

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2015.02.014

# 基于 Micromine 的赞比亚西北省 希富玛铜矿床资源量估算

张士红<sup>1</sup>, 李传班<sup>1</sup>, 杨国防<sup>2</sup>

(1. 中矿资源勘探股份有限公司, 北京 100089; 2. 核工业北京地质研究院, 北京 100029)

**摘要:** 赞比亚西北省希富玛铜矿床是中矿资源勘探股份有限公司在“走出去”战略背景下取得的一个勘探找矿成果。文章基于 Micromine 三维矿业软件平台, 建立了希富玛铜矿床地质数据库, 并对矿体进行了地质解译及圈定, 同时结合矿区的一个矿体, 介绍了采用距离反比加权法进行资源量估算的原理和流程。

**关键词:** 希富玛铜矿床; Micromine; 距离反比加权; 资源量估算; 赞比亚

**中图分类号:** P624.7; P618.41 **文献标识码:** A

## 0 引言

自 20 世纪 80 年代以来, 随着三维建模可视化技术的成熟和地质统计学的深入研究, 一系列 GIS 和三维矿业软件被广泛应用, 并得到了矿业界普遍认可, 比较著名的有 MapGIS、ArcGIS、DataMine、Surpac、Micromine 等。新技术和方法的应用, 对地质科研、找矿勘探、矿床资源状况动态更新(矿体三维可视化建模、矿产储量估算自动化和智能化)、科学规范管理及资源合理共享等都具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。

随着中国经济的持续、高速增长, 对矿产资源的需求也持续、刚性放量, 全球市场配置资源已经成为中国社会经济可持续发展的必然选择。近年来, 在“走出去”战略支持下, 经过十余年的发展, 矿业“走出去”战略有所斩获。目前我国矿业企业对外投资目的地主要集中在澳大利亚、加拿大、非洲和东南亚等地区, 主要矿种集中于铜、铁和黄金等矿产资源, 这 3 个矿种的投资项目数均占到了总投资项目数的 20%<sup>[3]</sup>。赞比亚西北省希富玛铜矿床就是在这一大

的矿业投资背景下勘查探获的。

本文将基于 Micromine 三维矿业软件平台, 建立希富玛铜矿床的地质数据库, 采用距离反比加权法对其中的一个矿体进行资源量估算, 并利用封闭多面体估算法对估算结果进行了验证。

## 1 矿床地质概况

希富玛矿床位于赞比亚西北省境内卢弗里安(Lufilian)褶皱弧的复向斜带内。区内主要出露地层为新元古界加丹加超群孔德龙古组、木瓦夏组和第四系黏土层。木瓦夏组是矿区的主要地层, 以碳质砂岩、泥质白云岩、大理岩等为主, 局部见含铜碳酸盐岩; 其中, 碳质砂岩与泥质白云岩呈互层产出, 而含铜碳酸盐岩则夹于碳质砂岩之中, 此类岩石在矿区中为钻孔所揭露。孔德龙古组变质砂岩是矿区北部地表出露最多的岩层, 分布面积广, 厚度较大, 局部地区可见到小面积分布的含铁砂岩。根据钻孔揭露, 第四系黏土层的厚度多为 20~40 m, 局部大于 40 m, 一般呈黄褐色, 部分地方因土质中氧化铁

收稿日期: 2014-11-05; 责任编辑: 王传泰

作者简介: 张士红(1987—), 女, 助理工程师, 2012年毕业于东华理工大学地图学与地理信息系统专业, 获硕士学位, 现主要从事矿产勘查、矿产资源 GIS 及储量评估工作。通信地址: 北京市海淀区长春桥路 11 号万柳亿城中心 A 座 5 层, 中矿资源勘探股份有限公司; 邮政编码: 100089; E-mail: shzhang@outlook.com

含量较高而呈红褐色。

本文所研究的矿体产出于矿床南矿带下部,平面上位于15—35勘探线之间,垂直方向上位于789~1 272 m标高范围内,埋藏深度为50~464 m,由26个钻孔控制。矿体主要受碳质砂岩层控制,其空间形态变化与地层产状变化相关。在空间上,矿体NW走向,长756 m,沿倾向延深变化较大,长度为100~800 m,倾向40°,倾角为35°~45°。矿体厚度为1~56.70 m,平均15.24 m,厚度变化系数为90%。矿体平均品位为 $w(\text{Cu})=0.72\%$ ,品位变化系数为109%。

## 2 资源量估算流程及方法原理

### 2.1 资源量估算流程

基于 Micromine 的矿体资源量/储量估算包括3个核心工作环节:地质数据库建立、矿体空间形态建模以及矿体属性建模<sup>[4]</sup>。

“地质数据库建立”的核心工作是收集已有的地质勘探数据,包括地质、地形、地球物理、地球化学、遥感及探采资料,并进行数字化、规范化。建立基于 Micromine 的地质数据库是为矿体圈定、三维建模和资源/储量估算提供数据基础。此工作环节尤其值得注意的是数据的完整性检查和正确性校验,完善的数据库是后续工作可靠性的保证<sup>[5]</sup>。

“矿体空间形态建模”的核心是在综合分析矿床地质特征的基础之上,严格依据工业指标,由勘探线剖面/中段到三维立体空间,从矿体地质解译线到三维线框模型(TIN模型),逐步完成矿体的圈定工作。需要强调的是矿体地质解译不是就矿连矿,要充分调动融合地质工程师成矿认识和三维空间概念,使所圈定的矿体最大限度的接近实际形态。

“矿体属性建模”的核心是根据矿体形态特征和有限的采样数据,采取合理的数学方法(例如距离反比加权法、克里格法等)对矿体进行空间品位插值,来构建或模拟真实矿体品位分布规律,进而求取平均品位、体积、吨位和金属量等特征<sup>[6]</sup>。

### 2.2 距离反比加权法原理

本次工作依据矿体品位的基本统计参数,主要是品位变化系数(研究矿体品位变化系数为109%,变化比较稳定),确定选择距离反比加权法进行品位插值,取幂指数为2。

距离反比加权法(Inverse Distance Weighting)

又称为谢别德(Shepard)法,是一种常用而简单的空间插值方法,其基于“地理第一定律”的基本假设,即两个物体相似性随他们间的距离增大而减少,以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本赋予的权重越大。可使用公式表示为:

$$P(\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{[d_i(x, y, z)]^u}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{[d_i(x, y, z)]^u}}$$

式中, $P(\alpha)$ 为待插点的值; $d_i(x, y, z)$ 表示由离散点 $(x_i, y_i, z_i)$ 到 $P(x, y, z)$ 点的距离;权函数 $W_i(x, y, z) = 1/[d_i(x, y, z)]^u$ ;  $u$ 为距离的幂指数。

## 3 矿体建模及资源量估算

下面以赞比亚希富玛铜矿床的一个矿体为例,对基于 Micromine 软件进行资源/储量估算工作进行阐述。

### 3.1 地质数据库的建立

三维可视化模型的建立是基于矿区大量数据信息搜集分析、处理和数据库建立的基础上开展的。本次开展的三维建模示例,是建立在矿区1:5 000实测地形图和64个施工钻孔(控制示例矿体的钻孔为26个)基础上。其中,钻孔数据包括测点数据601个,化学取样分析结果4 912个,岩心编录931条;通过建立井口、测斜、样品分析和岩性4类文本文件,使用 Micromine 进行三维空间的可视化建立。

在此过程中,数据错误检查极为重要,以确保后面工作的真实性和正确性。经常出现的错误有以下几类:①数据在转抄数字化过程中出现的错误;②4个数据库文件的关键字段的对应情况;③钻孔信息描述的完整性;④钻孔倾角需在一90°至0°范围内;⑤测量记录和岩性、样品分析区间记录不超过井口文件中的孔深;⑥钻孔样品文件和岩性文件区间范围不重叠。

### 3.2 矿体空间形态建模

在地质数据库基础上,根据矿体的产状、控矿构造特征和样品基本分析结果,按照工业指标:边界品位0.3%,最低工业品位0.5%,矿床平均品位0.7%,最小可采厚度1 m,夹石剔除厚度4 m,利用直线进行剖面上矿体边界的圈定。然后采用手动三角网构面技术,连接剖面解译线,生成矿体线框实体模型(图1)。所圈定的矿体线框实体模型可用于矿体轮廓可视化三维显示、表面积和体积计算,以及限

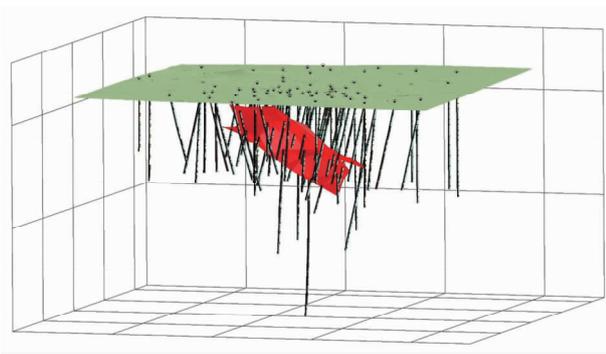


图1 地质数据库与矿体模型三维展示

Fig. 1 3D models of geological database and ore body

制块体模型的生成和过滤样品数据进行品位插值。

### 3.3 矿体属性建模

#### 3.3.1 样品组合

距离反比加权法的研究对象是等空间支撑度的量,即需要对矿体内的样品数据进行等长度组合,以确保用于估值的品位按照相同的样长加权平均,保证估值过程不出现偏差。本次建模矿体的分析样品的原始长度,大约有99%的样品长度在0.5~1.5 m之间,大多数样品的样长处于1 m左右(图2)。为了尽可能不改变原有数据,使用样品的原始信息,采用1 m作为组合样品长度,新组合的样品将参与后期的样品插值估算。

#### 3.3.2 品位统计及特高品位处理

对本次建模矿体内组合样品分析结果进行基本统计(图3):矿体样品数为404个,样品品位均值为0.77%,品位变化系数为1.09。根据铜矿勘查规范,对于变化系数在1~1.6之间,品位变化程度为较均匀,特高品位下限值取平均品位的7倍;处理方法是处理前的特高品位所影响矿体平均品位代替。

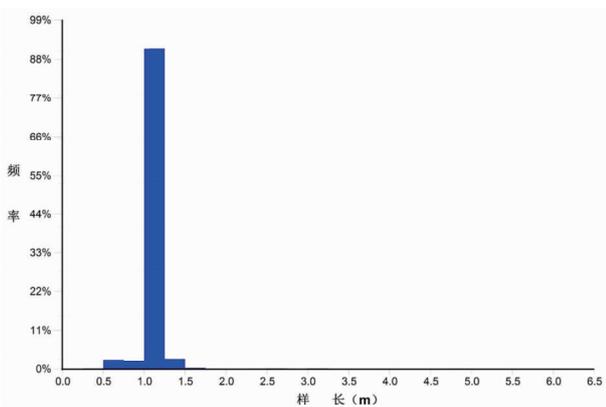


图2 样品长度分布直方图

Fig. 2 Histogram of raw sample lengths

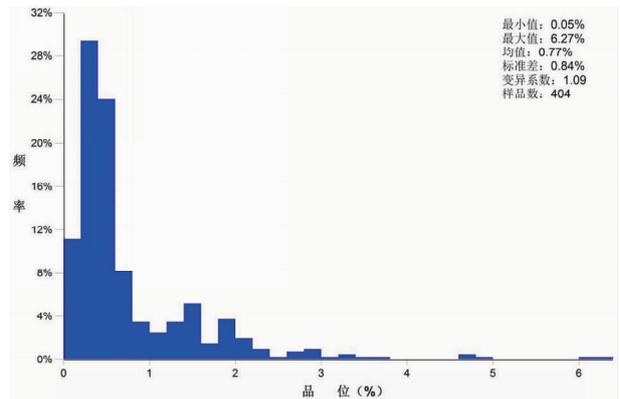


图3 组合样品品位分布直方图

Fig. 3 Histogram of the element grade

本次建模矿体内仅存在2个特高品位值,分别为6.00%和6.27%,用0.77%替代。

#### 3.3.3 建立块体模型

为了精确估算整个矿体的平均品位,克服传统方法用有限样品的平均品位或者样长加权平均品位代替地质块段的品位所带来的不合理的问题<sup>[7]</sup>,将每个矿体划都划分成若干个大小相同的块,每个块都有代表其空间位置的三维坐标,即创建矿体的空块模型。

块尺寸的确定需要综合考虑矿体的形态、工程控制的网度及夹石剔除厚度等因素。本次工作区的基本工程勘探网度为100 m×100 m,组合样长为1 m,夹石剔除厚度为4 m,因此确定矿块尺寸为10 m×10 m×2 m(北×东×高)。次分块方法为块因子法,以保证实体模型边界的精确度。

#### 3.3.4 品位估值

所谓估值,就是在具有相关性的空间范围内搜索已知点,基于距离反比加权法的原理,给予每个已知组合样品一定的权系数,求出块模型中每个矿块中心位置的品位值,实现“最佳、线性、无偏”估计过程。

Micromine软件中“相关性的空间范围”可以通过设置搜索椭球体来控制。实际工作中要求椭球体平面形态基本与矿体形态吻合:长轴倾角与矿体走向的倾角吻合,次轴倾角与矿体倾角一致。

在本次工作的估值中,根据勘探工程的网度,兼顾矿体的连续性,搜索椭球体的基本搜索半径设为125 m,方位角为295°,倾角40°,轴长比例与勘探工程网度保持一致(表1)。同时为了减小来自高密度取样区内的插值偏差,需要分散簇状样品,限制搜索椭球体每个象限的最小和最大样品点数,使其在估

表1 搜索椭球体参数表

Table 1 Search ellipse parameters

| 参数     | 运行次数  |       |       |
|--------|-------|-------|-------|
|        | 1     | 2     | 3     |
| 方位角    | 295°  | 295°  | 295°  |
| 倾角     | 40°   | 40°   | 40°   |
| 倾伏角    | 0°    | 0°    | 0°    |
| 主轴/次轴  | 1.0   | 1.0   | 1.0   |
| 主轴/最小轴 | 0.2   | 0.2   | 0.2   |
| 搜索半径   | 125 m | 250 m | 500 m |
| 最小样品数  | 16    | 16    | 16    |
| 最大样品数  | 48    | 48    | 48    |
| 矿块离散化  | 3×3×3 | 3×3×3 | 3×3×3 |

值时能够无偏性的进行。为了对空块模型中所有的矿块进行估值,插值过程可运行至多3次,逐次增加搜索椭球体搜索半径,每运行1次均对块模型进行检验,直至模型中每个块都被赋予了估计的值。如果3次仍未能插值完全,可能需要检查椭球体设置的是否合理。

### 3.4 资源量的分类

按照我国《铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘查规范》(DZ/T0214—2002)要求:矿区的勘探类型为II类型,控制的内蕴经济资源量(332)按100 m×100 m 勘查工程网度估算;推断的内蕴经济资源量(333)按200 m×200 m 勘查工程网度以及外推部分估算。

### 3.5 资源量估算结果

利用软件计算金属量的公式如下:

$$Q_m = \sum_i V_i \cdot C_i \cdot \rho$$

式中, $Q_m$  为金属量; $V_i$  为块模型体积; $C_i$  为块模型元素品位; $\rho$  为矿石体重<sup>[8]</sup>。

资源量报告显示,该矿体铜矿石量 $929 \times 10^4$  t,铜金属量为 $6.6 \times 10^4$  t,矿体平均品位0.72%,具体资源量估算结果见表2所述。

### 3.6 结果校验

为了确保资源量结果的可靠性,对矿体资源量利用封闭多面体法进行对比验证,对比结果见表3所述。

表2 资源量分类估算结果

Table 2 Mineral resource estimate of a ore body

| 资源量分类 | 矿石体积/m <sup>3</sup> | 矿石量/t   | 平均品位/% | 金属量/t |
|-------|---------------------|---------|--------|-------|
| 332   | 1808866             | 5842637 | 0.72   | 42276 |
| 333   | 1067225             | 3447135 | 0.70   | 24193 |
| 小计    | 2876090             | 9289772 | 0.72   | 66469 |

表3 资源量估算结果对比表

Table 3 Mineral resource estimate validation

| 估算方法   | 矿石量/t   | 平均品位/% | 金属量/t | 相对偏差/% |       |       |
|--------|---------|--------|-------|--------|-------|-------|
|        |         |        |       | 矿石量    | 品位    | 金属量   |
| 距离反比加权 | 9289772 | 0.72   | 66469 | 0.00   | -4.49 | -4.49 |
| 封闭多面体  | 9289806 | 0.75   | 69451 |        |       |       |

从表3中可以看出,封闭多面体法与距离反比法估算的矿石量相对偏差为0.00%,Cu品位相对偏差为-4.49%,Cu金属量的相对偏差为-4.49%,偏差均在允许范围内。造成平均品位存在差异因素有多种,最直接的可能是由于在品位插值过程中,低品位样偏多,其所占权重值偏大造成的。

## 4 结语

基于Micromine三维矿业软件利用距离反比加权法插值体现了对空间上矿体品位估算的优势,更真实地反映矿石品位空间分布结构特征。其与传统的封闭多面体法资源量估算方法(基于TIN三角网模型来对矿体体积进行计算)进行比较,计算结果近一致。事实证明:三维建模软件的应用使地质研究、矿产开发工作更直观和快捷,结果更加真实可靠。

### 参考文献:

- [1] 卢大超,付友山. 三维矿产资源评价软件Micromine在金属矿山资源储量计算中的应用——以吉林舒兰季德钼矿为例[J]. 世界地质, 2010, 29(3): 450-458.
- [2] 陈爱兵,秦德先,张学书,等. 基于Micromine矿床三维立体模型的应用[J]. 地质与勘探, 2004, 40(5): 77-80.
- [3] 边一. 我国矿业企业对外直接投资环境评价体系研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2013.
- [4] 马翀,潘懋,金毅,等. 三维矿产资源评价软件Micromine在金属矿山资源储量计算中的应用——以吉林舒兰季德钼矿为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2011, 47(3): 483-490.
- [5] 曾文波,朱元超,马春,等. 三维地质建模与储量估算在印尼某铁矿的应用研究[J]. 地质学刊, 2011, 35(2): 160-163.
- [6] 姚凌青,潘懋,成秋明,等. 三维Kriging方法中的变异函数套合[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2009, 34(2): 294-298.
- [7] 赵露露,黄绍锋,薛明环,等. 基于Micromine软件的矿体模型构建及矿体资源评价与动态管理——以祁雨沟矿区J4角砾岩型金矿体为例[J]. 黄金, 2012, 33(4): 19-24.
- [8] 郑文宝,黎枫信,唐菊兴,等. 基于Micromine软件下地质统计学在甲玛矽卡岩型铜多金属矿储量计算中的应用[J]. 地质与勘探, 2011, 47(4): 726-736.

## Resource estimation of the shivuma copper deposit in zambia North-western province based on micromine

ZHANG ShiHong<sup>1</sup>, LI ChuanBan<sup>1</sup>, YANG GuoFang<sup>2</sup>

(1. *Sinomine Resource Exploration Co., Ltd., Beijing 100089, China;*

2. *CNNC Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China*)

**Abstract:** Shivuma copper deposit is located in North-western province of Zambia, as a prospecting achievements under the strategic background of “going out”. The paper builds the geological database of Shivuma copper deposit based on the Micromine software platform, and introduces the principles and processes of resource estimation with Inverse Distance Weighting. A series of parameters obtained from this work can provide reference for copper exploration at related regions.

**Key Words:** Shivuma copper deposit; Micromine; Inverse Distance Weighting; resource estimation; Zambia.