

## 地质

## 地质统计学在地质及矿业中的应用与发展

秦来勇

(柳州华锡集团铜坑矿, 广西 南丹 547207)

[摘 要] 地质统计学是结合地质学、统计学的交叉边缘学科,是数学地质的一个分支。本文通过阐述地质统计学的基本原理,结合实例分析了地质统计学理论、方法在地质及矿业中的应用现状及应用特点,并展望了它的发展方向。

[关键词] 地质统计学;地质及矿业;应用;发展

[中图分类号] TD163 [文献标识码] B [文章编号] 1002-8943(2002)06-0104-03

## 1 前言

地质统计学是结合地质学、统计学的交叉边缘学科,它是以区域变量理论为基础,以变异函数为主要工具,采用不同的克里格方法,研究那些在空间上既有随机性又有结构性的自然现象的学科。因此,只要是研究空间分布数据的结构性和随机性,并对这些数据进行最优无偏内插估计时,均可应用地质统计学理论及其相应方法。在矿业工作,尤其是矿山地质工作中,经常要研究的问题是:查明矿床成矿的控矿因素;了解矿化的空间分布规律;制定合理的勘探或取样网度;查明矿体中有用、有害组分或矿体厚度的空间分布模型;确定矿床总体储量的估计量、局部块段储量的估计量以及估计引起的误差等,诸如此类问题均可借助地质统计学的理论、方法进行研究。

## 2 地质统计学基本原理

## 2.1 区域化变量理论

区域化变量是指以空间  $X$  点的三个直角坐标  $(X_u, X_v, X_w)$  为自变量的随机场  $Z(X_u, X_v, X_w) = Z(X)$ 。对它进行一次观测后就得到了它的一个现实  $Z(X)$ ,它是一个普通的三元实值函数或空间点函数。区域变量具有以下几种属性:空间局限性;连续性;异向性;相关性只在一定的范围内存在;特殊的变异性可以叠加在一般规律之中。

## 2.2 变异函数及结构分析

(1) 变异函数。在实践应用中,取样数是有限的,我们常把用有限实测样品构成的变异函数称为试验变异函数,记为  $\hat{\gamma}(h)$ ,即

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (1)$$

(2) 结构分析。区域化现象的结构化分析在于构造一种

变异函数的模型,通过一定的运算方法来表征区域化变量的主要特征。常见的变异函数模型分为有基态和无基态模型。在这两类中又分有若干小类(见表1),目前,在矿山上应用最广的球状模型。

(3) 变差图的最优拟合及结构模型的检验。

表1 变异函数理论模型

	原点处为线型	球状模型及指数模型
有基态模型	原点处为抛物线型	高斯模型
	原点处为间断型	纯块金效应模型
无基态模型	幂函数模型	对数或代维依模型
	线性模型	抛物线型
	可以有基态或无基态模型	孔空效应模型

## 2.3 克里格法

克里格法是一种求线性最优无偏内插估计量的方法,具体地说,就是在考虑了信息样品的形状、大小及其与待估块段相互间的空间分布位置等几何特征以及品位的空间结构之后,为了达到线性无偏和最小估计方差的估计,而对每一样品分别赋予一定的权系数,最后进行加权平均来估计块段品位的方法。

## 3 地质统计学在地质及矿业中的应用

## 3.1 地质统计学的应用

地质统计学是数学地质的一个分支,通过几十年的不断发展,目前已初步形成了一套较完整的理论体系和基本工作方法,编制了一整套有实效的程序包和程序库,建立了地质统计学范畴的地质矿产数据库。国内外已将地质统计学与贝叶斯统计(Bayes statistics)数学形态学、模糊数学、自回归、时间序列分析、分数维等相结合研究出许多新的方法。在地质统计学的理论及方法基础上开发了许多成熟的应用软件。如美国开发的矿床建模软件包(Deposit modelling System),功能上可覆盖矿山地质设计的全过程;而 MICL(英国矿业计算机有限公司)开发的 DATAMINE 软件包则集地、测、采于一体。

[作者简介] 秦来勇(1975-),男,地质勘探,助理工程师,在柳州华锡集团有限公司铜坑矿地测科工作。

目前,地质统计学在地质、矿业上主要应用于以下几个方面:

(1) 矿产资源的品位估计及储量计算。涉及的矿种有:铁、铜、金、银、钨、锡、铅、锌、铀、铬等金属矿产以及煤气、煤田、磷矿等非金属矿床。许多实例证明,用地质统计学方法计算储量有其独到之处。为了提高计算精度,应用地质统计学方法时还可以采取其他的方法。例如,在脉状金矿床的储量计算中及技术经济评价中,对于那些垂直方向延伸很大的矿体,且厚度变化大,勘探网度稀,若用传统地质方法即米百分数圈定矿体,其富品位工程样品常使平均品位偏大,为了消除由此而产生的误差,采用指示克立格法圈定矿体,普通克立格法算出指示克立格法圈定的矿体界限的矿体的平均品位,或用协同克立格法来圈定矿体并给出其平均品位。用这种方法计算出的储量及参数进行矿体的技术经济评价,效果良好。另有一例子,利用指示克立格法进行磷的含量的模拟及三维空间分析。通过不同方向的半变异函数的计算,判别出 P 的来源,并通过 SICS(the Sequential Indicator Conditional Simulation)法来估算 P 的含量,取得良好的效果。该法还可以用来估计比当前层的钻孔要低的任意中段的 P 的含量。在矿床储量计算及预测中,经常要作吨位—品位曲线。应用地质统计学方法做出的吨位—品位曲线,不但可以求出对应于任一边界品位的矿石吨位,进行经济标志分析,而且还可以检验和改进金属矿床的分类,预测可能存在的矿床。在煤层资源储量计算中要计算不规则地段面积。采用几何学原理,对数据进行扫描,即可快速、精确地计算出总面积。

(2) 地质统计学成功地应用于物化探数据处理异常评价。例如,中国地质大学研究并开发的一套在 windows 平台支持下的,应用于区域地球化学方面的地质软件。该软件具有以下特点:首先,它可以进行数据的预处理(尤其是对特异值的处理具有合理的方法);其次,在 windows 平台下,具有一个漂亮友好的界面,用户可以通过键盘或鼠标来进行选择或操作;第三,通过人机对话的方式来决定球状半变异函数模型的参数(C0, C1, C2, A),用户可以增加或减少某组数据,从而消除由于其它一些原因所造成的一定误差,从而使其更合理;另外,该软件还可以提供二维模拟。并已成功应用于中国南方南岭地区的区域地球化学的研究,用不同的方法取得了许多有用的信息。

(3) 在矿产资源预测及找矿勘探的各个阶段都可应用地质统计学。例如,应用泛克立格法、对数正态地质统计学、因子克立格法等处理各种地质数据;在缩小找矿范围、圈定有利成矿远景区、确定最优勘探网度及网形,定量划分矿石储量级别等方面均有成功的实例。

(4) 地质统计学成功地用于水文地区及工程地质研究之中。例如,美国斯克里波斯海洋研究所的 Vte Herzfeld 应用克立格法编制海底等深线图,取得了良好结果。

### 3.2 地质统计学在有色矿山应用的一个实例

广西大厂铜坑锡矿是大厂矿田的主体矿床,也是全国著名的锡金属属矿山之一。由于矿床规模大且地质特征复杂,矿山地质工作难度相当大,使用传统的地质方法动态圈定矿

体工作量相当大。1997 年开始,广西大厂铜坑锡与昆明理工大学联合开展专题研究,以地质统计学为理论基础,采用 Visual Basic 为开发工具开发了适合 92<sup>#</sup> 矿体、细脉带矿体实际的矿床建模软件包。采用岩性建模,对矿体不同产状部分进行估值,计算出最小块段的品位、储量。应用变异函数对矿山三大矿体的生产勘探网度及勘探线方向进行分析,最终确定 92<sup>#</sup> 及 91<sup>#</sup>、细脉带三个矿体,矿体分别采用南北和北西向勘探线方向。应用矿业经济的理论和方法,对矿床进行定量综合评价;应用计算机编制地质图件并进行成矿预测。实践证明,通过使用地质统计法的工作方法,为矿山在 92<sup>#</sup> 矿体生产探矿中指明方向,减少了盲目投资,节约了几千万元探矿成本。同时,在运用成矿预测成果指出的成矿方向内成功探获 30 余万吨高品位锡富矿资源,探矿成果潜在价值超过 1 亿元人民币。

### 3.3 地质统计学应用特点

地质统计学在矿业中已广泛应用,归纳起来,它有如下特点:(1) 地质统计学不是简单地把概率统计理论、方法直接搬到地质采矿领域中来套用,而是从地质、采矿实际出发,根据矿床地质变量本身的特点选择合适的数学概念、理论、方法,并加以改造、创新,使之适应地质——矿业生产特殊性的需要。

(2) 它可最大限度地利用勘探工程所提供的各种信息。比如在用克立格法估计矿床中某块段的平均品位时,不仅考虑了块段范围内的样品数据,而且还考虑了落在块段外的邻近样品的数据;不仅考虑待估块段与信息样品之间位置关系,同时还考虑各信息样品彼此之间的空间位置关系;除了考虑上述几何因素外,还考虑品位空间分布的结构特征。

(3) 它既可进行储量的整体估计,又可进行储量的局部估计。传统的储量计算方法提供的只是若干个勘探块段的储量。而用地质统计法可分别算出矿床中所有不同面积开采块段的品位和储量。这样,就能更好地满足矿山设计的需要,并有利于矿床地质勘探、矿山设计和开采三个阶段的相互衔接。

(4) 它能在开采前定量给出估计精度(克立格方差)或储量精度(SD 储量算法)。而使用传统的储量计算方法只能以两种方法的结果对比得到相对误差,或与开采结果对比得出误差。

(5) 它与计算机相结合,不仅可实现储量计算的自动化,还可以节省时间、人力,从而提高储量计算的质量。

(6) 地质统计学中的条件模拟可很好地实现变量的变化性(波动性)。这既可模拟矿床、矿体,又可模拟矿山开采过程,同时也为矿业设计、开采最优化提供了定量依据。

(7) 地质统计学方法可为计算机自动成图和分块拼图提供有力的工具和方法。

(8) 地质统计学能适应地质勘探、矿山开采的现代化(自动化)管理,在经济条件和开采方法上有很强的应变能力。

## 4 地质统计学的发展方向

由于地质统计学在地质、矿业领域的作用日益加大,相

各部门的科研人员必将进一步加强研究,预计该学科在以下方向有所发展:

(1)线性地质统计学是地质统计学的基础,科研部门将会对其加强研究,使之不断完善。

(2)非参数地质统计学、非线性地质统计学、稳健地质统计学、条件模拟及多元地质统计学等地质统计学新理论、新方法的研究和应用将会得到进一步发展。

(3)地质统计学的应用领域将会扩大,除在地质、矿业领域外,其在环境科学、农田水利、土壤科学等领域也将会发挥巨大作用。

(4)地质统计学程序系统和绘图系统将会进一步完善,更智能化。

(5)地质统计学、数学、计算机、地质及勘探、矿山地质、矿山开采及经济学等方面之间联系将更密切。

#### [参考文献]

- [1] 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.
- [2] 孙洪泉.地质统计学及其应用[M].徐州:中国矿业大学出版社,1990.
- [3] 徐振邦等.数学地质基础[M].北京:北京大学出版社,1990.
- [4] 秦德先等.矿产资源的充分合理利用与矿床数学经济模型研究[J].矿产与地质,2000,14(3):143-145.
- [5] 中国地质学会地质专业委员会.中国数学地质[M].北京:地质出版社,1990.

(上接第 89 页)

表2 两段煤气发生炉用燃料指标

项 目	挥发份 / %	灰份 / %	水份 / %	固定碳 / %	发热值 / kJ kg <sup>-1</sup>	灰份熔点 /	自由膨胀指数	罗加指数	粘结指数 G	粒度 / mm
指 标	25~40	<14	10	>50	>23 000	>1150	<2.5	<20	30	15~60

表3 两段煤气发生炉主要技术指标

项 目	床能力 / kg · (m <sup>2</sup> h) <sup>-1</sup>	气化效率 / %	热效率 / %	渣含碳 / %	空气单耗 / m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup>	蒸汽单耗 / kg m <sup>-3</sup>	电耗 / kW h m <sup>-3</sup>	水耗 / kg m <sup>-3</sup>	煤气热值 / kJ m <sup>-3</sup>
数 据	354	>75 %	>90 %	<15 %	2.1	0.2	0.0075	0.7	6200~6600
项 目	炉底鼓风 压力/ Pa	空气饱和 温度/	加煤量 / t h <sup>-1</sup>	上煤气温度 /	下煤气温度 /	上煤气压 / Pa	下煤气压 / Pa	灰层厚度、 火层厚度/ mm	料面高度 / m
数 据	<4500	50~65	2~2.5	100~200	550~700	400~800	800~1500	300~500	2.0~2.5

## 5 经验总结

### 5.1 强化安全设计

由于煤气具有易燃易爆性,应该在上煤气隔离水封上和煤气总管末端设置放散系统,在炉底鼓风管道内安装有逆止阀;鼓风机应配置二套系统,开一备一,并在供电方面考虑两路供电,与竖罐炼锌的焦结烟气风冷凝废气洗涤机互为联锁。

### 5.2 严把筑炉质量

两段煤气发生炉内砌体结构较为复杂,粘土砖砖型多达112种(另有4种高铝砖),且多数为异型和特异型砖。加上炉体高度较高,炉内装燃料达60 t以上,对炉体筑炉及质量要求较严。为了保证砌筑质量,砌前必须逐层预安装,每层砌体水平误差不大于3 mm,总体砌完后要对所有气体孔道进行清扫以保证通畅。

### 5.3 选择不粘煤种

由于两段煤气发生炉比固定床单段炉增加了干馏段,除对燃料的粒度、发热量、灰熔点、机械强度等常规指标要求外,还需对衡量粘结性和膨胀性的粘结性指数、罗加指数和自由膨胀指数几个指标作重点考虑。目前竖罐炼锌行业中的两段煤气发生炉基本采用不粘性或弱粘性的烟块煤作为燃料。在建材、机械等行业以进口两段煤气发生炉为原型改造研制成的两段煤气发生炉所选用的燃料种类还有长焰煤和部分老年褐煤,如山东龙口褐煤、黑龙江东宁褐煤等。但

总体来说,两段炉要比单段炉的燃料种类选择范围要小,特别是竖罐炼锌企业,基本以山西大同煤为主要选择,在新煤种选型方面还需进一步试验。

### 5.4 注意环保及安全

煤气中的高温裂解焦油、煤粉颗粒及酚氰分解物应该进行回收。其中的焦油和酚氰分解物可设焚烧炉就地焚烧处理。竖罐炼锌的连续性很强,后续蒸馏炉和精馏炉会因为煤气供应不足而引起温度波动,严重时会造成碳化硅炉体开裂。应该注意清理方式。另外从管道清理出来的焦油由于夹杂有大量的煤粉成分,无法直接利用,对环境影响较大,应该采取加热融化过滤提纯焦油外卖。

## 6 结论

从生产实践证明,两段煤气发生炉操作简便,煤气热值高、热效率高,产气量大,可方便调节,对环境污染少等优点,特别是近十年国内新建的竖罐炼锌企业,无一例外的都采用两段煤气发生炉取代旧式的固定床单段炉。可以说,两段煤气发生炉在竖罐炼锌企业的生产是成功的。

#### [参考资料]

- [1] 朱大均.两段炉的干馏设计适用条件和性能评价.中国动力工程学会工业煤气专委会九六年论文集,1996,8.
- [2] 葫芦岛锌厂.柳州锌品厂竖罐炼锌工程初扩设计.1990,10.
- [3] 葫芦岛锌厂.曲靖创苑锌厂竖罐炼锌工程初扩设计.1998,7.
- [4] 高云岁,秦佑巨.两段式煤气发生炉设计与应用.有色科技,1996,1:32~38.