

半马尔可夫过程在详细沉积断面分析中的应用

金友渔

(中国地质大学, 武汉)

提要 地层模型中的半马尔可夫过程分析同时考察岩性状态的转移和状态的延续时间——层厚分布, 更全面地反映沉积过程, 但在求解半马尔可夫过程转移概率时需要进行拉普拉斯逆变换, 造成实际应用的困难. 本文从另一思路导出了直接计算半马尔可夫过程转移概率的方法, 并以某受潮汐影响的三角洲体系的详细沉积断面为例介绍半马尔可夫过程分析在定量地研究沉积作用过程及聚煤规律中的应用.

主题词 详细沉积断面 半马尔可夫过程 逐步回归分析 因子分析 剩余分析.

作者简介 金友渔 男 45岁 副研究员 数学地质、煤田地质

近年来不少沉积学家强调详细相分析工作的必要性 (Miall, 1984, Anderton, 1985), 采用详细沉积断面的构成分析就是通过详细测制和素描各种沉积体的几何形态, 识别各种沉积相的主要标志以正确地识别和解释沉积作用的成因单位并掌握它们的内外构成和空间上的共生关系. 测绘详细沉积断面的方法已经被一些沉积学家所重视 (Rahmani, R.A., 1983; Reading, 1985). 武汉地质学院煤田教研室的教师和学生 在贵州织纳煤田进行教学和科研工作中, 在李思田教授亲自指导下对该区晚二叠世含煤岩系进行沉积环境分析及聚煤规律的研究工作. 应用密集的详细沉积断面对该区内陆表海边缘受潮汐作用影响的三

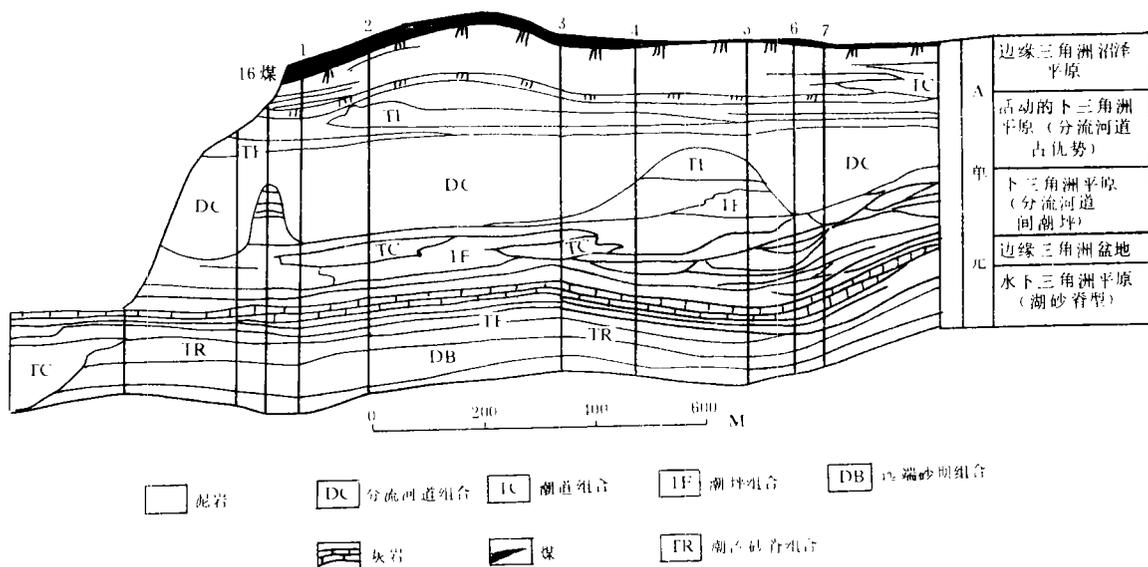


图 1 受潮汐作用影响的三角洲体系详细沉积断面A单元沉积构成图 (据夏文臣等)

Fig.1 The sedimentation constitute chart of the A unite in a detailed deposition section of a deltaic sedimentary system effected by tide

角洲体系进行的沉积构成及其聚煤特征分析就是其中的一个重要手段,作者从数学地质角度配合该项工作,在参加了部分详细沉积断面的测制工作的基础上,探索了半马尔可夫过程分析在详细沉积断面定量分析(岩相组合因子分析、聚煤规律多元分析)中的应用,在这一研究过程中,作者提出了半马尔可夫过程转移概率的直接计算公式。

本文以该区大冲头井田某详细沉积断面(图1)为例介绍断面定量分析中半马尔可夫过程分析的应用方法(该详细沉积断面由夏文臣等作构成分析的综合工作)。

一、半马尔可夫过程转移概率的直接计算方法

地层沉积最典型最重要的构造特征是层理和厚度分布,根据沉积层的特性可以推断沉积过程。控制沉积层岩石类型出现的是马尔可夫转移概率矩阵 A ,而厚度则由其概率密度函数 $f(x)$ 确定,矩阵 A 又称为嵌入矩阵,而 $f(x)$ 常称为等待时间函数,在这种包括嵌入马尔可夫矩阵和某些指定等待时间函数(常为 Γ -分布)的双重方向中起作用的过程称为半马尔可夫过程。

1、地层的厚度分布及 n 个分层厚度之和的分布

地层的厚度常可用 Γ -分布进行较满意的拟合,无论对于不同岩性(不同岩性相或不同岩性相组合等)分别统计还是区别岩性而一起统计, Γ -分布的拟合均常能获得较好效果。 Γ -分布的概率密度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{a^v}{\Gamma(v)} x^{v-1} e^{-ax} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中 x 为地层厚度的随机变量, v 、 a 为 Γ -分布的两个参数,且有 $a > 0$, $v > 0$ 。

设 n 个地层分层厚度服从同一参数的 Γ -分布,即 n 个地层分层厚度独立同分布,其特征函数为:

$$\left(1 - \frac{it}{a}\right)^{-v}$$

由概率论可知 n 个独立随机变量之和的特征函数等于它们的特征函数之积,所以 n 个地层分层厚度的独立随机变量之和的特征函数为:

$$\left[\left(1 - \frac{it}{a}\right)^{-v}\right]^n = \left(1 - \frac{it}{a}\right)^{-vn}$$

而分布函数由其特征函数所唯一确定,则 n 个地层分层厚度之和随机变量的率密度函数为:

$$f(x, n) = \begin{cases} \frac{a^{vn}}{\Gamma(vn)} x^{vn-1} e^{-ax} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

2、半马尔可夫过程转移概率

如图2(b)所示,半马尔可夫过程转移概率是指在地层柱状图中 A 点恰位于第 i 类岩性地层顶界时,在 A 点上方距 A 点 t 的 B 点处于第 j 类岩性地层的概率 $P_{ij}(t)$ 。为求出这一概率的表达式,我们先来介绍一下更新密度的概念。若某点恰位于第 i 类岩性地层顶界,

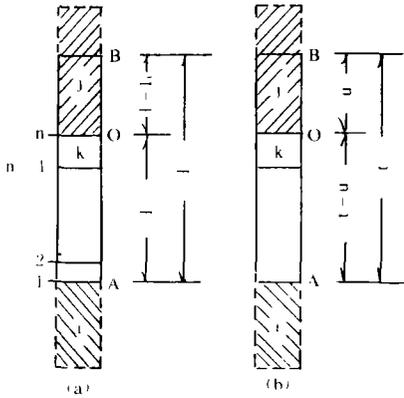


图 2 半马尔可夫过程解析图

Fig.2 The analytic drawing of semi-Markov process

t 的事件，这一事件的概率等于：

$$P_{ij(1)}(t) = a_{ij} \int_0^{\infty} f_j(x) dx \tag{4}$$

其中 a_{ij} 为马尔可夫过程转移概率矩阵 A 中第 i 行第 j 列元素， $f_j(x)$ 为第 j 类岩性地层厚度分布密度函数。

(2) 当 $0 < t-u < t$

这一事件是指在 A 点恰位于第 i 类岩性地层顶界，而在 A、B 两点间距 A 点上方 $t-u$ 处的 O 点又恰位于第 k 类岩性地层的顶界 ($k=1, 2, \dots, m$; m 为柱状图中岩性类型数)，并立即转为第 j 类岩层且该第 j 类岩性地层厚度大于 u ，这一事件的概率为：

$$P_{ij(2)}(t) = \sum_{k=1}^m a_{kj} \int_0^t \left[h_{ik}(t-u) \int_0^{\infty} f_j(x) dx \right] du \tag{5}$$

其中 a_{kj} 为马尔可夫过程转移概率矩阵 A 中第 k 行第 j 列元素。

综合上述两种情况可得：

$$P_{ij}(t) = P_{ij(1)}(t) + P_{ij(2)}(t) \tag{6}$$

由于更新密度的分布类型未知，所以 (6) 式中第二项 (即 (5) 式) 不能直接求出，为此需要通过一些变换消去更新密度，为此必需首先对各类岩性地层厚度分布密度函数进行拉普拉斯变换，然后在求转移概率 $P_{ij}(t)$ 时还需要进行一次拉普拉斯逆变换，一般地说，只在层厚分布密度函数有简单的拉普拉斯变换且仅处理少量岩性类型 (如 $m=2$) 时才可得简单的表达式以计算 $P_{ij}(t)$ ，而实际地层柱状岩性类型较多，且层厚分布密度函数较复杂 (如 Γ -分布的参数 v, a 可为大于零的任意实数)，拉普拉斯变换解析求逆十分困难需采用模拟方法。笔者则从另一思路导出了直接计算半马尔可夫过程转移概率的公式。

3. 半马尔可夫过程转移概率的直接计算方法

不使用更新密度的概念而采用 n 个地层分层厚度之和分布可以实现半马尔可夫过程转移概率的直接计算，因为 n 个地层分层厚度之和的分布密度函数可由单层层厚分布密度函

则称该事件为类型 i 事件，我们将在 A 点恰位于第 i 类岩性地层顶界 (即 A 点恰出现类型 i 事件) 的条件下，在 AB 两点间距 A 点 $t-u$ 处的 O 点又恰位于某第 k 类岩性地层顶界 (即 O 点恰出现类型 k 事件) 的条件概率密度称为更新密度，用式子表达为：

$$h_{ik}(t-u) = \lim_{\Delta u \rightarrow 0} \frac{P(\text{在}(t-u, t-u+\Delta u)\text{中出现类型}k\text{事件在}A\text{点出现类型}i\text{事件})}{\Delta u} \tag{3}$$

有了更新密度的概念，下文就可以分两种情况来讨论概率 $P_{ij}(t)$ 的表达式：

(1) 当 $t-u=0$ (即 0 点与 A 点重合)

这是指 A 点恰位于第 i 类岩性地层的顶界，并立即转为第 j 类岩性的地层且该第 j 类岩性地层厚度大于

数推出。

如图 2 (a) 所示, 半马尔可夫过程转移概率就是指当 A 点恰位于第 i 类岩性地层项界时, 在距 A 点上方 l 的 B 点处于第 j 类岩性地层中的概率 $P_{ij}(l)$ 。同样可以分两种情况来讨论:

(1) 当 $l=0$ 时, (l 为 AO 的距离, O 点在 A、B 两点之间)

这表示第 i 类岩性地层只经过一步就转移到第 j 类岩性地层, 且该第 j 类岩性地层厚度大于 l

(2) 当 $0 < l_1 < l$ 时

设由 A 点到 O 点第 i 类岩性经过 n 步 ($n=2, 3, \dots$) 转移到第 j 类岩性的, 即相距 l_1 的 A、O 两点间含有 $n-1$ 个地层分层, 在 O 点立即转为第 j 类岩性地层且该第 j 类岩性地层层厚大于 $l-l_1$ (这里不管 O 点是由哪一类岩性地层向第 j 类岩性地层转移的, 即不管 O 点有哪一类型更新事件发生, 只考察 O 点是一个岩性类型地层的项界并立即转为第 j 类岩性地层就足够了)。

综合上述两种情况可归纳出:

$$P_{ij}(l) = a_{ij} - a_{ij} \int_0^l f_j(x) dx + \sum_{n=2}^{\infty} P_{ij}^{(n)} \left\{ \int_0^l f_j(l_1, n-1) dl_1 - \int_0^l \left[f_j(l_1, n-1) \int_0^{l-l_1} f_j(x) dx \right] dl_1 \right\} \quad (7)$$

这里 $P_{ij}^{(n)}$ 为马尔可夫过程转移概率矩阵 A 自乘 n 次所得幂矩阵的第 i 行第 j 列元素, 即第 i 类岩性地层经 n 步转移到 j 类岩性地层的概率, $f_j(l_1, n-1)$ 为 A、O 两点间的 $n-1$ 个地层分层厚度之和等于 l_1 的概率密度函数。

当 $l=0$ 时, $P_{ij}(0) = a_{ij}$, 半马尔可夫过程转化为马尔可夫过程, 当 $l \rightarrow \infty$ 时, 半马尔可夫过程转移概率趋于固定概率。

在最简单的情况下, 层厚分布密度函数将不区分不同岩性, 即假设所有层厚均服从同一参数的 Γ -分布, 则有 $f_j(x) = f(x)$, $f_j(l_1, n-1) = f(l_1, n-1)$, 按 (1)、(2) 两式, (7) 式可写成:

$$P_{ij}(l) = a_{ij} - a_{ij} \int_0^l \frac{a^v}{\Gamma(v)} x^{v-1} e^{-ax} dx + \sum_{n=2}^{\infty} P_{ij}^{(n)} \left\{ \int_0^l \frac{a^{v(n-1)}}{\Gamma[v(n-1)]} l_1^{v(n-1)-1} e^{-al_1} dl_1 - \int_0^l \left[\frac{a^{v(n-1)}}{\Gamma[v(n-1)]} l_1^{v(n-1)-1} e^{-al_1} \int_0^{l-l_1} \frac{a^v}{\Gamma(v)} x^{v-1} e^{-ax} dx \right] dl_1 \right\} \quad (8)$$

(7)、(8) 两式求解 $P_{ij}(l)$ 是直接的, 无需进行拉普拉斯变换和逆变换, 只需利用不完全伽马函数的数值计算及高斯法数值积分即可求出 $P_{ij}(l)$ 可证明式中无穷项求和是收敛的, 可在满足精度条件下用有穷项来代替, 笔者已编制相应的计算机程序实现上述计算。

取 $l=0, 1, 2, \dots, k$ 个单位厚度代入 (8) 式计算, 最终可获得半马尔可夫链的转移概率矩阵

$$P(l: 0, k) = \begin{bmatrix} a_{11} a_{12} \dots a_{1m} & P_{11}(1) & P_{12}(1) & \dots & P_{1m}(1) & \dots & P_{11}(k) & P_{12}(k) & \dots & P_{1m}(k) \\ a_{21} a_{22} \dots a_{2m} & P_{21}(1) & P_{22}(1) & \dots & P_{2m}(1) & \dots & P_{21}(k) & P_{22}(k) & \dots & P_{2m}(k) \\ \dots & \dots \\ a_{m1} a_{m2} \dots a_{mm} & P_{m1}(1) & P_{m2}(1) & \dots & P_{mm}(1) & \dots & P_{m1}(k) & P_{m2}(k) & \dots & P_{mm}(k) \end{bmatrix} \quad (9)$$

表 1 A 单位状态厚度 Γ -分布的拟合

Table 1 Γ -distribution fitting of state thick in the A unite f strate

组号	分组厚度上界 (厚度单位)	频数	频率	Γ -分布 概率
1	2.0	115	0.5583	0.5825
2	4.0	52	0.2524	0.1866
3	6.0	20	0.0971	0.0970
4	8.0	6	0.0291	0.0544
5	10.0	5	0.0243	0.0316
6	12.0	2	0.0097	0.0188
7	14.0	1	0.0049	0.0113
8	16.0	0	0.0000	0.0069
9	18.0	0	0.0000	0.0042
10	20.0	3	0.0146	0.0026
11	22.0	1	0.0049	0.0016
12	24.0	1	0.0049	0.000
均值 $\bar{x}=2.74$ 方差 $s^2=12.411$				
χ^2 -检验		$\chi^2=0.06 < \chi^2_{3, 0.5}=7.815$		
Γ -分布参数		$v=0.6049, a=0.2208$		
统计层数		206		

二、详细沉积断面的半马尔可夫过程分析

图 1 所表示的详细沉积断面是贵州织纳煤田大冲头井田某详细沉积断面的一个单元，整个断面表示晚二叠世龙潭组中段受潮汐作用影响的三角洲体系的断面沉积构成，A 单元是其中最老的一个单元，该单元总体显示以进积为主，共划分八种岩性相组合（其中 3 种为岩性）：(1) 泥岩，(2) 分流河道组合 (DC)，(3) 潮道组合 (TC)，(4) 潮坪组合 (TF)，(5) 运端砂坝组合 (DB)，(6) 灰岩，(7) 煤，(8) 潮汐砂脊组合 (TR)。

在断面 A 单元中取 7 个实测柱状图形成一个柱状系统，岩性相组合的状态转移及层厚分布拟合均以整个柱状系统总体为统计对象，它代表断面中 A 单元总体的沉积构成特征。

A 单元岩性相组合层厚度所拟合的 Γ -分布如表 1 所示，它表明 Γ -分布的拟合是相当完美的。

状态转移的马尔可夫性检验统计量为 319.62，自由度为 49，说明整个柱状系统岩性相组合间的状态转移具有显著的马尔可夫性。当幂次为 81 时可获得固定向量。

取 $l=1, 2, \dots, 10$ 应用 (8) 式可计算出半马尔可夫链的转移概率矩阵形如 (9) 式，选择其中部分结果示于图 3 (横座标为距离 l ，纵座标为半马尔可夫转移概率 $p_{ij}(l)$)，由图 3 可以看出煤和泥岩之间的转移概率随着距离的增加而降低，在较短距离内有较高的转移概率，随着距离增大转移概率有较大幅度的下降。TC, TF, TR, DB 向煤的转移概率均随距离增大而有不同程度的增高，而煤向 TF 和 TC 的转移概率随距离增大并无明显的增长，图 3 中的所有曲线都是指数型的。

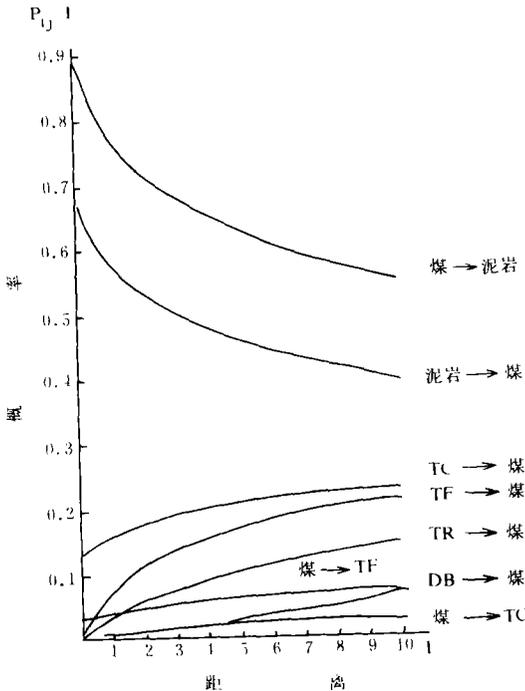


图 3 A 单元半马尔可夫过程分析

Fig.3 The analysis of semi-Markov process of the A unite

表2 A单位岩相组合因子的方差极大旋转因子载荷矩阵
Table 2 The factor loading matrix of varimax rotation of lithofacies association factors in the A unite of strata

因子状态	1	2	3	4	5	6	7	8
泥岩	0.323330	0.081715	-0.91967	0.208669	-0.001703	-0.000316	-0.000232	0.000000
DC	0.817492	0.110929	-0.222769	0.517669	0.038856	-0.016400	0.004108	0.000292
TC	0.688075	0.122806	-0.352779	0.620755	0.031913	-0.015554	-0.020527	0.000001
TF	0.916007	0.082013	-0.239787	0.267681	-0.15180	-0.005160	-0.002617	0.000000
DB	0.089747	0.986037	-0.068746	0.122269	-0.000324	-0.000466	-0.000272	0.000000
灰岩	0.941709	0.071457	-0.214892	0.239502	0.062221	-0.025544	0.003822	-0.000208
煤	0.929574	0.078562	-0.222042	0.276649	0.047953	0.039688	-0.003236	0.000000
TR	0.378885	0.154731	-0.179777	0.894403	-0.014020	0.004612	0.003450	-0.000114

三、详细沉积断面岩相组合因子分析

(9) 式所表达的半马尔可夫链的转移概率矩阵不仅包含了岩性相组合间瞬时的转移规律 ($l=0$) 同时含有岩性相层厚分布所导出的信息 ($l>0$), 因而较全面地反映了 A 单元的沉积构成特征, 若将矩阵 P ($l: O, K$) 的每一行看成一个样品, 每一列看成一个变量对其进行 Q 型因子分析, 所得因子反映 A 单元中的沉积环境作用因子, 称为岩相组合因子, 它是各岩性相组合的线性组合, A 单元岩相组合因子的方差极大旋转因子载荷矩阵列于表 2。

A 单元的前四个岩相组合因子占总方差的百分比分别为 73.6%, 12%, 7.5% 和 6.4%, 累计为 99.5%。

对 A 单元前四个岩相组合因子可作如下解释:

因子 1: 反映 A 单元中聚煤作用类型 (注意不是聚煤强度) 主要有下列几种: (1) 灰岩发育的边缘三角洲盆地中的聚煤作用, (2) 分流河道间潮坪及潮道发育的下三角洲平原中的聚煤作用, (3) 潮汐发育的水下三角洲平原顶部的聚煤作用, (4) 分流河道占优势的活动的下三角洲平原中的聚煤作用。反映了三角洲主体向前推进并伴随有侧向迁移过程中的聚煤作用。

因子 2: 反映远端坝的建设作用

因子 3 和因子 4: 反映河流和潮汐的相互作用

四、详细沉积断面聚煤规律的定量分析

以 A 单元中相单位 (共分 5 个相单位) 为基本单位, 每个柱状中的每个相单位段为样品 (共 35 个样品), 以每个样品中煤层总厚为因变量, 样品中第 i 个自变量按下式计算:

$$x_{ki} = \sum_{j=1}^m h^{kj} \cdot f_{ij} \quad i=1, 2, \dots, m \quad (10)$$

式中 x_{ki} 为第 k 样品第 i 自变量, h^{kj} 为第 k 样品第 j 类岩性相组合层总厚, f_{ij} 为第 j 类岩性

表 3 A 单位煤厚回归分析

Table 3 The regression analysis of coal thick in the A unite of strata

回归分析总体	单元数	复相关系数	F 统计检验			最优回归方程	最优回归方程中各变量标准回归系数											
			F 统计量	查表值	结论		1	2	3	4	5	6	7	8				
A 单位	35	0.997	896.97	$F_{0.01} = 3.53$	高度显著	$\hat{Y} = 0.355821X_1 - 0.072527X_2$ $+ 0.098059X_3 - 0.105905X_4$ $+ 1.089429X_5 + 15.710780X_6$	X_6	X_1	X_5	X_4	X_3	X_2						
							1.94	1.85	0.40	-0.30	0.25	-0.11						
							1	3	5	28	2	43						

相组合在第 i 个岩相组合因子上的因子载荷 (见表 2)。

A 单元中相单位煤总厚依上述 m 个自变量 (本例 m = 8) 的逐步回归结果见表 3。

由表 3 可以看出最优回归方程经 F 统计检验为高度显著。

最优回归方程的剩余图和偏剩余图分别示于图 4 及图 5, 剩余图是标准化剩余 (e_{ks}) 与因变量回归估值 (\hat{y}_k) 的散点图, 该图散点均在 (-2, 2) 的标准化剩余区间内呈随机状分布, 表示标准化剩余为独立正态分布。偏剩余图为偏剩余 (e_{kj}) 与第 j 自变量 (x_j) 的散点图, 图 5 中表示了选入回归方程的变量中的 4 个自变量的偏剩余图, 其散点均围绕某一直线分布且直线有较大斜率, 即与自变量轴 (x_j) 有较大的锐角交角, 表明所引入的自变量确与因变量相关密切。

上述各种检验表明回归方程是统计显著的, 它可以定量地表达该断面中 A 单元的聚煤控制因素 (指控制煤厚的因素), 由引入变量的标准回归系数的大小也可以看出 A 单元中沉

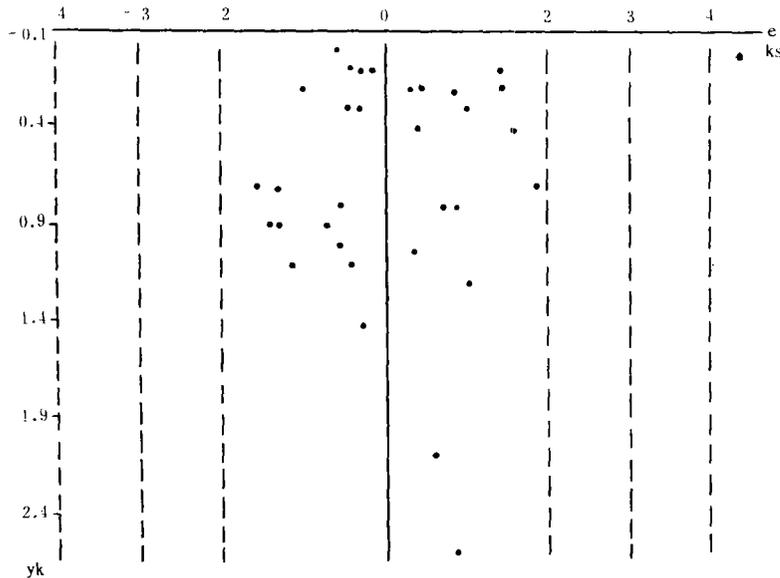


图 4 A 单元回归剩余图

Fig. 4 Regression residual drawing of the A unit

积环境对煤厚的控制表现在：(1) 边缘三角洲沼泽平原对厚煤层的形成最有利，(2) 边缘三角洲盆地和河流与潮汐作用发育的水下三角洲平原、下三角洲平原只形成较薄的煤层。而沉积环境对煤厚的影响程度可由最优回归方程定量地表达。

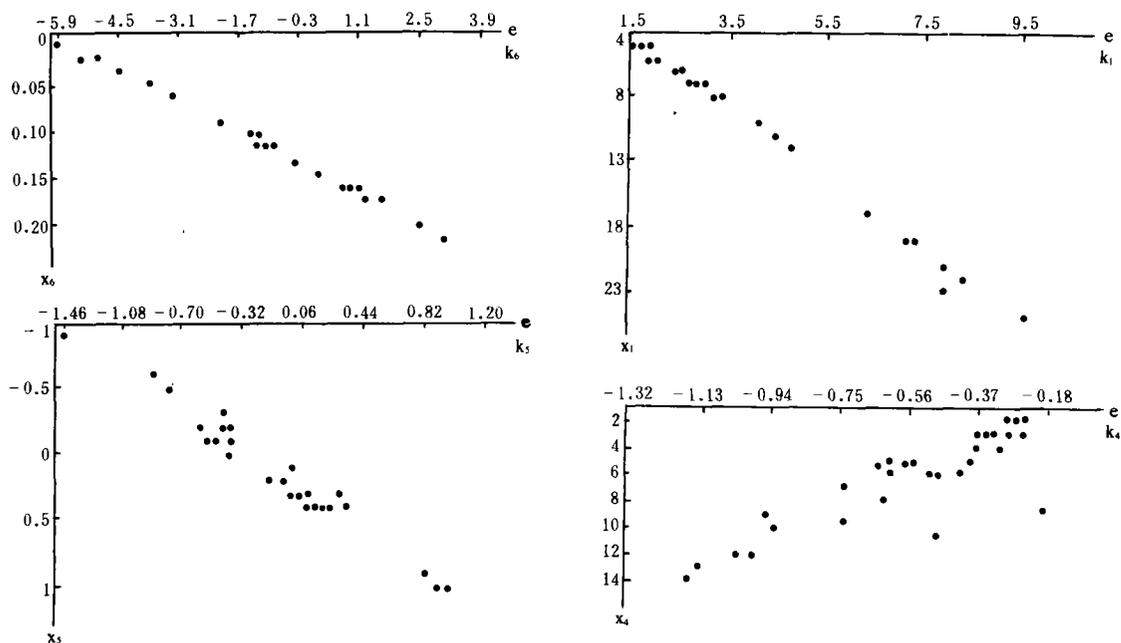


图 5 A 单元回归偏残余图

Fig. 5 Regression partial residual drswing of the A unite

野外工作中得到贵州省煤田地勘公司 174 队吴贤哲、何泽官、宋良嗣、甘明生等同志大力协助。本文所采用的详细沉积断面由武汉地院煤田教研室贵州织纳煤田科研组教员及学生共同测制。成文过程中得到夏文臣、解习农同志的帮助。全文经李思田教授审阅并按所提出的宝贵意见作了修改，作者在此一并致谢。

收稿日期 1987 年 7 月 4 日

参 考 文 献

- (1) W.斯瓦尔扎克著，徐桂荣译，1984，沉积模型和定量地层学，地质出版社。
- (2) 景毅等，1986，马尔可夫过程在地质学中的应用，地质出版社。
- (3) W.Scharzacherr, 1972, The Semi-Markov process as a general Sedimentation model, Math models of sedimentary

APPLICATION OF SEMI-MARKOV PROCESS IN ANALYSIS OF THE DETAILED DEPOSITION

Jin Youyu

(Geological University of China, Wuhan)

Abstract

Probability of transition of semi-Markov process means that when point A of section just is located upper bound of *i*th lithic stratum probability P_{ij} (1) of point B is in *j*th lithic stratum, point B is upper the point A and distance between point B with A is 1. This probability can be decomposed as two events probability, the two events are in what follows: (1) In point A, the *i*th lithic stratum translates to the *j*th lithic stratum with only passing one step and thickness of the *j*th lithic stratum is larger than 1; (2) In point O that is between point A and B, the *i*th lithic stratum translates to the *j*th lithic stratum with passing *n* steps ($n=2, 3, \dots, \infty$, this is that $n-1$ stratum layering are contained between point A and O apart l_1 , it translates at once to *j*th lithic stratum in point O and the *j*th lithic stratum thickness is larger than $1-l_1$).

For the 1th event, if only a stratum layering thickness distribution is gave, the event probability can be computed. if thickness distribution of *n* stratum layerings can be gave, the *Z*th event probability can be easy computed. Thus the author supposes that *n* stratum layering thicknesses submit independently same parameter ν -distribution:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{a^\nu}{\Gamma(\nu)} x^{\nu-1} e^{-ax} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Among others *x* is the stochastic variable of stratum layering thickness. ν , *a* are the distribution parameters and $\nu > 0$, $a > 0$. As a result, probability density function of *n* stratum layerings thickness sum can be derived from characteristic function of *n* independent stochastic variables sum distribution:

$$f(x, n) = \begin{cases} \frac{a^{n\nu}}{\Gamma(n\nu)} x^{n\nu-1} e^{-ax} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Proceed to the next step, directly compute formula of probability of transition of semi-Markov process can be derived. The author has wrote specific computer program to calculat it by means of the disital integration.

With the directly comut methed the author has studied semi-Markov process appeared by A unite part in a detailed deposition section, the section presents deltaic sedimentary system effected by tide in a coal measures. A unite is oldest unite of system. It separates B lithofacies constitutes (mudstone, divaricationg channel, tide way, tidal flat, distal bar, limestone, coal, tidal sand ridge). Statistical analysis of 7 practice survey columns of A unite in this section shows state transition among the lithofacies constitutes having obvious Markov property and shows

Γ -distribution is considerably perfect for fitting the stratum thicknesses of lithofacies constitute.

With the directly comput method the author calculates transition probability matrix of semi-Markov process among the lithofacies constitutes Q-mode factor analysis for the transition probability matrix obtains factors, the factors reflect effect factors of deposition environment. the preceding 3 factors effect main coal gather action of marginal deltaic basin, low deltaic plain, roof of deltaic plain below the water, distal bar building action, mutual action of river with tide.

With facies unite of every column as sample, the author carries on step regression analysis of coal bed total thickness with deposition environment effect factors in the facies unite.

F-testing and regression residual analysis show the regression equation to be obvious statisticly. This illustrates that expression of deposition environment control to coal thickness is in what follows: (1) To formation of thick-bedded coal fen plain of marginal deltaic is the favourablest; (2) Marginal deltaic basin deltaic plain below the water and low deltaic plain of river and tide development only form thin coal bed.