

矿藏地质建模中变差函数特征及其地质意义分析



徐春华*

江苏省地质局, 江苏南京 210018

摘要: 变差函数是地质统计学中应用的基本工具。以变差函数为工具的现代地质统计学是地质学由定性向定量化发展的产物。变差函数不仅已广泛应用于现代地质矿产资源储量计算, 而且也拓展应用到环境污染描述、元素离子空间迁移变化。变差函数是一套理解和模拟空间变量的一套确定性和统计性的理论工具。以现代地质统计学中最为常用的变差函数为工具, 把变差函数模型按有无基台值分为三大类, 其中第一为有基台值的分为: 球状模型、指数模型、高斯模型和纯块金效应模型; 第二为无基台值的分为: 线性模型、幂函数模型、对数函数模型和立方模型; 第三类为空穴效应模型。对各类模型深入剖析了变差函数空间结构变化与对地质体构成变量之间的数学特征、类型及其相关地质意义, 结合固体矿产、油气资源领域的实际应用实例分析了变差函数应用中稳定性等方面存在的问题, 并给出了自己的认识。认为变差函数在数据量满足一定足够条件和研究对象应用得当时是矿藏地质特征建模中的较有意义的地质定量分析和勾画图形的直观显示工具。

关键词: 地质统计学; 变差函数; 地质意义

DOI: [10.57237/j.res.2023.01.005](https://doi.org/10.57237/j.res.2023.01.005)

Analysis on the Characteristics and Geological Significance of Variation Function in Mineral Geological Modeling

Xu Chunhua*

Geological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China

Abstract: Variation function is a basic tool used in geostatistics. Modern geostatistics using variation function as a tool for the result of the qualitative geology to quantitative geology development. Variation function has not only been widely used in the calculation of modern geological and mineral resources reserves, but also extended to the description of environmental pollution and the spatial migration of elementions. Variogram is a set of deterministic and statistical theoretical tools for understanding and simulating spatial variables. Taking the variogram as a tool which is in the most commonly used in modern geostatistics, the variogram model can be divided into three categories according to the value of the base station or not, the first is the base-station value, which is divided into spherical model, exponential model,

基金项目: 新疆 358 项目《新疆乌恰县阿克塔木-阿克塔什地区矿产地质调查》(12120113045900);
《新疆乌恰县阿克沙热-阿克塔什一带铜金矿调查评价》(T16-2-LQ20).

*通信作者: 徐春华, 726478812@qq.com

收稿日期: 2022-08-02; 接受日期: 2023-03-20; 在线出版日期: 2023-03-28

<http://www.resenvsci.org>

Gauss model and pure nugget effect model; The second is the base-free model, which is divided into linear model, power function model, logarithmic function model and cubic model, and the third is hole effect model. Based on the modern geostatistics is most commonly used for variational function tool, analyses the spatial structure change and the variational function of geological body composition variables between the mathematical characteristics, types and its related geological significance, combined with solid mineral, oil and gas resources in the field of practical application examples of analysis of the variation function application problems of stability, etc, and gives his own understanding. It is considered that variation function is a meaningful tool for geological quantitative analysis and visual display of composition in the modeling of mineral geological features when the data amount meets certain sufficient conditions and the research object is applied.

Keywords: Geostatistics; Variogram; Geological-Significance

1 引言

传统地质建模是确定性建模,而以变差函数为工具的现代地质统计学是地质学由定性向量化发展的产物。地质统计学是以化区变量理论作为基础,以变异函数为主要工具,对既有随机性又具有结构性的变量进行统计学研究的一门学科[1]。地质统计学研究在空间(或时间)域内的变化,把传统地质学的确定性建模和随机变量约束建模高度融合效验发展,是一套理解和模拟空间变量的一套确定性和统计性的理论工具[2, 3]。

2 变差函数特征及空间结构分析

传统数理统计学在地质研究中主要存在 4 个方面的缺陷:①在统计样品品位的频率及其分布时不考虑各样品的空间分布情况,而在实际地质研究中多数地质变量的分布是有时空性的,这点违背了地质变量的空间变化性;②经典数理统计学研究的对象必须是纯随机变量,而地质研究中的许多地质变量并不是随机变量,而是既有随机性又有结构性的变量;③传统数理统计学所研究的变量前提条件都是可以无限次重复试验或大量观察的,但地质变量则是有限的和有条件重复的,例如某矿体在某处取一样品后,严格说来,就不可能在同一地方再次取到样品了;④传统数理统计学一般要求每次抽取样品必须是独立进行的,但地质变量在两个相邻样品中的值不完全独立,往往还有某种程度的相关性。

上述传统统计学的缺陷导致其地质应用受到了一定的局限,而运用变差函数为工具的现代地质统计学在一定程度上使得传统统计学又恢复了生机,其优点总体上体现在 7 各方面:①适应地质变量的特殊性的要求,

把概率统计理论方法加以改造、创新,使之符合地质变量本身的特点,最鲜明的特点就是地质与数学相结合;②最大限度地利用了地质研究中所能提供的各种信息;③不但可以进行样品的整体估计,还可以进行样品的局部估计;④应用地质统计学方法得到的地质变量的精度比传统方法要精确,可减轻系统误差;⑤地质统计学可以用克里格插值的方法直接给出估计精度;⑥应用地质统计学方法和高效的现代计算机结合运算,可以呈现地质变量的科学化、精确化和自动化;⑦地质统计学中的条件模拟可以很好再现变量的空间变化性,在矿产地质、石油工业、污染场调查等应用上已证明是研究储层非均质性的有力工具。[4, 5]

区域化变量是地质统计学所研究的对象,地质参数总体上具有随机函数的特征。区域化变量可以同时反映地质变量的结构性和随机性。利用区域化地质变量在当空间分布的自相关性,就能判断地质变量的连续性和关联性,这也使得地质统计学具有了强大生命力。

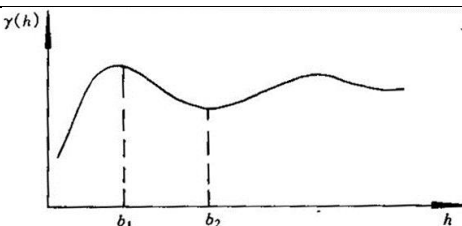
研究矿(储)层参数空间分布的连续性和各向异性,地质统计学中首要工具是变差函数。常见的变差函数理论模型可分为有基台值、无基台值和可有也可无基台值三大类,见表 1 所示;有基台值的分为球状模型、指数模型和高斯模型几类;无基台值分为幂函数模型、对数函数模型、立方模型三类;可有也可无基台值的空穴效应模型和纯块金效应模型四大类。以上几种是有基台值和无基台值的情况,一般认为区域化变量满足二阶平稳假设;若只满足本征假设,则无基台值。

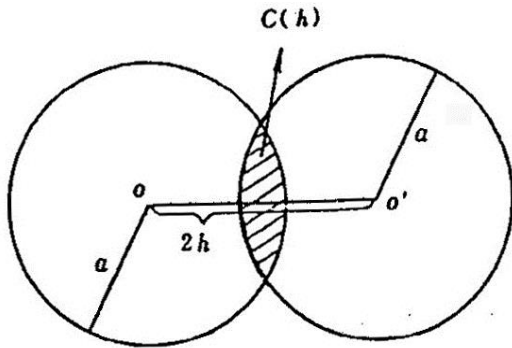
在地质统计学中所应用的变差函数都是理论变差函数。理论变差函数最广为使用的模型就是球状模型(也称马特隆模型),球状模型一般公式为:

$\gamma(h)=C_0+C[2a/3h-h^3/2a^3]$ ，该模型之所以叫“球状”，是因为它们起源于两个半径为 a 且球心距为 $2h$ 的球体重叠部分体积的计算公式。该模型在原点处为线性型，切线的斜率为 $3c/2a$ ，切线到达 c 的距离为 $2a/3$ 。

表 1 变差函数理论模型参数特征表

变差函数模型	数学表达式	变差函数表达式	模型示意图	原点处的形状
有基台值型	球状模型	$\gamma(h)=C_0 + C[2a/3h-h^3/2a^3]$; 变程 a		原点处为线性型，切线的斜率为 $3c/2a$ ，切线到达 c 的距离为 $2a/3$ 。
	指数模型	$\gamma(h)=0$ 和 $\gamma(h)=C_0 + C[1-e^{(-h/a)}]$; 变程 $3a$		原点处为线性型。切线的斜率为 c/a ，切线到达 c 的距离为 a ，在原点处连续性最好。
	高斯模型	$\gamma(h)=0$ 和 $\gamma(h)=C_0 + C[1-e^{(-h^2/a^2)}]$; 变程 $\sqrt{3}a$		原点处为抛线性型。原点处切线平行于 h 轴，与 c 有交点。
	纯块金效应模型	$\gamma(h)=0$ 或 $\gamma(h)=C_0$ 变程 a 可看成无穷小量。		$c=0$ 对任何当 $\gamma>0$ 就能达基台值，该模型只对纯随机变量才适用。
无基台值型	线性模型	$\gamma(h)= C(h)$		原点处为线性型，切线的斜率为 c/a ，切线到达 c 的距离为 $2a/3$ 。
	幂函数模型	$\gamma(h)=ah^\theta$; $0<\theta<2$ 最常用是线性模型，即 $\theta=1$; $\gamma(h)=ah$		$0<\theta<2$ ，最常用的模型是 $\theta=1$ 时的线性模型。 $\theta<1$ 时，曲线上凸。 θ 不能大于 2，否则，幂函数模型就不是条件正定的了。
	对数函数模型	$\gamma(h)=\log(h)$		对数模型可以用来作为正则化变量的变差函数模型。
	立方模型	$\gamma(h) = C(7h^2/R^2-35h^3/4R^3 + 7h^5/2R^5-3h^7/4R^7)$; $0\leq h\leq R$		$h > R$ 时， $\gamma(h)=C$ 。

变差函数模型	数学表达式	变差函数表达式	模型示意图	原点处的形状
空穴效应模型		$\gamma(h)=C_0 + C[1-e^{-(r/a)}*\cos(2\pi[r/b])]$		无论有无基台值都可能出现空穴效应现象，该模型在空间上一般具有特定的方向性。



图中两圆球体相交切割成的阴影部分曲面体积既是球状模型体

图 1 球状模型的变差函数理论模型示意图

以球状模型为例，变差函数一般形式是：

$$\gamma(h) = C_0 + C[2a/3h - h^3/2a^3] \quad (1)$$

式 (1) 实验变差函数中， C_0 、 C 、 a 、 h 是几个主要参数，对于特定模型 C_0 、 C 、 a 是常数； h 是函数式中滞后距自变量，通常计算理论变差函数时它作为步长自变量； C_0 是块金效应常数，表示步长很小时变差函数两点

间关系的变化； C 是拱高； a 是变程，变程 a 反映区域化变量的变化程度，也可以说反映区域化变量的影响范围， $h \leq a$ 时，任两点间的观测值有相关性，且相关性随 h 变大而减小， $h > a$ 时，不具相关性。 $C + C_0$ 称为基台值：反映区域化变量在研究范围内变异的强度，为先验方差。

变差函数的功能及应用主要体现在：1) 变程主要反映了区域化变量的相关程度，在变程范围内区域化变量具有相关性，距离远于变程，区域化变量就不再具有空间内的相关性。3 通过变程 a 反映变量的平面非均质性及砂体范围，；2) 基台值大小反映矿层参数在该方向变化幅度的大小；3) 方向变程图可以反映矿层参数的各向异性，确定物源方向。变差函数的性质具有如下特征：① $\gamma(0)=0$ ；② $\gamma(h) \geq 0$ ；③ $\gamma(-h) = \gamma(h)$ ；④ $[-\gamma(h)]$ 必须是条件非负定的，即若 $\sum \lambda_i = 0$ ，则 $-\gamma(x_i - x_j)$ 是非负定。也就是说只有具备条件非负定的函数才能作为变差函数；⑤ $\gamma(\infty) = C(0)$ 。

变差函数在原点附近处的性状反映了变量在空间连续变化的不同情况，主要可分为以下 4 种模型，见示意图 2。

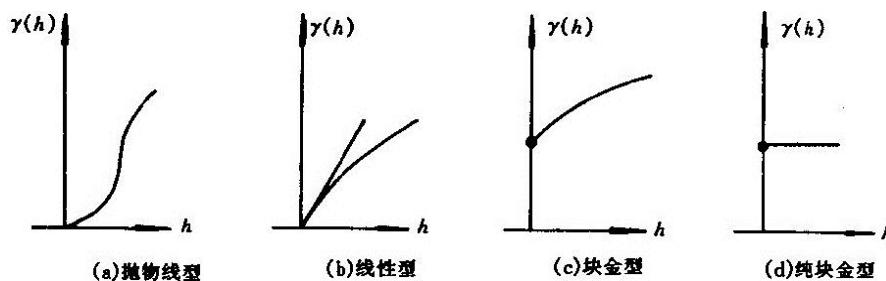


图 2 变差函数在原点处性状模型示意图

在原点处变差函数的性状类似图 2-(a)中呈下凹的抛物线型，其数学函数式在原点连续可导，可近似表达为： $\gamma(h) \sim a |h|^2$ ，当 $h \rightarrow 0$ 时， a 为常数，主要反映了变量连续变化具有渐变的趋势性，一般，针对构造起伏不大平缓、地层断褶不明显的地区，在地质建模过程中选择沉积地层厚度、地层深度等属性做变差函数计算时具有这种模型的空间变量特征。

在原点处变差函数的性状类似图 2-(b)中呈上凸的线型，变差函数在原点处有近似渐近线，其数学函数式在原点附近左、右皆可导但不相等，可近似表达为： $\gamma(\Delta h) \sim a |\Delta h|$ ，当 $\Delta h \rightarrow 0$ 时， a 为常数，变异函数 $\gamma(\Delta h) \sim a |\Delta h|$ 主要反映了变量连续变化具有渐变的趋势性，在矿业地质建模过程中的某种矿物的品位、地球化学元素成分、物探参数指标等很多数据的变差

函数具有这种模型的空间变量特征。

块金型变差函数曲线起点离开原点处一段距离, 起始点在 $\gamma(h)$ 轴上, 类似图 2-(c) 中呈上凸的线段, 快金效应(nugget effect)表示两点间的变化 Δh 很小时, 变差函数计算值与空间范围内没有相关性。其数学函数式表示在原点处的间断性, 可近似表达为: 当 $\Delta h \rightarrow 0$ 时, $\lim \gamma(\Delta h) = C_0$, 主要反映了函数步长小至一定小范围内, 变量连续性很差, 即使很短的小距离内变差值都有很跳跃的改变。当 Δh 大于一定距离范围后, 变量又具有相关性了。

实践证明, 在矿业地质建模过程中的某种矿物的品位、地球化学元素成分、物探参数指标等很多统计数据的变差函数具有这种模型的空间变量特征, 如球状模型、套合模型等, 这是许多情况下人们最惯常使用的有基台值的变差函数模型。

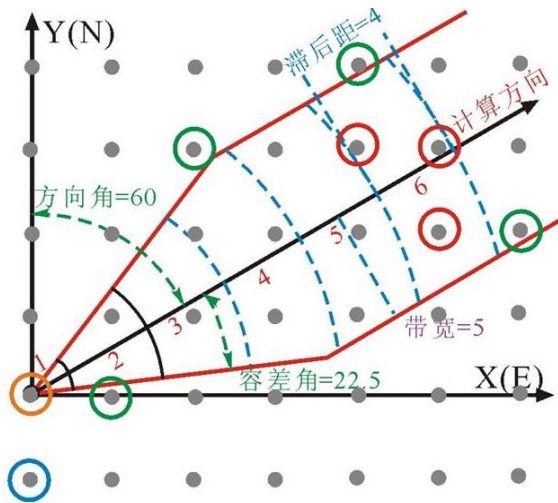


图3 实验变差函数自动计算中的点对搜索示意图

纯块金效应型又叫随机性, 在原点处变差函数的性状类似图 2-(d) 中呈平行横轴的“一”字线形, 其数学函数式在原点处不连续, 可近似表达为: $\gamma(h)=0$ 或 $\gamma(\Delta h)=C_0$, 此时变程 a 可看成无穷小量, $c=0$ 对任何当 $\gamma>0$ 就能达基台值, 该模型只对纯随机变量才适用。如果品位完全是典型的随机变量, 则不论观测尺度大小, 所得到的实验变差函数曲线总是接近于纯块金效应模型。当采样网格过大时, 将掩盖小尺度的结构, 而将采样尺度内的变化均视为块金常数。这种现象即为块金效应的尺度效应。块金效应主要反映了变量变化具有经典概率中的随机性特征, 在地质建模过程中的地层中某些稀疏元素、矿物杂质和矿床中的某些有益指示组分的变差函数具有这种模型特征。

空穴效应模型也是一种常见类型, 当变差函数并非单调递增, 而显示出有一定周期的波动时, 称空穴效应(孔穴效应)。一般而言一个区域化变量的拟周期变化成份, 可作为一种空穴效应出现在变差函数上, 如薄互层沿垂向会显示出一定空穴效应。另外, 区域构造成矿背景下, 与主大断裂呈大致垂直走向分布的雁行式排列的裂隙内部成矿地质元素的变差函数多呈空穴效应特征。如有些煤矿区空穴效应和控制煤层发育的大断层有较为密切的关系。

变差函数是对地质变量空间属性参数随距离变化的一种度量, 无论那种模拟方法都要用到变差函数工具, 变差函数稳定性及敏感性对模拟结果都有着重要影响, 例如: 王根久[10](2005)对 100-250 内井距的油气地下储层单砂体研究表明: 同一小层的同一个变量用不同模型计算得出的砂体尺度大小长变程误差 15%, 短变程误差 25%。

另外还有人用对数半变差函数(Semivariogram of logarithms)来描述, 其意义基本差不多。对一些数据跨度较大的变量该函数式具有描述优势。

3 求取变差函数的计算及分析

区域化变量的参数必须要先进行数据结构分析, 以确定数据变化的范围和数据变量的主峰值特征, 不符合正态分布但取对数后能近似符合正态分布的变量效果较好。概率统计中, 只有对正态总体非常深入的研究, 所研究论证的许多对象特征符合正态分布的统计规律时, 才能满足应用正态分布规律的诸多假设, 正态规律下计算出来的变量特征才是具有代表性的, 因此, 对经验分布偏离正态条件的数据必须进行正态变换[13]。

3.1 计算前的数据准备及计算后的数据正态性分析与转换

结构分析(Structure analysis)。当作出实验变差函数图以后, 最好是用一种合适的理论变差函数来拟合它, 然后就可以对所研究的区域化变量进行分析。但是在实际工作中, 区域化变量的变化性很复杂, 它可能在不同的方向上有不同的变化性, 或者在同一个方向上包含着不同尺度上的多层次的变化性, 因而无法用一种理论模型来拟合它。为了全面了解区域化变量的变异性, 就必须进行结构分析。以下图 4 为马头矿

区钼矿品位分布直方图，从图中可以看出矿段总体以低品味为主，分布特征层偏态。

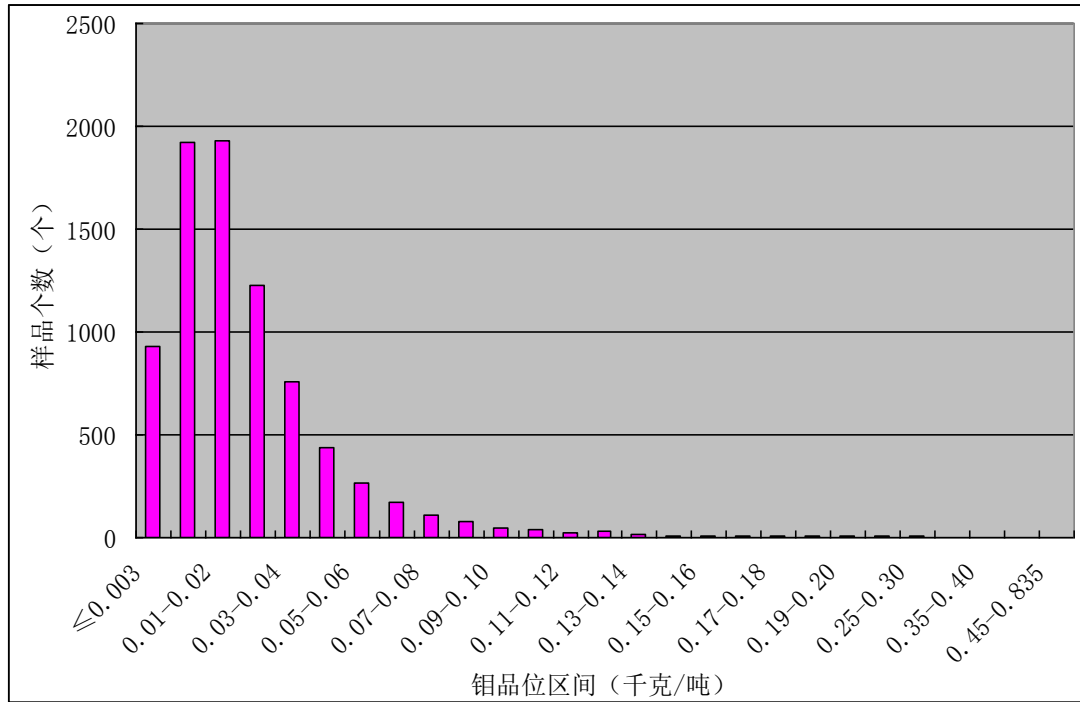


图4 安徽省某矿区钼矿品位分布直方图

正态分布是一种重要的连续型概率分布。正态分布又叫高斯分布，“正态”即“对称的状态”，正态分布是基于一系列重要的统计量建立了形式简约且在计算上可行的小样本理论，为统计推断提供了极大的方便，而在非正态的情况下则没有可比拟的结果。对于变量的连续型数据概率分布呈标准正态分布时，正态分布的两个参数平均值(μ)和标准差(σ)满足三个条件：①是相互独立的；②无论平均值(μ)如何变化都不会改变曲线的形状，即平均值(μ)的变化不会改变标准差(σ)；③无论标准差(σ)如何变化都不会影响数据的分布中心，即平均值(μ)的分布中心不会改变；如标准差(σ)越大，则峰值越低数据越分散，标准差(σ)的大小反映了数据的波动程度。

在统计分析中，一系列重要的统计指标的建立均基于正态假定。但在实际应用中，如果既往的大样本资料已经提示某种观测指标服从正态分布，那么在处理这个指标时，可以直接采用正态假定前提。通常一般研究者为了数据分析简化，常跳过了对所研究变量的正态性检验，而臆断资料满足正态假定，如果恰逢涉及的数值变量并非来自正态总体，就会得到错误的分析结果。常用的正态性检验方法主要有两大类：一是主观判断的图示方法，二是客观量化的统计指标计算辅以检验。

人们在实际统计分析时，在对一个数值变量进行分析之前，可以参照既往基于大样本所推测的变量分布形式，确定正态性假定的合理性。然而，有时既没有基于大样本的变量分布形式定论，也无对正态性假定是否充分合理的把握，这时就只好基于实际的观测数据，实施正态性检验。在处理数据时，当样本数据总体不呈正态时，通常通过适当的正态得分变换(Normal Score)使非正态数据变为“像正态数据”，完成正态得分变换后利用新参数值进行变差函数随机内插计算，生成正态得分变换表，最后再进行可逆数据变换。例如主要针对正偏态数据，首先生成一组正偏态数据，然后通过PP图、QQ图判断y数据分布的正态性，从而找出不足再进行改进。

3.2 利用剖面上矿体长度数据约束计算变差函数

固体矿产和油气资源领域的实际应用中，由于赋矿层(储层)形态的变化，在变差函数应用中稳定性等方面存在的问题，这就需要变差函数的计算数据量满足一定足够条件和研究对象应用得当时是矿藏地质特征建模中的才较有意义，这样据此的地质定量

分析和构图直观显示才会较为可靠。

当勘探进行到某个阶段完成一定了钻孔后, 具备了一定的可用于变差函数计算的数据时, 变差函数的确定就有了分析计算基础。这时, 利用剖面上矿体长度数据约束计算变差函数就可行了。对于固体矿产来说其矿层或矿脉多呈斜列状, 而油气储层多呈水平状, 且钻孔加密前后其水平层状矿体也会局部呈现变化, 这些因素都会对变差函数的计算或分析有一定影响, 这些问题可以利用剖面图上矿体长度数据约束计算变差函数。

4 影响区域化变量变差函数稳定性的地质因素分析

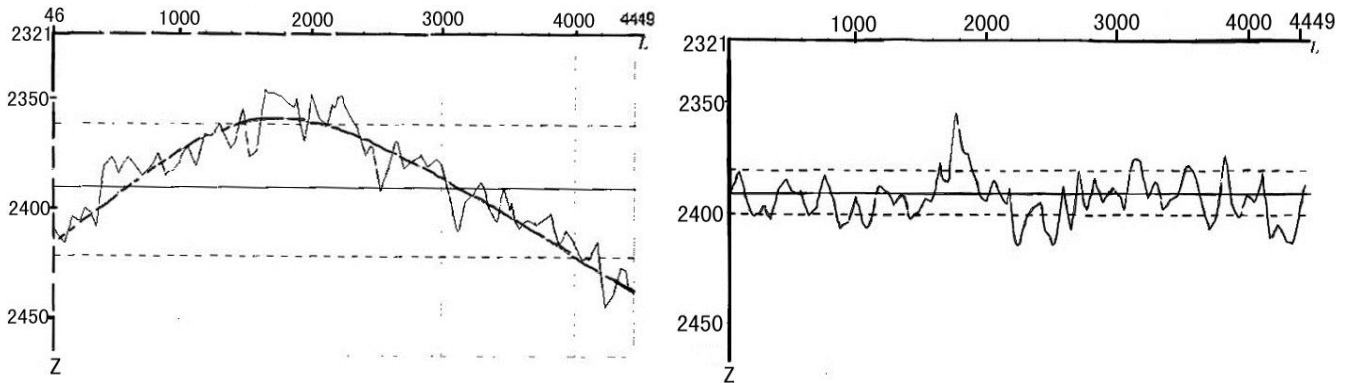
变差函数的功能及应用: 1. 通过变程 a 反映变量的平面非均质性及砂体范围; 2. 基台值大小反映储层参数在该方向变化幅度的大小; 3. 方向变程图可以反映储层参数的各向异性, 确定物源方向。如何求取既能反映地质变量的结构性, 又具有稳健性的实验变差函数, 不仅是原始数据分析的成败, 也是获得可靠、可信模型的关键。

对变差函数特征可以依据研究对象的属性赋予多种地质解释, 例如: 对矿化透镜体的三维变差函数的变程: 如果是层状矿床, 水平方向的变程可能相对较大, 垂直方向的变程可能较小; 如果是竖立或斜立脉状矿床, 则垂直方向的变程可能相对较大, 近水平方向或垂直斜脉体方向的变程可能较小等等。

影响区域化变量变异的因素据侯景儒等人(1987; 2001)研究认为有四种: ①样品取样(岩芯收获率)、实验分析测试误差引起品位变异; ②矿相的过渡和突变引起品位变异; ③矿层-废石的交替、矿化透镜体和围岩之间的交替引起区域化变量间品位的变异; ④岩浆侵入活动、区域构造运动导致的品位变异等。

区域化变量一般为有限个, 其实验变差函数与局部变差函数或多或少都存在着差异, 这种差异性的衡量标准就是误差类型和范围走势。当引起区域化变量变异函数的图形如图 4 时, 则是非稳定性的函数; 如图 5 形状时, 则是可看做稳定性的函数来处理。

变差函数另外一种常用的稳定性分析的方法, 就是考察变程内不同步长的变差函数值是否相同或波动范围超不过一定数额。见图 5。



(据 E.B.科瓦列夫斯基)

图 5 数据分析呈现非稳定→基本稳定的函数示意图(左-非稳定, 右-基本稳定)

图 5 - 数据分析呈现非稳定→基本稳定的函数示意图, 图 5(右)是数据分析呈现基本稳定的函数示意图。区域化随机变量的平稳性既可以借助数学准则来确定, 在一般情况下也可借助直方图用肉眼观察来确定, 如果变量值的直方图接近高斯分布, 那么, 认为所研究的事件是平稳的, 反之, 则是非平稳的[9]。

地质介质随机变量的直方图如果呈双峰状或其他非高斯形式的属性分布, 其特征一定是不稳定的, 因

此, 也不满足基于属性平均值和稳定偏差来做属性预测。通常下, 为了提高变差函数的稳定性, 在初始阶段进行数据特征分析时就要使用正态变换(也叫高斯变换)对数据进行转换处理。图 6 是据 E.B.科瓦列夫斯基[6-8]基于实例做的数据正态分析前后变差函数的稳定性对比, 从图上可看出, 进行正态变换后数据的波动飘逸特征具有趋稳或不趋稳两种。

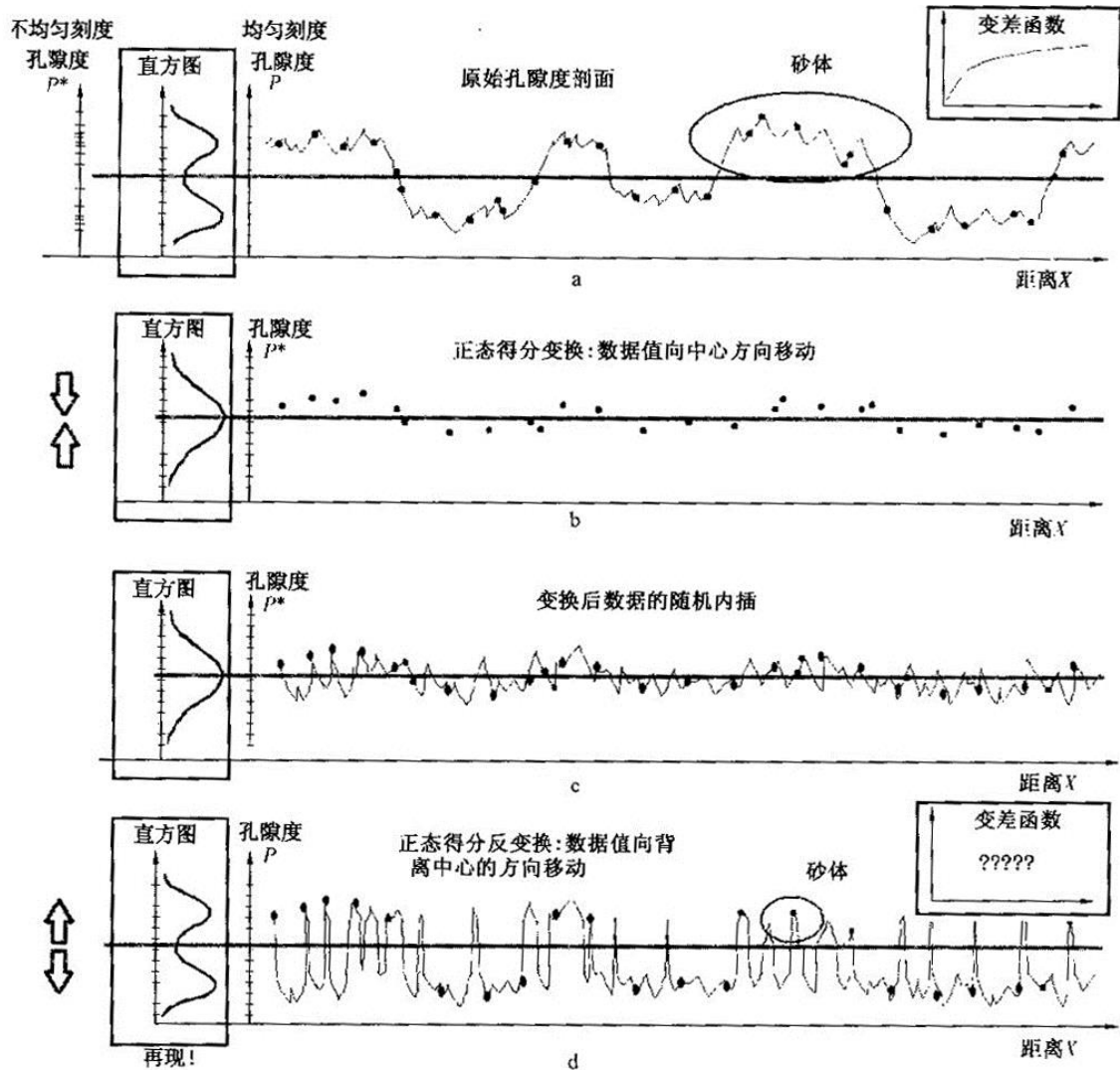


图6 数据正态分析前后变差函数的稳定性对比 (据 E.B.科瓦列夫斯基)

通过应用实践证明,影响区域化变量实验变差函数的因素主要有6种:①勘探间距(勘探线距离、钻孔密度等)或样品采样间距对实验变差函数稳定性的影响;②采样偏差,矿业勘探中的择优采样引起的群聚偏倚现象;③实验分析取样长度、组合的大小;④样品特异值畸变影响,求取变差函数时把样品正常特高值当特异值剔除或实验误差的特异值做为参与分析保留都会引起统计误差;⑤样品数据呈明显偏态(正偏和负偏)分布时的比例效应的影响;⑥不同构造单元、成矿期次、成矿原因导致的数据混合分布对实验变差函数平稳性的影响;⑦几何各向异性时,不合适模型的套合导致的影响[10]。

块金效应的尺度效应:如果品位完全是典型的随机变量,则不论观测尺度大小,所得到的实验变差函数曲线总是接近于纯块金效应模型。当采样网格过大

时,将掩盖小尺度的结构,而将采样尺度内的变化均视为块金常数。这种现象即为块金效应的尺度效应。

固体矿业应用实践证明,影响区域化变量实验变差函数的因素主要有6种:①勘探间距(勘探线距离、钻孔密度等)或样品采样间距对实验变差函数稳定性的影响;②采样偏差,矿业勘探中的择优采样引起的群聚偏倚现象;③实验分析取样长度、组合的大小;④样品特异值畸变影响,求取变差函数时把样品正常特高值当特异值剔除或实验误差的特异值做为参与分析保留都会引起统计误差;⑤样品数据呈明显偏态(正偏和负偏)分布时的比例效应的影响;⑥不同构造单元、成矿期次、成矿原因导致的数据混合分布对实验变差函数平稳性的影响;⑦几何各向异性时,不合适模型的套合导致的影响。

5 变差函数分析在地质找矿中的作用

地质统计学因为不但考虑了矿体品位、厚度,也考虑了区域型变量的空间结构变化,因此,有助于矿产储量的准确计算和评估,优化勘探工程的布置;同时地质统计学对传统的勘探工程布置、采样数量及采样质量也提出了相应的要求。勘探工程布孔时一般考虑到便于以后利用变差函数计算和研究区域化变量的空间结构,计

算过程中消除系统误差,要求尽可能地按规则的网格布置[11]。但勘探工程网格控制矿体较少时,也会出现利用地质统计学方法无法计算储量的情况或精度也很低。

本次数据分析以安徽省池州某镇马头某矿区 38 口钻孔的 8600 多个岩芯钼品位分析数据为例,进行了变差函数分析,从图 7、图 8 的两个变差函数图上可以看出,选择不同步长对变差函数的变成有着较大的影响,具体多长合适要结合具体地质条件根据地质关联性进行优化筛选。笼统地未进行数据分析去计算变差函数或做图,其应用价值将大打折扣。

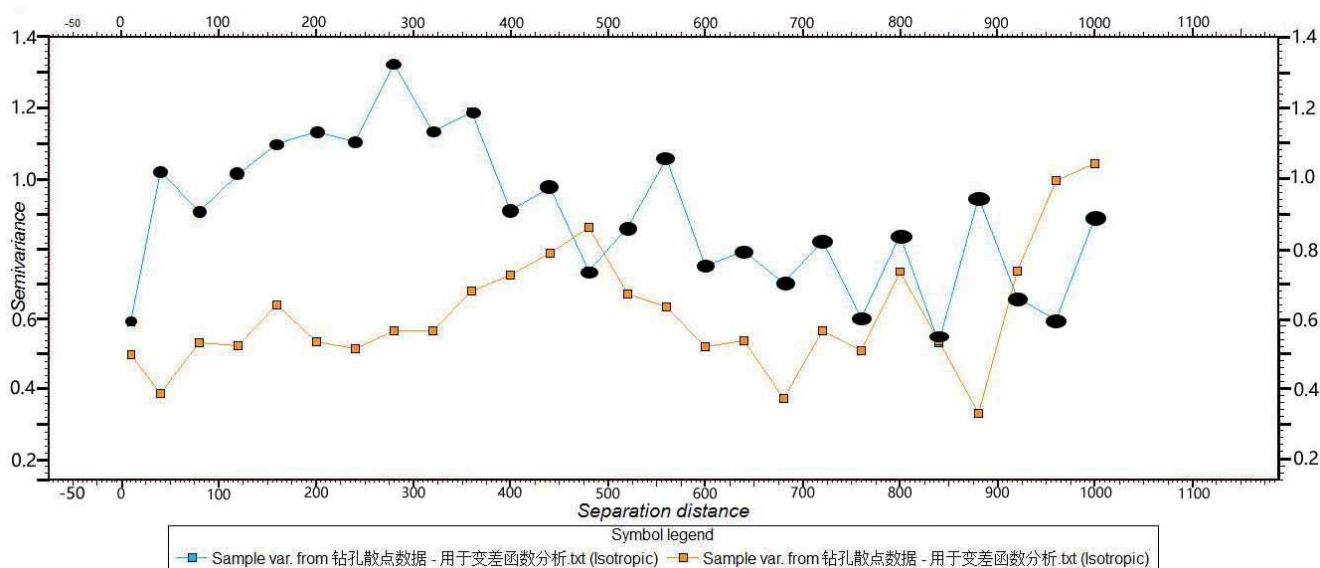


图 7 根据某矿区岩芯钼品位数据做的变差函数分析图

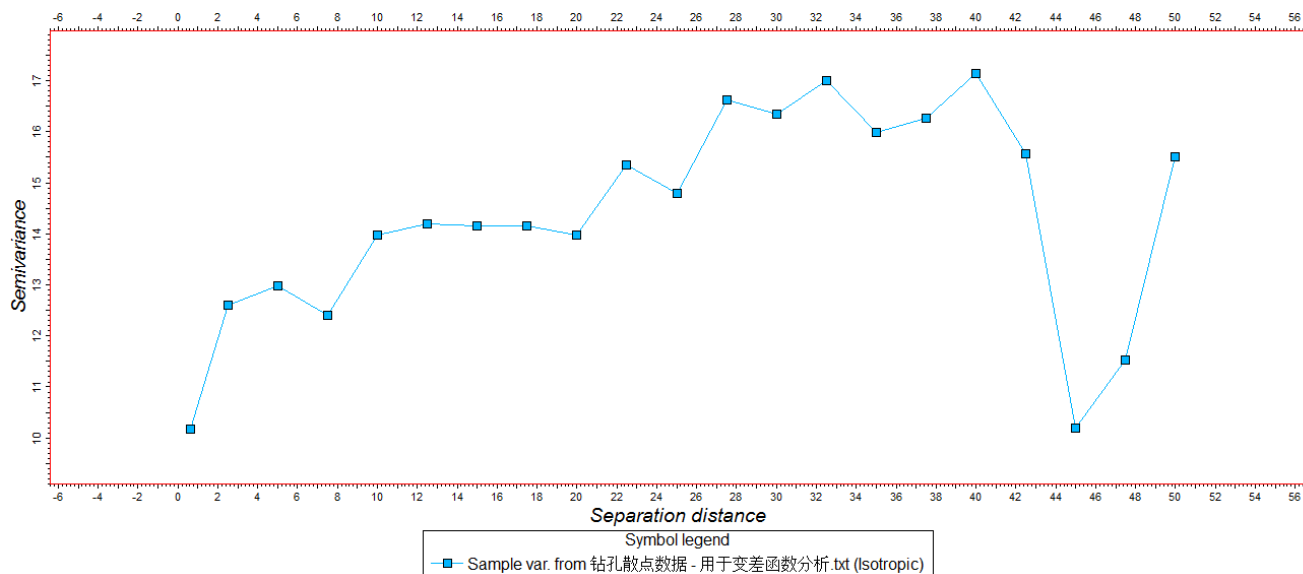


图 8 根据某矿区岩芯钼品位数据变差函数分析

一般各类矿床都有一些勘查规范和工作标准[12], 勘探阶段如何在既能保证最小成本经济地获知储量数据, 又最佳地确定勘探钻孔间距(网度)在勘探初期依据物化探解译成果、各类矿产的矿体规范和类似矿产的工作经验布置钻孔是可行的, 但也需要动态性地跟进, 特别是当有了一定数量的钻孔分析数据时, 变差函数的功能及应用在矿业勘探、开采阶段工程间距的布置上的作用就会凸显出来。有时矿体的真实形态在矿体被“掏空”和开采完成前是很难准确预知的。勘查人员一般选择品位的变差函数变化数据反映空间的模型变化[13, 14]。矿体走向上和倾向上产状的不同变化都对应着变差函数的变化, 需要确定勘探网的形态, 确定勘探工程的间距, 局部地段品位不合理表明着数据严重不足, 需要加密工程块段[15]。

6 结论

- (1) 无论是固体矿产、油气资源领域的实际应用实例分析都表明了变差函数应用是较为有用的, 其应用条件的深入理解或合适与否也影响其稳定性, 变差函数稳定性存在对其应用问题至关重要。
- (2) 变差函数在数据量满足一定足够条件和研究对象应用得当时是矿藏地质特征建模中的较有意义, 其地质定量分析和构图直观显示工具得出的参考价值才较高。

参考文献

- [1] 侯景儒, 尹镇南, 黄竞先等编著. 实用地质统计学 [M], 地质出版社, 1998. 年 12 月北京, 32-46.
- [2] 王家华, 高海余, 周叶编著. 克里金地质绘图技术 [M], 石油工业出版社, 1999 年 5 月北京第 1 版, 84-112.
- [3] 王仁铎, 胡光道著. 线性地质统计学 [M], 地质出版社, 1988 年 11 月北京第 1 版, 34-80.
- [4] 武耀诚, 方长泉, 地质数据处理与微机应用 [M], 地质出版社, 1992 年 10 月: 109-118.

- [5] 李少华, 张昌民, 尹艳树著. 储层建模算法剖析 [M], 石油工业出版社, 2012 年 5 月第 1 版, 12-35.
- [6] (俄) E. B. 科瓦列夫斯基著. 刘应如、曹正林等译, 基于地质统计学的地质建模 [M], 石油工业出版社, 2014 年 9 月北京第 1 版, 13-28.
- [7] 康永尚, 沈金松, 谌卓恒编著. 现代数学地质学 [M], 石油工业出版社, 2005 年 6 月第 1 版, 97-113.
- [8] 师义民, 徐伟, 秦超英, 许勇编著. 数理统计 [M]. 科学出版社, 2013 年 5 月第 14 版, 220-251.
- [9] W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff etl, Applied Geophysics Second Edition [M], Cambridge University Press, 2011, 35 (3): 302-306.
- [10] 王根久, 赵丽敏, 李薇等. 随机建模中变差函数的敏感性研究 [J]. 石油勘探与开发, 2005. 32 (1): 72-75.
- [11] 倪平泽, 铜矿床地质统计学模型构建及其应用模式研究 [D], 中国地质大学博士毕业论文, 2010 年 5 月: 46-82.
- [12] 邹陈, 变异函数对矿体变化性的指示及其在矿床勘探网度优化中的应用 [D], 中南大学硕士毕业论文, 2010 年 5 月: 41-58.
- [13] 徐春华, 张旭东, 汪传胜等. 烃类污染物晕染场地质统计学描述及可视化表征 [J]. 河北地质大学学报. 2021. 44 (5): 107-111.
- [14] 邵毅, 宋震, 倪平泽等. 智慧勘探——云时代的地质勘查革命 [M]. 中国地质大学出版社. 2013 年 9 月第一版: 86-106.
- [15] 刘绍平, 汤军, 许晓宏主编. 数学地质方法及应用 [M]. 石油工业出版社. 2011 年 4 月第一版: 136-194.

作者简介

徐春华

1968 年生, 博士, 副研究员, 高工, 地质资源与矿产专业, 从事地质资源综合研究.

E-mail: 726478812@qq.com