

应用随机模拟技术建立夹层模型

崇仁杰, 宋春华, 程立芝

(中国海洋石油总公司中海石油研究中心开发设计院, 北京 101149)

摘要: 针对块状底水油藏的储层具有非均质性较为严重, 夹层分布变化大, 采用传统地质建模方法难以描述夹层大小及延伸长度, 因而不能很好反映储层非均质性的实际情况, 建立了先用随机模拟方法建立夹层预测模型, 再利用此模型对储层属性模型进行校正而建立储层属性模型的“二步建模”方法, 从而解决了传统建模方法中存在的问题, 使得油藏模拟研究变得快捷和准确。该方法的实质是既利用了钻井资料的高分辨率; 又充分利用了地震资料的高覆盖性。平湖油田 H2 油藏花港组储层为三角洲水下分流河道砂体, 泥质夹层很发育。用传统的“一步建模法”, 历史拟合需做 10 次以上的参数调整, 经 15 天以上方能完成, 效果还不理想; 采用“二步建模”法, 历史拟合仅需 5~6 次参数修改, 3~4 天拟合就可完成。计算结果与实际生产结果吻合程度很高。

关键词: 夹层; 夹层模型; 随机模拟; 应用

第一作者简介: 崇仁杰, 男, 33 岁, 工程师, 油田开发地质

中图分类号: P618.130.2⁺1

文献标识码: A

精细油藏描述的关键在于建立能够定量描述和表征油藏储集层及流体的油藏地质模型, 人们已愈来愈认识到, 基于反映油藏实际非均质性的模型, 油藏动态预测将更为准确^[1]。

通常情况下, 采用地质统计学协克里金方法, 即以井资料为依据, 地震资料为背景指导和控制储层属性插值, 能取得良好的应用效果。但对于一些特殊油藏, 此方法有其局限性, 例如底水油藏的地质建模, 因底水油藏开发中, 夹层的大小及延伸长度对油水运动规律影响较大, 油藏工程研究要求地质模型能够描述夹层的分布规模。对于这类油藏的地质模型, 仅采用“一步建模”^[2]法难以描述夹层的分布规模。笔者试图通过采用“二步建模”法解决底水油藏储层属性模型问题, 即第一步利用井资料少但分辨率高这一特征, 采用随机模拟方法建立夹层分布模型, 第二步利用地震资料分辨率低但覆盖面广的特征, 采用协克里金法以井资料为依据, 地震资料为背景指导和控制储层属性插值。本文以东海平湖油气田为例, 说明这一方法的应用。

1 夹层特征

平湖油气田地处中国东海海域, 其构造位置位于西湖凹陷西部斜坡带中段, 油田主要产油层位为下第三系花港组, 其构造整体上为一近 NE-SW 向

的长轴背斜构造。花港组油藏主要受构造控制, 以块状底水油藏为主; 储层埋深 2 300~2 700 m, 储层物性好, 为中孔、中渗储层, 部分为高孔高渗储层, 孔隙度平均 21.3%, 渗透率平均 $239 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 主要含油层组储层发育, 单个油组砂层厚度一般在 70 m 左右, 储层主要为三角洲水下分流河道沉积, 纵向上厚砂层为多期河道垂向叠加的产物, 横向上河道砂体叠合连片, 由于砂体发育程度不同, 储层非均质性较严重, 层内夹层分布变化性大。

1.1 分布差异大

夹层的分布规模及连续性与沉积环境密切相关, 不同环境沉积的储层, 其夹层的稳定性差异较大。通常, 海相储层中夹层分布稳定, 三角洲及河流相储层, 夹层分布规模逐渐变小, 连续性逐渐变差。平湖油气田花港组储层自下而上由河控三角洲相演变至滨湖相, 其夹层分布变化性大, 以浅湖相滨湖砂沉积为主的 H2、H3 油组储层, 其夹层分布较以河控三角洲水下分流河道沉积的 H6 及 H7 油组储层中夹层分布稳定。

1.2 厚度变化大

以 H2 油藏为例, 夹层厚度 0.8~13 m 不等, 但多为 0.8~1.2 m, 特别是含油层内, 夹层厚度均小于 2 m, 对于大于 10 m 的泥质层, 其延伸范围大, 一般起隔层的作用, 控制油水关系。

1.3 钻遇率低

平湖油气田钻遇花港组储层的井网密度在

300~500 m, 地层对比表明, 同一夹层钻遇率低, 其钻遇率在 25% 左右, 夹层分布规模在 400 m 左右。H2 油组为滨湖相, 夹层分布规模较其他油组大。

2 随机模型的建立

2.1 选择模型

随机模拟理论及应用研究表明, 不同随机模型对不同的地质条件有一定的适用性^[3]。若模型选择不当, 其模拟实现与地质实际会有较大的差别。根据随机特征, 随机模型可分为离散模型和连续模型两大类, 离散模型主要用于描述具有离散性质的地质特征, 如沉积相分布、砂体位置及大小、泥质夹层的分布和大小等; 连续模型主要用于描述连续变量的分布, 如孔、渗、饱等参数的空间分布。基于本研究为建立泥质夹层模型, 因此采用离散模型中条件模拟(指示、普通克里金)方法建立其夹层模型。

2.2 确定参数

指示模拟的最大特点是指示变换。岩石物理研究表明, 平湖油气田花港组泥质层判别标准为 $\Phi \leq 12\%$, $K \leq 2.75 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。根据此标准, 对各井测井处理及解释成果作指示变换, 即满足夹层条件的, 指示变量为 1, 否则为 0。

指示变换完成后, 根据井点的指示变量计算变差函数, 结合油田沉积特征确定条件概率。根据文献 4 中夹层连续性与沉积环境函数图, 结合本油田夹层钻遇情况, 确定夹层的宽厚比为 300, 长宽比为 2, 夹层展布方位角为 270° (与物源方向一致)。

2.3 模拟模型

建立 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 网络模型的三维数据体, 通过条件模拟(指示、普通克里金)得到 10 个实现。根据地质分析得出的地质概念模式和油田类比研究, 认为第 4 个随机实现(图 1), 最符合本油田

的夹层地质概念模式。将此随机夹层模型对利用协克里金方法建立的确定性孔隙度模型(图 2)作校正, 即得到油田实际的储层孔隙度模型(图 3)。

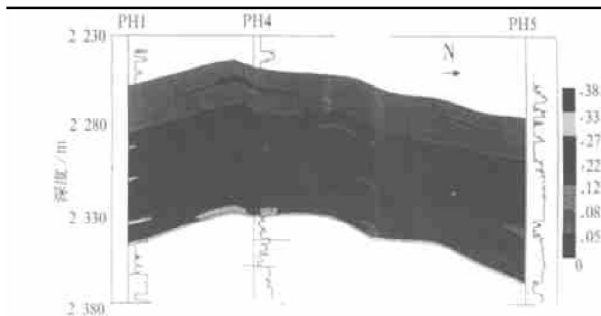


图2 夹层模型校正前孔隙度剖面模型

Fig. 2 Porosity section model of interlayer model before revisal

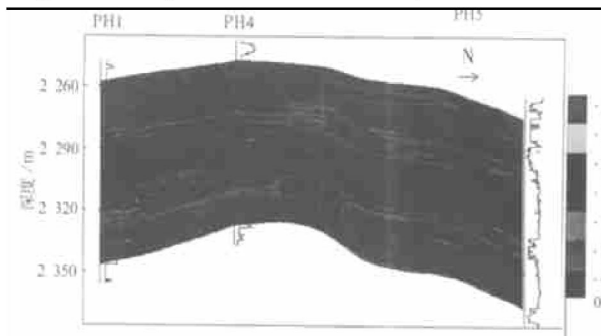


图3 夹层模型校正后孔隙度剖面模型

Fig. 3 Porosity sectional model of interlayer model after revisal

3 应用效果

(1) 钻井证实夹层预测模型可信度高, 调整井并取得良好效益。H2 油藏夹层预测模型显示油层内部有一相对稳定的夹层(图 4), 适合钻水平井。基于夹层模型的油藏模拟结果认为 H2 油藏南部剩余油饱和度高, 增加一口调整井可改善开发效果, 提高经济效益。2000 年 7 月钻水平井 A7 井, 生产效果好, 生产以来日产量保持 700 m^3 左右, 含水上升缓慢, 夹层对含水起到明显的抑制作用。

(2) 基于夹层模型的油藏模拟研究, 其剩余油分布预测合理, 历史拟合准确、迅速。剩余油分布预测的正确性通过钻调整井 A7 井并经生产已得到证实。历史拟合往往是最令油藏工程师头疼的工作, 生产拟合难度大, 需要花费大量的时间, 而往往结果不理想。出现这种情况的原因主要是由于所用的模型没有反映油田的实际非均质性。油藏工程师在平湖油气田的历史拟合中也曾遇到过拟合难度大的问题, 以 H2 油藏为例, 在未通过夹层校正所建立的储层属性模型, 作历史拟合研究时, 需 10 次以上参数修改, 15 天左右时间拟

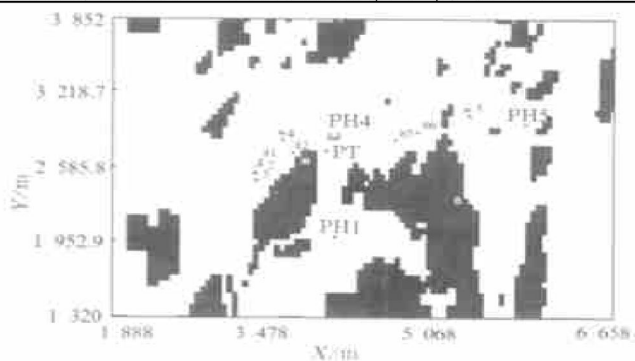


图1 H2 油藏 3 号夹层随机模拟实现

Fig. 1 Stochastic simulation results of third interlayer in H2 oil pool

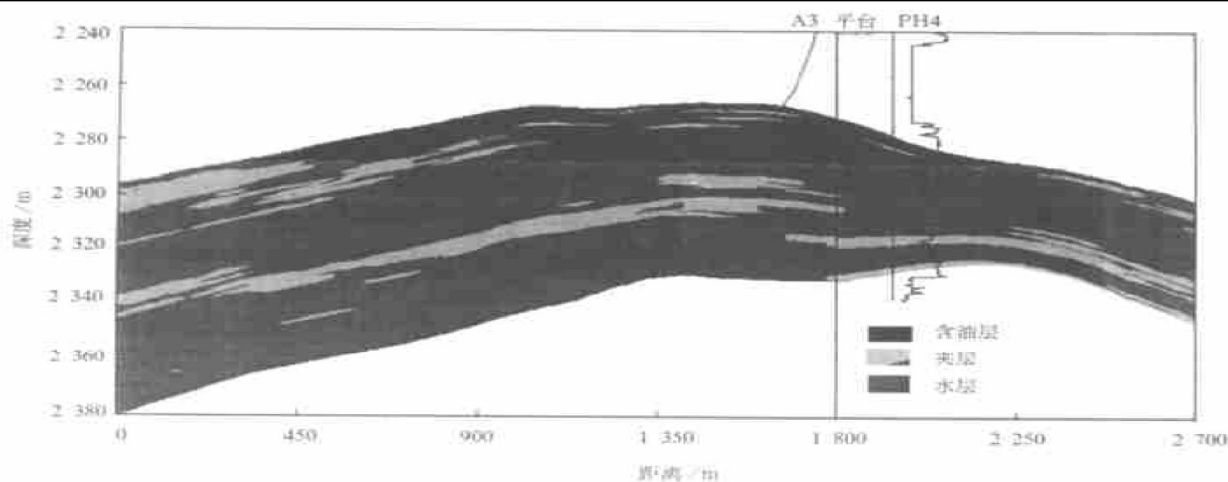


图4 H2油藏夹层预测剖面模型

Fig. 4 Predicted model of interlayers in H2 oil pool

合, 而最终拟合结果还是不十分理想; 而基于夹层随机模型校正后的属性模型的油藏模拟研究难度得到大大的改善, 油藏工程师利用试井解释得到的渗透率及表皮因子, 第一次做拟合计算时,

计算结果与实际生产结果就十分接近, 之后通过对垂直渗透率作了3~4次修改, 含水和压力与实际生产数据拟合完好, 整个H2油藏的历史拟合仅用3~4天时间, 做5~6次参数调整即达到了满意的结果(图5)。

致谢: 本文工作得到了中海石油研究中心开发设计院油藏部朱国金副教授的大力协作, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 吕晓光, 王德发, 姜洪福. 储层地质模型与随机建模技术[J]. 大庆石油地质与开发, 2000, 19(1): 10~13
- 2 吴胜和, 熊琦华. 油气储层地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998
- 3 侯景儒, 郭光裕. 矿床统计预测及地质统计学的理论与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993
- 4 裘怿楠, 薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994

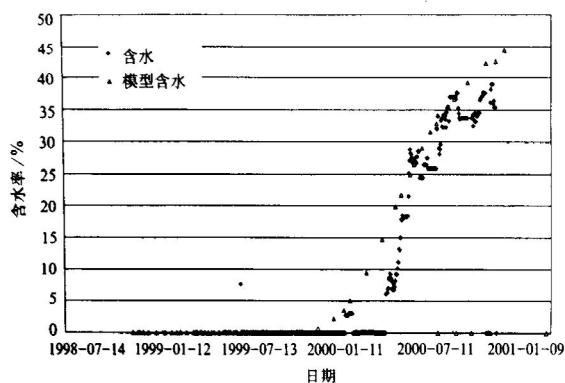


图5 平湖油气田花港组含水拟合图

Fig. 5 Aquifer fitting diagram of Huagang Formation in Pinghu Oilfield

APPLICATION OF STOCHASTIC SIMULATION TO INTERLAYER MODELING

Chong Renjie Song Chunhua Cheng Lizhi

(Institute of Development and Design, CNOOC Research Center, Beijing)

Abstract: Pinghu oil-gas field in East China Sea is a massive, bottom water drive light crude oil pool. The reservoir heterogeneity is relatively serious, and the distribution of muddy interlayers is a big variety. It is difficult to describe the size of muddy interlayers by traditional geologic model building method. It takes about 15 days and more than 10 times modifying the parameters of history fitting and reservoir simulation on H2 reservoir, because the geological model by traditional method can not describe clearly the reservoir heterogeneity, and the result of history fitting is not good. Use stochastic simulation to built prediction model, then, 3-D reservoir attribute model is revised by the prediction model. It only takes 3~4 days and 5~6 times modifying the parameters of the history fitting and reservoir simulation. The result is very good and exact.

Key words: interlayer; interlayer model; stochastic simulation; application