

第十一章 水文分析

水文分析是 DEM 数据应用的一个重要方面。利用 DEM 生成的集水流域和水流网络，成为大多数地表水文分析模型的主要输入数据。表面水文分析模型应用于研究与地表水流有关的各种自然现象如洪水水位及泛滥情况，或者划定受污染源影响的地区，以及预测当某一地区的地貌改变时对整个地区将造成的影响等，应用在城市和区域规划、农业及森林、交通道路等许多领域，对地球表面形状的理解也具有十分重要的意义。这些领域需要知道水流怎样流经某一地区，以及这个地区地貌的改变会以什么样的方式影响水流的流动。

基于 DEM 的地表水文分析的主要内容是利用水文分析工具提取地表水流径流模型的水流方向、汇流累积量、水流长度、河流网络（包括河流网络的分级等）以及对研究区的流域进行分割等。通过对这些基本水文因子的提取和基本水文分析，可以在 DEM 表面之上再现水流的流动过程，最终完成水文分析过程。

本章主要介绍 ArcGIS 水文分析模块的应用。ArcGIS 提供的水文分析模块主要用来建立地表水的运动模型，辅助分析地表水流从哪里产生以及要流向何处，再现水流的流动过程。同时，通过水文分析工具的应用，也可以有助于了解排水系统和地表水流过程的一些基本的概念和关键的过程，以及怎样通过 ArcGIS 水文分析工具从 DEM 数据上获取更多的水文信息。

ArcGIS9 将水文分析中的地表水流过程集合到 ArcToolbox 里，如图 11.1 所示。主要包括水流的地表模拟过程中的水流方向确定、洼地填平、水流累计矩阵的生成、沟谷网络的生成以及流域的分割等。

本章 1 至 5 节主要是依据水文分析中的水文因子的提取过程对 ArcGIS 中的水文分析工具逐一介绍。文中所用的 DEM 数据在光盘中 chp11 文件夹下的 tutor 文件夹里面，每个计算过程以及每一节所产生的数据存放在 tutor 文件夹的 result 文件夹里面，文件名与书中所命名相同，读者可以利用该数据进行参照联系。第 6 节主要是提供了三个使用水文分析工具以及水文分析思想的实例。

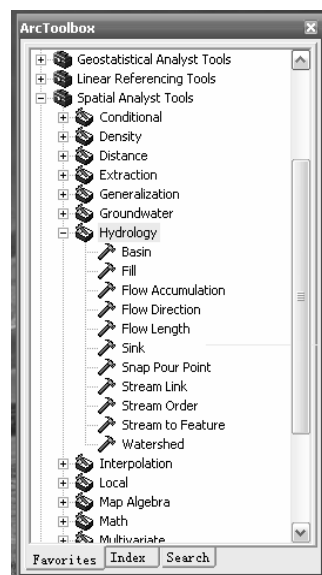


图 11.1 ArcToolBox 中的水文分析模块

11.1 无洼地 DEM 生成

DEM 被认为还是比较光滑的地形表面的模拟，但是由于内插的原因以及一些真实地形

（如喀斯特地貌）的存在，使得 DEM 表面存在着一些凹陷的区域。那么这些区域在进行地表水流模拟时，由于低高程栅格的存在，从而使得在进行水流流向计算时在该区域的得到不合理的或错误的水流方向，因此，在进行水流方向的计算之前，应该首先对原始 DEM 数据进行洼地填充，得到无洼地的 DEM。

11.1.1 水流方向提取

水流方向是指水流离开每一个栅格单元时的指向。在 ArcGIS 中通过将中心栅格的 8 个邻域栅格编码，水流方向便可以其中的某一值来确定，栅格方向编码如图 11.2 所示。

例如：如果中心栅格的水流流向左边，则其水流方向被赋值为 16。输出的方向值以 2 的幂值指定是因为存在栅格水流方向不能确定的情况，此时须将数个方向值相加，这样在后续处理中从相加结果便可以确定相加时中心栅格的邻域栅格状况。

32	64	128
16		1
8	4	2

图 11.2 水流流向编码

水流的流向是通过计算中心栅格与邻域栅格的最大距离权落差来确定。距离权落差是指中心栅格与邻域栅格的高程差除以两栅格间的距离，栅格间的距离与方向有关，如果邻域栅格对中心栅格的方向值为 2、8、32、128，则栅格间的距离为 2 的开平方根，否则距离为 1。

ArcGIS 中的水流方向是利用 D8 算法，也就是最大距离权落差（最大坡降法）来计算水流方向的。具体计算步骤如下：

1. 在 ArcMap 中用左键单击 ArcToolbox 图标，启动 ArcToolbox。
2. 打开水文分析模块。启动 ArcToolbox，展开 Analysis Tools 工具箱，打开 hydrology 工具集。
3. 双击 Flow Direction 工具，打开如图 11.3 所示水流方向（Flow Direction）计算对话框。
 - (1) Input surface data 文本框中选择输入数据 dem。
 - (2) Output flow direction raster 文本框中命名计算出来的水流方向文件名为 flowdir，并选择保存路径。
 - (3) 在 Force all edge cells to flow outward(Optional) 前的复选框前打钩，所有在 DEM 数据边缘的栅格的水流方向全部是流出 DEM 数据区域。默认为不选择。这一步为可选步骤。
 - (4) drop raster 输出。drop raster 是该栅格在其水流方向上与其临近的栅格之间的高

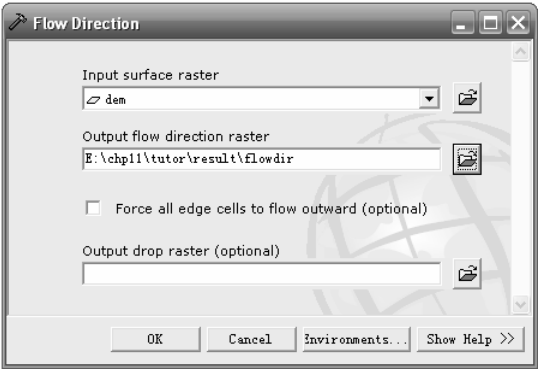


图 11.3 水流方向 Flow Direction 计算对话框

程差与距离的比值，以百分比的形式记录。它反映了在整个区域中最大坡降的分布情况。这一步为可选步骤。

- (5) 单击 OK，进行水流方向计算过程。
- (6) 计算完成后，计算出的水流方向数据如图 11.4 所示。

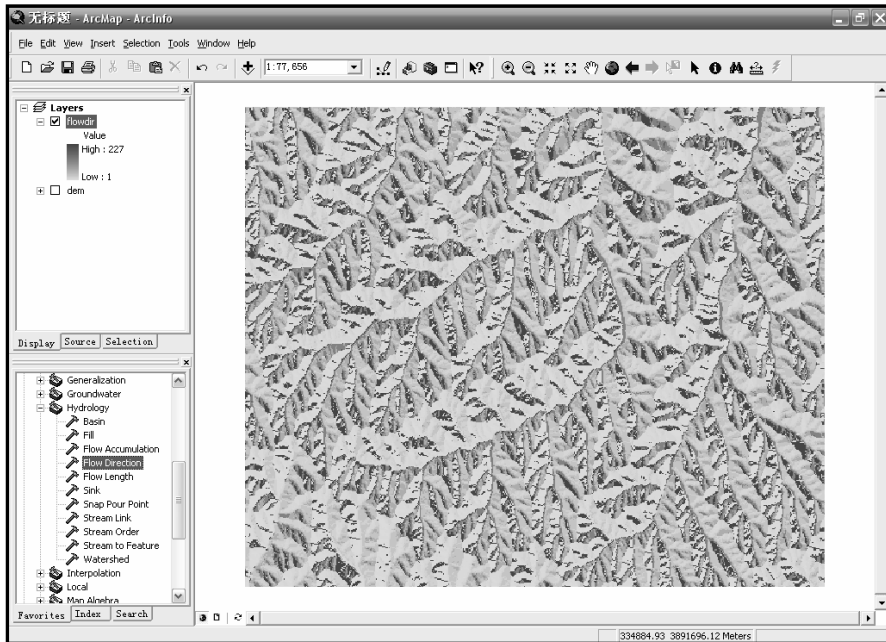


图 11.4 利用 Flow Direction 工具计算出来的水流方向图

11.1.2 洼地计算

洼地区域是水流方向不合理的地方，可以通过水流方向来判断那些地方是洼地，然后再对洼地进行填充。有一点必须清楚的是，并不是所有的洼地区域都是由于数据的误差造成的，有很多洼地区域也是地表形态的真实反映，因此，在进行洼地填充之前，必须计算洼地深度，判断哪些地区是由于数据误差造成的洼地而哪些地区又是真实的地表形态，然后在进行洼地填充的过程中，设置合理的填充阈值。

1. 洼地计算

- (1) 双击 hydrology 工具集中的 Sink 工具，弹出洼地计算对话框，如图 11.5 所示。
- (2) 在 Input flow direction raster 文本框中，选择水流方向数据 flowdir。

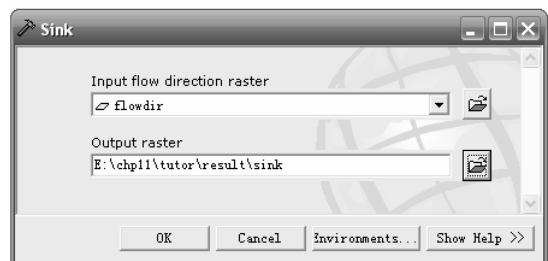


图 11.5 洼地计算对话框

- (3) 在 Output raster 文本框中，选择存放的路径以及重新命名输出文件为 sink。
- (4) 单击 OK 进行洼地计算。结果如图 11.6 所示，深色的区域是洼地。

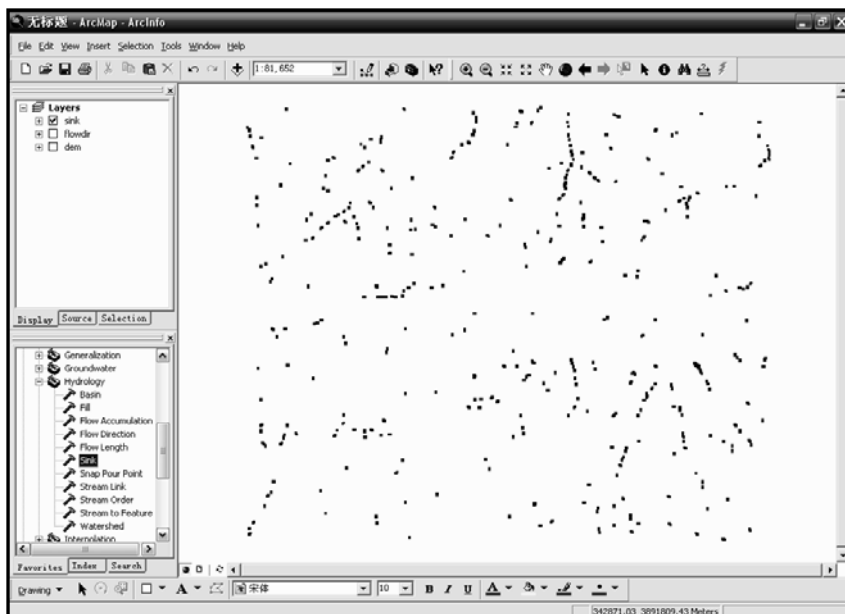


图 11.6 计算出来的洼地区域

2. 洼地深度计算

- (1) 双击 hydrology 工具集中的 watershed 工具，弹出流域计算对话框，如图 11.7 所示，用来计算洼地的贡献区域。
- (2) 在 Input flow direction raster 文本框中选择水流方向数据 flowdir，在 Input raster or feature pour point data 文本框中输入洼地数据 sink，在 pour point field 文本框中选择 value。
- (3) 在 Output raster 文本框中设置输出数据的名称为 watershsink。
- (4) 单击 OK，进行洼地贡献区域的计算。显示结果如图 11.8 所示。

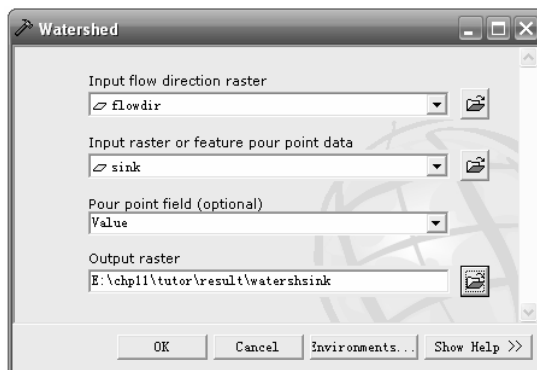


图 11.7 洼地贡献区域计算对话框（watershed）

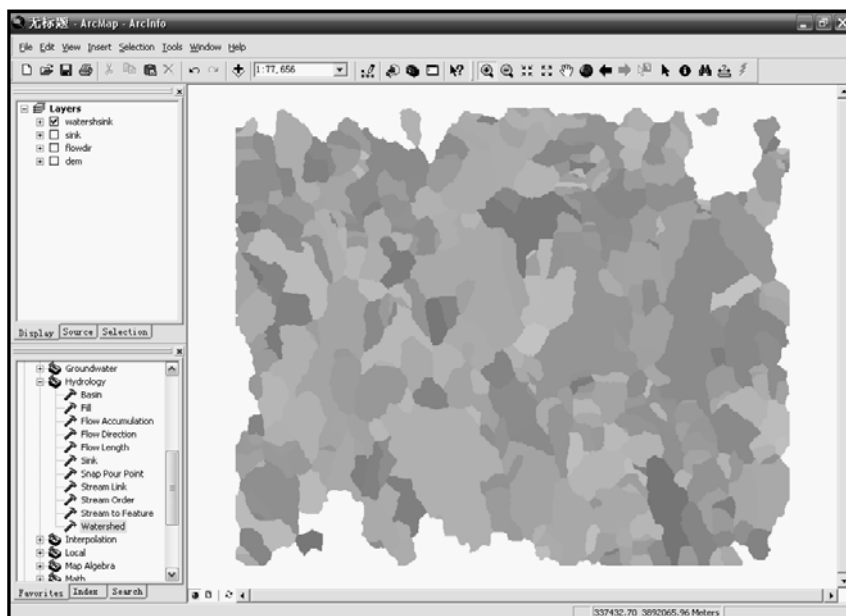


图 11.8 计算出来的洼地贡献区域

(5) 计算每个洼地所形成的贡献区域的最低高程。双击 spatial analysis tools 工具箱中 zonal 工具集下的 zonal statistic 工具,弹出如图 11.9 所示的分区统计对话框。

- 1) 在 Input raster or feature zonal data 文本框中,选择洼地贡献区域数据 watershsink;
- 2) 在 Input value raster 文本框中输入希望进行统计分析的数据层,现在需要统计洼地贡献区域的最低高程,选 dem 作为 value raster。
- 3) 在 Output raster 文本框中将输出数据文件命名为 zonalmin,存放路径保持不变。
- 4) 统计类型选择。在统计类型选择的下拉菜单中有软件所提供的一些统计类型:分别是在分带区域中统计的每一个分带的平均值(mean)、最大值(maximum)、最小值(minimum)、分带中的属性值的变化值(rang)、标准差(std)以及总和(sum)。这里选择最小值作为统计类型。

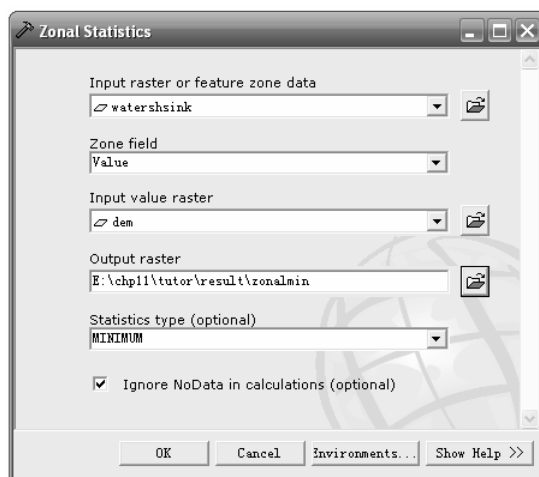


图 11.9 分区统计对话框

以上设置完毕之后,单击 OK,完成计算。

(6) 计算每个洼地贡献区域出口的最低高程即洼地出水口高程。双击 spatial analysis tools 工具箱中 zonal 工具集下的 zonal fill 工具,弹出如图 11.10 所示的分区统计对话框。在 Input zone raster 文本框中选择 watershsink,在 Input weight raster

文本框中选择 dem，在 Output raster 文本框中将输出数据文件名改为 zonalmax，然后单击 OK，进行运算。

- (7) 计算洼地深度。加载 Spatial Analyst 模块，点击 Spatial Analyst 模块的下拉箭头，点击 raster calculator 菜单工具，如图 11.11，在文本框里面输入 $\text{sinkdep} = ([\text{zonalmax}] - [\text{zonalmin}])$ ，然后点击 evaluate 进行计算。

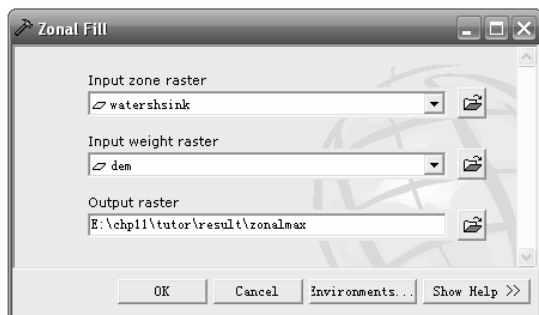


图 11.10 洼地贡献区域边缘最低高程计算对话框

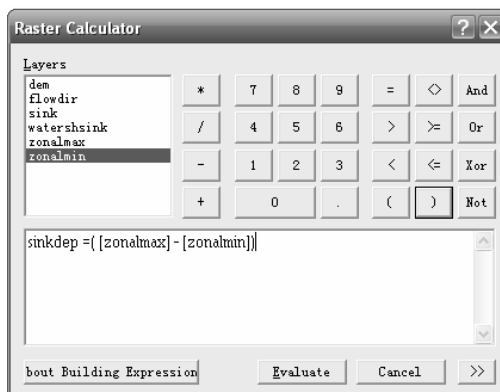


图 11.11 洼深度计算

对于以上 (4)、(5) 步的计算，可以利用 spatial analysis tools 工具箱中的 map algebra 工具集的 multi map output 工具进行计算。双击 spatial analysis tools 工具箱中的 map algebra 工具集下的 multi map output 工具，弹出图 11.12 的对话框。

对于第 (4) 步，在文本框中输入： $E:\text{chp11}\text{tutor}\text{result}\text{zonalmin} = \text{zonalmin}$
($E:\text{chp11}\text{tutor}\text{result}\text{watershsink}$, $E:\text{chp11}\text{tutor}\text{dem}$);

对于第 (5) 步，在文本框中输入： $E:\text{chp11}\text{tutor}\text{result}\text{zonalmax} = \text{zonalfill}$
($E:\text{chp11}\text{tutor}\text{result}\text{watershsink}$, $E:\text{chp11}\text{tutor}\text{dem}$);

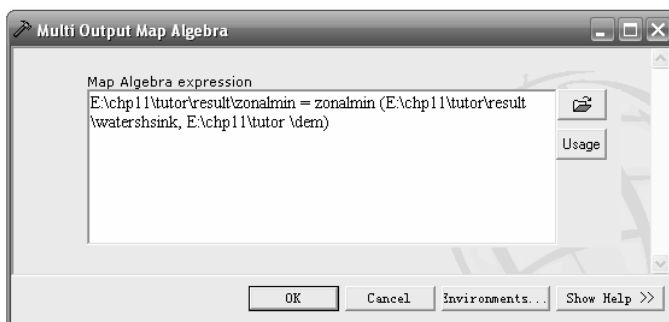


图 11.12 map algebra 计算窗口

经过以上七步的运算，就可到如图11.13所示的所有洼地贡献区域的洼地深度。通过对研究区地形的分析，可以确定出哪些是由数据误差而产生的洼地，哪些洼地区域又是真实的反映地表形态，从而根据洼地深度来设置合理的填充阈值，使得生成的无洼地DEM更准确的反映地表形态。

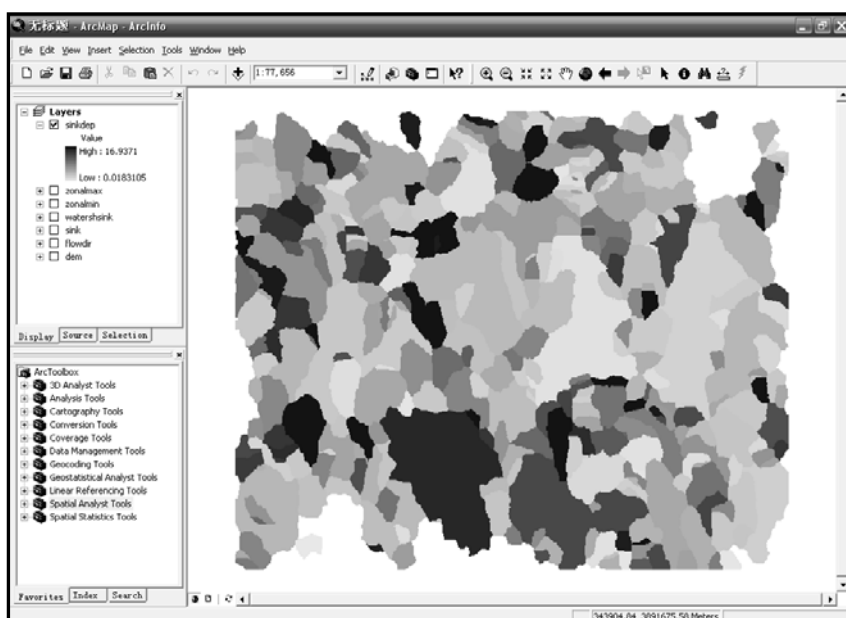


图 11.13 计算出的洼地深度图

11.1.3 洼地填充

洼地填充是无洼地 DEM 生成的最后一个步骤。在通过洼地计算之后，知道了原始的 DEM 上是否存在着洼地，如果没有存在着洼地，那么原始 DEM 数据就直接可以用来进行以后的河网的生成、流域的分割等。而洼地深度的计算又为在填充洼地时设置填充阈值提供了很好的参考。

1. 双击 hydrology 工具集中的 fill 工具，弹出如图 11.14 所示的洼地填充对话框。
2. 在 Input surface raster 文本框中，选择需要进行洼地填充的原始 DEM 数据。
3. 在 Output surface raster 文本框中设置输出文件名为 filldem。
4. Z limit——填充阈值，当设置一个数值之后，在洼地填充过程中，那些洼地深度大于阈值的地方将作为真实地形保留，不予填充；系统默认情况是不设阈值，也就是所有的洼地区域都将被填平。
5. 单击 OK，进行洼地填平计算，计算后的无洼地 DEM 见图 11.15 所示。

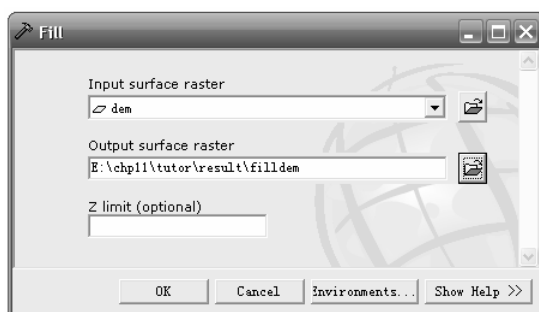


图 11.14 洼地填充对话框

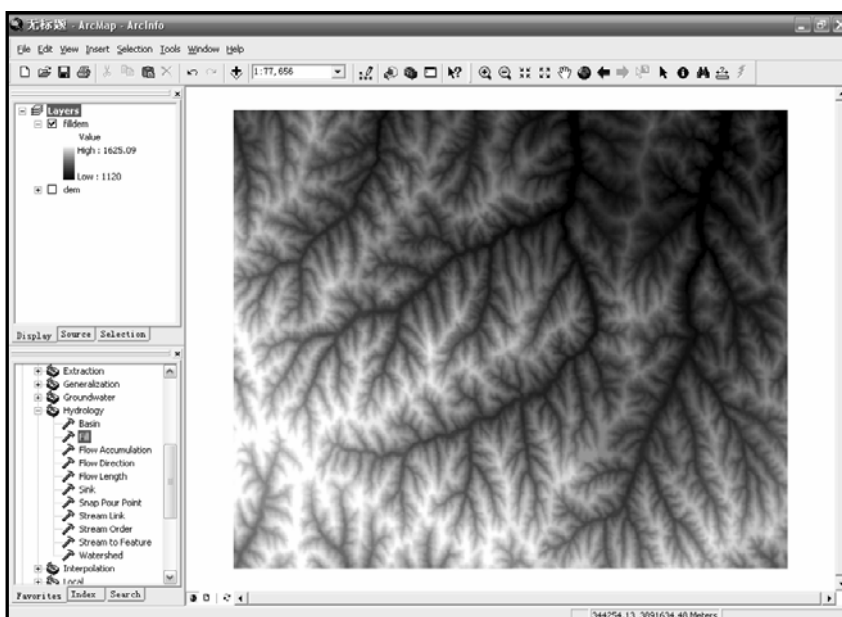


图 11.15 经过洼地填充生成的无洼地 DEM

洼地填充的过程是一个反复的过程。当一个洼地区域被填平之后，这个区域与附近区域再进行洼地计算，可能会有会形成新的洼地，所以呢，洼地填充是一个不断反复的过程，直到最后所有的洼地都被填平，新的洼地不再产生为止。因此，当数据量很大时，这个过程会持续一段时间。

11.2 汇流累积量

在地表径流模拟过程中，汇流累积量是基于水流方向数据计算而来的。对每一个栅格来说，其汇流累积量的大小代表着其上游有多少个栅格的水流方向最终汇流经过该栅格，汇流累积的数值越大，该区域越易形成地表径流。由水流方向数据到汇流累积量计算的过程如图 11.16 所示。

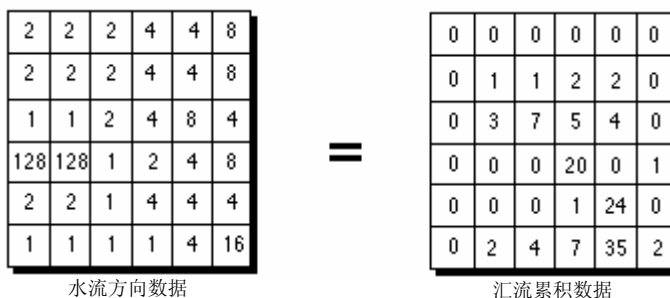


图 11.16 流水累积量的计算

1. 基于无洼地 DEM 的水流方向的计算。计算过程同上一节水流方向的计算一样，使用的 DEM 数据是无洼地 DEM。将生成的水流方向文件命名为 fdirfill。
2. 汇流累积量的计算，如图 11.17 所示。
在得到水流方向之后，可以利用水流方向数据来计算汇流累积量。双击 hydrology 工具集中的 fill accumulation 工具，打开汇流累积量计算对话框。

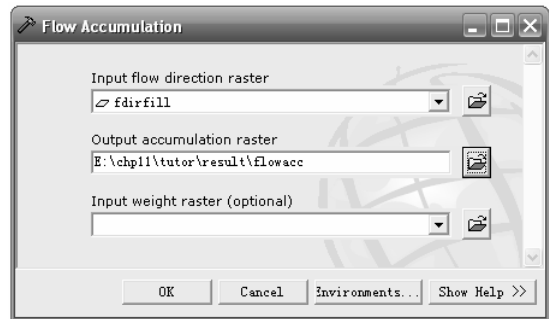


图 11.17 汇流累积量计算窗口

- (1) 在 Input flow direction raster 文本框中，选择由无洼地 DEM 生成的水流方向栅格数据 fdirfill。
- (2) 在 Output accumulation raster 文本框中，将数据文件名修改为 flowacc。
- (3) 在 Input weight raster 文本框中输入配权数据，配权数据一般是表示降水、土壤以及植被等对径流影响的因素分布不平衡而形成的，更能详细模拟该区域的地表特征。如果无数据，系统默认为所有的栅格配以相同的权值 1，那么计算出来的汇流累积量的数值就代表着该栅格位置流入的栅格数的多少。
- (4) 点击 OK，完成计算。结果见图 11.18 所示。

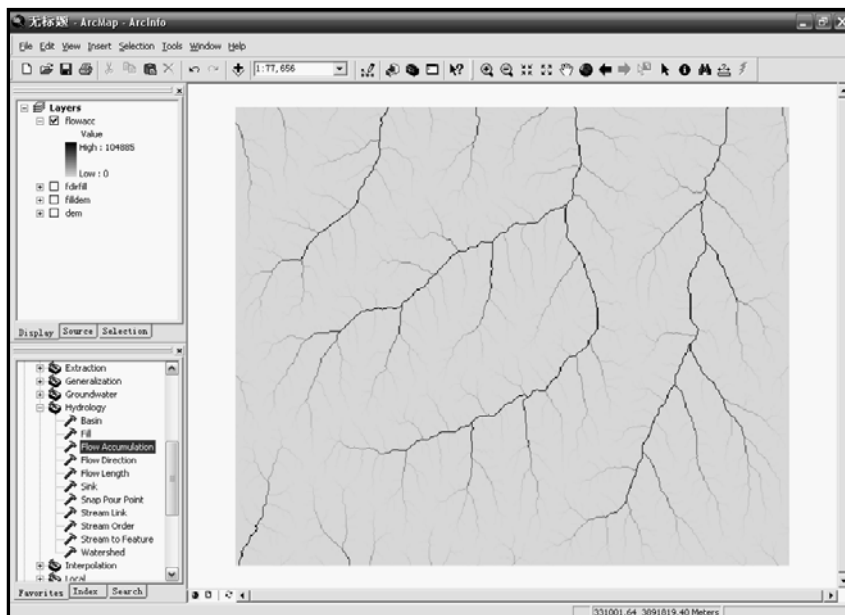


图 11.18 通过计算生成的汇流累积量数据

11.3 水流长度

水流长度通常是指在地面上一点沿水流方向到其流向起点（终点）间的最大地面距离在水平面上的投影长度。水流长度是水土保持上的重要因子之一，当其他条件相同时，水力侵蚀的强度依据坡的长度来决定，坡面越长，汇聚的流量越大，其侵蚀力就越强，水流长度直接影响地面径流的速度，从而影响对地面土壤的侵蚀力。因此，对于水流长度的提取和分析，在水土保持工作中有很重要的作用。目前水流长度的提取方式主要有两种，一种是顺流计算，一种是溯流计算。顺流计算是计算地面上每一点沿水流方向到该点所在流域出水口最大地面距离的水平投影；溯流计算者是计算地面上每一点沿水流方向到其流向起点间的最大地面距离的水平投影。

对于水流长度的提取，在 ArcGIS 中，水流长度的提取提供了以上两种方向上的水流长度的提取方式。

1. 双击 hydrology 工具集中的 flow length 工具，弹出水流长度的计算对话框，如图 11.19 所示，用来计算水流长度的大小。
2. 在 Input flow direction raster 文本框中选择基于无洼地 DEM 提取出的水流方向数据 fdirfill。
3. 在 Output raster 文本框中选择并命名输出的水流长度栅格数据文件名称。分别进行顺流计算和溯流计算，输出的数据文件命名为 Flowlendown 和 Flowlenup。
4. 计算方向提供了两种选择，分别为 Downstream（顺流计算）和 Upstream（溯流计算）。
5. 输入计算配权栅格数据。那么对于 flow length 来说，Downstream 记录着其沿着水流方向到下游流域出水口中最长距离所流经的栅格数；Upstream 则记录着其沿着水流方向到上游栅格的最长的距离的栅格数。
6. 当设置完成后，点击 OK 完成。两种方向计算出的结果如图 11.20 和图 11.21 所示。

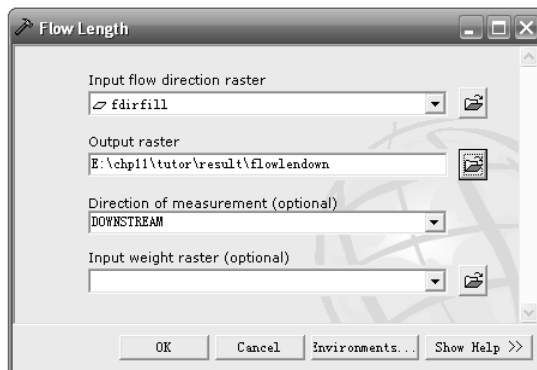


图 11.19 flow length 的计算窗口

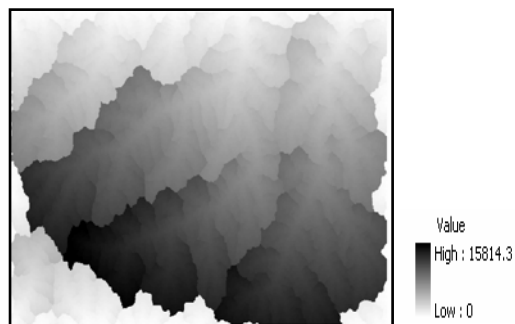


图 11.20 顺流方向上的水流长度

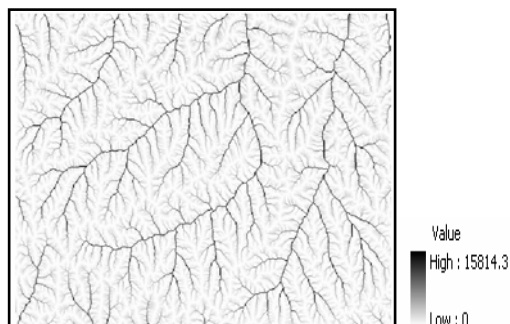


图 11.21 逆流方向上的水流长度

11.4 河网的提取

基于 DEM 的水文分析，其中一个目的就是以 DEM 数据为基础，经过一些计算和处理而得到地表的水流网络。目前常用的河网提取方法是采用地表径流漫流模型计算：首先是在无洼地 DEM 上利用最大坡降的方法得到每一个栅格的水流方向；然后利用水流方向栅格数据计算出每一个栅格在水流方向上累积的栅格数，即汇流累积量，所得到的汇流累积量则代表在一个栅格位置上有多少个栅格的水流方向流经该栅格；假设每一个栅格处携带一份水流，那么栅格的汇流累积量则代表着该栅格的水流量。基于上述思想，当汇流量达到一定值的时候，就会产生地表水流，那么所有那些汇流量大于那个临界数值的栅格就是潜在的水流路径，由这些水流路径构成的网络，就是河网。

11.4.1 河网的生成

1. 河网的生成是基于汇流累积矩阵的，首先应该计算出研究区域的汇流累积矩阵。汇流累积矩阵的计算见 11.2 节，这里用 11.2 节计算的汇流累计栅格数据 flowacc 作为基础数据。
2. 设定阈值。阈值的设定在河网的提取过程是很重要的，并且直接影响到河网的提取结果。阈值的设定应遵循科学、合理的原则。首先应该考虑到研究的对象，研究对象中的沟谷的最小级别，不同级别的沟谷所对应的不同的阈值；其次考虑到研究区域的状况，不同的研究区域相同级别的沟谷需要的阈值也是不同的。所以，在设定阈值时，应充分对研究区域和研究对象进行分析，通过不断的实验和利用现有地形图及其它数据辅助检验的方法来确定能满足研究需要并且符合研究区域地形地貌条件的合适的阈值。
3. 栅格形式的河网的形成。栅格河网的生成是利用 map algebra 工具集中的 multi map output 工具中的 con 命令或者 setnull 命令计算的，他们都是基于栅格进行有条件的查询并将查询结果赋予新的栅格数据中。计算的思想是利用所设定的阈值进行整区域的分析并生成一个新的栅格图层，在生成栅格数据中将那些汇流量大于设定阈值的栅格的属性值设定为 1，而小于或等于设定阈值的栅格的属性值设定为无数据。栅格河网的生成是利用设定一个河网生成阈值，也可以利用 ArcMap 中的 Spatial Analysis 分析模块下的 Raster Calculator 来计算出所有大于设定阈值的栅格，这些栅格就是河网的潜在位置。将计算出来的栅格河网命名为

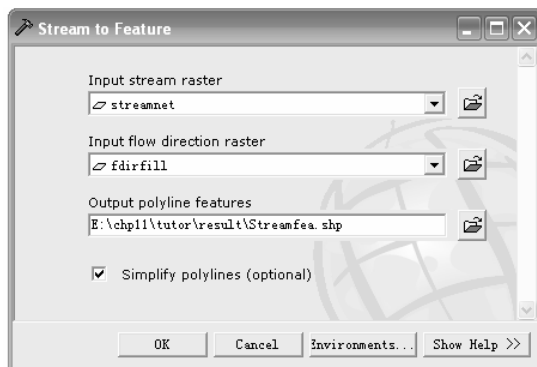


图 11.22 栅格河网转换成矢量结构对话框

streamnet。

4. 栅格河网矢量化。在 hydrology 工具集中提供了将上一步生成的栅格河网进行矢量化的工具 stream to feature，通过 stream to feature 就可以得到矢量形式的河网图。栅格数据的矢量化时，选择的是最短的路线绘制成线。双击 hydrology 工具集中的 stream to feature 工具，如图 11.22。

在 Input stream raster 文本框中，选择 streamnet；在 Input flow direction raster 文本框中，输入由无洼地计算出来的水流方向数据 fdifill；在 Output polyline features 文本框中将输出的数据命名为 streamfea。生成的矢量数据如图 11.23 所示。

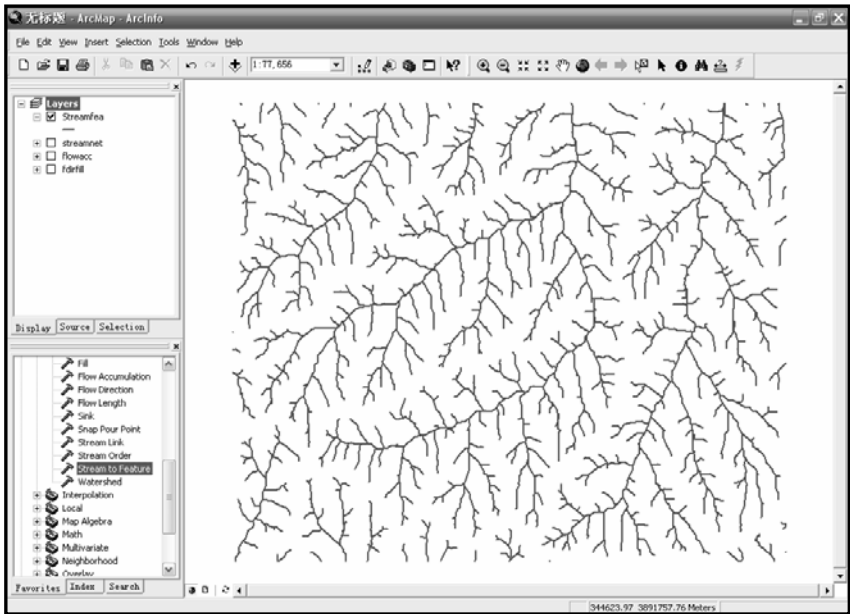


图 11.23 栅格河网转换成的矢量河网框

11.4.2 stream link 的生成

Stream link 是记录着河网中的一些节点之间的连接信息，主要记录着河网的结构信息。如图 11.24 所示，Stream link 的每条弧段连接着两个作为出水点或汇合点的结点，或者连接着作为出水点的结点和河网起始点。

因此通过 Stream link 的计算，即得到每一个河网弧段的起始点和终止点。同样，也可以得到该汇水区域的出水点。这些出水点具有很重要的水文作用，对于水量、水土流失等研究具有重要意义。而且，这些出水口点的确定，也为进一步

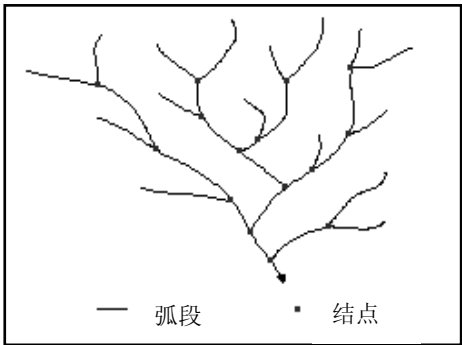


图 11.24 Stream link 示意图

的流域分割准备了数据。

1. **Stream link** 基于水流方向数据和栅格河网数据计算，首先在 ArcMap 里将水流方向数据 **fdirfill** 和栅格河网数据 **streamnet** 打开。
2. 双击 **hydrology** 工具集中的 **stream link** 工具，弹出如图 11.25 所示的 **stream link** 计算的对话框。在 **Input stream raster** 文本框中选择 **streamnet**，在 **Input flow direction raster** 文本框中选择 **fdirfill**。在 **Output raster** 文本框中将输出数据名称设为 **StreamLink**。然后点击 **OK** 进行运算。

经过 **Stream link** 计算之后，它将栅格河网分成不包含汇合点栅格河网片段，并将片断进行记录，在属性表中除了记录该片段的 ID 号之外，还记录着每个片段所包含的栅格数。如图 11.26 所示。

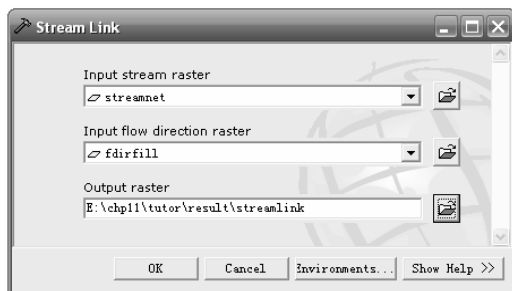


图 11.25 StreamLink 计算对话框

ObjectID	Value	Count
0	1	10
1	2	11
2	3	1
3	4	15
4	5	5
5	6	2
6	7	9
7	8	1
8	9	22
9	10	24
10	11	11
11	12	1
12	13	22
13	14	6

图 11.26 StreamLink 的属性框

11.4.3 河网分级的生成

河网分级是对一个线性的河流网络进行分级别的数字标识。在地貌学中，对河流的分级是根据河流的流量、形态等因素进行河流的分级。而基于 DEM 提取的河网的分支具有一定的水文意义。利用地表径流模拟的思想，不同的级别的河网首先是它们所代表的汇流累积量也不同，级别越高的河网，其汇流累积量也越大，那么在水文研究中，这些河网往往是主流，而那些级别较低的河网则是支流。河网的分级同样可以研究水流的运动、汇流模式，对于水土保持等也具有重要的意义。

在 ArcGIS 的水文分析中，提供两种常用的河网分级方法：**Strahler** 分级和 **Shreve** 分级。如图 11.27 所示，对于 **Strahler** 分级来说，它是将所有河网弧段中没有支流河网弧段分为第 1 级，两个 1 级河网弧段汇流成的河网弧段为第 2 级，如此下去分别为第 3 级，第 4 级，一直到河网出水口。在这种分级中，当且仅当同级别的两条河网弧段汇流成一条河网弧段时，该弧段级别才会增加，对于那些低级弧段汇入高级弧段的情况，高级弧段的级别不会改变，这也是比较常用的一种河网分级方法。对于 **Shreve** 分级而言，其第 1 级河网的定义与 **Strahler** 分级是相同的，所不同的是以后的分级，两条 1 级河网弧段汇流而成的河网弧段为 2 级河网弧段，那么对于以后更高级别的河网弧段，其级别的定义是由其汇入河网弧

段的级别之和，如图所示，当一条 3 级河网弧段和一条 4 级河网弧段汇流而成的新的河网弧段的级别就是 7，那么这种河网分级到最后出水口的位置时，其河网的级别数刚好是该河网中所有的 1 级河网弧段的个数。

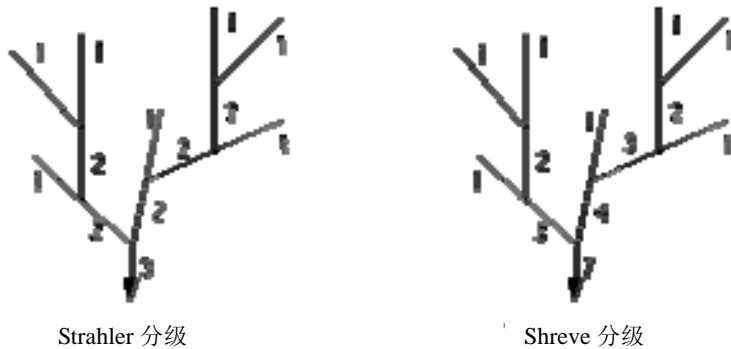


图 11.27 Strahler 分级和 Shreve 分级示意图

在 ArcGIS 中对河网分级的步骤如下：

1. 同 Stream link 的计算一样，stream order 的计算也是基于水流方向数据和栅格河网数据的基础上，首先在 ArcMap 里将水流方向数据 fdirfill 和栅格河网数据 streamras 打开。
2. 双击 hydrology 工具集中的 stream order 工具，弹出 stream order 计算的对话框。在 Input stream raster 文本框中选择 streamnet，在 Input flow direction raster 文本框中选择 fdirfill。分别用 Strahler 分级和 Shreve 分级对河网进行分级，改输出数据名称分别设为 Streamostr 和 Streamoshr，单击 OK 完成。计算出的两种河网分级分别如图 11.28 和图 11.29 所示。

对于 stream link 和 stream order 计算出的栅格数据同样可以利用 hydrology 工具集中的 stream to feature 工具将其转化成矢量数据进行进一步的研究和分析。

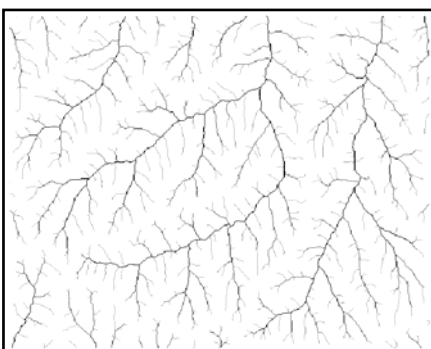


图 11.28 河网的 Strahler 分级结果

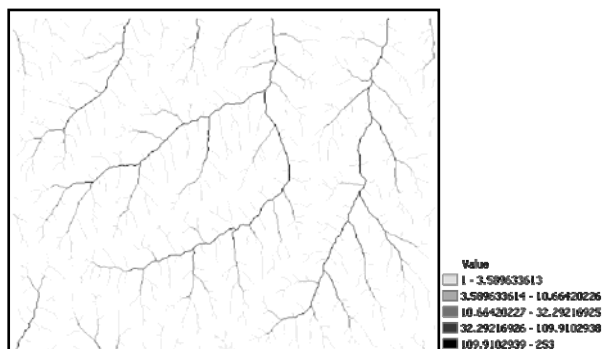


图 11.29 河网的 Shreve 分级结果

11.5 流域的分割

流域又称集水区域，是指流经其中的水流和其它物质从一个公共的出水口排出从而形成一个集中的排水区域，如图 11.30 所示。用来描述流域还有例如：流域盆地（basin）、集水盆地（catchment）或水流区域（contributing area）。Watershed 数据显示了区域内每个流域汇水面积的大小。汇水面积是指从某个出水口（或点）流出的河流的总面积。出水口（或点）即流域内水流的出口，是整个流域的最低处。流域间的分界线即为分水岭。

分水线包围的区域称为一条河流或水系的流域，流域分水线所包围的区域面积就是流域面积。即流域是指一条河流或水系的集水区域，河流从这个集水区域获得水量的补给。任何一个天然的河网，都是由大小不等的、各种各样的水道所联合组成的，而每一个水道都有自己的特征，自己的汇水范围，即自己的流域面积，较大的流域往往是由若干较小的流域所联合组成的。

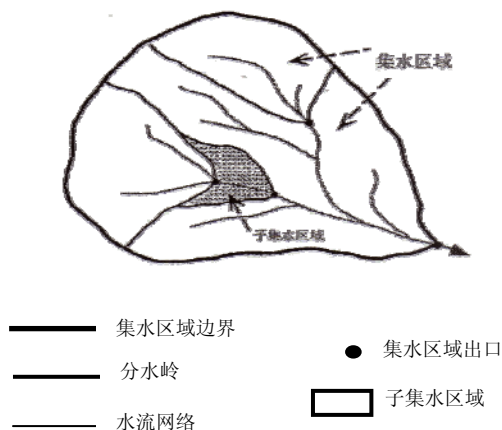


图 11.30 集水区域

11.5.1 流域盆地的确定

流域盆地是由分水岭分割而成的汇水区域。它通过对水流方向数据的分析确定出所有相互连接并处于同一流域盆地的栅格。流域盆地的确定首先是要确定分析窗口边缘的出水口的位置，也就是说，在进行流域盆地的划分中，所有的流域盆地的出水口均处于分析窗口的边缘。当确定了出水口的位置之后，其流域盆地集水区的确定类同于洼地贡献区域的确定，也就是找出所有流入出水口的上游栅格的位置。

在 ArcGIS 中，流域盆地的计算是利用 hydrology 工具集中的 basin 工具来进行计算的。

1. 双击 hydrology 工具集中的 basin 工具，打开流域盆地计算的对话框。如图 11.31 所示。
2. 输入数据为水流方向数据 fdirfill，设置输出数据文件名为 basin。
3. 点击 OK 完成。

为了使计算结果更容易理解,可以将上一节计算出的矢量河网数据在同一个窗口中打开,进行辅助分析。如图 11.32 所示。所有的流域盆地的出口都在研究区域的边界上,利用流域盆地分析,可以从很大的一个研究区域中选择感兴趣的流域并将该流域从整个研究区域分割出来进行单独的分析。

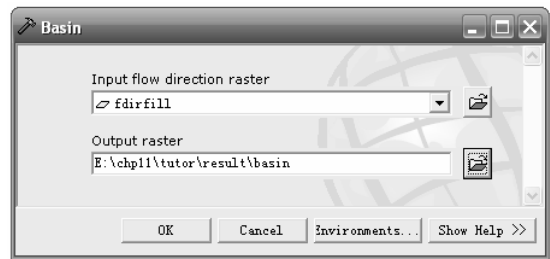


图 11.31 流域盆地计算的对话框

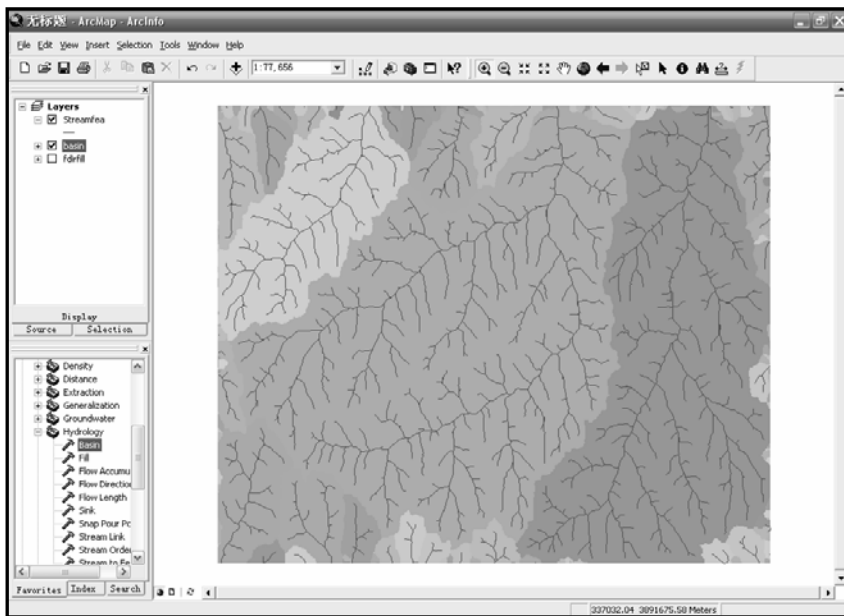


图 11.32 计算出的流域盆地(线状图形为矢量河网数据)

11.5.2 汇水区出水口的确定

经过上一步得到的流域盆地是一个比较大的流域盆地,在很多的水文分析中,还需要基于更小的流域单元进行分析,那么就需要将这些流域从大的流域中分解出来,那么就需要进行流域的分割。而流域的分割首先是要确定小级别的流域的出水口的位置,小级别的流域出水口的位置可以用 spatial analysis tools 工具箱下的 hydrology 工具集中的 snap pour point 的工具寻找。它的思想是利用一个记录着 point 点栅格数据,在这个数据层中,那些属性值存在的点作为潜在的出水点,在该点位置上在指定距离内在汇流累积量的数据层上搜索那些具有较高汇流累积量栅格点的位置,这些搜索到的栅格点就是小级别的流域的出水点。也可以利用已有的出水点的矢量数据。

如果没有出水点的栅格或矢量数据,可以用已有河网数据进一步生成的 stream link 数

据作为汇水区的出水口数据。因为 stream link 数据中隐含着河网中每一条河网弧段的联结信息，包括弧段的起点和终点等，相对而言，弧段的终点就是该汇水区域的出水口所在位置。

11.5.3 集水流域的生成

对于低级的集水区的生成，可以使用 hydrology 工具集中的 watershed 工具生成。其思想如下：先确定一个出水点，也就是该集水区的最低点，然后结合水流方向数据，分析搜索出该出水点上游所有流过该出水口的栅格，直到所有的该集水区的栅格都确定了位置，也就是搜索到流域的边界，分水岭的位置。

1. 首先在 ArcMap 中打开水流方向数据 fdirfill 和流域出口点数据 streamlink，因为集水流域的计算需要流域出口点的位置数据和水流方向数据。水流方向数据使用 11.2 节基于无洼地 DEM 计算出的 fdirfill 数据。对于流域出口点数据，可以使用 11.4 节计算出的 streamlink 数据，因为在它的属性中具有每条河网弧段信息，而这些河网弧段的形成则是有其附近的栅格构成的贡献区域的汇流结果，这个贡献区域也就是该河网弧段的集水区域。
2. 双击 hydrology 工具集中的 watershed 工具，打开集水区域（贡献区域）计算的对话框。分别在水流方向数据和出水口数据输入的文本框中选择 fdirfill 和 streamlink 数据，在输出数据中将输出的文件名改为 watershed。
3. 点击 OK，进行集水区域的计算，计算结果如图 11.33 所示，为了更好的表现流域的分割效果，在此窗口中还将上面计算的流域盆地和矢量河网的数据打开，从结果中可以知道，通过 streamlink 作为流域的出水口数据所得到的集水区域是每一条河网弧段

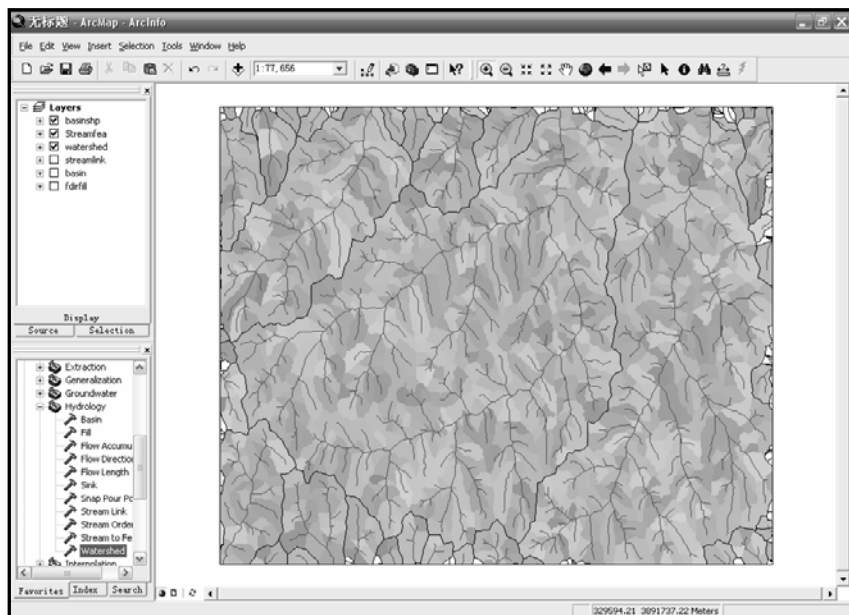


图 11.33 集水区域的计算结果

集水区域，也就是要研究的最小沟谷的集水区域，它将一个大的流域盆地按照河网弧段将其分为一个个的小的集水盆地。