

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

固体矿产资源量估算规程  
第3部分：地质统计学法

Regulations of Solid Mineral Resources Estimation  
Part3: The Geostatistical Methods

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施



# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本原理 .....	5
5 适用条件及方法选择 .....	6
6 估算参数选择 .....	7
7 数据准备 .....	8
8 估算流程 .....	9
9 资源量分类 .....	13
10 资源量估算成果 .....	13
附录 A（资料性附录） 三维图件的编制 .....	15
附录 B（资料性附录） 矿块指标体系及圈矿原则 .....	17
附录 C（资料性附录） 特异值处理合理性检验 .....	18
附录 D（资料性附录） 对数正态克里格法和指示克里格法的实施步骤 .....	19
附录 E（资料性附录） 地质统计学法资源量估算成果 .....	20

## 前 言

本规程根据GB/T 1.1—2009《标准化工作导则第1部分》给出的规则起草。

DZ/T XXXX—202X《固体矿产资源量估算规程》分为4个部分：

——第1部分通则；

——第2部分几何法；

——第3部分地质统计学法；

——第4部分 SD法。

本部分为DZ/T XXXX—202X的第3部分。

本部分由中华人民共和国自然资源部提出。

本部分由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本部分主要起草单位：自然资源部矿产资源储量评审中心、北京科技大学、北京东澳达科技有限公司。

本部分主要起草人：张树泉、胡建明、冯涛、高利民、赵婷钰、唐长钟。

# 固体矿产资源量估算规程 第3部分：地质统计学法

## 1 范围

本部分规定了地质统计学法估算固体矿产资源量的基本原理、适用条件及方法选择、估算参数选择、数据准备、估算流程、资源量分类及估算成果。

本部分适用于勘查程度达到详查阶段及以上要求的固体矿产勘查、矿山设计、开发阶段的资源量估算工作。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 13908 固体矿产地质勘查规范总则
- GB/T 17766 固体矿产资源储量分类
- GB/T 33444 固体矿产勘查工作规范
- DZ/T 0033 固体矿产勘查/矿山闭坑地质报告编写规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 矿化域 Domain

矿化域是基于地质控矿因素（如岩性、地层、构造、围岩蚀变等）或矿化边界或将二者综合来考虑圈连的，一个比较连续的矿化地质体。

### 3.2

#### 区域化变量 Regionalized Variable

区域化变量是一种限制在一个特定的空间内（如一个矿体内或矿化域内）的变量，既有结构性（相关性）又有随机性的特征。如在特定的空间内的样品品位之间是相关的，可以参与矿体品位的估算。超出这个空间范围的样品，由于样品品位之间相关性减弱，随机性的成分增大，一般不参与矿体品位的估算。

### 3.3

#### 变异函数 Variogram

变异函数是地质统计学的应用工具，它能够反映区域化变量的空间变化特征—相关性和随机性，反映局部范围和特定方向上地质特征的变化。变异函数一般用变异曲线来表示（见图1）。

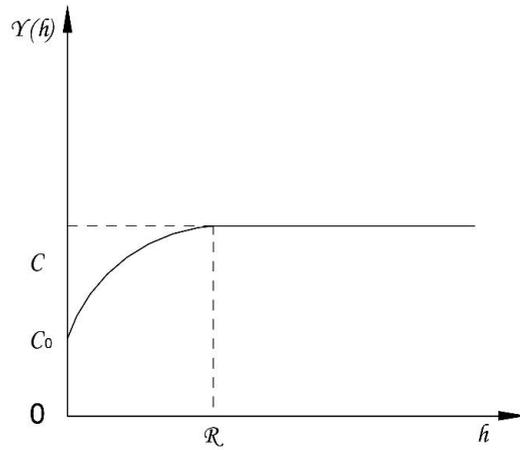


图1 变异函数球状模型曲线示意图

3.4

实验变异函数 Experimental Variogram

变异函数对任一给定矿床  $\Omega$  是未知的，需要通过取样值对之进行估计。设从矿床  $\Omega$  中获得一组样品，相距  $h$  的样品对数为  $n(h)$ ，那么变异函数  $\gamma(h)$  可以用下式估计：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [X(z_i) - X(z_i + h)]^2 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $\gamma(h)$ —实验变异函数值；
- $X(z_i)$ —在  $z_i$  处的样品值；
- $X(z_i+h)$ —在与  $z_i$  相距  $h$  处的样品值。

公式中含有  $1/2$ ，又称实验半变异函数。实验变异函数示意如图2所示。

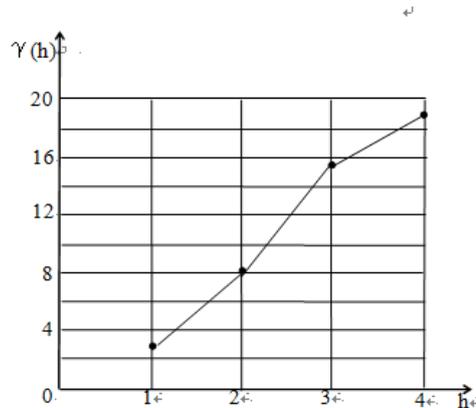


图2 实验变异函数示意图

## 3.5

## 理论变异函数 Theoretical Variogram

实验变异函数由一组离散点组成,将实验变异函数拟合为一个可以用数学解析式表达的数学模型即理论变异函数(标准模型),如图3所示。常见的变异函数的数学模型有以:球状模型、指数模型、高斯模型、空穴效应模型等。

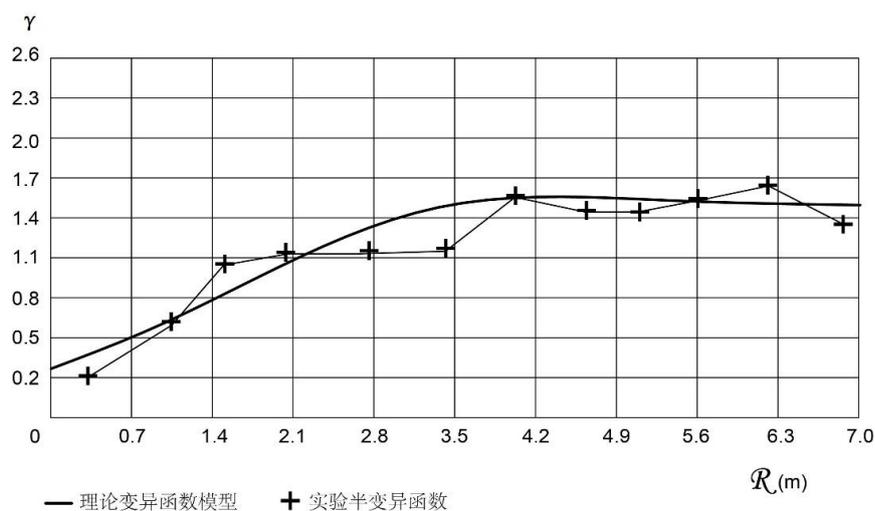


图3 理论半变异函数拟合示意图

## 3.6

## 块金效应 Nugget Effect

由于取样分析过程中的误差和微观矿化作用的变化,两个样品的分析结果不会完全相同。因此,变异函数值在原点附近实际上不等于零,这种现象称为块金效应。当距离 $R=0$ 时,变异函数值不为0,变异函数曲线和纵轴相交,这个值称为块金值(Nugget),用 $C_0$ 表示。它表示距离 $R$ 很小时两点间品位的变化, $C_0$ 代表随机的成分。

## 3.7

## 基台值 Sill

是参与变异函数计算数据的方差,用 $C$ 表示,它反映某区域化变量在研究范围内变异的强度。变异函数曲线达到基台后开始收敛,在基台附近波动。 $C+C_0$ 组成总基台。应用中主要看基台值 $C$ 和块金常数 $C_0$ 所占的比例, $C$ 代表相关的成分。

## 3.8

## 变程 Range

用来表达区域化变量空间相关性的最大距离即是当变异函数曲线最初达到基台时所对应的横坐标值，用 $R$ 表示。 $R$ 反映了相关范围，以待估块为中心， $R$ 为半径的范围内的信息值对待估域进行估计。同时，变程的大小反映了研究对象（如矿体）中某一区域化变量（如品位）的变化程度。

### 3.9

#### 搜索椭球体 Search Ellipsoid

搜索椭球体定义了对待估块进行品位估算时，搜索的空间范围和相关参数，用于品位估算时对样品的选择。应用克里格法估算时应计算各个方向的变异函数，确定搜索椭球体主轴、次轴和短轴的方位并根据变程求出轴比。

### 3.10

#### 几何异向性 Geometric Anisotropy

在几个方向上研究区域化变量时，当一种矿化现象在各个方向上性质不同时称各向异性，根据变异函数曲线，区域化变量在不同方向上表现出基台值相同而变程不同时称为几何异向性。几何异向性具有相同的基台值 $C$ 而变程 $R$ 不同（如图4）。

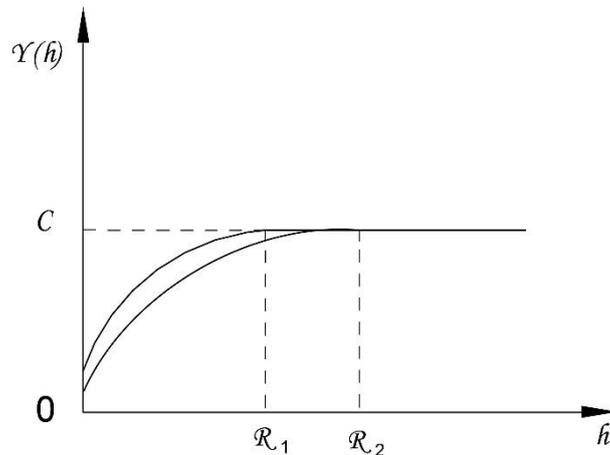


图4 几何异向性示意图

### 3.11

#### 带状异向性 Zonal anisotropy

对应几何异向性，根据变异函数曲线，区域化变量在不同方向上表现出基台值不同，而不论变程相同或不相同时称为带状异向性（如图5）。

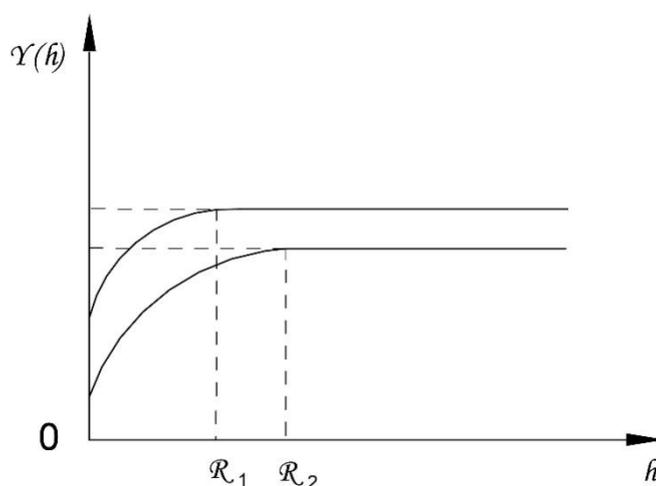


图5 带状异向性示意图

## 3.12

## 克里格法 Kriging

是地质统计学中一种局部估计方法，以变异函数为主要工具，对区域化变量进行插值，求插值过程中的最优线性无偏估计量，再通过块体约束计算资源量的方法（通常叫克里格法）。根据研究目的和条件不同，分别有简单克里格法（Simple Kriging）、普通克里格法（Ordinary Kriging）、对数正态克里格法（Lognormal Ordinary Kriging）和指示克里格法（Indicator Kriging）和泛克里格法（Kriging with Trend）等，其中应用最为广泛的是普通克里格法。

## 3.13

## 距离幂次反比法 Inverse Distance Weight

距离幂次反比法是一种与空间距离有关的插值方法，即在估计待估点的值时，按照距离越近权重值越大的原则，利用已知点和待估点之间距离取幂次后的倒数为权重系数进行加权平均，再通过块体约束计算资源量的方法。

## 3.14

## 克里格方差 Estimation Variance

采用克里格法估计时，估计误差的方差称为克里格方差，是衡量估计精度的度量。估计方差小证明估计精度高。

## 4 基本原理

## 4.1 克里格法原理

应用克里格法对区域化变量进行局部估计时，将矿体划分成许多相同或相似的长方体V，用在一定范围内的系列样品值 $v_\alpha$  ( $\alpha=1, 2, \dots, n$ ) 为V估值，以估计方差最小、权系数之和等于1为条件，形成克里格方程组：

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^n \lambda_\beta \bar{C}(v_\alpha, v_\beta) - \mu = \bar{C}(v_\alpha, V) \\ \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha = 1 \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\bar{C}(v_\alpha, v_\beta)$ —样品对之间的协方差平均值；

$\bar{C}(v_\alpha, V)$ —样品点与长方体中心之间的协方差平均值；

$\lambda_\alpha$ —样品的权系数；

$\mu$ —拉格朗日因子。

以求解克里格方程组所得的权系数 $\lambda_\alpha$ ，采用加权平均的方法得到V的值，即： $\sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha v_\alpha = V$ 。

#### 4.2 距离幂次反比法原理

距离幂次反比法是利用样品点和待估块中心之间距离取幂次后的倒数为权系数进行加权平均的方法。以待估块中心为圆心、以搜索半径做圆（或椭圆），计算落入圆（或椭圆）内每一样品与待估块中心的距离。计算公式：

$$x_b = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^m}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$x_i$ —落入影响范围的第i个样品的值；

$d_i$ —第i个样品到待估块中心的距离；

m—幂次；

$x_b$ —待估块的估值。

### 5 适用条件及方法选择

5.1 地质工作程度达到详查及以上，样品数据量和密度较大，足以计算出各个方向实验变异函数，并能通过拟合转化为理论变异函数时采用克里格法。

5.2 矿体形态为二维延展时，采用二维克里格法；矿体形态为三维延展时，采用三维克里格法。

5.3 根据矿体结构：矿石自然类型、工业类型、工业品级和非矿夹石的形态、空间分布特征、种类和它们的相互关系以及成矿期的构造，选择相应的克里格法。

5.4 根据区域化变量统计分析，结合变异函数的分布特征分别选择如下方法：

- a) 当假设区域化变量的数学期望值为某一已知常数时，选用简单克里格法；
- b) 当区域化变量满足二阶平稳假设（或内蕴）且数学期望值未知时，选用普通克里格法；

- c) 当区域化变量不服从正态分布但服从对数正态分布时，选用对数正态克里格法；
- d) 对有多期矿化、区域化变量呈现多峰分布时，选用指示克里格法；
- e) 当区域化变量在大范围内具有方向性的趋势变化（即非平稳性），或具有漂移存在时，选用泛克里格法。

5.5 当区域化变量变化系数满足矿化在比较均匀的范围内（对应矿化均匀或比较均匀的具体变化系数值可查各分矿种规范，一般变化系数 $\leq 150\%$ 左右）可用距离幂次反比法或普通克里格法。

## 6 估算参数选择

6.1 克里格法估算参数包括变异函数参数、搜索椭球体参数和块体参数；距离幂次反比法估算参数包括幂次、搜索椭球体参数和块体参数。

6.2 变异函数模型参数包括最佳基本滞后距、块金值、基台值、变程。

- a) 基本滞后距是计算变异函数时分隔样品对的矢量的最小长度，一般由计算全向变异函数获得。当选定一个基本滞后距得到的全向实验变异函数最容易拟合出理论变异函数时，即为最佳滞后距。
- b) 块金值反映出区域化变量在小尺度上的变异程度，表明变量的随机成分。沿钻孔方向以最小滞后距计算变异函数时，所拟合的理论变异函数曲线与纵坐标的交点即为块金值，见图 1。一般情况下，一个估算域内只有一个块金值。
- c) 基台值表明了估算域内变量的相关程度，其数值由变量的方差减去块金值取得。构成了变异函数的总基台，见图 1。
- d) 变程 R 表明了变量在估算域内自相关性存在的最大范围，一般是理论变异函数曲线中最初达到总基台值时所对应的距离，见图 1。

6.3 距离幂次反比法幂次参数选取：

- a) 幂次一般在 1~3 之间取值。变量的空间变化性越大、变化速度越快，则取值越大。
- b) 根据工程网度和样品密度，密度大，取大值，反之取小值。
- c) 应通过交叉验证幂次的合理性。

6.4 搜索椭球体参数包括椭球体的方位角、倾伏角、倾角，主轴的搜索半径、次轴的搜索半径（或用主轴与次轴的比值表示）、短轴的搜索半径（或用主轴与短轴的比值表示）。若样品点空间分布不均匀，具有丛聚的情况，可将搜索椭球体分为多个扇区，每个扇区内可根据需要确定最少工程数、最少样品数和最多样品数。

6.5 常用的克里格方法及距离幂次反比法估算参数均包括椭球体参数、最多样品数、最少样品数、最少工程数，变异函数参数只在各克里格方法中涉及，具体见参数汇总表（见表 1）。

表1 不同估算方法参数表

方法	估值参数					
	椭球体参数	最多样品数	最少样品数	最少工程数	变异函数参数	附加特征参数
简单克里格法	√	√	√	√	√	均值参数
普通克里格法	√	√	√	√	√	
指示克里格法	√	√	√	√	√	IK 指示值
对数克里格法	√	√	√	√	√	对数变换参数
泛克里格法	√	√	√	√	√	漂移参数
距离幂次反比法	√	√	√	√		幂次

6.6 块模型（也叫品位模型）的参数主要是设置块模型方向和块体尺寸（长、宽、高）以及进行次级分块，如图6。块模型属性可记录块体所在的位置（即块质心点坐标）、尺寸大小，还可以附加不同属性如矿岩类型、矿种、品位、体积质量、数学运算赋值的属性、资源类别等。这些属性均保存在块模型文件中，既可以通过估值的方法赋值，也可以通过属性名称直接赋值，还可以进行相关数学运算赋值。

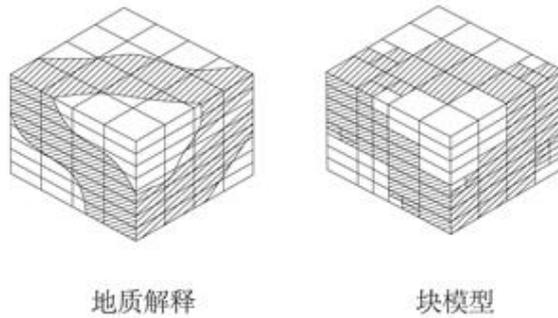


图6 块模型示意图

7 数据准备

7.1 建立数据库，从地质数据库或电子表格中提取参与资源量估算的基础数据，至少包括勘查工程或生产工程定位数据表（见表2）、测斜数据表（见表3）、样品分析数据表（见表4）和地质岩性表（见表5）。表中所列的字段是必不可少的。

表2 工程定位数据表

钻孔名称	东坐标 (E)	北坐标 (N)	高程 (R)	终孔深度 (m)	工程类别

表3 测斜数据表

钻孔名称	井深 (m)	方位角(度)	倾角 (度)

表4 样品分析数据表

钻孔名称	样品编号	从 (m)	到 (m)	样长 (m)	品位(分列)

表5 地质岩性表

钻孔名称	从 (m)	到 (m)	岩性代码	岩性描述

7.2 对数据进行纠错及完整性和逻辑性检查。

7.3 通过三维软件对工程数据进行位置对比查看和空间关系分析。

## 8 估算流程

### 8.1 地质解译建立矿化域或矿体模型

8.1.1 将地质数据库中的钻孔、探槽和坑道等工程数据绘制成图，作出剖面图或中段平面图，参见附录 A。矿岩界线清晰时，在剖面图或中段平面图上根据品位结合地层、岩性、构造、以及矿体产状等地质特征进行地质解译，圈定矿体或矿化域及夹石边界线。

8.1.2 根据矿化特征，矿岩界线呈过渡关系时，选取矿化品位值或低于一般工业指标圈连矿化域，采用矿块指标体系圈定矿体范围，参见附录 B。

8.1.3 剖面图上矿体或矿化域边界线的圈定和外推原则，参见本规程通则部分和有关的固体矿产勘查工作规范。

8.1.4 进行资源量估算通常做的模型包括：地形三维模型、矿体或矿化域模型、夹石模型、岩体模型和地质构造模型等。

8.1.5 采用矿体模型或矿化域模型作为估算范围时，需要对模型进行质量检查，确保模型的合理性。

### 8.2 估算域的划分

8.2.1 当矿体被断层、岩脉等线性构造切割或错断见图 7，使得构造两侧区域化变量统计特征存在明显差异，应以此线性构造为界划分不同的区域、设置不同的估算参数进行估算。

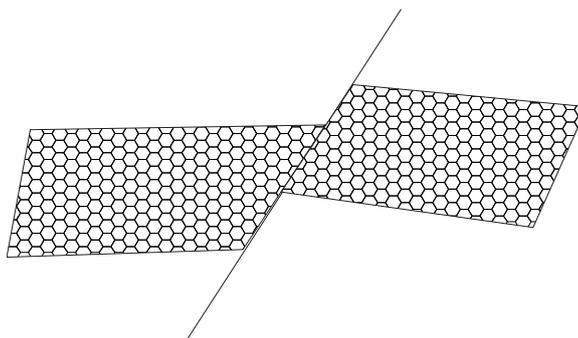


图7 矿体被断层错断示意图

8.2.2 当矿体出现褶皱，使得矿体的走向和倾角发生转折见图 8，无法使用一个搜索椭球体，应将矿体划分成不同的估算域，分别设置不同的估算参数进行估算，或用动态椭球参数进行估值。

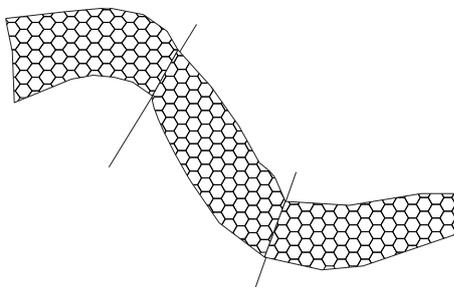


图8 矿体的产状受褶皱影响发生改变示意图

8.2.3 当矿体内出现多个矿石类型或者有用元素局部富集见图 9、或者受岩性控制图 10，而使区域化变量统计特征存在明显差异，应将矿体按不同矿石类型或富集特征划分成不同的区域，分别设置不同的估算参数进行估算。

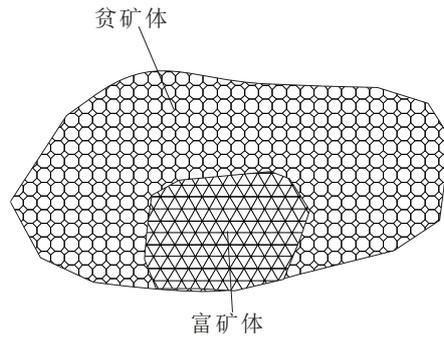


图9 根据矿体的富集特征不同划分估算域示意图

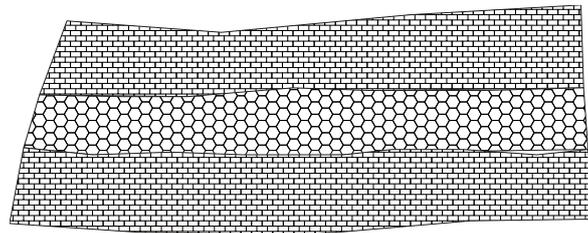


图10 根据岩性不同划分估算域示意图

### 8.3 样品数据统计分析及特异值处理

8.3.1 对样品统计分析 & 特异值处理时，应以矿化域或矿体为单位进行。

8.3.2 对区域化变量进行估值前，分别绘制区域化变量的分布直方图、累计频率分布曲线或概率图等，判断其分布特征，并计算区域化变量的统计特征，如最小和最大值、样品数、平均值、中值、方差、标准差、偏度、峰度和变化系数等。

8.3.3 识别和处理特异值可采用数理统计的方法：分位数法、估计邻域法、影响系数法、概率曲线和累计频率分布曲线法等。特异值处理后的检验参见附录 C。

8.3.4 如采用对数正态克里格法或指示克里格法进行变量估值时，不进行特异值的处理。

### 8.4 样品等长度组合

8.4.1 样品等长度加权组合应限制在相应的矿体（层）内。其长度取值应为统计中主要的样长值。

8.4.2 组合后的样段与原样段的长度变量统计特征应保持最大程度上的一致。

8.4.3 等长组合须在对原样品进行特异值处理后进行。

### 8.5 建立块模型

8.5.1 根据矿化域或矿体空间范围、形态和产状，采用一定长、宽、高尺寸的块为单位，形成整个估算区域的块模型（可根据矿体产状和形态创建次级分块和旋转块模型）。

8.5.2 影响块模型尺寸的主要因素是矿体规模、勘查工程间距、开采方式（露采或地下开采）和采矿工艺（矿房尺寸或露天开采台阶高度）、克里格效率等。其中克里格效率=（块方差-克里格方差）/块方差，其值介于 0 和 1 之间。通过比对不同尺寸的块模型的克里格效率值，克里格效率值最大时所对应的块模型尺寸是最优的。

### 8.6 建立变异函数模型

8.6.1 确定最佳基本滞后距。

8.6.2 确定块金值。

8.6.3 通过计算各方向的变异函数，确定估算域的最大连续性方向（主轴）、次连续性方向（次轴）和最小连续性方向（短轴），三个方向在空间上应相互垂直。求得三个方向的实验变异函数（见图 11），采用适当的数学模型进行拟合，求出每一个方向的基台值  $C$ 、变程值  $R$ 。

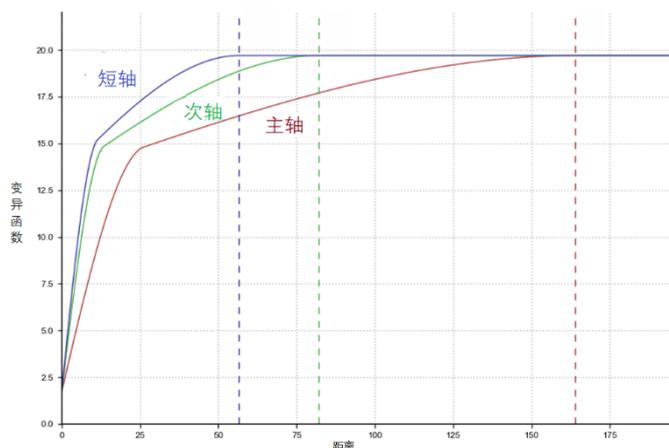


图11 三个方向的实验变异函数示意图

8.6.4 变异函数结构的套合：

- 进行变异函数结构套合的目的是把不同距离上的变异性组合起来代表整个矿体的变异结构。每个方向可以由不同的数学模型套合形成一个理论变异函数，但不同方向上数学模型的个数和类型须一致。
- 进行估算前，需要将搜索椭球体三个轴向上的理论变异函数套合在一起。当三个轴的变异函数结构具有相同的块金值和基台值而具有不同的变程值（见图 12、图 13 和图 14），具有几何异向性的特征时，变异函数的套合方法是用搜索椭球体的主轴方向的数学模型来代表其他方向，根据搜索椭球体三个轴向上的变程值，再给出主轴与次轴及主轴与短轴的比值。

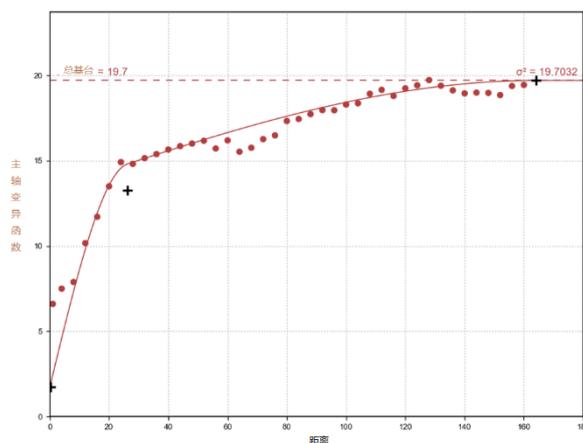


图12 主轴方向变异函数示意图

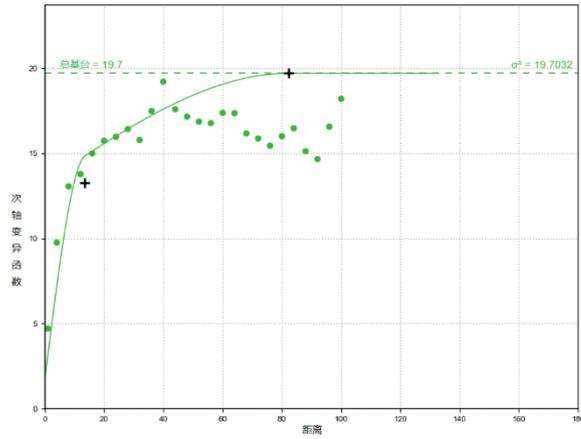


图13 次轴方向变异函数示意图

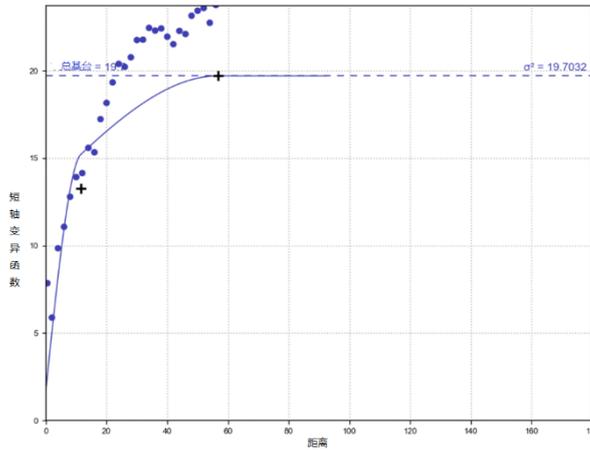


图14 短轴方向变异函数示意图

### 8.7 搜索椭球体的设置

8.7.1 采用克里格法时，通过变异函数特征，确定搜索椭球体各轴向的产状和半径。

8.7.2 确定搜索椭球体的产状后，应将搜索椭球体与估算域或矿体进行叠加对比，观察两者的产状是否协调一致如图 15 所示。

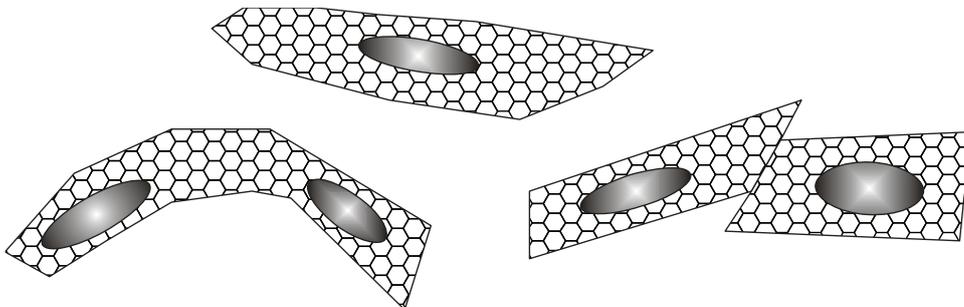


图15 搜索椭球体与矿体或估算域叠加示意图

- 8.7.3 确定搜索椭球体扇区数，并设置每个扇区的最少和最多样品数，减少丛聚数据对估值的影响。
- 8.7.4 采用距离幂次反比法时，搜索椭球体参数应依据矿体规模和产状确定，还要结合勘查类型和工程间距，也可以通过变异函数模型确定。
- 8.7.5 采用可变椭球体进行估值，应使用实体模型对搜索椭球体参数进行约束。

## 8.8 交叉验证

- 8.8.1 交叉验证的目的是检验变异函数模型参数和搜索椭球体参数的合理性。
- 8.8.2 交叉验证的理想结果是真值与估计值的误差均值趋近于“0”，误差方差与克里格估计方差比值趋近于“1”。
- 8.8.3 若交叉验证结果不理想，应修改或重新拟合理论变异函数并再次交叉验证，直到取得一套合理的变异函数参数和搜索椭球体参数为止。

## 8.9 变量估值

- 8.9.1 对每一个矿化域或矿体，可根据区域化变量的分布和统计特征，选择普通克里格法或距离幂次反比法。其他的克里格法如对数正态克里格法和指示克里格法的实施步骤参见附录D。
- 8.9.2 采用普通克里格法估算时，对个别矿体规模较小且计算变异函数有困难的情况下，可采用距离幂次反比法或其他方法进行估算。
- 8.9.3 使用距离幂次反比法进行变量估值时，应根据工程间距、样品数和估算域规模确定估值搜索半径；使用克里格法时，估值搜索半径的选择还须主要考虑变程值。
- 8.9.4 对于采用双指标体系圈定的矿体，最大搜索半径可超过变程，确保矿体内所有块体都能获得相应的估计值。采用矿块指标体系时，估值的最大搜索半径一般不超过变程值的4倍。

## 8.10 变量估值结果验证

- 8.10.1 采用地质统计学法（含距离幂次反比法）对区域化变量进行估计后，应采用局部验证或全局验证的方法进行检验。
- 8.10.2 局部验证的方法是在剖面图或平面图上比较参与估算的组合样品值与相邻块体估计值之间的相近程度、外推的距离和方向，判断估值的可靠性。
- 8.10.3 全局验证的方法是沿某些方向按照一定的间距划分一系列的区域，分别计算落在每一个区域中参与估值的组合样品平均值和块模型估值的平均值，绘制成两条曲线图，通过两条曲线的吻合度，判断估值的合理性和可靠性。
- 8.10.4 可采用另一种适用的估算方法对主要矿体进行验算，对比绝对误差和相对误差，判断估值参数的可靠性。

## 9 资源量分类

- 9.1 应根据搜索半径、工程数、样品数等因素对块体进行资源量分类。对于“孤岛”现象，即不同类别在空间上相互穿插或包含，应根据工程控制程度和地质可靠程度进行人工干预。
- 9.2 应在剖面图上或平面图上勾画出不同分类轮廓界线并圈连成分类轮廓体，对块模型进行分类属性进行赋值。
- 9.3 可采用国内的资源量分类规范进行分类。

## 10 资源量估算成果

- 10.1 资源量汇总参照本规程通则及资料性附录 E 和国家相关规范执行。
- 10.2 地质统计学法提交资源量报告章节的编写参见相关报告编写规范。

## 附录 A

### （资料性附录）

### 三维图件的编制

#### A.1 资源量计算的基本图件

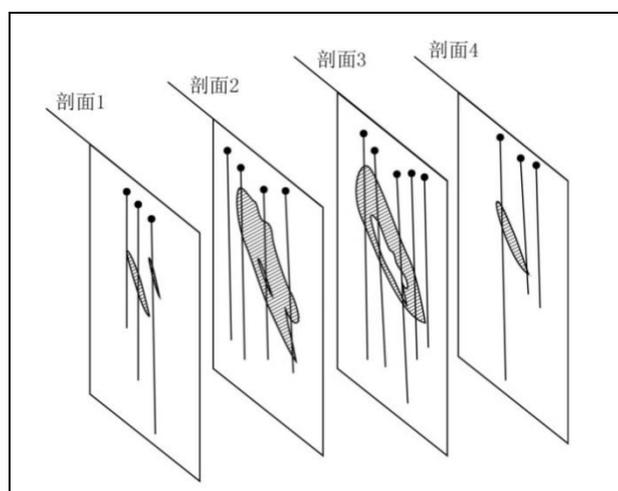
A.1.1 按照DZ/T0078等规范要求，一般先制作地质勘查所需要的矿区（床）地形地质图、勘查线剖面图、水平断面图、中段地质图等。

A.1.2 根据GB/T 33444、DZ/T 0079等规范要求，制作与资源量估算有关的矿体（层）顶底板等高线图（或含资源量估算图）、资源量估算图（水平或垂直纵投影图）、砂矿或缓倾斜矿体（层）需要的顶底板等高线和矿层等厚线图（或含资源量估算图）等。

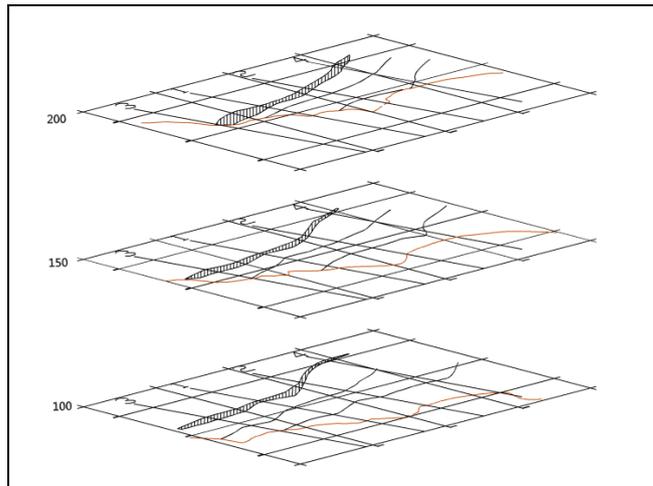
#### A.2 三维断面图件的制作

A.2.1 在实际工作中，通常是按照二维平面图件的方式完成相应的断面图，包括平面图和剖面图。这些图件的坐标均为标注值而不是实际的位置，比如，水平断面图中所有的标高均为0。在资源量估算中，如果采用三维软件按照实际剖面位置和工程坐标及测斜数据进行基本图元（工程、矿段、构造等）的制作，更有利于矿体的对应分析、块段划分和资源量估算。

A.2.2 制作时，可以按照勘查线或水平中段分别进行切制，形成相应的断面图位置。再利用三维软件中工程的位置、轨迹和矿层信息，在一定的断面范围内，按照实际的位置保留工程的位置并形成点或者线文件进行保存，从而形成了一个断面、一定范围内的三维断面图件的所有制图元素（如图A.1、A.2）。



图A.1 实际位置剖面图

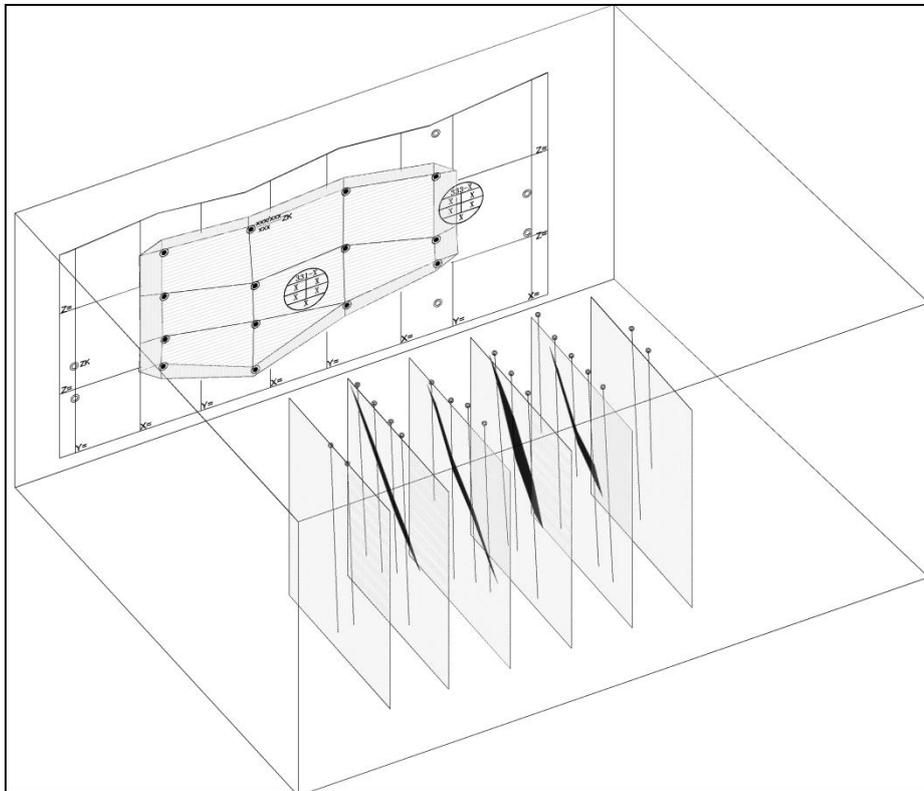


图A.2 实际高程的中段图

### A.3 三维纵投影图的制作

A.3.1 矿体纵投影图分为水平投影图和垂直投影图。水平投影图可以投影到任意平面。但垂直纵投影图是可以实现与矿体走向相一致的三维投影图（如图A3）。

A.3.2 制作纵投影图的步骤：一是按照基线（垂直勘查线）方向作纵剖面，其走向与矿体走向一致，但与矿体有一定的间距；其次将地形线、矿岩界线、探矿工程点、构造界线、块段界线等投影到该剖面上，并进行块段划分和资源量估算，同时需要保存这些文件。



图A.3 三维纵投影示意图

**附 录 B**  
**（资料性附录）**  
**矿块指标体系及圈矿原则**

**B.1** 矿块指标体系一般根据地质矿化规律采用某一个品位（一般介于地质上的矿化品位与常用指标体系中的边界品位之间）圈出的一个比较完整的矿化域，在矿化域内按照一定的大小划分估计品位的单元块，继而对单元块进行品位估值，再采用边际品位界定单元块是矿石还是废石，然后统计资源量。

**B.2 圈矿原则**

采用地质统计学法（含距离幂次反比法）进行矿化域（矿体）圈定应遵循的原则：

- a) 根据矿化特征（地层、岩性、构造、围岩蚀变、矿石类型等），当矿岩界线呈过渡关系时，可采用矿块指标体系圈定矿化域。
- b) 矿化域的品位边界可从样品分布直方图、累计分布曲线、概率图中寻找矿化拐点确定，或通过类比法确定，或采用边界品位的 1/2 或根据尾矿品位值确定。矿化域品位边界值，通常等于或小于常用（双）指标体系中边界品位，其目的使所圈定的矿化域更完整连续。
- c) 在圈定矿化域时能剔除的夹石尽量剔除，如不剔除夹石，将对矿体的平均品位产生贫化，影响品位的正态分布。
- d) 完成估算后，在块模型中由大于或等于边际品位的并且连续的、满足开采条件的单元块形成工业矿体，然后统计资源量。

**B.3** 当品位分布均匀，矿体与围岩又是渐变关系时，采用矿块指标体系的优点更突出；相反条件下，采用常用（双）指标体系的有着显著的优点。

**附 录 C**  
**(资料性附录)**  
**特异值处理合理性检验**

C.1 在大多数的地质问题中，矿体的厚度或矿石的品位（地质变量x）不服从正态分布，但其对数值（即 $y=\ln(x)$ ）趋于正态分布，则称为地质变量服从对数正态分布。

C.2 若地质变量不服从对数正态分布，但 $y=\ln(x+a)$ 服从正态分布（其中a是一个常数），则称地质变量服从三参数对数正态分布。

C.3 服从对数正态分布或三参数对数正态分布的样品一般存在特异值，对此地质统计学有相应的处理方法。特异值处理的合理性可用西舍尔T估值检验（Sichel's T）。

C.4 西舍尔T估值计算公式如下：

$$Z_v^* = e^{\ln Z_v^*} \cdot \gamma_n(\overline{\sigma_e^2}) \dots \dots \dots (4)$$

其中系数：

$$\gamma_n(\overline{\sigma_e^2}) = 1 + \frac{1}{2} \sigma_e^2 + \frac{(n-1)}{2^2 \cdot 2! (n+1)} \sigma_e^4 + \frac{(n-1)^2}{2^2 \cdot 3! (n+1)(n+3)} \sigma_e^6 + \dots$$

式中：

$Z_v^*$ —西舍尔T估值；

$e^{\ln Z_v^*}$ —样品的几何平均值；

$\gamma_n(\overline{\sigma_e^2})$ —西舍尔系数，为一个台劳级数，一般取前三项即可满足精度要求；

$\sigma_e^2$ —对数变换后的样品方差；

n—样品个数。

**C.5 西舍尔估值检验**

西舍尔估值的检验分为如下几个步骤：

- a) 首先对已经处理特异值的样品值取自然对数；
- b) 计算取自然对数后的样品品位平均值和方差；
- c) 将对数平均值返回真值得到几何平均值；
- d) 根据对数变换后的品位方差和样品个数，计算西舍尔系数；
- e) 将几何平均值乘以西舍尔系数得到西舍尔 T 估值。
- f) 当特异值处理后的样品的算术平均值小于并和西舍尔 T 估值接近时，判断特异值处理结果合理。

## 附录 D (资料性附录)

### 对数正态克里格法和指示克里格法的实施步骤

#### D.1 对数克里格法

对数克里格法实施步骤如下：

- a) 对原始样品值取自然对数进行对数变换或三参数对数变换；
- b) 将对数变换后的数据如同普通克里格法一样，计算变异函数，建立搜索椭球体，进行估值；
- c) 将估算值进行反对数运算，反成真值；
- d) 根据对数变换后的样品的品位方差和样品个数，计算西舍尔系数，参见附录 C；
- e) 将反成的真值乘以西舍尔系数得到最后的估值。如采用三参数对数变换，还要从真值中减去第三参数。

#### D.2 指示克里格法

指示克里格法实施步骤如下：

- a) 绘制样品数据的累积频率分布曲线；获取 10%，20%，…，90%等 9 个分位数对应的值；
- b) 分别以这 9 个值为边界值，将原始数据转换成指示值，大于边界值取 0，小于等于边界值取 1，这样一共得到 9 组数据；
- c) 分别使用变换后的指示值，如同普通克里格法一样，计算变异函数，比较相邻边界值之间的变异函数，如参数一致，则合并成一个。建立搜索椭球体，进行估值。分别估算每个边界值下的估值，实际上得到一系列不同边界值下的概率估值；
- d) 将不同边界值下的概率估值乘以落在本区间的变量值的平均值，通过概率加权平均的方法，得到待估值。
- e) 以上采用多个分位数的方法称为多重指示克里格法。如只采用一个 50%的分位数称为中位数指示克里格法。

**附 录 E**  
**(资料性附录)**  
**地质统计学法资源量估算成果**

E.1 应用地质统计学法估算时，提交的电子文档包括：

- a) 地质数据库或电子表格。
- b) 矿化域或矿体的实体（线框）模型文件。
- c) 等长组合样文件。
- d) 块模型文件。

E.2 按照地质勘查规范要求提交的资源量估算所需地质图件外，结合地质统计学法估算资源量的特点，应提供相应的图件包括：

- a) 应分矿化域或矿体的样品品位直方图、累计概率分布曲线图等。
- b) 采用克里格法估算时，应绘制变异函数曲线拟合图。
- c) 资源量估算图包括矿块品位信息和资源量分类。
- d) 分矿体和不同类别作出矿石量或金属量的品位-吨位曲线图。
- e) 局部验证对比图和全局验证曲线图。局部验证的方法是在勘查线剖面图上比较等长度组合后的样品值与相邻块模型估计值之间的相近程度，判断估计的可靠性。全局验证曲线图是沿着指定方向在水平或垂直方向上按照一定的距离划分一系列的区域，分别计算落在每一个区域中钻孔等长度组合样品平均值和块模型估计平均值，分别绘制连线图，通过判断两条曲线的吻合度，判断估计的可靠性。

E.3 在文字报告中应提交的表格包括：

- a) 分矿化域或矿体列出特异值处理结果表。
  - b) 分别列出变异函数估值参数表。
  - c) 分别列出搜索椭球体估值参数表。
  - d) 分别列出资源量分类、矿石类型、品级等汇总表。
-