

鄂尔多斯盆地西峰油田主要储层砂体的成因与演化

刘自亮¹, 王多云², 李凤杰³, 孟祥化¹

(1. 中国地质大学沉积盆地研究所, 北京 100083; 2. 北京师范大学, 北京 100875; 3. 成都理工大学, 成都 610592)

摘要:以鄂尔多斯盆地西峰油田上三叠统延长组为例, 利用层序地层学理论对辫状河三角洲前缘沉积体系中以水下分流河道和河口坝两种储油砂体为主的多种成因组合进行了研究, 将其划分为水下分流河道组合区、水下分流河道与河口坝混合区和河口坝组合区。详细刻画了辫状河三角洲前缘中主要储油砂体的成因类型, 将水下分流河道成因砂体划分为叠加式水下分流河道砂体和完整式水下分流河道砂体两类; 将水下分流河道与河口坝复合成因砂体划分为坝上和河上坝砂体两类; 将河口坝成因砂体划分为叠加式河口坝和孤立式河口坝砂体。讨论了各类成因砂体的形成机制。

关键词:层序地层学; 水下分流河道; 辫状河三角洲前缘; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-7849(2008)02-0068-05

我国中生代陆相盆地中的厚层储集砂岩(厚度 >10 m)十分普遍, 油(气)往往赋存于其中的某一段^[1], 因此, 人们通常更注重研究与这种储层非均质性有关的砂岩组成、结构、物性以及与其开发有关的流动单元划分等问题, 而疏于对其序列的沉积学分析, 导致对厚层砂体中优质储层的成因解剖、预测方法以及精细对比等问题研究较少^[2-6]。陕甘宁盆地陇东地区延长组沉积特征的研究始于 20 世纪 70 年代初期。郭忠铭^[7]根据对周边地区野外露头的地层研究, 认为延长组主要为水下冲积扇沉积; 随后陈安宁等^[8]提出了扇三角洲沉积的观点, 而张哨楠等^[9]认为其属于正常河流三角洲沉积。随着西峰油田的发现和更多钻井资料的揭示, 最近又有学者提出了辫状河三角洲的观点^[10], 笔者将根据陇东西峰油田主要产层延长组长 6、长 7、长 8 油组储油砂体的沉积学研究来识别盆地晚三叠世克拉通内拗陷湖盆陡坡条件下辫状河三角洲前缘储层砂体的类型及其演化特征; 讨论在快速堆积背景下巨厚砂体的成因问题, 并描述它们在三维空间上的演化特征。

鄂尔多斯盆地属于地台型构造沉积盆地。区域地质资料表明^[11], 在海西运动后, 盆地从晚三叠世开始进入内陆拗陷盆地沉积。此阶段的沉积特点表现为沉积中心与沉降中心不一致, 盆地中部为沉积中心, 沉积薄而稳定; 盆地西部为沉降中心, 沉积厚而多变。西峰油田位于陕北斜坡中段的庆阳鼻褶带上, 构造平缓, 在西向单斜背景下局部发育小型鼻状

隆起(图 1)。研究区在延长组沉积时期表现为西高东低, 广泛接受了西和南西方向的沉积物, 并随着构造沉降和湖平面的变化而改变沉积物的成因和性质, 属河流—三角洲—湖泊沉积环境。其主力油层长 7~8 油组属于辫状河三角洲前缘沉积相带, 发育

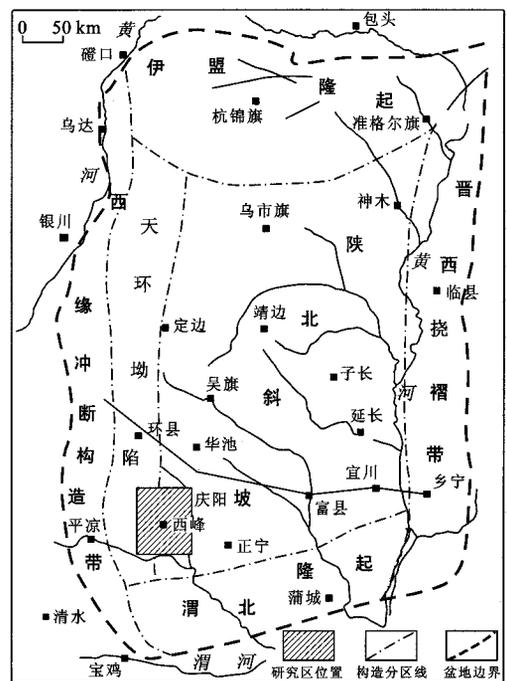


图 1 鄂尔多斯盆地构造单元划分及研究区位置图
Fig. 1 Sketch showing tectonic units and location of the study area in Ordos Basin

收稿日期: 2007-07-17 编辑: 禹华珍

基金项目: 中国科学院资源环境领域知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-128-04); 科技部国家重点基础研究项目(001CB711002); 国家自然科学基金项目(40172043; 40572073); 中国地质调查局项目(200313000055)

作者简介: 刘自亮(1978—), 男, 现正攻读矿物学、岩石学、矿床学专业博士学位, 主要从事储层沉积学与层序地层学研究。

有水下分流河道、河口坝、远砂坝、分流间湾和前三角洲等众多沉积微相和亚相类型。

1 储层砂体成因类型

短期基准面旋回是划分高分辨率层序地层的成因地层单元,主要依靠相或相序的变化来确定。它既可由一系列成因上相联系的岩性组合+界面组成,也可由单一岩性+界面组成;既可代表记录有基准面上升期和下降期沉积的具二分时间单元分界线的完整旋回,又可代表仅发育上升期或下降期沉积的不完整旋回^[12]。笔者依据岩心、野外露头及由测井曲线资料反映的地层结构、储层岩性、物性、沉积构造及粒度分布特征,运用短期基准面旋回原理,将研究区辫状河三角洲前缘砂体的成因类型划分为 3 种类型和 6 种亚类。

1.1 水下分流河道砂体

水下分流河道是辫状河三角洲前缘亚相中的分流河道入湖后在水下的延伸部分。笔者依据岩性、岩相组合和砂体厚度保存现状的差异,将水下分流河道砂体成因进一步划分为完整式水下分流河道砂体(高可容纳空间)和叠加式水下分流河道砂体(低可容纳空间)两种类型。

1.1.1 叠加式水下分流河道砂体 叠加式水下分流河道砂体是由多期河道砂体叠加形成的块状砂体,且底部发育冲刷面或滞留沉积,在垂向上表现为由多个正韵律组成的复合韵律。短期基准面旋回属于低可容纳空间、向上变深的非对称型旋回(图 2-A)。原因是在基准面缓慢上升的过程中,可容纳空间(A)远小于沉积物补给通量(S)($A/S \ll 1$),低可容纳空间难以容纳所供给的沉积物,大部分的沉积物在冲刷作用下被带走^[13]。在基准面下降的过程中,随着有效可容纳空间的减小和冲刷、剥蚀作用的

增强,上部细粒沉积物被冲刷、剥蚀带走,使得上升半旋回仅保留底部粗粒沉积物。这一过程多次重复,使得多期河道砂体相互叠置,从而形成叠加式水下分流河道砂体;其测井曲线形态为箱形叠加。

如果在沉积后期,基准面继续上升,沉积物补给通量减小,A/S 比值变大,但仍然远小于 1 的条件下,有效可容纳空间增大,冲刷、剥蚀作用减弱,则细粒沉积物叠置于下部粗粒砂体的上部,形成过渡类型的箱形—钟形叠加式水下分流河道砂体;其测井曲线形态为下部箱形,上部钟形(图 2-B)。

1.1.2 完整式水下分流河道砂体 完整式水下分流河道砂体底部通常具有冲刷面,为粒度逐渐向上变细的正韵律沉积层序,属典型的河道沉积二元结构。短期基准面旋回类型为高可容纳空间、向上变深的非对称型旋回或等厚对称型旋回(图 2-C)。在基准面上升的过程中,可容纳空间大于沉积物补给通量($A/S < 1$),且分流河道的下蚀作用较弱,同样当基准面下降时,侵蚀作用也较弱或处于无沉积状态,从而形成下粗上细的水下分流河道砂体。

1.2 河口坝砂体

1.2.1 叠加式河口坝砂体 叠加式河口坝砂体是由两个或多个向上变粗的砂体相互叠置组成的具反粒序特征的砂体。其成因与基准面下降过程中,在高可容纳空间条件下,水体较深,能量较低,冲刷作用较弱有关。随着可容纳空间减小和沉积物补给通量增多而变粗,因而形成反粒序的河口坝砂体。在基准面上升过程中,在高可容纳空间、 $A/S \gg 1$ 的条件下,沉积物补给通量处于极少状态,仅沉积了较薄的粉砂岩或泥岩。所以其短期基准面旋回表现为高可容纳空间、向上变浅的非对称型旋回和以下降半旋回为主的对称型旋回(图 3-A)。

1.2.2 孤立式河口坝砂体 其沉积特征与叠加式河口坝砂体并无太大的差别,在垂向上表现为不连

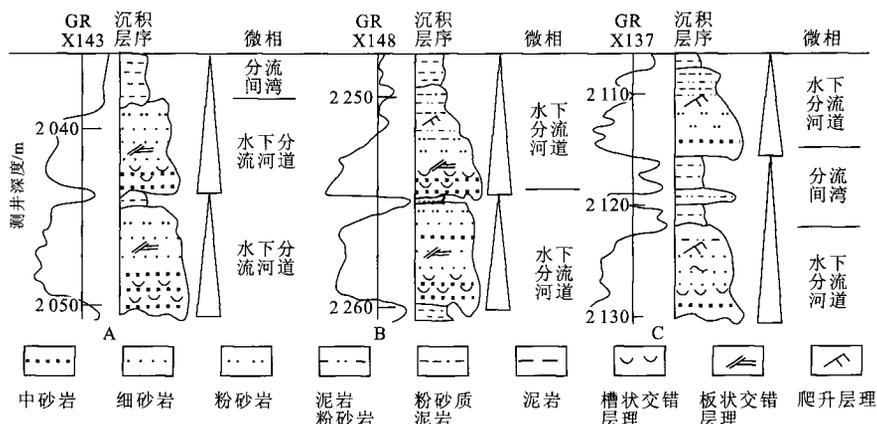


图 2 水下分流河道成因砂体短期基准面旋回剖面结构

Profile of the short-term base-level cycle sequence of sand bodies of submarine distributary channel

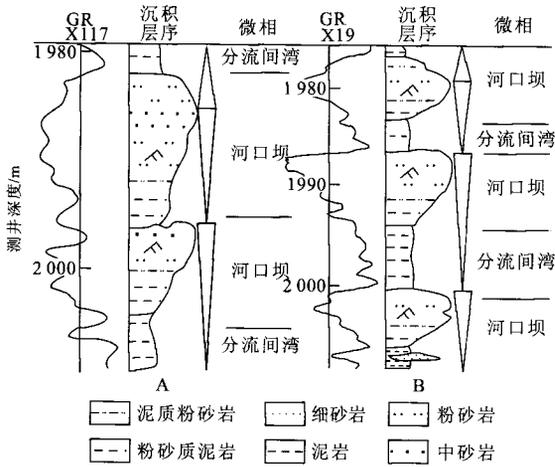


图3 河口坝成因砂体短期基准面旋回剖面结构

Fig. 3 Profile of the short-term base-level cycle sequence of sand bodies of the river mouth dam

续的、粒度向上逐渐变粗的反粒序沉积特征。河口坝砂体顶、底部与浅湖泥直接接触。其短期基准面旋回表现为低可容纳空间、向上变浅的非对称型旋回和以下降半旋回为主的对称型旋回(图 3-B)。其成因是在低可容纳空间条件下,伴随着基准面下降到晚期,强烈的进积作用使可容纳空间迅速填满,水体变浅,位于顶部的砂体受侵蚀冲刷作用的改造,泥质成分被带走,粗粒物质被保留下来,从而形成厚度大、分选好、无细粒沉积物夹层的孤立式河口坝砂体^[14]。

1.3 水下分流河道与河口坝复合砂体

由水下分流河道与河口坝砂体叠加而组成的复合式砂体,根据水下分流河道与河口坝砂体在垂向上的配置关系,以及沉积条件的变化,把此类砂体划分为坝上河和河上坝复合砂体。

1.3.1 坝上河复合砂体 坝上河复合砂体是以短期旋回的转换面为对称轴,下部为具反粒序结构的

河口坝,上部为水下分流河道的砂体组合。该类砂体形成于中期基准面下降过程中的可容纳空间接近于沉积物补给通量(由 $A/S \geq 1$ 至 $A/S \leq 1$)条件下,或中期旋回由下降到上升的转换位置下部的河口坝形成于先期旋回基准面下降晚期的强迫进积,即在基准面下降过程中,无论沉积物供给多少,岸线都会向湖盆方向迁移;上部的水下分流河道形成于后期旋回基准面上升早期的主动进积,即基准面开始缓慢上升过程中,基准面的上升速率虽然在增大,但沉积物的供给速率仍大于基准面的上升速率,从而造成强烈的充填作用,形成水下分流河道砂体,二者的界面是两期基准面旋回的转换面。由于基准面由下降向上升转换时,水下分流河道具有强烈的侵蚀冲刷作用,会对先期沉积的河口坝顶部砂体进行改造,二者的接触面为小型冲刷面,从而形成连续式坝上河复合砂体(图 4-A),其短期基准面旋回为下降半旋回与上升半旋回的不完全对称型。若河流能量相对较弱,则形成中间夹有泥岩沉积物的整合界面,称之为叠加式坝上河复合砂体(图 4-B)。

1.3.2 河上坝复合砂体 河上坝复合砂体是以湖泛面为对称轴,下部为具二元结构的水下分流河道砂体,上部是具反粒序的河口坝砂体的组合。该类砂体组合形成于中期基准面上升过程中的可容纳空间接近于沉积物补给通量(由 $A/S \leq 1$ 至 $A/S \geq 1$)条件下,即沉积与沉降处于相对均衡或弱欠补偿条件下,保留了短期基准面上升期和下降期的沉积记录,在短期基准面上升期,由于基准面大幅度上升引起的可容纳空间递增,而沉积物供给量减少,可容纳空间能容纳大部分沉积物而形成水下分流河道砂体;在短期基准面下降期,随着可容纳空间减小和沉积物供给量增多而变粗,所以在基准面由上升到下降的过程中形成了反粒序的河口坝砂体。当以短期

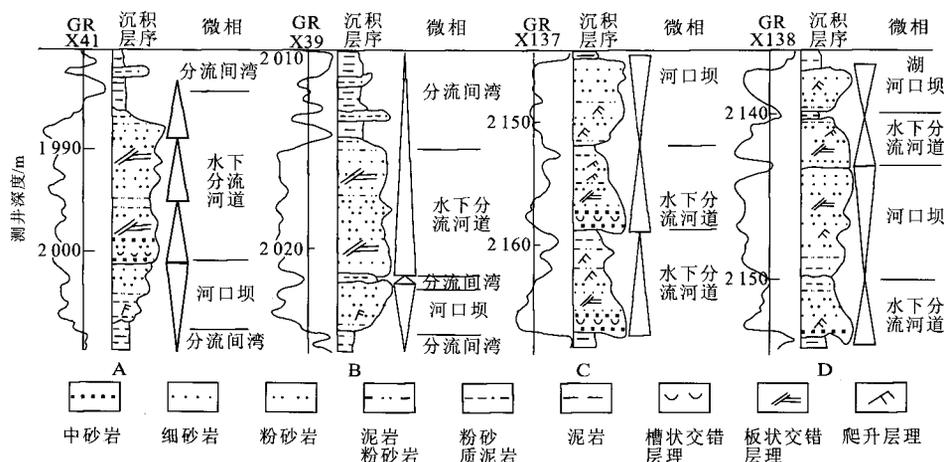


图4 水下分流河道与河口坝复合成因砂体短期基准面旋回剖面结构

Fig. 4 Profile of the short-term base-level cycle sequence of sand bodies of submarine distributary channel and the river mouth dam

基准面上升期的沉积记录为主时则形成以河为主的河上坝复合砂体(图4-C);反之,则形成以坝为主的河上坝复合砂体(图4-D)。

2 储层砂体沉积演化与分布模式

鄂尔多斯盆地延长组形成于内陆拗陷湖盆的一个完整演化旋回期内,代表了一次湖泊沉积发生、发展和消亡的完整过程,长10到长7油组形成于湖盆扩张期,长6到长1油组形成于湖盆萎缩期^[15]。研究区位于盆地西南部,湖盆基底陡且水深,延长湖岸线相对固定。长8油组正处于湖盆扩张的早期阶段,总体处于强烈下陷期,沉降速度加快,可容纳空间明显大于沉积物补给通量,且持续占主导地位,在盆地西南部较陡的斜坡带上主要发育辫状河三角洲沉积体系,形成了一套几乎连续沉积的巨厚砂体(厚度为20~60 m),成为西峰油田的主要含油层。对该套砂体的成因,一般认为其属分流河道成因。笔者研究表明,该套储油砂体是在湖泊扩张早期,辫状河三角洲前缘由进积过程转化为退积过程的产物,从湖泊岸线到湖泊中心方向,该套砂体明显可区分出三段微相组合区:①水下分流河道组合区;②水下分流河道与河口坝混合区;③河口坝组合区(图5)。

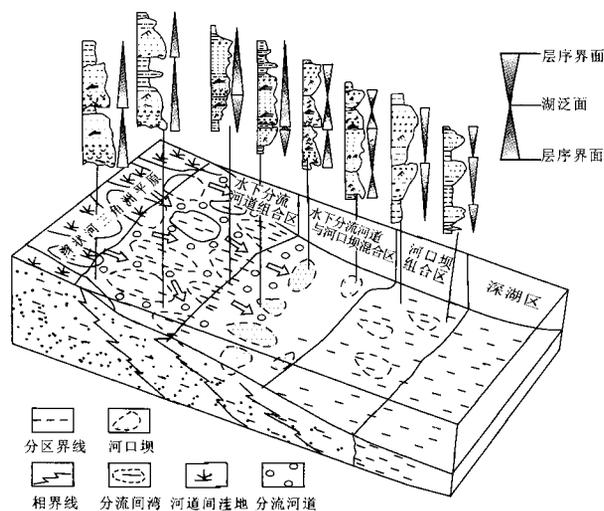


图5 鄂尔多斯盆地西峰油田长8油组辫状河三角洲前缘砂体成因分布模式

Fig.5 Model of genetic distribution in the braided river delta front in the Chang 8 oil formation in Xifeng Oilfield, Ordos Basin

长8早期,盆地演化处于长10—长9准层序旋回末至回返初期,就该区而言,沉积基底较陡,河流作用强,物源供给充足,可容纳空间远小于沉积物补给通量($A/S \ll 1$),发育早期辫状河三角洲前缘进积过程,沿湖心方向堆积水下分流河道和河口坝砂体,其中水下分流河道砂体分布范围广、厚度大。

而随着湖盆的继续扩张,湖盆水体加深,物源供给速率小于湖盆的扩张速率,即可容纳空间远大于沉积物补给通量($A/S \gg 1$),其前缘由进积过程转化为退积过程。因此,在不同的沉积阶段,不同成因砂体连续或不连续堆积,形成了特征各异的厚层砂体。在不同时间和空间,由于河流能量,搬运能力受湖水阻力影响的程度及砂体被湖水后期改造的差异,使多种成因砂体相互叠置,形成不同类型的复合成因砂体。即使相同成因的砂体,在岩性、结构构造、骨架颗粒、储层物性等方面也有较大的差异。如在水下分流河道组合区的厚层砂体下部,大部分砂体粒度较粗、长石含量高,砂岩结构和构造反映出进积过程中离岸线较近的高能水下分流河道成因特征;相反,其上部砂体特征则具退积背景下深水环境中低能水下分流河道成因,因此表现为叠加式和完整式水下分流河道成因砂体。

就水下分流河道与河口坝混合区而言,受河口坝砂体大小,水下分流河道侵蚀能力强弱等因素的影响,河口坝砂体被不同程度地侵蚀,形成不同主导因素的坝上河砂体组合,如连续式坝上河和叠加式坝上河砂体等。当其前缘由进积过程转为退积过程后,岸线后退,河口坝砂体叠加在水下分流河道砂体的上部,堆积形成大量的下部为水下分流河道、上部为河口坝的复合砂体(河上坝)。由于物源距离、河道能量、湖水作用强弱的不同,其砂体中各种成因所占比例也不同。一般向物源方向,水下分流河道砂体比重增加,而河口坝砂体则相反,如以河为主的河上坝和以坝为主的河上坝砂体等。对于坝上河砂体这种非正常反向组合,其出现的几率较小,可能是进积过程中两种微相干扰的结果,另一种情形可能是不同沉积体系在特定部位上的交汇或重合。

在河口坝组合区,水下分流河道的能量、携带沉积物的多少和湖水作用的强弱,直接影响着河口坝砂体的成因、形状和大小,而湖水的深浅即湖水阻力的大小则对沉积分异有重要影响^[1]。若多期河口坝连续沉积则形成连续式河口坝砂体;若由于河流迁移、改道或携带沉积物的量发生变化而不连续堆积,则形成叠加式河口坝砂体等。一般河口坝砂体与湖相泥岩呈指状接触,具完整的自生自储型组合,为良好的储集层。

该区的砂体成因分布模式如图5所示。由于地势较陡,且此时期气候湿润,水源充分,分流河道能量较强,物源稳定。分流河道入湖后,向湖内远距离推进,形成独具特色的辫状河三角洲沉积体系。其前缘部分的水下分流河道砂体与河口坝砂体具有明显区域性,堆积形成具不同沉积学特征的砂体。在水下分流河道组合区发育有箱形叠加式、钟形叠加式和完整式水下分流河道组合砂体。在河道外缘堆积有水下决口扇和

分流间湾泥岩沉积;在水下分流河道与河口坝混合区则可见到多种类型的坝上河与河上坝复合砂体等。在河流和湖水的共同作用下,河口坝区发育孤立式河口坝、叠加式河口坝、远砂坝及外缘席状砂体等。

3 结 论

(1)西峰油田三叠系延长组的主要产层——厚层储油砂体是辫状河三角洲前缘的进积过程转化为退积过程中连续堆积的产物,该套厚层砂体可以识别出水下分流河道成因砂体、水下分流河道与河口坝复合成因砂体、河口坝成因砂体等。

(2)6种成因砂体组合在时空上呈有规律的分布,从岸线到湖泊中心方向依次为水下分流河道组合区—水下分流河道与河口坝混合区—河口坝组合区。微相组合与含油性具有良好的相关性,坝上河和河上坝砂体是良好的储层,具较好的物性条件。

(3)对该区厚层储油砂体层内微相组合的鉴别和分布规律的认识,可以对巨厚砂体层内的构形及其注水开发中流动单元的划分奠定良好基础。

参考文献:

- [1] 胡见义. 中国陆相石油地质理论基础[M]. 北京:石油工业出版社,1991.
- [2] 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.
- [3] 郑荣才,尹世民,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.

- [4] 王多云,郑希民,李凤杰,等. 含油气区岩相古地理学的几个问题[J]. 沉积学报,2003,21(1): 133-136.
- [5] Miall A D. Reconstructing the architecture and sequence stratigraphy of the preserved fluvial record as a tool for reservoir development: A reality check[J]. *AAPG Bulletin*,2006,90(7):989-1002.
- [6] Ehrenberg S N, Nadeau P H. Sandstone vs. carbonate petroleum reservoirs: A global perspective on porosity-depth and porosity-permeability relationships[J]. *AAPG Bulletin*,2005,89(4):435-445.
- [7] 郭忠铭. 陕甘宁盆地构造特征及油气勘探[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- [8] 陈安宁,韩永林,杨彪,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组藏地质特征及油藏类型[C]//长庆油田公司勘探开发研究院. 鄂尔多斯盆地油气勘探开发论文集. 北京:石油工业出版社,2000:33-46.
- [9] 张哨楠,胡江奈. 鄂尔多斯盆地南部镇泾地区延长组的沉积特征[J]. 矿物岩石,2000,12(4): 25-30.
- [10] 刘自亮,王多云,李凤杰,等. 陕甘宁盆地西峰油田厚层储油砂体沉积微相组合及特征[J]. 沉积学报,2005,23(2): 248-254.
- [11] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [12] 樊太亮,刘金辉,徐怀大,等. 新疆塔里木盆地北部层序地层学[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [13] Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. *Earth Science Frontiers*,2000,7(4): 322-350.
- [14] 李凤杰,王多云,郑希民,等. 陕甘宁盆地坳陷型湖盆缓坡带三角洲前缘短期基准面旋回与储层成因分析[J]. 沉积学报,2004,22(1):73-78.
- [15] 杨友运,张蓬勃,张忠义. 鄂尔多斯盆地西峰油田长8油组辫状河三角洲沉积特征与层序演化[J]. 地质科技情报,2005,24(1):45-48.

Genetic and Evolution of Main Reservoir Sand Bodies in Xifeng Oilfield, Ordos Basin

LIU Zi-liang¹, WANG Duo-yun², LI Feng-jie³, MENG Xiang-hua¹

- (1. *Institute of Sedimentary Basin, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*
2. *Beijing Normal University, Beijing 100875, China;*
3. *Chengdu University of Technology, Chengdu 610592, China*)

Abstract: Taking Late Triassic Yanchang Group in Xifeng Oilfield, Ordos Basin as an example, this paper studies the various causes for the submarine distributary channel and the river mouth dam reservoir sand bodies in the braided river delta front depositional system in the light of sequence stratigraphy theory. It suggests that the system should be classified into three genetic portfolio areas: "submarine distributary channel area", "submarine distributary channel and river mouth dam mixing zone" and "river mouth dam area". With detailed description of the genetic types of the main reservoir sand bodies in braided river delta front, it divides submarine distributary channel genetic sand bodies into superposition type submarine distributary channel sand bodies and integrity type of submarine distributary channel sand bodies; the submarine distributary channel and the river mouth dam compound genetic sand bodies into the dam on the river and the river on the dam; and the river mouth dam genetic sand bodies into the superimposition type river mouth dam and the orphaned vertical river mouth dam. What's more, it discusses the formation mechanisms of various genetic sand bodies.

Key words: sequence stratigraphy; submarine distributary channel; braided river delta front; Ordos Basin