

基于棱柱体的三维地质建模方法

何群, 马洪滨

东北大学资源与土木工程学院测绘工程系, 沈阳 110004

摘要 矿体赋存条件复杂、地质构造多变。为探究真实地质体情况,通过对现有各类地质体建模方法的分析,尤其是对 TIN 模型构建、实体(solid)构模的特点进行探讨,提出一种基于工程棱柱体的三维地质建模方法。结合钻孔数据特点和地层分布规律,根据勘探工程的钻孔平面位置将勘探区域划分为若干棱柱体。对每个棱柱体侧面进行矿段对比连接,完成棱柱体线框图搭建,随之逐面、逐层、逐柱构建三角网,直至形成整个地质体的三角网。将实体构模方法结合其中,实现了三维地层实体模型的建立,既能充分反映矿体的三维形态,又能使所显示的三维矿体进行实体描述。使得矿体属性连续并可计算,同时模型能够结合工程师经验自动推理尖灭、分叉、断层和褶皱等复杂地层构造。其具有三维显示又具有实体描述的特点,尤其便于按储量级别进行储量估算等矿量计算,具有实际应用价值。

关键词 三维地质建模;不规则三角网;实体模型;工程棱柱体

中图分类号 TD17

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.35.010

3D Geological Modeling Approach Based on Prisms

HE Qun, MA Hongbin

Surveying and Mapping Engineering Department, Northeastern University, Shenyang 110004, China

Abstract Aiming at existing complex conditions of ore and rock bodies and changeful geological structures, a new approach of 3D geological modeling based on project prisms has been presented for gaining real and exact geological structures according to the characteristics of different methods of stratum modeling, especially TIN modeling and solid modeling. The method considers borehole data and the stratum distribution laws as follows: firstly, the area of horizontal position of boreholes is divided into several prisms. Secondly, each prism side is connected correspondingly by comparing with ore blocks until the wire frame diagram for the prism is created. Then an irregular triangle network is gradually knitted area by area, layer by layer, and prism by prism. Finally, the 3D stratum model is established based on the concept of solid modeling, which models three-dimension form vividly and makes the attributes of molded ore bodies ceaseless and calculable. Besides, the model is able to automatically deduce problems of complex geological structures by using the knowledge of engineers, such as pinch-out, bifurcation, fault, and wrinkle, etc. The method has the practical value for the reserves estimation according to reserve categories due to two major advantages, namely, 3D display and solid description.

Keywords 3D stratum modeling; irregular triangle network; solid modeling; project prism

0 引言

矿床地质模型是进行开拓、采准等设计和生产调度计划的基础。利用三维可视化技术,首先根据钻孔数据和其他地质数据进行插值处理,揭示矿体内部复杂结构,以便看清楚通常情况下看不到的矿体内部组成,不但拥有高品质视觉效果,而且为采矿设计与生产计划提供更为真实准确的信息^[1]。矿床地质建模的目的是运用现有计算机技术,结合地质构造规律,在三维场景下,以真实世界的空间信息为框架,将地质

解译、空间分析和预测、地质统计学、实体内容分析、图形图像可视化等技术紧密结合起来,为矿山地质分析及开采提供服务。三维地学构模常用方法包括:块段(block)、线框(wire frame)、实体(solid)、断面(section)、表面(surface)构模法^[2-3]。

在地质勘探和矿山开采过程中,生产勘探工程的布置,一般是在地质勘探、基建勘探工程的基础上进行的,并与原勘探系统保持一致,其方向尽可能垂直于矿层、含矿带或矿体的总体走向。同时,生产勘探工程布置又要以取得最佳地

收稿日期:2011-11-07;修回日期:2011-12-01

作者简介:何群,讲师,研究方向为 3S 技术集成和灾变遥感,电子邮箱:hequn@mail.neu.edu.cn

质效果和满足编制生产地质图为原则的生产实际,结合实体构模法(采用多边形网格来描述地质和开采过程所形成的形体边界,并用传统的块段模型描述形体内部的品位或质量的分布)和 TIN 模型,按照矿块生产最终网度,结合开采方式、勘探工程间距、采矿块段划分、实际生产程序等因素,将地质体划分为若干个便于链接的工程规则棱柱体,然后将建立联系的勘探工程沿矿体倾向、走向 2 个方向进行分析,建立工程棱柱体模型单元,最终建立整个矿体的三维模型。工程规则棱柱体建模方法适用于具有较复杂内部结构的地质体建模,还可正确划分储量计算的块段,确定储量级别,逐个块段计算,按不同储量级别、矿体(脉)、中段、矿区(山)等进行储量统计汇总。本文采用棱柱体模型进行三维地质建模。

1 工程棱柱体建模方法分析

棱柱体构模实际是结合了 TIN 模型、实体(solid)构模 2 种方法。采用 TIN 三角网来精确表示地质体,采用块体模型来独立地描述形体内部的品位或质量的分布^[4-5],这样既可保证边界构模的精度和速度,又能简化体内属性表达和体积计算,对内部结构复杂的地质体构模具有很多优越性。但该方法属于精细建模,人工交互工作量较大,建模时要根据矿体实际形状精心细致的工作。

针对地质体建模,采用 TIN 三角网面模型可以处理较为复杂的地质体结构,但该方法不能解决内部属性描述、内部实体属性的连续性及剖切和挖掘等地质问题^[6]。面体混合模型目前尚无较好的解决办法,一些成果也只限于表面的集成,学界提出基于体元的建模方法,并得到越来越多的采用^[7]。本文针对矿体结构特点、矿体层面的表达方式,提出了基于棱柱体的实体地质体建模方法及其数据结构。依据如下。

(1) 棱柱体建模吸取了 TIN 模型与体元模型的优势,较好地顾及了复杂地形特征的表示、适合多层次表达、存储效率高等突出特点,又具有体元模型能够表达物体内部结构属性信息的特点、内部属性信息的连续性等。

(2) 棱柱体构模的主要思想是通过单体建模形成众多分散的棱柱体,然后通过某种算法再将分散的棱柱体集成内部介质连续的地质体,这便于计算机进行处理。

(3) 选取棱柱体作为三维矿体建模的基本数据模型,便于对复合地质层构成的数字地层模型进行任意剖面显示和任意面剖切的数据处理,有利于提高多个地质层面地质体剖切的切割效率。

在棱柱体构模中,可将棱柱体的上、下底面构成其相应地层的分界面,并将同层体元集合形成单层地质体,同层地层分界面之间的地质体形态及特征属性则由侧面进行连接表示与描述。棱柱体的上、下面线框及侧面则由矿段数据按事先约定好的规则采用人工交互的方式完成,上、下面及各个侧面均通过构网进行建模。对不同的矿段对应关系采用不同的建模方法,棱柱体基本模型单元如图 1 所示。

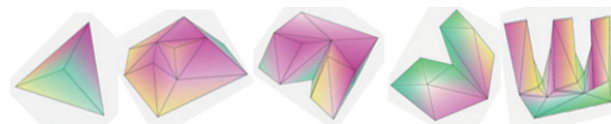


图 1 基本棱柱体单元模型

Fig. 1 Element model of prisms

2 工程棱柱体模型构建模

结合钻孔数据的特点,以矿区钻孔矿段数据为基础,由钻孔点通过排序形成钻孔点链(即由点生成边的过程),然后对钻孔点链及矿段数据进行三角剖分(即由边生成面的过程),最后垂直连体生成由三角网包围的棱柱体。所以采用点、线、三角形等基本元素构成棱柱体的数据模型。

数据模型确定以后,需要根据数据模型的特点、模型建立的速度以及模型的复杂度程度和建模要求来设计构建模型的算法,并设计如何实现它。所以,建模方法是指依据特定的数据模型来构建三维地质模型具体算法的实现过程。

基于棱柱体的三维建模工作流程是根据钻孔平面位置将勘探区域划分为若干工程棱柱体,对每个工程棱柱体侧面进行矿段对比,并依据约定好的规则进行连接,进而得到棱柱体的线框图,再逐面、逐层、逐柱构建各级各块三角网,直至构建出整个矿体三角网。基于钻孔矿段数据的三维棱柱矿体建模主要包括以下几点。

(1) 钻孔资料分类和标准化以及钻孔数据选取。一般勘探矿区钻孔资料种类繁多且数据内容和组织管理不尽相同,资料的翔实和可靠程度不尽一致^[5-6],在进行三维矿体构造建模前需进行分类整理,对有些数据要根据建模进行标准化,选取满足三维地质建模要求的资料,进行单项工程圈定,利用单项工程矿段数据作为三维地质建模的基础数据。

(2) 建立工程坐标系。根据三维地质建模对数据的要求,建立一个以勘探线为标准的、符合测绘坐标系统建立原则的辅助坐标系,即三维地质建模工程坐标系。

(3) 棱柱体划分。地质棱柱体,亦称小地质块段,依据工程师的经验以及探矿网度级别、勘探工程相互关系(最近勘探手段)的原则,根据勘探区域钻孔水平位置分布将勘探区域以及外推范围划分为若干棱柱体^[9]。要求每个棱柱体至少要有一条边与勘探线方向一致,以便与常规横剖面的剖切构图相一致。

(4) 棱柱体之间的自动连接与交互修改。对相邻 2 个钻孔矿段根据地质资料中的矿体产状、有关地质规程规定进行自动连接。特殊情况下,可根据工程师的经验对矿段连接进行交互式修改,但要求面向矿体的线框要按逆时针方向进行连接,以实现棱柱体各侧面线框图的构建(图 2(a));侧面线框图构建后可构建棱柱体线框(图 2(b))。

(5) 模型单元构建。完成侧面及棱柱体的线框连接后,根据柱体几何拓扑关系对柱体线框进行分层,再进行逐面、逐层、逐个柱体构网,最终实现模型单元构建(图 2(c))。

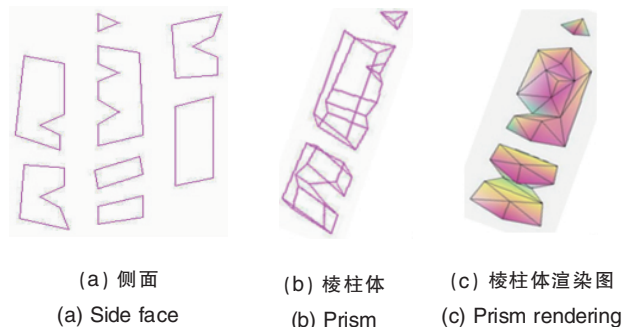


图2 棱柱体侧面及总体线框图

Fig. 2 Side-face and overall wire frame of prisms

(6) 集成模型单元获取矿体界面。单个模型单元虽然是三维可视化的模型,但其表示的信息十分有限,任何地质对象都需要数以百计的模型单元进行组合,对于复杂的地质体则需要更多的模型单元进行组合。若干个模型单元组合成一个三维可视化模型的过程称为集成,其结果称为模型单元集。一个模型单元集可以描述一个复杂的地质体对象,或一组互相关联的更为复杂的地质体对象。图3为某矿段信息的矿体三维模型示意。针对地质对象的模型单元集成对认识地质体的基本结构有帮助。

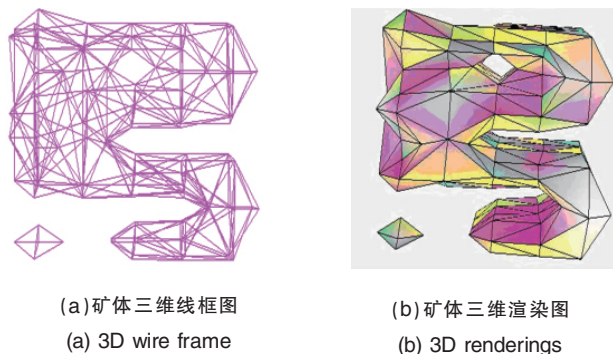


图3 矿区矿体三维模拟示意

Fig. 3 Scheme of 3D simulation of mining area ore bodies

归纳起来,三维地质建模的过程就是先构建模型单元,然后组合相关的模型单元形成模型单元集,再把模型单元集集成到一起形成区域的或大型复杂的模型系统。利用该集成后模型,实现沿勘探线、标定高度、任意方向进行矿体剖切,生成二维剖面的功能及三维矿体界面的三维可视化功能。

3 工程棱柱体建模应用实践

某铁矿总体走向为东北—西南方向。为层状铁矿,矿体走向为 40° — 60° ,倾向东北 50° — 85° 。勘探区共布设钻孔30多个,钻孔深度范围为30—250m。为综合分析全部钻孔的地质信息并实现矿体的三维可视化,首先对钻孔数据详细信息及相关层序和分层数据,采用XML文件格式对应用项目涉及的数据进行管理,其树状结构便于存储项目涉及的井口文件、测斜文件、采样文件等数据,并可用于未来的数据交换。

经过对该矿区各类钻孔数据的研究分析确定出该矿区钻孔共出现几个互异的铁矿层。根据工程棱柱体模型构建过程,对该钻孔数据反映出的矿体进行三维建模并可视化(图4)。通过与该矿掘进开采探明的矿体结构进行比较,生成的三维矿体模型基本反映了研究区矿体的分布状况。

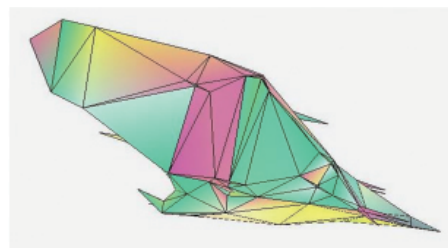


图4 矿区部分矿体的三维模型示意

Fig. 4 Scheme of the 3D model for partial ore bodies

4 结论

(1) 结合实体地学构模法与地理信息中不规则三角网TIN模型技术,根据矿山基建与生产实际,探讨了基于工程柱体的三维地质建模思路与算法,并结合矿区进行实践。

(2) 基于工程棱柱体的三维地质构模方法,以工程空间信息为依托,注重专家知识与工程经验的人机交互过程,能更为准确反映内部结构复杂的矿体,便于按储量级别进行储量估算。该方法尤其适用于对明显层状地层和有限复杂度的断层的三维建模与可视化。

参考文献 (References)

- [1] 王瑞芳. 基于空间信息的三维地学模拟理论及研究[J]. 山西建筑, 2007, 33(22): 360—361.
Wang Ruifang. Shanxi Architecture, 2007, 33(22): 360—361.
- [2] Houlding S W. 3D geoscience modelling: Computer techniques for geological characterization[M]. London: Spring-Vetlag, 1994.
- [3] 焦养泉, 朱培民, 雷新荣, 等. 地学空间信息三维建模与可视化[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
Jiao Yangquan, Zhu Peimin, Lei Xinrong, et al. Geospatial information modeling and visualization of three-dimensional [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [4] Wu L X. Topological relations embodied in a generalized tri-prism (GTP) model for a 3D geosciences modeling system [J]. Computer & Geosciences, 2004, 30(4): 405—418.
- [5] Lemon A M, Jones N L. Building solid models from boreholes and user defined cross-sections[J]. Computers & Geosciences, 2003, 29: 547—555.
- [6] Chen X Y. A workstation for three-dimensional spatial data research[C]// Proceedings of the Fourth International Symposium of LIESMARS. Wuhan: Wuhan Tech Univ Surv Mapp, 1995: 42—51.
- [7] 车德福, 陈学习, 吴立新, 等. 基于广义三棱柱体元的三维地层建模方法[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, 25(1): 36—38.
Che Defu, Chen Xuexi, Wu Lixin, et al. Journal of Liaoning Technical University, 2006, 25(1): 36—38.

(责任编辑 陈广仁)