

应用数学地质方法研究某铅锌矿区的构造模式

黄维新

(福州大学)



数学地质

本文介绍应用马尔柯夫概型分析和阶梯函数分析方法,研究老变质岩地区的构造和地层对比的一些成果。

矿区地质简述及其存在问题

矿区出露的地层主要为前震旦系(?)建欧群大岭组和麻源组。

大岭组:在矿区未详细划分,统归一个岩性段,以云母片岩、石英片岩和变粒岩为主,厚度2000米。

麻源组:在矿区中划分3个岩性段。

第一岩性段以斜长变粒岩、黑云母片岩为主,夹多层透辉透闪岩、透辉岩等,厚度104~180米。铅锌矿体主要赋存在该段中。

第二、三岩性段以斜长变粒岩和黑云母片岩互层为主,厚度140米。

矿区包括凤山林矿段和西山矿段,分别位于西山—七里岚倒转向斜的东西两翼。矿区西部为凤山林倒转背斜和南岭—良源倒转向斜(图1)。

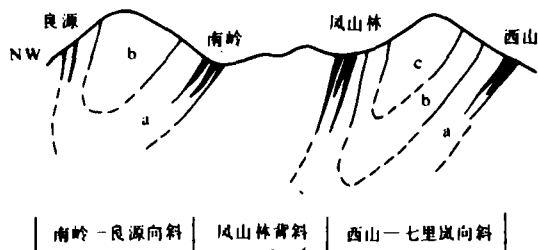


图1 矿区构造示意图

在南岭和良源地表已发现铅锌矿体和矿化点。

矿区构造以北东向断裂为主,多处有花岗斑岩侵入。

岩浆岩主要是后期的花岗斑岩、辉绿岩、煌斑岩等,皆呈岩脉或小侵入体产出。

由于变质岩地层的岩性及构造复杂,因而,人们对矿区构造模式有不同的认识。一些人认为西山—七里岚向斜不存在,即凤山林和西山是两个不同层位的矿体。另一种持文前所述的说法。为搞清矿区的构造形式,合理设计工程和扩大找矿远景,我们用数学地质方法对凤山林和西山矿段的地层进行对比,进而研究了整个矿区的构造模式。

凤山林和西山地层的马尔柯夫概型分析

该法包括转移概率和置换概率两个方面,用于研究有马尔柯夫链性质的问题。

1. 转移概率 为对比两个矿段的地层,分别选取其中具代表性的两条实测剖面。凤山林剖面,长1000余米,共分61个岩性层;西山剖面,长500余米,共分39个岩性层。为计算简便,将剖面上出现的岩性归并为7类(也称状态):A—云母变粒岩,B—黑云斜长变粒岩,C—斜长变粒岩,D—云母片岩,E—石英片岩,F—透辉透闪岩,G—透辉变粒岩。分别计算了两剖面岩性的转移频数及转移频率(表1、2)。

据上述统计结果,用 χ^2 —分布来检验两个剖

1) 参加工作的有陈启雄、黄长煌和陈晶等。

2) 地层剖面系引福建省地矿局闽北地质大队二分队实测资料。

凤山林剖面转移频数及转移频率矩阵

表1

	A	B	C	D	E	F	Σ
A	0	3/0.14	0	15/0.71	0	3/0.14	21/1.0
B	3/0.50	0	0	2/0.33	0	1/0.17	6/1.0
C	0	0	0	1/1.00	0	0	1/1.0
D	16/0.70	1/0.04	1/0.04	0	5/0.22	0	23/1.0
E	0	1/0.20	0	4/0.80	0	0	5/1.0
F	2/0.50	1/0.25	0	1/0.25	0	0	4/1.0

西山剖面转移频数及转移频率矩阵

表2

	A	B	C	D	E	F	G	Σ
A	0	0	0	5/1.00	0	0	0	5/1.0
B	0	0	0	2/0.33	0	3/0.50	1/0.17	6/1.0
C	3/0.75	1/0.25	0	0	0	0	0	4/1.0
D	3/0.26	1/0.10	3/0.26	0	1/0.10	2/0.18	1/0.10	11/1.0
E	0	2/0.67	0	0	0	0	1/0.33	3/1.0
F	0	1/0.17	0	2/0.33	2/0.33	0	1/0.17	6/1.0
G	0	1/0.25	1/0.25	2/0.25	0	1/0.25	0	4/1.0

表1、2中斜线上方为转移频数；斜线下方为转移频率；Σ为各岩性在剖面出现的次数。

面岩性层是否具有马尔柯夫链性质。

统计量 χ^2 用下式计算：

$$\chi^2 = 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m T_{ij} \ln \frac{P_{ij}}{P_j}$$

式中， T_{ij} —转移频率矩阵中对应元素； P_{ij} —转移频率矩阵中对应元素； m —岩性状态数； P_j —

$$\text{边缘概率} \left(P_j = \frac{\sum_{i=1}^m T_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m T_{ij}} \right)。$$

经检验，两剖面的 χ^2 值分别为65.98和68.88，均大于信度为5%时的 χ^2 临界值37.652和50.988。因此，两剖面的岩性层均具有马尔柯夫链性质，这就肯定了用马尔柯夫概型分析研究的前提。

进一步计算了两剖面的极限概率（表3）。

表3

	A	B	C	D	E	F	G
凤山林	0.3632	0.0950	0.0155	0.5875	0.0606	0.0564	
西山	0.1485	0.1506	0.0995	0.2736	0.0744	0.1508	0.1026

上表说明，凤山林剖面以D、A类岩性为主，

缺G类岩性。西山剖面以D类岩性为主，其他各种岩性均有一定比例出现。

据两剖面的转移概率和极限概率可得出简化的沉积旋迴模式图（图2、3）。

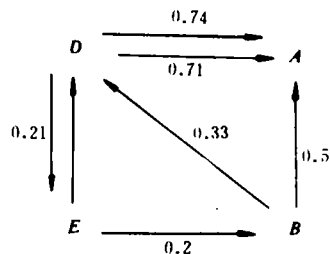


图2 凤山林剖面沉积韵律模式图

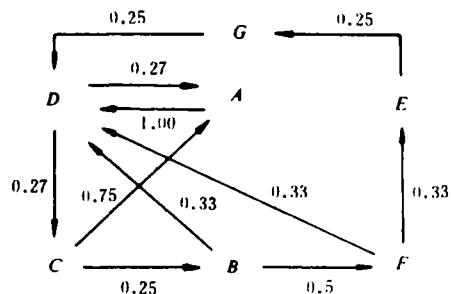


图3 西山剖面沉积韵律模式图

从图2, 3中看到, 凤山林剖面可能存在的沉积韵律主要为 $D \rightarrow A \rightarrow D$, 而西山剖面可能存在的沉积韵律主要为 $D \rightarrow A \rightarrow D$ 和 $D \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow D$ 两种。

2. 置换概率 以剖面岩性序列的转移概率矩阵为基础, 用矩阵理论研究矩阵中行与行、列与列的相似性。由此来反映地层剖面序列中岩性状态的共性。依公式:

$$L_{rs} = \frac{\sum_{j=1}^m P_{rj} \cdot P_{sj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m P_{rj}^2 \cdot \sum_{j=1}^m P_{sj}^2}}$$

$$R_{rs} = \frac{\sum_{j=1}^m P_{jr} \cdot P_{js}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m P_{jr}^2 \cdot \sum_{j=1}^m P_{js}^2}}$$

$$C_{rs} = L_{rs} \cdot R_{rs}$$

分别计算凤山林和西山剖面的左置换矩阵的元素 L_{rs} 的值, 右置换矩阵的元素 R_{rs} 的值及互置换矩阵的元素 C_{rs} 的值。并绘制成相应的谱系图 (图4 ~ 9)。

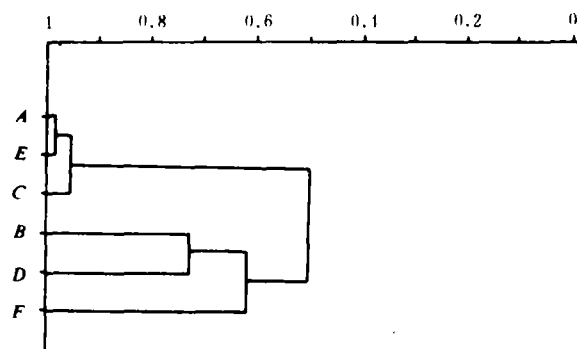


图4 凤山林剖面左置换谱系图

以上置换概率的计算结果表明:

凤山林剖面中, 不论在左置换、右置换或互置换中, 云母变粒岩 (A) 与斜长变粒岩 (C), 石英片岩 (E) 与斜长变粒岩 (C) 及云母变粒岩 (A) 与石英片岩 (E) 之间均有较高的相似程度, 置换的可能性大。另外, 左、右置换的谱系图十分相似, 揭示了凤山林剖面上下层序具有明显的对称性。

西山剖面中, 各岩性间的相似程度都不高,

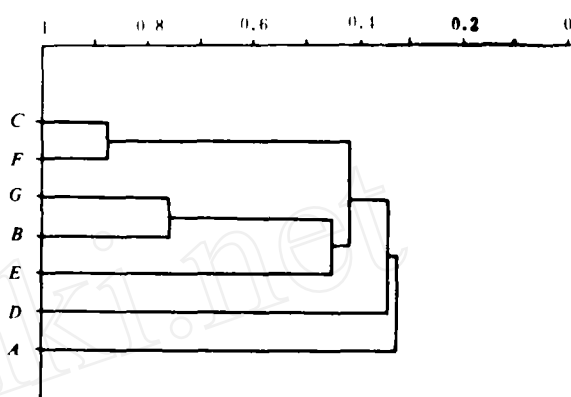


图5 西山剖面左置换谱系图

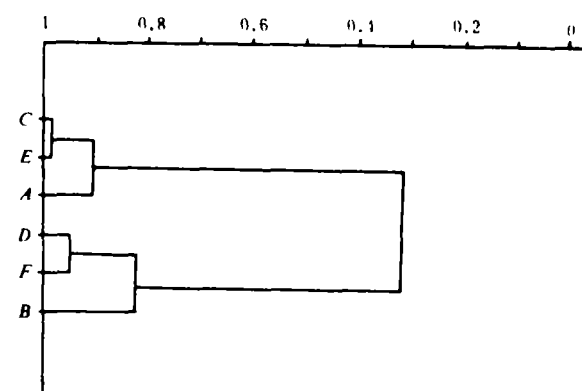


图6 凤山林剖面右置换谱系图

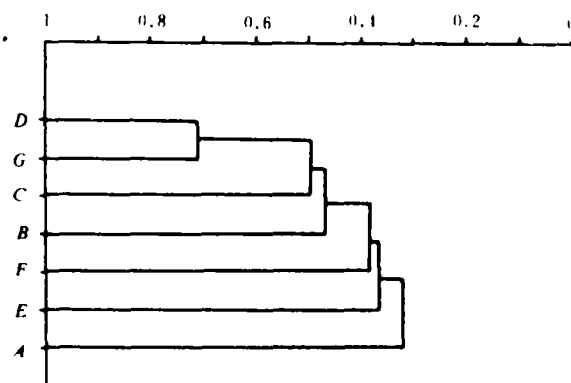


图7 西山剖面右置换谱系图

仅在左置换中斜长变粒岩 (C) 和透辉透闪岩 (F) 有较高的相似性。云母变粒岩 (A) 和其他各类岩性的相似系数都较小, 反映出云母变粒岩 (A) 为一个较稳定的岩性层。另外, 左、右置换的结果相差较大, 说明西山剖面岩层序列不呈对称性。

3. 两剖面地层统计意义上的特征 两剖面

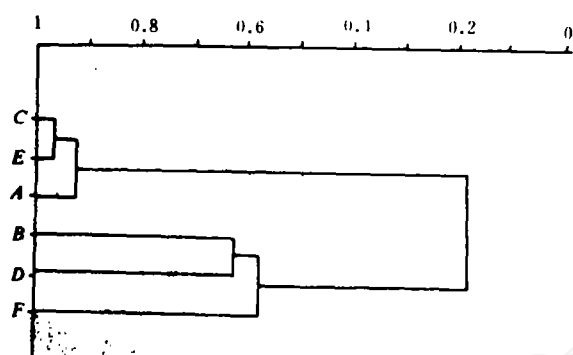


图8 凤山林剖面互置接触谱系图

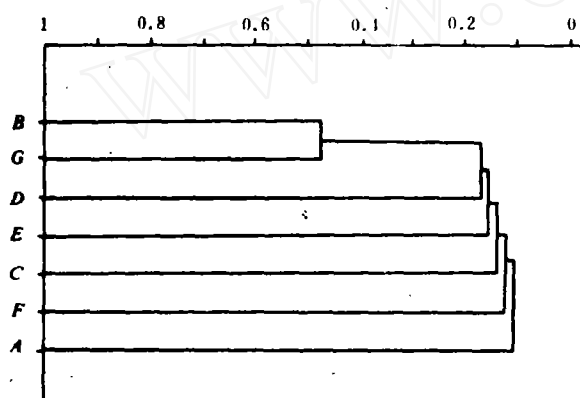


图9 西山剖面互置接触谱系图

岩性及岩层层序在统计意义上的共同点为:

(1) 两剖面上出现概率最大的岩性层都有云母片岩(D)。

(2) 两剖面的主要沉积韵律都存在相同的二元沉积韵律 $D \rightarrow A \rightarrow D$ 。

上述统计特征的共同点表明, 两剖面地层总的沉积趋势大致相同, 有一定的继承性。

两剖面统计意义上的差异性为:

(1) 两剖面地层沉积的岩性类型比例有较大

差异。凤山林剖面云母片岩(D)和云母变粒岩(A)占总层数的75.05%, 而西山剖面云母片岩(D)占27.36%, 其他各类岩性层各占10%左右。

(2) 凤山林剖面的沉积韵律主要是 $D \rightarrow A \rightarrow D$, 而西山剖面除前者外还有 $D \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow D$ 。

(3) 凤山林剖面各岩性间的置换性都较高, 特别是云母变粒岩(A)和石英片岩(E), 石英片岩(E)和斜长变粒岩(C), 斜长变粒岩(C)和云母变粒岩(A)的相似系数分别达0.98, 0.97和0.96。西山剖面中各岩性的置换性普遍较低, 特别是云母变粒岩(A)置换性最差, 为一稳定岩性。

(4) 凤山林剖面岩层层序具有明显的对称性, 西山剖面则不具这种对称性。

两剖面统计意义上的差异表明, 两剖面的地层难以对比, 应不属于同一层位, 而是连续沉积的上下两个不同层位。这可说明西山—七里岚倒转向斜不存在, 而是一单斜岩层。

矿区构造模式的确定—— 阶梯函数分析

在否定了西山—七里岚向斜的存在后, 采用阶梯函数分析方法确定矿区构造的新模式。该法是基于把经过复杂构造变动的岩层顺序视为一个随机过程, 用随机函数的形式进行研究。分析中, 利用了岩层的岩性状态变更及其厚度这两个参数。

在本矿区选用贯穿全区地层的0线剖面进行分析, 剖面全长2000余米。为统计方便, 同样将岩层按岩性归并为5类: A—云母变粒岩, B—

0线剖面不同类岩性接触频率及相对厚度表

表4

	A	B	C	D	E	Σ
A	x	5/0.044	0	5/0.044	2/0.018	12/0.105
B	6/0.053	x	11/0.096	18/0.158	7/0.061	42/0.368
C	0	10/0.088	x	6/0.053	1/0.009	17/0.149
D	4/0.035	18/0.158	7/0.061	x	2/0.018	31/0.272
E	1/0.009	9/0.078	0	2/0.018	x	12/0.105
Σ	11/0.096	42/0.368	18/0.158	31/0.272	12/0.105	114/1.00
相对厚度%	0.043	0.357	0.154	0.378	0.068	1.00

斜线下方为接触频率, 斜线上方为接触频数。

斜长变粒岩, C —透辉透闪岩, D —云母片岩, E —石英片岩。首先统计各类岩性的岩层厚度频率分布。据统计结果, 本区各岩性厚度频率分布均服从指数分布型式, 表明该剖面岩层序列可视为平稳随机过程序列。这是应用阶梯函数分析的前提。进一步计算剖面上岩性状态的接触频率及相对厚度, 统计结果见表 4。

$$y_1 = - \sum_{j=2}^n (\gamma \cdot m_j + \mu / \sqrt{P_{1j}})$$

$$y_i = \sum_{j=1}^{i-1} (\gamma \cdot m_j + \mu / \sqrt{P_{ij}}) - \sum_{j=i+1}^n (\gamma \cdot m_j - \mu / \sqrt{P_{ij}})$$

$$y_n = \sum_{j=1}^{n-1} (\gamma \cdot m_j + \mu / \sqrt{P_{nj}})$$

式中, n —以岩性阶为序的岩层状态数; y_i —第 i 类岩性的轴距; m_j —第 j 类岩性层的相对厚度; P_{ij} —第 i 类与第 j 类岩层的接触频率; μ , γ —与图形比例 R 有关的常数, 本文令 $\gamma = 20$, $\mu = 0.2$ 。计算岩性阶中每个岩性的轴距, 得:

$$y_1 = -22.9 \text{ (石英片岩类)}$$

$$y_2 = -16.8 \text{ (云母变粒岩类)}$$

$$y_3 = -6.7 \text{ (云母片岩类)}$$

$$y_4 = 8.2 \text{ (斜长变粒岩类)}$$

$$y_5 = 19.5 \text{ (透辉透闪岩类)}$$

以 0 线剖面岩层序列各岩性层厚度为横坐标, 对应的岩性轴距为纵坐标绘制阶梯函数图 (图 10)。

为减少岩层交替上的随机干扰, 用滑动平均法进行滤波。窗口长取 100 米, 步长取 20 米。据公式, $y(x) = 1/10 \sum_{i=1}^m k_i y_i$, 计算 x 点的滑动平均值 (式中, k_i 为窗口中第 i 类岩性的长度; y_i 为第 i 类岩性的轴距; m 为窗口内出现的状态数; x 为计算点的编号)。计算结果置于窗口的中间位置, 并以其值为纵坐标的值, 在阶梯函数图上绘制成一条曲线, 即一阶函数曲线。

再按公式 $y'(x) = 0.2 \sum_{i=1}^n i \cdot y(x+i)$ 计算一阶函数的导数——称二阶函数值, 并以其值为纵坐标值, 在阶梯函数图上再作一条二阶函数曲线 (见图 10)。

据表 4, 计算所有可能的 5 种岩性层组合排列序列的频率和, 从中选择出具有最大频率和的序列 “EADBCE”, 其频率和 $P = P_{EA} + P_{AD} + P_{DB} + P_{BC} + P_{CE} = 0.316$, 以该序列为岩性阶。它表示剖面上岩性更变的最可能出现的序列。

按公式:

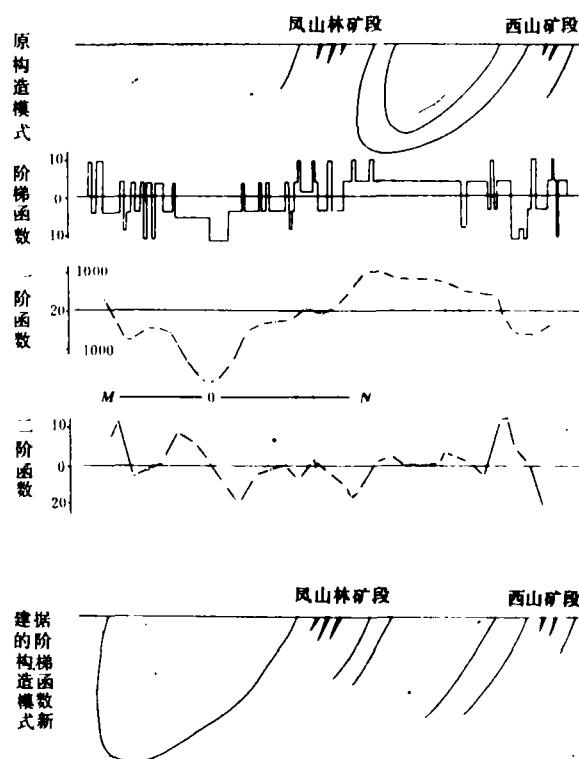


图 10 某铅锌矿区 0 线剖面阶梯函数曲线及构造模式图

阶梯函数分析就是根据反映剖面上岩层分布密度特点的一阶函数和提供岩性变更“速度”特征的二阶函数, 来进行构造分析和地层研究的。

阶梯函数曲线的特征能较直观地反映剖面中岩层的内部结构规律。一阶函数曲线的周期性反

映了大断裂构造变动造成的岩层大幅度重复的结果,而一阶函数曲线的对称性则反映了对称轴两侧同样岩性(统计意义上的)在地表对称出露的结果。二阶函数曲线可进一步确定对称轴的位置和对称的范围。

在0线剖面的阶梯函数曲线中,可看到一个较大的对称曲线,它以0点为中心,对称范围至少在M、N之间。而在原西山—七里岚倒转向斜的位置上,一阶函数曲线未见对称的特征。

据阶梯函数曲线的特征,可认为矿区的主要构造模式应是以轴面在0点的一个大褶皱构造。原西山和凤山林地层均是这个褶皱的东翼,而南岭和良源地层为该褶皱的西翼。这种认识已在对

矿区地层进行重新划分对比后被证实,从而这给矿区的远景评价,工程设计提供了重要的依据。

此外,我们还应用判别分析、有序地质量最优分割法和 T^2 检验法对矿区中的地层对比、地层划分及地层时代等问题进行了研究,均取得较满意的效果。

主要参考文献

- [1] 赵鹏大等:《矿床统计预测》,北京,地质出版社,1983年
- [2] 中国科学院地质研究所:《数学地质引论》,北京,地质出版社,1977年

用数理统计方法校正砂金矿品位

杨志刚

(长春黄金设计院)

在砂金矿床勘探中,由于砂矿含金量品位很低和钻孔取样精度差,一般都要施工少量浅井来检查和校正钻孔品位。常以浅井和钻孔的品位数据用传统方法算出品位校正系数,再对砂矿品位予以校正,其计算公式为:

$$C = KX \quad (1)$$

式中,C—校正后品位; X —钻孔取样平均品位; K —品位校正系数。

品位校正系数 K 由下式求出:

$$K = \frac{\sum Y_i L_i}{\sum X_i L_i} \quad (2)$$

式中, Y_i —浅井取样品位; X_i —浅井井位钻孔; L_i —矿体厚度。

显然,上式计算没有回答浅井与钻孔品位之间是否存在相关关系,并且两者取样品位数据只用简单的倍数关系表示也不尽合理。因此,笔者提出以相关系数分析浅井与钻孔品位之间的相关性,用回归方程方法来校正品位。

现以四川漳腊砂金矿为例,介绍用数理统计方法

校正砂矿品位。该矿勘探浅井和相应井位钻孔取样品位数据列见表。

首先进行相关分析,相关系数公式为:

$$\gamma = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

式中, γ —相关系数; X_i , $\bar{X}$ —单个钻孔品位和参与计算的钻孔平均品位; Y_i , $\bar{Y}$ —单个浅井品位和浅井平均品位

将表内数据输入计算机,计算得:

$$\gamma = 0.828$$

所求得的相关系数是否足以说明浅井品位与钻孔品位存在线性相关关系呢?还必须进行显著性检验。

在给定的显著性水平 α 下,取不同的观测值组数 n 给出的相关系数达到显著时,所要求的最小值为临界值 $R_{\alpha}(n-2)$ 。该矿床浅井与钻孔对照观测组数为 $n=13$,取显著性水平 $\alpha=0.01$,查相关系数检验表得 $R_{0.01}(11)=0.06835$ 。可见所求得的相关系数 γ 大于临界值 R ,故所求相关关系显著,可配回归直线方程校正品位,其公式为: