

文章编号: 0253-9985(2011)02-0287-06

# 渤海油田河流相油气藏关键储量参数确定方法

王海更, 田晓平, 崔云江, 郭铁恩, 王少鹏, 黄建廷, 孙风涛

中海石油(中国)有限公司天津分公司 渤海油田 勘探开发研究院, 天津 300452

**摘要:** 含油气面积和有效厚度是渤海油田河流相油气藏储量计算的关键参数, 利用海上油田高品质地震资料, 应用测井约束反演技术开展砂体, 尤其是含油气砂体的空间展布研究, 砂体分布范围及厚度的预测准确率在 80% 以上, 准确把握了砂体的含油气范围及油气层厚度; 采用油田丰富的压力资料, 预测河流相油气藏的流体界面, 在压力资料品质及储层条件较好的情况下, 预测的流体界面十分接近实测的流体界面, 有效提高了储量计算过程中含油气面积圈定的准确性; 充分利用壁心、测压资料开展有效厚度下限研究, 采用自然电位异常幅度相对值与微侧向电阻率相对值的比值 ( $\Delta SP/\Delta R_{so}$ ) 来识别低阻油层, 经测试及生产资料证实, 识别低阻油层的准确率达 100%, 确保了储量计算过程中有效厚度确定的准确性。

**关键词:** 含油气面积; 有效厚度; 河流相油气藏; 海上油田

**中图分类号:** TE155

**文献标识码:** A

## Calculation of key reserve parameters of fluvial reservoirs in Bohai oilfield

Wang Haigeng, Tian Xiaoping, Cui Yunjiang, Guo Tien, Wang Shaopeng, Huang Jianting, Sun Fengtao

(Exploration and Production Research Institute of Bohai Oilfield, CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China)

**Abstract:** Oil/gas-bearing area and net pay thickness are the two key parameters for reserve calculation of fluvial sandstone reservoirs in Bohai oilfield. Quality seismic data and log-constrained seismic inversion technology were used to predict the area and thickness of oil/gas-bearing sandbodies with accuracy over 80%. The abundant formation pressure data available were used to predict oil/gas-water contacts. The prediction results coincide well with the measured data, effectively enhance the accuracy of oil/gas-bearing area for reserve calculation. Sidewall core data and formation pressure data were used to determine the lower limit of net pay thickness. The  $\Delta SP/\Delta R_{so}$  was used to identify low resistivity oil layers and the accuracy is up to 100%.

**Key words:** hydrocarbon-bearing area, net pay thickness, fluvial reservoir, offshore oilfield

新近系河流相油气藏是渤海油田重要的油气储量目标。河流相砂体横向变化快, 纵向上油、气、水间互, 储层非均质性明显<sup>[1-2]</sup>。而海上油田井控程度较低, 测试及取心等资料相对较少, 使得海上河流相油气藏储量评价面临更多的困难。为了准确客观的评价海上油田的储量规模, 笔者提出了海上油田河流相油气藏关键储量计算参数含油气面积、有效厚度的确定方法。该方法充分考虑了河流相砂体的沉积特点及海上油田钻井、测试、取心资料较少的现状, 发挥海上油田地震资料品质好, 测压资料丰富的优势, 综合运用钻井资料、测井资料、地震及波阻抗反演数据体以及石油

地质、地球物理等多学科理论及技术, 有效地提高了含油气面积及有效厚度参数求取的准确性, 在渤海油田储量评价中获得了良好的应用效果。

### 1 关键储量计算参数

容积法是目前我国油气储量评价最常用的方法, 而含油气面积、有效厚度是容积法评价储量的主要技术参数<sup>[3]</sup>。近几年, 随着渤海油田勘探开发工作的不断深入, 部分油田出现了储量与产量不匹配的现象。通过对油田地质储量复算结果统计, 发现在总的储量变化量中, 由有效厚度、含油气面积

收稿日期: 2010-06-08; 修订日期: 2011-03-04。

第一作者简介: 王海更(1980—), 男, 工程师, 开发地质。

引起的储量变化量占70%左右<sup>[6-8]</sup>,因此,提高含油气面积、有效厚度计算的准确性,对储量评价具有十分重要的意义。而对于钻井、测试等资料相对有限的海上河流相油气藏来说,提高含油气面积、有效厚度参数计算的精度面临更多的困难。

## 2 含油气面积及有效厚度确定难点

### 2.1 渤海河流相油田储层复杂

河流相砂体在平面上多呈弯曲、宽窄相间的带状,在横切河流的剖面上呈窄而厚的盆状、宽而浅的盘状或透镜状,在纵切河流的剖面上,一般呈上游厚下游薄的楔状<sup>[9]</sup>。经钻井证实,渤海河流相油田井间储层横向变化快,纵向上油、气、水层间互,往往表现为“一砂一藏”。另外,海上油田探井井距大,井控程度低,因此,应用以油组为储量计算单元的构造法计算河流相油气藏储量时,不能准确把握砂体的含油气范围及油气层厚度。

### 2.2 多数河流相砂体未钻遇流体界面

在构造落实和储层分布基本清楚的条件下,依据对油气藏类型的正确认识,按流体界面水平外推并在相应的储层顶面构造图上圈定油气藏边界,能够确保含油气面积的准确性。用试油资料特别是单层试油资料确定流体界面是最直接和最可靠的方法,在没有试油资料证实油水界面时,利用有限的油、气、水层测试资料,通过综合研究并利用测井资料解释的流体界面也具有较高的可信度<sup>[8-9]</sup>。但是,海上油田储量评价阶段,探井多位于油气藏高部位,多数河流相砂体未钻遇流体界面。因此,流体界面的确定在充分利用现有试油、测井资料同时,必须结合海上油田的实际情况寻找其他的有效方法,以提高流体界面确定的可靠性。

### 2.3 低电阻率与正常电阻率油层并存

河流相储层岩性、物性变化快,非均质性明显,地层水矿化度低且纵、横向上均存在变化。研究发现,渤海油田河流相油气藏具有低电阻率油层与正常电阻率油层并存的特点,其中相当一部分低电阻率油、气层经测试证实具有很好的产能。如何弥补海上油田取心、试油资料相对较少的不足,判别和评价低电阻率油、气层并确定有效厚度

下限,是有效厚度确定的基础和难点。

由于渤海河流相油田储层复杂,钻井及试油等资料有限,使得含油气面积及有效厚度等关键储量参数计算精度低,计算的油田储量要么偏保守,要么过于乐观,在很大程度上影响了油田的开发效果。

## 3 储量参数确定方法

为降低储量计算风险,提高含油气面积及有效厚度等储量参数的计算精度,在充分利用海上油田高品质地震资料、丰富的压力及壁心资料的基础上,渤海油田相关研究人员开展了一系列的关键储量参数确定方法研究。

### 3.1 储层精细描述技术

根据地震资料和少量探井预测储层横向变化是油气勘探的重要课题,特别是在储层横向变化大的地区尤为重要<sup>[10]</sup>。测井约束反演是基于模型的反演技术,能较好的预测储层的横向变化,是开展储层精细描述的核心技术<sup>[11]</sup>。海上油田采集的地震资料品质好,尤其在新近系明化镇组,地震资料主频基本在40 Hz以上。另外,渤海海域浅层泥岩发育,储层和非储层有明显的波阻抗差异。因此,海上油田河流相油气藏的储量评价把纵向分辨率高的测井资料和横向覆盖广的地震资料相结合,应用测井约束反演技术开展了河流相砂体的空间展布研究。

在应用该技术过程中,逐渐形成了适合海上油田的几个关键环节的处理方法。

#### 1) 储层与非储层的地球物理响应识别

首先利用与岩性有关的测井曲线和测井解释成果确定岩性区分曲线,在此基础上,采用交会图法总结储层和非储层的地球物理特征的规律性。通过自然伽马与密度、自然电位与声波时差交会图的对比发现,渤海大部分新近系河流相油田,声波曲线一般不能很好的区分砂、泥岩,密度曲线则能显著区分储层和非储层,因此,渤海油田的波阻抗反演工作基于密度曲线开展。

#### 2) 层位标定

利用测井资料和从井旁地震剖面中提取的综合子波制作合成地震记录,然后通过井旁地震剖面开展相关对比,最终确定合成地震记录,获得精确的时深关系,正确建立地震和测井的关系。

3) 反演子波估算

层位标定完成之后,重新提取合理的子波,对各个子波的相位、频率、振幅特征对比分析,确保子波空间变化的合理性。

4) 波阻抗反演

以测井资料和地震层位信息为基础建立初始地质模型,采用模型优选迭代扰动算法,通过不断修改更新地质模型,使模型正演合成地震资料与实际地震数据最佳吻合,从而得到反演结果。

5) 色标选取

开展砂体追踪前,色标的选择一方面要能分辨薄层砂体,同时也应与井实钻的砂体厚度相吻合。利用测井约束反演技术得到代表储层(砂体)的地震属性数据体之后,通过追踪砂体的顶、底面反射,编制砂体的顶底面构造图、砂体厚度图及有效厚度图,从而为储量计算提供重要基础<sup>[12-14]</sup>。

从图 1 和图 2 可以看出,XX-1 油田开发井钻后落实的砂体分布范围、砂层厚度与储量评价阶段对砂体的认识基本相当,说明储层精细描述技术能有效解决河流相砂体的空间展布研究的难题,目前这种技术在渤海油田的应用日趋成熟。

3.2 压力预测流体界面技术

利用测压数据建立各个储层段地层深度与压

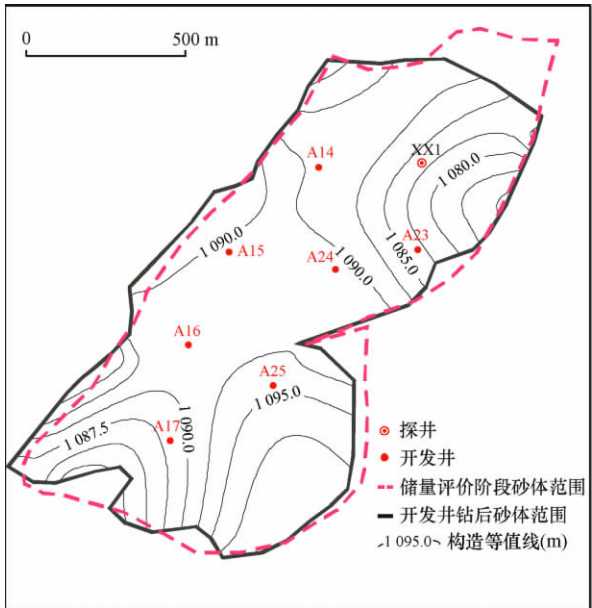


图 1 XX-1 油田 s1 砂体开发前、后分布范围对比

Fig. 1 Comparison of the area of s1 sandbody before and after development in XX-1 oilfield

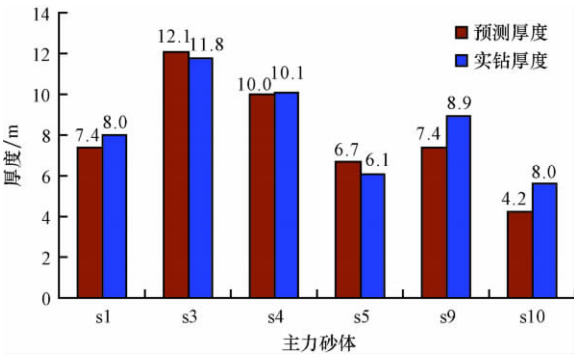


图 2 XX-1 油田主力砂体钻前、钻后厚度对比

Fig. 2 Comparison of the pre-drilling prediction and post-drilling measurement of the major sandbody thickness in XX-1 oilfield

力的关系式,因地层所含流体的密度不同,导致其斜率不同,利用油线、气线及水线的交点可以预测流体界面<sup>[13]</sup>。当采用该技术利用多井的压力资料进行流体界面预测时,应确保这些井的压力资料点属于同一油藏,海上油田浅层地震资料品质好,构造及断裂系统相对落实,储层精细描述等技术的应用都确保了对河流相油气藏的认识,具备利用压力资料预测流体界面的有利条件。另外,海上油田探井具有丰富的 FMT/MDT 测压资料,为这种方法的应用提供了物质基础。

通过对渤海地区多个油田应用实例研究,认为测试点质量、测压点数量、测压点之间距离、储层、地下流体性质以及区域水线确定是影响预测流体界面精度的关键因素<sup>[14]</sup>。

1) 测试时测试仪器稳定性好,压力计精度高,现场测压点压力恢复达到稳定,增压点和低压点则不能采用。

2) 油、气层至少要有 3 个以上有效测压点,测压点距离越大(大于 6 m),预测的流体界面误差越小。

3) 储层应具备较好的岩性、物性条件,并且分布稳定,储层厚度越大(大于 5 m),预测的流体界面误差越小,如果油、气层存在薄互层,压力点的代表性就差。

4) 当地下原油密度小于  $0.910 \text{ g/cm}^3$ 、粘度小于  $100 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  时,压力回归的地下原油密度与实测密度接近,预测的流体界面可靠<sup>[17]</sup>。

5) 选择与油气层深度相近的水层测压点,在单井回归水线的基础上,对油田内相当深度的水层测压点进行分析,尽量应用多个水层测压点进行水线回归,确定区域水线<sup>[18]</sup>。

渤海 XX-2 油田 7-1 砂体是油田主力含油砂体,在储量评价阶段,钻遇该砂体的探井处于油藏高部位,未钻遇油水界面,揭示的油层底海拔为-1 518.1 m,通过对砂体的储层性质及压力资料分析,认为砂体具备利用压力资料开展流体界面预测的条件。利用压力资料回归得到地层原油密度 0.790 g/cm<sup>3</sup>,地层水密度为 0.970 g/cm<sup>3</sup>,压力资料预测油水界面海拔为-1 542.3 m。油田开发阶段,在砂体低部位钻探开发井 3 井,揭示油水界面海拔为-1 542 m,与预测结果一致(图 3,图 4)。利用压力资料预测界面技术被广泛应用于河流相油气藏储量评价,获得了良好的应用效果,逐渐成为海上油田储量评价阶段确定流体界面的一种重要手段。

3.3 有效厚度下限研究

有效厚度下限的确定对有效厚度参数确定具

有重要的意义。岩性、物性、含油性通常是以岩心资料为基础,以试油、试采为依据确定的。海上油田 DST 测试及钻井取心成本高,为提高效率,很少进行界限层的测试。渤海油田探井中基本都进行系统的测压及井壁取心,实践证明,压力测试资料能够很好的反映储层的渗透性(图 5),系统的井壁取心也为岩性、物性、含油性关系研究提供了丰富的资料(图 6)。因此渤海油田河流相油气藏有效厚度下限研究中充分利用了测压及壁心资料。电性标准是实际划分有效厚度的操作标准,即测井资料与取心、试油、壁心、测压资料相结合建立的油、气、水、干层标准<sup>[19-21]</sup>。

目前,以电阻率-孔隙度系列为基础的常规测井技术仍是渤海油田测井评价的主要手段,常规测井技术可以有效识别正常电阻率油气层。由于渤海河流相砂岩油气藏低电阻率油层与正常电阻

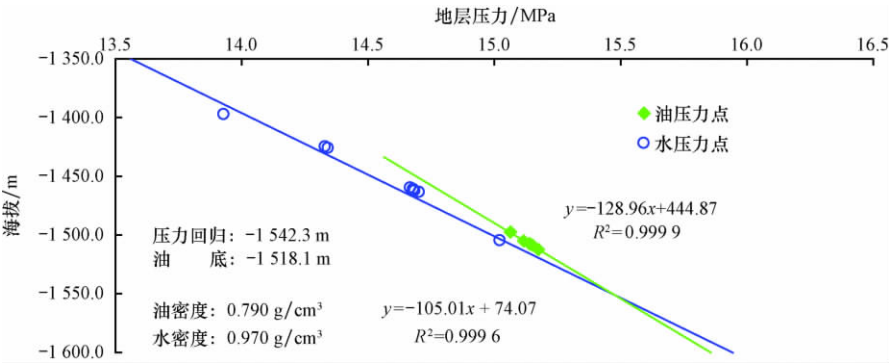


图 3 XX-2 油田 7-1 砂体压力剖面

Fig. 3 Pressure profile of 7-1 sandbody in XX-2 oilfield

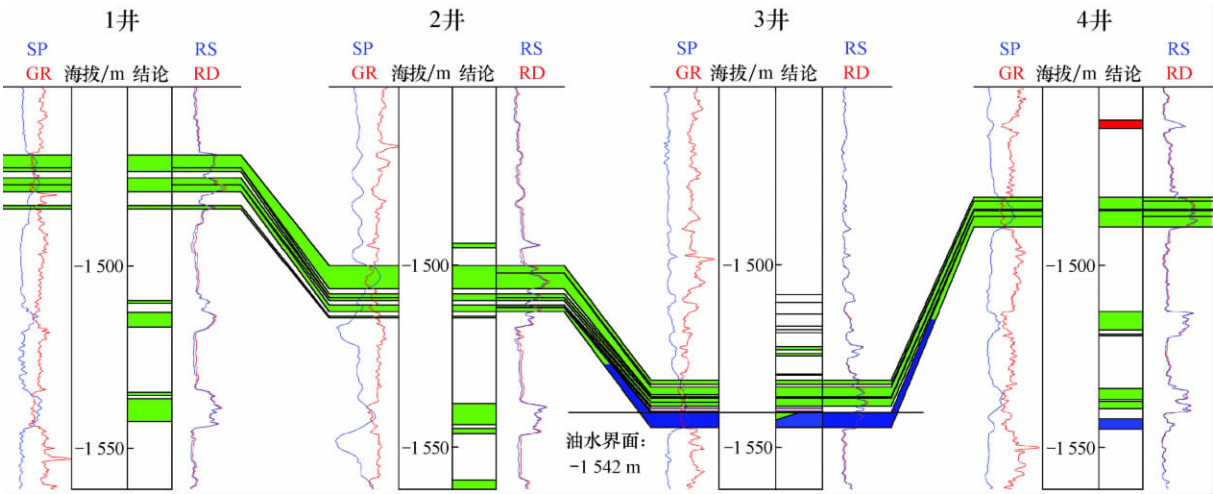


图 4 XX-2 油田 7-1 砂体对比

Fig. 4 Interwell correlation of 7-1 sandbody in XX-2 oilfield

SP. 自然电位曲线; GR. 自然伽马曲线; RS. 浅侧向电阻率曲线; RD. 深侧向电阻率曲线

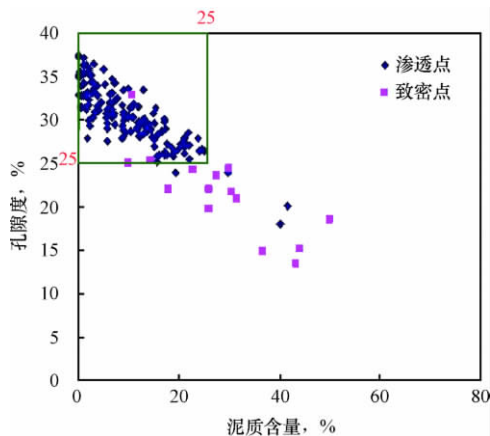


图5 XX-3 油田明化镇组测井解释物性

Fig. 5 Cross plot of log interpreted petrophysical properties of the Minghuazhen Formation in XX-3 oilfield

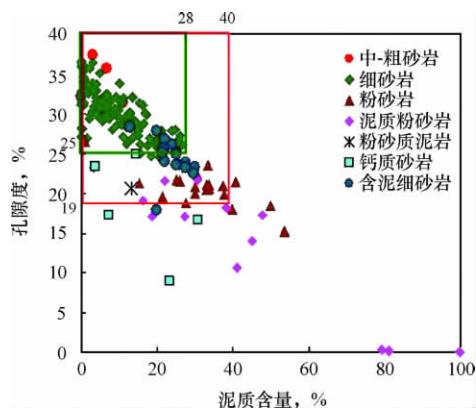


图6 XX-4 油田壁心岩性与物性关系

Fig. 6 Cross plot of sidewall core lithology and petrophysical properties for XX-4 oilfield

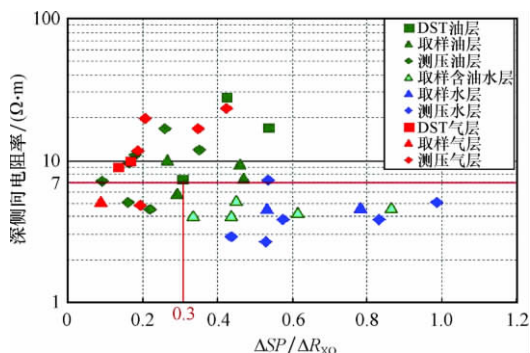
图7 XX-4 油田  $\Delta SP/\Delta R_{xo}$  值与地层深侧向电阻率关系

Fig. 7 Cross plot of  $\Delta SP/\Delta R_{xo}$  ratio and deep lateral resistivity for XX-4 oilfield

率油层并存,开展低电阻率油层识别是有效厚度下限研究的重要内容。研究发现,渤海油田已发现的绝大部分低电阻率油层在盐水泥浆钻井条件下与水层相比具有自然电位低、冲洗带电阻率高的测井响应特征,基于这种认识,采用自然电位异常幅度相对值与微侧向电阻率相对值的比值 ( $\Delta SP/\Delta R_{xo}$ ) 来识别低阻油层。

该方法在渤海油田获得了很好的应用效果,目前被广泛应用于渤海油田低电阻率油层的识别。图7为XX-4油田  $\Delta SP/\Delta R_{xo}$  与地层深侧向电阻率关系图版,低阻油层段  $\Delta SP/\Delta R_{xo}$  值明显低于水层段,可有效判别低电阻率油层。

### 参考文献

- [1] 赵澄林,朱筱敏. 沉积岩石学 [M]. 第三版. 北京: 石油工业出版社,2001:252.  
Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 252.
- [2] 刘小平,周心怀,吕修祥,等. 海域油气分布特征及主控因素 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 497-509.  
Liu Xiaoping, Zhou Xinhui, Lv Xiuxiang, et al. Hydrocarbon distribution features and main controlling factors in the Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 497-509.
- [3] DZ/T 0217—2005, 石油天然气储量计算规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.  
Petroleum and natural gas reserves standards. Beijing: China Standards Press, DZ/T 0217—2005. 2005.
- [4] 关涛,唐伟,李淑瑜. 柳南地区石油地质储量计算的概率分析 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 327-329.  
Guan Tao, Tang Wei, Li Shuxun. Probabilistic analysis of geological reserves calculation in petroleum from Liunan region [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 327-329.
- [5] 萧德铭,毕海滨. 利用油基泥浆取心资料确定砂岩油藏原始含油饱和度若干问题探讨 [J]. 中国海上油气, 2003, 17(4): 252-255.  
Xiao Deming, Bi Haibin. Determining the oil saturation of sandstone reservoir using oil-base core data [J]. China Offshore Oil and Gas, 2003, 17(4): 252-255.
- [6] 翟中喜,白振瑞. 渤海湾盆地石油储量增长规律及潜力分析 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 88-94.  
Zhai Zhongxi, Bai Zhenrui. Pattern and potential of petroleum reserves growth in the Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 88-94.
- [7] 刘波,赵翰卿,王良书,等. 古河流废弃河道微相的精细描述 [J]. 沉积学报, 2001, 19(3): 394-398.  
Liu Bo, Zhao Hanqing, Wang Liangshu, et al. The detailed description of ancient fluvial abandoned channel microfacies [J].



- Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(3): 394–398.
- [4] 杨通佑, 范尚炯, 陈元千, 等. 石油及天然气储量计算方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 1–50.  
Yang Tongyou, Fan Shangjiong, Chen Yuanqian, et al. Reserve calculation of oil and gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990: 1–50.
- [5] 赵文智, 毕海滨. 储量研究中油藏边界的确定方法 [J]. 中国海上油气, 2005, 17(6): 379–383.  
Zhao Wenzhi, Bi Haibin. The methods to determine reservoir boundary for reserves researches [J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(6): 379–383.
- [6] 王宏亮. 红柳油田河流相砂体储层预测技术 [J]. 内江科技, 2008, 29(4): 109.  
Wang Hongliang, Reservoir prediction methods for fluvial sand bodies in Liuhe oilfield [J]. Neijiang Science & Technology, 2008, 29(4): 109.
- [7] 单敬福, 王峰, 孙海雷, 等. 基于地震波阻抗反演的小层砂体预测技术——在大庆油田州57水平井区块的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 212–215.  
Shan Jinfu, Wang Feng, Sun Hailei, et al. Prediction of sublayer sandstones based on wave impedance-inversion in the well-block of the horizontal well Zhou-57 [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 212–215.
- [8] 许辉群, 桂志先. 利用测井约束地震反演预测砂体展布——以YX地区砂四段三砂组砂体为例 [J]. 天然气地球科学, 2006, 17(4): 547–551.  
Xu Huiqun, Gui Zhixian. Application of Jason inversion to prediction of sandstone [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(4): 547–551.
- [9] 崔永谦, 秦凤后, 卢永和, 等. 河流相沉积储层地震精细预测方法研究与应用——以渤海湾盆地冀中坳陷古近系河道砂为例 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 668–672.  
Cui Yongqian, Qin Fengqi, Lu Yonghe, et al. Research and application of detailed seismic prediction in fluvial reservoirs—an example from the palaeogene channel sand in the Jizhong Depression, the Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 668–672.
- [10] 朱伟, 马朋善, 谭承军, 等. 渤东凹陷蓬二号构造地震资料测井约束反演 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 120–124.  
Zhu Wei, Ma Pengshan, Tan Chengjun, et al. Logging constrained inversion of seismic data in Peng No. 2 structure in Bodong sag [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 120–124.
- [11] 刘德华, 刘志森. 油藏工程基础 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2007, 21–23.  
Liu Dehua, Liu Zhisen. Basis of reservoir engineering [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007, 21–23.
- [12] 赵春明, 王少鹏, 刘维永, 等. FMT压力分析在渤海J25-1油田储量评价中的应用 [J]. 断块油气田, 2009, 16(6): 85–87.  
Zhao Chunming, Wang Shaopeng, Liu Weiyong, et al. Application of FMT pressure analysis in reserves estimate of Bohai J25-1 Oilfield [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2009, 16(6): 85–87.
- [13] 徐锦绣, 吕洪志, 崔云江. 渤海地区电缆地层测试应用效果分析 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(2): 106–110.  
Xu Jinxiu, Lv Hongzhi, Cui Yunjiang. An application analysis of wireline formation test in Bohai region [J]. China Offshore Oil and Gas, 2008, 20(2): 106–110.
- [14] 孙凤涛, 田晓平, 张越. 压力资料预测油水界面精度分析 [J]. 石油地质与工程, 2010, 20(2): 106–110.  
Sun Fengtao, Tian Xiaoping, Zhang Yue. Accuracy analysis of using pressure data to predict oil-water contact [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2010, 20(2): 106–110.
- [15] 盛湘, 何发岐, 云露. 塔河地区卡拉沙依组小层划分、连通性及油藏类型 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(2): 143–148.  
Sheng Xiang, He Faqi, Yun Lu. Subzone division, connectivity and pool types of the Carboniferous Kalashayi Formation in the Tahe area [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 143–148.
- [16] 柳锦云. 低渗透油藏有效厚度下限标准研究 [J]. 海洋石油, 2008, 28(3): 70–73.  
Liu Jinyun. Research on the minimum net pay thickness in low permeability reservoirs [J]. Offshore Oil, 2008, 28(3): 70–73.
- [17] 焦翠华, 夏冬冬, 王军, 等. 特低渗砂岩储层物性下限确定方法——以永进油田西山窑组储集层为例 [J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(3): 379–383.  
Jiao Cuihua, Xia Dongdong, Wang Jun, et al. Methods for determining the petrophysical property cutoffs of extra-low porosity and permeability sandstone reservoirs—an example from the Xishanyao Formation reservoirs in Yongjin oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(3): 379–383.

(编辑 高岩)