

# 最优估值方法在 DIMINE 软件中的实现及应用

冯兴隆<sup>1,2</sup>, 李 德<sup>1,2</sup>, 李剡兵<sup>3</sup>, 吴东旭<sup>1,2</sup>, 汪德文<sup>1,2</sup>, 李云峰<sup>3</sup>, 王 毅<sup>3</sup>

(1. 玉溪矿业有限公司, 云南 玉溪 653100)

(2. 玉溪矿业矿山研究院, 云南 玉溪 653100)

(3. 会东鑫联矿业有限责任公司, 四川 会东 615200)

**摘 要:** 最优估值方法以矿床矿化的各向异性为出发点, 采用地质统计学方法通过变异函数依据已知样品点对未知点进行品位估值。由于该方法考虑了矿床矿化各向异性的实际, 更能真实反映矿床的矿化特征, 其估算结果更接近于矿床的真实品位。最优估值方法改变了传统复杂的求体积、体重的储量计算方法。本文通过某铜矿山为例, 介绍了在 DIMINE 软件中应用最优估值方法进行品位估计的实现步骤。

**关键词:** 最优估值方法; DIMINE 软件; 品位估计

中图分类号: TP31 文献标识码: A 文章编号: 1006-2602(2011)02-0012-05

## IMPLEMENT AND APPLICATION OF OPTIMAL VALUATION METHODS IN THE DIMINE SOFTWARE

FENG Xing-long<sup>1,2</sup>, LI De<sup>1,2</sup>, LI Yan-bing<sup>3</sup>, WU Dong-xu<sup>1,2</sup>,  
WANG De-wen<sup>1,2</sup>, LI Yun-feng<sup>3</sup>, WANG Yi<sup>3</sup>

(1. Yuxi Mining Co., Ltd., Yuxi 653100 Yunnan, China)

(2. Mining Institute of Yuxi Mining Co., Ltd., Yuxi 653100 Yunnan, China)

(3. East County X Alliance Mining Co., Ltd., Huidong 615200 Yunnan, China)

**Abstract** Optimal valuation methods taking deposit mineralization anisotropy as the starting point use geostatistics variance function to estimate the unknown sample points grade based on the known sample points. Because this method takes into account the actual deposit mineralization anisotropy which can more truly reflect the mineral deposits, the estimation results are closer to the true grade of deposits. This method has changed the traditional reserve calculation method. In this paper, taken a copper mine as an example, the process of calculating the reserve by optimal valuation methods in the DIMINE software is introduced.

**Key words** optimal valuation methods; DIMINE software; grade estimation

地学参数空间分布的规律性是由矿岩各种性质的空间结构性决定的。由于矿岩形成与后期改造过程的长期性和复杂性, 地学参数中往往包含了多种矿岩形成与改造作用的信息, 取样、测试和监测所得到的结构信息实际上是多种主要矿物形成与改造作用规律性变化信息的叠加, 而那些次要的、规律性不强的作用则以随机变化的形式表现出来<sup>[1~3]</sup>。地质统计方法能将空间结构性和随机性结合起来, 对地学参数空间变异性作出较经典统计方法更为合理的评价<sup>[4]</sup>。最优估值方法体现出确定性与不确定性相结合、定性分析与定量评价相结合、空间预测与机

理分析相结合、局部估计与整体估计相结合的思想, 这种“协同”思想应当成为解决地质参数不确定性和离散性等一类复杂问题的根本指导思想<sup>[5]</sup>。

## 1 地学参数的最优估值理论

地学参数的取值具有随机性和结构性 2 种性质, 即它一方面受到矿岩组成、结构和构造以及赋存环境中各种局部的、不规则和不确定性的复杂因素的影响, 表现出随机变异的特点; 另一方面又受到矿床形成和后期改造过程中多种宏观规律的控制, 表现出确定性变异的特点<sup>[1]</sup>。在地学领域, 具有这种双重性质的变量称为区域化变量, 任意位置这种变量的取值既是随机的, 又与周围一定范围内同一变量的取值相关。根据有限的样品数据, 对未知位置变量进行最优无偏估计的常用方法是各种地质统计学方法<sup>[6]</sup>。

收稿日期: 2010-12-17

基金项目: 云南省省院省校科技合作计划项目 (2006YX26); 云南省技术创新暨产业发展专项项目 (2007GA007)

作者简介: 冯兴隆 (1980-), 男, 博士, 采矿工程师, 主要从事自然崩落法和数字矿山方面的研究。

## 2 DM NE 软件简介

DM NE 三维矿业软件系统是中南大学数字矿山研究中心的矿业及软件专家们, 在全面研究了国内外数字矿山相关软件和国内矿业企业实际需求的基础上, 经过多年的艰苦努力, 研究开发出的基于数字矿山整体解决方案的矿山数字化软件系统, 主要适用于矿业企业的地质、测量、采矿专业的技术人员及技术管理人员, 全面实现了从矿床三维地质建模、储量估算与动态管理、测量验收及数据的快速成图, 可以进行地下、露天矿山开采设计与日常生产管理<sup>[7]</sup>。

DM NE 软件采用经典的参数统计法, 可以自动地生成柱状图和累计频率图、散点图、QQ 图、直方图等。软件开发了专门的功能处理特高品位值。DM NE 软件能够完成地质数据库统计、分析和变异函数分析, 并生成相关的统计分析报告, 确定数据的分布特点; 通过交互式模型匹配, 拟合变异函数曲线和报告, 求出在不同方向上数据对的变异函数参数 (块金值, 基台值和变程)<sup>[8]</sup>。

## 3 最优估值方法在 DM NE 软件中的实现

下面将通过一个某铜矿山实例, 介绍在 DM NE 软件中如何应用最优估值方法进行品位估计及资源量计算的过程。

### 3.1 地质数据库

地质数据库就是将不同的地质数据信息按照一定的关系有机的组合在一起, 共同表示钻孔完整信息的数据集合。在地质数据库建立的基础上, 要对样品进行统计分析, 分析的目的一方面是为了掌握矿床内金属元素的分布情况, 另一方面是指导后面品位推估时采用何种方法进行变异函数计算与分析。

### 3.2 样品组合及特高品位处理

根据地质统计学原理, 为确保得到参数的无偏估计量, 所有的样品数据应该落在相同的承载上, 即同一类参数的地质样品段的承载应该一致。因此, 在建立品位模型之前, 需对样品按钻孔长度进行组合。在组合过程中为了降低样品组合过程中可能导致的品位平均化程度, 分析矿山取样情况后, 取组合样长度为平均原始样品长度 1.2 m, 最小组合样长为原始样品的 75%, 即 0.9 m。另外, 为了在储量计算时能够比较准确地反映有用组分的实际储量, 缩

小特高品位对平均品位计算的影响, 需要对特高品位进行处理。

品位值高于平均品位的 6~8 倍的样品为特高品位, 品位变化系数大时取上限 (8 倍), 品位变化系数小时取下限 (6 倍), 品位变化系数计算公式如下<sup>[9]</sup>:

$$V_c = \frac{\hat{\sigma}}{c} \times 100\% \tag{1}$$

式中:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{(c_1 - \bar{c})^2 + (c_2 - \bar{c})^2 + \dots + (c_n - \bar{c})^2}{n - 1}}$$

其中:  $V_c$ ——品位变化系数;

$\hat{\sigma}$ ——品位均方差;

$\bar{c}$ ——矿体算术平均品位;

$c_1, c_2, \dots, c_n$ ——已知的采样品位;

$n$ ——样品总数。

不同的品位变化系数下, 铜样品的稳定程度见表 1。

表 1 铜样品分布均匀程度

矿产种类	稳定程度	品位变化系数
铜	均匀	< 60
	较均匀	60~150
	不稳定	> 150

样品统计分析反映, 铜矿较高样品个数极少, 样品最大值为 9.45%, 特高品位用平均品位代替的方式进行处理。样品组合后的统计结果如图 1 所示。

从图 1 中看出 Cu 元素服从对数正态分布的规律; Cu 均值为 0.29%、标准差为 0.48。

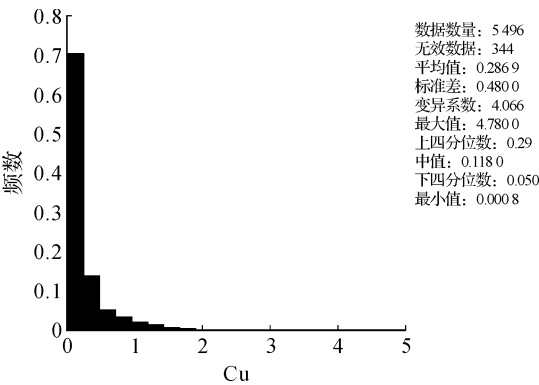


图 1 Cu 元素品位分布直方图

### 3.3 变异函数的计算和拟合

由于矿体分布具有一定的方向性, 区域化变量在不同方向可能会具有不同的结构性和变异性, 即具有空间各向异性特征。因此, 在进行变异函数的

计算和分析时将针对不同的方向分别进行。根据经验,对于金属矿床,要按走向、倾向、厚度 3 个方向进行变异函数的分析,因此,这里对于 Cu 元素品位进行这 3 个方向的实验变异函数计算。

变异函数的理论模型又分为有基台和无基台两大类,其中有基台的模型有:球状模型、指数模型和高斯模型;无基台的模型有幂函数模型、对数函数模型、纯块金效应模型及空穴效应模型等。一般研究中采用球状模型<sup>[10]</sup>,其拟合 Cu 元素曲线如图 2、3、4 所示。

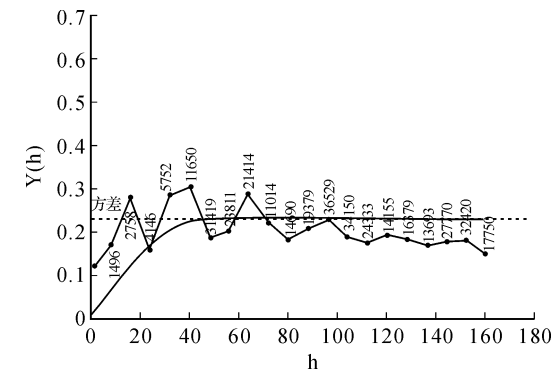


图 2 Cu 主轴方向实验及理论变异函数

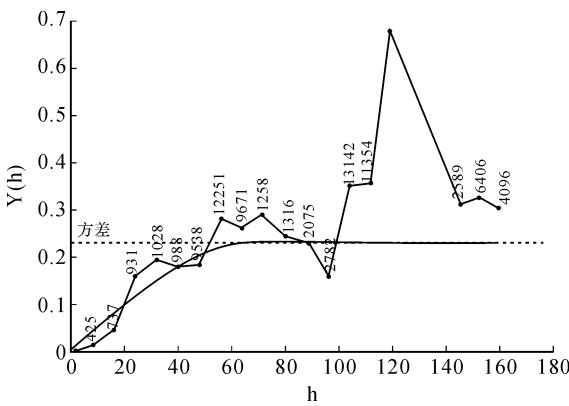


图 3 Cu 次轴方向实验及理论变异函数

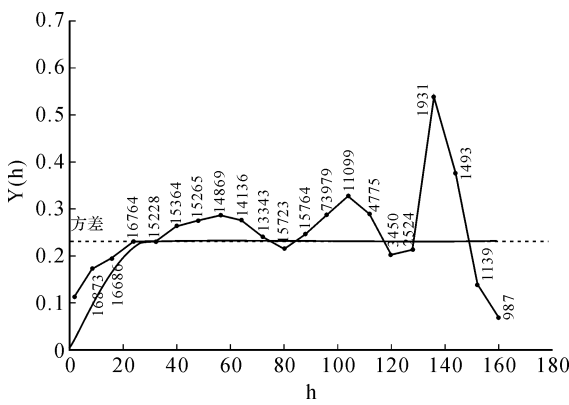


图 4 Cu 短轴方向实验及理论变异函数

3.4 交叉验证

理论变异函数参数将用于后续的矿床品位推估或储量计算中,因此,理论变异函数参数取值的正误对品位估值结果的准确性具有非常大的影响。进行交叉验证的目的就是对理论变异函数参数的取值进行检验,判断应用这些参数进行品位估值时的估值效果。

利用上述得到的 3 个方向的变异函数参数进行交叉验证,结果见图 5。根据交叉验证的结果,误差均值 0.000 5(趋近 0);标准差 0.438 2 个标准差范围内误差所占比例 95.12%。由图 5 可以看出误差分布为正态分布,符合交叉验证的 2 个理论判据,可以用于进行克里格估值。

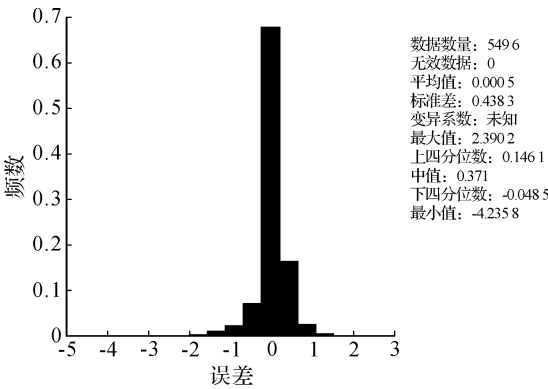


图 5 交叉验证误差分布直方图

3.5 三维属性模型的建立

DMNE 采用外存八叉树模型的构建技术来创建属性模型。基于八叉树的属性模型不同于传统块段模型,其建立过程中不需要对原型进行初始栅格化,只是对三维目标的空间位置进行栅格化,这样可以大大避免冗余数据的产生,同时没有“基本单元块”的限制,这样不同的地质目标可以有不同的体元粒度,实现多分辨率的要求<sup>[11]</sup>。构建过程分为构造原型和目标赋属性 2 个步骤,其中“目标赋属性”就是对属性模型中目标范围内的三维空间栅格化(划分为若干个体元),并对每个体元赋上相应的属性,体元的大小可以根据目标的规模以及属性记录的精度要求而定。目标赋属性不是一次完成,而是多次、不同阶段、不同时期完成。因此,在构建属性模型时,其原型范围可以尽可能的大,一般包含整个影响开采范围,随着矿山开采的进行,不断将新的地质目标添加到属性模型中。将矿床分为体元后,需要应用最优估值方法对每一小块的平均品位进行估计。

3.6 克里格法估值

地质统计学主要是在结构分析的基础上采用各种克立格法来估计和解决实际问题, 根据研究目的和条件不同, 有各种各样的克立格法相继产生, 如当区域化变量满足二阶平稳 (或内蕴) 假设时, 可用普通克立格法; 在非平稳条件下采用泛克立格法; 为了计算局部可回采储量可用析取克立格法; 当区域化变量服从对数正态分布时, 可用对数正态克立格法; 对有多个变量的协同区域化现象可用协同克立格法; 对有特异值的数据可用指示克立格法等。最基本, 应用最为广泛的是普通克立格法<sup>[12]</sup>。

克立格法是一种求最优、线性、无偏内插值估计量的方法, 而具体地说, 克立格法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, 而对每一样品值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<sup>[12]</sup>。

在 DM NE 软件中, 用克立格法估值的过程完全是自动的, 只要给出 3 个方向上的理论变异函数和搜索策略, 系统就可以自动进行估值。

3.7 模型验证

基于三维矿业软件的普通克立格法, 其估算结果的可靠性主要取决于理论变异函数参数与矿床矿化规律的吻合度, 因此需要对估值结果验证其正确性。在 DM NE 中, 验证估值结果的正确性的方法有 4 种:

方法 1 局部校验, 在剖面或平面上比较钻孔取样数据与模型估值数据。

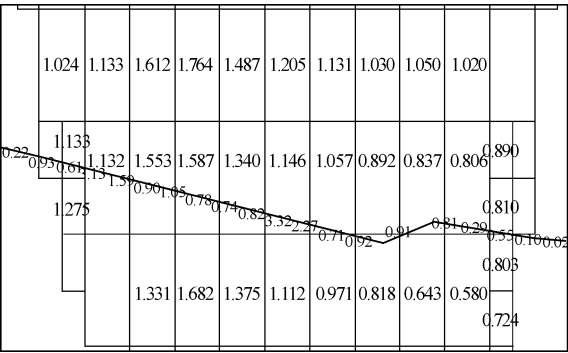


图 6 局部校验

方法 2 体积对比, 通过比较块段模型估算体积与三维矿体实体体积, 验证矿业软件在块段模型的单元块尺寸和边界拟合参数选择的合理性和可靠性。对比结果如表 2 所示。

方法 3 采用距离幂反比法进行品位估值和资

源 / 储量估算, 通过距离幂反比法的估算结果对比来检验普通克立格法理论变异函数参数与矿床矿化规律的吻合度。对比结果见表 3。

表 2 实体体积与块段模型体积对比表

矿体号	实体 /m <sup>3</sup>	块段 /m <sup>3</sup>	绝对差 /%
1 号矿体	881 496	872 243	1.05
2 号矿体	519 064	515 215	0.74
3 号矿体	144 646	143 783	0.6
合 计	1 545 206	1 531 241	0.9

方法 4 传统水平断面法进行验证对比验证。根据《铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘查规范》(DZ/T0214-2002) 中的矿产资源 / 储量估算要求, 对估算方法及其正确性应选择一部分有代表性的矿体或块段, 采用其他方法进行检验估算。为了验证 DM NE 软件资源储量估算结果的准确性和可靠性, 可以采用 DM NE 软件提供的传统水平平行断面法进行资源储量估算来验证克里格估算结果。验证结果见表 3。

表 3 软件距离幂反比法与传统水平平行断面法估算资源储量对比表

估值方法	矿石量 / 百万 t	品位 /%	金属量 / 万 t
传统水平断面法	4.23	0.879	3.718
克里格估值法	4.27	0.882	3.766
距离幂估值法	4.27	0.884	3.775
克里格估值法与传统水平断面法相对差 /%	0.95	0.34	1.29
距离幂估值法与传统水平断面法相对差 /%	0.95	0.57	1.53

4 结 论

(1) 最优估值方法可以快速、准确地估算矿体储量, 可计算任意大小块段的储量;

(2) 最优估值方法以矿床矿化的各向异性为出发点, 采用地质统计学方法对矿床的已知样品进行组合和统计分析, 找出矿床不同方向矿化的统计规律, 并对矿床不同方向的矿化规律拟合为不同的变异函数, 通过变异函数依据已知样品点对未知点进行品位估值。由于该方法考虑了矿床矿化各向异性的实际, 更能真实反映矿床的矿化特征, 因此, 其估算结果更接近于矿床的真实品位;

(3) 应用最优估值方法进行品位推估后的属性模型, 为以后采矿精确设计推估了基础。

参考文献

[1] 冯兴隆, 贾明涛, 王李管, 等. 地下金属矿山开采技术发展现状 [J]. 中国铝业, 2008, 32(02): 9-13.

- [2] 贾明涛, 王李管. 基于区域化变量及 RMR 评价体系的金川 III 矿区岩体质量评价 [J]. 岩土力学, 2010, 31 (6): 1907–1912
- [3] Wang L G., Sugimoto F, Yamashita S. Estimation of Cavability by Using a Block Model and Fuzzy Set [J]. J Min Mater Process Inst 2002 118(7): 481–489.
- [4] 贾明涛, 王李管. 三维变异函数的稳健统计学计算方法及其应用 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 1998 10 (05): 422–424
- [5] 冯兴隆. 自然崩落法矿岩工程质量数字化评价及模拟技术研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2010
- [6] Liguan Wang. Methodology in the Assessment of Field Characteristics of Fractured Rock Mass [D]. Japan Aki ta University 2002
- [7] 房智恒. 汤丹铜矿矿柱可视化模型构建及回采方案研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [8] 房智恒, 王李管, 冯兴隆, 等. 基于 DMINE 软件的采矿方法真三维设计研究与实现 [J]. 中国铝业, 2008 32 (6): 28–31.
- [9] 徐楚明. 生产矿山重新确定特高品位 (界线值 H) 的实践 [J]. 矿山地质, 1984 (1): 45–47.
- [10] 龚元翔, 王李管, 冯兴隆, 等. 三维可视化建模技术在某铜矿中的应用 [J]. 矿冶工程, 2008, 28(3): 1–4
- [11] 毕林. 数字采矿软件平台关键技术研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2010
- [12] 冯超东, 杨鹏, 胡乃联. 克立格法在 SURPAC 软件中的实现及应用 [J]. 金属矿山, 2007, (7): 55–58

## 辉钼材料异军突起 或成为新一代半导体材料

近日, 瑞士洛桑联邦理工学院 (EPFL) 纳米电子学与结构 (LANES) 实验室称, 用一种名为辉钼 ( $\text{MoS}_2$ ) 的单分子层材料制造半导体, 或用来制造更小、能效更高的电子芯片, 在下一代纳米电子设备领域, 将比传统的硅材料或富勒烯更有优势。研究论文发表在 2011 年 1 月 30 日的《自然-纳米技术》杂志上。

辉钼在自然界中含量丰富, 通常用于合金钢或润滑油添加剂中的成分, 在电子学领域尚未得到广泛研究。“它是一种二维材料, 非常薄, 很容易用在纳米技术上, 在制造微型晶体管、发光二极管 (LEDs)、太阳能电池等方面有很大潜力。”洛桑联邦理工学院教授安德列斯凯斯说, 他们将这种材料同硅以及当前主要用于电子和计算机芯片的富勒烯进行了对比。

同硅相比, 辉钼的优势之一是体积更小, 辉钼单分子层是二维的, 而硅是一种三维材料。“在一张 0.65 nm 厚的辉钼薄膜上, 电子运动和在两纳米厚的硅薄膜上一样容易。”凯斯解释说, “但目前不可

能把硅薄膜做得像辉钼薄膜那么薄。”

辉钼的另一大优势是比硅的能耗更低。在固态物理学中, 能带理论描述了在特定材料中电子的能量。在半导体中, 自由电子存在于这些能带之间, 称为“带隙”。如果带隙不太小也不太大, 某些电子就能跳过带隙, 能更有效控制材料的电子行为, 开关电路更容易。

辉钼单分子层内部天然就有较大的带隙, 虽然它的电子流动性较差, 但在制造晶体管时, 用一种氧化钨介质栅门就可使室温下单层辉钼的运动性大大提高, 达到富勒烯纳米带的水平。富勒烯没有带隙, 要想在上面人为造出带隙非常复杂, 还会降低其电子流动性, 或者需要高电压。由于辉钼直接就有带隙, 可以用单层辉钼制造间带通道场效应晶体管, 且在稳定状态下耗能比传统硅晶体管小 10 万倍。在光电子学和能量捕获应用领域, 单层辉钼还能与富勒烯共同使用, 形成优势互补。

(信息来源: 科技日报 2011-02-10)

## 洛阳将构筑国内最大的钼钨钛产业基地

据介绍, 河南省洛阳市“十一五”期间, 将大力发展钼钨钛新材料产业。

重点建设新安 10 000 t 海绵钛, 725 所 5 000 t 钛板带材、30 万件钛管件、2 万 t 金属钛, 洛钼集团 1 万 t 钼选厂、3 万 t 露采和白钨回收、4 万 t 氧化钨

和 1.5 万 t 钼铁、年产 5 000 t 钼酸铵、500 t 钼制品及 300 t 钨制品, 嵩县万吨钼选厂等项目, 到“十一五”末, 使洛阳市钼钨钛产业年销售收入达到 235 亿元以上。

(信息来源: 钨网 2011-03-16)