文章编号: 1672 - 3317 (2023) 06 - 0067 - 08

新水文地理数据集的研究与应用

——以洞庭湖水系为例

黄泽群^{1,2}, 廖春花^{1,2*}, 陈玉贵^{1,2}, 陈唯天^{3,4}, 赵恩榕⁵, 罗红梅^{1,2}, 谢睿恒^{1,2} (1.湖南省气象服务中心, 长沙 410118; 2.气象防灾减灾湖南省重点实验室, 长沙 410118; 3.中山大学 大气科学学院, 广东 珠海 519082; 4.广东省气候变化与自然灾害研究重点实验室, 广州 510275; 5.湖南省气象台, 长沙 410118)

摘 要:【目的】降低水文地理数据对水文模型中径流模拟的影响。【方法】本文以90m分辨率的 MERIT DEM 为基础,运用 GIS 信息系统软件和 Python 程序的自动校正等手段生成了 1 套洞庭湖水系范围内的水文地理数据集(流向、汇流累积量、河网、流域面积、河长和流域分区)。通过河网可视化分析,流域面积及河流长度对比和水文模型检验等方法综合评估了新数据集的质量。【结果】与 HydroSHEDS 数据集相比,新生成的 MERIT 河网数据集在流域面积上与之差别不大,但在 DEM 高程、流向分布、河网结构和河长的计算方面,2 套数据集(MERIT 和 HydroSHEDS) 却存在着较大的差异。水文模型的结果显示 MERIT 数据集的日纳什系数和月纳什系数分别为 0.41 和 0.52,均好于 HydroSHEDS。【结论】MERIT 提取的河网能够更加真实的反应研究区域的河道位置,保证其他水文据供了强有力的数据支撑。

关键词:数字高程模型;流向;河网;流域划分;水文气象服务 中图分类号: P333 文献标志码: A doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022287



黄泽群, 廖春花, 陈玉贵, 等. 新水文地理数据集的研究与应用: 以洞庭湖水系为例[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(6): 67-73, 80.

HUANG Zequn, LIAO Chunhua, CHEN Yugui, et al. Research and Application of A New Hydrographic Datasets: A Case Study in Dongting River Basin[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(6): 67-73, 80.

0 引 言

在全球变暖的大背景下,随着人类活动的日益影 响,暴雨和洪涝等自然灾害的频率逐渐增多^[1-3],这 些自然灾害给社会经济发展带来很大的不确定性和 风险^[4]。【研究意义】水文地理参数(流向、河网和 流域面积等)在许多水文气象领域的研究与应用方面 起着重要作用,如水文模型的建模,地形地貌的分类, 水库电站的调度,防灾减灾系统的构架等。其中水文 模型对流域的汇流参数具有很强的敏感性^[5-8]。同一 研究区域中使用不同质量的水文参数得出的水文学 基本规律和理论可能具有很大的差异性。然而,大多 数高分辨率的水文参数数据集不能通过直接测量获 得,必须通过高分辨率的数字高程模型(DEM,Digital Elevation Model)来提取^[9]。【切入点】通过 DEM 分

©《灌溉排水学报》编辑部,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

析提取地表水流方向,可以描绘出许多水文参数,例 如集水区边界、流域面积、水流距离和河道宽度等。 【研究进展】目前全球主流的 DEM 数据主要有 SRTM3(Shuttle Radar Topography Mission 3 DEM)^[10]、 TanDEM-X DEM (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurements)^[11]、ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global DEM)^[12]和 AW3D (Advanced Land Observing Satellite World 3D DEM)^[13] 等。【拟解决的关键问题】这些 DEM 在全球不同的区 域范围内存在着观测误差(特别是垂直方向上),会 极大地干扰地形的坡度计算和流向的分配,进而影响 整个水文地理参数集的质量。

迄今为止,基于 SRTM3 开发的 HydroSHEDS 是使用范围最广,用户人数最多的水文地理参数数 据集^[14]。但 HydroSHEDS 也存在以下几个缺点:① 在森林地区,中小河流的位置在 HydroSHEDS 中没有 很好地表示,这是因为 DEM 高程中存在树高误差。 ②HydroSHEDS 中大型水体的流向分配存在错误,特 别在内陆河流和湖泊中表现较为明显。③受到

收稿日期: 2022-05-22 修回日期: 2023-03-06 网络出版日期: 2023-05-09 基金项目:湖南省气象局重点专项(CXFZ2023-ZDZX06);湖南省气象局 第三期业务能力建设项目(NLJS09)

作者简介: 黄泽群(1993-),男,江西新余人。助理工程师,硕士,主要 从事水文地理参数和水文模型的研究。E-mail: Zequnhuang@outlook.com 通信作者: 廖春花(1983-),女,湖南常德人。高级工程师,硕士,主要 从事气象领域的相关研究。E-mail: 66967769@qq.com

SRTM3 DEM 的范围限制, HydroSHEDS 的覆盖范围 被限制在 60 N 以下,未实现高纬度地区的覆盖^[15-16]。 ④HydroSHEDS 数据集的发布时间距今已超过 10 a 以上,受自然环境和人类活动影响,部分水文参数可 能已经发生改变,如河流改道,河水干枯断流和地形 地貌发生变化等。为此, Yamazaki 等^[14]于 2017 年发 布了的1套高精度(约90m分辨率)的全球范围的 数字高程模型(MERIT DEM, Multi-Error-Removed Improved-Terrain DEM),该DEM 通过一系列的拼接 和过滤技术,消除了复合误差,能够较好的反应研究 区域的高程信息。本研究以 MERIT DEM 为基础,通 过 GIS 信息系统软件和 python 程序的自动校正等手 段,生产了1套覆盖洞庭湖水系的水文地理参数集 (流向、汇流累积量、河网、流域面积、河长等), 通过数据的对比分析和模型验证的方法来说明新数 据集的质量,为之后的洪水模拟和预报工作提供有力 的数据支撑。

1 研究区域、数据及方法

1.1 研究区域概况

洞庭湖水系位于长江中游南岸,是洞庭湖和入湖 的湘江、资水、沅江、澧水(简称"四水")和汨罗 江等水系的总称。洞庭湖水系河网密布,水资源丰富, 流域总面积约为 26.28 万 km²,占湖南省国土面积的 95%以上。地形上,洞庭湖水系三面环山,北部以平 原、湖泊为主,中部丘陵山地起伏,呈西高东低、南 高北低的地势^[17]。

1.2 研究数据

MERIT DEM 是一套高精度(3",约90 m 分辨 率)的全球范围(85 N-60 S)DEM。该 DEM 以 SRTM3 DEM、AW3D DEM 和 VFP-DEM 为基础,通 过一系列的误差过滤技术消除了条纹噪声、斑点噪声、 绝对偏差和植被高度偏差^[14],能够有效降低后期生产 的水文参数(如流向、坡度等)的不确定性,最大限 度地保护河网的整体结构。

HydroSHEDS 是在 SRTM DEM 的基础上,进行了 算法的改进而得到1套高精度(3",约90m分辨率) 的全球范围(60 N-56 S) DEM。该 DEM 经过用户 多年的使用和检验,已成为目前全球使用最广泛的数 字高程模型之一。尽管在一些陡峭的山脉和水体之间 存在着测量误差,并且在森林区域存在树高误差,但 是在全球大部分地区能够较好的保证河流的整体结构。

1.3 研究方法

本文以 90 m 分辨率的 MERIT DEM 为基础,通 过地理信息系统软件(ArcGIS)和 Python 程序的自 动校正等手段,得到了一系列的水文汇流参数(流向、 汇流累积量、河网、流域面积、河长和流域分区等)。 数据评估方面,先是对比了 2 套数据的数据源 (MERIT DEM 和 HydroSHEDS DEM)以及提取的 流向占比,之后通过河网整体结构的视觉评估,流域 面积和河长的对比分析等方法验证了新水文地理数 据集(MERIT)的质量。评估的指标为相对误差 (Relative Error)、平均相对误差(Mean Relative Error) 和均方根误差(Root Mean Squared Error),计算式为:

$$RE = \frac{|M_i - H_i|}{H_i}, \qquad (1)$$

$$MRE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{|M_i \cdot H_i|}{H_i}, \qquad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (M_i - H_i)^2}{N}},$$
 (3)

式中: M_i 表示由 MERIT 得到的参数值; H_i 表示由 HydroSHEDS 得到的参数值;N表示对比的参数值 个数。

本研究使用的模型(DRIVE, Dominant River Tracing-Routing Integrated with VIC Environment Model)是陆面过程与水文过程耦合的分布式水文模 型^[16],其中产流模型选用的是分布式大尺度水文模型 VIC (Variable Infiltration Capacity Macroscale Hydrologic Model)模型,汇流模型是 DRTR(Dominant River Tracing based Routing Model)模型。可变下渗 容量大尺度水文模型(VIC)是一个开源的,基于水 量热量平衡、物理动力机理的概念型大尺度分布式水 文模型。该模型最初是由华盛顿大学、加利福尼亚大 学伯克利分校和普林斯顿大学的研究人员基于 Liang 等^[5]的思想共同研制出来的水文模型。DRTR 模型, 全称 Dominant River Tracing based Routing Model, 水文网络自动升尺度化汇流模型,是基于 Wu 等^[6] 提出的升尺度化算法(DRT)发展而来。相关计算 式为:

连续性方程: $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L$, (4)

$$S_{\rm f} = S_0,$$
 (5)

曼宁方程:
$$Q = \frac{S_0^{1/2}}{nP^{2/3}} A^{5/3}$$
, (6)

动量方程:

式中: t 表示时间 (s); x 为纵向流动距离 (m); A指的是水面下河道的横截面积 (m²); P 为截面的周 长 (m); S_f 为摩擦斜率,主要影响因素包括重力、摩 擦力、惯性力等。如果地形很陡峭,重力将占主导地 位, S_f 可以近似为河道底部斜率 S_0 ,这是汇流方法中 运动波方程的基本假设。n 为曼宁粗糙度系数,其不 能够通过直接测量获得,但主要由表面粗糙度,底部 材料的类型和河道的弯曲度决定。Q 为流量 (m³/s), q_f 为横向流量 (m³/s)。

模型的试验范围为整个洞庭湖水系流域(共

26.28 万 km²)。模型运行的时间段为 2000 年 1 月 1 日 0 时到 2020 年 1 月 1 日 0 时,共 20 a,时间步长 为 3 h。由于水文站点的观测数据限制,模型的评估 阶段为 2017 年 1 月 1 日 0 时—2020 年 1 月 1 日 0 时, 共 4 a。模型的输入数据除比较的 2 套数据集(MERIT 和 HydroSHEDS)不同外,其他的输入参数均为同 1 套数据。其中降水数据均为 IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM),温度和风速来自 于 NASA (National Aeronautics and Space Administration)的 MERRA(Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications)数据。土壤和 植被参数则由美国普林斯顿大学的贾斯汀·谢菲尔德 提供。模型的评估指标为纳什系数 (Nash-Sutcliffe efficiency coefficient, NSE)。*NSE* 越接近 1,表示模型 的模拟效果越好,可信度越高。

$$NSE = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} (O_i - \overline{O})^2}$$
(7)

2 结果与分析

2.1 数字高程模型的对比

数字高程模型(DEM)是大部分水文基本参数(如 河流流向等)的数据源。为分析 MERIT DEM 与 HydroSHEDS DEM 的差异,将精度同为 90 m 的 MERIT DEM 高程值减去 HydroSHEDS DEM 的高程 值,得到的结果如图1所示。从图1可以看出,MERIT DEM 的平均高程要低于 HydroSHEDS DEM, 主要原 因是 MERIT DEM 消除了复合误差(特别是植被高 度),且在海拔较高的区域(如武陵山脉、雪峰山和 南岭山脉等)尤为明显,而在地形平坦的区域(如洞 庭湖区域)差距较小。2 套 DEM 高程的平均相对误 差(MRE)为3.57m,均方根误差(RMSE)为9.12 m。本研究还分析了高程差(d)的绝对值在不同阈 值范围的占比情况(图2),阈值分别为5、10、15m 和 20 m。从图 2 可以看出,高程差的绝对值主要集 中在 0~5 m 的范围内,占总数的 72.29%,其次是 5~10 m的区间,占比为26.24%,而高程差大于20m的栅 格数量仅为 0.39%。这说明 2 套 DEM 数据还是存在 着一定的差别,特别是在部分地势较高的地区有着显 著的差异。这些差异会影响后续河流流向、河网和流 域面积等参数的提取。

2.2 流向的评估

流向是指河道中的水流从当前栅格流向下一个 栅格的方向^[18],是生成许多水文汇流参数的基础(如 汇流累积量和河网等)。本研究采用的是 D8 算法,对 比了基于不同的 DEM 生成的 2 套流向数据(图 3)。 结果显示 HydroSHEDS 的流向中,东、南、西、北4 个方向偏多一些,其中正南方向的栅格数量最多,占 总栅格数的 15.7%,而 MERIT 的流向则是东北、东 南、西南和西北 4 个方向多一些,其中东南方向的栅 格数量最多,占总栅格数的 19.8%。造成这种差异的 原因主要是:不同数据源的卫星产品 (DEM)存在着 差异,且在流向分布上的表现会更为明显。流向的这 些差异必然会影响到河网数据的提取。



图 1 MERIT DEM 和 HydroSHEDS DEM 的高程差





Fig.2 Average errors between MERIT and HydroSHEDS DEM



Fig.3 Proportion of different flow direction

2.3 河网的可视化评估

河网的可视化分析是一种最直接的评估方法。图 4 展示了 2 套数据的河网在洞庭湖水系范围内的整体 结构,河网的提取阈值均为 50 km²。从图 4 可以看出, 2 套河网数据在大部分地区基本重合,但在少数区域 (如洞庭湖区)存在着较大的差异,这是因为该区域 湖泊众多,地势平坦,D8 算法在湖泊等特殊地理区 域的流向提取方面存在着一定的局限性。本研究选取 了 3 个区域进行放大(即图 4 中的 a、b、c),用来和 谷歌高清卫星影像进行对比,结果如图 5 所示。图 5 中红色的河网(MERIT)在河道的蜿蜒曲折部分(虚 线框内)更加贴近于真实的河道,说明 MERIT 生成 的河网在一定程度上要好于 HydroSHEDS 的河网。

2.4 流域面积和河流长度的对比分析

流域面积和河流长度是评估河网整体结构的重要汇流参数^[19]。本研究评估了 2 套数据在洞庭湖水系及"四水"(湘江、资水、沅江和澧水)的流域面积。 由表 1 可知, MERIT 和 HydroSHEDS 在湘江和资水 的流域面积差异较小,其中资水流域的面积差约为 0.24 km²,相对误差不足 0.01%。"四水"中相对误差 最大出现在澧水流域,面积差约为 409.52 km²,相对 误差为 2.2%。所有流域的相对误差都小于 3%,说明 MERIT 和 HydroSHEDS 的 2 套数据在流域面积方面 差异较小。河流长度评估方面,将洞庭湖水系的所有 河流都设定长度阈值,分别为 10、25、50、75 km 和



100 km。由表 2 可得, MERIT 提取的河流条数由 44 到 526 条不等, HydroSHEDS 提取的河流条数由 35~492 条不等, 说明从 MERIT 中提取的河流数量要 大于 HydroSHEDS。



图 4 MERIT 和 HydroSHEDS 的河网对比 Fig.4 Comparison of MERIT and HydroSHEDS' river network map



(b) a 点区域的卫星影像



(d) b 点区域的卫星影像





图 5 2 套数据的河网与谷歌影像中的河道对比

Fig.5 Differences between two datasets and Google map in river networks

2.5 水文模型的验证

为了更好地比较 2 套数据的质量,本研究验证了 不同数据集在 DRIVE 模型径流量模拟方面的效果。 结果显示,使用 MERIT 为输入数据的平均日纳什系数为 0.41,月纳什系数为 0.52,而使用 HydroSHEDS 的日纳什系数为 0.37,月纳什系数为 0.5,说明 MERIT

数据集的整体质量要好于 HydroSHEDS。各站点的 日纳什系数的空间分布如图 6 所示,其中红色圆点 (共 30 个站点)代表 MERIT 日纳什系数高于 HydroSHEDS 的站点,绿色圆点(共 15 个站点)代 表 HydroSHEDS 日纳什系数高于 MERIT 的站点。

表1 流域面积的评估结果

Table 1 A	Assessment	results of	of derived	basin area
-----------	------------	------------	------------	------------

流域和	MERIT/	HydroSHEDS/	MERIT-HydroSHEDS/	
水系名称	km ²	km ²	km ²	<i>KE</i> /%
湘江流域	100 102.72	100 122.99	-20.27	0.02
资水流域	29 254.72	29 254.96	-0.24	< 0.01
沅江流域	94 682.94	94 310.13	372.81	0.40
澧水流域	18 197.49	18 607.01	-409.52	2.20
洞庭湖水系	271 552.31	276 395.54	-4 843.23	1.75
	1			

表 2 河流长度的评	估	结	米
------------	---	---	---

Table 2Assessment results of derived flow distance

河流长度/km	>10	>25	>50	>75	>100
河流数量(MERIT)	526	307	120	73	44
河流数量(HydroSHEDS)	492	250	104	55	35

造成上述差异的主要原因是 MERIT 能更好地反 映河道的弯曲程度,更加贴近实际的河流情况,而 HydroSHEDS 在部分地区(特别是中小河流)的河道 更加笔直,这样会造成河流长度小于 MEIRT,从而 导致模型计算的径流量和流速的偏大。同时实验显示 纳什系数较好的站点主要集中在河道的上游区域,这 主要是因为上游的径流受水库大坝的调控影响较小, 更符合原始自然地貌的流域景观。



2.6 基于 MERIT 数据集的流域划分

流域分区在水文模拟、水旱灾害防御调度和水资 源评估等方面起着重要作用。因为基于 MERIT 提取 的河网数据集比 HydroSHEDS 的更加精准,所以以 MERIT 数据集为基础,将整个洞庭湖水系划分为 4 个等级(图7): I级为5个子流域,III级为22个子 流域,III级为58个子流域,IV级为3383个子流域。 所有子流域都采用字母加编号的方式命名(表3), 字母代表所属的 I级流域(如湘江的 I到IV级流域字 母均为 X,资水的 I到IV级流域字母均为 Z),数字 代表子流域编号,数字的位数代表 I到IV级,湘江流 域 I级为 X1, II级为 X01 到 X06,III级为 X001 到 X016, IV级为 X0001 到 X1390。



图 7 洞庭湖水系的流域划分

Fig.7 Division of Dongting basin

		灌溉排水学报 http://www.ggpsxb	o.com		
		表3 洞庭湖水系流域分区命,	名		
Table 3 Name for division of Dongting basin					
子流域编号及名称	I 级	II级	III级	IV级	
		X01: 东江	X001: 东江	X0001~X0076	
		X02. 双牌 (溝水)	X002: 涔天河	X0077~X0113	
			X003: 涔天河-双牌	X0114~X0246	
		X03: 近尾洲	X004: 湘江广西段	X0247~X0324	
			X005: 东安一近尾洲	X0325~X0478	
			X006: 欧阳海	X0479~X0575	
		X04: 湘江中游支流(近尾洲一衡阳)	X007: 耒水中卜游	X0576~X0686	
	X1: 湘江		X008: 蒸水	X0687~X0773	
			X009: 沐水	X0//4~X092/	
		X05: 衡阳—湘潭	X010: 深水 X011 》在本	X0928~X1010 X0001_X0076	
			X011: 涟小 X012 温水 湘江主工	X1011 X1100	
			X012: 有水-湘江主丁 X012. 新江河	X1110-X1210	
			X013: 新社内 X014、浏阳河	X1110~X1210 X1242~X1310	
		X06: 长沙地区	X015,	X1311~X1349	
			X015. 沩水	X1350~X1390	
			7001: 夫夷水	Z0001-Z0082	
		Z01: 罗家庙以上	Z002: 赧水	Z0083-Z0184	
			Z003: 邵水	Z0185-Z0224	
	Z1: 资水	Z02: 罗冷区间	Z004: 邵冷区间	Z0225-Z0279	
		Z03 : 柘溪库区	Z005: 柘溪库区	Z0280-Z0375	
		704 次北丁选	Z006: 柘溪一马迹塘	Z0376-Z0408	
		204: 负小下册	Z007: 马迹塘以下干流	Z0409-Z0440	
			Y001: 马尾河	Y0001-Y0035	
		Y01: 三板溪	Y002: 重安江	Y0036-Y0080	
			Y003: 剑河-凯里	Y0081-Y0121	
			Y004: 二板溪库区	Y0122-Y0161	
		X02 白吉	Y005: <u></u>	Y0162-Y0186	
洞庭湖水系		Y02: 日巾 Y03: 托口	1006: 八個河 2007 白声库区	10187-10217 V0218 V0252	
			1007: 日印准区	V0254 V0237	
			1008: 采水 V000. 托口库区	Y0338-Y0351	
		Y04: 洪江	Y010, 潕水贵州	Y0352-Y0454	
			Y011: 海水 怀化	Y0455-Y0478	
			Y012: 洪江库区	Y0479-Y0515	
			Y013: 巫水	Y0516-Y0574	
	Y1: 沅江	Y05: 五强溪	Y014: 大江口-洪江区干流	Y0575-Y0619	
			Y015: 溆水	Y0620-Y0670	
			Y016: 辰水	Y0671-Y0754	
			Y017: 武水	Y0755-Y0790	
			Y018: 大江口-蒲市	Y0791-Y0836	
			Y019: 蒲市-沅陵	Y0837-Y0872	
			Y020: 沅陵-五强溪库区	Y0873-Y0900	
			Y021: 五强溪库区	Y0901-Y0934	
			Y022: 北源北河	Y0935-Y1010	
			Y023: 南源秀山河	Y1011-Y1051	
		Y06: 风滩/碗米圾(四水)	Y024: 碗米坡库区	Y1052-Y1084	
			Y025: 化坦测 Y026 同速库回	¥ 1085-Y 1117 V1118-V1200	
			1020: 八仲件区 V027. 五法区间	V1201_V1222	
		Y07: 凌津滩	1027: 五夜区内 Y028: 沅水尾闾	Y1224-Y1297	
	L1: 澧水		L001: 江坪上游	L0001-L0043	
		L01: 江垭	L002: 江垭下游	L0044-L0059	
		L02: 皂市	L003: 皂市	L0060-L0100	
		102、進步上中送	L004: 澧水上游	L0101-L0146	
		LU3: 位小上中研	L005: 澧水中游	L0147-L0199	
		L04: 澧水下游	L006: 澧水下游	L0200-L0255	
	D1: 洞庭湖	D01: 洞庭湖区	D001: 洞庭湖	D0001	

3 讨论

尽管新生成的水文地理数据集能够满足水文气 象行业服务的基本需求,降低水文模拟的参数不确定 性,但仍然存在着一些缺陷和不足。 在算法方面,新数据集基于单流向算法(D8), 对流向的数据质量要求较高,需要一定量的手动校正 才能有效地避免在地势较为平坦的区域产生"平行伪 河道",但这在大范围的研究区域下难以实现,时间 成本较高。同时,单流向算法无法准确描绘出三角洲 处河流分叉的现象,进而影响洪水预报和风险评估的 成果。多流向法算法(Multi-Flow Directions)中的 Dinf(D infinity)算法是在 3×3 的栅格中,中心栅格 与其周围 8个栅格形成 8个平面三角形,分别计算出 每一个三角形的坡度,然后以最大三角形坡度作为中 心栅格的坡度,该三角形的坡向即为中心栅格的流向, 最大坡度的三角形所确定的 2 个下游栅格作为流量 的分配单元。该算法虽然能够解决三角洲处河流分叉 的问题,但是因为其算法较为复杂,且运算时间成本 较高,无法适应分辨率较高的科学研究和实践应用。

在评估方面,本研究也存在几点不足:①局限于 单一水文模型的评估,今后可以尝试不同的水文模型, 如 LISFLOOD 和 CaMa-Flood 模型等,因为不同的水 文模型可能会对同一套水文地理数据集产生模拟的 差异性。②还应该进行参数率定工作,找到参数的最 优解,提高模拟结果的质量。③一些大型的分布式水 文模型,输入数据还包括河宽和湖泊等参数,目前的 数据集还无法满足这些要求。④受人类活动的影响, 新数据集无法体现出人工开凿的河道,需要基于最新 的遥感影像资料进行一定量的手动校正,才能保证其 结构的合理性。这些缺陷和不足都迫使新水文地理数 据集还需进一步的更新和升级。

4 结 论

基于 MEIRT DEM 提取的新水文地理数据虽然 在流域面积部分和 HydroSHEDS 数据结果相差不大, 但在 DEM 高程、流向的分布方面存在着较大的差异, MERIT 更好地保证了河网的整体结构(特别是河道 的蜿蜒曲折部分),从而保证了河流长度等其他参数 计算的准确性。在水文模型评估方面,MERIT 数据 集的日纳什系数为0.41,月纳什系数为0.52,均优于 HydroSHEDS 数据集。同时,基于新数据集将洞庭湖 水系按流域划分为4个等级,其中 I 级为5个子流域, II 级为22 个子流域,III级为58 个子流域,IV级为 3 383 个子流域。新数据集有助于提升分布式水文模 型的模拟结果,促进相关领域的科学研究,推进中高 端专业水文气象服务的发展。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献:

- HADDELAND I, HEINKE J, BIEMANS H, et al. Global water resources affected by human interventions and climate change[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(9): 3 251-3 256.
- [2] JONKMAN S N, KELMAN I. An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths[J]. Disasters, 2005, 29(1): 75-97.
- [3] 孙美荣,孙鹏森,张明芳,等. 气候变化和人类活动对流域水文恢复 力影响的研究进展[J].水土保持学报,2022,36(2):13-24.

SUN Meirong, SUN Pengsen, ZHANG Mingfang, et al. Progress in the effects of climate change and human activities on watershed hydrological resilience[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(2): 13-24.

- [4] HAMLET A F, LETTENMAIER D P. Effects of 20th century warming and climate variability on flood risk in the western US[J]. Water Resources Research, 2007, 43(6): W06427.
- [5] LIANG X, LETTENMAIER D P, WOOD E F, et al. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1994, 99(D7): 14 415-14 428.
- [6] WU H, KIMBALL J S, LI H Y, et al. A new global river network database for macroscale hydrologic modeling[J]. Water Resources Research, 2012, 48(9): W09701.1.
- [7] BALSAMO G, BELJAARS A, SCIPAL K, et al. A revised hydrology for the ECMWF model: Verification from field site to terrestrial water storage and impact in the integrated forecast system[J]. Journal of Hydrometeorology, 2009, 10(3): 623-643.
- [8] 邢贞相, 王欣, 宫兴龙, 等. 理想和实际资料情况下 Nash 模型参数 异参同效性研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(12): 114-122.
 XING Zhenxiang, WANG Xin, GONG Xinglong, et al. Equifinality of the Nash model parameters using idealized and measured data[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(12): 114-122.
- [9] 黄泽群,李超群,吴欢,等. 基于 MERIT DEM 和 DRT 升尺度化算 法的多分辨率全国河网数据集构建[J]. 地理与地理信息科学,2020, 36(3): 1-9.
 HUANG Zequn, LI Chaoqun, WU Huan, et al. A national multi-resolution

river network database based on MERIT DEM and DRT upscaling algorithm[J]. Geography and Geo-Information Science, 2020, 36(3): 1-9.

- [10] LEHNER B, VERDIN K, JARVIS A. New global hydrography derived from spaceborne elevation data[J]. Eos, Transactions American Geophysical Union, 2008, 89(10): 93-94.
- [11] GONZALEZ J H, BACHMANN M, FIEDLER H, et al. Development of TanDEM-X DEM calibration concept[C]//European Radar Conference. Munich, Germany. Piscataway, NJ: IEEE: 2007: 464-467.
- [12] TACHIKAWA T, KAKU M, IWASAKI A, et al. ASTER Global Digital Elevation Model Version 2- Summary of validation results[J]. Kim Fakultas Sastra Dan Budaya, 2011.
- [13] TADONO T, TAKAKU J, TSUTSUI K, et al. Status of "ALOS World 3D (AW3D)" global DSM generation[C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Milan, Italy. Piscataway, NJ: IEEE: 2015: 3 822-3 825.
- [14] YAMAZAKI D, IKESHIMA D, SOSA J, et al. MERIT hydro: A high-resolution global hydrography map based on latest topography dataset[J]. Water Resources Research, 2019, 55(6): 5 053-5 073.
- [15] WU H, KIMBALL J S, MANTUA N, et al. Automated upscaling of river networks for macroscale hydrological modeling[J]. Water Resources Research, 2011, 47(3): W03517.
- [16] WU H, ADLER R F, TIAN Y D, et al. Real-time global flood estimation using satellite-based precipitation and a coupled land surface and routing model[J]. Water Resources Research, 2014, 50(3): 2 693-2 717.
- [17] 胡最, 聂阳意. 基于 DEM 的湖南省地貌形态特征分类[J]. 地理与地 理信息科学, 2015, 31(6): 67-71, 129.
 HU Zui, NIE Yangyi. DEM-based landform taxonomic features of Hunan Province[J]. Geography and Geo-Information Science, 2015, 31(6): 67-71, 129.
- [18] DÖLL P, LEHNER B. Validation of a new global 30-Min drainage direction map[J]. Journal of Hydrology, 2002, 258(1/2/3/4): 214-231.
- [19] HOEF J M V, PETERSON E, THEOBALD D. Spatial statistical models that use flow and stream distance[J]. Environmental and Ecological Statistics, 2006, 13(4): 449-464.

Analysis on Spatial Matching Patterns of Available Water Resources and Irrigated Arable Land in China

CHANG Tong, LI Yunling

(General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design, Ministry of Water Resources of P. R. China, Beijing 100120, China)

Abstract: 【Background and Objective】 The balance between irrigated farmland and water resources for different regions influence agricultural development and food security. The aim of this paper is to evaluate the spatiotemporal balance between available water resources and irrigated farmland in China. 【Method】 The analysis was based on available water resources and spatial distribution of irrigated farmlands at basin scale. Their balance was calculated using available water resources per unit irrigated farmland and the Gini coefficient. We applied the model to analyze spatial variation in balance between available water resources and irrigated farmlands at basin scale. Their balance was calculated using available water resources per unit irrigated farmland and the Gini coefficient. We applied the model to analyze spatial variation in balance between available water resources and irrigated farmlands from 2009 to 2019. 【Result】 On average, the areas of irrigated farmlands decreased slightly from 2009 to 2019 in China, despite a dramatic increase in several provinces in the north of the country. The Gini coefficients of water resources and land resources varied from to 0.40 to 0.49, suggesting an imbalance, especially from 2016 to 2019. Spatially, there are significant differences in the balance. The number of provinces with imbalance and severe imbalance increased from 10 in 2009 to 11 in 2019, and most of them are in the northwest and north of China.【Conclusion】The imbalance between available water resources and irrigated farmlands, especially in the northwest and north of China, means that future development of arable lands needs to be based on water resources principle. To improve the balance, future efforts should focus on developing reserve arable land resources; irrigated arable land; Gini coefficient; matching of water and land resources

责任编辑:白芳芳

(上接第73页)

Research and Application of A New Hydrographic Datasets: A Case Study in Dongting River Basin

HUANG Zequn^{1,2}, LIAO Chunhua^{1,2*}, CHEN Yugui^{1,2}, CHEN Weitian^{3,4},

ZHAO Enrong⁵, LUO Hongmei^{1,2}, XIE Ruiheng^{1,2}

(1. Hunan Meteorological Service Center, Changsha 410118, China; 2. Key Laboratory for Meteorological Prevention and Mitigation of

Disasters in Hunan Province, Changsha 410118, China; 3. School of Atmospheric Science, Sun Yat-sen University,

Zhuhai 519082, China; 4. Guangdong Province Key Laboratory for Climate Change and Natural Disaster Studies,

Guangzhou 510275, China; 5. Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410118, China)

Abstract: [Objective] High-resolution hydrographic datasets have become increasingly accessible which will have a significant impact on hydrological modelling such as runoff and flood inundation. In this paper, we present a new hydrographic dataset. [Method] The new raster hydrographic map, including flow direction and accumulation, drainage areas and flow distance, was developed using GIS and python programs for the Dongting River Basin, based on the latest multi-error-removed improved-terrain digital elevation model (MERIT DEM). It shows a robust performance in visual inspection, basin area, flow distance and model evaluation. The quality of the dataset was comprehensively evaluated using methods such as river network visualization analysis, comparison of basin area and river length, and hydrological modeling. [Result] The new hydrographic databases developed from the latest MERIT DEM show great difference in flow direction, river network structure and river length from those derived from the traditional databases, HydroSHEDS. The results obtained from the associated hydrological model indicate that daily and monthly Nash coefficients calculated from the new dataset are 0.41 and 0.52, respectively, better than those calculated from HydroSHEDS. [Conclusion] The newly developed hydrographic dataset provides a more accurate representation of the locations of the rivers, thereby reducing the uncertainties in predicting runoffs and potential flooding. This dataset is now available for academic research and educational use.

Key words: DEM; flow direction; river network; basin delineation; hydrometeorological services