

## 对确定铅锌矿床勘探类型数学方法的探讨

陈龙桂

(中国地质大学研究生院·武汉)

以我国铅锌矿床勘探类型为例,提出一种用多层次加权评分评价与模糊识别相结合的定量数学方法。结果表明,该法较好地弥补了以定性为主的传统方法的缺陷,具有简便实用、结论明确、量化程度高等特点。

**关键词:** 勘探类型;多层次加权评分评价;模糊识别;铅锌矿床



勘探方法

研究与确定矿床勘探类型是地质勘探工作的重要课题。通常是根据矿床地质特征及其勘探难易程度来确定其勘探类型,并为选择合理的勘探方法、手段和网度提供依据。

从表1可看出,确定铅锌矿床勘探类型评价因素多达13个。评价标准表达的差异性很大,概括有3种:①有界范围值,如“800~1000以上”、“<200”;②区间值,如“500~800”;③语言值,如“规则”、“变化小”等。由于评价因素多,模糊性和不确定性大,因此应用以定性分析为主的传统方法确定铅锌矿床勘探类型存在着主观影响大。当具较大的或然性和评价因素特征复杂时,结论不明确等缺陷。

本文将结合我国铅锌矿床的实况,试图利用多层次加权评分评价与模糊识别相结合的数学方法对矿床勘探类型进行综合评价和定量确定。

### 数学方法的选择原则

解决上述课题的数学方法必须遵循下列原则:

1. 多元性 矿床勘探类型的确定受多种因素制约,因此数学方法考虑的因素应是多元的。

2. 不等性 选择的诸评价因素中,各因素在决定矿床勘探类型级别的综合指标的作用不等,故要对各评价因素适当配以不同权数加以区别。

3. 层次性 矿床勘探类型确定的评价因素涉及不同层次,选用数学方法时必须注意。

4. 定量性 传统的定性分析为主的方法难于客观比较和判别矿床勘探类型,而定量的数学方法可最大限度利用有用信息并相应作出判别。

5. 模糊性 由于评价因素具有模糊性和不确定性,故勘探类型的级别确定也是个相对概念。各类型间无截然的界线,呈逐渐过渡。实际上,勘探类型的评价确定乃是一种模糊评价确定。

根据上述原则,笔者选择了多层次加权评分评价法对矿床勘探类型确定的影响因素进行综合评价,再采用模糊数学模型对评价结果加以识别,以确定矿床的勘探类型。

### 数学方法

确定铅锌矿床勘探类型的数学方法有5

我国铅锌矿床勘探类型划分表

表 1

类型	矿体规模		矿体形态					矿体复杂程度				矿石组份分布均匀度		
	最大走向长度 (m)	最大有效面积 (km <sup>2</sup> )	形状	厚度变化幅度	厚度变化系数 (%)	厚度变化曲线	产状	成矿后构造破坏	矿体分枝复合	矿石分布均匀性	矿石连续性	铅锌系数 (%)	矿化曲线	
I	特长 (>800)	特大 (>1)	规则, 层状	小, 相差数倍, 局部十余倍, 无天窗, 具方向性变化	小 (<60)	波状	稳定, 无单斜, 无大的波状或挠曲	无破坏, 偶有断层, 岩脉穿插, 矿体相连	无或少许分枝复合	简单, 矿体由单一矿石组成, 少见表外矿石	连续, 有少量天窗, 夹石	小 (<50~80)	平滑, 最高点与最低点绝对曲线绝对差 <1~4%	
II	长 (500~800)	大 (0.5~1)	较规则, 似层状为主, 个别层状、脉状	小, 相差数倍, 局部十余倍, 无天窗, 具方向性变化	中等 (40~80)	不明显	稳定, 无单斜, 无大的波状或挠曲	无破坏, 偶有断层、岩脉相切, 矿体连接	较简单	简单或中等, 规律性不显著	较连续, 局部有天窗, 夹石较多	中等 (80~140), 个别小 (<50~80) 或大 (100~180)	规律性不显著	
III	中等长 (200~500)	一般 (0.1~0.5)	较规则, 似层状、脉状, 个别为透镜状	中等, 相差十余倍, 个别数十倍, 有天窗	中等为主 (40~80), 少数大 (60~100)	不明显	规律性不明显, 多数稳定	规律性不显著	较简单	规律性不显著	中等或大 (80~140) 或 (100~180)	波状为主, 相邻绝对差为 4~7%		
IV	不长 (<200)	小 (<0.1)	不规则, 透镜状	大, 相差数十倍, 矿体不连续	大为主 (60~100), 少数特大 (80~150)	不明显	规律性不明显, 多数稳定	少数断层、岩脉穿插, 距不大	较简单	简单或中等	不连续	大 (100~180)	多峰, 相邻绝对差为 >11%	
V	不长 (<200)	小 (<0.1)	极不规则, 囊状、羽毛状、筒柱状	大, 相差数十倍, 矿体不连续	特大为主 (80~150), 少数大 (60~100)	不明显	规律性不明显, 多数稳定	规律性不显著	复杂, 无规律	中等为主	不连续, 常见尖灭或天窗	特大 (>150~200)	规律性不显著	

据王育民等, 我国铅锌矿床地质勘探工作阶段性总结 (二), 矿床探采验证与总结, 第2期, 1983年, 略改。

中国铅锌矿床勘探类型多层次加权评分评价表

表 2

评价因素(权系数)		综合权系数 (c) = a × b	评价等级 (d)	评分标准		待评对象	
第一层次 (a)	第二层次(b)			区间值(e)	中间值(f)	等级值(g)	得分值(h) = c × g
矿体规模 $X_1$ (0.3)	矿体走向长度(m) $x_1$ (0.5)	0.15	特长 很长 中等 不长	7.5~10 5~7.5 2.5~5 0~2.5	8.75 6.25 3.75 1.25		
	矿体有效面积(km <sup>2</sup> ) $x_2$ (0.5)		特大 大 中等 小	7.5~10 5~7.5 2.5~5 0~2.5	8.75 6.25 3.75 1.25		
矿体形态复杂程度 $X_2$ (0.4)	矿体形状 $x_3$ (0.25)	0.10	规则 较规则 不规则 极不规则	7.5~10 5~7.5 2.5~5 0~2.5	8.75 6.25 3.75 1.25		
	厚度变化幅度 $x_4$ (0.25)		小 中等 大	6.65~10 3.3~6.65 0~3.3	8.33 4.98 1.65		
	厚度变化系数 $x_5$ (0.10)	0.04	小 中等 大 特大	7.5~10 5~7.5 2.5~5 0~2.5	8.75 6.25 3.75 1.25		
	厚度变化曲线 $x_6$ (0.10)		好 较好 较差 差	7.5~10 5~7.5 2.5~5 0~2.5	8.75 6.25 3.75 1.25		
	产状变化 $x_7$ (0.10)	0.04	小 中 大	6.65~10 3.3~6.65 0~3.3	8.33 4.98 1.65		
	成矿后破坏 $x_8$ (0.10)		无 中等 强烈	6.65~10 3.3~6.65 0~3.3	8.33 4.98 1.65		
	分枝复合程度 $x_9$ (0.10)	0.04	简单 中等 复杂	6.65~10 3.3~6.65 0~3.3	8.33 4.98 1.65		
矿石组份分布均匀度 $X_3$ (0.3)	简单 中等 复杂		6.65~10 3.3~6.65 0~3.3	8.33 4.98 1.65			
矿石组份分布均匀度 $X_3$ (0.3)	矿化连续性 $x_{11}$ (0.25)	0.075	连续 较连续 不连续	6.65~10 3.3~6.65 0~3.3	8.33 4.98 1.65		
	品位变化曲线 $x_{12}$ (0.25)		好 较好 较差 差	7.5~10 5~7.5 2.5~5 0~2.5	8.75 6.25 3.75 1.25		
	品位变化系数 $x_{13}$ (0.25)	0.075	小 中等 大 特大	7.5~10 5~7.5 2.5~5 0~2.5	8.75 6.25 3.75 1.25		
总分	$x = \sum_{i=1}^{13} x_i$						

部分组成。第一,设计出多层次加权评分评价表;第二,依据评价表对已确定的参考勘探类型的各项评价因素具体标志特征进行综合评价;第三,根据上述参考勘探类型的综合评价结果建立勘探类型模糊识别的数学模型;第四,依据评价表,对待确定勘探类型的矿床进行综合评价;第五,采用模糊识别的数学模型和矿床的综合评价结果进行待确定矿床勘探类型的确定。

多层次加权评分评价表如表 2 所示。表 2 中设有层次不同的评价因素及其相应的权重系数栏、综合权系数栏,与评价等级栏相对应的评分标准栏及待评对象栏等 5 个栏目。评价因素的第一层次其选取 3 个因素,分别赋予权系数集{0.3, 0.4, 0.3}。第二

层次的矿体、规模因素选取 2 个亚因素,相应权系数集为{0.5, 0.5};矿体形态复杂程度选取 7 个亚因素,相应的权系数集为{0.25, 0.25, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10};矿石组份分布均匀度选取 4 个亚因素,相应的权系数集为{0.25, 0.25, 0.25, 0.25}。综合权系数栏系指第一层次中的评价因素的权系数系指第一层次评价因素与第二层次有关亚因素权系数的乘积。依据我国铅锌矿床的实况,评价等级一般分 4 级,个别分 3 级。评分标准区间选择为 0~10 分制,根据各亚因素评价等级差异,分别采用 4 或 3 均分法,计算出各等级评分区间的中间值。待评对象系指已确定勘探类型和未确定勘探类型的铅锌矿区,见表 2。

中国铅锌矿床 5 种参考勘探类型的综合评分评价表

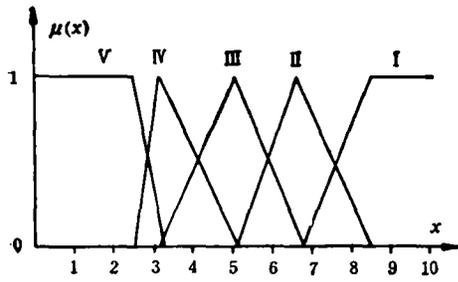
表 3

评价因素		I 类		II 类		III 类		IV 类		V 类	
		等级值	得分值								
$X_1$	$x_1$	8.75	1.3125	6.25	0.9375	3.75	0.5625	1.25	0.1875	1.25	0.1875
	$x_2$	8.75	1.3125	6.25	0.9375	3.75	0.5625	1.25	0.1875	1.25	0.1875
$X_2$	$x_3$	8.75	0.875	6.25	0.6250	6.25	0.6250	3.75	0.375	1.25	0.125
	$x_4$	8.325	0.8325	8.325	0.8325	4.975	0.4975	1.65	0.165	1.65	0.165
	$x_5$	8.75	0.35	6.25	0.25	6.25	0.250	3.25	0.150	1.25	0.050
	$x_6$	6.25	0.25	6.25	0.25	5.0	0.200	5	0.200	5	0.200
	$x_7$	8.325	0.333	8.325	0.333	4.975	0.199	4.975	0.199	4.975	0.199
	$x_8$	8.325	0.333	8.325	0.333	5.0	0.200	4.975	0.199	8.325	0.333
	$x_9$	8.325	0.333	8.325	0.333	8.325	0.333	8.325	0.333	1.65	0.066
$X_3$	$x_{10}$	8.325	0.6244	6.65	0.4988	5	0.375	6.65	0.4988	4.975	0.3731
	$x_{11}$	8.325	0.6244	4.975	0.3731	5	0.375	3.30	0.2475	1.65	0.1238
	$x_{12}$	8.75	0.6563	6.25	0.4688	6.25	0.4688	1.25	0.0938	5	0.375
	$x_{13}$	8.75	0.6563	6.25	0.4688	5	0.375	3.75	0.2813	1.25	0.0938
$\sum_{i=1}^{13} x_i$		8.4899		6.6410		5.0233		3.1174		2.4778	

应用表 2 和表 1,对中国铅锌矿床 5 种参考勘探类型进行综合评价,评价结果见表 3。评分过程中,取等级相应的评分标准中间值为等级值。

最后,根据表 3 中 5 种参考勘探类型的

综合评价结果,用模糊数学原理分别建立 I、II、III、IV、V 等 5 种勘探类型的模糊识别的数学模型。详见公式(1)、(2)、(3)、(4)、(5)及模糊识别图。



中国铅锌矿床I-V参考勘探类型模糊识别图

I类勘探类型识别的数学模型:

$$\mu_I(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 6.6410 \\ \frac{6.6410-x}{6.6410-8.4899}, & 6.6410 < x < 8.4899 \\ 1, & x \geq 8.4899 \end{cases} \quad (1)$$

这里,  $x$  表示按表 3 计算评价对象的综合评分, 即  $\sum_{i=1}^{13} x_i$ ;  $\mu_I$  是评价对象的隶属函数, 下同。

II类勘探类型识别的数学模型:

$$\mu_{II}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5.0233 \\ \frac{5.0233-x}{5.0233-6.6410}, & 5.0233 < x < 6.6410 \\ 1, & x = 6.6410 \\ \frac{8.4899-x}{8.4899-6.6410}, & 6.6410 < x < 8.4899 \\ 0, & x \geq 8.4899 \end{cases} \quad (2)$$

III类勘探类型识别的数学模型:

$$\mu_{III}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 3.1174 \\ \frac{3.1174-x}{3.1174-5.0233}, & 3.1174 < x < 5.0233 \\ 1, & x = 5.0233 \\ \frac{6.6410-x}{6.6410-5.0233}, & 5.0233 < x < 6.6410 \\ 0, & x \geq 6.6410 \end{cases} \quad (3)$$

IV类勘探类型识别的数学模型:

$$\mu_{IV}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2.4788 \\ \frac{2.4788-x}{2.4788-3.1174}, & 2.4788 < x < 3.1174 \\ 1, & x = 3.1174 \\ \frac{5.0233-x}{5.0233-3.1174}, & 3.1174 < x < 5.0233 \\ 0, & x \geq 5.0233 \end{cases} \quad (4)$$

V类勘探类型识别的数学模型:

$$\mu_V(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 2.4788 \\ \frac{3.1174-x}{3.1174-2.4788}, & 2.4788 < x < 3.1174 \\ 0, & x \geq 3.1174 \end{cases} \quad (5)$$

## 应用实例

实例 1, 大厂铅锌矿区 (以 92 号矿体为例), 矿体走向长 450~600m, 有效面积 0.52~0.69km<sup>2</sup>, 呈似层状, 产状稳定, 成矿后无构造破坏, 矿体分枝复合程度简单, 厚度变化小, 变化系数为 59%, 各类矿石分布均匀、简单, 矿化连续, 品位变化曲线一般, Zn 的品位变化系数为 48%。

将上述各项地质因素的具体标志特征代入表 2, 进行多层次加权评分评价, 其综合评价的总分为  $x_* = 6.9491$  (表 4)。利用公式 (1)~(5) 计算求得:

$$\text{即 } \mu_I(x_*) = \frac{6.6410-6.9491}{6.6410-8.4899} = 0.1666$$

$$\mu_{II}(x_*) = \frac{8.4899-6.9491}{8.4899-6.6410} = 0.8334$$

$$\mu_{III}(x_*) = \mu_{IV}(x_*) = \mu_V(x_*) = 0$$

结果表明, 大厂铅锌矿区勘探类型属于 I 类的程度最高, 为 0.8334, 隶属于 I 类的程度为 0.1666, 隶属于 II、IV、V 类的程度

皆为0。这与大厂矿区的地质、生产、设计等单位确定勘探类型为Ⅰ类的结论相吻合。

实例2，小铁山铅锌矿区（以2号矿体为例）矿体走向长640m，有效面积0.28km<sup>2</sup>，似层状，产状变化小，成矿后无构造破坏，矿体分枝复合简单，厚度变化中等，变化曲线一般，变化系数为66%，各类矿石分布复杂，矿化连续，品位变化曲线一般，品位变化系数Pb为149%，Zn为133%。

求得  $x_h = 5.4572$ （表4）， $\mu_I(x_h) = 0$ ， $\mu_{II}(x_h) = 0.2682$ ， $\mu_{III}(x_h) = 0.7318$ ，

$$\mu_{IV}(x_h) = \mu_V(x_h) = 0.$$

这表明小铁山铅锌矿床勘探类型隶属于Ⅲ类程度最高，为0.7318，隶属于Ⅰ类的程度为0.2682，其余隶属程度为0。这与该矿区原以定性分析方法确定其为Ⅰ—Ⅳ类略有差异。笔者认为，这是由于传统的定性分析方法过于强调评价因素的个性，而综合评价性差导致的。即该矿区勘探类型依据矿体规模可确定为Ⅲ类；依据矿体形态复杂程度为Ⅰ类；依据矿石组份分布均匀度可为Ⅳ类。笔者的结论是在综合评价各因素得出的，比传统定性分析方法的结论明确且实际。

大厂、小铁山两铅锌矿区勘探类型评分评价表

表4

评价因素		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$\Sigma$
大厂	等级值	6.250	6.250	7.000	8.325	6.250	5.000	8.325	8.325	8.325	8.325	8.325	5.000	6.250	
	得分值	0.9375	0.9375	0.7000	0.8325	0.2500	0.2000	0.3330	0.330	0.330	0.330	0.6244	0.6244	0.3750	0.4688
小铁山	等级值	6.250	3.750	7.000	4.975	6.250	5.000	8.325	8.325	8.325	1.650	8.325	5.000	2.500	
	得分值	0.9375	0.5625	0.7000	0.4975	0.2500	0.2000	0.3330	0.3330	0.3330	0.1238	0.6244	0.3750	0.1875	5.4572

## 结 语

1. 多层次加权评分评价和模糊识别的数学方法，可对矿床勘探类型的影响因素进行全面的综合评价，再通过矿床勘探类型识别模型可取得定量的结论。实例研究表明，应用该法方便迅速，其结论切合实际，比传统定性分析为主的确定方法优越。

2. 数学方法的权系数集和模糊识别模型的建立的合理程度直接影响方法的应用效果。评分标准常带有一定的主观性，因此在

处理上述问题时，应尽量符合实际。

3. 定量计算确定矿床勘探类型是由定性分转化到定量划分和确定矿床勘探类型的一次尝试，其效果还有待生产实践进一步检验。

本文是在中国地质大学李万亨教授悉心指导下完成的，杨昌明、刘辅臣副教授审阅了全文并提出修改意见，在此表示谢意。

### 主要参考文献

贺仲雄，《模糊数学及其应用》，天津科技出版社，1983年。

## A Mathematical Method for Ascertaining the

### Prospecting Type of Pb-Zn Deposits

Chen Long-gui

Based upon the prospecting types of Pb-Zn Deposits in China, the author suggests a quantified mathematical method by combining the multilevel weighted factor score evaluation method and the fuzzy recognition method for ascertaining the prospecting type of these deposits. It has been demonstrated by practical results that the method devised by the author may overcome fairly the shortcomings of those conventional, chiefly qualitative, methods and is characterized by its merits: simple and applicable, definite in conclusion and higher in quantification.