

基于 Open Inventor 的地层三维可视化

刘卫波^{1,2}, 刘展¹, 魏合龙², 许琦³, 孙记红², 申龙斌⁴

(1 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东东营 257061; 2 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

3 中国地质科学院岩溶地质研究所, 桂林 541004; 4 中国海洋大学计算机科学与技术系, 青岛 266100)

摘要: 地震解释成果数据作为三维地层的数据来源, 对其进行预处理并插入断层线约束, 最终构建成三角网格曲面。利用三维图形软件开发包 Open Inventor, 在 .Net 平台上采用 C# 开发语言将建模之后的三角网数据进行三维动态显示。实现了地层数据、断层数据、井数据的综合展示和交互, 具备一定的独立性和较好的通用性, 可以很好地服务于地质研究人员和决策人员。

关键词: 三维地层; 断层; 约束线; Open Inventor

中图分类号: TE19

文献标识码: A

在地学领域, 三维可视化技术的研究和应用使传统二维静态的平面图表达向三维动态的虚拟地质环境表达方向发展, 利用地学三维可视化技术可以对地下复杂的三维空间对象进行详细、直观的表达和分析, 有助于更加全面和准确地了解三维地层结构, 并且分析其中的规律或趋势, 能很好地为科学研究、生产工作及宏观规划提供综合分析和决策支持服务。如何更好地利用计算机对地质构造进行三维可视化, 完善构造三维可视化技术已成为当今人们普遍关注的一大重要课题^[1]。

近些年来, 在三维地质建模和可视化方面取得了诸多重要研究成果, 同时也存在着诸多问题。比如: 对三维空间数据模型缺乏统一认识; 原始地质数据获取艰难及其空间关系的极端复杂等^[2]。复杂三维地层可视化研究是研究含断层地层的有效方法, 利用该方法可以把多元三维地层数据融合处理到一个最优的模型中来表达地下复杂的地层情况, 而且能反映地质构造形态和属性特征, 从

而实现三维资料解释、地质和地球物理过程的仿真模拟等高级可视化应用功能。

1 Open Inventor 介绍

Open Inventor 是目前世界上使用最广泛的面向对象的绘图软件接口, 基于 OpenGL 图形库和 Unix 系统开发而成。对于程序开发人员而言, Open Inventor 具有跨平台的能力, 并且著名的 VRML 就采用了 Open Inventor 的文件格式。Open Inventor 允许用户通过“搭积木”的方式来构建复杂的三维场景, 使得用户只需花费很少的时间就可以构造出复杂、优美的三维场景^[3]。

目前应用比较广泛的三维图形开发软件包主要有 OpenGL、Open Inventor 及 Coin3D 等。以往人们大多采用 OpenGL 图形库进行三维图形开发, 但它的函数功能复杂多样, 不易在短时间内掌握, 要想生成效果较好的三维地层需要对图形的投影、颜色、纹理、光照等方面进行繁琐设置, 编码量大^[4]。Coin3D 是一个开源的三维数据渲染库, 它也是基于 OpenGL 发展而来。Coin3D 可以基于 OpenGL 并使用场景图数据结构来实时渲染三维场景, 但由于其开源的特点, 在一些高级功能扩展方面发展比 Open Inventor 要慢。

收稿日期: 2010-06-23

基金项目: 中国地质调查局地质调查工作项目“海洋地质数据库建设”(1212010650113)

作者简介: 刘卫波(1985—), 男, 在读硕士, 主要从事 GIS 在地学中的应用及三维地质建模与可视化研究工作。E-mail: liuw ei-bo19850715@163.com

经过上述分析,使用 Open Inventor 三维可视化技术,可以快速、简捷地生成三维地层模型,再结合多种交互和查询手段,让地质研究人员和决策人员直观掌握地层信息。

2 数据预处理

2.1 数据来源分析

根据数据来源和表现形式的不同,可将介入断层的地层数据标准化为3类:剖面图形数据、平面图形数据和表格数据。地质剖面数据是根据物探资料或其他勘察手段获取的资料再进行解释得到的,能够较为精确、直观地展示地层信息并表达断层面上的断点坐标。平面图形数据是通过地质图、地形图或地质构造图等平面图件标示出来的地层线和断层线信息,这类数据具有精确度较高的实测记录。表格数据是用来记录野外地质勘察所获取的地层属性参数信息^[5]。本文基于地震勘探解释成果(T_0 、 T_1 、 T_2 ……构造图)进行模型的构建。地震解释成果图资料是包含断层地层建模的主要数据来源,它是一种多层的含断层(正断层、逆断层)且边界不规则的二维等值线图,反映了地层空间构造信息。

2.2 地层数据处理流程

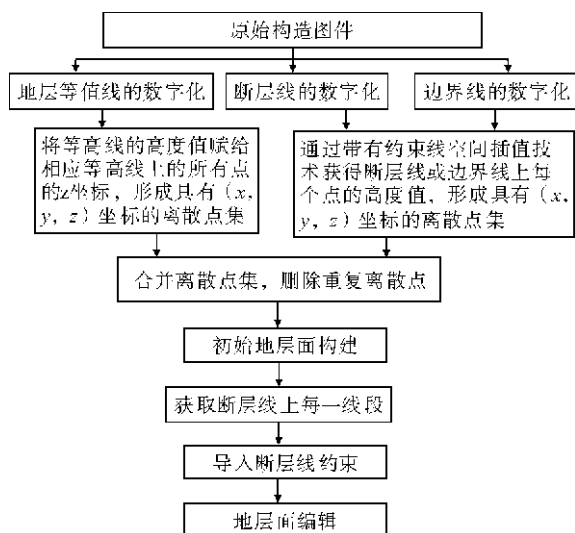


图1 地层面建模处理流程

Fig.1 The processing flow chart of stratum modeling

2.2.1 数据获取与预处理

首先将构造图进行数字化,形成等高线、断层线和边界线3种不同的线文件,然后利用数据预处理程序,对等高线数据进行处理,将每条等高线的高度属性值赋值给其上的每个点作为 z 值,这样形成大量的无组织的不规则三维离散点。

通过数字化地震解释成果图中的断层线只能获得平面坐标,无法获得断层线上每个点的高度值,除非是仅选取断层线和等值线的交点作为断层线的中间点。文章采用空间线性插值技术,获得断层线上每个采样点的高度值从而形成三维的断层线。

2.2.2 构建初始地层面

TIN表面模型法是利用不规则的三角形面片建立物体表面模型的方法,本文采用Delaunay三角剖分来实现地层三维模型构建。该方法属于表面描述法,其数据量和运算量远远小于体描述法。算法简要描述如下:

①增加3个附加点以构造1个足够大的初始三角形,大到能够包含所有参与三角化的点。

②对点集中每一未处理过的点 P ,从当前三角网中找到1个包含 P 点的三角形,将它与三角形的3个顶点相连,生成新的3个三角形,删除原三角形。

③删除附加点及其相连的三角形。一个二维Delaunay三角网格便形成了。

2.2.3 地层面上插入断层线约束

由于断层的截断作用,使得原本连续的层面变得不连续,因此,需要将断层作为约束线对初始地层面进行局部重构,在算法实现中考虑的大多是将无约束的原始数据与约束数据一起构网。

影响域重构算法是一种约束线插入算法^[6]。设 t_1 、 t_2 是约束线段 t_1t_2 ($t_1, t_2 \in V$)的两个结点,向CD-TIN中插入约束线段 t_1t_2 的步骤如下(图2):

(1) 嵌入约束线段的过程

约束线段 t_1t_2 插入CD-TIN中,搜索所有被 t_1t_2 切割的三角形边 e_i ,若 e_i 为约束边,则对该边作约束标记,其交点为虚点插入到约束边 t_1t_2 中(图2a)。

(2) 确定约束线段的影响区域

删去被约束线 t_1t_2 切割的非约束的三角形

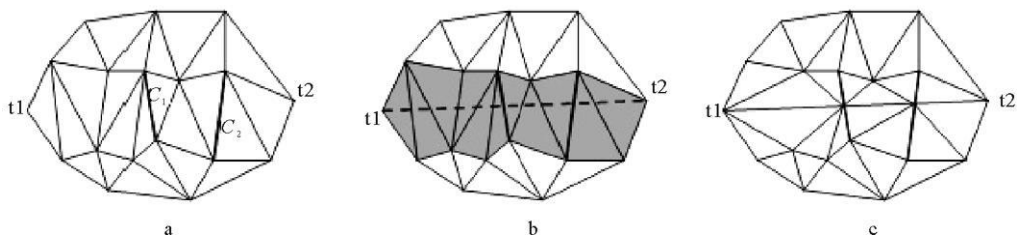


图 2 约束线的引入
Fig. 2 The introduction of constraint lines

的边 e_i , 从而形成一个未经三角剖分的多边形, 称为约束线段 t_1t_2 切割的影响域, 该影响域内包括与 t_1t_2 交叉的几条约束线段(图 2b)。

(3)约束线段影响区域三角网局部重建
约束线段 t_1t_2 以及及与 t_1t_2 相交的约束线 C_i ($i=0, 1, \dots, n$ 为约束线的条数)将影响域分割为 $(V_{ui}, V_{di})(i=1, \dots, n+1)$ 几部分, 分别对各个部分做 CD-TIN 剖分, 并保证 t_1t_2 及与其交叉的约束线段的可视性, 使得到的 CD-TIN 满足约束空圆属性。然后采用递归方法对约束线段量测的影响域重新进行三角剖分(图 2c)。

2.2.4 地层面编辑

此过程主要是删除地层面上正断层线之间多余的三角形和轮廓非规则, 也是复杂地层面建模的最后一个过程, 其目标是形成具有错断效果的地层面模型。删除多余三角形最简单而直观的方法就是采取人工交互的方式进行, 同时也避免了计算删除的复杂算法和误差。

删除的过程需要导入前面经过插入断层线处理的地层模型, 同时也导入颜色鲜明的断层加以识别(图 3)。

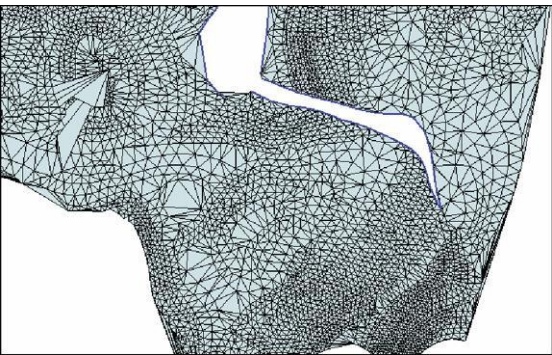


图 3 地层面人工交互编辑
Fig. 3 The interactive edit of stratum

3 三维复杂地层的具体实现

在三维空间中显示地层可以选择体模型、面模型或混合模型来表示, 在本文中选用曲面来表示, 不同的曲面表示不同的地层, 通过设置不同的颜色来表示地层的厚度、深度等相关信息。

基于 Open Inventor 进行三维显示开发, 首先要构造三维场景(Scene Graph), 需要搭建多层次, 从左到右, 从上到下渲染的场景图。Open Inventor, 提供了 SoWinExaminerViewer 类, 用以完成基本的旋转、平移和缩放等功能, 而要想实现其他的功能, 则需要添加相应的节点。为了更好的三维显示效果, 首先需要对相机、材质、光源等属性进行设置。材质属性可由节点 SoMaterial 来设置, 它反映物体对光的反射效果。对于相机, 在 Open Inventor 里提供了 2 种, SoPerspectiveCamera (透视投影相机) 和 SoOrthographicCamera (正交投影相机), SoPerspectiveCamera 更符合人的视觉特点, 因此选择此类相机。场景中还需要考虑光源和光照, 本文选择 SoDirectionalLight 用来提供平行光源。

在整个显示过程中, 主要应用 Open Inventor 提供的 MeshViz XLM 扩展模块中的 PoTriangle-Mesh2D 和 PoMeshFilled 节点来绘制三维复杂地层。PoTriangleMesh2D 类用于定义由三角网格构成的一个带索引的二维面, 这个面由 1 串三角形进行定义, 而每个三角形由 3 个顶点来定义。由于已经在建模过程中将勘探成果数据处理成了三角网格的形式, 所以可以很方便的用这个节点类, 只需传递顶点个数, 顶点的 x, y, z 坐标, 三角网的个数和三角网的顶点构成的 6 个参数。而 PoMeshFilled 节点则可将利用 PoTrian-

A NEW REACTOR FOR EXPERIMENTAL SIMULATION OF MODERN SEAFLOOR HYDROTHERMAL ENVIRONMENT

LI Huaiming¹, ZHAI Shikui², TAO Chunhui¹, YU Zenghui²
(1 The Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China;
2 Department of Marine Geology, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Most of the hydrothermal simulation reactors for modeling the water-rock interaction in sea-floor hydrothermal systems were designed by regulating temperature and pressure. Since the shifting of research interest to hydrothermal plume and the wide application of hydrothermal fluid sampler with fidelity recently, the new experimental simulation reactor is in high demand, which should not only keep the functions of the existing reactors, but also have the advantage to simulate the hydrothermal plume and be connected with the sampler with fidelity. We designed and tested a new experimental simulation reactor recently. The main part of this reactor is composed of two columned titanium cabins. The environmental conditions, such as temperature, pressure and fluid, can be regulated by means of the heaters, pressure devices, inputting devices and associated computers. The sides and ends of the reactor are specially designed to be able to connect with physical and chemical electrodes. Meanwhile, the China-made hydrothermal sampler with fidelity can be successfully connected with this experimental simulation reactor. The test results indicated that the experimental simulation reactor can be used to simulate the water-rock interaction and hydrothermal plume processes which have been observed under modern seafloor hydrothermal conditions.

Key words: modern hydrothermal activity; experimental device; hydrothermal sampler with fidelity; water-rock interaction

(上接第 64 页)

3D STRATA VISUALIZATION BASED ON OPEN INVENTOR

LIU Weibo^{1,2}, LIU Zhan¹, WEI Helong², XU Qi³, SUN Jihong², SHEN Longbin⁴
(1 College of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, China;
2 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China;
3 Institute of Karst Geology CAGS, GuiIn 541004, China;
4 Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The data after seismic interpretation, as the data source of 3D strata, are preprocessed with faults inserted as constraint lines. Thus triangular meshes are successfully constructed. The data of triangular mesh can be displayed in a 3D form using Open Inventor at the Net platform. As a result, the geological data, fault data, and well data can all be displayed and interacted, so as to provide better service to geological researchers and decision makers.

Key words: 3D Strata; fault; constraint line; Open Inventor