

基于 GIS 的地质剖面图自动绘制软件的研究

朱 莹, 刘学军, 陈锁忠

(南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210046)

[摘要] 对地质剖面图绘制技术的研究从 20 世纪 90 年代持续至今, 其中主要的绘制方法有基于 CAD 进行绘制和采用 GIS 组件进行绘制。但是在这些研究中地质剖面图的绘制只依赖钻孔数据, 由于钻孔数据稀疏不均, 不能很好地反映断层等地质构造, 因此在剖面图上对地质构造的定位和形态表达存在一定困难。本文基于 GIS 技术, 融合基础地质数据、钻孔数据, 实现了地质剖面图的自动绘制。在分析地质剖面图的几何特征的基础上, 建立了地质剖面图的数据模型。根据断层的几何形态, 实现了断层的绘制。

[关键词] GIS, 地质剖面图, 数据模型, 断层, 自动绘制

[中图分类号] TP311 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2007)04-0104-05

A Research on Automatic Generating Software of Geologic Section Based on GIS

Zhu Ying, Liu Xuejun, Chen Suozhong

(Virtual Geographical Environment of MOE Key Laboratory, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: The technology of drawing geologic section has been researched since the nineties of the twentieth century. Geologic section is mainly drawn by CAD technology and component GIS. But the researches only depend on bore data. Because the spatial distribution of bores is rare and uneven and bore data can't reflect geological structures such as fault, it is difficult to locate the geologic structures and display the configuration of them on the geologic section. This paper fuses basic geography data and bore data based on GIS technology and automatically generates the geologic section. On the basis of analyzing the geometry characteristic of geologic section, the data model of section is built. The fault is drawn based on the geometry configuration.

Key words: GIS, geologic section, data model, fault, automatic generating

0 引言

地质剖面图是反映地层结构、岩体属性特征的重要成果图件, 是地层在垂向上最直观最有效的表达方式。它形象直观地表达了地层的结构构造和地层的沉积规律, 是系统分析区域或局部的地质条件、正确指导地下资源的开发利用以及工程的实施和建设的依据之一。

地质剖面图的绘制技术主要分为两类, 一类采用 CAD 技术进行地质剖面的自动或半自动绘制^[1, 2], 另一类采用组件式 GIS 技术, 结合某种编程语言进行绘制^[3-9]。采用 CAD 技术绘制地质剖面图在图形表达方面具有优势, 但 CAD 技术对属性数据库的支持较弱, 不能实现图形和属性的全关系型存储, 因此不能实现地层属性的直接查询。采用组件式 GIS 技术实现了松散层地质剖面图的绘制, 对存在断层等地质构造的剖面图的绘制支持不够。

收稿日期: 2007-07-28, 修回日期: 2007-09-11。

基金项目: 国家 863 计划 (2006AA122121)、国家自然科学基金 (40471101) 资助项目。

作者简介: 朱 莹 (1981—), 博士研究生, 主要从事地理信息系统的学习与研究。E-mail: luckyzhuying@yahoo.com.cn

通讯联系人: 刘学军 (1965—), 教授, 博士生导师, 主要从事数字高程模型与数字地形分析、GIS 空间分析方法及应用、交通 GIS 等方面的教学与研究。E-mail: liuxuejun@njnu.edu.cn

本文基于 GIS技术,融合钻孔数据和基础地质图数据,自动生成能反映断层的地质剖面图,并实现空间对象与属性数据的互查.在此基础上,以.NET为开发框架,采用 C#开发了地质剖面图自动绘制系统.

1 地质剖面数据模型的建立

GIS中图形表达需要依赖底层的数据结构^[10],GIS空间数据模型理论是GIS的基础理论之一.地质剖面图的表达也要依赖于特定的数据模型,才能生成矢量的地质剖面图,实现图形属性数据的互查以及各对象拓扑关系的确定.根据GIS空间数据模型理论和OpenGIS简单空间对象模型,分析地质剖面图的几何特征,建立地质剖面图的几何数据模型,用于底层生成地质剖面的计算过程.地质剖面图是根据钻孔数据、地质构造数据,按照一定的地层构建规则绘制而成的.将构成地质剖面的钻孔、地层分界线、断层和地层横截面用点、线、面等几何对象表示,生成基于矢量数据结构的数据模型.地质剖面图中点、线、面对象的数据模型以及之间的关系用UML表达(如图1).地层点和交点派生于点,地层线、断层线和弧段派生于线,地层点组成钻孔线,地层点和交点组成地层线,地层面由弧段组成.钻孔线对象包括钻孔编号属性,地层面对象包括地层编号属性,这两个属性分别与原始数据中的钻孔对象和地层对象关联,在空间对象属性查询时能获取对应的属性数据.由于生成地质剖面图过程中计算和绘制的需要,为了对已有的地质剖面数据进行修改后,能够重建点、线、面的拓扑关系,地质剖面图的数据模型需要包括构成剖面图的所有点的信息,钻孔对应的钻孔线的信息,可能存在的断层线的信息,组成面的弧段的信息,以及地层面的信息,其数据模型如图2

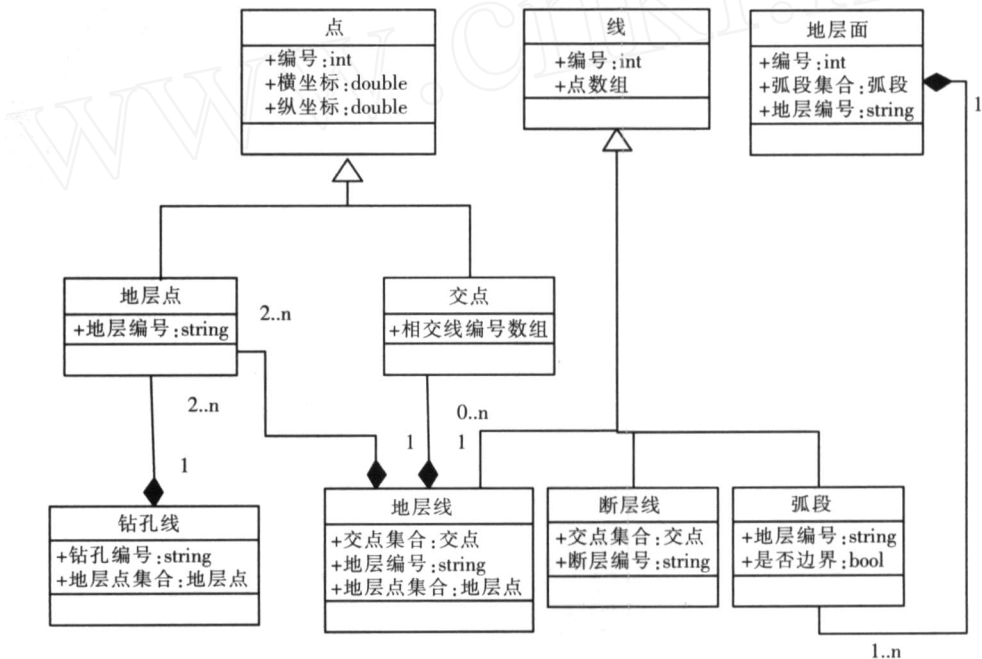


图1 点、线、面对象数据模型及关系的UML图
Fig.1 UML of the data models and relation of point, line and polygon

2 地质剖面绘制关键技术

2.1 基于GIS的原始数据的获取

由于仅仅依靠钻孔数据生成地质剖面图,不能确定断层等地质构造在剖面图上的具体位置和形态.断层信息包含在基础地质图中,断层的构造线作为线图层存在,对于每个断层构造线,包含了该断层的基本属性信息,如断层走向、断层倾向、倾角、断层性质和断距等.钻孔点和断层构造线都具有空间位置信息,采用GIS技术对钻孔点连接而成的剖面线和断层构造线进行空间拓扑关系分析,判断它们是否相交,若相交,则求出交点坐标,并获取断层属性信息.将参与构建剖面的钻孔信息与获取的断层信息相结合,能确定断层在剖面上的位置以及形态.本研究采用ArcGIS Engine组件,C#语言开发地质剖面图自动绘制的前台程序,用于获取构建剖面图的原始数据.将钻孔信息和断层信息转化为对应的XML文件,使前台程序与地

质剖面自动绘制过程完全独立,地质剖面自动绘制只需基于原始数据的 XML 文件即可实现.

2.2 地层线的生成

地层在空间上分布不连续,厚度不均匀,导致自动绘制地质剖面的复杂性. 为了实现地层线的自动生成,从复杂地层结构中抽象出地层空间分布类型. 根据地层成因以及空间分布特征,可总结出 5 种地层空间分布类型,即地层连续分布、地层透镜体、地层尖灭、地层连续缺失以及地层间断缺失.

对于这 5 种地层空间分布类型,制定相应的地层尖灭规则,根据地层厚度确定尖灭的位置. 参与构建地质剖面的钻孔中,若存在厚度小于 2 m 的夹层,则该层忽略不计,将该层与相邻地层进行合并. 若根据地层空间分布类型构建地质剖面,尖灭点的位置与当前钻孔的距离由式 (1) 确定. 若存在间断缺失现象,则新地层尖灭位置与钻孔的距离也依此原则确定.

$$L = \begin{cases} \frac{1}{3}d, 2 < h < 5 \\ \frac{1}{2}d, 5 < h < 8 \\ \frac{2}{3}d, h > 8 \end{cases} \quad (1)$$

式中, L 为尖灭点的位置与当前钻孔的距离, d 为当前钻孔与相邻钻孔的距离, h 为当前地层厚度,单位为 m

由于地质构造空间分布的复杂性、钻孔分布不均匀以及原始数据的不足,地层线的生成不能只适用于某一区域或某几个特定的钻孔,应该具有通用性,但各地区地层结构、地质构造分布都有很大差异,存在各种不确定的情况,某些情况下应用钻孔数据以及基础地质图数据并不能完整、正确地绘制地质剖面图,因此,需要应用专家知识实现地质剖面图的正确绘制.

绘制地质剖面图的专家知识主要根据地层空间分布类型、地层尖灭规则以及地质构造空间分布规律形成,将特定研究区域地层空间分布类型、地质构造空间分布以及地层尖灭原则相结合,抽象出地层线生成规则,采用基于规则的方法实现地层构建. 本研究采用产生式规则^[11]描述地层线生成规则,采用演绎系统的顺向链接的形式,从前提到结论,一旦前提被满足,就触发相应规则. 将抽象出的规则分为前提和结论,分别存入规则库的前提表和结论表,并分别编号. 将前提的集合和由该集合推出的结论用规则库中的一条记录表示,即将前提编号和推导出的结论编号存入规则表. 规则推理的过程是根据满足的前提条件,推导出结论,并将结论作为前提继续推导的过程. 根据这个方法,在地层构建时,判断钻孔的地层信息以及地质构造信息符合哪些前提,根据前提编号查询结论,再调用与结论对应的处理方法构建地层线. 其流程如图 3.

2.3 地质剖面图中断层的处理

在实际情况中,剖面走向与断层倾向并不总是平行的,所以断层在剖面图上的倾角并不总等于实测的断层的倾角^[12],可采用已有公式:

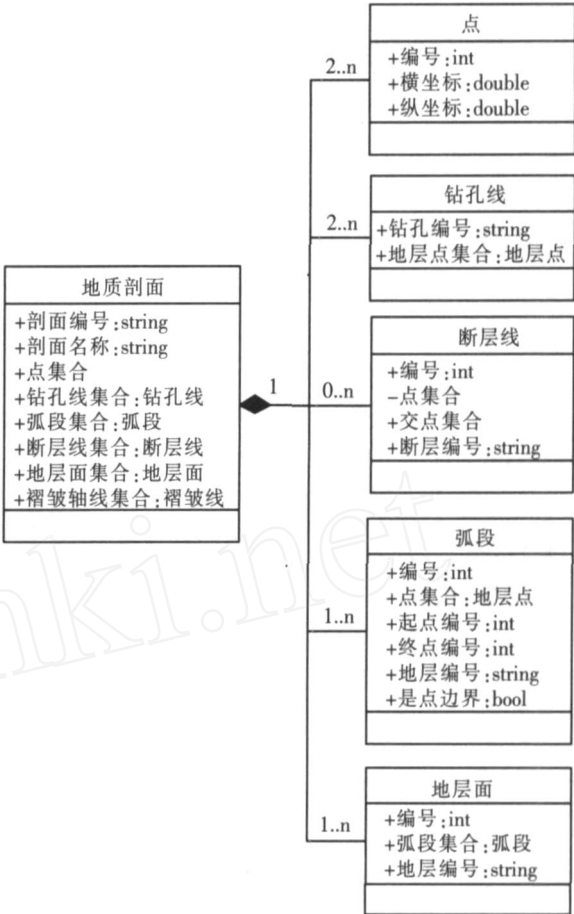


图 2 地质剖面数据模型 UML 图
Fig.2 UML of data model of geologic section

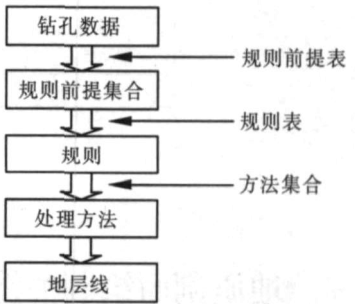


图 3 运用规则生成地层线流程图
Fig.3 Flow chart of generating stratum lines based on rules

= tg⁻¹ (cosφ tg) (2)

式中, 为断层在剖面图上的视倾角, φ为断层倾向与剖面走向之间的夹角, 为断层倾向. 计算断层在剖面图上的视倾角. 根据原始数据获取过程中获得的断层线与剖面线的交点坐标, 转换为剖面图上对应的点坐标, 结合断层在剖面图上倾向角, 即可计算断层线方程.

自然界中断层的上下盘发生错动, 因此在地质剖面图中, 与断层线相交的地层线应该根据断层的断距和性质, 重新计算交点坐标. 如图 4, 多边形 *ABDC* 为已构建的地层线 *AC* 和 *BD* 形成的地层面, *EF* 为断层线与地层面 *ABDC* 的交线. 设断层为正断层, 则断层上盘相对下盘向下运动, 由于 *A*、*B*、*C*、*D* 点为钻孔的实测地层点, 则 4 个点为固定点. 为了体现断层形态, 将断层线 *AC* 和 *BD* 从交点 *E*、*F* 处打断, *BF* 线沿断层线向下移动, 设移动到 *G* 点, *DF* 线沿断层线向上移动, 设移动到 *H* 点, 同理 *AE* 向下移动变为 *AI*, *CE* 向上移动变为 *CJ*, 新的地层面为多边形 *ABGI* 和 *CDHJ*. 设 *FG = FH*, *EI = EJ*, 断层滑距为 *h*, 从 *H* 向线 *BG* 作垂线 *HK*, 线段 *HK = h*, 则从点 *F* 到直线 *BG* 的距离即为 *h/2*. 根据 *A*、*B*、*C*、*D* 4 点的坐标, 线 *EF* 的方程以及断距 *HK*, 即可求出新的交点 *G*、*I*、*H*、*J* 的坐标.

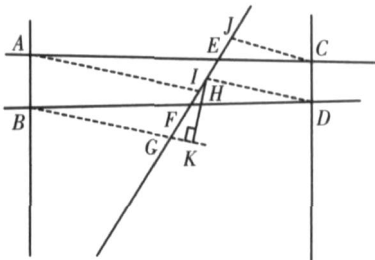


图 4 地层断开并错动示意图
Fig.4 Illustration of breaking and moving of strata

3 应用实例

在原始数据获取、数据模型建立的前提下, 地质剖面图自动绘制的主要流程为 3 步. 首先, 根据生成的原始数据的 XML 文件, 转换为内存中对应于原始数据的逻辑模型, 依据地层连线规则, 生成地层线数据. 若存在断层, 则加入断层线, 打断与断层线相交的地层线, 生成弧段数据, 采用基于方位角的左转算法生成地层面. 第二步, 对于生成的地质剖面图数据模型, 根据绘制的需要提取坐标信息, 生成地质剖面图的绘制数据模型. 第三步, 采用 GDI+ 技术绘制地质剖面图, 根据各地层属性填充对应的图元符号. 其主要流程如图 5. 在实现时, 将计算生成地质剖面图数据模型的过程单独封装, 这样无论采用什么技术进行绘制, 地质剖面图的计算生成过程不必更改, 只需替换由计算数据模型转换为绘制数据模型以及绘制剖面图的过程.

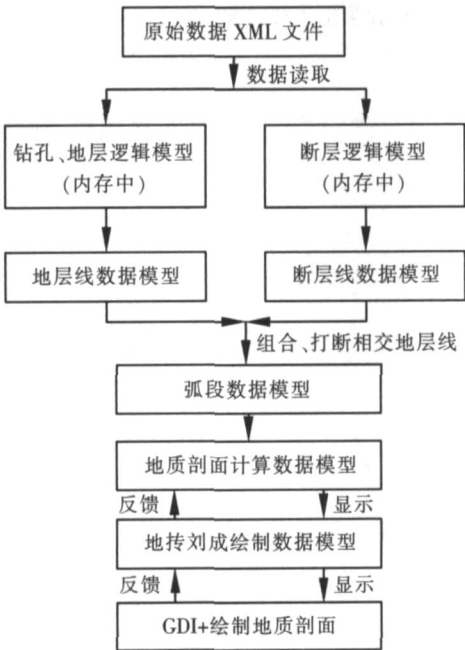


图 5 地质剖面图自动绘制流程图
Fig.5 Flow chart of generating geologic section

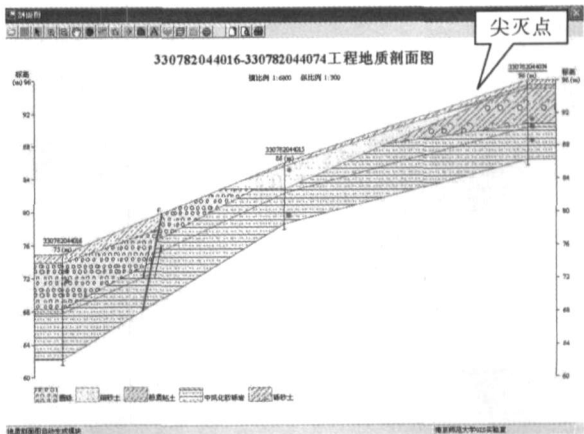


图 6 地质剖面图绘制结果
Fig.6 Picture of generated geologic section

应用以上研究成果, 本文采用 .NET 框架, C# 语言, 开发了地质剖面图自动绘制系统, 生成的地质剖面图如图 6 图 中所标识尖灭点位置根据式 (1) 计算得到, 由于当前地层厚度满足大于等于 8 m 的条件, 因此

尖灭点与图中编号为 330782044015 的钻孔之间的距离即为该钻孔与编号为 330782044074 的钻孔之间距离的 $2/3$ 。

4 结论

本文根据 GIS 空间数据模型理论建立地质剖面图数据模型,作为地质剖面图计算生成的基础。采用 GIS 技术,融合基础地质图中的断层数据、钻孔数据,进行了地质剖面图自动绘制技术的研究,对断层在地质剖面图上的定位和形态表达取得了很好的效果。本次研究在地质构造的表达方面,只考虑了断层,没有考虑褶皱的生成和绘制,因此,如何结合基础地质图中的褶皱信息,确定褶皱在地质剖面图上的具体位置和形态,有待进一步研究。

[参考文献]

- [1] 王德筑. 工程地质剖面图软件的开发与应用 [J]. 工程地质计算机应用, 2002, 5 (2): 6-9.
- [2] 唐新军, 严和平. 利用 VB6. 0 和 AutoCAD 处理工程图形 [J]. 计算机应用, 2002, 22 (1): 104-106.
- [3] 包世泰. GIS 技术在工程地质制图中的应用 [J]. 工程勘察, 2005, 18 (2): 1-4.
- [4] 孙效功, 胥可辉, 褚忠信, 等. 海岸带钻孔数据的可视化 [J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34 (5): 881-885.
- [5] 杨一鹏, 张银, 王桥. 基于知识的地质剖面图生成器研究和实现 [J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20 (5): 24-27.
- [6] 尹静秋, 田冉, 潘莹, 等. 基于组件式 GIS 的水文地质基础数据管理 [J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2003, 26 (4): 103-109.
- [7] 吕红霞, 倪绍祥, 蒋建军, 等. 基于组件式 GIS 的城市土地定级信息系统研究 [J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2002, 25 (2): 42-47.
- [8] 吴国平, 谢志仁, 黄艳, 等. GIS 支持的中国第四纪海面变化背景系统研究 [J]. 南京师大学报: 自然科学版, 1999, 22 (4): 107-110.
- [9] 祝国瑞, 徐智勇, 颜辉武, 等. 基于规则体素的剖切及水文地质专题地图的自动生成 [J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2003, 3 (3): 73-78.
- [10] 白晓东, 黄为民. 面向对象空间数据组织方法与应用研究 [J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2001, 24 (4): 37-42.
- [11] Patrick Henry Winston 人工智能 [M]. 3 版. 崔良沂, 赵永昌, 译. 北京: 清华大学出版社, 2005: 88-132.
- [12] 赵明. 断层在剖面图上倾角的计算方法 [J]. 山西科技, 2003, 15 (5): 69.

[责任编辑: 孙德泉]