

露头区辫状河砂体建模方法探讨

杨 勇

(地质矿产部石油地质研究所, 北京 100083)

脑包山露头区辫状河砂体位于张家口 尚义县, 通过大比例尺实测及密集采样, 结合沉积学研究, 分析其渗透率的分布。在此基础上, 选择其中几条测线上的样品, 分别利用条件模拟和分形几何法对砂体的渗透率进行了建模方法研究。通过求取渗透率的变差函数, 建立条件模拟模型; 通过对渗透率进行赫斯特指数的计算, 同时利用分形插值理论建立分形模型。通过对比分析, 条件模型较好地再现了储层非均质性, 而分形模型既反映了宏观上物性分布, 又反映了其内部非均质性变化。两种方法均是研究储层非均质性的有效手段, 可互为补充。

关键词 辫状河砂体 条件模拟 分形几何学 地质模型

作者简介 杨勇 男 26 岁 硕士 石油地质

1 实测结果

工区位于张家口尚义地区脑包山, 为一近 NW-SE 向出露良好的辫状河砂体, 属侏罗纪地层。我们的研究重点选在脑包山山顶西北部出露较好的一段砂体, 长约 430 m, 最大厚约 8 m, 最小厚约 4 m。在砂体上共拉测线 19 条, 测线间最短距离为 12 m, 纵向上取样最小间距为 0.1m, 共采样 278 块。经分析和测试, 该砂体主要为长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩, 浊沸石胶结; 孔隙度最大为 14.89%, 最小为 2.63%, 平均为 9.09%; 渗透率最大为 $35.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最小为 $0.06 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $2.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 1)。

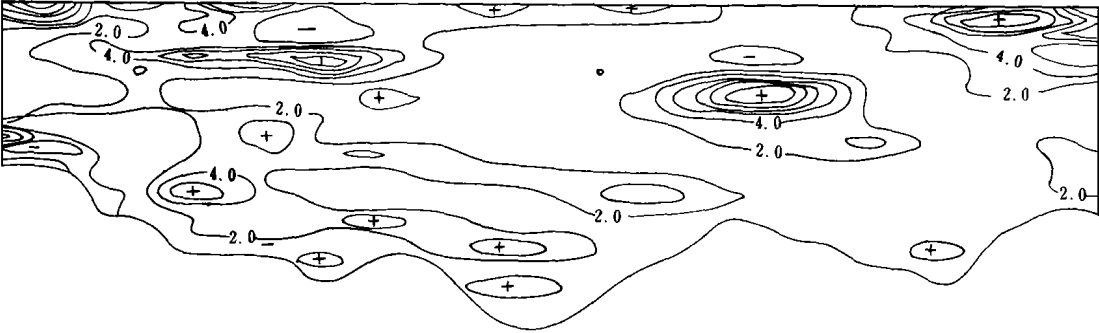


图 1 渗透率分布图

(图中横向最大长度为 430 m, 纵向最大厚度为 8 m)

从 19 条测线中选出 8 条进行条件模拟和分形插值, 以确定它们所建模型与真实模型的符

合程度。

2 条件模拟模型

首先对渗透率进行了多方向的变差函数的求取。假设空间点 x 在一维 X 轴上变化, 我们把区域化变量 $z(x)$ 在 $x, x+h$ 两点处的值之差的方差之半定义为 $z(x)$ 在 X 方向上的变差函数 $\gamma(x, x+h)$, 即:

$$\gamma(x, x+h) = \frac{1}{2} \text{Var}[z(x) - z(x+h)]$$

图 2 为垂直方向上的变差函数曲线。图中垂直向上的变程为 1.992, 反映了样品最大影响范围, 超出此范围两样品之间不存在相关关系。其后有一定的起伏, 但稳定在一基台值 0.237 左右。这种起伏可能与随机干扰有关。而基台值反映了变量间变异的强弱。

我们知道空间 $Z(x)$ 在任一点处真实值 $Z(x)$ 可表现为该点的克里金估值^[1]与误差之和, 即

$$Z(x) = Z_K(x) + [Z(x) - Z_K(x)] =$$

$$Z_K(x) + R(x)$$

式中 误差 $R(x)$ 为未知, 只要用一个与此误差同构且独立的非条件模拟的克里金误差 $[Z_S(x) - Z_{SK}(x)]$ 来代替上式中未知克里金误差 $R(x)$, 就可得到条件模拟 $Z_{SC}(X)$ 的计算公式 $[Z_S(x)$ 为非条件模拟值, $Z_{SK}(x)$ 为 $Z_S(x)$ 的克里金估值]:

$$Z_{SC}(x) = Z_K(x) + [Z_S(x) - Z_{SK}(x)]$$

为了实现非条件模拟, 我们通过随机数发生器, 应用蒙特卡罗法^[2], 产生一系列不同的非条件模拟值, 去预测其条件模拟值。图 3 是原始剖面的一次实现, 与图 1 对比可看出, 条件模拟较好地再现了储层非均质性。每次实现是随机不同的, 但受相同的数据和方差图的约束。渗透率条件模拟可产生空间连续性相对劣的实现, 也可产生空间连续性相对优的实现, 复合这些实现可用来预测地下不确定情况。图 4 为两百次实现的模拟值的平均, 它与图 1 很相似。条件模拟剖面 and 复合剖面之间主要区别就是前者存在着孤立的、井间渗透率或高或低的块状砂, 而复合剖面反映了物性参数变化的总体趋势。



图 3 渗透率条件模拟剖面图

(图中横向最大长度为 430 m, 纵向最大厚度为 8 m)

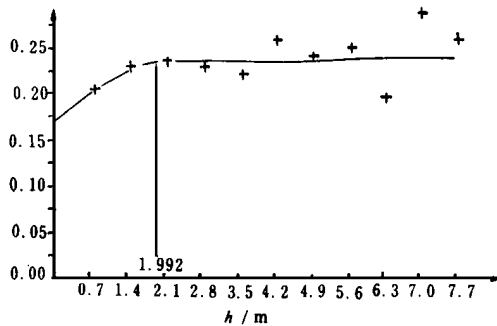


图 2 垂直方向渗透率取对数变差函数图

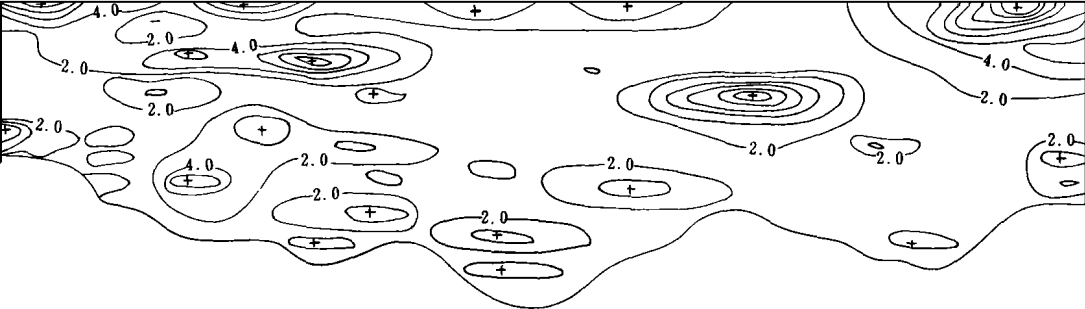


图 4 渗透率条件模拟二百次平均剖面图
(图中横向最大长度为 430 m, 纵向最大厚度为 8 m)

3 分形几何模型

在 D 维欧氏空间中, 刻度为 rL 的物体落入刻度为 L 的空间单元中的数目可表示为:

$$N = r^{-D}$$

式中 D 为分数维数。

实际中应用较广的是赫斯特指数(H)^[3], 它与分数维数的关系是:

$$H = 2 - D$$

H 和 D 是分形几何体对空间充填程度及变化复杂程度的度量, D 越大, H 越小, 反映对应的几何形状对空间的充填程度越多, 几何形状变化越复杂。引用到渗透率分布的研究中, 可以用赫斯特指数来反映渗透率空间分布的不均一性。

对于简单随机模型的赫斯特指数计算方法有多种^[3], 其中最常用的三种方法是: 变尺度分析(rescaled range analysis), 简称 R/S 分析, 变异函数分析法(variogram analysis), 和频谱分析技术(spectral analysis)。应用变尺度和频谱分析技术对测线 L1~L19 渗透率进行计算, 赫斯特指数 H 最小为 0.73, 最大为 0.88, 平均为 0.8, 说明渗透率的变化较剧烈。

分形理论的一个重要应用就是利用分形进行插值。在动力系统中可以构造一个实数集 R^2 上的 IFS(迭代函数系), 使它的吸引子恰为插值于给定数据集 $\{(X_i, F_i), i = 0, 1, 2, \dots, n\}$ 的连续函数 $f: [x_0, x_n] \rightarrow R$ 的图像, 通过调整垂直比例因子, 可以使分形曲线具有所需要的分数维。在求取了赫斯特指数后, 可以采用随机分形插值方法, 插出测线间储层的参数值。图 5 是

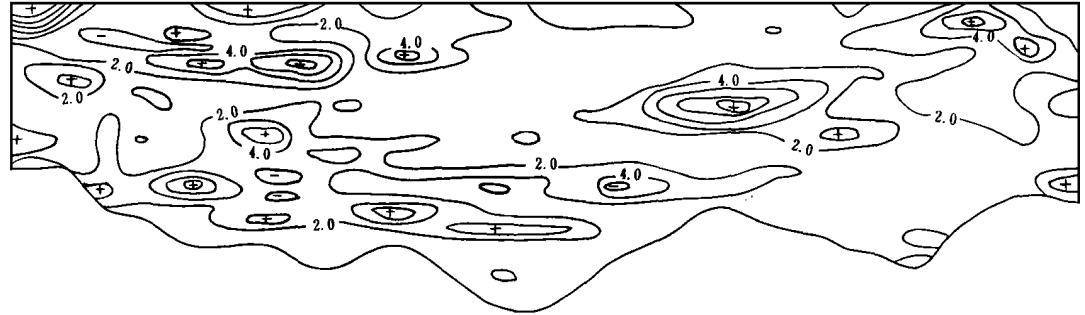


图 5 渗透率分形插值剖面图
(图中横向最大长度为 430 m, 纵向最大厚度为 8 m)

应用分形插值产生的一幅渗透率剖面图。对比图 1, 分形模拟不仅反映整体变化规律, 而且较好地再现了储层非均质性。

4 小 结

条件模型产生的随机图像, 除了再现随机模型所要求的反映储层属性在空间的分布特点外, 还要求与已知点数据相一致, 并在整体上对未知抽样的位置提供一种不确定的度量, 而不是局部的一个位置接一个位置地反映这种不确定性。

分形技术引入非光滑的随机插值, 从总体上反映了储层参数的非均质特征。分形技术建立的储层模型即能反映储层宏观上变化趋势, 又能反映内部非均质性的变化。分形预测所追求的是给出的储层参数的非均质结构与真实情况的逼近, 而不是逐点上数值相等。

研究表明, 条件模拟和分形理论是预测井间储层参数的有效手段, 具有各自独特的特点, 可互为补充。

致谢: 该文得到了中国地质大学(北京)能源系导师王德发教授和郑浚茂教授的指导, 帅开业副教授、于兴河副教授和大庆石油学院秦皇岛分院的王建国副教授给予了大力帮助, 在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- 1 王仁铎, 胡光道. 线性地质统计学. 北京: 地质出版社, 1988. 221
- 2 赵旭东. 石油数学地质概论. 北京: 石油工业出版社, 1992. 194
- 3 金强, 林承焰, 郭北尧等. 油藏预测. 北京: 石油工业出版社, 1996. 124

AN APPROACH TO MODELLING METHODS OF BRAIDED RIVER SANDBODIES IN OUTCROP AREA

Yang Yong

(*Institute of Petroleum Geology, M GMR, Beijing*)

Abstract

Naobaoshan braided sandbodies are situated in Shangyi County, Hebei Province. The permeability of the sandbodies are analysed by combining actual measurement in a large scale with sedimentology. Samples of some lines are chosen. Conditional simulation method and fractal geometry method are used separately in the modelling of the permeability of the sandbodies. Conditional simulation model is built based on the variogram of the permeability; fractal model is built according to Hurst index that is calculated based on permeability and interpolation theory. The results suggest that conditional model could recur the heterogeneity of the reservoir, the fractal model could reveal both the macroscopic physical property and microscopic heterogeneity. These two methods are efficient in heterogeneity researches, and could be in compensation for each other.