

# 塔里木盆地西南部叶城凹陷下白垩统克孜勒苏群 扇三角洲沉积特征及模式

厚刚福<sup>1</sup> 孙雄伟<sup>2</sup> 李 昌<sup>1</sup> 刘 群<sup>1</sup> 曾庆鲁<sup>1</sup> 熊 冉<sup>1</sup> 曹全斌<sup>1</sup>

(1.杭州地质研究院,浙江 杭州 310023;2.塔里木油田公司勘探开发研究院,新疆 库尔勒 841000)

**摘要:**以野外露头、岩心观察为基础,结合录井、测井及粒度分析,认为叶城凹陷下白垩统克孜勒苏群发育进积型扇三角洲,划分出扇三角洲平原与扇三角洲前缘水下分流河道、分流间湾与河口坝。扇三角洲平原受重力流作用明显;扇三角洲前缘主要受牵引流作用,在盆地的短轴方向延伸范围较小,而在长轴方向延伸范围较大,与相邻扇三角洲前缘朵叶叠置连片。扇三角洲由山前向断陷湖盆进积,在盆地的短轴方向构成一侧为陡坡、另一侧为宽缓斜坡的单断式断陷盆地充填模式。这种沉积模式不仅控制了扇三角洲各亚相单元的发育特征,而且对微相类型与砂体分布有控制作用。

**关 键 词:**塔里木盆地;叶城凹陷;克孜勒苏群;扇三角洲;断陷盆地

**中图分类号:**P534.53

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-3657(2012)04-0947-07

扇三角洲最初是 Holmes 于 1965 年研究英格兰西海岸现代扇三角洲时提出的,定义为“从邻近高地推进到稳定水体中去的冲积扇”<sup>[1]</sup>。这一术语提出 40 余年来,国内外学者对其沉积特征、沉积模式的认识不断深化,有力地推动了扇三角洲研究不断深入<sup>[2-9]</sup>。中国对扇三角洲的研究始于 20 世纪 70 年代后期,在中新生代含油气盆地中发现了大量以冲积扇为供源沉积、进积到湖盆中的粗碎屑楔状体<sup>[7]</sup>,这种盆地边缘粗碎屑楔状体多数定为与裂隙作用有关的扇三角洲。由于扇三角洲是赋存油气储量的重要沉积体系类型之一,尤其是在中国东部中生代断陷盆地中,扇三角洲砂体通常是油气储存的最有利储集体。因此,对扇三角洲的研究倍受国内学者的重视<sup>[8-11]</sup>。

## 1 地质背景

叶城凹陷位于塔里木盆地塔西南坳陷东段,南以西昆仑山为界,西临齐姆根凸起,北以麦盖提斜坡与中央隆起相接(图 1),侏罗纪—白垩纪为一典型的山前小型单断式断陷盆地<sup>[12]</sup>,南陡北缓。下白垩统克孜勒苏群发育巨厚粗碎屑沉积,油气显示活跃。该

区油气勘探大致经历了 5 个阶段<sup>[13-14]</sup>,2011 年 KD1 井获工业油气流,拉开了塔西南地区新一轮油气勘探的序幕<sup>[14]</sup>。但该区勘探程度低,地质认识仍比较肤浅,因此明确该区沉积相类型及特征,建立沉积相模式,必将为重新认识该区的储层分布与油气成藏规律打下基础。

## 2 沉积特征

以野外露头、岩心观察为基础,结合录井、测井及粒度分析,认为该区主要发育扇三角洲—滨浅湖沉积体系,扇三角洲在纵向上总体表现为自下而上粒度逐渐变粗的反旋回,底部发育滨浅湖泥,扇三角洲前缘河口坝,向上粒度逐渐变粗,相变为扇三角洲前缘水下分流河道与扇三角洲平原辫状分流河道,为一典型的进积型扇三角洲沉积序列(图 2)。这与正常辫状河三角洲、曲流河三角洲沉积序列有一定的相似性,不同之处在于扇三角洲沉积粒度更粗、相变更快<sup>[15]</sup>,与其他地区扇三角洲相比<sup>[16-18]</sup>,该区水下分流河道沉积占主导地位,河口坝、分流间湾规模较小,远离河口的远砂坝、席状砂不发育。

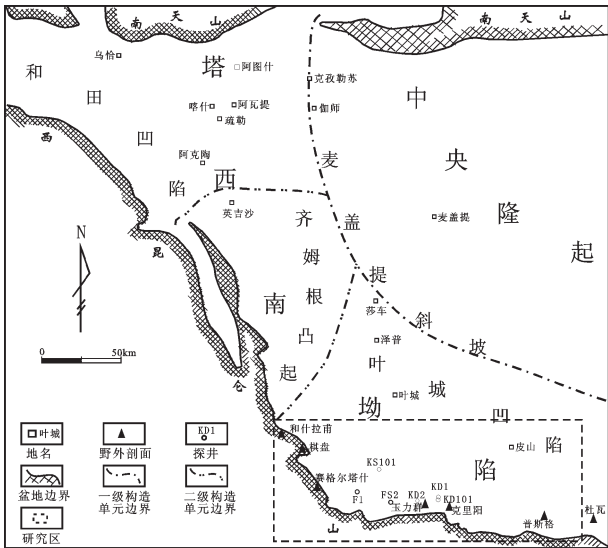


图 1 叶城凹陷构造位置图  
Fig.1 Structural location of Yecheng depression

该区扇三角洲进一步划分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘 2 种亚相,前扇三角洲不发育。其沉积特征分述如下:

2.1 扇三角洲平原

扇三角洲平原亚相岩性主要以褐红色含砾粗砂岩、块状砂砾岩及砾岩组成,砾岩成分主要为石英岩、硅质岩、变质岩等。砾岩分选、磨圆均较差,通常呈次圆-次棱角状,成分成熟度低,且杂乱堆积,无定向排列,表明扇三角洲平原沉积受重力流作用影响明显。这与前人通过粒度分析 C-M 图解分析结果一致<sup>[19]</sup>。

2.2 扇三角洲前缘

主要发育水下分流河道微相、河口坝微相及分流间湾微相。

(1)水下分流河道微相:是扇三角洲平原亚相中的辫状分流河道入湖后的水下延伸部分,由褐色、灰色中粗砂岩(图 3-A)、细砂岩、粉砂岩组成,含泥砾(图 3-B),夹分流间湾相泥岩(图 3-C),粒度向上逐渐变细,发育块状层理、小型槽状交错层理(图 3-D)、板状交错层理及粒序层理。自然电位曲线为低-中负异常,自然伽马曲线自下而上由箱形过渡为钟形,齿化-微齿化,底部突变明显(图 2)。通过对克里阳剖面所采的 21 个水下分流河道微相样品所做的粒度分析结果表明:水下分流河道砂体粒度曲线由滚动、跳跃、悬浮组份组成,概率累计图上显示三段式(图 4)。粒径平均值 0.119 mm,标准偏差 1.18,偏

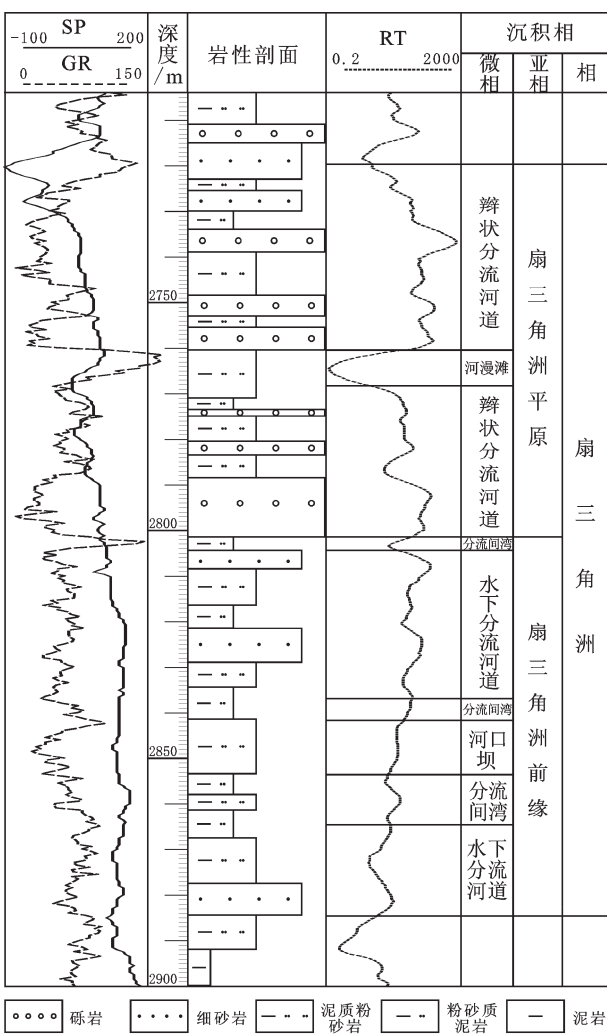


图 2 F1 井扇三角洲沉积序列  
Fig.2 Sedimentary sequence of fan delta of F1 well

度 0.18,属正偏态,峰值 1.46,属尖锐峰,表明砂体总体分选较差。

(2)河口坝微相:位于水下分流河道前方,岩性多为褐色中细砂岩,也可见含砾细砂岩和粉砂岩,在垂向上呈现下细上粗的反韵律,底部渐变,发育平行层理(图 5-A)、低角度交错层理(图 5-B)及块状层理,自然伽马曲线为中-高幅的漏斗形-箱形组合,下部的前积式幅度组合部分,齿中线具收敛特征,上部为加积式的组合,曲线形态为微齿形,齿中线中平。KD1 井粒度分析结果表明:河口坝微相粒径平均值 0.171 mm,标准偏差 0.93,偏度大于 0.028,属负偏态,峰度 1.175,属尖锐峰,均表明砂体分选较好。河口坝砂体概率累积曲线以两段式为主(图 6),跳跃总体含量一般为 80%~95%,细截点为 0.088~

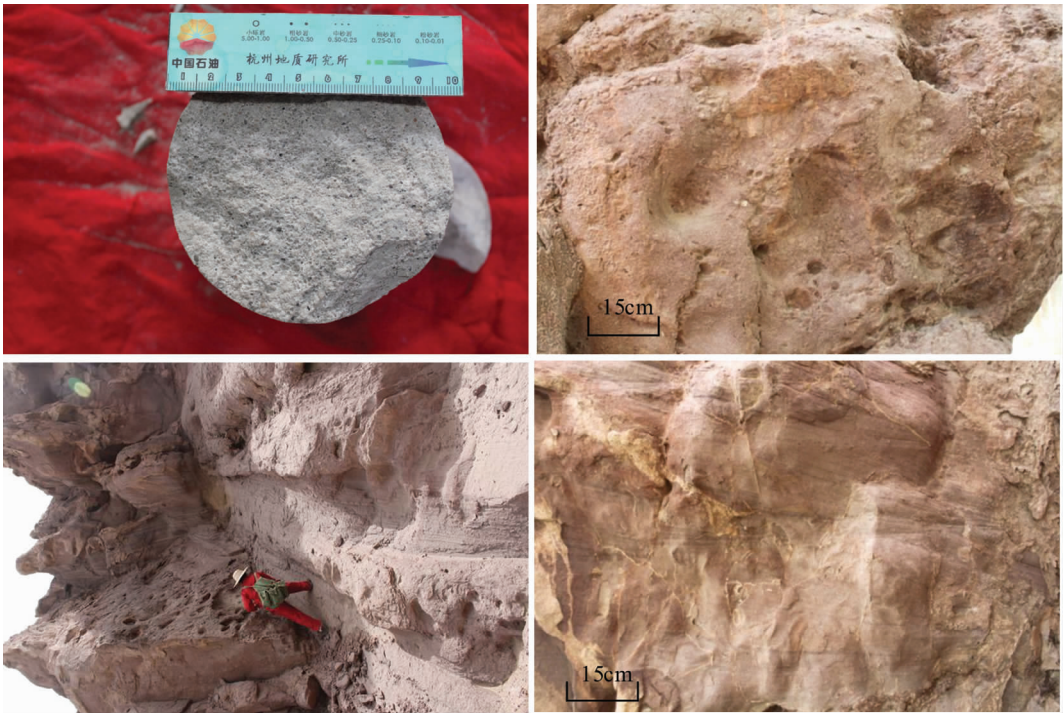


图 3 扇三角洲前缘水下分流河道典型沉积构造  
A—KD101,3 121 m,灰色中粗砂岩;B—普斯格,泥砾;C—普斯格,褐色细砂岩夹泥岩透镜体;D—普斯格,槽状交错层理  
Fig.3 Typical sedimentary structure of underwater distributary channel of delta frontier  
A— KD101,3121m, gray medium-coarse grained sandstone; B—Pusige strata, mud gavel; C—Pusige strata, brown fine-grained sandstone containing mudstone lens; D—Pusige strata, trough-shaped cross bedding

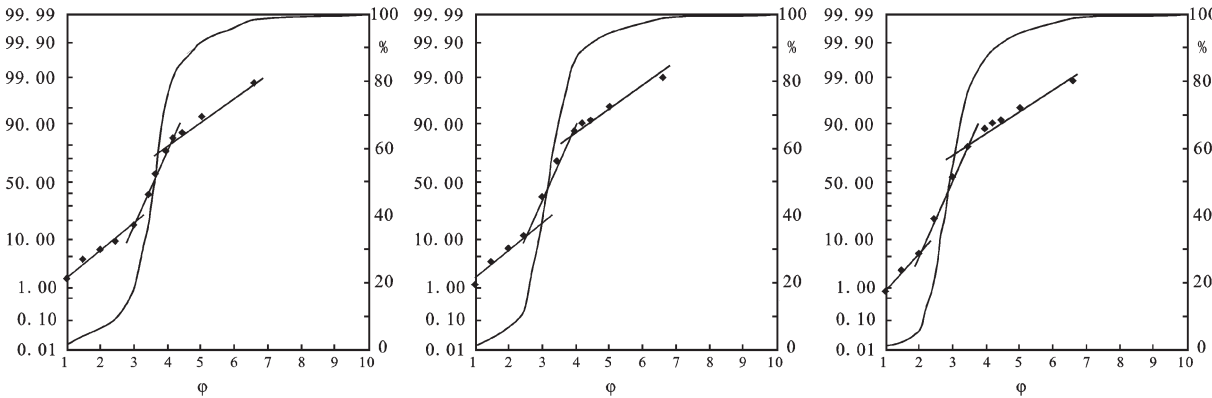


图 4 扇三角洲前缘水下分流河道概率累计曲线  
Fig.4 Cumulative relative frequency curve of underwater distributary channel of delta frontier

0.036 mm,斜率为 60°~65°。跳跃总体包括 1~2 个直线段,说明水动力条件较复杂,有时以单向水流作用为主,有时又具有双向水流作用。另外从萨胡粒度判别函数来看,河口坝具有河流沉积和浅湖沉积的混合特征。

(3)分流间湾微相:为水下分流河道之间悬浮沉降作用形成的沉积,由粉砂岩和泥岩组成,常以夹层形式出现于水下分流河道砂体之中(图 3-C)。由于

河道迁移,分流间湾沉积通常受到冲刷侵蚀,保存下来的厚度较小,以透镜状出现。测井曲线以峰状的高伽马、高电位为特征(图 2)。

### 3 沉积相空间展布

物源分析表明,叶城凹陷南部发育西昆仑山物源体系,母岩主要为沉积岩及少量变质岩。从残余地层分布来看,位于山前的沉降中心,地层厚度较大,



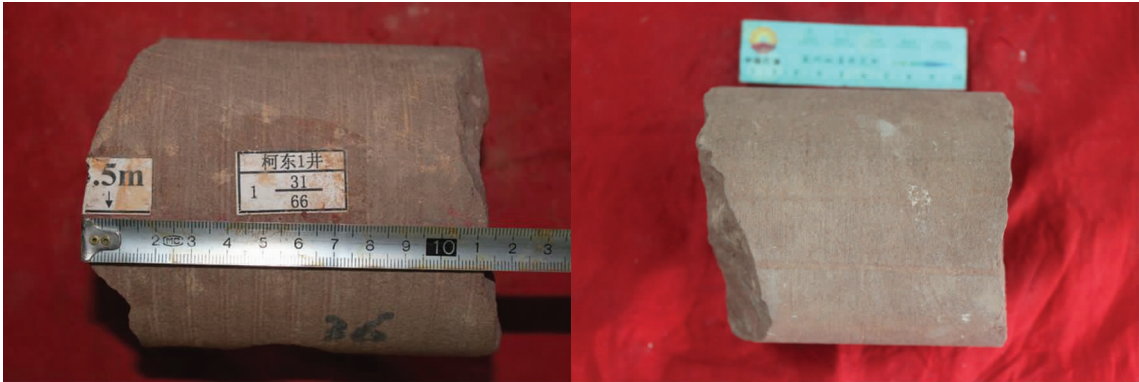


图 5 扇三角洲前缘河口坝典型沉积构造  
A—KD1,4412.3 m,平行层理; B—FS2,4177.3 m,低角度交错层理  
Fig.5 Typical sedimentary structure of mouth bar of delta frontier  
A—KD1,4412.3m, parallel bedding; B—FS2, 4177.3m, low-angle cross-bedding

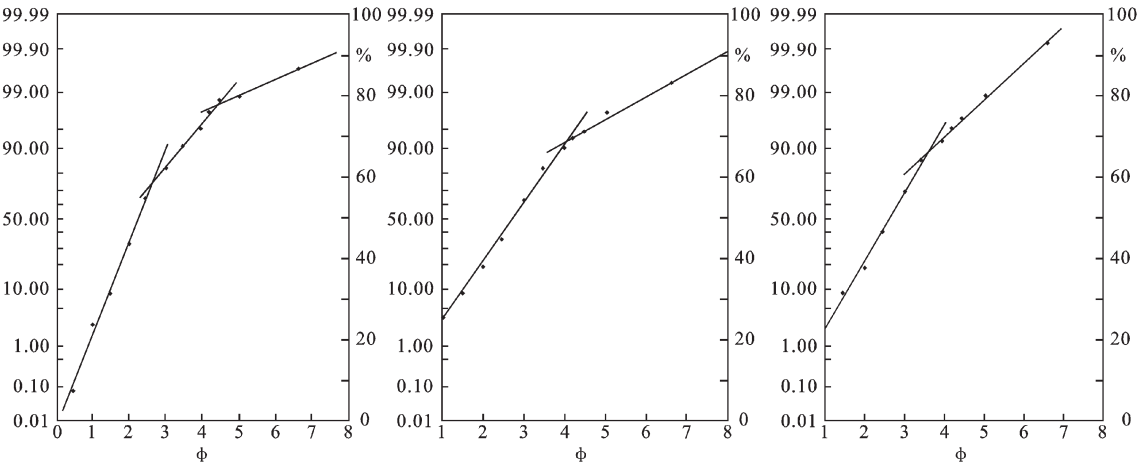


图 6 扇三角洲前缘河口坝概率累计曲线  
Fig.6 Cumulative relative frequency curve of mouth bar of delta frontier

而远离沉降中心,地层厚度减薄,砂体围绕沉降中心分布,砂体厚度、砂地比值较高,向北逐渐变小。结合岩心、野外露头 and 测井等资料分析表明:叶城凹陷克孜勒苏群总体上表现为水上和水下交互过渡的沉积环境,主要发育滨浅湖背景下的扇三角洲沉积体系(图 7),以扇三角洲前缘亚相为主,在盆地的长轴方向扇三角洲前缘朵叶通常因延伸范围较大而与相邻的扇三角洲前缘朵叶汇集,而在盆地的短轴方向延伸范围较小。垂直古水流方向的连井沉积相对比剖面在纵向上揭示了下白垩统克孜勒苏群扇三角洲沉积特征,以水下分流河道微相最为发育,砂体叠置连片,横向对比关系较好,其次为河口坝微相和分流间湾微相,呈透镜状分布于水下分流河道微相中。

4 沉积模式

侏罗—白垩纪沉积期,塔西南地区由于地壳伸展作用,发育了数个北西向呈条带状分布的断陷盆地,叶城凹陷便是其中之一。断陷盆地南部紧邻西昆仑山物源区,发育一系列角度较高的正断层,断陷盆地北部为宽缓的麦盖提斜坡。因此在断陷盆地的短轴方向上构成一侧为陡坡、另一侧为宽缓斜坡的单断式断陷盆地充填模式(图 8)。至于麦盖提斜坡在下白垩统是否向断陷盆地内部提供物源,目前还没有钻井、地震资料加以证实。

这种单断式断陷湖盆沉积模式控制了扇三角洲各亚相单元的发育特征。由于山前断层角度较高、坡

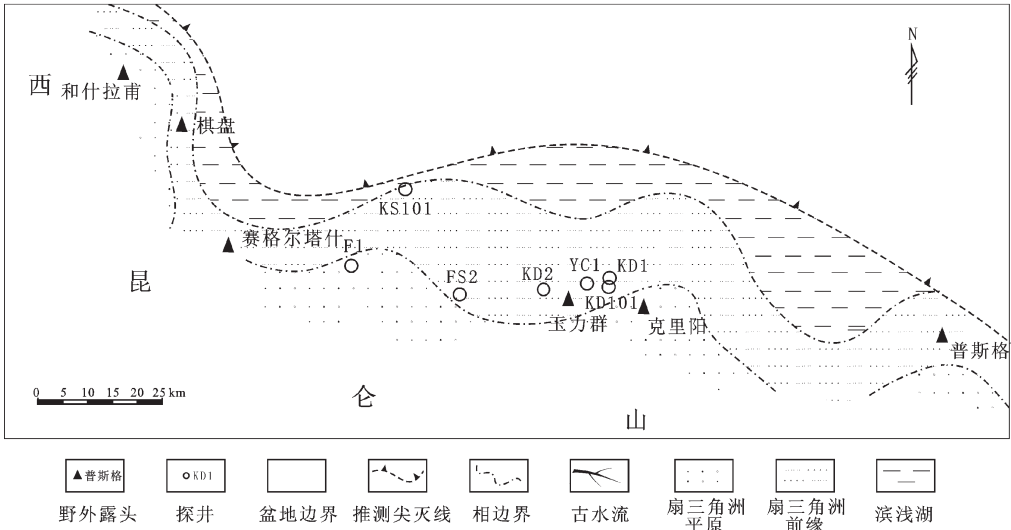


图 7 叶城凹陷下白垩统克孜勒苏群二段沉积相图  
Fig.7 Sedimentary facies map of lower Cretaceous Kezilesu Group in Yecheng sag

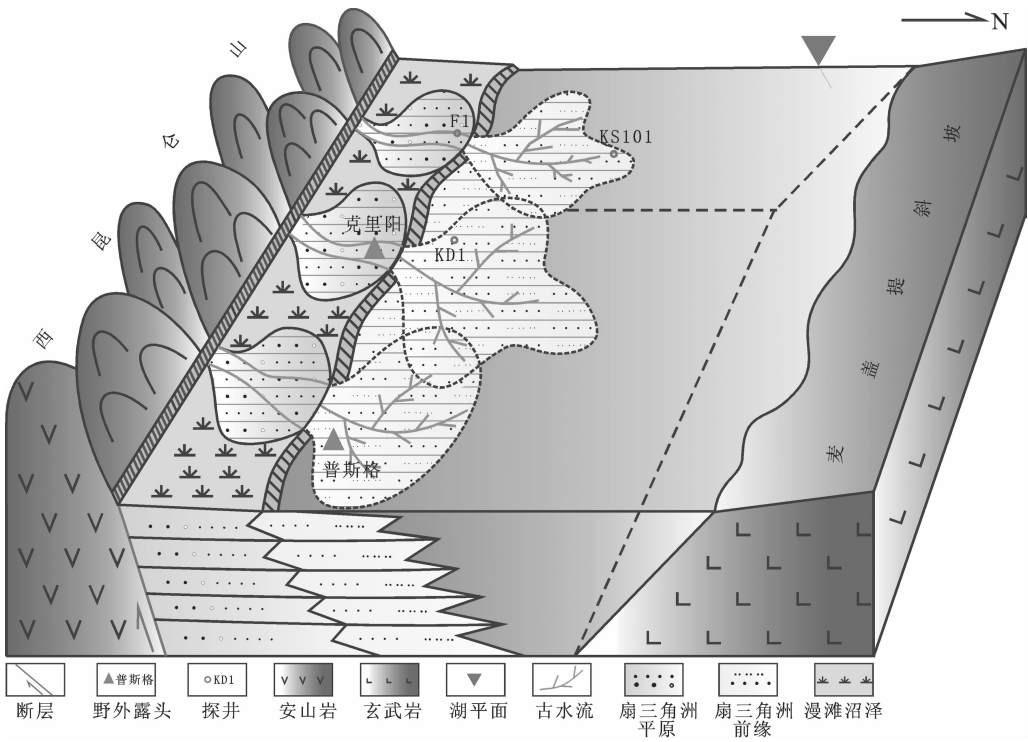


图 8 叶城凹陷下白垩统克孜勒苏群沉积模式图  
Fig.8 Sedimentary model of lower Cretaceous Kezilesu Group in Yecheng sag

度陡,粗粒沉积物在山前快速堆积,形成扇三角洲平原沉积,主要为分选、磨圆较差、杂乱堆积且无定向排列的砂砾岩、砾岩,表明扇三角洲平原沉积受重力流影响较大;扇三角洲不断向断陷湖盆进积,受到牵引流、重力流以及湖流相互作用,扇三角洲前缘沉积

速率明显低于扇三角洲平原,且水动力明显较扇三角洲平原小,因此扇三角洲前缘砂体粒度明显较扇三角洲平原变细,以中细砂岩、细砂岩为主,主要发育与牵引流作用有关的槽状交错层理及低角度交错层理,在扇三角洲前缘砂体未见到变形构造及滑塌

构造,表明扇三角洲前缘受重力流影响较小。

另外,这种单断式断陷湖盆沉积模式控制了微相类型及砂体的分布。即断陷盆地的沉降中心位于靠近山前的深大断裂一侧,另一侧为宽缓斜坡,来自西昆仑山的物源进积到断陷湖盆内,在靠近陡坡的沉降中心就近沉积充填,由于湖盆在短轴方向宽度有限,且深陷带前方为斜坡背景,而长轴方向为狭长的沟谷地貌,因此在断陷盆地的长轴方向更有利于水下分流河道进积,扇三角洲延伸范围较大,形成多个扇三角洲朵体叠置连片(图 8)。而短轴方向水下分流河道延伸范围较小,早期沿短轴方向进积的河道后期由于斜坡背景而转为侧向运移,因此在短轴方向的前缘前扇三角洲、扇三角洲前缘远砂坝与席状砂沉积不发育,主要为水下分流河道、分流间湾及河口坝沉积。

水下分流河道砂体空间上叠置连片,横向上连通性好,且厚度大,可作为油气储存的有利储集体;河口坝砂体虽不及水下分流河道砂体发育,且单层厚度比水下分流河道砂体小,但物性较好,孔隙度 8.88%左右,也可作为有利储集体。因此该区扇三角洲前缘水下分流河道与河口坝砂体是最有利的储集相带。

5 结 论

1)扇三角洲在纵向上表现为自下而上粒度逐渐变粗的反旋回,主要发育扇三角洲平原和扇三角洲前缘。扇三角洲平原受重力流影响较大;扇三角洲前缘主要受牵引流影响,发育水下分流河道、河口坝及分流间湾微相,席状砂、远砂坝微相不发育。

2)扇三角洲前缘沉积占主导地位,在盆地的短轴方向延伸范围较小,而在长轴方向扇三角洲前缘朵叶通常因延伸范围较大而与相邻的扇三角洲前缘朵叶汇集。

3)叶城凹陷下白垩统为一山前小型断陷盆地,在断陷盆地的短轴方向上构成一侧为陡坡、另一侧为宽缓斜坡的单断式断陷盆地充填模式。这种沉积模式不仅决定了扇三角洲各亚相单元的发育特征,而且对沉积微相类型与砂体分布有控制作用。

参考文献(References):

[1] Homels. A Principles of Physics [M]. london:Thomas Nelson and Sons Ltd, 1965:288.

[2] Peter D F, Rebecca J D. Rapid devepoment of gravelly high density currents in marine gilbert-type fan deltas, loreto basin, Baja California Sur, Mexica[J]. Sedimentology, 1998, 45(2):331-349.

[3] Alien J R L.Parallel lamination developed from upper-stage plane beds;a model on the larger coherent stractures of the turbulent boundary layer[J]. Sediment Geol., 1984, (39):22-242.

[4] 顾家裕.中国东部古代扇-三角洲沉积[J].石油与天然气地质,1984, 5(3):236-245.

Gu Jiayu. Sedimentation of ancient fan-deltas in Eastern China[J]. Oil & Gas Geology, 1984, 5(3):236-245 (in Chinese with English abstract).

[5] 张春生, 刘忠保, 施冬. 扇三角洲形成过程及其演变规律[J]. 沉积学报, 2000, 18(4):521-527.

Zhang Chunsheng, Liu Zhongbao, Shi Dong, et a1. Formed proceeding and evolution disciplinarian of fan delta [J]. Acta Sedimentologica Sinica,2000, 18 (4):521-527 (in Chinese with English abstract).

[6] 鄢继华, 陈世悦, 程立华. 扇三角洲亚相定量划分的思考[J]. 沉积学报, 2004, 22(3):443-447.

Yan Jihua, Chen Shiyue, Cheng Lihua, et al. The consideration on the quantitative division of fan delta subfacies [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (3):443-447 (in Chinese with English abstract).

[7] 李思田. 含能源盆地沉积体系研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996:97-106.

Li Sitian. Research of Sedimentary System of Energy Resources Basin [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1996: 97-106 (in Chinese).

[8] 陈波, 黄发木, 夏永涛, 等. 松辽盆地深层断陷发育特征与油气富集[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(4):429-432.

Chen Bo, Huang Famu, Xia Yongtao, et al. Characteristics of development of deep fault depressions and hydrocarbon accumulation in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29 (4):429-432 (in Chinese with English abstract).

[9] 于兴河, 姜辉, 李胜利, 等. 中国东部中生代陆相断陷盆地沉积充填模式及控制因素[J]. 岩性油气藏, 2007, 19 (1) :39-45.

Yu Xinghe, Jiang Hui, Li Shengli, et al. Depositional filling models and controlling factors on Mesozoic and Cenozoic fault basins of terrestrial facies in eastern China [J]. Northwest oil and gas exploration. 2007, 19 (1):39-45 (in Chinese with English abstract).

[10] 刘招君, 孙平昌, 杜江峰, 等. 汤原断陷古近系扇三角洲沉积特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(1):1-7.

Liu Zhaojun, Sun Pingchang, Du Jiangfeng, et a1. Sedimentary Paleocene in characters of fan delta of Tangyuan fault depression[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2010, 40(1):1-7 (in Chinese with English abstract).

[11] 孔凡仙. 东营凹陷北带砂砾岩扇体勘探技术与实践 [J]. 石油学报, 2000, 21 (5): 27-31.

Kong Fanxian. Exploration technique and practice of sandy - conglomeratic fan in the northern part of Dongying depression[J].

- Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(5):27-31 (in Chinese with English abstract).
- [12] 何登发, 贾承造, 李德生, 等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1):64-75.  
He Dengfa, Jia Chengzao, Li Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1):64-75 (in Chinese with English abstract).
- [13] 杜金虎, 王招明, 雷刚林, 等. 柯东 1 风险探井的突破及其战略意义[J]. 中国石油勘探. 2010, 16(2):1-11.  
Du Jinhu, Wang Zhaoming, Lei Ganglin, et al. The breakthrough and strategy significance of Kedong1 risk exploratory well[J]. China Petroleum Exploration, 2010, 16(2):1-11 (in Chinese).
- [14] 何登发, 李宏辉. 塔西南拗陷油气勘探历程与对策[J]. 石油与天然气地质, 1998, 3(1):37-42.  
He Dengfa, Li Honghui. Hydrocarbon exploration history and countermeasure of Taxinan depression [J]. Oil & Gas Geology, 1998, 3(1):37-42 (in Chinese).
- [15] 陈全红, 李可永, 张道锋, 等. 鄂尔多斯盆地本溪组-太原组扇三角洲沉积与油气聚集的关系[J]. 中国地质, 2010, 37(2):421-428.  
Chen Quanhong, Li Keyong, Zhang Daofeng, et al. The relationship between fan delta and hydrocarbon accumulation in Benxi-Taiyuan Formation, Ordos Basin [J]. Geology in China, 2010, 37(2):421-428 (in Chinese with English Abstract).
- [16] 薛良清, Galloway W E. 扇三角洲、辫状河三角洲与三角洲体系
- 的分类[J]. 地质学报, 1991, 65(2):141-153.  
Xue Liangqing, Galloway W E. Fan-delta, braid delta and the classification of delta systems [J]. Acta Geologica Sinica, 1991, 65(2):141-153 (in Chinese with English abstract).
- [17] 郭建林, 贾爱林, 何东博, 等. 滦平上侏罗统-下白垩统扇三角洲露头层序地层学研究[J]. 中国地质, 2007, 34(4):628-635.  
Guo Jianlin, Jia Ailin, He Dongbo, et al. Sequence stratigraphy of Upper Jurassic-Lower Cretaceous fan-delta outcrops in Luanping [J]. Geology in China, 2007, 34(4):628-635 (in Chinese with English abstract).
- [18] 靳松, 朱筱敏, 钟大康. 扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J]. 中国地质, 2006, 33(1):212-220.  
Jin Song, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang. High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distribution characteristics of sand bodies [J]. Geology in China, 2006, 33(1):212-220 (in Chinese with English Abstract).
- [19] 张惠良, 沈扬, 张荣虎, 等. 塔里木盆地西南部昆仑山前下白垩统沉积相特征及石油地质意义[J]. 古地理学报, 2005, 7(2):158-167.  
Zhang Huiliang, Shen Yang, Zhang Ronghu, et al. Characteristics of sedimentary facies and petroleum geological significance of the lower Cretaceous in front of Kunlun mountains in southwestern Tarim Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(2):158-167 (in Chinese with English abstract).

## Depositional features of the fan delta from lower Cretaceous Kezilesu Group in Yecheng sag, southwestern Tarim Basin

HOU Gang-fu<sup>1</sup>, SUN Xiong-wei<sup>2</sup>, LI Chang<sup>1</sup>,  
LIU Qun<sup>1</sup>, ZENG Qing-lu<sup>1</sup>, XIONG Ran<sup>1</sup>, CAO Quan-bin<sup>1</sup>

(1. Petrochina Hangzhou Research institute of Geology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla 841000, Xinjiang, China)

**Abstract:** Based on field outcrop and core observation, combined with mud logging, logging and grain size analysis, the authors found that there are prograded fan delta sediments in lower Cretaceous Kezilesu Group of Yecheng sag, which can be divided into fan delta plain, fan delta frontier underwater distributary channel, mouth bar and interdistributary bay. Fan delta plain was obviously affected by gravity flow, whereas fan delta frontier was mainly affected by traction current. The latter extended limitedly in the direction of the short axis, and extended a considerable distance in superimposition association with adjacent fan delta frontier leaves in the direction of the long axis. Fan delta experienced progradation from the piedmont area to the faulted lake basin, forming mono-faulted fault basin filling model in the direction of the short axis, which was steep slope on one side, and wide and gentle slope on the other side. This sedimentary model controlled not only characteristics of each unit of the fan delta but also microfacies types and sand distribution.

**Key words:** Tarim Basin; Yecheng sag; Kezilesu Group; fan delta; fault basin

**About the first author:** HOU Gang-fu, male, born in 1982, master and engineer, mainly engages in the study of sequence of stratigraphy and reservoirs; E-mail: hougf\_hz@petrochina.com.cn.