

分布式水文模型在淮河洪泽湖以上 流域洪水预报中的应用

宋 玉^{1,2} 李致家¹ 杨 涛¹

(1. 河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省防汛防旱指挥部办公室, 江苏 南京 210029)

摘要:以淮河洪泽湖以上流域为例,采用分布式水文模型,根据降雨和流域内水利工程的现状应用情况进行降雨径流与洪水过程预报研究,同时对息县、鲁台子、蚌埠、蚌埠以下淮北以及淮南流域进行参数率定.预报模型在 2003 年淮河大洪水预报中进行了检验,取得了较高的预报精度.

关键词:大流域;淮河流域;洪水预报;分布式水文模型

中图分类号: P333 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2006)02-0127-05

大流域的降雨径流与洪水预报是一个十分复杂的问题.大流域洪水预报的内容至少有 2 个:(a)根据流域降雨,在水利工程应用现状情况下进行流域的降雨-径流与洪水过程预报;(b)根据流域的洪水调度规则和洪水预报过程,对流域内的水库、闸和蓄滞洪区等水利工程进行调度,在调度的基础上进行河道洪水演进和洪水预报.

与小流域或天然流域相比,受水利工程的影响,大流域的降雨-径流预报具有一些特殊性:(a)洪水预报中应当考虑水利工程对降雨径流与洪水过程的影响;(b)经过水利工程调节之后的洪水过程不是光滑的天然流量过程,实时校正方法不再有效;(c)对于几万平方千米以上的大流域,模型率定应考虑到在实时洪水预报中收集到的实时雨量资料较少,有时平均几千平方千米才有 1 个站的雨量资料.虽然大流域中下游洪水预报的重点在于河道洪水预报,但要提高河道洪水预报的精度,增长预见期,源头和区间流域的降雨-径流预报非常重要.大流域洪水预报以河道汇流为主线,源头和区间流域采用降雨-径流预报组成的分布式结构.

本文以淮河洪泽湖以上流域为例,根据降雨和流域内水利工程的现状应用情况进行该流域的降雨径流与洪水过程预报,其中降雨-径流模型采用新安江模型^[1-4].

1 流域概化与预报模型的构建

1.1 流域简介

淮河流域发源于河南省桐柏山,在江苏省三江营注入长江,干流全长 1000 km.淮河流域分上、中、下游,洪河口以上为上游,落差大,水流急.洪河口至三河闸为中游,河道坡降平缓,沿干流两侧多湖泊洼地,淮河上中游洪水在此滞蓄回旋.淮北大堤是淮北平原的防洪屏障.三河闸以下为下游.洪泽湖以上流域面积 15.8 万 km²,是淮河中下游调节水量的枢纽.

1.2 流域概化

根据流域内水文站的布设情况和自然流域的边界,将流域(包括洪泽湖湖面)划分为 23 个子流域.为便于进行分块子流域的参数率定和实时校正,子流域划分应尽可能利用水文站作为子流域的控制断面.对于每个子流域,根据其下垫面和水文特性以及雨量分布,再将其划分为多块.

1.3 预报模型的构建

考虑到流域汇流时间,洪泽湖入湖洪水预报预见期有 6 d 以上,因此时段长采用 1 d 可以满足防洪要求.流域降雨-径流预报采用新安江三水源模型,河道洪水演算采用马斯京干法.考虑到淮河流域淮南为丘陵地区、淮北为平原河网地区的水文特性,采用分布式的概念性水文模型.对于一个子流域的不同单元,淮南和淮

北分别采用不同的产汇流参数.在模型计算中,蚌埠以上流域采用鲁台子实测蒸发资料,蚌埠以下流域采用三河闸实测蒸发资料.

2 水利工程调度处理与模型的率定

2.1 水库与水闸计算处理

本文根据流域的降雨资料,在水利工程运用现状情况下进行流域的降雨-径流与洪水过程预报.对于淮河流域需要演算流域上游的水库放水.流域干支流上有几十座拦河闸.本文只考虑两大支流——沙颍河上的阜阳闸以及涡河上的蒙城闸.

将淮河上游9个水库按流域的地理位置分为3类:汇水通过阜阳闸的水库(昭平台水库)、汇水流入宿鸭湖的水库(洪汝河上的水库)、干流及淮南的水库.汇流计算考虑如下:

- a. 通过阜阳闸、蒙城闸的水量:计算出给定时间内通过该闸的实际水量,以判别闸的开启情况.
- b. 淮河干流与淮南水库汇流的时间:考虑到河道灌溉引水,汛前淮河干流与淮南5个水库放水流量之和大于 $500\text{ m}^3/\text{s}$ 才能汇流到洪泽湖.
- c. 水库、阜阳闸、蒙城闸的汇流:取0.0表示闸门关闭,取1.0表示闸门全部开启,取0.0~1.0表示闸门的开启程度,以便考虑闸的开启的影响.

2.2 模型的率定

对息县、鲁台子、蚌埠、蚌埠以下淮北、淮南流域分别进行率定.按照水情预报标准,息县流域选择1986~1998年洪水流量过程模拟,特征值精度达到甲级标准.鲁台子、蚌埠选择具有代表性、资料条件较好的12次洪水进行率定.蚌埠以下淮北流域按照自然流域边界划分为4块,代表金锁镇、峰山、泗洪老、泗洪新和团结闸以上流域总和,选择资料条件较好的6次洪水进行率定.蚌埠以下淮南池河流域工程情况和调度方式复杂,人为影响很大,对资料条件较好的5次洪水进行率定.表1、表2为鲁台子和蚌埠断面率定的特征值,图1为鲁台子和蚌埠断面2002年6月20日~7月15日模拟与实测的流量过程线.

表1 鲁台子断面洪水模拟特征值

Table 1 Simulated results of characteristic value of different flood events for Lutaizi station									
编号	洪水起始时间	总雨量/ mm	洪水总量			洪峰流量			确定性 系数
			实测值/ 亿 m^3	预报值/ 亿 m^3	相对 误差/%	实测值/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	预报值/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	相对 误差/%	
1	1986-07-11	138.8	47.8	52.6	10.0	3470	4096.2	18.0	0.82
2	1987-08-21	176.3	87.8	87.2	-0.7	4571	4698.2	2.8	0.95
3	1989-06-04	133.8	33.1	38.4	16.0	2770	3268.4	18.0	0.80
4*	1989-08-01	181.2	83.3	80.9	-2.9	4010	5591.7	39.4	0.84
5*	1991-06-01	223.3	95.9	117.5	22.5	7160	13159.8	83.8	-1.43
6*	1991-06-28	353.2	196.8	223.4	13.5	8064	15064.6	86.8	-0.03
7	1995-06-18	168.0	23.6	22.6	-4.2	1970	2019.5	2.5	0.89
8*	1996-06-24	390.9	130.5	150.8	15.6	6630	7117.0	7.3	0.82
9	1996-11-01	102.1	44.3	36.3	-18.1	4950	4244.3	-14.2	0.60
10*	1998-06-25	226.3	76.1	82.4	8.3	7171	8960.5	25.0	0.83
11*	1998-07-26	308.9	113.5	111.8	-1.5	5485	6211.4	13.2	0.91
12	2002-06-20	215.1	60.2	55.9	-7.1	5620	5268.0	-6.3	0.89

注:*表示运用行蓄洪区.

2.3 率定中的问题

a. 鲁台子断面.对于实际没有行蓄洪的6次洪水,模拟的洪量、洪峰与确定性系数均达到了甲级;对于实际行蓄洪的6次洪水,有4次预报的洪水洪量、6次预报的洪水洪峰偏大,其中1991年6月2次洪水洪峰预报值偏大约80%.实际上1991年的洪水仅次于1954年,与2003年相当.经洪水调查,估计1991年鲁台子天然洪峰为 $13\,000\sim 15\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ^①,与预报的洪峰一致.

b. 蚌埠断面.对于实际没有行蓄洪的5次洪水,模拟的洪量、洪峰与确定性系数均达到了甲级.对于实

① 治淮汇刊.水利部淮河水利委员会编印.1991(17):298-304.

表 2 蚌埠断面洪水模拟特征值

Table 2 Simulated results of characteristic value of different flood events for Bengbo station									
编号	洪水起始时间	总雨量/ mm	洪水总量			洪峰流量			确定性 系数
			实测值/ 亿 m ³	预报值/ 亿 m ³	相对 误差/%	实测值/ (m ³ ·s ⁻¹)	预报值/ (m ³ ·s ⁻¹)	相对 误差/%	
1	1986-07-11	163.5	63.1	62.2	- 1.43	3760	4092.4	8.8	0.93
2*	1987-08-21	159.6	111.0	110.8	- 0.18	4610	5568.1	21.2	0.91
3	1989-06-04	123.2	31.7	34.5	8.83	2600	2861.9	10.1	0.85
4*	1989-08-01	167.5	112.5	107.0	- 4.89	4420	4602.4	4.1	0.83
5*	1991-06-01	233.0	110.6	122.6	10.85	6240	8670.0	38.9	0.39
6*	1991-06-28	329.4	259.9	250.2	- 3.73	7750	10061.8	29.8	- 0.22
7	1995-06-18	60.3	14.0	16.3	16.42	1910	1994.5	4.4	0.83
8*	1996-06-24	280.3	150.7	158.7	5.31	6180	7474.4	20.9	0.86
9	1996-11-01	87.2	51.6	47.6	- 7.75	4660	4967.3	6.6	0.91
10*	1998-06-25	235.2	96.2	96.4	0.21	6300	7876.6	25.0	0.71
11*	1998-07-26	248.9	126.1	130.7	3.65	5470	6027.1	10.2	0.81
12	2002-06-20	134.7	66.9	63.6	- 4.93	5600	5647.0	0.8	0.81

注：* 表示运用行蓄洪区。

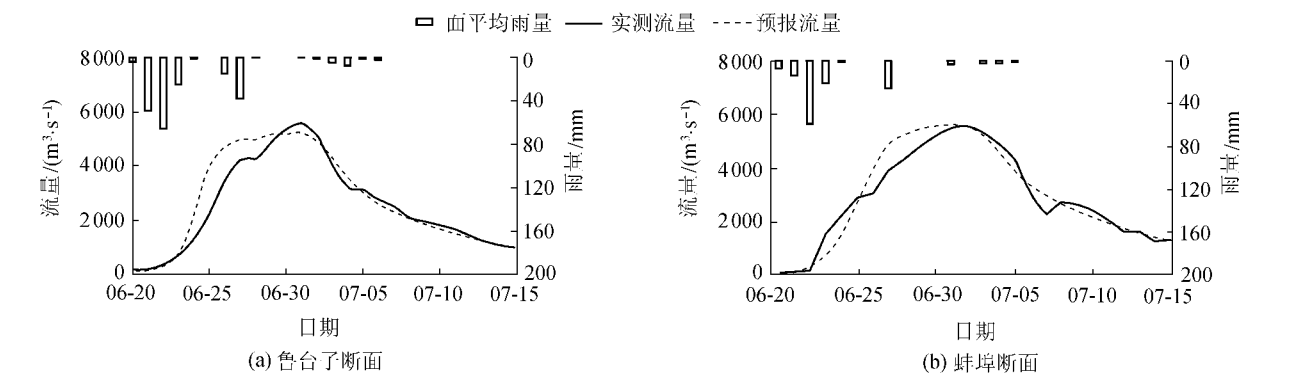


图 1 鲁台子断面、蚌埠断面 2002 年 6 月 20 日 ~ 7 月 15 日模拟与实测的流量过程线

Fig.1 Simulated and measured hydrographs for June 20 , 2002-July 15 , 2002

际行蓄洪的 7 次洪水 ,有 4 次预报的洪水洪量、7 次预报的洪水洪峰偏大 ,其中 1991 年 6 月第 1 次洪水预报的洪峰偏大 ,第 2 次预报与实测的洪量一致 ,这是由于此前已经使用蓄洪区 ,第 2 次洪水只能削峰 ,故第 2 次预报结果是合理的。

c. 蚌埠以下淮北流域 ,流域面积 24072 km² .对于模拟的 7 次洪水 ,从洪量来看 ,误差都小于 20% ;从洪峰来看 ,误差较大 .该流域属于平原区 ,流域内河道上拦河闸坝居多 ,在小洪水时关闸蓄水 ,在大洪水时全部打开 ,对洪水过程的影响很大。

d. 蚌埠以下淮南池河流域 ,流域面积 3470 km² .在出口的明光水文站 ,上游设有拦河坝 .对于模拟的 5 次洪水 ,从洪量来看 ,误差都小于 20% ;从洪峰来看 ,只有一次大于 20% 。

3 模型对 2003 年洪水的验证

淮河流域在 2003 年主汛期流域平均降水量为近 50 年来第 2 位 ,仅次于 1954 年 .由于雨区和降雨时段集中、雨量大 ,导致淮河干、支流水位普遍上涨 ,部分河段水位超过了 1991 年 .表 3 为鲁台子、蚌埠、蚌埠以下淮北断面预报特征值的结果统计 ,图 2 为鲁台子、蚌埠断面预报与实测的流量过程线 .从图表可以看出：

- a. 对于 3 个断面 ,预报的洪量和洪峰都偏大 ,考虑到行、蓄洪区的运用是合理的。
- b. 从图 2(a) 以看出 ,对于鲁台子断面 ,第 1 个预报的洪峰与实测的洪峰拟合得很好 ,第 2 个实测的洪峰偏小 1942 m³/s ,是合理的 ,这是因为 7 月 3 日起王家坝开闸蓄洪。
- c. 从 6 月 7 日 ~ 8 月 28 日 ,蚌埠断面预报的洪量比实测的多 32 亿 m³ .实际上在此期间 ,行蓄洪区分洪 20 多亿 m³ .据此推断蚌埠断面预报结果是合理可靠的。

表3 2003年洪水预报模拟特征值

Table 3 Forecast and simulated results of flood events in 2003

断面	洪水起始时间	洪水结束时间	洪水总量				洪峰流量		
			实测值/ 亿 m ³	预报值/ 亿 m ³	绝对 误差/亿 m ³	相对 误差/%	实测值/ (m ³ ·s ⁻¹)	预报值/ (m ³ ·s ⁻¹)	相对 误差/%
鲁台子	2003-06-07	2003-08-28	253.67	254.28	0.61	0.24	10070	10303	2.3
蚌埠	2003-06-07	2003-08-28	299.80	332.04	32.24	10.75	8430	11971	42.0
蚌埠以下淮北	2003-06-11	2003-07-30	54.82	59.28	4.46	8.14	4066	4985	22.6

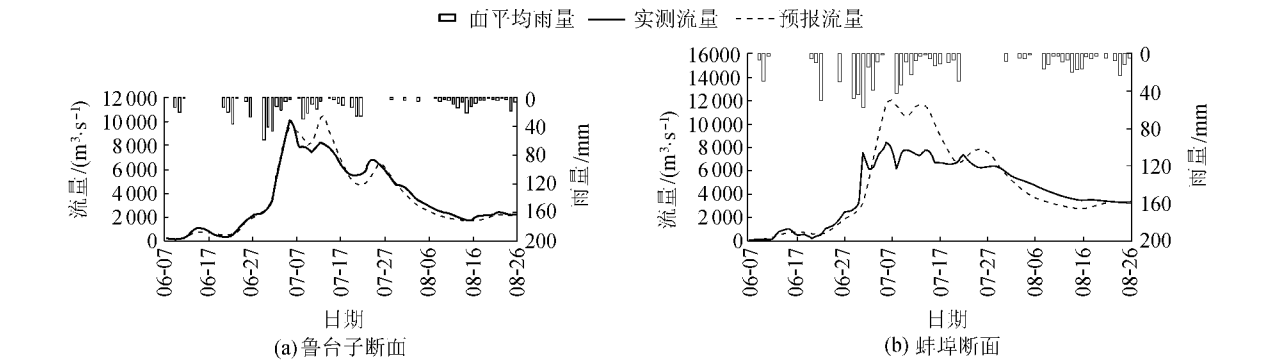


图2 鲁台子断面、蚌埠断面 2003 年 6 月 7 日~8 月 28 日预报与实测的流量过程线

Fig.2 Forecast and measured hydrographs for June 7 ,2003-August 28 ,2003

- d. 从 6 月 11 日~7 月 30 日,蚌埠以下淮北预报的洪量比实测的多 4 亿 m³,相对误差为 8.14%.实际上洪泽湖以北地区的支流上拦河坝很多,预报偏大 10%~20%是合理可靠的.
- e. 在预报模型中,其他无资料区域的模型参数移用类似水文区域的参数.
- 综合以上分析可知,考虑水利工程的影响,洪水预报模型具有较高的预报精度.

4 讨论和展望

- a. 本文主要探讨降雨之后,在现状水利工程运用情况下进行降雨-径流和洪水预报.由于是进行洪泽湖以上流域的入湖径流和洪水预报,所以没有考虑洪泽湖以上河道蓄滞洪区的影响.对于水闸的运用只考虑沙颍河上的阜阳闸以及涡河上的蒙城闸.进一步研究需要考虑蓄滞洪区与闸坝的应用与调度对洪水预报的影响.
- b. 洪泽湖以上流域涉及多种水文特性,如淮北地区属于平原区,土层厚;淮南属于典型的山丘区,两者产汇流特性不同,因此本文通过选用不同的新安江模型参数来体现,如最大平均蓄水容量,淮北取 180 mm,淮南取 120 mm.对于河网汇流,淮北、淮南也各不相同.从洪水预报的角度出发,如何从产汇流机制上研究两者的不同,是需要继续研究的问题.
- c. 当临淮岗工程完成后,淮河河道特性将发生根本的变化,河流被截断,相应的河道洪水演算方法也要进一步研究.
- d. 本文采用了分布式的概念性模型进行流域产汇流计算.新安江模型的参数采用实测水文资料以及移用类似流域资料进行率定.如何直接从流域的土壤资料、数字高程模型(DEM)等提取大流域水文模型的产汇流参数是迄今为止没有解决的难题^[5-9].
- e. 江苏省防汛防旱指挥部办公室只能收到 68 个雨量站的实时雨量资料,但洪泽湖以上流域面积有 15.8 万 km²,洪水预报难度较大.

参考文献:

[1] 赵人俊.流域水文模型[M].北京:水利电力出版社,1983 3-10.

[2] 李致家.具有行蓄洪区的河道洪水演算方法探讨[J].水科学进展,1997,8(1):65-70.

[3] 李致家. 河道洪水实时预报的半自适应模型[J]. 水科学进展 ,1998 ,9(4) 367-372.

[4] 李致家. 卡尔曼半自适应模型在复杂河道实时洪水预报和行蓄洪调度中的应用[J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,2001 ,29(2) :107-109.

[5] SCHULTZ G A ,ENGMAN E T. Present use and future perspectives of remote sensing in hydrology and water management[C]//Remote Sensing and Hydrology 2000. Vienna :IAHS Publication 2000 :10-15.

[6] THERESA M C. Distributed hydrological modeling using radar precipitation[C]//Remote Sensing and Hydrology 2000. Vienna :IAHS Publication 2000 :20-25.

[7] KOUWEN N ,GARLAND G. Resolution consideration in using radar rainfall data for flood forecasting[J]. Can J Civ Engng ,1989 ,16 :279-289.

[8] OLIVERA F ,MAIDMENT D. GIS-based spatially-distributed model for runoff routing[J]. Wat Resour Res ,1999 ,35(4) :1155-1164.

[9] BEVEN K J ,MOORE I D ,Terrain analysis and distributed modelling in hydrology[M]. New York :John Wiley & Sons ,1992 :120-150.

Application of distributed hydrological model to
flood forecasting for upper reaches of the Huaihe River above Hongze Lake

SONG Yu^{1 2} , LI Zhi-jia¹ , YANG Tao¹

(1. College of Water Resources and Environment , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;
2. Office of Flood Control and Drought Prevention Headquarters of Jiangsu Province , Nanjing 210029 , China)

Abstract :According to the rainfall and current situation of application of hydro projects in the river basin , the rainfall runoff and flood hydrograph were forecast for the upper reaches of the Huaihe River above Hongze Lake by use of the distributed hydrological model , and the parameters of the model were calibrated for sub-catchments of Xixian , Lutaizi , Bengbu , and the north and south areas of the Huaihe River below Hongze Lake . The model was applied to forecasting the Huaihe River flood of 2003 , and the high accuracy of forecasting was achieved.

Key words :large river basin ; Huaihe River Basin ; flood forecasting ; distributed hydrological model

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊
全国水利系统优秀期刊 华东地区优秀期刊 江苏省优秀期刊
《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号 28 - 244 ,CN32 - 1439/TV ,ISSN1006 - 7647 ,双月刊)

《水利水电科技进展》主要刊登与水科学、水工程、水资源、水环境等学科有关的科技论文 , 设有水问题论坛、研究探讨、工程技术、专题综述、国外动态、科技简讯等栏目 , 适合与水科学、水工程、水资源、水环境等有关的科学研究人员、工程技术人员、科技管理人员以及大专院校师生阅读 .

《水利水电科技进展》由邮局发行 , 邮发代号 :28 - 244 ,2006 年每期定价 8 元 , 全年 6 期共计 48 元 . 读者亦可直接向编辑部订阅 . 欢迎个人和单位直接汇款订阅或函索订单 . 编辑部地址 :210098 南京市西康路 1 号河海大学《水利水电科技进展》编辑部 . 联系电话 :025—83786335 , E-mail :jz@hhu.edu.cn ,http ://kkb.hhu.edu.cn . 汇款时务请注明“订水利水电科技进展” .