

技术 · 方法

# 变异函数在都龙锡多金属矿床的应用

贾福聚, 秦德先, 黎应书, 胡志军, 伍 伟, 杨晓昆, 张玲燕

(昆明理工大学矿产地质研究所, 昆明 650093)

**摘 要** 变异函数是地质统计学的核心和基本工具。它既能描述区域化变量的空间结构性变化, 又能描述其随机性变化, 变异函数分析是许多其它地质统计学计算的基础。文章在阐述了地质统计学原理和变异函数理论研究的基础上, 运用 Supac 矿业软件, 根据都龙锡多金属矿床主矿体的产出特征, 对该矿区锡、锌品位进行了变异函数分析, 并对分析结果进行了地质解释。

**关键词** 变异函数 地质解译 锡多金属矿床 云南都龙

**中图分类号** P618.44 P628 **文献标识码** A **文章编号** 0495-5331(2008)02-0077-05

都龙锡多金属成矿区位于云南省的东南部(图 1), 是文山老君山花岗岩成矿区的一部分, 具有得天独厚的成矿条件。目前都龙锡矿不仅是全国大型锡、锌生产矿山, 还将可能成为世界上最大的锑生产基地。地质统计学是以区域化变量理论为基础, 以变异函数为主要工具, 研究那些在空间分布上既有结构性又有随机性, 或空间相关和依赖性的自然现象的科学<sup>[1-5]</sup>。作者根据云南省都龙锡多金属矿床的产出特征, 分别沿矿体走向、倾向和垂向, 对锡、锌两种元素进行了变异函数分析。两元素在矿体走向、倾向上的变程较大, 元素的空间连续性好; 在垂向上的变程相对较小, 元素分布的连续性不如另外两个方向; 但是, 两元素在垂向上的块金值都比较小, 说明在矿体垂向上, 两元素品位变化较均匀。

## 1 基本原理

变异函数  $\gamma(h)$  在空间变化区域特性方面, 可以通过其随机性一面, 反映区域化变量的结构性<sup>[6-8]</sup>。区域化变量的结构分析是以变异函数模型为基础的, 也是变异函数的主要功能之一<sup>[7,8]</sup>。通常情况下理论变异函数被定义为:

$$\gamma(x, h) = \frac{1}{2} E\{ [Z(x) - Z(x+h)]^2 \}$$

式中:  $Z(x)$  和  $Z(x+h)$  分别是区域化变量在  $x$  点和  $x+h$  处的值,  $h$  为基本步长,  $E\{ [Z(x) - Z(x+h)]^2 \}$  为方差,  $\gamma(x, h)$  为变异函数。

在实地地质统计中, 区域化变量  $Z(x)$  的变化是相当复杂的, 往往包含各种尺度及层次的变化。反映在变异函数  $\gamma(x)$  上, 就是其结构往往不是单纯的一种结构, 而是多层次的结构相互叠加在一起的, 地质统计学上称为套合结构<sup>[7,8]</sup>。套合结构就是把有效的结构信息或变异性组合起来, 做定量化的概括, 以表示区域化变量的主要特征。其表达式称为实验变异函数, 被定义为:

实验变异函数  $\gamma(h)$  是一个单增函数, 即  $\gamma(h)$  随着  $h$  的增大而单调增加。当  $h$  超过某一个范围(变程  $a$ ) 时, 变异函数  $\gamma(h)$  不再增大, 而是在一个极限值(基台值 sill) 附近上下波动, 经拟合后可以得到变异函数曲线图(图 2)。

图 2 中:  $C_0$  称为块金值;  $C$  称为拱高;  $C_0 + C$  称为基台值(sill);  $a$  称为变程, 当  $h < a$  时,  $\gamma(x+h)$  与  $\gamma(x)$  为自相关关系, 当  $h > a$  时, 自相关消失。

我们对变异函数的应用主要在以下两个方面:

1) 变程  $a$  反映对象的结构变化, 在地质体中表现为元素品位在给定方向上的影响范围, 也可以认为是对该方向上元素连续性的量化表示。

2) 块金值  $C_0$  反映对象的随机性变化, 即地质体中元素品位在给定方向上的突变性。

同时应当注意,  $C_0$  的大小除了受元素分布的不均匀影响外, 还受到样品的间距、记录的错误等主观因素的影响。

[收稿日期] 2007-01-22; [修订日期] 2007-03-26。

[第一作者简介] 贾福聚(1980年—), 男, 2007年毕业于昆明理工大学, 获硕士学位, 在读博士生, 现主要从事综合信息成矿预测工作。

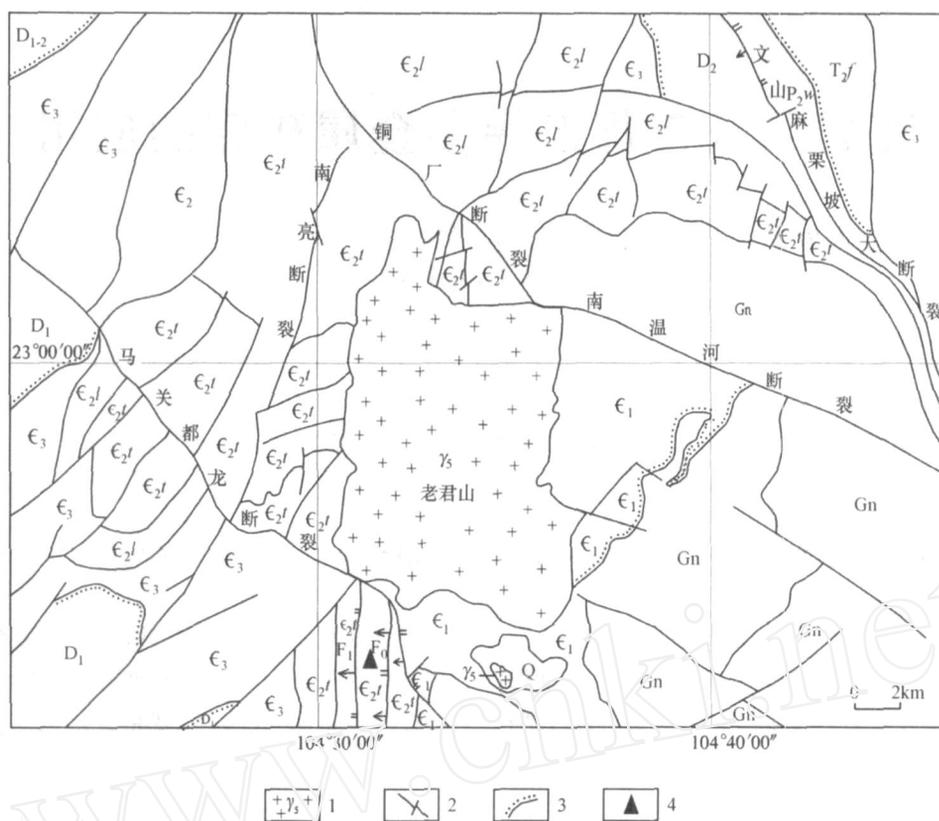


图 1 老君山地区地质略图

Q—第四系; T<sub>2f</sub>—中三叠统法郎组; P<sub>3w</sub>—上二叠统吴家坪组; D<sub>2</sub>—中泥盆统; D<sub>1</sub>—下泥盆统;  $\epsilon_3$ —上寒武统;  $\epsilon_2l$ —中寒武统龙哈组;  $\epsilon_2t$ —中寒武统田蓬组;  $\epsilon_1$ —下寒武统; Gn—花岗片麻岩; 1—白垩纪花岗岩; 2—断层; 3—地质界线; 4—都龙矿区位置

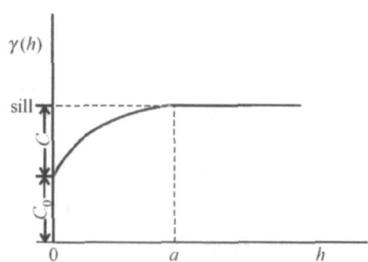


图 2 变异函数曲线图

## 2 矿床地质特征

都龙矿区所在构造单元属华南褶皱系西南角、滇东南拗褶断带、文山马关隆起南端的老君山复式背斜。地质构造复杂,变质岩广泛分布,岩浆活动强烈,成矿以锡、钨、锌、铟著称。

都龙锡多金属矿床矿体产出于中寒武统田蓬组地层 ( $\epsilon_2t$ ),地层走向为近南北向,向西倾斜,倾角  $10^\circ \sim 35^\circ$ ;主矿体顺层产出。矿体的延伸还受到南北向的两条断裂  $F_0$ 、 $F_1$  的控制,  $F_1$  位于西部,  $F_0$  是矿体的东部边界 (图 3)。矿床北临燕山期老君山花岗岩体,下部为隐伏花岗岩,花岗岩富含锡、锌等成矿元

素<sup>[9]</sup>。因此,矿床的形成受到多种地质因素的影响。

## 3 变异函数模拟

### 3.1 数据采集及数据库的建立

三维立体建模的数据来源,主要是矿山以往探、采矿工程中形成的钻孔、探槽及坑道编录。共收集 447 个工程的化验样品约 3.4 万个,工程密度在  $80m \times 40m$  到  $40m \times 40m$  之间,数据整理后,录入 Supac 数据库,建立了化验样品的三维空间数据库。

### 3.2 样品数据统计分析

为了确保信息样品长度的统一性,需要对原样品进行组合,使所有的样品数据落在给定长度的承载上。考虑到数据承载效应,最终选择 1m 为组合样的基本样长,从原始的 447 个工程中,得到锡和锌的组合样数据各 48037 个。样品基本统计表明锡品位均值为 0.158%,标准差为 0.386,变差系数为 2.445;锌品位均值为 1.317%,标准差为 2.580,变差系数为 1.959;锡元素表现为对数正态分布,锌元素为近似对数正态分布 (图 4、图 5)。

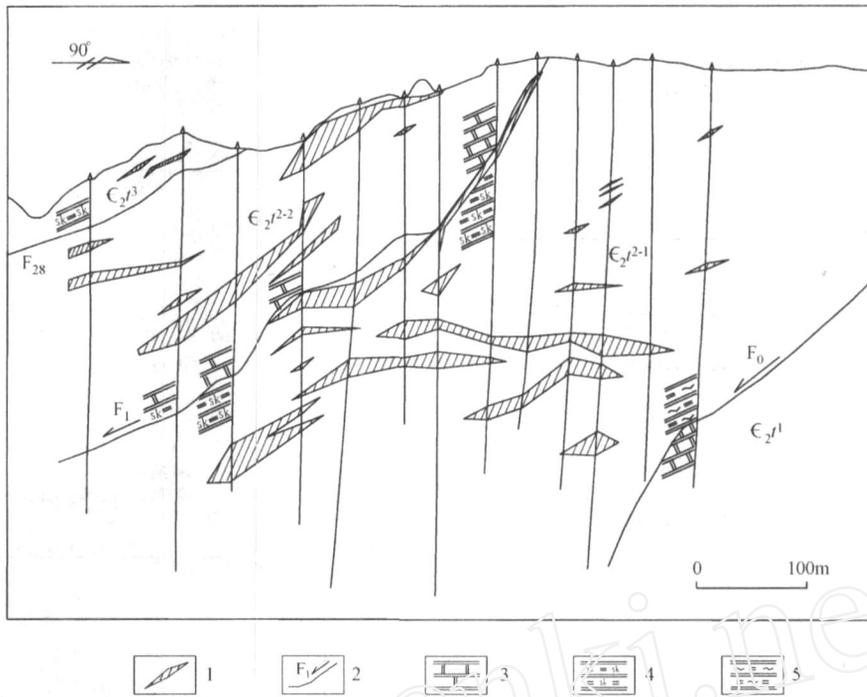


图 3 矿区剖面图

3—中寒武系田蓬组地层; 1—矿体; 2—断裂; 3—大理岩; 4—夕卡岩; 5—片麻岩

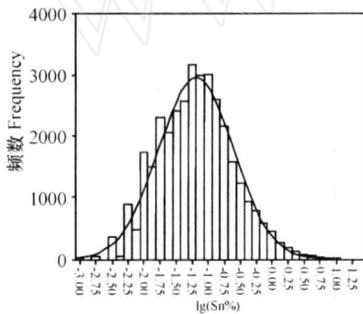


图 4 矿体 Sn 品位组合样统计分布图

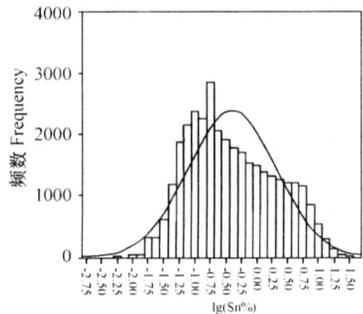


图 5 矿体 Zn 品位组合样统计分布图

### 3.3 分析方向的确定

在地质体中,不同方向变异函数分析的结果是不同的,即变异函数实地分析的各向异性。作者

在分析了主要矿体的产出特征后,认为沿矿体走向、倾向和垂向进行变异函数分析,具有重要意义。通过对矿区各类图件的量测,矿体走向为北向 0°;向南倾伏,倾伏角为 7°;状态稳定;矿体倾向 270°;主矿体倾角在矿体中部约 30°;南北两端略缓,通过对建模区 34 个东西向剖面主矿体倾角统计分析,取其平均值为 28°;矿体垂向方位 90°;倾角定为 62°。

### 3.4 变异函数分析及检验

在 Supac 矿业软件环境下,输入分析方向和分析基本间距(滞后),就可以对组合样品位值的三维空间数据,进行变异函数分析,得到元素在各方向上的实验变异函数。实验变异函数分析结果,为每整数倍个滞后所对应的实验变异函数值,显示为一组数据点(图 6)。

对实验变异函数采用加权多项式回归法进行拟合,拟合时以数据对的个数为权,采用球状模型法,主要考虑到原点距离在变程以内的点进行拟合。原实验变异函数不易拟合时,对其对数变异函数进行拟合。拟合后得到锡、锌元素在走向、倾向和垂向上的变异函数图像(图 6),三个方向分析结果见表 1。

变异函数拟合后,交叉检验其正确性是十分必要的。常用的检验方法有离散方差检验、交叉验证等。我们运用 Supac 提供的方差检验法,其原理是用变异函数分析结果,对已知数据运用其周围的数

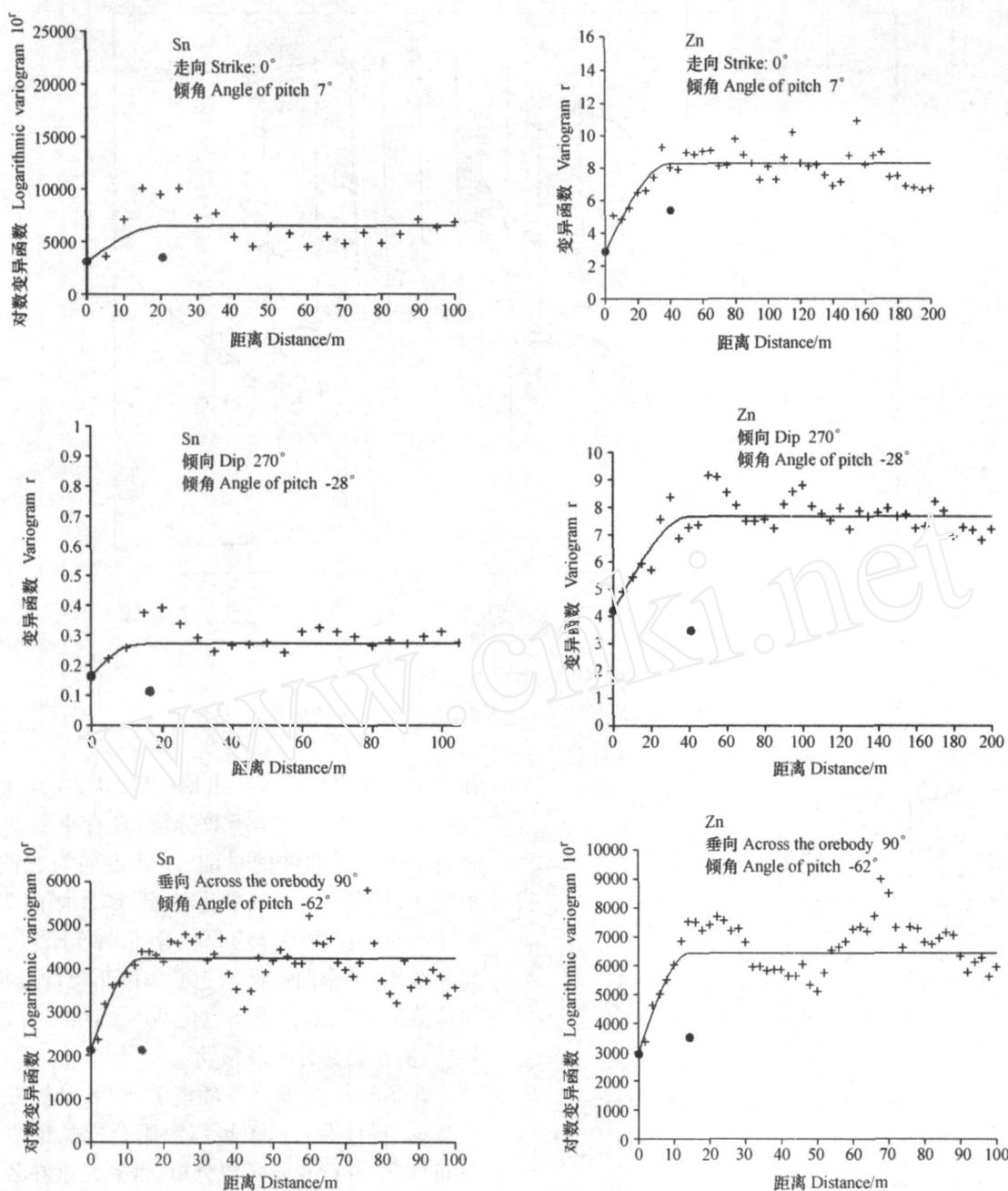


图 6 Sn、Zn(对数)变异函数图像

表 1 锡、锌元素变异函数分析结果

| 参数   | 块金值 $C_0$ | 拱高 Sill | 变程 Range/m |
|------|-----------|---------|------------|
| Sn走向 | 2.234     | 2.289   | 20.581     |
| Sn倾向 | 1.667     | 0.202   | 16.419     |
| Sn垂向 | 0.124     | 0.124   | 13.876     |
| Zn走向 | 2.872     | 5.414   | 40.116     |
| Zn倾向 | 4.199     | 3.471   | 41.162     |
| Zn垂向 | 2.769     | 2.847   | 14.359     |

据进行克里格估值,并把估值结果与原始值进行比较。结果显示,Sn的克里格残差均值为 0.0021、Zn 为 0.0015,二者均接近于 0;实际克里格方差与理论

克里格方差的相对误差: Sn为 7.06%, Zn为 2.32%,二者都小于 15%。证明用该组变异函数曲线参数对组合样品位进行估计,满足区域化变量的内蕴假设,这就验证了该变异函数的模拟是正确的。

#### 4 地质解译

文章地质解译的方法是,结合矿区地质特征,针对变异函数分析结果进行相同元素的组内对比,并结合 Sn、Zn两元素的分布特征进行相互对比印证。解译结果包括以下 3个方面。

1) 锡、锌品位分布的连续性

通过对各方向变异函数的变程值的观察对比可知,锡、锌两种元素分布,在走向上都有较大的变程,元素空间分布具有较好的连续性;锡在倾向上连续性开始降低,而锌元素在倾向上仍然有较大的变程;在垂直矿体方向上,两种元素的变程都很小,加之矿体的垂向与地层的垂直方向一致,这就反映了矿体产出受地层层位控制的特征。

### 2) 锡、锌品位分布的突变性

通过对块金值的观察对比可知,锡元素在走向上的块金值最大,说明锡元素在走向方向元素品位分布的突变性大,即锡元素在该方向品位值波动较大;锡元素在倾向上的突变性次之,垂向最小。锌元素在倾向上的突变性最大,走向上次之,垂向上也是最小的。两元素在矿体垂向上块金值都出现了最小值,这就说明锡、锌元素品位值在矿体垂向上是均匀变化的,由于矿体顺层产出,这就反映出成矿元素的富集有逐层均匀变化的特征。

### 3) 量的分析

锡元素的最大变程为 20.581m, 锌元素为 41.162m。根据勘探网距只有小于变程时,才能控制住矿体的变化,通常网距为变程的一半的要求<sup>[10]</sup>。原勘探工程设计 80m × 40m 到 40m × 40m 之间,不能达到储量精确计算的要求,如果把勘探网距定为 20m × 10m,将是比较理想的。

## 5 结 论

通过变异函数分析及地质解译,我们对都龙锡多

金属矿床成矿元素的空间分布规律有了更深的了解,元素沿走向和倾向表现出了较强的连续性,并且在地层层序中表现出了为逐层均匀变化的性质。可以推测,该矿床成矿作用的强弱很可能是逐层连续变化的。根据两元素的变程大小,20m × 10m 的勘探网距,能够达到较高的储量控制。

### [参考文献]

- [1] Webster Application of geostatistics to spatial studies of soil properties[J]. Advance in soil Science 1985, (3): 1 - 70
- [2] Issaks EH, Srivastava R M. An introduction to applied geostatistics [M]. New York: Oxford University Press, 1989: 40 - 66
- [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: 1 - 439.
- [4] 秦德先,燕永锋,洪托,等. 矿床数学经济模型 [M]. 昆明:云南科技出版社, 2001: 5 - 43.
- [5] 秦德先,洪托,田毓龙,等. 广西大厂锡矿 92 号矿体矿床地质与技术经济 [M]. 北京:地质出版社, 2002: 135 - 198
- [6] Clark I Practical Geostatistics[M]. London: Appl Sci Publ, 1979: 1 - 129.
- [7] Michel David Geostatistical ore reserve estimation [M], New York: Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam Oxford New York, 1977: 91 - 174.
- [8] Journel, AG, Huijbregts CJ Mining Geostatistics [M]. Academic Press, New York, 1978: 78 - 81.
- [9] 晏建国. 云南都龙锡多金属矿床及厚大矿体控矿地质特征 [J]. 西南矿产地质, 1992, (3): 26 - 31.
- [10] 王仁铎,胡光道. 线形地质统计学 [M]. 北京:地质出版社: 1998, 8 - 181.

## APPLICATION OF VARIOGRAM IN THE DULONG TIN POLYMETALLIC DEPOSIT

JIA Fu - ju, QIN De - xian, LI Ying - shu, HU Zhi - jun, WU Wei, YANG Xiao - kun, ZHANG Ling - yan  
(Institute of Geology and Mineral Resource, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

**Abstract:** Variogram is the core and basic tool of geostatistics, and can describe spatial structure and random changes of regional variable. Variogram analysis is the foundation of many other geostatistic calculations. Using Supac software and based on occurrence of main ore bodies in the Dulong tin polymetallic deposit, Variation function of tin and zinc grades is analyzed, and results are explain geologically.

**Key words:** Variogram, geological explanation, tin polymetallic deposit, Dulong, Yunnan province