

三维重建和可视化技术在矿山地质中的应用

Application for Visual Three-dimensional Reconstruction in Mine Geology

吴湘滨^{1,2} 甘平² 邓家凤² 毛先成¹

(1 中南大学, 湖南 长沙 410083; 2 华锡集团有限责任公司, 广西 柳州 545006)

Wu Xiangbin^{1,2}, Gan Ping², Deng Jiafeng² and Mao Xiancheng¹

(1 Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 2 Liuzhou Huaxi Co. LID, Liuzhou 545006, Guangxi, China)

摘要 本文结合 MATLAB 软件讨论了地质体可视化三维重建技术。对于有限的、离散的特征地质数据, 采用插值技术和数据解释功能实现三维重建的关键。并且从多角度讨论了采用 MATLAB 软件实现可视化的途径。MATLAB 软件的应用与开发在矿山地质领域具有良好的应用前景, 值得推广。

关键词 MATLAB 矿山地质 三维重建 可视化

近几年, 三维模拟技术与可视化相结合作为技术的前沿得到了不断的发展。在油气勘探方面, 基于三维地震成像和可视化推出的技术和新的解释方法是取得更好勘探效果的关键 (Lyle, 1998)。对于矿山地质而言, 地质调查和观察的结果为一系列离散的、空间上分布不均匀的数据。对许多现象的解释和推断往往是基于这些数据做出的。许多学者运用三维模拟技术在表示和描述复杂的地质现象, 如断层、褶皱及复杂的岩石特征变化等方面做了一些探索性工作 (Lyle, 1998)。由于三维模拟和可视化工具价格昂贵, 工作站的造价更高, 3DGIs 技术无法在大多数矿山特别是危机矿山推广应用。本文运用 MATLAB 结合某多金属矿, 探讨复杂地质体的三维模拟与可视化方法和技术。MATLAB 是美国 MathWorks 公司发布的面向科学计算、数据可视化以及交互式程序设计的高技术计算语言, 将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境之中, 可以使复杂地质体分析更为直观、准确、快速, 为复杂地质体研究定量化开拓了一条途径。而且, 低成本投入有利于大多数矿山特别是危机矿山推广应用。

1 MATLAB 简介

MATLAB 是由 MathWorks 公司推出的一套科学数值计算软件, 并且为高级专业用户提供的工具箱代表了当今世界一流专家学者在各种专业领域理论及数值计算方面的工作, 并对工具箱经常进行更新和添加。其特点集中体现在:

(1) 具有强大图形表达功能和科学数据可视化处理能力, 能够随时对各类计算或测试数据进行可视化处理和修改, 包括一维、二维、三维自动成图和交互式成图, 透视、消隐、动画。

(2) 该软件现有六十多个工具箱, 每个专业工具箱都建立在 MATLAB 快速及高度可靠的数值算法基础之上, 可以准确地解决数学和工程领域的绝大多数问题。

(3) MATLAB 将打包的应用工具箱与高科技计算运行环境有机地结合在一起, 用户直接调用其中的函数并赋予实际参数, 可以快速获得特定问题的正确答案。

(4) MATLAB 具有开放式体系结构, 用户能够进入工具箱源码以便修改、工具箱功能以适应用户的特殊需要, 也可以加入自己的文件构成新的工具箱 (包)。

(5) MATLAB 资源具有共享特征, 可以互相直接调用和链接。

MATLAB 是集数学、图形处理和程序语音设计的一体化著名软件。笔者结合矿山地质的一些实际资料(数据)重点介绍三维图形表达功能和实现途径。MATLAB 在矿山地质领域中的应用还未见报道。笔者认为以下几个方面值得推广:

(1) Statistics Toolbox (统计工具箱) 是一组建立在 MATLAB 数值计算环境基础上的分析工具。该工具箱支持地质统计学的统计计算, 如判别分析、聚类分析、因子分析、主成分分析、曲线拟合和实验设计等。用户可以从窗口命令行中调用这些函数, 也可以自己开发的应用程序与这些函数实现无缝链接。

(2) Mapping Toolbox (地理信息处理工具箱) 是针对地理数据表现和地图分析的 MATLAB 应用工具箱。用户可以运用 Mapping Toolbox 很方便地绘制地理数据电子地图, 并可显示、处理和分析向量及矩阵地图数据。用户能够做地理分析函数的计算(例如经纬度坐标、距离、高程、大小圆、交会、面积、轨迹和航线的计算)。地图在成图和显示过程中即可以采用命令行函数又能通过一组扩展的图形用户界面(GUI)和属性编辑工具, 为用户规划数据、裁剪和修饰。

(3) 图形表达功能 MATLAB 软件提供了丰富的图形表达功能, 包括 30 种二维图形和 20 余种三维图形。除了制作一般的曲线图、条形图、三点等统计图形之外, 还能绘制流程图、三维矢量图、等值线图、曲面图、矢量图、切片图、可视化功能等在地质工作中可以推广应用。利用图形用户界面的设计与开发功能, 进行周密的组织、设计, 就可以设计出一个界面良好, 操作简便, 功能强大的图形用户界面。

(4) 插值技术功能 大多数地质调查和观察的结果为一系列离散的、空间上分布不均匀的数据。而成图与现象的解释都取决于或利用这些数据做出的。这就要求大量使用插值技术。对于传统地质统计学方法, 如果获得充足的数据, 那么简单的地质界面可以得到好的解释效果; 这种解释也可以采用几何模型(Renard et al., 1994; Siedel et al., 1992)。这些方法是实现大量的地质界面数据和实现单一面状模型为目标; 随着三维模型技术的发展, 体积网格化、切片法(Boissonnat, 1988; Courriox et al., 2001)和 Voronoi 细胞法等技术得到发展和应用。根据有限的的数据, 复杂地质体的三维模拟或重建要求插值技术支撑。

除此之外, MATLAB 软件的最优化设计功能、非线性数值计算、模糊逻辑和神经网络技术在矿山地质生产和科研中进行相应的研究和应用。作为矿山、地矿系统单位可以依据自身的经济实力和需求, 将其单独开发或者与 GIS 耦合开发, 实现数值计算模型与空间分析模型的有机结合。

2 实现地质体三维模拟与可视化应用举例

矿体和与矿体相关的三维空间模型的重建可以划分为 4 个阶段: 从传统地质资料的数据化开始, 经过数据的预处理, 创造可视化的三维模型, 最后通过图象和动态画面显示。

首先, 地质工作者必须详细了解工作对象的地质、矿床地质特征, 利用自己的专业知识和经验将地质资料进行分类。然后将分类资料表述成计算机可以识别和运行的数据形式。这些的离散的空间数据要形成合理的三维模型, 必须进行数据的插值。例如, 钻孔资料是典型的离散数据, 在每一个地质界面给出一个“阶”, 地质界面两边不同数据点表示为“阶”(图 1)。这些不同钻孔进尺的数据点由经纬度坐标定位, 两个数据点所定义的为矢量。给不同的数据区的数据点赋予色值和透明度。钻探剖面的计算机表示为切片。采用

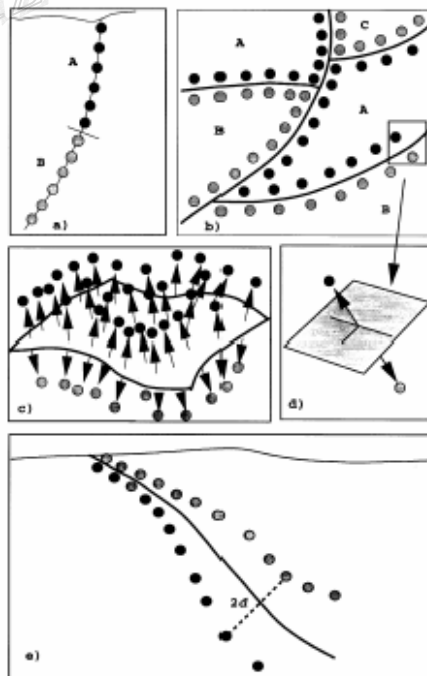
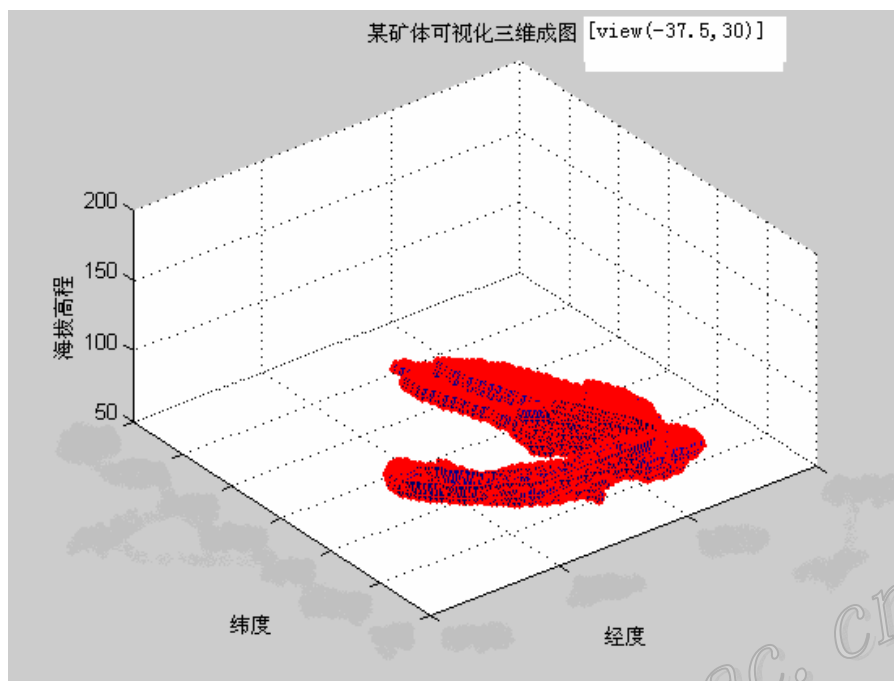


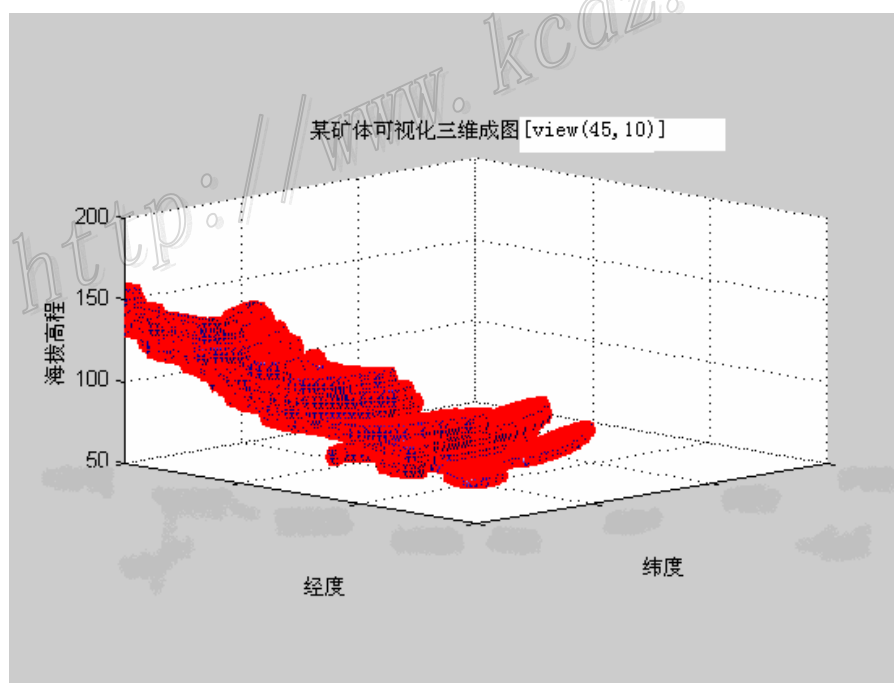
图 1 点的数据离散化和生成 (Courriox et al., 2001)

(a)沿钻孔线给出的界线两边的点, (b)两套地层界线两边的点, (c)倾斜界面两边点, (d)根据构造数据产生的观察点, (e)数据不确定位置产生的点。

切片法或网格化技术重建三维空间。结合实例着重讨论矿体可视化三维重建。矿体可视化三维重建一个很重要的特征是要求矿体具有精确的定位。三维模型定位的经纬度坐标可以由 MATLAB 软件自动生成。地质特征数据来自于找矿勘探或生产的控制工程所获得的地质资料。如果准备好地理特征数据（定位数据）和地质特征数据，就可以进行三维成图操作，生成三维图（图 2）。下面是可视化三维成图的几个要点：



(a)



(b)

图 2 某矿体的三维重建

(a) 方位角 -37.5° ，高度角 30° ；(b) 方位角 45° ，高度角 10°

(1) 维数据解释（三维插值）

矿体三维可视化重建具有三维地质体数学建模的共性。直接获取的地质特征数据是离散的、不规则的，

与建模的需求相比数据量很小,必须进行数据的插值(解释)。三维地质体数学建模常用三维规则网格法 TIN (Triangular Irregular Networks)、表面法、四面体法、以及综合法(曹代勇等, 2001)。插值技术可以根据地质特征数据组的特点和技术人员的知识结构进行选择或进一步开发,以真实地反映地质体(地质现象)为目的。

(2) 维成图

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新分支,受其推动,地质信息的可视化成为研究前沿。综合性地质三维成图,可能包括多种成图方式,例如三维网格图、三维表面图、三维矢量图、流线和等值线图。三维图类型不同,成图的地质特征数据组的类型和表述方式也可能不同,所有的地质特征数据组应该统一于地理特征数据的定位机制。创建综合性地质三维图就可通过新图的叠加和隐藏功能实现。

(3) 可视化三维模型显示

所谓三维可视化技术是反映真实物体或虚构物体的图形综合技术,它是通过三维模型的算法、数据类型表达形式、三维图的显示技术以及用户界面交互技术的综合。

1) 图形的颜色、视图和光照控制 通常加颜色、人光照模型,允许从不同角度、不同方位和不同距离观察地质体三维模型的表面,以增强视觉效果为目的。

2) 切片图 显示穿过物体的切片。这样可以制作一系列的切片方式比较清晰地反映地质体模型的内部结构。

3) 三维等值线图 它是用等值线的方式显示出来,往往是与切片图结合使用,形成切片等值线图。

上述是从成图和显示的角度实现可视化,在实际应用中可以单独运用或综合运用。此外,实现可视化的另一途径是根据可控制的数据选择合理的数学模型延拓和投影。

4 结束语

MATLAB 凭借其强大功能、技术先进可以作为地质分析研究的良好工作平台。地质体可视化三维重建和应用可以更真实地了解复杂地质体以及它们之间的关系。如果将控制工程加入三维模型之中,就能更深入地了解矿体的控制程度、找矿潜力和方向,还可以应用到成矿过程模拟和特征建模等方面。

参 考 文 献

曹代勇, 李青元, 朱小弟, 等. 2001. 地质构造三维可视化模型探讨. 地质与勘探, 37(4): 60~62.

Boissonnat J D. 1988. Shape reconstruction from planar cross-section. Comput. Vis. Graph. Image Process. 44(1): 1~29.

Courrioux G, Nullans S, Guillen A, et al. 2001. 3D volumetric modeling of Cadomian terranes (Northern Brittany, France): an automatic method using Voinoi diagrams. Tectonophysics, 331: 181~196.

Lyle D. 1998. 三维可视化. 张锡译. 国外勘探技术, 2: 7~10.

Rrenard P and Courrioux G. 1994. 3-D geometric modeling of a faulted domain: the Soultz horst example (Alsace, France). Comput. Geosci., 20: 1379~1390.

Siedel A, Ruber O, Valdivia-Machego M, et al. 1992. Geological maps derived from interactive modeling. Geol. Jahrb., 122: 273~279.