

褶皱岩体三维可视化构模技术及其工程应用

3D visual modeling technique of folded rock-mass and its engineering application

徐能雄¹, 何满潮^{1,2}

(1. 中国地质大学(北京) 工程技术学院, 北京 100083; 2. 中国矿业大学(北京校区), 北京 100083)

摘要: 为解决由于褶皱岩体的边界面可能是非单值曲面给三维构模带来的困难, 根据褶皱岩体的几何特征, 提出了适合于褶皱岩体构模的数据模型, 建造了面向对象的数据结构, 开发了断面构模技术与三维可视化构模系统, 并利用该系统建立了抚顺西露天矿北帮边坡岩体三维可视化模型。

关键词: 岩体; 三维; 地理信息系统; 可视化; 构模技术; 空间数据模型

中图分类号: TU 454

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2003)04-0418-04

作者简介: 徐能雄(1971-), 男, 博士, 讲师, 从事岩土体的三维可视化构模技术与 GIS 应用研究。

XU Neng-xiong¹, HE Man-chao^{1,2}

(1. School of Engineering & Technology, China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 2. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The characteristics of non-monodromy of folded surface has brought great difficulties for 3D modeling of folded rock-mass. According to the geometrical characteristics of folded rock-mass, a suitable spatial data model is put forward for folded rock-mass, and the corresponding data structure is built. Based on these, section modeling technique and visual modeling system are developed. Using this modeling system, 3D visual modeling of north slope in Fushun west open-pit is built.

Key words: rock-mass; 3D; GIS; visualization; modeling technique; spatial data model

可视化构模技术^[6]。

0 前言*

边坡、巷道、基坑等岩土工程问题以及水工领域的岩土工程问题研究都涉及到岩体的三维可视化构模问题。过去由于研究手段的滞后, 人们不得不借助于二维分析方法来解决三维问题, 从而给研究结果的准确性带来不利影响。为了克服这种不利影响, 许多学者进行了长期的探索, 形成了一系列解决岩土工程三维构模问题的方法。三维 GIS 技术是解决地质体构模的一种方法, 被国内外学者用来解决三维构模问题^[1-3], 并取得了很好的效果。然而, 在岩土工程领域中, 涉及到的岩体的几何结构是非常复杂的, 很难用某一种数据模型与构模技术来刻画整个岩体。这就需要深入分析岩体的几何特征, 将复杂岩体划分成具有简单结构的岩体, 然后设计出相适应的数据模型与构模技术来描述这些简单结构岩体。

本文根据岩体的几何特征, 从三维构模角度上, 将岩体分为: 连续型非褶皱岩体、非连续型非褶皱岩体与褶皱岩体三大类型。由于褶皱岩体的边界面可能是非单值曲面^[4,5], 不能使用插值曲面(插值曲面是几何造型中的一种方法, 只能用于单值曲面)来表示, 从而增加了构模的难度。本文将借助三维 GIS 技术与面向对象的构模方法, 并考虑褶皱岩体边界面的非单值性, 提出适合于褶皱岩体的数据模型, 形成褶皱岩体的三维

1 褶皱岩体的几何特征

褶皱形态是多种多样的, 根据轴面产状, 结合两翼产状特点可分为^[7]: ①直立褶皱, 两翼岩层倾向相反, 倾角大致相等, 轴面直立; ②斜歪褶皱, 两翼岩层倾向相反, 倾角不等, 轴面倾斜; ③倒转褶皱, 两翼岩层向同一方向倾斜, 一翼地层层序正常(正常翼), 另一翼地层层序倒转(倒转翼), 轴面倾斜; ④平卧褶皱, 两翼岩层产状和轴面产状均接近于水平, 一翼地层层序正常, 另一翼地层层序倒转。

图 1 为上述几种类型的褶皱, 图 2 为背斜示例。从图 1, 2 中可以看出, 褶皱岩体具有如下几何特征:

a) 岩层不再呈近似水平层状分布, 可以呈垂直层状、倾斜层状分布。这样的分布特点使得岩层的层序发生了变化, 在同一模型中, 层序是不一致的。

b) 平面上一点 $P(x, y)$, 在岩层的上界面或下界面上对应的 Z 值可能不再唯一, 即非单值性。因此, 岩层界面不能是插值曲面, 构造岩层界面只能通过从断面中获取轮廓线来形成。

* 基金项目: 国家杰出青年基金资助项目(59825114); 国家自然科学基金创新研究群体基金资助项目(50221402)

收稿日期: 2003-01-06

c) 褶皱岩体中可能还有断裂出现。断裂的出现无疑增加了构模的复杂性,在构模中,断裂一般被当作一个薄块体。

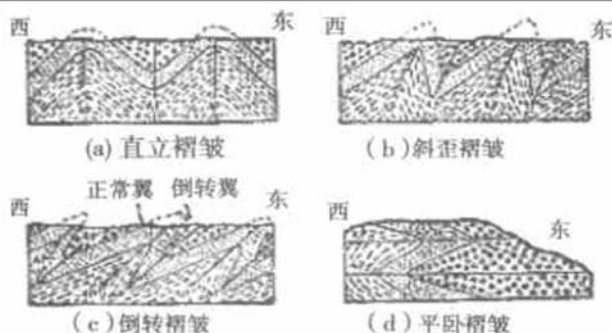


图1 几种类型的褶皱

Fig. 1 Several types of fold

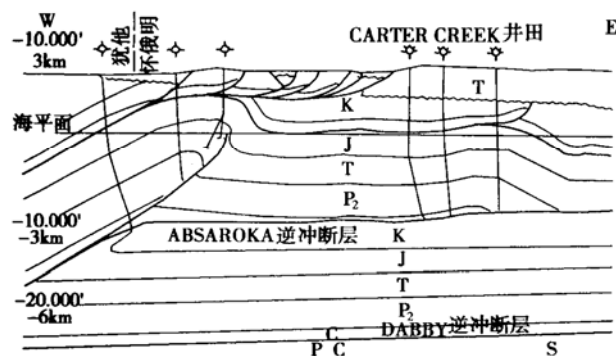


图2 背斜示例(Lamerson, 1982)

Fig. 2 Sample of anticline

2 褶皱岩体三维可视化构模方法

2.1 基本方法

在岩体中,当出现褶皱时,岩层界面可能不再是单值曲面,不能使用插值曲面来表示。本文根据褶皱岩体的数据特征,采用断面构模技术来进行褶皱岩体的构模。断面构模就是先按照一定的标准(如:岩性、地层年代等),将岩体划分成一系列子体;然后选取某一方向为岩体的主轴方向,沿主轴方向从岩体中截取一系列平行断面;再形成各子体在所有断面上的轮廓线,利用相邻轮廓线之间的三维形体重构技术,按顺序连结各子体的相邻轮廓线形成封闭侧面,最后加上端面就构成了模型体。图3是连接相邻轮廓线示例。

2.2 数据结构

在断面构模方法中,每个子体是由一组曲面围成的,这组曲面可以由岩层界面、断层面、边界面组成。图4为褶皱岩体数据结构。从图4中可以看出,褶皱岩体是由多个子体组成的;每个子体可以用侧表面 M_1 、前端面 M_f 与后端面 M_d 表示;侧表面、前端面与后

端面可以用许多微三角形单元($T_1, T_2, \dots, T_n$)表示;每个微三角形单元可以用结点($\Delta N_1 N_2 N_3$)的集合表示;每个结点又可以用一组结点坐标 $[X, Y, Z]$ 表示。因此,在断面构模中,只需存储结点坐标以及结点-三角形单元、三角形单元-面、面-子体、子体-岩体之间的关系就可以完整地表达所要描述的对象了。

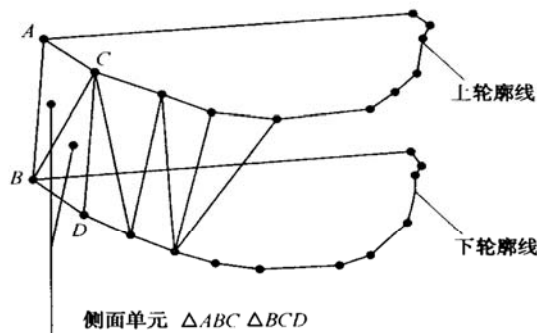
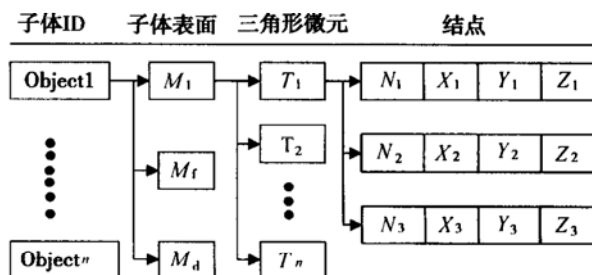


图3 连接相邻轮廓线

Fig. 3 Connection of adjacent outlines



M_1 为侧表面; M_f 为前端面; M_d 为后端面; $T_1 \sim T_n$ 为三角形微元集
 $N_1 \sim N_3$ 为三角形结点号; X, Y, Z 为三角形结点坐标

图4 褶皱岩体数据结构

Fig. 4 Data structure of folded rock-mass

2.3 数据流程

在断面构模开始时,应进行数据概化,将模型划分成多个子体。每个子体由一组断面轮廓线进行三维重构形成侧表面,然后根据前面轮廓与背面轮廓形成端面,组合侧面与端面就可以形成子体,多个子体的结合成为模型总体。图5为断面构模的数据流程图。

2.4 构模步骤与示例

褶皱岩体构模的基本步骤如下:①根据原始数据形成一系列平行断面。②根据数据概化方法,按照一定的标准,将岩体划分成若干子体,断裂一般也可以作为子体。③在各个断面上形成各子体的轮廓线,子体的轮廓线上的点应按逆时针顺序存储。④对每个子体进行单独构模,构模开始时先判断子体轮廓线的凸凹性。⑤将凹轮廓线转换成凸轮廓线,保存凸凹轮廓线的点的对应关系。⑥寻找子体轮廓线上构造三角形面片的起点,通常情况下选择两条轮廓线上具有最小的 x 坐标值的一对点作为起点,首先将其连接。⑦按顺序连接子体轮廓线上的所有点,形成全部三角形微面,

见图 3。⑧组合所有子体实现褶皱岩体总体构模。

图 6 为三层倒转褶皱示例。

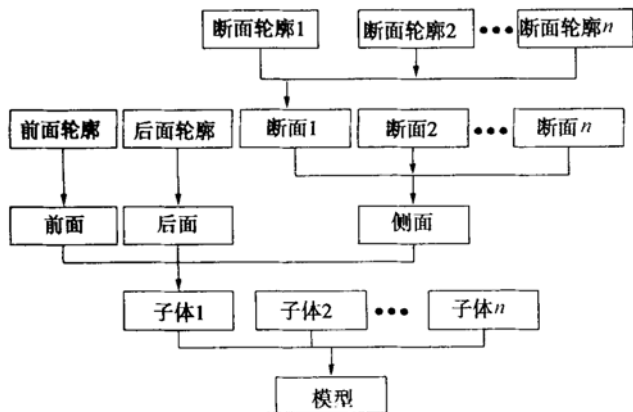


图 5 断面构模的数据流程图

Fig. 5 Data flow of section modeling



图 6 三层倒转褶皱示例

Fig. 6 Sample of fold with three layers

3 工程应用

本文在 VC 环境下,利用 OpenGL 技术开发了岩体三维可视化构模系统。作为褶皱岩体的实例,建立了抚顺西露天矿北帮边坡三维可视化模型。

3.1 抚顺地区地质构造特征

从地质构造场的研究可知,抚顺地区大致发生了两次较大的构造运动。第一次是以南北向挤压力为特征的构造应力场奠定了本区的早期构造格架——东西向构造体系,其结构面分成由东西向的压性结构面、南北向的张性结构面和北东 45°反扭剪北西 45°顺扭剪切面所组成。后来经历了南北反扭力为特征的新华夏构造应力作用和改造,使原有的东西向结构面顺时针扭动,使南北向结构面反时针方向,并在北东 30°方向形成一系列褶皱构造形态。经历上述两次大的构造运动之后,东西向的一系列先压后扭的结构面最为发育。

3.2 边坡岩体内部的构造格架

综合分析现场工程地质调查研究资料及工程勘察资料(钻探和地震勘探),基本上可以确定边坡岩体内部的岩层结构和构造格架的空间展布规律,为后继变形力学稳定性分析奠定基础。

(1) 地表构造展布规律

地表构造展布规律如图 7 所示。在勘察区展布着三大断裂带 F1、F1A 和 F1B。呈 NE70°左右走向展布,倾北,横穿勘察区。其中 F1 和 F1A 沿走向从西向东倾角有所变陡,F1B 倾角有所变缓。另外,本区尚分布一些小断层。上述 F1A 和 F1B 对石油厂的变形稳定性有较大影响。

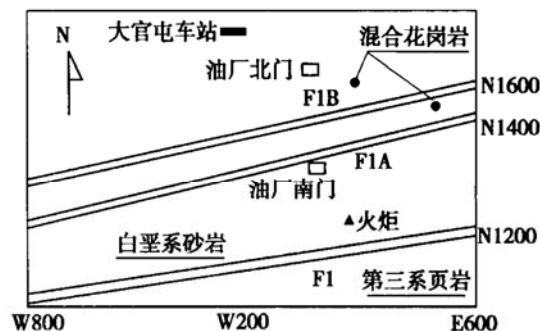


图 7 地表构造展布图

Fig. 7 Distribution of geologic structure on surface

(2) 剖面构造展布规律

沿近南北向的三条勘测线作典型剖面地质图。断层构造的典型剖面分布如图 8 所示。从典型剖面图中可以看出,本区断层均为陡倾角断层,且 F1 是主要断裂,F1A 和 F1B 等其它断层是分支断裂。这种断层分布方式将决定着本区的变形模式。

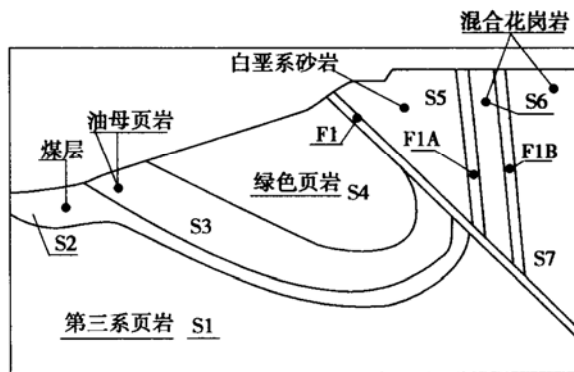


图 8 典型地质剖面图

Fig. 8 Typical geological profile

3.3 数据概化

根据工程地质条件,可将模型分成 7 个子体(不包括断层),见图 8。各子体的对应关系: S1 为第三系页岩; S2 为煤层; S3 为油母页岩; S4 为绿色页岩; S5 为白垩系砂岩; S6 为混合花岗岩; S7 为混合花岗岩。

3.4 可视化模型

完成上述步骤后就可以创建子体,实现模型的可视化了。图 9 为总体模型,图 10 为倒转褶皱岩体(S3 油母页岩),图 11 为 S2 煤层。



图9 总体模型
Fig. 9 General model

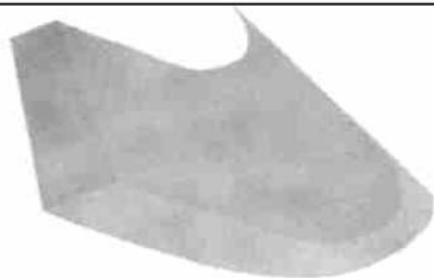


图10 倒转褶皱岩体(油母页岩)
Fig. 10 Overturned fold(kerogen shale)



图11 煤层
Fig. 11 Coal layer

4 结 语

(1) 根据褶皱岩体的数据特征,采用断面构模技术来进行褶皱岩体的构模。断面构模就是从岩体中截取一系列平行断面,然后形成各子体在断面上的轮廓线,连结各子质体的相应轮廓线形成完整侧面,最后加上端面就构成了模型体。

(2) 利用三维可视化构模系统建立了抚顺西露天矿北帮边坡三维可视化模型,验证了本文提出的构模技术的适用性。

参考文献:

- [1] Arnaud de la Losa, Bernard Cervelle. 3D Topological modeling and visualisation for 3D GIS[J]. Computers & Graphics, 1999, 23: 469- 478.
- [2] Lees J M. Xmap8: Three-dimensional GIS for geology and geophysics[J]. Seismological Research Letters, 1995, 66(4): 33- 37.
- [3] Lees J M. Geotouch: software for three and four dimensional GIS in earth sciences[J]. Computer & Geosciences, 2000, 26(7): 751 - 761.
- [4] Ross R, Moore Scott E Johnson. Three-dimensional reconstruction and modeling of complexly folded surfaces using Mathematica [J]. Computer & Geosciences, 2001, 27(4): 401- 418.
- [5] Jose Manuel Vacas Pena. A program in Pascal to simulate the superposition of two or three fold systems[J]. Computer & Geosciences, 2000, 26(3): 341- 349.
- [6] 徐能雄. 工程岩体三维构模技术及其可视化系统研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京校区), 2002.
- [7] 夏邦栋. 普通地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1995.

新版《简明岩土工程勘察设计手册》出版

由工程勘察大师林宗元主编的《简明岩土工程勘察设计手册》(包括工程勘察分册与工程设计上下册,订购编号 06- 1,定价 140 元)和《简明岩土工程监理手册》(含 2003 年注册岩土工程师执业资格考试大纲要求的工程经济与管理内容,订购编号 06- 2,定价 62 元)即将出版。全套书 280 余万字。

这一套图书由全国勘察、设计、科研、院校等部门近七十个单位一百三十多位专家、研究员、教授和青年工程师参加编写,其中有工程院院士一位、全国工程勘察大师十二位,集中了他们深厚的理论知识、智慧与丰富的实践经验,及时反映了新颁布的现行有关技术标准,并注意结合今年注册岩土工程师执业资格专业考试大纲的要求。这套图书不仅是权威性较强的专

业性手册,而且是注册岩土工程师执业资格考试的不可多得的参考书。该书 2003 年 7 月中旬出版,定价 202 元/套(免收邮资)。欢迎广大读者向《岩土工程界》编辑部联系订购。订购热线 010-64447778。

①每订 1 套获赠 2004 年《岩土工程界》杂志 1 期,②每订 5 套获赠 2004 年全年《岩土工程界》杂志壹份,③订 20 套以上再享受八五折优惠。

邮局汇款请寄:北京市安贞里二区 11 楼一层《岩土工程界》编辑部收 邮编:100029;电话:010- 64447778, 64417951 传真:010- 64417951;联系人:李猛;开户行:北京农行双北桥分理处;帐号:041901040004632;收款人:《岩土工程界》编辑部。