

文章编号: 1000-0550(2006)04-0549-06

鄂尔多斯盆地陇东地区延长组沉积相特征与层序地层分析^①

李凤杰^{1,2} 王多云³ 张庆龙¹ 徐旭辉²

(1. 南京大学 南京 210093; 2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所 江苏无锡 214151;

3. 中国科学院地质与地球物理所 兰州油气资源研究中心 兰州 730000)

摘要 晚三叠世鄂尔多斯盆地是一个东缓西陡的不对称拗陷盆地。通过岩心、录井、测井等资料综合研究, 识别出陇东地区延长组发育河流、三角洲、浊积扇和湖泊等 4 种沉积相类型, 其中河流沉积和浊积扇发育在湖盆的西缘陡坡带, 三角洲则在西缘和东部缘坡均有发育。根据层序地层学原理, 将延长组划分出 5 个三级层序; 延长组地层经历过 5 次大的湖泛, 在层序演化上具有早期形成、中期鼎盛、晚期衰退的特点。利用恢复后的原始地层厚度, 绘制的陇东地区延长组地层的 Fischer 图解, 与本区 5 次显著的湖平面上升一下降旋回之间有很好的对应关系, 这不仅证实了上述层序地层分析的正确性, 同时揭示了 Fischer 图解在划分地层层序方面的潜在意义。

关键词 层序地层 Fischer 图解 延长组 鄂尔多斯盆地

第一作者简介 李凤杰 男 1973 年出生 博士后 沉积学和层序地层学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组地层, 为一套拗陷型湖盆河流—三角洲—湖泊沉积体系, 是盆地中生界两个主力产油气层位之一, 油气储量占一半以上, 因此, 一直是研究的重要层位。近年来随着层序地层学方法成功地应用到陆相沉积体系的研究中^[1~5], 我国地质学家也把该方法应用到鄂尔多斯盆地上三叠统延长组地层的研究中^[6~9], 然而对延长组层序, 尤其是三级层序划分、层序形成演化的控制因素等几方面存在着明显分歧, 并且这些研究主要集中在盆地东北部, 而对盆地西南——陇东地区的研究尚未见报导。

陇东地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡带的西南部(图 1), 该区上三叠统延长组地层为典型的河流—三角洲—湖泊发育区, 沉积了厚达千米的生、储、盖组合。环湖发育的三角洲沉积体系分布范围广, 对油气富集有明显的控制作用, 有高达 6×10^8 t 的石油资源量^[10], 尤其近两年在陇东地区发现的西峰油田, 是受沉积相分布控制的、以岩性油藏为主的油田, 是鄂尔多斯盆地油气勘探中又一重大突破。开展陇东地区沉积相的研究, 建立本区精细的层序地层格架和油气成藏规律, 对于本区油气勘探有着重要的指导意义。根据河流—三角洲—湖泊沉积体系的结构特征, 运用层序地层学原理, 结合 Fischer 图解^[11]所反应的可容

空间变化曲线^[12], 综合分析钻井、岩芯、测井曲线和邻区地表露头资料建立了陇东地区延长组陆相碎屑岩的层序地层格架, 识别出 5 个 III 级层序。

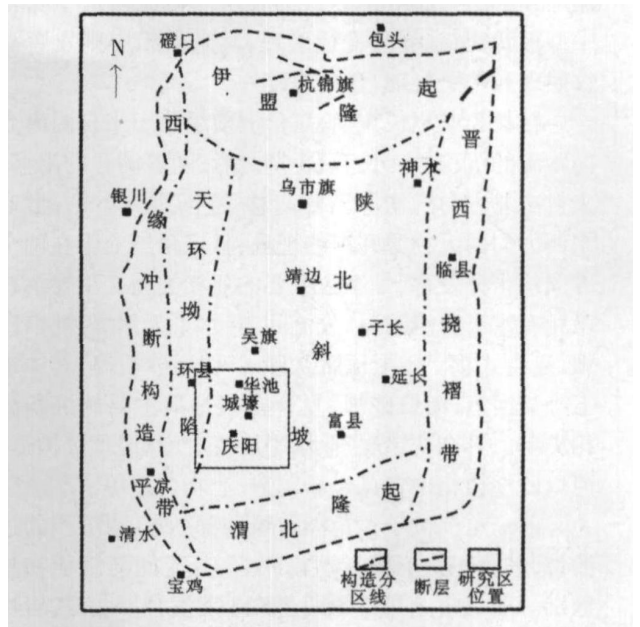


图 1 鄂尔多斯盆地构造分区及研究区位置示意图

Fig 1 Tectonic division of Ordos basin and the location of the study area

^①中国科学院资源环境领域知识创新工程重要方向项目资助(编号: KZCX3-SW-128-04)。

收稿日期: 2005-08-23; 收修修改稿日期: 2006-12-13

1 沉积相

利用陇东地区现有的钻、测井资料和邻区地表露头资料对本区沉积相进行分析认为,在陇东地区晚三叠世延长期主要发育一套河流—三角洲—湖泊沉积,不同演化阶段发育了不同的沉积体系类型。

1.1 河流相

研究区内的河流类型主要为辫状河,在岩性上以含砾粗砂岩、中砂岩为主。剖面上沉积微相的组合为河道滞留沉积、心滩、边滩和河漫滩等。发育有大型板状交错层理、槽状交错层理和平行层理,底部冲刷面明显。陇东地区河流沉积主要发育在延长组长 10 期,分布于来自盆地西南方向物源的陡坡边缘。

1.2 三角洲相

陇东地区三角洲从长 9 期至长 1 期都发育,是主要的沉积体系类型。三角洲可以细分出三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲三种亚相类型。

三角洲平原亚相在延长组地层发育早期(长 9 早期)主要分布于盆地西南缘的陡坡带;地层发育晚期(长 2 期—长 1 期)则在盆地的西缘和东缘均发育。主要微相类型有分流河道、天然堤、决口扇、分流间洼地、沼泽和洪泛平原等,其中以分流河道、分流间洼地和洪泛平原等微相最为发育。分流河道中发育中型板状交错层理、平行层理,其余微相中则发育沙纹层理和水平层理,含植物碎片。

在长 8 期至长 6 期,三角洲前缘位于来自西南方向物源的沉积区。长 4+5 期之后,随着湖心的南移,来自东北方向的物源不断南移,逐渐进入本区,形成东西方向两大物源并存的现象,且三角洲前缘在两个方向均十分发育,是本区主要的亚相类型。主要沉积微相有水下分流河道、分流间湾、水下天然堤、河口砂坝、复合式坝^[13]、坝顶席状砂^[14]和远砂坝等,其中水下分流河道、河口砂坝、复合式坝是最主要的沉积微相类型。具有交错层理、水平层理、沙纹层理等构造,河口砂坝微相中常见包卷构造、泄水构造等。

前三角洲位于三角洲前缘和深(浅)湖沉积的过渡带,其沉积物不易与湖相泥岩、分流间湾沉积物相区别。前三角洲在长 8 期至长 3 期发育不明显,岩性为灰色、黑灰色粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩沉积,具水平层理及小型波纹层理,含动物化石。向湖心方向水深加大,粉砂岩断续分布,呈小透镜状。

1.3 浊积扇相

浊积扇相是由杂砂岩、粉砂岩、泥岩频繁互层构

成的鲍马序列。砂岩杂基含量高,发育粒序层理、平行层理和沙纹层理;砂岩底部有沟模、槽模和重荷模、砂球等。电测曲线为复合指形,单指间参差不齐,顶部底部多为突变接触。本区浊积扇发育于长 8—长 6 期,主要分布在西峰—镇原以北的盆地西南缘陡坡带。

1.4 湖泊相

湖泊从开始形成、发育到消亡的演化过程中,研究区一直处于湖盆沉降中心,水体较深,为深(浅)湖。岩性有“高阻泥岩”、深灰色、黑色泥、页岩,块状层理或水平层理,偶夹粉砂质泥岩。“高阻泥岩”呈高电阻率和高伽玛值,岩性为深灰色、黑色泥、页岩,含介形虫、鱼类及软体动物化石,其间发育深水湖底浊积砂体。

综合分析研究区延长组沉积微相在平面上和垂向上分布特征认为:晚三叠世鄂尔多斯盆地是一个东缓西陡的不对称拗陷盆地,陇东地区延长组接受一套河流—三角洲—湖泊的陆相沉积,西部陡坡带发育河流沉积、三角洲、浊积扇和湖泊沉积相,东部缓坡则主要发育三角洲沉积体系和湖泊沉积体系,间或受浊积扇的影响(图 3)。

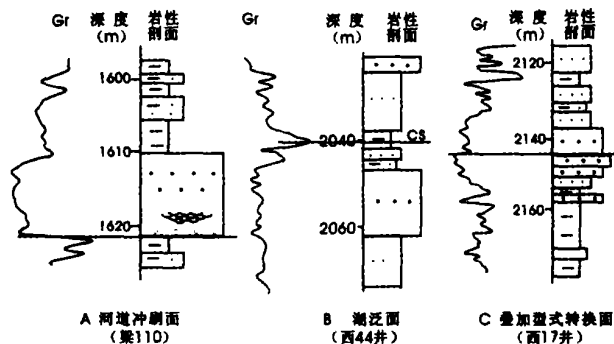


图 2 层序界面标志图

Fig 2 Marker map of boundary surface of the sequence

2 层序地层格架

2.1 层序界面标志

在层序形成过程中,包括了侵蚀作用、过路冲刷作用、沉积作用、非补偿性沉积或无沉积间断等沉积作用,不同沉积作用产生了不同性质和规模的层序界面及层序上下地层构型和规模的差异,为层序界面的识别提供了重要依据。在研究区主要层序界面类型有:不整合面、沉积间断接触、冲刷面、湖泛面、沉积相转换面以及岩相转换面等。

① 不整合接触面:根据邻区野外露头和钻、测井资料,延长组底部与下伏中三叠世纸坊组呈微角度不整合接触,顶部与上覆侏罗系延安组地层呈角度不整合接触。

② 河道冲刷面(图2-A):河道底部形成巨厚块状砂岩和河道滞留砂砾岩沉积,自然伽玛和电位曲线呈箱形或种形,底部呈突变接触关系,反映水体突然变化。

③ 湖泛面(图2-B):在湖盆中发育灰黑色、黑色页岩、泥岩和碳质泥岩,自然伽玛和电位曲线呈平直状或齿状,代表了水体较深的沉积环境。从钻穿延长组的井身剖面上可明显分辨出,研究区延长组共发生了3期明显湖侵,即长9、长7期,分别沉积了“李家滩页岩”、“张家滩页岩”^[9]和长4+5期湖相泥岩。湖泛期沉积的泥岩、页岩分布广泛,是等时对比的重要标志层。

④ 相序叠加式样转换面(图2-C):水体向上变浅(粒度变粗)的相序或相组合向着水体变深的相序或相组合的转换面,前三角洲—远砂坝—河口坝的相组合向分流河道—天然堤—分流间湾的转换,电测曲线表现为组合型式的转换,如进积叠加型式向退积叠加型式的转换。

2.2 层序地层特征分析

依据上述层序界面标志,运用层序地层学原理和基准面旋回原理,将延长组地层划分为1个超层序(Ⅱ级层序),其顶、底均以区域不整合为界,由5个Ⅲ级层序组成,自下而上依次为SQ1、SQ2、SQ3、SQ4和SQ5(图3)。下面对延长组内各Ⅲ级层序的沉积组成特征作简要描述。

层序Ⅰ(SQ1)位于延长组的底部,相当于长10期,底部界面为区域性沉积间断面。由于受早期印支运动的影响侵蚀作用强烈,沉积作用迅速,沉积了厚约300 m的厚砂岩,区域上可以进行地层对比。该层序四分性即:低水位、水进、高位和水退体系域^[15]较明显,低水位体系域(LST)、水进体系域(TST)以发育辫状河道沉积为特征,呈小型前积叠加方式;高水位体系域(HST)以河流相和三角洲平原并存为特征,河流沉积范围明显减小,三角洲平原的泛滥平原相对发育;水退体系域(RST)发育于长10晚期,以三角洲平原分流河道沉积为主,为进积型叠加式样。

层序Ⅱ(SQ2)是由长9和长8期下部组成。整个层序是由水进、高位和水退体系域组成。水进体系域相当于长9期下部,主要发育三角洲平原分流河道

和河间洼地微相的细砂岩与粉砂岩夹泥岩组成;长9中晚期水进体系域盆地整体扩展,湖泊快速扩展,在西峰—镇原以北沉积了厚度不大的三角洲前缘分流间湾、远砂坝及前三角洲或浅湖—半深湖相油页岩组成的垂向加积序列;最大湖泛沉积了相当于“李家滩页岩”的湖相灰黑色泥岩、油页岩。长8期下部的水退体系域仅发育西南方向物源的沉积,由河口坝、分流河道和分流间湾微相细粉砂岩、粉砂岩组成的向上变浅的加积或进积叠加式样。

层序Ⅲ(SQ3)是由长8中上部、长7和长6期中下部沉积组成。在本区发育了一套三角洲前缘—深湖—浊积扇沉积,底部为三角洲前缘水下分流河道进积冲刷面。该层序由水进、高位和水退体系域组成,水进体系域以水下分流河道沉积为主,河流下切作用加强,加积作用明显,在区内沉积了巨厚砂体;高水位体系域以长7期深湖沉积为主,湖平面达到最大范围,沉积了著名的“张家滩页岩”,在深湖区,浊积砂岩发育,分布范围广泛;水退体系域主要在长6中早期,主要发育进积型的三角洲前缘沉积,河口坝、远砂坝、前三角洲和浅湖等微相发育。

层序Ⅳ(SQ4)包含了长6上部、长4+5和长3期沉积,顶、底界面均为沉积转换面。一般可划分出水进、高水位和水退体系域。水进体系域主要由水进期的三角洲前缘沉积组成;长4+5期为最大湖泛期,高水位体系域就是由加积式的湖相泥岩组成;水退体系域发育由向盆地强烈推进的三角洲体系,形成明显变粗的进积式水退沉积序列。该层序形成时西南方向物源供给作用弱,东北方向物源供给作用加强,三角洲前缘主砂体带可延伸至城华地区。

层序Ⅴ(SQ5)是由长2和长1期组成,底界以相转换面为界,顶界为不整合面,可划分出水进、高水位和水退体系域。水进体系域湖泊全面退缩,河流发生“回春”作用,区内三角洲平原发育,主要发育有水上分流河道沉积;高水位体系域和水退体系域发育泛滥平原沉积,主要以加积作用为主,发育了一套含煤的三角洲洪泛平原沉积地层。

2.3 可容空间变化分析

在时间进程中,随着可容空间的周期性变化,沉积物的叠加式样和沉积体系的发育也呈周期性变化。可容空间变化是形成沉积层序的本质因素,层序边界是在可容空间增长速率相对缓慢期间形成的,因此对可容空间变化历史的分析是划分层序级别、进行层序对比的一种较为客观的方法^[12]。目前Fischer图解

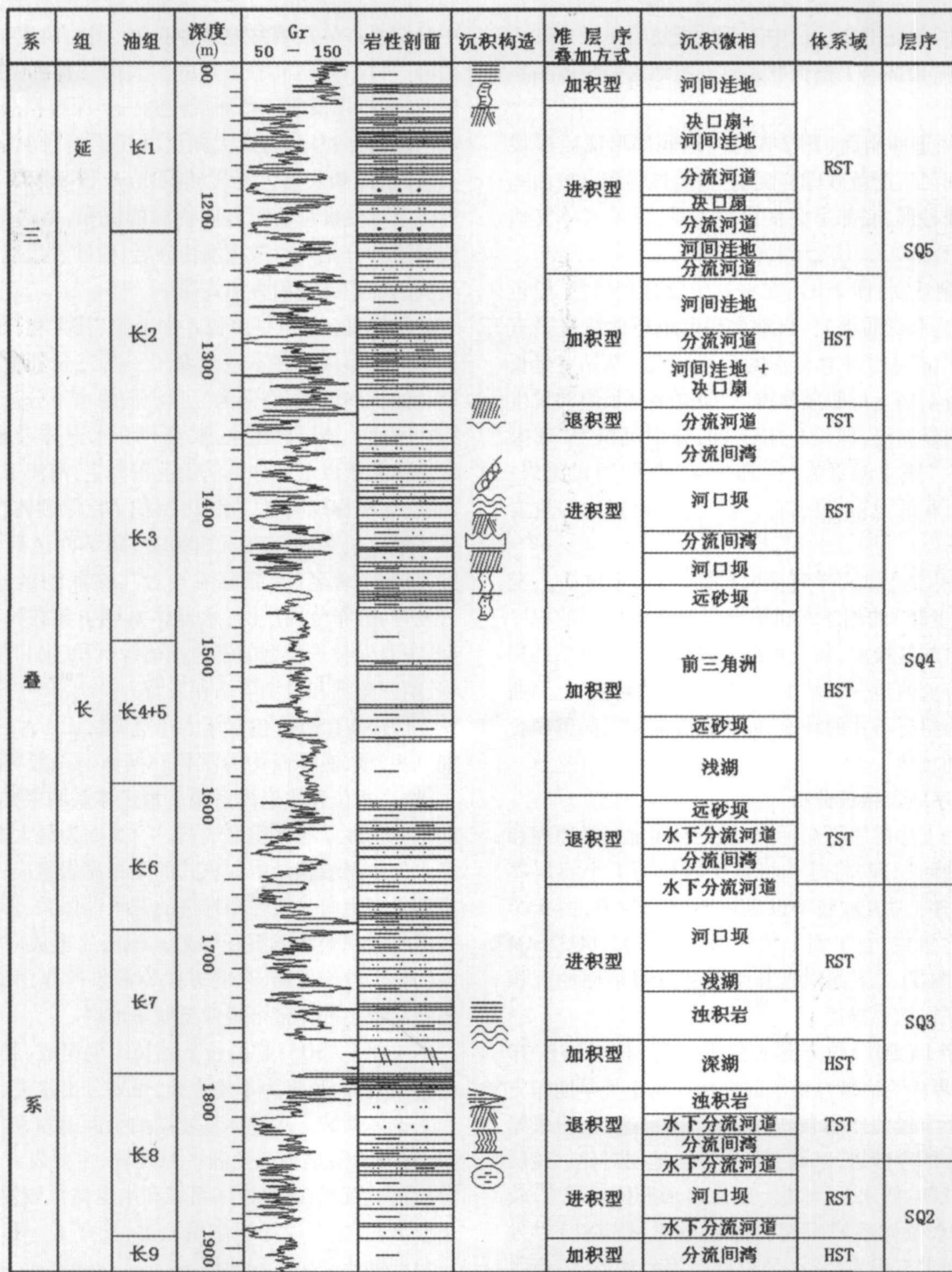


图 3 陇东地区延长组城 86 单井层序划分综合柱状图

Fig 3 Sequence stratigraphic division of Well Cheng 86 of Yanchang Formation in Longdong area

法是分析可容空间的最重要方法之一。Fischer图解法作图要求旋回层序单元厚度应为沉积时的厚度,以便真实地反映出沉积物实际可容空间变化。

本文将研究区钻穿延长组地层的参数井(庆深 1

井)划分为 112 个旋回小层序,并根据孔隙度与深度关系对各旋回小层序厚度进行压实校正,求得各小层序原始厚度。计算过程中根据岩心和声波测井分别建立砂岩和泥岩的孔隙度随深度变化的定量关系,然

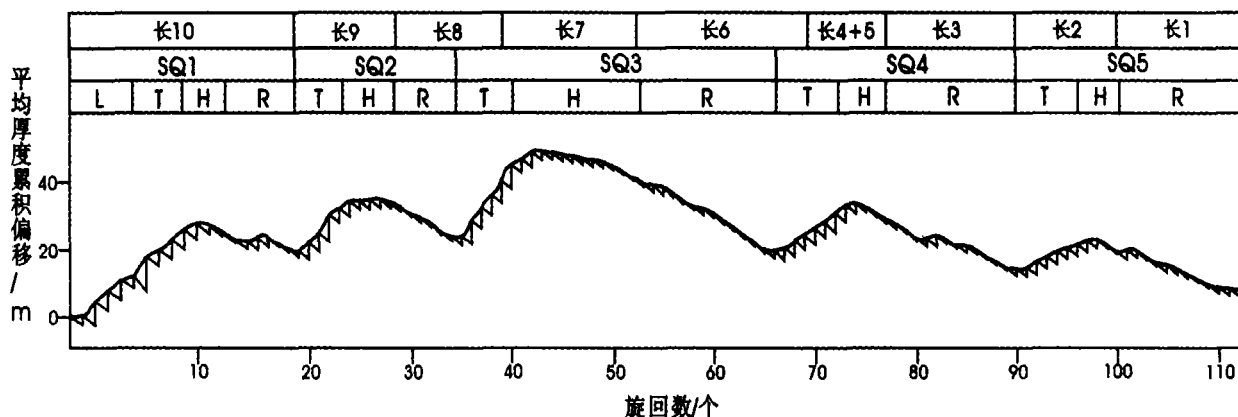


图4 庆深1井延长组地层Fischer图解(可容空间变化)曲线

Fig. 4 Fischer plot of Yanchang Formation of Well QingShen1

后根据每一小层序的中砂、泥岩百分含量加权,求取该小层序的平均孔隙度与深度的关系,最后计算出各小层序的原始厚度^[16]。利用求取的各旋回小层序原始厚度,绘制Fischer图解曲线(图4)。从图4中可以看出,研究区延长组地层基本上分为5个完整的、规模较大的实际可容空间旋回,代表了5次显著的湖平面上升一下降旋回,与本文所划分的Ⅲ级层序之间有很好的对应关系,这在一定程度上说明了Fischer图解的实用性和客观性。

3 结论

晚三叠世鄂尔多斯盆地是一个东缓西陡的不对称拗陷盆地,陇东地区延长组接受一套河流—三角洲—湖泊的陆相沉积,主要发育河流沉积、三角洲、浊积扇和湖泊等4种沉积相类型,西部陡坡带发育河流沉积、三角洲和浊积扇,东部缓坡则发育三角洲沉积体系。研究区位于延长湖泊的湖心,由于受古地形的影响,湖盆东西两侧陡缓程度不同,湖盆东北部缓坡带,水下分流河道延伸较远,河道位置较稳定,西南缘湖盆坡度较陡,分流河道延伸较短,河道宽度较大。

受构造、古气候和湖平面变化的影响,陇东地区延长组发育了5个Ⅲ级层序,其中位于延长组底部的层序I(SQ1)四分性明显,发育完整的低水位、水进、高水位和水退体系域,其余三个层序是由水进、高位和水退三个体系域组成,而缺乏低水位体系域。砂体的分布主要位于由分流河道和河口坝组成的水进和水退体系域中,生油岩则主要分布在高位体系域沉积中。延长组地层经历的5次大的湖泛,在层序演化上具有早期形成、中期鼎盛、晚期衰退的特点。利用恢复后的原始地层厚度,绘制的陇东地区延长组地层的

Fischer图解,与本区5次显著的湖平面上升一下降旋回之间有很好的对应关系,这不仅证实了上述层序地层分析的正确性,同时揭示了Fischer图解在划分地层层序方面的潜在意义。

参考文献 (References)

- 1 Aitken J F, Flint S S. The application of high-resolution sequence stratigraphy to fluvial systems: a case study from the Upper Carboniferous Breathitt Group, eastern Kentucky, USA. *Sedimentology*, 1995, 42 (1): 3~30
- 2 李思田,林畅松,解习农,等.大型陆相盆地层序地层学研究—以鄂尔多斯中生代盆地为例. *地学前缘*, 1995, 2(3~4): 133~136 [Li Sitian, Lin Changsong, Xie Xinong, et al. Approaches of nonmarine sequence stratigraphy: a case study on the Mesozoic Ordos Basin. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3~4): 133~136]
- 3 Currie B S. Sequence stratigraphy of nonmarine Jurassic Cretaceous rocks, central Cordilleran foreland basin system. *Geological Society of America Bulletin*, 1997, 109 (6): 1206~1222
- 4 邓宏文,王洪亮,翟爱军,等.中国陆源碎屑盆地层序地层与储层展布. *石油与天然气地质*, 1999, 20(2): 108~114 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhai Aijun, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution in China's terrigenous clastic basin. *Oil & Gas Geology*, 1999, 20(2): 108~114]
- 5 顾家裕,张兴阳.陆相层序地层学进展与在油气勘探开发中的应用. *石油与天然气地质*, 2004, 25(5): 484~490 [Gu Jiayu, Zhang Xinyang. Progress in continental sequence stratigraphy and its application in petroleum exploration and development. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(5): 484~490]
- 6 罗静兰, Marcelo J Ketzef, 李文厚,等.延长油区侏罗系—上三叠统层序地层与生储盖组合. *石油与天然气地质*, 2001, 22(4): 337~341 [Luo Jinglan, Marcelo J Ketzef, Li Wenhong, et al. Sequence stratigraphy and source-reservoir-cap assemblages of Jurassic-Upper Triassic in Yanchang oil field. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(4): 337~341]
- 7 杨雷,梅志超,熊伟.陕北地区延长组层序地层划分与含油气性. 古

- 地理学报, 2001, 3(3): 83~88 [Yang Lei Mei Zhichao Xiong Wei Stratigraphic sequence and petroliferous characters of Yanchang Group in north Shaanxi Province Journal of Palaeogeography, 2001, 3(3): 83~88]
- 8 兰朝利, 吴峻, 李继亮, 等. 靖安油田长 6 段层序地层分析. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 362~366 [Lan Chaoli Wu Jun Li Jiliang et al Sequence stratigraphy of Chang 6 Member in Jin'an Oil field Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 362~366]
- 9 郑荣才, 彭军. 陕北志丹三角洲长 6 油层组高分辨率层序分析与等时对比. 沉积学报, 2002, 20(1): 92~100 [Zheng Rongcai Peng Jun Analysis and isochronostratigraphic correlation of high-resolution sequence stratigraphy for Chang 6 oil reservoir set in Zhidan Delta-northern Ordos Basin Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 92~100]
- 10 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律. 北京: 石油工业出版社, 2002. 104~108 [Yang Junjie Tectonic Evolution and Oil-gas Reservoirs Distribution in Ordos Basin Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. 104~108]
- 11 Sadler P M, Osleger D A, Montanez I P. On the labeling length and objective basis of Fischer plots Journal of Sedimentary Petrology, 1993, 63(3): 360~368
- 12 沈守文, 彭大钧, 颜其彬, 等. 吐哈盆地侏罗系层序地层学研究. 沉积学报, 2001, 19(2): 261~269 [Shen Shouwen Peng Dajun Yan Qibin et al Sequence stratigraphy of Jurassic in Turpan Hami basin Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 261~269]
- 13 李凤杰, 王多云, 郑希民, 等. 陕甘宁盆地华池地区延长组缓坡带三角洲前缘的微相构成. 沉积学报, 2002, 20(4): 582~587 [Li Fengjie Wang Duoyun Zheng Ximing et al The microfacies architecture of delta front along gentle slope zone of Yanchang Formation in Huachi area Shaanxi-Gansu-Ningxia basin Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 582~587]
- 14 郑希民, 宋广寿, 王多云, 等. 陕甘宁盆地陇东地区长 8 油组厚层非均质砂体的沉积学解剖. 沉积学报, 2003, 21(2): 272~277 [Zheng Ximin Song Guangshou Wang Duoyun et al Sedimentary anatomy of thick anisotropic sandstones for Chang 8 oil Formation in Longdong area Shaan-Gan-Ning Basin Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2): 272~277]
- 15 董清水, 刘招君, 方石, 等. 论陆相层序地层学四分方案的可行性. 沉积学报, 2003, 21(2): 324~327 [Dong Qingshui Liu Zhaojun Fang Shi et al On the feasibility of the four divisions scheme about continental sequence stratigraphy Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2): 324~327]
- 16 胡受权, 陈国能, 王英民, 等. Fischer 图解及其沉积响应的计算机模拟. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 70~75 [Hu Shouquan Chen Guoneng Wang Yingmin et al Fischer diagram and its computer simulation of sedimentary response Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 70~75]

Sedimentary Facies Characteristic and Sequence Stratigraphy Analysis of Yanchang Formation in Longdong Area, Ordos Basin

LI Feng-jie^{1,2} WANG Duo-yun³ ZHANG Qing-long¹ XU Xu-hui²

(1. Nanjing University, Nanjing 210093; 2. Wuxi Research Institute of Experimental Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151; 3. Lanzhou Center of Oil & Gas Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract At Late Triassic Ordos Basin is an asymmetry depressed-type lacustrine basin with gentle slope in the east and steep slope in the west. By the research of core logging profiles and seismic data, four types of sedimentary facies have been recognized. Among these sedimentary facies, river facies and turbidity fans are found on the steep slope in the west of the depression, while braid river deltas are found on both the steep slope in the west and the gentle in the east of the depression. Based on the classic pattern of sequence stratigraphic framework, five three-order sequences have been identified in Yanchang formation, Longdong area. Five times of lake transgression can be distinguished. The sequence evolution is that they formed in early time, reached the maximum in middle time and declined in late time. Fischer's plots of Yanchang formation stratigraphy are scaled with retrieved stratigraphic thickness in Longdong area. There are well corresponding relations between the plots and five times of lake transgression. The classification of the sequence stratigraphy has been verified by using Fischer's plots, which may be a potential tool for sequence analysis.

Key words sedimentary facies, sequence stratigraphy, Fischer plots, Yanchang Formation, Ordos Basin