

文章编号: 1000-0550 (2005) 02-0218-07

陕甘宁盆地姬塬地区三叠系延长组三角洲前缘的微相组合及特征

王 峰^{1,2} 王多云¹ 高明书³ 姚永朝³ 王志坤¹ 李树同¹ 秦 红¹

1 (中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

2 (中国科学院研究生院 北京 100039)

3 (中国石油股份有限公司长庆油田分公司 西安 710021)

摘 要 以陕甘宁盆地姬塬地区晚三叠系延长组为例,将该区的三角洲前缘划分为“台型前缘”和“坡型前缘”两部分,其识别标志是以水下分流河道、复合河口坝(坝上河)和河口坝三种主要沉积微相为主导的多种微相的不同组合。文中对三角洲前缘中的沉积微相组合进行了精细划分和描述,例如,将水下分流河道划分为截削式和叠加式 2 种,将河口坝划分为完整式和复合式两大类,其中复合式河口坝(坝上河)还可划分为下残坝上河、完整坝上河和上残坝上河三种亚类型。这种对三角洲前缘的详细解释以及对其沉积微相的精细描述有助于优质储层的鉴别和分布预测,对油藏开发中的细分流动单元也有所帮助。

关键词 三角洲 “台型”和“坡型”前缘 微相组合 陕甘宁盆地

第一作者简介 王峰 男 1978 年出生 硕士研究生 储层沉积学

中图分类号 P512.2 文献标识码 A

1 前言

湖泊三角洲是河流入湖形成的沉积体,因蕴含丰富的油气资源长期以来倍受石油工作者的青睐,其前缘部分是最重要的储油相带,它的形成和保存不仅受河流流速的影响,还受到湖浪的改造,是河湖共同作用的结果的产物^[1-3]。根据湖泊三角洲底形及其水动力条件对三角洲的影响,梅志超提出了浅水台地型三角洲和深水盆地型三角洲^[4];郑荣才将湖泊三角洲归结为浅水三角洲和陡坡三角洲^[5];王多云提出过“台型三角洲”和“台缘型三角洲”,这些分类都促进了湖泊三角洲深入研究,发展了湖泊三角洲前缘沉积的理论,对油气勘探发挥过较好的指导作用。近年来作者研究发现,就湖泊三角洲体系的前缘而言,湖泊底形和沉积表面坡度在很大程度上控制着其沉积特征和储层分布。本文通过对陕甘宁盆地姬塬地区延长组三角洲前缘的沉积学研究,提出了将三角洲前缘划分为“台型前缘”和“坡型前缘”的新概念,并建立了识别标志。此种划分的意义在于:有助于鉴别它们二者不同的沉积微相组合和砂体成因类型;

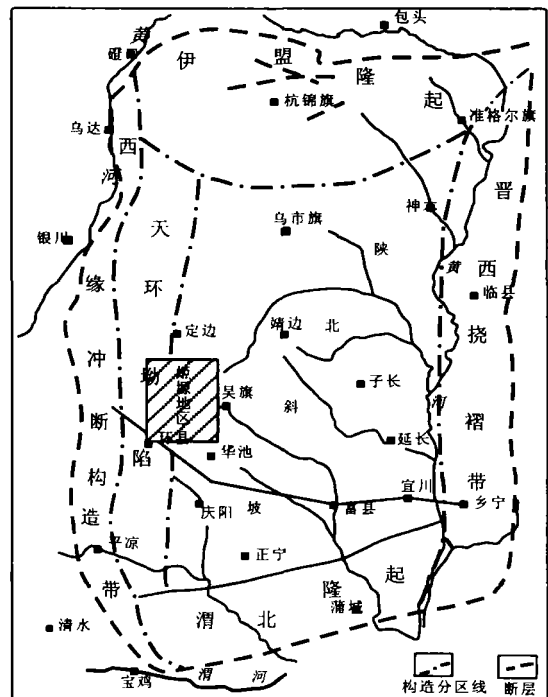


图 1 陕甘宁盆地构造单元划分及研究区位置

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

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

王多云等. 陕甘宁盆地靖一靖地区中生界地震资料 SEISLOG 处理解释及储层横向预测. 中国石油天然气总公司新区勘探研究成果报告. 1995
收稿日期: 2004-02-26; 收修稿日期: 2004-05-29

合理解释该区优质储层成因和预测有利区,更有效地指导油气勘探。

2 地质背景

姬塬地区位于鄂尔多斯盆地西部,区域构造横跨陕北斜坡和天环向斜(图 1)。盆地从晚三叠世开始进入内陆拗陷盆地沉积,上三叠统延长组为第一个沉积旋回,沉积基本以北纬 38°为界,北粗南细,北薄南厚^[6]。在区域地质调查和钻井控制下,结合岩性、电性和含油性可将延长组地层自上而下分为长 1—长 10 共 10 个油层组,在长 7 达到最大湖泛面之后,长 6—长 1 油层组为湖盆萎缩期,由于延长统沉积时,盆地的西南为陡坡,东北为缓坡,盆地的沉积中心和沉降中心靠近盆地的西南部。在姬塬地区东北部发育

进积的湖泊三角洲沉积体。该处地势平坦,河流作用强,物源供给充足,搬运距离远,河道进入水下仍继续以水下分流河道形式将陆源物质不断向浅湖搬运,形成湖泊三角洲前缘沉积。水下分流河道和河口坝组合构成该区了前缘的骨架砂体,同时也是储油的有利相带。

3 三角洲前缘沉积微相组合特征

姬塬地区东北部的缓坡三角洲从物源区到湖泊延伸的距离远,受延长湖盆构造演化和古气候的影响,长 6—长 2 期,发育湖泊三角洲前缘沉积,沉积复杂,微相多样,依据前缘发育的湖盆位置和沉积构造、岩石学和测井曲线的岩电相应,在缓坡条件下形成的三角洲前缘中识别出 6 种沉积微相组合(图 2、图 3)。

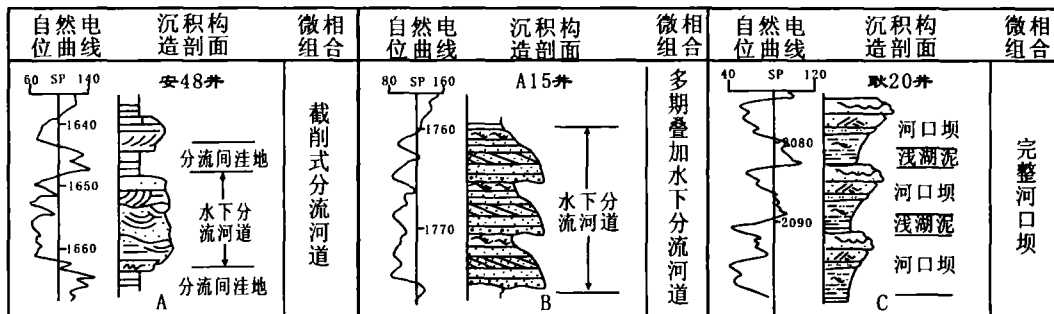


图 2 三角洲前缘以水下分流河道和河口坝为主的微相组合类型

Fig 2 The microfacies tapes based on distributary channel and the mouth bars of the delta front

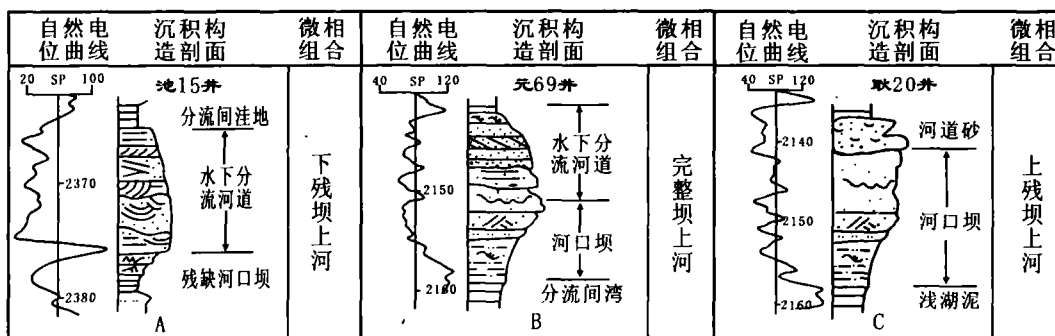


图 3 三角洲前缘以复合式坝(坝上河)为主的微相组合类型

Fig 3 The microfacies tapes based on recombination bars

(the upside is distributary channel and the downside is mouse bars) of the delta front

3.1 以水下分流河道为主的沉积微相组合类型

3.1.1 截削式水下分流河道(图 2-A)

截削式水下分流河道是三角洲平原分流河道入

湖后继续沿湖底水道向湖盆方向作惯性流动和向前延伸的部分,在平面上呈现带状和网状分布。它与水上分流河道砂体具有许多相似之处,所不同的是水下

分流河道砂体侧向上与之伴生的是经湖浪改造的席状砂或分流间湾沉积。水下分流河道岩性主要为灰色中细砂岩,砂岩厚度相对较小,单层厚度 3~8 m;所含化石稀少,偶见顺层分布的炭化植物碎片。基底冲刷面起伏强烈,河道砂岩底部与泥岩存在明显的侵蚀下切现象,部分砂岩底部还出现小型冲刷—充填构造。向上发育槽状交错层理、板状交错层理和平行层理。测井曲线 (SP)形态呈较薄齿化箱形,顶底呈突变接触,反映水动力相对较强,位于河道的主体部位。

3.1.2 多期叠加水下分流河道 (图 2-B)

叠加水下分流河道有两期或多期河道叠加而成。砂体之间可见 1~2 m 的粉砂岩、泥质粉砂岩,单期砂体向上粒度逐渐变细,厚度可达 6~12 m,主要由灰色、深灰色中细粒长石石英砂岩组成,夹薄层泥质粉砂岩。早期形成的河道砂岩顶部被下一期河道侵蚀削顶,河道砂中发育平行层理、大型交错层理和块状层理,底部具冲刷面,冲刷泥砾顺层分布。测井曲线 (SP)形态为多个“钟形”的叠置,表明沉积物供给的不连续性^[7]。

3.2 以河口坝为主的微相组合类型 (图 2-C)

在坡度较陡的较深水区,河流能量会突然释放,沉积分异作用加强,沉积物快速堆积,形成完整的河口坝砂体。完整河口坝包括孤立式完整河口坝或叠加式完整河口坝。孤立河口坝以灰色、深灰色细砂岩、粉砂岩为主,砂体厚度可达 5~8 m,砂岩分选好,砂体发育平行层理、沙纹层理、交错层理。垂向剖面上表现为上粗下细的反粒序结构,自然电位曲线呈漏斗形,曲线光滑厚度大,反映河流入湖沉积物以卸载为主,供给充分。叠加河口坝在岩性和沉积构造上与孤立河口坝差别不大,只是沉积作用过程不连续,单期河口坝之间加有细粒物质,单期砂体厚度可达 5~8 m,叠加后可达 12~20 m。测井曲线 (SP)形态表现为多个漏斗形的叠加,代表河流能量和物源供给变化大^[7]。

3.3 复合式坝 (河口坝 + 水下分流河道) 为主的微相组合类型

3.3.1 下残坝上河 (图 3-A)

“下残坝上河”是指完整的水下分流河道和残余河口坝的砂体组合。河道部分以细砂岩为主,砂岩分选性好,发育槽状交错层理、板状交错层理,砂体在侧向上有向上变细的趋势,顶部可见沙纹交错层理;下部的河口坝以细砂岩、粉砂岩和粉砂质泥岩互层为主,发育包卷层理,具向上变粗的反粒序。河口坝被

后期的水下分流河道冲刷销蚀,保留了部分残余。测井曲线 (SP)形态呈下部残余漏斗形,上部完整钟形。反映河流作用较强,并且水流能量逐渐减弱、物源供应越来越少,湖水作用较弱。

3.3.2 完整坝上河 (图 3-B)

“完整坝上河”是指下部为具反粒序结构的完整河口坝,上部为具正粒序结构完整的水下分流河道砂体组合类型。砂体物性较好,上部砂体以灰色、浅灰色中细粒砂岩为主,砂岩成分成熟度中等,结构成熟度较高。沉积构造可见沙纹层理、槽状和板状交错层理,底部可见冲刷面,冲刷面上有泥砾分布。下部砂体以深灰色中粒长石石英砂岩为主,含少量细粒砂岩,砂岩的分选性好、磨圆度高,沉积构造可见平行层理和斜层理。有时层理不明显,常伴有滑塌变形构造、包卷层理、变形层理。上下砂体之间连通性好,内部无泥岩夹层,但冲刷面附近有较多泥砾,使得在测井曲线 (SP)上,部分幅值偏高。砂体下部与湖相泥岩直接接触,有利于油气运移到砂体内部。测井曲线 (SP)表现为由下到上逐渐有漏斗形过渡为钟形。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^[7]。

3.3.3 上残坝上河 (图 3-C)

“上残坝上河”是指下部为具反粒序结构的完整河口坝,上部是略显正粒序的残余水下分流河道砂体组合类型。上部河道砂体较薄,以灰色中细粒砂岩为主,可见沙纹层理、槽状和板状交错层理,底部可见冲刷面;河口坝部分发育较完整,以中细砂岩为主,砂岩分选性较好,发育交错层理和变形层理。测井曲线表现上部残余钟型,下部完整漏斗形。

4 三角洲前缘演化及沉积模式

鄂尔多斯盆地的上三叠系延长统是内陆湖盆发育的鼎盛时期,在沉积了优质巨厚的生油岩 (长 7 的张家滩页岩)之后,盆地因河流的注入充填,姬塬地区沉积了一套高建设性的河流—湖泊三角洲沉积体系。三角洲砂体与下伏生油岩呈指状接触,形成了有利于俘获油气的大型三角洲油藏,厚达数千米的延长组具有利的生、储、盖含油组合^[8]。其中环湖三角洲沉积体系对油气富集有明显的控制作用。东部湖盆底缓且水浅,西南部湖盆水体较深,湖岸线在陡岸区相对固定,在缓坡处则退缩有序 (图 4)。从长 6 期到长 2,姬塬地区的湖泊三角洲体系持续进积。

不同的河流能量和不同深度的湖泊环境形成了

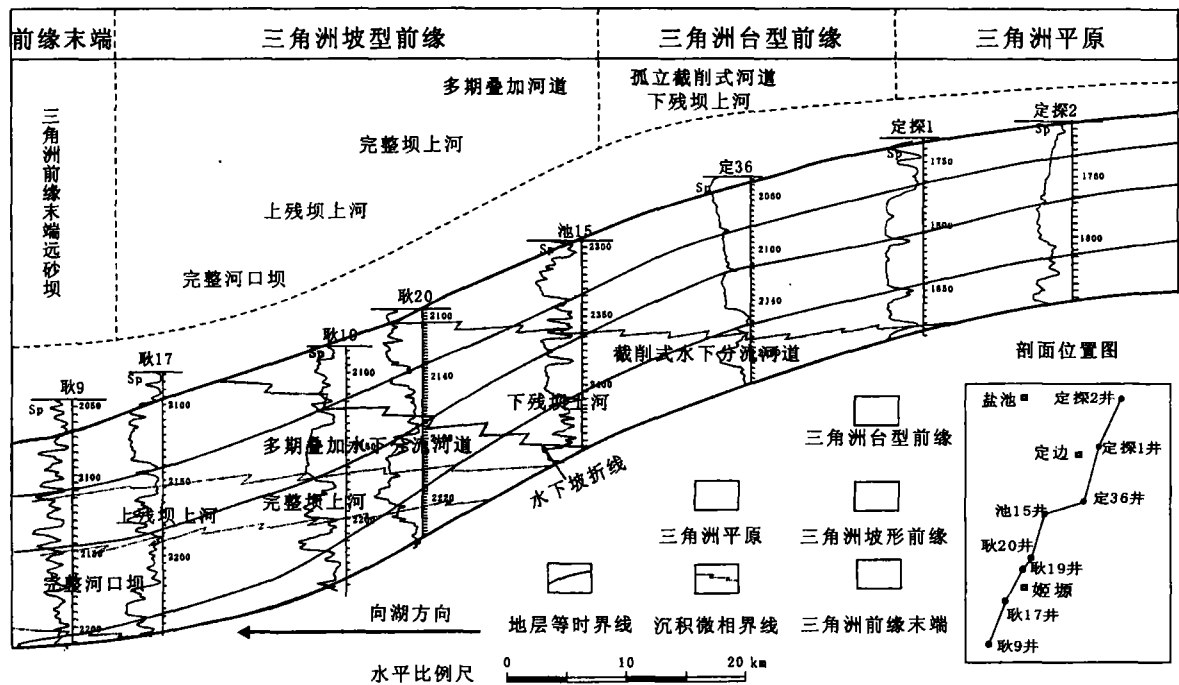


图 4 姬塬地区延长组湖泊三角洲沉积相剖面图

Fig 4 Profile showing sedimentary facies of the delta in Yanchang Formation in Jiuyuan area

不同的微相组合。水下分流河道和河口坝的类型、堆积方式决定了三角洲前缘的形态、性质和结构,也决定了储油砂体的成因类型、几何形态乃至展布规模。河流入湖水体较浅的滨浅湖缓坡带时,湖底倾角较小^[4],有人将其称为水下三角洲平原^[9],在湖面频繁波动过程中,河流、湖浪、沿岸流的冲刷以及湖底形态共同作用于该区,形成以截削式水下分流河道、下残坝上河、决口扇+分流间湾组合为特征的三角洲台型前缘。由于湖水的密度(1.0 g/cm³)小于携带泥沙的河水^[8],两者所含的电解质电性亦相同,因而河流入湖后仍能保持较高流速的惯性流体沿湖底水道继续向前流动,并将大部分悬浮和拉移载荷带到河口之外的湖区沉积形成以水下分流河道为主,而河口坝沉积单元相对不发育的三角洲前缘沉积特征^[10]。加之该处前缘底部基底稳定,水体浅,河流受湖水影响小,水动力较强,能量高,以下切、冲刷作用为主,形成的砂体薄,三角洲推进速度快、分布范围广,形成的截削式水下分流河道并常与滨浅湖泥岩直接接触,底部发育冲刷面并含有泥砾^[7]。随着河流推进距离的增加,河流能量逐渐减弱,河口作用逐渐增强,较粗粒的砂质推移载荷仍主要被截留在向前延伸的水下分流河道中,部分推移载荷和细粒悬移载荷虽可在河口外侧快速堆积,形成河口坝沉积。所发育的河口坝规模

一般不大,沉积较薄,且往往被后期向湖延伸的水下分流河道截切或冲刷改造而保存不完整。如果此时分离河道侵蚀作用较强,河口坝就会被完全侵蚀掉,根本看不出曾经在该处发生过河口坝沉积,如果此时分流河道侵蚀作用相对较弱,或是水下分流河道侧翼侵蚀河口坝,该处的河口坝会保留局部^[11],形成下残坝上河。

河流入湖水体较深的半深湖—深湖的陡坡带时,湖底倾角较大^[4],三角洲前缘发育在有巨厚的前三角洲泥浊积岩充填的深水盆地中,进积相序完整,形成以叠加水下分流河道、上残坝上河、完整坝上河、完整河口坝沉积微相组合为特征的三角洲坡型前缘。由于该处水下沉积巨厚,基底不稳定,极易发生沉降、滑塌,滑塌体经过压实,可使坡型前缘转变为台型前缘。随着河流不断向湖心方向推进,湖水水体逐渐加深,河流受到湖水的阻力不断加大,因而能量逐渐减弱,水下分流河道的下切作用逐渐被侧蚀作用所代替,河流侧向加积作用增强,加之携带的沉积物的不连续,从而形成多期叠加水下分流河道。坡型前缘水体较深,湖水对河道的改造作用较强,导致河流推进速度慢,分布局限,流经该处的河流由于坡降突然变大,导致能量突然释放,大部分推移载荷和细粒悬移载荷在河口外侧快速堆积,形成巨厚完整的河口坝沉

积^[12]。后期分流河道流经该处,由于湖水较深,河流受湖水的阻力较大,河流冲刷作用微弱,河道砂体直接叠覆在前期的河口坝之上,增加了该处砂体的厚度,形成完整坝上河或上残坝上河的复合砂体。因为

该处属河流的卸载区,沉积了巨厚的多期叠加河道,而且底部深水相沉积物富含有机质,是较好的生油岩,上部覆盖巨厚的坝上河及叠加河道复合砂体,有利于形成优质储层,为油气成藏提供有利条件^[13]。

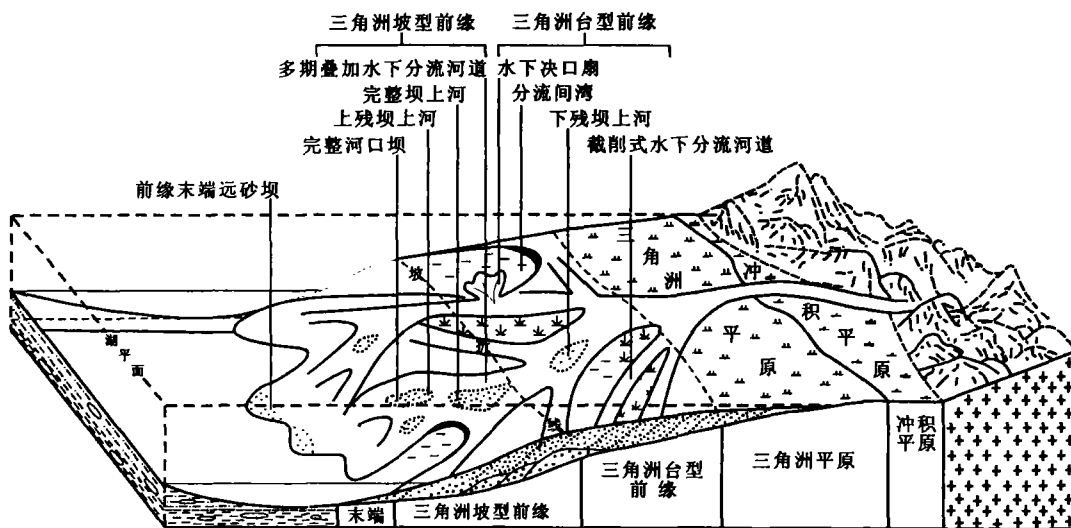


图 5 缓坡带湖泊三角洲沉积模式图

Fig 5 The depositional model of the lake delta along the gentle slope

表 1 陕甘宁盆地姬塬地区延长组湖泊三角洲前缘沉积特征

Table 1 Sedimentary characteristics of delta front of Yangchang Formation in Jiyuan Area, Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin

沉积微相组合	沉积特征	沉积环境
截削式水下分流河道	河道砂岩较薄, SP曲线为较薄齿化箱形, 平面上带状分布, 顶底突变接触, 河道砂岩底部与泥岩存在明显侵蚀下切	三角洲台型前缘
下残坝上河	上部为截削式河道细砂岩, 下部为残缺不全略具反粒序的河口坝中细砂岩, SP曲线上部薄箱形下部漏斗形	
多期叠加水下分流河道	河道砂岩较厚, SP曲线为多个叠加的钟形, 单期钟形河道砂体向上粒度逐渐变细, 底部具冲刷面, 含冲刷泥砾	三角洲坡型前缘
完整坝上河	上部具正粒序中细粒河道砂岩, 下部具反粒序中细粒河口坝砂岩沉积, SP曲线表现为上部钟形下部漏斗形	
上残坝上河	上部为改造后残余的河道中砂岩, 下部为反粒序明显的河口坝中细砂岩, SP曲线表现为上部残余钟形下部漏斗形	
完整河口坝	垂向上表现为反粒序, SP曲线为漏斗形或多个漏斗形叠加	

该区湖泊三角洲沉积体系沉积物源主要来自东北部吕梁隆起的岩浆岩和高级变质岩, 北部的阴山南缘的深变质岩, 其平面呈朵状向西南和南方延伸^[6]。适合本区的沉积微相模式如图 5 所示。东北部地势平坦, 河流注入湖泊三角洲延伸距离较远, 三角洲前缘由多个三角洲朵体构成, 朵体之间是以泥质沉积物

为主的分流间湾微相。“水下坡折线”将水下前缘分为三角洲台型前缘和三角洲坡型前缘。在台型前缘水下分流河道的两侧, 可见有较细粒物质组成的天然堤, 河道边缘之外, 堆积了由洪水期冲破天然堤而在分流间湾中决口的水下决口扇微相; 在坡折线以上部位可以见到截削式水下分流河道、下残坝上河, 坡折

线以下可见完整坝上河、上残坝上河和完整河口坝。在河口坝近湖一端,因受湖浪和河流的双重作用,其中细粒物质被搬运到远一些的地方沉积,形成了环绕在河口坝外缘,位于前缘末端的远砂坝微相。

5 结论

通过上述研究本文得出以下结论:

(1) 陕甘宁盆地姬塬地区延长组发育湖泊三角洲沉积体系。通过对该区 6 种沉积微相组合的详细研究,建立了微相组合划分方案和识别标志,并分析出其形成的环境特征(表 1);其中截削式水下分流河道和下残坝上河的组合指示出沉积坡度较缓的三角洲台型前缘亚相;叠加式水下分流河道、完整坝上河、上残坝上河、完整河口坝微相组合指示出沉积坡度较陡的三角洲坡型前缘亚相。

(2) 缓坡背景下三角洲前缘以水下分流河道、河口坝为主的微相组合受到河流能量、湖水深度、湖底形态综合因素的影响。

(3) 在同一等时面区间内,河流作用由强到弱,水体由浅到深,湖水阻力由弱到强,“坝上河”微相组合逐渐由“下残坝上河”演变为“完整坝上河”进而演变为“上残坝上河”。

致谢 本文是在王多云研究员悉心指导下完成,郑希民老师和李凤杰博士在研究工作中给予本人很多启发和帮助,在此一并表示感谢。

参考文献 (References)

- 1 吴崇筠,薛叔浩,等.中国含油气盆地沉积学.北京:石油工业出版社,1992 48~56 [Wu Chongjun, Xue Shuhao, et al. *Petroliferous Basin Sedimentology of China* Beijing: Petroleum Industry Press, 1992 48~56]
- 2 Frideman G M and Sanders J E. *Principles of Sedimentology*. New York: John Wiley, 1978 5~121
- 3 Haszeldine R S. Muddy deltas in freshwater lake, and tectonism in the Upper Carboniferous coalfield of NE England. *Sedimentology*, 1984, 31 (6): 811~822
- 4 梅志超.湖泊三角洲的地层模式和骨架砂体的特征.沉积学报, 1991, 9(4): 1~8 [Mei Zhichao. Stratum model of lake and characteristic of framework gritstone. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1991, 9 (4): 1~8]
- 5 何义中,郑荣才,吴朝容.湖泊三角洲研究的回顾与展望.岩相古地理, 1999, 19(3): 40~41 [He Yizhong, Zheng Rongcai, Wu Zhao-zu. Retrospection and prospect of lake delta. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1999, 19(3): 40~41]
- 6 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]
- 7 马正.应用自然电位测井曲线解释沉积环境.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. *Oil & Gas Geology*, 1982, 3(1): 25~40]
- 8 薛叔浩,等.湖盆沉积地质与油气勘探.北京:石油工业出版社, 2002 221~230 [Xue Shuhao, et al. *Sedimentary Geology of Lake Basin and Oil-Gas Prospecting*. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002 221~230]
- 9 陈钟惠.煤和含煤岩系的沉积环境.武汉:中国地质大学出版社, 1988 102~106 [Chen Zonghui. *Sedimentary Environment of Coal and Coaly Lithofacies*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1988 102~106]
- 10 梅志超.沉积相与古地理重建.西安:西北大学出版社,1994 86~95 [Mei Zhichao. *Sedimentary Facies and Ancient Geography Reconstruct Xi'an*. Northwest university Press, 1994 86~95]
- 11 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.沉积学报,2000, 18(2): 248~252 [Zhou liqing, Wu Shenghe, Xiong Qihua, et al. Analysis of sandbodies in braided delta front, WM Oilfield, Tupan-Hami Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(2): 248~252]
- 12 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): 582~586 [Li Fengjie, Wang Duoyun, Zheng Xinmin, 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): 582~586]
- 13 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:柴达木盆地阿尔金山前西段干柴沟组.沉积学报,1991, 20(4): 43~48 [Wang Duoyun, Chen Yingtai, Xu Hongsheng. Alluvial fan-fandelta-lacustrine sedimentary system controlled by Lake-level Changes: Ganchaigou Formation (Tertiary), Front of Aejinshan, Western Chaidamu Basin, China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1991, 9(4): 43~48]
- 14 李凤杰,王多云,宋广寿,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.沉积学报, 2004, 22(1): 75~76 [LI Fengjie, Wang Duoyun, Song Guangshou, et al. Short-term base-level cycle and genetic analysis of reservoirs of delta front at gentle slope in depressed-type lacustrine basin, Shannxi-Gansu-Ningxia Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 75~76]

The Microfacies Combination and Characteristics of Delta Front in Yanchang Formation (Triassic) of Jiyuan Area Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin

WANG Feng^{1,2} WANG Duo-yun¹ GAO Ming-shu³ YAO Yong-chao³

WANG Zhi-kun¹ LI Shu-tong¹ QN Hong¹

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

2 (Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

3 (Changqing Oil Field Company, CNPC, Xian 710021)

Abstract A series of gentle slope delta are developed in Yanchang Formation in Jiyuan Area of Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin. The delta front in this area can be divided into mesa delta front and sloping delta front. The deposition models of delta along gentle slope are proposed based on the strength of the current in distributary channel and the depth of water in the lake. According to the research of underwater distributary channel, recombination bars and mouth bar, we can establish the assorted scheme and discriminating characteristics. For example, the distributary channels are composed of truncated underwater distributary channels and underwater superposition channels. The river mouth bars are composed of the integrated mouth bars and recombination bars. The recombination bars consist of mouse bars at the bottom and underwater distributary channels at the top, and it can be subdivided into upside deformation recombination bars, integral recombination bars and downside recombination bars. This type of compartmentation scheme can be helpful to identify and distributing prognosticate of high quality reservoir, and it can also serve to subdivide the flow unit in oil exploitation.

Key words delta, microfacies combination, mesa delta front and sloping delta front, Shaanxi-Gansu-Ningxia basin