

逆断层三维地质体直接体绘制技术研究

刘 星  
(安徽理工大学地球与环境学院 安徽淮南 232000)

【摘 要】带有逆断层的地质体绘制一直是三维地质体建模的难点，已有软件通过划分断块，对断盘两侧地层分别建模型，不仅程序复杂，最后结果难以耦合。本文提出了一种新的三维地质体综合体建模技术，利用钻孔数据获取层面和断面数据，直接插值形成分层界面，完成复杂断块实体模型的绘制，该方法不仅适合层状连续地层绘制，而且能够将正断层、尖灭和逆断层统一起来，简化建模流程，提高建模效率，方便数据管理，为研究逆断层条件下直接体绘制技术提供有益参考。

【关键词】逆断层；三维地质体模型；统一建模；直接体绘制

【中图分类号】P623.6      【文献标识码】A      【文章编号】1009-2307(2011) 03-0037-03

1 引言

目前三维地质体可视化或者建模方法可分为两大类：表面拟合法(Surface-fitting method)和直接体绘制(Direct Volume Rendering, DVR)<sup>[1-4]</sup>，表面拟合法只是建立了一个地质体的外表，内部是空的，难以进入后续地质分析<sup>[5]</sup>，而且面片连接编辑需要很大的工作。体绘制方法是近年来迅速发展的可视化方法，可以把面绘制方法无法显示出的数据体内部结构淋漓尽致的表现出来。使用该方法绘制出来的三维图形具有非常高的清晰度和强烈的真实感，直观地再现地质单元的空间展布及其相互关系，最大限度地提高地质分析的直观性和准确性<sup>[6]</sup>。

通过使用已有矿山三维建模软件，发现在针对具有逆断层的地质体建模时，难以对具有多 Z 值的离散数据插值，即使通过手动编辑的方法生成逆断层面，也无法在空间上剖分形成合理的体(图1)。

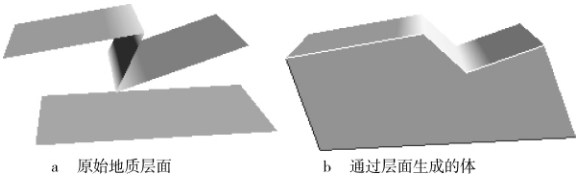


图 1 逆断层面形成体存在的问题

国内外研究者提出了众多三维数据模型，期望解决这个问题，如贺怀建等提出了基于多层 DEM 的三维地层模型的构建方法<sup>[7]</sup>，Simon. W. H 提出了基于三棱柱模型表达层状地质体<sup>[8]</sup>，Lemon. A. M 提出了地层水平法(horizons method)构建三维地层实体模型<sup>[9]</sup>，吴立新等提出了一种基于广义三棱柱体元的三维地质建模方法。这些建模方法各有千秋，但又都各自存在缺陷和不足<sup>[5]</sup>，最明显的缺陷是对断层构造引起的地质界面的不连续、重复进行重构时的插值困境，虽然可以通过构造虚拟界面等方法将包含断层的复杂地质体转化为简单层状地质体，即对层面连续的部分块段建模，然后在空间上整体合并，但在建模的过程中手工

添加虚拟界面和划分地层层面都极为繁琐，不适用于用计算机进行自动或半自动的建模<sup>[10]</sup>。

为解决这些难题，笔者将对包含逆断层在内的复杂地质体三维直接构造模技术展开讨论，并提出相应的解决方案。

2 层面数据提取与原始层面组织

地质体三维建模数据主要来源于钻孔资料，首先要进行预处理，即进行钻孔内地层的划分。在正常层状层序下(图2)，地层的划分层数可以根据钻孔遇到的岩层分界点综合分析获得，相同的地质体由顶板和底板界面界定为一个体，根据钻孔所遇到的岩层竖向 Z 坐标的关系，即层与层之间压与被压的上下关系可以确定地层的空间顺序关系。同层数据由一系列钻孔坐标和层面深度 Z 值构成离散数据。

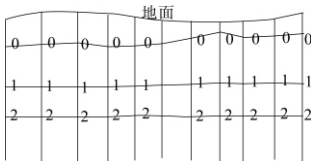


图 2 正常层状层序下的钻孔分层

在具有逆断层、正断层以及尖灭情况下，层面数据整理相对复杂。

1) 正断层存在情况下层面数据组织

如图3，正断层通常会造造成同一地面不连续，部分钻孔缺失该层面。将上盘钻孔坐标及层面 Z 值单独提出建立一个层面，下盘钻孔坐标和 Z 值建立一个层面，另外将位于上下断盘之间的断层 Z 值与钻孔坐标建立一个层面数据集。

2) 地层尖灭下层面数据采集

如图5，地层尖灭也会造成地层面不连续，但这种情况处理起来比较简单，在建立层面数据采样点时，按照钻孔中存在该层面就加入该钻孔点，不存在就不加入的原则，分别建立有上下尖灭关系的层面数据集<sup>[5]</sup>。

3) 逆断层存在情况下的层面数据组织

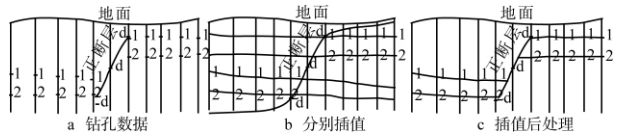


图 3 正断层下地层面的数据组织与处理

如图4，逆断层会造成同一钻孔中时存在两个同一层面的分界面，即多 Z 值问题，在层面数据采集时，把断盘上盘钻孔的层面分界面数据单独提出，下盘数据也单独为一个采样点集。逆断层面数据根据有的钻孔建立 Z 值点集。地层中所有的单个层面，无外乎这三种情况，如果遇



作者简介：刘星(1974-)，男，江西高安人，副教授，博士，研究方向为地球信息科学。  
E-mail: liuxing0795@126.com

收稿日期：2009-10-21  
基金项目：国家自然科学基金项目(40872103)



## 6 结束语

本文提出了利用钻孔数据,直接进行地质体三维体建模的新方法,人工干预很少,可以满足复杂断块条件下多种构造同时存在的建模要求,并且后期数据的修改方便,数据管理简单,概念清晰,可操作性强,尤其是解决了逆断层情况下难以进行体建模的难题。实验结果表明该方法快速简易可行,对复杂地质结构的建模有较好的效果,可应用于地质分析,采矿设计等生产需要。

### 参考文献

- [1] Elvins T A. Survey of algorithms for volume visualization [J]. Computer Graphics, 1992, 26 (3): 194-201.
- [2] 唐泽圣. 三维数据场可视化 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [3] 曾铭凯, 杨蔚, 曾铭龙, 等. 三维数据场可视化及其在医学图象处理中的应用 [J]. 沈阳工业大学学报, 1999, 21(1): 63-66.

### A direct volume drawing method for reverse fault strata

**Abstract:** There is a problem when modeling a reverse fault strata, some software model the reverse fault strata by dividing it into different block, but with the complex program, the result is not coupled. This paper gave a method to solve this problem. Based on the data of borehole, it obtained the data of strata interface, and directly interpolated to get the fault surface to implement drawing the strata body directly by some rules. This method was not only suitable for continuous strata but also for those faulted strata, especially for those complex geological body and structure, and owned the advantage of consolidating the modeling of the fault, reverse fault, thin out strata. The way was simple flow, easily operated, high efficiency, and convenient data management, which could supply a reference for reverse fault strata volume drawing.

**Key words:** reverse fault; 3D geological model; unified modeling; direct volume drawing

LIU Xing ( Faculty of Earth & Environment, Anhui University of Sciences and Technology, Anhui Huainan 232000, China)

(上接第33页)

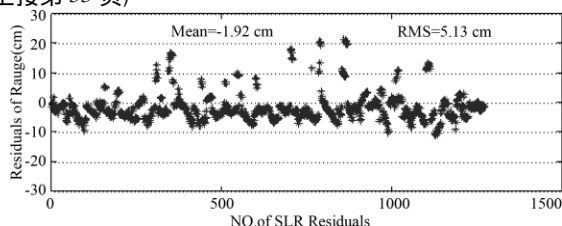


图4 GRACE B 卫星站星距与 SLR 测距信息的较差

从上述的 SLR 残差图示可以看出: 残差大部分在 10cm 以内, 无明显的系统偏差, 比较的结果与 JPL 的事后轨道 (PSO) 也是相符的。

## 5 结束语

GRACE A/B 非差简化动力学定轨方法解算的轨道与 JPL 的事后轨道及 SLR 高精度测距信息的比较表明: 解算的非差简化动力学轨道无明显系统误差, 定轨精度大约为 7cm, 可满足低轨卫星科学任务的需求。

简化动力学模型仅考虑重力场模型、日月引力、固体潮和相对论效应等力学模型, 而不考虑大气阻力等非保守力的影响, 实践证明: 通过设置相应的随机脉冲参数可有效地吸收力学模型误差的影响。

### GRACE reduced-dynamic orbit determination using zero-difference data

**Abstract:** Based on the basic theory of Precise Orbit Determination, the method of the reduced-dynamic orbit determination using zero-difference data onboard GPS observations was researched in this paper. The orbit of GRACE satellite was determined by the automatic software CASMORD. Compared GRACE orbiting results of reduced-dynamic method's solutions with JPL's PSO and SLR measurement, the results showed that the 3D-RMS was better than 7 cm and the direction of  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  was about 3~5 cm, to demonstrate the feasibility and practicability of this method.

**Key words:** zero difference; GRACE satellite; reduced-dynamic orbit determination; onboard GPS

YI Peng-ju<sup>①②</sup>, ZHAO Chun-mei<sup>①</sup>, ZHENG Zuo-ya<sup>②</sup> (①Institute of Geodesy and Geodynamics, Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China; ②Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

### 参考文献

- [1] 吴江飞. 星载 GPS 卫星定轨中若干问题的研究: 博士论文 [D]. 上海: 中国科学院上海天文台, 2006.
- [2] W I Brtger, Y E Barsever, et al. GPS precise tracking of Topex/Poseidon: Results and implications [J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99( C12).
- [3] D Švehla, M Rothacher. Kinematic and reduced-dynamic precise orbit determination of low earth orbiters [J]. Advances in Geosciences, 2003, (1): 47-56.
- [4] 李济生. 人造卫星精密轨道确定 [M]. 北京: 解放军出版社, 1995.
- [5] 黄城. 利用 LAGEOS 激光测距资料精确测定地球自转参数 [D]. 中科院上海天文台, 1985.
- [6] 赵春梅, 等. 阿根廷圣胡安激光测距系统的 SLR 数据质量分析 [J]. 测绘学报, 2008, 37(3).
- [7] 韩保民. 动力学模型对简化动力学定轨精度影响仿真 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(10).
- [8] GFZ. <http://www.isdc.gfz-potsdam.de/>.
- [9] Oliver Montenbruck, Tom van Helleputte, Remco Kroses, Eberhard Gill. Reduced dynamic orbit determination using GPS code and carrier measurements [J]. Aerospace Science and Technology, 2006: 261-271.
- [10] 秦显平, 等. 利用 SLR 检核 CHAMP 卫星轨道 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(1).