

块状地质体的多面体表示及交互编辑

陈少强^{1,2)} 李 琦¹⁾

1) 北京大学遥感所数字地球工作室, 北京, 100871;

2) 北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京, 100083

摘 要 针对固体矿产的地质建模问题, 中国科技工作者提出了用于人机交互构造块状地质模型的“橡皮膜技术”并在此基础上完成了人机交互计算机辅助勘查系统 PandaCAEX。“橡皮膜技术”可以快速地构造出任意形状的块状地质模型, 为地质模型的构造提供了极大的方便。但“橡皮膜技术”本身存在着模型表达过于复杂和一些功能上的缺陷。本文针对这些问题提出直接使用多面体模型对块状地质体进行表达, 同时给出了模型的交互编辑方法。与“橡皮膜技术”相比, 这种技术在保留“橡皮膜技术”优点的同时, 使块状地质模型的表达大大简化、功能更加完善。该模型已经成为新的改进系统的核心, 证明了模型的实用性。

关键词 三维地质模型 块状地质体 橡皮膜技术 多面体

Blocky Geological Body Representation with Polyhedron and Its Interactive Modification

CHEN Shaoqiang^{1,2)} LI Qi¹⁾

1) CyberGIS Studio, Institute of Remote Sensing, Peking University, Beijing, 100871;

2) The School of Mechanical Engineering and Automation, BeiHang University, Beijing, 100083

Abstract In the field of geological modeling for solid mineral resources, Chinese scientists invented a technique called “rubber membrane technique” for interactive modeling of the blocky geological body. On the basis of this technique, PandaCAEX, a computer aided exploration system, was developed. As this technique remarkably simplifies geological modeling, users can efficiently construct a blocky geological body of arbitrary shape. However, this method is very complicated and has some shortcomings. This paper presents a method that uses polyhedrons directly to model the blocky geological bodies. The algorithm for editing the method is also given. This method, while preserving the advantages of the “rubber membrane technique”, is much simpler and more perfect. Serving as the kernel of a newly revised system, this method proves to be practical.

Key words 3D geological model blocky geological body rubber membrane technique polyhedron

三维地质模型的研究是地学领域的一个难点, 国内外学者对此进行了大量研究。Simon (1994) 首先提出了三维地学模拟的概念, 并通过剖面间的连接构造三维地质体 (Simon, 1994); 龚键雅 (1997) 提出了一个以矿山应用为背景的矢量与栅格集成的面向对象的三维数据模型; 李青元 (2000) 对三维地质模型的数据模型进行了系统地分类和探讨; 孟小红 (2001) 对地学建模的 GOCAD 研究计划进行了深入研究, 并将其系统地引进国内; 刘宪斌 (2002) 对地震储层研究的各个方面进行了系统归纳。林振民等 (1996a) 在对三维图形技术进行研究的基础上, 首创了用于人机交互地质建模的“橡皮膜技术”, 该技术

可以快速地构造用于表达金属矿的块状地质模型, 并在此基础上完成了一个人机交互计算机辅助勘查系统 PandaCAEX。此系统适合在地质勘探的初期, 只有地表重力、磁法和个别钻孔数据的情况下进行固体矿产的人机交互重磁反演。

“橡皮膜技术”是中国科技工作者对三维地质建模的一个重要贡献, 但它本身还存在着某些缺陷, 本文提出的方法将使块状地质模型的建模进一步完善。

1 表示块状地质体的“橡皮膜”技术

“橡皮膜”技术的思想是使用一个初始的多面体

(正 20 面体)通过有限次(通常 2~3 次)的“加密”和“磨光”处理,可以得到一个比较光滑的多面体(图 1)。

“加密”是指在原来每个三角形各边中点增加一个新顶点并依次连接,由一个三角形分化为 4 个三角形;“磨光”是指将某些顶点(“加密”前的老顶点)作适当(沿一定方向,按一定比例)收缩,从而使模型变得比较光滑(林振民等,1996b)。

在保存模型时,只保留最外层模型的数据(图 1-a);在显示(或建模后处理)模型时,则使用经过“加密”和“磨光”后的模型数据(即图 1-c)。

在修改模型时,通过用鼠标交互改变“存储多面体”的顶点(这些顶点被称为“控制点”,显示在“显示多面体”的周围)坐标,然后经“加密”和“磨光”,可以得到变形的“显示多面体”,它才是最终要使用的模型。其效果就好像是用鼠标拽着橡皮膜的表面对其进行变形一样,这就是“橡皮膜技术”名称的由来。

这种模型的优点是:一个“控制点”,可以控制模型的一片区域。这个区域的范围由“控制点”所在的“存储多面体”表面三角形(控制点是这些三角形的一个顶点)决定。当“控制点”改变时,越靠近控制点,模型的变化就越大。这种橡皮膜式的改变使大范围的模型编辑变得非常容易。

如果要对模型进行精细的调整,可以将经过一次“加密”和“磨光”的多面体作为“存储多面体”(从“存储多面体”到“显示多面体”的“加密”和“磨光”次数也相应减少一次),这时控制点的数目增加,但每个“控制点”的控制范围减小(因为是经过一次分裂的小三角形)。当“控制点”改变时,模型的变化范围缩小。这种过程可以不止一次,甚至最终“控制点”的数目可以和“显示多面体”的顶点数目一样多,这时模型已经失去橡皮膜功能,每次只能修改一个顶点的位置。通过这种逐次加密控制点的方法,可以实现逐步精细调整的目的。

由此可以看出,此套建模方法巧妙地实现了块

状地质体的人机交互建模。利用这种建模手段可以构造出非常复杂的块状地质模型。

2 橡皮膜技术的不足

橡皮膜技术在实行工作中仍存在有几点不足。

(1)模型的存储数据与显示数据不一致:显示的模型是由“存储多面体”经过“加密”和“磨光”得到的“显示多面体”,这种方式构思虽然巧妙,但不够规范,给理解、编程和模型的管理造成困难。

(2)从细调节不能返回粗调节:大范围的模型改变称为粗调节,小范围的模型改变称为细调节。从以上分析可以看出:橡皮膜技术只能实现模型从粗调节向细调节的过渡。一旦进入细调节,则不能再对模型进行粗调节。这是因为进入细调节后,模型的初始数据就被细化了,控制点不可能再控制到原来的范围。这意味着在修改模型时,首先要尽量把大的改动做完,然后进入细调节。否则就需要通过大量的细调节,来完成一次粗调节的工作。这对用户来说是过于苛刻的用户在调节模型时,大范围的调整和小范围的调节常常是反复进行的,不可能事先准确预料。所以橡皮膜技术在调节方面还不够灵活。

(3)所有模型的初始模型都是(或来自)二十面体,大大限制了模型的使用范围。

3 多面体表示及修改

橡皮膜技术的本质是通过控制点的改变带动周围顶点的联动,实现橡皮膜效果。其思路虽然巧妙,但实现有些过于复杂。

针对这种情况,经过反复分析和实验,本文提出直接用多面体模型表示块状地质体,通过设计适当的编辑方法,实现与橡皮膜技术等效的块状地质体建模。

3.1 模型数据结构的 VC++ 描述

多面体的每个面都是三角形;每个三角形和边用顶点标识号表示。数据结构中没有其他的拓扑数据,它们可由三角形和边数据动态生成。

typedef struct {float x, y, z;} Vertex; //顶点定义:坐标

typedef struct {int v0, v1;} Edge; //边定义:两端点(Vertex)标识号

typedef struct {int v0, v1, v2;} Triangle; //三角形定义:顶点(Vertex)标识号

class CModel //模型定义
{



图 1 正二十面体加密磨光两次

Fig. 1 After 2 times of “densifying” and “grinding” to

a icosahedron

a-存储多面体 b-过渡多面体 c-显示多面体

a-memory polyhedron b-transitional polyhedron ;

万方数据 c-displayed polyhedron

```
...
CArray<Vertex ,Vertex& > m_arrayOfVertex ;
//顶点数组
CArray<Edge ,Edge& > m_arrayOfEdge ;//边
数组
CArray< Triangle ,Triangle& > m_arrayOfTri-
angle ;//三角形 表面 数组
...
};
```

其中三件形的顶点顺序 ,保证三角形的法线向外。

3.2 模型编辑方法

(1)选择控制点的控制范围 控制点的控制范围由邻接顶点层数决定 ,用户随时输入。

(2)计算控制点周围的各层顶点 :用鼠标选取控制点 ,根据 1)中输入的控制点控制范围 ,由模型数据计算出当前控制点周围的各层顶点(图 2)。

(3)各层顶点的变化比例 :当用鼠标改变当前控制点位置时 ,由(2)得到的控制点周围的各层顶点需要有不同的变化量。这个变化量是控制点变化量的一个比例 ,即内层顶点比例较大 ,外层顶点比例要小。这个比例选择不当(例如选择层数的反比)则模型的变化将没有橡皮膜的效果 ,而这是实现编辑时要达到的一个主要目标。经过反复分析和实验笔者发现 :类似余弦函数的曲线(图 3)可以很好地模拟

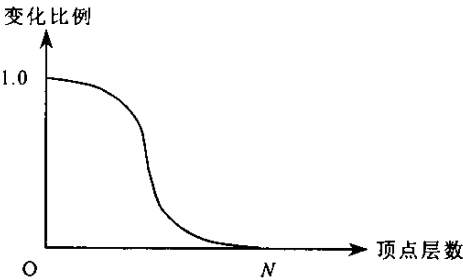


图 2 计算控制点周围各层顶点

Fig.2 Get layers of surrounding vertices of control point

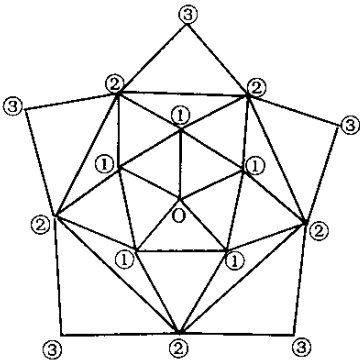


图 3 变化比例计算

Fig.3 Calculation of changing scale

橡皮膜的变化效果。

设控制点的位移为 Δ ,控制范围为层数 N ,则第 i 层顶点的变化比例 Δ_i 为 :

$$\Delta_i=(\cos(i/N\times 2\pi)+1)/2$$

实践证明这种建模及模型编辑方法 ,完全达到了橡皮膜技术的效果(图 4)。

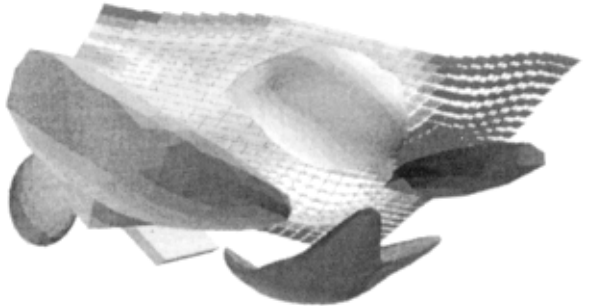


图 4 复杂块状地质模型

Fig.4 Complicated blocky geological bodies

4 方法优点

这种模型表示及编辑方法比前面介绍的橡皮膜技术具有以下优点 :

(1)模型简单 :每个模型就是一个三角形多面体 ,而橡皮膜技术需要用多套数据(存储、过渡、显示)表达一个模型。

(2)控制点的控制范围可以随时调节 ,粗调节和细调节可以交替进行 ,不受橡皮膜技术的限制。这种调节方式非常容易理解 ,同时简化了编程的难度。

(3)有利于局部控制点加密 :前面介绍的橡皮膜技术很难进行局部的控制点加密。因为控制点是“存储多面体”的顶点 ,而“存储多面体”并不显示 ,无法确定在哪里加入局部控制点。而新的模型由于是所得即所见的 ,可以方便地确定加入控制点的位置。

(4)初始模型多样化 :橡皮膜技术“所构造的模型 ,其初始模型只能是二十面体。这使其只能使用自身的初始模型 ,无法使用其他方法提供的数据 ,应用受到很大限制。多面体模型没有这方面的限制 :它可以使用自身的初始模型(正二十面体经过“加密”和“半径归一化”得到的多面体球) ;也可以使用通过剖面构制的多面体 ;还可以使用空间离散点四面体化得到多面体表面。这使得多面体模型可以充分利用其他方法产生的初始模型——只要它是多面体 ,不必从自身的模型开始编辑。这种能力使多面体模型较“橡皮膜技术”的应用要广得多。

5 应用和结论

本文的建模方法已经在新开发的微机版(原项

目在 SGI 图形工作站)计算机辅助勘查系统中得到应用(图 4),成为这个系统的核心建模方法。它不但达到 ,而且超过了原建模方法的功能。因此本文提出的多面体建模及编辑方法 ,不但方法简单 ,而且效果更好 ,是一种实用的块状地质体人机交互建模方法。

参考文献

龚健雅,夏宗国.1997.矢量与栅格集成的三维数据模型.武汉测绘科技大学学报,22(1):7~15.

李青元等.2000.三维地质模型的数据模型研究.中国煤田地质,12(3):57~61.

刘宪斌等.2002.地震储层研究的现状及展望.地球学报,23(1):73~78.

林振民,陈少强.1996a.三维重磁交互解释及区域与局部异常的分离.地球物理学报,39(5):705~711.

林振民,陈少强.1996b.计算机上的橡皮膜技术.物探化探计算技术,18(1):6~16.

孟小红等.2001.地质模型计算机辅助设计原理与应用.北京:地质出版社.

References

Gong Jianya, Xia Zongguo. 1997. An integrated data model in three di-

mensional GIS. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 22(1):7~15 (in Chinese with English abstract).

Li Qingyuan et al. 2000. Data model of 3D geological model. Coal Geology of China, 12(3):57~61 (in Chinese with English abstract).

Liu Xianbin et al. 2002. Present conditions and prospects of the researches on seismic reservoir. Acta Geoscientia Sinica. 23(1):73~78 (in Chinese with abstract).

Lin Zhenmin, Chen Shaoqiang. 1996. Three-dimensional gravity and magnetic interactive modeling and regional-residual separation. Acta Geophysica Sinica, 39(5):705~711 (in Chinese with English abstract).

Lin Zhenmin, Chen Shaoqiang. 1996. Rubber membrane technique on computer. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 18(1):6~16 (in Chinese with English abstract).

Meng Xiaohong et al. 2001. The principle and application of computer aided design for geological model. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).

Simon W Houlding. 1994. 3D Geoscience modeling: computer techniques for geological characterization. Berlin: Springer-Verlag.



《地球学报》特设鼓励资助的通知

《地球学报》是中国地质科学院主办的地球科学综合学术期刊,是全国中文核心期刊、美国《CA》收录期刊、中国科学引文来源期刊、中国学术期刊综合评价数据库来源期刊。在 2003 年度《中国科技期刊引证报告——地球科学类》中排名第 8 名,影响因子在 1576 种中国科技论文统计源期刊中列第 60 位。现已成为全国地学界具有重要影响的期刊之一。

自 2001 年改版以来,蒙广大作、读者的厚爱,投稿量不断增加,论文质量和出版水平不断提高。《地球学报》对广大作、读者的大力支持表示诚挚的感谢!

为尽快地推出我国地学界一流的研究水平,使具有创新性、先进性的论文更快地面世,《地球学报》特设鼓励资助:

- 1. 对具有重大发现、重要研究成果、新方法的论文免收版面费。
 - 2. 对具有重大发现、重要研究成果的论文免收彩色图版(2 个)的版面费 2 000 元(限每期 2 版)。
- 欢迎广大从事地质科学研究、地质调查研究的科研人员和地质院校的广大师生踊跃投稿。