

28-31

克立格法在采场品位估计中的应用

TD 85-9
P 618.5/10.9

杨晓雷

胡海生

(北京科技大学, 北京·100083)(昆明大红山指挥部, 安宁·650304)

地下矿山的采场形态变化较大, 且不规则, 施行克立格法估值有一定的难度, 本文从矿化模型的构造入手, 探讨了如何直接对地下矿山的采场实施克立格法估值, 以便提高采场储量、品位的估计精度。

关键词 采场形态 克立格法 品位 估计

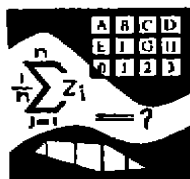


图 1 克立格法示意图

要估计矿体和采场的品位、储量, 必须用某种矿化模型来描述, 早期以块段、网格模型为主, 这两种模型便于用地质统计学方法估值, 因此也常称为地质统计模型。然而, 块段模型与采场形态差异较大, 用它难以精确模拟采场和矿体的形态。随着计算机图形学的发展, 出现了线框模型和实体模型, 它们可更逼真地模拟采场和矿体形态, 但却难于用地质统计学方法估值, 笔者针对上述情况, 提出了一套用地质统计学方法估计采场和矿体储量的方法。

1 地质统计学和矿化模型发展概况

地质统计学的研究已有 40 多年的历史, 现已发展成为两大学派^[1]: (1) 以 G. Matheron 为首的参数地质统计学派, 继续发展以正态假设为基础的析取克立格法和条件模拟, 同时把主成因分析和协同克立格法结合起来提出了多元地质统计学的基本思想; (2) 以 A. G. Journel 为首的非参数地质统计学派, 发展了无需对数据分布作任何假设的指示克立格法和概率克立格法, 以及快速条件模拟。

与地质统计学密切相关的矿化模型的研究也已进行了 40 余年, 常见的模型有方块模型、变块模型、网格模型、断面模型、线框模型、表面模型和实体模型。用得较多的是方块模型、变块模型和实体模型。

方块模型的研究始于 60 年代, 主要用来描述浸染状金属矿床, 多用于露天大型矿山。其实质是用一系列大小相同的正方块(或长方块)的集合来表达矿体。方块模型的形态简单, 规律性强, 尤其利于品位、储量的估算。绝大多数品位和储量的计算程序都是建立在方块模型基础上的, 但方块模型在边界处误差较大, 对于复杂矿体的描述其误差有时大得令人难以接受。为了减小方块模型边界处的误差, 就得减小块段尺寸, 使得存储空间和计算量极大增加。为了解决这个问题, Axelson 等人在第四届 APCOM 会议上提出了一个可变尺寸三维块段模型, 也称之为变块模型。所谓变块模型, 系指在某一方向上块段的尺寸可以变化。构造模型时, 变块模型可使中部块段尺寸较大, 边部块段尺寸较小, 从而增加了边界模拟精度。到 80 年代, 变块模型得到了进一步的改进, 更为实用。同时, 计算机几何造型技术日趋成熟, 80 年代末出现了三维实体矿化模型。它比块段模型具有更强的

本文 1995 年 8 月收到, 于纯烈编辑。

空间几何形态模拟能力,模拟方法更为灵活,因此,一开始就受到广泛重视,各大公司相继推出与之相关的软件包。实体模型的出现,使矿化模型的研究进入了一个新时期。笔者认为,只有实体模型才能有效地用于地下矿山的生产管理之中。

2 采场的品位、储量估计

首先用实体矿化模型来表达采场,然后对实体模型所表示的矿块(采场)施行克立格法估值,困难之处在于这些矿块的形态不规则,呈任意形态,现通过分所克立格法估值的实施步骤,说明实体模型与方块模型的共同点和不同之处。无论对何种模型施行线性克立格估值,都必须经过以下几步:

- (1)原始数据的收集处理;
- (2)结构分析及变异函数拟合;
- (3)估计邻域确定;
- (4)点半变异函数 γ 及平均半变异函数 $\bar{\gamma}$ 的求解;
- (5)解线性方程组以求 λ 值;
- (6)估计品位及方差。

除第(4)点外,其它各步骤皆独立于模型的形态,这些部分计算程序的编制不受模型影响。下面将详细探讨块段模型和实体模型平均半变异函数 $\bar{\gamma}$ 的求解方法。

平均半变异函数的计算,需解一个多重积分,其表达式如下:

$$\bar{\gamma}(V, v) = \frac{1}{Vv} \int_V d\mathbf{x} \int_v \bar{\gamma}(\mathbf{x} - \mathbf{r}) d\mathbf{r}$$

多重积分的解法多种多样,有 Newton 法、Gauss 法、Montecarlo 法等等,但最简单常用的方法是区域离散成小的块段(最好这些小块段等体积)。这样,上式变为:

$$\bar{\gamma}(V, v) = \frac{1}{Nn} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \bar{\gamma}(X_i - x_j)$$

方块模型易于等分,计算平均半变异函数 $\bar{\gamma}(V, v)$ 自然不成问题,但实体模型的等分却比较困难,必须用包含性检验方法^[1]。常用的包含性检验方法是夹角检验法和交点数检验法。夹角检验法通过计算待判断点 P 与各顶点联线的夹角之和,来判断 P 点是处于区域内或外,夹角 α 的计算精度要求低,即大至计算一下 α 角就能准确判断 P 点的位置,见图 1。

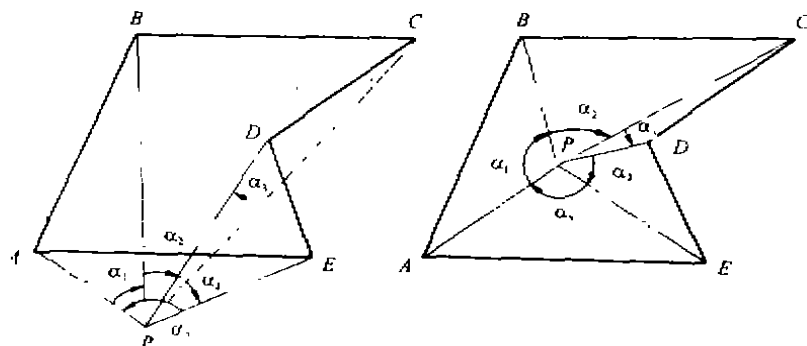


图1 夹角检验法

将 P 点分别与顶点 A, B, C, D, E 相连,令 α_i 分别等于 $\angle APB, \angle BPC, \dots, \angle EPA$ 。

如果 $\sum_{i=1}^5 \alpha_i = 0$, 则 P 点处于区域外,

若 $\sum_{i=1}^5 \alpha_i = 2\pi$, 则 P 点处于区域内。

α 角的大小可由余弦定理求得。

$$\cos \alpha_i =$$

$$(AP^2 + BP^2 - AB^2) / 2 \cdot |AP| \cdot |BP|$$

α 的方向由下式确定:

$$\text{设 } T = \begin{vmatrix} X_A - X_P & Y_A - Y_P \\ X_B - X_P & Y_B - Y_P \end{vmatrix}$$

若 $T < 0$, α 为顺时针方向;

若 $T > 0$, α 为逆时针方向。

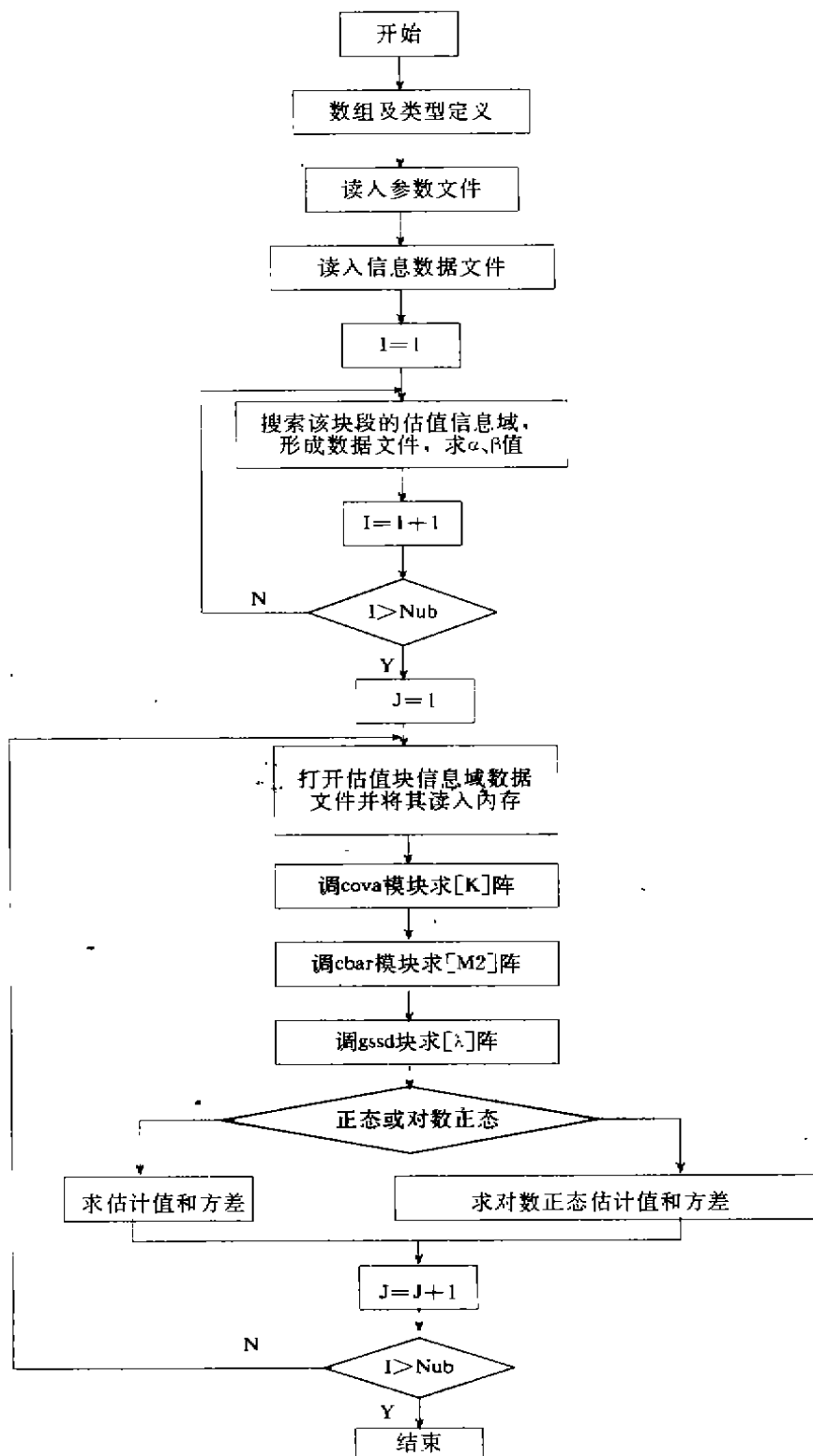


图2 克立格法程序框图

交点数检验法是由 P 点向任一方向上作一射线 L , 然后求出该射线与多边形边的交点数目。若为偶数, 则 P 在区域外; 若为奇数, 则 P 在区域内。并规定, 在交点的邻域中, 若在边界 L 的异侧, 则作为一个交点; 若在边界 L 的同侧, 则作为无交点或两个交点处理。

前面介绍了包含性检验的方法, 现再谈谈怎样等分实体模型。首先用一外切矩形将实体模型所表示的采场框住, 等分矩形成小块, 然后自上而下分为几层, 用包含性检验方法分别判断每层的小块段在实体内外, 处于实体模型内的全部小块段的集合即是等分后的实体, 这些小块段的体积之和就是实体所表示的采场的体积。

实体模型等分后, 就可求出平均半变异函数 $\bar{\gamma}$, 从而解决了直接对采场或矿块估值的问题。有关的程序框图见图 2。

3 估值结果

笔者对某金矿施行了克立格法估值, 部

分结果见下表。

品位估计结果表

采场序号	估计值(g/t)	实测值(g/t)
1705	6.93	5.94
1713	8.10	7.62
1732	9.53	10.26
1733	15.67	13.76
1740	7.61	7.13
1774	5.60	6.11

比较传统的估值方法可知, 在实体模型上进行克立格法估值计算量要大得多, 但精度也相对较高, 计算结果更为可靠。

过去, 克立格法估值仅用于网格模型和方块模型, 而地下矿床一般都比较复杂, 规模也不大, 难以用网格式方块模型模拟, 近年来的发展趋势是用实体模型, 本文正是研究怎样对实体模型表达的采场施行克立格法估值, 这有助于克立格法的推广应用。

参考文献

- 1 侯景儒. 地质统计学理论与方法. 北京科技大学, 1990.
- 2 许隆文. 计算机绘图. 北京: 机械工业出版社, 1989.

KRIGING METHOD APPLIED TO THE ESTIMATION OF THE STOPE RESERVE

Yang Xiaolei, Hu Haisheng

The stope shape is comparatively changeable and irregular in underground mine. It is quite difficult that the stope is estimated by Kriging. This paper starts on ore-body model, and discusses how to estimate the stope by Kriging method, so as to advance the estimate precision of grade and reserve.

Key words: stope shape, Kriging, grade, estimate