

Arc Hydro Tools 及多源 DEM 提取河网与精度分析 ——以洮儿河流域为例

曾红伟^{1,2}, 李丽娟^{1*}, 柳玉梅^{1,2}, 李 斌^{1,2}, 张永萱³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要: 本文简要分析了 HYDRO1K、SRTM3-2、ASTER GDEM 3 种数据源基本特征, 对数据的水平空间分辨率、现势性、覆盖范围、误差来源进行了比较; 阐述了 Arc Hydro Tools 提取数字河网、划分流域及子流域方法的关键步骤; 并以洮儿河流域为研究对象, 分析了有(无)河网辅助条件下, 3 种初始 DEM 在不同地貌类型中数字河网提取、流域及子流域划分的准确度。研究结果表明: (1) 无河网辅助条件下, 中山、低山-丘陵地区用三种 DEM 提取的数字河网与实际均比较吻合; 平原地区 HYDRO1K 提取的主河道与真实主河道相似性较高, 而 SRTM3-2、ASTER GDEM 均出现较大偏差, ASTER GDEM 偏差更大; 3 种 DEM 提取的流域边界与实际流域边界存在一定的偏差; (2) 有河网辅助的条件下, 经过河网与流域边界校正后, 3 种 DEM 在中山、低山-丘陵地区提取的数字河网, 以及平原地区提取的主河道与真实河网与主河道相似性很高, SRTM3-2、ASTER GDEM 提取的数字河网改善明显; 3 组 DEM 提取的流域边界与实际流域边界较为接近, 其中, HYDRO1K 提取的流域边界与实际边界基本吻合。

关键词: 多源 DEM; 河网辅助; 河网提取; 流域划分

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00022

1 引言

DEM 数据主要包括正方形格网(Grid)、不规则三角网(TIN)和等高线 3 种数据格式^[1], 其中 Grid 是流域水文模拟的普遍格式。汇水区域及其子区域的提取, 往往是水文分析与环境分析的第一步^[2], 也是为下一步建立分布式水文模型及非点源污染模型提供水文参数的主要手段^[3]。提升河网的精度可以帮助提高水文模型的精度^[4]。

D8 算法是河网提取的主要算法^[5], 但其假设产流、侵蚀在空间的一致性前提^[6], 以及用 8 个可能的方向代表水流方向的缺陷^[7], 导致其在微观尺度上不能很好地符合实际的地形^[8], 因此, 学者们在算法改良^[2,9-13], 利用复合信息辅助提取^[14-15], 流域汇水阈值的确定^[16]进行了大量研究。提取河网

及流域, 需要选择合适的数据源, 数据源质量和精度(分辨率)是需要考虑的二个重要因素^[17]。目前, 世界上可以免费下载的 DEM 包括 HYDRO1K、SRTM3-2、ASTER GDEM 3 种, 其水平分辨率分别为 1 000m、90m、30m。现在探讨 DEM 水平分辨率(从几米至上千米)对流域特征提取的影响论文较多^[18-20], 其通常是通过数字化大比例尺地形图得到高分辨率 DEM, 而后将高分辨率 DEM 重采样得到低分辨率的 DEM, 但是采样后的高程值不一定落到河道的最低点, 或者达到山脊的最高点, 这样会导致一些伪峰和伪谷^[15], 此外, 针对高分辨率 DEM 流域特征提取的研究区范围空间尺度较小。

HYDRO1K、SRTM3-2、ASTER GDEM 分辨率的差异, 并非由同种高分辨率 DEM 重采样而来,

收稿日期: 2010-04-20; **修回日期:** 2010-10-18.

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q06-1)。

作者简介: 曾红伟(1982-), 男, 湖南省衡阳市人, 博士研究生, 主要从事水文遥感与水文模拟研究。

E-mail: zenghw_09b@igsnrr.ac.cn

* **通讯作者:** 李丽娟(1961-), 女, 吉林省吉林市人, 博士, 研究员。主要从事土地利用变化的水文响应和流域生态需水。

E-mail: lilj@igsnrr.ac.cn

此外,生产机构、方式的差异隐藏了数据质量的差异,而目前关于数据质量对模型参数影响的研究较少,ASTER GDEM 是 2007 年 4 月公开发布的分辨率最高的 DEM,其在构建更微观分布式水文模型、非点源污染模型方面重要价值不言而喻。本文研究区域洮儿河流域是嫩江平原的重要组成部分,其土地盐碱化与污染问题日益严重,因此,急需加强这方面研究,为吉林省粮食增产 100 亿斤宏伟目标的实现提供参考。

鉴于以上的背景,以洮儿河流域为研究对象,以 HYDRO1K、SRTM、ASTER GDEM 为数据源,探讨三者之间河网提取、流域与子流域划分准确度的

的分析,具有重要的现实意义。

2 数据与方法

2.1 HYDRO1K、SRTM3-2 及 ASTER GDEM 数据与分析

HYDRO1K 是在 GTOPO30 的基础上生产的^[21],包含矢量和栅格数据的水文数据集,SRTM3 是雷达干涉技术的结晶,其经过数据修复校正后得到 SRTM3-2,ASTER GDEM 是目前可以在全球范围内能够免费下载到的水平空间分辨率最高的 DEM 数据,表 1 列举了 3 种数据的基本特征。

表 1 各数据源的基本参数
Tab. 1 Parameters of different data sources

属性	HYDRO1K	SRTM3-2	ASTER GDEM
数据来源	GTOPO30	航天飞机雷达	ASTER
生产机构	USGS	NASA/USGS	METI/NASA
数据获取时间	1996	2000. 2. 11-2000. 2. 22	2000-现在
水平分辨率(m)	1000	90	30
DEM 精度(stdev.)	30m	10m	7~14m
覆盖范围	全球(不包括南极洲、格陵兰岛部分地区)	56°S~60°N	83°S~83°N
数据缺失地区	无	无	被云遮盖的地区
大地水准面	WGS84/MSL	WGS84/EGM96	WGS84/EGM96

ASTER GDEM 是美国航天局(NASA)与日本经济产业省(METI)共同推出的最新的地球电子地形数据,该数据是根据 NASA 的新一代对地观测卫星 TERRA 的详尽观测结果制作完成的,每张数据表示的范围是一个经度和纬度的,每张 DEM 对应一张行、列号相同的质量控制图,图中记录了每个 DEM 栅格单元数据来源。相关组织和学者对数据的精度进行了研究,如陈俊勇^[22]对 GTOPO30、SRTM3-2 地形数据的精度进行了比较。3 种数据在水平精度、现势性、覆盖范围、数据误差来源等方面存在差异。

(1)水平分辨率:HYDRO1K DEM 的水平分辨率为 1000m,SRTM3-2 分辨率包含 30m(仅限美国本土)和 90m 两种尺度数据,ASTER GDEM 包含 15m(仅限日本本土)与 30m 两种数据。

(2)现势性:HYDRO1K 数据现势性依赖于 GTOPO30 数据,GTOPO30 数据于 1996 年对外提

供免费下载服务,由于地球地表状况一直在变化,导致其现势性较差;SRTM3-2 反映的是 2003 年 2 月 11 日至 2003 年 2 月 22 日全球 11 天的地表情况;从 2000 年发射至今,ASTER 还在源源不断的获取全球地表数据,不断地进行 DEM 数据更新,因此,ASTER GDEM 具有最强的现势性。

(3)覆盖范围:HYDRO1K 覆盖了除南极洲和格陵兰岛部分地区之外的全球所有地区;而受航天飞机飞行航线的制约,SRTM 只提供北纬 60°至南纬 56°的环带状区域内的数字地形数据;ASTER 测绘数据覆盖范围为 83°S~83°N 之间的所有陆地区域,包含了地球陆地 99%的表面。

(4)数据误差来源:GTOPO30 数据是 8 种不同矢量、栅格高程数据源综合制作而成,其误差不一,HYDRO1K 数据在 GTOPO30 数据基础上进行了河网校正及洼地填充;原始的 SRTM3 由于雷达成像的特征,受叠掩和阴影的影响,在水域、高山、峡

谷地区质量不好,产生了很多数据空洞,但 SRTM3-2 将信息缺损地区的高程用其他技术和数据源进行了修正补充;ASTER GDEM 立体相关的影像对来自于光学传感器成像,数据误差主要来自一些重复数据较少、有云遮挡、又没有替代数据的区域,会产生明显的异常值;由于堆叠效应,也会影响局部数据的精度;由于没有做内陆水域掩蔽,导致其不能提取水体分布信息^[23]。

2.2 Arc Hydro Tools 提取河网与流域划分方法

目前,流域河网提取及流域划分的方法和工具较多,如 ArcGIS 水文模块、Arc SWAT、TOPZA 分布式水文模型、River Tools、Arc Hydro Tools 等,各软件的优缺点已有大量研究^[3,19]。Arc Hydro Tools 是由美国环境系统研究所(ESRI)公司和美国德克萨斯州奥斯汀大学水资源研究中心(CRWR),基于 Geo Database 数据格式开发的水文数据模型^[24],其内嵌于 ArcGIS 软件中,并内置了丰富的流域特征辅助提取的方法,故本文采用该工具提取河网,划分流域、子流域。

与常规的 D8 算法河网提取、流域子流域划分方法类似,Arc Hydro Tools 提取河网分为 DEM 预处理、确认水流方向、生成汇流累积栅格图、自动提取河网,划分出流域、子流域 4 个大的步骤。DEM 河网提取常受到洼地、平地效应的影响,从而产生不连续的或平行的错误河网,Arc Hydro Tools 提供了以下方法进行改进^[3-4,25-26]。

(1)DEM 矢量河网输入校正(DEM Reconditioning):该方法用量测河网矢量数据修改 DEM,其采用 AGREE 算法修改初始 DEM,AGREE 算法基本原理如下:①根据矢量河流数据,降低与矢量线重叠的网格单元的高程值;②以矢量线为基准进行缓冲区分析,选出水系邻近区域;③对缓冲区中的每一个网格,找出离其最近的矢量线、缓冲区外的单元网格。而后根据这 3 个单元格之间的记录,使用线性插值的方法,为缓冲区单元各设定一个高程值;④降低矢量线所在网格单元的高程值。AGREE 算法要求输入的河网必须经过去除辫状河的处理,保证河网是树枝状的。否则 AGREE 算法可能会生成错误的河网。

(2)流域、子流域边界校正(Build Walls):在流域、子流域的边界已知的前提下,则可用已知的流域、子流域边界矢量数据校正 DEM,从而得到相似

程度较高的流域及子流域边界。具体步骤如下:①输入流域边界。边界外的 DEM 栅格单元不参与流向、汇流累计、河网提取计算;②输入子流域边界。子流域内的 DEM 栅格单元参与该子流域的各项计算;③输入矢量河网。矢量河网用来确定子流域出口在边界上的位置。

(3)湖泊水流方向校正(Adjust flow direction in lakes):当河流穿越湖泊时,由于平地效应,河流在湖泊中流动的方向难以判定,自动提取河网时,会产生错误的河道,如产生多次进出湖泊等不合乎逻辑的数字河道。

(4)辫状河流处理(Flow Direction with Streams):辫状河一般出现在较平坦的地方,DEM 往往无法足够详细地描述辫状河分岔处的高程变化。在使用河网对 DEM 进行预处理时,AGREE 算法缓冲区处理会导致河流分岔处的高程信息的部分丢失。该功能根据矢量辫状河的位置和流向更改对应位置的栅格的流向,以保证该栅格的流向保持和实际河流流向一致。

Arc Hydro Tools 以上校正步骤并不是必须的,而是一种辅助手段,其需要河流、流域及子流域边界,湖泊等矢量数据的辅助,但当研究区范围较小时,以上数据不易获取,此时可利用空间分辨率较高的遥感影像(如 TM 影像)进行适当波段组合,获取相应的河流、湖泊与边界矢量数据。

3 洮儿河流域河网提取及子流域的划分

洮儿河发源于内蒙古锡林郭勒盟乌珠穆沁旗的索岳尔济,位于内蒙古兴安盟境内与吉林省西北部,地势西北高东南低,是嫩江右岸的最大支流,流经内蒙古自治区兴安盟的科尔沁右翼前旗、洮南市、镇赉县,在大安市北部注入月亮泡,最终流入嫩江,全长 555 km。洮儿河流域,察尔森水库以上为上游地区,察尔森水库至洮南站为中游地区,洮南站以下为下游地区^[27-28]。流域下游河床摆动频繁,经常改道,微地貌变化复杂,导致流域边界难以区分,因此,洮儿河流域范围和边界(图 1)的划分存在一定争议。

为比较不同地貌单元,河流提取和流域划分的准确度,按 0~200m 为平原、200~800m 为低山—丘陵、800~3500m 为中山的划分标准,将洮儿河流

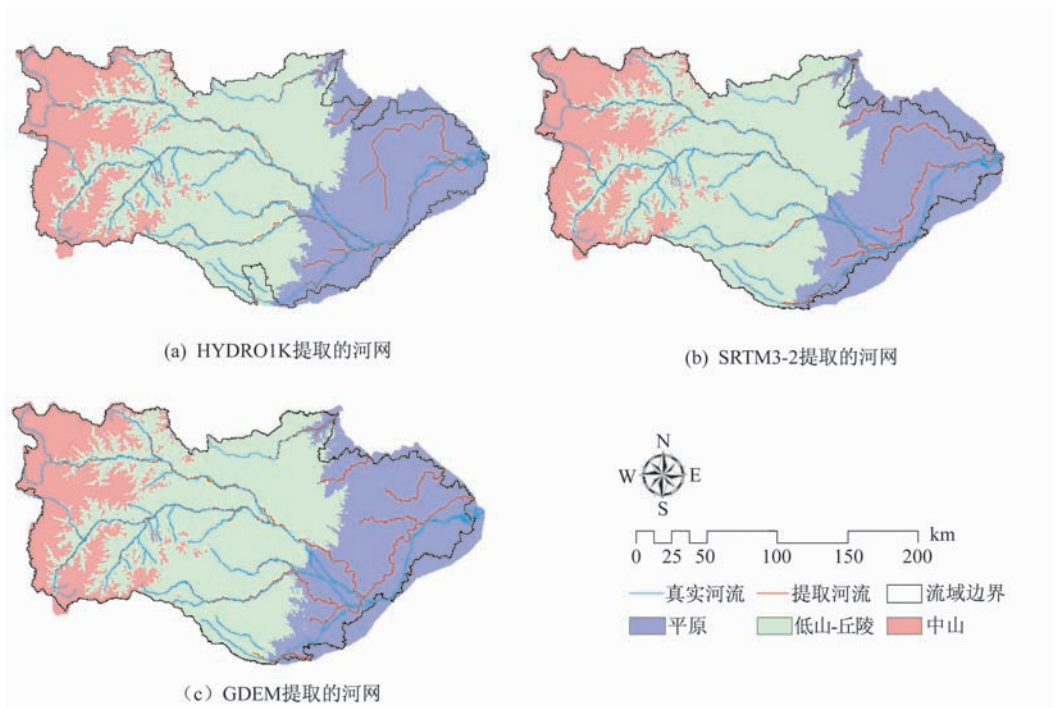


图 2 缺乏辅助信息下的河网提取结果

Fig. 2 Results of drainage network extraction without aid of real river networks

时间来看, HYDRO1K 耗费的时间最少, SRTM3-2 耗费的时间次之, ASTER GDEM 最长。总之, 在没有河网辅助提取的条件下, 对大尺度空间进行流域水文模拟, HYDRO1K 是最佳选择。

以上结果差异主要与数据本身和研究区基本特点相关。在数据特征上, HYDRO1K 数据集补充了原 GTOPO30 中的无资料网格, 并且在大部分区域进行了实际河网控制、洼地填充等校正和率定过程, 所以由 HYDRO1K 提取的河网与真实的河网最为匹配, 其河网提取的准确度比 SRTM3-2、ASTER GDEM 都要好。SRTM3-2 在 SRTM3-1 的基础上, 在数据空洞地区, 以已有的高精度 DEM 为数据源, 利用 Kriging 和反距离权重等插值技术优化的空洞填充算法对数据进行了修复, 所以, 数据也具有较高精度。ASTER GDEM 使用同一区域光学立体像对产生 DEM, 由于光学传感器不具备穿透云、雨、雾的能力, 所以, 光学遥感影像在天气复杂区域质量不高, ASTER GDEM 使用 SRTM3 V3、SRTM3-2、NED、CDED、Alaska DEM 等 DEM 对初始数据进行了初步校正, 但更精准的校验还需进一步研究。因此, 数据源反映真实河流的程度直接影响提取结果。研究区下游地区地势地平, 人类活动强烈, 是主要的粮食产区, 其也给河网提取增加了难度。在时间效率上, 使用 DEM 进行数字河网

提取时, 所耗费的时间与 DEM 水平精度直接相关, 水平精度越高, 数据量就越大, 耗费的时间越多。HYDRO1K、STRM 3-2、ASTER GDEM 水平精度分别为 1000m、90m、30m, 数据量分别为 162.23 KB、36.96 MB、305.68 MB, 所以 HYDRO1K 消耗的时间最少, ASTER GDEM 耗用的时间最多。

综上分析可知, 在缺乏河网辅助的条件下, 当流域空间尺度比较大, 流域地貌比较复杂时, 采用 HYDRO1K 提取数据河网较为适宜, SRTM3-2 与 ASTER GDEM 在平原地区效果不好。

3.2 辅助信息下的河网提取划分与结果分析

利用复合信息是克服 D8 算法假设前提: 8 固定方向缺陷的有效方法, 因此, 有必要探讨真实河网辅助下的提取效果。在流域内真实河流辅助下, 以 Arc Hydro Tools 为提取工具, 提取的过程在缺乏河网辅助的基础上, 增加以下步骤。

(1) 河网校正: 采用 DEM Reconditioning 命令, 设定参数值 stream buffer = 5, smooth drop/raise(DEM Z - unit) = 10, sharp drop raise(DEM Z - unit) = 1000, 得到 AgreeDEM;

(2) 流域边界校正: 采用 Build Walls 命令, 设置参数 DEM = AgreeDEM, Outer Wall Polygon = 真实边界, Inner Wall Polygon = Null, Breach Line

=真实河流, Inner Wall Height=500, 其它参数默认为 0, 生成 WalledDEM;

(3) 划分流域与子流域: 利用 Adjoin Catchment Processing 命令生成 AdjointCatchment, 采用 Batch Watershed Delineation 批处理方法, 以水文

站点为流域控制断面, 设置捕捉容限 SnapOn=1, 划分各流域, 采用 Batch Subwatershed Delineation, 同样以水文站点为子流域出口, 划分各子流域。

通过以上步骤得到流域河网(图 3)、子流域(图 4)、流域面积(表 3)。

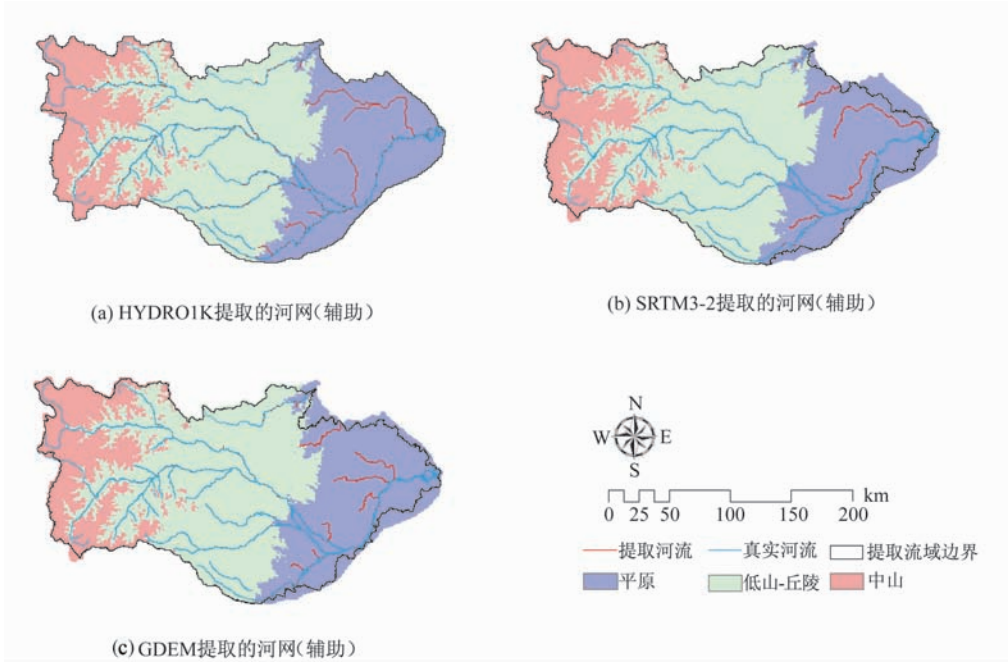


图 3 辅助信息下的河网提取

Fig. 3 Results of drainage network extraction by aid of real river networks

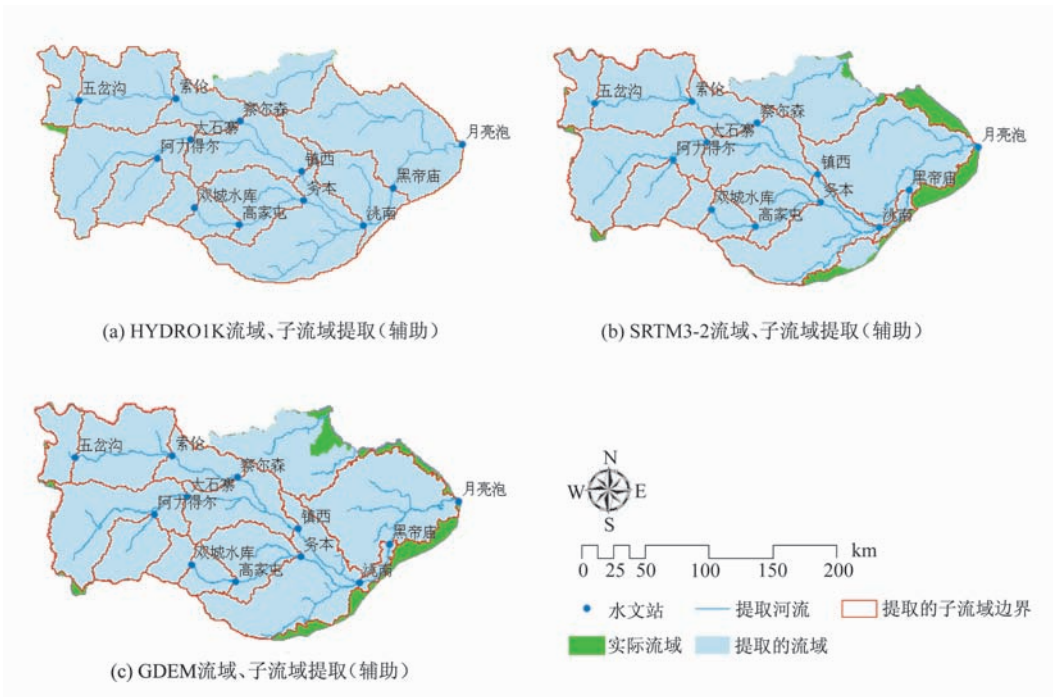


图 4 辅助信息下提取的流域与子流域

Fig. 4 Basin and sub-basins by aid of real river networks

表 3 辅助信息下提取子流域面积与实际量测面积对比

Tab. 3 Comparison between extraction areas and surveyed areas by aid of real river networks

控制站	量测流域面积 (km ²)	HYDRO1K	HYDRO1K	SRTM3-2	SRTM3-2	GDEM	GDEM
		提取流域面积 (km ²)	相对误差 (%)	提取流域面积 (km ²)	相对误差 (%)	提取流域面积 (km ²)	相对误差 (%)
五岔沟	1610	1503	6.65	1504	6.61	1503	6.66
索伦	5893	5614	4.73	5591	5.13	5583	5.25
察尔森	7827	7552	3.51	7503	4.14	7503	4.14
镇西	18462	18305	0.85	17813	3.52	17794	3.62
阿力得尔	2106	2110	0.19	2074	1.51	2071	1.68
大石寨	7656	7169	6.36	7069	7.66	7047	7.95
双城水	924	931	0.76	907	1.85	905	2.08
高家屯	1969	2006	1.88	1968	0.05	1967	0.12
务本	4640	4677	0.80	4632	0.17	4626	0.30
洮南	27200	28666	5.39	26977	0.82	28481	4.71

注:水文年鉴中无黑地庙、月亮泡实测面积,故没有比较

表 4 辅助信息下河网提取精度、时间评价

Tab. 4 Estimation on extraction of drainage networks and time length by aid of real river networks

名称	HYDRO1K	SRTM3-2	ASTER GDEM
中山(800~3500m)	一致	一致	一致
低山-丘陵(200~800m)	一致	一致	一致
平原(<200m)	主河道一致	主干道一致	主干道一致
所耗时间	少	中等	多

从提取的效果、消耗的时间及各水文控制站实际控制流域面积与测量控制面积相对误差 3 个方面对总体效果进行评价。数字河流提取的相似性及消耗的时间见表 4。

在河网辅助下,3 种 DEM 提取的数字河网在中山、低山-丘陵地区与实际河网相似程度高,在平原地区尽管提取的河网与真实河网还是存在一定差异,但是提取的主河道与真实的主河道相似,各水文控制站都落在相应的河流上。与无河网辅助相比较,HYDRO1K 提取的数字河网准确度提高不明显,而 SRTM3-2、ASTER GDEM 提取结果得到很大改善。从提取的流域边界来看,经过流域边界校正后,3 种 DEM 提取的流域边界均得到一定程度改善,尤其是 HYDRO1K 提取的流域边界与真实流域边界基本吻合。从时间效率来说, HYDRO1K 所消耗的时间最少, SRTM3-2 次之, ASTER GDEM 最多。

在采用矢量河网对数据进行校正后,3 种 DEM 基于 Arc Hydro Tools 提取方法,提取的河网与真实的河网相似程度较高, SRTM3-2、ASTER GDEM 与没有进行河网校正相比,尽管还是产生一些多余的河流,但是总体效果得到很大改善,这说明 SRTM3-2、ASTER GDEM 在进行河网校正后,可以很好地提取河流水系,此外,与 HYDRO1K 相比,具有较高水平空间分辨率的 SRTM3-2、ASTER GDEM 其提取的河流水系比较光滑,河流细节信息更加充分,当流域空间尺度较小时,如几十平方千米,ASTER GDEM 在流域特征提取上的优势将更加明显。

判断 DEM 提取河网与子流域是否合乎实际情况,还需要判断流域中各个水文站控制的流域面积与量测面积之间的相对误差,相对误差越小,准确率越高。

对由各个水文控制站点控制下提取的流域面积与测量面积进行相对误差分析,校正后,3 组 DEM 提取的流域面积与量测流域面积比较接近,最大误差不超过 8%(唐从国等使用 SRTM3-2 在清水江提取的子流域面积最大误差不超过 9%^[26]),准确度较高(图 5)。由此可知(1)HYDRO1K、SRTM3-2、GDEM 经过河网与流域边界校正后,均可较好地提取数字河网与划分流域、子流域边界;(2) HYDRO1K、SRTM3-2、GDEM 水平分辨率分别为 1000m、90m、30m,差异较大,而提取的流域相对误

差差异较小,这说明栅格尺寸对流域面积的影响较小,这与吴险峰^[19]等在栅格 DEM 的水平分辨率对流域特征的影响分析的研究结果相似。

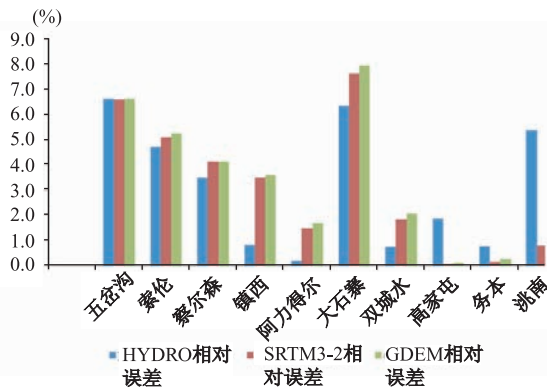


图 5 各 DEM 流域相对误差图

Fig. 5 Relative errors of sub-catchments from different DEMs

4 结论

本研究以 HYDRO1K、SRTM3-2、ASTER GDEM 和流域水系、水文站点、流域边界数据为数据源,运用 Arc Hydro Tools 工具对 3 种 DEM 数据在洮儿河流域进行了无河网辅助、有河网辅助下的河流提取及流域与子流域的划分,结果表明:

(1)在缺乏河流水系辅助条件下,HYDRO1K、SRTM3-2、ASTER GDEM 3 种类型的 DEM 在中山、低山-丘陵地区提取结果较好,在平原地区 HYDRO1K 提取的主河道较吻合,SRTM3-2 提取结果较差、ASTER GDEM 提取结果最差。因此,在没有河网辅助下,HYDRO1K 数据是进行河网提取的较好选择。

(2)在河流水系辅助条件下,经过河网与流域边界校正后,HYDRO1K、SRTM3-2、ASTER GDEM 提取的水系与真实河网相似,提取的子流域面积在整体上与量测面积相差不大。3 种 DEM 之间,HYDRO1K 提取的数字流域界线与实际流域界线最为吻合。这说明在河网辅助下,使用 HYDRO1K、SRTM3-2、ASTER GDEM 得到的数字水文数据可直接作为水文模型参数,可大大提高水文模型的效率,降低数据的获取成本。

(3) SRTM3-2、ASTER GDEM,尤其是 ASTER GDEM 作为当今 DEM 数据精度好、分辨率高、现势性强的数字地形数据,其在水文模拟分析

和非点源污染模型方面将有着广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 朱庆,李志林. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000,29-34.
- [2] 朱庆,田一翔,等. 从规则格网 DEM 自动提取汇水区域及其子区域的方法[J]. 测绘学报,2004,33(1):129-133.
- [3] 唐从国,刘丛强. 基于 ArcHydroTools 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.
- [4] 林时君. 干旱区地表-地下水资源综合数据库的开发研究——以香日德-柴达木河为例[D]. 中国科学院地理科学与资源研究所,2009,43-48.
- [5] 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.
- [6] Martz L W, Garbrecht J. Numerical Definition of Drainage Network and Subcatchment Areas from Digital Elevation Models[J]. Computers & Geosciences, 1992, 18(6):747-761.
- [7] Turcotte R, Fortin J P, Rousseau A N. Determination of the Drainage Structure of a Watershed Using a Digital Elevation Model and a Digital River and Lake Network [J]. Journal of Hydrology, 2001,240(3):225-242.
- [8] Tribe A. Automated Recognition of Valley Lines and Drainage Networks from Grid Digital Elevation Models: A Review and a New Method[J]. Journal of Hydrology, 1992, 139(1):263-293.
- [9] Garbrecht J, Martz L W. The Assignment of Drainage Direction over Flat Surfaces in Raster Digital Elevation Models[J]. Journal of Hydrology, 1997, 193(1), 204-213.
- [10] Grubich M, David O. How to Divide a Catchment to Conquer Its Parallel Processing: An Efficient Algorithm for the Partitioning of Water Catchments[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2001, 33(6):723-731.
- [11] 朱庆,赵杰,钟正,等. 基于规则格网 DEM 的地形特征提取算法[J]. 测绘学报,2004,33(1):77-82.
- [12] 叶爱中,夏军,王纲胜,等. 基于数字高程模型的河网提取及子流域生成[J]. 水利学报,2005,36(5):531-537.
- [13] 于森,任立良. 基于 DEM 模型的新型填洼算法[J]. 地球信息科学学报,2009,11(1):50-55.
- [14] 李丽,郝振纯,王家虎. 复合信息提取流域特征及其应

- 用. 夏军. 水问题的复杂性与不确定性研究与进展[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004, 196 - 205.
- [15] 余钟波. 流域分布式水文学原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008, 33 - 36.
- [16] 孔凡哲, 李莉莉. 利用 DEM 提取河网时集水面积阈值的确定[J]. 水电能源科学, 2005, 23(4): 65 - 68.
- [17] 吕爱峰, 等. 基于 DEM 的流域水系分维估算方法探讨[J]. 干旱区地理, 2002, 25(4): 315 - 320.
- [18] Valeo C, Moin S M A. Grid-resolution Effects on a Model for Integrating Urban and Rural Areas[J]. Hydrological Processes, 2000, 14(14): 2505 - 2525.
- [19] 吴险峰, 刘昌明, 王中根. 栅格 DEM 的水平分辨率对流域特征的影响分析[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 148 - 154.
- [20] 易卫华, 张建明, 匡永生, 等. 水平分辨率对 DEM 流域特征提取的影响[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(2): 35 - 38.
- [21] Earth Resources Observation and Science, USGS. HYDRO1K Elevation Derivative Database home page. 1997. <http://eros.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/hydro/>
- [22] 陈俊勇. 对 SRTM3 和 GTOPO30 地形数据质量的评估[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(11): 941 - 944.
- [23] 中国科学院计算机网络信息中心科学数据中心. 迄今最完整的全球地形数据—ASTER DEM.
- [24] 朱思蓉, 吴华意. Arc Hydro 水文数据模型[J]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(5): 87 - 90.
- [25] Djokic D. Comprehensive Terrain Preprocessing Using Arc Hydro Tools[M]. ESRI, 2008, 4 - 61.
- [26] 唐从国, 刘丛强. 基于 SRTM DEM 数据的清水江流域地表水文模拟[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2009, 28(4): 652 - 655.
- [27] 姜德娟, 李丽娟, 侯西勇, 等. 洮儿河流域中上游水循环要素变化及成因[J]. 地理研究, 2009, 28, (1). 55 - 64.
- [28] 梁丽乔. 洮儿河流域蒸散发时空格局及其演变机制研究[D]. 中国科学院地理科学与资源研究所, 2008, 27 - 28.

Accuracy Analysis of Multisource DEMs on Extracted River Networks and Drainage Basin by Arc Hydro Tools: A Case Study of Taoerhe River Basin

ZENG Hongwei^{1, 2}, LI Lijuan¹, LIU Yumei^{1, 2}, LI Bin^{1, 2}, ZHANG Yongxuan³

(1. *Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: To extract digital rivers, catchments and sub-catchments from DEM is a fundamental problem in hydrologic analysis, simulation and non-point source (NPS) pollution management. The method and the accuracy of extraction from different DEMs were introduced. This paper mainly includes three parts. Firstly, the fundamental characteristics of HYDRO1K, SRTM3-2 and ASTER GDEM were analyzed, and the differences of spatial resolution levels, trends, coverage area and errors of the three data sources were compared. Secondly, the key steps of extracting digital drainage networks and catchments and sub-catchments boundary from DEM by using Arc Hydro Tools were discussed, which includes DEM Reconditioning, Build Walls, Adjust Flow Direction in Lakes and Flow Direction with Streams. Thirdly, Taoerhe drainage was chosen to be the study area, and the classified accuracy of drainage network extraction, catchment and sub-catchments delineation from multisource DEMs at different landscapes' types with or without the river vector data has been studied. Results showed that: (1) Without aid of river vector data, digital drainage networks of medium mountains and low mountains-hills, which extracted by three types of DEM mentioned above, were consistent with the real river networks. Furthermore, the main channels extracted by HYDRO1K were similar with the real main channels, while there were great deviation between the real main channels and the main channels extracted by SRTM3-2 and ASTER GDEM, especially by ASTER GDEM. There were a little difference between the real drainage boundary and the boundary

extracted by HYDRO1K, SRTM3-2 and GDEM. Therefore, it could be a good choice of extracting hydrographic patterns from HYDRO1K without aid of river vector data. (2) By aid of real river networks, digital drainage networks of medium mountains and low mountains-hills, extracted by three types of DEM, were consistent with the real river network, the same to the main channels, especially digital drainage networks extracting from SRTM3-2 and ASTER GDEM have got great improvement. The drainage boundary extracted by HYDRO1K, SRTM3-2 and GDEM conformed to real drainage boundary, especially HYDRO1K has got a good result.

Key words: multisource DEMs; aid of river network; river network extraction; catchment delineation