

基于不同 DEM 数据源的胶东半岛 流域特征提取对比与分析

付继强^{1,2}, 王周龙¹, 马金卫¹, 郭玲玲³, 王萌⁴, 宋倩茹²

(1. 鲁东大学地理与规划学院, 山东烟台 264025; 2. 烟台市国土资源局福山分局, 山东烟台 265500; 3. 烟台大学, 山东烟台 264003; 4. 山东正元数字城市建设有限公司, 山东烟台 264002)

摘要: 基于 SRTM 和 ASTER GDEM 两种 DEM 数据源, 以胶东半岛为研究区, 应用 ArcMap 水文分析(Arc Hydro Tools)扩展模块和“burn in”算法, 提取河网及流域范围。结果显示, 集水面积阈值变化直接影响数字河网密集度。对胶东半岛而言, 采用分辨率为 90 m×90 m 的 SRTM 数据可较好地提取河网水系及划分流域; 提取的 11 个主要流域, 充分体现了胶东半岛地区的流域特征。

关键词: DEM; Arc Hydro Tools; 数字河网; 小流域划分; 流域特征; 胶东半岛

中图分类号: P208; P331

文献标识码: B

0 引言

河网水系是描述一个地区的基本水文参数, 它不仅反映了地区的地貌特征, 更直观地表达了地表水文状况, 可为区域流域规划、防洪减灾、生态保护等提供科学依据。小流域的提取可方便简洁地表达出地区的水文地域划分, 从而在面源污染的估算中统计每个小流域对整体的污染百分比情况, 为治污管治指明监管方向。河流网络和集水流域划定为一个地区受某种污染源影响的范围提供了依据, 也可作为地貌改变的指示标志。众多学者对流域的信息提取方面已经做了大量的研究, 尤其是近年来数字技术的迅猛发展及 GIS 在海量数据存储、管理、空间分析和制图方面的优势, 使 GIS 与水文模型结合的分布式应用日益广泛。其中以 O'Callaghan 等在 1984 年提出的坡面流累积方法最为流行^[1], 该方法是以水流在地表上漫流的方式为基础从 DEM 中提取河网水系。

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)是描述地面高程值空间分布的一组有序数组, 能够反映一定分辨率的局部地形特征, 通常有格网

(GRID)、不规则三角网(TINs)、矢量(数字线划(DLGs))3 种形式^[2]。随着 RS 和 GIS 技术的发展, 尤其是高精度全球免费 DEM 数据的分发, 使得采用多种模型技术来分析流域各种水问题提供必要的空间信息。DEM 数据更是成为仿真模拟、地形分析和三维空间数据处理的核心数据^[3]。利用 DEM 提取数字河网及小流域, 只需结合研究区的地形状况, 利用 ArcMap 下 Arc Hydro Tools 扩展模块就可以得到相对准确的数字河网及对应的小流域范围, 大大缩短了数据获取的时间, 同时也大大降低了成本。

在前人研究的基础上, 以胶东半岛为研究区, 运用水文分析工具, 基于 2 种 DEM 数据源提取河网水系, 并通过河网精度分析, 确定与 1:25 万真实河网最为接近的数据源。同时, 初步分析了 11 条代表性河流的流域主要特征。

1 研究区概况

胶东半岛是指山东省胶莱河以东陆地区域, 北临渤海, 东靠黄海, 与辽东半岛和朝鲜半岛隔海相望。总面积 42 680 km², 包括青岛市、烟台市、威海市域全部以及潍坊市的一部分。淮河流域也纳入研

* 收稿日期: 2012-09-26; 修订日期: 2013-01-10; 编辑: 王秀元

基金项目: 国家自然科学基金项目(30800149)

作者简介: 付继强(1986—), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 研究方向土地利用与遥感监测; E-mail: 350540889@qq.com。

究区,以保证提取的胶莱河流域的完整性。胶东半岛遍布低缓丘陵,地势起伏和缓、谷宽坡缓的波状丘陵,丘陵的边缘是地表倾斜、海拔 40~70 m 的平原,延伸至坦荡的华北平原。山脉多近 NE 走向,中北部分布伟德山、昆崙山、牙山以及大泽山、罗山、艾山等,崂山主峰崂顶为半岛最高峰,海拔 1 133 m。

半岛水系多发源于中部山地,南北分流,独流入海,河床比降大,源短流急。河川径流洪枯期悬殊,汛期集中全年径流量的 70%~80%,流量过程线随降水变化而迅速涨落;洪水时南北沟通,枯水时南北分流。流域面积在 1 000 km² 以上的河流有胶莱河、大沽河、大沽夹河、母猪河、黄水河等。其中,胶莱河全长 130 km,总流域面积 3 978.6 km²,以平度市姚家为界分为南北两段,北至莱州湾为北胶莱河,南与大沽河汇流入胶州湾为南胶莱河。胶东半岛最长河流为大沽河,全长 179.9 km,流域面积 6 131.3 km²(含南胶莱河)。

2 研究方法

2.1 数据源及其处理

基于 SRTM(Shuttle Radar Topography Mis-

sion)和 ASTER GDEM(Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer) 2 种 DEM 数据源提取数字河网,并进行精度比对分析。SRTM 即航天飞机雷达地形测绘任务,是在德国和意大利航天机构的参与下,由美国国家航空航天局(NASA)和国家空间信息情报局(NGA)合作共同完成^[4]。其 DEM 数据覆盖率为全球的 80%,包括 SRTM1 和 SRTM3 两种,该文采用覆盖中国全境的空间分辨率为 90 m×90 m 的 SRTM3 数据。

ASTER GDEM 是美国航空航天局(NASA)和日本经济产业省(METI)于 2009 年 6 月 29 日联合发布的,是迄今为止最精确、最完整的地球陆地海拔地形图,覆盖了全世界陆地面积的 99%^[5],数据覆盖范围为北纬 83°至南纬 83°之间的所有陆地区域,垂直、水平数据分辨率分别为 20 m,30 m,可信度均达到 95%。

2 种数据源的具体对比如表 1 所示,可以看出 ASTER GDEM 数据在时间序列,分辨率、覆盖范围等均优于 SRTM 数据。

表 1 两种数据源基本参数

属性	数据 来源	生产 机构	数据 获取时间	水平 分辨率	覆盖范围	数据 缺失地区	大地 水准面
SRTM3	航天飞机	NASA/USGS	2000.2.11-2000.2.22	90	56°S~60°N	无	WGS84
ASTER GDEM	TERRA 卫星	METI/NASA	2009-现在	30	83°S~83°N	被云遮盖的地区	WGS84

从 CGIAR - CSI 的网站(<http://srtm.csi.cgiar.org/>)和美国的 LPAAC(<https://wist.echo.nasa.gov/~wist/api/imswelcome/>) 分别下载相应的 SRTM DEM90m 和 ASTER GDEM30m 的数据,数据格式均为 Geotiff。然后,将下载覆盖整个研究区域的 2 种 DEM 数据拼接处理后,按照行政边界裁剪出与研究区相吻合的 DEM 数据,并经过 Albers 投影将球面坐标的数据转化成平面坐标^[6]。

2.2 胶东半岛地区流域特征信息提取方法

该研究应用 Arc Hydro Tools 模块工具,采用漫流模型自动提取^[7]区域数字河网和河系特征,提取流程见图 1。与 Arctoolbox 下的 Hydrology 水文工具不同的是,Arc Hydro Tools 采用 burn in 算法^[8]可以预先将真实的河流线性水系以及水库、湖泊等面状水系嵌入到 DEM 中,从而提高数字河网的提取精度。

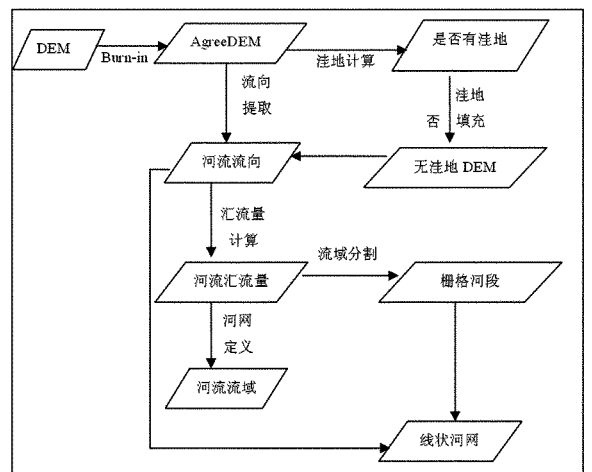


图 1 河网及流域的提取过程

将真实的主干河网嵌入到 DEM 中,一般需要设定 3 个关键参数即缓冲区大小(栅格数)、平滑距离、陡降距离^[9]。首先,根据设定的缓冲区大小生成河

网缓冲区;然后,按设定的陡降距离降低河道所在格网的高程值;最后,对缓冲区内格网高程按设定的平滑距离进行平滑^[10]。模块自动默认的这 3 个参数值分别为 5,10,100。在算法上同水文分析模块相同,都是基于 D8 算法和最小集水面积阈值的概念。

3 研究结果与讨论

3.1 提取出的数字水系与真实河网的对比

反复试验发现,集水面积阈值的设定与河网的密度有着直接的关系。在一定范围内,集水面积阈值越小,提取的数字河网就越密集。文中 SRTM 选取的集水面积阈值为 32.4 km² (4 000 个栅格), GDEM 选取的集水面积阈值为 31.5 km² (35 000 个栅格)。2 种数据源所提取的数字水系都能在一定程度上反映流域河网的基本特征,提取的河网水系密集度均高于 1:25 万水系。在中部平原地区,由于河流往往找不到流域的出口以及水流的具体流向,导致河网提取效果不是很理想。比较 2 种不同数据源的提取结果可以发现,基于 SRTM DEM 提取的河

网在平原地区的形状和分布优于 ASTER GDEM 数据提取结果,但在山地区稍逊于后者,这可能与 SRTM 数据获取时采用的雷达反射受地形影响,形成叠掩和阴影,易造成高山、峡谷地区、水域等地区产生数据空洞。

从 DEM 中提取出的数字河网与真实水系在 Arcmap 中对比叠合后,会出现一些细碎的多边形。计算这些多边形的总面积与该小流域面积的比值即河网套合差(表 2),可以比较提取出的河网水系与真实河网的吻合程度。当河网套合差小于 0.02 时,河网吻合度很好;当河网套合差小于 0.03 时,河网吻合程度一般;而大于 0.03 时,河网吻合度较差^[11]。计算结果表明,界河、黄水河、乳山河、黄垒河的河网吻合度较高,而胶莱河和大沽河的河网吻合程度较差。原因是胶莱河与大沽河流域地形较缓,平均坡度较小,且人类活动影响较大,使得河网提取结果可信度较差。其中,基于高分辨率的 GDEM 提取的河网效果不理想,会产生更多的伪河道。

表 2 DEM 提取的河网与 1:25 万真实水系的河网套合差比较

名称	潍河	胶莱河	大沽河	五龙河	界河	黄水河	大沽夹河	乳山河	黄垒河	母猪河	辛安河
SRTM	0.01	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
GDEM	0.03	0.13	0.15	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01

总之,虽然 ASTER GDEM 在水平分辨率、现实性、覆盖范围等方面均优于 SRTM DEM 数据,但是因为数据还是第一版,数据受云等影响而缺失造成的结果还处在试验和研究阶段,对其数据的地形表现与流域河网特征提取精确性等还有待改进。所以对于胶东半岛地区,采用 SRTM 提取河网及小流域更能真实反映该地区的真实状况。

3.2 提取出的流域面积与真实流域面积的对比

基于 SRTM 数据为数据源,利用 Arc Hydro Tools 工具将 1:25 万真实水系加载到 DEM 数据中进行流域范围提取。矢量化后得到潍河、胶莱河、大沽河、五龙河、界河、黄水河、大沽夹河、乳山河、黄垒河、母猪河、辛安河等 11 个胶东半岛主要河流的流域范围(图 2)。

统计每个流域的面积,并与真实流域面积进行对比,求出绝对误差和相对误差(表 3)。结果表明,潍河流域提取误差最小,其相对误差仅为 0.44%,流域面积高估了 28.8 km²;母猪河流域提取误差最

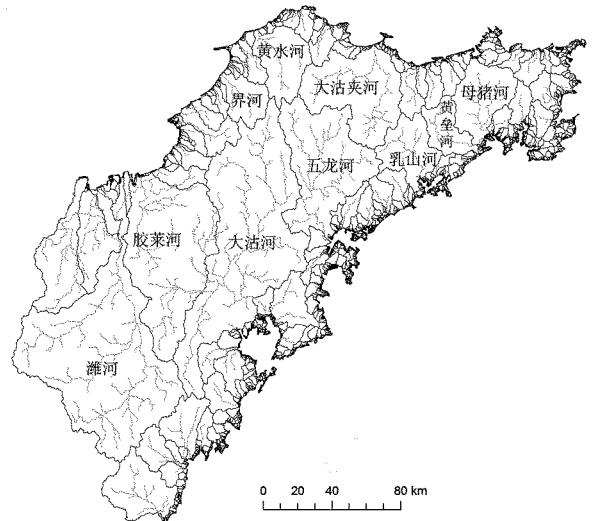


图 2 Arc Hydro Tools 工具自动提取的小流域

大,相对误差为 8.42%,低于 9% 的最大误差标准^[7]。可见,流域范围提取结果均在误差控制范围

内,可以开展下一步的水文水环境研究等相关工作。

表 3 自动提取的流域面积与实际测量的流域面积对比

名称	实际流域	自动提取的	绝对误差	相对误差
	面积/km ²	流域面积/km ²	/km ²	/%
潍河	6493.2	6522.0	28.8	0.44
胶莱河	3978.6	3949.2	-29.4	-0.74
界河	582.2	586.4	4.2	0.72
黄水河	1034.5	1033.1	-1.4	-0.14
大沽夹河	2296.0	2273.0	-23.0	-1.00
辛安河	313.8	294.5	-19.3	-6.15
乳山河	1015.8	977.0	-38.8	-3.82
黄垒河	652.0	626.4	-25.6	-3.93
母猪河	1260.4	1154.2	-106.2	-8.42
五龙河	2806.3	2821.1	14.8	0.53
大沽河	6131.3	6001.4	-129.9	-2.12

注:表中的胶莱河指的是北胶莱河,将南胶莱河并入大沽河流域中。

3.3 胶东半岛主要流域特征分析

从表 4 中可以看出,11 条主要河流流域中,流域面积最大是潍河,其次是大沽河,流域面积分别为 6 522 km²,6 001.4 km²,主河道长分别为 292.7 km,89.6 km;而坡降比高于后者,说明潍河流域的主河流地形起伏比大沽河流域的剧烈。就河网密度来说,辛安河的河网密度最大,达到了 18.4 km/km²,河网密度反映的是流域内单位面积上的河流长度,可以描述水系发育和河流的疏密程度,研究数据表明,河网密度随着流域面积的增大而减少^[12],可见辛安的流域面积最小,是造成河网密度最大的主要原因。坡降比因子能充分反映河流流经地区的起伏状况,坡降比越大,流域经过的地形起伏越大,从数据中可以看出,坡降比最大的是界河,坡降比值达到了 1:371。

表 4 胶东半岛典型流域主要特征对比

名称	流域面积/km ²	主河道长度/km	河网密度(×100) (km/km ²)	坡降比	入海口
潍河	6522	292.7	4.5	1:812	渤海,莱州湾
胶莱河	3949.2	126.4	3.2	1:2135	渤海,莱州湾
界河	586.4	55.2	9.4	1:371	渤海,龙口湾
黄水河	1033.1	82.9	8.0	1:30	渤海蓬龙北部海域
大沽夹河	2273	139.9	6.2	1:480	黄海,套子湾
辛安河	294.5	46.5	15.8	1:467	黄海,四十里湾
乳山河	977	63.3	6.5	1:559	黄海,乳山湾
黄垒河	626.4	79.6	12.7	1:605	黄海,五垒岛湾
母猪河	1154.2	84.7	7.3	1:812	黄海,五垒岛湾
五龙河	2821.1	186.7	6.6	1:509	黄海,丁字湾
大沽河	6001.4	289.6	4.8	1:967	黄海,胶州湾

在提取的 11 条河流中,潍河、胶莱河、界河、黄水河流入渤海莱州湾及其龙口、蓬莱北部海域,流域面积最大是潍河,最小的是界河;大沽夹河、辛安河

流入黄海的套子湾和四十里湾,流域面积分别为 2 296.0 km²,313.8 km²;大沽河、乳山河、黄垒河、母猪河、五龙河流入半岛南部黄海海域,流域面积占流域总面积的 27.8%。

4 结语

(1)SRTM 和 GDEM 两种数据源在水文分析模块下生成的河网与 1:25 万真实水系进行精度分析后发现:在平均坡度较小的地区如大沽河、胶莱河流域,基于 GDEM 河网提取效果不理想。在东部丘陵地区如大沽夹河、五龙河等流域由于地面起伏较大,河流能准确找到流域的出口以及水流的具体流向,所以提取的河网与真实水系相差不大。因此,对于胶东半岛地区而言,利用分辨率为 90 m×90 m 的 SRTM 是提取河网及流域范围的较好的选择。

(2)选取 SRTM DEM 数据源,采用 Arc Hydro Tools 工具嵌入主干河网,将 1:25 万真实水系嵌入到 DEM 中,所提取的胶东半岛 11 条主要河流的小流域能准确反映该地区的水文主要状况,并就这 11 条河流的特征进行了比较。

参考文献:

- [1] O'Callaghan J F, Mark D M. The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1984, 28(3): 323-344.
- [2] Puecker T K, Doughlas D H. Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1975, (4): 375-387.
- [3] 汤国安,龚建雅,陈正江,等. 数字高程模型地形描述精度量化模拟研究[J]. 测绘学报, 2001, 30(4): 361-365.
- [4] 黄硕. 水电规划中基于 ASTER GDEM 和 Arc Hydro 的地形提取及水文分析方法研究[D]. 昆明理工大学, 2011.
- [5] 马兰艳,周春平. 基于 SRTMDEM 和 ASTERGDEM 的辽河流域河网提取研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(5): 2692-2695.
- [6] 邱向红,王周龙,张明明,等. 基于决策树的蓬莱市土地覆盖信息提取[J]. 山东国土资源, 2009, 25(11): 52-56.
- [7] 孙静. 土地利用遥感动态监测技术方法介绍[J]. 山东国土资源, 2005, 21(4): 42-45.
- [8] Hellweger F. AGREE-DEM Surface Reconditioning System [DB/OL]. <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/ferdi/ferdi/research/agree>, 1996.
- [9] 张先启,赵贤良. 平邑县 DEM 模型的建立及其三维可视化[J]. 山东国土资源, 2007, 23(12): 12-15.
- [10] 唐从国,刘丛强. 基于 Arc Hydro Tools 的流域特征自动提

取——以贵州省内乌江流域为例[J]. 地球与环境, 2006, 34(3): 30-37.

西省典型实验区为例[J]. 科技创新导报, 2010, (21): 6-8.

[11] 詹蕾, 汤国安. SRTM DEM 提取河网的适用性研究——以陕

[12] 李慧敏, 张建军, 黄明, 等. 基于 DEM 的黄土高原典型流域特征参数分析[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(2): 90-95.

Extracton Comparision and Analysis on Characteristics of Drainage Basin in Jiaodong Peninsula Based on Different DEM Datas

FU Jiqiang^{1,2}, WANG Zhoulong¹, MA Jinwei¹, GUO Lingling³, WANG Meng⁴, SONG Qianru²

(1. Geography of Planning College of Ludong University, Shandong Yantai 264025, China; 2. Fushan Branch Bureau of Yantai Bureau of Land and Resources, Shandong Yantai 265500, China; 3. Yantai University, Shandong Yantai 264003, China; 4. Shandong Zhengyuan Digital City Construction Limited Company, Shandong Yantai 264002, China)

Abstract: Based on SRTM and ASTER GDEM data, setting Jiaodong Peninsula as the studying area, by using ArcHydro Tools Model and “burn-in” algorithm, river network and the range have been extracted. As showed by the result, the closeness of drainage network turned out to be sensitive to the threshold. For Jiaodong Peninsula, the SRTM data with resolution of 90m×90m was preferable to pick up river network and drainage basin, and the extraction results of 11 major rivers presented more reliable than the authentic drainage area.

Key words: DEM; Arc Hydro Tools; digital stream network; drainage characteristics; Jiaodong Peninsula