

# 西辽河实时洪水统计预报模型

梁忠民<sup>1</sup>, 董增川<sup>1</sup>, 王建群<sup>1</sup>, 宁方贵<sup>2</sup>

(1. 河海大学 水资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210024;

2. 水利部 松辽水利委员会水文局, 吉林 长春 130021)

**【摘要】** 应用相应流量法建立西辽河主要断面的洪峰预报方案, 并采用线性动态系统模型理论方法建立洪水过程的实时预报方程, 形成了完整的河系预报系统模型。在洪峰预报方案中, 考虑引入不同预报因子以反映不同的洪水特性; 在洪水过程预报方程中, 联合采用 AIC 准则和逐步回归算法确定模型结构, 结合衰减记忆最小二乘递推算法的实时校正技术进行洪水过程预报。应用结果表明, 开发的预报模型适用于西辽河的实时洪水预报问题, 可供防洪决策参考。

**【关键词】** 相应流量法; 线性动态系统模型; 实时预报; AIC 准则; 逐步回归; 最小二乘递推; 西辽河  
中图分类号: TV122(231) 文献标识码: B 文章编号: 1000-0860(2004)08-0008-03

## Statistical model of real-time flood prediction for the Western Liaohe River

LIANG Zhong-min<sup>1</sup>, DONG Zeng-chuan<sup>1</sup>, WANG Jian-qun<sup>1</sup>, NING Fang-gui<sup>2</sup>

(1. The Key Laboratory of Water Resources Development, Hohai University, Nanjing 210024, Jiangsu, China;

2. Hydrology Bureau of Songliao Water Resources Committee, Changchun 130021, Jilin, China)

**Abstract:** Some flood peak predicting solutions developed at several major sections of the Western Liaohe River using the corresponding discharge method, is described in this article. A real-time predicting function for flood process was established, based on the model theory of linear dynamical system, to create a model of full river predicting system. Various predicting factors for different flood characteristics were incorporated into the solution of flood peak prediction. For the flood process prediction function, the AIC rule and step-by-step regression approach were used to determine the model structure, in that way making the flood process prediction by the realtime correction arithmetic of decreasing-memory least square recursion. The results obtained have shown that this model developed is suitable for the case of the western Liao river and it can be used as the tool for flood control decision making.

**Key words:** corresponding discharge method; linear dynamic system model; realtime predicting; AIC rule; step-by-step regression; least square recursion; the Western Liaohe River

## 1 引言

西辽河由上游的西拉木伦河和老哈河、西辽河干流、教来河、新开河和乌力吉木仁河等组成(图1)。西辽河干流、新开河、教来河等下游一带为平原区, 绝大部分是风蚀沙土区, 下渗损失大, 降雨量也较少, 极少出现地面径流, 西辽河洪水主要来自老哈河、西拉木伦河及乌力吉木仁河。西辽河主要的防洪控制断面是通辽和郑家屯, 通辽断面的洪水主要来自上游的麦新断面, 在麦新和通辽之间由总办窝堡断面处向河道两侧引水, 区间几乎无洪水加入。郑家屯是西辽河的控制

断面, 其上游的新开河产流量很小; 乌力吉木仁河原为闭流区, 河系发育尚不完整, 在1998年西辽河上游发生大水时, 冲刷形成了新河道, 并汇入新开河下游, 是近年来西辽河洪水的主要组成部分。所以, 郑家屯断面的洪水主要来自西辽河干流及乌力吉木仁河。

基于统计理论的洪水预报方法是实时洪水预报的重要组成部分, 特别当资料条件不好时是常采用的技术措施, 因此在国内得到了广泛的研究和应用<sup>[1~3]</sup>。

收稿日期: 2003-12-22

作者简介: 梁忠民(1962—), 男, 辽宁凤城人, 教授。

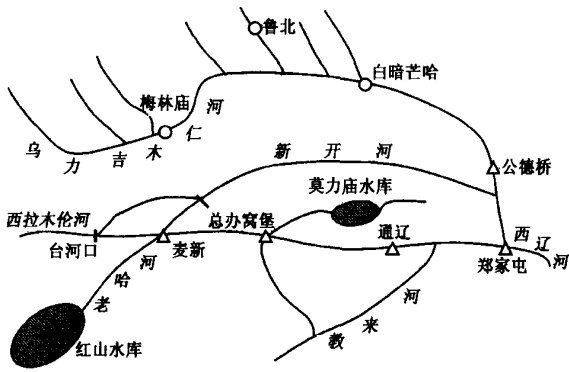


图1 西辽河水系组成概化

本次进行西辽河水系预报系统模型开发时,根据麦新洪峰预报通辽洪峰,根据通辽洪峰预报郑家屯洪峰;根据麦新和总办窝堡流量过程预报通辽洪水过程,根据乌力吉木仁河上游的流量过程和下游区间雨量预报公德屯的流量过程,再以公德屯和通辽的流量过程预报郑家屯断面的洪水过程,整个预报系统流程如图2所示。

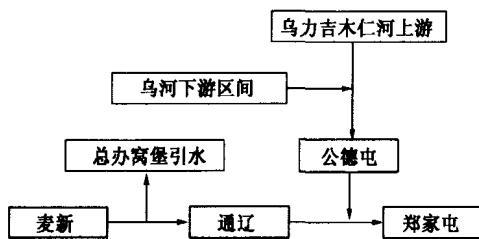


图2 西辽河控制断面洪水预报方案组成概化

## 2 洪峰要素预报

### 2.1 模型方法

上下游断面洪峰统计预报类模型可以统一表示为

$$Q_{下,t+} = f(Q_{上,t}, Q_{上,t}, Q_{下,t}, Q_{区间}, P_{区间}, F_0) \quad (1)$$

$$= f(Q_{上,t}, Q_{上,t}, Q_{下,t}, Q_{区间}, P_{区间}, \text{其他因素}) \quad (2)$$

式中,  $Q_{下,t+}$  为待预报的下游断面的洪峰流量,在  $t+$  时刻出现;  $Q_{上,t}$  为上游断面的洪峰流量,发生在  $t$  时刻;  $t$  为上游断面洪峰传播到下游断面的时间;  $Q_{上,t}$  为上游断面  $t$  时刻的流量增量;  $Q_{下,t}$  为下游断面  $t$  时刻的流量(相应流量);  $Q_{区间}$  为区间的入流影响(如支流汇入等);  $P_{区间}$  为区间的降雨影响;  $F_0$  为方程中没有包含的其他所有影响预报变量的因素。

对于不同预报断面,分析其预报变量的影响因素,分别采用相应的自变量组合建立预报方案。考虑到西辽河的资料条件,本次在实际建立模型时,联合采用多元回归分析和经验相关图分析方法确定洪峰预报相关线。

### 2.2 预报方案和结果

根据式(1)、式(2),结合通辽和郑家屯站的洪水特性,建立的洪峰要素预报方案为:预报通辽洪峰时采用的是麦新洪峰的单因素方案,预报方程见式(3),峰现时间预报如图3所示;预报郑家屯洪峰时采用的是通辽洪峰和郑家屯同时刻流量的两因素方案,预报方程见式(4),峰现时间按是否为首场洪水而分成两套方案,如图4、图5所示。

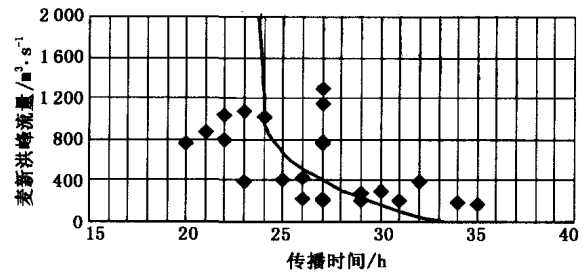


图3 相应流量法预报麦新至通辽洪峰传播时间

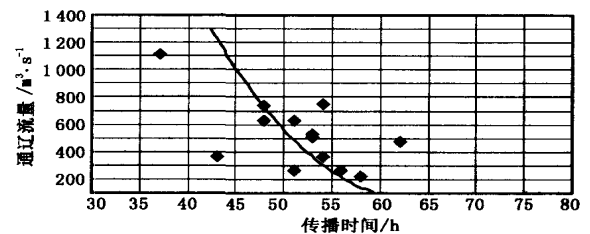


图4 通辽—郑家屯洪峰传播时间预报 (非首峰)

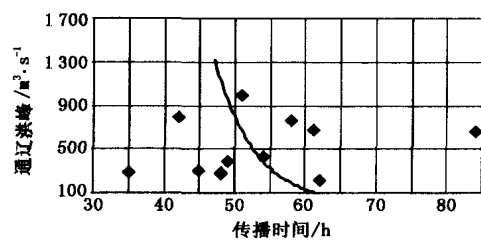


图5 通辽—郑家屯洪峰传播时间预报 (首峰)

通辽洪峰值预报方程

$$Q_{通辽,t+} = 1.23 Q_{麦新,t} + 8 \quad (3)$$

郑家屯洪峰值预报方程

$$\begin{cases} Q_{郑家屯,t} < 100, Q_{郑家屯,t+} = 1.01 Q_{通辽,t} + 171 \\ 100 < Q_{郑家屯,t} < 300, Q_{郑家屯,t+} = 1.17 Q_{通辽,t} - 64 \\ 300 < Q_{郑家屯,t} < 500, Q_{郑家屯,t+} = 1.42 Q_{通辽,t} - 400 \\ Q_{郑家屯,t} > 500, Q_{郑家屯,t+} = 2.53 Q_{通辽,t} - 1870 \end{cases} \quad (4)$$

采用许可误差进行方案精度评定的结果表明,通辽站方案洪峰的合格率为93%,传播时间的合格率为89%;郑家屯站方案洪峰的合格率为89%,传播时间

的合格率为 79 % ;均可用于作业预报.

### 3 洪水过程预报

#### 3.1 模型方法

一个单(多)输入、单输出的线性动态系统模型可统一表示为

$$Q(t) = \sum_{i=1}^K a_i Q(t-i) + \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{N(j)} b_{ji} u_j(t-i) + \epsilon_t \quad (5)$$

式中,  $Q(t)$  为系统输出,例如预报断面在未来  $t$  时刻的流量值;  $u_j(t-i)$  为第  $j$  个影响因素在  $t-i$  时刻的输入,如上游断面的入流量、区间降雨量等;  $a_i$  为模型参数,  $i=1, 2, \dots, K$ , 表示当前时刻( $t$ )系统的输出状态直接受到其前  $K$  个状态的影响;  $b_{ji}$  为模型参数,  $i=1, 2, \dots, N(j)$ ,  $j=1, 2, \dots, M$ , 表示有  $M$  个其他因素,每个因素共有前  $N(j)$  个状态对当前时刻( $t$ )系统的输出状态产生直接影响;  $\epsilon_t$  为随机误差项,代表所有其他因素的综合影响.

式(5)表示的是输入、输出变量之间随时间变化的函数关系,形式上是一种差分方程,所以方程反映的是系统的一种动态性能.

#### 3.2 模型估计

模型估计包括模型阶数(结构)的估计和模型参数的估计.模型结构的估计属模型识别问题,本文联合采用 AIC 准则和逐步回归算法综合确定.将模型作为时变参数系统,采用衰减记忆最小二乘递推算法实时估计,公式如下

$$\hat{\theta}(N+1) = \hat{\theta}(N) + G(N+1) P(N) \phi(N+1) \times [y(N+1) - \phi^T(N+1) \hat{\theta}(N)] \quad (6)$$

$$G(N+1) = 1 / [1 + \phi^T(N+1) P(N) \phi(N+1)]^{-1} \quad (7)$$

$$P(N+1) = \frac{1}{\lambda} \{ P(N) - P(N) \phi(N+1) \times [1 + \phi^T(N+1) P(N) \phi(N+1)]^{-1} \phi^T(N+1) P(N) \} \quad (8)$$

式(6)~式(8)中,  $\hat{\theta}$  为模型参数向量;  $\lambda$  为遗忘因子;  $P(N+1)$  为估计的协方差矩阵;  $G(N+1)$  为增益因子.对水文变量的预报问题,  $\lambda$  的取值在 0.9~1.0 之间,初始参数向量  $\hat{\theta}$  可采用最小二乘估计结果.

#### 3.3 预报方案和结果

根据 1991~1998 年期间 5 场较大洪水资料建立的通辽站的预报方程为

$$Q_{\text{通辽}}(t) = a_0 + a_1 Q_{\text{通辽}}(t-1) +$$

$$\sum_{i=2}^4 a_i Q_{\text{麦新}}(t-(i+1)) + a_5 Q_{\text{总办窝堡}}(t-3) \quad (9)$$

式中,  $Q_{\text{通辽}}(t)$  为待预报的  $t$  时刻通辽流量;  $Q_{\text{麦新}}(t-(i+1))$  为新  $t-(i+1)$  时刻流量,  $i=2, 3, 4$ ;  $Q_{\text{总办窝堡}}(t-3)$  为总办窝堡  $t-3$  时刻引水流量.

采用最小二乘估计方法,估计式(9)中的参数,结果为

$$[a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5] = [15.1, 0.53, 0.33, 0.13, -0.08, -0.18] \quad (10)$$

实际预报时,将式(9)表示的预报方程与式(6)~式(8)表示的模型参数实时校正递推算算法结合,实现洪水过程的实时预报.递推计算时,预报方程的初始参数可选用式(10)提供的数值.

本次采用 1998 年 6 月 24 日至 7 月 1 日的洪水过程进行预报检验.结果表明,按许可误差准则评定,预见期为 12 h 的预报合格率为 100 %,确定性系数为 0.99;24 h 的预报合格率为 86 %,确定性系数为 0.97.可用于西辽河的作业洪水预报,其中,预见期为 24 h 的 1998 年洪水预报结果如图 6 所示.

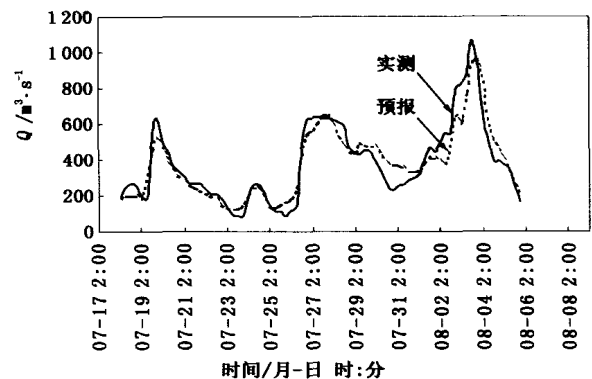


图 6 通辽洪水过程预报(1998 年,预见期 24 h)

### 4 主要结论

- (1)采用相应流量法建立了西辽河干流主要控制站通辽站和郑家屯站的洪峰预报方案.通辽洪峰的预报采用的是麦新洪峰的单因素方案,郑家屯洪峰的预报采用的是通辽洪峰和郑家屯同时刻流量的两因素方案,并按是否为首场洪水而将峰现时间的预报分成两套方案.
- (2)将一般的线性动态系统模型与衰减记忆最小二乘递推算算法的实时校正技术结合,建立了通辽站和郑家屯站的流量过程预报模型.
- (3)上述模型方案具有较好的预报精度和适用性,可供实际防洪调度参考.

#### 参考文献:

- [1] 葛守西. 现代洪水预报技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1998.
- [2] Wood E F, Szollosi-Nagy A. An adaptive algorithm for analyzing short term structural and parameter changes in hydrologic prediction models[J]. Water Resources Research, 1978, 14 (4).
- [3] 杨位钦,顾 岚. 时间序列分析与动态数据建模[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1988.

(责任编辑 聂建平)