

图2 地震剖面反射特征

Fig.2 Seismic profile reflection features

地震剖面的前积反射特征最明显(图2),W9和W8井上砂体较发育,叠瓦状前积现象明显,指示了古水流方向,由西南向东北方向流。

2.3 岩性

通常情况下,距离物源越近,沉积物岩性越粗,粒度越大;距离物源越远,沉积物岩性越细,粒度越小。通过岩芯、壁心和岩屑录井等资料来看,L₂ II c油组在油田西南部的W7、W6、W15和W9井等粗砂岩和砾岩含量偏多,岩性较粗、粒度较大;往东北方向,岩性变细、粒度变小(图3),这表明研究区的物源来自于西南方向。

2.4 单层最大砂厚

单层最大砂岩厚度受水动力、距物源远近、地形影响较大,通常距离物源越近,水动力越强,细粒的泥岩夹层越不容易沉积,隔夹层越少,单层最大砂岩厚度越大;离物源越远,水能量减弱,细粒的泥岩沉积越多,隔夹层发育,单层最大砂岩厚度越小,由图3可看出,在L₂ II c油组研究区西南部的W7、W6、W12和W9井单层最大砂岩厚度较大;往东北方向,厚度变小,到了W14井变为了0 m,这说明研究区的物源来自于西南方向。

3 层序划分

识别不同级别的层序界面是进行层序划分,建立等时层序地层格架的基础和关键^[9]。应用高分辨率层序地层理论,再结合井上岩性—电性以及地震反射终止关系识别出层序界面和洪泛面^[10-12],在涪洲12-A油田流二段划分了2个长期旋回(1个下降半旋回和1个上升半旋回),其中L₂ II油组进一步划分出了

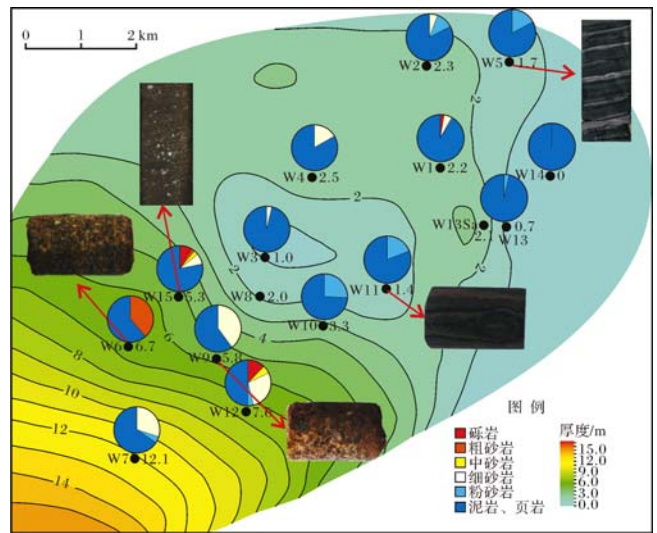


图3 L₂ II c油组单层最大砂厚和岩性分布图

Fig.3 The distribution map of maximum thickness of single sand layer and lithology of L₂ II c

3个中期旋回。L₂ II c油组处在长期下降半旋回晚期,L₂ II b和L₂ II a油组处在长期上升半旋回早、中期。再根据单井的层序划分,建立研究区的等时层序地层格架(图4),在下降半旋回向上升半旋回的转换面(层序界面)处砂体较发育,在洪泛面处泥岩较发育。

4 沉积相类型

由于涪洲12-A油田早期在油田的北部钻井(W1~W5井),在L₂ II油组表现为砂泥岩薄互层,伽马测井曲线表现为中薄层中高幅漏斗型和指状特征,岩性以灰色粉细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,岩芯

上生物潜穴和扰动、波状层理和水平层理发育,认为是滨浅湖滩坝沉积。但后期在研究区的中南部和西南部钻探(W6~W12井)发现岩性比北部粗,岩性以灰色粉砂岩、细砂岩为主,少量中砂岩、粗砂岩和砂砾岩,伽马测井曲线可见大量厚层高幅钟形的河道特征,岩芯上冲刷面、大型槽状交错层理、板状交错层理发育,还可以见植物根茎,是典型的三角洲沉积,明显不是早期的滩坝沉积错误认识。研究区整体为三角洲沉积,北部是三角洲前缘远端的远砂坝和席状沉积,而不是滩坝沉积。

根据区域地质背景、岩芯、壁心、测井、地震属性特征等资料研究认为:研究区沉积相垂向上变化快(底部的L₂ II c油组与顶部的L₂ II b和L₂ II a油组沉积差异明显),L₂ II c油组处于基准面下降晚期,地形较陡,沉积物岩性较粗,砂体发育,岩芯可见大套的砂砾岩,但粗粒砂体分布范围有局限性,伽马测井曲线可见厚层高幅箱形和厚层高幅漏斗形特征,粒度概率累积曲线中悬浮段较发育,表现为重力流特征;随着基准面的上升,填平补齐,地形坡度变缓,沉积物供给也充足,L₂ II b和L₂ II a油组岩性较细,岩芯不见砂砾岩,主要为粉细砂,少量中粗砂岩,砂体分布范围广,伽马测井曲线不见厚层高幅箱形和厚层高幅漏斗形特征,以中层高幅钟形和薄层中高幅指状特征为主,粒度概率累积曲线上表现为跳跃—悬浮两段式,牵引流特征明显。因此认为L₂ II c油组为扇三角洲

前缘沉积,L₂ II b和L₂ II a油组为正常三角洲前缘沉积,总体上,由下往上水体变深,沉积物粒度变细。主要识别和划分出以下几种沉积微相:扇三角洲前缘划分了水下分流河道、辫流坝、河口坝、席状砂、远砂坝和水道间6种沉积微相;正常三角洲前缘划分了水下分流河道、河口坝、席状砂、远砂坝和间湾5种沉积微相(表1)。

4.1 岩芯

W15井进行了2次取芯,共23.37 m,分别在L₂ II a和L₂ II c油组,两者岩性差异明显。由图5可以看出,L₂ II a油组岩性较细,主要为粉砂岩、泥质粉砂岩以及泥岩,常见植物碳屑和云母,偶见植物茎秆,反映了水动力较弱的远物源缓慢沉积;而L₂ II c油组岩性较粗,主要为砾岩,含砾粗砂岩以及粉细砂岩,局部还可以看到一些漂砾和定向排列的砾石,反映了水动力较强的近物源快速沉积。

沉积构造是鉴别沉积环境和划分沉积微相的重要标志,同生期的各种原生构造,最能反映沉积物形成过程中的水动力条件和古地形地貌。通过岩芯观察描述,L₂ II a油组主要发育生物潜穴、生物扰动、波状层理、铁质结核和流水沙纹层理、少量的变形构造,是一种比较典型三角洲前缘席状砂沉积;L₂ II c油组正粒序明显,冲刷面、大型槽状交错层理、板状交错层理和平行层理发育、少量流水沙纹层理,是一种比较典型的水下分流河道沉积(图5)^[13-16]。

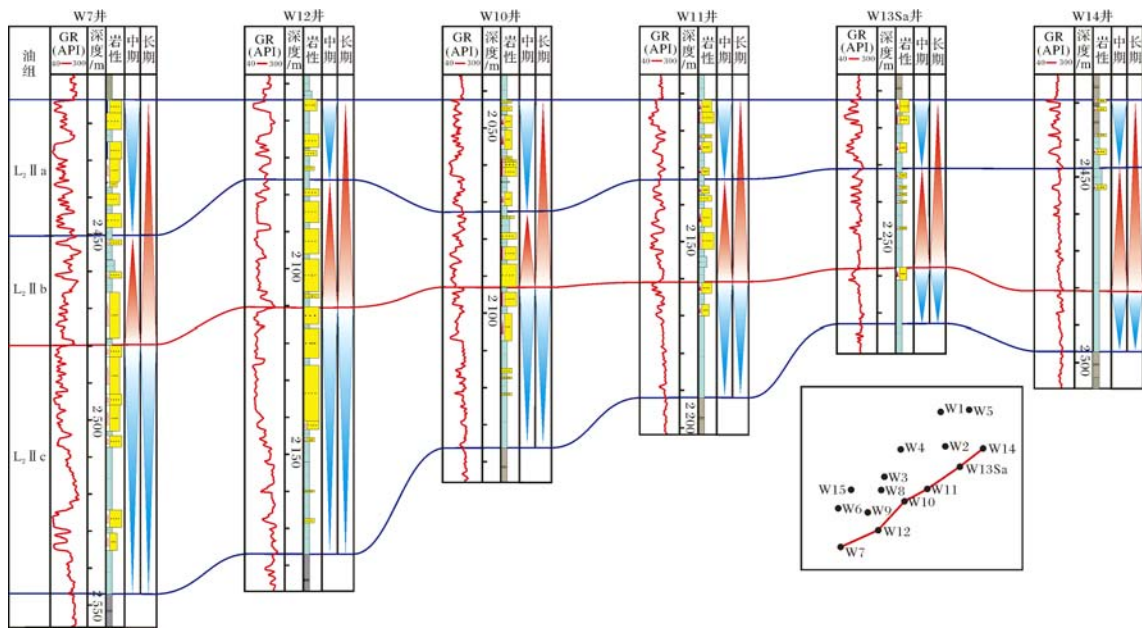


图 4 涠洲 12-A 油田 L₂ II 油组层序地层格架

Fig.4 The sequence stratigraphic framework of L₂ II in Wei Zhou 12-A oilfield

表1 涪洲12-A油田L₂II油组沉积微相划分表

Table 1 The classification of sedimentary microfacies of L₂ II in WeiZhou12-A oilfield

沉积相	岩相组合	沉积特征	测井曲线特征	
扇三角洲前缘	水下分流河道	Gm、Gf→Sp	砾岩、含砾粗砂岩、中砂岩,正粒序,板状和槽状层理发育	高幅钟形
	辫流坝	Sh、Sp→Fr	砾岩、含砾粗砂岩,反粒序不明显,板状和平行层理发育	高幅箱形
	河口坝	Sp→Sm、Sh	中细砂岩为主,反粒序,发育板状层理	高幅漏斗形
	席状砂	Fr、Fh→M1	粉细砂岩为主,砂体厚度较薄,分选磨圆好,沙纹层理发育	中幅指状
	远砂坝	M1→Fr、Fh	粉砂岩和泥质粉砂岩为主,小型沙纹层理和生物扰动发育	中低幅漏斗形
正常三角洲前缘	水道间	M1、Fr、Fh	泥岩为主,常见水平层理、少量小型沙纹层理	低幅平直线形
	水下分流河道	Gm→Sp	含砾中细砂岩,正粒序,板状和槽状交错层理发育	高幅钟形
	河口坝	Sh、Sp→Sm	中细砂岩为主,反粒序,发育板状交错层理	高幅漏斗形
	席状砂	Fh↔M1、Fh	粉细砂岩为主,砂体厚度较薄,分选磨圆好,沙纹层理发育	中幅指状
	远砂坝	M1→Fr、Sw	粉砂岩和泥质粉砂岩为主,小型沙纹层理和生物扰动发育	中低幅漏斗形
间湾	M1、Fh、Fr	泥岩为主,常见水平层理、生物扰动和植物碎屑	低幅平直线形	

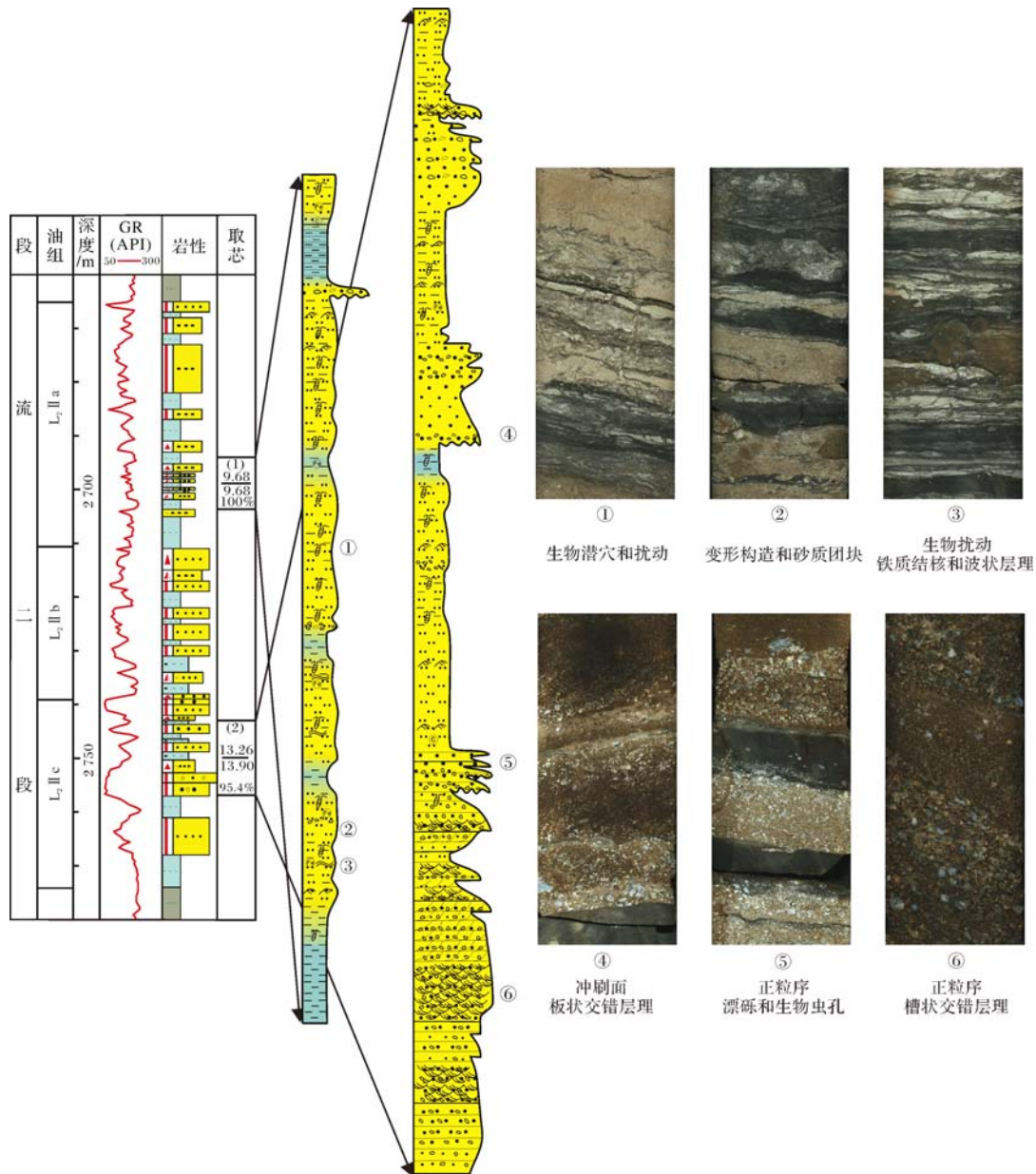


图5 W15井岩芯描述

Fig.5 Core description of Well W15

4.2 粒度

岩石粒度分布和分选性是衡量沉积物搬运介质性质、搬运能力和方式的主要指标之一,是判别沉积环境和水动力条件的良好标志^[17-18],因此粒度分析是沉积微相研究的一种重要手段,通常利用粒度概率累积曲线来分析^[19-20]。L₂ II a 和 L₂ II b 油组的粒度概率累积曲线特征为明显的跳跃—悬浮两段式,跳跃段在 1~4 φ 之间,占 5%~40%,粒度较细,分选中等,牵引流特征明显(图 6); L₂ II c 油组也是跳跃—悬浮两段式,但悬浮段更加发育,跳跃段在 -2~1 φ 之间,粒度较粗,分选较差,偏重力流特征(图 7)。

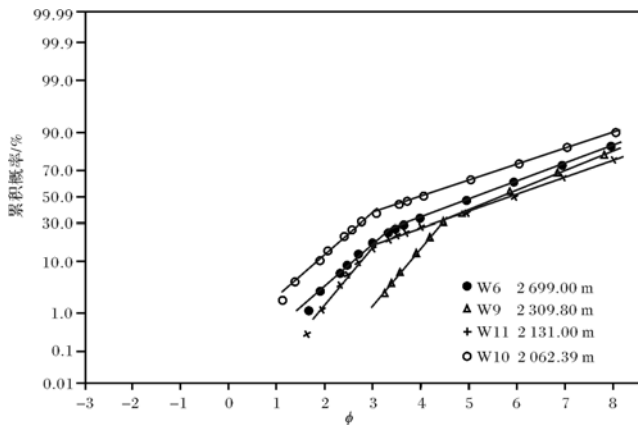


图 6 L₂ II a 和 L₂ II b 油组粒度概率累积曲线

Fig.6 Probability cumulative grain size curves of L₂ II a and L₂ II b

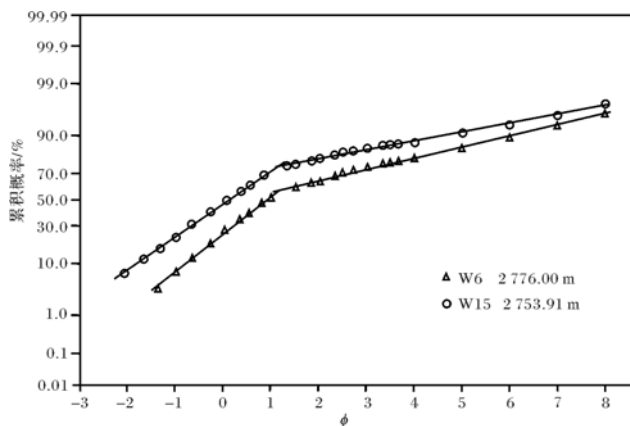


图 7 L₂ II c 油组粒度概率累积曲线

Fig.7 Probability cumulative grain size curves of L₂ II c

4.3 测井响应

不同的沉积体系,在测井曲线上响应差异较大,由于自然伽马曲线对岩性反映较敏感,L₂ II c 油组在自然伽马曲线主要表现为厚层高幅箱形、钟形和漏斗形(辫流坝,水下分流河道和河口坝)^[21],反映了水动

力较强的快速沉积;L₂ II b 和 L₂ II a 油组主要表现为中层中高幅钟形(水下分流河道)、薄层中低幅指状(席状砂),反映了水动力相对较弱的缓慢沉积(图 4)。

5 沉积演化

流二段刚开始沉积时,处于基准面旋回下降初期,湖平面仍然处于高水位,物源供给不足,可容纳空间较大,沉积了大套厚层深湖相色深质纯的黑色或黑褐色泥页岩。随着湖平面的相对下降,到了基准面下降的晚期,在 L₂ II c 油组沉积时期研究区开始接受来自西南方向陡坡带的扇三角洲沉积,由于坡度较陡,点物源供给难以形成较大规模的连片分布,只是在研究区近物源端沉积了大套厚层的灰褐色砾岩、含砾砂岩,分布范围有局限性(图 8);随后在 L₂ II b 油组沉积时期,由于 L₂ II c 油组沉积了扇三角洲,对研究区有一定的填平补齐作用,使坡度相对变缓,此时又处于基准面旋回的上升初期,变成正常三角洲沉积体系,三角洲向湖盆中心延伸范围更广,由于水下分流河道摆动和分叉较多,砂体分布较广,砂体分布面积比 L₂ II c 油组更大;最后在 L₂ II a 油组沉积时期,湖平面短暂性下降,物源供给又充足,三角洲延伸范围最广,由于坡度又变缓,水下分流河道摆动和分叉较多,河道末端由于波浪的淘洗作用,在三角洲末端发育远砂坝砂体。

6 结论

(1) 根据区域构造背景、沉积物岩性、单层最大砂岩厚度和地震反射特征等资料综合认为涪洲 12-A 油田流二段物源来自于西南方向的涪洲 12-8 构造脊。

(2) 流二段 II 油组划分了 2 个长期基准面旋回(1 个下降半旋回和 1 个上升半旋回)、3 个中期基准面旋回。

(3) 识别出了两种沉积相,L₂ II c 油组为扇三角洲沉积,岩性较粗,砾岩,含砾粗砂岩为主、发育大型槽状交错层理和板状交错层理,粒度概率累积曲线中悬浮段较发育,表现为偏重力流特征、测井曲线上常见厚层高幅箱形和漏斗形;L₂ II b 和 L₂ II a 油组为正常三角洲沉积,岩性偏细,细砂岩,粉砂岩为主、生物潜穴和扰动,波状层理发育、粒度概率累积曲线上表现为跳跃—悬浮两段式,牵引流特征明显,测井曲线上常见中层中高幅钟形、薄层中低幅指状。

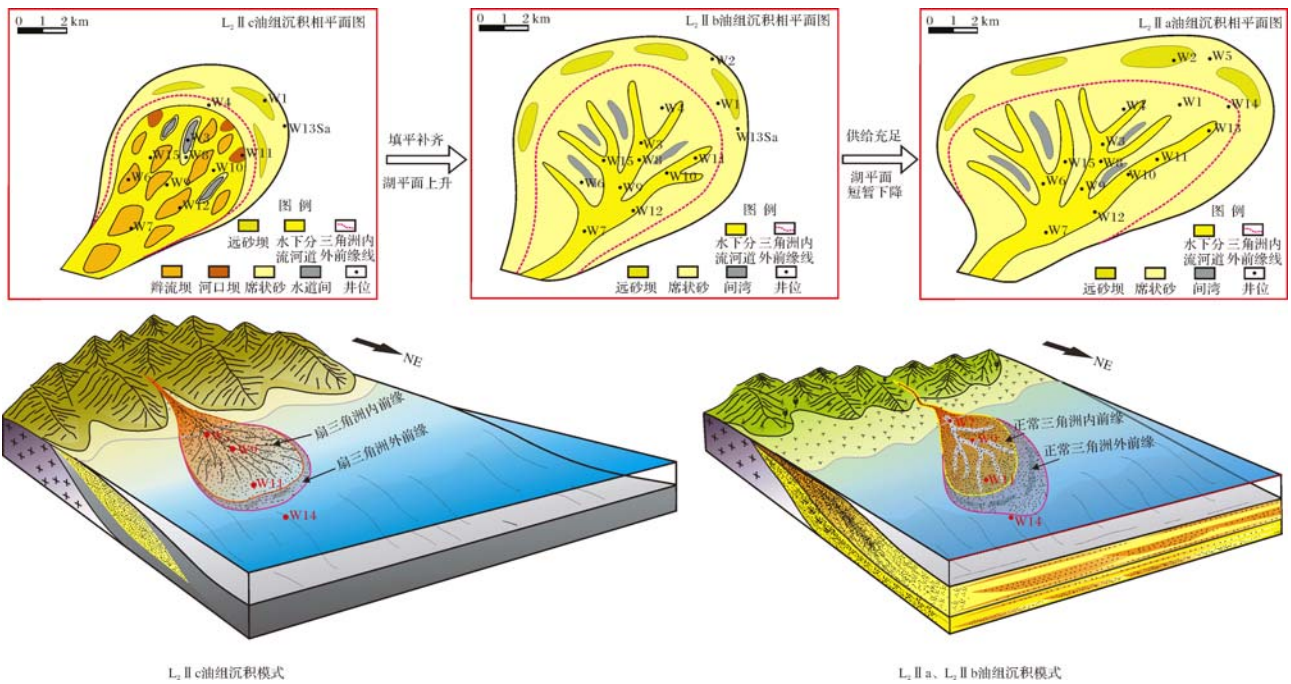


图8 涿洲 12-A 油田 L₂ II 油组沉积演化

Fig.8 Sedimentary evolution of L₂ II in Wei Zhou 12-A oilfield

(4) 厘清了涿洲 12-A 油田流二段 II 油组的演化规律:L₂ II c 油组地形较陡,处于基准面旋回下降晚期,沉积了扇三角洲,近物源沉积,分布范围较小;到了 L₂ II b 和 L₂ II a 油组由于前面的填平补齐作用,坡度变缓,并且随着基准面旋回慢慢上升,沉积物供给充足,演变为正常三角洲沉积,向湖盆中心延伸较远,沉积范围大。

参考文献 (References)

- 1 王健,操应长,李俊良,等. 北部湾盆地涿西南凹陷南坡古近系流二段滩坝砂体分布规律[J]. 沉积学报,2013,31(3):536-544. [Wang Jian, Cao Yingchang, Li Junliang, et al. Distribution of beach bar sandbodies of the Second Member of Liushagang Formation of Paleogene of south slope in Weixinan depression, Beibuwan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(3): 536-544.]
- 2 刘震,谭卓,蔡东升,等. 北部湾盆地涿西南凹陷流沙港组岩性圈闭形成条件[J]. 现代地质,2008,22(2):239-246. [Liu Zhen, Tan Zhuo, Cai Dongsheng, et al. Analysis on forming conditions of lithologic trap in Liushagang Formation, Weixinan depression of BBW Basin [J]. Geoscience, 2008, 22(2): 239-246.]
- 3 赵红格,刘池洋. 物源分析方法及研究进展[J]. 沉积学报,2003,21(3):400-415. [Zhao Hongge, Liu Chiyang. Approaches and prospects of provenance analysis [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 400-415.]
- 4 Lemons D R, Chan M A. Facies architecture and sequence stratigraphy of fine-grained lacustrine deltas along the eastern margin of late Pleisto-

- cene lake Bonneville, northern Utah and southern Idaho [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(4): 635-665.
- 5 贺静,冯胜斌,黄静,等. 物源对鄂尔多斯盆地中部延长组长 6 砂岩孔隙发育的控制作用[J]. 沉积学报,2011,29(1):80-87. [He Jing, Feng Shengbin, Huang Jing, et al. Effects of provenance on porosity development of Chang 6 sandstone of the Yanchang Formation in the center of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(1): 80-87.]
- 6 屈红军,马强,高胜利,等. 物源与沉积相对鄂尔多斯盆地东南部上古生界砂体展布的控制[J]. 沉积学报,2011,29(5):825-834. [Qu Hongjun, Ma Qiang, Gao Shengli, et al. Controls of provenance and depositional facies on sandbody distributions of the Upper Paleozoic in Southeast Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(5): 825-834.]
- 7 王珊,任建业,张云鹏,等. 鸡西盆地早白垩世城子河组和穆棱组物源分析[J]. 沉积学报,2012,30(4):661-671. [Wang Shan, Ren Jianye, Zhang Yunpeng, et al. Provenance analysis of Chengzihe and Muling Formation in Jixi Basin, northeastern China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(4): 661-671.]
- 8 李鹏飞,徐论勋,李建明. 鄂尔多斯盆地华庆地区长 6 期物源分析[J]. 沉积与特提斯地质,2010,30(2):61-65. [Li Pengfei, Xu Lunxun, Li Jianming. Provenances of the Chang 6 oil measures in the Huaqing region, Ordos Basin [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2010, 30(2): 61-65.]
- 9 刘秋宏,卢双舫,李军辉,等. 海拉尔盆地呼和湖凹陷南屯组层序地层与沉积体系分析[J]. 沉积学报,2010,28(2):227-234. [Liu Qiuhong, Lu Shuangfang, Li Junhui, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary system analysis of Nantun Group in Huhehu depression in

- Hailaer Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(2): 227-234.]
- 10 Catuneanu O. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2002, 35(1):1-43.
- 11 蒋凌志,薛良清,池英柳,等. 松辽南部四方坨子地区井—震统一的高分辨率层序划分与对比[J]. *沉积学报*, 2009, 27(3): 470-478. [Jiang Lingzhi, Xue Liangqing, Chi Yingliu, et al. Well-seismic unified high resolution sequence analysis and analogy in Sifangtuozhi area of southern Songliao Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(3): 470-478.]
- 12 王刚,赵霖,王丽静,等. 他拉哈西地区层序地层格架与沉积相分析[J]. *大庆石油学院学报*, 2011, 35(4): 17-23. [Wang Gang, Zhao Lin, Wang Lijing, et al. Stratigraphic framework and the analysis of sedimentary facies in Talahaxi[J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2011, 35(4): 17-23.]
- 13 罗东明,陈召佑,齐文,等. 鄂尔多斯盆地大牛地气田盒2、3段沉积微相研究[J]. *大庆石油地质与开发*, 2007, 26(5): 21-24. [Luo Dongming, Chen Zhaoyou, Lin Wen, et al. Sedimentary microfacies of He2 and He3 Member in Daniudi gas field of Ordos Basin[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2007, 26(5): 21-24.]
- 14 张淑娟,罗永胜,刘大昕. 冀中拗陷饶阳凹陷留楚油田古近系东营组沉积微相及油气开发意义[J]. *古地理学报*, 2008, 10(3): 231-239. [Zhang Shujuan, Luo Yongsheng, Liu Daxin. Sedimentary microfacies of the Paleogene Dongying Formation in Liuchu oilfield in Raoyang sag of Central Hebei depression and its development significance[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2008, 10(3): 231-239.]
- 15 李海燕. 南阳凹陷古近系核桃园组沉积微相研究[J]. *沉积与特提斯地质*, 2008, 28(4): 44-49. [Li Haiyan. Sedimentary microfacies in the Paleogene Hetaoyuan Formation, Nanyang depression[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2008, 28(4): 44-49.]
- 16 董福湘,陈玉魁,曲希玉,等. 长岭凹陷所图地区青山口组沉积微相及砂体分布特征[J]. *世界地质*, 2011, 30(1): 71-79. [Dong Fuxiang, Chen Yukui, Qu Xiyu, et al. Sedimentary microfacies and sand body distributing character in Qingshankou Formation of Suotu area in Changling sag[J]. *Global Geology*, 2011, 30(1): 71-79.]
- 17 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2008:114. [Yu Xinghe. *Clastic Sedimentology of Oil and Gas Reservoirs*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 114.]
- 18 袁静,杜玉民,李云南. 惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度概率累积曲线特征[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(3): 103-106. [Yuan Jing, Du Yumin, Li Yunan. Probability cumulative grain size curves in terrigenous depositional environments of the Paleogene in Huimin sag[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(3): 103-106.]
- 19 Visher G S. Grain size distributions and depositional processes[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1969, 39(3): 1074-1106.
- 20 袁静,杨学君,路智勇,等. 东营凹陷盐22块沙四上亚段砂砾岩粒度概率累积曲线特征[J]. *沉积学报*, 2011, 29(5): 815-824. [Yuan Jing, Yang Xuejun, Lu Zhiyong, et al. Probability cumulative grain size curves in sandy conglomerate of the Upper Es4 in Yan 22 Block, Dongying depression[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 29(5): 815-824.]
- 21 李先平,于兴河,李胜利,等. 冀中拗陷深县凹陷古近系沙河街组沙一段沉积相特征[J]. *古地理学报*, 2011, 13(3): 262-270. [Li Xianping, Yu Xinghe, Li Shengli, et al. Characteristics of sedimentary facies of the Member 1 of Paleogene Shahejie Formation in Shexian sag, Jizhong depression[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2011, 13(3): 262-270.]

Sedimentary Characteristics and Evolution of the 2nd Oil Series in the 2nd Member of Liushagang Formation in Weizhou12-A Oilfield

ZENG Xiaoming¹ ZHANG Hui¹ PENG Song¹ ZHOU Zhan¹ WANG Lei¹ XIE Jing²

(1. Zhanjiang Branch, CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057;

2. Tianjin Branch, CNOOC Ltd., Tianjin 300452)

Abstract: The structure and sedimentary characteristics of the 2nd oil series in the 2nd Member of Liushagang Formation in Weizhou12-A oilfield, Weixinan depression, Beibu Gulf basin were very complex. Based on the analysis of the data of well logging, core and seismic data, it is obvious that the provenance of the 2nd oil series in the 2nd Member of Liushagang Formation in Weizhou12-A oilfield is from the southwest Weizhou 12-8 structure ridge; two long-term base level cycle and three medium-term base level cycles were divided, isochronous sequence stratigraphic framework was established; two sedimentary facies were identified by analyzing the differences of sedimentary characteristics of different oil group, the bottom of the 2nd oil series developed fan-delta depositional system, the top developed normal delta depositional system; the evolution sedimentary characteristics was discussed from the aspect of base level cycle.

Key words: sedimentary facies; evolution law; the 2nd member of Liushagang Formation; Weixinan depression