

新安江模型与衰减记忆最小二乘法耦合 洪水模型的应用^{*}

曾彩华¹, 陈晓宏², 王高旭³

(1 广东省水利电力勘测设计研究院, 广东 广州 510170)

2 中山大学水资源与环境系, 广东 广州 510275

3 南京水利科学院, 江苏 南京 210029)

摘 要: 利用新安江模型进行流域产流计算, 采用扩散波方程推得的汇流状态方程描述流域汇流过程, 由衰减记忆递推最小二乘法实现参数估计实时化, 从而使新安江模型与衰减记忆递推最小二乘法耦合, 实现洪水实时预报。利用耦合模型对矾头水库 76 场入库洪水进行模拟, 模拟结果表明, 耦合模型适合中小水库入库洪水实时预报, 预报精度比独立使用新安江模型得到了大大的提高。

关键词: 新安江模型; 衰减记忆最小二乘法; 耦合模型; 入库洪水; 实时预报

中图分类号: TV 131.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529 6579 (2006) 01-0121-04

1 概 述

新安江模型^[1]是湿润地区洪水预报中应用比较成熟的降雨径流模型, 在许多流域都获得成功应用^[2-4], 但是独立使用新安江模型在中小水库入库洪水预报中精度并不高。主要是因为: 中小型水库控制面积不大, 汇流快, 入库洪水陡涨陡落; 中小水库库容小, 水库调节性能差, 水库开、关闸调度频繁, 使得坝址洪水过程变化剧烈, 从而影响入库洪水的准确预报; 中小水库流域洪水单位线的推求难度大, 甚至不存在可以概化的汇流单位线。但是新安江模型的独立运用一般需要率定流域汇流单位线, 因此, 新安江模型在中小水库流域独立运用遇到困难。衰减记忆递推最小二乘法实时汇流校正模型^[5]不需要单位线的推求, 采用扩散波方程推得的汇流状态方程描述流域汇流过程, 直接导出入流和出流的递推关系, 并由衰减记忆递推最小二乘法实现参数估计实时化, 大大简化了工作, 并明显提高预报精度, 实现作业预报。因此利用衰减记忆递推最小二乘法实时汇流与新安江模型耦合, 结合两者的长处, 是提高湿润地区中小水库入库洪水预报精度的有效途径。

矾头水库位于福建省汀江流域, 是以发电为主, 兼顾下游防洪的中型水库, 总集水面积为 1 287 km², 总库容为 3240 万 m³。该水库库容不大, 加上历年来库区淤积, 水库调度性能差; 又由于该

水库位于山区, 坡陡流急, 洪水陡涨陡落, 该水库入库洪水的预报较难。将新安江模型和衰减记忆递推最小二乘法耦合洪水实时预报模型用于矾头水库入库洪水预报, 利用现代计算机技术, 结合矾头水库实时雨情水情采集传输系统, 实现了矾头水库发电防洪实时作业调度, 提高入库洪水的预报精度。

2 预报模型

2.1 新安江模型

新安江模型把全流域分成若干单元面积, 对每个单元面积作产汇流计算, 得出单元面积的出流过程, 再进行河道洪水演算, 求得流域出流过程。把由每个单元面积算得的流域出流过程相加起来, 就得到流域出口断面总的出流过程。本文采用新安江(三水源)模型对区间各单元进行降雨径流模拟, 不包括单元出口至流域出口的河道演进部分。

新安江(三水源)模型中蒸散发采用上、下、深 3 层蒸发模式计算; 产流量计算根据蓄满产流理论得出, 在土壤湿度达到田间持水量后才产流; 产流量(R)进入自由水水库, 通过两个出流系数和溢流的方式把它分成地面径流(RS)、壤中流(RSS)和地下径流(RG), 三部分组成为径流对河槽的总入流(TRS)。这里的汇流计算仅指各单元面积上的水体从进入河槽汇至单元出口的过程。具体参考引用文献[1]。

新安江模型(三水源)的参数可分为蒸散发、

* 收稿日期: 2005-01-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49971019)

作者简介: 曾彩华(1978年生), 女, 硕士; 通讯联系人: 陈晓宏; E-mail: eescxh@zsu.edu.cn

产流、分水源、汇流等 4 个层次, 各层次包含的参数及意义如表 1 所示。由于模型内部的产汇流参数多有较强的地区性特征, 参数的定值难度较大。一直以来, 国内学者对新安江模型参数的选定作了不少的工作^[6 7]。

表 1 新安江模型参数表
Tab. 1 Parameters of Xinanjiang model

层次	变 量	率定值
蒸散发	蒸散发能力折算系数 K	0.7
	上层张力水容量 U_m	20
	下层张力水容量 L_m	80
	深层蒸散发系数 C	0.15
产流量计算	张力水容量 W_m	120
	张力水蓄水容量的方次 B	0.3
	不透水面积的比例 I_m	0.01
水源划分	自由水容量 S_m	20
	自由水蓄水容量的方次 E_x	1.5
	自由水蓄水库对地下水的出流系数 K_g	0.4
	自由水蓄水库对壤中流的出流系数 K_i	0.3
	为地下水库的消退系数 C_g	0.998
汇流计算	为下层壤中流的消退系数 C_i	0.8
	为河网蓄水的消退系数 C_s	0.89

由文献 [6] 可知, 参数 W_m , U_m , B , C , I_m 都不敏感, 按一般经验并结合流域植被及地质情况给定, 并在敏感性参数确定后再进行局部调整, 不参加优选。 E_x 的变化范围不大, 一般在 1~2 之间, 可令 $E_x=1.5$ 。 K_g+K_i 值代表自由水出流的快慢, 由于表层壤中流的退水历时在 3 d 左右, 所以取 $K_g+K_i=0.7$ 。因此, 在优选参数时待定的参数有 K , S_m , K_g , K_i , C_g , C_s 共 6 个。这 6 个参数中, K 为层次一中的参数, S_m 和 K_g , K_i 为层次三中的参数, C_g , C_i 和 C_s 为层次四中的参数。

层次一中所用目标函数为 ΔR :

$$\Delta R = \text{计算径流} - \text{实际径流}$$

层次三中 2 个参数可用网格交叉求解。层次四中 3 个参数都是线性水库的消退系数, 但它们有量级的差别。它们分别表现于流量过程线的下、中、上段。因此这 3 个参数在性质上是独立的, 在优选时可以根据流量过程线的下、中、上断的不同特性定值。目标函数采用误差绝对值, 即:

$$B_o = \sum_{i=1}^M | (M(i) - Q(i)) | \sum_{i=1}^M M(i) \quad (1)$$

根据上述方法率定参数, 结果见表 1。

2.2 汇流方程与衰减记忆递推最小二乘法实时预报模型

2.2.1 汇流方程 流域汇流采用文献 [5] 中的扩散波模型状态方程。预报时段的入库流量, 与此

之前较近几个时段的入流和出流关系比较密切, 经本流域实际模拟比较, 汇流方程中只采用当前时刻的入流量 I_t 并分为 3 项, 分别为水库流域三个单元区的入流量 I_{1t} , I_{2t} 和 I_{3t} 时, 模型的精度更高。因此得到适合本流域的汇流公式:

$$Q_{t+1} = A_t Q_t + B_t Q_{t-1} + C_t I_{1t} + D_t I_{2t} + E_t I_{3t} \quad (2)$$

式中, Q_{t+1} 、 Q_t 、 Q_{t-1} 分别为 $t+1$ 、 t 、 $t-1$ 时刻的入库流量, A_t 、 B_t 、 C_t 、 D_t 、 E_t 为时变参数。

2.2.2 衰减记忆递推最小二乘法 实际线性系统参数由于种种原因 (如环境条件的变化, 系统内部的信息老化等) 往往会发生随时间的缓慢漂移性变化, 这种参数变化的信息更多地隐含于较新的观测数据中。若仍用简单递推最小二乘估计参数, 新数据就会被旧数据所淹没, 误差常常反而变大。因此为使参数估计的结果 θ 随新数据而变化, 宜采用加权最小二乘估计。最常用的是渐消记忆法, 即衰减记忆递推最小二乘法。

利用圣维南方程推导出流域汇流计算公式与规范式 $y_t = \Phi_{t+1}^T \theta_t$ 进行比较可得到实时预报模型方程:

$$Q_t = \Phi_{t+1}^T \theta_t \quad (3)$$

利用公式 (3) 及衰减递推最小二乘法递推公式进行实时预报, 首先必须确定衰减因子 α 及初值 $\hat{\theta}_0$ 和 P_0 。一般 $\alpha=0.85\sim0.99$, 应根据估价值 $\hat{\theta}$ 跟踪其真值 θ 的程度对 α 进行优选取其最佳值, 但为简化计算, 可凭经验确定 α 值, 预设 $\alpha=0.9$ 。根据对某一场洪水的预报结果的好坏再进行适当调整。衰减记忆递推最小二乘法由于新信息的不断校正以及对旧信息的逐渐遗忘, 初值 $\hat{\theta}$ 和 P_0 只是对最初的几步预报有影响, 而对整个过程影响不大。因此, 为简化计算, 可采用预设初值的方法。具体参考文献 [5]。

2.3 新安江模型与衰减记忆最小二乘法耦合

新安江模型与衰减记忆最小二乘法耦合的过程是首先利用新安江模型进行流域产流计算, 然后采用汇流状态方程描述流域汇流过程, 并由衰减记忆递推最小二乘法实现参数估计实时化, 从而对入库洪水进行实时预报。即首先利用矾头水库流域时段降雨量和蒸发等资料, 调用新安江模型计算出各单元流域的时段总入流, 再结合入库洪水时段实际流量, 应用汇流公式及衰减记忆递推最小二乘法递推过程进行实时校正和计算, 得出流域出口断面的遇见期后的出流量, 连续进行预报, 得预报洪水过程。在实际中如果逐时段得到实时降雨、蒸发资料及出口断面的实际流量, 就能利用上述实时预报过程得到遇见期后的预测出流量, 实现作业预报。耦

合模型的计算程序框图如图 1。

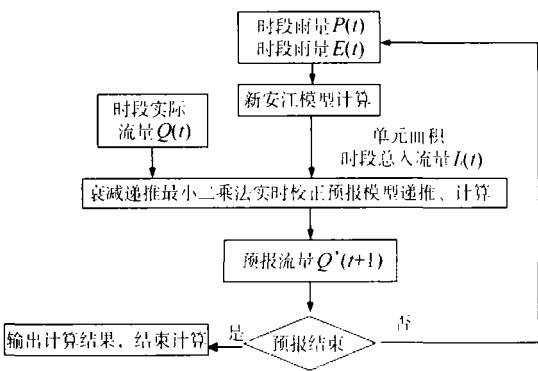


图 1 耦合模型预报计算框图

Fig 1 Frame of coupling model for forecasting

2.4 结果评价

用新安江模型与衰减记忆递推最小二乘法耦合模型对矾头水库 76场洪水进行了模拟实时预报, 预报结果如下: 预见期为 1 h, 洪峰预报共有 5场洪水不合格, 合格率为 93.4%; 洪量预报也是有 4场不合格, 合格率也为 94.7%。过程预报中, 共有 10 389点参加评定, 其中 1 053点不合格, 合格率 90%; 预见期 1 h 的确定性系数为 0.88。预见期为 2 h 洪峰预报共有 5场洪水不合格, 合格率为 93.4%; 洪量预报合格率跟洪峰预报一样。过程预报中, 共有 10 118点参加评定, 其中 1 882点不合格, 合格率 81.4%; 其确定性系数为 0.79。精度的评定, 从合格率看, 1 h 和 2 h 合格率均大于 85%, 预报方案精度属于甲等; 从确定性系数来看, 确定性系数在 0.7~0.9 之间, 属于乙等。从模拟结果来看, 利用耦合模型进行预报, 预报精度较高。部分预报过程与实际入库洪水过程比较如图 2、3 所示。

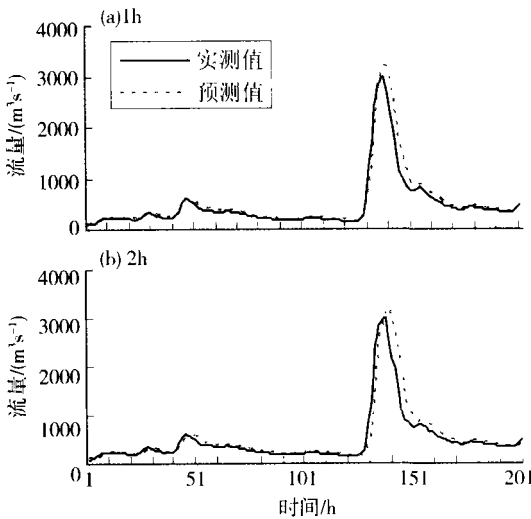


图 2 730601 预报结果

Fig 2 Forecast result of flood 730601

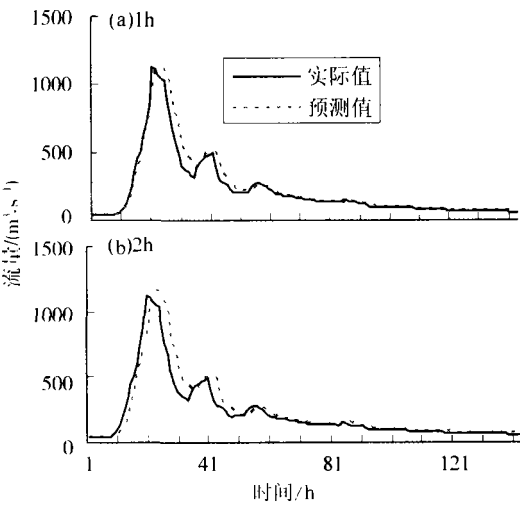


图 3 950801 预报结果

Fig. 3 Forecast result of flood 950801

3 结 论

新安江模型是在湿润地区洪水预报中应用比较成熟的降雨径流模型, 但是由于中小型水库控制面积和库容小, 汇流快, 入库洪水陡涨陡落, 水库调节性能差, 单独使用新安江模型在中小水库入库洪水预报中精度并不理想。衰减记忆递推最小二乘法实时汇流校正模型不需要单位线的推求, 采用扩散波方程推得的汇流状态方程描述流域汇流过程, 并由衰减记忆递推最小二乘法实现参数估计实时化。利用新安江模型与衰减记忆递推最小二乘法进行耦合, 对水库入库洪水进行实时洪水预报, 能提高预报的精度, 合格率可达 90%。因此新安江模型与衰减记忆最小二乘法耦合洪水模型适合中小水库入库洪水实时预报, 预报精度比独立使用新安江模型得到了大大的提高。

参考文献:

[1] 赵人俊. 流域水文模拟——新安江模型与陕北模型 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1984

[2] 李杰友, 王佩兰. 新丰江和枫树坝水库实时洪水预报模型 [J]. 水文, 1996(4): 17~20

[3] 邹文安, 刘兴富, 刘宝涵. 新安江模型在洪水预报中的应用 [J]. 吉林水利, 2000(11): 5~6

[4] 朱求安, 张万昌. 新安江模型在汉江江口流域的应用及适用性分析. 水资源与水工程学报, 2004 15(3): 19~23

[5] 陈晓宏. 降雨径流实时预报研究 [D]. 武汉: 武汉水利电力学院, 1988

[6] 赵人俊, 王佩兰. 新安江模型参数的分析 [J]. 水文, 1988(6): 2~9

[7] 王文杰, 安莉娜. 数学优化方法在新安江模型参数率定中的应用分析 [J]. 华北水利水电学院学报, 2004 25(2): 10~13

Application of a Flood Model by Coupling Xin'anjiang Model with Attenuation Memory Recursive Least Squares Method

ZENG Cai-hua¹, CHEN Xiao-hong², WANG Gao-xu³

(1. Guangdong Province Investigation Design and Research Institute of Water Conservancy & Electric Power
Guangzhou 510170 China

2. Department of Water Resource and Environment Sun Yat sen University, Guangzhou 510275 China

3. Nanjing Hydraulic Research Institute Nanjing 210029 China)

Abstract Advantages of both Xin'anjiang model in calculating the quantity of net precipitation and conflux state equation which was deduced from the diffused wave equation in describing the confluence process of river flow were taken into account in this paper. The attenuation memory recursive least squares method was used for real time recognition of model parameters. A real time flood forecasting model was thereby developed by coupling Xin'anjiang Model with attenuation memory recursive least squares method. The forecasted processes of 76 floods at Jitou reservoir watershed match very well with the measured ones, showing that the coupled model in this paper is fit for real time flood forecasting in middle or below volume reservoirs. The results also indicated that the accuracy of the coupled model in this paper is much higher than Xin'anjiang Model in watershed flood forecasting.

Key words Xin'anjiang model; attenuation memory least squares model; coupling model; in current flood; real time forecasting

(上接第 115 页)

Ecological Footprint of Zhaoqing City of Guangdong Province

Zhang Yi-nan¹, YANG Xiao-qiang²

(1. School of Environmental Science and Engineering

2. Department of Earth Science Sun Yat sen University, Guangzhou 510275 China)

Abstract Based on the introduction to the concept and calculation method of ecological footprint indicator ecological footprints in 2003 and the change of ecological footprint from 1990 to 2003 in Zhaoqing were studied. The results showed that ecological footprint and ecological deficits per capita had quickly increased during 1990 – 2003. The ecological footprint per capita of Zhaoqing city has gone beyond the regional bio capacity, and human's utilization of nature beyond the regional ecological capacity. Zhaoqing city is now in a condition of unsustainable development.

Key words ecological footprint; type of ecologically productive area; bio-capacity; ecological deficit; Zhaoqing City