

# 模糊综合评判模型在会泽铅锌矿 隐伏矿定位预测中的应用

刘名龙, 黄德镛, 李 勃, 韩润生, 李玉惠, 伏云发

(昆明理工大学 国土资源学院, 昆明 650093)

**摘 要:** 模糊综合评判(FCA)模型是基于模糊数学理论并结合隐伏矿预测理论而建立的一个找矿模型。在会泽铅锌矿隐伏矿定位预测中, 运用 FCA 模型, 进行了成矿因素评价集的确定, 评价因素权重的确定, 并根据流程作出找矿预测的异常图。预测结果与实际工程施工验证相吻合, 证明所构造的模型有效。该模型还可以推广到其他矿山进行隐伏矿定位预测。

**关键词:** 模糊综合评判; 隐伏矿床; 定位预测; 会泽铅锌矿

**中图分类号:** P612; P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2005)01-0057-04

会泽铅锌矿是云南省经济效益较好的国有大型企业。但是, 截止 1998 年 6 月, 会泽铅锌矿尚保有铅锌金属储量按现有生产能力计算只能满足 7~8 年的生产需求。在老矿山深部及外围寻找矿体是国内外大力推行的一种行之有效的做法, 它既可以充分利用原有矿山已建成的大量辅助设施和外部设施, 又有利于所在地区经济的持续发展。根据已采矿体的实际情况, 其资源特点为铅锌品位高( $w(\text{Pb} + \text{Zn}) = 35\%$ )、伴生的有用组分多, 是国内外罕见的特富矿。但是, 矿床成因至今还不十分清楚, 隐伏矿定位预测及增储也无显著的突破。所以, 在矿区深部及外围进行隐伏矿定位预测及有效增储研究具有十分重要的理论研究价值和现实意义。在找矿方法和手段上, 目前有许多传统地质数学数据处理方法<sup>[1,2]</sup>, 虽然这些方法也取得了一定的效果并被广泛应用, 但因其存在固有的缺点, 在一定程度上降低了成矿预测的准确性和可信度<sup>[3]</sup>。由于神经网络理论和模糊数学具有它们独特的优越性<sup>[4]</sup>, 有必要探索研究它们在隐伏矿体定位预测中的应用。

## 1 FCA 模型概述

FCA 模型是根据隐伏矿预测理论、方法和发展趋势, 考虑成矿往往是受多种因素的控制和影响, 并

且成矿与其多因素之间是不确定的、复杂的非线性关系等特点, 综合信息预测、运用已知的区域成矿规律进行隐伏矿床预测, 同时利用模糊数学中模糊综合评判理论及方法, 针对会泽铅锌矿深部矿体的成矿因素及特点, 建立的隐伏矿定位预测模型。充分发挥了专家及模糊数学在处理寻找隐伏矿床中所遇到的模糊现象、模糊行为的优势。

模糊综合评判就是对与研究对象密切相关的众多模糊因素进行综合的多元信息处理, 以期望得到满意的结果。这就是用模糊综合评判原理和方法进行隐伏矿预测的依据。所谓综合评判, 就是对所研究的对象进行评价。这里, 评判是指按照给定的条件对事物的优劣进行评比、判定。综合是指评判条件包含多个因素。因此, 模糊综合评判又可说是对受到多个因素影响的事物作出全面的评价。以隐伏矿预测区为评价对象, 对它的矿化程度或成矿有利度的优劣进行评价, 评判条件是与成矿密切相关的多个控矿因素, 如断裂因素、地层因素、地球化学因素等。

FCA 模型的研究对象是矿区中划分的单元。对研究区进行单元划分是进行地质研究(如矿产资源评价、成矿靶区圈定、地质信息提取)最基础的环节。其目的是为了确定地质变量观察尺度和取值范围, 提高评价结果的准确性, 而单元类型和大小, 犹如样品采集和分析那样, 其取样的方法及大小不同,

收稿日期: 2004-02-04

基金项目: 云南省省科技合作项目(项目编号: 2000YK-04)资助。

作者简介: 刘名龙(19 ), 男, 硕士研究生, 研究方向为采矿工程。

获得的结果对地质现象描述的精确程度不同,从而直接影响地质研究(如成矿有利度评价的)效果。预测单元划分太小,造成同一地质体分布于多个单元,人为割裂地质现象,而且明显地扩大了无矿单元和单一控矿单元的数目,增加了预测工作量,不利于地质模型的建立;而网格单元划分太大,则歪曲了有矿单元的分布形态,使误判有矿的面积增大,不利于找矿工作的进行,并使预测靶区的信度降低,因此如何确定最佳网格单元大小,并非易事,它必须结合实际资料水平和采用的评价模型,选择合理的单元划分方法。

2 会泽铅锌矿矿区地质概述

矿区地层由前震旦系组成基底,其上的盖层为上震旦统和古生界,构成“两层式结构”。地层走向为 NE 向,倾向 SE。下石炭统摆佐组是矿区最主要的赋矿地层,主要由灰白色、肉红色、米黄色粗晶白云岩和致密块状浅灰色灰岩及硅质白云质灰岩组成。上二叠统峨眉山玄武岩在矿区内外均有出露。矿区构造以发育 NE 向背斜褶皱与断裂组合成破背斜特征,即所谓的“背斜加一刀”。这些 NE 向主干断裂是矿床重要的控矿构造。矿区内具有代表性的断裂有矿山厂、麒麟厂、银厂坡断裂,并有近乎垂直于 NE 向断裂的 NW 向断裂伴生,这些断裂具有多期活动的特点,与成矿密切相关。NE 向断裂还有牛栏江断裂,表现为 NE 向重力梯度,是基性侵入体和玄武岩喷发的通道<sup>[5]</sup>。

通过上述研究表明,矿床明显受地层、岩性、构造等条件的控制。就麒麟厂矿床来说,麒麟厂断裂是该矿床的主要导矿构造;派生的 NE 向层间压扭性断裂为矿床的主要容矿构造;NW 向断裂主要表现为配矿构造。NE 构造带是会泽铅锌矿最主要的成矿构造体系;矿床严格受地层控制,矿体主要赋存于下石炭统摆佐组中,宰格组第三段仅见矿化,未发现矿体。另外,在会泽铅锌矿采用构造地球化学研究具有充分的理论依据,能直观地反映矿化元素的组合异常,是直接的重要找矿标志。

3 预测流程

运用模糊综合评判模型对会泽铅锌矿进行隐伏

矿定位预测的工作流程见图 1。

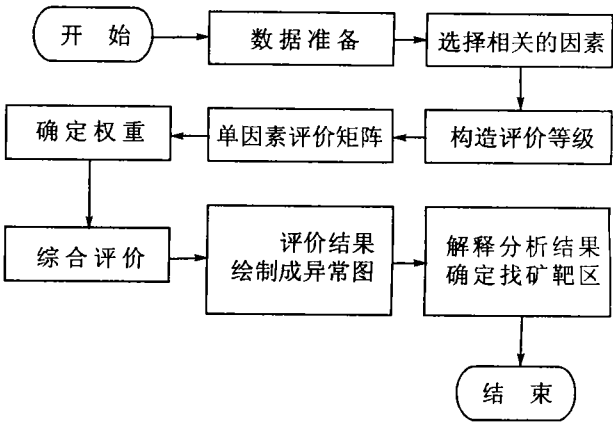


图 1 预测流程图  
Fig. 1 Flow sheet for ore prediction

4 FCA 模型

4.1 模糊因素评价集的确定

控制成矿的诸多地质因素在成矿过程中作用不同,但互有关联。根据对会泽铅锌矿的研究,模糊评价因素集为:  $FCAFS = \{F, S, F_2SCORE\}$

其中 FCAFS: 模糊评价因素集;

F: 断裂(包含 NE 向断裂 NEF 和 NW 向断裂 NWF);

S: 地层(包括下石炭统摆佐组其上部 C<sub>1b</sub> 和上泥盆统宰格组第三段 D<sub>3zg</sub>);

F<sub>2</sub>SCORE: 矿化因子的矿化元素组合值(Pb, Zn, Cu, Ag, Cd, Tl, As, Fe, Sb, Hg),即模糊综合评判模型融合了数理统计的方法

模糊评价集为:  $FCAS = \{MG, MC, NM\}$

其中 FCAS: 模糊评价集; MG: 矿化好; MC: 矿化一般; NM: 没有矿化。

根据模糊综合评价的原理和控矿因素及指示矿化因素与矿化程度的关联,所选定的模糊评价因素集中的每一因素对评价集中每一评价等级都有一定的隶属度。对每一个网格单元构造一个单因素评价矩阵:

$$GSSM = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

通过征求地质专家的意见,由其给出每一因素

评价集中元素的隶属度, 如下表:

表 1 会泽麒麟厂铅锌矿各因素隶属度  
Table 1 Sudordination degree for each ore factor

| 评价因素 | 断 裂 (F) |     |     |     | 地 层 (S)          |     |                   |     | 地球化学元素                     |             |           |         |
|------|---------|-----|-----|-----|------------------|-----|-------------------|-----|----------------------------|-------------|-----------|---------|
|      | NEF     |     | NWF |     | C <sub>1</sub> b |     | D <sub>3</sub> zg |     | F <sub>2</sub> SCORE(因子得分) |             |           |         |
|      | 1       | 0   | 1   | 0   | 1                | 0   | 1                 | 0   | - 3 ... - 2                | - 2 ... - 1 | - 1 ... 0 | 0 ... 1 |
| 有矿化  | 0.6     | 0.1 | 0.5 | 0.2 | 0.6              | 0.1 | 0.5               | 0.2 | 0.7                        | 0.5         | 0.4       | 0.1     |
| 一般   | 0.3     | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.3              | 0.3 | 0.3               | 0.3 | 0.2                        | 0.3         | 0.3       | 0.3     |
| 无矿化  | 0.1     | 0.6 | 0.2 | 0.6 | 0.1              | 0.6 | 0.2               | 0.5 | 0.1                        | 0.2         | 0.3       | 0.6     |

4.2 模糊评价因素权重的确定

断裂评价因素有两个子因素 NEF 和 NWF, 由地质专家建议, 它们对矿化有利的权重分别为: {0.7, 0.3}。

地层评价因素也有两个子因素 C<sub>1</sub>b、D<sub>3</sub>zg, 同样根据地质专家的建议, 它们对矿化有利的权重分别为: {0.8, 0.2}。

下面用贴近度方法来确定 3 个主评价因素的权重, 也即确定各因素对矿化有利的作用大小。对所选定的因素集: FCAFS= {F, S, F<sub>2</sub>SCORE} 尝试选择如下备择权重:

- W<sub>1</sub> = (0.50, 0.40, 0.10)
- W<sub>2</sub> = (0.45, 0.40, 0.15)
- W<sub>3</sub> = (0.40, 0.40, 0.20)
- W<sub>4</sub> = (0.35, 0.40, 0.25)
- W<sub>5</sub> = (0.30, 0.45, 0.25)
- W<sub>6</sub> = (0.25, 0.35, 0.40)

取 1571 中段的网格单元, 地质专家给出的评价为:

FCAR= (0.9, 0.1, 0)  
其对应的单因素评判矩阵为:

$$SFAM = \begin{bmatrix} 0.58 & 0.3 & 0.12 \\ 0.52 & 0.3 & 0.18 \\ 0.1 & 0.3 & 0.6 \end{bmatrix}$$

通过计算各备择权重下的综合评判结果, 分别得到:

- FCAR<sub>1</sub> = (0.508, 0.3, 0.192)
- FCAR<sub>2</sub> = (0.484, 0.3, 0.216)
- FCAR<sub>3</sub> = (0.460, 0.3, 0.240)
- FCAR<sub>4</sub> = (0.436, 0.3, 0.246)
- FCAR<sub>5</sub> = (0.433, 0.3, 0.267)
- FCAR<sub>6</sub> = (0.367, 0.3, 0.333)

由前面给出的贴近度计算公式:

$$(FCAR_i, FCAR) = 1/2 [FCAR_i - FCAR + (1 -$$

FCAR<sub>i</sub> ⊙ FCAR) ]  
计算各 FCAR<sub>i</sub> 与 FCAR 的贴近度:

- N<sub>1</sub> = (FCAR<sub>i</sub>, FCAR) = 0.658
- N<sub>2</sub> = (FCAR<sub>i</sub>, FCAR) = 0.634
- N<sub>3</sub> = (FCAR<sub>i</sub>, FCAR) = 0.610
- N<sub>4</sub> = (FCAR<sub>i</sub>, FCAR) = 0.595
- N<sub>5</sub> = (FCAR<sub>i</sub>, FCAR) = 0.583
- N<sub>6</sub> = (FCAR<sub>i</sub>, FCAR) = 0.5335

最后挑选贴近度最大值所对应的备择权重作为比较合理的权重集:

$$N = \max(N_i) = 0.658$$

故 W = (0.5, 0.4, 0.1)

即对矿化最重要的因素为断裂构造 F, 地层也具有重要作用, 化学元素可能是矿化的直接指示作用。

5 大水井矿区 1571 中段预测情况

通过上述方法可求出预测区每个网格单元的单因素评价矩阵 SFAM, 而每个网格单元的多因素综合评判由 FCAR= W°SFAM 计算得到。对大水井矿区 1571 中段进行模糊综合批判, 由模糊评价集 FCAS= {MG, MC, NM} 可知, MG 的值反映了网格单元矿化的程度。用 MAPGIS 工具绘出 MG 的等值线图。这些图可视化地反映矿化有利区的分布和变化趋势。显然 MG 值越大反映了网格单元矿化程度越好, 有利矿化地段的低限值可由地质专家来确定, 确定后, 可由模糊综合评判图进一步确定预测区有利矿化区的分布。

选取利用模糊综合评判模型。可以得到成矿有利度系数, 将单元号的中心坐标与成矿有利度连接, 通过 MAPGIS 的 DTM 模型, 可作出相应的异常平面和立体预测图。图 2 是成矿预测的异常图(包括

平面和立体图),图3是成矿预测的异常平面图与实际结果的叠加图。从图上可见,实际见矿部位(深色部分)与预测的高异常区相一致,即找矿靶区应为高异常区,可见通过异常预测确定找矿靶区是可信的。

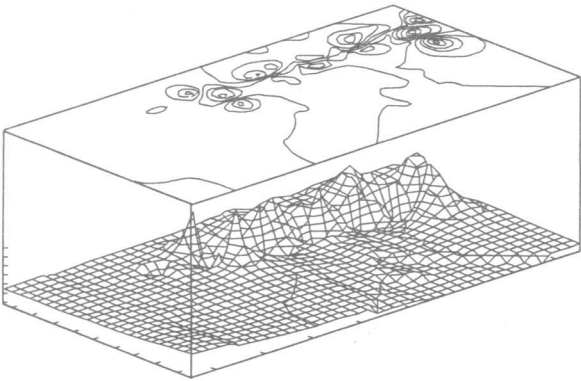


图2 会泽麒麟厂铅锌矿深部1571中段  
立体异常预测图

Fig.2 3-dimension predictive plot at depth of 1571  
level in Qilinchang dormain of Huize Pb-Zn mine

6 结论

模糊综合评判模型在隐伏矿定位预测中具有优

越性,可以表达专家对隐伏矿床研究获得的经验知识,特别适合于描述和处理隐伏矿预测中不精确或非线性的控矿因素信息,通过综合评价多个控矿因素,可揭示成矿有利度与控矿多因素之间的模糊关系,可视化成矿有利度在空间上的变化趋势,达到定位预测的目的。模糊综合评判模型在会泽麒麟厂铅锌矿深部隐伏矿定位预测中的应用,与预期的结果相吻合,实际见矿部位与预测的高异常区相一致,通过高异常确定找矿靶区是充分可信的。

参考文献:

[1] 刘承. 中国数学地质进展[M]. 北京: 地质出版社, 1994.  
[2] 於崇文. 数学地质的方法与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.  
[3] 许强, 黄润秋. 基于神经网络理论的工程地质数据处理与定量化分析方法初探[J]. 地质灾害, 1995, 6(2).  
[4] 胡继才, 万福钧, 吴珍权, 等. 应用模糊数学[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社.  
[5] 韩润生, 李元. 会泽麒麟厂铅锌矿床深部找矿预测研究(校企合作资助项目)报告[R].

A APPLICATION OF FCA MODEL TO CONCEALED  
DEPOSIT LOCATION PREDICTION IN HUIZE Pb-Zn MINE

LIU Ming-long, HUANG De-yong, LI Bo, HAN Run-sheng, LI Yu-hui, FU Yun-fa  
(Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** Fuzzy comprehensive appraisal(FCA) model is a prediction model based on fuzzy mathematics and modern concealed deposit location prediction theory. This paper mainly discusses the application of FCA model in Huize Pb-Zn mine, including the establishment of appraised set of factors and weights estimation and a abnormal map of concealed deposit prediction. The result is in accordance with engineering drilling, the model is proved to be valid and can be also used to other mine.

**Key words:** fuzzy comprehensive appraisal; concealed deposit; location prediction