

基于三维块体模型的矿体动态构模方法*

李章林, 吴冲龙, 张夏林, 翁正平

(中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了使三维地质建模(3DGM)过程中, 矿体模型能够动态构建和更新, 基于克里格法资源储量估算过程中常用的矿体块体模型, 提出了一种新的方法: 克里格块体(Kriging Block KB)法, 根据已经记录地质统计学插值或模拟结果的矿体块体模型, 创建符合一定工业指标条件的几何结构模型。以自主知识产权的三维地学信息系统平台 QuantView (原 GeoView)为基础对该方法进行了实现, 并且成功地在某矿区动态地构建出了不同边界品位条件下的矿体模型。KB法可以完成大多数矿体模型的构建、更新过程。由于空间插值或模拟技术的引入, 该方法可以有效地融合多源、多类的软、硬性控矿信息, 从而提高建模结果的可信度。此外, 它还可以很容易地扩展到 3DGM 其它类似的领域, 如油气分布等。

关键词: 动态构模; 三维块体模型; 克里格法; 数字矿山

中图分类号: TD391 **文献标识码:** A

文章编号: 1005-2763(2011)01-0060-04

A Dynamical 3D Ore-body Modeling Method
Based on the Block Model

LI Zhanglin, WU Chonglong, ZHANG Xiaolin, WENG Zhengping
(China University of Geosciences, Wuhan,
Hubei 430074, China)

Abstract: In order to achieve the dynamical construction and updating of ore-body model in three-dimensional geological modeling (3DGM), a new method named Kriging Block (KB) method was proposed. The basic idea of KB method is to create a necessary mineral geometry structure model based on the block model which is well-known in geo-statistical estimation or simulation for ore-body resources. Based on three-dimensional geoscience information system QuantView with self-owned intellectual property rights, KB method has been implemented. A case study was carried out to test the validity and practicability of this method and the test had succeeded in dynamically constructing a series of different ore-body models under the relevant cut-off grades. The proposed method can process most of the ore-bodies in dynamically constructing or updating the resulted ore-

body model. As the introduction of geo-statistical estimation and simulation to the modeling procedure, KB method can make full use of the multi-source soft or hard geological data to improve the reliability of the modeling results. Additionally, this method can be easily expanded to other similar 3DGM fields, such as modeling the distribution of oil and gas and so on.

Key Words: Dynamical modeling; 3D block model; kriging method; Digital mine

0 引 言

作为“数字地球”、“数字矿山”等工程的重要组成部分, 三维地学建模(three dimensional geo-science modeling, 3DGM)技术的关键研究对象之一——矿体模型, 其构建方法的效率和质量, 一直为该领域内很多工程师和学者们所研究和关注^[1]。

本文就这一问题, 针对目前国内外普遍接受的矿体三维块体模型^[2]深入地进行研究, 提出了一套新的建模思路, 并利用计算机程序进行了实现。这种方法避免了通常情况下三维矿体模型动态构建或更新时的相对复杂的空间拓扑关系重构的问题, 从块体模型动态更新和提取的角度, 来达到动态构建矿体结构模型的目的。由于该方法所依据的矿体块体模型通常是利用地质统计学法^[3]进行空间插值或模拟的结果, 故将该方法命名为克里格块体(Kriging Block KB)法。

1 常规矿体三维建模方法

三维地质建模大致分为地质体的结构建模和属性建模 2 个部分。对于矿体而言, 这 2 类模型目前通常分别以三维块体模型(BLOCK)和封闭的不规则三角网(TN)^[4]来进行描述。

一般以地质剖面上的矿体边界相互拼接的方式进行矿体模型的构建。这种方法的主要优势在

* 收稿日期: 2010-08-31

基金项目: 国家青年自然科学基金项目(40802082/D0215)。

作者简介: 李章林(1982-), 男, 湖北公安人, 博士研究生, 专业方向: 三维地质模拟, 地质统计学, 数字矿山, Email: lizhanglin@126.com

于,建模过程中可以充分融入地质专家的主观认识,能够建立具有一定复杂度的矿体模型^[5]。然而,其不足之处是非常明显的,其中最主要的影响是在建模效率和模型的动态更新方面。

2 矿体的三维特征分析

矿体本身的三维属性,决定了一个完整的构建结果必然是矿体三维空间范围内,其几何信息和属性信息所成的集合体。大多数文献中,其研究的建模过程几乎都默认了一个前提:矿体内部属性结构仅单向地依赖于其几何结构形态。但事实上,由于矿体的形态通常会受外界经济条件、技术水平等因素的影响,其属性模型通常都能够影响其几何结构模型,并且通常这种作用比起几何模型对属性模型的限制作用,在多数情况下要更强一些。

这种作用直接体现为:矿体的几何形态是其内部空间点的某种属性(通常主要指品位)满足一定的边界条件(最典型的如边界品位或工业品位)情况下的集合。图1从矿体水平剖面图的角度,对不同边界品位条件下矿体形态的变化情况进行了直观的解释和说明。可以看到,在边界品位分别为0.2%和0.5%的情况下,在剖面上圈定的矿体边界形态便有很大的差别。

事实上,一般的基于地质剖面的建模流程中,最初圈定矿体的面边界线的过程,本身就可以视为一种寻找满足一定边界品位条件的矿石的过程。假设圈矿之前所研究的空间范围内每个位置(如图1中的格网所示)的矿石品位值为已知。那么,在边界品位发生变动的情况下,便可以不用重新圈矿,而是直接提取所有网格单元中,品位属性刚好满足边界品位条件的部分(如图1中阴影部分所示),以此为基础来对边界品位变动情况下新的矿体边界线进行提取即可。

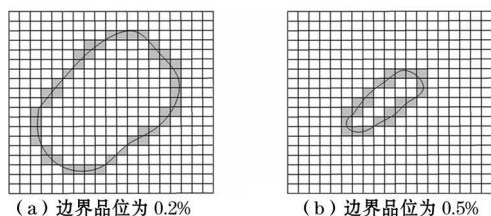


图1 矿体不同边界品位条件下的水平剖面

3 三维矿体模型的动态构建方法

通过前面的论述,本文所提克里格块体法动态

构建矿体模型的思路已经非常明显,即:

(1) 首先利用地质统计学的克里格法构建具有品位属性的矿体块体模型(此时的矿体块体模型也称为矿体的品位模型);

(2) 以此为基础动态构建不同边界品位条件下的矿体模型。

本方法的关键在于第(2)点,即矿体的块体模型转换为矿体几何结构模型的过程,这里介绍一种比较简单的实现途径,其具体操作过程可以分为下面2个部分。

3.1 提取块体模型的外表面

通过比较、判断构成矿体块体模型的单元块体的四边形面片之间的相交、平行、重合或重叠等关系,提取与当前块体模型表面的四边形对象。然后,就搜索出来多个面片单元,对其进行合并形成一个或几个大的整体多边形对象。

经过这些方式的处理,事实上就已经得到了矿体块体模型所准确描述的矿体几何结构模型了。但为了使得到的模型更加符合实际的地质情况,有必要对目前获取得到的锯齿状TN表面对象进行光滑处理。

3.2 对几何数据点进行光滑和插值

许多插值方法,如DSI、NURBS或样条函数等^[6-7]都具有很好的光滑效果。这里选择一种比较简单且通用的空间插值技术,即普通克里格(Ordinary Kriging, OK)法,它的插值结果具有较强烈的光滑效应和比例效应,常常被国内外很多学者作为缺点而进行研究^[8]。本文利用这一“缺点”,来实现消除锯齿状的四边形边界、光滑矿体表面模型的目的。

将上一步骤中所得到的多边形对象结点的空间坐标信息当成是样点属性进行记录,然后利用这些样品数据,对模型中每个坐标结点的空间位置信息进行估计。将插值好的结果,即通过光滑估值后对应结点的新的空间位置信息,赋值给插值前模型中对应的结点。这一过程中要注意的是,估值时搜索样品数据时需要排除当前待估点自身,以保证估值所需要的光滑效果。这样,新的矿体几何结构模型的每个数据结点的空间信息便是经过OK空间插值法光滑处理之后的结果。这种处理,去掉了模型的锯齿状效果,所构建的模型,也更符合实际形态。

由于这种处理方式所得到的矿体几何结构TN模型,是根据块体模型生成的,那么就有一定的数据

密度,而且这些密集的结点数据主要都是在生成块体模型的过程中,根据样品数据属性的空间变异性结构特征进行空间插值或模拟的结果。因此,相比于常规方法,理论上讲上述方法的建模结果应该更具可信度。

4 KB法构建矿体模型

4.1 基本流程

总结前面所介绍的矿体动态建模流程,可以大致归纳为如下 7 个步骤:

(1) 首先依据地质资料,主要是分析矿石品位的连续性及其与围岩之间的接触关系,判断所研究的矿体及其属性是否适合利用块体模型来进行描述;

(2) 进一步分析,以较低的工业指标,设计一个有效的矿体块体模型生成范围;

(3) 利用一定尺度和方位的单元块体,在所确定的块体模型生成范围内进行填充;

(4) 尽可能全面地搜集关于该矿区各种可能的有用资料,包括钻孔、平硐、炮孔等工程的样品数据及各种剖面图及地质图等,利用这些数据及其所反映的特征,选择一定的空间插值方法,对所需要的矿体属性进行插值;

(5) 动态提取任意边界品位或其它条件下的块体模型,生成相应的矿体几何结构模型;

(6) 建模源数据或地质认识变动较小的情况下,对矿体的块体数据所记录的属性进行局部或整体更新,进而更新相应的矿体几何结构模型;

(7) 建模源数据或地质认识变动较大的情况下,重新生成矿体的块体模型,在此基础上按一定的边界条件,提取所需要的矿体几何结构模型。

图 2 对这一流程及其现实意义进行了清晰、简洁的描述。可见,KB法的建模过程中,矿体的边界品位等条件并不固定,而是可以动态变化。因此,它可以方便地实现模型的更新,及时与可能变化的外界条件保持一致。

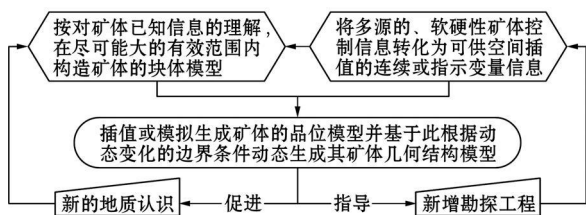


图 2 KB法的动态构建矿体模型的简明流程

4.2 适用范围及其它相关说明

理论上,利用上述 KB法可以很方便地建立起大多数情况下的矿体模型,尤其适合于那些矿石品位连续性好、矿体与围岩之间没有明显界限的矿体。但是也必须清楚地看到,同绝大多数方法、理论一样,它的应用范围也具有一定的局限性。由于本方法是建立在包含空间插值或模拟结果的矿体三维块体模型的基础上的,对于那些不太适合利用块体模型来描述的矿体,如何有效地利用该方法则需要进一步的研究。但对于那些符合本方法应用条件的矿山,KB法的优点也是其它方法难以企及的,并且它具备一定的稳定性和可扩展性。例如,利用矿体的三维块体模型,也可以很方便地构建基于 TEN 或 ATP/GTI 的矿体几何结构模型。本文上面详细说明的,只是针对目前最流行的做法给出了该思路的一种具体实现形式。

从某种程度上讲,KB法真正意义上实现了一个信息完备的矿体模型的动态构建过程,并且同时也顺利实现了构建结果在实际应用过程中,与新的地质认识和新增控矿工程数据之间的平稳转换(见图 2)。而对于一般的建模方式,这些对象关系之间是很难进行信息交换、互利共存的。

5 实例分析

基于自主知识产权的三维地学信息系统平台 QuantV iew(原名: GeoV iew^[1])对 KB法利用计算机程序进行了实现,研究对象为我国某金属矿山。

图 3 显示的是不同边界条件下,某矿体对应的块体模型。图 4 显示的是相应边界品位条件下,矿体的几何结构形态。综合图 3 和图 4 的结果可以得出,KB法成功地动态构建出了不同边界品位条件下的几何信息和属性信息完整的矿体模型。

6 结 论

本文设计了一种简单的实现形式的三维矿体建模方法——KB法,并利用计算机程序进行了实现。实例应用过程中,KB方法成功地动态构建出了一系列不同工业指标条件下,信息充分、完备的矿体模型。

(1) KB法将一般动态构模过程中复杂的三维模型拓扑更新过程,用相对简单的块体模型构成单元的更新来进行代替,简单、方便地达到了动态创建矿体三维模型的目的。

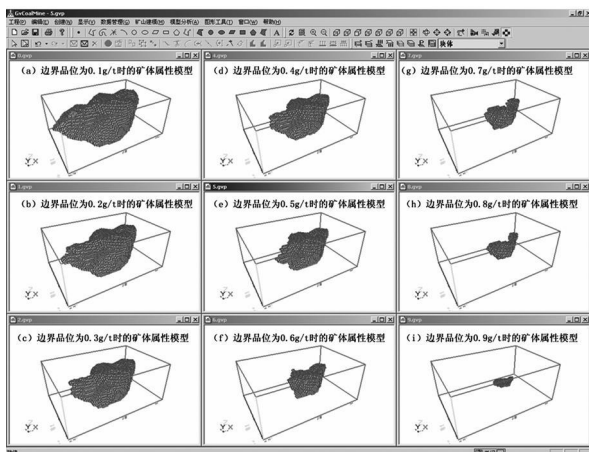


图 3 不同边界品位条件下动态生成的矿体块体模型结果

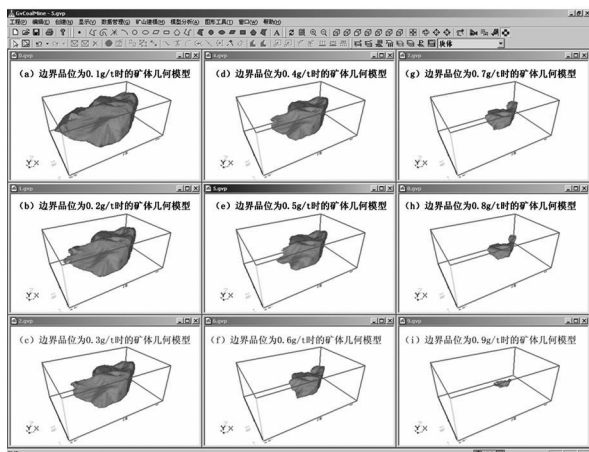


图 4 不同边界品位条件下根据矿体的块体模型动态构建的矿体几何结构模型结果

(2) 引入了成熟的空间插值或模拟技术,使其

(上接第 55页)

测粉尘浓度外,该系统也可通过各类执行机构控制各类除尘设备,实现了智能化控制,降低了工人的劳动强度,有望在煤矿系统推广应用。

参考文献:

- [1] 赵岩磊,杨 维,等. 煤矿井下无线局域网数据终端的设计[J]. 煤炭科学技术, 2010 38(2): 64—67.
- [2] 费小平,孙 飞,等. 本质安全型矿用高速综合信道的研制[J]. 煤炭科学技术, 2010 38(7): 85—88.
- [3] 唐臻宇,耿海翔,等. 粉尘浓度测量方法的研究及测量仪器的研制[J]. 四川大学学报, 2000, 32(4): 29—31

构模过程可以充分融入多源多类的软、硬性地质数据,提高了模型的可靠程度;同时,这类理论和技术的引入,为后面的矿体模型误差分析及不确定性评价,提供了更广阔的研究空间。

(3) 其局限性在于,KB法要求所研究的矿区适合用块体模型和地质统计学的方法来进行描述。从另外一个角度上看,由于这一特点,它的推广和使用,可以进一步推进国内目前正在兴起的地质统计学资源储量估算方法的应用和发展。

参考文献:

- [1] 张夏林,吴冲龙,翁正平,等. 数字矿山软件(QuantMining)若干关键技术的研发和应用[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2010 35(02): 302—311
- [2] Jiang Y D. Block model conversion using binary space partitioning trees[J]. Computers & Geosciences 1996 22(4): 409—417.
- [3] Goovaerts P. Geostatistics for natural resources evaluation[M]. New York: Oxford University Press, 1997: 483
- [4] 孙 卡,翁正平,张志庭,等. 基于带约束三角剖分的三维巷道建模方法[J]. 矿业研究与开发, 2007 27(5): 64—65, 71.
- [5] 赵 攀,田宜平. 基于剖面的层状与非层状矿体的三维可视化研究[J]. 金属矿山, 2008, 387(9): 90—92, 96
- [6] Yu Z W. Surface interpolation from irregularly distributed points using surface splines with Fortran program[J]. Computers & Geosciences 2001, 27(7): 877—882
- [7] Zhong D, Li M, Song L, et al. Enhanced NURBS modeling and visualization for large 3D geoenvironmental applications: An example from the Jinping first-level hydropower engineering project, China[J]. Computers & Geosciences 2006 32(11): 1581—1593
- [8] Yamamoto J. Correcting the Smoothing Effect of Ordinary Kriging Estimates[J]. Mathematical Geology, 2005 37(1): 69—94

- [4] 陈 杰. 煤矿防爆电气设备存在的重点问题及对策[J]. 煤炭科学技术, 2010 38(3): 83—86
- [5] 侯宇刚,刘增平,等. 粉尘在线检测监控系统在煤矿企业中的应用[J]. 采煤技术, 2006, 6(3): 426—428
- [6] 薛鹏寿,潘玉民. 煤矿安全检测技术与监控系统[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010.
- [7] 陈 玲,蒋中秋,朱 轶,等. 无线传感器网络监测中远程数据传输的GPRS实现[J]. 煤田地质与勘探, 2008, (4).
- [8] 孙继平. 煤矿安全生产监控系统联网[J]. 工矿自动化, 2009, (10): 1—3.