

# 渤海海域埕北低凸起及周围地区构造沉积特征与有利勘探目标

郭涛,李慧勇,石文龙,王思权,涂翔

(中海石油(中国)有限公司天津分公司 渤海石油研究院,天津 300452)

**摘要:**埕北油田发现至今已30多年,但其滚动勘探成效微弱。为缓解埕北油田增储上产的压力,对渤海海域埕北低凸起及周围地区进行精细解剖及勘探潜力分析势在必行。为此,利用层序地层分析、古地貌恢复以及储层综合预测技术,重新厘定研究区的构造特征、地层发育、地层接触关系以及沉积控制因素等。研究表明,埕北低凸起及周围地区可分为凸起区披覆构造带、南侧陡坡带、北侧缓坡带和西侧倾末超覆带4个构造带。古近纪,研究区南侧陡坡带发育沟谷—断层控制的扇三角洲沉积,北侧缓坡带发育沟谷—坡折控制的辫状河三角洲沉积,西侧倾末超覆带发育走向转换斜坡带控制的辫状河三角洲沉积。以埕北低凸起作为物源区形成的各方向的古近系扇三角洲及辫状河三角洲砂体具有较好的储集条件,与南、北边界断层及地层超覆带相匹配,可形成构造圈闭和地层超覆圈闭,具有较大的勘探潜力。

**关键词:**古近系 构造带 储层预测 沉积控制因素 坡折带 埕北低凸起

中图分类号:TE112.2

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)02-0028-05

## Tectonic-sedimentary characteristics and favorable exploration targets in the Chengbei low uplift and neighboring regions in Bohai Sea area

Guo Tao, Li Huiyong, Shi Wenlong, Wang Siquan, Tu Xiang

(Bohai Oilfield Exploration and Development Research Institute, Tianjin Branch Company, CNOOC, Tianjin City, 300452, China)

**Abstract:** Chengbei oilfield has been found for over 30 years, but the progressive exploration result here is not satisfied. It is imperative to finely describe tectonic-sedimentary characteristics in the Chengbei low uplift and neighboring regions in Bohai Sea area and analyze the exploration potential to ease the stress of increasing oil reserves and productions on Chengbei oilfield. The tectonic characteristics, stratigraphy and stratigraphic contact, and sedimentary controlling factors in the study region were described again or redefined using sequence stratigraphy analysis, paleo-geomorphology restoration and comprehensive reservoir prediction technology. The research results show that the Chengbei low uplift and its surrounding area can be divided into 4 tectonic belts: drape structural belt in the low uplift, steep slope zone in the south, gentle slope zone in the north and overlapping belt pitching out into the west. In the Paleogene, fan delta deposited in the south steep slope zone was controlled by a ravine-fault system, and braided river delta deposited in the north gentle slope zone was controlled by a ravine-slope break system while that deposited in the west was controlled by a trend-transform zone that pinching out into the west. The Paleogene fan deltas and braided river delta sandbodies have better reservoir conditions with provenance from the Chengbei low uplift, which could form structural and stratigraphic overlap traps combining with the south and north boundary faults and stratigraphic overlap belts.

**Key words:** Palaeogene; tectonic belt; reservoir prediction; sedimentary control factors; slope break belt; Chengbei low uplift

收稿日期:2015-01-09。

作者简介:郭涛(1981—),男,山东菏泽人,工程师,硕士,从事层序地层学、储层预测及油气勘探工作。联系电话:(022)25801063, E-mail: guotao2@cnooc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05023-002)。

埕北低凸起位于渤海西部海域,紧邻沙南、渤中和埕北3大凹陷<sup>[1-3]</sup>,勘探面积约为490 km<sup>2</sup>。埕北油田位于埕北低凸起西段中海油矿区内,已持续、高效开发近30年;但受可动用储量的限制,其稳产、上产压力越来越大,急需寻找新的替代储量阵地。为此,笔者对埕北低凸起及周围地区进行全面解剖,厘清其构造和地层发育特征、沉积控制因素和演化以及油气富集规律,明确研究区下步的油气勘探潜力,以期为埕北油田今后的油气勘探及增储上产提供依据。

## 1 构造及地层发育特征

埕北低凸起西段具有南北双断、西部超覆的构造特征,其边界同沉积断层活动的差异性对地层发育、沉积相类型以及圈闭的形成均具有一定的控制作用。根据不同的构造特征,可将埕北低凸起及周围地区划分为4个构造带,分别为凸起区披覆构造带、南侧陡坡带、北侧缓坡带和西侧倾末超覆带(图1)。其中,凸起区披覆构造带主要指北西—南东向展布的狭长形埕北低凸起,其南、北两侧主要受边界断层控制,西侧向凹陷区自然倾伏,主要为东营组上段—明化镇组覆盖的潜山构造带。南侧陡坡带的地层发育主要受控于高陡型的埕北1号边界断层,由于其剧烈活动,导致凹陷区和凸起区具有相对较大的落差;且地层厚度变化明显,靠近断层部位的地层厚度较大,整体呈楔形延伸。北侧缓坡带受控于低缓型的沙南2号断层,由于其活动较弱,导致凹陷区和凸起区的相对落差较小,但仍控制着地层的发育。西侧倾末超覆带受断层控制作用较小,埕北低凸起西侧向凹陷区下倾并自然倾伏消失;而古近纪沙南凹陷的湖平面开始逐渐上升,地层逐层向凸起方向超覆沉积,在埕北低凸起的西侧倾末端

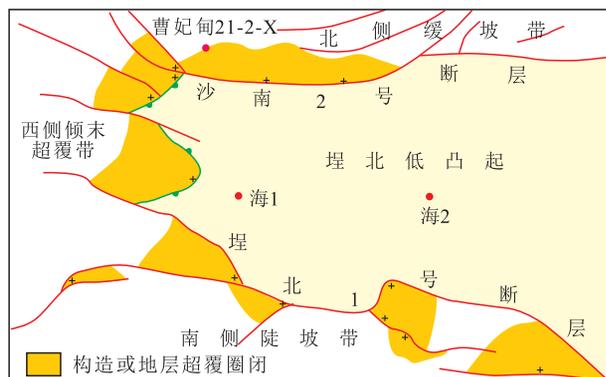


图1 埕北低凸起西段构造划分

Fig.1 Structural division in the western section of the Chengbei low uplift

形成超覆尖灭带。根据已钻井的合成地震记录标定和地震反射特征,厘清了研究区的地层发育特征。其中,凸起区的潜山发育古近系东营组上段以及新近系馆陶组、明化镇组,缺失孔店组、沙河街组和东营组下段等;而低凸起边界断层下降盘古近系发育较全,沙河街组和东营组较厚,且南侧陡坡带可能发育孔店组。

研究区的凸起区披覆构造带以埕北油田为代表,为披覆在埕北低凸起之上的半背斜构造;其圈闭的继承性良好,以发育浅层和潜山圈闭为主,但勘探程度较高,各类圈闭均已钻探,目前的勘探潜力有限。埕北低凸起周围地区古近系深层圈闭具有良好的勘探潜力,但近年来的研究相对较少;通过系统的构造解释,发现低凸起南、北侧以边界断层作为遮挡,可形成一系列的断块和断鼻圈闭;其中沙河街组顶部和东营组下段的圈闭面积均超过10 km<sup>2</sup>,圈闭幅度为60~300 m。由于古近系逐层超覆于埕北低凸起西侧斜坡,可形成一系列地层超覆圈闭,且圈闭面积较大、幅度适中;根据新处理的三维地震资料,可以刻画出西侧超覆带的超覆点,确定沙河街组顶部的圈闭面积为4.4 km<sup>2</sup>,圈闭幅度为295 m,东营组下段的圈闭面积为10.9 km<sup>2</sup>,圈闭幅度为290 m。

## 2 沉积控制因素及演化

### 2.1 沉积控制因素

#### 2.1.1 古物源区母岩类型控制砂体发育程度

在复杂断陷盆地中,物源区的岩性是决定斜坡带砂体发育程度的主要因素之一。当物源区发育花岗岩等易于风化形成粗碎屑沉积的岩性时,下游方向的砂体则相对发育;当物源区发育碳酸盐岩和泥质岩时,下游方向的砂体一般不发育。在对中深层储层预测的过程中,须进行精细的物源分析,明确有效物源体系;对有效物源体系范围及岩性组合的精细刻画,将有助于对沉积体系的准确预测以及对远景区油气生、储、盖层的评价<sup>[4-8]</sup>。研究结果表明,埕北低凸起的母岩类型以中生界陆相碎屑岩和火山岩为主,北侧出露部分前寒武系变质花岗岩。渤海海域大量的勘探实践证明,中生界陆相碎屑岩、火山岩以及前寒武系变质花岗岩均为易风化、可形成优质储层的良好母岩类型。

#### 2.1.2 古沟谷分布控制砂体汇聚方向

古沟谷是在基准面下降到坡折带之下,地表遭受剥蚀形成的残留可容纳空间,一般沿层序界面

(不整合面)发育,为沉积物向盆地搬运和堆积的古地貌低势区。古沟谷是沉积物搬运的直接证据,良好的沟道不仅可以提供沉积区砂体通畅并持续的供应,还可以起到汇聚砂体的作用<sup>[9-11]</sup>。三维地震资料分析及勘探实践结果表明,埕北低凸起及周围地区下切沟谷发育且特征明显,剖面上以V型和U型沟谷为主,平面上呈弯曲或分叉状展布(图2),顺古沟谷下倾方向的斜坡带应为有利的砂体发育区。大型沟谷对研究区的沉积体系及物源输导具有重要的控制作用,其既为物源区向盆地输送沉积物的通道,也指示出水系的流向,进而控制砂体的优势汇聚方向。

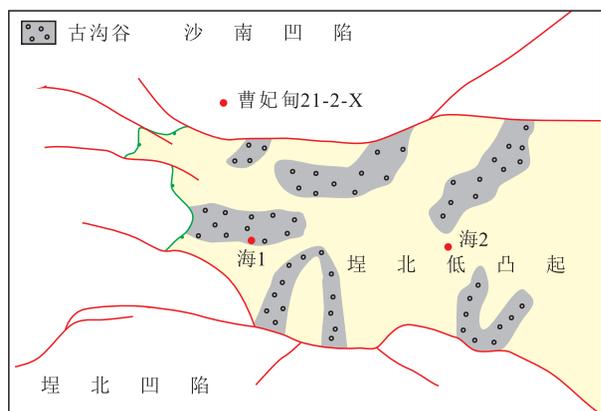


图2 埕北低凸起及周围地区古沟谷平面展布

Fig.2 Palaeo-gully planar distribution in the Chengbei low uplift and its surrounding areas

### 2.1.3 坡折带发育控制砂体分布规模

坡折带不仅可以反映古地形的变化,而且对沉积体系的发育、演化以及隐蔽圈闭的形成均具有重要的控制作用。坡折带是由同沉积断层长期活动引起的沉积斜坡发生明显变化的地带,对盆地的可容纳空间和沉积作用会产生重要的影响,并制约着沉积相带的空间分布。同沉积断层具有多种不同的组合样式,其受控于构造应力场、先期断裂系再活动及重力调节作用。不同沉积断层的组合样式具有特定的古地貌特征,从而控制着砂分散体系及砂体的分布样式<sup>[12-13]</sup>。

从剖面断层样式及其组合特征可以看出,埕北低凸起及周围地区的坡折带可分为单断式陡坡坡折带、断阶式缓坡坡折带和走向转换斜坡带3种类型(图3)。其中,单断式陡坡坡折带发育于边界大断层,由于断层长期活动,其上、下盘的落差较大,形成持续下陷型边界,低凸起南侧陡坡带即属于这种类型(图3a);单断式陡坡坡折带受边界断层强烈活动的影响,断层上、下盘的地层厚度具有较大差异,剥蚀物源主要沿边界断层直接向下陷盘注入,

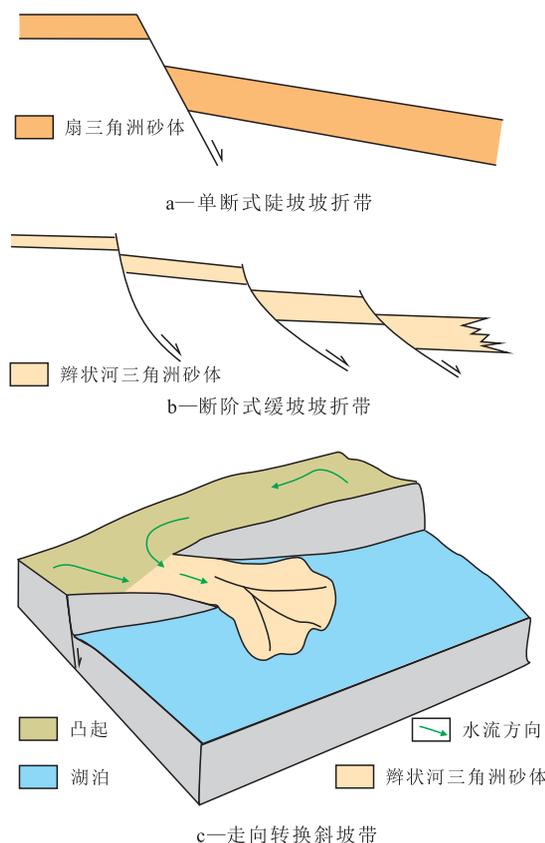


图3 埕北低凸起及周围地区坡折带类型

Fig.3 Slope break belt types in the Chengbei low uplift and its surrounding areas

入盆水系较为分散,运移距离短,砂体垂向厚度大但平面规模小,常呈裙边状产出。断阶式缓坡坡折带由2条以上断层持续下陷所形成,早期盆缘断层的断距较大,晚期盆缘断层的断距较小,有的甚至仅断至基底,成为上伏地层的隐伏断层,使上伏地层在隐伏断层处形成挠曲坡折,低凸起北侧缓坡带即属于该类型(图3b);断阶式缓坡坡折带的构造活动相对微弱,凸起区的剥蚀物源一般通过古沟谷进行汇聚,通过沟谷(槽)向凹陷区输送,由于坡折带的坡度较缓,因此各台阶断层均可接受物源区的供给,砂体的垂向厚度小但平面展布规模相对较大。埕北低凸起西侧倾末端发育多条北西—南东走向的调节断层,断层倾向相同且相互叠覆,中间大部分区域位于断层转换部位,使断层上、下盘之间平缓过渡,这种坡折带类型即为走向转换斜坡带(图3c);由于低凸起西侧地层向西倾伏,东侧物源区进入盆地的分支水系易于在走向转换斜坡带合并流入盆地,因此,走向转换斜坡带是富砂质碎屑沉积非常发育的场所,砂体的沉积规模较大<sup>[14-15]</sup>。

## 2.2 沉积演化

沙河街组沉积时期,埕北低凸起大面积出露水面,呈南北双断特征。中生界碎屑岩、火山岩和前

寒武系变质花岗岩经过长期风化剥蚀,具有较好的物质基础;且长期剥蚀及水流侵蚀,使得凸起区的沟谷十分发育,对剥蚀物具有汇聚作用。埕北低凸起南侧陡坡带受长期活动的埕北1号断层控制,其单断式陡坡折带的水系分散,碎屑物质粒度粗、厚度大,但平面规模一般较小,围绕边界断层常发育裙状扇三角洲沉积。研究区北侧缓坡带主要发育断阶式缓坡折带,其断层逐级向北下掉,地层呈阶梯式缓坡形态;凸起区的碎屑物质随水流入湖,由于水体较浅,碎屑物质搬运距离较远,古沉积环境以辫状河三角洲沉积为主,砂体在平面上呈朵状分布、规模较大<sup>[16-17]</sup>。埕北低凸起西侧倾末超覆带主要发育北西—南东向调节断层,调节断层不直接控制沉积,其间重叠区的地层向盆地方向平缓下倾,所造成的势能差对水流具有汇聚作用,沉积物最终沿着走向转换斜坡带向盆地内部推进(图4)。

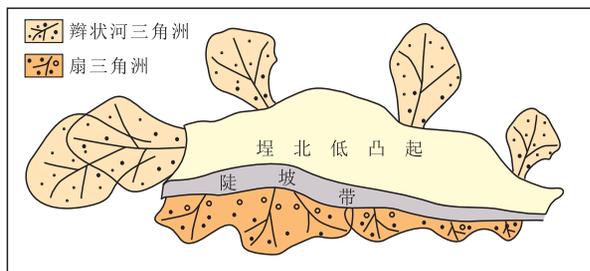


图4 埕北低凸起及周围地区沙河街组沉积时期—东营组沉积早期沉积模式

Fig.4 Sedimentation model during the depositional stage of Shahejie-Lower Dongying Formation in the Chengbei low uplift and its surrounding areas

在东营组下段沉积时期,埕北低凸起南、北侧仍以扇三角洲和辫状河三角洲沉积为主;但由于湖平面持续上升,沉积物多以退积为主。低凸起西侧倾末超覆带的沉积体具有更为明显的超覆尖灭特征;随着湖平面不断上升,多期次辫状河三角洲朵体逐层超覆于低凸起西侧斜坡带,并沿着斜坡带依次向上倾方向尖灭。

在东营组上段沉积时期,埕北低凸起逐渐下沉于水下,沉积格架随之发生改变。埕北低凸起及周围地区具有统一的古地貌背景(地形高差消失),亦发育统一的沉积环境。

### 3 有利勘探目标分析

埕北低凸起被生油凹陷所包围,油气主要以断层和馆陶组的厚层砂砾岩输导。研究区边界断层下降盘发育多种类型的砂体,受南、北边界断层的遮挡形成了多个构造圈闭,在研究区西侧还发育大

型地层超覆圈闭。由于针对埕北低凸起边界断层下降盘古近系构造圈闭和地层超覆圈闭的探井较少,勘探程度相对较低;因此,目前埕北低凸起及周围地区真正的勘探潜力,不是埕北油田主力产层(东营组上段),而是在东营组上段沉积之前、以埕北低凸起作为物源区时形成的各方向的古近系扇三角洲及辫状河三角洲砂体<sup>[18-19]</sup>(图5)。研究区西侧陡坡带和北侧缓坡带沙河街组—东营组下段的构造圈闭及西侧倾末超覆带的地层超覆圈闭具有较大的勘探潜力,预测石油地质资源量超过 $7\ 000 \times 10^4$  t。

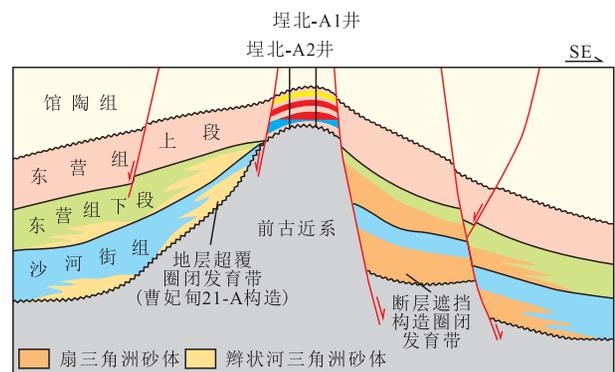


图5 埕北低凸起及周围地区有利勘探目标优选

Fig.5 The optimization of favorable exploration target in the Chengbei low uplift and its surrounding areas

#### 3.1 南侧陡坡带和北侧缓坡带构造圈闭

构造油气藏主要分布于埕北低凸起的南侧陡坡带和北侧缓坡带,受埕北1号和沙南2号边界断层的长期继承性活动及遮挡作用控制,形成一系列断鼻及断块圈闭,且圈闭形态好、面积大。研究结果表明,研究区沙河街组—东营组下段发育多套有利的储盖组合,整体上近源扇三角洲及辫状河三角洲沉积的储层较为发育。在沙河街组沉积时期,成岩阶段整体处于中成岩阶段A期,次生孔隙非常发育,储层物性条件较好。南侧陡坡带和北侧缓坡带紧邻沙南和埕北2大富生烃凹陷,且发育大量长期活动性的断层可以沟通油源,有利于油气运聚成藏,为油气的优势聚集区。

#### 3.2 西侧倾末超覆带地层超覆圈闭

2012年根据新处理的三维地震资料,在埕北低凸起西侧倾末超覆带发现了曹妃甸21-A构造。该构造为两侧受断层控制,上倾方向地层尖灭于潜山的地层超覆圈闭。古近纪,埕北低凸起西端的出露时间长、面积大,出露的潜山地层遭受剥蚀,为西侧倾末超覆带提供了充足的物源条件。曹妃甸21-A构造位于西部走向转换斜坡带的有利砂体输送通道上,其古近系继承性发育有利的辫状河三角洲沉

积;且距离沙南生烃凹陷较近,在其上倾方向的埕北低凸起已发现埕北油田,位于油气运移路径上的曹妃甸21-A构造应具有近源成藏的优势。

## 4 结论

通过系统的构造、地层、古地貌及沉积体系分析,将埕北低凸起及周围地区划分为凸起区披覆构造带、南侧陡坡带、北侧缓坡带和西侧倾末超覆带4个构造带,发育单断式陡坡折带、断阶式缓坡折带和走向转换斜坡带3种坡折带类型。古近纪,研究区南侧陡坡带发育沟谷—断层控制的扇三角洲沉积,北侧缓坡带发育沟谷—坡折控制的辫状河三角洲沉积,西侧倾末超覆带发育走向转换斜坡带控制的辫状河三角洲沉积。埕北低凸起作为物源区发育的各方向的古近系扇三角洲和辫状河三角洲砂体,若与构造相匹配,可形成构造和地层超覆圈闭,具有复式油气成藏的勘探潜力,预测石油地质资源量超过 $7\ 000\times 10^4\ \text{t}$ 。

### 参考文献:

- [1] 王飞琼.埕北油田开发特点与认识[J].中国海上油气:地质,2001,15(6):399-404.  
Wang Feiqiong.Development history of Chengbei oilfield[J].China Offshore Oil & Gas:Geology,2001,15(6):399-404.
- [2] 郭太现,王世民,王为民.埕北油田综合调整实践[J].中国海上油气,2005,17(5):311-315.  
Guo Taixian,Wang Shimin,Wang Weimin.Comprehensive adjustment of development in Chengbei oilfield[J].China Offshore Oil & Gas,2005,17(5):311-315.
- [3] 谭河清.渤海南部埕北凹陷油气资源潜力分析[J].江汉石油学院学报,2004,26(1):39-41.  
Tan Heqing.Analyzing the potential of hydrocarbon resources in Chengbei sag in the south of Bohai Gulf[J].Journal of Jiangnan Petroleum Institute,2004,26(1):39-41.
- [4] 张建林,林畅松,郑和荣.断陷湖盆断裂、古地貌及物源对沉积体系的控制作用——以孤北洼陷沙三段为例[J].油气地质与采收率,2002,9(4):24-27.  
Zhang Jianlin,Lin Changsong,Zheng Herong.Controlling action of fractures,palaeogeomorphology and material sources of rift lake basin on sedimentary system-taking Es<sub>3</sub>Gubei subsag as example[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2002,9(4):24-27.
- [5] 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):843-849,855.  
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):843-849,855.
- [6] 徐长贵,许效松,丘东洲,等.辽东湾地区辽西凹陷中南部古近系构造格架与层序地层格架及古地理分析[J].古地理学报,2005,7(4):449-459.  
Xu Changgui,Xu Xiaosong,Qiu Dongzhou, et al.Structural and sequence stratigraphic frameworks and palaeogeography of the Paleogene in central-southern Liaoxi Sag,Liaodongwan Bay area[J].Journal of Palaeogeography,2005,7(4):449-459.
- [7] 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,2004,31(5):53-56.
- [8] 姚根顺,袁圣强,吴时国,等.琼东南盆地深水区双物源沉积模式及勘探前景[J].石油勘探与开发,2008,35(6):685-691.  
Yao Genshun,Yuan Shengqiang,Wu Shiguo, et al.Double provenance depositional model and exploration prospect in deepwater area of Qiongdongnan Basin[J].Petroleum Exploration and Development,2008,35(6):685-691.
- [9] 刘军镗,简晓玲,康波,等.东营凹陷东营三角洲沙三段中亚段古地貌特征及其对沉积的控制[J].油气地质与采收率,2014,21(1):20-23.  
Liu Jun'e,Jian Xiaoling,Kang Bo, et al.Palaeogeomorphology of the middle part of 3rd member of Shahejie formation and their effects on depositional systems,Dongying delta,Dongying depression[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2014,21(1):20-23.
- [10] 徐长贵,赖维成.渤海古近系中深层储层预测技术及其应用[J].中国海上油气,2005,17(4):231-236.  
Xu Changgui,Lai Weicheng.Prediction technologies of Paleogene mid-deep reservoir and their application in Bohai Sea[J].China Offshore Oil & Gas,2005,17(4):231-236.
- [11] 周桂芹.鄂尔多斯盆地延长组中部层序地层格架及有利储层分布[J].油气地质与采收率,2012,19(2):16-19.  
Zhou Guiqin.High-resolution sequence stratigraphic framework and distribution of favorable reservoirs in SQ3 sequence of Yanchang group in Ordos Basin[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2012,19(2):16-19.
- [12] 王延章,宋国奇,王新征,等.古地貌对不同类型滩坝沉积的控制作用——以东营凹陷东部南坡地区为例[J].油气地质与采收率,2011,18(4):13-16.  
Wang Yanzhang,Song Guoqi,Wang Xinzhen, et al.Controlling effect of paleogeomorphology on deposition of beach and bar sand reservoir—case study of south slope,east Dongying depression[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2011,18(4):13-16.
- [13] 林畅松,潘元林,肖建新,等.“构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J].地球科学——中国地质大学学报,2000,25(3):260-266.  
Lin Changsong,Pan Yuanlin,Xiao Jianxin, et al.Structural slope break zone:Key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins[J].Earth Science:Journal of China University of Geosciences,2000,25(3):260-266.