

河道型水库动库容在实时洪水调度中的影响

王船海 南 岚 李光炽

(河海大学水资源环境学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 采用水动力学方法建立河道型水库库区洪水演进模型 ,解决实时洪水调度中的动库容问题 . 引入动态边界条件的概念 ,将计算过程分为模拟计算阶段与实时预报调度阶段 ,在实时洪水调度过程中根据计算的不同阶段采用相应的边界条件 . 利用河道型水库的实际库容(动库容)按静库容曲线反推求得水库的代表水位 ,根据代表水位准确地计算出水库的动库容 . 最后以水口水库为例 ,分析了水库动库容对实时洪水调度的影响 .

关键词 河道型水库 动库容 水动力学模型 代表水位 动态边界条件

中图分类号 :TV131 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2004)05-0526-04

三峡水库、隔河岩水库及水口水库等特大型水库均属于河道型水库 ,这些水库在实时洪水预报调度中 ,动库容影响不可忽略 . 在河道型水库实时洪水调度及调洪演算中 ,常用方法是湖泊型水库的静库容演算法^[1]或回水曲线法^[2] .

河道型水库 ,由于河道的长宽尺度相差大 ,过水面积较小 ,洪水期水流流速和水面比降较大 ,见图 1 . 由图 1 可见 ,传统的水库静库容演算法实际上是计算曲线 a 以下的水库库容 ,即假定水库的水面线是水平的 ,这在湖泊型水库中是可以接受的 . 水库回水曲线法实际上是计算曲线 b 以下的水库库容 . 由于曲线 b 是通过恒定流的方法推算出的 ,与实际水面线有时差别很大 . 利用这两种方法计算河道型水库库容与实际库容有着较大的误差 ,不能够满足实时洪水调度精度的要求 ,需采用水动力学的方法建立河道型水库的洪水演进模型 ,以解决实时调度中动库容对调洪计算的影响问题 . 随着计算技术的日趋成熟 ,使得在实际中直接采用水动力学方法计算河道型水库的动库容成为可能 ,并且可以方便地将该技术直接应用到水库实时洪水预报调度系统中 .

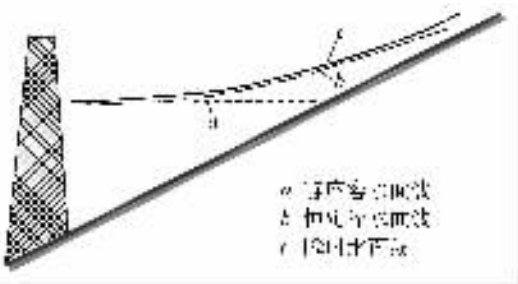


图 1 河道型水库水面线

Fig.1 Water surface curve of river-type reservoir

1 研究的技术线路

采用水动力学方法建立河道型水库库区的洪水演进模型 ,选择一维模式来进行模拟求解 ,完全能满足所要解决的水库防洪调度问题 .

描述河道水流运动的圣维南方程组为^[3]

$$B \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = qV_x$$

式中 : q ——旁侧入流 ; Q , A , B , Z ——河道断面流量、过水面积、河宽和水位 ; V_x ——旁侧入流流速在水流方向上的分量 ,一般可以近似为零 ; K ——流量模数 ,反映河道的实际过流能力 ; α ——动量校正系数 ,反映河道断面流速分布的均匀性 .

上述方程采用四点线性隐式差分格式进行求解^[4].在对实际水库进行计算时,需要对整个库区进行概化,一般情况下将整个河道型水库库区概化为河网进行计算^[3,4],该河网一般包含调蓄节点.

在实际应用中,由于资料等情况限制,一般来说,概化河网的槽蓄量要小于水库的实际库容(在相同水位下),这主要是由于概化水库库区时,许多小的支流、洼地受资料等限制没有考虑进概化河网中,需要进行平差处理^[5].平差处理的目的是做到动力学模型计算的关键数据水位库容关系与实际的水位库容关系保持一致,主要思路是:在地理信息系统中勾画出没有包括进概化河网的洼地范围,并将其设为零维可调蓄节点^[3],这些可调蓄节点的水位容积关系以其各自的面积为权重来分摊实际库容与概化库容间的差值.

一般将流入到库区的入流点称为上边界条件,流出库区的出流点称为下边界条件.对于河道型水库,其坝址处为下边界条件.用水动力学方法求解水库的实时调度问题时,需引入动态边界条件的概念.将计算过程分解为两个阶段,即模拟计算阶段与实时预报调度阶段.这两个阶段计算的边界条件不同.在实时洪水预报调度时,根据计算的不同阶段,自动地采用相应的边界条件.

1.1 模拟计算阶段边界条件

所谓模拟计算阶段,在实时洪水调度中是指调度时刻以前的阶段.上边界条件一般采用实测入流流量或实测水位,但在水库实时洪水调度中往往无法得到实测流量,因此一般采用实测水位.在没有实测水位的水库则采用预报流量.下边界条件采用坝前水位.这样,在模拟计算过程中可以计算出库区的沿程水面线过程、出库流量及水库的动库容、入库流量等.利用这些计算成果与实测资料的对比可率定模型的参数.

1.2 实时调度阶段边界条件

所谓实时调度阶段,在实时洪水调度中是指调度时刻以后的计算阶段.上边界条件,采用水文预报模型预报出的流量过程.下边界条件,根据调度方式的不同可以采用多种形式,主要有 (a)采用水库调度的泄流过程 $Q \sim t$,可预报出水库的动库容过程、坝前水位过程等信息.(b)采用水库调度的坝前水位过程 $Z \sim t$,可预报出水库的动库容过程、水库泄流过程等信息.(c)采用水库的调度规则,可以预报出水库的动库容过程、水库泄流过程、坝前水位过程等信息,且其调度规则可以实时交互生成动态改变.在水库的实时调度过程中动态地选择上述 3 种下边界条件而形成河道型水库的调度方案.

2 算例分析

根据以上思路建立水口水水库库区洪水演进模型系统,计算范围从上游的延福门到水口坝址,中间考虑古田溪与尤溪等支流的加入,见图 2.由于资料的限制,延福门以下区间的支流没有大断面资料,因此在古田溪与尤溪河口设置 2 个调蓄节点用于平差分配水库实际库容与概化河道库容的差值.

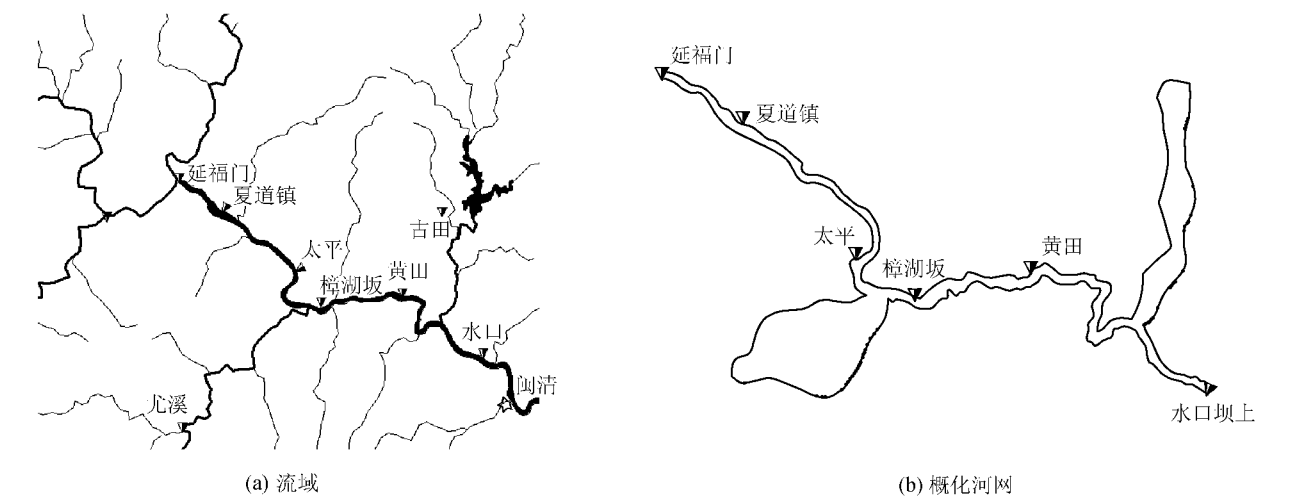


图 2 水口水库流域及概化河网

Fig.2 Watershed and generalized river network of Shuikou Reservoir

模拟计算边界条件:上边界条件为延福门水位过程、古田溪与尤溪流量过程;下边界条件为坝址水位过程.

实时调度边界条件:上边界条件为延福门、古田溪与尤溪 3 个入流点水文模型预报的流量过程;下边界

条件为水库调度的泄流过程 $Q \sim t$.

本次计算采用了 1996~2001 年较大的十几场洪水过程,率定参数糙率为 0.04~0.07.其中“986”洪水(发生于 1998 年 6 月的洪水)为水口水库建库以来发生的最大洪水过程,且实测资料比较丰富和全面,加之其为多峰过程,具有高水位、中水位、低水位等各种情况,是比较典型的实测洪水过程.图 3 为“986”洪水的模拟过程.图 4 为洪峰附近水口水库库区水面线.从水面线可见,水口水库动库容影响显著.

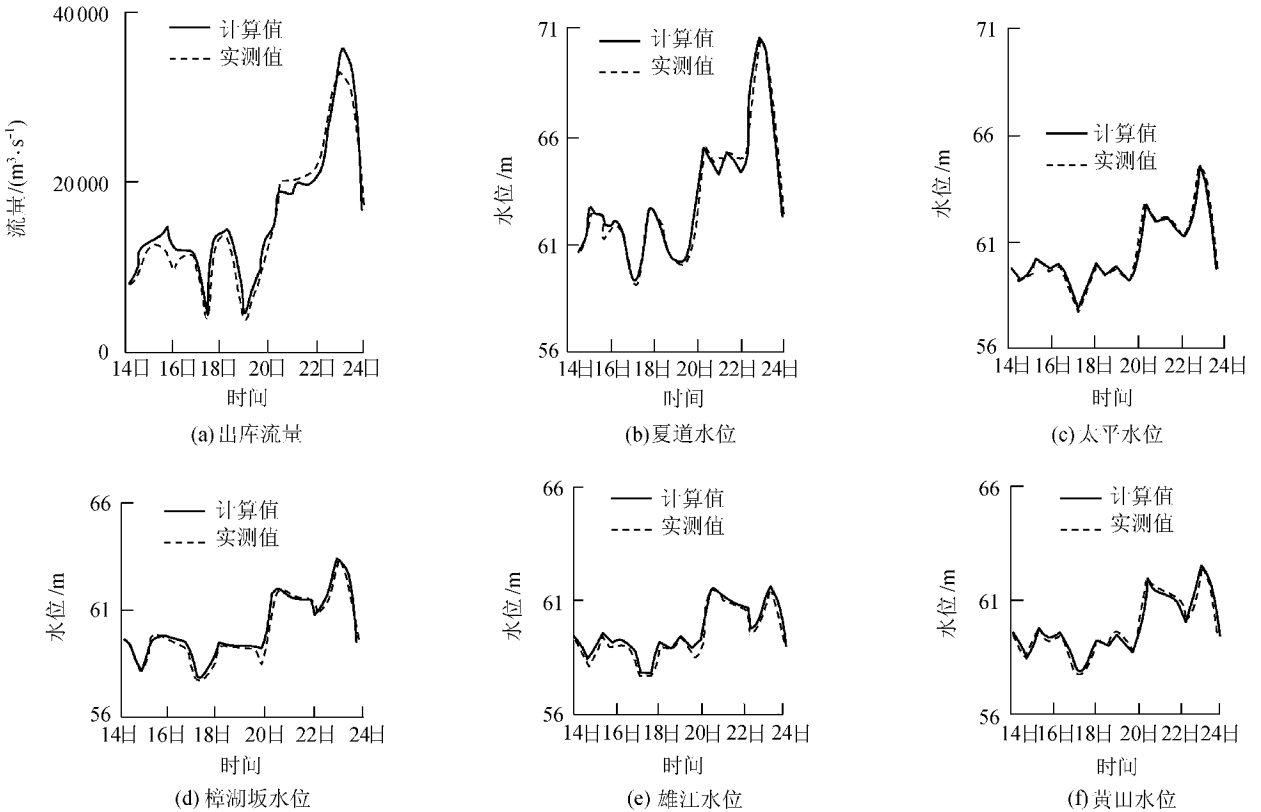


图 3 “986”洪水模拟成果
Fig.3 Simulated results for No.986 flood

图 5 为“986”洪水动静库容过程对比.从图中可见,最大动库容发生时间(6 月 23 日 8 时)与坝前最高水位发生时间(6 月 20 日 20 时)并不相同.采用坝前水位计算得到的水库库容与实际的水库库容存在很大的误差,因此引入水库代表水位的概念.所谓代表水位,就是利用水库的实际库容(动库容)按静库容曲线反推求得的水库水位.显然,如果知道了水库代表水位的变化过程,也就知道了水库实际库容的变化过程.对于湖泊型水库,其代表水位可以认为是坝前水位.“986”洪水的组合水位与代表水位比较见图 6.模拟计算表明,没有某个地点水位过程与代表水位相吻合.选用延福门、太平和坝上站 3 站的水位进行线性组合,可得到组合水位

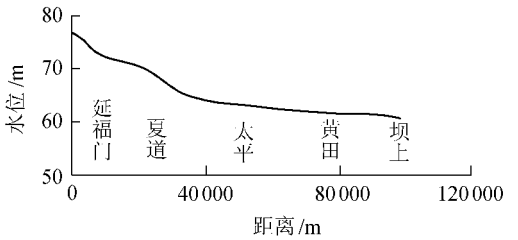


图 4 “986”洪水洪峰附近水面线
Fig.4 Water surface curve for No.986 flood peak

式中: $Z_{\text{组合}}$ ——组合水位; $Z_{\text{延}}$ ——延福门水位; $Z_{\text{太}}$ ——太平水位; $Z_{\text{坝}}$ ——坝上水位; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ——系数,确定需满足如下条件:

$$J = \min \sum (Z_{\text{组合}} - Z_{\text{代表}})^2$$

式中 $Z_{\text{代表}}$ 是根据动库容通过静库容曲线反求的代表水位.

用“986”洪水过程资料进行分析,得到组合水位计算式为

$$Z_{\text{组合}} = 0.06984Z_{\text{延}} + 0.65838Z_{\text{太}} + 0.27067Z_{\text{坝}}$$

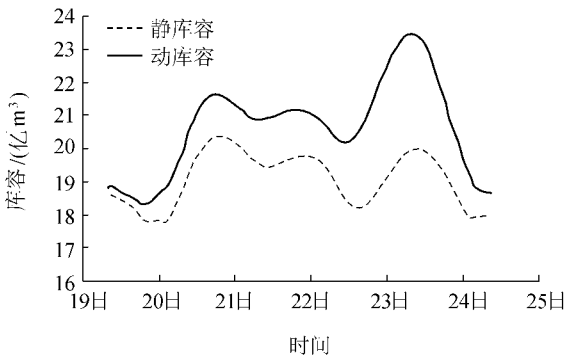


图 5 “986”洪水水库动静库容过程对比

Fig.5 Comparison of variations between dynamic and static reservoir capacities for No.986 flood



图 6 水库代表水位与组合水位对比

Fig.6 Comparison of reservoir representative water levels and composite water levels

通过上式计算出的组合水位可以利用传统的入库流量程序较为准确地反推出河道型水库的动库容入库流量。

3 结 语

研究计算表明,利用水动力学方法解决河道型水库实时防洪调度方面的问题完全可行,且行之有效,但怎样解决水动力学模型与水文预报模型的耦合连接,以及在实时洪水预报调度过程中的实时校正等问题还有待进一步深入研究。目前利用上述思路所开发的预报调度系统软件已成功应用于柘溪水库及其下游洪水预报调度^[6]、三峡水库库区的洪水预报调度、水口水库的实时调度及动态汛限水位的研究中。

参考文献:

[1] 钟平安, 邹长国, 李伟, 等. 水库防洪调度分段试算法及应用[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(6): 21—23.

[2] 许海军, 陈守煜. 水库动库容调洪计算的数值-解析解法[J]. 水利学报, 2002, (3): 69—73.

[3] 王船海, 李光炽. 流域洪水模拟[J]. 水利学报, 1996, (3): 44—50.

[4] 李光炽, 王船海. 大型河网水流模拟的矩阵标识法[J]. 河海大学学报(自然科学版), 1995, (1): 36—43.

[5] 艾学山, 陈森林, 安有贵, 等. 水库动库容调洪计算方法研究[J]. 人民长江, 2002, 33(7): 43—44.

[6] 王船海, 郭丽君, 芮孝芳, 等. 三峡区间入库洪水实时预报系统研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(6): 677—681.

Influence of dynamic capacity of river-type reservoirs on real-time flood regulation

WANG Chuan-hai , NAN Lan , LI Guang-zhi
(College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract :A flood routing model for river-type reservoirs was developed to calculate the dynamic reservoir capacity during the real-time flood regulation based on the hydrodynamic method. By introduction of the concept of dynamic boundary condition , the calculating process was divided into the simulation stage and real-time flood forecast and regulation stage , and different boundary conditions were adopted at different stages. The representative water level of reservoirs deduced by the static reservoir capacity curve was used for accurate calculation of the dynamic capacity of reservoirs. Finally , the influence of the dynamic reservoir capacity on the real-time flood regulation was analyzed for the Shuikou Reservoir.

Key words :river-type reservoir ; dynamic reservoir capacity ; hydrodynamic model ; representative water level ; dynamic boundary condition