4 三维滑坡模型空间分析和工程应用

4.1 利用 z 缓存算法的空间坐标计算

可视化的三维模型是三维滑坡模型经过坐标变换、视图变换等过程形成的，由于屏幕显示的是二维图形，要根据屏幕坐标（x，y）求解三维坐标，需要使用摄影测量学中的单片后交算法（徐青，2000），根据屏幕坐标，逆向投影光线交到三维模型，求其与三维模型的交点。这种解法是用屏幕坐标(x，y)两个参数，来求解空间坐标（X，Y，Z）三个参数，需要利用数字高程模型进行迭代求解。这种方法的缺点是：①当投影光线入射角小于地形坡度时会出现迭代不收敛的情况；②需要估计地形的初始高程值，并以此作为初值进行迭代；③计算时间较长。

在三维滑坡模型的显示中，采用了坐标缓存（*Z-Buffer*）技术，对模型进行变换后得到的是（x，y，z）三个值，其中，(x，y)决定了模型点在屏幕上的位置，z 值作为 Z 缓存用于确定该点是否可见，Z 缓冲算法实现了模型的正确消隐，反过来，可以由此确定屏幕上显示的点的三维坐标；屏幕坐标和 z 缓冲值确定一个三维坐标（x，y，z），再扩展为齐次坐标(x，y，z，1)后，与三维滑坡模型的模型变换矩阵 M（为 4×4 矩阵）的逆矩阵（M^{-1}）相乘，可以得到三维齐次坐标（X，Y，Z，1）：

$$[X,Y,Z,1]^T = M^{-1}[x,y,z,1]^T$$

4.2 空间操作

（1）点的空间信息查询

在三维滑坡模型中可以查询模型对象上任一点的空间坐标，由于目前的三维模型是基于面对象形成的，查询的点只能落在面对象上。

（2）距离和路径长度测量

可以在三维滑坡模型的任一个面对象上测量两点（或多点）之间的直线距离，也可以计算这两点（多点）之间沿该对象表面的路径长度。

任意两点之间的直线距离为：

$$d_{1,2} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}$$

(X_1,Y_1,Z_1)、(X_2,Y_2,Z_2)为根据屏幕坐标反算出的空间坐标。

两点之间的路径长度 L 为路径上的相邻离散点间的线段长度之和，计算公式为：

$$L = \int_L dL_{i,i+1} = \sum_{i=1}^{n} d_{i,i+1}$$

不同的面对象之间，可以计算任意两点之间的直线距离，方法同上。

（3）面积计算

三维滑坡模型可以进行两类面积计算，一是计算给定范围所包围的模型对象在水平面上的投影面积，二是计算给定范围所包围的沿模型对象表面的表面面积。

可利用梯形法则计算投影面积 S：

$$S=\frac{1}{2}\left|\sum_{i=1}^{n-1}(X_iY_{i+1}-X_{i+1}Y_i)\right|$$

式中，(X_i,Y_i) 为边界点的平面坐标，可以在模型上由鼠标确定，也可以用数据文件的方式给定，n 为点数目，（第 1 点与第 n 点重合，形成封闭多边形）。

表面面积计算：

求给定边界所圈定的三维模型中某一面对象的表面面积的计算过程为：

1）求出多边形边界的最大、最小 X、Y 坐标，用此坐标值确定给定范围所涉及的 *DEM* 网格点，见图 4- 1*(a)*中（1，1）—（n，m），。

2）网格点组成四边形网，求取每个四边形对应的表面积，所有四边形对应的表面面积之和，即为所求的表面面积。

3）四边形对应的表面积求取。点(i，j)对应的四边形的四个顶点为 *(i，j)*、*(i，j+1)*、*(i+1，j+1)*、*(i+1，j)*，见图 4- 1*(a)*

四边形与给定边界的关系可分为六种情况，求取这六种情况下相应的表面积的方法如下：

a) 四边形位于边界之外，四边形对应的表面积为 0，见图 4- 1*(b)*

b) 四边形的四个顶点有一个落在边界内，求四边形与边界的交点，并用两个交点和落在边界内的点组成一个三角形，求此三个顶点对应的模型表面高程，然后利用海伦公式求解四边形对应的表面积。见图 4- 1*(c)*.

三角形边长：$S_s=\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2+\Delta z^2}$ （$s=1，2，3$）

令 $P=\frac{1}{2}(S_1+S_2+S_3)$

则四边形对应的表面积为：$A=\sqrt{P(P-S_1)(P-S_2)(P-S_3)}$

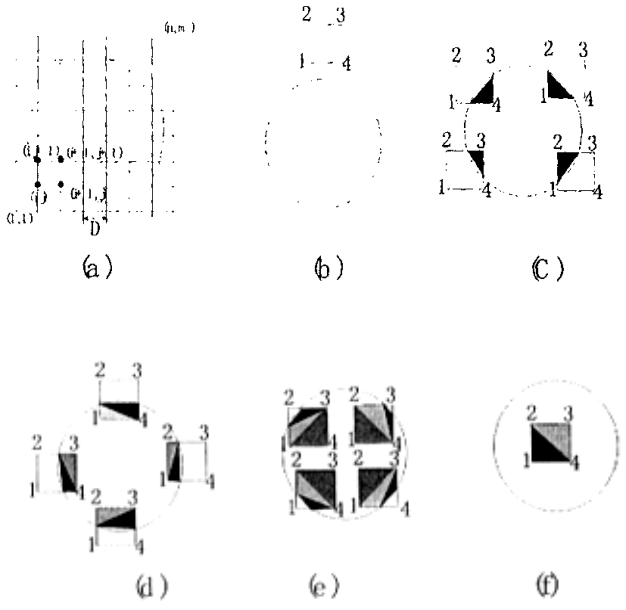


图 4- 1 模型表面面积和体积计算图

c) 四边形有两个顶点落在边界内，求得两个交点，并与边界内的两个顶点组成两个三角形，分别用海伦公式求解三角形对应的表面积，两个表面面积相加的和是该四边形对应的表面面积。图 4- 1*(d)*

d) 四边形有三个顶点落在边界内，求得两个交点后，并与边界内的三个顶点组成三个三角形，分别用海伦公式求解三角形对应的表面积，三个面积的和作为该四边形对应的表面面积。图 4- 1*(e)*

e) 四边形四个顶顶点均落在边界内，将四边形分解为两个三角形，分别用海伦公式求解三角形对应的表面积，两个面积之和为该四边形对应的表面面积。图 4- 1*(f)*

f) 其它特殊情况，按表面积为 0 计算。

（4）体积计算

三维滑坡模型可以计算体积，如计算滑坡体体积、滑坡治理所需的挖方/填方数量。体积计算中需要给定以下参数：计算范围、计算体积的顶、底界面或顶、底高程。计算范围可以通过鼠标输入，也可以通过数据文件输入。目前实现的三维滑坡模型是基于界面对象的，可以指定某一个面作为体积计算的顶面或底面，也可以为顶面或底面指定计算高程。

计算过程与表面积计算过程相似，分为以下步骤：1）确定计算网格点； 2）网格点组成四边形；3）根据每个四边形与给定边界的关系，根据图 4- 1 确定出计算中使用的三角形，每个三角形空间中对应一个三棱柱，体积计算的顶、底面对象作为三棱柱的顶、底面，利用三棱柱体积计算公式，求取每个三棱柱的体积，三棱柱体积的和即为该四边形对应的体积；4）所有四边形对应体积的和为要计算的总体积。