

文章编号: 1001-1986(2010)03-0006-04

数字化矿山资源储量计算方法

王正帅, 顾和和

(中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 矿产资源储量管理是数字化矿山的有机组成部分, 储量计算是储量管理工作的重要内容。以似三棱柱为基本体元, 根据控制点信息成功构建了矿体空间模型, 并在此基础上提出了基于似三棱柱的储量算法和回归储量算法。结果表明, 这两种方法可以准确地计算出矿体空间的资源量, 并能够根据不断增加的控制点信息实现储量的动态更新, 应用实例也验证了算法的可行性和有效性。

关键词: 储量算法; 矿体空间模型; 似三棱柱(ATP); 数字化矿山

中图分类号: TD177.3; P624.7 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.03.002

Mineral resources reserves algorithm in digital mine framework

WANG Zhengshuai, GU Hehe

(School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Reserves calculating is the important task of mineral resources reserves management which is an integral part of Digital Mine (DM). This paper selects the Analogic Tri-Prism (ATP) as basic volume unit to construct the spatial mineral model with the control points, and then puts forward two kinds of new reserves algorithms, ATP algorithm and regression algorithm. The results are as follows: the two methods not only could calculate mineral resources reserves accurately, but also could adjust the reserves dynamically according to the increasing information of the control points, and an instance is given to verify availability of the algorithms.

Key words: reserves algorithm; spatial mineral model; analogic tri-prism; digital mine

矿产资源储量计算是指依据矿床地质勘探(包括开采)过程中所获得的有限地质信息对地下矿藏量进行的估算。目前, 在我国的固体矿产储量计算中并存着三大储量计算方法: 传统储量计算方法(包括算术平均法、地质块段法、等高线法等)^[1]、地质统计学计算方法^[2]、SD 储量计算方法^[3]。总结起来, 上述储量计算方法存在以下不足:

a. 未建立空间模型。上述方法都是采用数学方法建立数学模型, 然后通过数学公式推导出储量计算公式, 无法描述矿体空间的内部特征及组成部分之间的拓扑关系, 无法实现矿体空间的可视化。

b. 无法根据不断增加的控制信息实现模型的动态修正, 不能完成矿产资源储量的动态管理。

c. 未纳入数字矿山构架下, 无法实现对矿山模型的空间分析、查询及储量管理数据的分析、表达。

d. 适用范围有限。这些计算方法所采用的数学模型是对矿体空间的一种简化, 只能在一定条件、一定范围中描述矿体空间, 因而这些方法的应用范围有限。

针对上述问题, 本文提出了一种新的储量计算思路: 在数字矿山的构架下^[4-5], 顾及模型的通用性首先构建矿体空间模型, 建立矿体空间实体之间的拓扑关系, 获得圈定范围内的矿体体积, 进而计算出矿体空间的资源量; 随着勘探程度的提高或矿产资源的开采, 控制矿体的数据逐渐增加, 形成一系列储量计算值, 通过建立储量计算序列的拟合模型, 求得拟合极限值, 将其作为矿体资源储量的最或是值。

1 矿体空间模型建立

矿山地质建模通常采用的基本非规则体元有六面体、四棱锥、四面体和三棱柱体等^[6-8]。本文以似三棱柱作为基本体元进行矿体空间三维建模。似三棱柱体元(Analogic Tri-Prism, 简称 ATP)的顶点和它们之间的拓扑关系与标准三棱柱体一致、但又区别于标准三棱柱, 如图 1a 所示。似三棱柱与其特例(图 1b、图 1c、图 1d)的组合可以很好地描述复杂的矿体(如煤层的尖灭)。

收稿日期: 2009-04-30

作者简介: 王正帅(1974—), 男, 山东平原人, 博士研究生, 工程师, 从事矿山测量和数字化矿山的研究与应用。

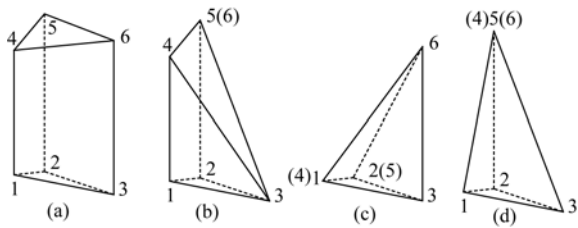


图 1 三棱柱体

Fig. 1 Categories of Analogic Tri-Prism

矿体空间三维建模的主要步骤如下:

a. 生成地质界面 TIN 和钻孔迹线(标志层揭露点自下而上的连线)。

b. 选择标高最低的地质界面 TIN 中的初始三角形, 将其置为下三角形。

c. 在包含三角形顶点的钻孔迹线中, 向上搜索与对应顶点相邻的空间点, 若 3 点的上邻接岩性编码相同, 依次连接 3 个空间点。当搜索到的空间点的上邻接岩性编码与前一空间点的上邻接岩性编码相同, 说明该点为地层尖灭点。地层尖灭点分两种情况处理: 第 1 种, 当其中两点均为尖灭点时, 向上搜索其中一点的下一邻接点, 当下一邻接点的上邻接岩性编码与第 3 点的上邻接岩性编码不相同, 则连接三角形, 并搜索第 3 点的下一邻接点, 与两地层尖灭点连接三角形; 否则分别搜索两尖灭点下一邻接点, 3 点连接三角形; 第 2 种, 当其中一点为尖灭点时, 向上搜索该点的下一邻接点, 当该点的上邻接岩性编码与另外两个点的上邻接岩性编码不相同, 则连接三角形, 并分别搜索另外两点的下一邻接点, 3 点连接三角形; 否则搜索尖灭点的下一邻接点, 3 点连接三角形。

d. 根据下、上三角形的对应关系构建棱边、侧面四边形和似三棱柱体, 记录并修改似三棱柱体的描述信息, 并将上三角形置为下三角形。

e. 重复步骤 c、d, 直到下三角形顶点均为 3 个钻孔迹线的终点为止。

f. 根据地质界面 TIN 的拓扑关系, 遍历所有三角形, 重复步骤 c 到步骤 e, 构建新的似三棱柱体元。

矿体空间实体模型的构建过程即是实体间拓扑关系的建立过程, 所反映的基本拓扑关系包括点线、线面和面体之间的包含关系和体体邻接关系。正是依据空间模型正确的拓扑关系, 储量计算才得以顺利进行。

矿床从普查、详查、精查、基建、开采、补充勘探到矿山关闭是一个连续的过程, 随着揭露矿床实测数据的增多, 可以根据矿体空间模型自适应性要求对其进行动态修改, 尽可能详尽地描述矿体空

间的形态和分布, 反映储量的动态变化。

2 矿山资源储量计算方法

2.1 ATP 储量算法

2.1.1 体元体积计算

已知似三棱柱 $(x_i, y_i, z_i), i=1,2,3,4,5,6$ 。不妨设 $z_3 = \min(z_1, z_2, z_3), z_5 = \max(z_4, z_5, z_6)$, 作辅助线如图 2 所示, 得到标准三棱柱 5-7-8-0-9-3, 其中 $z_7 = z_8 = z_5, z_0 = z_9 = z_3$ 。

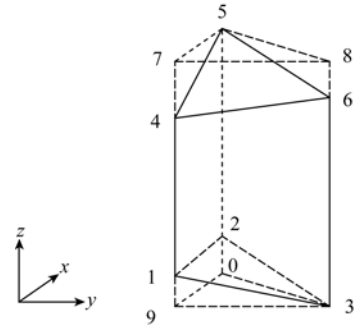


图 2 体元体积计算示意图

Fig. 2 Volume calculating of Analogic Tri-Prism

设 h_1 为 093 中边 09 上的垂线, 则:

$$S_{1902} = \frac{(z_1 - z_9) + (z_2 - z_0)}{2} \cdot \sqrt{(x_0 - x_9)^2 + (y_0 - y_9)^2}; \quad (1)$$

$$h_1 = \frac{\begin{vmatrix} x_0 & y_0 & 1 \\ x_9 & y_9 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}}{\sqrt{(x_0 - x_9)^2 + (y_0 - y_9)^2}}. \quad (2)$$

故 $V_{3-1902} = \frac{1}{3} \cdot S_{1902} \cdot h_1$, 同理可得 V_{5-7468} 。

因此, 似三棱柱 123-456 的体积:

$$V_{123-456} = V_{093-578} - V_{3-1902} - V_{5-7468}. \quad (3)$$

其中 $V_{093-578} = \frac{1}{2} \cdot \begin{vmatrix} x_0 & y_0 & 1 \\ x_9 & y_9 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} \cdot (z_5 - z_3)$ 。

2.1.2 矿石平均体重和平均品位计算

矿石体重是储量计算的一项重要参数, 它对矿石量的影响权数最大。一般情况下, 一个矿体内同类型矿石的体重较为稳定, 因此可用算术平均或数理统计的方法求取。

计算平均品位常用的方法有算术平均法及加权平均法。对于品位稳定的矿体, 可以采用算术平均法计算; 对于品位波动幅度较大的矿体, 则采用矿体厚度加权平均法计算。

2.1.3 储量计算

综上所述得出储量计算公式:

$$Q = \sum V_i \cdot D_i; \quad (4)$$

$$P = \sum C_i \cdot Q_i \quad (5)$$

式中 Q 表示矿石(储)量; P 表示金属(储)量; D 表示矿石体重; C 表示矿石品位。对于非金属矿产资源储量的计算仅需要式(4), 而金属矿产储量需要式(4)和式(5)。

2.2 回归储量算法

2.2.1 算法原理

随着控制矿体空间的地质勘探数据和矿产资源开采过程中观测数据(或称揭露数据)的逐渐增多, 形成该矿体的一系列储量计算值, 回归储量算法即是通过一个非线性拟合函数建立储量计算序列的拟合模型, 进一步求得拟合极限值, 将其作为矿体储量的最或是值。

设递增数列 $N_1, N_2, \dots, N_i (N_i > N_{i-1})$, N_i 第 i 时间段控制矿体的总点数。应用 ATP 储量算法对应的储量数值序列为: $Q_{N_1}, Q_{N_2}, \dots, Q_{N_i}$ 。

将序列 Q_{N_i} 的取值采用非线性回归模型作回归预测得到拟合函数关系式 $f(N)$ 。根据控制点数 N 增多, 对地质体的认识越清楚准确的原则, 可以得出: 当 $N \rightarrow \infty$ 时, 矿石量 Q_{N_i} 趋于某一定值 Q^* 。这一定值即被近似地认为是矿石储量的客观真量。

$$\lim_{N \rightarrow \infty} f(N)Q^* \quad (6)$$

上式称为一阶储量回归算式。如果储量数值序列是无震荡序列, 由一阶回归即可得到储量客观真量的近似值。若点列数据构成的点列序列有震荡, 则其真量预测值的可靠性就差些。为了消除震荡, 需要进行多阶回归。将储量数值序列 $Q_{N_1}, Q_{N_2}, \dots, Q_{N_j} (3 \leq j \leq i)$ 依次增加 j , 形成 $i - 2$ 个储量数值序列, 分别求出其回归极限值, 然后把回归极限值形成的储量数值序列再次进行回归。新的回归极限值称为二阶回归极限值。其他高阶回归计算过程依次类推。一般情况下, 回归阶数不超过 2 阶。

2.2.2 非线性回归模型及解算

作为函数拟合的回归模型, 应具有单调性和收敛性。所采用的非线性回归模型包括双曲线函数、指数函数、负指数函数、对数函数和 S 型函数等。其解算思路是: 先将非线性回归模型经过适当变换, 化为一元线性回归模型; 再对变换后的线性式, 采用最小二乘法估计回归系数, 求出回归曲线; 最后, 求得拟合极限值。

3 应用实例

在以 Microsoft Visual Basic 6.0 为开发环境, SQL Server 2000 为后台数据库的基础上, 开发了矿

产资源储量管理原型系统, 实现了地质界面 TIN 生成、矿体空间模型建立、基于 ATP 的储量计算和回归储量计算等核心功能。储量计算流程如图 3 所示。

图 4 为徐州某煤矿的 1 煤层空间模型, 钻孔分 5 批次完成。选用负指数函数作为非线性回归数学模型, 1 煤层 ATP 储量计算值和回归储量计算值如表 1 所示。

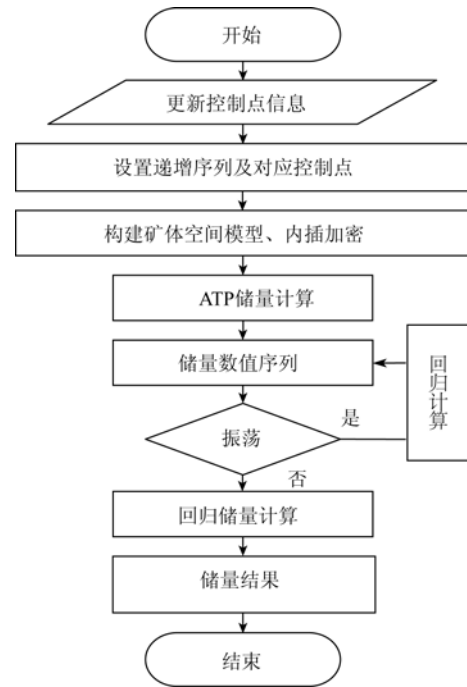


图 3 储量计算流程图

Fig.3 Flow chart of reserves calculation

表 1 徐州某煤矿 1 煤层储量计算表

Table1 Reserves calculation results of No.1 coal seam

钻孔批次	钻孔个数	ATP 储量/10 ⁴ t	回归储量/10 ⁴ t
1	41	3 401.75	
2	63	3 457.75	
3	82	3 481.36	3 589.17
4	95	3 508.79	
5	102	3 520.22	

注: 矿井地质报告采用等高线法算出 1 煤储量为 3 576 万 t, 1 煤平均容重为 1.46 t/m³。

在本例中, ATP 储量数值序列没有出现震荡现象, 只进行一阶回归储量计算即可。回归统计中, 关联系数 $R=0.985$, 说明线性化变换后的自变量与因变量之间高度正相关; 回归方程检验统计量 $F=100.219 > F_{0.01}(1,3)=34.1$, 表明回归方程显著。通过一阶回归储量计算获得 1 煤层储量为 3 589.17 万 t, 与矿井地质报告提供的 3 576 万 t 储量相比略大 0.36%。

从上述实例看出, 基于 ATP 的储量算法和回归储量算法可以算出较准确的资源量, 并且回归储量

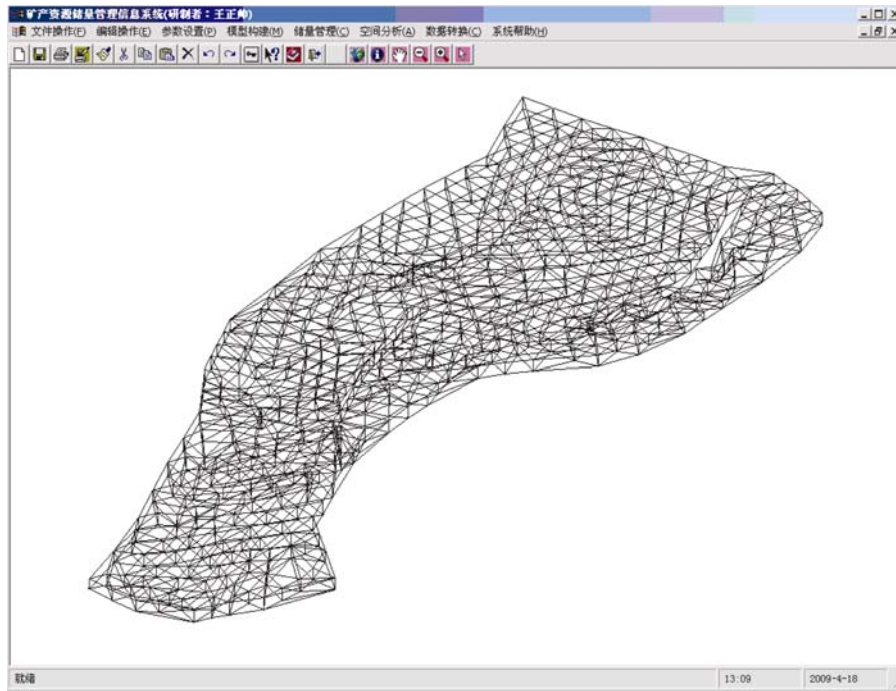


图 4 徐州某煤矿 1 煤层空间模型

Fig.4 Spatial model of No.1 coal seam

算法的计算值更接近地质报告提供的储量值。从而初步验证了上述两种储量算法的有效性。

4 结 语

储量计算是矿产资源管理工作的基本内容,是数字矿山的有机组成部分,快速、准确地提供圈定范围内的资源储量可以为资源的合理开发、利用提供有利条件。本文在构建矿体空间模型的基础上提出了两种储量计算方法,并通过实例初步验证了算法的可行性,为数字矿山构架下矿产资源储量算法的研究拓宽了思路。在今后的工作中,需要进行其他矿种、不同地质条件下的储量计算对比试验,优化、改进算法,增强算法的适应性。

参考文献

- [1] 叶竺竺, 邓善德, 尹镇南, 等. 矿产资源储量计算方法汇编[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1-4, 10-26.
- [2] 许友志, 毛善君, 王景华. 定量煤田勘探学(附计算机地质制图)[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994: 26-28.
- [3] 唐义, 蓝运蓉. SD 储量算法[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 1-4, 43-49.
- [4] 王青, 吴蕙城, 牛京考. 数字矿山的内涵及系统构成[J]. 中国矿业, 2004, 13(1): 7-10.
- [5] 吴立新, 殷作如, 钟亚平. 再论数字矿山: 特征、框架与关键技术[J]. 煤炭学报, 2003, 28(1): 1-7.
- [6] 李清泉, 杨必胜, 史文中, 等. 三维空间数据的实时获取、建模与可视化[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 100-101.
- [7] 齐安文, 吴立新, 李冰, 等. 一种新的三维地学空间构模方法——类三棱柱法[J]. 煤炭学报, 2002, 27(2): 158-163.
- [8] 程朋根, 刘少华, 王伟, 等. 三维地质模型构建方法的研究及应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(2): 309-313.