

文章编号: 1000-0550(2012)03-0511-11

# 松辽盆地新立—新北地区嫩江组三段浅水三角洲 水下分流河道砂体半定量解剖

赵宝峰<sup>1</sup> 王家豪<sup>1,2</sup> 徐东浩<sup>1</sup> 徐蒙<sup>1</sup> 金小梅<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学资源学院 武汉 430074;

2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室 武汉 430074)

**摘要** 利用松辽盆地新立—新北地区井间距约200 m的1800余口探井及开发井资料,在岩性观察和测井相识别的基础上,编制嫩江组三段I砂组砂岩等厚图和连井剖面图。对砂体进行半定量统计分析发现,目的层段为浅水三角洲前缘沉积,水下分流河道砂体是最主要的骨架砂体类型,在平面上延伸20 km以上,向三角洲前缘末端演化出3种类型:水下曲流河道砂体,呈长豆荚状,宽600~900 m,延伸8~10 km分叉;水下分叉河道砂体,呈短豆荚状,分叉呈“人”字形或菱形,宽500~900 m,延伸2~3 km分叉;水下网结河道砂体,分叉呈网状展布,宽300~500 m,直线延伸0.5~1 km分叉。

**关键词** 松辽盆地 嫩江组 浅水三角洲 水下分流河道 密集井网

**第一作者简介** 赵宝峰 男 1984年出生 硕士 沉积学 E-mail: zhaobaofengxo@163.com

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 0 引言

浅水三角洲的概念最早由 Fisk 提出,Donaldson 在研究石炭系陆表海时发现了水深对三角洲的影响,进一步总结了浅水三角洲的概念<sup>[1]</sup>。Postma 在研究低能盆地河控三角洲时指出,浅水型三角洲发育于湖泊浪基面以上,水深一般在数十米以内<sup>[2]</sup>。之后国外学者的研究逐步深入,涉及浅水三角洲形成动力学、微相构成及内部结构等多个方面<sup>[3~6]</sup>。自上世纪九十年代以来,国内学者在我国中、新生代拗陷盆地内发现大量浅水三角洲沉积,共同认识包括:浅水三角洲常发育于盆地构造演化的拗陷期,沉积过程中构造活动稳定或整体一致下降;沉积基底平缓、坡度小、水体浅;水动力以河流控制作用为主,兼受波浪或潮汐改造,为高建设型三角洲;沉积砂体以水下流河道为主,河口坝、远沙坝及前三角洲不甚发育,砂体展布有明显的方向性;具有广阔且相异完善的前缘相带,沉积微相垂向叠置常出现“跳相”现象,水下分流河道砂体直接覆盖在滨浅湖泥质沉积之上;三角洲三层式结构不明显<sup>[7~24]</sup>。

新立—新北地区位于松辽盆地南部中央拗陷区,面积800 km<sup>2</sup>(图1)。松辽盆地嫩三段沉积时期为古

盆地拗陷期,在经历了嫩一段和嫩二段松辽盆地第二次最大湖泊扩张期之后,从嫩三段时期开始,古气候由温暖潮湿(亚热带—温带)气候环境向干旱逐渐转化,盆地基地沉降减弱,底形平缓,水体宽浅<sup>[25~28]</sup>,堆积速率大于可容纳空间增长速率,发育高建设型三角洲,研究区仅发育三角洲前缘亚相和滨浅湖亚相<sup>[29,30]</sup>。

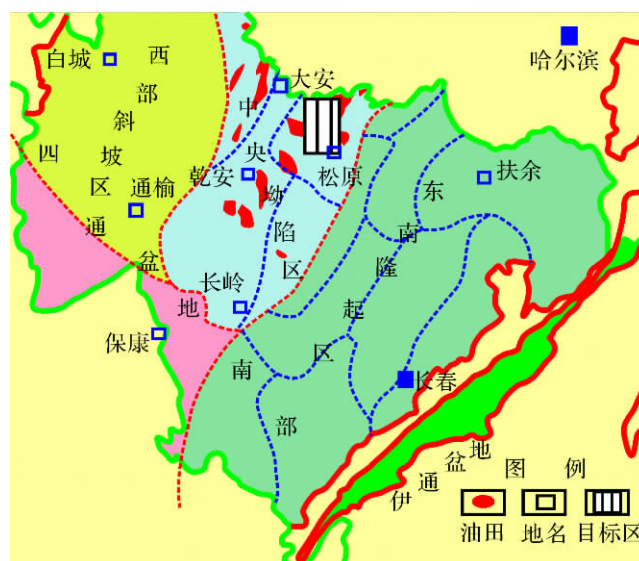


图1 松辽盆地南部构造单元及研究区位置

Fig. 1 Tectonic units of the southern Songliao Basin and location of the study area

收稿日期: 2011-01-30; 收修改稿日期: 2011-06-20

共施工探井及开发井 1800 余口,密集井区井间距约 200 m。充分利用研究区密井网资料,在岩性识别和测井相识别的基础上,精细编制嫩三段 I 砂组砂岩等厚图和砂体剖面图,旨在对不同类型的水下分流河道砂体进行半定量剖析。

### 1 沉积相及测井相特征

新立—新北地区嫩江组三段发育三期反—正沉积旋回,每期旋回下部为滨浅湖亚相厚层泥岩,上部为三角洲前缘亚相粉砂岩和泥质粉砂岩。以最大湖泛面时期的稳定泥岩底部为界,自下而上分为 III 砂组、II 砂组和 I 砂组。I 砂组砂体主体为水下分流河道微相沉积,伴有河口坝、决口水道和漫溢等其它微相沉积。

#### 1.1 水下分流河道

水下分流河道是分流河道入湖后在水下的延伸

部分,一个完整的水下分流河道沉积下部通常是粉砂岩组成的水下点沙坝沉积,发育板状—楔状交错层理,局部见槽状交错层理,上部是泥质粉砂岩和粉砂质泥岩组成的水下天然堤沉积,发育波状层理(图 2)。

水下分流河道主要有 5 种测井相类型:中—高幅厚箱型、中—高幅齿化厚箱型、钟型、圣诞树型和中幅薄箱型(如图 3)

中—高幅厚箱型,由厚层粉砂岩和细砂岩组成,上、下与泥岩接触,砂体厚 4~8 m。中—高幅齿化厚箱型,由厚层粉砂岩夹薄层泥质粉砂岩组成,砂体厚 3~8m;钟型,下部为粉砂岩,向上为泥质粉砂岩和粉砂质泥岩,砂体厚度 3~6 m。圣诞树型,由逐渐减薄的细砂岩和逐渐增厚的粉砂质泥岩组成,砂体厚 2~4 m。中幅薄箱型,由薄层粉砂岩和泥质粉砂岩组成,砂体厚 2~3 m。

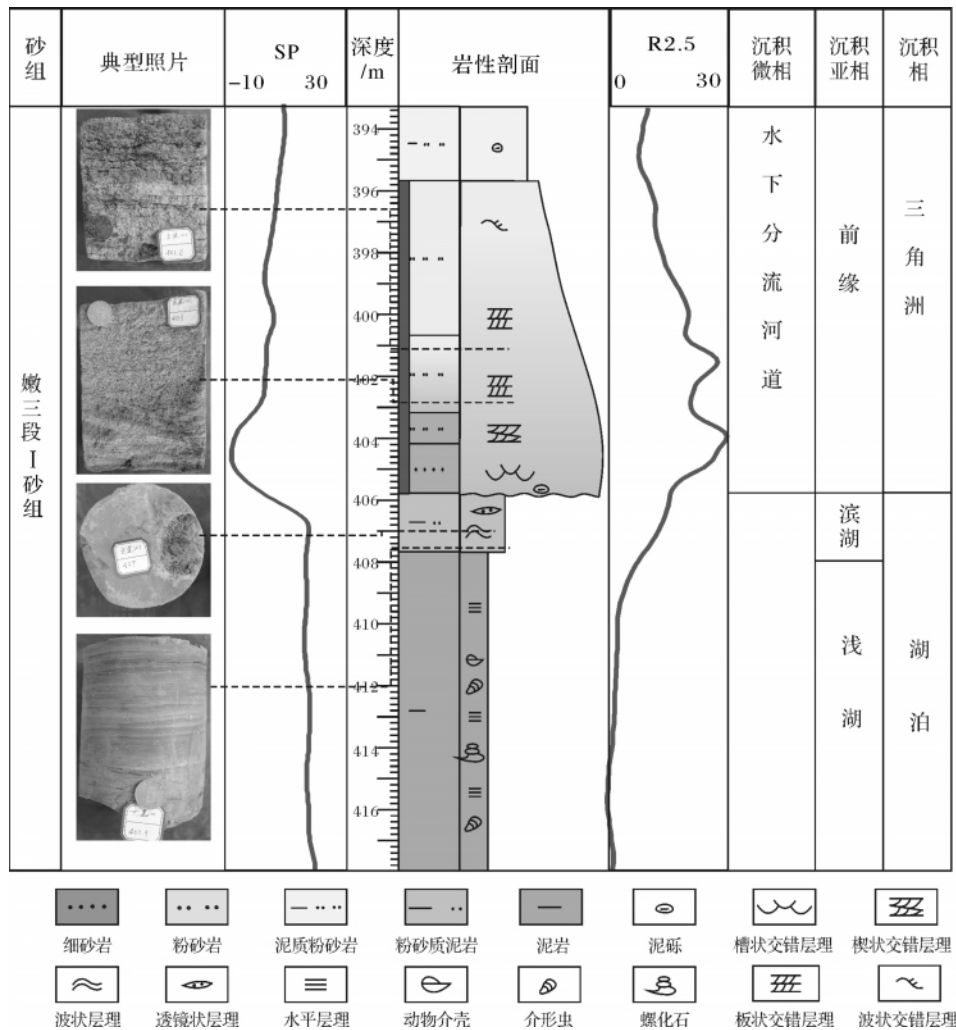


图2 水下分流河道砂体岩性及构造特征(JH101井)

Fig.2 Lithologic and textural feature of subaqueous distributary channel sand body

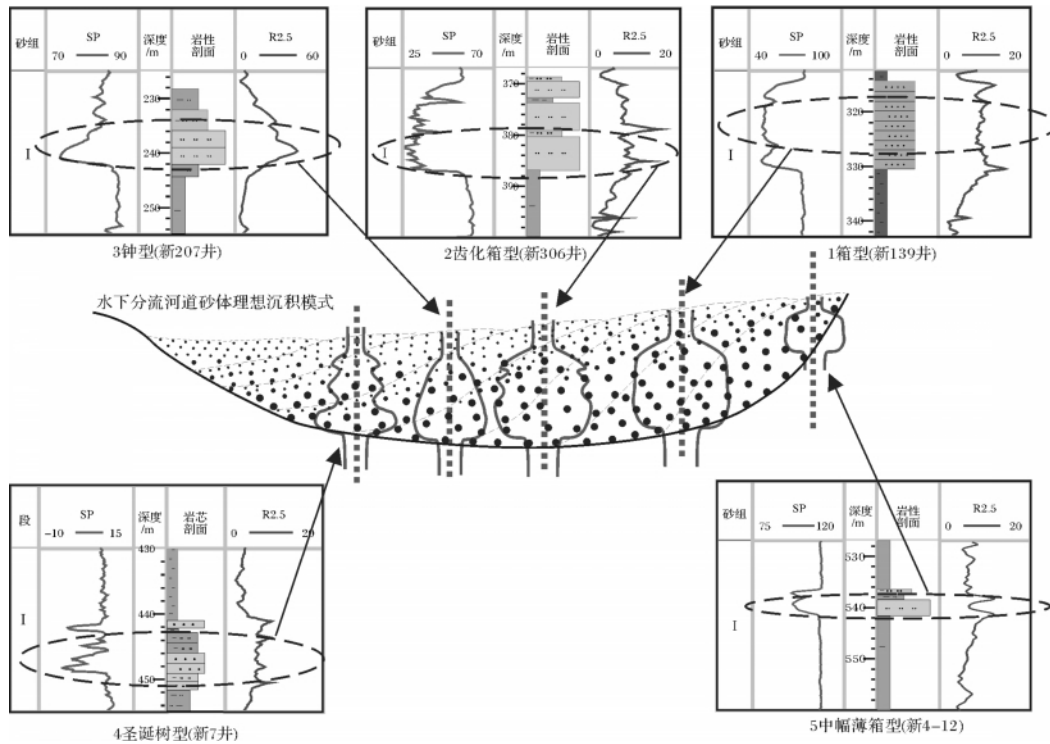


图 3 水下分流河道砂体测井相类型

Fig. 3 Electrofacies types of subaqueous distributary channel sand body

一个理想的水下分流河道砂体不同部位的测井相具有差异性和规律性。如图 3 示,河道中心砂体以点沙坝为主体,测井曲线为高幅度厚箱型或齿化箱型。随着向两侧递变,点沙坝厚度减薄,水下天然堤细粒沉积增加,测井相演变为中高幅钟型→中幅圣诞树型或中幅薄箱型。

在实际情况下,由于水下分流河道本身的规模大小、发育阶段、后期被破坏改造的程度以及钻井所揭示的位置不同等因素的影响,钻遇砂体只对五类测井相中的某几类有响应。因此不同类型及规模的水下分流河道砂体可能有相同的测井相响应。根据一条测井曲线判断水下分流河道规模及沉积特点是危险的,应结合周围的测井曲线综合判断。

值得注意的是,在密集井区的分析发现,随着水下分流河道规模的不断减小,中心砂体的测井相亦有高幅厚箱型→高幅齿化箱型→中—高幅漏斗型→中幅圣诞树型→低幅薄箱型的演化趋势。

### 1.2 其他微相类型

**河口坝:** 位于水下分流河道河口末端,由于河流能量减小,碎屑物卸载形成,由泥质粉砂岩、粉砂岩构成反旋回序列。测井曲线呈中幅漏斗形。

**决口水道:** 是在洪水期由于天然堤决口、水下分

流河道河水携带的沉积物决口形成,由粉砂岩、泥质粉砂岩组成,具正旋回序列,厚度大多在 1 m 左右,测井曲线呈中幅薄箱型、钟型或圣诞树型。

**漫溢:** 漫溢位于水下分流河道天然堤的两侧,由洪水期水下分流河道河水溢出天然堤沉积形成。常

叠加方式	示意图	河道砂体规模	伴随沉积
垂向叠置		厚度: 6~10m 宽度: 600~900m	边缘及上部: 决口水道
错位叠置		厚度: 5~8m 宽度: 600~800m	边缘及上部: 决口水道, 漫溢
水平-错位复合叠置		厚度: 5~7m 宽度: 500~900m	边缘及上部: 决口水道, 漫溢
水平搭接		厚度: 3~6m 宽度: 400~700m	边缘: 漫溢 底部: 河口坝
孤立分散		厚度: 3~5m 宽度: 300~500m	边缘: 漫溢 底部: 河口坝

图 4 水下分流河道砂体叠置类型

Fig. 4 Superimposed styles of subaqueous distributary channel sand body styles of subaqueous distributary channel sand body

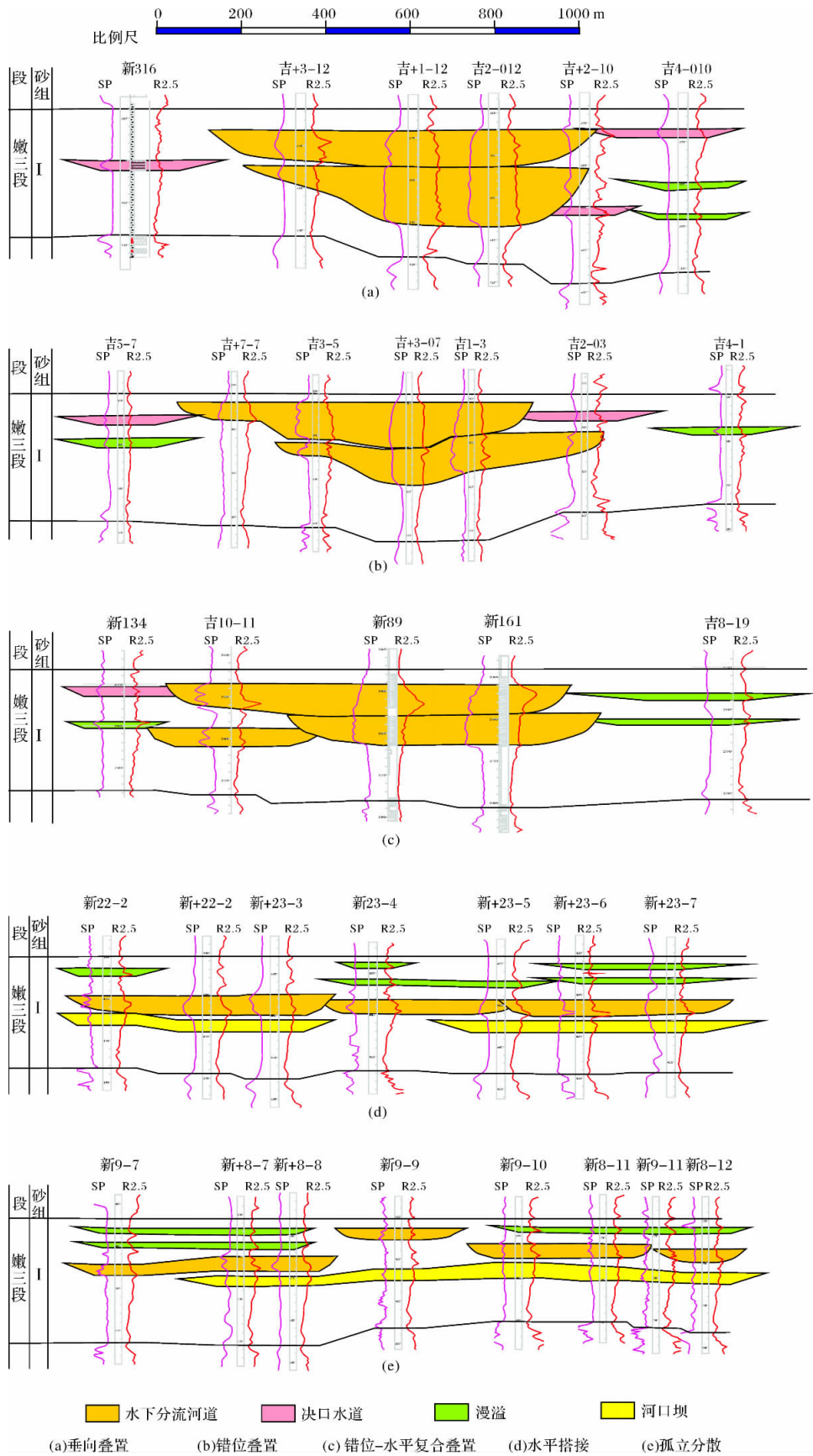


图5 水下分流河道砂体叠置类型实例剖面

Fig.5 Actual section of superimposed styles of subaqueous distributary channel sand body

夹于水下分支间湾泥质沉积中,由泥质粉砂岩夹薄层泥岩组成,测井曲线呈中—低幅锯齿型、指型。

### 2 水下分流河道砂体的叠加类型

水下分流河道砂体并非孤立存在,而是多支河道砂体以某种接触关系相互共生,结合不同河道砂体重叠程度不同,将研究区内砂体叠置方式分为5类:垂向叠置、错位叠置、错位—水平复合叠置、水平搭接和孤立分散(图4.5)。

**垂向叠置:**河道砂体垂向叠置大于80%,横切面呈不对称透镜状,砂体中心测井相中—高幅厚箱型,向两边为中—高幅齿化箱型和钟型,砂体厚6~10m,宽600~900m(图5a)。河道砂体两侧发育薄层决口水道沉积。

**错位叠置:**河道砂体垂向叠置50%~80%,横切面呈弱对称透镜状,砂体中心测井相中—高幅厚箱型,两边为中—高幅齿化箱型、圣诞树型及漏斗型。砂体厚度减小,厚5~8m,宽600~800m。两侧发育薄层决口水道和漫溢沉积(图5b)。

**错位—水平复合叠置:**兼有错位叠置和水平搭接的特征,横切面呈透镜状,砂体中心测井相齿化箱型

或钟型,两边呈圣诞树型。砂体厚减小至5~7m,宽500~900m,两侧发育薄层片状决口水道和漫溢沉积(图5c)。

**水平搭接:**河道砂体侧向迁移明显,重叠小于50%,横切面呈扁平透镜状,砂体中心测井相漏斗型或中幅薄箱型,两边多为圣诞树型。河道砂体厚3~6m,宽400~700m,两侧发育片状漫溢沉积,底部发育河口坝沉积(图5d)。

**分散孤立:**河道砂体侧向迁移孤立存在,横切面呈细长透镜状,砂体中心测井相圣诞树型或钟形,砂体厚3~5m,宽300~500m,两侧发育漫溢沉积,底部河口坝沉积更加发育(图5e)。

### 3 水下分流河道砂体空间演化

新立—新北地区嫩江组三段I砂组厚度稳定,平均约30m。在岩性和测井相识别的基础上,精细编制了砂岩等厚图,砂体以三角洲前缘水下分流河道沉积为主。新立地区受北东东和北北西两个物源交汇,水下分流河道砂体宽而厚,分支少,交织呈菱形(图6)。新北地区受东部和北部两个物源交汇,水下分流河道砂体频繁分支交织成网(图7)。

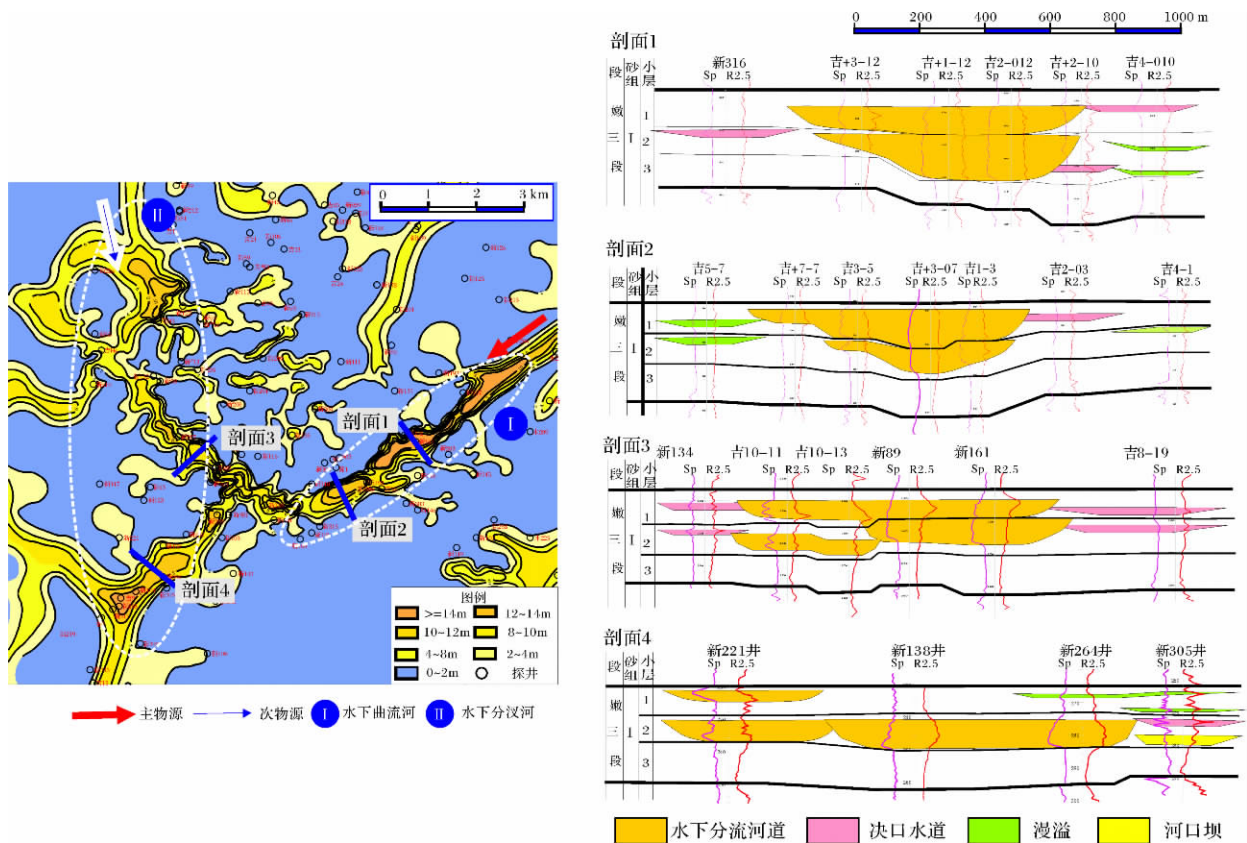


图6 新立地区嫩三段I砂组2小层砂体结构解剖

Fig. 6 Sand body structural analysis in Layer 2 of unit I of Xinli

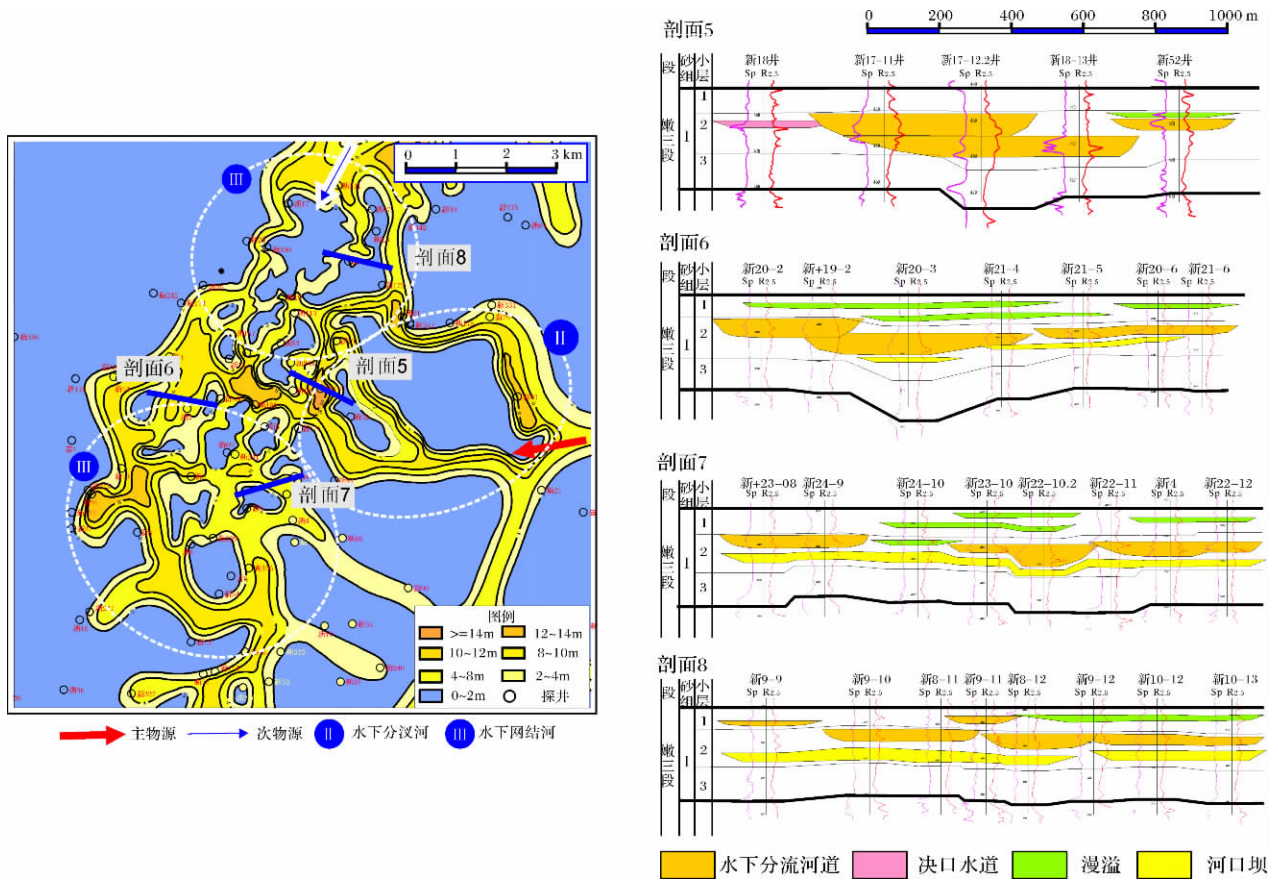


图7 新北地区嫩三段 I 砂组 2 小层砂体结构解剖

Fig. 7 Sand body structural analysis in Layer 2 of unit I of Xinbei

河道砂体类型	示意图	砂体形状	河道砂体叠置类型	河道砂体规模
水下曲流河道砂体		长豆荚形	垂向叠置 错位叠置 错位—水平复合叠置	宽度:600~900m 顺物源分叉点间距: :8~10km
水下分叉河道砂体		短豆荚形 分叉呈菱形 或'人'字形	错位叠置 错位—水平复合叠置 水平搭接	宽度:500~900m 顺物源分叉点间距: :2~3km
水下网结河道砂体		分叉呈网状	水平搭接 孤立分散	宽度:300~500m 顺物源分叉点间距: :0.5~1km

图8 水下分流河道砂体类型

Fig. 8 Different styles of subaqueous distributary channel sand body

### 3.1 水下分流河道砂体类型

以水下分流河道砂体宏观结构特征为依据,根据砂体的平面形态、规模及叠置方式,将水下分流河道砂体分为三种类型:水下曲流河道砂体、水下分叉河

道砂体和水下网结河道砂体(图6,7,8)

水下曲流河道砂体:水下分流河道上游形态,砂体展布方向性强,厚度大,叠置方式以垂向叠置、错位叠置和错位—水平复合叠置为主,砂体平面上呈长豆

荚状,宽 600~900 m,直线延伸 8~10 km 分叉,两旁常伴有小型扇状薄砂体(图 6)。

水下分叉河道砂体:水下分流河道中游形态,由水下曲流河道砂体演化而来,平面上开始分叉,厚度减小,叠置方式以错位叠置、错位—水平复合叠置和水平搭接为主,单支河道砂体宽短豆荚状,分叉呈菱形或“人”字形,砂体宽度变化大,500~900 m 不等,直线延伸 2~3 km 分叉,两旁发育中型扇状砂体(图 6、7)。

水下网结河道砂体:由水下分叉河道砂体演化而来,是三角洲前缘末端水道砂体类型,砂体频繁分叉,规模近一步减小,叠置方式以水平搭接和孤立分散为主,在平面上组成不规则网状展布,砂体宽 300~500 m,直线延伸 0.5~1 km 分叉,两旁为薄片片状砂体(图 7)。

### 3.2 水下分流河道砂体地震响应特征

振幅统计类属性能反应岩性、储层孔隙度及流体的变化,是目前包括河道、三角洲分流河道—水下分流河道、重力流水道等各类水道砂体研究采用的主要手段<sup>[31-34]</sup>。其中,均方根振幅属性(RMS)对薄层砂体的岩性相变有较敏感的反应,在研究区的应用有力的拓宽了水下分流河道砂体在平面上展布视野。

新立地区嫩三段埋深小于 800 m,地震剖面上视厚度约 90 ms,全区地震反射较整齐,未见前积、超覆等不协调现象,易于追踪。嫩三段 I 砂组对应一组正—负相位同相轴,均方根振幅属性显示,水下分流河道砂体对应振幅属性高值区,显示为红黄色条带状(图 9)。这与用密集井网揭示的砂体展布一致。水下分流河道砂体在平面上延伸距离 > 20 km,类似曲流河一样交织呈菱形,河道砂体两边伴有朵叶状决口扇体和广泛的水下分支间湾。

### 3.3 水下分流河道砂体构成要素的相关性

#### 3.3.1 砂体外部形态和内部构型的相关性

随着水下分流河道向下游发展,河道砂体类型、规模和叠置方式具一定相关性。随着水下曲流河道砂体→水下分叉河道砂体→水下网结河道砂体的发展,单支河道砂体规模逐渐减小,叠置方式由垂向叠置→错位叠置→错位—水平复合叠置→水平搭接→孤立分散演化(图 10)。

这些年现象表明,上游河道砂体厚而稳定,河道侧向迁移能力弱,下游河道则反之。造成这一现象的原因主要有两点。一方面,河道下切能力的减弱:入湖初期,河道携带的大量碎屑物粒度粗,受重力作用具有较强的下切作用,河道作为碎屑物的输送通道深

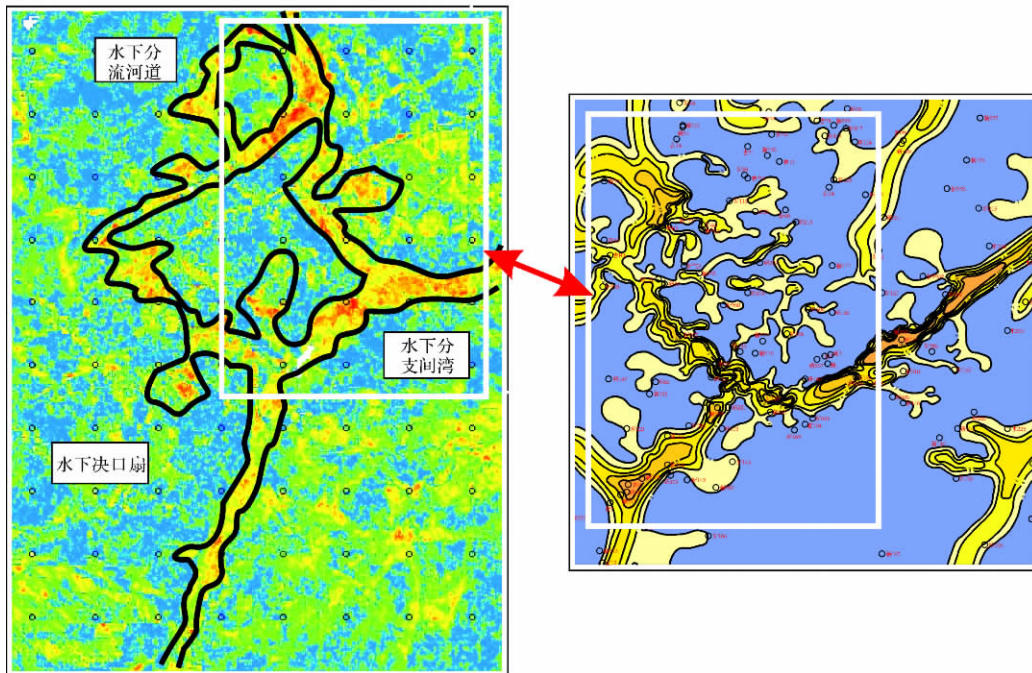


图9 新立地区嫩三段 I 砂组地震均方根振幅属性的砂体响应  
Fig.9 Sand body response of RMS seismic attribute of sand group I Nenjiang 3 segment of Xinli

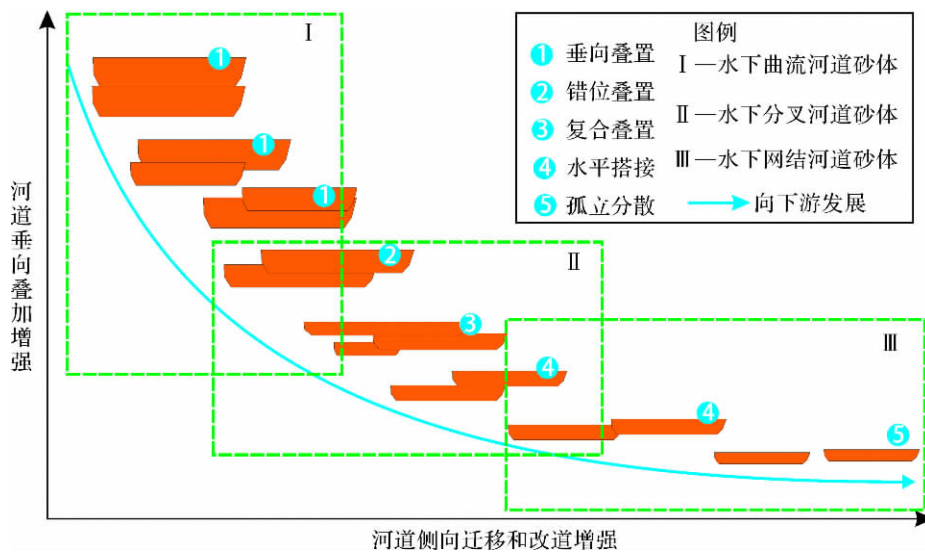


图10 水下分流河道砂体叠置类型演化

Fig. 10 Superimposed styles elevation of subaqueous distributary channel sand body

而稳定,后期被不同其次的砂体垂向叠置充填;随着水下分流河道向下游发展,河道水动力和碎屑物含量的减小,下切能力减弱,河道开始改道分叉。另一方面,水下天然堤的减少:河道入湖初期,湖水的浮力使得碎屑物产生分异,泥质粉砂岩或粉砂质泥岩在河道两旁形成了水下天然堤,增加了河道的稳定性;后期,碎屑物粒度减小且变的均一,很难产生分异而形成稳定水下天然堤。

### 3.3.2 河道砂体类型和沉积微相演化的相关性

水下分流河道砂体类型的变化不仅伴随着外部形态和内部构型的变化,同时还伴随着沉积微相的变化。随着水下曲流河道砂体→水下分叉河道砂体→水下网结河道砂体的发展,伴随微相由决口水道、漫溢→决口水道、漫溢、河口坝→河口坝、漫溢逐渐变化(图6.7)。水下曲流河道具有稳定的河道,洪水期细粒沉积物溢出河道形成漫溢,部分河道决口形成决口水道。水下分叉河道稳定性降低,决口水道更发育,河道砂体两侧伴有多个朵状砂体,底部偶尔有小规模河口坝发育。水下网结河道发育时期,水下分流河道频繁改道,最显著的特征是河口坝有较大规模的发育。

### 3.4 浅水三角洲前缘水下分流河道沉积模式

浅水三角洲水下分流河道大规模发育对应湖平面的缓慢下降时期,在平面上演化为三个阶段,依此形成水下曲流河道,水下分叉河道和网结河道。三类河道是三角洲向湖推进过程中逐渐形成的,并伴随着一系列相关的变化。

水下曲流河道时期,强劲的河水动力携带充足的碎屑物在湖平面持续缓慢下降时期像曲流河一样在水底蜿蜒前行,最终被厚条带状以垂向叠置和斜向叠置为主的砂体充填。随着河水动力及碎屑物减少,湖水阻力相对增大,逐渐演化为水下分叉河道,此时河道下切能力减弱,开始分叉合并,在平面上呈“人”形和菱形。水下分流河道演化末期,河流能量几乎消耗殆尽,进入水下网结河道阶段,河道频繁的分叉合并,单支河道规模小,在平面上相互交织成网(图11)。

### 3.5 水下分流河道发育的主控因素

浅水三角洲水下分流河道砂体之所以能在平面上延伸20 km以上呈条带状展布是受多种因素控制的,主要包括三个方面:其一是大河背景下提供的充足物源为河道砂体的远距离输送提供了物质基础和能量基础;其二是水下分流河道大规模发育时期对应于湖平面缓慢下降期,在平缓的湖盆沉积基底背景下,水体的缓慢下降可以波及到广泛的地区,并使得水下分流河道向前推进时保持了相对较浅且稳定的水深,从而促进了河流持续的下切作用;其三是研究区沉积物粒度细,泥质粉砂岩和粉砂质泥岩在湖水浮力作用下容易形成水下天然堤,提高了河道的稳定性。

综上所述,水下分流河道不同阶段的演化伴随着单砂体规模、叠置方式、平面形态、伴沉积微相类型等一系列变化,这些变化是平缓的沉积基底、充足的物源供给、持续下降的湖平面、相对细粒的沉积物形成稳定的水下天然堤、河道向湖推进过程中粒度变化等多种因素耦合的结果。



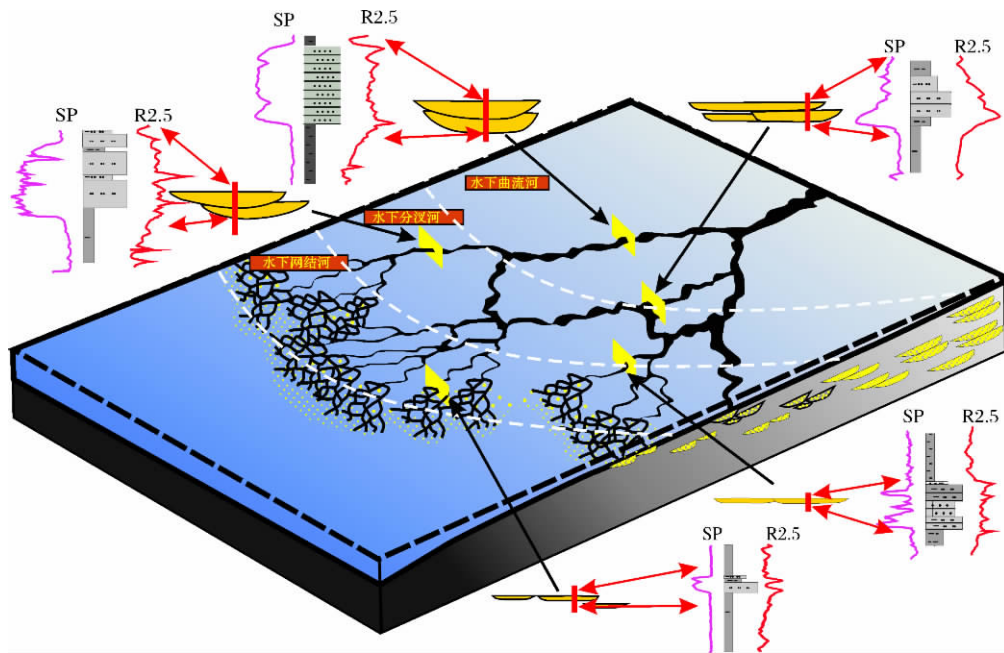


图11 浅水三角洲水下分流河道演化模式

Fig. 11 Evolution model of shallow-water deltas subaqueous distributary channel

## 4 结论

(1) 新立—新北地区嫩三段一砂组发育浅水三角洲前缘沉积,骨干砂体为水下分流河道沉积,测井相包括中—高幅厚箱型、中—高齿化厚箱型、钟型、圣诞树型及中幅薄箱型等5种类型;分析发现,随着水下分流河道规模的不断减小,中心砂体的测井相变化具有高幅厚箱型→高幅齿化箱型→中—高幅漏斗型→中幅圣诞树型→低幅薄箱型的趋势;

(2) 水下分流河道砂体并非孤立存在,而是多支河道砂体以某种接触关系相互共生,依据河道砂体重叠程度,可将研究区内砂体叠置方式分为5类:垂向叠置、错位叠置、错位—水平复合叠置、水平搭接和孤立分散;

(3) 新立地区为北东东和北北西两个物源交汇,水下分流河道砂体宽而厚,分支少,交织呈菱形;新北地区为东和北北东两个物源交汇,水下分流河道砂体频繁分支交织成网;根据砂体的平面形态、规模及叠置方式,可分为三种类型:水下曲流河道砂体、水下分叉河道砂体和水下网结河道砂体;

(4) 水下分流河道向三角洲前缘末端推进20 km以上,由水下曲流河道砂体→水下分叉河道砂体→水下网结河道砂体发展,单支河道砂体规模逐渐减小,河道砂体类型、叠置方式及沉积微相组合具一定

相关性,叠置方式由垂向叠置→错位叠置→错位—水平复合叠置→水平搭接→孤立分散演化,伴随微相由决口水道、漫溢→决口水道、漫溢、河口坝→河口坝、漫溢演化;

(5) 水下分流河道在平面上的长距离延伸演化,是平缓的沉积基底、充足的物源供给、持续下降的湖平面、相对细粒的沉积物形成的稳定水下天然堤及河流和湖泊水体能量此消彼长等多种因素耦合的结果。

## 参考文献 (References)

- 1 Donaldson A C. Pennsylvanian sedimentation of central Appalachians [J]. Special Papers of the Geological Society of America, 1974, 148 (5): 47-48
- 2 Postma G. An analysis of the variation in delta architecture [J]. Terra Nova, 1990, 2(2): 124-130
- 3 Plint A G. Sequence stratigraphy and paleogeography of a Cenomanian deltaic complex: the Dunvegan and lower Kaskapau formations in subsurface and outcrop, Alberta and British Columbia, Canada [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2000, 48(1): 43-79
- 4 Hoy R G, Ridgway K D. Sedimentology and sequence stratigraphy of fan-delta and river-delta deposystems, Pennsylvanian Minturn Formation, Colorado [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87: 1169-1191
- 5 Ganil M R, Bhattacharya J P. Basic building blocks and process variability of a Cretaceous delta: internal facies architecture reveals a more dynamic interaction of river, wave, and tidal processes than is indicated by external shape [J]. Journal of Sedimentary Research, 2007, 77 (4): 284-302

- 6 Keumsuk L I, McMechan G A, Gani M Ro, *et al.* 3-D architecture and sequence stratigraphic evolution of a forced regressive top-truncated mixed-influenced delta, Cretaceous Wall Creek sandstone, Wyoming, USA[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2007, 77(4): 284-302
- 7 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): 1-9 [Zhao Hanqing. Sedimentary model of large scale leaf-shaped delta in Songliao Basin[J]. *Petroleum Geology & Development in Daqing*, 1987, 6(4): 1-9]
- 8 李增学 魏久传 李守春. 鲁西河控浅水三角洲沉积体系及煤聚集规律[J]. 煤田地质与勘探, 1995, 23(2): 7-12 [Li Zengxue, Wei Jiuchuan, Li Shouchun. The depositional system of fluvial-controlled shallow water delta and coal-accumulation analysis in the western Shandong[J]. *Coal Geology & Exploration*, 1995, 23(2): 7-12]
- 9 郭英海 刘焕杰 李壮福, 等. 晋中北山西组浅水三角洲沉积特征及聚煤作用[J]. 中国矿业大学学报, 1995, 24(1): 64-70 [Guo Yinghai, Liu Huanjie, Li Zhuangfu, *et al.* Sedimentary characteristics and coal-accumulating process of shallow-water delta of Shanxi Formation in the middle-north area of Shanxi province[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 1995, 24(1): 64-70]
- 10 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 [Yao Guangqing, Ma Zheng, Zhao Yanchao, *et al.* Reservoir characteristics of distributary channel sandbodies of shallow water delta[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1995, 16(1): 24-31]
- 11 楼章华 卢庆梅 蔡希源, 等. 湖平面升降对浅水三角洲前缘砂体形态的影响[J]. 沉积学报, 1998, 16(4): 27-31 [Lou Zhanghua, Lu Qingmei, Cai Xiyuan, *et al.* Influence of lake level fluctuation on sandbody shapes at shallow-water delta front[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(4): 27-31]
- 12 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——以松辽盆地北部东区葡萄花油层为例[J]. 地质学报, 1999, 73(1): 83-91 [Lou Zhanghua, Lan Xiang, Lu Qingmei *et al.* Controls of the topography, climate and lake level fluctuation on the depositional environment of a shallow-water delta: a case study of the Cretaceous Putaohua reservoir in the northern part of Songliao Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(1): 83-92]
- 13 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.* Depositional characteristics and front facies reservoir framework model in Songliao shallow lacustrine delta[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(4): 572-577]
- 14 韩晓东 楼章华 姚炎明, 等. 松辽盆地浅水湖泊三角洲沉积动力学研究[J]. 矿物学报, 2000, 20(3): 305-312 [Han Xiaodong, Lou Zhanghua, Yao Yanming, *et al.* Analysis of the sedimentary dynamic process of the shallow-water lake delta in the Songliao Basin, Northeast China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2000, 20(3): 305-312]
- 15 楼章华 袁笛 金爱民. 松辽盆地北部浅水三角洲前缘砂体类型特征与沉积动力学过程分析[J]. 浙江大学学报, 2004, 31(2): 211-215 [Lou Zhanghua, Yuan Di, Jin Aimin. Types, characteristics of sandbodies in shallow-water deltafront and sedimentary models in Northern Songliao Basin, China[J]. *Journal of Zhejiang University*, 2004, 31(2): 211-215]
- 16 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]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(3): 4-10 [Zhang Qingguo, Bao Zhidong, Guo Yajun, *et al.* Sedimentary characteristics and model of the Fuyu oil-bearing reservoir in Fuyu oil field[J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2007, 31(3): 4-10]
- 17 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——以松辽盆地北部葡萄花油层为例[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 28-35 [Wang Jianguo, Wang Tianqi, Wei Pingsheng, *et al.* Sedimentary mode of shallow lacustrine delta of large continental basin: An example from Putaohua Formation in northern Songliao Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(2): 28-35]
- 18 陈昭国. 四川盆地洛带气田蓬莱镇组储层沉积特征研究[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2007, 34(4): 407-413 [Chen Zhao-guo. The reservoir depositional characteristics of the Upper Jurassic Penglaizhen Formation in the Luodai gas field, Sichuan Basin, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2007, 34(4): 407-413]
- 19 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 [Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Zhang Xingyang, *et al.* Formation and distribution of shallow-water deltas and central-basin sandbodies in large open depression lake basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(6): 813-825]
- 20 朱伟林 李建平 周心怀, 等. 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 575-582 [Zhu Weilin, Li Jianping, Zhou Xinhui, *et al.* Neogene shallow water deltaic system and large hydrocarbon accumulations in Bohai Bay, China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(4): 575-582]
- 21 彭文绪 孙和风 张如才, 等. 渤海海域黄河口凹陷近源晚期优势成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 511-520 [Peng Wenxu, Sun Hefeng, Zhang Rucai, *et al.* Late-stage near-source preponderant hydrocarbon pooling pattern in the Huanghekou Sag of the Bohai Sea waters[J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(4): 511-520]
- 22 刘柳红 朱如凯 罗平, 等. 川中地区须五段—须六段浅水三角洲沉积特征与模式[J]. 现代地质, 2009, 23(4): 667-676 [Liu Liuhong, Zhu Rukai, Luo Ping, *et al.* Characteristics and depositional models for the shallow-water deltas of the 5th-6th interval, Xujiahe Formation, Upper Triassic in central Sichuan Basin, China[J]. *Geoscience*, 2009, 23(4): 667-676]
- 23 韩永林 王成玉 王海红, 等. 姬塬地区长8油层组浅水三角洲沉积特征[J]. 沉积学报, 2009, 27(6): 1057-1065 [Han Yonglin, Wang Chengyu, Wang Hailong, *et al.* Sedimentary characteristics of shallow-water deltas in Chang-8 subsection of Yanchang Formation, Jiyuan area[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(6): 1057-1065]
- 24 王蛟 杨东明. 济阳坳陷孤岛油田馆陶组上段浅水湖泊三角洲沉积特征[J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 82-89 [Wang Jiao, Yang Dongming. Shallow oscillating lacustrine sediment of the late Guantao

- Formation in Gudao oilfield, Shandong Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(1): 82-89
- 25 高瑞祺, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 103-106 [Gao Ruiqi, Cai Xiyuan. Oil and Gas Field Formation and Distribution in Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 103-106]
- 26 赵占银, 李洪革, 王兴光, 等. 松辽盆地南部中浅层成藏机制研究 [J]. 石油勘探与开发, 2004, 32(6): 17-20 [Zhao Zhanyin, Li Hongge, Wang Xingguang, et al. Pool formation mechanism of medium shallow layer in the south Songliao Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 32(6): 17-20]
- 27 魏魁生, 徐怀大, 叶淑芬, 等. 松辽盆地白垩系高分辨率层序地层格架 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(1): 7-15 [Wei Kuisheng, Xu Huaida, Ye Shufen, et al. High resolution sequence stratigraphic framework in Cretaceous Songliao Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 1997, 18(1): 7-15]
- 28 褚喜准, 王琪, 朱筱敏, 等. 松辽盆地南部拗陷期湖盆底形演化及充填序列 [J]. 石油学报, 2009, 30(4): 536-542 [Zhuo Xizhun, Wang Qi, Zhu Xiaomin, et al. Relationship between bottom morphology of lake basin and filling sequence during depression period in the southern Songliao Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(4): 536-542]
- 29 关德师, 李建忠. 松辽盆地南部岩性油藏成藏要素及勘探方向 [J]. 石油学报, 2003, 24(3): 24-28 [Guan Deshi, Li Jianzhong. Factors controlling lithologic oil pool formation and exploration prospects in the southern Songliao Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2003, 24(3): 24-27]
- 30 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: 20-56 [Wang Yongchun. The Formation and Distribution of Covered Reservoir in the South of Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 20-56]
- 31 冯志强, 张顺, 解习农, 等. 松辽盆地嫩江组大型陆相拗陷湖盆湖底水道的发现及其石油地质意义 [J]. 地质学报, 2006, 80(8): 1226-1232 [Feng Zhiqiang, Zhang Shun, Xie Xinong, et al. Discovery of a large-scale lacustrine subaqueous channel in the Nenjiang Formation of Songliao Basin and its implication on petroleum geology [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(8): 1226-1232]
- 32 王建功, 王天琦, 张顺, 等. 松辽拗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]
- 33 崔永谦, 秦凤启, 卢永和, 等. 河流相沉积储层地震精细预测方法研究与应用——以渤海湾盆地冀中拗陷古近系河道砂为例 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 668-672 [Cui Yongqian, Qin Fengqi, Lu Yonghe, et al. Research and application of detailed seismic prediction in fluvial reservoirs: an example from the palaeogene channel sand in the Jizhong Depression, the Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(5): 668-672]
- 34 曹卿荣, 李佩, 孙凯, 等. 应用地震属性分析技术刻画河道砂体 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 93-96 [Cao Qingrong, Li Pei, Sun Kai, et al. Using seismic attributes to identify channel sand body [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(2): 93-96]

## Semi-quantitative Research on Subaqueous Distributary Channel Sandbodies of the 3th Member of Nenjiang Formation in Xinli-Xinbei Area, Songliao Basin

ZHAO Bao-feng<sup>1</sup> WANG Jia-hao<sup>1,2</sup> XU Dong-hao<sup>1</sup> XU Meng<sup>1</sup> JIN Xiao-mei<sup>1</sup>

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074;

2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resource of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

**Abstract:** With the application of well data from 1 800 exploration and development wells with the inter distance of 200 m, identification of lithology and analysis of logging facies, we compile sand thickness map and joint wells section of sand body in sand-unit I, third segment of Nenjiang Formation. By the semi-quantitative analyses on sand bodies, we find that the interval of interest is deposited as the shallow-water deltas front and the main kind of sand body is subaqueous distributary channel deposition, which extends over 20 km and evolves into three types processing to the end of delta front: the sand body of meandering channel, which is characterized as long pod, with the width from 600 m to 900 m, and branch off after stretched 8 ~ 10 km; the sand body of branching channel, which is characterized as short pad, with the width from 500 m to 900 m, and branch off after stretched 2 ~ 3 km, distribute as the symbol of '人' or rhombus-shaped; the sand body of reticulate channel, which is distribute as nets, with the width from 300 m to 500 m, and branch off after stretched 0.5 ~ 1 km. The evolution of subaqueous distributary channel sand body associated with the change of superimposed styles and microfacies. The former changed from vertical superposition to dislocated superposition to dislocated-level composited superposition to levelly related joint to isolated dispersion; the latter changed from crevasse channel to inter-channel deposits to mouth bar. All of the above association are the result of gentle sedimentary basement, rich sediment supply, steadily falling lake level, stable subsea natural barrier and the energy transformation between rivers and lakes.

**Key words:** Songliao Basin; Nenjiang Formation; shallow-water deltas; subaqueous distributary channel; dense cluster wells