

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<sup>1</sup>, 侯加根<sup>1</sup>, 董越<sup>1</sup>, 李燕<sup>2</sup>, 唐力<sup>1</sup>, 邓孝亮<sup>1</sup>, 马克<sup>1</sup>, 程远忠<sup>3</sup>

(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10 m,累积厚度可接近100 m,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>

(1. Faculty of Geosciences in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;  
2. 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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:houljg63@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、潮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>[2-4]</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>[6-9]</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拗陷中北部,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)。

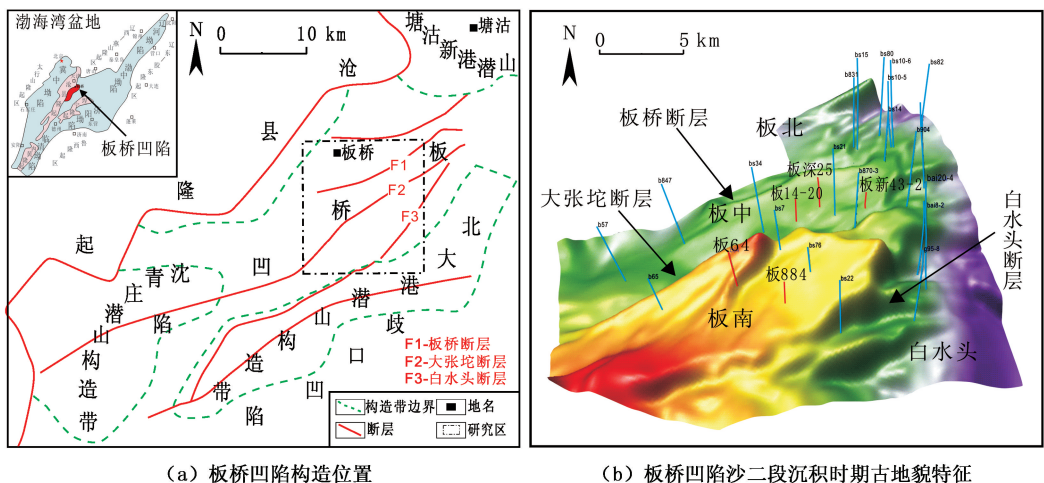


图 1 板桥凹陷构造特征

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 220 km<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,使凹陷呈现凸、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)。

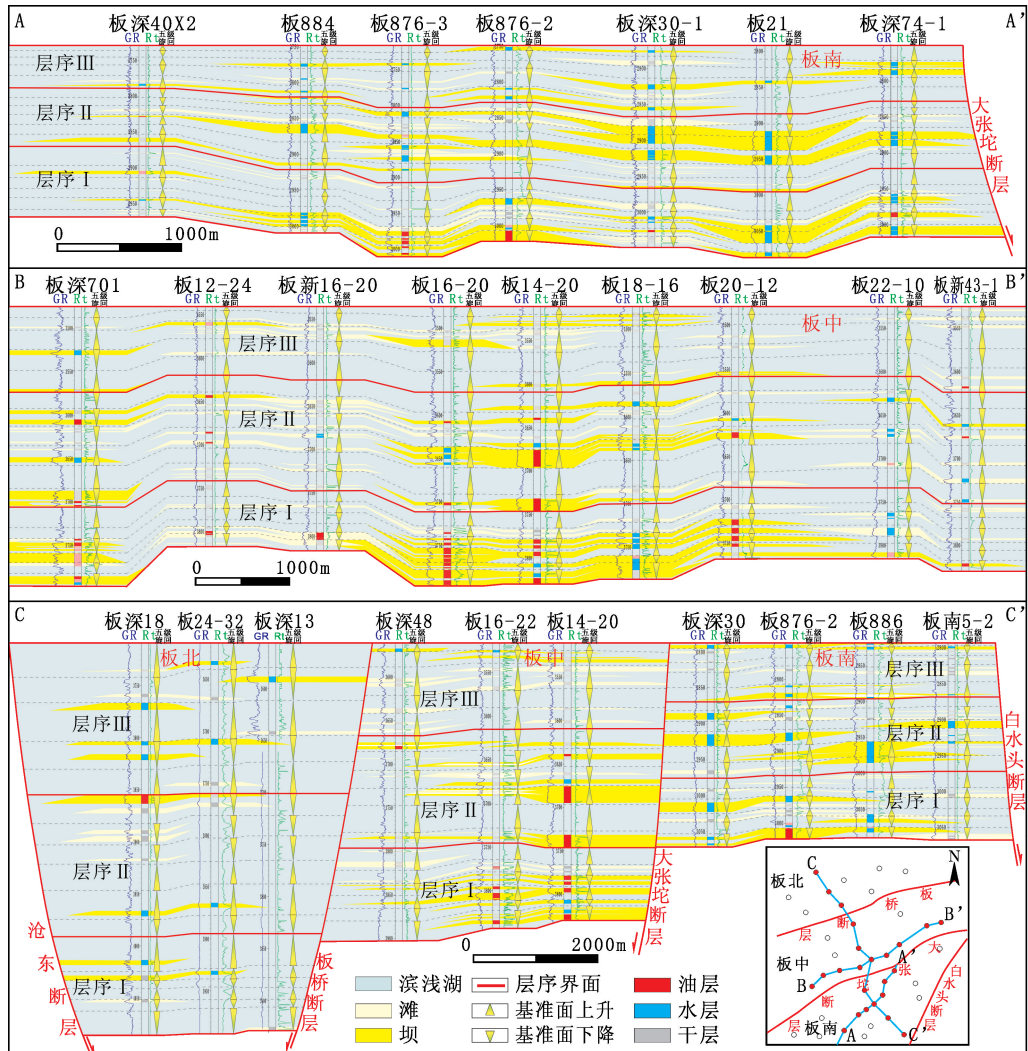


图2 板桥凹陷沙二段滩坝沉积剖面

Fig. 2 Sedimentary sections of beach-bar deposition in Banqiao Sag

### 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、波状层理	最强	$\frac{3.50 \sim 21.04}{10.54}$	齿化箱形
	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	$\frac{2.37 \sim 9.77}{8.09}$	多为齿化漏斗形
滩砂		粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩	具过渡带的两段式	波状层理、生物钻孔、冲洗交错层理	中等-强	$\frac{0.82 \sim 4.88}{2.47}$	高幅“尖刀状”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 $2.7\Phi \sim 3.2\Phi$ ,砂体相对较厚的区域有

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 $2.5\Phi \sim 5\Phi$ ,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

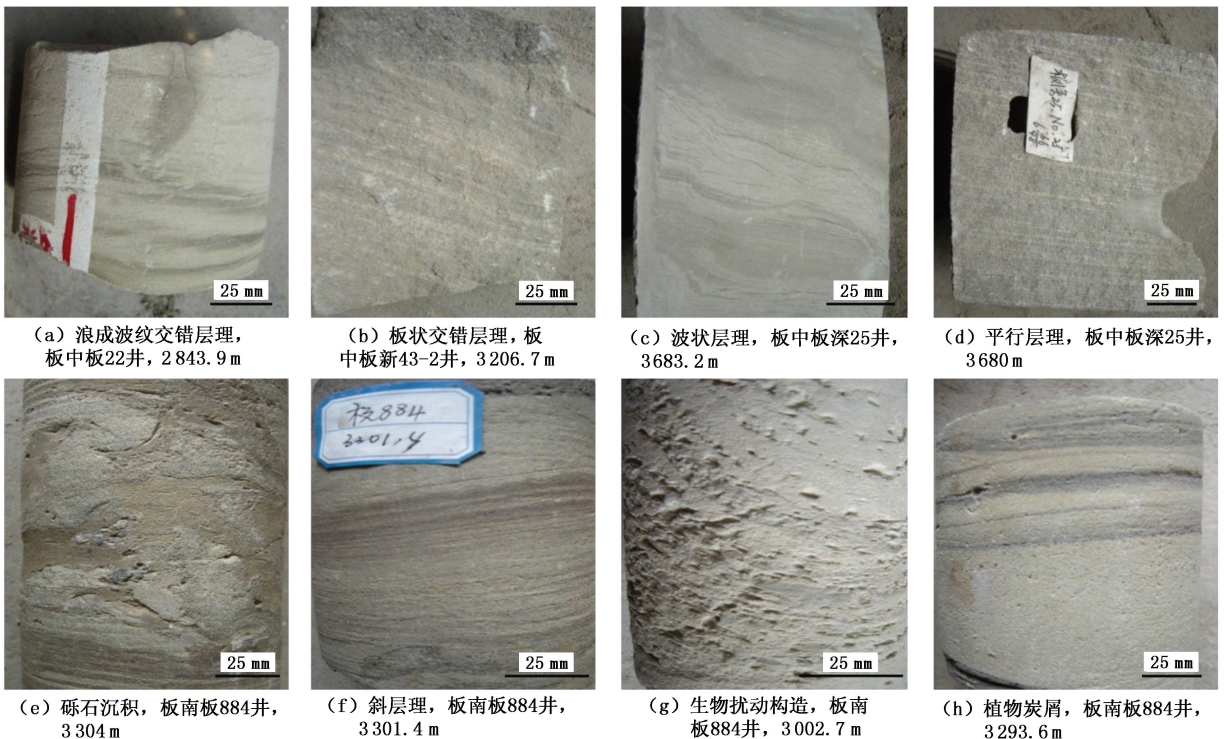


图3 板桥凹陷沙二段滩坝沉积构造特征

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流交错层理和斜层理(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))。

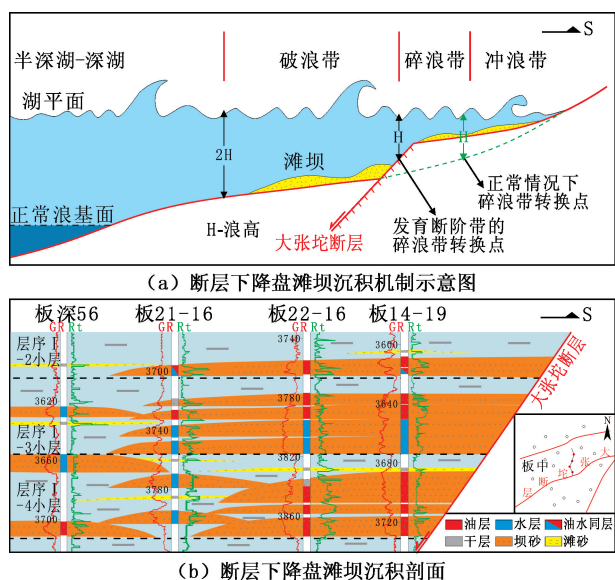


图4 板桥凹陷断层下降盘原地式连续型滩坝沉积模式  
Fig. 4 Autochthonous and continuous type of down-throw side beach-bar deposition in Banqiao Sag

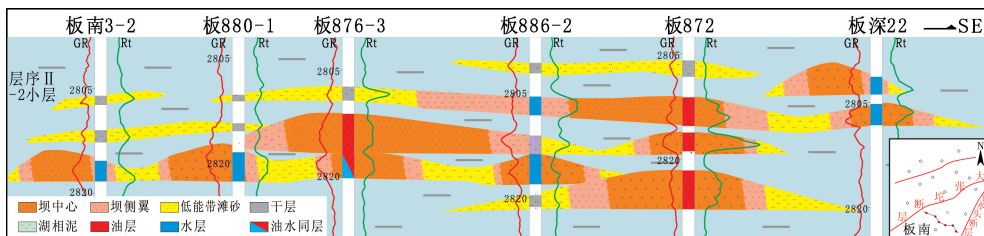


图5 板桥凹陷断层上升盘错叠式间歇型滩坝沉积连井剖面  
Fig. 5 Profile of staggered and intermittent type of up-throw side beach-bar deposition in Banqiao Sag

## 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

### 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)。

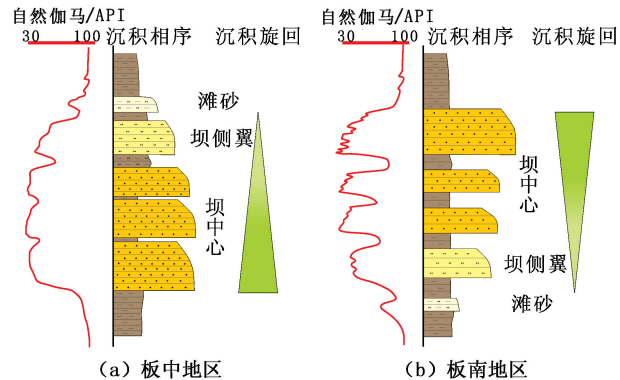


图6 板桥凹陷滩坝砂体沉积相序特征  
Fig. 6 Features of beach-bar sandbodies facies sequence in Banqiao Sag

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)。

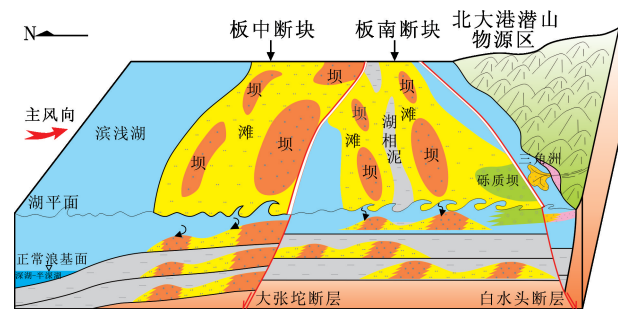


图7 板桥凹陷滩坝分布样式

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,前者砂质组分含量高,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筛选作用。

(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 high-gradient high-energy lacustrine system [J]. AAPG Annual Convention, 2003(4):1197-1214.
- [6] 司学强,张金亮,杨子成. 博兴洼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. 济阳拗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. 黄骅拗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 Palaeogeography*, 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. 黄骅拗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]. *Quaternary 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 during 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.