

# 泾河流域 DEM 流域信息提取

陈 闻 晨

(浙江师范大学 地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004)

**摘 要:** 数字高程模型(DEM)代替等高线地形图实现了区域地形表面的数字化表达,其应用十分广泛。水文分析是地学分析的一个重要部分,近年来 DEM 在水文分析中的应用已经成为研究的热点。本文的研究选区位于泾河流域,采用中国北方 1:25 万地形图数据为基础生成 DEM 数据,进行流域信息的提取,得出结论:可以根据汇流累积单元数的阈值来生成不同密度的河网。在利用 DEM 进行流域信息提取时,要根据研究区情况和研究的目的,选择合适的方式生成 DEM 数据,以求试验结果达到最佳,更好地为不同单位部门的水资源调度决策研究提供支持。

**关键词:** DEM; 流域信息; GIS; 泾河流域

中图分类号: P641.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2010)03-0111-04

## Extracted Watershed Information by Digital Elevation Model for Jinghe River

CHEN Wen-chen

(College Of Geography And Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

**Abstract:** Unlike the contour map, digital elevation model can achieve the continuous surface topography of the digital expression, which make it have an extensive application. Hydrological analysis is an important part in earth science research, and using DEM to carry out hydrological feature analysis has become a hot spot. Taking the Jinghe River as an example, the paper generated the DEM from the 1:250000 contour map of the study area, and extracted the watershed information of the Jinghe River. The results show that convergence of the cumulative unit number based on the threshold generates the different densities of river network. When using DEM to extract the watershed information, selecting the appropriate way to generate the DEM data according to the circumstances and purpose of the study is very important. To achieve the best results, the method can provide better support for research of dispatching of water resources with different departments.

**Key words:** DEM; watershed information; GIS; watershed of Jinghe River

## 1 概 述

DEM(Digital Elevation Model)是表示区域地形上的三维向量的有限序列,其函数的形式描述为:

$$Z_i = (X_i, Y_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中:  $X_i, Y_i$  是平面坐标,  $Z_i$  是  $(X_i, Y_i)$  对应的高程<sup>[1]</sup>。DEM 的主要模型有: 规则格网模型、等高线模型和不规则三角网模型。由于其中的规则格网高程矩阵可以方便地被栅格数据结构的地理信息系统用来计算等高线、坡度、坡向、山坡阴影、自动提取流域地形等,故规则格网模型成为 DEM 最广泛使用的格式<sup>[2]</sup>。

DEM 作为地形表面的一种数字表达形式,具有多种优点: 容易以多种形式显示地形信息,精度不会

损失,容易实现自动化、实时化等。总的来说,数字高程模型具有便于储存、更新、传播和处理的特点。更重要的是应用 DEM 可以方便地进行坡度、坡向、坡长等地形因子的提取。20 世纪 50 年代后期以来,DEM 在测绘、土木工程、地质、矿山工程、景观建筑、道路设计、防洪、农业、规划、军事工程、飞行器与战场仿真等领域取得了广泛应用。同样在流域信息提取中,DEM 也受到人们的青睐。

DEM 在流域分析中的应用,在国外是从 20 世纪 60 年代开始,其高峰出现在 80~90 年代。而在国内是从 90 年代开始的,并且重点是对国外软件的研究。在该领域中,80 年代之前的研究是比较少的,研究范围也仅限于分水线和山谷的识别和提取<sup>[3]</sup>。而在 80~90 年代取得了飞速的发展,相继出

收稿日期: 2010-02-02; 修回日期: 2010-03-24

作者简介: 陈闻晨(1985-),男,浙江杭州人,硕士,主要从事水资源与 3S 技术应用研究。

现了各种提取河网、流域边界以及划分子流域的方法。近几年来,其研究的重点又从提取单一地形特征(即流域中所有点的特征都是整个流域特征不可或缺的一部分,由它们组成的流域特征是唯一的),如河网、分水线等,转到了分布式子流域特征(distributed subcatchment properties<sup>[4]</sup>),即对于每个点,该特征的取值都不同,可以通过数据精简模型求取整个流域中最具代表性的值的提取研究上,如子流域长度、坡度、河网密度等的研究计算。

中国是世界淡水资源贫乏的国家之一,且水量动态突变、分布不均。洪涝灾害、淡水资源短缺问题和水污染问题是直接影响中国社会经济可持续发展的三大焦点问题<sup>[5]</sup>。虽然三大问题的产生和解决受制于许多因素,但是水土流失和水土保持是其中关键。自然界的降雨过程引起的地表径流不仅会导致土壤侵蚀,还将造成土壤中营养元素的流失。在进行流域的水土保持工作中,对降雨径流过程进行水文分析,明确坡面径流的方向、径流的路径,甚至流速、侵蚀能力的大小,为制定相应的保护措施提供更加准确的科学依据。而 DEM 在进行流域分析时,具有分析速度快、精度高等许多优点。

本文以泾河流域为例研究应用 DEM 进行流域信息的提取。数据来源于国家基础地理信息中心提供的中国北方 1:25 万地形图数据、全国四级和五级水系图数据。

## 2 研究方法和过程

### 2.1 研究区流域概况

泾河流域地处北纬  $34^{\circ}12'$  ~  $37^{\circ}20'$ ,东经  $106^{\circ}14'$  ~  $109^{\circ}10'$ ,系属黄河二级支流,发源于宁夏六盘山东麓。泾河全长 455.1 km,流域面积为 45 421 km<sup>2</sup>,包括宁夏东南部、甘肃陇东、陕西关中西北部 33 个县市。流域内地貌有山区、丘陵、高原、平原四种类型。山区占 4.31%、以六盘山、关山为代表;高原沟壑纵横、沟壑面积占 50% 以上。泾河流域属大陆性气候,雨量和气温由东南向西北逐渐递减,年平均降水量 550 mm,年平均气温  $10^{\circ}\text{C}$  左右。支流主要有洪河、蒲河、马莲河、三水河、汭河、黑河、汧河。

### 2.2 ARCGIS 9 及其水文分析模块简介

ARCGIS 9 (Copyright © 2004 ESRI. All rights reserved,后面同此,不再赘述)是美国环境系统研究所(ESRI)推出的地理信息系统软件平台,由 desktop、服务器 GIS、嵌入式 GIS 和移动式 GIS 组成<sup>[6]</sup>,不仅具有强大而丰富的空间数据编辑、查询和分析、

可视化等 GIS 功能,而且还可以方便、灵活地制作各种专题地图,同时 ARCGIS9 还支持二次开发。常用的扩展模块有三维分析(3D Analyst)、空间分析(Spatial Analyst)、网络分析(Network Analyst)等。本文选用了扩展模块中的空间分析模块中的水文(hydrology)模块。

水文分析模型(Hydrology model)的主要功能是从数字高程模型中提取用于地表水文要素的特征信息,并进行一系列的分析及可视化显示<sup>[7]</sup>。水文分析模型主要由地形处理(Terrain Preprocessing)、流域处理(Watershed Processing)、网络工具(Network tools)、属性工具(Attribute tools)四大部分组成。以下对各部分做简要的介绍。

(1) 地形处理(Terrain Preprocessing)工具。包括 DEM 再处理(DEM Reconditioning)、坑洼填平(Fill Sinks)、流向的确定(Flow Direction)、流量积累(Flow Accumulation)、河系的定义(Stream Definition)、集水区栅格描述(Catchments Grid definition)、集水区矢量化(Catchments Polygon Processing)、流径处理(Drainage Line Processing)。

(2) 流域处理(Watershed Processing)工具。包括分批流域描绘(Batch Watershed Delineation)、分批子流域描绘(Batch Subwatershed Delineation)、确定排水区质心(Drainage Area Centroid)、确定最长流径(Longest Flow Path)等功能。

(3) 网络工具(Network tools)。包括水文网络(Hydro Network Generation)、节点生成(Node/Link Schema Generation)、存储流向(Store Flow Direction)、设置流向(Set Flow Direction)等功能。

(4) 属性工具(Attribute tools)。包括查找下一个下游流线(Find Next Downstream Line)、计算下游流线到边界长度(Calculate Length Downstream for Edges)、计算下游流线到交汇点长度(Calculate Length Downstream for Junctions)、存储流域出口(Store Area Outlets)、属性确定(Consolidate Attributes)、属性积聚(Accumulate Attributes)、显示时间序列(Display Time Series)等功能。

### 2.3 DEM 建立与预处理

DEM 的建立方法有:数字化地形图、影像数据和野外测量数据方式生成 DEM。各种方法各有优缺点,目前最为多用的方法是数字化地形图的方法。本文采用数字化地形图的方法生成 DEM。矢量化中国北方 1:25 万的地形图,将得到的矢量化的地形图转化为 TIN 数据结构(图 1 左);将 TIN 数据结构

转化为格网结构(LATTICE);对格网数据进行重采样,形成栅格 DEM( GRID)。(图1右)图形的基本等高距为5 m,后图不再赘述

应用 DEM 提取流域信息的条件是,在 DEM 中不存在洼地,否则提取的水系通道是断断续续的。然而 DEM 中的洼地是普遍存在的,故在 DEM 进行水系的提取前应先进行 DEM 洼地的处理,使所有的复杂地形都为斜坡结构。

洼地的处理方法主要有两种:①平滑处理:O'Callaghan等通过平滑处理来消除洼地,但这种方法只能处理较浅和小范围的洼地,更深和更大范围的洼地依然存在。且该方法对原数据进行了平滑处理,改变了原始的数据。②填平处理:这种洼地处理方法的基本思想是将洼地内部的高程增至洼地的出水口高程。Jenson 和 Domingue, Martez 和 Garbrecht, 李志林等都提出了填平洼地的算法<sup>[8]</sup>。

在 hydrology 中的洼地处理过程是,用 Fill sink 函数进行填充处理,Fill sink 函数可自动寻找凹陷点,并自动进行填充,经过反复的运算,可生成无洼地的数字高程模型,保证水流畅通流至河口。处理的结果见图2。

#### 2.4 水流方向的确定

地表径流在流域内总是从地势高处流向地势低处,最后经流域出口排出流域。流向的确定建立在

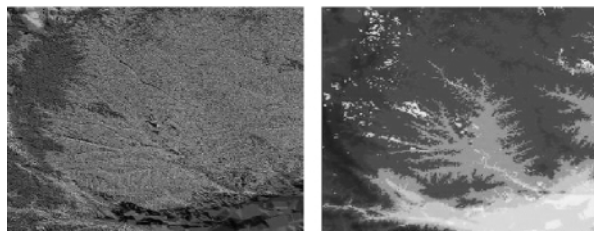


图1 TIN结构的DEM和GRID结构的DEM

#### 2.5 水流量累计的确定

水流累计矩阵表示每一栅格点上的流水累计量。以 D8 法为例,其基本的思想是:假设每一栅格点处都有1个单位的水量,根据水流从高处向低处流的自然规律,计算每一栅格的累积水量,算法设计是采用迭代的方法<sup>[8]</sup>。原始 DEM 矩阵、水流方向矩阵、水流累计矩阵见图4。

在 ARCGIS 的水文分析模块 Hydrology 中,根据无坑洼 DEM 水流方向栅格图层,应用水文分析库(Hydrology)下的流向累积(Flow Accumulation)命令进行流向累积栅格的计算。此功能的原理是假想在集水区的每一网格上降下一单位的水量,而后按网格的流向来向下移动,其移动经过的网格则使其

流域  $3 \times 3$  的 DEM 格网的基础上。目前,确定流向的方法主要有单流向法和多流向法两种。两者之中,单流向法因其简单方便得到广泛的应用<sup>[9]</sup>。

单流向法假定一个网格中的水流只从一个方向流出网格,后根据网格的高程判断水流的方向。目前应用最广泛的单流向法是 D8 法,此外还有 Rho8 和 Lea 法,DEMON,  $D_{\infty}$  法等。

D8( Deteministic 8) 法。这种方法是目前应用最多的单流向法。D8 法采用的原理是:假设单个格网中的水流只有8种可能的流向,分别定义为:东北、东、东南、南、西南、西、西北和北,并用 128、1、2、4、8、16、32 和 64 这8个有效特征表示,即流入与之相对邻的8个格网中。它用最陡坡度法来确定水流的方向,计算中心格网与各相邻格网间的距离权落差,取距离权落差最大的格网为中心格网的流出格网,该方向为中心格网的流向。被处理格网单元同相邻8个格网单元之间的坡降算法为  $S = \Delta Z/D$ ,  $\Delta Z$  为两个格网单元之间的高差,  $D$  为两个格网单元中心之间的距离<sup>[10]</sup>。该方法的确定性导致了水流偏向某一单元格,但该算法简单易用。

在 ARCGIS 的水文分析模块 Hydrology 用的就是该方法。应用水文分析库(Hydrology)下的流向确定(Flow Direction)命令,生成8方向水流流向。结果见图3。



图2 无洼地的DEM

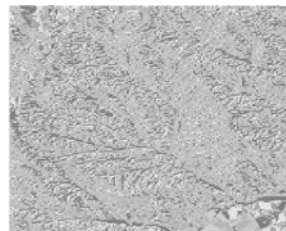


图3 水流方向图

累积流量值提升一个单位,因此,每一网格皆可计算出其所累积的上游流量值,由于投入每一网格的水量皆为一单位,故流量累积值亦代表各网格的上游集流网格数量,将之乘上网格面积便可得到每一网点的上游集水面积。处理结果见图5。

#### 2.6 水流网络的提取

进行水流网络的提取,关键是根据水流累积量设置阈值。在 ARCGIS 中应用水文分析库(Hydrology)下的定义河系(Stream Definition)命令对流向累积栅格设置集流阈值。集流阈值(threshold off low accumulation)为河系网络提取的关键因子。累积流量与面积正相关。所以可利用累积流量值(或称为集水面积)作为河道认定的门槛标准。处理结果如图6右。

78	72	69	71	58	49
74	67	56	49	46	50
69	53	44	37	38	48
64	58	55	22	31	24
68	61	47	21	16	19
74	53	34	12	11	12

原始 DEM 矩阵

2	2	2	4	4	8
2	2	2	4	4	8
1	1	2	4	8	4
128	128	1	2	4	8
2	2	1	4	4	4
1	1	1	1	4	16

水流方向矩阵

0	0	0	0	0	0
0	1	1	2	2	0
0	3	7	5	4	0
0	0	0	20	0	1
0	0	0	1	24	0
0	2	4	7	35	2

水流累计矩阵

图 4 水流累计矩阵图



图 5 流量积累图



图 6 径河水系图和水流网络图

## 2.7 流域划分与流域支流面积确定

水流方向提取后,利用 BASIN 命令,生成河流流域的集水区界线,再根据水流方向、流水累积量和水网分布图层,运用 ESRI 提供的水文模块的 Catchment Grid Delineation 和 Catchment Polygon Processing 进行子流域的集水网络描绘和集水多边形的生成。通过 ARC/INFO 工具计算出每个子流域占有的 DEM 栅格数,最后乘以栅格的面积就可得出每个子流域的面积。

## 3 结果分析

从图 6 左右两幅的对比可以看出,在流域出水口处,提取的流域网络与原始的河流网络有一些偏差。这是在矢量化地形图的过程中,等高线赋值阶段引入的误差。由于出水口处属关中平原,地形较平坦,原始数据的等高线数据在此处较为稀疏,使得所生成的 DEM 数据存在误差。但所提取的泾河河网和实际河网基本吻合,这说明利用 DEM 对流域信息进行提取的方法是有效的。

## 4 结 语

利用 DEM 数据和 ARCGIS 软件的水文分析模块可以快速准确地获取流域的河网结构,并可以根据汇流累积单元数的阈值来生成不同密度的河网。但 DEM 的空间分辨率、资料生产方式等因素对提取结果有一定影响。故在利用 DEM 进行流域信息提取时,要根据研究区情况和研究的目的,选择合适的方

式生成 DEM 数据,以求试验结果达到最佳,更好的为不同单位部门的水资源调度决策研究提供支持。

### 参考文献:

- [1] 李志林,朱庆.数字高程模型[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000:169-191.
- [2] 邬伦.地理信息系统原理、方法和应用[M].北京:科学出版社,2001:196-197.
- [3] Tribe Andrea. Automated Recognition of Valley Lines and Drainage Networks from Grid Digital Elevation Models: A Review and A New Method [J]. Journal of Hydrology, 1992, 13(9): 293-293.
- [4] Scott A Well. River Basin Modeling Using CE-QUAL-W2 Version 3 [C]//. Proceedings of the 1999 International Water Resources Engineering Conference. Seattle, Washington: 1999, 201-203.
- [5] 卢振千,吕妙儿,黄杏元,等.不规则三角网在流域坡面汇流分析中的应用[J].测绘科学,2001,22(4):45-49.
- [6] Arcgis 系列产品介绍[EB/OL][2008-03-06]. <http://hi.baidu.com/liongg/blog/item/ab2328340ce1b73f5bb5f5ec.html>.
- [7] 赵健,贾忠华,罗纨. ARCGIS 环境下基于 DEM 的流域特征提取[J]. 水资源与水工程学报, 2006, 17(1): 74-76.
- [8] 汤国安,刘学军,闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 48-250.
- [9] 李丽,郝振纯. 基于 DEM 的流域特征提取综述[J]. 地球科学进展, 2003, 22(2): 251-256.
- [10] 原立峰,周启刚. 基于 DEM 的流域水文特征提取方法研究[J]. 人民黄河, 2006, 18(5): 20-22.