

两口井条件下的储层参数预测方法

金 强 曾 怡 任怀强 杨少春

(石油大学, 山东东营 257062)

井间储层参数预测,按常规的数理统计方法,需要许多井的资料才能得以进行。作者在油藏描述中利用地质统计与分形几何学相结合的方法,开发了只有两口井条件下的井间储层参数预测方法。这个方法不仅能够预测出两井间目的层任一点的储层参数,而且可以作出两井连线上目的层的参数剖面。既丰富了储层表征的内容,也促进了油藏地质工作的数字化。

关键词 储层参数 井间预测 地质统计学 分形几何学

第一作者简介 金强 男 38岁 副教授 石油地质学

井间储层参数预测是油藏描述和储层表征的重要内容,一般情况下至少需 20~30 口井作为统计样本才能进行井间插值(王仁铎等,1988),因为国内外都利用数理统计和地质统计学来研究储层参数的分布(Journel et al,1978; Araklingi et al, 1992)。但是在勘探开发初期,一个油藏或一个断块只有 2~3 口井时,上述方法就无能为力。然而十年前国外兴起了分形几何学研究热潮,很快有人将其应用到储层表征中来(Hewett, 1986),给储层参数预测注入了新的活力。有人称地质统计学是第三代储层表征方法(Yang,1992),那么分形几何学与地质统计学相结合的储层参数插值就可称为第四代储层表征方法了。根据储层参数的分形特征结合克里金的插值技术可以在很少井的情况下进行井间储层参数预测。

作者在金湖凹陷西园地区油藏描述中,成功地开发了只有两口井条件下的井间储层参数预测的方法。该方法可以预测任意两口井间连线及其延长线上的储层参数,当断块油藏内存在 3 口井(不在同一直线上)时,就可以预测出 3 条交叉的储层参数剖面,进一步利用三维油藏地质模型技术作出断块或油藏三维储层数据体。因此两口井的井间储层预测在探明断块和油藏描述中具有重要意义。

1 两口井井间储层参数预测的方法原理

本方法综合利用了地质统计学和分形几何学的插值技术。在只有两口井条件下,无法利用实验数据直接求得描述参数空间变化的变异函数,所以借助于分形几何学,利用其中能够刻画某种参数空间变化规律的分数维以建立变异函数。在具有自相似性的自然现象中,分数维表达了自相似的程度,在不具备比较严格自相似的现象中,它可描述现象变化的复杂程度。

就目前应用的情况来看,分形几何学基本上用于两类自然现象的研究。一是对海岸线、山脉、河流等具有几何形态的现象进行的几何分形研究;二是对各种物理参数数值变化的数值进行分形研究。孔隙度、渗透率等储层参数就可以用数值分形(Numeric Fractals)来表达它

们在空间变化的复杂程度(Wong, 1988)。数值分形包括分步式布朗运动(fBm)和分步式高斯噪音两种随机模型。Hewett(1986)把分步式布朗运动模式应用到二维空间,指出储层参数空间变化符合fBm,符合fBm的参数具有正态分布,并具有指数型的变异函数:

$$\gamma_{(h)} = \sigma^2 \cdot (h/\lambda)^{(2H-2)} \quad (1)$$

其中: h 为样点距离, σ^2 为标准方差; λ 为相关长度; H 为分数维($1 < H < 2$)。式(1)中的 $h \geq \lambda$ 时,则 $\gamma_{(h)} = \sigma^2$ 。

如果建立了某种参数变异函数,就可以由下式进行井间参数预测了。

$$W_{(P)} = \mu + \sum_{i=1}^{N_P} W_{P(i)} [W_{(i)} - \mu] \quad (2)$$

其中 $W_{(P)}$ 是点 P 的预测值, μ 是预测 $W_{(P)}$ 时所用控制数据的平均值, $W_{P(i)}$ 是预测 $W_{(P)}$ 时用的权重数据, $W_{(i)}$ 是预测 $W_{(P)}$ 时用到的控制数据, N_P 是预测 $W_{(P)}$ 时所用控制数据的点数。方程(2)中的 $W_{P(i)}$ 由下式求得:

$$\sum_{i=1}^{N_P} C_{ij} W_{P(i)} = C_{Pj} \quad (3)$$

$$C_{ij} = \sigma^2 - \gamma(h_{ij}, a_{ij}) \quad (4)$$

$$C_{Pj} = \sigma^2 - \gamma(h_{Pj}, a_{Pj}) \quad (5)$$

其中 C_{ij} 是 $N_P \times N_P$ 阶协方差矩阵, h_{ij} 和 a_{ij} 分别是 i 与 j 的距离和方向。现在的问题就是如何求式(1)中的 σ^2 、 λ 和 H 了。

先利用 R/S 函数计算各储层参数的 H ,其中 R 为 h 的函数:

$$R_{(h)} = \max_{i \leq i \leq h} \{g_{(i)} - g_{(i)} - (i/h)[g_{(h)} - g_{(i)}]\} \\ - \min_{i \leq i \leq h} \{g_{(i)} - g_{(i)} - (i/h)[g_{(h)} - g_{(i)}]\} \quad (6)$$

S 是标准偏差:

$$S_{(h)} = (1/h) \sum_{i=1}^h W_{(i)}^2 - (1/h) \sum_{i=1}^h W_{(i)}^2 \quad (7)$$

将 R/S 与 h 在双对数坐标上投点作图,其斜率是 H (Mandelbrot, 1968)。

然后利用公式(8)计算出纵向上的参数变异函数,在双对数坐标上将 $V_{(h)}$ 与 h 投点作图,求得 σ^2 和纵向相关长度 λ_z :

$$V_{(h)} = \frac{\sum_{j=1}^M \cdot \sum_{i=1}^{N_j-h} [W_{j(i)} - W_{j(i+h)}]^2}{2 \sum_{j=1}^M (N_{j-h})} \quad (8)$$

其中 M 为井数; i 为深度; $W_{j(i)}$ 为 j 井 i 深度的储层参数值; N_j 为 j 井数据点数。 $h=i_h \cdot \Delta Z$, ΔZ 为样点间隔。

储层参数存在各向异性,因此纵向上的相关长度不能直接用于井间参数的预测。所以必须求出两个井间的相关长度 λ_x 。

两井间横向变异参数为 h 等于井距的式(9)。

$$V_{(h)} = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [W_{1(i)} - W_{2(i)}]^2 \quad (9)$$

因为储层表征是对某一块体的预测,所以储层参数没有块金效应(Yong, 1992),这样 $V_{(0)}=0$ 。采用垂向变异函数的 σ^2 则可以由式(1)求得两井间的横向相关长度 λ_x :

$$\lambda_x = h[\sigma^2/V_{(h)}]^{-1/(2H-2)} \quad (10)$$

至此就可以利用式(2)进行井间参数预测了。

2 井间储层参数预测的实现

利用测井多井储层评价技术(刘泽容等,1993)得到的储层参数(孔隙度、渗透率、泥质含量和含油饱和度)进行了井间插值。

2.1 储层参数分布模型分析

行对各目的层(砂组)的储层参数构造密度函数式(11),分析参数是否为正态分布。

$$Pdf_{(i)} = m_i/m \cdot \Delta W \quad (11)$$

其中 m_i 是落在 i 区间的数据点数, m 是数据总点数, $\Delta W = (W_{max} - W_{min})/N$, N 是区间数, W_{max} 、 W_{min} , 为 W 的最大、最小值。

通过计算发现金湖凹陷西园地区阜二段含油的几个砂组孔隙度、泥质含量和含油饱和度为 正态分布,渗透率为对数正态分布(图 1)。

2.2 各参数分数维及其它参数的求取

表 1 列出了西园地区 $E_1f^{2(2)}$ 和 $E_1f^{2(1-2)}$ 各参数分数维 H 、纵向相关长度 λ_z 、横向相关长度 λ_x 和 σ^2 等参数,可见渗透率的分数维较高,说明它的变化较复杂。另外, $E_1f^{2(1-2)}$ 砂岩各参数分数维数据比 $E_1f^{2(2)}$ 灰岩都要低些,从而也表明砂岩的非均质性相对小些。 $E_1f^{2(1-2)}$ 每种参数变异函数见图 2。

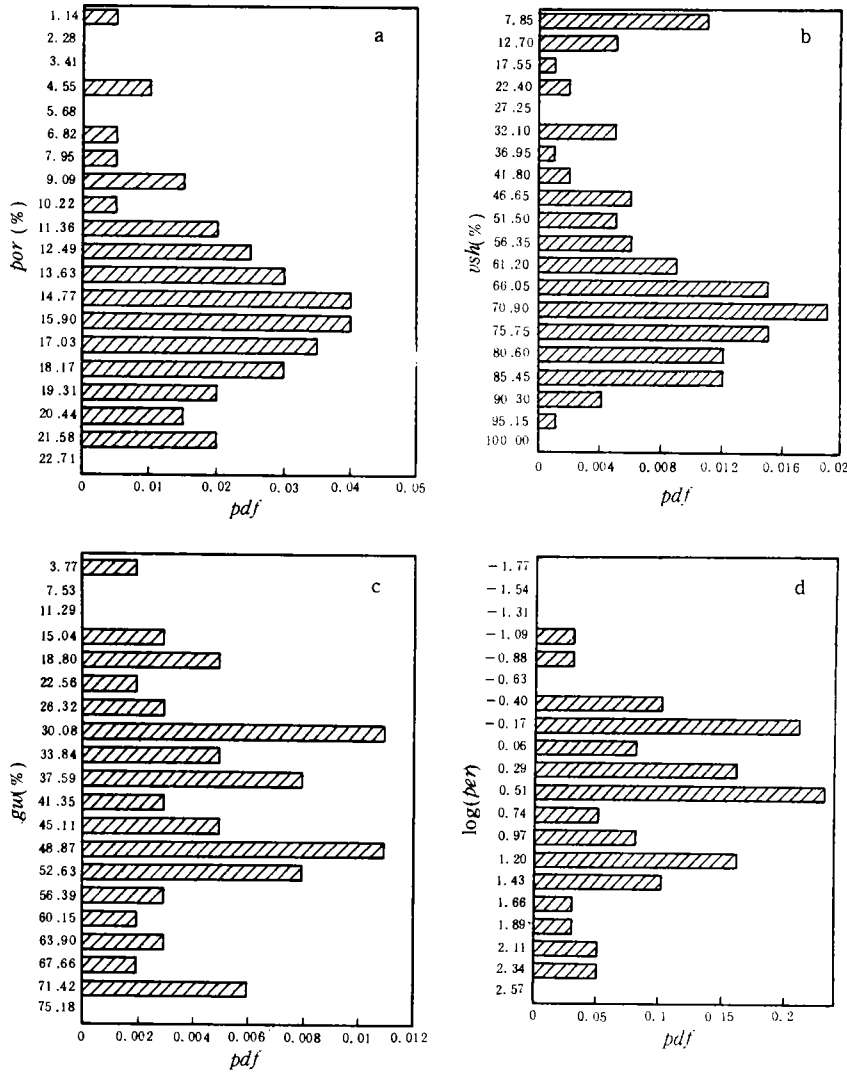


图 1 金湖凹陷西园地区阜二段 $E_1f^{2(1-2)}$ 储层参数分布模式

a. 孔隙度; b. 泥质含量; c. 含水饱和度; d. 渗透率

2.3 井间参数插值计算

由于选用的测井解释参数是每隔 0.25m 一组,所以井间预测出的参数纵向也是 0.25m

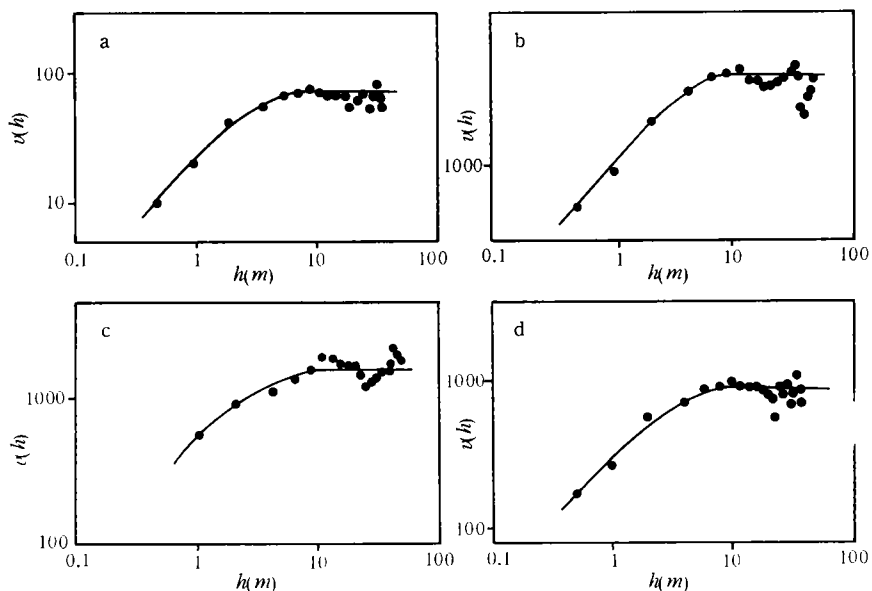


图2 西1和西5井 $E_1 f^{2(2)}$ 储层参数变异函数模型

a. 孔隙度; b. 渗透率; c. 泥质含量; d. 含油饱和

一个;横向上每隔 10m 插出一道数据,这样就在两井之间和两井连线的外侧形成了类似地震剖面的数据体。利用绘图软件绘出储层参数剖面图(图3和图4),可以看出,储层参数在断块内部分布具有很大差异,各种形态的尖灭、透镜体及其变化的方向一目了然。

表1 西园地区阜二段两个砂组储层参数分数维和其它结构参数表

| | $E_1 f^{2(2)}$ | | | | $E_1 f^{2(1-2)}$ | | | |
|-----------------|----------------|-------|----------|-------|------------------|-------|----------|-------|
| | \varnothing | k | V_{iA} | S_o | \varnothing | k | V_{iA} | S_o |
| H | 1.48 | 1.61 | 1.39 | 1.57 | 1.35 | 1.52 | 1.29 | 1.46 |
| 相关系数 R | 0.979 | 0.915 | 0.933 | 0.905 | 0.982 | 0.921 | 0.957 | 0.926 |
| σ^2 | 80 | 3000 | 1100 | 850 | 65 | 3100 | 900 | 700 |
| λ_c (m) | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| λ_r (m) | 420 | 210 | 450 | 320 | 450 | 190 | 470 | 350 |

注: λ_r 是指西5井与西1井之间的相关长度

3 讨论

本文介绍的两口井间储层参数预测方法,应用了地质统计学中的克里金插值原理,又用到了分形几何学对复杂数据分布的定量描述方法,在理论上和效果上比只靠分形插值的方式(Hewett,1986)要好得多。因为储层参数是既有结构性又有随机性的参数,我们的算法充

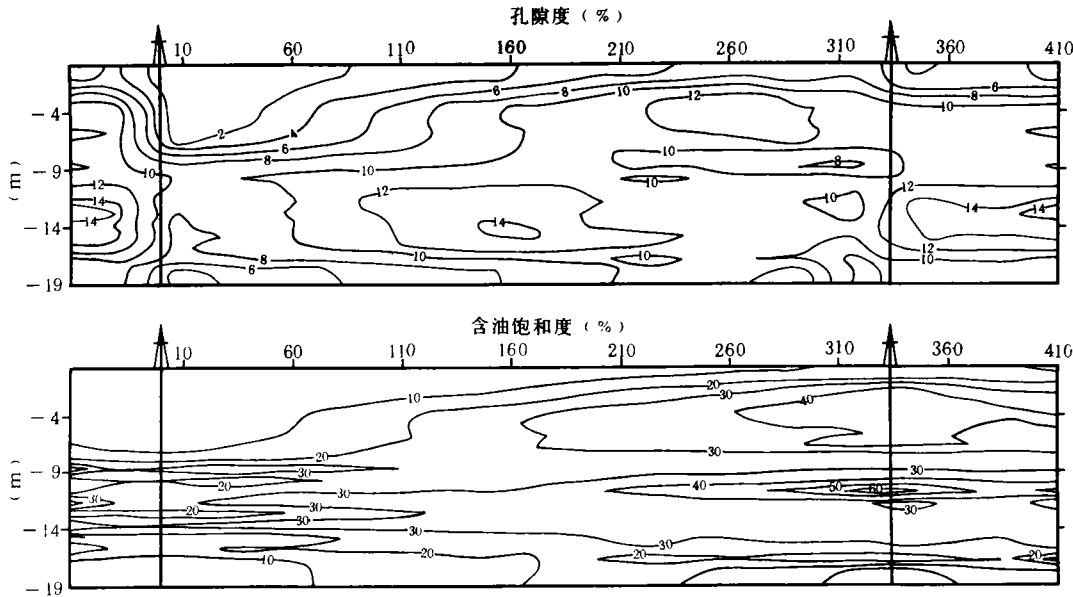


图 3 西 5 至西 1 井 $E_1 f^{(2)}$ 孔隙度和含油饱和度预测剖面

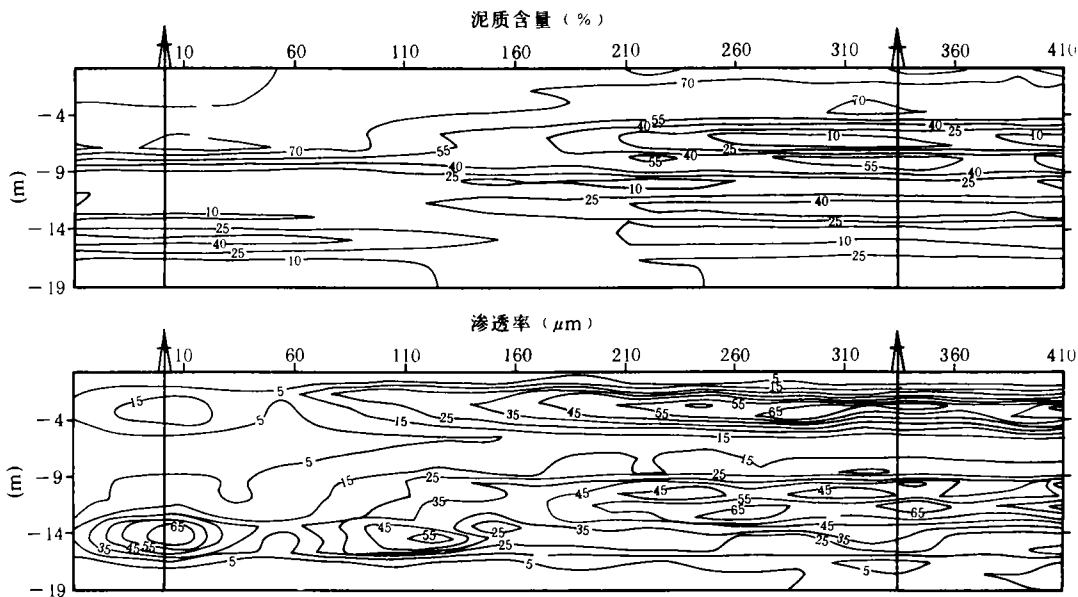


图 4 西 5 至西 1 井 $E_1 f^{(2)}$ 泥质含量和渗透率预测剖面

分考虑了储层参数的各向异性,在对不同层位或不同井间进行参数插值表 1 所示的各项参数都要重新计算,计算结果(如 H, σ^2 和 λ_x 等)的不一致就反映了储层参数分布的各向异性。

在我们的计算中,纵向相关长度 λ 分布在 3~6 之间,而且超过 4 以后运算速度大大降低,通过对比计算发现大于 4 与等于 4 时的计算结果相差很小,因此考虑到计算时间问题,我们对于 λ 大于 4 的参数统一选取了 4。本文所有计算和绘图都在微机上实现,一条 500m 长的储层参数剖面需 2 个多小时就可以完成。由于利用了测井多井储层评价得到的参数作为原始数据,因此保证了预测参数的准确性。

我们在金湖凹陷西园地区油藏描述中对已打的几口井都作了井间储层参数预测,虽然目前还没有新井打在我们预测的剖面中,本文的结果没有得到钻井的验证,但是我们预测的结果从地质上考虑是符合该区储层特征的。另外利用我们提供的储层参数剖面数据体进行的油藏模拟,其结果也是令人满意的。因此本文开发的两口井条件下井间储层参数预测技术是可以反映地下储层参数分布规律的。

由于这种方法在国内是首次应用,在井间距离较大(如超过横向相关长度若干倍)或者在井间有断层的情况下如何预测储层参数分布,还需深入研究。

4 结论

(1)利用地质统计学的克里金技术和分形几何学的分数维概念相结合,是可以在两口井条件下进行井间及其两连线上的储层参数剖面预测的。因为本方法考虑了储层参数的随机性和结构性,因此比单用分形几何或数理统计等方法在理论和效果上都好的多。

(2)从金湖凹陷西园地区阜二段实际应用来看,计算的储层参数分数维、纵向和横向相关长度以及方差等反映了储层的各向异性,因此预测出的储层参数剖面揭示了地下储层分布的特性。

(3)当一个断块或一个油藏存在 3 口不在同一条直线上的井时,用本方法可以预测出 3 条相互交叉的储层参数剖面,以此反映该断块或油藏内部储层性质在三维空间的变化规律。因此本方法在钻井很少时探明断块或油藏及其三维油藏地质模型研究中具有重要意义。

(4)在井距特别大或井间有断层的情况下,井间储层参数预测还需进一步探讨,但是本文的方法提供了很好的可借鉴的思路。

(收稿日期:1993 年 8 月 4 日)

参 考 文 献

- 1 王仁铎等. 线性地质统计学. 北京:地质出版社,1988,167~215
- 2 Journel A G et al. Mining Geostatistics. Academic Press,1978,157~268
- 3 Hewett J A. Fractal distribution of reservoir heterogeneity and their influence on fluid transport. SOE 15386. 61st SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, LA. Oct. 5~8,1986
- 4 Yang Anping. A geostatistical interpolation method from only two or three wells. SPE 22346, SPE International Meeting on Petroleum Engineering, Beijing, China. Mar. 24~27,1992

PREDICTION ON RESERVOIR PARAMETERS WITH A CONDITION OF TWO DRILLING WELLS

Jin Qiang Zeng Yi Ren Huaqiang Yang Shaochun

(University of Petroleum, China)

Abstract

The prediction on reservoir parameters between drilling wells can only be carried out with the data from many drilling wells by convention mathematical statistics. However, the authors developed a new method available for the prediction on reservoir parameters of only two wells, applying geostatistics combined with fractional geometry in reservoir description. By this method, the parameters at any point of certain reservoir target stratum between two wells can be predicted, even more the parametric section of target strata linked with two wells can be achieved. Therefore, it details the characterization of reservoirs and promotes the digitization of reservoir description.

~~~~~  
(上接 62 页)

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF CARBONATE ROCK DIAGENESIS

Li Shuangying Jin Fuquan Wang Daoxuan

*(Department of Resources and Environment Sciences, Hefei University of Technology)*

### Abstract

The paper deals with the distribution of trace elements, such as Sr, Na, Fe, Mn in carbonate rocks occurred under various diagenetic environments with a case study of the carbonate rocks (Z-T) in the Chao County. The limestones (O, upper part of C1h, C2h, C2c) originated mainly from meteoric diagenesis are characterized by low concentrations of Sr (188ppm), Na (132ppm), Mn (149ppm), while the limestones (C1j, lower part of C1h, P1q, T1n) mainly derived from submarine diagenesis by high concentrations of Sr (515ppm), Na (396ppm), Mn (404ppm). The penecontemporaneous sabkha dolomites (T2d), in comparison with penecontemporaneous-back poly-origin dolomites (Z-E) which origin mainly from diagenesis dolomitization, has high concentrations of Sr (138ppm), Na (806ppm), and the later have low concentrations of S (103ppm) and Na (604ppm). It is significant for the difference in Mn content between the dolomites. The dolomite rocks, in comparison with the limestones, have high Na and low Sr, Mn. Moreover, it is obvious that Fe content tends to be negative correlation with Ca+Mg content and it is suggested that Fe content should be influenced by terrigenous deposits.