

用于固体矿产勘探和开发的地质体三维可视化系统设计^①

—— 基于混合数据模型

曾新平¹, 吴健生², 郑跃鹏^{1,4}, 杨自安^{1,3}, 张普斌³

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 北京大学城环系, 北京 100871;

3. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100814; 4. 桂林矿产地质研究院, 广西 桂林 100083)

摘要:地质体的三维可视化建模是科学计算可视化和地质科学相结合的一门交叉学科。用于固体矿产勘探和开发的三维可视化软件是三维可视化建模研究的高级体现,也是目前国内研究界和实业界正在研究的一个重点。总结了一种混合数据模型(即一种线轨迹数据模型、面数据模型及三维栅格模型的综合),并基于该模型进行了用于固体矿产勘探和开发的地质体三维可视化系统设计。

关键词: 软件工程;混合数据模型;三维可视化;系统设计;地质勘探

中图分类号: TP311.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5663(2004)06-0598-06

科学计算可视化是 1980年代后期提出并发展起来的一个新的研究领域。它是指运用计算机图形学和图象处理技术,将科学计算过程中计算结果的数据转换为图形及图象,并在屏幕上显示出来,并进行交互处理的理论、方法和技术。科学计算可视化的应用领域十分广泛,几乎涉及自然科学及工程技术的方方面面^[1]。当它与地学相结合时便产生了一门崭新的学科——地学可视化。虽然地学可视化是一个交叉的边缘学科,但由于地学本身的博大精深,其研究领域仍然十分广泛,目前几个最主要应用领域是石油勘探与开发、固体矿产勘探与开发、地理信息系统等。本文的研究即基于科学计算可视化技术在固体矿产勘探和开发方面的应用,主要探讨用于固体矿产勘探和开发的地质体三维可视化系统设计问题^[2]。

1 国内外研究现状

随着计算机硬件技术、可视化技术、三维建模技术和虚拟现实技术的发展,以及国际矿业界、投资银

行界对地质模型、储量准确度及效益最大化的进一步要求,世界上大型的矿业公司、计算机软件公司和科学研究机构已开发出各种各样的三维可视化软件用于固体矿产资源的勘探和开发。20世纪 80年代,法国的 J. L. Mallet 教授推出了著名的 GOCAD(地质对象计算机辅助设计)计划;90年代初期,开发大量的基于 UNIX 且用于工作站环境的软件系统;90年代中期以来,随着微机性能的提高,一些 3D GMS 软件开始移植到 Windows 操作系统和微机环境^[3-5];到目前,主流系统都可以在装有 Windows XP 的微机运行,而且支持网络共享。国外此类软件有英国的 DataMine & Guide, 澳大利亚的 Vulcan Surpae Micromine 等,加拿大的 Lynx MicroLYNX, 美国的 M-K Eagles 等等^[6-11]。

与国外此类软件百花齐放、争奇斗艳形成鲜明对比的是,国内市场上国产的三维软件基本是一片空白,各相关行业大都使用进口软件。其实国内也不乏科研院所、大专院校以及专业的 GIS 公司从事此类研究和开发,但到目前为止,因为种种原因,还没有哪

① 收稿日期: 2004-03-10 作者简介: 曾新平(1977-),男,2002年毕业于中南大学,获硕士学位,现为在读博士研究生,主要从事遥感和 GIS 的研究和应用工作。

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目课题(编号: 2001BA609A-04)资助。

家推出了一款技术成熟的占有一定市场份额的三维可视化建模软件。国外的软件的确比较成熟先进,不仅价格昂贵,维护不便,且多数没有汉化,所以在国内还远远谈不上有广泛的应用。这种技术的缺乏对中国矿业发展实际上是一种潜在的制约。中国迫切需要开发出自己的三维软件,这个行业也迫切需要真正的资金投入和人才投入。

2 设计基础——混合数据模型^[12]

关于地下三维可视化模型系统的设计,国内学术界讨论得很多,尤其对于三维数据结构涌现出许多很好的算法,如八叉树、TEN、SCG等^[13-15],这些都是非常值得借鉴的。但笔者通过使用大量国外的先进三维建模软件,发现他们在进行地质体三维建模时使用的还是基本的三维栅格结构(block模型)。这并非他们没有发现新的更好的结构,而是这种简单的结构的确有其不可取代的优点,详细情况见2.3节。

因为这些原因,我们的地下三维可视化模型系统

使用三维混合数据模型(线轨迹数据模型、面数据模型及三维栅格数据模型,如图1所示)来组织地质信息。具体步骤如下:

(1)以工程或项目为单元来组织地质体所有的地质信息。包括了工程名称、工作区范围及工作性质等的定义,它可以是一个地质体的特征描述或一个矿床评价。

(2)然后根据原始数据的类型及其属性,确定原始数据的空间位置及其描述方式,建立原始数据的空间数据模型,如线轨迹数据模型和面数据模型。

(3)在线轨迹数据及面数据模型基础上,结合地质背景,利用矢量数据模型来模拟地质体的表面,包括线框模型和线框间三角网化、点群间三角网化、等值线三角网化、Tin数据三角网化等矢量形式来模拟地质体表面。

(4)最后,对地质体进行三维剖分,建立三维栅格模型,以栅格为基础单元来剖分地质体,以便对地质体内部属性特征进行分析。

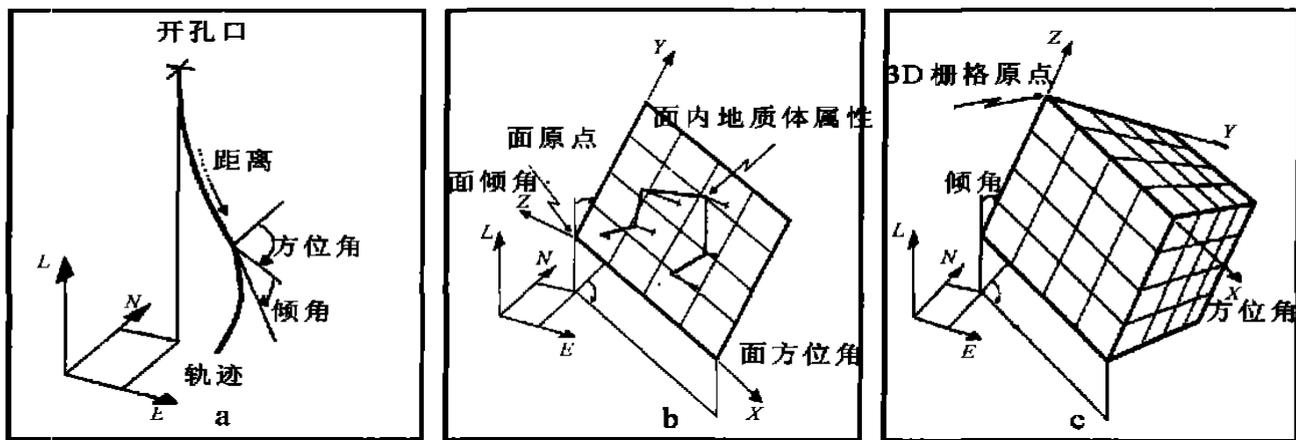


图1 混合数据模型

Fig. 1 Mixed data model (a. line track data model, b. surface data model, c. 3Dgrid data model)

a- 线轨迹数据模型 b- 面数据模型 c- 三维栅格数据模型

现对各种模型分述如下:

2.1 线轨迹数据模型(图1a)

线轨迹数据模型反映了线在空间的变化轨迹。线上取样的空间位置及其属性特征,它包括以下两个部分:

(1)空间定位参数:线起始点坐标(X, Y, Z)、线轨迹参数(起始点方位角、倾角及线上各拐点的方位角、倾角、各拐点距起始点的距离),空间定位参数一

般在工程施工过程中通过地表测量、坑道测量及钻孔测斜而得到。

(2)样品参数:取样位置(起始点和终点的位置)、样品的物理性质和化学性质。其中取样位置在工程施工中得到,样品的物理性质和化学性质由实验分析而得到。

线轨迹数据的数据结构如表1所示:

表 1 线轨迹数据的数据结构

Table 1 Data structure of line track data

起始点数据结构	线识别码	X 坐标	Y 坐标	Z 坐标	总长度
	字符型	数值型	数值型	数值型	数值型
轨迹参数 数据结构	线识别码	方位角	倾角	拐点距起始点的距离	
	字符型	数值型	数值型	数值型	
轨迹上样品参数 数据结构	线识别码	取样起始位置	取样结束位置	样品物化性质	
	字符型	数值型	数值型	数值型	

2.2 面数据模型 (图 1b)

面数据是指以等值线图、地质剖面图、地形图、物探解释结果图、点集图等形式表示地质勘查信息的数据。它用点、线、多边形来表示地质体属性。这些原始数据在计算机内以面数据结构的形式进行描述,由面

的起点坐标、方位角和倾角实现其空间定位。它比线轨迹数据模型所包括的内容更广,可通过交互式图形界面、键盘、数字化仪、扫描仪或外部 ASCII 文件格式输入。面数据模型的数据结构如表 2 所示:

表 2 面数据模型的数据结构

Table 2 Data structure of surface data model

点数据结构	面识别码	点编号	X 坐标	Y 坐标	Z 坐标	属性
	字符型	数值型	数值型	数值型	数值型	数值型 (字符型)
线数据结构	面识别码	线编号	$X_i, Y_i, Z_i (i=1, n)$			属性
	字符型	数值型	数值型			数值型 (字符型)
多边形数据结构	面识别码	多边形编号	$X_i, Y_i, Z_i (i=1, n)$			属性
	字符型	数值型	数值型			数值型 (字符型)

2.3 三维栅格数据模型 (图 1c)

要对地质体内部特征进行空间定性或定量分析,研究其空间变化规律,必须对地质体进行剖分,建立对应的数据模型,根据不同的研究目的有不同的剖分方法和数据模型,如空间三维栅格、六面体、八叉树等数据模型,但地质体建模中常用的是三维栅格数据结构。这是因为三维栅格数据结构能储存大量的信息,是一种非常有效的数据结构,具有以下几个方面的优点:

(1)灵活的构造方法 (使用根块和支块,如图 2 所示,这种构造方法既能构造出高效的模型,又能保证构筑细致表面的分辨率)使得用户可以按自己对地质情况和开采条件的理解来确定精度

(2)各变量值之间的快速计算使得地质资源量估算和采矿设计变得更加高效。

(3)成熟的栅格模型可视化技术为用户提供了不可多得的交互分析工具。

(4)人们日益广泛地使用地质统计学方法来表达品位的分布,这就要求使用三维栅格数据结构来存储

储量估算结果。

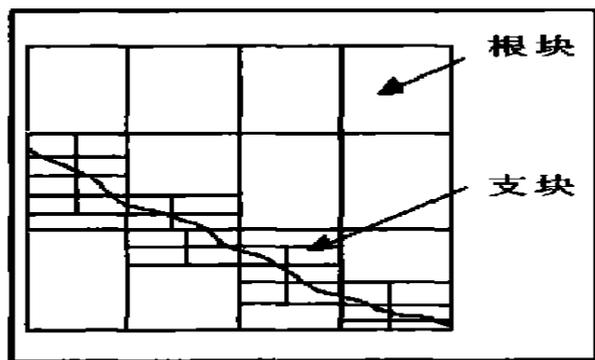


图 2 三维栅格模型构造方法

Fig. 2 3D grid model construction

三维栅格隐含的几何结构可以通过栅格的数量和每一个栅格的尺寸来定义。三维栅格几何体由栅格的起点坐标、方位角和倾角在空间定位。栅格的维数 (M, N, K) 通过栅格几何体格子的维数定义。

三维栅格数据模型为地质体属性变量的空间数据探索 (用地质统计学或其他方法) 提供了实用的数

据模型。在三维栅格数据模型中,栅格作为存储地质体内部属性的最基本单元。地质体内部空间数据的分析都是栅格间属性数据的分析,如矿体的品位估算、

金属量计算都是以栅格为基本单元进行计算,计算的结果是栅格内平均或总的值。

三维栅格数据模型的数据结构如表 3所示:

表 3 三维栅格数据模型的数据结构
Table 3 Data structure of 3D grid data model

几何属性	识别码	坐标位置 X、Y、Z(块中心)			X、Y、Z边长	
	字符型	数值型			数值型	
类型属性	识别码	岩石类型	矿石类型	风化状态	采坑编号	
	字符型	数值型	数值型	数值型	数值型(字符型)	
品位属性	识别码	品位估值	品位变化系数	可信度系数	采矿类型	岩石强度
	字符型	数值型	数值型	数值型	字符型	数值型

3 基于混合数据模型的三维可视化软件设计

3.1 开发方式的选择

目前国际上通用的可视化软件可以分为三类^[16]:① 可视化开发子程序库;② 专用可视化工具和③ 通用可视化系统。①类是面向开发的可视化工具,具有良好的灵活性,但需要进行编程,如 IDL、OpenGL等;②类是具有特殊用途的可视化工具,无需编程,但不太灵活,如 NASA Ames FAST IVM、Data Visualizer等;③类多基于数据流,用户通过交互方式将各模块用数据通道方式组合起来,然后加以

运行,实现可视化,该方法无需编程,具有开放性、通用性,但难以提供足够的模块来支持众多的领域,如 AVS和 IRIS Explorer等。

我们采取的思路基于方式①,即整个系统在 IDL + VIP三维可视化编程环境下,以 IDL Visual C⁺为基本编程语言,采用面向对象的技术。

3.2 系统设计原则

由于三维可视化系统的设计是一个复杂的系统设计,因而必须遵循以下一些原则:① 面向对象原则;② 模块化设计原则;③ 先进性原则;④ 界面友好原则。

3.3 系统设计内容

系统总体上共设计为 7大功能模块,如图 3所示。

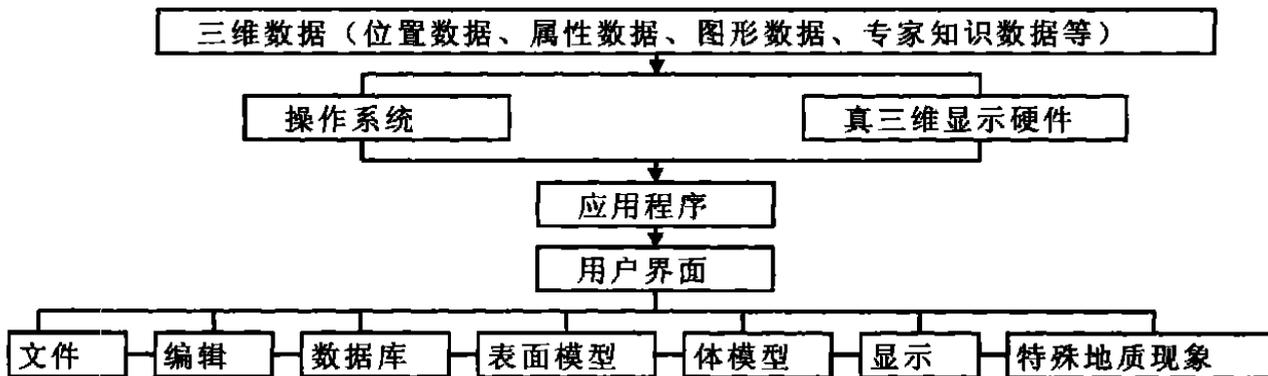


图 3 系统总体结构设计图

Fig. 3 Plan of the overall structure of the system

各具体模块的功能详细介绍如下:

3.3.1 文件管理模块

文件管理模块主要以项目为主体进行文件管理、输出及系统设置,包括:

- (1)项目工作范围 指定义东西方向(X方向)长度大小、南北方向的长度大小、高程方向的长度大小;
- (2)屏幕显示范围;
- (3)系统设置 指颜色花纹库定义设计、计算机

虚拟内存设置、项目中可以管理的点线面及多边形的最大数的设置、打印机选取设定、数字化仪的设定、GPS设定、用户二次开发软件接口设定等

3.3.2 数据库管理模块

数据库管理模块主要针对反映空间地质体的原始数据类型的特点,进行数据库的结构设计和主要功能设计。具体内容如下:

(1)空间数据库结构设计 包括:①空间定位数据结构(点空间定位数据结构、面空间定位数据结构、线轨迹空间定位数据结构);②属性数据结构(物化探、地质工程等定量数据结构和定性描述数据结构)。

(2)空间数据库管理功能设计 包括:①数据输入、输出和转换(数字化仪、扫描仪和键盘输入, ODBC TXT DXF dBase DTM转入, ODBC TXT DXF dBase DTM转出);②空间数据库管理(库连接、库结构修改、删除、增加、过滤);③空间数据库统计分析(最大值、最小值、均值、方差、协方差、直方图、散点图、相关性分析)

3.3.3 编辑模块

编辑模块主要是指对点、线、面、多边形、笔记及各属性的编辑。具体包括以下功能:

- (1)点的创建、拷贝、修改、移动和删除;
- (2)线的创建、拷贝、修改、移动、量算和删除;
- (3)多边形的输入、拷贝、修改、移动、面积量算和删除;
- (4)二维三维文字注记点的创建、拷贝、修改、移动和删除;
- (5)点、线、多边形、层的属性输入、修改、拷贝和删除;
- (6)层的建立、拷贝、修改和删除。

3.3.4 表面模型模块

表面模型模块是以空间数据库中原始数据的类型为基础,应用不同的方法模型地质体的表面,使之成为一个封闭的体。主要功能包括:

- (1)层的 Delaunay三角网化;
- (2)基于轮廓线的线框模型的建立及其 Delaunay三角网化;
- (3)Tin数据的 Delaunay三角网化,曲面生成;
- (4)点群间的 Delaunay三角网化,点群生成面;
- (5)等值线的 Delaunay三角网化,形成面;
- (6)面的编辑、面边界提取、面的图形运算、颜色赋值;
- (7)面的应用(等值线生成、趋势面生成、面积计算、体积计算)。

3.3.5 体模型模块

体模型模块主要基于地质体表面模型,用三维栅格模型对地质体内部进行剖分,同时用不同大小的栅格对地质体边界进行拟合;对地质体内部属性进行空间数据探索,评价和分析空间数据探索的结果。具体功能为:

(1)体内部三维栅格剖分(地质体范围、边界定义、根、枝块的定义、体积、表面积计算);

(2)空间数据探索(在空间属性变量定义、编辑和空间数据探索模型选取等的预处理基础上对空间属性数据进行探索),包括:①定性空间数据探索、②定量空间数据探索(最近距离法、距离平方反比法、各种克里格法、分形方法)③空间数据探索误差分析和精度评价、④地质体内定量属性数据应用(如金属量、矿石量、总价值的估算)

3.3.6 显示模块

显示模块主要用于三维显示定义,地质体旋转、放大、缩小、任意剖面制作、三维模拟飞行。具体功能有:

- (1)图例设计及修改、显示;
- (2)剖面切制;
- (3)视平面设置;
- (4)原始数据的空间分布显示;
- (5)地质体可见、不可见、半可见设定、透明显示;
- (6)坐标网绘制。

3.3.7 特殊地质现象模块

特殊地质现象模块主要指地质体中的断层处理及原始数据为大数据量(主要指地球物理、地球化学数据等)时的特殊模拟及反演方法。具体功能为:

- (1)断层处理(断层几何参数定义,断层面自动生成);
- (2)地球物理数据反演、曲面生成。

4 结论与展望

地质体的三维表达和真三维可视化有助于增强地质学工作人员以及相关领域工作人员对地质现象及相关专业现象的认识深度,提高研究水平。而用于地质体三维可视化建模的软件是实现这一提高的前提。鉴于国内在这方面的欠缺,本文提出了一些不太成熟的研究体会和看法,总结了一种混合数据模型,并基于此模型进行了系统设计。此设计基本符合国际上主流类似软件的构架,是对地质体三维可视化建模软件基本功能模块的一个较为全面的总结。

虽然合理的数据模型和功能结构设计是编制三维可视化软件不可或缺的一部分,但离真正的软件实现还相距甚远。用于地质建模的国产的一流三维可视化软件的出现还有大量的工作要等我们去完成。但随着我国三维可视化建模技术研究的深入、软件水平的提高、地质采矿事业的振兴,以及高素质人才的培养,一定会出现大量的具有世界一流水平的地质体三维可视化建模软件。

参考文献:

- [1] 唐泽圣. 三维数据场可视化 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [2] 吴健生, 朱谷昌, 曾新平, 等. 三维 GIS 技术在固体矿产勘探和开发中的研究与应用 [J]. 地质与勘探, 2004, 40(1): 68-72.
- [3] Simon W. Houlding. 3D Geoscience modeling—computer techniques for geological characterization [M]. New York and Heidelberg, Springer-Verlag, 1994.
- [4] Simon W. Houlding. Practical geostatistics, modeling and spatial analysis [M]. New York and Heidelberg, Springer-Verlag, 2000.
- [5] 吴立新, 沙从术. 真三维地学模拟系统与水利工程应用 [J]. 南水北调与水利科技, 2003, (2): 20-25.
- [6] <http://www.datamine.co.uk> (英国) 三维软件 Datamine& GUIDE 开发商
- [7] <http://www.lynxmining.com.au> (澳大利亚) 三维软件 MicroLYNX 开发商.
- [8] <http://www.maptek.com.au> (澳大利亚) Maptek 公司, 三维软件 VULCAN 开发商.
- [9] <http://www.micromine.com.au> (澳大利亚) Micromine 公司, 三维软件 Micromine 开发商.
- [10] <http://www.surpac.com.au> (澳大利亚) Surpac 公司, 三维软件 Surpac 开发商.
- [11] <http://www.csiro.com.au> 澳大利亚联邦科学与工业研究组织.
- [12] 吴健生. 地质体三维可视化及空间数据探索 [D]. 中国科学院博士论文. 2001.
- [13] 李清泉, 李德仁. 三维地理信息系统中的数据结构 [J]. 武汉测绘科技大学学报. 1996, 21(2): 128-133.
- [14] 曹代勇, 李青元, 朱小弟, 等. 地质构造三维可视化模型探讨 [J]. 地质与勘探, 2001, 37(4): 60-62.
- [15] 李青元, 林宗坚, 李成明. 真三维 GIS 技术研究的现状与发展 [J]. 测绘科学, 2000, 25(2): 47-51.
- [16] 陈云浩, 郭达志. 一种三维 GIS 矢量数据结构的研究 [J]. 测绘学报, 1999, 28(1): 41-44.

GEOLOGICAL BODY 3d VISUALIZATION SYSTEM DESIGN USED FOR SOLID MINERAL EXPLORATION AND MINING BASED ON A MIXED DATA MODEL

ZEN G Xin-ping¹, WU Jian-sheng², ZHEN G Yue-peng^{1,4}, YANG Zi-an^{1,3}, ZHANG Pu-bin³
(1. *China University of Geoscience (Beijing), Beijing 100083, China*; 2. *Peking University, Beijing 100871, China*; 3. *Geological Investigation Center of Nonferrous Metal, Beijing 100814, China*;
4. *Guilin Research Institute of Geology for Mineral Resources, Guilin Guangxi 541004, China*)

Abstract 3D visual modeling of geological body is a frontier science between scientific calculation for visualization and geo-science. The 3D visualization software applied for solid mineral resources exploration and exploitation is not only the advanced level of the study of 3D visual modeling but also a key project that the research and industry circle in China is developing. A mixed data model namely a combination of line track data model, surface data model and 3D grid model was summarized and the design of 3D visualization of geological body used for solid mineral resource exploration and exploitation has been carried out.

Key Words software engineering, mixed data model, 3D visualization, system design, geological exploration