

矿山地质勘察三维可视化管理系统与建模技术研究^{*}

陈颖彪^{1, 2}, 钟耳顺¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 广州大学地理系, 广东 广州 510405)

摘 要:以城市三维地质勘察管理信息系统为例,分析了地形三维数据模型的可视化表达与建模方法;基于组件 GIS 技术,通过将二维和三维空间信息统一在一个平台和数据模型下,建立了矿山三维地质勘察可视化管理系统。该管理系统可实现对数据的可视化管理及实时更新,可打印输出和三维显示地质图,并具有多种查询功能。对矿山地质体的空间数据管理和可视化表达,从理论、模型及技术实现上作了探讨。
关键词:地理信息系统;矿山地质勘探;三维空间数据;数据管理;数据库;可视化表达

中图分类号:TD166, TP624 文献标识码:A

文章编号:1005 - 2763(2004)01 - 0012 - 04

Study on the Three - dimensional Visualization Management System of Mine Geological Prospecting And Its Modeling Technology

CHEN Ying - biao^{1, 2}, ZhONG Er - shun¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Department of Geography, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510405, China)

Abstract: In this paper, taking the three - dimensional management system of city geological prospecting as an example, the visualization representation and modeling technique of 3D topographical data model are analyzed. Based on component GIS technology, by means of integrating the two - dimensional and three - dimensional spatial information into the uniform system frame and data model, a three - dimensional visualization management system of mine geological prospecting is established. This management system can realize the visualization management and real - time updating of the data, the printing out and three - dimensional displaying of geological map, and offers many seeking ways. The management and visualization representation of spatial data of geological body is discussed from theory, model and technical realization.

Key Words: GIS, Mine geological prospecting, Tree - dimensional spatial data, Data management, Database, Visualization representation

0 引 言

随着地理信息技术的飞速发展,三维可视化表达和虚拟现实技术越来越引起人们的注意。但现有的 GIS 软件只能用数字高程模型来处理空间实体的高程坐标,无法建立空间实体的三维拓扑关系,因而使得真三维操作难以实现,故被称之为二维 GIS 或 2.5 维 GIS。例如地质采矿、地表沉降、地下水迁移、地表预应力分布、以及环境污染等均为三维现象,当以二维系统来描述它们时,不能精确地反映、分析或显示有关数据。本文以城市三维地质勘察管理信息系统为例,分析真实三维数据模型的可视化表达与系统建模方法。

许多学者都对三维 GIS 的理论和进行了广泛研究。但是对于一个真正的三维 GIS 的建立,这些工作还远远不够。首先是在二维 GIS 中还有许多问题没有圆满解决,如数据获取、数据建模、高效的拓扑关系描述及空间分析、时态拓扑、时空分析、与地学专用模型的结合及 GIS 的开放性与共享性问题等,其次是在三维 GIS 中还存在三维实体存储、表达及三维对象间复杂的拓扑关系描述与建立的困难,本文以矿山地质管理信息为例,利用组件 GIS 技术来探讨基于二维和三维空间信息统一进行空间数据管理的有效途径和实现方法。

1 地形三维的空间表达

目前在 GIS 应用中,关于二维空间数据和信息的管理技术和方法较为成熟,但相对于三维而言,在应用和技术方法上还有很多值得探讨的地方。目前地形三维的表达在二维 GIS 和地学可视化中常常是一个独立运行的模块,即使被放到一个集成环境中,也只是形式上的集成或部分集成,很难在数据结构的底层与其它模块实现真正的有机集成与耦合。

^{*} 收稿日期:2003 - 08 - 16

作者简介:陈颖彪(1969 -),男,吉林省长春人,在职博士研究生,主要从事地理信息系统及遥感等方面的教学与科研工作。

究其原因,这固然与 GIS 软件发展的历史和条件有关,但根本原因在于二维 GIS 维数的局限性,即二维 GIS 没有把所有的模块中将垂向信息 Z 坐标独立出来形成真三维空间,常常是将现实世界中本是空间独立变量 (Independent Variable) 的高程数据 Z 作为依赖变量 (Dependent Variable) 或属性来处理。三维 GIS 对 Z 坐标的处理与二维 GIS 完全相反,它在所有的模块中均将 Z 坐标作为独立变量处理,形成真三维空间,因此三维 GIS 中表达的地形三维 (用位于表面的边界扩展结点来表达) 与其它模块是真正耦合的,在底层数据结构的设计及基于它的操作与分析上完全可以实现统一^[1]。

虽然有以上不同点,但三维 GIS 中地形三维的三维表达完全可以而且应该借用已经成熟的二维 GIS 与地学可视化中的面三维地形表现 (DTM) 算法与技术^[2],它们都要经过几何建模、投影、消隐、光照、显示等基本阶段,关于这方面的算法与实践已有很多^[3~5]。目前常见的三维空间信息的表达主要包括 DEM、TIN 及 GRID 等空间数据模型。

1.1 数字高程模型的实现

数字地面模型 (Digital Terrain Model, 简称 DTM) 是描述地面特性诸如空间分布的有序数值阵列^[6]。在一般情况下,地面特性是高程 Z, 它的空间分布由 X、Y 水平坐标系来描述,也可用经度 X、纬度 Y 来描述。这种地面特性为高程或海拔高程的 DTM, 也称为数字高程模型 (Digital Elevation Model, 简称 DEM)。其它地面特性可以是诸如地价、土地权属、土壤类型、地貌特征、岩层深度及土地利用等与地形有关的信息。DEM 可以是每 3 个坐标值为一组元的散点结构,也可以是由多项式或富里叶级数确定的曲面方程。

柯正谊等 (1993) 按空间结构形式将 DTM 分为 7 类: 规则格点 (格网) 数字地面模型、散点数字地面模型、等值线数字地面模型、曲面数字地面模型、线路数字地面模型、平面多边形数字地面模型和空间多边形数字地面模型。由于 DEM 是 DTM 中的一种,因此它也有 7 种形式。在实际中最常用的 3 类数字高程模型 (基于 3 种数据结构) 是: 规则格网 (GRID)、不规则格网 (TIN) 及数字等值线图。

1.2 不规则格网的生成方法

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。不同类型的 TIN 有不同的生成方法。按照空间分布的几何结

构,可以有一般三角网和 Delaunay 三角网之分。一般三角网按照距离最近原则组网,这个距离是待确定的第三点到基边的距离。随着起始边的不同,一般三角网的结构也不同,即对同一个不规则离散数据点集,对应的一般三角网并不唯一。另外由于它们可能存在大量的狭长三角形,不便于后续处理 (如地形插值、坡度、坡向计算等),其几何结构并不强,因此一般三角网并不是最优三角网。相反, Delaunay 三角网具有很强的几何结构,它能保证每个三角形的角度最接近于正三角形,符合“三角剖分最小内角为最大”的图形优化准则;另外, Delaunay 三角网具有唯一性,即对同一个不规则离散数据点集其对应的 Delaunay 三角网是唯一的。显然, Delaunay 是最优三角网^[4~6]。

上述方法都仅仅考虑了几何信息,属于非约束普通三角网。对一般的地形而言,只要采样点分布情况比较好,它们一般都能比较真实地反映地形情况。但在各种特殊的地性线如山脊线、山谷线、断裂线处则不能完全反映出真实情况。因为在地性线处的高程往往产生跳跃式的变化,若有三角形跨越地性线,则三角形会穿越地形表面或悬空于其上。很明显,这样的三角形不能反映地形真实情况,需要剔除这样的三角形或进行调整,因此就诞生了与非约束普通三角网相对应的具有约束条件的约束三角网。

1.3 Grid 的生成方法

原始采样点可以是规则的,也可以是不规则的,但由于客观条件的限制,往往不能取得足够的采样点来满足显示的要求。需要进行内插以生成更多的点。插值的方法有很多种,最主要的有反距离权插值 (IDW)、双线性插值、趋势面插值、样条插值 (又分为两种) 及 Kriging 插值,其中反距离权插值 (IDW)、双线性插值、趋势面插值是较为常见的方法。这里仅扼要介绍样条插值和 Kriging 插值。

1.3.1 样条插值 (spline)

“样条”的原意是绘图时用的弹性曲尺,在传统手工绘图过程中,常用它绘制一条光滑曲线。样条插值又分为距离函数样条法和分片 Hermit 样条法。这里仅介绍距离函数的采样方法。

NIESSON (1995) 针对三维空间插值提出了一个公式,作者为地形三维插值将这一公式修改为如下形式:

$$F(p) = \sum_{i=1}^n c_i |p - p_i|^3 + a + bx + cy$$

式中 P 为待求点, P_i 为已知高程值点, 其对应的值为 F_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 系数 c_i ($i = 1, 2, \dots, n$), a , b , c 由下式确定:

$$\begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 1 & p_1 \\ \cdot & |p - p_i|^3 & \cdot & \cdot & \cdot & 1 & p_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 1 & \cdot & \cdot & 1 & 0 & 0 \\ p_1^t & p_2^t & \cdot & \cdot & p_n^t & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ c_n \\ b \\ c \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \cdot \\ F_n \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

式中 t 为一常数。

1.3.2 克里金 (Kriging) 插值

Kriging 插值的思想与前面几种方法都不同, 它首先考虑的是空间属性在空间位置上的变异分布, 确定对一个待插点值有影响的距离范围, 然后用此范围内的采样点来估计待插点属性值。它是一种求最优线性无偏内插估计量的方法, 是在考虑了信息样品的形状、大小及其与待估块段相互间的空间分布位置等几何特征以及品位的空间结构之后, 为达到线性、无偏和最小估计方差的估计, 而对每一样品值分别赋与一定的系数, 最后进行加权平均来估计块段品位的方法。从这个意义上说, 只有克里金方法才是一种真正的插值方法, 其计算步骤可参见文献[7]。

2 基于 GIS 的矿山三维地质勘察管理系统

在矿山三维地质勘察管理系统建设中, 采用了地理信息系统技术, 遵循最新的地质勘察标准和规范, 实现由现有 CAD 型为主的岩土工程勘察系统, 全面升级转变为 GIS 型的矿山地质勘察系统。系统建设选用了北京超图公司的 SuperMap Objects 全组件式开发平台, 充分利用其强大的 GIS 功能、海量数据的管理功能以及空间数据库技术 SDX, 将地质勘察信息及相关数据统一存储在数据库中, 消除了信息孤岛, 实现基础地形、基础地质和工程地质勘察信息的高度共享和图文一体化管理; 力求技术领先, 并充分考虑地质勘察行业业务的实际需要, 做到功能强大、界面美观、操作简单、方便实用。

2.1 系统分析

系统分析采用了面向对象的分析方法, 图 1 所示为系统分析图。地质勘察通常以工程项目的形式组织进行, 是一个非空间实体。基础地理对象是地

质勘察的重要背景信息。地质勘察领域主要有 3 类核心实体: 勘察场区、钻孔和地层。

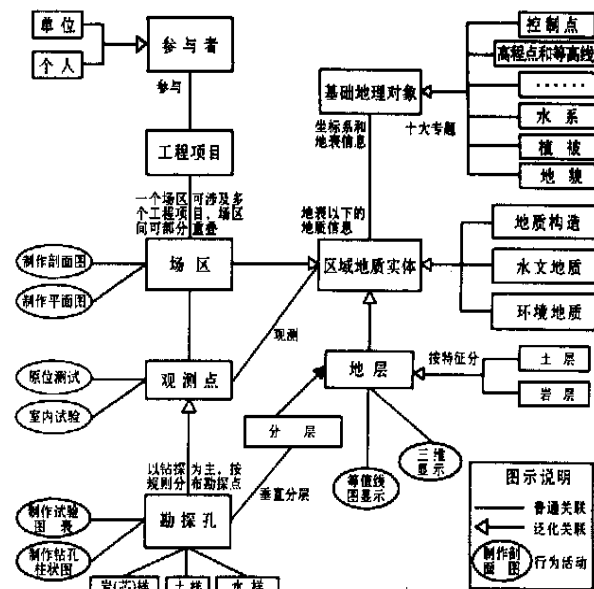


图 1 系统总结构

勘察场区是具有一定地表面积和不定深度的立体三维体, 可以用二维的多边形面状实体存储表示。通过布置钻孔进行钻探、测试, 获取连续分布的三维实体——勘察场区的地下地质状况特征数据。

钻孔是具有狭小地表面积和一定深度的柱状三维体, 可以用点状实体存储表示, 就相当于一个观测点, 获取垂直方向的(分层)特征数据, 并制作柱状图、各类报表表现钻孔的垂直分层特征以及原位测试数据和室内测试数据, 进而反映整个场区地下的地质状况。

地层是根据不同地质年代、成因以及岩土特征, 把勘察场区地表下立体空间划分成许多具有一定厚度和分布特征的不规则空间实体。鉴于目前信息技术难于完全真实的存储和表示地层这一极不规则的空间实体, 尽量用二维的面状实体、线状实体以及点状实体存储表示, 或仅记录其属性特征, 用地层等高线图、等厚度图以及三维显示模型等, 从不同角度尽可能逼真、贴切地表现复杂的地质地层信息。

2.2 系统数据库

依据数据特征、类型和用途以及相关的国家标准和行业标准, 着重考虑空间数据及其与非空间数据的关联问题, 遵循一般的关系数据库范式。系统数据库大体上分 4 大部分: 基础地理数据库、地层信息数据库、工程勘察专题数据库和其他部分(如图 2 所示)。

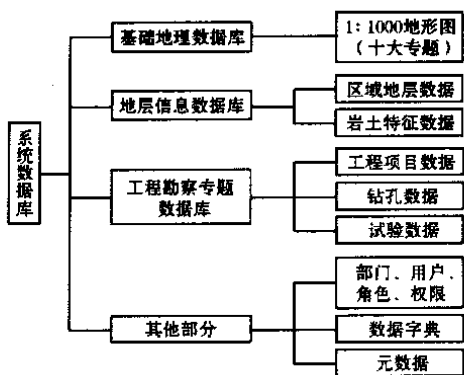


图 2 系统数据库组成

2.3 系统功能

系统总体上包括工程勘察成果管理(数据编辑、制图输出、报表报告制作和三维显示)、查询分析、数据维护(地形数据和地质数据)和系统管理维护(数据字典维护和用户权限管理)4大功能。

在工程勘察成果管理方面,可实现对数据的可视化编辑与管理及实时更新,并保护数据的拓朴关系;系统提供4种查询方法,即基于图形查询属性、基于属性查询图形数据、基于SQL语言进行条件查询、基于属性信息进行联合查询。同时为了方便数据的使用与维护,本系统还可对图进行打印输出,包括勘探点平面布置图的制作和地质剖面图的制作等。本系统的后台支持数据库为SQL SERVER 2000大型数据库,其空间数据库引擎为SuperMap SDX+,可支持大型空间数据的管理,很好地实现了空间数据与属性数据基于大型空间数据库的一体化查询与可视化表达,同时可实现多用户的实时性和

并发性操作,可设置用户管理权限,方便对数据的统一管理。

3 展望

目前,GIS技术在地质勘察领域的应用刚刚兴起,相关的技术热点和难点也吸引了全球众多研究机构的关注。基于组件式GIS技术的地质勘察管理系统,以先进的信息系统模型驱动系统的开发、应用和维护,利用大型数据库统一管理地质勘察信息及相关数据,既能满足目前地质勘察成果数据的自动化制图输出、报表报告输出以及计算分析的一般需求,又初步实现了勘察场区三维地质模拟,为基础地质可视化分析奠定了基础。

参考文献:

- [1] 肖乐斌. 基于栅格框架的三维GIS集成数据模型与空间分析研究[D]. 博士学位论文, 中科院地理科学与资源研究所, 1998:45~50.
- [2] CHEN X, IKEDA K. Three - Dimensional Modeling of GIS Based on Delaunay Tetrahedral Tesslations[C]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1994:215~220.
- [3] 徐青. 地形三维可视化技术的研究与实践[D]. 博士学位论文, 中国人民解放军测绘学院, 1995:55~60.
- [4] 朱庆. 三维动态交互式可视化模型——地理信息系统中三维表示与分析[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(2):124~127.
- [5] 朱庆, 陈楚江. 不规则三角网的快速建立及其动态更新[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(3):204~207.
- [6] 柯正谊, 何建邦, 池天河. 数字地面模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993:85~93.
- [7] 侯景儒, 郭光裕. 矿床统计预测及地质统计学的理论与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993:102~112.

(上接第7页)

$X_1(t)$ 的主项为:

$$e^{0.0099t} \begin{bmatrix} -1424.2\sin 1.777t - 66.9\cos 1.777t \\ 344.9\sin 1.777t - 271.5\cos 1.777t \\ -3516.8\sin 1.777t - 28.3\cos 1.777t \\ 1486.9\sin 1.777t - 302.2\cos 1.777t \\ -878.3\sin 1.777t - 305.6\cos 1.777t \\ -902.3\sin 1.777t - 298\cos 1.777t \end{bmatrix}$$

显然,当 t 趋于无穷大时, $Y_2(t)$ 的主项的各分量的极限状态均由 $e^{0.0099t}\sin 1.777t$ 及 $e^{0.0099t}\cos 1.777t$ 所决定。但该两函数均在 t 增大时正负波动,所以可认为该企业的6个部门的经营效益都具有不可持续的发展趋势。

综合地来看,该企业的技术水平是有利于可持续发展的,但尚需采取措施,促进最终产品的增长,以提高其经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 钟契夫, 陈锡康. 投入产出分析[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 1987.
- [2] 张敦富, 魏金周, 曹利军, 等. 环境经济[M]. 北京: 人民出版社, 1994:45~47.
- [3] 杨云彦. 人口、资源与环境经济学[M]. 北京: 中国经济出版社, 1999:331~339, 293.
- [4] 蒋正新, 施国梁. 矩阵理论及其应用[M]. 北京: 北京航空学院出版社, 1988, 257~258.
- [5] 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京: 科学出版社, 1982, 35~45.