

HEC - HMS 模型次洪模拟的参数敏感性分析及应用

陈芬, 陈兴伟, 谢剑斌

(福建师范大学 地理研究所, 福建 福州 350007)

摘要: 采用修正的 Morris 筛选法对 HEC - HMS 模型进行参数敏感性分析, 并对晋江流域 1972 - 1979 的实测数据进行参数率定及验证, 建立晋江流域洪水模拟分布式模型。研究表明: 模型的敏感性主要参数为 CN 、 K 、初损、流域滞时; 单峰的洪水模型效率系数在 0.8 以上, 峰现误差在 3 h 以内, 多峰的洪水效率系数在 0.6 以下, 显示 HEC - HMS 模型对晋江流域单峰洪水适应性很好。

关键词: 洪水模拟; HEC - HMS 模型; 参数敏感性; Morris 筛选法

中图分类号: TV12; P333

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)05-0119-04

Sensitivity analysis of paramerters of the rainflood similation by using HEC-HMS hydrological model and its application

CHEN Fen, CHEN Xingwei, XIE Jianbin

(Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Taking Jinjiang River Basin as study area, and using Morris screening method, parametric sensitivity of HEC - HMS for flood simulation was analyzed. After calibration and validation on the basis of measured data from 1972 to 1979, a distributed flood simulation model of the basin has been established. Numerical results indicate that the major sensitivity parameters are CN , K , initial abstraction and lagtime. The efficiency coefficient of the model was more than 0.8, the error time of peak flow was within three hours; whereas for multimodal floods, the efficiency coefficient was less than 0.6. The study demonstrated that HEC - HMS has a good adaptability to unimodal floods in the basin.

Key words: flood simulation; HEC - HMS model; parametric sensitivity; morris screening method

模型参数的敏感性分析是研究参数变化所引起的模型响应, 是模型参数不确定分析的重要内容之一, 也是确定模型关键参数的有效途径^[1-4]。HEC - HMS 模型是美国陆军工程师团水文工程中心研发的水文模型系统, 主要用于树状流域降雨 - 径流过程的模拟^[5-7]。雍斌等^[8]、董小涛等^[9]、张建军等^[10]研究表明 HEC - HMS 模型在我国半干旱、半湿润地区暴雨次洪模拟具有较好的适应性; Lin 等^[11]、万荣荣等^[12]利用 HEC - HMS 模型在亚热带湿润气候区进行区域土地覆被变化的洪水响应研究。不过, 目前 HEC - HMS 模型主要用于模型的适应性研究及区域土地覆被变化的洪水响应研究, 而对模型参数的敏感性研究较少。本文以晋江流域 1972 - 1973 年实测数据为基础, 采用修正的 Morris 筛选法对 HEC - HMS 模型进行参数敏感性分析及模型的率定, 在此基础上, 以 1974 - 1979 的实测数据进行参数的验证, 构建晋江流域分布式洪水模拟

模型, 为闽东南无实测资料地区中、小河流的山洪预警提供可行的方法。

1 研究区与数据源

晋江发源于戴云山脉, 全长约 180 km, 上游有东溪与西溪支流, 交汇于南安双溪。流域总面积 5 629 km², 本文选择石砬水文站控制区流域为研究区, 面积 5 007 km²。为典型的亚热带海洋性季风气候, 具有季风气候的显著特点, 雨热同季, 降水 and 气温随季节变化明显。年平均降水量 1 200 ~ 1 900 mm, 雨量丰富, 降水的年内分布极为不均, 主要集中在 5 - 8 月, 占全年 60 % 以上, 受台风影响, 暴雨洪水发生频率高, 洪水流量大, 破坏力强^[13]。

整理研究区已有的 1: 50 000 的土壤分布图, 土地利用/覆被遥感解译图(1985 年), 通过数据配准及投影转换, 统一为高斯克列格投影。按照 SCS 模型将土壤分为 4 大类型(HSG), 与土地利用图叠

收稿日期: 2012-05-02; 修回日期: 2012-06-18

基金项目: 福建省科技计划重点项目(2009R10039-2)

作者简介: 陈芬(1971-), 女, 福建宁德人, 硕士, 助理研究员, 主要从事 GIS 应用及水资源的研究。

加得到水文响应单元(HRU)。30m分辨率DEM来源于1:10万地形图。

2 研究方法

2.1 HEC-HMS 模型模拟方法

本研究采用SCS曲线数法计算水文损失,SCS单位线法计算直接径流,马斯京根法进行河道汇流计算,基流指数退水法计算流域基流^[14]。

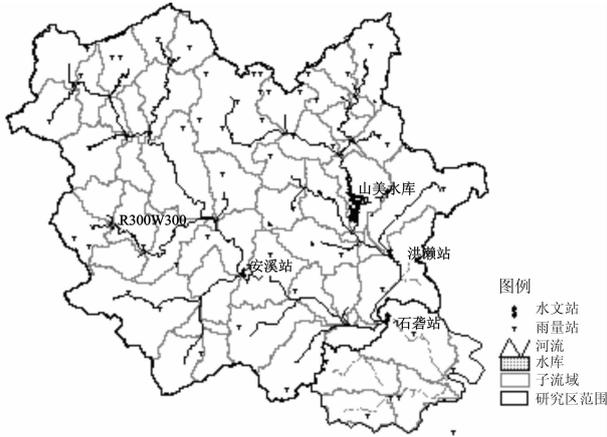


图1 研究区范围及子流域划分

2.2 敏感性分析方法

Morris 筛选法^[15-16]是较为广泛应用的参数灵敏

度分析方法。Morris 筛选法是由众多参数中选定一个变量 X_i , 在参数变量阈值范围内通过“微扰动”改变参数值 X_i , 运行模型得到目标函数 $y(x) = y(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ 的值, 用 e_i 判断参数变化对输出值的影响程度。公式如下:

$$e_i = \frac{y^* - y}{X_i - X_0} \quad (1)$$

式中: y^* 为参数变化后的输出值; y 为参数变化前的输出值; $X_i - X_0$ 为参数变化值。

修正的 Morris 筛选法采用自变量以固定步长变化, 灵敏度判别因子取 Morris 多个平均值。公式:

$$S = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(Y_{i+1} - Y_i)/Y_0}{(P_{i+1} - P_i)/100} / (n-1) \quad (2)$$

式中: S 为敏感性判别因子; Y_i 为模型第 i 次运行输出值; Y_{i+1} 为模型第 $i+1$ 次运行输出值; Y_0 为参数率定后计算结果初始值; P_i 为第 i 次模型运算参数值相对于率定后参数值的变化百分率; P_{i+1} 为第 $(i+1)$ 次模型运算参数值相对于率定后初始参数值的变化百分率; n 为模型运行次数。

本研究采用修正的 Morris 筛选法对模型模拟需要的参数进行敏感性分析。以 5% 为固定步长, 最大运算变幅为 20%, 输出值分别为洪水总量、洪峰流量、峰现误差。

表1 参数敏感性分析结果

特征值	参 数							
	CN	流域滞时	初损	初始基流量	退水系数	退水拐点比率	K	X
洪水总量	1.344	-0.01257	-0.184	0.125	0.13062	0.219	-0.0361	0
洪峰流量	1.019	-0.50781	-0.237	0.070	0.05563	0	-0.5078	0.0826
峰现误差	0	-0.41667	0	0	0	0	-1.3888	0

3 结果与分析

3.1 敏感性分析结果与分析

根据修正的 Morris 筛选法得到各参数的敏感性结果, 见表 1 和图 2。由表 1 可以看出: HEC-HMS 模型主要敏感性参数为 CN、蓄积量常数(K)、流域滞时(Lagtime)以及初损(Initial Abstraction), 其中 CN 是最敏感的参数(见图 2), 退水系数(Ression Constant)和初始基流量(Initial discharge)对洪水总量有一定影响, 对洪峰流量影响很小; 退水拐点比率(Ratio to Peak)对洪水总量有一定影响, 对洪峰流量没有影响; 参数 K、流域滞时对于峰现时间敏感, 其余参数对峰现时间无影响。

以子流域 R300w300 为例(见图 1 所示), 对主要敏感参数为 CN、K、流域滞时以及初损与洪水总

量、洪峰流量进行相关分析(见图 3-6)。由图可得, 初损、蓄积量常数、流域滞时均和洪水总量、洪峰流量呈负相关关系, 而 CN 与洪水总量、洪水流量呈正相关关系。其中, 蓄积常数、流域滞时均对洪水总量影响比较显著, 而对洪峰流量影响不大。

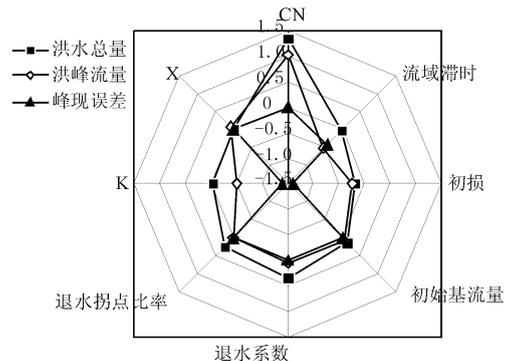


图2 敏感参数分布

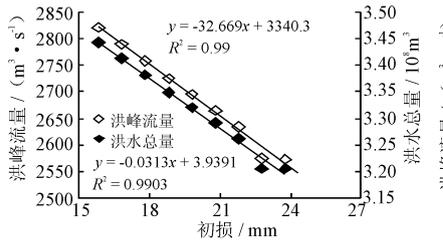


图 3 初损与洪水总量、洪峰流量关系曲线

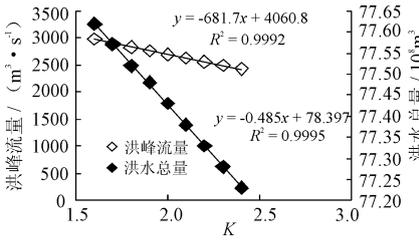


图 4 K 值与洪水总量、洪峰流量关系曲线

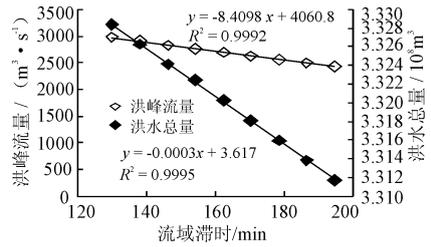


图 5 流域滞时与洪水总量、洪峰流量关系曲线

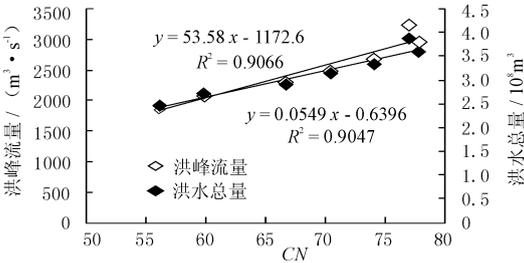


图 6 CN 与洪水总量、洪峰流量关系曲

3.2 模型参数率定与模拟结果

由表 2 可以看出,率定期 1972 年及 1973 年两场洪水模拟的效率系数,峰现误差在 3 h 误差之内,洪峰流量相对误差在 3% 以内,洪水总量相对误差在 11% 以内;验证期 1977、1978 和 1979 年三场洪水模拟的效率系数分别为 0.925、0.81 和 0.87,相关系数都大于 0.9,峰

现时差在 1 h 以内,洪峰流量相对误差在 6% 以内,洪水总量相对误差在 10% 以内;而 1974 年和 1975 年两场次洪的模拟结果不理想,效率系数分别为 0.302 和 0.599,不能达到预报的精度。同时,从图 7 可以看出,对于单峰型洪水,出口断面模拟的洪水过程线与实测过程吻合较好,模拟的总体效果比较好;而对于多峰型洪水,误差比较大,主要表现为峰现时间提前,洪峰陡涨陡落。因此该模型对于晋江流域单峰洪水模拟表现出良好的适应性。

4 结 语

(1)敏感参数的率定是影响分布式水文模型模拟的关键。本文通过修正的 Morris 筛选法识别出

表 2 率定期与验证期的模拟结果

mm/h, m³/s, %, 10⁶ m, h

期间	洪号	平均降雨强度	洪峰流量 观测值	洪峰流量 相对误差	洪水总量 观测值	洪峰流量 相对误差	峰现 时差	效率 系数
率定	19720714	1.52	2650	0.68	332.027	0.68	3	0.909
	19730717	1.46	3950	-2.51	517.337	-2.51	2	0.973
验证	19740501	0.46	1000	24.17	327.720	24.17	2	0.302
	19750607	0.58	1370	44.16	467.346	44.16	6	0.599
	19770801	1.73	1840	6.14	180.909	6.14	1	0.925
	19780828	1.70	1510	1.05	127.608	1.05	1	0.810
	19790610	0.93	2800	5.17	428.297	5.17	1	0.870

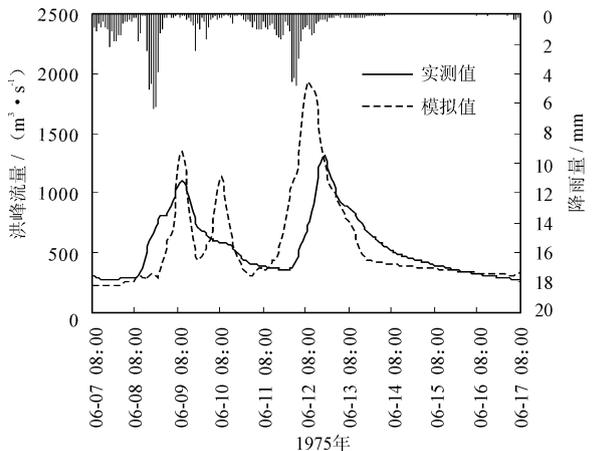
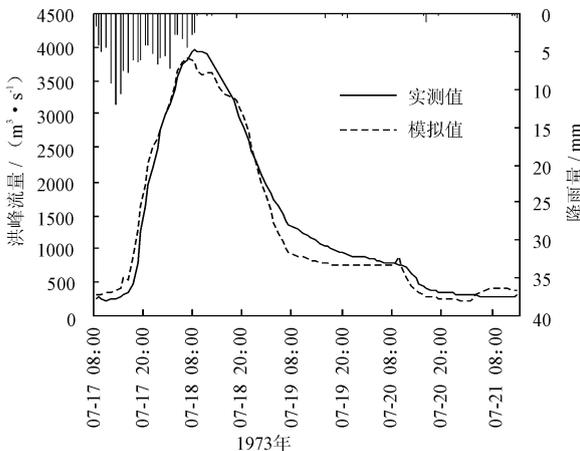


图 7 率定期与验证期模拟流量过程线

HEC - HMS 模型的主要敏感参数为 CN 、 K 、初损、流域滞时,其中 CN 是最敏感的参数。

(2) 研究结果表明 HEC - HMS 模型对晋江流域单峰型的暴雨次洪模拟具有较好的适应性。

参考文献:

- [1] 刘昌明,郑红星,王中根,等. 流域水循环分布式模拟[M]. 北京:黄河水利出版社,2006:12-16.
- [2] 刘昌明,夏军,郭生练,等. 黄河流域分布式水文模型初步研究与发展[J]. 水科学进展,2004,15(4):495-500.
- [3] 王中根,夏军,刘昌明,等. 分布式水文模型的参数率定及敏感性分析探讨[J]. 自然资源学报,2007,22(4):649-655.
- [4] 纲胜,夏军,陈军锋. 模型多参数灵敏度与不确定性分析[J]. 地理研究,2010,29(2):263-270.
- [5] Arabi M, Govindaraju R, Hantush M M. A probabilistic approach for analysis of uncertainty in the evaluation of watershed management practices[J]. Journal of Hydrology, 2007,333:459-471.
- [6] Oleyiblo J O, Li Z J. Application of HEC - HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China[J]. Water Science and Engineering,2010,3(1):14-22.
- [7] Verma A K, Jha M K, Mahana R K. Evaluation of HEC - HMS and WEPP for simulating watershed runoff using remote sensing and Geographical information system[J]. Paddy Water Environ,2009,8(2):133-144.
- [8] 雍斌,张万昌,赵登忠,等. HEC - HMS 水文模型系统在汉江襄河流域的应用研究[J]. 水土保持通报,2006,26(3):86-90.
- [9] 董小涛,李致家,李利琴. 不同水文模型在半干旱地区的应用比较研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2006,34(2):132-135.
- [10] 张建军,纳磊,张波. HEC - HMS 分布式水文模型在黄土高原小流域的可应用性[J]. 北京林业大学学报,2009,31(3):52-57.
- [11] Lin Y P, Verburg P H, Chang C R, et al. Developing and comparing optimal and empirical land - use models for the development of an urbanized watershed forest in Taiwan[J]. Landscape and Urban Planning,2009,92:242-254.
- [12] 万荣荣,杨桂山,李恒鹏,等. 中尺度流域次降雨洪水过程模拟:以太湖上游西苕溪流域为例[J]. 湖泊科学,2007,19(2):170-176.
- [13] 林峰. 晋江西溪流域土地利用/覆被变化的洪水响应研究[D]. 福州:福建师范大学,2010.
- [14] Mccoll C, Aggett G. Land - use forecasting and hydrologic model integration for improved land - use decision support[J]. Journal of Environmental Management,2007,84:494-512.
- [15] 郝芳华,任希岩,张雪松,等. 洛河流域非点源污染负荷不确定性的影响因素[J]. 中国环境科学,2004,24(3):270-274.
- [16] Kannan N, White S M, Worrall F, et al. Sensitivity analysis and identification of the best evapotranspiration and runoff options for hydrological modeling in SWAT - 2000[J]. Journal of Hydrology,2007,332:456-466.
- [3] Penman H L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass[C]// . Proceedings of the Royal Society of Loudon. A Series, 1948:120-146.
- [4] Courault D, Seguin B, Olioso A. Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches[J]. Irrigation and Drainage Systems, 2005,19:223-249.
- [5] 易永红,杨大文,刘钰,等. 区域蒸散发遥感模型的研究进展[J]. 水利学报,2008,39(9):1118-1124.
- [6] Su Z B. The surface energy balance system (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes[J]. Hydrology and Earth System Science, 2002,6(1):85-89.
- [7] Su Z B. Remote sensing of land use and vegetation for mesoscale hydrological studies[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002,21(2):85-89.
- [8] Allen R G, Periar L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements[M]. United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper,1998.
- [9] Jiang S H, Ren L L, Yong B, et al. Quantifying the effects of climate variability and human activities on runoff from the Laohahe basin in northern China using three different methods[J]. Hydrological Processes, 2011,25:2492-2505.
- [10] 陈玉民,郭国双,王广兴. 中国主要作物需水量与灌溉[M]. 北京:水利电力出版社,1995.
- [11] 杨肖丽,任立良,袁飞,等. 利用 SEBAL 模型对萨拉木伦河流域蒸散发的分析[J]. 干旱区研究,2010,27(4):507-514.

(上接第 118 页)