

克立格方法在个旧矿区芦塘坝 10-9 号 矿体储量计算中的应用

邓明国¹, 李文昌², 秦德先¹, 蒋顺德¹, 杨学善¹, 王金良², 林知法³, 赵文权⁴

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093; 2. 云南华联锌铟股份有限公司, 都龙 663701;

3. 云南锡业集团老厂锡矿, 个旧 661000; 4. 云南省有色地质局 306 队, 昆明 650032)

[摘要]在矿山生产实际中, 准确估计矿体品位空间分布规律和总体储量有利于提高矿山生产效率, 降低生产成本。文章采用对数克立格(Log Kriging)法和距离反比法以个旧锡矿芦塘坝 10-9 号矿体为研究对象计算储量, 其结果分别与地质块段法计算的储量进行了对比, 并探讨了前两种计算方法的影响因素及其产生误差的根本原因。

[关键词]克立格 组样 变异函数 距离反比 储量计算 个旧

[中图分类号]P628; P624.7 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2006)06-0067-04

1 矿区地质概况

个旧锡矿区高松矿田芦塘坝 10-9 号矿体介于松树脚矿田与老厂矿田之间, 北以个松断裂为界, 南到背阴山断裂, 东为甲介山断裂, 西至个旧断裂^[1-5]。区内地表无岩浆岩体出露, 出露地层为中三叠统个旧组碳酸盐岩, 断裂构造十分发育, 矿体的定位及产出形态受地层岩性及地质构造的控制十分明显。矿体产于 $T_2g_1^6$ 层位, 受层间剥离或层间破碎控制, 呈条状产出, 赋存标高 1543~1648m, 矿体产状 $184^\circ \angle 0^\circ \sim 16^\circ$, 走向长 595m, 倾向长 64m, 厚度 13.40m, 矿石为氧化矿及少部分含锡大理岩, 有用元素以锡为主。笔者采用了对数克立格(Log Kriging)方法对该矿体进行储量计算。

2 组样统计分析

矿体圈定后, 使用已圈定的矿体范围对原始数据进行限定, 将分布在 10-9 号矿体中的原始数据进行统计分析, 对原始数据进行等长处理。根据云锡公司的技术要求, 其矿体最低可采厚度为 1m, 因此选择 1m 为组样长度, 对分布于 10-9 号矿体内的原始化验数据进行组合并重新进行统计分析。由图 1 可知, 10-9 号矿体组样 Sn 品位取对数后统计直方图基本服从对数正态分布, 因此可以选用

对数正态克立格方法对 10-9 号矿体进行块段品位估值。

3 变异函数计算

克立格的分析工具就是变异函数(semivariogram)^[6-10]。通过对组样锡品位取对数后计算全方位的变异函数, 得到了多组变异函数曲线。经反复比较, 确定主轴方向方位角为 33° , 倾角 -48° , 倾角 52° ; 第二轴方向方位角为 123° , 倾角 -38° ; 第三轴方向方位角为 303° , 得到的变异函数曲线较好(图 2, 图 3 和图 4)。从实验变异函数曲线看, 沿主轴方向和第三轴方向变异函数波动性较小, 第二轴方向的变异函数曲线波动较大, 波动性大的原因可能是矿体内品位不均匀所致。模拟的变异函数比较复杂, 分别采用了洞穴模型、高斯模型和球状模型进行了理论变异函数曲线模拟。经过结构套合, 最后模拟出的理论变异函数模型为:

$$\begin{aligned} \gamma(h) = & 0.03 + 0.42 * \left[1 - e^{-\frac{h}{9.27}} \cos\left(\frac{2\pi h}{7.69}\right) \right] \\ & + 0.26A_1 * (1 - e^{-\frac{h^2}{10.72}}) + 1.09A_2 \\ & * \left(\frac{3h}{2 * 22.8} - \frac{h^3}{2 * 22.8^3} \right) \end{aligned}$$

[收稿日期]2006-02-27; **[修订日期]**2006-07-03; **[责任编辑]**韩进国。

[第一作者简介]邓明国(1964 年—), 男, 2003 年毕业于昆明理工大学, 获硕士学位, 在读博士生, 高级工程师, 现主要从事综合信息成矿预测研究工作。

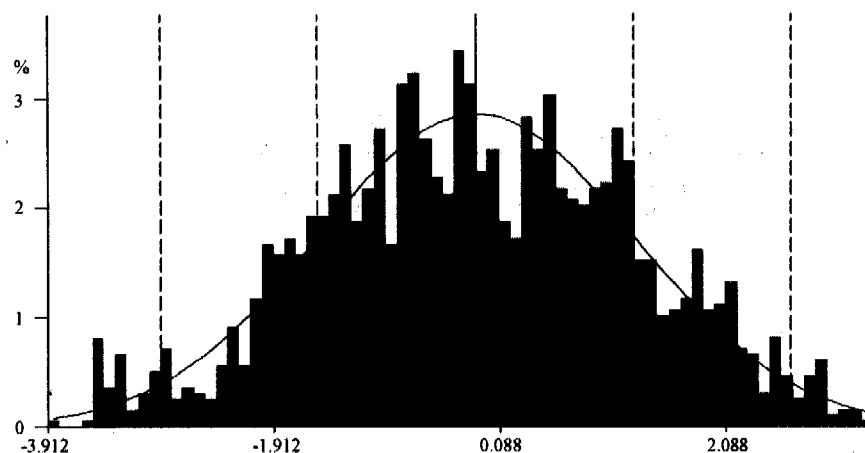


图1 个旧矿区芦塘坝10-9号矿体组合样Sn品位取对数后统计分布直方图

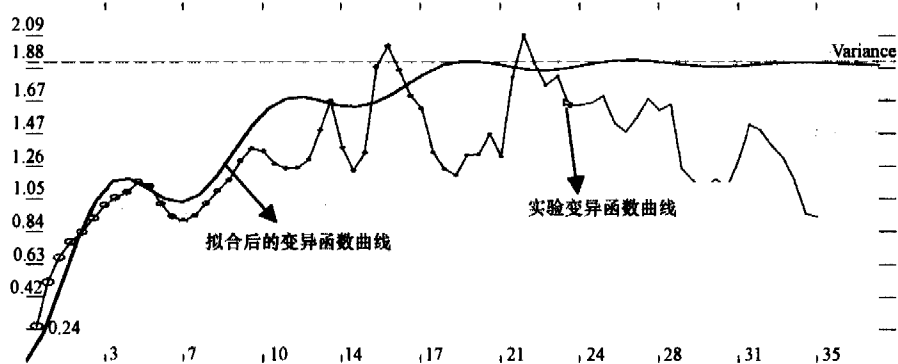


图2 主轴方向变异函数曲线

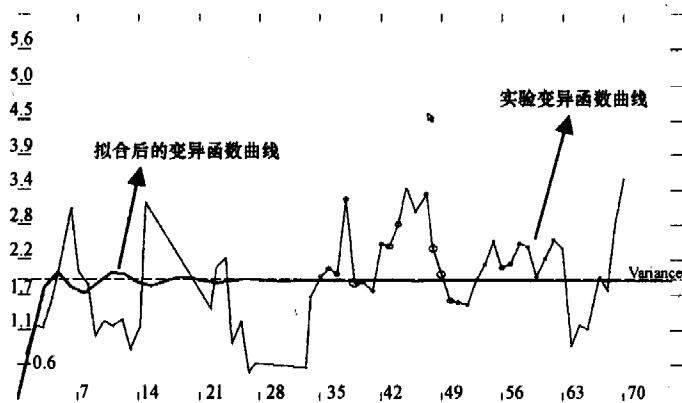


图3 第二轴方向变异函数曲线

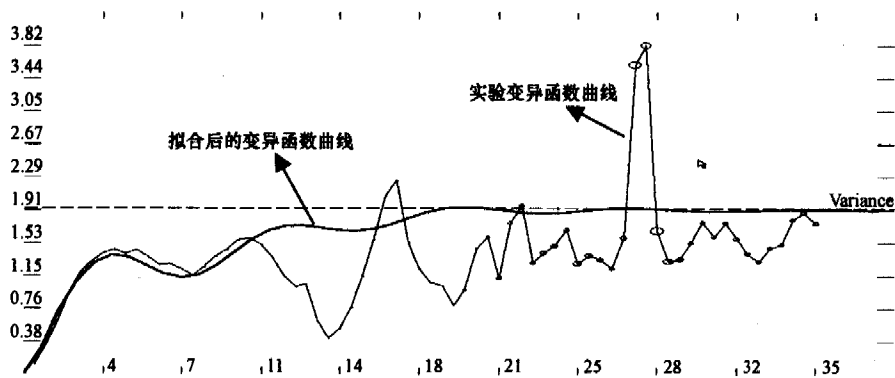


图4 第三轴方向变异函数曲线

其中,高斯模型和球状模型的转换矩阵分别为:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 10.7/3.5 & 0 \\ 0 & 0 & 10.7/1.2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3.057 & 0 \\ 0 & 0 & 8.917 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 22.8/5.1 & 0 \\ 0 & 0 & 22.8/2.3 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 4.471 & 0 \\ 0 & 0 & 9.913 \end{bmatrix}$$

4 变异函数交叉检验

克立格估值是在矿体内各组合样数据建立理论变异函数估值模型的基础上,应用已建立的理论变异函数模型来对各组合样已知变量重新估值,通过比较真实值与估计值间的差异,从而对所建模型予以评价。对拟合的理论变异函数进行交叉验证(cross-validation),得到统计分析结果如表1。

根据交叉检验结果要求,如果误差统计的均值越接近0,误差统计的标准差越接近1,其效果越好。由表1可以看出交叉检验结果符合上述条件要求,表明模拟的变异函数曲线参数对组合样品位进行估计是无偏的,满足区域化变量的内蕴假设,能用于锡品位的克立格估值。

表1 对数转换的交叉验证结果

	均值	标准差
化验数据	1.8905	2.6316
转换后	-0.20212	1.3965
估计值	-0.20172	1.3965
反转换后	1.9299	2.5073
标准误差	0.55434	0.13366
误差统计	0.001797	1.0091

分析元素:Sn。

5 储量计算

为了充分利用地质统计学能够分析区域化变量空间结构性的优势和克立格的最优无偏内插估值特点,克立格计算采用与块段法计算相一致的矿体边界和品位,以便进行结果对比。根据组合样最低品位值限制,按边界品位0.1,矿石体积质量取 $2.355\text{t}/\text{m}^3$ 进行储量计算(表2),所对应的品位-吨位曲线见图5。

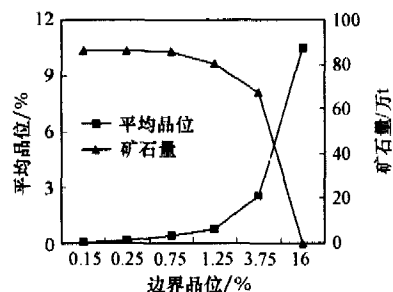


图5 个旧矿区芦塘坝10-9矿体锡品位-吨位曲线

从品位-吨位曲线(图5)可以看出,随边界品位的逐渐增高,矿体的平均品位不断升高,而矿石量

表2 个旧矿区芦塘坝10-9矿体锡不同边界品位对数克立格储量计算表

边界品位/%	体积/ m^3	吨位/t	金属量/t	平均品位/%	累计体积/ m^3	累计吨位/t	累计金属量/t
10~100	4	9.42	1.08	11.497	4	9.42	1.08
1~10	287952.5	678128.1	14959.51	2.206	287956.5	678137.5	14960.59
0.5~1	70292.5	165538.8	1291.20	0.78	358249	843676.3	16251.79
0.2~0.5	7994.5	18827.05	75.68	0.402	366243.5	862503.4	16327.47
0.1~0.2	602	1417.71	2.45	0.173	366845.5	863921.1	16329.92
0~0.1	19.5	45.92	0.04	0.092	366865	863967	16329.96

和金属量则不断减少,根据当前的金属价格和企业的生产成本,可以快捷准确地确定矿体的经济开采品位和吨位,为开采设计方案的优化提供可靠的依据。

6 储量计算结果对比

为了便于储量结果的对比,笔者采用了距离反比(表3)和对数克立格方法分别计算了10-9号矿体储量,最后与块段法储量计算结果进行对比,储量计算结果对比见表4。

7 结论

根据上述计算结果可以看出,在所研究的块段内,采用距离反比和Kriging方法计算的储量与块段法计算的储量相比,距离反比法计算的储量误差要小于对数克立格(Kriging)法计算的储量误差,但不能说明距离反比法要优于Kriging方法。这是因为距离反比只是把距离作为影响权系数的因素,实际上是将值均值化了,而克立格方法不但考虑了距离的影响因素,而且也考虑了变程的影响因素,所以

表3 个旧矿区芦塘坝 10-9 矿体锡不同边界品位距离反比储量计算表

边界品位/%	体积/m ³	吨位/t	金属量/t	平均品位/%	累计体积/m ³	累计吨位/t	累计金属量/t
10~100	13.5	31.79	3.33	10.47215	13.5	31.79	3.33
1~10	285761	672967.2	17204.14	2.55646	285774.5	672999	17207.47
0.5~1	55315.5	130268	977.84	0.75064	341090	803267	18185.31
0.2~0.5	23396	55097.58	215.95	0.39194	364486	858364.5	18401.26
0.1~0.2	1997	4702.94	7.63	0.16232	366483	863067.5	18408.89
0~0.1	290.5	684.13	0.60	0.08805	366773.5	863751.6	18409.49

表4 个旧矿区芦塘坝 10-9 矿体锡储量计算结果对比表

矿体编号	计算方法	累计矿石量/t	差值百分比/%	累计金属量/t	差值百分比/%
10-9	块段法	842760		18366	
	距离反比	863751.6	2.49	18409.49	0.24
	对数克立格	863967.1	2.51	16329.96	11.08

不完全是均化的表现,这也正是 Kriging 的优越之处,当然也还有其他影响因素的作用。因此对于总体趋势或单一影响因素的因子,距离反比法的估计结果要好些,而对于区域性的较大差异或多因素综合影响的因子而言,Kriging 方法则要优越得多。

[参考文献]

- [1] 刘伟,孙家聪.个旧矿区松树脚矿田构造应力场对矿液运移的控制[J].昆明工学院学报,1990(2):1-5.
- [2] 谭允谦.个旧矿区层间氧化矿成矿空间特征[J].个旧地质,1993(1):9-10.
- [3] 308地质队.个旧矿区高松矿田北部层间矿床地质特征研究报告[R].1991(7):10-11.
- [4] 洪传富.松树脚矿田的地质特征及其控矿规律[J].个旧地质,1988(1):8-12.

- [5] 王任重.个旧矿区松树脚矿田西部地球化学成矿条件研究[J].个旧地质,1988(1):12-16.
- [6] Odorico P D, Ridolfi I, Porporato A, et al. Preferential states of seasonal soil Moisture: the impact of climate fluctuations. [J]. Water Resources Research, 2000, 36(8): 2209-2211.
- [7] Altese E, Bolognani O, Mancini M, et al. Retrieving soil wetness over soil from ESRI synthetic aperture radar data: Sensitivity analysis based on a theoretical surface scattering model and field data [J]. Water Resources Research, 1996, 32(3): 653-661.
- [8] 侯景儒,黄竟先.地质统计学在矿产储量计算中的应用[M].北京:地质出版社,1990.
- [9] 侯景儒,黄竟先.地质统计学及其在矿产储量计算中的应用[M].北京:地质出版社,1982.
- [10] 孙洪泉.地质统计学及其应用[M].北京:中国矿业大学出版社,1990.

APPLICATION OF KRIGING IN RESERVES ESTIMATION OF NO. 10-9 ORE BODY OF LUTANGBA MINE IN THE GEJIU TIN DEPOSIT

DENG Ming-guo¹, LI Wen-chang², QIN De-xian¹, JIANG Shun-de¹, YANG Xue-shan¹,
WANG Jin-liang², LIN Zhi-fa³, ZHAO Wen-quan⁴

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;

2. Yunnan Hualian Zinc and Indium Co. Ltd., Dulong 667301; 3. Laochang Tin Co. Ltd., Yunnan Tin Group, Gejiu 661000;

4. No. 306 Team, Yunnan Bureau of Non-ferrous Geology, Kunming 650032)

Abstract: Accurate estimation of dimensional distribution regulation for ore body grade and calculation of total reserves have an advantage to improving production efficiency and lowering production cost in the actual mine production. Log Kriging and reverses distance weighting methods are adopted to calculate reserves for No. 10-9 ore body of Lutangba mine in the Gejiu tin deposit. Calculated reserves by Kriging are compared with that by geological block method. Influence factors and reason of producing errors by these two methods are discussed.

Key words: Kriging, composite sample, semi-variogram, reverse distance weighting method, reserves estimation, Gejiu