

巷道与地层交切建模研究

张志华¹ 侯恩科² 罗晓霞³ 邓念东²

1 兰州交通大学测绘与地理信息学院,甘肃 兰州,730070

2 西安科技大学地质与环境学院,陕西 西安,710054

3 西安科技大学计算机科学与技术学院,陕西 西安,710054

摘要:基于剖面的三维地质建模为巷道与地层交切建模的理论基础,提出一种巷道与地层交切建模方法。考虑到交切模型的复杂性,对交切模型进行剖分,依次构建出含巷道断面的地层剖面模型、巷道与地层剖面的交切模型及巷道与地层模型的交切模型。实验结果表明,该交切模型的方法是可行的,保证了地层与巷道模型的空间拓扑关系,为相关三维地质建模提供借鉴。

关键词:地层;巷道;三维建模;可视化;拓扑关系

中图法分类号: P208; TD672

文献标志码: A

三维地层模型是当前地质、采矿、土木等领域的一个研究热点。随着地下采矿、油气资源开发以及许多岩土工程问题的不断深入研究,三维地质建模作为地上下工程信息化的主要实现方法,成为很多学者关注的研究重点,发展迅速^[1-2]。三维地质建模的定义是运用计算机技术,结合地质分析技术,在三维环境下,将空间信息管理、空间分析、地学统计及地质信息进行可视化的方法。一般情况下,地质工作者常采用二维手段来分析地质勘探数据,如地质剖面图。由于地质体的复杂性,二维的图表分析缺乏更多详实的信息,不能为决策者提供更多有效信息,使得很多地下工程的开展,尤其是矿山地下工程,存在不确定问题^[3]。这些问题对三维地层信息的可视化提出迫切需求。本文在简单介绍三维地质建模的基础上,重点介绍三维地层与巷道交切模型的构建。

1 三维地层建模研究进展

3D空间构模方法研究是目前3D GIS领域以及3D GMS领域研究的热点问题。若不区分准3D和真3D,则空间构模方法可以归纳为基于面模型(facial model)、基于体模型(volumetric model)和基于混合模型(mixed model)的三大类

构模体系。

面模型是用各种面组合起来表示地层的模型,常见有多层DEM,多层TIN等。文献[4]在三维地层模型中使用DEM描述岩层和土层。DEM最初是用于表示实际地形特征空间分布的一种实体地面模型,后来被用于描述地层模型。TIN是用一系列不规则的三角形组成网格面片来表达地层界面,以TIN来构造钻孔之间的剖面记忆地层面^[5-6]。

体模型构建地层模型较常采用的有CSG法、B-Rep法和分解模型表示法。CSG法对体元进行布尔运算,将各种实体体元组合在一起;B-Rep法主要采用实体的特征点、线、面及其拓扑结构来表示实体;分解模型法是把实体分解成若干个规则或不规则的单元来表示的方法,常用的有体素、八叉树等;国内外在构造三维地层模型时,还采用三棱柱和四面体模型^[7]。

“交互式解译法”^[8]是根据地质钻孔和地震勘探剖面等资料,交互式解译形成地质剖面图,以剖面图为基础,采用人工定义和计算机内插计算的方法,通过连接各剖面来重构曲面,形成三维地质模型的方法。

虽然上述建模方法都可以建模,但需针对特定的环境或建模对象而定,对于复杂的地质地层

收稿日期: 2013-03-07

项目来源: 国家自然科学基金资助项目(40972204, 41002101); 国家科技支撑计划资助项目(2013BAB05B01); 陕西省教育厅科研专项资助项目(2010JK682, 11JK0732); 金川公司-兰州交通大学预研基金资助项目(JCY2013015); 甘肃省自然科学基金资助项目(1212RJZA042)。

第一作者: 张志华, 博士, 副教授, 主要从事地理信息系统与三维地学模拟理论与方法研究。E-mail: zhzhhua99@163.com

模型而言,仅靠一种建模方法,不能进行完整表达,例如巷道与地层的交切模型等。在前人研究的基础上,本文基于自主研发的三维信息实验平台,将三维建模、GIS、矿山与地质学相结合,对地层与矿山巷道的交切建模方法进行研究探讨。

2 利用剖面的三维地质建模

计算机三维地质建模就是建立研究范围内所有地质对象的真三维模型,使用户在二维屏幕上对二维剖面进行交互式操作以达到解释推断的目的,就像在二维图纸上操作一样。目前,人们利用剖面进行三维地质建模时,主要是在计算机环境下做剖面图,再由一系列剖面图组成断面序列来表达三维地质体,如图 1 所示。这种构模的特点是将三维问题二维化,简化了程序设计,同时在地质描述上十分方便,实用性也较强^[8-9]。本文交切模型的构建是以剖面数据为基础的,地层构建仍然采用基于剖面的构建方法来表达,并在此基础上构建交切模型,因此,基于剖面的三维地质建模是交切模型能够实现的理论基础。

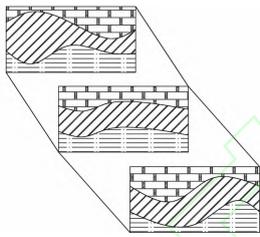


图 1 地质剖面序列构模实例

Fig. 1 Modeling of Geological Profile Sequence

3 地层与巷道交切建模

以基于剖面的三维地质建模为理论基础,通过分析交切模型,将其剖分,采用线框建模依次构建出含巷道断面的地层剖面模型、巷道与地层剖面的交切模型及巷道与地层模型的交切模型。由于地层结构的复杂性,以及巷道模型的特殊性,先对交切模型做如下规定:① 三维巷道模型以半圆形拱顶巷道模型作为研究对象,暂不考虑其他类型断面的巷道模型;② 巷道断面的底部为平整的,不带有排水槽,接线槽或其他任何附属设施;③ 巷道模型只与地层模型中的某一种地层相交切;④ 地层模型中不存在断层、褶皱等复杂的地质构造;⑤ 暂不考虑交叉巷道,多条巷道的交切建模,只以单一巷道作为研究对象。

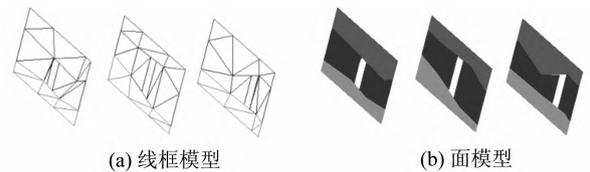
3.1 交切模型的剖分

地层与巷道的交切模型是一个比较复杂的模型,为了能够完成模型的交切,保证地层与巷道之间拓扑关系的完整性,需要将复杂的交切模型进行剖分,首先细分地层,将各个地层数据单独保存,并记录该地层与其他地层之间的相邻关系;其次将有巷道穿越的地层单独剖分处理;最后将巷道断面在地层横剖面中的位置确定下来,为保证构模时所使用的多边形都是凸多边形,对巷道断面所在的地层进行剖分。模型剖分后,对每一部分分别建模再集成,即可构建出交切模型。

3.2 地层剖面建模

基于上述剖分,根据已有的地质测量数据(主要为钻孔数据),将一系列的地质剖面图构建出来,如图 2 所示。然后按照地质剖面图中地层界线的属性不同,将各个相邻的地质剖面图中相应的界线点连接在一起,通过构面,实现地层三维实体模型的构建。此时,需要的已知条件为剖面个数及剖面上待研究的地层个数,由于只是实验阶段,只采用三个相邻的地层个数以及三个剖面地层作为研究对象。

由已知的三个剖面,通过拟合方式构建出地层模型,当数据量缺乏时,可以通过插值的方法来弥补,在构建地层剖面时,每个地层面都用不同的颜色表示,所有的面在构建时都是通过构建三角形线框表达,由于考虑到巷道与剖面进行剖切,所以对剖切部分单独处理。



(a) 线框模型

(b) 面模型

图 2 地层剖面模型(将巷道断面部分去除)
Fig. 2 Strata Profiles Without Tunnel Sections

3.3 巷道断面部分建模

巷道断面在剖面上的竖向边界线是沿重心方向的,将其上下分别延长与地质界线相交,并求得交点的几何信息,这样,每个巷道断面就可以获得两个上地层界面交点和两个下地层界面交点,如图 3 所示,巷道断面竖向边界线分别是 EF 和 GH ,将这两条线分别双向延长,与上地层界线相交于 A 和 B 点,与下地层界线相交于 C 和 D 点。在具体建模时,这部分又可以分为三个步骤:

- 1) 多边形 $CEHD$ 构面,主要用三角形构建;
- 2) 巷道断面部分的构建,由于巷道是中空的实体,所以只要把边界线勾画出来即可,将巷道断

面拱顶 10 等分,生成拱顶特征点,将这些特征点连同 E、F、G 和 H 点就可以将巷道断面显示出来;

3) 由于拱顶是由离散化后的特征点构建的,所以多边形 ABGF(含拱顶部分)是凹多边形,此时需找到拱顶最中间的特征点 O,以点 A 为基点,利用三角形扇,依次构建从点 F 至点 O 的一系列三角形,同理可构建出以 B 为基点,从 O 到 G 的一系列三角形,所构模型如图 4 所示,左边是线框模型,右边是面模型。

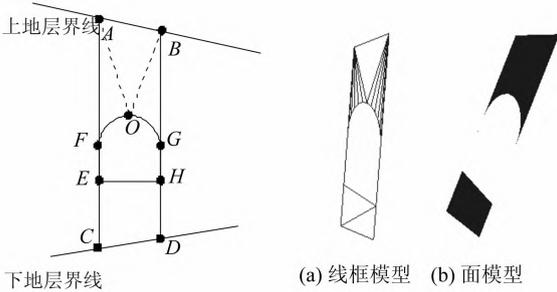


图 3 巷道断面部分剖分 Fig. 3 Tunnel Section
图 4 剖面上巷道断面模型 Fig. 4 Tunnel Section Model Within Profile

将这部分构建好后,结合 § 3.2 中地层剖面,即可生成带巷道断面的地层剖面图,如图 5 所示。

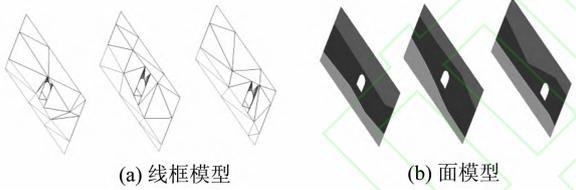


图 5 含巷道断面地层剖面图 Fig. 5 Strata Profiles Including Tunnel Sections

3.4 地层剖面与巷道的交切建模

根据前述带巷道断面的地层剖面,将各个地层剖面上的巷道断面轮廓一一对应起来,构建中空的巷道实体模型。图 6 是在图 5 的基础上,通过将巷道断面上的一系列特征点对应起来构建巷道体模型,具体方法是将两相邻的巷道断面上对应的一系列特征点,按照 OpenGL 中构建三角形带的方法构建出巷道体。图 6(a)是巷道与地层剖面交切的线框模型图,图 6(b)是在图 6(a)的基础上,将线框模型实体化形成的面模型。

3.5 地层与巷道交切建模

按照基于剖面的三维地质建模方法,根据地层剖面模型,可以构建出地层实体模型。首先通过地层剖面模型构建出地层篱笆模型,如图 7 所示,地层篱笆模型主要是通过纵横交错的地层剖

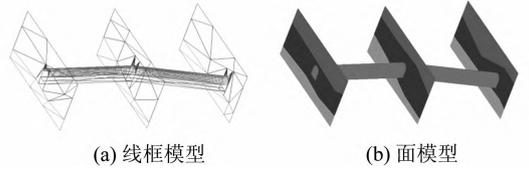


图 6 巷道与地层剖面交切模型 Fig. 6 Intersection Model Among Tunnel and Profiles

面进行,每一个地层剖面都可以单独构建。篱笆模型中,相同颜色代表纵横剖面上的同一地层剖面,也基本上勾划出各个地层模型的大致范围。

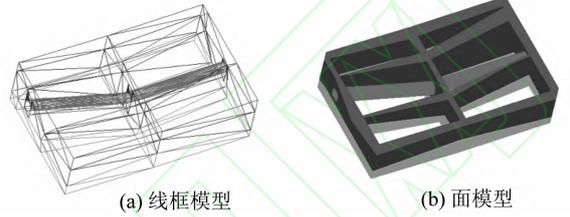


图 7 地层篱笆模型 Fig. 7 Strata Fence Model

然后,基于地层篱笆模型构建每一个地层模型,主要通过三角形面片来拟合,内含地层与巷道交切部分,图 8 则是实体化后的地层与巷道交切模型,从地层模型的一层可看出有一条巷道贯穿其中,而地层与巷道的交切模型保证了巷道体与地层模型的空间拓扑关系。

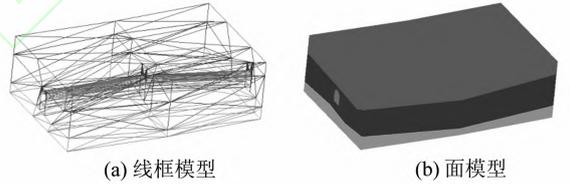


图 8 巷道与地层交切模型 Fig. 8 Intersection Model Between Tunnel and Strata

4 结 语

探讨单一巷道与地层的交切建模思想与方法,经过 VC++ 与 OpenGL 编程实践,证明这种方法是可行的,对三维地学模拟有一定的借鉴意义。本文未来的工作将放宽交切建模的限制条件,例如将着重考虑多条巷道在地层中的交切建模,巷道断面跨地层界线以及在地层模型中增加断层、褶皱等复杂的地质构造等问题。

参 考 文 献

[1] Zhou Cuiying, Dong Ligu, Chen Heng, et al. Function Design and Realization of 3D Stratum in

- the Development of Underground Space[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2006, 45(4): 39-43(周翠英, 董立国, 陈恒, 等. 重大工程三维地层分析的功能设计与实现[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2006, 45(4): 39-43)
- [2] Zhu Liangfeng, Wu Xincai, Liu Xiuguo, et al. Reconstruction of 3D Strata Model Based on Borehole Data[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2004, 20(3): 26-30(朱良峰, 吴信才, 刘修国, 等. 基于钻孔数据的三维地层模型的构建[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(3): 26-30)
- [3] Wu Jiangbin, Zhu Hehua. 3D TEN Model of Strata & Its Realization Based on Delaunay Triangulation [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2005, 24(24): 4 581- 4 587(吴江斌, 朱合华. 基于 Delaunay 构网的地层 3D TEN 模型及建模[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(24): 4 581- 4 587)
- [4] Wang Chunxiang, Bai Shiwei, He Huaijian. Study on Geological Modeling in 3D Strata Visualization [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22(10): 1 722-1 726(王纯祥, 白世伟, 贺怀建. 三维地层可视化中地质建模研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(10): 1 722-1 726)
- [5] Zhu Hehua, Wu Jiangbin. 2D & 2.5D Modeling of Strata Based on Delaunay Triangulation[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2005, 24(22): 4 073-4 079(朱合华, 吴江斌. 基于 Delaunay 构网的地层 2D, 2.5D 建模[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(22): 4 073-4 079)
- [6] Xiong Zuqiang, He Huaijian, Xia Yanhua. Study on Technology of 3D Stratum Modeling and Visualization Based on TIN[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2007, 28(9): 1 954-1 958(熊祖强, 贺怀建, 夏艳华. 基于 TIN 的三维地层建模及可视化技术研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(9): 1 954-1 958)
- [7] Zhou Zhengwu. Research on 3D Visualization of Geological Entity[D]. Beijing: Peking University, 2001(周正武. 地质体三维可视化方法研究[D]. 北京:北京大学, 2001)
- [8] Zhao Zhou. 3D Geological Modeling Based on Profiles[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2004(赵洲. 基于剖面的三维地质建模研究[D]. 西安:西安科技大学, 2004)
- [9] Wei Zhanying, Wang Baoshan, Li Qingyuan. Underground Laneway Modeling and Realization by C++ [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(7): 650-653(魏占营, 王宝山, 李青元. 地下巷道的三维建模及 C++ 实现[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(7): 650-653)

Intersected Model Between Tunnel and Strata

ZHANG Zhihua¹ HOU Enke² LUO Xiaoxia³ DENG Niandong²

1 Faculty of Geomatics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China

2 School of Geology & Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China

3 College of Computer Science & Technology, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China

Abstract: It takes the profile of 3D geological modeling as principle for intersected modeling between tunnel and strata, the paper presents a intersected modeling method between tunnel and strata. Taking the complexity into account, intersected model is subdivided. It constructs the model of strata profiles within tunnel section, the intersected model among tunnel and strata profiles, and the intersected model between tunnel and strata respectively. It is shown that the method of intersected modeling is feasible, ensures the spatial topological relations, and provides the reference for the relevant 3D geological modeling.

Key words: stratum; tunnel; 3D modeling; visualization; topological relation

First author: ZHANG Zhihua, PhD, associate professor. His research fields include GIS and 3DGMIS. E-mail: zhzhzhua99@163.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 40972204, 41002101; the National Key Technology Research and Development Program, No. 2013BAB05B01; the Science Research Fund of Shaanxi Province Education Department, Nos. 2010JK682, 11JK0732; the Jinchuan-Lanzhou Jiaotong University Fund, No. JCY2013015; the Natural Science Research Fund of Gansu Province, No. 1212RJZA042.