

文章编号:1671-251X(2015)03-0034-04 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.03.009
朱德福.改进三棱柱体剖分算法研究[J].工矿自动化,2015,41(3):34-37.

改进三棱柱体剖分算法研究

朱德福

(太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:针对现有矿山储量计算方法计算结果精度低以及边界条件适应能力差的问题,提出了改进三棱柱体剖分算法:结合改进三棱柱顶面、底面及三角形切割截面,按不同规则将三棱柱体剖分为不同的三角锥;根据边界控制条件得到储量范围,结合地质统计学,计算控制范围内所有改进三棱柱体的体积及储量。

关键词:三维可视化;三棱柱体;剖分算法;储量动态监测

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2015-02-12 15:53

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150212.1553.009.html>

Research of subdivision algorithm of improved triangular prism

ZHU Defu

(School of mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In view of problem of low precision and poor adaptive capacity of boundary conditions of existing calculation method for mine reserve, subdivision algorithm of improved triangular prism was proposed: triangular prism was divided into different cones according to different rules and combined with top surface, undersurface and triangle cut section of the improved triangular prism; reserve range was got according to border control conditions, and volumes and reserves of all improved triangular prisms within the control range were calculated combining with geostatistics.

Key words: 3D visualization; triangular prism; subdivision algorithm; dynamic monitoring of reserve

0 引言

数字矿山开创了“高产、高效、安全、绿色可持续”的矿业发展方向,矿山三维可视化管理技术是未来数字矿山发展的方向之一,三维煤层数据模型的建立可为矿山三维可视化管理奠定基础^[1-2]。为了节约资源,提高矿山资源的“三率”(开采回收率、采矿贫化率、选矿回收率),残煤复采、矿山储量动态监测等项目已深入开展,其中储量动态监测是矿山可视化工作的核心环节之一。现有储量计算方法主要有:①块段法, $M = Sh\rho$, 其中 S 为煤层块段的底面积, h 为煤层块段的平均高度, ρ 为煤层块段的视密度。

②三棱柱法, $M = \sum_{i=1}^n m_i$, 其中 m_i 为第 i 个正

三棱柱煤块的质量, $m_i = s_i h_i \rho_i$; s_i 为三角网中第 i 个三角形的底面积, h_i 为第 i 个正三棱柱的高度, ρ_i 为第 i 个正三棱柱所在煤层块段的视密度^[3]。上述方法主要根据矿山二维平、剖面图进行计算,计算模型缺乏对煤层真实形态、结构的反映^[4]。

笔者在前期三维煤层可视化建模工作基础上,提出改进三棱柱体剖分算法,该算法更真实地表达了煤层三维空间特征,煤层储量计算精度高,且对于不同储量级别边界的适应能力强。

1 模型构建

1.1 数据模型

本文统一采用.txt文本格式存储数据,其中字符型数据采用传址形式传递,用visual lisp函数直

收稿日期:2014-05-21;修回日期:2014-11-21;责任编辑:胡娴。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAB13B04)。

作者简介:朱德福(1988—),男,安徽淮北人,硕士研究生,研究方向为数字矿山三维可视化、系统工程, E-mail:87308336@qq.com。

接读取、调用数据文件。数据库中数据结构信息见表1。

建立三维煤层可视化模型需要的数据主要包括原始钻孔资料数据库(设计形式见表2)、采掘工程中实际测量数据库(设计形式见表3)。

表1 数据结构信息

字段名	类型	宽度	字段名	类型	宽度
钻孔编号	实型	12	三角锥体积	字符型	8
改进三棱柱体	整型	32	点	字符型	8
三角锥	字符型	8	单位法向量	字符型	8
改进三棱柱体体积	字符型	8	三角锥的高	实型	12

表2 原始钻孔资料数据库设计形式

钻孔 编号	孔口 坐标 X/m	孔口 坐标 Y/m	孔口 坐标 Z/m	钻斜 方向/ (°)	见煤点 坐标 Z/m	层间 距/ m	煤层 厚度/ m
1	...	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

表3 采掘工程中实际测量数据库设计形式

测量点所在 巷道名称	测量点 编号	坐标 X/m	坐标 Y/m	坐标 Z/m
区段运输平巷	1	...	...	...
	2	...	...	...
	...	...	...	...
区段回风平巷	1	...	...	...
	2	...	...	...
	...	...	...	...
...	...	...	...	...

1.2 三维煤层表面三角网模型

TIN构造是将邻近的3个点连接成初始三角形,以该三角形的3条边向外扩展,寻找新的邻近的点组成新的三角形,循环下去,直到所有的点都是其中一个三角形的顶点为止。构造TIN时对邻近离散点的判断准则不同,生成TIN模型的算法也有所差异,本文采用最常用的Delaunay三角形法^[5-6],将不规则的钻孔数据点连接成不规则的三角网。

构造三维煤层时首先要构建改进三棱柱体的棱,每条三棱柱体的棱代表相对应的钻孔方向上煤层的厚度,通过执行主程序,配合17个子程序,绘制实体D-TIN表面。三角网上、下2个面代表三维煤层的上、下表面,结合钻孔线构成一组改进三棱柱体

元。由于拟合过程中采用克里金插值法会进一步带来误差^[7-8],储量的计算不需要上、下三角网表面进行拟合工作。构建三维煤层模型的流程如图1所示。

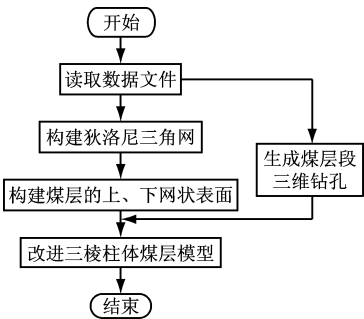


图1 三维煤层模型构建流程

1.3 改进三棱柱体及其逻辑模型

改进三棱柱体元模型如图2所示。三棱柱体上、下表面可能为空间斜角关系,三条棱不一定存在平行关系,即 AA',BB',CC' 为空间异面的关系,通过作辅助线可使任意2条棱组成的面改进为由2个三角形组成的折面。由于井田范围内不同位置的煤层存在倾角、厚度、密度等元素的变化,而且多数勘探钻孔带有一定的倾角^[9],故采用改进的三棱柱体作为基本元构建三维煤层更具有代表性。

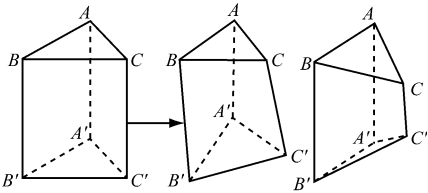


图2 改进三棱柱体元模型

改进三棱柱体是由三角形和侧折面形组成,三角形和侧面的基本元素是点和线段;三角锥是由空间相邻三角形组成,一个三角形由3个顶点组成;线段的基本元素是点,而点(顶点、端点)的空间位置由唯一三维坐标表示。因此,在处理各类空间对象的关系时按“体一面一线一点”的逻辑关系建立拓扑关系^[10]。

2 改进三棱柱体剖分方法

2.1 剖分步骤

改进三棱柱体剖分方法示意如图3所示。其具体步骤:

第1步:以改进三棱柱体底面为底、上三角面的任意一个顶点为顶点创建三棱锥,以顶点“2”为例,

采用底面“456”结合上三角面顶点“2”构成三棱锥“2456”，剩余部分为“21364”，如图 3(b)所示。

第 2 步：剖分图 3(b)所示“21364”体；由于“14”，“36”两条线为空间异面关系，因此把“21364”体划分为 2 个三角锥的方法有 2 种：① 用面“216”切割“21364”得到 2 个三角锥“2163”和“2164”；② 用面“234”切割“21364”得到 2 个三角锥“2346”和“2341”。

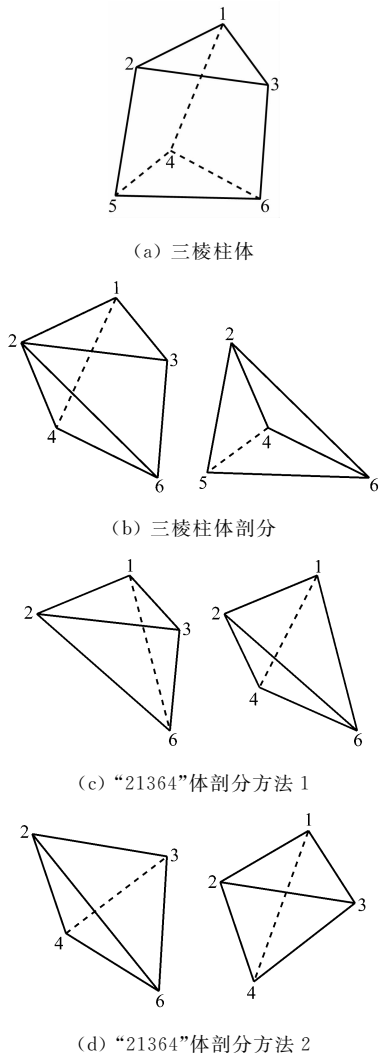


图 3 改进三棱柱体剖分方法示意

剖分后共得到 3 大组(6 小组)三角锥，如图 4 所示。

2.2 体积算法

组建煤层上、下三角网表面所有三角形顶点的空间坐标为已知数据，因此，基于该数据即可推算改进三棱柱体的体积。图 4 中共有 15 个三角锥(其中有 3 个重复出现，分别为“1234”，“1235”，“1236”)，由 14 个不同的三角形组成。

空间三角形的面积为各向量的叉积(向量积)的

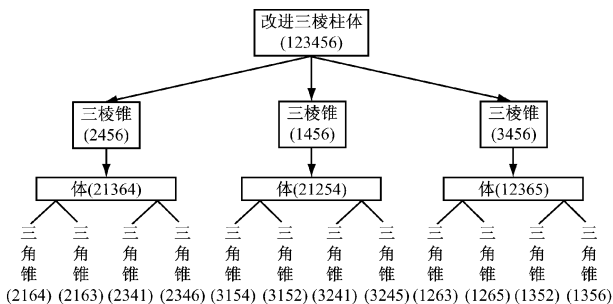


图 4 改进三棱柱体剖分结果

模的一半。假设“1”点坐标为 (x_1, y_1, z_1) ，“2”点坐标为 (x_2, y_2, z_2) ，“3”点坐标为 (x_3, y_3, z_3) ，则 $\triangle 123$ 面积计算公式为

$$S_{\triangle 123} = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} i & j & k \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

式中： i, j, k 为 x, y, z 三个方向的单位向量。

三角锥的体积等于底面积乘以高的 $1/3$ ，如三角锥“4123”的体积为

$$V_{(4123)} = \frac{1}{3} (h S_{\triangle 123}) \quad (2)$$

$$h = \vec{\gamma} \cdot \vec{\alpha} = |\vec{\gamma}| \times |\vec{\alpha}| \cos[\vec{\gamma}, \vec{\alpha}] \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} x_2 - x_1 & x_3 - x_1 \\ y_2 - y_1 & y_3 - y_1 \\ z_2 - z_1 & z_3 - z_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \vec{0} \quad (4)$$

$$\vec{\gamma} = \frac{(x \ y \ z)}{\sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}} \quad (5)$$

式中： h 为三角锥“4123”以 $\triangle 123$ 为底的高； $\vec{\gamma}$ 为底面 $\triangle 123$ 的单位法向量； $\vec{\alpha}$ 为三角锥“4123”任意一条棱向量。

改进三棱柱体有 6 个顶点，由 6 个点可组成的三角锥个数为 15，去除改进三棱柱体 3 个侧面，共有 12 个不同的三角锥。改进三棱柱体体积计算公式为

$$\begin{aligned} V_{(123456)} &= V_{(1456)} + V_{(3241)} + V_{(3245)} = V_{(1456)} + \\ &V_{(3154)} + V_{(3152)} = V_{(2456)} + V_{(2341)} + V_{(2346)} = \\ &V_{(2456)} + V_{(2163)} + V_{(2164)} = V_{(3456)} + \\ &V_{(1263)} + V_{(1265)} = V_{(3456)} + V_{(1352)} + V_{(1356)} \end{aligned} \quad (6)$$

2.3 储量算法

煤层储量计算公式为

$$Q = \sum_{i=1}^n V_i c_i \quad (7)$$

式中： V_i 为第 i 个三角锥的体积； c_i 为第 i 个三角锥所在煤层块段的密度。

3 结语

改进三棱柱体剖分算法巧妙地改进了棱柱体的

3 个折面,对多个三棱柱体组合的体积计算不会产生误差,对井田、采区、储量级别等边界适应性强。三维煤层及改进三棱柱体剖分模型满足了工程设计、施工和管理等环节的需求,其强大的可视化功能可弥补二维工程平、剖面图在信息表达上的欠缺,进一步可为数值模拟试验工作提供模型。三维煤层模型的建立为数字矿山三维可视化工作奠定了基础,改进三棱柱体剖分算法为储量动态监测、采掘工作计划提供了理论支持。下一步应继续强化三维煤层 DEM(Digital Elevation Model, 数字高程模型)的一般形态的建立,拓展三维可视化采掘衔接工作。

参考文献:

[1] 吴立新. 真 3 维地学构模的若干问题[J]. 地理信息世界, 2004, 2(3): 13-18.

[2] 郑贵州, 申永利. 地质特征三维分析及三维地质模拟现状研究[J]. 地球科学进展, 2004, 19(2): 218-223.

[3] 张渭军, 王文科, 翁晓鹏. 基于三棱柱体的三维地质体

可视化研究[J]. 工程地质学报, 2006, 14(5): 715-720.

[4] 李清泉. 三维空间数据的实时获取、建模与可视化[J]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.

[5] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2000: 34-56.

[6] RUI Xiaoping, YANG Yongguo, XI Yantao. Study into visualization of 3D stratum based on triangular prism[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(5): 584-588.

[7] 刘祚秋, 周翠英, 赵旭升, 等. 三维地层模型及可视化技术研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2003, 42(4): 21-23.

[8] 周培德. 计算几何: 算法分析与设计[M]. 4 版. 北京: 清华大学出版社, 2011.

[9] 齐安文, 吴立新. 基于类三棱柱的三维地质模拟与拓扑研究[J]. 矿山测量, 2003(3): 65-66.

[10] 程朋根. 地矿三维空间数据模型及相关算法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.