

飞来峡水库入库洪水计算模型探讨^{*}

陈俊合¹, 刘海洋², 刘树锋¹

(1. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275;
2. 广东省水电勘测设计研究院, 广东 广州 510170)

摘 要: 在分析北江流域暴雨洪水特性的基础上, 针对飞来峡水库流域洪水的特点和复杂性, 采用水文学和水力学相结合的方法, 构建了飞来峡水库入库洪水计算的耦合模型, 整个模型由区间洪水计算的流域水文模型和河网水力学数学模型组成, 模型的计算结果表明, 洪水模拟与实测过程拟合较好, 精度较高。其成果可作为飞来峡水库入库洪水分析和水库动库调洪计算的基础, 为水库防洪调度的设计提供依据。在流域洪水模拟的过程中, 采用了移用邻近参证流域资料进行水文参数率定和降雨径流模拟, 取得了满意的结果, 对无资料区间的洪水计算进行了有益的尝试。

关键词: 水库入库洪水; 区间洪水; 耦合模型

中图分类号: P338 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 03-0107-04

1 概 述

北江流域地势北高南低, 洪水具有山区河流特性, 来势凶猛, 沿河一带城镇 (如广州、佛山) 及土地常遭受洪水威胁。位于北江中下游干流的重点工程飞来峡水利枢纽, 属河道型水库。地处山间盆地峡谷过渡地带, 坝址控制集水面积 34097 km², 占北江流域面积的 73%, 担负着解决北江中、下游区的洪水威胁, 是以防洪为主, 结合航运、水电等其它综合利用的水利枢纽, 是治理开发北江的关键性工程。对控制北江洪水将发挥重要作用, 为了确保飞来峡水库安全度汛和更好地发挥水库的兴利作用, 减少洪灾损失, 必须对飞来峡水库入库洪水进行客观地分析, 掌握北江洪水的运动规律, 正确进行防洪治理规划及实时调度控制。这些实际要求的提出, 客观上就需要针对北江流域特点, 建立飞来峡水库入库洪水计算模型。

飞来峡水库入库洪水由 4 部分来水组成: 干流马径寮以上来水、支流连江来水、江长湖水库的放水和马径寮站到横石站之间的无控区间的来水 (见图 1)。马径寮站至横石站的区间虽仅占横石站控制面积的 9% 左右, 却常常是整个流域的暴雨中心, 就“82.5”洪水来讲, 区间洪水差不多占横石站洪峰流量的 1/3, 区间洪水计算是洪水计算中的重要问题之一, 对洪水计算成果起着举足轻重的作

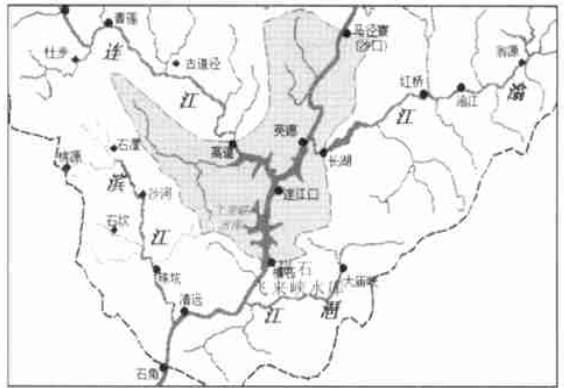


图 1 飞来峡水库流域示意图

Fig. 1 Sketch map of the Feilaixia Reservoir Basin

用。因此, 在建立飞来峡水库入库洪水计算模型时, 对未控区间洪水不能简单采用以往区间洪水常规处理方法 (即面积比的方法), 而必须对区间进行降雨径流模拟, 推求其洪水的洪量与过程, 并对计算成果合理性进行分析和检验。另外, 无控区间从马径寮站到横石站的飞来峡水库库面河道, 水面比较平缓, 并有峡谷相间, 水流比较复杂, 对此须采用水力学不稳定流方法进行分析计算。

综上所述, 飞来峡水库入库洪水的计算必须采用多种方法综合的途径, 本文拟采用水文学和水力学相结合的方法, 建立飞来峡水库入库洪水计算的耦合模型, 对区间和河槽的洪水分别进行分析、模

^{*} 收稿日期: 2003-06-02

基金项目: 广东省水利厅江河流域综合规划资助项目

作者简介: 陈俊合 (1947 年生), 男, 教授; E-mail: ceesch@zsu.edu.cn

拟和演算, 以便为飞来峡的防洪调度提供正确的水情信息。

2 飞来峡水库入库洪水模拟的模型

2.1 模型的结构

飞来峡水库入库洪水计算模型由三水源新安江

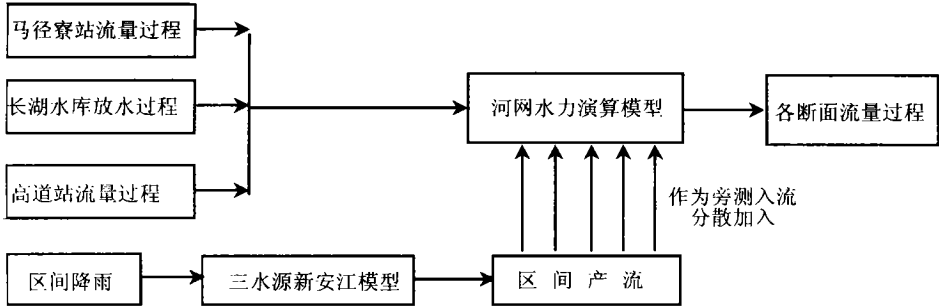


图 2 飞来峡水库入库洪水计算耦合模型结构图

Fig 2 The structure of flood routine coupling model of Feilaixia reservoir basin

有关三水源新安江模型的结构及计算方法见文献 [1, 2], 模型不包括单元出口到流域出口的河道演进部分。

针对飞来峡水库入库流域的特点, 河网水流控制方程为树状河网一维非恒定流方程 (即圣维南方程组),

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial Z}{\partial t} = q \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial Z}{\partial x} - u^2 \frac{\partial A}{\partial x} \Big|_x + \frac{gQ}{Ac^2 R} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{2}$$

其中 $c = \frac{1}{n}R^{1/6}$, Q 为流量, Z 为水位, A 为过水断面面积, u 为断面平均流速, B 为河道水面宽度, c 为谢才系数, n 为糙率, R 为水力半径, q 为单位河长的旁侧入流量, x 为沿河长的距离, t 为时间。

除了 (1)、(2) 河道方程以外, 还需要汉点衔接条件。在河道与河道的交汇点, 每个汉点需要满足水流连续和能量守恒两个条件。用 Preissmann 四点隐式差分法进行数值离散成如下差分方程, 并用三级求解法进行演算。具体参见文献 [1-3]。

$$a_{1i}Z_i^{n+1} - c_{1i}Q_i^{n+1} + a_{1i}Z_{i+1}^{n+1} + c_{1i}Q_{i+1}^{n+1} = E_{1i} \tag{3}$$

$$a_{2i}Z_i^{n+1} - c_{2i}Q_i^{n+1} + a_{2i}Z_{i+1}^{n+1} + d_{2i}Q_{i+1}^{n+1} = E_{2i} \tag{4}$$

式中 i 为时间, n 为空间。

2.2 基本资料及处理

滨江流域内的蒸发资料, 桃源、石潭、沙河、石坎和珠坑 5 个雨量站的降雨资料, 出口断面水文站珠坑的流量过程; 无控区间的蒸发资料, 沙口、

模型和河网水力演算模型两部分耦合而成。马径寮到横石的区间面积采用三水源新安江模型进行降雨径流模拟, 产流作为河网非恒定流数学模型的输入, 演算到横石站得各断面的水位流量过程。模型结构如图 2。

英德、长湖、高道、连江口和横石 6 个雨量站的降雨资料; 河网地形资料。

支流连江放水受到长湖水库调度的控制, 在计算中将长湖水库的放水过程作为集中旁侧入流加入。将飞来峡水库入库流域河网依次分解为 4 条单一的河道: 马径寮—英德, 英德—连江口, 高道—连江口和连江口—横石, 汉点处在连江口处, 每条河道对应不同的糙率段, 各糙率段糙率与河道平均水位有关。从马径寮站至横石站的距离为 95.65 km, 设置了 52 个横断面; 连江自高道至连江口 22.51 km, 设置了 19 个断面; 断面间距一般为 1~2km。长湖水库的来水从英德站上游汇入, 增设一个虚拟断面, 总共有 72 个断面。

2.3 边界条件和初始条件

2.3.1 边界条件 以马径寮和高道站的流量过程作为上边界条件, 形式如 $Q = Q(t)$; 长湖水库的放水过程作为集中旁侧入流从英德站的上断面加入; 下游的控制断面为横石站, 以实测洪水水位过程 $Z = Z(t)$ 作为下边界条件。

2.3.2 初始条件 选择洪水起涨前流量变化较为稳定的某一时刻, 按恒定流方法推算各断面的水位、流量, 然后以该时刻的时间为常数进行非恒定流计算, 待计算的全河段水位、流量变化趋于稳定时, 取其相应各断面的水位、流量作为计算的初始条件。

3 参数的率定

3.1 模型参数的率定标准

采用的目标函数

$$R = (F_0 - F_1) / F_0 \times 100\%$$

式中 F_0 为模型初始方差和, F_1 为模型计算方差和, 其计算公式为 $F_0 = \sum (QE_i - Q)^2$, $F_1 = \sum (QE_i - Q_i)^2$, 这里 Q_i , QE_i 分别为实测和计算的小时径流量, Q 为模型率定期实测小时径流量的平均值. R 值越大, 表示模型减少初始方差的能力越强, 效率越高, 模型的拟合效果越好; 反之则越差. 此外, 通过洪量、洪峰和峰现时间三要素加以对比分析率定参数的合理性.

3.2 模型参数率定结果

三水源新安江模型参数中, 决定于气象、气候、地貌和地质等条件的参数, 存在一般的区域规律性. 邻近区间的滨江流域, 其地理方位、峡谷相间的地貌类型、水文气象特征与区间存在很大的相似性, 可作为无资料区间洪水计算的参证流域, 用来率定新安江模型中的有关参数. 在分析地区规律的基础上, 模型参数的率定结果经修正后可移用于区间面积降雨径流的模拟.

流域平均蓄水量 WM , 按上层 (WUM)、下层 (WLM) 和深层 (WDM) 进行计算, 分别为 20、80 和 30mm; 流域蒸散发参数, K 值为 0.7, 深层蒸发系数 C 为 0.18; 流域蓄水容量分布曲线的指数 B 为 0.4; 而流域中不透水面积比较小, IMP 只有 2%. 模型的水源划分方面, 自由水蓄水容量 SM 为 45 mm, 地下水出流系数 KG 为 0.3, 壤中流出流系数 K_{ss} 为 0.4, 至于径流的演算, 地下径流的消退系数 K_{KG} 为 0.98, 而壤中流消退系数 K_{KSS} 为 0.7.

3.3 模拟结果的合理性分析

采用“82.5”和“94.6”两场洪水进行模拟, 横石站的实测流量过程与模拟结果对比如图 3. 从图中可看出, 模拟结果与实测值符合良好, 目标函数值分别为 97.98%、98.23%, 横石站实测洪水与计算洪水峰量对比见表 1, 说明采用的参数是合理的.

表 1 横石站实测与计算洪水峰量对比表
Tab 1 Comparison of observed and predicted flood at Hengshi sstation

洪水	洪峰		最大 3 日洪峰		最大 7 日洪峰	
	流量 ¹⁾	$p/\%$	$Q/\text{亿 m}^3$	$p/\%$	$Q/\text{亿 m}^3$	$p/\%$
1982 年	实测 18000	8.36	40.35	1.34	61.57	-0.4
5 月	计算 19505		40.89		61.30	
1994 年	实测 17500	8.02	41.26	2.08	77.75	-0.2
6 月	计算 18903		42.12		77.62	

1) 流量的单位为 m^3/s

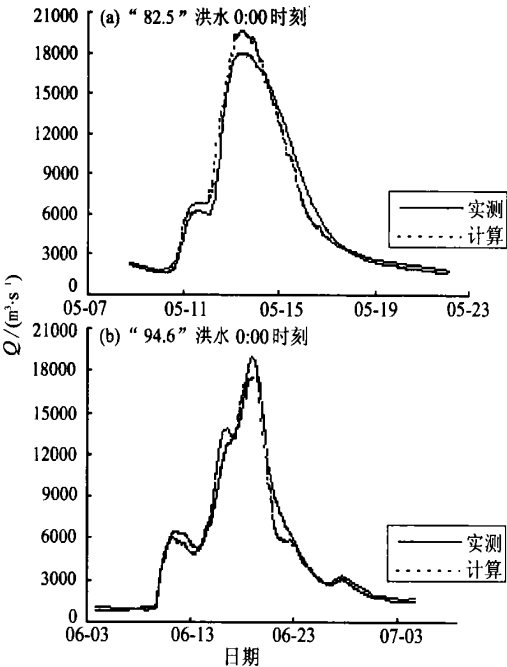


图 3 横石站“82.5”和“94.6”洪水过程线图
Fig 3 Hydrograph of flood “82.5” and “94.6” at Hengshi station

4 模型的应用

采用上面建立的耦合模型推求飞来峡水库入库洪水, 本文对“68.6”和“97.7”两场洪水进行模拟, 其结果如图 4. “68.6”洪水模拟的结果与实测

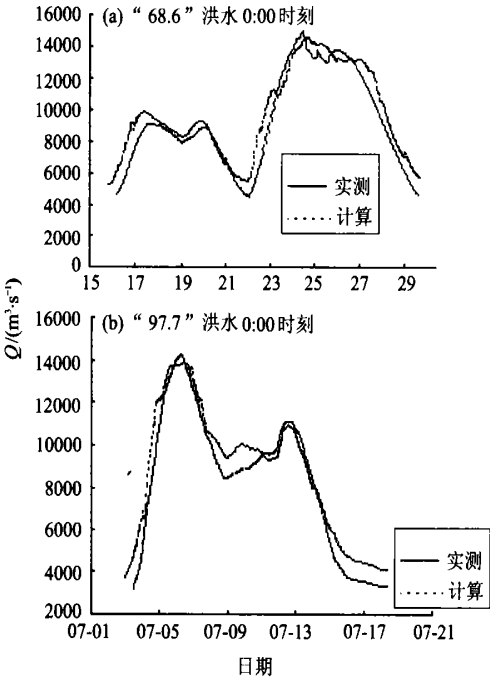


图 4 “68.6”和“97.7”洪水横石站洪水过程线图
Fig 4 Hydrograph of flood at Hengshi Staation in June, 1968 and July, 1997

相比较, 洪峰流量相差为 2.78%, 峰现时间比实际推迟 6 h, 计算时段内的洪量相差为 5.4%, 洪水的形状与实际基本一致, 模型的目标函数值达到 91.8%。“97.7”洪水模拟的结果与实测相比较, 洪峰值的相对误差为-3.55%, 峰现时间比实际推迟 5 小时, 计算时段的洪量相差为 1.94%, 峰形和峰现时间基本吻合, 模型的目标函数值达到了 95.7%。

无论是洪水的峰值、峰现时间、洪量, 还是洪水的过程, 都与实测洪水非常接近, 说明所建立的模型是合理正确的。

区间由于缺乏资料, 历来是流域洪水模拟的难点。飞来峡水库流域洪水的区间面积虽然只占横石站控制面积的 9%, 但它经常是流域暴雨中心所在, 区间洪水对流域洪水的作用影响不可忽视。本文采用区间邻近的滨江流域资料, 率定三水源新安江模型的参数, 移用率定后的参数对区间无控面积进行降雨径流模拟, 取得满意的结果, 对无资料地

区区间洪水计算作了新的尝试。

整个模型由区间洪水计算的流域水文模型和河网水力学数学模型组成, 概念清晰, 结构合理, 具有一定的物理基础。模型的计算结果表明: 洪水模拟与实测过程拟合较好, 其成果可作为飞来峡水库入库洪水分析; 模型可以进一步的完善作为飞来峡水库动库调洪计算模型, 为水库防洪调度的设计提供依据。

参考文献:

[1] 谈佩文, 王船海, 顾大辛, 等. 淮河中游洪水演进模型 [J]. 水科学进展, 1996(2): 124— 129.
[2] 赵人俊. 流域水文模拟 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
[3] 陈志明. 新安江模型(三水源) 分水源参数区域规律研究 [J]. 河海大学学报, 1990(6): 133— 138.
[4] 王船海, 李光炽. 实用河网水流计算 [D]. 南京: 河海大学水资源水文系, 1997.

Flood Routing Model of the Feilaixia Reservoir

CHEN Jun he¹, LIU Hai yang², LIU Shu feng¹

(1. School of Geography & Planning, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;
2. College of Hydroelectric Reconnaissance Design of Guangdong, Guangzhou 510170, China)

Abstract: According to the complex flooding characteristics of the Feilaixia reservoir basin, a flood routine model is established through coupling the Xin anjiang model (3 components) and unsteady flow numerical computation model with this coupling model, the effect of flood of the uncontrolled intervening area is illuminated. The high accuracy of the model output has been verified by observation data.

Key words: the Feilaixia reservoir; flood of the uncontrolled intervening area; coupling model