第六章 GIS 空间分析导论

空间分析是 GIS 的主要特征，有无空间分析功能是 GIS 与其他系统相区别的标志。空间分析是从空间物体的空间位置、联系等方面去研究空间事物，以对空间事物做出定量的描述。从信息提取的角度来讲，这类分析还不是严格意义上的分析，而是一种描述和说明，是特征的提取、参数的计算。一般地讲，它只回答了“是什么？”“在哪里?”、“有多少?”和“怎么样?”等问题，但并不回答“为什么?”。空间分析需要复杂的数学工具，其中最主要的是空间统计学、图论、拓扑学、计算几何，其主要任务是空间构成的描述和分析。

一般比较公认的对空间分析的理解是：空间分析是基于地理对象的位置和形态特征的空间数据分析技术，其目的在于提取和传输空间信息；是地理信息系统的主要特征，同时也是评价一个地理信息系统功能的主要指标之一；是各类综合性地学分析模型的基础，为人们建立复杂的空间应用模型提供了基本工具。

6.1 空间分析的数据模型

地理信息系统要对自然对象进行描述、表达和分析，首先就要建立合理的数据模型以存储地理对象的位置、属性以及动态变化等信息，合理的数据模型是进行空间分析的基础。这里我们就对常见的数据模型进行介绍。

现实世界错综复杂，从系统的角度来看，空间事物或实体的运动状态和运动方式不断发生变化，系统的诸多组成要素之间存在着相互制约、相互作用的依存关系，表现为人口、质、能量、信息、价值的流动和作用，反映不同的空间现象和问题。为了控制和调节空间系统的物质流、能量流和人口流等，使之转移到期望的状态和方式，实现动态平衡和持续发展，人们开始考虑对其中诸多组成要素的空间状态、相互依存关系、变化过程、相互作用规律、反馈规律、调制机理等进行数字模拟和动态分析，在客观上为地理信息系统提供了良好的应用环境和重要发展动力。

空间分析是基于地理对象的位置和形态特征的空间数据分析技术。空间分析方法必然要受到空间数据表示形式的制约和影响，因此，在研究空间分析时，就不能不考虑空间数据表示方法与数据模型。

空间数据表示的基本任务是将以图形模拟的空间物体表示成计算机能够接受的数字形式，因此空间数据的表示必然涉及空间数据模式和数据结构问题。

空间数据通常分为栅格模型和矢量模型两种基本的表示模型。此外矢量栅格一体化、三维数据模型、时空数据模型等由于自身的特点，代表数据模型发展的方向。

在栅格模型中，地理空间被划分为规则的小单元（像元），空间位置由像元的行列号表示。像元的大小反映数据的分辨率，空间物体由若干像元隐含描述。例如一条道路由其值为道路编码值的一系列相邻的像元表示，要从数据库中删除这条道路，则必须将所有有关像元的值改变成该条道路的背景值。栅格数据模型的涉及思想是将地理空间看成一个连续

的整体，在这个空间中处处有定义。

栅格结构是以规则的阵列来表示空间地物或现象分布的数据组织，组织中的每个数据表示地物或现象的非几何属性特征。如图 5.1 所示，在栅格结构中，点用一个栅格单元表示；线状地物则用沿线走向的一组相邻栅格单元表示，每个栅格单元最多只有两个相邻单元在线上；面或区域用记有区域属性的相邻栅格单元的集合表示，每个栅格单元可有多于两个的相邻单元同属一个区域。任何以面状分布的对象（土地利用、土壤类型、地势起伏、环境污染等），都可以用栅格数据逼近。遥感影像就属于典型的栅格结构，每个象元的数字表示影像的灰度等级。

栅格结构的显著特点是：属性明显，定位隐含，即数据直接记录属性的指针或属性本身，而所在位置则根据行列号转换为相应的坐标给出，也就是说定位是根据数据在数据集中的位置得到的。由于栅格结构是按一定的规则排列的，所表示的实体的位置很容易隐含在网格文件的存贮结构中，在后面讲述栅格结构编码时可以看到，每个存贮单元的行列位置可以方便地根据其在文件中的记录位置得到，且行列坐标可以很容易地转为其他坐标系下的坐标。

在网格文件中每个代码本身明确地代表了实体的属性或属性的编码，如果为属性的编码，则该编码可作为指向实体属性表的指针。图 5.1 中表示了一个代码为 6 的点实体，一条代码为 9 的线实体，一个代码为 7 的面实体。由于栅格行列阵列容易为计算机存储、操作和显示，因此这种结构容易实现，算法简单，且易于扩充、修改，也很直观，特别是易于同遥感影像结合处理，给地理空间数据处理带来了极大的方便，受到普遍欢迎，许多系统都部分和全部采取了栅格结构，栅格结构的另一个优点是，特别适合于 FORTRAN、BASIC 等高级语言作文件或矩阵处理，这也是栅格结构易于为多数地理信息系统设计者接受的原因之一。

栅格结构表示的地表是不连续的，是量化和近似离散的数据。在栅格结构中，地表被分成相互邻接、规则排列的矩形方块（特殊的情况下也可以是三角形或菱形、六边形等），每个地块与一个栅格单元相对应。栅格数据的比例尺就是栅格大小与地表相应单元大小之比。在许多栅格数据处理时，常假设栅格所表示的量化表面是连续的，以便使用某些连续函数。由于栅格结构对地表的量化，在计算面积、长度、距离、形状等空间指标时，若栅格尺寸较大，则会造成较大的误差，同时由于在一个栅格的地表范围内，可能存在多于一种的地物，而表示在相应的栅格结构中常常只能是一个代码。这类似于遥感影像的混合象元问题，如landsat MSS卫星影像单个象元对应地表 $79\times79m^2$的矩形区域，影像上记录的光谱数据是每个象元所对应的地表区域内所有地物类型的光谱辐射的总和效果。因而，这种误差不仅有形态上的畸变，还可能包括属性方面的偏差。虽然栅格数据模型在表示空间要素的精确位置时有缺点，但在诸多算法中，栅格可以看成行与列的矩阵，其单元值储存为二维数组。常用的编程语言易于处理数组变量，栅格数据模型对于数据的操作、集合和分析比矢量数据模型容易。

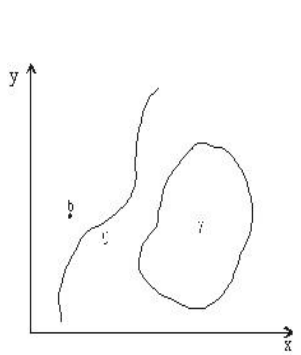
矢量模型将地理空间看成一个空间区域，地理要素存在于其间。在矢量模型中，各类地理要素根据其空间形态特征分为点、线、面三类，对实体是位置显式、属性隐式进行描述的。

点实体包括由单独一对 x，y 坐标定位的一切地理或制图实体。在矢量数据结构中，除点实体的 x，y 坐标外还应存储其它一些与点实体有关的数据来描述点实体的类型、制图符号和显示要求等。点是空间上不可再分的地理实体，可以是具体的也可以是抽象的，如地物点、文本位置点或线段网络的结点等，如果点是一个与其它信息无关的符号，则记录时应包括符号类型、大小、方向等有关信息；如果点是文本实体，记录的数据应包括字符大小、字体、排列方式、比例、方向以及与其它非图形属性的联系方式等信息。
对其它类型的点实体也应做相应的处理。

线实体用其中心轴线（或侧边线）上的抽样点坐标串表示其位置和形状；线实体可以定义为直线元素组成的各种线性要素，直线元素由两对以上的 x，y 坐标定义。最简单的线实体只存储它的起止点坐标、属性、显示符等有关数据。

面实体用范围轮廓线上的抽样点坐标串表示位置和范围，多边形面（有时称为区域）数据是描述地理空间信息的最重要的一类数据。在区域实体中，具有名称属性和分类属性的，多用多边形表示，如行政区、土地类型、植被分布等；具有标量属性的有时也用等值线描述（如地形、降雨量等）。

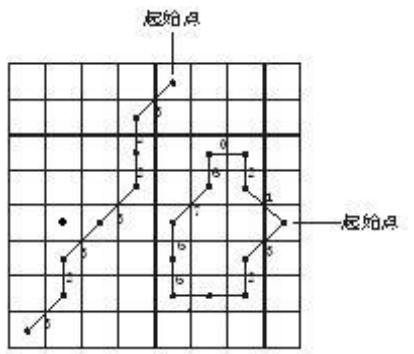
图 5.1 为地理数据模型示意图，其中（a）为图形模拟表示的地理对象；（b）为该空间对象对应的栅格数据模型表示；（c）为对应的矢量模型表示。



（a）

0	0	0	0	9	0	0	0
0	0	0	9	0	0	0	0
0	0	0	9	0	7	7	0
0	0	0	9	0	7	7	0
0	6	9	0	7	7	7	7
0	9	0	0	7	7	7	0
0	9	0	0	7	7	7	0
9	0	0	0	0	0	0	0

（b）



（c）

图 5.1　地理数据模型示意图

栅格数据模型和矢量数据模型是描述地理现象最常见、最通用的数据模型。

栅格数据与矢量数据的最大区别是前者用元子空间充填集合表示，后者用点串序列表达边界形状及分布。因此栅格数据面向空间的数据结构在布尔运算、整体操作特征计算及空间检索方面有着明显的优势，而矢量数据面向目标的数据结构则很容易实现模型生成、目标显示及几何变换。鉴于栅格与矢量两种数据结构的优劣互补性，研究栅格矢量一体化数据结构已成为新一代 GIS 软件开发的基础。

随着二维制图和 GIS 的迅猛发展和广泛应用，使得不同领域的人们都在无意识的接受将三维空间简化为二维投影的概念模型。应用的深入和实践的需要渐渐暴露了二维 GIS 的缺陷，目前 GIS 工作者不得不思考地理空间的三维本质特征及在三维空间概念模型下的一系列处理方法，首先对于空间实体的描述在几何坐标上增加了第三维的信息，即垂向坐标信息。垂向坐标信息的增加导致了空间拓扑关系的复杂，出现了许多不同于二维数据模型

有待于解决的新问题。合理高效的三维数据模型的建立以及在此基础上进行三维分析是GIS 发展的趋势。

传统的地理信息系统应用只涉及地理信息空间维度和属性维度两个方面的内容，对空间对象进行静态的描述和表达。然而，世界是发展变化的，对于对象的表述应该介入时间维参数。这样就要求建立能够对空间对象进行时间和空间全面动态描述的数据模型——时空数据模型。

各种数据模型都有自己的优点和不足，从栅格数据模型、矢量数据模型、矢栅一体化数据模型、三维数据模型到时空数据模型，可以看出，数据模型发展的趋势是趋于更完整、更全面、多维的、动态的对空间对象进行表达，同时数据结构也趋于复杂。在实际的应用中，根据不同的应用目的和应用层面，选用适当的数据模型对对象进行表达和分析。以下我们主要针对栅格数据和矢量数据分析的基本模式予以介绍。

6.2 GIS 空间分析的基本原理与方法

根据空间对象的不同特征可以运用不同的空间分析方法，其核心是根据描述空间对象的空间数据分析其位置、属性、运动变化规律以及对周围其他对象的相关制约、相互影响的关系。不同的空间数据模型有其自身的特点和优点，基于不同的数据模型使用不同的分析方法，这里我们主要分为基于栅格数据模型和矢量数据模型的分析方法进行介绍。

6.2.1 栅格数据分析的模式

栅格数据由于其自身数据结构的特点，在数据处理与分析中通常使用线性代数的二维数字矩阵分析法作为数据分析的数学基础，因此具有自动分析处理较为简单，分析处理模式化很强的特征。一般来说，栅格数据的分析处理方法可以概括为聚类聚合分析、多层面复合分析、追踪分析、窗口分析、统计分析、量算等几种基本的分析模式。以下对这几种模式分别进行简要的描述与讨论。

1. 栅格数据的聚类、聚合分析

栅格数据的聚类、聚合分析均是指将一个单一层面的栅格数据系统经某种变换而得到一个具有新含义的栅格数据系统的数据处理过程。也有人将这种分析方法称之为栅格数据的单层面派生处理法。

栅格数据的聚类是根据设定的聚类条件对原有数据系统进行有选择的信息提取而建立新的栅格数据系统的方法。栅格数据的聚合分析是指根据空间分辨力和分类表，进行数据类型的合并或转换以实现空间地域的兼并。栅格数据的聚类聚合分析处理法在数字地形模型及遥感图象处理中的应用是十分普遍的。例如，由数字高程模型转换为数字高程分级模型便是空间数据的聚合，而从遥感数字图象信息中提取其一地物的方法则是栅格数据的聚类。

2. 栅格数据的复合分析

能够极为便利地进行同地区多层面空间信息的自动复合叠置分析，是栅格数据一个突出的优点。正因为如此，栅格数据常被用来进行区域适应性评价、资源开发利用、规划等

多因素分析研究工作。在数字遥感图象处理工作中，利用该方法可以实现不同波段遥感信息的自动合成处理；还可以利用不同时间的数据信息进行某类现象动态变化的分析和预测。因此该方法在计算机地学制图与分析中具有重要的意义。

类似这种分析方法在地学综合分析中具有十分广泛的应用前景。只要得到对于某项事物关系及发展变化的函数关系式，便可运用以上方法完成各种人工难以完成的极其复杂的分析运算，这也是目前信息自动复合叠置分析法受到广泛应用的原因。值得注意是，信息的复合法只是处理地学信息的一种手段，而其中各层面信息关系模式的建立对分析工作的完成及分析质量的优劣具有决定性作用。这往往需要经过大量的试验和总结研究，而计算机自动复合分析法的出现也为获得这种关系模式创造了有利的条件。

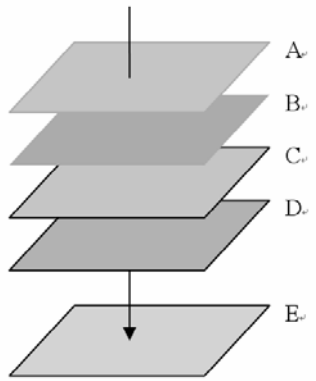


图 5.2　复合分析示意图

3.　栅格数据的追踪分析

所谓栅格数据的追踪分析是指，对于特定的栅格数据系统，由某一个或多个起点，按照一定的追踪线索进行追踪目标或者追踪轨迹信息提取的空间分析方法。如图 5.3 所示例，栅格所记录的是地面点的海拔高程值，根据地面水流必然向最大坡度方向流动的基本追踪线索，可以得出在以上两个点位地面水流的基本轨迹。此外，追踪分析法在扫描图件的矢量化、利用数字高程模型自动提取等高线、污染源的追踪分析等方面都发挥着十分重要的作用。

3	2	3	8	12	17	18	17
4	9	9	12	18	23	23	20
4	13	16	20	25	28	26	20
3	12	21	23	33	32	29	20
7	14	25	32	39	31	25	14
12	21	27	30	32	24	17	11
15	22	34	25	21	15	12	8
16	19	20	25	10	7	4	6

图 5.3 由追踪法提取地面水流路径

4.　栅格数据的窗口分析

地学信息除了在不同层面的因素之间存在着一定的制约关系之外,还表现在空间上存在着一定的关联性。对于栅格数据所描述的某项地学要素，其中的（I，J）栅格往往会影响其周围栅格的属性特征。准确而有效地反映这种事物空间上联系的特点，也必然是计算机地学分析的重要任务。窗口分析是指对于栅格数据系统中的一个、多个栅格点或全部数据，开辟一个有固定分析半径的分析窗口，并在该窗口内进行诸如极值、均值等一系列统计计算，或与其它层面的信息进行必要的复合分析，从而实现栅格数据有效的水平方向扩展分析。

按照分析窗口的形状，可以将分析窗口划分为以下类型，如图 5.4 所示：

（1）矩形窗口：以目标栅格为中心，分别向周围八个方向扩展一层或多层栅格。

（2）圆型窗口：以目标栅格为中心，向周围作等距离搜索区，构成圆型分析窗口。

（3）环型窗口：以目标栅格为中心，按指定的内外半径构成环型分析窗口。

（4）扇型窗口：是以目标栅格为起点，按指定的起始与终止角度构成扇型分析窗口。

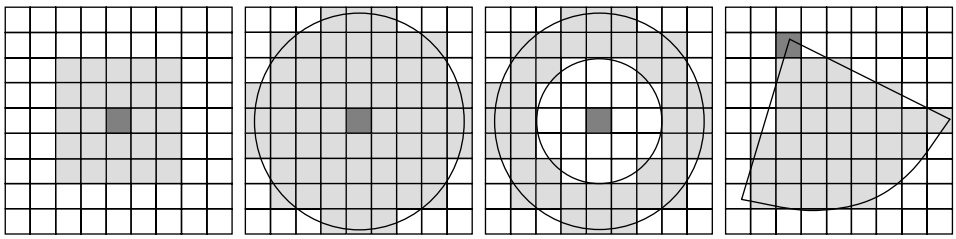


图 5.4 分析窗口示意图

对于具体问题的分析过程中，不限于以上几种类型的窗口，分析者可以根据自己的需要对分析窗口进行设计。

5. 栅格数据统计与量算

需要了解一组栅格数据的整体特征和态势时，我们通常对其进行统计分析。例如，对于一副 DEM，统计分析其最大高程、最低高程、平均高程以及某给定高程出现的频率，就可以数据有一个整体的了解。统计分析的目的是为了解数据分布的趋势或者通过趋势的了解回归拟合出某些空间属性之间的关系，以把握空间属性之间的关系和规律。栅格数据常规的统计分析主要指对数据集合的最大值、最小值、均值、中值、总和、方差、频数、众数、范围等参数进行分析。空间信息的自动化量算是地理信息系统所具有的重要功能，也是进行空间分析的定量化基础。栅格数据模型由于自身的特点很容易进行类似面积和体积等属性的量算。例如在 DEM 上，要计算某种属性地形所占的面积，只需要统计出这种属性地形所占的栅格数乘以其栅格分辨率就可以得到面积；要求某一区域的体积，只需把对应栅格的高程累加即可，计算快捷方便。在工程土方计算、水库库容估计这种方法经常使用。

6.2.2 矢量数据分析方法

与栅格数据分析处理方法相比， 矢量数据一般不存在模式化的分析处理方法， 而表现为处理方法的多样性与复杂性。以下选择几种最为常见的分析类型，说明矢量数据分析处理的基本原理与方法。

1. 矢量数据包含分析

确定要素之间是否存在着直接的联系，即矢量点、线、面之间是否存在空间位置上的联系，这是地理信息分析处理中常要提出的问题，也是在地理信息系统中实现图形、属性对位检索的前提条件与基本的分析方法。例如，若在计算机屏幕上利用鼠标点击对应的点状、线状或面状图形，查询其对应的属性信息；或需要确定点状居民地与线状河流或面状地类之间的空间关系（如是否相邻或包含），都需要利用矢量数据的包含分析与数据处理方法。例如，要确定某座山脉属于哪个行政区；要测定某条断裂线经过哪些城市建筑，都需要通过 GIS 信息分析方法中对已有矢量数据的包含分析来实现以上目标。

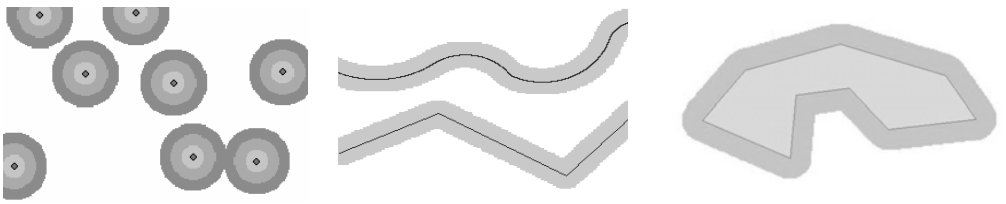
在包含分析的具体算法中，点与点、点与线的包含分析一般均可以分别通过先计算点到点，点到线之间的距离，然后，利用最小距离阈值判断包含的结果。点与面之间的包含分析，可以通过铅垂线算法来解决。

利用包含分析方法，还可以解决地图的自动分色，地图内容从面向点的制图综合，面

状数据从矢量向栅格格式的转换，以及区域内容的自动计数（例如某个设定的森林砍伐区内，某一树种的颗数） 等等。例如，确定某区域内矿井的个数，这是点与面之间的包含分析，确定某一县境内公路的类型以及不同级别道路的里程，是线与面之间的包含分析。

2. 矢量数据的缓冲区分析

缓冲区分析是根据数据库的点、线、面实体，自动建立其周围一定宽度范围内的缓冲区域多边形实体，从而实现空间数据在水平方向得以扩展的信息分析方法，如图 5.5 所示。点、线、面矢量实体的缓冲区表示该矢量实体某种属性的影响范围，它是地理信息系统重要的和基本的空间操作功能之一。例如，城市的噪音污染源所影响的一定空间范围、交通线两侧所划定的绿化带，即可分别描述为点的缓冲区与线的缓冲带。而多边形面域的缓冲带有正缓冲区与负缓冲区之分，多边形外部为多边形正缓冲区，内部为负。



a. 点的缓冲　　b. 线的缓冲　　c. 面的缓冲

图 5.5　缓冲区示意图

3. 多边形叠置分析

多边形叠置分析是指同一地区、同一比例尺的两组或两组以上的多边形要素的数据文件进行叠置。参加叠置分析的两个图层应都是矢量数据结构。若需进行多层叠置， 也是两两叠置后再与第三层叠置，依次类推。其中被叠置的多边形为本底多边形，用来叠置的多边形为上覆多边形，叠置后产生具有多重属性的新多边形。

其基本的处理方法是，根据两组多边形边界的交点来建立具有多重属性的多边形或进行多边形范围内的属性特性的统计分析。

叠置的目的是通过区域多重属性的模拟，寻找和确定同时具有几种地理属性的分布区域，按照确定的地理指标，对叠置后产生的具有不同属性的多边形进行重新分类或分级；或者是计算一种要素（如土地利用）在另一种要素（如行政区域）的某个区域多边形范围内的分布状况和数量特征，提取某个区域范围内某种专题内容的数据，如图 5.6 所示。

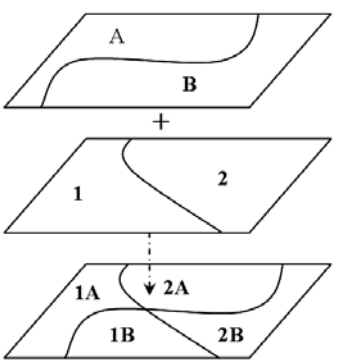


图 5.6　叠置分析示意图

多边形叠置分析应用广泛，诸多地理信息系统中都具备多边形叠置分析的功能。

4. 矢量数据的网络分析

网络分析的主要用途是：选择最佳路径、设施以及进行网络流分析。所谓最佳路径是指从始点到终点的最短距离或花费最少的路线，如图 5.7 所示；最佳布局中心位置是指各中心所覆盖范围内任一点到中心的距离最近或花费最小；网流量是指网络上从起点到终点的某个函数，如运输价格，运输时间等。

网络分析首先要建立网络路径的拓扑关系和路径信息属性数据库。也就是说需要知道路径在网络种如何分布和经过每一段路径需要的成本值，才能进行后续分析。

网络分析其基本思想则在于人类活动总是趋向于按一定目标选择达到最佳效果的空间位置。这类问题在生产、社会、经济活动中不胜枚举，因此研究此类问题具有重大意义。

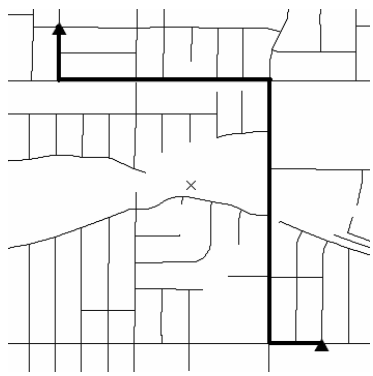


图 5.7　城市两点间最佳路径

5. 泰森多边形分析

荷兰气候学家 A.H.Thiessen 提出了一种根据离散分布的气象站的降雨量来计算平均降雨量的方法。该方法是将所有相邻气象点连接成三角形，做这些三角形各边的垂直平分线，于是每个气象站周围的若干垂直平分线围成一个多边形，如图 5.8 所示。用这个多边形内所包含的一个唯一的气象站的降雨强度来代表这个多边形区域的降雨强度，并称这个多边形为泰森多边形。泰森多边形每个顶点是每个三角形的外接圆圆心。泰森多边形也称为 Voronoi 图或者 Dirichlet 图。泰森多边形的特性是：每个泰森多边形内仅含有一个离散点数据；泰森多边形内的点到相应离散点的距离最近；位于泰森多边形边上的点到其两边的离散点的距离相等。泰森多边形可用于定性分析、统计分析、临近分析等，是某些空间分析一个有用的工具。

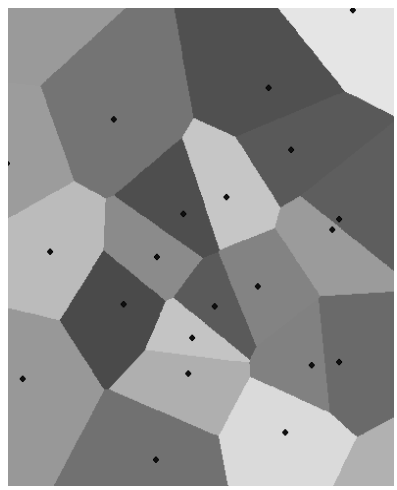


图 5.8 泰森多边形示意图

6. 矢量数据的量算

矢量数据的量算主要是关于几何形态量算，对于点、线、面、体 4 类目标物而言，其含义是不同的。点状对象的量算主要指对其位置信息的量算，例如坐标；线状对象的量算包括其长度、方向、曲率、中点等方面的内容；面状对象的量算包括其面积、周长、重心等；体状对象的量算包括表面积、体积的量算等。

6.2.3 空间统计分析与内插

空间统计分析的目的是为了找出某种属性分布的整体特征和趋势，了解其中的规律，以便科学的对其进行分析和预测。空间统计方法是建立在概率论与数理统计基础上的一类地理数学方法，适用于对各种随机现象、随机过程和随机事件的处理。几乎所有的地学现象、地学过程和地学事件都具有一定随机行，这是由于地学对象的复杂性决定的。地学现象的这种随机性是空间统计方法应用的基础。

空间统计分析主要用于空间数据的分类与综合评价。为了将空间实体的某些属性进行横向或纵向比较，往往将实体的属性进行统计以便进行直观的综合评价。常用的地学统计分析方法多样，包括相关性分析、回归分析、时间序列分析、系统聚类分析、主成分分析、趋势面分析、马尔可夫预测以及克里格估计法等等。空间统计表现方式也多种多样，有列

表、直方图、云图、回归曲线等等形式，如图 5.9 所示。

空间统计分析除了能分析数据的整体态势外，还可以分析空间数据采样的合理性，通过对样区内数据位置分布和取值分布的分析，统计该采样数据是否具有对样区某属性的代表性以及基于此数据的分析是否具有较高的可信性。

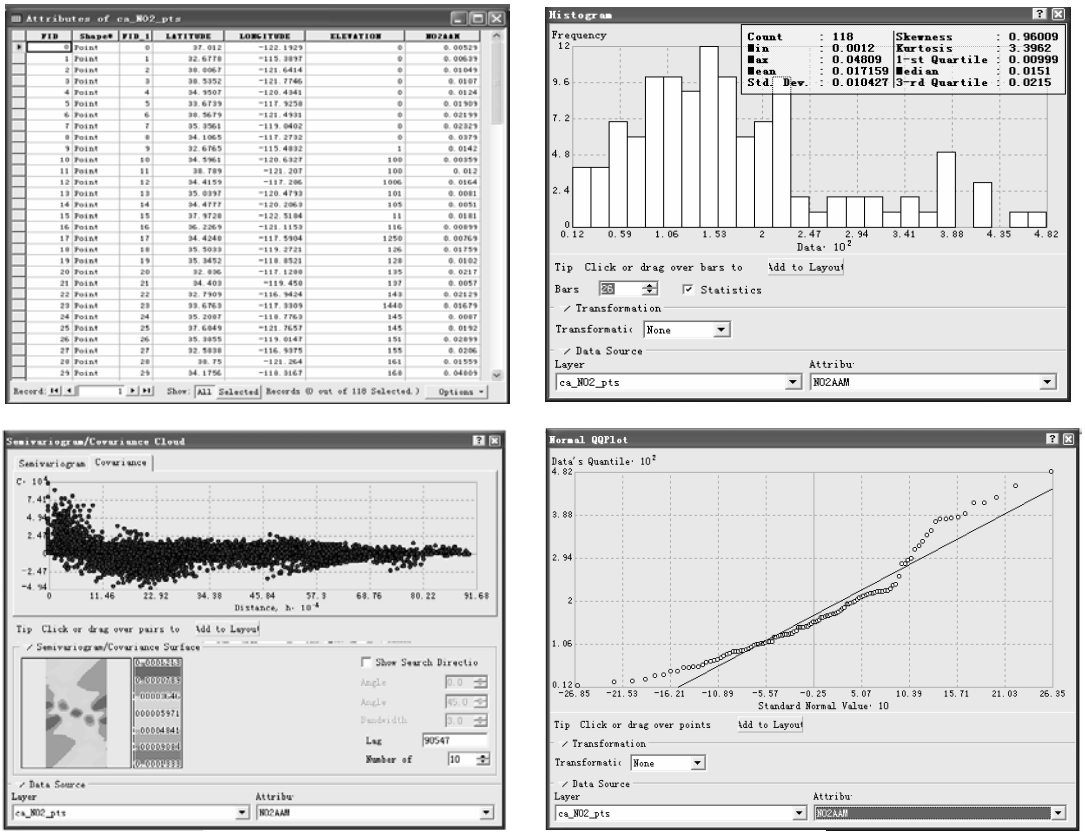


图 5.9　统计结果的表示形式

空间数据往往是根据自己要求所获取的采样点观测值，诸如地面高程、土地肥力等。这些点的分布一般是不规则、不连续的，在用户感兴趣或模型复杂区域可能采样点多，反之则少。采样获得的数据一般都是研究因素在某点的具体数值，其是空间的矢量点数据。对于研究区域某空间因子采样的个数是有限的，不可能布满整个研究区域。当用户对需要对未采样点的数值需要准确的了解时，就必须去实地再次进行采样。能否根据已知采样点的信息对附近未知点的属性进行预测或估计呢？这就导致了空间内插技术的诞生。一般来讲，在已存在观测点的区域范围之内估计未观测点的特征值的过程称内插；在已存在观测点的区域范围之外估计未观测点的特征值的过程称外插或推估。插值方法大都是基于矢量点数据的，目前也有学者提出线插值和面插值的概念和方法，但还不成熟和完善，有待于进一步的研究和讨论。

内插目的是为了根据已知点的属性合理推断和预测附近未知点的属性值，如图 5.10 所示，有点数据内插形成表面，得到面上任意点的值（以样条插值为例）。内插的方法有若干种，各自有自己特点和不足，常用的有反距离权插值、样条插值和克力格插值。根据具体

问题的特征，选择适当的插值方法进行插值，才可能对未知点的属性得到较为准确的预测和反映，图 5.10 是跟据点数据的高程值以样条插值方法为例进行插值得到的高程表面。

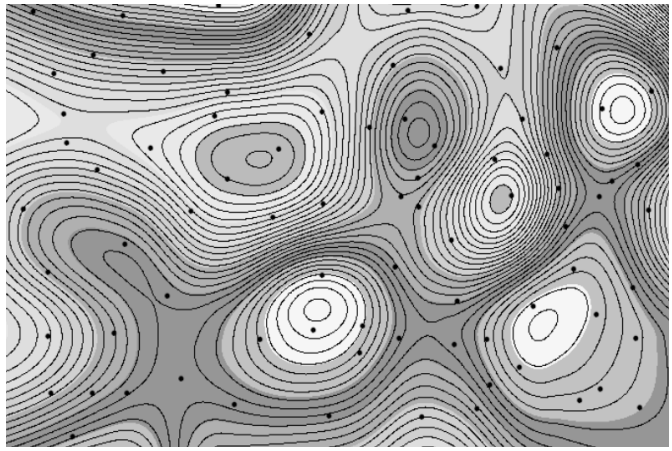


图 5.10　内插生成表面

6.2.4 三维空间分析

栅格和矢量数据模型都可以进行三维分析，矢量数据模型三维分析方法主要是基于数学分析和图论的思想，栅格数据以矩阵计算为理论基础进行分析。

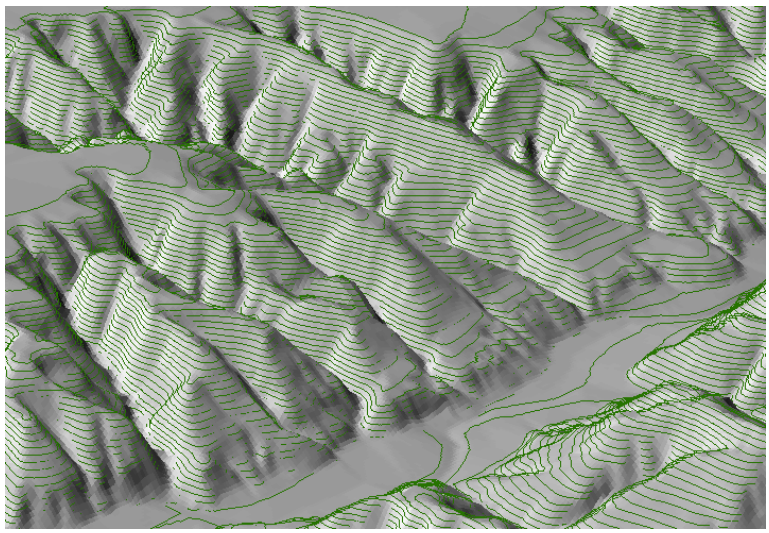


图 5.11 地形的三维显示与分析

当前，GIS 的研究成果和应用系统主要几种于描述二维空间信息，各项技术已较为成熟。但由于二维地理信息系统将实际的三维事物采用二维方式表示，具有很大的局限性，大量的多维空间信息无法得到利用。随着地理信息系统技术的进一步发展，人们开始越来

越关心三维空间分析。

二维和三维的本质区别在于数据分布的范围，对于空间实体的描述在几何坐标上增加了第三维的信息——垂向坐标信息。三维空间分析除了对空间对象的位置坐标进行分析外，更重要的是对第三维坐标的分析。利用基础地形数据生成三维地形透视图，模拟仿真实地环境，并在此基础上进行三维空间分析，是当代地理信息系统研究的一个重要内容。三维空间分析不仅包括对空间实体的三维显示（如图 5.11 所示）、查询，坡度、坡向、地表粗糙度、复杂度、地表曲率等地形属性的计算和提取，还可以应用到其他领域，如降水分析、土壤酸碱度分析、气温分析、可视域分析、水文分析等。

6.3 ArcGIS 9 空间分析模块和功能

ArcGIS9 具有功能强大、应用领域非常广泛，在社会公共安全与应急服务、国土资源管理、遥感、智能交通系统建设、水利、电力、石油、国防、公共医疗卫生、电信等方面和领域都有深入的应用。强大的空间分析功能是 ArcGIS9 的特点与核心之一。无论对于栅格数据还是矢量数据、低维的点、线、面对象还是三维动态对象，都可以通过其空间分析功能的实现得到较为理想的结果。ArcGIS9 的空间分析模块（ArcGIS Spatial Analyst）功能的实现主要是基于栅格数据进行的，其可以完成常用的数据转换、分析、统计、分类和显示等功能。空间分析模块是 Arcgis9 进行空间分析的主要模块，但其并不囊括 Arcgis9 的所有空间分析功能，其他的一些模块可以帮助用户进行专题性较强、较有特色的空间分析，如统计分析模块、三维分析模块等。

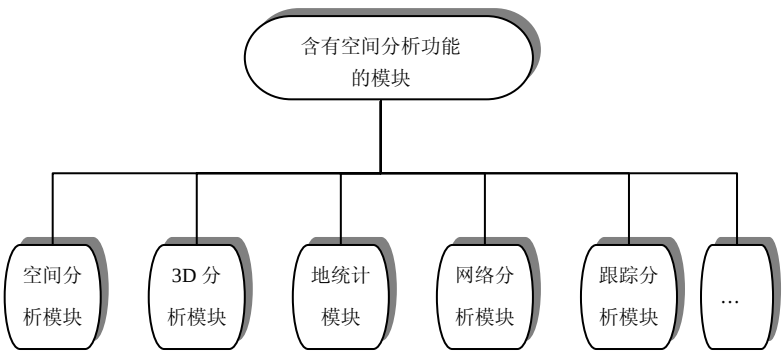


图 5.12　包含空间分析功能的主要模块

ArcGIS9 的空间分析功能主要包括于空间分析模块、3D 分析模块、地统计分析模块、网络分析模块、跟踪分析模块等之中，如图 5.12 所示。对于空间分析功能的实现，各模块具有各自的特点和优势，以下几章要进行详细的介绍，这里就其能够实现的功能和特点作一简要的说明。

ArcGIS Spatial Analyst 模块是 ArcGIS Desktop 中增加了一组全面的高级空间建模和空间分析工具，应用 ArcGIS Spatial Analyst，用户可从现存数据中得到新的数据，分析空间

关系和空间特征，应用空间分析模块可以进行：（1）距离分析，（2）密度分析，（3）寻找适宜位置，（4）寻找位置间的最佳路径，（5）距离和路径成本分析，（6）基于本地环境、邻域或待定区域的统计分析，（7）应用简单的影像处理工具生成新数据，（8）对研究区进行基于采样点的插值，（9）进行数据整理以方便进一步的数据分析和显示，（10）栅格矢量数据的转换，（11）栅格计算、统计、重分类等功能。

ArcGIS Spatial Analyst 被紧密的集成在 ArcGIS Desktop 地理数据处理环境中，因此一些复杂的分析问题的解决比以往更加容易。地理数据处理模型不仅易于创建和执行，并且是独立存档的，使得用户能够迅速理解所进行的空间分析处理。

ArcGIS 3D Analyst 模块，能够对表面数据进行高效率的可视化和分析。使用 ArcGIS 3D Analyst，用户可以从不同的视点观察表面，查询表面，确定从表面上某一点观察时其他地物的可见性，还可以将栅格和矢量数据贴在表面以创建一副真实的透视图，如图 5.13 所示。ArcGIS 3D 分析扩展模块的核心是 ArcGlobe 应用程序。ArcGlobe 提供浏览多层 GIS 数据、创建和分析表面的界面。同时，ArcGIS 3D Analyst 提供了三维建模的高级 GIS 工具，比如挖填分析，可见分析以及地表建模等。

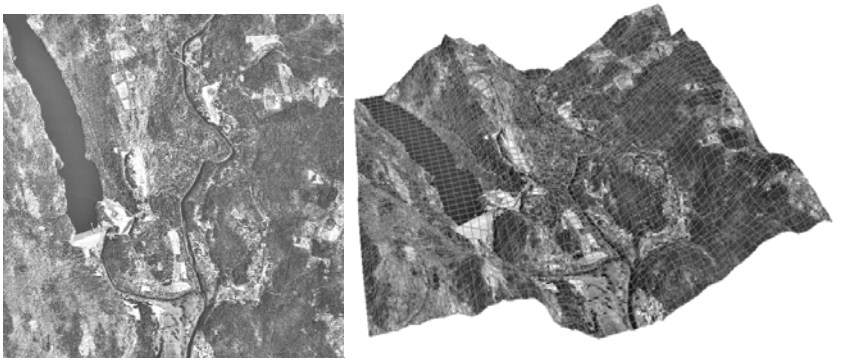


图 5.13　三维表面漫游和查询

ArcGIS Geostatistical Analyst 模块是 ArcGIS Desktop 的一个扩展模块，它为空间数据探测、确定数据异常、优化预测、评价预测的不确定性和生成数据面等工作提供各种各样的工具，其主要能够完成探究数据可变性、查找不合理数据、检查数据的整体变化趋势、分析空间自相关和多数据集之间的相互关系以及利用各种地统计模型和工具来做预报、预报标准误差、计算大于某一阈值的概率和分位图绘制等工作。ArcGIS Geostatistical Analyst 是一个完整的工具包，它可以实现空间数据预处理、地统计分析、等高线分析和后期处理等功能，同样包含交互式的图形工具，这些工具带有为缺省模型设计的稳定性参数，这样可以帮助初学者快速的掌握地统计分析。地理统计分析模块使得 ArcGIS 的数据管理、可视化、和图形工具之间更加协调，是 GIS 应用者一个强有力的地理统计分析工具。

ArcGIS 网络分析模块可以帮助用户创建和管理复杂的网络数据集合，并且生成路径解决方案。ArcGIS Network Analyst 是进行路径分析的扩展模块，为基于网络的空间分析（比如位置分析，行车时间分析和空间交互式建模等）提供了一个完全崭新的解决框架。这一

扩展模块将帮助 ArcGIS Desktop 用户模拟现实世界中的网络条件与情景。ArcGIS Network Analyst 模块能够进行行车时间分析、点到点的路径分析、路径方向、服务区域定义、最短路径、最佳路径、邻近设施、起始点目标点矩阵等分析，其使用户能够使用地理网络来解决多种多样的问题，使诸如寻找最高效的旅行路线，生成旅行向导，或者发现最邻近设施等任务变得方便快捷。

ArcGIS Tracking Analyst 模块提供时间序列的回放和分析功能，可以帮助显示复杂的时间序列和空间模型，并且有助于在 ArcGIS 系统中与其他类型的 GIS 数据集成的时候相互作用。其可以回放历史数据，基于一定原理的制图，数据中的时间模型，在 GIS 系统中积分时间数据，平衡现有的 GIS 数据来创建时间序列可视化，创建分析历史数据和实时数据变化的图表。ArcGIS Tracking Analyst 扩展了 ArcGIS 桌面功能，增加了时间序列及其变化的实时可视化。

ArcGIS9 中还有若干模块包含有某种空间分析功能的模块，如立体分析模块等，这里不能一一列举。以下的几章，本书着重对 ArcGIS9 中空间分析模块、三维分析模块、空间统计模块和 ArcToolbox 的主要功能、使用方法以及其空间分析的原理进行详细的说明和介绍。