



矿体平均品位、矿石量和金属储量与边界品位间之关系

蒋 志

对矿床进行经济评价时,要涉及矿体的平均品位 C_P 、矿体的矿石量 Q_K 和矿体金属储量 Q_J 三项指标。一般说来,这三项指标是由矿体的边界品位 C_B 决定的,即 C_P 、 Q_K 、 Q_J 与 C_B 之间存在着函数关系。本文将建立 C_P 、 Q_K 、 Q_J 与 C_B 之间的具体函数关系;并以 C_B 为自变量,把 C_P 、 Q_K 、 Q_J 表示在同一个直角坐标上,做成 $C C Q$ 图。

本文引用某金矿床的储量试算资料作为例子。该矿床矿体产在硅化砂岩和硅化砂岩内形状极不规则的石英脉中。矿体形状不规则,产状较平缓,多数矿体近于水平,倾角为 $10 \sim 20^\circ$ 。矿体埋藏较浅,多数出露或半出露地表,少数埋深20米左右,个别埋深大于100米。本文所涉及的主要矿体有:1、2、3、4、5、8、10和11号。这些矿体的总和为 Σ 。

矿体元素含量的理论平均值

矿体元素含量 ξ 的理论平均值 C_0 由下式计算:

$$C_0 = \frac{\int_{\xi > C_B} \xi dF(\xi)}{\int_{\xi > C_B} dF(\xi)} \quad (1)$$

式(1)中 $F(\xi)$ 为矿体元素含量的概率分布函数。对某金矿床来说,各矿体金含量的概率分布函数均可表示为:

$$F(\xi) = \rho_0 \Phi\left(\frac{\ln \xi - m_0}{\sigma_0}\right) + \rho_1 \Phi\left(\frac{\ln \xi - m_1}{\sigma_1}\right) \quad (2)$$

式(2)中, $\Phi(\eta)$ 为如下概率积分:

$$\Phi(\eta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\eta} e^{-t^2/2} dt \quad (3)$$

式(2)的各参数值列入表1。

某金矿床矿体元素含量统计特征数

表 1

矿体编号 (样品数)	ρ_0	m_0	σ_0	ρ_1	m_1	σ_1
1 (164)	1.000	0.347	1.154	0.000	—	—
2 (167)、3 (376)	0.867	0.054	0.805	0.133	1.535	1.362
4、5 (175)	0.686	0.008	0.860	0.314	1.749	1.498
8 (243)	0.782	0.046	0.804	0.218	2.776	1.333
10 (764)、11 (529)	0.960	0.291	0.624	0.040	1.743	1.366
Σ (2299)	0.867	0.262	0.805	0.133	1.743	1.362

某金矿床矿体金含量理论平均值

表 2

矿体编号	1	2、3	4、5	8	10、11	Σ
C_0						
$C_B = 0.8$	3.80	3.98	9.16	13.40	2.53	4.45
$C_B = 1.0$	4.13	4.49	10.34	15.13	2.79	4.93
$C_B = 1.5$	4.96	5.98	12.92	19.81	3.66	6.32
$C_B = 2.0$	5.79	7.66	15.60	24.50	4.76	7.86

式(2)的计算值与实际的统计结果一致(图1)。把式(2)代入式(1),可求得某金矿床各矿体

金含量的理论平均值(表2)。

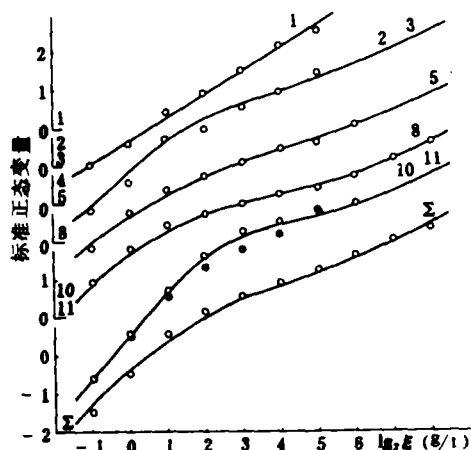


图1 某金矿床主要矿体的金含量概率分布点、圈为观测值，曲线为式(2)计算值

矿体元素含量的实际平均值

由式(1)计算的矿体元素含量理论平均值并不是矿体元素含量的实际平均值。因为，式(1)要求矿体内不得有低于矿体边界品位的样品，也不得把本来是较低的含量部分圈成较高含量的矿体。实际圈定矿体计算储量时，上述问题是不可避免的。鉴此，则需计算矿体元素含量的实际平均值。

在按一定边界品位圈定的矿体(体积 V ，元

素平均含量 C_P)中，总可以设想在其中能够理想地区分出如下三部分：①理想矿块，体积 V_0 ，元素平均含量 C_0 ；②偏低矿块，体积 V_1 ，元素平均含量 $C_1 < C_0$ ；③偏高矿块，体积 V_2 ，元素平均含量 $C_2 > C_0$ ，三者存在如下关系：

$$V = V_0 + V_1 + V_2 \quad (4)$$

$$VC_P = V_0C_0 + V_1C_1 + V_2C_2 \quad (5)$$

由于矿体的边界品位 C_B 越高，矿体的平均品位 C_P 越高，偏低矿块平均品位 C_1 也越高，即 C_1 与 C_P 是正比关系。写成线性式：

$$C_1 = a_1 + \beta_1 C_P \quad (6)$$

而矿体的理论平均值 C_0 越高，高品位样品的比例就越大，则误圈为高含量的偏高矿块其表现品位 C_2 也越高。写成线性式：

$$C_2 = a_2 + \beta_2 C_0 \quad (7)$$

把式(6)、(7)代入式(5)并考虑式(1)、(2)得：

$$C_P = a + b C_0 \quad (8)$$

$$\text{式(8)中, } a = \frac{a_1 V_1 + a_2 V_2}{V - \beta_1 V_1}, b = \frac{V_0 + \beta_2 V_2}{V - \beta_1 V_1}$$

对某金矿床各矿体来说， a 、 b 值如表3。

式(8)与某金矿床矿体元素含量的实际平均值一致(图2)。

某金矿床各矿体的 a 、 b 值

表3

矿体号	1	2	3	4	5	8	10	11	Σ
a	-1.579	0.501	0.406	0.058	-1.228	-2.836	-0.041	-0.096	-1.156
b	1.169	0.482	0.666	0.490	0.790	-0.691	0.803	0.792	0.876

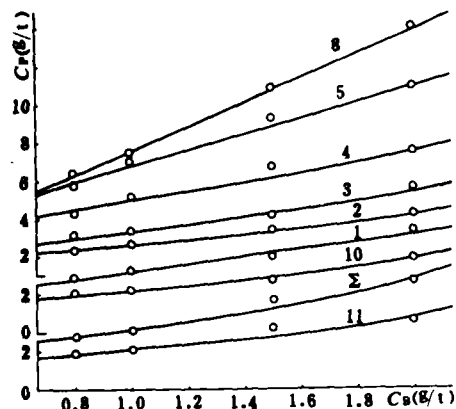


图2 某金矿床矿体实际平均品位与边界品位的关系点、圈为观测值，曲线为式(8)计算值

矿体矿石量与边界品位的关系

在计算储量时，矿体各个方向上的随机特点已被综合在一起，而后才得到矿体的矿石量。因此，经过储量计算的矿体，整体上可以看作某种理想矿体。这种理想矿体可被描写为以长、宽、厚为三轴的椭球体。当长、宽、厚近于相等时，为球状矿体；当长比宽、厚大得多，宽、厚近于相等时，为棒状矿体；当与长、宽比较，厚度非常小时，为板状或脉状矿体等等。据参考文献，三维空间点状源理想矿化元素的空间分布可写为：

$$C = C_M \exp \left[-\frac{x_1^2}{2\sigma_1^2} - \frac{x_2^2}{2\sigma_2^2} - \frac{x_3^2}{2\sigma_3^2} \right] \quad (9)$$

当矿体边界品位为 C_B 时,则矿体边界方程应为 $C = C_B$,由此求得理想矿体的边界遵循下式:

$$\left(\frac{x_1}{\sigma_1}\right)^2 + \left(\frac{x_2}{\sigma_2}\right)^2 + \left(\frac{x_3}{\sigma_3}\right)^2 = 2 \ln \frac{C_M}{C_B} \quad (10)$$

式(10)为一椭球面方程,与上面关于理想矿体的叙述相符。式(10)所示椭球面包围的体积为:

$$V = \frac{4}{3} \pi \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 \left(2 \ln \frac{C_M}{C_B}\right)^{3/2} \quad (11)$$

设矿石体重为 D ,并设 $A = \frac{8\sqrt{2}}{3} \pi D \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3$,

则由式(11)求得矿体矿石量 Q_K 与矿体边界品位 C_B 的关系是:

$$Q_K = A \left(\ln \frac{C_M}{C_B}\right)^{3/2} \quad (12)$$

某金矿床各矿体的 A 、 C_M 值如表4。

式(12)与某金矿床矿体的矿石量一致(图3)。

某金矿床矿体的 A 、 C_M 值

表4

矿体号	1	2	3	4	5	8	10	11	Σ
A (t)	2.268×10^5	4.790×10^5	3.298×10^5	2.263×10^5	1.433×10^5	2.379×10^5	1.061×10^6	1.541×10^6	4.111×10^6
C_M (g/t)	5.782	3.478	6.509	16.819	6.709	5.311	4.908	3.434	4.272

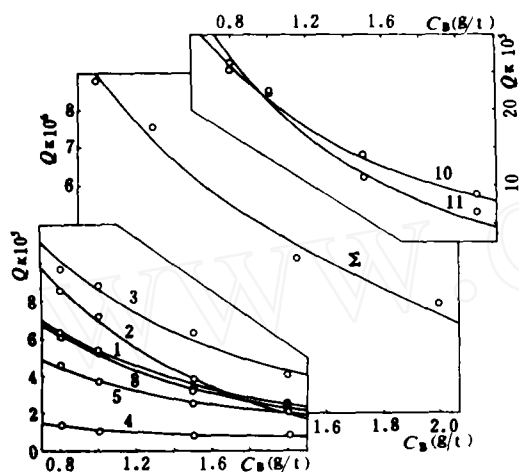


图3 某金矿床矿体矿石量与边界品位的关系
点、圆为观测值,曲线为式(12)计算值

矿体金属储量与边界品位的关系

由式(8)和式(12)可得出矿体金属储量 Q_J 与边界品位 C_B 的关系: $Q_J = C_P Q_K$ (13)

据表1、3、4和式(13)可计算某金矿床矿体的金属储量。由图4可看出,式(13)与某金矿床的储量试算资料一致。

CCQQ图及其应用

在前面的讨论中,已具体建立起 C_P 、 Q_K 、 Q_J 与 C_B 的关系式(8)、(12)、(13)。在直角坐标系中,以 C_B 为横坐标, C_P 、 Q_K 、 Q_J 为纵坐标,把式(8)、(12)、(13)表示出来。所成之图,本文称为CCQQ图。图5为根据某金矿床8个矿体的加合值做出的CCQQ图。有关部门对该金矿床进行的经济计算表明,该矿床金的出矿品位不得低

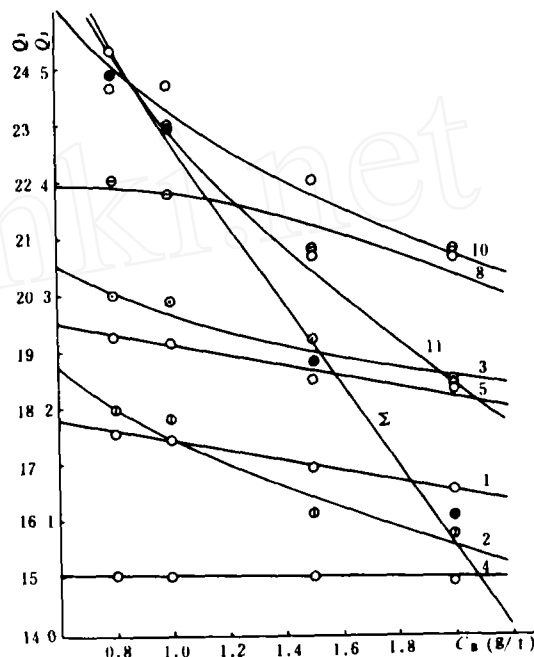


图4 某金矿床矿体金属储量与边界品位的关系
点、圆为观测值,实测曲线为式(13)计算值

于2.5g/t,考虑采矿贫化率,该矿床的最低工业品位不得低于3.2g/t;根据这个最低工业品位,可在图5上查得矿体边界品位为1.02g/t;再根据这个边界品位,在图5上进一步查得矿石量 Q_K 和金属储量 Q_J 的数值,从而能够及时验算边界品位的经济合理性。

上述讨论表明,应用传统方法计算矿床储量时,CCQQ图可用来确定矿床的合理边界品位。问题是必须先根据储量试算资料确定式(8)、(12)、(13)的参数。为了迅速、简便地做到

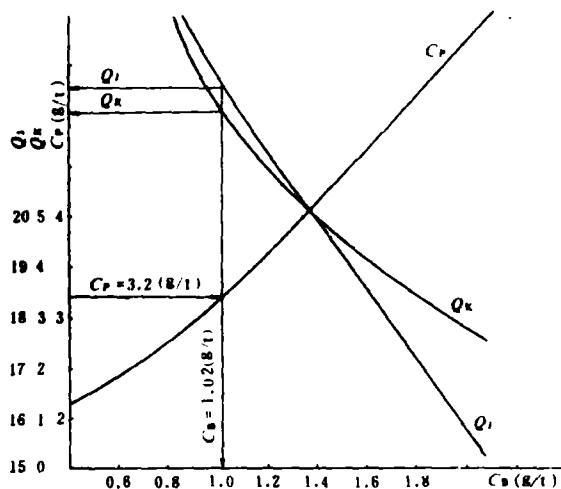


图5 某金矿床CCQQ图

这一点,在规则钻探网的情况下,建议用如下公式估算不同边界品位 C_B 对应的 Q_K 、 Q_J 、 C_P 值:

$$Q_K = abD \sum \lambda_i l_i \quad (14)$$

$$Q_J = abD \sum \lambda_i l_i \xi_i \quad (15)$$

$$C_P = \frac{Q_J}{Q_K} = \frac{\sum \lambda_i l_i \xi_i}{\sum \lambda_i l_i} \quad (16)$$

式(14)、(15)、(16)中, a 为勘探线距; b 为钻孔距; D 为矿石体重; l_i 为样长; ξ_i

(上接第20页)背斜控制。当这些背斜构造处于区域构造线剧烈转折部位,或相邻构造体系复合部位时,往往造成强烈的岩浆活动,在容矿构造和围岩性质有利的条件下,常形成有工业价值的钨(锡)矿床。

本区钨(锡)矿床在区域内呈狭长带状分布。带长400余公里,宽10~30公里。其延伸方向与区域构造线方向一致,南段为南北向,带的宽度较窄,北段转为北西向,带有撒开趋势,宽度变大。

川西地区钨、锡成矿远景极大。首先,在上述钨(锡)成矿带中,广泛出露燕山期黑云母花岗岩,钨锡重砂异常成带状分布,并已发现8个钨锡矿床和矿点。因此该带是寻找钨锡矿产最有远景的地区。这里需指出:若以丹巴复背斜为轴,两侧岩浆活动及矿产分布显示对称特点,轴部混合岩化发育,形成巨大的白云母矿床,两侧出现印支期二云母花岗岩,形成101、104稀有金属花岗岩伟晶岩田。在白云母(铍、稀土)成矿带和稀

有样品含量; λ_i 为加权系数,取值如下(相当地质块段法):

$$\lambda_i = \begin{cases} 1, \xi_i > C_B, \text{相邻四孔对应见矿;} \\ 3/4, \xi_i > C_B, \text{相邻三孔对应见矿;} \\ 9/16, \xi_i > C_B, \text{相邻二孔对应见矿;} \\ 1/2, \xi_i > C_B, \text{对称二孔对应见矿;} \\ 3/8, \xi_i > C_B, \text{相邻一孔对应见矿;} \\ 1/4, \xi_i > C_B, \text{相邻四孔均不对应见矿;} \\ 0, \xi_i < C_B. \end{cases} \quad (17)$$

上述讨论还表明,应用克立格法计算矿床储量时,矿石量和金属储量是按品位分级给出的,可以根据储量计算结果做出CCQQ图。当最低工业品位确定后,则可由CCQQ图查出合理的矿体边界品位,从而可以决定首先开采哪些矿块,暂时不开采哪些矿块,以便经济合理地开发利用矿床。

本文引用了某勘探单位的金矿床储量试算资料,并承徐恩寿、孙书山、梁厚锋、王孝玉等工程师审阅手稿,特此表示感谢。

参考文献

蒋志, 1981, 放射性地质, 第三期, 208~215页

有金属成矿带之间,均有印支期、燕山期的中、酸性杂岩体广泛分布。在其南西侧已发现钨(锡)成矿带,在其北东侧对称位置上的仓仓寺、独松、小金一带亦有黑云母花岗岩出现,并有钨锡重砂异常,目前仅在葫芦海岩体有钨矿显示,预测该构造岩浆带是寻找钨锡钼等矿产另一有远景的地区。其次,赫德矿区等成矿条件良好,广泛分布有云母线、云母石英线,在个别地形切割较深地段脉线向深部有归并扩大现象,这对寻找江西“五层楼”构式的钨矿床具有重大实际意义。第三,区内与钨锡矿床有成因联系的燕山早期黑云母花岗岩,普遍有白云母化、钠长石化、云英岩化,在个别岩体中已发现有黑钨矿、锡石、铌钽铁矿等副矿物存在。因此,要加强对蚀变花岗岩的研究,在其顶部和边缘相中,特别在岩舌前缘和复式岩体中较晚期生成的小岩株、岩钟等蚀变强烈地段,可能找到花岗岩型钨锡铌钽矿床。