

FCA 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, 伏云发, 邹海俊

(昆明理工大学 国土资源学院, 云南 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. 主要论述了 FCA 模型在会泽铅锌矿隐伏矿定位预测中的应用, 包括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; 地理信息系统

中图分类号: TD15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2004)06-0015-04

Application of Fca Model on Concealed Deposit Location Prediction to Huize Pb-Zn Mine

LIU Ming-long, HUANG De-yong, LI Bo, HAN Run-sheng, FU Yun-fa, ZOU Hai-jun

(Faculty of Land Resources Engineering, 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. The application of FCA model to Huize Pb-Zn mine is discussed, which includes the establishment of appraised setting of factors and weights estimate and an abnormal map of concealed deposit prediction. The result is in accordance with engineering drilling. Proved to be valid, the model is can also be used to the other mine.

Key words: fuzzy comprehensive appraisal; concealed deposit; location prediction; GIS(geographical information system)

0 引言

会泽铅锌矿是带动云南省地方经济发展的骨干企业之一,也是经济效益较好的国有大型企业之一.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(Pb+Zn 在 35% 以上)、伴生的有用组份多,是国内外罕见的特富矿.但是,矿床成因模式至今还不十分清楚,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^[1,2],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^[3].由于神经网络理论和模糊数学具有独特的优越性^[4],有必要探索研究在隐伏矿体定位预测中的应用.本文主要讲述了模糊综合评判(FCA)模型,并应用于会泽铅锌矿 1571 中段的已知矿体的模型检核,同时评价 FCA 模型在隐伏矿预测中的应用效果.

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方法,以期得到满意的结果。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。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。对研究区进行网格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,其取样的方法及大小不同,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。网格单元划分太小,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,并使预测靶区的可信度降低,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、古生界组成盖层,构成“两层式结构”。地层走向为北东向,倾向南东。下石炭统摆佐组(C_{1b})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($P_2\beta$)在矿区内外均有出露。矿区构造以发育北东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”。这些北东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,并有近乎垂直于北东向断裂的北西向断裂伴生,这些断裂具有代表性,有多期活动的特点,与成矿密切相关。北东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。

通过前期研究^[5]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;北西向断裂主要表现为配矿构造。北东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(C_{1b})中,宰格组第三段(D_3Zg_3)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。构造地球化学异常能直观地反映矿化元素的组合,是直接的重要找矿标志。

3 预测流程

预测流程见图 1。

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。模糊综合评判模型融合了数理统计的方法,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(包含北东向断裂 NEF 和北西向断裂 NWF);

S: 地层(包括下石炭统摆佐组其上部 C_{1b} 和上泥盆统宰格组第三段 D_3Zg_3):

F_2SCORE : 矿化因子的矿化元素组合值(Pb、Zn、Cu、Ag、Cd、Tl、As、Fe、Sb、Hg),

模糊评价集为:

$$FCAR = \{MG, MC, NM\}$$

其中, *FCAR*: 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:

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

通过征求有关地质专家的意见, 由其给出每一因素评价集中元素的评判值, 如表 1.

4.2 模糊评价因素权重的确定

对断裂评价因素, 有两个子因素北东向断裂(NEF)和北西向断裂(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}

对地层评价因素, 它也有两个子因素下石炭统摆佐组其上部(C_{1b})和上泥盆统宰格组第三段(D_3Zg_3), 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}

表 1 会泽麒麟厂铅锌矿各因素评判值

Tab.1 Appraised value of all factors in Huize Qiling Factory Pb-Zn mine

评价因素	断裂(<i>F</i>)				地层(<i>S</i>)				地球化学元素 F_2SCORE (因子得分)			
	NEF		NWF		C_{1b}		D_3Zg_3		- 3...- 2	- 2...- 1	- 1...0	0...1
	1	0	1	0	1	0	1	0				
矿化好	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

对于会泽铅锌矿 1571 中段的一个网格单元, 具有北东向断裂(NEF)和北西向断裂(NWF)、地层为下石炭统摆佐组其上部(C_{1b})、因子得分(F_2SCORE)为 0.56. 则

$$a_{11} = 0.6 \times 0.7 + 0.5 \times 0.3 = 0.57$$

同理可得其对应的单因素评判矩阵为:

$$SFAM = \begin{bmatrix} 0.57 & 0.3 & 0.13 \\ 0.52 & 0.3 & 0.18 \\ 0.1 & 0.3 & 0.6 \end{bmatrix}$$

下面用贴近度方法来确定三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: $FCAFS = \{F, S, F_2SCORE\}$, 尝试选择如下备择权重:

$$W_1 = (0.50, 0.40, 0.10) \quad W_2 = (0.45, 0.40, 0.15)$$

$$W_3 = (0.40, 0.40, 0.20) \quad W_4 = (0.35, 0.40, 0.25)$$

$$W_5 = (0.30, 0.45, 0.25) \quad W_6 = (0.25, 0.35, 0.40)$$

通过公式 $FCAR = W \cdot SFAM$, 计算各备择权重下的综合评判结果, 分别得到:

$$FCAR_1 = (0.603, 0.3, 0.197) \quad FCAR_2 = (0.480, 0.3, 0.220)$$

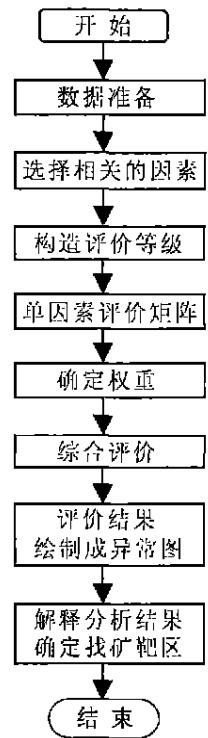


图 1 预测流程图

Fig.1 Prediction flow chart

$$FCAR_3 = (0.456, 0.3, 0.244) \quad FCAR_4 = (0.432, 0.3, 0.248)$$

$$FCAR_5 = (0.430, 0.3, 0.270) \quad FCAR_6 = (0.364, 0.3, 0.336)$$

地质专家给出的评价为: $FCAR = (0.9, 0.1, 0)$

由前面给出的贴近度计算公式:

$$N = (FCAR_i, FCAR) = 1/2[FCAR_i \otimes FCAR + (1 - FCAR_i) \odot FCAR]$$

计算各 $FCAR_i$ 与 $FCAR$ 的贴近度:

$$N_1 = (FCAR_i, FCAR) = 0.658 \quad N_2 = (FCAR_i, FCAR) = 0.634$$

$$N_3 = (FCAR_i, FCAR) = 0.610 \quad N_4 = (FCAR_i, FCAR) = 0.595$$

$$N_5 = (FCAR_i, FCAR) = 0.583 \quad N_6 = (FCAR_i, FCAR) = 0.534$$

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:

$$N = \max(N_i) = 0.658 \quad \text{故选 } W = (0.5, 0.4, 0.1)$$

即对矿化最主要的因素为断裂构造, 地层也具有重要作用, 化学元素对矿化的影响最小.

5 FCA 在会泽麒麟厂铅锌矿矿区 1571 中段的预测应用

对于每一个网格单元, 可通过上述方法先求出预测区每个网格单元的单因素评价矩阵 $SFAM$, 再计算得到每个网格单元的多因素综合评判, 计算贴近度, 选取合理的权重集, 确定成矿有利度, 进而推广到所有的网格单元. 由模糊评价集 $FCAR = \{MG, MC, NM\}$ 可知, MG 的值反映了网格单元矿化好的程度, 即成矿有利度. 用 MAPGIS 软件的 DTM 模块, 将单元号的中心坐标与成矿有利度连接, 可绘出 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(大于 0) 越大反映了网格单元矿化程度越好, 有利矿化地段的低陷值(小于 0) 可由地质专家来解释, 然后, 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.

对会泽麒麟厂铅锌矿矿区 1571 中段进行模糊综合评判. 根据专家的意见采用多种划分网格的方案, 最后通过实验研究, 认为最好的网格划分是 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$. 最后作出的会泽麒麟厂铅锌矿矿区 1571 中段异常平面和立体预测图(图 2 和图 3). 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, 由矿山工程验证知, 通过异常预测确定找矿靶区是可信的.

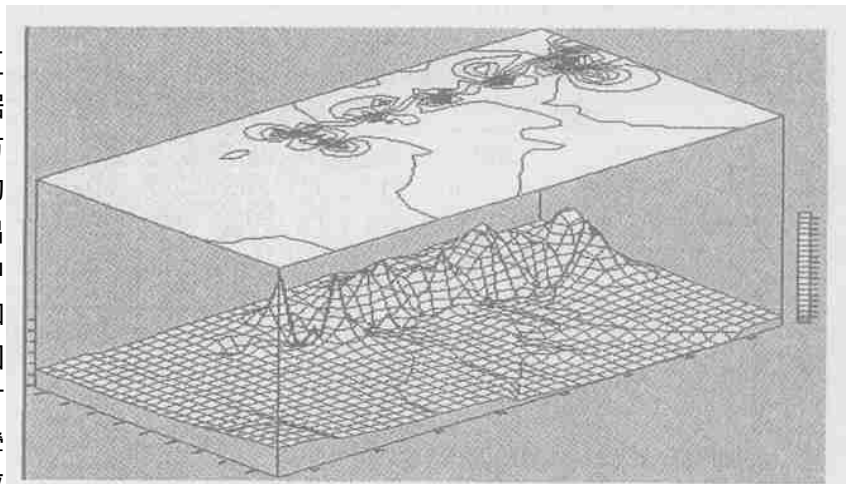


图 2 会泽麒麟厂铅锌矿深部 1571 中段立体异常预测图

Fig. 2 Three-dimensional forecast map of fuzzy comprehensive appraisal of 1571 middle segment in Huize Qiling Factory Pb-Zn mine deep part

6 结论

模糊综合评判(FCA)模型在隐伏矿定位预测中的应用, 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. 通过模糊综合评价的应用, 可揭示成矿有利度与控矿多因素之间的模糊关系, 以及可视化成矿有利度在空间上的变化趋势,

(下转第 26 页)

1965. 15.

- [9] Agarwal G S, Gupta S K. Oxidation kinetic study of chalcopyrite concentrate in a fluidized bed reactor[J]. J. Chem. Era., 1976, 12: 108.
- [10] 叶大伦, 胡建华. 实用无机物热力学数据手册[M]. 冶金工业出版社, 2002.
- [11] 沈兴. 差热差重分析与非等温固相反应动力学[M]. 冶金工业出版社, 1995.
- [12] 宋宁. 黄铜矿硫化焙烧相变反应动力学研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2002, 27(2).
- [13] 陈镜鸿, 李传儒. 热分析及其应用[M]. 科学出版社, 1985.

(上接第18页)

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表明, 预期的结果与工程验证相吻合. 因此, 通过高异常确定找矿靶区是充分可信的.

参考文献:

- [1] 刘承主. 中国数学地质进展[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 3~4.
- [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. 2~3.
- [3] 许强, 黄润秋. 基于神经网络理论的工程地质数据处理与量化分析方法初探[J]. 地质灾害, 1995, 6(2): 18~20.
- [4] 胡继才, 万福钧等. 应用模糊数学[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1998. 45~52.
- [5] 韩润生, 李元. 会泽麒麟厂铅锌矿床找矿预测研究(校企合作资助项目)[R], 2001.

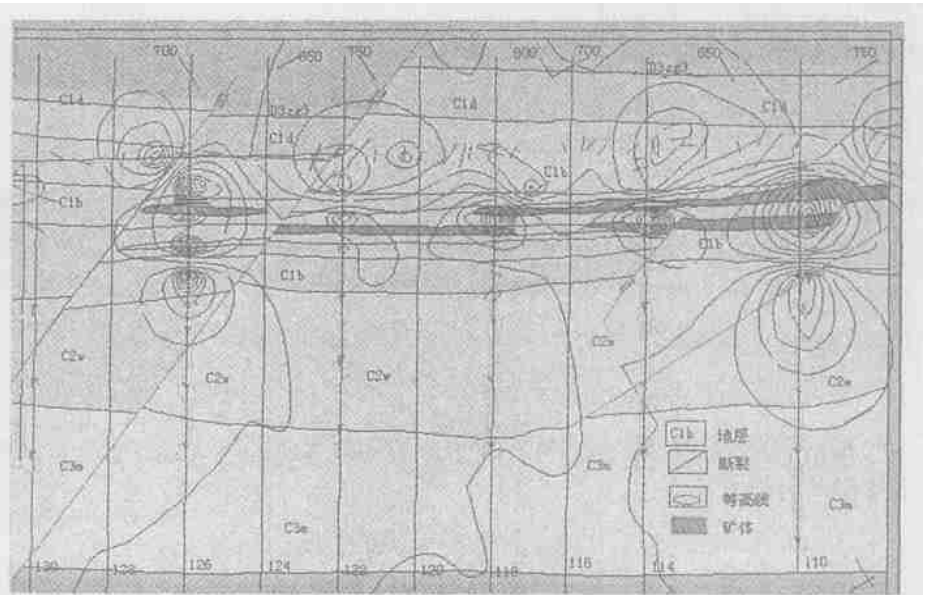


图3 会泽麒麟厂铅锌矿深部1571中段图异常预测与实际比较图
Fig.3 Comparing map of forecast and actual of 1571 middle segment
in Huize Qiling Factory Pb-Zn mine deep part