

青山水库水情测报及预报调度系统研究及应用

牛广利^{1,2,3}, 杨胜梅^{1,2,3}, 韩 笑^{1,2,3}, 卢莉莎^{1,2,3}

(1. 长江科学院工程安全与灾害防治研究所, 湖北 武汉 430000;
2. 水利部水工程安全与病害防治工程技术研究中心, 湖北 武汉 430000;
3. 国家大坝安全工程技术研究中心, 湖北 武汉 430000)

摘要:介绍青山水库水情测报系统的概况, 研究并建立了青山水库洪水预报模型和防洪调度模型, 在此基础上集成开发了青山水库水情测报及预报调度系统。该系统在青山水库施工期及运行期的防汛度汛工作中发挥了重大作用, 有效保障水库工程安全, 具有良好的实际应用价值。

关键词:青山水库; 水情测报; 洪水预报; 水库调度; 系统集成

中图分类号: TV697 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2017)S1-0043-03

1 工程概况

辽宁省青山水库为大(2)型水库, II 等工程, 由水库枢纽工程及输水工程组成, 总库容 6.61 亿 m³, 坝址位于六股河中游的干流上, 主要任务以城市供水、防洪为主, 兼顾改善流域下游农业供水条件以及生态环境等综合利用^[1]。

为保证青山水库在施工期及运行期的工程安全, 提高水情监测能力, 建设了青山水库水情测报系统, 开展了青山水库洪水预报模型和防洪调度模型研究工作, 并在此基础上开发了青山水库水情测报及预报调度系统。青山水库水情测报及预报调度系统总体框架见图 1。

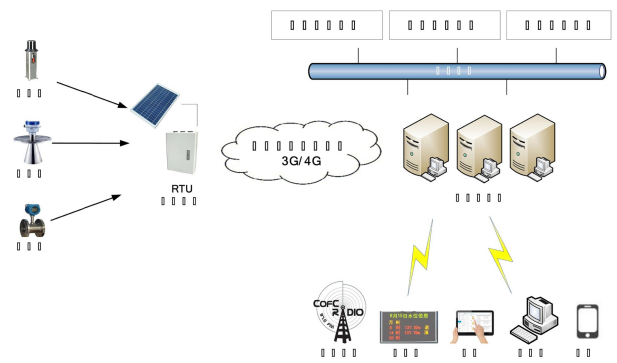


图 1 青山水库水情测报及预报调度系统总体框架

现场使用雨量计、水位计、流量计等水情采集设备进行水情监测, 通过 RTU(遥测终端机)采集监测数据, 并上传至服务器, 利用水情测报系统进行数据

的采集、传输、整编及报送; 在采集的水文数据基础上, 由洪水预报系统进行洪水预报, 防洪调度系统进行科学合理的水库防洪调度, 为保障水库安全度汛提供了重要的技术支持和决策平台。

2 水情自动测报系统

青山水库水情自动测报系统包括 17 个雨量测站、1 个水位测站和 1 个水文测站, 同时在水库枢纽管理站设立 1 个中心站, 各水文测站负责完成水文数据(水位、雨量、流量、蒸发等)的采集, 并通过 GPRS 无线通信组成数据传输网向中心站传送, 中心站对接收到的数据进行处理后存入水雨情数据库。

水文测站为无人值守型, 采用太阳能电池板充电电池的供电方式, 水情自动测报系统的工作体制为自报应答混合式, 并且具有远程数据招测、远程读取参数、远程修改参数以及远程校时功能。水情自动测报系统功能与技术指标满足 SL61—2003《水文自动测报系统规范》、DL/T5051—1996《水情自动测报系统设计规定》的技术及精度要求。

3 洪水预报研究

3.1 流域特性

青山水库所位于的六股河流域, 地处中纬度, 属于温带季风气候区, 冬季以西北季风为主, 严寒干燥; 夏季以东南季风为主, 炎热多雨, 四季冷暖干湿

基金项目: 国家自然科学基金(51509007); 长江科学院中央级公益性科研院所基本科研业务项目(CKSF2016033/GC)
作者简介: 牛广利(1991—), 男, 助理工程师, 硕士, 主要从事水利信息化应用研究工作。E-mail: 85838737@qq.com

分明;降水量年内分配极不均匀,多集中于夏季,6—9月的降水量约占全年降水量的70%,且又多集中于几场较大暴雨;洪水主要由上游流域暴雨形成,暴雨集中,陡涨陡落,汇流时间短,挟沙能力强,具有典型的山溪河流特性^[2-3]。

3.2 双超模型

实际流域的洪水过程受降水、地形地貌和土壤形态等多因素的影响,是一个产流、汇流相互交织、错综复杂的物理过程,通常采取概化的方式对水文过程进行模拟。国内将湿润地区的产流方式归为蓄满产流,干旱地区归为超渗产流,而对半湿润半干旱的地区采用的是超渗超持产流,认为流域产流是降雨强度和土壤下渗能力共同作用结果,而不是由雨强或下渗能力单方面因素来决定^[4]。双超模型将流域径流成分划分为超渗和超持壤中流两部分,包括植物截留、蒸散发、入渗、超渗产流、超持产流5个功能模块^[5],见图2。

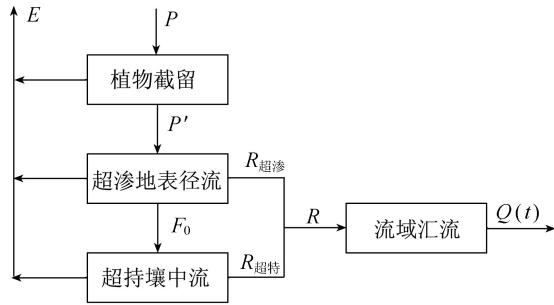


图2 双超模型功能模块结构图

其中,超渗地表径流成分包含3个部分:①流域不透水面积上的降雨直接转化而成的地表径流;②流域透水面积上的雨强超过地面下渗能力而形成的超渗地表径流;③饱和坡面产生的超渗径流部分。流域土壤蓄水量超过田间持水量形成的自由水在土壤分层发生横向流动,遇到特定地形条件逸出地表面,形成超持壤中流^[6]。

3.3 洪水预报

采用泰森多边形方法计算六股河上游流域时段面平均降雨量,选取1995—2011年雨量分布均匀、雨洪配套较好的7场次洪水用于产汇流模型建模。在综合考虑流域降雨特性的基础上,选取 $\Delta t=1\text{h}$ 作为降雨、蒸发的计算时段。模型计算分别采用双超产流模型计算径流深,以及利用瞬时单位汇流模型计算流域出口径流系列。

通过建立双超产流模型以及瞬时单位汇流模型对选定的场次洪水进行模拟计算,寻找一组最优模型参数值,并以洪峰和峰现时间两个预报要素为例,计算场次洪水模拟精度。典型洪水过程模拟结果见图3。

从场次洪水模拟过程线结果来看,本文建立起

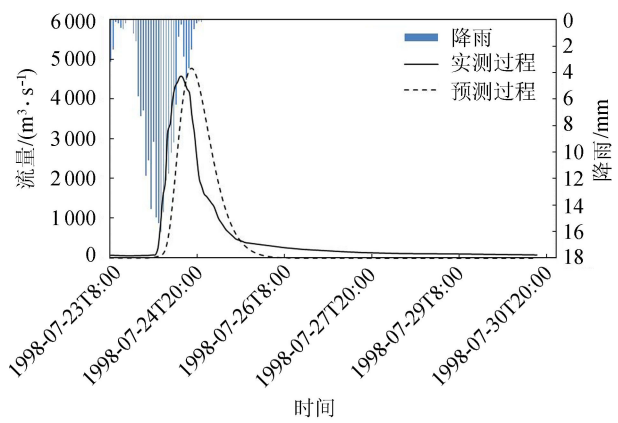


图3 洪号19980724降雨径流模拟过程

的双超模型在洪水过程线型方面拟合效果较好,出口断面的预测流量和实测过程线吻合度较高,说明双超模型在六股河地区具有较好的适用性。

4 防洪调度研究

水库防洪调度是合理运用水库挡水、泄水建筑物,在保证水库安全的前提下,拦蓄洪水,并按规定的防洪运行方式控制水库下泄流量,以达到防御洪水目的的水库调度^[7]。

4.1 防洪调度原理

入库洪水过程属于明渠渐变非恒定流,其变化规律可用圣维南方程组表达,而由于圣维南方程组属于一阶拟线性变系数双曲型偏微分方程组,难以求解,实际中常采用瞬态法,将水库调洪过程中的连续动库容平衡问题转化为一系列离散时刻的静库容平衡问题,方法简单且能达到满意的精度。采用瞬态法时,可用水库水量平衡方程代替连续方程^[7],即

$$\frac{Q_{rk}(t) + Q_{rk}(t+1)}{2} \Delta t - \frac{Q_{ck}(t) + Q_{ck}(t+1)}{2} \Delta t = V(t+1) - V(t) = \Delta V(t) \quad (1)$$

式中: $t=1 \sim T$, T 为总时段数; Δt 为计算时段长; $Q_{rk}(t)$ 、 $Q_{rk}(t+1)$ 分别为水库 t 时段初、末入库流量; $Q_{ck}(t)$ 、 $Q_{ck}(t+1)$ 分别为水库 t 时段初、末出库流量; $V(t)$ 、 $V(t+1)$ 、 $\Delta V(t)$ 分别为水库 t 时段初、末库容及时段内库容变化量。

可用水库泄洪建筑的泄流特性代替动力方程,即

$$Q_{ck}(t) = f(V(t)) \quad (2)$$

式中, $f(V(t))$ 为水库出库流量的综合特性函数。

当已知水库入库洪水过程和泄流特性,联合求解式(1)和式(2)组成的方程组,即可求得水库的出流过程及水位过程。由于式(2)是非线性的,因此,常采用试算法求解该方程组,详细计算流程见图4。

4.2 防洪调度方式

青山水库防洪调度运用方式^[1]见表1。

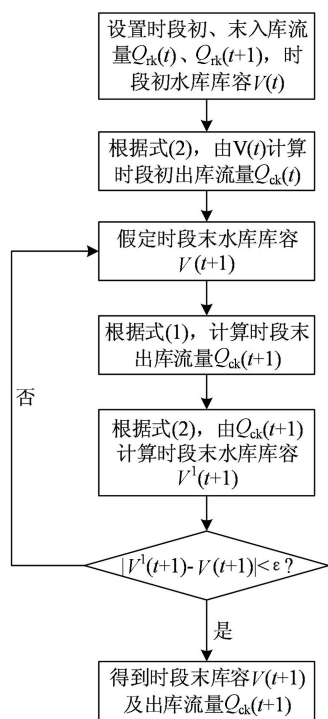


图 4 调洪计算流程

表 1 青山水库防洪调度运用方式

	防洪调度运用方式
整个阶段	当入库流量不大于 1 400 m ³ /s 时,按入库流量放流
	当入库流量介于 1 400 ~ 3 600 m ³ /s 时,控制泄量为 1 100 m ³ /s
	当入库流量介于 3 600 ~ 5 700 m ³ /s 时,控制泄量为 3 350 m ³ /s
	当入库流量大于 5 700 m ³ /s 时,水库按 5 孔闸门泄流能力放流
退水阶段	当入库洪峰不大于 3 550 m ³ /s 时,按洪峰后第一时段的入库流量放流。

4.3 防洪调度

依据青山水库调度运行方式,进行青山水库防洪调度计算,采用试算法即可求得水库防洪调度运用过程。

本文选取频率为 0.02% 的洪水(校核洪水),以水库正常蓄水位 85.70 m 作为起调水位,以 1 h 为时段步长,进行防洪调度仿真计算,得到水库出入库流量过程,见图 5。由防洪调度结果可知,在该调度过程中,水库最大泄流量为 8 292 m³/s,水库最高水位

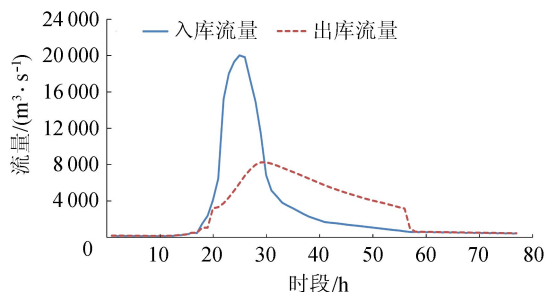


图 5 青山水库 0.02% 频率洪水防洪调度结果

为 95.40 m(校核洪水位),满足水库工程安全和下游防洪安全。

5 系统集成

在水情测报建设以及洪水预报和防洪调度模型研究的基础上,运用计算机网络技术、信息技术和数据库技术,进行了青山水库水情测报和预报调度系统集成,建立用户简便实用的可视化操作界面。

5.1 系统架构

青山水库水情测报和预报调度系统选用基于 B/S 模式(Browser/Server,浏览器/服务器模式)的 3 层架构,将系统划分为界面表示层、业务逻辑层和数据访问层 3 个层面^[8],其中,界面表示层主要提供用户界面,实现用户与系统之间的交互;业务逻辑层主要实现系统业务逻辑的处理,如数据处理、洪水预报计算、防洪调度计算等;数据访问层主要实现对数据库操作的封装,为业务逻辑层提供数据服务。

5.2 系统功能结构

青山水库水情测报和预报调度系统各个模块或子系统包含的功能概述如下:

a. 基础信息管理模块。主要实现对水库特征参数、水位库容曲线、泄流能力曲线、历史径流过程等信息的管理。

b. 水雨情监测子系统。主要实现水雨情信息实时监测、雨量、统计、水位、统计、水雨情信息发布等功能。

c. 洪水预报子系统。主要集成六股河流域洪水预报模型,实现对青山水库入库洪水的预测预报。

d. 防洪调度子系统。主要集成青山水库防洪调度模型,实现对青山水库进行科学防汛调度。

e. 系统管理模块。主要实现登录验证、用户管理、用户权限分配、操作日志管理、系统风格设置等功能。

5.3 应用系统展示

在综合自动化软件系统的系统架构设计和功能结构设计基础上,遵循“实用性、可交互性、一致性”的原则,进行了应用系统界面开发。防洪调度界面展示见图 6。

6 结 语

通过开展青山水库水情自动测报系统建设,研究洪水预报模型和防洪调度模型,构建了青山水库水情测报及预报调度系统。该系统在青山水库施工期及运行期的防汛度汛工作中发挥了重大作用,有效保障水库工程安全,具有良好的实际应用价值。

(下转第 47 页)

类型不一的试验厅,大多数科研人员包括管理人员自身对其基础信息都无法准确掌握,例如试验厅的规模、现有场地使用情况、水库容积与布置、水泵配置情况、阀门管道布置情况、回水槽布置情况、电力配置情况、辅助用房使用情况等。

b. 试验场地管理难度大。由于目前各类科研项目众多,物理模型试验场地需求旺盛,加之物理模型向大尺度发展,因而造成试验场地信息变动频繁、基础设施使用极度紧张、管理协调难度大。

c. 试验厅基础设施维护成本增加。试验厅的频繁使用对试验厅本身,尤其是对其基础设施带来极大的负荷,水泵、电机、控制柜、阀门、管道、管道流量计、电路等基础设施的故障率急剧增加。由于目前基础设施的管理还主要依靠人工巡视,导致其运行状态缺乏有效监控,有些可避免的故障往往无法及时发现,从而造成了不必要的损失,增加了维护的成本,影响了科研效率。

d. 试验厅水电计量难度高。由于一座试验厅内往往有多个项目组的模型同时开展研究工作,而目前水电计量主要以整个试验厅为单位,水电费分摊还以安装分电表、人工计时计算等方法为主,导致了水电计量过程中经常出现纠纷,增加了管理难度。

e. 试验厅安全管理不足。试验厅是一个开放的空间,人员进出频繁、身份复杂,模型制作过程中动火、动气、用电、高空作业等安全隐患较多。目前安全管理还以人工巡视为主,无法实时掌握试验厅内的情况,且各类安全审批工作还不完善,安全保障形势严峻。

4 试验厅管理体系的发展规划

随着信息技术的不断发展,建立一套智能化、信息化、资源集约化的试验厅管理体系是必然的趋势,可以从3个方面着手:①建立三维可视化试验厅综合管理系统。基于目前试验厅数量众多、基础信息庞杂、管理维护成本高、安全隐患风险高等特点,开发一套集试验厅基本信息查询、场地及仪器设备管理、基础设施运行监控、水电计量、安全隐患监控于一体的三维可视化试验厅综合管理系统必然对试验厅管理大有帮助;②改革传统管理模式、建立健全规章制度,形成国际一流的行业标准;③引进人才。在建立完善的管理体系和规章制度的同时,还要引进高素质创新型、应用型人才,加大管理力度,改革创新,为水利行业的发展提供源源不绝的动力。

(收稿日期:2017-12-06 编辑:王 芳)

(上接第45页)



图6 防洪调度界面

参考文献:

[1] 辽宁省水利水电勘测设计研究院. 辽宁省葫芦岛市青山水库工程初步设计报告[R]. 沈阳: 辽宁省水利水电勘测设计研究院, 2010.

[2] 张锦玉, 王凤和. 六股河流域水文特性分析[J]. 吉林水利, 2008, 11: 44-47.

[3] 辽宁省水利水电勘测设计研究院. 青山水库水文分析专题报告[R]. 沈阳: 辽宁省水利水电勘测设计研究院, 2009.

[4] 黄鹏年, 李致家, 姚成, 等. 半干旱半湿润流域水文模型应用与比较[J]. 水力发电学报, 2013, 32 (4): 4-9.

[5] 李力, 延耀兴, 沈冰. 双超模型在半湿润地区的应用[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2008, 29(1): 62-67.

[6] 晋华. 双超式产流模型的理论及应用研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2008.

[7] 陈森林. 水电站水库运行与调度[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

[8] 马军建. 基于 B/S 模式的智能水电厂防汛决策支持系统研究[J]. 水电能源科学, 2013(5): 170-172.

(收稿日期:2017-11-23 编辑:彭桃英)