

断陷湖盆滩坝 储集体沉积特征及沉积模式^①

朱筱敏 信荃麟
(石油大学)

张晋仁
(中原油田)

提 要 通过综合分析大量的地质、测井、地震及室内分析资料,研究了陆相断陷湖盆中砂质滩坝和生物粒屑滩坝储集体的沉积特征,根据滩坝的沉积特征及其分布位置,确定出湖岸线拐弯处滩坝、水下古隆起处滩坝、开阔浅滩坝和短轴三角洲侧缘滩坝等四种类型,进而建立了它们的相模式。这些滩坝随着盆地发育演化作规律性分布并与油气富集密切相关。

关键词 湖盆 滩坝 沉积特征 沉积模式

第一作者简介 朱筱敏 男 34岁 博士 副教授 沉积学和盆地分析

0 前言

中生代,我国东部广泛发育了受构造作用等因素控制的继承性陆相断陷型和坳陷型沉积盆地。经过三十余年的油气综合勘探,已在这些盆地中发现了占全国探明储量90%以上的油气资源,其中绝大部分油气均聚集于陆相湖泊成因的碎屑岩储集体中,例如三角洲储集体、近岸水下扇和重力流成因的碎屑储集体以及河流储集体。近几年来,虽油气勘探难度不断加大,但寻找油气的勘探技术和方法也得到了飞速发展,位于湖盆浅水地区的、面积相对较小的、与油气关系密切的滩坝储集体已日益受到人们的重视。研究表明,滩坝储集体具有近油源、储集性能较好、生储盖组合配置较为完善的利于油气富集的地质条件,并且能够形成一定规模的油气田。然而,滩坝作为良好的油气储集体是近几年来才受到人们重视的,不同学者对滩坝砂体的沉积特征尚有不同的认识。因此,有必要在前人大量工作的基础上^[1,2],结合我们多年的科研实践,总结滩坝储集体的沉积特征和沉积模式。

众所周知,我国东部油气田深埋地下深处,目前有限的钻井和地震等资料尚不能使我们把断陷湖盆中分布较广、厚度较薄的滩砂体与分布狭窄、厚度较大的坝砂体严格区分开来。因此,人们习惯用“滩坝”这个综合术语来描述湖盆浅水地区的滩和坝砂体。近几年来,我们先后在惠民凹陷(Es₃)、东营凹陷(Es₃)、廊固凹陷(Es₃)、辽东湾盆地(Es₁)、东濮凹陷(Es₂, Es₁)等地区,充分综合利用了地质、测井、地震及室内分析化验资料,进行了系统沉积相研究,发

^① 国家教委博士点基金资助项目

现了利于油气储集的滩坝砂体。本文将以上述盆地中的滩坝砂体为例,阐明滩坝的沉积特征,建立滩坝砂体沉积模式并分析它们与油气富集的关系。

1 滩坝储集体沉积特征

1.1 砂质滩坝储集体沉积特征

1.1.1 岩性特征

砂质滩坝以砂泥岩间互为特征。这些互层的砂泥岩包括质地不纯的灰绿色、棕灰色泥岩(厚 0.5~7m)、质地较纯的灰色、浅灰色泥岩和油页岩(厚 0.25~0.5m)、具波状交错层理的薄层粉砂岩(厚 0.2~0.9m)以及具板状交错层理、楔状交错层理的厚层粉、细砂岩(厚 1.6~6m)。它们在垂向上,总体构成向上粒度变粗、砂层单层厚度加大或以中厚层砂岩与浅灰色泥岩间互的湖退序列。其中,在坝砂沉积中,砂岩占整个序列厚度的 60~80%;在滩砂沉积中,砂岩占整个序列厚度的 40~50%。

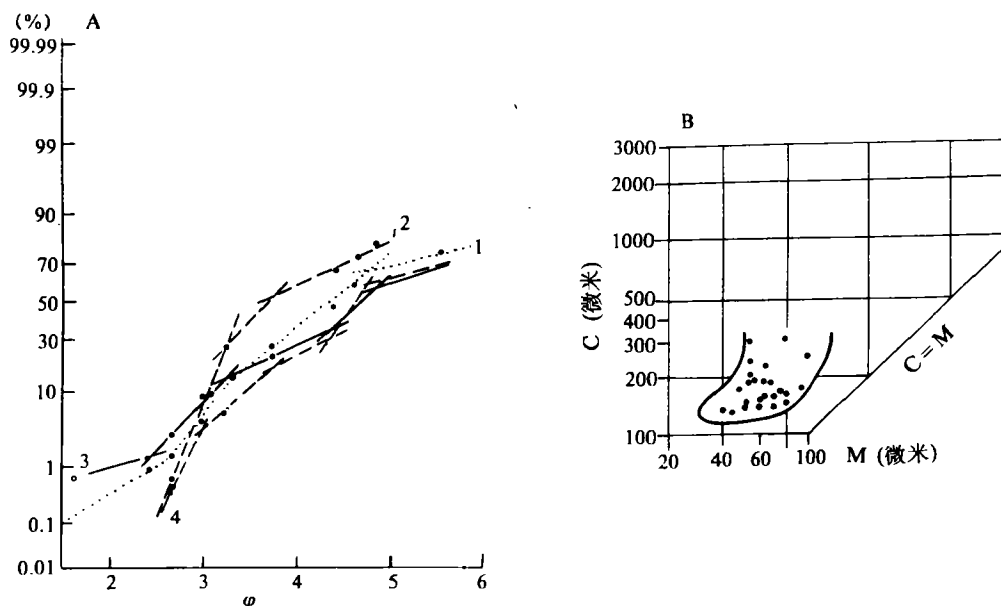


图 1 东濮凹陷桥 18 井滩坝砂粒度概率图和 C·M 图

1. 2504.12m 含泥粗粉砂岩 2. 2504.43m 含泥粉砂岩 3. 2560.76m 含细砂粉砂岩 4. 2560.98m 含泥粉砂岩

Fig. 1 Grain size probability curves and C·M diagram of the beach-bar sands of well Qiao 18 in Dongpu depression

1.1.2 岩矿特征

滩坝砂以成分成熟度和结构成熟度较高为特征。稳定矿物石英含量为 65~83%;不稳定矿物长石及岩屑含量分别为 12~16%和 6~13%;泥质含量 2~8%。砂粒粒径为 0.01~

0.25mm,分选较好。可见以陆源碎屑及生物碎屑为核心的表碛以及生物碎屑。反映了湖浪、沿岸流的反复冲洗作用。

1.1.3 粒度概率图和C·M图特征

对大量滩坝砂粒度概率图的分析统计,发现其概率图主要有三种类型。第一种类型由滚动、跳跃和悬浮总体构成,其中跳跃总体由2~3个斜率不同的直线段构成,含量50~60%,分选较好,多对应具板状和楔状交错层理的坝主体沉积(图1A-1、3)。第二种类型为具过渡带的两段式。过渡带含量为20%左右,粒度分布范围为3.2~3.7 Φ ,分选较好。这类概率图多响应于具波状交错层理的滩砂沉积(图1A-2)。第三种类型为由多个直线段构成跳跃总体的两段式。跳跃总体含量50~60%,粒径2.5~4.5 Φ 。这类概率图多对应具波状层理和小型交错层理的滩砂边缘沉积(图1A-4)。

C·M图较为特征。坝砂的C·M图由PQR段构成,C/M<2,反映了分选较好的坝砂沉积特征。滩砂的C·M图似“牛角”状,位于QR段与RS段的交汇部位,反映了较细粒的粉砂岩沉积物遭受波浪反复淘洗的沉积过程(图1B)。

1.1.4 古生物特征

介形虫多为反映浅湖环境的乐陵真星介、辛店华星介组合,还可见到大量的蚌、螺化石碎片。

1.1.5 沉积构造特征

滩坝的沉积构造反映了浅湖的沉积作用。棕褐色和灰绿色泥岩多呈块状,灰色泥岩多具水平层理。灰绿色泥岩与浅灰色粉砂岩薄互层构成厚0.3~0.7m的砂泥间互层理或透镜状层理。在厚度为0.2~0.9m的粉砂岩中,见有层系厚约1~2cm的板状交错层理、被生物潜穴破坏的双向斜纹层和浪成交错层理。在厚度为0.9~12.4m的粉、细砂岩中,发育因受生物扰动破坏而显示的块状层理及层系厚约1.5~2.5cm的板状交错层理,浪成交错层理以及平行层理。它们在垂向上总体构成厚度为2~4m、由多个小反韵律组成的向上层理规模加大、水动力加强的复合反韵律。

1.1.6 电性和地震反射特征

在自然电位曲线和自然伽玛曲线上,坝砂多对应宽幅正向指形和齿化的漏斗形;滩砂多对应异常幅度较高的“尖刀状”指形密集组合,整体构成向上异常幅度加大的反旋回(图2)。在地层倾角矢量图上,地层倾角矢量的杂乱模式和多个优选方位的频率图特征反映了滩坝砂受多方向水流作用的沉积特点(图2)。

在地震反射剖面上,滩坝沉积响应于底平顶凸、横向展布宽的丘状反射和滩状反射,其内部为具中等振幅、较好连续性的微波状起伏的亚平行结构(图3)。

1.1.7 滩坝砂体展布特征

在平面上,滩坝砂呈卵形或条带状平行湖岸线分布或位于水下隆起之上。单个滩坝砂体长3~8km,宽2~3km,面积为6~24km²。在剖面上,滩坝砂表现为较厚层的、顶凸底平的透镜状或条带状,砂岩厚度较大,砂泥比值较高。如东濮凹陷桥口地区沙一段滩坝砂的累积砂厚最高达140m,砂泥岩厚度比值为0.8~0.9。

1.2 生物粒屑滩沉积特征

在断陷湖盆演化的中晚期,如惠民凹陷、东濮凹陷的沙一段时期,常发育厚度和分布范围均不大的生物灰岩和颗粒石灰岩,它们具有下述沉积特征。

1.2.1 岩性特征

构成生物滩的主要岩性为螺灰岩和介形虫灰岩。螺灰岩单层厚度 0.5~3m,单井最大累加厚度达 45m,一般为 10~25m。在垂向上,薄层螺灰岩与灰色泥岩(厚度小于 4m)、粉砂岩(厚度小于 3m)以及薄层油页岩(厚度小于 1.5m)间互。介形虫灰岩单层厚 0.6~1m,其中的介形虫化石个体小、保存好、含量高(达 70%以上),还可含较多的砂屑。在垂向上,上覆灰黑色泥岩,下伏浅灰色泥质粉砂岩。

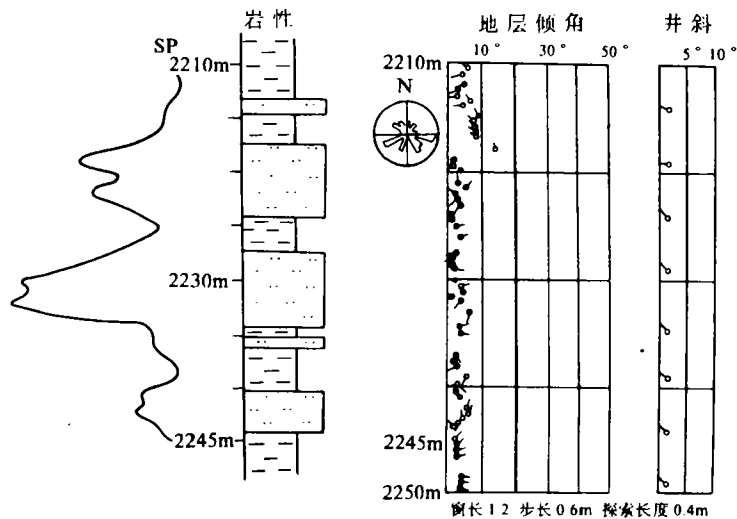


图 2 东濮凹陷桥 21-7 井自然电位曲线和地层倾角矢量图

Fig. 2 SP curve and dipmeter log of well Qiao 21-7 in Dongpu depression

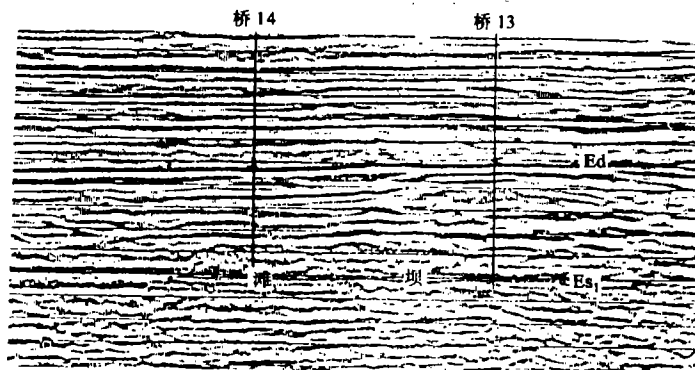


图 3 滩坝丘状反射(东濮凹陷 79~57.5 测线)

Fig. 3 Mound seismic reflection configuration for beach-bar (line 79~57.5 in Dongpu depression)

鲕粒灰岩和砂屑灰岩构成鲕滩。鲕粒灰岩包含正常鲕和表鲕,粒径 0.2~0.3mm,形态为椭圆状。在垂向上,上覆厚 0.5~6m 的灰色泥岩,下伏厚为 0.5~1.5m 的褐灰色粉砂岩。砂屑灰岩粒径 0.2~0.4mm,颗粒分选好、圆形至椭圆形,厚 1~2m。在垂向上,上覆灰色厚层(厚度大于 2m)泥岩,下伏厚为 0.5~3m 的浅灰色粉砂岩。

1.2.2 古生物特征

螺灰岩和介形虫灰岩中的螺、介形虫化石总的特点是种属多、数量大、分布广。螺化石主要为均匀狭口螺、黄河螺、胖狭田螺等,个体小、密集成层分布。介形虫化石为玻璃介组合,但在纵向上又具明显的三分性。沙一段早期种属单调、丰度低,主要为适应混浊浅水生活的扁博兴假玻璃介、无刺华花介等;沙一段中期种属繁多、数量丰富,包括较浅水生活的伸玻璃介、湖花介等,较深水生活的梯形玻璃介、带刺华花介以及深浅水过渡环境的外星介、沙一段晚期种属又趋于单调,主要为惠民小豆介、乐陵真星介等。

1.2.3 电性和地震反射特征

粒屑灰岩具较好的孔渗性且又与粉砂岩间互,所以自然电位曲线响应多呈宽阔指形,电阻率曲线响应于高阻尖刀状(图 4)。地震反射响应于由 2~3 个强相位组成的平坦平行反射结构或小型丘形反射结构。

1.2.4 展布特征

1) 不同类型的碳酸盐岩作规律分布。粒屑灰岩和鲕状灰岩多分布在近岸动荡的滨浅湖地区,介形虫灰岩和螺灰岩多分布在水体略安静的浅湖地区。

2) 生物滩和鲕粒滩的分布受古地形、风向、物源供给条件以及火山活动的影响。在陆源碎屑供给较少的、由构造作用或早期火山活动所形成的水下古隆起处可分布面积较小(1~7km²)、厚度较薄(单层厚度小于 3m)的生物灰岩和鲕粒灰岩。

3) 在垂向上,生物灰岩和鲕粒灰岩常下伏浅灰色粉砂岩、上覆灰色泥岩,整体构成向上泥岩颜色变

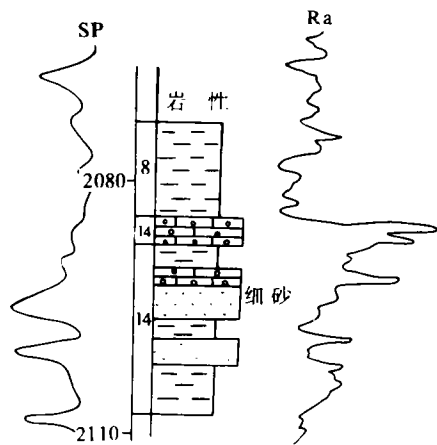


图 4 东濮凹陷马 19 井鲕滩沉积序列
Fig. 4 Oolite beach sequence of well
Ma 19 in Dongpu depression

暗的水进序列。

2 滩坝沉积类型及其沉积模式

根据古地理位置、物源供给条件以及形成滩坝的水动力条件,可把陆相断陷湖盆中发育的滩坝划分成四种成因类型。即位于湖岸线拐弯处的砂质滩坝及生物滩、鲕粒滩,如东营凹陷沙三段和辽东湾盆地东营组的滩坝沉积;水下古隆起处的生物滩、鲕粒滩及砂质滩坝,如东濮凹陷沙一段的生物滩、鲕粒滩;三角洲侧缘的砂质滩坝,如惠民凹陷沙三段夏口地区的滩坝;浅湖地区的砂质滩坝及生物滩、鲕粒滩,如东濮凹陷沙二段和廊固凹陷沙三段中的滩坝。下文将考虑湖盆的发展演化特点,对上述四种成因类型滩坝的形成条件、沉积特征及其

沉积模式进行分析。

2.1 湖岸线拐弯处滩坝沉积模式

在断陷湖盆发展的早期,如东营凹陷沙三段时期,湖盆刚刚形成不久,湖盆周缘母岩区的地势高差较大,湖盆边缘参差不齐,形成部分湖岸线向陆方向凹的湖湾。当湖浪和沿岸流侵蚀、搬运大量碎屑物质流经上述湖湾地区时,由于湖岸线的拐弯变化,造成沿岸流和湖浪能量的消耗,使得经淘洗的砂粒沉积下来,形成平行岸线伸展的长条状湖岸砂嘴,并逐步发展为条带状滩坝。这些滩坝沉积物由成分和结构成熟度均高的砂岩和粉砂岩组成,常显示下细上粗的反韵律。韵律下部为滩坝外缘沉积,由粉砂岩和砂质泥岩不等厚互层组成,具水平纹理和波状交错层理;中部为滩坝主体,由分选磨圆好的中细砂岩组成,具大型低角度交错层理;上部为滩坝内缘沉积,由粉砂岩和灰绿色泥岩互层构成,具水平纹理、生物钻孔以及植物根等沉积构造(图 5A)。

2.2 水下古隆起处滩坝沉积模式

断陷湖盆水下古隆起的成因主要包括以下三种类型,即构造活动造成的隆起、火山喷发形成的隆起以及持续性古地形隆起。一般来说,这些隆起相对地远离陆源碎屑供给区,多受湖浪和岸流的综合作用,从而使得在陆源碎屑供给相对较少的地区,局部发育鲕粒灰岩和生物灰岩,构成鲕粒滩和生物滩。鲕粒灰岩呈块状,其中的正常鲕和表鲕的核心多为陆源碎屑。生物灰岩中含有大量的螺化石和介形虫化石,含量高达 95%。生物灰岩中厚层,可见波状层理,在垂向上,多下伏浅灰色砂岩、粉砂岩,上覆灰色泥岩,整体构成湖进序列(图 5B)。

2.3 三角洲侧缘滩坝沉积模式

当断陷湖盆处于盆地发育的断陷晚期和断坳时期,在断陷湖盆的缓坡,常发育小型的短轴三角洲。这种三角洲的河流作用不十分强烈,携带的沉积物沿盆地短轴方向进入湖盆后,易受到湖浪和岸流的重新改造,使沉积物沿湖岸线方向发生侧向移动,从而在三角洲侧缘形成滩坝沉积(图 5C)。这种滩坝多由灰绿色泥岩和粉细砂岩构成。粉细砂岩成分和结构成熟度均高,常含有鲕粒,发育波状交错层理和小型槽状交错层理。概率图为跳跃总体含量达 70% 以上的两段式。自然电位曲线多为齿化漏斗形和宽幅对称指形,在地震剖面上多响应丘形反射。这种滩坝的垂向序列整体显示下细上粗的反韵律,其中砂岩厚度可占整个韵律厚度的 70~80%。

2.4 开阔浅湖滩坝沉积模式

这类滩坝位于平均枯水面与浪底之间。当垂直岸线或斜交湖岸的波浪由湖盆中央向湖岸运动时,波浪触及浪底,形成升浪,并继续向岸方向运动形成碎浪,波浪能量消耗较大,使得较粗粒碎屑沉积下来,形成开阔浅湖滩坝。此类滩坝由浅灰色粉、细砂岩及泥质粉砂岩构成,砂粒分选和磨圆均较好,有时可见一些鲕粒。根据这类滩坝的详细沉积特征,可进一步确定出近岸滩、坝、远岸滩等三个次级单元(图 5D)。近岸滩临近湖平面,薄层砂岩中发育浪成交错层理,在垂向上,与棕褐色泥岩薄层间互,构成厚 0.4~2m 的反韵律。坝砂以发育厚层槽状交错层理、平行层理为特征,在垂向上常与灰绿色块状泥岩构成下泥上砂、厚约 3m 的反韵律。远岸滩靠近浪基面分布,发育透镜状层理、砂泥间互层理及丰富的生物扰动构造,在垂向上与灰色、灰绿色泥岩互层,构成厚约 2m 的反韵律。在湖退序列中,开阔浅湖滩坝自下而上总体显示泥岩颜色由灰色变为棕褐色、粒度由细变粗再变细、砂岩厚度由薄变厚再变薄的复合反韵律(图 5D)。

3 滩坝储集体含油性

油气勘探和开发实践表明,我国东部断陷湖盆中的滩坝储集体也象三角洲、近岸水下扇以及浊积扇储集体一样,已不断显示出它与油气富集的密切关系,从而成为近期以及未来重要的油气勘探目标。然而,形成于不同盆地演化阶段的、不同成因类型的滩坝储集体的含油性是不同的。目前,形成于盆地断陷期的开阔浅湖滩坝储集体和形成于盆地断坳期的水下古隆起处的滩坝储集体已成为重要的产油储集体。这是因为这两类储集体均具有下述特征:

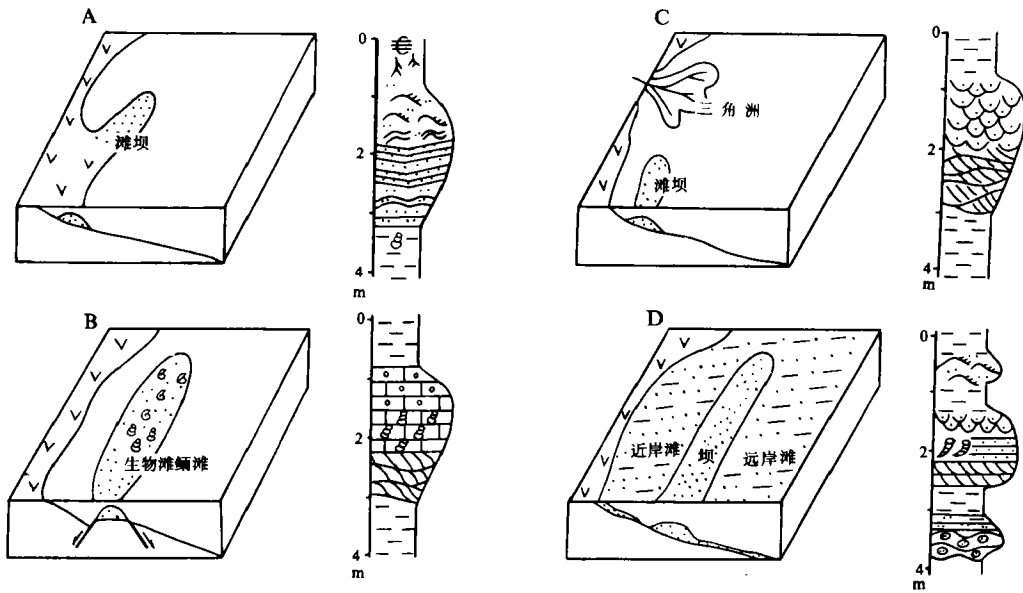


图5 断陷湖盆滩坝沉积模式

Fig. 5 Sedimentary models of the beach-bar in faulted-down Lacustrine basins

临近沙三段或沙一段生油洼陷、自生储集性能好、上覆较厚层泥岩、具有良好的构造配置关系。例如,位于廊固凹陷西南斜坡的泉4井(E_{s3})发育由成分和结构成熟度均高的粉细砂岩组成的开阔浅湖滩坝砂体,在埋深1480~1510m处,孔隙度为25~30%,渗透率为 $100\sim 200\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,单层砂厚达6m,试油后获高产油气流。又如位于东濮凹陷中央隆起带上的开8井和开10井(E_{s1})等均发育由成分和结构成熟度均高的粉细砂岩组成的水下古隆起滩坝砂。在开10井2427.4~2471.4m井段,累计厚为26.7m的8层砂岩,平均孔隙度为19.6%,平均渗透率 $83.7\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (最高者大于 $300\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$),试油获日产油45.67吨。位于湖岸线拐弯处和位于短轴三角洲侧缘的滩坝由于相对远离油源区,盖层条件又较差,且靠近盆地边界断层,所以,目前的油气勘探成功率还不高。显然,在近期和今后的油气勘探中,应加强对湖盆断陷期开阔浅湖滩坝和湖盆断坳期水下古隆起处滩坝的深入研究,可找到更多

的断层与岩性配置的滩坝类型的油气藏。

4 结论

1. 砂质滩坝和生物粒屑滩坝主要发育于断陷湖盆的缓坡,具有较高的成分和结构成熟度,发育浪成交错层理和生物扰动构造。滩坝呈卵形或条带状平行岸线延伸。

2. 断陷湖盆地中的滩坝可被划分成四种成因类型,即①湖岸线拐弯处滩坝;②短轴三角洲侧缘滩坝;③水下古隆起处滩坝;④开阔浅湖滩坝。它们具有不同的岩相组合,发育于不同的盆地演化阶段。在盆地演化的断陷期,发育湖岸线拐弯处滩坝、短轴三角洲侧缘滩坝和开阔浅湖滩坝。在盆地演化的断坳期,常发育水下古隆起处滩坝和开阔浅湖滩坝。

3. 由于临近油源、储集物性良好,水下古隆起处滩坝和开阔浅湖滩坝储集体具有良好的含油性,已成为近期油气勘探的重点目标。

参 考 文 献

- [1] 吴崇筠,1986,湖盆砂体类型,沉积学报,4(4):1~27。
- [2] 信荃麟等,1989,渤海湾盆地第三系断陷湖盆沉积体系与油气分布,石油大学学报,13(5):11~17。

Sedimentary Characteristics and Models of the Beach—bar Reservoirs in Faulted down Lacustrine Basins

Zhu Xiaomin Xin Quanlin

(University of Petroleum, China)

Zhang Jinren

(ZhongYoun Oilfield)

Abstract

There are many kinds of depositional systems developed in Tertiary faulted—down lacustrine basins of East China, of which beach—bar reservoir has been stressed in recent years because of its close relation with hydrocarbon occurrence. The characteristics of the lithology, grain size, sedimentary structure and sequence, logging and seismic reflection, and distribution for both sandy beach—bar and biological grain beach—bar reservoirs have been demonstrated in faulted—down lacustrine basins of East China through comprehensive use of geological, logging and seismic reflection data. According to their location and sedimentary features, the beach—bar in Tertiary faulted—down lacustrine basins may be divided into four types, i. e. the beach—bar in lake shoreline corner, the beach—bar on subaqueous ancient uplift, the beach—bar by the short—axis delta, and open shallow lake beach—bar. Also, their sedimentary models have been developed. These beach—bars distribute regularly at the gentle slope of a lacustrine basin through the basin evolution. The practice for oil—gas exploration has indicated the beach—bar on subaqueous ancient uplift and open shallow lake beach—bar possess the ability to accumulate oil—gas, and have become important target for hydrocarbon exploration.