地质与测量·

应用地质统计学评估福建某铜矿资源

万昌林 朱利平 高 祥
(南昌有色冶金设计研究院) (北京金迈泰克科技发展有限公司)

摘 要 福建某矿床山体部为金矿床,深部为铜矿床,勘探控制程度不够。为此,运用地质统计学方法,通过分析铜品位的统计分布特征,进行变异函数计算及结构分析,建立了矿床的数学模型。并在此基础上进行品位估值和储量计算,对铜矿资源进行了评估。

关键词 铜矿床 地质统计学 变异函数

Applying Geological Statistics to Evaluate a Certain Copper Ore Resource in Fujian

Wan Changlin Zhu Liping Gao Xiang
(Nangchang Nonferrous Metallurgical Designing Research Institute) *(Beijing Scientific and Jinmaitaike Technological Development Co., Ltd)*

Abstract A certain deposit in Fujian is composed of gold deposit which is in the mountain body and copper deposit that is in its depth. As the deposit is not fully explorated, geological statistics method is used in the analysis of the statistics distribution characteristics of copper grade, the calculation of variation function and the structure analysis so as to establish the mathematical model of the deposit. On this basis, the grade value evaluation and the reserve calculation are made so as to evaluate the copper ore resource.

Keywords Copper deposit, Geological statistics, Variation function

地质统计学是目前西方各国地学和矿业界非常通行的一种地质研究和储量计算方法,它具有最充分利用各种信息量的能力,能够给出每一估计量相对应的估计方差,而且这种估计是最优和无偏的,具有传统地质学所无可比拟的优越性。1999年新颁布的固体矿产资源/储量分类标准及相关的规范也将其列为一种主要的储量计算方法。虽然地质统计学在我国尚处在尝试和推广阶段,但随着我国加入世贸组织与国际接轨,使用地质统计学方法进行矿产资源评估已势在必行。

1 矿床地质概况

福建某矿床属斑岩成矿系列——次火山高硫中低温热液矿床。自上而下分为Ⅱ、Ⅰ、0 3个矿带,分布于英安玢岩和脉状隐爆角砾岩密集带内,长700 m,宽500 m,延深470～650 m,部分矿体延深至300 m标高以下。

矿体呈密集的平行脉带产出,形态多为似层状、透镜状,少数呈脉状,较大规模的矿体倾向延深略大于走向长度或近于等轴状。矿体产状比较稳定,总体走向320°,倾向北东,倾角25°～35°。

矿石中金属矿物主要有黄铁矿、蓝辉铜矿、铜兰、硫砷铜矿,其次为辉铜矿、斑铜矿等;非金属矿物主要为石英,次为地开石、明矾石、绢云母,少量重晶石、长石等。矿石中主要有用组分为铜,单矿体铜平均品位0.5%～2.5%,矿床平均品位1.08%(地质报告)。铜在矿体中的分布不均匀,尤其是规模较大的矿体,其品位沿倾向及走向变化大,常呈多峰跳跃形式出现。矿石选冶性能好,铜综合回收率高。

勘探以钻探为主,坑道配合,以50 m×40～50 m网度求B级储量,100 m×80～100 m求C级储量,探矿工程和化验分析质量符合有关规程规范要求。

2 矿床数学模型研究

2.1 地质数据库的建立

将福建某铜矿地质勘探数据库分为孔口坐标数据库、钻孔测斜数据库、样品分析化验数据库三大类,主要的数据项分别为:

孔口坐标库:钻孔编号,东西向(*X*)坐标,南北向(*Y*)坐标,高程(*Z*)及孔深(*H*)。

万昌林,南昌有色冶金设计研究院矿山分院,高级工程师,330002 江西省南昌市八一大道1号。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

钻孔测斜库:钻孔编号,测斜深度,测斜方位角,测斜倾角。

钻孔化验库:钻孔编号,取样起始深度,取样终止深度,取样间距,岩矿芯长度,岩芯采取率,铜样品。对钻孔中化验数据缺失的部分按软件要求赋以 - 1 值,以便计算时特别处理。

其他数据如地表地形数据,平硐数据等,也分别转换到数据库中,作为建模的基础数据。

建模所使用的基础数据源自矿山提供的原始数据,经过认真检查,确认勘查工程质量合格、化验分析数据可靠无误后,作为建模研究工作的基础数据。

样品特异值是指那些比全部样品数据的均值或中位数高得多的数值,将直接影响变量的分布特征,使变异函数失去其结构性,因此,对原始数据中的特异值必须进行处理。本次评估工作共处理铜样品特异值 28 个。

2.2　数据的统计分析

2.2.1　样品数据的统计分析

数据库中共有钻孔 154 个,有效样品数为 40 279 个,对数据库中的样品数据进行统计分析,分别计算其最小值、最大值、均值、变化系数(方差/均值)、方差,研究品位数据的分布规律,并确定各元素的特异值。统计结果如表 1。

表 1　钻孔基本化验样统计

元素	最小值	最大值	平均值	变化系数	方差	样品数
铜	0.01	19.31	0.259	2.645	0.685 4	40 279

2.2.2　组合样计算及其统计分析

地质统计学要求有效数据必须在固定长度的支撑上,因此,模型品位计算之前,必须对样长不等的钻孔数据按一定的长度进行组合计算并进行分析,组合样长度一般根据矿山开采的台阶高度、矿床的类型(层状、似层状)及品位在垂深方向的变异程度来确定。本次评估工作分别采用 3 m、5 m、15 m 等长度值按样品长度加权进行计算分析,组合样计算由软件自动完成。

组合样计算完成后,对其统计分析,分别计算其最小值、最大值、变化系数(方差/均值),研究品位数据的分布规律(图 1、图 2),为矿体的品位分析提供依据。相关的统计计算结果见表 2。

统计结果表明:铜品位均呈现出非正态分布特征,表现为左偏;取对数后,呈近似正态分布。

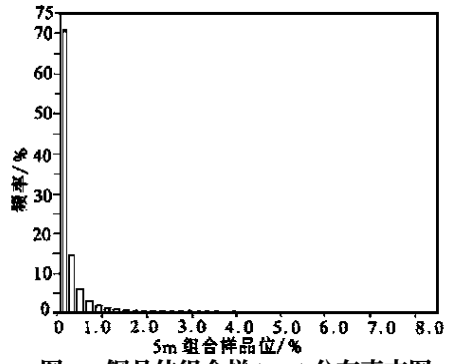


图 1　铜品位组合样(5 m)分布直方图

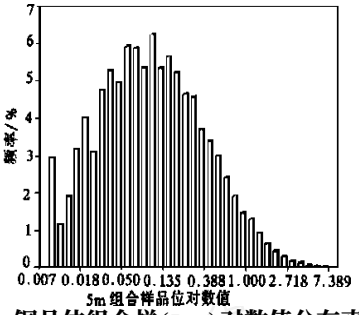


图 2　铜品位组合样(5 m)对数值分布直方图

表 2　组合样品位统计

组合样长/m	最小值/%	最大值/%	平均值/%	变化系数	样品数/个
3	0.01	8.235	0.226 8	2.025	22 064
5	0.01	8.343	0.225 4	1.77	13 528
15	0.01	3.874	0.218 5	1.377	4 831

2.3　变异函数模型的建立

2.3.1　变异函数与结构分析

选取铜品位作为区域化变量,根据矿床产出特征,确定计算实验变异函数的角度及距离参数如下。

表 3　沿钻孔向下方向变异函数的角度及距离参数

元素	水平角/(°)	垂直角/(°)	滞后距/m	滞后距倍数/倍
铜	0	- 90	5	12

注:角度为负值表示方向向下。

表 4　计算空间三维方向变异函数的角度及距离参数

水平起始角/(°)	水平角增量/(°)	水平搜索角/(°)	水平方向数/(个)	垂直起始角/(°)	垂直角增量/(°)	垂直搜索角/(°)	垂直方向数/个	滞后距/m	滞后距倍数/倍
0	11.25	11.25	16	0	- 22.5	- 22.5	8	50	20

注:角度为负值表示方向向下。

计算结果表明铜元素在矿体的走向、倾斜方向上显示出带状异向特征,在约 315°方向上略显出好的矿化连续性,与矿床特征相符。

2.3.2　变异函数曲线拟合

通过对铜品位实验变异函数的研究,认为它们均可以用一个带块金常数的球状模型进行拟合,块金常数值用垂直向下方向的变异函数的值,根据矿

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

体产出特征,经过各方向的变异函数分析对比,选择铅垂方向(-90°)、矿体走向(315°)和倾向(45°)方向的变异函数进行拟合,实验变异函数及理论曲线拟合结果如下。

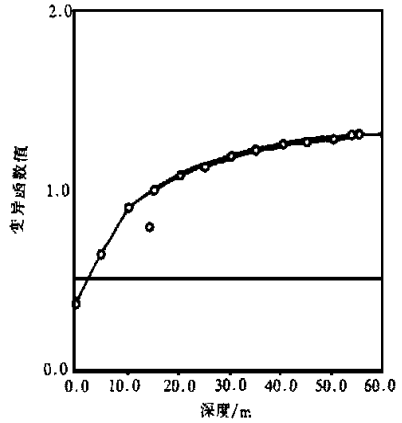


图 3　铜品位组合样(5 m)对数值沿钻孔向下变异函数

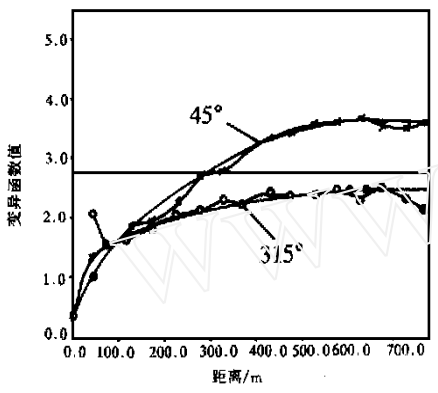


图 4　铜品位组合样(5 m)对数值水平方向变异函数

所确定的理论变异函数的主要参数见表 5。

表 5　铜元素理论变异函数参数

元素	方向	数据类型	模型	块金值	基台值		变程	
				C0	C1	C2	A1	A2
铜	-90°	Log	球状	0.361 48	0.779 36	1.293 34	14	54
	315°	Log	球状	0.361 48	1.231 59	2.363 37	78	440
	45°	Log	球状	0.361 48	1.006 75	3.656 51	90	620

2.3.3　变异函数的交差验证

交差验证是用来检验变异函数曲线拟合的可靠性,并辅助确定变异函数的参数。交差验证的实质是比较克立格估值与真实值的偏差,并对其差值进行统计分析,以判断所拟合的变异函数是否正确。交差验证结果见表 6。

从表 6 中结果可知,组合样实际值与估计值之差的均值趋近于零,偏差很小,表明用该组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,能用于其后的铜品位赋值。

表 6　交差验证结果

元素	统计值	组合样实际值	组合样估计值
铜	均　值	0.221 4	0.221 3
	标准差	0.406	0.221
	样品总数	11 890	
	相关系数	0.548	

3　模型估值

针对矿区铜品位呈非正态分布,取对数后呈近似正态分布的特点,本次评估选用对数克立格法进行模型估值,同时也用普通克立格法和距离平方反比法进行对比分析。

3.1　模型单元块段尺寸及估计邻域的选择

克里格估值块段的划分对克里格估值的结果将有十分重要的影响,确定单元块段尺寸,主要考虑开采方法、台阶高度、最小采矿单元、矿区的勘探网度、变异函数的特征等几方面的因素,经过综合考虑,确定块段尺寸为 15 m ×15 m ×15 m。

克里格估计邻域一般情况下不得超过变异函数的变程,但在实际工作中,变异函数并不是由单个模型构成,而是由几个模型套合而成,甚至有些变异函数变程很大,这时估计邻域的大小在不超过变异函数变程的前提下,要考虑勘探网度的影响,估计邻域过小,邻域内没有信息样或信息不够,模型则会产生空白块段,影响估值效果。因此,确定模型的估计邻域见表 7。

表 7　模型估计邻域参数

元　素	主轴方向/m	次轴方向/m	垂直方向/m
铜	260	230	30

3.2　对数克里格品位估值

本次评估分别进行了 3 m、5 m、15 m 组合样的品位估值。按 MINTEC 公司的 MineSight 软件的要求,依据变异函数参数,结合对矿区地质特征的认识,设置对数克里格估计参数,见表 8。参数设置完成后,由软件自动进行对数克里格估值。

表 8　对数克里格估计参数

元素	样品最大距离/m	单孔最多样品数	最　少样品数	最多样品总数
铜	260	3	8	50

4　储量计算及分类

(1) 储量计算。按不同边际品位、组合样长、台阶(中段)高度,应用对数克里格、普通克里格和距离平方反比法分别计算矿石储量,对数克里格计算结

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

果见表 9。

(2) 储量分类。根据地质统计学方法及国家新的储量分类标准,综合考虑矿床的地质特征和已有的地质认识,用模型对数克里格法估值计算的相对方差进行模型储量分类。+335 m 以上相对方差小于 0.83 和 +355 m 以下相对方差小于 1.5 的储量为探明和控制的储量,其余的为推测的储量。探明和控制的储量为 12 653 万 t,平均品位为 0.421 %,推测的储量为 17 273 万 t,平均品位为 0.527 %。

分类结果与地质报告中传统方法储量分类对比,各类储量所占的比例和空间分布上差异不大。推测的储量均分布在矿体的边部及深部,见表 10。

表 9　地质储量计算结果

边际品位/ %	地质模型									矿山计算		
	对数克里格方法									距离平方反比法		
	15 m 组合样			5 m 组合样			3 m 组合样			3 m 组合样		
	矿量/万 t	铜/ %	金属量/t	矿量/万 t	铜/ %	金属量/t	矿量/万 t	铜/ %	金属量/t	矿量/万 t	铜/ %	金属量/t
0.1	109 521	0.265	2 896 828	90 673	0.279	2 528 881	99 425	0.281	2 788 868	95 576	0.26	2 484 964
0.2	59 233	0.368	2 179 167	51 065	0.384	1 960 382	53 609	0.398	2 130 954	49 014	0.37	1 813 525
0.3	33 620	0.461	1 549 859	29 926	0.482	1 442 752	30 961	0.509	1 576 544	27 022	0.48	1 297 066
0.4	18 148	0.560	1 016 266	16 951	0.587	995 544	18 228	0.624	1 137 440	15 202	0.59	896 909
0.5	9 145	0.674	616 464	9 558	0.698	667 081	10 865	0.746	810 094	8 317	0.72	598 812
0.6	4 698	0.799	375 197	5 529	0.809	447 233	6 733	0.869	585 148	4 802	0.85	408 153
0.7	2 632	0.920	242 072	3 318	0.918	304 655	4 343	0.992	430 960	2 967	0.98	290 746
0.8	1 593	1.034	164 722	2 063	1.024	211 241	3 005	1.103	331 361	1 949	1.10	214 336
0.9	951	1.161	110 385	1 302	1.130	147 004	2 102	1.213	254 870	1 318	1.22	160 773
1.0	651	1.260	82 039	843	1.230	103 722	1 568	1.303	204 282	939	1.34	125 759

表 10　地质储量分类

标高/ m	探明、控制的储量			推测的储量			合　计		
	矿量/万 t	品位/ %	金属量/t	矿量/万 t	品位/ %	金属量/t	矿量/万 t	品位/ %	金属量/t
+355 m 以上	9 608	0.415	398 732	8 663	0.512	443 787	18 271	0.461	842 519
+355 m 以下	3 045	0.438	133 371	8 610	0.542	466 862	11 655	0.515	600 233
合　计	12 653	0.421	532 103	17 273	0.527	910 649	29 926	0.482	1 442 752

注:边际品位为 0.3 %。

5　地质模型分析

福建某铜矿床矿体形态较简单,主要呈似层状、透镜状,从所生成的模型三维矿体视图及平面、剖面图看,在矿体形态、产状、规模及空间分布上,模型的矿体特征与传统的矿体特征是较为吻合的。

不同的组合样长,模型估值结果有所不同,估值品位随着组合样长度增大而降低。例如,15 m 组合样对数克里格估值品位偏低,5 m 居中,3 m 偏高,说明随着组合样长度的增大,估值的圆滑程度相应的加强。

当边际品位取 0.3、0.4 时,5 m 组合样对数克里格法所计算的矿量、品位、金属量与矿山计算的结果较为接近。普通克里格法计算结果与对数克里格法差别不大。

6　结　论

综上所述,本次评估所录用的数据是基本可靠的,变异函数的计算是正确的,变异函数模型的确定是合适的,所选用的模型估值方法是可行的,估值精度较高,满足下步工作的要求。鉴于目前矿体的控制程度局部偏低,+355 m 标高以下,尤其是在矿体深部、边部和小矿体中的控制程度不够,建议在今后的工作中选用适当的网度加密钻孔,提高矿体的控制程度,为模型准确估值提供可靠的基础数据。

(收稿日期 2002-02-23)

信息苑·

鞍钢(集团)弓长岭矿业公司高效预选工艺投入使用

鞍钢(集团)弓长岭矿业公司自 2000 年 10 月开工,分别对二选和一选破碎系统进行了改造,历经半年时间,干式磁选机预选抛尾工艺获得了成功,并投入使用,取得了很好效果。一选、二选原矿品位分别由 31 %提高到 32.5 %,一选年产量净增加 18 万 t,二选年产量净增加 8 万 t。(摘自《冶金矿山动态》)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net