

文章编号:0253-9985(2006)01-0093-06

东营凹陷滑塌浊积岩沉积特征及油气藏勘探技术

尹太举¹, 张昌民¹, 李中超²

(1. 长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434023; 2. 中国石化 中原油田 勘探开发研究院, 河南 濮阳 457001)

摘要: 东营凹陷滑塌浊积岩是前缘席状砂或河口坝砂体在重力、地震等作用下, 外部剪切力克服其内部的粘结力而发生崩塌、滑移后再沉积的产物, 具有分异性好、结构和成份成熟度较低特征的粉、细砂岩。据浊积体的平面发育特征, 可分为非沟道化的浊积岩和沟道化的浊积岩两种类型。基于滑塌浊积岩的成因, 滑塌浊积岩发育地区不能采用常规的旋回对比法及高分辨率层序地层等对比技术, 应采用井震结合确定大的地层界限及标志层逐级控制的对比方法。滑塌浊积岩储层以微孔隙组合为主, 单层平均孔隙度一般小于23%, 平均渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属中低孔低渗储层。浊积岩储层评价, 重点考虑砂体平面分布的连续性、连通性、砂体的厚度及含油性。滑塌浊积岩形成于深湖区, 近油源, 油源充足, 油气垂向或侧向或沿断层短距离运移成藏, 多为岩性和岩性-断层遮挡油气藏。滑塌浊积岩勘探主要是应用沉积微相分析和地震反演两项技术进行储层预测。依据储层预测结果, 提供了11个可供滑塌浊积岩隐蔽油气藏的勘探目标。

关键词: 滑塌浊积岩; 储层对比; 隐蔽油藏; 储层预测; 勘探技术; 东营凹陷

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Depositional characteristics of fluxoturbidite and exploration technologies of subtle reservoirs in the Dongying sag

dominated by micropores and are of moderate to low porosity and low permeability reservoirs; the average porosity of single layer is generally below 23%, and the average permeability is less than $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. Evaluation of fluxoturbidite reservoirs should be focused on the areal continuity, connectivity, thickness and oil-bearing properties of sandbodies. Fluxoturbidite reservoirs have been deposited in deep lake near the rich source rocks. Hydrocarbons would migrate vertically, laterally or along faults in short distance and accumulate in lithologic and lithologic-fault screened traps. Sedimentary microfacies analysis and seismic inversion are commonly used for reservoir prediction during exploration of fluxoturbidite reservoirs. Based on the results of reservoir prediction, 11 targets are presented for exploration of fluxoturbidite subtle reservoirs.

Key words: fluxoturbidite; reservoir correlation; subtle oil reservoir; reservoir prediction; exploration technology; the Dongying sag

收稿日期: 2005-09-16

第一作者简介: 尹太举(1971—), 男, 博士后, 油田开发地质

近年来,胜利、大庆油田在隐蔽油气藏领域勘探中,取得了一系列较重要的发现^[1~4]、尤其是胜利油田在隐蔽油气藏勘探技术^[5,6]、成藏机理^[7~9]、储层预测^[10]等方面的研究中取得了较大的进展。因此,加强滑塌浊积岩隐蔽油气藏的勘探具有一定的现实意义。

东营凹陷河 135 及 110 井区位于凹陷中部的中央隆起带上,研究层段沙河街组三段(以下简称沙三段)为湖泊鼎盛时期,研究区处于深湖、半深湖相,沉积了巨厚的暗色泥岩,夹数套厚层状三角洲前缘滑塌浊积岩^[11]。滑塌浊积岩具有分异性好、较低结构和成份成熟度特征的粉、细砂岩。其成份、结构等与原始沉积物关系极为密切,基本上原始沉积物决定了滑塌浊积岩的特征。大多数的滑塌浊积岩是前缘席状砂或河口坝砂体在重力、地震等作用下,外部剪切力克服其内部的粘结力而发生崩塌、滑移后再沉积的产物。形成一系列的岩性隐蔽油气藏。

1 沉积学特征

1.1 岩性、结构及沉积构造特征

滑塌浊积岩主要为块状中、细砂岩,夹泥质粉砂岩。其下部为厚层块状深灰色泥岩与灰质泥岩的互层,粉细砂岩砂体主要为规模不等的透镜体,层位不稳定,分布不均。

滑塌浊积岩沉积体系储层结构成熟度和成分成熟度低,分选中等,磨圆度差,以次棱角-次圆状为主,杂基含量高。

滑塌浊积岩发育块状层理和滑塌-搅混构

造,砂岩的底部可见冲刷面,见铸模,局部发育有小型砂纹层理。砂岩中可见不同规模、不完整的鲍马序列,主要以 B 段、C 段和 E 段为主。并发育有不同类型的同生变形构造。

1.2 沉积模式

与湖底扇和近岸水下扇不同,滑塌浊积岩的物源来自早期沉积的未完全固结的地层,因而其物源一般较小,形成的沉积体主要为小规模、条带状砂体。河 135 井区的浊积沉积可分为两种类型,一种是沟道化的浊积岩,另一类则是非沟道化的浊积岩。前者沉积位置距离滑塌物源区较远,在滑动、浊化过程具有比较合适的古地形,使得浊积体具有沟道化的特点。后者滑动搬运距离相对较短,古地形有利于形成近源的扇状沉积体。

1) 沟道化浊积岩沉积

沟道化浊积岩外形上具有沟道的特征,平面呈扇形或长条形,沟道具有分叉,也可能是单独的沟道。在部分位置可能出现沟道间的相互切割叠置。沟道的宽度一般较小,不超过 400 m,延伸较短,不超过 2 000 m。随古地貌和供给物源量的不同,沟道沉积的厚度也有较大的变化,单期沟道砂体厚约 2~10 m(图 1A)。

在沟道化浊积岩中,依据其古地理位置和沉积水动力特征,发育有主沟道沉积、末梢沟道微相、堤岸漫溢微相和边滩微相。

沟道微相规模一般较大,是主输砂通道,平面上延伸较长,单层厚度较大,以中细砂岩为主,发育块状层理和粒序层理,整体上呈向上变细的正粒序或粒序不明显,电测曲线特征多显箱形、钟

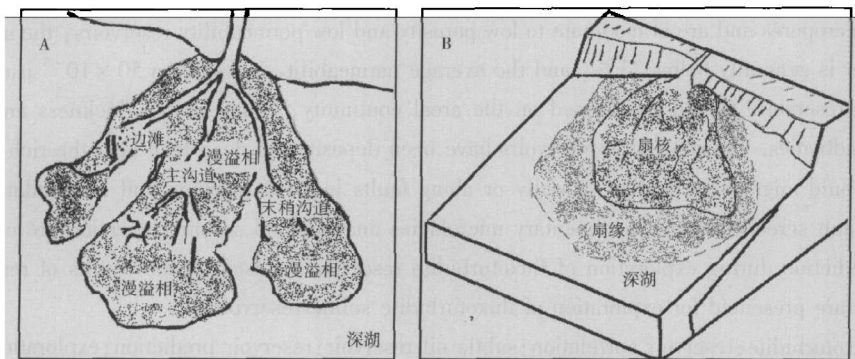


图 1 滑塌浊积岩沉积相模式

Fig. 1 Sedimentary facies patterns of fluxoturbidite

A. 沟道化浊积岩; B. 非沟道化浊积岩

形。末稍沟道微相是主沟道砂质变少后,沟道分叉而成,规模一般较小,平面上延伸较短,单层厚度较小,多小于3 m,以细砂岩为主,发育粒序层理、砂纹层理,整体上呈向上变细的正粒序,电测曲线特征显钟形、指形。堤岸漫溢微相是沉积物越过沟道在深湖背景上的沉积,多沿沟道边缘呈条带状沉积,厚度一般较小,延伸相对较广,依据其沉积的古地理位置可分为堤岸相、漫溢相、决口相等,基本上由粉砂岩、粉砂质泥岩等组成,多为正粒序,测井曲线特征为指形、复合指形、钟形等。边滩微相是在沟道内由于受古地貌的影响而沉积的局部厚砂体,多位于沟道转弯部位,整体上呈正粒序,测井曲线上为箱形或钟形。

2) 非沟道化浊积岩

非沟道化浊积岩规模相对较小,沉积物来不及沟道化便失去流动性而沉积下来,其形态受古地貌的严格控制,大多呈扇形,其模式如图1B所示,发育扇核微相和扇缘微相。

扇核微相以细砂岩和粉砂岩为主,其层理和粒序大多继承滑塌前砂体的特征,发育块状层理、递变层理,局部可见斜层理、交错层理、冲刷现象、重荷模,以向上变细序列和块状为主,在自然电位曲线上呈箱形、钟形。扇缘微相以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩为主,具有水平层理、变形层理、生物扰动构造,为向上变细序列,富含各类微体生物化石,自然电位曲线呈钟形、箱形、漏斗形。

2 滑塌浊积岩的对比

滑塌浊积岩对比步骤:(1)井震结合确定大的地层界限;(2)重点井解剖,确定对比的标志层;(3)由标志层入手,划分和对比大的沉积旋回;(4)在砂组内依据相变,精细对比单砂层;(5)地

震与测井反复对比确定最终的对比方案。

需要指出的是,井震结合确定大的地层界限,对比大层时应采用标志层严格卡层,而对比小层时则需考虑储层沉积过程,尽量结合钻井资料,选用感应电导率测井曲线确定小层之间的对应关系和连通性。用常用的对比技术如旋回对比法、等高程、切片对比技术^[1]及高分辨率层序地层对比技术^[2]对比滑塌浊积岩时,常会出现对比串层的情况。

135及110井区对比标志有三。

1) 一级标志层:为区域性广泛存在、变化较小的标志层,本区包括沙河街组二段下部(以下简称沙二下)的大厚层砂体标志层及沙三段底部的油页岩标志层。沙二段的大套厚砂层在自然电位上非常容易识别。油页岩的主要特征是感应值明显降低,微电阻值增大,跳跃性增强,自然电位曲线平直(图2A)。

2) 二级标志层:出现在沙三中1层的中部,在感应电导率曲线上有3个连续的手指状尖峰(图2B),全区稳定,容易辨认。

3) 三级标志层:有两个。沙三中2层顶部有一个较大的感应电导率突起,其上、下感应电导率均有一尖谷(图2C)。沙三中3层上部的感应电导率呈凹谷(图2D)。

此外,还有其他辅助对比层:沙三中4层上部感应电导率曲线具有一个较平缓的低谷(图2E);沙三上底部的油帽子,厚度2~4 m的含油砂层。

3 储层评价

该区储层主要为细砂到粉砂,胶结致密,杂基及胶结物含量较高。以微孔隙组合为主,单层平均孔隙度一般小于23%,平均渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属中低孔低渗储层。

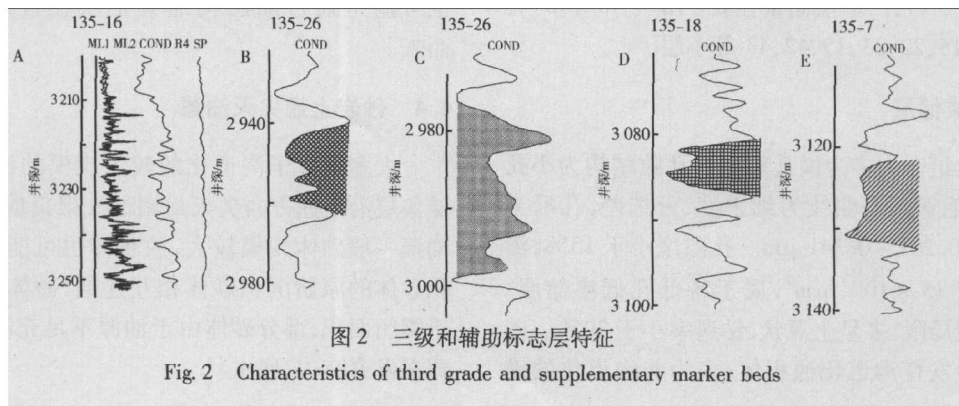


图2 三级和辅助标志层特征

Fig. 2 Characteristics of third grade and supplementary marker beds

滑塌浊积岩,由于其物源的特殊性及沉积和成岩背景的相对一致性,其微观特征、层间的差别并不非常明显。相反地,储层在平面上的分布及其含油性的优劣则成为区分储层好坏的标志性特征。因而在进行储层的分类评价时,重点是考虑砂体平面分布的连续性、连通性、砂体的厚度及含油性等。区内滑塌浊积岩储层划分为3类。

3.1 I类储层

孔隙结构为中孔细喉结构。毛管压力曲线为歪度略粗,孔喉分选中等至较好,孔隙之间的连通程度较高。该类储层的孔隙度为15%~25%,渗透率为 $10 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均孔隙度大于21%,平均渗透率大于 $23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层平面上连续分布,尽管多个砂体之间不一定连通,但单个砂体分布面积较大,砂体以沟道化浊积岩为主,钻遇率大于70%。储层平均厚度4~8 m,含油局部连片,单个油砂体上一般超过4口井,单层储量大于 $50 \times 10^4 \text{ t}$,包括24,31,32,33,34,41等小层。

3.2 II类储层

孔隙结构为细孔细喉型,最大孔喉半径1.443~5.913 μm 。毛管压力曲线呈偏细歪度,分选性中等偏差,饱和中值压力(P_{50})为0.1~0.7 MPa。孔隙度介于10%~20%,渗透率 $1 \times 10^{-3} \sim 20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于低孔特低渗储层。II类储层分布面积较小,钻遇率为30%~70%,储层平均厚度2.2~4.0 m,储层局部连片,部分区域为土豆状独立砂体,砂体中有沟道化浊积岩,但更多的是非沟道化浊积岩。从而使其厚度较小,含油面积局限,仅在个别部位连片含油,单个油砂体上一般不超过3口井,单层储量在 $8 \times 10^4 \sim 40 \times 10^4 \text{ t}$,包括12,15,22,23,35,42,43等小层。

3.3 III类储层

孔隙组合大多为微孔隙型。孔隙结构为小孔极细喉,毛管压力曲线为细歪度,分选差,孔喉半径 R_{50} 为0.201~0.341 μm 。孔隙度小于15%,渗透率小于 $15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于特低孔低渗储层。分布面积局限,多呈土豆状,钻遇率小于30%。砂体中很少发育沟道化浊积体,多为非沟道化的漫

溢沉积,厚度较小,储层平均厚度2~3 m,含油面积局限,基本为零星含油,单个油砂体一般只有一口井钻遇,单层储量小于 $10 \times 10^4 \text{ t}$,包括11,13,14,21,44等小层。

4 成藏机制和油藏类型

由于滑塌浊积岩常与深湖、半深湖相泥岩相伴生,因而烃源岩生成的油气可以直接通过初次运移进入砂体。油气运移的动力主要为浮力和压实作用所产生的地层压力差,运移通道为储层连通孔隙和断层,运移的相态以混(溶)相为主,部分为游离相,以近源垂向和侧向运移成藏为特征。该类油气藏呈透镜体状,四周为烃源岩所包围,构造影响小,保存条件好,油气充满度很高。常见的油藏类型有以下4种。

4.1 砂岩透镜体油藏

多形成于非沟道化的滑塌浊积岩中,砂体规模较小,砂体与其滑塌源区之间完全分开,而成为独立的油水系统。该类油气藏多呈现异常高压,生产初期产量较高,产量下降较快。

4.2 岩性油气藏

在沟道化和非均道化滑塌浊积岩中均见有岩性油气藏,与第一类不同的是由于砂岩的物性变差封堵油气,而非完全由泥岩封堵成藏。

4.3 岩性-构造油气藏

多形成于规模较大的沟道化浊积岩中,砂体受断层的切割而分离,断层成为油气封堵的一种方式。油源较为复杂,油气可能是邻近的泥岩,也可能是通过断层沟通其他层位烃源岩运移而来。

4.4 砂岩上翘尖灭油藏

大多发育于沟道化的较大规模的浊积岩中,储集层沿上翘方向尖灭封堵油气聚集成藏。该类油藏一般砂体规模较大,浊积体也可能与形成浊积砂体的原始沉积砂体相互连通,砂体面积多大于圈闭面积,部分砂体由于油源不足充注不满,油藏多发育有边、底水。

文着重介绍地震反演预测砂体。

5.1 储层预测的工作流程

利用地震数据体在目的层附近提取子波,调整井旁地震层位和测井分层,制作合成记录,进行砂层组层位标定,追踪砂层组;在此基础上,依据砂层组追踪和断层数据体建立地震框架;利用测井资料和地震数据体进行波阻抗反演;在波阻抗分析的基础上建立砂岩厚度与波阻抗的统计关系,将地震属性转换为储层参数,结合沉积微相分析,开展储层预测。

5.2 子波合成

地震子波提取的好坏直接影响波阻抗反演的质量,首先利用地震资料和测井资料提取子波的振幅谱和相位谱,其次是根据合成记录与地震资料的相关对比,反复修正井的时、深关系,直到得到相位振幅谱变化稳定的子波,同时得到与地震资料相关性最好的合成记录,并对声波的漂移进

行校正。当 λ 值过低,约束稀疏脉冲反演剖面细节少,分辨率低,残差大。 λ 值过大,会在反演剖面中增加噪音,同时也忽略了波阻抗变化的低频背景。

5.4 储层预测

据平均波阻抗值,与井点统计的砂岩厚度做交会图,建立波阻抗与砂岩厚度的统计关系,重建砂岩厚度的空间分布函数,用测井解释与反演地震数据体预测砂岩厚度,计算出目标层砂岩厚度(图4),并将预测成果图与开发区的钻井情况相对比,达到最大相对误差小于10%,最小误差仅3%,使预测成果基本可信。

5.5 勘探目标选取

依据储层预测结果,在目标区内沙三上2层油组内预测了11个勘探目标(图4)。在西部沉积区内预测了7个勘探目标,中部未钻井区预测了3个目标,而在东部仅预测了1个目标。

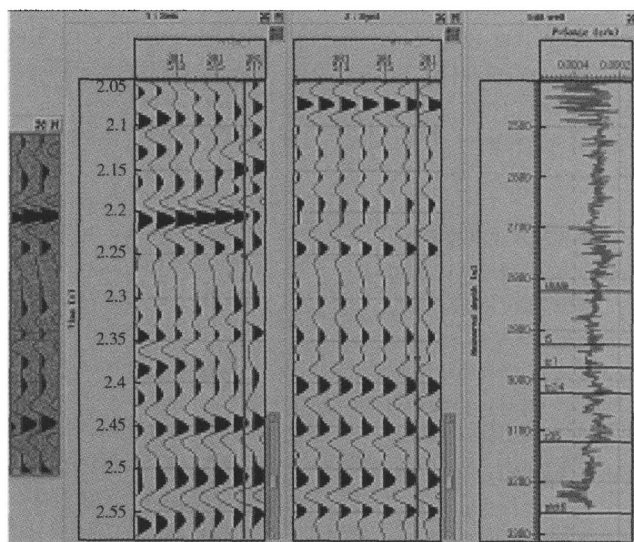


图3 135井地震合成记录

Fig.3 Synthetic seismogram of the 135 well

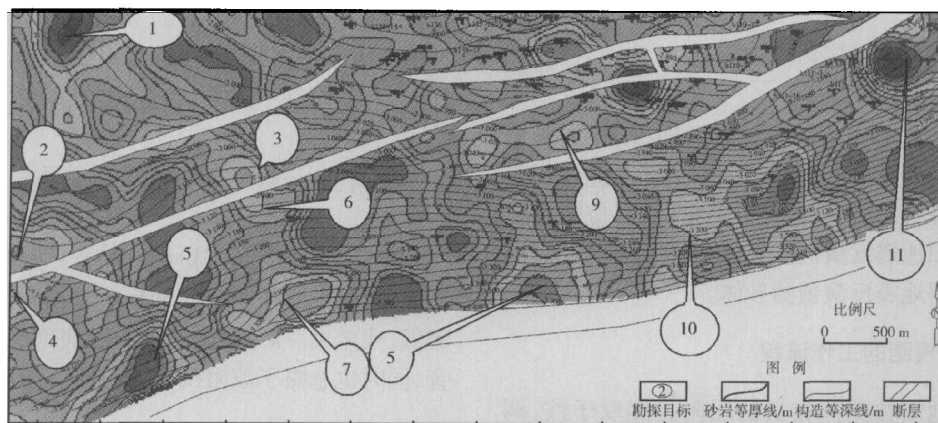


图4 储层砂岩厚度及勘探目标图

Fig. 4 Diagram showing isopach of sandstone reservoirs and exploration targets

6 结语

对滑塌浊积岩特征及油气藏研究,还有许多问题有待深入,例如在陆相地层中,如何将滑塌浊积岩的发育状况纳入到层序地层格架的研究范畴;如何准确的区别滑塌浊积岩与水下扇和湖底扇等。此外,对不同类型隐蔽油气藏的评价和选用勘探的新技术也都至关重要。

参考文献

- 1 邱桂强,陈冬霞,张俊. 牛庄洼陷岩性油藏含油气性及主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(3): 284 ~ 287
Qiu Guiqiang, Chen Dongxia, Zhang Jun. Oil/gas shows in lithologic reservoirs in Niuzhuang sag and their main controlling factors[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(3): 284 ~ 287
- 2 杨玉峰. 松辽盆地岩性油藏形成条件与分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 393 ~ 399
Yang Yufeng. Formation conditions and distribution of lithologic pools in Songliao basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 393 ~ 399
- 3 吴崇筠. 对国外浊流沉积和扇三角洲沉积研究的评述[A]. 见: 中国石油学会石油地质委员会, 编译. 国外浊积岩和扇三角洲沉积[C]. 北京: 石油工业出版社, 1986. 1 ~ 19
Wu Chongjun A review of turbidite and fan delta sedimentation study abroad[A]. In: Petroleum Geological Committee of the Petroleum Society of China, ed. Turbidite and fan delta sedimentation [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1986. 1 ~ 19
- 4 吴崇筠, 薛叔浩. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993
Wu Chongjun, Xue Shuhao. Petroliferous basin sedimentology in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993.
- 5 王居峰, 郑和荣, 苏法卿. 东营凹陷中带沙河街组三段浊积体储层特征类型与成因[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5):

528 ~ 532

Wang Jufeng, Zheng Herong, Su Faqing. Reservoir characteristics and genesis of turbidite fans in the 3rd member of Shahejie Formation in central Dongying depression [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(5): 528 ~ 532

- 6 潘汉生, 王明明. 渤海湾盆地隐蔽油气藏[J]. 地学前缘, 2000, 17(4): 497 ~ 506
Qiao Hansheng, Wang Mingming. The subtle reservoirs in Bohai Bay basin. Earth Science Frontiers [J]. 2000, 17(4): 497 ~ 506
- 7 李素梅, 庞雄奇, 邱桂强, 等. 东营凹陷陡坡带隐蔽油气藏的形成与分布[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 416 ~ 421
Li Sumei, Pang Xiongqi, Qiu Guiqiang, et al. Formation and distribution of subtle reservoirs in northern steep slope zone of Dongying depression [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 416 ~ 421
- 8 张林晔, 刘庆, 张春荣, 等. 东营凹陷梁家楼油田成藏模式再研究[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(3): 416 ~ 421
Zhang Linye, Liu Qing, Zhang Chunrong, et al. Restudy of pool-forming pattern of Liangjialou oilfield in Dongying sag [J]. 2004, 25(3): 416 ~ 421
- 9 曾戮辉, 张善文, 邱楠生, 等. 东营凹陷岩性圈闭油气充满度及其主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 219 ~ 222
Zeng Jianhui, Zhang Shanwen, Qiu Nansheng, et al. Trap fill of lithologic pools and its main controlling factors in Dongying sag [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 219 ~ 222
- 10 宋维琪, 全兆岐, 信荃麟, 等. 惠民凹陷江家店地区隐蔽油藏储集层预测[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 6 ~ 8
Song Weiqi, Tong Zhaoqi, Xin Quanlin, et al. Subtle trap reservoir prediction in Jiangjiadian area of Huimin sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(6): 6 ~ 8
- 11 金武弟, 王英民, 刘书会, 等. 东营凹陷下第三系低位域沉积及非构造圈闭[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 249 ~ 252
Jin Wudi, Wang Yingmin, Liu Shuhui, et al. Paleogene lowstand system tract deposits and nonstructural traps in Dongying sag [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 249 ~ 252

(编辑 李树森)