



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2016.02.014

黄平, 张行南, 徐涛, 等. 常用免费 DEM 数据质量分析[J]. 2016, 14(2): 75-81.

HUANG Ping, ZHANG Xing nan, XU Tao, et al. Analysis of the suitability of commonly used DEM data [J]. 2016, 14(2): 75-81. (in Chinese)

## 常用免费 DEM 数据质量分析

黄平<sup>1</sup>, 张行南<sup>1,2,3</sup>, 徐涛<sup>4</sup>, 郭乐<sup>4</sup>, 王祥<sup>4</sup>

(1. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 2. 国家水安全与水科学协同创新中心, 南京 210098; 3. 河海大学 水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 南京 210098; 4. 三峡水利枢纽梯级调度通信中心, 湖北 宜昌 443133)

**摘要:** 以常用 HydroSHEDS void filled DEM、SRTM、ASTER GDEM 等五种 DEM 数据为研究对象, 针对不同流域下垫面地貌形态, 采用不同的地貌特征分析方法以及将流域真实水系和模拟河网对比分析等方法, 研究了多源 DEM 数据的质量问题。研究发现 ASTER GDEM 数据主要问题是噪声大, HydroSHEDS void filled DEM 和 SRTM 数据的主要问题是存在模糊, 噪声、模糊均会降低数据的精度和提取的模拟河网的精度, 但从整体上来看, 三种 DEM 数据提取的模拟河网的质量相当。

**关键词:** 多源 DEM; 模拟河网; 水平分辨率; 地貌分类; 噪声; 模糊

**中图分类号:** P231 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)02-0075-07

### Analysis of the suitability of commonly used DEM data

HUANG Ping<sup>1</sup>, ZHANG Xing nan<sup>1,2,3</sup>, XU Tao<sup>4</sup>, GUO Le<sup>4</sup>, WANG Xiang<sup>4</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. National Cooperative Innovation Center for Water Safety & Hydro Science, Nanjing 210098, China;

3. National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4. Three Gorges Water Conservancy Complex Cascade Dispatch & Communication Center, Yi chang, Hubei 443133, China)

**Abstract:** This paper selected five different sources of DEM data: HydroSHEDS void filled DEM, SRTM and ASTER GDEM and so on to analyze the quality of different DEM data under different geomorphologic shapes by choosing different geomorphological characteristics analysis methods and comparing the simulated drainage networks with the real drainage networks. The results showed that the main problems of ASTER GDEM DEM data was data noise and of the other two DEM data both had some fuzzy data. These data quality issues would all affect the accuracy of the data and the river network extracted from them. In general, the accuracy of these digital drainage networks extracted from the three DEM data all had high precision.

**Key words:** different sources of DEM data; simulated drainage network; horizontal resolution; geomorphological classification; noise; fuzzy

DEM 数据是进行流域地貌分析时的数据源, 可由此推求出流域坡度、坡向、流域分水岭等地形特征值, 是流域坡面水文过程分析研究的基础。一个高

质量的 DEM 产品必须具备准确性和完整性, 准确性就是指 DEM 数据的精度要高, 完整性是指 DEM 数据覆盖的面要广。DEM 数据的精度会直接影响

收稿日期: 2015-06-01 修回日期: 2015-10-12 网络出版时间: 2016-04-14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1501.027.html>

基金项目: 水利部公益性行业科研专项项目(201401034); 国家自然科学基金重点项目(41030636; 51420105014)

Fund: Non-profit Industry Financial Program of MWR(201401034); National Natural Science Foundation of China(41030636; 51420105014)

作者简介: 黄平(1990), 女, 湖北宜昌人, 主要从事水文预报方面工作。E-mail: huangping0715@yahoo.com

通讯作者: 张行南(1960), 男, 江苏张家港人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文学与水资源方面研究。E-mail: zxn@hhu.edu.cn

到对流域地形的描述和流域地形特征值的定量计算。正方形网格形式的 DEM 是最常用的数据形式,其精度包括空间分辨率和网格点高程精度,空间分辨率即为网格的大小。DEM 数据高程精度直接影响到平原河网模拟河网的生成,水平分辨率不仅影响数字河网水系提取的结果,而且直接关系到水文模型计算单元的空间尺度<sup>[1]</sup>。国内很多水文学者从水文的角对 DEM 数据源的精度问题进行了研究<sup>[2-5]</sup>。不同的 DEM 数据,其提取的模拟河网与真实水系的匹配程度不同,这不仅与数据本身的分辨率和精度有关,还与 DEM 数据的分析方法有关;对于同一 DEM 数据源,不同地貌形态条件下,基于 DEM 数据提取的流域特征值的精度也不同。本文

在 GIS 平台上,从流域坡面水文过程分析的角度,在具有不同地貌形态的研究区,对比分析不同 DEM 数据源原始数据的精度和及其生成的流域流水网的精度。

## 1 数据源与研究区域

目前可免费获取的 DEM 数据有 GTOPO30、SRTM3、ASTER GDEM、HYDRO1K 和 HydroSHEDS(表 1)。HYDRO1K 是在 USGS 最近发布的 GTOPO30 的数据上再处理得到的产品,HydroSHEDS 数据是在 3 弧秒精度的 SRTM 高程数据基础上,采用现有的数据改进方法和新研究的改进算法得到的产品,这些数据均为网格形数据。

表 1 常用 DEM 数据基本信息

Tab. 1 Basic information of commonly used DEM data

项目	GTOPO3	SRTM	ASTER GDEM	HYDRO1K	HydroSHEDS
数据源	全世界拥有 DEM 数据的组织	航空飞机雷达	ASTER	GTOPO30	SRTM
开发机构	USGS	NASA/USGS	METI/NASA	USGS/EROS	WWF, USGS, CIAT, TNC, CESR
发布时间	1996 年	2003 年	2009 年		
获取时间		2000 年 11 天	2000 年来不间断		
空间分辨率	1 000 m	90 m	30 m		
垂直精度	30 m	16 m	20 m	同 GTOPO30	同 SRTM
数据范围	全球	60°N~56°S	83°N~83°S		
数据缺失地区	无	覆盖地球 80% 以上的陆地表面	覆盖地球 99% 以上的陆地表面		

由于 GTOPO3 和 HYDRO1K 数据空间分辨率低,相对来说推求的流域流水网和模拟河网比较“粗糙”,推求出的流域分水岭和河网等常常出现较大的误差,难于满足流域水文模型的要求。因此,本文主要以 SRTM、HydroSHEDS 和 ASTER GDEM 三种 DEM 数据为分析研究对象。就上述三种 DEM 数据而言,从数据的完整性上来看,ASTER GDEM 的完整性最好,覆盖 99% 以上的陆地表面。从水平分辨率上来考虑,ASTER GDEM 数据的水平分辨率最高,但是 SRTM、HydroSHEDS 数据的垂直精度比 ASTER GDEM 数据的精度高(见表 1),而且刘学军等研究发现,高水平分辨率的 DEM 并不一定产生高质量的坡度、坡向结果,只有在 DEM 数据比较准确(垂直精度比较高)时才可以<sup>[6]</sup>。因此,不能机械地从水平分辨率和垂向高程精度上判别 DEM 数据的质量,还需仔细分析研究由它们推求出的流域地形特征值。本文选取了各种具有代表性的研究区,从 DEM 数据本身和由其推求出的流域地形特征值,来对比分析上述三种 DEM 数据的质量。

国地貌基本形态类型分为平原、台地、丘陵和山地;山地按海拔和起伏度进一步划分为小起伏山地、中起伏山地、大起伏山地和极大起伏山地。在 1:400 万全国地貌数据库<sup>[8]</sup>的基础上,按《中国 1:1000000 地貌图制图规范》的要求进行新的地貌基本分类制图,可获得地形分布图。根据地貌图本文选取平原、台地、丘陵、小起伏山地、中起伏山地、大起伏山地和极大起伏山地研究区各 2 个研究区,共 14 个研究区。平原研究区 1 位于淮河流域,平原研究区域 2 位于海河南系流域;台地研究区 1 位于嫩江流域,台地研究区 2 位于泾河流域;丘陵研究区域 1 位于嘉陵江与涪江交界处,丘陵研究区域 2 位于黄河流域河口镇至龙门区间;小起伏研究区 1 位于嘉陵江流域,小起伏研究区 2 位于嫩江流域;中起伏研究区 1 位于黑龙江干流,中起伏研究区域 2 位于长江流域;大起伏研究区 1 位于嘉陵江流域,大起伏研究区 2 位于大渡河流域;极大起伏研究区 1 位于藏南诸河流域和雅鲁藏布江流域交界处,极大起伏研究区 2 位于雅鲁藏布江流域。选择的标准为研究区域内地貌类型单一且研究区域足够大。研究区域

根据《中国 1:1000000 地貌图制图规范》<sup>[7]</sup>,我

主要分布在湿润与半湿润地区。

## 2 DEM 原始数据精度分析

将DEM格点的高程赋予不同的颜色,可以得到具有立体感的分色图(图1)。图中颜色较深的网格点表示高程较低的沟壑和河道网络,颜色较浅的为高程较高的山坡网格。分色图越清晰,说明数据精度越高。本文采用数据的模糊和噪声作为直接评判数据质量的一个依据。所谓数据模糊是分色图所反映出来的一种视觉上的表象,就像在原始数据上蒙上一层雾,使得影像图模糊不清(图4)。所谓噪声的直观表现就是在原本颜色过度应该比较平滑的分色图上出现明显异于周围影像颜色的噪点,在DEM栅格图上的表现就是随机分布的白色的栅格点(图7)。

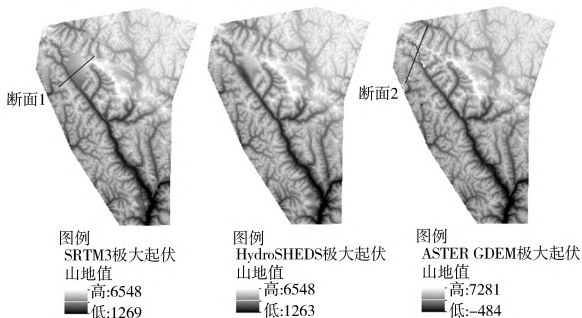


图1 极大起伏山地研究区1 DEM

Fig. 1 The DEM of study area 1 of great undulating mountain

本文首先对上述三种DEM的原始数据质量进行对比分析。在所有研究区内:极大起伏研究区1的SRTM数据和HydroSHEDS void-filled DEM以及极大起伏研究区2的HydroSHEDS void-filled DEM均存在数据模糊,极大起伏研究区1和2、台地研究区1以及平原研究区2的ASTER GDEM数据均存在噪声,这些原始数据的质量问题是随机分布的,不仅仅只出现在12个研究区内,在其它非研究区内也存在这些质量问题,这与测量仪器误差、信息提取误差等等误差的随机性均有关。由于极大起伏研究区1的DEM数据既存在数据噪声又存在数据模糊,现以其为典型的研究区对噪声和模糊的质量问题进行详细说明。

极大起伏山地研究区1位于藏南诸河流域和雅鲁藏布江流域交界处,起伏高度在2500 m以上。HydroSHEDS void-filled DEM和SRTM数据均有一部分区域呈现模糊状态(见图2),HydroSHEDS void-filled DEM数据的模糊程度比原始SRTM数据大,这是因为HydroSHEDS void-filled DEM是在SRTM数据的基础上,采用现有的数据改进方法

和新研究的改进算法得到的产品,数据在进行再处理时会产生新的误差。现在数据模糊处选择一个断面(见图1断面1)进一步分析数据模糊的影响,与该断面处不存数据模糊质量问题的ASTER GDEM数据相比,HydroSHEDS void-filled DEM和SRTM所反映的地形过于平滑(见图2)。提取数据模糊处坡度数据并进行分级统计得到图3,分析图3可以发现:存在数据模糊质量问题的HydroSHEDS void-filled DEM和SRTM数据提取得到的坡度值主要分布在 $0^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ,而不存在模糊质量问题的ASTER GDEM数据提取得到的坡度值主要分布在 $0^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ,数据模糊会使得通过该数据提取的坡度值小于流域真实的坡度,如果采用存在模糊质量问题的数据提取的特征值进行水文模型建模,会得到错误的模拟结果。利用三种DEM数据提取研究区模拟河网,对比分析发现在数据模糊范围内,HydroSHEDS void-filled DEM和SRTM数据得到的模拟河网明显和真实水系不吻合,严重偏离真实水系,这说明数据模糊质量问题会严重影响数据提取的真实水系的精度。

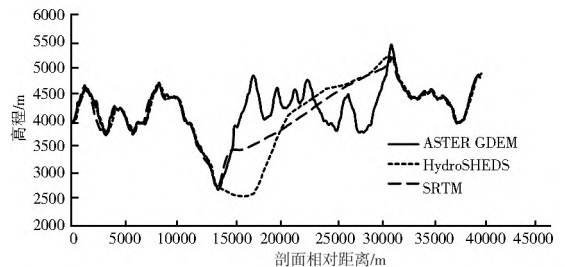


图2 断面1 DEM 剖面

Fig. 2 The profile of DEM of section 1

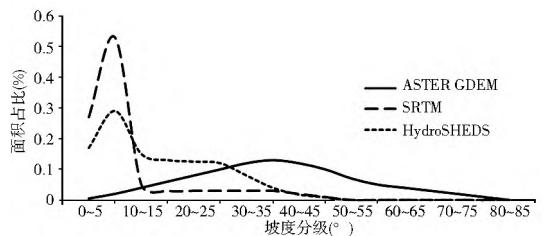


图3 坡度分级

Fig. 3 The classification diagram of slope

极大起伏山地研究区1的ASTER GDEM数据出现尖锐性噪声,在噪声聚集处选择一个断面(图1断面2)进行进一步分析。在断面处生成高程剖面图(见图5)可以发现噪声集中处高程值突变非常大,甚至超过整个研究区的起伏度。提取噪声聚集处坡度数据并进行分级统计得到图6,分析图6可以发现:ASTER GDEM数据提取的大坡度(大于 $60^{\circ}$ )的坡度值占比HydroSHEDS void-filled DEM和SRTM数据提取得到的坡度值占比大,这说明噪

声使得该地区大坡度坡面面积增加, 提的坡度值会大于流域真实坡度。利用三种 DEM 数据提取研究区模拟河网(见图 7), 对比分析发现在噪声聚集处, ASTER GDEM 数据生成的模拟水系与真实水系比较吻合, 只有在噪声正好位于真实河道处时, 模拟水系偏离真实水系, 这说明数据噪声对基于其生成的模拟河网的影响与其密度和所处的位置有关, 这是因为模拟水系在生成的过程中对 DEM 进行了填洼, 填洼会移除数据中的小缺陷, 只要噪点不位于真实河道上, 对模拟水系的影响就比较小。

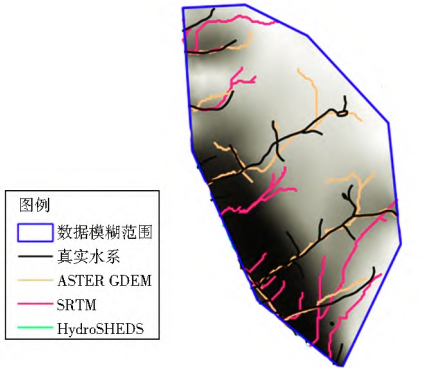


图 4 数据模糊区域模拟河网与真实水系对比

Fig. 4 Comparison diagram between simulated drainage networks and real drainage networks in fuzzy area

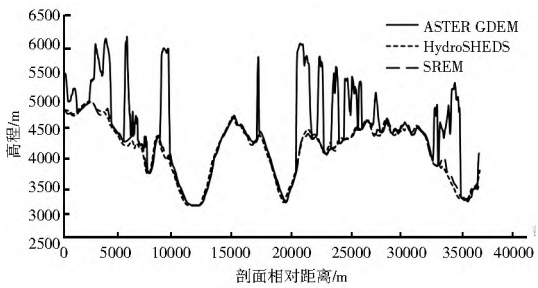


图 5 断面 2 DEM 剖面

Fig. 5 The profile of DEM of section 2

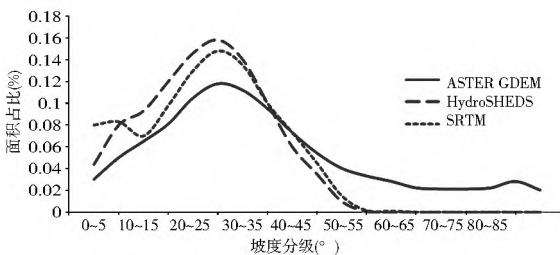


图 6 坡度分级

Fig. 6 The classification diagram of slope

在所有研究的 14 个研究区中, 四分之一研究区的 ASTER GDEM 数据均存在明显噪声, 其中平原研究区 2 和台地研究区 1 整个研究范围内全部覆盖噪声, 这是因为 ASTER GDEM 使用的是热辐射/反射测量方式, 会受云层和植被影响, 数据误差会比较大, 而 HydroSHEDS 数据虽然水平分辨率低, 但

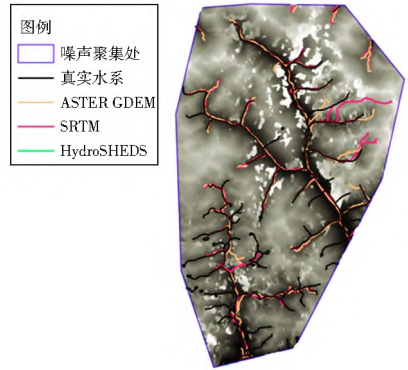


图 7 噪声聚集区模拟河网与真实水系对比

Fig. 7 Comparison diagram between simulated drainage networks and real drainage networks in the area full of noise

其采用的是合成孔径雷达测量, 相对误差较小, 数据质量比 ASTER GDEM 高, 然而相比于原始 SRTM 数据, 其由于采用现有的数据改进方法和新研究的改进算法进行处理, 在局部地方产生新的误差, 需要人工修正。数据噪声对生成的模拟河网的精度有一定的影响, 影响大小与噪点的密集程度以及噪点值的大小有关; 数据模糊对生成的模拟河网的精度影响比较大, 水系会发生严重偏移。

### 3 模拟河网精度对比分析

根据 DEM 高程模型各网格的高程将指向 8 个相邻网格中最低的网格的方向定义成该网格的方向, 将研究区所有网格按网格方向相连即为流域流水网(D8 模型)。根据网格方向, 可推求出每个网格的汇水面积。对整个流水网确定一个涵养面积阈值, 则汇水面积大于该阈值的网格即为河道网格, 将河道网格相连, 即为基于 DEM 的模拟河网。流域涵养面积阈值是河道开始发育的面积阈值, 目前比较常用的确定方法有河源密度-集水面积曲线法<sup>[9]</sup>、河网密度集水面积曲线法<sup>[9]</sup>、河网平均坡降-集水面积曲线法<sup>[10]</sup>、流域宽度分布法<sup>[11]</sup>、分形维数法<sup>[12-13]</sup>、适度指数法<sup>[14]</sup>、改进的适度指数法<sup>[14]</sup>等。流域涵养面积阈值受流域地形、下垫面产流机制以及流域所处区域气候条件等因素的综合影响。

本文利用三种 DEM 数据分别推求了流域模拟河网, 研究了不同数据源 DEM 数据生成的模拟水系的精度。现采用人工试错法选择合适的流域阈值, 由于三种 DEM 数据水平分辨率不同, 本文在阈值的确定时考虑到了网格数、网格面积与阈值之间的换算使得每个研究区内河道涵养面积一样。由于受限于 DEM 空间分辨率, 且流域流水网推求存在一定的误差, 故模拟河网的难于与真实水系完全吻合。

本文在 GIS 平台上,采用了缓冲区分析法的方法来判别模拟河网与真实水系的拟合程度。缓冲区分析法基本原理是在真实水系附近生成 10 m、30 m 等不同大小的缓冲区,统计落在缓冲区内的模拟河网的总长与真实水系总长的比值(WL)作为模拟精度指标。理论上,WL 应小于 1,比值越接近于 1,则模拟河网与真实水系的吻合度越高,即精度越高。

这种方法评价拟合度时,还涉及到模拟河流的级别问题。缓冲区分析法只能反映模拟河网与相应的真实水系拟合精度,而模拟河网的长度是否与真实水系的长度相吻合与涵养面积阈值紧密相关。如果阈值选择过大,支流过多,有可能将各模拟支流上游的若干与真实水系不对应的网格统计入 WL 中,甚至有可能使得大于 1;如果阈值选择过小,模拟河网长度远小于真实水系,即模拟河网与真实水系“不对应”,有可能造成 WL 远小于 1。阈值的偏大和偏

小都会造成 WL 指标判断功能的失效。本研究采用阈值换算使得每个研究区内不同 DEM 生成模拟河网时的阈值一致,但是由于阈值受到流域下垫面条件的影响,因而不同研究区之间的阈值是不一样的,不能保证每个研究区的阈值都是最优(不偏大也不偏小)的,因而该精度指数只能衡量一个研究区内不同模拟河网的精度。

因为平原地区地形起伏小,而 DEM 数据的垂直精度最小也在 16 m 左右,且存在一些数据质量问题,因而无法描述真实的地形,其次平原水系人工河道比较多,属网状河网结构,其形成和发展主要不受地形高低起伏的控制,因而平原区数字高程模型提取的模拟河网精度比较差。台地研究区 1 位于嫩江流域,由于该研究区真实水系数据不完善,无法与真实水系进行对比分析,现统计除平原区、台地研究区 1 之外的其它研究区域精度指标,见表 2。

表 2 各研究区 WL 值

Tab. 2 The WL of every study area

DEM 数据源	缓冲距离/m								
	10	30	50	70	90	110	130	150	
丘陵 1	ASTER GDEM	0.09	0.21	0.32	0.42	0.51	0.59	0.65	0.69
	HydroSHEDS	0.10	0.23	0.35	0.47	0.56	0.64	0.71	0.75
	SRTM	0.13	0.29	0.44	0.56	0.66	0.72	0.77	0.80
丘陵 2	ASTER GDEM	0.09	0.25	0.40	0.52	0.61	0.67	0.71	0.73
	HydroSHEDS	0.07	0.21	0.35	0.46	0.55	0.62	0.66	0.68
	SRTM	0.07	0.19	0.31	0.42	0.52	0.59	0.64	0.67
小起伏 1	ASTER GDEM	0.10	0.27	0.43	0.56	0.65	0.71	0.76	0.79
	HydroSHEDS	0.06	0.17	0.29	0.41	0.51	0.60	0.68	0.74
	SRTM	0.11	0.31	0.48	0.61	0.69	0.75	0.78	0.80
小起伏 2	ASTER GDEM	0.05	0.15	0.24	0.32	0.40	0.47	0.53	0.58
	HydroSHEDS	0.06	0.17	0.27	0.36	0.44	0.50	0.56	0.60
	SRTM	0.06	0.17	0.28	0.37	0.45	0.51	0.57	0.61
中起伏 1	ASTER GDEM	0.07	0.21	0.35	0.49	0.62	0.75	0.86	0.95
	HydroSHEDS	0.06	0.17	0.27	0.37	0.48	0.59	0.69	0.80
	SRTM	0.06	0.19	0.31	0.44	0.58	0.71	0.82	0.92
中起伏 2	ASTER GDEM	0.08	0.23	0.37	0.50	0.62	0.72	0.79	0.85
	HydroSHEDS	0.07	0.21	0.35	0.48	0.59	0.68	0.76	0.82
	SRTM	0.07	0.21	0.35	0.47	0.58	0.68	0.75	0.81
大起伏 1	ASTER GDEM	0.11	0.33	0.51	0.66	0.75	0.81	0.85	0.88
	HydroSHEDS	0.05	0.14	0.23	0.33	0.42	0.52	0.61	0.68
	SRTM	0.08	0.26	0.42	0.54	0.64	0.70	0.75	0.78
大起伏 2	ASTER GDEM	0.07	0.20	0.33	0.45	0.55	0.64	0.71	0.76
	HydroSHEDS	0.09	0.25	0.41	0.56	0.68	0.79	0.88	0.95
	SRTM	0.11	0.31	0.49	0.65	0.78	0.89	0.96	1.02
极大起伏 1	ASTER GDEM	0.07	0.20	0.32	0.42	0.50	0.57	0.62	0.66
	HydroSHEDS	0.06	0.14	0.23	0.31	0.38	0.44	0.50	0.54
	SRTM	0.06	0.18	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58

表 2 各研究区 WL 值

Tab. 2 The WL of every study area

续表 2

DEM 数据源	缓冲距离/ m								
	10	30	50	70	90	110	130	150	
极大起伏 2	ASTER GDEM	0.06	0.14	0.22	0.28	0.34	0.38	0.42	0.45
	HydroSHEDS	0.06	0.14	0.21	0.27	0.33	0.37	0.40	0.43
	SRTM	0.07	0.16	0.24	0.31	0.37	0.42	0.46	0.49
台地 2	ASTER GDEM	0.13	0.37	0.57	0.72	0.81	0.88	0.93	0.96
	HydroSHEDS	0.13	0.37	0.57	0.73	0.83	0.90	0.94	0.96
	SRTM	0.13	0.37	0.57	0.72	0.83	0.89	0.93	0.95

分析表 2 可知, 三种 DEM 数据生成的模拟河网的精度均不稳定, 比如对于丘陵研究区域, 两个研究区域三种 DEM 数据均不存在明显噪声和数据模糊, 但是丘陵研究区 1 SRTM DEM 数据生成的数据水系的精度最高, 而丘陵研究区 2 ASTER GDEM DEM 数据生成的数据水系精度最高。仅从模拟河网精度方面来讨论, 目前无法明确评判三者的精度高低, 模拟河网的精度不仅与 DEM 数据的精度有关, 还与研究区域的下垫面条件有关, 不易进行对比分析。

分析表 2 可以发现在少数研究区(如台地 2 研究区)三种 DEM 数据生成的模拟河网的精度一样,

现统计三种 DEM 数据 WL 值的方差以分析其离散程度, 见表 3。分析表 3 可以发现三种 DEM 数据生成的模拟河网的 WL 值的方差均比较小, 方差越小说明三种数据生成的模拟河网的精度越接近。综合表 2、表 3 可以发现, 虽然不能明确判断三种 DEM 数据哪种生成的模拟河网的精度最高, 但是三种 DEM 数据生成的模拟河网的精度均比较接近, 且在中起伏研究区、大起伏研究区、台地研究区等研究区内, 70% 以上的模拟河网落在了 150m 的缓冲区内, 这说明这三种 DEM 数据作为提取模拟河网的基础数据时, 质量均比较高。

表 3 三种模拟河网 WL 值方差

Tab. 3 the variance of WL of the three simulated drainage networks

研究区	缓冲距离/ m							
	10	30	50	70	90	110	130	150
丘陵 1	0.00029	0.00116	0.00260	0.00336	0.00389	0.00287	0.00240	0.00202
丘陵 2	0.00009	0.00062	0.00136	0.00169	0.00140	0.00109	0.00087	0.00069
小起伏 1	0.00047	0.00347	0.00647	0.00722	0.00596	0.00402	0.00187	0.00069
小起伏 2	0.00002	0.00009	0.00029	0.00047	0.00047	0.00029	0.00029	0.00016
中起伏 1	0.00002	0.00027	0.00107	0.00242	0.00347	0.00462	0.00527	0.00420
中起伏 2	0.00002	0.00009	0.00009	0.00016	0.00029	0.00036	0.00029	0.00029
大起伏 1	0.00060	0.00616	0.01362	0.01860	0.01882	0.01429	0.00969	0.00667
大起伏 2	0.00027	0.00202	0.00427	0.00669	0.00887	0.01056	0.01087	0.01207
极大起伏 1	0.00002	0.00062	0.00136	0.00202	0.00240	0.00282	0.00249	0.00249
极大起伏 2	0.00002	0.00009	0.00016	0.00029	0.00029	0.00047	0.00062	0.00062
台地 2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002	0.00009	0.00007	0.00002	0.00002

## 4 结论

HydroSHEDS、SRTM 以及 ASTER GDEM 这三种 DEM 数据质量均存在一些问题, ASTER GDEM 数据的主要问题是数据噪声大, HydroSHEDS void-filled DEM 数据的主要问题是数据存在局部模糊的情况。噪声和数据模糊均会影响原始数据的精度, 从而会影响基于 DEM 数据提取的地形特征值的准确度。其次噪声和数据模糊也会影响

基于 DEM 数据提取的模拟河网的精度, 噪声对模拟河网的影响与其噪密度以及位置有关; 数据模糊会使得模拟河网严重偏离真实水系。

三种 DEM 数据生成的模拟河网的精度并不稳定, 目前无法得出哪种 DEM 数据生成的模拟河网最精确的结论, 从而无法得到在提取模拟河网时哪种 DEM 数据质量最高的结论, 但三种 DEM 数据生成的模拟河网的精度均比较接近, 质量均比较好。

## 参考文献(References):

- [1] 刘金涛, 陆春雷. DEM 分辨率对数字河网水系提取的影响趋势分析[J]. 中国农村水利水电, 2009(3): 7-9. (LIU Jin-tao, LU Chun-lei. Trend Analysis of digital drainage network extraction affected by DEM resolution[J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(3): 7-9. (in Chinese))
- [2] 刘远, 周买春, 陈芷菁, 等. 基于不同 DEM 数据源的数字河网提取对比分析—以韩江流域为例[J]. 地理科学, 2012, 32(9). (LIU Yuan, ZHOU Maichun, CHEN Zhijing, et al. Comparison of drainage network extraction from different DEM data sources: A case study of Hanjiang River Basin [J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(9). (in Chinese))
- [3] 付继强, 王周龙, 马金卫, 等. 基于不同 DEM 数据源的胶东半岛流域特征提取对比与分析[J]. 山东国土资源, 2013, 29(4): 32-36. (FU Jiqiang, WANG Zhoulong, MA Jinwei, et al. Extraction comparison and analysis on characteristics of drainage basin in Jiaodong Peninsula Basin on different DEM data [J]. Shandong Land and Resources, 2013, 29(4): 32-36. (in Chinese))
- [4] 杨军, 陈阿林, 余海清, 等. 基于不同 DEM 数据源的流域特征信息提取对比—以重庆市大宁河流域为例[J]. 荆楚理工学院学报, 2010, 25(5): 53-56. (YANG Jun, CHEN A-lin, YU Haiqing, et al. Extraction Comparison of watershed characteristics based on different DEM: An application case in Chongqing Danning River [J]. Journal of Jingchu University of Technology, 2010, 25(5): 53-56. (in Chinese))
- [5] 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): 34-37 (YI Weihua, ZHANG Jianming, KUANG Yongsheng, et al. Effect of horizontal resolution on the watershed features derived from DEM [J]. Geography and Geo Information Science, 2007, 23(2): 34-37. (in Chinese))
- [6] 刘学军, 龚健雅, 周启鸣, 等. DEM 结构特征对坡度坡向的影响分析[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(6): 1-5 (LIU Xuejun, GONG Jianya, ZHOU Qiming, et al. Research on error of derived slope and aspect related to DEM data properties [J]. Geography and Geo Information Science, 2004, 20(6): 1-5. (in Chinese))
- [7] 苏时雨, 李钜章. 地貌制图[M]. 北京: 测绘出版社, 1999. (SU Shiru, LI Juzhang. Geomorphologic Mapping [M]. Beijing: SinoMaps, 1999. (in Chinese))
- [8] 周成虎, 程维明. 中国 1: 400 万数字地貌数据集, 2014. 数据来源于“黑河计划数据管理中心”(http://westdc.westgis.ac.cn) (ZHOU Chenghu, CHEN Weiming. 1: 4000000 Digital Geomorphology Database in China, 2014. The data set is provided by Cold and Arid Regions Sciences Data Center at Lanzhou (http://westdc.westgis.ac.cn))
- [9] 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): 65-67. (KONG Fanzhe, LI Lili. Determination of river drainage area threshold for extraction of drainage network by DEM [J]. Water Resources and Power. 2005, 23(4): 65-67. (in Chinese))
- [10] 熊立华, 郭生练. 基于 DEM 的数字河网生成方法的探讨[J]. 长江科学院院报, 2003, 20(4): 14-17. (XIONG Lihua, GUO Shenglian. Method for extracting digital channel network from digital elevation model of watershed [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2003, 20(4): 14-17. (in Chinese))
- [11] 杨邦. 集水面积阈值的确定及其水文响应研究[D]. 南京: 河海大学, 2007. (YANG Bang. A procedure for critical contributing area identification and its hydrological responses [D]. Nanjing: Hohai University, 2007. (in Chinese))
- [12] 李丽. 分布式水文模型的汇流演算研究[D]. 南京: 河海大学, 2007. (LI Li. Study on flood routing of distributed hydrologic models [D]. Nanjing: Hohai University, 2007. (in Chinese))
- [13] 梁启君, 梁军, 王少华, 等. 分形在模拟河网累计汇水量阈值确定中的应用研究[J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(1): 111-112 (LIANG Qijun, LIANG Jun, WANG Shaohua, et al. The application of fractal methods in critical contributing area identification [J]. Geography and Geo Information Science, 2013, 29(1): 111-112. (in Chinese))
- [14] 吴秦兵, 夏达忠, 张行南. 基于改进适度指数法的流域流水网阈值确定研究[J]. 水电能源科学, 2011(4): 18-20. (WU Taibing, XIA Dazhong, ZHANG Xingnan. Identification of critical contributing area based on improved fitness index method [J]. Water Resources and Power, 2011(4): 18-20. (in Chinese))
- (下接第 176 页)
- [17] 王先甲, 张熠. 基于 AHP 和 DEA 的非均一化灰色关联方法[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(7): 1222-1229. (WANG Xianjia, ZHANG Yi. Non-uniform grey relational method based on AHP and DEA [J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2011, 31(7): 1222-1229. (in Chinese))
- [18] 曹洪洋, 王禹, 满兵. 基于改进灰色关联分析的泥石流危险性评价[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(1): 91-94. (CAO Hongyang, WANG Yu, MAN Bing. Risk evaluation of potential debris flow based on the improved grey correlation method [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(1): 91-94. (in Chinese))
- [19] 郑霞忠, 郭雅薇, 陈述, 等. 基于灰靶理论的工程项目投标决策[J]. 数学的实践与认识, 2015, 45(11): 75-82. (ZHENG Xiazhong, GUO Yawei, CHEN Shu, et al. Project bidding decision based on grey target theory [J]. Mathematic in Practice and Theory, 2015, 45(11): 75-82. (in Chinese))
- [20] 陈述, 余迪, 吴黎明. 基于 G1 法的高危作业疲劳风险模糊综合评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(4): 90-95. (CHEN Shu, YU Di, WU Liming. Fatigue risk fuzzy evaluation for high risk operations based on G1 method [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2014, 10(4): 90-95. (in Chinese))