

井震结合精细储层建模方法与实践

张义¹, 尹艳树^{1,2}, 秦志勇³, 周文¹

1. 长江大学地球科学学院, 武汉 430100
2. 山东科技大学; 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室, 青岛 266590
3. 大港油田滨港集团博弘石油化工有限公司, 天津 300280

摘要 融合地震资料与井资料分别在横向和纵向上高密度采样的特点, 以中国海上某气田B区块为例, 通过井震联合标定, 进行精细构造解释, 用准确的速度模型搭建了时间域与深度域联系的桥梁; 利用地震解释的断层、层位构建储层骨架模型, 应用地质统计学协变量方法, 以井数据作主变量, 地震反演实现统计得到的岩性概率体作为第二变量约束井间插值、外推和模拟, 建立砂体展布模型; 依靠砂体展布模型约束沉积相建模, 在相模型基础上构建物性模型。实践表明, 井震结合储层建模研究断层更精确, 能够弥补井间信息不足的缺陷, 有效降低井间砂体预测的不确定性, 提高模型预测精度。

关键词 井震结合; 井震联合标定; 储层建模; 构造格架; 岩性概率体

中图分类号 TE122 **文献标志码** A **doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.19.015

Development of well-to-seismic integration reservoir modeling and its application

ZHANG Yi¹, YIN Yanshu^{1,2}, QIN Zhiyong³, ZHOU Wen¹

1. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China
2. Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Minerals of Shandong Province; Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China
3. Bohong Oil Petrochemical Co. Ltd., Bingang Group, Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China

Abstract The characteristics of high-density sampling of seismic data and well data in the horizontal and vertical directions are integrated to construct the reservoir model for the Section B of a gas field of China. Firstly, the well-to-seismic integration calibration is used to interpret the fine structure, and the accurate velocity model is adopted to set up a bridge between the time domain of seismic data and depth domain of well data. Secondly, the reservoir structural model is built by well correlation under the constraint of the fault and horizon from seismic interpretation. Thirdly, a co-simulation method is developed to forecast the sand distribution, in which well data is the master variable and the lithology probability from seismic inversion is the second variable. The facies model is built on the basis of sand distribution model. Finally, the model of petro-physical property is built under the constraint of the facies model. Application has indicated that reservoir modeling with well-to-seismic integration is more accurate in terms of fault and sand body prediction between wells, thereby the improvement of accuracy of the reservoir model.

Keywords integration of wells and seismic data; well-seismic integration calibration technique; reservoir modeling; tectonic framework; probability model of lithologic

收稿日期: 2015-05-07; 修回日期: 2015-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41572081); 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室开放基金项目(DMSM201404); 长江大学青年教师基金项目

作者简介: 张义, 硕士研究生, 研究方向为精细油藏描述, 电子信箱: 1551269385@qq.com; 尹艳树(通信作者), 教授, 研究方向为油气藏开发地质, 电子信箱: yys6587@126.com

引用格式: 张义, 尹艳树, 秦志勇, 等. 井震结合精细储层建模方法与实践[J]. 科技导报, 2015, 33(19): 91-95.

海上油田钻井资料相对较少,地震资料品质相对较好且覆盖面广,常规建模算法依靠测井数据插值随机性太强,难以对井间区域进行控制,不确定性影响很大^[1]。应用地震资料不仅可以在空间上对构造格架的建立进行调整验证,还可以利用其平面上丰富的信息提高井间估计的确定性对储层砂体展布进行预测及控制。近10年来,综合地震与井资料建立储层三维地质模型技术得到快速发展与应用^[2,3],利用地震解释建立模型构造格架,地震反演预测井间砂体的分布,井震结合相模型、储层物性模型的建立等技术的发展,也逐渐形成和完善了井震结合的储层三维地质建模技术。

中国海上某气田B区块所处构造为挤压背斜构造,整体是一个NNE向展布的复合大背斜,具有东缓西陡的特征。目前该气田已进入开发期,由于河道的摆动和迁移,研究区砂体总体表现为横向变化快,纵向砂体叠置,自下而上砂层变薄,泥质含量增加的特征。亟需进行精细储层地质建模研究,为开发调整提供有力依据。以往对该区的研究较多,但对于薄互层储层建模方面研究较少。本研究针对研究区储层砂泥叠置交互严重等问题,采取井震结合储层地质建模技术建立研究区精细地质模型,利用地震解释的断层和层位结合井资料建立高精度构造模型,以多个地质统计学反演实现统计分析得到的岩性概率体控制储层砂体的空间展布。

1 建模思路

井震标定是连接地震、地质、测井工作的桥梁,其目的是利用测井资料的高分辨率精细标定各岩性界面在地震剖面上的反射位置^[4],建立时间与深度域的对应关系,在此基础上进行精细的构造解释。有效结合地震解释的层位、断层数据和丰富的井数据,建立高精度构造格架。利用统计学反演建立波阻抗与岩相之间的关系,通过对反演得到的多个实现进行统计分析,得到能够充分表征三维空间岩相发育概率的岩性概率体。以岩性概率体作软约束,井数据作硬约束,建立砂体展布模型,所得模型充分融合了井震分别具有的高纵、横向分辨率特点,利用砂体展布约束建立沉积相模型,最后根据“相控”原则建立属性模型,其流程如图1所示。

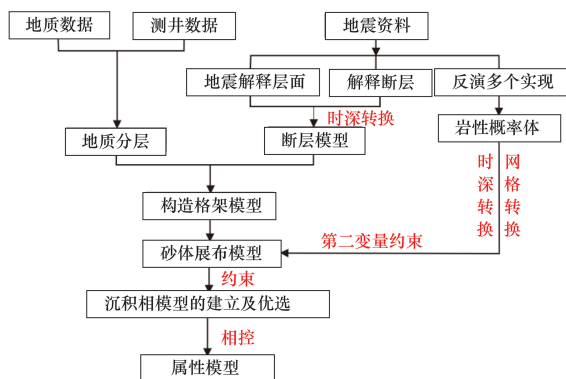


图1 井震结合储层建模流程

Fig. 1 Flow chart of reservoir modeling constrained by well-to-seismic integration

2 速度模型的建立

时深转换是井震结合的关键环节,高精度的时深转换取决于速度模型的准确性,不合理的时深转换造成深度与时间的不匹配,从而使井震结合失去意义。

对测井曲线进行多井一致性处理,对于扩径严重的井段,由于泥浆充填,其密度信息严重失真,利用对扩径不敏感的自然伽马、自然电位等深度曲线通过多元线性拟合方法对扩径段曲线进行重构,重构后的曲线能够有效反映储层岩性特征^[5]。从井旁地震道提取目的层子波,本着波形、相位、能量相近的原则反复调整,得到吻合较好的合成记录。利用研究区12口井合成记录确定的时深关系,产生每口井的层速度和平均速度曲线^[6],通过分析发现工区目的层平均速度与埋深具有较好的线性相关性(图2),速度模型建立时利用井分层对其做约束,确保了速度模型的精确性。

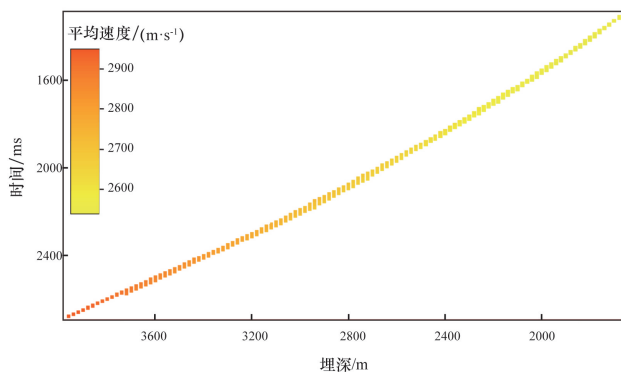


图2 平均速度、埋深、时间交汇

Fig. 2 Intersection of average speed, buried depth and time

3 地震约束下构造格架模型的建立

构造格架模型建立是储层建模第一步,也是非常关键的一步,其准确与否直接决定地质模型是否真实可靠。构造格架模型的建立,实质上是在地层精细划分和对比基础上,综合地质、地球物理等信息,对研究区储层层面(包括断层部位)在空间上分布的一种预测。在本次构造格架模型建立中,由于井资料较少,综合地震解释成果约束构造格架模型建立就较为关键了。构造格架模型由断层模型和层面模型组成。

3.1 断层模型

断层模型主要反映空间上断层展布特征,揭示地层错动情况以及不同断块差异性。井震结合建立断层模型的步骤:1)地震解释成果时深转换;2)利用地震解释成果初步建立断层模型^[7],检查调整断层倾向及连接关系;3)断点归位,进行三维空间校正;4)以深度域方差体、蚂蚁体作为空间约束和检查方式,在三维空间内合理直观的对断层进行修正^[8]。根据上述步骤反复调整和验证,保证断层形态既符合实际的情况又能够精细刻画其在三维空间的展布特征,较好地实现了断层建模(图3)。

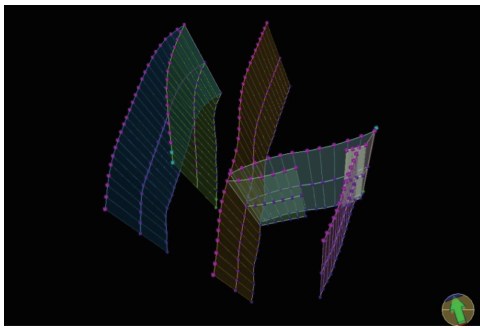


图3 B区块断层模型

Fig. 3 Fault model of Section B

3.2 层面模型

模型采用角点网格建立,综合考虑B区块井的分布情况、构造走向及开发需要等特征,平面网格步长为 $25\text{ m}\times 25\text{ m}$ 方案,适当添加趋势线,最大可能提高平面网格质量;垂向上,为考虑层内夹层对油水分布影响,同时兼顾模型大小,按平均 0.5 m 大小进行划分。

针对研究区井网稀疏及个别部位地层倾角较大,单纯利用井分层数据建立层面模型造成井点间误差较大,影响模型精度。采用地震解释层面作为约束,以井点数据为条件数据,可有效解决这一问题,地震解释的相对构造幅度是准确的,采用井震结合构建层面模型,充分保留井点数据的准确性和地震的相对趋势^[9],以此建立了3个主要油组顶面的层面模型。在此基础上,以主要油组层面为趋势,采用厚度插值方法,结合手工修改方式,完成研究区构造模型建立(图4)。

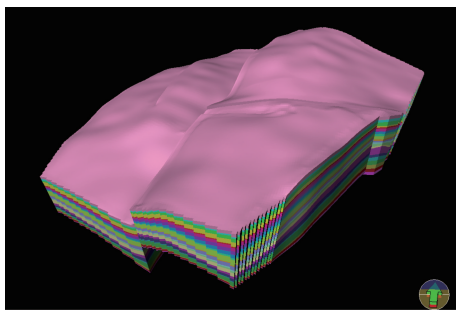


图4 B区块构造格架模型

Fig. 4 Tectonic framework model of Section B

实践表明,地震解释面的约束使井间构造幅度保留了地震解释的相对趋势,有效解决了数学插值在研究区井网稀疏及个别部位地层倾角较大情况下造成的井间构造误差,更好地体现出井间微小构造的变化^[10]。

4 岩性概率体约束下的沉积相建模

地震资料纵向分辨率与井资料相比低很多,地震资料在储层建模中的应用是否具有可行性是井震结合储层建模的

关键问题之一,通过对研究区进行岩石物理研究及测井资料综合评价可知,波阻抗能较好的区分砂泥岩,这为以地震数据作为建模约束打下了良好的基础。本次研究采用两步建模策略:1)通过序贯指示同位协同模拟方法以岩性概率体作为协变量模拟砂岩展布特征;2)用模拟的砂岩展布模型约束沉积相模型建立,即“相约束相”建模。

4.1 网格转换

地震网格到角点网格的简单重采样会导致属性窜层,层位信息不能准确保留,对后面约束造成误差,应用网格转换工具,将时间域反演结果无缝地转换到深度域油藏建模所需要的角点网格属性体,保证了层位的连续性,解决了对地震及其属性进行网格转换时的关键问题,转化的过程中保持体积和几何特征一致。具体步骤:1)创建时间域构造格架模型;2)创建CPG角点网格模型;3)将反演属性体导入时间域构造格架模型;4)应用Jason软件的Rescale模块将属性体粗化为深度域CPG角点网格模型。

4.2 岩性概率体

地质统计学反演通过对井点处波阻抗数据与岩相类型进行统计分析,确定不同波阻抗值所对应不同岩相的百分比,以此作为局部先验概率,通过合适的插值方法进行内插外推,得到多个岩性体实现。由于反演结果随机性很强,常常需要对多个实现进行统计分析来消除误差,砂岩概率体正是其统计分析的结果之一。本研究通过对反演得到的多个岩性体在每个节点上砂岩出现的概率进行统计,得到的砂岩概率体即为最终结果,它在每个节点上都代表了砂岩出现的最大概率。

4.3 数据分析

变差函数反映了储层在三维空间的变化规律,是两点地质统计学建模的核心。它包括变程、块金值、拱高3个主要特征值(反映了储层参数的空间变化特征),利用变差函数提供的全部结构信息,既可以用来分析和认识所研究的地质问题,也可以从地质角度对变差函数进行一次检验^[11]。变差函数的变程大小,不仅能反映区域化变量在空间上具有相关性的范围,同时还能从总体上反映出区域化变量的载体(如砂体)在空间上的展布特征,从而可利用变程来预测砂体在三维空间某方向的延伸尺度,以实现预测砂体规模的目的^[12]。变差函数拟合时,根据各沉积单元的特征,选取合适模型,反复多次进行参数实验,拟合出最佳结果。

研究区物源方向为北西向,稳定的三角洲沉积环境适合采用球状模型。由于井网稀疏,仅依靠井数据内插外推难以预测无井控地区砂体发育情况,应用岩性概率体做约束变得尤为重要,岩性概率体在建模过程中的约束作用主要体现在对储层的空间形态和砂体边界的不确定性约束方面。

序贯指示同位协同模拟是在序贯指示模拟过程中增加了与主变量相关的协同变量,通过沿不同随机路径求取各节点的累积条件分布概率函数,进而从累积分布函数中提取模拟值。利用序贯指示同位协同模拟方法进行储层横向预测,

能够忠实于已知井数据,同时井间与外推区域的随机模拟又受到协同变量(岩性概率体)的约束,具有较高的预测精度^[13]。

变差函数分析时将岩性概率体作为协同变量输入,以井上岩性数据作为主变量。岩性概率体只是代表砂、泥分布的可能性,是岩相建模的软约束,当岩性概率体与井资料发生冲突时,相概率服从井数据,这样建立的砂岩展布模型既能确保在井点处与地下实际地质情况相符,又发挥了地震资料横向信息丰富的特点。

4.4 沉积相建模

分析可知,研究区发育浅湖泥、水下分流河道、席状砂、

河口坝4种微相,由于沉积微相的分布受控于砂岩展布,沉积相模型建立采用“相约束相”的方法,即用上一步生成的砂岩展布模型控制沉积相分布范围,在砂岩分布边界内应用序贯指示模拟方法生成水下分流河道、席状砂、河口坝3种微相,砂岩边界外直接用确定性方法赋值为浅湖泥。模拟产生20个实现,分析发现20个实现相似程度非常高,这说明采用井震结合建模能够有效降低多解性,增加井间确定性信息。对20个实现进行对比分析,结合地质分析的结果,优选出实现8作为参数建模用的相模型,图5展示了实现8对应的各模型对比^[14]。

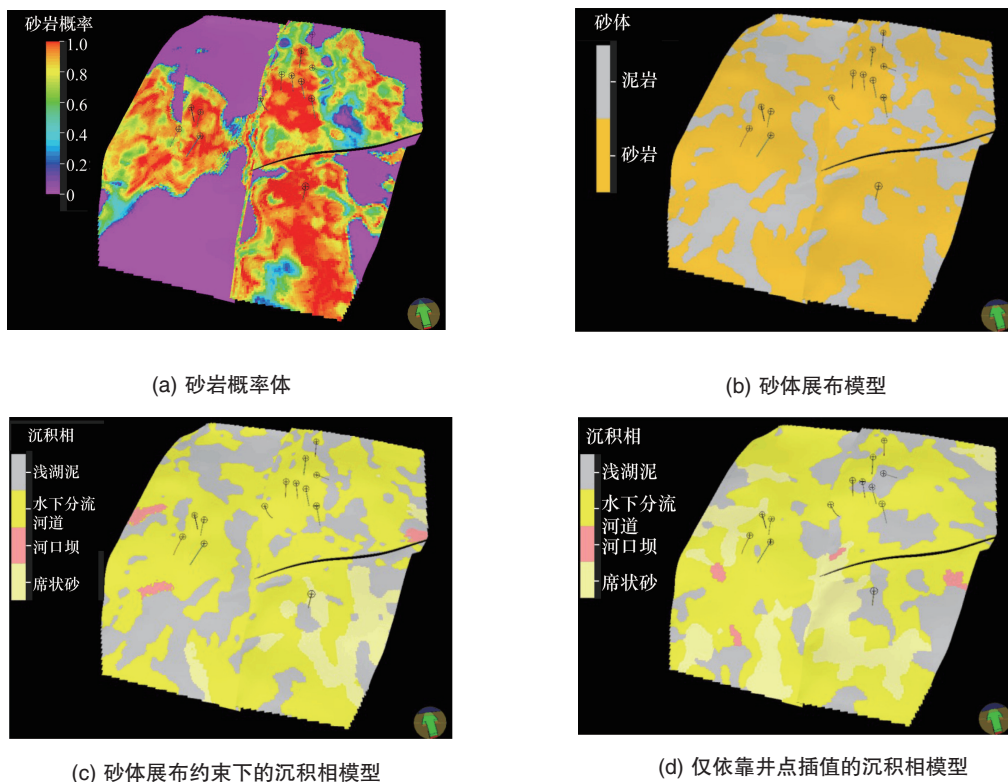


图5 B区块H8c2小层各模型对比

Fig. 5 Model contrast in H8c2 layer of Section B

图5展示了B区块H8c2小层砂岩概率体、砂体展布模型、砂体展布约束下的沉积相模型、单纯使用井插值所得的相模型。对比分析表明,井震结合储层建模结合了井震资料各自的优点,储层砂体的展布和尖灭更加符合实际的地质认识,模型既符合井数据的地质统计学特征,又能反映出地震数据中观测到的大尺度结构和储层连续性^[15],与仅依靠井数据内插外推得到的模型相比,大大降低了井间和无井控区域预测的随机性。

5 属性模型建立

储层属性建模采用序贯高斯建模方法,分析知所建相模型能够较好地反映沉积相空间变化,可作为相控参数建模的

依据。序贯高斯建模是属性建模常用的方法,它通过对储层物性进行正态变换,采用高斯函数对参数进行分析和预测。储层参数的分布受到砂体成因单元的控制,只有砂体内才具有有效的储层参数,不同相的储层参数分布规律不同^[16],采用相控建模方法,按沉积相模拟储层物性参数的空间展布,建立了研究区孔隙度、渗透率模型。采用该模型计算的储量与地质分析结果较为吻合,误差在10%以内,以此开展数值模拟与生产实际能够较快地拟合上,验证了模型的准确性。

6 结论

1) 井震联合标定,对研究区进行了精细构造解释并得到单井时深关系,在此基础上建立了速度模型;精确的速度模

型是联系时间域与深度域的桥梁。

2) 利用地震解释的断层、层位所构建的储层骨架模型更为精确,能有效解决单纯使用数据内插造成的井间构造误差,更好地体现出井间微小构造的变化。

3) 采用两步建模策略,应用地质统计学协变量方法,以井数据作主变量,地震反演实现统计得到的岩性概率体作为第二变量约束井间插值、外推和模拟,建立砂体展布模型,利用“相约束相”建模方法,用模拟的砂岩展布模型约束沉积相模型建立,由此建立的沉积相模型既符合井数据的高纵向分辨率特征,又真实地反映储层横向展布的连通性特征,有效降低了井间砂体预测的不确定性,提高了储层相建模精度。

参考文献 (References)

- [1] 崇仁杰, 刘静. 以地震反演资料为基础的相控储层建模方法在BZ25-1油田的应用[J]. 中国海上油气: 地质, 2003, 17(5): 17-21.
Cong Renjie, Liu Jing. Application of a facies-controlled reservoir modeling method based on seismic inversion data in BZ25-1 Oilfield [J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 2003, 17(5): 17-21.
- [2] 陈恭洋, 胡勇, 周艳丽, 等. 地震波阻抗约束下的储层地质建模方法与实践[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 67-73.
Chen Gongyang, Hu Yong, Zhou Yanli, et al. Methods and practice of reservoir geologic modeling constrained by seismic impedance[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 67-73.
- [3] 周丽清, 赵丽敏, 赵国梁, 等. 高分辨率地震约束相建模[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(3): 56-58.
Zhou Liqing, Zhao Limin, Zhao Guoliang, et al. Stochastic facies modeling constrained by high resolution seismic data[J]. Petroleum Exploration & Development, 2002, 29(3): 56-58.
- [4] 舒克栋, 张才智, 程超, 等. 约束稀疏脉冲反演在泌阳凹陷南部陡坡带中的应用[J]. 新疆石油天然气, 2011, 7(1): 16-20.
Shu Kedong, Zhang Caizhi, Cheng Chao, et al. The application of reservoir sparse spike inversion in South Slope of Biyang Depression[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2011, 7(1): 16-20.
- [5] 邱立伟, 杨安平, 龙胜祥, 等. 孤家子-后五家户气田地震反演与储层建模综合研究[J]. 勘探地球物理进展, 2004, 27(1): 50-52.
Qiu Liwei, Yang Anping, Long Shengxiang, et al. Geostatistical seismic inversion and reservoir modeling study in Gujiazi-Houwujiahu region [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2004, 27(1): 50-52.
- [6] 李艳丽, 柳成志, 王文广, 等. 井震结合断层建模方法在萨北北二西的应用[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(18): 4182-4185.
Li Yanli, Liu Chenzhi, Wang Wenguang, et al. Fault modeling method with well-to-seismic integration used in the North II West tract of Saertu North Area[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(18): 4182-4185.
- [7] 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 Field, 2012, 19(4): 426-429.
- [8] 刘雷, 金利, 文宇飞. 开发地震构造建模技术的研究方法[J]. 高原地震, 2009, 21(3): 46-51.
Liu Lei, Jin Li, Wen Yufei. Discussion on the ways of development of seismic structural modeling research[J]. Plateau Earthquake Research, 2009, 21(3): 46-51.
- [9] 白雪. 井震结合构造建模技术及在BSX区块开发中的应用[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(11): 3064-3068.
Bai Xue. Research on high efficiency price heparin sodium with enzymatic combined membrane preparation technology[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(11): 3064-3068.
- [10] 傅志明. 高台子油田井震结合构造建模技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
Fu Zhiming. The research on the structure modeling technology by integrating the well and seismic data in Gaotai Oilfield[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [11] 刘泽容, 杜庆龙, 蔡忠. 应用变差函数定量研究储层非均质性[J]. 地质论评, 1993, 39(4): 297-301.
Liu Zerong, Du Qinglong, Cai Zhong. The qualitative study of the reservoir heterogeneity with the variation function [J]. Geological Review, 1993, 39(4): 297-301.
- [12] 孙磊, 孙龙德, 江同文, 等. 塔里木盆地轮南油田TⅢ油组底水块状油藏夹层分布规律研究[J]. 海相油气地质, 2001, 6(4): 47-52.
Sun Lei, Sun Longde, Jiang Tongwen, et al. Research on bottom water block reservoir interbed distribution in Tarim Basin Lunan Oilfield T-Ⅲ oil group [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2001, 6(4): 47-52.
- [13] 张淑品, 于兴河. 同位协同随机建模方法在储层预测中的应用[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 378-381.
Zhang Shupin, Yu Xinghe. The application of collocated Co-Kriging stochastic modeling reservoir description [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3): 378-381.
- [14] 杨勇, 聂海峰, 张雅玲, 等. 基于多点地质统计学的岩性气藏精细建模方法与应用[J]. 断块油气田, 2013, 20(6): 723-726.
Yang Yong, Nie Haifeng, Zhang Yaling, et al. Method and application of stochastic modeling for lithologic gas reservoir based on multiple-point geostatistics[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(6): 723-726.
- [15] 刘文岭. 地震约束储层地质建模技术[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 64-68.
Liu Wenling. Geological modeling technique for reservoir constrained by seismic data[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(1): 64-68.
- [16] 段天向, 刘晓梅, 张亚军, 等. Petrel建模中的几点认识[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 102-107.
Duan Tianxiang, Liu Xiaomei, Zhang Yajun, et al. Discussion on geologic modeling with Petrel[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(2): 102-107.

(责任编辑 陈广仁)

《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿:www.kjdb.org。