

文章编号: 1000-0550(2010)06-1129-06

# 鄂尔多斯盆地姬塬地区上三叠统坡折带、 斜坡类型与油藏的关系<sup>①</sup>

窦伟坦<sup>1</sup> 刘新社<sup>1</sup> 罗静兰<sup>2</sup> 杜金良<sup>1,2</sup> 王涛<sup>1</sup>

(1. 中国石油长庆油田分公司/低渗透油气田勘探开发国家工程实验室 西安 710021;

2. 西北大学大陆动力学国家重点实验室 西北大学地质系 西安 710069)

**摘要** 通过盆地边界性质、沉积相类型、地层厚度、沉积序列与砂体空间组合特征及砂岩的粒度变化与物性的研究,结合地震相对姬塬地区上三叠统延长组长4+5—长7油层组湖盆古地貌的恢复结果,认为鄂尔多斯盆地西北缘、西缘、西南缘、东南缘的沉积边界受构造控制,属于构造坡折带,形成以冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲共同发育的沉积格局;盆地东北缘和北缘为拗曲宽缓盆地边缘性质,属于沉积坡折带,发育缓坡曲流河三角洲沉积体系。姬塬地区三角洲前缘可划分为坡型前缘和台型前缘两种斜坡带类型。位于坡型前缘的砂体厚度大、物性好,是低渗背景下相对高渗带发育区,为油藏聚集的有利场所。该成果为在大型拗陷型盆地中寻找三角洲相隐蔽油气藏提供了新的研究思路与勘探方向。

**关键词** 坡折带(线) 三角洲坡型前缘与台型前缘 斜坡带类型与油藏 上三叠统延长组 姬塬地区 鄂尔多斯盆地

**第一作者简介** 窦伟坦 男 1963 出生 博士 高级工程师 石油地质 E-mail: dwt\_cq@petrochina.com.cn

**中图分类号** P618.130.2 **文献标识码** A

坡折带(slope break)指地形坡度发生突变的地带,国外成功地将其应用于含油气盆地中储集体和油气藏精确预测、成藏规律研究等领域,并获得了良好的应用效果<sup>[1,2]</sup>。我国中生代陆相湖泊沉积盆地众多,聚集着丰富的油气资源。古坡折带上下的可容空间之形态和演化复杂多变,往往使沉积相带和沉积厚度发生突变,对层序的发育具有重要的控制作用。近年来,国内学者已认识到坡折带在陆相沉积盆地分析和隐蔽油气藏勘探中的重要性<sup>[3-10]</sup>。

坡折带广泛发育于沉积盆地中和剥蚀区<sup>[4,5]</sup>。根据坡折带的边界条件和成因机制,可划分为构造坡折带、沉积坡折带和侵蚀坡折带。侵蚀作用、构造作用和沉积作用是控制坡折带形成的主要地质因素。侵蚀坡折带在沉积之前形成,构造坡折带和沉积坡折带则发育于同沉积期。因此,其对同沉积过程控制的表现形式不同。坡折带不仅广泛分布于大型拗陷湖盆中,而且其成因类型丰富,组合样式复杂,其形成与盆地的动力学背景密切相关,对沉积相带的展布具有重要的控制作用<sup>[4,5]</sup>。本研究分析了鄂尔多斯盆地的边界性质,将坡折带概念引入该盆地姬塬地区三角

洲前缘地带的研究,将该区划分为坡型前缘、台型前缘两种斜坡带类型,对位于该坡折带上下的沉积类型、砂体平面展布及砂体纵向组合特征等进行了分析,探讨了斜坡带特征及成因。这项研究对该区的油气勘探开发实践具有重要的理论意义与实际意义。

## 1 盆地边界性质

沉积盆地的区域地质背景、盆地形成时的边界条件对湖盆的形态及沉积有十分重要的控制作用,不同的沉积边界控制了坡折带的类型。鄂尔多斯盆地是叠合在古生代大华北盆地之上的一个非均衡克拉通边缘拗陷盆地,由于受印支运动影响,其构造形态呈东翼宽缓、西翼陡窄的南北向向斜盆地。晚三叠世,与该盆地南缘相邻的北秦岭区发育了一系列由南向北依次呈阶梯状向盆地内下陷的走滑—拉分断层,该同生断陷带在盆地南缘形成了多级构造坡折带,从而使盆地南缘斜坡带发育了扇三角洲和浊流沉积环境。盆地西南缘与西秦岭北侧之间发育了北西向逆冲走滑压扭性断裂构造,导致盆地西南缘成为断裂坡折带边界,形成以冲积扇、扇三角洲<sup>[11]</sup>、辫状河三角洲<sup>[12]</sup>

<sup>①</sup>国家科技重大专项课题(编号:2008ZX05008-004-076,2008ZX05001-003)资助。

收稿日期:2009-12-28;收修改稿日期:2010-06-10

共同发育的沉积格局。盆地西北缘受北东东(北段)、北北西向(南段)走滑-拉张断裂控制,形成逆冲断裂盆地边缘,由北至南发育了汝箕沟、石沟驿和平凉三个右行雁列展布的走滑-拉分拗陷,该边缘属于构造坡折带,发育大型扇三角洲群沉积体系。盆地东北缘和北缘为挠曲宽缓盆地边缘,具有缓坡特征,属于沉积坡折带,发育缓坡曲流河三角洲沉积体系(图1),分流河道流经距离长,砂体向盆地内部延伸远。

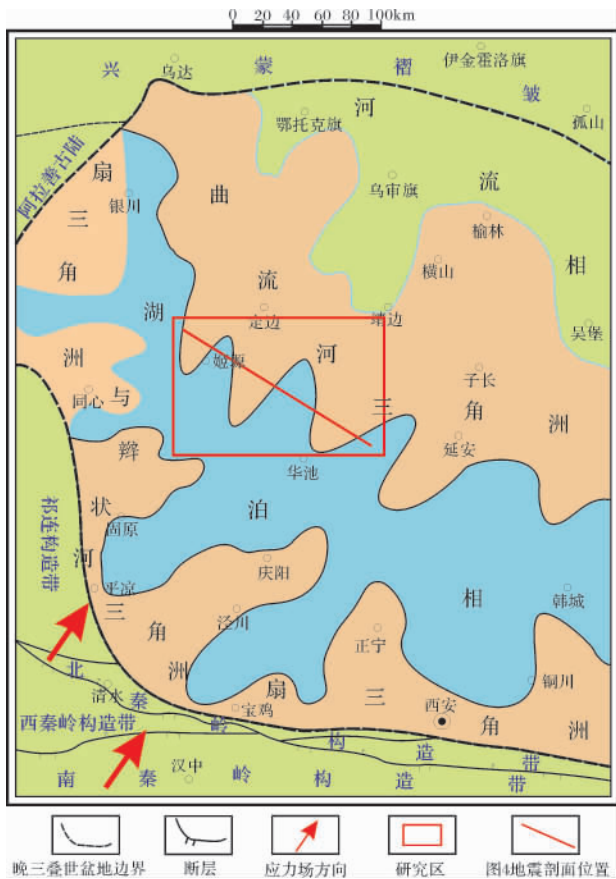


图1 晚三叠世鄂尔多斯盆地边界性质与沉积体系示意图  
Fig.1 Diagram shows depositional systems and basin margin

## 2 坡折带(线)与斜坡带类型及其对砂体的控制

姬塬地区位于鄂尔多斯盆地拗陷型湖盆的东北缘,主要受挠曲宽缓盆地边缘的控制,属于沉积斜坡带。在盆地中生代平稳沉降的拗陷性湖盆中,湖泊的形态决定了三角洲体系的特点和砂体形态的变化。因此,上三叠统延长组长6和长4+5沉积期的沉积环境、长7最大湖泛期湖泊边界的形态对三角洲沉积相带的展布及砂体形态有明显的控制作用。目前在

该区铁边城地区勘探已获得了重大突破,发现了延长组长4+5、长6层油藏(图2)。研究表明,姬塬地区长4+5物源以北东方向为主,沉积环境属于三角洲前缘亚相,砂体展布受沉积坡折带影响明显。

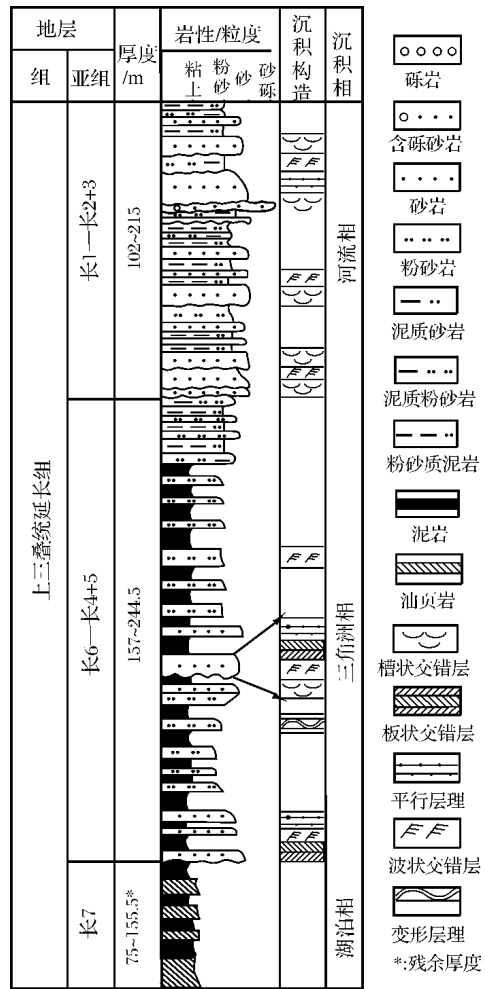


图2 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组地层柱状图  
Fig.2 Typical stratigraphic section of the Yanchang Formation, Upper Triassic from the Ordos basin

### 2.1 水下坡折带(线)位置与斜坡带类型

水下坡折带(线)指三角洲前缘地带分流河道的能量和沉积动力学状态发生变化的部位,是河流入湖后能量变化的枢纽线(带)。

研究显示,姬塬地区沉积地层的坡度变化大,最大湖岸线位于盐池—郝家坪一带。根据地层陡缓变化将三角洲前缘分为台型前缘和坡型前缘(图3),水下坡折带(线)分布在池17—五谷城一线附近。该线以北为三角洲台型前缘,以南为三角洲坡型前缘。坡型三角洲是在较陡的地形和半深湖—深湖环境中于坡折线以下形成的三角洲;台型三角洲是在平缓的浅

湖一半深湖环境位于坡折线以上的三角洲。地震剖面显示,研究区三角洲坡型前缘的外形为楔状,地层厚度变化大,内部结构为前积斜交(图 4),沉积体在剖面上呈菱形或“S”型。而位于三角洲台型前缘的地层其厚度变化小或基本不变,内部结构为平行、亚平行。

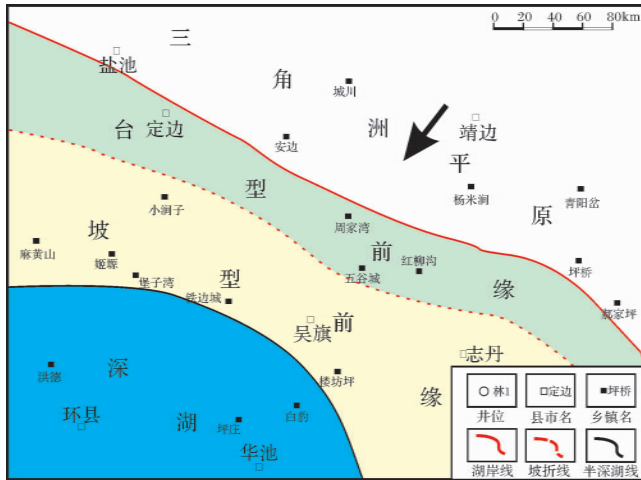


图 3 姬塬地区长 4 + 5 湖盆底型与斜坡带类型示意图

Fig. 3 Plot shows basin bottom and slope types of Chang 4 + 5 Unit in Jiyuan area

强,搬运能力也强,砂体厚度薄。坡折线以下,由于坡降大,卸荷能力增强,砂体堆积速度增大,砂体厚度迅速加厚,加之分流河道改道明显,沉积砂体发育,属于低位体系域发育地带。该带砂岩的结构成熟度较高、物性较好,是隐蔽油气藏发育部位。斜坡带下部的地形平坦,分布有低位体系域的三角洲前缘水下分流河道、河口坝以及远砂坝,水进体系域退积近缘三角洲砂体,以及高位域的前三角洲远砂坝、滑塌浊积扇砂体和深水浊积扇砂体<sup>[9-13]</sup>。

### 2.3 斜坡带类型与沉积砂体组合

通过大量的岩心观察和描述,位于坡折带(线)上、下不同部位的沉积砂体的组合存在明显的差异。在坡折线以上的台型前缘,主要以水下分流河道叠置砂体为主,随水体变深形成下部不完整的末端砂坝或席状砂体与分流河道叠加砂体的组合。在坡折线以下的坡型前缘,其上部主要为水下分流河道砂体和河口坝砂体组成的复合砂体,斜坡带中部发育完整的叠加河口坝砂体。在前缘末端与前三角洲位置,主要以远砂坝、深、浅湖泥岩为主。

## 3 三角洲坡型前缘与油气藏

良好的储集体、有利的沉积相带、有效的圈闭和畅通的运移通道是形成岩性油藏的地质基础。但由于鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组沉积期各地区沉积相与沉积作用的不同,储层成岩作用的差异,储层具有较强的非均质性。油藏的分布明显受坡折带与斜坡带类型的控制,其中以三角洲坡型前缘油藏最为发育。

### 3.1 坡型前缘邻近生烃坳陷,油源条件好

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组生烃环境为湖泊相,其中以长 7 沉积期的湖泊最为宽阔、水体最深,长 7 沉积期形成的厚度大于 100 m 的有效烃源岩的分布面积约  $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地中烃源岩有机碳 2% ~ 5%, 氯仿“A”为 0.3% ~ 0.5%, 烃含量为  $1.833 \times 10^6 \sim 3.505 \times 10^6 \text{ g/t}$ , 泥岩中的干酪根、煤岩的反射率为 0.73% ~ 1.06%, 有机质类型属腐植—腐泥型<sup>[14]</sup>, 普遍达到成熟阶段。干酪根类型为 I 型或 II 型, 此类干酪根生油母质具有较高产烃率, 生油潜力最大, 通常可达 400 kg/t. TOC, 其贡献率达 75%<sup>[15]</sup>。目前鄂尔多斯盆地已发现的油田和探明的储量均位于生烃坳陷内部及周边地区, 由于三角洲坡型前缘邻近生烃坳陷, 油源条件好, 特别是生烃坳陷边缘的坡折带更是大型整装油气藏形成的场所。

### 2.2 坡折带对砂体的控制作用

砂体厚度统计结果显示,姬塬地区位于坡型前缘的砂体厚度大,而在台型前缘形成的砂体较薄(图 5)。坡折带上部、中部斜坡和斜坡下部沉积相的变化和砂岩特征研究表明,沿北东物源方向,位于沉积坡折带三角洲台型前缘并向湖盆中心伸展的三角洲分流河道砂体,其堤岸比较固定,河道的侵蚀能力较

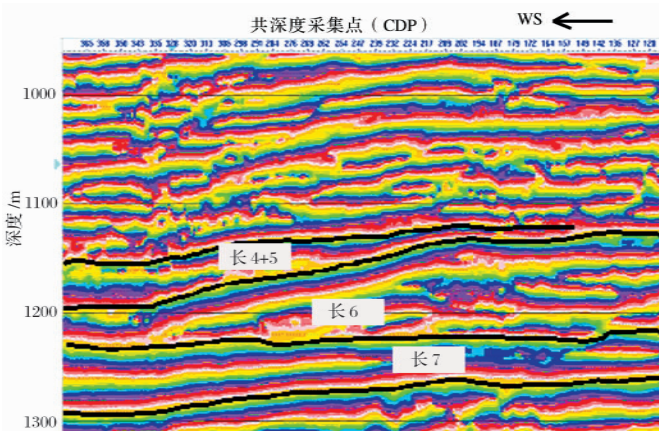


图 4 姬塬地区 00hb19 测线高分辨率地震相位剖面

Fig. 4 A high resolution seismic facies profile of 00hb19 line in Jiyuan area

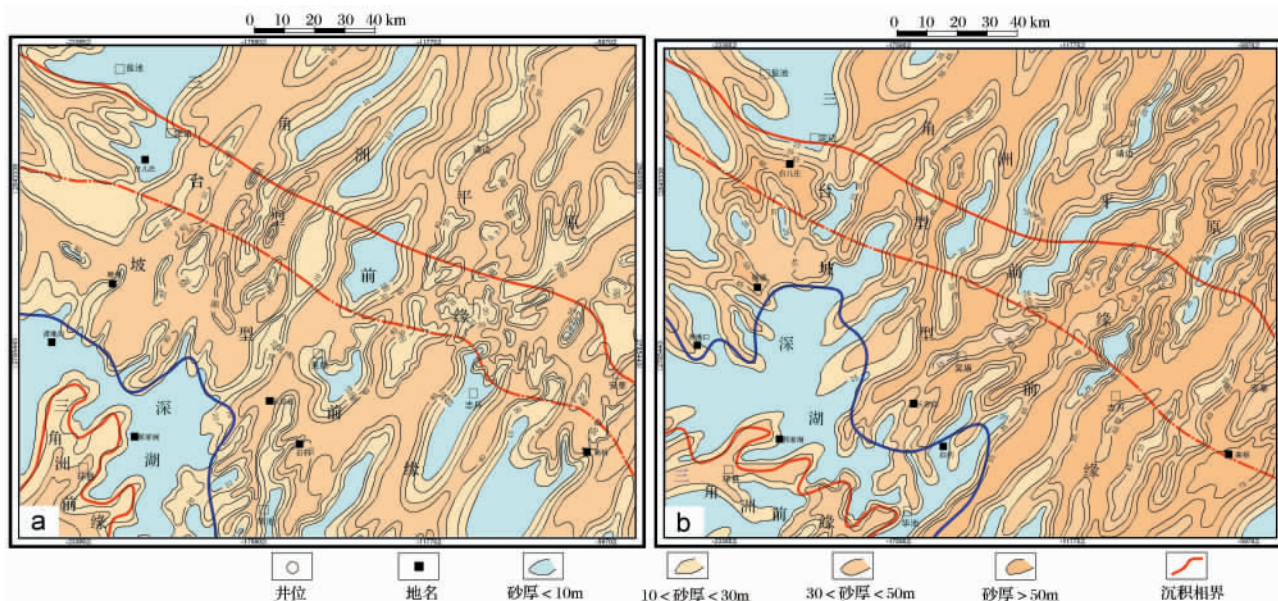


图5 研究区延长组长4+5与长6油层组砂岩厚度平面分布图

Fig. 5 Map shows sandstone horizontal distribution of the Chang 4 + 5 ( a ) and Chang 6

表1 姬塬地区三角洲坡型前缘与台型前缘储层孔隙类型统计

Table 1 Statistics of reservoir pore types in the slope-shaped front and platform-front in Jiyuan area

斜坡带类型	孔隙类型及其平均含量 / %									面孔率 / %
	粒间孔	粒间溶孔	长石晶内溶孔	岩屑内溶孔	沸石晶内溶孔	碳酸盐内溶孔	晶间孔	收缩孔	微裂隙	
台型前缘	1.99	0.00	1.84	0.15	0.00	0.00	0.08	0.00	0.24	3.80
坡型前缘	2.22	0.05	2.33	0.16	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	4.82

### 3.2 坡型前缘次生溶孔发育, 具有较好的储层条件

三角洲坡型前缘砂体靠近浅湖—半深湖相烃源岩, 烃源岩中的有机质在进入成熟阶段早期释放的羧酸性流体将首先对这些砂岩进行溶蚀改造, 形成大量次生溶蚀孔隙, 具有较好的储层条件。铸体薄片显微镜下观察与定量统计结果表明, 姬塬地区储层的孔隙类型以粒间溶孔为主, 其次为长石晶内溶孔、晶间孔隙和岩屑内溶孔。其中, 三角洲台型前缘砂体的平均面孔率 3.8%, 平均渗透率  $0.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 坡型前缘砂体的平均面孔率 4.8%, 平均渗透率  $1.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  (表 1), 长石晶内溶孔可达 2.3%, 占总面孔率的 48%, 从而形成次生溶孔成岩相带。因此, 位于三角洲坡型前缘砂体的物性明显优于位于三角洲台型前缘砂岩的物性。

### 3.3 坡型前缘是最为有利的沉积相带

有利的沉积相带是油气富集成藏、大面积分布的重要地质基础。勘探实践表明, 鄂尔多斯盆地延长组

沉积相带对石油的控制作用明显。目前已探明石油储量的约 80% 分布在三角洲前缘亚相中, 其中又以河口坝、水下分流河道沉积微相砂体的物性较好, 特别是河口坝砂体的物性最好。斜坡带沉积微相、沉积序列、砂体组合等研究结果表明, 在三角洲前缘水下坡折带(线)以下的缓坡带形成多期叠加的、较厚的河口坝与水下分流河道的微相组合, 或者多期河口坝组合, 砂体厚度大, 物性好, 储集条件最为有利。

### 3.4 三角洲坡型前缘有利于油气成藏

姬塬地区具有丰富的烃源岩。该区三角洲坡型前缘由于靠近生烃中心, 油源充足, 砂体发育, 多期河口坝、分流河道叠加, 厚度大, 物性好, 原生粒间孔、次生溶孔发育, 在进积过程中形成与生油岩最佳的组合关系, 从而成为油气聚集的最有利场所, 形成的油藏规模大、丰度高; 在三角洲台型前缘的砂体, 一方面由于砂体厚度小, 另一方面油源运移距离较远, 仅发育规模较小的油藏(图 6)。

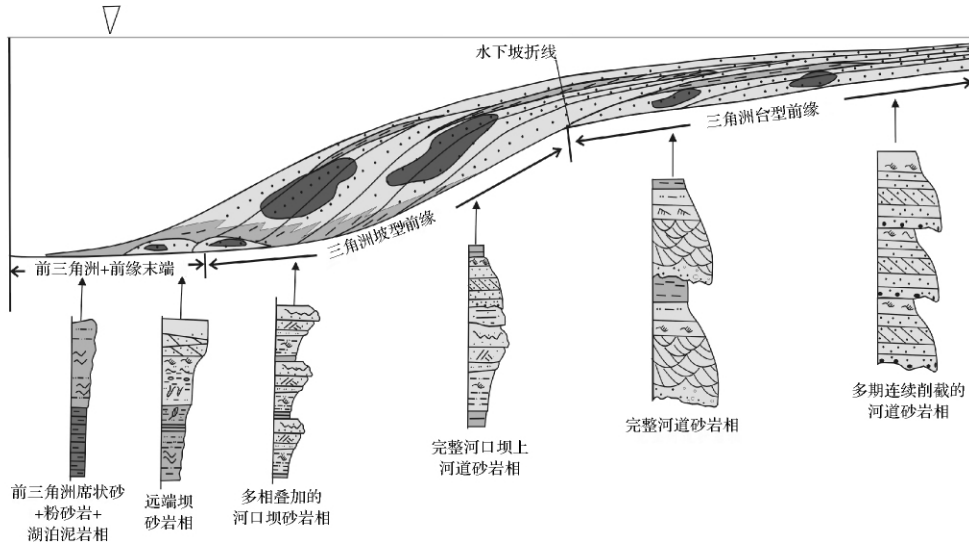


图 6 坡折带三角洲前缘砂体组合图(图例见图 2)

Fig. 6 Diagram showing sandbody assemblages on the delta-front of the slope-break

## 4 结论

(1) 鄂尔多斯盆地不同的沉积边界控制了坡折带的类型,主要发育两种坡折带:盆地西北缘、西缘、西南缘、东南缘的沉积边界受构造控制,属于构造坡折带,形成以冲积扇、扇三角洲、辫状河三角洲共同发育的沉积格局;盆地东北缘和北缘为拗曲宽缓盆地边缘性质,具有缓坡特征,属于沉积坡折带,发育缓坡曲流河三角洲沉积体系。

(2) 姬塬地区发育两种受坡折带控制的斜坡带类型:三角洲坡型前缘与三角洲台型前缘坡折带。三角洲台型前缘砂体以水下分流河道叠置砂体为主;坡型前缘砂体以水下分流河道和河口坝砂体组合为主;前缘末端与前三角洲主要以远砂坝、深浅湖泥岩为主。

(3) 姬塬地区三角洲坡型前缘临近生烃中心,易捕捉油气;砂体处于有利的岩性圈闭和沉积相带,砂体发育,厚度大,物性好,有利于油气富集,是油气勘探最有利区。

(4) 三角洲坡型前缘是隐蔽油气藏发育的主要部位。有望在鄂尔多斯盆地南缘、西缘、东南缘隐蔽油气藏勘探方面取得重大突破。

### 参考文献(References)

1 Strecker U, Steidtmann J, Smithson S B. A conceptual tectonostratigraphic model for seismic facies migrations in a fluvio-lacustrine extensional basin[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(1): 3-61

2 Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: Seismic stratigraphy interpretation procedure [C] // Bally A W, ed. Atlas of Seismic Stratigraphy. AAPG Bulletin, Studies in Geology, 1987, 27(1): 1-10

3 张善文,王英明,李群. 应用坡折带理论寻找隐蔽油气藏[C] // 胜利油区勘探开发论文集. 北京:地质出版社,1999: 34-39 [Zhang Shanwen, Wang Yingming, Li Qun. Search for hidden hydrocarbon pools using slope break theory [C] // Symposium of Exploitation and Development on Oil Region of Shengli Oil Field. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 34-39]

4 林畅松,潘元林,肖建新,等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260-266 [Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, et al. Structural slope break zone: key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting for subsidence basins [J]. Earth Sciences: Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3): 260-266]

5 王英明,金武弟,刘书会,等. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 199-204 [Wang Yingming, Jin Wudi, Liu Shuhui, et al. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope breaks in rift lacustrine basins [J]. Oil and Gas Geology, 2003, 24(3): 199-204]

6 王永诗,姜素华,秦永霞. 斜坡带油气成藏特征与勘探方法——以济阳坳陷为例[C] // 胜利油区勘探开发论文集. 北京:地质出版社,1999: 40-45 [Wang Yongshi, Jiang Suhua, Qing Yongxia. Characteristics of oil-pool forming on slope breaks and exploitation methods [C] // Symposium of Exploitation and Development on Oil Region of Shengli Oil Field. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 40-45]

7 冯有良,周海民,李思田,等. 陆相断陷盆地层序类型与构造特征[J]. 地质评论, 2004, 50(1): 43-49 [Feng Youliang, Zhou

- Haimin, Li Sitian, *et al.* Sequence types and structural characteristics in continental rift-subsidence basins [J]. *Geological Review*, 2004, 50(1): 43-49]
- 8 刘豪, 王英民. 准噶尔盆地坳陷湖盆坡折带在非构造圈闭勘探中的应用[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(4): 422-427 [Liu Hao, Wang Yingmin. Significance of slope break zone in depression lake basin to exploration of non-structural traps in Junggar basin [J]. *Oil and Gas Geology*, 2004, 25(4): 422-427]
- 9 朱筱敏, 康安, 王贵文. 陆相坳陷型和断陷型湖盆层序地层岩石探讨[J]. *沉积学报*, 2003, 31(2): 283-287 [Zhu Xiaoming, Kang An, Wang Guiwen. Discussion on sequence rocks in continental depression and rift subsidence lake basins [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 31(2): 283-287]
- 10 胡宗全, 李明娟. 准噶尔盆地西北缘侏罗系层序模拟与沉积相演化特征[J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(4): 351-361 [Hu Zongquan, Li Mingjuan. Sequence modeling and sedimentary facies evolution of Jurassic in northwestern edge of Junggar basin [J]. *Oil and Gas Geology*, 2003, 24(4): 351-361]
- 11 Luo Jinglan, Li Jian, Yang Binghu, *et al.* Provenance for the Chang 6 and Chang 8 Member of the Yanchang Formation in Xifeng area and in the periphery Ordos basin: evidence from petrologic geochemistry [J]. *Sciences in China: Series D*, 2007, 50(Supp. II): 75-90
- 12 武福礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. *古地理学报*, 2004, 6(3): 307-315 [Wu Fuli, Li Wenhou, Li Yuhong, *et al.* Deltaic sedimentation and evolution of the Yanchang Formation, Upper Triassic in Ordos Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6(3): 307-315]
- 13 Luo Jinglan, Morad S, Zhang Xiaoli, *et al.* Reconstruction of the diagenesis of the fluvial-lacustrine-deltaic sandstones and its influence on the reservoir-quality evolution [J]. *Science in China: Series D*, 2002, 45(7): 616-634
- 14 张文正, 李剑峰. 鄂尔多斯盆地油气源研究[J]. *中国石油勘探*, 2001, 6(4): 28-36 [Zhang Wenzhen, Li Jianfeng. Research on resources of hydrocarbon in the Ordos basin [J]. *Journal of China Petroleum Exploitation*, 2001, 6(4): 28-36]
- 15 张文正, 裴戈, 关德师. 鄂尔多斯盆地中、古生界原油单体系列碳同位素研究[J]. *科学通报*, 1992, 37(3): 248-251 [Zhang Wenzhen, Pei Ge, Guan Deshi. Study on the mono-series carbon isotope in hydrocarbons of the Mesozoic and Paleozoic in the Ordos basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37(3): 248-251]

## Relationship of Slope-Break, Slope Type with Hydrocarbon Pool-Forming of the Upper Triassic from Jiyuan Area, the Northwestern Ordos Basin

DOU Wei-tan<sup>1</sup> LIU Xin-she<sup>1</sup> LUO Jing-lan<sup>2</sup> DU Jin-liang<sup>1,2</sup> WANG Tao<sup>1</sup>

(1. The Changqing Petroleum Corporation, Petrochina/State Engineering Laboratory of Low Permeability Hydrocarbon Field Exploration and Development, Xi'an 710021;

2. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069)

**Abstract** The northwestern, western, southern and southeastern depositional margin of the Ordos basin is tectonic slope-break controlled by tectonic movement occurred at the end of the Triassic, where alluvial, fan-deltaic and braided-deltaic sedimentary suite developed. While the eastern and northeastern margin belong to depositional slope-break because of its gently uplifting during the late Triassic, which resulted in the meandering-deltaic sedimentary system. Two types of slopes including slope-shaped-front and platform-front can be recognized in the Jiyuan area, northwestern Ordos Basin, based upon analysis on feature of the basin margin, types of depositional facies and sediments, thickness of the strata, spatial assemblage and distribution of the sandstone bodies, and changes of the sandstone grain size, combined with seismic interpretation for topographic form of the Chang 4 + 5-Chang 7 lake basin. Research result shows that sandstones at the slope-shaped-front are of greater thickness with relatively developed secondary dissolution pores and higher permeability values in delta front setting where sandstones tend to be of low porosity and very low permeability. Thus, sandstones at the slope-shaped-front with the better reservoir potential in Jiyuan area are optimistic regions for hydrocarbon accumulation. This study will provide a new idea and a fresh approach to explore and search for hidden oil pools at a delta depositional system in depression basins.

**Key words** slope-break zone (line); slope-shaped delta front and platform-shaped delta front; slope types and hydrocarbon pool; the Yanchang Formation of the Upper Triassic; Jiyuan area; the Ordos Basin