

高弯度深水浊积水道建模方法分析

卜范青, 张宇焜

中海油研究总院开发研究院, 北京 100027

摘要 在实际的地质沉积过程中, 大多数沉积体系由“多物源”或“变物源”沉积物堆积而成, 在进行储层地质建模过程中只给定单一物源方向已不能满足模拟精度的要求。本文以某海外大型深水海底扇油田 A 为例, 根据研究区内高弯度深水浊积水道广泛发育且具有水流方向随着流线时刻变化的特征, 在建模过程中结合地质认识, 探索出针对该沉积环境的分区法和水道趋势线法两种储层随机模拟方法。分区法是将高弯度水道依据地质认识设定不同区带, 各区带独立进行随机模拟; 水道趋势线法则依据地质认识, 在全区设定符合地质概念的定量趋势线, 并假定全区为一个整体的模拟单元进行表征。分区法适用于模拟不同物源, 且无交叉叠合的两套沉积体系; 而水道趋势线法则更适用于同一类沉积体系下的高弯度深水浊积水道建模。两种模拟方法都实现了在同一套网格中模拟具有“多物源”和“变物源”方向的储层分布, 真实再现了高弯度深水浊积复合水道储层的空间展布特征。

关键词 深水浊积水道; 高弯度; 多物源; 分区法; 趋势线法

中图分类号 TE122.2

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.h2.012

Modeling of High-sinuosity Deep Water Turbidite Channel

BU Fanqing, ZHANG Yukun

Exploitation Research Department, CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China

Abstract In the process of sediment, the sedimentary system is generally accumulated by multi-sources or mutative sources. In the establishment of a geologic model, the use of a single source can not meet the accuracy requirement. Taking some oversea large-scale deep-water subsea fan, A oilfield, as an example, the two reservoir stochastic simulation methods, the segment method and the trend-line method, are proposed based on the facts that a high-sinuosity deep water turbidite channel is developed widely and the flowline changes from time to time. The segment method is to divide the high-sinuosity deep water turbidite channel according to the geology knowledge and simulate the process separately and independently; the trend-line method is to set a quantitative geologic trend line and simulate the process as an entirety. The segment method applies to different sources and two non-cross sedimentary systems, while the trend-line method applies to the high-sinuosity deep water turbidite channel modeling under the same sedimentary system. Both methods are used to simulate the reservoir distribution of multi-sources or mutative sources in the same grid system, and the results show the spatial distribution characteristics of the high-sinuosity deep water turbidite channel.

Keywords deep water turbidite channel; high-sinuosity; multi-sources; segment; trend-line

0 引言

深水油气开发已成为世界油气增储上产的热点领域。大量研究表明, 深水油气资源往往富集于深水扇水道复合沉积体系中, 而且深水高弯度浊积水道是沉积物从陆架搬运到深海的主要通道, 是深水环境重要的油气储层^[1,2]。随着技术水平的提高, 对高弯度浊积水道的内部成因、沉积充填模式及平面形态特征等已经有了成熟的认识, 但在三维地质建模中精确表征高弯度浊积水道尚有难度。

地质建模过程中, 传统地质统计学在进行随机模拟时主要依靠给定物源方向的变差函数模型确定相关参数, 主物源方向不但控制变差函数的方位角, 同时也控制着模型的整体格局, 它的精确与否直接影响模拟的准确性^[3]。但在实际地质沉积过程中, 尤其是河流相中的高弯度曲流河或浊积扇中的深水浊积水道沉积体, 它们是由“多物源”、“变物源”的沉积物堆积而成的, 利用传统的建模方法难以精细表征储层内部的物性分布特征。

收稿日期: 2013-04-09; 修回日期: 2013-05-29

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05030-005)

作者简介: 卜范青, 工程师, 研究方向为开发地质, 电子邮箱: upcbfq@126.com

现阶段对于曲流河或水道的地质建模往往注重于复合水道内部构型的划分,而对于单期水道,尤其是高弯度的深水浊积水道如何精细表征储层内部特征却鲜有研究^[4-7]。国内外许多学者在表征深水浊积水道时,主要依靠野外露头及地球物理资料,在已识别的水道内部建立训练图像,再应用多点地质统计学表征储层非均质性。但地震尺度识别的水道受分辨率的限制实际为多期水道的复合体,且模拟实现与所建立的训练图像密切相关,这两者都影响了建模的准确性^[8-13]。本文结合地质认识,选取具有代表性的典型深水海底扇油田,通过“分区法”和“水道趋势线法”两种方法实现针对“多物源”、“变物源”储层的地质建模。

1 地质概况

研究区 A 油田位于区域构造转换带上,整体上一为背斜构造,受生油凹陷环绕,处于有利的油气富集区,是典型的深水海底扇油气田(图 1)。储层为深海海底扇形成的碎屑岩储层,主要发育深水浊积水道和朵叶沉积。研究区内深水扇沉积是深海环境中由沉积物重力流形成的水道和朵叶的复合体沉积,分布在大陆架外的深海区。浊积水道和伴生的碎屑流为海底扇沉积物搬运和沉积的两类主要重力流。本区陆源物质入海的坡度较陡,近陆架部分发育大量的高弯度浊积水道,水道体垂向上相互叠置,侧向上摆动频繁。

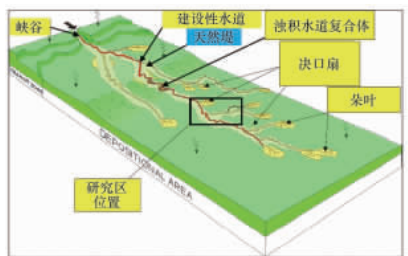


图 1 A 油田沉积特征

Fig. 1 Sedimentary characteristics of A oil field

2 高弯度浊积水道模拟方法

地质研究表明,研究区整体物源来自东北方向,由陆入海,沉积体由东北向西南方向呈扇形展开;储层垂向自下而上,随着水体加深、可容纳空间的增大,水道侧向侵蚀、叠加减弱,形成高弯度水道。传统地质建模过程中,在进行储层内部结构及物性分布模拟时会首先设定一个物源方向,在单一物源的控制下模拟各储层的砂体及物性展布特征;但研究区内高弯度水道水流方向会随着水流流线随时变化,单一的物源控制已不能准确反映砂体及储层物性的变化。

本次建模过程中,结合地质认识设定不同区带,分区对储层进行随机模拟,并设定符合地质概念的趋势线协同模拟。通过这两种方法,在同一套网格系统中表征具有“多物源”或“变物源”方向的储层分布特征。

3 实例应用

3.1 分区建模方法

建模过程中,在模型网格化阶段根据地震资料追踪得到的高弯度深水浊积水道砂体包络面的平面展布特征人为设定分区。由于水道弯度高,根据水道流向局部区域的变化特征将研究区的目标水道在平面上分为 5 个区域(图 2)。模拟时利用网格过滤功能,逐一对不同区块进行参数设置和模拟,从而实现在一套网格体系中模拟局部变物源情况下的深水浊积水道内部储层分布特征。



图 2 深水浊积水道建模分区示意

Fig. 2 Partition chart of deepwater turbidite channel

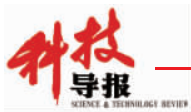
基于研究区井资料分布密度小的特征,本次研究采用基于目标的序贯指示模拟方法建模。在建立模拟网格时划分 5 个区带,分别用 1~5 表示。模拟时利用网格的过滤功能,对各分区设置相应的模拟参数(表 1),分别进行随机模拟。其中各分区的模拟参数主要依据研究区内的地质统计得出,主变程通过各分区内水道沿流向的延伸长度得出,次变程根据分区内水道的横向宽度得出,而垂向变程则依据各分区内部水道砂体的平均厚度统计得出。

表 1 分区模拟参数统计

Table 1 Simulation parameters of five segment

分区	主方位角/(°)	主变程/m	次变程/m	垂向变程/m
1	340	980	700	5
2	26	945	586	5
3	321	690	350	5
4	336	2170	1600	5
5	50	1353	1230	5

通过模型对比发现,传统单物源控制方法的模拟实现(图 3)中,水道中部和水道弯度较大的地方模拟效果差,与实际沉积特征不符;而分区法的模拟实现(图 4)较好地体现了研究区水道流向多变性的特点,真实再现了储层物性分布受河流流向多变性物源控制的情况。模拟结果通过抽稀检验的



方法验证其合理性^[4],该方法抽取 A1 井为抽稀检验井,即在模拟的过程中剔除该井数据,其他各项模型参数保持不变再次进行模拟。通过单井地质分析已知该井实际钻遇河道主力砂体,但是传统单物源方法模拟实现该井点处为差储层表现特征,与地质认识不符;而应用分区法得到的模拟结果为大套的好储层,与井点实际地质认识一致。由此可见,分区法能更客观地突显高弯度深水浊积水道沉积模式的多变性,且更加适用于物源发生变化或多物源形成的沉积体系。

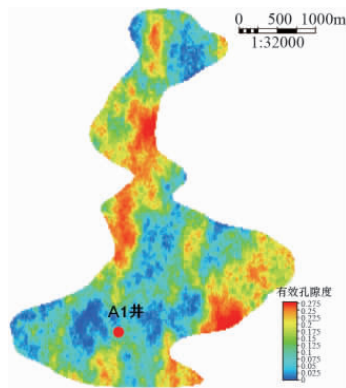


图3 单物源控制物性模拟
Fig. 3 Physical simulation of single source

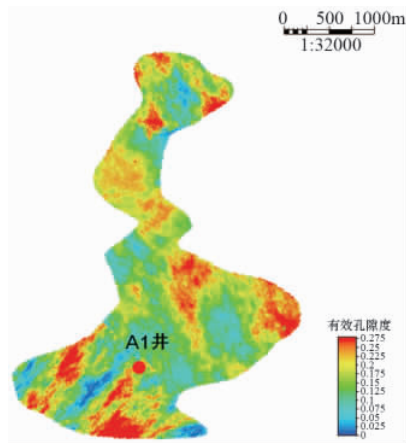


图4 变物源控制物性模拟
Fig. 4 Physical simulation of multi-source

3.2 流线趋势约束建模

结合地震资料分析可知,研究区包括 A、B、C 3 套复合深水浊积水道砂体,从地震反演属性(图 5)可以看出,红色为砂岩响应特征,背景绿色为泥岩响应特征,砂体形态明显。目标砂体 B 砂体复合深水浊积水道,通过井震结合方法识别出其内部为 3 期单一深水浊积水道复合,并且侧向迁移叠加而成,复合水道内部泥质夹层发育。对注水开发的油田来讲,水

道间泥质夹层屏障的存在是影响注水效果的重要因素,因此准确表征复合水道内部结构对后期油田动态分析和生产预测至关重要^[5]。而常规建模方法无法对水道内部的单期水道进行刻画。

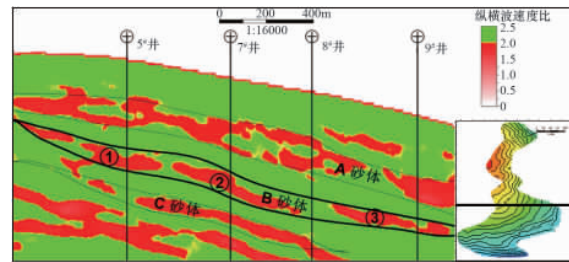


图5 5#井~7#井~8#井~9#井连井属性剖面
Fig. 5 Property profile of well5~well7~well8~well9

针对这种情况,结合地质认识,在目标砂体内设置符合地质概念且定量的趋势线,全区基于一套模拟参数,对目标砂体内部属性分布特征进行随机模拟。具体方法是,在研究区网格建立过程中,根据沉积相研究成果建立平面约束趋势线(图 6)。根据井点统计单期主水道的孔隙度大约为 30%左右,水道间夹层的孔隙度为 12%~15%,平面上 3 期单一水道侧向迁移叠加形成 1 期复合水道。由上述地质概念模型建立平面水道流线趋势约束面,并设定主水道孔隙度为 30%,水道间夹层孔隙度相对次之,复合水道边缘处孔隙度最低。属性模拟过程中以平面上水道流线趋势面为约束,充分利用井点数据的随机模拟特征和确定性的平面约束条件,采用序贯高斯模拟算法进行模拟。模拟结果显示(图 7),复合水道砂体平面上明显由 3 期单一深水浊积水道侧向迁移而成,充分体现了地质认识,也提高了模型精度,这为后期动态分析和数值模拟提供了可靠的基础,降低了油田开发的风险。

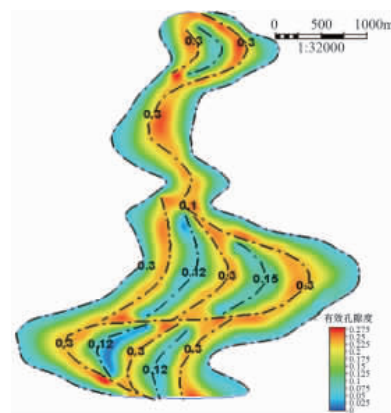


图6 水道流线平面约束
Fig. 6 Plane constrain of channel flowstreamline

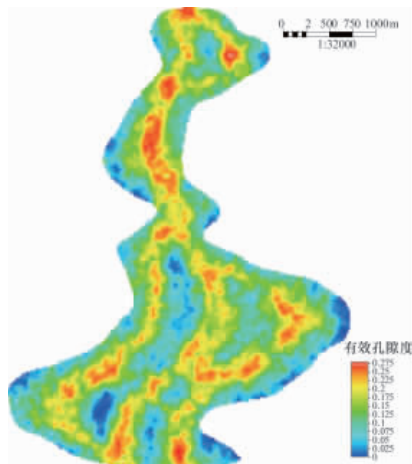


图 7 水道流线约束的属性模拟
Fig. 7 Property model of channel flow streamline constrained

4 结论

(1) “多物源”或“变物源”(如高弯度水道)的沉积体模拟利用传统的基于单物源控制的建模方法无法准确再现地质沉积特征,对于此类储层应从地质成因角度进行分析,并将地质认识带入建模过程,以期更加精细地表征储层特征。

(2) 分区法模拟高弯度水道时操作较繁琐,同时相邻分区间的连接处衔接吻合度低,且调节难度高,但该方法在模拟不同物源、无交叉叠合的多套沉积体系时可以准确表征来自不同物源方向储层的沉积特征,优势明显。

(3) 以地质概念认识为趋势线的流线趋势约束法适用于同一类沉积体系,但该方法可以体现多期次水道侧向迁移的地质特征,对于解决高弯度河流相和深水浊积水道复合砂体模拟优势明显。

参考文献 (References)

[1] Arthur S, Ken W, Fransiskus S, et al. Characteristics of pleistocene deep-water fan lobes and their application to an upper Miocene reservoir model, offshore East Kalimantan, Indonesia [J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(7): 919-949.

[2] Faruk O A, Mark D B, Stephen J N. The impact of fine-scale turbidite channel architecture on deep-water reservoir performance [J]. AAPG Bulletin, 2013, 97(2): 251-284.

[3] 袁悛楠. 储层地质模型[J]. 石油学报, 1991, 12(4): 55-62.
Qiu Yinan. Geological reservoir modeling [J]. Acta Petrolei Sinica, 1991, 12(4): 55-62.

[4] 刘小亮, 于兴河, 李胜利. BP神经网络与多点地质统计相结合的井震约束浊积水道模拟[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(6): 36-42.
Liu Xiaoliang, Yu Xinghe, Li Shengli. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(6): 36-42.

[5] 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. Earth Science Frontiers,

2005, 12(3): 237-244.

[6] 李少华, 卢文涛. 基于沉积过程的储集层随机建模方法—以河流相储集层为例[J]. 古地理学报, 2011, 13(3): 325-333.
Li Shaohua, Lu Wentao. Journal of Palaeogeography, 2011, 13(3): 325-333.

[7] 李少华, 张昌民, 尹艳树, 等. 多物源条件下的储层地质建模方法[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 196-201.
Li Shaohua, Zhang Changmin, Yin Yanshu, et al. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 196-201.

[8] 吕明, 王颖, 陈莹. 尼日利亚深水海底扇沉积模式成因探讨及勘探意义[J]. 中国海上油气, 2008, 20(4): 276-282.
Lü Ming, Wang Ying, Chen Ying. China Offshore Oil and Gas, 2008, 20(4): 276-282.

[9] 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): 20-25.
Lan Lifeng, Bai Zhenqiang, Yu Deshui, et al. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2010, 32(4): 20-25.

[10] 岳大力, 吴胜和, 谭河清, 等. 曲流河古河道储层构型精细解剖—以孤东油田七区西馆陶组为例[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 101-108.
Yue Dali, Wu Shenghe, Tan Heqing, et al. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 101-108.

[11] 薛培华. 河流点坝相储层模式概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
Xue Peihua. An introduction to reservoir model of point bar facies[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991.

[12] 隋新光. 曲流河道砂体内部建筑结构研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2006.
Sui Xinguang. A study on internal architecture of channel sand in meandering river[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2006.

[13] 张宇焜, 高博禹, 卜范青. 深水浊积复合水道砂体内部建筑结构随机模拟—基于多点地质统计学与软概率属性协同约束方法 [J]. 中国海上油气, 2012, 24(4): 37-40.
Zhang Yukun, Gao Boyu, Bu Fanqing. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24(4): 37-40.

[14] 尹太举, 张昌民, 樊中海, 等. 地下储层建筑结构预测模型的建立[J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 2002, 17(3): 7-10.
Yin Taiju, Zhang Changmin, Fan Zhonghai, et al. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 2002, 17(3): 7-10.

[15] 白振强, 王清华, 杜庆龙, 等. 曲流河砂体三维构型地质建模及数值模拟研究[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 898-902.
Bai Zhenqiang, Wang Qinghua, Du Qinglong, et al. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 898-902.

(责任编辑 侯澄芝, 马宇虹)

《科技导报》“书评”栏目征稿

“书评”栏目发表图书评论文章,被评论的图书以高级科普、学术专著及科学文化图书为主,兼顾科学精神、科学方法、科技哲学、科学人文、科学家传记、经典科学著作、科学通俗读物、科学道德等内容。欢迎投稿,择优刊登。每篇书评以 2100 字左右为宜,需配书影,并含书名、作者、出版单位、出版年份、定价等信息。栏目责任编辑:陈广仁,投稿邮箱:chenguangren@cast.org.cn。