

## 实例

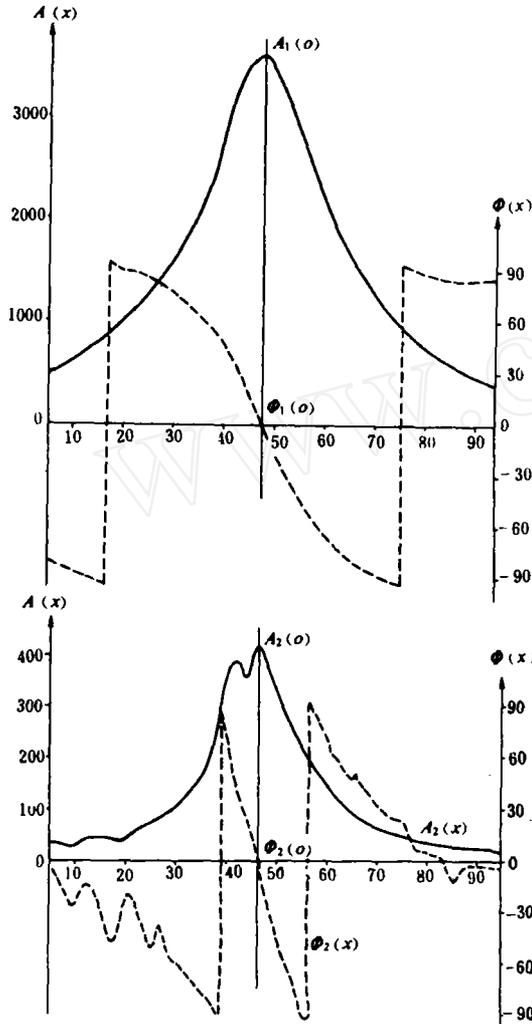


图3 天湖磁异常的复合异常(上图)与复合梯度

(下图)的振幅和相位曲线

最大不超过4%。

限于篇幅,只绘出了第4种模型的振幅和相位曲线(见图1)。

由于作者手头缺少野外实测曲线。现取天湖铁矿的一个磁异常剖面进行了解释。该剖面位于呈长轴状的磁性体上,与磁异常体走向垂直,是通过异常中心的一条剖面。异常曲线(图2)规则,近于对称,可看成是顺层磁化矿体的异常。前人曾用半极值点等一般方法,求得顶板埋深约283米,  $2m > 0.02\text{CGSM}$ ,经验证,计算结果与实际情况极为近似。我们将实测异常转换为复合异常与复合梯度异常的振幅和相位曲线后,进行了再解释。绘得的图见图3。虽实测曲线不够光滑,但我们反演解释结果还是令人满意的,其结果是  $h = 274$ 米,  $2m$ 为 $0.1\text{CGSM}$ ,  $Q$ 角 $= 3^\circ$ (可认为是顺层磁化)与前人的结果基本一致。说明所介绍的方法是可以用的。

应该指出,本文所介绍的方法,有计算简便的优点,计算精度也是令人满意的。可以推广用于多种二维模型异常的反演解释。

复合异常与复合梯度两种计算同时使用,可对结果相互补充检验。也可以对异常曲线经过上延或滤波后,再使用所介绍的方法进行推断解释,以提高解释的可靠性。

### 参考文献

- [1] Mohan, N. L. et al.: Geophysics, 1982, Vol. 47, No. 3
- [2] Rao, D. A. et al.: Geophysics, Vol. 46, No. 11
- [3] 熊光楚: 金属矿床磁异常解释推断, 北京, 地质出版社, 1981

## 异常评价的 Fuzzy 数学方法

张守良 孙景春

(华北有色地质勘探公司519队)

### 问题的提出

物化探异常及其推断解释往往带有模糊性,将 Fuzzy 数学方法应用于物化探异常评价是有意义的。对于不同的研究目标或不同精度的测量指标,数学模

型可细致可粗糙。细致些可用于深入研究异常的性质及其与地质体的关系;粗糙些可用于异常的快速评价。本文侧重阐述化探异常快速评价的 Fuzzy 数学方法。

在一定区域内,以测得的数据全体为论域 $X$ , $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_l$ 为论域 $X$ 上的 $l$ 个Fuzzy子集,表示已知模型。这些模型反映 $l$ 个异常类型,并用这些已知模型去判断全区内异常的属性,这样便把异常评价问题归结为模型识别问题。

### 模型识别的基本原则和方法

一个模型识别系统大致由如图1所示的几个部分组成。



图1 模型识别系统框图

模型的识别方法可分为直接方法和间接方法。

#### (一) 模型识别的直接方法和最大隶属原则

设 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_l$ 为论域 $X$ 上表示已知模型的 $l$ 个模糊子集, $x_0 \in X$ 为论域 $X$ 上的待识别模型。判断 $x_0$ 属于哪种模型,是根据隶属函数值直接确定的,且按最大隶属原则进行模型识别,称为模型识别的直接方法。

1. 最大隶属原则: 设 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_l$ 为论域 $X$ 上的 $l$ 个模糊子集, $x_0$ 是 $X$ 上的固定元素,若存在 $i \in \{1, 2, \dots, l\}$ ,使得

$$\mu_{\mu_i} = \bigvee_{k=1}^l \mu_{\mu_k}(x_0)$$

则认为 $x_0$ 相对隶属于 $\mu_i$ , $\mu_{\mu_i}$ 为 $x_0$ 隶属 $\mu_i$ 的隶属函数值,符号“ $\bigvee$ ”表示求最大值运算。

2. 建立隶属函数: 模型识别的直接方法的首要问题,是确定隶属函数。隶属函数的确定因不同的识别对象而异,常采用模糊统计、模糊分布、经验评分等方法。隶属函数要经过检验,并在检验中加以调整,以提高识别的有效性。

#### (二) 模型识别的间接方法与择近原则

模型识别的间接方法是按择近原则进行识别。

1. 贴近度: 贴近度是衡量两个模糊子集之间贴近程度的,表达形式较多,针对具体问题可以给出特定的形式。

定义1: 设 $\mu_1, \mu_2$ 为论域 $X$ 上的模糊子集, $\mu_1 \cdot \mu_2$ 和 $\mu_1 \odot \mu_2$ 分别表示 $\mu_1$ 与 $\mu_2$ 的内积和外积,

$$\mu(\mu_1, \mu_2) = [\mu_1 \cdot \mu_2 + (1 - \mu_1 \odot \mu_2)] / 2 \quad (2.1)$$

则称 $(\mu_1, \mu_2)$ 为 $\mu_1$ 与 $\mu_2$ 的贴近度。

当两个模糊集的贴近程度主要取决于某些或某个指标元素的强弱时,常采用此种形式。

定义2: 设 $\mu_1, \mu_2$ 为论域 $X$ 上的模糊子集,

$$\mu(\mu_1, \mu_2) = 1 - c[d(\mu_1, \mu_2)]^q \quad (2.2)$$

式中:

$$d(\mu_1, \mu_2) = \left[ \sum_{k=1}^n |\mu_{\mu_1}(x_k) - \mu_{\mu_2}(x_k)|^q \right]^{1/q}$$

则称 $(\mu_1, \mu_2)$ 为 $\mu_1$ 与 $\mu_2$ 的贴近度。

2. 择近原则: 择近原则是以贴近度来判断一个待识别模型归属的。

设 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_l$ 为论域 $X$ 上的 $l$ 个模糊子集, $x$ 也是 $X$ 上的模糊子集。

$$\mu(x, \mu_j) = \bigvee_{i=1}^l (\mu(x, \mu_i))$$

则认为 $x$ 相对归属于 $\mu_j$ 。

### 异常评价的Fuzzy模型识别方法

由于异常本身及其从属关系总是带有一定模糊性,而每一个异常又可以用一定模型来表示,因此,把异常评价归结为模型识别问题来解决是比较恰当的。Fuzzy模型识别的直接方法和间接方法均可用于异常评价。

设某测区的异常全体为论域 $X$ , $x_j$ 表示待识别的异常, $x_j$ 有 $p$ 个特征指标: $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p$ 表示已知模型。评价待识别异常 $x_j$ 的基本步骤为:

1. 数据的预处理: 预处理包括消除干扰,统一量级以及为确定隶属函数和建立识别系统等准备工作。

2. 选取特征指标: 论域内的异常总是由许多数值或指标组成,将反映异常本质属性的指标提取出来做为确定隶属函数及计算的变量。

3. 确定隶属函数: 用反映异常本质的特征指标将异常模型化,并用模糊子集将已知模型和待识别模型描述出来。

4. 进行识别变换: 计算待识别模型与已知模型的贴近度。以 $\mu$ 表示各已知模型,即: $\mu = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{l-1}, \mu_l\} = \{\mu_{\mu_1}, \mu_{\mu_2}, \dots, \mu_{\mu_l}\}$ 。

……,  $\underline{y}_l = \{\mu_{y_{l1}}, \mu_{y_{l2}}, \dots, \mu_{y_{lp}}\}$ ,  $\underline{x}_j = \{\mu_{x_{j1}}, \mu_{x_{j2}}, \dots, \mu_{x_{jp}}\}$ 。  $\underline{x}_j$  与  $\underline{y}_l$  的贴程度可表示为:

$$(\underline{x}_j, \underline{y}_l) = \underline{x}_j, (\underline{y}_1, \underline{y}_2, \dots, \underline{y}_l)^T = (\mu_{x_{j1}}, \mu_{x_{j2}}, \dots, \mu_{x_{jp}}), \begin{bmatrix} \mu_{y_{11}} & \mu_{y_{12}} & \dots & \mu_{y_{1p}} \\ \mu_{y_{21}} & \mu_{y_{22}} & \dots & \mu_{y_{2p}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{y_{l1}} & \mu_{y_{l2}} & \dots & \mu_{y_{lp}} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

根据物化探异常的特点, 可以采用以下几种贴程度公式:

$$(1) (\underline{x}, \underline{y}) = [\underline{x} \cdot \underline{y} + (1 - \underline{x} \odot \underline{y})] / 2 \quad (3.2)$$

$$(2) (\underline{x}, \underline{y}) = 1 - c [d(\underline{x}, \underline{y})]^\alpha \quad (3.3)$$

$$d(\underline{x}, \underline{y}) = \left[ \sum_{k=1}^n |\mu_{\underline{x}}(x_k) - \mu_{\underline{y}}(x_k)|^q \right]^{1/q} \quad (3.4)$$

(3.4) 式为  $\underline{x}$  与  $\underline{y}$  的闵可夫斯基距离。

取  $c = 1/n$ ;  $q = 1$ 。则:

$$(\underline{x}, \underline{y}) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |\mu_{\underline{x}}(x_k) - \mu_{\underline{y}}(x_k)| \quad (3.5)$$

取  $c = \sqrt{\frac{1}{n}}$ ,  $q = 2$ , 则:

$$(\underline{x}, \underline{y}) = 1 - \frac{1}{\sqrt{n}} \left[ \sum_{k=1}^n |\mu_{\underline{x}}(x_k) - \mu_{\underline{y}}(x_k)|^2 \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

$$(3) (\underline{x}, \underline{y}) = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_{\underline{x}}(k) \mu_{\underline{y}}(k)}{\left\{ \sum_{k=1}^n \mu_{\underline{x}}^2(k) \sum_{k=1}^n \mu_{\underline{y}}^2(k) \right\}^{1/2}} \quad (3.7)$$

(4) 对于服从正整分布的异常, 可采用公式

$$(\underline{x}, \underline{y}) = e^{-[(a_{\underline{x}} - a_{\underline{y}}) / (b_{\underline{x}} + b_{\underline{y}})]^2} \quad (3.8)$$

(3.8) 式中  $a_{\underline{x}}$ ,  $a_{\underline{y}}$  分别表示  $\underline{x}$ ,  $\underline{y}$  的均值,  $b_{\underline{x}}$ ,  $b_{\underline{y}}$  分别表示  $\underline{x}$ ,  $\underline{y}$  的方差。

5. 识别判决: 这是模型识别的最后一步, 选取决策原则, 做出待识别模型的归属。当用直接方法时选取最大隶属原则, 用间接方法时选取择近原则。

$$(\underline{x}_j, \underline{y})_{\max} = \bigvee_{k=1}^l (\underline{x}_j, \underline{y}_k)$$

记下获取极大值的序号  $k$ , 即得到所归属的异常类型。

## 实 例

应用 Fuzzy 模型识别方法对河北省寿王坟一小寺沟一带分散流异常进行评价和铜铅矿床的预测, 主要结果做以简要的说明。

根据已查明的矿异常、矿化异常等已知类型, 选取 5 个已知模型, 以 Cu, Pb, Zn, Mo, Ag 做为评价指标。

已知模型  $\underline{y}_1, \underline{y}_2, \dots, \underline{y}_5$  分别代表:

1. 斑岩型 Cu, Mo 矿异常;

2. 背景;

3. 铅锌矿化类型异常;

4. 与辉绿岩有关的异常;

5. 夕卡岩型 Cu, Mo 矿异常。

首先将数据进行预处理, 把本区内的分散流数据网格化, 每 1 km<sup>2</sup> 作为一个评价单元, 并将网格化的数



$$\begin{bmatrix} \mu_{y_{11}} & \mu_{y_{12}} & \dots & \mu_{y_{15}} \\ \mu_{y_{21}} & \mu_{y_{22}} & \dots & \mu_{y_{25}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{y_{51}} & \mu_{y_{52}} & \dots & \mu_{y_{55}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.560 & 0.176 & 0.135 & 0.497 & 0.458 \\ 0.035 & 0.041 & 0.065 & 0.015 & 0.001 \\ 0.136 & 0.217 & 0.253 & 0.031 & 0.021 \\ 0.155 & 0.050 & 0.182 & 0.143 & 0.008 \\ 0.200 & 0.116 & 0.212 & 0.041 & 0.133 \end{bmatrix}$$

本区范围共3480个评价单元，异常图及其评价结果如图2所示。图中清晰地展示出各异常所归属的类型和分布情况。

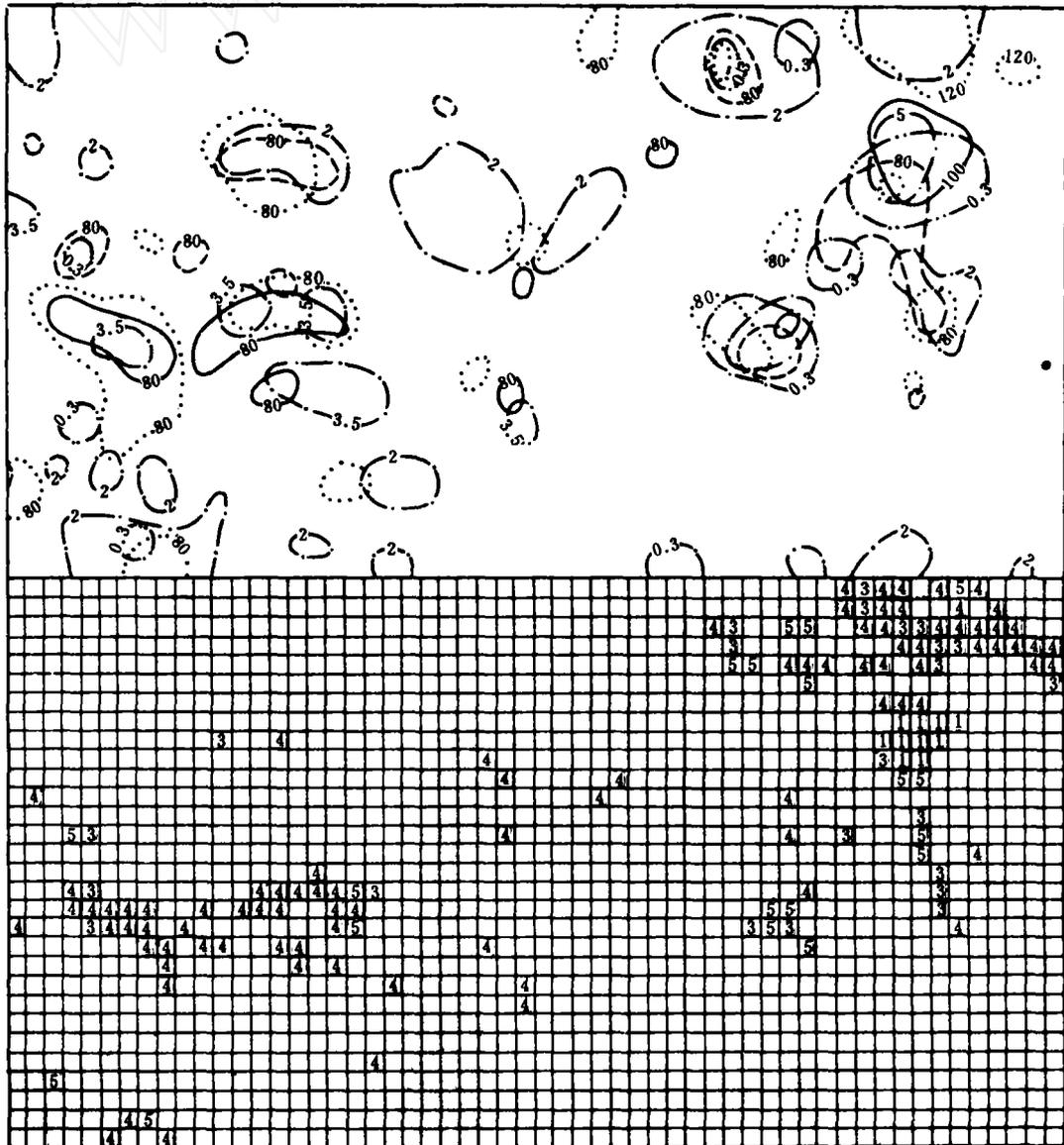


图2-2 寿王坟一小寺沟分散流异常分布及其评价结果  
(图例同图2-1)

评价结果表明,区内已查明性质的异常归类是正确的,说明该方法具有一定的可靠性,例中尽管采用简单的方法确定隶属函数,Fuzzy模型也比较粗糙,但评价结果却是合理的。对测量精度高的数据,应把模型搞得细致些,还可以对Fuzzy集及识别变换进行加权处理。

Fuzzy模型识别在异常评价中的应用是一个新领域,很多问题有待深入研究和解决。但该方法具可塑性,对不同情况可采取不同的隶属函数,方法较灵活,

计算简单,容易检验,只要深入研究,相信在物化探异常评价中会取得较好的效果。

本例计算是在DJS-21机上用《Fuzzy模型识别计算程序》完成,也用T1-59袖珍机做过计算。

#### 主要参考文献

- [1] 於崇文:《数学地质的方法与应用》,北京,冶金工业出版社,1978年  
 [2] 贺仲雄:《模糊数学及其应用》,天津科学技术出版社,1982年

## 铜山岭多金属矿田表生元素地球化学特征及其找矿效果

吴守福

(湖南有色金属地质勘探公司206队)

### 地质概况

矿田位于南岭纬向构造带中段北缘,矿区在大源岭背斜西翼,褶皱轴呈南北走向。地层主要为石炭系和泥盆系的碳酸盐岩及部分碎屑岩。区内构造以断裂为主,新华夏体系北北东向断裂为本区的导矿构造。岩浆岩以花岗闪长岩为主,并有晚期花岗斑岩、石英斑岩及煌斑岩脉。矿床以铜、铅、锌为主,次为黄铁矿,并伴生银、镉、铋等多种组分。矿床类型有接触夕卡岩型、层间夕卡岩型、石英硫化物脉型、接触黄铁矿型、破碎带脉状及白云岩中的铅锌矿等。矿体多

以半隐伏状态产出,地表有程度不同的原生和次生异常显示,为化探次生晕找矿提供了前提。

### 表生地球化学特征

#### (一) 成矿成晕元素的富集层位与粒度

已知异常地段不同深度及不同粒级的采样试验表明,金属元素主要富集在B层,取样以深度为40厘米、粒度在120目效果最佳。

#### (二) 几种成晕元素的特征值(表1)

几种特征值

表1

元素	样品数	背景值 (ppm)	标准 离差	异常下限 (ppm)	异常平均值 (ppm)	峰值 (ppm)	异常频数 (%)	浓集 系数
Cu	20224	11.8	5	29.8	71.9	5000	5.9	4.8
Pb	20257	25.3	8	49.3	222	10000	13.4	8.7
As	20228	21.2	6.9	44.9	185	6500	14.4	7.6
Sb	20243	4.3	1.7	9.4	20.2	500	26.5	4.7
W	20272	13.2	4.6	27.0	227	3500	5.3	17.2

由表1可知,矿区内Pb的背景值、标准离差和异常峰值都是最高的,其异常平均值和浓集系数仅次于W;Sb的异常频率最大,W和Cu异常频率最小,说明Sb分布范围大而分散,W、Cu分布范围小而集中,常形成具有找矿价值的异常;Pb的分布范围比

Sb小,但形成的异常浓集中心突出,规律性好,是区内找矿评价的主要指示元素;As在找矿中的指示作用不及Pb明显。

#### (三) 异常发育规模

土壤中次生晕的规模  $Sb > As > Pb > Cu > W$ ,