

文章编号:1000-0550(2016)04-0725-10

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2016.04.013

辽河盆地西部凹陷曙二区大凌河油层湖底扇沉积特征与沉积模式探讨

孙雨^{1,2} 向尧¹ 马世忠¹ 李伟瑞³ 贺子恩³ 齐殿军⁴

(1.东北石油大学地球科学学院 黑龙江大庆 163318;2.中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249;
3.中国石油辽河油田分公司曙光采油厂 辽宁盘锦 124109;4.大庆油田有限责任公司第五采油厂 黑龙江大庆 163513)

摘要 利用成熟探区翔实的岩芯、录井和测井等资料,研究了辽河盆地西部凹陷曙二区大凌河油层湖底扇沉积特征与沉积模式。研究表明,大凌河油层湖底扇具有较为发育的水道体系(主沟道或辫状沟道),平面上相带展布、扇体的分布面积、砂体延伸方向和分布模式受水道及古地貌变化的控制。水道体系及其控制的沉积体呈顺源、带状展布。主沟道向前延伸逐渐变为规模较大的辫状沟道沉积,两侧发育辫状沟道侧缘,呈条带—舌形展布,向湖方向逐渐演变为多支小型末端辫状沟道沉积。湖底扇内部平面微相序列表现为“主沟道→主沟道堤→深湖泥”或“辫状沟道→辫状沟道侧缘→辫状沟道间(或末梢)→深湖泥”的变化特征。每支辫状沟道控制形成的带状沉积体间均为明显深湖—半深湖泥岩沉积分割,呈带状—舌状沉积体向湖盆中心延伸较远。

关键词 湖底扇 沉积特征 沉积模式 单期重力水道 辽河盆地 大凌河油层

第一作者简介 孙雨 男 1981年出生 博士 教授 石油地质学与储层沉积学 E-mail:sunyu_hc@163.com

中图分类号 P618.13 **文献标识码** A

湖底扇是指陆相湖盆三角洲前缘或者滨岸浅水区尚未完全固结的碎屑沉积物,受一定因素触发,沉积物(大量混杂的泥、砂、砾石等)在重力作用驱动下以重力流搬运方式沿斜坡(或湖底峡谷)进入湖泊深水区而形成的扇形粗碎屑沉积^[1-3]。近年来,随着深水重力流沉积和深水泥页岩逐渐成为陆相湖盆油气勘探和研究最为活跃的领域,湖底扇作为深水重力流沉积中最重要的沉积类型之一,在国内外油气勘探中也受到了广泛的关注^[4-5]。湖底扇沉积在我国陆相断陷和坳陷湖盆分布极为广泛,如渤海湾盆地、鄂尔多斯盆地、松辽盆地、二连盆地等富油气盆地中均有发现^[6-10],且展现出良好的勘探潜力^[11-13],其中以辽河盆地西部凹陷西部斜坡的大凌河油层湖底扇和济阳坳陷东营凹陷南部缓坡的沙三段上亚段湖底扇最为典型。国内学者从不同角度对其进行了探讨,主要共识包括湖底扇的沉积特征、沉积模式与形成于断陷的短轴陡岸一侧断层下降盘的滨、浅湖区近岸水下扇及三角洲前缘的滑塌浊积扇有明显区别,其主要形成于长期基准面上升的早期,多发育在箕状断陷的短轴缓岸一侧深湖区的地形相对较缓的斜坡和湖盆底部,距

物源区相对较远,沉积物通常由较长供给水道供给长距离搬运,直达盆地中间深水区域形成重力流控制的扇形沉积体。从以往文献不难看出多数研究集中在湖底扇的沉积构成、沉积特征、砂体分布规律、形成的控制因素、地球物理响应及成藏特征等方面,特别是湖底扇的成藏条件、成藏特征及勘探潜力等方面开展了较为深入的研究。对于沉积模式的研究主要是借鉴了 Walker 提出的海底扇模式^[14],但由于湖盆规模远小于海盆,有时没有广阔的深湖平原,不能容纳湖底扇充分地发育成 Walker 式典型的扇体,加上复杂的古地貌背景,湖底扇的沉积模式往往有别于海底扇^[15-17],相关研究和认识还存在较多的争议。因此,对于这种发育于缓坡背景下的湖底扇的内部沉积构成、沉积特征及沉积模式研究还相对薄弱,尚需进一步深入研究,这对于完善经典深水沉积学理论和本区的油气勘探与开发都具有重要的实践指导意义。本文以辽河盆地西部凹陷曙二区大凌河油层湖底扇为例,利用密井网开发区详实的岩芯、录井和测井等资料,开展湖底扇的岩相、粒度、沉积构造、垂向序列、测井响应等特征分析,揭示湖底扇的沉积微相类型及展

收稿日期:2015-08-17; 收修改稿日期:2015-12-11

基金项目:黑龙江省普通高等学校青年学术骨干支持计划项目(1254G003);油气资源与探测国家重点实验室开放基金(PRP/open-1405) [Foundation: Youth Leading Scholar Supporting Program in General Colleges and Universities of Heilongjiang Province, No.1254G003; The Foundation of State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing, No.PRP/open-1405]

布特征,建立了湖底扇沉积模式。

1 区域地质背景

辽河盆地是渤海湾盆地北部的中、新生代断陷盆地^[18],其内部由东部凸起、中央凸起和西部凸起分割形成东部凹陷、西部凹陷、大民屯凹陷和沈北凹陷,凹陷和凸起呈北东向相间排列(图1)。西部凹陷是盆地中最大的含油气凹陷,具有典型的东陡西缓、北高南低的箕状断陷结构(图1)。西部凹陷在太古界混合花岗岩潜山上发育的地层有古近系的房身泡组、沙河街组、东营组和新近系的馆陶组、明化镇组和第四系平原组等,大凌河油层属于古近系沙河街组三段(以下简称沙三段)(图1)。该段地层形成于裂谷盆地强烈沉降期,由于基底沉降速率大,湖泊大范围扩张,水体急剧加深,发育了深湖—半深湖的深水沉积环境。来自凹陷西侧的冲积扇入湖形成扇三角洲,扇三角洲前缘沉积物滑塌,以阵发性沉积物重力流经由水下峡谷进入深水湖盆,在斜坡前缘及盆地中心形成多期次、复杂叠置的湖底扇,表现为多套深水浊积岩与深湖相泥岩互层沉积组合^[19-20]。曙二区位于西部凹陷西侧斜坡中段,构造形态为三条(命名为F1、F2、F3)呈NE向雁列式展布的同沉积断裂形成的断阶带。大凌河油层以砂砾岩和砾状砂岩为主,厚度平均约为200 m,最厚处可达400 m;纵向上分为4套砂砾岩体,代表了4个期次较大规模的湖底扇沉积^[19-20],

分别对应四个砂组,其中大Ⅲ组砂砾岩体较为发育,分布面积广,厚度为80~150 m,为区内的主力产层。同时,根据油田的生产的需要,以单期重力水道(主沟道及其对应的辫状沟道)为研究对象,将大凌河油层进一步细分为19个小层,目前区内有钻井374口,井距为50~250 m,且分布较均匀,为湖底扇砂体的精细解剖提供了重要的资料基础。

2 湖底扇的沉积特征

2.1 岩性、岩相特征

根据5口取芯井岩芯观察与岩性统计表明,大凌河油层岩性变化较大,以(成分、结构)成熟度低的厚层砂砾岩、中粗砂岩夹薄层粉砂岩、泥岩为主要特征,分选较差,常见砂、砾、泥混杂堆积,呈多级支撑,磨圆度以次棱角和次棱角—次圆状为主;泥岩以暗色(灰、黑色)为主,具水平层理,质纯,反映较深水沉积环境。结合岩石结构特征,可将大凌河油层的岩相划分为杂基支撑砾岩相、颗粒支撑砾岩相、颗粒支撑砂砾岩相、颗粒支撑砂岩相、粉砂岩相和泥岩相6种类型(图2 a~h、表1)。

2.2 粒度分布特征

取芯井样品(砂岩和砂砾岩)的粒度分析资料研究表明,大凌河油层的沉积物分选总体较差,粒度区间分布较广;粒度概率累积曲线主要有2种类型:①斜率较小近似于平滑的直线(或微向上凸的弧线),

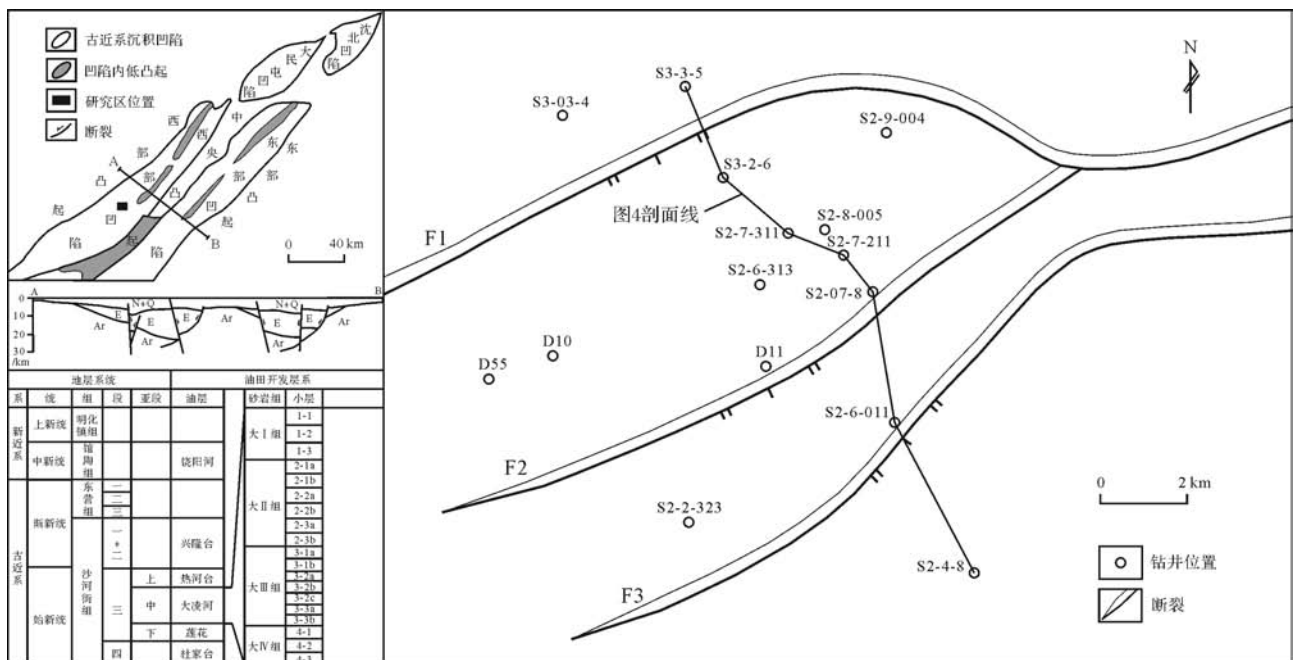


图1 辽河盆地西部凹陷曙二区地层系统及位置图

Fig.1 Stratigraphic column and showing location of Shu2 area in the West sag of Liaohe Basin



图2 大凌河油层湖底扇的岩相特征和沉积构造类型图

a.杂基支撑砾岩相,S2-9-004井,1 810.6 m;b.颗粒支撑砾岩相,S2-8-005井,1 752.8 m;c.颗粒支撑砂砾岩相,S2-8-005井,1 751.5 m;d.递变层理砂砾岩相,S2-8-005井,1 573.68 m;e.块状砂岩相,S2-3-323井,1 762.1 m;f.平行层理砂岩相,S2-9-004井,1 832.1 m;g.波纹层理粉砂岩相,S2-6-313井,1 887.3 m;h.水平层理泥岩相,S2-3-323井,1 753.9 m;i.递变层理,S2-9-004井,1 816.5 m;j.卸载构造,S2-6-313井,1 876.1 m;k.滑塌构造,S2-9-004井,1 840.8 m;l."漂砾"现象,S2-8-005井,1 754.3 m;m.泥质撕裂屑,S2-6-313井,1 880.3 m;n.泄水构造,S2-3-323井,1 762.9 m;o.包卷层理,S2-3-323井,1 771.1 m。

Fig.2 Lithofacies characteristics and sedimentary structure types of sublacustrine fan in Dalinghe oil layer

表1 大凌河油层湖底扇的岩相类型及沉积特征表

Table 1 Lithofacies types and sedimentary characteristics of sublacustrine fan in Dalinghe oil layer

岩相类型	主要特征	成因解释
杂基支撑砾岩相	杂基含量高(含量>30%),分选极差,砂、砾、泥混杂,无明显层理,块状构造,可见漂砾;底部发育冲刷突变面,可单一或多层叠覆构成垂向序列。	高能悬浮搬运和快速堆积而成,为内扇亚相主沟道微相中水下泥石流的沉积产物。
颗粒支撑砾岩相	砾石以中、细砾为主,分选中等,填隙物主要为砂和粉砂的混合物,含量较低(<15%),常具有正或反递变层理,底部常发育冲刷突变面。	高能环境下弱化(或稀释)的碎屑流快速堆积而成,常见于主沟道及辫状沟道微相。
颗粒支撑砂砾岩相	以中粗砂岩和细砾岩为主,是鲍马序列的A段的主要构成,填隙物主要为粉砂或粘土级,含量较低(<15%),常具有正或反递变层理。	为递变悬浮沉积物,常见扇中亚相主沟道和辫状沟道微相中重力流滑塌水道沉积
颗粒支撑砂岩相	以中粗砂岩为主,泥质含量<15%,局部见泥砾和撕裂屑并多呈层状分布,进一步可分为块状层理砂岩相、平行层理砂岩相和递变层理砂岩相,块状层理砂岩相中可见泄水构造,平行层理砂岩相和递变层理砂岩相相伴生,构成似鲍马序列的AB段在本区较为发育。	块状层理砂岩相与泄水构造伴生常指示存在液化流沉积作用,似鲍马序列AB段的叠覆出现常代表频繁、较强水流的多次重力流作用,常见于主沟道及辫状沟道微相。
粉砂岩相	主要由粉砂岩组成,发育沙纹层理、水平层理、波纹层理及各种同生变形层理或滑塌构造,含碳质纹层,波纹层理粉砂岩相和泥岩相组合构成鲍马序列的D、E段,常发育在正常浊积岩序列中。	为低密度浊流的沉积产物,主要是溢出主沟道或辫状沟道的重力流沉积而成,常见于主(辫状)沟道间微相和外扇末梢微相。
泥岩相	多为深灰色、灰黑色和黑色泥岩,可见深水环境鱼化石,水平层理发育。	形成于正常深湖、半深湖的深水环境中。

该类曲线多见于块状层理和递变层理的砂砾岩中,说明只有一个递变悬浮次总体,粒度范围分布广,反映沉积物搬运过程中存在递变悬浮,重力分异作用显著(图3);②低斜率两段式或发育过渡段的两段式,该类曲线主要出现在平行层理砂岩段中,说明由跳跃总体和悬浮总体组成,均匀悬浮组分发育,递变悬浮组分也占有较大的比例,表明重力流能量逐渐衰减,已经开始向牵引流转化(图3)。在C-M图上,样品点群分布大致平行C=M基线^[21],所有样品值落于粒度悬浮区,也反映了重力流沉积的递变悬浮搬运特征。

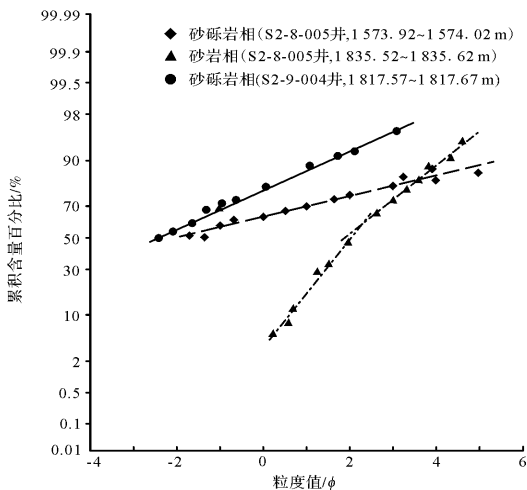


图3 大凌河油层粒度概率累积曲线图

Fig.3 Probability cumulative curve of grain-size of Dalinghe oil layer

2.3 沉积构造特征

在大凌河油层中可见递变层理、滑塌变形层理、平行层理、块状层理、包卷层理等层理类型(图2i~

o)。常见沉积构造组合为:单期重力水道底部发育代表侵蚀作用及强水动力条件的冲刷突变面,之上砂砾岩中发育代表递变悬浮和整体沉降作用的正递变粒序层理,底部可见逆粒序,反映浊积岩的重力筛效应;上部(含砾)粗、中砂岩中发育小规模平行层理,构成了(似)鲍马序列的AB段。该类组合在大凌河油层中极为典型、且较为发育,但厚度较薄(约3~8m),表明该时期重力流水动力较强,冲刷侵蚀能力较强,以高密度流为主,但作用时间较短,具阵发性特征。此外,代表重力滑塌变形作用的泥质撕裂屑、直立砾、漂砾、滑塌构造和代表重力作用和差异负载的负载构造、泄水构造等变形构造也时有发生(图2i~o),表现出典型的水下重力流沉积特点。

2.4 垂向沉积序列特征

由连井相剖面图可见(图4),大凌河油层下部为深湖相泥岩夹细粒薄层浊积岩沉积,常见(似)鲍马序列的ADE段、BDE段、CD段等组合;向上泥岩厚度减薄,浊积岩层增厚、粒度变粗,沉积物以砂砾岩为主,砂砾岩中常见泥砾及呈撕裂状泥质条带,多分布于单期重力流沉积的底部冲刷面之上,呈现出以正韵律叠置层为主构成的正旋回沉积序列,单韵律层厚度较薄,约3~8m,发育不完整的(似)鲍马序列,AB段尤为发育;再向上浊积岩逐渐减薄、粒度变细,泥岩厚度增厚,后期演变为厚层深湖相泥岩。

2.5 测井响应特征

通过岩芯观察与测井曲线精细标定发现,大凌河油层的测井响应特征与岩性特征、垂向沉积序列具有很好的对应性,电阻率曲线表现为厚层中高幅齿化箱形、钟形、指形及其组合夹微齿平直状泥岩基线的特

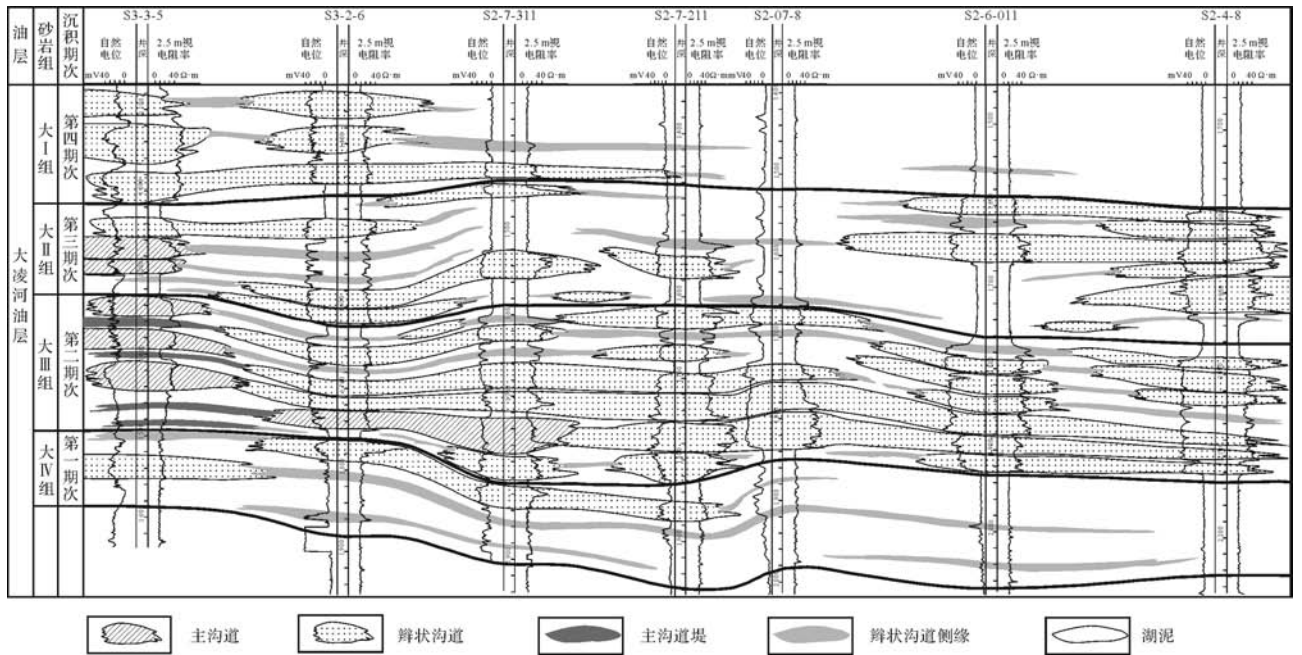


图4 大凌河油层垂向沉积序列及连井相剖面图

Fig.4 Vertical sedimentary sequence and cross-well sedimentary facies of Dalinghe oil layer

征(图4),齿化程度反映了水动力强度变化及粒序混杂的沉积特征。其中以多个齿化箱形或钟形叠加组合最为常见,该组合底部或内部存在明显的电性界面突变现象,反映了多期重力水道及其叠置关系和单期重力水道底部冲刷侵蚀面的沉积特征。同时,也可见较多的中低幅的钟形、指型、齿形及其组合,主要反映了内扇、中扇的沟道间沉积及外扇中的薄层砂沉积,外扇的测井曲线常以低幅微齿化线型组合为背景的指型、齿形及其组合为主要特征(图4)。

2.6 沉积微相构成及平面展布特征

2.6.1 沉积微相类型及特征

依据5口取芯井岩芯的系统观察和374口井的测井资料,通过各种相指标、沉积体系背景及相带空间配置关系等研究表明,大凌河油层主要发育西北物源的湖底扇相,进一步可以分内扇、中扇和外扇3个亚相和7种微相(表2、图5)。

(1) 内扇亚相。以重力碎屑流沉积为主,沉积物以岩性粗(以杂基支撑砂砾岩相及颗粒支撑砾岩相为主)、厚度大(最大可逾百米)、分选差(由巨砾至泥均有)、磨圆度低(次棱角状—次圆状)为主要特点。平面上呈宽阔带状展布;垂向上以大套砾岩夹砂、泥岩组成的正韵律层或块状层为主,底部可见冲刷—充填构造。该亚相可进一步分为主沟道、主沟道堤和溢岸沉积3种微相(表2)。

(2) 中扇亚相。以辫状沟道发育为主要特征。岩性表现为厚层砂砾岩、含砾砂岩与深灰色泥岩不等厚互层。平面上表现为不规则的扇—带状砂体;垂向上则以多期正韵律叠置层构成的正旋回为主要特征。该亚相可进一步划分为辫状沟道、辫状沟道侧缘和辫状沟道间3种微相(表2)。

(3) 外扇亚相。以发育薄层的浊积岩为主要特征,沉积物多由粒度较细的浊积岩与半深湖—深湖相泥岩为主,岩性主要为粉砂岩和泥岩,偶尔夹细砂岩或中、粗砂岩,常见炭屑,发育鲍马序列、波状层理和变形层理等沉积构造,多见鲍马序列BCD和CD段组合,大多缺少A段沉积。外扇亚相主要包括末梢微相(表2)。

2.6.2 沉积微相平面展布特征

笔者充分应用5口取芯井的岩芯资料与374口井的测井资料,以单期重力水道(主沟道及其对应的辫状沟道)为研究对象,编制了19个地层单元的沉积微相图,很好地揭示出湖底扇沉积中单一成因砂(砾)体的空间展布规律。受沉积时期古地貌差异影响,内扇亚相在工区内展布范围有限,向前方逐渐过渡为中扇、外扇亚相(图6)。主沟道沉积向前逐渐过渡为多支规模较大的辫状沟道沉积,两侧发育辫状沟道侧缘,在辫状沟道沉积控制下形成条带状—舌形砂体向湖盆中心延伸,推进过程辫状沟道规模逐渐变

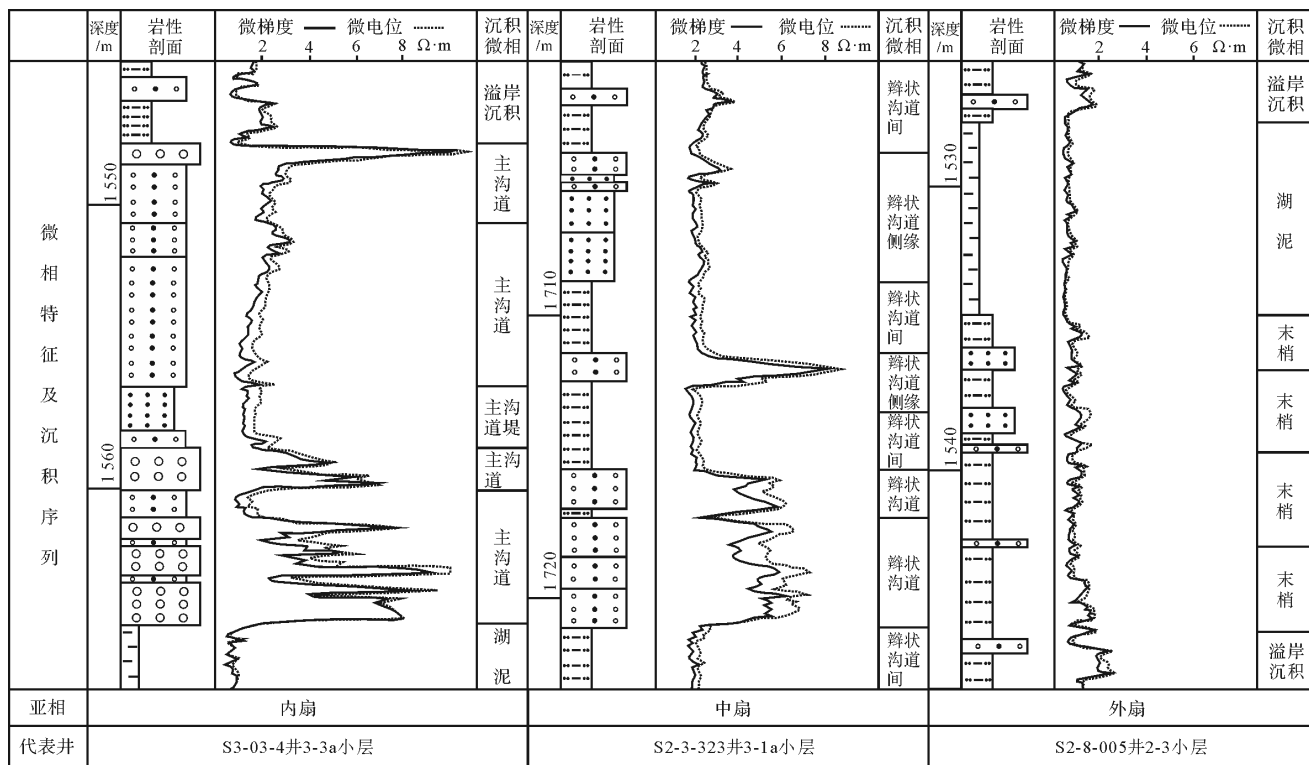
小,至东区逐渐变为小型辫状沟道及其控制下形成的窄带状辫状沟道侧缘组合形成的舌形带状体(图6)。平面微相序列表现为“辫状沟道→辫状沟道侧缘→辫状沟道间(或末梢)→深湖泥”的变化特征。每支辫状沟道控制形成的带状沉积体间均为明显深湖—

半深湖泥岩沉积分割,呈带状—舌状沉积体向湖盆中心延伸较远,直至工区东部逐渐消失。带状—舌状沉积体的分布范围局限,密井网(井距约为250 m)控制下,在垂直于走向方向较少被三口井同时钻遇,宽度多在800 m以内(图6)。

表2 大凌河油层沉积微相类型及沉积特征表

Table 2 Sedimentary microfacies types and sedimentary characteristics of Dalinghe oil layer

相	亚相	微相	岩性特征	沉积构造	测井响应特征	成因及发育位置
湖底扇	内扇	主沟道	由基质支撑砾岩、砂砾岩和砾质砂岩组成,砾石成分复杂、大小不等,见大量的漂浮砾。	多呈叠置层出现,递变层理发育,多呈块状或者是混凝土状,底部常见冲刷—充填构造。	中高幅齿化箱形、少量齿化钟形及其组合。	发育在供水道前端,典型重力流成因。
		主沟道堤	砂岩、粉砂岩及泥岩等,泥质含量较高。	发育均匀递变层理和小型交错层理。	中低幅钟形和正指形加积式组合。	发育在主沟道两侧,溢出主沟道的重力流沉积。
		主沟道间	薄层粉砂岩、泥质粉砂岩与泥岩互层。	发育不完整的鲍马序列,常见滑塌变形构造和包卷层理。	中低幅齿化指形、齿形和线形加积式组合。	发育在主沟道之间,溢出主沟道的重力流沉积。
	中扇	辫状沟道	以砾岩和砂岩为主,常见泥质砂岩条带、泥质撕裂屑和炭化植物碎片。主要发育颗粒支撑砾岩相、含砾不等粒砂岩相、块状砂岩相和含漂砾砂砾岩相等。	沉积构造多样,常见块状层理、递变层理、平行层理、波状层理、水平层理和冲刷—充填构造等,似鲍玛AA、ABC序列较常见。	中高幅箱形、齿化箱形、钟形及其组合,齿中线内收敛或下倾、平行变到水平、平行,具突变及加速渐变的顶底。	发育在主沟道前端,以重力流成因为主,局部发育牵引流特征。
		辫状沟道侧缘	以细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩为主,泥岩夹层多,单层厚度薄。	似鲍玛AB、AD、BC组合,常发育递变层理、波状层理及水平层理等。	中低幅指形、漏斗形和齿形加积式组合。	发育在辫状沟道两侧和前端的无水道部分,溢出辫状沟道的重力流沉积。
		辫状沟道间	主要为灰色粉砂质泥岩、泥岩。	发育鲍玛序列和砂球构造,具有明显的原生水平层理。	中低幅齿形、齿化指形和线形加积式组合。	发育在扇前方的深水区域或辫状水道间区域,溢出辫状沟道的重力流沉积。
外扇	末梢	以厚层灰色或灰黑色泥岩夹薄层细粉砂岩为主,常见碳屑。	发育波状层理和变形层理等,多见鲍玛序列BCD和CD段组合,具有明显的原生水平层理。	低幅微齿化线形、少量指形/齿形及其组合。	发育在湖底扇最前端的无水道沉积部分,溢出辫状沟道的重力流沉积。	



图例 ○○○ 砾岩 ●●● 砂砾岩 - - - 泥质粉砂岩 — — — 泥岩

图5 大凌河油层沉积微相类型及特征图

Fig.5 Sedimentary microfacies types of Dalinghe oil layer

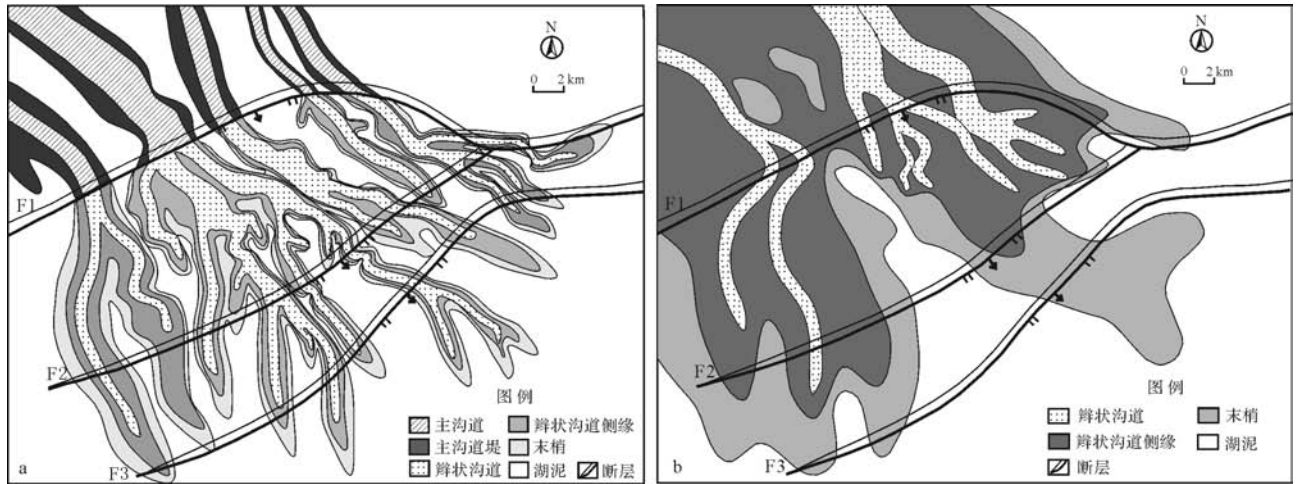


图6 大凌河油层小层沉积微相图

a.大凌河油层 3-3a 小层沉积微相图;b.大凌河油层 4-2 小层沉积微相图

Fig.6 Sedimentary microfacies maps of Dalinghe oil layer

由此可见,辫状沟道(或主沟道)是沉积物的主要输送通道,受其控制表面看似扇形的湖底扇沉积内部存在较强烈的非均质性,平面多支、独立分布的辫状沟道(或主沟道)控制形成的顺源带形或舌形沉积体空间叠覆是引起储层复杂多变的直接原因。这种非均质性的存在只有通过密井网条件下以单期重力水道为研究对象的沉积微相精细研究才能够完全揭示,这也体现出本项研究的重要意义。

2.7 沉积演化特征

大凌河油层湖底扇沉积具有“先推进、再后退”的特征,可划分为4次较大规模的湖底扇沉积(图4)。

①第1期次湖底扇发育规模较小,工区内西部发育中扇亚相,辫状沟道规模较小,垂向叠加性差;中东部主要发育以泥质沉积为主的外扇亚相(末梢微相)和深湖相。

②第2期次湖底扇发育规模最大,向湖盆中心延伸最远,呈现明显进积式堆积。工区内西部主要为内扇亚相,发育大量主沟道沉积;中东部为中扇亚相,发育大量、密集、叠置的辫状沟道,携带大量沉积物向湖盆中心推进,形成了厚层叠置的大规模湖底扇砂砾岩体。

③第3期次湖底扇较第2期次规模明显变小,虽然工区内西部仍发育内扇亚相,但主沟道规模明显变小;中部发育中扇亚相的沉积面貌也与第2期次大不相同,主要发育以规模较小的辫状沟道为中心的多支带状—舌状砂体,多支砂体叠置程度不高、且密集程度降低,大部分可被中间湖相泥岩分开;东部开始出现大面积湖相泥岩沉积。

④第4期次湖底扇沉积规模进一步缩小,工区内西部主要发育中

扇亚相,规模较小的辫状沟道向两侧渐变为沟道侧缘形成了多条带状—舌状砂体,平面相互叠置构成了宏观扇形—条带形砂体;中部主要以小规模(末端)辫状沟道沉积为主,形成多支小型舌状沉积体向湖盆中心延伸;东部则主要以大面积的外扇亚相和深湖相沉积为主。

3 湖底扇发育的主控因素

3.1 沉积物供给量对湖底扇发育的影响

沉积物供给量大小的相对变化对湖底扇的分布、向湖盆中心推进距离及相分异程度具有重要的影响。沉积物供给量增大,湖底扇向前推进的范围大、距离远,易在湖盆深处形成大规模的湖底扇。如第2期次湖底扇沉积时期,沉积物供给量大、粒度粗,湖底扇发育规模最大,发育大量主沟道和辫状沟道,携带粗碎屑沉积物向湖盆中心推进,形成了厚层叠置、分布广泛的湖底扇(图6a)。而第1期次湖底扇沉积时期,沉积物供给量小,湖底扇发育规模较小,仅在距离物源区较近的西北部发育小规模辫状沟道,至中、东部迅速变为深湖相沉积(图6b)。

3.2 断裂坡折带对湖底扇发育的影响

曙二区大凌河油层发育三条呈NE向雁列式展布的断裂(分别命名为F1、F2、F3)构成了三级断阶带(图6),整体控制了大凌河油层的沉积面貌,重力流出补给水道和主水道后,沿断层下降盘或盆地低洼处堆积,形成不规则扇状体。工区西北部F1断裂规模最大(断距约250m),断裂上升盘为沉积物来源

方向,沉积物供给充沛,主要发育内扇亚相,多个小层发育大规模的主沟道沉积,但主沟道沉积范围有限,绝大多数的主沟道分布边界与断层分布相对应,越过该断层则逐渐演化为各种规模的辫状沟道沉积(图6a)。这表明该断层形成了明显的断阶带(或断裂坡折带),经过该断阶的调整,湖水变深,沉积供给通道与古地貌均有明显变化(图7),主沟道沉积逐渐演变为辫状沟道沉积。同时,中部F2断裂和F3断裂形成的断阶带也对湖底扇沉积有一定影响,越过该断阶带辫状沟道沉积作用明显减弱,变为小型辫状沟道及其控制下形成的窄带状辫状沟道侧缘组合(图6a)。

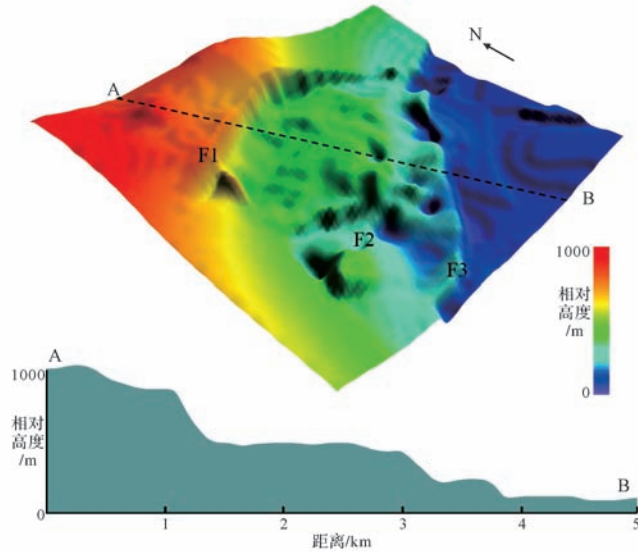


图7 大凌河油层沉积时期古地貌图

Fig.7 Landform map in the period of Dalinghe oil layer

4 缓坡背景下湖底扇的沉积模式

由以上研究不难看出,大凌河油层形成于裂谷盆地强烈沉降期,由于基底沉降速率大,湖泊大范围扩张,水体急剧加深,发育了深湖—半深湖的深水沉积环境。来自凹陷西侧的冲积扇入湖形成的扇三角洲构成了重力流的碎屑源区;在断裂活动和洪泛事件影响下,以阵发性沉积物重力流经由水下峡谷进入深水湖盆,在斜坡前缘及盆地中心形成多期次、复杂叠置的湖底扇。该湖底扇具有较为发育的水道体系(主沟道或辫状沟道),平面上相带展布、扇体的分布面积、砂体延伸方向和分布模式受水道及古地貌变化的控制。水道体系(主沟道或辫状沟道)及其控制的沉积体呈顺源、带状展布。主沟道向前延伸逐渐变为规模较大的辫状沟道沉积,两侧发育辫状沟道侧缘,呈条带—舌形展布。向湖方向逐渐演变为多支小型末端辫状沟道沉积,平面微相序列表现为“主沟道→主沟道堤→深湖泥”或“辫状沟道→辫状沟道侧缘→辫状沟道间(或末梢)→深湖泥”的变化特征(图6)。每支辫状沟道控制形成的带状沉积体间均为明显深湖—半深湖泥岩沉积分割,呈带状—舌状沉积体向湖盆中心延伸较远(图8)。

5 结论

(1) 大凌河油层岩性以成熟度低的厚层砂砾岩、中粗砂岩为主,可划分为杂基支撑砾岩相、颗粒支撑砾岩相、颗粒支撑砂砾岩相、颗粒支撑砂岩相、粉砂岩

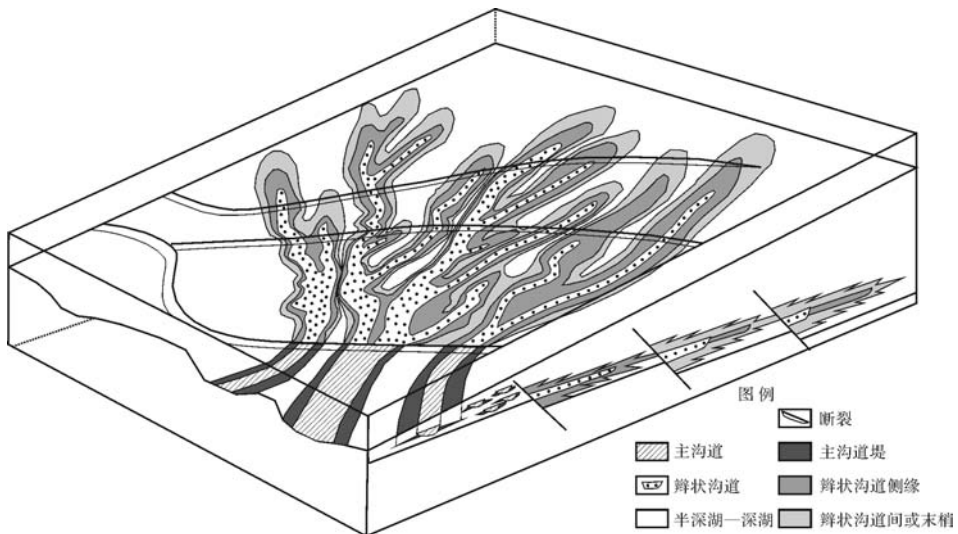


图8 大凌河油层湖底扇沉积模式图

Fig.8 Depositional model of sublacustrine fan in Dalinghe oil layer

相和泥岩相6种类型,粒度概率累积曲线包括斜率较小近似于平滑的直线和低斜率两段式或发育过渡段的两段式2种类型,可见递变层理、平行层理、块状层理、包卷层理等层理类型和泥质撕裂屑、直立砾、漂砾等滑塌构造及负载构造、泄水构造等变形构造。

(2) 顺源、带状展布的主沟道和辫状沟道为湖底扇沉积的骨架砂体,主沟道向前延伸逐渐变为规模较大的辫状沟道沉积,向湖盆中心逐渐演变为多支小型末端辫状沟道沉积,平面微相序列表现为“主沟道→主沟道堤→深湖泥”或“辫状沟道→辫状沟道侧缘→辫状沟道间(末梢)→深湖泥”的变化特征。每支辫状沟道控制形成的带状沉积体间均为明显深湖—半深湖泥岩沉积分割,呈带状—舌状沉积体向湖盆中心延伸较远。

(3) 大凌河油层湖底扇沉积特征受控于沉积物供给量变化和断裂坡折带分布。三条呈NE向雁列式展布的断裂构成了三级断阶带控制大凌河油层的沉积面貌。

参考文献 (References)

- 1 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. [Zhang Qingshi, Zhang Ge, Chen Bintaotao, et al. Deposition characteristics and distribution pattern of sublacustrine fan in Qingshankou Formation, Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(3): 318-325.]
- 2 李祥辉,王成善,金玮,等. 深海沉积理论发展及其在油气勘探中的意义[J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 77-86. [Li Xianghui, Wang Chengshan, Jin Wei, et al. A review on deep-sea sedimentation theory: significances to oil-gas exploration[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(1): 77-86.]
- 3 王颖,王晓州,王英民,等. 大型坳陷湖盆坡折带背景下的重力流沉积模式[J]. 沉积学报, 2009, 27(6): 1076-1083. [Wang Ying, Wang Xiaozhou, Wang Yingmin, et al. Depositional model of gravity flow of slope in large down warped lake Basins[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(6): 1076-1083.]
- 4 Close D I. Slope and fan deposition in deep-water turbidite systems, East Antarctica[J]. Marine Geology, 2010, 274(1/2/3/4): 21-31.
- 5 Weimer P, Slatt R M. Introduction to Petroleum Geology of Deepwater Settings[M]. AAPG Studies in Geology No. 57, AAPG/Datapages Discovery Series No. 8. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, 2007: 1-500.
- 6 张建光,姚光庆,陈亚兵,等. 南襄盆地泌阳凹陷深水湖底扇厘定及碎屑锆石 U-Pb 年代学物源追踪[J]. 地球科学, 2011, 36(6): 1105-1118. [Zhang Jianguang, Yao Guangqing, Chen Yabing, et al. Sublacustrine fan of Chengdian and Zircon U-Pb ages and constraint on its provenance in Biyang depression, Nanxiang Basin, China[J]. Earth Science, 2011, 36(6): 1105-1118.]
- 7 夏青松,田景春. 鄂尔多斯盆地西南部上三叠统长6油层组湖底扇特征[J]. 古地理学报, 2007, 9(1): 33-43. [Xia Qingsong, Tian Jingchun. Sedimentary characteristics of sublacustrine fan of the Interval 6 of Yanchang Formation of Upper Triassic in southwestern Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9(1): 33-43.]
- 8 王建功,王天琦,张顺,等. 松辽坳陷盆地水侵期湖底扇沉积特征及地球物理响应[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 361-366. [Wang Jianguo, Wang Tianqi, Zhang Shun, et al. Sedimentary characteristics and geophysical response of sublacustrine fan during transgress period in Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 361-366.]
- 9 张震,鲍志东,童亨茂,等. 辽河断陷西部凹陷沙三段沉积相及相模式[J]. 高校地质学报, 2009, 25(3): 387-397. [Zhang Zhen, Bao Zhidong, Tong Hengmao, et al. Sedimentary facies and facies model of the 3rd member of Shahejie Formation in the western sag, Liaohe fault basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2009, 15(3): 387-397.]
- 10 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 Yilin, Wang Tianqi, Cao Zhenglin, 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.]
- 11 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.]
- 12 蒲秀刚,周立宏,韩文中,等. 歧口凹陷沙—下亚段斜坡区重力流沉积与致密油勘探[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(2): 138-149. [Pu Xiugang, Zhou Lihong, Han Wenzhong, et al. Gravity flow sedimentation and tight oil exploration in lower first member of Shahejie Formation in slope area of Qikou sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(2): 138-149.]
- 13 陈广坡,王天奇,李林波,等. 箕状断陷湖盆湖底扇特征及油气勘探——以二连盆地赛汉塔拉凹陷腾格尔组二段为例[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(1): 63-69. [Chen Guangpo, Wang Tianqi, Li Linbo, et al. Characteristics of sublacustrine fan in half-graben rift lake basin and its petroleum prospecting: Case study on the second member of Tenggeer Formation, Saihantala sag, Erlian Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(1): 63-69.]
- 14 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.
- 15 柳成志,霍广君,张冬玲. 辽河盆地西部凹陷冷家油田沙三段扇三角洲—湖底扇沉积模式[J]. 大庆石油学院学报, 1999, 23(1): 1-4. [Liu Chengzhi, Huo Guangjun, Zhang Dongling. Fan-delta-sublacustrine fan sedimentary models of S₃ member in Lengjia oilfield in Liaohe Basin[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1999, 23(1): 1-4.]

- 16 陈昊,张洪波,曹学良,等. 东濮凹陷文东地区沙三中亚段沉积相及砂体类型分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 32-35. [Chen Hao, Zhang Hongbo, Cao Xueliang, et al. Facies and sand body types of the middle sub-section of the Es³ Formation in Wengdong, Dongpu sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 32-35.]
- 17 饶孟余,钟建华,郭泽清,等. 济阳坳陷牛庄洼陷沙三段三角洲前缘浊积岩特征[J]. 高校地质学报, 2004, 10(4): 624-633. [Rao Mengyu, Zhong Jianhua, Guo Zeqing, et al. Turbidite characteristics of delta front for the 3rd member of Shahejie Formation in Niuzhuang sag, Jiyang depression[J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10(4): 624-633.]
- 18 漆家福,李晓光,于福生,等. 辽河西部凹陷新生代构造变形及“郯庐断裂带”的表现[J]. 中国科学(D辑):地球科学, 2013, 43(8):1324-1337. [Qi Jiayu, Li Xiaoguang, Yu Fusheng, et al. Cenozoic structural deformation and expression of the “Tan-Lu Fault Zone” in the West sag of Liaohe depression, Bohaiwan basin province, China [J]. Science China(Seri.D): Earth Sciences, 2013, 43(8): 1324-1337.]
- 19 高延新,吴崇筠,庞增福,等. 辽河盆地大凌河油层湖底扇沉积特征[J]. 沉积学报, 1985, 3(4): 83-93. [Gao Yanxin, Wu Chongyun, Pang Zengfu, et al. The sedimentary characteristics of the lacustrine fans in the Dalinghe oil bed of Liaohe Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(4): 83-93.]
- 20 吴朝容,杜春彦. 辽河油田西部凹陷沙河街组远岸浊积扇[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(3): 267-272. [Wu Chaorong, Du Chunyan. The distal turbidite fan of Shahejie Formation, Lower Paleogene in West depression, Liaohe Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(3): 267-272.]
- 21 刘会纺. 辽河坳陷西斜坡中南部大凌河油层沉积相研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2007. [Liu Huifang. Study on sedimentary facies of Dalinghe oil layer in central-south of the West slope in Liaohe depression[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2007.]

Sedimentary Characteristics and Model of Sublacustrine Fan of Dalinghe Oil Layer of Shu2 Area in the West Sag, Liaohe Basin

SUN Yu^{1,2} XIANG Yao¹ MA ShiZhong¹ LI WeiRui³ HE ZiEn³ QI DianJun⁴

(1. College of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Shuguang Oil Production Plant, Liaohe Oilfield Company Ltd., Panjin, Liaoning 124109, China;

4. No.5 Oil Production Plant of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing, Heilongjiang 163513, China)

Abstract: Based on cores data, geological logging data and logging data in mature exploration area, sedimentary characteristics and models of Dalinghe oil layer in Shu2 area of the West Sag has been analyzed. It shows that the gravity flow channels are widely developed in the sublacustrine fan of Dalinghe oil layer. The plane distribution, sand-body extended direction and distribution pattern of sublacustrine fan is controlled by gravity flow channels and ancient landform. The gravity flow channels and its controls on sedimentary body are banding distribution along the source direction. The main channel is gradually extended to relatively larger scale braided channel. The sides of the braided channel are the edges of the braided channel, which are banding distribution or tongue distribution. The braided channel is gradually becoming multi branched and small braided channel endings to the direction of the lake. Microfacies sequence of sublacustrine fan is the main channel→the embankment of main channel→deep lacustrine mudstone or the braided channel→the edges of the braided channel→endings microfacies→deep lacustrine mudstone. Each banded sedimentary body controlled by the braided channel is separated by deep lacustrine mudstone. And it is banding distribution or tongue distribution extending to the center of the basin far away.

Key words: sublacustrine fan; sedimentary characteristics; sedimentary model; single gravity flow channel; Liaohe Basin; Dalinghe oil layer