

Minesight 软件在葛源铌钽矿床 资源储量估算中的应用

何维基^{1,4}, 曾晓建², 任建国³, 陈正钱²

(1. 华东交通大学 信息工程学院, 南昌 330000; 2. 江西有色地质矿产勘查开发院, 南昌 330002;

3. 江西铜业公司 永平铜矿, 江西 铅山 334506; 4. 江西稀有稀土金属钨业集团公司, 南昌 330046)

摘 要: Minesight 是国际著名的矿业软件, 运用国际通用的先进地质统计学新方法进行资源储量估算。根据矿床成矿规律, 应用 Minesight 软件建立葛源铌钽矿床地质模型, 以花岗岩实体限制克立格估值范围, 用不同边界品位动态圈定矿体, 动态估算矿床资源储量, 所得结果精度很高, 并且最大限度地满足了市场经济的需要。

关键词: Minesight 软件; 普通克立格法; 矿床地质模型; 资源储量估算; 葛源铌钽矿床

中图分类号: P624.7; T B115 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2008)01-0062-05

0 引言

江西横峰县葛源铌钽矿床是 20 世纪 80 年代末发现并于 2005 年完成详细勘查的一处特大型矿床, 钽资源/储量(Ta_2O_5) 数万吨, 规模为亚洲最大。为适应市场经济的需要, 该矿床采用国际先进的 Minesight 矿业软件, 按国际通用的普通克立格法进行了矿产资源储量估算, 并已通过了国土资源部矿产资源储量评审中心组织的评审认定。

1 Minesight 软件及其运行环境

Minesight 是由世界著名的矿业软件公司——美国 MINTEC 公司研制开发的, 集矿业开发、设计、计算于一体的矿业软件系统。该系统功能十分丰富, 具有数据管理、地质勘探、三维模型、地质统计学、采矿设计及优化、经济分析评价、采矿生产短期计划、测量及三维图形设计计算及处理等软件功能模块, 用户界面十分友好, 三维图形处理功能强。系统与其他的软件(如 Datamine, Surpac 等)都有接

口, 在数据处理上, 采用 ODBC, Text, DXF 等多种格式进行转换, 兼容性极好。

目前, 该软件已在世界 20 多个国家 300 多家矿业公司获得应用。我国的中铝山西分公司、中色建设非洲矿业公司、南昌有色冶金设计研究院、南方冶金学院、江西铜业公司等均使用了该软件。2001 年 7 月 2 日, 国土部矿产资源储量司下文认定 Minesight 软件可以用于我国固体矿产资源储量的计算和评价。

MineSight 能运行于 UNIX 及 Windows95/98/NT。由于系统功能复杂, 计算量大, 三维图形显示要求较高, 因此硬件上要求高, 推荐的配置为显存 8 M 以上、内存 128 M 以上、硬盘 4 G、处理器 300 MHz、显示器 19 英寸、分辨率 1280×1024。就工作性质而言, 硬件配置越好, 工作效率也越高。

2 矿床地质概况

葛源铌钽矿是产于蚀变花岗岩体内的花岗岩型铌钽稀有金属矿床。铌钽矿体赋存于侵入到震旦系休宁组(Z_{1x})中的松树岗隐伏岩体内。该含矿隐伏岩体处于灵山花岗岩基向西隐伏凸出部位, 水平投

影面积 0.85 km^2 , 岩性为中细粒黑云母花岗岩、钠长石化花岗岩, 在顶部或边缘还发育有似伟晶岩。

含矿隐伏岩体蚀变强烈, 与蚀变分带相对应, 从隐伏岩体接触带向下, 依次出现伟晶岩型、钾化花岗岩型、云英岩化花岗岩型、钠长石化花岗岩型矿化分带, 其中钠长石化花岗岩型矿化占主体, 各带属渐变过渡关系。

矿体赋存于隐伏花岗岩体内, 形态简单, 呈“钟”状, 形态特征与隐伏岩体基本吻合。矿体走向 EW 向, 分别以 $48^\circ \sim 55^\circ$, 65° , 45° , 35° 向 NW, S, SE 和 E 不同方向倾斜, 东缓西陡。矿体规模大, 控制矿体东西长 1320 m , 南北宽 640 m , 控制最大厚度 652 m , 单工程控制最大厚度 450 m , 未见底。矿体水平截面呈圆形、似椭圆形, 三维空间形态从上往下呈渐变增大的圆台形。

矿床内以钽、铌为主, 共生铷, 伴生钨、锡。矿床规模巨大, 简单型, 划分为第 I 勘查类型。勘查工程以钻探为主, 浅部辅以坑道工程控制, 钻孔采用 $100 \text{ m} \times 160 \text{ m}$ 网度控制矿体。

3 地质数据库的建立

葛源矿床用于矿体圈定和矿量、品位估算的数据主要来源于探矿钻孔的岩心样品, 其次为坑道工程的刻槽样品。对所有钻孔和坑道的定性描述和样品化验结果构成了勘探区域的基本地质数据, 这些样品化验数据是进行矿体圈定和矿量、品位估算的依据。

矿床地质数据库共利用了 28 个钻孔、4 个坑探工程中所有样品及测量数据。钻孔中样品 3 263 件, 坑探中样品 446 件, 共有样品 3 709 件。各个样品均分析了钽和铌的品位, 还有 1 492 件样品分析了铷的品位。

按照 MineSight 软件对原始信息的要求, 建立了包括孔口坐标、钻孔测斜、样品分析化验值和地质代码 4 个基本文件在内的矿床地质数据库。各数据文件主要数据项分别为:

(1) 孔口坐标数据文件: 钻孔编号, x , y , z 三维坐标及孔深(H)。

(2) 钻孔测斜数据文件: 钻孔编号、测斜深度、测斜方位角、测斜倾角。

(3) 样品分析化验数据文件: 钻孔编号, 取样起始深度, 终止深度, 取样代表长度、岩矿心长, 岩心采

取率, 钽、铌、铷品位, 样品编号。

(4) 地质代码数据文件: 钻孔编号、起始深度、截止深度、岩矿心长、地层代号、岩石类型、矿体代号、矿石类型。

将钻孔/坑探资料数据录入上述数据文件中, 所有数据均经过认真全面的检查校对, 误差率为 1.3% , 在允许范围内, 可作为矿床建模的基础数据。

4 区域化变量选择及统计分析

区域化变量理论是地质统计学的基础, 主要研究那些分布于空间中并显示出一定结构性和随机性的自然现象。根据葛源矿床的特点, 选取钽、铌品位分别作为区域化变量。

地质统计学要求有效数据必须建立在固定长度的支撑上, 因此, 必须对样长不等的钻孔、坑探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方法、矿床的类型及品位在垂深方向的变异程度来确定。本次建模采用 5 m 组合长度进行品位统计分析计算(按岩心长加权)。组合样钽、铌、铷品位的变化系数(标准差/均值)分别为 0.427 , 0.215 和 0.295 , 其均值及变化系数与单样类似, 变化系数均小。

品位分布直方图表明组合样钽、铌、铷品位均服从对数正态分布。

相关分析显示组合样钽、铌、铷之间的相关系数: Nb_2O_5 与 Ta_2O_5 为 0.134 , Rb_2O 与 Ta_2O_5 为 0.329 , Rb_2O 与 Nb_2O_5 为 -0.181 , 表明相关程度均差。

5 变异函数的计算和拟合

所谓变异函数是指区域化变量增量的方差, 它既是距离 h 的函数, 又是方向 α 的函数。变异函数的分析是地质统计学的基本工具, 能够较好地表征区域化变量的基本特征, 特别是能透过随机性反映区域化变量的结构性。传统储量计算方法及经典概率统计不足, 变异函数分析正好弥补这一缺陷。

葛源矿区勘探工程基本间距为 $100 \text{ m} \times 160 \text{ m}$, 平巷在垂深方向的间距为 50 m , 因此在计算变异函数时的基本滞后距取 50 m , 搜索角为 10° , 进行 0° , 10° , 20° , ..., 170° 共 18 个水平方向以及垂直方向(倾

角分别设为 $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, \dots, 75^\circ$) 的变异函数计算。

实验变异函数的计算是拟合变异函数(矿床数学模型)获得的基础。选取组合样钽、铌品位作为区域化变量,利用 Minesight 软件对其进行试验变异函数计算与拟合。通过对钽铌矿体地质特征和钽、铌元素相关关系的研究,对钽、铌两种元素分别建立数学模型。变异函数计算完成后可进行变异函数的拟合。

按 Minesight 软件对数据服从正态分布时的一般处理程序步骤进行拟合,得到钽、铌品位理论变异函数球状模型参数,将这些参数输入程序, Minesight 软件将自动进行拟合。以钽矿体走向为例,得出变异函数及其拟合结果(图 1),各方向的参数见表 1。

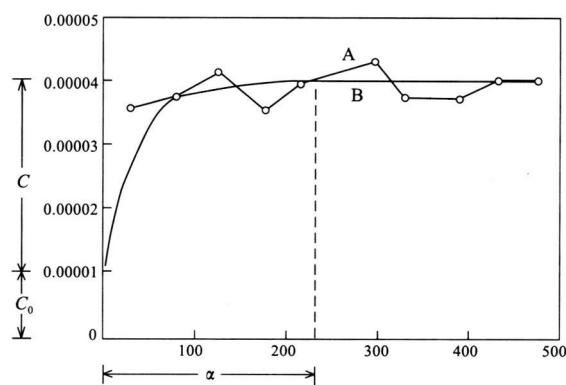


图 1 钽矿体走向方向函数变异图

Fig. 1 Plot showing variable function of ore body along strike

α . 变程 C_0 . 块金常数 C . 跃迁系数

A. 实验变异函数曲线 B. 拟合变异函数曲线

表 1 钽数学模型参数表

Table 1 Parameters for Math model of Ta

方向	$90^\circ \angle 0^\circ$	$0^\circ \angle 0^\circ$	钻孔垂深	平均
变程 α	231	213	232	225
块金常数 C_0	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
跃迁系数 C	0.00003	0.00003	0.00003	0.00003
基台值 $C_0 + C$	0.00004	0.00004	0.00004	0.00004

从表 1 可看出,在 90° (主轴)、 0° (次轴) 和垂直方向上具有相同的块金常数和跃迁常数值,但变程不同,说明钽品位变异函数均具有几何异向性结构。该几何异向性结构反映了本区花岗岩型矿化的实际,是矿体总体走向呈近 EW 向、产状形态稳定及品位变化小等矿化特征的具体表现。据上述钽变异函数几何异向性参数,几何异向性结构的套合由

Minesight 软件在计算机上完成,获得了矿床钽的模型参数,其球状变异函数理论模型及参数分别为:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ 0.00001 + 0.00003 \left(\frac{3}{2} \times \frac{h}{225} - \frac{1}{2} \times \frac{h^3}{225^3} \right) & 0 < h \leq 225 \\ 0.00004 & h > 225 \end{cases}$$

参数为 $C_0 = 0.00001, C = 0.00003, \alpha = 225$ 。

拟合变异函数理论模型经交叉验证,实际值与估计值的均值偏差很小,表明用该变异函数曲线参数对组合样品品位进行估计是无偏的,用地质统计学方法插值建模是合适的。

6 品位与资源储量估算

6.1 矿床地质建模

实体模型是用来描述三维空间的物体,是三维模型的基础。为了更准确地进行克立格估值,根据钽铌矿床赋存在松树岗隐伏岩体内、分为 4 种矿石类型等地质事实,以钻孔控制及地质外推圈定,用 Minesight 软件通过人机交互方式,建立了 5 个岩石实体模型(图 2): 隐伏花岗岩体模型,即矿化域,品位估值不超过此范围;云英岩化花岗岩模型(顶部灰色部分);弱钠化花岗岩模型(中部浅灰色部分);中钠化花岗岩模型(左下部灰黑色部分);强钠化花岗岩模型(底部深灰色部分)。由于矿体赋存在图 2 中 4 种蚀变花岗岩中,岩石实体模型成为此后矿块品位估算的最重要的限制条件。

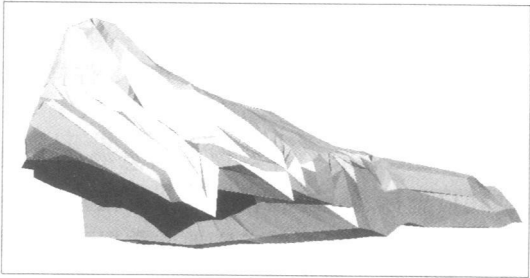


图 2 云英岩化及强、中、弱钠化花岗岩模型图

Fig. 2 Model of granite with phyllic and strong medium and weak sodium alteration

根据矿体的形态和工程控制网度,矿床地质模型待估块段尺寸定为 10 m (东向) $\times$ 10 m (北向) $\times$

10 m(垂直方向),模型空间范围共有 460 万个块段,每个块段有 30 余项数据,其中用于资源储量计算的主要有 26 项(包括地形地表项、参与估值的样品数、克立格品位、多边形法品位、距离反比法品位、克立格方差、岩石类型、矿石类型、矿石体重、矿体代号、储量级别等)。其中,地表(TOPO)项赋为原始地表地形,等高线间距 10 m;体重(SG)项赋值:浅部云英岩化花岗岩型矿石 2.73 t/m^3 ,钠长石化花岗岩型矿石 2.64 t/m^3 。

6.2 品位估算

将矿床分为单元块后,需要应用某种方法对每一小块的平均品位进行估计。常用的方法有三,即最近样品法、距离 N 次方反比法和地质统计学法(即克立格法)。三者均基于样品加权平均的概念,即对落在以单元块为中心的影响范围内的样品品位进行加权平均求得单元块的品位。三种方法的根本区别在于所用权值不同。前二种为传统的估算方法,仅应用诸如矿体厚度、矿体垂直剖面或水平断面的面积、样品长度以及单工程之间的距离等因素来加权,由于未考虑到品位的空间变异性,所以一般会造成品位估计偏差较大。而地质统计学法正好避免了上述缺点,它是以矿床的各个方向变异函数的参数为基础计算出加权因子,充分考虑了矿体形态的空间变化及其品位空间变化特征,克立格估值是在一定条件下具有无偏性和最佳性的线性估值。

Minesight 矿业软件提供的品位估算方法除传统的方法外,还提供了多种克立格法,我们选取了普通克立格法估算钽铌矿品位和资源储量。

根据勘查规范推荐的碱性长石花岗岩型钽铌矿一般参考工业指标,取钽克立格边界品位(TAKR) $\geq 0.01\%$,钽克立格最低工业品位(TAKR) $\geq 0.012\%$,用上述边界品位圈定的矿体空间形态如图 3 所示。

按变异函数拟合确定的变程、勘探网度等参数,以及矿床地质勘查情况等的研究,确定普通克立格法估计邻域搜索范围为 $200 \text{ m} \times 190 \text{ m} \times 80 \text{ m}$ (钽、铌)。

圈定矿化域的边界后,在钽、铌矿化域限制范围内直接对每个块段进行品位估计。

通过估值,得到每个块段的克立格品位及块段的方差值。

6.3 资源储量估算

根据克立格品位估计等结果,利用 Minesight 软件,可按不同边界品位、不同储量级别、不同矿石

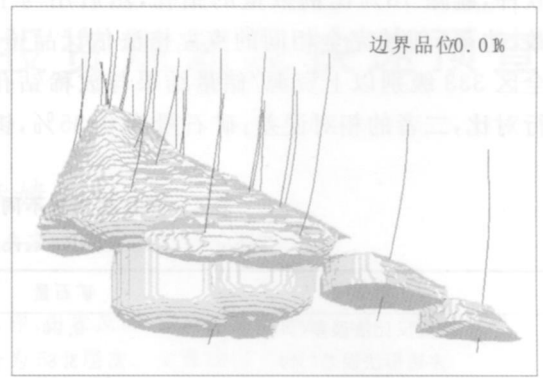


图 3 钽克立格品位壳图

Fig. 3 Shell model of Ta kriging value

类型、不同中段快速统计出模型的资源储量。例如,输入钽边界品位 0.01% ,软件就能统计出各级别钽铌资源储量、钽铌总资源储量、共生铷资源储量等。

以往采用传统的手工方式计算矿床资源储量,一般是根据给定的边界品位、工业品位等参数来计算,得到一个相应的固定资源储量结果。而采用 Minesight 软件可以用多组工业指标动态圈定矿体,动态估算矿床资源储量,计算矿区任意块段、中段(台阶、分层)的分块、框块资源储量。而所得品位-吨位关系图(图 4)对适应市场经济的需要、动态地进行矿床经济评价具有十分重要的意义。

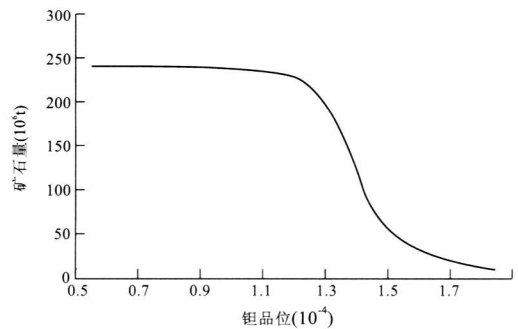


图 4 钽品位-吨位图

Fig. 4 Plot showing Ta tonnage and grade

为了进行误差分析,我们还分别用反比法、多边形法和垂直平行断面法等传统方法估算了钽铌品位和资源储量。钽边界品位均取 0.01% ,将用克立格法估值所获 333 级别以上资源/储量分别与距离反比法、多边形法、垂直平行断面法估算结果进行对比(表 2),结果表明,用克立格法估值品位估算所获 333 级别以上资源储量精度较高,相对误差均在允许范围之内。

为检验矿区钻孔网度控制的合理程度,利用矿

业软件,删除 18% 比例数量的钻孔,然后用与上述参数、边界、邻域完全相同的克立格法估计品位,所获全区 333 级别以上资源/储量结果与放稀钻孔前进行对比,二者的相对误差:矿石量为 0.35%,钽品

位为 0,钽金属量为 0.03%,方差为 10%,结合二者的水平断面矿体形态对比图(图略),表明矿区对 333 级别以上(含 333 级别)资源/储量的钻孔控制网度有适当放稀的可能。

表 2 克立格法与不同品位估值方法的资源储量相对误差
Table 2 The relative error between kriging and other estimations

对比项	矿石量	钽品位	铌品位	钽金属量	铌金属量
距离反比法误差(%)	0.20	0	0	0.12	0.04
多边形法误差(%)	3.8	0.71	0	2.8	3.65
垂直平行断面法误差(%)	1.69	0	0.93	2.37	0.95

7 结束语

利用 Minesight 矿业软件,将地质统计学的普通克立格法应用于建立葛源铌钽矿床地质模型,进行矿产资源储量估算,把矿床地质条件和市场经济条件紧密结合起来,根据市场经济条件的变化,动态地评估矿产资源,更准确及时地反映资源变化情况,从而最大限度地满足市场经济要求,提高市场竞争能力。应用 Minesight 软件动态估算矿床资源储量,为后续矿山规划、生产、投资、决策以及采矿设计、选矿设计等提供了科学依据,将使矿山获得最大的经济效益。

本文是在江西有色地质矿产勘查开发院《江西省横峰县葛源矿区铌钽矿详查地质报告》基础上编

写的,是该项目全体人员的集体成果。

参考文献:

[1] 李赋屏,蔡劲宏,任建国. 矿业软件在矿产储量评价中的应用[J]. 桂林工学院学报, 2005, 25(1): 26-30.

[2] 任建国. 用普通克立格法计算永平铜矿床储量[J]. 矿产与地质, 2001, 15(1): 69-72.

[3] 侯景儒. 实用地质统计学[M]. 北京:地质出版社, 1998.

[4] 姜华,秦德先,陈爱兵,等. 国内矿业软件的研究现状及发展趋势[J]. 矿产与地质, 2005, 19(4): 422-425.

[5] 黄竞先,李春霞. 矿业地质统计学在我国的应用现状及对影响克立格估计的若干因素的研究[J]. 有色金属矿产与勘查, 1997, 6(4): 38-43.

[6] Journel A G(侯景儒,黄兢先,译). 矿业地质统计学[M]. 北京:冶金工业出版社, 1982.

APPLICATION OF MINESIGHT SOFTWARE TO CALCULATION OF MINERAL RESOURCES OF GEYUAN Nb-Ta ORE DEPOSIT

HE Wei-ji^{1,4}, ZENG Xiao-jian², REN Jian-guo³, CHEN Zheng-qian²

(1. Information Engineering College of the East China communication University, Nanchang 330000, China;
2. Jiangxi Nonferrous metal Exploration and Development Institute, Nanchang 330002, China;
3. Yongping Cu Mine, Jiangxi Cu Industrial Co., Qianshan 334506, Jiangxi, China;
4. Jiangxi Rare Earth and Rare Metals Tungsten Group Corporation, Nanchang 330046, China)

Abstract: Minesight software is used to set up geological model of Geyuan Nb-Ta ore deposit. Extent of Kriging values is defined by the real granitic body and the ore body is delineated by the varied cut-off grades and the mineral resource estimated dynamically. The estimation is accurate and meets the needs of marketing to the maximum extent.

Key Words: Minesight software; the normal kriging method; geological model of ore deposit; mineral resource estimation; Geyuan Nb-Ta ore deposit