

# 湖平面升降对浅水三角洲前缘砂体形态的影响

楼章华<sup>1</sup> 卢庆梅<sup>1</sup> 蔡希源<sup>2</sup> 董百万<sup>2</sup> 张立庆<sup>2</sup>

1 (浙江大学地球科学系 杭州 310027)

2 (大庆石油勘探开发研究院 大庆 163712)

**摘要** 三角洲平原上的分流河道通过填积和湖面的频繁波动向湖泊中心方向长距离推进,在浅水三角洲前缘的浅水区发育很有特色的水下分流河道,且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。随着气候变得潮湿,湖面相对稳定,季节性、周期性湖面波动的频率、幅度减小,水动力对三角洲前缘砂体的改造和席状化强度减弱。

**关键词** 湖平面升降 浅水三角洲 水下分流河道 砂体席状化

**第一作者简介** 楼章华 男 34 岁 研究员 沉积学 石油地质学

## 1 葡萄花油层浅水三角洲沉积环境的形成及其基本特征

研究区位于松辽盆地北部东区,主要研究层段为葡萄花油层,它是大庆油田的主要储、产油层,约占 5 500 万吨产量的 73%。

葡萄花油层沉积时期,基底整体一致下降,盆地气候相对干旱,湖面快速大规模收缩,陆上和水下地形平缓,倾角只有  $0^{\circ}4' \sim 0^{\circ}57'$ 。在北部沉积体系,发育大型浅水三角洲,三角洲前缘开阔,地形十分平坦,水体很浅,通常不超过 10 m 深。湖泊波浪水动力在向岸方向传播过程中与平坦湖底沉积物长距离摩擦而减弱,波浪能量对沉积作用的影响相对较弱,相比之下,河流的能量显得较强,对三角洲的建设始终起着控制作用。在浅水三角洲平原上的分流河道通过填积和湖面的频繁波动向湖泊中心方向长距离推进,三角洲前缘的浅水区发育很有特色的水下分流河道<sup>[1~3]</sup>,且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的分布起到再造作用,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。受气候季节性、周期性变化影响,湖面波动频繁,在平坦盆地地形的情况下,岸线摆动大而迅速。季节性或小周期性的岸线变迁即可宽达 20~50 km 以上。随着气候变得潮湿,湖面相对稳定,季节性、周期性湖面波动的频繁、幅度

也减小,水动力对三角洲前缘砂体的改造和席状化强度减弱。因此,浅水三角洲形成的基本条件是地形十分平缓,水浅<sup>[1~6]</sup>,基底整体一致下降。

在平面上浅水三角洲平原与宽展的三角洲前缘、前三三角洲平缓相接,无明显的转折,也就不存在 Gilbert 型三角洲模式的顶积层、前积层、底积层三褶结构。通过浅水三角洲朵体的侧向迁移,在平面上形成大面积稳定分布的扇形席状体,单旋回厚度仅 3~10 m;在纵向剖面上形成多旋回加积层序。姚一段沉积时期是盆地的低水位期,平均湖岸线位于杏树岗、宋芳屯、模范屯一线,三角洲前缘席状砂向南可达现今的松花江以南地区,宽度可达 85~110 km,发育了宽阔的浅水三角洲前缘相沉积,在浅水三角洲内前缘、外前缘的广大地区也因长期暴露地表或水体很浅,植物生长繁盛,在三角洲前缘的沉积物中含有丰富的植物根系。

## 2 浅水三角洲前缘的微相(微环境)与砂体类型

浅水三角洲前缘亚相可以划分为内缘与外前缘。内前缘是指平均高水位与平均低水位之间的沉积相区,可以划分出以下几种微相(微环境)类型:水下分流河道、水下天然堤、河口砂坝、三角洲内前缘席状砂、水下决口扇、分流间湾泥坪。外前缘是指位于平均低水位线以下的三角洲前缘的前端部分,其

微相(微环境)类型包括:远端水下分流河口砂坝、远端水下分流河道、三角洲外前缘席状砂、三角洲外前缘泥坪。

## 2.1 浅水湖泊三角洲内前缘的微相(微环境)类型及其特征

浅水三角洲前缘亚相可以划分为内缘与外前缘。内前缘是指平均高水位与平均低水位之间的沉积相区,外缘是指位于平均低水位线以下的三角洲前缘的前端部分。

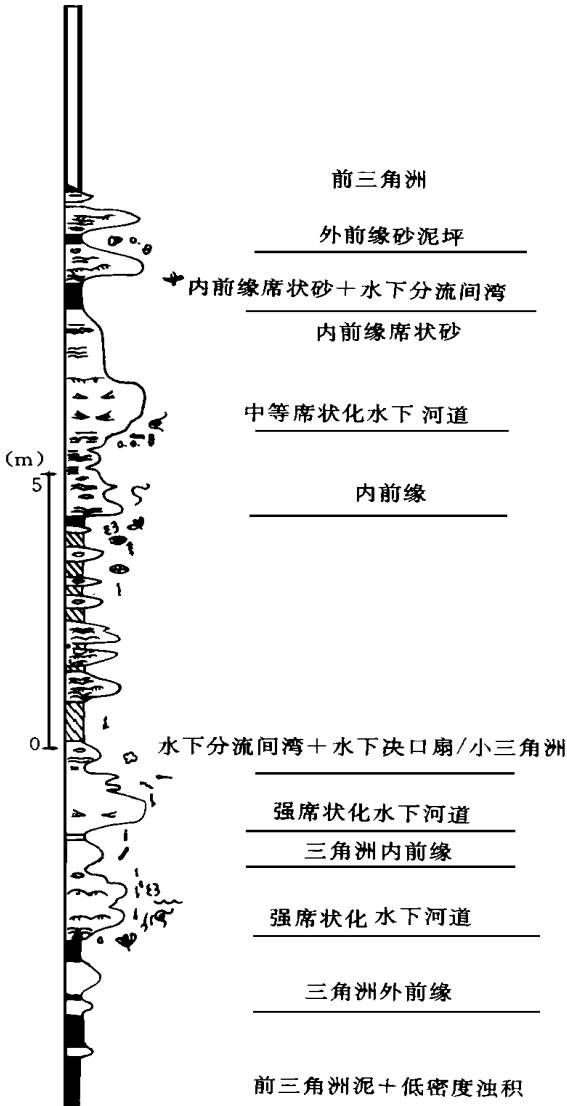


图1 浅水三角洲前缘垂直沉积层序(葡361)

Fig.1 Shallow-water delta front sequence

### 2.1.1 分流河口砂坝

分流河口砂坝形成于河道口,厚度较小,一般为10~35 cm,由细、粉砂岩薄互层组成。细砂岩中发

育河水和波浪作用形成的沙纹交错层理、低角度交错层理、平行纹理、偶见羽状层理,含有垂直层面的生物钻孔和植物根系,层面上常见流水波浪和浪成波痕。在河流水动力弱时,沉积物供给少,细组分多,发育脉状层理、波状复合层理,含有丰富的低角度斜交和平行层理的生物遗迹化石、叶片化石,层面上常见对称波痕,并发育丰富的炭化植物根系。

### 2.1.2 水下分流河道

由于盆地地形十分平缓,湖泊水动力在向湖岸长距离的推进过程中与底面沉积物磨擦,能量减弱,湖泊水动力相对较弱;而河流水动力显得十分突出,水下河道通过填积长距离向湖泊中心方向延伸,形成很有特色的水下分流河道相。

在垂直沉积层序上,水下河道砂体常发育于厚度小的河口砂坝上(图1),也常见直接发育于三角洲外前缘席状砂、外前缘泥坪、三角洲分流间湾泥坪之上。砂体厚90~350 cm,主要由粉、细砂岩组成。细砂岩中发育块状层理、平行层理、沙纹层理,沙纹层理内部常见波浪作用的特点,常见同生变形构造和包卷层理,层面上常见浪成对称波痕。粉砂岩中发育脉状层理和波状复合层理。层内含有丰富的生物遗迹化石,类型丰富,砂岩层中一般是垂直、高角度斜交层面的生物钻孔,细粉砂质条带中生物钻孔与层面低角度斜交,泥质条带上的遗迹化石则都分布在层面上。层内含有丰富的植物根系。水下河道的沉积物通常受湖面升降引起的湖泊水动力(湖浪、沿岸流)的改造,根据其改造程度的不同可划分为弱席状化水下分流河道、中等席状化水下分流河道、强席状化水下分流河道三种类型。

①弱席状化水下分流河道 湖泊水动力(湖浪、沿岸流)对沉积物的改造作用弱,使得向湖泊中心方向推进的水下河道砂体形态得以保存,因此,这种砂体通常呈条带状沿流向展布(图2a)。

②中等席状化水下分流河道 湖面季节性、周期性升降频率和幅度中等,湖泊水动力(湖浪、沿岸流)对沉积物的改造作用也中等,使得向湖泊中心方向推进的水下河道砂体形态得以基本保存,因此,这种砂体通常平面上,呈宽展的条带顺流向交织展布(图2b)。

③强席状化水下分流河道 湖面季节性、周期性频繁升降过程中湖泊的冲刷—回流和沿岸流对湖面下降过程中长驱直入的水下河道砂体多次较强烈改造,使水下河道砂体较强席状化(图2c)。



图 2 水下分流河道砂体平面分布图

a. 弱席状化 b. 中席状化 c. 强席状化

Fig. 2 Planar distribution of subaqueous distributary channel sandbodies

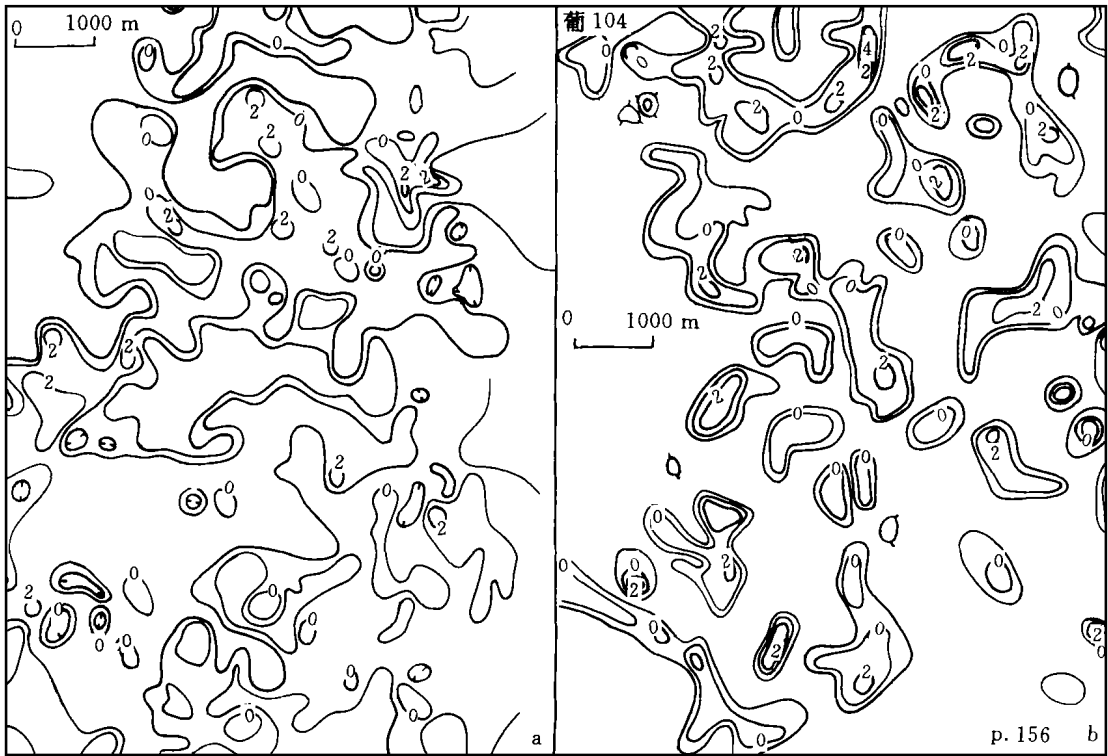


图 3 三角洲前缘席状砂体平面分布图

a. 三角洲内前缘席状砂 b. 三角洲外前缘席状砂及其远端河道化现象

Fig. 3 Planar distribution of front sand sheet facies

### 2.1.3 三角洲内前缘席状砂

单层厚度 50~240 cm, 由细、粉砂岩夹泥质粉砂岩组成。细、粉砂岩中发育浪成构造, 常见低角度槽状交错层理、微波状—平行层理和槽状交错层理。层内含丰富的垂直与高角度斜交层面的生物钻孔。泥质粉砂岩中发育脉状层理、波状复合层理。且通常发育同生变形构造和泄水构造。层内含丰富的低角度斜交和平行层面的生物遗迹化石。常见浪成对称波痕和植物根系。

大面积成片分布的三角洲内前缘席状砂体(图 3a)主要是湖面整体快速下降, 伴随季节性、周期性湖面频繁波动过程中, 进入三角洲前缘的河口砂坝和下水河道砂被冲刷, 回流和沿岸流强烈改造, 形成三角洲内前缘平缓浅水区大面积分布的三角洲内前缘席状砂。

## 2.2 浅水三角洲外前缘的微相(微环境)类型及其特征

在湖泊大规模快速收缩过程中, 水下分流河道在向三角洲外前缘推进过程中不断分支变小, 在三角洲外前缘发育了顺流向的小河口砂坝和细条带状远端水下分流河道砂体, 其间发育外前缘泥坪。

### 2.2.1 远端水下分流河口砂坝

由泥质细粉砂岩、粉砂质泥岩组成, 一般小于 50 cm, 整体上往上变粗, 发育低角度交错层理, 脉状层理、纹层状层理。生物扰动强烈, 发育低角度斜交和平行层面的生物钻孔, 层面上普遍发育浪成对称波痕。

### 2.2.2 远端水下分流河道

由泥质细粉砂岩、粉砂岩组成, 在垂向沉积层序上发育在河口砂坝之上, 底面无明显的冲刷面。单砂体厚度为 50~150 cm。底部发育槽状交错层理, 中部发育低角度交错层理、平行纹层状层理, 上部发育脉状层理、波状复合层理、透镜状层理。含植物根系。远端水下分流河道砂体在平面上呈细条带状顺流向展布(图 3b)。

### 2.2.3 三角洲外前缘席状砂

由粉砂岩和泥岩粉砂岩组成, 单层厚 15~60 cm, 由下往上细→粗→细构成完整的垂向沉积层序。由下往上依次发育透镜体状层理、波状复合层理、脉状层理、浪成沙纹层理、脉状层理、波状复合层理。普遍发育泄水构造, 同生变形强烈, 最典型的是包卷层理和砂球嵌入构造。层内含有丰富的低角度斜交和平行层面和生物钻孔生物扰动强烈。在三角

洲外前缘席状砂在平面上呈土豆片孤立分布, 直径一般小于 500 m。

## 3 葡萄花油层沉积环境演化及湖平面升降对砂体形态、分布的影响

葡萄花油层可以分为三个旋回, 每个旋回代表一次浅水三角洲随着湖面的季节性、周期性波动升降, 由湖泊边缘向湖泊中心方向充填推进, 尔后又由于基底沉降作用和三角洲朵体的侧向迁移作用, 浅水湖盆的三角洲朵体表面被湖水缓慢覆盖, 在三角洲前缘相带上直接沉积半深—深湖相泥岩。因此, 每个宽展的浅水三角洲前缘充填沉积旋回的底部是半深湖—深湖相泥岩、三角洲外前缘席状砂和三角洲外前缘泥坪相; 中部为多期叠置的水下分流河道, 内前缘席状砂夹分流间灰绿色泥岩薄互层组成; 上部则随着湖面在三角洲朵体表面上的扩大, 再次发育三角洲外前缘席状砂、三角洲外前缘泥坪和半深—深湖相泥岩。每个旋回都反映了一次水深由深变浅又变深的全过程。

### 3.1 葡萄花油层下部旋回沉积环境演化及湖平面升降对砂体形态、分布的影响

葡萄花油层下部旋回沉积时期, 气候干旱, 湖面总体快速下降、大规模收缩, 同时伴随着高频高幅波动。北部沉积体系, 在平缓地形背景下, 浅水三角洲大规模向前推进充填。青二、三段沉积时期的河流, 三角洲沉积体系被河流切割, 成为葡萄花油层沉积时期的主要沉积物来源。

在湖面总体快速下降、大规模收缩、浅水三角洲向盆地中心方向推进过程中, 水下河道因季节性、周期性频繁大幅度波动引起频繁改道, 同时经受了河流、湖浪、冲刷—回流等水动力的反复改造, 河口砂坝、水下河道被强烈席状化, 以发育三角洲前缘席状砂为特征, 其中席状砂体中夹有豆荚状的河道化砂体, 个别砂体则有明显的水下河道化现象。

在浅水三角洲向前充填过程中, 一方面由于浅水三角洲向前充填变浅作用, 另一方面由于浅水三角洲向湖泊中心方向推进过程中湖面整体下降, 使向浅水三角洲朵体表面的宽阔地区长期处于因频繁大幅度季节性、周期性湖面波动引起的河流、湖浪、冲刷—回流, 以及沿岸流强烈改造的浅水水动力环境, 使得浅水三角洲内前缘发育席状砂和强席状化水下河道砂体或弱河道化席状砂体。

### 3.2 葡萄花油层中部旋回沉积环境演化及湖平面升降对砂体形态、分布的影响

在葡萄花油层中部旋回沉积时期, 气候干旱、半干旱、湖面整体稳定, 季节性、周期性中频中幅波动。盆地北部的河流水系开始逐渐盆地轴心方向集中, 在大庆长垣及其两侧附近发育大型的浅水湖泊三角洲, 两侧发育湖湾。水下河道因季节性、周期性中频中幅波动引起较强改道, 同时经受了河流、湖浪、冲刷一回流等水动力的较强改造, 以发育中一强席状化河道砂体和三角洲内前缘席状砂为特征。

### 3.3 葡萄花油层上部旋回沉积环境演化及湖平面升降对砂体形态、分布影响

在葡萄花油层上部旋回沉积时期, 气候变得相对潮湿, 湖面缓慢扩张, 季节性、周期性波动低频低幅。盆地北部的河流水系进一步向盆地轴心方向集中, 大庆长垣及其两侧附近发育大型湖泊浅水三角洲, 东部湖湾面积扩大, 水深加大。上部旋回沉积时期, 湖面波动相对较弱且整体缓慢上升。水下河道因湖面波动引起的改道和河流、湖浪、冲刷一回流等

水动力的改造作用弱, 三角洲内前缘以发育弱席状化水下河道砂体为特征, 三角洲外前缘以发育孤岛状席状砂、细条带状远端水下河道砂体为特征。三角洲前缘的水下河道分支和分流间湾明显, 呈鸟足状。

### 参 考 文 献

- 1 龚绍礼, 河南禹县早二叠世晚期浅水三角洲沉积和聚煤环境. 煤田地质与勘探. 1986, 111(2): 85~91
- 2 夏文臣. 鄂尔多斯盆地南部延安组水下分流河道型湖泊三角洲体系的沉积构成. 地球科学, 16(2): 23~31
- 3 李彦芳, 曲淑琴, 辛仁臣. 松辽盆地三角洲与油气. 北京: 石油工业出版社. 1993. 54~71
- 4 Donalson A C. Pennsylvanian sedimentation central Appalachians. Spec Pap Geol Soc. Am. 1974, 148: 47~78
- 5 Horne F C. Fern F C. Baganz B P. Depositional models in coal exploration and mineplanning in Appalachian region. AAPG. 62(12): 2377~2411
- 6 H G 里丁主编, 周明鉴译. 沉积环境和相. 北京科学出版社. 127~178

## Influence of Lake Level Fluctuation on Sandbody Shapes at Shallow—Water Delta Front

Lou Zhanghua<sup>1</sup> Lu Qingmei<sup>1</sup> Cai Xiyuan<sup>2</sup> Dong Baiwan<sup>2</sup> Zhang Liqing<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

<sup>2</sup> (Daqing Institute of Exploration and Development, Daqing Heilongjiang 163712)

### Abstract

At the geologic setting of shallow—water delta, distributary channels on plain plain can stretch into lake very long distance by sediment filling and the lake level frequent fluctuation, developing obvious subaqueous channel at wide shallow—water delta front. At the same time, the lake level fluctuation, hydrodynamics, such as channel, wave and offshore current, will change the distribution of sedimentary materials, and results in delta front sandbodies sheetlization, which mainly occurs in the subaqueous channel sandbodies. Along with the climate become more moist, the frequency and range of lake level fluctuation is also smaller, and the hydrodynamics reworks the distribution of sedimentary materials on delta front and sandbody sheetlization become weaker at the same time.

**Key Words** lake level fluctuation shallow—water delta subaqueous distributary channel sheetlization of sandbodies