

Comparative Study of Flood Forecasting Models at Chengpo River Basin

Yizhou Yao¹, Shuang Xu², Xusheng Zhao¹, Guangwei Fan¹

¹Pearl River Water Resources Research Institute of PRWRC, Guangzhou Guangdong

²Pearl River Water Resources Commission, Guangzhou Guangdong

Email: 15933981990@163.com

Received: Jan. 20th, 2017; accepted: Feb. 7th, 2017; published: Feb. 10th, 2017

Abstract

The accumulation of flash floods is low and the preparation of flood forecasting schemes is difficult. To address this issue, we take the Chengpo river basin in Hainan, one of the humid areas in south part of China. The lumped Xinanjiang model based on the runoff generation and the distributed TOPMODEL model were selected for flood simulation. The results of both models are good for humid regions in Hainan. These two models can be used to guide the small and medium-sized river basin for flood forecasting and early warning. Generally speaking, Xinanjiang model is more accurate when the pre-soil is wetter; the TOPMODEL model performs better for the larger flood events.

Keywords

Flash Flood, Flood Forecasting, Xinanjiang Model, TOPMODEL

乘坡河流域洪水预报模型比较研究

姚亦周¹, 徐爽², 赵旭升¹, 范光伟¹

¹珠江水利委员会珠江水利科学研究院, 广东 广州

²珠江水利委员会, 广东 广州

Email: 15933981990@163.com

收稿日期: 2017年1月20日; 录用日期: 2017年2月7日; 发布日期: 2017年2月10日

摘要

中小流域山洪资料积累较少, 洪水预报方案编制困难。针对该问题, 以南方湿润地区海南乘坡河流域为例, 选

作者简介: 姚亦周, 男, 河北石家庄人, 主要从事水文预报、水库调度、系统开发、流域水资源模拟、流域地理数据空间分析等工作。

取以蓄满产流为基础的集总式新安江模型和分布式TOPMODEL模型开展洪水模拟研究。结果表明,对于海南湿润地区,新安江模型和TOPMODEL模型产汇流模拟效果都较好,均可用于指导中小流域进行洪水预报预警。但相对而言,前期土壤较为湿润时,新安江模型的模拟效果较好;对于大洪水及时间序列较长的洪水而言,TOPMODEL模型的模拟效果较好。

关键词

山洪, 洪水预报, 新安江模型, TOPMODEL

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中小流域山洪灾害严重威胁着人民生命和财产安全,因而开展中小流域洪水预报模拟研究的意义重大。中小流域洪水具有陡涨陡落、汇流时间短、不易于进行洪水预报等特点;另外,中小流域往往缺乏长系列的实测水文数据,造成模型参数率定和验证的工作困难,其洪水预报方案的编制比大流域更为困难。因此,如何选取合适的预报模型是做好中小流域洪水预报的关键。

针对中小流域山洪,目前还没有专门的预报模型。国内应用较广泛的是集总式预报模型,如新安江模型对南方湿润地区中小河流模拟效果较好,陕北模型在黄土高原中小流域的模拟效果较好[1];而国外通常建立分布式预报模型,例如TOPMODEL、TOPKAPI、HEC-HMS模型等[2][3][4][5]。分布式TOPMODEL以地形为基础,模型参数较少,且具有明确的物理意义,在国外的应用较成熟,但在国内的应用还较少[5];新安江模型属于蓄满产流模型,适用南方大多参数有明确的物理意义,一定程度上反映了流域的水文特征和降雨~径流形成的物理过程,适合中小流域的洪水预报[6]。

本文以海南乘坡河流域为研究区域,选取TOPMODEL模型和新安江模型开展山洪预报模拟研究,为乘坡河流域山洪预报预警提供技术支持。

2. 流域概况及模型选择

2.1. 流域概况

乘坡河流域位于琼中县东南部,介于北纬 $18^{\circ}43'39''\sim 19^{\circ}00'16''$,东经 $109^{\circ}42'11''\sim 110^{\circ}03'35''$ 。区域内涉及4个乡镇,22个行政村,总人口5.9万人。乘坡河是万泉河的干流,在琼中县境内长62 km,集雨面积 727 km^2 ,最大年降水量为5525 mm(1964年),年平均流量 $66.9\text{ m}^3/\text{s}$,最大洪峰流量 $4390\text{ m}^3/\text{s}$ (2013年),主河道天然落差1251 m,流域内多属山地。乘坡河流域属热带季风气候区,具有日照长、热量丰富、雨量充沛、蒸发量大、季风变化明显等特点。由于受境内高山地形的影响,降水量的地区性变化亦较大。年平均降水量为2200~2444 mm,年平均蒸发量为1824.1 mm。乘坡河流域图如图1所示。

2.2. 历史山洪灾害

2008年10月11~18日琼中县产生连续性暴雨和大暴雨天气。全县普遍出现300 mm以上强降水,暴雨造成直接经济损失达6041.5万元,营根中平路红口溪桥处2人被洪水冲走,其中1人轻伤,另1人失踪。

2010年9月30日上午八点至10月19日上午八点,累计平均降雨量达1272.2 mm。全县受灾人口27,356



Figure 1. Sketch map of Chengpo basin
图 1. 乘坡河流域概况图

人，直接经济损失 2.94 亿元；房屋倒塌 140 间，水浸房屋 36 间，危房 180 间。

2013 年 11 月，受第 30 号强台风“海燕”影响，琼中县受灾范围涉及 10 个乡镇、3.2 万人口，安全转移人口 3317 人，造成直接经济损失 2.11 亿元。

2014 年 9 月中旬，受第 15 号超强台风“海鸥”影响，全县受灾人口 2 万多人，紧急转移 2156 人，全县直接经济损失达 9180 万元。

2.3. 样本及模型选择

选用乘坡河流域 2010~2015 年之间实测水文资料，经过整理、审查后得到 17 场典型洪水，对其产汇流机理分析发现：该流域洪水过程普遍符合中小流域的起涨快、退水快的特点，故采用 1 小时模拟时段。

考虑乘坡河流域属湿润地区气候及下垫面特点，固选取集总式的新安江模型进行该流域历史场次洪水模拟；同时又因乘坡河流域的实测水文资料系列较短，难以建立复杂的分布式洪水预报模型，故选取 TOPMODEL 半分布式模型开展本次研究，其中汇流方法均采用滞后演算法，最后将两种模型的模拟结果进行对比分析。

3. 洪水模拟

3.1. 预报模型简介

1) TOPMODEL 模型

Beven 和 Kirkby 于 1979 年开发的 TOPMODEL 模型是一种以数学方式及物理水文响应过程为基础，以地形指数为核心的半分布式流域水文模型[3]。该模型结构明晰，参数较少适用范围广且具有明确的物理意义，不仅适用在有资料的坡地集水区，还经常被应用到无资料的流域来进行产、汇流计算[4]。模型结构示意图如图 2 所示。

2) 新安江模型简介

三水源新安江模型是一个在经过了长期实践论证和对水文普遍规律深刻认识基础之上建立起来的概念性水文模型，在我国湿润和半湿润地区广泛应用，并取得了良好的效果[7]。三水源新安江模型采用蓄满产流原理(见

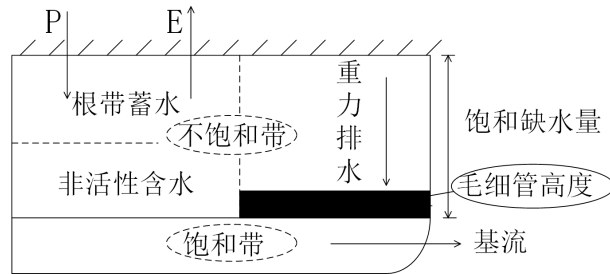


Figure 2. Principle of TOPMODEL
图 2. TOPMODEL 模型原理

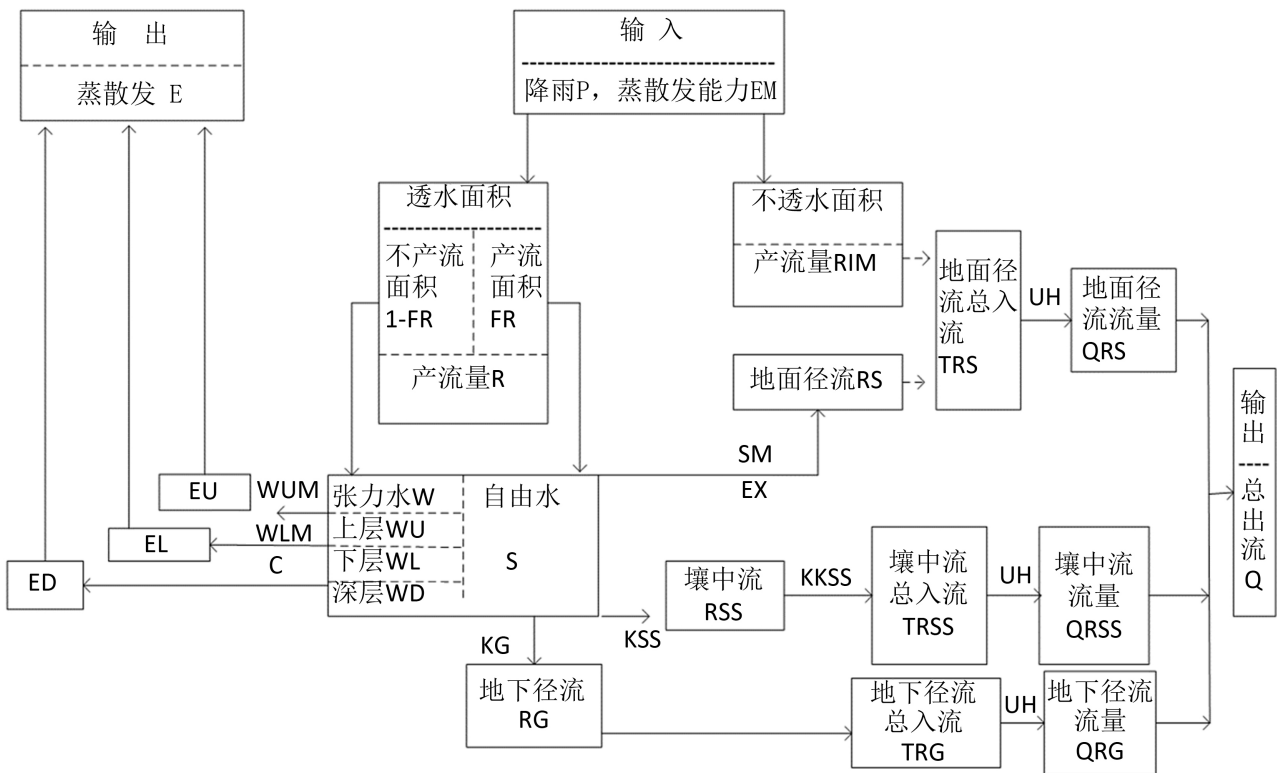


Figure 3. Principle of Xinanjiang
图 3. 新安江模型原理

图 3)、三层蒸发模式，用自由水蓄水结构将总径流划分为地表径流、壤中流和地下径流[8]。模型主要由四部分组成，即蒸散发计算、产流量计算、水源划分和汇流计算[9]。

3.2. 基于新安江模型的洪水模拟

由于本次选取 2010 年到 2015 年共 17 场场次洪水，选取 2010 年到 2013 年 12 场洪水进行参数率定，选取 2014 到 2015 年 5 场洪水做验证；采用粒子群算法进行新安江模型参数率定，最后确定的模型参数值见表 1，参数率定期及验证期的产汇流计算结果分别见表 2 和表 3。

1) 分析表 1~表 3 的结果可得：根据水文情报预报规范(GB/T22482-2008)，模型率定期和检验期合格率都为 100%。对于汇流来说，模型率定期合格率为 92%，检验期合格率为 100%。

2) 从产流模拟结果来看，新安江模型模拟径流量精度较高。对于前期土壤较湿润、降雨总量较大的洪水，模型模拟径流量的误差不超过 13%，如“141026”、“141023”、“130622”、“120617”、“110917”、“101113”

等场次洪水，因此模型模拟效果较好。

3) 从汇流模拟结果可知，新安江模型模拟洪峰流量和峰现时间的效果均较好，对于“120617”场次洪水，由于降雨中心主要集中在上游，导致洪峰传播时间较长，其峰现时间滞后，模拟确定性系数精度较低。

3.3. 基于 TOPMODEL 模型的洪水模拟

根据研究区域的 DEM 数据，利用 ArcGIS 软件对研究区域的 DEM 数据，经过对填洼、流量、流向等计算，通过公式(1)计算出地形指数作为模型计算参数参与计算，

Table 1. The calibrated parameters of the Xinanjiang model

表 1. 新安江模型参数率定的结果

参数意义	参数符号	取值	参数意义	参数符号	取值
蒸发能力折减系数	K	0.71	地下径流消退系数	KKG	0.98
土壤蓄水容量(mm)	WM	154.56	壤中流消退系数	KKSS	0.44
上层蓄水容量(mm)	WUM	18.79	地下水日出流系数	KG	0.01
下层蓄水容量(mm)	WLM	76.84	壤中流日出流系数	KSS	0.69
土壤含水量分布曲线指数	B	0.28	汇流滞时	L	1
深层蒸散发系数	C	0.18	河网消退系数	CS	0.53
自由水蓄水容量曲线指数	EX	1.2			

Table 2. The runoff generation results of Xinanjiang during calibration and test periods

表 2. 新安江模型率定期及检验期的产流计算结果

洪号	W0(mm)	实测净雨(mm)	预报净雨(mm)	绝对误差(mm)	相对误差(%)	合格
131110	70	312.56	331.11	18.54	5.93	是
131014	55	115.82	99.46	-16.36	-14.13	是
130622	63	31.17	28.11	-3.05	-9.80	是
121026	10	172.76	177.09	4.32	2.50	是
120617	90	20.60	22.27	1.68	8.13	是
111103	40	177.84	187.39	9.54	5.36	是
111006	30	165.45	171.37	5.92	3.58	是
110928	85	164.52	148.17	-16.35	9.9	是
110917	81	49.96	59.53	9.56	19.14	是
101014	10	416.71	422.08	5.37	1.29	是
101113	70	78.44	84.97	6.52	8.32	是
100930	10	577.54	594.93	17.39	3.01	是
150913	33	48.46	55.96	7.49	15.46	是
141026	80	46.50	41.91	-4.59	-9.88	是
141023	60	57.36	64.62	7.26	12.66	是
140915	54	98.60	79.29	-19.31	-19.59	是
140717	40	60.73	50.73	-10.00	-16.47	是

$$\lambda = Ln\left(\frac{\alpha}{\tan \beta}\right) \quad (1)$$

式中： λ 代表地形指数， α 代表单宽度汇流面积， $\tan\beta$ 代表坡度。

洪水检验期与验证期同新安江模型，选取 2010 年到 2013 年 12 场洪水进行参数率定，选取 2014 到 2015 年 5 场洪水做验证；采用改进的粒子群算法进行 TOPMODEL 模型参数率定，最后确定的模型参数值见表 4，模型率定期和检验期的产汇流计算结果，分别见表 5 和表 6。

Table 3. The flow routing results of Xinanjiang during calibration and test periods

表 3. 新安江模型率定期及检验期的汇流计算结果

洪号	实测洪峰(m ³ /s)	预报洪峰(m ³ /s)	相对误差(%)	峰现时差(h)	确定性系数	合格
131110	4345	3494	-19.58	1	0.85	是
131014	1100	1257	14.28	1	0.60	是
130622	317	335	5.75	-3	-0.05	是
121026	1070	1007	-5.92	3	0.88	是
120617	176	209	19.02	-5	0.03	否
111103	1590	1861	17.07	0	0.52	是
111006	2040	1991	-2.40	-1	0.84	是
110928	1100	1160	0.05	1	0.77	是
110917	915	772	-15.66	-2	0.54	是
101014	1720	2010	16.85	-1	0.57	是
101113	1050	1089	3.72	2	0.83	是
100930	2480	2320	-6.44	0	0.80	是
150913	525	561	6.78	1	0.84	是
141026	564	485	-13.97	1	0.85	是
141023	874	874	0.00	1	0.91	是
140915	858	836	-2.55	-2	0.76	是
140717	610	575	-5.81	0	0.90	是

Table 4. The calibrated parameters of TOPMODEL

表 4. TOPMODEL 模型参数的率定结果

参数类型	参数名称	意义	取值
产流参数	Srmax	根系区最大蓄水容量(mm)	19.26
	Td	重力排水的时间滞时参数(1 h/m)	10.1
	Szm	壤下渗率成指数衰减的速率参数 (m)	23.69
	Ln(T0)	土壤刚达到饱和时有效下渗率的流域均值(m ² /h)	-6.77
	Fc	地表下渗率(mm)	29.1
汇流参数	KKG	地下水消退系数	0.85
	CS	河网蓄水消退系数	0.85
	L	滞时参数(1h)	1

Table 5. The runoff generation results of TOPMODEL during calibration and test periods
表 5. TOPMODEL 模型率定期及检验期产流模拟结果

洪号	Qb1(m ³ /s)	实测净雨(mm)	预报净雨(mm)	绝对误差(mm)	相对误差(%)	合格
131110	40	312.56	324.79	12.22	3.91	是
131014	30	115.82	106.85	-8.97	-7.74	是
130622	15	31.17	32.09	0.92	2.96	是
121026	10	171.47	169.61	-1.86	-1.08	是
120617	60	20.60	16.66	-3.94	-19.11	是
111103	20	177.84	189.63	11.78	6.62	是
111006	30	165.45	173.02	7.57	4.58	是
110928	50	164.52	145.13	-19.39	-11.7	是
110917	30	49.96	52.10	2.14	4.28	是
101014	40	459.86	457.01	-2.85	-0.62	是
101113	45	78.44	81.07	2.63	3.36	是
100930	5	577.54	596.71	19.17	3.32	是
150913	10	48.46	46.00	-2.46	-5.08	是
141026	60	46.50	41.94	-4.56	-9.81	是
141023	10	57.36	60.72	3.36	5.86	是
140915	35	98.60	89.51	-9.09	-9.22	是
140717	18	60.73	50.29	-10.44	-17.19	是

Table 6. The flow routing results of TOPMODEL during calibration and test periods
表 6. TOPMODEL 模型率定期汇流模拟结果

洪号	实测洪峰(m ³ /s)	预报洪峰(m ³ /s)	相对误差(%)	峰现时差(h)	确定性系数	合格
131110	4345	4050	-6.79	1	0.89	是
131014	1100	1030	-6.35	0	0.85	是
130622	317	316	-0.30	-3	-0.02	是
121026	1070	1186	10.81	2	0.87	是
120617	176	210	19.14	-5	-0.17	否
111103	1590	1592	0.11	0	0.72	是
111006	2040	2024	-0.79	0	0.93	是
110928	1100	1220	-10.9	-2	0.77	是
110917	915	820	-10.35	-3	0.80	是
101014	1720	1989	15.64	-1	0.70	是
101113	1050	1050	0.03	1	0.94	是
100930	2480	2573	3.76	-1	0.85	是
150913	525	520	-0.87	0	0.88	是
141026	564	525	-6.94	0	0.91	是
141023	874	851	-2.62	-1	0.81	是
140915	858	827	-3.62	-2	0.65	是
140717	610	623	2.07	-1	0.88	是

1) 分析表 5 和表 6 可得, 对于产流来说, 模型参数率定期和检验期合格率都为 100%。对于汇流来说, 模型率定期合格率为 92%, 检验期合格率为 100%。

2) 从产流模拟结果来看, TOPMODEL 模型模拟径流量精度较高。除“120617”, “140717”场次洪水外, 所有产汇流模拟径流量的误差不超过 10%。对于场次洪水“120617”场次洪水来说, 虽然相对误差为-19.11%, 但是产流绝对误差只有-3.94 mm, 所以相对误差较大可能是由于洪量较小造成的。对于“140717”场次洪水来说, 前期土壤较为干旱, 可能出现超渗产流的现象, 造成实测洪水较大。对于“100930”场次洪水来说, 计算绝对误差为 19.17 mm, 由于实测面雨量达到 773 mm, 绝对误差较大可能是由于实测误差积累所造成的。但对于整体来说, 模型模拟效果较好。

3) 从汇流模拟结果可知, TOPMODEL 模型模拟洪峰流量和峰现时间的效果均较好, 且整体确定性系数模拟精度较高, 对于“120617”场次洪水, 同新安江模型一样, 由于降雨中心主要集中在上游, 其峰现时间滞后, 模拟确定性系数精度较低。

3.4. 模拟结果对比分析

新安江模型与 TOPMODEL 模型产汇流结果对比见表 7 和表 8。分析表 7 可得, 对于产流而言, 新安江模型和 TOPMODEL 模型产流合格率均为 100%。TOPMODEL 模型平均相对误差为 6.41%, 新安江模型的平均相对误差为 9.43%, TOPMODEL 模型模拟效果较好。

分析表 8 得出, 新安江模型和 TOPMODEL 模型峰量模拟合格率均为 100%, 峰时模拟合格率均为 94%。

Table 7. The comparison of runoff generation results between Xinanjiang and TOPMODEL models

表 7. 新安江模型与 TOPMODEL 模型产流结果对比分析

洪号	实测净雨(mm)	新安江模型			TOPMODEL			合格
		预报净雨(mm)	绝对误差(mm)	相对误差(%)	预报净雨(mm)	绝对误差(mm)	相对误差(%)	
150913	48.46	55.96	7.49	15.46	46.00	-2.46	-5.08	是
141026	46.50	41.91	-4.59	-9.88	41.94	-4.56	-9.81	是
141023	57.36	64.62	7.26	12.66	60.72	3.36	5.86	是
140915	98.60	79.29	-19.31	-19.59	89.51	-9.09	-9.22	是
140717	60.73	50.73	-10.00	-16.47	50.29	-10.44	-17.19	是
131110	312.56	331.11	18.54	5.93	324.79	12.22	3.91	是
131014	115.82	99.46	-16.36	-14.13	106.85	-8.97	-7.74	是
130622	31.17	28.11	-3.05	-9.80	32.09	0.92	2.96	是
121026	172.76	177.09	4.32	2.50	169.61	-1.86	-1.08	是
120617	20.60	22.27	1.68	8.13	16.66	-3.94	-19.11	是
111103	177.84	187.39	9.54	5.36	189.63	11.78	6.62	是
111006	165.45	171.37	5.92	3.58	173.02	7.57	4.58	是
110928	164.53	148.17	-16.35	-9.94	145.13	-19.39	-11.7	是
110917	49.96	59.53	9.56	19.14	52.10	2.14	4.28	是
101014	416.71	422.08	5.37	1.29	457.01	-2.85	-0.62	是
101113	78.44	84.97	6.52	8.32	81.07	2.63	3.36	是
100930	577.54	594.93	17.39	3.01	596.71	19.17	3.32	是

1) 平均相对误差角度分析, TOPMODEL 模型的平均相对误差为 5.37%, 新安江模型的平均相对误差为 9.31%, TOPMODEL 模型的模拟效果较好。

2) 对于“101014”, “100930”两场多峰洪水来说, TOPMODEL 模型的确定性系数分别为 0.7 与 0.85, 而新安江模型的确定性系数为 0.57 与 0.8, 且 TOPMODEL 模型的对于每个小峰的模拟效果均好于新安江模型。如图 4 和图 5 所示。

3) 单独对于洪峰流量大于 1000 m³/s 的大洪水进行统计, TOPMODEL 模型的平均相对误差为 5.05%, 平均确定性系数为 0.84; 新安江模型的平均相对误差为 9.86%, 平均确定性系数为 0.71。TOPMODEL 模型的模拟效

Table 8. The comparison of simulation flow routing results between Xinanjiang and TOPMODEL models
表 8. 新安江模型与 TOPMODEL 模型汇流模拟结果对比

洪号	实测 洪峰 (m ³ /s)	TOPMODEL				新安江				合格
		预报洪峰 (m ³ /s)	相对误差 (m ³ /s)	峰现时差 (h)	确定性系 数	预报洪峰 (m ³ /s)	相对误差 (m ³ /s)	峰现时差 (h)	确定性系 数	
150913	525	520	-0.87	0	0.88	561	6.78	1	0.84	是
141026	564	525	-6.94	0	0.91	485	-13.97	1	0.85	是
141023	874	851	-2.62	-1	0.81	874	0.00	1	0.91	是
140915	858	827	-3.62	-2	0.65	836	-2.55	-2	0.76	是
140717	610	623	2.07	-1	0.88	575	-5.81	0	0.90	是
131110	4345	4050	-6.79	1	0.89	3494	-19.58	1	0.85	是
131014	1100	1030	-6.35	0	0.85	1257	14.28	1	0.60	是
130622	317	316	-0.30	-3	-0.02	335	5.75	-3	-0.05	是
121026	1070	1186	10.81	2	0.87	1007	-5.92	3	0.88	是
120617	176	210	19.14	-5	-0.17	209	19.02	-5	0.03	否
111103	1590	1592	0.11	0	0.72	1861	17.07	0	0.52	是
111006	2040	2024	-0.79	0	0.93	1991	-2.40	-1	0.84	是
110928	1100	1220	10.94	-2	0.78	1160	5.4	1	0.77	是
110917	915	820	-10.35	-3	0.80	772	-15.66	-2	0.54	是
101014	1720	1989	15.64	-1	0.70	2010	16.85	-1	0.57	是
101113	1050	1050	0.03	1	0.94	1089	3.72	2	0.83	是
100930	2480	2573	3.76	-1	0.85	2320	-6.44	0	0.80	是

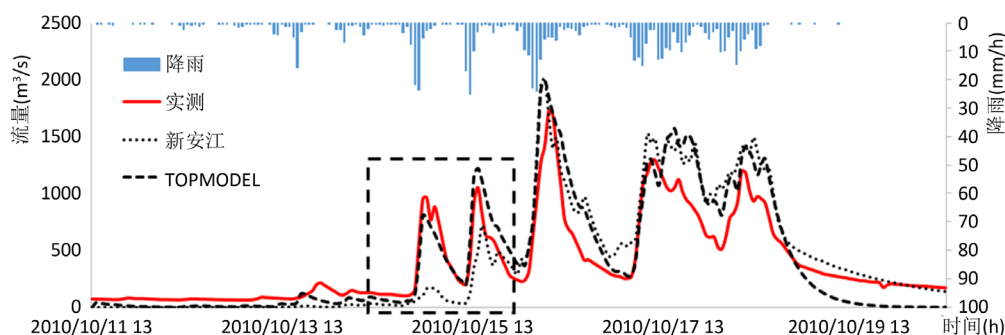


Figure 4. Comparison of simulated and observed flood hydrograph in 101014

图 4. 101014 场次洪水模拟结果对比

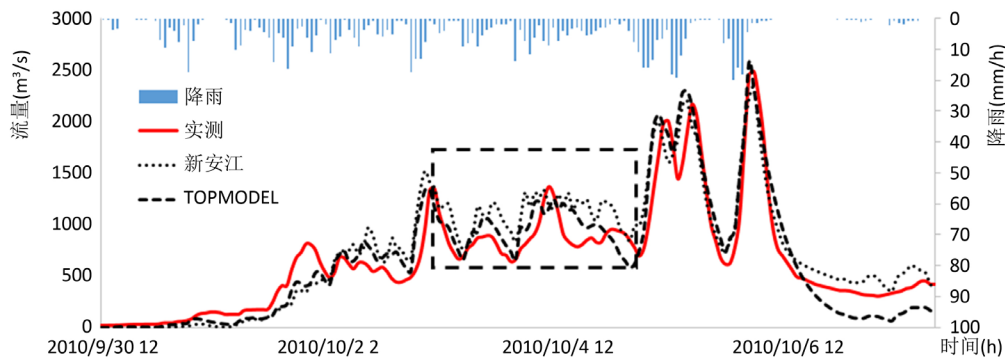


Figure 5. Comparison of simulated and observed flood hydrograph in 100930

图 5. 100930 场次洪水模拟结果对比

果较好。

综上所述, 新安江模型和 TOPMODEL 模型模拟产汇流的效果都比较好。但从平均相对误差, 平均确定性系数, 以及针对大洪水计算三方面统计来说, TOPMODEL 模型的模拟效果显然好于新安江模型。

4. 结论

利用新安江模型和 TOPMODEL 模型进行乘坡河流域历史洪水的模拟研究, 结果表明: 两个模型模拟产汇流的结果都较好, 均可用于指导乘坡河流域的洪水预报。但相比而言, TOPMODEL 模型模拟产汇流的平均误差较小, 且对于大洪水来说, TOPMODEL 模型模拟效果较好, 并且 TOPMODEL 模型在模拟长系列连续洪水方面效果也更好。在实际工作中, 对于湿润地区的中小流域, 大多数中小流域所不具备长系列历时资料, 模型的参数值可以结合地形和土地利用等资料来确定, TOPMODEL 更适合水文资料较缺乏的中小流域。

基金项目

村镇区域防洪关键技术研究(2014BAL05B02)。

参考文献 (References)

- [1] 王佩兰, 赵人俊. 新安江模型(三水源)参数的检验[J]. 河海大学学报, 1989(4): 16-20.
WANG Peilan, ZHAO Renjun. The parameters test of Xinjiang model. Journal of Hohai University, 1989(4): 16-20. (in Chinese)
- [2] BEVEN, K. J., KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. Hydrological Sciences Bulletin, 1979, 24(1): 43-69.
<https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- [3] DENG, H. P., SUN, S. F. Incorporation of TOPMODEL into landsurface model SSiB and numerically testing the effects of the corporation at basinscale. Science China Earth Sciences, 2012: 5510.
- [4] SANTOS, I., KOBAYAMA, M. Determination of saturated areas using TOPMODEL in the pequeno river watershed, Southern Brazil (pt). Ambiente Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 2008: 32.
- [5] SHAMAN, J., STIEGLITZ, M., ENGEL, V., KOSTER, R. and STARK, C. Representation of subsurface stormflow and a more responsive watertable in a TOPMODEL-based hydrology model. Water Resources Research, 2002: 388.
- [6] 王敏, 张立明, 马秀梅. 小流域洪水分析[J]. 内蒙古水利, 2012(6): 34.
WANG Min, ZHANG Liming and MA Xiumei. The analysis of small watershed flood. Inner Mongolia, 2012(6): 34. (in Chinese)
- [7] 刘金涛, 等. 新安江模型理论研究的进展与探讨[J]. 水文, 2014(1).
LIU Jintao, et al. Coupling the progress and discussion about the theory of Xinjiang Model. Hydrology, 2014(1). (in Chinese)
- [8] 阚光远, 等. 新安江产流模型与改进的 BP 汇流模型耦合应用[J]. 水科学进展, 2012(1).

QUE Guangyuan, et al. Coupling Xinanjiang runoff generation model with improved BP flow concentration model. *Advances in Water Science*, 2012(1). (in Chinese)

[9] 李致家, 孔祥光, 张初旺. 对新安江模型的改进[J]. *水文*, 1998(4).

LI Zhijia, KONG Xiangguang and ZHANG Chuwang. The improvement of Xinanjiang model. *Hydrology*, 1998(4). (in Chinese)