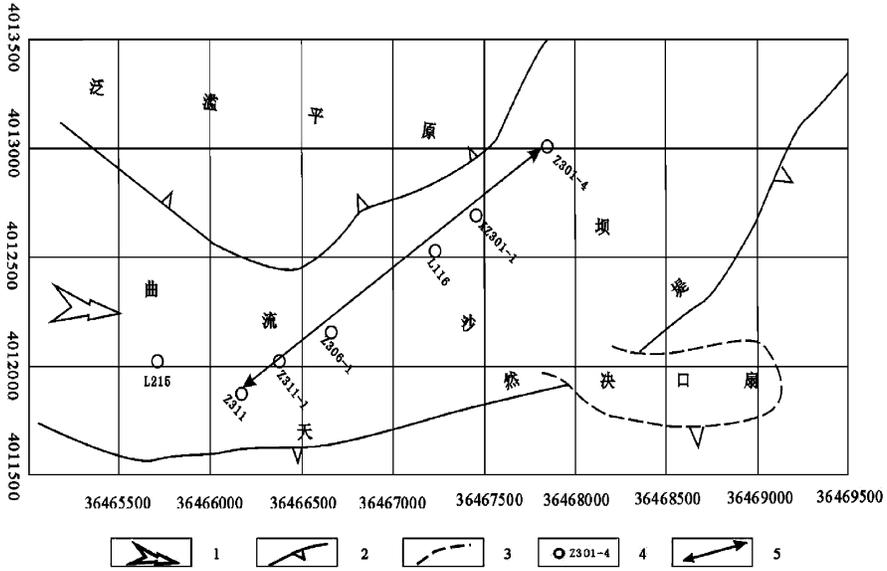


图 5 延 8 段晚期沉积微相展布图

Fig. 5 Distribution of sedimentary microfacies at the late stage of the Yan 8 period

1 物源方向; 2 沙岩尖灭线; 3 岩性界线; 4 井位、井号; 5. 层序地层格架测线方向

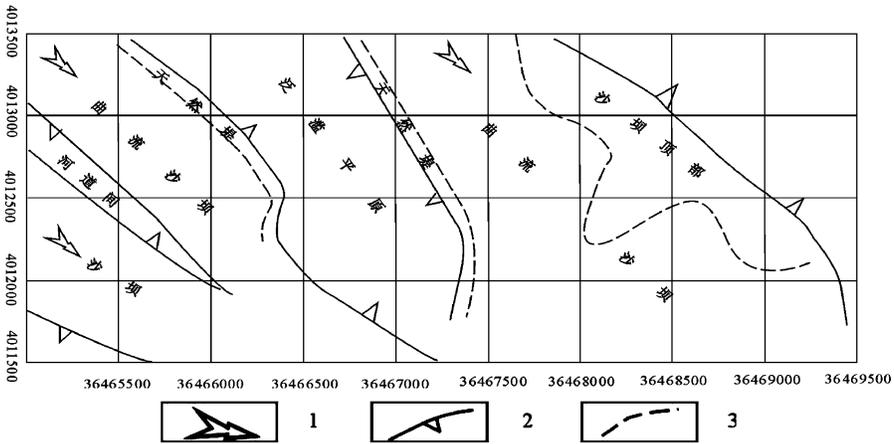


图 6 延 8 段早期沉积微相展布图

Fig. 6 Distribution of sedimentary microfacies at the early stage of the Yan 8 period

1 物源方向; 2 沙岩尖灭线; 3. 岩性界线

延 7 期: 该期是以上升半旋回为主的不对称旋回, 基准面上升半旋回工区东部发育一条河流, 发育沙坝微相, 新中 301-1 井、中 301-1 井区发育决口扇等堤岸亚相, 基准面上升半旋回末期又发育两条河道, 并呈“工”字型交汇于中 304-1 井处, 流向为北西—南东方向, 主河道发育曲流沙坝微相, 北部河流发育天然堤, 决口扇微相。基准面下降半旋回泛滥平原普遍发育, 河道萎缩, 宽度变窄, 弯度变大, 多条细小的河道平面上交织成网状。

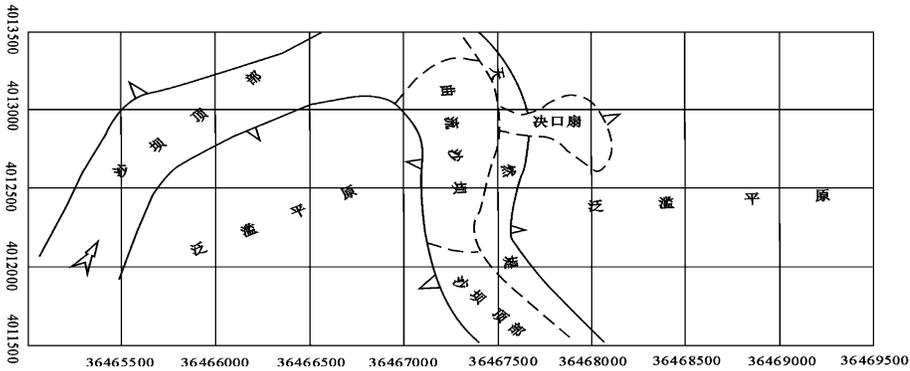


图 7 延 8 段中期沉积微相展布图

Fig 7 Distribution of sedimentary microfacies at the middle stage of the Yan 8 period
(图例同图 6)

延 6 期: 该期位于基准面总体较高的长期旋回上升末期, 河道由窄变宽然后再变窄, 多分支, 多弯曲, 平面上呈网状, 河道凹岸处天然堤普遍发育, 河道主体部位发育沙坝微相, 河口交汇处发育沙坝顶部微相, 河道变窄处发育曲流沙坝微相, 其余井区为沙坝顶部微相。

5 结论

(1) 马岭油田侏罗系延安组—富县组划分出全区可对比的 2 个长期旋回, 6 个中期旋回和 22 个短期旋回。

(2) 在陆相沉积中, 长期旋回基准面的变化可以影响和控制河流种类、发育规模和组合模式, 中期旋回的上升半旋回和下降半旋回可能发育同一种河流相类型 (网状河、辫状河、曲流河), 对同一种相类型, ΔS 值的细微变化可导致亚相类型及组合的很大变化。

(3) 研究区自下而上主要识别出辫状河、曲流河和网状河三种沉积相类型。延 10 及富县组以发育辫状河为主, 延 9-延 7² 以及延 6⁴-延 6¹ 以发育曲流河沉积相为主, 延 7 油组上部及延 6 油组下部主要发育网状河。

本文研究了层序地层控制下的沉积微相特征; 以层序界面和基准面的转换面为标志层, 小层精细划分与对比提高了沉积微相划分和成因沙体的预测精度, 为油田开发中的剩余油的分布预测等难题做了高质量的地质基础工作, 也为油田数字化提供了可靠的依据, 是油藏开发中不可或缺的一环。

致谢: 对陈柏林、周新桂两位导师的指导以及帮助在此表示衷心地感谢!

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] Wright P V, Marriott S B. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems; the role of floodplain sediment storage [J]. Sedimentary Geology. 1993, 86: 203 ~ 210.

(下接第 96 页)

activity rate are calculated to analyze the characteristics of fault activities in the Huimin subbasin and four orders of subbasin-controlling faults are distinguished. The analysis indicates the following: the fault activity rate is the most representative parameter; the fault activities in the Huimin subbasin have the long-continued, differential and episodic characteristics; and the activities of faults of lower orders have the short-term and uncertain characteristics. The subbasin-controlling faults of four orders played different roles in the formation of the subbasin and local structures within the subbasin.

Key words: Huimin subbasin; growth index; fault throw; fault activity rate

(上接第 77 页)

- [3] 邓宏文, 王洪亮. 层序地层地层基准的识别, 对比技术应用 [J]. 石油天然气地质, 1996, 17 (3): 177~184.
- [4] 刘建民, 李阳. 孤岛地区馆陶组河流沉积地层的高分辨率层序地层样式 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27 (6): 31~32.
- [5] 张凤奎. 马岭油田剩余油分布规律及综合挖潜. 石油勘探与开发, 1998, 25 (2): 62~64.
- [6] 郑荣才, 文华国. 鄂尔多斯盆地上古生界高分辨率层序地层分析 [J]. 矿物岩石, 2002, 22 (4): 66~74.
- [7] 樊太亮, 郭齐军, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界层序地层特征与储层发育规律 [J]. 现代地质, 1999, 13 (1): 32~36.

ANALYSIS OF HIGH-RESOLUTION SEQUENCE STRATIGRAPHY AND STUDY OF DEPOSITIONAL SYSTEMS IN THE MALING OIL FIELD, ORDOS BASIN

WANG Chun-yu¹, ZHANG Zhi-guo², LI Zhao-ming²,

ZHANG Lin-yan¹, ZHANG Hong-bin³, YANG Zhi-guo³

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China;

2. Institute of Geology, Second Oil Extraction Plant, Changqing Oil Field Branch Company, Qinyang 745100, China;

3. Xinglongtai Oil Extraction Plant, Liaohe Oil Field, Panjin 124010, Liaoning, China)

Abstract: Based on the theory of base-level cycles, two long-term, six medium-term and twenty-seven short-term cyclic sequences can be distinguished in the Jurassic Yan'an Formation and Fuxian Formation in the Maling oil field, Ordos basin. This paper introduces in more detail the controls of the base level on sedimentary facies. The change in base level of the long-term cycles may affect and control the types, development scales and facies association patterns of streams, and the ascending half and descending half of the medium-term cycle may give rise to the same type of fluvial facies. On the basis of an analysis of cores, well records, well logs and single-well facies, three types of sediments, namely, the sediments of braided streams, meandering streams and anastomosed streams, are distinguished in this area.

Key words: Ordos basin; Maling oil field; high-resolution sequence stratigraphy; base-level cycle; sedimentary system; Yanan Formation; Fuxian Formation