

在矿石储量估算中如何正确应用品位-储量曲线

品位-储量曲线能够反映一定的边界品位以上的矿石量有多少,这可为制定矿山开采计划提供非常有用的资料。但是在计算中需要注意一些原则,以免发生严重误差。

有两种确定曲线的方法。第一种方法是不划分矿块,而从全部资料中求得。这时,曲线可能有代表性,并可正确地反映某一品位指标以上的矿石储量,但是不能表示富矿在哪里,也不能指出矿体与围岩的界线。按照第二种方法,曲线是根据构成矿体的各个矿块的品位估计量绘出的。在这种情况下,可以确定矿体与围岩的界线。但是,得出的曲线是有误差的。而且由于划分矿块的各项数值只是些估计量,因而估算的总储量是不准确的。

第一种曲线可按常用的统计法求得。第二种曲线则是根据地质统计逼近法(如克瑞吉法)求出的。

有时曲线的误差并不很大。但是在资料不足的勘探初期,也会出现严重的误差。下面将指出如何解决这个问题的一些基本原则。

数学处理方法不能增加信息量

首先必须注意的是,样品仅仅是样品,而不是矿体。往往有这种倾向:忘记了无论用多复杂的数学处理方法,它们所包含的基本信息是不能增加的。因此,得出的任何品位-储量曲线不能代表矿体,只能代表样品。

分布曲线是样品大小的函数

通常认为,品位多循正态分布规律。但

是,分布曲线是从样品中求得的这一事实往往被忽视。实际上,每一个可以分别开采的大小不同的矿块都有特殊的品位-储量曲线。所以,块段的大小如未确定,就不能计算储量。

样品品位和块段品位的分布规律并不一致。根据称量为5磅的样品所确定的边界品位,将比根据矿量为5百万吨的块段所确定的边界品位要合适得多。产生了这样一个问题:已知大小的块段的品位分布是否能根据样品的品位分布求得?这个问题在理论上是否定的。但是经验表明,使用合理的假定也是可以的。

对数正态分布的守恒性和第一类曲线

实际经验和理论上都已证明,只要样品品位作对数正态分布,那么无论块段多大,其品位也常作对数正态分布(代·威西安型分布)。假如知道了总体平均值,而且按地质统计法能求出既定大小的块段品位的均方差,再应用对数正态分布规律,就完全可以确定块段的品位分布。在查阅了正态分布表以后,即能按以下公式解决这一问题。

已知总矿量为 T_0 、平均品位为 m 、边界品位为 x 的各块段的对数方差为 σ^2 ,则矿量为:

$$T(x) = T_0 G\left(\frac{1}{\sigma} \lg \frac{x}{m} + \frac{\sigma}{2}\right)$$

平均品位为

$$m(x) = m \frac{G\left(\frac{1}{\sigma} \lg \frac{x}{m} - \frac{\sigma}{2}\right)}{G\left(\frac{1}{\sigma} \lg \frac{x}{m} + \frac{\sigma}{2}\right)}$$

式中 $G(z)$ 是常用的高斯函数,即

$$G(z) = \int_z^{\infty} \frac{e^{-\frac{z^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} dz$$

它已制成正态分布表。在有对数正态分布规律和能计算块段均方差时,这是一个简单而有效的实用方法。如利用概率纸,并记住:

(1) 对于正态分布,平均值 m_0 与中位数 γ (对数平均值的反对数)的关系是:

$$m_0 = \gamma e^{\frac{1}{2}\sigma^2},$$

(2) 在对数概率纸上,表示中位数 γ 和标准离差 δ 的总体的就是50% (γ)和97.5% ($\gamma + 2\sigma$)两点的连线,就几乎可以省去计算工作。

在一个既定的矿区,当 m_0 为常数时,大小不一的各个块段品位-储量关系是一簇

直线。根据公式 $m_0 = \gamma e^{\frac{1}{2}\sigma^2}$,它们各有一个相应的 σ 值。必须记住的是,某一品位指标以上的储量是可以求出的,但是品位分布规律是未知的。另外还必须记住,这一模型仅在百分之几的限度内才完全适用,并且在边界品位低于中位数时才是可靠的。如果取这一分布曲线的末端,就可能出现较高的偏倚。例如,在规模巨大的斑岩铜矿床或含金石英脉中企图圈出高品位块段时就是这样。

还应记住,所谓拉斯基定律(Lasky law),是根据对数正态规律导出的。

逐块估算和克瑞吉法

第二类曲线可用来表示每一个块段的品位,并指出哪些块段可以开采,哪些块段应当舍弃。

假设矿体已划为大小相等的块段,而且块段的品位已很清楚,就可以得出矿量-品

位曲线和矿体的准确边界。这就需要掌握某块段矿体的全部资料。显然,一开始是无法得到这样全面的资料的,所以,无论计算方法多巧妙,也不能得出真实的品位-储量曲线。当这种资料已掌握后,看来就要注意曲线的准确性有多大,至少看看它与真实曲线相差多少。

克瑞吉法

块段真实品位 Z 的估计量 Z^* 为

$$E(Z^*) = E(Z) \quad (\text{无偏倚条件})$$

$$D^2(Z - Z^*) = \text{极小值}$$

(在均方差为极小的条件下)

此外,要求 Z^* 是可以求出的 Z_i 的线性组合

$$Z^* = \sum_i \lambda_i Z_i$$

由第一个条件可得

$$\sum_i \lambda_i = 1$$

在上述条件下,为了使 $D^2(Z - Z^*)$ 为极小,可利用拉格朗日系数 μ ,应使 $\psi \equiv D^2(Z - Z^*) - 2\mu(\sum \lambda_i - 1)$ 取极小。

克瑞吉估计量的均方差 $D^2(Z - Z^*)$ 可表示为:

$$D^2(Z - Z^*) = \sigma_z^2 - 2 \sum_j \lambda_j \sigma_{ioj}$$

$$+ \sum_{j,k} \lambda_j \lambda_k \sigma_{ijk} \equiv \sigma_k^2$$

于是,均方差为极小时可得

$$\begin{cases} \sum_k \lambda_k \sigma_{jk} = \sigma_{ioj} + \mu V_j & \dots\dots\dots (1) \\ \sum_i \lambda_i = 1 & \dots\dots\dots (2) \end{cases}$$

Z^* 的均方差为:

$$\begin{aligned} D^2(Z^*) &= D^2(Z^* - Z + Z^*) \\ &= D^2(Z) + D^2(Z - Z^*) \\ &\quad + 2\text{Cov}(Z)(Z^* - Z) \end{aligned}$$

(式中Cov为“协方差”——编者)

$$\text{或 } \sigma_{Z^*}^2 = \sigma_Z^2 + \sigma_k^2 + 2\sigma_{ZZ^*} - 2\sigma_Z^2$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } \sigma_{ZZ^*} &= \text{Cov}(Z)(\sum \lambda_j Z_j) \\ &= \sum \lambda_j \sigma_{i0j} \\ &= \sum \sum_j \sum_k \sigma_{jk} - \mu (\text{根据1式和2式}) \\ &= \sigma_Z^2 - \sigma_k^2 + \mu \end{aligned}$$

结果得出

$$\sigma_{Z^*}^2 = \sigma_Z^2 - (\sigma_k^2 - 2\mu)$$

$(\sigma_k^2 - 2\mu)$ 是个判断未知程度的量。

当 $Z=Z^*$ 时它才等于零。不难证明这是一个正值。如果已准确地求出了平均品位, μ 也将等于零, 两个均方差之差将为 σ_k^2 。

由于估计量均方差小于真值的均方差, 所以块段估计量的直方图将比真值的直方图窄, 而且根据这一直方图的累积频率曲线求出的储量-品位曲线将会有较高的偏倚。

它是否接近“真实”曲线呢? 我们已经

看到, 由于哪里确实有矿还不清楚, 所以真实曲线是无用的。这一情况也适用于上述问题。那么又如何制定矿区开采计划和怎样划分矿块呢?

划分块段的方法

显然, 划定块段的依据是品位的估计量, 而不是它的真值。必须承认, 会产生误差, 而且有时会划错块段。

如果根据这种估计量求出曲线和划定块段, 那么开采的结果将与预计的一致。

在 Z^* 为一定时, 真值 Z 和它的估计量 Z^* 的相关关系 (Z, Z^*) 为

$$E(Z|Z^*) = Z^*$$

也就是说, 计算 Z^* 值的块段确实都具有和 Z^* 值相等的平均品位。 Z 对 Z^* 的回归线是第一个二等分线 (图 1)。

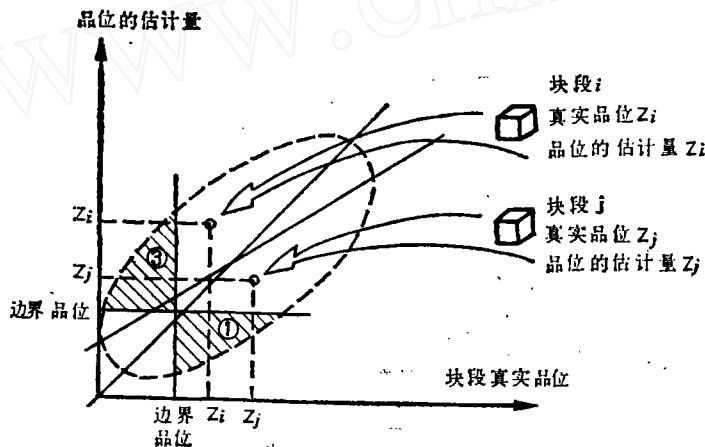


图 1 阴影区表示等外的矿块

一个块段是否应当开采, 只能根据它的品位的估计量做出决定。从图 1 可以看出, 这样造成的损失是: 对第一个区间的矿块品位估计过低, 而对第三个区间的矿块品位又估计过高。

在前一节指出的缺点是很显然的。在生产矿区选定矿块远比在只有钻孔资料的矿区

要好办。这点将在下面解释。因此, 块段的选定与储量-品位曲线都要根据同样的估计量做出。也就是说, 在没有确定开采方法之前, 一个矿区的品位是不能准确算出的。

如果要从有几亿吨储量的低品位矿床中选出 1 亿吨开采对象, 是不难的。一开始,

上述两类曲线均可采用。第一种曲线虽然与真实曲线近似,但实际上却是真实曲线的幻影。块段的选定只能根据钻孔资料进行。因为无论炮眼的资料还是检验品位的试样资料都还没有。

一待选定了勘探目标,或是已经着手开采,就可以着手绘制第一类曲线,并预计矿山的实际产量。可是,只有根据每日的生产情况,才能知道应当选定哪些块段和剔除哪些块段。也就是说,即使严格按上述程序工作,也不能保证长期计划比图 1 所示的效果

摘要与结论(图 2)

(1) 估计量不是真值(这很显然,但往往被人遗忘)。图 1 表示的是块段品位的真值与它的估计量的关系,它说明在选定开采块段时不可避免地会有一些失误。

(2) 矿块大小不一时,品位分布曲线也不同,所以同一个边界品位应用到这些块段时将产生不同的结果。

(3) 一定大小的块段各有一定的品位-储量曲线。

(4) 真实的曲线只能用地质统计法求出,但在块段还没有划定之前,它是没有多大用处的。为了划定矿块,就须求出品位的估计量。从第(1)点看来,这样就会有失误。

(5) 能使用的正确曲线必须根据愈益准确的估计量不断重新订正。如果根据这种估计量来划定块段,同时,由于 $E(Z|Z^*) = Z^*$,那么开采的结果就将与预计的一致。这也就是说,正确的品位-储量曲线取决于一定的样品资料。新的样品资料将不断校正块段品位的估计量,并可相应地校准品位-储量曲线。

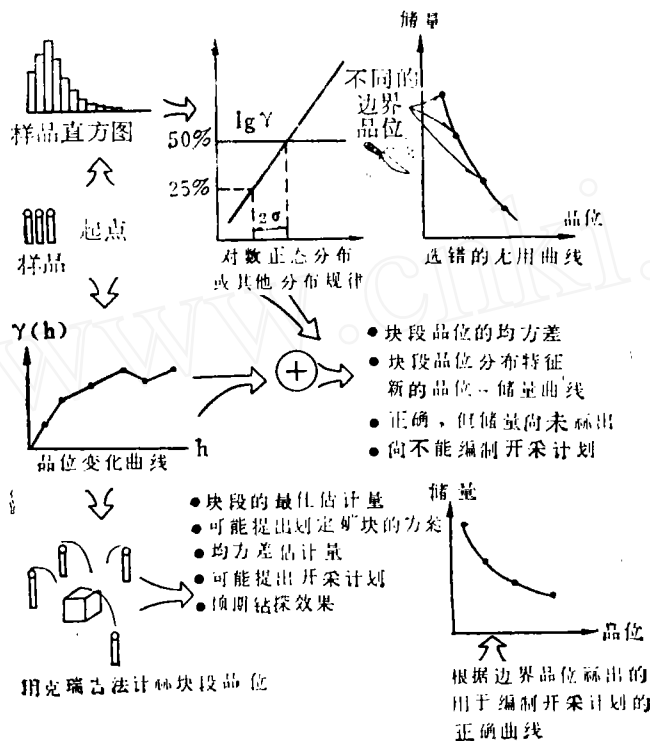


图 2 计算储量和品位的正确(和错误)程序

更好。

为了获得最为接近真实的曲线,只须要知道估计量的均方差,它在以后将是有益的。如果还不知道这些估计量,它们的均方差在采样之前也是容易算出的。但这就不容提前制定开采计划。

译自《Institution of mining and metallurgy》, Transactions, Section A, vol.81, 1972, PP.129—132

朱星南译 邵孟林校

作者:米·大卫