文章编号:1009-3850(2016)02-0001-10

松辽盆地白垩系浅水湖泊三角洲沉积微相研究

——以大庆杏树岗油田杏三区东部葡 I 1-3 小层为例

冯旭东¹,张 东²,林春明¹,张 霞¹,刘 威²,于 进¹,李 葳² (1. 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室 南京大学地球科学与工程学院,江苏 南京 210046;2. 大庆油田有限责任公司第四采油厂,黑龙江 大庆 163511)

摘要:根据密井网测井、录井以及其它分析化验资料,结合区域地质背景,对松辽盆地杏树岗油田杏三区东部白垩系 姚家组一段葡萄花 I 组油层 1-3 小层(葡 I 1-3 小层)沉积微相类型、特征、组合模式和不同地质时期沉积微相平面 展布特征及其演化规律进行系统的研究。结果表明,葡 I 1-3 小层为浅水湖泊三角洲沉积,主要发育三角洲分流平 原和三角洲内前缘 2 种沉积亚相,含 11 种沉积微相,具有不同的沉积特征和测井相模式;利用自然电位曲线幅变值 和砂体厚度,有效识别天然堤、水上决口沉积、溢岸薄层砂 3 种有成因联系、测井曲线形态类似的沉积微相;进一步根 据各沉积微相的测井曲线形态组合、沉积成因及沉积作用的不同,总结出 7 种沉积微相组合模式。葡 I 1-3 小层沉 积演化经历了早期湖退、中期稳定、晚期湖侵 3 个阶段,不同时期的沉积特征、沉积微相展布各异,总体表现出湖盆发 育规模由大变小,再变大,骨架砂体厚度和理想钻遇率逐渐减小的特点。

引言

浅水三角洲发育于水体较浅、构造相对稳定的 陆表海或地形平缓、整体沉降缓慢的坳陷湖盆 中^[1-5]。我国中、新生代广泛发育浅水湖泊三角洲, 这类三角洲在剖面上没有形成较陡的前积斜坡和明 显转折带的顶积、前积和底积层结构,平面相带分异 明显,可分为三角洲分流平原、三角洲内前缘、三角 洲外前缘和前三角洲等亚相。浅水湖泊三角洲的一 些常见特点包括:湖面开阔,水体很浅,波浪较 弱^[6];碎屑物质供给充分,河流作用强,推进快^[7]; 以分流河道砂体为骨架,河口坝不甚发育^[8,9];席状 砂大面积分布^[10];垂向沉积层序不完整等^[11]。

松辽盆地北部白垩系葡萄花 I 组油层 1-3 小层

(葡 I 1-3 小层)为浅水湖泊三角洲沉积^[12-14]。大 庆杏树岗油田杏三区东部早期将葡 I 1-3 小层沉积 微相划分为河道砂、表内砂岩、表外砂岩和尖灭区 4 种类型^[15],但随着油田的开发推进和井网加密,这 种划分和描述已经不能满足精细沉积微相识别、剩 余油分布探索和后期开发方案设计的需要。本次研 究是在杏三区东部 2200 口井的测井、录井以及分析 化验等资料基础上,结合区域地质背景及邻区相关 层位研究,对密井网下的白垩系浅水湖泊三角洲沉 积微相进行解剖。通过精细划分与对比,建立地层 等时格架,识别出 11 种沉积微相类型,探讨不同沉 积微相沉积特征与测井响应,剖析不同地质时期沉 积微相的组合模式、平面展布与演化阶段。

收稿日期: 2015-08-10; 改回日期: 2015-10-19

作者简介: 冯旭东(1991 –),男,硕士研究生,主要从事沉积学和石油地质学研究。E-mail:dongdongcumt@163.com **通讯作者:** 林春明(1964 –),男,博士,教授,博士生导师,主要从事沉积学和石油地质学教学与研究。 E-mail:cmlin@nju.edu.cn

1 区域地质背景

大庆杏树岗油田位于松辽盆地北部中央坳陷区 大庆长垣二级构造带中部(图1),杏三区东部总面 积17.85 km²,井网密度达123 口/km²,平均井距50 ~60 m。产油层为白垩系青山口组、姚家组、嫩江 组,自下而上依次对应高台子、葡萄花、萨尔图3套 油层组,油层埋藏深度在800~1200m之间。目的 层葡 [1-3 小层 (图 2),岩性为中-细粒、中-厚层砂 岩和透镜状砂岩与红绿杂色块状泥岩的组合,为浅 水湖泊三角洲分流平原与内前缘沉积^[12]。该层段 沉积时期,古地形相对平坦,气候干燥,物源供给充 足,湖泊面积相对较小,水体很浅,通常不超过10 m^[10]。受基底脉动隆升作用^[14]、气候季节性和周期 性变化的影响,杏树岗地区湖岸线摆动大而迅速,在 湖泊与三角洲分流平原之间相位频繁变迁的条件下 形成一套具有多级旋回、岩相参差不齐、砂泥岩频繁 交互的浅水湖泊三角洲沉积[16-17]。



图 1 松辽盆地北部构造单元划分及大庆杏树岗油田杏三 区东部位置示意图

I.大庆长垣;Ⅱ.齐家-古龙凹陷;Ⅲ.三肇凹陷;Ⅳ.朝阳沟阶地;V. 长岭凹陷;Ⅵ.龙虎泡-红岗阶地;Ⅶ.黑鱼泡凹陷;Ⅲ.明水阶地

Fig. 1 Tectonic division of northern Songliao Basin (left) and location of eastern Xing-3 block, Xingshugang Oil Field, Daqing (right)

2 沉积微相类型及特征

2.1 沉积时间单元划分与对比

沉积时间单元是在相同的沉积环境背景下的物理、化学和生物作用所形成的等时沉积,是在小层划分对比基础上细分出的相对稳定分布的次一级沉积旋回或韵律层。正确的沉积时间单元划分对比是沉积微相精细研究的基础。在区域地质背景研究的基础上,即在沉积相及沉积亚相已经确定的前提

下^[12~14,18-19],进行岩电分析,结合相邻井钻遇目的 层的厚度、旋回性,将具有层位发育齐全、旋回明显 可分、钻遇砂层较多、避开断层等特征的 X7 井作为 分层起点和参照(图2)。区内采用"旋回对比,分 级控制,不同相带区别对待"连井对比技术^[20],均 匀抽稀井网,建立骨架剖面(图3),进行大井距的 油层细分对比,在此基础上对细分方案进行调整,以 满足密井网、小井距对比要求。依照油层组—小 层—沉积时间单元的对比顺序,将杏三区东部葡 I 1-3 小层自下而上分为葡 I 3_3^2 、葡 I 3_2 、葡 I 2_2 、葡 I 2_1^2 、葡 I 2_1^1 、葡 I 1_2 和葡 I 1_1 等7 个沉积时间单 元(图3)。

2.2 测井相模式建立

选取自然电位(SP)、微电极系包括微电位 (RMN)和微梯度(RMG)、2.5 m 电阻率等测井曲线 系列,从测井曲线中提取形态、幅度、幅变、顶底接触 关系等测井要素,建立测井相模式。其中,根据曲线 形态、幅度、顶底接触关系能够识别大部分微 相^[21,22],但对于三角洲分流平原中的天然堤、水上 决口沉积、溢岸薄层砂这3种有成因联系、曲线形态 均接近指形、扁钟形的沉积微相识别效果不佳。而 幅变这一要素对测井曲线形态变化比较敏感,以自 然电位(SP)曲线为例,其值等于曲线单峰长度与单 峰宽度的比值,即△S/H,其中,△S 代表单峰长度, H代表单峰宽度(图4)。综合分析自然电位曲线 幅变及砂体厚度后发现,研究区内,天然堤曲线幅变 值在 0.8~1.6 之间, 砂体厚度在 0.5~1.2 m 之间; 水上决口沉积曲线幅变值在0.2~0.8之间,砂体厚 度在1~4.5 m之间;溢岸薄层砂曲线幅变值在0.4 ~1.1 之间, 砂体厚度在 0.2 ~ 1.5 m 之间。一般来 说,曲线幅变值大于0.8时,为天然堤沉积;幅变值 小于0.8时,砂体厚度小于1.5m为溢岸薄层砂,砂 体厚度大于1.5 m 为水上决口沉积(图4)。

研究区葡 I 1-3 小层为浅水湖泊三角洲沉积, 划分为2 种亚相,其中,葡 I 3₃²、葡 I 3₂、葡 I 2₂ 和 葡 I 2₁² 单元属于三角洲分流平原亚相,含水上分流 河道、废弃河道、天然堤、水上决口沉积、溢岸薄层 砂、水上分流间湾等6 种沉积微相;葡 I 2₁¹、葡 I 1₂ 和葡 I 1₁单元单元为三角洲内前缘亚相,含水下分 流河道、水下决口沉积、分流河口砂坝、席状砂、水下 分流间湾等5 种沉积微相。研究区 11 种沉积微相 的沉积及电性特征如下。



图 2 松辽盆地北部上白垩统地层综合柱状图(改自参考文献 [14])及 X7 井葡 I 1-3 小层 7 个沉积时间单元划分 Fig. 2 Upper Cretaceous stratigraphic column (left, modified from Chan Jingfu et al., 2011) and division of sedimentary time units in the Pu I 1-3 oil reservoirs through the X-7 well (right)

2.2.1 三角洲分流平原亚相

三角洲分流平原位于河流下游的第一个分流点 至湖岸线之间的三角形岸上部分,水上分流河道由 上游的单方向至下游入湖时呈喇叭状散开,河道两 侧发育天然堤,洪泛时可形成水上决口沉积。

(1)水上分流河道微相

为三角洲分流平原最主要的微相类型,岩性以 中、细砂岩为主,中上部夹有粉砂岩,具有明显的二 元结构。底部冲刷构造和大型单向水流层理发育, 砂体厚度在2~5m之间,局部可达7~10m。自然 电位曲线表现为光滑或齿化箱形、钟形,高幅-极高 幅,底部为突变接触,顶部为渐变-突变接触。微电 极曲线表现为高幅-极高幅(图5a,b)。

(2) 废弃河道微相

毗邻水上分流河道发育,分为突弃型和渐弃型 两种(图5c,d)。自然电位曲线表现为光滑或齿化 长颈箱形、钟形,底部高幅、中上部渐变为中低幅,底 部为突变接触,顶部为渐变或突变接触。微电极曲 线表现为底部高幅,中上部中低幅。

(3)天然堤微相

位于水上分流河道两岸的狭长带状沉积,岩性 以泥质粉砂岩夹薄层粉砂质泥岩或粉砂岩为主,在 剖面上主要位于河道顶部(图 5e)或夹于厚层河道 间泥岩中(图 5f),砂体厚度在 0.5~1.2m 之间。自



图 3 松辽盆地杏树岗油田杏三区东部北西一南东向骨架剖面沉积时间单元对比图

Fig. 3 Correlation of the sedimentary time units in a NW - SE-trending framework section in eastern Xing-3 block, Xingshugang Oil Field, Daqing



图 4 松辽盆地杏树岗油田杏三区东部 3 种沉积微相自然 电位曲线幅变-砂体厚度图

Fig. 4 Amplitude variations of SP curves vs. sandstone thickness diagram of the sedimentary microfacies in eastern Xing-3 block, Xingshugang Oil Field, Daqing

然电位曲线以正韵律为主,少量为复合韵律,呈中高幅,光滑高幅变指形,幅变值在0.8~1.6之间(图4),顶底部均为突变-渐变接触。微电极曲线形态呈指状小尖峰。

(4)水上决口沉积微相

与主河道砂体直交或斜交分布,形态呈窄条状、带状、不规则片状或扇状,岩性以粉砂岩、泥质粉砂 岩为主,砂体厚度在1~4.5m之间。自然电位曲线 以正韵律为主,呈中幅,光滑或齿化低幅变钟形,幅 变值在 0.2~0.8 之间(图 4),底部为突变接触,顶 部为突变-渐变接触。微电极曲线多为齿化钟形(图 5g)。

(5)溢岸薄层砂微相

为河水普遍溢岸而形成的大面积片状展布的薄 层席状砂,发育小型交错层理,砂体厚度在0.2~ 1.5m之间。自然电位曲线为以反韵律-正韵律的复 合韵律为主,呈中幅,光滑或齿化低幅变扁钟形、指 形,幅变值在0.4~1.1之间(图4),顶底部均为突 变接触。微电极曲线为指形、齿化指形(图5h)。

(6)水上分流间湾微相

为水上分流河道间相对较低洼地区的泥质沉积。测井曲线为光滑-微齿化线形,呈现低幅-极低幅,低幅差(图5i)。

2.2.2 三角洲内前缘亚相

三角洲内前缘为三角洲分流平原的水下延伸部 分,频繁暴露于水面。分流河道在水下延伸较远,并 且受河流和湖浪共同的改造作用产生不同程度的席 状砂化。

(1)水下分流河道微相

水下分流河道为水上分流河道在水下延伸所 致,其冲刷能量减弱,底部滞留沉积不呈现或者很 薄,砂体厚度在2~4m之间。自然电位曲线以正韵 律为主,为光滑-齿化钟形或箱形,极高幅、高幅,底 部呈突变接触、顶部渐变接触。微电极曲线为高幅、



图 5 松辽盆地杏树岗油田杏三区东部浅水湖泊三角洲 11 种沉积微相测井相模式 a.水上分流河道;b.水上分流河道;c.突弃型废弃河道;d.渐弃型废弃河道;e.天然堤(黑色框内);f.天然堤;g.水上决口沉积;h.溢岸薄层砂; i.水上分流间湾;j.水下分流河道;k.水下决口沉积;l.分流河口砂坝;m.分流河口砂坝;n.席状砂;o.席状砂;p.水下分流间湾 Fig.5 Log facies patterns for the sedimentary microfacies of the shallow-water lacustrine delta deposits in eastern Xing-3 block, Xingshugang Oil Field, Daqing

极高幅(图5j)。

(2)水下决口沉积微相

分布于水下分流河道两侧,一般形成于洪水期 水动力相对较弱的间湾水体中,发育规模较小,冲刷 面很少。测井曲线为中幅扁钟形,底部突变接触,顶 部突变-渐变接触。自然电位曲线为齿化-微齿化扁 钟形(图 5k)。

(3)分流河口砂坝微相

位于水下分流河道的河口处,常具有向上变粗 的逆粒序,砂体厚度在1~2m之间。测井曲线以反 韵律为主,为光滑-微齿化漏斗形,中上部为高幅-极 高幅,下部为低幅,底部为渐变接触、顶部突变接触。 (图 51,m)。

(4) 席状砂微相

位于水下分流河道外侧,与分流河口砂坝共存, 由细、粉砂岩夹泥质粉砂岩组成,砂体厚度在0.5~ 0.8m之间。自然电位曲线呈指形或极扁钟形、极扁 漏斗形。微电极曲线常呈现交互指形,中高幅差 (图5n,o)。

(5)水下分流间湾微相

为水下分流河道间低洼地区的泥质沉积,与开 阔湖面相通。测井曲线呈线形或线形中夹有指形, 以低幅-极低幅为主(图5p)。

3 沉积微相组合模式

不同类型的沉积微相在同一沉积时间单元的平 面和剖面中出现的频率和分布的层位有明显的差 异,进行合理的微相组合分析,是研究沉积环境变 化、水流能量强弱的重要环节(图6)。从分析测井 曲线形态组合、沉积成因出发,结合碎屑岩6种沉积 作用类型^[23],如垂积、前积、侧积、漫积、选积、填积 等,总结出7种浅水湖泊三角洲沉积微相组合模式 (图6)。

(1)水上分流河道-溢岸薄层砂

相邻井测井曲线组合的形态从箱形向扁钟形、 指形过渡。代表水动力条件相对稳定时期发育的较 顺直型水上分流河道,没有侧向摆动,只发生沉积物的垂相增长。在洪水季节,河水普遍溢岸,将悬浮物带到远离河岸处沉积下来,沉积间歇性强,多形成粉细砂为主的溢岸薄层砂,一般沿河岸两侧呈带状分布,或呈朵状镶嵌于河道砂体间。此组合主要沉积作用有垂积、填积、漫积。

(2)水上分流河道-天然堤-溢岸薄层砂

相邻井测井曲线组合的形态从箱形、钟形、高幅 变指形向低幅变指形、扁钟形过渡。代表水上分流 河道受河道弯曲作用、水流侧向侵蚀造成沉积物重 新分配,分流河道的凹岸发生侵蚀,于层位较高部位 形成天然堤。在洪水季节,河水越过河岸形成溢岸 薄层砂沉积。此组合主要沉积作用有侧积、漫积。

(3)水上分流河道-天然堤-水上决口沉积-溢岸 薄层砂

相邻井测井曲线组合的形态从箱形、钟形、高幅 变指形、低幅变钟形向低幅变指形过渡。代表高水 位时期水上分流河道内水量大,水流急,冲决天然堤 形成水上决口沉积,与主河道砂体呈直交或斜交分 布,向边部与溢岸薄层砂呈渐变接触。此组合主要 沉积作用有侧积、漫积、填积。



图 6 松辽盆地杏树岗油田杏三区东部浅水湖泊三角洲沉积微相组合模式(其中平面水流分布和剖面沉积方式改自参考文 献[23])

Fig. 6 Sedimentary microfacies associations in the shallow-water lacustrine delta deposits in eastern Xing-3 block, Xingshugang Oil Field, Daqing (Yu Xinghe et al., 2004)

(4)水上分流河道-废弃河道-溢岸薄层砂

相邻井测井曲线组合的形态从箱形向齿化或光 滑长颈钟形、指形过渡。代表水上分流河道水流能 量逐渐降低,形成废弃河道。废弃河道与改道后的 分流河道部分连通或完全隔绝,形成泥质沉积中夹 有粉砂质沉积或大套的泥质沉积,之间为河水溢岸 形成的薄层砂质沉积。此组合主要沉积作用有侧 积、填积和漫积。

(5)水上分流河道-水上分流间湾

连井剖面上,测井曲线组合的形态从箱形、钟形 向线形过渡。代表水上分流河道间局部受低洼地势 控制发育泥质沉积,水动力较弱。此组合主要沉积 作用有漫积、填积。

(6)水下分流河道-分流河口砂坝-席状砂-水下 分流间湾

连井剖面上,测井曲线组合的形态从箱形、钟形 向漏斗形、指形、线形过渡。代表水下分流河道受河 流、湖浪、沿岸流的冲刷,以及湖底形态的共同作用, 被不同程度地改造成分流河口砂坝、席状砂。早期 形成的分流河口砂坝往往被后来的水下分流河道侵 蚀,局部受地形的控制,可能有保存。细粒物质被搬 运到河道两侧形成薄层席状砂。在水动力条件较弱 的区域,发育有水下分流间湾。此组合主要沉积作 用有前积、选积、填积、漫积。

(7)水下分流河道-席状砂

连井剖面上,测井曲线组合的形态从箱形、钟形 向指形过渡。代表湖平面升幅较大、升速较快时,水 下分流河道被强烈改造成片状展布的席状砂,河道 砂体厚度变薄。此组合主要沉积作用有选积、填积、 漫积。

4 沉积微相平面展布及演化

松辽盆地杏树岗油田杏三区东部葡 I 1-3 小层 的形成主要经历了早期湖退(葡 I 3_3^2 、葡 I 3_2)、中 期稳定(葡 I 2_2 、葡 I 2_1^2)、晚期湖侵(葡 I 2_1^1 、葡 I 1_2 、葡 I 1_2)的沉积演化阶段。

4.1 早期湖退阶段

研究区经历了葡I4时期的湖侵后,发生急剧 湖退,湖盆面积变小,气候变得相对干燥。葡13,² 单元、葡 I 32 单元是在该背景下形成的沉积,受基 底脉动隆升影响^[14],之间缺失葡[3,¹单元。葡] 33°单元沉积时期,湖岸线位于杏十二区附近^[24],研 究区处于三角洲分流平原的中下部,物源区碎屑物 质供应充分,水动力较强,水上分流河道砂广泛分 布。此时古地势东高西低、北高南低,研究区于北东 部超覆缺失葡 [3,1 单元(图7a),并于西部、南西部 形成了厚层高弯曲分流河道砂体,河道曲率为 2.01。根据统计结果表明,水上分流河道砂的理想 钻遇率为78%。受分流河道侧向摆动影响,溢岸薄 层砂、水上分流间湾等微相大多被侵蚀殆尽,不能连 片展布(图7a)。葡 I 32 单元沉积时期,湖岸线在太 平屯油田中部,受古地势北高南低控制,研究区大范 围处于剥蚀区,只在本区的南部、南西部局限范围内 接受沉积(图7b)。平面沉积微相主要发育水上分 流河道,伴生有朵状展布的溢岸薄层砂,其余微相发 育规模较小(图7b)。

4.2 中期稳定阶段

在葡 I 3₂ 单元沉积之后,研究区进入稳定沉积 阶段,葡 I 2₂ 单元、葡 I 2₁² 单元全区展布。葡 I 2₂ 单元沉积时期,物源来自北部,湖岸线在杏南一带不 断反复摆动。水上分流河道在研究区的西部及东部 发育,总体上顺物源呈现南北向展布(图 7c)。分流 河道依旧保持较高弯度,河道曲率达到2.12。在研究区西部、东部砂体增厚,砂地比明显增高,中部则发育有大片水上分流间湾微相(图7c)。葡I2₁²单元沉积时期,湖岸线一直在杏北和杏南之间摆动。水动力变弱,河流搬运碎屑物质的能力逐渐降低,分流流速下降,侧蚀和下蚀作用减弱,水上分流河道的曲率向河口方向降低,为1.95。水上分流河道砂的理想钻遇率为63%,较葡I3₃²单元时期水上分流河道的规模缩小了15%左右。研究区东部发育有侧向摆动强烈的水上分流河道,其伴生微相不发育;研究区中部和西部水上分流河道常与呈片状、朵状展布的水上分流间湾和溢岸薄层砂伴生,沉积微相类型多并且保存较好(图7d)。

4.3 晚期湖侵阶段

葡 [2,1 单元沉积时期,研究区进入湖平面缓慢 扩张阶段,湖盆面积开始扩大。本单元是水上分流 河道入湖后,在水动力较强、物源供给充沛的环境下 形成的建设性三角洲内前缘沉积。水下分流河道砂 体形态呈较顺直型南北向延伸,理想钻遇率为 39%,较水上分流河道砂钻遇率明显降低。席状砂 常呈条带状顺水下分流河道两侧分布,水下决口沉 积、分流河口砂坝发育范围较小(图7e)。葡 I12单 元沉积时期,研究区处于向末期迅速大规模湖侵的 转折阶段,水下分流河道受不均匀充填、冲刷作用, 河道宽度和砂体厚度减小,呈北东向窄条带状和断 续条带状展布,理想钻遇率为33%。水下分流间湾 发育规模增大,理想钻遇率达到37%(图7f)。葡I 1,单元沉积时期,物源供给降低,湖平面迅速扩张, 湖水对水下分流河道的改造作用加强,使得沉积碎 屑物质以大范围连片分布的席状砂为主,其理想钻 遇率达到68%。水下分流河道砂理想钻遇率已不 足15%,呈零星状分布在研究区东部席状砂和水下 分流间湾之中(图7g)。

5 结论

(1)松辽盆地杏树岗油田杏三区东部白垩系葡 I1-3小层为浅水湖泊三角洲沉积,可划分为三角 洲分流平原和三角洲内前缘2种亚相,细分出水上 分流河道、废弃河道、天然堤、水上决口沉积、溢岸薄 层砂、水上分流间湾、水下分流河道、水下决口沉积、 分流河口砂坝、席状砂、水下分流间湾等11种微相。

(2)建立浅水湖泊三角洲测井相模式,分析了 每种微相的沉积和电性特征。利用自然电位曲线幅 变值和砂体厚度对于三角洲分流平原中的天然堤,



图7 松辽盆地树岗油田杏三区东部葡 I1-3 小层精细沉积微相平面展布图

a. 葡 I 3₃² 单元; b. 葡 I 3₂ 单元; c. 葡 I 2₂ 单元; d. 葡 I 2₁² 单元; e. 葡 I 2₁¹ 单元; f. 葡 I 1₂ 单元; g. 葡 I 1₁单元 Fig. 7 Planar distribution of the sedimentary microfacies in the Pu I 1-3 oil reservoirs of eastern Xing-3 block, Xingshugang Oil Field, Daqing

8

9

水上决口沉积,溢岸薄层砂这3种有成因联系、曲线 形态相似的沉积微相进行了识别。

(3)分析测井曲线形态、沉积成因、沉积作用的 变化规律,总结出7种浅水湖泊三角洲沉积微相组 合模式。

 (4)葡I1-3小层总体上经历了早期湖退(葡I3₃²、葡I3₂)、中期稳定(葡I2₂、葡I2₁²)、晚期 湖侵(葡I2₁¹、葡I1₂、葡I1₁)的沉积演化阶段。

致谢 在本文撰写过程中,得到了单敬福、郭英 海和沈玉林等教授的指导,成文后得到了王兵杰、崔 久博、刘亚雷、袁亚娟、毛亚坤、向维等提出的宝贵意 见,在此一并致以衷心的感谢!

参考文献:

- [1] FISK H N. Bar-finger sand of the Mississippi delta [A]. 45th Annual Meeting [C]. New Jersey: AAPG, 1960, 29 - 52.
- [2] DONALDSON A C. Pennsylvanian sedimentation of central Appalachians [J]. Geological Society of America, 1974, 148 (Special Papers): 47-48.
- [3] HORNE J C, FERM J C, BAGANZ B P. Depositional models in coal exploration and miner planning in Appalachian region [J].
 AAPG Bulletin, 1976, 62(12): 2377 2411.
- [4] STANLEY K O, SURDAM R C. Sedimentation on the front of Eocene Gilbert-type deltas, Washakie, Wyoming [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1978, 48(2): 557 - 573.
- [5] POSTMA G. An analysis of the variation in delta architecture[J]. Terra Nova, 1990,2(2): 124 130.
- [6] 赵翰卿. 松辽盆地大型叶状三角洲沉积模式[J]. 大庆石油地 质与开发,1987,6(4):1-10.
- [7] 邹才能,赵文智,张兴阳,等.大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J].地质学报,2008,82(6):813-825.
- [8] 梅志超,林晋炎. 湖泊三角洲的地层模式和骨架砂体的特征[J]. 沉积学报,1991,9(4):1-10.
- [9] 姚光庆,马正,赵彦超,等.浅水三角洲分流河道砂体储层特征[J].石油学报,1995,16(1):24-31.
- [10] 楼章华,兰翔,卢庆梅,等. 地形、气候与湖面波动对浅水三角

洲沉积环境的控制作用一以松辽盆地北部东区葡萄花油层 为例[J]. 地质学报,1999,73(1):83-92.

- [11] 朱筱敏,刘媛,方庆,等.大型坳陷湖盆地浅水三角洲形成条件和沉积模式:以松辽盆地三肇凹陷扶余油层为例[J].地 学前缘,2012,19(1):89-99.
- [12] 王建功,王天琦,卫平生,等.大型坳陷湖盆浅水三角洲沉积 模式一以松辽盆地北部葡萄花油层为例[J].岩性油气藏, 2007,19(2):28-34.
- [13] 范广娟,马世忠.大庆油田杏十二区单砂体级沉积微相精细 研究一以葡萄花油层重点沉积时间单元为例[J].科学技术 与工程,2011,11(7):1535-1539.
- [14] 单敬福,张东,陈岑,等.大庆油田杏树岗杏一、二区东部葡I
 332a—葡I11 细层沉积体系再认识[J].现代地质,2011,25
 (2):297-307.
- [15] 张东,孙淑霞,李音,等.对杏树岗油田北部主力油层流动单元的划分[J].大庆石油学院学报,2002,26(3):18-21.
- [16] 林春明,冯志强,张顺,等. 松辽盆地北部白垩纪超层序特征[J]. 古地理学报,2007,9(6):619-634.
- [17] 卓弘春,林春明,李艳丽,等. 松辽盆地北部上白垩统青山
 口—姚家组沉积相及层序地层界面特征[J]. 沉积学报,
 2007,25(1): 29-38.
- [18] 苏燕,于兴河,杨愈.大庆长垣杏 56 井区 P I 油层组沉积微相分析[J].内蒙古石油化工,2007,33(8):51-54.
- [19] 孙雨,马世忠,姜洪福,等. 松辽盆地三肇凹陷葡萄花油层河 控浅水三角洲沉积模式[J]. 地质学报,2010,84(10):1502 -1509.
- [20] 赵翰卿,付志国,吕晓光,等.大型河流—三角洲沉积储层精 细描述方法[J].石油学报,2000,21(4):109-113.
- [21] 柯光明,郑荣才,高红灿,等.胜坨油田一区沙河街组二段
 1-3砂组测井--沉积相分析[J].沉积与特提斯地质,2006, 26(1):81-87.
- [22] 加东辉,吴小红,赵利昌,等. 渤中25-1 南油田浅水三角洲各 沉积微相粒度特征分析[J]. 沉积与特提斯地质,2005,25
 (4):87-94.
- [23] 于兴河,陈永峤. 碎屑岩系的八大沉积作用与油气储层表征 [J]. 石油实验地质,2004,26(6):517-524.
- [24] 张景军,柳成志,张雁,等. 湖岸线演化及砂体分布规律研究一以大庆长垣湖岸线演化为例[J]. 沉积与特提斯地质, 2010,30(4):50-54.

Sedimentary microfacies of the Cretaceous shallow-water lacustrine delta deposits in the Songliao Basin: An example from the Pu I 1-3 oil reservoirs of the eastern Xing-3 block, Xingshugang Oil Field, Daqing

FENG Xu-dong¹, ZHANG Dong², LIN Chun-ming¹, ZHANG Xia¹, LIU Wei², YU Jin¹, LI Wei² (1. State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210046, Jiangsu, China; 2. No. 4 Oil Production Plant, Daqing Oil Field Company, Daqing 163511, Heilongjiang, China)

Abstract: On the basis of well logs, mud logs, analytical data and regional geological background, the present paper conducts a systematic study of the types, characteristics, association patterns, planar distribution and evolution of the sedimentary microfacies in the Pu I 1-3 oil reservoirs of the eastern Xing-3 block, Xingshugang Oil Field, Songliao Basin. The shallow-water lacustrine delta deposits in the Pu I 1-3 oil reservoirs consist of two sedimentary subfacies including the delta distributary plain and delta front subfacies; 11 sedimentary microfacies including the distributary channel, abandoned channel, natural levee, crevasse splay, overbank thin-bedded sheet sandstone, interdistributary bay, subaqueous distributary channel, subaqueous crevasse splay, distributary channel mouth bar, sheet sandstone and subaqueous interdistributary bay microfacies, and 7 sedimentary microfacies associations including the distributary channel-overbank thin-bedded sheet sandstone, distributary channel-natural levee-overbank thin-bedded sheet sandstone, distributary channel-natural levee-crevasse splay-overbank thinbedded sheet sandstone, distributary channel-abandoned channel-overbank thin-bedded sheet sandstone, distributary channel-interdistributary bay, subaqueous distributary channel-distributary channel mouth bar-sheet sandstone-subaqueous interdistributary bay and subaqueous distributary channel-sheet sandstone microfacies associations. On the whole, the Pu I 1-3 oil reservoirs have undergone several evolutionary stages of early regression, middle stable deposition and later transgression, during which the lake basin displayed the wide-narrowwide scales, and gradual decrease of the thickness and ideal drilling rates of the skeletal sandstones.

Key words: Songliao Basin; shallow-water lacustrine delta; sedimentary microfacies; logging facies; sedimentary microfacies association; sedimentary evolution