

陈 靛, 蒋春曦, 杨 欣, 等. 基于 Kriging 方法的三维地质可视化系统构建[J]. 华南地震, 2014, 34(4): 61–66. [CHEN Liang, JIANG Chunxi, YANG Xin, et al. Construction of 3D Geological Visualization System Based on Kriging Method[J]. South china journal of seismology, 2014, 34(4): 61–66.]

基于 Kriging 方法的三维地质可视化系统构建

陈 靛¹, 蒋春曦¹, 杨 欣², 于书媛¹, 马 犇¹, 刘世靖¹

(1. 安徽省地震局, 合肥 230031; 2. 合肥工业大学, 合肥 230009)

摘要: 针对传统三维地质建模方法存在的诸多问题, 对基于 Kriging 方法的三维地质体构建进行研究。选取某地震工程项目钻孔数据为主要研究对象, 在 ArcGIS 平台上通过地统计分析, 实现了复杂三维地质体的快速、准确建立。在此基础上, 采用 ArcEngine 作为二次开发组件, 完成该地质体三维展示系统的开发, 实现三维展示、专题图出图、三维分析等功能。

关键词: 克里格插值; 三维建模; 地统计; 可视化

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2014) 04-0061-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.04.011

Construction of 3D Geological Visualization System Based on Kriging Method

CHEN Liang¹, JIANG Chunxi¹, YANG Xin², YU Shuyuan¹, MA Ben¹, LIU Shijing¹

(1. *Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 30031, China;*

2. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: To solve the various problems of traditional 3D geological modeling, this paper studied 3D geological modeling based on Kriging. Based on borehole data in earthquake engineering project and geostatistical analyst module on Arcgis platform, the paper established the complex 3D geological body quickly and accurately. Then, by using the secondary development module ArcEngine, the paper developed the 3D geological visualization system, which achieved basic map feature, such as the 3D display, 3D analyst and so on.

Keywords: Kriging; The 3D modeling; Geostatistical; The 3D visualization

0 引言

近年来, 安徽省地震局积极推进“一场一带一站”建设, 并将相关研究工作纳入科技发展战

略。各地市地震小区划和重大工程地震安全性评价是省局长期开展的重点项目, 此类项目都收集了丰富的资料和钻孔数据, 利用已有数据构建研究区域内三维地质体能补充和完善该项目建设成

收稿日期: 2014-04-02

基金项目: 2013 年度安徽省科技攻关计划——庐断裂带南段地壳结构综合探测 (1301042118); 2013 年度安徽省地震科研基金青年项目 (20130705)

作者简介: 陈 靛 (1983–), 女, 硕士, 工程师, 主要从事地理信息系统工作。

E-mail: 3410800@qq.com.

果, 不仅对地下层岩的形态和空间分布有较为直观生动的展示, 更可以为正在开展的合肥活断层探测项目等今后“一场一带一站”建设中开展的其他地下空间研究提供高效、便捷的技术手段, 为开发集成地形、遥感等多源数据集成的三维地质可视化系统奠定基础。

三维地质建模 (3D Geological Modeling, 3DGM) 是一门运用现代空间信息理论来研究地层及其环境的信息处理、数据组织、空间建模与数字表达, 并运用科学可视化 (SciV) 来对地层及其环境进行真三维再现和可视化交互的科学与技术^[1]。目前, 国内外许多学者开展了与三维地质模拟有关的研究, 出现了诸如 Micromine、SURPAC、VULCAN、DATAMINE 等一些具有三维地质模拟功能的商品化地质采矿软件^[2], 这些系统一般是针对开采矿山和估算储量而专业开发研制的, 对于需要通过建模提高可视化的用户群体来说这些软件掌握难度大、受众群体小。此外, 利用当前研究比较多的八叉树模型、线框模型、四面体格网模型、实体模型、广义三棱柱模型和面向对象的体元拓扑模型等不同的空间数据结构来开发三维地质体建模系统, 也可以实现 3D 地质模型可视化, 但该方法实现周期长、难度大、可视化效果不如成熟的建模软件。

鉴于上述建模方法不足, 本文选取某地震工程项目数据为研究对象, 利用 Kriging 方法对三维地质模型构建进行研究, 在 ArcGIS 平台上实现了三维地质体的快速、准确建立, 并以 ArcEngine 为二次开发组件, 完成地质体三维展示系统的开发, 实现三维展示、专题图出图和三维分析等功能。

2 研究方法及技术方案的

2.1 地统计插值方法

地统计 (Geostatistics) 又称地质统计, 是以区域化变量为基础, 借助变异函数, 研究既具有随机性又具有结构性, 或具有空间相关性和依赖性的自然现象的一门科学。凡是与空间数据的结构性和随机性, 或空间相关性和依赖性, 或空间格局与变异有关的研究, 并对这些数据进行最优无偏内插估计, 或模拟这些数据的离散性、波动性时, 皆可应用地统计学的理论与方法^[3]。克里格插值 (Kriging) 又称空间局部插值法, 是以变异函数理论和结构分析为基础, 在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法, 是地统计学的主要内容之一。地统计学的理论核心为变异函数 (variogram), 具体计算公式为:

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{a=1}^{N(h)} [z(u_a) - z(u_a + h)]^2 \quad (1)$$

式(1)中, $\bar{\gamma}(h)$ 为实验变异函数; $N(h)$ 为两组样本 $z(u_a)$ 和 $z(u_a + h)$ 的对数; h 为滞后距。将式(1)得到的多个 $(h, \bar{\gamma}(h))$ 点, 在二维坐标中绘出, 即可以通过拟合得到变异函数, 如图 1 所示。

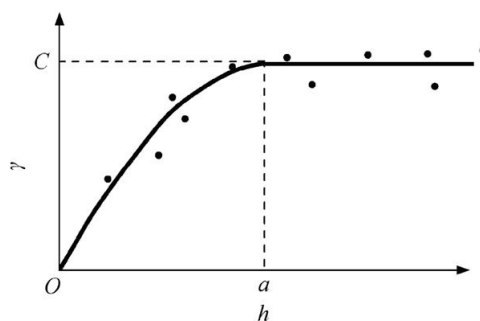


图 1 实验半变异函数(点)与拟合半变异函数模型^[4]

Fig.1 The model of experimental semivariogram (points) and fitted semivariogram

在地震工程项目应用中, 地统计插值的数据源主要是已知具有三维空间坐标和属性的点, 来源于勘探点钻孔数据, 建模首要任务是收集勘探点钻孔数据。由于 Kriging 方法要求样本点属性值服从正态分布, 需要对收集整理后的钻孔数据进行探索分析, 主要包括原始数据的统计分析和相关的数据变换, 统计分析用以判断数据是否服从正态分布。空间数据满足正态分布的前提下, 便可基于 Kriging 方法基本原理及变异函数拟合方法, 对数据进行空间变异结构分析, 绘制实验变异函数曲线图, 并根据变异函数的理论模型拟合实验变异函数。地统计插值的主要步骤见图 2 所示。

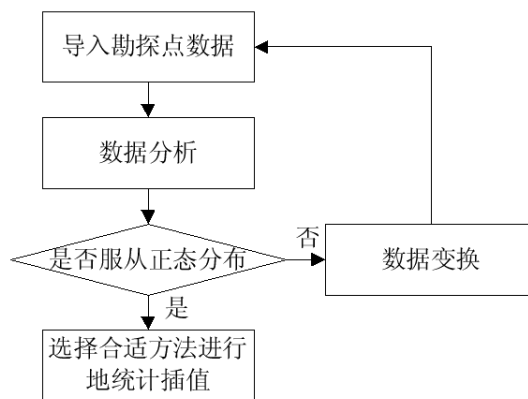


图 2 地统计插值的主要步骤

Fig.2 The main steps of geostatistical interpolation

2.2 地层模型构建方法

地层模型的构建主要有不规则三角网(TIN) 和规则格网法(Grid)两种方法。TIN 是一种由许多相邻但又不互相重叠的三角形组成的对地形表面的连续铺盖。按照空间分布的几何结构,可以有一般三角网和 Delaunay 之分。与 TIN 相对应,Grid 是由空间中若干连续的、形状相同的正方形构成的组合面,Grid 的数据来构造连续、平顺、光滑的曲面是可能的,且数学模型的构造也较简单^[1]。本文采用的地层模型构建方法是 TIN 的生成与拉伸。

2.3 技术方案

本文所采用的数据包含多种格式文件,在构建三维模型之前需要先进行数据格式的转换和几何校正。对钻孔数据进行读图整理、属性表设计、岩层数据的检查与补充,构建钻孔空间数据库。之后,利用地统计学的 Kriging 插值、Tin 的生成与拉伸等方法实现三维地质体的构建。并在此基础上,进行岩层的三维可视化表达。最后,本文以 ArcEngine 为二次开发组件,完成地质体三维展示系统的开发,总体技术流程见图 3 所示。

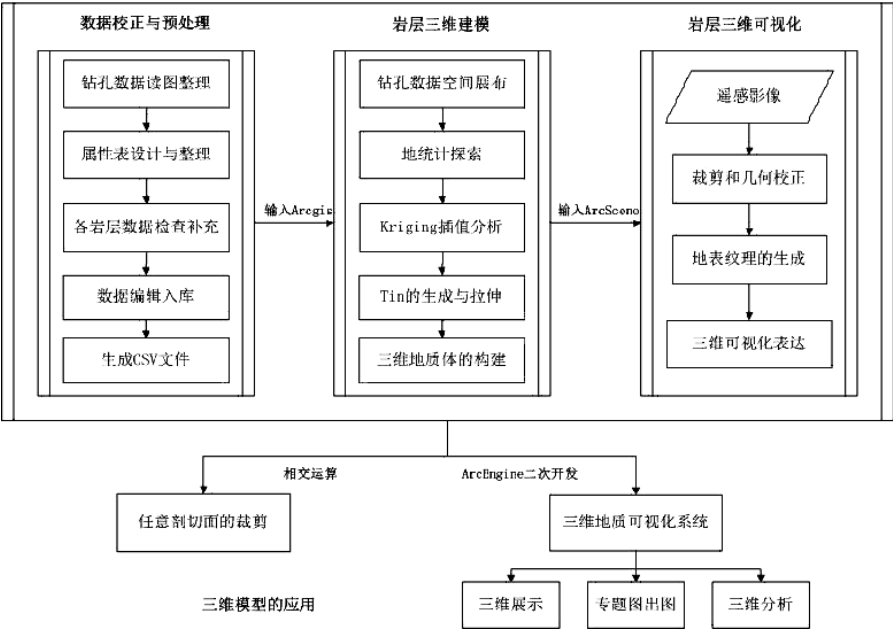


图 3 技术流程

Fig.3 Technique flowchart

3 三维地质体的构建

3.1 数据处理与地统计探索

3.1.1 数据预处理

数据预处理阶段主要工作是将研究区域内的勘探点数据进行坐标整理、通过读取钻孔柱状图

来实现数据的分层及属性信息的完善,共完成了研究区 98 个钻孔点的整理和入库。数据属性表结构见表 1 所示。

3.1.2 定义投影

在对本身有投影信息的数据采集完成时,为了保证数据的完整性和易交换性,要对数据定义

表 1 勘探点数据属性表结构
Table 1 Attribute table structure of borehole data

字段名称	数据类型	字段大小	字段说明
勘探点编号	文本	50	
勘探点名称	文本	50	
X 坐标	数字	双精度型	投影坐标系
Y 坐标	数字	双精度型	投影坐标系
Z 坐标(孔口标高)	数字	双精度型	单位: m
厚度(孔深)	数字	双精度型	单位: m
所在地层(岩性描述)	文本	20	

投影, 针对钻孔的分层数据在 ArcToolbox—Data Management Tools—Projections and Transformations 中将已获取的数据统一定义坐标系统, 并进行坐标系统的统一转换。

3.1.3 地统计探索

地统计探索是利用一系列的图形工具和适用于数据的插值方法, 确定统计数据属性、探测数据分布、全局和局部异常值(过大值或过小值)、寻求全局的变化趋势、研究空间自相关和理解多种数据集之间相关性。利用直方图、QQPlot 分布图等工具来进行数据的空间探索, 如检验出原始

数据没有显示出正态分布, 则可根据需要选择适当的变换方式将数据进行转换, 使之服从正态分布。

QQPlot 图提供了一种度量数据正态分布的方法, 利用 QQPlot 图, 可以将现有数据的分布与标准正态分布进行对比, 如果数据越接近一条直线, 则它越接近于服从正态分布。本文对地表层勘探点数据进行地统计探索时, 发现其不太符合正态分布, 经过 log 变换后, 数据近似符合正态分布, 见图 4 所示。同理, 对其他地层勘探点数据也可以用上述方法进行地统计探索。

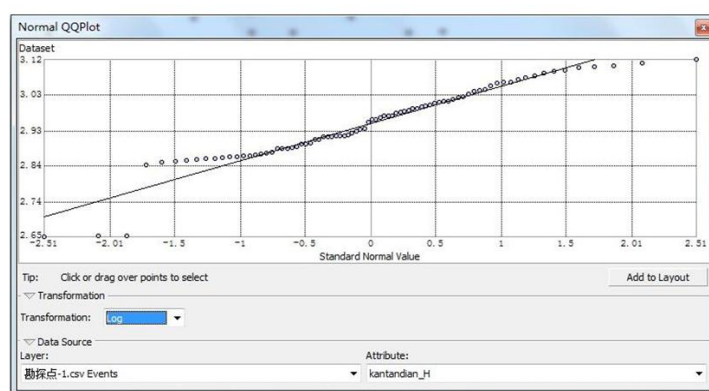


图 4 经 log 变换后的地表层正态 QQPlot 图

Fig.4 Normal QQPlot graph of surface layer after log transformation

3.2 三维模型的构建

3.2.1 等高线生成

地统计探索之后, 对地表层的钻孔数据选择合适的变换方法, 进行 Kriging 插值, 得到等高线, 并生成预测图, 见图 5 所示。重复 kriging 插值步骤, 可以获得各地层等高线预测图。

3.2.2 Tin 的生成及拉伸

在 ArcScene 下的 3D Analyst 的“创建 TIN”工具, 加载岩层等高线作为输入要素, 选择研究区范围, 应用 3D 分析模块进行两个岩层间的模型拉伸, 得到了一层的地质体, 对区域内所有地层进行上述重复操作, 即得到研究区范围内的三维模型, 如图 6 所示。重复以上步骤, 即可得到该工程场地所有地层三维模型。

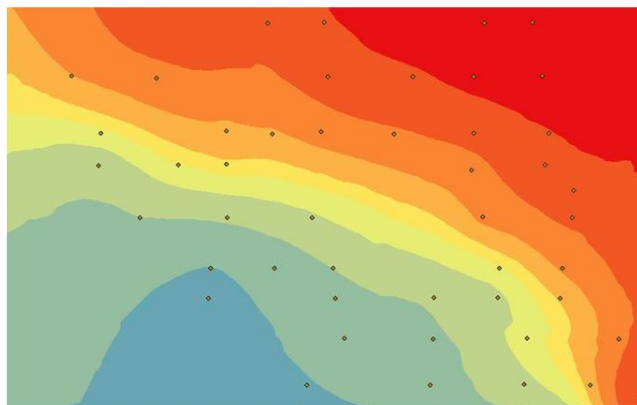


图 5 地表层等高线预测图

Fig.5 Prediction map of ground surface contour



图 6 粉质粘土层地质体
Fig.6 Geologic body of silty clay layer

3.2.3 地质体的三维可视化

数字高程模型 (DEM) 与遥感影像是建立地表形态的数据来源, 遥感影像所含的数据信息量远高于普通地形图所含信息量, 再加上数字高程模型表现出的地形起伏特征, 三维可视化的效果要好于传统方法对地形的表现^[9]。常用的 DEM 有两种形式: 一种称为高程矩阵, 另一种 DEM 的高程数据布满覆盖整个区域的三角网网点, 实际上就是 TIN 数据^[6]。将遥感数据导入 ArcScene 中, 将 TIN 设置为遥感影像的 Base Height, 实现地形的三维可视化(图 7)。

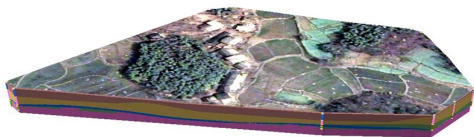


图 7 含地表纹理三维地质体
Fig.7 The 3D geological body with surface texture

3.2.4 模型的裁切

如果想查看地质体内部结构, 可以在已实现的三维地质体中, 任意做剖面, 采用相交运算后, 得到裁切后的剖面体, 见图 8 所示。

4 三维地质可视化系统的开发

在实现地质体的三维构建基础上, 采用 C# 作

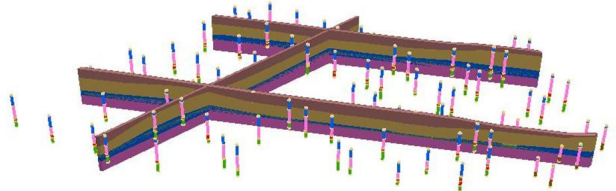


图 8 剖面体
Fig.8 Section body

为开发语言, 以 Visual Studio 2010 为开发环境, ArcEngine 为二次开发组件, 设计开发了三维可视化系统, 实现三维展示、专题图出图和三维分析等功能(图 9)。

5 结论

本文对利用 ArcGIS 软件进行地质体三维建模方法进行了研究, 在建立岩层三维模型时, 充分采用了 Kriging 插值地统计方法对数据进行了正态分布探索, 使插值后的三维曲面呈现出较为光滑真实的效果。基于 ArcEngine 开发组件进行三维地质可视化系统的开发, 具有较高的开发环境优势, 界面友好, 执行效率较稳定。本文的研究为地震工程场地地形三维可视化和分析提供了科学手段, 有良好的可视化效果, 具有一定的实用价值。本系统相关技术升级后, 其数据管理和可视化分析功能, 可以为地震地质调查、地震安评等提供有

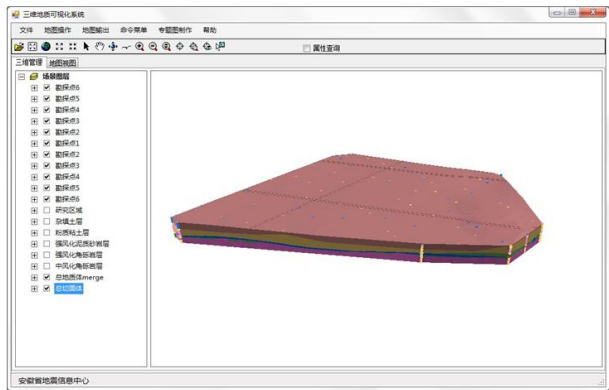


图 9 系统主界面
Fig.9 Main interface of system

力的技术支持。由于数据源等客观条件限制,目前此方法在对大范围地质体的构建和可视化程度上效率不高,三维开发分析功能还有待进一步探索和研究。

参考文献:

- [1] 张凯选,武文波,白云峰,等. 基于 ArcGIS 的地质三维可视化[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007, 26 (3): 345-347.
- [2] 赵州. 基于剖面的三维地质建模研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2004.
- [3] 汤国安. ARCGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [4] 乔金海, 潘 懋, 金 毅, 等. 基于 Kriging 方法的天然地基承载力三维模拟及分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2011, 47 (5): 812-818.
- [5] 陈靓, 路海涛, 谢庆胜, 等. 基于 3D GIS 和 RS 的安徽省地震监测台网电子沙盘制作的实现[J]. 西北地震学报, 2010, 32 (4): 388-392.
- [6] 刘南, 刘仁义. 地理信息系统[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [7] 肖海红. 基于 ArcScene 的三维地形可视化及其应用[J]. 工程地质计算机应用, 2007 (3): 12-16.
- [8] 宋仁波, 江南. 基于 GIS 的三维地质可视化系统设计与实现[J]. 工程地质计算机应用, 2011, 64 (4): 22-27.
- [9] 张敏, 李自红, 刘鸿福, 等. 基于 ArcGIS 的太原断陷盆地第四系三维地质建模[J]. 震灾防御技术, 2007, 2 (3): 243-248.
- [10] 葛伟鹏, 袁道阳, 郭华. 对城市活断层探测项目中地震地质数据建模的探讨[J]. 西北地震学报, 2006, 28 (2): 134-139.
- [11] 李自红, 刘鸿福, 张敏, 等. 地震与活动断裂空间关系的三维可视化建模[J]. 地震地质, 2013, 35 (3): 565-575.
- [12] 刘玉娟. 地震活断层及其所在地质空间的三维建模与可视化[D]. 北京: 中国地震局地壳应力研究所, 2007.
- [13] 黄忠. 地质三维建模与可视化技术的研究与应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008.
- [14] 戴晟. 地质体三维可视化研究与系统实现[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
- [15] 程慧. 基于地震资料的地质建模及效果评价[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2009.
- [16] 吕亚楠. 地质体三维可视化应用研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- [17] 张洋洋, 周万蓬, 吴志春, 等. 三维地质建模技术发展现状及建模实例[J]. 华东理工大学学报(社会科学版), 2013, 32 (3): 403-408.