

文章编号: 1009-3850(2016)03-0083-08

高邮凹陷北斜坡戴二段辫状河三角洲沉积特征和演化

李坤¹, 董桂玉¹, 张振国¹, 邱永峰², 毕天卓², 张丽春¹

(1. 华北理工大学矿业工程学院, 河北 唐山 063009; 2. 中国石油化工股份有限公司江苏油田分公司地质科学研究院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 以岩心、录井、测井、分析化验和地震资料为基础, 结合区域地质背景, 对高邮凹陷北斜坡戴二段沉积相类型、展布及其演化规律进行研究。在总结、比较各类型三角洲特征的前提下, 认定北斜坡戴二段主要发育辫状河三角洲相, 局部发育曲流河三角洲和湖泊相。在此基础上, 重点对戴二段辫状河三角洲各亚相、微相进行分析, 划分出辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘和前辫状河三角洲亚相, 并针对各亚相对其包含的微相进行进一步划分。在综合考虑目标区域沉积背景和沉积特征的基础上, 对沉积相展布和演化进行分析, 并对辫状河三角洲形成机理进行了探讨。

关键词: 辫状河三角洲; 沉积演化; 高邮凹陷; 戴二段

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

引言

高邮凹陷位于扬州市北部, 是苏北盆地南缘一典型南断北超的箕状断陷湖盆^[1], 其东西长约100km, 南北宽约20~30km^[2]。高邮凹陷构造单元从南至北划分为南部断阶带、中央深凹带、北部斜坡带3个次级构造带^[3]。研究区北部斜坡带位于高邮箕状断陷北部缓坡, 西北与菱塘桥低凸起相邻, 东至吴堡低凸起, 南至汉留断层^[4] (图1)。戴南组沉积于吴堡运动形成的不整合面之上, 可分为戴一段(E_2d^1)和戴二段(E_2d^2)上下两段^[5]。

前人对高邮凹陷北斜坡戴南组沉积相进行了大量的研究。纪友亮认为北部缓坡带主要发育三角洲-滨浅湖沉积体系^[6]; 马文睿认为北斜坡戴南组发育三角洲沉积和湖泊相沉积^[7]; 张喜林认为戴一段高邮凹陷从南向北分别发育近岸水下扇、湖底扇、

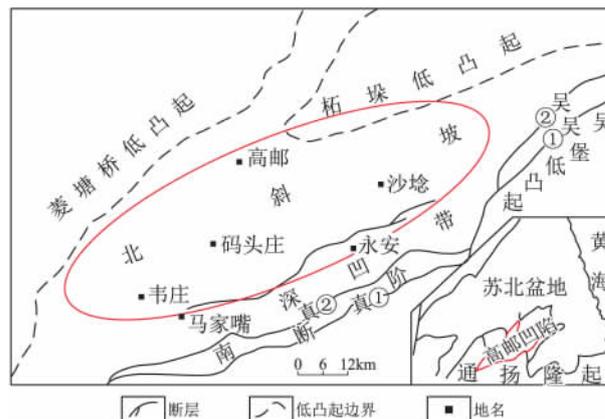


图1 高邮凹陷北斜坡构造略图及其地理位置

Fig. 1 Tectonic setting and location of the northern slope of the Gaoyou depression

三角洲沉积, 戴二段从南向北分别发育扇三角洲、湖底扇、三角洲沉积^[8-9]; 高丽坤认为三角洲分布在

收稿日期: 2015-10-21; 改回日期: 2015-12-03

作者简介: 李坤(1988-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 储层沉积与油气勘探。E-mail: likunsbrt@163.com

通信作者: 董桂玉(1976-), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事沉积学与含油气盆地分析方面的教学与研究工作。

E-mail: dguiyuchengdu@sina.com

资助项目: 河北省自然科学基金(D2013209045)、河北省科技计划项目(12274203)

北斜坡^[10]。前人基本认为北斜坡戴南组主要发育三角洲相,实际上北斜坡戴二段不同位置的三角洲沉积特征有所差异,因此有必要对北斜坡戴二段沉积相进行详细研究。在总结前人对各类型三角洲认识的基础上,对戴二段三角洲相进行详细分析和区分,并对辫状河三角洲沉积特征和演化进行详细描述。

1 辫状河三角洲与其他三角洲差异

辫状河三角洲是由辫状河体系前积到停滞水体中形成的富含砂、砾的粗碎屑三角洲。通常由湍急洪水控制的季节性沉积作用形成^[11-12]。由于(水下)河道迁移频繁,导致(水下)天然堤不发育,并且叠覆冲刷严重。辫状河三角洲是介于扇三角洲和曲流河三角洲之间的一种三角洲。

辫状河三角洲与扇三角洲最根本的差异在于水流机制。扇三角洲以重力流为主,而辫状河三角洲以牵引流为主。多位学者认为,对于扇三角洲,具明显重力流沉积特征的三角洲平原是区别其与辫状河三角洲(曲流河三角洲)的关键^[13-17]。扇三角洲平原重力流特征表现为常见分选和磨圆都很差的杂基支撑砾岩、砂泥质砾岩,具块状或递变层理,剖面结构呈反韵律或正韵律特征。辫状河三角洲平原具多河道化、更深更持续的水流和很好的侧向连续性特征,多表现为牵引流沉积。河道充填成熟度中等、中等偏差的颗粒支撑砂砾岩、含砾砂岩,具丰富的侧积交错层理和冲刷充填构造等牵引流成因构造,剖面结构呈现(不完整的)正韵律特征。

辫状河三角洲与曲流河三角洲在水流机制上的差异仅在于辫状河三角洲局部出现小规模重力流(在曲流河三角洲中少见),故二者在沉积特征上相对更为接近。但辫状河三角洲相对于曲流河三角洲,河道水浅流急、侧向迁移频繁、堆积迅速。这些因素在三角洲沉积特征上表现出的最明显的差异在于在三角洲前缘剖面结构上不具二元结构,表现为厚层砂岩夹薄层泥岩,河道充填呈不完整的正韵律;而曲流河三角洲前缘砂泥间互,具明显的二元结构,河道充填多呈现完整的正韵律。此外,辫状河三角洲相较曲流河三角洲,侧积交错层理、冲刷充填构造、滑塌变形构造更为发育,局部可见重力流成因构造。

本次研究的辫状河三角洲发育于戴二段时期,发育位置位于箕状断陷的缓坡。沉积构造以牵引流成因为主,只见少量重力流成因构造。三角洲前缘

岩性为颗粒支撑,分选性较好。河道充填剖面结构表现为向上变细的不完整正韵律,不具二元结构特征,故判定为辫状河三角洲沉积。

2 辫状河三角洲相标志

辫状河三角洲的形成取决于有别于其他三角洲的控制因素,如古地貌特征、物源状况、水流机制、气候条件等,这些控制因素反过来左右了辫状河三角洲的沉积特征,这些有别于其他三角洲的沉积特征构成了辫状河三角洲的识别标志。各种标志的综合应用,可以较为准确地识别出扇三角洲沉积体系类型^[6]。

2.1 岩石类型及颜色

辫状河三角洲不同亚相有着不同的岩石类型组合。三角洲平原表现为氧化色泥岩夹厚层砂砾岩、含砾砂岩、细砂岩,岩性粗;三角洲前缘同样为泥岩夹厚层砂岩,砂岩主要为细砂和粉砂岩及含砾砂岩,砂岩粒度比平原细;前三角洲以泥岩为主,其中包括重力流成因块状砂岩、泥岩。由于辫状河三角洲属弱氧化-弱还原环境,泥岩和粉砂岩呈棕色、暗棕色和部分紫色、深灰色;砂岩颜色一般为灰色、棕色、黄灰色、浅灰色和灰白色等(图2)。

2.2 沉积构造

辫状河三角洲沉积构造类型多样,以牵引流成因沉积构造为主,如水平层理、平行层理、波状层理、波状交错层理、爬升交错层理、浪成波纹交错层理、冲刷充填构造。局部可见因自身重力失衡或外部激发所产生的重力流成因构造,如递变层理、漂砾构造等。同时还包含一些生物成因、风暴成因和古地震成因构造,如生物扰动构造、准同生变形构造等。由于取心井限制,此次观察到的辫状河三角洲岩心集中在北斜坡南部边界的永安和联盟庄,导致一些应该非常发育的构造未能观察到,如三角洲平原辫状河道沉积常发育的大中型板状和槽状交错层理等(图3)。

2.3 粒度分析

粒度分析在区分沉积环境、判定物质搬运方式、判别水动力条件和分析粒径趋势等方面具有重要作用^[18]。联盟庄区域沉积物粒度概率曲线呈现跳跃总体和悬浮总体两段式。跳跃和悬浮总体交截点为 4.2Φ 左右,小于正常河道沉积跳跃与悬浮总体交截点粒径($2.75 \sim 3.35\Phi$)^[12]。跳跃总体含量大于85%,其曲线斜率较大,悬浮总体曲线斜率偏小,总体反映出水动力较强,分选相对较好的特

点(图4)。C-M值主要分布在递变悬浮沉积段QR段,极少点分布在PQ段,最大C值小于700 μm ,反映出水动力较强、滚动组分少的特点(图5)。上述

特征表明其沉积环境为辫状河三角洲前缘水下分流河道。

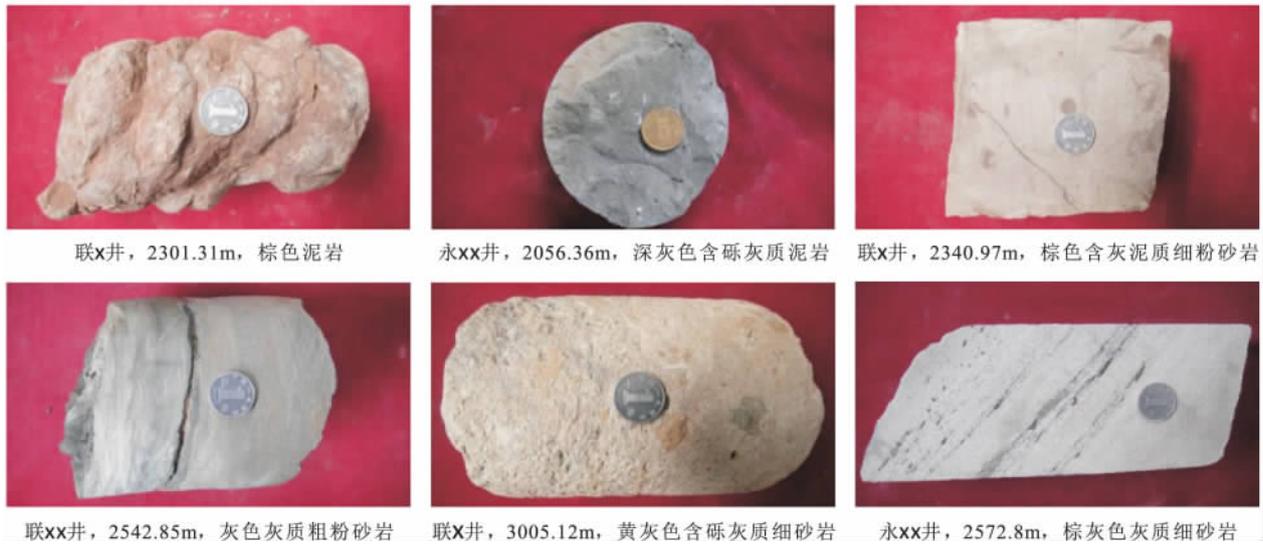


图2 北斜坡戴二段辫状河三角洲岩石类型及颜色

Fig. 2 Rock types and colour of the braided delta deposits in the second member of the Dainan Formation



图3 北斜坡戴二段辫状河三角洲沉积构造

Fig. 3 Sedimentary structures in the braided delta deposits in the second member of the Dainan Formation

3 辫状河三角洲亚相微相特征

北斜坡戴二段辫状河三角洲主体北倚柘垛低凸起向湖盆延伸发育,自北向南可划分出辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘和前辫状河三角洲亚相。由于三角洲朵体前端已超出北斜坡范围,延伸至汉留断层以南,故在北斜坡,前三角洲见于辫状河三角洲两侧缘。辫状河三角洲平原可划分出辫

状河道和越岸沉积微相;辫状河三角洲前缘可划分为水下分流河道、水下分流河道间、河口砂坝、远砂坝、席状沙等微相;前辫状河三角洲的微相为前三角洲泥。

3.1 辫状河三角洲平原

辫状河三角洲平原亚相是辫状河三角洲海(湖)岸线以上的部分,主要由辫状分流河道和越岸沉积组成(图6)。

辫状河道充填物为宽厚比高、宽平板状的多侧向(含砾)砂岩带,岩性较粗,表现为较低的结构成熟度和成分成熟度。由于平原发育区域和层位缺乏取心,并未直接观察到辫状河道理应非常发育的冲刷面、平行层理、板状交错层理和槽状交错层理。SP测井曲线呈不规则箱型或钟形,垂向上呈正韵律。

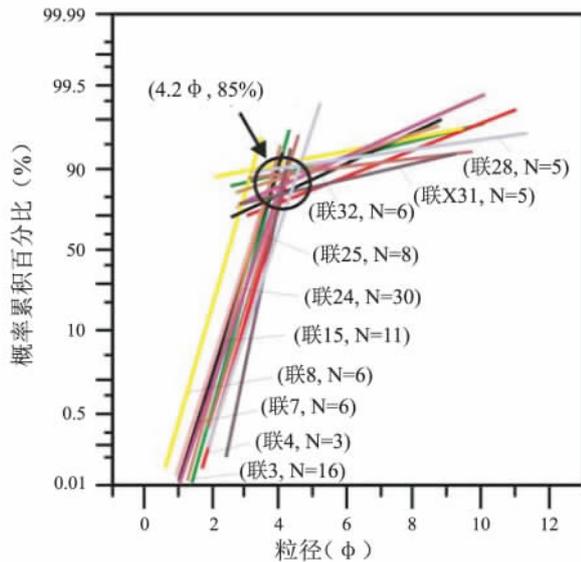


图4 联盟庄地区粒度概率图^[5]

Fig. 4 Grain size probability accumulation curves for the sediments from the Lianmengzhuang region (after Dong Guiyu et al., 2013)

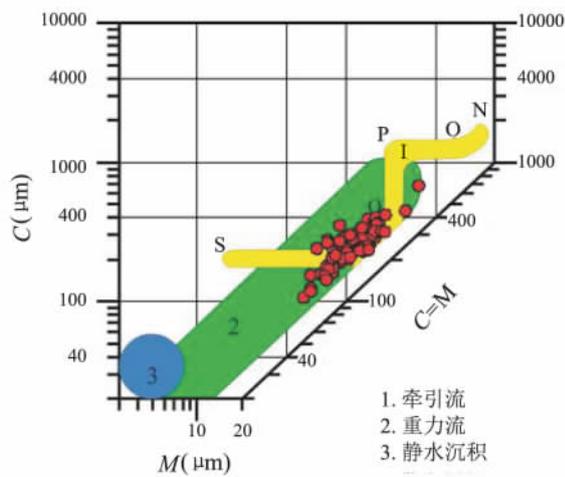


图5 联盟庄地区 C-M 图^[5]

Fig. 5 C-M patterns for the sediments from the Lianmengzhuang region (after Dong Guiyu et al., 2013)

越岸沉积以泥岩夹薄层粉砂为特征,颜色为灰白色、浅灰色、棕色或紫色,具波状层理、水平层理,可见植物炭屑。

3.2 辫状河三角洲前缘

辫状河三角洲前缘亚相是辫状河三角洲平原外侧向海(湖)方向,处于海(水)平面以下,是河流和海(湖)水的剧烈交锋带,是辫状河三角洲沉积的主体。可进一步细分为水下分流河道、分流间湾、河口砂坝、远砂坝、前缘席状砂微相(图7)。

水下分流河道是辫状河道的水下延伸部分,是前缘沉积的主体。由近源到远源部位,岩性由(含砾)细砂岩过渡到粉砂岩,冲刷面、板状交错层理和槽状交错层理等辫状河道常见层理无论规模还是数量都有所减小。同时发育侧积交错层理、平行层理、波状交错层理、爬升交错层理、浪成波纹交错层理和生物扰动构造等。SP测井曲线特征与辫状河道类似,垂向上具正韵律特征。

分流间湾是水下分流河道之间的部分,其远源端可与前辫状河三角洲相接。岩性以灰色、深灰色泥岩、粉砂岩为主,发育水平层理、波状层理、生物扰动构造,见植物炭屑。

河口砂坝、远砂坝分布于水下分流河道前端,是河道水流受到湖水顶托作用的结果,二者岩性以细砂和粉砂岩为主,局部含砾。受湖浪作用的影响,河口砂坝常见浪成波纹层理、平行层理。远砂坝岩性比河口砂坝略细,垂向上砂岩厚度薄,常与泥岩呈薄互层。席状砂是河口砂坝、远砂坝经较强波浪作用形成的、粉砂和泥岩互层的环带状连片砂体。三者结构成熟度和成分成熟度较高,垂向上常呈反韵律特征,对应的SP曲线呈漏斗型。

此外,三角洲前缘前端,由于自身重力失衡或受到突发性的风暴或古地震的影响,往往可见具有一定规模的准同生变形构造。

3.3 前辫状河三角洲

前辫状河三角洲亚相位于三角洲末端,与滨浅湖相接,沉积物大部分在波基面以下深度形成。与各类三角洲的前三角洲亚相相似,均以深灰色泥质沉积物为主,SP表现为泥岩基线。然而,由于辫状河三角洲前缘亚相快速堆积的不稳定沉积体受自身重力影响或受到地震和风暴等作用激发,形成沿前缘斜坡运动的重力流,嵌入到前三角洲泥中,形成砂质碎屑流沉积、泥质碎屑流沉积和部分浊流沉积,同时伴生有一系列准同生变形构造。相反,曲流河三角洲内类似成因的重力流鲜见,故辫状河三角洲前缘与前三角洲交界处的重力流沉积是区分其与曲流河的明显标志之一。

此外,前三角洲上游可与分流间湾相接,下游与

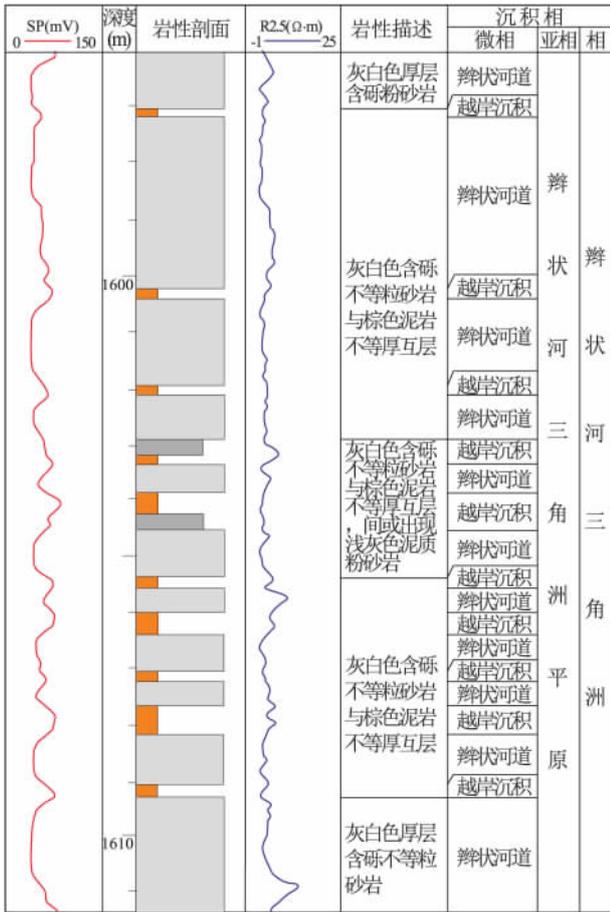


图6 沙xx井辫状河三角洲平原沉积特征

Fig. 6 Vertical section of the braided delta plain deposits through the Sha-xx well

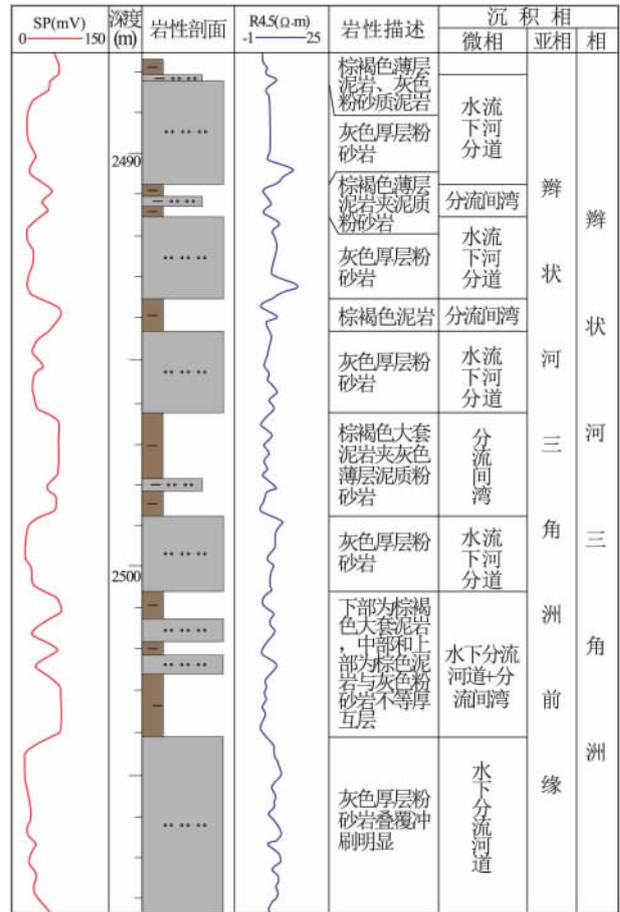


图7 富xx井辫状河三角洲前缘沉积特征

Fig. 7 Vertical section of the braided delta front deposits through the Fu-xx well

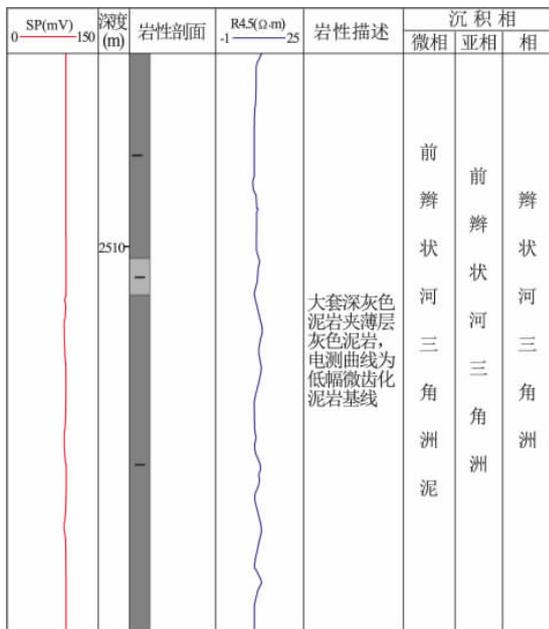


图8 联xx井前辫状河三角洲沉积特征

Fig. 8 Vertical section of the prodelta deposits through the Lian-xx well

滨浅湖泥相接,三者均以泥质沉积为主,界限往往难以区分。

4 辫状河三角洲沉积相展布及演化

高邮凹陷北斜坡戴南组辫状河三角洲发育在戴二段时期,该时期总体上呈基准面下降的、岩性下细上粗的半旋回沉积序列,期间发生过一次小规模湖侵。戴二段初期,辫状河三角洲倚柘垛低凸起向湖盆方向发育,其规模涵盖马头庄以东、柘垛低凸起-高邮以南的北斜坡大部分区域。辫状河三角洲前缘向南超出北斜坡,延伸至汉留断层以南的区域,其物源主要来自柘垛低凸起方向(图9a)。随后盆地发生短暂相对快速沉降,湖水侵入,但这次湖侵规模小,对辫状河三角洲影响较小,三角洲朵体规模整体上略有缩小。西部辫状河三角洲有所扩张,辫状河三角洲平原略微向柘垛低凸起压缩(图9b)。短暂沉降之后盆地开始缓慢抬升,倚柘垛

低凸起发育的辫状河三角洲规模有所扩大,辫状河三角洲平原位置向湖盆略有推进,主流线有向东偏移的趋势。北斜坡西部曲流河三角洲向辫状河三角洲转化,辫状河三角洲发育区向西部延伸扩大,此时靠西部的辫状河三角洲物源来自菱塘桥低凸

起方向(图9b-e)。在此过程中,北斜坡北部地势较高区域开始发生剥蚀,伴随盆地抬升过程,剥蚀区自北向南不断扩大。戴二段末期仅在沿汉留断层以北、地势相对低洼的区域地层残存,主要为辫状河三角洲前缘沉积(图9e)。

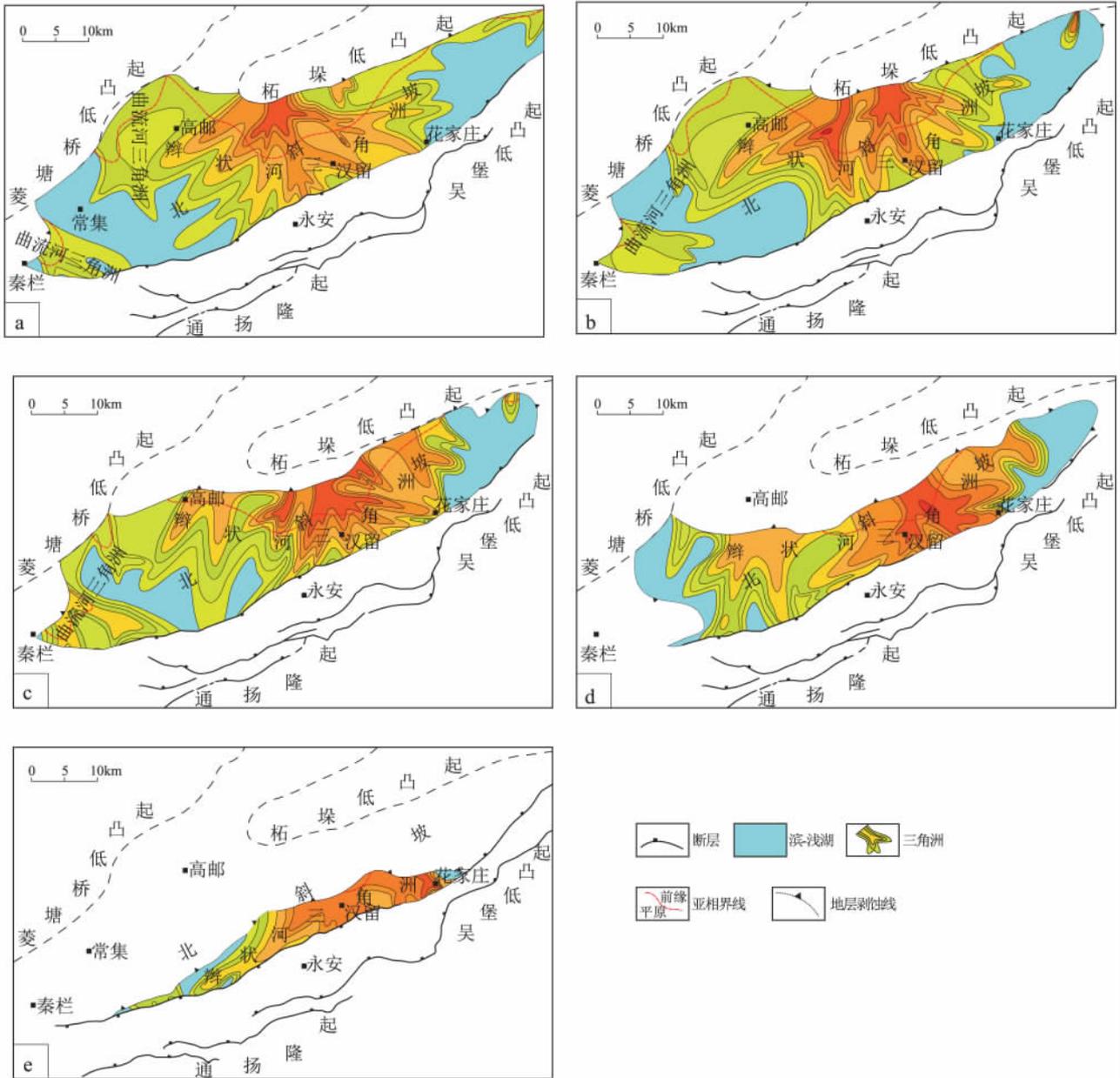


图9 高邮凹陷北斜坡戴二段沉积相

Fig.9 Distribution of the sedimentary facies in the second member of the Dainan Formation in northern Gaoyou depression

5 辫状河三角洲形成机理

戴二段时期,北斜坡具备形成辫状河三角洲的古地貌、物源供给和气候条件。首先,仪征和吴堡两次抬升运动造就了南断北超、呈箕状的高邮凹陷。北斜坡是箕状凹陷的缓坡,北高南低,具宽缓

的特征,加之该时期水位不高,形成了涵盖北斜坡大部分区域的浅水环境;其次,北部的柘垛低凸起整个时期都在遭受剥蚀,为北斜坡中东部地区的沉积提供了持续而又充足的物源供应;再次,戴二段时期,北斜坡属于湿润的中-南亚热带气候^[5],旱季和雨季的交替造成周期性的洪水事件。戴二段时

期充沛的降水冲刷紧邻北斜坡的柘垛低凸起,并卷携碎屑物质汇聚成辫状河顺斜坡而下,宽缓的地形加剧了河道的分叉,形成多条辫状河道。当较为强劲的水流突入浅水中,辫状河道进一步分叉形成更多规模更小的水下分流河道。向湖盆方向,由于受到湖水顶托,水动力逐渐降低,水下分流河道规模逐渐变小直至消失,水流携带的碎屑物质也随之逐级卸载,形成不同类型的沉积砂体。枯水期,水动力较弱,河道迁移不明显;洪水期突发性的、携带更充足碎屑物质的强水动力水流使水道的侧向迁移更为频繁,最终形成比正常三角洲更宽的沉积朵体。戴二段中后期,受盆地缓慢差异抬升的影响,斜坡北部高部位更多区域暴露在水面之上,受到剥蚀,物源供给增加,同时水动力有所增强。二者的共同作用一方面使三角洲朵体不断向湖盆进积,另一方面让局部的曲流河三角洲性质发生改变,转变成辫状河三角洲。

6 结论

(1) 辫状河(曲流河)三角洲与扇三角洲的明显差异是后者具显著的重力流沉积特征,辫状河三角洲与曲流河三角洲最为显著的特征是其河道充填不具曲流河三角洲特征性的二元结构。

(2) 北斜坡戴二段时期主要发育辫状河三角洲,其朵体北倚柘垛低凸起向南部湖盆方向延伸,物源主要来自柘垛低凸起方向。此外,北斜坡戴二段时期,在其西部还发育小规模曲流河三角洲,物源来自菱塘桥低凸起。

(3) 北斜坡戴二段时期整体呈现水位向上变浅的基准面下降半旋回,期间发生过一次明显的水进过程,剖面总体上呈现下细上粗特征。

(4) 辫状河三角洲相比曲流河三角洲,其形成条件要求近物源、较大的坡度、更强的水动力以及更充足的物源供给。当水动力和物源供给增强时,发育在具一定坡度的斜坡上的近物源曲流河三角洲可以向辫状河三角洲转变;反之,辫状河三角洲同样可以向曲流河三角洲转变。

参考文献:

- [1] 陈安定. 苏北箕状断陷形成的动力学机理[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2):140-150.
- [2] 蒋裕强, 初春光, 赵闯. 高邮凹陷北斜坡沉积相特征及控砂机制研究[J]. 内江科技, 2011, 6:127.
- [3] 贺向阳. 苏北盆地高邮凹陷含油气系统与油气勘探[J]. 勘探家, 2000, 5(3):98-113.
- [4] 高国强, 陈平原. 高邮凹陷北斜坡戴南组藏层规律分析[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(2):251-253.
- [5] 董桂玉, 邱旭明, 刘玉瑞, 等. 陆相复杂断陷盆地隐蔽油气藏砂体预测[M]. 北京:石油工业出版社, 2013.
- [6] 纪友亮, 李清山, 王勇, 等. 高邮凹陷古近系戴南组扇三角洲沉积体系及其沉积相模式[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(1):9-19.
- [7] 马文睿, 傅强, 董桂玉, 等. 高邮凹陷始新统戴南组古环境演化及沉积特征[J]. 同济大学学报, 2012, 40(3):478-484.
- [8] 张喜林, 朱筱敏, 钟大康, 等. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及其对隐蔽油气藏的控制[J]. 古地理学报, 2005, 7(2):207-218.
- [9] 张喜林, 朱筱敏, 郭长敏, 等. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组滨浅湖沉积中的遗迹化石[J]. 沉积学报, 2006, 24(1):81-89.
- [10] 高丽坤, 林春明, 姚玉来, 等. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及沉积演化[J]. 沉积学报, 2010, 28(4):706-716.
- [11] MCPHERSON J G, SHANMUGAM G, MOIOIA R J. Fan-deltas and braid deltas: varieties of coarse-grained deltas [J]. Geol. Amer. Bull., 1987, 99:331-340.
- [12] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社, 2008.
- [13] 薛良清, W. E. Galloway. 扇三角洲、辫状河三角洲与三角洲体系的分类[J]. 地质学报, 1991, 2:141-153.
- [14] 于兴河, 王德发, 孙志华, 等. 湖泊辫状河三角洲岩相、层序特征及储层地质模型——内蒙古岱岱海湖现代三角洲沉积考察[J]. 沉积学报, 1995, 13(1):48-58.
- [15] 王海林, 田家祥. 不同类型三角洲特征探讨[J]. 大庆石油学院学报, 1994, 18(4):135-139.
- [16] 李维锋, 高振中, 彭德堂, 等. 库车坳陷中生界三种类型三角洲的比较研究[J]. 沉积学报, 1999, 17(3):430-434.
- [17] 卜淘, 陆正元. 湖泊辫状河三角洲特征、储集性及分类[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(1):78-84.
- [18] 肖晨曦, 李志忠. 粒度分析及其在沉积学中应用研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2006, 25(3):118-123.

Sedimentary characteristics and evolution of the braided delta deposits in the second member of the Dainan Formation in northern Gaoyou depression , Jiangsu

LI Kun¹ , DONG Gui-yu¹ , ZHANG Zhen-guo¹ , QIU Yong-feng² , BI Tian-zhuo² , ZHANG Li-chun¹

(1. *College of Mining Engineering , North China University of Science and Technology , Tangshan 063009 , Hebei , China*; 2. *Research Institute of Geological Sciences , Jiangsu Oil Field Company , SINOPEC , Yangzhou 225009 , Jiangsu , China*)

Abstract: In the light of core examination , well logs , laboratory data and seismic data , the type , distribution and evolution of sedimentary facies are dealt with for the braided delta deposits in the second member of the Dainan Formation in northern Gaoyou depression , Jiangsu. The second member of the Dainan Formation is dominated by the braided delta facies , followed by the meandering and lake facies. The braided delta facies in the study area may be subdivided into the delta plain subfacies including the braided channel and overbank microfacies , delta front subfacies including the subaqueous distributary channel , subaqueous interdistributary bay , channel mouth bar , distal bar and sheet sands microfacies , and prodelta subfacies including the prodelta mud microfacies. The distribution and evolution of the sedimentary facies and genetic mechanism of the braided delta are examined in detail in this study.

Key words: braided delta; sedimentary evolution; Gaoyou depression; second member of the Dainan Formation