

水库群泄洪量的自适应控制

谢廷春

(沈阳化工学院自动化系)

黄小原

(东北工学院)

摘 要

本文对某水库群泄洪量建立了 CARMA 模型,根据库水位、入库流量、入海口预报水位,对泄洪量采用了自适应控制,并给出了仿真结果,为防洪提供了一种可行的方法。

关键词: 水库群模型,水库调洪,自适应控制。

一、引 言

水库群分布如图 1 所示。水库对枯水径流的调节作用是增加枯水季的径流量;水库

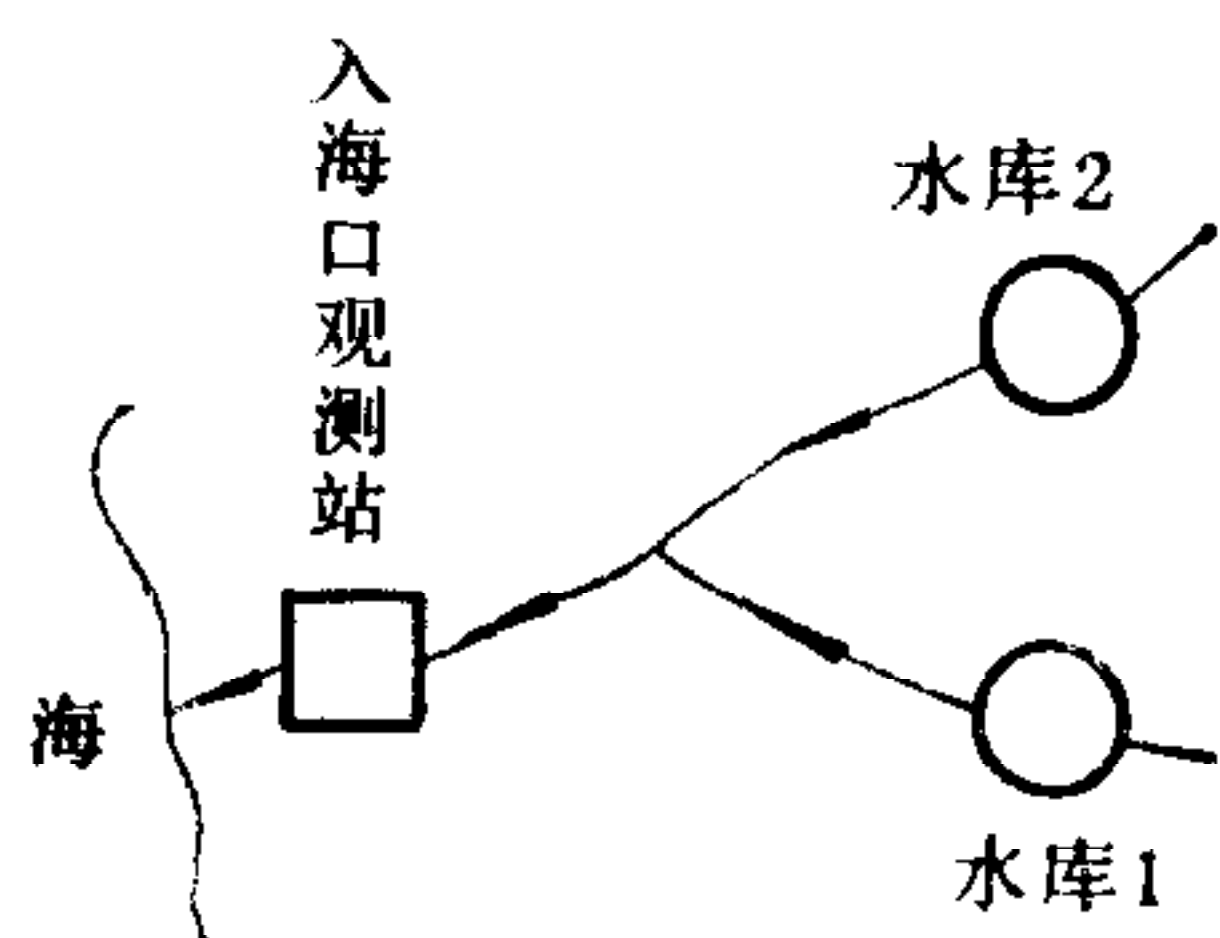


图 1

调洪是为了降低河道的洪峰流量,以达到防洪和保证沿岸安全的目的。为此对泄洪量要进行控制。目前多采用依靠经验的人工控制。对水库 1 和 2,采用自适应控制后,可提高水库效益。它以入库流量和库水位作为判别条件,根据它们与设定值之差对泄洪量进行控制。设定值的选取除考虑水库的特征水位和库容外,还可根据入海口水位预报值进行适当的修正。

二、水库群模型与辨识

水库群由两个水库和一个人海口观测站组成。水库 1 和 2 的模型为

$$A_i(z^{-1})y_i(t) = z^{-k_i}B_i(z^{-1})u_i(t) + D_i(z^{-1})z^{-m_i}S_i(t) + C_i(z^{-1})e(t), \quad (i = 1, 2). \quad (1)$$

其中, $y_i(t)$ 为库水位; $u_i(t)$ 为泄流量; $S_i(t)$ 为入库流量(可测不可控的外生变量); K_i 为时滞(整数); z^{-1} 为后向移位算子; $e(t)$ 是白噪声; m_i 为入库流量时滞(整数)。 $A_i(z^{-1})$, $B_i(z^{-1})$, $C_i(z^{-1})$ 和 $D_i(z^{-1})$ 分别为 z^{-1} 的 n 阶多项式(n 为模型的阶)入海口观测站的模型为

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-k}B(z^{-1})u(t) + C(z^{-1})e(t) + d. \quad (2)$$

其中 $y(t)$ 为入海口观测水位, $y(t) \in R^1$ 是系统的输出; $u(t)$ 为水库 1 和 2 的泄流量, $u(t) \in R^2$ 是系统的输入; $e(t)$ 为白噪声, $e(t) \in R^1$; K 为系统延迟 ($K = \min_{i,j} K_{ij}, i = 1, j = 1, 2$); d 为模型常量偏差; $A(z^{-1}), C(z^{-1}) \in R^{1 \times 1}[z^{-1}]$, $B(z^{-1}) \in R^{1 \times 2}[z^{-1}]$ 分别为 z^{-1} 的 n_a, n_c, n_b 阶多项式矩阵模型辨识由结构辨识和参数估计两部分组成。根据汛期实测数据, 采用递推增广最小二乘法估计参数, 用 F 检验法估计模型的阶、子阶和时滞, 其结果为, 对于模型(1)有

$$\begin{aligned} A_1(z^{-1}) &= 1 - 0.9937425z^{-1}; K_1 = m_1 = 1; \\ B_1(z^{-1}) &= -2.254973 \times 10^{-3}; C_1(z^{-1}) = 1 - 0.1013666z^{-1}; \\ D_1(z^{-1}) &= 2.045876 \times 10^{-3}. \\ A_2(z^{-1}) &= 1 - 0.826811z^{-1} + 9.81826 \times 10^{-2}z^{-2}; \\ B_2(z^{-1}) &= -4.08534 \times 10^{-5} - 1.22 \times 10^{-4}z^{-1}; K_2 = m_2 = 1; \\ C_2(z^{-1}) &= 1 - 2.153088 \times 10^{-4}z^{-1} - 1.417575 \times 10^{-2}z^{-2}; \\ D_2(z^{-1}) &= 8.688388 \times 10^{-5} - 1.826209 \times 10^{-4}z^{-1}. \end{aligned}$$

对于模型(2)有

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 - 0.7969513z^{-1} - 0.2497309z^{-2}; \\ d &= -0.1355923; K = 3; \\ B(z^{-1}) &= [2.42707 \times 10^{-3} \quad -1.528121 \times 10^{-3}] + [-3.588176 \\ &\quad \times 10^{-3} \quad 2.720288 \times 10^{-3}]z^{-1}; \\ C(z^{-1}) &= 1 + 2.487447 \times 10^{-3}z^{-1} - 4.262648 \times 10^{-3}z^{-2}. \end{aligned}$$

三、水库群泄流量的自适应控制

目标函数为

$$\min J_i = E\{[P_i(z^{-1})y_i(t + K_i) - R_i(z^{-1})w_i(t)]^2 + [Q_i(z^{-1})u_i(t)]^2\},$$

$$(i = 1, 2).$$

式中 $w_i(t)$ 为库水位的设定值; $P_i(z^{-1}), R_i(z^{-1}), Q_i(z^{-1})$ 为向后移位算子多项式; $P_i(z^{-1})$ 为首一多项式; $K_i, y_i(t), u_i(t)$ 同前。

采用隐式算法首先求控制器的参数辨识方程和控制律方程。令

$$\phi_i(t + K_i) = P_i(z^{-1})y_i(t + K_i), (i = 1, 2). \quad (3)$$

引入 $P_i(z^{-1})C_i(z^{-1}) = A_i(z^{-1})F_i(z^{-1}) + z^{-K_i}G_i(z^{-1})$ 。其中 $F_i(z^{-1})$ 是 $(K_i - 1)$ 阶多项式, 从而可得到 K_i 步最优预报

$$\begin{aligned} \phi_i^*(t + K_i/t) &= [G_i(z^{-1})y_i(t) + F_i(z^{-1})B_i(z^{-1})u_i(t) \\ &\quad + F_i(z^{-1})D_i(z^{-1})S_i(t + K_i - m_i)]/C_i(z^{-1}). \end{aligned} \quad (4)$$

最优控制律为

$$\phi_i^*(t + K_i/t) = R_i(z^{-1})w_i(t) - Q_i(z^{-1})u_i(t). \quad (5)$$

由(4)式得到

$$\phi_i^*(t + K_i/t) = G_i(z^{-1})y_i(t) + H_i(z^{-1})u_i(t) + L_i(z^{-1})S_i(t + K_i - m_i)$$

$$- C_i^*(z^{-1})\phi_i^*(t + K_i/t). \quad (6)$$

式中

$$C_i^*(z^{-1}) = C_{i1}z^{-1} + C_{i2}z^{-2} + \cdots + C_{in}z^{-n};$$

$$H_i(z^{-1}) = F_i(z^{-1})B_i(z^{-1}); \quad L_i(z^{-1}) = F_i(z^{-1})D_i(z^{-1}).$$

所以预报方程为

$$\phi_i(t) = G_i(z^{-1})y_i(t - K_i) + H_i(z^{-1})u_i(t - K_i)$$

$$+ L_i(z^{-1})S_i(t - m_i) - C_i^*(z^{-1})\phi_i^*(t/t - K_i) + F_i(z^{-1})e(t).$$

控制器方程为

$$G_i(z^{-1})y_i(t) + H_i(z^{-1})u_i(t) + L_i(z^{-1})S_i(t + K_i - m_i)$$

$$- C_i^*(z^{-1})\phi_i^*(t + K_i/t) = R_i(z^{-1})w_i(t) - Q_i(z^{-1})u_i(t). \quad (7)$$

由(7)式可计算出所需的自校正控制器。

对于带未知阶和参数阵的模型(2),根据到时刻 t 的观测数据 $\{y(t), y(t-1), \dots\}$ 和已知的确定性输入数据 $\{u(t+v-k), u(t+v-k-1), \dots\}$, 求 $y(t+v)$ 的多步最优预报 $\hat{y}(t+v/t)$, $v = 1, 2, \dots, L$. 若已知无限的过去观测历史及式(2)的阶和参数阵,且 $\det C(z^{-1})$ 的根在单位圆内,则可得到当 $1 \leq v \leq n_c$ 时,最优递推预报器为

$$\hat{y}(t+v/t) = \sum_{i=1}^{n_a} A_i \hat{y}(t+v-i/t) + \sum_{i=0}^{n_b} B_i u(t+v-k-i)$$

$$+ \sum_{i=v}^{n_c} C_i e(t+v-i) + d. \quad (8)$$

当 $v > n_c$ 时,最优递推预报器为

$$\hat{y}(t+v/t) = \sum_{i=1}^{n_a} A_i \hat{y}(t+v-i/t) + \sum_{i=0}^{n_b} B_i u(t+v-k-i) + d. \quad (9)$$

在(8),(9)式中,规定当 $t+v-i \leq t$ 时, $\hat{y}(t+v-i/t) = y(t+v-i)$.

当模型(2)的阶和参数阵未知,而有限的历史观测数据已知时,则可以 (i) 离线决定模型的阶,且用递推增广最小二乘法估计未知参数阵 A_i, B_i, C_i, d 和计算出 $\hat{e}(t), \dots, \hat{e}(t+v-n_c)$; (ii) 在(8),(9)式中用估值 $\hat{A}_i(t), \hat{B}_i(t), \hat{C}_i(t), \hat{d}, \hat{e}(t), \dots, \hat{e}(t+v-n_c)$, 分别代替 $A_i, B_i, C_i, d, e(t), \dots, e(t+v-n_c)$, 便可得到多步自校正递推预报器。

在入海口最高允许水位下某处设置警戒水位,根据水库 1 和 2 的泄洪量,预报某段时间内入海口水位值。若预报水位在警戒水位以下,水库 1 和 2 的设定值不变;否则,对水库 1 和 2 的设定值进行适当的修正,使洪峰于入海口的水位能在预定的控制范围内。

四、仿真结果

用实测数据分别与对应的模型数据进行比较可知,水库 1 模型的相对误差在 1% 以内;水库 2 模型的相对误差在 0.3% 以内;入海口观测站模型的相对误差在 3% 以内。

当目标函数中的 $P_i(z^{-1}), R_i(z^{-1}), Q_i(z^{-1})$ 分别取 $P_i(z^{-1}) = 1, R_i(z^{-1}) = 1, Q_i(z^{-1}) = 0.5$ ($i = 1, 2$) 时,仿真结果如表 1、表 2 所示。结果表明,库水位能较好地跟

踪设定值,从而使水库系统泄洪量得到有效的控制,为提高水库系统的效益提供了一个可行方法。

表 1 水库 1 自适应控制算法仿真结果

设定值 $w(t)^*$	库水位 $y(t)^*$	泄流量 $u(t)^*$
$w(1) = 1.884598$	$y(1) = 2.092300$	$u(1) = -0.381458$
$w(3) = 1.884598$	$y(3) = 2.076901$	$u(3) = -0.355513$
$w(5) = 1.884598$	$y(5) = 2.061501$	$u(5) = -0.325711$
$w(7) = 1.361401$	$y(7) = 1.953701$	$u(7) = -1.167040$
$w(9) = 1.361401$	$y(9) = 1.938301$	$u(9) = -1.135557$

表 2 水库 2 自适应控制算法仿真结果

设定值 $w(t)^*$	库水位 $y(t)^*$	泄流量 $u(t)^*$
$w(1) = 0.718002$	$y(1) = 0.750000$	$u(1) = -5.318302 \times 10^{-2}$
$w(3) = 0.718002$	$y(3) = 0.739006$	$u(3) = -3.283524 \times 10^{-2}$
$w(5) = 0.718002$	$y(5) = 0.727005$	$u(5) = -9.559589 \times 10^{-3}$
$w(7) = 0.538002$	$y(7) = 0.656005$	$u(7) = -0.222362$
$w(9) = 0.538002$	$y(9) = 0.644004$	$u(9) = -0.196229$

* $\{w(t)\}$, $\{y(t)\}$, $\{u(t)\}$ 是增量形式。对于某一给定的 $w(t)$ 而言,若 $u(t)$ 为负,则绝对值越大,闸门开度越大。

表 3 所示结果表明,入海口水位的多步自校正预报器性能是良好的,为设定值的修正提供了重要的信息。

表 3 入海口预报水位与真实值比较

真实值	预报值	备 注
4.76666	4.708170	表中的数据是入海口水位的超前 5 步预报与相应的真实值比较。预报的相对误差在 2% 以内
4.85999	4.788720	
4.95333	4.942850	
5.04667	4.985020	
5.13999	5.061597	

参 考 文 献

- [1] 成都科技大学等编,工程水文及水利计算,水利出版社(1980).
 [2] 韩曾晋,自适应控制系统,机械工业出版社(1983).

An ADAPTIVE-TUNING CONTROL OF FLOOD DISCHARGE FOR A RESERVOIR SYSTEM

XIE TINGCHUN

(Shenyang Institute of Chemical Technology)

HUANG XIAOYUAN

(Northeast University of Technology)

ABSTRACT

In this paper, a CARMA model has been built for flood discharge of a reservoir system. An adaptive-tuning control of flood discharge is applied according to the reservoir level, the rate of flow into the reservoir, and the predictive level at the river mouth. Satisfactory simulation results have been obtained and this method may be feasible to flood control.

Key words: Model of reservoir group; flood discharge management of reservoir; adaptive control.