实例与练习

练习 1. 利用水文分析方法提取山脊、山谷线

1. 背景：山脊线、山谷线是地形特征线，它们对地形、地貌具有一定的控制作用。它们与山顶点、谷底点以及鞍部点等一起构成了地形及其起伏变化的骨架结构。因此在数字地形分析中，山脊线和山谷线以及地形特征点等的提取和分析是很有必要的。
2. 目的：理解基于 DEM 结合水文分析的方法提取出研究区域的山脊线和山谷线的原理；掌握水流方向、汇流累积量的提取方法以及它们的提取原理；能将水文分析的方法和其它的空间分析方法相结合以解决应用问题。
3. 要求：
   （1）利用水文分析思想和工具提取研究区域的山脊线；
   （2）利用水文分析思想和工具提取研究区域的山谷线。
4. 数据：一幅 25*m*分辨率的黄土地貌DEM数据，数据的区域大概有 140 km^2。数据存放于…/ChP11/Ex1 中，请将其拷贝到E：/ChP11/Ex1。结果数据保存在…/ChP11/Ex1/Result 中。
5. 算法思想：

   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。因此，对于山脊线和山谷线就可以利用水文分析的方法进行提取。

   基于 DEM 的这种地形表面流水物理模拟分析的原理是：对于山脊线而言，由于它同时也是分水线，那么对于分水线上的那些栅格，由于分水线的性质是水流的起源点，通过地表径流模拟计算之后这些栅格的水流方向都应该只具有流出方向而不存在流入方向，也就是其栅格的汇流累积量为零。通过对零值的汇流累积值的栅格的提取，就可以得到分水线，也就得到了山脊线；对于山谷线而言，由于其具有汇水的性质，那么对于山谷线的提取，可以利用反地形的特点，即是利用一个较大的数值减去原始的 DEM 数据，而得到了与原始地形完全相反的地形数据，也就是原始的 DEM 中的山脊变成负地形的山谷，而原始 DEM 中的山谷在负地形中就变成了山脊，那么，山谷线的提取就可以在负地形中利用提取山脊线的方法进行提取。

   基于 DEM 利用水文分析的方法提取山脊线和山谷的技术流程如图 1 所示。

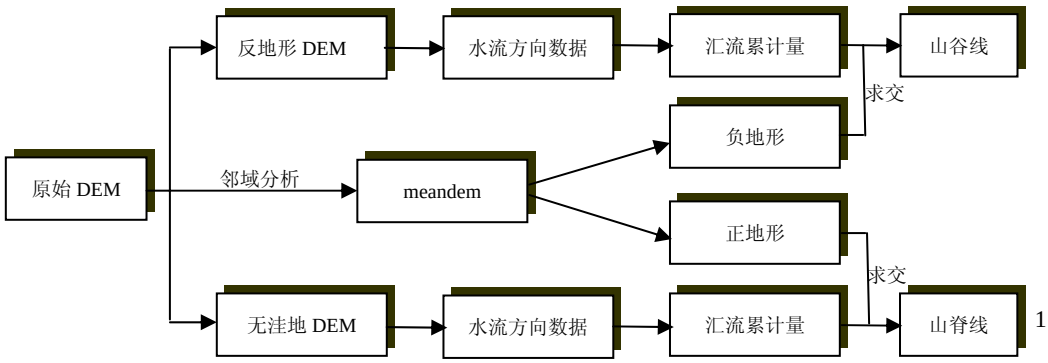


图 1 山脊线和山谷线的提取流程图

6. 操作步骤

（1）正负地形的提取

1） 启动 ArcToolbox，展开 Analysis Tools 工具箱，打开 hydrology 工具集。在图层管理器中加载研究区域的原始 DEM 数据，如图 2 所示。

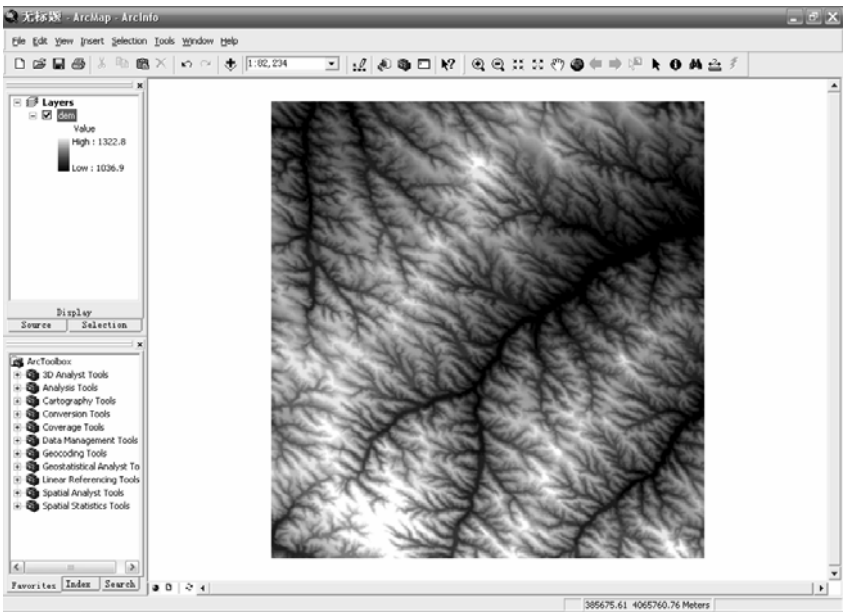


图 2 研究区域的 DEM 数据

2） 加载 Spatial Analyst 模块，点击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头，点击 neighborhood statistics 菜单工具，利用邻域分析的方法以 11×11 的窗口计算平均值。分析结果命名为 meandem。

3） 点击 spatial analyst 中的 raster calculator 菜单工具，对原始 DEM 数据与邻域分析之后的数据 meandem 做减法运算，并将运算结果重分为两级，分级界线为 0，那么大于 0 的区域在原始 DEM 上就是正地形区域，小于 0 的区域在原始 DEM 上就是负地形区域。

4） 对上一步得到的二值化数据进行两次重分类，一次将正地形区域属性值赋值为 1，负地形区域属性赋值为 0，命名为 zhengdixing；另一次将正地形区域属性值赋值为 0，负地形区域属性赋值为 1，命名为 fudixing。分别如图 3、图 4 所示。

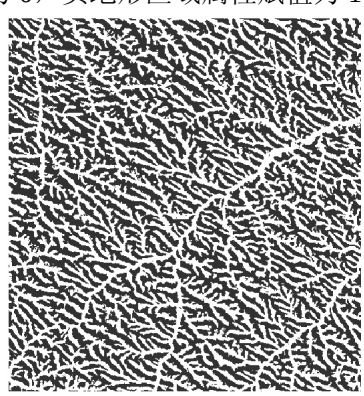


图 3 正地形区域（图中深色区域）

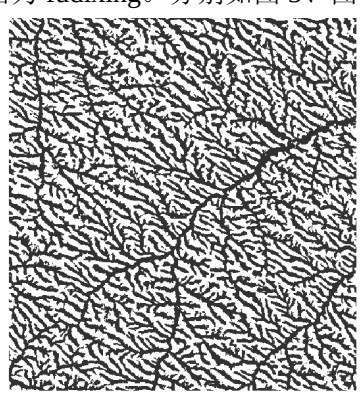


图 4 负地形区域（图中深色区域）

（2）山脊线的提取：

1） 在 ArcMap 中加载研究区域的原始 DEM 数据，如图 2 所示。

2） 洼地填充：双击 hydrology 工具集中的 fill 工具，进行原始 DEM 的洼地点填充。在 Input surface raster 文本框中选择原始 DEM 数据 dem，将输出数据命名为 filldem，因为选择的是将所有洼地全部填充，所有在填充容限 Z limit 为默认值。

3） 基于无洼地的水流方向的计算：双击 hydrology 工具集中的 flow direction 工具，在 Input surface raster 文本框中选择填充过的无洼地 DEM 数据 filldem，将输出的水流方向数据命名为 flowdirfill。

4） 汇流累积量的计算：双击 hydrology 工具集中的 flow accumulation 工具。选择 flowdirfill 作为输入的水流方向数据；输出数据命名为 flowacc1。

5） 汇流累积量零值的提取：加载 Spatial Analyst 模块，点击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头，然后单击 raster calculator 菜单，打开栅格计算对话框，在文本框中填写汇流累积量零值的提取公式：facc0 = (flowacc = 0)，然后点击 evaluate 进行计算。计算结果为所有的汇流累积量为 0 的栅格。

6） 在 ArcMap 中打开 facc0，发现所提取出的栅格很乱，有很多的地方并不是山脊线的位置，因此应对这个数据进行处理。处理过程可以利用邻域分析的方法，对提取出的汇流累积量等于零值的数据进行 3×3 邻域分析进行光滑处理，处理后的数据命名为 neiborfacc0。

7） 单击 spatial analyst 模块中的 surfer analyst 中的 countline 和 hillshade 菜单命令，分别生成原始 DEM 的等值线图 ctour 和晕渲图 hillshade。

8） 打开 neiborfacc0 数据的属性信息，进行重新分类，将分类级别设置为两类，不断的调整分界数据大小，并以由 DEM 生成的等值线图和晕渲图为辅助判断数据。在 neiborfacc0 中，属性值越接近于 1 的栅格越有可能是山脊线的位置，这里确定的分界阈值为 0.5541。

9） 将进行过二值化的 neiborfacc0 进行重分类为 reneibor，将属性值接近 1 的那一类的属性值赋值为 1，其余的赋值为 0。

10）将重分类过后的 neiborfacc0 数据与正地形数据 zhengdixing 利用 spatial analyst 菜单下的 raster calculator 进行相乘运算，这样就消除了那些存在在负地形区域中的错误的山脊线。然后将计算结果进行重分类，所有属性不为 1 的栅格属性值赋为 NO DATA。就得到了山脊线，如图 5 所示。

（3）山谷线的提取

1） 在 ArcMap 中加载原始 DEM 数据，如图 2 所示。

2） 加载 Spatial Analyst 模块，点击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头，点击 options raster calculator 菜单工具，打开栅格计算对话框；在文本框中填写反地形的计算公式：fandem =Abs (dem-2000)，点击 evaluate 进行计算。计算结果与原始 DEM 地形完全相反的反地形数据，如图 6 所示。

3） 反地形计算完毕之后，山谷线的提取就和山脊线的提取步骤一样的，直到最终利用重分类的方法将重新分级的邻域分析后的结果二值化为止。在这里，是不需要

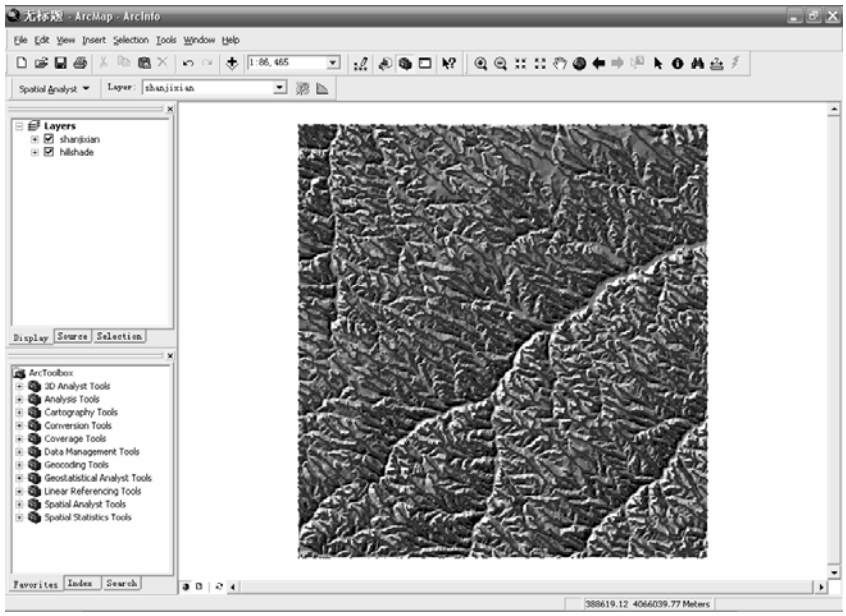


图 5 计算出的研究区域的山脊线

（图中深色区域为山脊线，背景为该区域的晕渲图）

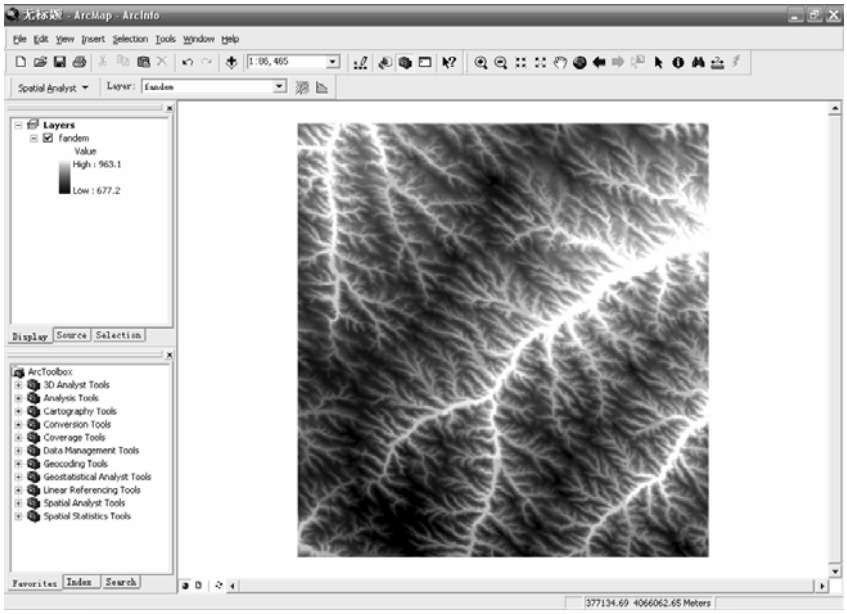


图 6 计算出的研究区域的反地形 DEM

对反地形 DEM 进行洼地填充的。计算过程中的数据名称分别为：水流方向数据为 flowdirfan，汇流累积数据为 flowacc2，零值汇流累积量提取数据为 flowacc0fan，对 flowacc0fan 进行均值 3×3 邻域分析后的结果数据为 nbfacc0fan，并将其分级改为两级，分级阈值为 0.65677。

4）将重分类过后的数据与负地形数据 fudixing 利用 spatial analyst 菜单下的 raster calculator 进行相乘运算，这样就消除了那些存在在负地形区域中的错误的山脊线。然后将计算结果进行重分类，所有属性不为 1 的栅格属性值赋为 NO DATA。就得到了山谷线，如图 7 所示。

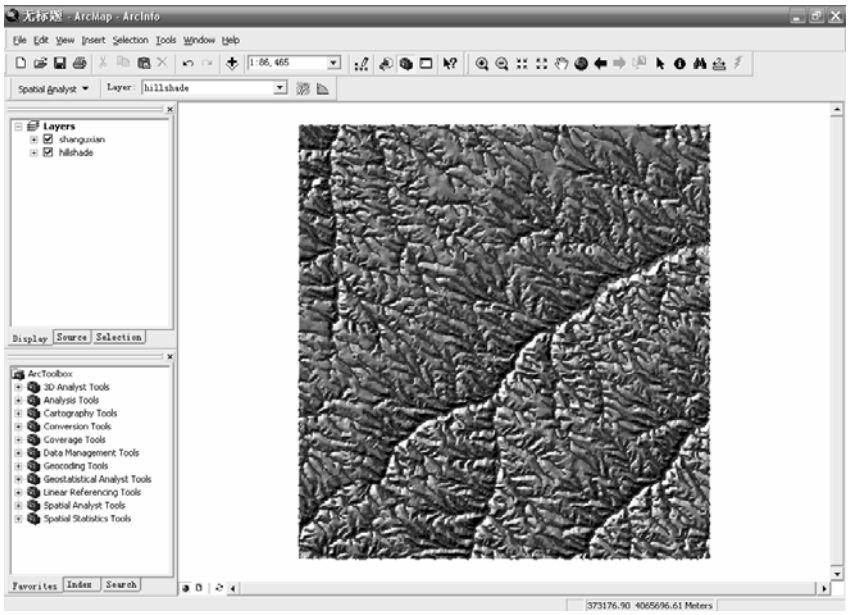


图 7 计算出的研究区域的山谷线

（图中深色区域，背景为该区域的晕渲图）

练习 2. 黄土地貌鞍部的提取

1. 背景：相邻两山头之间呈马鞍形的低凹部分称为鞍部，鞍部是两个山脊和两个山谷会合的地方。鞍部点是重要的地形控制点，它和山顶点、山谷点以及山脊线、山谷线等构成的地形特征点线，具有对地形具有很强的控制作用。因此，对这些地形特征点、线的分析研究在数字地形分析中具有很重要的意义。同时，由于鞍部点的特殊地貌形态，使得鞍部点的提取方法较山顶点和山谷的提取更难，目前没有什么有效的方法来提取鞍部点，利用水文分析的方法可以来提取一些鞍部点，但是它还是具有一定局限性。
2. 目的：结合水文分析的思想来提取研究区域内的地形鞍部点；开拓思维，拓展水文分析工具的应用，学会利用水文地质分析的思想来解决一些地形、地貌等方面的问题。
3. 要求：结合水文地质分析的方法和空间分析的方法提取研究区域的地形鞍部点
4. 数据：一幅 25*m*分辨率的黄土地貌DEM数据，数据的区域大概有 59 km^2。数据存放于…/ChP11/Ex2 中，请将其拷贝到E：/ChP11/Ex2。结果保存在…/ChP11/Ex2/Result 中。

5. 算法思想：由于鞍部是两个山脊和两个山谷会合的地方，那么对于鞍部点的提取，就可以采用分别提取山脊线和山谷线，然后再计算出山脊线与山谷线的交点，所求出的交点便是鞍部点的位置。

鞍部点的提取流程如图 8 所示。

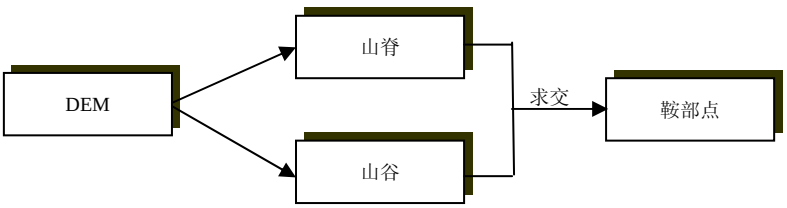


图 8 鞍部点的提取流程图

6. 操作步骤：

（1） 正地形、等高线和晕渲图的提取

同山脊线与山谷线的提取中一样，由于鞍部点的整体位置是处于山脊上的，需要提取出正地形以舍弃那些在负地形上的错误的提取结果。正地形的提取过程与 11.6.1 完全相同。提取过程分别是：利用 11×11 窗口进行提取平均值的邻域分析，结果为 meandem；原始 DEM 与 meandem 相减并以 0 为界进行重分类，大于 0 的属性重新赋值为 1，小于 0 的赋值为 0，结果命名为 zhengdixing。

利用 spatial analyst 菜单下的 surface analysis 菜单中的 contour 和 hillshade 工具分别提取研究区域的等高距为 40m 的等高线数据 ctour 和研究区域的晕渲图 hillshade。

（2） 山脊的提取

山脊的提取与练习 1 中山脊的提取过程是完全相同的，分别是进行洼地填充、然后在无洼地的 DEM 上提取水流方向、基于水流方向计算汇流累积量数据、提取汇流累积量数据等于零的栅格。提取过程产生的各个数据分别为：filldem、flowdir、flowacc 以及 flowacc0。

（3） 山谷的提取

山谷的提取也与练习 1 中山谷的提取过程是完全相同的，分别是基于原始 DEM 计算出反地形 DEM 数据（计算中是利用原始 DEM 减去常数 3000）、基于反地形 DEM 数据提取水流方向数据、基于水流方向数据进行汇流累积量数据、提取汇流累积量数据等于零的栅格。提取过程中产生的数据分别为：fandem、flowfdirfan、flowaccfan 以及 fanfacc0。

（4）鞍部点的提取

1）将提取出的山脊线数据 flowacc0 和山谷线数据 fanfacc0 利用 spatial analyst 菜单下的 raster calculator 的工具进行相乘运算，运算结果命名为 anbuqu。

2） 将上一步中提取出的数据 anbuqu 和正地形数据 zhengdixing 利用 spatial analyst 菜单下的 raster calculator 的工具进行相乘运算，就得到了鞍部点的栅格形式数据，

命名为 rasteranbu。

3） 将栅格数据 rasteranbu 进行重分类，所有 0 值和 NO DATA 数据赋为 NO DATA 数据，属性为 1 的值保持不变，重分类之后数据为 rasteranbu2。

4） 将栅格数据 rasteranbu2 转成矢量结构数据 anbudian，并配合等高线数据和晕渲图对矢量形式的鞍部点数据进行编辑，剔除那些处于研究区域边缘以及内部的伪鞍部点，并重新设计鞍部点的图例。将伪鞍部点数据剔除完毕之后，停止编辑并保存结果。最后得到的鞍部点数据如图 9 所示。

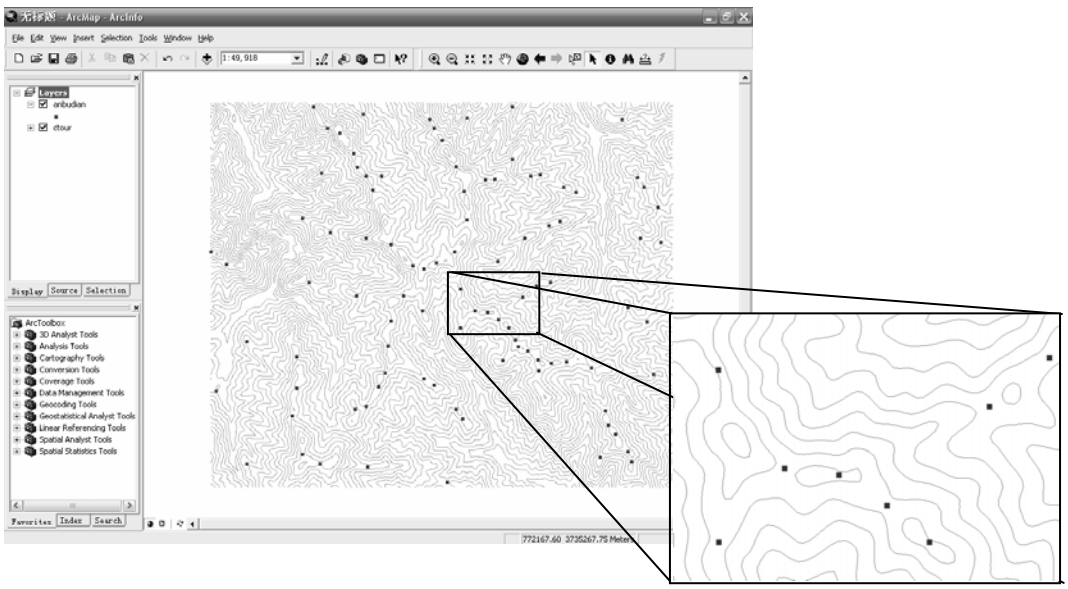


图 9 提取出的鞍部点图（图中背景为研究区 40*m* 等高距的等高线图）

练习 3. 沟谷网络的提取及沟壑密度的计算

1. 背景：沟壑密度是描述地面被水道切割破碎程度的一个术语。沟壑密度越大，地面越破碎。破碎的地面必然起伏不平，多斜坡。这样一方面使地表物质稳定性降低，另一方面易形成地表径流。沟壑密度越大，地面径流和土壤冲刷越快，沟蚀发展越快。沟壑密度是地形发育阶段、降水量或地势高差、土壤渗透能力和地表抗蚀能力的重要特征值。所以，沟壑密度是气候、地形、岩性、植被等因素综合影响的反映，对于水土流失监测、水土保持规划有着重要的意义。因此，沟壑密度的提取具有在地形分析中，特别是在进行水土保持和水土流失研究中具有重要的意义。

沟壑密度也称沟谷密度或沟道密度，指单位面积内沟壑的总长度。单位一般以km/km^2表示，数学表达为：

$$D_S = \frac{\sum L}{A}$$

式中：D_S指沟壑密度；ΣL指研究区域内的沟壑总长度（单位：km），A指特定研究区域的面积（单位：km^2）。

2. 目的：能熟悉掌握水文分析中的沟谷网络的提取原理及过程。
3. 要求：
   （1）利用水文地质分析工具提取出研究区域的沟谷网络；
   （2）计算出该研究区域的沟壑密度。
4. 数据：一幅 25*m*分辨率的黄土地貌DEM数据，数据的区域大概有 59 km^2。数据存放于…/ChP11/Ex3 中，请将其拷贝到E：/ChP11/Ex3。结果保存在…/ChP11/Ex3/Result 文件夹中。
5. 操作步骤

（1）沟谷网络的提取：

1） 启动 ArcToolbox，展开 Analysis Tools 工具箱，打开 hydrology 工具集。在图层管理器中加载研究区域的原始 DEM 数据。

2） 原始 DEM 数据提取水流方向数据：双击 hydrology 工具集中的 flow direction 工具，选择原始 DEM 数据作为输入表面数据，将输出的水流方向数据命名为 flowdir。点击 OK 进行水流方向数据的计算。

3） 洼地的计算：双击 hydrology 工具集中的 sink 工具，选择上一步计算的水流方向数据 flowdire 作为输入数据，将输出数据命名为 sink。

4） 计算得到原始 DEM 上有洼地，需要进行洼地填充。双击 hydrology 工具集中的 fill 工具，进行原始 DEM 的洼地点填充。在 Input surface raster 文本框中选择原始 DEM 数据 dem，将输出数据命名为 filldem，因为选择的是将所有洼地全部填充，所有在填充容限 Z limit 为默认值。

5） 基于无洼地的水流方向的计算：同步骤 2）中一样，打开水流方向计算，选择的输入表面数据是无洼地 DEM 数据 filldem，将输出的水流方向数据命名为 flowdirfill。

6） 汇流累积数据的计算。双击 hydrology 工具集中的 flow accumulation 工具。选择 flowdirfill 数据作为输入的水流方向数据；输出数据命名为 flowacc；输入的权值数据不选择，利用系统默认的等权且权值为 1 的模式。点击 OK 进行运算。运算出的汇流累积数据 flowacc。

7） 栅格河网的生成。在栅格河网的生成中，需要设置一个汇流累积阈值。双击 spatial analysis tools 工具箱中的 map algebra 工具集中的 multi output map 工具。在对话框的文本框中输入：E:\chp11\ex3\result\streamnet = con (E:\chp11\ex3\result\flowacc > 100, 1)，计算出栅格河网数据 streamnet。

8） 栅格河网矢量化。双击 hydrology 工具集中的 stream to feature 工具。选择 streamnet 作为栅格河网数据输入，将水流方向数据 flowdirrfill 作为输入的水流方向数据。将输出的数据命名为 stream1，也就是矢量形式的沟谷网络。

9) 伪沟谷的删除。由于基于 DEM 的河网的提取是采用最大坡降的方法，那么在平地区域例如谷底等，在这些区域上的水流方向是随机的，那么就很容易生成平行状的河流等错误的形状，这种平行状的沟谷被称为伪沟谷，需要进行手工编辑剔除的。伪沟谷的剔除步骤为：

A． 加载模块，点击 editor 模块的下拉箭头，点击 start editing 菜单工具，在操作目标层（target）中选择（9）中计算出来的矢量形式的河网数据 stream1。

B． 点击编辑工具中的选择符号，将其激活。在 ArcMap 地图显示窗口中选择那些沟谷网络上的平行状沟谷，点击右键，从弹出菜单中选择删除。研究区域边缘的那些很短的沟谷也需进行删除。

C． 所有的伪沟谷删除完毕之后，点击 editor 下拉菜单中的 save edits，对该层数据的修改进行保存，并点击 stop edits 停止编辑。到此，完成了伪沟谷的删除。最后的到沟谷数据如图 10 所示。

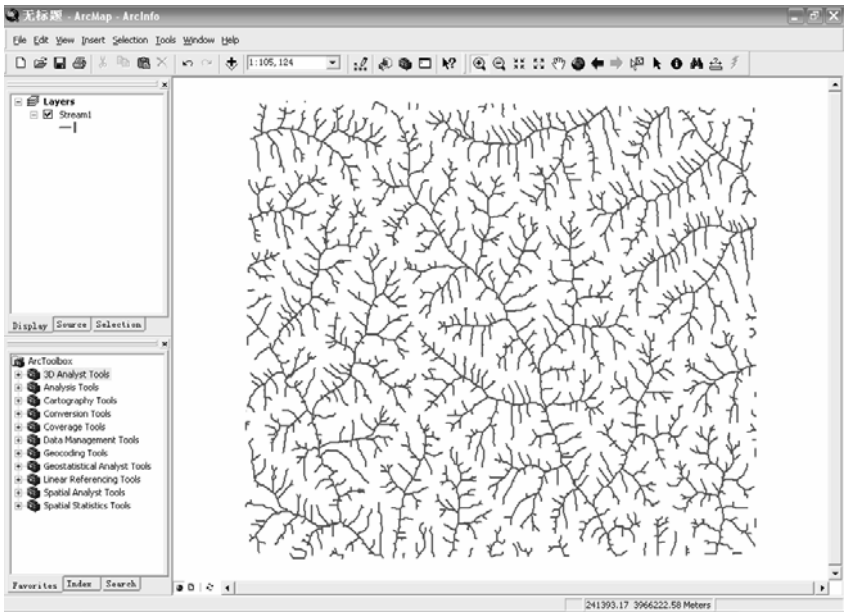


图 10 计算出的研究区域的沟谷网络

（2）沟壑密度的计算,

1） 加载 Xtools 扩展模块。点击 xtools 下拉菜单，选择 calculate area、perimeter、length、acres and hectares 菜单工具，弹出如图 11 的对话框，在文本框中选择需要进行计算的矢量数据，点击 OK 进行计算。计算结果将在属性表中新建一个属性项记录。

2） 打开计算长度之后的矢量沟壑数据的属性表，选择标记 length 的属性字段，点击右键就弹出了如图 12 的对话框，选择 statistics，进行该属性字段下属性值的统计分析。

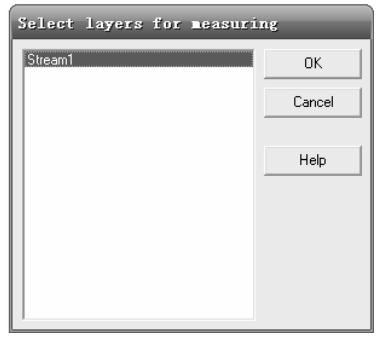
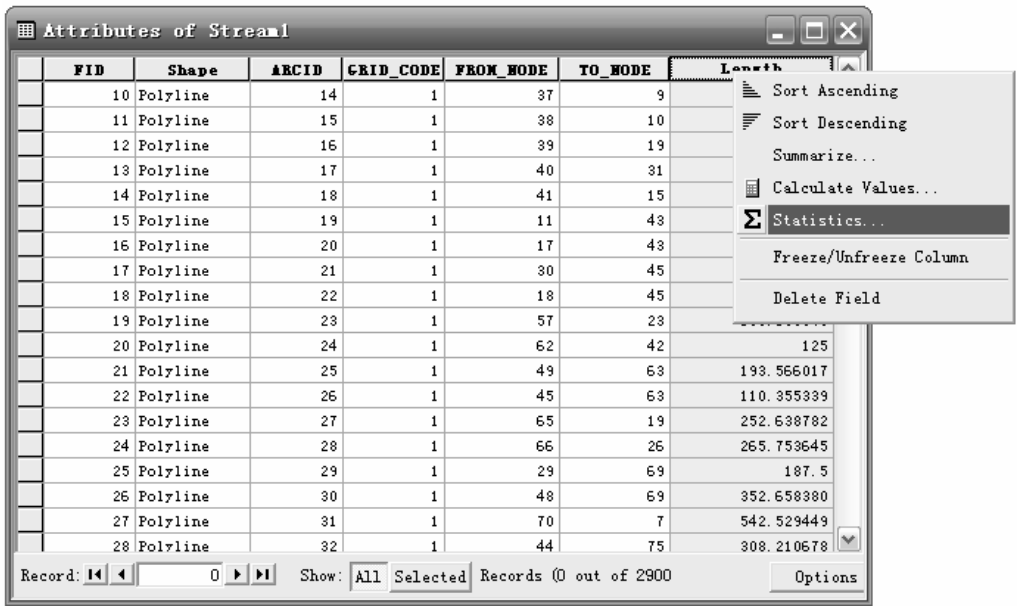


图 11 计算沟壑长度对话框



FID	Shape	ARCID	GRID_CODE	FROM_NODE	TO_NODE	Length
10	Polyline	14	1	37	9	
11	Polyline	15	1	38	10	
12	Polyline	16	1	39	19	
13	Polyline	17	1	40	31	
14	Polyline	18	1	41	15	
15	Polyline	19	1	11	43	
16	Polyline	20	1	17	43	
17	Polyline	21	1	30	45	
18	Polyline	22	1	18	45	
19	Polyline	23	1	57	23	
20	Polyline	24	1	62	42	125
21	Polyline	25	1	49	63	193.566017
22	Polyline	26	1	45	63	110.355339
23	Polyline	27	1	65	19	252.638782
24	Polyline	28	1	66	26	265.753645
25	Polyline	29	1	29	69	187.5
26	Polyline	30	1	48	69	352.658380
27	Polyline	31	1	70	7	542.529449
28	Polyline	32	1	44	75	308.210678

图 12 沟壑长度的统计计算图

3） 通过统计计算出来的沟壑的总长度是： ΣL =729.395802263 *km*。

4） 计算研究区域的面积。在图层管理器中右键点击DEM数据层,在弹出菜单中选择图层属性，单击左键打开图层属性数据。在source里的栅格数据信息中有研究区域的栅格数据的行和列以及栅格分辨率，可以计算出研究区域的面积 A=264.375625km^2。

5） 研究区的沟壑总长度以及研究区的面积都计算出来之后，那么研究区域的沟壑密度就是：D_S=2.759 km/km^2。