

3S技术与水力学耦合在水库下游防洪中的应用研究

全强, 王文君, 吴英杰, 陈晓俊, 周泉成
(水利部牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 针对艾不盖河流域水流复杂、资料短缺及水库下游河道两岸保护对象实际情况, 本文将3S技术与水力学耦合对水库下游防洪方案进行研究, 建立了以ArcGIS为平台, 实时加载遥感影像资料, 耦合HEC-RAS的艾不盖塔令宫水库下游河道以及两岸区域模型。模拟了天然洪水以及塔令宫水库经水库错峰运用后, 水库下游河道及两岸区域的洪水演进情况, 确定水库下游河道现状防洪能力。在此基础上确定防洪工程总体布置方案, 通过不同方案工程总投资对比分析确定塔令宫水库下游防洪方案为: 塔令宫水库通过错峰运用, 溢洪道及泄洪洞闸门开启自由泄水, 水库不增加防洪库容, 水库下游单独整修和新建堤防。

关键词: ArcGIS; HEC-RAS; 水库下游河道; 防洪能力; 错峰; 洪水演进

中图分类号: TV8 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2015)02-0174-04

Research on application of 3S technology and hydraulics coupled to flood simulate in downstream of reservoir

QUAN Qiang, WANG Wenjun, WU Yingjie, CHEN Xiaojun, ZHOU Quancheng
(Institute of Water Resources for Pastoral Area, Hohhot 010020, China)

Abstract: Aimed at the characteristics of complex flow, data shortage, and protected object of Aibugai River basin, the paper coupled 3S technology with hydraulics to research flood control scheme in the downstream of reservoir, and built the regional model in downstream channel of Talinggong reservoir of Aibugai river and its two sides coupled with HEC-RAS based on ArcGIS platform, real-time loading of remote sensing images. It simulated the flood routing in the downstream after the operation of natural floods and. And then, it determined the actual flood protection ability of the channel. Based on the results of simulation, the general layout of flood control project was determined. The flood protection scheme was determined through comparing the total investment of different programs which is that after the operation of peak-alternation of the reservoir, to open the spillway and spillway gate for free discharge. The reservoir does not increase the flood storage and the downstream of reservoir is separately repaired and the new dike is built.

Key words: ArcGIS; HEC-RAS; downstream channel of reservoir; flood protection ability; peak-alternation; flood routing

1 研究背景

目前, 国内3S技术在河道防护工程研究中的应用尚处于起步阶段, 仅仅在资源调查、水土流失、防洪决策等方面得到应用, 如利用GIS对岸线资源进行评价^[1-2]、河岸稳定性评价^[3-4], 基于3S的防洪决策方法^[5-6]; 通常, 河道防洪工程设计要考虑的因素很多: 在纵向上, 工程所涉及的范围都很广, 需考

虑工程尺度因素; 在横向上, 要考虑水面、水流条件、陆上田地、村庄以及城镇等因素; 在垂向上, 要考虑土质、地形以及地下水等因素; 另外, 还有水文、气象、地质等因素。这些因素对岸坡的结构稳定均会产生很大的影响, 并且这些因素是很难兼顾统筹考虑的, 特别是对大尺度的河道防护问题。因此应借助于现代计算机技术, 利用3S技术将各种基础数据、数学模型及相关计算方法集成到GIS中, 研究大

程中心(HEC)所开发,可进行一维恒定流和非恒定流的河道水力推演。

恒定流计算原理基于能量方程,计算公式如下:能量方程:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w \quad (1)$$

式中: z_1 、 z_2 分别为上下断面的水位高程, m; α_1 、 α_2 为上下断面的流速系数; v_1 、 v_2 为上下断面的流速, m/s; ρ 为水的密度, $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; g 为重力加速度, 9.8 m/s^2 ; h_w 为上下断面之间的水头损失, m。

非恒定流计算原理基于一维明渠非恒定渐变流控制方程,即圣维南方程组:

连续方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial s} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_L \quad (2)$$

动量方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial z}{\partial s} + gA \frac{Q^2}{K^2} = 0 \quad (3)$$

式中: t 、 s 分别为时间和距离的坐标; A 为过水断面面积, m^2 ; Q 为流量, m^3/s ; q_L 为侧向汇流流量, 当无侧

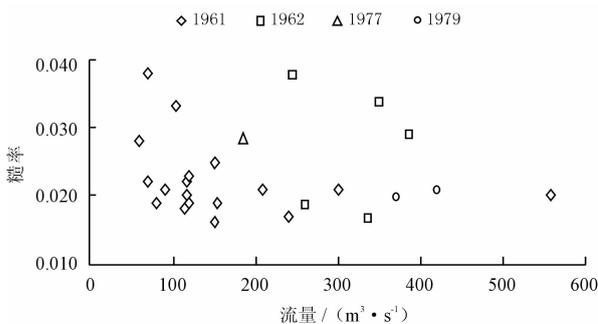


图2 百灵庙水文站河道糙率与流量关系

3 模拟计算

根据拟建塔令宫水库的不同防洪任务,针对保护区内村庄、耕地、水源井及古城遗址等的具体情况,提出了两种防洪方案:方案1(全堤方案)即塔令宫水库通过错峰运用自由泄水,水库不增加防洪任务,水库下游单独整修和新建堤防:灌区保护河段10年一遇设计洪峰流量 $302 \text{ m}^3/\text{s}$;水源井保护河段20年一遇设计洪峰流量 $418 \text{ m}^3/\text{s}$;文物保护河段100年一遇洪峰流量 $675 \text{ m}^3/\text{s}$ 。方案2(库堤结合)即水库下游堤防统一按照10年一遇洪水标准,水库通过增加防洪库容,使下游不同保护对象分别达到20、100 a设计防洪标准;灌区及大口井河段10年一遇设计洪峰流量 $436 \text{ m}^3/\text{s}$;文物保护河段10年一遇

向汇流时 $q_L = 0 \text{ m}^3/\text{s}$; z 为水位, m; g 为重力加速度, 9.8 m/s^2 ; K 为流量模数, $K = CA\sqrt{R}$; C 为谢才系数, $C = \frac{1}{n}R^{1/6}$; n 为河床糙率; R 为水力半径, m。

2.3 模型计算准备

河道横断面采用2012年实测的塔令宫水库下游河道20条大横断,通过下载2012年Google卫星无偏移影像及现场GPS采集资料来确定河道两岸土地利用及保护对象现状。百灵庙水文站测流断面流量与糙率关系^[12]见图2,从图可以看出百灵庙站测流断面糙率随流量的增大呈减小的趋势,但是也会发生流量较大糙率也大的情况,从防洪安全的角度考虑,糙率值应选择实测糙率范围内的较大值,河道综合糙率可选择0.032。根据现场勘查河道实际情况,对应主槽糙率选为0.025,滩槽糙率选为0.04。

根据测量资料、土地利用以及下游保护对象的分布情况,建立塔令宫水库下游河道数字地形图和保护对象概化图,如图3所示。

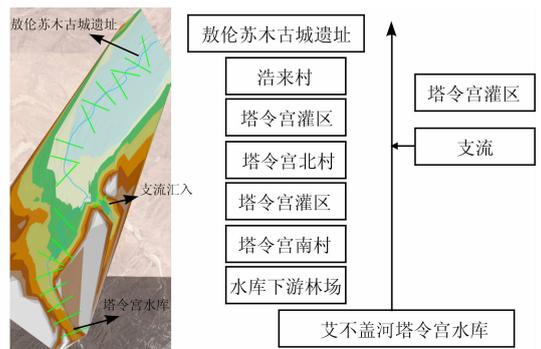


图3 塔令宫水库下游河道数字地形图及保护对象概化图

洪峰流量 $446 \text{ m}^3/\text{s}$ 。各种工况下各主要断面过流能力计算结果见表1、2。

4 模拟结果分析

4.1 现状过流能力分析

(1) 拟建水库坝址下游林场段防洪标准检算。坝址下游林场段防洪标准为10年一遇洪水,通过推算该段设计水位高于左岸出槽水位,故林场段现状河道过流能力低于10年一遇防洪标准。

(2) 塔令宫村附近灌区防洪标准检算。塔令宫村附近灌区防洪标准为10年一遇洪水,塔令宫水库通过错峰运用自由泄水,流量为 $302 \text{ m}^3/\text{s}$,通过检算该段设计水位低于左右岸出槽水位,该段河道过流能力满足10一遇防洪标准。

表 1 方案 1(全堤方案):水库下游河道主要断面过流能力

断面名称	坝址下游林场	塔令宫灌区	白云鄂博矿区水源井	敖伦苏木古城遗址
设计流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	302	302	418	302 675
左岸出槽 水位/m	1306.40	1300.12	1285.15	1257.10
		1296.06		
		1287.19		
		1283.50		
右岸出槽 水位/m	1308.15	1301.65	1285.62	1257.79
		1296.45		
		1292.39		
		1285.33		
设计水 位/m	1307.20	1299.76	1285.11	1257.05 1257.36
		1294.99		
		1287.70		
		1283.45		

表 2 方案 2(库堤结合)水库下游河道主要断面过流能力

断面名称	坝址下游林场	塔令宫灌区	白云鄂博矿区水源井	敖伦苏木古城遗址
设计流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	436	436	446	446
左岸出槽 水位/m	1306.40	1300.12	1285.15	1257.10
		1296.06		
		1287.19		
		1283.50		
右岸出槽 水位/m	1308.15	1301.65	1285.62	1257.79
		1296.45		
		1292.39		
		1285.33		
设计水 位/m	1307.48	1299.94	1285.13	1257.13
		1295.09		
		1287.38		
		1283.56		

(3)白云鄂博铁矿水源井段。通过现场查勘,水源井坐落在灌区内,该段水源井防洪标准均为 20 年,塔令宫水库通过错峰运用自由泄水,流量为 $418 \text{ m}^3/\text{s}$,通过检算设计水位均低于左右岸出槽水位,该段过流能力满足 20 年一遇防洪标准。

(4)敖伦苏木古城段。敖伦苏木古城遗址按照规范要求其防洪标准为 100 年一遇,塔令宫水库通过错峰运用自由泄水,流量为 $675 \text{ m}^3/\text{s}$,通过检算该段现有堤防仅满足 10 年一遇设计洪水标准,且现状堤防不封闭,未能满足古城遗址防洪标准,需要在现状堤防的基础上进行加倍和延长。

4.2 河道防洪方案的选择

通过河道过流能力分析,确定防洪工程总体布

置方案:方案 1 与方案 2 新建堤防建设段落一致,仅敖伦苏木段堤防等级不同。

方案 1 敖伦苏木段堤防等级为 1 级,坝址下游林场新建堤防等级为 5 级,新建堤防总长 1.38 km。

方案 2 敖伦苏木段、坝址下游林场新建堤防等级均为 5 级,新建堤防总长 1.38 km。

对两种方案投资进行对比分析:方案 1 防洪工程总投资为 2 743.91 万元,方案 2 防洪工程总投资为 2 412.96 万元;方案 1 比方案 2 防洪工程投资多 330.95 万元,但是方案 2 水库增加防洪任务后水库工程总投资比方案 1 增加 1684.46 万元;综合对比方案 1(水库下游单独修建堤防)比方案 2(塔令宫水库增加防洪任务)节省投资 1353.51 万元。故本次塔令宫水库下游河道防洪规划选择方案 1(水库下游单独修建堤防,水库不增加防洪任务)作为推荐方案。

5 结 语

针对缺乏实测资料的水库下游河道,本文借助于现代计算机技术,利用 3S 技术将各种基础数据、数学模型及相关计算方法集成到 GIS 中,研究大尺度河道防护工程的合理性与结构稳定状况。该研究成果将为设计人员提供一套集成优化设计系统,使得河道治理设计方案既能满足防洪要求又经济合理。以塔令宫水库下游河道治理为实例,对该技术进行实际应用,建立艾不盖河塔令宫水库下游河道以及两岸区域模型,采用多种工况组合的计算模型,模拟计算并分析了艾不盖河塔令宫水库下游河道的现状防洪能力,并将洪水淹没范围进行三维动态显示,在此基础上提出合理的河道治理方案。该技术还可以为塔令宫水库及其下游河道组成的联合调度系统提供决策支持。

参考文献:

- [1] 王传胜,孙小伍,李建海.基于 GIS 的内河岸线资源评价研究——以武汉市域长江干流为例[J].自然资源学报,2002,17(1):95-101.
- [2] Yoshino K, Nagano T, Ishida T, et al. Classification of vegetation in a tropical peat swamp area by remote sensing in Narathiwat of the southern part of Thailand: building an ecological environment GIS database for monitoring carbon balance[J]. Journal of Irrigation Engineering and Rural Planning,2002(42):15-25.

间旬径流量平均值为 $2\ 936 \times 10^6 \text{ m}^3$, 8月下旬-9月下旬期间旬径流量平均值为 $1\ 218 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。由此可知,7月下旬-8月中旬期间旬径流量平均值分别为6月上旬-7月中旬和8月下旬-9月下旬期间旬径流量平均值的3.22倍和2.41倍。

基于对实测资料统计结果可以确定,对于石佛寺水库,6月上旬-7月中旬为前汛期,7月下旬-8月下旬为主汛期,9月上旬-9月下旬为后汛期;对于清河水库,6月上旬-7月中旬为前汛期,7月下旬-8月中旬为主汛期,8月下旬-9月下旬为后汛期。

3 结 语

本文基于45 a旬径流量资料、利用模糊集分析法对水库汛期进行划分,通过分期合理性检验可知,虽然水库汛期的变化具有一定程度的模糊性,但模糊集分析法在水库汛期划分的研究中是有效的,可以较好的反映出其过程性和动态性,较好地解决了这一“模糊”问题。研究结果表明,水库汛期划分与实际相符,证明将模糊集分析方法应用于水库汛期分期的划分问题中是可行的。该研究在水库防洪和洪水资源有效利用等方面均具有重要意义。

参考文献:

[1] 张立武,彭勇,王国利,等. 辽宁省闹德海水库出库水沙

关系研究[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(4):7-10.

[2] 刘招. 水库的洪水资源化理论和方法研究[D]. 西安:西安理工大学,2008.

[3] 于兴杰,张树田,马领康. 基于模糊统计法与分形分析法的洪水分期研究[J]. 中国农村水利水电,2009(7):65-67+71.

[4] 周如瑞,梁国华,周惠成,等. 大伙房水库汛期分期研究[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(6):145-148.

[5] 陈彦平. 模糊集分析法在子洪水库汛期分期的应用[J]. 山西水土保持科技,2011(2):15-16+39.

[6] 喻婷,郭生练,刘攀,等. 水库汛期分期方法研究及其应用[J]. 中国农村水利水电,2006(8):24-26+56.

[7] 赵春伟,张涛,王祥三. 江口水库汛期的确定[J]. 湖北水力发电,2009(1):9-11.

[8] 金保明,方国华. 模糊集合分析法在南平市汛期分期中的应用[J]. 水力发电,2010,36(3):20-22.

[9] 冯平,徐向广,李海. 基于模糊集合分析的汛期分期方法及其应用[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(3):495-499.

[10] 邢旭光,史文娟,赵崧. 基于模糊集分析法的浑河流域汛期分期研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(5):231-234.

[11] 何艳秋,刘莹,于鲜化. 水库汛期的模糊性分析[J]. 黑龙江水专学报,2008,35(1):40-43.

[12] 张建新,黄强,马永胜,等. 水库汛期分期及其评价方法[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(10):229-234.

(上接第177页)

[3] 曹玉红,曹卫东,刘晨. 基于RS和GIS的长江安庆段岸线资源评价[J]. 资源开发与市场,2007,23(7):577-580.

[4] Zaitchik B F, Van Es H M. Applying a GIS slope-stability model to site-specific landslide Prevention in Honduras [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2003,58(1):45-53.

[5] 李观义. 基于3S的防洪决策方法研究[D]. 南京:河海大学,2007.

[6] 詹小国,文余源. 3S技术在长江水利中的应用及展望[J]. 人民长江,2001,32(12):27-29.

[7] 全强,陈晓俊. 内蒙古达茂旗艾不盖河防洪规划报告[R]. 内蒙古:水利部牧区水利科学研究所,2013.

[8] 王韶玉. 基于DEM的坝堤溃决洪水淹没评价模型与方法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2010.

[9] 张晓红,李茂堂. 遥感数据共享系统在防洪抗旱中的应用[J]. 水利水电技术,2008,39(7):72-74.

[10] 宋杨,范涛涛,陆现彩. 利用多时相遥感影像与DEM数据的滑坡灾害调查——以新滩地区为例[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版),2006,29(3):276-280.

[11] 方圆皓,张行南,夏达忠. HEC-RAS系列模型在洪水演进模拟中的应用研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2011,33(2):12-15.

[12] 钟重,王顺. 内蒙古自治区包头市达茂旗塔令宫水库工程项目建议书[R]. 内蒙古:内蒙古自治区水利水电勘测设计院,2013.