

# 基于GIS拓扑关系的三维地质剖面信息查询

孙振明<sup>1</sup>, 艾纯明<sup>1</sup>, 李梅<sup>2</sup>, 武建军<sup>3</sup>

1. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083
2. 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871
3. 山西中煤华晋能源有限公司, 河津 043300

**摘要** 煤矿三维地质剖面图的自动生成已有相关研究,但是缺乏剖面图中地层与断层、陷落柱等拓扑关系的考虑及进一步针对剖面图的应用。针对这一问题,提出了三维地质剖面图数据拓扑分析的算法,利用地质剖面图中的拓扑关系,可以实现任意位置地层厚度查询、拾取点到含水层距离计算等功能,从而能够方便、快捷地获取三维地质剖面图中的信息,达到辅助煤矿现场分析的目的。

**关键词** 地质剖面图;拓扑关系;信息查询

**中图分类号** R730.58

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.06.003

## Information Query of Topological 3D Geological Section Based on GIS Technique

SUN Zhenming<sup>1</sup>, AI Chunming<sup>1</sup>, LI Mei<sup>2</sup>, WU Jianjun<sup>3</sup>

1. School of Civil and Environment Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China
2. Research Institute of Remote Sensing and Geographic Information System, Peking University, Beijing 100871, China
3. Shanxi China Coal Huajin Energy Co., Ltd., Hejin 043300, China

**Abstract** Although the automatic generation system of three-dimensional geological sections was well studied and implemented, the topology relationship between stratum and fault or collapse column was lack of consideration, and the sections were generated without further practical applications. To solve this problem, a topology analysis algorithm of the three-dimensional geological section data is proposed, and some useful functions, such as those querying the stratum thickness, calculating the shortest distance from the pickup point to the water-bearing stratum, are realized using the algorithm. The practical application in the Wangjialing coal mine shows the validity of the method.

**Keywords** geological section; topological relation; information query

地质剖面图是煤矿地测工作经常使用的重要图件之一,是在垂向上最直观最有效的反映地层结构、岩体属性特征等信息的重要成果图件,常作为指导煤矿开采及巷道施工的重要依据。研究人员针对地质剖面图自动绘制开展了研究,研究通过 AutoCAD<sup>[1-3]</sup>、MapGIS<sup>[4,5]</sup>、ArcGIS<sup>[6,7]</sup>等软件平台或其组件实现,或利用基础地质数据、钻孔数据、探槽数据等自主编程<sup>[8-10]</sup>实现地质剖面图的绘制。但现有研究主要关注地质剖面图的展示,缺乏对地质剖面后续应用的考虑,生成的地质剖面各元素间无拓扑关联性,无法进行剖面信息的查询、分

析等操作,难以满足生产工作需求。因此,本文提出对地质剖面图进行拓扑分析的方法,并对剖面图的信息查询、分析等应用进行研究。

### 1 传统拓扑关系生成算法

结点、弧段、多边形拓扑关系的生成是地理信息系统(geographic information system, GIS)中对数据处理的关键步骤之一。在剖面数据中,结点为弧段的端点;弧段是由多个几何点按照一定顺序组成的有向线段集合,可以用来表述

收稿日期:2013-12-09;修回日期:2014-01-08

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(SS2012AA121003)

作者简介:孙振明,博士研究生,研究方向为GIS在煤矿领域的应用,电子信箱:asunnytiger@163.com;李梅(通信作者),副教授,研究方向为地学信息与可视化技术,电子信箱:lmeicug@163.com

引用格式:孙振明,艾纯明,李梅,等.基于GIS拓扑关系的三维地质剖面信息查询[J].科技导报,2014,32(6):25-28.

地层界线、断层线、陷落柱线等实体;多边形是由多条弧段首尾连接构成的封闭区域,可以用来表述地层、陷落柱等实体。

在地质剖面的应用中,常见的拓扑关系包括拓扑邻接、拓扑关联、拓扑包含等。目前,传统拓扑关系生成算法主要为左转算法以及在其基础上进行改进的算法,如基于方位角计算的拓扑多边形自动构建快速算法<sup>[11]</sup>、一种基于拓扑信息的多边形数据自动生成算法<sup>[12]</sup>、基于夹角变化趋势的多边形自动搜索和生成算法<sup>[13]</sup>、利用双邻点判断法优化拓扑关系自动生成算法<sup>[14]</sup>等。

传统拓扑关系生成算法的基本思路是:按照一定规则选取起始结点,依据结点与弧段的拓扑关系,以逆时针方向选取合适弧段,直到搜索回起始结点,完成一个多边形,最后进行区域判断,得到结点、弧段、多边形之间的拓扑关系。

## 2 地质剖面数据拓扑关系自动生成算法

地质剖面图中的地层界线、断层线等各元素之间通常存在复杂的空间关系,如陷落柱与底界奥陶系灰岩地层的空间拓扑关系、断层与其错断地层间的空间拓扑关系等。传统拓扑关系分析算法缺乏对此类特殊情况的处理,因此,本文提出专门针对地质剖面数据的拓扑关系自动生成算法,通过对剖面专有要素的特殊处理,获取地质剖面的空间拓扑关系,方便开展更进一步的应用,如剖面填充、属性查询、距离分析等。

### 2.1 算法处理步骤

一般拓扑关系自动生成算法没有考虑地质剖面图中断层、陷落柱等实体的特殊性,因此,本文提出一种改进算法来解决相关问题,该算法与传流算法的区别主要在数据预处理时,对剖面特有的断层、陷落柱等信息进行特殊处理,在图形拓扑关联时也特别考虑断层、陷落柱等元素。数据处理步骤如下:

1) 数据预处理。首先,正确处理地层两端与断层、陷落柱、图形边界等相交的数据。如图1中e点处地层,需要根据相交数据点中保存的属性信息,进行数据的修正,将上盘地层上边界线延长至陷落柱线位置,形成地层与陷落柱相交对应的楔形数据。然后,根据相交数据点中保存的陷落柱信息,连接每个陷落柱两帮最低点,增加陷落柱区域辅助线,如图1中陷落柱原始数据为边界线 $\overline{abcdef}$ ,通过增加辅助线 $\overline{af}$ ,形成

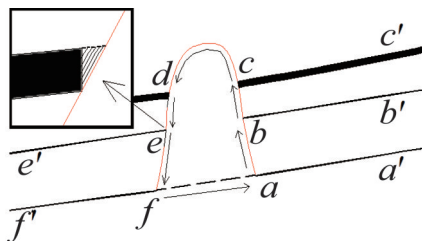


图1 搜索陷落柱边界

Fig. 1 Search boundary of collapse column

陷落柱封闭区域 $B_{abcdef}$ 。最后,按照“逢交必断”的原则,将地质剖面内原始数据中的相交弧段打断。在每个相交点处,原始弧段“一分为二”成两条新的弧段,新弧段的属性信息与被打断弧段相同。

2) 创建并初始化弧段链表,默认弧段左右区域码为-1,表示无有效信息。

3) 建立结点链表。遍历弧段链表,将所有弧段的首尾端点(即结点)添加到结点链表中。结点链表中的结点元素对应弧段链表中元素的起始与结束点,所有对应的弧段按其连接方位角从大到小排序。连接方位角的确定原则是:以结点为原点,以Y轴正方向为正北方向,取值范围为 $[0, 360)$ 。如图2所示,结点链表中以N为代表的结点元素不仅记录了N的坐标位置,而且管理一个连接弧段链表,其中有3个连接弧段元素,在链表中按照弧段与正北方向夹角 $\theta$ 的大小顺序,弧段的先后次序为 $A_1, A_2, A_3$ 。

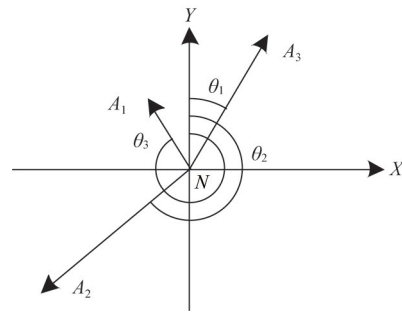


图2 连接弧段按方位角排序

Fig. 2 Order segments by azimuth angle

4) 从弧段链表中任选弧段进行多边形边界搜索。如当前弧段的左码(右码)为-1,将其作为起始弧段,选择其终点(起点)为当前结点,继续步骤5。若当前弧段的左右码均非-1,选取下一条弧段,继续本步骤。如果所有弧段左右码均非-1,表明所有弧段的两侧都被搜索,继续步骤8。

5) 搜索一个完整的多边形边界。在结点链表中定位当前结点,按逆时针方向在其对应弧段链表中寻找后继弧段,把后继弧段的另一端点设为当前结点,重复寻找,直到返回到起始弧段,表明一个完整的多边形边界已经整理完成。

6) 判断多边形边界的区域归属。通过步骤5生成的多边形可能是区域的外边界,也可能是区域的内边界。由于本算法按逆时针方向搜索多边形边界,故外边界必为逆时针多边形,内边界必为顺时针多边形。通过判断多边形的方向,即可判断多边形边界的区域归属。若形成的是逆时针多边形,往区域链表中加入一个区域元素,继续按递增顺序赋予区域序号,并把多边形边界弧段所属区域侧的区域码赋予区域序号。若形成的是顺时针多边形,往区域链表中加入一个负区域元素,按递减顺序赋予负区域序号(从-1开始),将多边形边界弧段所属区域侧的区域码赋予0值。

7) 返回步骤4继续搜寻下一个多边形。

8) 判断负区域多边形的边界弧段区域码。此时,所有区域的内外多边形边界已经建立完成,且任一区域的外边界多边形的所有边界弧段的本区域侧编码已经被赋予有效的区域编号。然而,形成区域的内边界多边形的所有边界弧段的本区域侧编码还没有赋予相应区域编号,这需要进行归属关系判断。在步骤6中,把区域的内边界多边形用区域编号为负值的负区域表示出来。从负区域链表中顺次选出一个负区域,与正常区域做判断,求出包含该负区域的最小正常区域,再给该负区域的所有边界弧段外侧码赋予该正常区域编号。继续这一过程,直到全部负区域的归属关系判断完成为止。

9) 构建地层区域与两端图形间的关联。以地层区域与断层相交为例,经过步骤1预处理后的区域外边界必定有2个(单侧相接断层)或者4个结点属性为断层线点。煤矿一般常见地层与断层为左右关系,因此,区域与断层关系判断准则为:将区域边界弧段中的结点按照 $x$ 值排序,如果最小结点为断层线点,则区域左侧关联属性中对应断层;如果最大结点为断层线点,则区域右侧关联属性中对应断层;如果最大、最小均为断层线点且为同一断层,该区域为极小地层可以忽略;如果最大、最小均为断层线点且为不同断层,该区域左右两侧均需关联结点属性中对应断层。继续这一过程,直到全部区域判断完成为止。

10) 基本的拓扑关系建立完成。

## 2.2 算法处理结果

改进后的算法与传统算法的区别主要在数据预处理和图形关联部分,相关步骤对剖面特有的断层、陷落柱等信息进行了特殊处理。利用上述改进后的拓扑关系自动生成算法对地质剖面进行处理,即可完成地质剖面基本拓扑关系的构建,在构建剖面拓扑关系之后,采用现有技术可以将剖面展示于三维系统中。

运用上述拓扑处理方法,采用中煤能源集团王家岭地质数据,进行了煤矿三维地质模型的构建与含拓扑地质剖面图的绘制,如图3所示。图3中,基础数据为包含了煤层、标志层、地表等各类数据的煤矿三维地质模型,并利用剖面拓扑

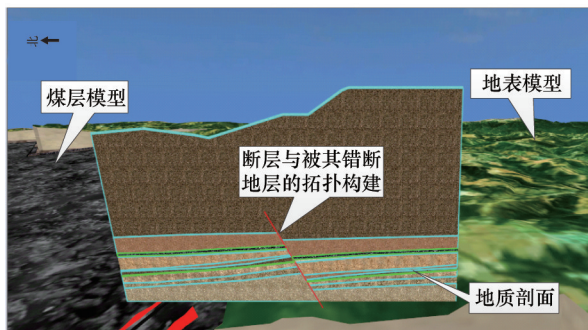


图3 含拓扑的三维地质剖面

Fig. 3 Topological 3D geological section

关系自动生成算法,生成了包括断层、地层等各类数据间对应拓扑关系的地质剖面图,通过利用相关拓扑数据,可以方便地进行后续查询、分析等应用。

## 3 剖面信息查询

在煤矿日常生产中,经常需要查询、计算地质剖面中的数据,如煤层厚度、含水层厚度、煤层与含水层之间的空间位置关系等。本文结合具有拓扑关系的地质剖面图,对煤层厚度、含水层厚度、煤层与含水标志层之间的距离查询进行研究。

### 3.1 煤层、含水层厚度查询

要求得任一点处的地层厚度,首先需要获取过拾取点 $(x_0, y_0, z_0)$ 的垂线与地层上界面的交点 $P_{(x_{up}, y_{up}, z_{up})}$ 及其与地层下界面的交点 $P_{(x_{down}, y_{down}, z_{down})}$ :

$$P_{(x_{up}, y_{up}, z_{up})} = \begin{cases} x - x_0 = \frac{y - y_0}{0} = \frac{z - z_0}{n} \\ \text{UpLines} \end{cases} \quad (1)$$

$$P_{(x_{down}, y_{down}, z_{down})} = \begin{cases} x - x_0 = \frac{y - y_0}{0} = \frac{z - z_0}{n} \\ \text{DownLines} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $n$ 为任意常数,UpLines为地层上边界各线段,DownLines为地层下边界各线段。

由此,通过空间点距离计算函数 $dist$ ,可以求得对应地层厚度 $H$ 为:

$$H = dist(P_{(x_{up}, y_{up}, z_{up})}, P_{(x_{down}, y_{down}, z_{down})}) \quad (3)$$

具体实现流程如下:

- 1) 基于三维拾取功能,获取点击剖面位置 $(x_0, y_0, z_0)$ 及其对应地层标记(StratumID);
- 2) 通过 StratumID, 查询对应上下数据 UpLines 和 DownLines;
- 3) 利用式(1)、(2)进行空间线相交计算,求得拾取点所在垂线与上下边界的交点 $P_{(x_{up}, y_{up}, z_{up})}$ 和 $P_{(x_{down}, y_{down}, z_{down})}$ ;
- 4) 根据式(3)获得鼠标所在点的地层厚度 $H$ 。

### 3.2 煤层与含水标志层距离查询

煤层与含水标志层之间距离为查询点与构成含水地层边界的线段间最短的距离,因此,相关问题可以转化为求解点到折线最短距离的问题,其计算公式为

$$L_i = \min dist((x_0, y_0, z_0), line_{ij}) \quad (4)$$

式中, $L_i$ 为查询点到第 $i$ 个含水层的最短距离, $line_{ij}$ 为第 $i$ 个含水层的第 $j$ 条线段。

具体实现流程如下:

- 1) 基于三维拾取功能,获取点击剖面位置 $(x_0, y_0, z_0)$ ;
- 2) 遍历剖面中所有含水地层,构建含水层链表;
- 3) 从链表中任选含水层,根据式(4)求解拾取点到该含水层的最短距离;
- 4) 重复上一步,直到所有含水层都判断完毕,即可获得

查询点到每个含水层的最短距离值。

基于上述分析查询算法,实现的剖面信息查询功能运行效果如图4所示。

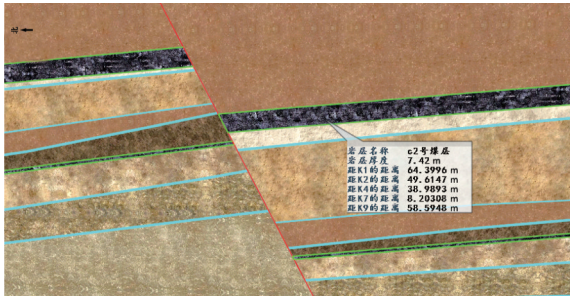


图4 煤层厚度及其到含水层最短距离查询示意  
Fig. 4 Stratum thickness and shortest distance to water-bearing stratum

由图4可以直接得出,鼠标拾取地层为2号煤层,煤层此处厚度为7.42 m,距离K7标志层最小距离为8.2 m,因此,在煤矿开采过程中,需要及时了解此处K7标志层的埋藏条件和富水性等情况,确保安全生产。

#### 4 结论

1) 基于煤矿三维地质模型,研究了地质剖面图拓扑关系构建的方法,提出了剖面拓扑自动生成算法,构建三维地质剖面图中各地质元素之间的拓扑关系。

2) 利用含拓扑的地质剖面图,设计了剖面信息查询、分析等应用的方法,实现了剖面图属性信息、地层厚度、拾取点与含水层之间距离等内容的查询,为煤矿安全生产提供技术数据支持。

3) 对相关研究内容进行了实现,并应用到中煤能源集团王家岭等矿井的实际工程项目中,经过现场实践运用,证明了研究内容的有效性和实用性。

#### 参考文献 (References)

[1] 刘光伟,白润才,吕进国,等. 基于三维地质实体模型生成地质剖面图的应用[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版, 2010, 29(4): 557-559.  
Liu Guangwei, Bai Runcai, Lü Jinguo, et al. Application of geological section based on 3D geological solid model[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science Edition, 2010, 29(4): 557-559.

[2] 张凯,何英. 如何使用 AutoCAD2004 编制图切剖面图[J]. 贵州地质, 2007, 24(2): 81-84.  
Zhang Kai, He Ying. Application of AutoCAD 2004 for drawing of cross section[J]. Guizhou Geology, 2007, 24(2): 81-84.

[3] 唐春艳,王玉兰,彭继兵,等. 地质剖面图自动绘制方法[J]. 世界地质, 2004, 23(4): 348-353.  
Tang Chunyan, Wang Yulan, Peng Jibing, et al. Method of automatic geological sectional drawing[J]. World Geology, 2004, 23(4): 348-353.

[4] 陈志军,陈建国. 基于 MapGIS 的图切地质剖面系统面向对象设计与实现[J]. 地质学报, 2012, 36(3): 256-264.  
Chen Zhijun, Chen Jianguo. Object orientation design and

implementation for cutting section of geological map system based on MapGIS[J]. Journal of Geology, 2012, 36(3): 256-264.

[5] 孙明明,鲁孟胜,李明建. 利用 MAPGIS 实现计算机编制工程地质剖面图[J]. 山东煤炭科技, 2001(3): 45-46.  
Sun Mingming, Lu Mengsheng, Li Mingjian. Computer practice of drawing project geological profile by using MAPGIS[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2001(3): 45-46.

[6] 朱莹,刘学军,陈锁忠. 基于 GIS 的地质剖面图自动绘制软件的研究[J]. 南京师大学报:自然科学版, 2007, 30(4): 104-108.  
Zhu Ying, Liu Xuejun, Chen Suozhong. A research on automatic generating software of geologic section based on GIS[J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2007, 30(4): 104-108.

[7] 高明忠,谢和平,李洪,等. 基于 GIS 的地层剖面图生成技术[J]. 岩土力学, 2006, 27(10): 1791-1794, 1799.  
Gao Mingzhong, Xie Heping, Li Hong, et al. Technique of generating stratigraphic section based on GIS[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(10): 1791-1794, 1799.

[8] 周良辰,林冰仙,闫国年. 虚拟钻孔控制的地质剖面图构建算法与实现[J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(3): 356-361.  
Zhou Liangchen, Lin Bingxian, Lü Guonian. A geological section construction based on virtual drillhole[J]. Journal of Geo-Information Science, 2013, 15(3): 356-361.

[9] 王家伟,郭甲腾,张荣兵. 含尖灭地层的地质剖面图自动生成与 2D/3D 绘制[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2012, 28(3): 405-410.  
Wang Jiawei, Guo Jiateng, Zhang Rongbing. An automatic generation and 2D/3D visualization for geological sections with strata pinch-out[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science Edition, 2012, 28(3): 405-410.

[10] 王占刚,潘懋,屈红刚,等. 三维折剖面的 Delaunay 三角剖分算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(1): 94-96.  
Wang Zhangan, Pan Mao, Qu Honggang, et al. Algorithm of delaunay triangulation of 3D folded cross-section[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(1): 94-96.

[11] 闫浩文,杨维芳,陈全功,等. 基于方位角计算的拓扑多边形自动构建快速算法[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(7): 27-31.  
Yan Haowen, Yang Weifang, Chen Quanguo, et al. A fast algorithm of topological polygon auto-construction based on azimuth calculation [J]. Journal of Image and Graphics, 2000, 5(7): 27-31.

[12] 卢浩,钟耳顺,王天宝,等. 一种基于拓扑信息的多边形数据自动生成算法[J]. 地理与地理信息科学, 2012, 28(4): 38-41.  
Lu Hao, Zhong Ershun, Wang Tianbao, et al. A polygon data automatic generation algorithm based on topology information[J]. Geography and Geo-Information Science, 2012, 28(4): 38-41.

[13] 梁晓文,刘宗岐,陈宜金. 基于夹角变化趋势的多边形自动搜索和生成算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(6): 785-789.  
Liang Xiaowen, Liu Zongqi, Chen Yijin. An algorithm of polygon auto-construction based on angle changing tendency[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(6): 785-789.

[14] 杨海宏,李天宏,薛安. 利用双邻点判断法优化拓扑关系自动生成算法[J]. 中国图象图形学报, 1998, 3(7): 53-57.  
Yang Haihong, Li Tianhong, Xue An. Optimization on automatic topological relation generating algorithm with double neighboring point judgement method[J]. Journal of Image and Graphics, 1998, 3(7): 53-57.

(编辑 田恬)