

文章编号: 1001-1986(2007)02-0022-03

平行轮廓线构建复杂断层地质模型研究

李光亮¹, 肖海红², 徐遵义¹, 邹华胜¹, 王宇飞²

(1. 中国矿业大学机信学院, 北京 100083; 2. 北京市国土资源遥感公司, 北京 100086)

摘要: 由于断层的表现方式多种多样, 简单的处理方法在断层模拟上都或多或少存在一些问题。利用平行轮廓线(outline)的方法, 对剖分地质体轮廓、关键点的确定与匹配进行了研究, 并以乌达地区为实例, 进行了三维地质体构建, 取得了较好的地质表现效果。

关键词: 断层; 平行轮廓线; 地质; 建模

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A

Building complicated fault geological models with parallel outline

LI Guang-liang¹, XIAO Hai-hong², XU Zun-yi¹, ZOU Hua-sheng¹, WANG Yu-fei²

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

2. Beijing Remote Sensing Corporation, Beijing 100086, China)

Abstract: There are many methods to dealing with faults in geological structure. For complicated faults, a reasonable solution to the problem is using parallel outlines to subdivision the outlines of 3D model, to match and join the parallel outlines and build the 3D models at last. The result of study case indicates that complex geological models with this method have a visual good sight.

Key words: fault; outline; geology; model building

所谓轮廓线就是物体(几何实体)与某一特定截面的交线, 它在相当大的程度上表述了实体的形状

特征。借助三维重建的思想, 基于轮廓线的三维重建方法归结为以下的描述: 物体与平行截面的交线

收稿日期: 2006-06-13

作者简介: 李光亮(1973—), 男, 河北邯郸人, 博士研究生, 从事地球物理勘探与信息技术研究。

表 1 基本地理信息的分类编码
Table 1 Classification code of basic geographical information

主类	专题类别/图层分类	图素序列/对象类序列	主分类码	次分类码	对象类码	图素类型/形态标识码	编 码	主类	专题类别/图层分类	图素序列/对象类序列	主分类码	次分类码	对象类码	图素类型/形态标识码	编 码
基 本 地 理 信 息	居民地和垣栅	窑洞、蒙古包	L	01	01~02	1	L011 * *	地形地貌	坡、坎		L	04	01~02	2	L042 * *
		房屋、台阶、院门、门墩、围墙、栅栏、篱笆、铁丝网	L	01	01~08	2	L012 * *		耕地、果园、		L	04	01~02	3	L043 * *
		水井、泉	L	02	01~02	1	L021 * *		变电所、消火栓、阀门、水龙头		L	05	01~04	1	L051 * *
	水系	沟渠、防洪墙、土堤、陡岸	L	02	01~04	2	L022 * *	管线	输电线、电线架、电线塔		L	05	01~03	2	L052 * *
		河流、溪流、湖泊、水库、池塘	L	02	01~05	3	L023 * *		小煤窑、老窑、学校、卫生所		L	06	01~04	1	L061 * *
		桥梁	L	03	01	1	L03101	工矿建筑物及其他设施	体育场、游泳池、厕所		L	06	01~03	2	L062 * *
	交通	铁路、公路、乡村路、小路	L	03	01~04	2	L032 * *								

形库结构以及基本图素(包括点、线、面)的组织 and 编码进行优化。实践证明, 该分类编码体系为实现 MSGIS 与其他 GIS 系统(如 MapGis)及 AUTOCAD 系统之间的图形和属性的交流与共享奠定了基础。

参考文献

[1] 陈桂茹, 吴立新, 刘纯波, 等. 到 MGIS 中矿图符号库的设计与

软件实现[J]. 矿山测量, 1999(2): 8—10.
[2] 何建邦, 李新通. 资源环境信息分类编码及其与地理本体关联的思考[J]. 地理信息世界, 2003, 1(5): 6—11.
[3] 李新通, 何建邦. 国家资源环境数据库信息分类编码及运用模式[J]. 地理学报, 2002, 57: 11—17.
[4] 国家技术监督局. GB7027—86《信息分类编码的基本原则和方法》[S]. 北京: 中国标准出版社, 1986: 1—8.
[5] 张振飞, 马智民. 基于 GIS 的地质信息分类编码的一种思路[J]. 地质科技情报. 1999, 18(3): 95—98.

(轮廓线)均为简单封闭曲线;对应于地层的构建,一般是在轮廓线位置做剖面,剖面包括一定范围内的钻孔,然后人工根据剖面上钻孔对某地层的控制勾勒该层位的轮廓线。勾勒出众多剖面的轮廓线后,就可以按照一定的规则连接相邻两层轮廓线的顶点,构造一系列彼此不相交、互相不重叠的三角面片,利用三角面片重建物体的三维表面^[1]。

从建模的角度出发,将断层表现形式分为两类:一是断层横穿整个区域,二是断层在矿区范围里尖灭。针对这两种不同形式的断层,采用了不同的断层构建方法。

1 由简单断层切割的地层构建

地层完全被断层分割时,构建地质模型比较简单。首先把整个矿区的钻孔按断层的分割线划分为两块,根据块断内分布的钻孔分别构建该地层 TIN 模型,形成两块独立的 TIN 模型,如图 1 所示。由于根据钻孔构建的三角网只有钻孔凸包以内的部分,而断层附近凸包以外肯定也存在该层位,因为断层割断了断层两盘钻孔的联结,致使断层两盘附近的层位丢失,所以需要将建好的 TIN 三维拓展。拓展应该超过断层剪切面,这样不规则三角网将穿出断层线,两盘 TIN 发生了交叉与重复,显然与现实不符,需要通过合理的剪切运算,把超过断层的部分裁切掉。具体裁切原理为:取出所有图形数据点,判断此点是在断层面的哪一侧,保留在其中一侧的数据点,舍弃在另一侧的数据点。假设断层面为平面方程 $ax + by + cz = 0$;那么 $ax + by + cz + d > 0$ 和 $ax + by + cz + d < 0$ 分别代表了断层面的两盘,其中一侧保留,另一侧便舍掉。在断层布尔运算时引入一种三维 GIS 数据结构中的一种 B-Rep 模型。通过 B-Rep 模型(boundary replacement 边界替代法)结合多种插值方法对模型边界进行取舍修改等操作^[1],最终的模型同时满足空间物体的几何拓扑关系。

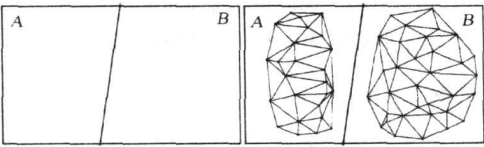


图 1 横穿整个区域的简单断层
Fig.1 Fault crossing the whole area

2 构建未完全被断层切割的地层

有一些断层并没有完全穿过整个矿区,而是在矿区范围内尖灭,这样的断层就不能完全按前面的

方法实现。解决的办法是在断层尖灭的地方人为地划一条分割线,这样整个区域就被分割成 A、B、C 3 个块段,对 3 个块段分别建模,最后合成一个整体,如图 2 所示。

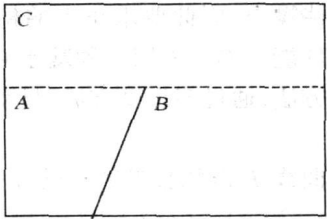


图 2 未完全被断层切割的地层
Fig.2 Stratum incompletely cut off by fault

这种建模方式,由于提取钻孔数据构建地层 TIN 模型很难保证 A、B 两区域与 C 区域完全无缝接合,所以采用一种二维轮廓线重建物体表面的方法。二维轮廓线序列重建物体表面是三维数据场可视化中的一种表面绘制方法,在地质地形数据可视化中有着广泛的应用。如图 3 所示,A 区域根据钻孔剖面勾勒出一组轮廓线 $a1, a2, \dots, an$; B 区域对应于 $b1, b2, \dots, bn$; C 区域对应于 $c1, c2, \dots, cn$ 。为保证建好的各个块段能无缝拼接,要求块段接合处的轮廓线完全重合,也就是 cn 于 an, bn 完全重合,实际上 an, bn 的轮廓线文件分别由 cn 截取而成。

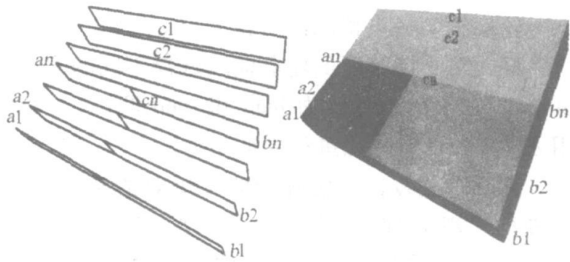


图 3 地层轮廓线示意图
Fig.3 Outline abridged general view

3 关键点(key point)的确定

轮廓线勾勒完毕后,需要实现相邻轮廓线的匹配,实现步骤是:

先计算两条轮廓曲线各自的关键点(key point),再根据计算的关键点进行控制点配对,然后在匹配基础上判断两条轮廓线的相似性。如果其相似性小于某一给定阈值,对其采用一般的全局优化方法进行三角划分;否则就可以将两条轮廓曲线按匹配好的关键点分成多个曲线段对,即两轮廓线之间的区域被分割成多个小的区域;最后在每个小区域中就可以按一种简单的分割方法进行三角划分。

关键点是指在轮廓曲线上的那些曲率绝对值极大值点,其检测方法可以分为从图像中直接检测和从轮廓边缘中检测。检测方法有很多,大多基于多尺度小波变换、基于边界链码方向、基于 CSS 和基于曲率多边形近似等方法。由于实际应用中,轮廓曲线会存在一些噪声,因此要求角点的检测方法具有一定的抗噪性能。本文采用一种基于 CSS 的改进的关键点检测方法,通过多尺度方法,自动地进行关键点的提取^[2]。

将轮廓曲线 F 以弧长参数 u 进行参数化:

$$F(u) = (x(u), y(u)) \quad (1)$$

对 F 进行高斯平滑后得到 F_σ , 定义为

$$F_\sigma = (x(u)g(u, \sigma), y(u)g(u, \sigma)) \quad (2)$$

式中 $g(u, \sigma)$ 为高斯函数,其宽度 σ 就成了平滑的程度,它必须处于一个合适的范围,既可以去除噪声,又能保留真正的关键点,取 $\sigma=4, 3, 2, 1$ 。

F_σ 的曲率绝对值函数 $c(u, \sigma)$ 为

$$c(u, \sigma) = \left| \frac{X_u(u, \sigma)Y_{uu}(u, \sigma) - X_{uu}(u, \sigma)Y_u(u, \sigma)}{(X_u(u, \sigma)^2 + Y_u(u, \sigma)^2)^{\frac{3}{2}}} \right|$$

$$X_u = x(u)g_u(u, \sigma)$$

$$X_{uu} = x(u)g_{uu}(u, \sigma) \quad (3)$$

$$Y_u = y(u)g_u(u, \sigma)$$

$$Y_{uu} = y(u)g_{uu}(u, \sigma)$$

轮廓线关键点检测的步骤如下:

a. 对不同长度的轮廓曲线选择不同的 CSS 尺度 σ_{high} , 将轮廓长度分为 high 和 short 两类, 分别使用 $\sigma_{\text{high}}=4, 2$ 对轮廓进行高斯平滑。

b. 对比较长的轮廓的曲率绝对值函数 $c(u, \sigma)$ 进行平滑处理, 这样能清除一些假的局部极大值, 而对短的轮廓不需要检测曲率绝对值的局部极大值点, 然后在这些点中挑选出一些作为候选关键点, 依据是要求它们的曲率绝对值为一个相邻的局部极小值的两倍。

c. 由于是在平滑后的曲线 F_σ 上确定关键点的, 而平滑后的曲线与原曲线相比有一定程度的收缩, 因此需要通过跟踪重新定位关键点在原始曲线上的位置。对于在 σ_{high} 尺度下检测得到的关键点, 将在一个低一些的尺度上计算曲率, 然后在上述关键点的一个小的邻域内重新确定候选关键点, 这样一直将尺度降到最低^[3]。

关键点确定以后, 对相邻两个轮廓线上未匹配的关键点进行配对, 使之一一对应, 此类算法有很多, 一般以最短距离法为多见, 在此不再赘述。

4 实例

以内蒙古乌达矿区为例, 结合乌达矿务局矿井生产, 选了几条典型断层作为建模的基础断层, 如图 4 所示。4 条断层由左至右依次为羊圈逆断层、F29 断层带、露天小断层, 以及乌达逆掩断层, 经过人为地增加分割线, 并同时结合矿区的勘探线, 将全区分割为 11 个块段(因为主要为煤层建立模型, 无煤区不再划分块段)。

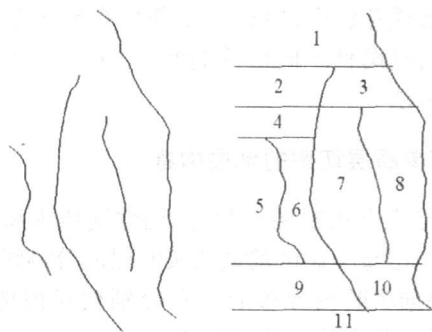


图 4 乌达地区主要断层以及构模分割块段

Fig. 4 Main faults and blocks in Wuda coalfield

图 5 是分别按块段建好模型并拼接成一个整体的效果图。采用这种轮廓线构建复杂构造地层的方法取得了预期的效果, 当然其中仍然有不足之处, 例如由钻孔剖面描制轮廓线仍然需要大量的人工操作, 在将来的工作中需要解决这些问题。

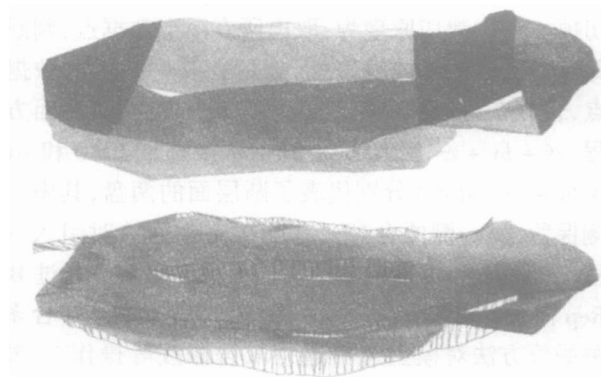


图 5 块段拼接完成的效果图

Fig. 5 Result view of blocks joint

参考文献

- [1] 邓小英, 李英, 张宏梅, 等. 用序列二维轮廓线重建三维形体表面的方法[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2003, 21(增刊): 98—100.
- [2] 周焰, 李德仁. 平面轮廓线之间的分块三角划分算法[J]. 系统工程与电子技术, 2003(8): 1003—1006.
- [3] 谭孟恩, 葛建新, 董金祥, 等. 线框设计中轮廓线的自动生成[J]. 计算机学报, 1997(12): 1137—1140.