

地质统计学在固体矿产资源/储量分类中的应用

侯景儒¹, 黄竞先²

(1. 北京科技大学, 北京 100083; 2. 北京矿产地质研究所, 北京 100012)

[摘要] 讨论了地质统计学(空间信息统计学)在固体矿产资源/储量分类中应用的若干问题, 主要包括: 1) 矿产资源/储量估计方法的选择; 2) 两个重要概念——估计方差及离差方差; 3) 支撑效应及其在矿产资源/储量评估中的重要作用; 4) 特异值(特高品位)的识别及处理方法; 5) 关于吨位—品位曲线; 6) 确定最优勘探网度及取样间距(及位置)的地质统计学方法; 7) 地质统计学在确定最优矿床工业指标中的应用; 8) 储量计算及固体矿产资源/储量分类的地质统计学实施方案。

[关键词] 地质统计学 空间信息统计学 克立格法 资源/储量分类 估计方差 评估 支撑效应

[中图分类号] P628 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)06-0061-06

我国“固体矿产资源/储量分类”的国家标准采取经济轴(E)、可行性轴(F)以及地质轴(G)三维分类模式, 将固体矿产资源分为3大类(储量、基础储量及资源量)、16种类型, 即它是按照地质可靠程度、经济意义及可行性评价程度对矿产资源储量进行分类。地质统计学(空间信息统计学)因其具有以下特点而在固体矿产资源/储量分类中能更有效的发挥作用: (1) 地质统计学是从地质、矿业工作实践出发, 对原有概率统计的若干概念进行了选择、改造及创新, 使之更能适应矿产勘查、评价及开采的特点; (2) 能最大限度地利用所取得的关于矿产资源估计的信息, 提高估计精度; (3) 它不但能给出矿产资源中有用组分的最佳估计值(块段平均品位及资源量/储量), 而且能给出相应的估计精度, 为正确评估矿产资源/储量提供重要依据; (4) 能够把矿产勘查、矿山设计及矿床开采有机的结合起来, 这对于矿产资源有效的进入市场十分有利; (5) 地质统计学(空间信息统计学)的理论基础及处理不同类型矿床有用组分的各种地质统计学方法, 大大提高了对矿产资源/储量评估的可靠程度, 降低了风险; (6) 它能很好的适应地质勘查、矿山开采的现代化管理, 对开采方法及有用组分的市场经济条件的应变能力较强。

早在1987年作者就地质统计学(空间信息统计学)应用于固体矿产资源/储量分类中的若干问题进行了讨论^[7], 现结合矿产资源/储量新的分类标准进一步进行深入探讨。

1 估计矿产资源/储量的方法选择

对于任一储量计算方法都不能要求所计算出的

待估块段 v 的某有用组分平均品位的估计值 Z_v^* 和其实际值 Z_v 相同, 即偏差 $\varepsilon = Z_v - Z_v^*$ 是不可避免的, 但是, 为了提高估计精度, 我们应选择能满足以下两点的估计方法:

1) 估计误差的期望为0:

$$E[Z_v - Z_v^*] = 0 \quad (1)$$

即保证是无偏估计;

2) 待估块段的估计品位与实际品位之间的单个偏差尽可能的小, 即估计方差尽可能的小:

$$\sigma_E^2 = \text{Var}[Z_v - Z_v^*] = E\{[Z_v - Z_v^*]^2\} \Rightarrow \min \quad (2)$$

而过去一些储量计算方法往往无法满足以上两点, 这是因为这些方法: (1) 基于经典的概率统计理论, 而经典概率统计要求样本相互独立, 但矿床中的有用组分, 其样品品位值不仅具有随机性而且具有空间(统计)相关性; (2) 把部分钻孔的品位当作一个块段的品位; (3) 未充分考虑品位的空间变异性; (4) 未能考虑矿化强度在空间的分布特征; (5) 方法本身无法检验其估计精度, 从而无法进行风险分析。地质统计学(空间信息统计学)能避免过去一些常用储量计算方法的上述不足, 给出待估块段 v 的有用组分平均品位的估计方差为最小的无偏估计量 Z_v^* :

$$Z_v^* = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} Z_{\alpha} \quad (3)$$

(3)式表明: 任一待估块段某有用组分的真实值的估计量 Z_v^* 是待估块段影响范围内 n 个有效样品值 Z_{α} ($\alpha = 1, 2, \dots, n$)的线性组合。而各种地质统计学方法能给出保证 Z_v^* 为 Z_v 的无偏估计值的加权因子 λ_{α} 及其相应的最小估计方差, 即克立格方差 σ_K^2 。

我们可以根据矿床中有用组分的分布特征选择

不同的地质统计学方法,以便得到无偏估计量,例如,当有用组分服从正态分布时,可以用简单克立格法、普通克立格法及泛克立格;当有用组分不服从正态分布时,可用对数正态克立格法,指示克立格法及中位数克立格法;当有多个变量的信息可供利用时,可用各种多元地质统计学技术(如协同克立格法);当有用组分呈现出非线性特征或有特殊要求时,可用各种非线性地质统计学(如析取克立格法,条件期望等);此外,还有各种条件模拟技术用来解决各种问题。

2 估计方差及离差方差——用于储量计算及储量分类的两个地质统计学重要概念

1) 估计方差:

当我们在估计邻域内用 n 个信息样 $v_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 来估计待估域 V 的有用组分的估计值 Z_v^* 时,其估计方差是:

$$\sigma_E^2 = \text{Var}(V, V) + \text{Var}(v, v) - 2\text{Cov}(V, v) \quad (4)$$

$$\text{或} \quad \sigma_E^2 = \text{Var}(V, V) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{Cov}(v_i, v_j) + 2 \sum_{i=1}^n \text{Cov}(V, v_i) \quad (5)$$

从式(4)、(5)知:估计方差依赖于以下 4 个因素: V 与 v 之间的距离; V 及 v 的几何特征以及有用组分的变异性。

2) 离差方差:

设一矿体 G , 将其分割成 N 个盘区 V , 而每一个 V 又可分成 n 个采矿单元 v , 则有两种离散现象: (1) 域 V 内围绕一个数据集的平均值的离散程度随域 V 的增大而增大; (2) 域 V 内随 v 的增大其离散程度减小, 即 v 对 V 的方差在减小。这两种情况表明块段大小(支撑)对离散程度的影响即支撑效应。而且可以用下边的离差方差 $D^2(v/V)$ 来表示:

$$D^2(v/V) = \text{Var}(v, v) - \text{Var}(V, V) \quad (6)$$

同时,有如下克立格关系式:

$$D^2(v/G) = \text{Var}(v/V) - \text{Var}(V/G) \quad (7)$$

当 $v < V$ 时, $D^2(v/G) \geq D^2(V/G)$ 。离差方差随支撑的增大而减少,很明显,钻孔岩心样品品位(v)的变化性(离散性)大于块段(V)的平均品位变化性。

3 支撑效应及其在矿产资源/储量评估中的重要作用

矿山利润取决于许多因素,主要是矿石储量、矿

石平均品位及可回采的金属量,而这 3 个因素又取决于所选的边际品位(cutoff grade)。但是,随着块段体积的增大,矿石平均品位及金属量均在下降,且当边际品位低于平均值时,块段体积的增大使矿石量增大,当边际品位高于平均值时,块段体积的增大使矿石量下降,这就是前述的支撑效应。因此,为了提高矿山利润,减少风险,必须考虑支撑效应,对支撑按实际生产进行变换,并进行校正,校正可用如下方法:

1) 仿射校正:

若要将一个分布的一个分位数 q 校正到另一分布的一个分位数 q' 时,可用下列线性方程:

$$q' = \sqrt{f} \times (q - m) + m \quad (8)$$

式(8)中, m 是两个分布的相同的均值; f 是方差校准因子。

2) 间接对数正态校正:

该法用于原始点支撑分布与变换为块段支撑分布均为对数正态分布的情况,这时:

$$q' = aq^b \quad (9)$$

$$\text{式中} \quad a = \frac{m}{\sqrt{f} \cdot CV^2 + 1} \left[\frac{\sqrt{CV^2 + 1}}{m} \right]^b \quad (10)$$

$$b = \frac{\ln(f \cdot CV^2 + 1)}{\ln(CV^2 + 1)} \quad (11)$$

上式中, m 是两种支撑的相同的均值, f 是方差校准因子, CV 是变化系数。

上述两种方法中方差校准因子为:

$$f = 1 - \frac{D^2(v/V)}{D^2(v/G)} \quad (12)$$

式中的 $D^2(v/V)$ 或 $D^2(v/G)$ 可以用变异函数来估计:

$$D^2(v/G) \approx \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{Var}(h_{ij}) \quad (13)$$

方差校准因子 f 也可以用协方差模型表示:

$$f = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{Cov}(h_{ij}) / (C(0)) \quad (14)$$

3) 可回采储量总体估计:

当我们估计平均品位时的块段 V 大于采矿块段 v 时,其两者的矿石量及平均品位由于支撑效应而有差别,我们可以用如下方法将大块段 V 时的矿石量及平均品位校正到采矿块段 v 的矿石量及平均品位:可回采储量的校正系数 F_T 为:

$$F_T = P(\alpha_v, \beta_v) / P(\alpha_v, \beta_V) \quad (15)$$

可回采平均品位的校正系数 F_G 为:

$$F_G = A(\alpha_v, \beta_v) / A(\alpha_v, \beta_V) \quad (16)$$

式(15)中的 $P(\alpha, \beta^2)$ 为:

$$P(\alpha, \beta^2) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln C - \alpha}{\beta}\right) \tag{17}$$

式(17)中的 $\Phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数

式(16)中的 $A(\alpha, \beta^2)$ 是:

$$A(\alpha, \beta^2) = M \times \frac{1 - \Phi\left(\frac{\ln C - \alpha - \beta^2}{\beta}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{\ln C - \alpha}{\beta}\right)} \tag{18}$$

则:大于边际品位 C 的可回采储量的总体估计量 T 为:

$$T = F_T T_V \tag{19}$$

式中 T_V —在大块段 V 下大于边际品位 C 的总储量。

而大于边际品位的可回采平均品位 G 为:

$$G = F_G G_V \tag{20}$$

式中 G_V —大于边际品位的大块段 V 的平均品位值。

例如在一个斑岩铜矿区,用普通克立格法估计的块段 V 的体积为 $(35 \times 35 \times 15) \text{ m}^3$,而采矿单元块段 v 的体积为 $(15 \times 15 \times 15) \text{ m}^3$,经计算可回采储量的校正系数 $F_T = 1.01$,可回采平均品位的校正系数 $F_G = 1.06$ 。最后计算出采矿块段 $(15 \times 15 \times 15) \text{ m}^3$ 的可回采总吨位为

$$T = F_T T_V = 1.01 \times 1048.2 = 1058.7 (\text{Mt})$$

而可回采储量的平均品位为:

$$G = F_G G_V = 1.06 \times 0.415 = 0.44 \% (\text{Cu})$$

显然,用以上数据进行采矿设计时风险要小。

4 特异值(特高品位)的识别及处理方法

特异值(特高品位)在储量计算及工业指标优化中非常重要,有些传统的识别及处理特高品位的方法为地质及采矿工作者使用,本文提出两种基于地质统计学理论的方法。

1) 估计邻域法:

该法识别特高品位的统计量 I 是:

$$I = \frac{n(G - M)^2}{(n + 1) \sigma^2} \tag{21}$$

式中, G 为可疑为特高品位的值, M 为邻域内不包含 G 的样品观测值的平均值, n 为邻域内不包含 G 的样品数, σ^2 为邻域内观测值的平均方差:

$$\sigma^2 = \frac{1}{m^2} \sum_i^m \sum_j^m Y_{kl}(h) \tag{22}$$

式中, m —包含 G 在内的样品数(邻域宽度),而 $Y_{kl}(h)$ 为相距 h 的观测值 $Z(k)$ 及 $Z(l)$ 的变异函数值。统计量 I 服从自由度为 1 和 n 的 F 分布,当 $I > 3.84$ 时, G 被确认为特高品位,并用特高品位的下限值 α 代替该特高品位:

$$\alpha = \sqrt{\frac{3.84 \sigma^2 (n + 1)}{n}} + M \tag{23}$$

2) 影响系数法:

设有一组 n 个观测值,令 M 为包含特高品位在内的 n 个观测值的平均值, m 为去掉特高品位的 $(n - 1)$ 个观测值的平均值,则当

$$M/m \leq K + 1 \tag{24}$$

时,认为该组观测值为正常值,无特高品位,式中的 K 可根据有用元素的变异性人为赋给,如 $K = 0.1$ 时,说明特高品位对全部样品值的影响不得超过 10 %。特高品位的下限值 α 为:

$$\alpha = M \left(\frac{nK + 1}{K + 1} \right) \tag{25}$$

5 关于吨位—品位曲线

矿产资源/储量的吨位和品位是评估矿床的重要经济指标,它对于矿床经济规划、资源合理利用都有重要意义。最早研究矿产资源吨位与品位关系的是美国地调所的拉斯基(S. G. Lasky),他假定矿产累积吨位与其平均品位间呈指数关系。所谓的拉斯基方程是:

$$G = a + b \cdot \log T_0 \tag{26}$$

式中, T_0 是已生产的矿量和估计的储量吨位, G 是与这些吨位相应的加权平均值, a, b 是按不同矿床确定的常数。但在应用(26)式时存在一些不足,主要表现为:(1) 忽略了块段的支撑效应;(2) 受到不同边际品位的影响;(3) 忽视了特高品位对平均品位及储量的影响;(4) (26) 式与矿床类型有关,不同成因矿床的吨位—品位曲线的斜率及截距不同,甚而同一矿床,由于估计及采矿方法不同曲线也不同。(5) (26) 式受信息水平的影响。为了克服拉斯基律的上述不足,可以应用地质统计学理论及方法,它是提高储量估计及吨位—品位曲线精度的最佳选择,其工作流程如下:

1) 应用合适的地质统计学方法计算出每一待估块段 $V_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 有用组分的平均品位 $Z_k^*(V_i)$ 及相应的克立格方差 $\sigma_{k_v}^2 (i = 1, 2, \dots, n)$;

2) 计算每一待估块段(矿块) V_i 的矿石量 Q_{V_i}
 $Q_{V_i} = V_i \cdot D_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{27}$

式中 V_i —第 i 矿块的体积, D_i — i 矿块的矿石比重;

3) 计算每一矿块的金属量
 $M_{V_i} = Q_{V_i} \cdot Z_k^*(V_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{28}$

4) 按矿块的 $Z_k^*(V_i)$ 大小排序,同时也按其 M_{V_i}

排序:

$$Z_k^*(V_1) < Z_k^*(V_2) \dots < Z_k^*(V_i) \dots < Z_k^*(V_n)$$

$$M_{V_1} < M_{V_2} \dots < M_{V_i} \dots < M_{V_n}$$

5) 以 x 轴为品位轴, y 轴为吨位轴绘制吨位—品位曲线, 相似的也可绘出累积金属吨位—品位曲线, 取 95 % (或 90 %) 的概率, 利用 σ_k^2 求出任一内插边际品位相应的置信区间 $g_c \pm 2\sigma_k$ 。我们可以在吨位—品位曲线上利用线性内插求出在某边际品位下的矿石吨位数。必须注意, 吨位—品位曲线是矿块支撑大小的函数 (支撑效应), 矿块大小不同, 其吨位—品位曲线也不同。

6 确定最优勘探网度及取样间距 (及位置) 的地质统计学方法

从前边讨论估计方差 σ_E^2 时给出的 (4) (5) 式知, 影响 σ_E^2 的重要因素是: 待估域 v 与信息域 v 的相互几何位置、 v 与 v 各自的几何特征以及有用组分的变异性等, 我们可以利用 σ_E^2 及克立格估计中给出的克立格方差 σ_k^2 来确定最优勘探网度及取样间距 (及位置)。

应用地质统计学方法确定最优勘探网度 (及孔位) 时大致有以下几种情况:

1) 探区已经有 n 个钻孔钻探完毕, 为提高储量估计精度减少风险或为了增加储量, 决定在 n 个钻孔的基础上再增加几个钻孔, 这时, 我们就可以用 σ_E^2 确定最佳孔位详情见参考文献。

2) 在一个勘探新区 (或已勘探完毕进行储量评估的地区), 将研究区按不同网度划分为各种网形, 计算每一结点 (孔位) 的估计方差, 再计算各种网形 (度) 的平均估计方差, 将每一网度 (形) 所花费的金额与平均估计方差进行对比。当我们找到最优勘探网度 (形) 后, 再利用每一结点上的 σ_E^2 绘制 σ_E^2 等值线图, 在估计方差较高的区域当加密钻孔, 一旦全部孔位确定后, 应该在相对收益较高的地段优先施工。

3) 一定方向区域化变量的变程可以作为在该方向上最大工程间距。

7 地质统计学在确定矿床最优工业指标中的应用

过去所谓的矿床工业指标包括 4 部分: (1) 最低工业品位; (2) 最低边界品位; (3) 最小可采厚度; (4) 最大夹石剔除厚度。新的矿产资源/储量分类标准的实施, 必须认真考虑矿床工业指标及制定矿床工

业指标的方法, 我们认为: 用合适的地质统计学计算出不同边际品位的矿产储量, 提出矿体的块段模型, 按照不同的矿山规模及不同的边际品位为条件来确定工业指标是可行的。

在矿床工业指标中最重要和最基本的是如何确定出最佳的边际品位, 而最佳边际品位应该是使企业无盈亏品位指标的极限。最佳边际品位也应保证矿产资源在当前技术经济条件下能充分的利用, 同时应保证企业净现值为正值, 不致亏本, 企业根据这一边际品位决定某一矿块是送选厂或送废石场或作为暂不开采的废石。而传统的矿床工业指标的双指标、最小可采厚度及最大夹石剔除厚度可以不予考虑。

既然边际品位是工业指标中最基本和最重要的, 就可以根据应用地质统计学有关方法计算的矿石储量所提供的矿块模型来确定最佳边际品位。其方法步骤可归结如下: (1) 根据勘探网度以及变异函数计算及其结构分析提供的有用组分的变异性确定待估块段的大小; (2) 选择合适的地质统计学方法估计待估块段的有用组分的平均品位及克立格方差; (3) 绘制吨位—品位曲线; (4) 根据生产规模和采矿设备确定最小可采块段的大小; (5) 根据待估块段及最小可采块段的大小尺寸, 确定有用组分的分布律, 应用离差方差求从待估块段到最小可采块段的矿石储量校正系数及品位校正系数; (6) 求出不同边际品位下最小可采块段的矿石量及边际品位, 并绘制相应的吨位—品位曲线; (7) 以最小可采块段的不同边际品位的储量为基础选择合适的方法制定最优边际品位。

8 储量计算及矿产资源/储量评估的地质统计学实施方案

矿产储量计算及分类是地质勘查最重要的工作之一, 它是对一个矿床进行评估的基础, 我国新颁发的以经济轴、地质轴和可行性轴为准的矿产资源/储量分类标准是参照国际标准结合我国国情而制定的。

地质统计学方法不仅能给出待估块段的平均品位及吨位, 还能给出衡量估计精度的重要标志——克立格方差 σ_k^2 (最小估计方差), 因此, 用地质统计学对矿产资源/储量进行计算和分类是很有效的方法。作者早在 20 世纪 80 年代初提出应用地质统计学划分矿石类别必须遵循的原则是地质可信度、经济可行性及可回采率^[7]。结合国家新的矿产

资源/储量分类标准,把可回采率换成可行性评价即可满足新分类标准的需要。

基于估计方差等地质统计学的重要概念,我们提出应用地质统计学进行储量计算及分类的基本实施方案。

应用地质统计学方法进行储量分类的地质可信度标志是:

$$R_r = \frac{\sigma_k^2}{D^2(Z)} \quad (29)$$

式中, R_r 为矿石储量分类的地质统计学标志,应用 R_r 时必须同时说明待估块段的大小、边际品位值及样品有用组分的变异性特征; σ_k^2 是全部块段平均品位估值的克里格方差的平均值, $D^2(Z)$ 是矿体内等体积块段有用组分真值的方差:

$$D^2(Z) = D^2(Z^*) + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [\mu_i - \bar{\mu}]^2 \quad (30)$$

式中 $D^2(Z^*)$ 是 $D^2(Z)$ 的试验方差。

式(30)可写成:

$$\sigma_k^2 = R_r D^2(Z) \quad (31)$$

(31) 式中: R_r 可根据具体矿床特征,有用组分经济意义等给出如 0.05, 0.1, 0.2 等,例如,从地质可信度考虑,对于全矿床而言:当 $\sigma_k^2 \leq 0.1 D^2(Z)$ 时,属探明的, $\sigma_k^2 \leq 0.2 D^2(Z)$ 时属控制的, $\sigma_k^2 > 0.2 D^2(Z)$ 时属推断的,而对于矿体中某一具体矿块而言,当 $\sigma_k^2 \leq 0.1 D^2(Z)$ 时属探明的,当 $0.1 D^2(Z) < \sigma_k^2 \leq 0.2 D^2(Z)$ 时属于控制的,当 $\sigma_k^2 > 0.2 D^2(Z)$ 时属推断的。而对于全矿体或某一矿块的最后分类要据地质轴、经济轴及可行性轴综合考虑而决定。

应用地质统计学进行矿产储量计算及分类的主要步骤是:(1)建立数据库或形成数据文件;(2)计算变异函数进行结构分析;(3)应用合适的地质统计学计算待估块段有用组分的平均品位,矿石吨位及相应的克里格方差;(4)经济分析及基础参数的确定;(5)可行性研究及基础参数的确定;(6)地质可靠程度分析及计算;(7)确定每一待估块段的有用组分的平均品位及矿石类别;(8)按中段给出矿床的数学模型(每一矿块包括:平均品位,矿石吨位,矿石类别等);(9)吨位—品位曲线;(10)矿石储量表(按不同矿石类别的,按不同边际品位的,按中段的或全矿床的)。具体运行请参看图 1。

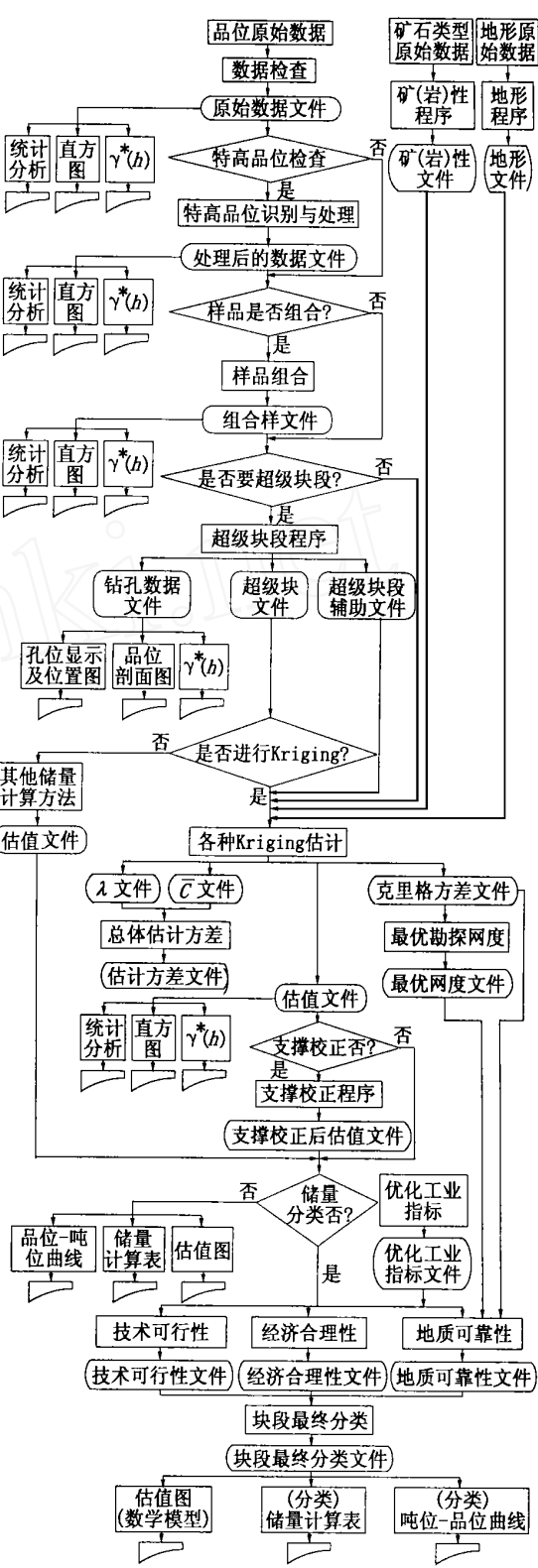


图 1 地质统计学(空间信息统计学)储量计算分类流程图

[参考文献]

[1] 侯景儒,等.实用地质统计学(空间信息统计学)[M].北京:地质出版社,1998.
[2] 侯景儒,黄竞先.地质统计学及其在矿产储量计算中的应用[M].北京:地质出版社,1982.

- [3] 侯景儒,郭光裕.矿床统计预测及地质统计学的理论与应用[M].北京:冶金工业出版社,1993.
- [4] A G 儒尔奈耳(侯景儒,黄竞先译).矿业地质统计学[M].北京:冶金工业出版社,1982.
- [5] 侯景儒,黄竞先,等.非参数及多元地质统计学的理论分析及其应用[M].北京:冶金工业出版社,1994.
- [6] 侯景儒,黄竞先,等.地质统计学的理论与方法[M].北京:地质出版社,1990.
- [7] 侯景儒,古梅.矿石储量分级的地质统计学研究[J].地质与勘探,1987:23(3).
- [8] 国家质量技术监督局.中华人民共和国国家标准:固体矿产资源/储量分类[A].1999.
- [9] 侯景儒.空间信息统计学在中国的研究现状[A].见:第六届全国数学地质学术会议论文,北京,1999.
- [10] 侯景儒.空间信息统计学中的支撑效应及其校正[A].见:第六届全国数学地质学术会议论文,北京,1999.
- [11] Deutsch C V, Journel A G. GSLIB, Geostatistical Software Library and User's Guide[M]. 2nd ed: Oxford Univ. Press, New York, 1997. 369.
- [12] Isaaks E H, Srivastava R M. An Introduction to Applied Geostatistics [A]. Oxford University Press, 1989.
- [13] Goovaerts P. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford Univ[M]. Press, New York, 1997. 483.
- [14] Rivoirard J. Introduction to Disjunctive Kriging and Non-linear Geostatistics[A]. Clarendon Press, 1994.

APPLICATION OF GEOSTATISTICS IN CLASSIFICATION FOR RESOURCES/ RESERVES OF SOLID FUELS AND MINERAL COMMODITIES

HOU Jing - ru, HUANG Jing - xian

Abstract: This paper studied some problems of application of geostatistics (spatial information statistics) in classification for resources/ reserves of solid fuels and mineral commodities. The paper has dealt mainly with eight questions; 1) Choice of estimation methods for mineral resources/ reserves; 2) Two important concepts: estimation variance and dispersion variance; 3) support effect and its important role in appraisal of mineral resources/ reserves; 4) Identification and handling of outliers (very high - grade); 5) about reserve tonnage - grade curve; 6) Geostatistical methods for define optimum density of projecting net and sample interval; 7) Use of geostatistics to define optimum industrial index of ore deposit; 8) Geostatistical carry out programme to calculate reserves and classification for resources/ reserves of solid fuels and mineral commodities.

Key words: Geostatistics, Spatial information statistics, Kriging, Classification of resources/ reserves, Estimation variance, outlier, support effect



[第一作者简介]

侯景儒(1934年-),男,北京科技大学教授,主要从事空间信息统计学(地质统计学)及数学地质的理论、方法及应用的研究及教学,现任中国地质学会理事、数学地质专业委员会主任委员、国家矿产储量评估师、中国金属学会冶金地质学会名誉理事。

通讯地址:北京市学院路30号 北京科技大学 邮政编码:100083

中智铜业合作研讨会在京召开

10月23日,由智利铜委会主办,中国国土资源部、智利矿产部、中国有色金属工业协会等协办的中智铜业合作研讨会在京召开。

智利是世界上铜资源最丰富的国家,是世界上最大的铜生产国和出口国。而中国已成为世界第二大铜消费国,受资源条件所限,长期以来国内铜矿产品供应不足,一半以上需要进口。智利共和国总统拉戈斯在10月22日至24日访华期间召开这次中智两国最高级别的铜业研讨会,以加强两国在新的全球化经济框架下的全面合作关系,并推动两国之间在铜行业领域内的进一步合作。

拉戈斯说,同中国一样,智利也在近些年来保持着稳定发展。智利与中国有着良好的合作基础。中国即将加入WTO,这对智利而言是一个积极的消

息,对全世界也将带来积极的影响。智利的铜产量占世界的40%,中国的国民生产总值占世界的10%,但铜消费量不到世界消费总量的10%,所以还有很大的空间和潜力。随着经济的发展和新兴产业的出现,铜的使用量还会上升。在铜工业市场上,两国都将继续扮演重要角色。智利正在采取措施,大力吸引外资投入铜矿开发。希望中国和智利能够继续进一步发展友谊,增进了解,推动双方在铜企业、贸易和投资等各个领域的合作。

智利矿产部部长罗德里格斯介绍了智利的铜业发展、投资环境等。中国有色金属工业协会会长康义以“中国铜工业的发展”为题发了言。智利外国投资委员会、智利中国商会、智利驻华大使馆、智利铜业公司及中国矿业及铜行业主要企业负责人参加了会议。