

大型浅水三角洲沉积相研究 ——以新立油田泉四段沉积相为例

李君君¹, 王志章¹, 张枝焕¹, 李卫花², 马福军³, 王如意¹

1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249
2. 北京石大油源科技开发有限公司, 北京 102249
3. 吉林油田新立采油厂, 吉林松原 138000

摘要 系统研究了扶余油层沉积特征、沉积微相及沉积演化。结果表明, 松辽盆地南部泉四段沉积时期, 盆地基底稳定缓慢沉降, 地形平缓, 在湖盆扩张及浅水背景下, 河流入湖形成大型浅水湖泊三角洲沉积相, 分为三角洲平原和三角洲前缘两个亚相。前者包括分支河道、天然堤、决口扇、分支河道间湾微相, 后者包括水下分支河道、水下天然堤、水下分支河道间湾、河口坝与远砂坝。在较强的水动力及整体水进背景下, 形成了枝状浅水三角洲沉积模式。

关键词 松辽盆地; 新立油田; 扶余油层; 沉积相; 浅水三角洲

中图分类号 TE111.3

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.08.003

Sedimentary Facies of Large-scale Shallow Delta ——Taking the 4th Member of the Quantou Formation in Xinli Oilfield as an Example

LI Junjun¹, WANG Zhizhang¹, ZHANG Zhihuan¹, LI Weihua², MA Fujun³, WANG Ruyi¹

1. College of Geoscience, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
2. Beijing Shida Oil Resource Science and Technology Development Co., Ltd., Beijing 102249, China
3. Xinli Oil Production Factory, Songyuan 138000, Jilin Province, China

Abstract Based on the systematic study of the sedimentary characteristics, sedimentary, micro-facies, and sedimentary evolution of Fuyu reservoir, the following conclusions are obtained. During the deposition of the 4th member of the Quantou formation in southern Songliao basin, the basement sinks stably and slowly, the terrain is gentle and smooth slope. Under the background of lake basin expansion and shallow, river flees into the lake, forms a large shallow lake delta deposition, and divides into two sub-phases, namely, delta plain and delta front. The former delta facies include branch channel, nature levee, crevasse splay, and inter branch channel; the later delta facies include subaqueous distributary channel, subsea natural levee, sub-sea inter branch channel, mouth bar, and distal bar. The shallow delta sedimentary model forms as the result of strong hydrodynamic and the fast water invasion. The direction of the remainder oil is pointed out, and the adjustment for developing project with guiding significance is provided.

Keywords Songliao basin; Xinli oilfield; Fuyu oil layer; sedimentation facies; large-scale shallow delta

0 引言

20世纪60年代首次提出浅水三角洲的概念^[1-2]。Donaldson^[3]最早将河控三角洲分为深水型及浅水型三角洲,

Postma^[4]将低能盆地中的三角洲分为浅水三角洲及深水三角洲。浅水三角洲通常是在水体较浅和构造相对稳定的台地和陆表海或地形平缓、整体缓慢沉降的拗陷盆地条件下形成

收稿日期: 2012-02-23; 修回日期: 2012-03-07

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05008-004)

作者简介: 李君君, 博士研究生, 研究方向为油气田开发地质, 电子信箱: lijunjun1003@163.com; 王志章(通信作者), 教授, 研究方向为油田开发地质, 电子信箱: whx3998@vip.sina.com

的。针对中国陆相湖盆浅水湖泊三角洲沉积特征、沉积模式的建立及其对岩性油藏形成的控制作用研究较少^[5]。

松辽盆地位于中国东北部,矿产资源丰富,尤其是油气资源^[6-8]。盆地内部构造单元分为西部斜坡区、北部倾没区、中央拗陷区、东北隆起区、东南隆起区和西南隆起区。新立油田是松辽盆地中央拗陷区扶余—新木隆起最西端新立构造上的一个穹隆背斜油田,地层平缓,倾角 2.0°—2.5°。油田北部为新北油田,东部为木头油田和扶余油田(图 1)。新立油田的主力产层为扶余油层(白垩系泉头组四段)。泉头组沉积时期是松辽盆地由断陷湖盆向拗陷湖盆转变的构造反转过渡期,泉三段晚期水进之后,盆地持续拗陷^[9-13]。前人对松辽盆地北部,以大庆长垣及头台地区油层^[8,14-15]和南部扶余油田、老爷府油田油层为例进行研究^[16-17],指出松辽盆地泉头组三、四段属于大型河流—三角洲沉积体系。对南部新立油田在成岩储集相等方面研究较多^[18-20],但对沉积特征、沉积相及沉积模式等未进行系统研究。松辽盆地白垩纪时期湖盆面积大,水体浅,地形缓,湖平面波动频繁,波浪作用带宽且能量弱,泉头组四段时期发育的扶余油层属于独具特色的大型浅水三角洲沉积^[21]。本文在前人研究的基础上,观察新立油田 20 余口井 1830 多 m 的岩心,研究扶余油层的沉积特征和沉积模式。

1 沉积特征及环境

松辽盆地南部扶余油层构造演化表明,松辽盆地属弧后裂谷盆地,先断后拗是盆地形成特点^[21]。中晚侏罗世早期断裂经侵蚀夷平,孤立的小盆地在高潮期开始连通,形成统一的

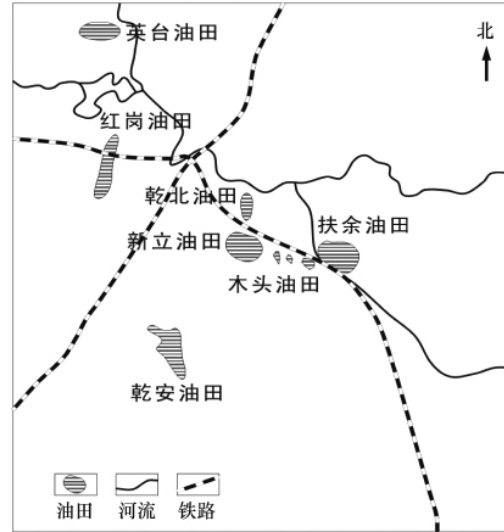


图 1 新立油田位置示意

Fig. 1 Location of the Xinli oilfield

沉积背景;早白垩世中晚期,盆地南部基底呈稳定整体沉降的拗陷阶段。扶余油层的地层厚度变化不大,平均厚度为 120m,最大厚度为 145m,最小厚度为 100m。地层厚度的变化特征反映了该时期盆地地势平缓。

在 1830 多 m 的岩心中,泥岩的颜色主要为浅灰色、灰绿色、灰绿棕红色、棕红色与紫红色。扶余油层下部层段(第 3、4、5 砂岩组)以紫红色、棕红色泥岩为主,上部层段(第 1、2 砂岩组)以灰绿色泥岩为主,黑色泥岩多分布在第 1、2 砂岩组。泥岩颜色由下至上变化,反映了扶余油层沉积时期水体由浅

表 1 新立油田泉头组储层砂岩碎屑组分及填隙物质量分数统计表

Table 1 Statistical chart of reservoir sandstone detritus and matrix content of Quantou formation in Xinli oilfield

| 井号 | 井段/m | 碎屑组分/% (平均/最低—最高) | | | 填隙物/% (平均/最低—最高) | | |
|----|--------|----------------------|-------------|-------------|---------------------|-----------|-------------|
| | | 石英 | 长石 | 岩屑 | 黏土杂基 | 胶结物 | |
| 1 | 取心井 1 | 1137.05—1205.53 | 30.4/25—38 | 29.34/27—34 | 40.1/30—46 | 6.49/0—18 | 9.91/1—32 |
| 2 | 取心井 2 | 1322.60—1383.64 | 30.40/19—37 | 30.97/19—38 | 38.64/28—57 | 5.91/0—20 | 4.49/0—35 |
| 3 | 取心井 3 | 1231.90—1279.50 | 37/34—40 | 28.7/25—36 | 34.3/29—41 | 3.39/0—28 | 16.8/3—50 |
| 4 | 取心井 4 | 1164.62—1297.46 | 27.95/24—31 | 34.31/33—38 | 38.74/33—43 | 3.75/0—9 | 4.31/0—13 |
| 5 | 取心井 5 | 1173.30—1300.38 | 32.08/25—40 | 26.33/23—32 | 41.67/35—50 | 4/1—10 | 2.67/0—5 |
| 6 | 取心井 6 | 1563.40—1574.60 | 29.63/26—36 | 33.75/32—35 | 36.63/30—40 | 4.69/3—7 | 9.31/5—15 |
| 7 | 取心井 7 | 1283.15—1310.20 | 28.80/27—31 | 32.10/31—33 | 39.10/36—42 | 3.70/0—8 | 9.70/5—21 |
| 8 | 取心井 8 | 1406.12—1409.60 | 27.67/25—34 | 32.56/24—35 | 38.67/30—42 | 5.83/0—10 | 5.22/1—26 |
| 9 | 取心井 9 | 1093.07—1200.93 | 33.75/25—40 | 21.25/19—23 | 42.50/27—51 | 0.5/0—2 | 26.75/17—40 |
| 10 | 取心井 10 | 1697.50—1705.57 | 39.00/36—42 | 22.38/21—23 | 38.63/35—42 | 4.22/0—9 | 9.22/5—14 |
| 11 | 取心井 11 | 1463.05—1512.15 | 35.83/33—38 | 29.90/26—39 | 35.00/30—38 | 4.06/0—30 | 4.28/0—24 |
| 12 | 取心井 12 | 1061.15—1110.65 | 32.92/31—37 | 27.51/25—31 | 39.56/34—42 | 6.51/2—17 | 11.91/0—28 |
| 13 | 取心井 13 | 1249.55—1261.25 | 35.45/32—39 | 29.35/26—31 | 35.13/32—38 | 1.61/0—4 | 12.61/8—31 |
| 14 | 取心井 14 | 1250.60—1310.58 | 31.03/28—35 | 32.83/30—38 | 36.48/33—42 | 3.85/2—12 | 4.73/2—13 |
| 15 | 取心井 15 | 1391.46—1400.70 | 28.41/25—30 | 30.00/25—34 | 41.59/38—50 | 4.48/1—11 | 5.26/2—16 |
| 16 | 取心井 16 | 1369.58—1377.10 | 27.35/24—33 | 31.41/27—35 | 41.24/35—45 | 5.25/0—11 | 8.90/2—23 |
| 17 | 取心井 17 | 1757.80—1771.60 | 30.00/29—31 | 33.50/33—34 | 36.50/36—37 | 6.33/2—11 | 7.17/2—14 |

变深,沉积环境由弱氧化向弱还原过渡。岩心观察及微观研

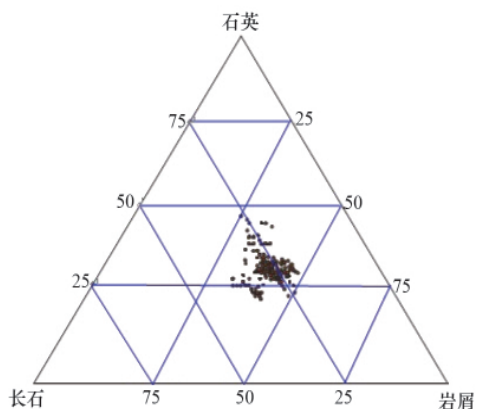


图2 新立油田泉头组砂岩三角分类图(单位:%)
Fig. 2 Triangular classification diagram of sandstone
Quantou formation sandstone of Xinli oilfield (unit: %)

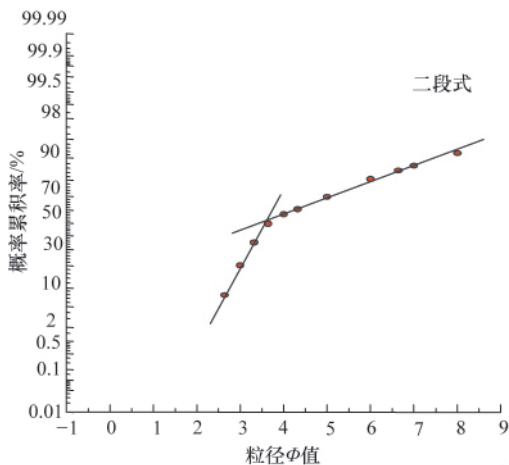
究表明,扶余油层储层以细砂岩为主,其次为粉砂岩及细一中砂岩,含少量中砂岩和不等粒砂岩。泉四段以泥质、钙质胶结为主,胶结较致密;岩石碎屑主要是石英、长石(斜长石为主,钾长石次之)和岩屑,它们的质量分数分别为24%—40%、19%—39%和27%—57%(表1和图2)。岩屑以中酸性喷出岩及凝灰岩为主,含少量变质岩岩屑,偶见沉积岩岩屑。磨圆度属于中—好水平,分选中等,粒度累积概率曲线多为两段式和三段式(图3),偶有四段式,反映了远源沉积条件。泥岩颜色的变化表明扶余油层沉积时期水体为逐渐加深过程,沉积环境为浅至半深湖,古气候条件为温暖潮湿。

2 浅水三角洲平原与前缘微相类型及特征

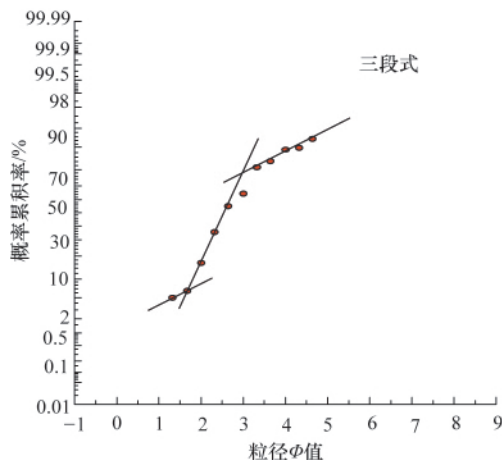
在新立油田扶余油层识别出三角洲平原与三角洲前缘2种亚相、9种微相。

2.1 三角洲平原亚相

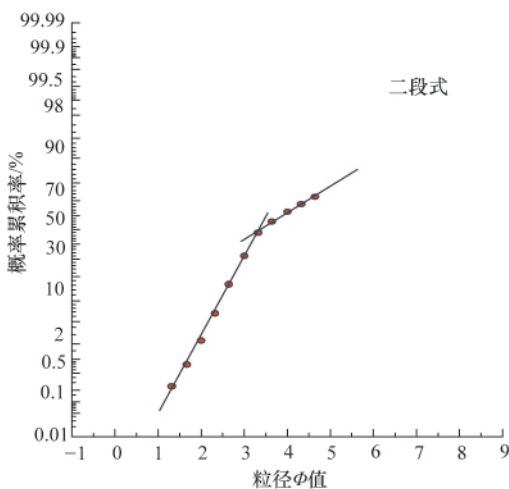
泉四段(4—14小层)为三角洲平原亚相沉积,分4个



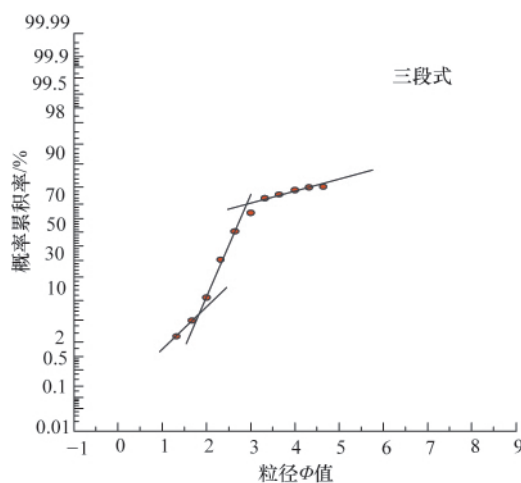
(a) 取心井 1,1167.2m
(a) Core 1, 1167.2m



(b) 取心井 4,1202.2m
(b) Core 4, 1202.2m



(c) 取心井 4,1227.652m
(c) Core 4, 1227.652m



(d) 取心井 10,1279.32m
(d) Core 10,1279.32m

图3 新立油田泉四段粒度累积概率曲线

Fig. 3 Cumulative probability curve of the grain size of the fourth member of Quantou formation in Xinli oilfield

微相。

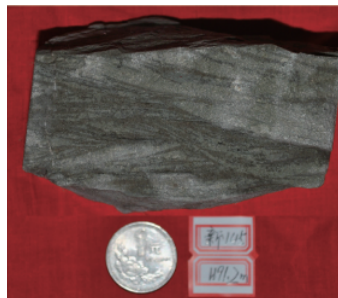
(1) 分支河道微相。

分支河道微相是平原亚相最主要也是最重要的砂体类型,以粉砂及细砂沉积为主,有少量中、粗砂岩和含砾砂岩,粒度稍粗,在累积概率曲线上具两段式和三段式(图 3),分选

不好。岩心上具有明显的底部冲刷充填构造和大型单向水流层理,如槽状、板状交错层理等(图 4(a)、4(b)、4(c)、4(d)),化石很少。沿河床呈长条状,它构成了三角洲平原亚相沉积的骨架。自然电位和自然伽马曲线形态多为箱形或钟形,垂向上为正韵律特征(图 5(a),取心井 13)。



(a) 板状交错层理
(a) Tabular cross bedding



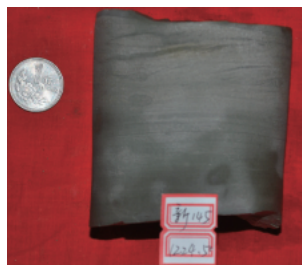
(b) 槽状交错层理
(b) Trough cross bedding



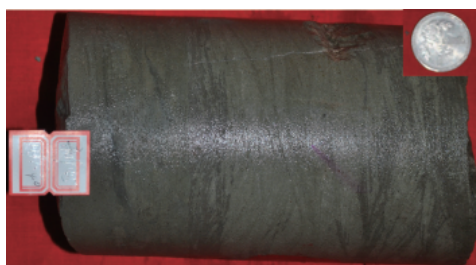
(c) 大型槽状交错层理
(c) Large groove shape cross bedding



(d) 底砾岩
(d) Basal conglomerate



(e) 波状层理及水平波状层理
(e) Wavy bedding and horizontal wavy bedding



(f) 波状层理
(f) Wavy bedding

图 4 新立油田泉四段层理特征

Fig. 4 Bedding features of the fourth member of Quantou formation in Xinli oilfield

(2) 天然堤微相。

天然堤微相以具小型微细交错层理、波纹层理、水平波状层理的泥质粉砂岩相夹薄层粉砂岩或粉砂质泥岩为主(图 4(e)、4(f)),剖面上以夹于厚层河泛平原泥岩中或位于河道沉积顶部两种形式出现,远离河床沉积物变细、泥质增多,常见各种波状层理和流水波痕。自然电位曲线平缓,电测曲线幅度较低,电阻率曲线幅度差较小,阻值较低,多呈小幅度起伏状(图 5(b),取心井 13)。

(3) 决口扇微相。

决口扇微相是洪水漫溢河床冲破天然堤形成决口扇滩,

可形成较大面积的席状砂层,比河床沉积细,多为粉、细砂岩。具反韵律,以粉砂岩、泥质或钙质粉砂岩、过渡岩性为主,具有中-小型交错层理或块状层理,与河流决口扇相似。物性较差,含油性亦较差。自然电位和自然伽马曲线多为低幅漏斗形,垂向上为反韵律特征(图 5(c),取心井 14)。

(4) 分支河道间湾微相。

分支河道间湾微相以发育紫红色的泥岩为主,间夹有灰、灰绿及灰黑色等还原色泥岩。在泥岩中常发育薄层的含泥粉砂岩和含泥细砂岩,分选差,物性亦较差,往往构成三角洲平原砂体的隔层。多发育块状层理,以含钙粒、碳屑、虫孔

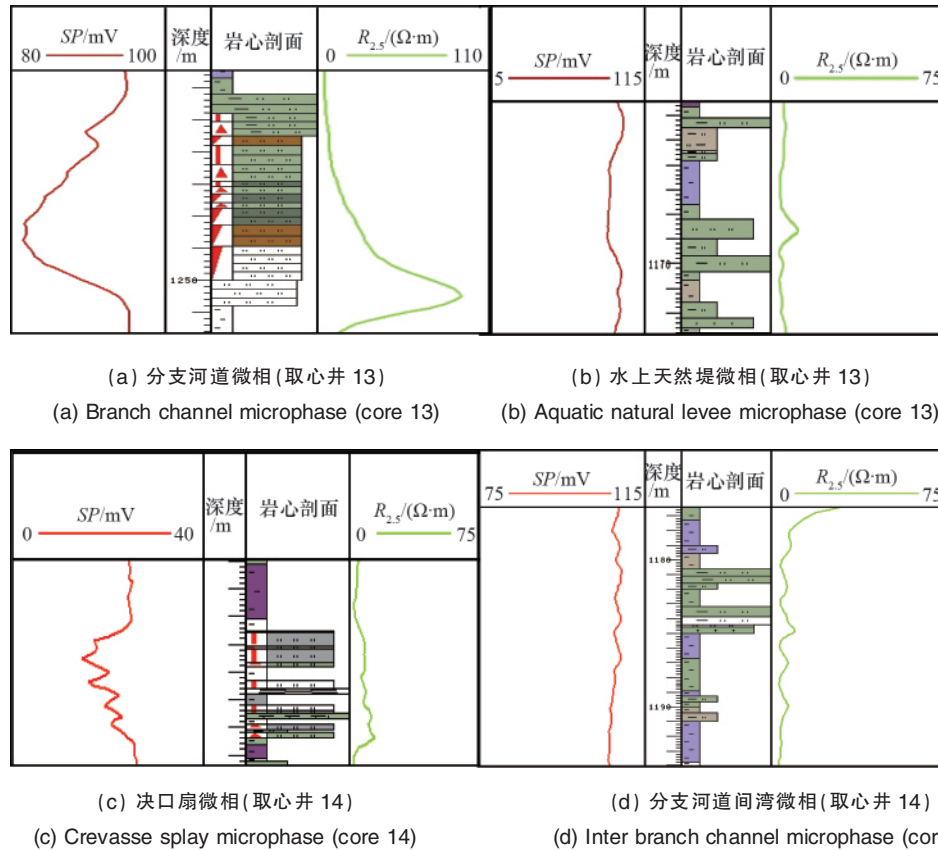


图 5 新立油田泉四段三角洲平原沉积微相类型

Fig. 5 Types of sedimentary of delta plain of Quantou formation in Xinli oilfield

的泥岩为主。自然电位和自然伽马曲线为平行于泥岩基线的平直段(图 5(d),取心井 14)。

2.2 三角洲前缘亚相

泉四段 1—3 小层为三角洲前缘亚相沉积。它受河能和湖能的双重作用,在稳定的水下环境下,三角洲前缘亚相分为 4 个微相。

(1) 水下分流河道微相。

水下分支河道微相底部为泥砾岩、钙砾岩及泥砾灰质砂岩,具底部有冲刷或突变面、正韵律及河道垂向层序等河道特征。呈正韵律变化,向上过渡为灰质砂岩、砂岩及泥质砂岩。粒度概率曲线多为跳跃和悬浮较发育的两段式,具斜层理和交错层理,局部夹泥质条带,偶见植物碳屑。水下分支河道测井相特征与分支河道特征相似,大中型水下分支河道自然电位测井曲线也呈箱形、对称圆形及塔松形,电测曲线呈明显正韵律形态(图 6(a),取心井 18)。

(2) 水下天然堤微相。

该微相为粉细砂岩、含泥粉砂岩;沉积构造以小型交错层理、波状层理为主。岩心剖面上为细砂岩与含泥粉砂岩交互沉积,自然电位曲线平直,电阻率曲线呈低幅起伏状,特征与天然堤微相相似(图 6(b),取心井 18)。

(3) 河口坝微相。

它位于水下分支水道的河口处,沉积速率高。沉积物主

要是分选好、质纯的粉细砂,具有槽状交错层理,层厚度为中—厚层,在自然电位测井曲线上表现为反韵律(图 6(c),取心井 19)。

(4) 水下分支河道间湾微相。

它是水下分支水道之间相对凹陷的地区,以泥岩为主且多为还原色,含少量粉细砂,砂质沉积多是洪水季节河床漫溢沉积的结果,常为黏土夹层或薄透镜状。具水平层理和透镜状层理,是区别水下和陆上的重要标志之一。在自然电位测井曲线上表现为平行于泥岩基线的平直段(图 6(d),取心井 19)。

2.3 微相平面展布

在岩心观察、岩心相与测井相对应分析的基础上,依据各小层地层厚度、砂岩厚度、砂岩体积分数等基础图件,绘制各小层沉积微相平面图,以研究区第 10 小层为例(图 7)。平面展布特征为:(1) 三角洲平原亚相由西南向东北方向逐渐过渡为三角洲前缘亚相,至五旋回已全部为三角洲前缘沉积,水进明显;(2) 大面积发育相互重叠的三角洲平原分支河道与三角洲前缘水下分支河道砂体,呈枝状向盆展布,各小层沉积过程中河道侧向迁移明显;(3) 三角洲前缘开阔,三角洲平原与三角洲前缘平缓相接,没有顶积层、前积层、底积层 3 层结构,单体河道宽度平均为 200—600m,厚度平均为 3—8m。

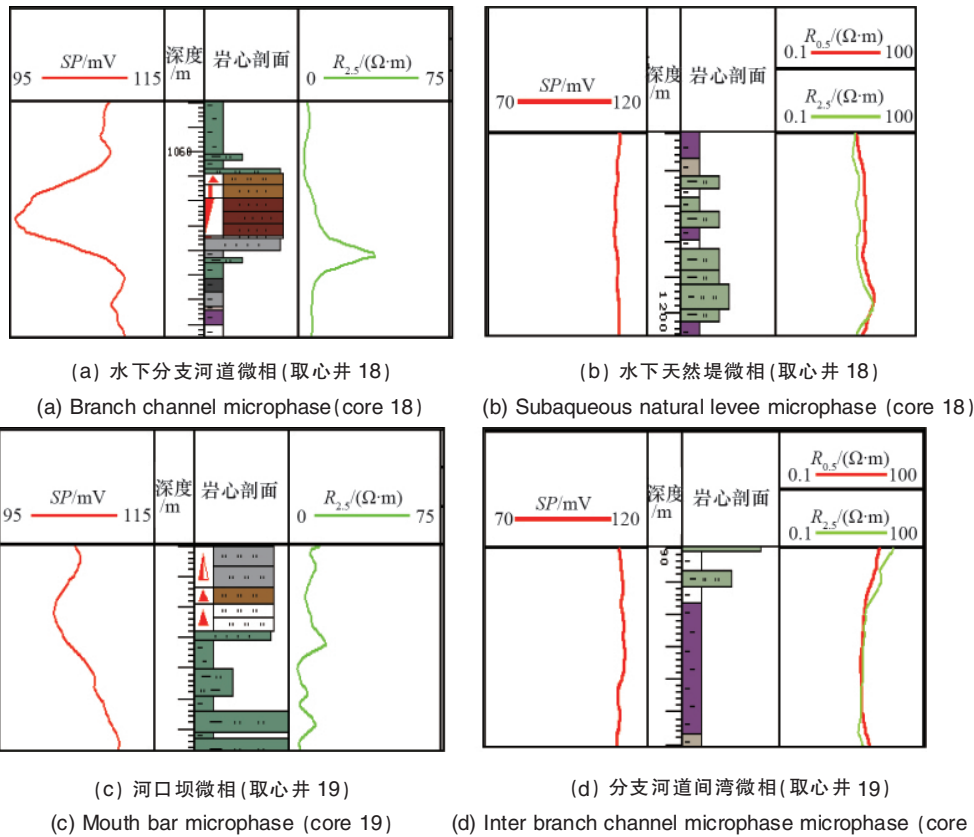


图 6 新立油田泉四段三角洲前缘沉积微相类型

Fig. 6 Types of sedimentary microfacies of the fourth member delta front of Quantou formation in Xinli oilfield

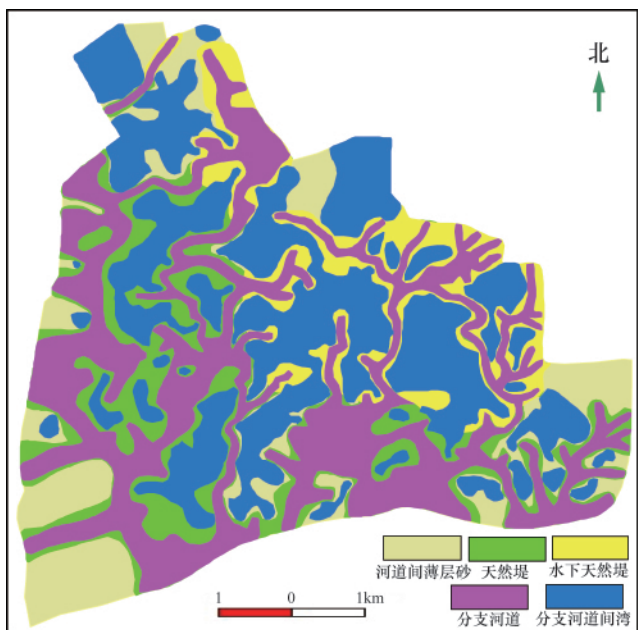


图 7 新立油田泉四段第 10 小层沉积微相分布图

Fig. 7 Sedimentary facies plat of the 10th layer of the fourth member of the Quantou formation in Xinli oilfield

3 浅水三角洲沉积模式

新立油田扶余油层在盆地构造类型、基底地貌、沉积环

境等方面都满足浅水三角洲沉积的条件,在岩石类型、微相特征及平面展布等方面具备浅水三角洲沉积特点,扶余油层为湖盆整体水进条件下由西南物源形成的浅水枝状三角洲沉积(图 8)。

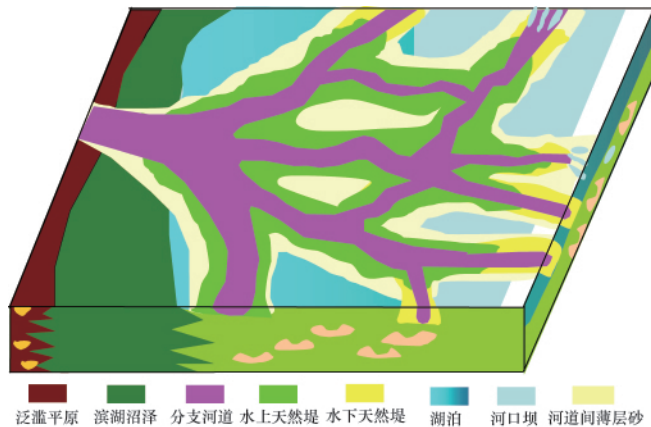


图 8 枝状浅水三角洲沉积模式

Fig. 8 Depositional pattern of branching shallow delta

在构造背景方面,松辽盆地南部泉三段沉积时期,早期断裂形成的隆拗相间的盆地结构经侵蚀夷平,各孤立小盆地在进水高潮期已开始连通,基本形成了统一的沉积背景。继泉三段晚期水进后,盆地南部基底处于持续稳定沉降拗陷阶段,形成泉头组四段。

在盆地地形方面, 泉头组四段地层厚度变化仅为 30—40m, 这反映了泉头组四段沉积时期盆地地形极为平缓。

在沉积环境方面, 泉头组四段大面积发育杂色泥岩, 下部层段发育紫红色、棕红色泥岩, 上部层段以灰绿色、黑色泥岩为主, 反映该时期水体由浅逐渐变深, 沉积环境由弱氧化向弱还原过渡。

在微相类型方面, 泉头组四段发育三角洲平原与三角洲前缘亚相, 其中分支河道与水下分支河道砂体发育, 决口扇、河口坝砂体不发育, 河道间薄层砂较发育。

平面上三角洲平原与三角洲前缘平缓相接, 前三角洲不发育, 三角洲平原分支河道与三角洲前缘水下分支河道砂体呈枝状展布, 局部相互切割叠加连片分布。

在水动力条件方面, 泉三段沉积时期开始水进, 在泉四段沉积末期, 水域面积最大, 泉头组四段是在整体水进, 湖面低幅波动, 总体缓慢扩张, 湖浪、冲刷、回流对三角洲沉积物的改造作用较弱的水动力条件下, 发育了以枝状三角洲前缘水下分支河道为特征的浅水三角洲。

4 结论

(1) 在泉头组四段沉积时期, 松辽湖盆基底整体持续稳定沉降, 盆地地形平缓, 水体普遍较浅, 西南通榆—保康水系在盆地南部形成了面积广阔的浅水三角洲。

(2) 建立了水进型枝状浅水三角洲沉积模式, 发育的分支河道及水下分支河道在砂体平面上呈枝状展布, 向盆地方向分别分布了浅水三角洲平原、浅水三角洲前缘沉积, 平面上三角洲平原与三角洲前缘平缓相接, 前三角洲不发育, 不存在传统三角洲模式的顶积层、前积层、底积层 3 层结构。

(3) 浅水三角洲平原分支河道砂体与三角洲前缘分支河道砂体发育, 单河道宽度平均为 200—600m, 河道砂体厚度平均为 3—8m, 分支河道及水下分支河道是主要的油气储集体, 亦是剩余油挖潜目标区。

参考文献 (References)

- [1] Fisk H N. Sedimentary framework of the modern mississippi delta[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1954, 24(2): 76-99.
- [2] 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流拗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): 813-824.
Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Zhang Xingyang, et al. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 2(6): 813-824
- [3] Donaldson A C. Pennsylvanian sedimentation of central appalachians[J]. *Geological Society of America Special Paper*, 1974, 148(1): 47-48.
- [4] Postma G. An analysis of the variation in delta architecture [J]. *Terra Nova*, 1990, 2(2): 124-130.
- [5] 王建功, 王天琦, 卫平生, 等. 大型拗陷湖盆浅水三角洲沉积模式——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.
Wang Jianguo, Wang Tianqi, Wei Pingsheng, et al. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(2): 28-34.
- [6] 裴亦楠. 中国陆相储层沉积学进展[J]. *沉积学报*, 1992, 10(3): 16-24.
Qiu Yanan. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1992, 10(3): 16-24.
- [7] 高瑞祺. 松辽盆地白垩纪陆相沉积特征[J]. *地质学报*, 1980(1): 9-22.
Gao Ruiqi. *Acta Geologica Sinica*, 1980(1): 9-22.

- [8] 吕晓光, 李长山, 蔡希源, 等. 松辽大型浅水湖盆三角洲沉积特征及前缘相储层结构模型[J]. *沉积学报*, 1999, 17(4): 572-576.
Lü Xiaoguang, Li Changshan, Cai Xiyuan, et al. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(4): 572-576
- [9] 王永春. 松辽盆地南部岩性油气藏的形成和分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 20-25.
Wang Yongchun. The formation and distribution of lithologic reservoir in the southern Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 20-25.
- [10] 卓弘春, 林春明, 李艳丽, 等. 松辽盆地北部白垩统青山口——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.
Zhuo Hongchun, Lin Chunming, Li Yanli, et al. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(1): 29-38.
- [11] 辛仁臣, 蔡希源, 王英民. 松辽拗陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式[J]. *沉积学报*, 2004, 22(3): 387-392.
Xin Renchen, Cai Xiyuan, Wang Yingmin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(3): 387-392.
- [12] 张庆国, 鲍志东, 那未红, 等. 松辽盆地中央拗陷南部白垩统泉头组四段沉积相[J]. *古地理学报*, 2007, 9(3): 267-276.
Zhang Qingguo, Bao Zhidong, Na Weihong, et al. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(3): 267-276.
- [13] 朱筱敏, 康安, 王贵文. 陆相拗陷型和断陷型湖盆层序地层样式探讨[J]. *沉积学报*, 2003, 21(2): 283-287.
Zhu Xiaomin, Kang An, Wang Guiwen. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(2): 283-287.
- [14] 柳成志, 辛仁臣, 王刚. 松辽盆地北部头台地区扶余油层浅水湖泊三角洲沉积特征[J]. *大庆石油学院学报*, 1998, 22(1): 68-70.
Liu Chengzhi, Xin Renchen, Wang Gang. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 1998, 22(1): 68-70.
- [15] 李延平, 陈树民, 宋永忠, 等. 大庆长垣及以东泉三、四段扶余油层浅水湖泊——三角洲体系沉积特征[J]. *大庆石油地质与开发*, 2005, 24(5): 13-16.
Li Yanping, Chen Shumin, Song Yongzhong, et al. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2005, 24(5): 13-16.
- [16] 刘自亮, 仲国生, 李现根. 松辽盆地大老爷府油田泉四段三角洲前缘的沉积微相组合及特征[J]. *地球学报*, 2008, 29(2): 228-234.
Liu Ziliang, Zhong Guosheng, Li Xiangen. *Acta Geoscientica Sinica*, 2008, 29(2): 228-234.
- [17] 张庆国, 鲍志东, 郭雅君, 等. 扶余油田扶余油层的浅水三角洲沉积特征及模式[J]. *大庆石油地质与开发*, 2007, 31(3): 4-7.
Zhang Qingguo, Bao Zhidong, Guo Yajun, et al. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2007, 31(3): 4-7.
- [18] 胡海燕, 彭仕宓, 卢春慧, 等. 吉林新立油田下白垩统泉头组成岩储集相及储集空间演化[J]. *古地理学报*, 2007, 9(1): 97-106.
Hu Haiyan, Peng Shimi, Lu Chunhui, et al. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(1): 97-106.
- [19] 薛永超, 程林松, 彭仕宓. 新立油田泉三、四段储层成岩储集相研究[J]. *特种油气藏*, 2006, 13(2): 19-22.
Xue Yongchao, Cheng Linsong, Peng Shimi. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2006, 13(2): 19-22.
- [20] 孙思敏. 低渗透储层成岩作用定量表征与成岩储集相——以吉林新立油田泉头组三、四段为例[J]. *沉积与特提斯地质*, 2007, 27(2): 100-104.
Sun Simin. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2007, 27(2): 100-104.
- [21] 朱筱敏, 刘媛, 方庆, 等. 大型拗陷湖盆浅水三角洲形成条件和沉积模式: 以松辽盆地三肇拗陷扶余油层为例[J]. *地学前缘*, 2012, 19(1): 89-99.
Zhu Xiaomin, Liu Yuan, Fang Qing, et al. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(1): 89-99.

(责任编辑 安莹, 吴晓丽)