

矿石储量分级的地质统计学研究

侯景儒

古 梅

(北京钢铁学院)

(北方工业大学)



第一作者简介 曾在中国科技大学、冶金部地研所及首钢任教师及工程师, 现在北京钢铁学院任教。1973年起研究教学地质, 1979年赴美国学习地质统计学后一直从事该学科的研究。著有《地质统计学及其在矿产储量计算中的应用》一书, 译有《矿业地质统计学》一书, 并发表其他论文30余篇。现任中国金属学会冶金地质学会理事、遥感及教学地质专业委员会主任委员和中国地质学会教学地质专业委员会副主任委员。

矿石储量计算及其分级是地质勘探工作中最后而又最重要的成果, 传统的矿石储量分级一般是定性的, 即用一些概念化的术语来划分矿石级别。地质统计学(克立格法)不但给出待估块段的平均品位, 而且还给出了估计的精度——克立格方差, 因此, 地质统计学是定量化矿石分级的较好方法。作者详细地研究了克立格方差的性质及其影响因素, 讨论了关于经济可行性、地质可信度及可回采率的有关问题, 特别讨论了影响地质可信度的若干因素, 如待估块段的大小、孔距、矿体的结构特征以及边界品位等。最后, 给出矿石储量分级的地质统计学准则、计算方法及程序系统和对一个铁矿床的研究实例。

矿石储量计算及其分级是找矿勘探工作最后而又最为重要的工作之一。它是从经济方面研究一个矿床(体)是否值得开采的基础, 因此, 科学的储量计算及其分级方法一直为地质学家所关

注, 国外许多学者在矿石分级方面做了大量的工作, 下表列出了一些国家矿石储量分级的情况。他们的分级原则似乎比较严格, 但在实际应用中却存在着许多困难。例如, 分级标准是用文字来

世界 各 国 储 量 分 级 对 照 表

国 家	分 级 情 况 及 相 互 对 照					
美国地质及矿务局	已 探 明 的			推 断 的	假定的	推理的
	开 拓 的	标 明 的				
美 国 能 源 部	储 量			潜 在 资 源		
				推 断 的	可能的和推理的	
西 德	肯定的 (A)	概略的 (B)	标明的 (C ₁)	推断的 (C ₂)	预测的 (D)	
东 德	肯定的 (A)	概略的 (B)	标明的 (C ₁)	推断的 (C ₂)	预测的 ($\delta_1 + \delta_2$)	
加拿大能源矿山和资源局	开 拓 的	标 明 的		推 断 的	推测的	推理的
加 拿 大	已 探 明 的			推 断 的	推 理 的	
法 国	备用储量 I	备 用 储 量 II		远景储量 I	远景储量 II	
苏 联	A	B	C ₁	C ₂	D (预测的)	
中 国	A	B	C	D	E	
澳 大 利 亚	合 理 的, 保 证 的			附加估算的		
南 非	合 理 的, 保 证 的			附加估算的		
国际原子能机构 (铀矿)	合 理 的, 保 证 的			附加估算的	推 理 的	

注: 表中的英汉名词对照: 肯定的 (proven), 概略的 (probable), 远景的 (possible), 标明的 (indicated), 推断的 (inferred), 预测的 (prognostic), 已探明的 (demonstrated), 开拓的 (measured), 假定的 (hypothetic), 推理的 (speculative), 推测的 (surmised), 储量 (reserves), 资源 (resources)

描述的,即用一些概念化的名词来刻划各类级别,这自然不能使估计误差定量化,因而使储量计算的可靠性含糊不清,给矿山设计和开采的应用带来不便。

地质统计学在一定意义上讲是一种最佳线性无偏估计方法,用它计算矿产储量不仅能给出待估块段的平均品位及吨位,而且还能给出衡量估计精度的标志——克拉格方差,这就消除了确定矿石储量可靠程度的主观性。因而,地质统计学是定量地解决矿石储量分级的很有前途的方法。遗憾的是,过去由于地质学家和采矿学家未能完全理解克拉格方差的潜在意义和地质学家又没有充分理解矿石储量分级的重要意义,因而使这方面的研究进展不大,只有少数人有所研究,例如,德国矿冶工作者协会(GDMB),R.L.Sabourin, F.W. Wellmer, G.Royle, R.Froidevaux以及 P.Diehl 等人。

本文试图在前人工作的基础上,应用地质统计学来研究矿石储量分级的理论、方法等有关问题。

克拉格方差及其性质

储量分级的地质统计学方法主要是研究克立格方差,下面就此问题展开讨论。

设有 n 个样品 v_a 的值 $Z_a (\alpha = 1, 2, \dots, n)$ 来估计某一块段 V 的值,令待估块段 V 的真实平均品位为 Z_v , 而用这 n 个样品估计出该待估块段 V 的平均品位的估计值为 Z_k^* , 且:

$$Z_k^* = \sum_{a=1}^n \lambda_a Z_a \quad (1)$$

克立格法就是在无偏条件及估计方差极小的约束下给出求解(1)式中权系数 λ_a 的克立格方程组:

$$\begin{aligned} \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta} \bar{C}(v_a, v_{\beta}) - \mu &= \bar{C}(v_a, V) \\ \sum_{a=1}^n \lambda_a &= 1 \end{aligned} \quad (\alpha = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

求解(2)式,得到 λ_a 再代入(1)式即可得到 Z_k^* 。

当我们用 Z_k^* 估计 Z_v 时,其估计的均方误差可用估计方差表示,表达式为:

$$\sigma_k^2 = E \{ [Z_v - Z_k^*]^2 \} \quad (3)$$

经演算,(3)式可写成:

$$\begin{aligned} \sigma_k^2 &= \bar{C}(V, V) - 2 \sum_a \lambda_a \bar{C}(V, v_a) \\ &\quad + \sum_a \sum_{\beta} \lambda_a \lambda_{\beta} \bar{C}(v_a, v_{\beta}) \\ &\quad (\alpha, \beta = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (4)$$

由(2)式知: $\sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta} \bar{C}(v_a, v_{\beta}) = \mu + \bar{C}(v_a, V)$, 并将其代入(4), 得到最小估计方差,即克立格方差 σ_k^2 :

$$\sigma_k^2 = \bar{C}(V, V) + \mu - \sum_{a=1}^n \lambda_a \bar{C}(v_a, V) \quad (5)$$

(5)式中的 $\bar{C}(v_a, V)$ 代表矢量 h 的一个端点在样品域 v_a 内,而另一端点在待估域 V 内的所有对点的平均协方差, $\bar{C}(V, V)$ 代表矢量 h 的两个端点在待估域 V 内的所有点之间的平均协方差, μ 是拉格朗日参数。

若用半变异函数表示,(5)式可改写为:

$$\sigma_k^2 = -\bar{\gamma}(V, V) + \mu + \sum_{a=1}^n \lambda_a \bar{\gamma}(v_a, V) \quad (6)$$

(5),(6)式概括了影响估计误差的主要因素,它们是:(1)矿化结构的变异性(包括在 $\bar{C}$ 及 $\bar{\gamma}$ 中);(2)样品信息和待估块段之间的相对几何关系,

即 $\sum_{a=1}^n \lambda_a \bar{\gamma}(v_a, V)$; (3)样品信息的构形,即 $\bar{\gamma}(v_a, v_{\beta})$ 。图1表明了上述诸因素对克立格方差的影响情况,从图1可知,信息样品越多,或者信息样品与待估块段之间的距离越小,或待估块段中存在信息样品时,克立格方差 σ_k^2 就越小,当信息样品数目相同而构形各异时, σ_k^2 就取决于构成的合理性,试比较8号和1号构形,5号和8号构形就很清楚地看到信息的构形对 σ_k^2 的影响了。此外,克立格法还能自动消除由于样品信息排列偏向一边而造成的偏差(即所谓“串珠样品的分解作用”),由于“屏蔽效应”还能防止样品偏集一方而产生的估计的偏畸(图2),因此,为了充分利用样品信息,应尽量使样品分布均匀。

图3是某钨矿床第21号矿脉克立格方差随数据构形及待估块段大小(及勘探网度大小)的不同而变化的情况。

总之,为了提高估计精度必须要有较多分布

编 号	1	2	3	4	5	6	7
构 形							
σ_k^2	0.0088	0.0091	0.0115	0.0126	0.0119	0.0131	0.0142

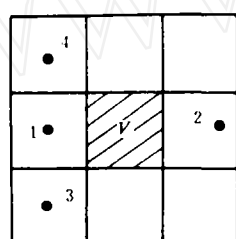
编 号	8	9	10	11	12	13	14
构 形							
σ_k^2	0.0151	0.0160	0.0260	0.0245	0.0354	0.2595	0.6212

计算条件: 块金常数 $C_0 = 0.006$, 基台值 $C = 0.049$, 变程 $a = 30$ 米

网格大小: 10 米 × 10 米

图 1 14 种数据构形及其克立格方差 σ_k^2

(阴影部分为待估块段; · 为样品信息)



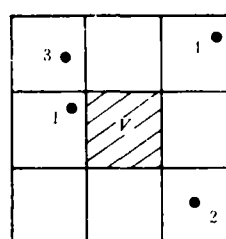
串珠样品的分解

$$\lambda_1 = 0.2695$$

$$\lambda_2 = 0.3011$$

$$\lambda_3 = 0.2296$$

$$\lambda_4 = 0.1995$$



屏蔽效应

$$\lambda_1 = 0.4570$$

$$\lambda_2 = 0.2815$$

$$\lambda_3 = 0.0936$$

$$\lambda_4 = 0.1516$$

图 2 串珠样品分解和屏蔽效应
(阴影部分为待估块段; · 为样品信息)

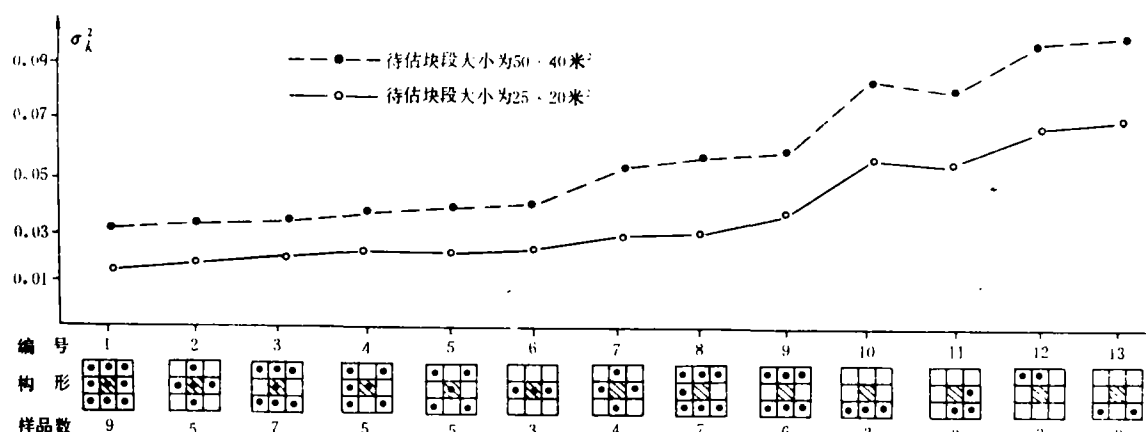


图 3 红岭钨矿第21号矿脉 σ_k^2 的变化情况

均匀的样品信息, 同时在待估域 V 中尽可能要有样品, 待估域与样品信息之间的距离应尽可能小, 这些也是矿石储量分级必须考虑的因素。

应用地质统计学划分矿石储量级别时应考虑的几个问题

应用地质统计学划分矿石储量级别时, 必须遵循的原则是经济可行性、地质可信度及可回采率。

有些金属矿床,从富矿带到无矿带没有明显界线。因而,在进行矿石分级时,首先要按照边界品位、最低工业品位、最小可采厚度、最小夹石厚度以及覆盖层厚度等确定目前或潜在的可利用矿石带的边界,然后,再把属于矿化范围内的矿石细分为有经济意义的矿石和次经济意义的矿石,这就是经济可行性研究。而可回采率可以在采、选、冶过程中通过试验及修正来解决。在采矿前,一些地质统计学方法可给出可回采的因子。下面着重讨论地质可信度的问题。

所谓地质可信度是指矿石存在的可靠程度,经典统计学的研究方法是分析估计误差的分布特征,而地质统计学则是研究(5),(6)式所表征的特点。具体地说,地质可信度主要依赖于样品信息的分布模式、矿床结构特征,以及待估块段的大小等。

必须指出,只有估计方差,对计算置信限毫无意义,因此,还要知道误差的分布。A. G. Journel认为,估计误差的分布虽不符合高斯分布,但经典的置信区间 $\pm 2\sigma_E$ 包含大约误差的95%这个概念仍是适用的。法国的F. W. Wellmer建议置信水平应取90%,因为国际上“银行认可”的可行性研究要求误差限必须达到 $\pm 10\%$ 。

1. 块段大小对矿石分级的影响

大家知道,将一个矿体分成较大块段进行估计时的估计方差,比划分成较小块段的估计方差要小,即估计方差或克立格方差是块段体积的函数。这样,基于估计方差的地质统计学矿石储量分级方法也是块段体积的函数。图4是一个层状

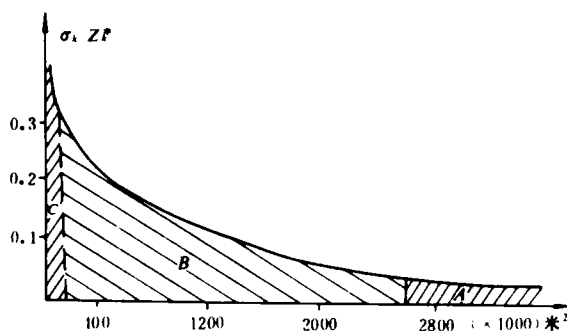


图4 块段大小与估计精度的关系
(据 P. Diehl, M. David)

磷酸盐矿床的实例,在相同钻探网条件下,被估块面积为 $180 \times 1000 \text{ m}^2$ 时划为C₁级,当被估块面积为 $2600 \times 1000 \text{ m}^2$ 时划为B级,即大块段比小块段更易划入高级储量,因此,不考虑被估块的大小与估计方差的关系来划分矿石储量级别是不行的。

2. 孔距对估计精度的影响

一般来说,孔距越小,数据越多,估计精度就越高,因此,应选择一个对所研究的矿床是最优的孔距。如图5所示,100个孔的估计精度为 $\pm 20\%$,而当把置信区向下降到10%时就要打200个孔。图6表明,当孔距为400米时打16个孔,置信区间为 $\pm 40\%$,属C₁级;孔距为200米时要打64个孔,仍属C₁级,孔距加密到100米时才属B级,

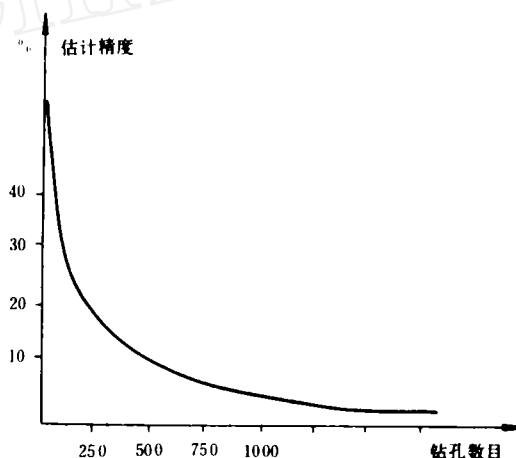


图5 孔距与估计精度的关系
(据 R. Froidevaux)

但需打210个孔;若孔距为25米时,需打4500个孔,储量才属A级。这样提供的矿石级别是无意义的,为此,P. Diehl等建议:由于储量分级是用于矿山设计的,而设计又依赖于占有资料的详细程度,因而,矿石储量分级应该和矿山的开采速度联系起来考虑。

3. 矿床结构特征对估计精度的影响

(5),(6)式表明,矿床的连续性和变异性影响着估计的精度(通过 $\bar{C}$ 或 $\bar{\gamma}$)。图7表示一个模拟矿床的估计精度随矿床连续性和变异性变化的情况,当变程为170英尺、变异性为1.36时,估计精度为13%;当变程为250英尺、变异性仍为1.36时,估计精度为10%;当变程为250英尺、而变异性为2.7时,估计精度为2%。

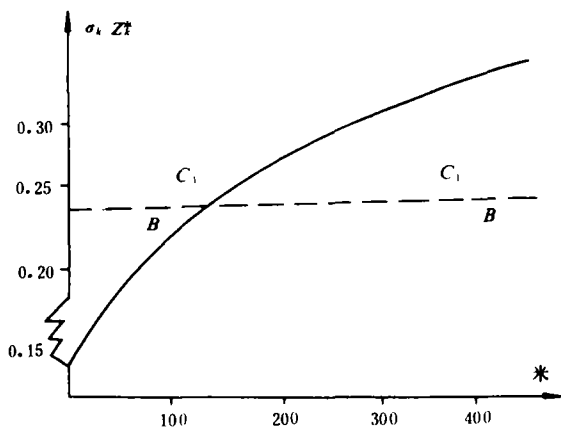


图6 孔距与块段精度的关系
(据 P. Diehl, M. David)

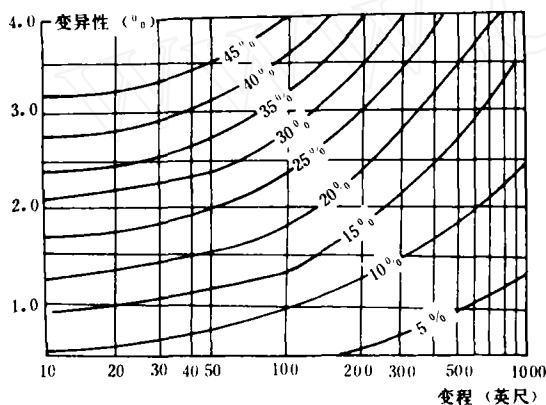


图7 结构特征与精度的关系
(据 R. Froidevaux)

必须指出,矿床品位的变异性还与用于计算储量的样品的支撑大小有关。图7还表明,要求变化性不同的矿床(如铁、金等)具有相同的估计精度是无意义的,因此,矿石储量分级的界线应与它们的商品价值联系起来。

4. 边界品位对估计精度的影响

众所周知,边界品位以上的平均品位高于全矿床的总平均品位,而且,估计的体积小其方差就大,同时,高品位矿石要比总地质品位的连续性差,因而矿石估计精度将随边界品位的升高而降低。目前尚无一简单办法来计算不同边界品位下的估计精度,但可以用交叉验证法得到一个可以接受的近似结果。

5. 选择矿石分级的关键性参数

储量计算及矿石分级是对矿床进行经济性研究和矿山设计的基础,因此,必须选择最灵敏的

参数作为基础参数来研究。例如,对于金属矿而言,品位相差10%比矿量相差10%更影响该矿床的经济评价,而矿量误差只不过引起矿山开采寿命和开采能力的相应变化(图8)。此外,有时矿石的经济价值受若干个金属的影响,这时必须分析比较择优挑选。

划分矿石储量级别的地质统计学标志

过去,人们总是愿用标准偏差或相对标准偏差(σ_E/Z_k^* ,或 $\pm \frac{2\sigma_k}{\sqrt{n}Z_k^*} \times 100\%$)划分矿石级别,

这种方法至少存在以下两个问题:(1)相对标准差依赖于估值 Z_k^* 的大小,例如,当两个块段体积相等、估计方差相等而估值 Z_k^* 不同时,其相对估计精度就会不同,从而将两个方差相同的块段划为不同的矿石级别;(2)当被估体积变大时,其估计方差及其相对精度变小,这就使一些块段由于体积增大而提高了它们的矿石级别。为了解决这个问题,R. Sabourin建议研究体积相等的小块段的品位估值的平均克立格方差与这些体积的块段的品位真实值方差之间的关系,通常,后者较前者更离散。下边将详细研究这个问题并得到矿石分级的地质统计学标志。

设有一矿床D被划分为N个相等体积的块段 V_i ($i=1,2,\dots,N$) V_i 的真值为 $Z(V_i)$,其克立格估值为 $Z_k^*(V_i)$,即 Z^* ,则:

$$E[Z^*] = E[Z_k^*(V_i)] = E[Z(V_i)] = E[Z]$$

当用 $Z^* = Z_k^*(V_i)$ 估计 $Z = Z(V_i)$ 时,其克立

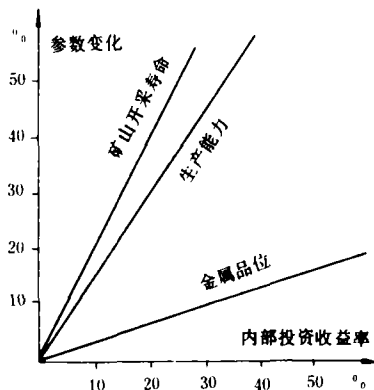


图8 金属矿山敏感性分析典型示意图
(据 F. Wellmer)

格方差为:

$$\sigma_{k_i}^2 = E[Z(V_i) - Z_k^*(V_i)]^2 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{k_i}^2 &= E\{[Z(V_i) - E[Z(V_i)]] - [Z_k^*(V_i) - E[Z_k^*(V_i)]]\}^2 \\ &= E[Z(V_i) - E[Z(V_i)]]^2 + E[Z_k^*(V_i) - E[Z_k^*(V_i)]]^2 - 2E[Z(V_i) - E[Z(V_i)]] \\ &\quad [Z_k^*(V_i) - E[Z_k^*(V_i)]] \\ &\quad (i = 1, 2, \dots, N) \end{aligned} \quad (8)$$

(8) 式右端第一项是矿床内等体积块段的真值 Z 的方差, 以 $D^2(Z)$ 示之; 第二项是矿床内等体积块段真值 Z 的估值 Z^* 的试验方差, 以 $D^2(Z^*)$ 示之, 这样(8) 式可改写为:

$$\sigma_{k_i}^2 = D^2(Z) + D^2(Z^*) - 2\bar{C}[Z(V_i), Z_k^*(V_i)] \quad (9)$$

而 $Z_k^*(V_i)$ 是个数据 ($j = 1, 2, \dots, n$) 在估计邻域内的线性组合: $Z_k^*(V_i) = \sum_{j=1}^n \lambda_j Z(V_j)$,

则(9) 式右端第三项为:

$$\begin{aligned} \bar{C}[Z(V_i), Z_k^*(V_i)] &= \bar{C}[Z(V_i), \sum_{j=1}^n \lambda_j Z(V_j)] \\ &= \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{C}[Z(V_i), Z(V_j)] \\ &= \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{C}(V_i, V_j) \end{aligned} \quad (10)$$

已知普通克立格方差公式是

$$\sigma_{k_i}^2 = \bar{C}(V_i, V_i) - \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{C}(V_j, V_i) + \mu_i$$

$$\text{则 } \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{C}(V_j, V_i) = \bar{C}(V_i, V_i) - \sigma_{k_i}^2 + \mu_i \quad (11)$$

把(11) 式代入(10) 式, 再代入(9) 式得:

$$\sigma_{k_i}^2 = D^2(Z) + D^2(Z^*) - 2\bar{C}(V_i, V_i) + 2\sigma_{k_i}^2 + 2\mu_i$$

$$\text{所以 } D^2(Z^*) + \sigma_{k_i}^2 - 2\mu_i = 2\bar{C}(V_i, V_i) - D^2(Z) \quad (12)$$

因为 $C(h) = C(0) - \gamma(h)$, 所以 $\bar{C}(V_i, V_i) = C(0) - \bar{\gamma}(V_i, V_i)$, 并代入(12) 式有:

$$D^2(Z^*) + \sigma_{k_i}^2 - 2\mu_i = C(0) - 2\bar{\gamma}(V_i, V_i) - D^2(Z)$$

由于 $C(0)$ 为先验方差, 所以

$$D^2(Z^*) + \sigma_{k_i}^2 - 2\mu_i = D^2(Z) - 2\bar{\gamma}(V_i, V_i)$$

两边对 i 从 $1, 2, \dots, N$ 取平均(因 $\sigma_{k_i}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_i^2$), 则

$$D^2(Z) = D^2(Z^*) + \sigma_k^2 - 2 \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\mu_i - \bar{\gamma}(V_i, V_i)]$$

令上式右端第三项为 B , 则有:

$$D^2(Z) = D^2(Z^*) + \sigma_k^2 - B \quad (13)$$

(13) 式中 $D^2(Z)$ 是矿床 D 内等体积块段真值 Z 的方差, $D^2(Z^*)$ 是其相应估值 Z^* 的试验方差, σ_k^2 是所有块段的平均品位估值的平均克立格方差, B 是资源平均品位估计方差的一个函数, 对于一个矿床的总资源而言 B 值很小, 可以略去。显然, 由(13) 式可知, 当 σ_k^2 很小时, $D^2(Z)$ 与 $D^2(Z^*)$ 很接近。 $D^2(Z)$ 与 $D^2(Z^*)$ 之间的相对误差表示了对所估计矿床的块段真实品位了解不够的程度, 表示为:

$$R_r = [D^2(Z) - D^2(Z^*)] / D^2(Z) = \sigma_k^2 / D^2(Z) \quad (14)$$

这就是矿石储量分级的地质统计学标志, 它避免了用相对偏差带来的不足, 也考虑到第二节中所讨论的有关问题, 这是传统方法无法比拟的。应当指出, 用这个标志时, 应注明待估块段的大小、边界品位值以及样品支撑和变异特征。

计算步骤及程序系统

应用地质统计学计算矿石储量及划分级别的主要步骤是: (1) 输入原始数据, 形成数据文件; (2) 确定灵敏的基础参数; (3) 计算半变异函数及结构分析; (4) 克立格估计; (5) 经济可行性研究, 划分矿石类别(表内或表外); (6) 地质可信度研究, 确定矿石级别(A, B, C, ...级); (7) 按中段给出矿床数学模型, 给出每一待估块段的平均品位、矿石类型、矿石级别及克立格方差; (8) 矿石储量表(按不同中段、不同矿石类别及级别和不同边界品位给出)。以上任务是在日本产的ACOS—400型电子计算机上完成的, 所用的计算机程序系统3D—GEOSTAT是用FORT RAN语言编写的, 其计算流程图示于图9。

实例试验研究

我们对中南某铁矿体应用上述方法进行了储量分级的试验研究。该矿体为一隐伏铁矿, 沿走向长655米, 分布在+90到-125米的范围内, 为一由含铜、硫和金的磁铁矿矿石、氧化铁矿石及混合矿石组成的夕卡岩型铁矿床。研究区内共施工176个钻孔, 钻探网度除少数为75×50米及100

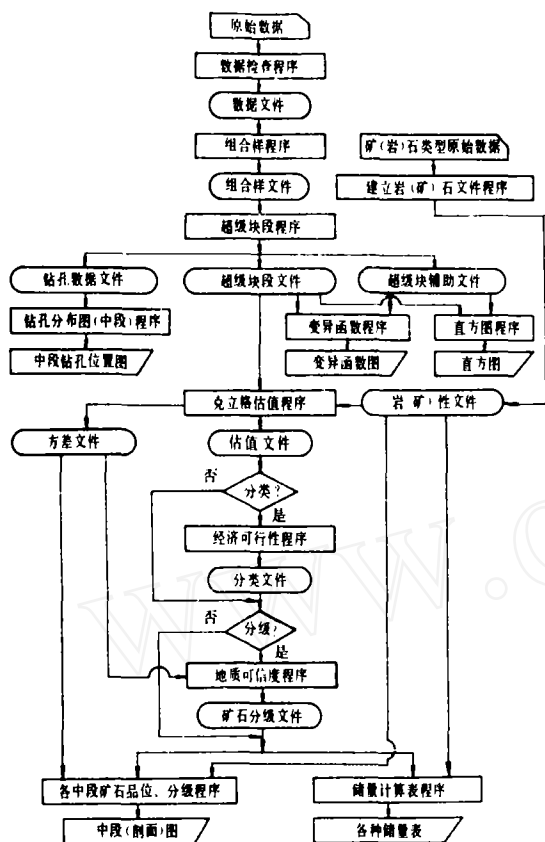


图9 3D-GEOSTAT计算流程图

×50米外，绝大多数为25×25米。我们只对铁品位进行了矿石储量分级的研究。铁变异函数反映出它在垂直方向上较水平方向变化大，且在短距

离内存在小结构，铁品位的变异特征可用一个套合结构的球状模型来拟合，其参数是： $C_0 = 3(\%Fe)^2$ ； $C_1 = 15(\%Fe)^2$ ； $C_2 = 52.76(\%Fe)^2$ ；垂直方向上 $a_1 = 10$ 米， $a_2 = 50$ 米；水平方向上 $a_1 = 30$ 米， $a_2 = 120$ 米。

经仔细研究确定：待估块段的大小为 $25 \times 25 \times 5$ 米³，估计邻域大小为 $75 \times 75 \times 15$ 米³。经济可行性指标是：铁边界品位为20%，最小可采厚度为2米，夹石剔除厚度为2米。地质可信度指标是(14)式给出的相对误差。对于全矿体而言，当

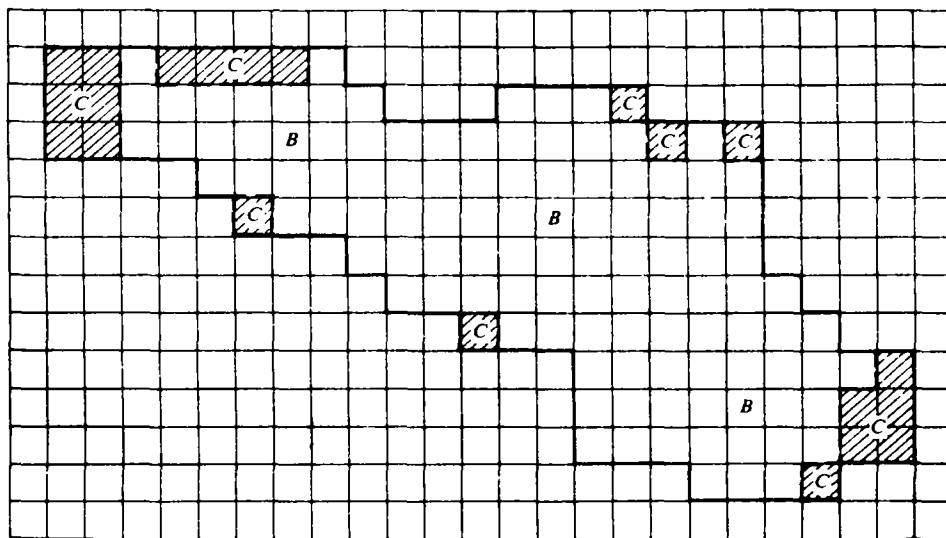
1 A	6 B	2 B	2 B	1 B
57.99	43.99	46.38	51.12	56.46
25.41	45.50	42.88	37.08	38.50
4 A	6 B	6 B	6 B	6 B
45.20	42.61	43.38	46.21	48.98
20.36	40.90	41.90	42.51	39.55
	6 B	6 B	6 B	
	42.36	44.06	42.96	
	30.59	37.11	40.21	
				13 B
				45.33
				30.64

矿石工业类型号

6 B — 矿石级别
42.61 — 块段平均品位
40.90 — 块段克立格方差

图10 某中段的部分矿体模型图

$\bar{\sigma}_k^2 \leq 0.1 \times D^2(Z)$ 时属A级储量， $\bar{\sigma}_k^2 \leq 0.2 \times D^2(Z)$ 时属B级，其它属C级。对于矿体中某



待估块段尺寸：25 × 25 × 5 米³

图11 中南某铁矿体一个中段的矿石级别分布图

一被估块段而言, 当它的 $\sigma_k^2 < 0.1 \times D^2(Z)$ 时属 A 级矿石, 当 $0.1 \times D^2(Z) < \sigma_k^2 < 0.2 \times D^2(Z)$ 时属 B 级, 当 $\sigma_k^2 > 0.2 \times D^2(Z)$ 时属 C 级矿石。此外, 虽然 $\sigma_k^2 < 0.2 \times D^2(Z)$, 但从钻孔分布图上看在估计邻域内只有一个不位于被估块段内的钻孔样品可被利用时也将其归入 C 级矿石量, 图10 是该矿体某一个中段的数学模型的一部分, 每一块段中均给出矿石工业类型、矿石级别、该块段的平均品位及块段的克立格方差。图11 是一个中段的矿石级别分布图。最后计算机自动给出矿石储量表 (按不同矿石类别及级别、不同中段和不同边界品位分别输出)。

结 论

1. 矿产资源储量计算及矿石储量分级是找矿勘探工作中最重要的工作之一。它是从经济方面研究矿床是否值得开采的基础, 地质统计学是储量计算及矿石分级定量化的一个好方法。

2. 在矿石储量分级定量化的地质统计学研究中, 克立格方差是一个重要的参数。克立格方差的性质表明: 为了提高储量计算的精度, 必须要有尽量多的可被利用分布均匀的样品, 同时, 在被估

块段中尽可能地要有样品, 被估块与样品之间的距离尽可能地小, 这些均是矿石分级必须考虑的。

3. 划分矿石储量级别的三原则是经济可行性、地质可信度以及可回采率, 传统的分级方法也考虑到这些原则, 但地质统计学方法却赋予它量的概念, 从而避免了主观性。

4. 应用地质统计学划分储量级别时, 必须考虑块段的大小、样品间的距离和构形、矿床的结构特征以及边界品位等对估计精度的影响, 同时应选择对矿床经济评价和矿山设计最敏感的参数作为基础参数。

5. 在划分矿石级别时, 人们总愿用标准偏差或相对标准差, 笔者认为, 在一个矿床 D 中, 等体积块段估值 Z^* 的试验方差 $D^2(D^*)$ 和其真值 Z 的方差 $D^2(Z)$ 的相对误差 (14) 式表示对所估计矿床的块段的真实品位了解不够的程度, 因而, 用它来作为矿石分级的标志就可以避免用相对标准差带来的不足。

6. 为了正确地确定矿石级别划分的界线, 必须考虑勘探网度、待估块段的大小、矿体被估部分的体积大小以及进行矿石分级的目的。

A Geostatistical Study on Classification of Ore Reserves

Hou Jingru

Gu Mei

(Dept. of Geology, Beijing University of Iron and Steel Technology)

(North Industrial University)

Abstract

Ore reserve estimation and classification is of very importance in geological prospecting. In conventional methods ore reserves are qualitatively classified by some generalized terms, while in geostatistics (various Kriging methods) not only the average grade of estimated blocks, but also the estimated accuracy (Kriging variance) are given. For quantitative classification of ore reserves, geostatistical methods are the best. This paper deals with the characters of Kriging variance and its influence factors in detail. In addition, problems of economic feasibility, geological reliability recovery and those factors having a great effect on geological reliability, such as the size of the blocks to be estimated, the distance between drilling holes, structure characters of an orebody, cutoff grade, etc., are also discussed. At the end of the paper, some useful geostatistical criteria of ore reserve classification, the calculating method and computer program together with a practical example for an iron deposit are given.