

文章编号: 1001-1986(2009)02-0010-03

考虑逆断层的煤层顶底板 TIN 生成的新方法

陈敬柱^{1,3}, 马念杰¹, 李 梅², 毛善君², 熊 伟³

(1. 中国矿业大学资源与安全工程学院, 北京 100083;
2. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 3. 北京龙软科技发展有限公司, 北京 100190)

摘要: 为了解决逆断层参与下煤层顶底板不易生成 TIN 的问题, 提出了一种新方法。该方法以约束 Delaunay 三角剖分为理论基础, 一方面使生成 TIN 满足约束 Delaunay 原则, 另一方面又很好地解决了逆断层生成 TIN 的问题。通过大量煤层正/逆断层和多期叠加断层数据的检验, 该算法容易实现, 稳定可靠, 效率高, 并对将来自动生成煤层顶/底板等高线图也很有帮助。

关键词: 煤层; 逆断层; 约束三角剖分; 等高线图

中图分类号: P628; P618.11 **文献标识码:** A

A new algorithm of building coal seam TIN considering reverse faults

CHEN Jingzhu^{1,3}, MA Nianjie¹, LI Mei², MAO Shanjun², XIONG Wei³

(1. School of Resource and Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;
2. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;
3. Beijing Longruan Science and Technology Co., Ltd, Beijing 100190, China)

Abstract: In order to solve the difficulty of coal seam TIN dealing with reverse faults, a new algorithm of constrained Delaunay triangulation is proposed. The TIN built by the algorithm, on the one hand meets constrained Delaunay principle, and on the other hand is a good solution for formation of TIN of reverse faults. The algorithm, checked by various coal geological data with complex normal/reverse faults and fault combination, is simple, high-efficient, and useful for automatic creation of coal roof/floor contour map in the future.

Key words: coal seam; reverse fault; constrained triangulation; contour map

解决结构性上的非连续性, 如正断层、逆断层等, 是自动生成煤层顶/底板等高线的一个关键问题。通常, 解决这一问题的办法是先根据见煤层钻孔和断层等数据自动生成不规则三角网(TIN), 然后再根据 TIN 采用追踪插值等方法自动获得等高线^[1]。所以, 问题的关键是如何生成煤层顶/底板 TIN。如果纯粹地采用约束 Delaunay 剖分来生成 TIN, 对单一形式正断层(非断层叠加)来说是容易实现的, 如果要处理更复杂的逆断层(重合区域)或多期多性质叠加断层, 就需要更复杂的定义和预处理^[2], 此方法由于实际应用时繁复而效果往往不理想。

考虑到这种对定义和预处理的复杂性, 毛善君等提出了“膨胀法”以处理包含逆断层在内的煤层顶/底板 TIN 的生成^[3]。这种方法需要对全部范围的点搜索运算, 因而效率低; 刘少华等提出分块进行网格索引^[4], 以提高搜索效率, 但仍未从根本上解决“膨胀法”运算效率不高问题。

在充分考虑运算效率和易实现的原则基础上,

本文提出了一种按照约束 Delaunay 准则, 采用传统的“空腔法”, 在考虑逆断层的情况下, 能自动高效、稳定地生成煤层顶/底板 TIN 的新方法。

1 几个先决条件

参与煤层顶/底板 TIN 生成的离散点(钻孔数据)、边界多边形和断层线, 必须满足(或者经过处理后可达到)如下条件:

- a. 所有的离散点不能重合;
- b. 所有的离散点不能和边界线(断层线)坐标点重合, 也不能位于边界线(断层线)上;
- c. 断层线必须首尾连接(或称为自闭合);
- d. 断层线的组合形态符合地质学断层规律, 即不存在畸变断层, 或自然界中不存在的断层。

2 处理步骤

2.1 数据的预处理

- a. 剔除所有的重合点, 这些重合点包括离散点

收稿日期: 2008-06-20

作者简介: 陈敬柱(1973—), 男, 江西瑞昌人, 博士研究生, 主要从事采矿 GIS 应用方面研究。

之间、离散点与边界线(断层线)坐标之间的重合点。如图 1 所示,图中虚“十字”点由于和相邻点小于给点的容差 error,所以要被剔除。

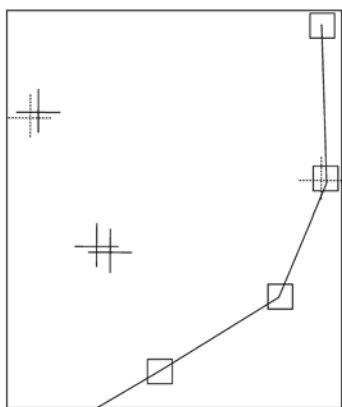


图 1 要剔除的重合点

Fig. 1 Overlay dots which should be kicked off

b. 剔除所有的线上点,是指离散点位于边界线(断层线)上的中间。如图 2 所示的“虚十字”点。删除线上点的目的是生成 TIN 防止出现“近扁平三角形”。

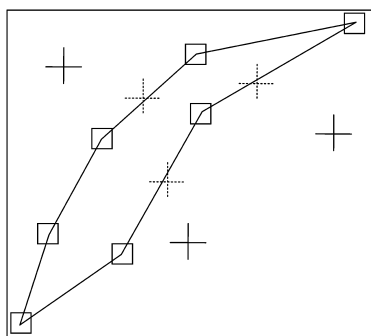


图 2 要剔除的线上点

Fig. 2 Dots on lines which should be kicked off

2.2 预生成 Delaunay 不规则三角网(TIN)

a. 参与生成的三角网的点包括所有离散点、断层线端点(断层线中间点不参与)和边界线点。

b. 对生成的三角网按边界进行约束 Delaunay TIN 处理^[4],并删除边界外侧的三角形,至此预生成 Delaunay TIN 处理完毕。如图 3 所示。

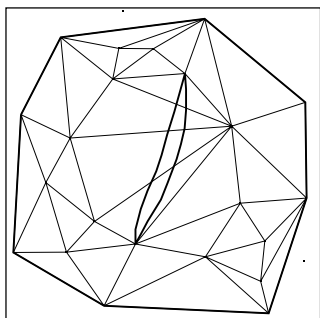


图 3 完成的预生成 Delaunay TIN

Fig. 3 Final pre-generating Delaunay TIN

2.3 处理正/逆断层

a. 有向断层线的概念。断层线通常是指断层面与地层的交线;参照弧段有向性的性质^[5],将断层线也看成是有方向的,即称为“有向断层线”,并规定在拓扑关系中有向断层线的左多边形为对应的断层盘片,如图 4 中所示的带箭头方向的虚线和实线,虚线的左多边形为斜纹图案,即断层下盘片;实线的左多边形为竖纹图案,即断层上盘片。

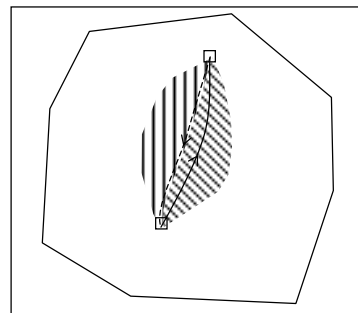


图 4 有向断层线

Fig. 4 Directed fault-lines

b. 有向断层线组概念,是指由一个断层或多期断层叠加所形成的若干个有向断层线组成。图 5 给出了几种形式的有向断层线组。图 5 a、图 5 b 分别代表一个正断层和一个逆断层的有向断层线组;图 5 c 代表断层多期叠加的有向断层线组。

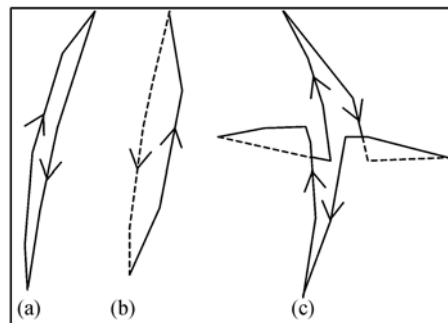


图 5 有向断层线组

Fig. 5 Directed fault-line groups

c. 获得有向断层线组初始“包络空腔”。从上述可知,每个有向断层线组总是与预生成 Delaunay TIN 的三角形切割(或被包含),把这些三角形删除后可获得初始“包络空腔”,如图 6 a 虚线所示。

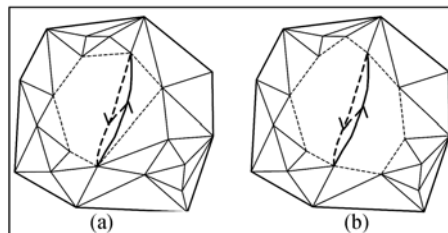


图 6 有向断层线组“包络空腔”

Fig. 6 Cavity of directed fault-line groups

d. 对“包络空腔”进行增扩。增扩的原则是以初始“包络空腔”为边逐渐依次外扩,即逐步删除和该空腔临边的三角形。需要注意的是,这个三角形必须满足“三角形外接圆至少包含一个断层线坐标点(断层线两端端点除外)”。增扩的结果如图 6b 虚线所示。

e. 根据二维自动拓扑分析有关方法^[6],追踪有向断层线和空腔边,可依次找出有向断层线所属的断层盘片,即有向断层线的左多边形,这种断层盘片称为“子空腔”,如图 7 中竖纹、斜纹分别表示的多边形区域。

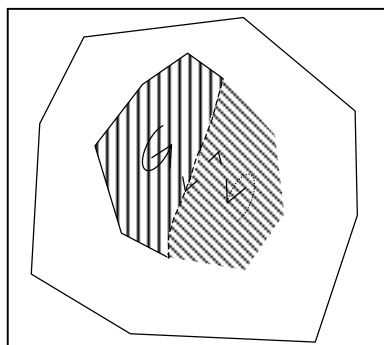


图 7 断层盘片和子空腔

Fig. 7 Fault up/down walls and sub-cavity

f. 对每一个子空腔按照最大边、最大顶角和不

相交等原则(符合 Delaunay 剖分准则),依次在子空腔中生成三角形^[7],如图 8 所示,其中图 8a 为单期断层空腔生成的三角形,图 8b 为多期叠加断层空腔生成的三角形。

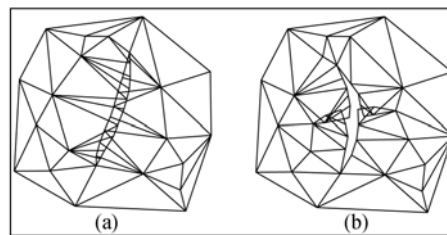


图 8 在子空腔中生成的三角形

Fig. 8 Triangles generated in sub-cavity

3 实验数据

3.1 实验环境

硬件 :C.M780 G 主板 ,AMD5000+CPU (3.0GHZ) , 4 G 667 MHZ DDR 内存 ,Seagate 160 G 7200 转 8 M 串口硬盘。

软件 : Windows Server 2008 操作系统 , Visual Studio 2008 C++编程实现 , 系统界面如图 9 所示。

3.2 实验结果

根据随机测试样本,对该算法的实现进行了 3 组数据的检验,通过改变样本的离散点个数和断层线条数得出约束 TIN 的三角形个数及其生成时间,如表 1 所示。

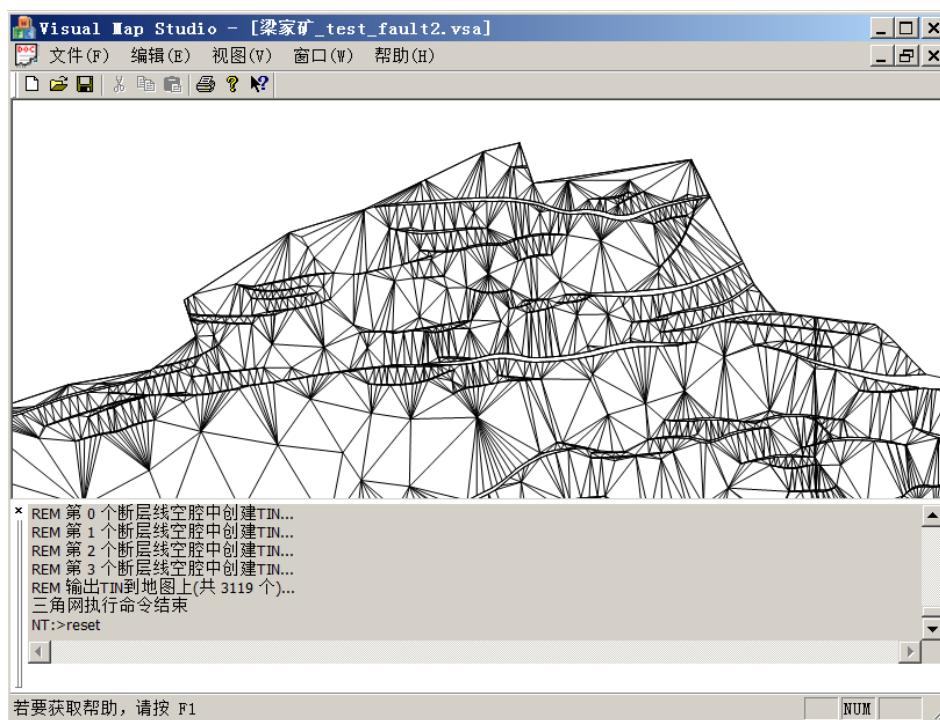


图 9 生成煤层顶/底板 TIN 测试程序

Fig. 9 Application of testing coal seam TIN

(下转第 17 页)

表 4 综合优度统计表 万 t
Table 4 Statistics of comprehensive superiority

勘查程度	优度类型			
	优级	良级	可级	差级
精查	526 214.23	1 285 804.55	20 314.31	—
详查	44 630	278 276.1	42 920.86	—
普查	—	31 495.85	882 009.57	7 617.7
预查	—	—	386 500	256 296.13
总计	570 844.23	1 595 576.49	1 331 744.74	263 913.83

注：表中数据表示不同勘查程度下各优度类型的保有资源量。

3 结 论

主要通过层次分析法(AHP 法)建立了煤炭资源评价体系。应用灰色聚类分析方法和灰色统计法对贵州全省煤炭资源进行了评价，结论如下：

a. 构建了科学的资源评价体系与灰色聚类分析模型。对全省 166 个勘查区进行评价，综合优度值介于 44.46~83.13，各单元间差异不大，70 分以上主要为六盘水地区，50 分以下主要为遵义地区。

b. 毕节、黔西南和六盘水地区的地质条件相对较好；六盘水和贵阳的经济条件好于其他地区；贵阳地区的开采条件最好。六盘水、毕节和贵阳市各类条件分值较高，且匹配性较好，适宜煤炭资源集中生产和规划；其他地区虽然个别条件较好，但

受其他因素的影响和制约较大，目前尚不具备大规模开发条件。

c. 评价结果表明，贵州省具有良好的资源条件，优、良级资源量占参评总资源量的 57.86 %，其次为可级别资源，而差级别资源较少。另外，该省不同优度级别资源量的分布比例较为合理，这有利于煤炭资源的开发。

参考文献

[1] 贵州煤田地质局. 贵州省煤炭资源预测与评价[R]. 贵阳：贵州省煤田地质局，1997.

[2] 贵州煤田地质局. 贵州省煤炭资源开发利用及有效保障能力分析[R]. 贵阳：贵州省煤田地质局，2007.

[3] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉：华中理工大学出版社，1987.

[4] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉：华中理工大学出版社，1990：5-10.

[5] 许惠龙，程爱国，宗金锋，等. 中国煤炭资源评价的思路与方法[J]. 煤田地质与勘探，1997，25(1)：25-28.

[6] 汪云甲，黄宗文. 矿产资源评价及其应用研究[M]. 徐州：中国矿业大学出版社，1998.

[7] 中国煤田地质总局. 鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价[M]. 北京：煤炭工业出版社，1996.

(上接第 12 页)

表 1 离散点和断层数与所耗时间的关系
Table 1 Relation between dots/faults and time

点/个	断层线/条	三角形/个	时间/s
1 038	55	1 461	0.474
1 936	113	2 388	1.515
2 780	167	3 119	2.395

4 结 论

本文对顾及逆断层等结构性上的非连续性的 TIN 生成提出了新算法。通过实践检验，该算法具有明显的优势。

a. 在即便有逆断层作为约束的情况下，生成的 TIN 仍然符合 Delaunay 三角形剖分准则。

b. 由于该算法主体上是采用一般成熟的三角形剖分算法，在实际应用中即便处理大数据量，也表现出很大的稳定性和高效性，并得到了充分的验证。

c. 由上述可知，该算法具有动态断层处理能力(即任意增加或删除有向断层线组)，可方便地实现煤层顶底板断层动态错断三维建模等。

d. 与传统方法相比，该约束 TIN 算法具有执行效率高，可靠性好，易实现等特点。

参考文献

[1] 李利军，袁尤军，王乘. 一种基于不规则三角网 TIN 的等值线计算方法[J]. 计算机与数字工程，2007，35(99)：34-35.

[2] MARCUS A. Development of a 3D GIS based on the 3D modeler GOCAD [M]. IAMG Meeting, 2001：256-268.

[3] 毛善君，马洪兵. 自动构建复杂地质体数字高程模型的方法研究[J]. 测绘学报，1999，28(1)：57-61.

[4] 刘少华，程朋根，史文中. 约束 Delaunay 三角网生成算法研究[J]. 测绘通报，2004(3)：4-7.

[5] 王丽萍，潘云鹤，邱飞岳. GIS 中空间拓扑关系的形式化描述[J]. 浙江工业大学学报，1999，27(2)：168-172.

[6] 涂美义，李星. 基于 GIS 空间实体的自动拓扑模型设计与实现[J]. 地理空间信息，2005，3(1)：28-30.

[7] 徐明海，张俨彬，陶文. 一种改进的 Delaunay 三角形化剖分方法[J]. 石油大学学报，2001，25(2)：100-105.