文章编号:1673-5005(2014)06-0032-08

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2014.06.005

## 板桥凹陷同沉积断层主控的滩坝砂体沉积 机制与分布样式

商晓飞1,侯加根1,董越1,李燕2,唐力1,邓孝亮1,马克1,程远忠3

(1. 中国石油大学地球科学学院,北京 102249; 2. 中海油研究总院,北京 100028;3. 大港油田有限责任公司第四采油厂,天津 300280)

摘要:根据测井、地震、岩心等资料,以板桥凹陷沙二段为例,对不同区块滩坝砂体的沉积特征进行对比,在此基础上 对滩坝的形成机制和分布规律进行研究。结果表明:板桥凹陷沙二段滩坝储层中单砂体平均厚度大于10m,累积厚 度可接近100m,除了熟知的粉、细砂岩外,还有许多砾质组分;同沉积断层的活动造成凹陷内部不同断块的滩坝砂 体在岩性、岩矿、粒度和沉积构造等方面都具有明显的差异性,从根本上控制了滩坝砂体的沉积机制和分布规律;以 同沉积断层为主控因素的滩坝沉积存在两种分布模式,即断层下降盘原地式连续型滩坝沉积和断层上升盘错叠式 间歇型滩坝沉积;前者单砂体厚度大,内部夹层发育,以正旋回沉积为主,平面上"依附"同沉积断层下降盘分布;后 者更多反映出反旋回相序特征,纵向上相互错叠,平面上呈"条带状"平行湖盆边缘展布。

关键词:滩坝;同沉积断层;分布规律;沙二段;板桥凹陷

中图分类号:TE 121.3 文献标志码:A

引用格式:商晓飞,侯加根,董越,等. 板桥凹陷同沉积断层主控的滩坝砂体沉积机制与分布样式[J].中国石油大学 学报:自然科学版,2014,38(6):32-39.

SHANG Xiaofei, HOU Jiagen, DONG Yue, et al. Sedimentary mechanism and distribution pattern of beach-bar sandbodies mainly dominated by contemporaneous faults in Banqiao Sag[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2014, 38(6):32-39.

## Sedimentary mechanism and distribution pattern of beach-bar sandbodies mainly dominated by contemporaneous faults in Banqiao Sag

SHANG Xiaofei<sup>1</sup>, HOU Jiagen<sup>1</sup>, DONG Yue<sup>1</sup>, LI Yan<sup>2</sup>, TANG Li<sup>1</sup>, DENG Xiaoliang<sup>1</sup>, MA Ke<sup>1</sup>, CHENG Yuanzhong<sup>3</sup>

Faculty of Geosciences in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
 CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China;

3. 4th Oil Production Plant, Dagang Oilfield Company Limited, Tianjin 300280, China)

Abstract: The sedimentary characteristics of beach-bar sandbodies were compared among different fault-blocks of  $Es_2$  in Banqiao Sag using the seismic, logging and core data, and the formation mechanism and distribution pattern of beach-bar were studied. The results indicate that the reservoirs of  $Es_2$  in Banqiao Sag have single beach-bar sandbodies whose average thickness is higher than 10 m, and the cumulative thickness nearly reaches 100 m. In addition to siltstone and fine sandstone, there are also gravel deposits. The contemporaneous faults result in the differences in lithology, mineral, grain size and sedimentary tectonics between fault blocks, which fundamentally control the deposition mechanism and distribution regularity of beach-bar sandbodies. There are two kinds of distributary models of the beach-bar sediments where the contemporaneous fault is the main controlling factor; the autochthonous and continuous type of beach-bar deposition in down-throw side of the fault, and the staggered and intermittent type of beach-bar deposition in up-throw side of the fault. The former has thick single

收稿日期:2014-03-17

基金项目:国家"973"项目(2015CB250901-1);国家自然科学基金项目(41202106)

作者简介:商晓飞(1986-),男,博士研究生,主要从事储层沉积学、油气开发地质研究。E-mail:shangxf17@163.com。

通讯作者: 侯加根(1963-), 男,教授,主要从事油气藏地质、油气开发地质以及油藏建模研究。E-mail: houjg63@ cup. edu. cn。

sandbody and well developed interlayers, generally presents a positive cycle, and horizontally adjoins the footwall of the contemporaneous fault. The latter shows more inverse cycle characteristics, has single sandbodies staggering with each other vertically, and has a banding distribution which runs parallel to the edge of the lake basin horizontally.

Key words: beach-bar; contemporaneous fault; distribution regularity; 2nd member of Shahejie Formation; Banqiao Sag

滩坝是波浪、湖流或风暴将周缘各处携来的砂质 沉积物重新改造后在有利场所再沉积而成<sup>[1]</sup>,是湖泊 中重要的沉积类型之一。滩坝多分布于湖湾、湖缘以 及水下低隆处的缓坡带,其沉积的砂体主要来源于近 岸的三角洲、扇三角洲等沉积体<sup>[24]</sup>。目前,美国 Uinta 盆地 Green River 组<sup>[5]</sup>、中国渤海湾盆地沙河街 组<sup>[69]</sup>等的滩坝储层中均发现了大量的油气地质储 量,显现出良好的油气资源与勘探开发潜力。综合前 人研究,陆相断陷湖盆中滩坝砂体的发育程度和分布 规律受湖盆古构造、物源供应及湖水动力条件等诸多 因素的影响<sup>[10-13]</sup>,然而同沉积断层对滩坝沉积的控制 作用目前并没有涉及研究。板桥凹陷沙二段广泛沉 积滩坝砂体<sup>[14-15]</sup>,相比于渤海湾盆地其他地区,该区 同沉积断层的发育对滩坝沉积起着至关重要的作用。 笔者依据地震、钻井、岩心等资料,在详细对比断层 上、下两盘滩坝沉积特征的基础上,对同沉积断层为 主控因素的滩坝沉积模式进行研究,并总结断层两侧 滩坝砂体的规模、叠置关系和分布规律,为滩坝油气 藏的勘探和开发提供理论指导。

### 1 研究区地质概况

板桥凹陷位于渤海湾盆地黄骅坳陷中北部,西 北以沧东断裂为界,东南与北大港潜山构造带相接, 为内部被一系列 NE、NNE 向断层复杂化的西北断、 东南抬的箕状断陷。研究区位于板桥凹陷中东部, 是断裂构造带的主体部位(图1)。



(a) 板桥凹陷构造位置





Fig. 1 Structural characteristics of Banqiao Sag

研究区被三条二级断层(板桥断层、大张坨断 层和白水头断层)切割成为板北、板中、板南和白水 头4个地区,整体为由板北-板中-板南地区逐渐升 高的断阶构造,面积约220km<sup>2</sup>(图1(a))。古近系 沙河街组三段(以下简称沙三段)沉积时期,板桥凹 陷强烈拉张断陷<sup>[16]</sup>,发展至沙河街组二段(以下简 称沙二段,纵向上呈湖平面总体上升的三级层序) 沉积初期,经沉积厚度和差异压实校正恢复后的古 地貌显示,凹陷北陡南缓的断陷结构已非常清晰 (图1(b))。沙二段沉积时期凹陷边界断裂活动有 所减弱,二级断层主要控制了研究区基底的差异沉 降,使凹陷呈现出隆、洼相间的沉积格局。大张坨断 层为板中、板南地区的分界断层,NE 走向为主,形成 于沙三段沉积末期,发育在整个沙河街时期,其活动 时间较长、强度较大,对构造格局形成作用很大,且 直接影响圈闭形态。白水头断层是板南与白水头地 区的分界断层,NNE 走向,是板桥凹陷东南部沿湖 盆边缘岸线分布的同沉积断层,其断裂活动始于沙 三段沉积时期,一直延续至渐新世末期。大张坨和 白水头断层强烈的同沉积断裂活动对于板桥凹陷的 沉积体系分布起着十分重要的控制作用。

## 2 滩坝砂体沉积特征

#### 2.1 滩坝砂体区域分布

研究区沙二段沉积时期构造活动趋于稳定,总 体上为开阔滨浅湖环境,滩坝沉积的砂质沉积物主 要来源于沙三—沙二段沉积时期的扇三角洲和辫状 河三角洲沉积<sup>[17]</sup>。由于板桥凹陷北陡南缓的古构 造特点和各断块沉积背景的差异性,造成滩坝砂体 在形成机理、沉积特点和发育程度上都有明显的不 同。板北地区靠近整个凹陷的沉降中心,水体相对 较深,滩坝沉积较少;板中的南部已转至凹陷缓坡一侧,滩坝砂体明显增多且坝砂分布多集中在一些局 部区域;板南地区位于板桥凹陷的缓坡带,波浪作用 影响范围广阔,形成大面积席状的滩砂和频繁迁移 的坝砂沉积(图2)。



图 2 板桥凹陷沙二段滩坝沉积剖面



#### 2.2 滩坝砂体沉积特征及差异性

与其他地区相比,板桥凹陷沙二段滩坝砂体具 有一些典型沉积特征,如单砂层厚度较大,内部夹层 发育。在同沉积断层的发育控制下,凹陷内部各地 区沉积的滩坝砂体也有明显的差异。根据滩坝砂体 的岩性特点和不同沉积部位的差异性,将该区滩坝 分为坝砂和滩砂两个亚相,其中坝砂亚相是滩坝储 层最重要的构成单元,细分为坝中心和坝侧翼微相 (表1)。综合研究区特殊的古构造和古地理特征分 析,结合38 口取心井资料,着重对大张坨同沉积断 层两侧(板中和板南地区)的滩坝沉积特征进行对 比研究。

2.2.1 岩性、岩矿特征

板中地区滩坝砂体岩性主要为中砂岩、细砂岩、 粉砂岩、泥质粉砂岩以及少量粗砂岩,可见同沉积断 层同生冲刷形成的泥砾,砂质组分占到 88.2%。板 南地区沉积的砂体岩性与板中相似,靠近白水头断 层的东侧以细砂岩、粉砂岩沉积为主,西南侧砂质组 分含量明显减少,占 72.6%,局部地区(如板 64 井 附近,井位见图1(b))含有细砾岩(图 3(e)),砾质 组分含量约为 12.3%。这说明两个断块中水动力 条件对物源改造的程度有所不同。

表1 板桥凹陷沙二段滩坝砂体亚相/微相特征

Table 1 Beach-bar characteristics in different sub-facies or micro-facies of Es<sub>2</sub> in Banqiao Sag

沉积相		取心井(板深 25、板新 43-2、板 22)					
亚相	微相	主要岩性	粒度分布	沉积构造	水体能量	砂厚/m	曲线形态
坝砂	坝中心	中砂岩、细砂岩	两段式或三段式	泥砾、波状交错层理、	最强	3. 50 ~ 21. 04	齿化箱形
				波状层理		10.54	
	坝侧翼	细砂岩、粉砂岩	两段式或三段式	波状交错层理、平行 层理	强	2.37~9.77	多为齿化漏斗形
						8.09	
汉住石少		粉砂岩、泥质粉砂岩、	且过渡带的两段式	波状层理、生物钻孔、 中等	中等_强	0.82~4.88	高幅"尖刀状"
THE IV		粉砂质泥岩	质泥岩 冲洗交错层理	1 1 1 1	2.47	指形组合	

注:砂厚栏中分子为最小值到最大值,分母为平均值

对岩石矿物成分统计表明,板中地区滩坝储层 石英含量为20%~40%,长石含量为40%~55%, 其中正长石与斜长石含量大致相当,岩屑含量约为 17%,成分成熟度中等。板南滩坝砂体的石英含量 平均高于板中地区,为38%~55%,长石含量与板 中相比有所减少,为20%~35%,岩屑含量平均为 15%,成分成熟度相对较高,反映了板南地区湖浪对 砂体的长期簸选和更为充分的改造作用。

2.2.2 粒度特征

滩坝砂体粒度分布总体以跳跃组分为主,悬浮 组分只占 2%~8%,反映了远离河口的滨浅湖环 境。板中滩坝砂体粒度概率曲线多呈现以跳跃、悬 浮为主的具有过渡带的两段式,过渡带含量约 30%,粒度为2.7Φ~3.2Φ,砂体相对较厚的区域有



(a) 浪成波纹交错层理, 板中板22井,2843.9m



(e)砾石沉积,板南板884井, 3304 m



(b)板状交错层理,板 中板新43-2井,3206.7m



(f) 斜层理, 板南板884井, 3301.4 m

时会呈滚动、跳跃、悬浮三段式,但滚动组分含量很 少,一般为1%~5%,分选系数平均为2.45,分选中 等偏好;板南沉积的滩坝砂体粒度概率曲线主要为 跳跃、悬浮两段式,跳跃次总体含量一般为70%~ 80%,往往由多个直线段组成,粒度中值一般为 2.5**0**~5**0**,分选系数一般小于2,分选性好。对比 认为,板中滩坝体现了较强的水动力特点,沉积较为 集中,而板南滩坝砂体结构成熟度好于板中地区,表 明波浪的长期冲刷作用。

2.2.3 沉积构造特征

滩坝砂体沉积构造特征反映了浅水环境下的波 浪、沿岸流对物源的冲刷、改造作用。在板中、板南 地区均发育板状交错层理(图3(b))、波状交错层 理、波状层理(图3(c))、平行层理(图3(d))等沉积



(c)波状层理,板中板深25井,

(g) 生物扰动构造,板南

板884井,3002.7m

25 mm

3683.2 m



(d) 平行层理,板中板深25井, 3680m



(h) 植物炭屑, 板南板884井, 3293.6m

图 3 板桥凹陷沙二段滩坝沉积构造特征

Fig. 3 Sedimentary structural features of beach-bar of Es<sub>2</sub> in Banqiao Sag

构造,表明底流较强的冲刷能力。板中地区多见平 行层理(图3(d))、浪成波纹交错层理(图3(a)) 等,反映了强水动力作用;板南地区则更易出现纹层 倾向具有明显双向性的冲洗交错层理和斜层理(图 3(f))等,还可见丰富的生物钻孔和扰动构造(图3 (g))、顺层分布的植物炭屑(图3(h))以及浪成波 痕、剥离线理和干涉波痕等层面构造,指示出浅水的 沉积特征。

# 3 同沉积断层主控的滩坝砂体沉积机制

#### 3.1 滩坝砂体沉积控制因素

在对滩坝砂体沉积特征及其差异性研究的基础 上,结合前人的研究<sup>[14-15]</sup>,认为板桥凹陷滩坝沉积 主要受物源、水动力、基准面旋回以及同沉积断层的 影响。

3.1.1 物源供应

板桥凹陷滩坝砂体物源来自近岸浅水沉积,主要有北西、北东和南东3个供给方向<sup>[17]</sup>。北西方向 来自沧县隆起扇三角洲沉积,以小站物源为代表;北 东物源主要为燕山水系所携带的碎屑物质在板桥凹 陷海河断层附近形成的扇三角洲沉积;南东方向物 源来自北大港潜山凸起辫状河三角洲。充沛的物源 在波浪的作用下不断地被改造、搬运、再沉积,形成 分布广阔的滩坝砂体。

3.1.2 水动力条件

与海岸带相比,湖泊中潮汐、裂流并不发育, 向岸的风浪是湖泊中最主要的水动力作用。渤海 湾盆地古近系主要盛行西北风或北风<sup>[18]</sup>,在沧县 隆起前方形成较强的离岸流,在南部缓坡带形成 大范围的波浪影响区。北部陡坡带水体较深,浪 基面之上的扇三角洲砂体分布局限,所形成的扇 三角洲前缘滩坝沉积较少,且分布范围较狭窄;而 在缓坡一侧,水动力影响范围广阔,强烈的水动力 作用长时间反复淘洗砂体,是板中、板南地区滩坝 发育的重要因素。

3.1.3 同沉积断层发育

同沉积断层控制着板桥地区的构造格局,造就 了由板中、板南等多个地区组成的特殊断阶地貌形 态,从根本上控制了滩坝砂体的发育部位和规模。 另一方面,同沉积断层还影响着物源、水动力等其他 因素。例如北大港凸起带来的辫状河三角洲砂体受 大张坨断层的控制,断层的局部调节枢纽会促使砂 体进行沉积分配,使局部地区砂体可以一直向前推 进,于大张坨断层下降盘入湖<sup>[16]</sup>,在断阶带附近,呈 现明显的砂体加厚趋势,为附近滩坝的沉积提供了 物质基础。另外,断面陡坎部位会形成局部持续的 水动力高能环境(图 4(a)),并且断层活动会使各 断块的短期基准面旋回难以一致,造成滩坝沉积时 间上的差异,因此同沉积断层的发育是板桥凹陷沙 二段滩坝沉积最主要的控制因素,是造成不同断块 滩坝沉积差异性的根本原因。

#### 3.2 滩坝沉积机制与沉积模式

对比分析认为,板桥凹陷沙二段各地区滩坝沉 积特征有明显的不同,存在两种不同的形成机制与 沉积模式。结合主控因素的分析,建立了以同沉积 断层为主导,物源、水动力为辅的滩坝分类方案,将 板桥凹陷发育的滩坝分为断层下降盘原地式连续型 滩坝沉积和断层上升盘错叠式间歇型滩坝沉积。 3.2.1 断层下降盘原地式连续型滩坝沉积

同沉积断层下降盘沉积的滩坝砂体主要发育在 大张坨断层和板桥断层之间的板中地区,其沉积的 控制因素主要是水动力能量分带性与同沉积断层活 动性。这些控制因素在时间和空间上有机结合、共 同作用,形成了断层下降盘(板中地区)滩坝沉积模 式,即原地式连续型滩坝沉积。

在板桥凹陷缓坡地区,不同水动力带对沉积物 的影响有所差异,形成不同的滩坝聚集发育区<sup>[12]</sup>, 如破浪带能量高,是坝砂的主要沉积区。大张坨断 层其断面在沉积时期始终是相对陡坎部位,陡坎会 促使波浪能量带急剧变化,使原本平面上延展距离 较长的能量带压缩。波浪传播至陡坎处时,迅速形 成破浪甚至碎浪并大量卸载其所携带的沉积物。随 着同沉积断层的断裂,断层下降盘附近滩坝砂体厚 度不断累加,在一定程度上抵消了因断层活动而导 致的水体加深,使大张坨断层下降盘附近可以长时 间接受波浪的改造,并产生持续的高能环境,逐渐形 成厚度较大的滩坝沉积(图4(a))。

沙二段沉积时期,大张坨断层总体上活动较为 缓慢,平均断层生长指数为1.07,然而其断裂具有 明显的分段性和分期性<sup>[17]</sup>,如板14-20井区(井位 见图1(b)),层序 I和层序 II初期断层活动则相对 强烈,生长指数达到约1.75。由于同沉积断层的活 动性,其下降盘短期基准面的变化不仅受湖平面的 影响,还受到断层活动速率的控制。在同沉积断层 的调控下,形成更多的上升半旋回,增加了有利于滩 坝沉积的时间<sup>[19]</sup>,从而在层序 I和层序 II 的底部促 使滩坝连续沉积(图4(b))。



(b) 断层下降盘滩坝沉积剖面



throw side beach-bar deposition in Banqiao Sag

3.2.2 断层上升盘错叠式间歇型滩坝沉积

板南地区"挟持"于大张坨断层和白水头断层 之间,构造上为一孤立地垒,具有浅水"台地"形态。 板南地区滩坝砂体受物源、古气候和基准面旋回的 控制,形成错叠式间歇型滩坝沉积模式。

凹陷南东方向的北大港凸起自沙三段沉积时期 就已经出露地表<sup>[20]</sup>,其被剥蚀的产物向北以辫状河 三角洲沉积的形式进入板桥凹陷,是板南滩坝沉积 的主要物源。随着两侧同沉积断层的发育,同是断 层上升盘的板南地区始终处于构造较为稳定且平缓 的状态。由于长时间处于浅水环境,并且靠近湖盆 边缘的北大港潜山物源区,持续的波浪作用不断地 筛选淘洗三角洲带来的沉积物,较粗的砾质组分在 近岸处就地磨圆分选,细粒的砂岩被再次搬运,形成 滩坝沉积,这也是板南南部地区滩坝砂体含有石英 细砾的原因。湖平面的升降变化造成波浪能量带侧 向迁移,再加上强弱不同的间歇型波浪作用,各期沉 积的滩坝砂体在垂向上相互错叠(图5)。



图 5 板桥凹陷断层上升盘错叠式间歇型滩坝沉积连井剖面

Fig. 5 Profile of staggered and intermittent type of up-throw side beach-bar deposition in Banqiao Sag

## 4 同沉积断层主控的滩坝砂体演化特 征与分布规律

#### 4.1 垂向演化特征

#### 4.1.1 沉积相序对比

板中地区滩坝砂体较厚,电测曲线异常幅度大, 曲线底部有时呈突变,向上一般由粗粒到细砂岩、粉 砂岩等渐变为湖相泥岩。受同沉积断层的控制,在 垂向上通常反映出多期滩坝连续叠加形成数十米 厚、齿状幅度有明显差异的复合坝砂体的沉积特点 (图 6(a))。板南滩坝砂体以反旋回居多,电测曲 线顶部常与泥岩突变接触,底部多渐变为漏斗形,坝 中心微相同样表现出厚度大的箱形曲线,齿状幅度 差异大,并以微齿居多,反映了水流持续反复冲刷的 沉积特点(图 6(b))。

#### 4.1.2 垂向演化特征

在基准面变化的拐点附近,湖平面在一定时间 内相对稳定,湖浪作用充分,容易形成滩坝沉积<sup>[21]</sup>。 板中和板南地区的滩坝砂体主要沉积于中期旋回的 基准面上升初期,如层序Ⅰ、层序Ⅱ和层序Ⅲ的底



部。处于旋回开始的层序 I 时期,大张坨断层活动 性于沙二段沉积期最为强烈,断层生长指数平均约 1.22,板中滩坝以坝砂为主,砂体厚度大,连通性好; 板南滩坝砂体同样发育,储层分布面积广。层序 Ⅱ 时期,断层活动性有所减弱,板中地区坝砂的个数有 所增加,但规模和储层分布范围逐渐变小。层序 Ⅲ 处于该旋回末期,断层活动性最弱,断层平均生长指 数仅为1.02,整个板桥地区滩坝沉积较少,坝砂体 在局部形成孤立土豆状。

#### 4.2 平面分布规律

板中地区整个沙二段滩坝砂体分布面积较广, 约30 km<sup>2</sup>,主要"依附"于断块南部大张坨断层下降 盘分布。坝砂多呈椭圆状或长条状排列,其长轴方 向与大张坨断层平行。断层下降盘附近的断层活动 速率控制着厚层滩坝砂体的局部有利发育部位。如 板 14-20 井附近,大张坨断层活动性相对其他地区 最强,是断层下降盘滩坝砂体沉积的最主要区域。

板南地区因长期处于浅水环境,滩坝砂体主要 受物源和湖浪作用的影响呈"条带状"展布。由于 大张坨断层的遮挡,板南地区的滩坝大多受控于碎 浪带沉积,砂体粒度较细。缓坡的古地貌形态使波 浪能量损耗的距离延展较大,因此在板南地区形成 极为广泛的滩坝沉积条带,带宽平均约600 m,多个 坝砂在其中呈不规则椭圆形(长轴多为 NNE 向)于 湖盆边缘平行展布(图7)。



Fig. 7 Distribution pattern of beach-bar sandbodies in Banqiao Sag

## 5 结论

(1)板桥凹陷沙二段发育有典型的厚层湖泊滩 坝砂体,凹陷内部发育的多条同沉积断层从根本上 控制了滩坝砂体的发育部位和规模,是滩坝沉积最 主要的控制因素。

(2)板中和板南地区的滩坝砂体在沉积特征上 具有明显的差异,前者砂质组分含量多,粒度及沉积 构造均体现出较强的水动力作用;后者成分成熟度 较高,反映了波浪对物源更为充分的冲刷改造和簸 选作用。

(3)板桥凹陷滩坝砂体具有断层下降盘原地式 连续型滩坝沉积和断层上升盘错叠式间歇型滩坝沉 积两种沉积模式。前者主控因素是水动力能量分带 性和同沉积断层活动性,后者主要受控于物源和古 地貌形态。

(4) 同沉积断层下降盘发育的滩坝沉积更多体

现出正旋回特征,平面上主要"依附"于断阶带处分 布;断层上升盘滩坝砂体以反旋回居多,受物源和湖 浪作用的影响呈"条带状"平行于湖盆边缘展布。

#### 参考文献:

[1] 朱筱敏,信荃麟,张晋仁,等. 断陷湖盆滩坝储集体沉积特征及沉积模式[J]. 沉积学报,1994,12(2):20-28.

ZHU Xiaomin, XIN Quanlin, ZHANG Jinren, et al. Sedimentary characteristics and models of the beach bar reservoirs in faulted down lacustrine basins [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(2):20-28.

- [2] CHRISTOPHER H, BRIAN G. Hydrodynamics and sediment transport within the inner surf zone of a lacustrine multiple-barred nearshore [J]. Marine Geology, 2005, 218:37-63.
- [3] COOPER J A G, SMITH A M, GREEN A N. Backbeach deflation aprons: morphology and sedimentology [J]. Journal of Sedimentary Research, 2013, 83(5):395-405.
- [4] 纪友亮,卢欢,刘玉瑞.苏北盆地高邮凹陷古近系阜宁 组一段浅水三角洲和滩坝沉积模式[J].古地理学报, 2013,15(5):729-740.
  JI Youliang, LU Huan, LIU Yurui. Sedimentary model of shallow water delta and beach bar in the Member 1 of Paleogene Funing Formation in Gaoyou Sag, Subei Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2013, 15(5):729-740.
- [5] BORER J M. High-resolution stratigraphy of the Green River Formation at Raven Ridge and Red Wash Field, NE Uinta Basin; facies and stratigraphic patterns in a highgradient high-energy lacustrine system [J]. AAPG Annual Convention, 2003(4);1197-1214.
- [6] 司学强,张金亮,杨子成. 博兴挂陷沙四上亚段滩坝砂 岩成岩作用及其与储层质量的关系[J]. 中国石油大 学学报:自然科学版,2008,32(2):6-11.
  SI Xueqiang, ZHANG Jinliang, YANG Zicheng. Relation between beach bar sandstones diagenesis and reservoir quality in the upper Es<sub>4</sub> of the Palaeogene in Boxing Sag [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science),2008,32(2):6-11.
- [7] 谭丽娟,郭松.东营凹陷博兴油田沙四上亚段滩坝砂岩油气富集特征及成藏主控因素[J].中国石油大学学报:自然科学版,2011,35(2):25-31.
  TAN Lijuan, GUO Song. Hydrocarbon accumulation features and main controlling factors of beach bar sandstone in upper Es<sub>4</sub> Formation in Boxing Oilfield, Dongying Depression [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science),2011,35(2):25-31.
- [8] 王永诗,刘惠民,高永进,等.断陷湖盆滩坝砂体成因与成藏:以东营凹陷沙四上亚段为例[J].地学前缘, 2012,19(1):100-106.

WANG Yongshi, LIU Huimin, GAO Yongjin, et al.

Sandbody genesis and hydrocarbon accumulation mechanism of beach-bar reservoir in faulted lacustrine basins: a case study from the upper of the fourth member of Shahejie Formation, Dongying Sag [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1):100-106.

[9] 郭建卿,林承焰.频谱分析及地质模型反演新方法在 滩坝砂沉积特征及发育模式研究中的应用[J].中国 石油大学学报:自然科学版,2013,37(3):37-43.

GUO Jianqing, LIN Chengyan. Application of new method of spectrum decomposition and seismic inversion in research of beach-bar sand sedimentary characteristics and development model [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2013, 37(3):37-43.

[10] 邓宏文,高晓鹏,赵宁,等.济阳坳陷北部断陷湖盆陆 源碎屑滩坝成因类型、分布规律与成藏特征[J].古 地理学报,2010,12(6):738-747.

> DENG Hongwen, GAO Xiaopeng, ZHAO Ning, et al. Genetic types, distribution patterns and hydrocarbon accumulation in terrigenous beach and bar in northern faulted-lacustrine-basin of Jiyang Depression [J]. Journal of Palaeogeography,2010,12(6):738-747.

- [11] 周丽清,邵德艳,房世瑜,等.板桥凹陷沙河街组滩坝 砂体[J].石油与天然气地质,1998,9(4):351-355.
  ZHOU Liqing, SHAO Deyan, FANG Shiyu, et al. Beach and bars sandbodies of Shahejie Formation in Banqiao Depression [J]. Oil & Gas Geology,1998,19 (4):351-355.
- [12] 杨勇强,邱隆伟,姜在兴,等. 陆相断陷湖盆滩坝沉积 模式:以东营凹陷古近系沙四上亚段为例[J]. 石油 学报,2011,32(3):417-423.

YANG Yongqiang, QIU Longwei, JIANG Zaixing, et al. A depositional pattern of beach-bar in continental rift lake basins: a case study on the upper part of the fourth member of Shahejie Formation in the Dongying Sag [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(3):417-423.

[13] 操应长,王健,刘惠民,等.东营凹陷南坡沙四上亚段 滩坝砂体的沉积特征及模式[J].中国石油大学学 报;自然科学版,2009,23(6);5-10.

> CAO Yingchang, WANG Jian, LIU Huimin, et al. Sedimentary characteristics and models of beach-bar sandbody in the upper part of the fourth member of Paleogene in the south slope of Dongying Depression [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2009, 23(6):5-10.

[14] 商晓飞,侯加根,程远忠,等. 厚层湖泊滩坝砂体成因 机制探讨及地质意义:以板桥凹陷沙二段为例[J]. 地质学报,2014,88(9):1705-1718.

> SHANG Xiaofei, HOU Jiagen, CHENG Yuanzhong, et al. The formation mechanism of the thick layer lacustrine beach-bar and its geological implications: a case

study of the member 2 of Shahejie Formation in Banqiao Sag [J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(9): 1705-1718.

- [15] 商晓飞,侯加根,刘钰铭,等. 黄骅坳陷板桥地区湖相 滩坝砂体内部隔(夹)层成因机制与分布样式[J]. 古地理学报,2014,16(5):581-596.
  SHANG Xiaofei, HOU Jiagen, LIU Yuming, et al. Genetic mechanism and distribution patterns of inter(inner)-layers in lacustrine beach-bar sand bodies in Banqiao area, Huanghua Depression [J]. Journal of Palaeo-geography,2014,16(5):581-596.
- [16] 侯宇光,何生,王冰洁,等.板桥凹陷构造坡折带对层 序和沉积体系的控制[J].石油学报,2010,31(5): 754-760.

HOU Yuguang, HE Sheng, WANG Bingjie, et al. Constraints by tectonic slope-break zones on sequences and depositional systems in the Banqiao Sag [J]. Acta Petrolei Sinica,2010,31(5):754-760.

- [17] 宋璠,苏妮娜,侯加根,等. 黄骅坳陷板桥油田板桥油 层沉积特征及演化[J]. 石油与天然气地质,2012,33 (6):915-922.
  SONG Fan, SU Nina, HOU Jiagen, et al. Sedimentary characteristics and evolution of the Banqiao reservoir in Banqiao Oilfield,Huanghua Depression [J]. Oil & Gas Geology,2012,33(6):915-922.
- [18] 刘东生,郑绵平,郭正堂.亚洲季风系统的起源和发展及其与两极冰盖和区域构造运动的时代耦合性
  [J].第四季研究,1998,18(3):194-204.
  LIU Dongsheng, ZHENG Mianping, GUO Zhengtang.
  Initiation and evolution of the Asian Monsoon system timely coupled with ice-sheet growth and tectonic movements in Asia [J]. Quatemary Sciences,1998,18(3): 194-204.
- [19] CHARVIN K, HANPSON G J, GALLAGHER K L, et al. Characterization of controls on high-resolution stratigraphic architecture in wave-dominated shoreface-shelf parasequences using inverse numerical modeling [J]. Journal of Sedimentary Research, 2011, 81(5):562-578.
- [20] 石万忠, 王振升, 宋志峰, 等. 北大港潜山在沙三段沉积期的隆升状态及其对沉积物源的供给[J]. 大地构造与成矿学, 2010, 34(4):512-519.
  SHI Wanzhong, WANG Zhensheng, SONG Zhifeng, et al. Uplift and erosion of the Beidagang buried-hill dring the deposition of the third member of Shahejie Formation [J]. Geotectonica & Metallogenia, 2010, 34(4):512-519.
- [21] HOY R G, RIDGWAY K D. Sedimentology and sequence stratigraphy of fan-delta and river-delta depositional systems, Pennsylvanian Minturn Formation, Colorado [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(7):1169-1191.

(编辑 徐会永)