

文章编号:1673-5005(2017)01-0001-10

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2017.01.001

水位变化对鄱阳湖三角洲分流河道沉积特征的影响

王 军¹, 杨 勇¹, 张 阳², 杨保良^{3,4}, 蒋 龙¹, 邱隆伟^{3,4}, 赵俊英¹

(1. 中石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东东营 257000; 2. 中国石油大港油田公司勘探开发研究院, 天津 300280;

3. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580;

4. 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东青岛 266071)

摘要:选取鄱阳湖赣江中支三角洲平原分流河道和信江三角洲前缘分流河道, 采用现代沉积考察、剖面挖掘、粒度分析等方法, 就水位变化对分流河道沉积特征的影响进行研究。结果表明:在赣江中支三角洲平原分流河道内发育滞留沉积和边滩沉积 2 种沉积单元;信江三角洲前缘分流河道内发育蝌蚪状砂垄砂、长条形浅滩砂、条带状河道砂 3 种沉积单元;三角洲分流河道砂在水位上升期向岸溯源沉积, 在低水位期向盆地进积, 是三角洲发育主要时期;边滩沉积在水位上升阶段发育水位上升楔状砂, 在水位下降阶段发育水位下降侧积砂;三角洲前缘分流河道在水位上升期沉积蝌蚪状砂垄, 被湖浪改造后在两侧河岸形成长条形浅滩砂;水位下降期沉积条带状河道砂, 受水位变化影响, 分流河道类砂体在平面及剖面上的砂体组合表现出一定的分带性及储层非均质性。

关键词:鄱阳湖三角洲; 水位变化; 分流河道; 沉积特征

中图分类号:TE 121.31

文献标志码:A

引用格式:王军, 杨勇, 张阳, 等. 水位变化对鄱阳湖三角洲分流河道沉积特征的影响[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2017, 41(1):1-10.

WANG Jun, YANG Yong, ZHANG Yang, et al. Impact of water level change on sedimentary characteristics of distributary channel in Poyang Lake delta[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(1):1-10.

Impact of water level change on sedimentary characteristics of distributary channel in Poyang Lake delta

WANG Jun¹, YANG Yong¹, ZHANG Yang², YANG Baoliang^{3,4},
JIANG Long¹, QIU Longwei^{3,4}, ZHAO Junying¹

(1. Research Institute of Exploration & Development, SINOPEC Shengli Oilfield Company,
Dongying 257000, China;

2. PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China;

3. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

4. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology,
Qingdao 266071, China)

Abstract: To study the impact of water level change on the sedimentary characteristics of distributary channel in Poyang Lake delta, this research applied methods of modern sedimentary investigation, mining profile, and grain size analysis to delta plain distributary channels in Ganjiang middle branch delta and Xinjiang delta front. The results suggest that there are two types of sedimentary units in the distributary channels in Ganjiang middle branch delta: lag deposit and point-bar; and three types in the distributary channels of Xinjiang delta front: tadpole-shaped sand ridge, linear low-lying sand, banded channel

收稿日期:2016-08-11

基金项目:国家重大油气专项(2011ZX05009-002)

作者简介:王军(1963-),男,教授级高级工程师,博士,研究方向为油田开发地质。E-mail:thswj@126.com。

通讯作者:张阳(1988-),男,工程师,博士,研究方向为基础地质和储层构型。E-mail:regogo@sina.com。

sand, respectively. When water level rises, sediments mainly deposit onshore back to the source in delta distributary channel; meanwhile, point bar receives sediments and develops water rising wedge-shaped sand. Sediments mainly prograde towards the basin, and delta develops at low water level. When water level declines, point bar develops water falling lateral sand. When water level rises, delta front distributary channel develops tadpole-shaped sand ridge, which is subsequently transformed into banded channel sand by waves on both sides of the river; when water level declines, delta front distributary channel develops banded channel sand. Affected by water level change, sand in the distributary channel shows a heterogeneous distribution in both the plane and vertical profiles, while sand in the delta front distributary channel has typical in plane zoning features.

Keywords: Poyang Lake delta; water level change; distributary channel; sedimentary characteristics

中国的油气资源主要赋存于陆相储层中,三角洲是最重要的油气储层成因类型之一。随着国内外含油气盆地勘探开发程度的提高,迫切需要以创新性的认识与方法对三角洲砂体的形成和分布进行更精细的研究^[1-2]。三角洲形成时的水动力条件是三角洲沉积特征及砂体展布规律存在差异的最主要因素。对于湖泊三角洲来说,河控三角洲占据主导地位,河流的物源供应强度决定了三角洲的形态及其堆积速度。同时,相比于海平面的稳定,由于湖泊面积相对较小,受季节、气候等因素影响水位变化较大,在湖泊三角洲形成过程中水位变化也起到了重要作用。前人对三角洲形成影响因素的研究更多侧重于波浪、河流等因素,也有学者认识到水位变化对三角洲形成的影响^[3-7]。楼章华等^[3]认为,在湖面频繁波动过程中,河流、波浪和沿岸流的冲刷作用对沉积物分布起到再改造作用,导致了以水下分流河道砂体为主的三角洲前缘砂体不同程度的席状化;邱隆伟等^[5]认为,控制湖泊三角洲形成的营力除河流和波浪作用之外,季节性水位变化、沿岸流作用等也可对三角洲的形成造成明显的影响;朱筱敏等^[6]认为,对于在浅水缓坡沉积环境形成的三角洲,湖平面变化控制分流河道的形态与分布,气候变化对湖平面的升降产生重要影响,可引起三角洲沉积相带在平面上发生明显迁移和沉积特征的变化。但是目前针对水位变化影响湖泊三角洲沉积的研究仍不完善,特别是三角洲分流河道作为好的储层,水位变化影响其沉积的研究相对缺乏。前期调研表明,鄱阳湖三角洲为浅水三角洲,湖底平缓,水体较浅,平均水深 8.4 m^[8-9]。通常认为,浅水三角洲形成的基本条件是水浅、地形平缓、构造稳定、物源充足^[6,9-12]。前期研究认为,由于该区湖底地形平缓,湖泊面积随季节性变化大,使得水位变化更为频繁,因而水位变化对鄱阳湖三角洲的沉积特征具有重要影响。笔者采用现代沉积考察、挖掘剖面、粒度分析等方法,对鄱阳湖赣江中支三角洲分流河道和信江三角洲前缘

水下分流河道沉积特征进行系统研究,寻找水位变化对湖泊三角洲分流河道沉积特征影响的证据,旨在深化湖泊三角洲沉积规律的认识,为含油气盆地三角洲储层深化勘探开发提供指导。

1 鄱阳湖概况

鄱阳湖位于江西省北部,长江中下游南岸,南北长 110 km,东西宽 50~70 km,是中国最大的淡水湖。根据形态,鄱阳湖通常被划分为南北两部分:星子以北为地堑作用形成的北部狭长水道,宽度约为 5~8 km,深度约为 10~16 km,为湖水入长江水道区;南部为发育于“鄱阳湖断凹”构造背景上的大水面,宽达 50~70 km,水深 3~8 m^[13-14]。

鄱阳湖是一个吞吐型过水湖泊,因赣江、修水、抚河、信江及饶河 5 条河流汇聚于此,形成了重要的鄱阳湖浅水三角洲沉积盆地^[13]。鄱阳湖与长江存在水文的相互作用,洪水期鄱阳湖水汇入长江,枯水期长江水可倒灌入鄱阳湖。

根据观测资料,鄱阳湖湖口水文观测站历年最高水位为 22.59 m(1998 年 7 月 30 日),历年最低水位为 5.90 m(1963 年)。湖区年最高水位发生在 6—7 月,枯水期一般在 10 月—次年 3 月,年最低水位发生在 12 月—次年 1 月。水位大幅度变化导致了湖泊面积与水体容量的大幅度变动(图 1):低水位 9 m 时面积为 216.62 km²,高水位 20 m 时面积为 3 218.29 km²,是低水平时的 14.8 倍;相应的低水位时的容量为 4.6×10^8 m³,而高水位时的容量为 258×10^8 m³,是低水位时的 56 倍^[15]。

鄱阳湖盆地在大地构造上属于江南复背斜北缘的鄱阳湖凹陷,形成于中生代;鄱阳湖大水面约形成于公元 400 a,为距今约 1 600 a 的年轻湖泊;鄱阳湖形成的直接和主导因素是长江主泓道南移到湖口一带,因江水阻碍赣江水的下泄,使湖泊水域向南扩张,到唐初时面积曾达 6 000 km²;之后,鄱阳湖水位和面积的变化主要取决于湖口处长江水位的变化^[14]。

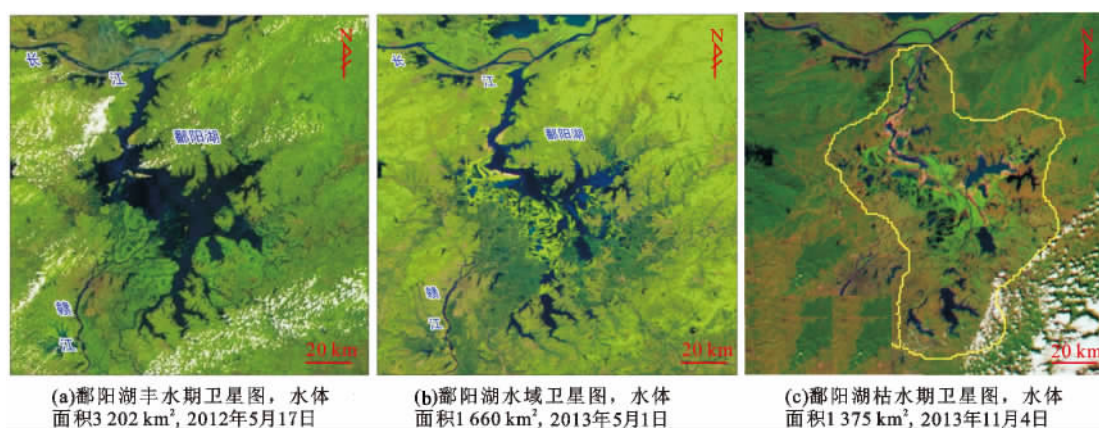


图1 鄱阳湖不同水位卫星图像

Fig.1 Satellite images of Poyang lake in different water level

2 沉积特征

金振奎等^[9]认为,鄱阳湖浅水三角洲发育上三角洲平原、下三角洲平原、三角洲前缘、前三角洲4个沉积亚相。本文中主要对鄱阳湖赣江中支三角洲平原分流河道和信江三角洲前缘分流河道沉积特征进行研究。

2.1 三角洲平原分流河道沉积特征

赣江的水量和输沙量在入湖五河流中均占首位,且发育时期较早,形成了大规模的浅水三角洲沉积^[7]。鄱阳湖中赣江中部分支三角洲发育完善,独立性较强,成为一个形态和相带均完整的三角洲朵体,三角洲的前缘呈朵状展布^[16]。本文中选取位于蒋巷镇以北赣江中支三角洲平原分流河道进行现代沉积考察。

分流河道沉积物主要为砾、含砾砂、砂、泥(图2(a))。受季节性气候变化,湖平面的变化幅度大,枯水期水位最低时河床大面积出露,发育河床滞留沉积;水位上升期,沉积物为粗粒度的砾、含砾砂、砂;高水位时主要为泥质沉积。垂向上,分流河道沉积具正韵律;不同时期,由于水位和水动力强度不同,导致发育多个正韵律。分流河道识别出2类沉积单元:滞留沉积和边滩沉积。

2.1.1 滞留沉积

沉积物主要为砾石、泥砾(图2(b)、(c))。砾石直径为2~5 cm,次棱角状一次圆状,定向排列;泥砾为河床高水位期沉积的泥质未固结,低水位期被改造后再沉积;滞留沉积为断续分布,难以形成厚层状;随着水位上升,向上逐渐变为边滩沉积。

2.1.2 边滩沉积特征

赣江中部支流形态为曲流河,本文中研究的边

滩位于蒋巷镇以北赣江中支凹岸。曹耀华等认为,控制凹岸边滩的本质因子是水流动力轴线的迁移;当水流动力轴线偏离凹岸,其离心力方向与河湾方向相反时,则在凹岸形成弱水区或回流区,泥沙在此大量堆积,形成凹岸边滩^[17]。

边滩沉积主要由砾、含砾砂、砂组成。受水位变化影响呈台阶状分布(图2(d)),大部分时间出露在水面之上,只有在洪水期会被河水淹没,顶部生长有植被,发育泥裂(图2(e))、沉积河床滞留的砾石(图2(f)),砾石直径为0.2~3 cm。垂向上具有正韵律。

在垂直于河道方向凹岸边滩剖面中,识别出水位上升楔状砂和水位下降侧积砂两种沉积单元(图3)。

(1) 水位上升楔状砂:沉积物为细砂、粉砂、泥质粉砂,分选较好,可见两侧倾向相反的楔状纹层。顶部沉积砂质泥岩,为最大湖泛面产物,反映了水位的上升,水动力强度变弱,水流搬运悬浮组分等细粒沉积物不断向岸方向退积到最高水位的过程。

(2) 水位下降侧积砂:沉积物为细砾砾石、粗砂、中砂,分选较差,砾石磨圆中等,可见明显向河道中心侧积的纹层,反映了随着水位下降,整体水动力条件较强并逐渐向河道中心侧积迁移的过程。

对水位下降侧积砂顶面和垂向序列沉积的砾石粒径及含量进行统计,视域位置见图3,统计结果如图4。在顶面选取4个10 cm×20 cm的网格进行统计,由河岸向河中心方向顺砂层依次选取a、b、c、d共4个观察视域,a中粒径在0.2~0.5 cm含量为99.4%,粒径大于1 cm的含量为0.6%;b中粒径在0.2~0.5 cm含量占86.6%,粒径大于1 cm的含量为1.4%;c中粒径在0.2~0.5 cm含量为55.4%,粒径大

于1 cm的含量为16.9%。说明水位下降期,由河岸向河中心方向,随着水位下降沉积的砾石粒径增大。在垂向剖面上选取3个10 cm×10 cm网格进行统计,观察视域由上到下顺序为e、f、g,e中粒径在0.2~0.5 cm颗粒含量为93%,f中粒径在0.2~0.5 cm

颗粒含量为87%,粒径大于1 cm颗粒含量为5%,f中粒径在0.2~0.5 cm颗粒含量为61%,粒径大于1 cm颗粒的含量为18%。说明水位下降期,边滩垂向上底部大粒径砾石多于顶部;整体表现为正韵律。

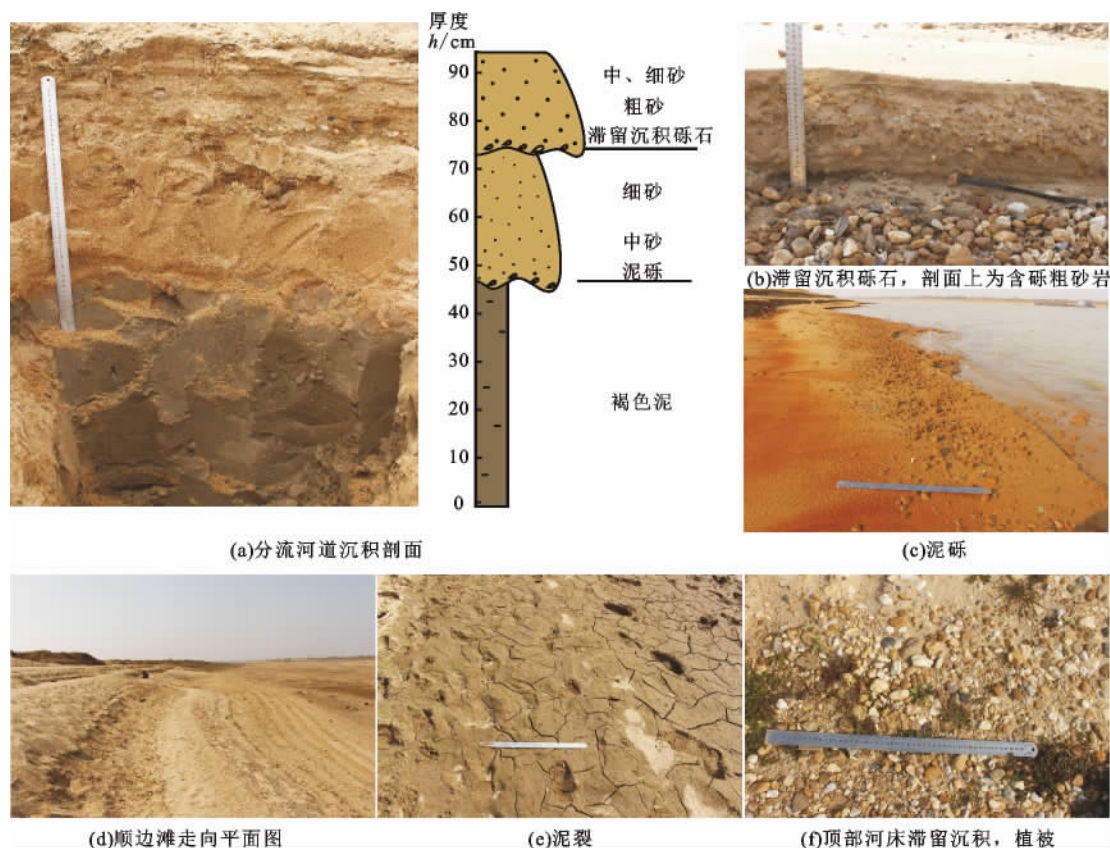


图2 赣江中支蒋巷镇以北三角洲平原分流河道沉积

Fig.2 Delta plain distributary channel deposits in the north of Jiangxiang town in Ganjiang middle branch

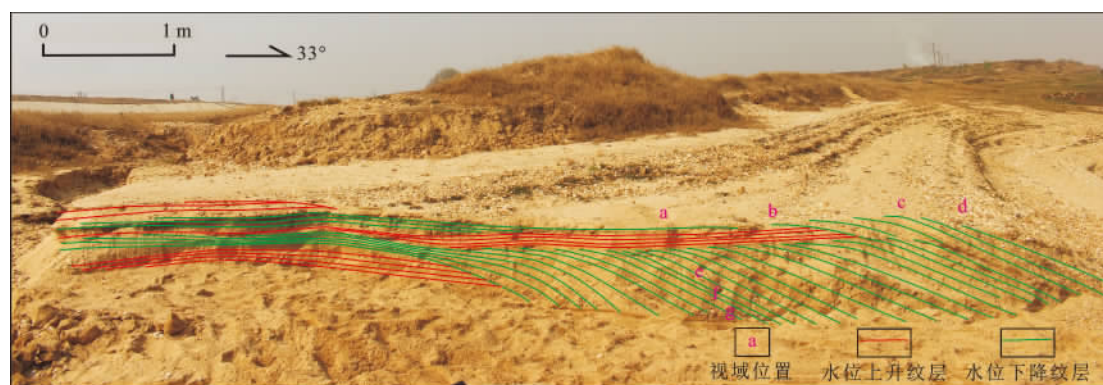


图3 赣江中支蒋巷镇以北边滩沉积单元划分

Fig.3 Depositional unit of point bar in the north of Jiangxiang town in Ganjiang middle branch

2.2 三角洲前缘分流河道沉积特征

选择信江西支下游康山乡府前村西北的三角洲进行研究。该三角洲平面上呈鸟足状,走向近西北,长约4 615 m,宽约3 556 m。河道由上游的一条向下游至末端分叉成多条,呈指状向河漫湖泊推进;宽

度5~100 m,由起点位置向末端方向,地势逐渐降低,水道宽度逐渐变窄。受季节性洪水作用明显,洪水期水流速快,搬运能力强,沉积物粒度类型主要为粗砂、中砂、细砂;枯水期水流搬运能力低,沉积物主要以黏土等悬浮组分为主。通过对研究区三角洲前

缘水下分流河道沉积特征分析,根据不同时期水位变化,识别出蝌蚪状砂垄、长条形浅滩砂、条带状河

道砂 3 种沉积单元。

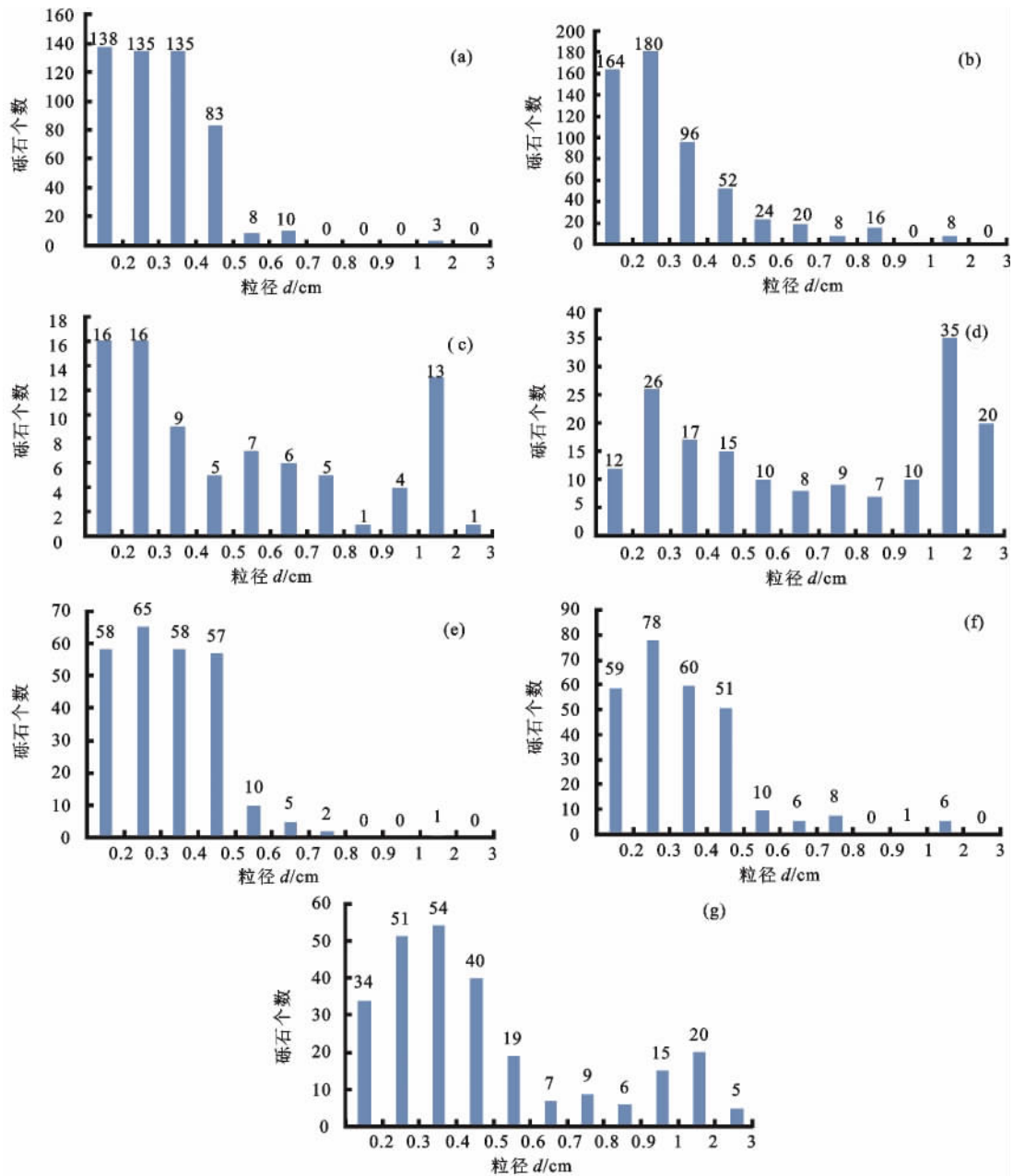


图 4 边滩砾石统计柱状图

Fig.4 Bar chart of gravel statistics in point bar

2.2.1 砂垄砂沉积特征

在平面上,砂垄整体为蝌蚪形(图 5(a)),长宽比为 1.5~3.5,越靠近岸边展布面积越大,呈椭圆形,向河道中心延伸变为条带状,沿近乎垂直于河道方向在河道中轴两侧对称展布(图 5(b))。单个砂垄可见缓坡侧和陡坡侧,陡坡倾向指示水流方向;从砂脊到洼地间距为 7~10 m。顺河流入湖方向,随着地势逐渐降低砂垄成台阶状逐级降低,在垂直河道方向的长度逐渐增大为 15~30 m;多个砂垄在靠岸

处连片分布,随着向河道中心延伸,表现为孤立分布,间距较靠岸位置变大。砂垄发育规模还与地形坡度有关,坡度越陡,砂垄规模越大,砂垄间隔越小。

砂垄由湖侵退积砂、湖侵泥、最大湖泛泥 3 类沉积单元组成,三者关系如图 6。

(1) 湖侵退积砂:沉积物主要为粗砂、中砂、细砂,剖面可见前积纹层(图 5(c),(d))。粒度概率曲线为复杂“两段”式(图 7(a)),跳跃总体为主,含有两个跳跃次总体,含量为 65%,线段倾角为 44°~

57°,分选中等,悬浮总体含量为10%,与跳跃总体间交切点 Φ 值为2.75,与悬浮总体间交切点 Φ 值为

3.25,反映河流携带沉积物入湖过程中受多组、多方向水流影响。

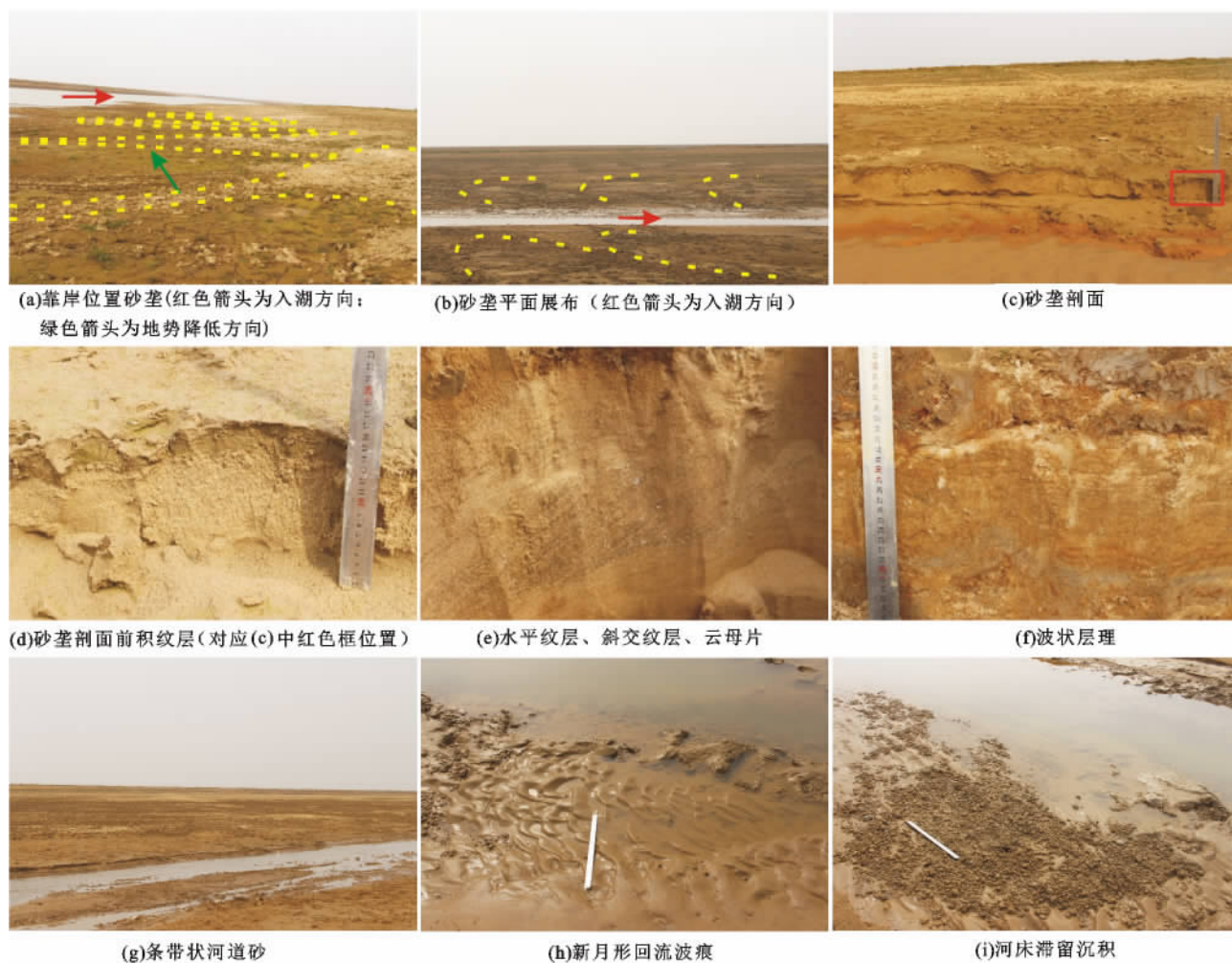


图5 信江三角洲前缘分流河道沉积

Fig.5 Underwater distributary channel of Xinjiang delta front

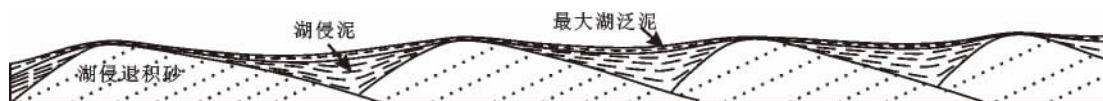


图6 砂垄剖面示意图

Fig.6 Schematic diagram of sand ridge

在砂垄间低洼位置沉积洼地砂,沉积物主要为中砂,含少量细砂。粒度概率曲线为台阶状多段式(图7(b)),砂垄间由于湖水顶托作用,水流能量和湍动性呈现动荡性特点,造成颗粒搬运方式复杂多变,颗粒或滚动-跳跃或悬浮。

(2)湖侵泥:沉积物为粉砂质泥,局部可见杂色段,中间低洼处厚度最大,向两边减薄。粒度概率曲线为“一跳一悬夹过渡”式(图7(c)),跳跃总体含量为15%,直线倾角为55°,分选中等,粒度区间 Φ

值为1.5~2,过渡总体含量30%,与悬浮总体间交切点 Φ 值为2.5,悬浮总体为主,含量为55%。

(3)最大湖泛泥:沉积物为灰绿色泥,含少量粉砂,厚度较薄。粒度概率曲线为“一跳一悬夹过渡”式(图7(d)),跳跃总体含量小于5%,线段倾角为60°,分选好,过渡总体含量约为8%,与跳跃总体间交切点 Φ 值为3.75,与悬浮总体交切点 Φ 值为4.25,悬浮总体含量约90%,占绝对优势。

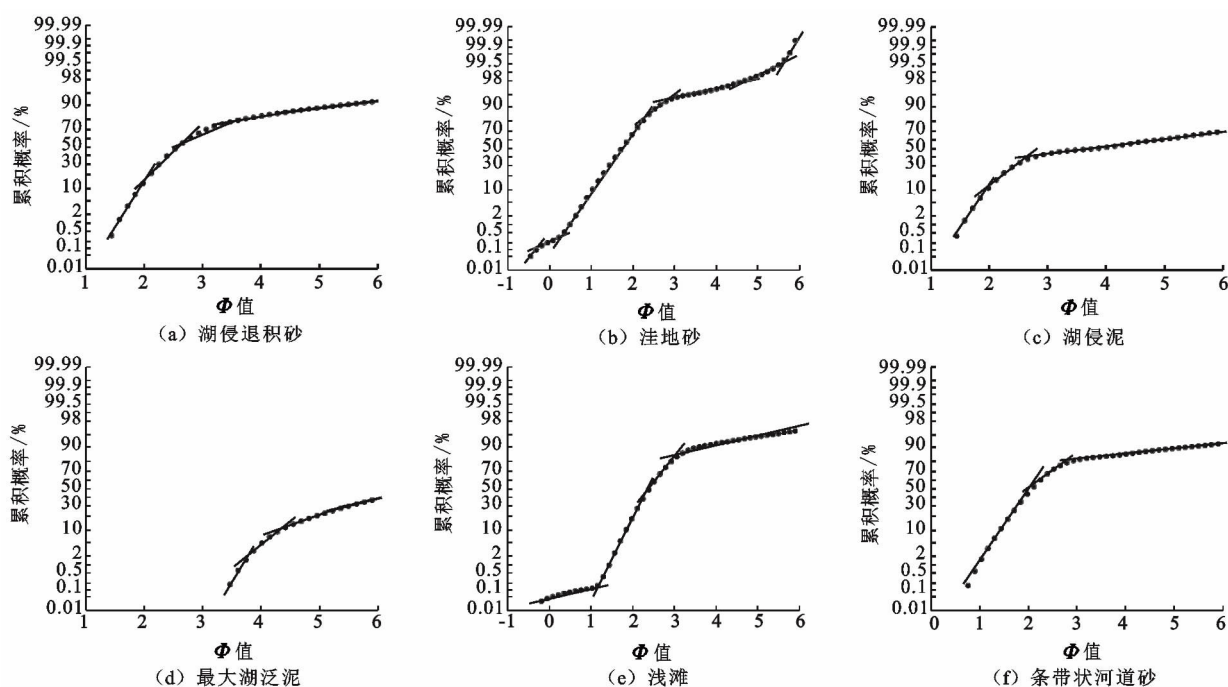


图 7 粒度概率曲线

Fig.7 Probability cumulative grain size curve

2.2.2 浅滩砂沉积特征

研究区浅滩砂分布于两侧岸边位置,多出现在砂垄上部,平行于河流主流线方向,宽度为 2~3 m。沉积物以中砂、细砂为主(图 5(e)),剖面可见水平纹层、斜交纹层,表明受多个方向水流作用,分布有大量白云母碎片,是河岸受水流淘洗的结果;还有高水位期湖浪作用改造过程中形成的波状层理(图 5(f))。粒度概率曲线为“三段”式(图 7(e)),滚动组分低于 1%,跳跃组分含量 90%,包括有两个跳跃次总体,直线倾角为 $51^{\circ} \sim 64^{\circ}$,分选中等—好,粒度区间 ϕ 为 1~2.5,悬浮总体含量低于 10%,受多个方向、多组水流作用。

2.2.3 条带状河道砂特征

枯水期水位降到较低时,湖水面积大范围缩减,河水径流量小,水流细小甚至断续分布,河床大面积出露,部分河段发生河水的回流现象,沉积条带状河道砂,长宽比为 2~4,条带状河道砂呈孤立或连片分布(图 7(g))。沉积物主要为中砂、细砂,顶面发育新月形回流波痕(图 5(h))和河床滞留沉积(图 5(i))。

粒度概率曲线为“一跳一悬夹过渡”式(图 7(f)),跳跃总体含量为 55%,直线倾角 56° ,分选中等,过渡总体含量 30%,与跳跃总体间交切点 ϕ 值为 2,与悬浮总体交切点 ϕ 值为 2.75,悬浮总体含量 15%,反映枯水期稳定水流能量降低的水动力特

征。

3 水位变化对湖泊三角洲分流河道的影响

3.1 水位变化对三角洲平原分流河道的影响

从分流河道边滩沉积剖面特征来看(图 8),分流河道形成初期,河床底部只有滞留砾石沉积,未形成边滩。随着水位的下降,凹岸不断侵蚀使得沉积物在凸岸堆积,表现为向河道中心方向的多期正粒序侧积组合。在水位上升期,凸岸沉积物逐层上超与水位下降期形成的侧积体之上,水位上升到最高时形成泥质的落淤层,同一期水位上升楔状砂、水位下降侧积砂和顶部落淤层形成一个完整的边滩三级构型单元。由于高水位期持续的时间及最高水位的不同,形成的落淤层厚度也有所不同,最厚可达 1 m。新一期水位下降侧积砂常冲刷切割前一期所形成的水位上升楔状砂及落淤层。水位变化对三角洲平原分流河道边滩沉积在平面上的影响主要表现在分流河道曲率的不断增大以及河道宽度的变化。整体上水位上升楔状砂分选更好,但粒度细,泥质含量高,为较差的储层;水位下降侧积砂分选较差,但粒度较粗,泥质含量低,为较好的储层。砂体在平面及剖面上由于两类砂体的组合都表现出一定的储层非均质性。在同一期水位下降砂内,横向上由河岸向河中心方向,粒度逐渐变大,分选变差;纵向上由上

到下粒度变大,分选变差。

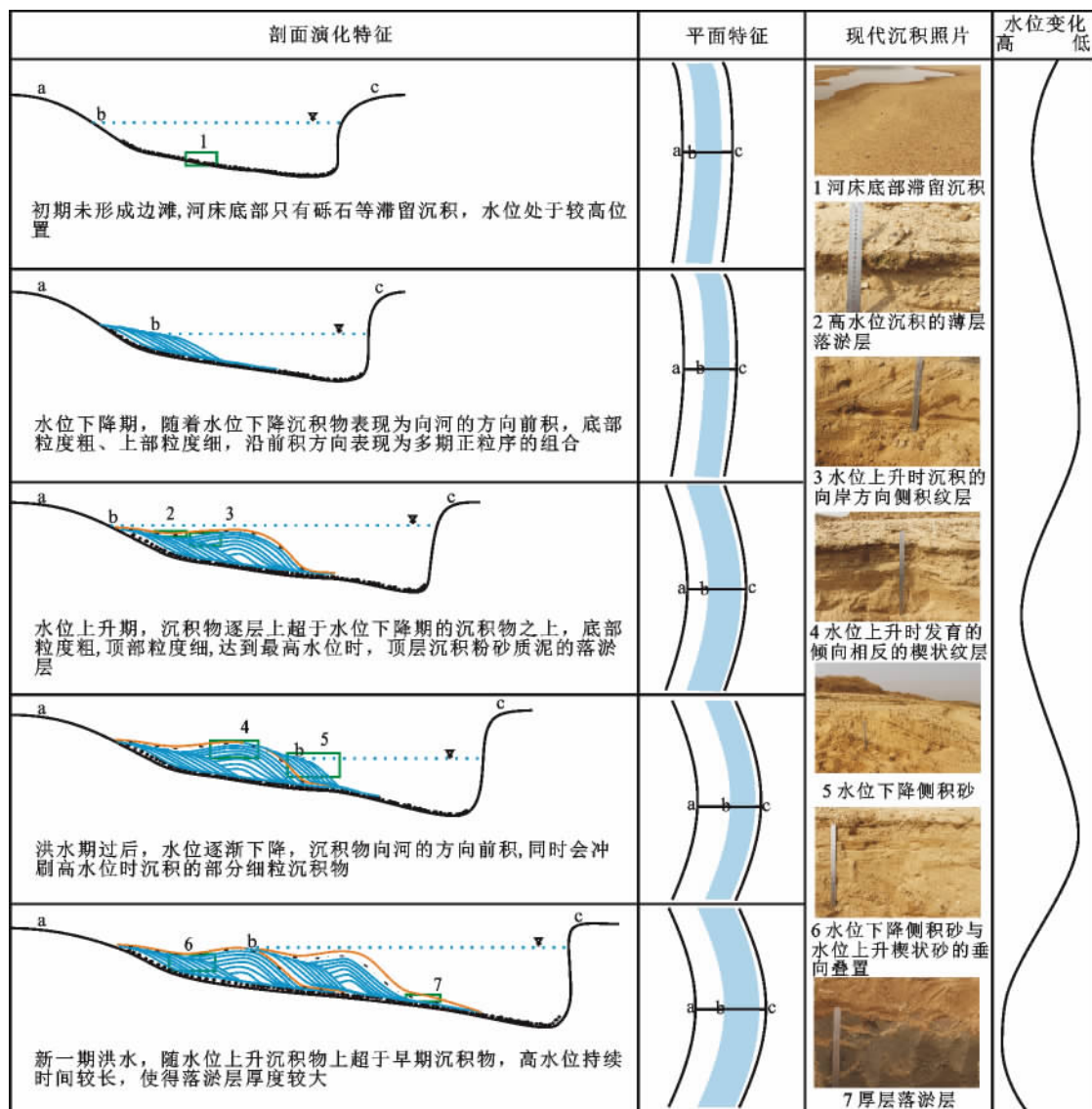


图8 边滩沉积的演化过程示意图

Fig.8 Schematic diagram of point bar evolution

3.2 水位变化对三角洲前缘分流河道的影响

洪水期鄱阳湖处于高水位,随着水位上升发生湖侵,河流携带沉积物在湖水顶托作用下,粗粒沉积物先沉积下来形成湖侵退积砂;随着水位继续上升,可容空间增大,输入沉积物以粉砂、黏土等悬浮物质为主,缓慢沉积由泥和粉砂质泥组成的湖侵泥,由于距水面近,湖侵泥会遭受一定程度的氧化作用而表现为杂色;上升到最高水位时可容空间达到最大,顶部缓慢沉积薄层灰绿色的最大湖泛泥。三者叠置形成砂垄。湖水水位上升到一定高度时,波浪作用增强,在河岸两侧水体交线处砂垄等受湖浪改造形成

浅滩砂。低水位期河道中心位置发育条带状河道砂,由低水位期湖水回流时的对称环流形成。

砂体连通性在平面上呈现明显的分带性,浅滩砂分选好、泥质含量低,在平行于河道方向连通性好;湖侵退积砂粒度粗,分选中等,在垂直于河道方向连通性好,在平行于河道方向受到湖侵泥的阻挡,连通性较差;条带状河道砂粒度较细、分选中等,在平行于河道方向连通性较好;纵向上,受到高水位期沉积的前三角洲、甚至湖相泥岩隔挡,各砂体间连通性一般(图9)。

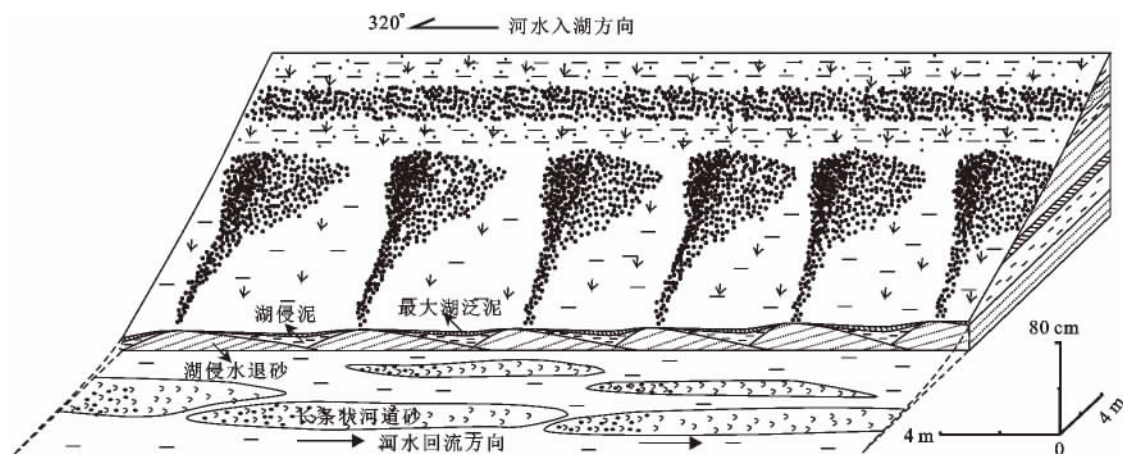


图9 信江三角洲前缘水下分流河道砂沉积示意图

Fig.9 Schematic diagram of distributary channel of Xinjiang delta front

4 结 论

(1) 在赣江中支三角洲平原分流河道内识别出滞留沉积和边滩沉积 2 种沉积单元。在信江三角洲前缘分流河道内识别出蝌蚪状砂垄、浅滩砂、条带状河道砂 3 种沉积单元。

(2) 三角洲分流河道在水位上升期以向岸溯源沉积为主;低水位期水道砂体以向盆地进积为主,是三角洲前积发育主要时期。边滩在涨水期至洪水期接受沉积,高水位时发育水位上升楔状砂;在水位下降时遭受侵蚀,发育水位下降侧积砂。信江三角洲前缘分流河道在水位上升期沉积蝌蚪状砂垄,经湖浪改造在两侧河岸形成长条形浅滩砂,水位下降期沉积条带状河道砂。

(3) 受水位变化影响,在平面及剖面上分流河道砂体的组合表现出一定的储层非均质性,水位上升楔状砂为较差储层,水位下降侧积砂为较好储层。决口分流河道砂体连通性在平面上表现出明显的分带性,浅滩砂、条带状河道砂在平行于河道方向连通性较好,湖侵退积砂在垂直于河道方向连通性较好。

参考文献:

[1] 张阳,邱隆伟,李际,等.基于模糊C均值地震属性聚类的沉积相分析[J].中国石油大学学报(自然科学版),2015,39(4):53-61.
ZHANG Yang, QIU Longwei, LI Ji, et al. Sedimentary facies analysis based on cluster of seismic attributes by fuzzy C-means algorithm[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(4): 53-61.

[2] 肖佃师,卢双舫,王海生,等.三角洲外前缘薄砂体地震综合预测方法[J].中国石油大学学报(自然科学

版),2015,39(4):62-69.

XIAO Dianshi, LU Shuangfang, WANG Haisheng, et al. Comprehensive prediction method of seismic to thin sandstone reservoir in delta-frontal [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(4): 62-69.

[3] 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.

[4] 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(理学版),2004,31(2):211-215.

LOU Zhanghua, YUAN Di, JIN Aimin. Types, characteristics of sandbodies in shallow-water delta front and sedimentary models in Northern Songliao Basin, China [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2004, 31(2): 211-215.

[5] 邱隆伟,王新征,任拥军,等.牛庄洼陷沙二段储层沉积格架及隐蔽油气藏分布规律[M].北京:地质出版社,2010:104-108.

[6] 朱筱敏,刘媛,方庆,等.大型坳陷湖盆浅水三角洲形成条件和沉积模式:以松辽盆地三肇凹陷扶余油层为例[J].地学前缘,2012,19(1):89-99.

ZHU Xiaomin, LIU Yuan, FANG Qing, et al. Formation and sedimentary model of shallow delta in large-scale lake, example from Cretaceous Quantou Formation in Sanzhao Sag, Songliao Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1): 89-99.

[7] 黄秀,刘可禹,邹才能,等.鄱阳湖浅水三角洲沉积体系三维定量正演模拟[J].地球科学——中国地质大

- 学学报 2013 38(5):1005-1013.
- HUANG Xiu, LIU Keyu, ZOU Caineng, et al. Forward stratigraphic modelling of the depositional process and evolution of shallow water deltas in the Poyang Lake, Southern China [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2013 38(5):1005-1013.
- [8] CORNEL O, JANOK P B. Terminal distributary channels and delta front architecture of river-dominated delta systems[J]. Journal of Sedimentary Research, 2006, 76:212-233.
- [9] 金振奎, 李燕, 高白水, 等. 现代缓坡三角洲沉积模式: 以鄱阳湖赣江三角洲为例 [J]. 沉积学报, 2014, 32(4):710-723.
- JIN Zhenkui, LI Yan, GAO Baishui, et al. Depositional model of modern gentle-slope delta: a case study from ganjiang delta in Poyang lake [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014 32(4):710-723.
- [10] 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 basins [J]. Acta Geologica Sinica, 2008 82(6):813-825.
- [11] 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.
- [12] KEUMSUK L, MCMECHAN G A, GANI M R, 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.
- [13] 朱海虹, 郑长芬, 王云飞, 等. 鄱阳湖现代三角洲沉积相研究 [J]. 石油与天然气地质, 1981 2(2):89-103, 201.
- ZHU Haihong, ZHENG Changsu, WANG Yunfei, et al. A study of the sedimentary facies of the deltas in Boyang lake [J]. Oil & Gas Geology, 1981 2(2):89-103 201.
- [14] 张春生, 陈庆松. 全新世鄱阳湖沉积环境及沉积特征 [J]. 江汉石油学院学报, 1996 18(1):24-29.
- ZHANG Chunsheng, CHEN Qingsong. Holocene sedimentary environment and characteristics in the poyang lake [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1996 18(1):24-29.
- [15] 顾中宇. 鄱阳湖水文特征分析及水体形态特征的遥感提取 [D]. 南昌: 江西师范大学, 2007.
- GU Zhongyu. Study on hydrological and geomorphologic characteristics of Poyang lake by intergrating hydrological records and remote sensing [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2007.
- [16] 尹太举, 李宣玥, 张昌民, 等. 现代浅水湖盆三角洲沉积砂体形态特征: 以洞庭湖和鄱阳湖为例 [J]. 石油天然气学报, 2012 34(10):1-7, 166.
- YIN Taiju, LI Xuanyue, ZHANG Changmin, et al. Sandbody shape of modern shallow lake basin delta sediments: by taking Dongting lake and Poyang lake for example [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012 34(10):1-7, 166.
- [17] 曹耀华. 长江中游边滩类型及几何特征 [J]. 江汉石油学院学报, 1994 16(4):22-27.
- CAO Yaohua. Types and geometry of the point bars in the middle Yangzi river [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1994 16(4):22-27.

(编辑 徐会永)