

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2017.06.015

基于 Arc Hydro Tools 的涪江流域特征自动提取分析^①

康俊, 孙佳, 程炳岩

重庆市气候中心, 重庆 401147

摘要:以涪江流域为例, 基于 1:5 万和 1:25 万两种比例尺数字高程模型(DEM), 利用 Arc Hydro Tools 对 DEM 预处理后进行流域提取, 分析通过不同方案提取的河网、流域面积等相关参数, 同时针对不同分辨率河网出现差异地段的地形坡度和地形标准差进行分析. 实验结果表明: 提取结果的精度在总体上是符合要求的, 但是在地势平坦区域人类活动干扰较大的地区, 提取的结果与实际相差较大. 从提取的效率和实验结果的精度两方面来看, 基于 Arc Hydro Tools 的流域特征自动提取是切实可行的.

关键词: Arc Hydro Tools; DEM; 自动提取; 流域特征; 坡度; 地形标准差

中图分类号: TV882.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5471(2017)06-0083-05

近年来, 随着数字技术的迅猛发展, 特别是地理信息系统(GIS)在海量数据存储、管理、空间分析、可视化显示和制图等方面的卓越功能, 已使目前水文模型研究的重点从流域水文模型转到 GIS 与水文机理模型相结合的分布式水文模型, 而基于 DEM 提取流域水文特征技术正是这种研究的关键接口, 并得到了普遍应用^[1-8], 流域地形特征已成为模拟地表过程的重要组成部分^[9]. 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, 通常有网格(GRID)、不规则三角网(TINS)、矢量(DLGS)3 种形式^[10], 其中栅格 DEM 最为普遍, 计算处理方法简单有效, 且和遥感数据在结构上容易匹配, 在流域水文模型中得到广泛应用. 本文中利用 ArcGIS 及其扩展模块 Arc Hydro Tools, 在 1:5 万和 1:25 万 DEM 的基础上, 以涪江流域为例, 通过模拟水流流向、流域汇流能力、河网自动生成、子流域边界划分来提取流域特征, 为下一步建立分布式水文模型提供基础水文参数.

1 资料和方法

1.1 研究区概况

涪江流域介于东经 103°44′~106°16′、北纬 29°18′~33°03′之间, 北与珙山、龙门山系相接, 西临沱江流域, 呈北西-南东向条带状, 斜贯于四川盆地中部, 长约 430 km, 宽约 50~120 km. 流域面积 35 982 km² (图 1). 地跨四川省绵阳市、遂宁市及重庆市潼南县、合川区. 涪江河长 660 km, 支流呈树状分布. 流域面积大于 100 km² 的支流有 91 条, 其中 1 000~5 000 km² 的有 9 条, 超过 5 000 km² 的有 1 条. 涪江上游段属龙门山断裂褶皱带, 变质岩发育, 地面起伏大, 河道行于高山峡谷中, 河谷狭窄. 中下游段属四川台向斜川北台凹平缓褶皱带, 进入四川盆地丘陵区, 地势逐渐平缓, 出露岩层多为侏罗、白垩系沙泥岩.

① 收稿日期: 2015-02-12

基金项目: 中国气象局公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506014).

作者简介: 康俊(1982-), 男, 湖北钟祥人, 工程师, 硕士, 主要从事气象灾害风险方面的研究.

1.2 数据与方法

1.2.1 数据源

使用的地理数据为：涪江流域 1：5 万、1：25 万分辨率 DEM 和 1：25 万涪江数字水系图。DEM 数据采用 ALBERS 等面积圆锥投影，WCG1984 大地坐标系，中央经线为 105°E，双标准纬线分别为 25°N 和 47°N。

1.2.2 涪江流域提取方法

基于数字高程模型的河网提取方法较多，如 Arc/info 和 Arcview 及其水文扩展模块、Arc Hydro Tools、MAPARCGIS 水文提取模块等，本文采用的是 Arc Hydro Tools 水文分析扩展模块，此模块采用国内外通用的 D8 (Deterministic eight-node) 算法^[2]。其主要计算过程：DEM 的预处理(河道强迫)、水流流向的确定、汇流栅格图的生成、自动生成河网、子流域边界的划分。在 DEM 预处理时的 3 个参数(栅格数)：缓冲区大小、平滑距离、陡降距离的栅格数分别设为 5,10,100，通过 ArcGIS 3D Analyst 作经过同一河道的高程剖面来检验处理结果，图 2 为 30 m 分辨率 DEM 的河道强迫处理前后的坡面分析，从图中可以看出经过河道强迫的 DEM 上出现陡降，这对于汇流产生强迫，使生成的河网更趋于真实。

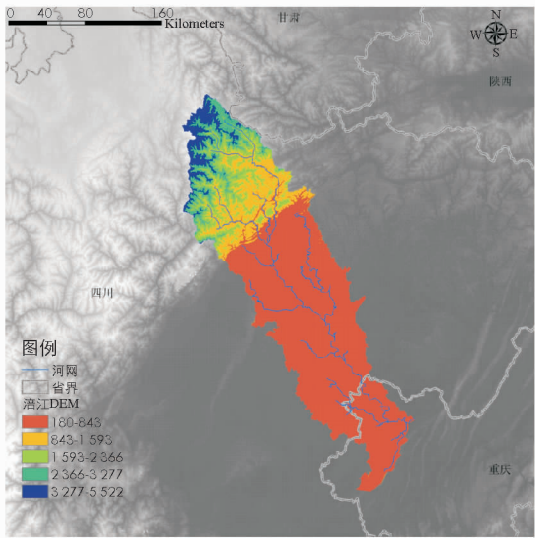


图 1 涪江流域地形分布

缓冲区大小、平滑距离、陡降距离的栅格数分别设为 5,10,100，通过 ArcGIS 3D Analyst 作经过同一河道的高程剖面来检验处理结果，图 2 为 30 m 分辨率 DEM 的河道强迫处理前后的坡面分析，从图中可以看出经过河道强迫的 DEM 上出现陡降，这对于汇流产生强迫，使生成的河网更趋于真实。

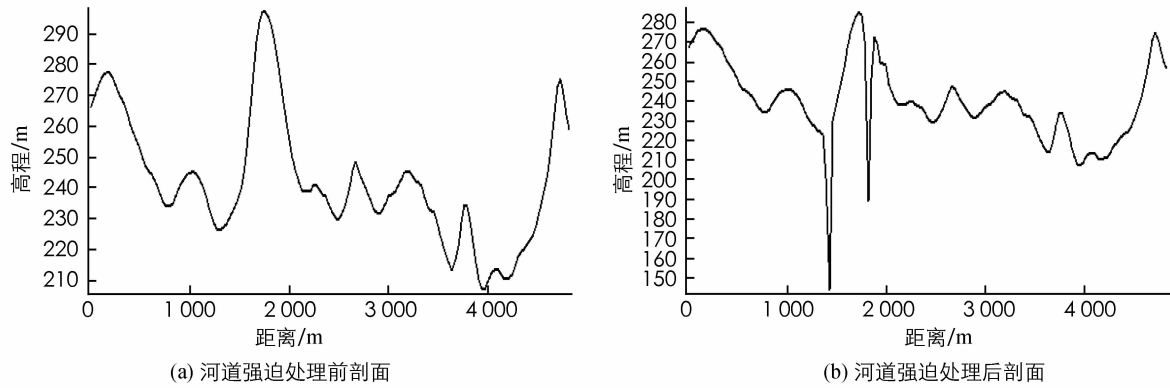


图 2 河道强迫算法效果示意图

2 结果与分析

2.1 涪江流域河网的提取

河网和流域分布可用于多方面的研究，如流域水流的计算、洪水的预测以及气象部门的流域降雨预测等。由于不同分辨率 DEM 栅格单元大小不同，在相同的上游集水区面积阈值下生成的河网不同，阈值越大，河网越稀疏，阈值越小，河网越密集。当集水面积阈值为某一个值时，其河网密度变化趋近于一个稳定值，则能提取出较为准确的河网^[11]。涪江属于三级流域，流域面积较大，Quirm 等^[12]和 Bnmeau 等^[13]研究针对较大流域的河网和流域提取时通常选取分辨率小于 50m 的 DEM。为了验证不同分辨率 DEM 在大流域提取上是否会出现较大区别，多次实验后在对 1：5 万 30 m 分辨率和 1：25 万 90 m 分辨率 DEM 的阈值处理分别采用了 27 000 和 30 000，对应的流域面积为 243 km²，提取的河网如图 3 所示。

从图 3 可以看出，由于采用相同流域阈值，30 m 和 90 m 分辨率 DEM 提取的河网在大部分地方是一致的，提取的流域自然分级数 30 m 分辨率比 90 m 分辨率多 3 个。从整个流域上来看，涪江上游地形复杂加上河网强迫，提取的河网基本一致，而中下游地区地形较为平坦，两种分辨率 DEM 提取的河网存在着细微差异，图 3 左上角为不同分辨率出现差异较大地区。从差异中看出，此段河网 30 m 分辨率出现分叉河网，而 90 m 分辨率河网未分叉。

对提取的自然流域数、河网密度、河道长度进行对比分析(表 1), 不同分辨率 DEM 提取的自然流域数与《中国河湖大典》^[14] 中涪江自然流域数基本相近. 涪江流域面积较大, 在提取的过程中考虑到如果采取以 100 km² 为阈值提取, 对整个涪江流域会产生较多的细微网格点, 不利于整个涪江流域提取控制. 1:5 万和 1:25 万分辨率 DEM 提取的涪江流域面积与真实流域面积的误差均为 0.3%, 基本上均可以满足水文模型中的流域提取需求, 而 1:25 万分辨率提取的河道长度较 1:5 万分辨率更长, 出现了在流域阈值一致情况下, 分辨率越高河道长度越小的状况.

表 1 基于 1:5 万和 1:25 万 DEM 生成的河流参数对比表

DEM	自然流域数	河道长度/km	流域面积/km ²	河网密度/km ⁻¹
30 m 分辨率	84	2 173.6	35 872.8	0.061
90 m 分辨率	81	2 313.8	35 869.1	0.065

2.2 不同分辨率河网提取差异分析

坡度对 D8 法的水流流向起到决定性作用. 由于不同分辨率 DEM 提取的河网存在差异, 对不同分辨率 DEM 的坡度进行对比(图 4), 从图 4 中可看出不同分辨率下的坡度分布较一致, 分辨率越高, 最大坡度越大; 分辨率越低, 单位面积上的高程点高程被平滑, 从而地表坡度趋于平缓, 最大坡度角高分辨率 DEM 较小, 不同分辨率提取的河网差异地段均分布在坡度较小区域. 将提取河网与《中国河湖大典》中涪江河网进行对比, 发现 1:25 万分辨率 DEM 提取的河网更相近. 从图 4 中右上角的局部放大图中可以看出, 出现差异地段位于涪江主干流中河面较宽广地段, 且此地段的坡度不大, 均≤4°. 利用 Arcmap 中 3D Analyst 工具提取了此地段的坡度剖面分析图(图 5), 30 m 分辨率剖面图在中间有一明显坡度≥20°陡坡, 而 90 m 分辨率的坡度剖面分析图却没有, 主要是 90 m 分辨率格网较大, 会出现地形描述不精确, 微地貌被平滑的情况, 导致在 30 m 分辨率情况下中间的坡度起伏在 90 m 分辨率中未出现.

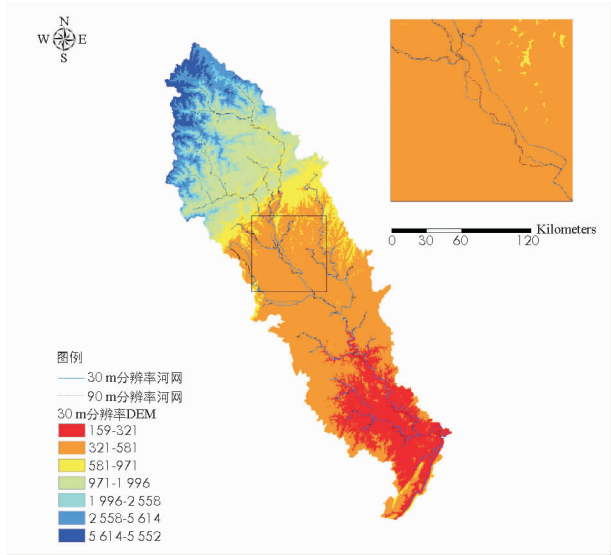


图 3 基于 1:5 万和 1:25 万 DEM 生成的河网

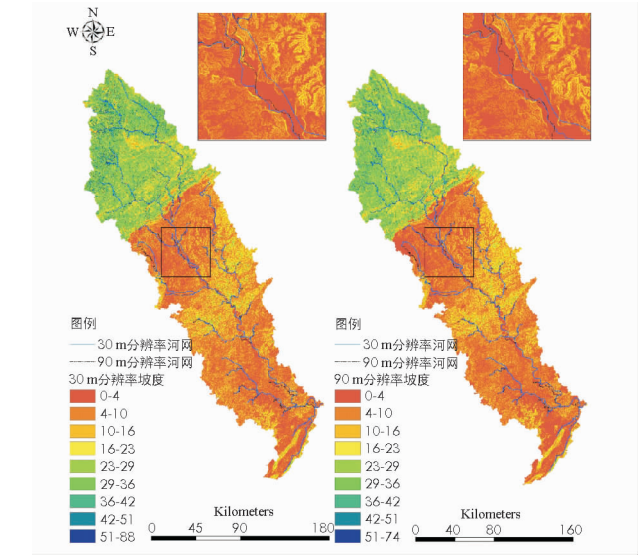


图 4 基于 1:5 万和 1:25 万地形坡度对比

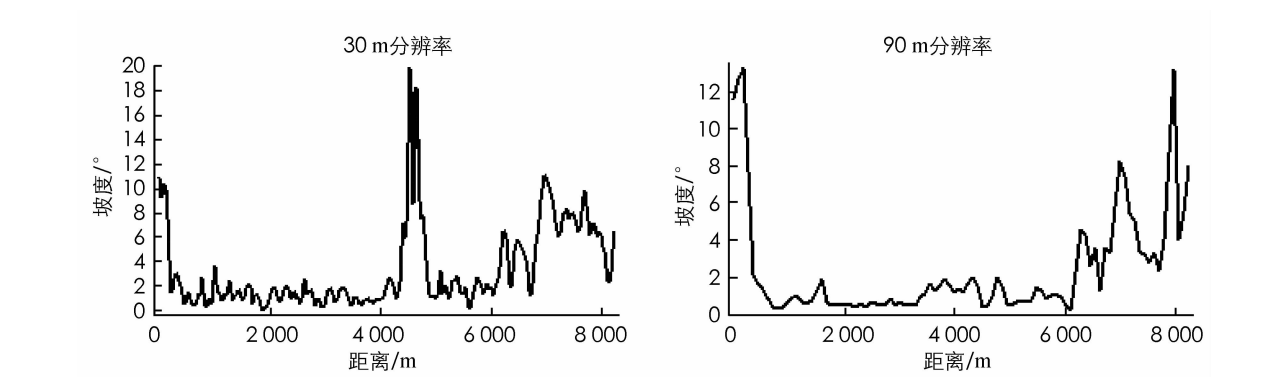


图 5 基于 1:5 万和 1:25 万地形坡度坡面对比

地形的起伏程度是表达某一区域地形特征，通常采用地形标准差来表示，对比分析了不同分辨率下涪江流域的地形标准差。利用 Arcmap 中的 Neighborhood Statistics 计算工具，选择 900×900 m 为统计窗口对地形标准差进行计算(图 6)。从图 6 可以看出，30 m 分辨率的地表标准差的河网差异地段较 90 m 分辨率地形标准差更为细腻，在进行河道流向处理时，水流方向容易产生变化，分辨率较大的 DEM，地形起伏平缓，加上河网强迫，在此区域内未发生河网分叉现象。提取与坡度分析中同一地段标准差剖面分析曲线(图 7)，30 m 分辨率剖面图中可以看出在中间有一地段有一明显凸起物，而 90 m 分辨率剖面图却没有。由于在河网分叉地段属于涪江干流且汇水面积较宽地段，可能存在着人为建造的堤坝，刚好在 90 m 分辨率 DEM 中被平滑掉。

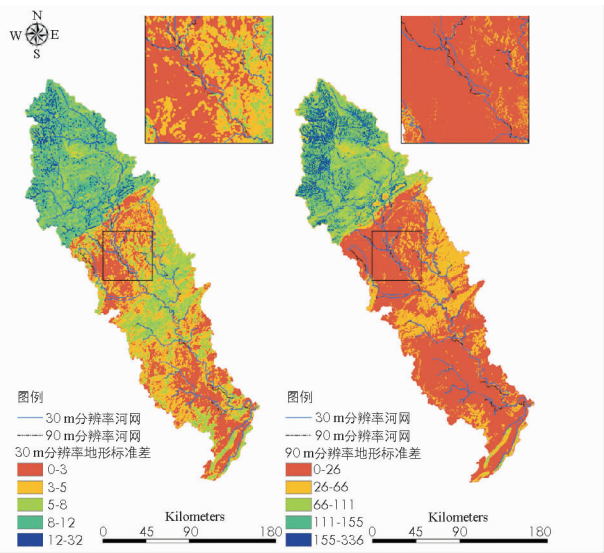


图 6 基于 1：5 万和 1：25 万地形标准差对比

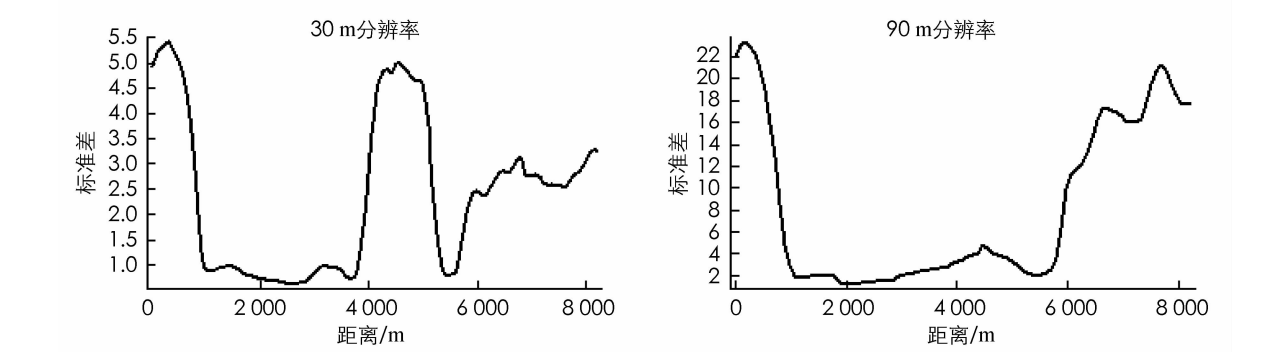


图 7 基于 1：5 万和 1：25 万地形标准差剖面对比

3 结语与讨论

本文以三级河流涪江为例，利用 Arc Hydro Tools 工具，基于 1：5 万和 1：25 万分辨率 DEM，河网强迫预处理后提取 30 m 分辨率和 90 m 分辨率的河网及其自然流域，对 2 种不同分辨率河网和流域进行了对比分析。结果表明：

- 1) 通过河道强迫预处理后的 DEM，对于提取河网时候的汇流进行了人工干预，使得提取的河网更加趋于真实。
- 2) 不同分辨率 DEM 上提取的河网和流域属性差异不大，并不是 DEM 分辨率越高流域的提取就越精确，与流域阈值关系较大，可以针对流域面积大小选择合适的分辨率的 DEM 进行流域提取。
- 3) 在地形平缓地段人工建造的堤坝等建筑对河流的走向和汇流会产生较大影响，高分辨率 DEM 能够比较清晰地反映这种影响，但是对于河网提取会产生不利影响。
- 4) 实验中所选取的涪江流域，其自然地理状况与气象气候特征在重庆地区具有典型性和代表性，研究中所用的地形分析技术、方法和得出的结论在理论上能够推广到其它相应的流域，用来提取流域的水文要素信息。

利用 DEM 数据提取河网的研究仍然在不断改进与发展中，将有更多适合不同区域地形地貌的方法产生。同时，该方法在水文学上的应用也有待提高与发掘。

参考文献：

[1] 刘学军, 卢华兴, 卞璐, 等. 基于 DEM 的河网提取算法的比较 [J]. 水利学报, 2006, 37(9): 1134—1141.

- [2] 吴险峰, 王中根, 刘昌明, 等. 基于 DEM 的数字降水径流模型—在黄河小花间的应用 [J]. 地理学报, 2002, 57(6): 671—678.
- [3] O'CALLAGHAN J F, MARK D M. The Extraction of Drainage Network from Digital Elevation Data [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1984, 28(3): 323—344.
- [4] JENSEN S K, DOMINGUE J O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988, 54(11): 1593—1600.
- [5] 俞 雷, 刘洪斌, 武 伟. 基于 DEM 的重庆三峡库区流域水系提取研究 [J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006, 28(2): 215—218.
- [6] 曾红伟, 李丽娟, 柳玉梅, 等. Arc Hydro Tools 及多源 DEM 提取河网与精度分析——以洮儿河流域为例 [J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(1): 22—31.
- [7] 朱 庆, 田一翔, 张叶廷. 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, 2005, 34(2): 129—133.
- [8] 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.
- [9] 王培法. 栅格 DEM 的尺度与水平分辨率对流域特征提取的分析——以黄土岭流域为例 [J]. 江西师范大学学报(自然科学版). 2004, 28(6): 549—554.
- [10] 舒栋才, 程根伟, 林三益. 基于 DEM 的岷江上游数字流域的离散化 [J]. 四川大学学报(工程科学版), 2004, 36(6): 6—11.
- [11] 李昌峰, 赵 锐. 流域水系自动提取在西苕溪流域的应用 [J]. 热带地理, 2003, 23(4): 319—323.
- [12] QUINN P F, BEVEN K J, LMNB R. The $\ln(\alpha/\tan\beta)$ Index: How to Calculate it and How to Use it Within the TOP-MOEDL Framework [J]. Hydrological Processes, 1995, 9(2): 161—182.
- [13] BRUNEAU P, GASCUEL O C, ROBIN P, et al. Sensitivity to Space and Time Resolution of a Hydrological Model Using Digital Elevation Data [J]. Hydrological Processes, 1995, 9(1): 69—81.
- [14] 敬正书. 中国河湖大典 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010: 208—209.

Automated Extraction of Watershed Characteristics Based on Archydro Tools: A Case Study of Fujiang Watershed

KANG Jun, SUN jia, CHENG Bin-yan

Chongqing Climate Center, Chongqing 401147, China

Abstract: Fujiang river basin has been selected as the study area, and drainage basin characteristics been exacted and analyzed from “burn-in” DEM at two scales (1:50000 and 1:250000) with the Arc Hydro Tools, The selected parameters include those commonly use in hydrology and geomorphology such as drainage network, area and channel length. According to the different resolution of differences between the sections of the river terrain slope and standard deviation of terrain have been compared and analyzed. Two results show that 1) for different resolutions, the derived drainage network have some different on flat area or the disturbance of human activities area, but the accuracy is meet the requirement; 2) from the efficiency and the accuracy, drainage basin characteristics exacted by using the Arc Hydro Tools is feasible.

Key words: Arc Hydro Tools; Digital Elevation Model(DEM); automated extraction; watershed characteristic; slope; standard deviation of terrain