

中田舍流域的产汇流模型研究

纪小敏¹, 周 毅¹, 胡尊乐², 贺晓婧³

(1. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省水文水资源勘测局常州分局, 江苏 常州 213000; 3. 华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311100)

摘要: 利用地理信息系统技术对中田舍流域数字高程模型 (DEM) 进行提取, 获得地貌单位线中所需的地貌参数及其他流域信息, 建立该流域的地貌单位线汇流模型, 并利用实测资料验证其精度。结果表明: 中田舍流域 2016 年 3 场洪水的模型模拟确定性系数均达到了 0.9 以上, 模拟的洪峰与径流深的数值也较为相近, 峰现时间的误差均在 1 h 之内。

关键词: 地理信息系统; 数字高程模型; 地貌参数; 汇流模型

中图分类号: TV131.65 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 10-0037-03

Study on runoff generation and concentration model of Zhongtianshe River Basin

Ji Xiaomin¹, ZHOU Yi¹, HU Zunle², HE Xiaojing³

(1. Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210029, Jiangsu; 2. Changzhou Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Changzhou 213000, Jiangsu; 3. East China Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Hangzhou 311100, Zhejiang)

Abstract: Technology of geographical information system was used to extract the digital elevation model (DEM) in Zhongtianshe River Basin, which obtained the geomorphic parameters and other watershed information acquired in the geomorphologic unit hydrograph, established the concentration model of geomorphologic unit hydrograph, and verified its accuracy by measured data. The results showed that the simulation coefficients of the 3 floods in the Zhongtianshe River Basin in 2016 had reached more than 0.9. The simulated flood peak and the runoff depth were also close, and the error of peak time was within 1h.

Key words: geographic information system; digital elevation model; geomorphic parameter; concentration model

1 中田舍流域及站点概况

中田舍河小流域是组成沙河水库流域的一部分, 是太湖流域典型的丘陵区, 位于沙河水库的上游, 属太湖湖西宜溧丘陵山区的组成部分。中田舍河源起苏皖交界的关山, 下游汇入沙河水库, 河流

全长 25 km。中田舍河小流域内地势起伏较大, 山脉多呈指状或串珠状, 自南向北延伸。地貌类型复杂多变, 主要为丘间谷地和河谷阶地, 地面高程多在 20 ~ 200 m 之间。植被类型主要是落叶常绿阔叶混交林、常绿阔叶林以及针叶林等。

根据溧阳市水库管理处 2011 年专项调查资

收稿日期: 2017-08-08

基金项目: 江苏省水利科技项目 (2016012)

作者简介: 纪小敏 (1981-), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为水文水资源。

料估算,中田舍河小流域区域总面积为 42.0 km^2 (见表 1)。其中,林地面积约为 23.7 km^2 ,耕地面积约为 8.91 km^2 ,茶果园面积为 4.26 km^2 ,草地面积约为 0.57 km^2 ,建设用地面积为 2.27 km^2 ,闲置用地(裸地、退耕地和河湖漫滩)面积为 1.79 km^2 ,水面面积约为 0.50 km^2 。

表 1 中田舍小流域土地利用情况统计表

类型	面积 / km^2	百分比 (%)
林地	23.70	56.4
茶园	4.26	10.1
草地	0.57	1.4
耕地	8.91	21.2
建设用地	2.27	5.4
闲置用地	1.79	4.3
水面面积	0.50	1.2
总面积	42.00	100.0

中田舍的雨量站于 1960 年设立,2006 年在中田舍河的鲶鱼桥处设置了流量、泥沙监测断

来水较大时根据需要增加测次。测验方式是低水位时采用浮标法测流,并与薄壁堰推流数据进行对比;高水位时,采用流速仪法测流,地下水位采用自动观测方式。2013 年,在鲶鱼桥东南山岭上安装了 1 台全自动气象站,监测项目主要有空气温度、空气湿度、风速、风向、雨量、气压、总辐射。

2 研究方法

2.1 地貌参数提取

下载中田舍流域所在的原始 DEM,利用 ArcGIS 水文分析模块对其进行洼地填平、水流方向确定、汇流累积量生成、水系提取^[1],然后根据流域出口控制点提取出中田舍流域的 ENVI 栅格文件。

将生成的 ENVI 格式数据加载入 Rivertools 软件,提取出依据 D8 算法和强制梯度法生成的 D8 流域网格文件,然后确定流域出水口并存入 Basin Outlet 文件,生成流域边界图和流域树形河网文件^[2],最后读取流域面积 S 、最高级河流长度 L_Ω 及霍顿地貌参数 R_A (面积比)、 R_B (分叉比)、 R_L (河长比)等 (见表 2)。

表 2 中田舍河流域霍顿地貌参数

流域	霍顿地貌参数			流域参数		
	R_A	R_B	R_L	面积 / km^2	L_Ω (km)	v (m/s)
中田舍河	4.349	4.401	1.806	41.6	10	3

面,2013 年设置了水位观测断面、气象观测点以及地下水水质观测井,成为国家水土保持的监测站点(小流域控制站,东经 $119^\circ 21' 32''$,北纬 $31^\circ 13' 24''$)。目前,中田舍河小流域控制站观测项目有降水量、水位、流量、泥沙、气象等。降水量采用人工观测和遥测仪器观测两种方式:人工每日观测两次,遥测系统通过雨量传感器在线实时监测雨量数据,通过 GPRS 方式上传。水位采用人工观测和遥测两种方式:设有两组水尺 P1、P2。其中,P1 观测滚水坝上游水位,P2 观测薄壁堰处水位。滚水坝上游东侧设有水位井,架设浮子式水位计,水位数据通过 GPRS 方式发送至沙河水库管理处,再通过电信网络传送至溧阳水文水资源监测中心。流量采用人工监测方式:每月 5 号、10 号、15 号、20 号、25 号各施测 1 次,遇上游暴雨、

2.2 模型建立

新安江模型结构为分散性的,分为蒸散发计算、产流计算、分水源计算和汇流计算 4 个层次结构,目前被广泛应用于我国湿润地区及部分半干旱地区。

地貌单位线法 (Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH) 可以实现在流域资料缺测的情况下,仅通过流域的地形地貌特征 (如 DEM 资料) 就可以确定流域单位线的方法^[3],是一种具有广泛的实用性和操作性的汇流方法,尤其在地貌特征十分明显的山丘区效果更为明显。

本文径流模拟采用新安江模型与地貌单位线方法结合,用地貌单位线代替原本新安江模型中的汇流计算部分,即用地貌单位线 (GIUH) 代替“黑箱模型”。新安江模型与地貌单位线模型结构示

意图见图 1。

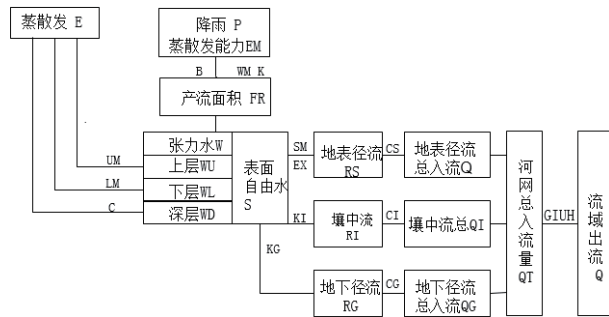


图 1 新安江模型与地貌单位线模型结构示意图

2.3 单位线提取

本文选择传统地貌单位线计算公式^[4], 在考虑流域汇流及地貌扩散等影响的基础上, 可以更直观地利用霍顿地貌参数计算地貌单位线, 即:

$$GIUH = \left(\frac{t}{k}\right)^{a-1} \frac{e^{-\frac{t}{k}}}{k\Gamma(a)} \quad (1)$$

$$a = 3.29 \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.78} R_L^{0.07} \quad (2)$$

$$k = 0.70 \left(\frac{R_A}{R_B R_L}\right)^{0.48} \frac{L_\Omega}{v} \quad (3)$$

式中:

V —流域平均汇流速度, m/s;

t —时间, h;

L_Ω 、 R_A 、 R_B 、 R_L 意义同前, 将上述参数代入式(1)、(2)、(3)中可得出本流域地貌单位线。

3 中田舍流域模型初步验证

根据中田舍雨量站观测资料, 2016 年 6 月 18 日~7 月 17 日, 累积降水量达到 702.5 mm, 最大日降水量达到 107.0 mm (2016 年 7 月 1 日), 累计蒸发量为 43.9 mm。其间, 有 6 次的日降水量超过了 50 mm, 并形成了 6 次较明显的洪水过程, 平均水位达到 23.62 m, 最高水位为 24.27 m (2016 年 7 月 2 日)。

本文选取 2016 年中 3 场有实测资料的洪水进行模拟分析。3 场洪水的起止时间分别为: 2016 年 6 月 19 日 23:00 ~ 6 月 22 日 8:00 (20160619 洪水过程), 2016 年 6 月 27 日 2:00 ~ 7 月 1 日 0:00 (20160626 洪水过程), 2016 年 7 月 1 日 1:00 ~ 7 月 10 日 0:00 (20160701 洪水过程)。

3 场洪水模拟过程见图 2 (图中 P 为降雨,

Q_0 为实测过程, GIUH 为模拟过程), 中田舍流域 2016 年实测洪水模型验证结果见表 3。

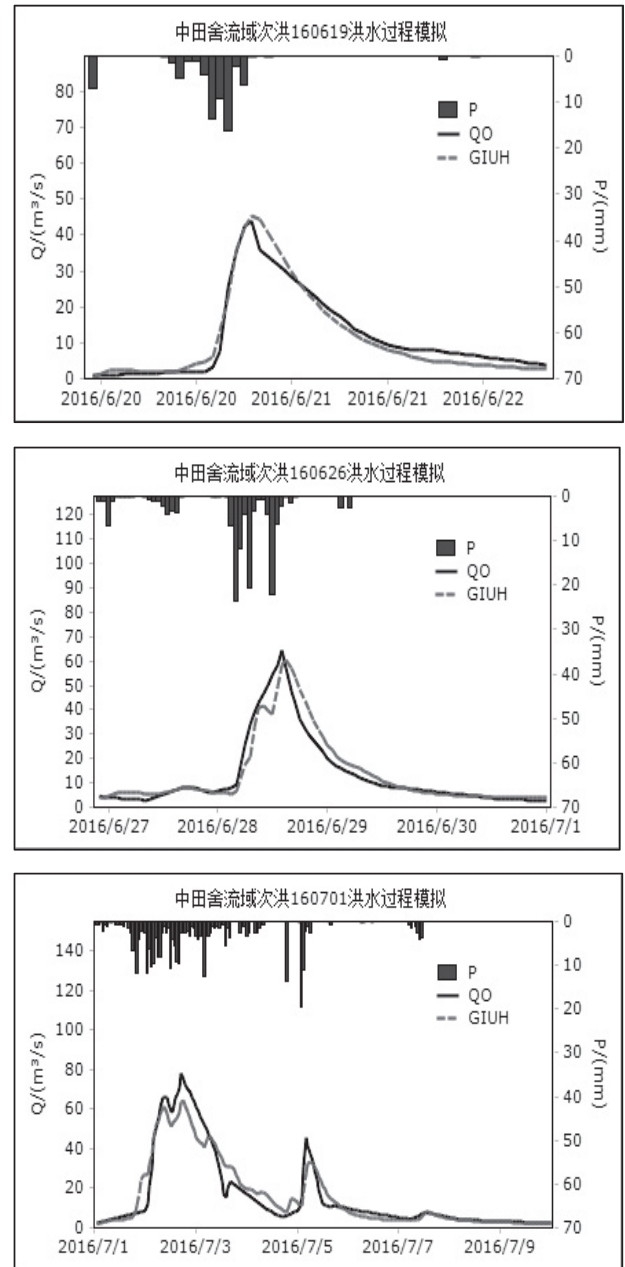


图 2 中田舍流域 2016 年实测洪水模拟过程图

4 结论

中田舍流域 2016 年 3 场洪水的模型模拟确定性系数均达到了 0.9 以上, 模拟的洪峰与径流深的数值也较为相近, 峰现时间的误差均在 1 h 之内。模拟效果最好的洪水为“160619”洪水, 确定性系数达到 0.955, 计算径流深和洪峰流量的

(下转第 43 页)

(上接第 42 页)

表 3 中田舍流域 2016 年实测洪水模型验证结果统计表

洪号	实测 径流深 (mm)	计算 径流深 (mm)	相对 误差 (%)	实测 洪峰流量 (m ³ /s)	计算 洪峰流量 (m ³ /s)	相对 误差 (%)	峰现时间 误差 (h)	DC
160619	58.5	57.06	-2.5	44.0	45.0	3.0	0	0.955
160626	111.9	120.8	7.9	64.0	60.0	-6.6	1	0.908
160701	299.0	306.1	2.3	78.0	64.0	-18.0	1	0.911

相对误差的绝对值均小于 3%; 其次是“160701”洪水, 确定性系数达到 0.911, 实测径流深相对误差的绝对值不到 3%, 由于洪水出现 2 次洪峰, 情况相对复杂, 所以对于洪峰流量计算的误差相对较大; 最后是“160626”洪水, 确定性系数达到 0.908, 径流深和洪峰流量计算的相对误差的绝对值不到 7%。

参考文献:

[1] 常直杨, 王建, 白世彪, 等 . 均值变点分析法在最佳集水面积阈值确定中的应用 [J] . 南京师范大学学报,

2014, 37 (1) : 147-150 .

[2] 周晖子, 毕华兴, 林靛靛 . 基于 DEM 导出的水文地形参数对比研究——在 ArcGIS 和 Rivertools 环境下 [J] . 北京林业大学学报, 2010, 32 (3) : 101-105 .

[3] 王欢, 刘九夫, 谢白银, 等 . 流域地貌参数影响因子分析 [J] . 水文, 2015 (5) : 30-34 .

[4] MOUSSA R. Definition of new equivalent indices of Horton-Strahler ratios for the derivation of the Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph [J] . Water Resources Research, 2009, 45 (9) : 63-69 .

(责任编辑: 徐丽娜)