

文章编号:1000-0550(2016)03-0582-12

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2016.03.016

三角洲前缘水下分流河道薄层单砂体成因类型及其叠置模式 ——以古城油田泌浅10区核三段IV-VI油组为例

任双坡^{1,2} 姚光庆^{1,2} 毛文静^{1,2}

(1.中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室 武汉 430074;2.中国地质大学资源学院 武汉 430074)

摘要 泌阳凹陷古城油田泌浅10区核三段广泛发育三角洲前缘水下分流河道薄层砂体。在储层精细沉积微相研究的基础上,综合应用岩芯、密井网测井等资料,对古城水下分流河道单砂体进行了精细刻画,建立了单砂体规模定量预测模型。依据河道规模将古城水下分流河道分为I型、II型、III型河道3类。运用高分辨率层序地层学短期基准面旋回原理,对研究层段水下分流河道砂体成因类型进行了研究。结果表明,在基准面低幅上升且 $A/S \ll 1$ 时,形成削截式水下分流河道砂体; $A/S < 1$ (接近1)时,形成完整式水下分流河道砂体。识别出单一河道砂体的叠置类型主要包括垂向叠置、侧向叠置、垂向相切、侧向相切、垂向分隔5种垂向叠置模式以及间湾相隔式、水平搭接式、侧向切叠式3种平面接触样式,并总结了各自的测井相识别标志。

关键词 泌浅10区 单砂体 短期基准面旋回 水下分流河道 三角洲前缘

第一作者简介 任双坡 男 1989年出生 博士研究生 储层地质学 E-mail: rsp_123@126.com

通讯作者 姚光庆 男 教授 E-mail: gqyao@cug.edu.cn

中图分类号 P618.13 **文献标识码** A

0 引言

三角洲前缘是我国陆相盆地最重要的油气储层类型之一,水下分流河道砂体又是该类储层重要的组成部分。物源供给、地形起伏变化、湖盆水体深浅和湖平面升降等因素共同控制着水下分流河道的规模、分叉—合并频率,形成横向连通性和垂向连续性不同的储层砂体^[1]。前人关于水下分流河道微相识别、储集性质及含油气性评价已有深入研究^[2-5]。但是有关河道沉积砂体叠置规律尤其是对油田地下砂体结构的研究相对较少,现有研究也主要集中于现代沉积和野外露头解剖方面^[6-9]。随着油田进入高含水期开采阶段,不同单河道间连通方式的复杂性使储层内部表现出很强的非均质性,需要对单河道砂体的叠置关系进行精细研究以提高对河道砂体储层的认识^[10-14]。准确刻画单砂体的垂向组合、平面接触关系,明确河道砂体空间叠置规律是研究剩余油分布的关键^[15-18]。

井网密度是制约砂体叠置关系刻画精度的关键因素,国内大多数油田的平均井距都在200 m以上,所谓的小井距也在100 m以上^[11,19],仍然不能实现

精细划分砂体的目的。而本研究区的平均井距仅为75 m,最小处甚至只有50 m,这对于精细识别河道边界、准确刻画河道形态都有巨大优势。笔者拟在已有资料的基础上对研究区水下分流河道砂体叠置关系进行深入解剖,提高砂体空间组合关系认识程度,以期油田后期开发调整提供新思路。

1 研究区概况

古城油田地处泌阳凹陷北部斜坡西段,其含油构造为轴向北西的古城鼻状构造,断层的切割作用使古城鼻状构造呈现为大小不等的断块,含油断块泌浅10区位于古城油田西北部,为一断鼻型油气藏,含油层为下第三系核桃园组核三段III-VII油层组,沉积物源来自北西向古城三角洲。泌浅10区鼻状构造主要受控于北部、西部两条正断层,西部的逆断层分割形成的东西区差异较为明显,东区地层呈现倾角为 $11^\circ \sim 16^\circ$ 的单斜构造,西区是与逆断层伴生的牵引构造^[20]。研究区含油面积为 1.4 km^2 ,地质储量为567万吨,已动用地质储量382万吨,可采储量65.2万吨,标定采收率30%。共有井300余口,平均井距为75 m,为密井网区(图1)。古城油田泌浅10区自上

收稿日期:2015-06-29;收修改稿日期:2015-09-12

基金项目:中国石油化工股份有限公司河南油田分公司重点项目(31350053-13-ZC0607-0005) [Foundation: Key Project of Henan Oilfield, SINOPEC, No. 31350053-13-ZC0607-0005]

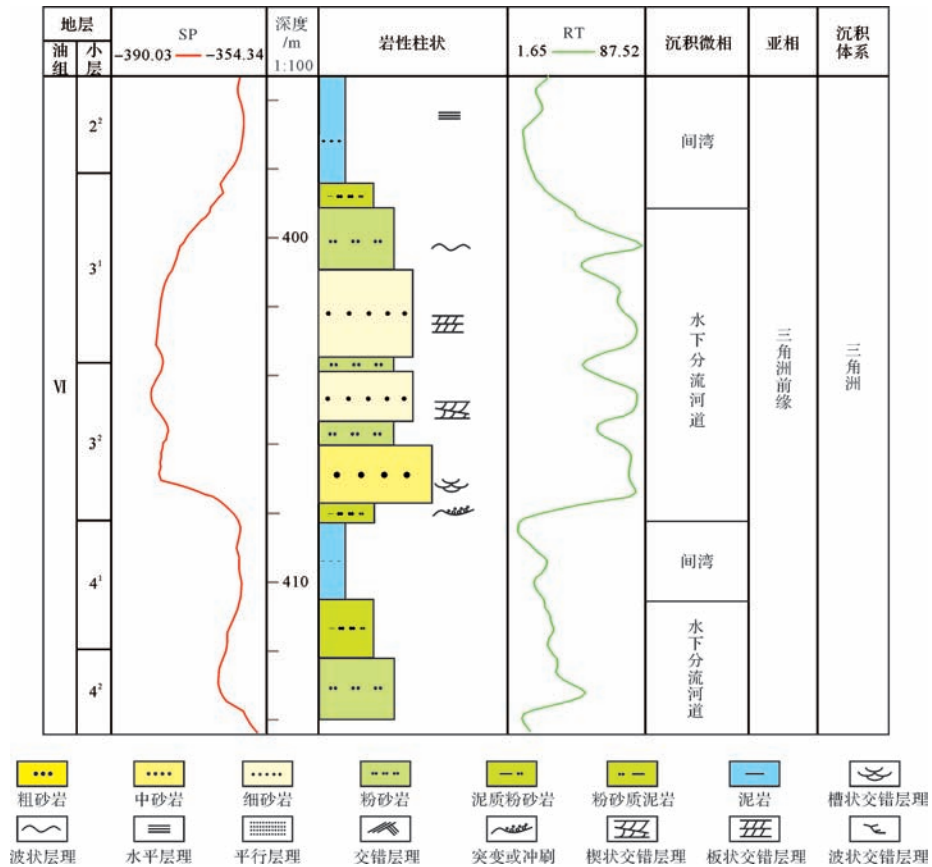


图3 水下分流河道砂体岩性及沉积构造特征(古新51013井)

Fig.3 Lithologic and sedimentary structure feature of subaqueous distributary channel sand body(Well Guxin 51013)

2.1.2 其他微相类型

河口坝:位于水下分流河道河口末端,由于河流能量减弱湖水阻力作用较强,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型。

席状砂:常连片分布于河口坝的前部或侧翼,是河口砂坝受水流作用破坏后再沉积形成的。岩性较细,多为粉砂岩或泥质粉砂岩,常发育波状层理、水平层理或斜层理,呈反韵律或韵律特征不显著。测井曲线呈中幅指型。

远砂坝:位于河口砂坝前方较远部位,主要由粉砂和少量黏土组成。沉积构造以水平纹理和颜色纹理为特征,但同时具有波状交错层理。测井曲线呈中幅指型。

水下分流河道侧翼:也称河道边缘,沉积物粒级相比主河道要细的多,主要由粉砂岩、泥质粉砂岩组成,呈正韵律。测井曲线呈中高幅齿型。

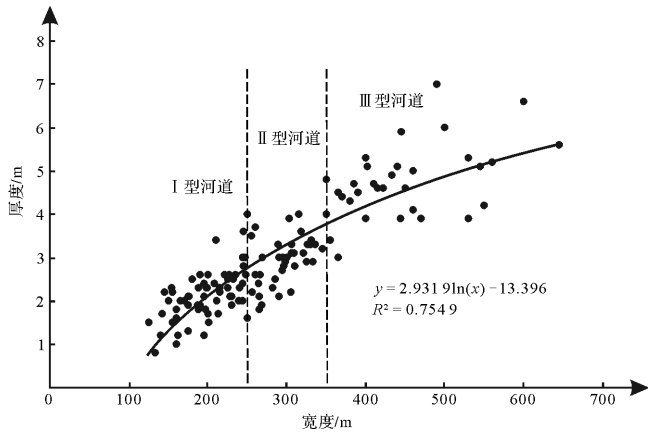
水下分流河道间湾:位于水下分流河道之间相对凹陷的区域,以黏土沉积为主,含少量粉砂,具水平层

理和透镜状层理。测井曲线呈低幅平直型。

2.2 单河道定量识别与划分

古代三角洲砂体露头资料以及现代三角洲研究成果揭示,河道宽度和深度之间存在定量关系。研究区沉积地形平缓,多形成“宽而浅”的水下分流河道。笔者选取垂直物源方向的6条剖面,充分利用研究区密井网小井距优势条件,对单一河道进行了精细划分并统计了各单河道的宽度和厚度数据(共128个数据点),建立了单河道砂体宽度与厚度之间的定量预测模型(图4)。综合河道宽度、厚度将研究区河道分为3类(表1),并且发现不同类型河道具有独特的测井相特征。I型河道:钟型、齿化钟型为主;II型河道:中幅薄箱型、中幅齿化薄箱型为主;III型河道:中—高幅厚箱型、中—高幅齿化厚箱型为主(图5)。

I型河道由薄层粉砂岩和泥质粉砂岩互层组成。II型河道下部为细、粉砂岩,向上为泥质粉砂岩和粉砂质泥岩。III型河道由厚层中粗砂岩、细粉砂岩组成,上、下与泥岩接触或由中厚层细、粉砂岩夹薄层泥质粉砂岩组成。



2.3 短期基准面旋回变化与砂体叠置关系

以岩芯、测井等相关资料为依据,对短期基准面旋回进行识别,其地层过程—沉积学响应特征主要表现为具有成因联系的单一或多个岩相所组成的最小成因地层单元,相当于 Vail 的准层序组或准层序^[29]。以此为基础,可开展高分辨率层序地层学成因地层单元划分以及层序分析等工作^[30-32]。

通过岩芯观察和测井相分析,在研究区识别出两种向上变深的非对称型短期基准面旋回(图6),特征为上升半旋回完整保存,缺失下降半旋回,符合三角洲前缘水下分流河道砂体沉积特点。其中,低可容空间和高可容空间条件下形成的水下分流河道在岩性岩相组合和测井相形态特征上具有明显的差异性。低可容空间多形成削截式水下分流河道,高可容空间

图4 泌浅10区单河道砂体宽—厚度定量预测模型
Fig.4 Quantitative prediction model on width-thickness of single channel sandbody in Biqian 10 area

表1 不同河道类型及特征

Table 1 The characteristics and types of different channels

河道类型	I型河道	II型河道	III型河道
河道宽度	<250 m	250~350 m	>350 m
河道厚度	<2 m	2~4 m	>4 m
测井相类型	钟型、齿化钟型为主	中幅薄箱型、中幅齿化薄箱型为主	中—高幅厚箱型、中—高幅齿化厚箱型为主
剖面粒度变化	粒度细,垂向向上逐渐变细,横向上岩性及粒度变化大	粒度较细,垂向向上逐渐变细,横向上粒度较均一	粒度相对较粗,垂向和横向上粒度变化小
横剖面形态	不对称透镜状	宽而薄的槽状	宽而厚的槽状

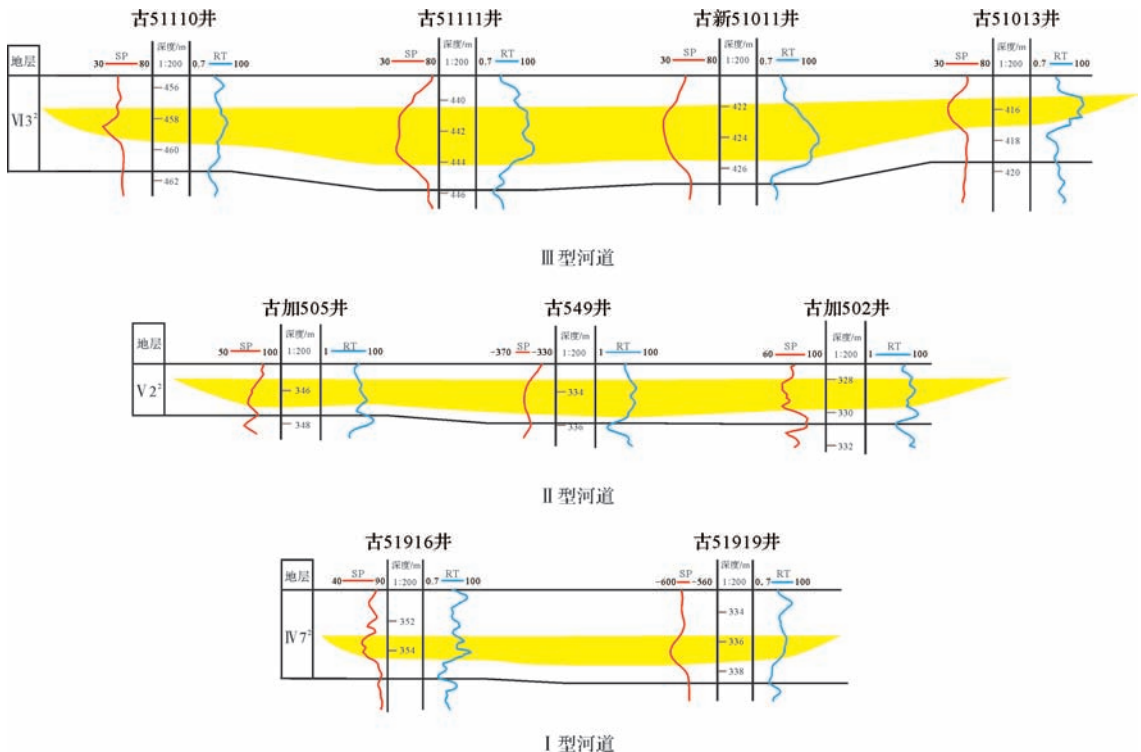


图5 不同类型水下分流河道及其对应测井相特征

Fig.5 Different types and logging facies features of subaqueous distributary channel

多形成完整式水下分流河道。

2.3.1 削截式水下分流河道砂体

截削式分流河道砂体形成于低可容纳空间条件下,其短期基准面旋回类型为向上变深的非对称型旋回(图6)。在基准面低幅上升过程中,可容纳空间的增长率远小于沉积速率($A/S \ll 1$),注入可容纳空间的大部分沉积物受水动力作用无法保留。基准面下降时,有效可容空间减小,冲刷作用逐渐增强,上部细粒沉积物被侵蚀,仅保留了下部粗粒部分,形成底部具冲刷面与单一向上变细的块状分流河道砂体。当基准面再一次升降时,重复上述过程,可导致多期砂体相互叠合形成削截式水下分流河道砂体,测井曲线

表现为箱型(表2)。

2.3.2 完整式水下分流河道砂体

完整式分流河道砂体短期基准面旋回类型为高可容纳空间向上变深的非对称型旋回(图6)。在高可容纳空间且 $A/S < 1$ (接近1)的条件下,可容纳空间随着基准面上升而增大,其增长速率大于沉积物供应速率,于是大量沉积物得以沉积,此时冲刷和剥蚀作用较弱,形成底部冲刷向上变细的完整河道砂体(具有典型的河道二元结构);基准面下降导致有效可容纳空间向湖推进,与此同时,冲刷侵蚀作用减弱,砂体保存完整,能够单期或多期叠加存在,测井曲线表现为钟型(表2)。

表2 泌浅10区核三段IV-VI油组 A/S 值与水下分流河道砂体成因类型

Table 2 Relationship between A/S and different genetic distributary channel sandstone in H3 IV-VI oil formation, Bianqian 10 area

河道砂体成因类型	A/S 值	岩石粒度	沉积序列	测井曲线形态(SP)	短期旋回类型
削截式河道	$A/S \ll 1$	中粗—细砂岩	底部冲刷面+分流河道	箱型	低可容纳空间向上变深的非对称型旋回
完整式河道	$A/S < 1$ (接近1)	粉—细砂岩	底部冲刷面+分流河道+间湾	钟型	高可容纳空间向上变深的非对称型旋回

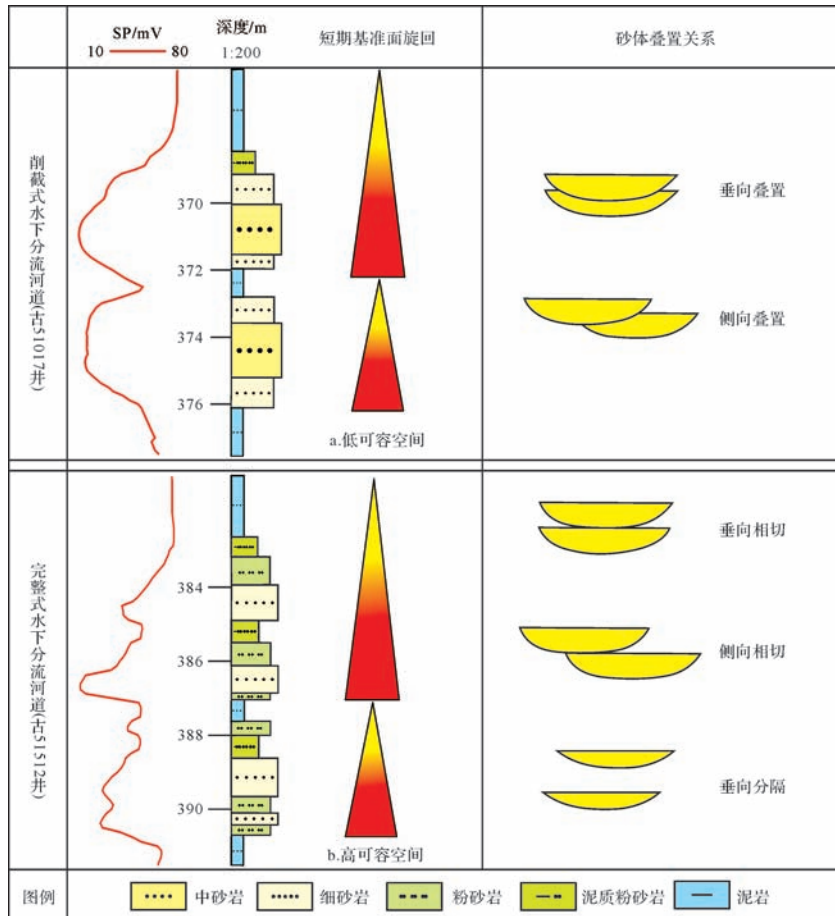


图6 向上变深的短期基准面旋回剖面结构及相应砂体叠置关系

Fig.6 Profile of up-deepening short-term base-level cycle and corresponding superimposition patterns

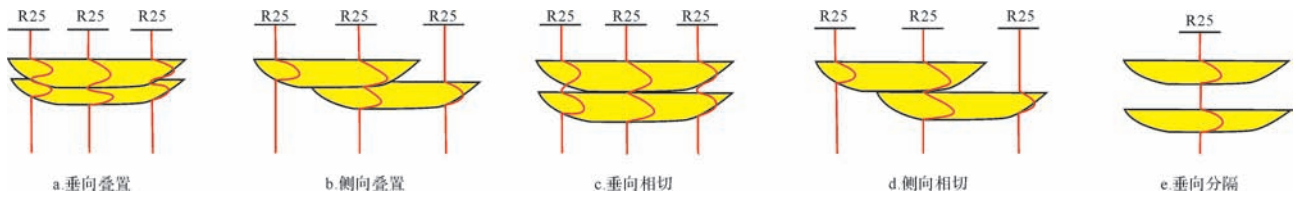


图7 古城油田泌浅10区单砂体垂向叠置样式及测井相识别标志模式图

Fig.7 Vertical superimposition patterns of single sandbodies and logging markers of Biqian 10 area, Gucheng oilfield

3 水下分流河道单砂体叠置样式及识别标志

3.1 垂向叠置样式及测井相识别标志

随着湖平面升降,不同时期沉积的河道单砂体垂向叠置切割,形成了多种组合样式^[33]。通过砂体的精细刻画发现泌浅10区水下分流河道砂体在垂向上主要有垂向叠置、侧向叠置、垂向相切、侧向相切以及垂向分隔5种叠置类型,并且每种类型都对应着各自典型的测井相识别标志(图7)。不同的叠置类型对应不同的砂体成因。其中,垂向叠置、侧向叠置对应截式水下分流河道砂体成因;垂向相切、侧向相切以及垂向分隔对应完整式水下分流河道砂体成因(图6)。

(1) 垂向叠置。两期河道砂体垂向重叠率大于80%,后期河道对前一期河道有明显的切割、侵蚀、冲刷破坏作用。在两期砂体切叠处,2.5 m电阻率曲线回返明显,表现出两期河道间的物性差异,整体上显示为两个阶梯状箱型或钟型特征,横向上从河道中心向河道边缘第二期单砂体2.5 m电阻率曲线箱型(钟型)底部和第一期单砂体2.5 m电阻率曲线箱型(钟型)底部高程明显上升(图7a)。多期河道的垂向叠置在2.5 m电阻率曲线上表现为阶梯状曲线回返,指示着不同河道之间的物性差异(图8)。

(2) 侧向叠置。两期河道砂体垂向重叠率介于50%~80%,垂向上后期形成的单砂体对前一期形成的单砂体有较为明显的切割、侵蚀、冲刷破坏作用。在两期砂体切叠处,2.5 m电阻率曲线回返明显,表现出两期河道间的物性差异,整体上显示为两个阶梯状箱型或钟型特征;在两期单砂体未切叠处,2.5 m电阻率曲线上各自显示为一个单独的箱型(钟型)(图7b)。

(3) 垂向相切。两期单砂体垂向重叠率大于80%,但是后期形成的单砂体对早期形成的单砂体没有明显的侵蚀、冲刷等作用,两期河道呈相切接触。在两期河道相切处,2.5 m电阻率曲线回返明显,表

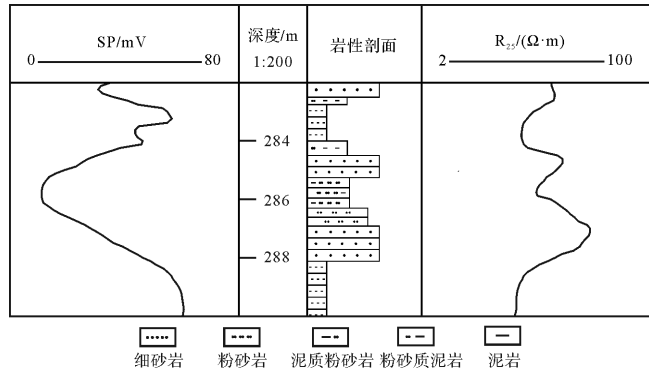


图8 阶梯状测井曲线—单砂体垂向叠置标志 (古51320井IV油组第10小层)

Fig.8 Step-type logging markers for vertical superimposed single sandbodies (the tenth small layer of the fourth reservoir group of Well Gu 51320)

现出两期河道间的细粒沉积,电阻率曲线整体上显示为两个阶梯状的箱型或钟型特征,从河道中心向河道边部,第一期河道砂体和第二期河道砂体2.5 m电阻率曲线箱型(钟型)底部高程明显上升(图7c)。

(4) 侧向相切。两期河道砂体垂向重叠率介于50%~80%,但是后期形成的单砂体对早期形成的单砂体没有明显的侵蚀、冲刷等作用,两期河道呈相切接触。该叠置类型在两期河道相切处,2.5 m电阻率曲线回返明显,表现出两期河道间的细粒沉积,电阻率曲线整体上显示为两个阶梯状的箱型或钟型特征;而在两期河道未相切处,2.5 m电阻率曲线显示为一个单独的箱型(钟型)特征(图7d)。

(5) 垂向分隔。两期河道砂体之间存在厚层细粒沉积物,孤立存在。此叠置类型测井相标志为2.5 m电阻率曲线显示两个分离的箱型(钟型)特征,并且在两期单砂体分隔处测井曲线呈平直型(图7e)。研究区内单砂体之间的细粒沉积物主要是泥质沉积(图9)。

3.2 平面接触样式及测井识别标志

水下分流河道单砂体的平面接触样式是指同一时期沉积的不同分流河道砂体在平面上的接触关系

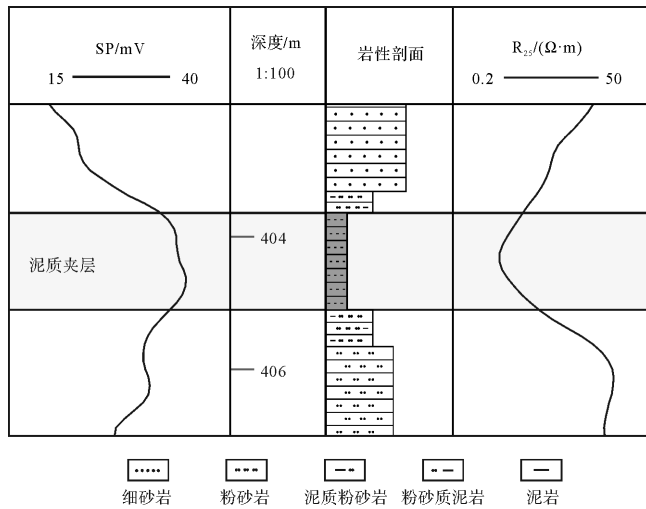


图9 单砂体间细粒沉积物类型及测井相特征
(古51512井V油组第3小层)

Fig.9 Logging facies and sediment types between single sandbodies (the third small layer of the fifth reservoir group of Well Gu 51512)

(包括由同一河道继续分流形成的分流河道和不同河道分支),此期间湖平面基本保持稳定,单河道砂体的接触关系主要受水动力条件、古地形地貌、古气候等因素的影响,在平面上总会相互切叠和分离,从而形成不同的接触样式。研究发现研究区水下分流河道砂体平面接触样式主要有间湾相隔式、水平搭接式、侧向切叠式3种类型,每种类型在剖面上都有各自典型的测井相标志(图10)。

(1) 间湾相隔式

两支分流河道(同一河道不同分支或不同分支河道)之间为水下分流间湾泥质沉积,在平面上彼此

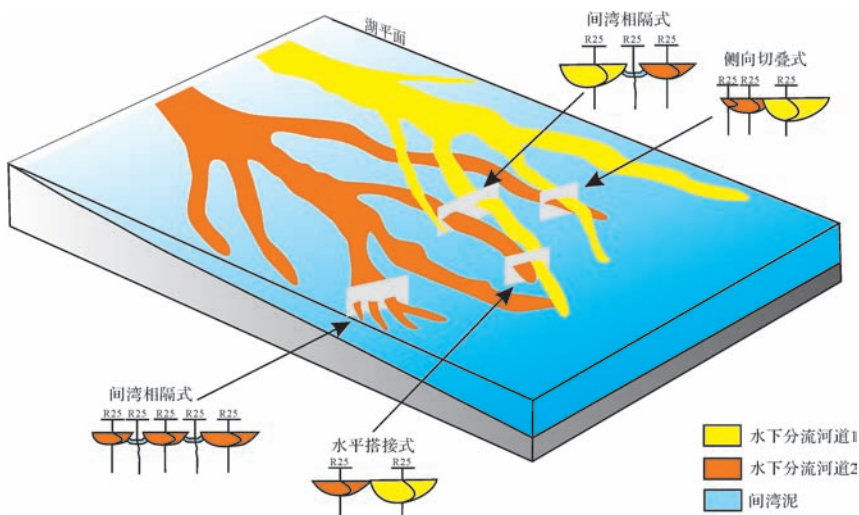


图10 三角洲前缘水下分流河道平面接触样式及测井相识别标志模式图

Fig.10 Patterns of lateral contact styles and logging markers of subaqueous distributary channel in delta front

不接触。在河道砂体处电阻率曲线上显示为一个单独的箱型(钟型),而在水下分流间湾处电阻率曲线为平直曲线。在研究区该种接触类型主要分布在水下分流河道下游末端处(图11a)。

(2) 水平搭接式

两期单砂体剖面上彼此对接,平面上并行流过,各自保存完整,单砂体之间没有切叠关系。砂体处,电阻率曲线上显示为单独的箱型(钟型),在横向上往往出现砂体由厚变薄再变厚的组合关系(图11b)。研究区内该种接触类型的河道砂体相对较少。

(3) 侧向切叠式

同时期内,由于三角洲前缘水下分流河道的频繁改道、迁移等原因,形成河道侧向切叠接触。在两期单砂体未切叠部位,电阻率曲线上显示为一个单独的箱型(钟型),在切叠处由于不同河道砂体之间的物性差异,测井曲线会有明显回返(图11c)。此种接触类型的砂体在研究区内较为常见。

以研究区单河道砂体5种垂向叠置模式为指导,配合单砂体定量预测模型以及3种平面分界标志,建立了研究区河道砂体平面展布模式(图11,12)。

3.3 短期基准面旋回控制下的砂体叠置关系演化规律

基准面的升降导致可容纳空间/沉积物补给通量值(A/S)发生变化,进而影响三角洲前缘水下分流河道砂体的几何形态和接触关系^[34]。河道砂体在垂向上的演化受到A/S比值的控制,为了研究其垂向演化规律,以短期旋回(单层)为作图单元,应用密井网资料,绘制了9张联井砂体剖面图。以垂直物源方向的3号剖面V油组联井砂体剖面图为例(图13),从

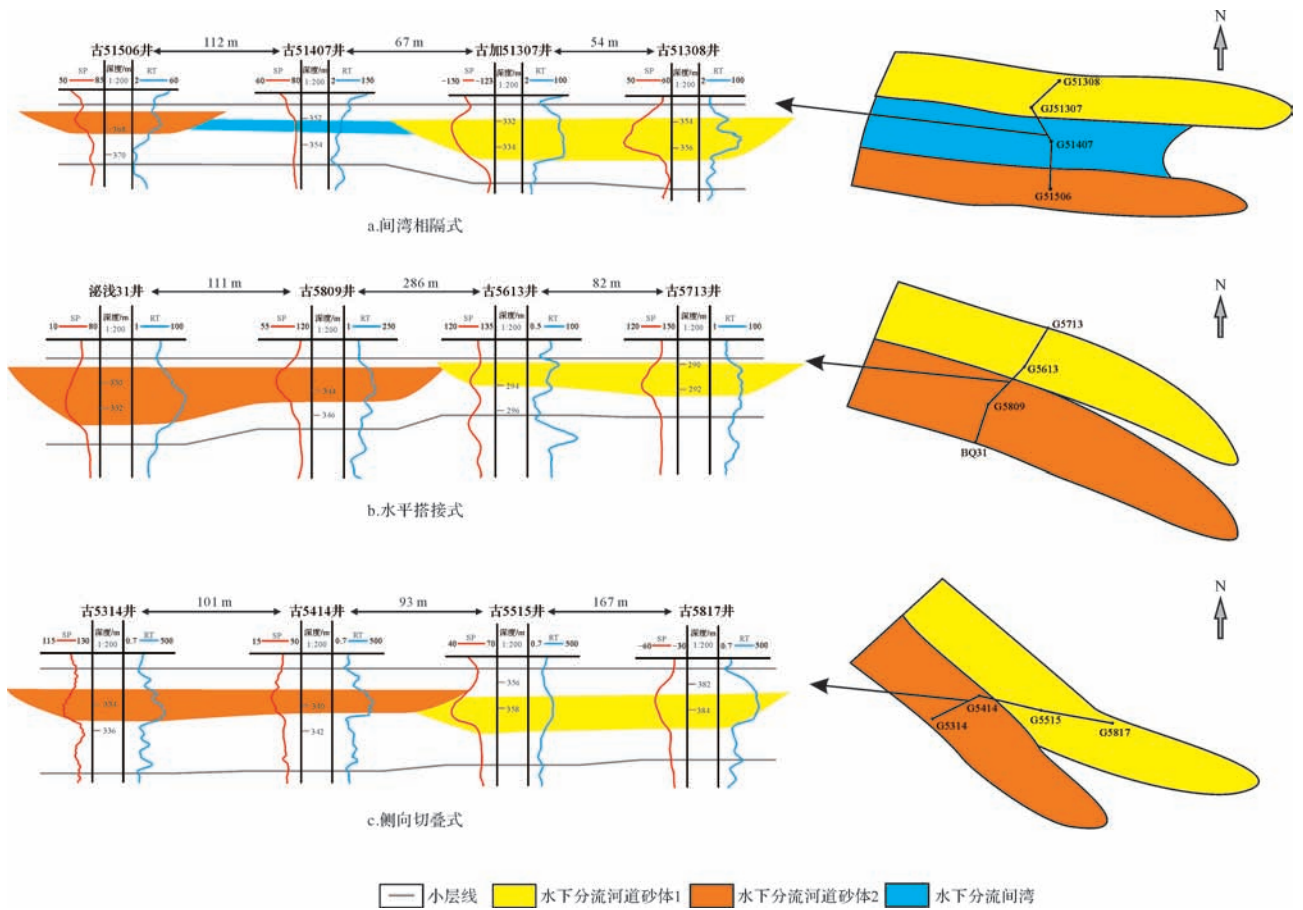


图 11 古城油田泌浅 10 区单河道砂体平面接触样式

Fig.11 Lateral contact styles of single channel sandbodies in Biqian 10 area, Gucheng oilfield

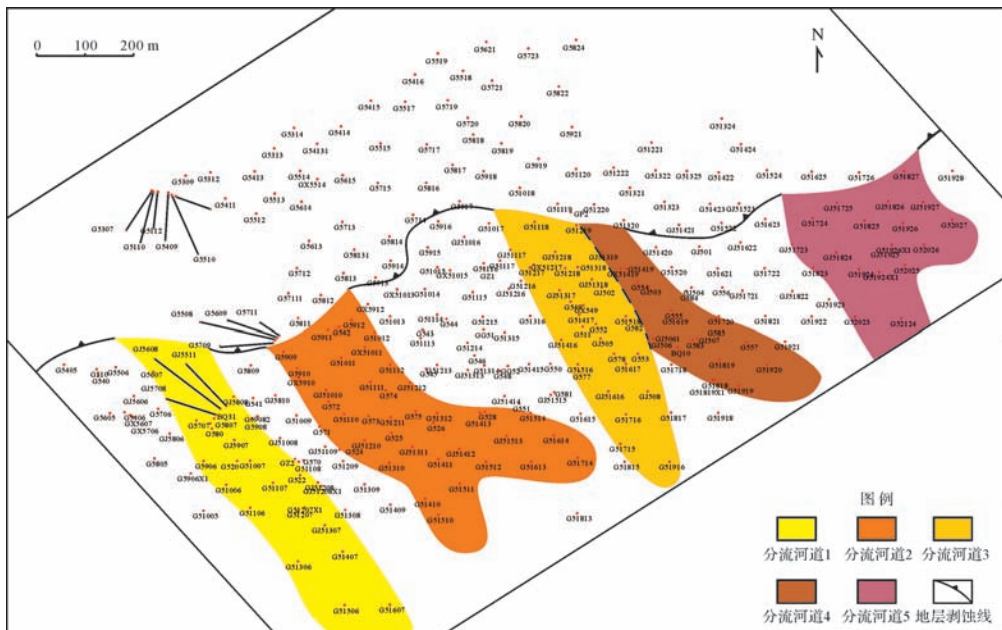


图 12 古城油田泌浅 10 区IV²单层河道砂体平面展布

Fig.12 Single channel sandbodies distribution of the IV² layer of Biqian 10 area, Gucheng oilfield

图中可以看出,整个V油组发育多级基准面上升旋回,反映了A/S在纵向上的多级变化发育模式。随着基准面的上升及A/S值的不断增大,水下分流河道砂体从V油组下部的垂向叠置、侧向叠置样式

逐渐过渡到上部的垂向分隔样式(由削截式河道向完整式河道过渡),同时河道的类型在多个次级A/S比值向上变大旋回的控制下也从Ⅲ型河道逐步演化为Ⅰ型河道(图14)。

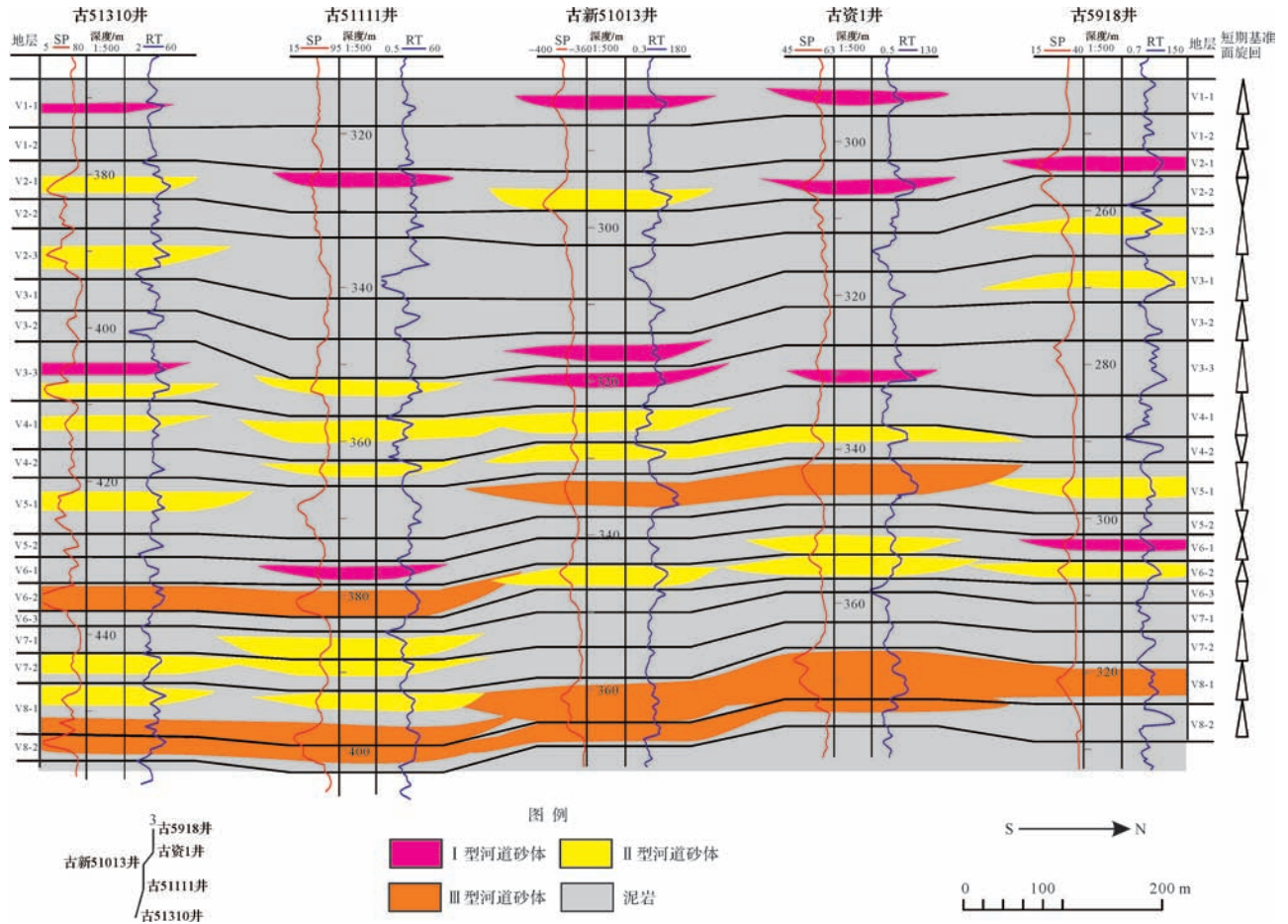


图 13 短期基准面旋回内部砂体分布联井剖面图

Fig.13 The interwell distribution profile of sand bodies within short-term base-level cycle

A/S	河道类型	砂体叠置类型	发育阶段
增大	Ⅲ型河道	垂向叠置	上升 下降 上升
		侧向叠置	
增大	Ⅱ型河道	水平搭接	上升 下降 上升
		侧向相切	
		垂向相切	
增大	Ⅰ型河道	垂向分隔	上升 下降 上升

图 14 A/S 值与河道砂体叠置类型关系

Fig.14 Relationship between the value of A/S and superimposition patterns of channel sandbodies

4 结论

(1) 在对研究区沉积相精细研究的基础上,对研究区水下分流河道砂体进行了精细识别,并建立了单一河道宽厚比定量预测模型。依据河道砂体的规模将研究区河道分为3类:I型河道,II型河道,III型河道。并总结了每种类型河道特有的测井相标志。

(2) 依据基准面升降原理,对研究层位进行了短期基准面旋回识别和分析。研究发现,泌浅10区核三段IV-VI油组主要发育削截式水下分流河道和完整式水下分流河道两种成因类型的河道砂体。在基准面低幅上升且 $A/S \ll 1$ 的条件下,形成削截式水下分流河道砂体,对应砂体叠置模式为垂向叠置和侧向叠置,此时多形成III型河道;在高可容纳空间且 $A/S < 1$ (接近1)的条件下,形成完整式水下分流河道砂体,对应砂体叠置模式为垂向相切、侧向相切以及垂向分隔,此时多形成I型、II型河道。

(3) 利用研究区密井网资料,对水下分流河道砂体进行了精细解剖,总结了垂向叠置、侧向叠置、垂向相切、侧向相切、垂向分隔5种垂向叠置样式以及间湾相隔式、水平搭接式、侧向切叠式3种平面接触样式,并给出了每种叠置样式的测井相识别标志。

参考文献 (References)

- 王家豪,陈红汉,江涛,等. 松辽盆地新立地区浅水三角洲水下分流河道砂体结构解剖[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2012,37(3):556-564. [Wang Jiahao, Chen Honghan, Jiang Tao, et al. Sandbodies Frameworks of subaqueous distributary channel in shallow-water delta, Xinli area of Songliao Basin[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2012, 37(3): 556-564.]
- 赵长勋,姜岩,赵峰华,等. 葡南油田薄层河道砂岩体分布规律及预测[J]. 油气地质与采收率,2009,16(3):4-6,10. [Zhao Changxun, Jiang Yan, Zhao Fenghua, et al. Distribution and prediction of the thin underwater distributary channel sandbodies in Punan oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(3): 4-6, 10.]
- 于兴河,李胜利. 碎屑岩系油气储层沉积学的发展历程与热点问题思考[J]. 沉积学报,2009,27(5):880-895. [Yu Xinghe, Li Shengli. The development and hotspot problems of elastic petroleum reservoir sedimentology[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 880-895.]
- 于兴河,李胜利,赵舒,等. 河流相油气储层的井震结合相控随机建模约束方法[J]. 地学前缘,2008,15(4):33-41. [Yu Xinghe, Li Shengli, Zhao Shu, et al. The constraining method on stochastic modeling for fluvial petroleum reservoir controlled by depositional facies integrating wells with seismic data[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 33-41.]

- van den Bergh G D, van Weering T C E, Boels J F, et al. Acoustical facies analysis at the Ba Lat delta front (Red River Delta, North Vietnam)[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2007, 29(4): 532-544.
- Labourdette R, Jones R R. Characterization of fluvial architectural elements using a three-dimensional outcrop data set: escanilla braided system, South-Central Pyrenees, Spain [J]. Geosphere, 2007, 3(6): 422-434.
- 赵俊峰,屈红军,林晋炎,等. 湖泊三角洲沉积露头精细解剖——以鄂尔多斯盆地袁庄剖面为例[J]. 沉积学报,2014,32(6):1026-1034. [Zhao Junfeng, Qu Hongjun, Lin Jinyan, et al. Outcrop-based anatomy of a lacustrine delta succession: A case study from Peizhuang Section, Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(6): 1026-1034.]
- 陈彬滔,于兴河,王天奇,等. 砂质辫状河岩相与构型特征——以山西大同盆地中侏罗统云冈组露头为例[J]. 石油与天然气地质,2015,36(1):111-117. [Chen Bintao, Yu Xinghe, Wang Tianqi, et al. Lithofacies and architectural characteristics of sandy braided river deposits: a case from outcrops of the Middle Jurassic Yungang Formation in the Datong Basin, Shanxi province[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 111-117.]
- 马世忠,张永清. 应用遥感信息图像研究现代水下分流河道河流类型[J]. 地学前缘,2012,19(2):24-31. [Ma Shizhong, Zhang Yongqing. Research on the channel pattern of present subaqueous distributary channel by remote sensing image[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 24-31.]
- 胡光义,陈飞,范廷恩,等. 渤海海域S油田新近系明化镇组河流相复合砂体叠置样式分析[J]. 沉积学报,2014,32(3):586-592. [Hu Guangyi, Chen Fei, Fan Tingen, et al. Analysis of fluvial facies compound sandbody architecture of the Neogene Minghuazhen Formation of S oilfield in the Bohai Bay[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(3): 586-592.]
- 封从军,鲍志东,单启铜,等. 三角洲平原复合分流河道内部单砂体划分——以扶余油田中区南部泉头组四段为例[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):77-83. [Feng Congjun, Bao Zhidong, Shan Qitong, et al. Single sand body identification in compound distributary channel of delta plain: A case study from the fourth member of Quantou Formation in the southern part of central Fuyu oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 77-83.]
- 陈清华,曾明,章凤奇,等. 河流相储层单一河道的识别及其对油田开发的意义[J]. 油气地质与采收率,2004,11(3):13-15. [Chen Qinghua, Zeng Ming, Zhang Fengqi, et al. Identification of single channel in fluvial reservoir and its significance to the oilfield development[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(3): 13-15.]
- 田景春,张兴良,王峰,等. 鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界储集砂体叠置关系及分布定量刻画[J]. 石油与天然气地质,2013,34(6):737-742,815. [Tian Jingchun, Zhang Xingliang, Wang Feng, et al. Quantitative characterization of superimposition relationship and distribution of reservoir sandbodies in the Upper Palaeozoic of Gaoqiao region, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(6): 737-742, 815.]

- 14 Donselaar M E, Overeem I. Connectivity of fluvial point-bar deposits: an example from the Miocene Huesca fluvial fan, Ebro Basin, Spain [J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(9): 1109-1129.
- 15 赵小庆, 鲍志东, 刘宗飞, 等. 水下分流河道砂体的叠置样式及其储层非均质性变化特征 [J]. 地质论评, 2013, 59(4): 789-795. [Zhao Xiaqing, Bao Zhidong, Liu Zongfei, et al. Superimposed style and reservoir heterogeneity variation characteristics of underwater distributary channel sand bodies [J]. Geological Review, 2013, 59(4): 789-795.]
- 16 张庆国, 鲍志东, 宋新民, 等. 扶余油田扶余油层储集层单砂体划分及成因分析 [J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(2): 157-163. [Zhang Qingguo, Bao Zhidong, Song Xinmin, et al. Hierarchical division and origin of single sand bodies in Fuyu oil layer, Fuyu oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 157-163.]
- 17 何宇航, 于开春. 分流平原相复合砂体单一河道识别及效果分析 [J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(2): 17-19. [He Yuhang, Yu Kaichun. Recognition and its effect analysis of single river channel in composite sand body with distributary plain facies [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(2): 17-19.]
- 18 金振奎, 时晓章, 何苗. 单河道砂体的识别方法 [J]. 新疆石油地质, 2010, 31(6): 572-575. [Jin Zhenkui, Shi Xiaozhang, He Miao. Identification methods for single-channel sand body [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(6): 572-575.]
- 19 赵宝峰, 王家豪, 徐东浩, 等. 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 [J]. 沉积学报, 2012, 30(3): 511-521. [Zhao Baofeng, Wang Jiahao, Xu Donghao, et al. Semi-quantitative research on subaqueous distributary channel Sandbodies of the 3th Member of Nenjiang Formation in Xinli-Xinbei area, Songliao Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(3): 511-521.]
- 20 徐波. 泌阳凹陷泌浅 10 区剩余油分布特征与开发技术对策 [J]. 特种油气藏, 2013, 20(1): 83-88. [Xu Bo. Distribution characteristics and development measures of the residual oil of Block Biqian 10 of Biyang depression [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(1): 83-88.]
- 21 Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high-resolution stratigraphic correlation [C]//Gradstein F M, Sandvik K O, Milton N J. Sequence Stratigraphy Concepts and Applications. Amsterdam: NPF Special Publication, 1998, 8: 171-195.
- 22 邓宏文, 王红亮, 祝永军, 等. 高分辨率层序地层学: 原理及应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-263. [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, et al. High-Resolution Sequence Stratigraphy: Principle and Application [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 1-263.]
- 23 邓宏文, 王红亮, 宁宁. 沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层学的理论基础 [J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305-313. [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Ning Ning. Sediment volume partition principle: theory basis for high-resolution sequence stratigraphy [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 305-313.]
- 24 樊中海, 杨振峰, 张成, 等. 高精度层序地层格架在扇三角洲体系储层精细对比中的应用——以泌阳凹陷赵凹油田为例 [J]. 地质科技情报, 2005, 24(2): 33-38. [Fan Zhonghai, Yang Zhenfeng, Zhang Cheng, et al. Application of high-resolution sequence stratigraphic framework to detailed correlation of fan-delta sandstone reservoirs: A case study from Zhaowa oilfield of Biyang depression [J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24(2): 33-38.]
- 25 李振泉, 郑荣才. 胜坨油田胜一区沙二段上部高分辨率层序结构分析和叠加样式研究 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(4): 47-50. [Li Zhenquan, Zheng Rongcai. High-resolution sequence structural and stacking pattern study of the Es₂ reservoirs in the Sheng-I area, Shengli oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(4): 47-50.]
- 26 李树同, 王多云, 秦红, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区三角洲前缘储层砂体成因分析 [J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(6): 19-22. [Li Shutong, Wang Duoyun, Qin Hong, et al. Genetic analysis of reservoir sandbody of delta front in Jiyuan region of Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(6): 19-22.]
- 27 李祺, 陈振林. 泌阳凹陷下二门油田三角洲前缘短期基准面旋回构成样式及砂体成因 [J]. 地质科技情报, 2009, 28(4): 15-20. [Li Qi, Chen Zhenlin. Short-term base-level cycle mode and genetic explanation of sandstone of delta front in the Xia'ermen oilfield, Biyang sag [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(4): 15-20.]
- 28 吴胜和, 伊振林, 许长福, 等. 新疆克拉玛依油田六中区三叠系克下组冲积扇高频基准面旋回与砂体分布型式研究 [J]. 高校地质学报, 2008, 14(2): 157-163. [Wu Shenghe, Yi Zhenlin, Xu Changfu, et al. High frequency base-level cycles of alluvial fan and distribution patterns of sandbodies of lower Karamay Formation (Triassic) in middle 6th district of Karamay oilfield, Xinjiang [J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(2): 157-163.]
- 29 Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy: Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure [C]//Bally A W. Atlas of Seismic Stratigraphy. AAPG Studies in Geology, 1987, 1: 1-10.
- 30 封从军, 鲍志东, 张吉辉, 等. 扶余油田中区泉四段基准面旋回划分及对单砂体的控制 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(增刊 2): 62-69. [Feng Congjun, Bao Zhidong, Zhang Jihui, et al. Dividing of base-level cycle and its controlling on single sand body in the fourth member of Quantou Formation in Fuyu oilfield [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(S2): 62-69.]
- 31 孙雨, 马世忠, 闫百泉, 等. 浅水湖盆河控三角洲短期基准面旋回结构样式与沉积演化: 以松辽盆地扶新隆起带南部扶余油层为例 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013, 44(8): 3405-3414. [Sun Yu, Ma Shizhong, Yan Baiquan, et al. Sedimentary evolution and structure types of short-term base-level cycle sequences of shallow lacustrine fluvial-dominated delta: Example of Fuyu oil layer in southern Fuxin uplift of Songliao Basin [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2013, 44(8): 3405-3414.]
- 32 李凤杰, 王多云, 宋广寿, 等. 陕甘宁盆地坳陷型湖盆缓坡带三角洲前缘短期基准面旋回与储层成因分析 [J]. 沉积学报, 2004, 22

- (1): 73-78. [Li Fengjie, Wang Duoyun, Song Guangshou, et al. Short-term base-level cycle and genetic analysis of reservoirs of delta front at gentle slope in depressed-type lacustrine basin, Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 73-78.]
- 33 封从军, 鲍志东, 代春明, 等. 三角洲前缘水下分流河道单砂体叠置机理及对剩余油的控制——以扶余油田 J19 区块泉头组四段为例[J]. *石油与天然气地质*, 2015, 36(1): 128-135. [Feng Congjun, Bao Zhidong, Dai Chunming, et al. Superimposition patterns of underwater distributary channel sands in deltaic front and its control on remaining oil distribution: A case study from K_1q^4 in J19 block, Fuyu oilfield [J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(1): 128-135.]
- 34 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. *沉积学报*, 2001, 19(2): 249-255. [Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(2): 249-255.]

Genetic Types and Superimposition Patterns of Subaqueous Distributary Channel Thin Sandbodies in Delta Front: A case study from the IV - VI reservoir groups of H3 in Biqian 10 area of Gucheng oilfield

REN ShuangPo^{1,2} YAO GuangQing^{1,2} MAO WenJing^{1,2}

(1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resource of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Thin sandbodies of subaqueous distributary channels of delta-front are widely developed in Biqian 10 area, Gucheng oil field, Biyang sag. Depending on fine study of reservoir sedimentary microfacies with integrating various data including cores and small well spacing logging data, we characterized the single sand body identification in compound subaqueous distributary channels and established a quantitative prediction model for single sand body scale, then we classified the subaqueous distributary channels into 3 types according to channel scale. Based on the short-term base-level cycle theory of high resolution sequence stratigraphy, the paper analyzes the genesis of subaqueous distributary channel sandstones in the study area. The result shows that in the course of base-level rising, $A/S \ll 1$, sandstone genetic type is mainly truncated distributary channel sandstone body, $A/S < 1$ (close to 1), sandstone genetic type is mainly integrated distributary channel sandstone body. We identified that there are five main vertical superimposition patterns of single sandbodies, including vertical superposition, lateral superposition, vertical tangency, lateral tangency and vertical separated, and three lateral contact patterns, including interdistributary contact, horizontal overlap contact and lateral superimposition-tangency contact, moreover, each type of logging-facies marks is summarized.

Key words: Biqian 10 area; single sandbody; short-term base-level cycle; subaqueous distributary channel; delta-front