基于 DEM 的数字化渭河流域水系构建

林金辉[1,2],张 荔[1,2],王晓昌[1,2],楠田哲也[3]

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院,陕西 西安 710055;
2. 西部建筑科技国家重点实验室(筹),陕西 西安 710055;
3. 日本九州大学工学研究院环境都市部门,日本 福冈 812-8581)

摘 要:为了更好地进行渭河流域的研究与管理,构建了数字化渭河流域. 借助地理信息系统(GIS),在 ArcGIS 平台上提取流域的河网、确定流域边界;依据 Pfafstetter 河网分级编码方法划分渭河流域并进行编码;探讨数字高程模型(DEM)的预处理及分析方法,并基于流域的 DEM 数据,分析了流域各点的高程、汇流面积等地形数据.

关键词:DEM; GIS; Pfafstetter 编码;渭河流域

中图分类号:P333 **文献标识码**:A **文章编号**:1006-7930(2008)02-0260-05

近 10 年来,数字技术正促使科学技术领域发生一场深刻的变革,水文科学也正在经历着这样一场前所未有的革新[1]. 地形因素是影响流域地貌、水文、生物等过程的重要因子,地形的空间分布特征一直是人们用于描述这些空间过程变化的重要指标. 高精度 DEM(Digital Elevation Model, 数字高程模型)数据和高分辨率、高光谱、多周期的遥感影像,为定量描述流域空间变化过程提供了丰富的数据源,使人们对流域地貌、水文和生物等过程空间变化机理的理解不断加深. 基于 DEM 数据自动提取流域地貌特征和进行流域地形自动分割是进行流域空间模拟的基础技术[2]. 根据美国国家地球物理数据中心 USGS 提供的一公里 DEM 数据(GLOBE, Global Land One - kilometer Base Elevation),在 ArcGIS 的平台上提取渭河流域的水系及其流域信息.

1 渭河流域基本概况

渭河发源于甘肃省渭源县,流经甘肃、宁夏、陕西三省 26 个县市,于潼关汇入黄河,为黄河第一大支流. 渭河南岸支流发源于秦岭山区,有黑河、沣河、灞河、尤河等,自南而北,切割秦岭山地,形成许多深邃的峡谷,成为关中平原出入秦岭的通道;北岸主要支流有泾河、洛河、千河、漆水河、石川河、沮河等,汛期河水陡涨陡落,枯季河流干涸.

渭河在陕西横穿关中地区,西起渭河宝鸡峡水库,东至潼关港口镇. 研究范围为渭河流经的主要城区,包括宝鸡市、咸阳市、西安市、渭南市及其所辖地区. 从 2002 年起,沿着渭河陕西段进行河流断面的水质监测. 具体的 13 个监测断面如下:林家村、卧龙寺桥、虢镇桥、常兴桥、兴平、南营、咸阳铁桥、天江人渡、耿镇桥、新丰镇桥、沙王渡、树园、潼关吊桥. 图 1 为生化需氧量 BOD_5 监测值的分析,其污染最严重期为 2003 年 1 月,平均值达到 125.6 mg/L,超过国家地表水 V 类标准 11.5 倍;从 2003 年 11 月开始,渭河主流水质逐步得到改善,到 2006 年 2 月 BOD_5 监测结果平均值为 9 mg/L,达到国家地表水 V 类标准.

收稿日期:2006-12-30 **修改稿日期**:2008-02-25

基金项目:日本科学技术振兴机构(JST)国际合作项目;陕西省自然科学基金资助项目(2006D06)

作者简介:林金辉(1980-),男,福建莆田人,硕士,研究生期间主要从事流域水文水质模拟及 GIS 应用方面的研究. 目前在奥加诺(苏州)水处理有限公司从事水处理方面的工作.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2　流域数字化

2.1　数字高程模型

1958 年麻省理工学院 Miller 和 Lanflamme 首次提出了数字地面模型 DTM (Digital Terrain Model)的概念. DTM 是利用一个任意坐标场中的大量选择的已知 X、Y、Z 的坐标点对连续地面的一个简单地统计表示,其本质属性是二维地理空间定位和数字表达. 若 DTM 所描述的地面特性是 Z 表现地形特征,此时 DTM 称作数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model). DTM/ DEM 的出现为数字水文学的发展和数字水文模型的诞生提供了坚实的技术基础[3].

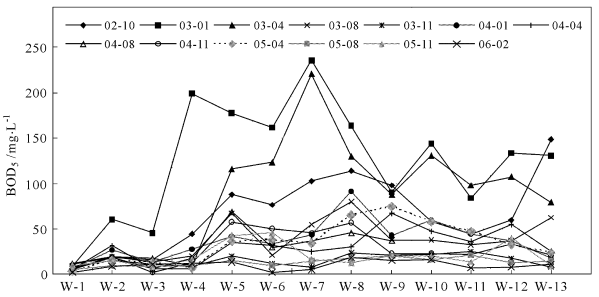

图 1　渭河流域陕西段河流断面的水质

Fig. 1　The water quality of the Weihe River at Shaanxi basin

利用数字高程模型 DEM 研究流域的地形、水系、集水面积有多种软件可实现. 李春红、任立良提到三种软件:由 Martz 和 Garbrecht 研制的数字高程流域水系模型(Digital Elevation Drainage Network Model,1992),美国 RSI (Research System Inc.)公司的 River Tools 软件,以及美国环境系统研究所 ESRI 开发的 Arcview、Arc/ Info 软件[4].

2.2　D8 理论

单流向法是通过 DEM 计算水文流向的一种方法. 它假定一个格网中的水流只从一个方向流出格网,然后根据格网高程判断水流方向,目前应用最广泛的单流向法是 D8(Deterministic 8)法[5-6],采用 3 ×3 窗口按 8 方向搜索计算最大坡度为各网格点的流向. 基本原理是:假设单个格网中的水流只有 8 种可能的流向(如图 2 所示),分别定义为东、东南、南、西南、西、西北、北和东北,并用 1、2、4、8、16 、32、64 和 128 这 8 个有效特征码表示,即流入与之相邻的 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方向,该方向即为中心格网的流向.

2.3　DEM 分析与凹地填充

本项目使用的流域数字化平台是 ArcGIS 8. 3 版. 依据 ArcGIS 8. 3 中的空间分析扩展功能及水文分析模块 Arc Hydro,进行流域水系的提取.

基于 DEM 数据提取流域地貌特征和流域地形自动分割是进行流域空间模拟的基础. 在 DEM 中存在的凹点,使一些流路异常,所以在进行流域自动分割之前,先要对凹点进行处理. 流域中凹点既可能是真实的凹点,也可能是由于插值误差造成的,所以不能使用简单的滤波或平滑函数. 通过填洼将凹点全部去除,使凹点造成的断路连接到主沟谷网络[2]. 用水文模块 Arc Hydro 中 Fill Sinks,可以对每一个格网点进行搜索,找出凹陷点并使其高程等于周围点的最小高程值,最终得到一个与原 DEM 对应的"无洼地"的 DEM.

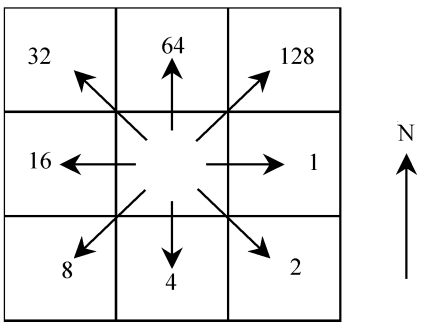

图 2　D8 水流方向定义

Fig. 2　Definition of Deterministic 8 (D8)

2.4　水系生成与流域确定

通过对 DEM 中凹地的填充,依据 D8 理论来确定格网的水流方向(Flow Direction)与汇流路径(Flow Accumulation),最后根据汇流出口确定流域的边界. 从填充后的 DEM 提取的渭河流域河网如图 3 所示. 根据不同的精度选择,从填充后的 DEM 提取的渭河流域主要河网如图 4 所示.

2.5　子流域的划分

流域河网提取之后,为了更好地研究面积较大流域的水文情况,往往需要划分子流域. 目前子流域

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

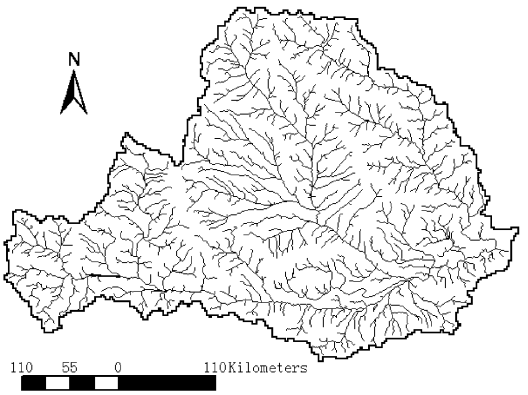

图 3 渭河流域河网提取结果

Fig. 3 Result of river network in the Weihe basin

图 4 渭河流域主要河网

Fig. 4 The main river in the Weihe basin

划分的主要方法有 Strahler 河网级数提取法,Pfafstetter 河网分级编码及其改进方法[7-8].

本研究采用由巴西工程师 Pfafstetter 提出的河网分级编码方法. 这种方法按汇流面积分出干流和支流. 在流入任何一个交汇点的两条河流中汇流面积大的为主流,反之为支流. 这样沿河口向上游可找出所有的支流,然后选出四条最大的支流并从下而上依次编号为 2、4、6 和 8. 河口与支流 2 之间的干流部分编号为 1;支流 2 和 4 之间的干流部分编号为 3;依次向上游分别为 5 和 7;最上游的干流为 9,干流 9 的汇流面积总是大于支流 8. 图 5 为 DEM 中流域的原始汇流区域信息,在此基础上进行河网的分级编码,其一级编码结果如图 6.

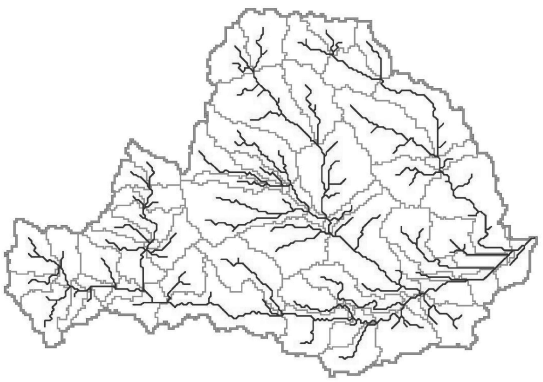

图 5 DEM 中流域的原始汇流区域

Fig. 5 Original conflux area of the basin based on DEM

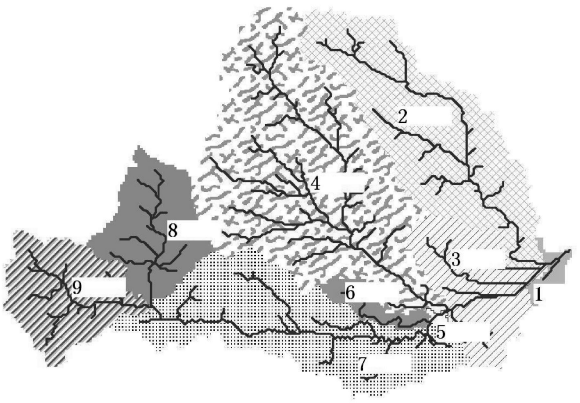

图 6 流域一级编码结果

Fig. 6 First class coding for basin subdivision

按同样的方法,可在第一级划分的基础上再进行第二级划分. 例如,支流 2 就分成编号为 22、24、26 和 28 的四条子支流,和编号为 21、23、25、27 和 29 的五条子干流. 第二级划分出来的子流域的编号原则为第一位数字是其上一级流域的编号,第二位数为本级的 Pfafstetter 编码. 同理,子支流 24 更进一步划分为编号为 242、244、246 和 248 的四条支流,及编号为 241、243、245、247 和 249 的五条干流,编号中的头两位数源自上级编号,第三位数为其本级的 Pfafstetter 编码. 根据 DEM 的网格尺寸和实际需要,流域可细分至一个合理尺度. 细分后的子流域是水文模拟和水资源管理的最小流域单元.

使用上述方法在同一级划分出的子流域中,汇流的顺序是惟一的. 子流域 9 和 8 汇流叠加后流入子流域 7;子流域 7 和 6 汇流叠加后流入子流域 5;子流域 5 和 4 汇流叠加后流入子流域 3;子流域 3 和 2 汇流叠加后流入子流域 1;然后通过子流域 1 汇流至出口.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3　数字化渭河流域水系

渭河流域子流域划分结果如图 7 所示,从 DEM 中提取的流域面积及其子流域的分析结果见表 1. Pfafstetter 编号方法的优点就在于子流域的相互关系依其惟一编号可以十分容易地确定.

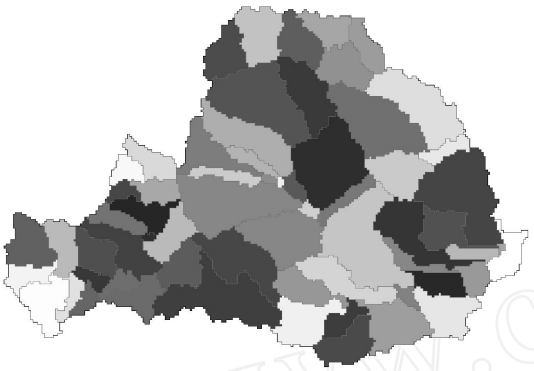

图 7　渭河流域子流域划分结果

Fig. 8　Result of basin subdivision in the Weihe basin

表 1　子流域数目及平均面积

Tab. 1　Number and average area of sub - basins

Code	Number	Area/ km^2	Average area / km^2
1	1	1 500	1 500
2	9	26 662	2 962
3	9	12 244	1 360
4	17	45 531	2 678
5	1	413	413
6	1	2 587	2 587
7	9	24 031	2 670
8	9	11 312	1 257
9	9	12 012	1 335
Total	65	136 292	2 097

通过对流域 DEM 的分析,可以获得流域各点的高程、流域的地表面积、汇流面积、坡度/ 坡向及其变化率等数据[9]. 渭河干流高程及流域汇流面积数据分析,渭河干流从甘肃的高程 2 426. 2m 处顺流而下,到达潼关入黄口的高程为 271. 4m;整个渭河流域的面积达到 136 292 km^2.

4　结　论

应用 GIS 技术,在对原始 DEM 分析并填充洼地的基础上,提取渭河流域的河网及整个自然汇流流域的划分和子流域边界的确定. 通过对流域 DEM 的分析,可以获得流域各点的高程、汇流面积等数据,从而为流域分布式水文模型的构建提供下垫面参数. 依据 Pfafstetter 的河网分级编码方法,对流域进行了划分和编码,为进一步研究流域的具体水文情况提供了地理信息. 利用 DEM 提取流域水文特征保证了信息的准确性及精度,对于渭河流域的水文模拟及水资源规划和管理具有十分重要的意义.

参考文献　References

[1] 任立良,刘新仁. 数字时代水文模拟技术的变革[J]. 河海大学学报, 2000,28(5):1-6.
REN Li-liang, LIU Xin-ren. Transformation of Hydrological Modeling Techniques in the Digital Era[J]. Journal of Hohai University. ,2000, 28(5): 1-6.

[2] 邬　伦,刘　瀚,张　晶,等. 地理信息系统 ——原理、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
WU Lun, LIU Yu, ZHANG Jing, et al. Geographic Information System ——Principle, Method and Application [M]. Beijing: Science Press, 2001.

[3] 李志林,朱　庆. 数字高程模型[M]. 第 1 版. 武汉: 武汉科技测绘大学出版社, 2000.
LI Zhi-lin, ZHU Qing. Digital Elevation Model [M]. Wuhan: Wuhan Technology and Map University Press, 2000.

[4] 李春红,任立良,达卫特,等. 数字流域水系构建方法浅析[J]. 水文, 2002, 22(6):1-4.
LI Chun-hong, REN Li-liang, ERGICHO Dawit, et al. Preliminary Analysis on the Method of Building Digital Basin[J]. Hydrology, 2002, 22(6): 1-4.

[5] Jurgen Garbrecht, Lawrence W M. The assignment of drainage direction over flast surfaces in raster digital elevation models [J]. Journal of hydrology, 1997, 193: 204-213.

[6] Martz W, Garbrecht J. Numerical definition of drainage Network and subcatchment Areas from digital elevation models [J]. Computers & Geosciences, 1992, 18(6): 747-761.

[7] 杜庆顺,孔凡哲,牛志刚,等. 基于 DEM 的河网提取方法对比分析[J]. 水利科技与经济, 2006, 12(2): 76-78.
DU Qing-sun, KONG Fan-zhe, NIU Zhi-gang, et al. Comparative Analysis of Methods Deriving Drainage Network

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Based DEM[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy,2006, 12(2): 76-78.
[8] VERDIN K L, VERDIN J P. A topological system for delineation and condification of the Earth's river basins [J]. Journal of Hydrology, 1999, 218: 1-12.
[9] DAWEN Yang, SRIKANTHA Herath, KATUMI Musuake. Comparison of different distributed hydrological models for characterization of catchment spatial variability[J]. Hydrological Processes,2000,14: 403-416.

The river network building for a digital Weihe River basin based on DEM

LIN Jin-hui[1,2], *ZHANG Li*[1,2], *WANG Xiao-chang*[1,2], *KUSUDA Tetsuya*[3]

(1. School of Envir. and Muni. Eng., Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;
2. State Key Laboratoty of Architecture Science and Technology in West China(XAUAT), Xi'an 710055, China;
3. Dept. of Urban Environmental Eng., School of Eng., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581, Japan)

Abstract: Digital Weihe River basin was built for the area studying and management in details. Based on the Geographic Information System (GIS), the authors of this paper divided the river network and drew the boundary of the basin. And according to the Pfafstetter coding rule, subdivided and coded the river network is. This paper discussed the pretreatment and analysis methods of the digital elevation model (DEM), and analyzed the elevation values, conflux area and other topographic data of the Weihe River basin based on DEM.

Key words: *DEM; GIS; Pfafstetter coding rule; Weihe river basin*

Biography: LIN Jin-hui, Master, Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-29-82202729, E-mail: linjinhui2001@163.com

(上接第 253 页)

Activated carbon modified with microwave irradiation for toluene adsorption

CAO Xiao-qiang[1,2], *HUANG Xue-min*[1,2], *LIU Sheng-rong*[3], *CAO Li*[1,2]

(1. School of Environmental & Municipal Engineering, Key Laboratory of Northwest Water Resource, Environment and Ecology, MOE, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China; 2. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West China(XAUAT), Xi'an 710055, China; 3. Qingdao Technological University, Qingdao 266520, China)

Abstract: Granular activated carbon (GAC) modified with microwave irradiation was studied. Specific surface area and iodine number of original and modified GAC were measured. The results showed that iodine number was increased with temperature of microwave heating increasing; and the content of surface basic functional group was also increased with the temperature increasing. When heated by microwave at 850 ℃, GAC had the highest ability for toluene adsorption at 650 ℃ and 450 ℃, and the ability for toluene adsorption of GAC was similar. The SEM photo showed that microwave heating made the porous structure smoother than original GAC, but high temperature made the structure of GAC shrinkage. Analysis of the experimental data and SEM photo, indicated that toluene adsorption with activated carbon including two mechanism were chemical adsorption and physical adsorption. When GAC was modified at low temperature, the physical adsorption was dominating mechanism and, at a high temperature, the chemical adsorption would be dominating.

Key words: *activated carbon; microwave; modification; adsorption; toluene*

Biography: CAO Xiao-qiang, Candidate for Ph. D., Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-29-82204007, E-mail: xiaoqiang@126.com

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net