

第八章 栅格数据的空间分析

栅格数据结构简单、直观，非常利于计算机操作和处理，是 GIS 常用的空间基础数据格式。基于栅格数据的空间分析是 GIS 空间分析的基础，也是 ArcGIS 空间分析模块(Spatial Analyst)的核心内容。ArcGIS 空间分析模块(Spatial Analyst)提供了一个范围广阔且功能强大的空间分析和建模工具集，它允许用户从 GIS 数据中快速获取所需信息，并以多种方式进行分析操作，包括距离制图、密度制图、表面生成、表面分析、统计分析、重分类、栅格计算，等等。本章将对 ArcGIS 栅格数据空间分析模块从原理到实现作详细的说明，并附以具体实例，引导读者更好的应用。

8.1 设置分析环境

加载空间分析模块，为分析结果设定工作路径、单元大小、分析范围、坐标系统是完成空间分析的先决条件。

8.1.1 加载分析模块

空间分析模块(Spatial Analyst)是 ArcGIS 外带的扩展模块，虽然在 ArcGIS 安装时自动挂接到 ArcGIS 的应用程序中，但是并没有加载，只有获得了它的使用许可后，才能加载和有效使用。

加载 Spatial Analyst 模块的操作过程如下：

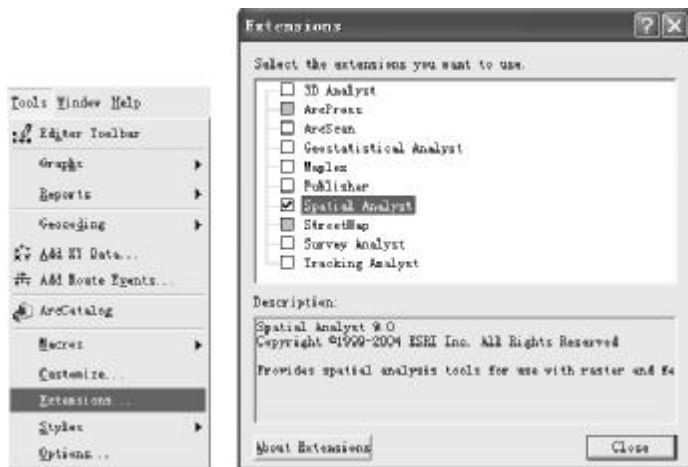


图 8.1 加载 Spatial Analyst

1. 启动 ArcMAP;
2. 单击 Tools 菜单下的 Extensions, 选择 Spatial Analyst, 单击 Close 按钮, 如图 8.1 所示;
3. 在 ArcMap 菜单区, 单击鼠标右键, 选择 Spatial Analyst 工具。Spatial Analyst 工具出现在 ArcMap 视图中。

8.1.2 设置工作路径

ArcGIS 空间分析的中间过程文件和结果文件均自动保存到指定的工作目录中。缺省工作目录通常是系统的临时目录。此外, 空间分析模块中提供了 Option 选项, 可以设置新的工作目录。

设置步骤如下:

1. 单击 Spatial Analyst 菜单下的 Option 命令, 打开 Option 对话框;
2. 选择 General 标签 (图 8.2);
3. 在 Working Directions 文本框中输入目录全名或单击 Browse 按钮指定目录;
4. 单击确定按钮, 完成设置操作。



图 8.2 设置工作路径对话框

8.1.3 设置单元大小

栅格数据由单元组成。单元是代表区域特定部分的方块。单元按行列排列, 组成了一个笛卡儿坐标系, 并且所有的单元是同样大小的。单元大小 (Cell Size), 也称分析解析度, 指栅格数据空间分析中分析结果的缺省栅格单元大小。栅格数据的空间分析就是在每一个栅格单元的基础上进行的。单元大小可以是分析需要的任意值。选择合适的单元大小, 对实现空间分析非常重要。如果单元过大则分析结果精确度降低, 如果单元过小则会产生大量的冗余数据, 并且计算速度降低。

单元大小的设置过程如下:

1. 单击 Spatial Analyst 菜单下的 Option 命令, 打开 Option 对话框;
2. 选择 Cell Size 标签 (图 8.3);



图 8.3 设置单元大小对话框

3. 单击 Analysis cell size 下拉箭头, 选择合适选项:
 - (1) Maximum of Inputs: 输入栅格数据集中最大的单元值;
 - (2) Minimum of Inputs: 输入栅格数据集中的最小单元值;
 - (3) As Specified Below: 采用 Cell size 文本框输入的单元大小, 或由 Number of rows (栅格数据集行数) 和 Number of columns (栅格数据集列数) 计算的单元大小值;
 - (4) Same as layer “***”: 与“***” (***指 ArcMap 视图中已经加载的栅格数据) 同栅格单元大小;
 - (5) 也可单击 browse 按钮选择其它栅格数据, 以它的栅格单元大小作为分析栅格单元大小。
4. 单击确定按钮, 完成操作。

8.1.4 设置分析区域

区域指一组相互邻接的单元。在栅格数据的空间分析中, 有时需要指定最大的分析范围, 并且在这个范围中, 一些区域不需要参与分析。在 ArcGIS 中, 分析区域的设定包括以下两方面内容。

1. 设置最大分析范围

在栅格数据的空间分析中, 当对多个栅格数据进行函数计算时, 缺省计算范围是输入栅格数据的重叠区域, 即输入栅格数据的交集。此外, 用户可以根据分析的需要, 定义自己的分析范围。

定义方法为:

- (1) 单击 Spatial Analyst 菜单下的 Option 命令, 打开 Option 对话框;
- (2) 选择 Extent 标签 (图 8.4);
- (3) 单击 Analysis extent 下拉箭头, 选择分析范围匹配模式:

- 1) Same as Display: 在地图的可视区域上进行分析;
- 2) Intersection of Inputs (默认值): 在输入栅格的交集上进行分析;
- 3) Union of Inputs: 在图层的并集上进行分析;
- 4) As Specified Below: 自己定义分析范围。

在 Top、Bottom、Left、Right 文本框输入分析范围坐标值。也可在 Analysis Extent 下拉列表框中选择已有的栅格数据层, 或单击右边 browse 按钮, 选择其它栅格数据文件, 用它们的坐标范围作为当前分析范围。

- (4) Snap extent to: 设置栅格数据集捕捉范围。输出的所有栅格数据单元与指定的栅



图 8.4 利用坐标设置分析区域

格数据单元匹配;

(5) 单击确定按钮, 完成设置操作。

2. 设置局部分析区域

此外, 在进行空间分析的过程中, 如果分析只是在所选择的单元集或局部区域进行, 并不需要在整个单元集上进行, 这时就需要设置分析掩码。分析掩码标识了分析过程中需要考虑到的分析单元即分析范围。分析掩码的创建参照重分类 (8.5 重分类)。

分析掩码的设定过程为:

- (1) 单击 **Spatial Analyst** 菜单下的 **Option** 命令, 打开 **Option** 对话框。
- (2) 选择 **General** 标签, 如图 8.2 所示;
- (3) 在 **Analysis mask** 中选择已创建的掩码;
- (4) 单击确定按钮, 完成设置操作。

设置分析掩码后, 所有的分析只在掩码范围内进行。

8.1.5 选择坐标系

ArcGIS 的空间分析中, 系统使用两种方式控制分析结果的坐标系。

具体设置过程为:

1. 单击 **Spatial Analyst** 菜单下的 **Option** 命令, 打开 **Option** 对话框;
2. 选择 **General** 标签, 如图 8.5;
3. 在 **Analysis Coordinate System** 栏中选择的坐标系选项;

(1) 分析结果坐标系取用第一个具有坐标系统的栅格数据集的坐标系;

(2) 分析结果坐标系取用当前活动数据集 (ArcMap 视图被选择的栅格数据集) 的坐标系。

4. 单击确定按钮, 完成操作。



图 8.5 坐标系设置对话框

8.1.6 管理过程文件

在 ArcGIS 空间分析过程中, 除了少数需要明确指出输出文件名称的分析功能模块外, 大多数分析的过程文件和结果文件都是临时性的。如果需要保存, 可以通过三种方式将临时性结果转化为永久性结果。

1. 在函数对话框中输入结果全名

输出计算结果时, 在文件输出文本框 (Output raster) 输入或单击右边的 **Browse** 按钮

指定结果文件存放路径和名称。如图 8.6。

2. 通过目录表永久保存计算结果

选择需要永久保存的数据层，点击鼠标右键，选择 **Make Permanent** 命令（图 8.7），在弹出的对话框中选择文件存放路径，输入文件名称。

3. 通过保存地图文档永久保存计算结果

在文件（File）菜单中选择保存（Save）或另存为（Save As）命令。在弹出的对话框中指定存放路



图 8.6 文件输出对话框

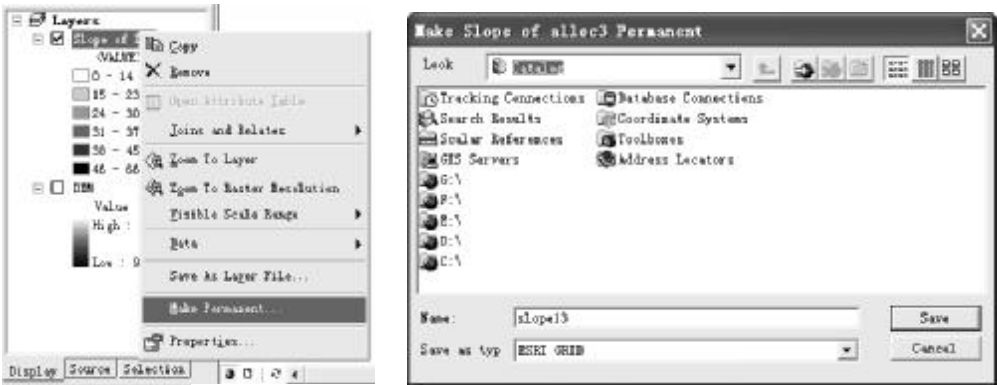


图 8.7 结果文件保存对话框

径和文件名称，并在保存类型下拉箭头中选择 **ArcMap Documents (*.mxd)**。地图文档保存的仅仅是当前地图文档中所有数据层的索引信息，包括文件的名称、存放路径、符号化设置等，并不存放数据层的具体数据，在以后应用中，如果数据层的实际存放路径发生改变，地图文档就无法自动完成数据的链接和读入。

8.2 距离制图

距离制图（Distance）根据每一栅格相距其最邻近要素（也称为“源”）的距离分析制图，从而反映每一栅格与其最邻近源的相互关系。通过距离制图可以获得很多相关信息，指导人们进行资源的合理规划和利用。例如，飞机失事紧急救援时从指定地区到最近医院的距离；消防、照明等市政设施的布设及其服务区域的分析等。此外，也可以根据某些成本因素找到 A 地到 B 地的最短路径或成本最低路径。本节就 ArcGIS 中距离制图的基本原理和实现过程进行详细阐述。

8.2.1 距离制图基础

距离在空间分析中是一个非常广义的概念。它不再只是单一的代表两点间的直线长

度，而是被赋予了更加丰富的内容。ArcGIS 的距离制图提供了许多距离分析工具和函数（图 8.8），不仅可以量测直线距离（欧氏距离），还可以计算许多函数距离。函数距离是描述两点间距离的一种函数关系，如时间、摩擦、消耗等。

在 ArcGIS 中，距离制图主要通过距离分析函数完成。这里首先对距离制图中的一些基本概念和约定作简要说明。

1. 源

源即距离分析中的目标或目的地，如学校，商场，水井，道路等。源表现在 GIS 数据特征上就是一些离散的点、线、面要素。要素可以邻接，但属性必须不同。源可以用栅格数据表示，也可以使用矢量数据表示。

2. 成本

成本即到达目标、目的地的花费，包括金钱、时间、人们的喜好，等等。影响成本的因素可以只有一个，也可以有多个。如学校的选址，不仅要考虑位置的适宜性，还要考虑土地利用现状、交通是否便捷。成本栅格数据记录了通过每一单元的通行成本。

成本数据的制作一般是基于重分类功能（参照 8.6 重分类）完成。成本数据是一个单独的数据，但有时会遇到需要考虑多个成本因素。此时，需要制定统一的成本分类体系，对单个成本按其大小分类，并对每一类别赋予成本量值，通常成本高的量值小，成本低的量值大。最后根据成本影响程度确定单个成本权重，依权重百分比加权求和，得到多个单成本因素综合影响的成本栅格数据。

3. 成本距离加权数据

也称成本累计数据，记录每个栅格到距离最近、成本最低的源的最少累加成本。成本距离加权考虑到了事物的复杂性，对于基于复杂地理特性的分析非常有用。例如不是所有道路都是平坦的，即使目的地就在山的另一边，其直线距离很近，但翻过高山要比走直路难得多。如将时间作为成本，翻山需要 1 小时，绕路需要 30 分钟，则此时翻山的成本距离就要大于绕路的成本距离。因此，人们会自觉选择绕路而不是翻山。除此之外，成本距离加权还对动物迁移研究、顾客旅游行为、道路、电力管线、输油管布设等的最低耗费成本计算非常有帮助。

4. 距离方向数据

距离方向数据表示了从每一单元出发，沿着最低累计成本路径到达最近源的路线方向。图 8.9 为成本距离加权数据和方向数据的说明图。图 a 为成本距离加权数据，图 b 为与图 a 相对应的方向数据，图 c 为方向数据说明图。图 b 中 3, 4, 5 分别代表了不同的方向数值。ArcGIS 将距离方向分成 8 个部分，分别用数字 1~8 表示，如图 c 所示。每一个栅格单元将被赋予一个方向值（1~8），记录从当前栅格到最近源的最小成本路径方向。例如，当栅格值为 1 时，它的方向将指向正东方向；栅格值为 4 时，它的方向将指向西南方向。



图 8.8 距离制图函数所在位置

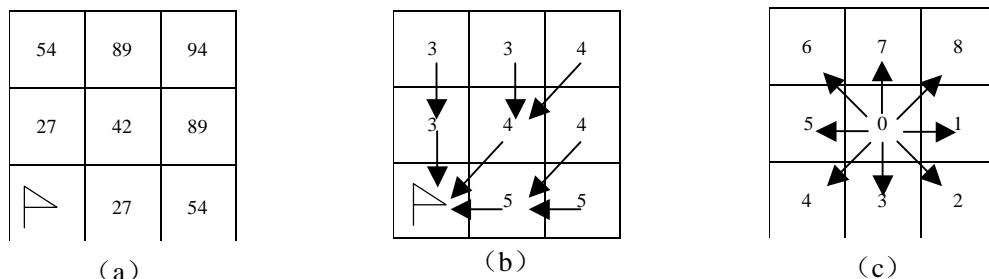


图 8.9 成本距离加权数据与方向数据的说明图

5. 分配数据

分配数据记录每一单元点隶属的最近源信息，单元值就是其最近源的值。在直线距离分析制图中，分配函数用直线距离最邻近分析方法识别单元归属于哪个源；在成本距离加权分析中依据最短距离、最小累加通行成本识别单元归属于哪个源。

6. 距离制图函数

ArcGIS 提供了许多用于量测距离量测和分析函数，直线距离、成本距离，实现各种距离分析与制图。主要包括：

- l 成本距离加权函数（Cost-Weighted Distance），通过成本因子修正直线距离，获得每一单元到距离最近、成本最低源的最少累加成本。
- l 成本方向加权函数（Cost-Weighted Direction），提供完整的路线图，图中记录从任一单元出发，沿着最小成本路径，到达最近源的路线。
- l 成本分配加权函数（Cost-Weighted Allocation），在累加成本的基础上计算最近源。
- l 直线距离函数（Straight-Line Distance），量测每一单元到最近源的直线距离。
- l 直线方向函数（Straight-Line Direction），计算每个单元最近源的方向，单位度。
- l 直线分配函数（Straight-Line Allocation），赋予每个单元直线距离最近源的值。
- l 最小成本路径函数（Shortest Path），确定从某一目标点到一个源的最短路径或最低成本路径。最小成本路径函数必须要在执行成本距离加权函数，生成距离和方向栅格数据之后才可运行。
- l 分配函数（Allocation），依据最邻近分析原理识别单元归属于哪个源。

8.2.2 直线距离

通过直线距离函数，计算每个栅格与最近源之间的欧氏距离，并按距离远近分级。直线距离可以用于实现空气污染影响度分析，寻找最近医院，计算距最近超市的距离等操作。

操作过程如下：

1. 单击 Spatial Analyst 下拉箭头，单击 Distance，单击 Straight Line，打开直线距离制图对话框（图 8.10）；
2. 单击 Distance to 下拉箭头，选择需要计算直线距离的图层；

3. 在 Maximum distance 文本框中输入最大距离。计算在输入的距离范围内进行，距离以外的地方直接赋于空值，不作任何计算。如果没有输入任何值，计算在整个图层范围内进行；

4. 在 Output cell size 文本框输入输出结果的栅格大小；

5. Create direction: 可选项，如选择则生成相应的直线方向数据，如图 8.11；

6. Create allocation: 可选项，如选择则生成相应的直线分配数据，如图 8.12；

7. 在 Output raster 文本框输入输出结果文件名称；

8. 单击 OK 按钮，完成操作，结果如图 8.13。

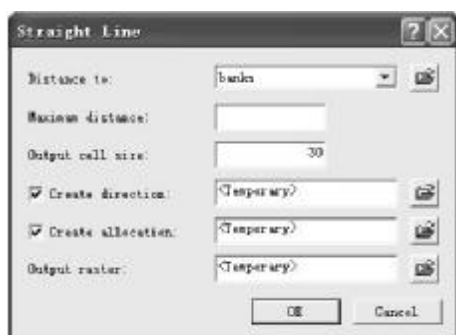


图 8.10 直线距离函数对话框

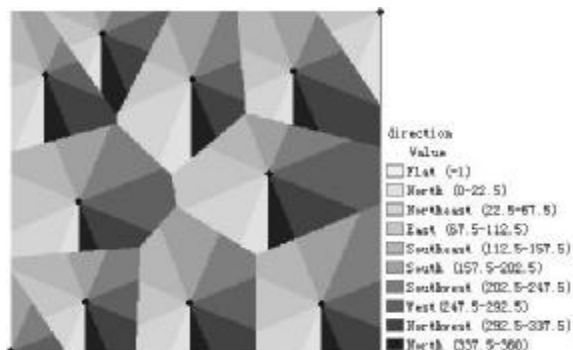


图 8.11 直线方向数据

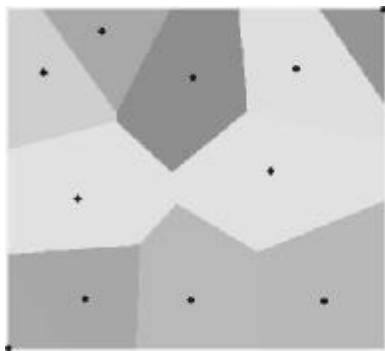


图 8.12 直线分配数据

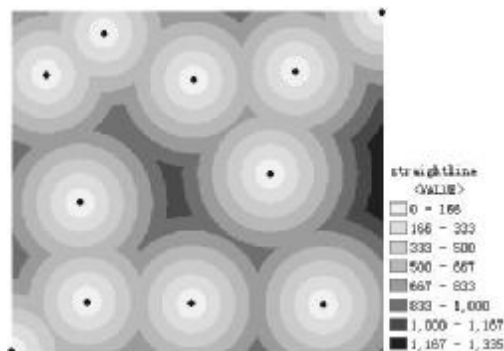


图 8.13 直线距离数据

8.2.3 区域分配

通过分配函数将所有栅格单元分配给离其最近的源。单元值存储了归属源的标识值。分配功能可以用于超市服务区域划分，寻找最邻近学校，找出医疗设备配备不足的地区等分析。

操作过程如下：

1. 单击 Spatial Analyst 下拉箭头，单击 Distance，单击 Allocation，打开区域分配

对话框（图 8.14）；

2. 单击 Assign to 下拉箭头，选择源数据层；
3. 在 Maximum distance 文本框中输入最大距离。计算在输入的距离范围内进行，距离以外的地方直接赋于空值，不作任何计算。如果没有输入任何值，计算在整个图层范围内进行；
4. 在 Output cell size 文本框输入结果的栅格大小；
5. 在 Output raster 文本框输入结果文件名称；
6. 单击 OK 按钮，完成区域分配操作。

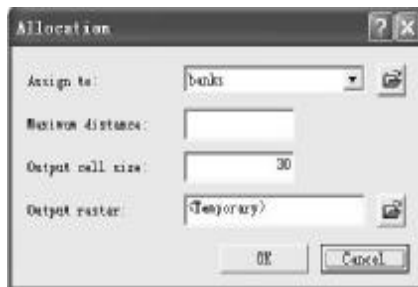


图 8.14 区域分配对话框

8.2.4 成本距离加权

通过成本距离加权函数，计算出每个栅格到距离最近、成本最低源的最少累加成本。同时可生成两个相关输出：成本方向数据和成本分配数据。成本距离加权数据表示了每一个单元到它最近源的最小累积成本。成本方向数据表示了从每一单元出发，沿着最低累计成本路径到达最近源的具体路线。成本分配数据记录每个单元的隶属源（归属于哪个源）信息。

下面内容以到达银行的最低成本为例，说明如何实现成本距离加权分析。其中成本数据为重分类的土地利用图。土地利用图依据重分类功能被分为九个等级，分别赋以权重 1~9。根据土地利用类型的不同，将通达性高的土地类型，如平地赋权重 1，通达性低的林地赋权重 6，沼泽地赋权重 9 等。利用此成本数据来生成参考了通达成本在内的成本距离加权图。

操作过程如下：

1. 在 Spatial Analyst 下拉菜单中选择 Distance, 在弹出的下一级菜单中单击 Cost Weighted, 出现 Cost Weighted 对话框（图 8.15）；
2. 单击 Distance to 下拉箭头，选择源数据，此处选择银行数据层；
3. 单击 Cost raster 下拉箭头，选择成本数据，此处选择重分类的土地利用图；
4. 在 Maximum distance 文本框中输入分析最大距离。该项为可选项。如果设定此项，计算分析均在以每个源为中心，以输入值为半径的圆形范围内进行，此距离以外的地方被赋予空值；如未设定此项，则计算在整个图层范围内进行；



图 8.15 成本距离加权函数对话框

5. Create direction: 可选项，如选择则生成相应的成本方向数据，如图 8.16 所示；

6. **Create allocation:** 可选项, 如选择则生成相应的成本分配数据, 如图 8.17 所示;
7. 在 **Output raster** 文本框输入结果文件名称;
8. 单击 **OK** 按钮, 完成操作。如图 8.18 所示。

成本距离加权函数通过成本因子修正直线距离, 获得每一单元到距离最近、成本最低源的最少累加成本。计算过程中不仅考虑到距离的影响, 而且考虑到某种成本的影响。因此, 与直线距离分析结果相比, 每一单元到其最近源的路径不再是直线方向; 并且, 在成本分配数据中, 不同源区域之间的边界没有基于直线距离函数的分配数据分配边界光滑。

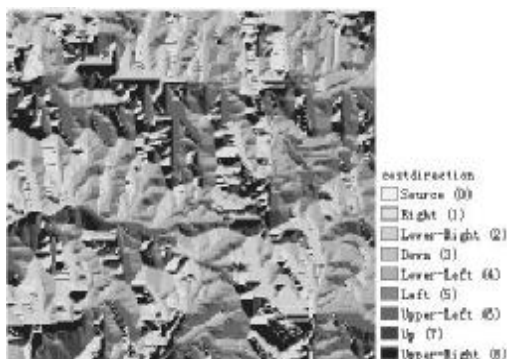


图 8.16 成本方向数据



图 8.17 区域分配数据

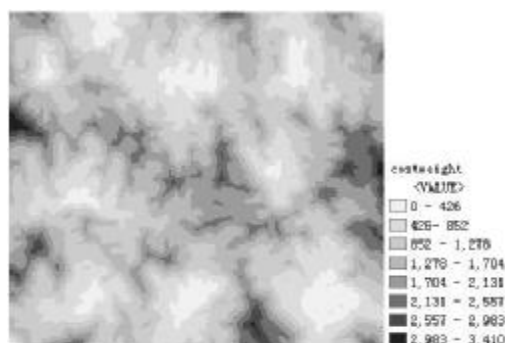


图 8.18 成本累计数据

8.2.5 最短路径

通过最短路径函数获取从一个源或一组源出发, 到达一个目标地或一组目标地的最短直线路径或最小成本路径。最短路径分析可找到通达性最好的路线, 或找出从居民地到达超市的最优路径。

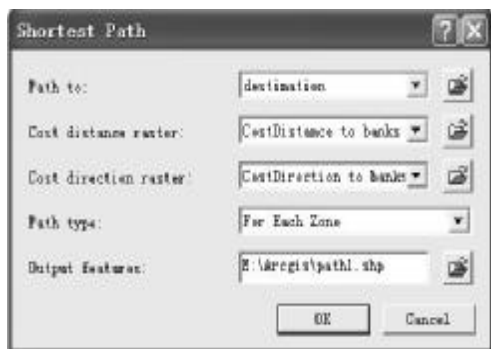
最短路径的计算过程中, 源可以是点要素, 也可以是区域要素。所以, 存在三种最短路径计算方法:

1. For each Cell: 为源中每一个单元点寻找一条成本最小路径;
2. For Each Zone: 为每个源寻找一条成本最小路径, 源中所有单元共享同一条路径。
3. For Each ZoneBest Single: 为所有源找寻一条成本最小路径, 此时, 只有一个源与一个相应的目标点或目标组相连。

最短路径的找寻, 首先需要获取成本数据, 其次执行成本加权距离函数, 获取成本方向数据 (图 8.16) 和成本累计数据 (图 8.18), 最后通过执行最短路径功能获取最短或最优路径。前两步请参阅上节内容 (成本距离加权), 最短路径功能的实现过程如下:

1. 在 Spatial Analyst 下拉菜单中选择 Distance, 在弹出的下一级菜单中单击 Shortest Path, 出现 Shortest Path 对话框 (图 8.19);
2. 单击 Path to 下拉箭头, 选择目标点数据层;
3. 单击 Cost distance raster 下拉箭头, 选择成本累计数据层;
4. 单击 Cost direction raster 下拉箭头, 选择成本方向数据层;
5. 单击 Path type 下拉箭头, 选择计算模式。这里选择 For Each Zone;
6. 在 Output feature 文本框中输入输出结果文件名;
7. 单击 OK 按钮, 完成操作。

图 8.20 为生成的最短路径图。底图是成本累计数据, 三块深色区域为出发地 (源), 点状要素为银行 (目标地), 银行和区域之间的连线即为所求的源到目的地的最短路径。



8.19 最短路径对话框

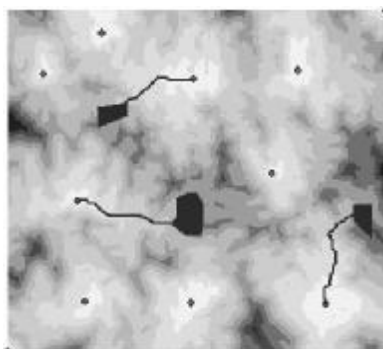


图 8.20 最短路径结果图

8.3 密度制图

密度制图根据输入的要害数据集计算整个区域的数据聚集状况, 从而产生一个连续的密度表面。密度制图主要是基于点数据生成的, 以每个待计算格网点为中心, 进行圆形区域的搜寻, 进而来计算每个格网点的密度值。

从本质上讲, 密度制图是一个通过离散采样点进行表面内插的过程, 根据内插原理的不同, 分为核函数密度制图 (Kernal) 和简单密度制图 (Simple)。

1. 核函数密度制图: 在核函数密度制图中, 落入搜索区内的点具有不同的权重, 靠

近格网搜寻区域中心的点或线会被赋以较大的权重，随着其与格网中心距离的加大，权重降低。它的计算结果分布较平滑；

2. 简单密度制图：在简单密度制图中，落在搜寻区域内的点或线有同样的权重，先对其进行求和，再除以搜索区域的大小，从而得到每个点的密度值。

密度图制作的具体过程如下：

- (1) 单击 **Spatial Analyst** 下拉箭头，单击 **Density** 命令，打开密度制图对话框(图 8.21)；

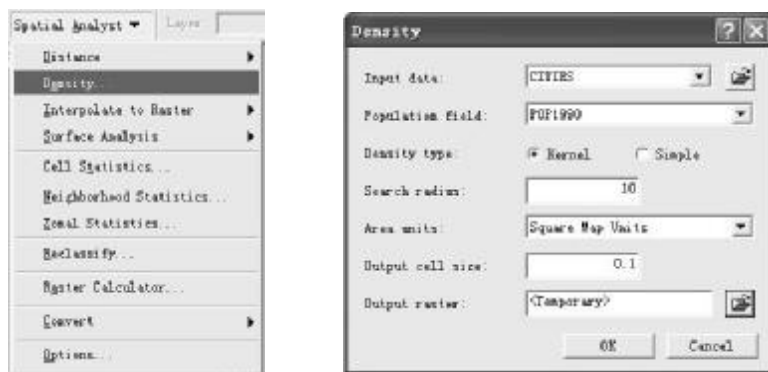


图 8.21 密度制图对话框

- (2) 单击 **Input data** 下拉箭头，选择需要进行分析的点要素图层；
- (3) 单击 **Population field** 下拉箭头，选择参与密度计算字段。默认选项为<none>，以搜索圆内要素点个数计算密度值；
- (4) 选择密度计算类型：**Kernel** 或 **Simple**；
- (5) 在 **Search radius** 文本框输入密度计算的搜索半径；
- (6) 在 **Area units** 文本框输入密度值的度量单位；
- (7) 在 **Output cell size** 文本框输入输出密度图的栅格大小；
- (8) 在 **Output raster** 输入结果文件的名称；
- (9) 单击 **OK** 按钮，完成密度图制作。

图 8.22 和图 8.23 分别是按上述方法制作的某地区人口密度图。

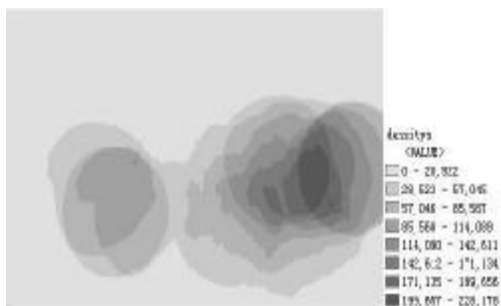


图 8.22 人口密度图 (Simple 方法)

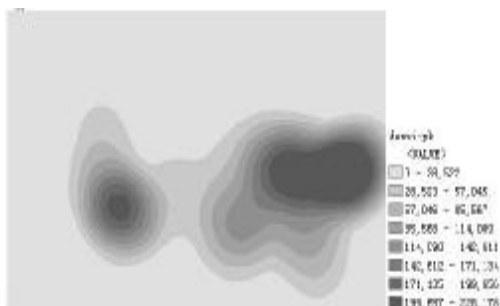


图 8.23 人口密度图 (Kernel 方法)

8.4 表面分析

表面分析主要通过生成新数据集，诸如等值线、坡度、坡向、山体阴影等派生数据，获得更多的反映原始数据集中所暗含的空间特征、空间格局等信息。在 ArcGIS 中，表面分析的主要功能有：查询表面值、从表面获取坡度和坡向信息、创建等值线、分析表面的可视性、从表面计算山体的阴影、确定坡面线的高度、寻找最陡路径、计算面积和体积、数据重分类、将表面转化为矢量数据等。在本节中主要介绍 ArcGIS 表面分析中的栅格插值，等值线绘制，坡度、坡向、山体阴影的提取等常用的基本分析功能，表面分析的三维分析请参阅第 9 章（三维分析）。

8.4.1 栅格插值

一般情况下采集到的数据都是以离散点的形式存在的，只有在这些采样点上才有较为准确的数值，而其它未采样点上都没有数值。然而，在实际应用中却很可能需要用到某些未采样点的值，这个时候就需要通过已采样点的数值来推算未采样点值。这样的过程也就是栅格插值过程。插值结果将生成一个连续的表面，在这个连续表面上可以得到每一点的值。栅格插值包括简单栅格表面的生成和栅格数据重采样。

通过栅格插值运算生成栅格表面是栅格空间分析中很重要的一部分，很多操作都将基于离散点插值生成的表面来进行。用来插值的离散点可以是多种数据，例如，空气污染指数，土壤有机质含量，或离散高程点。

ArcGIS 栅格分析模块中，通过栅格插值运算生成表面主要有三种实现方式：反距离权重插值，样条函数插值和克里格插值，如图 8.24 所示。

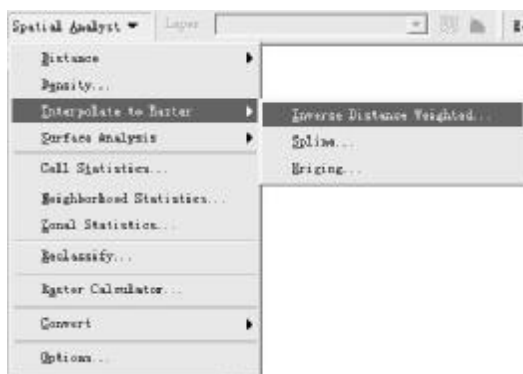


图 8.24 ArcGIS 栅格插值函数

1. 反距离权重插值（IDW）

IDW（Inverse Distance Weighted）是一种常用而简便的空间插值方法，它以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均，离插值点越近的样本点赋予的权重越大。

设平面上分布一系列离散点，已知其坐标和值为 $X_i, Y_i, Z_i, (i=1,2,\dots,n)$ ，根据周围离散点的值，通过距离加权值求 Z 点值，则：

$$z = \left[\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^2} \right] \bigg/ \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2} \right] \quad (1)$$

其中: $d_i^2 = (X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 \quad (2)$

IDW 通过对邻近区域的每个采样点值平均运算获得内插单元值。IDW 是一个均分过程，这一方法要求离散点均匀分布，并且密集程度足以满足在分析中反映局部表面变化。

IDW 插值具体实现过程为：

(1) 单击 Spatial Analyst 下拉箭头，单击 Interpolate to Raster，在弹出的下一级菜单中单击 Inverse Distance Weighted 命令，打开 IDW 对话框（图 8.25）；

(2) 单击 Input points 下拉箭头，选择参加内插计算的点数据集；

(3) 单击 Z value field 下拉箭头，选择参加内插计算的字段名称；

(4) 在 Power 文本框中输入 IDW 的幂值。幂值是一个正实数，其缺省值为 2。

(5) 单击 Search radius type 下拉箭头，选择搜索半径类型；



图 8.25 IDW 对话框

1) **Variable:** 可变搜索半径。内插计算时样本点个数 (Number of points) 是固定的 (缺省值为 12)，搜索距离 (Distance) 是可变的，取决于插值单元周围样本点的密度，密度越大，半径越小。如果在 Maximum distance 文本框中输入最大搜索半径值，若某一领域的搜索半径在获得指定数据的样本点之前已经达到最大搜索半径，该点的插值就通过最大搜索半径内的已有样本点来完成。

2) **Fixed:** 固定搜索半径，需要规定插值时样本点的最小数据 (Minimum number of points) 和搜索距离 (Distance)。搜索距离是一个常数，对每一个插值单元来说，用于寻找样本点的圆形区域的半径都是一样的。如果搜索半径距离内的点个数小于插值点个数的最小整数倍，则搜索半径自动增大。

(6) **Use barriers polyline**，可选项。用于指定一个中断线文件。中断线是指用来限制搜索输入样本点的多线段数据集。一条线段是一个打断表面的线特征，悬崖，峭壁，堤岸或某些障碍都是典型的中断线。中断线不必具有 Z 值。中断线限制了插值计算，它使得计算只能在线的两侧各自进行，而落在中断线上的点同时参与线两侧的计算。

(7) 在 Output cell size 文本框中输入输出结果的栅格大小；

(8) 在 Output raster 文本框输入结果文件名称；

(9) 单击 OK 按钮，完成操作，结果如图 8.26 所示。

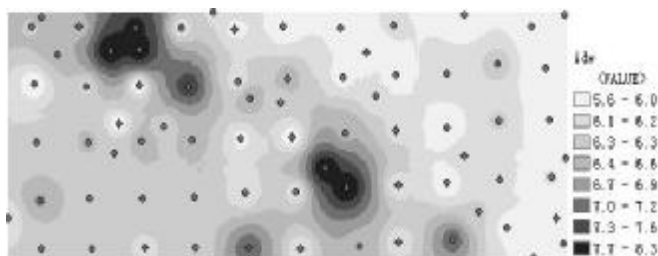


图 8.26 IDW 插值结果结果

2. 样条函数插值 (SPLINE)

样条函数插值采用两种不同的计算方法：**Regularized spline**（规则样条）和 **Tension spline**（张力样条）。**Regularized spline** 生成一个平滑、渐变的表面，插值结果可能会超出样本点的取值范围较多。**Tension spline** 根据要生成的现象的特征生成一个比较坚硬的表面，插值结果更接近限制在样本点的取值范围内。

同时，计算过程中除了需要选择不同的计算方法，还需要在每种方法中设定一个合适的权重（weight）。**Regularized Spline** 插值时，权重越高表面越光滑，通常用到的典型值有：0、0.001、0.01、1 和 5。**Tension Spline** 插值时，权重越高，表面越粗糙，通常用到的典型值有：0、1、5 和 10。

样条函数插值过程如下：

(1) 单击 **Spatial Analyst** 下拉箭头，单击 **Interpolate to Raster**，在弹出的下一级菜单中单击 **Spline**，打开 **Spline** 对话框，如图 8.27；

(2) 单击 **Input points** 下拉箭头，选择需要进行插值的离散点数据层；

(3) 单击 **Z value field** 下拉箭头，选择要加入的字段；

(4) 单击 **Spline type** 下拉箭头，选择样条插值方法：**Regularized** 或 **Tension**；

(5) 在 **Weight** 文本框中输入权重值；

(6) 在 **Number of points** 文本框中输入参加插值运算的样本点数目；

(7) 在 **Output cell size** 文本框中指定输出结果的栅格大小；

(8) 在 **Output raster** 文本框中输入输出结果的名称；

(9) 单击 **OK** 按钮，完成插值操作，结果如图 8.28 所示。

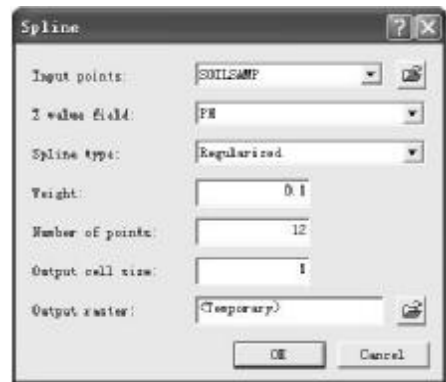


图 8.27 Spline 对话框

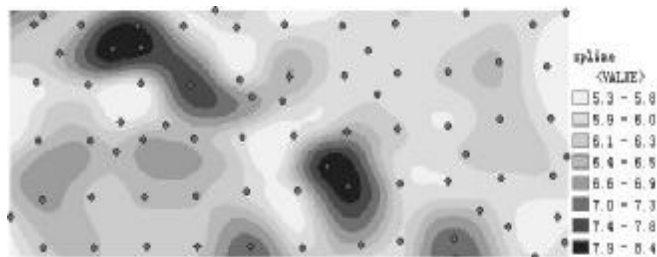


图 8.28 Spline 插值结果

3. 克里格插值 (Kriging)

克里格插值不同于反距离权重插值和样条函数插值，前两种插值是确定性插值，克里格插值是一种基于统计学的插值方法。

克里格插值法分为普通克里格法和泛克里格法。普通克里格方法是最普遍和应用最广的克里格插值方法，它假定采样点值不存在潜在的全局趋势，只用局部的因素就可以很好

的估测未知值。泛克里格方法假设存在潜在趋势，可以用一个确定性的函数或多项式来模拟。泛克里格方法仅用于数据的趋势已知并能合理而科学的描述。

克里格法的基本原理是根据相邻变量的值，利用变异函数揭示的区域化变量的内在联系来估计空间变量数值。克里格法分为两步：第一步是对已知点进行结构分析，也就是说在充分了解已知点性质的前提下，提出变异函数模型；第二步是在该模型的基础上进行克里格计算，详细内容参见第十章内容。

克里格插值具体实现过程为：

(1) 单击 **Spatial Analyst** 下拉箭头，单击 **Interpolate to Raster**，在弹出的下一级菜单中单击 **Kriging**，打开 **Kriging** 对话框（图 8.29）；

(2) 单击 **Input points** 下拉箭头，选择被用来进行插值的离散点数据；

(3) 单击 **Z value field** 下拉箭头，选择要加入的字段；

(4) 选择你所需要的克里格方法；

(5) 单击 **Semivariogram model** 下拉箭头，选择合适的变异函数模型；

(6) 单击 **Search radius type** 下拉箭头，选择搜索半径类型；

(7) 在 **Output cell size** 文本框中输入输出结果的栅格大小；

(8) **Create variance of prediction**，可选项，是否需要生成预测的标准误差；

(9) 在 **Output raster** 文本框中输入结果文件名称；

(10) 单击 **OK** 按钮，完成操作，结果如图 8.30 所示。



图 8.29 Kriging 对话框

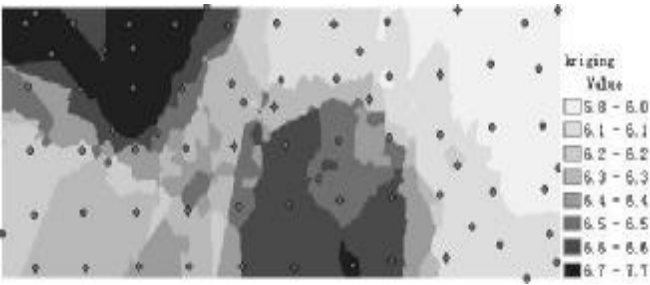


图 8.30 Kriging 插值结果

4. 数据重采样

栅格插值除了包括简单栅格表面的生成还应包括栅格数据重采样。重采样是栅格数据空间分析中处理栅格分辨率匹配问题的常用数据处理方法。进行空间分析时，用来分析的

数据资料由于来源不同,经常会出现不同栅格大小问题,这时为了便于分析,就需要作统一栅格大小的转换处理,即栅格数据的重采样过程。

栅格数据的重采样主要有三种方法:最邻近法采样(NEAREST),双线性采样(BILINEAR)和三次卷积采样(CUBIC)。

(1) 最邻近采样,用输入栅格数据中最邻近栅格值作为输出值。因此,在重采样后的输出栅格中的每个栅格值,都是输入栅格数据中真实存在而未加任何改变的值。这种方法简单易用、计算量小且速度最快。

(2) 双线性采样,取内插点(x, y)点周围四个邻点,在y方向(或x方向)内插两次,再在x方向(或y方向)内插一次,得到(x, y)点的栅格值。

(3) 三次卷积采样,这是进一步提高内插精度的一种方法。它的基本思想是增加邻点来获得最佳插值函数。取内插点周围相邻的16个样点数据,与双线性采样类似,可先在某一方向上内插,如先在x方向上,每四个值依次内插四次,再根据四次的计算结果在y方向上内插,最终得到内插结果。

在 ArcGIS 中重采样功能是在 ArcToolbox 下来实现的,具体操作过程为:

(1) 在 ArcToolbox 中的 Data Management Tools 工具集下的 Raster 工具中,选择 Resample 命令,打开重采样参数设置对话框(图 8.31)。

(2) 单击 Input raster 下拉箭头,选择输入栅格数据;

(3) 在 Output raster 文本框中输入输出栅格数据名称;

(4) 在 Output cell size 文本框中输入输出栅格单元大小;

(5) 单击 Resampling technique 下拉菜单,选择重采样方法:

- 1) NEAREST: 最邻近距离;
- 2) BILINEAR: 双线性内插;
- 3) CUBIC: 三次卷积。



图 8.31 重采样参数设置框

8.4.2 等值线绘制

等值线是将表面上相邻的具有相同值的点连接起来的线,如地形图上的等高线、气温图上的等压线。等值线分布的疏密一定程度上表明了表面值的变化情况。等值线越密,表面值的变化越大,反之越小。因此,通过研究等值线,可以获得对表面值变化的基本趋势。

提取等值线的操作过程如下:

1. 单击 Spatial Analyst 下拉箭头,单击 Surface analysis,在弹出的下一级菜单中单击 Contour,打开 Contour 对话框,如图 8.32 所示;

2. 单击 Input Surface 下拉箭头,选择用来生成等高线的栅格数据集;

3. 在 Contour interval 文本框中设置等高距；
4. 在 Base contour 文本框中指定等高线基准高程；
5. 在 Z factor 文本框中设定高程变换系数；
6. 在 Output features 文本框中输入结果文件存放路径与名称。
7. 单击 OK 按钮，完成操作。

图 8.33 为某区域的等高线图,背景为该地区的地形光照晕渲图。

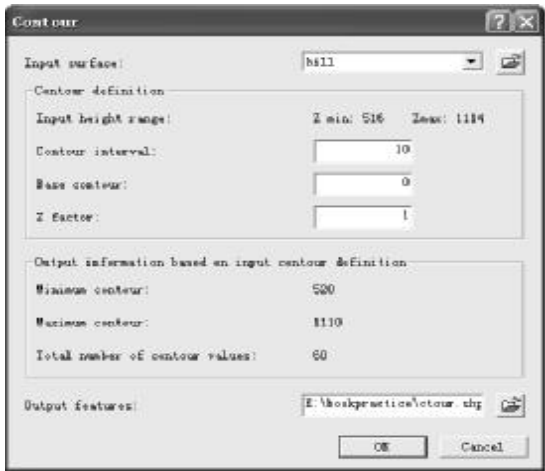


图 8.32 等高线生成对话框

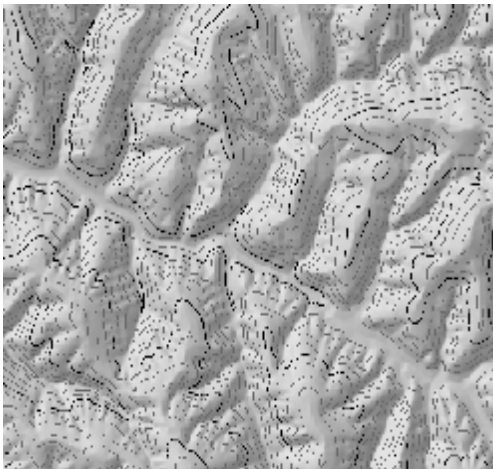


图 8.33 某区域等高线图（背景为光照晕渲图）

8.4.3 地形因子提取

因子分析方法是 GIS 空间分析，尤其 GIS 数字地形分析常用的基本分析方法。不同的地形因子从不同侧面反映了地形特征性。从其所描述的空间区域范围，常用的地形因子可

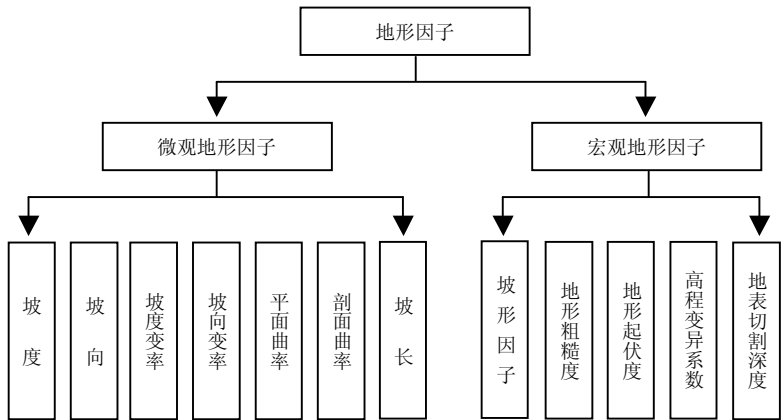


图 8.34 依据空间区域范围的地形因子分类体系

以划分为微观地形因子与宏观地形因子两种基本类型（图 8.34）。按照提取地形因子差分计算的阶数，又可将地形因子分为一阶地形因子、二阶地形因子和高阶地形因子(图 8.35)。

其中，坡度、坡向、平面曲率、剖面曲率在 ArcGIS 中可直接提取，其它因子的提取则需要进行一系列的复合计算。后者的具体提取过程可以参阅相关资料，这里不作介绍。

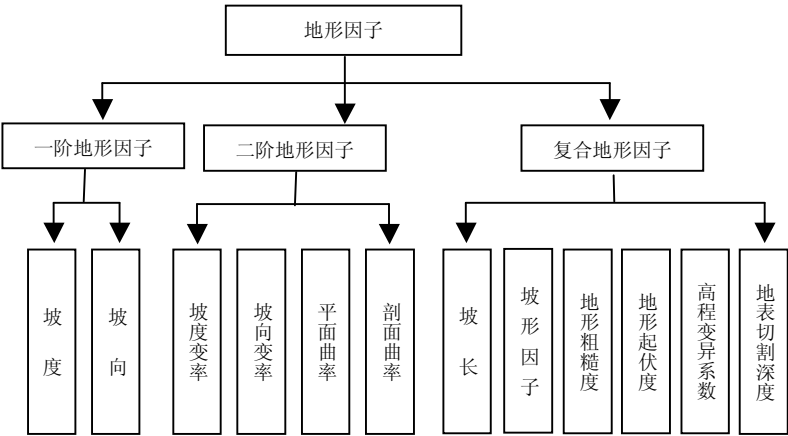


图 8.35 基于提取算法的地形因子分类体系

1. 坡度的提取

地表面任一点的坡度（Slope）是指过该点的切平面与水平地面的夹角（图 8.36）。坡度表示了地表面在该点的倾斜程度。

实际应用中，坡度有两种表示方式方法：

（1） 坡度(degree of slope): 既水平面与地形面之间夹角。

（2） 坡度百分比 (percent slope): 既高程增量与水平增量之比的百分数。

坡度的提取过程为：

（1） 单击 Spatial Analyst 下拉箭头，单击 Surface analysis, 在弹出的下一级菜单中单击 Slope, 打开 Slope 对话框（图 8.37）；

（2） 单击 Input Surface 下拉箭头，选择输入栅格数据集；

（3） 选择坡度表示方法，默认选项为度。

（4） 在 Z factor 文本框中输入高程变换系数；

（5） 在 Output cell size 文本框中输入栅格大小；

（6） 在 Output raster 文本框中输入输出坡

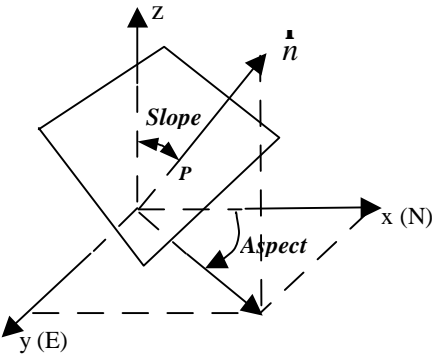


图 8.36 地表单元坡度示意图



图 8.37 坡度生成对话框

度的存放路径与文件名;

(7) 单击 OK 按钮, 完成操作。

图 8.38 是以度表示的坡度图, 图 8.39 是以坡度百分比表示的坡度图。

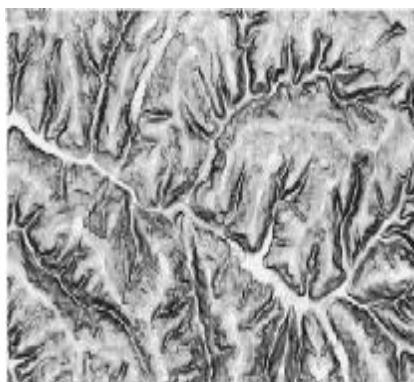


图 8.38 坡度结果图

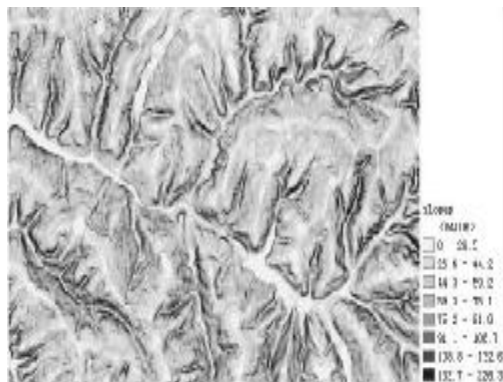


图 8.39 坡度百分比图

2. 坡向的提取

坡向指地表面上一点的切平面的法线矢量在水平面的投影与过该点的正北方向的夹角。对于地面任何一点来说, 坡向表征了该点高程值改变量的最大变化方向。在输出的坡向数据中, 坡向值有如下规定: 正北方向为 0 度, 按顺时针方向计算, 取值范围为 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 。

ArcGIS 中坡向的提取过程为:

(1) 单击 Spatial Analyst 下拉箭头, 单击 Surface analysis, 在弹出的下一级菜单中单击 Aspect, 打开 Aspect 对话框 (图 8.40);

(2) 单击 Input Surface 下拉箭头, 选择输入栅格数据集;

(3) 在 Output cell size 文本框中输入栅格大小;

(4) 在 Output raster 文本框中输入坡向数据的存放路径与文件名称;

(5) 单击 OK 按钮, 完成操作。提取结果如图 8.41 所示。



图 8.40 坡向生成对话框

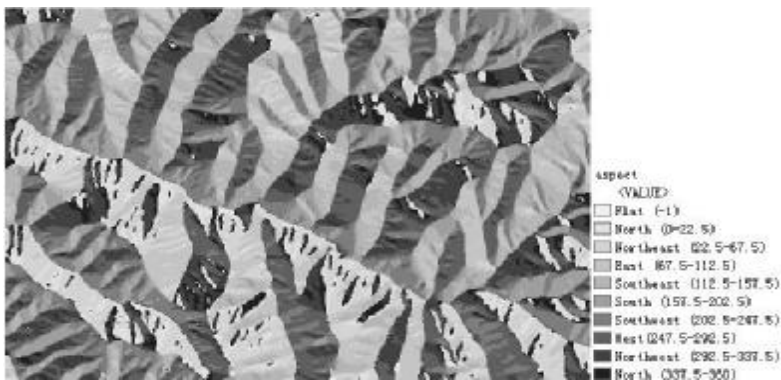


图 8.41 坡向结果图

3. 平面曲率、剖面曲率的提取

地面曲率是对地形表面一点扭曲变化程度的定量化度量因子，地面曲率在垂直和水平两个方向上分量分别称为剖面曲率和平面曲率。剖面曲率是对地面坡度的沿最大坡降方向地面高程变化率的度量。平面曲率指在地形表面上，具体到任何一点，指过该点的水平面沿水平方向切地形表面所得的曲线在该点的曲率值。平面曲率描述的是地表曲面沿水平方向的弯曲、变化情况，也就是该点所在的地面等高线的弯曲程度。平面曲率、剖面曲率的提取过程为：

- (1) 打开 ArcGIS 的 Toolbox，在 Spatial Analyst Tools 工具集下选择 Surface 子工具集，在 Surface 中选择 Curvature 工具，打开 Curvature 对话框（图 8.42）；
- (2) 在 Input raster 的下拉菜单中选择用来计算曲率的栅格数据；
- (3) 在 Output curvature raster 文本框中设定输出总曲率的存放路径与文件名；
- (4) 在 Z factor 文本框中设定高程变换系数；
- (5) 在 Output profile curve raster 文本框中指定剖面曲率数据的存放路径与文件名；
- (6) 在 Output plan curve raster 文本框中指定平面曲率数据的存放路径与文件名；
- (7) 单击 OK 按钮，完成操作。结果如图 8.43、图 8.44、图 8.45 所示：



图 8.42 平面曲率、剖面曲率提取对话框

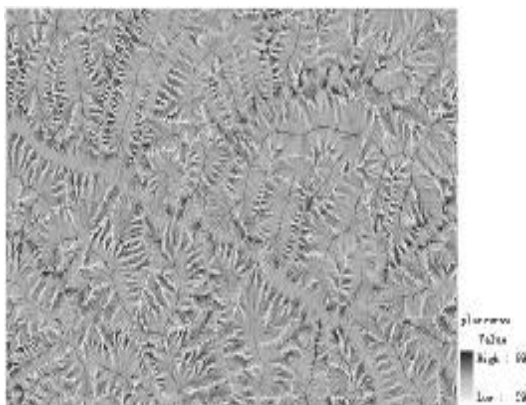


图 8.43 平面曲率结果图

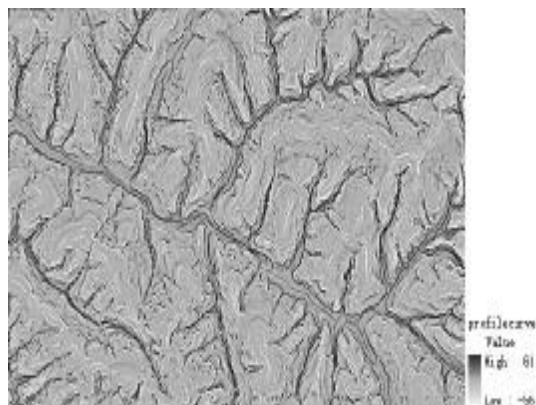


图 8.44 剖面曲率结果图

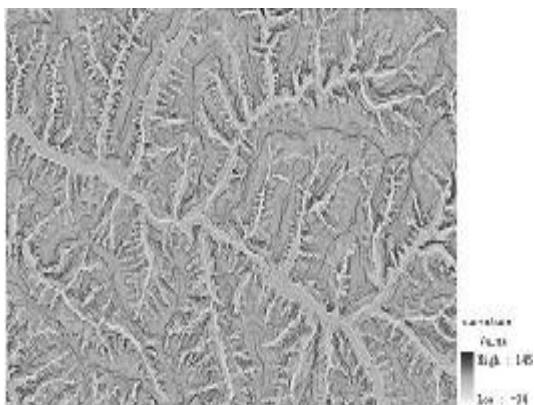


图 8.45 总曲率结果图

8.4.4 山体阴影

山体阴影是根据假想的照明光源对高程栅格图的每个栅格单元计算照明值。山体阴影图不仅很好地表达了地形的立体形态，而且可以方便的提取地形遮蔽信息。计算过程中包括三个重要参数：太阳方位角、太阳高度角、表面灰度值。

太阳方位角以正北方向为 0 度，按顺时针方向度量，如 90 度方向为正东方向(图 8.46)。由于人眼的视觉习惯，通常默认方位角为 315 度，即西北方向。

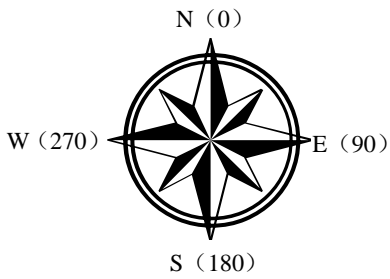


图 8.46 太阳方位角度量示意图

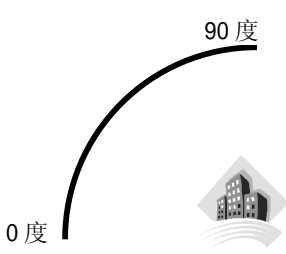


图 8.47 太阳高度角示意图

太阳高度角为光线与水平面之间的夹角，同样以度为单位（图 8.47）。为符合人眼视觉习惯，通常默认为 45 度。默认情况下，ARCGIS 中提取的光照灰度表面值的范围为 0~255。

山体阴影的实现过程如下：

1. 在 Spatial Analyst 下拉菜单中选择 Surface analysis, 在弹出的下一级菜单中单击 Hillshade, 打开 Hillshade 对话框（图 8.48）；



图 8.48 计算表面阴影

- 2. 在 Input surface 下拉菜单中选择用来计算阴影的表面；
- 3. 在 Azimuth 文本框中设置太阳方位角；
- 4. 在 Altitude 文本框中设置太阳高度角；
- 5. Model shadows, 阴影建模可选项。选中则将落阴影内的单元赋值为 0；
- 6. 在 Z factor 文本框中设定高程变换系数；
- 7. 在 Output cell size 文本框中指定输出栅格单元大小；

8. 在 **Output raster** 文本框中指定输出表面阴影的存放路径与文件名;
9. 单击 **OK** 按钮, 完成操作。

图 8.49 为设定太阳入射方位角为 315 度, 高度角为 45 度时提取的某区域表面阴影栅格图像, 图 8.50 为阴影二值图。

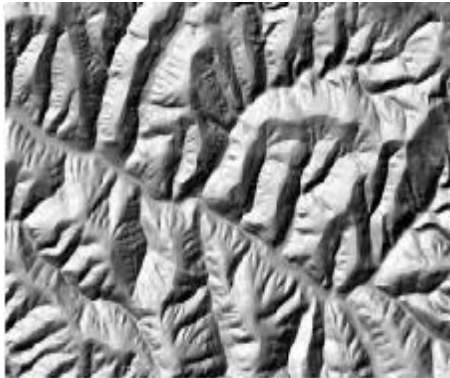


图 8.49 表面阴影图



图 8.50 阴影二值图

8.5 统计分析

8.5.1 单元统计

多层次栅格数据叠合分析时, 经常需要以栅格单元为单位来进行单元统计 (Cell Statistics) 分析。比如, 分析一些随时间而变化的现象, 诸如 10 年来的土地利用变化或者不同年份的温度波动范围。单元统计输入数据集必须是来源于同一个地理区域, 并且采用相同的坐标系统。

ArcGIS 的单元统计分析功能提供了十种单元统计方法, 分别为:

1. **Minimum:** 单元值中的最小数值;
2. **Maximum:** 单元值中的最大数值;
3. **Range:** 单元值的数值范围;
4. **Sum:** 单元值的总和;
5. **Mean:** 单元值的平均数;
6. **Standard Deviation:** 单元值的标准差;
7. **Variety:** 单元值中不同数值的个数;
8. **Majority:** 单元值中出现频率最高的数值;
9. **Minority:** 单元值中出现频率最低的数值;
10. **Median:** 单元值中值的中央值。

图 8.51 是计算最小值的单元统计示意图。其中的每一格子代表一个栅格单元，左图为需要统计分析的栅格数据，右图为统计分析结果。

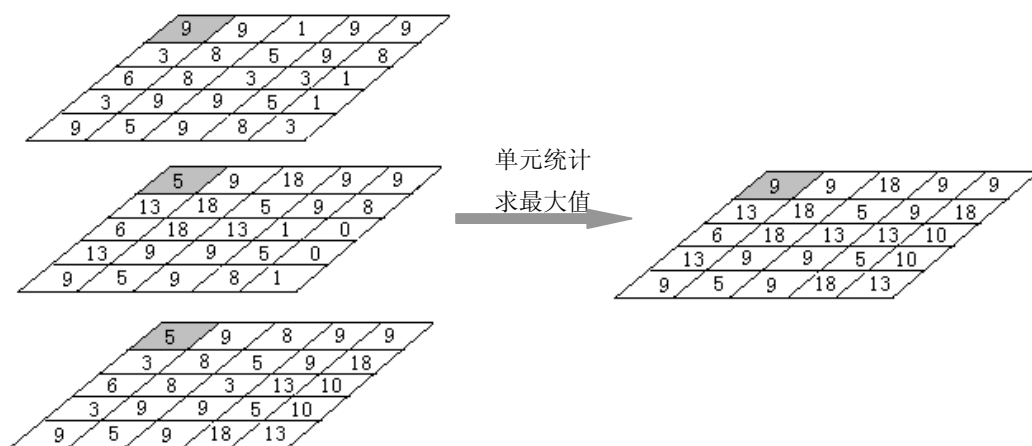


图 8.11 单元统计示意图

单元统计功能常用于同一地区多时相数据的统计，通过单元统计分析得出所需数据。例如，同一地区不同年份的人口分析，同一地区不同年份的土地利用类型分析等。

单元统计的操作过程如下：

1. 单击 **Spatial Analyst** 下拉箭头，单击 **Cell Statistics**，打开单元统计对话框(图 8.52)；
2. 在 **Layers** 列表框中选择一个图层，单击 **Add** 按钮将其加入 **Input rasters** 列表框，或者单击 **Browse** 按钮从磁盘中选择要使用的栅格数据；
3. 单击 **Overlay statistic** 下拉箭头，选择统计类型；
4. 在 **Output** 文本框为输出结果指定目录及名称；
5. 单击 **OK** 按钮，完成操作。

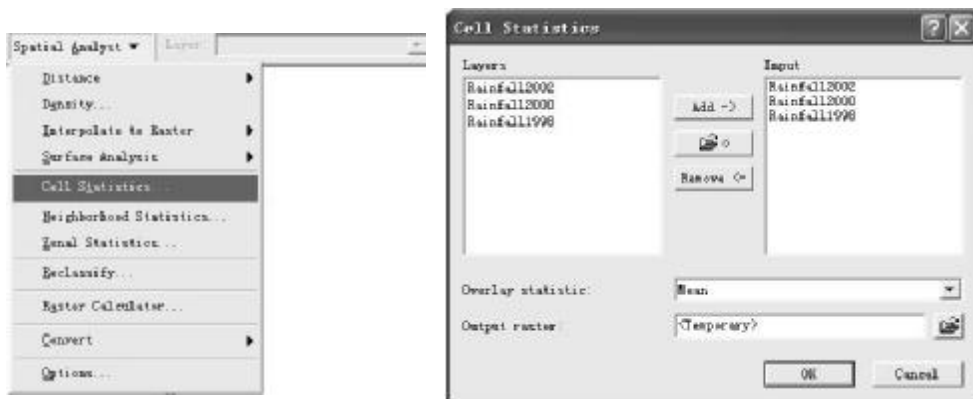


图 8.52 单元统计的操作过程

8.5.2 邻域统计

邻域统计是以待计算栅格为中心，向其周围扩展一定范围，基于这些扩展栅格数据进行函数运算，从而得到此栅格的值。

ArcGIS 提供了十种邻域统计方法，分别如下：

1. **Minimum:** 邻域内出现的最小数值；
2. **Maximum:** 邻域内出现的最大数值；
3. **Range:** 邻域单元值的取值范围；
4. **Sum:** 邻域单元值的总和；
5. **Mean:** 邻域单元值的平均数；
6. **Standard Deviation:** 邻域单元值的标准差；
7. **Variety:** 邻域单元值中不同数值的个数；
8. **Majority:** 邻域单元值中出现频率最高的数值；
9. **Minority:** 邻域单元值中出现频率最低的数值；
10. **Median:** 邻域单元值中的中央值；

邻域统计计算过程中，对于邻域的设置有不同的设置方法，ArcGIS 中提供了四种邻域分析窗口（图 8.53），分别如下：

1. **Rectangle**（矩形）。需要设置矩形窗口的长和宽，缺省的邻域大小为 3*3 单元。
2. **Annulus**（环形）。需要设置邻域的内半径和外半径。半径通过和 x 轴或 y 轴的垂

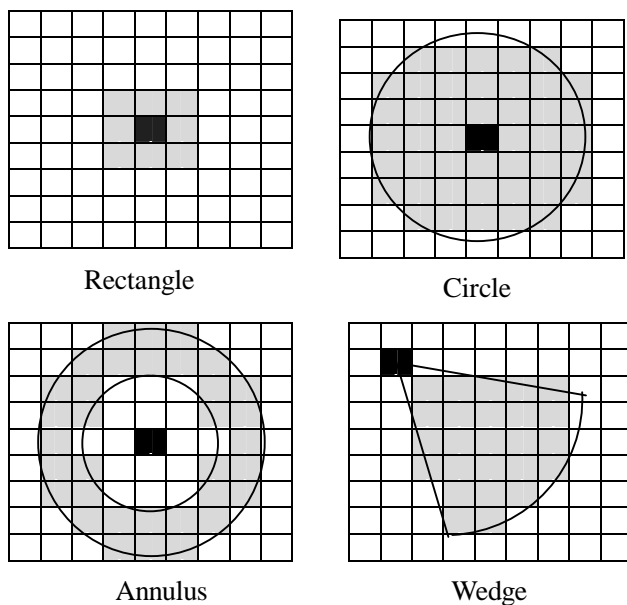


图 8.53 邻域分析窗口类型

线的长度来指定。落入环内即内外半径之间环的数值将参与邻域统计运算，内半径以内的部分不参与计算。

3. Circle（圆形）。只需要输入圆的半径。

4. Wedge（楔形）。需要输入起始角度，终止角度和半径三项内容。起始角度和终止角度可以是 0~360 的整形或浮点值。角度值从 x 轴的正方向零度开始，逆时针逐渐增加直至走过一个满圆又回到零度。

邻域统计是在单元对应的邻域范围指定的单元上进行统计分析，然后将结果值输出到该单元位置。图 8.54 为统计最大值的邻域统计示意图，左图为统计数据，右图为邻域统计结果。

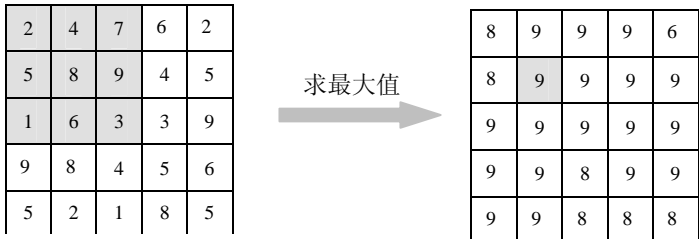


图 8.54 邻域统计示意图

利用邻域统计可以获取多种信息，如在调查土地利用时，邻域统计可以获得邻域范围土地变化和确定土地利用的稳定性，此外，利用邻域统计的平均值还可以进行边缘模糊等多种操作。

邻域统计的分析过程如下：

1. 单击 Spatial Analyst 下拉箭头，单击 Neighborhood Statistics，打开邻域统计对话框（图 8.55）；

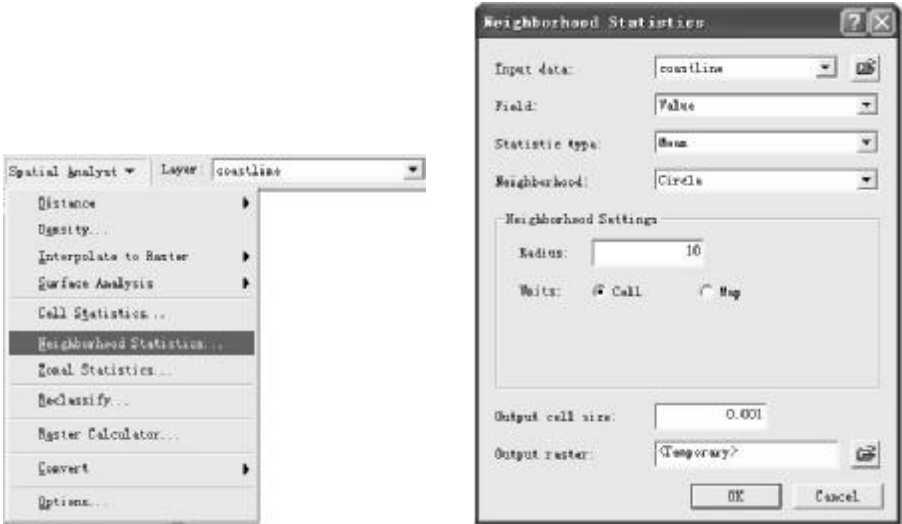


图 8.55 邻域统计的分析过程

2. 单击 **Input data** 的下拉菜单中选择要用来进行邻域分析的图层；
3. 在 **Field** 文本框的下拉菜单中选择进行邻域分析的字段；
4. 单击 **statistic type** 下拉箭头，选择的统计类型；
5. 单击 **Neighborhood** 下拉箭头，选择邻域分析窗口类型，并输入窗口参数；
6. 在 **Units** 选项中选择邻域分析窗口的单位，可以是栅格单元或地图单位。
7. 在 **Output cell size** 文本框中指定输出结果的栅格大小；
8. 在 **Output raster** 文本框为输出结果指定目录及名称；
9. 单击 **OK** 按钮，完成操作。

8.5.3 分类区统计

分类区统计，即以一个数据集的分类区为基础，对另一个数据集进行数值统计分析，包括计算数值取值范围、最大值、最小值、标准差、等等。一个分类区就是在栅格数据中拥有相同值的所有栅格单元，而不考虑他们是否邻近。分类区统计是在每一个分类区的基础上运行操作，所以输出结果时同一分类区被赋予相同的单一输出值。

ArcGIS 中的分类区统计提供了十种统计方法。分别如下：

1. **Minimum**: 在分类区内出现最小的数值；
2. **Maximum**: 在分类区内出现最大的数值；
3. **Range**: 在分类区内数值的范围；
4. **Sum**: 在分类区内出现数值的和；
5. **Mean**: 在分类区内出现数值的平均数；
6. **Standard Deviation**: 在分类区内出现数值的标准差；
7. **Variety**: 在分类区内不同数值的个数；
8. **Majority**: 在分类区内出现频率最高的数值；
9. **Minority**: 在分类区内出现频率最低的数值；
10. **Median**: 在分类区内出现数值的中央值。

图 8.56 为分类区统计示意图，(a) 是分类区数据层，(b) 是统计数据层，(c) 为统计结果。

1	1	1	3	3
1	1	1	2	3
1	2	2	2	2
3	3	2	2	1

(a)

3	2	8	4	3
7	9	5	4	2
8	4	6	7	2
1	2	6	7	3

(b)

9	9	9	5	5
9	9	9	7	5
9	7	7	7	7
5	5	7	7	9

(c)

图 8.56 分类区统计示意图

利用分类区统计能够根据一个分区栅格数据计算分区范围内所包含的另一个栅格数据的统计信息。此处以某一地区坡度数据为分类区数据集，土地利用数据为统计数据集为例（图 8.57），简要说明分类区统计的具体实现过程。

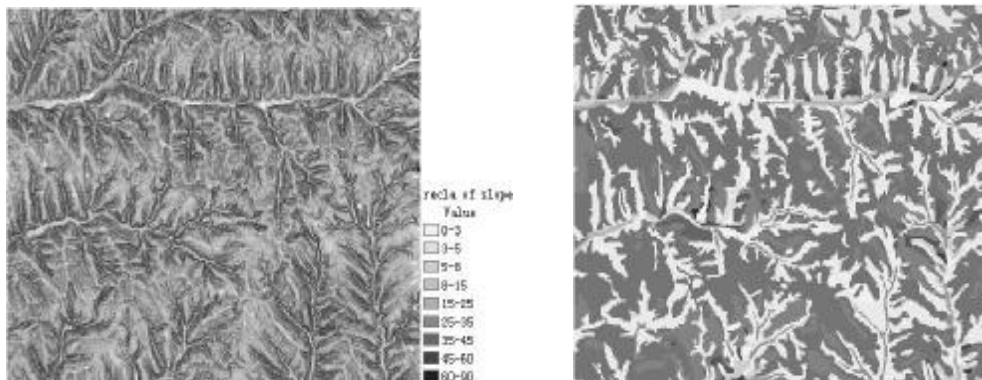


图 8.57 坡度图与土地利用类型图

操作过程如下：

1. 在 Spatial Analyst 的下拉菜单中选择 Zonal Statistics，打开分类区统计对话框（图 8.58）；

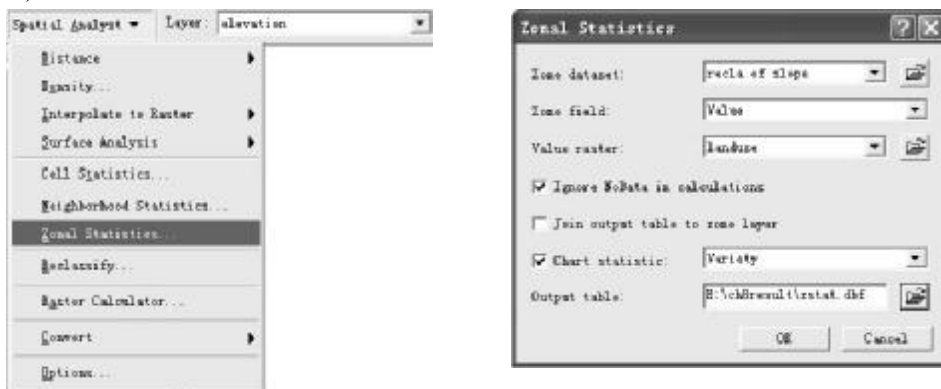


图 8.58 分类区统计对话框

2. 单击 Zone dataset 下拉箭头，选择分类区数据层；
3. 单击 Zone Field 下拉箭头，选择需要加入的分类数据字段；
4. 单击 Value raster 下拉箭头，选择统计数据；
5. Ignore NoData in calculations，可选项，标识是否允许栅格数据中的空值参与运算。选中表明允许包含空值的单元参与运算；
6. Join output table to zone layer，可选项，标识是否把统计结果表连接到分类区数据层。若选中，统计结果表将连接到分类区数据层；
7. 单击 Chart statistic 下拉箭头，选择统计类型；
8. 在 Output table 文本框输入为输出结果指定目录及名称；

9. 单击 OK 按钮，完成操作。结果如图 8.59，其中（a）为统计结果表；（b）单个统计结果（此处为 Variety）的直方图。

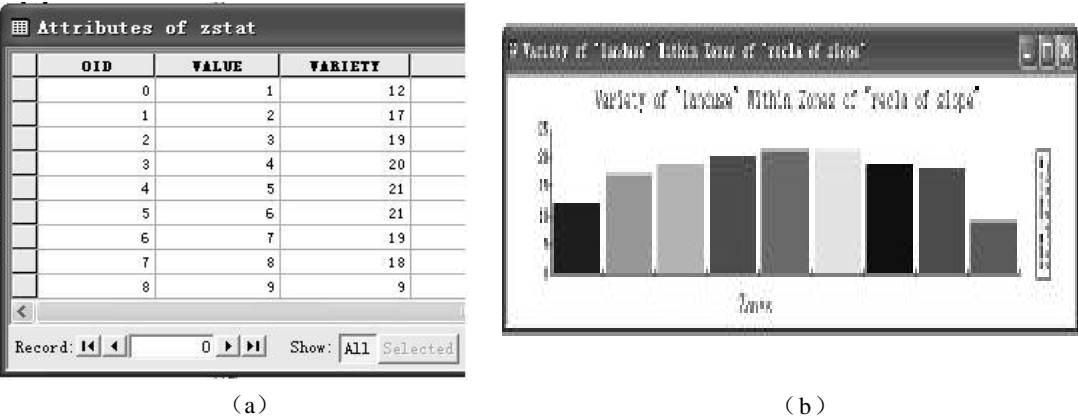


图 8.59 坡度分类区内土地利用类型种类分析结果图

8.6 重分类

重分类即基于原有数值，对原有数值重新进行分类整理从而得到一组新值并输出。根据用户不同的需要，重分类一般包括四种基本分类形式：新值替换（用一组新值取代原来值）、旧值合并（将原值重新组合分类）、重新分类（以一种分类体系对原始值进行分类），以及空值设置（把指定值设置空值）。

8.6.1 新值替代

事物总是处于不断发展变化中的，地理现象更是如此。所以，为了反映事物的实时真实性，经常需要不断地去用新值代替旧值。例如，气象信息的实时更新，土地利用类型的变更等。

新值替换的操作过程为：

1. 在 Spatial Analyst 的下拉菜单中选择 Reclassify，打开重分类对话框，如图 8.60 所示；
2. 在 Input raster 的下拉菜单中选择需要变更值的图层；
3. 在 Reclass Field 文本框的下拉菜单中选择需变更的字段；
4. 在 New Value 文本框中定位需要改变数值的位置，然后键入新值。可单击 Load 按钮导入已经制作好的重映射表，也可以单击 Save 按钮来保存当前重映射表；
5. Change missing values to NoData：可选项，将 missing values 值改成无数据（NoData）；

6. Output raster: 为输出结果指定目录及名称;
7. 单击 OK 按钮, 完成操作。

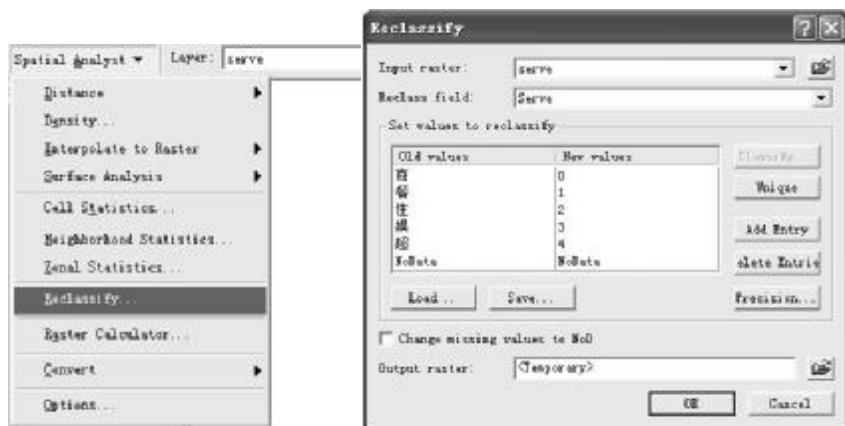


图 8.60 新值替代操作

8.6.2 旧值合并

栅格数据操作中经常需要将一些具有某种共性的事物合并为一类。例如可以将商场, 超市, 餐馆等归并为服务场所, 也可将麦地, 水稻地, 菜地等归并为耕地。

应用重分类功能实现旧值合并的操作过程为 (图 8.61):

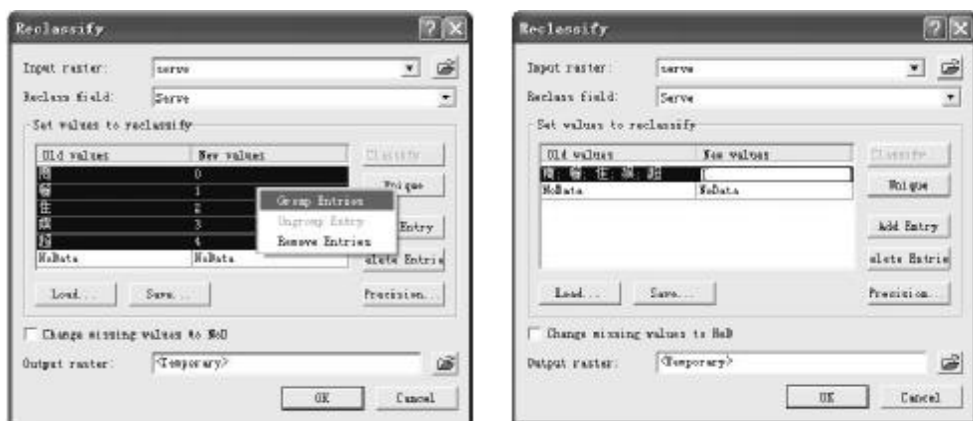


图 8.61 旧值合并

1. 在 Spatial Analyst 的下拉菜单中选择 Reclassify;
2. 在 Input raster 的下拉菜单中选择需要重新组合分类的图层;
3. 在 Reclass Field 文本框的下拉菜单中选择需用的字段;

4. 在 Old Value 文本框中连续选择要进行归并的数据（按住 Ctrl 键可以逐个进行选择，按 Shift 键可以选择两者之间的全部数据）；
5. 在选择并弹亮的数据项上点右键；在弹出的菜单中选择 Group Entries；
6. 给新组合成的数据赋予新值。可单击 Load 按钮导入已经制作好的重映射表，也可以单击 Save 按钮来保存当前重映射表；
7. Change missing values to NoData：可选项，将 missing values 值改成无数据（NoData）；
8. Output raster：为输出结果指定目录及名称；
9. 单击 OK 按钮，完成操作。

8.6.3 重新分类

在栅格数据的使用过程中，经常会因某种需要，要求对数据用新的等级体系分类，或需要将多个栅格数据用统一的等级体系重新归类。例如，在对洪水灾害进行预测时，需要综合分析降雨量、地形、土壤、植被等数据。首先需要每个栅格数据的单元值对洪灾的影响大小，把它们分为统一的级别数，如统一分为 10 级，级别越高其对洪灾的影响度越大。经过分级处理后，不仅消除了量纲影响，而且使得各类数据之间具有量值可比性，方便洪灾模拟的定量分析与计算。

重新分类的具体操作过程为：

1. 在 Spatial Analyst 的下拉菜单中选择 Reclassify，打开重分类对话框，如图 8.62(A) 所示；
2. 在 Input raster 的下拉菜单中选择需要重新分类的图层；
3. 在 Reclass Field 文本框的下拉菜单中选择需用的字段；
4. 单击 Classify 按钮；

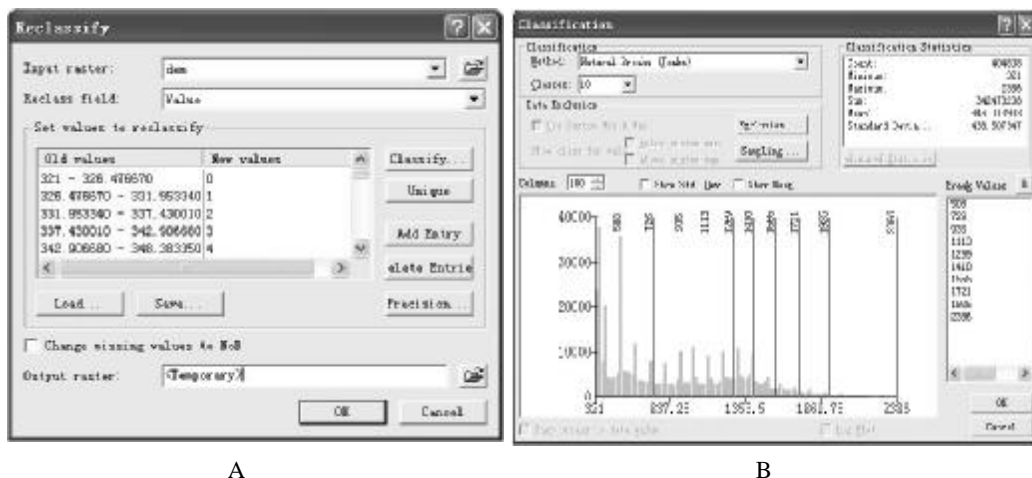


图 8.62 重新分类操作

5. 在 Method 文本框的下拉菜单中选择一种分类方法: 包括 Manual(手工分类), Equal Interval(等间距分类), Defined Interval(自定义间距分类), Quantile(分位数分类), Natural Breaks(自然间距分类), Standard Deviation(标准差分类), 并设置相关参数, 完成旧值的分类, 如图 8.62(B) 所示;
6. 单击 Classification 对话框中的 OK 按钮;
7. 在 Reclassify 对话框中 new value 列表框中输入新的分类值, 或者单击 Load 按钮导入已有的重映射表;
8. 如果需保存当前重映射表, 单击 Save 按钮;
9. 在 Output raster 文本框为输出结果指定目录及名称;
10. 单击 OK 按钮, 完成操作。

8.6.4 空值设置

有时候需要对栅格数据中的某些值设置空值来控制栅格计算。如在设置分析掩码的时候, 需要将分析区域内不需要参与分析的数值设置为空值来控制栅格计算。

设置空值的方法如下:

1. 在 Spatial Analyst 的下拉菜单中选择 Reclassify, 打开重分类对话框, 如图 8.63(A) 所示;
2. 在 Input raster 的下拉菜单中选择需要将值设置为空值的图层;
3. 在 Reclass Field 文本框的下拉菜单中选择需用的字段;
4. 在 New values 中选择要进行空值设置的值;
5. 单击 Delete Entries;
6. 选中 Change missing values to NoData, 如图 8.63(B) 所示;;
7. 在 Output raster 文本框为输出结果指定目录及名称;
8. 单击 OK 按钮, 完成操作。



A



B

图 8.63 空值设置操作

8.7 栅格计算

栅格计算是数据处理和分析最为常用的方法，也是建立复杂的应用数学模型的基本模块。ArcGIS 提供了非常友好的图形化栅格计算器。利用栅格计算器，不仅可以方便地完成基于数学运算符的栅格运算，以及基于数学函数的栅格运算，它还可以支持直接调用 ArcGIS 自带的栅格数据空间分析函数，并可方便地实现多条语句的同时输入和运行。同时，栅格计算器支持地图代数运算，栅格数据集可以作为算子直接和数字、运算符、函数等在一起混合计算，不需要做任何转换。

8.7.1 数学运算

数学运算针对具有相同输入单元的两个或多个栅格数据逐单元进行。主要包括三组数学运算符：算术运算符，布尔运算符和关系运算符。

1. 算术运算

算术运算主要包括加、减、乘、除四种。可以完成两个或多个栅格数据相对应单元之间直接的加、减、乘、除运算。

例如，对于 $C = A - B$ ，解算过程如图 8.64 所示（A、B 均是栅格数据）。

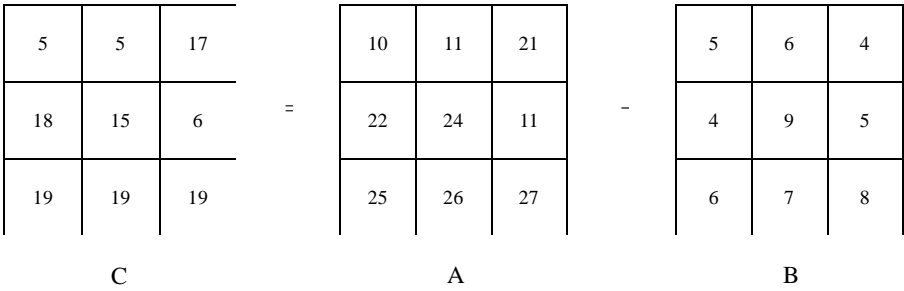


图 8.64 算术运算示意图

2. 布尔运算

布尔运算主要包括：和（And）、或（Or）、异或（Xor）、非（Not）。它是基于布尔运算来对栅格数据进行判断的。判断若为“真”，则输出结果为 1；若为“假”，则输出结果为 0。

（1） 和（&）：比较两个或两个以上栅格数据层，如果对应的栅格值均为非 0 值，则输出结果为真（赋值为 1），否则输出结果为假（赋值为 0）。

（2） 或（|）：比较两个或两个以上栅格数据层，对应的栅格值中只要有一个或一个以上为非 0 值，则输出结果为真（赋值为 1），否则输出结果为假（赋值为 0）。

（3） 异或（!）：比较两个或两个以上栅格数据层，如果对应的栅格值在逻辑真假互不相同（一个为 0，一个必为非 0 值），则输出结果为真（赋值为 1），否则输出结果为假（赋

值为 0)。

(4) 非(^): 对一个栅格数据层进行逻辑“非”运算。如果栅格值为 0，则输出结果为 1；如果栅格值非 0，则输出结果为 0。

例如，对于 $C = A \& B$ ，解算过程如图 8.65 所示（A、B 均是栅格数据）。

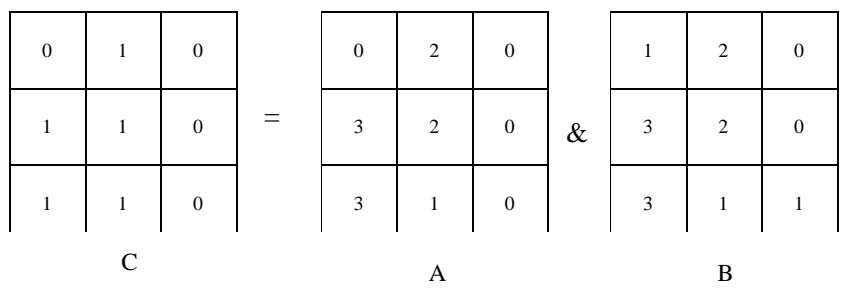


图 8.65 布尔运算示意图

3. 关系运算

关系运算以一定的关系条件为基础，符合条件的为真，赋予 1 值，不符条件的为假，赋予 0 值。关系运算符包括六种：=，<，>，<>，>=，<=。

例如，对于 $C = A > B$ ，解算过程如图 8.66 所示（A、B 均是栅格数据）。

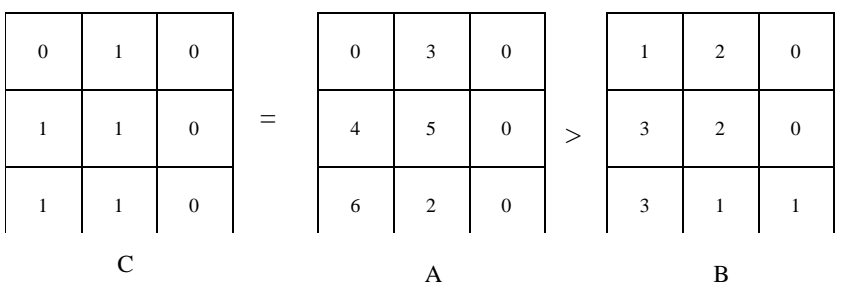


图 8.66 关系运算示意图

8.7.2 函数运算

栅格计算器除了提供简单的数学运算符，还提供了一些相对复杂的函数运算，包括数学函数运算和栅格数据空间分析函数运算。数学函数主要包括：算术函数、三角函数、对数函数和幂函数。

1. 算术函数 (Arithmetic)

算术函数主要包括六种：Abs（绝对值函数）、Int（整数函数）、Float（浮点函数）、Ceil（向上舍入函数）、Floor（向下舍入函数）、IsNul（输入数据为空数据者以 1 输出，有数据者以 0 输出）。

2. 三角函数 (Trigonometric)

常用的三角函数包括：Sin (正弦函数)、Cos (余弦函数)、Tan (正切函数)、Asin (反正弦函数)、Acos (反余弦函数)、Atan (反正切函数)。

3. 对数函数 (Logarithms)

对数函数可对输入的格网数字做对数或指数的运算。指数部份包括：Exp (底数 e)、Exp10 (底数 10)、Exp2 (底数 2)三种；对数部份包括：Log (自然对数)、Log10 (底数 10)、log2 (底数 2)等三种。

4. 幂函数 (Powers)

幂函数可对输入的格网数字进行幂函数运算。幂函数包括三种：Sqrt (平方根)、Sqr (平方)、Pow (幂)。

5. 栅格数据空间分析函数

栅格计算器也直接支持 ArcGIS 自带的大部分栅格数据分析与处理函数，如栅格表面分析中的 slope、hillshade 函数等等，在此不一一列举，具体用法请参阅相关文档。它与数学函数不同的是，这些函数并没有出现在栅格计算器图形界面中，而需要手动输入。

8.7.3 栅格计算器

1. 启动栅格计算器

单击 Spatial Analyst 的下拉箭头，选择 Raster Calculator。栅格计算器由四部分组成 (图 8.67)，左上部 Layers 选择框为当前 ArcMAP 视图中已加载的所有栅格数据层列表，双击任一个数据层名，该数据层名便可自动添加到左下部的公式编辑器中；中间部是常用的算术运算符、0~10、小数点、关系和逻辑运算符面板，单击所需按钮，按钮内容便可自动添加到公式编辑器中；右边可伸缩区域为常用的数学运算函数面板，同样单击任一个按钮，内容便可自动添加到公式编辑器中。

2. 编辑计算公式

(1) 简单算术运算

如图 8.67 所示，在公式编辑器中先输入计算结果名称，再输入等号 (所有符号两边需要加一个空格)，然后在 Layers 文本框中双击要用来计算的图层，则选择的图层将会进入公式编辑器参与运算。其中“-”和“^”为单目运算符，运算符前可以不加内容，而只在运算符后加参与计算的



图 8.67 栅格计算器的数学算术运算

象，如 $a = -[\text{slope}]$ 等。在公式编辑器如果引用 Layers 选择框的数据层，数据层名必须用[]括起来。

(2) 数学函数运算

先单击函数按钮，然后在函数后面的括号内加入计算对象，如图 8.68 所示。应该注意三角函数以弧度为其默认计算单位。



图 8.68 栅格计算器的数学函数运算

(3) 栅格数据空间分析函数运算

栅格数据空间分析函数没有直接出现在栅格计算器面板中，需要手动输入。引用时，首先查阅有关文档，确定函数全名、参数、引用的语法规则；然后在栅格计算器输入函数全名，并输入一对小括号，再在小括号中输入计算对象和相关参数，如图 8.69 所示。



图 8.69 栅格数据空间分析函数运算

(4) 多语句的编辑

ArcGIS 栅格计算器多表达式同时输入，并且先输入的表达式运算结果可以直接被后续语句引用，如图 8.70 所示。一个表达式必须在一行内输入完毕，中间不能回行。此外，如果后输入的函数需要引用前面表达式计算结果，前面表达式必须是一个完整的数学表达式。如图 8.70 中的 “ $d = [\text{straightline}] * 100$ ”，等号左边为输出数据文件名，右边为计算式。此外，引用先前表达式的输出对象时，直接引用输出对象名称，对象名称不需要用中括号括起来，如图 8.70 中对 d 的引用。



图 8.70 栅格计算器的多语句编辑

3. 检查计算公式准确无误后，单击 Evaluate 执行运算，计算结果会自动加载到当前 ArcMap 视图窗口。

8.8 实例与练习

8.8.1 学校选址

1. 背景

合理的学校空间位置布局，有利于学生的上课与生活。学校的选址问题需要考虑地理位置、学生娱乐场所配套、与现有学校的距离间隔等因素，从总体上把握这些因素能够确定出适宜性比较好的学校选址区。

2. 目的

通过练习，熟悉 ArcGIS 栅格数据距离制图、成本距离加权、数据重分类、多层面合并等空间分析功能；熟练掌握利用 ArcGIS 空间分析功能，分析和结果类似学校选址的实际应用问题。

3. 数据：

- (1) Landuse（土地利用图）；
- (2) dem（地面高程图）；
- (3) rec_sites（娱乐场所分布图）；
- (4) school（现有学校分布图）。

所有原始数据存放于随书光盘的..\Chp8\Ex1\目录下。

4. 要求

- (1) 新学校选址需注意如下几点：

- 1) 新学校应位于地势较平坦处；
- 2) 新学校的建立应结合现有土地利用类型综合考虑，选择成本不高的区域；
- 3) 新学校应该与现有娱乐设施相配套，学校距离这些设施愈近愈好；
- 4) 新学校应避开现有学校，合理分布。

(2) 各数据层权重比为：距离娱乐设施占 0.5，距离学校占 0.25，土地利用类型和地势位置因素各占 0.125。

(3) 实现过程运用 ArcGIS 的扩展模块（Extension）中的空间分析（Spatial Analyst）部分功能，具体包括：坡度计算、直线距离制图功能、重分类及栅格计算器等功能完成。

- (4) 给出适合新建学校的适宜地区图，并作简要分析。

5. 实现流程图

ArcGIS 中实现学校选址分析，首先利用现有学校数据集、现有娱乐场所数据集和高程数据派生出坡度数据以及到现有学校、娱乐场所距离数据集。然后重分类数据集到相同的等级范围，再按照上述数据集在学校选址中的影响率赋权重值，最后合并这些数据即可创建显示新学校适宜位置分布的地图。

学校选址的逻辑过程主要包括四个部分（图 8.71，结果中深色部分为学校候选区）。

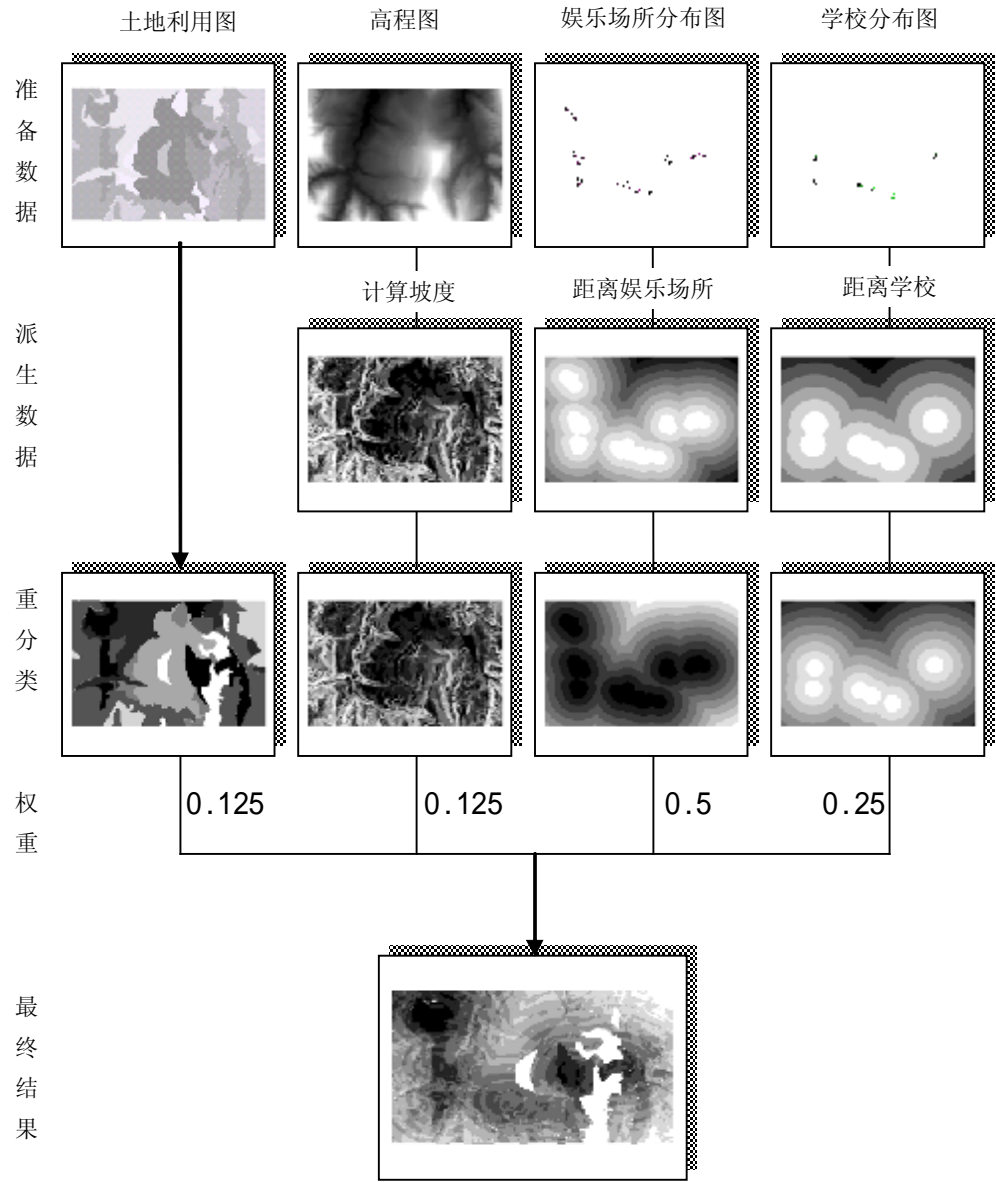


图 8.71 学校选址逻辑过程

- (1) 数据准备，确定需要哪些数据作为输入，包括高程数据（dem）、土地利用数据（landuse）、现有学校数据（school）娱乐场所数据（rec_sites）；
- (2) 派生数据集，从现存数据派生出能提供学校选址的原始成本数据，包括坡度数据、到现有学校距离数据集和到娱乐场所数据集；
- (3) 重分类各种数据集，消除各成本数据集的量纲影响，使各成本数据具有大致相

同的可比分类体系。各成本数据均按等间距分类原则分为 1 到 10 级，级数越高适宜性越好；

(4) 给各数据集赋权重。必要的话在适宜性模型中影响比较大的数据集赋比较高权重，然后合并各数据集以寻找适宜位置。

6. 操作步骤

(1) 运行 ArcMap，加载 Spatial Analyst 模块，如果 Spatial Analyst 模块未能激活，单击 Tools 菜单下的 Extensions，选择 Spatial Analyst，单击 Close 按钮；

(2) 单击 File 菜单下的 Open 命令，打开加载地图文档对话框，选择 E:\Chp8\Ex1\school.mxd；

(3) 设置空间分析环境。单击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头，打开 Options 对话框，设置相关参数：

1) 打开 Options 对话框中的 General 选项卡，设置默认工作路径为：“E:\Chp8\Ex1\result\”；

2) 打开 Options 对话框中的 Extent 选项卡，在 Analysis Extent 下拉框中选择“Same as Layer landuse”；

3) 打开 Options 对话框中的 Cell Size 选项卡，在 Analyst Cell Size 下拉框中选择“Same as Layer landuse”；

(4) 从 DEM 数据提取坡度数据集。选择 DEM 数据层，单击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头，选择 Surface Analysis 并单击 Slope，生成 slope 数据集（图 8.72）；

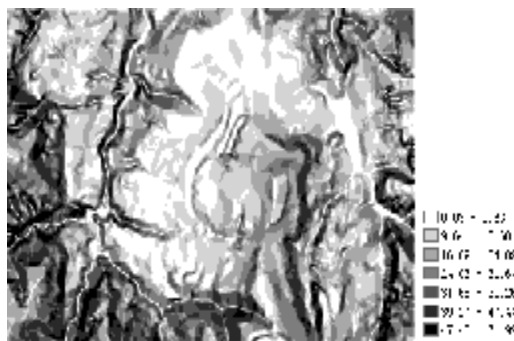


图 8.72 坡度图

(5) 从娱乐场所数据“Rec_sites”提取娱乐场直线距离数据。选择 Rec_sites 数据层，单击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头，选择 Distance 并单击 Straight line，生成 dis_rec sites 数据集（图 8.73）；

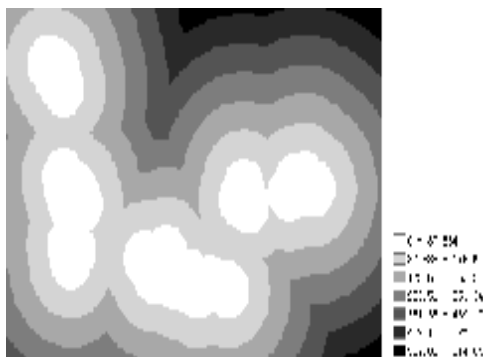


图 8.73 娱乐场所直线距离图

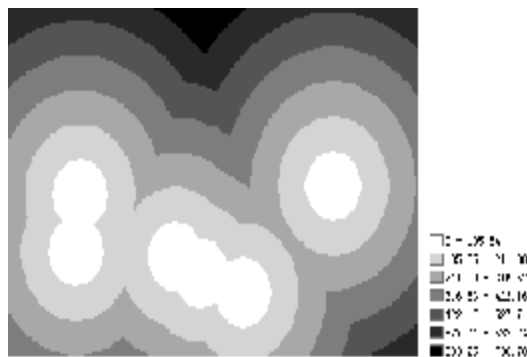


图 8.74 学校直线距离图

(6) 从现有学校位置数据“School”提取学校直线距离数据库。选择 School 数据层，单击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头，选择 Distance 并单击 Straight line 命令创建数据集，

得到 dis_School 数据集（图 8.74）。

(7) 重分类数据集

1) 重分类坡度数据集

学校的位置在平坦地区比较有利。因此，采用等间距分级把坡度分为 10 级。平坦的地方适宜性好，赋以较大的适宜性值，陡峭的地区赋比较小的值，得到坡度适宜性数据 recalssslope（图 8.75）。

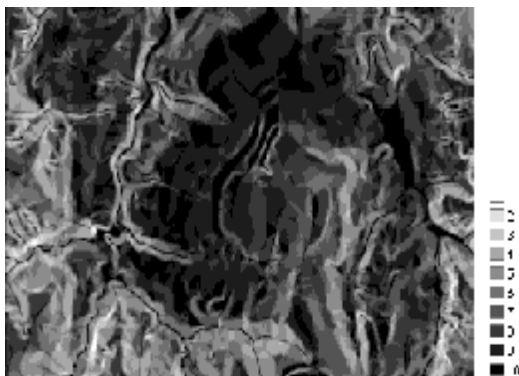


图 8.75 重分类坡度数据

2) 重分类娱乐场所直线距离数据集

考虑到新学校距离娱乐场所比较近时适宜性好，采用等间距分级分为 10 级，距离娱乐场所最近适宜性最高，赋值 10；距离最远的地方赋值 1。得到娱乐场所适宜性图 reclassdisr（图 8.76）。

3) 重分类现有学校直线距离数据集

考虑到新学校距离现有学校比较远时适宜性好，仍分为 10 级，距离学校最远的单元赋值 10，距离最近的单元赋值 1。得到重分类学校距离图 reclassdiss（图 8.77）。



图 8.76 重分类娱乐场所距离图

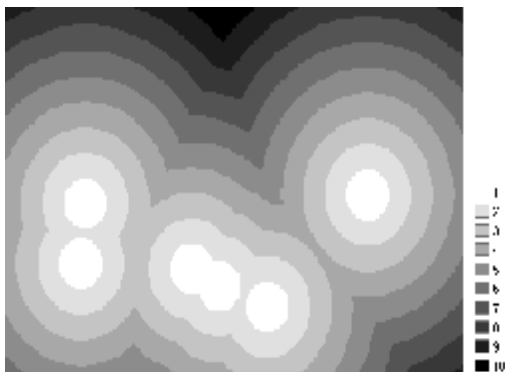


图 8.77 重分类学校距离图

4) 重分类土地利用数据集

在考察土地利用数据时，容易发现各种土地利用类型对学校适宜性也存在一定的影响。如有湿地、水体分布区建学校的适宜性极差，于是在重分类时删除这两个选项，实现如下：

按 Ctrl 键，选择“water”、“wetland”、“grass”，单击“delete entries”，删除“water”、“wetland”、“grass”。然后根据用地类型给各种类型赋值，得到 reclassland（图 8.78），深色部分为比较适宜区，浅色部分表示适宜性比较差，白色表示该处不允许建学校。



图 8.78 重分类土地利用图

(8) 适宜区分析

重分类后，各个数据集都统一到相同的等级体系内，且每个数据集中那些被认为比较适宜性的属性都被赋以比较高的值，现在开始给四种因素赋以不同的权重，然后合并数据集以找出最适宜的位置。

单击 **Spatial Analyst** 下拉列表框中的 **Raster Calculator** 命令对各个重分类后数据集的合并计算，最终适宜性数据集的加权计算公式为：

$$\text{Suit(最终适宜性)} = \text{reclassdisr (娱乐场所)} * 0.5 + \text{reclassdiss (现有学校)} * 0.25 + \text{reclassland (土地利用数据)} * 0.125 + \text{reclassslope (坡度数据)} * 0.125$$

得到最终适宜性数据集（图 8.79），适宜性较高区域（深色部分）为推荐学校选址区域。

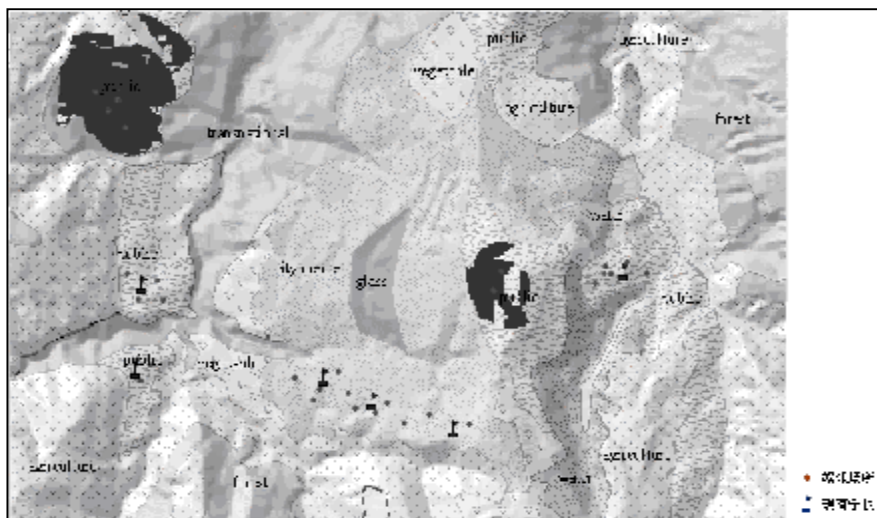


图 8.79 适宜性学校选址结果图

8.8.2 寻找最佳路径

1. 背景

随着社会经济发展需求，公路的重要性日益提高。在一些交通欠发达的地区，公路建设迫在眉睫。如何根据实际地形情况设计出比较合理的公路规划，是一个值得研究的问题。

2. 目的

通过练习，熟悉 ArcGIS 栅格数据距离制图、表面分析、成本权重距离、数据重分类、最短路径等空间分析功能，熟练掌握利用 ArcGIS 上述空间分析功能，分析和处理类似寻找最佳路径的实际应用问题。

3. 数据

- (1) dem(高程数据);
- (2) startPot (路径源点数据);
- (3) endPot (路径终点数据);
- (4) river (小流域数据)。

所有原始数据存放于随书光盘的..\Chp8\Ex2\目录下。

4. 要求

- (1) 新建路径成本较少;
- (2) 新建路径为较短路径;
- (3) 新建路径的选择应该避开主干河流，以减少成本;
- (4) 新建路径的成本数据计算时，考虑到河流成本 (Reclass_river) 是路径成本中较关键因素，先将坡度数据 (reclass_slope) 和起伏度数据 (reclass_QFD) 按照 0.6: 0.4 权重合并，然后与河流成本作等权重的加和合并，公式描述如下：

$$\text{cost} = \text{Reclass_river} + (\text{reclass_slope} * 0.6 + \text{reclass_QFD} * 0.4)$$

- (5) 寻找最短路径的实现需要运用 ArcGIS 的空间分析 (Spatial Analyst) 中距离制图中的成本路径及最短路径、表面分析中的坡度计算及起伏度计算、重分类及栅格计算器等功能完成;

- (6) 提交寻找到的最短路径路线图。

5. 实现流程图

ArcGIS 中实现最佳路径分析，首先利用高程数据派生出坡度数据以及起伏度数据。然后重分类流域数据、坡度、起伏度数据集到相同的等级范围，再按照上述数据集在路径选择中的影响率赋权重值，最后合并这些数据即可得到成本数据集。基于成本数据集计算栅格数据中各单元到源点的成本距离与方向数据集。最后执行最短路径函数提取最佳路径。

具体逻辑过程如图 8.80 所示。

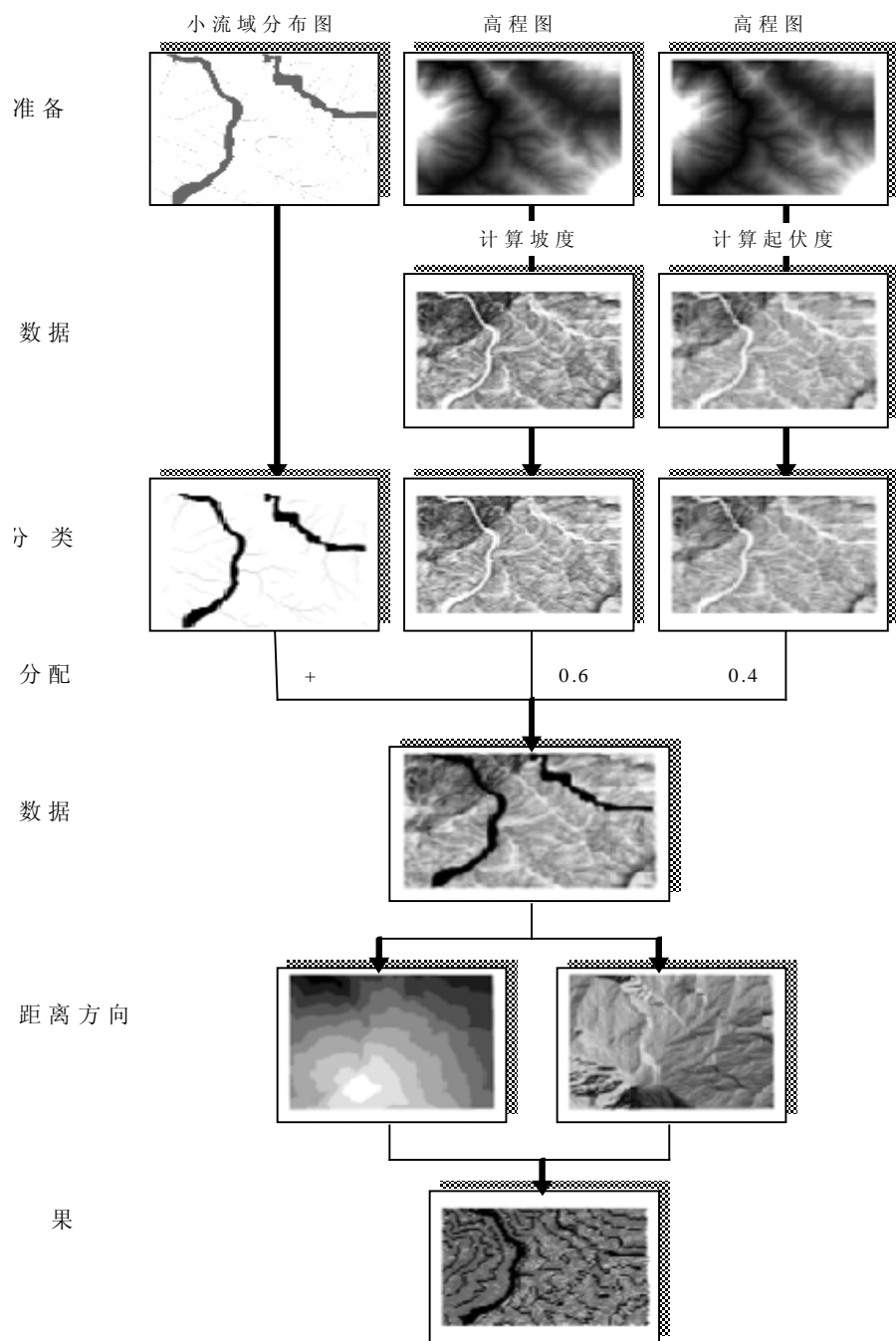


图 8.80 寻找最佳路径逻辑过程

6. 操作过程

(1) 运行 ArcMap, 加载 Spatial Analyst 模块, 如果 Spatial Analyst 模块未能激活, 单击 Tools 菜单下的 Extensions, 选择 Spatial Analyst, 单击 Close 按钮;

(2) 单击 File 菜单下的 Open 命令, 打开加载地图文档对话框, 选择 E:\Chp8\Ex2\road.mxd;

(3) 设置空间分析环境。单击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头, 打开 Options 对话框, 设置相关参数:

1) 打开 Options 对话框中的 General 选项卡, 设置默认工作路径为: “E:\Chp8\Ex2\result\”;

2) 打开 Options 对话框中的 Extent 选项卡, 在 Analysis Extent 下拉框中选择“Same as Layer landuse”;

3) 打开 Options 对话框中的 Cell Size 选项卡, 在 Analyst Cell Size 下拉框中选择“Same as Layer landuse”。

(4) 创建成本数据集

考虑到山地坡度、起伏度对修建公路的成本影响比较大, 其中尤其山地坡度更是人们首先关注的对象, 则在创建成本数据集时, 可考虑分配其权重比为: 0.6: 0.4。但是在有流域分布的情况下, 河流对成本影响不可低估。因此, 成本数据集为合并山地坡度和起伏度之后的成本, 加上河流对成本之影响。

1) 坡度成本数据集

选择 DEM 数据层, 单击 Spatial Analyst 下拉列表框, 选择 Surface Analysis 并单击 slope, 生成坡度数据集, 记为 Slope。

选择 Slope 数据层, 单击 Spatial Analyst 下拉键头, 选择 Reclassify 命令实施重分类。重分类的基本原则是: 采用等间距分为 10 级, 坡度最小一级赋值为 1, 最大一级赋值为 10, 得到图 8.81 所示坡度成本数据



图 8.81 坡度成本数据

(reclass_slope)。

2) 起伏度成本数据集

选择 DEM 数据层, 单击 Spatial Analyst 下拉列表框, 选择 Neighborhood Statistics, 设置如图 8.82 所示参数设置, 单击 Ok 按钮, 生成起伏度数据层, 记为 QFD。

选择 QFD 数据层, 单击 Spatial Analyst 下拉键头, 选择 Reclassify 命令, 按 10 级等间距实施重分类, 地形越起伏, 级数赋值越高, 最小一级赋值为 1, 最大一级赋值为 10, 得到图 8.83 所示地形起伏成本数据 (reclass_QFD)。

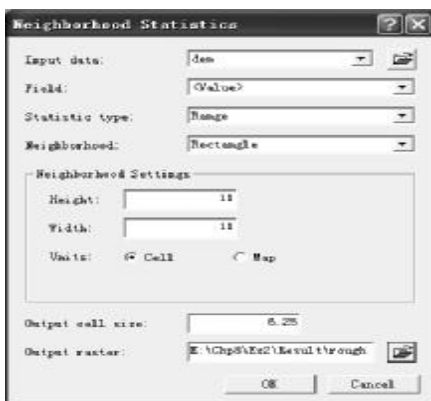


图 8.82 生成起伏度

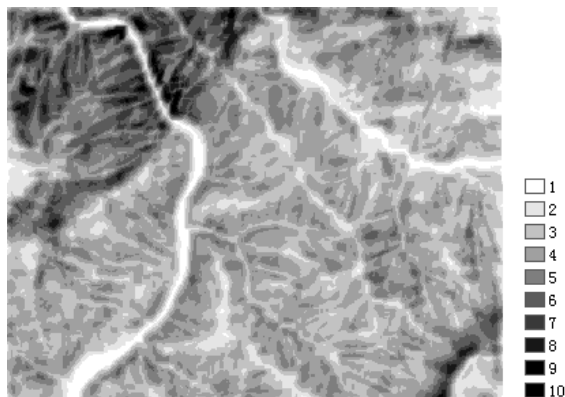


图 8.83 起伏度成本数据

3) 河流成本数据集

选择 River 数据层, 单击 Spatial Analyst 下拉键头, 选择 Reclassify 命令, 按照河流等级如下进行分类: 4 级为 10; 如此依次为 8, 5, 2, 1, 生成图 8.84 所示河流成本 (reclass_river)。

(5) 加权合并单因素成本数据, 生成最终成本数据集。

单击 Spatial Analyst 下拉箭头, 选择 Raster Calculator 命令合并数据集, 计算公式如下:

$$\text{cost} = \text{reclass_river} (\text{重分类流域数据}) + (\text{reclass_slope} (\text{重分类坡度数据}) * 0.6 + \text{reclass_rough} (\text{重分类起伏度数据}) * 0.4)$$



图 8.84 河流成本数据

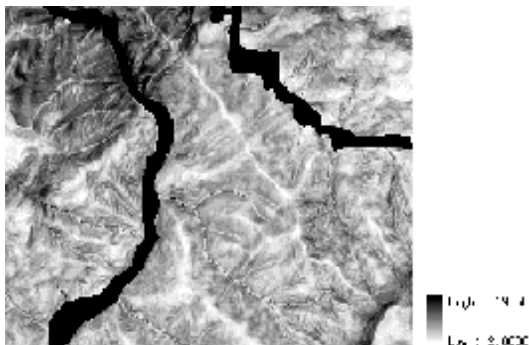


图 8.85 最终成本数据



图 8.86 计算成本权重数据对话框

得到图 8.85 所示最终成本数据集 (cost), 其中深色表示成本高的部分。

(6) 计算成本权重距离函数

单击 Spatial Analyst 模块下拉箭头, 选择 Distance 中的 Cost Weighted, 设置参数如图

8.86, 单击 OK 按钮。生成图 8.87 所示成本距离图, 其中浅色为源点; 图 8.88 所示成本方向图, 尖点为源点。

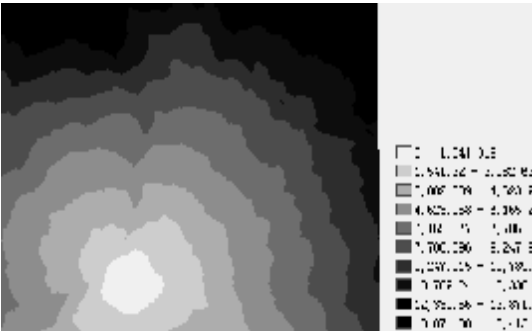


图 8.87 成本距离

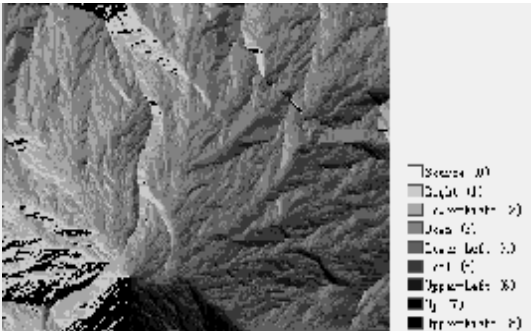


图 8.88 成本方向图

(7) 求取最短路径
单击 Spatial Analyst 下拉框, 选择 Distance 中的 Shortest Path, 设置参数如图 8.89 所示, 单击 OK 按钮, 生成最终的最短路径图 (图 8.90, 其中黑色粗线部分为确定的路径)。



图 8.89 最短路径对话框

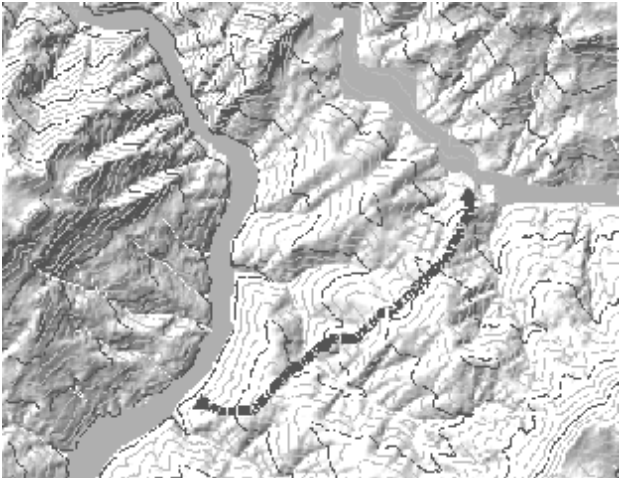


图 8.90 最佳路径图 (黑色粗线)

8.8.3 熊猫分布密度制图

1. 背景
大熊猫是我国国家级珍惜保护动物, 熊猫的生存必须满足一定槽域 (独占的猎食与活动范围) 条件。因此, 科学准确的分析熊猫的分布情况, 对合理制定保护措施和评价保护成效具有重要的意义。

2. 目的

通过练习,熟悉 ArcGIS 密度制图函数的原理及差异性,掌握如何根据实际采样数据特点,结合 ArcGIS 提供的密度制图功能和其它空间分析,制作符合要求的密度图。

3. 数据

野外实采的熊猫活动足迹数据,一个足迹代表一个熊猫曾在此处活动过,相同足迹只记载一次。数据存放于随书光盘的..\Chp8\Ex3\目录下。

4. 要求

(1) 熊猫活动具有一定的槽域范围,一个槽域范围只有一个或一对熊猫,在此练习中,假设熊猫槽域半径为 5km;

(2) 虽然一个采样点代表一个熊猫,但由于熊猫的生存具有确定槽域特征,不同的采样点具有不同的空间控制面积。假定熊猫活动范围分布满足以采样点为中心的泰森多边形,如何将这一信息加入密度分布图是本练习的重点;

(3) 在野外实采的熊猫活动足迹数据的基础上,以每个熊猫槽域范围为权重,运用 ArcGIS 中的区域分配功能和密度制图功能制作该地区熊猫分布密度图。

5. 计算原理

首先利用栅格数据空间分析模块提供的区域分配功能提取熊猫的槽域范围,然后用理论最大槽域面积(假定是半径为 5km 的圆,面积为 $3.1415927*5*5$, km^2)除以所提取的熊猫实际槽域面积,作为采样点的加权值(记为 Power 字段),生成熊猫分布密度图。

6. 操作过程

(1) 运行 ArcMap,加载 Spatial Analyst 模块,如果 Spatial Analyst 模块未能激活,单击 Tools 菜单下的 Extensions,选择 Spatial Analyst,单击 Close 按钮。

(2) 单击 Spatial Analyst 下箭头,单击 Options,单击 General 标签,在 Working Direction 文本框中输入或者单击 Browse 按钮选择工作路径,此处假定为“E:\chp8\ex3\Result\”,图 8.91。

(3) 单击 File 菜单下的 Open 命令,打开加载地图文档对话框,选择 E:\Chp8\Ex1\ XMDensity.mxd。

(4) 选择熊猫活动足迹数据图层,单击 Spatial Analyst 下拉箭头,单击 Distance,单击 Allocation,设置参数如图 8.92 所示,输出文件名记为 FP。单击 OK,生成熊猫槽域范围图(图 8.93,白色区域没有熊猫出现)。



图 8.91 工作路径设置

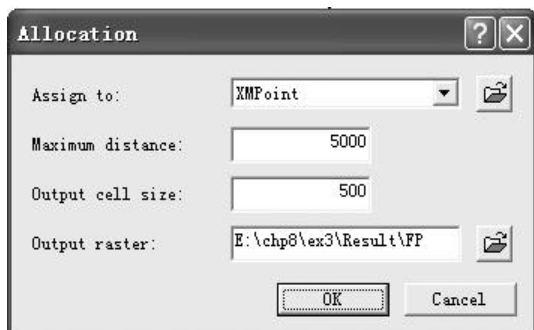


图 8.92 区域分配对话框

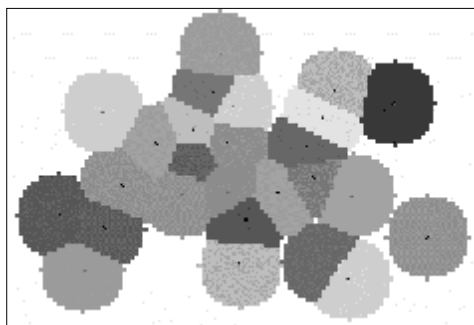


图 8.93 槽域分配图

- (5) 选择 FP 数据层, 单击鼠标右键并选择 Open Attribute Table 命令, 打开 FP 属性表;
- (6) 单击 FP 属性表右下角 Option 按钮的下拉箭头, 选择 Export 命令 (图 8.94);

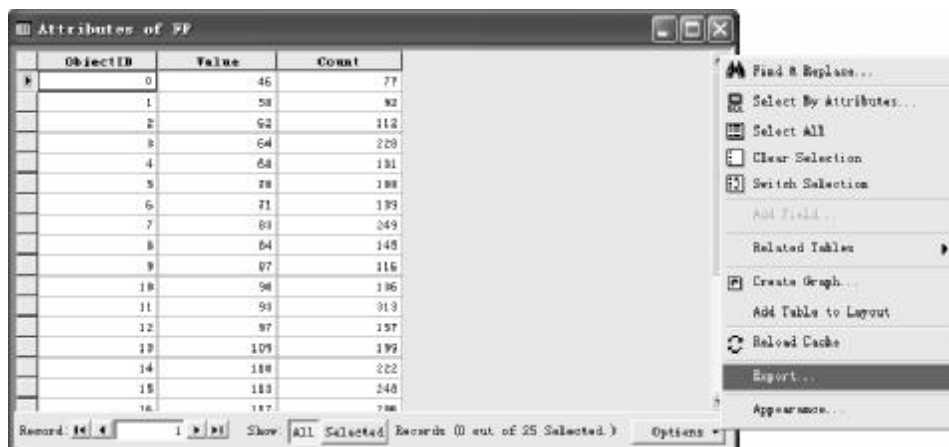


图 8.94 FB 属性表输出

- (7) 导出 FP 属性数据表, 在 Output table 文本框中输入输出文件名 FBtab.dbf, 如图 8.95 所示;
- (8) 单击确定按钮。出现提示是否需要加载该数据表, 选择“是 (Y)”;

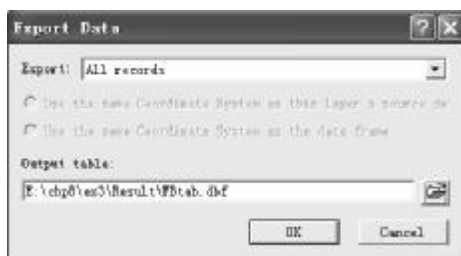


图 8.95 参数设置

- (9) 选择熊猫活动足迹数据图层 (XMPPoint), 单击鼠标右键, 选择 Join and Relates 子菜单下的 Join, 弹出数据连接对话, 参数设置如图 8.96 所示, 单击 OK 按钮, 完成熊猫

采样数据与槽域范围数据的连接。



图 8.96 采样数据与槽域范围数据连接

(10) 选择熊猫活动足迹数据图层(XMPoint), 单击鼠标右键并选择 Open Attribute Table 命令, 打开 XMPoint 属性表; 单击属性表中的 XMPoint.CaoYuArea 字段名, 单击鼠标右键, 选择 Calculate Values...; 在 Field Calculate 对话框中输入计算公式: [FBtab.Count]*500*500, 500 为生成 FB 数据层时设置的栅格大小。

(11) 选择熊猫活动足迹数据图层 (XMPoint), 选择单击属性表中的 XMPoint.Power 字段名, 单击鼠标右键, 选择 Calculate Values...; 在 Field Calculate 对话框中输入计算公式: $3.1415926 \times 5000 \times 5000 / [\text{XMPoint.CaoYuArea}]$, $3.1415926 \times 5000 \times 5000$ 为假定的最大槽域面积, 计算每个采样点的权重值, 作为计算密度的样本值;

(12) 单击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头, 选择 Density..., 参数设置如图 8.97 所示, 提取密度;

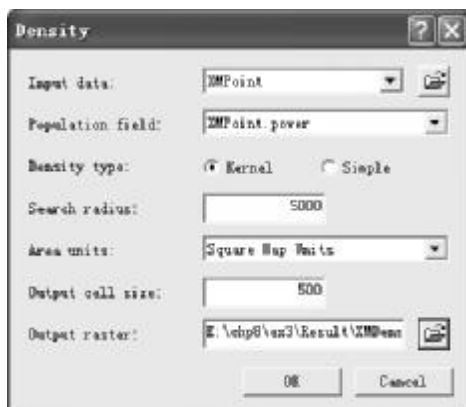


图 8.97 密度计算

(13) 上述密度以平方米为面积单位, 数据值太小。单击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头, 选择 Raster Caculate..., 输入计算公式: $\text{XMDensity}10 = [\text{XMDensity}] \times 10000000$, 将面积单

位换算为 10 平方公里，结果如图 8.98 所示。

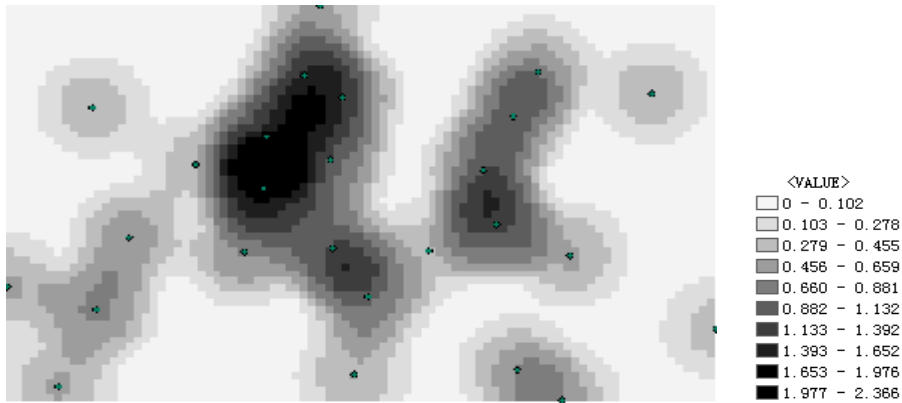


图 8.98 熊猫密度图（单位：10 平方公里）

8.8.4 GDP 区域分布图的生成与对比

1. 背景

各地区经济协调发展是保证国民经济健康持续稳定增长的关键。GDP 是反映各地区经济发展状况的重要指标。科学准确分析各地区 GDP 空间分布特征，对制定有效措施，指导经济协调发展具有重要参考价值。

2. 目的

ArcGIS 中提供了三种空间插值方法，每种插值方法在原理上和应用上都大不相同，在此通过具体实例练习如何利用 IDW 内插方法和 Spline 内插方法进行 GDP 空间分布特征的分析，以此来引导读者对空间插值有一个更深刻的认识。

3. 数据：

某地区的统计 GDP 数据（GDP.shp），数据范围：4601 万元~132630 万元。数据存放于随书光盘的..\Chp8\Ex4\目录下。

4. 要求

- （1）经济的发展具有一定的连带效应和辐射作用。以该地区各区域年 GDP 数据为依据，采用 IDW 和 Spline 内插方法创建该地区 GDP 空间分异栅格图；
- （2）分析每种插值方法中主要参数的变化对内插结果的影响；
- （3）分析两种内插方法生成的 GDP 空间分布图的差异性，简单说明形成差异的主要原因；
- （4）通过该练习，熟练掌握两种插值方法的适用条件。

5. 实验流程图

（1）IDW 内插方法

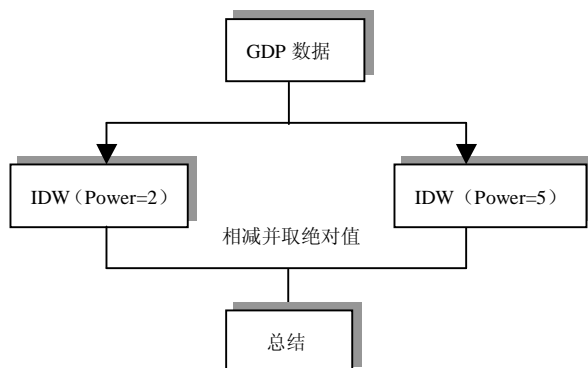


图 8.99 IDW 内插试验流程图

(2) Spline 内插方法

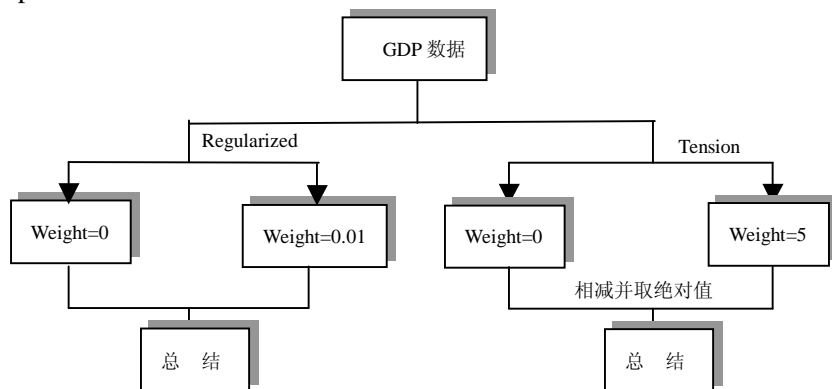


图 8.100 Spline 内插试验流程图

(3) 两种方法之间的对比，通过空间分析中 **Raster Calculate** 命令来进行分析。选择 **IDW (Power=2)**, **Spline (Regularized, Weight=0.01)**。在 **Raster Calculate** 中计算 **Abs (IDW – Spline)**，比较二者产值变化空间分异特征。

6. 操作步骤

(1) IDW 插值法

1) 插值步骤:

A. 运行 ArcMap，加载 **Spatial Analyst** 模块，如果 **Spatial Analyst** 模块未能激活，单击 **Tools** 菜单下的 **Extensions**，选择 **Spatial Analyst**，单击 **Close** 按钮；

B. 单击 **File** 菜单下的 **Open** 命令，打开加载地图文档对话框，选择 **E:\Chp8\Ex4\GDP.mxd**；

C. 在 **Spatial Analyst** 下拉菜单中选择 **Options** 选项，在 **Options** 中的 **General** 页面中在设置默认工作路径，此处假定为“**E:\chp8\ex4\Result**”，并设置 **Analysis mask** 为 **board.shp**；

D. 在 Spatial Analyst 下拉菜单中选择 Interpolate to Raster, 在弹出的下一级菜单中单击 Inverse Distance Weighted;

E. 设置 Z value field 为 GDP; 设置 Power 为 2; 设置 Output cell size 为 500; 输出结果文件名为 IDW2; 其他参数不变, 单击 OK。

F. 改 Power 值为 5, 输出结果文件名为 IDW5, 重复上述步骤。

G. 在 Spatial Analyst 下拉菜单中选择 Raster Calculator, 求 Abs (IDW2 - IDW5)。单击 Ok。

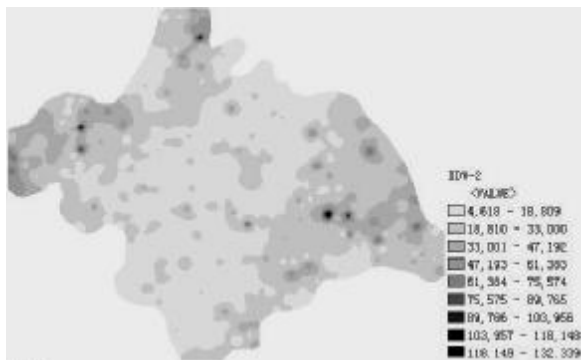
IDW 插值结果如图 8.101 所示。

2) 结果分析

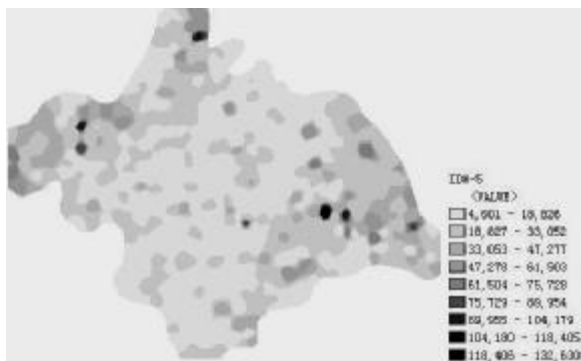
A. IDW 插枝是加权距离平均函数, 平均值不可能大于输入最高值或是小于输入最低值, 因此输出的结果数据中, 每一栅格值均处于采样数据的最大值与最小值范围之内。

B. 幂指数对 IDW 的插值结果有很大影响。幂指数越大, 较远的点对于输入的影响越小, 即幂指数越高, 其局部影响的程度越高。

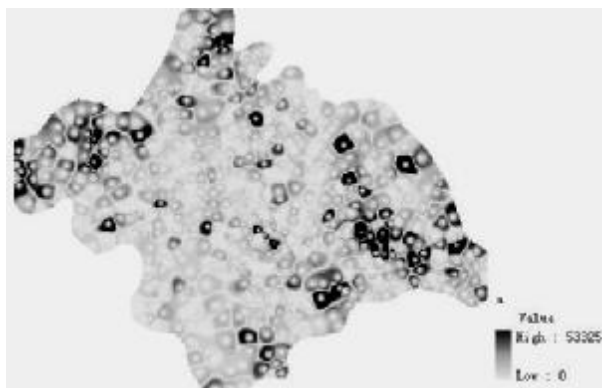
C. IDW 属于精确性(生成表面通过采样点)插值方法。因此, 在采样点的微小邻域内, 即使给出不同的幂指数值, 内插结果的变化均比较小, 变化比较大的地方出现在采样点值变化剧烈和频繁的区域。此外, 如果基于采样点生成泰森多边形, 在泰森多边形边线区域, 内插值比较稳定, 受幂指数值的影响不是很明显。



IDW2: Power = 2



IDW5: Power = 5



IDW2-IDW5: Abs (IDW2 - IDW5)

图 8.101 IDW 插值结果

(2) Spline 内插法

1) 插值步骤:

A. 在 Spatial Analyst 下拉菜单中选择 Interpolate to Raster, 在弹出的下一级菜单中单击 Spline;

B. 设置 Z value field 为 GDP; 设置 Spline type 为 Regularized; 设置 Weight 值为 0; 设置 Output cell size 为 500; 输出文件名称为 Spr0; 其他参数不变, 单击 OK, 进行计算;

C. 改 Weight 值为 0.01, 输出文件名称为 Spr01, 重复上述步骤;

D. 修改 Spline type 为 Tension, 并分别取 Weight 值为 0 和 5, 输出文件名称为 Spt0 和 Spt5, 进行计算;

E. 在 Spatial Analyst 下拉菜单中选择 Raster Calculator, 并求 Regularized 中 Abs (Spr0 — Spr01) 和 Tension 中 Abs (Spt0 — Spt5)。

图 8.102 为采用 Regularized 插值类型时插值结果。图 8.103 为采用 Tension 插值类型时插值结果。

2) 结论:

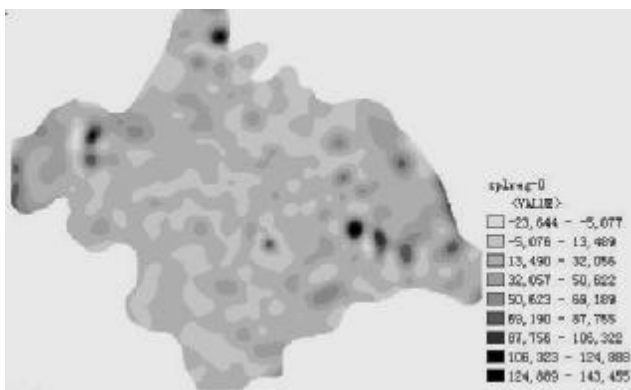
A. Spline 插值表面光滑, 并且 Regularized 插值结果较 Tension 插值结果光滑;

B. Spline 插值表面数值范围范围将超出采样点数值范围;

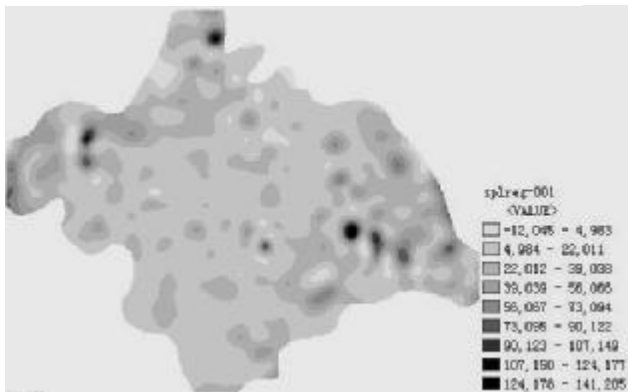
C. Regularized Spline 插值中, weight 值越高则生成的表面越光滑;

D. Tension Spline 插值中, weight 值越高则生成的表面越粗糙;

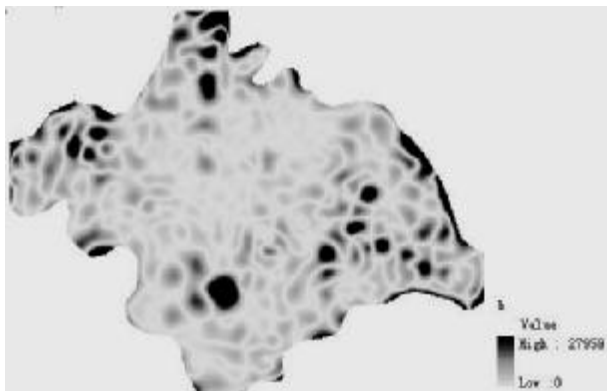
E. 在采样点微小邻域内, 无论采用那种内插方法 (Regularized 或 Tension) 和 weight 值, Spline 插值均比较稳定, 差异较小。而在其它区域, 尤其是在采样点比较稀疏的地方, 插值受内插方法 (Regularized



Spr0: Weight = 0



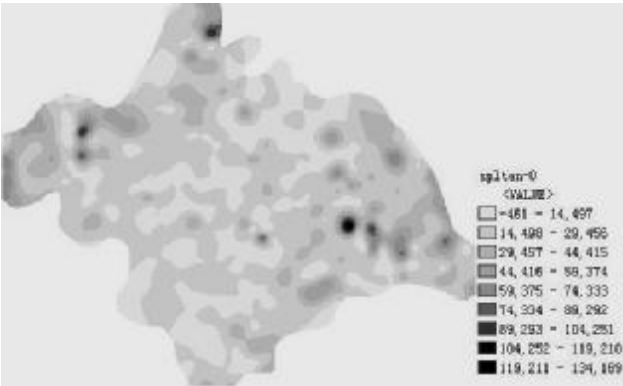
Spr01: Weight = 0.01



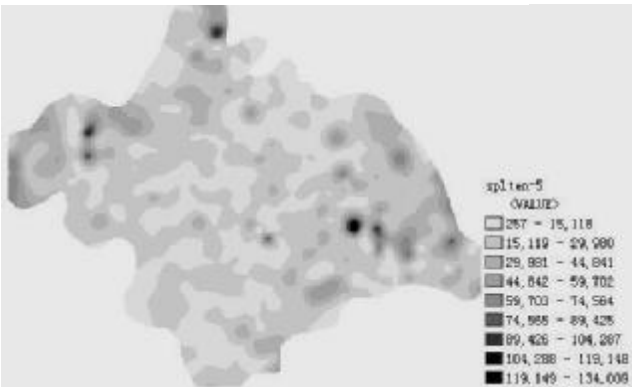
Spr0-Spr01: Abs (Spr0 — Spr01)

图 8.102 Spline Regularized 插值结果

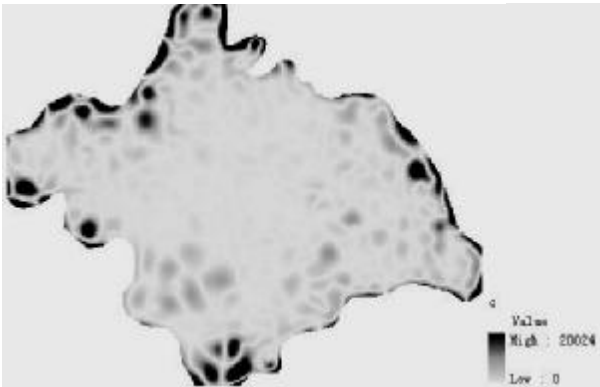
或 Tension) 和 weight 值的影响比较大。



Spt0: Weight = 0



Spt5: Weight = 5



Spt0-Spt5: Abs (Spt0 — Spt5)

图 8.103 Spline Tension 插值结果

(3) IDW 与 Spline 对比分析

1) 操作过程:

A. 选取 IDW2 内插结果图;

B. 选取 Spr01 内插结果图;

C. 在 Spatial Analyst 下拉菜单中选择 Raster Calculator, 输入公式: $Abs(IDW2-Spr01)$, 单击 Evaluate, 执行运算。结果如图 8.104 所示。

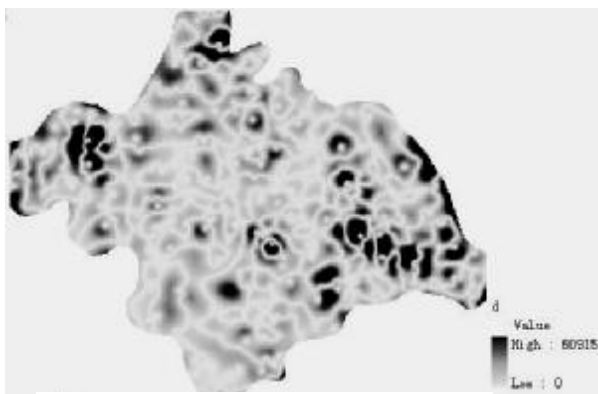


图 8.104 IDW 与 Spline 对比分析

2) 结论:

A. IDW 和 Spline 都属于精确性插值, 插值表面均通过采样点。因此, 在采样点微小邻域, 两种插值方法的插值结果比较接近, 差异较小。

B. IDW 和 Spline 插值受采样点密度的影响较大。在采样点分布比较密集的区域, 插值结果差异较小; 在采样点分布比较稀疏的区域, 插值结果差异较大。

C. 在采样点取值变化剧烈和频繁的区域, IDW 和 Spline 插值结果差异较大, 而在变化比较均衡的区域, 插值结果比较接近。

D. IDW 是一个加权距离平均, 其每一栅格的输出值限制在采样点的输入值的范围内, 因此, 对如山脊和沟谷这样的极端地形, 如果没有采样点, IDW 不会生成这些地形。当取样点足够密时, IDW 对局部变化具有非常好的效果。Spline 是基于生成具有连续的二阶导数和最小的平方曲率的插值方法, 所以它适合那些空间连续变化并且光滑的表面的生成。

8.8.5 山顶点的提取

1. 背景

山顶点指哪些在特定邻域分析范围内, 该点都比周围点高的区域。山顶点是地形的重要特征点, 它的分布与密度反映了地貌的发育特征, 同时也制约着地貌发育。因此, 如何基于 DEM 数据正确有效的提取山顶点, 在数字地形分析中具有重要意义。

2. 目的

通过等高线、山顶点、洼地点的提取和配置、引导读者熟练掌握利用 ArcGIS 栅格数据空间分析中等高线的提取、栅格数据邻域分析和窗口计算功能，完成栅格数据表面分析。

3. 数据：

黄土丘陵地区 1:10000DEM 数据。数据存放于随书光盘的..\Chp8\Ex5\目录中。

4. 要求

(1) 应用栅格数据空间分析模块中的等高线提取功能，分别提取等高距为 15 米和 75 米的等高线图，并按标准地形图绘制等高线方法绘制等高线，作为山顶点提取的地形背景；

(2) 通过邻域分析和栅格计算器提取山顶点。

5. 操作过程

(1) 运行 ArcMap，加载 Spatial Analyst 模块，如果 Spatial Analyst 模块未能激活，单击 Tools 菜单下的 Extensions，选择 Spatial Analyst，单击 Close 按钮。

(2) 单击 Spatial Analyst 下拉箭头，单击 Options，单击 General 标签，在 Working direction 文本框中输入或单击 Browse 按钮选择默认工作路径。此处假定为“E:\chp8\ex5\Result\”，如图 8.105 所示；

(3) 单击 File 菜单下的 Open 命令，打开加载地图文档对话框，选择 E:\Chp8\Ex1\HillTop.mxd；

(4) 单击 Spatial Analysis 下拉箭头，选择 Surface Analysis 子菜单并单击 Contour，参数设置如图 8.106 所示，提取等高距为 15 米的等高线；



图 8.105 设置工作路径

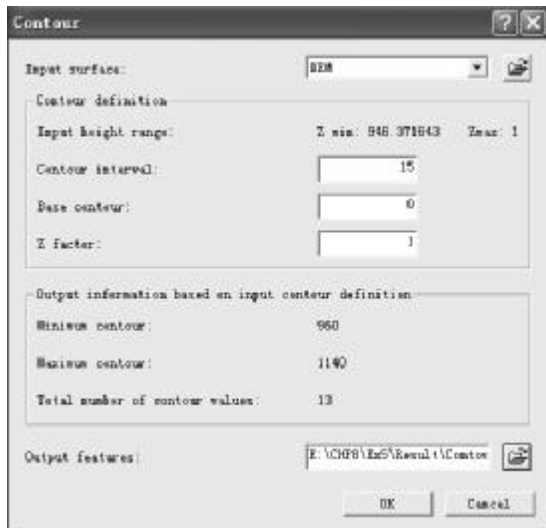


图 8.106 等高线提取对话框

(5) 修改 Contour interval 为 75 米，提取等高距为 75 米的等高线，输出文件名为 Contour75；

(6) 单击 Contour15 数据层图例，选择显示颜色为灰度 60%（图 8.107），单击 OK 按钮。

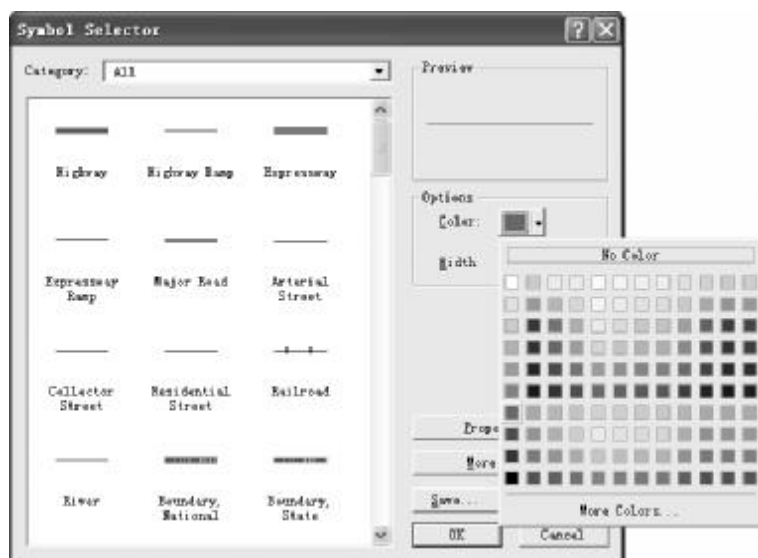


图 8.107 选择图例颜色

(7) 单击 Spatial Analysis 下拉箭头, 选择 Surface Analysis 子菜单并单击 Hillshade, 设置输出文件名为 Hillshade, 其它参数取默认值, 提取该地区光照晕渲图, 作为等高线三维背景;

(8) 单击 Spatial Analysis 下拉箭头, 选择 Raster Calculator..., 输入计算公式: $\text{Back} = [\text{DEM}] \geq 0$, 单击 OK。提取有效数据区域, 作为等高线三维背景掩模;

(9) 双击 Back 数据层, 在弹出的属性对话框的 Display 属性页设置透明度 60%, 在 Symbolology 属性框中设置其显示颜色为 Gray50%, 单击 OK 按钮;



图 8.108 三维立体等高线图

(10) 按 Contour15、Contour75、Back、Hillshade 次序放置数据层, 生成三维立体等高线图 (图 8.108);

(11) 单击 Spatial Analysis 下拉箭头, 选择 Neighborhood Statistics, 设置参数如图 8.109

所示，单击 OK 按钮，提取 11*11 分析窗口最大值；

(12) 单击 Spatial Analysis 下拉箭头，选择 Raster Calculator...，输入计算公式： $SD = [Maxpoint] - [DEM] == 0$ ，提取山顶点区域；

(13) 选择 SD 数据层，单击 Spatial Analysis 下拉箭头，选择 Reclassify，设置参数如图 8.110 所示，重分类 SD 数据；

(14) 选择 RE_SD 数据层，单击 Spatial Analysis 下拉箭头，选择 Convert 子菜单并单击 Raster to Features...，设置参数如图 8.111 所示，输出矢量山顶点数据（图 8.112）。



图 8.109 计算最大值

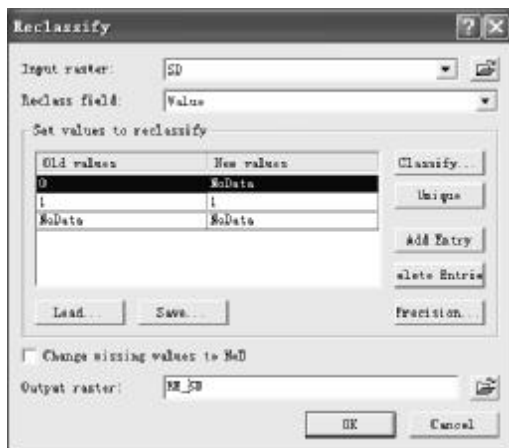


图 8.110 重分类 SD 数据



图 8.111 格式转换

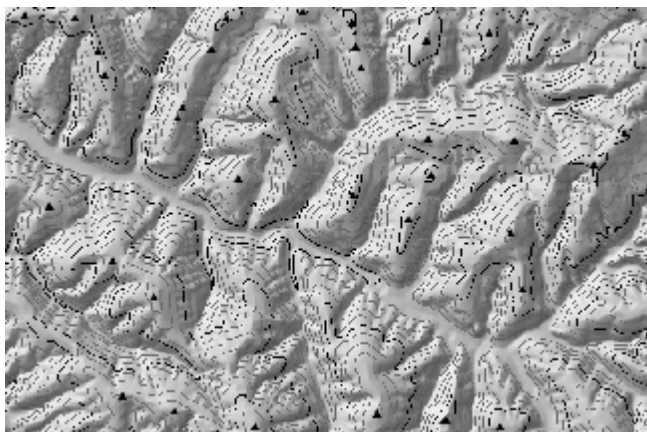


图 8.112 山顶点分布图

