

箕状断陷湖盆缓坡带储集砂体特征、演化及控制因素

——以胜利油区东营凹陷南缓坡带沙河街组为例

田景春¹⁾ 陈学华¹⁾ 侯明才¹⁾ 夏青松¹⁾ 张翔¹⁾

郑和荣²⁾ 肖焕钦³⁾ 邱桂强³⁾ 王居峰³⁾

1) 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都理工大学沉积地质研究所, 四川 成都 610059; 2) 中国石油
化工集团公司勘探开发研究院, 北京, 100083; 3) 中石化胜利油田地质科学研究院, 山东 东营 250074

摘 要 胜利油区东营箕状断陷湖盆南部缓坡带沙河街组主要沉积学特征及地球物理特征为①冲积扇: 由含砾砂岩、细粒不等粒(类)砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩组成, 在测井曲线扇根为高幅齿化的箱形和钟形, 扇中为中幅的分散齿形或钟形特征, 斜交前积结构, 扇端为低幅分散的齿形特征, 为亚平行反射同相轴, 地震相特征扇根内部反射是一杂乱-短波形; ②河流相砂体: 由多种粒级的砂岩、砂质砾岩、粉砂岩和灰色及紫红色泥岩等组成, 测井曲线下部旋回表现为箱形-钟形特征, 上部旋回为平行于泥岩基线夹指形曲线为特征, 在地震反射上常表现为槽形充填特征, 内部为短波状-杂乱状反射或为中振中连亚平行反射; ③三角洲砂体: 由含砾砂岩、砂岩、粉砂岩及泥质粉砂岩、泥岩、碳质页岩组成, 测井曲线上三角洲平原亚相表现为高幅钟形(底部呈突变接触), 三角洲前缘在自然电位曲线上表现为漏斗型负异常, 视电阻率曲线上为低幅锯齿状, 前三角洲亚相为光滑的平直曲线夹小段的微齿状曲线; ④滨浅湖砂坝砂体: 由灰绿色粉砂岩、细砂岩及少量含砾砂岩组成, 测井曲线上表现为倒钟形和钟形的组合或指形或圆滑箱形、或锯齿状, 在地震反射上就表现为亚平行、中振幅、中连续、中频、中丰度, 平坦的或局部有波状起伏的席状反射结构; ⑤缓坡远岸浊积砂体: 由含砾砂岩、砂岩、粉砂岩、泥岩组成, 在自然电位曲线上表现为由箱形→冲刷→指形→锯齿状, 在地震剖面上, 浊积砂体显示上形反射或前积式充填反射。讨论了各类砂体的时空演化规律及砂体发育的控制因素。

关键词 箕状断陷湖盆 缓坡带 沙河街组 砂体特征

Characteristics, Evolution and Controlling Factors of the Terrigenous Clastic Reservoir Sand Bodies on the Gentle Slope Zone of the Half-Graben Rift Lake Basin ——A Case Study of the Shahejie Formation on the Southern Gentle Slope Zone of the Dongying Depression in the Shengli Oil Field

TIAN Jingchun¹⁾ CHEN Xuehua¹⁾ HOU Mingcai¹⁾ XIA Qingsong¹⁾ ZHANG Xiang¹⁾
ZHENG Herong²⁾ XIAO Huanqin³⁾ QIU Guiqiang³⁾ WANG Jufeng³⁾

1) State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Institute of Sedimentology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, 610059; 2) Institute of Oil Exploration and Development of Sinopec, Beijing, 100083; 3) Institute of Geological Science, Shengli Oil Field, Dongying, Shandong, 257074

Abstract This paper presents a case study of Shahejie Formation on the southern gentle slope zone of Dongying half-graben rift lake basin in the Shengli Oil Field. The sedimentological and geophysical features of Shahejie Formation can be generalized into five types: ① Alluvial fan: It is composed of pebbled sandstone, seriate poststone, siltite and pelitic siltstone. On the well log, the fan root assumes the shape of high amplitude box and bell, the middle fan shows middle amplitude disperse dental or bell form, and the front fan is of low amplitude disperse dental form. On seismic facies, the fan root assumes random short wave. ② Sand body of fluvial facies: It is composed of seriate sandstone, sandy gravel, siltstone and gray or purple mudstone. On the well log, it changes regularly from the lower part cycle to the upper part cycle. The lower part cycle is box-bell-shaped whereas the upper part cycle is a parallel mudstone baseline on seismic reflection. It shows trough filling and internally assumes short wave random reflection or middle amplitude parallel

本文由中国石油天然气集团公司“九五”重点项目“东营凹陷牛庄洼陷沙三段岩性体微地质环境及储层特征研究”资助。

改回日期: 2002-9-10, 责任编辑: 宫月萱。

第一作者: 田景春, 1963年生, 教授, 博士生导师, 从事储层沉积学、岩相古地理研究, E-mail: tjc@cdut.edu.cn。

reflection. ③ Sand body of delta : It is composed of pebbled sandstone , sandstone , siltite , pelitic siltstone , mudstone and carbonaceous shale. On the well log , the delta plain shows high amplitude bell shape , with the bottom being the surface of discontinuity. The delta front assumes funnel-shaped negative anomaly on the spontaneous potential curve. It shows low amplitude zigzag form on the apparent resistivity curve. The prodelta shows smooth flat curve intercalated with short sectors of dental curves. ④ Sand body of beach shallow lake : It is composed of gray-green siltite , poststone and pebbled sandstone. On the well log , it shows such forms as the combination of inverted clock and bell , finger , smooth box or zigzag shapes. On seismic reflection , it assumes subparallel , intermediate abundance , flat and wavy bar reflection configurations. ⑤ Sand body of gentle turbidity : It is composed of pebbled sandstone , sandstone siltite and mudstone. On the spontaneous potential curve , it shows box-washing-fingerlike-zigzag form. On the seismic profile , it assumes upper form or foreset form reflection. On the basis of the above studies , this paper deals with the time-space evolution regularity of various sand bodies and the factors controlling their development.

Key words half graben-like rift lake basin Shahejie Formation reservoir sand body feature

中国是世界上拥有最大、最多陆相油气田的国家,其90%以上油气产储量依赖于陆相地层(袁烽楠等,1997),且陆相含油气盆地中各种成因类型的砂体都已发现可以成为工业性油气藏的储层。本文在前人众多研究成果的基础上(王秉海等,1991;吴崇钧等,1989;杜贤越等,1998;中国石油学会石油地质委员会,1986,1988),以胜利油区东营箕状断陷湖盆南缓坡带沙河街组为例,总结箕状断陷湖盆缓坡带内的陆源碎屑储集砂体的沉积成因类型、特征、演化及其发育的控制因素。

1 缓坡带砂体类型及特征

在陆相含油气盆地中,烃类储集层以碎屑岩占绝对优势,且形成于各种环境内的碎屑岩均可接受油源而成为油气储集体。东营凹陷作为济阳拗陷内的一个次级凹陷系中国东部陆相含油气盆地中一个典型的箕状断陷湖盆(图1),在下第三纪沙河街组沉积演化时期于南部缓坡带形成了各种成因类型的砂体,不同类型的砂体具有不同的沉积学、测井学和地震反射特征。

1.1 冲积扇砂体

冲积扇是在湖盆发育初期,由于古地形相对高



图1 研究区区域位置图

Fig.1 Regional location map of research area
1-断层 2-下第三系超覆线 3-下第三系尖灭线 4-研究区

1-fault 2-overlap line of Low Tertiary ;
3-nip line of Low Tertiary 4-research area

差大,坡降较大,气候干燥炎热,湖盆边缘季节性洪水搬运和堆积的一套粗碎屑岩。东营凹陷在孔店末期盆地普遍抬升,从而在沙四段沉积期在湖盆边缘形成了冲积扇沉积砂体,此时沿南缓坡具有2个该类型砂体,①在青城凸起东南侧;②广绕凸起北缘,其特征主要表现在以下3个方面。

1.1.1 沉积学 岩性为含砾砂岩,细粒不等粒(类)砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩组成。砾石大小不一,分选磨圆差,一般具块状层理、递变层理并多见冲刷构造。在粒度分布概率图上从扇根到扇端,曲线的斜率由缓→陡→缓,表明悬浮组份由多→少→多。跳跃组份从少→多→少。在C-M图上总体平行于C=M线。

1.1.2 测井相 冲积扇从扇根到扇端在测井曲线上表现为不同的特征,即扇根为高幅齿化的箱形和钟形,反映了泥石流和扇根主河道沉积特征,扇中为中幅的分散齿形或钟形特征,系扇中辫状河道沉积特征,扇端为低幅分散的齿形特征。

1.1.3 地震相 在时深剖面上,沿古流方向表现为不对称的扇形或锥形,扇根内部反射是一杂乱-短波形,扇中为斜交前积结构,扇端为亚平行反射同相轴(图2)。

1.2 河流相砂体

河流相砂体在东营凹陷南缓坡主要发育于沙三段晚期和沙二段时期,以曲流河沉积为主,逐渐向盆地中心推进,沙二段末期河流相分布已相当广泛。

1.2.1 沉积学特征 由多种粒级的砂岩、砂质砾岩、粉砂岩和灰色及紫红色泥岩等组成(图3),砾石成份复杂,随物源岩性变化而变化。砂岩底部发育冲刷面构造,具有泥砾,发育板状层理、槽状层理、平行层理及粒序层理,粒度分布上多为两段式,以跳跃组份为主,斜率为50°~60°。C-M图上以PQ、QR段沉积为主,缺少NO、OP段。泥岩中见有植物根系、树干、树叶等碎片,为堤泛沉积的典型标志。

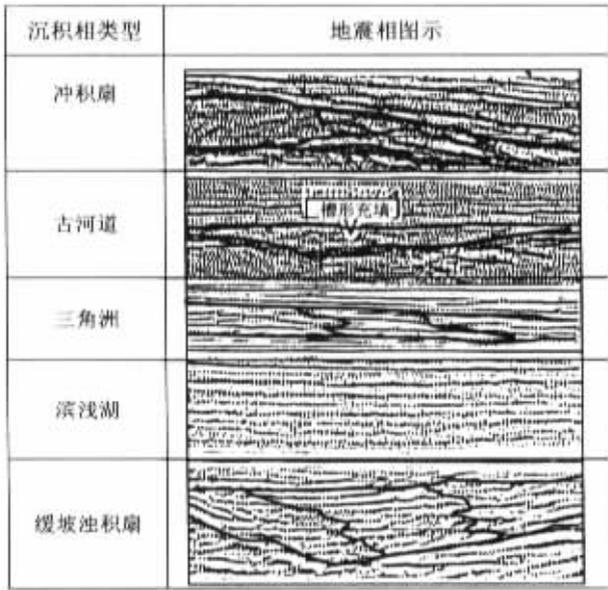


图 2 不同砂体的地震相图示

Fig.2 Seismic facies of different sandbodies

1.2.2 测井相特征 由于曲流河沉积具有典型的“二元结构”,即垂向上正韵律明显(图 3),因而测井曲线从河流下部到河流上部旋回呈有规律的变化,下部旋回表现为箱形-钟形特征,上部旋回为平行于泥岩基线夹指形曲线为特征。

1.2.3 地震相特征 河流相砂体在地震反射上常表现为槽形充填特征,内部为短波状-杂乱状反射或为中振中连亚平行反射。

1.3 三角洲砂体

三角洲砂体是东营凹陷油气储层的主要类型之

一 到目前为止,三角洲砂体内发现油气地质储量 9×10^8 t,占整个东营凹陷的 75%。南缓坡三角洲砂体主要发育于沙三中—沙二段,成因类型包括 2 种类型:①辫状河三角洲砂体,如金家辫状河三角洲、草 104 三角洲等;②曲流河三角洲,是东营复合三角洲的组成部分,南起广饶凸起北侧向北推进与东部的三角洲组成复合体。在南缓坡以曲流河三角洲砂体为主要类型。

1.3.1 沉积学特征 主要由含砾砂岩、砂岩、粉砂岩及泥质粉砂岩、泥岩、碳质页岩组成(图 3)。在沉积构造特征上不同相带特征不同,三角洲平原亚相发育冲刷面和冲刷泥砾,并见有平行层理、板状层理、沙纹层理和粒序层理。三角洲前缘亚相发育透镜状层理、脉状层理、浪成沙纹层理等。前三角洲亚相发育水平层理、微波状层理及变形层理等。在粒度分布上具有三段型和二段型。三段型多见于三角洲平原亚相带内,二段型在三角洲平原和三角洲前缘亚相中均可见到。总体表现为以跳跃为主,斜率高为特征。

1.3.2 测井相特征 三角洲平原亚相表现为高幅钟形(底部呈突变接触),三角洲前缘在自然电位曲线上表现为漏斗型负异常,视电阻率曲线上为低幅锯齿状,前三角洲亚相为光滑的平直曲线夹小段的微齿状曲线(图 4)。

1.3.3 地震相特征 三角洲平原为席状、低振幅、中-底连续、中-低频的特点,三角洲前缘为席状 S 形

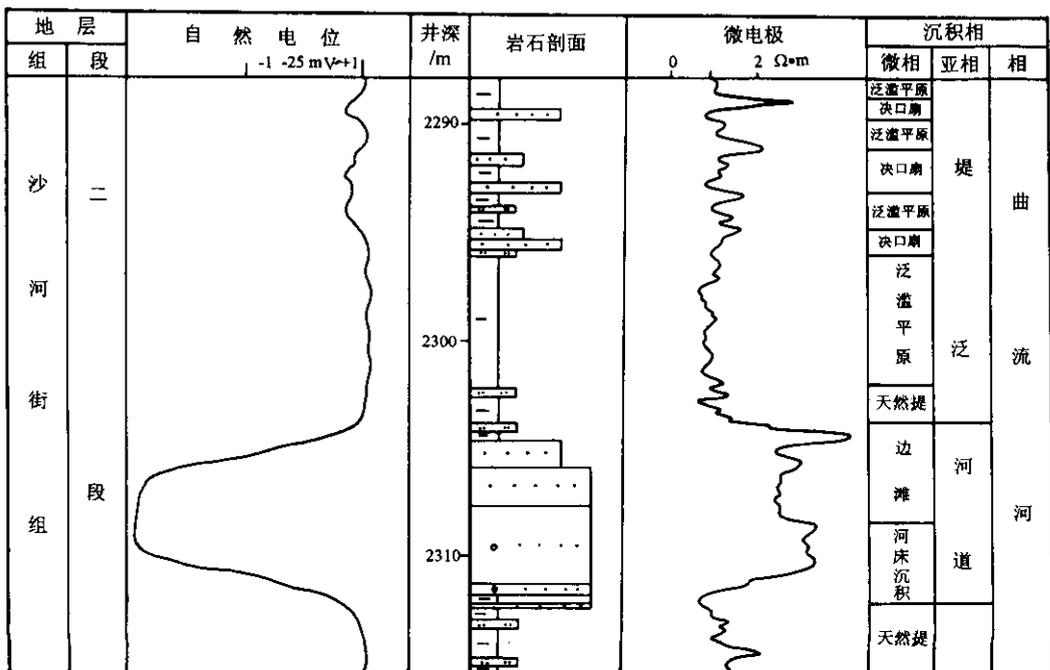


图 3 辛 55 井沙二段曲流河沉积相剖面

万方数据

Fig.3 Meandering river sedimentary facies section of Shaer member in Xin-55 well

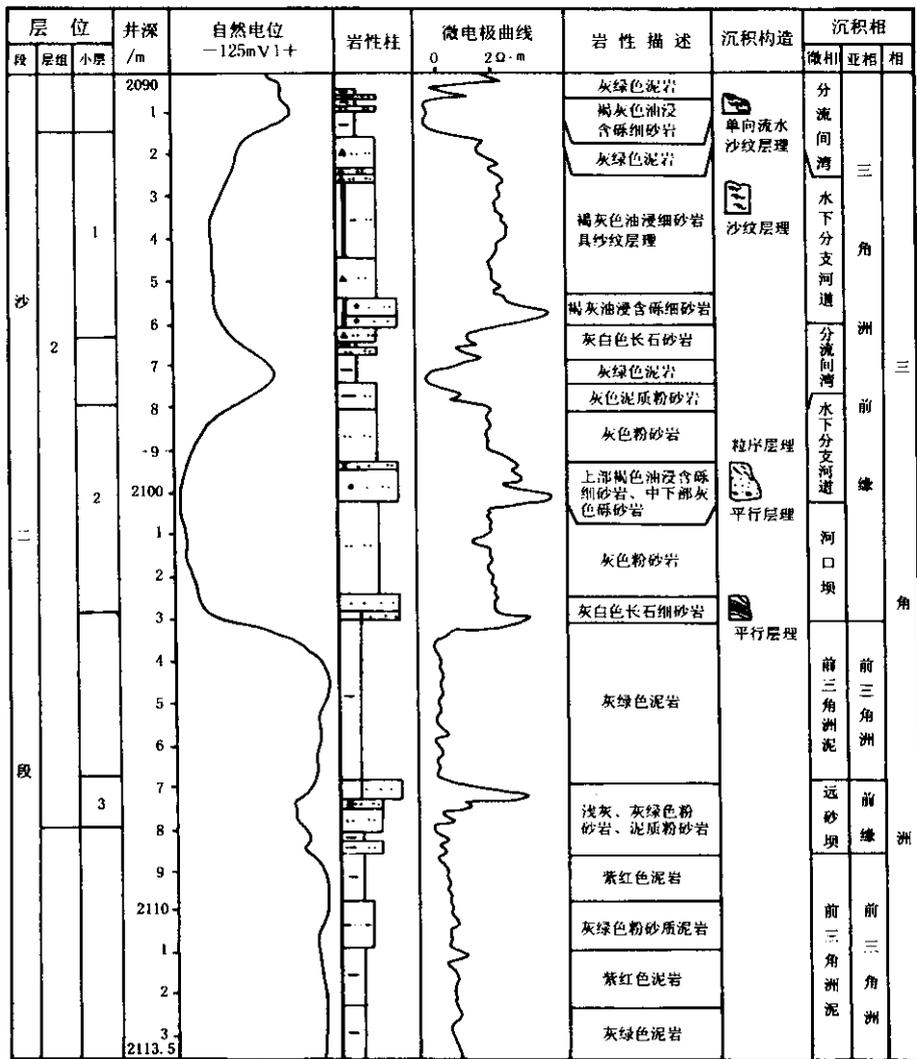


图4 新营86井2690.4~2113.23 m取心井段三角洲沉积微相剖面图

Fig.4 Delta sedimentary facies section of 2690.4~2113.23 m in Xinying-86 well

或斜交及叠瓦状前积为特征,前三角洲为亚平行,中-高振幅,中连续、中频、中-高丰度为特征。

1.4 滨浅湖砂坝砂体

该类砂体是三角洲砂体经湖浪、湖流的淘洗和搬运在滨浅湖地区形成的坝状砂体,在研究区南缓坡沙河街组不同沉积期均有发育,以沙四上段为例。

1.4.1 沉积学特征 主要由灰绿色粉砂岩、细砂岩及少量含砾砂岩组成,碎屑颗粒石英为42%~50%,长石为32%,岩屑为20%,颗粒呈次棱-次圆状,颗粒支撑,结构成熟度和成份成熟度均较高。砂岩中发育波状交错层理,沙纹层理和水平层理,单个砂体由底至顶从细变粗再变细,从而构成一个完整的旋回(图5)。粒度分布特征上表现为由跳跃和悬浮2个次总体组成,无滚动组分。跳跃总体分选好,占80%~90%,悬浮次总体高达30%~50%。

1.4.2 测井相特征 因滩坝砂体在垂向上表现为向上由细→粗→细的全韵律,故在测井曲线上表现为倒钟形、钟形组合或指形、圆滑箱形和锯齿状。

1.4.3 地震相特征 由于滨浅湖滩坝砂体总体形成于相对水动力条件较弱的低能环境之中。因而地震相表现为亚平行、中振幅、中连续、中频、中丰度,平坦的或局部有波状起伏的席状反射结构。

1.5 缓坡远岸浊积砂体

东营凹陷沙三段形成于湖盆深陷期和扩张期。此时在广阔的深湖区形成了各种样式的浊积砂体,其特征如下。

1.5.1 沉积学特征 此类扇体从南向北分为内扇、中扇和外扇亚相,其中内扇主水道为含砾砂岩,粗砂岩沉积,中扇辫状水道以砂岩为主夹泥岩为特征,发育正递变层理、平行层理,鲍马层序AB段频繁出

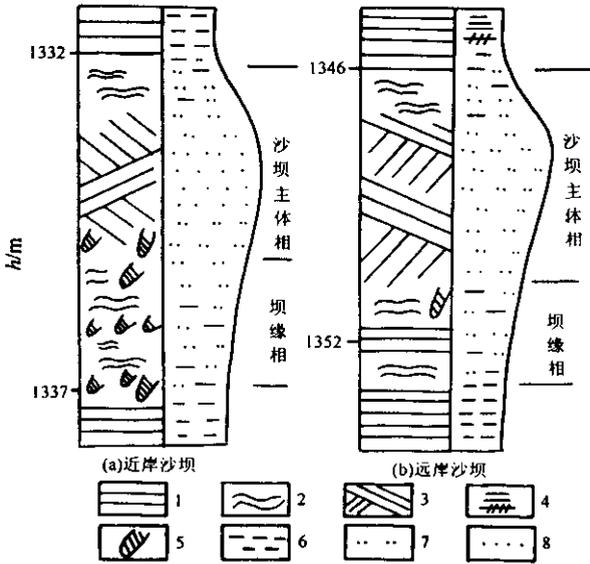


图 5 东营南缓坡沙四段砂坝沉积垂向相序图 (草 13-77 井沙四段)

Fig. 5 Offshore bar sedimentary facies section of the 4th member of Shahejie formation on gentle slope
 1-水平层理 2-波状层理 3-楔状层理 4-页岩、油页岩；
 5-生物潜穴 6-泥岩 7-粉砂岩 8-细砂岩
 1-horizontal bedding 2-wavy bedding 3-wedge bedding；
 4-shale and oil shale rock 5-biologic burrow 6-mudstone；
 7-siltstone 8-finestone

现。外扇主要为粉砂岩、泥岩沉积，见平行层理、微波状层理。在粒度分布曲线上多为单段型，以悬浮总体为主，曲线斜率低，说明分选差，在 C-M 图上平行于 C=M 基线（图 6）。在垂向序列上表现为由细变粗的反旋回特征。

1.5.2 测井相特征 从内扇→中扇→外扇由于组成各微相内砂体的粒度由粗变细，且砂层由厚变薄，泥岩夹层逐渐增多变厚，因而在自然电位曲线上表现为由箱形→冲刷→指形→锯齿状。

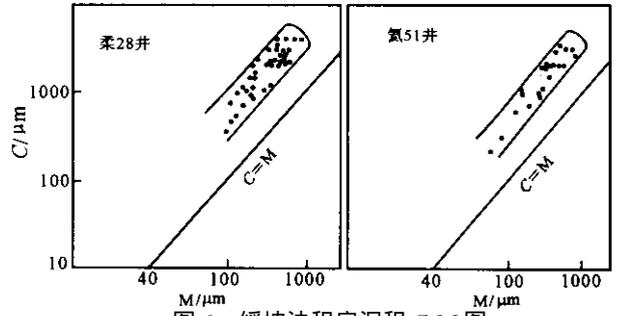


图 6 缓坡浊积扇沉积 C-M 图
 Fig. 6 C-M of turbidity fan sediment

1.5.3 地震相特征 在地震剖面上，浊积砂体显示上形反射或前积式充填反射，其周围均为反映深水沉积的高振幅，主连续的席状反射（图 2）。

2 缓坡带砂体的时空演化与展布规律

东营凹陷作为一个断陷湖盆，从断陷早期→深陷期→收敛期→再次深陷期→萎缩期，在同一地点可形成冲积扇→河流→三角洲→浊积扇砂体的完整或不完整的演化序列（表 1），即在多期块断控制下，在同一部位可形成不同类型的砂体在垂向上依次叠置的特征。这种叠置反映了盆地从形成→发展→昌盛→萎缩→衰亡的演化历史。

在平面展布特征上，同一时期从缓坡边缘向盆地中心可依次完整或不完整的发育冲积扇→河流→三角洲→浅湖砂坝砂体→缓坡浊积扇砂体（图 7）。这种砂体的展布规律是特定的缓坡古地理背景所造成的，但不同时期缓坡带内所发育的占主导地位的砂体类型不同，如沙三下—沙三中时期，缓坡带以滨浅湖滩坝砂体占主导地位；在沙三上一沙二下时期，东营南缓坡带以广泛发育三角洲和河流相砂体为特征，自东向西分别为八面河三角洲，陈官庄三角洲、草 104 井三角洲、榴参 2 井三角洲等。

表 1 东营凹陷南缓坡沙河街期砂体成因类型及演化

Table 1 The type and evolution of reservoir sandbodies of Shahejie formation on souther gentle slope of Dongying depression

地层		盆地发育阶段		南缓坡发育的砂体类型	构造运动幕
上第三系	明华镇组馆陶组	萎缩期	拗陷-断陷	河流、冲积扇砂体	东营运动幕
		第二次深陷期		河流、三角洲砂体	
下第三系	沙河街组	收敛期	断陷	三角洲、滨浅湖砂坝砂体	济阳运动 II 幕
				深陷期	
		断陷早期		三角洲、滨浅湖砂坝、缓坡浊积扇砂体	
				断陷拉张初期	冲积扇、河流、滨浅湖、砂坝砂体
	孔店组	断陷拉张初期	拉张期	冲积扇、河流	燕山运动幕

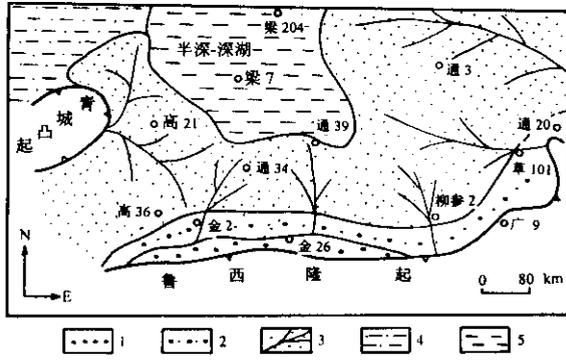


图7 沙三上沉积期不同砂体的平面展布特点

Fig. 7 The distribution feature of different sandbodies in space of upper dimentary in the 3 member of Shahejie formation

1-冲积扇 2-河流 3-三角洲 4-滨浅湖 5-半深-深湖

1-alluvial fan 2-river 3-delta 4-shallow lake 5-hypabyssal-deep lake

3 缓坡带砂体发育的控制因素

3.1 构造对砂体形成的控制作用

在箕状断陷湖盆缓坡带,构造对砂体的控制主要表现为构造坡折的规模、坡降的大小,当构造坡折带规模较小,坡降也相对较小时,在坡折带及其附近形成三角洲。当构造坡折带规模较大,坡降也较大时,所携带的沉积物在深水区形成缓坡浊积扇。而构造坡折带的形成受控于构造运动,研究区在沙四期构造坡折规模小,从而在缓坡带以冲积扇、河流和三角洲砂体发育为特征,到沙三早、中期由于构造运动剧烈从而导致构造坡折规模大,因而在缓坡带不仅形成了河流和三角洲砂体,同时还形成了缓坡浊积砂体。

3.2 湖平面升降变化的控制作用

湖平面升降变化是控制缓坡带砂体发育类型的主要因素之一。当湖平面处于上升时期,在坡折带内较深水区则形成缓坡浊积扇砂体,在浅水区形成滨浅湖砂坝砂体,在滨岸地带易形成三角洲砂体。当湖平面处于下降时期,则以发育冲积扇、河流、三角洲砂体为特征。而湖平面的变化又与构造运动、古气候变化有关。

3.3 古气候变化的控制作用

古气候变化对缓坡带砂体发育的控制作用主要表现在:①对湖平面的影响,当气候潮湿时,湖水注入量大于蒸发量,湖水加深易导致浊积扇砂体的发育。当气候干旱时,湖水注入量小于蒸发量,湖水相对较浅,以发育滨浅湖砂体,三角洲砂体为特征;②影响沉积物的类型,因在不同的气候条件下,地表具有不同的干湿程度、植被面貌及地球化学环境等,从而

使风化作用类型不同,并最终导致沉积物类型不同,如研究区沙四期为干旱类型气候,从而形成了紫红色沉积砂体,到了沙三早中期,随着古气候的转变,形成灰绿色、灰色的砂体。

上述因素之间不是孤立存在的,常常相互影响。因此,在研究不同类型砂体发育的控制因素时,应同时考虑上述因素,分析何时何种因素占主导地位,从而找出其控制的规律性,用于指导油气勘探。

4 结论

(1)在箕状断陷湖盆沉积演化过程中沿缓坡带可发育冲积扇、河流、三角洲、浅湖砂坝及缓坡远源浊积岩等砂体。

(2)不同类型的砂体在沉积相、测井相和地震相特征上具有明显的区别。

(3)不同类型的砂体在时间上的演化和平面上的分布具有一定的规律,这是构造、气候、湖平面变化等因素综合控制的结果。

参考文献

- 杜贤越,孙焕泉等.1998.胜利油区勘探开发论文集.北京:地质出版社.
- 裴悻楠,薛叔浩等.1997.中国陆相油气储层.北京:石油工业出版社.
- 王秉海,钱凯.1991.胜利油区地质研究与勘探实践.北京:石油大学出版社.
- 吴崇钧,薛叔浩等.1989.中国含油气盆地沉积学.北京:石油工业出版社.
- 中国石油学会石油地质委员会编.1988.碎屑岩沉积相研究.北京:石油工业出版社.
- 中国石油学会石油地质委员会编译.1986.国外浊积岩和扇三角洲研究.北京:石油工业出版社.

References

- Du Xianyue, Sun Huanquan et al. 1998. The symposium of exploration and development of Shengli petroleum Shandong province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Petroleum Geology Institute of Chinese Petroleum Society. 1986. Research on turbidite and fan-delta of foreign countries. Beijing: The Petroleum Industry Press (in Chinese).
- Petroleum Geology Institute of Chinese Petroleum Society. 1988. Study of clastic sedimentary facies. Beijing: The Petroleum Industry Press (in Chinese).
- Qiu Yan, Xue Shuhao et al. 1997. Terrestrial facies oil-gas reservoir sandbodies in China. Beijing: The Petroleum Industry Press (in Chinese with English abstract).
- Wang Binghai, Qian Kai. 1991. Geology research and exploration practice in the Shengli petroleum Shandong province. Beijing: The Petroleum University Press (in Chinese).
- Wu Chongjun, Xue Shuhao et al. 1989. Petroliferous basin sedimentology in China. Beijing: The Petroleum Industry Press (in Chinese).