

张敏, 李自红, 刘鸿福, 杨瑛, 2007. 基于 ArcGIS 的太原断陷盆地第四系三维地质建模. 震灾防御技术, 2(3): 243—248.

基于 ArcGIS 的太原断陷盆地第四系 三维地质建模¹

张敏¹⁾ 李自红²⁾ 刘鸿福¹⁾ 杨瑛¹⁾

1) 太原理工大学矿业工程学院, 太原 030024

2) 山西省地震局, 太原 030002

摘要 本文在收集并整理太原断陷盆地钻孔资料的基础上, 对钻孔进行了地层分层, 建立了钻孔分层空间数据库; 利用空间信息管理、地质解译、空间分析和预测、地学统计、实体内容分析以及三维图形可视化等工具结合起来的三维地质建模技术, 对太原断陷盆地进行了第四纪地层三维地质可视化建模; 最终基于 ArcGIS 平台实现了由钻孔柱状图到地层垂直剖面 and 地层表面 TIN 的三维可视化。对进一步分析太原断陷盆地地层、断层分布及其活动性奠定了基础。

关键词: ArcGIS 太原断陷盆地 三维地质建模 钻孔 可视化

引言

三维地质建模, 是指运用计算机技术, 在三维环境下, 将空间信息管理、地质解译、空间分析和预测、地学统计、实体内容分析以及三维图形可视化等工具结合起来, 并用于地质分析的技术(李奕纲, 2005)。在全球高新技术迅猛发展的今天, 城市地震灾害所造成的人类生命财产损失日趋加大, 对社会安全也造成很大的冲击。位于城市之下的活断层突然快速错动所导致的直下型地震会引起巨大的城市地震灾害。同时城市附近的地震也可诱发城区内活断层的活动, 加重活断层附近建筑物的破坏, 引起地面灾害。开展城市活断层探测, 了解活断层的分布及其危害, 实施有针对性的防震减灾措施, 可以大大减少地震对人身安全和财产所造成的损失。

本文利用 ArcGIS 9 强大的三维显示功能, 通过整理和分析钻孔及地质资料, 建立了第四纪三维地层模型, 以期为进一步分析与评价太原断陷盆地的地层、断层的空间展布及断层活动性提供参考。

1 平台介绍及资料收集

ArcGIS 9 是一个统一的地理信息系统平台, 可以便捷的管理元数据, 对地图进行一体化

1 本文由国家“十五”重点项目太原市活动断层探测与地震危险性评价项目资助。

【收稿日期】2007-07-30

【作者简介】张敏, 女, 生于 1982 年。硕士研究生。研究方向为空间信息技术。E-mail: zm-min@126.com

编辑, 同时还可以灵活的进行定制与开发 (ESRI, 2004)。由于其强大的功能及灵活的开发方式备受人们青睐, 因此本项目选取 ArcGIS 9 作为管理大量数据及进行三维分析的 GIS 平台。

本文通过对已收集的 300 多个钻孔资料的整理, 重点对穿透太原断陷盆地第四纪地层的 210 张钻孔柱状图进行了数据建模处理。首先进行的是钻孔岩性概化, 其原则如下: ①将复杂的岩性描述简单化, 仅保留描述中的主要岩性及关键字; ②保留关键的岩性层, 而对非关键的岩性层可按照厚度加权的原则, 将一定厚度内的地层概化为同一岩性 (郭清海, 2005)。按照上述原则我们将钻孔岩性进行了概化, 共得到粘土、粉质粘土、砾石、亚砂土、粗砂、中砂、细砂、粉砂、粉土等 9 种岩性。

2 太原断陷盆地钻孔层序分层

2.1 太原断陷盆地标准钻孔地层划分标准

钻孔年代地层单元的划分主要依据孢粉带并参考岩相特征和光释光、 ^{14}C 年龄划分标准, 有关测年数据来源于太原市活动断层探测与地震危险性评价项目。

2.1.1 光释光、 ^{14}C 年龄样品测试

标准钻孔共测试光释光、 ^{14}C 年龄样品 10 个, 见表 1。

2.1.2 标准钻孔孢粉分析

为了对标准钻孔第四纪地层进行准确划分, 笔者进一步做了第四纪孢粉样的分析。太原市城市活断层探测的标准钻孔终孔深 256.7m, 基岩顶面埋深 250.42m。钻孔岩芯的孢粉分析表明, 基岩之上的沉积都属第四纪。孢粉分析的结果自下而上可划分为 7 个孢粉带 (I—VII)。各孢粉带的埋深分别是: I 带 226.0—248.1m; II 带 204.0—225.1m; III 带 189.0—202.1m; IV 带 142.0—187.1m; V 带 101.0—138.2m; VI 带 18.0—100.0m; VII 带 0—16.1m。

孢粉带的时代划分结果是: I、II、III 带为早更新世; IV、V 带为中更新世;

VI 带为晚更新世; VII 带为全新世。孢粉地层的划分结果是: 早更新统 (Q_1) 189.01—248.1m 或 187.0—250.4m; 中更新统 (Q_2) 101.0—189.1m 或 88.0—187.0m, 且趋向于后者; 晚更新统 (Q_3) 18.0—101.0m 或 16.0—88.0m, 且趋向于后者; 全新统 (Q_4) 0.0—18.0m 或 0.0—16.0m, 且趋向于后者。

2.1.3 标准钻孔第四纪地层的划分结果

综合标准钻孔样品光释光、 ^{14}C 年龄测试结果以及孢粉带分析, 确定太原断陷盆地标准钻孔第四纪地层的划分结果为: 全新统 (Q_4) 0—23m; 上更新统 (Q_3) 23.0—95.5m; 中更新统 (Q_2) 95.5—186.16m; 下更新统 (Q_1) 186.16—250.42m; 第四系之下为三叠系紫红色砂岩。

表 1 标准钻孔光释光、 ^{14}C 样品年龄

Table 1 Sample ages from TL and ^{14}C dating technique in the standard bore hole

序号	样品编号	样品埋深 (m)	岩性	样品年代 (ka)
1	^{14}C -1	3.85—4.0	粉土	2.770±0.18
2	^{14}C -2	24.15—24.30	粉土	9.58±0.245
3	^{14}C -4	37.10—37.25	粉土	9.770±0.255
4	^{14}C -5	38.15—38.30	粉粘	13.140±0.27
5	TL-39	42.1—42.15	粉粘	54.8±10.1
6	TL-43	46.1—46.15	细砂	44.1±8.8
7	TL-48	54.1—54.15	粉土	>90
8	TL-55	62.1—62.15	粉粘	>80
9	TL-62	70.1—70.15	粉土	>110
10	TL-69	76.1—76.15	粉土	>120

2.2 太原断陷盆地钻孔地层划分结果

太原断陷盆地内第四纪地层总体厚度变化不大, 岩性、岩相序列和结构基本一致, 能进行良好的层序组段对比, 但是不同钻孔柱状图地表至基岩的总厚度、各组段厚度有一定变化, 因此, 本文根据层序地层和年代学对比确定的第四纪地层, 在太原断陷盆地进行了等时地层单元对比。

将概化后的岩性与标准钻孔对比, 在对太原断陷盆地第四纪地层的认识基础上, 重点对 210 个钻孔进行了第四纪地层层序划分。

3 三维地质模型的设计

本文通过对钻孔资料的整理和分析, 建立了基于 Geodatabase 的二维和三维数据模型, 利用 ArcObjects 开发了二维数据模型到三维数据模型的转换, 最后利用所开发的三维地质模型实现了太原断陷盆地第四纪地层地下结构的三维可视化。

定义数据模型结构与内容的过程称为数据建模 (Data Modeling)。数据库设计的目的是确定在数据管理系统中存储数据的基本结构和检索数据的基本方法 (刘光, 2003)。ArcGIS 9 支持 2 种空间数据模型: 一种是传统的地理相关模型 (Georelational Mode), 如带属性的 Coverage; 另一种是全新的面向对象为空间数据类型地理数据库 Geodatabase。

本文使用的 Geodatabase 地理数据库是按照一定模型和规则组合起来的地理要素数据集 (Feature Datasets), 目的是为了更好的管理和使用地理要素数据, 如图 1 所示。

其中, 要素类 Feature Class 类型的 bore 表中存放的是钻孔编号 (zkbh) 和钻孔点的三维坐标 (X、Y、Z)。而要素 Feature 类型的 boredepth 表中存放的是钻孔柱状图中的其他属性信息, 有钻孔编号 (zkbh)、地层厚度 (ch)、每个钻孔不同地层的分层序号 (cxh)、地层颜色 (color) 等。对象之间的关系通过属性值或关键字段控制, 关系类可以有属性, 并且有一对外关键字 (zkbh), 关键字引用关系类的源类和目标类。

4 三维地质模型的实现

4.1 三维钻孔柱状图的设计

三维钻孔柱状图显示功能的实现不仅是钻孔数据本身的成果展示, 也是地下垂直三维剖面分层显示的重要基础。在设计钻孔柱状图生成的算法时, 考虑到钻孔的不同属性信息, 将分别从 bore 表和 boredepth 表中读取, 数据分散且数据量不定, 笔者采用了动态一维数组套用动态一维数组的二维数组方法, 自定义数组为 BoreType 类型, 其中包括 zkbh (钻孔编号), X、Y 坐标值和 InitZ (Z 坐标的初始值), cn (层数), z (数组) (用于存放根据 InitZ 坐标和层厚计算所得的每层的 Z 坐标值)。

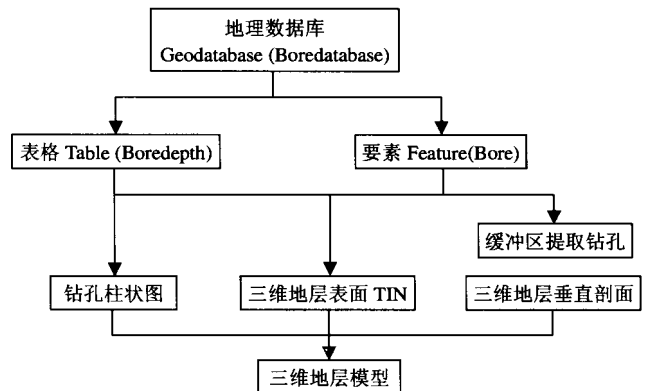


图 1 三维地层建模结构框图

Fig. 1 Framework of 3D strata modeling

程序采用循环结构,利用二维动态数组存储钻孔信息,钻孔地层的底面Z坐标值根据每层层厚动态计算并保存到数组相应字段。画线主程序的实现采用多层循环结构,从二维动态数组中读取所需数据执行算法后分节绘制钻孔三维线,如图2所示。

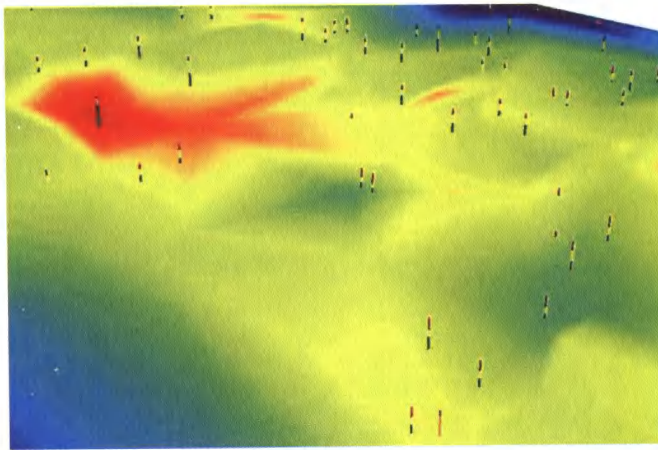


图2 部分钻孔柱状图三维显示

Fig. 2 Partial display from 3D model technique

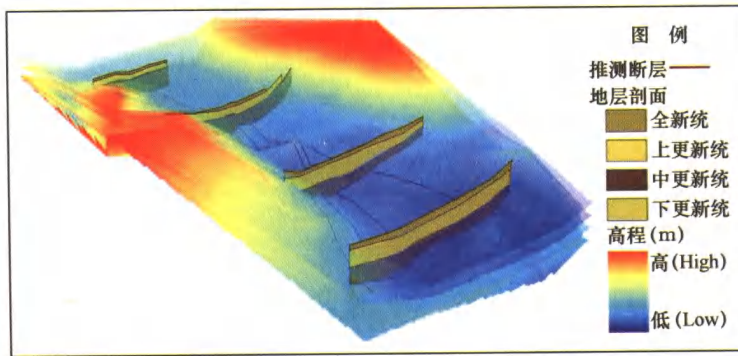


图4 太原断陷盆地第四系三维地质模型

Fig. 4 3D strata model of Taiyuan graben basin in the Quaternary period

4.2 三维地层垂直剖面的生成

在进行垂直剖面图(见图3)程序设计时,需要将相同年代地层连接为剖面,在连面过程中,判断其是否存在地层不连续情况,如发现当前钻孔地层后面钻孔不再有相同地层,则程序自动识别并反向画线回到画线原点,形成闭合环路,生成垂直剖面。但在画面过程中可能出现不规则图形,为保证连出来的多边形为simple,必须对选定点进行排序。

对点排好后,需要继续计算每个钻孔每层上顶面的z坐标值(lzs)和下底面的z坐标值(lzx),这段算法使用循环结构,循环计算每层lzs和lxz的同时循环钻孔,这样就保证了每个钻孔的每一层z值都被计算一遍。当前层为第一层时,lzs就是初始的z值(钻孔高程值),这层的lxz为z值与当前层层厚的差,而当当前层不是第一层时,若地层没有缺失,lzs就是上一层的lxz,而lxz就是此层的lzs与当前层厚的差;反之,若地层出现缺失,lzs就是有层的那一层岩层的lxz,而lxz就是当前层的lzs与当前层厚的差。由于相同年代地层被编为统一

层序号，所以地层垂直剖面在最后的分层显示时通过层序号辨别地层并赋予不同色彩显示。

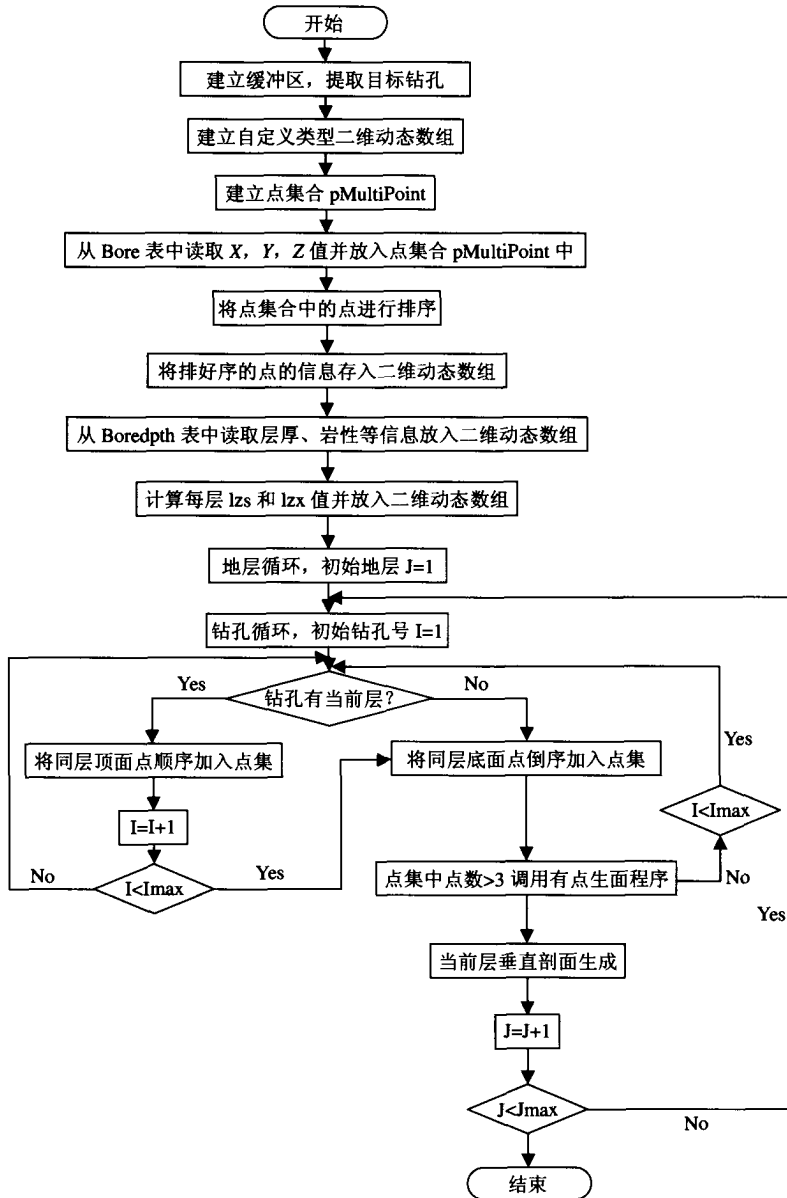


图 3 垂直剖面程序流程图

Fig. 3 Flowchart of setting up vertical section

在此过程中依然要用到二维动态数组，但由于算法的差异性，此处用到的数组不同于画线程序用到的一维动态数组套用一维动态数组的方法，而是一个传统的动态二维数组，用其存放垂直剖面生成过程中用到的属性信息。作者自定义 `BoreLayerType` 类型数组，其中包括钻孔编号、钻孔 X 、 Y 和 Z 坐标、钻孔某层 lzs 和 lzx 坐标，以及层厚和层数目等信息。

4.3 三维地层表面 TIN 的生成

依据地层生成表面 TIN 结构图对断层分析有很大帮助，最顶层 TIN 模型是对地面整体走

势高低的初步显示,而其它地层的 TIN 模型生成则是分析地下构造不可或缺的辅助决策因素。要提供同时代地层生成表面 TIN 结构图,就需要设计算法将每个地层包含的点提取出来,然后将提取出来的点单独创建 TIN 表面模型,最后可叠加起来分析整体地形和地层走势。

在以上三维模型算法实现的基础上,利用太原断陷盆地地质、地理等基础数据,实现了太原断陷盆地第四系三维地质模型的可视化,如图 4 所示。

5 结语

笔者通过对太原断陷盆地大量钻孔资料岩性描述统一概化,对比标准钻孔进行了地层分层和数据整理,建立了太原断陷盆地第四系三维地质模型,对后续研究太原断陷盆地断层的空间展布、活动时间和组合规律等提供可靠参考方法。但本文仍有许多不足之处,受所收集钻孔资料数量的限制,钻孔之间距离相对较大,对地质分析的准确性有较大影响;所收集的钻孔大部分未穿透第四纪地层,因此本文缺乏对第三纪、三叠纪及二叠纪地层的相关分析。在以后的研究中有必要进一步结合大量地球物理探测资料进行综合分析研究,以获得更为可信的分析结果。

参考文献

- 郭清海, 2005. 山西太原盆地孔隙地下水系统演化与相关环境问题成因分析 [学位论文]. 中国地质大学.
李奕纲, 2005. 漳州及其邻区三维构造建模与强地面运动预测 [学位论文]. 中国地震局地质研究所.
刘光, 2003. 地理信息系统二次开发教程. 北京: 清华大学出版社.
ESRI, 2004. What is ArcGIS, 20—22.

An ArcGIS Based 3-D Model of Taiyuan Graben Basin in Quaternary

Zhang Min ¹⁾, Li Zihong ²⁾, Liu Hongfu ¹⁾ and Yang Ying ¹⁾

1) School of Mineral Engineer, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, Shanxi Province, China

2) Earthquake Administration of Shanxi Province, Taiyuan 030002, Shanxi Province, China

Abstract The bore data is collected to build up a spatial database in the study area. Then the technology of three-dimensional visualized model integrated the spatial information management, geology explanation, spatial analysis, geology statistics, three-dimensional image visualization and so on has been applied to develop a three-dimensional geological model of Taiyuan graben basin in the Quaternary period. Finally, we realized 3D-visualized progress based on ArcGIS to build vertical section of stratum and stratum surface TIN from bore hole data.

Key words: ArcGIS; Taiyuan graben basin; Three-dimensional geological modeling; Bore; Visualize