

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.03017

# 怀沙河流域水文情势模拟与分析

薛同来<sup>1,2</sup>, 张为堂<sup>1</sup>, 彭永臻<sup>1</sup>

(1.北京工业大学 北京市水质科学与水环境恢复重点实验室,北京 100124; 2.北京市水务局,北京 100038)

**摘要:** 怀沙河是北台上水库入库河流,作为北京市应急水源,其水文情势对首都供水保障有重要影响。运用 NAM 模型构建了怀沙河降雨-径流过程模型,对模型参数进行了率定,模拟结果和实测流量过程能够较好的吻合,模拟精度纳西效率系数为 0.642。利用该模型对怀沙河流域局地暴雨洪水过程及洪水的淹没分布情况进行分析后认为,流域出口处的最大流量是 30.8 m<sup>3</sup>/s,与西沟水文站观测的最大流量 31.0 m<sup>3</sup>/s 比较接近。

**关键词:** NAM 模型; 降雨; 径流; DEM; 暴雨

**中图分类号:** P333.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-1683(2013)03-0017-04

## Simulation and Analysis of Hydrological Regime in Huaisha River Watershed

XU E T ong lai<sup>1,2</sup>, ZHANG W ei tang<sup>1</sup>, PENG Y ong zhen<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Beijing Water for Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Beijing Water Authority, Beijing 100038, China)

**Abstract:** River is one of the input rivers to the Beitashang Reservoir. As an emergency water source in Beijing, the hydrological regime in this river watershed plays an important role in the safeguard of water supply. In this paper, NAM hydrological model was used to simulate the rainfall runoff process in the Huaisha River Watershed with a set of calibrated parameters. The research results indicated that the simulated and observed flow process curves match very well, and the simulation precision NSE (Nash Sutcliffe coefficient of efficiency) is 0.642. This model was used to analyze the local rainstorm flood process and flood distribution in the Huaisha River Watershed, which indicated that the maximum discharge at the outlet of the watershed is 30.8 m<sup>3</sup>/s, similar to the observed maximum discharge of 31.0 m<sup>3</sup>/s at the Xigou hydrological station.

**Key words:** NAM hydrological model; rainfall; runoff; DEM; rainstorm

## 1 流域概况

怀沙河全长 42.1 km,是北台上水库的入库河流,北台上水库为首都应急水源,2003 年开始纳入北京市统一调度,开始向首都供水<sup>[1]</sup>。怀沙河流域西北高东南低,属于低山丘陵区,山高坡陡、土层脊薄,地形复杂,平均沟壑密度 2.7 km/km<sup>2</sup>,易引起水土流失,海拔高度最高 1 600 m,最低 81 m。流域包括沙峪、新营、九渡河、四渡河、辛庄、西水峪、西沟 7 个子流域,主要水系是怀沙河(干流)和怀九河(支流)2 条沟道,流域总面积 93.9 km<sup>2</sup>,水土流失面积 32.2 km<sup>2</sup>,占总面积的 32%,其中轻度侵蚀面积 28.6 km<sup>2</sup>,中度侵蚀面积 3.6 km<sup>2</sup>。常住人口 2 700 人,外来常住人口 1 300 人,有耕地 84 hm<sup>2</sup>,农民人均年收入过万元,社会粮食总产 196.8 t,各种干鲜果品总产 857 t<sup>[2]</sup>。

## 2 NAM 模型简介

降雨径流模型(NAM)最初由丹麦技术大学于 1973 年提出,后经丹麦水力研究所(简称 DHI)逐步完善。1996 年在中国-丹麦合作的“长江中游暴雨洪水预报”项目中,引进了 DHI 的 MIKE 11 河流预报系统软件, NAM 为其中的水文模拟计算部分。NAM 是一个集总式的确定性概念模型,它将降雨产流和汇流分为积雪蓄水量(Snow Storage)、地表蓄水量(Surface Storage)、浅层或根区蓄水量(Lower Zone Storage)和地下水蓄水量(ground water Storage)4 个部分,分别对其进行连续计算,以模拟流域中各种相应的水文过程<sup>[3,5]</sup>,见图 1。

由于本项目所选取的典型小流域基础资料十分缺乏,水情、气象及降雨等资料非常有限,故运用集总式的确定性概

收稿日期: 2012-10-10    修回日期: 2013-04-22    网络出版时间: 2013-05-18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130518.1744.030.html>

作者简介: 薛同来(1984-),男,河北保定人,博士研究生,主要从事水污染控制及水资源综合利用方面的研究工作。E-mail: xuetl@emails.bjut.edu.cn

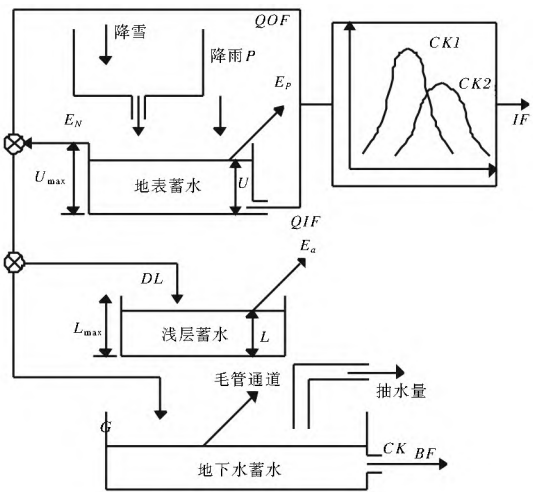


图 1 NAM 模型结构  
Fig. 1 NAM model structure

念模型(NAM)对降雨产流和汇流进行模拟<sup>[67]</sup>。

### 3 流域水文情势模拟与分析

#### 3.1 降雨径流过程模拟

(1) NAM 模拟范围。流域范围内的产流和降雨是两个相互对应的过程,一次较显著的降雨与河流的一次水位变化过程相对应,也就是与一个流量过程相对应<sup>[10]</sup>。NAM 模型通过给定降雨条件来模拟流域产流,模拟结果除了可以得到地表径流,还可以得到坡面径流、壤中流和基流等<sup>[11-12]</sup>。模型模拟范围见图 2,流域面积为 93.9 km<sup>2</sup>,模拟时间为 2005 年 1 月-2011 年 12 月。

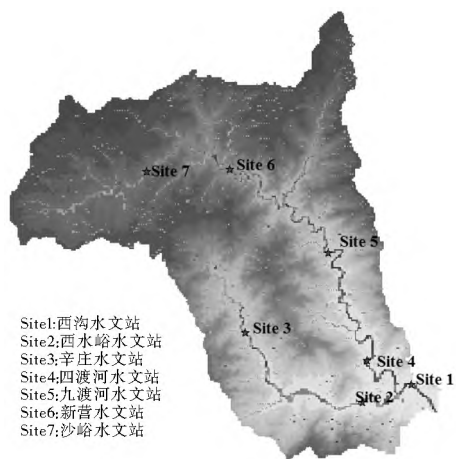


图 2 模型模拟范围  
Fig. 2 NAM model domain

(2) NAM 输入条件。输入条件为沙峪和西沟的降雨量和蒸发量(图 3、图 4),西沟水文站流量资料作为模型的率定<sup>[13]</sup>。根据怀沙河流域的流域特征,资料情况和项目要求,降雨径流模型的时间步长设定为 24 h。

(3) 模拟结果。图 5、图 6 是怀沙河流域出口控制站——西沟水文站模拟和实测流量过程对比图,实线为模拟值,点线为实测值,从降雨径流模拟结果可以看出,模型参数得到了较好的率定,模型模拟精度为 0.642(纳西效率系数),见表 1。

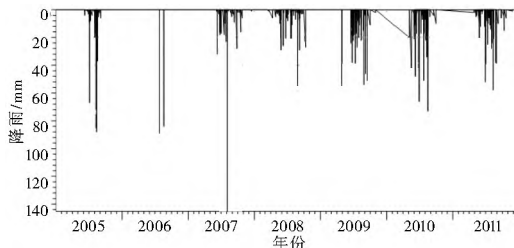


图 3 沙峪观测降雨量过程线

Fig. 3 The observed rainfall at the Shayu hydrological station

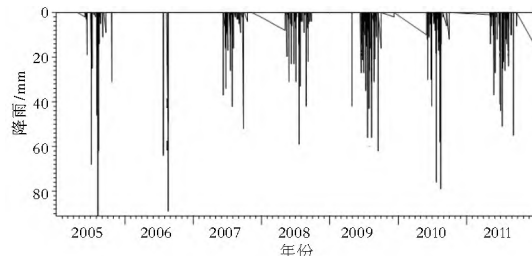


图 4 西沟观测降雨量过程线

Fig. 4 The observed rainfall at the Xigou hydrological station

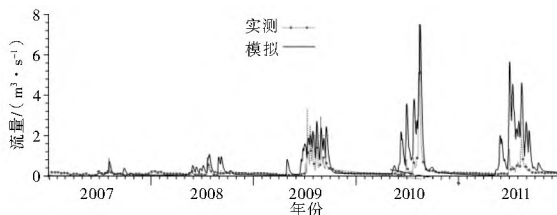


图 5 沙峪模拟流量过程线(实线)和实测流量过程线(点虚线)对比

Fig. 5 Comparison of simulated (solid line) and observed (dash line) flow process at the Shayu hydrological station

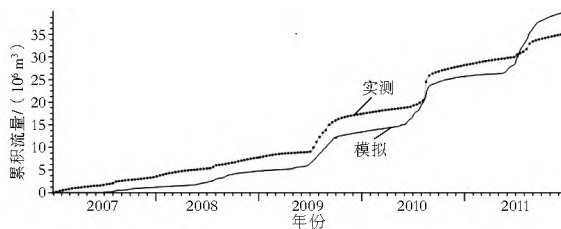


图 6 西沟模拟累积流量过程线和实测累积流量过程线对比

Fig. 6 Comparison of simulated (solid line) and observed (dash line) at the Xigou hydrological station

表 1 怀沙河流域降雨径流模拟误差统计

Table 1 Error statistics between the observed and simulated rainfall runoff in the Huaisha River Watershed

模拟时段	累积观测流量值	累积模拟流量值	误差
2007. 1. F 2007. 12. 31	35. 4	12. 3	65. 2
2008. 1. F 2008. 12. 31	42. 5	33. 2	21. 8
2009. 1. F 2009. 12. 31	96. 6	96. 6	22. 4
2010. 1. F 2010. 12. 31	107. 4	106. 8	0. 5
2011. 1. F 2011. 12. 31	70. 5	125. 0	77. 3
2007. 1. F 2011. 12. 31	352. 3	352. 3	0. 0

注:系数  $R^2 = 0. 413$ ,  $R = 0. 642$ 。

### 3.2 暴雨过程模拟分析

(1) 模拟区域空间信息提取。以怀沙河流域西沟水文站上游地区 1:10000 数字地形图上等高线和高程点数据作为背景地形,采用 ArcGIS 内插生成 DEM,网格大小为 40 m×40 m。首先将 DEM 凹陷区域及平坦区域进行处理,生成无凹陷点的栅格 DEM,然后按 D8 算法计算有效水流方向分布图,按给定的最小水道给养面积阈值确定河流水系<sup>[14]</sup>。通过对 DEM 数据进行填凹、计算汇水面积、勾划流域分水线、生成河网等处理,自动提取出怀沙河流域河网,并进行流域河网分级与子流域划分<sup>[15]</sup>。提取的西沟水文站以上流域地形图及河网图见图 7。

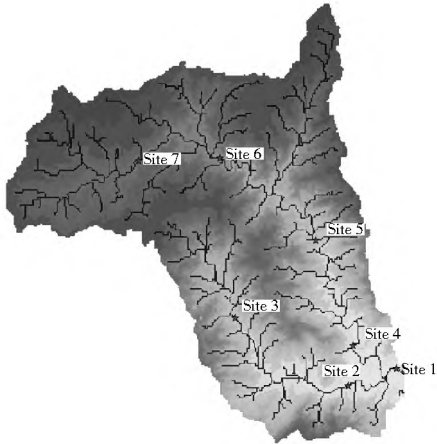


图 7 怀沙河流域西沟水文站以上流域地形图及河网图

Fig. 7 The topography and river network map of the Huaisha River Watershed upstream of the Xigou hydrological station

模型提取的西沟水文站以上怀沙河流域面积为 93.9 km<sup>2</sup>,为一从西北到东南走向的狭长山区流域,纵向长约 14 km,横向宽为 3~7 km。流域内西北部为海拔 500~1200 m 的山区,东南部为 80~500 m 的河谷平地。

(2) 模型初边条件。水动力学模型计算网格直接采用 DEM 的正方形网格,网格的边长为 40 m。全流域共有网格数为 58 731 个,模拟区域内相邻网格最大高程差达 75 m,糙率采用曼宁系数表达。模型在出口边界两个单元给定一组假设的水位-流量关系。整个计算时间以 min 计,计算开始时间取为降雨开始时间。降雨过程采用 10 min 的间隔数据,单位为 mm/h。本次模拟共计算 12 h,计算区域的径流系数按不同雨区、不同地形确定。

(3) 模拟结果。本模型基于 2010 年 8 月 15 日实际的暴雨过程,模拟了怀沙河流域的局地暴雨洪水过程及洪水的淹没分布情况(图 9)。流域出口处的最大流量为 30.8 m<sup>3</sup>/s。怀沙河流域低洼地最大水深接近 1.5 m,淹没历时 1~3 h。本次主要的淹没范围集中在河道两旁 50~200 m 内。

洪峰的传播沿河道呈现一种坦化的趋势,九渡河上的 Site 5 处的最大流量大于其上游的 Site 6、Site 7,也大于其下游的 Site 4、Site 1;洪峰历时从上游到下游是愈来愈长。对于九渡河,洪峰出现的时间分别是 18:30(第 3.5 h, Site 7)、18:00(第 3.0 h, Site 6)、18:15(第 3.25 h, Site 5)、21:45(第 6.75 h, Site 4);对于出口控制站,洪峰出现的时间是 22:45(第 7.75 h, Site 3)。流域出口处的最大流量是 30.8 m<sup>3</sup>/s,

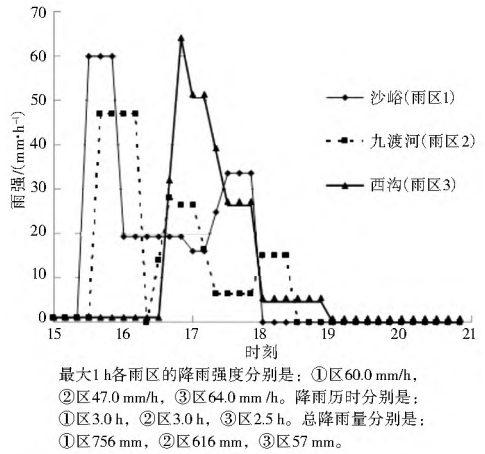


图 8 流域 2010.8.15 降雨历时过程

Fig. 8 The rainfall process in the Huaisha River Watershed on August 15, 2010

与西沟水文站观测的最大流量 31.0 m<sup>3</sup>/s 比较接近。

由于缺乏进一步的验证资料,且流域的河道地形、地貌、植被、土壤等资料亦未获取,本次模拟也未对河道进行专门处理,故模拟的结果与实际应该有所出入。但是,本研究构建的基于 DEM 的快速暴雨洪水分析平台与系统所模拟的结果,为怀沙河流域次暴雨洪水过程提供了一个总体认识,可以对更进一步深入研究该问题提供技术支持。

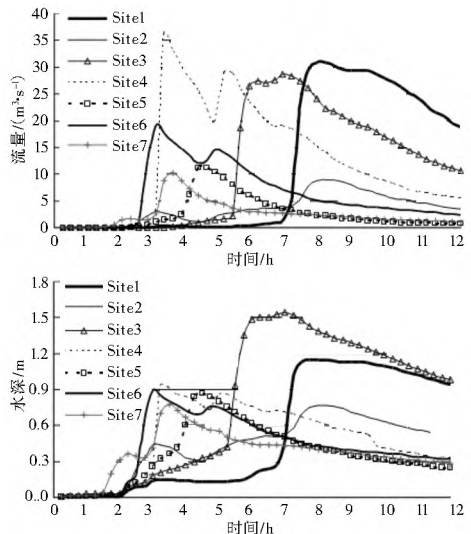


图 9 怀沙河流域各控制点洪水流量及水深过程

Fig. 9 The flood discharges and water depths at all of the hydrological stations in the Huaisha River Watershed

## 4 结论

(1) 运用 NAM 模型对怀沙河降雨径流过程进行模拟,从结果可以看出,模拟和实测流量过程能够较好的吻合,模型参数得到了较好的率定,模型模拟精度为 0.642(纳西效率系数)。

(2) 通过基于栅格 DEM 法将流域划分为 58 731 个大小相同的矩形网格,模拟分析了怀沙河流域局地暴雨洪水过程及洪水的淹没分布情况,模拟结果显示,流域出口处的最大流量是 30.8 m<sup>3</sup>/s,与西沟水文站观测的最大流量 31.0 m<sup>3</sup>/s 比较接近。

本次模拟过程所选取的典型小流域基础资料十分缺乏,水情、气象及降雨等资料非常有限,受数值模拟过程中采用的各种概化及简化处理的影响,其模拟精度不是十分理想,需要在今后的工作中,结合最新的水文气象资料,对模型参数的率定与验证开展进一步的工作。

#### 参考文献(References):

- [1] 毕小刚,段淑怀.北京市从小流域治理走向小流域管理的实践[J].中国水土保持,2007,(1):10-11.(BI Xiaogang, DUAN Shu huai. Beijing Practice From Small Watersheds Rehabilitation to Small Watersheds Management[J]. Soil and Water Conservation in China, 2007, (1): 10-11. (in Chinese))
- [2] 毕小刚,杨进怀,李永贵,等.北京市建设生态清洁型小流域的思路与实践[J].中国水土保持,2005,(1):22-24.(BI Xiaogang, YANG Jir huai, LI Yong gui, et al. Reasons and Practice on Establishing Ecological and Clear Type Small Watersheds in Beijing Municipality[J]. Soil and Water Conservation in China, 2005, (1): 22-24. (in Chinese))
- [3] 方园皓,张行南,夏达忠.基于 TOPMODEL 的流域水文模拟研究[J].水电能源科学,2011,29(6):14-17.(FANG Yuan hao, ZHANG Xing nan, XIA Da zhong. Study of Watershed Hydrological Modeling Based on TOPMODEL[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(6): 14-17. (in Chinese))
- [4] 蔚远中.小安溪小流域治理突出生物过滤带建设效果好[J].中国水土保持,2005,(5):27-34.(WEI Yuan zhong. Good Effects of Stressing on Building Living Filter Zones in Xiaoxianxi Small Watershed[J]. Soil and Water Conservation in China, 2005, (5): 27-34. (in Chinese))
- [5] 彭静,李翀.广义水环境承载理论与评价方法[M].北京:中国水利水电出版社,2006.(PENG Jing, LI Chong. Generalized Water Environmental Carrying Capacity and Evaluation Method[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2006. (in Chinese))
- [6] 赵人俊.流域水文模拟[M].北京:水利电力出版社,1984.(ZHAO Ren jun. Watershed Hydrological Simulation[M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1984. (in Chinese))
- [7] 黄艳,程海云.对 NAM 模型的改进及应用的初步探讨[J].水利水电快报,1997,(19):24-27.(HUANG Yan, CHENG Hai yun. Primary Discussion for NAM Model Improvement and Application[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 1997, (19): 24-27. (in Chinese))
- [8] 于维忠.水文学原理[M].北京:水利水电出版社,1991.(YU Wei zhong. Hydrology Theory[M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1991. (in Chinese))
- [9] J Y Zhang. A Software Package for River Flow Forecasting Based on the SMAR Model. Hydraulic Engineering Software Volume 1. Computational Mechanics Publications, UK, 1994: 163-170.
- [10] J Y Zhang. A Decision Support System for Water Management at Catchment Scale Bases on a GIS, Ph. D Thesis. University of Ireland, 1996.
- [11] 张建云.水文预报及信息显示系统开发研究[J].水科学进展,1996,7(3):31-37.(ZHANG Jiann yun. Development Research for Hydrologic Forecasting & Information Display System[J]. Advances in Water Science, 1996, 7(3): 31-37. (in Chinese))
- [12] Howes S, Anderson M G. Computer Simulation in Geomorphology[J]. Modeling Geomorphology Systems, John Wiley and Sons Ltd. 1988, 320: 421-440.
- [13] 长江水利委员会水文局二队. NAM 模型及其应用[J].水文,1999,(增刊):66-71.(Yangtze River Water Conservancy Committee Hydrographic Bureau No. 2 Team. NAM Model Application[J]. Journal of China Hydrology, 1999, (Supp.): 66-71. (in Chinese))
- [14] Long Le Ngo, Henrik Madsen, Dan Rosbjerg. et al. Implementation and Comparison of Reservoir Operation Strategies for the Hoa Binh Reservoir, Vietnam using the Mike 11 Model[J]. Water Resources Management, 2008, (22): 457-472.
- [15] 孙映宏,姬战生,周蔚.基于 MIKE11 HD 和 NAM 耦合模型在河流施工围堰对防洪安全影响分析中的应用与研究[J].浙江水利科技,2009,(2):30-34.(SUN Ying hong, JI Zhan sheng, ZHOU Wei. Application and Research on Influence of Construction Cofferdam on River Areas upon Flood Control Safety Based on MIKE11 HD and NAM Coupling Model[J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2009, (2): 30-34. (in Chinese))

## 《南水北调与水利科技》编辑部郑重声明

《南水北调与水利科技》自创刊以来,从未委托任何中介机构、网站及个人征稿,请广大读者、作者提高警惕,不要通过他人投稿,更不要向他人或不明机构缴纳任何费用。

编辑部投稿邮箱: nsbdqk@263.net, 电话: 0311-85020507, 85020512, 85020535, 85020630, 85020639。

《南水北调与水利科技》编辑部