实例与练习

本节将介绍几个实例与练习，以帮助读者加深对三维分析理论与方法的理解，熟练各种分析工具的操作和使用。

练习 1. 地形指标提取

1、背景

地形指标是最基本的自然地理要素，也是对人类的生产和生活影响最大的自然要素。地形特征制约着地表物质和能量的再分配，影响着土壤与植被的形成和发育过程，影响着土地利用的方式和水土流失的强度，也影响着城市规划中工农业生产布局的各个方面。地形指标的提取对水土流失、土地利用、土地资源评价、城市规划等方面的研究起着重要的作用。根据研究区域尺度的不同，地形指标有许多因子。基于 ArcGIS 的地形指标的提取，大多均是基于 DEM 数据完成。

2、目的

通过本实验，使读者加深对各基本地形指标的概念及其应用意义的理解。熟练掌握使用 ArcGIS 软件提取这些地形指标的方法和步骤。

3、实验数据

本实验采用某区域栅格 DEM（..\Chp9\Ex1\）。

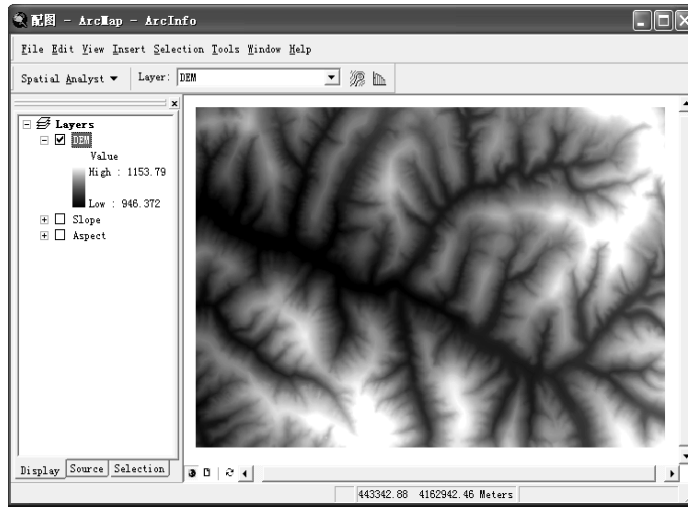


图 1 DEM 数据

图 1 是一个区域的分辨率为 5 米的 DEM 数据，图例是按照其高程值采用渐变色来显示。下文中关于地形指标的提取都是以这个数据为基础。

4、要求

利用所提供 DEM 数据，提取得出该区域坡度变率、坡向变率、地形起伏度、地面粗糙度等四个基本地形指标的栅格图层。

5、实验步骤

（1）坡度变率

地面坡度变率，是地面坡度在微分空间的变化率，是依据坡度的求算原理，在所提取的坡度值的基础上对地面每一点再求算一次坡度。即坡度之坡度（Slope of Slope, 简称 SOS）。坡度是地面高程的变化率的求解，因此，坡度变率表征了地表面高程相对于水平面变化的二阶导数。

坡度变率在一定程度上可以很好反映剖面曲率信息，其提取方法如下：

1) 激活 DEM 主题，选择 Spatial Analysis － Surface Analysis － Slope 命令，提取 DEM 主题的坡度，得到主题 Slope of DEM（图 2）；

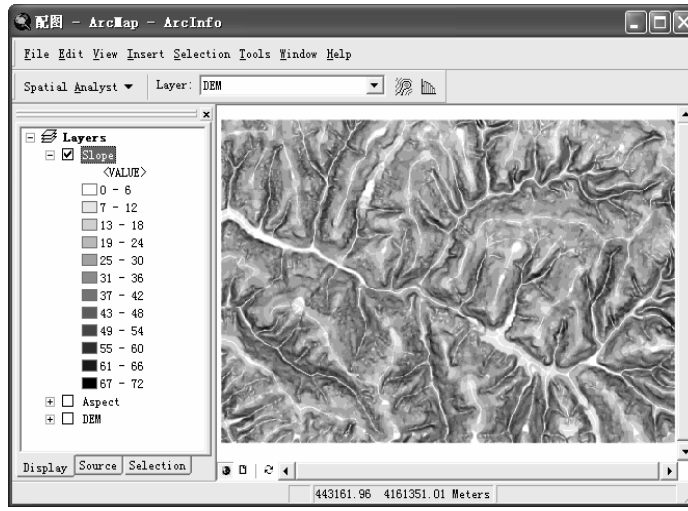


图 2 坡度数据

2) 激活主题 Slope of DEM，再对其用上述的方法提取坡度，得到 DEM 主题坡度的坡度，即坡度变率主题（图 3）。

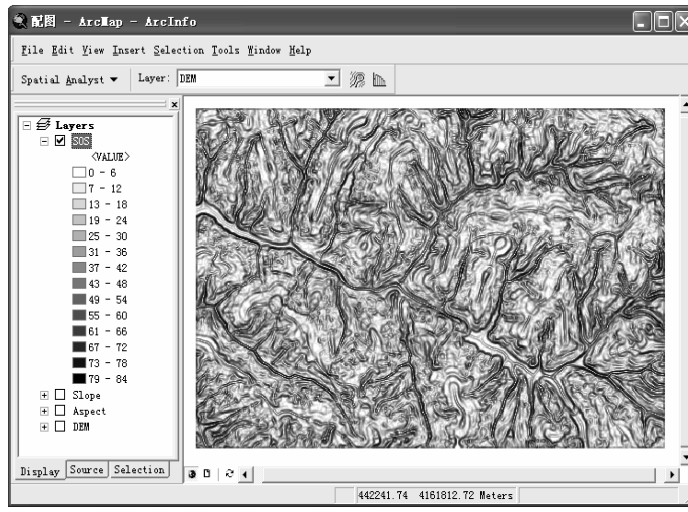


图 3 坡度变率

（2）坡向变率

地面坡向变率，是指在地表的坡向提取基础之上，进行对坡向变化率值的二次提取，亦即坡向之坡度（Slope of Aspect, SOA）。它可以很好的反映等高线弯曲程度。

地面坡向变率在所提取的地表坡向矩阵的基础上沿袭坡度的求算原理，提取地表局部微小范围内坡向的最大变化情况。值得注意的是：SOA 在提取过程中在不同的坡面上将会有误差的产生，即在坡面的南北两侧，北面坡由于坡向算法将会有误差产生，所以要对北坡的 SOA 结果进行纠正，因为从理论上讲 SOA 在地表北坡上将产生误差，北坡上坡向值范围为 0—90° 和 270°—360°，在正北方向附近，15° 和 345° 之间坡向差值只是 30°，而在计算中却是差了 330°（如图 4 所示），所以要将北坡地区的坡向变率误差进行纠正，具体的操作方法为：

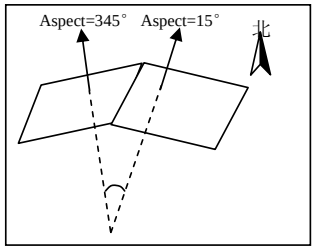


图 4 北坡坡向差值示意图

1) 求取原始 DEM 数据层的最大高程值，记为 H；通过 Spatial Analysis 下的栅格计算器 Calculator，公式为（H—DEM），得到与原来地形相反的 DEM 数据层，即反地形 DEM 数据；
2) 基于反地形 DEM 数据求算坡向值；
3) 利用 SOA 方法求算反地形的坡向变率，记为 SOA2，由原始 DEM 数据求算出的坡向变率值为 SOA1；
4) 在 Spatial Analysis 下使用栅格计算器 Calculator，公式为 SOA ＝(([SOA1]+[SOA2])-Abs([SOA1]-[SOA2])) / 2，即可求出没有误差的 DEM 的坡向变率，如图 5。

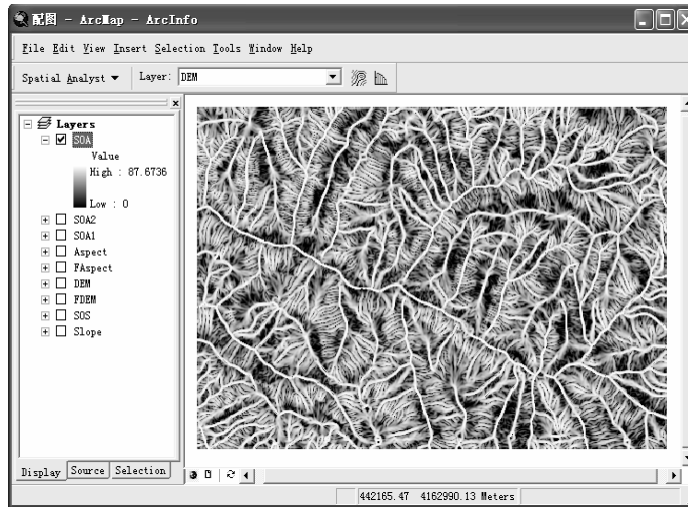


图 5 坡向变率

（3）地形起伏度

地形起伏度是指在一个特定的区域内，最高点海拔高度与最低点海拔高度的差值。它是描述一个区域地形的一个宏观性的指标。

从地形起伏度的定义可以看出，求地形起伏度的值，首先要求出一定范围内海拔高度的最大值和最小值，然后，对其求差值即可。求一定范围内的最大值和最小值，可以通过用 Spatial Analysis 下使用栅格邻域计算工具 Neighborhood Statistics，分别设置 Statistic type 为最大值和最小值，邻域的设置可以为圆，也可以为矩形，邻域的大小可根据自己的要求来确定。

地形起伏度的具体提取方法如下：

1) 激活 DEM 数据，在 Spatial Analysis 下使用栅格邻域计算工具 Neighborhood Statistics（图 6）。设置 Statistic type 为最大值，邻域的类型为矩形（也可以为圆），邻域的大小为 11×11（这个值也可以根据自己的需要进行改变），则可得到一个邻域为 11×11 的矩形的最大值层面，记为 A；
2) 重复 1、2，只是把 Statistic type 值设置为最小值，即可得到 DEM 数据的最小值层面，记为 B；
3) 在 Spatial Analysis 下使用栅格计算器 Calculator，公式为[A]-[B]，即可得到一个新层面，其每个栅格的值是以这个栅格为中心的确定邻域的地形起伏值。提取的结果如图 7。



图 6 邻域平滑

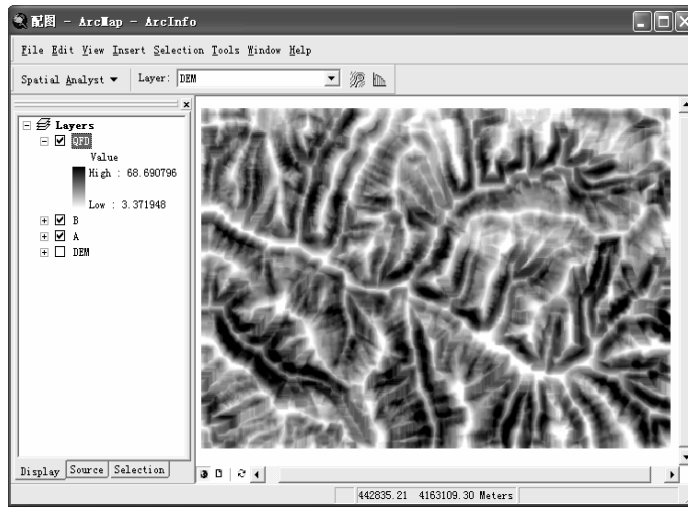


图 7 地形起伏度

（4）地面粗糙度：

地面粗糙度是指在一个特定的区域内，地球表面积与其投影面积之比。它也是反映地表形态的一个宏观指标。

根据地面粗糙度的定义，求每个栅格单元的表面积与其投影面积之比，可以用如下方法来完成。如图 8，假如 ABC 是一个栅格单元的纵剖面，α 为此栅格单元的坡度，则 AB 面的面积为此栅格的表面积，AC 面为此栅格的投影面积（也既是此栅格的面积），根据公式：

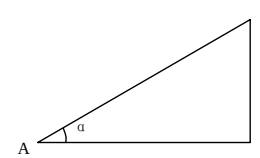


图 8 栅格单元剖面图

Cos α =AC/AB

则可得出此栅格单元的地面粗糙度 M 为：

M =“AB 面的面积”/“AC 栅格单元的面积”

= （AC * AB ）/ （AC * AC） = 1 / Cos α

地面粗糙度的提取步骤如下：

1) 激活 DEM 主题，选择 Spatial Analysis － Surface Analysis － Slope 命令，提取 DEM 主题的坡度，得到主题 Slope of DEM；

2) 激活主题 Slope of DEM，在 Spatial Analysis 下使用栅格计算器 Calculator，公式为：

1 / Cos（[Slope of DEM]*3.14159/180）

即可得到地面粗糙度的层面，如图 9。

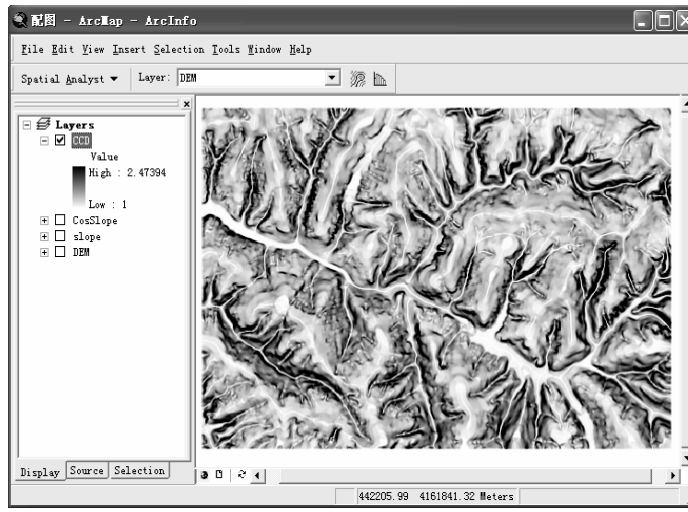


图 9 表面粗糙度

需要注意的是，在 ArcGIS 中，计算 Cos 默认的角度值是弧度值，而通过提取坡度得到的值是角度，所以在计算时必须把角度转为弧度。

此外，地形指标还包括一些常用的水文因子，如坡长、沟壑密度等，该类因子的提取一般通过水文方法实现，详情参见本书第十一章水文分析。

练习 2. 地形特征信息提取

1、背景

特征地形要素，主要是指对地形在地表的空间分布特征具有控制作用的点、线或面状要素。特征地形要素构成地表地形与起伏变化的基本框架。与地形指标的提取主要采用小范围的领域分析不同的是，特征地形要素的提取更多地应用较为复杂的技术方法，如山谷线、山脊线、沟沿线等的提取采用了全局分析法（global process），成为栅格地学分析中很具特色的数据处理内容。

特征地形要素从表示的内容上可分为地形特征点和特征线两大类。地形特征点主要包括山顶点（peak）、凹陷点（pit）、脊点（ridge）、谷点（channel）、鞍点（pass），平地点（plane）等。利用 DEM 提取地形特征点，可通过一个 3×3 或更大的栅格窗口，通过中心格网点与 8 个邻域格网点的高程关系来进行判断会获取。

山脊线和山谷线构成了地形起伏变化的分界线（骨架线），因此它对于地形地貌研究具有重要的意义。另一方面，对于水文物理过程研究而言，由于山脊、山谷分别表示分水性与汇水性，山脊线和山谷线的提取实质上也是分水线与汇水线的提取。

山顶点、谷底点的提取在第八章实例中已有介绍，下文通过山脊线和山谷线的提取，进一步介绍如何基于 ArcGIS 完成地形特征信息的提取。

山脊线和山谷线构成了地形起伏变化的分界线（骨架线），因此它对于地形地貌研究具有重要的意义。另一方面，对于水文物理过程研究而言，由于山脊、山谷分别表示分水性与汇水性，山脊线和山谷线的提取实质上也是分水线与汇水线的提取。这一特性又使得山脊线和山谷线在许多

工程应用方面有着特殊的意义。

基于规则格网 DEM 是最主要的自动提取山脊线和山谷线的方法，从算法设计原理上来分，大致可以分为以下五种：

1) 基于图像处理技术的原理；
2) 基于地形表面几何形态分析的原理；
3) 基于地形表面流水物理模拟分析原理；
4) 基于地形表面几何形态分析和流水物理模拟分析相结合的原理；
5) 平面曲率与坡形组合法。

其中，平面曲率与坡形组合法提取的山脊、山谷的宽度可由选取平面曲率的大小来调节，方法简便，效果好。该方法基本处理过程为：首先利用 DEM 数据提取地面的平面曲率及地面的正负地形，取正地形上平面曲率的大值即为山脊，负地形上平面曲率的大值为山谷。实际应用中，由于平面曲率的提取比较繁琐，而坡向变率（SOA）在一定程度上可以很好地表征平面曲率。因此，下面的提取过程以 SOA 代替平面曲率。

2、目的

通过本实例，使读者掌握山脊线和山谷线这两个基本地形特征信息的理论及其基于 DEM 的提取方法与原理。同时，熟练掌握利用 ArcGIS 软件对这两个特征信息的提取。

3、实验数据

某区域栅格 DEM 实现（\Chp9\Ex2）。

4、要求

利用所给区域 DEM 数据，提取该区域山脊线、山谷线栅格数据层。

具体提取过程为：

1) 激活 DEM 数据，在 Spatial Analysis 下使用 surface 菜单下的 Derive Aspect 命令，提取 DEM 坡向层面，记为 A；
2) 激活 A 层面，在 Spatial Analysis 下使用 surface 菜单下的 Derive Slope 命令，提取 A 层面的坡度信息，记为 SOA1；
3) 求取原始 DEM 数据层的最大高程值，记为 H；通过 Spatial Analysis 下的栅格计算器 Calculator，公式为（H－DEM），得到与原来地形相反的 DEM 数据层，即反地形 DEM 数据；
4) 基于反地形 DEM 数据求算坡向值；
5) 利用 SOA 方法求算反地形的坡向变率，记为 SOA2；
6) 在 Spatial Analysis 下使用栅格计算器 Calculator，公式为 SOA ＝（（[SOA1]+[SOA2]）-Abs（[SOA1]-[SOA2]））/ 2，即可求出没有误差的 DEM 的坡向变率 SOA；
7) 激活原始 DEM 数据，在 Spatial Analysis 下使用栅格邻域计算工具 Neighborhood Statistics；设置 Statistic type 为平均值，邻域的类型为矩形（也可以为圆），邻域的大小为 11×11（这个值也可以根据自己的需要进行改变），则可得到一个邻域为 11×11 的矩形的平均值层面，记为 B；
8) 在 Spatial Analysis 下使用栅格计算器 Calculator，公式为 C ＝[DEM]-[B]，即可求出正负地形分布区域（图 10）；

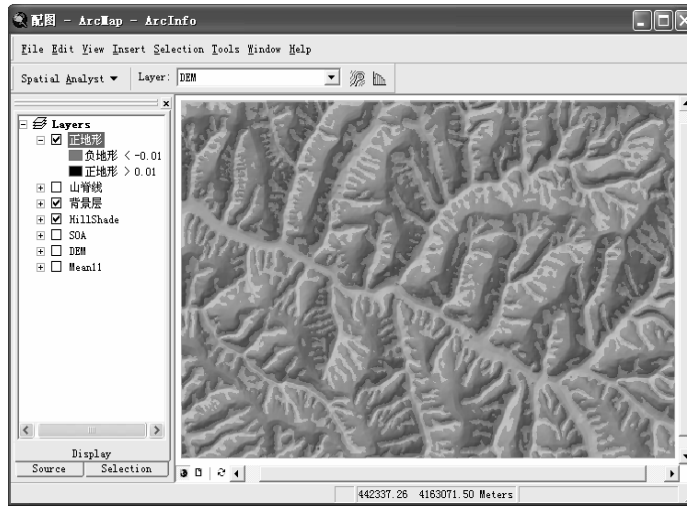


图 10 正负地形分布示意图

9) 在 Spatial Analysis 下使用栅格计算器 Calculator，公式为 D ＝[C] >0 & SOA > 70, 即可求出山脊线，图 11；

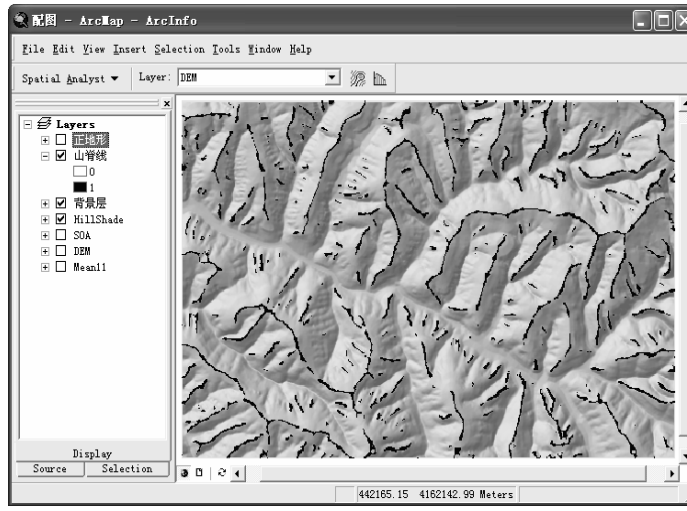


图 11 山脊线

10) 同理，在栅格计算器 Calculator 中，修改公式为 D ＝[C] < 0 SOA > 70, 即可求出山谷线，图 12。

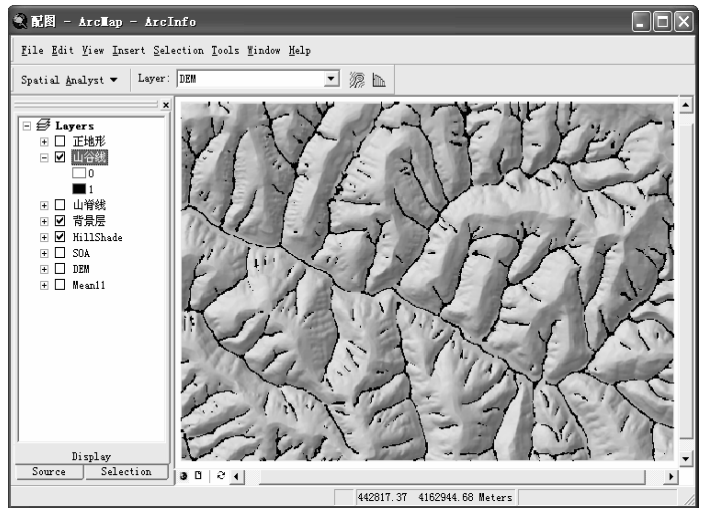


图 12 山谷线

练习 3. 表面创建及景观图制作

1、背景

随着社会经济的发展，旅游业在国民经济中所占比重加大。开发某一地区的旅游资源，制作景区的三维景观图，直观形象地向游人展示该区域的地形地貌、秀美景观，加强对景区的监管，具有重要的意义和实际应用价值。

2、目的

通过本实验，使读者加深对表面概念及生成方法的的理解，掌握三维场景中表面及矢量要素的立体显示其原理与方法，熟练掌握 ArcGIS 软件中表面生成、表面及矢量要素杂场景中的三维显示及其叠加显示。此外，本实例还允许用户自行设计要素的符号化显示方案。

3、实验数据

（1）景区等高线矢量数据 Arc_Clip（..\Chp9\Ex3）；

（2）景区道路矢量数据 Arc_Clip_road（..\Chp9\Ex3）；

（3）景区水系矢量数据 Arc_Clip_river（..\Chp9\Ex3）；

（4）景区休憩地数据层 Arc_Clip_urb（..\Chp9\Ex3）；

4、要求

（1）利用所给等高线数据建立景区栅格表面；

（2）在 ArcScene 三维场景中，实现表面与其它要素叠加三维显示；

（3）设计各要素如道路、水系等的符号化显示；

（4）综合考虑表面及各要素，生成美观大方的区域景观图；

5、实验方法及其制作步骤

（1）启动 ArcScene，打开场景文件 Exercise3.sxd（光盘中..\Chp9\Ex3\Exercise3.sxd），其中已添加以下数据层：等高线数据层 Arc_Clip，道路数据层 Arc_Clip_road，水系数据层 Arc_Clip_river，

休憩地数据层 Arc_Clip_urb（图 13）。

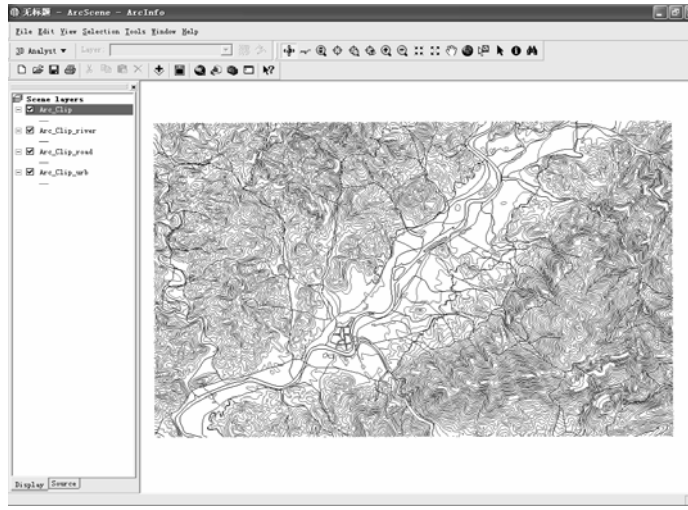


图 13 添加了休憩地数据层的实验场景

（2）创建区域 TIN 表面。

1）选择并点击 3D Analyst 菜单栏中的 Create\Modify Tin 选项栏中的 Create TIN From Features 命令（图 14）。弹出由要素创建对话框（图 15）：

2）在 Layer 框中勾选等高线图层 Arc_Clip，在右边的 Height Source 中选择 Elevation 字段，在 Triangulate as 中选择 soft line。

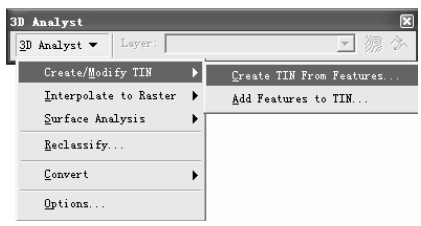


图 14 创建区域 TIN 表面

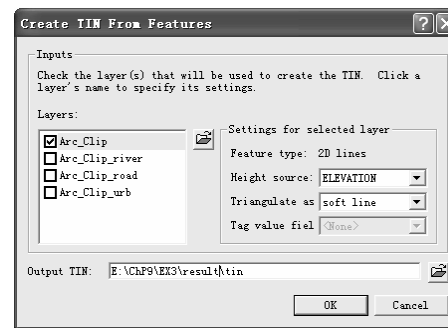


图 15 由等高线创建 TIN 对话框

3）最后，指定输出路径及文件名即可生成的地形景观（图 16）：

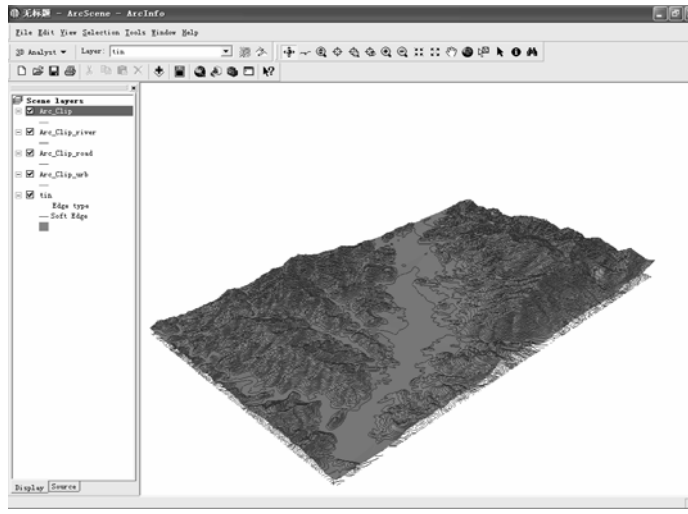


图 16 TIN

（3）创建栅格表面。

1）关闭显示所有已添加的图层。

2）点击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头，选择 Convert 并点击 TIN to Raster（图 17）。

3）在弹出 Convert TIN to Raster 对话框中作如下设置：在 Input TIN 选项栏中选择 tin，在 Attribute 栏中点选 Elevation.在 Output raster 栏中键入生成的 DEM 保存地址（图 18）。点击 OK。

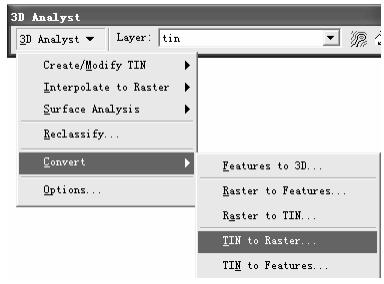


图 17 将 TIN 转换为 DEM

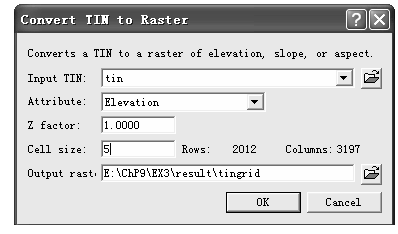


图 18 由 TIN 转换为栅格对话框

4）生成 DEM 如图 19：

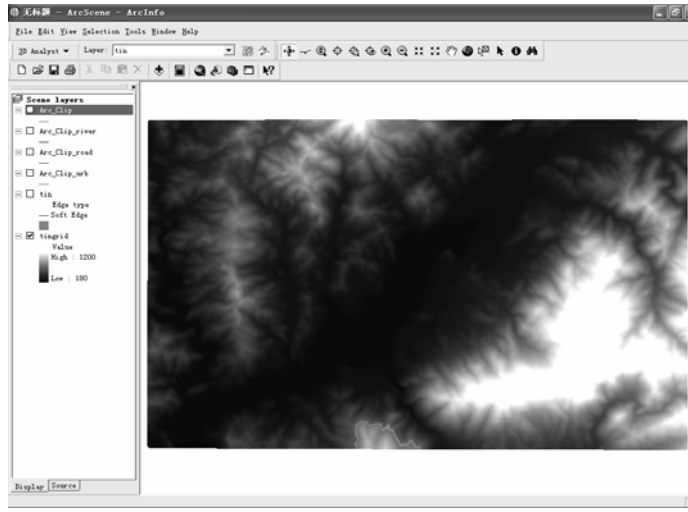


图 19 由 TIN 生成的 DEM

（4）符号化设计。

1）单击左边内容列表中每一图层下的符号样式，在弹出的 Symbol Seclector 对话框中选择合适的体例样式。

2）关闭等高线（Arc_Clip）图层及 tin 图层。显示如图 20：

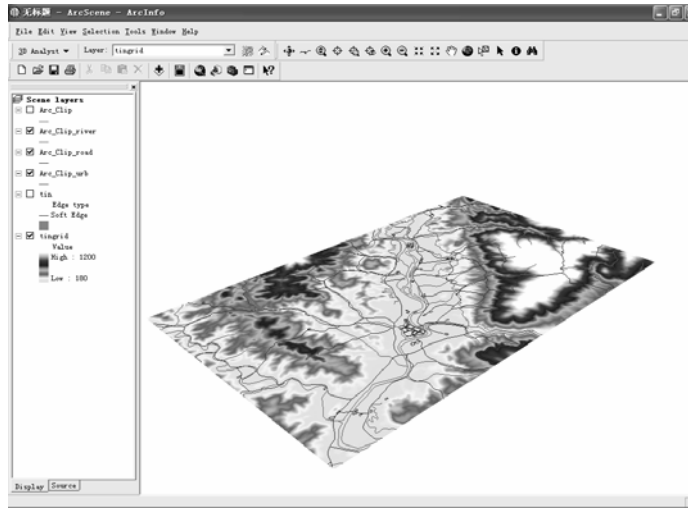


图 20 平面景观图

（5）建立三维景观图。

其它要素如道路、水系是景区三维景观图中游客向导的重要识别特征信息。在 ArcScene 中通过设置要素的基准高程，可以实现其三维显示。此外，还可以将纹理、遥感影像或二维地理要素

与表面叠加。

依次打开需要叠加显示的道路、水系、休憩地要素图层的属性对话框，设置其基准高程为区域 TIN 表面，以实现要素与地形的三维叠加显示。此外，根据需要可对地形起伏程度进行拉伸以夸大或缩小起伏度，可通过设置各图层数据高程转换系数实现。最后生成景观图如图 21：

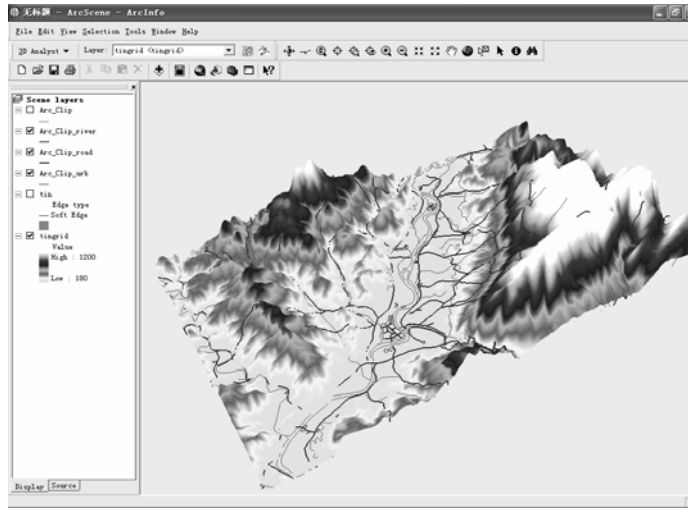


图 21 地形表面与其它要素的叠加显示

练习 4. 污染物在蓄水层中的可视化

1、背景

如果在某地区蓄水层中包含挥某种污染物，在已有污染数据时，可以创建三维场景，直观地显示污染情况。

2、目的

通过本实例，使读者熟练掌握 ArcScene 三维场景中要素、表面的多种可视化方法。

3、实验数据

（1）污染物浓度栅格图层数据 contamination（..\Chp9\Ex4）；

（2）水井位置点数据层 wells（..\Chp9\Ex4），其中包含水井深度属性；

（3）需要清理的污染源（工业设施）数据 Pol_source（..\Chp9\Ex4），其属性中包括需要进行清理的优先级；

（4）污染物空间的 TIN 表面 C_TIN（..\Chp9\Ex4）；

4、要求

利用所给数据，实现污染物状况的三维可视化显示，点状水井矢量要素的突出显示，污染源的符号化突出显示。

5、实验方法。

使用 ArcGIS 的三维分析工具，包括三维场景中数据的加载、数据在场景中的三维立体显示方法（包括设置基准高程显示和突出显示要素两种方法）。对污染物在蓄水层中的分布做直观的观察

和分析，并研究区域内分布的水井受其影响的情况。最后然后分析污染源的情况，确定污染源需要清理的优先级，以为决策提供科学支持。

（1）首先打开场景 Exercise4.sxd（..\Chp9\Ex4），可以看到所需实验数据已经加载（图 22）。

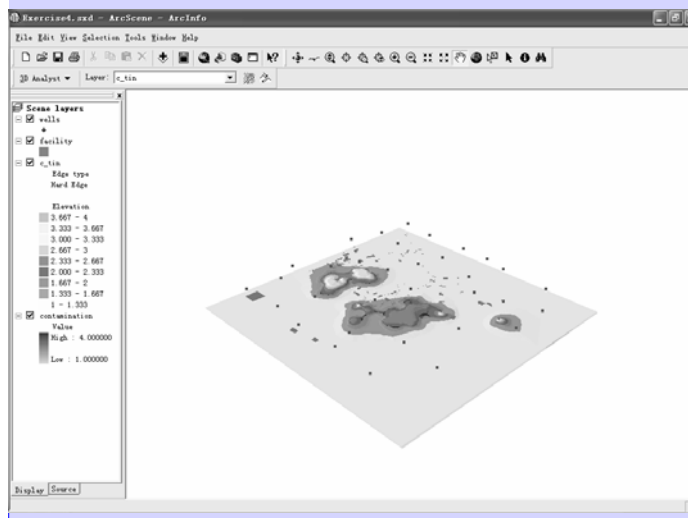


图 22 实验场景

批注 [m1]: 主要内容是否太小

（2）显示污染物的体积与污染程度。

将污染物浓度的栅格图层叠加到污染空间表面上，可以显示蓄水层中污染物的体积与污染物程度。

1）打开污染物浓度图层 contamination 的属性对话框（图 23）；

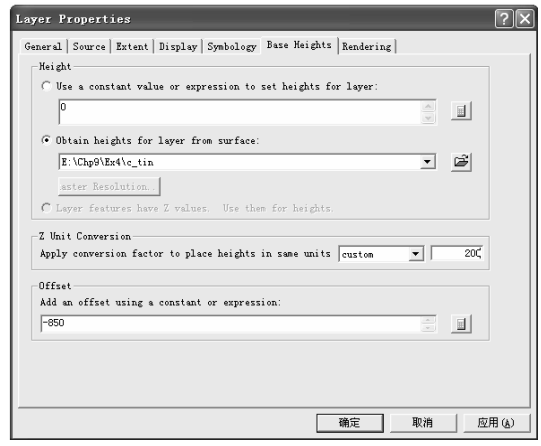


图 23 Contamination 数据层属性对话框

2）选择其空间 TIN 表面（C_TIN）设置基准高程，同时设置 Z 值转换系数为 200；

3）在 Symbology 选项卡中选择一合适渐变色系；

4）在内容列标表中取消 TIN 表面的显示，此时可以在三维空间中察看污染物空间的形状及其

受污染的强度（图 24）。

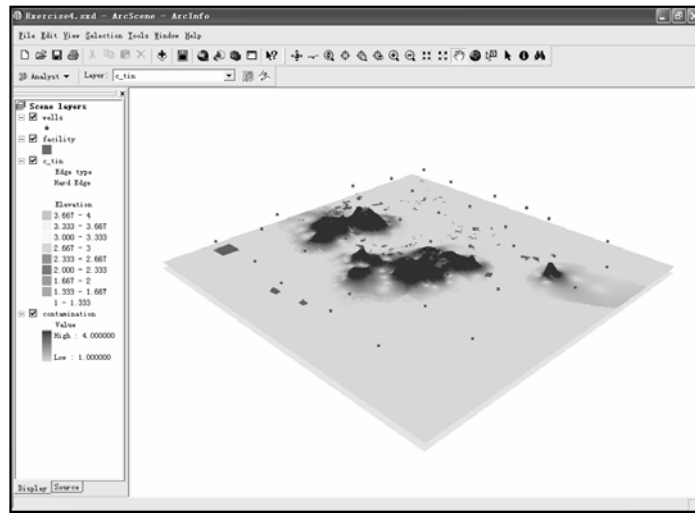


图 24 污染物空间

（3）显示污染物空间与水井的关系

从数据中可以看出一些水井位于污染物空间中。可以通过水井的深度属性对其进行突出显示，即可查找出哪些水井与污染物空间相交，哪些水井受污染较严重。

1）打开水井数据层属性对话框并选择 Extrusion 选项卡。

2）计算突出表达式为其深度属性字段 Depth，同时选择将表达式应用为各个要素的基准高程，水井的深度以负值表示，使其向下突出。

关闭 C-TIN 数据层的显示。此时，可以直观地察看与污染物空间相交或相邻的水井（图 25）。

（4）优先显示需要清理的污染源

如前所述，根据各个污染源需要进行清理的紧急程度，对其进行分级归类。然后将其突出显示，并用颜色标志出来，以突出需要进行清理的优先级。

1）打开污染源 facility 数据层属性对话框并选择 extrusion 对话框。

2）计算突出表达式为 Priority1*100。

3）在 Symbology 选项卡中设置符号为渐变色（Graduated colors），选择值域（Value）为 PRIORITY1，将符号分为 5 级显示。

此时，工业设施根据其优先级按比例突出显示。场景中可以看得出污染的形状及强度、水井与污染物空间的关系，以及为阻止地下水进一步污染而需要进行清理的污染源（图 26）。

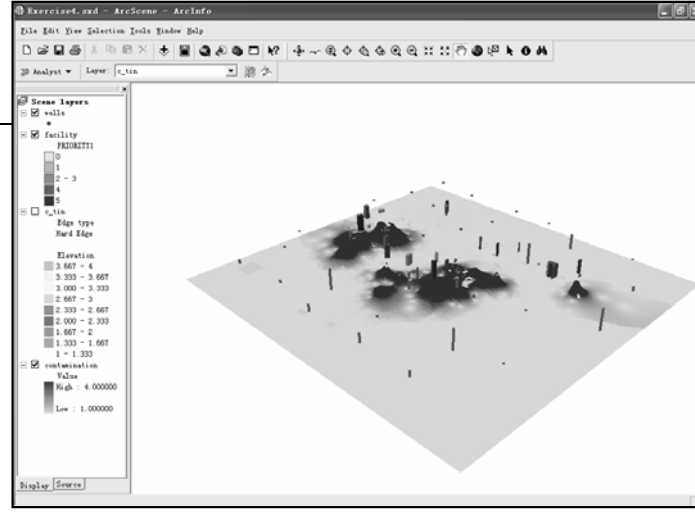


图 26 实验最终结果

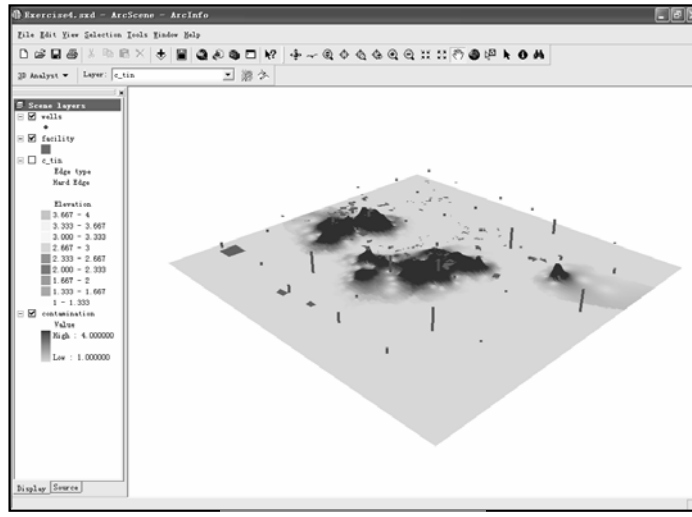


图 25 突出显示水井的场景

练习 5. 模拟场景飞行

1、背景

在获得某一地区的表面数据的基础上，可以制作这一地区的飞行动画。飞行动画可以直观动态地显示某一地区从宏观到微观的图像，显示某一实体随时间的发展变化等动态信息使场景栩栩如生，通过视角、场景属性、地理位置以及时间的变化来观察对象。如对一景区各个景点进行鸟瞰，模拟风蚀洼地的形成过程，模拟并预测洪水淹没区扩张速度及范围等等。

2、目的：通过制作某区域的飞行动画，实现对该区域的宏观浏览，掌握地形的三维显示与飞行动化的制作方法。

3、实验数据：某区域场景（..\ Chp9\ Ex5\Exercise5.sxd）。

4、要求，利用所给 TIN 数据，采用两种方法实现模拟场景飞行。1）抓区一系列场景图片然后向其中插入平滑帧形成动画；2）通过记录实时飞行场景生成动画。最后将生成的动画保存为

AVI 文件。

3.实验方法：本实例采用两种方法来生成飞行动画。

（1）抓取一系列场景图片然后向其中插入平滑桢来形成动画

步骤如下：

1）打开 ArcScene，打开实验场景（\ Chp9\ Ex5\ \Exercise5.sxd），见图 27。

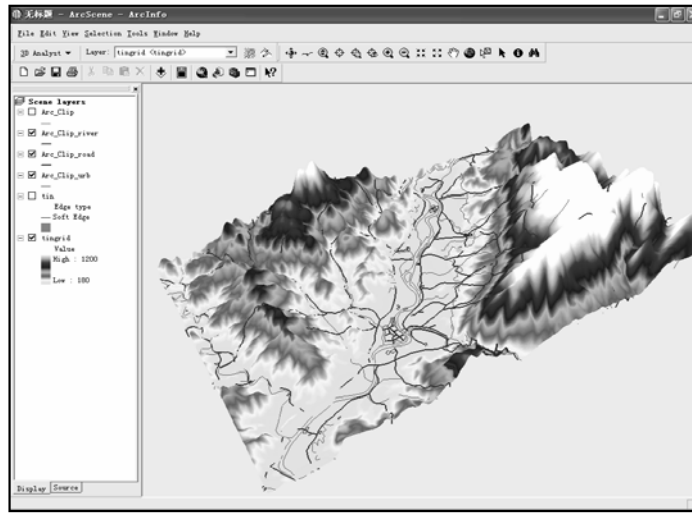


图 27 区域场景

2）打开 Animation 模块，抓取景区场景。

A、在工具条上单击右键，在弹出快捷菜菜单选中 Animation 项，打开动画工具条（图 28）；

B、点击拍照按钮 ，拍下当前场景。改变场景后再次拍照。

C、反复操作，抓取动画放映主干帧，直至将感兴趣场景拍摄完全。



图 28 将栅格转换为 TIN

3）调节动画参数，生成动画，并预览。

A、点击动画控按钮 ，打开动画控制器。

B、修改动画录制时间 Duration 栏，控制动画片长，动画播放片断控制 Play Only From 栏填入合适时间。点击 Play 按钮 预览动

4）动画导出。

点击 Animation 下拉菜单，选择 Export to Video 命令，将动画输出为可用多媒体播放器播放的文件（E:\Chp9\Ex1\result\飞行动画 1 .avi ）



图 29 动画控制器

（2）通过记录实时飞行场景来生成动画

1）点击 按钮，将鼠标放置到合适位置。此时鼠标为一栖息鸟状；

2）点击 按钮，弹出动画控制器；

3）点击 Options 按钮，将其扩展（图 29）；

4）在 Duration 栏中键入合适的动画时长，在 Play only from 栏中选择播放的片断时段。

5）点击沿路径飞行按钮，此时在场景中开始飞行。

6）飞行结束后，再次点击沿路径飞行按钮，结束录制。

7）点击播放按钮浏览播放动画。

8）动画导出。

A、点击 Animation 下拉菜单，选择 Export to Video 命令，弹出对话框（图 30）：

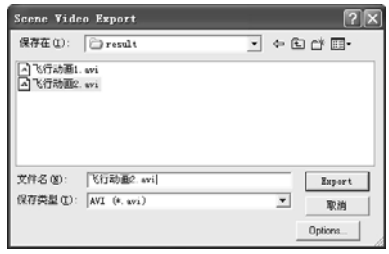


图 30 将动画输出为 AVI 文件



图 31 视频压缩

B、选择目标文件夹位置将动画文件导出到目标文件夹，格式为：.AVI 格式。

C、点击 Export 按钮，弹出视频压缩对话框（图 31），在该对话框中选择合适的压缩程序，及压缩质量，点击确定即可将动画输出为可用多媒体播放器播放的 AVI 文件。