

## 初探 IDL 在地质三维建模中的应用

黄海峰<sup>1,2</sup>, 包世泰<sup>1,2</sup>, 黎 华<sup>1,2</sup>, 连建波<sup>1,2</sup>, 夏 斌<sup>1</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**[摘 要]** IDL (Interactive Data Language) 交互式数据语言是进行二维及多维数据可视化分析及应用的理想软件工具。随着计算机软硬件水平的提高和各种“数字化”概念的提出, 对地质体的三维建模需求也越来越迫切。文章旨在通过利用 IDL 对一包含 4 个钻孔和两套地层的地质空间的三维建模过程, 初步探讨 IDL 在地质三维建模中的应用。

**[关键词]** IDL 三维建模 表面建模法 实体建模法

**[中图分类号]** P628 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2004)06-0053-04

## 0 引言

随着计算机技术、地理信息系统 (GIS) 技术的发展, 以及“数字地球”、“数字城市”、“数字油田”等概念的提出, 地质工作者、工程勘察设计人员、城市规划人员等都迫切需要更加精确的了解地下各地质实体, 并且对于这些复杂的地质体, 人们已不能满足于等值线图那样的平面描述, 而需要建立三维图形图像, 用更接近实际的方式去描述它, 从各个不同角度观察它。三维可视化就是实现以上目标的有效手段。

地质三维可视化方面的核心问题, 也是最大的技术瓶颈, 就是如何有效地进行地质三维建模。目前已有各种不同的建模方法, 诸如边界表示法 (B-reps)、计算几何实体法 (CSG)、空间分解法 (如八叉树) 等, 但归结起来, 主要分为表面建模法和实体建模法两大类<sup>[1]</sup>。表面建模法是先构建出地质体表的各组成平面及曲面形状, 然后连接这些表面的边界, 从而构成一个视觉上闭合的三维地质体, 此时的三维体实际只是 2.5 维的空间体, 其内部是空的。表面建模法生成的地质体三维图形相对精细, 计算机图形操作速度快, 数据量相对较少; 缺点是, 实现地质体剖面分析工作量大, 边界搜索编程难度大。实体建模法则是用三维实体来构造三维体, 即应用三维单元实体 (如立方体、四面体等) 来组装整个地

质三维体, 实体建模法实现了地质体的真三维显示, 并且剖面分析方便; 缺点是计算工作量、数据量大, 计算机图形操作速度慢, 三维图形精细度相对较差。

地质三维建模涉及到计算机图形显示技术, 所以目前见到的大多数建模实例都是用 OpenGL<sup>[2,3]</sup> 从底层开发做起, 这样做使得人们在构建地质体数据的同时, 还要花很大精力在图形显示上; 另外一些工具如 VRML<sup>[4,5]</sup> (Virtual Reality Model Language) 虽然对图形显示细节有一些封装, 但由于缺少对各种建模方法的支持, 使得开发工作也较复杂。

IDL 作为面向矩阵、语法简单的第四代可视化语言, 是进行二维及多维数据可视化分析及应用的理想软件工具。本文将初步探讨如何利用 IDL 进行地质体的三维建模。

## 1 利用 IDL 进行地质三维建模

## 1.1 IDL 简介

IDL (Interactive Data Language) 交互式数据语言是美国 RSI 公司 (Research System Inc.) 的产品, 它是进行二维及多维数据可视化分析及应用的第四代可视化语言。其主要特点包括:

- 1) 面向矩阵, 语法简单。
- 2) 丰富的内嵌式算法库中包含图像处理、数学、统计学、分析工具等。
- 3) 支持面向对象的编程方式, 代码可以跨平台

**[收稿日期]** 2003-12-01; **[修订日期]** 2004-02-12; **[责任编辑]** 余大良。

**[基金项目]** 广东省 2003 年科技成果推广项目 (编号: 2003C40205) 和中科院创新工程项目 (编号: KZCXZ-SW-117) 联合资助。

**[第一作者简介]** 黄海峰 (1978 年-), 男, 2003 年毕业于中国地质大学, 获硕士学位, 在读博士生, 现主要从事地理信息系统 (GIS) 应用与开发以及三维可视化方面的研究工作。

运行。

4) 强大的数据分析能力,可进行曲线和曲面拟合分析、多维网格化和插值、线性和非线性系统等分析。支持真体数据的显示,非常适合于在包括医学影像、地质、大气以及环境科学方面的应用。

5) 采用 OpenGL 技术,支持 OpenGL 软件或硬件加速,可加速交互式的 2D 及 3D 数据分析、图像处理及可视化;可以实现曲面的旋转和飞行;可观察实体(Volume)内部复杂的细节;一旦创建对象后,可从各个不同的视角对对象进行可视分析,而不用费时地反复重画。

从以上 IDL 语言的主要特点来看,用其进行地质三维建模是很合适的,以下具体论述之。

## 1.2 三维地质建模原理

前已述及,三维地质建模主要有表面建模法和实体建模法两种。IDL 丰富的算法库则完全可以支持这两种建模方式:对于表面建模,IDL 支持各种曲面的网格化和插值函数(各种线性、双线性、样条、克里格插值和 Delaunay 三角剖分等);对于实体建模,IDL 支持利用规则子块(如立方体、四面体)作为三维单元实体进行整个地质体的真三维显示。同时,在 IDL 面向对象编程环境下,还有相应的“类”用来构造地质体的三维边界或真三维体。

因为真三维体的显示是 IDL 语言的一个特点,故本文重点介绍 IDL 中用实体建模法进行三维地质体的显示,但其中也结合了表面建模法的思想。具体为:对具有地质涵义的各个面(如一套地层的上下表面、断层面等)进行插值形成网格曲面(这些曲面将整个空间区域划分为有地质涵义的各地质块);然后将整个空间区域划分成大小固定的规则子块体,对同一地质块内的子块体赋予同一属性值(如某种颜色),而不同的地质块其属性值是不同的,这样就实现了整个地质空间的真三维建模。

## 1.3 IDL 中地质三维建模的实现

为便于说明,现以一包含 4 个钻孔两套地层的空间区域(表 1、图 1)为例,具体阐述对其进行三维地质建模的过程。

### 1) 对两套地层的上下表面进行插值网格化

IDL 中曲面插值的函数有多个,包括诸如 Delaunay 三角剖分和规则网格插值等,由于本例中每一曲面的已知点(4 个)较少,故采用规则网格插值。IDL 中网格插值的函数为 GRIDDATA,其简化的语法形式为:

$Result = GRIDDATA(X, Y, Z, METHOD = ' ',$

$DIMENSION = [xdim, ydim])$

表 1 钻孔数据表(坐标及标高单位均为 m)

| 钻孔号      | 1    | 2    | 3    | 4    |
|----------|------|------|------|------|
| 钻孔 X 坐标  | 0.0  | 30.0 | 30.0 | 0.0  |
| 钻孔 Y 坐标  | 0.0  | 0.0  | 30.0 | 30.0 |
| 钻孔孔口标高   | 22.0 | 25.0 | 30.0 | 27.0 |
| 地层 1 底标高 | 8.0  | 5.0  | 10.0 | 15.0 |
| 地层 2 底标高 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |

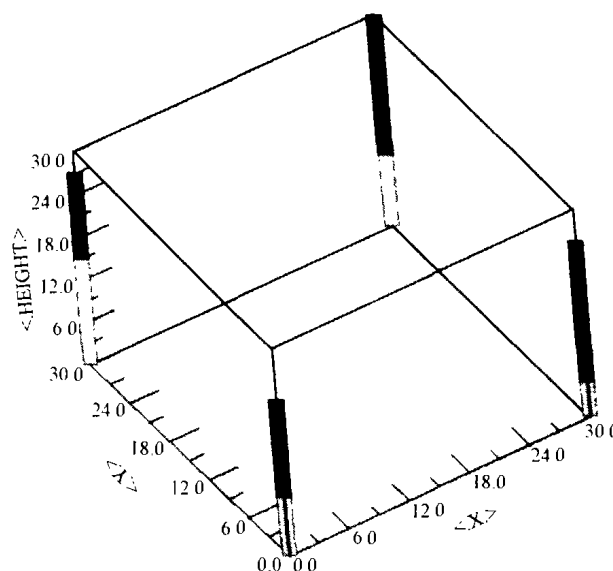


图 1 包含两套地层的钻孔柱状图(单位:m)

其中,  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  和  $Result$  都是矩阵数组。 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为一维数组,其数组元素分别为每一层面上的 4 个已知点的对应  $X$ 、 $Y$  和  $Z$  值。 $xdim$  和  $ydim$  分别为  $X$  和  $Y$  方向上希望插值得到的网格数。插值的结果  $Result$  为一  $xdim \times ydim$  的二维数组,其值为插值得到的  $Z$ 。虽然 GRIDDATA 是一个简单的插值函数,但其提供的插值方法(METHOD)也有 10 种,分别为:

- Inverse Distance(反距离插值)
- Natural Neighbor(自然邻域插值)
- Kriging(克里格插值)
- Nearest Neighbor(最近邻插值)
- Linear(线性插值)
- Polynomial Regression(多项式回归插值)
- Minimum Curvature(最小曲率半径插值)
- Quintic(五次多项式插值)
- Modified Shepard's(改进的 Shepards 插值 - 最小平方方法的反距离加权插值)
- Radial Basis Function(径向基函数插值)

根据具体情况可选择合适的插值方法,本例选用了第一种插值(函数缺省方法),得到的 3 个曲面

见图2。

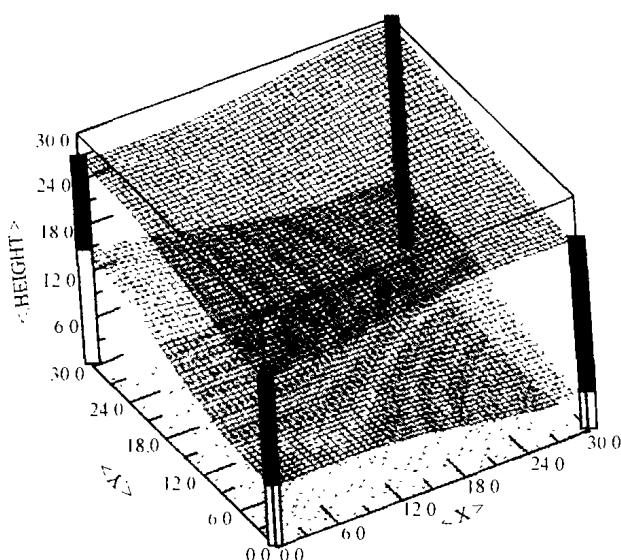


图2 对两套地层上下表面插值后得到的曲面(单位:m)

## 2) 构造规则子块体,并对这些子块体赋属性值

此步骤实际上就是构造此地质空间区域体数据的过程。在IDL中,体数据就是一个三维数组。开始时,可以先定义一个初始三维数组,例如:

```
vol = INTARR( xdim, ydim, zdim )
```

其中,vol 为一个  $x\text{dim} \times y\text{dim} \times z\text{dim}$  的三维数组,数组中各元素值为零。INTARR 为定义整型数组的函数,之所以定义为整型,是因为在后面对 vol 赋的属性值(颜色)都可以量化为整型数值。xdim、ydim、zdim 为 X、Y 和 Z 方向的任意维数,虽然可以任意给定,但推荐 xdim 和 ydim 使用前面网格化面时用到的 xdim 和 ydim 值,这样方便后面对体数据的赋值,另外, zdim 理论上越大则模型表现的越精确,但同时数据量也就会很快的增长,显示速度将会变慢,所以推荐使用 100 至 200 之间的值。

定义了体数据数组 vol,实际上就是将地质空间区域划分成了规则子块的组合体(图3)。

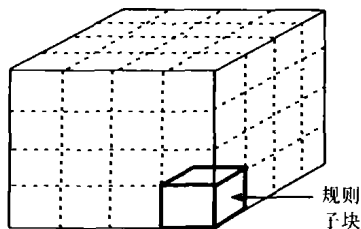


图3 规则子块组成的地质空间区域

对数组 vol 中的每个元素赋相应的属性值,实际就是对整个地质空间区域中的各规则子块赋值。结合本例,因为插值得到的 3 个曲面将整个地质空

间分成了上下两套地层,所以赋值则变得简单:同一套地层内的子块其属性值一样,而两套地层只需用两个不同的属性值(非零值)。为了在视觉上加以区别,将赋给子块的属性值定义为两种不同的颜色。

因为是曲面,所以可能有一些子块位于两套地层区域之外,这样的子块就不应该显示出来。实际上在 IDL 中,前面定义 vol 时,其缺省的元素值为零,用意也在此。我们将两套地层中的子块分别赋给了两个非零的属性值,而剩下的子块保持着零值,IDL 在显示时对于值为零的子块是不显示的。

## 3) 构造三维体对象,显示三维地质体

通过前两个步骤,构造好了代表地质空间区域的体数据矩阵 vol,接下来就是构造体对象和显示的工作了。在 IDL 的对象编程环境下,这变得非常简单。

显示之前,首先需要构造一个代表三维地质体的对象,用到的“类”为 IDLgrVolume,其简化语法为:

```
Obj_vol = OBJ_NEW( 'IDLgrVolume', vol )
```

其中,Obj\_vol 就是生成的代表 vol 这个体数据的真三维体对象。当然,可以给这个体对象设置各种不同的显示属性。

显示这个三维地质体,主要过程包括:

```
Obj_window = OBJ_NEW( 'IDLgrWindow' )
```

```
Obj_view = OBJ_NEW( 'IDLgrView' )
```

```
Obj_model = OBJ_NEW( 'IDLgrModel' )
```

上述三条语句分别定义了一个窗口显示设备对象(Obj\_window)、一个视图对象(Obj\_view)和一个模型对象(Obj\_model)。

具体显示过程为:

```
Obj_model -> Add, Obj_vol ; 将地质体对象加入模型
```

```
Obj_view -> Add, Obj_model ; 将模型对象加入视图
```

```
Obj_window -> Draw, Obj_view ; 显示三维地质体
```

最终生成的三维地质体见图4。

因为生成的地质体是用实体建模方法实现的,故对其进行剖面分析等都非常方便,IDL 也提供了相应的功能,在此不具体阐述。

## 3 结论

通过上述利用 IDL 实现地质三维建模的一个小例子,可以看出:IDL 作为一种数据可视化语言,从

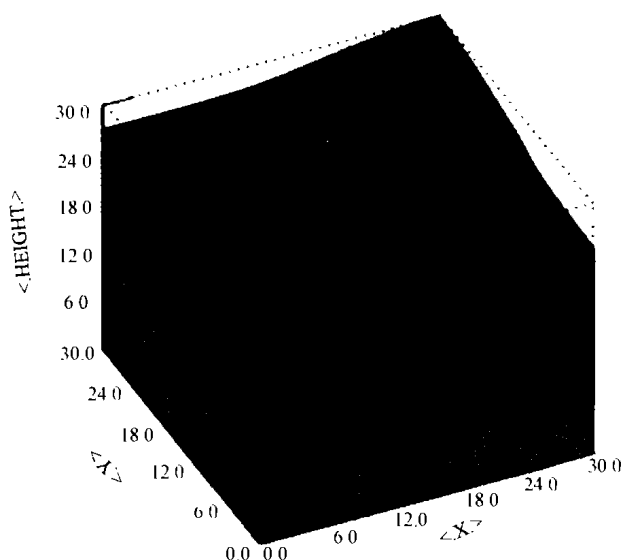


图4 利用 IDL 生成的三维地质体(单位:m)

其语法简单、内嵌各种丰富的算法库、对三维真体数据的支持、面向对象的编程方式等特点来看,是一种进行地质三维建模的理想开发语言。

当然,三维建模作为一门综合了计算机、数学等学科的综合技术,还有许多工作要做,诸如各种算法的产生、改进,怎样在显示精确性、数据量和显示速度之间取得平衡等。尤其是就地质领域来说,因为地质体本身的复杂性,使得其三维建模更加复杂,这需要进行更深入的研究。

#### [参考文献]

- [1] 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.
- [2] 李芳玉,陈传波,钟宝荣. 基于 OpenGL 的地层模型三维可视化图形显示方法[J]. 江汉石油学院学报,2001,23(1):20~22.
- [3] 朱小弟,李青元,曹代勇. 基于 OpenGL 的切片合成法及其在三维地质模型可视化中的应用[J]. 测绘科学,2001,26(1):30~32.
- [4] 宋端智,柴振友,张爱敏. 用虚拟现实建模语言实现地震层位三维可视化[J]. 物探化探技术,2000,22(3):229~232.
- [5] 芮小平,张彦敏,董 鹏,等. 基于 VRML 的三维地质体可视化研究[J]. 计算机工程与应用,2003,39(6):44~46.
- [6] Research System Inc., IDL Online Manuals[M], Research System Inc., 2001.

## APPLICATION OF IDL IN 3D GEOLOGIC MODELING

HUANG Hai-feng<sup>1,2</sup>, BAO Shi-tai<sup>1,2</sup>, LI Hua<sup>1,2</sup>, LIAN Jian-bo<sup>1,2</sup>, XIA Bin<sup>1</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640;

2. Graduate school of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

**Abstract:** IDL (Interactive Data Language) is a ideal software using for visual analysis of 2D and 3D data. With the development of computer software and hardware and the prevalence of "Digital Earth", "Digital City", etc., it is badly needed to have 3D geologic modeling. This paper takes a geologic modeling of a geologic space including four drills and two strata by using IDL, and studies application of IDL in 3D geologic modeling.

**Key words:** IDL, 3D modeling, 3D surface modeling, 3D solid modeling

## “新钻牌”CFG 系列桩机(基础工程)

### 推广工法、环保产品

钻孔直径:300~800 mm

钻深:12 m、15 m、18 m、21 m、25 m、30 m

长螺旋钻进成孔、泵压混凝土成桩,既成孔成桩一机一次完成;低噪音、无振动。

生产厂家:河北新河钻机厂

销售热线:13903192011

地 址:河北省新河城内南大街 124 号

E-mail: cuiwy@heinfo.net

联系人:崔文艺(营销经理)

电 话:(0319)4752111(传真)

邮 编:055650

<http://www.xhzuanji.com>

