

地质建模技术在复杂断块老油田二次开发中的应用

邹拓¹,左毅¹,孟立新¹,刘云利²,邢向荣²,冯金义¹

(1. 中国石油 大港油田公司 勘探开发研究院,天津 300280; 2. 中国石油 新疆油田分公司 风城油田作业区,新疆 克拉玛依 834000)

摘要:老油田二次开发技术核心之一是重构地下认识体系,地质建模是定量表征储层新的认识体系的唯一手段。复杂断块老油田具有开发年限长、构造复杂、储层横向变化大、剩余油局部富集等特点,针对二次开发要求,提出了相应地质建模对策与方法。结合复杂断块老油田断层数量多、相互切割关系复杂的构造特点,采取分步模拟—关键层控制—整体构造建模的思路,准确高效建立精细构造模型;为了逼近地质“真实”的微相模拟效果,应用垂向和平面双地质趋势约束法多次迭代微相建模技术,确保后续属性模型最大程度接近储层地质“真实”参数分布;同时,针对重点潜力油砂体,提出不同随机模拟方法嵌套使用、逐级模拟的构型精细建模技术对策,快速建立科学的地质模型。将以上技术对策与方法应用到港东油田二次开发中,取得了良好的效果,为老油田二次开发地质建模提供一个借鉴的思路。

关键词:关键层控制;双趋势约束;构型建模;复杂断块;二次开发;港东油田

中图分类号:TE122.2 **文献标识码:**A

Application of geological modeling technology in secondary development of old and complex fault block oilfields

Zou Tuo¹, Zuo Yi¹, Meng Lixin¹, Liu Yunli², Xing Xiangrong², Feng Jinyi¹

(1. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjing 300280, China;

2. Fengcheng Oilfield Operation Area, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: Re-understanding of underground geologic system is one of the key technologies for secondary development of old oilfields, while geological modeling is the only way to quantitatively re-understand geologic system of reservoirs. Old and complex fault block oilfields are characterized by long history of exploitation, complex structures, large lateral variation of reservoirs, and local enrichment of remaining oil. In viewing of these features, we proposed corresponding strategies and methods of geologic modeling. According to the characteristics that many faults crosscut each other, the idea of step-wise simulation-key horizon controlling-overall structural modeling was adopted to accurately and efficiently build fine structure models. In order to approximate the “real” microfacies simulation, multiple iterations microfacies modeling technology under dual vertical and lateral geological trend constraints is adopt to ensure the maximum approximation of subsequent attribute models with the “real” geological parameters distribution of reservoirs. Meanwhile, for the key potential oil-bearing sandbodies, configuration fine modeling technology that use different stochastic simulation methods in a nested way and performs simulation step by step was used to rapidly build geologic models. This new geological modeling technology was successfully applied to the secondary development of Gangdong oilfield.

Key words: key horizon controlling, dual geological trend constraint, configuration modeling, complex fault block, secondary development, Gangdong oilfield

日益严峻的勘探开发形势,使得我国陆上相当多老油田已在经过多年的开发生产后进入了高含水、高采出程度的“双高”阶段,但是处于该开发阶段的油田对产量和储量的贡献仍然很大^[1],剩余可采储量的挖潜仍然是目前老油田开发的重要措施,由此提出二次开发理念:应用新技术、新手段、新理念重新构建老油

田新的开发体系,大幅度提高油田最终采收率^[2],使老油田走上可持续发展之路。

二次开发核心技术之一是重新构建地下认识体系,如何将精细的三维地震构造刻画和油藏描述储层展布特征等成果用于剩余油研究,深化剩余油分布规律认识,三维地质建模是唯一的手段。针对复杂断块

老油田地质特点和二次开发要求,提出相应的三维地质建模技术对策,以满足二次开发的需要。

1 复杂断块构造建模技术对策

构造模型确定了储层地质模型的空间位置、地层间的接触关系,是属性模型的载体,因此建立合理的构造模型是三维地质建模工作的基础^[3],它是对前期构造认识成果的吸收和三维可视化,同时又整合了钻井、测井等地质信息与构造解释成果。对于复杂断块老油田而言,典型的地质特点是断层数量多且配置关系复杂,这样使得地质研究成果(特别是井上断点)和构造的匹配存在很大难度,而且为了满足二次开发的要求,地质研究尺度要求向精细化发展,研究的级别从油组到小层,直至几米厚的单砂层,这样就呈现了地层在纵向上层薄、层多的特点,对于建模而言难度可想而知。

港东油田是一个具有四十多年开发历程的老油田,目前已进入高含水、高采出程度开发后期,其具有断裂系统复杂,断块破碎的特点,仅二区各级次断层就达 38 条,多为高角度切割正断层,且断层配置关系复杂(图 1)。本区主要含油层系为新近系明化镇组和馆陶组,而新近系的单砂层划分就达 111 个之多。

鉴于以上断层和地层的难点和复杂度,提出针对复杂断块老油田构造建模技术对策:分步模拟—关键层控制—整体建模思路。构造模型由断层模型和层面模型组成,断层模型是构造模型的重要组成部分,它的效率和精度直接影响后续建模工作的精确性^[4],层面模型是地层沉积界面的三维分布。对于纵向上细分到单砂层级别的老油田构造建模,由于地层具有层数多、砂层薄的特点,加之各级别断层类型发育,因此采取先分级次建立断层模型再建立层面模型的分步模拟法。

对研究区断裂系统进行分析,按规模分为三级:二级断层为发育时间长、断距大、延伸距离长,控制构造、沉积和油气分布;三级断层为对局部构造和油气分布起控制作用;其他为四级断层,一般为大断层的派生断层,发育时间短,断距小,延伸长度小,切割局部构造。在模拟过程中采取分级次模拟的方式,先对全区继承性发育稳定的二级和三级断层模拟,得到基本能控制全区构造格局的断层模型(图 2a),并对这些断层参数和断层间的相互切割关系进行质量控制,在此基础上模拟包含四级断层的所有断层,结合局部微构造分析,通过交互分析、质量控制建立全区的断层模型(图 2b)。层面模型反映了地层沉积的叠置形式,由于老油田纵向单砂层数量多,而且断层复杂,地层与断裂系统的匹配上存在难度,由此在断层模型基础上,采取

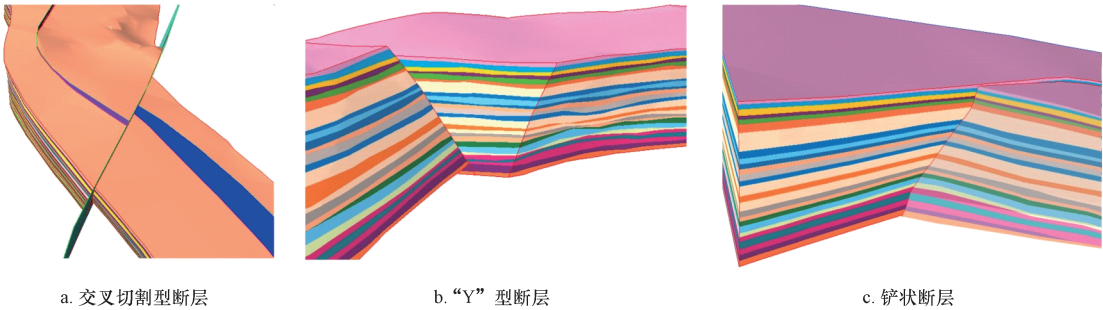


图 1 部分断层类型示意图
Fig. 1 Diagram of some fault types

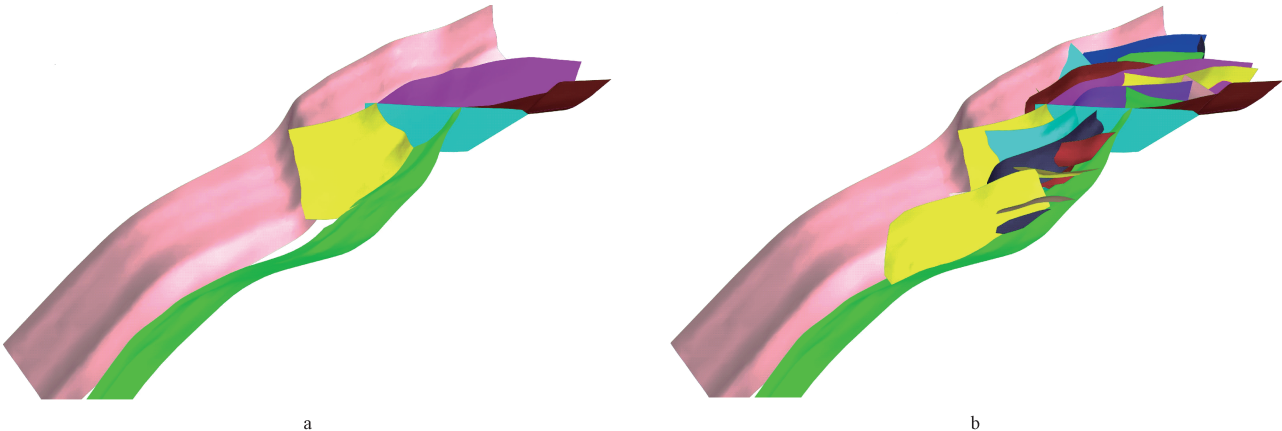


图 2 分级次建立断层模型
Fig. 2 Hierarchical fault modeling
a. 二、三级断层三维模型; b. 所有断层三维模型

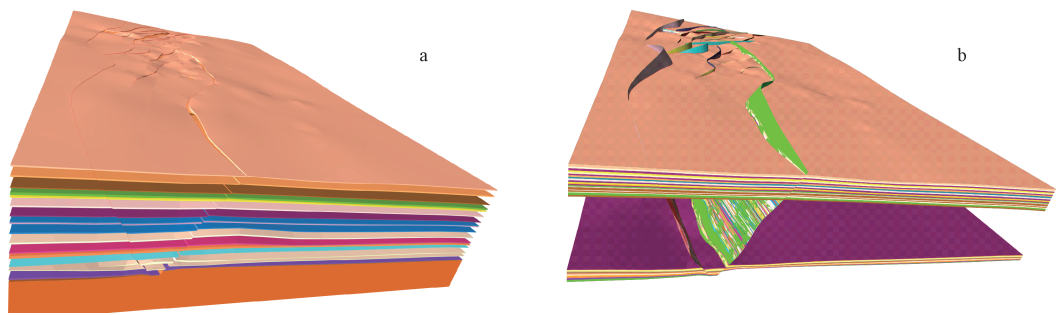


图 3 分步建立构造模型
Fig. 3 Stepwise structural modeling

a. 关键单砂层层面模型;b. 整体构造三维模型

先搭建关键单砂层层面模型控制全区地层格架,以此作为约束再建立其余单砂层层面模型,最终形成整体的构造模型。选取关键单砂层的依据有:①能基本控制全区整体构造且层间距不能太大;②关键层的断层格局具有代表性,能基本表现全区的断层变化;③基本代表主力的含油层系。对选取的关键层进行初步模拟,交互编辑使之符合实际地质认识,与断层模型匹配良好,建立关键单砂层的层面模型(图 3a),然后以此约束,建立全区单砂层整体构造模型(图 3b),这样不仅减少了老油田多套层系建模的工作量,而且方便进行质量控制,使所建立的模型与构造吻合,符合地质要求。

2 沉积微相建模技术对策

沉积微相建模是应用多学科信息在三维空间表征沉积微相的分布^[5],随着建模技术的不断深入研究与发展,真实反映地下储层特征越来越成为一种必然。地质建模的基础是构造模型,最终体现是属性模型,从最初的仅以测井数据按算法趋势插值,到目前以各种方法与手段来约束预测储层属性^[6-9],以往通过建立岩相模型进行相控约束,对属性给出简单的砂泥岩门槛值,但是随着油田的不断勘探开发,对储层的认识愈发深入,仅

限砂泥门槛已不能满足目前精细地质研究的需要,更不能满足老油田二次开发的需要。为此需要对相模型进一步细化研究,便是沉积微相的研究。不同沉积微相具有不同的物性数据分布特征,相控后属性模拟时岩石的物理参数将忠实于所选择的相分布,能使属性模型更大程度上接近储层地质“真实”参数分布。由此沉积微相模型的精度一定程度上影响着属性模型的精度以及后续油藏数值模拟的准确性。

在沉积微相模拟中,为了满足老油田开发中后期精度要求,除了常规的模拟方法外,针对陆相复杂断块沉积储层微相模拟,采取垂向和平面双地质趋势约束法建立微相模型,在模拟中还采取多次迭代微相建模方法。

利用序贯指示模拟,同时应用平面地质趋势和垂向地质趋势双约束法建立微相模型。传统的微相建模,很少应用平面地质认识控制约束,大多根据单井微相划分结果,通过变差函数分析,在平面上进行插值,或者用砂泥岩相模型,平面简单约束,这样不能准确地反映先验的地质认识成果,不能把前期精细地质成果在模型中体现出来。通过把平面地质认识成果应用到微相建模中,形成 3D 趋势体属性体,再结合微相垂向累计体积比例曲线(图 4),利用变差函数分析形成三维概率属性体共同约束沉积微相建模,在尊重井点数

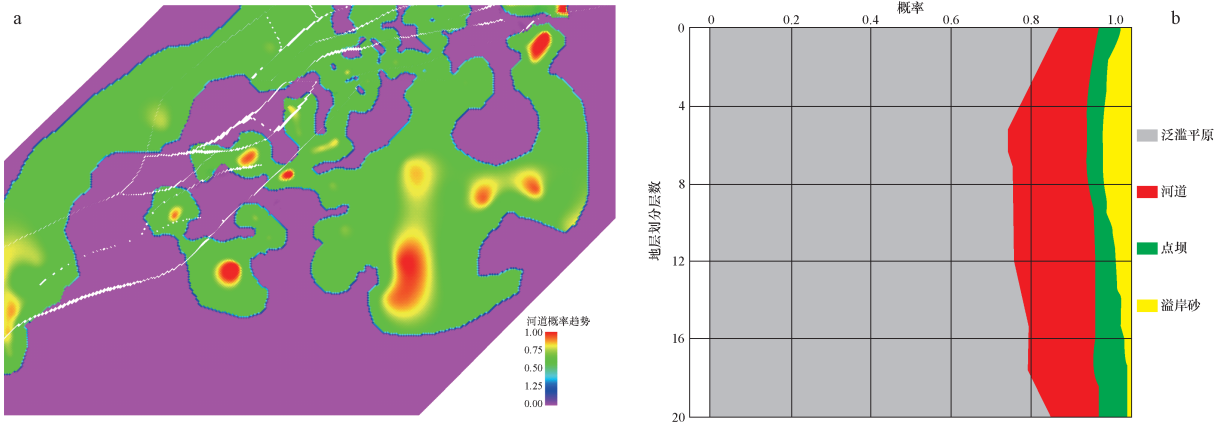


图 4 双趋势控制约束微相建模
Fig. 4 Microfacies modeling under dual geological trend constraint

a. 河道平面趋势面;b. 微相垂向累计体积比例曲线

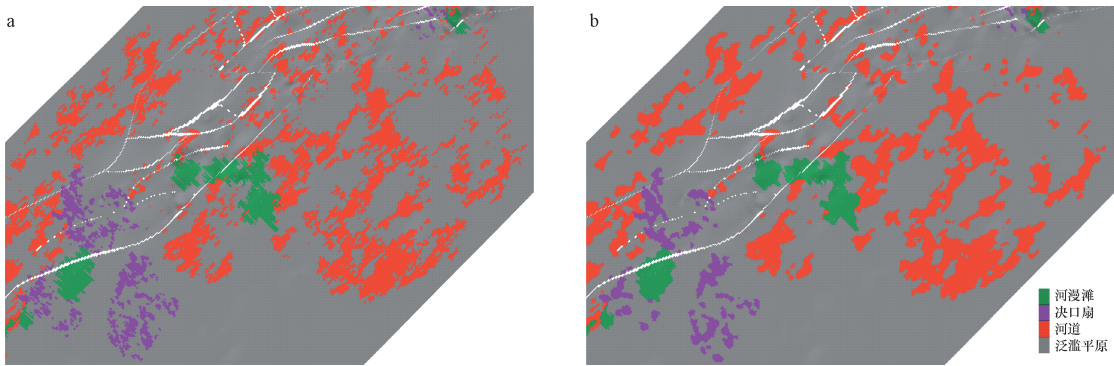


图 5 微相模拟迭代处理
Fig. 5 Iteration of microfacies modeling
a. 未迭代微相模拟结果;b. 迭代后微相模拟结果

据的同时,亦保证地质认识得到充分体现,从而达到模拟效果是逼近地质的“真实”,而非计算机或者数学的“真实”^[10],提高了模型的精度,为油藏数值模拟提供更切合地质实际的储层模型^[11]。

除了双控趋势约束,在模拟过程中,采取地质体多次迭代的方法。对目标地质体属性采取多次迭代的方法达到目标地质体自动收敛和去噪的效果,使得模拟结果与地质趋势的吻合度更好。以港东油田一个单砂层的沉积微相模拟为例,从迭代前后对比可以发现经过迭代处理后的模拟结果,地质体属性(各种微相)去噪和收敛效果明显好于未经过迭代处理的模拟结果(图 5)。需要注意的是,并不是只要迭代或者迭代次数越多越好,还取决于井点划分微相厚度与趋势面的吻合度,只有当井点划分的厚度与平面趋势程度相关性较好时,迭代才有效果,否则,迭代效果不明显,而且还耗费大量的机时。

3 重点单砂体内部构型精细建模

老油田的二次开发,就是在重建地质、油藏等模型基础上,形成新的地下认识体系^[12],通过精细地质研究,寻找潜力油砂体。特别是对于“双高”油田,以河流相沉积为主的储层,剩余油分布在砂体或构造的“边、薄、差”部位,对于一些“小而肥”的砂体,需要我们重点研究,对其内部构型刻画,转化为地质模型,提供数值模拟进行精细的剩余油分布预测,寻找剩余油“甜点”的重要突破区^[13]。地质模型成为连接地质研究成果与油藏数值模拟的重要纽带。

单砂体内部构型精细建模的关键是点坝内部侧积层的描述,怎么通过合适的方法将构型地质认识转化到模型上是难点。建模过程中采取不同随机模拟方法嵌套使用技术,逐级模拟曲流河点坝及侧积层的空间分布。即在构造模型的基础上结合微相研究成果,采取地震沉积相模拟方法先建立河道和点坝模型,然后

应用多点地质统计学方法模拟侧积层,将侧积层模型嵌入相模型中得到构型模型^[14]。

地震沉积相模拟是基于地震沉积学,利用高分辨三维地震资料,采取多种技术手段实现对沉积体系的精细刻画^[15]。常用如地层切片,井震结合预测砂体边界及厚度趋势,加上地质认识约束修正,建立河道和点坝相模型。点坝内部构型模拟是精细建模的重点,前提是要对点坝内部构型进行精细解剖,而这正是老油田二次开发地质研究的必经之路。在对点坝内部构型深入剖析之后,点坝内部的侧积层参数(曲率、倾向、倾角)有了全面的了解,为构型模拟储备定量知识库。构型的模拟采取示性点过程利用多点地质统计随机模拟进行,选取多点地质统计学方法,主要鉴于两点:①多点统计综合了基于目标和象元方法的优点^[16];②二次开发精细地质研究为训练图像准备提供了可操作性。由于侧积层比较薄,同用相模型的网格精度模拟侧积层,容易产生模拟结果的不收敛,所以在模拟前必须不断交互验证探寻合适的网格大小,即二次加密的方式保证构型模型的精准度。确定构型模拟网格大小后,就是侧积层训练图像的建立。训练图像建立以构型研究定量知识库为基础,从确定的侧积层曲率、倾向、倾角和侧积体规模等参数中,应用软件建立侧积层训练图像(图 6)。从训练图像中可以看出,训练图像反映了点坝内部侧积层的定量分布模式。采取序贯随机模拟算法,建立点坝侧积层模型,并嵌入微相模型中(图 7),模拟结果反映了训练图像的结构性,同时与微相砂体地质研究成果一致(验证略)。



图 6 侧积层训练图像
Fig. 6 Training image of lateral accretion layers

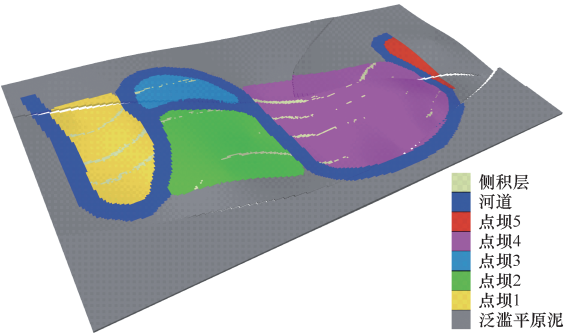


图 7 点坝侧积层模拟结果

Fig. 7 Simulation results of lateral accretion layers of point bar

4 结论

- 1) 针对复杂断块老油田二次开发构造建模,提出了关键层控制—分步模拟—整体建模技术对策,有效解决了单砂层多、断层复杂、井震匹配困难的难题,形成快捷准确化建模思路。
- 2) 沉积微相模拟提出平面趋势和垂向趋势双地质趋势约束法,同时模拟过程中采取多次迭代处理,达到去噪、平滑、及与充分利用地质认识成果且和地质趋势吻合度好的效果,为微相模拟提供了一套很好的借鉴方法。
- 3) 针对二次开发中“小而肥”的富油单砂体,重点解剖,建立内部构型模型,提出采取不同随机模拟方法嵌套使用技术,逐级模拟微相—构型,应用多点地质统计学方法模拟构型,能使模拟结果精细可靠。

参 考 文 献

[1] 胡文瑞. 论老油田实施二次开发工程的必要性与可行性[J]. 石油勘探与开发,2008,35(1):1-5.
Hu Wenrui. Necessity and feasibility of PetroChina mature field redevelopment[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(1):1-5.

[2] 胡文瑞. 中国石油二次开发技术综述[J]. 特种油气藏,2007,14(6):1-4.
Hu Wenrui. Overview of oilfield secondary development in China[J]. Special Oil and Gas Reservoirs,2007,14(6):1-4.

[3] 崇仁杰,于兴河. 储层三维地质建模质量控制的关键点[J]. 海洋地质前沿,2011,27(7):64-69.
Chong Renjie, Yu Xinghe. The keys to quality control of 3D reservoir modeling[J]. Marine Geology Frontiers,2011,27(7):64-69.

[4] 崔廷主,马学萍. 三维构造建模在复杂断块油藏中的应用——以东濮凹陷马寨油田卫95断块油藏为例[J]. 石油与天然气地质,2010,31(2):198-205.
Cui Tingzhu, Ma Xueping. An application of 3D structural modeling to complex fault-block reservoir—a case of the lower unit reservoir of Sha-3 member in Block Wei-95[J]. Oil & Gas Geology,2010,31(2):198-205.

[5] 吴胜和,武军昌,李恕军,等. 安塞油田坪桥水平井区沉积微相三维建模研究[J]. 沉积学报,2003,21(2):266-271.
Wu Shenghe, Wu Junchang, Li Shujun, et al. 3D microfacies mode

ling of Pingqiao horizontal well region of Ansai oilfield[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2003,21(2):266-271.

[6] 李少华,郭永康,李维锋,等. SN31 储层三维地质建模[J]. 天然气地球科学,2006,17(6):811-814.
Li Shaohua, Guo Yongkang, Li Weifeng, et al. 3D reservoir model for SN31 oilfield[J]. Natural Gas Geoscience,2006,17(6):811-814.

[7] 廖新维,李少华,朱义清. 地质条件约束下的储集层随机建模[J]. 石油勘探与开发,2004,31(1):92-94.
Liao Xinwei, Li Shaohua, Zhu Yiqing. Stochastic reservoir modeling restricted by geological conditions[J]. Petroleum Exploration and Development,2004,31(1):92-94.

[8] 于兴河,陈建阳,张志杰,等. 油气储层相控随机建模技术的约束方法[J]. 地学前缘,2005,12(3):237-244.
Yu Xinghe, Chen Jianyang, Zhang Zhijie, et al. Stochastic modeling for characteristics of petroleum reservoir constrained by facies[J]. Earth Science Frontiers,2005,12(3):237-244.

[9] 吴胜和,刘英,范峥,等. 应用地质和地震信息进行三维沉积微相随机建模[J]. 古地学报,2003,5(4):439-449.
Wu Shenghe, Liu Ying, Fan Zheng, et al. 3D stochastic modeling of sedimentary microfacies with geological and seismic data[J]. Journal of Palaeogeography,2003,5(4):439-449.

[10] 吕建荣,王曙光,钱鑫,等. 地质建模技术中的沉积微相约束[J]. 断块油气田,2009,16(3):14-16.
Lü Jianrong, Wang Xiaoguang, Qian Xin, et al. Sedimentary microfacies constraint in geological modeling[J]. Fault-Block Oil & Gas Field,2009,16(3):14-16.

[11] 吴胜和,张一伟,李恕军,等. 提高储层随机建模精度的地质约束原则[J]. 石油大学学报(自然科学版),2001,25(1):55-58.
Wu Shenghe, Zhang Yiwei, Li Shujun, et al. Geological constraint principles in reservoir stochastic modeling[J]. Journal of the University of Petroleum, China,2001,25(1):55-58.

[12] 陶自强,王丽荣,钱迎春,等. 大港复杂断块油田二次开发重构地下认识体系[J]. 石油钻采工艺,2009,31(增刊1):15-20.
Tao Ziqiang, Wang Lirong, Qian Yingchun, et al. Reservoir cognition for secondary development of the complicated fault in Dagang Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology,2009,31(S1):15-20.

[13] 黄劲松,刘长国,付晓飞,等. “小而肥”油藏油水分布特征及成因探讨——以海拉尔贝尔凹陷贝中油田为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2012,42(1):9-17.
Huang Jinsong, Liu Changguo, Fu Xiaofei, et al. Investigation about oil and water distribution and cause in “small and fat” oil reservoir; take Beizhong oil field in Beier depression Hailaer basin as an example[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition),2012,42(1):9-17.

[14] 兰丽凤,白振强,于德水,等. 曲流河砂体三维构型地质建模及应用[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2010,32(4):20-26.
Lan Lifeng, Bai Zhenqiang, Yu Deshui, et al. Study on geological 3D reservoir architecture modeling of meandering reservoir and it's application[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition),2010,32(4):20-26.

[15] 林正良,王华,李红敬,等. 地震沉积学研究现状及进展综述[J]. 地质科技情报,2009,28(5):131-137.
Lin Zhengliang, Wang Hua, Li Hongjing, et al. Current status and progress of seismic sedimentology[J]. Geological Science and Technology Information,2009,28(5):131-137.

[16] 吴胜和,李宇鹏. 储层地质建模的现状与展望[J]. 海相油气地质,2007,12(3):53-60.
Wu Shenghe, Li Yupeng. Reservoir modeling: current situation and development prospect[J]. Marine Origin Petroleum Geology,2007,12(3):53-60.