

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

李凤杰 王多云 郑希民 刘自亮
王峰 李树同 王志坤

(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

摘要 以晚三叠世华池地区延长组为例,对缓坡背景下的三角洲前缘水下分流河道和河口坝两种主要储油微相进行研究,建立了分类方案和识别标志。将水下分流河道划分为截削式和完整式两大类 10 种类型;河口坝细分为孤立式、叠加式和复合式三大类 5 种类型。文中根据入湖后的水下分流河道能量强弱变化和湖水深浅的不同组合关系,对水下分流河道和河口坝的沉积条件进行分析,归纳总结了本区缓坡条件下的三角洲前缘的沉积模式。同时讨论了本区独具特色的复合式坝“坝上河”沉积微相的成因类型:分流河道侵蚀河口坝型复合式河口坝和分流河道叠加河口坝型复合式坝,而后者是该区主要的优质储层和高产含油储层类型。

关键词 三角洲前缘 水下分流河道 河口坝 复合式坝 缓坡带 陕甘宁盆地

第一作者简介 李凤杰 男 1972 年出生 博士 储层沉积学和地球化学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 前言

三角洲前缘是三角洲沉积体系的重要组成部分。在我国新生代的陆相湖盆三角洲中,其前缘部分也是最重要的储油气相带。在不同类型沉积盆地的三角洲前缘中大多可以比较容易地识别出水下分流河道和河口坝环境^[1~3],因此,三角洲前缘中油气储层的成因一般都被解释为水下分流河道和河口坝沉积物。实际上,在不同类型沉积盆地、不同沉积条件下的三角洲前缘中,水下分流河道和河口坝沉积物有非常丰富的内容。优质储层往往是那些在特定条件下产出的特殊的微相沉积体,因此详细研究特定沉积背景和条件下的水下分流河道和河口坝的细分类型,分析其沉积特征、识别标志和分布规律,不仅对研究鉴别古代沉积物记录中的细小环境有意义,而且对分析预测油气储层,特别是优质储层的成因和分布具有重要价值。本文根据陕甘宁盆地陇东华池地区长 3 油层的三角洲前缘的沉积学研究,识别出该区在稳定克拉通内拗陷湖盆缓坡条件下远源沉积体系中三角洲前缘的微相组成,目的在于:①鉴别和划分水下分流河道和河口坝的微细类型;②分析其沉积条件和沉积模式;③提出该区优质储层和高产含油区的储层成因。

2 地质背景

华池油田位于陇东地区华池县,区域构造属于陕甘宁盆地陕北斜坡的南部(图 1)。盆地晚三叠世延长组形成于

内陆拗陷湖盆的一个完整演化旋回期内,代表一次湖泊沉积发生、发展和消亡的完整过程。从早到晚可分为 10 个油层组,其中长 10—长 7 油层组为湖盆扩张期,长 6—长 1 油层组为湖盆收缩期。华池

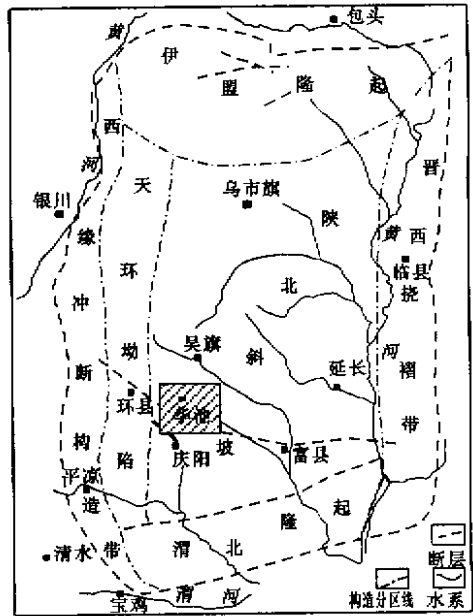


图 1 陕甘宁盆地单元划分及研究区位置

Fig. 1 Sketch map showing tectonic units and location of the study area in the Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin

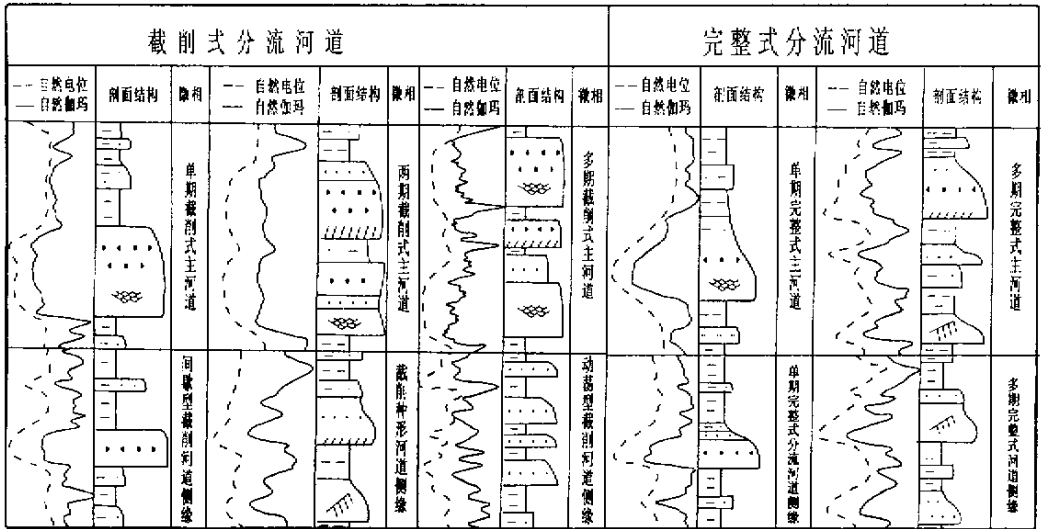


图2 三角洲前缘水下分流河道微相类型划分

Fig.2 The microfacies types of distributary channels on delta front

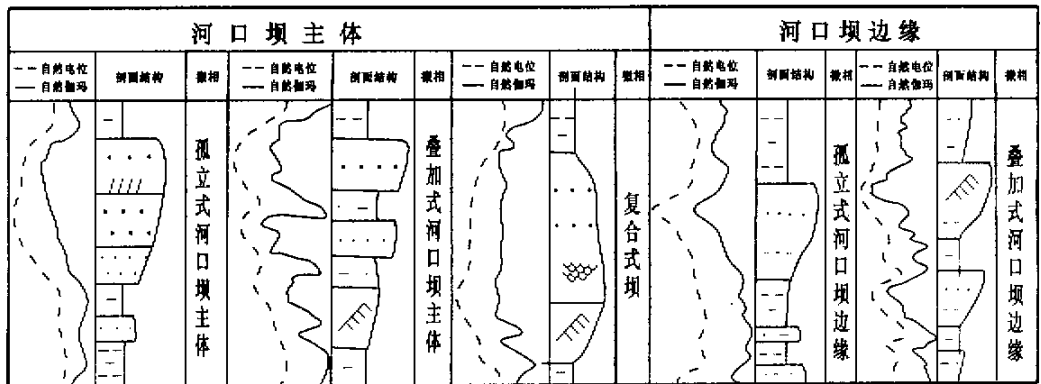


图3 三角洲前缘河口坝微相类型划分

Fig.3 The microfacies types of the mouth bars on delta front

油田主产油层为长3油层组,沉积于从北向南缓慢倾斜的拗陷湖盆一侧。该油层组具有向湖方向强烈推进生长的三角洲沉积特点,沉积物搬运长远,属于三角洲前缘沉积相带,发育有水下分流河道、河口坝、远砂坝、分流间湾和前三三角洲等众多的沉积微相和亚相类型。水下分流河道和河口坝是组成三角洲前缘水下平原的骨架砂体,同时也是长3油层组主要的储集体^①。

3 沉积微相类型及特征

依据岩石学、沉积构造、和由测井曲线反映的地层结构^[4],可将华池油田长3油层组缓坡条件下发育的三角洲前缘水下分流河道详细划分为10种类型

(图2)河口坝可细分为5种类型(图3)。

3.1 水下分流河道

水下分流河道是三角洲平原亚相中的分流河道入湖后在水下的延伸部分。根据水流强弱、湖水深浅以及物源供应特点所反映的测井曲线特征,可以进一步细分为截削式分流河道和中低能完整式分流河道。

3.1.1 截削式分流河道

截削式分流主河道

(1) 单期型 主要由灰色、深灰色中、细砂岩组成,砂岩厚度大,单层砂体厚2~5m,多期叠加可达10m。沉积构造发育有槽状及板状交错层理、块状层理和平行层理等,砂体的底部常具有明显的冲刷面。砂体的粒度较粗,垂向上表现为由多个正韵律叠

① 王多云,李凤杰,孙柏年.陇东地区延长统长3油组沉积微相研究.2001

加构成的复合韵律,整体变化不明显。测井曲线(*SP*、*GR*)形态呈大块箱形,顶底呈突变接触,反映河流水动力条件强,属于水下分流河道的主河道沉积部位。

(2) 两期型 砂体主要由灰色、深灰色中粒和细粒长石石英砂岩组成,砂体厚度大,由两期河道砂体叠加形成,单期砂体厚达10 m,早期沉积的河道顶部的细粒沉积物被后期的河道侵蚀削顶。发育平行层理、大型交错层理和块状层理等,底部具冲刷面,冲刷泥砾顺层分布。测井曲线表现为两个箱形体的叠加,顶底均呈突变接触关系,属于水动力条件强的高能沉积环境,位于河道的主体部位。

(3) 多期型 该类型的主河道是由三期或三期以上的河道叠加而成,两期河道砂体之间仅有1~2 m的粉砂岩、泥质粉砂岩,单期砂体5~10 m。多期河道充填沉积叠加在一起,可识别出多个冲刷面。砂体主要由中、细长石石英砂岩组成,测井曲线是由多个箱形体的叠置。它和两期型为本区主要的截削式分流主河道类型,表现了河流的频繁迁移,属高能的沉积环境。

截削式分流河道侧缘

(1) 间歇型 主要由中、细粒砂岩组成,砂体厚度不大,一般在5 m左右,顶底与泥岩直接接触。发育小型的交错层理,测井曲线呈薄的指状箱形。

(2) 动荡型 岩石由中、细粒砂岩夹泥质粉砂岩、泥岩组成,测井曲线表现为齿化的箱形,砂体之间夹多层的细粒沉积,表明该部位处于高能动荡的河道边缘沉积环境。

(3) 完整型 剖面结构为削顶的正粒序,发育小型交错层理,测井曲线为不完整的种形形态,该类型河道侧缘在本区不常见。

3.1.2 中低能完整式分流河道

完整式分流主河道

(1) 单旋回完整式 随着河流不断向湖推进,能量逐渐减弱,侧向加积作用显著,具河流沉积典型的下粗上细的二元结构。发育有槽状交错层理、板状交错层理,也可见平行层理、波状层理等构造,河道砂体底部常具有明显的冲刷面。砂岩以中—细粒砂岩、粉砂岩为主,分选好,砂岩厚度一般在5~10 m。自然电位和自然伽玛曲线呈厚的钟形,底部呈突变接触,而顶部则为渐变接触。

(2) 多旋回完整式 由多个向上变细的正粒序叠加组成,砂岩以中、细粒长石石英砂岩、粉砂岩为主,夹薄层的泥质粉砂岩、泥岩,层理发育。单期砂体厚度5~10 m,底部具冲刷面。测井曲线为多个种形

的叠加,表明沉积物的供给的不连续性。

完整式分流河道侧缘

(1) 单旋回完整式 剖面结构为薄层完整正旋回,砂体厚度小,一般小于5 m。沉积构造规模小,为小型的交错层理、平行层理和水平层理等。测井曲线为完整种形形态,属水动力条件较弱的河道侧缘沉积。

(2) 多旋回完整式 测井曲线由多个较小的钟形叠加而成,砂体厚度小,位于河道边缘部位。

3.2 河口坝微相

分流河道入湖后,粗粒物质因为流速降低而在河口处沉积下来,便可形成河口坝。然而对于缓坡型三角洲前缘而言,由于其坡降小,分流河道入湖后在水下继续延伸一段距离,在远离湖岸线的水下坡折带处,河流能量突然释放,沉积分异加强,沉积物快速堆积,形成河口坝砂体。该微相也是三角洲前缘中重要的类型即分流河道末端处发生沉积,形成河口坝。

3.2.1 孤立式河口坝

孤立式河口坝主体 孤立式河口坝主砂体以灰色、深灰色细粒砂岩、粉砂岩为主,砂粒分选好,垂向剖面上表现为上粗下细的反粒序结构,砂体中发育平行层理、沙纹交错层理、交错层理。砂体厚度一般厚5~10 m。自然电位、自然伽玛曲线通常呈漏斗形,厚度大,曲线光滑,反映了河流向湖推进是连续的,沉积物供给是充分递增的过程。

孤立式河口坝边缘 位于河口坝的边缘,剖面结构表现为瘦小的反粒序,砂体厚度小,小于5 m。测井曲线为漏斗形,但规模小,代表沉积物供给不充分的沉积部位。

3.2.2 叠加式河口坝

叠加式河口坝主体 对叠加式河口坝而言,其沉积特征与孤立式河口坝之间并无太大差别,只是在沉积作用过程中不连续,中间夹薄层细粒沉积。自然电位、自然伽玛曲线表现为两个以上漏斗组成的向上加粗的大漏斗状,单层砂体2~5 m,复合砂体可达5~10 m,代表了河流能量和物源供给变化大。

叠加式河口坝边缘 与叠加式河口坝主体相比较,坝边缘的砂体厚度小,沉积构造规模小,测井曲线也为漏斗形,但其厚度小。

3.3 复合式河口坝

复合式河口坝的沉积特征是:下部是具反粒序结构的河口坝砂体;上部则为具正粒序结构的分流河道砂体沉积,形象称为“坝上河”。其内部发育板状、槽状交错层理、平行层理和沙纹层理等。砂岩分选性好,以深灰色、黑色细粒砂岩和粉砂岩为主。“坝上

河砂体厚度大,一般大于 15 m,最大可达 35 m,砂体内部连通性好,内部无泥岩夹层。其下部与浅湖相泥岩直接接触,有利于油气运移到该砂体内部。测井曲线(SP、GR)形态表现为由下到上的漏斗形与钟形或箱形的复合形式,表明在先期接受河口坝沉积之后,河流作用加强,物源供给充足,继续接受水下分流河道沉积。

4 沉积条件和沉积模式

通过地层厚度等值线图、砂岩厚度等值线图和单井相分析研究区水流自北偏东向南偏西方向注入延长湖。延长组时期缓坡型三角洲前缘主要由截削式分流河道、中低能完整式分流河道、孤立式河口坝、叠加式复合式河口坝等微相构成。三角洲前缘后半河

口坝、部分以水下分流河道为主,前半部分则河口坝微相占主导地位(图4)。

对于缓坡带三角洲而言,坡度小,湖水也浅,河流受湖水影响小,因而水动力条件强、能量高。三角洲平原上的分流河道入湖后,仍然以下切、冲刷作用为主,湖水深度随斜坡的变化小,因而在很长一段距离,仍以这种下切、冲刷作用为主,形成截削式分流河道。然而河道的位置并不是固定不变,而是在不断的迁移改道。随着河道的迁移,后期的河流可能会叠置在前期河道砂体之上,形成不同期次河道砂体叠加式样的截削式分流河道。随着河流的不断向湖心方向的推进,湖水水体不断加深,河流受湖水的阻力不断增大,因而能量

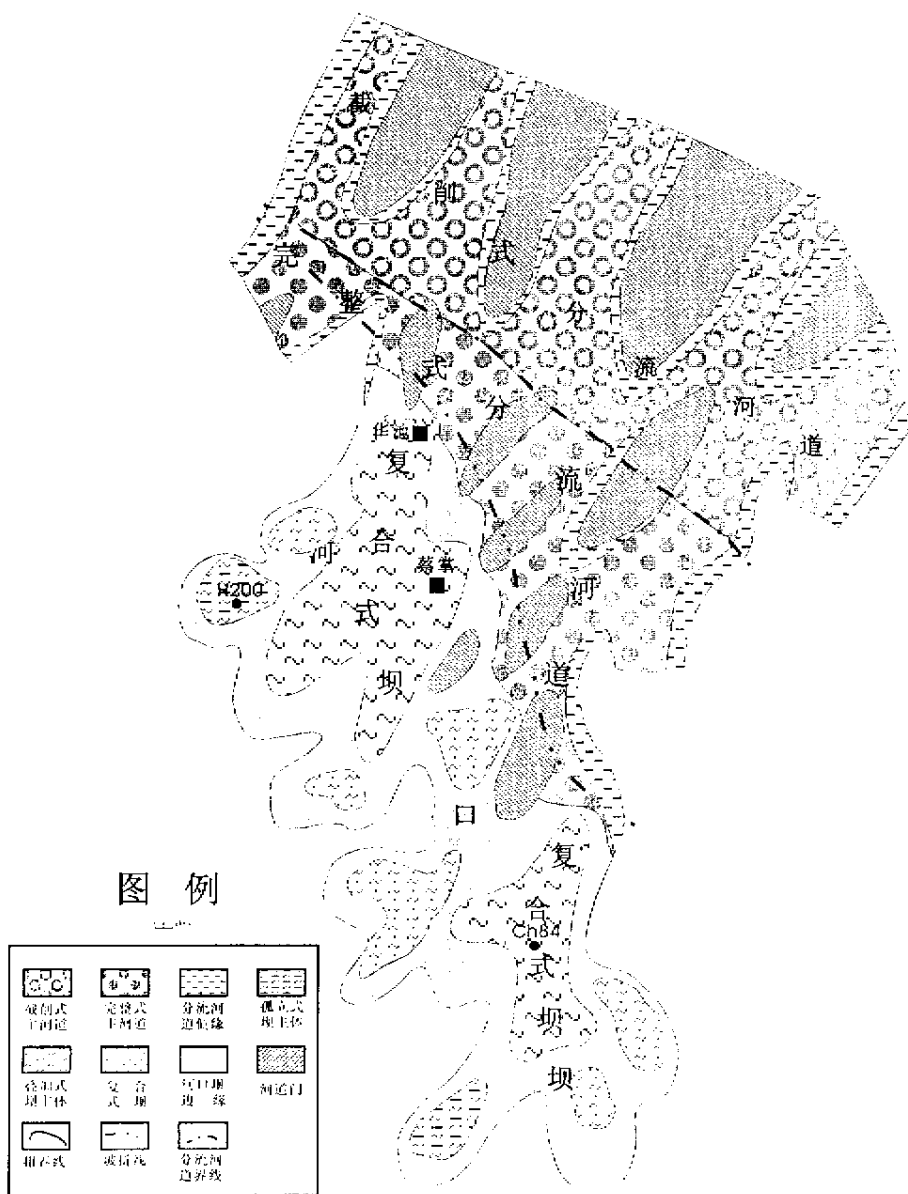


图4 华池地区延长组缓坡带三角洲前缘沉积相略图

逐渐减弱,水下分流河道的下切作用逐渐被侧蚀作用所代替,河流侧向加积作用的增强,形成垂向上具有正粒序结构的中低能完整式分流河道。当河流能量变化均匀,携带的沉积物也均匀连续,则沉积过程也连续,形成具单旋回的完整式分流河道;而当河流能量变化不均,携带的沉积物的量发生变化,则就会形成夹有薄层细粒沉积的多旋回完整式分流河道。相对于分流河道砂体而言,本区河口坝砂体厚度方面不如前者,分布于水下分流河道末端、坡折线以下的部位。这是因为水下分流河道向湖推进,经至水下坡折线处时,能量突然释放,加之湖水不断加深,阻力加大,二者同时作用导致流速减慢,随之发生沉积分异,粗粒物质便不断沉积,较细的物质则随水流继续向前推进。河流不断供给,沉积物就不断堆积,形成向上逐渐变粗的河口坝砂体。水下分流河道能量和携带沉积物的多少不但直接影响着分流河道的成因、形状和大小,而且对河口坝也有同样的影响作用,而湖水的深浅即湖水阻力大小对沉积分异有重要影响。当水下分流河道流量大,携带沉积物多,沉积物供给充分且连续,沉积形成向上逐渐变粗的孤立式河口坝;河流能量发生变化,携带沉积物的量也就随之发生变化,堆积形成夹有薄层细粒沉积的叠加式河口坝。图5为不同河流能量强弱和不同湖水深度组合所揭示的分流河道和河口坝的成因类型。

随着水流作用的增强,对河口坝的侵蚀作用越强,下一期的水下分流河道可能从河口坝绕行使河口坝分布于水下分流河道一侧;也可能从河口坝跨过,并将河口坝沉积物侵蚀,若侵蚀作用较弱,则产生河口坝(下)和水下分流河道(上)组成的复合砂体^[3],即分流河道侵蚀河口坝型复合式坝,如CH84井区。若河口坝较薄,而水下分流河道的侵蚀作用较强,则河口坝就被完全侵蚀掉,似乎该处从来没有河口坝沉积。

然而通过华池油田长3油层组早期测井曲线、砂岩厚度图、砂地比等值线图等分析,该区复合式坝位于三角洲前缘的上部,紧邻截削式分流河道(图4),表明水动力条件仍然较强;砂体厚度15~35m,而CH84井区复合式坝砂体厚度小于15m,明显比其厚,砂地比0.5~0.7之间,最大0.75。

这些特征明显不同于分流河道侵蚀河口坝型复合式坝。根据填平补齐原则,可推断该处可能为局部的沉积中心或沉降中心,流经该处的河流因坡降大,能量释放突然,从而先期接受河口坝沉积,待淤浅填平之后,流经该处的分流河道不但没有侵蚀底部的河口坝,反而直接叠覆沉积于河口坝之上,增加了该处

砂体的厚度,形成分流河道叠加河口坝型复合式坝。因为属明显沉积区,底部深水相沉积富含有机质的泥岩成为生油岩;上部覆盖巨厚的河口坝、分流河道砂体成为良好的储层,为油气藏的形成提供了有利条件(图6)。

5 结语

(1) 通过对陕甘宁盆地华池地区长3油层组的沉积微相的详细研究,建立缓坡背景下的三角洲前缘水下分流河道和河口坝两种主要沉积微相的分类方案和识别,其中分流河道可细分截削式和完整式两大类10种类型,河口坝分为孤立式、叠加式和复合式三大类5种类型。

(2) 缓坡背景下三角洲前缘水下分流河道和河口坝两种沉积微相的形成主要受河流能量、携带沉积物的量和湖水深度等因素的影响。

(3) 本区独具特色的复合式坝“坝上河”微相的成因类型有两种:即分流河道侵蚀河口坝型复合式河口坝和分流河道叠加河口坝型复合式坝。后者是本区优质和油气高产的主要储层类型。

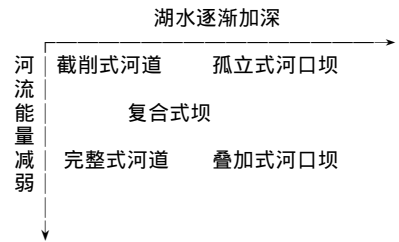


图5 分流河道与河口坝的成因与湖水深度和河流能量的关系示意图

Fig. 5 The relationship between the formation of distributary channels and mouth bars and lake depth and river energy

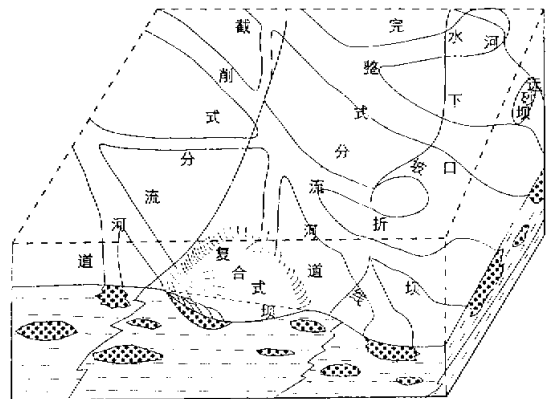


图6 缓坡带三角洲前缘沉积模式图

Fig. 6 The depositional model of the delta front along gentle slope

参考文献 (References)

- 1 李文厚, 林晋炎, 袁明生等. 吐鲁番—哈密盆地的两种粗碎屑三角洲[J]. 沉积学报, 1996, 14(3): 113 ~ 121 [Li Wenhou, Lin Jinyan, Yuan Mingsheng, *et al.* Two Types of Coarse Classic Delta in Turpan-Hami Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(3): 113 ~ 121]
- 2 王多云, 陈应泰, 徐洪生. 受周期性湖平面升降控制的冲积扇—扇三角洲沉积体系[J]. 沉积学报, 1991, 9(4): 43 ~ 48 [Wang Duoyun, Cheng Yingtai, Xu Hongsheng. Alluvial Fan-fandelta-lacustrine Sedimentary System Controlled by Lake-level Changes [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9(4): 43 ~ 48]
- 3 周丽清, 吴胜和, 熊琦华等. 吐哈盆地 WM 油田辫状河三角洲前缘砂体分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 248 ~ 252 [Zhou Liqing, Wu Shenghe, Xiong Qihua, *et al.* Analysis of Sandbodies in the Braided Delta Front, WM Oilfield, Turpan-Hami Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 248 ~ 252]
- 4 马正. 应用自然电位测井曲线解释沉积环境[J]. 石油与天然气地质, 1982, 3(1): 25 ~ 40 [Ma Zheng. Utilization of the Combination of Log Shapes for Explanation of the Sedimentary Environment [J]. Oil & Gas Geology, 1982, 3(1): 25 ~ 40]

The Microfacies Architecture of Delta Front along Gentle Slope Zone of Yanchang Formation in Huachi Area, Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin

LI Feng-jie WANG Duo-yun ZHENG Xi-min LIU Zi-liang

WANG Feng LI Shu-tong WANG Zhi-kun

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract A series of gentle slope deltas are developed in Yanchang Formation of Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin, where delta front is composed of truncated distributary channels, integrated distributary channels, isolated mouth bars, reiterative mouth bars and recombination bars. There are abundant current structures caused by the tractive current that could reflect different sedimentary environments. The two underwater distributary channels have an erosion surface at the bottom of channel. The truncated distributary channels sandbodies are thick and their logging curve forms are box-shaped. The integrated distributary channels are fining upward sequences from sandstones at the base to siltstones and mudstones on the top of channels. While the river mouth bars are coarsening-upward sequences from mudstones to sandstones. There are lots of thin mudstones in the middle of reiterative mouth bars sandbodies. The recombination bars consist of mouth bars at the bottom and underwater distributary channels at the top and larger than 15 m in the thickness.

The sedimentary models of underwater distributary channels and the mouth bars are proposed according to the strength of the currents in the distributary channels and the depth of water in the lake.

The slope of the delta front in Huachi area is gentless, so the underwater distributary channels are still strong after entering lake. In the region of high energy river, the underwater distributary channels may frequently migrate. The underwater distributary channels of next stage may erode the former channels deposit and may form boxing truncated distributary. With the depth of lake water, the energy of the distributary channels become weak because of the lake water obstruction. The intergrated sedimentary sequence of channels will be preserved if erosion is weak and form intergrate distributary channels.

When the distributary channels flow the slope break zone, the energy of current water in the channels is abruptly released and the sediments carried by them will deposit quickly and form the mouth bars microfacies. The shapes of mouth bars depend on the amounts of sediments carried by underwater distributary channels. There may deposit isolated mouth bars with coarsening-upward succession when underwater distributary channels carry abundant sediments. While the strength of underwater distributary channels is weak, the grains of the current water carried are fine, resulting in the formation of the reiterative mouth bars with uncontinuous coarsening-upward succession.

The underwater distributary channels flow on the top of the former mouth bars and may erode them. When the mouth bars are cut partly, there will form a kind of recombination bars due to the distributary channels eroding the mouth bars. At the same time, another kind of recombination bars called the type of distributary channels covering the mouth bars is also discussed in the paper. As the distributary channels flow the some sug area where have enough accomdation space to deposit the mouth bars, they could not cut the former mouth bars, but directly deposit on the top of them.

Key words delta front, underwater distributary channels, river mouth bars, recombination bars, gentle slope zone, Shaanxi-Gansu-Ningxia basin