```
    TPoint vertex;//顶点
}
```

影像类，与面类对象结构相似，只是对多波段数据需要更多的存贮空间，并需要指定波段数据的存取方式，一般图像处理软件提供 BSQ（波段顺序）、BIL（颜色值顺序）、BIP（行顺序）三种方式：

```
class TImage:TFace{
    string InterLwave;//存贮方式
    int bands;//波段数
    float data[][][];//数据体
}
```

为了不同对象之间的准确配准，每个对象必须带有地理信息和投影信息，可用如下方式定义：

地理信息：

```
class TMapInfo{//地理信息
    string ProjectName;//投影名称，一般采用 Gauss-Kruger 投影
    Float xscl, yscl;//坐标缩放因子
    Float x_orign, y_orign;//起始点坐标
    Float x_cell_Size, y_cell_size;//行向/样向的单元尺寸
    String Uints;//坐标单位，一般采用米
    TProject project;//投影信息
}
```

投影信息：

```
Class TProject{//投影信息
    Int projectiontype;//投影类型
    Float EllipsoidA, EllipsoidB;//椭球参数
    Flaot latitudeofOrigin, LongitudeofMeridian;//起始纬度；中央经线
    Flaot FalseEasting, FalseNorthing;//坐标偏移量
    Float SacleFactor;//坐标比例因子
    String units;//坐标单位
}
```

目前已经完成的三维滑坡模型是基于栅格数据结构建立的三维结构模型。采用面向对象技术，建立各种地质界面（不连续面）的栅格模型，把每个地质界面作为一个对象，整个三维模型由这些面对象组成。

2.3 三维滑坡模型中的空间插值技术

实际滑坡调查得到的数据是空间上分布不均匀的散点数据，为得到滑坡完整的空间结构，就需要进行空间数据插值。空间数据插值就是给定一组已知的数据，从这些数据中找出一个关系式，使该关系式最佳逼近已知数据，并可根据该关系式推求区域范围内未知点的值；也就是通过已知的数据，推求未知点数据，从而在区域空间内形成一个连续特征的变化。

空间插值按数据点与插值结果之间的关系，可分为纯插值和曲面拟合两类

（柯正谊等，1993），纯插值要求插值结果与已知点之间的误差为0，即要求插值结果通过已知的每一个数据点；曲面拟合方法不要求插值必须包括每个已知点，但必须满足某种条件，如最小二乘准则（插值结果与已知点之间误差的平方和最小）。

在实际插值计算中根据内插点的使用情况，可分为整体内插、分块内插、逐点内插。

(1) 整体内插

插值计算中使用所有采集的样点进行内插，结果对全部研究区域适用，整体内插结果不能提供内插区域的局部特性，而只能给出大范围内的变化趋势。

假定内插结果函数为 $P(x,y)$，则可表达为

$$P(x,y)=\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}C_{ij}x^{i}y^{j}$$

式中，$C_{ij}(i=0,m,j=0,m)$ 待定系数，可以用已知 m 个点的值代入，直接求得；也可以用最小二乘法求取。

整体内插的方法数学上易于理解，对于形状简单、控制点较少的滑坡结构曲面（如张性断层）可以采用低次多项式表达。但对像滑坡地形这样具有复杂曲面的对象，就需要较多的控制点和高次多项式，高次多项式的幂次变化会使结果函数在原点附近出现振荡，函数极不稳定，因此很少使用这一插值方法来获取复杂曲面。

(2) 分块内插

对复杂的不连续面，不能用一个函数拟合时，可以采用将整个面分块的方式进行内插。这种方法把待插值的区域分为小块（子区），各子区使用不同的函数，这就需要考虑子块之间的连续性和光滑性。分块内插方法可分为：线性内插、多项式内插、双线性内插、样条函数内插、最小二乘法、有限元法和多层叠加面函数方法（李志林，2000）。在三维滑坡模型中使用的曲面分块内插主要是双线性内插和样条函数内插

1） 双线性内插

双线性多项式内插是使用最靠近插值点的四个已知数据点组成一个四边形，用一个双线性多项式来内插待插值点的高程。函数形式为：

$$z=a[0]+a[1]x+a[2]y+a[3]xy \qquad \text{(a 为待定系数数组)}$$

假定待插值点最邻的四点的坐标为 $P_1(x_1,y_1,z_1)$、$P_2(x_2,y_2,z_2)$、$P_3(x_3,y_3,z_3)$、$P_4(x_4,y_4,z_4)$，则有：

$$\begin{bmatrix} a[0] \\ a[1] \\ a[2] \\ a[3] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & x_3y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & x_4y_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{bmatrix}$$

由此确定内插点的值。

2）样条函数内插

对研究区进行分块时，每一个分块可由一个不同的多项式曲面确定；为保持各分块曲面间的光滑性，按照弹性力学条件使所确定的 n 次多项式曲面与其相邻分块的边界上所有 $n-1$ 次导数都连续。这样的 n 次多项式就称为样条函数。

在已知数据点为规则格网分布时，三次曲面样条函数的曲面表示为

$$z = \sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{3} C_{ij} x^i y^j$$

系数 C_{ij} 共有 4×4=16 个，要确定这 16 个系数，需要 16 个方程。

把内插点最邻近的四个点的（x，y，z）代入上式，可得 4 个方程。

根据样条函数相邻面之间光滑、连续的要求，相邻面之间 x，y 方向上应保持一致，面片拼接处扭矩应连续，因此可利用内插面的一阶导数和二阶混合导数形成其余的 12 个方程，用差商替代导数，则

沿 x 方向的导数 R 可表达为：$R = \dfrac{\partial z}{\partial x} = \dfrac{\Delta z}{\Delta x}$

沿 y 方向的导数 S 可表示为：$S = \dfrac{\partial z}{\partial y} = \dfrac{\Delta z}{\Delta y}$

边界扭矩 T 表示为：$T = \dfrac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = \dfrac{(\Delta z)^2}{\Delta x \Delta y}$

求取上述导数、偏导数，需要内插点周围 8 个邻（角）点的高程，利用这 8 个点的高程，求取导数和扭矩，然后代入样条函数计算公式，求取系数 C_{ij}，进而求得待插值点的值。

(3) 逐点内插法

逐点内插法是以待插值点为中心，定义一个局部函数去拟合周围的数据点，数据点的范围随待插点位置的变化而变化，因此又称为移动曲面法。最常使用的拟合方法有：

1）单值曲面拟合函数

离散点集 (x_i, y_i, z_i)，$i=1$，2，$...N$，假定计算域为无限延伸平面，拟合曲面一点 i 处产生垂直位移 A_i 时，曲面上其它点会受此位移的影响而产生附加位移，假定该点的影响半径为 R（即距 i 点的距离大于 R 的点不产生附加位移），在此

范围内的一点（x，y）由 A_i 引起的位移量可表达为：

$$Z_A(r) = A_i(\frac{r_i^2}{R^2}\ln\frac{r_i^2}{R^2}+1-\frac{r_i^2}{R^2})$$

$$r_i^2 = (x-x_i)^2+(y-y_i)^2$$

对已知数据点进行计算，并对所得到的附加位移进行叠加，可得计算点（x，y）处总的附加位移：

$$Z(x,y) = \sum_{i=1}^{n} Z_A(r) = \sum_{i=1}^{n} A_i(\frac{r_i^2}{R^2}\ln\frac{r_i^2}{R^2}+1-\frac{r_i^2}{R^2})$$

因此，若求得系数 A_i，即可求得任一点(x, y)处的值。为求此系数，将 n 个已知点数据代入，可得

$$z_k = \sum_{i=1}^{n} A_i(\frac{r_{ki}^2}{R^2}\ln\frac{r_{ki}^2}{R^2}+1-\frac{r_{ki}^2}{R^2})，\ k=1，2，\cdots，n)$$

共 n 个方程，由此求得 n 个系数 A_i（i=1，2，…，n）。

这一计算的关键是影响半径 R 的确定，即选择多少参考点参加计算。为了保证能够求解二次曲面方程，要求有足够的数据点（一般 $n>5$），但又不能太多，否则影响内插精度。为了解决这个问题，可以采用动态半径园的方法（李志林，2000），影响半径：

$$\pi R^2 = 10\times(S/N)$$

式中 N 为总已知点数，S 为所有计算点确定的 xy 平面的总面积。

2）*Delaunay* 三角形剖分内插

把 N 个离散点所在的平面分成 N 个区，每一个区包括一个点，该点所在的区是距离该点最近的点的集合，这些点组成的区称为 *Voronoi* 多边形。用直线段连接两个相邻多边形内的离散点生成 *Delaunay* 三角网，见图 2- 2，已经证明，*Delaunay* 三角网符合“三角剖分最小内角为最大”的图形优化准则；这种剖分能够唯一地不重叠地覆盖整个研究区域。通常采用“分割-合并-递归”的方法来形成 *Voronoi* 多边形和 *Delaunay* 三角形剖分（柯正谊等，1993）。

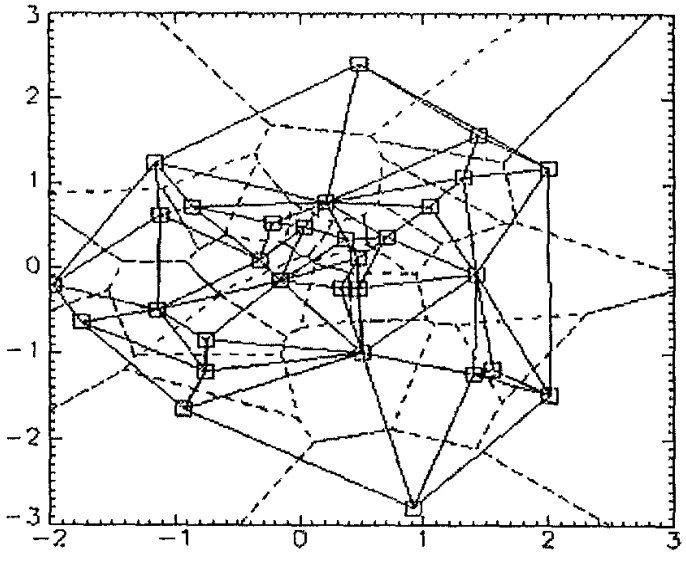


图 2- 2　30 个随机样点的 Delaunay 三角剖分内插

（虚线为 Votonoi 多边形，实线为 Delaunay 三角形剖分，小方块代表离散数据点）

每个 *Delaunay* 三角形剖分都视为一个比较光滑的曲面，可用低次数学面逼近。比如每个三角剖分建立一个线性数学模型：

$$z = f(x,y) = a_0 + a_1 x + a_2 y$$

这一线性模型保证三角形剖分之间有连续但不平滑的拼接，可采用二次模型来保证相邻多三角形剖分之间的光滑：

$$z = f(x,y) = \sum_{i=0}^{2}\sum_{j=0}^{2} a_{ij} x^i y^j \text{ 。}$$

(4) 三维滑坡模型内插方法讨论

在具体的滑坡地质模型建立过程中，要根据滑坡地质结构的具体特点，考虑不连续面的制约因素和相关的地学成因，选择适合的空间插值方法和数据表达形式。

1)地形：采用数字高程模型表达，可以用规则格网或不规则三角形网表示，用双线性内插、样条函数、和 *Delaunay* 三角形剖分方法，其中 *Delaunay* 三角形剖分方法使用最多。

2)滑动面：滑动面形状较复杂，不同的岩性、不同的滑坡成因、不同的诱发条件可形成形状各异的滑动面，其形状一般不规则，可采用单点移面插值拟合、*Delaunay* 三角网方法。有时，滑坡体内可能存在多个滑动面，这种情况下，可把各个滑动面作为单独的对象分别进行处理。

3)断层：对产状简单、分布均一的断层可采用整体内插方法，或多项式方程拟合，而对复杂的断层可用双线性内插或单值曲面拟合方法。特殊情况下，

如直立断层，会出现多 Z 值的情况，直立曲面拟合，可以采用坐标变换的方法，以(x，z)或(y，z)为已知量，以 y 或 x 为变量进行拟合，然后将结果保存为（x，y，z）格式，此时，由于多 z 值，采用栅格方式已不能表达，可采用空间多边形的方式保存和显示。

4)地下水位：地下水位一般为连续光滑的曲面，可用样条函数进行拟合，以保证其光滑和连续。

5)地层层面：层状地层是最为常见的地层形式，由于地质作用，层面一般不是平直的，尤其是在断层、滑坡面切割的情况下，如果层面由于被切割而产生错动，需要按切割边界分解为不同的面进行拟合，内插方法可采用多边形内插、单点移面方法或 *Delaunay* 法。

6)褶皱模拟：在没有倒转、平卧的情况下，可以用一般的样条函数、单值曲面拟合或 *Delaunay* 三角剖分的方法确定褶皱的分布；在出现平卧、倒转等多值面的情况下，处理方法是以褶皱轴面为界，将褶皱分解为两个或多个单值面，分别进行拟合。