

钨矿床三维建模和储量可视化计算

罗周全, 朱青凌, 刘晓明, 李 畅

中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083

摘要 利用国际矿山软件 Surpac 对新田岭钨矿建立地质数据库、三维实体模型和块体模型, 实现地表、断层、地层和矿体的地下三维可视化。根据地质统计学原理对钻孔样品数据进行组合分析, 通过对三维变异函数的计算和拟合, 构造出一个变异函数模型, 对全部有效结构信息做出定量概括。分别采用普通克立格法和距离反比法对矿体金属元素品位进行了估值和储量统计, 并将计算结果与矿山通过实际勘探运用的块体法储量计算的结果进行了对比分析。实践表明, 三维建模可视化可以完整准确地表达出矿山地表、地下地质构造的空间位置关系以及相关矿岩信息, 同时为矿床开采以及生产动态管理提供有效基础。所建模型和品位推估、储量计算结果可靠, 可用于辅助矿山进行资源评估, 这不仅促进了传统采矿手段的发展, 也将对中国矿山企业的数字化进程起到巨大的推动作用。

关键词 Surpac 软件; 三维建模; 变异函数; 储量计算; 可视化

中图分类号 TD672

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)19-0065-04

Visible Modeling and Estimation of Reserves for Tungsten Deposit

LUO Zhouquan, ZHU Qingling, LIU Xiaoming,
LI Chang

*School of Resources and Safety Engineering, Central South
University, Changsha 410083, China*

Abstract Using the mine software Surpac to set up the geological database, the 3D model of orebody and the block model of orebody, the visualization is realized for the three dimensional models of surface, fault, stratum, and orebody. The data of borehole samples are combined and analyzed according to geological data. Through the three-dimensional variogram calculation and fitting, a variogram model is constructed. All information on the effective structure is summarized quantitatively. The ordinary Krigemethod and the distance power inverse ratio -method are used to analyze and estimate the orebody grade and reserves. The evaluation results of these two methods are analyzed and compared with the calculation results of the traditional geological block method. It is shown that the mine surface and the underground geological structure of the spatial relations and relevant ore -rock information can be completely and accurately displayed by the visualization of three

dimensional models. At the same time an effective basis can be provided for the deposit exploitation and dynamic management of production. The 3D model established for the deposit and the estimation method of grade and reserves measurement is reliable and useful for the study of reserve estimation. It not only helps the development of traditional mining methods, but also plays an important role in the digitized process of the mine enterprises in China.

Keywords Surpac software; three-dimensional modeling; variogram; reserve calculation; visible

0 引言

随着计算机技术的飞速发展, 矿床三维建模在国内矿山也开始广泛运用。大型三维矿山设计软件 Surpac 具有强大的三维地质建模能力, Surpac 中提供了(具有)强大的地质统计功能, 对于岩石力学参数的随机分布可以根据地质统计功能为每个单元赋力学参数。在有了各种岩性和试验数据后, 可用输入质心的方法从数据库和图形文件中提取数据, 给各单元赋以属性数据, 采用了大量的估算方法, 如赋值法、相反距离法和普通克立格法等。运用 Surpac 能够进行复杂地质体的三维可视化建模, 三维实体模型不仅准确、直观的诠释了地质体空间形态, 并且为采矿工作者进行辅助工程设计提供了可靠的依据。本研究借助 Surpac 软件建立了某钨矿地质数

收稿日期: 2009-07-22

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAK22B04-12, 2006BAB02B04-1-3-2); 中南大学研究生学位论文创新项目(2008YB025)

作者简介: 罗周全, 教授, 研究方向为事金属矿深井开采数字化理论与技术, 电子信箱: lzq505@hotmail.com

数据库,并在此基础上构建了矿区地表、断层、矿体三维模型以及品位块体模型。针对品位块体模型分别进行了距离反比法和普通克立格法品位估值,运用估值结果进行了储量计算,并与矿山实际勘探获得的矿段法储量进行了对比,结果表明,所建模型可靠,计算结果准确^[1-3]。

1 地质数据库建立

数据库是一种有效的管理数据的工具,可以方便地对数据进行检索、管理, Surpac 软件系统采用模块化的结构,其中之一的地质数据库模块用来管理庞大的地质数据,其主要功能有:地质数据库的建立、地质数据库的维护、地质数据库的分析与处理、地质数据库管理的钻孔可视化等等。可以在三维空间显示地质数据,包括钻孔的轨迹线、品位值、岩性及代码、地层走向等,几乎所有的地质信息都可以以字符、图表、图案方式显示(图 1)。

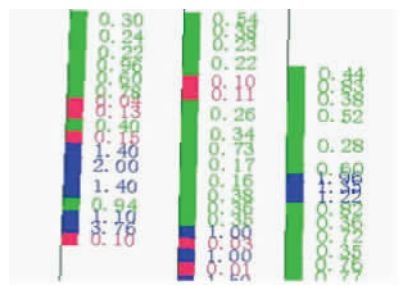


图 1 三维钻孔图

Fig. 1 3D view of drillhole

根据研究需要,认为新田岭钨矿地质数据库需要建立如下数据表:钻孔开口信息表——Collar、钻孔测斜信息表——Survey、钻孔样品品位表——Sample 和钻孔各分段地质信息表——Geology。

首先将地质钻孔数据全部录入到 Excel 文件,进行整理、删除和修改错误的钻孔数据,再分别保存为 Surpac 软件能识别的.csv 格式文件。最后导入到了数据库后,完成地质数据库的构建^[4]。

2 三维模型建立

2.1 地表模型生成

地表模型可以清楚地反映出地形地貌、公路建筑物及矿床的空间位置关系,可以通过以下步骤建立地表模型。

- 1) 在 Surpac 中导入已经在 CAD 中赋予相应高程值的等高线文件;
- 2) 连接或闭合同一高程等高断线,使之形成一条完整的高线,保存为等高线的线文件;
- 3) 利用线文件生成 DTM 地表模型;
- 4) 分别在不同的图层建立公路、河流和建筑物等,将公路、河流、建筑物等附着在地表模型 DTM 之上。

采用上述方法建立的地表模型如图 2 所示。

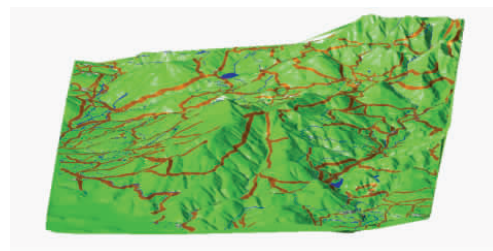


图 2 地表三维模型

Fig. 2 Surface 3D model

2.2 断层模型生成

新田岭钨矿床是一个地质构造十分复杂的矿体,该矿床被区内错综复杂的断层将其切割成许多小矿床(体),在建立模型之前,通过各个剖面图对断层进行分析,同时将图纸上有的断层信息全部导入 Surpac 软件中。处理好断层线后,对每个断层按照断层的走向及断层名称进行实体模型建立,其中,F1~F19 分别为新田岭钨矿床中不同的断层带,最后生成的新田岭断层模型如图 3 所示。

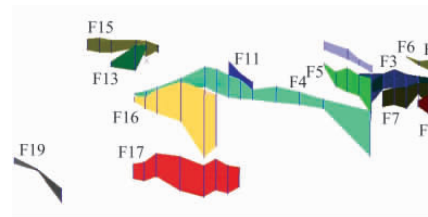


图 3 断层三维模型

Fig. 3 The 3D fault model

2.3 地层模型生成

根据钻孔资料构建地层模型,三维地层模型能够完整准确地表达复杂地质的边界条件及地质体内包含的各种地质构造,使其增加三维动态直观效果和准确性。新田岭地层类型不多,但地层线较复杂,地层主要有石炭系下统大塘阶(C_{1d})(又分为石磴子段(C_{1d1})、测水段(C_{1d2})、梓门桥段(C_{1d3})),石炭系中上统壶天群(C_{2+3}),全新统冲击层(Q_h)和残坡积物。

通过对孔数据、中段平面图、穿脉编录资料及整个地层的大致走向、倾向等分析,得出单个剖面的地层线;将全部信息导入 Surpac,再根据其走向和名称将各个地层线连接成地层实体模型,地层模型如图 4 所示。

2.4 矿体模型生成

矿体模型可以描述地下三维空间矿体的形状,在圈定矿体边界之前先参考地层、断层模型、中段平面图、穿脉编录资料和钻孔数据等了解清楚矿体的赋存条件、变化规律和控矿等因素,再通过显示钻孔品味信息圈定出矿体边界,才能圈定出符合实际矿体走向和变化规律的矿体边界线,单个矿体剖面线如图 5 所示,最后连接矿体边界线形成三角网体。

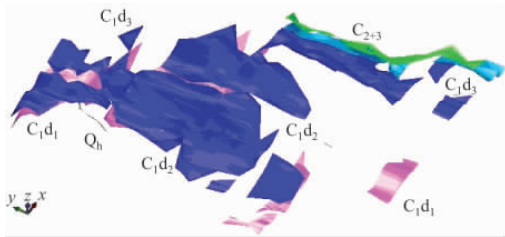


图 4 地层三维模型
Fig. 4 The 3D stratum model

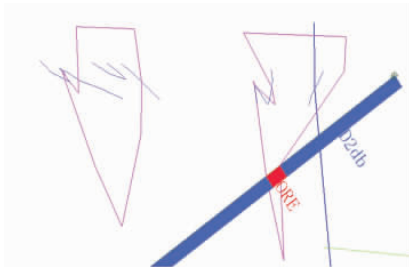


图 5 单个矿体剖面线
Fig. 5 Single orebody's borderline

通过“体”进行的计算量精度更高、实用性更强,可适用于各种复杂矿体,同时也为以后的品位和储量计算提供约束条件。新田岭的矿体比较多而零散,如图 6 所示。

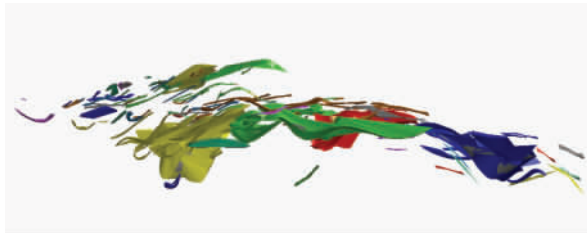


图 6 矿体三维模型
Fig. 6 The 3D orebody model

2.5 块体模型生成

块体模型是矿床品位推估及储量计算的关键,将块体模型与地质统计学相结合,运用数学方法对品位分布进行建模,由于品位分布是在资源中受地质因素控制而明显存在的,从而形成一定约束条件下的品位模型^[5-6]。它是一种分割矿体、模拟矿体内部特征的有效数据模型,它把矿体划分为一系列小长方体单元,其范围涵盖了矿山所有探矿钻孔确定的区域。综合考虑矿山现有采矿方法、矿区勘探网度及元素变异函数的特征等因素,新田岭块体模型的示意图和具体参数如图 7 和表 1 所示。

以上生成的块体模型,其范围涵盖 0~700 m 新田岭矿段所有探矿钻孔确定的区域。满足该矿段矿体储量计算等工作的需要。

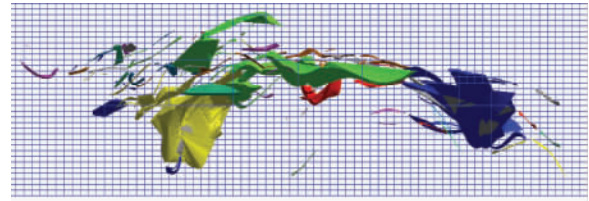


图 7 块体模型立体图
Fig. 7 The block model

表 1 块体模型单元块尺寸
Table 1 Parameters of the block model

单元块尺寸/m			可分解的最小单元块尺寸/m		
<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
30	30	15	1.875	1.875	0.937

3 品位推估与储量计算

3.1 样品组合与变异函数分析

根据勘探工程 Surpac 自动采用长度加权法对钻孔进行组合,样品组合的计算公式为

$$G_c = \frac{\sum_{i=1}^m G_i L_i}{\sum_{i=1}^m L_i} \quad L_c \geq \sum_{i=1}^m L_i \geq 0.5 L_c \quad (1)$$

式中, G_c 为组合样参数值, G_i 为位于组合样计算长度范围内的第 i 个样品的参数值, L_i 为第 i 个样品的长度, L_c 为组合样的长度, m 为参与组合样计算的样品数。

通过组合运算,对组合样品品位进行统计分析,结果符合正态分布,如图 8 所示。

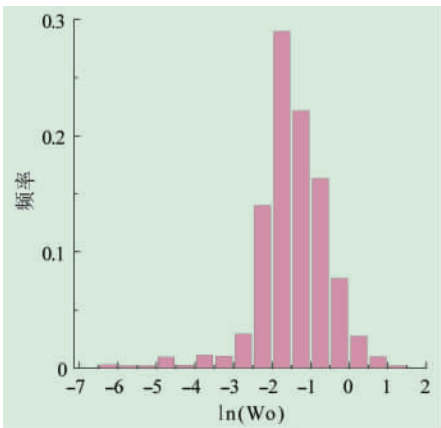


图 8 Wo 元素样品品位分布直方图
Fig. 8 Wo sample grade distributing histogram

为利用样品数据进行块体模型中相应参数的估值,除进行各个样品参数的基本统计分析外,还需要进行变异函数分析,以确定各参数在空间上的相关性和结构性^[7]。由变异函数分析可以得到的基本参数包括:各参数的基台值、各参数的

块金值、各参数的变程(即某一样品段在三维空间上能够影响的范围)^[8-9]。

传统实验变异函数的计算公式为

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z_i(x)-Z_i(x+h)]^2$$

(2)

式中, $N(h)$ 为滞后距为 h 时参加实验变异函数计算的样品个数, h 为滞后距, Z 为区域化变量在空间点上的品位值。

根据理论变异函数参数交叉验证判断准则,所拟合的理论变异函数模型可靠且参数准确,完全可以用于该矿床的品位推估和储量计算,如图 9 和表 2 所示。

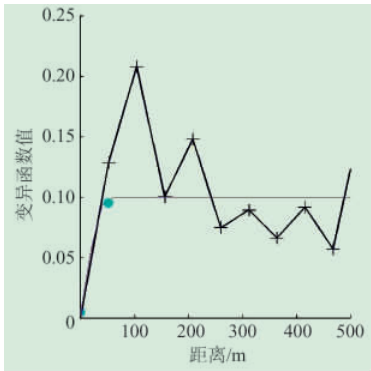


图 9 Wo 走向方向的实验和理论变异函数曲线
Fig. 9 Experimental and theoretical variogram curve of Wo strike direction

表 2 Wo 元素品位各项异性变异函数参数的交叉验证结果
Table 2 Cross-validation results of anisotropic variogram parameter

金属元素	误差均值	标准误差均值	标准误差	2 个标准差范围内误差所占比例
Wo	0.009 5	0.162 5	0.145 5	96.35%

3.2 矿床储量计算

在对块体模型赋值后,根据品位块体模型计算各金属储量,分别按距离反比法和普通克立格法(Krige method)生成其品位-储量对比曲线^[10-11],如图 10 所示。距离反比法、普通克立格法和矿山块段法生成的钨矿储量进行对比见图 11。

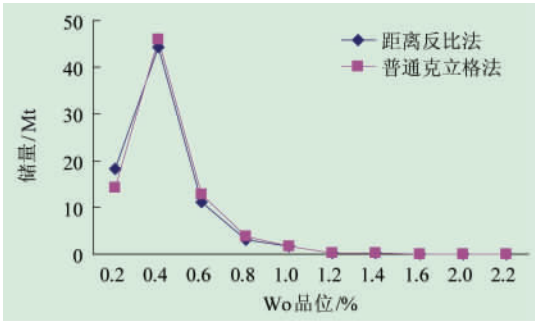


图 10 Wo 矿储量估值对比
Fig. 10 The ordinary Krige method and the distance power inverse ratio-method

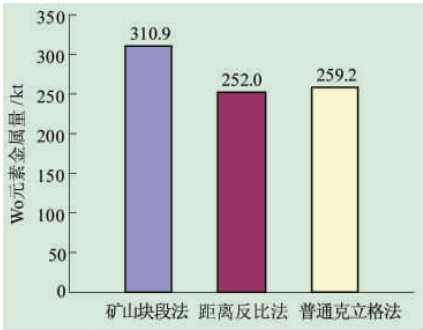


图 11 不同估值方法的 Wo 元素金属量对比
Fig. 11 Different method of evaluation of the amount of Wo metal

4 结语

运用大型矿山软件 Surpac 使矿山实现数字化生产,有效地建立了新田岭钨矿床的地质数据库、地表、断层、地层、矿体和块体模型,运用距离反比法和普通克立格法分别对 Wo 资源进行了储量计算,并且与矿山实际探明的储量进行了验证。实践表明,矿床三维建模和储量可视化弥补了矿山块段法的不足,而且计算速度快、精度高、工程形象直观,可服务于矿山生产周期的各个阶段,为矿山进行资源评估和合理规划设计生产提供依据。

参考文献 (References)

[1] 李仲学, 李翠平, 李春民, 等. 地矿工程三维可视化技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
Li Zhongxue, Li Cuiping, Li Chunmin, *et al.* 3D visualization technology for geological and mining engineering[M]. Beijing: Science Press, 2007.

[2] Surpac International Software Company. Surpac vision software user manual[M]. 4 ed. Beijing: Surpac International Software Company, 2000.

[3] Relman S, Ghorl S G. Spatial estimation of global solar radiation using geostatistics[J]. *Renewable Energy*, 2000, 21(3/4): 583-605.

[4] Luo Z, Liu X, Su J. Deposit 3D modeling and application [J]. *Journal of Central South University of Technology*, 2007, 14(2): 225-229.

[5] 徐静, 胡乃联. Surpac 软件在某金铜矿山的应用研究 [J]. *黄金科学技术*, 2007, 15(1): 54-58.
Xu Jing, Hu Nailian. *Gold Science and Technology*, 2007, 15(1): 54-58.

[6] 郭旭东. 脉状铅锌床建模方法探讨[J]. *有色矿山*, 2002, 31(1): 6-9.
Guo Xudong. *Nonferrous Mines*, 2002, 31(1): 6-9.

[7] 李艳, 王恩德, 鲍玉斌, 等. 基于钻孔数据的矿体三维可视化研究与实现[J]. *沈阳工业大学学报*, 2005, 27(4): 418-421.
Li Yan, Wang Ende, Bao Yubin, *et al.* *Journal of Shenyang University of Technology*, 2005, 27(4): 418-421.

[8] Lloyd C D, Atkinson P M. Assessing uncertainty in estimates with ordinary and indicator Kriging[J]. *Comp Geosci*, 2001, 27: 929-937.

[9] 马洪滨, 熊俊楠. 基于地质统计学的储量估算系统[J]. *煤炭学报*, 2007, 32(3): 267-271.
Ma Hongbin, Xiong Junnan. *J China Coal Soc*, 2007, 32(3): 267-271.

[10] 罗周全, 刘晓明, 吴亚斌, 等. 地质统计学在多金属矿床储量计算中的应用研究[J]. *地质与勘探*, 2007, 43(3): 83-87.
Luo Zhouquan, Liu Xiaoming, Wu Yabing, *et al.* *Geology and Prospecting*, 2007, 43(3): 83-87.

[11] Marinoni O. Improving geological models using a combined ordinary-indicator kriging approach[J]. *Engineering Geology*, 2003, 69(1/2): 37-45.

(责任编辑 杨书卷)