地质分类中一种新的模糊聚类方法

郭光裕 林卓虹 丛桂新 朱学文

没有分类，就没有鉴别，也就无法认识客观事物。因此，分类是各个领域中经常遇到的基本问题之一。

以定量分类为特征的聚类分析法，和一般的定性分析方法相比，失误的可能性小得多。因此，在分类问题上，该方法已经起了很大作用。

但是，和其它任何方法一样，聚类分析法也有局限性。

1.聚类分析法是建立在普通集合论基础之上的。任一集合A的特征函数 $C_A(X)$ 只能用二值变量来描述。即：

$$C_A(X)=\begin{cases}1 & (\text{当 } X\in A \text{ 时})\\ 0 & (\text{当 } X\bar{\in} A \text{ 时})\end{cases}$$

这样，在分类时，论域中每个元素X和任意集合A的关系，只有$X\in A$和$X\bar{\in}A$两种情况。但是，自然界中的大量客观事物在分类问题上，往往表现的并不那么分明。特别是各种地质现象，都是长期，多次地质作用的结果。一个化学组份可以在多个地质作用阶段活动。一个样品空间大多数表现为多次地质作用的迭加。反映到分类问题上，论域中某元素X可能既属于集合A，同时又属于集合B。只是在归属程度上有所区分。例如（例1），某中温热液型金矿床包括三个矿化阶段。各阶段标志元素组合分别为（1）{Au、Ag、Bi、Te}。（2）{Au、Ag、Cu}。（3）{Ag、Cu、Pb}。对矿石中Au、Ag、Cu、Pb、Bi、Te化学分析数据的一组抽样，以相关系数为统计量进行R型聚类分析。表1列出了元素间相关系数。图1是标志元素的分群谱系图。若以r＝0.75为分群临界值，把标志元素划分为（1）{Au、Te、Bi}和（2）{Ag、Cu、Pb}两类。显然达不到提炼三个矿化阶段标志元素组合目的。

金矿化标志元素相关系数表 表1

	Au	Ag	Cu	Pb	Bi	Te
Au	1	0.83	0.88	0.24	0.77	0.98
Ag		1	0.75	0.85	0.80	0.77
Cu			1	0.85	0.34	0.20
Pb				1	0.24	0.25
Bi					1	0.80
Te						1

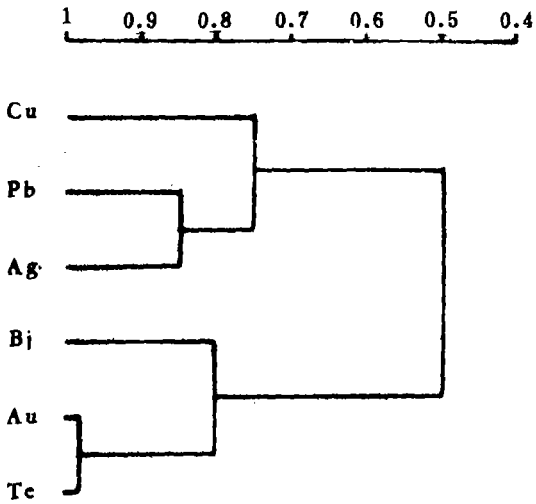

图1 金矿化标志元素分群谱系图

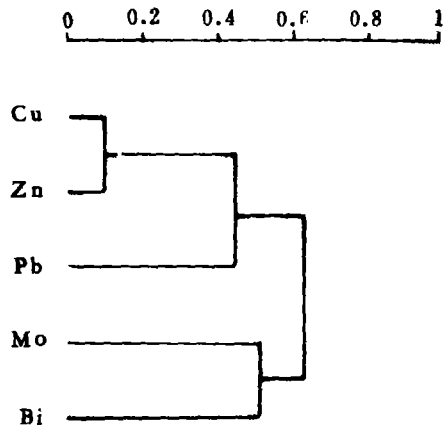

图2 多金属矿化标志元素分群谱系图

2.“物以类聚”是分群的基本原则。但是，聚类分析法有时并不能满足这一原则。例如（例2），某多金属硫化物矿床包括四个矿化阶段。各阶段标志元素组合分别为（1）{Pb、Zn}。（2）{Cu、Zn}。（3）{Cu、Mo}。（4）{Bi、Mo}。对矿石中Cu、Pb、Zn、Bi、Mo化学分析数据的一组抽样，以欧氏距离为统计量进行聚类分析。表2和图2列出了分析结果。若以d＝0.55为分群临界值，把标志元素分为（1）{Cu、Pb、Zn}（2）{Bi、Mo}两群。显然达不到提炼四个矿化阶段标志元素组合目的。值得一提的是，第一分群中Cu和Pb的欧氏距离高达0.7。在矿化期中，二元素分别在不同的矿化阶段活动（Cu活跃在第二，第三两个矿化阶段，Pb活跃在第一矿化阶段）。但聚类分析结果却错误地把它们分在一起。Cu、Mo二元素同时活跃在第三矿化阶段。它们的欧氏距离为0.3。但聚类分析结果却把它们分在不同的群里。

多金属矿化标志元素欧氏距离表 表2

	Cu	Zn	Mo	Pb	Bi
Cu	0	0.1	0.3	0.7	0.8
Zn		0	0.8	0.2	0.9
Mo			0	0.6	0.5
Pb				0	0.6
Bi					0

模糊聚类分析法依照“物以类聚”原则，提出具有模糊等价关系的元素才能聚为一类。这种规定无疑是十分正确的。但在自然界中很少有这种模糊等价关系。为此，人们根据“传递闭包”理论，首先把只具有自反性和对称性的模糊相似关系R进行多次自乘，使之变换成模糊等价关系后再聚类。此外，还提出了“最大树法”，“编网法”等一些模糊聚

类方法。这些方法对于归属关系比较明确的分类问题是有效的。例如（例3），某接触交代型多金属硫化物矿床标志元素组合分带：（1）｛Hg、Sb、Ag｝。（2）｛Pb、Zn｝。（3）｛Mo｝。根据矿石中Hg、Sb、Ag、Pb、Mo、Zn化学分析数据的一组抽样，计算各元素间模糊相似关系为：

$$\underset{\sim}{R}=\begin{pmatrix} 1 & 0.8 & 0.9 & 0.2 & 0.1 & 0.3 \\ 0.8 & 1 & 0.75 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.9 & 0.75 & 1 & 0.3 & 0.1 & 0.2 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 1 & 0.9 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.1 & 0.9 & 1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.1 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 1 \end{pmatrix}$$

不难看出，$\underset{\sim}{R}$是一个模糊相似关系矩阵。经变换得模糊等价关系矩阵：

$$\underset{\sim}{R}^4=\begin{pmatrix} 1 & 0.8 & 0.9 & 0.4 & 0.4 & 0.3 \\ 0.8 & 1 & 0.8 & 0.4 & 0.4 & 0.3 \\ 0.9 & 0.8 & 1 & 0.4 & 0.4 & 0.3 \\ 0.4 & 0.4 & 0.4 & 1 & 0.9 & 0.3 \\ 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.9 & 1 & 0.3 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 1 \end{pmatrix}$$

分群临界值 $r_\lambda=0.75$时，得截矩阵 $F_{0.75}$：

$$F_{0.75}=\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

从而得三个分群：（1）｛Hg、Sb、Ag｝。（2）｛Pb、Zn｝。（3）｛Mo｝。和矿床地球化学分带的标志元素组合特征一致。

图3是用最大树法连接的模糊关系树。当分群临界值 $\gamma_\lambda=0.75$时，同样把元素划分为与地球化学分带元素组合特征一致的三个分群。

但是，对于自然界中大量存在的，研究对象同时属于多种类型的复杂情况，用上述方法分类，往往得不到令人满意的结果。例如，例1中各元素间相关关系矩阵，可看作一个模糊相似关系矩阵。经多次变换得模糊等价关系矩阵：

$$\underset{\sim}{R}^4 \circ \underset{\sim}{R}^4 = \underset{\sim}{R}^4 = \begin{pmatrix} 1 & 0.85 & 0.88 & 0.85 & 0.80 & 0.98 \\ 0.85 & 1 & 0.85 & 0.85 & 0.80 & 0.85 \\ 0.88 & 0.85 & 1 & 0.85 & 0.80 & 0.88 \\ 0.85 & 0.85 & 0.85 & 1 & 0.80 & 0.85 \\ 0.80 & 0.80 & 0.80 & 0.80 & 1 & 0.80 \\ 0.98 & 0.85 & 0.88 & 0.85 & 0.80 & 1 \end{pmatrix}$$

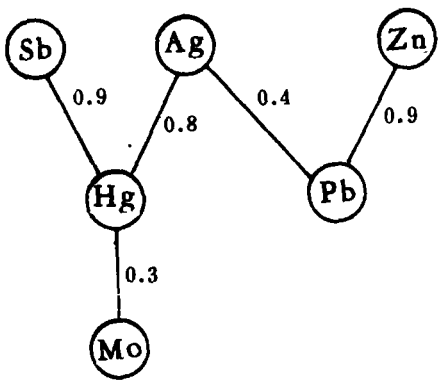

图 3 标志元素模糊关系树

当分群临界值γ_λ =0.75时，所有标志元素都寓于相同的群中。γ_λ =0.85时，分成两个群：（1）{ Au、Ag、Cu、Pb、Te}。（2）{ Bi }。当γ_λ =0.86时，分成四个群：（1）{ Au、Te、Cu }。（2）{ Ag }。（3）{ Pb }。（4）{ Bi }。当γ_λ =0.9时，分成五个群：（1）{ Au、Te }。（2）{ Ag }。{ 3）{Cu }。（4）{ Pb }（5）{ Bi }。各水平截集的分群结果，没有一个和金矿化三个阶段标志元素组合一样的。

为客观进行分类，本文提出一种新的模糊聚类方法。

一、聚类原则：

当研究对象 i 、j 、 k 三者间同时满足下列性质时，把它们聚为一类。

1.自反性 $\gamma_{ii}=1$，$\gamma_{jj}=1$，$\gamma_{kk}=1$

2.对称性 $\gamma_{ij}=\gamma_{ji}$，$\gamma_{ik}=\gamma_{ki}$，$\gamma_{jk}=\gamma_{kj}$

3.传递性 $\gamma_{ij}\geq\gamma_\lambda$，$\gamma_{ik}\geq\gamma_\lambda$，且$\gamma_{jk}\geq\gamma_\lambda$

其中 γ_{ij} —元素 i 和 j 间模糊关系表征数

γ_λ —模糊关系表征数分群临界值

二、聚类步骤

（一）确定分类标志

分类标志不同，分类结果截然不同。例如，一班学生按性别分类和按学习成绩分类。分类结果肯定不同。用热液活动标志元素进行地层划分，一定会得到错误的结果。因此，在分类之前，必须依实际情况及其在分类问题上欲达到的目的，应用适当方法，提炼并确定分类标志及其组合。如果要解决地层划分问题，需要提炼并确定一组受沉积作用制约，且在不同沉积环境中差异显著的地质、地球化学标志。如果进行成矿作用分析，则需要提炼并确定一组与矿化作用关系密切，且在不同矿化阶段差异明显的地质，地球化学标志组合。

（二）构造原始资料矩阵

通过统计抽样，得到论域U中的样品集合$X=\{x_1, x_2, \cdots\cdots, x_n\}$。它和相应的标志集合$Y=\{y_1, y_2, \cdots\cdots y_p\}$构成原始资料矩阵$Z'=X\times Y=\{(x, y)|x\in X, y\in Y\}$

$$Z' = \begin{pmatrix} z'_{11} & z'_{12} & \cdots\cdots z_{1p} \\ z'_{21} & z'_{22} & \cdots\cdots z'_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ z'_{n1} & z'_{n2} & \cdots\cdots z'_{np} \end{pmatrix}$$

（三）对标志值进行正规化变换，得矩阵Z

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots\cdots z_{1p} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots\cdots z_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots\cdots z_{np} \end{pmatrix}$$

其中：

$$z_{ij} = \frac{z'_{ij} - \min\{z'_{ij}\}}{\max\{z'_{ij}\} - \min\{z'_{ij}\}}$$

（四）确定论域U中研究对象间模糊相似关系，构成模糊相似关系矩阵$\underset{\sim}{R}$。

$$R = \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots\cdots \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots\cdots \gamma_{2n} \\ \cdots\cdots & \cdots & \cdots\cdots\cdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdots\cdots \gamma_{nn} \end{pmatrix}$$

计算统计量 γ_{ij} 的方法很多。在地质领域中最常用的方法有以下几种：

1.相关系数

$$\gamma_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n}(Z_{ik} - \bar{Z}_i)(Z_{jk} - \bar{Z}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n}(Z_{ik} - \bar{Z}_i)^2 \cdot \sum_{k=1}^{n}(Z_{jk} - \bar{Z}_j)^2}}$$

2.相似系数

$$\gamma_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} Z_{ik} \cdot Z_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n} z_{ik}^2 \cdot \sum_{k=1}^{n} z_{jk}^2}}$$

3.欧氏距离

$$\gamma_{ij} = \sqrt{\frac{1}{m}\sum_{k=1}^{n}(Z_{ik} - Z_{jk})^2} \qquad (m \le n)$$

（五）计算相对亲密度

论域中任一集合的分类，都是通过集合中元素间按分类标志模糊相似程度对比实现的。从模糊相似关系矩阵$\underset{\sim}{R}$可见，每一行（或列）中的各个元素值，表征该元素所对应的研究对象，与该行主对角线上元素对应的研究对象间的模糊相似程度。我们就是通过元素值的对比，把模糊相似程度相对较高的研究对象聚为一类的。但是，由于各行（或列）主对角线上元素对应的研究对象不同，各行（或列）间用以对比相似性的参照物就不一样。对于任意两个研

究对象 i 和 j 来说，它们在不同行（或列）中的相对相似程度也不一样。为便于对比，把模糊相似关系矩阵$\underset{\sim}{R}$转换为相对亲密度矩阵$\underset{\sim}{E}$。作法如下：

1.把$\underset{\sim}{R}$的每一行元素按模糊相似程度由小到大顺序排列，依自然数从 1 到 n 赋值，构成模糊矩阵$\underset{\sim}{E}''$。

2.依 $e'_{ij}=\frac{e''_{ij}}{n}$ 进行变换，构成模糊矩阵$\underset{\sim}{E}$

3.依 $e_{ij}=e_{ji}=\wedge(e'_{ij},\ e'_{ji})$进行变换，构成相对亲密度矩阵$\underset{\sim}{E}$。

$$\underset{\sim}{E}=\begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots\cdots e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots\cdots e_{2n} \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdots\cdots\cdots \\ e_{n1} & e_{n2} & \cdots\cdots e_{nn} \end{pmatrix}$$

不难看出，相对亲密度矩阵$\underset{\sim}{E}$的各个元素对应的研究对象间满足自反性和对称性。

（六）构造基本模糊子集

1.确定分群临界值 e_λ，构造入水平截矩阵

确定临界值的方法有两种。一是根据地质研究中的认识，经验地确定某一个相对亲密度值为分群临界值。二是确定一系列相对亲密度值为临界值，通过不同水平分群结果的对比，来确定临界值。

2.依分群临界值 e_λ，构造由二值逻辑｛0，1｝组成的入水平截矩阵 F_λ：

$$F_\lambda=\begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots\cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots\cdots & f_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots\cdots & \cdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \cdots\cdots & f_{nn} \end{pmatrix}$$

$$f_{ij}=\begin{cases} 1 & (\text{当 } e_{ij}\geq e_\lambda \text{ 时}) \\ 0 & (\text{当 } e_{ij}<e_\lambda \text{ 时}) \end{cases}$$

3.把满足传递性的研究对象聚为一类，它们构成若干个基本模糊子集 $\underset{\sim}{A}_j$（$j=1,2,\cdots\cdots m$）。基本模糊子集表征分类标志相似程度最高的研究对象集合。作为一种重要信息，参与分类的最终决策。

4.计算研究对象在各基本模糊子集 $\underset{\sim}{A}_j$ 中的隶属度。隶属函数为 $\mu_{\underset{\sim}{A}_j}(Xi)$

$$\mu_{\underset{\sim}{A}_j}(Xi)=\frac{\mu'_{\underset{\sim}{A}_j}(Xi)}{\max\{\mu'_{\underset{\sim}{A}_j}(Xi)\}}$$

（$i=1,\ 2,\cdots\cdots n;\ j=1,\ 2\cdots\cdots m$）

其中：$\mu'_{\underset{\sim}{A}_j}(Xi)=\frac{1}{k}\sum_{\alpha=1}^{k}e_{\alpha i}$

（k 为基本模糊子集元素数）

研究对象在基本模糊子集中的隶属度，表征各研究对象与各基本模糊子集间关系密切程度。当 $\mu_{\underset{\sim}{A}_j}(Xi)=1$时，表明研究对象 Xi 和基本模糊子集 $\underset{\sim}{A}_i$ 间关系最密切。当$\mu_{\underset{\sim}{A}_j}(x_i)=0$时，表明Xi和 $\underset{\sim}{A}_i$ 间没有关系。研究对象在基本模糊子集中的隶属度，作为一种参考信息，参与分类的最终决策。

5.计算基本模糊子集的线性模糊度 $l(A_j)$

$$(1)\ \mu_{\underset{\sim}{A_j}}(X_i)=\begin{cases}1 & (\text{当}\mu_{\underset{\sim}{A_j}}(X_i)>0.5\text{ 时})\\ 0 & (\text{当}\mu_{\underset{\sim}{A_j}}(X_i)\leq 0.5\text{ 时})\end{cases}$$

$$(2)\ l(\underset{\sim}{A_j})=2\delta(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{A})=\frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n}k_i\left|\mu_{\underset{\sim}{A_j}}(X_i)-\mu_{\underset{\sim}{A_j}}(X_i)\right|$$

其中 $k_i=\begin{cases}2g & (\text{当研究对象为}\underset{\sim}{A_j}\text{ 的基本元素时})\\ g & (\text{否则})\end{cases}$

$$g=\frac{n}{n+h}$$

h 为 $\underset{\sim}{A_j}$ 的基本元素个数

基本模糊子集的线性模糊度表征基本模糊子集在论域U中的模糊程度。当 $l(\underset{\sim}{A_j})=1$ 时，表明该基本模糊子集与论域U中所有研究对象关系十分密切。在这种极端情况下，该基本模糊子集不可能单独构成一个分群。当 $l(\underset{\sim}{A_j})=0$ 时，表明该基本模糊子集与论域U中除组成该基本模糊子集的基本元素外的所有研究对象之间没有任何关系。自成一个独立的分群。基本模糊子集的线性模糊度，作为一种参考信息，参与分类的最终决策。

（七）计算基本模糊子集间贴近度

计算贴近度的方法有下列两种：

1.贴近度—加权海明距离

$$W(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B})=1-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}k_i\left|\mu_{\underset{\sim}{A}}(X_i)-\mu_{\underset{\sim}{B}}(X_i)\right|$$

其中：

$$K_i=\begin{cases}3g & (X_i\in\underset{\sim}{A}\text{ 且 }X_i\in\underset{\sim}{B})\\ 2g & (X_i\in\underset{\sim}{A}\text{ 或 }X_i\in\underset{\sim}{B})\\ g & (\text{其它})\end{cases}$$

$$g=\frac{n}{n+h+2p}$$

P：$X_i\in\underset{\sim}{A}$ 且 $X_i\in\underset{\sim}{B}$ 的个数

h：$X_i\in\underset{\sim}{A}$ 或 $X_i\in\underset{\sim}{B}$ 的个数

2.贴近度

$$W(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B})=\frac{1}{2}\left[\underset{\sim}{A}\cdot\underset{\sim}{B}+(1-\underset{\sim}{A}\odot\underset{\sim}{B})\right]$$

其中 $\underset{\sim}{A}\cdot\underset{\sim}{B}=\vee(\mu_{\underset{\sim}{A}}(X_i)\wedge\mu_{\underset{\sim}{B}}(X_i))$

$\underset{\sim}{A}\odot\underset{\sim}{B}=\wedge(\mu_{\underset{\sim}{A}}(X_i)\vee\mu_{\underset{\sim}{B}}(X_i))$

贴近度表征基本模糊子集间关系密切程度。当 $W(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B})=1$ 时，表明 $\underset{\sim}{A}$，$\underset{\sim}{B}$ 两个基本模糊子集是不可分的。当 $W(\underset{\sim}{A},\underset{\sim}{B})=0$ 时，表明 $\underset{\sim}{A}$ 和 $\underset{\sim}{B}$ 间没有丝毫关系。因此，它们只能各自独立存在。

（八）确定贴近度的分群临界值 W_λ，构成入水平截矩阵。把满足传递性的基本模糊子集聚为一类。

贴近度作为一重要信息，参与分类的最终决策。

（九）分类的最终决策

1.根据基本模糊子集，基本模糊子集线性模糊度，研究对象在基本模糊子集的隶属度，基本模糊子集间贴近度提供的信息，结合地质、地球化学理论和认识，提出最佳分类方案。

2.描述最佳分类方案中各分群的特征，以及各分群间的关系。即依（六）、（七）中给出的数学模型，分别计算最佳分类方案中各分群的隶属度、线性模糊度、贴近度。

（十）最佳分类方案的地质、地球化学分析

三、实例

某中温热液充填型金矿床，经矿床学研究，包括三个金矿化阶段。各阶段的岩石特征为（1）含金黄铁矿乳白色石英脉。（2）含金烟灰色石英黄铁矿脉。（3）含金石英多金属硫化物脉。为研究矿床原生金矿化地球化学特征，对样本大小为76的样品集合中 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、As、Bi、W、Te、Se 等化学分析数据，按文中方法进行模糊聚类分析。根据基本模糊子集（图 4）、基本模糊子集线性模糊度、元素在基本模糊子集中的隶属度、基本模糊子集间贴近度（图 5）等提供的信息，结合矿床学、矿物学、地球化学研究成果，把标志元素划分为四群：

1. Au — Ag — Bi — Te — Cu — Zn
2. Au — Ag — Bi — Cu — Pb — As — Se — W
3. Au — Ag — W — Te
4. Mo

元素在各分群中的隶属度矩阵为：

$$\underset{\sim}{M}=\begin{pmatrix} 0.9216 & 1.000 & 0.9811 & 0.5641 & 1.000 & 0.1818 & 0.6111 & 1.000 & 0.5600 & 1.000 & 0.8070 \\ 0.7647 & 0.9034 & 1.000 & 1.000 & 0.4655 & 0.1591 & 1.000 & 0.7500 & 0.8800 & 0.6702 & 1.000 \\ 1.000 & 0.9886 & 0.9056 & 0.7308 & 0.6724 & 0.1818 & 0.7083 & 0.8700 & 1.000 & 0.9574 & 0.7368 \\ 0.1176 & 0.1363 & 0.3018 & 0.1538 & 0.8275 & 1.000 & 0.1667 & 0.1200 & 0.4800 & 0.3829 & 0.8421 \end{pmatrix}$$

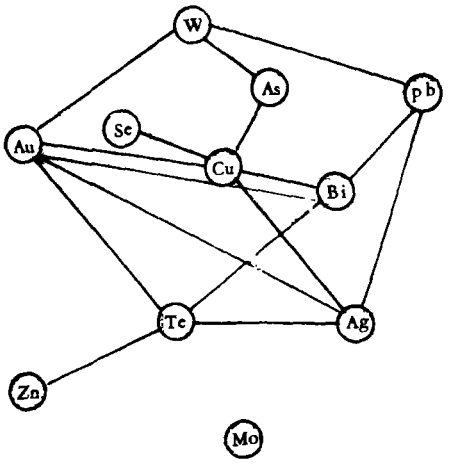

图 4 $e_\lambda=0.5$ 时元素分群图

各分群的线性模糊度为：

$$\underset{\sim}{L}=(0.2158 \quad 0.2482 \quad 0.2221 \quad 0.3649)$$

各分群间贴近度为：

$$\underset{\sim}{W}=\begin{pmatrix} 1.000 & 0.7602 & 0.8849 & 0.4089 \\ & 1.000 & 0.8173 & 0.3855 \\ & & 1.000 & 0.3733 \\ & & & 1.000 \end{pmatrix}$$

根据矿床学、矿物学及地球化学研究取得的认识，确定金、银、钨、碲、为第一矿化阶段的地球化学标志组合。在该阶段中，沉淀乳白色石英和少量粗粒全自形晶结构的黄铁矿。金、

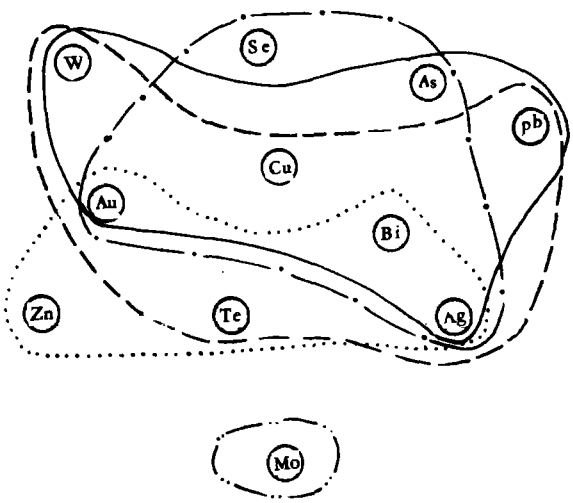

图 5 $W\lambda = 0.7$时基本模糊子集分群图

银呈银金矿、自然金包含于黄铁矿晶体中，或赋存于黄铁矿、石英晶隙中。钨和碲呈金属杂质分布于矿石中。

金、银、铋、碲、铜、锌是第二金矿化阶段的地球化学标志组合。在该阶段中，沉淀烟灰色石英和细粒半自形晶和它形晶结构的黄铁矿。金、银呈银金矿赋存于黄铁矿，石英晶隙、裂隙中。铋、碲和金、银呈金属互化物显微包体混杂于黄铁矿中。铜和锌呈金属杂质混杂于矿石中。

金、银、铜、铅、铋、砷、硒、钨是第三金矿化阶段的地球化学标志组合。在该阶段中，沉淀黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、斜方辉铅铋矿、辉铋矿、毒砂及石英、方解石等。金、银呈银金矿、金银矿、自然金赋存于上述矿物晶隙和裂隙中。在矿化阶段早期，硒类质同像代换硫进入黄铜矿晶格。砷除了形成毒砂外，以铜一砷硫盐形式和黄铜矿一起形成类质同像混晶。在矿化阶段晚期，砷和银一起类质同像代换铅赋存于方铅矿晶格中。钨的存在形式尚不清楚。

钼和金矿化没有关系，在区域上，它是一期热液活动的主要元素。和它一起活动的可能还有锌、硒。

参 考 文 献

1. 贺仲雄，1983，模糊数学及其应用。天津科学技术出版社
2. 冯德益、楼世博等，1983，模糊数学方法与应用。地震出版社
3. 楼世博、金晓龙，模糊模式识别与聚类分析。国外自动化杂志，1980年第3期
4. A. Kaufmann. 1975, Introduction to The theory of Fuzzy Subets

A NEW METHOD OF FUZZY CLUSTERING IN THE GEOLOGICAL CLASSIFICATION

Guo Guangyu Lin Zhuohueng
Chu Xuewen Cun Gueixin

Abstract

The prolongation and complexity of geological processes have resulted in many metallogenic stages. As data collected from geologic bodies are mostly products of polygenetic and superimposed processes, so the geologic marks or sample classification thus become obscure and complicated and satisfactory results could not be obtained using the normal cluster analysis and fuzzy clustering for classification. On the basis of the fuzzy sets theory, a new method in fuzzy clustering is presented in this paper, which can fully collect genetic information and make sieve analysis and classification correctly for the geological products.

Effective results in study of metallogenic processes of gold deposits in Jiaodong area have been achieved.