

应用模糊集合论方法评价华南 若干花岗岩体铀成矿远景

孙文鹏 陈庆兰 次小林

(北京铀矿地质研究所)

集合论是现代数学的基础。集合可以表达概念。设论域 U 、 α 是 U 上的一个概念，它的外延是 U 的一个子集 A ，对于 U 中的任一元素 u ， u 应符合概念 $u \in A$ ，否则 $u \notin A$ ，二者必居其一，绝不模棱两可。因此，建立在普通集合论基础上的现代数学所讨论和解决的问题是严格、精确和绝对的。然而，在现实生活中的许多概念都是不确切的，对于每个对象很难用绝对的“符合”与“不符合”概念来回答。在“符合”与“不符合”之间还存在着既符合又不完全符合概念的中间状态，对于此类复杂现象，就不能用“非此即彼”的绝对办法来处理。

一、模糊集合简介

为了使数学吸取人脑分析、判别复杂问题的灵活性优点，1965年 L. A. 查德 (Zadeh) 首次提出了“Fuzzy Sets”的新概念^[3]。自1976年以来，模糊集合理论在我国得到了很快的普及和发展。

模糊集合把普通集合中 u 要么属于 A ，要么不属于 A 的关系灵活化，用隶属（程）度来代替绝对的“属于”或“不属于”关系，隶属度可取0—1之间的任意实数值，把隶属关系从普通集合论中只取0、1两值，推广到 $[0, 1]$ 闭区间^[3]。

$$0 \leq \tilde{A}(u) \leq 1$$

$\tilde{A}(u)$ 为 $\tilde{A}$ （模糊子集）的隶属函数，用它表示论域 U 中任一元素 u 对 $\tilde{A}$ 的隶属度。人们可以根据需要选取不同的 λ （置信水平）值（ $0 \leq \lambda \leq 1$ ）来确定其隶属关系。当 $\tilde{A}(u) \geq \lambda$ 时，则 $u \in \tilde{A}$ ，否则 $u \notin \tilde{A}$ 。 λ 值从1降到0， $\tilde{A}$ 逐渐扩大。因此，模糊子集 $\tilde{A}$ 是一个具有游移边界的集合，它随 λ 值的变小而变大。和普通集合一样，模糊集合也规定其运算^[1]。

设 $\tilde{A}$ 、 $\tilde{B}$ 为 U 的两个模糊子集，则它们的并集、交集和 $\tilde{A}$ 的余集 $\tilde{A}^c$ ，都是模糊子集，它们的隶属函数分别定义为：

$$(\tilde{A} \vee \tilde{B})(u) = \max(\tilde{A}(u), \tilde{B}(u))$$

$$(\tilde{A} \wedge \tilde{B})(u) = \min(\tilde{A}(u), \tilde{B}(u))$$

$$\tilde{A}^c(u) = 1 - \tilde{A}(u)$$

但是，其互补律不一定成立

即：

$$\tilde{A}(u) \vee \tilde{A}^c(u) \neq 1$$

$$\tilde{A}(u) \wedge \tilde{A}^c(u) \neq 0$$

集合论的这一发展,为地质学与数学的结合开辟了新的途径。

二、应用模糊集合理论评价花岗岩体铀成矿远景

(一) 应用模糊识别的直接方法进行预测

1. 产铀花岗岩体研究概况 本文所讨论的花岗岩型铀矿床,仅限于华南地区产在岩体内接触带中的铀矿床。对于此类铀矿床的成矿特点、找矿标志以及产铀花岗岩体与产钨、锡、铋、钼和产稀土花岗岩体的成分特征^[1]……,在1973年专题讨论会上和会后,我国铀矿地质学家们进行了广泛、深入的探讨。并认为,华南产铀岩体具有下述特征:在岩性上均为酸性花岗岩;岩体含铀丰度高;岩石中有晶质铀矿微粒产出;岩体内铀的分布均匀性差;断裂构造发育;蚀变广泛;具备铀沉淀富集的良好条件……部分学者还认为:岩体适当剥蚀;出露面积大;侵入于富铀地层;保矿条件良好……也是重要的找矿标志。上述认识都是前人宝贵经验的总结。由于这些经验只具有相对意义,缺乏量的概念,因此,当应用这些认识预测时,往往会感到困难和不便。为了使上述认识定量化,作者试用模糊集合理论,进行初步尝试。

2. 岩体和变量的选择 我国华南花岗岩体广泛发育,仅湘、赣、粤、桂四省岩体出露面积达63,720平方公里。从这些岩体中,选择了12个经过揭露的(产矿7个和不产矿5个)岩体,做为检验控矿因素和确定门坎“ λ ”值大小的依据。此外,还另选了14个时代不同,大小不等未经揭露或揭露不充分的花岗岩体做为预测对象。

华南花岗岩型铀矿床的控矿因素^[2],前人虽然进行了有益的综合和总结。但是用它们做为变量直接进行预测时,则还必须对它们做进一步的筛选,具体筛选原则是:

(1) 做为评价花岗岩体产铀选景的变量,对于形成多种花岗岩型铀矿床来说,都是不能缺少的成矿条件。

(2) 此种变量应在所选择的岩体中均能收集到,并且所取数据对于该岩体最具代表性。

(3) 不同岩体的相同变量数据具有较好的一致性,以保证它们的可对比性。

根据上述原则,最后挑选了岩体含铀丰度、岩体铀含量变化特征、构造发育程度、岩体出露面积和是否侵入于富铀的下古生界等五个控矿因素做为直接评价岩体产铀远景的变量。

3. 变量的取值 岩体含铀丰度(x_1):花岗岩体的含铀量,在华南尚缺全面系统的资料,现有这方面的数据,主要来自少数产铀岩体,由于数量少,代表性较差,本文未采纳。为了保证资料有较好的代表性和一致性,在考虑到华南花岗岩体含铀不高,变化不大,⁴⁰K的影响很小的条件下,统一用航测伽玛强度代替铀含量,直接从1:20万航测伽玛图测得各岩体的平均伽玛强度。航空伽玛强度(I)与铀含量(U_{ppm})有如下关系:

$$U_{ppm} = \eta I \quad (\eta \text{ 为换算系数 } \eta \approx 0.93)$$

岩体含铀变化大,用航测伽玛强度的两个统计参数(标准差(x_2)和变异系数(x_3))来表示岩体铀含量的变化。

岩体内断裂构造发育程度(x_5):为了避免由于工作和揭露程度的差异给数据带来的影

响, 确保资料的对比性, 以区域性大断裂在岩体内发育的总长度来代表 x_5 , 并且直接从1:50万卫星照片解释图上测得 ($1\text{cm} = 5\text{km}$)。

原始数据 表 1

岩体序号	伽玛强度 (x_1)	标准差 (x_2)	变异系数 (x_3)	岩体面积 (cm^2) $1\text{cm}^2 = 4\text{km}^2$ (x_4)	断裂总长 (cm) $1\text{cm} = 5\text{km}$ (x_5)	岩体与 Pz ₁ 接触 带长度 (cm) $1\text{cm} = 2\text{km}$ (x_6)
1	19.7	5.9	0.3	340	44	97
2	20.97	9.29	0.44	250	5	45
3	25.5	6.59	0.26	95	20	19
4	24.7	6.72	0.27	79	23	55
5	16.29	4.6	0.28	42	4	30
6	24.51	4.3	0.18	137	23	4
7	23.7	3.3	0.14	65	6	36
8	19.0	2.06	0.11	79	3.5	20
9	23.2	4.69	0.2	65	5	52
10	11.11	2.82	0.25	355	50	73
11	9.55	2.23	0.23	33	0	0
12	14.56	5.09	0.35	34	0	22
13	17.32	3.09	0.18	55	8	4
14	18.73	4.5	0.24	102	4	36
15	20.04	5.98	0.3	159	13.5	26
16	27	5.85	0.22	286	8	35
17	24.95	6.16	0.25	1415	0	42
18	27	3.79	0.14	83	12.5	11
19	22.5	5.38	0.24	226	8	0
20	9.02	2.19	0.24	158	0	52
21	16.25	2.59	0.16	121	0	66
22	14.65	2.91	0.2	68	10	40
23	19.74	6.41	0.32	21	11.5	24
24	9	2.04	0.23	28	2	24
25	19.69	2.68	0.14	70	0	0
26	19.6	2.29	0.12	91	0	0

岩体出露面积(x_4)和岩体侵入于下古生界(x_6)的长度, 直接从1:20万地质图上测量取值。($1\text{cm}^2 = 4\text{km}^2$; $1\text{cm} = 2\text{km}$)

上述六个变量的原始数据见表1。

4. 控矿因素隶属函数的建立 上述五个控矿因素中的含铀丰度高、岩体内铀含量变化大、构造发育和岩体出露面积广对铀成矿有利等, 都是只具相对意义, 而无确定边界的模糊集合。

所谓岩体含铀丰度高, 有利于铀元素富集成矿, 人们通用的准则是, 凡大于平均水平者方可称为高者(或富者)。由于缺乏华南花岗岩体的平均铀含量资料, 因此本文试用上述26个岩体平均伽玛强度代替它, 其平均值为19.17 γ , 大致相当于17.8 ppm, 以此值做为岩体含铀丰度高的下界, 凡平均伽玛强度大于此值的花岗岩体, 均为对铀成矿有利的岩体, 其隶属度为1。对于含铀丰度(即伽玛强度)较低的上界, 另做两条规定: 一是要求此值低于所有已知产铀岩体的含铀丰度, 并且尽可能满足凡是含铀丰度小于此值者, 无一为产铀岩体; 二是在具体取值时, 应根据本区花岗岩体含铀丰度曲线特征, 将此值取在分布曲线的不连续处(或存在多峰时, 则取波谷的最低点)。现以12 γ (约11 ppm)做为岩体含铀丰度较低, 不利于铀成矿的上界, 若小于此值, 其隶属度应为0, 此两值确定后, 拟合其隶属函数为:

$$A_1(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 \leq 12\gamma \\ -5.3 + 4.91 \log x_1 & 19.17\gamma > x_1 > 12\gamma \\ 1 & x_1 \geq 19.17\gamma \end{cases}$$

根据上式求得每个花岗岩体含铀丰度(即伽玛强度)的隶属度。

岩体中铀元素分布不均一性大, 对铀成矿有利。本文用航测伽玛强度的两个统计参数标准差(x_2)和变异系数(x_3)来表示它。根据同样的原则, 用实测得的26个岩体航测伽玛强度平均标准差4.36和平均变异系数0.23, 做为岩体铀元素分布变化大的下限, 取3和0.15为岩体铀元素分布变化不大的上限, 并拟合得到它们的隶属函数如下:

$$A_2(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2 \leq 3 \\ -2.93 + 6.14 \log x_2 & 3 < x_2 < 4.36 \\ 1 & x_2 \geq 4.36 \end{cases}$$

$$A_3(x_3) = \begin{cases} 0 & x_3 \leq 0.15 \\ 4.4 + 5.33 \log x_3 & 0.15 < x_3 < 0.23 \\ 1 & x_3 \geq 0.23 \end{cases}$$

根据上述两式分别求得12个已知岩体和14个待测岩体伽玛强度的标准差(x_2)和变异系数(x_3)的隶属度。

岩体出露面积大(x_4)有利于成矿。前人曾提出,花岗岩型铀矿床多数产于出露面积广的大岩基中,而岩基的出露面积均在数百平方公里以上。而小岩体、岩珠或岩瘤一般仅数十平方公里。因此,本文取400平方公里(100cm^2)为岩体出露面积大,有利于铀成矿的下界,以50平方公里做为小岩体的上界,对于400—50平方公里之间的岩体,则根据下面隶属函数求得每个岩体的隶属度。

$$A_4(x_4) = \begin{cases} 0 & x_4 \leq 12.5 \\ -1.2 + 1.1 \log x_4 & 12.5 < x_4 < 100 \\ 1 & x_4 \geq 100 \end{cases}$$

构造很发育(x_5)对铀成矿有利。已有经验表明,在花岗岩型铀矿区,常见有走向延伸长达数十公里的区域性大断裂通过,它们对铀矿床的形成和分布起着明显的控制作用,即使是最小的控矿构造,走向延伸也在十余公里以上。因此取岩体断裂构造很发育的下限为30公里(6 cm),若花岗岩体内断裂构造总长度小于7.5公里(1.5 cm),则很难认为岩体构造发育,也不可能存在区域性控矿断裂,故以此做为断裂不发育对铀成矿不利的上限。最后,确定其隶属函数为:

$$A_5(x_5) = \begin{cases} 0 & x_5 \leq 1.5 \\ -0.29 + 1.66 \log x_5 & 1.5 < x_5 < 6 \\ 1 & x_5 \geq 6 \end{cases}$$

有利铀成矿的岩体围岩条件(x_6):根据华南花岗岩浆侵入于下古生界有利于铀成矿的经验总结,用花岗岩体与下古生界接触带地表的出露长度,做为衡量对成矿有利的尺度,如果不与下古生界接触其值为0。因此,对于有利围岩,所选用的隶属函数为:

$$A_6(x_6) = \begin{cases} 0 & x_6 \leq 1 \\ 0.67 \log x_6 & 1 < x_6 < 31.27 \\ 1 & x_6 \geq 31.27 \end{cases}$$

根据上述隶属函数,可以求得12个已知岩体和14个未知岩体的六个变量(五个控矿因素)的隶属度,综合列于表2。

5. 应用模糊集合的运算法则,对12个已知岩体进行检验,并对14个未知岩体进行综合预测。花岗岩型铀矿床也和其它矿床一样,是多种地质因素综合作用的产物,一个铀矿床只有同时具备了各种必要成矿条件时,才可能形成,也就是说,凡属必要的成矿条件是缺一不可的。然而,某一类成矿必要条件(如铀源),又可以不同的形式和来源得到满足(如花岗岩体、富铀地层……),解决如此复杂而灵活的综合判别问题,模糊集合理论提供了可喜的前

隶属度表 表 2

岩体序号	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y	Sy	拟合	
已知岩体 (十二个)	1	1	1	1	1	1	大中	1	大中	
	2	1	1	1	1	0.87	1	大中	0.87	大中
	3	1	1	1	0.98	1	0.86	大中	0.86	大中
	4	1	1	1	0.89	1	1	大中	0.89	大中
	5	0.65	1	1	0.59	0.71	0.99	大中	0.59	小
	6	1	0.96	0.43	1	1	0.4	小	0.4	小
	7	1	0.25	0	0.79	1	1	无	0.25	无
	8	0.98	0	0	0.89	0.61	0.87	无	0	无
	9	1	1	0.67	0.79	0.87	1	小	0.79	小
	10	0	0	1	1	1	1	无	0	无
	11	0	0	1	0.47	0	0	无	0	无
	12	0.41	1	1	0.48	0	0.9	无	0	无
未知岩体 (十四个)	13	0.78	0.08	0.34	0.71	1	0.4	待测	0.34	无
	14	0.95	1	1	1	0.71	1	待测	0.71	小
	15	1	1	1.0	1	1	0.95	待测	0.95	大中
	16	1	1	0.9	1	1	1	待测	1	大中
	17	1	1	1	1	0	1	待测	0	无
	18	1	0.62	0	0.91	1	0.7	待测	0.62	小
	19	1	1	1	1	1	0	待测	0	无
	20	0	0	1	1	0	1	待测	0	无
	21	0.65	0	0.15	1	0	1	待测	0	无
	22	0.42	0	0.67	0.82	1	1	待测	0.42	小
	23	1	1	1	0.25	1	0.92	待测	0.25	无
	24	0	0	1	0.39	0.21	0.92	待测	0	无
	25	1	0	0	0.83	0	0	待测	0	无
	26	1	0	0	0.95	0	0	待测	0	无

景。运用模糊集合的运算法则,建立了上述六个变量的综合隶属函数 $\tilde{C}(x)$

$$\tilde{C}(x) = A_1(x_1) \wedge [A_2(x_2) \vee A_3(x_3)] \wedge A_4(x_4) \wedge A_5(x_5) \wedge A_6(x_6)$$

根据上式求得12个已知岩体的综合隶属度 S_y (见表2)。若取 $\lambda_1=0.8$, $\lambda_2=0.4$,分别为岩体可能产大中型矿床和小型矿床的“门坎”(即 $S_y \geq 0.8$ 的岩体可能产大、中型矿床; $0.8 > S_y \geq 0.4$ 的岩体可能产小型矿床; $0.4 > S_y > 0$ 的岩体,仅具备一定的矿化条件),对已知12个岩体的拟合率可达11/12。唯一错判的5号岩体,也只是在矿床规模上失真。由此可见,用上述控矿因素预测岩体成矿远景是可行的。

根据上述综合隶属函数 $\tilde{C}(x)$ 求得14个未知岩体的综合隶属度(S_y),从表2可见,15号、16号岩体的综合隶属度均大于0.8,应属可能产大中型铀矿床的岩体,而14号、18号和22号岩体的综合隶属度在0.4—0.8之间,则可能产小型铀矿床。

(二) 应用模糊聚类进行成矿预测

分类问题实际上就是根据事物本身的属性,将事物分成若干个模糊子集,因此,用模糊集合来表达最自然。一种分类,就是根据一定的标准,确定一个等价关系(如同年龄、同

性别……);反之,一个等价关系确定一种分类,一种模糊等价关系具有下面三种性质:

1. 反身性: $r_{ii}=1$ ($i=1,2,\dots,n$) 即每一元素自己和自己相似;
2. 对称性: $r_{ij}=r_{ji}$ ($i,j=1,2,\dots,n$) 即甲与乙同类,则乙与甲也同类;
3. 传递性: $R \cdot R \leq R$, 即甲与乙同类,乙与丙同类,则甲与丙同类。

模糊聚类分析步骤:

首先是标定:设 U 是待分类的全体,在待分类的全体之间,根据一定的原则,建立某种亲疏关系。

其次是分类:当标定的亲疏关系已经确定,并且是一种模糊等价关系,则可根据需要,选取适当的“ λ ”值进行分类。

本文选用相似系数来标定,求得相似矩阵 R ,将 R 矩阵中的元素从 $[-1, 1]$ 压缩到 $[0, 1]$ 中,这样,就可以看作给定了一个模糊关系。一般来说,相似矩阵能满足反身性和对称性,但不一定满足传递性,因此,需要改造相似矩阵 R ,使之具有传递性。一个能满足反身性、对称性的模糊关系,可以通过“自乘”的方式,改造成为一个模糊等价关系。当 $R = R^{2k} = R^*$ 时,则 R^* 便是一个模糊等价关系。由 R^* 便可对 U 中的元素进行任意水平“ λ ”上的

分类。

为了使分类更符合实际,对变量进行了不同的变换。对比不同变换的分类结果,发现变量经过变换的比未经变换的好,其中又以用单变量的隶属度代替原始数据所得的分类更接近地质实际(见模糊聚类谱系图1)。若取 $\lambda=0.84$,则26个花岗岩体可分为六类。

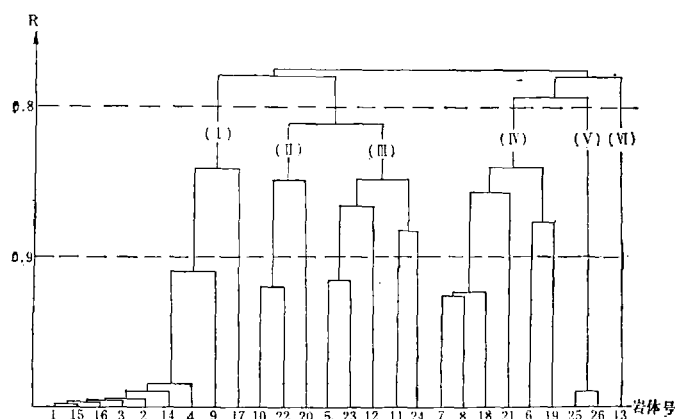


图 1 模糊聚类谱系图

Fig. 1. Diagram of fuzzy cluster tree derivation.

第一大类有九个岩体,已知产矿岩体多数分在此类,除9号、17号岩体外,该类各岩体具有很大的相似性($R>0.98$)。此外,第五类为两个不产矿小岩体,它们之间也有很大的相似性($R=0.993$)。上述两类为该谱系图的两个极端,其它II、III、IV、VI类的岩体特征均介于I、V类之间,分在这些类中的岩体,即使同属一类,其相似程度均较差。也就是说,各岩体对于前述五项控矿因素(六个变量)在不同方面均有一定程度的满足。应当指出的是,5号产矿岩体被分在第III大类中,这表明它与第I大类的产矿岩体相比,具有不完全相同的成矿条件。也就是说,用前五项控矿因素预测类似5号岩体(即岩体时代较老、含铀不太高、出露面积不大……等)的成矿远景并不很合适。

上述两种不同方法所得结果基本吻合。

三、小 结

1. 用上述五项控矿因素来预测花岗岩岩基的成矿远景,是完全可行的。计算结果表明16号、15号两岩体具备了上述五项成矿有利条件,应是最有成矿远景的岩体,18号、22号岩体的成矿远景仅次于前者。

2. 对于含矿的中小岩体(如5号岩体)或外接触带含矿岩体的远景评价,则不能照搬上述五条经验,而需找出新的控矿因素。在聚类图中5号岩体被分在第III类中,这也说明了它与第I大类含矿岩体之间的差别较大,而它与23号岩体具有较大的相似性,是否意味在23号岩体中可以找到与5号岩体相类似的铀矿床,尚待进一步证实。

3. 通过模糊集合理论的初步应用表明,地质上的定性经验,完全可以使之定量化。

4. 从表2可以发现:所有26个岩体,均能满足一项以上的控矿因素。然而,同时具备

五项有利成矿条件的岩体则不多见。如从 x_1 至 x_6 其隶属度均为 1 者, 仅有一个 1 号岩体, 实际上它也是含矿最多的岩体。

5. 对于因单项控矿因素不满足而被否定的岩体, 在实际工作中则需以该项条件做为重点调查对象, 以便从岩体中找出该控矿因素发育最好的局部。

6. 地质上多种地质因素共同作用成矿, 与用模糊集合理论的综合隶属度进行评判, 两者在逻辑上极其近似。因此, 用综合隶属度进行矿产预测也最合理。

在撰文过程, 曾参阅了汪培庄、王从周、陈祖伊、刘义发、孙念义等同志有关资料, 特此致谢!

参 考 文 献

- 〔1〕 孙文鹏、陈庆兰 1980 华南燕山期含矿花岗岩成分特征的多元统计研究 数学地质专辑(一) 124—137 地质出版社
- 〔2〕 孙文鹏 1980 铀的成矿作用与断裂构造 自然杂志 3 卷 5 期 上海科技出版社
- 〔3〕 Zaden. L. A., 1965, Fuzzy sets inform and control, 8, 338—353.

<http://www.kcdz.ac.cn/>

THE APPLICATION OF FUZZY SET METHOD TO THE EVALUATION OF URANIUM POTENTIAL OF SOME GRANITIC INTRUSIONS IN SOUTH CHINA

Sun Wenpeng, Chen Qinglan and Ci Xiaolin

(Beijing Research Institute of Uranium Geology)

Abstract

The fuzzy set theory introduced by L. A. Zadeh (1965) expresses the notion of gradational membership by introduction of membership function of fuzzy subset. Assume we have a set U , a fuzzy subset of U , A is a subset of U in which the characteristic function $A(u)$ takes values in the real interval $(0,1)$, that is, the membership function, instead of only being 1 or 0 (belonging to or not), allows a degree of membership. There are many fuzzy objects and concepts in geology and mineral resources assessment, such as "favorability for ore-deposition", "recognition criteria", "ore-controlling factors, etc. Therefore, the fuzzy set theory provides geologists with a useful tool in mathematically analysing complex geological problems.

In this paper the direct fuzzy recognition method is used to test 12 granitic intrusions in south China with known uranium deposits of different scale or without any economic uranium mineralization, and then to predict the uranium potential of other 14 granitic intrusions in the same region that have not yet been examined or explored in detail. The fuzzy cluster analysis is also used as another method to determine the uranium potential of these intrusions. The two approaches give approximately similar results.

The direct fuzzy recognition is made by constructing a membership function of "favorability for ore-deposition". On the basis of the experience and knowledge acquired by the Chinese uranium geologists and geochemists concerning the uranium deposits in granites in south China, the following geological and geochemical conditions are selected as favorable factors for uranium ore-deposition: the average uranium abundance of the intrusion, the uneven distribution of uranium within the intrusion represented by standard deviation and diversity coefficient of uranium content in granite, the exposed area of the intrusion, the development of fracture structure and the presence of uraniferous wall rocks of the intrusion. The membership function of each factor is established as follows:

$$\tilde{A}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq c_1 \\ a + b \log x & c_2 > x > c_1 \\ 1 & x > c_2 \end{cases}$$

where a, b, c_1, c_2 are parameters determined from the 12 known intrusions. Using the operational rules of fuzzy set, we obtain the composite membership function of all factors:

$$\tilde{C}(x) = \tilde{A}_1(x_1) \wedge [\tilde{A}_2(x_2) \vee \tilde{A}_3(x_3)] \wedge \tilde{A}_4(x_4) \wedge \tilde{A}_5(x_5) \wedge \tilde{A}_6(x_6)$$

Taking $\lambda_1=0.8, \lambda_2=0.4$ as the threshold of the possible occurrence of big-medium-sized deposits, and that of smaller deposits separately, the degree of fitting for the 12 known intrusions is 11/12, and only one intrusion is wrongly judged regarding the scale of deposit. On the basis of the calculated composite degree of membership of the 14 unknown intrusions, it is predicted that in the intrusions No. 15 and No. 16 the big-medium sized uranium deposits might occur, while in the intrusions No. 14, No. 18 and No. 22 the smaller ones might be discovered.

The fuzzy cluster analysis of these 26 granitic intrusions provides similar conclusion regarding their uranium potential. The first step of this analysis is to construct the matrix of similarity coefficient which is subsequently reconstructed in order to fit the transitivity. Then, with threshold $\lambda=0.84$, these 26 intrusions are divided into six classes, and a cluster tree derivation diagram is obtained. An analysis of this diagram reveals that the intrusions No. 15 and No. 16, along with almost all known uranium-productive intrusions, fall into the same class—class No. 1, suggesting that uranium deposits are most likely to occur within these two intrusions.

<http://www.kcdz.com/>