

用随机模拟方法对井间砂体预测

李龙滢 陈恭洋 钟宝荣
(江汉石油学院, 湖北荆州 434102)

张振顺 韩木森
(中原石油勘探局采油二厂, 河南濮阳 457001)

应用地质统计学和分形几何学, 提出了一种井间砂体的预测方法, 该方法利用克立格插值场对储层进行大尺度的趋势估计, 储层小尺度的变异特征则利用随机分形场来刻画。然后对生成的二维克立格插值场和随机分形场进行叠加处理得到预测结果, 实例研究表明, 对于砂岩储层, 应用该方法进行井间砂体分布模拟可以定量判断井间砂体分布, 误差分析表明模拟结果具有较高的可信度。

关键词 随机模拟 砂体 预测 分形几何 地质统计

第一作者简介 李龙滢 男 34岁 讲师 储层地质

在油藏开发过程中, 井间砂体的分布, 侧向延续性及连通性直接影响石油采收率及剩余油的开采。陆相湖盆砂体的规模小, 侧向变化复杂, 即使在油藏开发后期, 250×250 m 的井网密度对井间砂体的控制程度仍不足 60%^[1]。因此, 传统的旋回对比、小层划分虽然仍是地质研究的基础, 但据此推测的砂体侧向连续性、连通性的精度则远不能满足油藏开发的要求, 因此, 针对地质变量的特点, 各种模拟技术不断被运用到储层模拟之中, 其中被地质学家广泛接受的有地质统计学和近 10 年来得到飞速发展的分形几何理论。

地质统计学能准确反映储层变化的趋势, 但储层小尺度的变异性却被平滑。显然, 克立格方法用于储层预测常常会平滑储层特征在空间展布的变异性, 从而对研究储层的非均质性存在一定的不足。分形几何强调数据的空间结构, 地质信息的分形模拟结果能很好地再现数据的空间结构, 不足之处是其模拟结果不通过观测数据^{[2]*, **}。

上述两种数学方法在储层模拟中各有特点, 但也有不足之处。克立格方法与分形理论的结合, 显然可以提供一种新的储层模拟手段, 即利用克立格方法估计储层特征的变化趋势, 对其光滑效应则可

用分形模拟加以克服。

1 方法

储层的空间分布具有以下显著特征: (1) 储层分布受控于沉积环境、构造背景, 具有空间相关性; (2) 钻孔揭示的储层空间分布特征只是对地下储层实体的一次随机抽样, 在任何勘探开发阶段的储层预测成果都只能看作对地下储层的一次逼近, 而不是地下储层的真实再现。

根据地下储层的上述特点, 一个确定性的井间砂体预测模型显然不能反映空间分布的真实特征, 只有运用随机建模方法, 以一定程度上的把握性(概率)来确定砂体的井间分布特征。因此, 井间砂体的预测结果应是一系列等概率的实现, 它们之间的相互差别反映了由于资料及信息不完全及模型简化等带来的可能性。通过对模拟结果静态地质条件或开发动态资料的约束, 可以从一系列等概率的实现选择最优化的模拟结果。同时, 基于克立格方法和分形理论结合形成的随机模拟方法能够满足以下条件: (1) 模拟结果通过观测数据; (2) 模拟结果的数据空间结构必须与原始数据吻合或接近; (3) 满足建立的约束条件。根据上述讨论, 笔者设计了以下研究流程(图 1)。

2 实例

2.1 地质概况

某油田萨尔图油层组属大型叶状三角洲沉积,

* Hewett T A. Fractal distribution of reservoir heterogeneity and their influence on fluid transport. SPE, 15386, 1986

** Hewett T A, Behrens R A. Conditional simulation of reservoir heterogeneity with fractal. SPE, Formation Evaluation. 1990. 217~224

收稿日期: 1999 01 13

储层以水下三角洲水下平原亚相中分流河道砂体沉积为主,由于三角洲反复的侧向迁移,使分流河道砂体之间相互切割-叠置,三角洲沉积自陆向湖呈规律性变化,河道切割能力逐渐减小,分流河道数目增加。

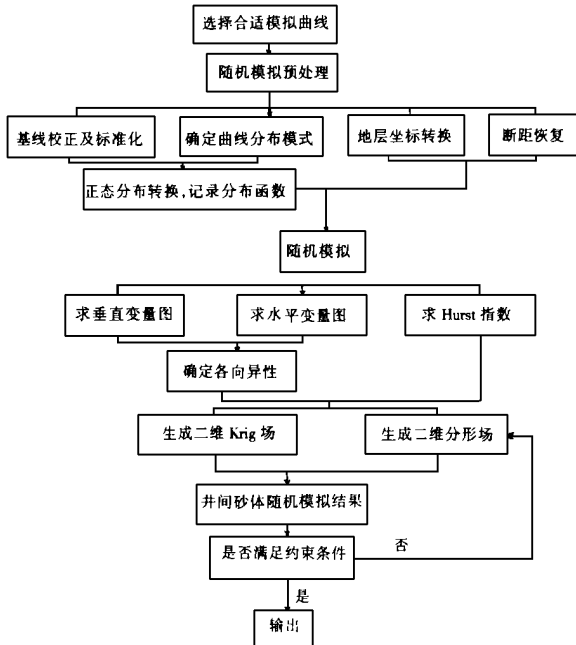


图 1 井间砂体预测研究流程

Fig. 1 Flow chart for forecasting sandbodies between wells

2.2 研究流程

2.2.1 选择建模曲线

井间砂体随机模拟采用单曲线随机模拟方法,经对该油田研究层段测井曲线研究,认为自然电位曲线能准确反映井中砂体厚度(图 2),因此,井间砂体模拟选择 SP 曲线为模拟对象。

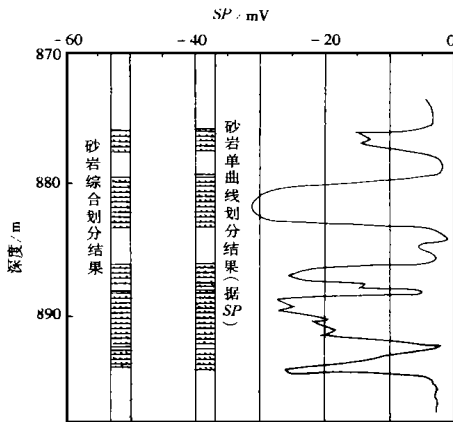


图 2 根据 SP 曲线划分砂岩厚度的两种方法对比

Fig. 2 Comparison of two methods for the division of sandstone thickness based on SP curves

2.2.2 研究数据分布模式

地质统计学要求数据符合正态分布,该油田自然电位曲线为双峰分布,因此,在随机模拟之前,应通过累积分布函数方法对曲线进行正态分布处理。同时,记录分布函数,对随机模拟结果进行原始分布形式变换。

2.2.3 确定各向异性

计算垂直变量图: 根据每口井 j 沿深度有 N 数据点的 $W(j)$ 来计算, 计算式为

$$V(h)=\frac{\sum_{k=1}^M\sum_{i=1}^{N_j-i_h}[W_j(i)-W_j(i+i_h)]^2}{2\sum_{j=1}^M(N_j-i_h)} \quad (1)$$

式中 $h=i_h\cdot z$ 为滞后距; z 为数据采样间隔; i_h 为数据个数。在已求得离散变量的点序列的条件下,利用球模型拟合,可以得到所需参数。

计算水平变量图: 根据研究区内的高分辨率地震数据,提取目的层段内的地震参数,作时间序列分析,求得 Hurst 指数,由下式即可确定水平方向的变量图模型

$$r(h)=S^2(\frac{h}{\lambda})^{2H} \quad (2)$$

式中 h 为滞后距; H 为 Hurst 指数; S 为标准偏差; λ 为关系长度。

2.2.4 建立模拟约束条件

随机模拟的约束条件可以通过野外露头测量、地震反演处理、原始数据统计分析及开发动态试验等方法建立, 本文主要建立了以下两类约束条件。

(1) 对由高分辨率地震速度反演得到的岩性反演剖面横向追踪解释, 得到研究目标的砂体厚宽比变化范围。研究结果表明: 研究区内单河道宽度最大可达 400 m 以上, 河道砂体的厚宽比一般在 1: 20~ 1: 50 之间, 统计相关系数为 0. 83。

(2) 将模拟曲线的统计参数作为约束条件, 统计研究区内的自然电位曲线, 均值 $\bar{X}=4.86$, 方差 $\sigma=1.281$ 。

2.3 剖面模拟结果及误差分析

图 3 是依据 L1731~ L1833 井对的自然电位曲线随机模拟结果, 表 1 为过模拟剖面的 L6-183 井的分级实际砂岩厚度与模拟砂岩厚度的对比, 由表 1 分析, 剖面模拟的最大绝对误差为 1.8 m, 最大相对误差为 25%, 平均绝对误差为 1.5 m, 平均相对误差为- 3.5%。

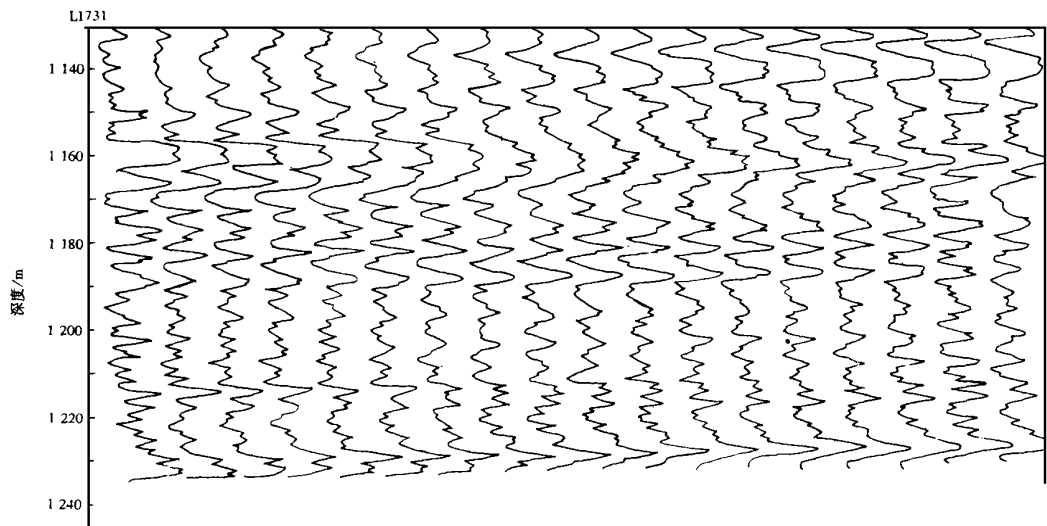


图 3 L1731~ L1833 井对的自然电位曲线随机模拟结果

Fig.3 Stochastic simulation results of SP in L1731~ L1833 wells

表 1 L183 井模拟曲线与实际曲线的砂岩厚度对比结果

Tabel 1 Comparison between simulated curves and actural curves of Sandstone thickness in L183 well

厚度级别/m	层数	模拟层数	实际厚度/m	模拟厚度/m	绝对误差/m	相对误差/ %	实际总厚度/m	模拟总厚度/m	绝对误差/m	相对误差/ %
< 1.0	1	4	0.8	0.6	- 0.2	- 25	42.9	41.4	- 1.5	- 3.5
1.0~ 2.0	5	4	7.1	7.3	0.2	2.8				
2.0~ 4.0	5	6	14.7	14.6	- 0.1	- 0.7				
> 4.0	4	3	20.3	18.5	- 1.8	- 8.9				

3 结论

由模拟结果分析可以看出, 尽管在端点井剖面对比中, 大多数砂层都是有很好的对比性, 但并不都横向连通, 多数砂体的横向延续都未达到一个井

距。根据误差分析结果可知上述方法能较准确地进行井间砂体分布的随机模拟。

参 考 文 献

1 赵翰卿, 刘波. 井网密度对河流三角洲砂体控制程度的研究. 石油勘探与开发, 1991, (5): 55~ 59

2 王域辉. 分形与石油. 北京: 石油工业出版社, 1994

FORECASTING SANDBODIES BETWEEN WELLS USING STOCHASTIC SIMULATION METHOD

Li Longyan Chen Gongyang Zhong Baorong
(Department of Geology, Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei)
Zhang Zhenshun Han Musen
(2nd Oil Recovery factory of Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang, Henan)

Abstract

A new method of forecasting the sandbodies between wells by application of geostatistics and fractal geometry is proposed in this paper. This method could be used to estimate reservoir variation tendency in large scale by Kriging interpolation field, to describe reservoir variation property in small scale by stochastic fractal field. Then 2-D Kriging interpolation and stochastic fractal fields were stacked so as to obtain the forecast result. The study of an example shows that this method could be used in sandbody distribution simulation, the result is reliable.

Key words stochastic simulation sandbody forecast fractal geometry geostatistics