

北大港油田复杂断块油藏高精度储层建模表征

邹 拓¹ 陈晓智²

1. 中国石油大港油田公司勘探开发研究院, 天津 300280;
2. 中海油研究总院, 北京 100027

摘 要:复杂断块油藏以断层配置关系复杂为典型特征,如何精准定量表征储层是目前地质建模的重点与难点。以北大港油田复杂断块油藏为例,充分利用地震、地质、测井、钻井、岩心等资料,多成果融合、多条件协同建立高精度储层模型。提出“分级分步”构造模型建立思路,简单快速地解决复杂断块油藏断层多且复杂等构造建模难题。分析网格系统对地质体的准确刻画与合理表达。采取“多维协同、相序约束”储层属性模型建立法,达到相控、物性参数优相关目的。同时对“甜点”区重点解剖,应用不同随机模拟方法嵌套使用建立储层构型级别模型,准确描述储层内部非均质性。运用以上技术手段可以在提高模型精度条件下,减少储层不确定性,为此类型油田开发部署提供客观、科学的高精度地质模型。

关键词:复杂断块;构造建模;网格系统;储层属性模型;北大港油田

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2016.01.014

0 前言

由多种级别断层控制的复杂断裂系统所产生的众多相互独立的断块油藏,称为复杂断块油藏^[1]。其典型的地质特点是断层发育、断块很小、含油面积相对较小、构造和油气分布却十分复杂^[2-4]。除了主控沉积与成藏的二级断层外,还发育数量众多的三、四级断层,这些小断层横纵切油藏内部,相互叠置,形成断层配置关系复杂的多个小型断块油气藏。在目前储量接替日趋严峻的能源形势下,如何深度挖潜已开发油田的潜力,确定断块区的剩余油分布,改善油田开发效果并提高原油采收率,需要地质工作者竭尽所能摸清反映油藏特征参数及其分布,揭示地下储层的真实特征^[5-8]。这样建立高精度三维储层地质模型成为既直观又科学的研究手段。

北大港油田主要包括港东、港西两大主力开发区,其构造上位于黄骅坳陷中区北大港二级断裂构造带附近,为典型的复杂断块油藏。港东开发区约 57 条断层,

45 个断块,港西开发区约 48 条断层,以高角度正断层为主,平均断层密度 0.88 条/km² 左右。主要含油目的层为新近系明化镇组和馆陶组。经过近 50 年的勘探开发,目前该油藏已进入高含水、高采出程度阶段,为预测剩余油,开展老区挖潜,建立精细储层地质模型实为必然。

1 复杂构造模型建立

构造模型是储层模型的核心,是连接地球物理学家与油藏工程师的桥梁,辅以地质学家的调和,就能准确再现储层三维空间格架,直观显示地下构造形态,从而有效搭载属性载体。构造模型包括断层模型和层面模型,复杂断块构造建模技术难点在于断层模型的搭建,而断层模型的准确性直接影响构造模型和属性模型的可靠性及实用性,并对油藏认识和剩余油挖潜也有较大影响^[9-10]。为满足复杂断块精细储层建模需求,采取“分级分步”构造模型建立思路,即按断层级别依次建立,先建立能控制构造格局的高级别断层框架模型(如

收稿日期:2015-08-20

基金项目:国家重大科技专项“高含水油田提高采收率新技术”(2008 ZX 05010)

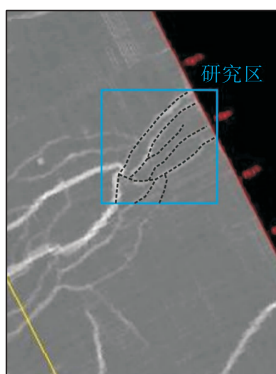
作者简介:邹 拓(1984-),男,湖北公安人,工程师,学士,主要从事开发地质与储层建模研究工作。

二、三级断层),然后在此框架下搭建低级别断层模型(如四、五级小断层),形成以断层模型为主控的区域关键层层面模型,进而以此约束通过井间插值形成三维构造模型。处于开发后期的复杂断块油藏地质研究趋于精细化,在断裂系统复杂、含油断块小的地质背景下,层位研究亦向细分砂组、薄砂层级别发展。通过此方法建立构造模型,在厘清断裂系统的基础上循序渐进,从横纵、井震上快速检验判断断裂系统组合、配置、延伸的合理性,而且也能解决单砂层多且薄、相带变化快的难题,达到模型高精度的要求。

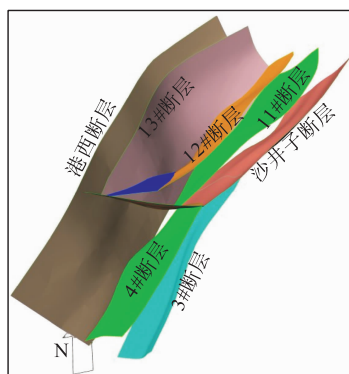
以北大港油田港西开发区一区二四断块为例,该区构造面积约 8 km^2 ,明化镇组发育各级断层19条,类型多样,有“X”、“λ”、“Y”型断层,产状变化较大。纵向上细分为Nm1、Nm2、Nm3共3个油组60个单砂层,层厚 $3.5\sim 37\text{ m}$ 不等。根据断层的断距、延伸长度分为二级、三级、四级、五级4个级别。高级别断层的搭建主要依据地震解释数据,纵向上配置好断层切割与延伸关系,平面上结合地震成果对断层组合关系进行修正,如采取断

层边缘检测技术,能有效指导断层的组合,对整体认识断层、分析断裂系统结构具有重要指导意义。图1为该区分级分步建立断层模型详细思路。

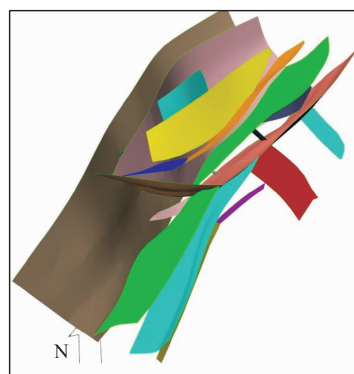
通过构造分析港西断层为全区仅有的二级断层,沙井子和4#断层为三级断层,其余均为四、五级断层。以高精度三维地震搭建空间断层格架,选取高级别二、三级断层的同时,对区域发育稳定的四级断层进行分析,加以井上断点对比,以稳定性和继承性为原则,搭建出研究区的框架断层模型(图1-b))。纵向上的断层配置关系确定后,平面上考虑断层的合理性组合,利用多种地震研究手段,如相干体分析、断层边缘检测、倾角计算等技术,对模型平面展布进行交互验证,图1-a)是港西开发区整体断层边缘检测成果图,对比图1-b)中框架剖面,在平面上组合形成符合地球物理学家和地质学家的构造认识成果模型。在框架断层模型建立后,以三维、井间地震联合解剖方式,综合考虑钻井、取心、构造发育史等确定低级别断层归属,并对断点、断距、倾向、倾角、断开层位等要素归位,交互联动形成全区断层模型(图1-c))。



a) 断层边缘检测图(Nm2油组底界)



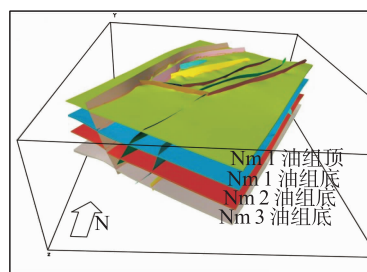
b) 框架断层模型



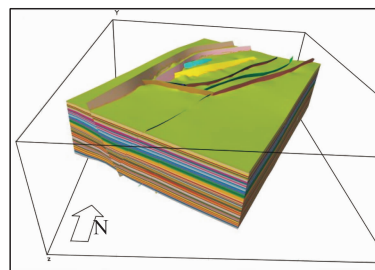
c) 所有级别断层模型

图1 断层模型约束与建立

断层模型的建立,为构造模型奠定了框架,在断层模型控制下建立层面模型,最终形成储层构造模型。在层面模型建立过程中,一般采取先关键层面插值,再层面内插的分步模拟法。关键层面主要是指地震解释的级别较高的层面,一般为油组或砂组^[11],在区域内沉积稳定、分布均匀。这些层面在地震上响应明显,易于识别,如北大港油田Nm1底界岩性组合为砂上泥下,界面处会形成负反射系数,横向上具有相似性,Nm2底界上下地层岩性反差大,存在明显的声波时差变化带,馆陶底界大套厚层底砾岩。在断层模型控制下,通过地震层面数据和井分层数据插值而建立关键层层面模型,作为油组内部单砂层内插的趋势控制,因为对于层多且薄的复杂断块油藏,过度依赖井点插值势必造成地层穿层、扭曲等现象,而利用关键层面的趋势控制,便能整体把握地质与地震、断层与层面的一致性。以3个油组(Nm1~Nm3)构造解释面为关键层面,建立关键层层面



a) 关键层层面模型



b) 含所有单砂层构造模型

图2 明化镇组构造模型建立

模型(图 2-a)),再对油组内部以井间插值形成地层顶、底层面模型,空间叠合,形成油藏三维地层格架,组合断层模型,完成构造模型建立(图 2-b))。

2 网格系统表征

储层属性均需靠网格表征,目前主流建模网格类型有正交网格和角点网格,均为结构性格网。正交网格虽具有计算速度快的优点,但其构建方式简单,对于复杂断层的表述会失真。典型的正交网格为 Pillar 网格(图 3-a)),其网格化地层时必须平行于断层面,这样在复杂的交叉断层、铲状断层及 Y 型断层断裂系统下,因受断

层面和构造面的影响,往往会产生网格扭曲变形现象^[12],如图 3-a)中顶面地层网格在断层附近出现明显的扭曲变形,在传送至数模接口中,除非对构造简化,否则就会造成不收敛。角点网格便克服了正交网格在表征复杂构造时的缺点,其在空间上不局限于六面体,平面上不局限于长方形,而是以四边形为主、三角形等其他多边形为辅的复杂网格结构^[13-14],具有灵活、准确的特点。在实际使用中,可以根据地质条件与研究重点,灵活控制网格,如创建规则化网格、强制网格边界垂直、断层并置校正等(图 3-b)),亦可使网格边界与断层走向重合(图 3-c)),有利于提高地质模型效率和数值模拟的精度。

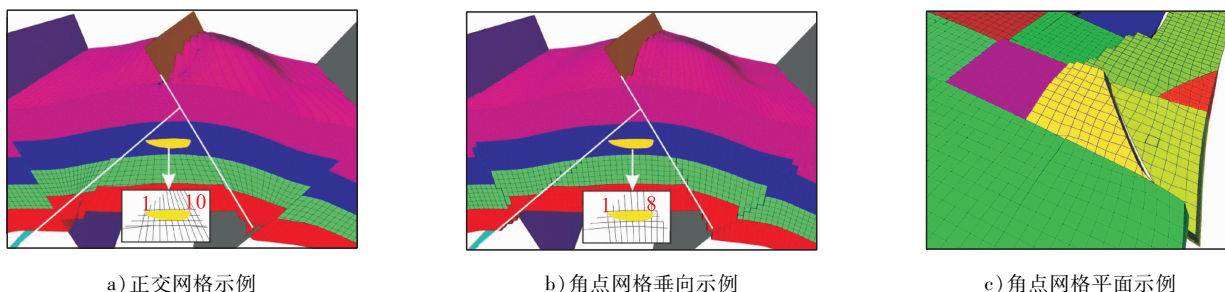


图 3 地质网格系统示例

除了对构造形态的描述,网格系统的另一个重点在于对地质体的准确表达。如果模型的基本网格系统不是等间隔的,那么在载入属性数据后,在数据分析时就会出现相同地质体表征大小不一的情况。如在图 3 中为同一砂体,角点网格表征出的是 35 m(5 m×7 网格),但在正交网格中却表征出 45 m(5 m×9 网格),显然背离了地质认识成果,偏离甚至会误导对真实储层的认识。

3 储层属性模型表达

储层属性模型包括离散属性模型(沉积微相模型、岩相模型、流动单元等)和连续属性模型(孔隙度、渗透率、饱和度模型等)^[15]。通过网格化的构造模型,载入储层属性参数,建立能准确反映地下储层属性(微相、岩相、孔隙度、渗透率、饱和度等)的空间参数模型,界定有利储集空间位置及其分布范围,从而直接为油田开发方案的制定和调整提供依据^[16]。常规属性模拟以输入参数为硬数据,进行序贯指示或高斯模拟,这样的模拟结果只是简单的地质“数据”统计后的内推外插,并不能真正体现储层空间分布的复杂性、局部随机性和变异性^[17],以及地质相关性。

对于陆相沉积来说,砂体分布控制微相展布,储层物性又受微相展布控制。由此,为了建立更加精细的地质

模型而非“数据”模型,采取“多维协同、相序约束”储层属性模型建立方法,即在等时原则下,建立相对粗略的岩相模型,在岩相模型基础上遵循沉积规律,分层次建立亚相、微相模型,再以微相模型为背景,分析物性参数特征及相关性,相控思路建立储层参数模型。对于储层物性好的富含油“甜点”区,细化研究精度,嵌入微相模型框架下,建立构型级别模型,准确描述储层内部非均质性。

以北大港油田港东开发区为例。回归分析确立测井解释泥质含量门槛值,建立一维单井岩相剖面,连井对比确定二维砂体纵向展布与叠置关系,结合沉积规律,提取井点砂岩厚度,圈定砂体平面展布,采取序贯指示模拟方法建立岩相模型(图 4-a))。在岩相模拟结果上分析区域内沉积亚相、微相,通过提取单井垂向微相趋势,辅以平面相图边界约束的双趋势控制法,形成各种微相三维概率趋势体,以多次迭代指示模拟,并随机模拟多个实现,按概率筛选法确立最终微相模型(图 4-b)),以相控约束为指导思想,结合协同序贯高斯模拟方法建立孔隙度模型(图 4-c))。对于渗透率和饱和度的模拟,还可对孔-渗进行相关分析,相关性好的情况下,再用孔隙度模型作为约束,建立渗透率和饱和度模型。这样环环相扣,多级约束,逐步降低随机插值的不确定性。

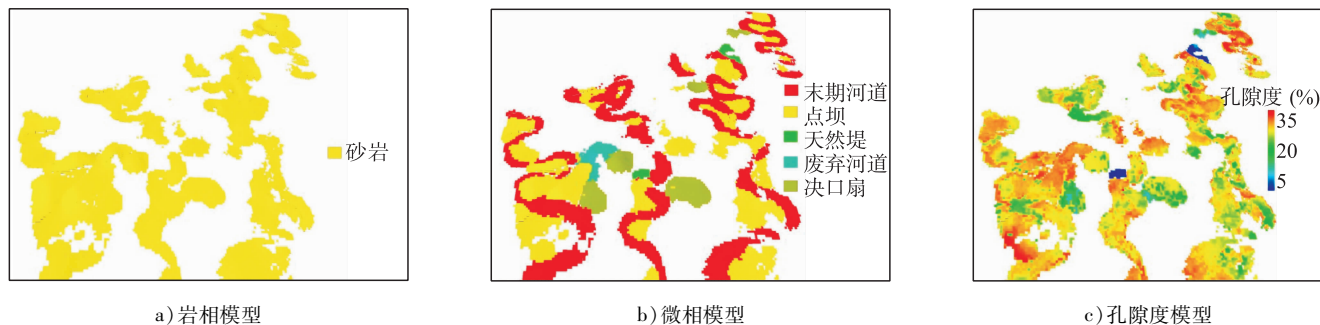


图4 储层属性模型(镂空背景多层叠合显示)

对于储层物性好的“甜点”砂体,需要更进一步深化地质研究,解剖砂体内部建筑结构,摸清地下储层内部剩余油分布,既是科学研究深化的必然,也是当前油田生产实践的要求^[18]。依据沉积地质体的层次性,选取研究区一个点坝,按照微相组合—单一微相—微相内部单元不同级次建模^[19]。在已建立好的微相模型下,获取点坝内部研究成果,嵌入微相模型中,采取示性点过程多点地质统计随机模拟方法建立点坝内部构型模型(图5-a)),模拟结果显示,点坝内部构型解剖清晰,侧积层的要素符合曲流河沉积规律,物性参数模拟结果(图5-b))揭示相控效果明显,保证参数模型更加合理、精确,体现真实地质趋势,可以为剩余油精细模拟提供可靠、科学的地质依据。

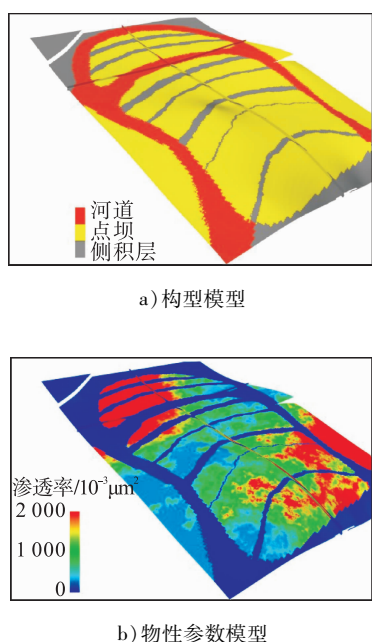


图5 点坝内部构型模型

4 结论

1) 具有复杂断裂系统断块油藏,“分级分步”法构造建模思路,快速有效解决断层多且配置关系复杂的构造建模难题,同时对于层多而薄的老油田单砂体级别建模亦能简单高效完成。

2) 选取合理的角点网格才能精细表达构造格架,准确刻画地质体。

3) “多维协同、相序约束”储层属性模拟方法,能最大化降低储层参数预测的不确定性,嵌入式构型建模技术,不但能准确表征有利储层内部非均质性,也为“甜点”砂体解剖后的超精细三维建模提供参考思路。

参考文献:

- [1] 王端平,柳强.复杂断块油田精细油藏描述[J].石油学报,2000,21(6):111-116.
Wang Duanping, Liu Qiang. Fine Reservoir Description of Complex Fault-block Oil Filed [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21 (6): 111-116.
- [2] 窦松江,赵平起.断层封闭性在油田开发中的应用[J].断块油田,2010,17(1):28-31.
Dou Songjiang, Zhao Pingqi. Application of Fault-sealing in Oilfield Development [J]. Fault-block Oil & Gas Filed, 2010, 17 (1): 28-31.
- [3] 崔传智,杨赤宸,牛栓文,等.复杂断块油藏高含水期合理井距确定方法及其影响因素[J].油气地质与采收率,2013,20(4):53-56.
Cui Chuanzhi, Yang Chichen, Niu Shuanwen, et al. Determination of Reasonable Well Spacing and Influencing Factors for the Complicated Fault-block Reservoirs at High Water Cut Stage [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20 (4): 53-56.
- [4] 王端平,杨勇,许坚,等.复杂断块油藏立体开发技术[J].油气地质与采收率,2011,18(5):54-57.
Wang Duanping, Yang Yong, Xu Jian, et al. Three-dimensional Development Techniques in Complicated Fault-block Reservoir [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18 (5): 54-57.
- [5] 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 Reservoirs-A Case of the Lower Unit Reservoir of Sha-3 Member in Block Wei-95 [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31 (2): 198-205.
- [6] 丁可新. 复杂断块油藏精细构造建模技术—以富林油田为例[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2008, 30 (5): 247-250.
- Ding Kexin. Fine Structure Complex Fault Block Oil Reservoir Modeling Technology—A Case Study of Fulin Oilfield [J]. Journal of Oil and Gas Technology (J. JPI), 2008, 30 (5): 247-250.
- [7] 刘滨, 石晓燕, 何伯斌, 等. 复杂断块油藏建模技术在丘陵油田的应用[J]. 新疆石油地质, 2010, 31 (5): 548-550.
- Liu Bin, Shi Xiaoyan, He Bobin, et al. Application of Complex Fault-Block Reservoir Modeling Technology in Qiuling Oil Field [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31 (5): 548-550.
- [8] 王宇, 李治平. 流线数值模拟中的无效网格处理方法[J]. 天然气与石油, 2013, 31 (3): 53-56.
- Wang Yu, Li Zhiping. Treatment Method of Immobile Grid in Streamline Numerical Simulation [J]. Natural Gas and Oil, 2013, 31 (3): 53-56.
- [9] 曲良超, 卞昌蓉. 井震结合断层建模技术在复杂断块中的应用[J]. 断块油气田, 2012, 19 (4): 426-429.
- Qu Liangchao, Bian Changrong. Application of Fault Modeling Combined with Well Data and Seismic Data in Complicated Fault Block [J]. Fault-block Oil & Gas Filed, 2012, 19 (4): 426-429.
- [10] 张强, 吕建荣, 王晓光. 砾岩油藏储层建模算法优选及模型验证[J]. 天然气与石油, 2012, 30 (2): 56-58.
- Zhang Qiang, Lü Jianrong, Wang Xiaoguang. Optimization of Conglomerate Reservoir Modeling Algorithm and Its Model Verification [J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30 (2): 56-58.
- [11] 吴胜和. 储层表征与建模[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 392-399.
- Wu Shenghe. Reservoir Characterization and Modeling [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 392-399.
- [12] 徐芳, 张文旗, 李菊红, 等. “地质网格”技术在复杂断块油藏地质建模中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48 (增刊1): 75-81.
- Xu Fang, Zhangwenqi, Li Juhong, et al. Geological Grid Technology for 3D Geology Modeling in Complex Fault-block Reservoirs [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2013, 48 (Suppl 1): 75-81.
- [13] 叶继根, 吴向红, 朱怡翔, 等. 大规模角点网格计算机辅助油藏模拟历史拟合方法研究[J]. 石油学报, 2007, 28 (2): 83-86.
- Ye Jigen, Wu Xianghong, ZhuYixiang, et al. Study on Computer Assisted History-matching Method in Corner Point Grids [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28 (2): 83-86.
- [14] 叶继根, 吴向红, 刘合年, 等. Greater Unity 多层复杂断块油田低压注水开发调整研究[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33 (6): 766-771.
- Ye Jigen, Wu Xianghong, Liu Henian, et al. Low-pressure-water-injection Development Adjustment for the Greater Unity Oilfield with Complex Faults [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33 (6): 766-771.
- [15] 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.
- [16] 张兵, 郑荣才, 张春生. 鄂尔多斯盆地庆64井区延10油层的储层三维地质建模[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2010, 37 (1): 29-35.
- Zhang Bing, Zheng Rongcai, Zhang Chunsheng. Reservoir Sedimentary Characteristics and Reservoir Modeling of Well Qing 64 Zone in Yuancheng Oilfield, Ordos Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2010, 37 (1): 29-35.
- [17] 张淑娟, 邵龙义, 宋杰, 等. 相控建模技术在阿南油田阿11断块中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35 (3): 355-361.
- Zhang Shujuan, Shao Longyi, Song Jie, et al. Application of Facies-controlled Modeling Technology to the Fault-block A11 in Anan Oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35 (3): 355-361.
- [18] 李阳, 郭长春. 地下侧积砂坝建筑结构研究及储层评价—以孤东油田七区西Ng⁵⁺³砂体为例[J]. 沉积学报, 2007, 25 (6): 942-948.
- Li Yang, Guo Changchun. The Architecture and Reservoir Evaluation of Underground Lateral Accretion Bar: A Case Study on the Ng⁵⁺³ Sand-body in 7th Block West of the Gudong Oilfield [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25 (6): 942-948.
- [19] 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.