

文章编号: 1000-0550(2003)04-0601-06

东濮凹陷濮卫环洼带沙三段沉积体系及储层发育规律

屈红军 李文厚 苗建宇 张小莉 庞军刚

(西北大学大陆动力学教育部重点实验室 西北大学地质系 西安 710069)

摘要 为了提高东濮凹陷濮卫环洼带隐蔽油气藏的勘探精度,以层序地层学理论和瓦尔特相律为指导,通过钻井岩芯、测井和地震的三元分析法,综合构造—地层分析,在东濮凹陷濮卫环洼带沙三段共识别出湖底扇、滨浅湖砂坝—风暴、低位盐湖、三角洲、深湖—半深湖等五种沉积体系,分析了主要储层发育期沉积体系的时空展布特征,探讨了层序地层体制下沙三段的沉积体系发育模式及储层发育规律,指出环洼带东部及北部水下河道与坡折带的交汇处是储层的主要发育地带,其沉积体系主要为湖底扇、三角洲沉积体系。

关键词 濮卫环洼带 沉积体系 湖底扇 储层发育规律 坡折带

第一作者简介 屈红军 男 1967年出生 博士 讲师 沉积学与层序地层学

中图分类号 TE122.2 P531 **文献标识码** A

1 区域地质概况

濮卫洼陷位于东濮凹陷中央隆起带北部,夹持于濮城断裂系(东侧)与卫东断裂系(西侧)之间,基底区域东倾成为西高东低的箕状洼陷,基底大断裂兰聊断裂位于其东侧(图1)。北北东向构造是形成东濮凹陷的主导因素^[1],濮城断裂系活动时间早,控制了沙三下亚段—沙三中亚段的沉积,属东断西抬的构造背景;卫东断裂系形成于沙三后期,从沙三中亚段后期—沙三上亚段时期开始活动,在洼陷中呈现东厚西薄的沉积特征。

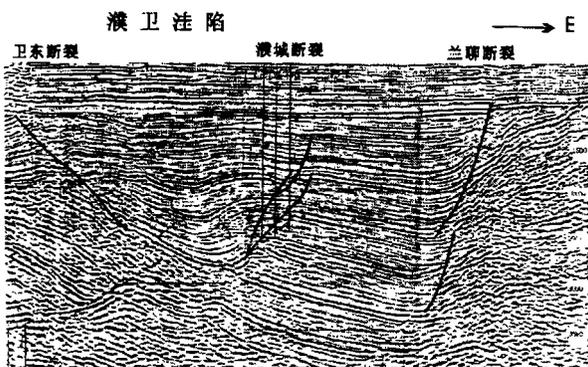


图1 濮卫环洼带盆地结构(L728地震测线)

Fig. 1 The basin structure in the area around Puwei sag

濮卫洼陷钻遇的地层有古近系沙河街组沙四段、沙三段、沙二段、沙一段及东营组,新近系馆陶组和明化镇组及第四系平原组。沙三段按沉积特征可细分为沙三下、沙三中、沙三上三个亚段,地层厚度约1500

m,主要岩性是灰色泥岩与粉砂岩夹薄层页岩、油页岩、膏泥岩、钙质泥岩,含有盐和膏盐沉积,沙三中亚段又可以被分为10个砂层组。

2 沉积体系类型及特征

综合钻井岩心、测井相、地震相三元分析法,以单井相分析为基础,在濮卫洼陷沙三段识别出湖底扇、滨浅湖砂坝—风暴沉积、盐湖、三角洲、深湖—半深湖等五种沉积体系。

濮城断裂在沙三期强烈活动,在濮卫地区形成一东断西超的箕状洼陷,洼陷呈南北向分布,东深西浅,高水位时在湖盆中央发育深湖—半深湖沉积体系,其东侧断裂下降盘的坡折带处就会形成深水重力流背景的湖底扇沉积体系;西侧为一向东缓倾的斜坡,北侧近邻盆地边缘,发育滨浅湖砂坝—风暴沉积体系;低水位时洼陷中心发育盐湖沉积体系,东侧断裂下降盘的坡折带处发育低位三角洲沉积。

2.1 湖底扇沉积体系

2.1.1 岩相组合特征

(1)斜坡相组合 发育于东侧坡折带处,发育滑塌构造及各种准同生变形构造,如泻水构造、火焰状构造、重荷模、包卷层理等。

(2)水道及天然堤相组合 水道主要由块状层理、板状交错层理、平行层理、粒序层理粉—细砂岩及含砾砂岩组成,底部具槽模、水模等大型冲刷面。在濮115井沙三下亚段第二砂层组发现槽模;砂岩中含有撕裂泥片。

(3)叶状体岩相组合 基本岩相包括薄—中层状粉砂岩、泥质粉砂岩,发育鲍马序列或粒序层理,有时见反粒序。

(4)盆地平原相组合 由深湖—半深湖的水平层理薄层泥岩及粉砂质泥岩组成,发育反映深水环境的化合组合,如水平虫迹。

2.1.2 粒度分布特征

从内扇到外扇沉积物粒度由粗变细,在概率累积曲线上,总体显示粒级粗、分布宽,悬浮含量高,组分间混合度大,分选差,斜率低的特点;在CM图上,呈平行的C=M线分布。

2.1.3 测井曲线特征

水道岩相组合自然电位曲线表现为钟形、箱形、漏斗形,以钟形为主,但齿化严重,反映了重力流的快速、分选差的特点;叶状体在测井曲线表现为指形或漏斗型。

2.1.4 地震相特征

表现为斜交—发散形前积结构,向盆地方向反射层间距离增加,呈发散状,外部几何形态呈楔形,垂直流向见丘状反射。

2.2 滨浅湖砂坝—风暴沉积体系

2.2.1 岩相组合特征

(1)滨浅湖砂坝岩相组合 该岩相组合主要由浪成沙纹交错层理粉—细砂岩相,透镜状、波状、脉状、压扁层理粉—细砂岩相、砂泥互层层理粉—细砂岩相组成。

(2)风暴岩相组合 该岩相组合由丘状交错层理粉—细砂岩相,波状层理粉—细砂岩相、块状层理或粒序层理砂岩相组成。

2.2.2 较高的成份成熟度及结构成熟度

砂坝的成份成熟度和结构成熟度较之东侧洼陷中心均较高。粉—细砂岩的石英含量为65%~80%,长石13%~16%,岩屑6%~10%,泥质为2%~8%,粉砂岩分选较好,分选系数为1.33~2.51。

2.2.3 反映波浪作用的粒度分布特征

粒度概率曲线为两段式、三段式和双跳跃式,双跳跃图一般在滩砂顶部常见。

2.2.4 反映浅水环境的生物成因构造

发育浅水环境的垂直及倾斜潜穴,如卫47井。

2.2.5 电性特征

自然电位曲线为异常幅度较高的钟形—指形。

2.2.6 地震反射特征

砂坝的反射特征为席状或低丘状反射,内部具微波状起伏的亚平行结构。

2.3 三角洲沉积体系

2.3.1 岩相组合特征

包括三角洲前缘、前三角洲两个岩相组合,三角洲平原相在该区不发育。

(1)三角洲前缘相组合 由水下分流河道及河口坝组成,水下分流河道由板状、槽状、平行层理粉—细砂岩组成,发育泄水构造、准同生变形层理、同生小断层等,见有反映近岸环境的植物根茎、叶片、炭屑等古生物标志;河口砂坝由反映反粒序的粉细砂岩组成,发育沙纹交错层理。

(2)前三角洲相组合 主要由水平层理泥岩相或块状层理盐岩相组成。

2.3.2 粒度分布特征

明显显示出牵引流沉积特征,在概率图上表现为两段式或三段式的特点。

2.3.3 测井曲线特征

在暗色泥岩平直基值的背景上,间有齿化箱形、齿化钟形、齿化指形曲线,构成厚度不一的频繁交替的反韵律。

2.3.4 地震相特征

地震相平面上呈扇形,剖面上外形呈“短楔形”,扇端部位呈锯齿状,内部为杂乱—短波状结构。

2.3.5 剖面序列

从下向上多构成前缘席状砂→河口砂坝→水下分流河道的向上变粗变厚的序列;有时从下向上构成水下分流河道→河口砂坝→前缘席状砂的向上变细变薄的序列。

2.4 深湖—半深湖沉积体系

2.4.1 沉积特征

主要为一套悬浮质沉积泥岩、页岩及洪水期带来的少量碎屑颗粒形成的粉砂岩或泥质粉砂岩夹层;具反映较深水环境的水平虫迹化石。

2.4.2 测井曲线特征

在暗色泥岩平直基值的背景上,间有齿化钟形、齿化指形曲线,构成厚度不一的频繁交替的韵律。

2.4.3 地震相特征

常表现为强振幅、低频率的响应特征。

2.5 盐湖沉积体系

2.5.1 岩心特征及盐岩的垂向序列

厚层盐岩的基本结构是由10~30cm的纯盐岩与1~3cm的含石膏或泥质岩的韵律层组成,岩芯上可以看到形成近似于“年轮”的结构,石膏或泥质夹层呈竹节状突起,颜色有深灰、浅黄、铁锈红;盐岩一般质纯,具有一定的透明度,玻璃光泽,晶体大小为5~12mm,个别可达2cm;石膏为白色纤维状晶体,呈结核状、小竹叶状、波状、盘肠状等;泥岩一般为深灰、灰黑色,与

盐膏岩渐变接触, 局部见油页岩, 含较多黄铁矿, 多含生物化石碎片。

沙三段盐岩、膏岩、碳酸盐岩在垂向上有明显的沉积序列, 每一完整序列由三部分组成。每一沉积序列开始, 为暗色泥岩与薄层碳酸盐岩韵律互层, 之上为薄层石膏或暗色泥岩夹薄层石膏或暗色泥岩中含各种石膏晶体, 最上部为 10~30 cm 厚的盐岩层。

2.5.2 盐岩的电性特征

表现为高电阻率、低密度、低自然伽玛、小声波时差、高传播速度、在水基泥浆下扩井径的特点。

2.5.3 盐岩的地震响应特征

盐岩具有低密度、高传播速度的地球物理特性, 且它一般不与砂岩接触而与泥页岩互层, 因此可以与泥页岩形成很高的波阻抗差, 导致强反射界面的形成。因此常表现为强振幅、低频率的响应特征。

3 沉积体系模式及时空展布

3.1 濮卫洼陷沙三段层序地层划分

根据濮卫洼陷沙三段层序地层发育特征, 将沙三段划分为 4 个三级层序, 包括 12 个体系域(表 1)。

表 1 濮卫洼陷沙三段层序地层划分

Table 1 Classification of stratigraphic sequences of Sha-3 Member in Puwei sag

段	砂层组	油层组	体系域	层序
沙三段	沙三上	沙三上 ¹⁺²⁺³	HST	IV
		沙三上 ⁴⁺⁵	TST	
		沙三上 ⁶	LST	
		沙三上 ⁷⁺⁸	HST	III
		沙三上 ⁹⁺¹⁰	TST	
	沙三中	沙三中 ¹⁺² 及沙三中 ³ 上部	LST	II
			沙三中 ³ 下部	
		沙三中 ⁴ 上部	TST	
		沙三中 ⁴ 下部及沙三中 ⁵⁺⁶⁺⁷	LST	
		沙三中 ⁸	HST	
	沙三中 ⁹⁺¹⁰	TST		
	沙三下	沙三下 ¹⁺²⁺³	LST	

注: 层序地层对应层位为濮城地区油气开发分层

3.2 层序地层体制下的沉积模式

沉积体系的发育受控于基准面旋回, 在不同的基准面旋回中, 同一地区可以发育不同的沉积体系; 同一沉积体系在不同的基准面旋回中其叠置方式和沉积特征也不相同^[2, 3, 4]。

3.2.1 低水位体系域(LST)

低水位期濮卫洼陷发育低位盐湖沉积体系、三角洲沉积体系。其中三角洲沉积体系分布于濮城断裂下降盘及洼陷北部; 盐湖沉积体系发育于洼陷的中央, 呈南北向延伸, 北薄南厚, 东薄西厚(图 2)。

3.2.2 湖泊扩张体系域(基准面上升旋回 TST)

洼陷中央发育深湖—半深湖沉积体系, 东侧发育湖底扇沉积体系, 洼陷西部斜坡及西北部砂坝—风暴沉积体系发育, 南北向呈条带状分布。

3.2.3 湖泊收缩体系域(基准面下降旋回 HST)

发育湖底扇沉积体系、深湖—半深湖沉积体系及砂坝—风暴沉积体系。

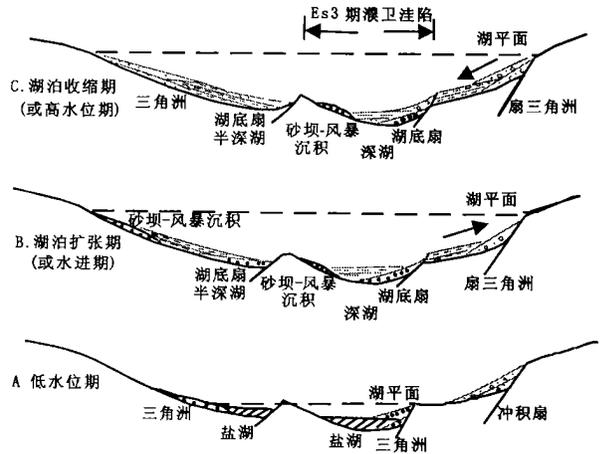


图 2 濮卫洼陷沙三段沉积模式

Fig. 2 Sedimentary model of the Sha-3 in Puwei sag

3.3 主要储层段的沉积体系展布特征

综合岩芯、测井及地震相分析, 通过濮卫洼陷及周边区域 130 余口井的沙三中亚段 8、4、3 砂层组的分析统计来研究沉积体系展布特征。

3.3.1 沙三中亚段 8 砂层组沉积体系展布

(1) 洼陷中心 发育深湖—半深湖沉积体系, 其沉积特点是砂地比值低 (< 0.10), 沉积物以具有水平层理的泥岩为主(图 3)。

(2) 洼陷东侧(断层下降盘) 发育湖底扇沉积体系, 从南往北发育三个扇体。

(3) 洼陷西部斜坡及北部斜坡 发育滨—浅湖砂坝—风暴沉积体系。

(4) 东北部 发育三角洲沉积体系, 洼陷东北部 P77-P115 井一带发育三角洲前缘岩相组合扇体, 从 P77 井沙三中亚段 8 砂层组岩心观察在水下分流河道砂体中见有植物根茎, 反映近源的特点。沉积特点是沉积物粒度粗, 砂地比高 (> 0.25)。

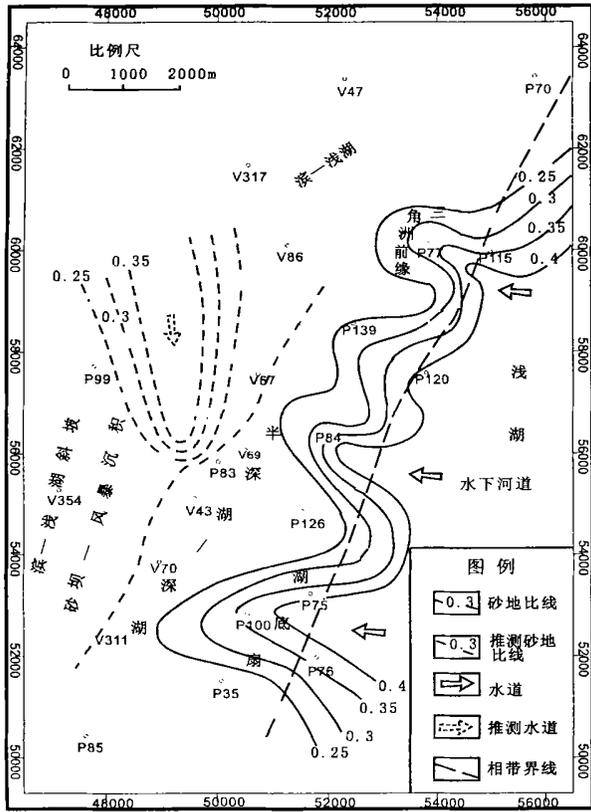


图3 沙三中8砂层组沉积体系展布特征

Fig. 3 Depositional patterns of the Mid-8 bed of Sha-3 member

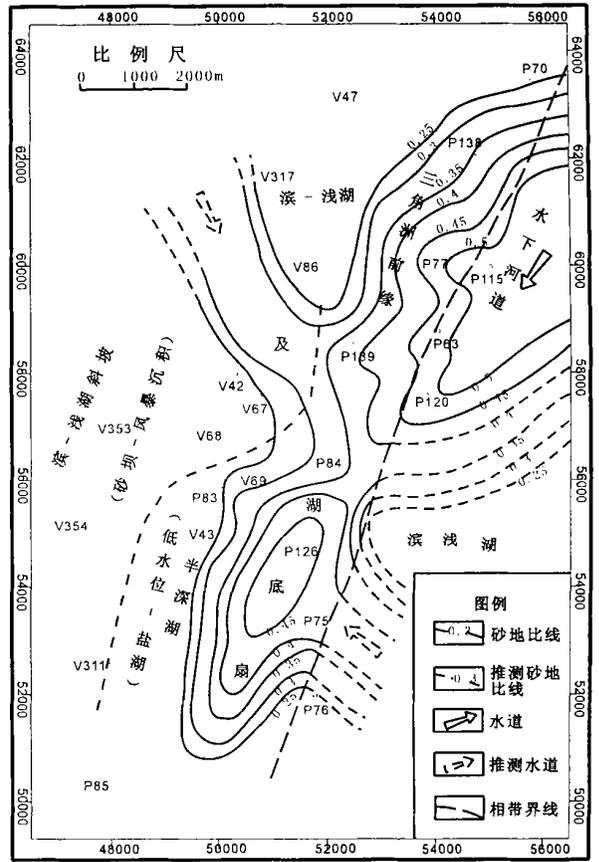


图4 沙三中砂层组沉积体系展布特征

Fig. 4 Depositional patterns of the Mid-4 bed of Sha-3 member

3.3.2 沙三中亚段4砂层组沉积体系展布

(1)湖盆中央 在低水位期表现为盐湖沉积体系;在基准面上升期表现为半深湖沉积体系,砂地比值低(< 0.10),以发育水平层理泥岩、膏泥岩为特征(图4)。

(2)洼陷东南侧 发育湖底扇沉积体系, V69井见反映浊积扇叶状体岩相组合的反粒序特征; P6—65井的不均匀准同生变形构造反映了同沉积断裂对沉积坡折带的控制作用;在 P75井一带见到浊积砂的粒序层理、鲍马序列等沉积构造;在 P100至 V70井一带地震反射剖面上发现轴向重力流异常体,反映东北物源的扇体与东南物源的扇体可能合并为轴向重力流。

(3)东北部及西北部 发育三角洲沉积体系的三角洲前缘岩相组合, P77~P139井一带为三角洲前缘沉积岩相组合,在砂体中植物根茎的发育反映了其近源的特征。

(4)洼陷西侧及北侧 发育滨—浅湖砂坝—风暴沉积体系,岩芯观察 V42、V67井发育浪成沙纹交错层理及丘状交错层理。

3.3.3 沙三中3砂层组沉积体系展布特征

继承了沙三中亚段4砂层组沉积期的格局,但又

有所变化,具体表现为深湖区的扩大及东部扇体的后退,使原来连成一片的扇体成为分散独立的湖底扇体(图5)。

(1)洼陷中央 深湖区扩大,低位期以发育低位盐湖沉积体系为主;在高位期(湖泊收缩期)洼陷中央以发育深湖—半深湖沉积体系为主。该期沉积具砂地比值低(< 0.10)、沉积物粒度细的特点。

(2)洼陷东侧 发育五个分散的湖底扇沉积体,分别为 P138井扇体、P77井扇体, P6~65~P84井扇体, P65井扇体、P75~P35井扇体,该扇体具有砂地比值高(> 0.25)、沉积厚度大、粒度大的特点。P115井沙三中2砂层组槽模的发现及 P139井粒序层理反映了重力流的存在。

(3)洼陷西侧 发育浅水斜坡砂坝—风暴沉积体系,其沉积特征同4砂层组期,但范围已缩小。

(4)洼陷北部 发育浅水三角洲前缘岩相组合扇体,主体位于 V47井一带,具有向上变粗、变厚的沉积序列特征及垂直虫孔等浅水标志。

4 层序地层体制下储层发育规律

沉积层序的发育受控于基准面旋回及可容空间的

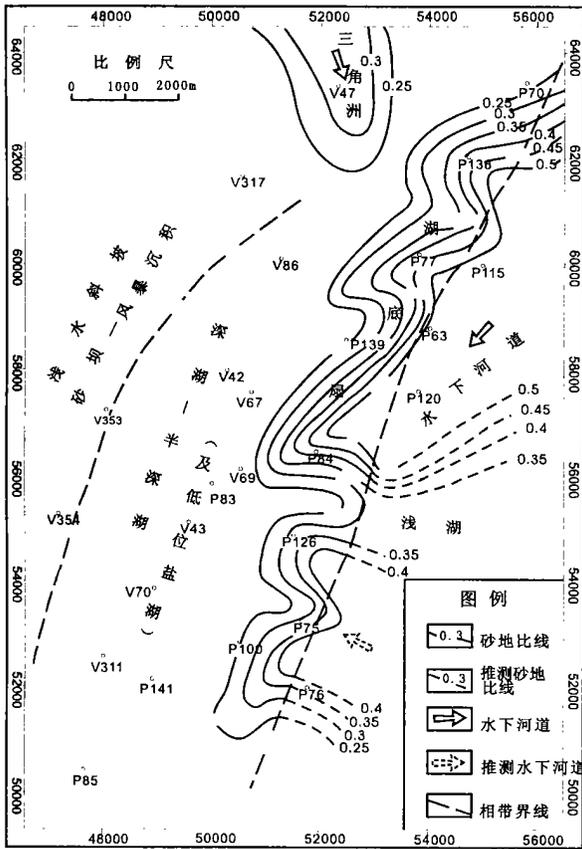


图5 沙三中3砂层组沉积体系展布特征

Fig. 5 Depositional patterns of the Mid-3 bed of Sha-3 member

变化。从物源区方向到盆地中心, 一般有数个坡折带。按照沉积基准面原理, 坡折带是优先接受沉积物的场所^[4,5]。在湖平面低位期及初始上升期, 可容空间小, 有效可容空间主要位于低台阶坡折带, 沉积物主要充填在低台阶坡折带; 在湖侵期及高水位期可容空间大, 有效可容空间主要位于高台阶的坡折带, 沉积物主要充填该处, 但在突发性事件(如地震、风暴等)的影响下, 在低台阶湖侵期和高水位期也可以形成偶发性沉积物重力流湖底扇沉积。

研究区兰聊断裂下降盘为盆地的高台阶, 濮卫洼陷位于盆地的低台阶^[6], 濮城断裂西侧为低台阶的坡折带。低水位期濮城断裂的西侧是沉积物优先充填的场所(图6)。低水位早期, 由于气候干旱, 地表河流流水供给弱, 水力作用能搬运的碎屑物有限, 此时碎屑物供给并不足, 湖盆中央发育低位盐湖; 在濮城断裂的下降盘形成规模有限的低位三角洲沉积; 低水位晚期(湖平面初始上升期), 地表径流增强, 早先剥蚀区的大量剥蚀物被地表流水搬运到濮城断裂充填, 形成低水位晚期湖底扇, 该期沉积相当于层序地层学中低水位楔状体。

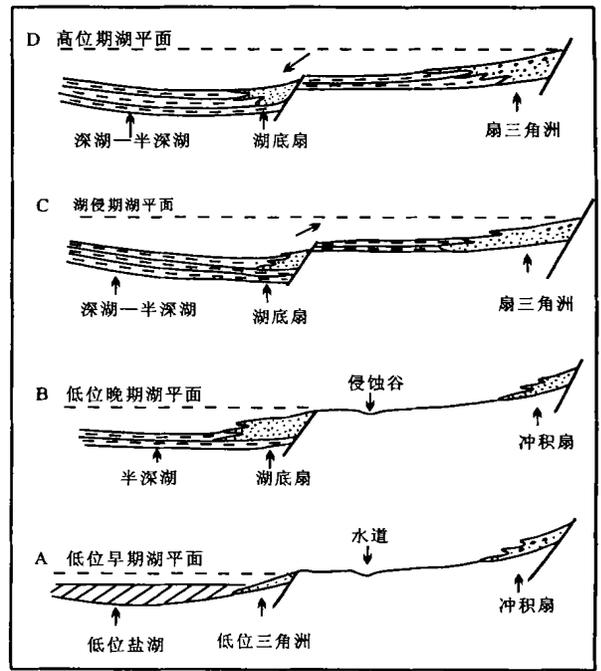


图6 层序地层体制下储层发育规律一坡折带模式

Fig. 6 The slope break belt model, reservoir distribution patterns in systems of sequence stratigraphy

在湖侵期及高水位期, 可容空间增大, 有效可容空间主要位于高台阶坡折带, 沉积物主要充填于该处。该期沉积物沿兰聊断裂下降盘的坡折带形成扇三角洲沉积。但两期沉积不同之处是湖侵期形成退积式准层序组, 高水位期形成进积式准层序组。在事件流的情况下可以在低台阶濮城断裂西侧形成重力流湖底扇沉积体系, 同样两期沉积的不同之处是湖侵期形成退积式重力流湖底扇沉积体系, 高水位期形成进积式重力流湖底扇沉积体系^[7]。

参考文献(References)

- 1 陈发亮, 朱晖, 李绪涛等. 东濮凹陷下第三系沙河街组层序地层划分及盐岩成因探讨[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 386~388 [Chen Faliang, Zhu Hui, Li Xutao, et al. Partition of sequence strata and discussion about salt-rock resource in Shahejie Formation of Eogene Dongpu depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 386~388]
- 2 邓宏文. 美国层序地层学研究中的新学派—高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89~97 [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U. S. A.: high-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89~97]
- 3 Wheeler H. E. Base level, lithosphere surface and time-stratigraphy[J]. Bulletin of Geological Society, 1964, 75: 599~610
- 4 樊太亮, 吕延仓, 丁明华. 层序地层体制中的陆相储层发育规律[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 315~321 [Fan Taiyang, Lu Yancang,

- Ding Minghua. The regularization of formation and distribution of reservoirs in systems of continental sequence stratigraphy[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 315~321]
- 5 岳文浙, 丁保良, 魏乃颀. 陆相层序地层研究的思路[J]. *地质论评*, 2000, 46(4): 347~354[Yue Wenzhe, Ding Baoliang, Wei Naiyi. Thoughts on the study of continental sequence stratigraphy[J]. *Geological Review*, 2000, 46(4): 347~354]
- 6 郑鸿稳. 东濮凹陷下第三系层序地层模式[J]. *石油学报*, 2002, 23(4): 24~28[Zheng Hogwen. The sequence stratigraphic model of Palaeogene in Dongpu depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(4): 24~28]
- 7 顾家裕. 陆相盆地层序地层学格架及模式[J]. *石油勘探与开发*, 1995, 22(4): 6~10[Gu Jiayu. Concepts and models of sequence stratigraphy in nonmarine petroliferous basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1995, 22(4): 6~10]

Depositional Systems and Reservoir Distribution Regulations of the Sha-3 Member in Puwei Sag, Dongpu Depression

QU Hong-jun LI Wen-hou MIAO Jian-yu ZHANG Xiao-li PANG Jun-gang

(Key Laboratory of Continental Dynamics Ministry of Education; Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract In order to increase the exploration level of hidden oil & gas pools in the area around Puwei sag, Dongpu depression, sequence stratigraphy theory and the Walther's law are taken as a guide to research Sha-3 member. On the basis of the analyses of cores, logs and seismic data, combined with the analyses of basin structure and stratigraphy, 5 depositional systems are recognized in Sha-3 member, i. e. lake-turbidite fan system, coast & shallow lake system with sand dam and tempestite, low-stand salt lake system, delta system and deep & hemi-deep lake system. The characteristics of lithoface assemblages of each system are studied one by one. The distribution patterns of the depositional systems in space are analysed in each main reservoir body member, while the sedimentary models and reservoir distribution regulations of the Sha-3 member are also discussed. It is pointed out that the junctions of the under water channels and the slope break belt in the east and north of Puwei sag are the places where the main reservoir bodies develop very well, and where lake-turbidite fan system and delta system develop.

Key words Puwei sag, depositional systems, lake-turbidite fan system, slope break belt reservoir distribution regulations