

矿体三维数据模型及品位插值方法研究

王恩德¹, 孙立双¹, 蔡洪春², 付建飞¹

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 辽宁省国土资源厅, 辽宁 沈阳 110032)

摘 要:传统的储量计算方法采用几何平均法计算矿体的体积,用部分化验数据的平均品位代替矿块的整体品位,其计算精度很难满足需要.以三维矿体模型为基础计算矿体体积能够提高体积计算精度,以空间插值技术对矿体任意空间位置的品位进行估值,有助于提高品位估值的精度.提出了一种适于矿体储量计算的混合数据模型(线框块段模型),详细论述了根据剖面数据生成矿体线框模型进而在块段模型基础上生成块段模型的方法.介绍了距离反比法和克里格法的原理.利用距离反比法结合某金矿体数据进行了储量估算,结果表明以线框块段模型为基础,采用空间插值技术计算矿体储量具有一定的实用价值.

关键词:线框块段模型;插值方法;储量计算

传统的储量计算方法采用简单的几何平均法计算矿体的体积,用部分化验数据的平均品位代替矿块的整体品位,其体积计算方法实质上是以规则块体的体积近似代替不规则实体的体积,体积计算精度难以保证,其品位计算方法没有考虑到矿化过程中成矿元素的空间相关性.随着三维建模理论和三维空间插值技术的不断成熟,以三维矿体模型为基础通过空间插值技术来计算矿体储量已成为发展趋势.以三维矿体模型为基础计算矿体体积,能够提高体积计算的精度.以三维空间插值技术对矿体任意空间位置的品位进行估值,有助于提高品位估值的精度.

1 矿体三维数据模型

三维模型的建立目前尚缺乏统一而完备的理论技术^[1],近 20 年来国内外学者对三维建模理论进行了深入研究,提出了十几种有代表性的模型.按照空间构模原理和数据结构的几何特征^[2]可分为面模型、体模型、面与体的混合模型.面模型的优点是存储量小,便于显示和更新,缺点是缺少三维模型内部属性描述,很难进行空间分析和属性查询;体模型的优点是易于进行空间操作和分析,但存储空间大,计算速度慢;混合模型旨在综合发挥面模型和体模型的优点,取长补短.以储量计算为目标的三维矿体建模方法多采用线框块段模型(Wireframe-Block),该模型以

线框表达空间目标的边界,以块段充填空间目标的内部,是一种适用于矿体储量估算的面体混合建模模型.

1.1 线框模型

线框模型(Wireframe Model)是 CAD/CAM 领域使用最早也较为广泛的一种模型,它将空间物体表面轮廓线上的特征点,通过线段连接生成封闭的多边形,然后将多边形拼接形成能够描述空间物体外部形态的线框轮廓(图 1).线框模型的优点是能很好地反映空间实体的表面结构,容易构建复杂的空间形体.矿体线框模型的构建常以地质剖面数据为基础,通过对勘探线剖面上有特定属性意义的界限进行属性赋值,对二维剖面进行属性和拓扑编辑后,将相邻剖面图上地质意义相同的地质界线用三角面片连接,即构成了具有特定属性含义的 3D 曲面.相邻剖面三角网连接通常采用最小跨距长度算法,该算法也被称为最短对角线法^[3],具体过程如下:

(1) 坐标转换.将相邻两剖面的矿体边界轮廓线通过坐标平移和缩放投影到大小一致的长方形上,以保证相邻矿体边界形体大致相似.

(2) 搜索距离最近的点作为起始点.

(3) 以较短的一条边作为三角形的扩展边生成三角网.

通过最短对角线法生成矿体线框模型后,对矿体

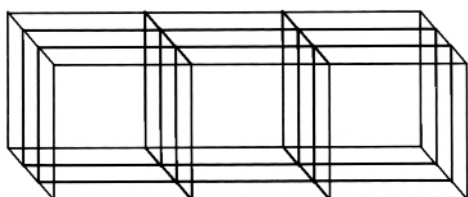


图 1 线框模型

Fig. 1 Wireframe model

表面的每个三角型进行填充就形成了维矿体表面.

1.2 块段模型

块段模型 (Block Model) 是一种基于三维栅格的实体表达方法, 也称为 3D 栅格结构 (3D Array), 模型结构如图 2 所示. 该模型的研究始于 20 世纪 60 年代初, 目前在矿体建模领域已经得到广泛的应用. 在用块段模型表达矿体时, 其隐含的几何结构通过正交方位上栅格的数量和栅格的尺度来定义^[4]. 该模型的优点是数据结构简单, 易于操作, 编制程序易于实现. 3D 栅格结构为矿体内部属性变量 (成矿元素品位) 的插值估算提供了方便的工具. 该模型将三维栅格的中心作为插值的空间位置, 通过空间插值技术 (距离反比法、最小二乘法、克立格法等) 估算栅格中心属性变量的值, 以栅格中心的属性变量值来代替所在栅格的属性变量值, 即形成了具有连续属性的空间矿体. 块段模型有利于研究成矿元素的空间富集规律, 便于根据成矿元素品位动态地估算矿体储量.

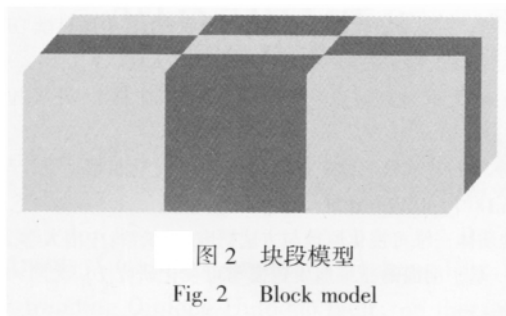


图 2 块段模型

Fig. 2 Block model

为了估算矿体储量, 需要对矿体表面模型进行剖分生成块段模型. 剖分方法采用网格约束法, 其基本思想是通过计算 Wireframe 的最小包容盒来确定母块的中心位置, 然后将母块分成更小的子块, 并判断子块是否位于 Wireframe 内的方法来建立矿体的块段模型. 矿体经过剖分后就形成了不含有地质属性的空块段模型, 为矿体品位插值估算提供了条件. 具体方法如下^[5]:

(1) 将母块分成 $m \times n \times l$ 个子块段.

(2) 经过每个子块段的中心分别作平行于 x 轴、y 轴和 z 轴的直线, 分别计算这 3 条直线与 Wireframe 的交点, 以确定出子块段中心 3 个方向的坐标区间.

(3) 判断该子块段的中心坐标是否位于 3 个方向的坐标区间内. 若 3 个方向均位于坐标区间内, 则认为该子块位于 Wireframe 内.

在判断子块段是否在线框范围内之前, 可以根据线框的坐标范围预先建立网格点区间范围数组, 这样可以根据隐含的空间定位技术快速确定子块段是否在线框范围内, 提高程序运行效率.

2 成矿元素空间品位插值

插值从范围上可以分整体内插、分块内插和逐点内插 3 类^[6]. 基于块段模型的成矿元素品位插值类属于逐点插值, 常用品位插值方法有距离反比法和克立格法.

2.1 距离反比法

距离反比法的原理是: 任意空间位置的属性值与其邻域内的属性值具有空间相关性, 且相关性的大小与邻域点距离的大小相关. 这种关系的量化标准为估值点的品位值与其到邻近样品信息点的 n 次幂成反比, 计算公式为:

$$Z = P_i \times Z_i, \quad P_i = \frac{1/d_i^n}{\sum_{i=1}^m 1/d_i^n} \quad (1)$$

Z_i 表示第 i 个样本点的品位值, P_i 表示第 i 个样本点的权系数, d_i 表示第 i 个样本点距离估值点的距离, n 表示距离的幂.

2.2 克立格法

克立格法为上世纪 50 年代南非采矿工程师 D.G. Krige 发明, 并在 60 年代由法国 G.Matheron 发展和完善. 设 $Z(x)$ 是区域化变量, 在整个区域范围内二阶平稳或本征, $Z(x_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) 是一组离散的信息样品数据, 根据已知样本点的值可以求得未知点的值, 即^[7]:

$$Z(x^*) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

在保证 $Z(x)$ 线性无偏, 且方差最小的情况下可得克立格方程组^[7,8]如下:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j (x_i, x_j) + \mu = (x_i, x^*) & (i=1, 2, \dots, n) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (3)$$

式中 k 为克立格方程系数, Z 为变差函数。

3 实例

实验原形系统采用 VBA 在 Autocad2002 平台下开发, 实验数据为某矿区金矿体数据, 控制矿体的勘探线剖面共 9 个, 勘探线间距约 30 m, 钻孔共 34 个, 矿体走向方向长度约 240 m 化验后的样品品位大于 1×10^{-6} 的共 232 个。通过对剖面图编辑后, 采用切开-缝合法生成矿体线框模型, 其线框图和实体渲染图分别如图 3、4 所示。将三维矿体模型采用网格约束法进行剖分生成块段模型, 图 5 所示为块段大小 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times$

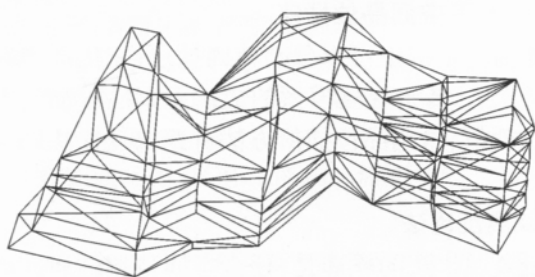


图 3 矿体线框模型

Fig. 3 Wireframe model of orebody

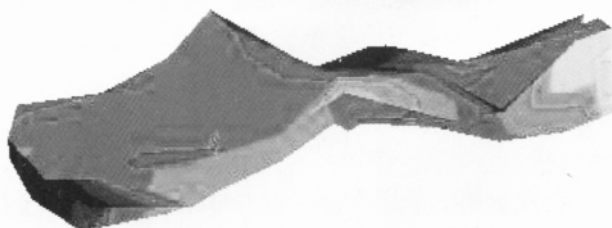


图 4 矿体表面模型

Fig. 4 Surface model of orebody

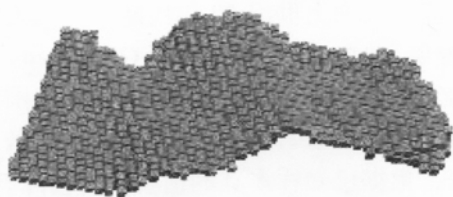


图 5 矿体块段模型

Fig. 5 Block model of orebody

5 m 的三维矿体块段模型。采用距离反比插值法对每个块段的品位估值后得到的矿体吨位品位曲线如图 6 所示。

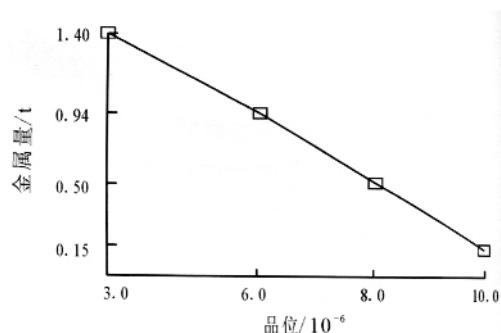


图 6 品位-吨位曲线图

Fig. 6 Curve of metal amount vs. grade of ore

4 结论

本文介绍了一种适于矿体储量计算的面体混合模型(线框块段模型), 详细论述了根据剖面数据生成矿体线框模型进而在该模型基础上生成块段模型的方法, 并结合实例以线框块段模型为基础, 采用距离反比法对某金矿体储量进行了计算。结果表明, 以三维模型为基础采用插值技术计算矿体储量与传统计算方法相比更具科学性和合理性, 对于研究成矿元素的空间分布规律和动态估算矿体储量具有一定的实用性。

参考文献:

- [1] 武强, 徐华. 三维地质建模与可视化方法研究[J]. 中国科学 D 辑 地球科学, 2004, 34 (1): 54—60.
- [2] 吴立新, 史文中. 地理信息系统原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [3] 李梅, 等. 平行轮廓线三维矿体重建算法[J]. 计算机辅助设计与图形学, 2006, 18 (7): 1017—1021.
- [4] 董辉. 地质体三维可视化原理与方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2003.
- [5] 郭甲腾. 基于剖面的三维地质建模与可视化研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2006, 3.
- [6] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001, 7.
- [7] 侯景儒, 等. 实用地质统计学[M]. 北京: 地质出版社, 1998.

THREE- DIMENSIONAL DATA MODEL OF OREBODY AND GRADE INTERPOLATION METHOD STUDY

WANG En-de¹, SUN Li-shuang¹, CAI Hong-chun², FU Jian-fei¹

(1. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China;

2. Liaoning Bureau of Land and Resources, Shenyang 110032, China)

Abstract: Traditionally, the calculation of reserves usually adopts the geometrical average method to count orebody volume and uses the average grade of chemically analyzed samples to represent the whole grade of ore block. However, such calculation accuracy cannot satisfy the demand of production. The accuracy of volume calculation may be improved by the three-dimensional orebody model; while the accuracy of grade assessment can be improved by estimation for random location of orebody with space interpolation. This paper introduces a kind of hybrid data model (Wireframe-Block) suitable for orebody reserves calculation, which gains wireframe model from section data of orebody and then generates block model on the basis of the wireframe model. The reserves of a certain orebody is calculated by inverse distance method. The result shows that the calculation of orebody reserves with space interpolation based on Wireframe-Block is practical.

Key words: wireframe-block model; interpolation method; reserves calculation

作者简介: 王恩德 (1957—), 男, 辽宁盖州人, 教授, 博士生导师, 1982年毕业于中南工业大学地质系, 研究方向资源与环境信息技术、固体废弃物处理、矿山3S技术。

通讯作者: 孙立双 (1977—), 男, 东北大学在读博士生, 通信地址 东北大学资源与土木工程学院 地质与资源环境研究所, 邮政编码 110004, E-mail//sls0304@163.com

(上接第 221 页)

APPLCATON OF RADIOMETRIC METHOD IN THE PROSPECTING FOR GOLD DEPOSITS IN TUANSHANZI AREA, LIAONING PROVINCE

XIN Fu-cheng, LI Zhi-yong, HUANG Fu-xue

(No.242 Geological Party, Liaoning Bureau of Geology for Nuclear Industry, Xingcheng 125100, Liaoning Province, China)

Abstract: Tuanshanzi area in Xingcheng City, Liaoning Province is tectonically located in the east section of the near E-W-trending Qinlong-Huludao fault, on the south margin of Jianchang intrusive rock body and in the Central south of the Bajiazi-Yangjiazhangzi polymetallic metallogenic province. Gold mineralization is controlled by the near E-W-trending fault. The metallogenesis belongs to cataclastic altered rock type, with characteristics of low grade and large amount of ore, which is the first discovery in western Liaoning. For further research on the ore-controlling structure and the distribution of gold mineralization in the area, the radiometric method is adopted in the prospecting and has achieved good results. Because it is simple and easy to be used, the method is significant in the searching of this type of gold deposits in the area and worth to popularize.

Key words: Tuanshanzi area; radioactive geophysical prospecting; gold deposit; application

作者简介: 幸福成 (1964—), 男, 高级工程师, 1988年毕业于华东地质学院, 主要从事放射性、普通物探地质找矿及工程物探工作, 通信地址 辽宁省兴城市 2号信箱, 邮政编码 125100.