引文格式：严步青,毛成阳,龚康,等. 基于DEM的高原湖泊班公湖流域数字河网提取分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(12): 97-99. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2023.12.023

基于DEM的高原湖泊班公湖流域数字河网提取分析

严步青[1]，毛成阳[1]，龚　康[1]，邵玉祥[1*]，张传松[1]
（1. 中国地质调查局军民融合地质调查中心，四川 成都 610036）

摘　要：为获取较为准确的高原跨境湖泊班公湖流域河网信息，基于不同源DEM数据，使用ArcGIS软件水文分析模块结合DEM修正算法，讨论DEM分辨率及不同阈值提取过程对河网影响。结果表明，较高精度的DEM提取的数字河网具有更好的套合率，同时，结合精度为30 m的ASTER GDEM数据，使用集水阈值和河网密度一阶差分关系确定集水阈值，能够方便快捷地模拟最佳河网阈值。汇流阈值与河网密度呈幂函数关系，其变化特点可以得出2处具有统计意义的汇流阈值临界点，阈值临界点的确定可以为该流域分布式水文提取及汇流特征判断提供依据。

关键词：数字河网提取；ArcGIS；水文分析；班公湖流域
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）12-0097-03

Extraction Analysis of Digital River Network in Plateau Pangong Lake Watershed Based on DEM

YAN Buqing[1], MAO Chengyang[1], GONG Kang[1], SHAO Yuxiang[1], ZHANG Chuansong[1]
(1. Civil-Military Integration Center of China Geological Survey, Chengdu 610036, China)

Abstract: In order to obtain more accurate river network information in the Bangong Tso basin, a plateau transboundary lake, we used the hydrological analysis module of ArcGIS software and DEM correction algorithm to discuss the impact of DEM resolution and different threshold extraction processes on the river network based on DEM data from different sources. The results show that the digital river network extracted by higher-precision DEM has a better fitting rate. On the basis of this, we utilized the catchment threshold and the first-order difference relationship of river network density to determine the water catchment threshold, which can easily and quickly simulate the optimal river network threshold. Meanwhile, we found two critical points of the confluence threshold with statistical significance to be the change boundary points of river, valley and slope confluence, which can provide basic data for the hydrological work.

Key words: digitalriver network extraction, ArcGIS, hydrological analysis, Pangong Tso

近年来，基于数字高程模型数据（DEM）计算和提取地貌特征或参数的可行性已成为了研究热点，但其应用过程中面临以下几种问题，如软件算法的准确性和效率、DEM数据的精度及来源所负载的信息缺失问题、区域地形地貌特征对算法的干扰以及提取过程中阈值的选取等[1]，因此针对不同地区数字河网提取过程中的相关问题及提取的结果研究具有重要的实际意义。

本文选取班公湖流域为研究对象，使用ArcGIS软件进行实验数据处理，讨论多源DEM分辨率对河网提取的影响，探讨河网提取过程中阈值选取的水系汇流特征以及流域内不同地形特征河网提取差异，并结合DEM修正的方法获取流域水文特征，为分布式流域水文模型构建提供基础信息。

1　研究区概况及数据来源

班公湖流域是我国与印度之间的跨境高原湖流域，位于32°40′~34°30′N和78°38′~81°15′E之间，流域内海拔范围为4 240~6 780 m，平均海拔5 024 m。班公湖地处高原亚寒带干旱气候区，气候寒冷干燥，日照长、辐射强、冰冻期较长，无霜期短，四季不分明，年降雨量约为70~80 mm，年均气温约为零下0.3℃。流域面积广袤，区内人类活动弱，流域内冰川发育，长期经雪、水充分侵蚀切割，地貌破碎，河网发育极好[2-3]。

本文使用的DEM数据为美国地质勘探局

收稿日期：2022-06-19。
项目来源：班公湖喀纳—尼苏一带综合地质调查项目（ZD20220404）。
第一作者简介：严步青（1990—），工程师，研究方向为应用地质调查，E-mail：1158446930@qq.com。
通信作者：邵玉祥（1993—），工程师，研究方向为环境地球化学，E-mail：127961917@139.com。

（USGS）及美国国家航空航天局（NASA）发布的数据，数据源信息见表1。

表1 DEM数据源信息

数据名称	发布单位	坐标系	数据分辨率/m	DEM格式
ASTER GDEM	NASA	WGS84	1"（约30）	IMG
SRTM3	NASA	WGS84	3"（约90）	IMG
GMTED	USGS	WGS84	7.5"（约250）	GEOTIFF
GMTED	USGS	WGS84	15"（约450）	GEOTIFF

2 研究方法

2.1 河网提取

本文在河网提取实验中使用了ArcGIS 10.4工具箱中包含的水文分析模块。实验的操作过程主要为：首先将融合后的DEM数据进行填洼填充；再使用D8算法，根据某个中心DEM格网与相邻8个格网高程之间的距离权重，确定DEM中每个栅格的水流方向，并生成流动方向图；然后根据水流方向计算汇入到各格网的总栅格数，最后通过设置流量阈值划分子流域范围，并结合既定径流算法提取河网，划分河网等级并形成流域图[4]。

2.2 平地修正

由于DEM数字河网的吻合度取决于DEM数据的准确性，不同精度的DEM在地形变化的位置往往会产生一定的差异，导致在计算中出现误差，尤其是在平缓区域对水流方向计算会产生很大影响。因此，根据河网实际位置来修正DEM网格就有必要性。国内外学者对此研究较多[5]。在相关研究方法中，AGREE算法应用较为广泛，该方法能够以河网矢量线调整重叠网格的高程值，并使用线性插值的方法生成高程缓冲区，以此增加计算中的汇流效果[6]。

3 结果与分析

3.1 不同分辨率多源DEM对河网提取的影响

3.1.1 DEM数据分析

不同分辨率数据基本特征列于表2。结果表明，DEM水平分辨率的降低，其包含的网格数据量减少，变化的幅度也相对减小，主要表现在最大值的减小和最小值的增大，4组数据的平均高程很接近，且高程标准差也较为接近，表明不同分辨率DEM数据的离散程度基本相同。数据也显示，各DEM数据之间仅在最大值和最小值的范围上有一定差异，说明DEM分辨率的降低导致了网格面积增大，致使其中网格包含的地形信息平均化，出现一定程度信息损失。

表2 班公湖流域DEM的基本特征

数据源	分辨率/m	网格数/（列，行）	最小高程/m	最大高程/m	平均高程/m	高程标准差/m
ASTER GDEM	30	10 410, 5 944	3 909	6 771	5 015	482
SRTM3	90	3 867, 2 208	3 930	6 751	5 018	483
GMTED	250	1 547, 883	3 931	6 686	5 019	483
GMTED	450	773, 442	3 940	6 626	5 017	481

3.1.2 河网提取分析

研究表明，DEM数据的分辨率是影响提取数字河网准确度的因素之一[7]。在讨论该问题时，使用班公湖流域总面积的1%作为汇流累计量进行数字河网提取过程，不同分辨率下对应的DEM网格值，通过面积换算得到，同时选取了班公湖主要的补给河来计算不同DEM提取数字河网的套合差，结果显示，ASTER-GDEM 30 m、SRTM3 90 m、GMTED 250 m、GMTED 450 m提取的强隆河河网套合差分别为0.87%、0.88%、0.95%、0.96%，提取的多玛河河网套合差分别为1.99%、2.18%、2.26%、2.36%，提取的玛卡藏布河网套合差分别为1.70%、1.88%、2.11%、3.45%。可见DEM数据精度越高提取的河网吻合相对越好，也进一步说明DEM分辨率越低获取的像元相对粗糙，对河网线的生成影响较大，相反，较高分辨率DEM更能体现出地形地貌的起伏状况，可以更细致地划分流域单元。

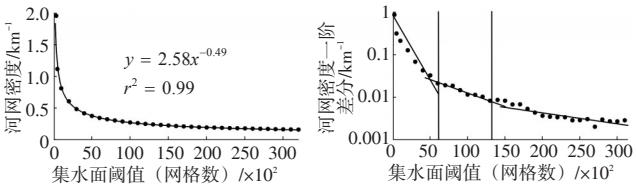
3.2 不同集水阈值的河网提取结果

集水面积阈值（CSA）是指支持一条河道永久性存在所需要的最小集水面积，又称河道临界支撑面积[8]。本文在集水阈值选取的实验中，以提取的河网吻合度较好的ASTER GDEM 30 m数据为基础，结合前人研究的集水阈值与河网密度之间关系，选择拟合两种之间的关系曲线、一阶导数求解拐点的方法[9]，进行选择该流域数字河网提取最佳集水阈值。

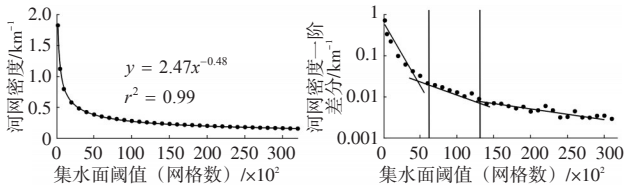
在设置阈值过程中，将阈值网格数分别设置为500、1 000、2 000、4 000、……、30 000、32 000，拟合并分析河网密度与格网阈值的关系。由于班公湖流域内湖体面积较广，在提取实验中湖体处的平行河网较多，因此选择班公湖流域具代表性内流河，即玛卡藏布、多玛河的数字河网密度与面积阈值进行计算统计，各河流拟合的关系如图1所示。可以看出，各河流数字河网密度与集水阈值之间的关系符合前人研究的经验幂指数公式 $y = kx^a$（式中，x 为集水面积阈

值，y为统计的数字河网密度）。从拟合的关系图来看，阈值的设置对数字河网的产生有着显著的关系，即阈值越小，DEM上能够提取的细小河网就越多。

为此，在阈值与河网密度幂函数的基础上，绘出了河网密度一阶差分值变化图，变化图中可以直观看出曲线变化的趋势，即由快速递减至缓慢递减，最后趋于平缓。2种曲线变化趋势可以大致确定两处突变的拐点，一处为骤减至变缓的分界点，是区域坡面上冗杂河网消失的阈值分界；另一处为河网密度变缓至平稳的分界，是细小沟谷河网消失的阈值分界点。



a 玛卡藏布河流域



b 多玛河流域

图1　代表性河流河网密度随阈值变化趋势及分界点划分

这2个分界点将集水阈值分为3个区域，可作为区分该研究区或类似地貌区河网汇流方式的指标，即Ⅰ区的集水面积可能多采用坡面汇流，Ⅱ区的多为细沟道汇流，分布在Ⅲ区的网格则为河道汇流。为验证这2个分界点划分的准确性，将分界点处阈值的提取河网分别与真实的沟谷河网及主河道河网进行对比，根据吻合程度来判定汇流分区的准确性。

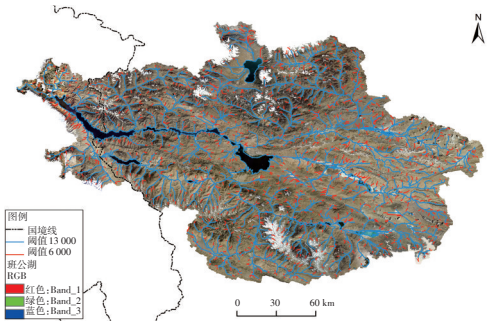


图2　班公湖流域不同阈值的河网提取结果与流域DOM影像水系叠合

班公湖流域不同阈值提取的河网及流域DOM影像叠合情况如图2所示。以流域内强隆河流域为例，将从影像绘制的河网形态特征、河网参数与数字河网及对应分界点提取的数字河网各水文参数进行对比，统计的河网总长度、河网密度等数据及相对误差等数据结果见表3。通过一阶差分求解转折点的方法确定最佳阈值的准确度较高，同时还可以进一步通过一阶差分的变化趋势判断和划分水系的汇流方式。

表3　分界点误差检验

河网特征	提取阈值	河网总长度/km	河网密度/km^{-1}
主河道数字河网	13 000	379.35	0.213
影像主河道河网		375.52	0.211
相对误差/%		1.01	1.01
沟谷数字河网	6 000	526.37	0.296
影像沟谷河网		510.78	0.287
相对误差/%		2.96	2.96

4　结　论

1）班公湖流域数字河网提取实验使用的DEM数据中，精度最高的数据反映的地形信息最丰富，提取的河网套合比也最低，与实际情况更相符。

2）基于河网密度与集水面积阈值的函数关系及其一阶差分值函数特征，找出并验证了班公湖流域存在的坡面到沟道及沟道到河道的汇流阈值分界点，其流域内强隆河河网检验误差分别为1.01%及2.96%，可为该流域及相似地貌区的数字河网提取提供参考。

参考文献

[1] Zhao Y, Xie Q, Lu Y, et al. Scale Effect and Similarity Analysing of the Extracted River Networks Features Based on DEMs with Different Spatial Resolutions[J]. E3S Web of Conferences, 2018, 53(6): 1-7

[2] 徐新良，庄大方，贾绍凤，等. GIS环境下基于DEM的中国流域自动提取方法[J]. 长江流域资源与环境，2004，13(4)：378-384

[3] 张国平，赵琳娜，许凤雯，等. 基于流域结构分析的中国流域划分方案[J]. 北京师范大学学报(自然科学版)，2010，46(3)：417-424

[4] Chang K T，陈健飞，胡嘉骢. 地理信息系统导论(第9版)[M]. 北京：科学出版社，2019：330-355

[5] Turcotte R, Fortin P J, Rousseau N A. Determination of the Drainage Structure of a Watershed Using a Digital Elevation Model and a Digital River and Lake Network[J]. 2001, 240(3): 225-242

[6] Callow J N, Van N K P, Boggs G S. How Does Modifying a DEM to Reflect known Hydrology Affect Subsequent Terrain Analysis [J]. Journal of Hydrology, 2003, 332(2): 30-39

[7] 陈路明，李明海，严政. 不同DEM数据源河网提取对比分析：以章江流域为例[J]. 科学技术创新，2018，3(6)：94-96

[8] Montgomery D R, Dietrich W E. Channel Initiation and the Problem of landscape Scale[J]. Science (New York), 2018, 255(5 046): 826-835

[9] 叶章蕊，卢毅敏，张永田. 基于曲线割线斜率法的水文特征提取[J]. 人民黄河，2016，38(2)：124-128