

岩金矿储量误差的计算

杨尔煦

(冶金部地质局)

目前,我国尚未明确规定矿产各级储量误差的要求和计算误差的方法。本文将介绍一种岩金矿体储量误差计算的方法,但依此法求出的Y金矿床C级矿段的误差很大,而H铜矿床C级矿段误差在45%±,因此,笔者认为计算岩金矿储量误差还应规定一个范围。从岩金矿来看,按单个矿体计算较佳,当规定了储量误差后,即可根据矿体规模和复杂程度系数(E)来确定矿床的勘探网度。

关键词: 岩金矿; 储量误差



工作方法

我国矿产各级储量误差范围,尚未明确规定。1959年,国家储委制定的《矿产储量分类暂行规定(总则)》中提出〈关于制定各级储量误差范围的参考意见〉。在参考意见中提出生产与勘探储量之间的误差为: A₂级不大于20%±, B级不大于30%±, C级不大于45%±。这是迄今规定储量误差范围的唯一意见。但这个意见极为笼统,至少存在如下几个问题:一是未明确这个储量是多个矿体还是单个矿体,或一个矿段;二是生产储量系指采准储量还是勘探储量;三是仅制定了勘探储量的误差范围,并未提出误差计算方法及其误差置信度,故这个参考意见是极不完整,也不严格的。为此,笔者提出一种脉状金矿体储量误差计算的方法,供讨论和应用。

储量误差的来源和计算

地质勘探工作,实质是对一个未知的矿

化母体进行取样,所有槽井探、坑探和钻探等工程都是对矿化母体进行取样的手段。通过取样,按边界品位、矿段工业品位、最低可采厚度和夹石剔除厚度等指标来圈定矿体。储量计算就是用样品对矿体或矿体的一部分进行推断。因此,地质勘探的储量计算很类似概率统计方法中的子样推断;在研究和计算储量误差时,可以广泛地应用概率统计方法。

储量误差主要来自矿体空间形态和平均品位的波动,一般矿体体重的测定产生的误差较小。要笼统地研究储量误差是很困难的,因此这里先讨论一种二度体矿体的误差。无论是直立脉状矿体或水平的层状矿体都近似于二度体。

近十年来,我国对各类金矿床进行了大量的找矿勘探,已积累了丰富的勘探资料。其中争论的焦点是金矿床勘探程度,到底是工程摆布太多还是过少,看法不尽一致。笔者认为问题的关键是勘探施工后,所获得的各级储量究竟有多大误差;如能将各类金矿

床勘探后求出各级储量误差,则可对比和考核出矿床的勘探程度。

金矿床中,多数为脉状矿体,一般多采用地质块段法在矿体垂直纵投影图上计算储量。金矿体或矿段的储量按下式求出:

$$A = S \cdot d \cdot r \cdot Z_i^* \quad (1)$$

式中, A ——金的金属量; S ——矿体的面积; d ——矿体的平均厚度; r ——矿体的平均体重; Z_i^* ——依边界品位 Z_i 圈定的矿体平均品位。

金矿体的金属量误差主要来源于平均厚度 d 和平均品位 Z_i^* , 而矿体的面积和体重的误差则相对小得多, 因此主要计算前二项的误差。

众所周知, 黄金矿床中, 样品品位间的相关性很小, 随机性较大。若以槽井探和坑钻探中每个样品作单位进行统计, 许多资料已证明品位的分布符合三参数对数正态分布, 即遵循下列公式:

$$\begin{aligned} f(Z) dZ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(Z+a) - \xi}{\sigma} \right)^2 \right] \\ &\quad \cdot d \left[\frac{\ln(Z+a) - \xi}{\sigma} \right] \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} W^2 \right] dW \quad (2) \end{aligned}$$

式中, Z ——样品的品位; ξ ——样品母体几何平均值的对数; σ ——样品母体的对数离差; a ——样品母体的偏斜校正; W ——样品品位转化的参数。

从公式(2)中看出, $\ln(Z+a)$ 是符合正态分布的。按正态分布的理论, 设某一个矿体或矿段参加储量计算的样品总数为 m , 则 $\ln(Z_i^*+a)$ 的误差依置信度 90% 来考虑将是 $\pm 1.65\sigma/\sqrt{m}$ 。这样, 平均品位的估值的百分误差是:

$$\alpha = \frac{\exp \left[\ln(Z_i^*+a) \pm \frac{1.65\sigma}{\sqrt{m}} \right] - a - Z_i^*}{Z_i^*} \quad (3)$$

算术平均值的估值 Z_i^* 有多种计算方法, 严格地讲 Z_i^* 必须按着 H.S. Sichel 的小子样算术平均值估值方法求出, 因为这样不会删掉特高品位, 若删去特高品位, 用另一品位代替将会产生系统误差。当然这个系统误差不会很大, 但将系统地减少储量。

从公式(3)中可看出, 产生算术平均品位估值 Z_i^* 的误差因素主要有二个方面: 一是金矿样品品位分布的对数离差 σ 。该数值是代表某个金矿体的品位离散程度, 是一个表征金矿特点的参数。对数离差 σ 和通常计算的品位变化系数 V 是相似的, 其间的数学关系, 即对数离差 σ 和品位误差成正比。二是参加储量计算的样品总数 m , 它表征勘探工程的多少。样品总数 m 的平方根与品位的误差成反比, 即总数 m 越多, 品位的误差越小。如果设 n 为穿过矿体的勘探工程总数, 样距约为 1 米, 则 $m \cong nd$ 。从上式又引出一个观点, 即当二个矿体, 穿过矿体的勘探工程 n 与矿体对数离差一样时, 矿体厚度 d 大, 则参加储量计算的样品总数 m 也多, 因此算术平均品位的估值 Z_i^* 的误差就小。这对于薄矿体来讲, 品位误差则较大。

下面讨论由矿体厚度引起的误差, 这有二种情况:

1. 当厚度变化符合正态分布时, 则采用厚度变化系数 D 来计算, 其平均厚度 d 的百分误差是:

$$\beta = \pm 1.65 D / \sqrt{n} \quad (4)$$

式(4)中, β 是一个对称的误差。

2. 当厚度变化符合对数正态分布时, 则采用厚度的对数离差 ξ , 这时平均厚度 d 的百分误差是:

$$\beta = \frac{\exp \left[(d+a') \pm \frac{1.65\xi}{\sqrt{n}} \right] - a}{d} \quad (5)$$

式(5)中, a' 为厚度分布的偏斜校正。式

(5) 和式(3)相类似,都是由对数正态分布的公式导出,因此其误差是偏斜的,即正向误差较大,负向误差较小。

这样,对一个脉状或层状金矿体,其储量百分误差是 $\alpha + \beta$,即品位和厚度误差相加。

储量误差计算实例

1. 山东Y矿区为含金石英脉和含金蚀变岩复合型金矿床。其I号矿体为主矿体,长600米,平均厚度3.78米,平均品位13.44克/吨。厚度变化系数为95%,品位变化系数为148%。定为第Ⅲ勘探类型。

按对数正态分布规律进行研究,I号矿体品位共有117件数据,用三参数对数正态分布参数估算电算程序求出品位母体几何平均值为2.37克/吨,品位对数离差 $\sigma = 1.757$,偏斜校正 α 为0。I号矿体的厚度变化复杂,据36个工程穿过矿体求出的矿体水平厚度不符合正态分布,而较近于对数正态分布。用上述程序求出厚度几何平均值为2.38米,厚度对数离差 $\zeta = 0.958$,偏斜校正 α' 为0。

根据以上参数对下面几个矿段进行了储量误差估算。

(1) I-C-1矿段

该矿段是一个C级矿段,由二层坑道控制。上部是0米中段,矿体长173米,有6个穿脉;下部是-60米中段,矿体长219米,有9个穿脉,中间有一钻孔(表1)。这二层坑道中的矿体都很连续。在所采样品中,尚未见到特高品位(本矿区特高品位下限为100克/吨,处理方法是按包括特高品位在内的3个连续样品品位平均值代替特高品位样品的品位,参加储量计算)。该矿段按厚度加权的平均品位为9.92克/吨,平均厚度为4.43米。该矿段参加储量计算的样品总数为80件,穿矿工程16个。

根据以上数据可有几种方法求出储量误差。

第一种方法是利用I号矿体母体的全部品位数据,即包括边界品位内外的所有数据求出母体的参数。即利用前面提及的 $\sigma = 1.757$, $m = 80$, $\zeta = 0.958$, $n = 16$ 数据,按公式(3)求出该矿段平均品位9.92克/吨的正向误差为3.80克/吨,即38.3%,负向误差为-2.75克/吨,即-27.7%。

厚度误差按公式(4)和(5)计算可得二种结果:如是正态分布, $\beta = \pm 39.2\%$;如按对数正态分布 β 的正向误差为2.15米,即48.5%,负向误差为-1.45米,即-32.7%。

这样,该矿段金储量误差 $\alpha + \beta$ 为77.5%至-66.0%或86.8%至-60.4%。这二个数据相差不大。

第二种方法是先计算I号矿体厚度和品位乘积的分布。厚度与品位乘积的几何平均值为22.6米克/吨,其对数离差为1.11。I-C-1矿段厚度与品位乘积的算术平均值为44.03米克/吨。同样,按公式(3)求出储量误差 $\alpha + \beta$ 为58.1%至-36.7%。其结果比上面计算稍小,这是由于厚度和品位间有一定的负相关引起的。

第三种方法是小子样计算方法。即不考虑母体样品的变化,只计算16个穿矿工程中的数据。如表1所示,所求出的是按穿矿工程中平均品位为单位的品位对数离差 $\sigma' = 0.613$ 。厚度对数离差 $\zeta' = 0.965$ 。因为这是以穿矿工程数为单位,则 $m = n = 16$ 。这样,该矿段厚度加权平均品位9.92克/吨的百分误差 α 为28.8%至-22.3%。平均厚度4.43米的百分误差 β 为48.9%至-32.8%。这样该矿段储量误差为77.7%至-55.1%。

三种方法运算对比见表2。

(2) I-C-2矿段

该矿段上部是-60米中段坑道,有4个穿脉,坑道下50米处有二个钻孔控制。即 $m = 31$, $n = 6$ 。按现行我国岩金规范,该矿

表 1

中段	样品数	品位(Z_i)	$\ln Z_i$	$(\ln Z_i)^2$	厚度(d)	$\ln d$	$(\ln d)^2$
0米	13	8.78	2.1724764	4.7196537	12.21	2.5022553	6.2612816
	4	12.17	2.4989739	6.2448706	2.15	0.7654678	0.5859410
	1	22.91	3.1328821	9.8149503	0.85	-0.1625189	0.0264124
	3	23.29	3.1480241	9.9100557	2.45	0.896088	0.8029737
	1	25.46	3.2371085	10.478872	0.65	-0.4620355	0.2134768
	2	4.41	1.4838747	2.2018841	1.80	0.5877867	0.3454952
-60米	2	3.75	1.3217558	1.7470384	1.92	0.6523252	0.4255282
	3	4.18	1.4303112	2.0457901	2.80	1.0296194	1.0601161
	11	7.18	1.9712994	3.8860213	10.70	2.3702437	5.6189552
	7	10.32	2.3340838	5.4479472	6.25	1.8325815	3.358359
	9	6.00	1.7917595	3.2104321	8.40	2.1282317	4.5293702
	11	12.11	2.4940315	6.2201931	9.43	2.2438961	5.0350697
	4	12.12	2.4948570	6.2243115	3.98	1.3812818	1.9079394
	5	11.92	2.4782177	6.141563	5.20	1.6486586	2.7180752
	3	15.87	2.7644305	7.642076	1.40	0.3364722	0.1132138
ZK26-1	1	16.57	2.8075938	7.8825829	0.77	-0.2613648	0.0683115
总计	80	平均	$\frac{2.347605}{(\ln Z_i)^2}$	$\frac{5.8636382}{5.5112493}$	4.43	$\frac{1.0930618}{(\ln d)^2}$	$\frac{2.0668508}{1.1947841}$

$$\sigma'^2 = 0.3523 \times \frac{16}{15} = 0.3758$$

$$\xi'^2 = 0.8721 \times \frac{16}{15} = 0.9302$$

表 2

方法	α		β		$\alpha + \beta$	
1	38.2	-27.7	48.5	-32.7	86.8	-60.4
2					58.1	-33.7
3	28.8	-22.3	48.9	-32.8	77.7	-55.1

段也为C级储量。

在钻孔中, 见有1个特高品位为120.76克/吨, 其两侧仅1.20克/吨和0.36克/吨。按该矿区特高品位处理方法, 用相邻3件样品的平均值40.77克/吨代替, 但采用此法并无依据。现改用H.S.Sichel的方法计算, 先将钻孔中的样品进行组合, 使样长都在1米左右, 再求出算术平均值的估值。该钻孔原平均品位为7.83克/吨, 计算后为10.41克/吨。这一变动使矿段平均品位从11.69克/吨改为12.45克/吨, 相差不大。

按上述方法求出平均品位12.45克/吨的正向误差为8.50克/吨, 即68.3%, 负向误

差为-5.05克/吨, 即-40.6%。平均厚度为5.02米, 其正向误差为4.55米, 即90.6%, 负向误差为-2.39米, 即-47.6%。

这样, 该矿段储量误差很大, 为158.9%至-88.2%。

2. 江西H矿区为似层状含铜黄铁矿型铜矿床, 其中I号矿体较规则。据358件样品统计, 铜的几何平均品位为0.757%, 品位对数离差为0.884, 偏斜校正为0.060%, 厚度变化系数为51.3%。I号矿体连续长1400米, 以200×80米钻探网度求C级储量, 属第I勘探类型。

首先讨论20#至40#剖面间200米矿段的储量误差。两个剖面共打8个钻孔, 样品总数 $m=96$, 平均品位为1.211%。铜品位正向误差为0.204%, 即16.0%, 负向误差为-0.176%, 即-13.8%, 厚度百分误差 $\beta=\pm 29.9\%$ 。该矿段储量误差为45.9%至-43.7%。

如按矿体计算,该矿体共打48个孔,样品总数358件,则矿体平均铜品位1.172%的正向误差0.099%,即百分误差8.0%,负向误差-0.091%,即百分误差-7.8%,厚度百分误差 $\beta = \pm 12.2\%$ 。该矿体储量误差为20.2%至-20.0%。

为从简计算矿段或矿体储量误差,将公式(3)和(5)进一步简化。偏斜校正 α 和 α' 一般很小, α 可以表示为下式:

$$\begin{aligned}\alpha_+ &= \exp\left(\frac{1.65\sigma}{\sqrt{\frac{d}{m}}}\right) - 1 \\ &\cong \exp\left(\frac{1.65\sigma}{\sqrt{\frac{d}{n}}}\right) - 1\end{aligned}\quad (6)$$

$$\begin{aligned}\alpha_- &= \exp\left(-\frac{1.65\sigma}{\sqrt{\frac{d}{m}}}\right) - 1 \\ &\cong \exp\left(-\frac{1.65\sigma}{\sqrt{\frac{d}{n}}}\right) - 1\end{aligned}\quad (7)$$

同样, β 的计算也可简化为:

$$\beta_+ = \exp\left(\frac{1.65\xi}{\sqrt{\frac{d}{n}}}\right) - 1\quad (8)$$

$$\beta_- = \exp\left(-\frac{1.65\xi}{\sqrt{\frac{d}{n}}}\right) - 1\quad (9)$$

储量误差为:

$$\begin{aligned}(\alpha + \beta)_+ &= \exp\left(\frac{1.65\sigma}{\sqrt{\frac{d}{n}}}\right) \\ &\quad + \exp\left(\frac{1.65\xi}{\sqrt{\frac{d}{n}}}\right) - 2\end{aligned}\quad (10)$$

$$\begin{aligned}(\alpha + \beta)_- &= \exp\left(-\frac{1.65\sigma}{\sqrt{\frac{d}{n}}}\right) \\ &\quad + \exp\left(-\frac{1.65\xi}{\sqrt{\frac{d}{n}}}\right) - 2\end{aligned}\quad (11)$$

公式(10)和(11)还可简化,可用 $\exp(x)$ 的展开式取到第三项:

$$\begin{aligned}(\alpha + \beta)_\pm &= \pm \left[\frac{1.65(\sigma + \sqrt{d}\xi)}{\sqrt{\frac{d}{n}}} \right] \\ &\quad + \frac{1.36(\sigma^2 + d\xi^2)}{dn}\end{aligned}\quad (12)$$

也可写为:

$$\begin{aligned}(\alpha + \beta)_\pm &= \pm \left[\frac{1.65(\sigma + \sqrt{d}\xi)}{\sqrt{\frac{d}{n}}} \right] \\ &\quad + \frac{1.36(\sigma^2 + d\xi^2)}{dn}\end{aligned}\quad (13)$$

公式(13)中第一项为储量误差的主要项,是起决定性的,第二项是误差偏斜引起的校正项。因此,在讨论储量误差控制时,主要讨论第一项变化。

讨 论

通过储量误差的计算和几个实例的分析,可取得如下一些看法。

1. 铜矿比金矿的储量误差要小。这主要是铜矿比金矿品位对数离差一般小,而矿体厚度比金矿大,这可使公式(13)第一项的分子变小,故铜矿储量误差较小是必然的。通过计算H铜矿区C级矿段储量误差基本符合45%±要求,矿体储量误差则在20%±。当然,这仅是一个例子,还不能得出结论性看法。

2. 金矿矿段储量误差相当大。I-C-1矿段储量误差是77.7%至-55.1%; I-C-2矿段储量误差是158.9%至-88.2%。这表明金矿同一级别矿块间储量误差很大,主要是由穿脉工程 n 的多少引起的。因此,黄金矿床不能仅以矿段为单位来衡量储量误差,还应扩大范围。至于扩大到什么程度,可否以矿体或以矿体的某一级储量为单位来衡量。

3. 金矿储量误差是偏斜的。这主要决定于金品位分布是对数正态分布,因此金储量误差正向误差要大于负向误差。依此可以推论目前我国计算的金储量要偏大,从已开采的金矿山实际资料对比也可得此结论,但可以设法控制这个误差。

4. 我国岩金矿地质勘探规范是值得商榷的。规范中定的标准(指C级储量)可以概括为几项指标,如表3所示。

表 3

勘探类型	规模 (米)	厚度变 化系数 (%)	品位变 化系 数 (%)	钻探网度 (米)	工程数
II	500×500	130	220	80×80	49
III	200×200	180	220	40×40	25
IV	50×50	>180	>220	25×25	9

从表 3 可看出, 划分勘探类型主要是矿体规模、厚度变化系数和品位变化系数三项指标。但厚度变化系数定得过高, 而多数脉状矿体厚度变化系数在 60~140%; 品位变化系数也定得过高, 实际上金矿品位变化系数为 100~300%, 大多数在 100~200% 之间变化。因此, 这等于取消了厚度变化系数和品位变化系数的作用, 在勘探工作中, 常以矿体规模来确定勘探类型。

为更好地确定金矿勘探类型, 建议采用二项指标划分: 一是矿体规模; 二是产生储量误差的主要项 ($\sigma/\sqrt{d} + \xi$), 此参数可称为金矿的复杂程度系数 E 。金矿的复杂程度系数包括品位对数离差, 厚度对数离差和矿体厚度三项指标的综合反映。现将《岩金矿床勘探类型实例》几个典型矿区和本文讨论的 Y 矿区实例进行对比 (表 4)。按复杂度可得二号矿区最复杂, 一号和 Y 矿区中等, 三号矿区最简单。但从矿体规模来看, 三号矿区最小, 而施用工程更多, 二者是矛盾的, 因此必须综合考虑。为统一考虑这两个因素, 按单个矿体为单位储量误差在 45% 以内计算, 可列出表 5。

Error Estimates in Gold Ore Reserves Calculation

Yang Erxu

The errors of estimated gold reserves of different categories and the error calculation method are not yet clearly stipulated in our country. A method for calculating the error of the estimated reserves of gold veins is suggested in this paper. By using this method, for the category C ore block of the Y Au-deposit the error calculated seems too large, while for that of the H Cu-deposit, it is round $\pm 45\%$. The author deems it necessary that the error calculation should be done in a limited scope (an ore block, an ore body or a few ore bodies). So far as the gold deposits are concerned, it is better to use an ore body as a unit for error calculation. Thus, after the error size of the estimated gold ore reserves has been determined the density of exploratory grid for prospecting the gold ore body may be obtained according to the dimension and the complexity coefficient (E) of the ore body.

按表 5 标准划分勘探类型, 一号矿区应为 I~II 类, Y 矿区应为 II~III 类, 二号矿区应为 III 类, 三号矿区应为 I~II 类。当然,

表 4

矿区	原定 类型	σ	d (米)	ξ	E	矿体长度 (米)
一号	II	1.79	6.83	0.98	1.68	960
Y	III	1.76	3.78	0.96	1.86	600
二号	III	1.80	0.89	0.58	2.49	560
三号	III	0.87	2.74	0.50	1.02	200

表 5

类型 (米)	规模 (米)	1000× 500	500×300	200×200	50×50
I (160×160)		1.25	0.67		
II (80×80)		2.78	1.34	0.82	
III (40×40)			2.75	1.36	
IV (25×25)				2.45	0.82

这个标准是以误差为前提的, 具体矿区可以计算, 总的目标是控制储量的误差。

通过储量误差的分析, 对当前的黄金地质工作提出以下建议:

1. 重新制定黄金矿床勘探类型划分标准, 使储量级别与储量误差综合考虑。

2. 为减小黄金储量的误差, 要增加穿矿工程总数。要多打分枝钻孔, 在坑内增打扇形钻孔, 对薄矿体多打沿脉坑道。

3. 要提高钻探工程质量。若采用金刚石钻进, 采取率达 90% 以上, 肯定会提高勘探质量。由于钻探质量引起的金矿储量误差, 本文尚未探讨, 此项误差应尽量减小。