

改进的新安江模型在贵州印江河流域 的适用性及对比分析

韩元元, 吴昊

(贵州省水利水电勘测设计研究院, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 将变动态存储系数法引入新安江模型河道洪水演算, 从而对新安江模型进行改进, 基于贵州印江河流域印江水文站 2000-2010 年水文资料, 分析了改进新安江模型在研究流域的适用性并和传统新安江模型模拟结果进行对比分析, 基于改进新安江模型, 定量分析不同计算时段和不同蒸发输入对水文模拟的影响。研究结果表明: 改进的新安江模型适合于研究流域的水文模拟, 相比于传统新安江模型, 改进新安江模型在相对误差和确定性系数两个指标中都有所提高, 其中相对误差均值减少 1.08%, 确定性系数均值提高 0.0182; 计算时段越短, 次洪模拟精度越高; 相比于实测蒸发皿, 双源蒸散发作为蒸发输入模拟的年径流深相对误差平均减少 0.75%, 确定性系数平均提高 0.0139。研究成果可以为印江河流域的水文模拟提供参考价值。

关键词: 改进新安江模型; 动态存储系数; 不同计算时段; 不同蒸发输入; 洪水演算; 印江河流域

中图分类号: P334.92

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)03-0110-05

Applicability and comparative analysis of improved Xinanjiang model in Yinjiang River basin of Guizhou province

HAN Yuanyuan, WU Hao

(Guizhou Province Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute, Guiyang 550002, China)

Abstract: The dynamic storage coefficient method was used in river flood routing of Xinanjiang model so as to improve the model. Based on the hydrological data of Yingjiang hydrological station in the Yingjiang River basin from 2000 to 2010, the paper analyzed the applicability of improved Xinanjiang model, and compared the result of the model with that of traditional. It used the improved model to analyzed the impact of different calculation steps and evaporation inputs on hydrology simulation. Result showed that the improved Xinanjiang model is suitable for the runoff simulation in the research watershed. Compared with the traditional Xinanjiang model, the relative error and uncertainty factor of the improved model can be improved, the relative error decreased by 1.08%, the uncertainty factor increased by 0.0182; the shorter the computing time, the higher the simulation precision; Comparing with the measured evaporation pan, the relative error of year runoff depth of dual-source evapotranspiration reduced 0.8%, and the uncertainty factor of that increased 0.0139 respectively. The result can provide a reference for the hydrology simulation of Yingjiang River basin.

Key words: improved Xinanjiang model; dynamic storage coefficient; different computing steps; different evaporation inputs; flood routing; Yingjiang River Basin

近些年来, 国内学者对于水文模型的研究取得不少研究成果, 当前, 水文模型大致可以分为二类, 一类是以整个流域为计算单位的集总式水文模型, 代表模型有新安江模型, 垂向混合产流模型, 另外一类是以栅格或者水文响应单位为计算单元的半分布

式和分布式水文模型, 代表模型有栅格新安江模型和 SWAT 模型。但是不同模型在不同地区有其适用性和模拟精度, 为此, 许多学者也对不同模型在流域内的适用性进行了许多相关研究, 但是在贵州印江河流域的研究相对较少, 因此本文以印江河流域

为研究区域,基于该流域印江水文站 2001—2010 年水文资料,将变动态存储系数法引用到新安江模型河道洪水演算中,从而改进新安江模型,并和传统新安江模型进行对比模拟两种水文模型在贵州印江河流域的适用性及模拟精度。此外,本文还定量分析了不同计算时段以及不同蒸发输入对印江河流域水文模拟的影响,研究成果可以为贵州印江河流域的水文模拟提供参考价值。

1 研究方法及资料选取

1.1 研究方法

本文将变动态存储系数法引入新安江模型河道洪水演算中,从而改进新安江模型,基于研究流域印江水文站水文数据,分析了改进新安江模型在印江河流域的适用性,并和传统新安江模型进行对比分析,此外基于改进的新安江模型,定量分析了不同计算时段及不同蒸发输入对水文模拟的影响。对于新安江模型原理,国内外许多学者进行过表述,可详见参考文献[1—5],其次本文选用双源蒸散发模型来分析不同蒸发输入对水文模拟的影响,对于双源蒸散发模型原理,考虑文章篇幅原因,可以详见参考文献[6—14]。本文着重介绍如何对新安江模型进行改进。传统新安江模型在河道洪水演算中采用马斯京根法进行计算,而马斯京根法将槽蓄系数设置成固定值,而实际上槽蓄系数和河段长度以及洪水波速相关,是一个动态变量,因此,本文对新安江模型河道洪水演算方法进行改进,引入考虑槽蓄系数动态变化的变动态存储系数法进行模型河道洪水演算,变动态存储系数法的水量平衡方程计算公式为:

$$I - Q = \frac{dw}{dt} \quad (1)$$

该方法槽蓄方程计算公式为:

$$W = K[xI + (1 - x)Q] = KQ' \quad (2)$$

式中: I 表示时段初进入河段内的流量, m^3/s ; Q' 为演算流量, m^3/s , $Q' = xI + (1 - x)Q$; W 为蓄水量, m^3 ; x 为流量的一个比重系数; K 为蓄量与流量关系曲线的一个斜率, h 。

斜率 K 值和河段长度以及洪水波波速相关,计算的公式为:

$$K = \frac{L}{V_c} \quad (3)$$

式中: L 为河段长度, m ; V_c 为洪水波的波速, m/s 。

对于河流断面形状能近似为宽矩形的河段,其洪水波传播的速度可采用学者 Schulze 提出的方法

进行计算,计算原理如下所示:

$$V_c = \frac{5V}{3} \quad (4)$$

式中: V 为河流的平均流速, m^3/s 。

而河流的平均流速可选用曼宁公式进行计算,计算方法为:

$$V = \frac{R^{2/3} \sqrt{i}}{n} \quad (5)$$

式中: R 为水力半径; i 为河道平均比降, $\%$; n 为河段的糙率。

1.2 研究区域资料的选取

本文选用贵州印江河流域作为研究区域,该流域集水面积为 694 km^2 ,研究流域多年平均降雨量 $1\,200 \text{ mm}$,流域多年平均蒸发量为 $1\,090 \text{ mm}$,印江河流域内德江气象站,收集了该站点 2000—2013 年风速、日相对湿度数据、日照时数、辐射等气象资料。选用印江水文站 2000—2013 年日模型以及 15 场洪水要素摘录资料对模型进行对比分析。

2 模型模拟成果分析

2.1 改进新安江模型的适用性及对比分析

为定量分析改进新安江模型在研究流域的适用性及模拟精度,基于流域内印江水文站 2001—2013 年水文资料,分别运用改进的新安江模型和传统新安江模型模拟印江水文站以上流域 2001—2013 年径流过程,模拟结果见表 1 及表 2。

从模型参数表 1 可以看出,改进的新安江模型相比传统的新安江模型多了 5 个河道水力学计算参数,这 5 个参数基于河道地形数据可以获得。表 2 为分别运用改进新安江模型和传统新安江模型模拟的径流结果,从表中可以看出,改进新安江模型在印江河流域模拟的径流深相对误差在 10% 以内,确定性系数 0.8 以上,具有较好的模拟精度,可满足研究流域的径流模拟精度要求,相比于传统新安江模型,改进的新安江模型模拟的年径流深相对误差均小于传统新安江模型模拟的径流深相对误差,且确定性系数也大于传统新安江模型的确定性系数。

2.2 不同时段输入对水文模拟的影响结果对比

为定量分析不同时段输入对水文模型模拟的影响,基于前面已率定好的改进新安江模型,选取印江水文站 2000—2010 年期间,选用垂向混合产流模型来进行模拟分析,选取大城子水文站 2001—2010 年 15 场洪水资料,采用三次样条插值方法,将降雨输入和蒸发输入时段分别转换成 1 和 2 h,运用改

进新安江模型模拟不同时段输入下的径流,并对比两个时段下径流结果,对比结果见表 3 和图 1。

表 1 新安模型以及改进新安江模型率定值

参数 符号	参数意义	模型率定值		参数 符号	参数意义	模型率定值	
		新安江 模型	改进新安 江模型			新安江 模型	改进新安 江模型
K_e	流域的蒸发折算系数	0.85	0.85	CI	流域壤中流消退系数	0.71	0.71
UM	流域的上层张力水容量/mm	20	20	GG	流域地下水消退系数	0.985	0.985
LM	流域的下层张力水容量/mm	60	60	L	河网滞时/h	6	6
C	流域的深层蒸散发折算系数	0.1	0.1	XE	马法演算参数	0.49	0.49
WM	流域的平均张力水容量/mm	120	120	KE	马法演算参数/h	4	
B	流域的张力水蓄水容量曲线方次	0.4	0.4	n	河段曼宁系数		0.04
IM	流域不透水面积占全流域面积的比例	0.008	0.008	a_1	河道汇流计算中水力半径计算参数		0.15
SM	自由水蓄水容量/mm	16	16	b_1	河道汇流计算中水力半径计算参数		0.43
EX	自由水的蓄水容量曲线方次	1.4	1.4	a_2	河道汇流计算中水深计算的参数		0.1
KG	自由水蓄水库地下水日出流系数	0.47	0.47	b_2	河道汇流计算中水深计算的参数		0.5
KI	自由水蓄水库壤中流日出流系数	0.23	0.23				

表 2 改进的新安江模型和新安江模型模拟对比结果

年份	降雨量/ mm	实测径 流深/mm	计算径流深/mm		相对误差/%		确定性系数	
			改进新安江模型	新安江模型	改进新安江模型	新安江模型	改进新安江模型	新安江模型
2000	542.3	426.31	390.37	384.57	8.43	9.79	0.8423	0.8043
2001	654.2	440.11	477.92	483.42	-8.59	-9.84	0.8175	0.8076
2002	751.3	291.72	311.15	312.87	-6.66	-7.25	0.8346	0.8123
2003	842.3	525.17	486.89	480.90	7.29	8.43	0.8256	0.8049
2004	756.5	440.54	406.75	397.32	7.67	9.81	0.8745	0.8452
2005	642.5	552.44	599.56	606.47	-8.53	-9.78	0.8542	0.8348
2006	601.3	215.35	200.47	198.45	6.91	7.85	0.8423	0.8231
2007	752.5	67.78	72.53	72.84	-7.01	-7.46	0.8216	0.8115
2008	679.8	512.50	555.60	559.80	-8.41	-9.23	0.8076	0.8003
2009	843.1	169.97	159.48	157.77	6.17	7.18	0.8143	0.8012
2010	709.2	744.20	683.25	675.81	8.19	9.19	0.8652	0.8541
平均值	706.8	270.10	394.91	393.66	7.63	8.71	0.8363	0.8181

从表 3 中可以看出,相同参数下,不同时段输入对模型模拟结果有所影响,输入时段为 1h 模拟的相对误差均小于 2 h 为时段输入模拟的相对误差,其中 1h 模拟的相对误差均值为 7.35%,2 h 模拟的相对误差均值为 8.15%。

对于次洪模拟来说,峰现时间模拟的误差对于次洪模拟精度至关重要,从表中也可看出,1 h 模拟的峰现时间差好于 2 h 模拟的峰现时间差,其中 1h 模拟的峰现时间差均值为0.93 h,2 h 模拟的峰现时间差均值为 1.53 h,其次从确定性系数来看,1 h 模

拟的各场地洪水的确定性系数也好于 2 h 模拟各场地洪水的确定性系数,其中 1h 模拟的确定性系数均值为 0.7541,2 h 模拟的峰现时间差均值为0.7403,从这 3 个指标来看,1 h 模拟的精度均高于 2 h 模拟的精度,输入时段越短,次洪模拟精度越高。

2.3 不同蒸发输入对水文模拟的影响结果对比

为对比分析不同蒸发输入对水文模拟的影响,运用双源蒸散发计算流域蒸散发,并和实测蒸发皿蒸发一同作为改进新安江模型的蒸发输入,采用相同的模拟参数,定量分析不同蒸散发对模型模拟结

果的影响,模拟对比结果见表4。

表3 不同时段对水文模拟的影响对比结果

洪号	R/mm	$\delta Q/\%$		$\Delta t(\text{h})$		DC	
		1h	2h	1h	2h	1h	2h
20000512	22.34	8.42	9.23	0.5	1	0.7851	0.7754
20000928	16.82	-6.98	-7.65	1	1.5	0.7749	0.7542
20010625	17.84	7.52	8.18	-1	-2	0.7652	0.7348
20010812	25.83	8.45	9.17	0.5	1	0.7348	0.7156
20020516	31.42	6.35	7.82	1.5	1	0.7895	0.7698
20020813	24.52	-8.15	-8.94	-1	-1.5	0.7942	0.7843
20030619	36.58	-9.23	-9.65	2	2	0.7648	0.7511
20040502	18.23	6.48	7.21	0	-1	0.7548	0.7423
20040813	22.14	5.62	6.48	-1	-1.5	0.7365	0.7162
20050623	23.56	7.85	8.23	0.5	1	0.7215	0.7084
20060812	14.53	-7.65	-8.15	-1	-2	0.7748	0.7659
20070530	19.27	5.43	6.52	1.5	2	0.7851	0.7742
20080923	10.20	-6.52	-7.35	-2	-2	0.7231	0.7118
20090618	11.24	7.11	8.23	0	1	0.7056	0.7003
20100822	19.27	8.48	9.42	1	-2	0.7011	0.7001
平均值		7.35	8.15	0.93	1.53	0.7541	0.7403

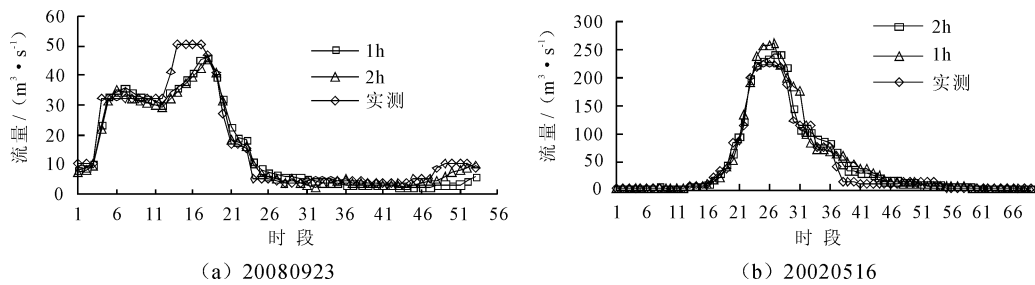


图1 不同场次洪水模型模拟结果对比图

表4 不同蒸发输入对水文模拟的影响对比结果

年份	P/mm	$\delta_R/\%$		DC	
		实测	双源蒸散发	实测	双源蒸散发
2000	542.3	8.43	7.12	0.8423	0.8538
2001	654.2	-8.59	-8.03	0.8175	0.8249
2002	751.3	-6.66	-5.48	0.8346	0.8621
2003	842.3	7.29	6.85	0.8256	0.8459
2004	756.5	7.67	7.12	0.8745	0.8972
2005	642.5	-8.53	-7.58	0.8542	0.8635
2006	601.3	6.91	6.21	0.8423	0.8624
2007	752.5	-7.01	-6.35	0.8216	0.8321
2008	679.8	-8.41	-7.29	0.8076	0.8109
2009	843.1	6.17	5.48	0.8143	0.8245
2010	709.2	8.19	7.58	0.8652	0.8751
平均值	706.8	7.63	6.83	0.8363	0.8502

从表4中可以看出双源蒸散发模型计算的蒸散发可以作为改进新安江模型的蒸发输入,模拟精度满足模型模拟规范要求,模拟的相对误差均在10%以内,确定性系数0.8以上,对比实测蒸发皿蒸发,双源蒸散发模拟的结果要好于实测蒸发皿蒸发结果,双源蒸散发模拟的相对误差均小于实测蒸发皿蒸发模拟的相对误差,双源蒸散发模型模拟的相对误差均值为6.83%,小于实测蒸发皿蒸发相对误差均值7.63%,在确定性系数方面,双源蒸散发模拟的确定性系数均值为0.8502,实测蒸发皿模型的确定性系数均值为0.8363,可见,双源蒸散发模拟的确定性系数也要好于实测蒸发皿蒸发模拟的确定性系数。总体来看,由于双源蒸散模型考虑植被和土

壤两个方面的蒸散发,而实测蒸发皿蒸发单纯考虑水面蒸发,因此双源蒸散发作为蒸发输入,模拟结果要好于实测蒸发皿蒸发模拟结果。

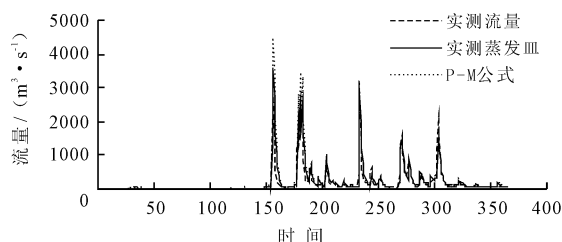


图2 2002年不同蒸发输入模拟结果对比图

3 结 语

本文将变动态存储系数法引入新安江模型河道洪水演算中,从而改进新安江模型,并将改进新安江模型在贵州印江河流域进行了适用性分析并和传统新安江模型进行了对比研究,此外,基于改进的新安江模型定量分析不同输入时段及蒸发输入对模型模拟结果的影响,研究取得以下结论:

(1) 改进的新安江模型在印江河流域具有较好的模拟精度,相比于传统新安江模型,其模拟的年径流深相对误差平均减少 1.08%,确定性系数平均提高 0.0182。

(2) 计算时段越短,次洪模拟精度越高,计算时段为 1 h 的次洪模拟相比于计算时段为 2 h 的次洪模拟,其模拟次洪径流深相对误差平均减少 0.8%,峰现时间误差缩短 0.6 h,次洪模拟确定性系数平均提高 0.0138。

(3) 双源蒸散发同时考虑植被和土壤蒸散发,其模拟的年径流深相对误差比实测蒸发皿平均减少 0.75%,确定性系数平均提高 0.0139,双源蒸散发可以用来作为印江河流域水文模拟的蒸发输入。

参考文献:

- [1] 李致家,姚成,章玉霞,等. 栅格型新安江模型的研究[J]. 水力发电学报,2009,28(2):25-34.
- [2] 舒畅,刘苏峡,莫兴国,等. 新安江模型参数的不确定性分析[J]. 地理研究,2008,27(2):343-352.
- [3] 曹丽娟,刘晶淼,任立良. 对新安江模型蒸散发计算的改进[J]. 水文,2005,25(3):5-9+19.
- [4] 阚光远,刘志雨,李致家,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,2012,23(1):21-28.
- [5] 芮孝芳,凌哲,刘宁宁,等. 新安江模型的起源及对其进一步发展的建议[J]. 水利水电科技进展,2012,32(4):1-5.
- [6] 蔡琳,柳志亮. 分布式双源蒸散发模型及其在南广河流域运用研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(3):226-229.
- [7] 刘晓帆,任立良,袁飞,等. 双源蒸散发能力计算模型在半干旱区的适用性[J]. 河海大学学报(自然科学版),2009,37(2):138-142.
- [8] 冯景泽,王忠静. 遥感蒸散发模型研究进展综述[J]. 水利学报,2012,43(8):914-925.
- [9] 杨雨亭,尚松浩. 双源蒸散发模型估算潜在蒸散发量的对比[J]. 农业工程学报,2012,28(24):85-91.
- [10] 刘晓帆,任立良,徐静,等. 基于双源蒸散发和混合产流的分布式水文模型构建及应用——以辽河老哈河流域为例[J]. 湖泊科学,2011,23(2):174-182.
- [11] 冯景泽,王忠静. 常用遥感蒸散发模型干湿限的新定义及数值模拟[J]. 清华大学学报(自然科学版),2013,53(1):29-35.
- [12] 张荣华,杜君平,孙睿. 区域蒸散发遥感估算方法及验证综述[J]. 地球科学进展,2012,27(12):1295-1307.
- [13] 刘波,翟建青,高超,等. 基于实测资料对日蒸散发估算模型的比较[J]. 地球科学进展,2010,25(9):974-980.
- [14] 蒋磊,杨雨亭,尚松浩. 基于遥感蒸发模型的干旱区灌区灌溉效率评价[J]. 农业工程学报,2013,29(20):95-101.