东濮凹陷濮城地区沙三中亚段古地貌与沉积相关系

万　涛[1,2]　谈玉明[2]　苏　惠[2]　王兴武[2]　倪军锋[2]　刘和美[2]　万　晶[2]

（1.中原油田博士后科研工作站,河南 濮阳 457001;2.中原油田勘探开发科学研究院,河南 濮阳 457001）

提要:在富油气凹陷"满凹含油论"的指导下,近洼带岩性油气藏勘探是当前和今后一段时间渤海湾盆地东濮凹陷和其他凹陷油气勘探的重点,而古地貌分析是准确预测深部储层的基础,具有构造背景的有利沉积相带是勘探成功的关键。采用盆地模拟技术对东濮凹陷濮城地区沙三中亚段进行了古地貌恢复,通过岩心观察、薄片鉴定、粒度分析、砂地比和地震属性研究,确立了沉积相类型,系统研究了古地貌与沉积相之间的关系。结果表明:研究区沙三中沉积时期主要发育扇三角洲-湖相泥-滩坝沉积体系,古地貌控制沉积相类型及展布,在兰聊断层上升盘发育两大冲沟,在其下降盘发育两个扇三角洲,具有沟扇对应关系;濮城背斜带沙三中沉积时期发育两个古低凸起,砂体厚值区围绕古低凸起分布,具有滩坝砂体的发育特征。在濮城背斜带与濮城次洼之间的斜坡地区,发育的扇三角洲前缘砂体以及两个扇三角洲之间的滩坝砂体具备形成岩性上倾尖灭、砂岩透镜体油气藏的条件,为岩性油气藏勘探的有利目标。

关 键 词:古地貌;盆地模拟;扇三角洲;滩坝;岩性油气藏;东濮凹陷

21世纪以来,在油气勘探中发现了大量构造-岩性、岩性、地层等隐蔽油气藏,很多在生烃凹陷的构造低凹部位,甚至位于向斜中心,超越了二级构造带的范围,赵文智等(2004)据此提出了富油气凹陷"满凹含油论",强调在陆相沉积盆地富油气凹陷中,油气分布超越了二级构造带的范围,呈现满凹含油的局面,可以实现满凹勘探[1-4]。在该理论的指导下,近洼带岩性油气藏勘探是当前和今后一段时间渤海湾盆地东濮凹陷和其他凹陷油气勘探的重点,而古地貌分析是准确预测深部储层的基础,具有构造背景的有利沉积相带是勘探成功的关键[5-8]。笔者以东濮凹陷濮城地区为例,采用盆地模拟技术对沙三中亚段进行了古地貌恢复,通过岩心观察、薄片鉴定、粒度分析及地震属性研究,确立了沉积相类型,系统研究了古地貌与沉积相之间的关系,以期为研究区下一步岩性油气藏的勘探提供地质理论依据,同时为渤海湾盆地类型凹陷的勘探开发提供借鉴意义。

1　研究区地质概况

濮城地区为渤海湾盆地东濮凹陷最富、勘探开发程度最高的油气区[9-11],地理位置位于河南省濮阳县、山东省莘县境内,勘探面积约100 km²,其东部为鲁西隆起区,西部为濮卫次洼,南北分别与文留构造和陈营构造相接,总体上受兰聊断层和濮城断层控制,可细分为兰聊断层下降盘陡坡带、濮城次洼、
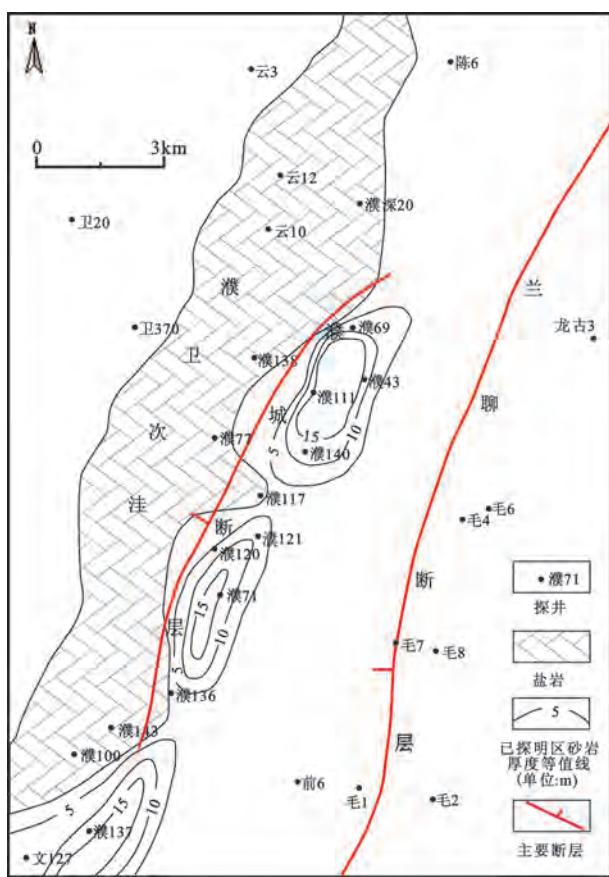

图1 已探明区沙三中亚段5砂组盐岩与砂体发育特征

Fig.1　Distribution relationship between salt rock and sand body in the proved area of Middle Es3 Formation

濮城背斜带等3个次级构造单元(图1,图2-a)。目前在濮城背斜带构造高部位已发现东营组、沙一段、沙二上亚段、沙二下亚段、沙三段、沙四段等多套含油气层系,以构造油气藏为主,探明石油地质储量约占东濮凹陷的22%。

研究区沙三中亚段划分为10个砂组,地层厚度300~650 m,埋藏深度3000~4350 m,以灰色、深灰色泥岩夹灰色粉砂岩、灰质粉砂岩为主,在局部地区沙三中亚段5砂组和6砂组发育灰白色盐岩。勘探实践表明,沙三中亚段既是研究区主要生烃层系,同时也是主要的储集层系之一:沙三中亚段暗色泥岩厚度150~250 m,有机碳含量0.8%~2.4%,有机质成熟度(Ro)0.9%~1.2%,已进入成熟–高成熟热演化阶段,大套烃源岩的发育及较高的有机质热演化程度为富油气区带的形成提供了物质基础;砂岩储集空间以长石粒间、粒内溶蚀孔隙及微裂缝为主,储层孔隙度8%~14%,渗透率(0.5~10)×$10^{-3}\mu m^2$,是东濮凹陷近洼带沙三中亚段埋藏深度最浅、储层物性最好的地区,但由于古地貌和沉积相认识不清,严重制约了研究区下一步油气勘探。

2　东濮凹陷濮城地区沙三中亚段古地貌恢复

2.1　盆地模拟方法恢复古地貌的原理及主要参数

盆地模拟方法为定量分析和描述盆地的演化
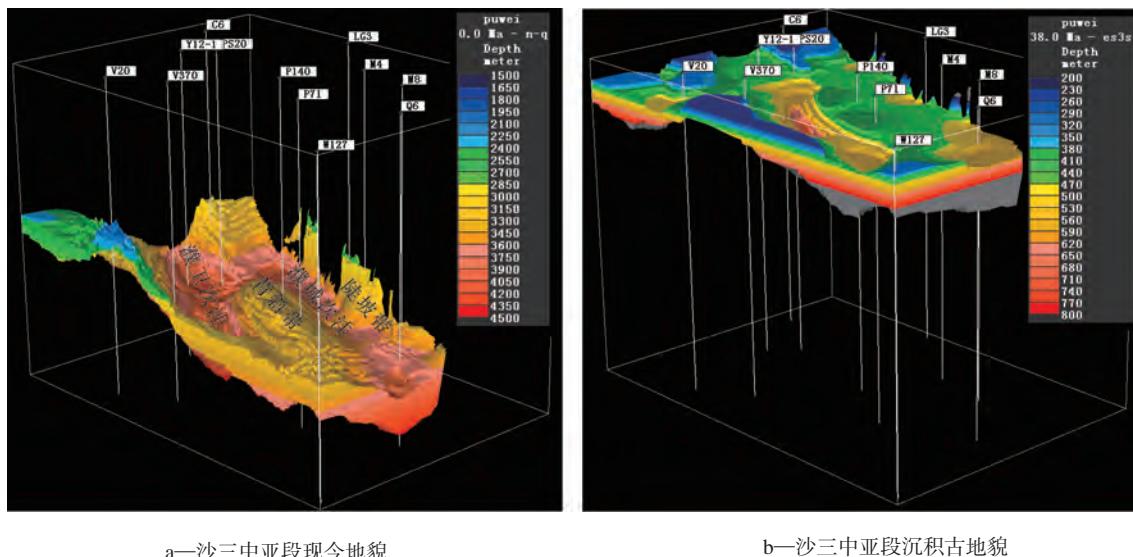
a—沙三中亚段现今地貌

b—沙三中亚段沉积古地貌

图2　濮城构造带沙三中亚段古地貌恢复结果

Fig.2　The reconstructed paleogeomorphology of Middle Es3 Formation in Pucheng tectonic belt

过程,再现各个时期不同层序埋藏特征及层面起伏状态提供了可能[12-13]。盆地模拟方法主要采用回剥技术进行古地貌恢复,其原理是根据质量守恒原则,随着埋藏深度的增加,地层厚度变小,但地层的骨架厚度始终不变。按地质年代逐层剥去,直至剥完为止。本文采用IES Petromod盆地模拟软件的三维模型,以现今地貌为约束条件,对研究区沙三中沉积时期的古地貌进行了恢复。

本次盆地三维模拟选取的主要参数,如地质年代、古大地热流值、古水深等参考东濮凹陷最新一轮资评采用的数据(表1)。古近系与新近系之间存在区域性不整合面,东营组剥蚀厚度取800~1200 m[14]。模拟时使用的压实方法是机械压实方法,通过测井解释计算泥岩孔隙度和砂岩孔隙度,分别建立了研究区泥岩和砂岩的孔隙度压实趋势线[15]: $\Phi = 64.654\exp(-0.0007h)$(泥岩)和 $\Phi = 47.752\exp(-0.0005h)$(砂岩)。将将新近系—第四系、古近系东营组、沙一段、沙二段、沙三上亚段、沙三中亚段、沙三下亚段等共7个层系的地层厚度、岩性按规范输入IES Petromod盆地模拟软件三维模型中进行计算,模拟误差为0.623%,小于1%的误差标准,模拟结果可靠。

2.2 盆地模拟结果及验证

盆地模拟结果表明,濮城背斜带沙三中沉积时期发育两个古低凸起(图2-b),分别位于濮111井区和濮71井区,在古低凸起周围发育3个局部古洼地以及濮城断层下降盘的濮卫深洼带。研究区沙三中亚段5砂组盐岩在古洼地发育,但在古低凸起地区不发育,盐岩的沉积反映出这些地区沉积时期物源供给不充分、低洼的沉积背景[16-18],从另一方面验证了古地貌恢复结果的准确性(图2~3)。

由于研究区东部的鲁西隆起区在古近纪处于剥蚀状态,钻井揭示为新近系馆陶组与古生界石炭—二叠系不整合接触[19],其剥蚀量难以恢复,关于兰聊断层上升盘的地貌特征采用现今奥陶系顶面(石炭—二叠系底面)埋深进行研究。分析认为在兰聊断层上升盘发育南北两大冲沟,分别位于毛2和龙古3井区,盆地模拟结果揭示在兰聊断层下降盘陡坡带发育两个沉降中心,与上述两大冲沟相对应(图3)。

可以看出,研究区在沙三中沉积时期具有两大地貌特征:一是濮城背斜带凹凸不平,主要发育两个古低凸起和三个局部古洼地,盐岩在古洼地沉积;二是兰聊断层上升盘发育两大冲沟,与兰聊下降盘陡坡带的两个沉降中心相对应,在濮城斜坡带和兰聊下降盘陡坡带之间为相对平缓的古洼地。

3 东濮凹陷濮城构造带沙三中亚段沉积相研究

3.1 沉积相类型与古地貌关系

关于研究区沙三中亚段的沉积相类型,前人做了大量研究,认为濮城背斜带为三角洲前缘沉积,物源来自北部陈6井区[15],但近年来钻探的濮深20井、云12-1井均为薄层砂岩,单砂层厚度远小于濮城背斜带已探明区,说明前人对研究区沉积相类型的认识有所欠缺。从研究区沙三中亚段古地貌恢

表1 盆地模拟参数统计
Table 1 statistics on the parameters of basin modeling

地层						底界年龄 /Ma	古地温 /℃	古水深 /m	古热流值 /(mW/m²)
界	系	统	组	段	亚段				
新生界	第四系	全新统	平原组			2	12	5	60
	新近系	上新统	明化镇组			12	12	15	61
		中新统	馆陶组			17	12	10	63
	古近系	渐新统	东营组	剥蚀期		22	13	0	67
						27	14	15	67
			沙河街组	一段		33	14	40	67
				二段		35	15	20	67
		始新统		三段	上亚段	39	15	30	67
					中亚段	42	15	50	67
					下亚段	45	15	40	67
		古新统		四段		50	16	40	67
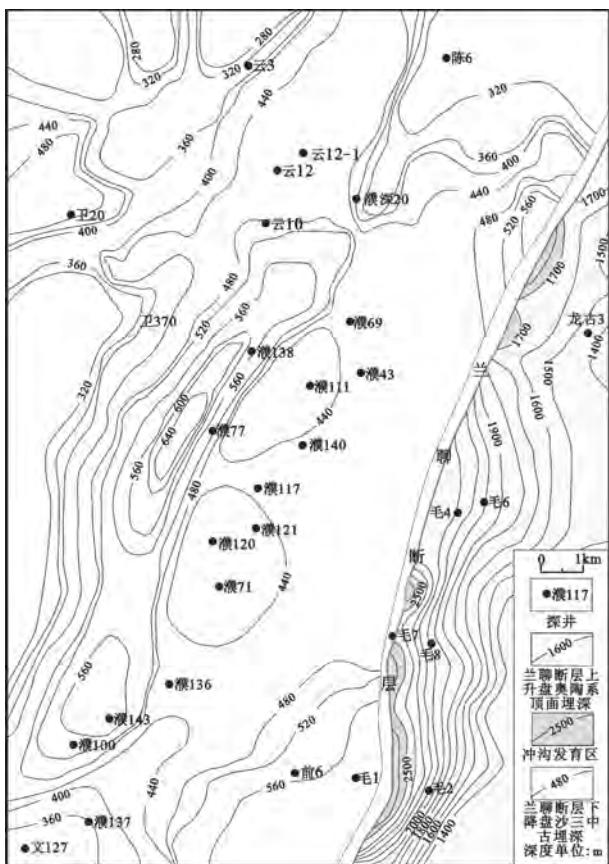
图3 濮城地区沙三中亚段沉积背景
Fig.3 Sedimentary background of Middle Es3 Formation in Pucheng area

复结果上看，北部物源与濮城背斜带两个古低凸起之间存在两个古洼地，在这种沉积背景下濮城背斜带形成三角洲前缘沉积的可能性甚微。

根据濮城背斜带已探明区沙三中亚段各砂组砂体发育特征上看，砂体厚值区均围绕远离物源的古低凸起分布，而在古洼地砂体厚度薄，如在濮111井区和濮71井区沙三中亚段5砂组砂体厚度达15 m，位于古洼地的濮117井区砂体厚度小于5 m（图2~3），这种砂体围绕古低凸起展布的特征具有滩坝砂的沉积特点[20-23]。通过岩心观察，发现濮城背斜带沙三中亚段波状层理发育，见波痕、小型冲洗交错层理（图4-a~c），反映濮城背斜带在沙三中沉积时期为一个波浪持续稳定的场所。从薄片分析上看，濮城背斜带濮63、濮77、濮80等多口井见鲕粒（图4-d），鲕粒的外环为碳酸盐泥，内部以包裹石英、长石颗粒为主，反映了波浪、湖流等振荡运动

特征，表明濮城背斜带在沙三中沉积时期为滨浅湖沉积环境。通过岩性分析统计，濮城背斜带沙三中亚段砂体岩石类型主要为粉细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩等，砂岩粒度较细，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（图4-e）。单砂体厚度薄，大部分厚度在1~2 m，储层横向变化快，局部地区发育3~5 m厚砂体，在剖面上呈"千层饼"结构。对濮城背斜带沙三中亚段30多口井粉细砂岩、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。粒度概率图上滚动次总体不发育，主要发育跳跃次总体和悬浮次总体，跳跃次总体和悬浮次总体的交切点为3.0Φ~5.0Φ，跳跃次总体含量一般为60%~80%，平均值为70%左右，具有"弧形上拱"现象（图4-f），悬浮次总体含量平均在30%左右。根据濮城背斜带沙三中亚段砂体宏观展布、典型沉积构造、岩石成分成熟度及粒度概率曲线等特征，结合古地貌恢复结果，分析认为濮城背斜带发育滨浅湖滩坝沉积。

兰聊断层下降盘陡坡带勘探程度低，目前仅有前6井揭示沙三中亚段地层，其沉积相类型主要通过地震属性和前6井的钻探情况、岩心观察和粒度概率曲线等进行推测。均方根振幅反映振幅突出度，即振幅的强弱差别度，主要用来进行岩性组合的预测，当储层与非储层配置较好，物性好或含油气等流体时，振幅的能量会增强[24-26]，通过分析兰聊断层上升盘冲沟与沙三中亚段4砂组均方根振幅地震属性关系发现，冲沟对应地区均方根振幅异常高，具有砂岩发育特征，平面上呈扇形。由于兰聊断层下降盘陡坡带均方根振幅异常高值区范围较小，平面延伸长度为2~4 km，表明物源推进不远，推测为扇三角洲沉积，具有沟扇对应关系。前6井距离兰聊断层上升盘冲沟较近，岩石类型以细砂岩和粉砂岩为主，粒度相对较粗，颜色以浅灰色和灰色为主，夹杂部分棕红色地层，发育粒序层理、冲刷面等典型沉积构造（图5-b~c），粒度概率图上主要发育跳跃次总体和悬浮次总体，跳跃次总体和悬浮次总体的交切点为2.5Φ~4.5Φ，跳跃次总体平均值为80%左右，悬浮次总体含量平均在20%左右，具有典型的两段式特征（图5-d）。根据兰聊断层下降盘沙三中亚段地震

(a)波痕
(濮120井, 3147.8m)

(b)浪成波状交错层理
(濮76井, 3632.0m)

(c)小型冲洗交错层理
(濮140井, 3717.7m)

(d)鲕粒
(濮63井, 3497.8m, 单偏光)

(e)浅灰色粉细砂岩含泥砾
(濮76井, 3627.7m)

(f)粒度概率类型
(濮140井, 3702.2m)
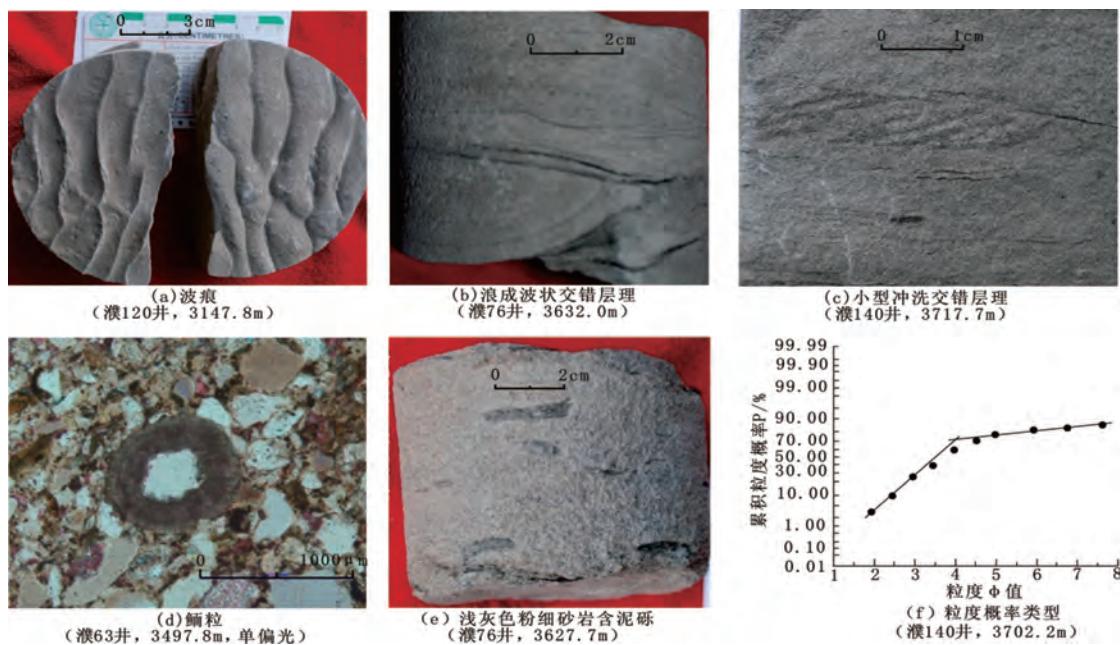
图4 濮城背斜带滨浅湖滩坝砂体的部分典型沉积构造及粒度概率曲线

Fig.4 Some typical sedimentary structures and grain size probability of beach bar sands in shore−shallow lacustrine beach, Pucheng anticline belt


(a)冲沟与沙三中亚段4砂组均方根振幅地震属性关系

(b)粒序层理
(前6井, 4137.4m)

(c)底部冲刷面
(前6井, 4340.0m)

(d)粒度概率类型
(前6井, 4138.5m)
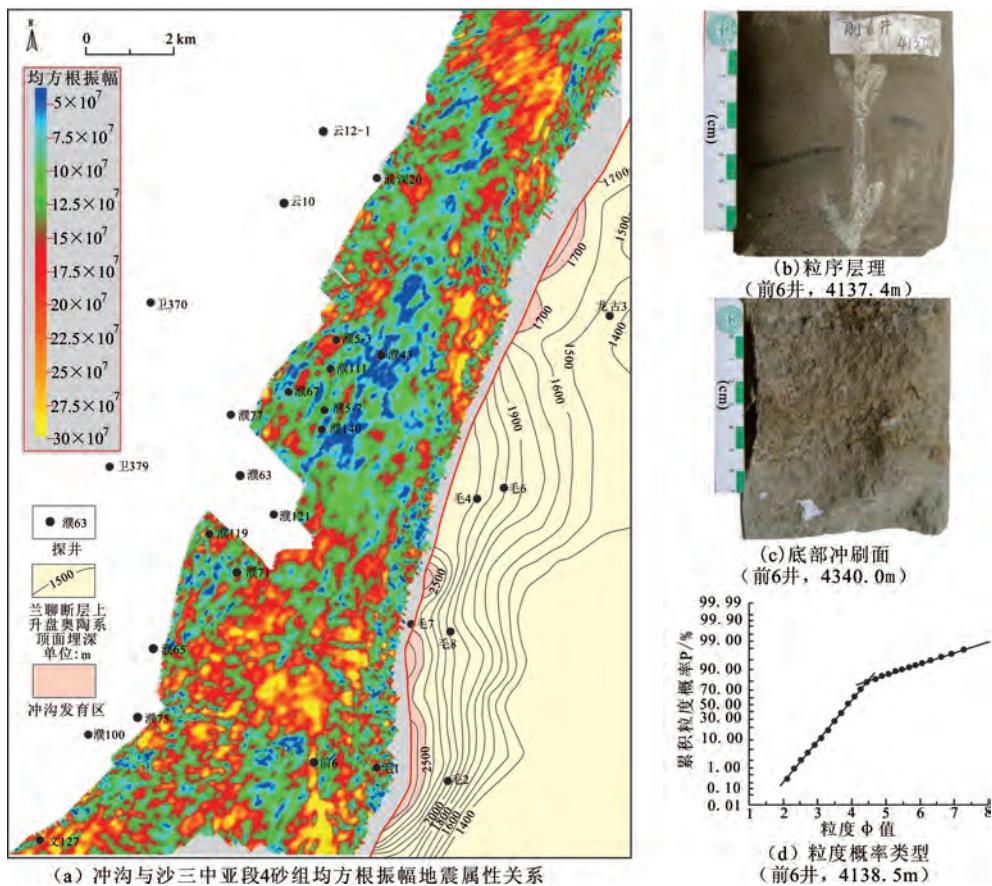
图5 兰聊断层下降盘陡坡带扇三角洲的地震属性、典型沉积构造及粒度概率曲线

Fig.5 Seismic atrtribute, typical sedimentary structures and grain size probability of fan delta in the steep slope zone
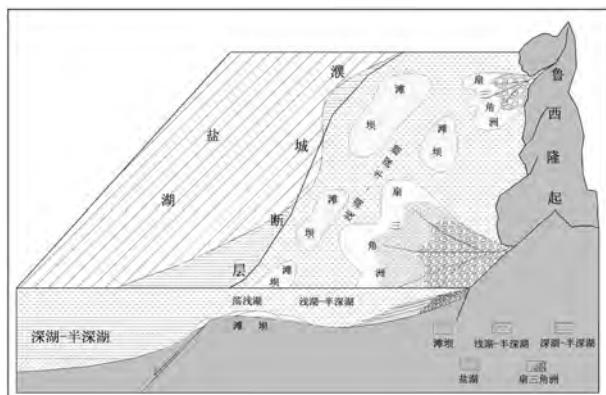
图6 濮城构造带沙三中亚段沉积相模式

Fig.6 Sedimentary facies patterns of Middle Es3 Formation in Pucheng tectonic belt
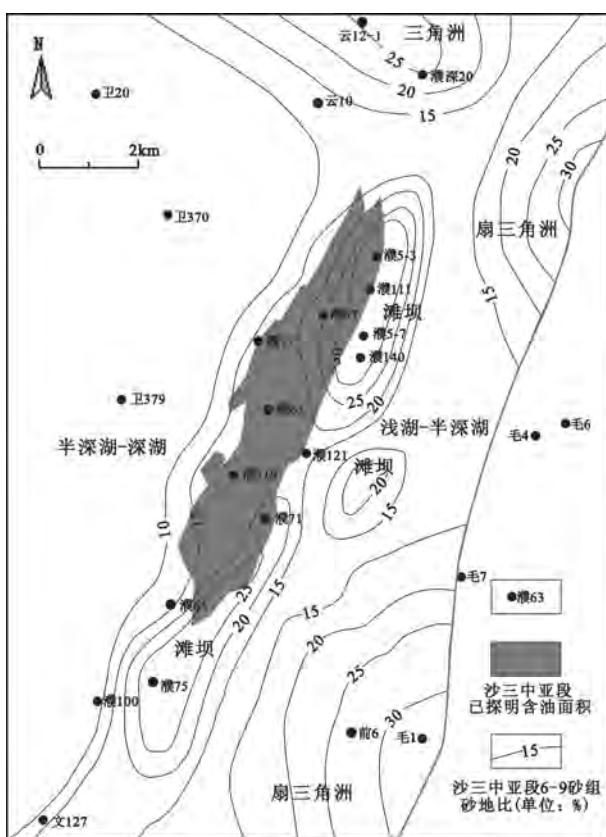

图7 濮城构造带沙三中亚段6-9砂组砂地比与
已探明区叠合图

Fig.7 The superimposition of sand ratios of Middle Es3 Formation with the proved oil reservoirs

属性、前6井取岩心井段典型沉积构造、粒度概率曲线等特征,结合古地貌恢复结果,分析认为兰聊断层下降盘陡坡带发育扇三角洲沉积[27-28]。

3.2 沉积相模式及有利勘探区预测

研究区沙三中亚段发育扇三角洲-湖相泥-滩坝沉积体系(图6~7)。兰聊断层上升盘两大冲沟控制东部鲁西隆起区物源输入,与冲沟对应的兰聊断层下降盘陡坡带发育两个扇三角洲,具有沟扇对应关系。濮城背斜带发育滩坝沉积,两个古低凸起控制砂体宏观分布。在兰聊断层下降盘陡坡带与濮城背斜带之间存在均方根振幅异常低值区,推测以湖相泥沉积为主(图5-a,图7)。

目前濮城背斜带具有滩坝沉积特点的构造油气藏已经探明并已进入开发晚期,根据沉积相模式及砂地比(图7),在濮城背斜带与濮城次洼之间的斜坡地区,扇三角洲前缘砂体以及两个扇三角洲之间的滩坝砂体发育,通过湖相泥岩的供烃及封盖作用,具备形成岩性上倾尖灭、砂岩透镜体油气藏的条件,为研究区下一步岩性油气藏勘探的有利目标。

4 结 语

盆地模拟恢复古地貌结果表明,研究区沙三中亚段具有兰聊断层上升盘两大冲沟、濮城背斜带两个古低凸起的沉积背景,发育扇三角洲-湖相泥-滩坝沉积体系。古地貌控制沉积相类型及展布,兰聊断层上升盘两大冲沟控制东部鲁西隆起区物源输入,与冲沟对应的兰聊断层下降盘陡坡带发育两个扇三角洲,具有沟扇对应关系。濮城背斜带发育滩坝沉积,古低凸起控制砂体宏观分布。在濮城背斜带与濮城次洼之间的斜坡地区,发育的扇三角洲前缘砂体以及两个扇三角洲之间的滩坝砂体具备形成岩性上倾尖灭、砂岩透镜体油气藏的条件,为研究区下一步岩性油气藏勘探的有利目标。

参考文献(References):

[1] 赵文智, 邹才能, 汪泽成, 等. 富油气凹陷满凹含油论——内涵与意义[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 5-13.
Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Wang Zecheng, et al. The intension and signification of sag-wide oil bearing theory in the hydrocarbon rich depression with terrestrial origin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 5-13(in Chinese with English abstract).

[2] 靳松, 朱筱敏, 钟大康. 扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J]. 中国地质, 2006, 31(1): 212-220.
Jin Song, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang. High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distribution

characteristics of sandbodies[J]. Geology in China, 2006, 31(1): 212−220(in Chinese with English abstract).

[3] 冯有良. 断陷盆地层序格架中岩性地层油气藏分布特征[J]. 石油学报, 2005, 26(4): 17−22.

Feng Youliang. Distribution of stratigraphic and lithologic reservoirs in sequence framework of rift−subsidence basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(4): 17− 22(in Chinese with English abstract).

[4] 李熙拮, 张满郎, 谢武仁. 鄂尔多斯盆地上古生界岩性气藏形成的主控因素与分布规律[J]. 石油学报, 2009, 30(2): 168−175.

Li Xizhe, Zhang Manlang, Xie Wuren. Controlling factors for lithologic gas reservoir and regularity of gas distribution in the Upper Paleozoic of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30 (2): 168−175(in Chinese with English abstract).

[5] 姜正龙, 邓宏文, 林会喜, 等. 古地貌恢复方法及应用——以济阳坳陷桩西地区沙二段为例[J]. 现代地质, 2009, 34(5): 865−871.

Jiang Zhenglong, Deng Hongwen, Lin Huixi, et al. Methods and application of paleo—geomorphologies rebuilding: An example of the second Member of Shahejie Formation, Zhuangxi area, Jiyang depression[J]. Geosciences, 2009, 34(5): 865−871(in Chinese with English abstract).

[6] 徐长贵, 赖维成, 薛永安, 等. 古地貌分析在渤海古近系储集层预测中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(5): 53−56.

Xu Changgui, Lai Weicheng, Xue Yong'an, et al. Palaeo−geomorphology analysis for the Paleogene reservoir prediction in Bohai Sea area[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 33(5): 53−56(in Chinese with English abstract).

[7] 邢凤存, 陆永潮, 刘传虎, 等. 车排子地区构造−古地貌特征及其控砂机制[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 78−83.

Xing Fengcun, Lu Yongchao, Liu Chuanhu, et al. Structural−paleo geomorphologic features of Chepaizi area and mechanism of their control on sandbodies[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 78−83 (in Chinese with English abstract).

[8] 蒙启安, 纪友亮. 塔南凹陷白垩纪古地貌对沉积体系分布的控制作用[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 843−848.

Meng Qi'an, Ji Youliang. Controlling of paleo geomorphology to distribution of sedimentary system in the Cretaceous of Tanan Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 843− 848(in Chinese with English abstract).

[9] 廖远涛, 王华, 王家豪, 等. 东濮凹陷文东—梨园地区沙三段、沙四段沉积特征和有利储集体预测[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 75−78.

Liao Yuantao, Wang Hua, Wang Jiahao, et al. The sediment of Es3 and Es4 Member and prediction of favorable reservoir in the Wendong− Qianliyuan Area, Dongpu Depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(3): 75−78(in Chinese with English abstract).

[10] 刘景东, 蒋有录. 东濮凹陷北部地区古近系烃源岩热演化特征及其主控因素[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 498−507.

Liu Jingdong, Jiang Youlu. Thermal evolution characteristics of Paleogene source rocks and their main controlling factors in northern part of Dongpu depression[J]. Geology in China, 2013, 40 (2): 498−507(in Chinese with English abstract).

[11] 程岳宏, 于兴河, 韩宝清, 等. 东濮凹陷北部古近系沙三段地球化学特征及地质意义[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 357−366.

Cheng Yuehong, Yu Xinghe, Han Baoqing, et al. Geochemical characteristics of the 3rd Member of Paleogene Shahejie Formation in Dongpu Depression and their geological implications[J]. Geology in China, 2010, 37(2): 357− 366(in Chinese with English abstract).

[12] 万涛, 蒋有录, 董月霞, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷油气运移路径模拟及示踪[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2013, 38 (1): 118−125.

Wan Tao, Jiang Youlu, Dong Yuexia, et al. The reconstructed and traced pathways of hydrocarbon migration in Nanpu Depression, Bohai Bay Basin[J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 2013, 38(1): 118−125(in Chinese with English abstract).

[13] 石广仁. 油气运聚定量模拟技术现状、问题及设想[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 1−10.

Shi Guangren. Status, problems and proposals of the quantitative modeling techniques for hydrocarbon migration and accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 1− 10(in Chinese with English abstract).

[14] 常振恒. 东濮凹陷深层天然气成藏机理研究[D]. 中国石油大学(华东), 2007: 75−80.

Chang Zhenheng. Deep gas accumulation formation mechanism in Dongpu depression[D]. China University of Petroleum (East China), 2007: 75−80(in Chinese).

[15] 刘景东, 蒋有录, 高平. 东濮凹陷濮卫地区地层压力演化及其与油气运聚的关系[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2010, 34 (5): 25−31.

Liu Jingdong, Jiang Youlu, Gao Ping. Evolution of formation pressure and its relationship with hydrocarbon migration and accumulation in Puwei area, Dongpu depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Nature Science Edition), 2010, 34 (5): 25−31(in Chinese with English abstract).

[16] 苏惠, 许化政, 张金川, 等. 东濮凹陷沙三段盐岩成因[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(5): 600−605.

Su Hui, Xu Huazheng, Zhang Jinchuan, et al. Origin of 3rd Member salt rock of Shahejie Formation in Dongpu Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(5): 600− 605 (in Chinese with English abstract).

[17] 屈红军, 李文厚, 苗建宇, 等. 东濮凹陷濮卫洼陷盐岩发育规律及成因探讨[J]. 中国地质, 2003, 30(3): 309−314.

Qu Hongjun, Li Wenhou, Miao Jianyu, et al. Development pattern of salt rocks in the Puwei subdepression of the Dongpu depression and their genesis[J]. Geology in China, 2003, 30(3): 309−314(in

Chinese with English abstract).

[18] 薛国刚, 高渐珍. 东濮凹陷古近系沙河街组火山作用与盐岩成因[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(1), 53−56.
Xue Guogang, Gao Jianzhen. Volcanism and halite genesis in Shahejie Formation of Paleogene in Dongpu Depression[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(1), 53− 56(in Chinese with English abstract).

[19] 朱炎铭, 王晓辉, 张聪, 等. 东濮凹陷石炭—二叠系煤系烃源岩的生烃演化[J]. 石油学报, 2007, 28(6): 27−31.
Zhu Yanming, Wang Xiaohui, Zhang Cong,et al. Hydrocarbon—generation evolution of the Permo−Carboniferous coal measure in Dongpu depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(6): 27− 31 (in Chinese with English abstract).

[20] 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 the Shahejie Formation in the Dongying sag[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32 (3): 417−423(in Chinese with English abstract).

[21] 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, 33(6): 5−10.
Cao Yingchang, Wang Jian, Liu Huimin, et al. 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[J]. Journal of China University of Petroleum (Nature Science Edition), 2009, 33(6): 5− 10(in Chinese with English abstract).

[22] 陈昊, 张洪波, 曹学良, 等. 东濮凹陷文东地区沙三中亚段沉积相及砂体类型分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 32−35.
Chen Hao, Zhang Hongbo, Cao Hongbo, et al. Facies and sand body types of the middle sub− section of the Es3 Formation in Wendong, Dongpu Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 32− 35(in Chinese with English abstract).

[23] 罗红梅, 朱毅秀, 穆星, 等. 渤海湾渤南洼陷深层湖相滩坝储集层沉积微相预测[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(2): 182−190.
Luo Hongmei, Zhu Yixiu, Mu Xing, et al. Seismic facies prediction of lacustrine beach and bar reservoirs in the deep zone of the Bonan Subsag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(2): 182−190(in Chinese with English abstract).

[24] 王永刚, 乐有喜, 张军华, 等. 地震属性分析技术[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006: 35−50.
Wang Yonggang, Yue Youxi, Zhang Junhua, et a1. Seismic Attribute Analysis Technology[M]. Dongying:China Petroleum University Press, 2006: 35−50(in Chinese).

[25] 刘传虎. 地震属性与非构造油气藏勘探[J].新疆石油地质,2005, 26(5): 485−488.
Liu Chuanhu. Seismic attribute and non− structural reservoir exploration[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005, 26(5): 485−488 (in Chinese with English abstract).

[26] 郝志伟, 王楠, 田建华, 等. 地震反射及属性对沉积相反映程度分析[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 33(5): 75−78.
Hao Zhiwei, Wang Nan, Tian Jianhua, et al. Analysis on sedimentary facies by seismic reflection and attribution [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2011, 33(5): 75−78(in Chinese with English abstract).

[27] 厚刚福, 孙雄伟, 李昌, 等. 塔里木盆地西南部叶城凹陷下白垩统克孜勒苏群扇三角洲沉积特征及模式[J]. 中国地质, 2012, 39 (4): 947−953.
Gou Gangfu, Sun Xiongwei, Li Chang, et al. Depositional features of the fan delta from lower Cretaceous Kezilesu Group in Yecheng sag, southwestern Tarim Basin[J]. Geology in China, 2012, 39(4): 947−953 (in Chinese with English abstract).

[28] 陈全红, 李可永, 张道锋, 等. 鄂尔多斯盆地本溪组—太原组扇三角洲沉积与油气聚集的关系[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 421−429.
Chen Quanhong, Li Keyong, Zhang Daofeng, et al. The relationship between fan delta and hydrocarbon accumulation in Benxi− Taiyuan Formation, Ordos Basin[J]. Geology in China, 2010, 37(2): 421−429(in Chinese with English abstract).

Palaeogeomorphology of Middle Es3 Formation in Pucheng area of Dongpu depression and its relationship with sedimentary facies

WAN Tao[1,2], TAN Yu−ming[2], SU Hui[2], WANG Xing−wu[2],
NI Jun−feng[2], LIU He−mei[2], WAN Jing[2]

(1. *Postdoctoral Research Station of Zhongyuan Oilfield, Puyang* 457001, *Henan, China;*
2. *Research Institute of Exploration and Development, Zhongyuan Oilfield, Puyang* 457001, *Henan, China*)

Abstract：According to the "sag−wide oil−bearing theory" for the hydrocarbon−rich depression, the lithologic reservoir exploration near the sags has currently become the focus in the exploration work in Dongpu depression and other hydrocarbon−rich depressions of Bohai Bay basin. Paleogeomorphologic analysis makes up the foundation for accurate prediction of deep reservoirs,while favorable sedimentary facies with good tectonic background constitute the key to successful exploration. Based on the technology of basin modeling, the authors reconstructed the paleogeomorphology of Middle Es3 Formation in Pucheng area, Dongpu Depression. Through core observation, thin section identification, grain size analysis,sand ratios and seismic attributes research, the sedimentary facies types were established and their relationships with paleogeomorphology were studied in detail. The results show that the sedimentary systems in the study area were fan delta,lacustrine mudstone and beach bar facies, which were controlled by Paleogeomorphology. There were two gullies on the uplifted side of Lanliao fault and two fan deltas on the downthrown side, assuming a gully−fan corresponding relation. In Pucheng anticline belt, two paleo low uplifts were developed during the formation of Middle Es3, which were surrounded by thicker sandstone, with the sedimentary facies being beach bar. The fan delta front and the beach bar between the two fan deltas in the slope area are favorable exploration areas because upward dipping wedge−out reservoirs and lenticular reservoirs are likely to have been formed in these areas.

Key words：paleogeomorphology; basin modeling; fan delta; beach bar sands; lithologic reservoir; Dongpu depression

---