

# 望谟河流域河网分级阈值对径流推求影响

孙桐<sup>1</sup>, 杨胜梅<sup>2</sup>, 任洪玉<sup>2</sup>, 王协康<sup>1\*</sup>

(1. 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都, 610065; 2. 长江水利委员会长江科学院, 武汉 430010)

**摘要:** 研究山洪地质灾害过程, 需进行水文分析研究, 而利用 DEM 数据提取河网已经成为水文分析研究中重要组成部分。同一流域采取不同集水面积阈值, 会得到不同的河网密度, 从而影响水文过程的模拟结果。本文将山洪地质灾害频发的贵州省望谟河流域为研究区, 基于 ArcGIS 平台对望谟河流域进行不同集水面积阈值下的河网进行提取, 结合水文模拟方法, 分析不同条件下的水文过程变化规律。

**关键词:** 望谟河; 河网分级阈值; 河网密度; 水文模拟方法; 径流推求

## 1 引言

河网是分布较密的交错纵横的河道所构成的水系。对于河网的提取始终是研究地形地貌与水文模拟的重要过程。模拟变量的参数的选择对模拟结果会产生不同的影响, 在提取河网时, 常常根据地形图勾绘出河网, 该方法主观性较大, 给数值模拟带来了不确定性。河网的提取主要依据为集水面积阈值<sup>[1]</sup>。在众多集水面积阈值中如何确定最优的集水面积阈值, 目前研究方法中评价指标不同。在实际模拟中, 仅考虑单一维确定最优集水面积过于简单, 实际流域地貌十分复杂, 采用多重分形来刻画<sup>[2]</sup>。李丽<sup>[3]</sup>以水系分形维数等为评价指标引入的电子水系为实际水系的参考标准。河网密度作为一个地区水系的重要指标, 河网密度越大, 在一定程度上支流就越多, 河网越密集。孔凡哲<sup>[4]</sup>将河网密度随着集水面积阈值变化趋于平缓时取为最优集水面积阈值。其中, 河网密度推求最佳阈值计算较为简便, 应用较广, 且河网密度与推求区域内发生山洪灾害的可能性相关。因此, 本研究采用集水面积阈值与河网密度关系, 把河网密度变化趋于稳定时对应的值作为最佳集水面积阈值, 探讨了不同阈值对推求径流过程的影响。

资助项目: 国家重点研发计划 (2017YFC1502504); 国家自然科学基金项目 (51639007)。

作者简介: 孙桐 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水力学及河流动力学。

\*通讯联系人 E-mail: [wangxiekang@scu.edu.cn](mailto:wangxiekang@scu.edu.cn)

## 2 研究区概况

采用贵州省望谟县望谟河流域为研究区。望谟河发源于望谟县打易，主河流长 74km，主要支流为纳过河，纳坝河，纳朝河，松林河。整个望谟境内地势起伏较大，北部打易镇跑马坪为望谟县境内最高处，海拔高达 1718m，昂武镇打乐河口为海拔最低处，仅 275m。望谟属亚热带温湿季风气候，每年 6~8 月降雨量较多，年内降雨分配不均，汛期洪水流量大，再加上由于当地植被覆盖率较低，上游地质结构较差，造成当地山洪灾害频发。在 2006 年 6 月，2008 年 5 月及 2011 年 6 月发生过大规模洪水。其中 2011 年洪水根据实测资料，望谟河上游打易站实测最大 1h, 6h, 24h 降雨量高达 135.5mm, 351.5mm, 364.5mm，望谟县城洪水重现期超过 200 年。由于该年暴雨属于典型的短时强降雨案例，对于不同方案模拟进行比较可以呈现出较好的效果，本次研究选取该年暴雨进行模拟。

## 3 基础数据

水文降雨资料数据基于 2011 年打易站及望谟站洪水发生时实测降雨量，洪水调查分析报告<sup>[5]</sup>确定实际洪峰流量。地形数据为 DEM 数据，基于 Arcgis10.1 提取地理信息。由于在 DEM 生成时产生的数据错误以及一些真实凹陷地形的存在，会对后面水流流向计算产生不好的影响，事先对 DEM 数据进行填洼处理。最后通过 KW-GIUH 模型对于洪水流量过程进行模拟。

## 4 KW-GIUH 模型介绍

运动波—地貌瞬时单位线模型（KW-GIUH 模型）利用径流在河网中的运行机制，配合流域内各级序坡地流与渠流的径流运行时间，建立适用于无流量纪录地区的运动波—地貌瞬时单位线。KW-GIUW 模型结构简单、计算程序稳定、以及所需计算时间短。该模型在产流过程中没有考虑坡面产流过程，认为降落在坡面的雨滴全部为有效降雨，这对于本次望谟短时强降雨模拟结果影响不大。

应用 KW-GIUH 模型进行流域降雨径流模拟，其所需输入的模型参数包括有效降雨过程以及通过 ArcGIS 处理得到的流域地理信息如集水区平均面积(km<sup>2</sup>)、河槽平均长度(km)、坡地平均坡度、河槽平均坡度等；而模型的输出则为流域的直接径流过程。其中流域地理信息通过 Arcgis10.1 提取得到，降雨资料依据实测数据推算。

## 5 集水面积阈值处理及选择

集水面积阈值（CSA）又称河道临界支撑面积，其一般定义为支撑一条河道永久性存在所需要的最小集水面积。随着集水面积阈值的改变，相应的水文特征发生变化。模拟通过改变集水面积阈值，改变河网分级和提取，使河网密度发生变化，影响最后影响模拟结果。本次阈值为 1000~15000 每隔 1000 选取一次阈值，共 15 组工况。将河网分级和河流总长度提取出来，计算河网密度，其河网密度的计算公式为：

$$V = L/A \quad (1)$$

式中：V 表示一定流域内的河网密度，L 表示该区域内所有的河流总长度，A 表示流域面积。

## 6 计算结果及分析

望漠河流域面积为 190.077km<sup>2</sup>，图 1 为不同阈值条件下的河网图，图中河流曲线粗细代表了河网的分级。由图可知随阈值不断增大，河网密集程度不断下降，分级级数也由四级逐渐降为二级。

在阈值 1000-15000 条件下等间隔提取河网，得到河流长度计算得出河网密度如表 1 所示。将河网密度与集水面积阈值拟合曲线如图 2。

表 1 河网密度成果

集水面积阈值（栅格数）	河流总长度（km）	河网密度（km <sup>-1</sup> ）	集水面积阈值（栅格数）	河流总长度（km）	河网密度（km <sup>-1</sup> ）
1000	197.82	1.04	9000	79.83	0.42
2000	148.87	0.78	10000	76.45	0.40
3000	121.76	0.64	11000	72.50	0.38
4000	107.66	0.57	12000	69.65	0.37
5000	99.60	0.52	13000	67.92	0.36
6000	92.76	0.49	14000	65.80	0.35
7000	87.43	0.46	15000	63.37	0.33
8000	83.60	0.44			

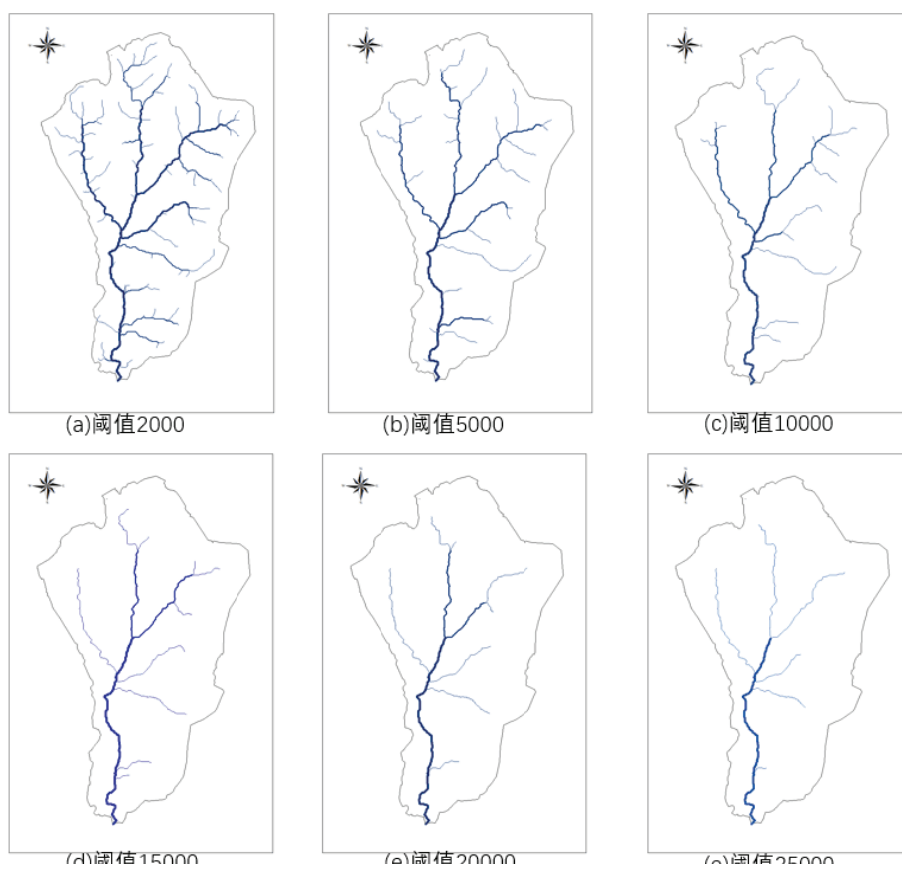


图1 不同阈值下河网图

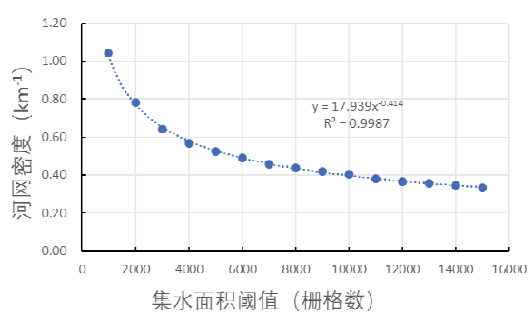


图2 河网密度与集水面积阈值曲线图

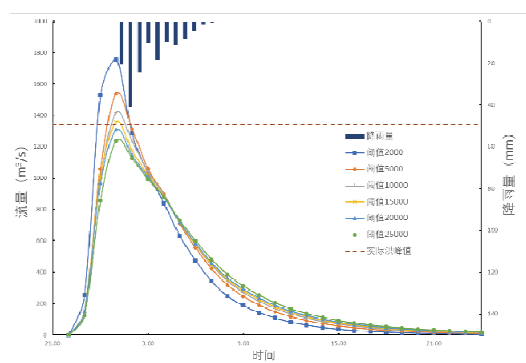


图3 不同阈值条件下径流过程线

通过河网密度与集水面积阈值拟合公式为：

$$y = 17.939x^{-0.414} \quad (2)$$

式中相关系数为 0.9987，表明河网密度与集水面积阈值拟合关系紧密。由图 2 直接确定河网密度稳定趋势稍显困难，相对误差较大。采用对式 (2) 进行一阶求导，即

$$y' = -7.426x^{-1.414} \quad (3)$$

寻找一阶导数值趋于 0 的值，作为流域最佳阈值。拟合曲线为幂函数，一阶导数的绝对值不存在极小值点，选取过程中不能得到一个准确的最佳阈值，即在用河网密度推求最佳阈值存在一定主观性。根据目测河网密度成果表认为在 5000 阈值时，河网密度变化已经趋于平缓，根据其一阶导数函数图像确定认为在 10000 阈值时趋于平缓。

进行水文模拟时，分别选取 2000，5000，10000，15000，20000，25000 六组不同阈值进行模拟，将模拟径流过程绘制曲线图后如图 3 所示。

根据洪水调查分析报告<sup>[5]</sup>得出洪峰为 1340m<sup>3</sup>/s，本文认为其为实际洪峰。由图 3 可知，与实际洪峰最为接近时 15000 阈值条件下的模拟结果 1357m<sup>3</sup>/s。5000 阈值条件下洪峰流量为 1538m<sup>3</sup>/s，10000 阈值条件下洪峰流量为 1416m<sup>3</sup>/s，相比之下误差较大。当阈值为 2000 时，模拟洪峰流量高达 1756m<sup>3</sup>/s，与实际洪峰流量相差较大。在阈值较小时，起涨速度较快，洪峰峰值较高，且退水速度快；阈值较大时，起涨速度较慢，洪峰峰值较低，退水速度较慢。在模拟结果中洪峰峰值始终随径流过程进行相对规律性变化，认为洪峰的数值在一定程度上可作为一次径流模拟的准确性的评价指标。

通过观察各模拟结果中洪峰流量，发现在较小阈值与较大阈值洪峰流量均存在较大变化，在 15000 阈值左右洪峰流量变化趋于平缓。由于 2000 阈值条件下误差较大，舍去。将其余五组洪峰与阈值的曲线进行拟合分析，得到一个三次多项式。通过拟合公式为：

$$y = -6 \times 10^{-11}x^3 + 3 \times 10^{-6}x^2 - 0.0574x + 1760 \quad (4)$$

对式 (4) 进行一阶求导得到：

$$y' = -1.8 \times 10^{-10}x^2 + 6 \times 10^{-6}x - 0.0574 \quad (5)$$

式 (5) 有没有零点存在，当 x 取 16666 时，一阶导数绝对值取最小值，即洪峰流量变化率最小，洪峰流量趋于平缓，认为该点为最佳阈值点。

通过计算得出的最佳阈值点与之前方法预估的最佳阈值点相差较大。与该点接近的阈值 15000 模拟结果洪峰流量也更接近实际洪峰。

利用 KW-GIUH 模型进行本次洪水模拟过程中，通过集水阈值与河网密度关系，把河网密度变化趋于稳定时直接确定对应的值作为集水面积阈值的方法存在一定主观性，对径流模拟结果产生一定误差。

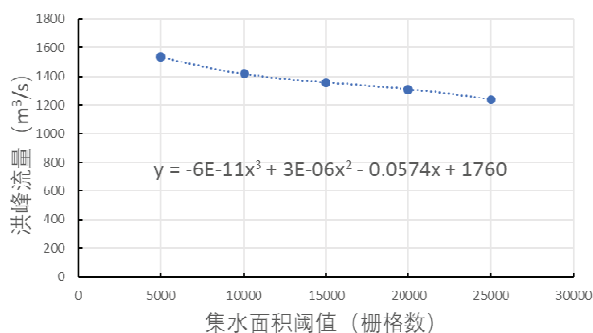


图 4 洪峰流量与集水面积阈值曲线

当阈值小于通过计算得出的最佳阈值时，会模拟出较大的洪峰流量，造成误差。尤其当阈值过小时，会与实际河网不符，河网密度过大，导致模拟过程中汇流时间缩短，与实际流量过程不符，对水文预报结果有不利影响。相比之下通过对不同阈值条件下模拟结果洪峰流量进行处理得到的最佳阈值更为准确。

## 7 小结

本文在进行山洪灾害模拟过程中，基于不同阈值条件下提取出来的河网运用 KW-GIUH 模型进行径流模拟，通过模拟分析可得结果。

(1)通过模拟结果发现，阈值较小时，起涨速度快，洪峰峰值高，退水速度快；阈值较大时，起涨速度慢，洪峰峰值低，退水速度慢。洪峰峰值随径流过程进行相对规律性变化，认为洪峰的数值在一定程度上可作为一次径流模拟的准确性的评价指标。

(2)当阈值在一定范围内，当河网密度发生改变时，相应模拟结果较为相似，洪峰流量趋于平缓，存在通过洪峰流量定量分析找到最优集水面积阈值的可能。

(3)通过对模拟结果中洪峰曲线的模拟，发现原有通过方法得出最佳阈值误差较大。本文对洪峰关于阈值的曲线进行拟合，得出变化率最小的点，认为该点为最佳阈值点。模拟结果中与该点最为接近的点也呈现了与实际流量最为接近的模拟结果。

## 参 考 文 献

- 1 O'Callaghan J F . The Extraction of drainage networks from digital elevation data[J]. Computer Vision, Graphics, And Image Processing, 1984, 28(3):323-344.
- 2 王协康, 方铎. 流域地貌系统定量研究的新指标[J]. 山地研究, 1998(1):8-12.
- 3 李丽. 分布式水文模型的汇流演算研究[D]. 河海大学, 2007.
- 4 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(4):65-67.
- 5 黔西南州水文局. 望谟县“2011.6.06”暴雨洪水调查分析报告[R]. 2011.

## **Effect of the threshold of catchment area on runoff analysis in**

### **Wangmo River basin**

SUN Tong<sup>1</sup>, YANG Sheng-mei<sup>2</sup>, REN Hong-yu<sup>2</sup>, WANG Xie-kang<sup>1</sup>

(1. State Key Lab. of Hydraulics and Mountain River Eng., College of Water Resource&Hydropower, Sichuan Uni., Chengdu, 610065; Email: wangxiekang@scu.edu.cn

2.Changjiang River Scientific Research Institute of Changjiang Water Resources Commission,Wuhan 430010,China)

**Abstract:** To study the process of mountain torrent geological hazards, hydrological analysis is needed. Extracting river network from DEM data has become an important part of hydrological analysis. Different catchment area thresholds in the same basin will result in different river network densities, which will affect the simulation results of hydrological processes. In this paper, Wangmo River Basin in Guizhou Province, where mountain torrents frequently occur, is taken as the research area. Based on ArcGIS platform, the river network of Wangmo River Basin is extracted under different catchment area thresholds, and the hydrological process variation law under different conditions is analyzed with hydrological simulation method.

**Key words:** Wangmo River; Threshold of catchment area; River network density; Hydrological simulation method; Runoff analysis