

金矿体深部含矿性预测方法

程小久

(中国地质大学)

在研究胶东招掖金矿带金矿床的基础上,笔者提出两类金矿体深部含矿性预测方法,即定性预测——矿体模型法;定量预测——灰色预测法。并分别在招掖金矿带建立垂向矿体模型和某金矿体建立灰色预测模型,经初步验证,这两类预测方法是可行的。

关键词: 金矿体;含矿性;垂向矿体模型;灰色预测模型



工作方法

在金矿点评价和金矿床勘探开采过程中,一项很重要的工作就是预测矿体深部的含矿性,即预测矿体深部相对于浅部(或地表)矿体的指标(长度、厚度、品位等)的变化和矿体指标的具体值。这关系到矿山的生产决策和技术设计。笔者在研究胶东地区招掖金矿带金矿床的基础上,提出金矿体深部含矿性两类预测方法,即定性预测——矿体模型法;定量预测——灰色预测法。

矿体模型法

矿体模型法,是在充分研究成矿区域中

已知同一成因类型矿床成矿规律基础上,建立多种反映矿体整体表征的地质信息的垂向矿体模型,然后再根据模型,结合待预测矿体的各类地质信息,对其深部含矿性进行定性预测的方法。定性预测仅能了解深部相对于浅部(或地表)矿体指标的变化。笔者以招掖金矿带为例。阐明了该法的建立、内涵及其应用。

招掖金矿带已发现金矿点、矿床数百处,均为中高—中低温热液型金矿。金矿床的大地构造位置、矿源层、成矿母岩以及控矿构造、围岩蚀变、地球化学特征等均具有相似性。这为根据已知矿体建立矿体模型进行预测的可行性提供了前提。综合研究已知

矿体部位	示意图	围岩蚀变	成矿阶段及矿物组合	矿化构造类型	原生晕(熊家金矿)	成矿温度(灵山沟1号脉)
上部		硅化、绢英岩化为主	I、II阶段为主 石英、黄铁矿	宽脉型、脉型	头晕: Hg、Sb、As 侧晕: Pb、Zn、F	>350°C
中部		黄铁绢英岩化、绢英岩化、硅化、钾化	II、III阶段为主 黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿	网脉型 细脉浸染型 浸染型		350~300°C
下部		钾化、碳酸盐化为主	IV、V阶段黄铁矿、方解石、菱铁矿	浸染型	尾晕: Cu、Ag、B ₂	<300°C

招掖金矿带垂向矿体模型

矿体,建立了该区金矿体垂向矿体模型(见图),其组成有下述5个方面:

1. 围岩蚀变 招掖金矿带矿床围岩蚀变,以钾化、硅化、绢英岩化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化为主。矿体上部以硅化、绢英岩化为主,黄铁绢英岩化、钾化弱。围岩蚀变水平分带不明显;矿体中部各类蚀变均发育,以黄铁绢英岩化、绢英岩化、硅化、钾化为主,且具水平分带。从近矿体至围岩,依次发育黄铁绢英岩化、绢英岩化、硅化、钾化等,矿体下部以钾化、碳酸盐化为主。由上至下,硅化减弱,钾化、碳酸盐化增强,绢英岩化、黄铁绢英岩化由弱→强→弱,这一垂向蚀变分带在招掖金矿带具普遍性,如灵山沟金矿Ⅰ号脉(石英脉型)、河东金矿(硫化物交代浸染型)等均具上述围岩蚀变的垂向分带性。

2. 成矿阶段及矿物组合 招掖金矿带中生代金矿成矿期具有4个成矿阶段:

- Ⅰ.黄铁石英阶段;
- Ⅱ.石英黄铁矿阶段;
- Ⅲ.多金属硫化物阶段;
- Ⅳ.碳酸盐阶段。

从Ⅰ~Ⅳ成矿阶段,在垂向上具有逆向分带性(张钧,1987),即由上至下,成矿阶段Ⅰ~Ⅳ的矿化中心依次下降。如玲珑金矿108号脉某矿体第Ⅰ成矿阶段出现于海拔+500m以上;第Ⅱ成矿阶段出现于+380m附近,矿化中心在+220m;第Ⅲ成矿阶段上界+260m,矿化中心在+190m;第Ⅳ成矿阶段上界+220m。成矿阶段的逆向分带性可能与成矿期(中生代)地幔上隆、岩石圈脉动性伸展引起张性控矿断裂带氧化—还原面阶段性下降有关。

成矿阶段的逆向分带性,必然引起矿体自上而下矿物组合呈现垂向分带。矿体上部以第Ⅰ、Ⅱ成矿阶段为主,相应的矿物组合以氧化物(石英)单一硫化物(黄铁矿)为主;中部Ⅰ~Ⅳ成矿阶段俱全,而以Ⅱ、Ⅳ

成矿阶段为主,矿体下部多出现第Ⅲ、Ⅳ成矿阶段,以碳酸盐(方解石+菱铁矿+黄铁矿)为主。

3. 矿化构造类型 招掖金矿带矿化构造类型有受深构造层次形成的糜棱岩控制的交代浸染型(呈显观透入性)和中浅构造层次脆性断裂带中的宽脉型、脉型、网脉型、细脉浸染型和浸染型(呈显观非透入性)。前者仅限于受韧性正剪切带(剥离层)控制的矿体局部,不具普遍性;后者在招掖金矿带发育普遍。一般受断裂控制的矿体上部矿化构造类型以宽脉型、脉型为主;中部以网脉型、细脉浸染型、浸染型为主,且有水平分带性,即自主断裂面向矿体围岩依次发育浸染型、细脉浸染型、网脉型,如河西金矿-70m中段;下部多为浸染型,如掖县望儿山金矿海拔0m以上矿化构造类型为宽脉型、脉型,0m以下多为网脉型、细脉浸染型和浸染型。

4. 元素轴向分带及浓度分带 周群辉(1986)对焦家金矿112线6个钻孔取104个岩心样,分析了Cu、Pb、Zn、Ag、As、Sb、Bi、W、Mo、F等元素,并研究了元素轴向分带和浓度分带。根据戈里格良分带指数法计算得出轴向分带:自上而下为Hg—Sb—As—F—Zn—Pb—(W—Mo)—Bi—Ag—Au—Cu。根据指示元素与矿体的位置关系可分为头晕Hg、Sb、As,侧晕Pb、Zn、F和尾晕Cu、Ag、Bi。浓度分带系根据Cu、Pb、Zn、Ag、Au、As、Bi、F等8个元素的浓度作等值线图,其结论是矿体上部Cu、Ag、Zn浓度分带宽度为 $Zn > Ag > Cu$,矿体中部浓度分带宽度为 $Ag > Zn$ 或 Cu ,矿体下部浓度带宽度为 $Cu > Ag$ 或 Zn 。

5. 成矿物化条件 温度、压力、流体的盐度、Eh值、pH值等资料较少,据张钧(1987)研究北截—灵山沟断裂带中金矿床不同矿化阶段石英包裹体得出表1:

从第Ⅰ~Ⅳ成矿阶段。成矿温度、压

表 1

成矿阶段	温度 (°C)	压力 (Pa)	流体盐度 (wt%)
I	330~390	630~1000	17.96~20.45
II	270~370	500~900	16.58~18.44
III	170~320	150~400	15.88~17.79
IV	162~300	380~400	15.56~16.94

力、流体盐度均由高至低。因为矿体自上向下依次分布 I ~ IV 成矿阶段, 必然造成矿体中温度、压力、盐度垂向分布亦具上述分布形式。如灵山沟 I 号脉矿体上部 +19m 中段成矿温度为 350℃, 矿体中部 -20m 中段成矿温度为 338℃, -50m 中段为 316℃; 矿体下部 -80m 中段成矿温度为 281℃, -115m 中段为 278℃。

采用上述垂向矿体模型, 对招远河西金矿 4 号矿体进行了深部含矿性预测。该矿体位于招掖金矿带西部焦家断裂之次级断裂——侯家断裂带中, 已施坑探至海拔 -30m, 见矿效果不佳, 濒临闭坑困境, 急需对其深部含矿性进行预测。-30m 中段, 4 号矿体赋矿围岩为玲珑黑云母混合花岗岩, 围岩蚀变有绢英岩化、硅化和弱钾化, 矿化脉多为第 II 成矿阶段石英黄铁矿脉, 少量第 III 成矿阶段多金属硫化物; 矿石矿物组合为石英 + 黄铁矿 + 黄铜矿; 矿化构造类型为脉型, 矿化脉宽数 cm; 半定量光谱分析矿化脉(矿石)中微量元素组合为 Ba、As、Sb、Pb。根据前述招掖金矿带垂向矿体模型, 可知 -30m 中段处于矿体上部, 其深部含矿性要好, 经钻探验证, 深部确有厚度大、品位高的矿体存在。

灰色预测法

定量预测多采用统计方法, 但数理统计需有大量数据, 且数据还应具较佳的分布规律。这一先决条件在矿床普查勘探的初期是难以达到的。而灰色预测对样本量没有过多的要求, 也不需求典型的分布规律, 这恰恰

适合矿床普查勘探初期矿体深部含矿性预测。

灰色系统系指部分信息已知, 部分信息未知的系统, 金矿体就处于灰色系统之中。普查勘探初期, 仅能取得矿体地质特征、矿体厚度和品位等部分信息, 而整个矿体的总体表征、矿体形成机理都是不可知的。灰色系统理论认为: 任何广义的能量系统都可以通过其中已取得的部分信息, 来了解未知信息。灰色预测是基于灰色系统理论的 GM(1,1)模型的定量预测。运用灰色预测进行金矿体深部含矿性预测是本文的尝试。

深部含矿性灰色预测是定量预测深部未揭露部位矿体长度、厚度和品位值等。基于这一预测要求, 预测时可选用灰色预测的数列预测、灾变预测或拓扑预测等方法。本文仅采用数列预测法进行矿体深部含矿性预测。下面将结合具体矿体实例, 讨论灰色预测的方法、步骤及效果。

招掖金矿带某金矿床 1 号矿体, 据已揭露工程控制得地表 (+40m), 地下 +27m、+12m、-5m 和 -25m 等中段矿体平均厚度、品位和矿体长度 (表 2), 需预测深部中段的相应数值。为便于等距性预测, 用内插法求取等距中段相应数据 (表 3)。再由表 3 得出矿体自上而下长度、平均厚度、平均品位原始数据列:

$$\text{长度 } x_1^{(0)} = \{x_1^{(0)}(1), x_1^{(0)}(2), x_1^{(0)}(3), x_1^{(0)}(4), x_1^{(0)}(5)\}$$

$$= (65, 175.7, 180, 180, 206.3)$$

$$\text{平均厚度 } x_2^{(0)} = \{x_2^{(0)}(1), x_2^{(0)}(2), x_2^{(0)}(3), x_2^{(0)}(4), x_2^{(0)}(5)\}$$

$$= (9.23, 9.60, 10.25, 13.41, 11.77)$$

$$\text{平均品位 } x_3^{(0)} = \{x_3^{(0)}(1), x_3^{(0)}(2), x_3^{(0)}(3), x_3^{(0)}(4), x_3^{(0)}(5)\}$$

$$= (6.12, 6.35, 6.75, 5.63, 5.98)$$

对上列原始数据 $x_1^{(0)}$ 、 $x_2^{(0)}$ 、 $x_3^{(0)}$ 进行 1

某金矿床 I 号矿体部分实测数据 表 2

海拔标高 (m)	矿体长度 (m)	平均厚度 (m)	平均品位 (g/t)
+40	65	9.23	6.12
+27	175	9.57	6.26
+12	180	9.83	6.90
-5	180	13.41	5.63
-25	215	11.22	6.09

内插法求得某金矿床 I 号矿体中部中段矿体长度、平均厚度、平均品位 表 3

序号	海拔标高 (m)	矿体长度 (m)	平均厚度 (m)	平均品位 (g/t)
1	+40	65	9.23	6.12
2	+25	175.7	9.60	6.35
3	+10	180	10.25	6.75
4	-5	180	13.41	5.63
5	-20	206.3	11.77	5.98

次累加(1-AG0)形成下列数列:

$$\begin{aligned}
 x_1^{(1)} &= \{x_1^{(1)}(1), x_1^{(1)}(2), x_1^{(1)}(3), x_1^{(1)}(4), \\
 &\quad x_1^{(1)}(5)\} \\
 &= (65, 240.7, 420.7, 600.7, 807) \\
 x_2^{(1)} &= \{x_2^{(1)}(1), x_2^{(1)}(2), x_2^{(1)}(3), x_2^{(1)}(4), \\
 &\quad x_2^{(1)}(5)\} \\
 &= (9.23, 18.83, 29.08, 42.49, 54.26) \\
 x_3^{(1)} &= \{x_3^{(1)}(1), x_3^{(1)}(2), x_3^{(1)}(3), x_3^{(1)}(4), \\
 &\quad x_3^{(1)}(5)\} \\
 &= (6.12, 12.47, 19.22, 24.85, 30.83)
 \end{aligned}$$

据GM(1,1)建模基本算式:

$x^{(1)}$ 数列白化形式的方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u$$

$$\text{参数列: } \hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$$

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T y_N$$

其中 B 、 y_N 为数据矩:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}\{x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)\}, 1 \\ -\frac{1}{2}\{x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)\}, 1 \\ -\frac{1}{2}\{x^{(1)}(3) + x^{(1)}(4)\}, 1 \\ -\frac{1}{2}\{x^{(1)}(4) + x^{(1)}(5)\}, 1 \end{bmatrix}$$

$$y_N = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5)]^T$$

白化形式方程的解:

$$\hat{x}^{(1)}(K+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-aK} + \frac{u}{a}$$

分别建立矿体长度、平均厚度、平均品位预测模型。

矿体长度预测模型:

$$\begin{aligned}
 \hat{x}_1^{(1)}(K+1) &= 3326.223564e^{0.050327K} \\
 &\quad - 3261.223564
 \end{aligned}$$

矿体平均厚度预测模型:

$$\begin{aligned}
 \hat{x}_2^{(1)}(K+1) &= 115.5177362e^{0.078646805K} \\
 &\quad - 106.2877362
 \end{aligned}$$

矿体平均品位预测模型:

$$\begin{aligned}
 \hat{x}_3^{(1)}(K+1) &= -212.5184848e^{-0.029926553K} \\
 &\quad + 218.6384848
 \end{aligned}$$

由上述模型求得表4。可知 $\hat{x}_1^{(1)}(K+1)$ 平均残差0.1%; 模型 $\hat{x}_2^{(1)}(K+1)$ 平均残差17.58%; 模型 $\hat{x}_3^{(1)}(K+1)$ 平均残差10.57%, 上述模型精度是较高的。

由上述模型预测-50m中段矿体长度220.8m; 矿体平均厚度14.01m; 矿体平均品位5.40g/t。据新开掘的-50m中段坑道实测, 矿体长度222m, 预测误差0.54%; 矿体平均厚度13.25m, 预测误差5.74%; 矿体平均品位5.41g/t, 预测误差仅0.18%。由此可见, 矿体深部含矿性预测效果较好, 上述模型至少近程预测是可行的。

必须明确定量预测是建立在定性预测的基础上。一般矿体中部的长度、厚度、品位

表 4

序 号	海拔标高 (m)	矿 体 长 度 (m)			矿体平均厚度 (m)			矿体平均品位 (g/t)		
		计算值	实际值	残差(%)	计算值	实际值	残差(%)	计算值	实际值	残差(%)
1	+40	65	65	0	9.23	9.23	0	6.12	6.12	0
2	+25	171.7	175.7	2.28	9.45	9.60	1.56	6.27	6.35	1.26
3	+10	180.5	180	-0.27	10.23	10.25	0.20	6.08	6.75	9.93
4	-5	189.9	180	-5.5	11.66	13.41	17.52	5.90	5.63	-4.80
5	-20	198.9	206.3	3.59	11.97	11.77	-1.70	5.73	5.98	4.18
6	-35	210.0			12.95			5.55		
7	-50	220.58			14.01			5.40		

最大,矿体上、下部位变小尖灭,而模型 $\hat{x}^{(1)}(K+1)$ 和 $\hat{x}^{(1)}(K+1)$ 向下递增,模型 $\hat{x}^{(1)}(K+1)$ 向下递减。这样显然无法进行远程预测。因此,必须先定性,确定预测部位所处矿体位置,建立矿体上、中或下部灰

色预测模型,并须逐渐摒弃老信息、增进新信息,建立新的预测模型,才能提高预测精度。

主要参考文献

- [1] 邓聚龙,《灰色预测与决策》,华中工学院出版社,1986。
[2] 邓聚龙,《灰色系统基本方法》,华中工学院出版社,1987。

Methods for Predicting the Ore-bearing Property of the Deep-seated Part of a Gold Ore Body- Taking the Zhao-Ye Au-deposits as Examples

Cheng Xiaojiu

On the basis of the study of Au-deposits at the Zhao-Ye Gold Ore Belt in the east Jiaozhou Bay district, two kinds of prognosis methods for predicting the ore-bearing property of a gold body at depth are put forward. They are the ore-body model method and the grey prediction model method, with the former as a qualitative method and the latter as a quantitative method. A vertical ore-body model for the Zhao-Ye Gold Belt and a grey prediction model for a gold orebody have been established respectively by using these two methods. It was proved by a preliminary test that both of these two methods are all feasible.

快速确定地球化学图等量线

根据不同地区、不同元素的具体情况,用异常下限作为一条基本等量线,选择合理的间距,快速而准确地计算出其他相应的等量线数据,就可以使地球化学图更为精确。下面介绍一种快速确定地球化学图等量线的方法。

化探所选用的指示元素多为微量元素,在自然界中一般呈对数正态分布。地球化学图的等量线常采用等比间距,其等量线应为一等比数列,据等比数列公式便可计算等量线值。通项公式为:

$$a_n = a_1 q^{n-1}$$

a_1 为数列的第一项,可由异常下限值代之; q 为数列的公比,即等量线间距; a_n 为数列的某一项,即其中的某一条等量线。 n 为1~ n 的整数(如需计算小于异常下限的等值线, n 取负整数)。

地球化学图的等量线间距习惯于用对数值表示,而绘制图时所用的等量线为真数值,所以在计算前必须将对数值换算成真数再计算。如将异常下限值取10为数列的已知项,以等量线间距0.2lg(真数值1.585)为数列的公比计算(n 取正整数1,2,3,4,5,……, n)其他等量线数据;则有 $a_1 q^n = 10$, $a_1 q^1 = 15.85$, $a_1 q^2 = 25.12$, $a_1 q^3 = 39.82$, $a_1 q^4 = 63.11$, $a_1 q^5 = 100.03$,……。将数据取整后得出近似等比间距的等量线数据为10,15,25,40,60,100,……。

根据不同元素的异常下限值及其含量起伏大小,可选择不同的等量线间距公比数(0.1lg, 0.2lg……)计算出各自的等量线数据,从而使地球化学图更为客观的反映地质体的地球化学特征。此方法用计算器计算方便而快速。

(河南省地质矿产局物探队朱纯瑞供稿)