

不同洪水预报模型在拒马河流域的应用对比分析

赵兰兰¹, 朱冰¹, 唐俊龙²

(1. 水利部水文局, 北京 100053; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘 要:拒马河水系为海河流域防洪重点区域, 预报难度大, 精度要求高。根据海河流域拒马河水系历史水文资料, 分别采用新安江模型、增加超渗的新安江模型、河北雨洪模型和人工神经网络模型, 对 1956 年、1963 年和 2012 年暴雨洪水进行预报对比分析, 研究结果表明: 4 种模型均可应用于暴雨强度大、降雨历时长的历史洪水模拟, 洪峰流量模拟相对误差均小于 20%, 尤以人工神经网络模型模拟精度最高, 4 种模型在干旱半干旱地区均具有推广应用价值。

关键词:水文预报; 水文模型; 人工神经网络模型; 河北雨洪模型; 拒马河流域

中图分类号: P338

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2017)04-0024-05

1 引言

随着国民经济的快速发展, 洪水灾害损失日趋严重, 水文预报作为重要的防洪减灾非工程措施, 具有巨大的防洪减灾经济效益。国内外大量学者研究开发了大量的水文预报模型, 国内运用较为广泛的主要为适用于湿润地区的蓄满产流模型和适用于干旱地区的超渗产流模型^[1], 但目前国内洪水预报的主要研究区域为南方洪水频发的地区, 北方干旱半干旱地区由于土壤包气带长期缺水、地下水超采严重、产汇流机制复杂等原因^[2], 洪水预报工作基础薄弱, 因而对于干旱半干旱地区的径流模拟, 模型的选择使用一直也是研究的重点和难点。为研究干旱半干旱地区的洪水预报模型适用性, 本文以拒马河流域为研究对象, 分别选取新安江模型、增加超渗的新安江模型、河北雨洪模型和人工神经网络模型, 对 1956 年、1963 年和 2012 年典型暴雨洪水开展应用对比分析。

2 模型介绍

2.1 新安江模型

新安江模型及其理论是 20 世纪六七十年代由赵人俊教授和其团队创立的, 是中国水文科学领域最具原创性的学术成果, 分别研究了流域水文过程

中蒸发、产流、分水源及流域汇流各个物理过程, 并应用于浙江新安江水库入库洪水预报而得名, 模型的理论基础为蓄满产流机制, 广泛适用于我国湿润和半湿润地区^[3]。

2.2 增加超渗的新安江模型

新安江模型在进行产流计算时仅考虑了变动产流面积上的地表径流、地下径流和壤中流的蓄满产流情况, 却没考虑在未蓄满面积上的产流情况。但事实上在干旱、半干旱地区和久旱之后的湿润地区都会有超渗现象的发生。增加超渗产流的新安江模型仅在流域未蓄满面积上增加了超渗产流的因素, 并只考虑超渗地面径流, 而不考虑壤中流与地下径流, 超渗产流计算采用格林-安普特下渗公式^[4]。

$$f=K_s[1+(\theta_s-\theta_i)S_i/I] \quad (1)$$

式中: K_s 为饱和导水率; θ_i 为土壤初始含水率; θ_s 为土壤饱和含水率; S_i 为湿润锋处的土壤吸力; I 为累积下渗量。

2.3 河北雨洪模型

河北雨洪模型为两水源模型, 即把径流分为地表径流和地下径流两种水源, 当降雨强度大于土壤下渗能力时产生地表径流, 下渗部分水量满足土壤缺水以后产生地下径流, 两者经过流域汇流成为流域出口

断面的流量过程^[5]。模型结构如图 1 所示。

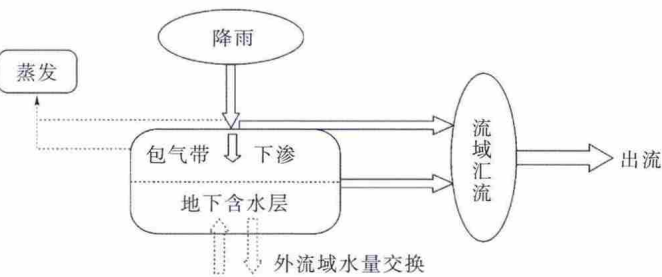


图 1 河北雨洪模型结构示意图
Fig.1 The structure of HB model

2.4 人工神经网络模型

Rumelhart 等为了解决多层前向神经网络的权系数优化,提出了前馈神经网络的核心算法,即 BP 算法,通常将使用 BP 算法的神经网络简称为 BP 神经网络^[6]。BP 神经网络模型本质上是一种“黑箱”统计模型,所选取的样本必须具有足够的数量和代表性^[7]。

3 流域概况

拒马河地处河北保定市境内,为大清河水系北支主要河流,发源于涞源县境内,属温带大陆性季风气候区,多年平均降水量 600 mm 左右,多年汛期平均降雨量占全年降水量的 80%,多年平均水面蒸发量在 1 000~1 200 mm 之间,流域地形见图 2。

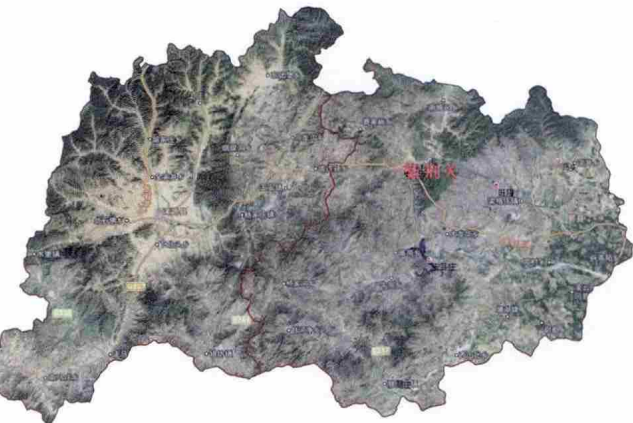


图 2 流域地形图
Fig.2 The watershed topography

紫荆关水文站为拒马河上游的重要控制站,自 1922 年建站,集水面积为 1 760 km²,建站以来最大流量为 1963 年 4 490 m³/s,具有 1955~2014 年历史整编流量资料。紫荆关水文站以上流域有 30 个雨量站,其中 11 个站点具有历史整编雨量资料。紫荆关站控制流域如图 3 所示。



图 3 紫荆关站控制流域示意图
Fig.3 The catchment of the Zijingguan station

4 模型应用比较

新安江模型、增加超渗的新安江模型、河北雨洪模型为确定性水文模型,具有物理基础的模型参数需要率定,人工神经网络模型为数据驱动型模型,仅需一定量的历史样本点进行训练学习。本研究以中国洪水预报系统为平台,采用不同的预报模型构建预报方案,并根据历史上中等以上洪水资料进行参数率定。预报方案结构如图 4 所示:

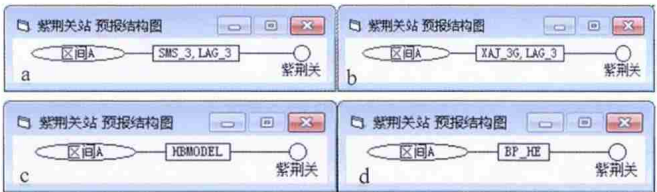


图 4 预报结构图
(a.新安江模型;b.增加超渗的新安江模型;c.河北雨洪模型;
d.人工神经网络模型)
Fig.4 The forecasting structure chart
(a. Xinanjiang model; b. modified Xinanjiang model; c. rainfall
flood model for Hebei province; d. BP neural networks model)

利用已构建的洪水预报方案,分别对 1956.8、1963.8 和 2012.7 暴雨洪水进行模拟,预报成果图分析如下。

统计不同模型模拟的洪峰流量和洪量及相对误差如表 1 所示。

由图 5~7 可知,不同水文模型对 1956 年、1963 年和 2012 年洪水模拟精度差别明显,新安江模型洪峰流量模拟总体偏低,流量过程拟合程度相对较低,

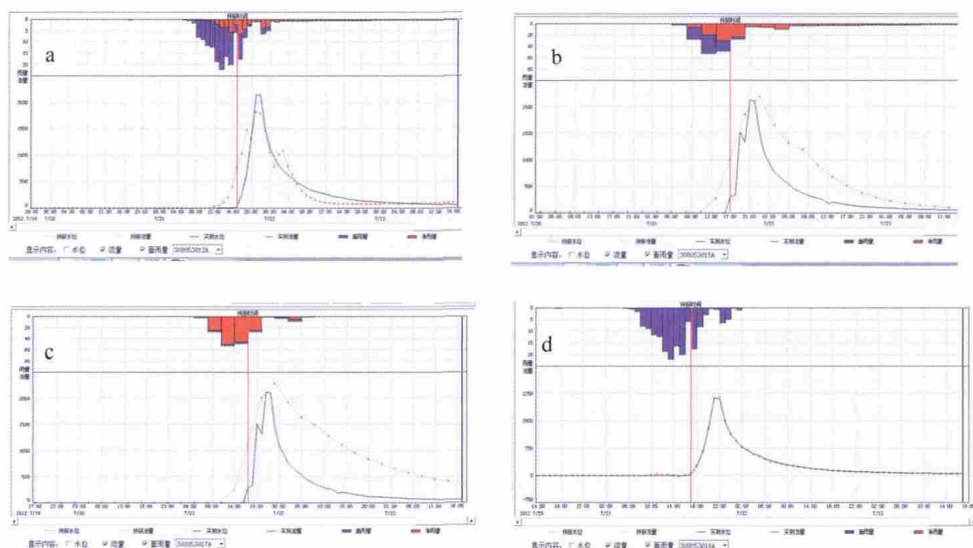


图5 2012年7月洪水模拟对比图

(a.新安江模型;b.增加超渗的新安江模型;c.河北雨洪模型;d.人工神经网络模型)

Fig.5 Comparison between the simulations of the flood occurred in July 2012 using different models

(a. Xinanjiang model; b. modified Xinanjiang model; c. rainfall flood model for Hebei province; d. BP neural networks model)

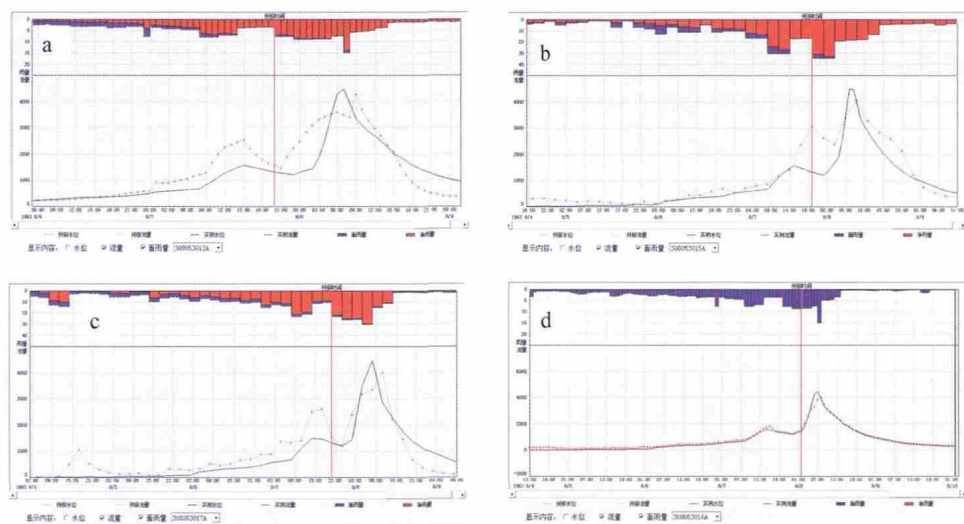


图6 1963年8月洪水模拟对比图

(a.新安江模型;b.增加超渗的新安江模型;c.河北雨洪模型;d.人工神经网络模型)

Fig.6 Comparison between the simulations of the flood occurred in August 1963 using different models

(a. Xinanjiang model; b. modified Xinanjiang model; c. rainfall flood model for Hebei province; d. BP neural networks model)

1956年和1963年洪峰流量出现时间明显滞后,主要原因是1956年和1963年降雨分布较为均匀,暴雨强度大,以蓄满产流理论为基础的新安江模型未考虑超渗产流,导致洪水过程模拟总体偏胖。增加超渗的新安江模型和河北雨洪模型模拟程度接近,洪水过程和洪峰流量均相似,二者的产流机制较为接近,增加超渗的新安江模型根据格林-安普特下渗公式计算超渗产流,而河北雨洪模型根据霍顿下渗公式计算超渗产流,

由于选取的3场洪水降雨强度和范围均较大,超渗地面径流明显,因此,对洪峰流量和峰现时间的模拟均优于新安江模型。人工神经网络模型的模拟精度最高,洪水过程拟合程度最好,主要原因是紫荆关以上流域大部为太行山区,降雨径流关系较为稳定,但是由于人工神经网络模型是纯粹的数理统计模型,需要足够的样本进行学习训练,因此,对雨洪资料要求较高,且预报时机的选取非常重要。

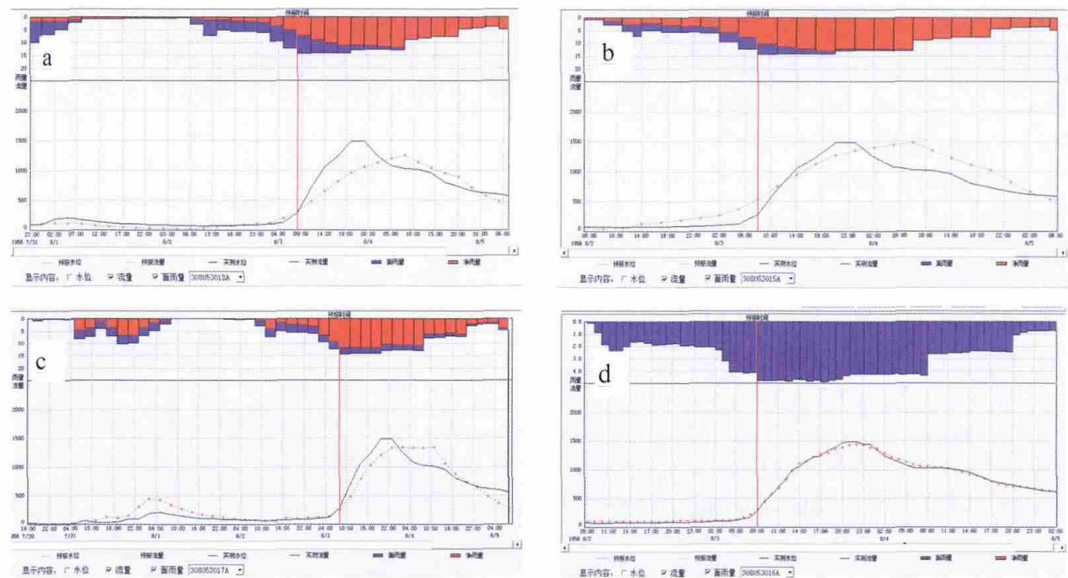


图7 1956年8月洪水模拟对比图
(a.新安江模型;b.增加超渗的新安江模型;c.河北雨洪模型;d.人工神经网络模型)

Fig.7 Comparison between the simulations of the flood occurred in August 1956 using different models
(a. Xinanjiang model; b. modified Xinanjiang model; c. rainfall flood model for Hebei province; d. BP neural networks model)

表1 不同水文模型模拟相对误差统计表

Table1 The relative errors from the various hydrological models

洪水	实测				新安江模型				增加超渗的新安江模型				河北雨洪模型				人工神经网络模型			
	洪峰流量	洪量	预报流量	相对误差	洪量	相对误差	预报流量	相对误差	洪量	相对误差	预报流量	相对误差	洪量	相对误差	预报流量	相对误差	洪量	相对误差	洪量	相对误差
	$/m^3 \cdot s^{-1}$	$/10^8 m^3$	$/m^3 \cdot s^{-1}$	%	$/10^8 m^3$	%	$/m^3 \cdot s^{-1}$	%	$/10^8 m^3$	%	$/m^3 \cdot s^{-1}$	%	$/10^8 m^3$	%	$/m^3 \cdot s^{-1}$	%	$/10^8 m^3$	%	$/10^8 m^3$	%
2012.7	2 130	0.656	1825	-15	0.68	3	2 200	3	1.28	95	2 290	7	1.87	185	2 150	0	0.65	-1		
1963.8	4 490	3.69	4274	-5	3.33	-10	3 960	-12	3.35	-10	4 000	-11	3.02	-19	3 980	-12	3.58	-3		
1956.8	1 490	1.65	1250	-17	1.55	-7	1 490	0	1.84	11	1 330	-11	1.58	-5	1 440	-4	1.64	-1		

由表1可知,新安江模型、增加超渗的新安江模型、河北雨洪模型和人工神经网络模型的洪峰流量模拟相对误差均低于20%,增加超渗的新安江模型和人工神经网络模型精度相对较高;新安江模型和人工神经网络模型对洪量的模拟误差均小于10%,其中人工神经网络模型洪量的模拟误差小于5%,模拟精度高,这是由于经过一定时间的强降雨,包气带土壤接近饱和,水量总体达到平衡,但增加超渗的新安江模型、河北雨洪模型雨强较大时,超渗地面径流比重较大,尤其针对久旱之后的2012年7月洪水,洪量模拟明显偏大。

5 结论和建议

选取了新安江模型、增加超渗的新安江模型、河北雨洪模型和人工神经网络模型,以拒马河流域为研究对象,对1956年、1963年和2012年暴雨洪水开展应

用对比分析,分析结果表明:

- (1)在干旱半干旱流域的山丘地区,针对暴雨强度大,持续时间长的洪水类型,新安江模型具有一定的适用性,可有效的模拟洪峰流量和场次洪水的洪量。
- (2)增加超渗的新安江模型和河北雨洪模型考虑了超渗地面径流的模拟计算,产流机制较为符合北方干旱半干旱地区,对暴雨洪水的洪峰流量和峰现时间的模拟精度较好,可进行推广应用。
- (3)人工神经网络模型作为数据性驱动模型,在降雨径流关系较为稳定,人类活动影响较小的山区应用情况较好,但需要选取合适的预报时机,要求具有一定数量的雨洪样本数据进行学习训练。
- (4)干旱半干旱地区产汇流机制复杂,大多数水文模型不能兼顾洪峰流量、峰现时间和洪量的模拟精度,需进一步研究流域下渗产流机制,发展现有模型,

不断提升模型模拟精度,充分发挥洪水预报的防洪减灾效益。

参考文献:

- [1] 宋星原,管怀民,苏志诚,等.半湿润地区洪水预报模型研究及应用[J].水文,2005,25(2):24-28.(SONG Xingyuan, GUAN Huaimin, SU Zhicheng, et al. Application and research on the model of flood forecasting for the semi-humid area [J]. Journal of China Hydrology, 2005, 25(2): 24-28. (in Chinese))
- [2] 陈玉林,韩家田.半干旱地区洪水预报的若干问题[J].水科学进展,2003,14(5):612-616.(CHEN Yulin, HAN Jiatian. Problem on flood forecasting in the semi-arid region [J]. Advances in Water Science, 2003, 14(5): 612-616. (in Chinese))
- [3] 刘金涛,宋慧卿,张行南,等.新安江模型理论研究的进展与探讨[J].水文,2014,34(1):1-6.(LIU Jintao, SONG Huiqing, ZHANG Xingnan, et al. A discussion on advances in theories of Xinanjiang model [J]. Journal of China Hydrology, 2014, 34(1): 1-6. (in Chinese))
- [4] 包为民.格林-安普特下渗曲线的改进和应用[J].人民黄河,1993,(9):1-4.(BAO Weimin. Improvement and application of the

Green-Ampt infiltration curve [J]. Yellow River, 1999, (9): 1-4. (in Chinese))

- [5] 水利部水文局,长江水利委员会水文局.水文情报预报技术手册[M].北京:中国水利水电出版社,2010:423-428.(Hydrology Bureau of Ministry of Water Resource, Hydrology Bureau of Changjiang Water Resource Commission. Technical Handbook of Hydrological Information and Forecasting [M]. Beijing: China Water-Power Press, 2010: 423-428. (in Chinese))
- [6] 侯翔,汤元斌.基于BP神经网络的洪水预测研究[J].长江大学学报(自然科学版),2013,10(25):88-90.(HOU Xiang, TANG Yuanbin. Research of flood forecasting based on BP neural networks model [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science), 2013, 10(25): 88-90. (in Chinese))
- [7] 胡健伟,周玉良,金菊良.BP神经网络洪水预报模型在洪水预报系统中的应用[J].水文,2015,35(1):20-25.(HU Jianwei, ZHOU Yuliang, JIN Juliang. Flood forecasting model on BP neural networks and its application in flood forecasting systems [J]. Journal of China Hydrology, 2015, 35(1): 20-25. (in Chinese))

Comparative Analysis of Different Flood Forecasting Models Used for Jumahe River Basin

ZHAO Lanlan¹, ZHU Bing¹, TANG Junlong²

(1. Bureau of Hydrology, MWR, Beijing 100053, China;

2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The Jumahe River is one of the most important flood control areas in the Haihe River Basin, and it is difficult for flood forecasting. In this paper, the Xinanjiang Model, Modified Xinanjiang Model, rainfall flood model for Hebei Province and BP Neural Network Model were chosen to simulate the different historical floods occurred in the years of 1956, 1963 and 2012. The results show that the four kinds of flood models can be taken into use when the rain intensity is heavy and the rainfall duration is long; the relative errors of the peak flow simulation is less than 20%, and the accuracy of BP Neural Network Model is the best, all the models mentioned in this paper can be applied in arid and semi-arid regions.

Key words: hydrological forecasting; hydrological model; BP neural network model; rainfall flood model for Hebei Province; Jumahe River Basin

(上接第5页)

Using Probability-weighted FDC Method to Calculate Basic River Ecological Flow

LONG Fan^{1,2}, MEI Yadong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Hubei Collaborative Innovation Center for Water Resources Security, Wuhan 430072, China)

Abstract: Based on the intra-annual and inter-annual change characteristics of the river flow process, this paper put forward a probability-weighted FDC(flow-duration curve) method to calculate the stream basic ecological flow for the typically wet, normal and dry years. The probability is based on the historical data with the Copula function method. The approach was tested in the Jinshajiang River and the results were evaluated by the Tennant standard and compared with month-by-month minimum ecological runoff method, dynamic calculation method and modified FDC method. The results show that the stream ecological demand can be perfectly met. Besides, this approach is reasonable and reliable under the proof of experimental data.

Key words: river ecological flow demand; annual and inter-annual variation; flow-duration curve; probability weight; Copula function; Pingshan Hydrometry Station