

# 基于规则体素的剖切及水文地质 专题地图的自动生成

祝国瑞, 徐智勇, 颜辉武, 高山

(武汉大学资源与环境科学学院, 430079, 武汉)

[摘要] 对基于规则体数据的剖面显示技术进行研究, 系统讨论了剖面生成算法的全过程, 结合水文地质的实际工作需要, 研究并实现了基于剖面图像的水文地质专题地图的自动生成。

[关键词] 规则体素, 剖切, 水文地质专题地图

[中图分类号] P641. 71, [文献标识码] A, [文章编号] 1672- 1292(2003)03- 0073- 06

## 0 前言

三维数据场的可视化方法主要有三大类: 剖面图、等值面、体绘制<sup>[1]</sup>。等值面由于算法自身的特点, 特别适合于三维数据场中存在比较大的数据突变情况; 相比之下, 体绘制技术则侧重于三维数据场的整体结构显示; 而在实际工作中, 用户常常需要了解某一平面上的三维数据的空间分布, 例如, 在地下水资源分析中, 地质工程师常需要对水文地质体的各个不同方向的剖面或某层面上的水文地质特征进行详细了解、综合研究与多角度认识, 发现水文地质规律。体数据剖面显示技术是三维数据场可视化中一个具有普遍应用意义的问题, 它的解决对于理解庞大的三维体数据所表现的内容有十分重要的意义<sup>[2]</sup>。

剖面显示技术源于计算机图形学的基本裁剪算法, 在对三维体数据场进行剖面显示时, 根据体数据类型不同, 可分为基于规则体数据的剖面显示与基于不规则体数据的剖面显示。基于规则体素的剖面显示算法可分为求交式剖面显示方法与插值式剖面显示方法, 求交式剖面显示方法是先确定体素的棱线与剖面的交点及交点处的场值, 并对交点进行排序, 得到一个带值的多边形顶点序列, 再按照扫描线方法或其它方法对其进行显示; 插值式剖面显示方法是先计算出剖面与三维体数据场的包围盒相交而生的多边形, 以及该多边形的纹理图像, 再采用纹理映射技术对剖面进行显示。

本文是在建立水文地质层的三维体模型(另文论述)的基础上, 对基于规则体数据的插值式剖面显示技术, 以及在此基础上的水文地质专题地图自动技术生成进行了研究。

## 1 剖面显示

如图1所示, 设原始三维体数据场所处的区域(简称包围盒)为:  $\{(x, y, z) | 0 \leq x \leq \max X; 0 \leq y \leq \max Y; 0 \leq z \leq \max Z\}$ , 剖面  $Q$  的方程为:  $f(x, y, z) = ax + by + cz + d = 0$ , 其法向  $P$  为  $(a, b, c)$ , 剖面过空间一点  $O(x_0, y_0, z_0)$ 。首先以  $O$  为坐标原点对剖面以及包围盒进行旋转, 使剖面的法线  $P$  的方向为  $z$  轴正向, 变换后的剖面  $Q'$  的方程  $f'(x, y, z) = z = 0$ 。

### 1.1 计算剖面与包围盒交点

不失一般性, 设长方体的8个顶点分别为  $(x_1, y_1, z_1), \dots, (x_8, y_8, z_8)$ , 剖面  $Q$  变换到  $Q'$  的变换矩阵为  $M$ 。

收稿日期: 2003- 04- 15.

基金项目: 江苏省地理信息系统重点实验室开放基金项目。

作者简介: 祝国瑞, 1937- , 武汉大学资源与环境科学学院教授, 博士生导师, 现从事地理信息系统与地图学研究。

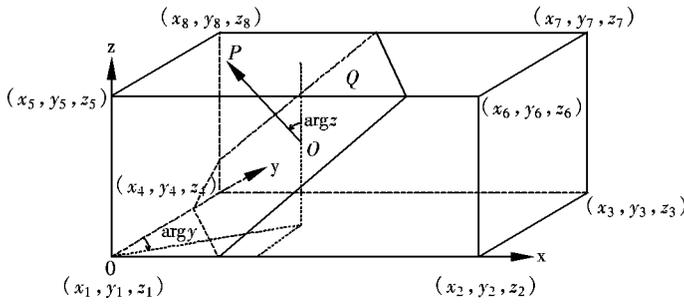


图 1 剖面与包围盒相交

计算  $M$  的步骤为: (1) 计算  $P$  与  $z$  轴的夹角  $\text{arg}z$  (从  $z$  轴逆时针旋转取正, 反之取负), 和  $P$  在  $xyp$  平面上的投影与  $y$  轴的夹角  $\text{arg}y$  (从  $y$  轴逆时针旋转取正, 反之取负); (2) 进行复合变换, 即先平移, 然后绕  $z, y$  轴旋转. 最后得到的变换矩阵  $M$  为<sup>[3]</sup>:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & -z_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\text{arg}y) & \sin(\text{arg}y) & 0 & 0 \\ -\sin(\text{arg}y) & \cos(\text{arg}y) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\text{arg}z) & 0 & -\sin(\text{arg}z) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\text{arg}z) & 0 & \cos(\text{arg}z) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

设  $P$  为原始包围盒的 8 个顶点坐标形成的矩阵,  $P'$  为  $P$  变换后的坐标矩阵, 则有:  $P' = PM$ .

设包围盒变换后的棱  $L'$ , 组成它的两个顶点坐标分别为:  $(x'_i, y'_i, z'_i)$ 、 $(x'_j, y'_j, z'_j)$ , 此时  $L'$  与水平面 (即变换后的剖面) 的交点的就可以用下面的方法进行判断:

- (1) 如果  $z'_i \times z'_j > 0$ , 表示该棱与平面没有交点;
- (2) 如果  $z'_i$  与  $z'_j$  其中有一个为 0, 表示交点就是该顶点;
- (3) 如果  $z_i$  与  $z_j$  均为 0, 表示棱线在平面上;

如果  $z'_i \times z'_j < 0$ , 表示该棱与平面有交点, 其坐标为:

$$\begin{cases} x = x'_i + (x'_j - x'_i) z'_i / (z'_i - z'_j) \\ y = y'_i + (y'_j - y'_i) z'_i / (z'_i - z'_j) \\ z = 0 \end{cases} \quad (2)$$

循环包围盒的 12 条棱与剖面求交, 即可以求出所有棱与平面  $z = 0$  的交点, 从而形成一交点序列.

### 1.2 交点排序

按照上述方法计算出的交点序列不一定是多边形的顶点序列, 因此需要对交点进行排序, 得到按照多边形顶点排列的坐标序列. 剖面与包围盒的交点个数有以下几种情况:

- (1) 1 个交点, 表示剖面仅经过包围盒的一个顶点, 没有形成多边形;
- (2) 2 个交点, 表示剖面仅经过包围盒的一条棱, 同样也形成不了多边形;
- (3) 3 个交点, 表示剖面与包围盒相交形成一个三角形, 由于三角形的特殊性, 交点序一定就是多边形的顶点序列, 这时就不需要排序;

(4) 4 个及 4 个以上交点, 此时需要对交点序列进行重组, 生成多边形顶点序列, 由于长方体是一个凸多面体, 它与平面相交所形成的一定为凸多边形, 因此, 该多边形为凸多边形.

### 1.3 生成剖面与包围盒的相交多边形

上述步骤得到的多边形顶点坐标是变换后的坐标, 其中多边形的每一个顶点的  $z$  坐标都为 0, 为得到其在原始坐标系下的坐标, 采用坐标变换矩阵  $M$  的逆矩阵  $M^{-1}$ , 对该多边形顶点坐标进行逆变换, 即以  $M^{-1}$  右乘多边形顶点矩阵, 即可得到剖面  $Q$  与体数据包围盒的相交多边形  $H$ .

## 1.4 生成纹理图像

设在步骤 1.2 中得到的多边形为  $H'$ , 求出  $H'$  的包围盒(为一矩形), 则该矩形覆盖了整个剖面多边形. 在该矩形中, 可布上足够多的规则格网点(可根据生成图像的精细程度进行调节), 这些格网点经坐标变换  $M^{-1}$  后, 每一个格网点的属性值可以按照三线性插值公式计算得到, 再根据属性值与颜色之间的对应关系得到各格网点的颜色值, 最终形成纹理图像.

## 1.5 确定多边形顶点的纹理坐标

纹理空间一般定义在单位正方形域( $0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1$ ), 因此多边形  $H$  顶点的纹理坐标的计算只需要将对应的多边形  $H'$  的顶点坐标规格化后便可得到. 设多边形  $H'$  的顶点  $(x', y')$  范围为:

$$\{x_{\min} \leq x' \leq x_{\max}; y_{\min} \leq y' \leq y_{\max}\}$$

则  $H$  的任一顶点  $(x, y)$  (在  $H'$  上对应为  $(x', y')$ ) 对应的纹理坐标的计算公式为:

$$\begin{cases} t_x = (x' - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \\ t_y = (y' - y_{\min}) / (y_{\max} - y_{\min}) \end{cases} \quad (3)$$

## 1.6 显示剖面

一般的图形库均提供纹理映射支持, 因此, 在多边形顶点坐标、纹理图像及纹理坐标确定之后, 采用纹理映射的方法可将剖面在屏幕上显示出来.

栅状图的生成是在剖面显示的基础上, 由多个剖面分别与三维体数据场相截而形成的多剖面图像, 如图 2~ 3 所示.

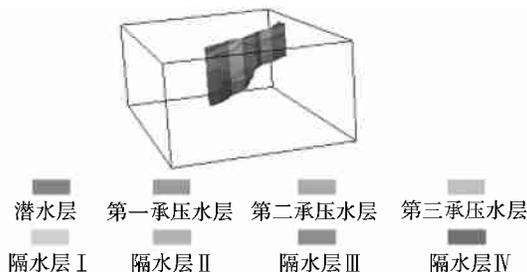


图2 研究区走 3 个钻孔的剖面图

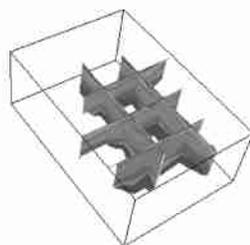


图3 栅状图

## 2 水文地质专题地图自动生成

体绘制方法能够较好地反映三维体数据场的整体分布, 剖面显示则是对空间某一平面位置细节的较好体现, 而水文地质专题地图则更符合专业人员的工作习惯. 因此, 在对水文地质层进行体视化以及剖面显示的基础上, 自动生成各种水文地质专题地图, 使水文地质工作者可以较好地利用水文地质层的整体体绘制效果图与水文地质专题地图, 将体视化的整体分析方法与水文地质剖面图的局部分析方法结合起来, 从而进行地下水资源的三维可视化分析.

前面对水文地质层三维体数据进行剖面显示时, 生成的多边形纹理图像中的每一图像点的颜色值反映了某一水文地质层的属性, 虽然能够描述水文地质剖面, 但并不能完全满足水文地质工作者对地质剖面信息的需求. 因此, 需要对剖面显示图像进行跟踪处理, 得到矢量多边形数据, 并按照水文地质专业的要求, 在矢量多边形内部填充相应的颜色、晕线或图案, 生成相应的专业图件. 由此可见, 对栅格图像数据进行跟踪处理, 得到矢量多边形数据是自动生成水文地质专题地图的关键.

多边形跟踪采用的是矢量数据的拓扑关系原理<sup>[4]</sup>, 通过识别出栅格图像数据中的结点和坐标点, 用这些结点以及坐标点跟踪形成一系列链段, 然后按照这些链段追踪形成封闭多边形. 由于多边形是基于链段的组织方式, 因此多边形紧紧地咬合在一起, 没有双重边界问题, 避免了数据的冗余以及“裂缝”现象<sup>[5]</sup>.

### 2.1 提取结点与坐标点

通过分析栅格数据可知: 栅格数据中多边形由一系列链段组成, 而每一条链段则由一系列小折线组成, 其中折线的转折点(在此为结点或坐标点)是形成多边形的关键. 因此, 首先需要提取结点与坐标点并获取其所需跟踪的方向(上、下、左、右).

一个点是结点还是坐标点由它周围 4 个栅格象元的属性值是否相同决定. 判定结点的标准是包含它的 4 个栅格象元的属性值为图 4(a) 中的 5 种情况之一; 判定坐标点的标准是包含它的 4 个栅格象元的属性值为图 4(b) 中的 4 种情况之一.

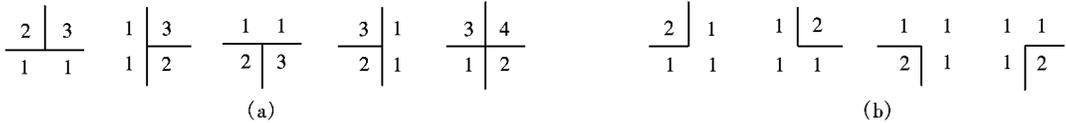


图 4 结点与坐标点的几种情况

### 2.2 由结点与坐标点形成链段

形成链段的方法是从结点数组中找出一个结点作为链段的起始点并开始跟踪, 跟踪方向按照上、左、下、右的顺序进行查找, 找出第一个未跟踪的方向, 搜索该方向上与之相邻(该方向上距离该点最近)的结点或坐标点, 如果搜索到的是坐标点, 则根据该坐标点的类型和链段与它连接的方向, 决定下一次搜索的方向; 如果搜索到的是结点, 则此结点即为该链段的终结点, 该链段的生成工作结束, 形成组成该链段的信息, 写入链段数组. 同时在终结点上与该链段连接的方向作上标记, 避免重复搜索, 然后选择起始结点上其它未搜索的方向继续进行下一链段的搜索, 直到该结点上连接链段的方向全部搜索完成.

然后开始下一个结点的搜索工作, 循环处理, 直到所有的结点都完成搜索, 即可得到该图像中所有的链段, 链段信息都以其经过的结点或坐标点的序列的形式记录在链段数组中, 供生成多边形时使用.

记录链段时, 须记录链段 ID 以及链段所经过的结点与坐标点序列, 其中链段的 ID 值从 1 开始顺序增加, 便于后续多边形跟踪时, 采用链段 ID 的相反数表示该链段的反方向.

### 2.3 生成结点-链段和链段-链段的关系表

生成结点-链段关系表的主要用

途是便于查找结点与链段以及链段与链段之间的关系. 结点与链段的关系通过以下途径得到: 对每一个结点, 寻找与该结点相关的所有链段, 得到结点与链段的关系表(如表 1 所示), 1

表 1 结点与链段的关系表

结点号	链段序列(ID, 起点/ 终点标识)
结点 ID1	(链段 ID, 0/1) .....(链段 ID, 0/1)
.....	.....
结点 IDn	(链段 ID, 0/1) .....(链段 ID, 0/1)

个结点对应多条链段, 记录在一动态数组中. 在表格的第 2 列中, 若链段的起点是该结点则标记为 0, 否则标记为 1.

链段与链段之间的关系可以通过以下途径得到: 在链段的起始结点以及终止结点处, 分别按照顺时针方向寻找与其夹角最小的链段, 即为该链段的在起止结点处的两条关联链段(起始结点以及终止结点处各有一条关联链段).

### 2.4 闭合多边形的搜索

闭合多边形的搜索的算法如下:

While( 还有未跟踪完毕的链段) // 链段的搜索次数为 2 表示该链段跟踪完毕(

    定义点 A, B

    从链段表中取出一条未跟踪完毕的链段作为当前链段

    if( 当前链段的搜索次数为 0) {

        A= 当前链段的起点;    B= 当前链段的终点;

```

记录当前链段 ID
}
else{
  A= 当前链段的终点;    B= 当前链段的起点;
  记录当前链段 ID 的相反数
}
当前链段的搜索次数+ 1
while( B! = A ) {
  搜索当前链段在 B 点处相关联的链段作为搜索链段
  if( 搜索链段的起点为 B ) {
    记录搜索链段的 ID
    B= 搜索链段的终点
  }
  else{
    记录搜索链段的 ID 的相反数
    B= 搜索链段的起点
  }
  搜索链段的搜索次数+ 1
  以搜索链段作为当前链段继续跟踪
}
跟踪 1 个多边形结束
}

```

## 2.5 岛屿的探测

按照上述方法无法探测出岛屿, 岛屿的特点是从一个坐标点开始, 最终又回到该坐标点, 因此必须在闭合多边形的搜索后予以单独地探测。

探测岛屿的方法是从一个未处理的坐标点开始追踪, 方法同前面所述的追踪链段的方法一样(按上、下、左、右方向), 特殊的是链段由此坐标点开始, 最终又回到该坐标点。

## 2.6 图元填充及地图整饰

对剖面显示图像进行跟踪, 得到矢量多边形后, 可利用图形学中的区域填充算法, 按照水文地质图件的专业要求, 对各多边形区域填充矢量图元<sup>[6]</sup>, 经地图整饰即可得到一幅完整的水文地质平面图或水文地质剖面图。图 5 是笔者对常州- 武进地图的水文地质层走 3 个水文地质钻孔, 生成剖面图像的基础上, 经多边形边界跟踪, 图元填充及地图整饰后生成的水文地质专题图。

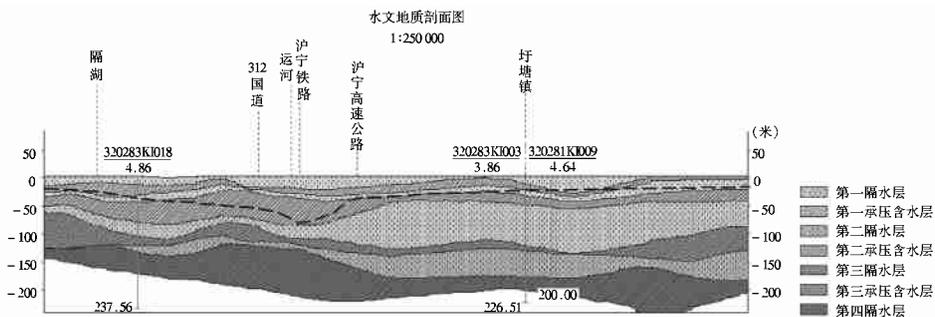


图 5 研究区域 3 个点连线的水文地质剖面图

## 3 结语

本文系统讨论并实现了三维可视化中的剖面生成方法, 并在此基础上, 结合水文地质工作的实际需

要,实现了基于剖面图像的水文地质专题地图的自动生成技术,解决了传统技术条件下难以获得空间中任一深度位置的水文地质平面图与任一走向水文地质剖面地图的问题.

[参考文献]

- [1] Zhou Y, Chen B, Kaufman A. Multiresolution tetrahedral framework for visualizing volume data[J]. IEEE Visualization, 1997, 135 ~ 142.
- [2] 文四立. 三维数据场的可视化研究[D]. 北京: 中国科学院科学计算技术研究所, 1993.
- [3] 孙家广等. 计算机图形学(第3版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [4] 沈掌泉, 王人潮. 基于拓扑关系原理的栅格转换矢量方法的研究[J]. 测绘学报, 2001, 3(1): 38~ 42.
- [5] 祝国瑞, 王建华, 江文萍. 数字地图分析[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1999.
- [6] 徐庆荣等. 机助制图原理[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1993.

## Profile Based on Regular Voxel and Automatic Technique for Generating Hydrogeologic Thematic Map

Zhu Guorui, Xu Zhiyong, Yan Huiwu, Gao Shan

(School of Resources and Environment Science, Wuhan University, 430079, Wuhan, PRC)

**Abstract:** This paper studies the extracting profile based on regular voxel, discusses systematically the whole procedure for generating profile. Besides this paper combines the practical work requirements in hydrogeology, deals with the researches and introduces the automatic technique of hydrogeologic thematic map based on the profile image.

**Key words:** regular voxel, profile, hydrogeologic thematic map

[责任编辑: 严海琳]