

文章编号:1673-5005(2009)06-0005-06

东营凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂体的 沉积特征及模式

操应长¹, 王 健¹, 刘惠民², 贾光华², 万念明²

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 中石化 胜利油田分公司, 山东 东营 257000)

摘要: 东营凹陷南坡古近系沙河街组沙四上亚段沉积时期广泛发育滨浅湖滩坝砂体沉积。在钻井岩心描述及其相关测试分析的基础上, 结合录井、测井等资料的综合分析和古地形研究, 系统探讨滨浅湖滩坝砂体的沉积特征和沉积模式。结果表明: 滨浅湖滩坝砂体以细砂岩、粉砂岩为主, 其中石英含量中等, 长石和岩屑含量较高, 粒度概率曲线以发育跳跃和悬浮组分的两段式为主, 沉积构造以浪成交错层理、浪成波痕、生物扰动等为特征, 且沉积相序主要为反序、复合相序; 根据滩坝砂体的沉积特征和空间分布, 可划分出坝亚相和滩亚相, 其中坝亚相又可划分出坝主体、坝侧缘微相, 滩亚相又可划分出滩脊、滩席微相。

关键词: 滩坝; 沉积特征; 沉积模式; 东营凹陷

中图分类号: TE 121.3

文献标识码: A

Sedimentary characteristics and models of beach-bar sandbodies in the upper part of the fourth member of Paleogene in the south slope of Dongying depression

CAO Ying-chang¹, WANG Jian¹, LIU Hui-min², JIA Guang-hua², WAN Nian-ming²

(1. College of Geo-Resources and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, China;

2. Institute of Geology, Shengli Oilfield Branch Company, SINOPEC, Dongying 257000, China)

Abstract: During the period of the upper part of the fourth member of Shahejie formation(E_4) of Paleogene, the south slope of Dongying depression developed abundant beach-bar sandbodies. Based on the description and its associated test and analysis of the cores combined with the analysis of logging data and paleotopography, the sedimentary characteristics and models of beach-bar sandbodies in shore-shallow lacustrine were systematically summarized. The lithology of beach-bar sandbodies is mainly fine sandstone and siltstone. The quartz content in beach-bar sandstones is middle level, and the feldspar content and the lithic content are relatively high. The grain size probability curves are mainly two-segment of contents bouncing population and suspension population. Sedimentary structures are characterized by wave-cross bedding, wave-generated ripple and bio-turbation, and the sedimentary facies sequences are characterized by reverse grading and composite grading. According to the sedimentary and distribution characteristics, beach-bar sandbodies can be divided into bar subfacies and beach subfacies. And the former includes main body of bar microfacies and margin of bar microfacies, while the latter includes beach ridge microfacies and beach mat microfacies.

Key words: beach-bar; sedimentary characteristics; sedimentary model; Dongying depression

滩坝砂体是发育于陆相湖盆滨浅湖地区非常重要的一种沉积砂体。对于滩坝砂体的沉积特征和沉积模式, 特别是陆相湖盆滩坝学者们已做了大量研究^[1-10]。朱筱敏等^[2]把陆相湖盆中滩坝分为沙质滩

坝和生物碎屑滩坝, 并进一步根据滩坝沉积特征及其分布位置, 将滩坝划分为湖岸线拐弯处滩坝、水下古隆起滩坝、开阔浅湖滩坝和短轴三角洲侧缘滩坝; 陈世悦等^[7,9]总结了惠民凹陷西部古近系沙河街组

收稿日期: 2009-08-25

基金项目: 国家油气重大专项(2008ZX05051-02); 国家自然科学基金项目(40972080); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-06-0604)

作者简介: 操应长(1969-), 男(汉族), 安徽潜山人, 教授, 博士, 博士生导师, 从事沉积学、层序地层学等教学和研究工作。

沙质滩坝和生物碎屑滩坝的沉积特征和沉积模式; Soreghan 等研究了 Tanganyika 陆相湖盆现代滩坝沉积, 认为浅水滩坝在陡坡带的宽度仅数十米至数百米, 而缓坡带宽度稍宽。虽然有的学者已提出将滩坝划分出坝主体和坝侧缘等亚相^[7,9], 但未能解决坝和滩的关系、坝和滩的微相类型及其空间分布等。实际上, 滩坝的沉积模式是受多种因素控制的, 滩和坝也是两种不同沉积体单元, 在陆相湖盆构造演化的不同阶段均存在发育滩坝沉积的条件和背景。笔者以东营凹陷南坡斜坡带沙四上亚段为例, 在岩心观察和描述的基础上, 结合滩坝砂体的空间分布研究, 系统总结断陷湖盆缓坡带滨浅湖滩坝砂体的沉积特征和沉积模式。

1 研究区概况

东营凹陷是在中、古生界基岩古地形背景上经

构造运动发育起来的中、新生代断陷-坳陷湖盆^[12]。中生代后期至古近纪, 凹陷北部的陈南大断裂活动强烈, 落差大; 南部断层活动较弱, 落差小, 形成北陡南缓的箕状断陷湖盆。东营凹陷南斜坡西起利津洼陷西坡(滨东)、东至羊角沟油田, 勘探面积约 2 500 km²。东营凹陷内发育了新生界第三系地层, 自下而上为古近系孔店组、沙河街组和东营组以及新近系馆陶组和明化镇组, 其中沙河街组自上而下又分为沙一段、沙二段、沙三段和沙四段。沙四段沉积时期处于东营断陷湖盆初始裂陷与裂陷伸展的过渡时期, 该时期经过早期的沉积充填, 盆地南部斜坡带形成了相对平缓的占地形背景, 且周缘地区的陆源碎屑物质供给相对充足, 因此在东营凹陷南部斜坡带广泛发育了滨浅湖滩坝砂体沉积(图 1)。

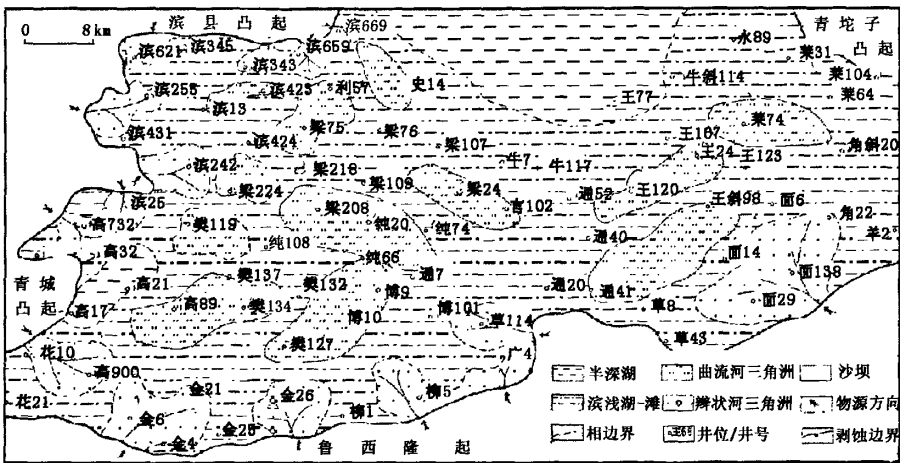


图1 东营凹陷南坡构造位置及沙四上亚段滩坝砂体沉积分布

Fig.1 Tectonic setting of the south slope and distribution of beach-bar sandbodies of the upper submember of the fourth member of Shahejie formation in the western Dongying depression

2 滩坝砂体的沉积特征

2.1 岩石学特征

东营凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂体岩石类型主要为细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩等, 很少见到中粗砂岩, 砾岩几乎没有, 偶见同生冲刷形成的泥砾。对研究区 20 多口井滩坝砂体中细砂岩、粉砂岩的岩石矿物成分统计表明, 石英含量一般为 40%~50%, 长石含量一般为 30%~40%, 岩屑含量一般在 15% 左右, 总体上岩石成分成熟度中等。局部发育有鲕粒、生物碎屑颗粒等(图 2(a)), 其中鲕粒多以表鲕为特点, 核心多为石英、长石, 反映了

波浪、潮流等振荡运动特征。

2.2 碎屑颗粒结构特征

对滩坝砂体钻井取心样品的激光粒度分析表明, 组成滩坝砂体的碎屑颗粒粒度中值一般为 $3\phi \sim 5\phi$, 分选系数一般小于 2, 表明滩坝砂体的碎屑颗粒分选性好。粒度概率图主要为两跳一悬式、一跳一悬式、一跳一悬夹过渡式等类型(图 3), 其中跳跃次总体和悬浮次总体的交切点为 $3.0\phi \sim 5.0\phi$, 跳跃次总体含量一般为 60%~80%, 平均值为 70% 左右, 悬浮次总体含量平均在 30% 左右。总体上, 滚动次总体不发育, 主要发育了跳跃次总体和悬浮次总体。这些碎屑颗粒结构特征表明, 滩坝砂体在发

育形成时经受了相对较强的水动力条件。



图2 滨浅湖滩坝砂体的部分典型沉积构造

fig.2 Some typical sedimentary structures of beach-bar sandbodies in shore-shallow lacustrine

2.3 沉积构造特征

研究区沙四段滩坝砂岩中沉积构造以反映浅水的波浪冲刷、沿岸流对沉积物的改造作用、生物扰动

等为特征:①典型的波浪作用形成的交错层理、波浪,如浪成沙纹交错层理、低角度交错层理、浪成波痕等(图2(b),2(e)),其中浪成沙纹交错层理最为常见,且岩心中沉积纹层倾向具有双向性的特点,反映多向水流的存在,但纹层、层系的规模相对较小;②强水动力条件下形成的沉积构造,如平行层理、剥离线理等(图2(c),2(d));③丰富的生物钻孔、扰动构造,生物钻孔由于沉积水动力能量差异在不同沉积物中形态不同,粗碎屑沉积物沉积时水动力能量强,多以垂直或倾斜为主(图2(d)),细粒沉积物或浅湖泥岩沉积时能量相对弱,多以水平或倾斜为主(图2(f))。当生物活动强烈时,沉积物多呈斑块状,甚至表现为块状,由于生物强烈扰动,破坏了沉积物中以前的沉积构造,而表现为均一化的特征。

2.4 剖面沉积相序特征

一个完整的滩坝沉积相序代表了滩坝沉积作用或事件从开始到结束的演化旋回,这个旋回一般对应于一个滩坝沉积的准层序,其顶、底界面均对应于湖泛面。东营凹陷沙四上亚段滩坝砂体沉积区的湖泛面主要对应于岩相转换界面,如含油细砂岩或碳酸盐岩与灰色泥岩、红色泥岩与灰绿色泥岩、灰色泥岩与正序砂岩等转换界面。通过分析相邻湖泛面间滩坝沉积准层序单元的粒序结构特征,单一准层序基本上反映了沉积水深逐渐变浅的演化过程,其顶、底界面均为水深突然增加的转换界面(图4)。滩坝砂体在垂向上大多表现为向上变粗的反序或细-粗-细的复合粒序,但复合粒序的上部向上变细部分的底部不存在明显的底冲刷,其内部砂层更多表现为反序结构(图4(a))。

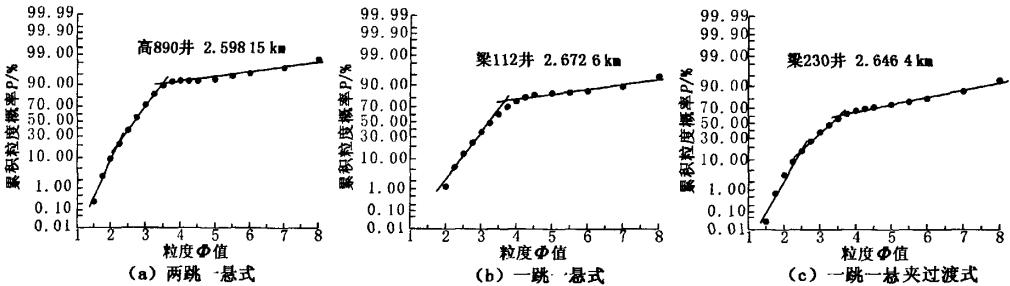


图3 东营凹陷南坡沙四段滩坝砂体的粒度概率的主要类型

Fig.3 Main types of grain size probability curves of beach-bar sandbodies of the fourth member of Shahejie formation in the south slope of Dongying depression

自然电位曲线为中高幅漏斗形、箱形组合。

(2) 滩席微相。滩席是沙滩亚相的主体,沉积砂体粒度细,一般为泥质粉砂岩、粉砂岩,单砂体厚度薄,一般小于3 m,泥岩夹层发育,其中可发育生物介壳和碳质页岩。测井曲线上多表现为指状。

3.3 滨浅湖滩和坝的平面组合模式

滩和坝是发育于滨浅湖地区两种不同形态特征、结构特征的沉积单元,由于滨浅湖地区的地貌特征、水动力条件等因素差异,导致了滨浅湖地区滩和坝两种沉积作用在空间上存在3种组合关系。

(1) 滩和坝共生的沉积。滩和坝沉积同时发育,沙滩亚相由于沙坝沉积发育而分布于沙坝两侧,因此由岸至湖盆中心的方向依次可划分出坝、外缘滩和内缘滩3个沉积单元,即沙滩亚相分为外缘滩和内缘滩(图5,6(a))。由于湖泊沉积作用中常伴随有风暴的沉积作用,因此在滩坝沉积作用中也可见到风暴沉积作用,特别在坝砂沉积比较发育时,坝后的内缘滩上易保存下风暴沉积。

(2) 有滩无坝的沉积。在滨浅湖地区主要发育了呈席状分布的沙滩沉积,砂体厚度薄,且与薄层泥岩频繁互层,砂体垂向粒序结构不明显,厚层时可出现反序结构。根据滨浅湖地区沉积作用特征,可划分为近缘滩和远缘滩(图6(b))。近缘滩分布于枯水面之上广阔的滨湖地区所发育的沙滩沉积区,受湖水进

退的影响明显,有时可见湿地沼泽沉积,或发育泥裂、雨痕等暴露成因构造。远缘滩分布于枯水面至正常浪基面之间的广阔的、位于水下的浅湖地带,岩性主要由浅灰、灰绿色泥岩与砂岩组成,并常见鲕粒灰岩和生物碎屑灰岩。

(3) 有坝无滩的沉积。在滨浅湖地区主要发育了呈孤立、长条状分布的沙坝砂体,有的类似于海洋环境中障壁岛沉积,岩性剖面为厚层砂岩与厚层泥岩的互层,沙坝的两侧多为泥岩沉积,该泥岩可为深水泥岩,也可为浅水泥岩。此类沙坝主要形成于湖盆岸线发生转折(图6(c))、河流三角洲沉积体侧缘地区(图6(d))。由于湖岸线的拐弯变化,造成湖浪和沿岸流能量消耗,使所搬运的碎屑物质沉积下来,形成平行岸线伸展的长条状湖岸沙嘴,并逐步发展为条带状沙坝。这种类型沙坝沉积主要表现为复合相序(细—粗—细)和反序结构,复合相序结构的上部可出现植物根迹等。在湖盆斜坡带或长轴常发育建设性河流三角洲沉积,三角洲快速推进而形成了向湖中心延伸朵叶,但受湖盆扩张、河流改道、气候变化等地质因素影响,河流作用逐渐减弱,相反湖盆波浪和沿岸流作用逐渐增强,这时候三角洲沉积体向湖盆中推进速度也大大减弱,甚至停止,此时在波浪和沿岸流特别是沿岸流的作用下,三角洲前缘沉积砂体发生侧向搬运,顺着三角洲侧缘形成条带状沙坝。

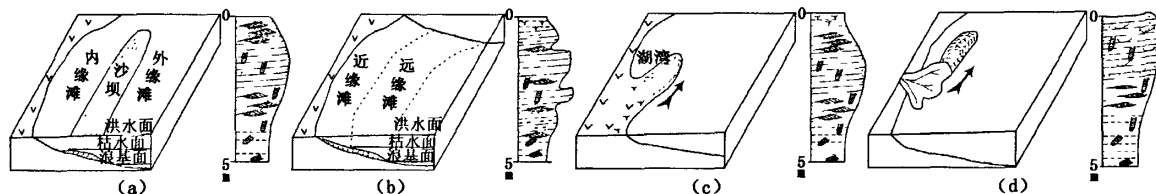


图6 断陷湖盆中滩沙和坝沙的沉积组合类型(据朱筱敏修改,1994)

Fig. 6 Sedimentary composite types of beach and bar in faulted down lacustrine

发育坝3种沉积组合类型。

4 结论

(1) 滨浅湖滩坝砂体的沉积物粒度细,一般为细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩等,成分成熟度中等,岩石分选较好,粒度概率曲线多为两段式,滚动组分不发育,沉积构造以波浪成因的层理、波痕、丰富的生物扰动为特征,沉积相序一般为反序和复合相序。

(2) 滨浅湖滩坝根据沉积砂体的产状、形态等,可以划分为坝和滩亚相,坝主体、坝侧缘、滩脊、滩席等沉积微相,根据坝砂和滩砂的平面组合,可以划分出滩和坝共生、仅发育坝而不发育滩和仅发育滩而不

参考文献:

- [1] 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,2008,32(2):6-11.
SI Xue-qiang, ZHANG Jin-liang, YANG Zi-cheng. Relation between beach bar sandstones diagenesis and reservoir quality in the upper Es of the Palaeogene in Boxing sag [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(2): 6-11.
- [2] 朱筱敏,信苓麟,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 Xiao-min, XIN Quan-lin, ZHANG Jin-ren. Sedimentary characteristics and models of the beach-bar reservoirs in faulted down lacustrine basins[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12(2): 20-28
- [3] ZHANG Jin-liang, WANG Bao-qing. Beach and bar deposits of the Palaeogene Dongying formation in the Henan Oilfield[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1995, 4(4): 497-504.
- [4] 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, 19(4): 351-355.
ZHOU Li-qing, SHAO De-yan, FANG Shi-yu, et al. Beach and bar sandbodies of Shahejie formation in Banqiao depression[J]. *Oil & Gas Geology*, 1998, 19(4): 351-355.
- [5] 邹金华, 张哲, 王柏轩. 东营凹陷沙一段滩坝-泻湖沉积体系和层序发育的控制特点[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1998, 23(1): 21-25.
WU Jin-hua, ZHANG Zhe, WANG Bo-xuan. Barrier-lagoon sedimentary system and sequence development control of Shahejie formation member 1 of Dongying sag[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23(1): 21-25.
- [6] WANG Ping, Jr DAVIS Richard A. A beach profile model for a barred coast; case study from sand key, west-central Florida[J]. *Journal of Coastal Research*, 1998, 14(3): 981-991.
- [7] 陈世悦, 杨剑萍, 操应长. 惠民凹陷西部下第三系沙河街组两种滩坝沉积特征[J]. *煤田地质与勘探*, 2000, 28(3): 1-3.
CHEN Shi-yue, YANG Jian-ping, CAO Ying-chang. Sedimentary characteristics of two kinds of beach-bars of Oligocene Shahejie formation in the Western Huimin depression[J]. *China Coal Geology & Exploration*, 2000, 28(3): 1-3.
- [8] 李秀华, 肖焕钦, 王宁. 东营凹陷博兴洼陷沙四段上亚段储集层特征及油气富集规律[J]. *油气地质与采收率*, 2001, 8(3): 21-24.
LI Xiu-hua, XIAO Huan-qin, WANG Ning. Reservoir characteristics and hydrocarbon enrichment rules in upper Es₄ of Boxing subsag in Dongying sag[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2001, 8(3): 21-24.
- [9] JIANG Zai-xing, CAO Ying-chang, YANG Jian-ping. Sedimentology characters and models of the upper Sha-III member of the Oligocene Shahejie formation in the central uplift zone, Huimin depression, China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1999, 8(2): 169-176.
- [10] JOHNSTON John W. Sedimentology and depositional history of two barrier beach complexes along Lake Huron, Ontario[J]. *Abstracts with Programs-Geological Society of America*, 1999, 31(7): 50.
- [11] 刘伟, 吕优良, 徐徽, 等. 东营凹陷南斜坡东段沙四上亚段沉积相与砂体展布研究[J]. *江汉石油学院学报*, 2004, 26(2): 23-25.
LIU Wei, LÜ You-liang, XU Wei, et al. Sedimentary microfacies and sandbody distribution in the upper members of Es₄ in the south slope of Dongying depression[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 2004, 26(2): 23-25.
- [12] 王艳忠, 操应长, 宋国奇, 等. 东营凹陷古近系深部碎屑岩有效储层物性下限的确定[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2009, 33(4): 16-22.
WANG Yan-zhong, CAO Ying-chang, SONG Guo-qi, et al. Determination of physical property reservoirs of Paleogene lower limit of deep elastic effective in Dongying depression[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2009, 33(4): 16-22.

(编辑 徐会永)

(上接第4页)

- [9] 杨剑萍, 赵卫卫, 姜在兴. 沾化凹陷孤北油田古近系沙三段扇三角洲沉积特征及油气储层意义[J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(2): 157-161.
YANG Jian-ping, ZHAO Wei-wei, JIANG Zai-xing. Sedimentary characteristics and reservoir significance of Eocene Es₃ fan delta in Gubei Oilfield, Zhanhua depression[J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(2): 157-161.
- [10] 史文东, 赵卫卫. 沾化凹陷孤北洼陷下第三系沙三段扇三角洲沉积体系及其与油气聚集的关系[J]. *石油大学学报: 自然科学版*, 2003, 27(2): 15-18.
SHI Wen-dong, ZHAO Wei-wei. Sedimentary characteristics of fan-deltaic depositional system in third member of Shahejie formation in Gubei Oilfield[J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2003, 27(2): 15-18.
- [11] PRABIR Dasgupta. Architecture and facies pattern of a sublacustrine fan, Jharia Basin, India[J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 148(3/4): 373-387.

(编辑 徐会永)