



计算矿产储量的三维块段法

示桂明 段伦道 侯顺宝

矿产储量计算是地质勘探和矿山设计部门十分繁重的任务之一。在地质勘探阶段,常用断面法计算矿产储量。由于圈连矿体的随意性及计算公式的局限性,使计算的储量常产生误差。当钻孔偏离剖面线或钻孔见矿点偏离剖面线较远时,用断面法计算储量,会因为钻孔见矿位置难于准确表示在剖面上,至使降低对矿体形态的控制程度而造成较大的储量误差。其次,用断面法计算矿产储量必须绘制大量图件和编制繁多的表格,因而耗费大量人力、物力,使计算周期冗长。所以,计算矿产储量的断面法亟需改进。

本文提出的三维块段法是通过建立三维块段模型,直接利用原始勘探资料进行储量计算的方法。该法是依据控矿工程中矿体顶板、底板的空间坐标进行储量计算的,从而避免了在投影制图及图件测量过程中所造成的误差。应用本法的电算程序计算矿产储量,不仅缩短了计算周期,提高了计算效率,并且还能提高计算的质量。

计算原理与方法

三维块段法是通过建立三维模型,将矿体划分为若干块段(单元),在每个块段上计算出控制点的坐标、矿石体积、矿石平均品位 G_{ki} 、矿石体重及矿石储量 W_{ki} 等。计算机将诸块段的计算结果按式(1)累计得出矿体的矿石储量 W_k 及矿石平均品位 G_k 等。

$$W_k = \sum_{i=1}^N W_{ki}$$

$$G_k = \frac{\sum_{i=1}^N W_{ki} \cdot G_{ki}}{\sum_{i=1}^N W_{ki}} \quad (1)$$

式中 k —矿石的类型、品级与块段级别的综合分类号;

W_{ki} — i 号块段 k “类”矿石的储量;

G_{ki} — i 号块段 k “类”矿石的平均品位;

N —该矿体所剖分成块段的个数。

由各矿体的计算结果进行累计,可得到整个矿区的储量计算结果。

现将三维块段法的具体计算步骤与计算公式简述如下:

(一) 计算区域的剖分 依据探矿工程所揭示的矿体产状、形态、空间分布及其变化规律,在勘探工程平面图上,以最近点法则连接就近勘探工程,从而将计算区域剖分成若干个三角形单元(图1)。显然,在空间上则将矿体剖分为同等数量的三维块段,这些块段既是实际工程控制矿体的最小单元,也是储量计算的基本单元。

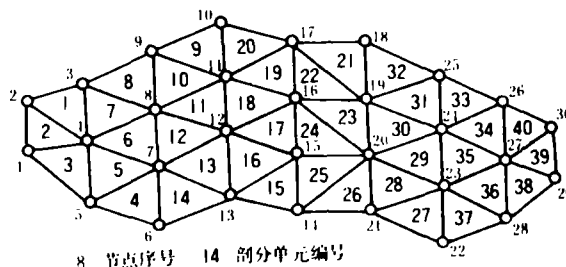


图1 单元剖分示意图

(二) 矿石体积的计算 矿体的形态、产状、规模和空间分布是由各探矿工程所给出的矿体顶板、底板的空间坐标确定的。矿石体积可根据矿体在各块段上顶板、底板的坐标计算。

1. 钻孔内任一点坐标的求法: 钻孔内任一点 M (如矿层顶板、底板、取样点等)的坐标(X , Y , Z)可由该钻孔的孔口坐标(X_0 , Y_0 , Z_0)及 M 点的孔深 H 求得。

若钻孔为直孔则:

$$\begin{cases} X = X_0 \\ Y = Y_0 \\ Z = Z_0 - H \end{cases} \quad (2)$$

若为斜孔, 应依据该钻孔的测斜资料由式

(3) 计算:

$$\begin{cases} X = X_0 + \sum_{i=1}^m L_i \sin \alpha_i \cos \beta_i \\ Y = Y_0 + \sum_{i=1}^m L_i \sin \alpha_i \sin \beta_i \\ Z = Z_0 - \sum_{i=1}^m L_i \cos \alpha_i \end{cases} \quad (3)$$

式中 α_i —该钻孔第 i 组测斜资料的天顶角;
 β_i —该钻孔第 i 组测斜资料的方位角;
 m —到给定深度 H 所用测斜资料的组

数, 且 $H = \sum_{i=1}^m L_i$;

L_i —该钻孔第 i 组测斜资料的控制间距。

2. 关于块段体积的计算: 矿体在空间上剖分为若干三维块段, 每一个块段又可分为 3 个四面体的组合。显然, 某块段的体积即为相应的 3 个四面体的体积之和。

四面体的体积 V 可以其 4 个顶点的坐标 (X_1, Y_1, Z_1) 、 (X_2, Y_2, Z_2) 、 (X_3, Y_3, Z_3) 及 (X_4, Y_4, Z_4) 由式(4) 计算。

$$V = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} 1 & X_1 & Y_1 & Z_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 & Z_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 & Z_3 \\ 1 & X_4 & Y_4 & Z_4 \end{vmatrix} \quad (4)$$

3. 块段中矿石体积的计算: 由式(4) 可计算出某块段的体积 V_s 。但是, 对于一般的矿体, 各单矿层间可能有非矿夹层存在; 因而在该块段中 V_s 一般不等于该块段中矿石的体积 V_m 。该块段中矿石体积 V_m 可由式(5) 计算。

$$V_m = \frac{\sum_{i=1}^{N_2} L_{m_i}}{\sum_{i=1}^{N_2} L_{m_i} + \sum_{j=1}^{N_1} L_{r_j}} \cdot V_s \quad (5)$$

式中 L_{m_i} ——该块段的各钻孔中第 i 号样品的长度;

L_{r_j} ——该块段的各钻孔中矿层间第 j 号非矿夹层的厚度;

N_1 ——该矿段诸孔中非矿夹层的总层数;

N_2 ——该块段诸孔中样品的总个数。

(三) 矿石平均品位的计算 矿石平均品位

是按照储量级别、类型及品级分别进行计算的。这些计算都是以单工程中矿石类型、品级的划分与圈定为基础的。

1. 单工程矿石样品类型与品级的划分: 此项计算是在单工程中分矿层进行的; 是依矿区的工业技术指标来划分样品类型与品级的。

在每个单矿层中, 按照采取样品的顺序由上而下划分出满足工业指标要求的各类型、各品级的连续样品段, 并用式(6) 计算平均品位 g 。

$$g = \frac{\sum_{i=1}^m L_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^m L_i} \quad (6)$$

式中 g_i ——该样品段中, 第 i 号样品的品位值;

L_i ——该样品段中, 第 i 号样品的长度;

m ——该样品段中, 样品的个数。

若 g 满足工业指标的规定, 则对该样品段中的每个样品赋以特征数来表示其隶属的类型与品级; 否则, 需做相应的处理。

2. 块段平均品位的计算: 块段中, 某类型、品级矿石的平均品位 G_{ki} 是该块段上诸工程中相应类型、品级样品的长度加权平均品位, 见式(7)。

$$G_{ki} = \frac{\sum_{p=1}^N \left(\sum_{j=1}^{M_p} L_{pj} \cdot g_{pj} \right)}{\sum_{p=1}^N \left(\sum_{j=1}^{M_p} L_{pj} \right)} \quad (7)$$

式中 g_{pj} ——一块段中, 第 p 号工程属于该类型、品级的第 j 个样品的品位值;

L_{pj} ——上述样品相应的样品长度;

M_p ——第 p 号工程中属于该类型、品级的样品的个数;

N ——一块段中, 见矿工程的个数。

3. 矿体的某级别、类型、品级矿石平均品位的计算: 块段中, 矿石的平均品位是各类型、各品级矿石的平均品位。矿体的所求级别、类型、

品级矿石的平均品位 G_k 可用式(1) 进行计算。

(四) 矿石体重值计算 矿石体重值系用数理统计法计算。将小块体重样品的品位值 x 与体重值 y 进行分析, 建立回归方程式, 以表示品位值与体重值间的对应关系:

$$y = a + bx \quad (8)$$

这里, $b = L_{xy}/L_{xx}$, $a = \bar{y} - b\bar{x}$ 。

式中 $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$;

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

$$L_{xx} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

$$L_{xy} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

N —小块体重样品的个数。

利用相关系数 r , 可进行相关显著性检验,

即 $r = L_{xy}/\sqrt{L_{xx} \cdot L_{yy}}$, $L_{yy} = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$ 。

(五) 储量计算 矿石储量计算是在块段(单元)上进行的。在求得该块段上某类型、品级矿石的平均品位值 G_{ki} 、相应的矿石体重值 R_{ki} 和求得块段上该类型、品级矿石的体积 V_{ki} 的基

础上, 根据式(9) 可计算出此块段上某类型、品级矿石的储量 W_{ki} 。

$$W_{ki} = V_{ki} \cdot R_{ki} \quad (9)$$

而由前述式(1) 可求得该矿体的相应级别、类型、品级矿石的储量 W_k 。

(六) 矿体圈定及边界推断 矿体的规模及产状主要是由控矿工程所揭露的矿层来控制的。通过对原始勘探资料的分析, 形成各矿层隶属矿体的信息, 根据这些信息, 计算机自动计算出有关数据并完成各个矿体的储量计算。

在仅有单工程或两工程见矿的块段上需要推断边界。该法是通过求取邻近块段上各控矿工程中矿体中心点的坐标 (X_i, Y_i, Z_i) 来建立平面方程, 见式(10):

$$\begin{vmatrix} X - X_1 & Y - Y_1 & Z - Z_1 \\ X_2 - X_1 & Y_2 - Y_1 & Z_2 - Z_1 \\ X_3 - X_1 & Y_3 - Y_1 & Z_3 - Z_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (10)$$

以此作为矿体在该块段上的近似产状。然后, 根据规范要求推定矿体在该块段上的边界。

(七) 储量级别的划分 矿石的储量分级主要是由工程的控制程度决定的。该法是根据矿床所属勘探类型及勘探网度的要求, 利用每个块段上各探矿工程中矿体中心点间的距离

$$d = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2}$$

进行判断确定块段的储量级别。

计 算 程 序

根据上述计算方法编写的矿体储量计算程序可适用于大、中型矿区的矿产储量计算, 用以求取单个矿体乃至整个矿区的各储量级别、各类型、各品级矿石的储量、平均品位以及伴生元素的储量及平均品位等。

(一) 程序中主要标识符

N_0 —计算区域内见矿钻孔的个数;

N_1 —计算区域内探矿钻孔的个数;

N_2 —单元剖分节点的个数;

NE —矿体剖分成块段(单元)的个数;

XYZ —钻孔孔口坐标数组;

$P1$ —斜孔孔号数组;

AT —斜孔测斜资料组数数组;

NU —各钻孔岩、矿层层数;

NQ —各见矿钻孔矿层层数;

QN —见矿钻孔中, 单矿层采取样品个数数组;

$QTRC$ —各钻孔岩性分层资料;

$DATA$ —各斜孔测斜资料;

$QSUM$ —样品化验分析资料数组;

IJM —三角形单元节点序号数组;

OM_3 —矿体特征信息数;

NL —矿石小块段体重样品个数;

XY —小块体重样品的体重、品位值数组。

(二) 程序中使用的过程

TT —计算钻孔内任一点坐标的过程;

$PRINT$ —计算矿体(或矿区)的各储量级别、各类型、品级矿石储量与平均品位, 并输出计算结果的过程;

VOLUME — 由给定的坐标计算块段体积的过程;

OE — 计算块段中各类型、品级矿石平均品位、矿石体重值、矿石储量以及伴生元素的储量和平均品位的过程;

READY — 根据样品的类型、品级累计样品的样长以及样长与其品位 (或伴生元素品位) 乘积的过程;

VDIS — 计算块段中各类型、品级矿石体积的过程;

SPR — 将各矿体的矿石储量等计算结果按照储量级别、矿石类型与品级分别进行累计的过程;

ADD — 将块段计算结果按照矿石类型、品级进行累计的过程;

PLANE — 确定矿体局部近似产状的过程。

(三) 程序主框图 (图 2)

应用情况

用三维块段法计算程序, 先后完成了山东莱芜铁矿西尚庄矿区和顾家台矿区的储量计算。计算情况表明, 该计算程序具有一定的通用性, 计算与逻辑判断功能较强。程序设计的数据格式便于数据的整理、存贮与调用。计算结果的数字输出格式便于资料的整理和阅读。

勘探工程的原始编录及样品化验分析资料只要稍加编辑, 即可作为电算所需要的数据。在国产 TQ-16 机上, 仅需一个小时即可获得一个中型矿区的各项储量计算结果。

用该法及计算程序先后提交了西尚庄、顾家台 2 个矿区的计算成果, 储量计算完全是按照勘探报告中所采用的工业技术指标进行的。西尚庄矿区电算结果与手算 (断面法) 结果比较, 全矿

区储量相对误差为 5.22%。顾家台矿区电算结果与手算 (断面法) 结果比较, B 级储量相对误差为 4.02%; B + C₁ 级储量相对误差为 13.91%; C₂ 级 (单工程控制的小包体矿) 储量相对误差为 28.37%。

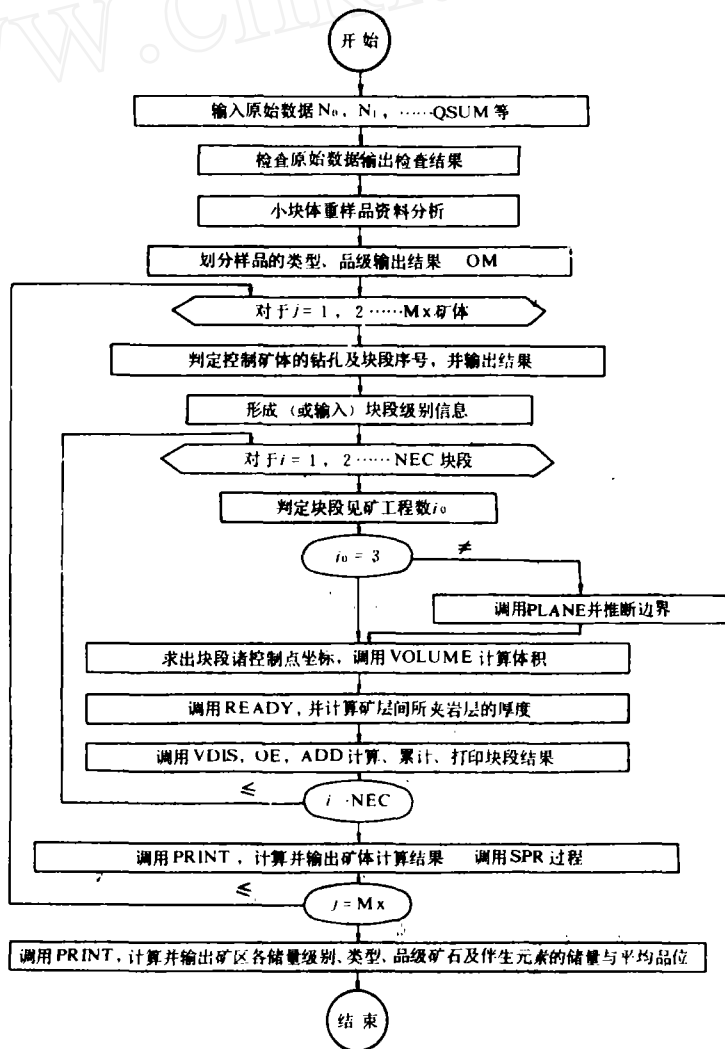


图 2 程序主框图

综上所述, 应用电子计算机计算矿产储量较之传统的算法有较大的优越性。三维块段法由于采用三维模型, 则能较好地刻划出矿体的产状形态。由于利用了小块体重样品的品位与体重值相

(下转第 26 页)

的自然条件所取得的经济效益并无可比性。

为了适应地质工作的特点,使经济效益有可比性,我们应当借助于马克思主义的“级差地租”理论,具体确定考核条件。地质工作的自然条件(如含矿品位、埋藏深度、成矿类型、交通条件及施工方法等)不同,其经济效果也不相同,正如同“级差地租第一形态”一样,由于土地的肥力不同,虽然投入相同,但实际产出却不相同,这是客观自然条件所决定的。当然,尽管都在自然条件相同的土地上耕种,由于对客观规律的认识不同,所采取的措施不同(施肥、选种、耕种方法、田间管理等),其产量也不一样。地质工作也是这样,虽然是在大体相同的条件下进行勘探,但由于对成矿规律认识的广度、深度不同,所选择的勘探手段、网度、生产设备不同,以及管理水平上的差异,其经济效益肯定不会一样。一般说,在同等的自然条件下,找到的矿越多,质量越好,成本越低,其经济效益也就越好。为使勘探队的经济效益有可比性,按照自然条件分类进行考核显然是必要的。总的原则是根据影响地质经济效益的主要自然条件,以及普查找矿、评价、勘探分阶段划分,以适用于不同任务性质的地质队。具体划法是,首先应规定出自然条件

(上接第30页)

关分析的结果,减少了人工确定平均体重值所造成的误差;由于计算程序的功能比较齐全,从而显著地提高了计算的速度和精度。据粗略估算,利用该法及其计算程序进行矿产储量计算至少能提高工效30倍,达到了节省人力、物力,缩短计算时间,提高计算质量的目的。

结 束 语

利用电子计算机进行矿产储量计算是数学地质的一个重要的分支。为了更好地推广和普及矿产储量的电算方法,必须研究出适合我国国情的一套算法,并且还必须增强计算机图件输出的功能。只有人(专业人员)、机(电子计算机)有机地结合起来,才能更好地提高矿产储量计算的水平。

三维块段法虽然已用来计算了几个矿床实

自然条件分类及打分标准(以勘探为例)

自然条件分类	矿种	分 数		
		1	2	3
含矿品位(%)	铁	40	31~40	20~30
	铜	~1.0	0.51~1.0	0.3~0.5
埋藏深度(米)	铁	>100	100~200	<200
	铜	>100	100~200	<200
施工条件	铁	好	较好	困难
	铜	好	较好	困难
矿床规模	铁	大型	中型	小型
	铜	大型	中型	小型
矿床类型	铁	沉积变质	夕卡岩	火山岩
	铜	斑岩型	砂岩铜矿	夕卡岩
交通条件	铁	方便	较方便	困难
	铜	方便	较方便	困难

分类及每类的打分标准,然后进行打分划类比较。以勘探铁、铜矿为例,自然条件分类及打分标准列于上表。当然这只是一个划分方法的举例,实际划分时应更具体些。同时还应对地质普查、物探、化探等规定各自的标准。

分数为6~9的勘探对象,可划归一类自然条件,10~13为二类,14~18为三类。

例,并且取得了令人满意的计算结果,但仍有一些不够完善的地方,还需要进一步用更多的矿床实例进行验证。在使用过程中,将这一方法逐步地完善起来。

参 考 文 献

- [1] 成都地质学院,昆明地质学院找矿勘探学编写组,找矿勘探学,地质出版社,1980
- [2] 於崇文等编著,数学地质的方法与应用,冶金工业出版社,1980
- [3] 安宝重,矿体形态块段法,山东地质情报,1979
- [4] 中国科学院数学研究所数理统计方法组,回归分析方法,科学出版社,1974
- [5] 复旦大学数学系,有限元法选讲,科学出版社,1976