

# 二连盆地阿尔凹陷腾一上段 湖底扇沉积特征及油气地质意义

姚 威<sup>1</sup>, 吴冲龙<sup>2</sup>

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学(武汉) 计算机学院, 武汉 430074)

**摘要:**综合运用岩心、粒度、测井、地震等资料, 识别出二连盆地阿尔凹陷阿尔 1 井及周边下白垩统腾一上段含油段为湖底扇成因。该湖底扇沉积体以岩心中大量的负载构造、正粒序、块状层理、不完整鲍马序列为其识别标志, 在测井曲线上表现为整体低电阻率、高伽马值背景下的指状突起, 在地震剖面上则呈透镜状。在地震剖面上识别出了湖底扇中扇及外扇亚相, 前者沟道化显著, 而后者则不明显。经阿尔凹陷勘探证实, 湖底扇中扇的块状砂岩, 正粒序砂岩具有较好的物性, 孔隙度平均达到 16.6%, 渗透率平均为  $282 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。该湖底扇毗邻烃源岩, 易形成岩性圈闭, 油气运移和聚集条件优越, 对油气勘探具有重要的意义。

**关键词:**湖底扇; 沉积特征; 腾格尔组; 下白垩统; 阿尔凹陷; 二连盆地

中图分类号: TE121.3

文献标志码: A

## Sedimentary characteristics and petroleum geology of sublacustrine fan of the upper section of the first member of the Tenger Formation in the Aer Sag of the Erlian Basin

Yao Wei<sup>1</sup>, Wu Chonglong<sup>2</sup>

(1. SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China;

2. Department of Computer Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

**Abstract:** The upper section of the first member of the Lower Cretaceous Tenger Formation in well Aer1 and neighboring area in the Aer Sag of the Erlian Basin is an oil-bearing formation sourced from a sublacustrine fan according to core, grain size, logging and seismic data. This fan is marked by abundant load structures, normally graded bedding, massive bedding, and incomplete Bouma sequences. Well logs show finger shapes on a background of low resistance and high GR values. Seismic profiles are characterized by lenticular shapes. A middle fan with obvious channels and a lower fan without significant channels have been recognized on seismic profiles. Source rocks surround massive sandstones or normally graded sandstones in a sublacustrine fan, with relatively high porosity (average 16.6%) and permeability (average  $282 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ) can be regarded as favorable petroleum reservoir.

**Key words:** sublacustrine fan; sedimentary characteristics; Tenger Formation; Lower Cretaceous; Aer Sag; Erlian Basin

湖底扇指的是由水下重力流组成的并堆积于湖底的沉积体系<sup>[1]</sup>。它最早由 Normark 于 1976 年在研究 Superior 湖的时候提出的, 指的是一种类似于海底扇的带供水道湖底扇状沉积<sup>[2]</sup>。赵激林、刘孟慧等借鉴了 Walker 的经典海底扇模式<sup>[3]</sup>, 总结了湖底扇相模式及其在油气预测中的应用, 将湖底扇的概念引入到国内<sup>[4]</sup>。目前, 湖底扇在我国的松辽、北部湾、准噶尔、渤海湾、二连等盆地中均有发现, 并被作为重要的油气勘探目标<sup>[5-16]</sup>。本文通过对二连盆地阿尔凹陷阿尔 1 井腾一上段含

油段的岩心、粒度、测井、地震等资料的分析, 认为该段沉积是以高密度浊流为主的湖底扇; 湖底扇, 特别是其中扇亚相具有良好的储集性能, 可能成为下一步油气勘探的目标。

### 1 区域地质背景

阿尔凹陷位于中国—蒙古边界, 属于二连盆地与海拉尔盆地之间的巴音宝力格隆起区东北部的小型中生代陆相断陷, 是二连盆地众多小凹陷之中的一个(图 1)。凹陷宽 20~30 km, 长约 80 km, 面

收稿日期: 2014-11-10; 修订日期: 2015-10-14。

作者简介: 姚威(1986—), 男, 博士, 从事沉积学及层序地层学研究。E-mail: yaowei5282@163.com。

通讯作者: 吴冲龙(1945—), 男, 教授, 博导, 从事煤及石油天然气地质、地矿信息系统、数学地质等方面的教学和科研工作。E-mail: wucl@cug.edu.cn。

基金项目: 中国石油华北油田科技攻关项目“二连探区阿尔凹陷地层层序及沉积相研究”(HBYT-2009-JS-23)资助。

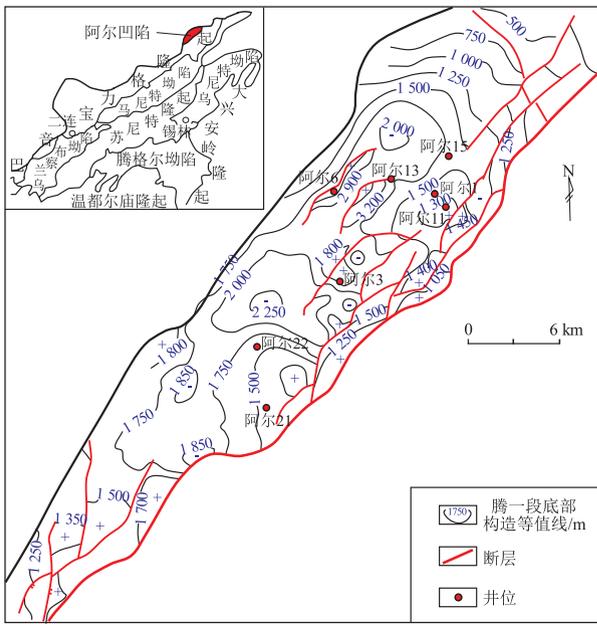


图1 二连盆地阿尔凹陷地理及构造纲要

Fig.1 Geographic location and tectonic map of Aer Sag, Erlian Basin

面积约 2 000 km<sup>2</sup>, 为呈北东走向的狭长型凹陷。阿尔凹陷发育于海西褶皱基底之上, 作为主要盖层的下白垩统地层厚达 3 800 m, 自下而上可分为阿尔善组 (包括阿三段, 阿四段), 腾格尔组 (包括腾一下段, 腾一上段, 腾二段), 赛汉塔拉组。其中阿尔善组发育时期为初期裂陷阶段, 凹陷为不对称双断结构, 东部断层的强烈活动控制了沉降中心的位置。在东部陡坡带发育扇三角洲, 西部缓坡带发育辫状河三角洲; 腾一段沉积时期为裂谷发育阶段, 此时西部对偶断层活动减弱, 凹陷演变为单断结构。东部陡坡带以扇三角洲为主, 西部缓坡带以辫状河三角洲为主。值得注意的是, 在腾一段沉积时期, 东部陡坡带被多个次级断阶分割, 断阶之上的沉积因为断层的活动容易发生滑塌, 在靠近湖盆的低部位发生沉积; 腾二段沉积时期, 阿尔凹陷进入断陷向坳陷的过渡阶段, 以广湖盆、浅水体的泥岩、砂砾岩互层沉积为主; 赛汉塔拉组沉积时期, 湖盆整体抬升, 进入坳陷期, 接受了岩性为砾岩、砂砾岩、泥质砂岩与浅灰色、灰色泥岩互层的河流相、沼泽相沉积<sup>[17]</sup>。

本次研究的层段为腾一上段, 该段沉积时期, 阿尔凹陷处于裂谷发育阶段, 湖盆面积广阔, 为湖底扇的发育提供了背景条件。

## 2 湖底扇特征

### 2.1 沉积特征

阿尔凹陷腾一上段岩性油气藏目前发现主要

位于阿尔 1 井及周边。根据测录井资料显示, 在阿尔 1 井钻遇的 200 m 厚的腾一上段地层中, 泥岩含量达 70%, 且粉砂岩、泥质砂岩、细砂岩、砂砾岩等呈薄层状夹于泥岩之中。这种岩性组合指示了该段沉积时总体较为平静的水动力环境。

腾一上段的取心资料主要有阿尔 1 井的第 4 次和第 5 次取心。岩心主要以细砂岩—粗砂岩与暗色泥岩互层为主, 泥岩单层厚约 0.1~2 cm。砂岩单层相对较厚, 最厚可达十几 cm。砂岩底部常见负载构造 (图 2a), 偶见直径约 1 cm 的细砾石“镶嵌”在泥岩顶面 (图 2b)。砂岩内部常发育正粒序 (图 2a, c)、块状层理 (图 2d)、微型正断层 (图 2e)、水平纹理 (图 2f)。

其中负载构造 (图 2a) 是砂层沉积在富含水的塑性泥层上, 在差异负载作用下形成的, 多见于浊流沉积中; “镶嵌”在泥岩顶面的细砾石 (图 2b) 可能指示了在浊流搬运下, 细砾石在流体底部跳跃, 随着流体能量的降低, 最终在泥岩顶面沉降下来。这一过程将在泥岩表面形成所谓的“沟模”。由于视角的关系, 在岩心上只能观察到这种“镶嵌”在泥岩顶面的细砾石; 正粒序 (图 2a, c) 是浊流的标志性特征, 它的形成是由于大颗粒在浊流中会先于小颗粒沉降下来; 块状层理的砂岩 (图 2d) 可能是水上高浓度流或水下高密度浊流沉积<sup>[18]</sup>, 结合前述分析及泥质含量高达 70% 的事实, 认为这里的块状层理砂岩是水下高密度浊流成因; 水平纹理 (图 2f) 可能是浊流鲍马序列的“AEAE”的垂向叠置; 微型正断层 (图 2e) 可能说明了该套浊积岩沉

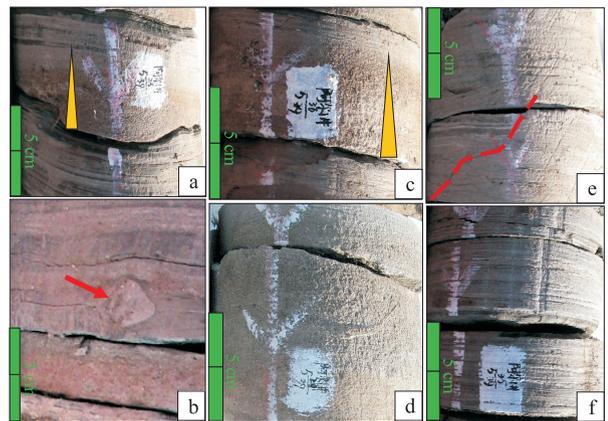


图2 二连盆地阿尔凹陷腾一上段岩心照片

a. 负载构造, 黄色箭头指示向上粒度变细; b. “镶嵌”在泥岩表面的砾石, 红色箭头所示; c. 正粒序砂岩, 黄色箭头指示向上粒度变细; d. 块状砂岩; e. 微型正断层, 如红色线条所示; f. 水平纹理

Fig.2 Photographs of cores from the upper section of the first member of the Lower Cretaceous Teng'er Formation in the Aer Sag of the Erlian Basin

积时期伴随着地震活动的影响。事实上,地震活动被认为是浊流的重要诱发机制<sup>[19]</sup>。

通过对阿尔1井腾一上段第5次取心的含油段的粒度进行分析,得到了其粒度概率累计曲线(图3)。从曲线中可以看到,该段沉积缺乏粗粒的滚动组分,主要由跳跃组分和悬浮组分组成。跳跃组分 $\Phi$ 值介于1~4之间,可分为两段: $\Phi$ 值介于1~2之间的中砂组分的粒度概率累计曲线斜率为50°,所占比例约35%,分选性好; $\Phi$ 值介于2~4之间的细砂组分的粒度概率累计曲线斜率为30°,所占比例约45%,分选性中等。悬浮组分 $\Phi$ 值大于4,主要为粉砂及泥质沉积,其粒度概率累计曲线斜率为5°,所占比例约20%。从粒度概率曲线来看,跳跃组分的两段可能指示了浊流前期较强的水动力及后期较弱的水动力条件。而悬浮组分则是浊流末期的粉砂岩及泥质的沉降结果。

综上所述,从岩心观察到的大量的与浊流相关的沉积构造及粒度概率累计曲线,结合其沉积于水动力条件较平静的环境来看,阿尔凹陷的阿尔1井周边的腾一上段岩性油气藏的砂岩是高密度浊流成因,属于湖底扇沉积。

### 2.2 测井特征

该湖底扇沉积在测井上表现为在整体低电阻率、高伽马值背景下的指状或针状突起(图4)。根据已有的岩心对比自然伽马曲线发现,GR相对低值区域对应较厚的块状或正粒序的浊积砂岩(图4中黄色条带所示),而GR相对高值区域则对应泥岩层或泥岩夹薄层浊积砂岩。前者对应大型浊积事件的产物。根据图4可知,每一个大型浊积事件平均相隔1.22 m(图4左图中黄色条带间的距离)。经过压实校正,该间隔距离的原始沉积厚度

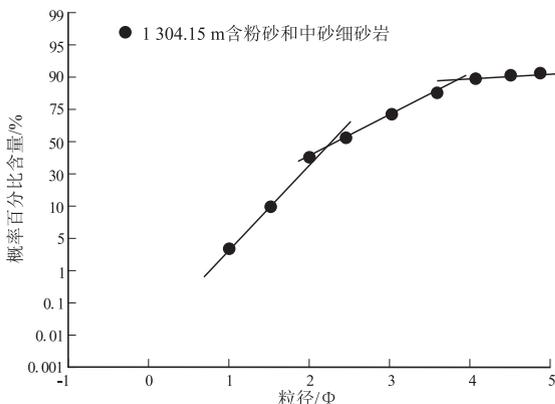


图3 二连盆地阿尔凹陷阿尔1井第5次取心粒度概率累计曲线

Fig.3 Cumulative grain-size probability of the fifth core in well Aer1 in the Aer Sag of the Erlian Basin

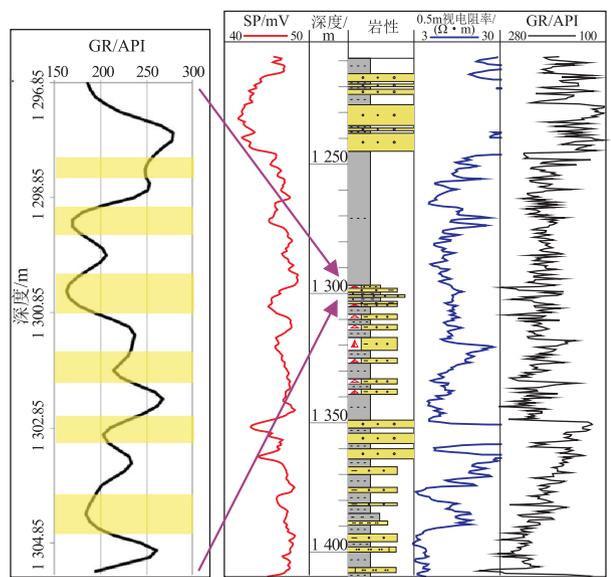


图4 二连盆地阿尔凹陷阿尔1井测井曲线

左为阿尔1井腾一上段第5次取心段的自然伽马曲线,黄色条带指示GR相对低值区域,代表大型浊积事件位置;右为阿尔1井腾一上段测井曲线特征,绿色条带指示湖底扇发育部位,箭头所示为取心位置

Fig.4 Well log of well Aer1 in the Aer Sag of the Erlian Basin

大致为1.83 m。而根据 BasinMod 盆地模拟软件计算,阿尔1井腾一上段沉积速率大概为120 m/Ma。据此推算,腾一上段大型浊积事件之间的周期大概为15 250 a。即在腾一上段沉积时期,大致上平均每隔15 250 a即发生一次大规模的浊积事件。

### 2.3 地震反射及平展展布特征

在地震反射横剖面上,湖底扇呈透镜状。随着搬运距离的增加,透镜体的形状也在发生变化,从近岸的位于斜坡处的“窄且厚”型(图5b黄色虚线所示)逐渐变为远岸的位于湖底平原的“宽且薄”型(图5a绿色虚线所示)。具体而言,前者长约2.3 km,最厚可达200 m,而后者长可达5 km,最厚仅100 m。从图5b可以清楚地看到,“窄且厚”型透镜体被不对称的向北东方向迁移的沉积物充填(图5b右上角图所示),相比而言,“宽且薄”型透镜体内部没有很明显的充填特征(图5a)。

在垂直物源方向,2种类型的透镜体也表现为不一样的反射特征。从图5c的腾一上段顶拉平地地震剖面上,可以看出“窄且厚”型透镜体位于斜坡处,其内部地震波的连续性差,呈垂向叠加(图5c中黄色虚线及方框内示意图)。而“宽且薄”型透镜体则位于湖盆中央地势平坦处,其地震波连续性较好(图5c绿色虚线)。

根据赵激林等<sup>[4]</sup>的湖底扇模式对比可知,阿尔凹陷地震剖面上识别出的“窄且厚”型透镜体属于湖底扇中扇亚相,而“宽且薄”型透镜体属于湖底扇外

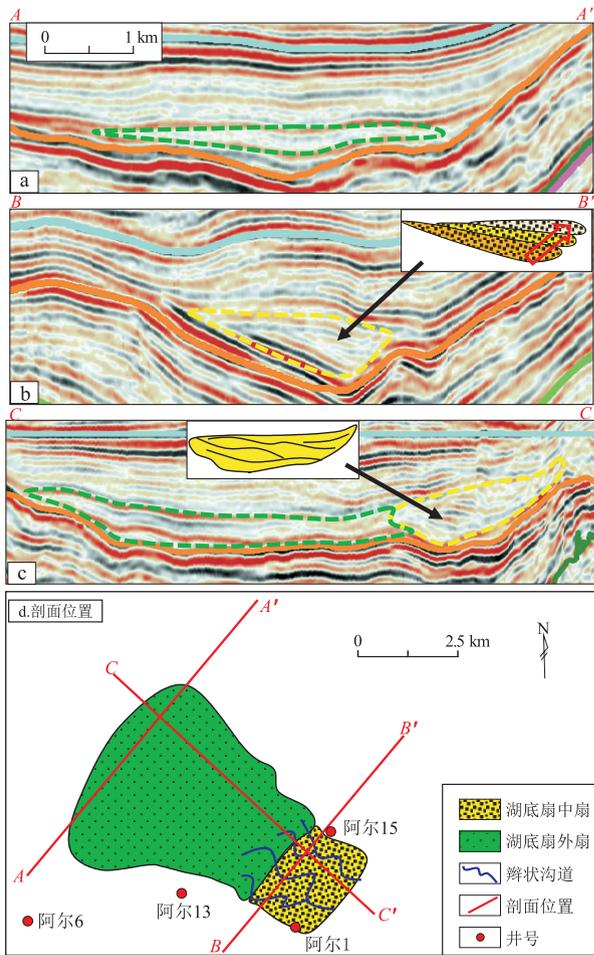


图 5 二连盆地阿尔凹陷地震剖面及剖面位置

Fig.5 Seismic profiles and their location in the Aer Sag of the Erlian Basin

扇亚相。由于内扇亚相可能被断层强烈错动,导致其在地震剖面上难以识别,故在本文中暂不讨论。

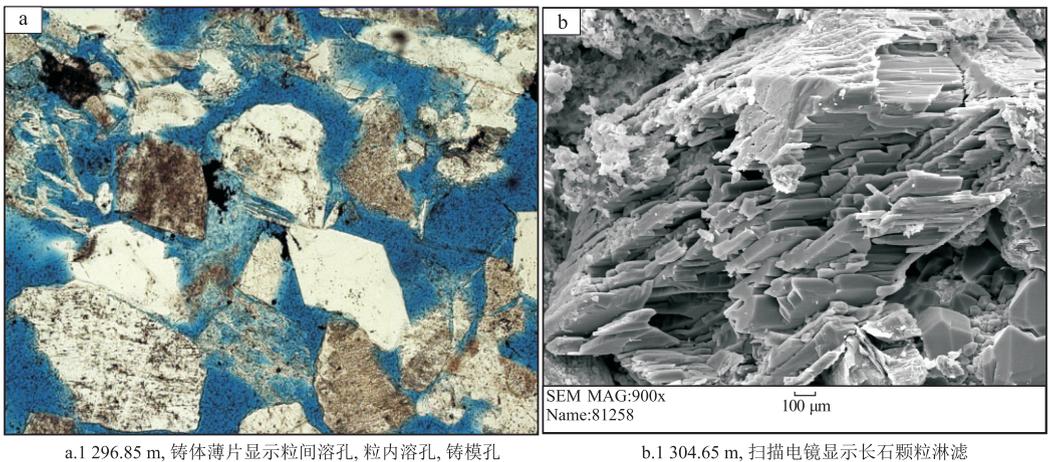
湖底扇中扇亚相多发育于斜坡带及斜坡根部。由于坡度的存在,沉积物在重力的驱动下,具备较强

的下切能力,常在斜坡带及斜坡根部形成一条条“冲沟”。这些“冲沟”被沟道沉积所充填,形成了湖底扇中扇的主体,即辫状沟道微相。辫状沟道微相周边发育岩性较细的沟堤微相。从图 5c,d 可以看出,阿尔 1 井周边湖底扇中扇向湖盆中心方向,即北西方向延伸达 1.7 km,面积达 4.55 km<sup>2</sup>(图 5d 中黄色区域)。该湖底扇中扇在垂直物源的剖面上可见不对称充填的叠加河道,河道整体向北东方向迁移(图 5b 中右上角红色箭头所示);在垂直物源方向的剖面上依然可见大量河道的垂向叠加(图 5c 中黄色虚线及方框内示意图)。阿尔 1 井的腾一上段取心段位于中扇的边缘,其中含油段的块状砂岩、正粒序砂岩可能属于中扇辫状沟道微相。

随着搬运距离的增加,地形逐渐变缓,沉积体的搬运动力也逐渐减弱,对于湖底的下切作用逐渐变小,并最终在平坦的湖底散开形成扇状沉积,也就是湖底扇的外扇部分。跟中扇相比,外扇部分缺乏辫状沟道沉积,对于湖底的下切作用较小,其沉积物面积更广,粒度更细。阿尔 1 井周边湖底扇外扇亚相横向延伸达 5 km,面积达 18.8 km<sup>2</sup>(图 5d 中绿色区域)。

### 3 湖底扇油气地质意义

湖底扇沉积于较深湖环境,夹于大套泥岩之中,既具有良好的烃源岩,又有很好的盖层条件。湖底扇中的块状和正粒序砂岩孔渗性较好,纵向上形成了优越的生储盖组合<sup>[14]</sup>。而且,砂砾岩体本身呈透镜状尖灭于湖相泥岩中,具有很好的侧向封堵条件,往往较易形成岩性圈闭<sup>[20]</sup>。同时,由于湖底扇多沿陡坡阶梯状陡坎下方部位分布,也有利



a.1 296.85 m, 铸体薄片显示粒间溶孔,粒内溶孔,铸模孔

b.1 304.65 m, 扫描电镜显示长石颗粒淋滤

图 6 二连盆地阿尔凹陷阿尔 1 井腾一上段岩心照片

Fig.6 Thin section and scanning electron microscope image of the first member of the Lower Cretaceous Tenger Formation in well Aer1 in the Aer Sag of the Erlian Basin

于形成具有侧向封堵的构造—岩性油藏。

在哈达构造阿尔1井1 292~1 304 m处的岩心中,腾一上段湖底扇砂岩的孔隙度为3.0%~21.2%,平均达到16.6%;渗透率为 $(0.04\sim 749)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均为 $282\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。通过铸体薄片(图6a)和扫描电镜(图6b)检测发现,其孔隙类型多样,以粒间溶孔为主,其次为粒内溶孔、铸模孔和高岭石晶间微孔。该储层属于湖底扇中扇辫状沟道砂体,泥质含量较低,虽然已经进入了中成岩阶段期,并且在构造反转抬升中受风化作用的影响下又形成少量高岭石,但由于溶解作用较强,形成了大量次生溶孔。基于多因素综合评价,该湖底扇砂岩为I类好储层。

## 4 结论

(1)阿尔凹陷阿尔1井及周边腾一上段含油层段属于湖底扇沉积,形成于较深水湖泊环境。其岩心中以大量的负载构造、正粒序等浊流相关的沉积构造为主。测井曲线上显示为低电阻率,高伽马值背景下的指状突起;地震剖面上显示为透镜状沉积。

(2)湖底扇随着搬运距离的增加,从中扇的以辫状沟道为主的沉积逐渐过渡为外扇的沟道不明显的扇状沉积。外扇相对于中扇而言,其对于基底的切作用逐渐变弱,而沉积面积变大。

(3)湖底扇中扇辫状沟道的块状砂岩及正粒序砂岩孔渗性好,被烃源岩包围,加之垂向上叠置、连片,有可能形成较大规模的油气藏,是二连盆地未来重要的隐蔽油气藏勘探方向。

致谢:本文得到了中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司的大力支持,特别是二连室的工作人员提供了丰富的数据资料;此外,比利时根特大学地质与土壤系的Marc De Batist教授给予了岩心描述方面的悉心指导,在此一并感谢。

## 参考文献:

- [1] Lin C S, Eriksson K, Li S T, et al. Sequence architecture, depositional systems, and controls on development of lacustrine basin fills in part of the Erlian basin, northeast China [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(11): 2017-2043.
- [2] Normark W R, Dickson F H. Sublacustrine fan morphology in Lake Superior [J]. AAPG Bulletin, 1976, 60(7): 1021-1036.
- [3] Walker R G. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans; models for exploration for stratigraphic traps [J]. AAPG Bulletin, 1978, 62(6): 932-966.
- [4] 赵激林, 刘孟慧. 湖底扇相模式及其在油气预测中的应用 [J]. 华东石油学院学报, 1984(4): 323-334.

application to oil and gas exploration [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1984(4): 323-334.

- [5] 张庆石, 张革, 陈彬滔, 等. 松辽盆地坳陷期湖底扇沉积特征与分布规律: 以英台地区青山口组为例 [J]. 天然气地球科学, 2014, 25(3): 318-325.
- [6] 肖莉. 罗家地区水下冲积扇与垦西地区扇三角洲沉积特征及沉积模式对比 [J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(3): 36-40.
- [7] 董贵能, 邓勇, 盖永浩, 等. 北部湾盆地涠西南凹陷湖底扇的沉积特征 [J]. 沉积学报, 2014, 32(2): 218-227.
- [8] 杨红君, 郭书生, 刘博, 等. 莺歌海盆地 SE 区上中新统重力流与内波内潮汐沉积新认识 [J]. 石油实验地质, 2013, 35(6): 626-633.
- [9] 尚鲁宁, 吕大炜, 李增学, 等. 琼东南盆地崖南凹陷崖城组辫状河三角洲沉积特征及油气地质意义 [J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(5): 4-9.
- [10] 吴涛, 赵长永, 吴采西, 等. 准噶尔盆地湖底扇沉积特征及地球物理响应: 以克拉玛依油田五八区二叠系下乌尔禾组为例 [J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 85-94.
- [11] 吴奎, 吴俊刚, 张中巧, 等. 辽中凹陷北部湖底扇沉积模式及地震响应特征 [J]. 东北石油大学学报, 2012, 36(5): 33-37.
- [12] 邓毅林, 王天琦, 曹正林, 等. 二连盆地乌里雅斯太凹陷下白垩统湖底扇沉积特征及成因分析 [J]. 天然气地球科学, 2010, 21(5): 786-792.

wana Research, 2014, 25(3) : 1070-1089.

[28] 黄思静, 石和, 毛晓东, 等. 重庆秀山寒武系锶同位素演化曲线及全球对比[J]. 地质论评, 2002, 48(5) : 509-516.  
Huang Sijing, Shi He, Mao Xiaodong, et al. Evolution of Sr isotope of the Cambrian sections in Xiushan, Chongqing, and related global correlation [J]. Geological Review, 2002, 48(5) : 509-516.

[29] 张自超. 我国某些元古宙及早寒武世碳酸盐岩石的锶同位素组成[J]. 地质论评, 1995, 41(4) : 349-354.  
Zhang Zichao. <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr data for some middle-late Proterozoic to early Cambrian carbonate rocks in China [J]. Geological Review, 1995, 41(4) : 349-354.

[30] 薛钧月. 龙门山构造带中—北段构造流体地球化学特征及其与成藏关系的探讨[D]. 成都: 成都理工大学, 2009: 15-46.  
Xue Junyue. The geochemistry of tectonic fluids and a discussion on the hydrocarbon conservation in the central-northern section of Longmenshan Tectonic Belt, Western Sichuan, China [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2009: 15-46.

[31] 郑荣才, 彭军, 高红灿, 等. 川西坳陷断裂活动期次、热流性质和油气成藏过程分析[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2003, 30(6) : 551-558.  
Zheng Rongcai, Peng Jun, Gao Hongcan, et al. Analysis of fracture active stages, heat fluid nature and the process of forming reservoir in Western Sichuan Sag [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2003, 30(6) : 551-558.

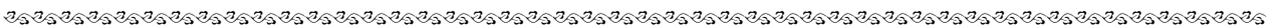
[32] 陶士振. 内生矿物序次是确定包裹体期次的根本依据[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(2) : 154-160.  
Tao Shizhen. Sequence of diagenetic authigenic mineral: The basis of timing the inclusions formation in sedimentary rocks [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(2) : 154-160.

[33] 郑冰. 中扬子区多源、多期油气成藏地球化学研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2008: 30-111.  
Zheng Bing. Geochemical study of hydrocarbon accumulations with multiple sources and multiple generation stages in the middle Yangzi area [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008: 30-111.

[34] 周雁, 金之钧, 朱东亚, 等. 油气盖层研究现状与认识进展[J]. 石油实验地质, 2012, 34(3) : 234-245, 251.  
Zhou Yan, Jin Zhijun, Zhu Dongya, et al. Current status and progress in research of hydrocarbon cap rocks [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(3) : 234-245, 251.

[35] 卓勤功, 李勇, 宋岩, 等. 塔里木盆地库车坳陷克拉苏构造带古近系膏盐岩盖层演化与圈闭有效性[J]. 石油实验地质, 2013, 35(1) : 42-47.  
Zhu Qingong, Li Yong, Song Yan, et al. Evolution of Paleogene saline deposits and effectiveness of traps in Kelasu tectonic zone, Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(1) : 42-47.

(编辑 韩 或)



(上接第 741 页)

[13] 张成林, 黄志龙, 卢学军, 等. 二连盆地巴音都兰凹陷油气资源空间分布研究[J]. 断块油气田, 2014, 21(5) : 550-554.  
Zhang Chenglin, Huang Zhilong, Lu Xuejun, et al. Research on spatial distribution of petroleum resources in Bayindulan Sag of Erlian Basin [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2014, 21(5) : 550-554.

[14] 崔周旗, 李文厚, 吴健平, 等. 乌里雅斯太凹陷斜坡带湖底扇相砾岩体沉积特征与隐蔽油藏勘探[J]. 沉积学报, 2005, 23(1) : 21-28.  
Cui Zhouqi, Li Wenhou, Wu Jianping, et al. The depositional characteristics of conglomerate bodies and exploration in subtle oil pools of sublacustrine fan facies in slope zone, Wuliyasitai Sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(1) : 21-28.

[15] 吴远坤, 陈吉, 王春红, 等. 南堡凹陷深层砂质碎屑流储层特征[J]. 特种油气藏, 2014, 21(6) : 57-60.  
Wu Yuankun, Chen Ji, Wang Chunhong, et al. Features of deep sandy debris flow reservoir in Nanpu Sag [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(6) : 57-60.

[16] 纪友亮, 李清山, 王勇, 等. 高邮凹陷古近系戴南组扇三角洲沉积体系及其沉积相模式[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(1) : 9-19.  
Ji Youliang, Li Qingshan, Wang Yong, et al. Fan delta sedimentary system and facies models of dainan formation of Paleogene in Gaoyou Sag [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2012, 34(1) : 9-19.

[17] 赵贤正, 降栓奇, 淡伟宁, 等. 二连盆地阿尔凹陷石油地质特征研究[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(1) : 12-17.  
Zhao Xianzheng, Jiang Shuanqi, Dan Weining, et al. Petroleum geologic characteristics of Artala Sag in Erlian Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(1) : 12-17.

[18] Horton B K, Schmitt J G. Sedimentology of a lacustrine fan-delta system, Miocene Horse Camp Formation, Nevada, USA [J]. Sedimentology, 1996, 43(1) : 133-155.

[19] 张关龙, 陈世悦, 鄢继华, 等. 三角洲前缘滑塌浊积体形成过程模拟[J]. 沉积学报, 2006, 24(1) : 50-55.  
Zhang Guanlong, Chen Shiyue, Yan Jihua, et al. Simulation of luxoturbidite in front of delta [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1) : 50-55.

[20] 徐显生, 王建新, 杨婷, 等. 贝尔凹陷南屯组湖底扇特征及有利储集相带[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(4) : 361-364.  
Xu Xiansheng, Wang Jianxin, Yang Ting, et al. Characteristics and favorable reservoir facies belt of sublacustrine fan of Nantun Formation in Beier Sag, Hailaer Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(4) : 361-364.

(编辑 徐文明)