

地质构造三维可视化模型探讨

曹代勇¹, 李青元², 朱小弟¹, 周云霞¹

(1. 中国矿业大学, 北京 100083; 2. 中国测绘科学研究院, 北京 100039)

[摘 要] 地质构造的三维可视化技术包括数学建模和可视化显示两方面。建立地质构造三维可视化模型的典型方法包括三维规则网格法、TIN 表面法、四面体法以及综合法。针对地质构造模型中断层处理的特殊性, 提出了基于 TIN 表面法的局部法和整体法两种处理技术。将地质构造三维模型的可视性归纳为 5 种方式。

[关键词] 地质构造 三维地质模型 可视化

[中图分类号] P548 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)04-0060-03

1 地质构造的形态特征与三维可视化

地质构造的形态学具有“数”(产状、规模等构造要素)和“形”(空间形态)等两种基本表达形式, 任何复杂的地质构造总是可以抽象为点、线、面等几何元素的集合^[1,2], 从而使我们可以在空间坐标系中对其进行三维形态描述和数学分析^[3]。科学可视化(Visualization in Scientific Computing)是 20 世纪 80 年代后期随着计算机图形学应用的拓广而发展起来的一个新的研究分支, 受其推动, 地质信息的可视化成为 90 年代地学领域的研究前缘^[2,4]。地质信息的三维可视化是指以适当的数据结构建立地质特征的数学模型, 采用计算机图形技术将数学描述以 3D 真实感图像的形式予以表现。三维可视化技术对于地质构造研究十分重要。三维可视化模型能够形象地表达地质构造的“真实”形态特征以及构造要素的空间关系, 结合三维 GIS 的信息处理和空间分析功能, 可以使地质构造分析更为直观、准确, 为地质构造研究量化开拓了一条现实的途径。

地质构造的三维可视化技术包括数学建模和可视化显示两方面。构建三维模型的方法可分为表面建模法和实体建模法两大类, 其核心是数据结构。目前三维地质体建模较典型的数据结构有规则网格法、TIN 表面法、四面体法等; 此外, 李青元等(1996, 1999)讨论了单一体划分下的三维矢量结构 GIS 概念模型和拓扑关系^[1], 夏炎(1997)提出三维空间数据结构-多面体编码方案^[2]。在三维地质信息可视化显示方面, 除采用面向对象的方法进行图形显示系统分析设计外, 还可直接使用商品化高品质的 3D

图形 API 予以实现。上述进展为建立地质构造三维可视化模型奠定了基础。

2 建立地质构造三维可视化模型的典型方法

地质构造三维可视化模型具有三维地质体数学建模的共性。有多种方法可以建立三维地质构造模型的数学模型, 常用三维规则网格法、TIN 表面法、四面体法、以及综合法。

2.1 三维规则网格法

三维规则网格法是将研究空间剖分为多个规则的网格, 然后用相应的网格描述地质体。该方法是二维规则网格法在三维空间中的延伸, 针对被规则剖分的空间, 可以建立简单的数据结构和运用简单的算法。三维规则网格法的特点是简单, 不足之处是巨大的数据集和计算工作量。

2.2 TIN 表面法

TIN(Triangular Irregular Networks)法是一种利用不规则三角形面片建立地质模型的方法, 常采用 Delaunay 三角剖分。TIN 表面法的特点是将随机分布的控制点以某种相对合理的方式联系起来, 建立形态上较为完美和功能上较为完善的三角形网络。该方法属于表面描述方法, 其数据量和运算量远远小于体描述方法。通过添加适量的控制点, 可在不同程度上改善地质体表面的空间形态, 使其更接近真实的自然状态; 也可以通过减少控制点的方法来减少某个局部的工作量而不影响整体空间形态。Delaunay 三角剖分是建立在二维空间中的, 三角剖分只在 X 和 Y 空间中进行, 尽管三维点有 X、Y 和 Z 坐标, 但只在最终形成三角形时才使用 Z 坐标, 因

[收稿日期] 2000-05-30; [修订日期] 2000-12-01; [责任编辑] 曲丽莉。

[基金项目] 国家自然科学基金“多界面三维 GIS 拓扑关系研究”(49771059)资助。

此,TIN表面法不能直接描述复杂的地质体(例如标志层位的翻卷),其应用受到一定程度的限制。

2.3 四面体法

四面体法是2.5维TIN表面法向三维空间的延伸。在三维空间中,三个点可以形成一个三角平面,多个三角平面可以构成地质体的表面;同样,四个点可以形成一个四面体,多个四面体可以构成地质体实体。四面体法是多面体法的一种,属于体描述方法,四面体是体元素的最小单元,任何变形地质体总是可以划分为一定数量的不规则四面体,四面体法的数据结构描述各四面体的空间形态及其相互之间的拓扑关系。因此,四面体法不仅可以描述地质体的表面形态,通过体函数插值,还可以描述地质体内部的结构、构造特征。四面体法可用于建立复杂地质构造三维模型,但实现四面体法的技术也更为复杂。

2.4 综合方法

综合方法是指用两种以上的方法描述地质体的方法,李清泉等曾提出TIN与CSG的集成、八叉树与四面体集成、矢量与栅格集成等三种集成方式^[5]。对于建立地质构造三维模型而言,可采用三维规则网格法与TIN表面法相结合的方法,其步骤是首先建立研究空间的三维规则格网,然后构建地质体的TIN表面,将TIN表面转换到三维规则格网上,即在TIN表面和三维规则格网之间建立起联系。显示地质体表面仍用TIN表面,切构造剖面 and 计算标志面等值线时用三维规则格网,这比用单一TIN表面法要简单得多。

3 断层处理

断层是主要的地质构造类型,断层处理技术是三维地质构造模型不同于一般三维图形学的特殊性问题,也是其难点所在。本文以TIN表面法为例,提出三维可视化模型断层处理的一个解决方案。首先讨论单一断层的情况,断层的存在导致地质体错位、即标志曲面的不连续,将断层面视为厚度为零的空间几何曲面,可以分别建立断层面和相关标志面的TIN表面。在这里,技术关键是对断层两侧不连续标志面形态的处理,本文采用“局部法”和“整体法”等两种方法。

3.1 局部法

局部法将断层两侧的标志面分别加以处理。以断层一侧为例,先作出特定构造标志面的TIN表面,由于标志面的边缘控制点并非恰好落在断层面上,

须将标志面的TIN表面向外拓展,使其与断层面的TIN面相交,二者的交线即为该标志面TIN表面的初始边缘线。对另断层另一侧对应标志面作同样处理,然后根据断层的位移数据对两侧标志面的TIN面初始边缘进行调整,获得各自的最终边缘线。

3.2 整体法

整体法是指统一处理断层两侧的对标志面。首先将断层两侧的标志面看作连续的整体作出TIN面,计算出该TIN面与断层面的交线,这个交线为断层两侧标志面TIN面的共同边缘线。以此交线为基础,根据断层的位移对两侧对应标志面的TIN面边缘线进行调整,获得各自的边缘线。

3.3 多条断层的处理

视多条断层之间有无切错关系分为两种情况:其一是断层之间不存在切错关系,可以采用局部法或整体法逐条断层分别处理;另一种是断层之间存在着切割关系,这就不能简单地按单条断层的方法处理。断层之间的切错关系存在时间递进序列,实质上是一个优先级的问題,晚期形成的断层切错早期形成的断层,其优先级就高。按多条断层的切错关系排出相应的优先级,而将标志面的优先级定为最低。这样一来,便可按单条断层切错标志面的方法逐级处理:先作出最高级断层的TIN面,再作出次级被切错断层的整个TIN面,然后计算并调整出最高级断层两侧被切错断层TIN面的边缘线;被切错的断层可能不止一个,按此方法循环处理,直至作出各个断层两侧标志面TIN面的边缘线。

4 地质构造三维模型的可视性

龚建华认为可视化效果是三维地学数据模型设计中的重要因素,而在二维地学模型中,可视化只是一个附加因素^[6],本文提出地质构造的三维可视化模型亦强调其可视性。可视化地质模型可以提供多种表现方式,对于地质构造分析研究而言,主要有五种:

1) 三维景观方式。允许从不同角度、不同方位和不同距离观察地质构造三维模型的表面,通常加入光照模型、表面纹理等三维效果,以增强真实感。这种方式始终只是能看到模型的表面。

2) 掀盖层三维景观方式。在三维景观方式的基础上,想象掀开上覆的盖层看到下伏地质(构造)界面,其实质是第一种方式的一种变形。

3) 透视三维景观方式。假象穿透地质体的一些部分,看到内部的地质界面,这也可以看做是掀盖层

三维景观方式的一种变形。

4) 切面方式。假象切开地质模型,看到地质模型内部的水平或垂直切面上的地质构造形态。由于在二维切面上能方便地进行量算、修改等操作,还可以采用平行切制一系列切片的方式来形象地反映地质模型的内部结构,因而它是用二维方式来表达三维模型内部结构的一种理想方式,地质工作中常用的剖面图就是这种方式的原形。在三维模型的支持下,用切面方式能产生很好的二维与三维联动效果,即在二维剖面上的修改将影响到三维模型的形态。

5) 投影等值线方式。将地质界面(构造标志面)的等高线或界面交线垂直地投影到水平面上形成等值线图,地震勘探层位构造图、矿床标高或厚度等值线图等就是投影方式的原形。地质、采矿工程师根据地质界面的等高线图对地质界面的空间形态有着

非常好的把握能力,因此,该方法是传统的用二维方式表达三维模型的重要方式之一。

[参考文献]

- [1] 李青元,曹代勇,高文泰. 基于体划分的三维矢量结构 GIS 拓扑关系[A],见:遥感在中国. 测绘出版社,1996:348~353.
- [2] 夏炎. 三维矢量结构地质模型及其微机可视化图形显示系统研究[D]. 中国矿业大学北京研究生部博士学位论文,1997.
- [3] 曹代勇,穆宣社,傅正辉,等. 为现代化矿井建设服务的地质构造定量研究技术[A]. 见:世纪之交煤矿地质学术论文集. 西安:西安地图出版社,1999. 147~152.
- [4] Houlding S W. 3D Geoscience Modeling - Computer techniques for geological characterization[M]. Berlin Heidelberg: Springer - Verlag, 1994.
- [5] 李清泉,李德仁. 三维空间数据模型集成的概念框架研究[J]. 测绘学报,1998,27(4):325~329.
- [6] 龚建华. 地学可视化理论及应用[D]. 中国科学院地理所博士后研究报告,1997.

STUDY ON THE 3D VISUAL MODEL OF GEOLOGICAL STRUCTURE

CAO Dai - yong, LI qing - yuan, ZHU Xiao - di, ZHOU Yun - xia

Abstract: The 3D visual technique of geological structure consists of two parts, mathematical modeling and visual display. The typical 3D visually modeling methods of geological structure include the 3D regular network model, the TIN surface model, the tetrahedron elements model and the integration model. Two methods, partial treat method and integral treat method based on the TIN surface model, have been presented to deal with the special problems involving fault. Five methods of 3D visually modeling of geological structure have been divided and discussed.

Key words: geological structure, 3D geology model, visualization



[第一作者简介]

曹代勇(1955年-),男,1982年毕业于中国矿业学院地质与勘探专业,1990年获工学博士学位,现为中国人民大学(北京校区)教授,主要从事构造地质、GIS、地学信息三维可视化等方面的科研和教学工作。

通讯地址:北京市学院路丁11号 中国矿业大学(北京校区)资源系 邮政编码:100083

我国建成四大铅锌工业基地

网讯:我国是世界上重要的铅锌资源和生产大国,目前已形成了四大铅锌工业基地。

1) 南岭地区基地:该地区是我国最重要的铅锌工业基地,湘、粤、桂三省(区)铅锌资源丰富,保有储量2726万t,占全国保有储量的21.4%。该地区已经利用铅储量589万t,锌储量1444万t。该地区铅锌矿山年生产能力分别为铅16.84万t,锌38.41万t(未包括原有色总公司系统外企业,下同),精炼铅能力25.26万t;锌冶炼能力(蒸馏锌、电锌和锌品)60.6万t。1999年,其铅锌矿山产量分别为铅20万t、锌53.77万t,精炼铅和精炼锌的年产量分别达到32.34万t、78.35万t。

2) 川、滇、黔地区基地:铅锌成矿地质条件好,矿石品位较富,铅锌已利用储量分别为566万t和2146万t。目前铅锌矿山生产能力分别为铅9.41万t、锌38.41万t;精炼铅能力16.81万t;锌冶炼能力(蒸馏锌、电锌和锌品)28.86万t。1999年产铅精矿(含铅)8.89万t,铅16.6万t,锌精矿(含锌)33.98万t,锌33.93万t。从目前形势看,川、滇、黔地区是21世纪我国潜力最大的铅锌资源基地。

3) 西北地区基地:铅锌资源丰富,陕、甘、青三省的铅锌已利用储量分别为341万t和871万t,现有铅锌矿山生产能力分别为铅7.59万t、锌20万t;精炼铅能力13.9万t,锌冶炼能力(蒸馏锌、电锌和锌品)18.12万t。1999年铅锌矿山产量分别为铅14.29万t、锌18.82万t;精炼铅和精炼锌的年产量分别达到4.71万t、18.98万t。

4) 东北地区基地:该铅锌已利用储量分别只有35万t和142万t。现有铅锌矿山生产能力分别为铅1.85万t、锌3.4万t;精炼铅能力8.5万t,锌冶炼能力(蒸馏锌、电锌和锌品)36万t。1999年铅锌矿山产量分别为铅3.28万t、锌5.87万t;精炼铅和精炼锌的年产量分别达到6万t、31.63万t。