

基于 HEC - HMS 模型的时间步长对次洪模拟的影响分析

林 峰¹, 陈 莹¹, 陈兴伟^{1*}, 陈 芬²

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007; 2. 福建师范大学地理研究所, 福建 福州 350007)

摘 要: 运用 HEC - HMS 水文模型, 初步建立了适用于晋江西溪流域的暴雨洪水模型。在此基础上, 采用 15 min 和 60 min 两个模拟时间步长, 研究模拟时间步长的变化对模拟结果的影响, 进而寻求最佳的时间步长和模拟结果。结果表明: 时间步长对模拟结果存在一定的影响, 当改变时间步长时, 需要通过参数的调整, 才可得到相似的模拟结果, 在其他参数不变的情况下, 模拟时间步长减小, 蓄量常数 (K) 呈逐渐增大的趋势。同时, 当采用较短的模拟时间步长时, 模型的模拟效率得到提高。

关键词: HEC - HMS; 时间步长; 暴雨洪水

中图分类号: P333. 2, P334

文献标识码: A

水文现象随空间和时间而变化, 即空间和时间尺度问题^[1]。对于空间尺度的影响而言, 流域面积大小是主要的, 不同大小的流域因尺度不同, 水文特性发生显著的差异; 对于时间尺度的影响而言, 不同时间尺度的水文特征值, 如小时平均流量、日平均流量、月平均流量、年平均流量等, 都会呈现出不同的变化特征。Broschl 等^[2]将水文尺度划分为过程尺度、观测尺度和模拟尺度。由于水文过程尺度性的存在, 这也就带来了水文模型的尺度性问题。Rudi Hessel^[3]应用 LISEM 模型分析了栅格大小及时间步长对模拟结果的影响, 结果表明随着栅格及时间步长的增大, 流域平均坡降减小、降雨强度平均化, 模拟峰值减小。王盛萍等^[4]基于物理过程的分布式水文模型, 采用多尺度检验的方法探讨分析了单元格及步长变化对水文过程的影响, 结果表明单元格变化对峰值及模拟径流总量有影响。已有的关于水文模型的尺度效应研究, 主要集中在栅格大小对模

拟结果的影响^[5-7], 关于模拟时间步长对模拟结果的影响研究还比较少。因此, 本文选择晋江西溪流域为研究区, 基于分布式水文模型 HEC - HMS, 探讨不同模拟时间步长对模拟结果的影响, 进而寻求最佳的模拟步长和高精度的结果, 从而为进一步的土地利用及气候变化的环境效应分析提供可靠的技术支持。

1 研究区概况

西溪位于福建省东南部(图 1), 为晋江水系的正源, 流程全长 145 km, 流域面积 3 101 km², 下游入海口处即为福建省三大中心城市之一的泉州市, 流域水量和水质对泉州市水环境有重要影响, 是该区经济发展和人民生活的“生命线”。本文选择西溪流域安溪水文站 (23°03'N, 118°10'E) 控制以上区域为研究区, 集水面积为 2 450 km²。研究区位于安

收稿日期 (Received date): 2010 - 05 - 11; 改回日期 (Accepted): 2010 - 10 - 09。

基金项目 (Foundation item): 福建省科技计划重点项目 (2009R10039 - 2), 福建师范大学地理科学学院研究生创新基金资助项目 (2009)。

[Supported by the Project of Fujian Provincial Department of Science and Technology, No. 2009R10039 - 2 and Project of Postgraduate Innovation in School of Geographic Sciences, FJNU (2009).]

作者简介 (Biography): 林峰 (1983 -), 男 (汉族), 硕士研究生, 专业方向: 水资源与水环境。[Lin Feng (1983 -), male, born in Fuzhou, Fujian, graduate student, major in water resource and water environment.] E-mail: lingfenggeo@163.com

* 通讯作者 (Correspondence author): 陈兴伟, 教授, 导师, 主要从事水资源与水环境研究。[Chen Xingwei (1963 -), male, Professor, specialized on water resource and water environment.]

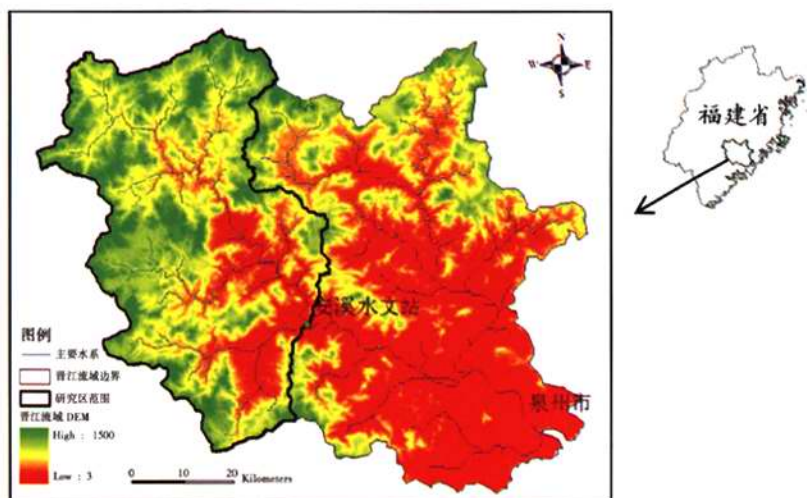


图1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of Xixi Watershed

溪西部山区,属于晋江流域高径流区。该区降水量大,雨量集中,台风雷雨季(7~9月)的降水量平均达到600~750 mm,占全年37%~39%,且一年之中,日最大降水量出现在这个季节。该区有15个降水观测站和一个流量观测站,雨量站采用自记雨量计观测,流量站数据采用人工施测的方法,各时段降雨径流数据观测分辨率不同。

2 数据库的建立

2.1 数字水系提取

基于研究区30 m精度的DEM,运用ArcView软件的HEC-GeoHMS拓展模块^[8],提取河网水系,并划分子流域,得到整个流域相关的地形特征和河流特征参数。

2.2 土壤数据库

通过数字化1:5万的晋江流域上游地区土壤图,得到研究区的土壤图,按照SCS对土壤水文类型的划分,将土壤分为四大类型(HSG)^[9],继而通过与土地利用/覆被图迭加,得到水文响应单元(HRU)。

2.3 气象数据库

利用可视化数据存储系统HEC-DSSVue^[10]建立研究区雨量数据库和流量数据库。将流域内15个雨量站1972—1979年洪水期雨量时间序列数据,及安溪流量站同期流量观测数据输入数据库,并通

过HEC-DSSVue的数学函数功能,将不规则时间序列数据进行时间插值,转换成规则时间序列数据,最终得到每场降雨雨量数据序列和每场洪水观测流量数据序列。

3 研究方法

本文选择美国陆军兵团(USACE)水文工程中心开发的水文模型系统HEC-HMS^[11],采用“SCS curve number”法计算水文损失,“SCS unit hydrograph”法计算直接径流,“Muskingum”法进行河道洪水演进,基流指数退水法模拟流域基流,建立流域暴雨洪水模型。在模型建立过程中,结合流域1972—1979年间6场洪水,选择60 min为模拟时间步长,采用安溪水文站实测流量数据,对模型进行率定,并选择洪峰流量误差、洪量误差、峰现时间误差、Nash-Sutcliffe模型效率系数(E_n)、线性回归系数(R^2)等指标,对模型模拟结果进行综合评价。模拟结果参见文献^[12]。根据中华人民共和国行业标准《水文情报预报规范》(SL250-2000)^[13]中的规定,该模拟结果满足模拟预报的精度要求。

为了进一步研究模拟时间步长对模拟结果的影响,寻求最佳的模拟步长和高精度的结果,本文基于已构建的研究区次暴雨洪水过程模型,结合流域1972—1979年间6场洪水,采用15 min时间步长对模型参数进行重先率定和验证。

4 结果与分析

4.1 参数的调整

本模型中的参数主要包括: CN 值、降雨初损、汇流时间、退水系数、蓄量常数等,其中 CN 值主要由流域土地利用类型和土壤类型所决定,降雨初损、汇流时间、退水系数等参数则主要反映流域的地形及气候特征,这些参数均不随模拟时间步长的变化而变化;而蓄量常数(K)主要反映水流在河道中的运动情况,对模拟结果则较大的影响,为模型的敏感参数。因此,本研究基于流域 1972—1979 年间 6 场洪水,在保持其余参数不变的情况下,对 15 min 时间步长下的蓄量常数(K)进行率定和模型的验证,最后确定了 15 min 时间步长下径流过程模拟的 K 值,如图 2 所示。

从图 2 可以看出,随着时间步长的改变,参数 K

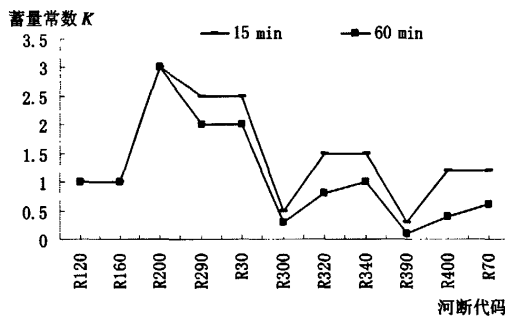


图 2 不同模拟时间步长蓄量常数 K 的变化趋势

Fig. 2 Travel time of the flood wave through routing reach (K) varied with different time step lengths

值发生了一定的变化,且存在一定的规律。当模拟时间步长减小时,蓄量常数 K 值整体有变大的趋势。这主要是由于参数 K 反映的是水流在河道传播的快慢, K 值增加说明水流在河道中传播时间加长,从而坦化了洪水波的运动,造成流域出口处洪峰流量减小,峰现时间滞后。此外,本文在保持所有参数不变的情况下,仅改变模拟时间步长,进行了暴雨洪水过程的模拟,结果如图 3 所示。从图上可以看出,随着模拟时间步长的减小,流域出口模拟的洪峰流量增加,峰现时间提前,这也说明随着时间步长的改变,要得到相当精度的模拟结果,需要对模拟参数进行调整。

4.2 结果对比

从模拟结果上看(表 1),当模拟时间步长为 15 min 时,率定期 3 场洪水的效率系数均达到 0.85 以上,洪峰流量相对误差、洪量相对误差均控制在正负 20% 以内,峰现时间误差均控制在 60 min 以内。而验证期的 3 场洪水,除了 780 616 场次洪水的效率系数为 0.75 外,其他场次均达到 0.85 以上,且 790 610 场次洪水效率系数接近 0.95(图 4),峰现时间误差均控制在正负 120 min 以内。

与采用 60 min 模拟时间步长的模拟结果相比,15 min 时间步长模拟的洪峰流量平均误差从原来的 6.6% 减小到 4.6%,洪量误差平均误差也由原来的 7.6% 减小到 5.5%,峰现时间的平均误差也相应地由 60 min 的 70 min 减小到 35 min,同时,从模型的模拟效率上看,大多数洪水场次的模拟效率系数有所提高,模拟的平均效率系数从 0.85 增加到 0.88。总体上看,当模拟时间步长减小时,模型的模拟效率有所提高。

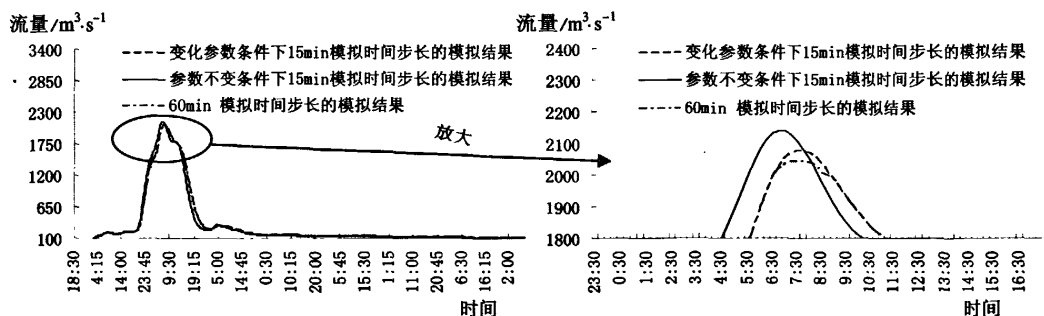


图 3 不同模拟时间步长 720709 场次洪水流域出口处流量变化过程线

Fig. 3 Comparison of simulated hydrographs for Flood No. 720709 with different time step lengths

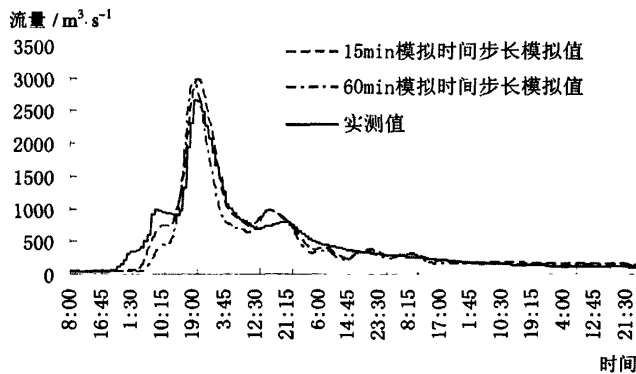


图4 不同模拟时间步长790610场次洪水流域出口处流量变化过程

Fig.4 Comparison of simulated hydrographs for Flood No.790610 with different time step lengths

表1 实测与模拟洪水结果的对比

Table 1 Performance of the model in calibration and validation

洪号		实测洪峰流量 /m ³ ·s ⁻¹	洪峰流量相对误差		洪量相对误差		峰现时间误差		效率系数	
			/%		/%		/min		/Ens	
			60 min	15 min	60 min	15 min	60 min	15 min	60 min	15 min
率	720 709	2 020	-3.2	3.9	-7.7	2	0	0	0.86	0.91
定	730 716	3 220	-9.6	0.2	-6.9	-4.2	180	60	0.83	0.90
期	760 823	2 490	14.1	1.6	5.5	5.3	60	45	0.91	0.87
验	770 801	1 860	1.5	1	16.3	-4.4	120	75	0.89	0.88
证	780 616	1 380	3	9.6	3.1	16.8	0	-15	0.85	0.75
期	790 610	2 670	8	11.3	-6.4	0.1	-60	15	0.80	0.94
绝对值平均			6.6	4.6	7.6	5.5	70	35	0.85	0.88

5 结论与讨论

本文基于 HEC - HMS 分布式水文模型探讨了时间步长对模拟结果的影响,结果表明:

1. 时间步长对模拟结果有一定的影响,模拟时间步长不同,模型模拟的流量过程线存在差异。当改变时间步长时,模型参数需要进行相应的调整,才可得到相似的模拟结果。这说明在运用该模型进行暴雨洪水模拟的过程中,应该选择合适的模拟时间步长以提高模型的模拟精度。
2. 在本模型研究中,蓄量常数(K)为敏感参数,在保持其他参数不变的情况下,蓄量常数(K)存在逐渐增大的趋势。这说明,该模型的运用过程中,当改变时间步长时,可以根据参数的变化规律,对模型的敏感参数进行调整,以提高模型的实际应用中

的模拟精度。

3. 当模拟过程采用较短的时间步长时,模拟精度可以得到提高。在实际的应用中应选择较短的模拟时间步长,以达到最佳的模拟结果,客观反映环境的变化对暴雨洪水过程的影响。

参考文献(References)

[1] Ding Jing, Wang Wensheng, Jin Juliang. Scale analysis in hudrology[J]. Journal of Sichuan University, 2003, 35(3): 9-13[丁晶, 王文圣, 金菊良. 论水文学中的尺度分析[J]. 四川大学学报, 2003, 35(3): 9-13]

[2] Broschl G, Sivapalan M. Scale issues in hydrological modelling: a review[J]. Hydrological Processes, 1995, 9:251-290

[3] Hessel, R. Effects of grid cell size and time step length on simulation results of the Limburg soil erosion model (LISEM)[J]. Hydrological Processes, 2005, 19: 3037-3049

[4] Wang Sheng-ping, Zhang Zhi-qiang, Ce Su, et al. Effects of grid size and time step of MIKESHE on hydrological processes modeling

- at watershed scale[J]. *Journal of China Hydrology*, 2008, 28(6): 1-7[王盛萍, 张志强, 孙阁, 等. 基于物理过程分布式流域水文模型尺度依赖性[J]. *水文*, 2008, 28(6): 1-7]
- [5] I. Chaubey, A. S. Cotter, T. A. Costello, et al. Effect of DEM data resolution on SWAT output uncertainty[J]. *Hydrological Processes*, 2005, 19: 621-628
- [6] Vazquez, R. F., Feyen, L., Feyen, J. et al. Effect of grid size on effective parameters and model performance of the MIKE-SHE code[J]. *Hydrological Processes*, 2002, 16: 355-372
- [7] Sun Li-qun, Hu Cheng, Chen Gang. Effects of DEM resolution on the TOPMODEL[J]. *Advance of Water Science*, 19(5): 699-706[孙立群, 胡成, 陈刚. TOPMODEL 模型中的 DEM 尺度效应[J]. *水科学进展*, 2008, 19(5): 699-706]
- [8] Geospatial Hydrologic Modeling Extension HEC-GeoHMS; User's Manual Version 1.1; US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center[CP]. December 2003
- [9] SCS. Urban hydrology for small watersheds[R]. Washington: US Department of Agriculture(Technical Release, No.55). 1975
- [10] HEC-DSSVue: HEC Data Storage System Visual Utility Engine User's Manual Version 1.0; US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center[CP]. January 2003
- [11] Hydrologic Modeling System HEC-HMS; User's Manual Version 2.1; US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center[CP]. January 2001
- [12] Lin Feng, Chen Xing-wei. Storm runoff Simulation in Xixi Watershed of the Jinjiang Basin Based on HEC-HMS Model[C].//The 4th International Yellow River Forum(2009)[林峰, 陈兴伟. 基于 HEC-HMS 模型的晋江西流域暴雨洪水过程模拟[C].//第四届黄河国际论坛论文集(2009)]
- [13] The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Standard for hydrological information and hydrological forecasting(SL250-2000)[S]. 16-20[中华人民共和国水利部. 水文情报预报规范(SL250-2000)[S]. 16-20]

Effects of Time Step Length on Simulation Results of the HEC-HMS

LIN Feng, CHEN Ying, CHEN Xingwei, CHEN Fen

(School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: In this study, a spatially distributed hydrologic model, HEC-HMS, was examined for its applicability in the Xixi watershed, a 1 259 km² drainage basin in Fujian, southeast China. To study the effect of time step length on the model results, simulations were performed for time step lengths ranging from 60 min to 15 min at the basin scale. The results indicated: For different time step length, the simulation results will be similar with changing the model parameters. For example, the travel time of the flood wave through routing reach (K) will increase with time step length decreases. A choice for a certain time step length should be made before calibration of the model, and a smaller time step length should, in principle, give a more reliable result.

Key words: HEC-HMS Model; time step length; storm runoff

基于HEC-HMS模型的时间步长对次洪模拟的影响分析

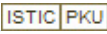
作者：

林峰, 陈莹, 陈兴伟, 陈芬, LIN Feng, CHEN Ying, CHEN Xingwei, CHEN Fen

作者单位：

林峰, 陈莹, 陈兴伟, LIN Feng, CHEN Ying, CHEN Xingwei (福建师范大学地理科学学院, 福建福州, 350007), 陈芬, CHEN Fen (福建师范大学地理研究所, 福建福州, 350007)

刊名：

山地学报 

英文刊名：

JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE

年, 卷(期)：

2011, 29(1)

参考文献(13条)

1. 丁晶;王文圣;金菊良 [论水文学中的尺度分析](#) [期刊论文]-[四川大学学报 \(工程科学版\)](#) 2003 (03)

2. Broschl C;Sivapalan M [Scale issues in hydrological modelling:a review](#) 1995

3. Hessel R [Effects of grid cell size and time step length on simulation results of the Limburg soil erosion model \(LISEM\)](#) [外文期刊] 2005 (15)

4. 王盛萍;张志强;孙阁 [基于物理过程分布式流域水文模型尺度依赖性](#) [期刊论文]-[水文](#) 2008 (06)

5. I. Chaubey;A. S. Cotter;T. A. Costello [Effect of DEM data resolution on SWAT output uncertainty](#) 2005

6. Vazquez, R. F.;Feyen, L.;Feyen, J [Effect of grid size on effective parameters and model performance of the MIKE-SHE code](#) 2002

7. 孙立群;胡成;陈刚 [TOPMODEL模型中的DEM尺度效应](#) [期刊论文]-[水科学进展](#) 2008 (05)

8. [Geospatial Hydrologic Modeling Extension HEC -GeoHMS:User's Manual Version 1.1:US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center](#) 2003

9. SCS [Urban hydrology for small watersheds](#) 1975

10. [HEC-DSSVue:HEC Data Storage System Visual Utility Engine Users Manual Version 1.0:US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center](#) 2003

11. [Hydrologic Modeling System HEC-HMS:User's Manual Version 2.1:US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center](#) 2001

12. 林峰;陈兴伟 [基于HEC-HMS模型的晋江西流域暴雨洪水过程模拟](#) 2009

13. [中华人民共和国水利部 SL 250-2000. 水文情报预报规范](#)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201101008.aspx