

找矿信息及其层次模型

张 定 源

(南京地质矿产研究所)

本文论述了找矿信息的概念及其特点, 介绍了找矿信息层次模型的建立和优化方法; 总结了层次模型的特点, 并同有影响的综合信息找矿模型及矿床四维模型作了对比; 提供了层次模型初步研究实例。

关键词: 层次模型; 找矿信息



数学地质

找矿信息

1. 概念

信息的概念是1948年提出的。“信息普遍地存在于物质和意识之中, 它标志着物质的存在, 构成意识的内容”^①。

找矿信息就是反映矿床(体)存在的各种指标及其组合, 它标志着矿床(体)的客观存在, 构成找矿意识的主要内容。

由于客观存在的矿床(体)的表现形式不同, 人们认识这种客体的方法途径各异, 因此找矿信息是各种各样的。目前多数研究者从两个角度对找矿信息进行分类: 其一根据不同结构水平的成矿单元分为区域(矿带)、矿田、矿床和矿体信息; 其二按地质学各专业学科分为地质、地球物理、地球化学、卫星影像和数学地质等信息。

2. 特点

(1) 找矿信息是对矿床特征的客观描述 矿床形成是成矿作用在特定时空内造成某(几)种化学元素聚集之结果。由于地质环境不同, 物理化学条件的差异, 致使矿床特征千变万化。找矿信息正是对这些不同特

征的客观描述, 人们通过矿床特征的描述来认识各自的自然存在状态。

(2) 找矿信息是对矿床演化的真实反映 矿床作为客观存在的实体, 如同自然界其他物质一样, 只有永恒的流动、永恒的创造和消亡^[1]。因此, 找矿信息不仅要反映矿床(体)当前的特征, 而且要反映过去的特征, 要引入历史地质学观点来认识矿床在时间上的变化。

(3) 找矿信息具很大的层次性 矿藏具有结构性, 这是为人熟知的事实^[2]。因此, 作为标志不同结构水平成矿单元存在的找矿信息, 也必然具有很大的层次性。

(4) 找矿信息的输出是建立找矿模型 获取找矿信息的目的就是消除或减少对矿床客观性认识的不肯定程度及未知程度, 人们收集大量找矿信息后, 经过加工, 建立模型, 从而为找矿勘探及资源评价服务。

找矿信息层次模型

近年来, 地质文献中大量使用“模型”

① 高银秀, 试论信息的本质, 《光明日报》, 1984年11月4日。

层次模型初始矩阵一般格式

表 1

研究域	地质信息					地球化学信息				地球物理信息				其他信息
	构造	地层	岩石	成矿特征	其他	次生晕	原生晕	地电化学	其他	磁法	电法	重力	其他	
区域信息														
矿田信息														
矿床信息														
矿体信息														

或“模式”这一概念。有人还把模型概念的引入,作为与板块构造理论、计算机地质应用相提并论的近代地学三大重要进展之一^[3]。进入80年代后,世界各国均大力加强各种矿床模式的研究、使用、验证和总结工作^②。我国自“七五”计划开展新一轮地质矿产普查以来,把建立和应用找矿模型作为找矿的重要手段之一。

模型是实际系统的简化描述^[4]。找矿模型是指描述矿床(体)存在的最佳特征组合,而找矿信息层次模型是找矿模型的一种新的形式,是根据找矿信息综合研究,通过不同层次上的找矿信息的彼此关联和浓缩而抽象出的一种地质概念模型。

1. 建立找矿信息层次模型的一般方法

找矿信息层次模型的建立,一般是在对典型矿床进行综合研究基础上,将反映矿床(体)存在的区域(矿带)、矿田和矿床(体)的特征标志进行有机组合而成。具体说来,即设计一个以行代表不同的研究域(不同结构水平的成矿单元)、以列代表不同的找矿信息的矩阵(表1)。

在建立初始矩阵之后,对不同域内的各种找矿信息进行深加工,最后按照人们对找矿信息需要,建立信息需要层次模型。其一般形式为:

$M = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n)^T$
其中, $A_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{im})$ 。

2. 找矿信息层次模型的优化

在建立层次模型初始矩阵之后,由于每一层次中的找矿信息可能很多,因此对初始模型优化则往往是必要的。优化的方法很

多,本文仅介绍层次分析法在优化初始模型中的应用。

层次分析法 (Analytical Hierarch Process, 简称AHP法)是美国运筹学家 A. L. Saaty 于1973年提出的,目前广泛应用于多目标决策^[5]。在初始模型优化时,可通过下述方式应用AHP法,即:

(1) 构造各层次的判断矩阵

① 分级定量:同一层次上的各找矿信息,按其重要程度划分成若干等级,赋以定量值。比如可采用5级定量,即相等、弱、强、很强、极强,相应的赋值可以是1、3、5、7、9。

至于一个找矿信息比另一个为次要,则其定量赋值可取1、3、5、7、9的倒数。

② 建立判断矩阵:对某一层次的找矿信息,比如有 $(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$,建立判断矩阵如表2。矩阵中的 b_{kj} 表示元素 a_{ik} 相对 a_{ij} 的重要程度的赋值。

第 i 层次找矿信息判断矩阵 表 2

元素	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{im}
a_{i1}	b_{11}	b_{12}	...	b_{1j}	...	b_{1m}
a_{i2}	b_{21}	b_{22}	...	b_{2j}	...	b_{2m}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
a_{ik}	b_{k1}	b_{k2}	...	b_{kj}	...	b_{km}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
a_{im}	b_{m1}	b_{m2}	...	b_{mj}	...	b_{mm}

(2) 检验并修正判断矩阵

① 求出一致性检验指标CI,即:

② 吴承栋编写,矿床模式研究使用现状和动向,地质科技参考资料,1988,第12期。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}$$

式中, m 为判断矩阵的维数, $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征值。

② 求出平均随机一致性指标 RI, 如表 3。

单层次随机一致性指标的取值 表 3

判断矩阵维数	1	2	3	4	5
平均随机一致性指标	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12
判断矩阵维数	6	7	8	9	10
平均随机一致性指标	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

③ 求出相对一致性指标 CR, 即:

$$CR = CI / RI$$

CR 越小, 判断矩阵的完全一致性越好。一般认为 $CR \leq 0.1$ 时, 就可认为判断矩阵属于可接受的; 否则, 需要新分析赋值, 仔细修正, 直到检验通过为止。

(3) 确定各层中找矿信息的优先次序 在通过一致性检验的判断矩阵的基础上, 就可求得表征各找矿信息的优先次序的权系数。

设判断矩阵为 $(b_{ij})_{m \times m}$, 则对应于找矿信息 a_{ik} 的规范化权系数 w_k 可由两种方法求得, 即:

① 乘积方根法, 公式为:

$$w_k = \frac{\left(\prod_{j=1}^m b_{kj} \right)^{1/m}}{\sum_{k=1}^m \left(\prod_{j=1}^m b_{kj} \right)^{1/m}}$$

② 求和平均法, 公式为:

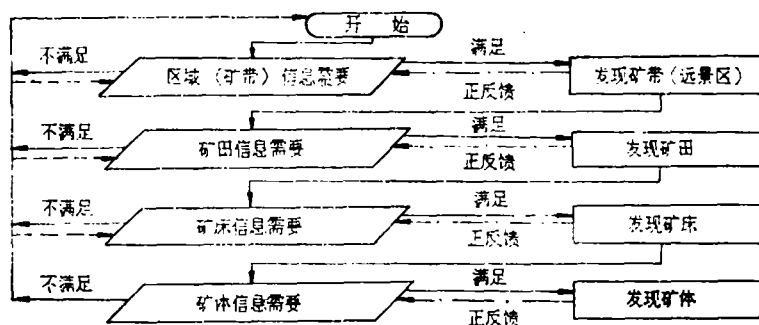
$$w_k = \frac{\sum_{j=1}^m (b_{kj} / \sum_{k=1}^m b_{kj})}{\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^m (b_{kj} / \sum_{k=1}^m b_{kj})}$$

w_k 越大, 相应的找矿信息 a_{ik} 越占优势, 反之 a_{ik} 越次要; 当 w_k 很小时, 则 a_{ik} 可以不参加最终建模。

3. 找矿信息层次模型的特点

(1) 层次结构明显 矿藏具明显结构性, 它是由一系列不同结构水平的成矿单元组成。矿产勘查的正确途径, 应当是根据矿藏结构性的特点, 在工作的不同阶段, 研究不同级别的系统, 从中选出下一阶段工作的目标^[2]。找矿信息层次模型就是在深入研究反映不同结构水平成矿单元存在的找矿信息的基础上而建立的, 因而具有明显的层次结构。模型的建立类似于马斯洛的层次需要理论^[6], 反映了人们在不同阶段对相应层次上找矿信息的需要 (如下图)。

(2) 强调综合信息 层次模型是在全面研究不同成矿单元内地质、地球物理、地



找矿信息需要层次结构关联图

球化学、遥感及数学地质[●]等特征及其关联的基础上而建立的,它特别强调综合信息。

(3) 强调动态性 模型的建立是对某特定的实体(矿带、矿床、矿体)认识规律的总结,同时建模过程又是加深认识的过程,并且随着进一步的认识而补充和完善模型,即具自增殖性(见图)。

(4) 便于计算机处理 层次模型是在深入解剖典型矿床的基础上,将各种找矿标志模型化的结果。这样每一层次上的找矿信息就是一个找矿标志最佳特征组集合,形式如:

$$\text{IF } a_{i1} \text{ and } a_{i2} \text{ and } \dots \text{ and } a_{im} \text{ THEN } A_i$$

其中 $(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$ 是第 i 层次上找矿标志特征集, A_i 是第 i 层次的目标状态。因此可以应用特征分析、地质决策分析^[7],以及目标反索模式抽取法^[3]等多种数学方法进行处理,便于计算机咨询,指导找矿勘探。

4. 层次模型与综合信息找矿模型的对比

综合信息找矿模型是由王世称教授等人提出的,关于其概念及内容已有报道^[8],此不赘述。层次模型与综合信息找矿模型的不同(似)点有二:其一,都以典型矿床的成矿特征、成矿规律研究为基础;其二,都是在全面收集反映矿存在的地质、地球物理、地球化学、遥感及数学地质等综合信息后,从找矿的角度而建立的地质概念模型。即收集信息的内容大致相同,建模目的一致。而不同之处则表现为:

① 收集信息的方式及侧重点不同,前者按所确定的成矿单元广泛收集表征本研究域特点的综合信息,充分考虑了“不同结构水平的成矿单元,其找矿准则各不相同”^[2]。而后者则是更侧重以学科为主线笼统收集有利于找矿的综合信息,没有更多地“注意找矿准则与所评价成矿单元结构水平相匹

配”^[2]。

② 建模形式不同,前者以研究域大小划分层次,即根据矿藏结构性划分层次,并从低级层次(大面积)至高级层次(小范围)分别将找矿信息有机组合在一起,建立信息需要“金字塔”,塔底是找矿的最低需要,塔顶是找矿最高需要。而后者则无明显固定形式。

总之,层次模型更客观反映出“成矿因素对成矿的控制是分级次的,即在不同范围内,其控制作用是不同的”^[9]这一地质事实,因而可更有效地指导找矿预测。

5. 层次模型与矿床四维模型的对比

矿床四维模型是由美国地质调查所M.I. Finch和P.B. McCammon等人提出的,最初成功地应用于NURE计划中^[7]。

四维模型是评价未发现矿产资源的地质有利性,把地质与数学方法有机地结合,将反映矿床存在(三维)的各种信息同地质作用的时间次序(时间维)联系在一起,以逻辑矩阵形式加以表现,进而进行地质决策分析,输出每一地质作用(成矿)阶段的成矿远景图及所有阶段的合成远景图。

层次模型与四维模型的相同(相似)点有:

① 都要从典型矿床(或矿化集中区)的成矿规律研究入手;

② 都将矿床作为一个系统看待,因此必须考虑到成矿系统的整体性、层次性、动态性等特征;

③ 都是用逻辑矩阵式表现反映客体存在的各种信息,并且可用相同方法数量化,都可进行类似的计算机处理及地质决策分析。

层次模型与四维模型的不同点有:

前者强调空间,后者强调时间。层次模

● 数学地质已不仅能加工和浓缩地质信息,而且在研究各种地质对象时可以提供完全新型的信息^[9]。

型是将矿床(体)存在的特定空间视为研究对象,认为人们对于这种空间的认识是从大到小逐渐深入,找矿一般也是从大到小逐渐缩小靶区,最后落实到具体矿体上。四维模型是将成矿的特定时间视为认识对象,认为矿床是由一系列不同的地质过程形成的。这些过程作为一个整体,决定了赋存岩石的特性、蚀变类型及品位一吨位的变化范围。每个过程都以赋存岩石以及生成环境的可观测特征的形式留下了证据,从而成为基本地质历史的一部分,成为地质产出的基础。可见,四维模型试图揭示成矿作用的主要阶段。但实际上成矿是多阶段的、矿源的发展也是很复杂的。许多特征是极为复杂的成矿历史的综合结果,因此将这种综合产物分解成每一阶段的分产物,一般困难较大。加上某些地质证据已遭破坏或离矿体甚远而难以确认。

因此,层次模型更直观,更便于指导资源评价及找矿勘探。

找矿信息层次模型研究实例

1. 新疆多拉纳萨依金矿找矿信息层次模型^①

(1) 数学形式

$$\left\{ \begin{aligned} M_D &= (A_1, A_2, A_3, A_4)^T \\ A_1 &= (a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}) \\ A_2 &= (a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, \\ &\quad a_{25}, a_{26}) \\ A_3 &= (a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}, a_{35}) \\ A_4 &= (a_{41}, a_{42}, a_{43}) \end{aligned} \right.$$

(2) 参数说明

A_1 表示区域信息需要模型,自变量定义:

a_{11} =深大断裂带,尤其是横跨性构造岩浆带发育;

a_{12} =华力西期原地改造形式的斜长花岗岩基;

a_{13} =泥盆系浅海相和河流相陆源碎屑

岩、火山碎屑岩夹黑色页岩建造;

a_{14} =广泛分布有多金属及金的矿点、矿化点。

A_2 表示矿田信息需要,各自变量为:

a_{21} =中泥盆统陆源碎屑岩及浅海不纯碳酸盐岩;

a_{22} =斜长花岗岩脉广泛分布;

a_{23} =反“S”形构造带及劈理化带;

a_{24} =水系沉积物Au、As和Sb等异常;

a_{25} =壤中电导率大于20($\mu\Omega/\text{cm}$);

a_{26} =砂金矿点。

A_3 是矿床信息需要模型,各自变量为:

a_{31} =层间断裂带及韧性剪切带,存在大量的揉皱、眼球状和千糜岩化等构造形迹;

a_{32} =钠长石化花岗岩脉及石英钠长斑岩脉;

a_{33} =地表红土化带或铁帽带;

a_{34} =Au、Pb、Zn、Sb、As、Bi、Tl和Ag、W等元素的次生异常或原生异常;

a_{35} =壤中电导率大于50($\mu\Omega/\text{cm}$)。

A_4 是矿体信息需要模型,其参数定义是:

a_{41} =多金属硫化物种类较多、数量较大、构造破碎及热液蚀变强烈地段;

a_{42} =Au、W、Pb、Zn异常浓集中心重合部位;

a_{43} =电提取金离子浓度为200~1000(ppb)。

2. 广东银岩锡矿找矿信息层次模型^[10]

(1) 数学形式

$$\left\{ \begin{aligned} M_Y &= (A_1, A_2, A_3)^T \\ A_1 &= (a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}) \\ A_2 &= (a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}, \\ &\quad a_{25}, a_{26}, a_{27}) \\ A_3 &= (a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}, a_{35}) \end{aligned} \right.$$

① 余根峰、张定源等,新疆哈巴河县多拉纳萨依矿田金矿资源总量预测研究(科研报告),1989。

(2) 参数说明

A_1 为区域信息需要模型, 各自变量为:

a_{11} =深大断裂带;

a_{12} =燕山晚期S型成因花岗斑岩及石英斑岩, 其出露面积小于 $1\sim 2\text{km}^2$;

a_{13} =锡矿化点多, 且较集中;

a_{14} =各种中小规模的断裂、褶皱构造发育, 尤其是断裂交汇部位。

A_2 表示矿床信息需要, 各参数为:

a_{21} =石英斑岩脉及锡石硫化物脉;

a_{22} =绢英岩化和硅化, 并伴有绿泥石化、黄玉化及钾硅酸盐化等热液蚀变;

a_{23} =角砾岩及(或)隐爆角砾岩;

a_{24} =(Cu、Pb、Zn、Ag、As)及(Sn和Mo)等线形正异常;

a_{25} =(Sn、Bi、W、Mo、Nb、F、Y)等面型正异常;

a_{26} =(Ba、Be、Sr、V、Co、Mn)等面型负异常;

a_{27} =因子(W-Bi-Sn-F-Mo-Li-Nb)得分大于1。

A_3 表示矿体信息需要, 各参数为:

a_{31} =面型正、负异常重合部位;

a_{32} =因子(Ba- Al_2O_3 -V-Sr)得分小于-2;

a_{33} =(Sn、W、Mo、Bi)富集系数大于100;

$$a_{34} = \frac{\text{Ba} \cdot \text{V} \times 10^8}{\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Na}_2\text{O}} \text{ 为 } 1226 \sim 16;$$

$$a_{35} = \frac{\text{Cu} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Ag} \times 10^4}{\text{Li} \cdot \text{Sn} \cdot \text{Be}} \text{ 为 } 40 \sim 13.$$

参 考 文 献

- [1] 张彦、林德宏,《系统自组织概论》, 南京大学出版社, 1990.
- [2] 池顺都, 地质科技情报, 1990, Vol. 9, №1.
- [3] 赵鹏大等著,《地质勘探中的统计分析》, 中国地质大学出版社, 1990.
- [4] 沈泰昌主编,《系统工程》, 浙江教育出版社, 1986.
- [5] 王浣尘编著,《可行性研究和多目标决策》, 机械工业出版社, 1986.
- [6] 弗兰克·戈布尔著(吕明、陈红 译),《第三思潮: 马斯洛心理学》, 上海译文出版社, 1987.
- [7] 朱裕生,《矿产资源评价方法学导论》, 地质出版社, 1984.
- [8] 王世称主编, 长春地质学院学报(矿产资源评价专辑), 1986.
- [9] 卢作祥等编著,《成矿规律和成矿预测学》, 中国地质大学出版社, 1989.
- [10] 张定源, 南京地质矿产研究所所刊, 1989, Vol. 10, №2.

Exploration Information and Its Hierarchy Model

Zhang Dingyuan

Concepts and features of the exploration information are expounded and a general method for the construction and optimization of the exploration information hierarchy model (EIHM) is described in the present paper. In addition, the author sums up the features of the EIHM and makes a comparison of these features with those of a well known comprehensive information exploration model and a four dimensional mineral deposit model. A practical example is cited for illustration.