

水箱模型在三峡入库洪水预报模型研制中的应用

汤成友¹, 缪 韧², 舒栋才²

(1. 长江上游水文水资源勘测局, 重庆 400014; 2. 四川大学水利水电学院, 四川 成都 610065)

摘要:介绍了应用水箱模型建立三峡入库洪水实时连续预报模型的方法。按照河段流量传播时间将入库站(寸滩)以上干、支流划分为若干子河段,各子河段按照计算时段长分成若干单元河段,各单元河段区间降雨径流预报采用水箱模型,河道流量演算采用连续马斯京根法。对河系洪水预报模型的检验表明,预报精度在 85% 以上,能够满足实时洪水预报的要求。

关键词:水箱模型;实时洪水预报;单元河段;连续预报;大尺度流域;三峡水利枢纽

中图分类号:TV122+.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7647(2006)04-0040-03

Application of tank model to development of prediction model for flood inflow of Three-Gorges Reservoir//TANG Cheng-you¹, MIAO Ren², SHU Dong-cai² (1. The Upper Yangtze River Survey Bureau of Hydrology and Water Resources, Chongqing 410014, China; 2. College of Hydraulic and Hydro-electric Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: An introduction was given to the method for developing the real-time continuous prediction model for the flood inflow of the Three-Gorges Reservoir with the tank model. The main stream and tributaries above the inflow reservoir station (Cuntan) were divided into several sub-reaches according to the propagation time of flow, and the sub-reaches were divided into unit reaches according to the calculation time interval. The tank model was used for predicting rainfall runoff for each unit reach, and the continuous Muskingum method was adopted for flow routing. The precision of the prediction model is verified to be higher than 85%, which can meet the requirement of real-time flood prediction.

Key words: tank model; real-time flood prediction; unit reach; continuous prediction; large-scale basin; Three-Gorges Hydro Project

水箱模型属于概念性水文模型,是日本水文学者菅原正已于 20 世纪 50 年代创建、60 年代初正式提出的著名流域水文模型。该模型具有概念简单、计算方便、结构组合灵活等特点。通过水箱的串、并联可以构成多层并列水箱模型,可以模拟多种水源,对于水源组成较复杂的流域可能获得较好的模拟预报精度^[1]。我国在 20 世纪 60 年代以来开展了水箱模型的应用研究,20 世纪 80 年代,河海大学李纪生等^[1]在黄河、汉江、东江等河流开展了水箱模型的应用研究,全国其他水文部门也先后开展了一些水箱模型的适用性研究。但直至目前,大部分成果属于径流模拟计算和探索性研究,用于实时洪水预报的具体成果尚不多。开展水箱模型在三峡入库洪水预报中的应用,进一步积累流域水文模型的应用经验,对提高三峡入库洪水预报精度和在作业预报中进行多方案比较具有直接的现实意义;同时,目前有关水箱模型的应用研究多是基于中小流域,三峡入库洪水预报流域面积 50 多万 km²,研究水箱模型在三峡入库

洪水预报模型研制中的应用将为水箱模型在大尺度流域的应用方面进行有益的尝试。本文仅对寸滩站 24 h 预见期河系洪水连续预报模型的建立进行介绍。

1 预报模型的建立

1.1 水箱模型

1.1.1 水箱模型结构^[2-3]

本文水箱模型采用 4 层串联水箱结构(见图 1,图中 J 为第一、第二土壤水水量交换系数),第一层

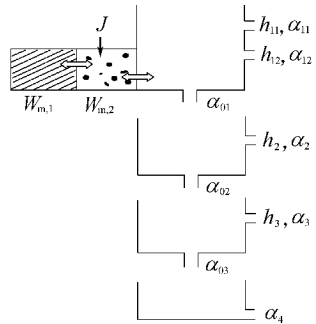


图 1 水箱模型结构

水箱用于模拟地表径流;第二层水箱边孔出流模拟壤中流;第三层水箱边孔出流可模拟浅层地下径流;第四层水箱模拟深层地下径流。第一层水箱设置了土壤水结构,且边孔的孔高大于零,用于模拟初损。土壤水蓄水容量分为第一土壤水蓄水容量 $W_{m,1}$ 和第二土壤水蓄水容量 $W_{m,2}$,第一土壤水可表示流域土层毛管水,第二土壤水可表示流域土层吸湿水。各水箱底孔出流系数反映流域不同土层的下渗能力。

1.1.2 水箱模型产流计算^[2-3]

a. 蒸发计算。水箱模型没有固定的蒸发模式,模型设计者可以根据情况自行设计蒸发计算模式。本文采用一层蒸发模式,即流域蒸发量与流域蒸发能力和第一土壤水蓄水量成正比,计算公式如下:

$$E = E_p \frac{W_1}{W_{m,1}} \tag{1}$$

式中: E 为流域蒸发量, mm; E_p 为流域蒸发能力, mm, $E_p = KE_w$, 其中 K 为流域蒸散发折算系数, E_w 为蒸发观测值, mm; $W_{m,1}$ 为第一土壤水蓄水容量, mm; W_1 为第一土壤水蓄水量, mm。

b. 水箱模型的产流计算。计算公式为出流量

$$Q_1 = \begin{cases} 0 & H_1 \leq h_1 \\ (H_1 - h_1)\alpha_1 & h_2 \geq H_1 > h_1 \\ (H_1 - h_1)\alpha_1 + (H_1 - h_2)\alpha_2 & H_1 > h_2 \end{cases} \tag{2}$$

下渗量

$$F_1 = \begin{cases} H_1\alpha_0 & H_1 < H_s \\ H_s\alpha_0 & H_1 \geq H_s \end{cases} \tag{3}$$

式中: H_s 为水箱的饱和深度, mm; α 为出流系数; h 为孔高, mm; H 为水深, mm。

1.1.3 水箱模型汇流计算^[2]

营原正已最初提出的水箱模型是将各水箱边孔出流量相加直接作为流域河道出流量,后来的研究者根据具体情况加入了反映河道调蓄作用的结构。本研究方案设计中,将水箱边孔出流流量视作河网总入流,再采用滞时线性水库汇流公式演算至流域出口断面。汇流公式如下:

$$Q_{t+\tau} = C_s Q_t + (1 - C_s) Q_{zt} \tag{4}$$

$$C_s = 1 - C_r Q_t^{0.4} \tag{5}$$

式中: C_s 为线性水库的消退系数; Q_t 为 t 时刻河网出流量, m^3/s ; C_r 为与河道水力特性有关的综合参数; τ 为河网汇流滞时, h; Q_{zt} 为 t 时刻的河网总入流, m^3/s 。

1.2 河系洪水预报模型

按河段流量传播时间满足 24h 预报需要,选取若干子河段构成河系洪水连续预报模型。做方案时,少

数河段采用了预见期内降雨资料,在作业预报时,预见期内降雨可处理为零,也可采用气象预报雨量。

1.2.1 单元河段划分

长江上游洪水陡长陡落,并且大多数预报河段很长,传播时间 t 大于计算时段长 Δt ,如果不进行分段,流量演算的误差就较大。为此,将各预报河段分成 n 个单元河段。单元河段数计算公式为

$$n = \frac{t}{\Delta t} \tag{6}$$

上断面入流用马斯京根流量演算公式演算至下断面;子河段区间入流点假定为河段下断面,其产汇流采用水箱模型计算,然后与演算流量进行线性叠加得到下断面总的出流量。

1.2.2 河系洪水预报模型结构

长江寸滩站 24h 河系洪水连续预报模型分嘉陵江和长江上游干流两大支系,两大支系在寸滩汇合。嘉陵江支系采用的子河段分别为静边、三汇—罗渡溪,金溪—武胜,射洪—小河坝,罗渡溪、武胜、小河坝—北碚 4 个河段;长江上游干流的子河段分别为赤水、泸州—朱沱,朱沱、北碚—寸滩 2 个河段。共分 30 个单元河段,如图 2 所示。

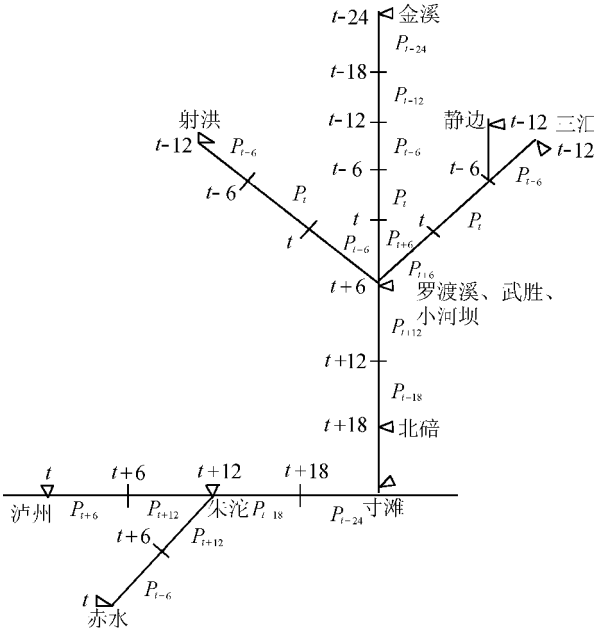


图 2 长江寸滩站 24h 河系洪水连续预报模型河段构成示意图

1.3 模型参数率定

1.3.1 水箱模型参数率定

选取嘉陵江水系的静边站以上和干流水系的五岔站以上两个闭合流域作为建模的代表流域进行水箱模型的参数率定,子河段区间水箱模型参数移用代表流域的模型参数,并根据预报效果适当微调。参数率定时采用自动优化与人工调试相结合的方法率定参数。自动优化采用了 4 个目标函数,分别是

表 1 代表流域水箱模型参数率定结果

站名	第一层水箱					第二层水箱			第三层水箱			第四层水箱
	第一边孔高度/mm	第一边孔出流系数	第二边孔高度/mm	第二边孔出流系数	底孔出流系数	边孔高度/mm	边孔出流系数	底孔出流系数	边孔高度/mm	边孔出流系数	底孔出流系数	底孔出流系数
静边	5.0	0.15	20.0	0.10	0.20	25	0.01	0.03	20	0.01	0.02	0.0008
五岔	5.0	0.25	25.0	0.25	0.10	5	0.03	0.06	5	0.06	0.04	0.0018

水量平衡、实测与模拟流量过程线的吻合度、实测与模拟流量过程的吻合度、实测与模拟枯水流量过程的吻合度^[4]。两个代表流域参数率定结果见表 1。

1.3.2 子河段马斯京根演算参数分析

马斯京根演算参数包括 C_0, C_1, C_2 , 计算公式为

$$\left\{ \begin{aligned} C_0 &= \frac{0.5\Delta t - kx}{0.5\Delta t + k - kx} \\ C_1 &= \frac{0.5\Delta t + kx}{0.5\Delta t + k - kx} \\ C_2 &= \frac{-0.5\Delta t + k - kx}{0.5\Delta t + k - kx} \\ C_0 + C_1 + C_2 &= 1 \end{aligned} \right. \quad (7)$$

式中: Δt 为演算时段长, $h; k$ 为非稳定流情况下, 河段相同蓄量对应的稳定流传播时间, $h; x$ 为流量比重因素。

参数分析的目的是要正确确定出 k 和 x , 然后计算出 C_0, C_1, C_2 。做方案时, 在对各子河段流量传播时间进行分析的基础上, 根据计算时段要求确定最终选用的 k 值。各子河段 x 值的确定采用试算法, 选择数场单峰洪水试算, 最后取其平均值。各河段参数分析结果见表 2。

表 2 子河段马斯京根演算参数分析结果

河 段	k	x
静边、三汇—罗渡溪	18	0.15
金溪—武胜	24	0.35
射洪—小河坝	18	0.40
罗渡溪、武胜、小河坝—北碚	12	0.25
赤水、泸州—朱沱	6	0.35
朱沱、北碚—寸滩	18	0.40

2 预报模型率定和检验

按照上述方法建立了长江寸滩站河系洪水连续预报模型。模型率定期为 1981, 1984, 1998, 1999, 2002, 2003 年共 6 年资料 41 个样本, 检验期为 2000, 2001 年共 2 年资料 16 个样本。率定和检验结果见表 3, 寸滩站高、中、低水年份汛期连续计算检验结果见图 3~5。

表 3 寸滩河系洪水连续预报模型率定、检验成果

项 目	样本数/个	洪 峰		洪 量		峰现时间	
		合格次数	合格率/%	合格次数	合格率/%	合格次数	合格率/%
率定期	41	40	97.6	40	97.6	37	90.2
检验期	16	16	100	16	100	14	87.5

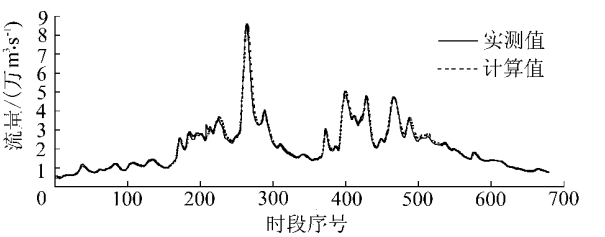


图 3 1981 年寸滩站检验结果

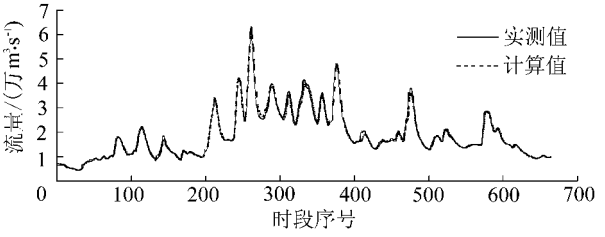


图 4 1984 年寸滩站检验结果

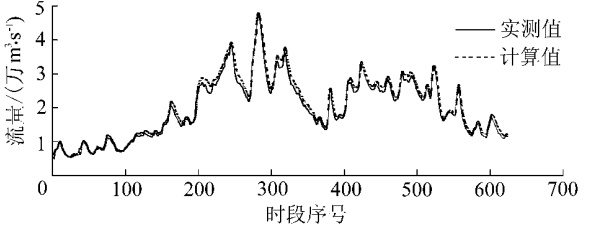


图 5 1999 年寸滩站检验结果

3 结 语

本文是将水箱模型用于大尺度流域河系洪水连续预报中的探索, 从模型检验结果看, 寸滩方案平均精度为 95.8%, 根据 SD 138—85《水文情报预报规范》的要求, 方案达到了甲级, 可以用于作业预报。但是, 由于长江上游水利工程的影响, 在作业预报时根据当时水利工程的运行情况对相应河段的预报结果进行实时校正是非常必要的。

参考文献:

[1] 李纪生, 朱希. 水箱模型在东江站洪水预报中的应用[J]. 水文, 1982, 2(6): 25-28.
[2] 林三益. 水文预报[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 2003: 148-153.
[3] 菅原正己. 水箱模型参考手册[M]. 东京: 日本国立防灾科学技术研究中心, 2000: 120-147.
[4] 张洪刚, 郭生练, 刘攀, 等. 概念性水文模型多目标参数自动优选方法研究[J]. 水文, 2002, 22(2): 20-30.

(收稿日期: 2005-10-14 编辑: 熊水斌)