模糊逻辑法在云南中甸地区铜矿潜力预测中的应用

邢学文[1,2], 胡光道[1], 王正海[1], 郝 容[1]

(1. 中国地质大学, 武汉 430074; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘 要: 模糊逻辑建模应用于矿产预测时分为两步: ①变量模糊化, 应用隶属函数计算变量的模糊隶属度; ②模糊综合, 应用模糊算子(模糊与、模糊或、模糊代数和、模糊代数积和伽马算子)对模糊化后的变量进行综合, 生成最终的模糊有利度图。在介绍了模糊逻辑的基本原理和详细分析云南中甸铜成矿规律的基础上, 应用 ArcView GIS 及其扩展模块 ArcSDM 对研究区地质、地球化学、线性构造等方面的数据进行了处理, 提取了预测变量。模型应用于云南中甸普朗地区斑岩铜矿的区域成矿预测(1∶20 万)结果显示, 预测出的成矿潜力区包含了 81% 以上的已知矿点, 可以用于指导进一步的大比例勘查工作。

关键词: 模糊逻辑; 隶属度; 矿产潜力图; 中甸地区

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1000-7849(2006)06-0053-06 ①

地质数据总是多级或连续的, 而目前的许多定量模型都使用二值, 将地质数据进行概括和重分类, 使之变为用 0 和 1 表示的二值图[1]。这种做法使图件变得直观, 容易解释, 数据操作变得简单, 但许多有价值的信息也随之丢失。此外, 在进行重分类时都是以已有的认识为依据, 而随着更多信息的获得, 这些依据也会发生很大的变化。正是由于大多数地质数据固有的模糊性, 因此在选择预测模型时应该考虑: ①适合于多级和连续的地质数据; ②具有估计信息模糊性的能力[2]。

基于模糊集理论的预测模型完全符合这两个准则, 尽管证据权重法也可以用于多级和连续数据的建模, 但模糊集理论具有更好的理论框架, 能以简便灵活的方式, 对复杂的多级数据进行建模。此外, 证据权重法一般要求大量的训练数据, 以减少不确定性, 因此, 更适合于勘查工作程度高的地区; 而模糊模型则同时适用于勘查工作程度高和未勘查的地区。

1 模糊逻辑基本原理

建立在普通集合上的布尔逻辑, 任何命题只有两种取值, 即逻辑真(1)或者逻辑假(0)。而模糊逻辑则建立在模糊集合上, 命题的真实性只是一定程度的真实性, 命题的取值除了真和假外, 还可取"0"与"1"之间的任何值(例如 0.8), 表示命题断言为真的程度, 即隶属度。应用模糊逻辑进行矿产预测时主要分为两步: ①变量模糊化, 即把输入变量转化为由隶属度描述的模糊集; ②模糊综合, 应用模糊算子对模糊化后的变量进行综合[3-4]。

1.1 基本假设和定义

用于预测矿产潜力的模糊模型基于以下假设: ①研究区已经做过详细的地质工作, 并存在用于建模的基础数据(证据图层); ②数据是可靠的; ③矿床的成因特征, 至少有一部分必须清楚, 或者可以根据其他相似环境中的矿床来推断。这些标准是知识驱动模型的基本假设。因此我们定义了一个通用的矿产潜力预测模型。如果 X 是证据图层 X_i (i= 1, 2, 3, …, n) 的集合, 图层有 r 个级别, 定义为 x_{ij} (j= 1, 2, 3, …, r), 那么, X 中的 n 个模糊集 A_i (i= 1, 2, 3, …, n) 可定义如下:

$$A_{ij} = \{(x_{ij}, \mu_A) \mid x_{ij} \in X_i\} \quad (1)$$

隶属度函数 μ_A 具有以下属性: ①$0 \leqslant \mu_A \leqslant 1$; ②当 x_{ij} 对成矿有利时, $0.5 < \mu_A \leqslant 1$; ③当且仅当 x_{ij} 对成矿有利还是不利无法确定时, $\mu_A = 0.5$; ④当 x_{ij} 对成矿不利时, $0 \leqslant \mu_A < 0.5$。

可以应用 Zimmermann[5] 描述的模糊集算子对获得的 n 个模糊集 A_i 进行综合, 生成一个综合的模

① 收稿日期: 2006-01-06 编辑: 禹华珍
基金项目: 云南省科技攻关计划(工业及高新技术部分)项目"矿产资源商业性数字化快速评价示范"
作者简介: 邢学文(1977—), 男, 主要从事成矿预测及 GIS 应用的研究。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

糊集 F:

$$F = \sum_{i=1}^{n} A_i \quad (2)$$

式中: Σ 表示模糊集操作。综合的模糊集就是包含了有利勘探靶区的模糊集。

1.2 模糊函数及算法规则

知识驱动的模糊逻辑建模是基于建模者的主观认知。我们应用下面的隶属度函数对多级证据图进行模糊化:

$$\mu_{A_{xj}} = \frac{1}{1 + e^{-a(x_{ij} - b)}} \quad (3)$$

式中: b 为拐点; a 为函数的斜率; x_{ij} 是第 i 个图层的第 j 个级别, 可以用 $x_{ij} = w_i \cdot w_j$ 计算, 其中, w_i 是第 i 个证据图层的权值, w_j 是证据图层内第 j 个级别的权值。

根据主观评估有利度, 证据图件所有级别分为 1~ 10 个级别, 最有利权值为 10, 最不利权值为 1。权值分配应当尽可能是等间距的。这些权值的分配都是主观的, 是许多专家所承认的, 当然, 如果要求他们进行赋值, 每个人都会给一个不同的值。根据图层的重要性, 可以用前面相似的赋值方法对证据图层赋权值。但是, 在这种情况下, 赋予的权值大小范围是 5~ 10, 而不是 1~ 10。这样处理主要认为小于 5 太低, 并没有其他的特别重要的信息。一个图层, 除非它是成矿的重要标志, 否则一般不会选择其作为证据图。

1.3 模糊综合

An 等[6] 和 Bonham-Carter[7] 讨论了在勘查数据综合中常用的 5 个算子: 模糊与、模糊或、模糊代数和、模糊代数积和伽马算子。综合操作是将各模糊化的集合综合到一个集合, 定义如下:

$$F: [0, 1]^n \rightarrow [0, 1] \quad (4)$$

(1) 模糊与 其定义如下:

$$\mu_{(x)} = \min(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \ldots) \quad (5)$$

在特定单元网格中, μ_A 是图 A 的隶属度, μ_B 是图 B 的隶属度。在各单元网格中, 模糊与受各单元中最小的隶属度控制, 是对命题的保守估计。例如, 在一个单元网格中, 如果图 A 的隶属度是 0. 8, 图 B 的隶属度是 0. 4, 那么应用模糊与算子后, 该单元的隶属度就是 0. 4。

(2) 模糊或 其定义如下:

$$\mu_{(x)} = \max(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \ldots) \quad (6)$$

在各单元网格中, 输出的隶属度大小受各单元中最大的隶属度控制, 是对命题的乐观估计。

(3) 模糊代数积 它是各单元中隶属度的乘积, 定义如下:

$$\mu_{(x)} = \prod_{i=1}^{n} \mu_i \quad (7)$$

式中: μ_i 是第 i 个变量的隶属度。应用该操作得到的隶属度变得很小。常常小于或等于最小的隶属度。对于某个特定网格, 如果图 A 的隶属度为 0. 8, 图 B 的隶属度为 0. 4, 模糊代数积的结果就是 0. 8 × 0. 4= 0. 32。

(4) 模糊代数和 模糊代数和并不是一个代数和, 其定义如下:

$$\mu_{(x)} = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - \mu_i) \quad (8)$$

该操作的结果总是大于或等于最大的隶属度, 它使两个同时支持命题的证据互相增强, 其结果是对命题的进一步肯定。例如, 如果图 A 的隶属度为 0. 8, 图 B 的隶属度为 0. 4, 那么模糊代数和的结果为 1- (1- 0. 8) × (1- 0. 4)= 0. 88。

(5) 伽马算子(γ) 在很多情况下, 综合的隶属度要求是既不递减也不递增。伽马算子可以使综合结果处于最大隶属度和最小隶属度区间内。特别是当一个或多个变量的隶属度很高, 而其他变量的隶属度非常低时, 综合的结果可以使综合隶属度在两个极端间取一个恰当的值。伽马算子是对模糊代数积和模糊代数和的综合, 其定义如下:

$$\mu_{(x)} = \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_i \right)^{\gamma} \cdot \left(1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - \mu_i) \right)^{1-\gamma} \quad (9)$$

式中: γ 取 0 到 1 间的任何值, 当 $\gamma = 1$ 时, 综合结果与模糊代数和相同; 当 $\gamma = 0$ 时, 综合结果与模糊代数积的结果相同。图 1 表示不同的 γ 取值对综合结果的影响, 当 0. 91< γ< 1 时, 综合的结果大于输入变量中隶属度最大者(文中是 0. 8), 结果是递增的; 当 0< γ < 0. 25时, 综合的结果小于输入变量中隶属度最小者(文中是 0. 4), 结果是递减的。当 0. 25< γ< 0. 91 时, 综合的结果介于输入变量最大和最小隶属度区间内, 既不递增也不递减。其中, 递增和递减的区间随着输入变量隶属度 μ_A 和 μ_B 大小的变化而变化。

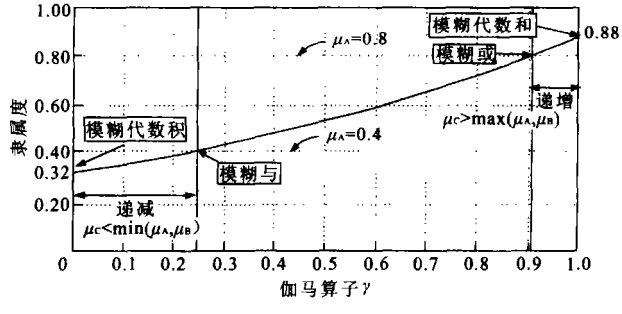

图 1 不同伽马算子取值及其对应的综合隶属度[7]

Fig. 1 Variations of the combined fuzzy membership values for different values of γ

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2　云南普朗地区斑岩铜矿潜力预测

2.1 研究区地质背景

研究区面积约为3 716 km^2, 位于北纬27°41′00″～28°34′34″, 东经99°36′00″～100°13′58″。研究区分为东西两个斑岩带。印支期的西斑岩带以斑岩型铜矿占主导, 北起高赤坪, 经雪鸡坪、春都, 向南至欧赛拉—阿热一带, 构成一个NNW向展布的斑岩铜矿带(图2)。由于陆壳加厚, 向南至欧赛拉一带有

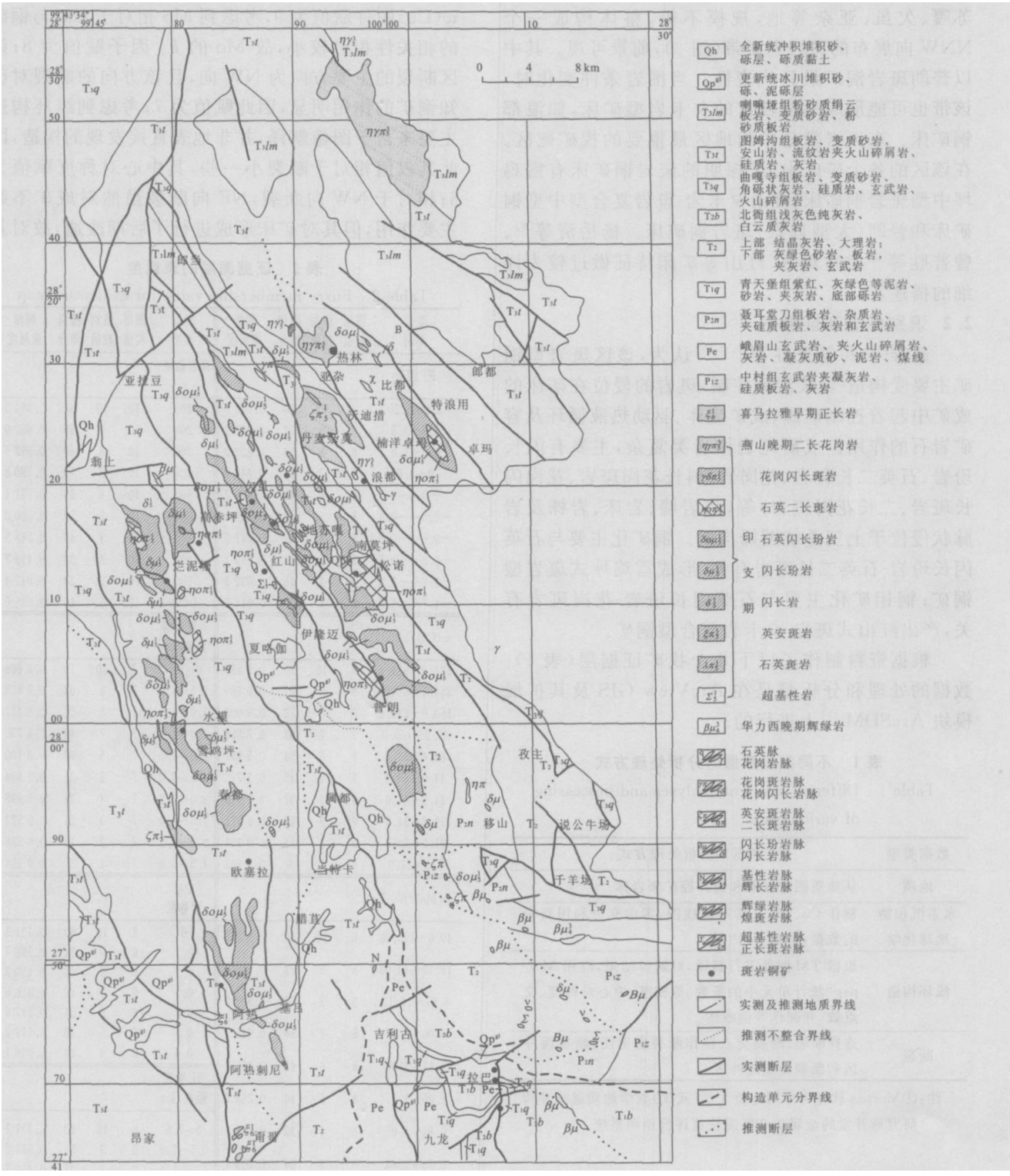

图 2　云南中甸地区地质简图[12]

Fig. 2　Geological sketch of Zhongdian area, Yunnan Province

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

出现铜多金属矿床的趋势。重要矿床以雪鸡坪中型斑岩铜矿床为代表。东斑岩带位于地苏嘎—普朗一线的广大地区,较厚的陆壳限定了其矿产以铜铅锌银金等多金属矿床为主,矿床类型以斑岩型铜矿占优势,已发现的矿床(点)产于普朗、美宰永、松诺、地苏嘎、欠虽、亚杂等地,规模不等,整体构成一个NNW向展布的斑岩铜矿带(图2),前景可观。其中以普朗斑岩铜矿最具代表性。当围岩条件变化时,该带也可能形成品位较富的夕卡岩型矿床,如浪都铜矿床。东斑岩带是中甸地区最重要的找矿靶区。在该区的各个矿床中,已探明的斑岩铜矿床有雪鸡坪中型斑岩铜矿床、红山夕卡岩-斑岩复合型中型铜矿床和普朗(大型远景)斑岩铜矿床。杨岳清等[8]、曾普胜等[9]对雪鸡坪、红山等矿床特征做过较为详细的描述。

2.2 识别标志和证据图

赵准[10]和曾普胜等[9,11-12]认为,该区斑岩型铜矿主要受构造-岩浆活动控制,斑岩的侵位在矿床的成矿中起着控制矿源、成矿流体、驱动热液循环及容矿岩石的作用。成矿斑岩体岩类复杂,主要有闪长玢岩、石英二长斑岩、花岗岩(斜长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩)等,呈岩墙、岩床、岩株及岩脉状侵位于上三叠统图姆沟组。铜矿化主要与石英闪长玢岩-石英二长斑岩有关,形成雪鸡坪式斑岩型铜矿;铜钼矿化主要与石英闪长玢岩-花岗斑岩有关,产出红山式斑岩-夕卡岩复合型铜矿。

根据资料制作了以下几个找矿证据层(表1)。数据的处理和分析都是在ArcView GIS及其扩展模块ArcSDM[13]上进行的。

表1 不同类型数据的分析处理方式

Table 1 Different types of analyses and processing of various data

数据类型	数据的分析处理方式
地质	从地质图中提取和选择控矿斑岩体
水系沉积物地球化学	制作Cu、Mo元素等值线图,考虑充分利用获得的数据,得到F_2因子
线环构造	根据TM图像进行解译,对解译结果,应用Morpas①统计单元中的条数、等密度、中心对称度、交点数,并制作等值线图
断裂	选择断裂、断裂交点制作断裂密度图、断裂缓冲区和断裂交点缓冲区

注:①Morpas软件为中国地质大学(武汉)数学地质遥感地质研究所开发的金属矿产资源快速评价预测系统

2.3 模糊逻辑模型

(1)变量模糊化 变量模糊化应用式(4)进行,文中a取0.1,b取50,也可以取其他值。a和b的取值变化只会使S型曲线的形状发生变化,在极端情况下,就会得到布尔逻辑的0,1结果。证据图层、级别的权值如表2。斑岩体是寻找斑岩铜矿的最佳指示标志[14],所以预测模型中斑岩图件的权值赋为10;地球化学一般是找矿的直接指示,因此,对w(Cu)图件赋值为9,考虑到Mo相对于Cu,与铜矿的相关性相对较小,故Mo的F_2因子赋值为8;该区断裂的主要方向为NW向,且该方向的断裂对已知铜矿的作用明显,因此赋值为7;考虑到线环构造主要来自于图像解译,并非地表直接发现的构造,因此其权值相对于断裂小一些,其中心对称度赋值为6;相对于NW向断裂,NE向断裂虽然对成矿不起主要作用,但其对矿床形成进行了后期改造,故对其

表2 证据图层的隶属度

Table 2 Fuzzy membership value for evidential map

变量类别	图层权值	级别权值	级别得分	模糊隶属度	变量类别	图层权值	级别权值	级别得分	模糊隶属度
F_2因子					斑岩临域/m				
3.3~6.25	8	10	80	0.952 6	100	10	10	100	0.993 3
1.6~3.3	8	9	72	0.900 2	200	10	9	90	0.982 0
0.6~1.6	8	8	64	0.802 2	300	10	8	80	0.952 6
0~0.6	8	7	56	0.645 7	400	10	7	70	0.880 8
-0.3~0	8	6	48	0.450 2	500	10	6	60	0.731 1
-0.5~-0.3	8	5	40	0.268 9	600	10	5	50	0.500 0
-0.6~-0.5	8	4	32	0.141 9	700	10	4	40	0.268 9
-0.8~-0.6	8	3	24	0.069 1	800	10	3	30	0.119 2
-1.2~-0.8	8	1	16	0.032 3	900	10	2	20	0.047 4
-1.7~-1.2	8	1	8	0.014 8	1 000	10	1	10	0.018 0
w(Cu)/10^{-6}					NW断裂距离/km				
524.0~984.4	9	10	90	0.9 820	0~0.5	7	10	70	0.8 808
284.6~524.0	9	9	81	0.9 569	0.5~1.0	7	9	63	0.7 858
160.0~284.6	9	8	72	0.9 002	1.0~1.5	7	8	56	0.6 457
95.2~160.0	9	7	63	0.7 858	1.5~2.0	7	7	49	0.4 750
63.4~95.2	9	6	54	0.5 987	2.0~2.5	7	6	42	0.3 100
44.0~63.4	9	5	45	0.3 775	2.5~3.0	7	5	35	0.1 824
34.9~44.0	9	4	32	0.1 419	3.0~3.5	7	4	28	0.0 998
30.2~34.9	9	3	27	0.0 911	3.5~4.0	7	3	21	0.0 522
21.0~30.2	9	2	18	0.0 392	4.0~4.5	7	2	14	0.0 266
3.5~21.0	9	1	9	0.0 163	4.5~5.0	7	1	7	0.0 134
w(Mo)/10^{-6}					中心对称度				
40.6~103.90	8	10	80	0.952 6	0	6	10	60	0.731 1
16.12~40.60	8	9	72	0.900 2	0.1	6	9	54	0.598 7
6.67~16.12	8	8	64	0.802 2	0.2	6	8	48	0.450 2
3.00~6.67	8	7	56	0.645 7	0.3	6	7	42	0.310 0
1.97~3.00	8	6	48	0.450 2	0.4	6	6	36	0.197 8
1.05~1.97	8	5	40	0.268 9	0.5	6	5	30	0.119 2
0.84~1.05	8	4	32	0.141 9	0.6	6	4	24	0.069 1
0.76~0.84	8	3	24	0.069 1	NE断裂距离/km				
0.55~0.76	8	2	16	0.032 3	0~0.5	6	10	60	0.731 1
0~0.55	8	1	8	0.014 8	0.5~1.0	6	9	54	0.598 7
					1.0~1.5	6	8	48	0.450 2
					1.5~2.0	6	7	42	0.310 0
					2.0~2.5	6	6	36	0.197 8
					2.5~3.0	6	5	30	0.119 2

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

赋值为 6。表 1 中其他证据图层, 因为其与已知矿点的空间相关性太小, 就没有选择作为预测变量。

(2) 模糊综合　不同的综合操作算子反映不同的标准, 例如, 如果变量 X_1 和 X_2 同时存在, 则可以说明 P 区为矿化潜力区, 相应的算子就可以选择模糊与或模糊代数积; 如果 X_1 和 X_2 任何一个存在, 都能说明 P 区为矿化潜力区, 那么相应的算子就选择模糊代数和或模糊或; 为了在综合递增和递减趋势中选择最佳的结果, 同时保证整个图件总体的增强趋势, 便于对图件进行最终解释, 最终图件的综合都选择伽马算子。总之, 模糊算子的选择是主观的, 主要根据综合后的效果来决定, 笔者主要是对比已知矿点的分布模式与变量综合后的预测结果的模式是否相近。原始变量通过模糊算子综合后生成派生变量。最终的综合是应用伽马算子(γ 取 0.75) 来生成最终的预测图(图 3) 。γ 的选择是主观的。此次研究中, 为了确定最佳的 γ, 分别选择 γ = 0.70, 0.75, 0.80, 0.85 进行了试算。研究结果表明, 预测的范围随着 γ 的增大而增大, 通过对比, 并根据已知矿点的分布和预测的面积判断, 最后选择 0.75 作为最终的伽马算子值(图 4) 。若选择 0.85, 则预测面积太大, 占整个图件的 2/3, 预测的结果没有意义; 若选择0.70, 则预测面积太小, 大多数矿点都不在预测区内。

(3) 模型检验　对资源评价预测结果最好的检验方法是用新发现的矿床来检验。但这种方法很难实现, 因为用这种方法需要大量的时间和资金。Kemp 等[13] 给出了一些可以实施的检验方法: ①检验已知矿区是否具有高的概率; ②用预测结果和用其他方法得到的结果进行对比。Bonham-Carter[4] 提出了验证模型的标准——矿床潜力图, 若预测已知矿床的分布与实际分布相同则说明建立的模型是成功的。从图 4 可以明显看出, 大多数已知矿点位于隶属度高值区。根据以上评估方法的结果, 可以说明应用模糊逻辑进行预测是可行的。

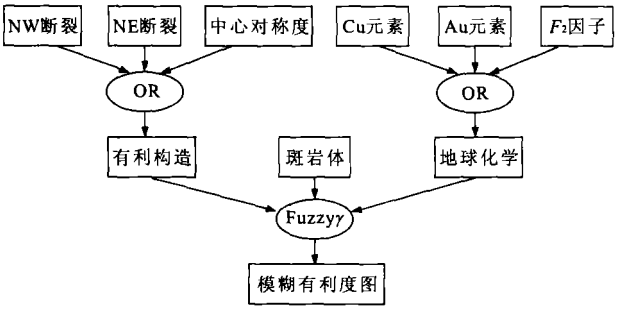

图 3　模糊有利度推理网络

Fig. 3　Two-stage inference engine used for generating synthesized fuzzy favorability maps

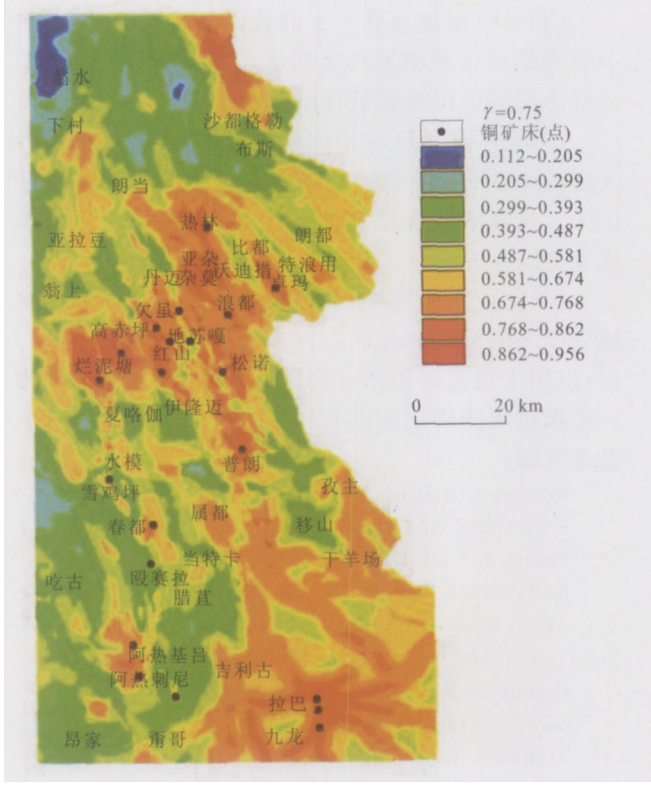

图 4　云南中甸地区矿产潜力预测图(γ = 0.75)

Fig. 4　Synthesized fuzzy favorability maps obtained by using γ value of 0.75

3　讨论及结论

应用模糊逻辑预测的结果, 以 0.582 为阈值, 圈出的成矿潜力区面积为研究区的 48%, 预测出超过 90% 的已知矿点。以 0.676 为阈值, 圈出的潜力区面积为研究区的 26%, 预测出 81% 的已知矿床(点), 从减少预测区面积和增大预测的矿点数方面看, 这是一个很好的结果。预测图上部的沙都格勒地区有面积较大的潜力区, 该区已经发现 1 个铅矿和 2 个钨(钼) 矿; 预测图中部的烂泥塘、红山和普朗等地为斑岩出露地带, 有很好的找矿远景。预测图下部的拉巴地区, 预测面积较大, 分析已有的资料后认为该区的几个铜矿床成因不明, 在 1∶ 20 万区域地质图中该区也没有斑岩体出露, 根据预测图可以看出, 已知矿点都位于断裂交汇处, 说明其成矿更多地受断裂控制。预测图上的潜力区是应用区域上的证据图层(1∶ 20 万) 得到的。如果应用更大比例尺的数据, 则可以在预测的有利矿化带中圈出重要的远景区。通过预测得到以下结论。

(1) 模糊逻辑应用于矿产潜力预测, 提供了一个强大而灵活的理论框架, 用于处理多级证据图层建模的复杂性。

(2) 对模糊伽马算子 γ 的选择要特别注意, 其微

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

小的变化也会对结果产生很大的影响, 因此要不断尝试不同的值以得到最佳的预测效果。

(3) 在中甸地区应用模糊逻辑模型, 圈出的潜力区面积小于研究区的 20%, 预测出至少 90% 的已知矿床。从预测区和预测的矿点数看, 这是一个很有意义的结果。

(4) 在此次研究中, 模型应用的目的在于圈出区域规模上的潜在矿化区。同样的模型应该进一步检验, 以用于更大比例尺证据图的建模, 在预测的潜力区中圈出更为确定的远景区。

参考文献:

[1] Pan Guocheng, Harris D P. *Information Synthesis for Mineral Exploration*[M]. Oxford: Oxford University Press, 2000.

[2] Porwal A. Knowledge-Driven and Data-Driven Fuzzy Models for Predictive Mineral Potential Mapping[J]. *Natural Resources Research*, 2003, 12: 1– 25.

[3] Luo X, Dimitrakopoulos R. Data-Driven Fuzzy Analysis in Quantitative Mineral Resource Assessment[J]. *Computers & Geoscience*. 2003, 29: 3– 13.

[4] Daneshfar B. *An Evaluation of Indicators of Prospectivity and Potential Mapping of Porphyry Deposits in Middle & Southern British Columbia by a GIS Study of Regional Geochemical and Other Geoscientific Data*[D]. Dttawa, Ontario, Canada: University of Ottawa, 1997: 442.

[5] Zimmermann H J. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*: 2nd edn.[M]. Boston: Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, 1991: 299.

[6] An P, Moon W M, Rencz A. Application of Fuzzy Set Theory for Integration of Geological, Geophysical and Remote Sensing Data[J]. *Can. Jour. Exploration Geophysics*, 1991, 27(1): 1– 11.

[7] Bonham-Carter G F. *Geographic Information System for Geosciences: Modelling with GIS*[M]. Oxford: Pergamon Press, 1994.

[8] 杨岳清, 侯增谦, 黄典豪, 等. 中甸弧碰撞造山作用和岩浆成矿系统[J]. 地球学报, 2002, 23(1): 17– 24.

[9] 曾普胜, 莫宣学, 俞学惠. 滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿[J], 矿床地质, 2003, 22(4): 393– 400.

[10] 赵准. 中甸地区与印支期斑岩有关的铜钼矿床成矿模式[J]. 云南地质, 1995, 14(4): 342– 349.

[11] 曾普胜, 侯增谦, 李丽辉, 等. 滇西北普朗斑岩铜矿床成矿时代及其意义[J]. 地质通报, 2004, 23(11): 1 127– 1 131.

[12] 曾普胜. 云南省中甸地区火山+侵入杂岩及其与铜金矿产的关系[D]. 北京: 中国地质大学, 2000: 130.

[13] Kemp L D, Bonham-Carter G F, Raines G L, et al. *Are-SDM: Arcview Extension for Spatial Data Modelling Using Weights of Evidence, Logistic Regression, Fuzzy Logic and Neural Network Analysis*[M/OL]. http://ntserv.gis.nrcan.gc.ca/sdm/. 2004.

[14] 陈文明. 论斑岩铜矿的成因[J]. 现代地质, 2002, 16(1): 1– 7.

Porphyry Copper Mineral Prediction Using Fuzzy Logic Method in Zhongdian, Yunnan Province

XING Xue-wen[1,2], HU Guang-dao[1], WANG Zheng-hai[1], HAO Rong[1]

(1. *China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*;
2. *China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: In the application of fuzzy logic in mineral exploration, two steps are taken. Evidence map is first converted into fuzzy membership by using fuzzy membership function and then the fuzzy data sets are combined into a final favorable potential map by using fuzzy operator, such as Fuzzy AND, Fuzzy OR and Fuzzy γ. After the introduction of fuzzy logic theory and the detailed analysis of matallogenetic law of porphyry copper in Zhongdian, Yunnan Province, this paper presents the application of ArcView GIS and its extensions (Are-SDM) in processing data and extracting forcasting variables involved with geology, geochemistry and lineaments interpreted from remote sensing data. During the fuzzy modeling in the Zhongdian area, a subjective membership function was selected to confirm membership of different variables. The choice of fuzzy operator is based on the relationship between forecasting variables and known porphyry copper deposit. The final copper potential map is generated by combining 3 ore controlling factors using gamma operator. The results show that the fuzzy set theory can integrate effectively various spatial data for mineral potential mapping and the final map delineated several favorable potential areas of mineralization for further investigation.

Key words: fuzzy logic; membership value; mineral potential mapping; Zhongdian area

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net