

长期基准面旋回内河口坝构型的演化规律^①

——以胜坨油田坨7断块沙二段下油组为例

杨延强^{1,2} 吴胜和^{1,2} 岳大力^{1,2} 兰献娇^{1,2} 李艳杰^{1,2} 沈云奇^{1,2}

(1.中国石油大学(北京)地球科学学院 北京 102249; 2.中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249)

摘要 综合应用高分辨率层序地层学理论和储层构型分析方法,以渤海湾盆地东营凹陷胜坨油田坨七断块沙二段下油组为例,研究长期基准面旋回背景下河口坝构型的演化规律。研究表明,研究区沙二段下油组对应一个长期基准面下降半旋回,并可进一步划分为8个中期基准面旋回及若干短期和超短期旋回。随着长期基准面的下降,河口坝越来越连片,坝体上分流河道的规模变大,延伸距离变长;在长期基准面下降早期,河口坝的侧向拼接样式以河口坝侧缘相互交错及河口坝之间被泥岩隔开样式居多,在长期基准面下降晚期,河口坝的侧向拼接样式主要为河口坝坝主体与侧缘的侧向叠置和河口坝侧缘与侧缘的侧向叠置;同时,随着长期基准面的下降,垂向上河口坝砂体间的连通性逐渐变好,河口坝前积的角度逐渐变小。长期基准面旋回对河口坝构型的控制主要通过可容空间的增减,沉积物供给速率的变化起作用。该研究对同类型油气田的砂体预测和剩余油分布的预测均具有重要的指导意义。

关键词 胜坨油田 基准面旋回 构型 河口坝

第一作者简介 杨延强 男 1984年出生 博士研究生 油气田开发地质 E-mail: y_yanqiang@163.com

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

0 引言

河口坝砂体是三角洲前缘最主要的砂体类型之一^[1],也是国内十分重要的油气储集层类型^[2]。前人对三角洲及河口坝储层类型进行了大量研究^[3-9],主要侧重于研究河口坝的宏观分布及垂向层序。近些年来,河口坝构型方面的研究越来越受到人们的重视^[10-13],但对于基准面变化对河口坝构型的控制作用的研究目前尚缺少。

胜坨油田位于渤海湾盆地济阳拗陷东营凹陷内,其中,胜坨油田三区坨7断块区沙二段下油组发育一套三角洲沉积,以河口坝砂体为主,前人对该地区的层序地层和沉积微相已做过较多研究^[14]。目前研究区处于特高含水采油阶段,虽已经过多轮井网加密,井距接近经济极限值的情况下,仍无法实现井网对全区的整体控制,复合河口坝砂体内部表现出较强的非均质性^[15]。初步分析认为,河口坝储层内部剩余油分布与河口坝砂体内部构型及河口坝构型随基准面变化的演化规律关系密切,但该区尚未对此方面做过研究。

在前人研究基础之上,以胜坨油田三区坨7断块区沙二段下油组为例,充分利用研究区密井网的岩芯和测井资料,运用高分辨率层序地层学理论和构型分析方法,研究长期基准面旋回背景下河口坝构型的变化规律,以期为该油田开发后期的剩余油分布预测提供指导,也可以为同类型油气田的砂体预测和剩余油分布的预测提供思路。

1 区域地质概况

胜坨油田位于渤海湾盆地济阳拗陷东营凹陷北部,北接陈家庄凸起,西及西南为利津生油凹陷,南接东营中央隆起带,东临青坨子凸起,东西长约20 km,南北宽约10 km,勘探面积230 km²,为一逆牵引背斜构造油藏。胜坨油田分为3个区,胜三区位于胜坨油田的东部,西与胜二区连接,北接陈家庄凸起,西南与利津生油洼陷相邻,是胜坨油田的重要开发区。胜三区可细分为6个含油区块,坨7断块位于胜三区穹窿背斜构造的东南翼,物源主要来自于工区东北部^[16](图1)。

研究区地层自下而上包括震旦系、寒武系花岗岩

^①国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”项目(编号:2011ZX05009-003)与国家科技重大专项“精细油藏描述技术及剩余油赋存方式研究”项目(编号:2011ZX05011-001)联合资助
收稿日期:2014-06-06;收修改稿日期:2014-09-05

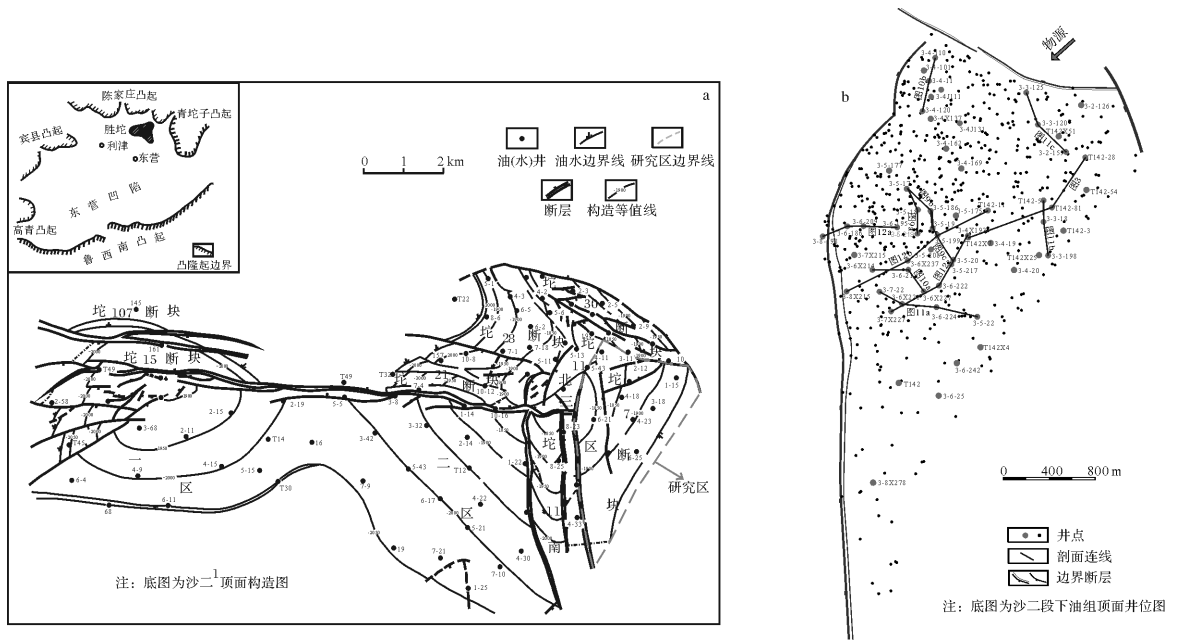


图1 研究区构造位置图及区内井位图

a.研究区构造位置(据参考文献[16]);b.研究区内井位图

Fig.1 Tectonic location and well sites in the study area

基底和上覆的古近系、新近系和第四系地层。古近系包括沙河街组和东营组,新近系包括馆陶组和明化镇组,第四系地层为平原组。沙河街组可划分为四个段,自下而上分别为:沙四段、沙三段、沙二段和沙一段,目的层段沙二段为主力含油层段。沙三段划分为三个油组:上油组、中油组和下油组,沙二段划分为两个油组:上油组和下油组。沙二段又可进一步划分为15个砂组:1~15砂组。其中上油组对应1~7砂组,下油组对应8~15砂组。砂组内部又可划分出若干小层及单层。前人曾对胜坨油田古近系地层进行过层序划分研究,将沙三段上油组和沙二段下油组划分为一个三级层序(表1),层序内部经历一个由粗变细,再变粗的过程,其中沙二段下油组大体对应由细变粗的过程^[17]。

目的层沙二段下油组储层主要为三角洲前缘相沉积,地层厚200~300 m。其上地层主要为三角洲平原相沉积,其下地层主要为前三角洲相沉积。岩性主要为绿色、灰色泥岩与砂岩、含砾砂岩互层,夹炭质泥岩。上部见少量紫红色泥岩,砂岩以粉细砂岩为主,油组粒度整体由下到上逐渐变粗,同时油组内部存在多个明显的自下而上由细变粗的沉积旋回特征。

研究区南北长约5 000 m,东西宽约3 000 m,面积为15 km²左右。自1965年投入开采以来,研究区已经历多轮开发调整,目前处于特高含水采油阶段,

区内现钻遇目的层的井有600余口,其中取芯井2口,开发井平均井距150 m左右,鉴于研究区内砂体发育规模较大(单个砂体可延伸达上千米),区内钻井密度已达到相对较高程度,因此对于河口坝构型的研究存在着较为坚实的资料基础。

表1 研究区层序地层(据参考文献[17])

Table 1 Stratigraphic sequence of the study area

时代	岩石地层		综合年 龄/Ma	层序单元划分			构造幕	
	组	段、亚段		一级	二级	三级		
N ₂	明化镇组	Nm	24.6	N	△	Nm	坳陷稳定期	
N ₁	馆陶组	Ng ^l				△	Ng ^l	坳陷初始期
		Ng ^b	Ng ^b					
E ₃	东营组	Ed	32.8	▽	Ed	断陷萎缩期		
		Es ₁			SSIV		Es ₂ [±] 、Es ₁	
							Es ₂ ^b	
E ₂	沙河街组	Es ₃ [±]	42	E	△	Es ₃ [±] 、Es ₂ [±]	断陷鼎盛期	
		Es ₃ ^q				Es ₃ ^q		
		Es ₃ ^f				Es ₃ ^f		
		Es ₄ [±]				SSII		Es ₄ [±]
		Es ₄ ^f						Es ₄ ^f
E ₁	平原组	Es ₄ ^q	50.5	▽	△	Es ₄ ^f	断陷发展期	
		Es ₄ ^f						

2 基准面旋回特征

运用高分辨率层序地层学原理,可将研究区目的层划分出一个不完整长期基准面旋回,8个中期旋回及若干短期和超短期旋回。其特征分别如下:

2.1 长期基准面旋回

对于基准面旋回的级别问题,前人已做过大量研究^[18-21],通常认为一个三级层序对应于一个长期基准面旋回。若三级层序对应于长期基准面旋回,则研究区地层的三级层序沙三段上油组和沙二段下油组对应一个长期基准面旋回,而沙二段下油组对应于长期基准面下降半旋回,反映为一个沉积环境不断萎缩和可容空间逐渐减小的过程。

2.2 中期基准面旋回

在沙二段下油组内部,根据岩性的垂向变化,可进一步划分8个中期基准面旋回,每个中期旋回均对应一个砂组(图2)。8个中期基准面旋回均为向上变浅的不对称旋回,旋回底部均发育一套厚层较纯泥岩,代表一次较大规模的湖侵,随后基准面开始下降,形成典型的进积沉积序列。根据岩性的垂向变化特征及中期旋回在长期旋回中所处位置,8个中期基准面旋回可划分为三组:长期基准面下降早期的中期旋回,对应11~15砂组,主要特征为厚层砂体内部隔夹层较明显,砂地比较低,沉积相主要为代表较深水沉积的河口坝、坝缘和前三角洲等微相类型;长期基准面下降晚期的中期旋回,对应8、9砂组,主要特征为厚层砂体内部隔夹层不明显,除旋回底部有厚层泥岩外,其余部分砂地比较高,代表较浅水沉积的分流河道、滩坝等微相类型占一定比例,并有个别单层以三角洲平原沉积为主;长期基准面下降中期的中期旋回,对应10砂组,为上述两者的过渡。

2.3 短期和超短期基准面旋回

每个中期旋回内部可划分出若干个短期旋回(对应于小层规模)和超短期旋回(对应于单层规模)。短期旋回之间通常存在较稳定隔层,超短期旋回之间通常为不稳定的夹层。对于短期和超短期基准面旋回,除少数为上升半旋回外,绝大部分为下降半旋回。

在基准面旋回划分基础上,根据等时对比的原则,以基准面旋回的转换点为优先对比的位置,建立了研究区目的层的高分辨率层序地层格架(图3)。

3 沉积微相类型及特征

通过对研究区取芯井资料的分析研究,在该区三角洲上划分出河口坝主体、坝缘、分流水道、溢岸和分流间湾等沉积微相类型。各沉积微相类型及特征如下:

3.1 河口坝主体

河口坝主体为三角洲前缘河口坝的主要组成部

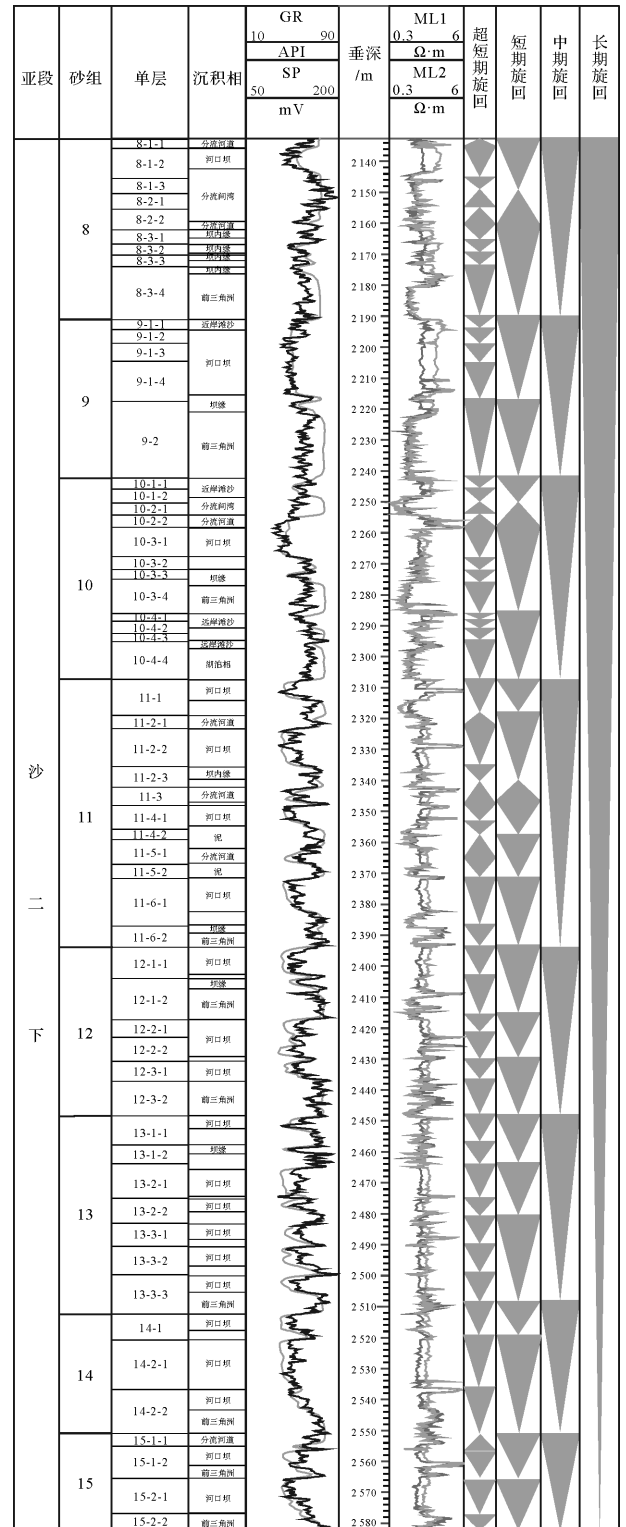


图2 基准面旋回层序剖面图(T142-81井)

Fig.2 Subdivisions of base-level cycles (Well T142-81)

分,以粉、细砂岩为主,分选磨圆较好,物性通常较好。沉积构造一般呈大段的不显层理的块状,可见交错层理、平行层理、波状层理(图4)。垂向上以向上变粗

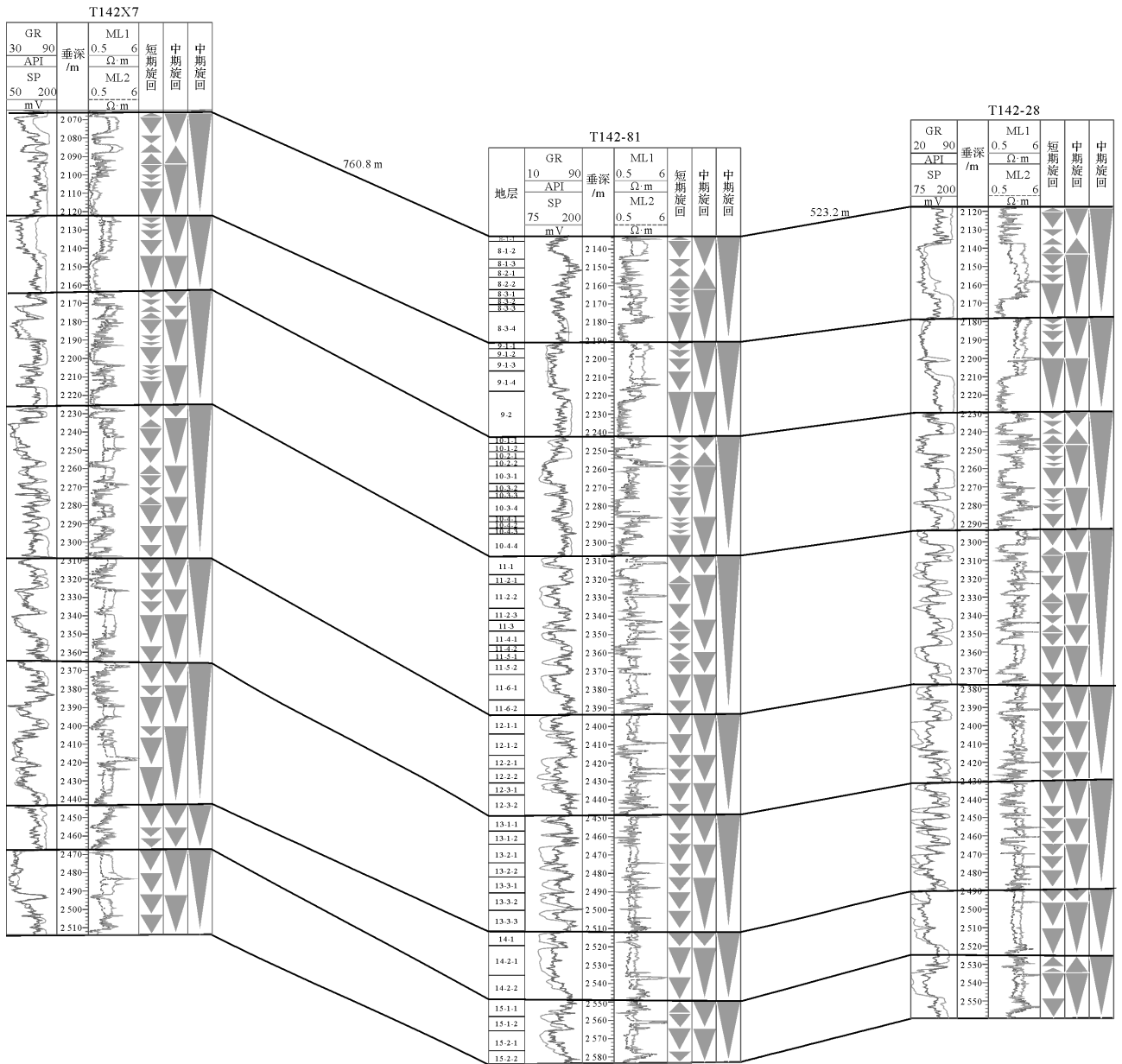
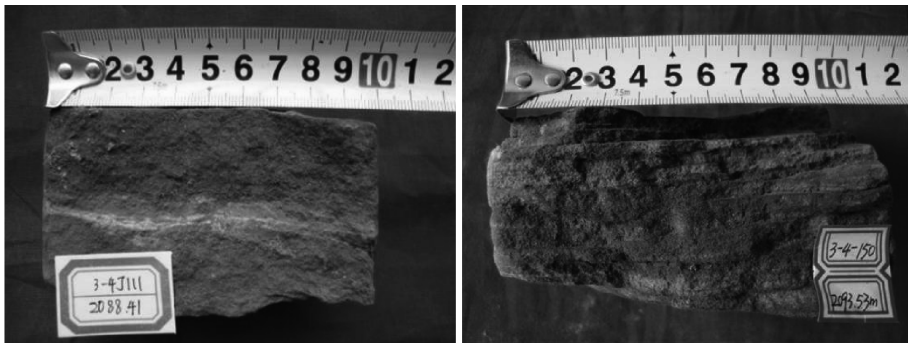


图3 胜坨油田坨七断块沙二下高分辨率层序地层格架

Fig.3 High resolution sequence stratigraphic framework of the lower Es₂ Member in Tuo 7 Fault-Block, Shengtuo oilfield



块状砂岩 3-4J111井, 2088.41 m

交错层理细砂岩 3-4-150井, 2093.53 m

图4 河口坝主体岩芯照片

Fig.4 Cores of the main part in mouth bar's subfacies

的反韵律为主要特征。测井响应上,自然电位曲线较光滑,呈箱形或漏斗形,负异常幅度在所有微相中最大;微电极、微电位曲线幅度差最大,砂体厚度较大(一般大于3 m),砂层内部的泥质夹层与钙质夹层数量少(图5)。

3.2 坝缘

坝缘以粉砂岩为主,常与泥质粉砂岩互层,可见小型交错层理、波状层理、透镜状层理和脉状层理,生物扰动构造发育,砂体内常发育横向不稳定的、厚度为厘米—分米级的泥质夹层,以向上变粗的反韵律为特征。由于河口坝不断向湖推进,在垂向剖面上坝缘常位于坝主体之下。测井响应上,曲线通常呈复合漏斗形,自然电位负异常幅度通常小于坝主体,微电极曲线幅度差也小于坝主体。坝缘砂体厚度较薄,一般小于3 m(图5)。

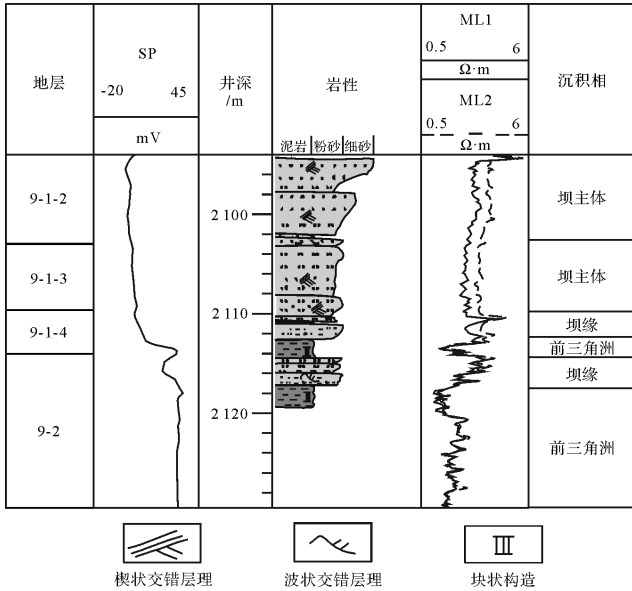


图5 河口坝主体、坝缘及前三角洲沉积微相垂向剖面图 (3-4J131井)

Fig.5 Vertical profile showing bar's main part, bar's fringe and prodelta (Well 3-4J131)

3.3 分流水道

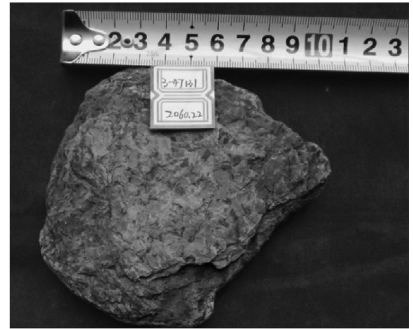
研究区分流河道发育较少,以交错层理细砂岩、粉砂质细砂岩为主,分选较好,岩芯上可见植物碎屑(图6)。测井响应上,自然电位曲线通常呈钟形,正韵律特征较明显(图7)。分流河道厚度较薄,通常为2~4 m,在垂向序列上常位于坝主体之上。

3.4 溢岸

溢岸沉积为洪水泛滥时期分流河道内的细颗粒物随洪水越过水道,在河道间的低洼地带沉积的细粒



槽状交错层理细砂岩 3-4J131井, 2069.8 m



植物碎屑 3-4J131井, 2062.22 m

图6 分流河道岩芯照片

Fig.6 Core photos of distributary channels

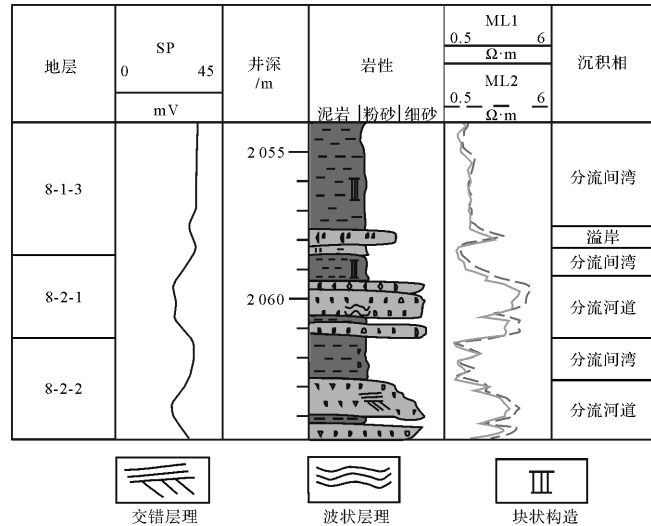


图7 分流水道、溢岸和分流间湾沉积微相垂向剖面图 (3-4J131井)

Fig.7 Vertical profile showing distributary channels, overbank and interdistributary bay (Well 3-4J131)

沉积物,主要为粉砂岩和泥质粉砂岩。自然电位和电阻率通常呈指状,自然电位幅度较低,砂体厚度通常很薄,一般为1~2 m(图7)。

3.5 分流间湾

分流间湾沉积为位于辫状水道之间低洼地区的细粒沉积,主要为灰绿色泥岩,有时见少量紫红色泥

岩,测井响应上,自然电位平直,双微曲线无幅度差(图7)。

同时研究区目的层内发育少量近岸滩砂、远岸滩砂和滨浅湖等沉积微相类型,在此不做详细论述。

4 长期基准面旋回内河口坝构型的演化规律

为研究长期基准面旋回内河口坝构型的演化规律,此次研究以超短期旋回(单层)为作图单元,应用密井网资料,编制了8~12砂组43幅沉积微相分布图(图8),并在空间多井分析基础之上绘制了典型的构型分析剖面图(图9~图12)。在上述图件基础之上,对长期基准面旋回控制下的河口坝平面形态,侧向拼接方式和垂向叠置样式等方面进行研究分析,并得出结论。由于工区内钻遇13~15砂组的井较少,不利于分析,因此,以下对长期基准面下降早期阶段的研究以11、12砂组地层作为代表。

4.1 长期基准面旋回内河口坝平面形态的演化

在长期基准面下降早期,河口坝通常较孤立,分流河道在坝上延伸距离较短,同期相邻的河口坝在侧向上重叠区域相对较少,单个河口坝在平面上较容易识别。图8a为利用研究区密井网资料所绘制的12-3-2单层的河口坝平面分布图,图中曲线代表通过平面和剖面交互分析后所确定的同期河口坝侧向上的边界线,从图中可以看出,该时期沉积的河口坝在平面上大体能区分开,虽然河口坝之间有部分区域重叠,但重叠面积相对较少。同时,坝上发育的分流河道规模较小,延伸距离也较短。随着长期基准面不断下降,相邻的河口坝侧向上的重叠区域变大,仅从平面形态上分辨单个河口坝已经变得非常困难(图8b)。到长期基准面下降晚期,同期河口坝砂体通常连片分布,从平面上区分单个河口坝变得更加困难,同时,坝体上的河道规模变大,在坝体上的延伸范围也变远(图8c)。

4.2 长期基准面旋回内河口坝侧向拼接样式的演化

同期河口坝之间的侧向拼接主要有以下几种样式:河口坝主体与侧缘侧向叠置、河口坝侧缘与侧缘侧向叠置、河口坝侧缘相互交错和河口坝之间被泥岩隔开。

在长期基准面下降早期阶段,研究区内同期河口坝之间的侧向拼接样式主要有河口坝侧缘与侧缘侧向叠置、河口坝侧缘相互交错和河口坝之间被泥岩隔开等样式。图9a为垂直物源方向相邻三口井3-5-17

井、3-5-18井和3-5-219井的连井剖面,三口井在11-3单层内均钻遇到河口坝砂体,其中3-5-17井和3-5-219井钻遇到较厚的河口坝主体,3-5-18井钻遇到两套较薄的河口坝坝缘砂体,两套砂体在垂向上以物性夹层隔开,同时结合测井曲线形态及空间的组合关系可判断3-5-17井与3-5-219井分别钻遇到不同的河口坝砂体,而3-5-18井钻遇到两个河口坝侧向叠置的位置,因此两个河口坝砂体通过坝侧缘侧向叠置的方式进行拼接;图9b为两个河口坝砂体通过坝侧缘相互交错的方式进行拼接;图9c为河口坝砂体之间被泥岩隔开。在长期基准面下降早期阶段的上述侧向拼接样式中,以河口坝侧缘相互交错和河口坝之间被泥岩隔开样式较为常见,在此种情况下,同期河口坝之间在侧向上通常不连通或连通性较差。如图9b中,虽然先前周围存在完整的注采关系,3-5-186井钻遇的砂体仍存在剩余油,说明3-5-186井两边砂体并不连通。

在长期基准面下降中期,同期河口坝之间的侧向拼接样式主要为河口坝侧缘侧向叠置和河口坝侧缘相互交错(图10),两种拼接样式均较常见,在该阶段河口坝之间在侧向上连通性中等。

到长期基准面下降晚期,同期河口坝之间的侧向拼接样式主要为河口坝主体与侧缘侧向叠置、河口坝侧缘与侧缘侧向叠置和河口坝侧缘相互交错等样式(图11)。其中河口坝主体与侧缘侧向叠置和河口坝侧缘与侧缘侧向叠置的样式较常见,河口坝侧缘相互交错的样式只在最底部的一个单层内被发现。在此阶段,同期河口坝之间在侧向上通常具有较好的连通性。如图11a中,两口后钻井3-6X221井与3-6-224井所钻遇砂体均为水淹,说明两井附近砂体连通性较好。

4.3 长期基准面旋回内河口坝垂向叠置样式的演化

不同期河口坝之间的垂向叠置样式主要表现为河口坝砂体在顺物源方向上的前积叠置。在研究区目的层内,该种叠置样式在长期基准面旋回的不同阶段均有所体现,但其具体特征有所不同,并随长期基准面的下降呈有规律的变化,主要表现在以下方面:

长期基准面下降早期,不同期河口坝之间泥岩较厚,且较稳定,垂向上砂体间连通性较差。且在此种情况下,河口坝砂体的前积角度相对较大。如图12a所示,3-8-198井到3-6-195井连井剖面为研究区11砂组内一条顺物源方向的剖面。从剖面上可以看到,后期沉积的河口坝越过前期的河口坝,向湖中心方向

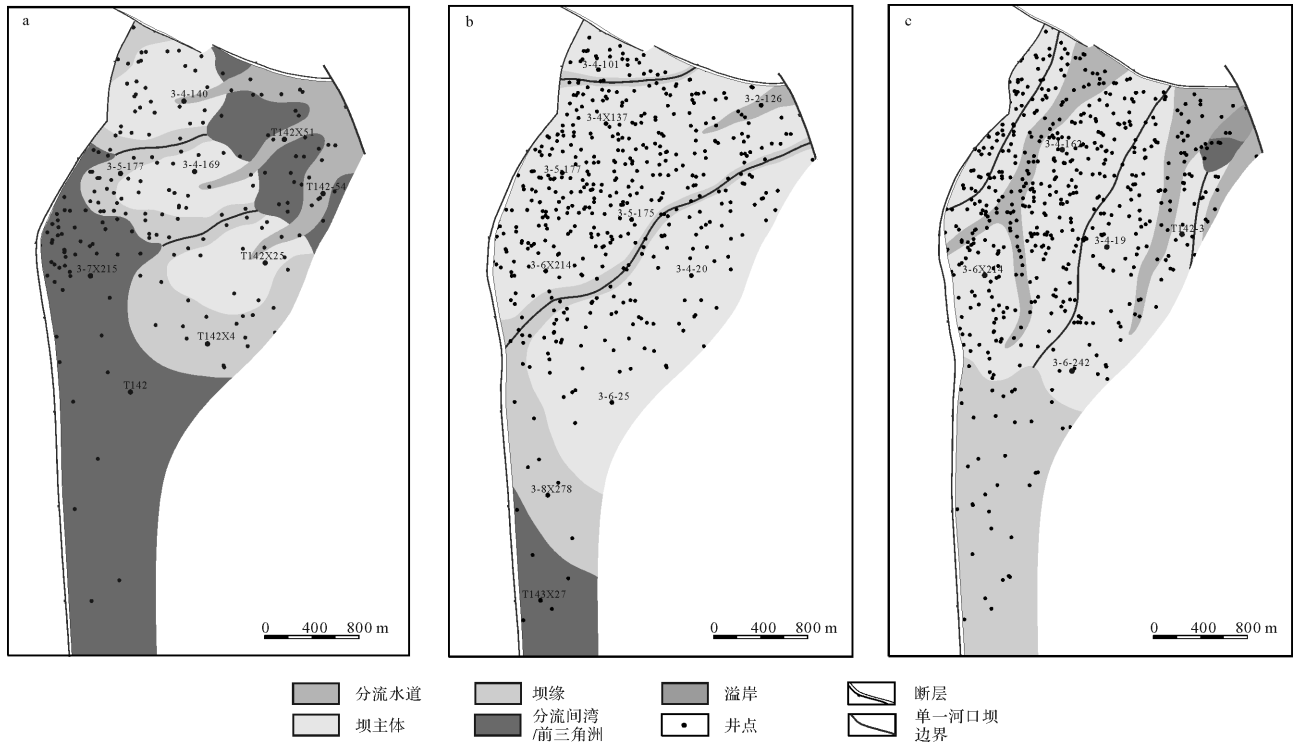


图8 长期基准面下降不同阶段的河口坝平面分布图

a.长期基准面下降早期的河口坝平面分布图(12-3-2 单层);b.长期基准面下降中期的河口坝平面分布图(10-3-1 单层);c.长期基准面下降晚期的河口坝平面分布图(8-1-2 单层)

Fig.8 Distribution of mouth bars at different stages of a long-term base-level fall semi-cycle

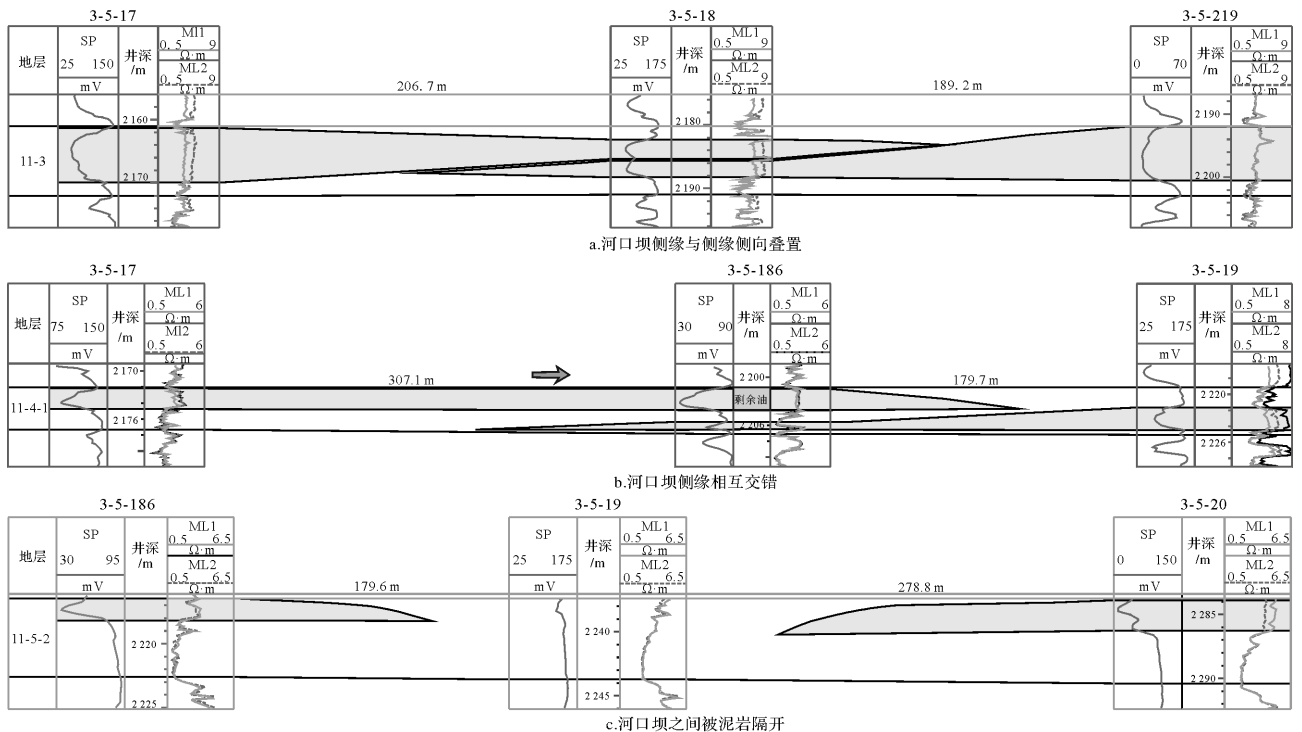


图9 长期基准面下降早期的河口坝侧向拼接样式

a.河口坝侧缘与侧缘侧向叠置;b.河口坝侧缘相互交错;c.河口坝之间被泥岩隔开

Fig.9 Lateral combination patterns of mouth bars at the early stage of a long-term base-level fall semi-cycle

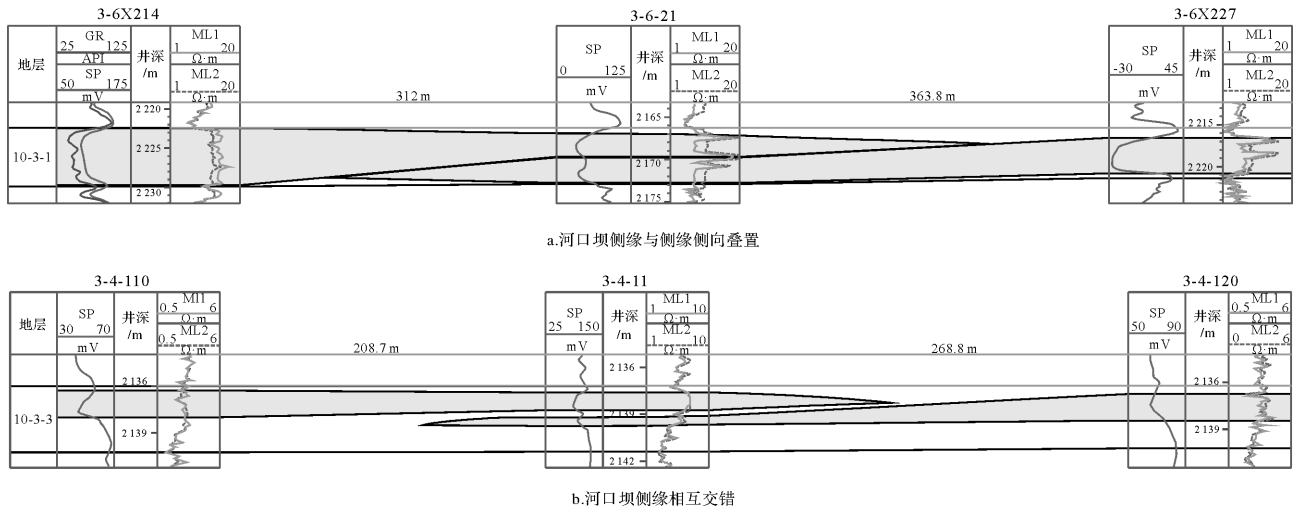


图 10 长期基准面下降中期的河口坝侧向拼接样式

a.河口坝侧缘与侧缘侧向叠置; b.河口坝侧缘相互交错

Fig.10 Lateral combination patterns of mouth bars at the middle stage of a long-term base-level fall semi-cycle

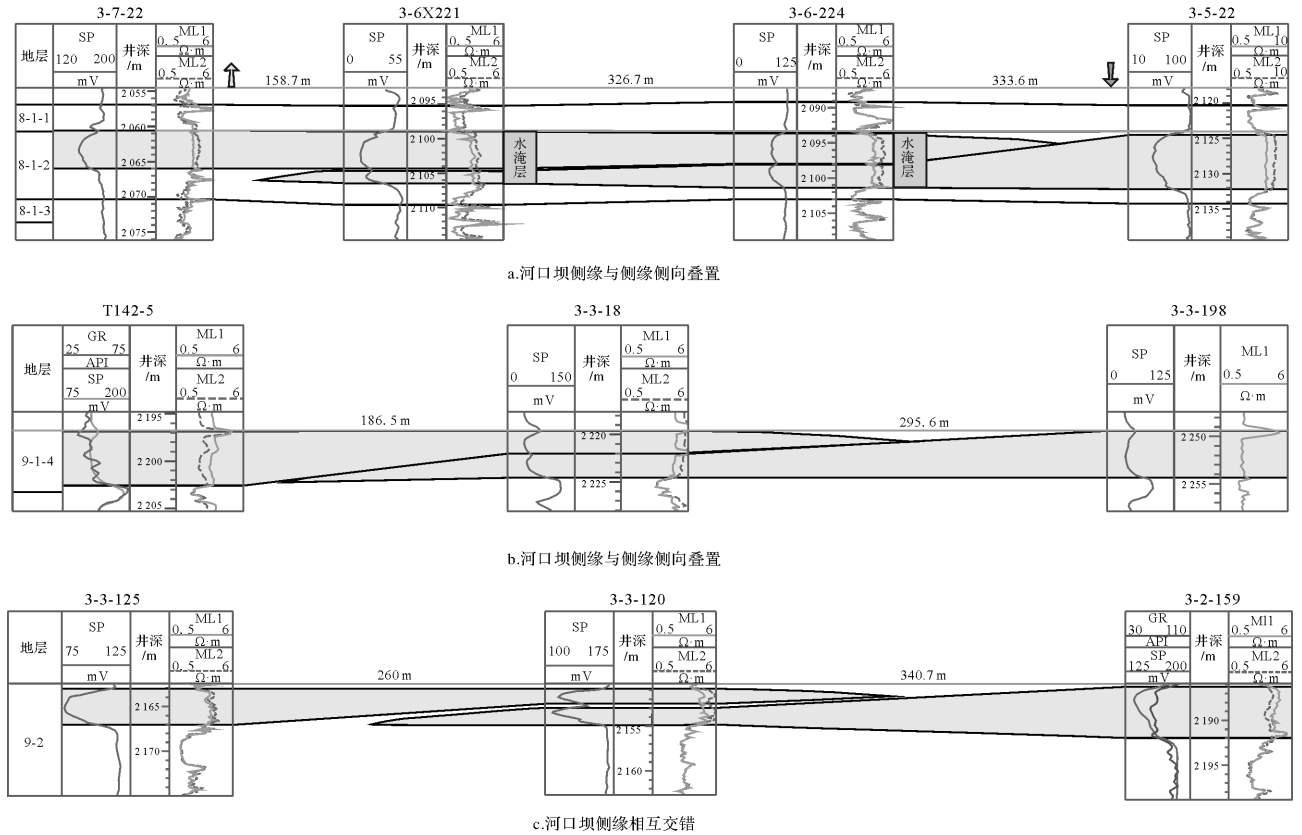


图 11 长期基准面下降晚期的河口坝侧向拼接样式

a.河口坝主体与侧缘侧向叠置; b.河口坝侧缘与侧缘侧向叠置; c.河口坝侧缘相互交错

Fig.11 Lateral combination patterns of mouth bars at the late stage of a long-term base-level fall semi-cycle

推进。剖面上单期河口坝砂体之间在垂向上均被一套较稳定且有一定厚度的泥岩隔层隔开,通过将底积层拉平后估算的研究区内 11 砂组地层内砂体的前积角度约为 1.5°左右。

长期基准面下降中期,不同期河口坝之间泥岩变薄,并且不稳定,在部分区域垂向上砂体间相互接触,具有一定的连通性。且在此种情况下,砂体的前积角度已开始变小,通过将底积层拉平后估算的研究区内

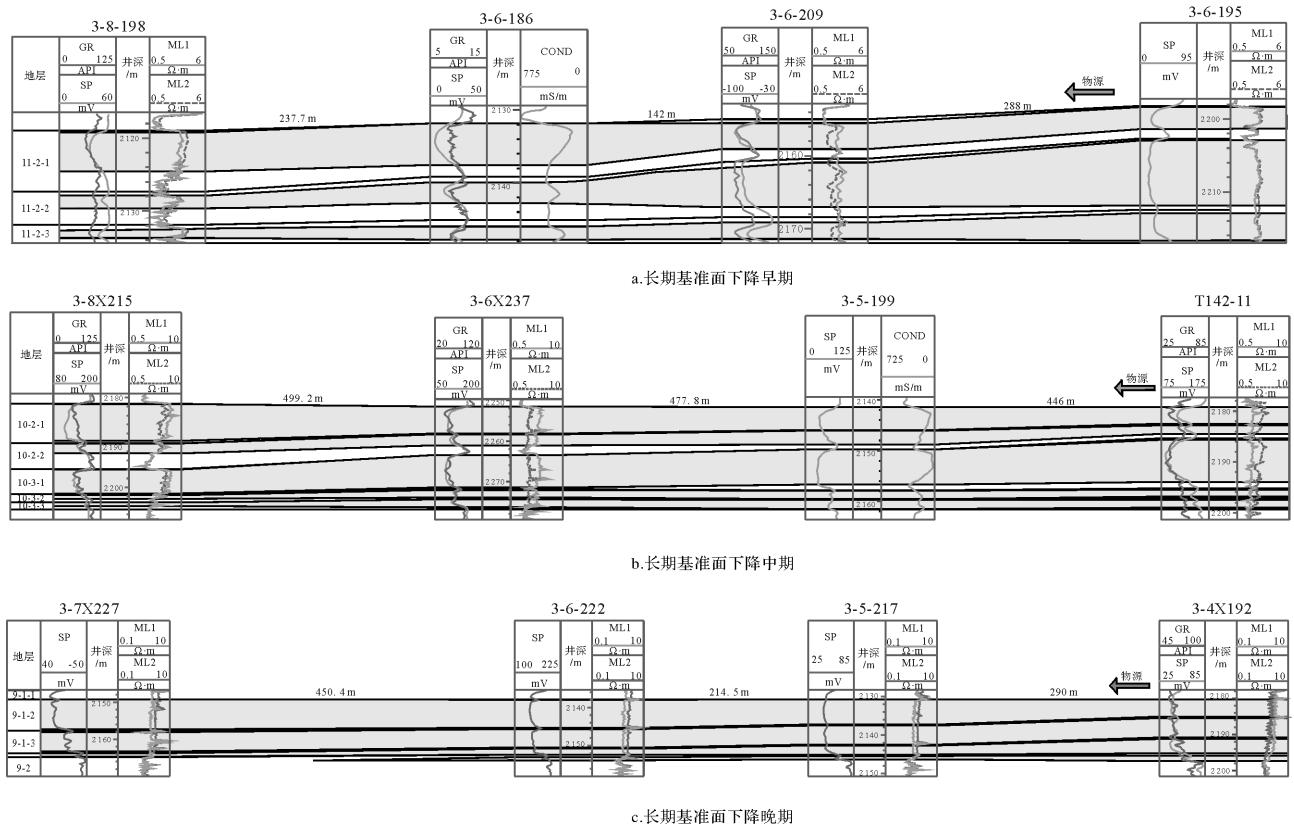


图 12 长期基准面下降不同阶段的顺物源方向河口坝的垂向叠置样式

a. 长期基准面下降早期; b. 长期基准面下降中期; c. 长期基准面下降晚期

Fig. 12 Vertical superimposed style of mouth bars in the dip direction at different stage of a long-term base-level fall semi-cycle

10 砂组地层内的前积角度为 0.5° 左右 (图 12b)。

长期基准面的下降晚期, 不同期河口坝之间的夹层已不太发育, 在大部分的区域砂体在垂向上具有较好的连通性。只有在向盆地一侧, 靠近河口坝边缘的区域, 垂向上砂体间才发育有较薄的泥质夹层。且在此种情况下, 砂体的前积角度已变的很小, 通过将底积层拉平后估算的研究区内 8~9 砂组地层内砂体的前积角度约为 $0.2^\circ \sim 0.3^\circ$ (图 12c)。

综上所述, 在长期基准面旋回内, 河口坝构型呈有规律的变化, 这是由于长期基准面的变化伴随着整体的可容空间与沉积物供给速率的变化, 而两者对河口坝构型样式具有直接的控制作用。在长期基准面下降早期, 可容空间较大, 沉积物供给速率较低, 同时湖盆由于未被充填, 边缘坡度通常较陡, 此种情况下, 河口坝容易近岸沉积, 无论是在纵向上还是侧向上延伸范围均较小, 从而导致同期相邻的河口坝在侧向不容易接触, 砂体连片性较差; 同时由于水深变化较快, 水下分流河道受到较大的湖水阻力而很快消亡, 从而河道延伸距离较短; 沉积时期较陡的地形条件决定了

河口坝的前积倾角较大; 较低的沉积物供给速率导致容易出现饥饿性沉积, 从而河口坝之间泥质隔层较发育。相反, 在长期基准面下降晚期, 可容空间较小, 沉积物供给速率较高, 同时湖盆由于被充填导致边缘坡度较缓, 水体较浅, 此种情况下, 河口坝很容易向湖中心方向推进及侧向上进行迁移, 从而在纵向和侧向上延伸均较广, 同期相邻的河口坝在侧向上容易接触拼接, 形成较连片的砂体; 由于水体较浅, 水下分流河道受到较小的湖水阻力而延伸较远; 由于沉积坡度较缓, 从而河口坝具有较小的前积倾角; 同时较高的沉积物供给速率导致河口坝间的泥质隔夹层不发育。

基于以上认识, 建立了研究区内长期基准面旋回内河口坝构型演化规律的模式图 (图 13)。

5 结论

(1) 胜坨油田胜三区坨七断块沙二段下油组对应一个长期基准面下降半旋回, 可进一步划分为 8 个中期基准面旋回及若干短期和超短期基准面旋回。中期旋回对应砂组规模, 短期旋回大体对应小层规

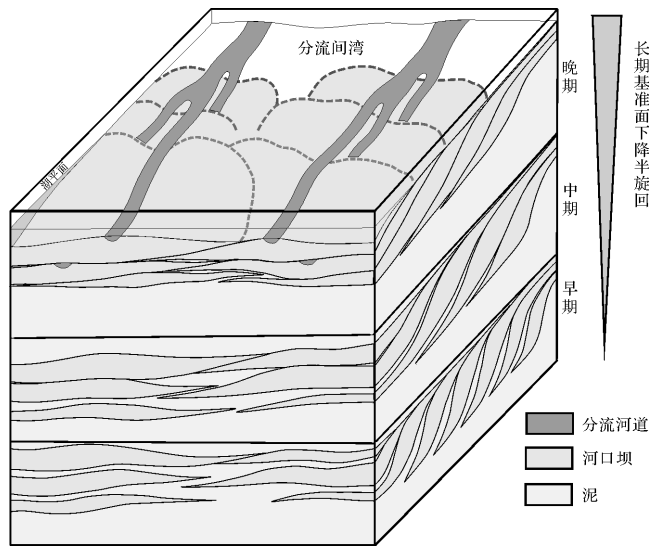


图13 长期基准面下降阶段河口坝构型演化规律模式图
Fig.13 Model of mouth bar complex's architecture evolution at the background of a long-term base-level fall semi-cycle

模,超短期旋回大体对应单层规模。8个中期基准面旋回可划归为三个阶段:包含11~15砂组地层的长期基准面下降早期阶段,包含10砂组地层的长期基准面下降中期阶段和包含8、9砂组地层的长期基准面下降晚期阶段。

(2) 研究区三角洲上主要发育河口坝主体、坝缘、分流水道、溢岸和分流间湾等沉积微相类型。

(3) 长期基准面旋回内河口坝构型呈有规律的变化,主要表现在:随着长期基准面的下降,河口坝也越来越连片,坝体上河道的规模变大,延伸距离变长;在长期基准面下降早期,河口坝的侧向拼接样式以河口坝侧缘相互交错及河口坝之间被泥岩隔开居多,到长期基准面下降晚期,河口坝的侧向拼接样式主要为河口坝主体与侧缘的侧向叠置和河口坝侧缘与侧缘的侧向叠置;同时,随着长期基准面的下降,垂向上河口坝砂体间的连通性逐渐变好,河口坝前积的角度逐渐变小。

(4) 长期基准面旋回对河口坝构型的控制作用主要通过可容空间的增减,沉积物供给速率的变化起作用。

(5) 对长期基准面旋回背景下河口坝构型的演化规律的研究,无论是对于该类型油气田勘探时期的砂体预测,还是开发时期剩余油分布的预测均具有重要的指导意义。

参考文献 (References)

- 1 Wright L D. Sediment transport and deposition at river mouths: a synthesis [J]. Geological Society of America Bulletin, 1977, 88(6): 857-868.
- 2 吴崇筠. 构造湖盆三角洲与油气分布 [J]. 沉积学报, 1983, 1(1): 5-26. [Wu Chungyu. Structural lake deltas and oil-gas distribution [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1983, 1(1): 5-26.]
- 3 Storms J E A, Hoogendoorn R M, Dam R A C, et al. Late-Holocene evolution of the Mahakam delta, East Kalimantan, Indonesia [J]. Sedimentary Geology, 2005, 180(3/4): 149-166.
- 4 Turner B R, Tester G N. The Table Rocks Sandstone: A fluvial, friction-dominated lobate mouth bar sandbody in the Westphalian B Coal Measures, NE England [J]. Sedimentary Geology, 2006, 190(1/2/3/4): 97-119.
- 5 Fan Hui, Huang Haijun, Zeng T Q, et al. River mouth bar formation, riverbed aggradation and channel migration in the modern Huanghe (Yellow) River delta, China [J]. Geomorphology, 2006, 74(1/2/3/4): 124-136.
- 6 邵龙义, 张鹏飞, 陈代钊, 等. 滇东黔西晚二叠世早期辫状河三角洲沉积体系及其聚煤特征 [J]. 沉积学报, 1994, 12(4): 132-139. [Shao Longyi, Zhang Pengfei, Chen Daizhao, et al. Braided delta depositional system and coal accumulation during early Late Permian period in eastern Yunnan and western Guizhou, Southwest China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(4): 132-139.]
- 7 李凤杰, 蒋斌, 赵俊兴. 鄂尔多斯坳陷湖盆缓坡型三角洲前缘沉积微相分带及成因分析 [J]. 矿物岩石, 2008, 28(3): 111-117. [Li Fengjie, Jiang Bin, Zhao Junxing. The sedimentary microfacies zoning and its genetic analysis of delta front in depressed-type lacustrine basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2008, 28(3): 111-117.]
- 8 Suter J R. Deltaic systems: perspectives on facies models and sequence stratigraphy [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(1): 199.
- 9 刘自亮. 三角洲前缘储集砂体的成因组合与分布规律——以松辽盆地大老爷府地区白垩系泉头组四段为例 [J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 32-40. [Liu Ziliang. Delta front sandbody genetic assemblages and their distribution patterns of the 4th member of Quantou Formation in Dalaoyefu oil field, southern Songliao Basin, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(1): 32-40.]
- 10 Enge H D, Howell J A, Buckley S J. The geometry and internal architecture of stream mouth bars in the Panther Tongue and the Ferron Sandstone Members, Utah, USA [J]. Journal of Sedimentary Research, 2010, 80(11): 1018-1031.
- 11 辛治国. 河控三角洲河口坝构型分析 [J]. 地质论评, 2008, 54(4): 528-531. [Xin Zhiguo. Architecture analyses of debouch bar of fluvial dominated delta [J]. Geological Review, 2008, 54(4): 528-531.]
- 12 温立峰, 吴胜和, 王延忠, 等. 河控三角洲河口坝地下储层构型精细解剖方法 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(4): 1072-1078. [Wen Lifeng, Wu Shenghe, Wang Yanzhong, et al. An accurate method for anatomizing architecture of subsurface reservoir in mouth bar of fluvial dominated delta [J]. Journal of Central South Uni-

- versity: Edition of Science and Technology, 2011, 42(4): 1072-1078.]
- 13 武毅, 李蔓, 崔洁. 河口坝厚层砂体内隔夹层对剩余油的控制作用[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2011, 8(3): 58-60. [Wu Yi, Li Man, Cui Jie. Effect of interbeds within the thick debouch bar sandbody on remaining oil distribution[J]. Journal of Yangtze University: Edition of Natural Science, 2011, 8(3): 58-60.]
 - 14 杨家福. 胜坨油田砂体沉积类型与储层特征[J]. 石油学报, 1988, 9(2): 43-56. [Yang Jiafu. Depositional types of sandbody and reservoir characteristics in Shengtuo oil field[J]. Acta Petrolei Sinica, 1988, 9(2): 43-56.]
 - 15 袁谋, 计兆红, 卞松梅, 等. 胜坨油田开发技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004: 155-158. [Yuan Mou, Ji Zhaohong, Bian Songmei, et al. Development Technology in Shengtuo Oil Field[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2004: 155-158.]
 - 16 孙梦茹, 周建林, 崔文富, 等. 胜坨油田精细地质研究[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004: 1-2. [Sun Mengru, Zhou Jianlin, Cui Wenfu, et al. Detailed Geological Research in Shengtuo Oil Field[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2004: 1-2.]
 - 17 庞瑞峰, 高树新, 王风华, 等. 胜坨地区勘探研究与实践[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004: 24-29. [Pang Ruifeng, Gao Shuxin, Wang Fenghua, et al. Study and Practice of Exploration in Shengtuo Area[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2004: 24-29.]
 - 18 Cross T A. High-resolution stratigraphic correlation from the perspectives of base-level cycles and sediment accommodation[C]//Dolson J. Unconformity related hydrocarbon exploration and accumulation in clastic and carbonate settings, short course notes. Denver: Rocky Mountain Association of Geologists, 1991: 28-41.
 - 19 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97. [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U S: High-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89-97.]
 - 20 王嗣敏, 刘招君. 高分辨率层序地层学在陆相地层研究中若干问题的讨论[J]. 地层学杂志, 2004, 28(2): 179-184. [Wang Simin, Liu Zhaojun. Discussion on some problems of high resolution sequence stratigraphy in the study of continental stratigraphy[J]. Journal of Stratigraphy, 2004, 28(2): 179-184.]
 - 21 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.]

Evolution of Mouth Bar Complex's Architecture in a Long-term Base-Level Cycle: A Case from the Lower Es₂ Member in Fault-Block Tuo 7, Shengtuo Oilfield

YANG YanQiang^{1,2} WU ShengHe^{1,2} YUE DaLi^{1,2} LAN XianJiao^{1,2}
LI YanJie^{1,2} SHEN YunQi^{1,2}

(1. Faculty of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing Campus, Beijing 102249;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249)

Abstract: High-resolution sequence stratigraphic theories and the architecture analysis method are synthetically applied to study controls of long-term base-level cycles on architecture of mouth bars by taking the lower Es₂ Member in Fault-Block Tuo 7, Shengtuo oilfield as a case study. The results show that the bottom of Es₂ Member of Tuo 7 Fault-Block in Shengtuo oilfield constitutes a long-term base-level decreasing semi-cycle which can be subdivided into 8 middle-term cycles, some short-term cycles and various super short-term cycles. During long-term base-level fall, continuity of mouth bars become better, scale of distributary channels on the bars become larger and extending distance of these channels become longer; At the early stage of long-term base-level fall, combination patterns between different mouth bars in the same period are mainly by means of one mouth bar's fringe staggers on the another or mouth bars are separated by inter bar mudstone, At the late stage of long-term base-level fall, combinations between different mouth bars in the same period are mainly by means of one bar's main part overlaps another bar's fringe or one bar's fringe overlaps another's; Meanwhile, during long-term base-level fall, mouth bars' vertical connectivity become better and dip angles become smaller. Long-term base-level cycle controls mouth bars' architecture mainly through regular change of accommodation and supply rate of sediments. This study has a potentially important significance in guiding prediction of sandstones and remaining oil's distribution in this type of oil and gas fields.

Key words: Shengtuo oilfield; base-level cycle; architecture; mouth bar