文章编号:1673-5005(2019)04-0011-10

## 河控级别和水位变化对湖泊河控三角洲展布距离的影响

张 阳1, 芦凤明1, 邱隆伟2, 姜继国3, 郭志桥1, 代 莉3

(1.中国石油大港油田公司, 天津 300280; 2.中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,山东青岛 266580;
 3.中国石化胜利油田桩西采油厂,山东东营 257000)

摘要:为了更精确地探讨河控级别和水位变化对湖泊河控三角洲砂体展布距离的影响,以鄱阳湖赣江三角洲和沾化 凹陷孤北洼陷为主要研究对象,通过对典型河控三角洲高精度卫星照片的统计分析以及地下研究区三角洲的精细 解剖,提出两个表示河控级别的参数,明确三角洲延伸距离与海拔的关系以及沉积水深与三角洲前缘朵叶体长度、 坡角的关系,阐明河控级别和水位变化对三角洲展布距离的影响。结果表明:三角洲分叉级别与分流河道累积数量 关系式中的斜率和三角洲的展开角度是描述河控级别的两个主要参数,斜率和展开角度越小,河控级别越高,河流 作用越强,三角洲展布距离越大;随着河控三角洲向前延伸,其海拔高度呈现对数性减小,直到前三角洲的高度,三 角洲前缘坡角呈现先增大后减小的趋势;随着沉积水深的增大,每一期三角洲朵叶体前积层的水平长度呈线性增 大,斜坡角呈对数性增大直至休止角;水位的变化ΔH 与三角洲展布距离的变化ΔL 主要受控于湖盆的坡角α以及三

角洲前缘斜坡角 $\beta$ ,并满足 $\Delta L = \left(\frac{1}{\tan \alpha} - \frac{1}{\tan \beta}\right) \Delta H_{\circ}$ 

关键词:河控三角洲; 展布距离; 河控级别; 水位变化

中图分类号:TE 121 文献标志码:A

**引用格式:**张阳,芦凤明,邱隆伟,等.河控级别和水位变化对湖泊河控三角洲展布距离的影响[J].中国石油大学学报(自然科学版),2019,43(4):11-20.

ZHANG Yang, LU Fengming, QIU Longwei, et al. Effects of river dominated level and water level fluctuations on distribution distance of a lake, river dominated delta[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2019,43(4):11-20.

# Effects of river dominated level and water level fluctuations on distribution distance of a lake, river dominated delta

ZHANG Yang<sup>1</sup>, LU Fengming<sup>1</sup>, QIU Longwei<sup>2</sup>, JIANG Jiguo<sup>3</sup>, GUO Zhiqiao<sup>1</sup>, DAI Li<sup>3</sup>

(1. Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China;

2. School of Geosciences in China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China;

3. Zhuangxi Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257000, China)

Abstract: Taking the Poyang Lake Ganjiang Delta and Gubei Depression as main study objects, this study focuses on the distribution distance of a lake river dominated delta affected by river and water level fluctuations. Using statistical analysis of typical river dominated deltas' satellite photos and fine anatomic of underground work area delta, this paper first used two parameters to express river dominated level, then illustrated the relationship between delta distribution distance and altitude, sediment depth and length, and slope angel of delta front lobe. Lastly, the effects of river dominated level and water level fluctuations on the distribution distance of delta are clarified. The results show that there are two parameters to express river dominated level: the slope in relationship type of delta split level and cumulative quantity of distributary channel, and the delta's opening angel. The smaller the slope and opening angel, the larger the river dominated level and the delta's distribution distance. With the exten-

收稿日期:2019-01-20

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05009-002);中央高校基本科研业务费专项(15CX06010A);中国博士后科学基金项目 (2019M650998)

作者简介:张阳(1988-),男,博士,博士后,研究方向为油田开发地质。E-mail:regogo@sina.com。

sion of the delta, its altitude decreases logarithmically decrease up to the prodelta's height. The slope angle of delta front first increases and then decreases subsequently. With the increase of sediment depth, the length of every delta lobe linearly increases, and the slope angle increases logarithmically until the suspension angle. Water level fluctuation  $\Delta H$  and delta distribution

change  $\Delta L$  are mainly controlled by basins' slope  $\alpha$  and delta front slope  $\beta$  and  $\Delta L = \left(\frac{1}{\tan \alpha} - \frac{1}{\tan \beta}\right) \Delta H$ .

Keywords: river dominated delta; distribution distance; river dominated level; water level fluctuation

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,河控三角洲占主导地位,河流的物源供应强 度决定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[1]。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. 仅有部分学者注意到水位变化对河控三角洲的影 响:湖平面的上升与下降会导致三角洲纵向序列与 展布范围差异[24]:水位变化会使河流作用和波浪作 用的强度发生变化,从而影响砂体在横向及垂向的 连通性[5-8];不同的水位条件会造成席状砂发育程度 的差异<sup>[9-10]</sup>。在含油气盆地的解剖中常会发现同一 物源形成的三角洲在不同时期既有可能形成满盆皆 砂的形态,也有可能仅在离物源很近的斜坡带发育 较少的砂体,这种现象的存在势必会导致油气富集 的巨大差异。前人虽然指出河流作用和水位变化会 导致三角洲展布范围的差异,但都只是定性的描述, 无法满足现今的精细勘探与开发,因此如何更精确 的描述河流作用和水位变化对河控三角洲展布距离 的影响是一个亟待解决的问题。笔者以国内外典型

河控三角洲为例,依据卫星照片、地震资料、测录井 资料等,首先从河控级别这一角度进行讨论,其次系 统的测算河控三角洲延伸距离、海拔、前积层长度、 沉积水深、三角洲前缘坡角等参数,从而半定量地探 讨水位变化对河控三角洲展布距离的影响。

## 1 地质背景

#### 1.1 鄱阳湖

鄱阳湖位于江西省北部、长江南岸,是中国最大的淡水湖。赣江、抚河、修水、饶河、信江五大水系汇 入湖区,经湖口注入长江,构成完整的鄱阳湖水 系<sup>[11]</sup>。鄱阳湖年度水位变化非常强烈,可大于 10 m<sup>[12-13]</sup>,受水位变化的影响鄱阳湖每年丰水期的 水域面积可达4000 km<sup>2</sup>,而枯水期的水域面积可以 降低到小于1000 km<sup>2</sup>,其每年三角洲沉积区向北推 进和向南收缩的幅度为30~50 km,在此过程中三 角洲的亚相范围、微相的分布等也必然发生剧烈变 化,从而对三角洲砂体的发育和展布规律产生巨大 的影响。从 google earth 卫星照片中可以清楚的观 察到鄱阳湖赣江三角洲的形态特征(图1),并且地 图中有测量海拔、距离的工具,这为开展鄱阳湖的系 统研究提供了有利的条件。



Fig. 1 Satellite photos and schematic diagram of Ganjiang Delta in Poyang Lake

#### 1.2 孤北洼陷

孤北洼陷位于济阳坳陷沾化凹陷东北部,周边 发育埕东、桩西、孤岛、长堤4个凸起,洼陷与凸起之 间分别被埕东、桩南、孤北、长堤4个断层分割,为一 东、西、北三面断陷、向中部和南面超覆的洼陷<sup>[14]</sup>。 洼陷内部发育了孤北低隆起以及东西两个次级洼 陷。边界断层的活动以及一隆两洼的构造格局控制 了沉积体系的展布。本次研究中重点选取了沙三中 亚段地层,沙三段沉积时期气候较温暖潮湿,生物大 量繁殖,为盆地的主要生油期,这一时期发生大规模 湖浸,湖水面积达到沙河街组时期的最大范围。沙 三中亚段沉积时期,沉积相类型较为丰富,东部陡坡 带发育扇三角洲,西部沿埕东凸起发育大片的近岸 水下扇,南部缓坡带则为汇水区,发育河控三角洲 (图 2),受湖平面变化的影响,三角洲砂体展布距离 变化较大,为本次研究提供了良好条件。





Fig. 2 Sedimentary facies of Es<sub>3</sub><sup>z</sup> in Gubei Depression

## 2 河控级别的探讨

三角洲根据河流、波浪和潮汐作用的相对强弱 可以划分为以河流作用为主的河控三角洲、以波浪 作用为主的浪控三角洲和以潮汐作用为主的潮控三 角洲<sup>[15]</sup>。潮汐作用主要影响海相三角洲,而在中国 陆相湖盆中,波浪作用相对较弱,因此三角洲多为河 控三角洲。受到不同程度河流作用及波浪作用的影 响,河控三角洲会呈现不同的形态及特征。前人关 于这方面的研究只定性的进行了讨论,认为河流作 用较强时,三角洲呈长形或鸟足状,分流河口砂坝较 发育,大部分被保存下来,呈"指状砂坝",如密西西 比河鸟足状三角洲;河流作用较弱的河控三角洲呈 朵状,形态像一个向海方向突出的半圆形,三角洲前 缘的河口坝易于被冲刷和改造,形成席状砂,全新世 密西西比河三角洲、欧洲的多瑙河三角洲、非洲的尼 日尔三角洲等都属于此类三角洲<sup>[16-19]</sup>。河流作用 的强度是否能够定量的表示,不同河流作用强度的 三角洲展布距离有什么区别,都需要进行深入研究。

#### 2.1 河控级别的定量表示

关于如何定量的表示河流作用的强度,前人研 究认为,按照河流的发育阶段,可将河流分为幼年 期、壮年期和老年期<sup>[20]</sup>(图3)。同一河系,上游河 流属幼年期,多为山区河流,许多支流汇成主流;中 游河流为壮年期,河道宽阔,形成泛滥平原;下游的 海、湖岸边的河流属于老年期,与幼年期支流汇集河 网的情况相反,产生很多的分流,呈网状分叉。对于 河流相,在河流作用最强的壮年期,多为一条主河 道,且支流较少,河道宽,流速快;而河流作用较弱的 幼年期及老年期,河道均有相对较多的支流,河道 细,流速较慢。对于河控三角洲,本次研究将表示河 控三角洲各种水动力中河流作用的相对强度称为河 挖三角洲河控级别,并通过统计典型河控三角洲卫 星照片分流河道的数量和展开角度来定量表示三角 洲的河控级别。



选取中国鄱阳湖赣江三角洲、美国 Wax Lake Delta、Atchafalaya Delta 以及加拿大 Mossy Delta 的卫 星照片,这4个三角洲都是典型的河控三角洲<sup>[21-24]</sup>

(图4)。将用两个参数来表示河控三角洲的河控级 别。一个是三角洲分叉级别与分流河道累计数量关 系式中的斜率,首先定义分流河道发生分叉的点称为 分叉点,且第一次分叉的点称为一级分叉点,一级分 叉点之后每条分流河道再一次分叉的点称为二级分 叉点,以此类推。分别统计了4个典型河控三角洲各 分叉级别下的分流河道累积数量,并作图5。由图5 可知,赣江三角洲分叉级别(x)与分流河道累积数量 (y)满足关系式 y=14.58 x-20.69, Mossy Delta 分叉 级别(x)与分流河道累积数量( $\gamma$ )满足关系式  $\gamma$ = 13.17 x-14.93, Wax Lake Delta 分叉级别(x)与分流 河道累积数量( $\gamma$ )满足关系式  $\gamma$  = 11.02 x - 9.6, Atchafalaya Delta 分叉级别(x)与分流河道累积数量 (y)满足关系式 y=5.892 x-4.714,各三角洲分叉级 别与分流河道累积数量呈线性关系,且相关系数均 非常高,大于0.97。关系式中斜率越大,说明随着 分叉级别的增高分流河道累积数量越多,河流分叉 能力越强,河流作用越低,河控级别越低。另一个参 数是河控三角洲的展开角度,如图4所示,4个三角 洲展开角度依次为109°、94°、86°和68°,展开角度 越大,说明三角洲向垂直于物源方向的生长能力更 强,向前延伸的能力相对较弱,河流作用越弱,河控 级别越低。



(a) 鄱阳湖赣江三角洲

分流河道累积数量/个

(b) Mossy Delta



#### (d) Atchafalaya Delta

Fig. 4 Satellite photos of four typical river dominated deltas (After citation [25], modified)







#### 2.2 河控级别与展布距离的关系

从鄱阳湖赣江三角洲、Mossy Delta、Wax Lake Delta 到 Atchafalaya Delta, 它们的分叉级别与分流 河道累计数量关系式中的斜率和展开角度逐渐减 小,河控级别越来越高,形态也从扇形逐渐过渡为 鸟足形。因此对于河控三角洲,无论是从形态还 是定量参数的统计都可以看出,河控级别越高,河 流作用越强,三角洲向顺物源方向发育的能力越 强,向前展布距离越远;河控级别越低,河流作用 越弱,三角洲向平行于物源方向的发育能力越强, 向前展布距离越近。

### 3 水位变化对三角洲展布距离的影响

三角洲由三角洲平原、三角洲前缘以及前三角洲 组成,由于湖盆地貌和各亚相沉积物沉积作用的不 同,使得各亚相沉积体坡角不同,如图6所示,三角洲 平原和前三角洲坡角一般较小,而三角洲前缘的坡角 相对较大。三角洲平原和前三角洲坡角通常小于5°, 接近于水平。三角洲前缘根据沉积物粒度不同坡角 也不同,细粒沉积一般为3°~5°;中粒沉积一般大于 10°,粗粒沉积三角洲前缘坡角为20°~30°<sup>[26]</sup>。作为 油气储层的各类型砂体通常发育在三角洲平原和三 角洲前缘之中,本次研究只考虑水位变化对三角洲平 原和三角洲前缘展布距离的影响,并且假定不同水位 条件下河流作用对沉积物的供给能力不变。

三角洲平原的斜坡角通常和湖盆地形有关,假 设平原斜坡角为 $\alpha(图6)$ ,那么对于三角洲平原,则 有 $\Delta L_{\text{平原}} = \frac{\Delta H}{\tan \alpha}$ ,其中 $\Delta H$ 为水位的变化, $\Delta L_{\text{平原}}$ 为三 角洲平原在横向上展布距离的变化。而三角洲前缘 长期发育在水下,它作为一个整体,随着自身向前延 伸,其海拔高度和坡角是如何变化的,三角洲前缘展 布距离是如何受到水位变化影响的这些问题则需要 展开讨论。



#### 3.1 三角洲延伸距离与海拔的关系

为了测量三角洲延伸距离、海拔等参数,高精度 的卫星照片和适合的工具是研究的前提,本次研究 综合考虑了以上问题,最终选取了鄱阳湖赣江三角 洲作为研究对象,应用 google earth 中的海拔和距离 测量工具对其进行了系统测算。

图 1(b) 为根据鄱阳湖赣江三角洲前缘卫星照 片简化的分流河道和河口坝复合体的组成示意图, 其中的数字为分叉点,1表示1级分叉点,2表示2 级分叉点,以此类推。本次研究对易于识别的分叉 点的海拔高度及其与1级分叉点的直线距离进行了 测量,原始数据见表1。对各级分叉点数据求平均 值,作图可以得出几组数据的关系。由图7(a)可看 出,分叉级别(x)与平均海拔(y)之间呈对数关系, 满足关系式 y = -3.48 ln x + 18.03, 相关系数达到 0.943,随着分叉级别的增大,平均海拔逐渐减小,趋 向于一个最小值,为测量时的最低水位:由图7(b) 可看出,分叉级别(x)与三角洲延伸距离(y)之间也 为对数关系,满足关系式 y=5760ln x+172.7,相关 系数为0.99,表示随着分叉级别的增大,三角洲延 伸距离逐渐增大趋近与一个最大值,即测量时三角 洲延伸的最大距离:图7(c)反映了三角洲延伸距离 与海拔之间的关系,同样呈对数关系,满足关系式 y=-5.91ln x+66.33,相关系数为0.909,表示随着 三角洲向前延伸,三角洲前缘平均海拔高度逐渐减 小趋向于一个最小值,即测量时的最低水位:图7 (d)反映了三角洲延伸距离同三角洲前缘平均坡角 之间的关系,有数据的部分为实测段,表示随着三角 洲向前延伸,前缘坡角逐渐增大到最大值,但由于卫 星照片水下部分海拔以及坡角无法测量和计算,并 且由前人研究成果可知,前三角洲坡角通常小于三 角洲前缘坡角<sup>[20]</sup>,因此三角洲前缘坡角不会一直增 大,到达最大值后在三角洲前缘与前三角洲的过渡 部分坡角会减小,图中的虚线段反映了这一特征。 由以上规律可以总结出,对于三角洲前缘,随着其向 前延伸,海拔高度呈现对数性减小,直到前三角洲的 高度:三角洲前缘坡角呈现先增大后减小的趋势。水 位变化对于三角洲前缘的展布距离和前缘坡角的影 响,需要对每一期三角洲前积体进行研究。

表1 鄱阳湖赣江三角洲分叉点海拔及与1级分叉点直线距离

Table 1 Bifurcation points altitude and its straight line distance from level 1 in Ganjiang Delta

	14		murcau	on points	annuu	anu no	strangn	t mit uis	tance no		I III Ua	ijiang D	cita	
分叉级别									与1级分					
1	15.9													
2	17.0	14.2						2775	6381					
3	15.7	14.2	14.9	15.0	14.4			6 6 9 2	3 956	7 2 3 2	8 0 7 7	8129		
4	14.9	14.1	12.2	14.8	14.2	14.6		8 3 4 1	8 6 4 1	9 403	4 706	8311	8 2 7 1	
5	12.8	14.0	11.7	16.2	10.1			9 4 4 9	9 060	10218	5 692	9114		
6	13.7	12.2	14.1	13.1	10.0	11.1	10	8 102	9 2 3 2	11 366	11 208	11648	10434	11940
7	10.1	10.0	10.0	12.5	11.1	10.2		11 891	12 556	12 244	11 107	9 3 9 1	9234	
8	10.0	10.0	10.0	10.3	10.5			11 170	12336	12724	13819	13761		
9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0			11 426	12 662	12830	13 210	14 185		



Fig. 7 Quantitative characteristics of Poyang Lake Ganjiang Delta

#### 3.2 水位变化与展布距离及坡角的关系

三角洲前积层的高度或厚度一般与水体的深度 接近<sup>[27]</sup>。用三角洲前积层的厚度或高度来研究水 深是一个比较可靠的定量方法,如果能够通过加载 过井的地震剖面求解古水深效果更好<sup>[26]</sup>。本次研 究通过测量过井的地震剖面中三角洲前积层的厚度 来计算沉积时的水深。

选取了孤北洼陷沙三中亚段南部缓坡带东边一 支河控三角洲发育范围内的5条地震剖面作为测量 剖面(剖面位置见图2)。选取的剖面要能识别出可 靠的三角洲相,尤其是三角洲前缘中的前积反射,对 地震资料的品质要求较高。在5个剖面中共识别出 20个完整的三角洲顶积层—前积层—底积层反射 轴,将顶积层层拉平(图8),此时的形态接近于三角 洲沉积时的形态,分别测量顶积层和底积层之间的前 积层的厚度,据文献 [25]的校正方法加以修改进行 压实校正来恢复沉积时三角洲前缘的厚度。

分别统计5个剖面中每口井顶积层和底积层的 深度,这一段深度内可认为是三角洲前缘的厚度。 由于砂岩和泥岩具有不同的压实率,埋深约在 3000 m,砂岩的压实率为0.18,泥岩的压实率为 0.65,因此统计每口井这一段深度内的砂岩含量和 泥岩含量,把各数据带入公式 H<sub>压实前</sub>=H<sub>压实后</sub>/压实因 子,分别得到每一口井这一段厚度在压实前的厚度。 定义校正系数=H<sub>压实前</sub>/H<sub>压实后</sub>,本次研究所使用的校 正系数为每一口井校正系数的平均值2.1,数据见表 2。将之前测得的每一条前积反射轴深度乘以统一的 校正系数 2.1 得到校正后水深,结合每一条前积反射 轴长度,求得三角洲沉积时前缘坡角,结果见表 3。

表 2 孤北洼陷剖面中每口井实测数据与参数

 Table 2
 Measured data and parameters of every

well in Gubei Depression profiles

土夕	顶积层深	底积层深	厚度/	压实前厚	校正
刀石	度/m	度/m	m	度/m	系数
z77	3 0 2 0	3 1 7 8	158	267.02	1.69
z59-17	3 0 3 6	3 1 9 0	154	286.44	1.86
z75-3	3 0 5 4	3 2 1 3	159	327.54	2.06
z60-2	3 0 6 1	3 1 9 6	135	314.55	2.33
z59-36	3 0 4 5	3 2 1 5	170	319.60	1.88
z59-11	3 0 4 4	3 1 9 8	154	343.42	2.23
z60-3	3 0 7 1	3 207	136	314.16	2.31
z59-13	3 0 4 5	3 2 1 2	167	315.63	1.89
z74-17-12	3 0 5 2	3 207	155	330.15	2.13
z55	3076	3 205	129	312.18	2.42
zs3	3 0 8 4	3 273	189	421.47	2.23
z59	3 0 4 8	3 1 8 6	138	351.90	2.55
z60-5	3 0 5 8	3 1 9 4	136	312.80	2.30
z59-12	3 0 5 9	3 187	128	202.24	1.58
z60-4	3 0 7 8	3 203	125	253.75	2.03
z74-16-8	3078	3 195	117	243.36	2.08

通过处理结果可以得出,孤北洼陷南部缓坡带东 部一支三角洲前缘长度平均值为1169 m,平均坡角 为6.09°,沉积水深平均为127.9 m。前积层长度(y) 和沉积水深(x)呈线性关系 y=5.084x+519.2,相关系 数为0.824。前积层坡角与沉积水深呈对数关系 y= 2.642ln x-6.523,y 为前积层坡角,(°),x 为沉积水 深,m,相关系数为0.79(图9)。笔者还用相同的方 法对东营三角洲进行了相关计算,虽然由于物源供 给、湖盆地貌等因素的不同,研究区内三角洲与东营 三角洲的前缘坡角、延伸距离、沉积水深、发育规模等 有较大的不同,但前积层长度和沉积时水深都呈现出 线性关系、前积层坡角和沉积时水深都为对数关系。 沉积水深越大,三角洲前缘前积层水平长度越大,前 积层斜坡角越大,斜坡角最终趋近于一个最大值,即 休止角。假设三角洲前缘斜坡角为β,根据前积层水 平长度 *L* 和沉积水深 *H* 满足 *L*=a*H*+b 的关系,当水位 变化  $\Delta H$  时,三角洲前缘延伸长度的变化量为 $\frac{\Delta H}{\tan \beta}$ 。 因此当水位变化量为  $\Delta H$  时,三角洲展布距离的变化 量为  $\Delta L_{\Xi_{\text{fm}}} = \Delta L_{\text{FF}} - \Delta L_{\hat{m} \&} = \frac{\Delta H}{\tan \alpha} - \frac{\Delta H}{\tan \beta}$ 。



Fig. 8 Seismic profile for progradational reflection in Es<sub>3</sub><sup>z</sup>, Gubei Depression

in every Gubei depression profile								
Table	3	Measure	ed data	a and	correcte	d data	of	foresets
表 3	孤:	化洼陷每	条剖面	前积	层实测数	女据与:	矫正	.后数据

	•				
测线号	前积层 编号	<b>实测水</b> 深∕m	校正后水 深/m	前积层 长/m	坡角/ (°)
	1	35	74	716	5.8578
: 1: 1770	2	49	103	1 192	4. 935 5
inline1//0	3	37	78	724	6.1289
	4	83	174	1 523	6. 5297
	1	48	101	918	6.2662
:	2	73	153	1 3 3 9	6.5303
infine1/35	3	68	143	1116	7. 291 8
	4	85	179	1 375	7.3956
	1	39	82	929	5.0392
inline1759	2	49	103	983	5.9771
mme1/38	3	73	153	1 199	7.2873
	4	92	193	1 541	7.1470
	1	28	59	929	3.6224
inline1763	2	77	162	1 4 3 6	6.4229
mmer/03	3	67	141	1 177	6.8157
	4	98	206	1 537	7.6254
	1	20	42	914	2.6298
inline1746	2	54	113	1 202	5.3877
mme1740	3	66	139	1 2 3 5	6.4044
	4	77	162	1 404	6.5699

以上只是对水位变化与三角洲的展布距离的 关系做了简单讨论,在理想状态下对三角洲海拔 与延伸距离的关系、沉积水深与前积层长度和水 平长度等参数的关系做了定量讨论,由以上工作 可知,湖盆水位下降时,三角洲平原的展布距离增 大,三角洲前缘的展布距离减小,并且由于平原的 斜坡角通常小于前缘的斜坡角,平原的增大量要 大于前缘的减小量,总体来说三角洲展布距离增 大,当水位较低时,常呈现出大平原、小前缘的形 态;湖盆水位上升时,三角洲平原的展布距离减 小,三角洲前缘的展布距离增大,且平原的减小量 要大于前缘的增大量,整个三角洲的展布距离减 小,当水位较高时,常呈现出小平原、大前缘的形 态。由于三角洲前缘坡角受到诸如沉积水深、沉 积物粒度、沉积过程中水平面变化<sup>[28]</sup>等因素的影 响,并且在三角洲实际的发育过程中,河流作用强 度、物源的供给条件也会受到水位变化、气候条件 等因素的影响.在条件允许的条件下,研究精度仍 可以讲一步提高。





## 4 结 论

(1)河控三角洲的河控级别可以用三角洲分叉 级别与分流河道累计数量关系式中的斜率和三角洲 的展开角度两个参数来表示。斜率和展开角度越 小,河控级别越高,河流作用越强,三角洲顺物源方 向生长的能力越强,三角洲展布距离越大,形态越接 近鸟足形。

(2)随着河控三角洲向前延伸,其海拔高度呈现对数性的减小,直到前三角洲的高度;三角洲前缘 坡角呈现先增大后减小的趋势。

(3)随着沉积水深的增大,每一期三角洲朵叶

体前积层的水平长度呈线性增大,斜坡角呈对数性 增大直至休止角;水位的变化  $\Delta H$  与三角洲展布距 离的变化  $\Delta L$  主要受控于湖盆的坡角  $\alpha$  以及三角洲 前缘斜坡角  $\beta$ ,并满足  $\Delta L = \left(\frac{1}{\tan \alpha} - \frac{1}{\tan \beta}\right) \Delta H$ ,这会 导致湖盆水位下降时,三角洲展布距离增大,呈现大 平原、小前缘的形态;湖盆水位上升时,三角洲的展 布距离减小呈现小平原、大前缘的形态。

#### 参考文献:

[1] 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,2010:104-107.

[2] 罗启后. 再论水进型三角洲: 兼论四川盆地须家河组 巨厚砂层成因[J]. 沉积学报,2015,33(5):845-854.
LUO Qihou. Further discussion on water-transgression delta: genesis of great thickness large distributed sandstone of Xujiahe Formation in Sichuan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2015,33(5):845-854.

张

- [3] JENS P V H, ERIK S R. Structural, sedimentologic and sea-level controls on sand distribution in a steep-clinoform asymmetric wave-influenced delta: Miocene billund sand, astern Danish north sea and Jylland[J]. Jouranl of Sedimentary Research, 2008,78:130-146.
- [4] ERIC E W, ALBERT C H, STEVEN L G, et al. The effect of sea-level and climate change on the development of a mixed siliciclastic-carbonate, deltaic coastline: Suwannee river, Flordida, USA[J]. Journal of Sedimentary Research, 2005,75:621-635.
- [5] 李志鹏,林承焰,董波,等.河控三角洲水下分流河道 砂体内部建筑结构模式[J].石油学报,2012,33(1): 101-105.

LI Zhipeng, LIN Chengyan, DONG Bo, et al. An internal structure model of subaqueous distributary channel sands of the fluvial-dominated delta [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012,33(1):101-105.

[6] 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 ditributary channel

in shallow-water delta, Xinli Area of Songliao Basin[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2012,37(3):556-564.

 [7] 朱永进,尹太举,沈安江,等.鄂尔多斯盆地上古生界 浅水砂体沉积模拟实验研究[J].天然气地球科学, 2015,26(5):833-844.
 ZHU Yongjin, YIN Taiju, SHEN Anjiang, et al. Experi-

ments on shallow-lacustrine deltaic sandstone in the Ordos Basin(Upper Paleozoic), central China[J]. Natural Gas Geosciences, 2015,26(5):833-844.

- [8] EDWARD J A. Wave influence in the construction, shaping and destruction of river deltas: a review[J]. Marine Geology, 2015,361:53-78.
- [9] 石占中,纪友亮. 湖平面频繁变化环境下的扇三角洲 沉积:以黄骅坳陷枣园油田孔一段沉积为例[J]. 西安 石油学院学报,2002,17(1):24-29.

SHI Zhanzhong, JI Youliang. Fan-delta sedimentation formed under the environment of lake level frequently varying: taking the first member of Kongdian Formation, Huanghua Depression as an example [J]. Journal of Xi<sup>4</sup> an Petroleum Institute (Natural Science Edition), 2002, 17(1): 24-29.

- [10] 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.
- [11] 马振兴,蒋玉珍,魏源,等.都阳湖组(第四系)的修订 及特征[J].地层学杂志,2003,27(3):212-215.
  MA Zhenxing, JIANG Yuzhen, WEI Yuan, et al. Revision and characters of the Poyanghu Formation(Quaternary)[J]. Journal of Stratigraphy, 2003,27(3):212-215.
- [12] 闵骞. 鄱阳湖水位变化规律的研究[J]. 湖泊科学, 1995,7(3):281-288.
  MIN Qian. On the regularities of water level fluctuations in Poyang lake[J]. Journal of Lake Sciences, 1995,7 (3):281-288.
- [13] 闵骞,占腊生. 1952—2011 年鄱阳湖枯水变化分析
  [J].湖泊科学,2012,24(5):675-678.
  MIN Qian, ZHAN Lasheng. Characteristics of low-water level changes in Lake Poyang during 1952-2011[J].
  Journal of Lake Sciences, 2012,24(5):675-678.
- [14] 张阳,回宇婷,邱隆伟,等.双断湖盆沉积特征及其控制因素研究:以孤北洼陷沙四上亚段为例[J].中国矿业大学学报,2015,44(5):868-876.
  ZHANG Yang, HUI Yuting, QIU Longwei, et al. Sedimentary characteristics and its controlling factors of double-fault lacustrine basin: a case stydy of the upper 4th member of Shahejie Formation in Gubei Depression [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2015,44(5):868-876.
- [15] GALLOWAY W E. Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems [J]//BROUSSARD M L. Deltas: Models for Exploration. Houston: Houston Geological Society, 1975:87-98.
- [16] SHEA P, RON B, JOHN R S. Transgressive depositional systems of the Mississippi delta plain: a model for barrier shoreline and shelf sand development [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1988,58(6):932-949.
- [17] ROBERT S T, JAMES M C. Depositional processes and stratigraphy of fluvially dominated Lacustrine deltas: Mississippi delta plain[J]. Journal of Sedimentary Pe-

trology, 1989, 59(2):973-996.

- [18] SHUJI Y, RON J S, ROBERT W D. Changes in depositional processes-an ingredient in a new generation of sequence-stratigraphic models [J]. Journal of Sedimentary Research, 2007,77:447-460.
- [19] AJIBOLA O O, BRIAN J W. Depositional patterns across syndepositional normal Faults, Niger Delta, Nigeria [J]. Journal of Sedimentary Research, 2006,76:346-363.
- [20] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2003: 282-283.
- [21] ROBERT S T. Geomorphology: an approach to determining subsurface reservoir dimensions [J]. AAPG Bulletin, 2004,88(8):1123-1147.
- [22] ROBERTS H H. Evolution of sand-dominant subaerial phase, Atchafalaya Delta [J]. AAPG Bulletin, 1980, 64:264-279.
- [23] 李燕,金振奎,李桂仔,等. 江西省鄱阳湖信江决口三 角洲沉积特征及模式[J]. 古地理学报,2014,16(2): 274-284.

LI Yan, JIN Zhenkui, LI Guizi, et al. Depositional characteristics and model for crevasse delta of Xinjiang River in Poyang Lake area, Jiangxi province [J]. Journal of Palaeogeography, 2014,16(2):274-284.

 [24] 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 Sedimento

logica Sinica, 2014,32(4):710-723.

- [25] 张阳,邱隆伟,杨保良,等.河控三角洲河口坝沉积特 征及其形成过程中受水位变化的影响[J].天然气地 球科学,2016,27(5):809-819.
  ZHANG Yang, QIU Longwei, YANG Baoliang, et al. Research on sedimentary characteristics of river dominated delta mouth bar and influences affected by water level fluctuations during the formation [J]. Natural Gas Geoscience, 2016,27(5):809-819.
  - [26] 钟建华,李勇,邵珠福,等.东营凹陷古近纪沙三中期 超深水湖泊的研究[J].高校地质学报,2015,21(2): 320-327.

ZHONG Jianhua, LI Yong, SHAO Zhufu, et al. The Ultrwater lake of middle Sha-3 Formation during Paleogene in Dongying Sag, NE China [J]. Geological Journal of China Universities, 2015,21(2):320-327.

- [27] GLØRSTADC E, BIRKELAND E P, NYSTUEN J P, et al. Triassic platform-margin deltas in the western Barents Sea [J]. Marine and Petroleum Geology, 2011,8: 1294-1314.
- [28] 操应长,刘晖.湖盆三角洲沉积坡度带特征及其与滑 塌浊积岩分布关系的初步探讨[J].地质论评,2007, 53(4):454-459,578.

CAO Yingchang, LIU Hui. Discussion on the relationship between distribution of fluxoturbidite and depositional slope of delta in lacustrine basin[J]. Geological Review, 2007,53(4):454-459,578.

(编辑 徐会永)