

水库联合调度对松澧地区防洪的影响分析

张忠波¹, 张双虎², 蒋云钟², 王浩^{1,2}

(1. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072;

2. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘要: 基于马斯京根法的连续的河道洪水演进模型, 实现了澧水流域上江垭、皂市水库联合防洪调度, 从而得到联合调度对澧水流域防洪控制点流量影响; 同时采用水动力学模型对松澧地区控制站点水位模拟。结果显示, 除了1998年、2003年特大洪水外, 通过江垭、皂市水库联合防洪调度, 基本可以保证河道防洪安全, 同时松澧地区控制点水位有所降低。而通过江垭、皂市、三峡水库联合运用, 松澧地区控制站点的水位仍高于保证水位。

关键词: 松澧地区; 水库群联合调度; 防洪; 河道洪水演进; 水动力学模型

中图分类号: TV697

文献标识码: B

文章编号: 1000-0860(2013)11-0113-04

Analysis on effect from joint-operation of reservoirs on flood control of Songli Region

ZHANG Zhongbo¹, ZHANG Shuanghu², JIANG Yunzhong², WANG hao^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Relied on Muskingum method based consecutive channel flood routing model, the joint-flood control operation of Jiangya Reservoir and Zaoshi Reservoir in Lishui River Basin is realized, and then the effect from the joint-operation on the flow rates at the control points for flood control in the river basin is obtained, simultaneously, the water levels at the control stations and points are simulated with the relevant hydrodynamic model. The results show that the safety of flood control on the river channels therein can basically guaranteed through the joint-flood control operation of both Jiangya Reservoir and Zaoshi Reservoir, and the water levels at the control points within Songli Region are lowered to a certain extent. Nevertheless, the water levels at the control stations and points in Songli Region are still higher than their guaranteed water levels through the joint-operation of Jiangya Reservoir, Zaoshi Reservoir and the Three Gorges Reservoir.

Key words: SongLi region; reservoirs joint operation; flood control; river channel flood routing; hydrodynamic model

1 概述

松澧洪水由松滋河来水和澧水来水组成, 澧水来水由三江口站控制, 松滋河来水由松滋西支新江口站和松滋东支沙道观站控制。澧水洪水洪峰尖瘦、峰高势猛、陡涨陡落, 1次洪水过程3~4d, 且常与长江洪水遭遇, 江湖水位互相顶托; 松滋河洪水洪峰矮胖, 涨落缓慢, 来水较大, 持续时间长, 1次洪水过程长达半月左右^[1]。松滋河与澧水串通, 相互顶托, 长江大水时, 松滋河向澧水分流, 顶托澧水泄流, 抬

高上游津市、澧县水位, 松滋河西支分流抬高水位顶托澧水洪道流量; 反过来澧水大水时, 顶托松滋河出流, 甚至通过松滋西支倒流, 抬高松滋河水位, 加大松滋河中支流量。澧水洪水与松滋河洪水形成相互顶托之势, 随着江湖关系的演变, 澧水流域泥沙淤积、

收稿日期: 2012-06-19

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)资助(2013CB036406)。

作者简介: 张忠波(1986—), 男, 安徽萧县人, 博士。

水情恶化等自然因素影响的加剧; 泥沙大量淤塞河、湖, 抬高水位, 松澧地区已经成为洞庭湖区水情恶化最突出的地区^[2-3]。

澧水流域近期开发的江垭、皂市工程都是以防洪为主的水利工程, 随着水文气象预报精度的提高, 使得水库联合防洪调度成为流域防洪的重要手段, 水库联合调度能够有效地抵御澧水流域和松滋洪水。三峡水库只针对 100 年一遇及其以上洪水进行调蓄, 对于中小洪水, 通常不进行拦蓄^[4]。松澧地区现有的防洪标准仍然较低、抗洪能力差, 遇特大洪水缺乏可靠的防御对策, 防洪形势依然严峻。采用马斯京根洪水演进方法以及水动力学模型实现水库联合防洪调度, 结果显示水库联合调度的有效性。

2 模型建立

2.1 河道洪水演进模型

河道洪水演算是根据河道上游水情推断下游水情的一种洪水预报方法, 即根据水库调度实时情况预报控制点的洪水过程, 而马斯京根模型仍是一种常用的洪水演算模型, 它是建立在圣维南方程组基础上, 以槽蓄方程代替复杂的动力方程, 以水量平衡方程代替连续方程。

为了反映楔蓄量对洪水波变形的影响, 槽蓄量方程表达式为

$$W = K[xI + (1-x)O] \quad (1)$$

水量平衡

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2) + \frac{1}{2}(O_1 + O_2) = W_2 - W_1 \quad (2)$$

结合式(1)和式(2)可得

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 \quad (3)$$

式中, $C_0 = \frac{0.5\Delta t + Kx}{K - Kx + 0.5\Delta t}$; $C_1 = \frac{0.5\Delta t - Kx}{K - Kx + 0.5\Delta t}$; $C_2 = \frac{K(1-x) - 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t}$; x 为参数; I 为入流; O 为出流; K 为蓄量常数。

马斯京根模型在实际应用中的一个重要问题是模型参数的估计, 常用的方法有试错法、最小二乘法、最小面积法、改进图解法和矩法, 以及各种进化算法^[5-8]。马斯京根分段连续演算法一定程度上克服了“长河段”河道入流洪水的涨(落)洪历时远小于河段传播时间带来的计算误差。在每一个单元河段上应用普通的马斯京根流量演算法, 并逐河段连续计算, 最终得到全演算河段的出流流量。

2.2 水动力学模型

由于松澧地区江河湖泊水力联系复杂, 河道纵横, 不同典型洪水, 河道的流向不定, 必须构建涵盖江、河、湖及水利工程的水动力学模型。而江垭、皂市水库联合防洪调度影响的三江口防洪控制点只是作为模型的一个输入点, 通过水动力学模型可以直观地了解水库联合调度对松澧地区控制站点的洪水水位影响。

一维水动力模型的控制方程采用 Saint-Venant 方程组

连续性方程为

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (4)$$

动量方程

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (5)$$

式中, t 、 x 分别是时间和距离的坐标; A 为过水断面面积; Q 为流量; q 为旁侧入流流量; h 为水位; C 为谢才系数; R 为水力半径; g 为重力加速度。

3 水库联合防洪调度

3.1 江垭、皂市水库联合调度

江垭水利枢纽工程位于湖南省慈利县境内的澧水一级支流溇水中游, 坝址以上控制流域面积 3 711 km², 多年平均流量 129 m³/s。水库正常高水位 236 m, 总库容 17.45 亿 m³, 兴利库容 11.65 亿 m³, 防洪库容 7.4 亿 m³。皂市水利枢纽工程位于湖南省石门县境内的澧水一级支流溇水下游, 坝址以上控制面积 3 000 km², 多年平均流量 99.3 m³/s。水库正常蓄水位 140 m, 总库容 14.4 亿 m³, 兴利库容 9.66 亿 m³、防洪库容 7.8 亿 m³。工程以防洪为主, 兼有发电、灌溉等综合效益, 松澧地区是水库防洪的重点^[9]。



图 1 澧水流域水库位置

控制性水利枢纽是澧水流域整体防洪系统的组成部分和地区防洪的重要工程。澧水干支流目前已

建大(1)型水利工程有溇水上的江垭水库、溇水上的皂市水库,两水库位于澧水流域的支流上,相互间无直接水力联系,属于并联水库群系统。根据各水库入库洪水特性及相互遭遇情况求联合最佳防洪调度策略组合^[10]。从水库所处的地理位置看(见图1),江垭水库相对于皂市水库距离控制点较远,可根据下游安全泄量和防洪控制点流量进行防洪调度;皂市水库距离防洪控制点较近,应根据区间流量的大小控泄,使水库泄流量与区间洪水流量合成流量不超过防洪控制点的安全泄量,补偿调度能够做到及时、灵活、准确。澧水流域以江垭水库作为主要错峰水库,皂市水库作为主要补偿水库。考虑三江口以下防洪要求,以防洪控制点为三江口(石门站)。在澧水流域规划中,确定石门站河道安全泄量为 $12\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,以此作为水库防洪补偿调度控制条件。

具体联合防洪调度操作如下。

3.1.1 江垭水库防洪补偿调度规则

在三江口洪水涨水期:当江垭来水小于 $1\ 950\ \text{m}^3/\text{s}$ 以前,江垭水库不拦洪,出库等于入库;当入库流量大于 $1\ 950\ \text{m}^3/\text{s}$,且预报8 h(江垭到三江口洪水传播时间约为8 h)后三江口流量小于 $12\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,江垭下泄流量按 $1\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$ 控制下泄;当预报8 h后三江口流量达 $12\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,江垭水库按发电流量 $420\ \text{m}^3/\text{s}$ 下泄。当水库防洪库容蓄满后,江垭水库按入库流量泄水。

在三江口洪水退水期:当三江口流量小于 $12\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,且有下降趋势,江垭按下泄流量 $1\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$ 控制,以腾出防洪库容迎接下一个洪峰。

3.1.2 皂市水库防洪补偿调度规则

在澧水干流三江口以上河段设置一测流站,且洪水从测流断面传至三江口的时间与皂市坝址传至三江口时间同步,该站控制了澧水干流来水,包括江垭下泄流量和区间来水。由于测流断面——皂市坝址——三江口区间无支流汇入,因此该站流量和皂市入库流量之和可视为三江口控制断面流量,皂市水库以此组合流量作为控制条件进行补偿调度。

当预测测流断面流量与皂市入库流量之和(组合洪水)小于三江口安全泄量 $12\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,皂市水库不拦洪,水库按入库流量下泄;当组合洪水超过 $12\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,皂市水库开始拦洪,按控制流量补偿调度,尽量使组合洪水不超过 $12\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,同时皂市最小下泄流量不小于机组发电流量;水库防洪库容蓄满、水库水位达到防洪高水位后,水库按入库流量

下泄。

3.2 联合防洪调度结果分析

3.2.1 对三江口洪峰流量的削减作用

选择了建国以来9年10次洪水过程进行模拟调度,其中1998年、2003年洪水进行了还原计算。计算时段 Δt 为2 h,根据联合水库的调度规则,采用马斯京根分段连续演算法。江垭、皂市水库联合防洪调度前后,三江口洪峰流量对比结果见表1。

表1 江垭皂市水库联合调度后三江口洪峰流量

典型洪水	建库前洪峰/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	建库后洪峰/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
1954年6月	14 500	13 260
1954年7月	13 000	11 700
1957年	14 500	12 100
1964年	14 200	12 100
1980年	17 600	12 000
1983年	16 100	12 100
1991年	15 100	11 700
1993年	14 900	12 780
1998年	20 100	18 200
2003年	19 960	17 300

从调度结果来看,江垭皂市水库联合防洪调度后,除1954年6月洪水、1998年洪水和2003年洪水三江口流量超过三江口河道安全泄量外,其余各年份均可控制在 $12\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 以内,基本上保障下游河道防洪安全。1954年6月、1998年和2003年洪水以澧水干流来水为主,但对于类似1998年、2003年的洪水,还不能满足澧水下游的防洪安全需要。

3.2.2 联合调度对松澧地区洪水位降低作用

根据建立的水动力学模型,以三峡水库调蓄后枝城流量作为上边界,螺山水位流量工作曲线为下边界,通过河网概化,忽略了湖区河网与湖泊之间的复杂连通和蓄泄关系^[11],以湖区、湘江、澧水、沅水、资水输入为各入湖控制站点流量(见图2),对松澧地区主要水位控制站点进行模拟。

分别以三江口实测流量(其中1998、2003年洪水进行还原,消除江垭、皂市水库调度影响)和江垭、皂市水库联合防洪调度后三江口洪水为模型的澧水输入,通过两种情况比较可以得到江垭、皂市水库对松澧地区主要控制站点水位降低值,选取1954.7、1980.8、1983.6、1998.7和2003.7五场典型洪水对松澧地区控制站水位进行分析,如表2所列。

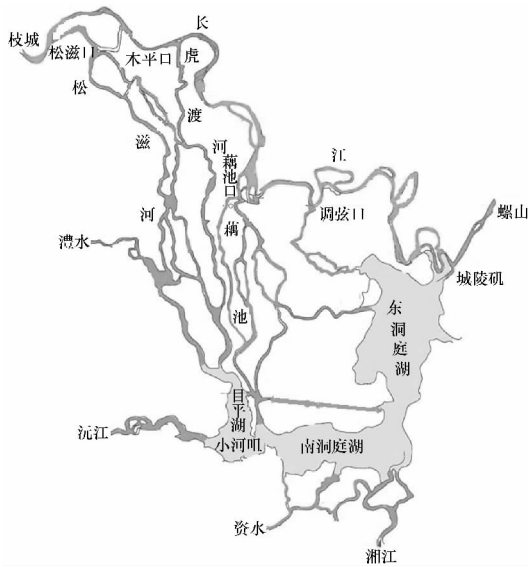


图2 水动力学模型边界示意

表2 松澧地区各控制站点在有无水库联合调度水位变化

测站	典型洪水/年	日均最高水位时间/月-日	最高水位/m		水位降低值/m
			无江垭皂市	有江垭皂市	
津市	1954	07-27	39.92	39.46	-0.46
	1980	08-02	40.55	39.08	-1.47
	1983	06-27	39.62	38.96	-0.66
	1998	07-23	42.27	41.67	-0.60
	2003	07-10	42.03	41.66	-0.37
石龟山	1954	07-28	37.95	37.76	-0.19
	1980	08-03	37.02	36.3	-0.72
	1983	06-28	36.15	35.93	-0.22
	1998	07-24	38.89	38.63	-0.26
	2003	07-10	38.36	38.17	-0.19
安乡	1954	07-28	37.27	37.14	-0.13
	1980	08-03	34.59	33.97	-0.62
	1983	06-28	33.91	33.73	-0.18
	1998	07-24	38.68	38.49	-0.19
	2003	07-11	36.48	36.37	-0.11
南咀	1954	07-28	35.22	35.16	-0.06
	1980	08-04	31.6	31.37	-0.23
	1983	06-29	31.33	31.28	-0.05
	1998	07-25	35.39	35.33	-0.06
	2003	07-11	33.72	33.67	-0.06

注: 考虑三峡水库荆江补偿调度。

通过联合调度削峰作用, 可有效地降低澧水尾间及松澧地区洪峰水位。同时澧水尾间、松澧地区水位

均有不同程度的降低, 其中津市站平均降低 0.71 m, 澧水洪道石龟山站平均降低 0.32 m, 松虎洪道安乡站降低 0.29 m, 南咀站平均降低 0.09 m。

4 结论

(1) 江垭、皂市水库联合防洪调度结果显示, 除了个别典型年, 三江口流量基本可以控制在安全防洪流量内, 并不能保证尾间河道控制在安全流量内。根据防洪规划, 要求该流域干流修建宜冲桥等水库, 可使尾间地区防洪标准有较大提高。对于特大洪水, 必须通过三库联合防洪调度, 才能有效地控制洪水, 进而实现澧水流域的防洪规划中近期目标。

(2) 根据建立水动力学模型, 通过改变澧水流量(有无水库调度)输入, 得到江垭、皂市联合调度对松澧地区主要控制站的水位影响, 提出的江垭、皂市水库联合防洪调度规则有效地降低了松澧地区及尾间地区水位。

参考文献:

- [1] 黄智勇, 何学春. 澧水流域防洪规划与皂市工程的防洪作用[J]. 人民长江, 2008, 39(21): 1-2.
- [2] 胡恺诗. 对洞庭湖松澧地区治洪策略的探讨[J]. 水利水电技术, 1990(7): 5-11.
- [3] 曹茂华. 澧水流域的防洪与发电[J]. 湖南水利水电, 2002(1): 31-33.
- [4] 杨春花, 许继军, 董玲燕. 金沙江下游梯级水库配合三峡水库联合防洪调度效果分析[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(10): 5-9.
- [5] 鲁帆, 蒋云钟, 王浩, 等. 多智能体遗传算法用于马斯京根模型参数估计[J]. 水利学报, 2007, 38(3): 289-294.
- [6] 袁晓辉, 张双全, 张勇传, 等. 非线性马斯京根模型参数率定的新方法[J]. 水利学报, 2001(5): 77-81.
- [7] 孔凡哲, 王晓赞. 基于河段特征的马斯京根模型参数估算方法[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(4): 494-497.
- [8] 李光焯, 王船海. 流域洪水演进模型通用算法研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, 33(6): 624-628.
- [9] 汪庆元, 史春华. 皂市水库枢纽在澧水流域中的防洪作用[J]. 人民长江, 2004, 35(11): 19-20.
- [10] 易淑珍, 邵东国, 刘丙军. 水库群防洪优化调度模型研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2002, 35(2): 25-29.
- [11] 施勇, 栾震宇, 陈炼钢, 等. 长江中下游江湖关系演变趋势数值模拟[J]. 水科学进展, 2010, 21(6): 832-839.

(责任编辑 欧阳越)

推进依法行政 实现依法治水