

肖大坤,林承焰,马立民,等. 扇三角洲单期扇体解剖方法及组合样式——以贝尔凹陷苏德尔特油田兴安岭油层为例[J]. 地球科学与环境学报, 2018, 40(3): 334-346.

XIAO Da-kun, LIN Cheng-yan, MA Li-min, et al. Description Method and Assemble Patterns of Single Fan from Fan Delta—A Case Study of Xing'anling Reservoir, Sude'erte Oilfield, Bei'er Depression, China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2018, 40(3): 334-346.

## 扇三角洲单期扇体解剖方法及组合样式 ——以贝尔凹陷苏德尔特油田兴安岭油层为例

肖大坤<sup>1</sup>, 林承焰<sup>2</sup>, 马立民<sup>3</sup>, 任丽华<sup>2</sup>

(1. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028; 2. 中国石油大学(华东) 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 3. 中国石油冀东油田公司勘探开发研究院, 河北 唐山 063004)

**摘要:** 基于前人扇三角洲储层构型研究成果, 以贝尔凹陷苏德尔特油田兴安岭油层为例, 探讨扇三角洲单期扇体的构型解剖方法及扇体组合样式。扇三角洲单期扇体的构型解剖需完成点、线、面3个层次的研究。首先, 单井分析构建单期扇体与高分辨率层序构型单元的对应关系, 厘定纵向研究尺度; 然后, 扇体连井对比搭建合适的层序地层格架, 通过识别沉积旋回的横向变化刻画扇体主体和扇体侧缘部位; 最后, 通过地震属性手段刻画扇体的具体边界位置。通过对苏德尔特油田兴安岭油层扇三角洲沉积进行单期扇体精细解剖, 总结单期扇体的3类组合样式, 即孤立扇型、叠置扇型、接触扇型。其中, 孤立扇型组合可进一步划分为同供水道型、异供水道型两种亚类; 叠置扇型组合根据叠置方向的差异, 可进一步划分为垂向叠置扇、侧向叠置扇两种亚类; 接触扇型组合根据扇体的级次关系可进一步划分为主次接触扇、同级接触扇两种亚类。

**关键词:** 扇三角洲; 组合样式; 储层构型; 高分辨率; 储层对比; 地震属性; 兴安岭油层; 贝尔凹陷

**中图分类号:** P512.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6561(2018)03-0334-13

## Description Method and Assemble Patterns of Single Fan from Fan Delta —A Case Study of Xing'anling Reservoir, Sude'erte Oilfield, Bei'er Depression, China

XIAO Da-kun<sup>1</sup>, LIN Cheng-yan<sup>2</sup>, MA Li-min<sup>3</sup>, REN Li-hua<sup>2</sup>

(1. CNOOC Research Institute Co. Ltd., Beijing 100028, China; 2. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan 063004, Hebei, China)

**Abstract:** Based on the previous study of fan delta reservoir architecture, taking Xing'anling reservoir of Sude'erte oilfield in Bei'er depression, China as example, the architecture description method and fan body assemble patterns of single fan in fan delta were discussed. Single fan architecture description of fan delta should be achieved in 3 dimensions, including point, line and plane. Firstly, corresponding relation between single fan and high-resolution sequence units is built to clarify the vertical scale through single well analysis; secondly, well correlation for fans is made to build proper sequence stratigraphic skeleton, and the main and margin portion of fans are identified by recognizing lateral variations of deposition cycle; finally, fan boundary is

收稿日期: 2017-11-03; 修回日期: 2018-03-06

投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目: 国家科技重大专项项目(2017ZX05009-001); 中国石油大庆油田公司勘探开发研究院科研项目

作者简介: 肖大坤(1988-), 男, 山东聊城人, 工程师, E-mail: xiaodk3@cnooc.com.cn.

described by seismic attributes. Single fan fine description of fan delta in Xing'anling reservoir of Sude'erte oilfield was carried out, and 3 assemble patterns for single fan bodies were summarized, namely, isolated, superimposed and contact fans. Isolated fans can be subdivided into isolated fans with same supply channels and with different supply channels; according to the differences of superimposed orientation, the superimposed fans can be subdivided into vertically and laterally superimposed fans; according to the levels of fans, the contact fans can be subdivided into different-level and same-level contact fans.

**Key words:** fan delta; assemble pattern; reservoir architecture; high-resolution; reservoir correlation; seismic attribute; Xing'anling reservoir; Bei'er depression

## 0 引言

尽管扇三角洲储层构型目前尚无统一的分级体系<sup>[1-2]</sup>,但在河流相储层构型成熟分级体系的经验基础上,多数学者对于扇三角洲储层构型已形成了统一的级次认识<sup>[3-9]</sup>,包括多期朵叶复合体(六级)、单期扇体(五级)、单一流水道或单一河口坝(四级)、分流水道内部增生体(三级)、交错纹层组(二级)、纹层组(一级)等不同级次。在具体表征方面,目前研究多集中于扇三角洲前缘亚相的各级构型单元(如单一流水道或单一河口坝以及分流水道内部增生体属于四级至三级构型表征),而对于尺度规模较大的五级构型单元(即单期扇体)的构型表征研究较少。

基于前人研究成果,结合油田开发实践经历,相比于三级、四级构型,扇三角洲储层五级构型表征虽然尺度较大,但难度更大,也更为重要。单期扇体是在扇三角洲、冲积扇或近岸水下扇等沉积体系发育过程中,在事件性主控因素作用下形成的单一沉积时间单元。五级构型(即单期扇体)的发育既受控于湖平面变化、构造活动或沉积物供给量变化等异旋回沉积<sup>[10]</sup>,也受沉积环境、微地形等自旋回沉积控制因素影响<sup>[11]</sup>,形成多种不同组合样式<sup>[12-16]</sup>。与之相比,六级以上的扇三角洲储层构型单元主要受控于异旋回沉积,构型表征主要在于实现纵向上的多期次细分;而四级以下的构型单元则更多地受控于自旋回沉积,构型表征则主要体现在平面上实现各构型单元的划分。由此可见,扇三角洲五级构型(即单期扇体)作为纵向细分的最小单元,是整个构型体系研究中最关键的单元,五级构型的表征精度不够必然导致后续级次研究出现混乱。因此,研究单期扇体的解剖方法,明确单期扇体的展布规律和组合样式,对于提高扇三角洲储层构型表征质量具有重要意义。本文以陆上典型的扇三角洲油田——贝尔

凹陷苏德尔特油田兴安岭油层为例,阐述了扇三角洲单期扇体解剖方法及可能存在的组合样式。

## 1 研究区概况

苏德尔特油田位于内蒙古自治区呼伦贝尔市新巴尔虎右旗贝尔苏木境内,构造位置位于海拉尔盆地西南侧二级构造贝尔凹陷<sup>[17-19]</sup>(图1)。贝尔凹陷由两隆、三凹、一斜坡组成,苏德尔特油田位于贝尔凹陷中部的苏德尔特断裂构造带,构造带内受雁列状断裂系统控制,被分割为断块、断鼻、断背斜等若干构造单元,主力断块为贝28、贝14和贝16断块<sup>[20-21]</sup>。

白垩系兴安岭油层是苏德尔特油田的重要含油层位之一(表1),由铜钵庙组和南屯组一段(简称“南一段”)组成。在白垩纪多期次构造运动的叠合影响下,苏德尔特地区古地形高差起伏剧烈,受局部古隆起物源供给控制,形成多物源、短流程、快速堆积的扇三角洲沉积体系。南一段I、II油组是兴安岭油层的主力油组<sup>[22]</sup>,受扇三角洲储层非均质性影响,油田目前开发面临的平面矛盾严重。本文以这两个油组的重点小层单元为例,阐述扇三角洲单期扇体构型的解剖方法及成果认识。

## 2 研究资料与分析方法

贝尔凹陷苏德尔特油田主力含油断块已进入整体开发阶段,基础资料丰富,包括开发井近500余口,平均井距约200 m。三维地震资料垂向分辨率约40 m。由于研究区井网密度大且地震资料分辨率相对较低,针对兴安岭油层扇三角洲储层,本次采用以井为主、井震结合的研究方法,以储层精细划分对比技术为核心,通过沉积模式约束,细化剖析巨厚储层,完成单期扇体刻画。

针对单期扇体开展精细识别与划分,需要在点、线、面3个层次上开展,彼此交互验证。首先,开展单期扇体的纵向细分。在岩电标定的基础上,借助

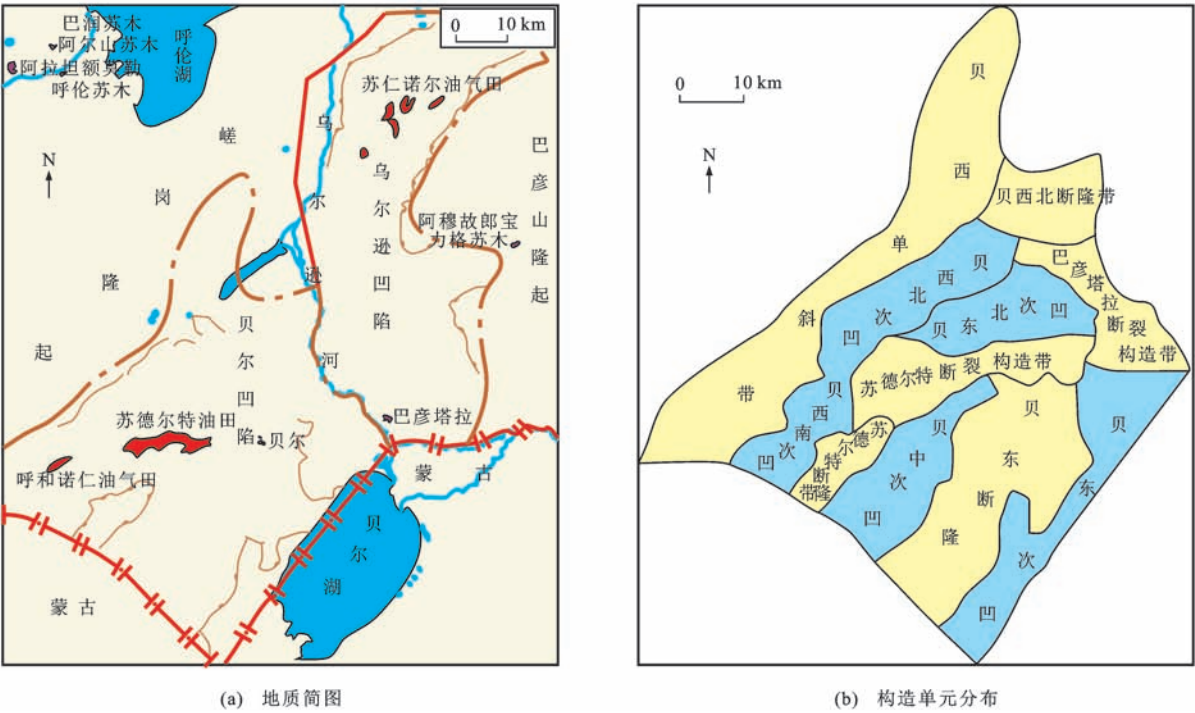


图 1 贝尔凹陷苏德尔特油田地质简图及构造单元分布

Fig. 1 Geological Skecth Map and Structural Unit Distribution in Sude'erte Oilfield of Bei'er Depression

表 1 苏德尔特油田地层简表

Tab. 1 Stratigraphic Chart of Sude'erte Oilfield

地层					油组	地层厚度/m	岩性简述	
界	系	群	组	段				
中生界	白垩系	贝尔湖群	青元岗组			150~220	紫红、灰绿色泥岩与灰色泥质粉砂岩、粉砂岩、杂色砂砾岩呈不等厚互层	
		扎赉诺尔群	伊敏组	三段		200~400	灰白色砂岩、灰绿色泥岩	
				二段		200~300	灰色泥岩、厚砂岩夹煤层	
				一段		250~550	厚层泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩夹煤层	
			大磨拐河组	二段		140~560	黑灰色砂泥岩、部分地区夹煤层	
				一段		350~400	大段厚层黑色泥岩夹砂岩	
			南屯组	二段		150~300	砂泥岩薄互层夹煤层	
				一段	兴安岭油层		30~130	黑色泥岩、粉砂岩
						I	10~240	沉凝灰岩、凝灰质砂岩、凝灰质砂砾岩
						II	20~120	沉凝灰岩、凝灰质砂岩、凝灰质砂砾岩
		III				40~150	砂砾岩、粗砂岩至细砂岩、细砂粉砂岩或不等粒砂岩	
		IV	20~200	火山碎屑岩夹砂泥岩				
				V	200~800	厚层砂砾岩夹薄层砂泥岩		
	三叠系	布达特群					轻微变质含碳质粉砂岩、不等粒长石岩屑砂岩	

注:虚线为不整合面。

时频分析手段<sup>[23-27]</sup>,开展单井高分辨率层序构型<sup>[28-29]</sup>分析,厘定单期扇体与基准面旋回变化的对应关系,从而将单期扇体的划分与层序构型单元联系起来,实现复合扇体的纵向期次细分。其次,连井对比识别单期扇体主体位置。在单期扇体所对应的层序构型格架约束下,通过分析更小尺度的沉积旋回变化,划分出扇体的主体部位与侧缘部位,从而在单期次复合扇体内初步划分各单期扇体的范围。最后,井震结合刻画扇体边界。在单期次复合扇体的层序格架约束下,制作敏感地震属性切片<sup>[30-32]</sup>,识别各单期扇体的边界,完成精细刻画。

### 3 构型解剖

以贝尔凹陷苏德尔特油田兴安岭油层南一段Ⅰ、Ⅱ油组为例,融合岩、电、震等多尺度信息,综合运用时频分析、地震属性等技术手段,阐述单期扇体的方法运用和解剖过程,落实单期扇体的空间展布。

#### 3.1 单期扇体的纵向细分

基准面旋回变化包括升降类型组合及升降速率,不同的升降类型组合控制单期扇体的纵向演化<sup>[33-35]</sup>。通过岩芯标定,划分不同级次的基准面旋回,识别单期扇体的岩性序列变化及电测响应,可构建单期扇体纵向尺度与基准面旋回之间的对应关系。

贝尔凹陷苏德尔特地区兴安岭油层典型井南一段Ⅰ、Ⅱ油组层序地层特征显示(图2),Ⅰ、Ⅱ油组地层分别为完整的中期基准面旋回。在中期基准面旋回划分基础上,借助岩芯、电测响应特征,进一步划分短期及超短期基准面旋回。井旁地震道数据的时频分析结果<sup>[23-27]</sup>显示:基准面下降半旋回阶段早期,岩性序列以砂泥岩薄互层特征为主,时频分析剖面出现高频响应;在基准面旋回转换阶段,扇体规模最大且内部夹层发育较少,时频分析剖面以低频响应为主;整体基准面呈现早期缓慢下降、后期快速上升的特征,油组内沉积储层由扇三角洲多期扇体复合而成,与扇三角洲储层六级构型相对应。

典型井岩芯特征描述记录(图2)显示,完整的单期扇体岩性序列表现为不同类型沉积韵律特征。一种为向上变细的韵律变化,如Ⅱ油组11小层,与短期基准面早期快速下降、后期缓慢抬升的过程相对应;另一种为向上变粗的韵律变化,如Ⅰ油组8、9小层,与短期基准面先缓慢下降、后快速抬升的过程相对应。两种类型扇体顶、底均发育明显的岩性突变界面,内部由于分流水道多期叠置,还可出现次级韵律变化。由于沉积微相的平面差异,单期扇体边缘

以水道末端沉积或河口坝沉积为主,沉积旋回多以反旋回为主,而单期扇体主体以分流水道为主,基准面旋回变化将直接影响单期扇体主体分流水道规模和岩性序列,正旋回或反旋回均可能发育。综上所述,短期基准面旋回与单期扇体纵向尺度相当。

#### 3.2 连井对比识别单期扇体

贝尔凹陷苏德尔特油田兴安岭油层扇三角洲多期扇体叠置程度高,形成巨厚的沉积储层,针对单期扇体开展邻井对比识别的关键在于厘定沉积旋回的横向变化趋势。具体地说,在高分辨率层序构型<sup>[28-29]</sup>基础上,将属于同一短期基准面旋回变化阶段内的多套储层作为整体研究,适当忽略内部夹层,根据测井相的井间变化判断沉积旋回的横向变化,进而识别单期扇体的主体及边缘位置。

连井单期扇体对比(图3)结果显示:苏德尔特油田兴安岭油层扇三角洲单期扇体主体部位储层厚度大(最厚可达20 m),内部夹层较不发育,多为复合沉积旋回或反旋回组合;扇体边缘部位以砂泥岩薄互层为主,沉积旋回多为单一反旋回或正旋回。扇体内部的沉积旋回变化主要有两种形式:一种为自扇体主体向扇体边缘,沉积旋回由以多期河口坝叠合而成的反旋回组合逐渐过渡为单一反旋回,下伏早期扇体基本未遭受侵蚀,单期扇体发育较为完整;另一种为自扇体主体向扇体边缘,沉积旋回由多期分流水道为主的复合旋回过渡为以河口坝为主的单一反旋回,局部对下伏早期扇体冲刷侵蚀,形成叠置扇体,上覆扇体一般发育较为完整,下伏扇体发育不完整。此外,受沉积微相差异影响,单一完整扇体的主体和边缘部位也具有不同测井特征。扇体主体部位主水道或多期水道叠置发育区多以高幅钟形或箱形为主,夹层发育差,水道侧缘一般为漏斗状复合指形,内部夹层较为发育。扇体边缘部位受末端水道影响,多以低幅钟形为主,而末端朵叶体则多呈低幅漏斗形特征。

#### 3.3 井震结合刻画扇体边界

贝尔凹陷苏德尔特油田兴安岭油层南一段地震资料纵向分辨率较低,根据地震沉积学原理<sup>[30-32]</sup>,可利用地震信息的横向分辨率优势,在单期扇体连井对比基础上,通过地震属性分析进一步刻画复合扇体及单期扇体的边界。

针对兴安岭油层贝14断块南一段Ⅰ油组8小层进行地震属性敏感性分析,选择振幅属性作为描述扇体展布的敏感属性[图4(a)]。断块内部地震属性及扇体展布特征主要有:①均方根振幅平面属性



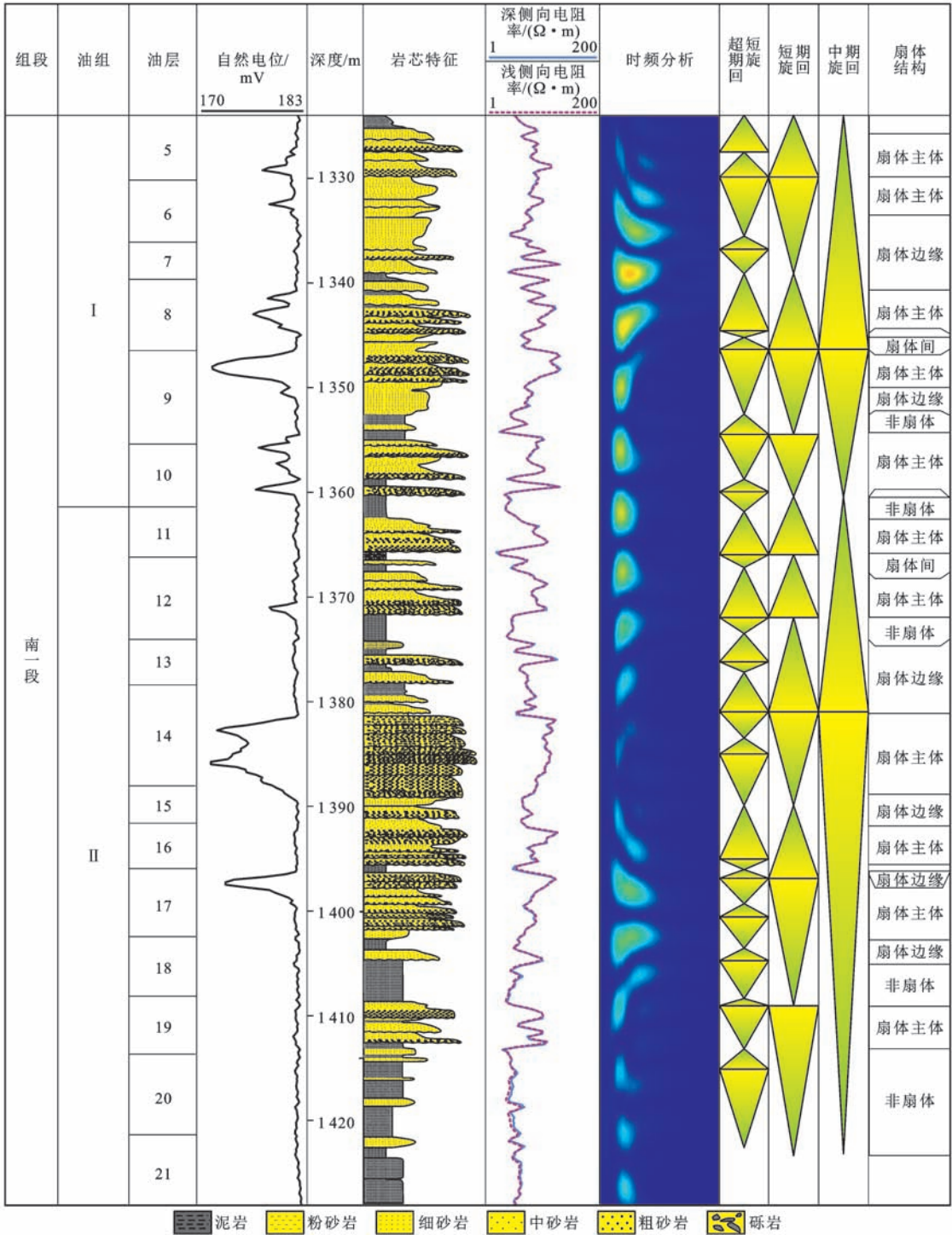


Fig. 2 High-resolution Sequence Stratigraphic Column of Fan Delta from Well D118-190 in Xing'anling Reservoir

响应条带具有明显的裙带状反射外形,靠近扇体根部的地震属性呈现异常强反射特征,向扇体边缘逐渐减弱,扇体不发育区储层厚度薄[图 4(b)],地震属性响应最弱,因此,地震属性强度变化的位置能够清楚地指示复合扇体外边界;②复合扇体内部地震属性响应呈现较强的非均质性特征,强振幅区域内存在一定的弱反射条带,井震结合表明这些条带是储

层厚度较薄导致的,因此,条带的分布可指示复合扇体内部各单期扇体的边界;③井震信息综合显示,贝 14 断块受来自南部的物源影响,自南向北发育扇三角洲沉积,其扇体推进范围较为局限但侧向迁移展布范围较大。I 油层 8 小层平面上共发育 4、5 期单期扇体[图 4(c)],各单期扇体的展布形态及发育规模存在差异,横向范围为 500~1 000 m。

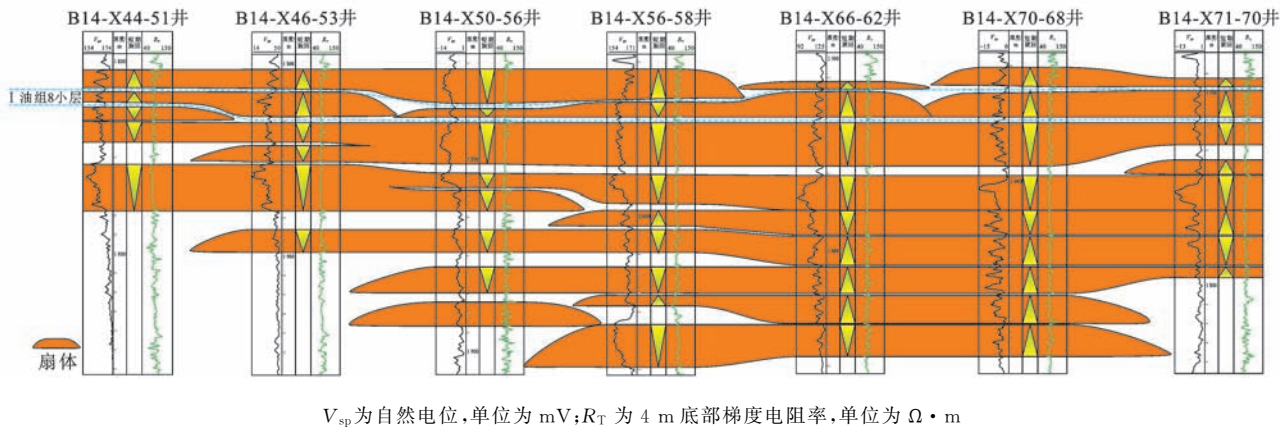


图 3 兴安岭油层扇三角洲连井单期扇体对比

Fig. 3 Single Fan Bodies Correlation of Fan Delta Connection Wells in Xing'anling Reservoir

4 组合样式

Ⅱ油组扇体解剖,综合分析各单期扇体之间的空间接触关系。结果表明,该地区扇三角洲单期扇体沉积具有孤立扇型、叠置扇型、接触扇型 3 种组合样式(表 2)。

表 2 兴安岭油层扇三角洲单期扇体组合样式

Tab. 2 Single Fan Body Assemble Patterns of Fan Delta in Xing'anling Reservoir

扇体组合类型	孤立扇型		叠置扇型		接触扇型	
	同供给水道型孤立扇	异供给水道型孤立扇	垂向叠置扇	侧向叠置扇	主次接触扇	同级接触扇
基准面旋回	短期旋回	短期旋回	中期旋回、短期旋回	中期旋回、短期旋回	短期旋回、超短期旋回	短期旋回、超短期旋回
分布层位	I 油组3~5小层、II 油组21~23小层	I 油组1、2小层, I 油组10小层, II 油组24~26小层	II 油组11~18小层	I 油组8、9小层, II 油组11~18小层	I 油组6、7小层, II 油组11~16小层	I 油组6、7小层, II 油组11~16小层
剖面模式图						
平面模式图						
储层对比原则	顶面等时、近源叠置、远源孤立	顶面等时、侧向渐变、近远源皆孤立	核部叠置、外缘分离	突变接触、缘心叠置	顶面等时、稳定接触、侧向渐变	顶面等时、稳定接触、侧向孤立

4.1 孤立扇型

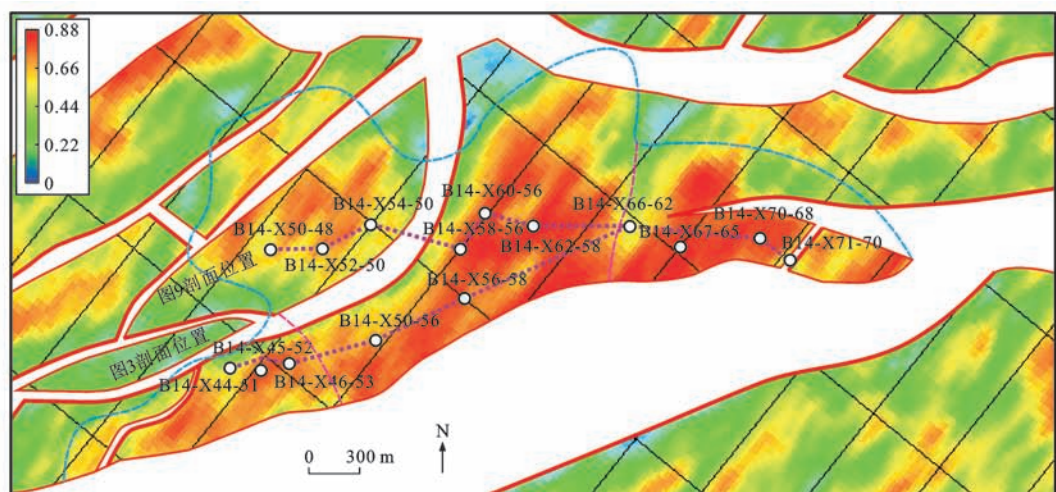
基于单期扇体的解剖结果,结合王鑫的研究<sup>[36]</sup>,认为兴安岭油层扇三角洲孤立扇型组合主要形成于南一段沉积的大规模湖泛阶段,是陆源供给型水动力事件突破湖盆改造型水动力影响的结果,是在湖盆边缘斜坡或湖盆深处形成的扇体组合样式。由于处在大规模湖泛期的高水位条件下,扇体规模比较局限,多呈孤立状展布,侧向叠置极少,而且不同供给水道形成的扇体规模也有明显差异,根据这种差异将孤立扇型组合进一步分为同供给水道型孤立扇和异供给水道型孤立扇两种组合样式。

同供给水道型孤立扇组合中扇体沉积物是由同一主供给水道提供物源。主供给水道入湖后产生多

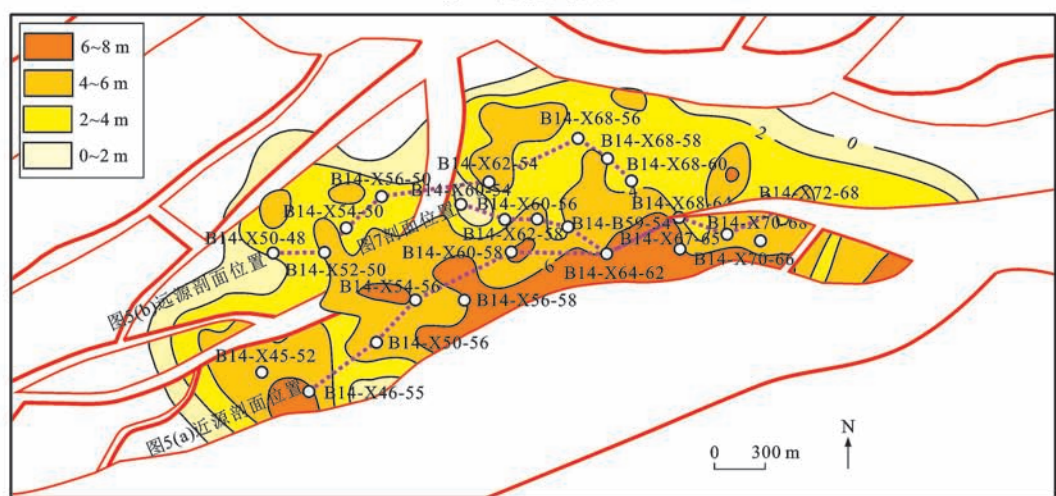
条分支水道,分支水道各自向湖盆推进分别形成独立的扇体。因此,各扇体具有相似的形态特征、规模及垂向岩性序列,并且扇体之间具有明显的过渡区。在向源方向,各扇体会发生不同程度的叠置,具有较为统一的标志层体系;但在向湖方向,扇体逐渐孤立,各自形成相对独立的标志层体系。因此,对具有该类扇体组合特征的层位(如 I 油层 3~5 小层、II 油层 21~23 小层)开展储层精细对比时,应遵循“顶面等时、近源叠置、远源孤立”的原则(图 5)。

异供给水道型孤立扇组合中扇体沉积物是由不同主供给水道提供物源,各供给水道向湖盆推进分别形成各自扇体。由于供给能力的差异,各供给水道形成的扇体在形态特征及规模上一般存在显著区

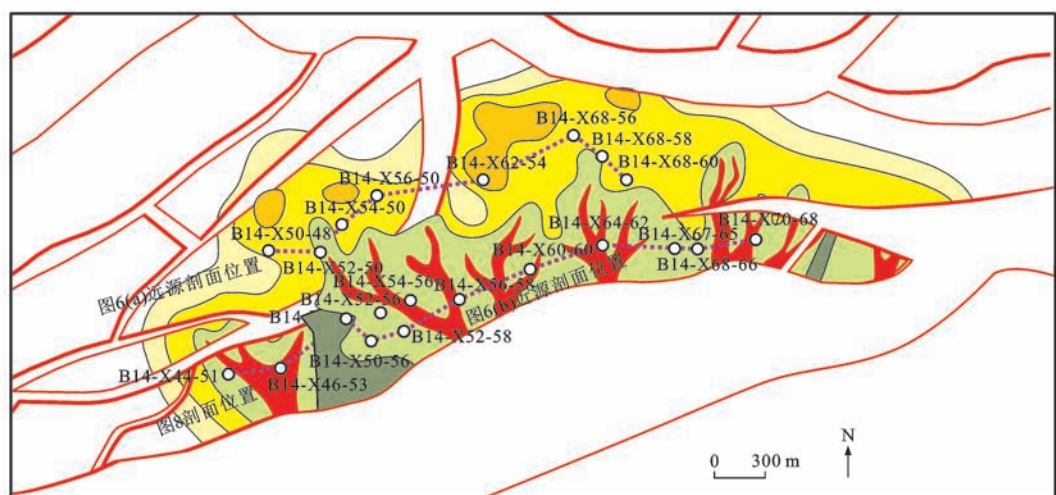


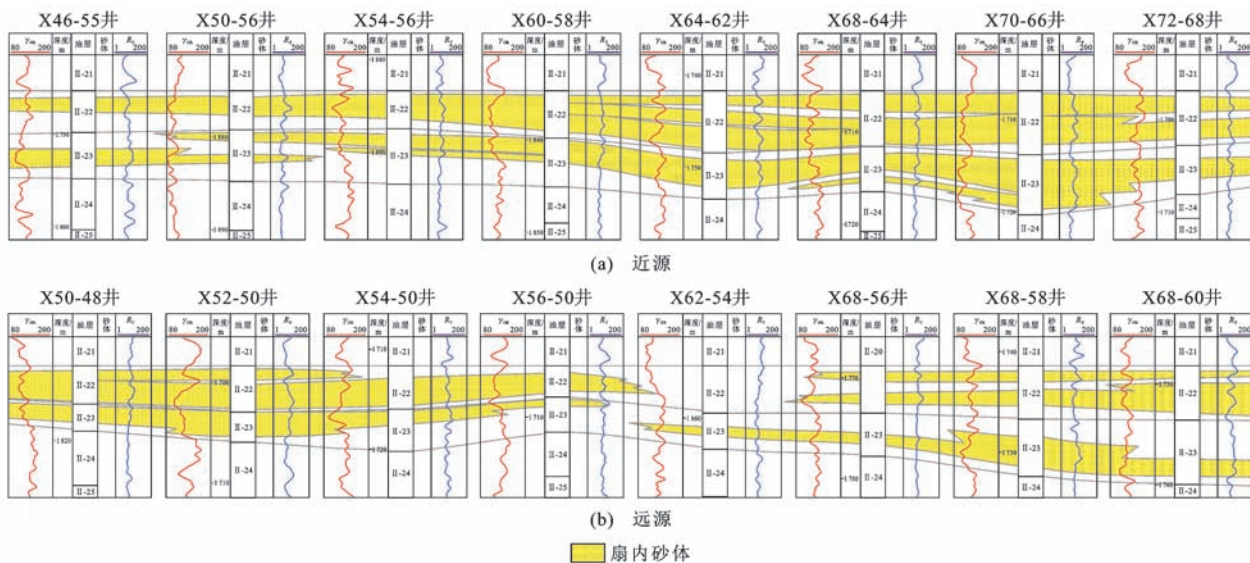


(a) 均方根振幅属性



(b) 砂岩厚度





$\gamma_{GR}$ 为自然伽马,单位为 API; $R_T$  单位为  $\Omega \cdot m$

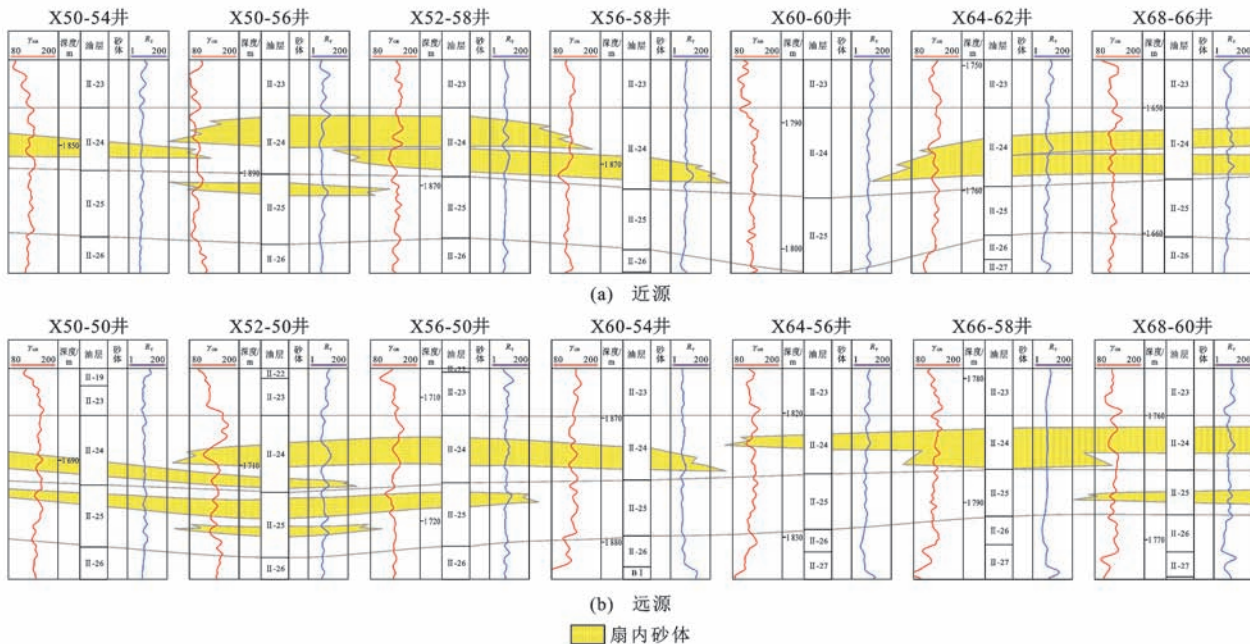
图5 同供给水道型孤立扇组合实例剖面

Fig. 5 Sections of Isolated Fans Assemble Pattern with Same Supply Channels

别,扇体之间缺乏明显的过渡区,但是垂向岩性序列较为相近。由于各单期扇体是不同主供给水道提供物源,所以在向源方向扇体间不会出现强烈叠置现象,向湖方向各扇体更为孤立且具有独立的标志层体系。因此,对具有该类扇体组合特征的层位(如Ⅰ油组1、2小层和Ⅱ油组24~26小层)开展储层精细对比时,应遵循“顶面等时、侧向渐变、近远源皆孤立”的原则(图6)。

#### 4.2 叠置扇型

兴安岭油层扇三角洲叠置扇型组合主要形成于湖泛结束之后,湖泊水动力趋于平稳或湖面下降时期,是在陆源供给型水动力相对于湖盆改造型水动力持续性占优势的情况下,扇体持续向湖盆边缘斜坡推进。由于沉积过程中仅发生短期小规模间歇性湖泛,连续性沉积形成了规模较大的扇体,横向展布范围广,扇体之间极少呈孤立状展布,纵向叠置现象



$\gamma_{GR}$ 单位为 API; $R_T$  单位为  $\Omega \cdot m$

图6 异供给水道型孤立扇组合实例剖面

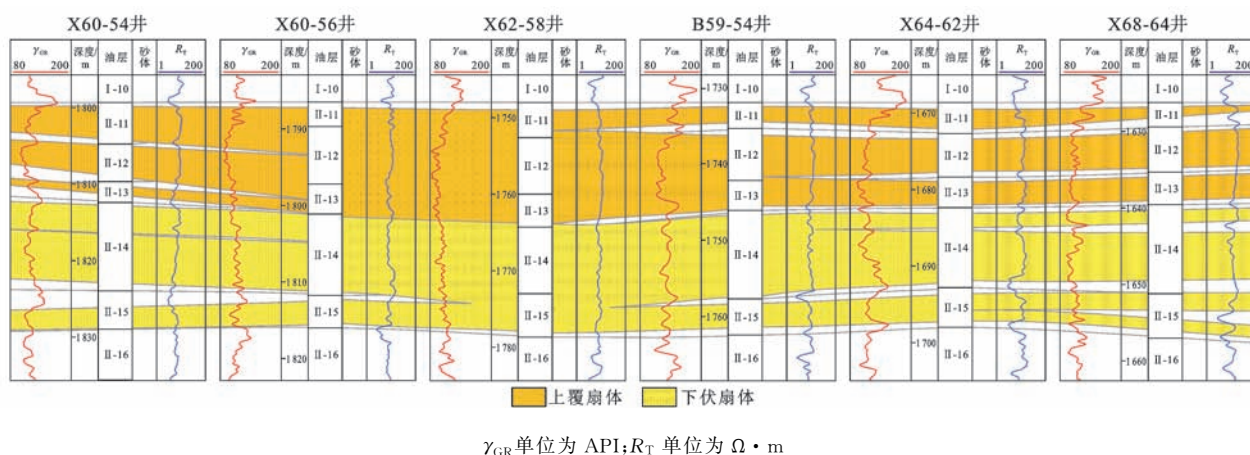
Fig. 6 Sections of Isolated Fans Assemble Pattern with Different Supply Channels



普遍。但是,在间歇性湖泛作用影响下,扇体供给水道的供给能力或路径轨迹有时会发生改变形成新扇体,根据这种变化将叠置扇型组合进一步分为垂向叠置扇组合及侧向叠置扇组合。

垂向叠置扇组合中各单期扇体是由同一主供给水道提供物源,且主供给水道的平面位置基本保持不变。间歇性短期湖泛之后,主供给水道的供给能力发生改变但供给路径基本保持不变,导致在早期扇体之上形成新扇体。由于供给路径沉积物的供给

能力及供给速率变化,新扇体与早期扇体在形态、规模上一般具有明显区别。扇体间垂向上具有明显的界限标志,如在扇体主体部位,各扇体间具有明显的叠置现象,在扇体边缘部位,各扇体间则分隔开来。各扇体具有独立的标志层体系,两期扇体间的短期湖泛泥岩沉积是最重要的等时地层标志,也是划分扇体期次的重要依据。因此,对具有该类扇体组合特征的层位(如Ⅱ油组 11~18 小层)开展储层精细对比时,应遵循“核部叠置、外缘分离”的原则(图 7)。



$\gamma_{GR}$  单位为 API;  $R_T$  单位为  $\Omega \cdot m$

图 7 垂向叠置扇组合实例剖面

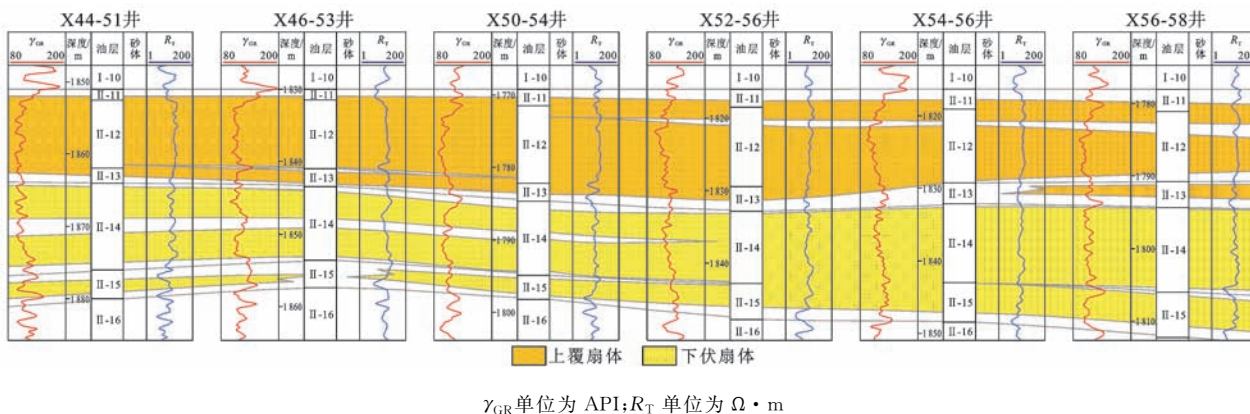
Fig. 7 Sections of Vertically Superimposed Fans Assemble Pattern

侧向叠置扇组合中各单期扇体也由同一主供给水道提供物源,但在间歇性短期湖泛及物源供给能力变化等因素影响下,主供给水道轨迹发生突变式迁移,湖泛结束之后在早期扇体侧缘形成新扇体。供给路径的改变导致新扇体与早期扇体在形态、规模上也具有显著区别,扇体间垂向上存在明显的界限标志。由于新扇体多在早期扇体侧缘形成,所以早期扇体的侧缘部位一般与新扇体的主体部位发生叠置。扇体间呈突变式接触关系且具有独立的标志层体系。两期扇体间的短期湖泛泥岩沉积也是最重

要的等时地层标志,是划分扇体期次的重要依据。因此,对具有该类扇体组合特征的层位(如Ⅰ油组 8、9 小层和Ⅱ油组 11~18 小层)开展储层精细对比时,应遵循“突变接触、缘心叠置”的原则(图 8)。

#### 4.3 接触扇型

兴安岭油层扇三角洲接触扇型组合主要是指具有成因联系的主扇体与扇表面末期发育的次级扇体之间的组合关系。与叠置扇型组合相比,次级扇体最晚形成,规模小但朵叶形态相对完整。通过分析兴安岭油层扇三角洲中主水道与分支水道沉积特



$\gamma_{GR}$  单位为 API;  $R_T$  单位为  $\Omega \cdot m$

图 8 侧向叠置扇组合实例剖面

Fig. 8 Sections of Laterally Superimposed Fans Assemble Pattern

征,认为该类扇体是由同一主供给水道下的各分支供给水道形成的。在供给水道供给能力事件性增强或发生短期湖泛情况下,在分支供给水道末端多形成新次级扇体。与主扇体相比,次级扇体规模小,形态及展布特征完全受分支供给水道控制,次级扇体与主扇体之间叠置现象更严重。因此,该类扇体组合的识别难度也是最大的,其关键在于通过岩相与测井相的对应关系准确识别分支供给水道位置。根据次级扇体与主扇体之间的组合关系,将接触扇型组合进一步分为主次接触扇组合及同级接触扇组合。

主次接触扇组合是指次级扇体与主扇体之间的接触组合。尽管次级扇体与主扇体之间叠置现象严重,且二者具有较为相似的纵向岩性序列,但是次级扇体具有相对独立的标志层体系。次级扇体沉积之后最近一次湖泛形成的泥岩沉积是主扇体与次级扇体共同的等时标志。主次扇体之间侧向渐变的隔夹层是划分扇体期次的重要依据。因此,对具有该类扇体组合特征的层位(如Ⅰ油组6、7小层和Ⅱ油组11~16小层)开展储层精细对比时,应遵循“顶面等时、稳定接触、侧向渐变”的原则(图9)。

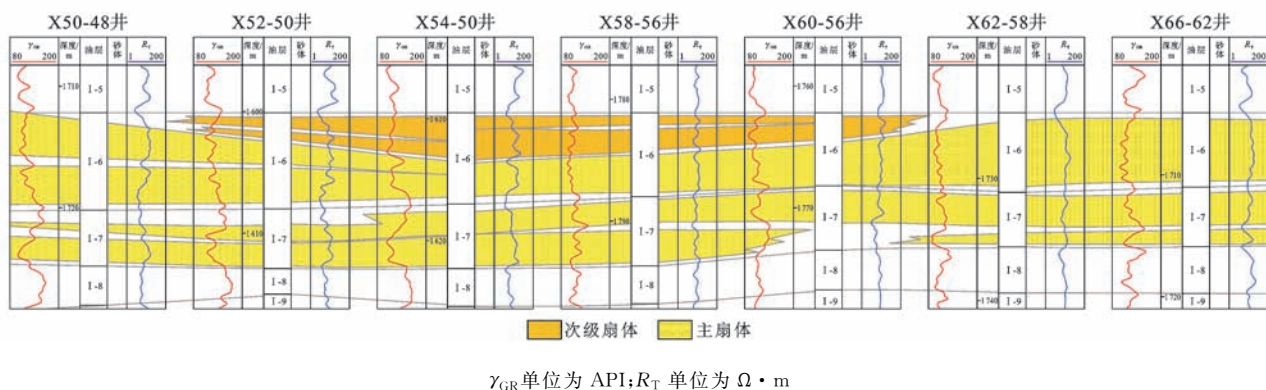


图9 主次接触扇组合实例剖面

Fig. 9 Sections of Different-level Contact Fans Assemble Pattern

同级接触扇组合是指次级扇体之间的接触组合。次级扇体受各自的分支供给水道影响,形态、规模各异。主扇体沉积之后,最近一次大规模湖泛的泥岩沉积也是各次级扇体共同的等时标志。同一时期形成的同级扇体之间侧向一般呈孤立状分布,偶

有叠置,并且具有相对独立的标志层体系,是划分次级扇体期次的重要依据。因此,对具有该类扇体组合特征的层位(如Ⅰ油组6、7小层和Ⅱ油组11~16小层)开展储层精细对比时,应遵循“顶面等时、稳定接触、侧向孤立”的原则(图10)。

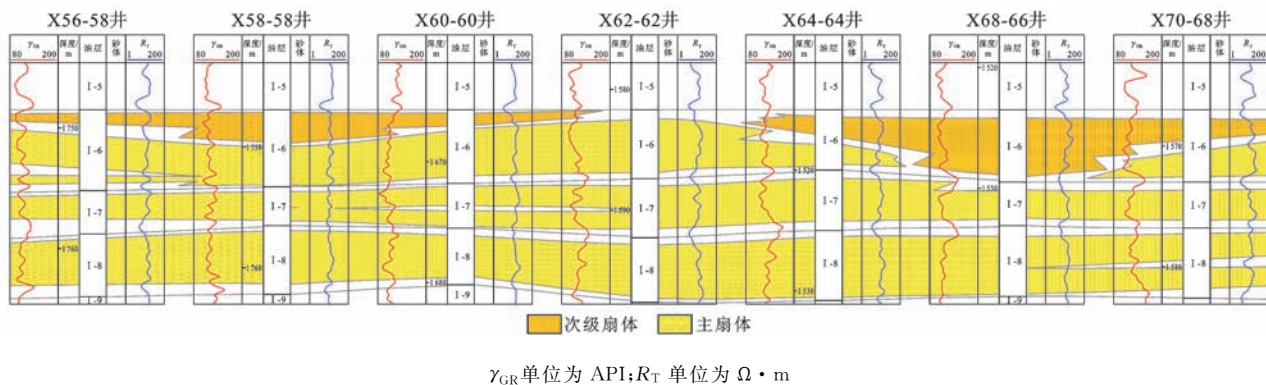


图10 同级接触扇组合实例剖面

Fig. 10 Sections of Same-level Contact Fans Assemble Pattern

## 5 结 语

(1)以贝尔凹陷苏德尔特油田兴安岭油层白垩系南一段Ⅰ、Ⅱ油组典型单元为例,通过单井高分辨率层序构型分析对比,运用时频分析、地震属性分析技术以及井震结合,开展扇三角洲复合扇体的精细

解剖,可以刻画单期扇体边界。

(2)兴安岭油层扇三角洲单期扇体刻画需要在点、线、面3个层次上开展。首先通过单井高分辨率层序构型分析建立单期扇体与短期基准面旋回层序单元的对应关系;然后在短期基准面旋回的层序格架下识别沉积旋回的横向变化,完成连井的扇体对



比;最后利用敏感地震属性对单期扇体侧向边界进行识别。

(3)兴安岭油层扇三角洲多期扇体之间具有孤立扇型、叠置扇型、接触扇型 3 类组合样式,可进一步划分为同供给水道型孤立扇、异供给水型孤立扇、垂向叠置扇、侧向叠置扇、主次接触扇、同级接触扇型等 6 种亚类。

#### 参 考 文 献 :

#### References :

- [1] 孙 乐,王志章,于兴河,等. 克拉玛依油田五 2 东区克上组扇三角洲储层构型分析[J]. 油气地质与采收率,2017,24(4):8-15.  
SUN Le, WANG Zhi-zhang, YU Xing-he, et al. Study on Reservoir Architecture of Fan Delta in the Upper Karamay Formation of Eastern Block Wu2, Karamay Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(4): 8-15.
- [2] 杨延强,吴胜和,齐立新,等. 南堡凹陷柳赞油田沙三<sup>3</sup>亚段扇三角洲相构型研究[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2014,29(5):21-30.  
YANG Yan-qiang, WU Sheng-he, QI Li-xin, et al. Study on Microfacies Architecture of Fan Delta in Es<sub>3</sub> Reservoir of Liuzan Oilfield, Nanpu Sag[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2014, 29(5): 21-30.
- [3] 林 煜,吴胜和,岳大力,等. 扇三角洲前缘储层构型精细解剖:以辽河油田曙 2-6-6 区块杜家台油层为例[J]. 天然气地球科学,2013,24(2):335-344.  
LIN Yu, WU Sheng-he, YUE Da-li, et al. Fine Anatomizing Reservoir Architecture of Fan-delta Front: A Case Study on Dujiatai Reservoir in Shu2-6-6 Block, Liaohe Oilfield[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(2): 335-344.
- [4] ADEOGBA A A, MCHARGUE T R, GRAHAM S A. Transient Fan Architecture and Depositional Controls from Near-surface 3-D Seismic Data, Niger Delta Continental Slope[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(5): 627-643.
- [5] 李 岩. 扇三角洲前缘储层构型及其控油作用——以赵凹油田赵凹区块核桃园组三段 IV<sup>3</sup> 厚油层为例[J]. 岩性油气藏,2017,29(3):132-139.  
LI Yan. Reservoir Architecture of Fan Delta Front and Its Oil-control Models: A Case of Eh<sub>3</sub> IV<sup>3</sup> Reservoir in Zhaowa Block of Zhaowa Oilfield, Biyang Depression[J]. Lithologic Reservoirs, 2017, 29(3): 132-139.
- [6] 刘 毅. 扇三角洲前缘砂体储层构型解剖:以长芦油田沙三段为例[J]. 地质科技情报,2016,35(5):96-102.  
LIU Yi. Dissection of Sand Body Reservoir Configuration of Fan Delta Front: A Case of Es<sub>3</sub> Reservoir of Changlu Oilfield[J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(5): 96-102.
- [7] 瞿雪姣,胡世莱,李继强,等. 扇三角洲前缘砂体内部结构控油模式[J]. 大庆石油地质与开发,2017,36(1):10-16.  
QU Xue-jiao, HU Shi-lai, LI Ji-qiang, et al. Oil-controlled Mode by the Internal Architectures of Fan Delta Front Sandbodies[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2017, 36(1): 10-16.
- [8] 王 珏,陈欢庆,周俊杰,等. 扇三角洲前缘储层构型表征:以辽河西部凹陷于楼为例[J]. 大庆石油地质与开发,2016,35(2):20-28.  
WANG Jue, CHEN Huan-qing, ZHOU Jun-jie, et al. Configuration Characterization of the Fan-delta-front Reservoirs: Taking Yulou Oil Layers in West Liaohe Sag as a Case[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(2): 20-28.
- [9] 宋 璠,杨少春,苏妮娜,等. 扇三角洲前缘储层构型界面划分与识别:以辽河盆地欢喜岭油田锦 99 区块杜家台油层为例[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2015,30(1):7-13.  
SONG Fan, YANG Shao-chun, SU Ni-na, et al. Division and Recognition of Architecture Interfaces of Fan-delta Front Reservoir: Taking Dujiatai Reservoir of Jin-99 Block in Huanxiling Oilfield, Liaohe Basin as an Example[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2015, 30(1): 7-13.
- [10] 印森林,吴胜和,陈恭洋,等. 同生逆断层对冲积扇沉积构型的控制作用:以准噶尔盆地西北缘三叠系下克拉玛依组为例[J]. 地学前缘,2016,23(1):218-228.  
YIN Sen-lin, WU Sheng-he, CHEN Gong-yang, et al. The Controlling Effect of Contemporaneous Reverse Faults on Alluvial Fan Depositional Architecture: A Case Study of Triassic Lower Karamay Formation at the Northwestern Margin of the Junggar Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(1): 218-228.
- [11] 吴胜和,纪友亮,岳大力,等. 碎屑沉积地质体构型分级方案探讨[J]. 高校地质学报,2013,19(1):12-22.  
WU Sheng-he, JI You-liang, YUE Da-li, et al. Discussion on Hierarchical Scheme of Architectural Units in Clastic Deposits[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1): 12-22.
- [12] 伊振林,吴胜和,杜庆龙,等. 冲积扇储层构型精细解剖

- 方法:以克拉玛依油田六中区下克拉玛依组为例[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2010,40(4):939-946.
- YI Zhen-lin, WU Sheng-he, DU Qing-long, et al. An Accurate Anatomizing Method for Structure of Reservoir of Alluvial Fan: A Case Study on Lower Karamay Formation, Liuzhong Area, Karamay Oilfield[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40(4):939-946.
- [13] 宋 亮, 苏朝光, 张营革, 等. 陆相断陷盆地陡坡带砂砾岩体期次划分: 以济阳拗陷车西洼陷北带中浅层为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 222-228.
- SONG Liang, SU Chao-guang, ZHANG Ying-ge, et al. Recognition of Sedimentary Cycles of Sandbodies in Steep-slope Zones of Continental Rifted Basins: A Case Study of Middle-shallow Horizons in the Northern Chexi Subsag of the Jiyang Depression[J]. Oil and Gas Geology, 2011, 32(2): 222-228.
- [14] 刘建生, 邓传伟. 宁晋断裂陡坡带近岸水下扇体储层的地震预测[J]. 石油物探, 2010, 49(4): 380-383.
- LIU Jian-sheng, DENG Chuan-wei. Seismic Prediction of Near-shore Underwater Fan Reservoir in Ningjin Fractured Steep Slope Belt[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2010, 49(4): 380-383.
- [15] 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.
- DENG Yi-lin, WANG Tian-qi, CAO Zheng-lin, et al. Depositional Characteristics and Genesis of Lower Cretaceous Sublacustrine Fan in Wuliyast Sag, Erlian Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(5): 786-792.
- [16] 王亚青. 东风港油田储层地质精细研究[D]. 东营: 中国石油大学, 2008.
- WANG Ya-qing. Detailed Research on the Reservoir Geology of Dongfenggang Oilfield[D]. Dongying: China University of Petroleum, 2008.
- [17] 谢昭涵, 鲜 地, 罗静爽, 等. 贝尔凹陷苏德尔特构造带的形成与演化[J]. 中国地质, 2016, 43(4): 1266-1279.
- XIE Zhao-han, XIAN Di, LUO Jing-shuang, et al. The Formation and Evolution of Sude'erte Tectonic Belt in Bei'er Depression[J]. Geology in China, 2016, 43(4): 1266-1279.
- [18] 韩 刚, 张文婧, 薛云飞. 海拉尔盆地贝尔凹陷贝 27 井早白垩世孢粉组合及其地质意义[J]. 微体古生物学报, 2018, 35(1): 74-89.
- HAN Gang, ZHANG Wen-jing, XUE Yun-fei. Early Cretaceous Sporopollen Assemblages of Well Bei27 from the Damoguaihe Formation in the Bei'er Sag, Haila'er Basin, Inner Mongolia, China and Their Geological Significance[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2018, 35(1): 74-89.
- [19] 李占东, 鲍楚慧, 王殿举, 等. 海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷构造-古地貌对沉积砂体的控制[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2016, 47(7): 2357-2365.
- LI Zhan-dong, BAO Chu-hui, WANG Dian-ju, et al. Controlling Effect of Structure Palaeogeomorphology for Sand Bodies of Wu'erxun-Bei'er Sag in Haila'er Basin[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2016, 47(7): 2357-2365.
- [20] 崔 鑫, 李江海, 王运增, 等. 海拉尔盆地苏德尔特构造带基底裂缝特征及控制因素[J]. 地质论评, 2016, 62(5): 1257-1270.
- CUI Xin, LI Jiang-hai, WANG Yun-zeng, et al. Characteristic and Control Factors of Fracture Development in the Basement of Sude'erte Structural Belt, Haila'er Basin[J]. Geological Review, 2016, 62(5): 1257-1270.
- [21] 崔 鑫, 李江海, 姜洪福, 等. 海拉尔盆地苏德尔特构造带火山岩基底储层特征及成藏模式[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(8): 1466-1476.
- CUI Xin, LI Jiang-hai, JIANG Hong-fu, et al. Characteristics of the Volcanic Basement Reservoirs and Its Hydrocarbon Accumulation Mode in Sude'erte Structural Belt, Haila'er Basin, China[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(8): 1466-1476.
- [22] 贾臻臻, 林承焰, 任丽华, 等. 苏德尔特油田低渗透凝灰质砂岩成岩作用及储层质量差异性演化[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2016, 46(6): 1624-1636.
- JIA Zhen-zhen, LIN Cheng-yan, REN Li-hua, et al. Diagenesis and Reservoir Quality Evolution of Low Permeability Tuffaceous Sandstones in Sude'erte Oilfield[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2016, 46(6): 1624-1636.
- [23] 郭玉新, 隋风贵, 林会喜, 等. 时频分析技术划分砂砾岩沉积期次方法探讨: 以渤南洼陷北部陡坡带沙四段—沙三段为例[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(5): 8-11.
- GUO Yu-xin, SUI Feng-gui, LIN Hui-xi, et al. Discussion on the Division and Correlation of Glutinite Sedimentary Period by Time-frequency Analysis: A Case Study of Sha4 to Sha3 Member of Northern Abrupt Slope Zone in Bonan Depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(5): 8-11.
- [24] 鲜本忠, 王永诗. 基于小波变换基准面恢复的砂砾岩期次划分与对比[J]. 中国石油大学学报: 自然科学



- 版,2008,32(6):1-5,11.
- XIAN Ben-zhong, WANG Yong-shi. Division and Correlation of Glutenite Sedimentary Cycles Based on Base-level Restoration Using Wavelet Transform[J]. Journal of China University of Petroleum; Edition of Natural Sciences, 2008, 32(6): 1-5, 11.
- [25] 邹伟, 邹杰. 时频技术在砂砾岩体沉积期次划分中的应用方法初探[J]. 新疆地质, 2011, 29(1): 110-112.
- ZOU Wei, ZOU Jie. Division of Sedimentary Cycle of the Sand-conglomerate Mass with Time-frequency Analysis[J]. Xinjiang Geology, 2011, 29(1): 110-112.
- [26] 孙怡, 鲜本忠, 林会喜. 断陷湖盆陡坡带砂砾岩体沉积期次的划分技术[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(4): 468-473.
- SUN Yi, XIAN Ben-zhong, LIN Hui-xi. Division of Sedimentary Cycle of Sand-gravel Rock Mass in Steep Slope of Faulted Lake Basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(4): 468-473.
- [27] 张璐, 印兴耀, 李红梅, 等. 基于地震奇异性属性划分砂砾岩扇体沉积界面[J]. 物探化探计算技术, 2009, 31(4): 361-368.
- ZHANG Lu, YIN Xing-yao, LI Hong-mei, et al. Dividing the Depositional Interface of Glutenite Fans Based on Seismic Singularity Attribute[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2009, 31(4): 361-368.
- [28] 肖大坤, 王晖, 范廷恩, 等. 扇三角洲高分辨率层序构型及地震沉积学解释[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2016, 43(6): 656-662.
- XIAO Da-kun, WANG Hui, FAN Ting-en, et al. High-resolution Sequence Architecture and Seismic Sedimentology Interpretation of Fan Delta[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2016, 43(6): 656-662.
- [29] 陈清华, 李敏. 构型要素分析法的储层细分对比意义[J]. 地球科学与环境学报, 2016, 38(5): 649-659.
- CHEN Qing-hua, LI Min. Significance of Architectural-element Analysis to Fine Division and Correlation of Reservoir[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2016, 38(5): 649-659.
- [30] 朱超, 宫清顺, 孟祥超, 等. 地震属性分析在扇体识别中的应用[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(9): 64-67.
- ZHU Chao, GONG Qing-shun, MENG Xiang-chao, et al. Application of Seismic Attribute Analysis in Fan Recognition[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(9): 64-67.
- [31] 何晓松, 王立, 毛德民, 等. 哈萨克斯坦南图尔盖盆地的扇体识别技术[J]. 石油地球物理勘探, 2009, 44(增1): 84-89.
- HE Xiao-song, WANG Li, MAO De-min, et al. Fan Identification Technique in South Turgai Basin, Kazakhstan[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2009, 44(S1): 84-89.
- [32] 王建花, 唐何兵, 张良庆, 等. 基于地震多属性分析的深层浊积扇刻画研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2012, 34(2): 54-64.
- WANG Jian-hua, TANG He-bing, ZHANG Liang-qing, et al. Study of Deep Layer Turbidite Fan Detection Based on the Seismic Multi-attribute Analyses[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science and Technology Edition, 2012, 34(2): 54-64.
- [33] 宋明水, 李存磊, 张金亮. 东营凹陷盐家地区砂砾岩体沉积期次精细划分与对比[J]. 石油学报, 2012, 33(5): 781-789.
- SONG Ming-shui, LI Cun-lei, ZHANG Jin-liang. Fine Division and Correlation of Conglomerate Sedimentary Cycles in Yanjia Area of Dongying Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(5): 781-789.
- [34] 于雯泉, 林承焰, 孙晓庆, 等. 断陷盆地深层膏盐层系砂砾岩体细分层方法[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(1): 1-6.
- YU Wen-quan, LIN Cheng-yan, SUN Xiao-qing, et al. Subdivision Delamination Method of Glutenite Bodies in Gypsum-salt Bed of Rift-basin[J]. Journal of China University of Petroleum; Edition of Natural Sciences, 2009, 33(1): 1-6.
- [35] 李存磊, 张金亮, 宋明水, 等. 基于沉积相反演的砂砾岩体沉积期次精细划分与对比: 以东营凹陷盐家地区古近系沙四段上亚段为例[J]. 地质学报, 2011, 85(6): 1008-1018.
- LI Cun-lei, ZHANG Jin-liang, SONG Ming-shui, et al. Fine Division and Correlation of Glutenite Sedimentary Periods Based on Sedimentary Facies Inversion: A Case Study from the Paleogene Strata of Upper Es<sup>4</sup> in the Yanjia Area, Dongying Depression[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(6): 1008-1018.
- [36] 王鑫. 苏德尔特油田兴安岭油层沉积微相模式与单砂体精细表征研究[D]. 青岛: 中国石油大学, 2014.
- WANG Xin. Research on the Sedimentary Microfacies Model and Fine Characterization of Mono-sandbody in Xing'anling Oil Reservoir of Sude'erte Oilfield[D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2014.