

Arc Hydro 模型在流域水文特征提取中的应用

——以蓟县沙河流域为例

石春力¹, 李雪¹, 孙韧², 王东³, 李茹¹, 王玉秋¹

(1. 南开大学 环境科学与工程学院, 环境标准和污染过程教育部重点实验室, 天津 300071;

2. 天津市环境保护局, 天津 300191; 3. 环境保护部环境规划院, 北京 100012)

摘要: 详细介绍了基于 ArcGIS9.3 平台的 Arc Hydro 模型的结构及使用方法, 包括从原始高程数据提取河网的步骤。研究区域选取天津市蓟县的沙河流域, 采用 90 m 分辨率的 DEM 作为基本地形数据, 对沙河流域水文特征的提取, 共生成 28 个子流域。分析结果表明: 与实际河流水系特征基本吻合, 因此应用 Arc Hydro 工具集划分的流域结果是合理的。

关键词: Arc Hydro 模型; 数字高程模型; 水文分析; 河网提取; 沙河

中图分类号: TV213.4; P333

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)01-0073-04

Application of Arc Hydro model to extracting hydrological information of Shahe river watershed

SHI Chunli¹, LI Xue¹, SUN Ren², WANG Dong³, LI Ru¹, WANG Yuqiu¹

(1. Key Laboratory of Environmental Pollution Control Process and Benchmark, Ministry of Education, College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. Tianjin Environmental Protection Bureau, Tianjin 300191, China; 3. Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China)

Abstract: This paper introduced the use method of the toolbox based on ArcGIS 9.3 environment for analyzing hydrological information and structures, including the procedures of extracting river network from raw digital elevation model (DEM) data and problems to be considered. Shahe river watershed locates in Ji County of Tianjin city. It was chosen as watershed characteristics from DEM with 90 m resolution and river catchment properties were collected. Arc Hydro model was used to generate 28 sub-watersheds. Compared with actual hydrological characteristics, the results are rational.

Key words: Arc Hydro model; DEM; hydrology analysis; river network extraction; Shahe River

随着地理信息系统和数字化流域技术的迅速发展,流域水文模型已成为研究水文自然规律和解决水文实践问题不可缺少的工具,而利用 Arc Hydro 基于数字高程模型 (DEM) 提取的流域水系特征不仅作为流域模型 (例如, SWAT 模型, GWLF 模型、SPARROW 模型以及 WEAP 模型) 的主要输入数据和参数^[1-2], 而且其所包含的水文信息也是构建流域分布式水文模型的重要基础数据以及反映流域特征的基本骨架^[3], 因此利用有效的工具提取获得的流域水系特征已成为流域水文模拟和环境模型应用的研究热点。

1 Arc Hydro 模型

Arc Hydro 模型是一种基于 Arc GIS 平台的水资源管理应用系统, 由水文数据模型 (Arc Hydro Data Model) 和水文工具集 (Arc Hydro Tools) 两部分组成 (图 1)。Arc Hydro Data Model 是由 ESRI 公司和美国得克萨斯州奥斯汀大学水资源研究中心 (CRWR) 联合开发推出的一个开放式、基于 COM 类的、可扩展的用于水资源领域的数据库模型。Arc Hydro Tools 主要是为水资源管理及应用提取 DEM 数字流域、生成水文网络、按属性值进行水文网络跟踪, 为流域数据分配并管理各种属性值 (如 Hy-

收稿日期: 2011-09-19

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目 (2008ZX07631-01-04); 国家环境保护规划专项资助项目 (2010A008)

作者简介: 石春力 (1982-), 男, 黑龙江绥化人, 博士研究生, 主要从事基于 3S 技术的水资源评价与规划研究。

通讯作者: 王玉秋 (1965-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 教授, 博士生导师, 主要从事水环境管理决策与技术支持, 流域及水资源地保护战略等研究。

droID、DrainID 等标识码属性及 Lenthdown 等量度属性)^[4]。Arc Hydro Tools 是对 Arc Hydro Data Model 的实例化,二者共同为 GIS 在水资源方面的应用提供基础支持。

1.1 Arc Hydro 数据模型

该模型包括五个部分^[5]: ①Network(水文网络):水文网络要素数据集模块,表达河流的总体信息和地表水流的连通性。②Drainage(汇流区):Drainage 汇流区要素数据集模型,表达由地形地貌定义的河谷线、分水线、汇流区等水文地理几何特征。③Channel(河道):河道要素数据集模块,三维表征河流和水道包括横断面、轮廓线以及三维信息等。④Hydrography(水文地形):水文地形要素数据集模块,用于表达水系及其附属底图信息。⑤Time-Series(时间序列):水文现象随着时间、气候而改变,Arc Hydro 模型定义了时序数据模型,来存储监测站和其他设施定期观测的数据,如水位、径流量和水质等。时序数据模块包括时间序列对象类和 TS-Type(数据类型)对象类,以 Geodatabase 表的形式实现,通过所记录数据类型的 ID 来进行关联^[6]。

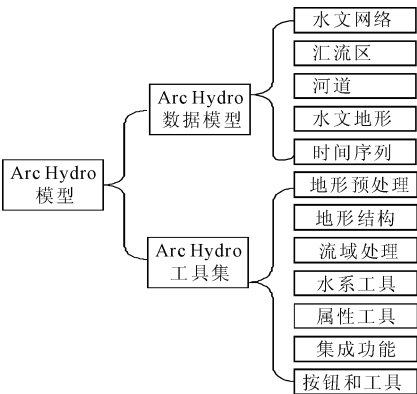


图1 Arc Hydro 模型的结构框架

1.2 Arc Hydro 工具集

Arc Hydro Tools 是基于 ArcGIS 和 Arc Hydro 数据模型开发的用于支持地表水资源应用研究的工具集,主要由地形处理(Terrain Preprocessing)、地形结构(Terrain Morphology)、流域处理(Watershed Processing)、网络工具(Network tools)、属性工具(Attribute tools)以及集成功能(ApUtilities)4 大模块组成。其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。以下简要介绍上述 4 部分结构与功能。

(1)地形预处理(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)地形结构(Terrain Morphology)工具是对非树状地形的初步分析,同时准备进一步处理数据。研究区域的 DEM 和 TIN 数据均可作为地形结构输入数据。主要包括地形结构数据管理、流域面积表征、流域边界定义、流域边界生成等功能。

(3)流域处理(Watershed Processing)。包括分批流域生成(Batch Watershed Delineation)、分批子流域生成(Batch Subwatershed Deline)、确定排水区质心(Drainage Area Centroidition)、确定最长流径(Longest Flow Path)等功能。

(4)水系工具(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。

(5)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。

(6)集成功能(ApUtilities)包含获得地图文件的功能以及 Arc Hydro 在线帮助功能。具体包括地图列表、添加新图层、XML 管理等,一般情况很少使用。

(7)按钮和工具(Buttons and Tools)主要包括水流路径跟踪、设置监测点、赋予相关标志符等辅助功能。

2 沙河流域 DEM 数据概况

2.1 研究区域——沙河流域

沙河流域位于天津北部蓟县城东,是天津市重要水源地于桥水库流域的子流域,沙河是汇入于桥水库的三条汇水河流之一(沙河、黎河、淋河)。同时也是该流域内最大的水系,源于兴隆县大青山,流域面积 887.0 km²,河长 70.0 km,弯曲系数 2.09,平均坡降 13.8‰。沙河干流自东北斜贯西南直入于桥水库,它沿程接纳了房山沟、浦地河、老爪河、清水河、冷咀头河、北岭河、马兰河等主要大小支流,构成较典型的羽状水系。多年平均径流量为 2.7 亿 m³,是一条季节性河流。

2.2 DEM 数据源

DEM 是流域地形、地物识别的原始材料,根据数据结构可分为等高线、不规则三角网和栅格型三类,从 DEM 中提取在水文和地形分析中常用的流域特征参数。本文采用的沙河流域 DEM 数据源是由美国奋进号航天飞机于 2000 年 2 月获得的 SRTM DEM,中国境内可用的数据为 3"(分辨率约 90 m),数据的大地平面基准为 WGS84,高程基准为 EGM96,垂直误差小于 16m(90%置信度)^[7]。原始 DEM 数据可从 CGIA - CSI SRTM 90m 数据库下载 (<http://srtm.csi.cgiar.ogr/>),经过投影变换、图像拼接和边界裁剪等处理可得到研究区域的 DEM^[3]。研究区域数字高程模型如图 2 所示。

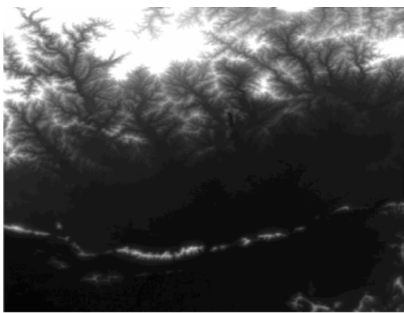


图 2 沙河地区数字高程模型数据

3 沙河流域特征提取

水文分析是 DEM 数据应用的重要方面,可以通过 DEM 数据派生出一些水文特征:比如说可以提取河流网络、自动划分流域,这些是描述某一地区水文特征的重要因子。基于 Arc Hydro Tools 提取流域水系信息包括以下五个流程:DEM 的预处理、水流流向确定、汇流栅格图的生成、自动生成河网以及子流域边界的划分。基本处理流程见图 3。

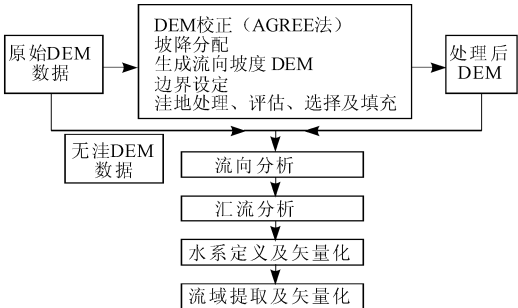


图 3 Arc Hydro 模型处理 DEM 数据提取流域特征数据

3.1 DEM 数据的预处理

在原始 DEM 数据中,存在很多的平坦区域和洼地,在进行水流方向计算时,由于这些洼地或者凹陷

会造成水流不能流出洼地边界,从而使提取水系产生很大的误差或不能计算出合理的结果,因此在提取水系前,需要对 DEM 中的平坦区域和洼地部位的高程数据进行修改,使水流能够沿着水流方向流出洼地和平坦区域,保证从 DEM 数据中提取的自然水系是连续的。Arc Hydro Tools 提供了这样一种改进方法,可以进行改进 DEM 矢量河网输入校正 (DEM Reconditioning)、流域、子流域边界校正 (Build Walls)、湖泊水流方向校正 (Adjust flow direction lakes) 以及水系流向处理。上述方法不是必需的校正步骤,可选择必要的步骤进行合理组合对 DEM 原始数据进行处理,以保证栅格的流向与实际河流流向相一致。图 4 是通过上述方法校正好的沙河流域高程图。

3.2 水流方向确定

流域水系提取的关键是水流方向分析,它决定了地表径流的方向及栅格单元间流量的分配^[8]。目前已有的方法包括 Rho8 法、Lea 法、DEMON 法、Formo8 法、TAPES - C 和 D8 法等^[9]。Arc Hydro 采用的是 D8 法,此方法假设每一栅格单元只有 8 种可能的流向即只能流入与之相邻的 8 个栅格单元网格中。它用最大坡降法来确定水流的方向,即在 3 × 3 的 DEM 网格上计算网格中心点垂直落差与网络中心点之间距离的商。依次以此方法进行计算即可得到所有单元格的水流方向。选取 1,2,4,8,16,32,64,128 这八个有效特征码分别表示水流方向为东,东南,南,西南,西,西北,北,东北,从而形成水流流向 DEM 图^[10],沙河水系流向如图 5。

3.3 汇流累积的计算

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得到的。其基本思想是认为规则格网表示的数字地面高程模型每点处有一个单位的水量,按照自然水流从高处流往低处的自然规律,根据区域地形的水流方向数据计算每点处所流过的水量数值,从而得到该区域的汇流累积量。处理结果如图 6。

3.4 河网的生成

利用 Arc Hydro 模块下 Stream Definition 工具对汇流累积栅格设置集流阈值 (或称集水面积阈值),定义河网水系。本研究经反复验证,最终确定 1600 为集流阈值。经过处理最终得到沙河流域水系图,处理结果见图 7。

3.5 子流域的划分

沙河流域子流域的提取过程是利用 Arc Hydro Tools 的 Terrain Preprocessing 模块实现的。通过该

模块下的子流域栅格定义 (Catchments Grid Delineation) 以及流域矢量化 (Catchments Polygon Processing)

ing) 这两个命令进行子流域提取, 得到沙河流域的子流域图 (图 8)。

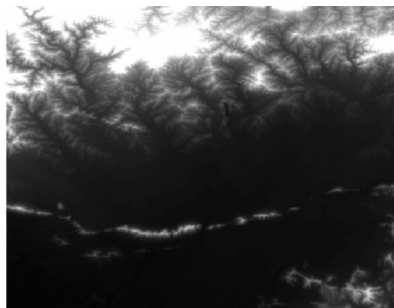


图 4 经过洼地填充处理生成的无洼地 DEM

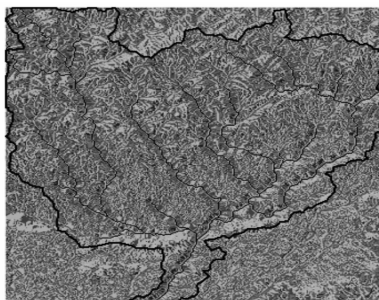


图 5 D8 法生成的水流方向 DEM 图



图 6 通过计算生成的沙河
流域汇流累积量数据

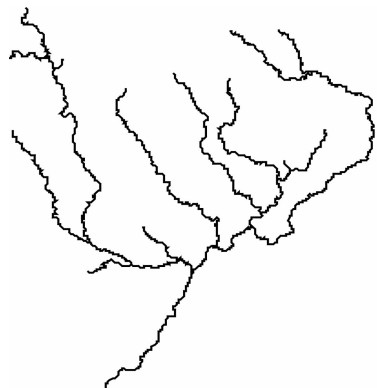
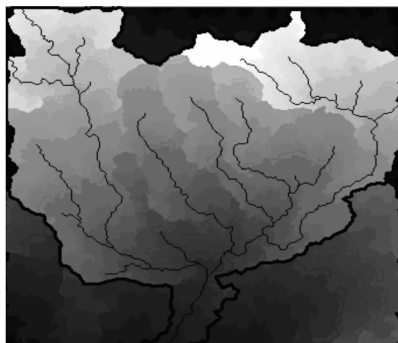
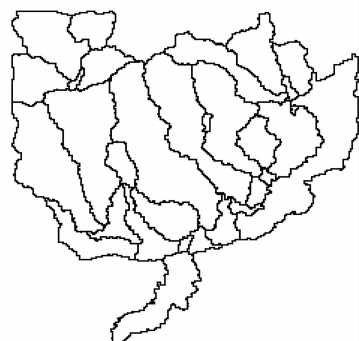


图 7 沙河流域河网的生成



(a) 沙河流域子流域划分栅格图



(b) 沙河流域子流域矢量图

图 8 沙河流域子流域划分栅格图

4 结果与讨论

自然水系一般是多流向的水流, 而 Arc Hydro Tools 使用的 D8 算法是单流向的算法, 相比于 GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)^[11]、River Tool^[12]、TOPAZ (TOpographic PArameterization)^[13] 以及 WMS (Watershed Modeling System)^[14] 等软件由于所使用算法的不同, 提取的流域特征也有一定差异。GRASS 和 River Tool 在处理大型 DEM 数据占有优势, TOPAZ 的运算、执行效率高但其结果必须通过 GIS 进行可视化, 而 Arc Hydro 模型在数据管理和可视化分析上优势明显, 但其对大型平坦区域的处理效果一般。

以免费获取的 SRIM DEM 为基础分析数据, 利用 ESRI 公司提供 Arc Hydro 模型完成研究区域 DEM 数据的流域水文信息提取, 并根据 DEM 属性数据, 计算出不同汇流累积量阈值的河网密度, 确定目标流域的最适栅格阈值 1600, 从而提取出流域水系, 其后由水系和流向, 提取出沙河河流域的 28 个子流域, 结果表明使用 Arc Hydro 模型对沙河水系及流域信息进行提取的方法是有效的。也为今后的流

域模型研究提供了技术支持和相关水文数据。

5 结 语

本文利用 ArcGIS 软件平台的 Arc Hydro 模型, 基于 DEM 数据的处理准确有效的获取了沙河河流域水系信息, 并根据流向和汇流累积栅格数据生成了沙河河流域子流域信息, 虽然 DEM 的空间分辨率以及不同地形因素对提取结果有一定影响, 但其所提供的水文模拟分析功能, 为今后的水环境保护和决策, 提供了强大的数据处理和分析工具。

参考文献:

- [1] 李 青, 田丽丽, 孙 韧, 等. Weap 模型在天津市滨海新区水资源与水环境管理中的应用初探[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(2): 56.
- [2] 何 因, 秦保平, 李云生, 等. Gwlf 模型的原理、结构及应用[J]. 城市环境与城市生态, 2009, 15(6): 26-27.
- [3] 朱 超, 于瑞宏, 刘慧颖, 等. 基于 DEM 的乌梁素海东部流域河网信息提取[J]. 水资源保护, 2011, 21(3): 75-77.

(下转第 80 页)

4 结 语

(1)在对区域水资源承载力研究现状分析的基础上,运用主成分分析法对鄂尔多斯市水资源承载力进行综合评价,得出鄂尔多斯市正处于水资源开发利用阶段,水资源的开发利用已具有一定的规模,虽然对国民经济的发展有了一定的保障,但水资源承载力仍很小,供需矛盾突出,其结果与文献[8]运用灰色关联分析方法的结果基本一致,且评价结果与实际情况相吻合。

(2)主成分分析法通过对原有变量进行线性变换和舍弃部分信息,综合和简化高维变量系统,同时客观地确定各个指标的权重,避免人为主观臆断性。因此,主成分分析法是一种较好的评价方法,评价结果可以为区域水资源的合理开发利用提供决策性依据。

(3)水资源系统是自然和社会交互的动态系统,其开发利用程度随着社会需求的增长和经济技术水平的提高而不断增加^[9]。鄂尔多斯市水资源开发利用程度已具有一定规模,相对现状而言水资源开发仍具有一定的潜力,保证了本区域社会经济的发展,因此应高度重视水资源管理模式,实现水资源的可持续开发利用。

(4)全市水资源空间分布不均匀,通过二期水权转换工程、节水工程建设、节水型社会建设和跨区域调水工程来平衡水资源与经济发展的问题,从而

大力提高水资源合理开发和有效利用,保障鄂尔多斯市的经济可持续发展。

参考文献:

- [1] 陈志凯. 人口经济和水资源的关系[J]. 水利规划设计, 2000(3): 1-7.
 - [2] 向 洪. 人口科学大辞典[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994.
 - [3] 段青青, 刘昌明, 陈晓楠, 等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J]. 地理学报, 2010, 65(1): 82-90.
 - [4] 邵金花, 刘贤赵. 区域水资源承载力的主成分分析——以陕西省西安市为例[J]. 安徽农业学, 2006, 34(19): 5017-5018.
 - [5] 徐建华. 现代地理学中的数学方法: 第二版[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 30-35.
 - [6] 傅 湘, 纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价: 主成分分析法的应用[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 168-172.
 - [7] 王 群, 张和喜. 区域水资源承载力的研究进展[J]. 农业网络信息, 2008(7): 118-123.
 - [8] 周 波, 贾晓红, 于凤存. 模糊综合评价在区域水资源承载力研究中的应用[J]. 水利科技与经济, 2007, 10(13): 739-741.
 - [9] 佟长福, 史海滨, 李和平, 等. 基于灰色关联分析的鄂尔多斯市水资源承载力评价[J]. 节水灌溉, 2009(11): 43-45+49.
- ~~~~~
- (上接第 76 页)
- [4] Maidment D. ArcGIS hydro data model[EB/OL][2001-07-03]. GIS hydro 2000 pre-conference seminar, 2000 international user conference, ESRI, San Diego, California, June 2000. <http://www.crwr.utexas.edu/giswr/>.
 - [5] Maidment D R. Arc Hydro: GIS for water resources[M]. ESRI. 380 New York Street, Remands. California, 2002.
 - [6] 朱思蓉, 吴华意. Arc Hydro 水文数据模型. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(5): 88-90.
 - [7] Jarvis A, Reuter H I, Nelson, et al. Hole filled seamless SRTM data V3, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT) [EB/OL]. [2009-08-19]. <http://srtm.csi.cgiar.org>.
 - [8] Maathuis B, MSc L W. Digital elevation model based hydro processing[J]. Geocarto International, 2006, 21(1): 21-26.
 - [9] Zoun R, Schneider K, Whiteaker T, et al. Applying the ArcGIS hydro data model part/[EB/OL][2001]. <http://www.crwr.utexas.edu/gis/archydrobook/Data Model Files/Tutorial/Archydro Part/.htm>.
 - [10] 于 森, 陈雪莲. 基于 Arc Hydro Tools 对辽河流域的自动提取[J]. 微计算机信息, 2010, 26(7): 3-7.
 - [11] Srinivasan R, Arnold J G. Integration of a basin scale water quality model with GIS[J]. Water Resources Bulletin, 1994, 30(3): 453-460.
 - [12] Rivix L L C, Peckham S. River Tools 3.0 User's Guide [M]. Rivix Limited Liability Company, Broomfield, CO, 2004.
 - [13] Garbrecht J, Martz L W. Topaz: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization[EB/OL][1999-08]. <http://homepage.usask.ca/~lwm885/topaz/overview.html>.
 - [14] James Nelson E. WMS v6.1 Tutorials [M]. Environmental Modeling Research Laboratory, Brigham Young University, Provo, Utah, 2001.