

储层地质构造模型的三维可视化*

郑 昊

(西安石油大学计算机学院, 陕西 西安 710065)

摘 要: 储层地质构造模型的三维可视化可以将测井或地震数据以直观的图形方式显示, 是正确认识地下储层地质构造的重要手段。研究了地质层面、整块地质体、断层的三维可视化流程。通过对已知地质数据进行三角剖分和插值, 建立了地质层面和整个地质体的三角网格模型。利用OpenGL, 在场景中使用变换、投影、光照等技术, 实现了储层地质构造模型的三维可视化。显示结果为从局部到整体的多种地质构造三维模型, 为制定油田开发方案提供大量可靠的参考。

关键词: 储层地质模型; 断层; 三角剖分; 可视化; OpenGL

中图分类号: P618.130.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7981(2010)01—0130—04

油田勘探初期, 获得的数据量较大, 一个区块中单口井的测井数据多达十万个点, 每个点又有孔隙度、渗透率、饱和度等一百多种参数。如此巨大的数据量, 如果由地质学者手工进行处理, 不但工作量庞大、效率低下, 而且处理结果往往不够直观。将高速发展的计算机三维可视化技术应用于石油勘探数据的分析和处理, 具有以下特点: 将地质工作者手绘的构造图、物性参数等值线图等二维平面地质图, 用渐变色图、三维图形等多种方式表达出来, 并尽可能用更接近实际的方式去描绘它, 实现图形图像无级缩放、三维旋转、全屏显示等交互操作, 从而达到在三维空间中多角度观察和描述油藏。三维储层地质构造模型, 使不熟悉地质结构和构造复杂性的人对地质构造的空间关系有一个十分直观的认识。储层地质构造的三维可视化的关键是建立地质构造模型。用三维地质构造模型可以以空间中真实感图像的形式, 表达地质构造的真实形态、特征及其分布规律。

本文基于目前较为流行的开放图形库OpenGL, 实现了储层地质构造模型的三维可视化。

1 三维地质构造模型构造原理

1.1 OpenGL 的工作原理

OpenGL 是指开放图形程序库 (Open Graphics Library)。它由 120 多个功能强大的图形函数组成, 集成了几何建模、图形变换、光源设置、材质设置、纹理映射、运动模糊、像素操作、融合、反走样技术、雾化等复杂的计算机图形学算法。Visual C++ 2005 包含了 GL 库 (opengl32.lib), 辅助库 (glaux.lib) 和实用库 (glu32.lib), 开发者可以在多种硬件平台及操作系统方便地利用这个图形库高效地编程, 从而

简单、快速地生成美观、漂亮的复杂的三维彩色图形。

整个OpenGL的基本工作原理流程图如图1所示。

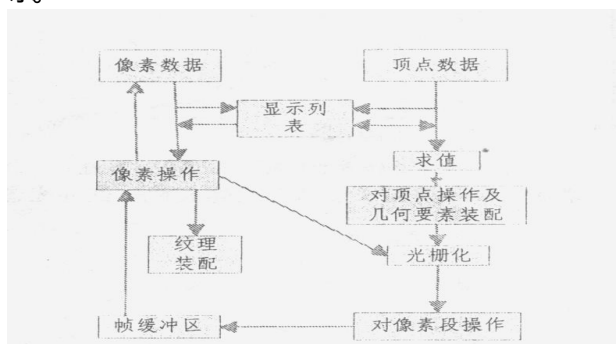


图1 OpenGL 工作原理图

1.2 三维模型绘制的两种方法

存在某个模型的绘制函数, 通过参数的设置, 将模型在三维空间中的形态绘制出来。例如, OpenGL 提供了茶壶的绘制函数, 调用辅助库 `glutWireTeapot (GL double)` 绘制一个茶壶。

可以由一些不规则的图元构成所要绘制的模型, 该方法通常用于构造形状不规则的模型, 如, 地质模型。

一个计算机地质模型包含的元素层次有: 点、线、面 (层面和断层交线)、闭合岩石区域 (断块)、网络 (规则网格、地层网格)、物性 (速度、孔隙度)。原始的油藏描述信息数据是由一系列离散的空间控制点组成的三维数据集, 利用各空间控制点建立空间曲

* 收稿日期: 2009-08-24

作者简介: 郑昊 (1983-), 女, 硕士生, 主研方向: 图像处理与模式识别。

面是三维可视化的基础。

对离散的油藏描述信息数据进行三角剖分和插值运算处理后, 输出三角网格数据文件。三角形是最简单的多边形, 它是构建空间曲面几何形态图形基元。基于三角面片的各种几何算法最简单、可靠, 所构造的系统性能最佳, 因此, 本文采用三角面片作为最基本的图形基元。

1.3 对稀疏地质数据的Delaunay 三角剖分

如何把一个散点集合剖分成不均匀的三角形网格, 这就是散点集的三角剖分问题。在实际中运用的最多的三角剖分是Delaunay 三角剖分, 它是一种特殊的三角剖分。(图2 为散点集的三角剖分, 图3 为Delaunay 三角剖分的空圆特性)。

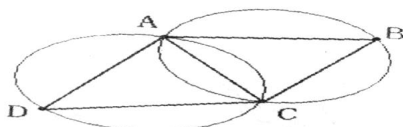


图2 散点集的三角剖分

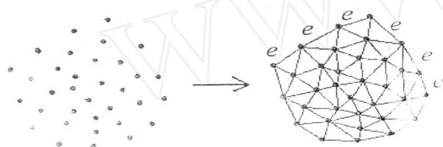


图3 Delaunay 三角剖分的空圆特性

Delaunay 三角剖分有几个很好的特性: 最大化最小角, “最接近于规则化的”的三角网; 唯一性(任意四点不能共圆)。即空圆特性。

给出关键数据结构如下:

```
struct TrianglePoint //点结构
{
    float x, y, z; //离散点三维坐标
    int nEdgeMark; //是否为边界点
    int nVirtue; //点的属性
    int nPointID; //节点点号
};

struct TriangleEdge //边结构
{
    int p1, p2; //边的两个顶点号
    int nEdgeIndex; //边号
    int nUsedTimes; //边的使用次数
    int nBorder; //是否在区域的边界
};

struct Triangle //三角形结构
{
    int p1, p2, p3; //三角形的三个顶点号
    int nTriangleIndex; //形成三角形的个数
```

```
int nTriangleID; //三角形号
```

```
int nTriangleVirtue; //三角面片属性
};
```

2 地质构造模型三维可视化的实现

2.1 构建OpenGL 程序框架

使用App Wizard 创建视图类应用框架; 利用Class Wizard 添加成员函数: PreCreateWindow s, OnCreate, OnSize 和 OnDestroy; 设置窗口属性, 在PreCreateWindow s 函数中加入代码: cs_tyle WS_CLIPSBLINGSIWS_CLIPCHLDREN; 设置像素格式, 创建绘制描述表RC; 绘制OpenGL 场景, 所有的绘制工作都放在OnDraw 函数中; 释放绘制描述表RC 和Window s 设备描述表DC。用GDI 绘图时必须指定在哪个设备描述表中绘制一样。绘制描述表(RC)与设备描述表(DC)是连接在一起。

2.2 用OpenGL 生成地质构造模型

2.2.1 视图变换^[3,4]

即在一个场景中, 改变观察者的位置和观察角度。每个变换都是产生着一个的矩阵, 然后与当前矩阵(Current Matrix)相乘, 得到一个坐标变换矩阵, 最后把坐标系中的物体变换到屏幕坐标系中。视图变换, 一般使用glu 封装的函数: void gluLookAt (GLdouble eyex, GLdouble eyey, GLdouble eyez, ——观察点 GLdouble centrex, GLdouble centrey, GLdouble centrez, ——视线方向: 从 eye 指向 centre GLdouble upx, GLdouble upy, GLdouble upz ——视图体自下而上的方向)。

2.2.2 投影变换^[4]

投影方式的选择取决于显示的内容和用途。本文选择透视投影, 通过调用函数 void glFrustum (Gldouble left, Gldouble right, Gldouble bottom, Gldouble top, Gldouble near, Gldouble far), 定义观察体。参数left, right, bottom, top 和near 一起指定了近裁剪平面的矩形位置和大小坐标, 参数far 则指定远裁剪平面与视点的距离。这两个函数的参数非常对称, 都是构造了一个六面体, 形成可视范围。它们都产生一个矩阵, 左乘当前矩阵。

2.2.3 颜色设置

利用丰富多彩的颜色, 动态地、分级地表征油藏描述信息, 不仅可以提高视觉分辨率, 快速地识别油藏地质构造特征, 而且还可以突出地显示构造起伏及用于描述油藏的属性参数信息的微小变化。在OpenGL 中, 使用函数 glColor3f (GLfloat red, GLfloat green, GLfloat blue) 指定绘制实体的颜色, 该函数的3 个参数red, green, blue 分别指定了相应的RGB 颜色值。

2.2.4 三维彩色模型

利用视觉原理, 根据地震反射层位深度数据的变化, 改变色彩明暗度的变化, 可使油田科研人员通过色彩明暗程度观察到构造起伏变化面貌。这种方式具有直观逼真、视觉效果好等特点。首先使用函数 $glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_FILL)$, 指定当前实体使用面填充方式绘制, 然后调用函数 $glShade_Model(GL_SMOOTH)$, 计算两个顶点中间的点的颜色。

2.3 地质层面的三维显示

原始地质测井数据是一组数据点集 (x, y, z, s) , 其中, x, y, z 是某层面上某点的空间坐标, s 是这点的属性值。首先利用这些原始数据点重构地质层面。由测井特点所决定, 测井数据在 x, y 方向一般比较稀少, 这种特点决定了必须采用插值的方法来重构地质层面。在插值之前, 必须对稀疏数据采用 Delaunay 三角剖分进行预处理, 然后进行细分加密, 以保证有足够多的点进行插值, 依次生成研究区域内各地质层面构造的三角网格模型^[5]。根据断层、边界等约束条件和地震、测井等数据, 对平面三角网格的每个节点进行插值, 生成三维空间的三角网格曲面。将深度值视为分布于二维区域上的参数, 构造面的插值则是二维数据场的插值问题。可以采用普通克里金法进行插值。

2.3.1 普通克里金插值法

克里金插值法, 又称空间局部估计或空间局部插值法, 是地统计学的主要内容之一。它是在空间相关范围分析的基础上, 用相关范围内的采样点来估计待插点属性值。克里金法是建立在变异函数理论及结构分析基础之上的, 它在有限区域内对区域化变量的取值进行无偏、最优估计。普通克里金法它既可以对点进行估计, 也可以对块进行估计^[6]。待插值点 X_0 的估计值 $ZX_0 = YW^{-1}B$, 而误差估计值的平方 $\sigma^2(X_0) = B W^{-1}B$, 其中

$$W =$$

$$\begin{bmatrix} \text{cov}(X_1, X_1) & \text{cov}(X_1, X_2) & \dots & \text{cov}(X_1, X_k) & 1 \\ \text{cov}(X_2, X_1) & \text{cov}(X_2, X_2) & \dots & \text{cov}(X_2, X_k) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{cov}(X_k, X_1) & \text{cov}(X_k, X_2) & \dots & \text{cov}(X_k, X_k) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

注: $\text{cov}(X_1, X_k)$ 为 (X_1, X_k) 点之间的变异量, 因为变异量只与两点间的相对距离有关, 可以得出, $\text{cov}(X_1, X_k) = \text{cov}(X_k, X_1)$ 也即矩阵 W 为对称矩阵。

$$B = \begin{bmatrix} \text{cov}(X_0, X_1) \\ \text{cov}(X_0, X_2) \\ \dots \\ \text{cov}(X_0, X_k) \\ 1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} Z(X_1) \\ Z(X_2) \\ \dots \\ Z(X_k) \\ 0 \end{bmatrix}$$

2.3.2 单个地质层面的可视化效果

单个层面的三维显示手段有深度等值线图、渐变图、区域填充图、光照消隐立体图显示。图 4a 是地质层面采用 Delaunay 三角剖分的网格, 空白处显示为断层。图 4b 是利用 OpenGL 绘制三角面片的函数绘制出的三维地质层面深度等值线效果图。



图 4 地质层面图

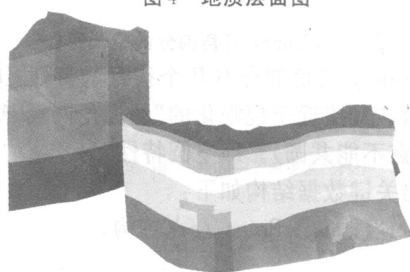


图 5 断层三维可视化效果图

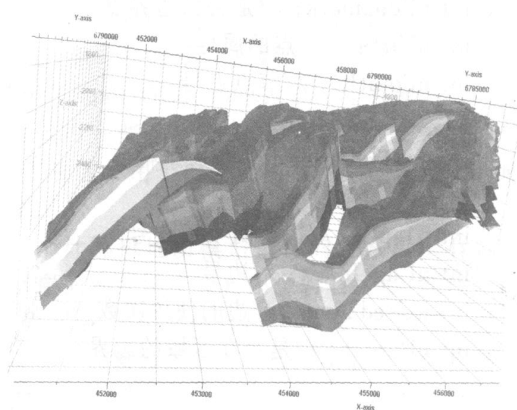


图 6 储层地质构造模型的三维实体显示

2.4 断层的三维可视化效果

断层面的模拟是一个复杂的交互过程。一般情

况下,应利用不同剖面上的断层线来形成相应的面。在存在断层的情况下,不同层面的拟合和插值与常规情况不同。要根据实际情况采取不同的方案:对于同一沉积断层,由于沉积过程中造成断层两侧的厚度相差较大,两侧数据的关联性不大,可将断层两侧的地层分别插值。而不考虑相对侧数据的影响。对于一些走滑断层、大型的倾滑断层,也可以采用这种方案。层的顶面为剥蚀面时,顶面的拟合也应分别进行;对于其他的非同沉积断层,在断距不大的情况下,断层两侧地层的形态及厚度常存在一定的相似性,如果将两侧分别插值,可能会导致断层附近两侧地层的形态或厚度差别较大。这时准确的方法是将地层恢复到未发生断层时的状态,进行插值及层面的拟合,然后再复原至有断层的状态;对于逆冲断层,由于存在多值面的问题,难以利用另一侧的数据点来进行插值,可采用分别处理的方法,或采用方法进行处理。图5为断层的三维可视化效果。

2.5 储层三维地质构造模型的可视化效果

储层三维地质构造模型的显示可以表达地质体的整体轮廓、地层之间的位置关系以及地层的厚度等信息。

为了更好地显示各层之间的接触关系以及其他不同的属性,可以把每个节点上的属性值转换为不同的颜色,通过不同的颜色来表示地层性质的非均匀性。在构造了地质层曲面片后,采用以下步骤构建地质体:追踪每个层面的边界,得到边界点;应用最近邻优先法则,找到相邻2个层面边界上X、Y比较相近的点,构造出边界面,进而形成体。此种地质体为内部具有多个曲面片的中空地质体。图6为利用OpenGL绘制三角面片的函数绘制的储层三维地质构造模型,它很好地显示出地质体的整体轮廓、地层之间的位置关系以及地层的厚度等信息。

3 结束语

三维可视化技术是贯穿于构建储层地质构造模型的核心技术,它可使解释者从任意角度观察、分析并解释三维数据体。OpenGL的稳定性、可靠性、可扩展性等特点,赋予了其强大的生命力和应用前景。通过OpenGL设置光照方向、角度及调整透明度,还可以改善视觉效果。

储层地质构造模型三维可视化技术不仅能观察地质体的表面特征,而且能透视地质体的内部结构,并能显示带透明度的立体模型。伴随着我国大部分油田的开发,对储层的精细化描述,构建精度较高的储层三维地质构造模型可以重现区块的地质构造以及断层的空间分布,为制定油田开发方案提供大量可靠的基础地质参数。

[参考文献]

- [1] Mason Woo, ed The Official Guide to Learning OpenGL, Version 2.1 (6th Edition) [M] Addison - Wesley Professional, 2007.
- [2] Turner A. K, ed Three Dimensional Modeling with Geoscientific Information Systems [M] Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 1992.
- [3] 陈红艺,等.用OpenGL和MFC实现图形的视图转换[J].电脑开发与应用,2005.
- [4] 崔红庄,何援军,徐雄秀.基于OpenGL实现油藏描述信息的三维可视化显示[J].计算机工程,2004,(30).
- [5] 王建等.基于测井数据的三维地质模型构建与可视化[J].测井技术,2003.
- [6] 苏姝.普通Kriging法在空间内插中的运用[J].江南大学学报(自然科学版),2004.

Dimension Visualization for Geology-construct-Model of Reservoir

ZHENG Hao

(Xi'an Shiyou University, School of Computer Science, Xi'an 710065)

Abstract: Three dimension visualization of reservoir geology-constructed-model is used to display the log data and the seismic data in graphics methods directly, which is an important mean to learn the reservoir geo-body structure better. Based on the triangulation and interpolation algorithm to the obtained geology data, the geology layer and hole geology body triangular grid models are constructed. Then three geology-constructed-model visualization methods, geology layer visualization, body visualization, fault visualization, are analyzed. The data was treating OpenGL in the processes which were mentioned above, using texture, light, fog of OpenGL to make 3D geological body real display, so that three dimension visualization of reservoir geology-constructed-model has realized. In the end, visualization of various geology-constructed-model is given.

Key words: Reservoir Geological Models; Fault; Triangulation; Visualization; OpenGL