

天然气地球物理勘探

基于地震资料的薄互层储层三维地质建模

——以埕海油田二区为例

贾玉梅, 徐芳, 陈斌, 李涛, 杜艳蕾

(中国石油大港油田勘探开发研究院, 天津 300280)

摘要: 滩海地区井资料少、井距较大, 形成以地震资料为主的勘探开发技术系列, 对滩海地区地质模型能否满足早期开发需要进行评价, 面临滩海区特殊的地面、地下地质条件, 薄互层的储层预测存在困难, 基于地震资料的地质建模研究是其关键技术之一。以埕海油田埕海二区为例, 三维储层建模技术通过对地震属性、地震反演数据和测井数据的直接协同, 在平面上融合地震数据的空间结构和钻井描述的地质特征, 在垂向上则在反演数据的基础上, 进一步刻画储层垂向的特征, 使其趋于测井的尺度。此三维综合建模的方法比较适合砂泥薄互层的预测。通过对埕海油田二区已建立的薄互层地质建模效果评价研究, 认为受沉积相影响滩海油田薄互层较发育, 比较适合采用井—震结合的方法进行地质建模研究。通过对反映薄互层的岩相模型进行平面和垂向精度分析, 优选出符合地质认识的岩相模型。

关键词: 埕海二区; 地震反演; 随机模拟; 三维储层建模

中图分类号: TE132.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2010)05-0833-06

0 引言

大港埕海油田二区张东开发区位于河北省黄骅市张巨河村以东的滩涂海域水深 0~2 m 的极浅海地区。构造位于埕宁隆起向歧口凹陷过渡的斜坡部位埕北断阶区, 北邻歧口凹陷, 南边为羊二庄油田和赵东开发区, 西侧以张北断层为界, 东侧以一浅鞍与张东东开发区相连(图 1)^[1], 构造面积为 75 km²。区域构造位置十分有利。主力油层为古近系沙二段, 沉积环境为三角洲前缘亚相。岩性为深灰、灰色泥岩与浅灰色含砾不等粒砂岩、细砂岩组成互层层序, 单砂体厚度较薄, 平均孔隙度为 18.8%, 渗透率为 $30.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为中孔、低渗储层。

研究区井资料少、以地震资料为主, 且薄互层较发育, 对于薄互层的储层预测存在困难。笔者针对其特点, 利用三维储层建模技术, 进行建模方法适应性分析, 在平面上融合地震数据的空间结构和钻井描述的地质特征, 在垂向上则在反演数据的基础上, 进一步刻画储层垂向的特征, 使其趋于测井的尺度,

从而对薄互层建模效果进行评价, 最终筛选出适合于研究区的随机模拟方法、地质建模流程, 为滩海油田地质建模提供参考。

1 薄互层储层建模思路

本文研究首先进行建模方法适应性分析, 对随机模拟算法进行优选, 然后应用多种模拟算法井—震结合建立岩相模型, 重点反映砂体的空间分布; 对地质模型识别砂体情况进行分析, 主要包括砂体的垂向分辨率、砂体的平面分布范围; 应用新钻井资料, 特别是水平井资料分析地质模型的精度, 从而对薄互层建模效果进行评价, 最终筛选出适合于研究区的随机模拟方法、地质建模流程(图 2)。

(1) 建模方法适用性分析。地质建模中的模拟方法有其地质适应性^[1-8], 方法的合理与否将直接影响到地质模型的预测结果。因此, 通过开展地质建模方法研究探索针对不同类型储层的模拟方法, 对指导今后滩海地区地质建模有着重要的意义。一方面

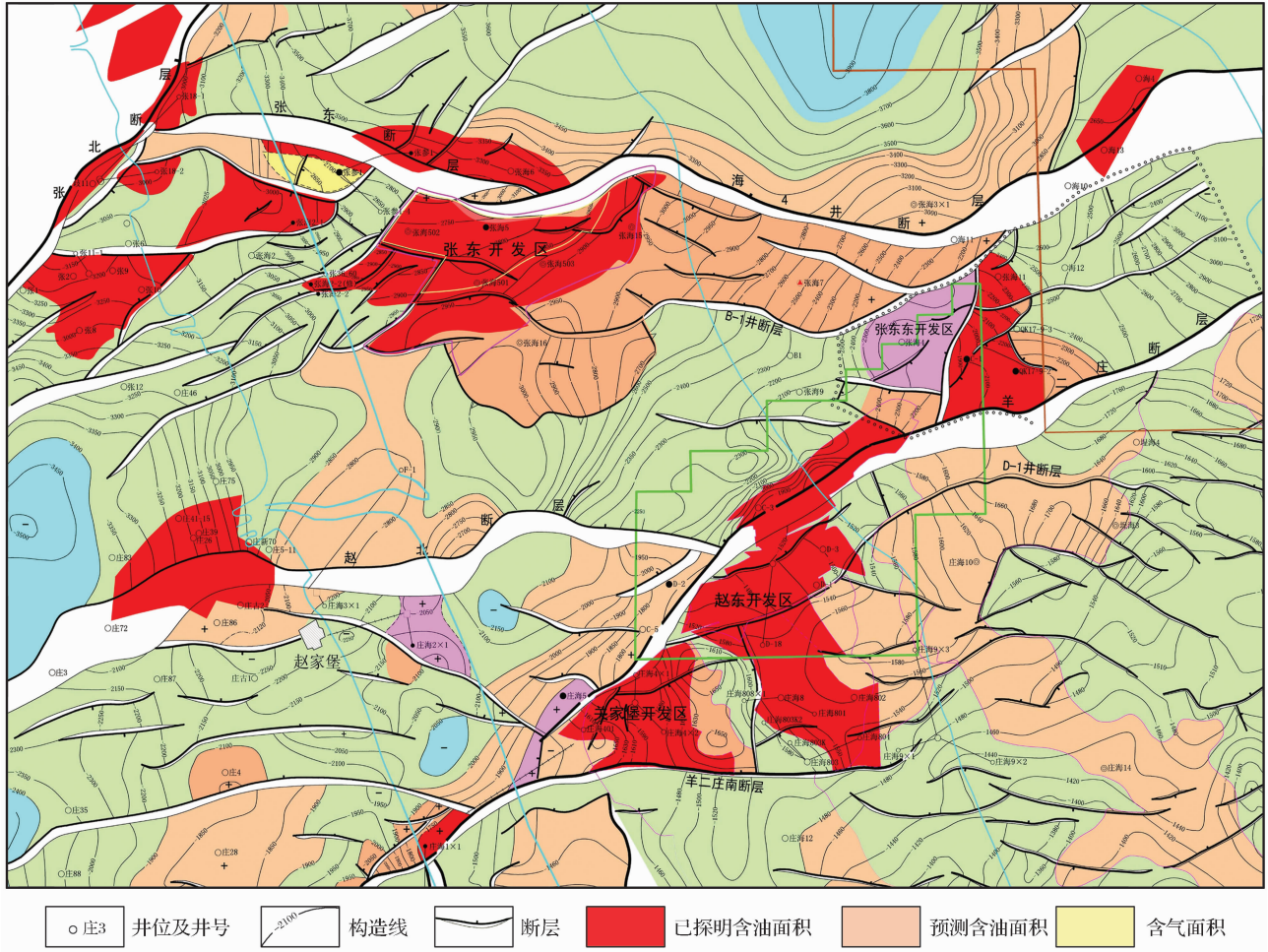


图1 大港埕海油田构造位置示意^[1]

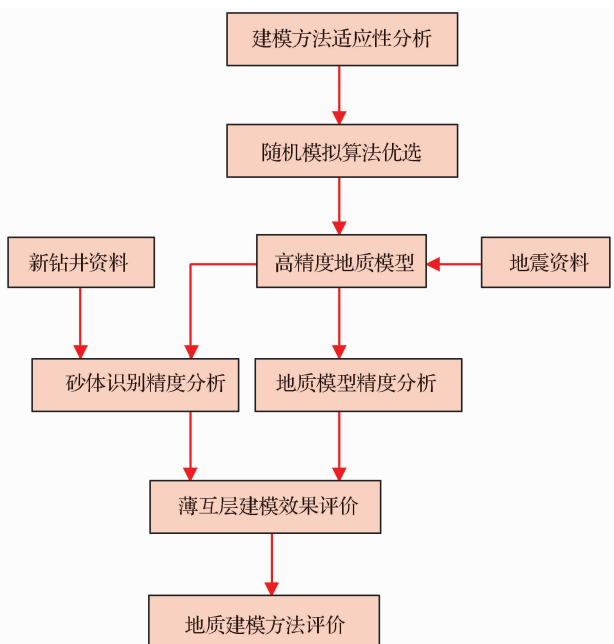


图2 技术路线

从不同模拟方法的原理入手,对不同方法的地质适应性进行分析;另一方面对典型区块进行不同方法的模拟试验,根据各种模拟结果与实际地质条件的吻合情况对地质建模的效果进行评价。

(2)砂体厚度识别精度分析。在地质模型中对测井、地震反演和地质模型刻画的砂体进行砂体厚度统计与比较,从而对地质模型中砂体的纵向识别能力和有效识别率进行分析。

(3)砂体分布范围识别精度分析。在地质模型中对测井、地震反演和地质模型刻画的各小层砂体的平面展布范围进行统计与分析,从而检验地质模型对砂体的平面分布预测精度。

(4)地质模型精度评价。通过实际钻井资料特别是水平井段资料的检验,对已建立地质模型的精度进行验证和评价。

(5)基于地震资料的薄互层地质建模效果评价。通过研究建立起一套符合滩海地区地质情况和资料

特点的地质建模效果评价方法和流程,对整个大港滩海地区以及其他类似地区的地质建模效果评价研究起到参考和指导作用。

2 薄互层地质模型的建立

2.1 地质建模方法适用性分析及方法优选

依据随机建模的基本思想,采用不同的算法,实现各种类型变量的随机模拟。目前国内外使用的模拟算法有多种(表1),常用的相建模方法^[1-9]主要有:标点过程法、序贯指示模拟、截断高斯模拟等。

表1 模拟方法类型

模拟类型	模拟方法	模拟变量类型	变量种类
非条件模拟	布尔模拟	离散	以目标物体为基础
	转向带法	连续	以象元为基础
条件模拟	截断高斯模拟	离散	以目标物体为基础
	标点过程法	离散	以目标物体为基础
	序贯高斯模拟	连续	以象元为基础
	序贯指示模拟	连续、离散	以象元为基础
	模拟退火模拟	连续、离散	以目标、象元为基础
	多点地质统计学	离散	以目标、象元为基础

一般对于三维相建模来说,如果预知相(如河道相)的几何构型(几何形态和组合方式),则基于目标的标点过程法为首选方法;对于具有排序分布的相组合(如三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲的组合)来说,截断高斯模拟方法最为适合;如果既不知几何构型,相组合又无排序现象,则应选用序贯指示模拟。

序贯指示模拟(Sequential Indicator Simulation, SIS)是一种既可模拟复杂的类型变量,如复杂的岩相或岩相组合、沉积相的空间分布结构及夹层分布等,又可模拟离散化的连续变量,如变化级差较大的渗透率。从建模原理上看,指示模拟最大的优点是可以模拟复杂各向异性的地质现象及连续性分布的极值。对于具有不同连续性分布的变量(如沉积微相),可利用不同的变差函数进行表征,从而可建立各向异性的模拟结果。另外,指示模拟除可以忠实硬数据(如井数据)外,还可以方便地把软数据(如地震、试井数据)通过编码加入到模拟中。同时该方法为基于象元的条件模拟算法,不存在收敛性的问题。研究表明,研究区采用这种方法结合地震资料对砂体的预测精度较高。平面上预测砂体的展布范围和地质上的认识比较符合,垂向上预测的砂体厚度和实际钻遇的砂体厚度符合程度较好。采用序贯指示模拟方法所建模型的效果评价结果及对这

种方法的建模原理分析,可以得出序贯指示模拟方法的适用性较好。

但考虑到研究区井资料较少、地震资料覆盖面广,储层非均质较强且属于低渗,选用3种方法建立岩相模型:①采用地震约束的序贯指示模拟方法模拟岩相;②使用序贯高斯同位协同模拟泥质含量,然后采用泥质含量门限值的方法得到岩相模型;③使用序贯高斯同位协同模拟孔隙度,然后采用孔隙度门限值的方法得到岩相模型。第一种方法为离散模拟方法,该方法比较适合于非均质性复杂的低渗透岩相模拟。第二种和第三种方法为连续模拟方法,该方法可以综合许多来源的软数据作多变量的联合模拟,从而获得更加符合地质情况的地质模型。

2.2 薄互层模型的建立

由于测井解释工作提供了岩相、泥质含量、孔隙度和渗透率等曲线,同时地震反演工作也提供了泥质含量反演体、岩相反演体和砂体边界,这为建立合理的岩相模型提供了基础。岩相模型是反映砂体分布,影响储层物性变化的一个重要因素,因此,需要首先建立岩相模型。在建立岩相模型时,如何合理地、高效地利用丰富的地震资料进行准确刻画薄互层是目前面临的主要问题,下面是采用不同模拟方法得到的岩相模型,通过岩相模型可以反映研究区的薄互层发育情况。

2.2.1 采用序贯指示模拟岩相模型识别薄互层

利用测井解释岩相数据(砂泥数据),在地震反演岩相数据体的约束下,进行序贯指示模拟,建立岩相模型(图3)。

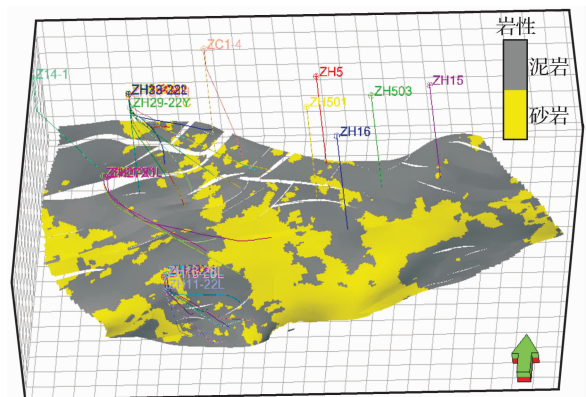


图3 地震约束 E_s^2 小层岩相模型

2.2.2 采用泥质含量模型识别薄互层

利用测井解释泥质含量数据和地震反演泥质含量数据体,进行序贯高斯同位协同模拟,得到泥质含量模型(图4)。

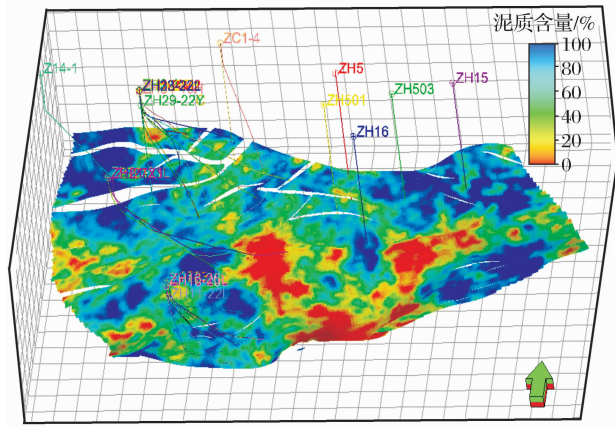


图4 地震约束 $E_{s_2}^2$ 小层泥质含量模型

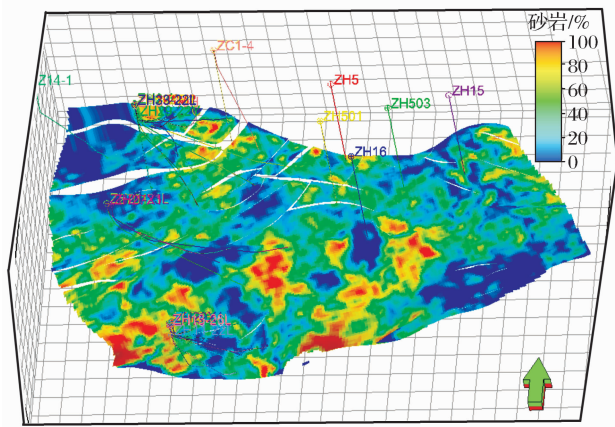


图5 采用门限值法建立的 $E_{s_2}^2$ 小层砂体模型

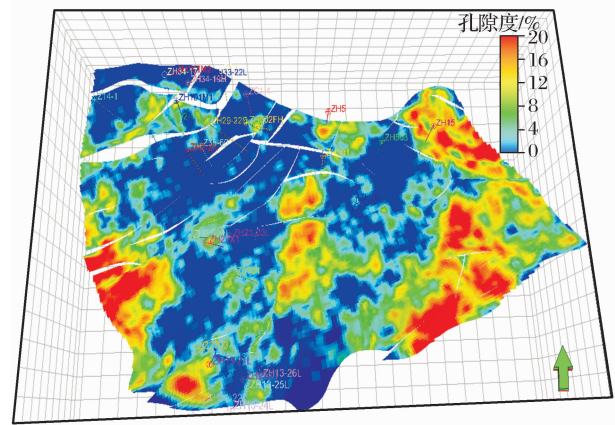


图6 E_{s_2} 孔隙度模型

在泥质含量模型的基础上采用门限值的方法,选取泥质含量的60%为界,泥质含量大于60%定为泥,反之则为砂,建立了三维岩相模型(图5)。

2.2.3 采用储层参数模型识别薄互层

以测井解释孔隙度、渗透率为硬数据,相应的地震反演数据为软数据,采用序贯高斯同位协同模拟方法模拟出孔隙度(图6)、渗透率等物性模型,然后再根据孔隙度、渗透率截止值判断砂泥岩,从而建立

岩相模型。此项截至值的选取以测井解释中的物性标准为准,得到三维岩相模型(图7)。

3 地质建模识别薄互层精度分析

3.1 砂体分布范围识别精度

砂体分布范围识别精度主要是考虑识别砂体的范围,根据地质建模岩相模型制作砂体厚度图,查看和统计主要砂体的分布面积,从而对建模方法识别砂体分布范围的精度进行评价。应用研究区序贯指示模型中砂体厚度分布图、泥质含量模型中砂体厚度图和储层参数模型中砂体厚度图为不同地质建模方法的识别砂体厚度图,通过对比可以发现,各种方法识别砂体的趋势大体一致,但是砂体分布范围明显存在差异。

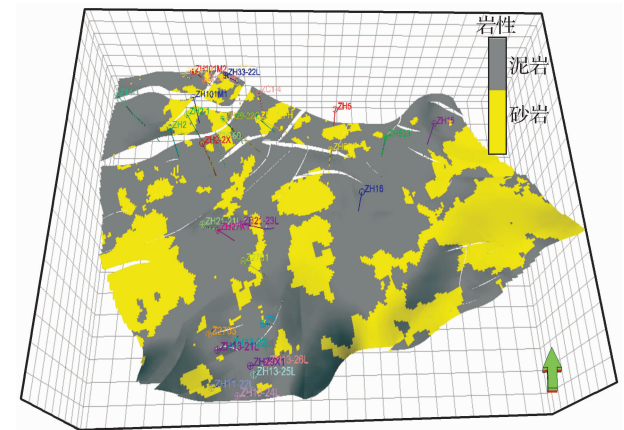


图7 E_{s_2} 岩相模型

本文研究选取 Zh5 井区,对 E_{s_2} 段各小层砂体平面分布范围进行统计与对比(表2)。

表2 Zh5 井区 E_{s_2} 段各小层砂体分布范围

小层	泥质含量门限值法预测砂体范围/ km^2	储层参数截止值法预测砂体范围/ km^2	序贯指示法预测砂体范围/ km^2	地质认识砂体范围/ km^2
$E_{s_2}^1$	1.856 9	1.836 4	1.870 7	1.904 2
$E_{s_2}^2$	2.028 5	2.026 3	2.030 0	2.035 3
$E_{s_2}^3$	1.986 3	1.988 5	1.900 2	1.924 9
$E_{s_2}^4$	1.994 5	1.985 4	2.009 5	2.066 1
$E_{s_2}^{x1}$	3.078 9	3.080 3	3.086 4	3.145 1
$E_{s_2}^{x2}$	2.081 4	2.080 0	2.096 3	2.156 3
$E_{s_2}^{x3}$	0.987 5	0.975 2	1.005 4	1.021 6

泥质含量门限值法、储层参数截止值法及序贯指示法等3种模拟方法所预测的砂体分布范围误差率(图8),由图8可以直观地看出序贯指示模拟方法要优于后2种方法,且在这种方法建立的模型中对砂体的预测与地质认识砂体分布范围吻合较好。

说明该方法比较适合于研究区的薄互层预测,从而较为准确地得到砂体的空间展布,为生产开发提供依据。

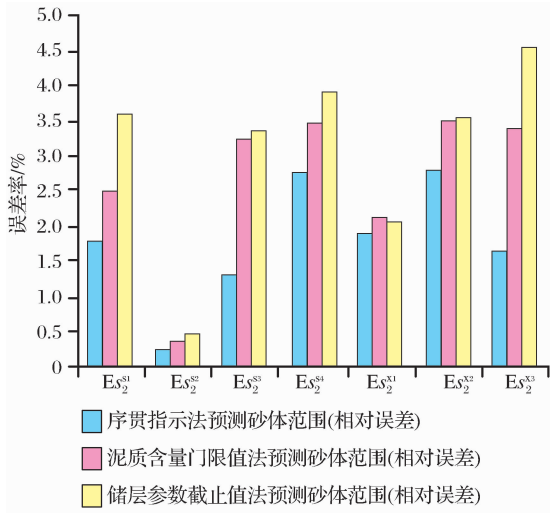


图8 各种方法预测砂体分布范围误差率

表3 岩相模型抽稀井概率分布统计

沉积相	Zh5井		Zh7井	
	原始概率分布/%	模拟概率分布/%	原始概率分布/%	模拟概率分布/%
砂岩	33.8	31.93	34.79	32.4
泥岩	66.2	68.07	65.21	67.6

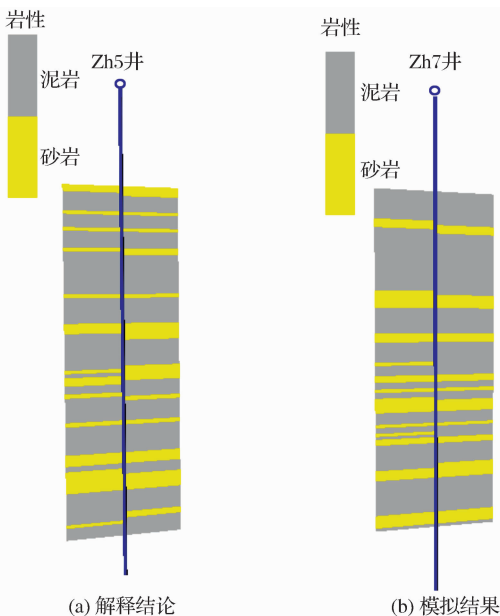


图9 抽稀井处微相测井解释结论与模拟结果比较

3.2 地质模型精度分析

埕海油田目前正处于勘探开发初期,要建立准确、合理的岩相模型,并使之完全忠实于地下情况是较困难的工作,因而分析薄互层是否准确可靠是非

常重要的。本文采用抽稀井法和新井资料检验法对所建模型的精度进行检验。

抽稀井检验法即将研究区的井抽提10%作为检验井,不参与模拟,用剩余的井资料建立模型后,对比抽稀井位置的模拟结果与已知数据的吻合程度。本文随机选择了埕海二区的2口井作为检验井,利用剩余的井建立岩相模型进行检验。

如表3为抽稀井Zh5井、Zh7井的概率分布统计,模拟结果表明,砂泥岩相的模拟概率分布与原始概率分布基本一致,表明模拟预测具有较高的准确度,模拟结果是可信的。

经过对2口井进行抽稀检验(图9)表明所建模型具有较高的精度,与实际地质资料吻合较好,但模拟结果与已知数据仍然存在一定的误差,分析认为这种差异是模拟方法对条件数据的依赖造成的,而且误差是在允许范围内,可见建模方法较为合理。

4 结论

通过对埕海油田二区所建地质模型的效果评价研究,总结出如下薄互层地质建模效果评价方法和流程:

(1)充分利用井资料垂向精度高、地震资料横向展布广的特点,以井资料为硬数据,地震资料为软数据,采用多种方法得到岩相模型。同时,从建模原理及实际效果2方面对各种方法的适用性进行评价,从而优选出适合研究区的建模方法。研究区采用序贯指示模拟法能较好地描述薄互层的空间展布,并与实际地质条件的吻合较好

(2)对所建薄互层模型的砂体识别精度进行分析。主要从2方面进行分析:一方面,对模型中砂体的纵向识别能力和有效识别率进行分析;另一方面,从地质模型中的各小层砂体的平面展布上查看和统计主要砂体的分布面积,与地质认识得到的砂体分布面积进行对比,从而检验地质模型对砂体的平面分布预测精度。检验发现,抽稀井处砂体发育概率在抽稀前后相当,模拟井点单砂体发育位置及厚度与实际测井解释结果吻合。

(3)对所建地质模型的精度进行评价。第一种方法是进行抽稀井检验,如果检验结果模拟概率分布与原始概率分布基本一致,则说明模拟预测准确度较高,模拟结果是可信的,反之则说明模型精度较低。第二种方法是利用新井资料对所建模型的精度及预测性有个直观的评价。研究区新钻井检验证明,地震资料约束下的地质建模技术既满足了研究

区现阶段水平井开发对地质模型的精度要求,同时又具有较强的准确性,可以应用于水平井轨迹设计及指导钻探。

(4)综合各方面的评价结果,对所建地质模型精度进行综合评价。依据本文对三维地质建模方法适用性研究及对应用各种方法所建模型的效果评价研究的结果,建议采用能有效协同地震资料的序贯指示模拟方法来建立岩相模型,满足了研究区现阶段的开发需要。

参考文献:

- [1] Zou Caineng, Zhang Ying. Practical Seismic New Technologies of Oil and Gas Exploration and Development[M]. Dongying: Petroleum Industry Press, 2002. [邹才能, 张颖. 油气勘探开发实用地震新技术[M]. 东营:石油工业出版社, 2002.]
- [2] Meng Xianjun. Logging Constrained Seismic Inversion Technique about Complex Lithology Reservoirs[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2006. [孟宪军. 复杂岩性储层约束地震反演技术[M]. 东营:石油大学出版社, 2006.]
- [3] Wu Shenghe, Jin Zhenkui, Huang Cangdian, *et al.* Reservoir Modeling[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. [吴胜和, 金振奎, 黄沧钿, 等. 储层建模[M]. 北京:石油工业出版社, 1999.]
- [4] Wu Shenghe, Zhang Yiwei, Li Shujun, *et al.* Geological constraint principles in reservoir stochastic modeling[J]. Journal of China University of Petroleum, 2001, 25(1):55-58. [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.]
- [5] Yang Yaozhong, Qu Shouli, Sui Shuling, *et al.* Application of seismic constrained model-building technique to reservoir modeling[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2003, 38(5):535-539. [杨耀忠, 曲寿利, 隋淑玲, 等. 地震约束建模技术在油藏模拟中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2003, 38(5):535-539.]
- [6] Zhang Yonggang. The present and future of wave impedance inversion technique[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2002, 41(4):385-390. [张永刚. 地震波阻抗反演技术的现状和发展[J]. 石油物探, 2002, 41(4):385-390.]
- [7] Wang Yuehua, Pi Xuejun, Zhang Baiqiao. The use of reservoir geological modeling in gas reservoir description; Example from the Kela 2 gas field[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(1):65-68. [王月华, 皮学军, 张柏桥. 储层地质建模方法在克拉 2 气田气藏描述中的应用[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(1):65-68.]
- [8] Wang Yuehua. The use of reservoir geological modeling in gas reservoir description; Example from the Kela 2 gas field[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(2):145-147. [王月华. 储层地质建模在气藏描述中的应用——以吐孜洛克气田为例[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(2):145-147.]
- [9] Ran Qiquan, Li Shilun, Yan Qibin. Application of fractal geostatistics in establishment of quantitative reservoir geological model and reserves distribution model[J]. Natural Gas Geoscience, 1995, 6(6):30-35. [冉启全, 李士伦, 颜其彬. 分形地质统计学在建立定量储层地质模型与储量分布模型中的应用[J]. 天然气地球科学, 1995, 6(6):30-35.]

Three-dimensional Geological Reservoir Modeling of Thin Beds Based on Seismic Data: A Case on Chenghai Oilfield II Area

JIA Yu-mei, XU Fang, CHEN Bin, LI Tao, DU Yan-lei

(Research Institute of Exploration & Development, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China)

Abstract: In beach area, a series of the exploration and development technology is mainly based on seismic data due to the lack of well data and the distant spacing between the wells. Whether the geological model can meet the needs of early development is required evaluation. As the special ground and underground geological conditions and the difficulty of thin interbedded reservoir prediction, one of the key technologies is geological modeling based on seismic data. Taking Chenghai oilfields II area as an example, three-dimensional reservoir modeling technology with cooperation of seismic attributes, seismic inversion data and logging data, integrates seismic data and description of the geological drilling features in the plane, and in vertical further characterizes the vertical reservoir characteristics on the basis of the inversion data, so as to approach the logging scale. This method of three-dimensional integrated modeling is suitable for thin interbedded sand-mud projections. Studies on the geological model evaluation of the thin alternating layers show that the thin alternating layers are comparatively developed in beach area. The method of combining wells data and seismic data is adopted in geological modeling. The lithfacies model of the thin interbedded layers is analyzed in plane and vertical accuracy, and the lithfacies model which consistent with the geological recognition is optimized.

Key words: Chenghai oilfield II area; Seismic inversion; Stochastic simulation; 3D reservoir modeling.