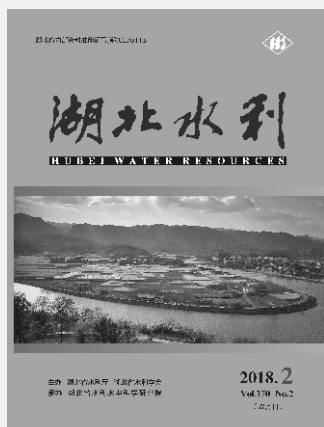




内部刊物 免费交流

双月刊

(1984年复刊)

2018年第2期·总第170期

编委会

- 顾问 郑守仁 茆智
主任 王万林
副主任 魏山忠 谈广鸣 陈楚珍
徐少军 李建林 袁兵
虞志坚 赵金河
委员 (以姓氏笔画为序)
丁心红 邓华 卢金友
史光前 帅移海 刘家君
江炎生 李庆国 李红兵
李春生 李瑞清 关洪林
余中平 余希臣 吴遵雄
别大鹏 张从银 张泽武
张笑天 杨金春 肖贵清
邵远亮 陈冬桥 陈建华
陈肃利 周宜红 胡学家
洪卫 唐俊 徐自发
袁达燧 袁俊光 黄介生
彭锋 潘颖 程国银
熊春茂 鄢铁平 裴海燕
戴柱新
主编 李瑞清
副主编 杨金春 帅移海 关洪林
柳乐文
责任编辑 姚玲
排版 武汉科源印刷设计有限公司

目次

防汛抗灾 >>>

富水干流下游洪水风险图编制研究

.....何娟 阮鹏高 董苇,等(1)

宜昌市小流域暴雨洪水影响因素及规律初探

.....徐克兵 朱正军 陈璐(8)

水文水资源 >>>

襄阳水文勘测工作问题探讨.....李吉涛 肖贵清 余平佬(12)

水库群拦蓄不均曲线法在河溶站水文预报中的应用

.....陈红兵 朱芳(15)

水生态环境 >>>

汉江中下游底栖生物时空分布特征与保护对策

.....周驰 苗滕(17)

基于Landsat-8 OLI数据的梁子湖蓝藻水华监测.....江来(22)

退出湖泊承包经营 促进生态环境改善.....胡建军 李炎(27)

设计与施工 >>>

喷灌对茶叶产量和质量的影响

.....邹战强 陈子平 吕曼,等(29)

某尾矿坝的三维有限元分析.....王娟 梅川 龚春蕾(31)

南水北调兴隆水利枢纽船闸运行情况及建议

.....李强 罗云龙(35)

学会论坛 >>>

鱼类下行洄游过程中应对加速流行为反应研究

.....陈健琦 李敏纳 石小涛(37)

漳河水库岸带治理及水体保护实践

.....陈志明 陈祖梅 陈湘海,等(42)

简讯 >>>

全省护堤岸林林种植超额完成.....(7)

水利课堂 >>>

沉排.....(11)

土石坝险情判断.....(11)

小流域综合治理.....(11)

面流式消能.....(34)

河流的梯级开发.....(36)

地址:武汉市珞狮南路286号

邮编:430070

电话:027-87608947

E-mail: hbsl666666@163.com

网址: www.hbwri.cn

湖北省内部资料准印证号(鄂)0270115

HUBEI WATER RESOURCES

2018.2

Apr.2018

(Serial No.170)

CONTENTS

Study on the Establishment of Flood Risk Map to Downstream of the Fu River	
.....	He Juan,RuanPenggao,Dong Wei,et al(1)
A Preliminary Study on Influencing Factors and Laws of Small Watershed Rainstorm Flood in Yichang City.....	Xu Keping,Zhu Zhengjun,Chen Lu(8)
Exploration of Hydrological Investigation in Xiangyang City.....	Li Jitao,Xiao Guiqing,Yu Pinglao(12)
The Application of the Method of Unevenness Curve of Reservoir Group Used in the Hydrological Prediction in River Water Station.....	Chen Hongbing,Zhu Fang (15)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics and Protection Countermeasures	
.....	Zhou Chi,Miao Teng(17)
Monitoring of Cyanobacteria in Liangzi Lake Based on Landsat-8 OLI Data.....	Jiang Lai(22)
Withdrawal from the Lake Contracted Operation to Promote Ecological Improvement	
.....	Hu Jianjun,Li Yan(27)
Effect of Spray Irrigation on Tea Yield and Quality	
.....	Zou Zhanqiang,ChenZiping, Lv Man,et al(29)
Three-dimensional Finite Element Analysis of a Tailings Dam	
.....	Wang Juan,Mei Chuan,Gong Chunlei (31)
Operating Conditions and Advice of Water Conservancy Hub Xinglong Ship Lock in the South-to-north Water Diversion Project.....	Li Qiang,Luo Yunlong (35)
Study on Response to the Accelerated Epidemic during the Downstream Migration of Fish	
.....	Chen Jianqi, Li Minne,Shi Xiaotao(37)
Practice on Coastal Zone Management and Water Protection of Zhanghe Reservoir	
.....	Chen Zhiming,Chen Zumei,ChenXianghai,et al (42)

Sponsored by

Hubei Provincial Bureau of Water Resources
Hubei Provincial Society of Water Resources

Edited by

Editorial Department of Hubei Water Resources
286 Luo shi Road, Wuhan 430070, China

Director of Editorial Board

Chen Bin

Chief Editor

Xu Shaoyun

(袁君宝 译)

防汛抗灾

富水干流下游洪水风险图编制研究

何娟 阮鹏高 董 苇 范杨臻

(湖北省水利水电科学研究院 武汉 430070)

摘 要 中小流域洪水分析资料匮乏且流域控制性水利工程较多,其设计洪水过程推求及洪水分析方案的概化相对复杂。以富水干流下游洪水风险分析为例,通过综合分析富水下游洪灾成因及典型洪水、流域控制性水利工程调度方案、水利工程现状防洪能力等因素,确定富水下游洪水分析方案。采用水文分析计算方法推求富水下游设计洪水过程;采用一、二维耦合水动力学模型进行洪水分析计算;结合富水下游土地利用状况,进行了灾情分析和损失评估;根据淹没水深与到达时间计算结果,将风险信息添加到地图上,最终实现富水下游洪水风险图编制。

关键词 洪水风险图;耦合水动力学模型;富水干流下游

洪水灾害是最严重的自然灾害之一,危害人民生命财产安全并影响国民经济发展,仅利用工程措施并不能完全抵御洪水威胁,非工程措施也是防洪减灾的有效方法之一。随着 98 洪水后国家对防洪工程加大投入,大江大河防洪体系日趋完善防洪能力大大提高,但中小流域治理总体滞后。近年来中小流域集中暴雨时有发生,形成较大洪水,造成严重的洪涝灾害。作为重要的非工程措施之一,在中小流域开展洪水风险分析,使受灾区域能更为科学的部署防汛抢险,组织群众应急避洪转移,提高区域避洪和应对洪水灾害的综合能力,引导经济社会发展布局远离洪水风险是十分必要和迫切的。

1 流域概况

1.1 自然地理

富水为长江中游下段南岸一级支流,发源于湖北省的崇阳、通山和江西省的修水三县交界处的幕阜山北麓,自西南向东流经湖北的通山、阳新至富池口汇入长江,干流长度 196 km,流域面积 5 310 km²。富水水库大坝至富池口为富水下游,有支流龙港河及三溪河入汇,两岸为湖网地区,地势平坦,山湖交错,河长 79.6 km,落差 13 m,河床比降 0.163‰。富

水下游建有富水、王英等流域控制性水库及富池口大坝、富池口电排站、网湖、朱婆湖分蓄洪区等流域控制性枢纽工程(见图 1),富水水患得到初步治理。但由于富水下游河道泄量有限,堤防整体防洪标准较低,洪涝灾害依然严重,洪灾导致沿河村庄屡建屡毁,沿河农田屡种屡淹,严重影响了两岸人民生命财产安全,严重制约了阳新县社会经济的快速发展。

1.2 社会经济

富水下游淹没区主要为富池长江干堤与自然高地围城的封闭区域,涉及兴国、富池、陶港、白沙、浮屠、三溪、龙港、排市、木港、枫林共计 10 个乡镇,国土面积 1 985.6 km²,地区生产总值 144.10 亿元,常住人口 61.32 万,耕地面积 3.92 万 hm²,农业总产值 54.14 亿元。

1.3 防洪体系

根据湖北省水利规划勘测设计院编制完成的《富水下游灭螺水利综合治理工程初步设计报告》(简称《七三规划》)、《阳新县富水下游水利综合治理规划》(简称《九八规划》),富水下游治理思路主要可归纳为“上蓄、中防、下排”。上蓄:在富水干支流上游兴建富水水库、王英水库等大中小水库,控制上游来洪面积;中围:以富水河床现状为主,两岸预留

过洪堤距,筑堤束水,实施河湖分家;下排:富水入江口筑堤建闸,控制江水倒灌。富水以自排为主,兴建电排站辅以电力提排,并利用内湖与外江汛期相错时机。

富水水库控制流域面积 2 450 km²,总库容 16.65 亿 m³,大(一)型水库;王英水库控制流域面积 287.7 km²,总库容 6.228 亿 m³,大(二)型水库;富水下游干流堤防总长度约 128.2 km,共计 32 个堤段,其中左岸堤线长度 75.2 km,右岸 53.1 km;网湖分蓄洪区有效调蓄湖容 2.49 亿 m³,分洪口门设计分洪流量为 1 000 m³/s,设计分洪水位 23.31 m

(吴淞,下同);朱婆湖分蓄洪区有效调蓄湖容 1.1 亿 m³,分洪口门设计分洪流量 634.3 m³/s,设计分洪水位 23.15 m;富池大闸设计排水量 7~9 月为 2 920 m³/s,5~6 月为 3 330 m³/s;富池电排站设计装机容量 10×1 600 kW,排水流量 200 m³/s。

网湖、朱婆湖分蓄洪区调度运用原则为当网湖分洪灭螺控制闸前水位达到 23.31 m 且仍有上涨趋势时则开闸分洪;经网湖分洪后,如水位无明显降落或降落后又升,且网湖闸前水位达到 23.31 m 并继续上涨时,朱婆湖口门扒口分洪。

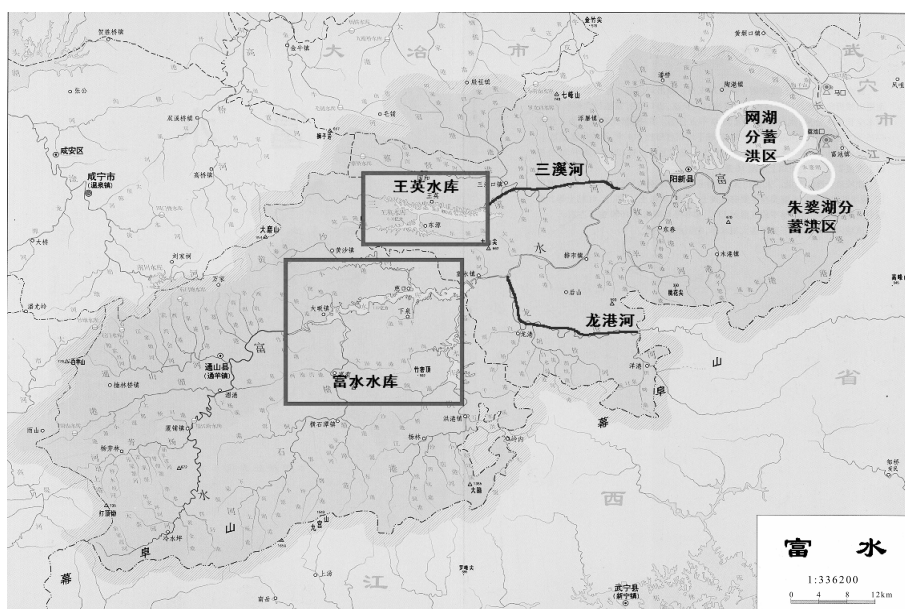


图1 富水流域河流水系图

2 资料与方法

2.1 洪水量级

富水下游河道泄量有限,在富水下游综合治理前堤防整体防洪标准较低,洪涝灾害严重。2001 年以来富水下游依据《七三规划》《九八规划》治理思路进行综合治理,工程实施后阳新城区段防洪标准为 30 年一遇,其他堤防防洪标准为 20 年一遇。富水下游堤防总长度约 128 km,目前已经治理了 48 km。左岸治理范围为城关以下,右岸治理范围为五里湖堤 6.5 km。其他堤防尚未治理,现状防洪标准不足 5 年一遇。根据富水干流防洪治理标准及现状,对于富水下游河段 20 年一遇为标准内洪水,30 年一遇为超标准洪水。综合考虑富水下游洪水防御标准及洪

水影响大小,在考虑堤防漫溢的情况下,富水下游洪水分析量级为 30 年一遇设计洪水。

2.2 溃决方案

由于富水河堤防洪标准较低,整体抵御洪水的能力较弱,且大洪水期下游遭遇长江高水位,富池大闸关闭仅靠泵站提排,水流不畅水位壅高,洪水灾害主要表现为沿河堤防的漫溢以及为了缓解沿河漫溢影响而进行的主动分洪。因此,溃决方案确定为堤防漫溢及分蓄洪区按调度规则主动分洪,主动分洪口门设置在网湖分蓄洪区和朱婆湖分蓄洪区的分洪口门处。

2.3 流域性防洪工程调度规则

根据调度规程富水出口有闸站控制,富池口大闸调度规则闸外江水位到达 21.50~22.00 m 时关

闸挡水,而转用富池电排站提排,但内河水位高于外江水位时可适当开闸抢排。由于设计洪水过程无对应水位过程,同时出口断面有闸站控制无法提供稳定水位流量关系曲线,因此本次计算简化考虑整个洪水过程下游控制断面富池大坝关闭,富池电排站按照设计提排流量排水,但实际运用中也不排除富池口大坝有短历时抢排机率。

在富水下游设有网湖、朱婆湖分蓄洪区。其中,网湖分洪灭螺控制闸分洪流量为 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$,朱婆湖分洪灭螺控制口门工程分洪流量 $634.3\text{ m}^3/\text{s}$ 。本次富水下游干流一维水动力模型在考虑堤防漫溢的同时,考虑分蓄洪区运用。分蓄洪区的分洪时机和运用次序依据网湖、朱婆湖调度规程执行。

2.4 洪水分析方案

本次洪水风险图编制计算富水下游干流发生30年一遇设计洪水漫堤且分蓄洪区按调度规则主动分洪的洪水分析方案。

3 结果与分析

3.1 洪水分析模型构建

为反映洪水行进过程中的实时淹没范围、流速分布、水深分布等信息,富水下游干流洪水分析计算采用河道一维水动力模型和平面二维水动力模型耦合求解的水力学方法。洪水分析模型分析软采用《重点地区洪水风险图编制项目软件名录》中Mike系列软件。

(1) 富水下游干流设计洪水过程推求

由于富水下游干流缺乏长系列实测流量资料,本次采用水文分析计算方法推求富水下游设计洪水过程。

产流计算首先确定实测或者预测时段降雨量;对流域内共39年的年同时段雨量进行排频分析,选择与实测或预测降雨量相近的典型年作为典型雨型;采用同倍比缩放的方法,根据典型年降雨过程和实测或预测降雨量得到流域场次降雨过程。采用降雨径流经验相关图法^[1-3],得到各时段净雨过程。本次分析采用富水上游厦铺站的降雨径流经验相关图($P \sim Pa \sim Ra$ 三变量相关图),利用降雨量(P)和前期影响雨量(Pa)在相关图中查得径流深值(R)。根据地区经验,流域最大蓄水量(Wm)取120 mm,前期影响雨量(Pa)按 Wm 折算法,折算系数取0.8。

汇流计算采用检验过的时段单位线法,根据产流计算得到的净雨过程,计算地面径流过程,再采用《湖北省暴雨径流查算图表》方法计算地下径流过程,两者叠加即为设计洪水过程。依据富水下游区间的汇流地势、地形特点,将区间划分为富水至排市、排市至港口(含龙港河支流)、三溪河支流、港口至阳新、阳新至绒湖口、绒湖口至富池口等共计5个汇流片,各控制断面位置见图2所示。其中三溪口至港口片,需考虑上游已建王英、蔡贤、罗北口等大中型水库拦洪作用。各汇流片先扣除因围垦、围养等不能直接汇入富水河的面积,在干流汇流计算时,再加入围垦提排流量。



图2 富水下游洪水计算控制断面布置情况

(2) 富水下游干流一维水动力模型构建^[4-5]

富水下游干流一维水动力模型研究范围为富水港口控制断面至富池口控制断面约44.7 km河段,

共设置断面91个,断面间距约为0.5 km。由于富水下游河段无实测流量资料,采用阳新断面、绒湖断面的计算流量过程与设计流量过程进行比较对河段糙

率进行率定。收集阳新水文站 1965 ~ 2012 年的日记录数据,选取 33 场次洪水,对水位峰值进行排序后,选择接近 30 年一遇频率的水位值与计算水位过程峰值进行比较,对模型进行验证。由于实际的流量过程与设计洪水过程有较大差别,且模拟出口边界简化考虑整个洪水过程下游控制断面富池大闸蟹关闭,富池电排站按照设计提排流量排水,阳新站计算洪水位略高于实测水位是合理的。

一维模型上边界采用水文分析计算方法推求富水下游 30 年一遇 15 d 设计洪水过程,下边界整个洪水过程下游控制断面富池大闸蟹关闭,富池电排站按照设计提排流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 排水的方式概化。区间汇流先扣除因围垦、围养等不能直接汇入富水的面积,在汇流计算时,再加入围垦提排流量。分片区间入汇流量在港口、阳新城关和绒湖口 3 个区间控制断面集中加入。初始水位是以初始时刻的流量和水位作为入流边界计算得到河道各断面初始流量、水位。对于以富水为洪水来源的洪水灾害,分洪方式为堤防漫溢及分蓄洪区的主动分洪,主动分洪口门设置在网湖分蓄洪区和朱婆湖分蓄洪区的分洪口门处。当河道内水位超过相应断面堤顶高程则发生漫溢。分洪时机采用分蓄洪区运用调度规程进行。

(3) 平面二维水动力模型构建

淹没区采用三角形不规则网格进行剖分,考虑淹没范围基本位于平原湖区,三角形网格边长控制在 300 m 以内。模型生成网格 30 757 个,平均网格大小 376.33 m^2 ,计算面积 $1\,157.48 \text{ km}^2$ 。模型共生成网格 34 768 个,计算总面积 $1\,300.51 \text{ km}^2$ 。对于特殊地物的概化,主要考虑区域内房屋、道路及堤防的阻水作用,河道的导水作用及桥梁、涵洞的过水作用。区域内阻水建筑物用 Mike21 建筑物模块中 DIKE 概化,河道导水作用主要用河道网格减糙概

化,桥涵按照实际尺寸按照经验公式进行计算过流量。

二维模型糙率赋值主要根据收集到的保护区内土地利用分布图,将保护区内 32 类土地利用类型与《洪水风险图编制技术细则》给定的糙率取值范围进行比较并分别赋值,并导入计算网格进行插值得到保护区内糙率(M)面文件。

对于漫堤洪水,其外边界条件通过一维 - 二维模型耦合界面动态计算得到;对于远离洪水淹没区域的边界,外边界条件给定为固壁边界。模型内边界主要考虑了区域内杭瑞高速、大广高速、G106、316 国道、S316 省道、S237 省道、S317 省道、S315 省道、武九铁路等道路及富水河堤的阻水作用。模型陆域的初始条件设定为初始水深为 0,水域按照湖泊 20 年一遇洪水位或最高蓄洪水位赋值。

(4) 一、二维耦合模型构建^[6]

富水下游干流一维水动力模型与富水下游干流的平面二维水动力模型,在堤防处进行侧向连接模拟堤防漫溢情况,侧向连接允许 MIKE21 网格单元从侧面连接到 MIKE11 的部分或整个河段,用侧向连接来模拟水从河道漫流到洪泛区的运动。在网湖、朱婆湖分蓄洪区通过侧向结构物进行连接模拟分蓄洪区主动分洪情况,侧向结构物按溃决方案进行溃决,模型构建简图见图 3,一维模型与二维模型间共设置 355 个侧向连接点,较好地将富水河边界与耦合边进行了连接。

(5) 计算成果

通过计算得到所有网格的洪水最大淹没水深、洪水到达时间、洪水淹没历时、洪水最大流速以及各个网格的淹没水深过程和流量过程等。根据计算结果,统计了进入最大蓄水量、达到最大蓄水量历时、最大淹没面积、最大淹没水深、平均最大淹没水深等要素,见表 1 所示。

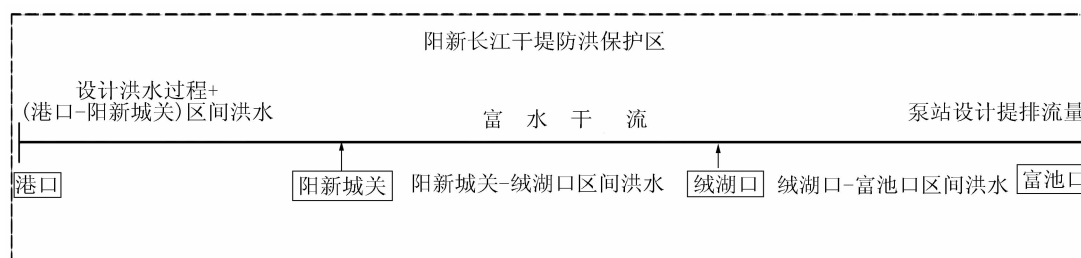


图 3 富水洪水来源一二维模型构建示意图

表 1 淹没要素汇总

区内最大蓄水量 (亿 m ³)	达到最大蓄水量历时 (h)	最大淹没面积 (km ²)	最大淹没水深 (m)	平均最大淹没水深 (m)
17.15	336	302.61	11.72	5.63

网湖和朱婆湖首先达到分洪条件进行分洪,分洪水较快进入网湖和朱婆湖;分洪 1d 后,洪水在网湖和朱婆湖内流动;分洪 3 d 后,洪水在网湖、朱婆湖进一步演进,并在富水左侧临近网湖地段和富水右侧临近朱婆湖地段出现漫溢,最大水深为 7.17 m;分洪 5 d 后,河水在新河和富水交汇处出现漫溢,漫溢洪水扩散较快,最大水深为 9.70 m;分洪 7 d 后,洪水漫溢面积进一步扩大,且洪水淹没水深增长很快,最

大水深为 10.49 m;分洪 10 d 后,洪水水深达到了 11.48 m,淹没面积达到 252.71 km²;分洪 13 d 后,洪水淹没面积增长后达到 292.49 km²,最大水深达到 11.58 m,淹没范围扩大到白沙镇、浮屠镇、三溪镇、龙港镇、排市镇、陶港镇、富池镇、枫林镇、兴国镇、木港镇共计 10 个乡镇,富水 30 年一遇的 15 日设计流量分洪 13 日淹没水深,如图 4 所示。

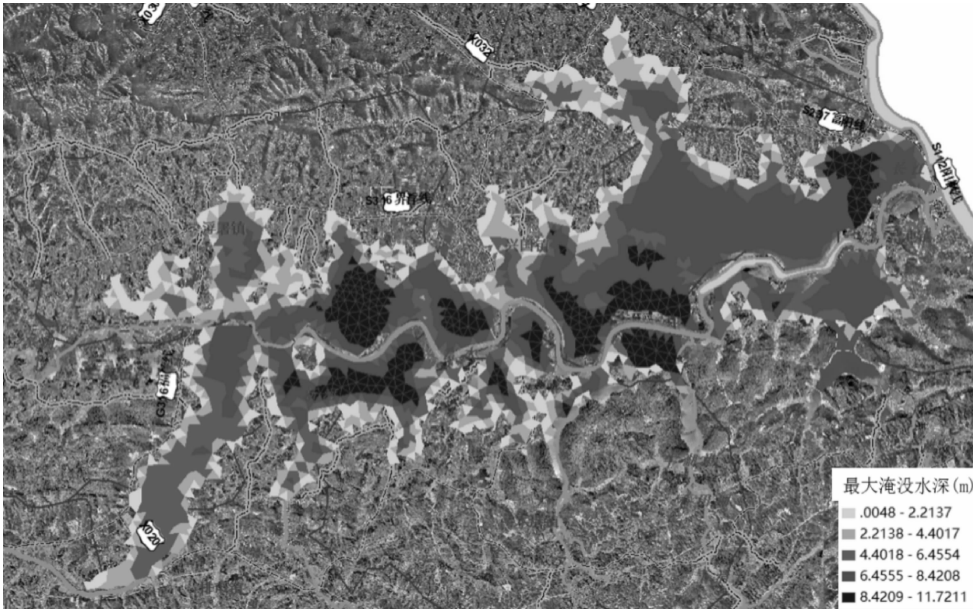


图 4 富水 30 年一遇 15 日设计流量分洪 13 日后淹没水深

3.2 洪水影响与损失估算

采用中国水科院“损失评估软件”,在洪水分析基础上对受洪水影响的社会经济指标进行分类统计。将洪水分析得到的淹没范围、淹没水深(历时)等洪水水情特征分布图层和淹没区内与社会经济数据关联的土地利用分布图层,通过空间地理关系进行叠加分析,计算洪水淹没范围内不同社会经济财

产类型及数量。参考其他类似防洪保护区损失率成果,建立富水下游干流淹没区淹没水深(历时)与各类财产洪灾损失率关系,结合洪水淹没水深(历时)模拟结果,计算了方案对应的直接经济损失,评估结果如表 2 所示。各类损失构成及各镇损失情况见图 5、图 6 所示。

表 2 富水下游干流洪水影响与损失估算分析成果

最大淹没面积 (km ²)	受影响人口 (万人)	受影响 GDP (万元)	居民房屋损失 (万元)	家庭财产损失 (万元)	农业损失 (万元)	工业资产损失 (万元)
302.61	9.69	252 090.31	56 350.06	32 445.09	48 205.64	22 322.65

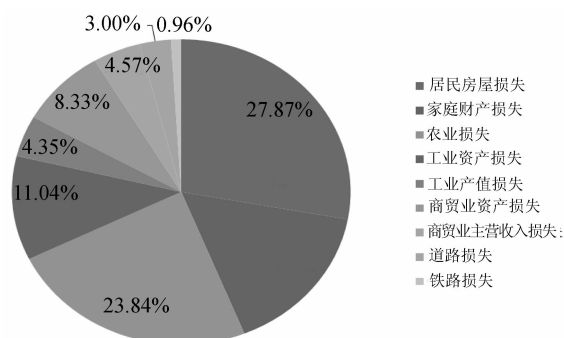


图5 富水下游干流漫堤方案各类损失构成

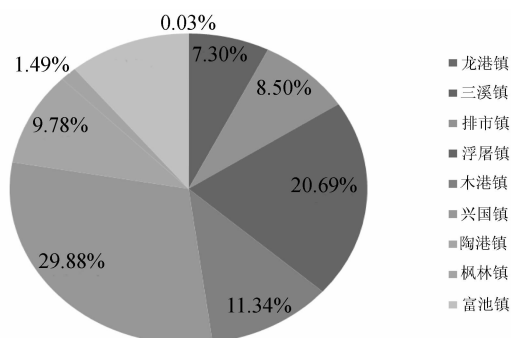


图6 富水下游干流漫堤方案各乡镇损失构成

3.3 洪水风险图制作

根据《洪水风险图编制导则》的要求,图形数据统一采用中国大地坐标系 2000 (CGCS2000),高斯-克吕格投影,高程统一采用 1985 国家高程基准,图形数据采用 *.shp 格式。本次风险图绘制采用中国水科院“洪水风险图绘制系统”,利用 1:1 万

基础数据以及相应的水工数据,并结合风险统计数据,利用空间差值等数学方法,绘制工程方案下淹没水深图、到达时间图、淹没历图、淹没图。富水下游干流 30 年一遇 15d 设计洪水漫堤方案淹没水深图见图 7。

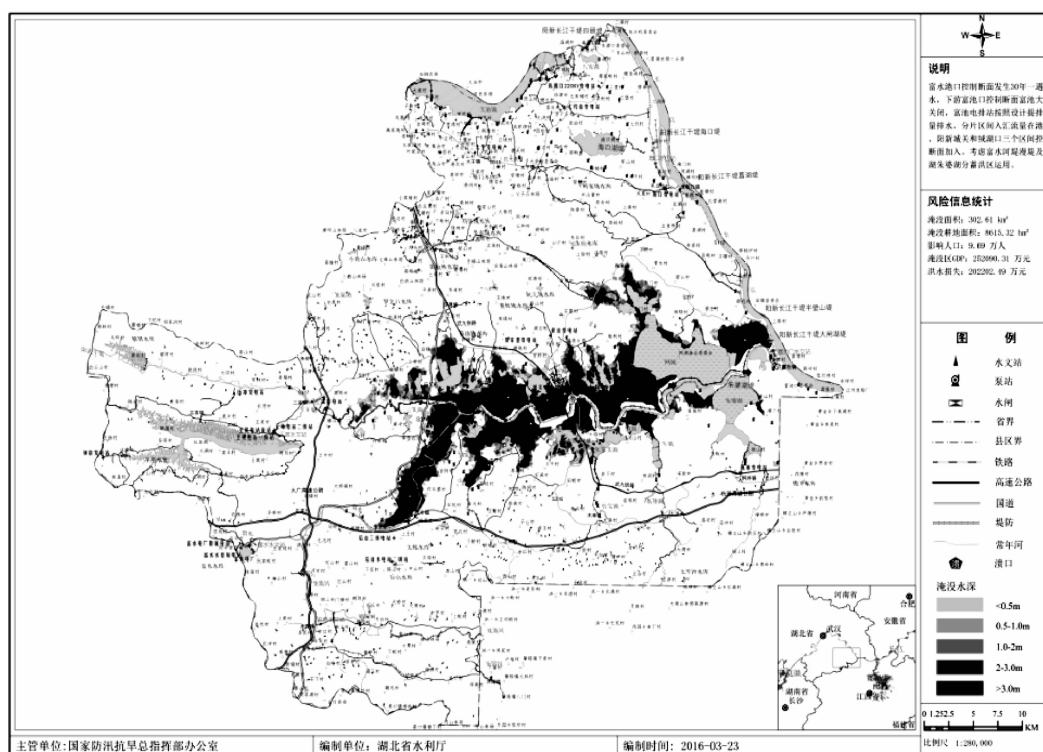


图7 富水下游干流 30 年一遇 15 d 设计洪水漫堤方案淹没水深图

4 结语

由于中小流域洪水分析资料匮乏,采用水文分析计算方法可推求富水下游设计洪水过程;通过一、

二维耦合水动力学模型进行洪水分析计算,结合土地利用状况,进行了灾情分析和损失评估;根据淹没水深与到达时间计算结果,使用洪水风险图绘制系统,将风险信息添加到地图上,最终实现富水下游干

流洪水风险图编制^[7-8]。在编制过程中有如下体会:

(1) 缺乏径流观测资料在中小流域普遍存在,这成为制约采用水动力学模型解决中小流域水问题的关键因素。本次采用降雨径流经验相关图法推求和预测场次暴雨洪水过程,通过水动力学模型计算水位过程与实测水位过程比较,精度满足要求,可为其他缺乏径流观测资料中小流域的长时段洪水过程推求提供参考。

(2) 采用 MIKE 软件,建立富水下游干流一维水动力模型和富水下游干流的平面二维水动力模型,并在堤防处进行侧向连接模拟堤防漫溢情况,侧向连接允许 MIKE21 网格单元从侧面连接到 MIKE11 的部分或整个河段。在网湖、朱婆湖分蓄洪区通过侧向结构物进行连接模拟分蓄洪区主动分洪情况,侧向结构物按溃决方案进行溃决。通过水量平衡、洪水演进过程、构筑物阻水效果及洪水风险信息对比等分析证明该方法能很好的模拟水流从河道漫流到洪泛区的运动过程。

(3) 建议县级水利行政主管部门在阳新长江干

堤防洪保护区洪水风险图计算成果的指导下,对保护区内相关防洪、应急、抢险预案进行修订。

【参考文献】

- [1] 李红霞. 无径流观测资料流域的水文预报研究[D]. 大连:大连理工大学,2009.
- [2] 顾忠华,金菊红. 暴雨径流相关图在水位预报上的运用[J]. 节水灌溉,2014(4):48-51.
- [3] 钟华. 年径流相关图法在实际工程中的应用[J]. 黑龙江水利科技,2013,41(5):10-11.
- [4] 胡四一,施勇,王银堂,等. 长江中下游河湖洪水演进的数值模拟[J]. 水科学进展,2002,13(3):278-286.
- [5] 白玉川,万春艳,黄本胜,等. 河网非恒定流数值模拟的研究进展[J]. 水利学报,2000(12):43-47.
- [6] 衣秀勇,关曼春,果有娜,等. DHI MIKE FLOOD 洪水模拟技术应用与研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2014.
- [7] 李永坤,董传红,顾维举. 文家洼蓄滞洪区洪水风险图编制技术[J]. 水科学与工程,2011(4):25-27.
- [8] 张秀平,丁志雄. 赣抚大堤防洪保护区洪水风险洪水图编制洪水方案设置研究[J]. 江西水利科技,2015,41(4):276-282.

(收稿日期:2018-03-11)

简 讯

全省护堤护岸林种植超额完成

2018年,全省江河堤防护堤护岸林种植工作深入贯彻落实习近平总书记关于“生态优先、绿色发展”重要论述及湖北省实施“生态立省”战略等部署要求,大力掀起春季植树造林高潮,全力推进江河护堤护岸林生态体系建设,着力打造沿江绿色长廊靓丽风景线。

省堤防管理局抓住春季植树造林黄金季节,及时印发《关于做好2018年护堤护岸林种植管理工作的通知》,做到早谋划、早部署、早行动,要求各地统筹谋划、专题研究、专班负责、明确任务、落实责任,保质保量完成植树任务。

按照省委、省政府“绿满荆楚”活动部署要求,全省堤防管理部门以增加森林面积、提高森林质量为主攻方向,以应植尽植、绿满堤防为工作目标,广泛开展大规模堤防绿化行动,确保全省年度计划种植护堤护岸林1.76万亩、植树80万株任务的高标准完成。

堤防管理部门坚持“标准化栽种,规模化发展,

规范化管理”和“适地适林”原则,优化林木品种,调整林分结构,控制栽植密度,搞好种植设计,严格栽植规程,保证新植林木成活率,确保堤护岸林防洪、生态、社会和经济效益。堤防管理部门充分利用各类媒体特别是新媒体,以及沿堤镇、村的宣传栏、电子屏、宣传横幅等载体进行广泛宣传,充分调动各方面的积极性和主动性,得到了社会各界特别是沿堤干部群众的支持和参与。各地组织规模不等的义务植树活动,营造出全民造林、管林、护林的良好氛围。

堤防管理部门组织技术检查组深入植树现场解决问题,督促全面落实新造林地质量和管护责任,力争做到管护措施到位、管护人员到位、管护责任到位,努力实现栽一棵活一棵,造一片成一片。

目前,全省完成江河植树造林107.1万株,种植面积2.53万亩,超额完成年度种植计划的34%。

(摘自《湖北省水利厅网》2018年4月20日)

防汛抗灾

宜昌市小流域暴雨洪水影响因素及规律初探

徐克兵¹ 朱正军² 陈 璐¹

(1. 湖北省宜昌市水文水资源勘测局 宜昌 443000;

2. 湖北省宜昌市防汛抗旱办公室 宜昌 443000)

摘 要 宜昌市境内暴雨洪涝灾害频发,而小流域暴雨洪水规律研究可以提前对洪水进行初步的预估,对洪水灾害的预防和应对具有重要的意义;规律研究对于中小河流河道整治、水库洪水复核、塘坝、淤地坝、桥涵等小型水利工程、交通工程和电力工程的规划设计具有重要应用价值;同时对于探索流域产流、汇流机理也具有重要的理论意义。

关键词 小流域;暴雨洪水;影响因素;规律探讨;宜昌市

随着宜昌市境内长江、沮漳河、清江、黄柏河、香溪河等流域上控制性水库的兴建、河道堤防的加固,以及洪水情报预报和调度,宜昌市大江大河防汛形势趋缓,但局地小流域暴雨、洪水、泥石流频繁发生,近年来尤为突出,成为防汛工作中的重点和难点。本文通过研究宜昌市小流域洪峰流量影响因素(考虑流域植被土壤、面积、坡降、形状的控制因子),在实测数据的基础上进行模拟分析,重点研究造峰雨量、暴雨指数、综合系数等造峰流量生成的各个环节,探讨规律并考虑加入上述控制因子,并用实测洪水、历史洪水、调查近年大洪水、分析洪水模数等进行分区洪水拟合检验,拟在通过洪水规律研究可以提前对洪水进行初步的预估,对洪水灾害的预防和应对具有重要的意义;规律研究对于中小河流河道整治、水库洪水复核、塘坝、淤地坝、桥涵等小型水利工程以及交通工程和电力工程的规划设计具有重要应用价值;同时对于探索流域产流、汇流机理也具有重要的理论意义。

1 小流域分布概况

宜昌市地处鄂西山区向江汉平原过渡地带,长江、清江、沮漳河等纵贯全市,除长江、清江外,集水面积在 30 km^2 以上的中小河流有164条,总长 $5\,089\text{ km}$; $1\sim 30\text{ km}^2$ 的小流域分布也很广泛,支流密集。河流集水面

积占全境总面积的 91.5% ,河网密度为 20.24 km/km^2 。宜昌市境内地形复杂,地质构造多变,自然灾害种类繁多,分布范围广,尤以水旱灾害最为突出,成灾机遇多,灾害损失大,影响深远。

2 暴雨影响因素及规律

2.1 影响因素

(1)暴雨特性。包括暴雨的量级、分布、雨型、走向等。根据雨量站近50年暴雨资料和洪水资料,结合气候特征与地势地貌分析,小流域暴雨特性及规律如下:

小流域1 h点暴雨值一般介于 $35\sim 50\text{ mm}$ 之间,由东、西两极向中部呈递增趋势,低值区出现在长阳渔峡口、秭归陕西营一线,高值区出现在五峰渔洋关、长阳高家堰、宜昌、分乡、远安一线;1 h点暴雨 C_v 值介于 $0.4\sim 0.5$ 之间,分区内1 h点暴雨 C_v 值由四周向中部呈递减趋势。6 h点暴雨值介于 $60\sim 90\text{ mm}$ 之间,分区内6 h点暴雨由北向南呈递增趋势,低值区出现在长阳渔峡口一带;6 h点暴雨 C_v 值介于 $0.45\sim 0.6$ 之间,分区内6 h点暴雨 C_v 值呈现两个高值区,五峰何坪、长阳高家堰一线,夷陵十字沟和远安一线。分区内24 h点暴雨值介于 $80\sim 140\text{ mm}$ 之间,低值区出现在长阳渔峡口一带;24 h点暴雨 C_v 值介于 $0.45\sim 0.6$ 之间,分区内24 h点暴雨 C_v 值呈

现2个高值区,在五峰何坪、长阳高家堰一线和夷陵古村、兴山一线。

(2)区域分布。暴雨发生频数总的趋势是由南到北逐渐减少,清江南岸武陵山脉频数为最大。由于境内三面环山,地势起伏较大,河谷平川地区不利于气流抬升,河谷和山脉的迎风面,暴雨频数要大于山脉的背风面,并形成5个暴雨区,分别是沮漳河中段暴雨区、黄柏河中段暴雨区、三峡坝区北岸暴雨区、三峡南至清江干流暴雨区、清江南岸暴雨区。

(3)时空分布。长江以北比长江以南暴雨季节要来得迟,长江以南4~6月暴雨年平均发生频数为1~2 d,而江北不足1 d,有的站点平均2~3年才发生一次。汛期4~9月暴雨年平均发生频数以7~8月最多。江南7~8月暴雨年平均发生为1~3 d,江北7~8月暴雨年平均发生为1~2 d;其中以渔洋关站7~8月暴雨年平均发生3 d为最大。

(4)特大暴雨。宜昌市历史上曾多次发生过特大暴雨,其暴雨强度、覆盖范围、危害程度均为历史罕见。有著名的“35.7”、鄂西“75.8”和清江“69.7”暴雨。局部小范围的暴雨有远安“91.7”、长阳“58.7”和阳半月“73.4”等暴雨。特大暴雨发生时间一般在7~8月,7月为最多,其原因是梅雨和台风倒槽造成的。

长江以南比长江以北特大暴雨发生次数要多,且区域广、覆盖面积广、暴雨强度大,极易造成灾害性洪水。长阳都镇湾、火烧坪一带有水文记录以来曾发生过3次,为最多,江北有的地方一次也没有发生过,且江北的特大暴雨多发生在小范围局部地区,以远安“91.7”暴雨最为典型。

2.2 暴雨规律

(1)地形影响。宜昌市地形呈一袋状,西、南、北三方均为高山环绕,东部枝江、当阳犹如一个喇叭口向东南敞开,地形有利于偏东气流的侵入和抬升。

①气流抬升。以清江北岸最为典型,该地域为巫山余脉,从长阳固里溪开始,沿着清江与长江分水线延伸至秭归石坪和巴东绿葱坡,长约150 km,其海拔高程均为1 900 m左右,山脉呈西北至东南向,处于有利于偏东气流的迎风坡。由于地形特点的影响,当偏东气流从东部平原,经山丘区到西部的半高山或高山区迫使气流抬升而产生暴雨。如著名的鄂西“75.8”暴雨,其暴雨轴线与山脉走向吻合,故这一带也是暴雨多发地。

②河谷喇叭口地形。黄柏河、沮漳河及渔洋河中下游地区为典型的狭口河谷区,具有沿河源方向地势逐渐增高的特点。气流越强就越有利于改变气

流的进程,沿河谷源源不断输送水气,配合一定的天气系统,使沿河谷一定高程上产生比其他地方更大的暴雨。

③高山阻碍水气输送。长阳西部招徕河、渔峡口、桃山一线即清江中游河谷地区,由于其南部为武陵山脉,海拔在1 500 m以上,东边为巫山余脉,海拔在1 900 m左右,由于四周高山屏障,阻碍水气的输送,偏东气流在此易产生下沉辐射,造成暴雨偏少,年降水总量偏少。

④海拔高程对暴雨的影响。香溪河沿河谷至神龙架林区,暴雨与年降水总量随高程的增加而增加;说明地面高程对暴雨的影响明显,一般降水与高程呈递增趋势。

(2)产生暴雨的天气系统。产生暴雨的天气有以下几点。

①副热带高压。暴雨主要发生在6~8月,这与副热带高压季节性变化有关,当副热带高压的脊线在 $25^{\circ}\sim 27^{\circ}\text{N}$ 时,冷暖气流在境内及三峡地区汇合交绥,加上地形条件形成强暴雨。

②西南低涡。当华北高原脊线稳定,西南涡向北移受阻,并在三峡区间停滞,冷暖空气在低涡南北两侧不断向低涡中心辐合,提供潮湿、不稳定能量,形成暴雨,如“35.7”暴雨。

③冷空气。锋面是重要的降水天气系统。由于冷空气的南下,常常加强了冷暖空气的辐合,造成大范围的辐合上升区,起到触发机制的作用。长江三峡、清江流域大部分暴雨均与冷空气活动有关。

④台风。当台风低槽维持准静止状态,弱冷空气长期不被破坏,东风急流又长期不断输送水气,加之地形影响,也是造成境内特大暴雨形成的重要天气系统。如鄂西“75.8”特大暴雨,就是7503号台风登陆后,受副高加强并向西南延伸,迫使台风退缩倒槽宜昌市上空,加上高空风向迅速变化,长时间的东风急流不断供给大量暖湿水气,造成宜昌市有水文记录以来的特大暴雨。

3 影响洪峰流量的主要因素

3.1 植被

宜昌在植被区划中属东部(湿润)常绿阔叶林区域,是湖北省重要的林业基地和主要商品材产地。境内有维管植物242科1 374属5 582种,其中蕨类植物404种、裸子植物86种、被子植物5 092种,三峡地区维管植物物种数量约为全国物种总数的17.4%。小流域植被土壤越好,其固水固沙条件好,

暴雨经过植被土壤的充分拦截、滞蓄,其小流域洪峰流量削减越充分。

3.2 承雨面积

在流域面积大小不一时,暴雨对其洪峰流量成果影响程度和效果有着明显的差别,相同流域面积越小,降雨损失越小,降雨形成径流的时间越短,呈现洪水模数越大。

3.3 河道坡降

宜昌市小流域河道坡降陡缓不一,西部山区高于东部平原。小流域河道坡降越大,洪水汇流越快,洪峰流量越大,流速越大,其洪水携土夹沙能力越强,出现泥石流的机率加大;反之,小流域河道坡降越小,洪水汇流越慢,洪峰流量越小,流速越小,其洪水携土夹沙能力越弱。

3.4 小流域形状

宜昌市小流域形状在山区第Ⅶ、Ⅷ、Ⅹ区大部分呈扇形,少部分呈一般形或长形,在第Ⅴ区小流域形状大多呈长形或一般形。扇形流域坡面汇流快,汇入河槽时间短,洪峰流量比长形或一般形要大。

4 小流域洪水特点

宜昌市中小河流大部分属山区河流,每遇超常集中暴雨,山洪暴发,洪水陡涨陡落,汇流时间短,洪峰传播速度快,造成局部洪水灾害,也是下游平原湖区洪涝灾害的源头。年最大洪峰流量一般出现在 5~8 月。一次洪水过程可达数日,洪水集中了大量的径流,占当年径流量的 19.5%~69.7%,占多年平均径流量的 23% 以上。宜昌市小流域洪水有以下几个特点:西部大于东部,山区大于平原,水文分区第Ⅶ区、Ⅷ区、Ⅹ区大于第Ⅴ区,非岩溶区大于岩溶区。

4.1 洪峰流量经验公式

在小流域洪峰流量影响因素研究的基础上,考

虑流域植被土壤、面积、坡降、形状控制因子,在实测数据的基础上模拟分析,重点研究造峰雨量,暴雨指数、综合系数等造峰流量的生成各个环节,以及加入反映流域植被土壤、面积、坡降、形状的控制因子,宜昌市分 4 个分区 11 个亚区进行了暴雨经验公式的模拟总结,以期提高小流域洪水计算精度。

4.2 洪峰流量模数

根据境内小于 1 000 km² 水文站分布情况,本次选取了渔洋关、聂家河、高家堰、雾渡河、杨林桥 5 个水文站,对境内小流域不同流域面积 100 年、50 年、20 年、10 年一遇洪水模数进行了点绘分析,拟合暴雨经验公式,暴雨瞬时单位线计算各频率洪峰模数,利用对数进行了点数据拟合。境内不同小流域 100 年一遇洪峰模数为 0.5~35 m³/(s·km²),承雨面积与洪峰模数点数据采用对数拟合,其相关系数 0.959,相关关系良好;50 年一遇洪峰模数为 0.4~30 m³/(s·km²),承雨面积与洪峰模数点数据采用对数拟合,其相关系数 0.954,相关关系良好;20 年一遇洪峰模数为 0.7~20 m³/(s·km²),承雨面积与洪峰模数点数据采用对数拟合,其相关系数 0.846,相关关系良好;10 年一遇洪峰模数为 0.4~17.0 m³/(s·km²),承雨面积与洪峰模数点数据采用对数拟合,其相关系数 0.845,相关关系良好。通过宜昌境内常用频率的洪峰流量模数分析,可以检验小流域设计洪水取值的合理性。常用各频率承雨面积与洪峰模数拟和关系如图 1~4。从各频率宜昌市小流域洪峰流量模数图来看,流域面积越小,洪水模数越大;流域面积越大,洪水模数越小。50 km² 以下河流的洪水模数,随着流域面积的增大,洪水模数呈突变形态;50 km² 以上河流洪水模数,随着流域面积的增大,洪水模数呈渐变形态。

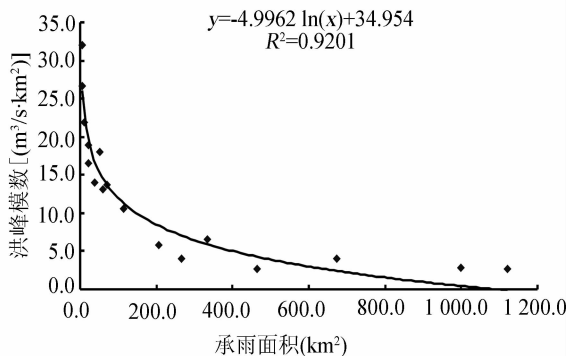


图1 小流域 100 年一遇洪水模数图

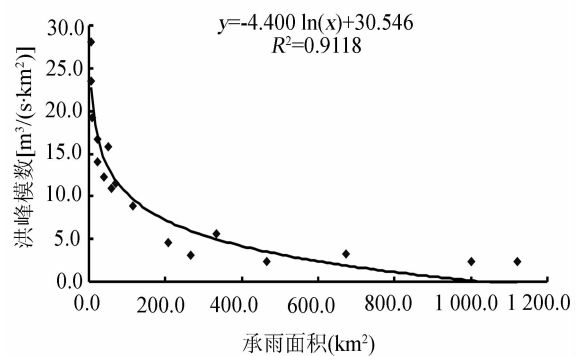


图2 小流域 50 年一遇洪水模数图

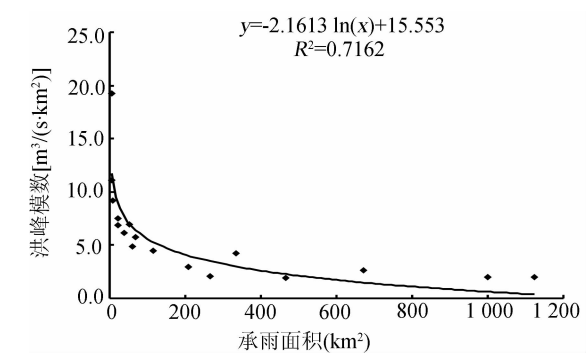


图 3 小流域 20 年一遇洪水模数图

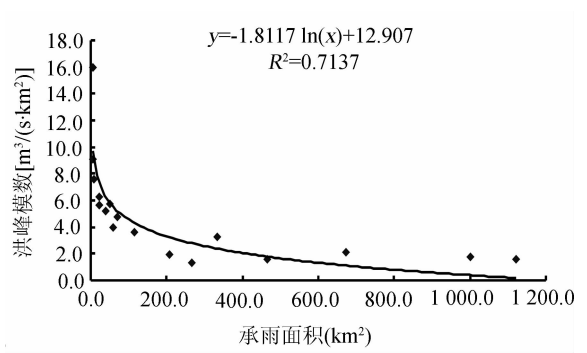


图 4 小流域 10 年一遇洪水模数图

5 结语

通过研究宜昌市小流域洪峰流量影响控制因素,在实测数据的基础上模拟分析小流域洪峰流量的经验计算,重点研究造峰雨量、暴雨指数、综合系数、等造峰流量生成的各个环节,并考虑加入反映流

域坡降、形状、植被的控制因子。

通过拟合的各水文分区、亚区的暴雨洪水经验公式,当特大洪水发生后,能通过在线监测的暴雨资源,快速获得小流域洪峰流量信息,为中小河流站点洪峰流量推算具有一定的适用性。

(收稿日期:2018-04-10)

水利课堂

沉 排

将梢料或薪柴用绳或铅丝绑扎成把,编成上下两层网格,其间平铺梢料或薪柴,再用麻绳或铅丝结扎成排。一般厚 0.5 ~ 1.2 m,运到沉放点,排上压石料,沉至河底,用来护岸或护底,防止水流掏刷。

土石坝险情判断

在日常检查中,如果发现土石坝坝体和坝肩出现裂缝、土坝边坡出现塌滑、坝下游有集中渗漏或大面积渗水、近坝库岸出现大的滑坡等现象,则表明水库出现险情或即将出现险情,应立即向本地区抗震指挥部或上级部门反映,并视情况召集群众进行简单抢护或紧急转移。

小流域综合治理

为保持小流域的水土,减轻自然灾害,改善农业生态环境,合理开发和保护水、土资源而采取的工程和生物等措施。

水文水资源

襄阳水文勘测工作问题探讨

李吉涛 肖贵清 余平佬

(湖北省水文水资源局 武汉 430071)

摘 要 水文信息化的发展和水文新仪器新技术的推广应用,大大减轻了基层传统水文工作的劳动强度,由于近年来水文站点数倍增加,水文服务社会范围越来越广、要求越来越高,水文人员编制却多年未增加,基层水文勘测问题突出,难以高质量、严要求完成工作任务。通过调研分析基层水文勘测存在的问题,探讨了解决问题对策,为推进湖北省水文勘测业务改革继而提高水文勘测工作管理水平提供决策依据。

关键词 水文勘测;信息化;管理模式;襄阳

为了深入了解基层水文勘测管理工作的现状,收集和分析存在的问题,2017 年 8 月 22~25 日,湖北省水文局对襄阳水文局水文勘测工作开展了专题调研。调研组赴襄阳局所管辖的 8 个基本水文站与部分中小河流站,查阅了大量水文资料 and 文件档案,与从事水文勘测工作的干部职工进行了深入交流,较为全面了解襄阳局水文勘测工作组织体系、人员结构、业务管理、职工思想动态等方面的现状和存在问题,并就解决襄阳水文局水文勘测存在问题提出了对策建议,也为推进湖北水文勘测业务改革,加强水文勘测工作,提高业务管理水平,适应新时代发展需求进行了有益的探讨和研究。

1 基本情况

1.1 勘测站网

襄阳水文局建有各类水文站点 256 处,其中水文站 25 处(基本站 9 处,专用站 16 处);水位站 25 处(基本站 2 处,专用站 23 处);雨量站 134 处(基本站 59 处,专用站 75 处);土壤墒情站 9 处;地下水站 18 处;水质站点 45 处。市防办移交管理的山洪水位及雨量站 171 处。

1.2 人员配备

襄阳水文局现有人员编制 75 人,实有人数 71

人。从事水文勘测工作人员共 27 人,占现有职工总数的 38%。基层测站工作人员 20 人,占现有职工总数的 28%;其中南漳局 6 人,保康局 5 人,原襄西队 6 人,枣阳局 3 人(含外聘 1 人)。从业人员中大专以上学历 26 人,占总数的 96.30%;高级职称 2 人,占总数的 7.40%,中级职称 10 人,占总数的 37.04%;年龄在 45 岁以上的 6 人,占 22.22%,45 岁以下的 21 人,占 77.78%。另有局机关信息科 6 人,负责指导县级局(队)设备设施运行维护工作;聘请委托看护人员 184 人,负责辖区站点日常看管及简单维护、监测工作。

1.3 监测方式

随着信息化技术在水文勘测工作中的广泛应用,基本形成境内雨量、水位信息自动测报,定期巡检、校测和流量、蒸发、泥沙以人工监测为主的水文监测方式。经多年历史资料分析,特别是 2016 年基本水文站测站特性分析,9 个基本水文站测站控制较好,水流条件相对稳定,水文测验以巡测为主,部分站驻巡结合。开峰峪、三道河站不具备巡测条件,由单位正式职工驻守观测,开峰峪站汛期驻站流量测验、非汛期根据需要由县级局巡测,三道河站依托县级局驻守观测;打鼓台、挽鱼沟、马良坪、马桥、苍坪 5 站外聘经培训合格、有多年观测经验的人员驻

守测站,履行人工水位、雨量、蒸发等项目观测、设施设备看护等职责,流量、泥沙、测量等项目由相应县级局专业人员实行巡测;中小河流及其他专用水文站点均实行巡测。

1.4 管理模式

20 世纪 80 年代以前,襄阳水文局全部测站基本实行驻守测验。1985 年,水利部颁布《水文勘测站队结合试行办法》,对测站控制较好、水位流量关系较稳定的部分站点,实行间测或精简流量测次。通过站队结合探索,逐步减少驻站人员数量,让越来越多的基层测站职工进了城,改善了生活条件。2012 年,根据水利部“大水文”发展战略和省局推进县级

水文机构建设的要求,将所辖勘测队、水文站与县级水文局在管理体制上进行整合,先后建成 4 个县级水文局,目前基本实行“市局-县局(队)-水文站”三级管理体制。局机关着重抓制度规范、应急管理工作,县局(队)着重抓站网运维、资料整编、服务地方防汛抗旱、水资源管理等工作,水文站着重抓日常水文勘测工作。

近年来,襄阳局重点以建立完善各类规章制度为前提,以修订完善测站任务书和水文测验方案为基础,以多种形式的监测管理方式为支撑,以建立健全应急监测体系为补充,以强化检查管理、监督考核为重点,初步建立勘测业务管理体系(表 1)。

表 1 襄阳水文局水文勘测组织管理基本情况

县局 (队)	水文站 (个)	水位站 (个)	降水站 (个)	基本水文站流量测验情况			
				站名	断面情况	水位流量关系	测验方式
保康	5	10	54	开峰峪	不经常性冲淤	高水单一线、低水临时曲线	驻测
				马良坪	不经常性冲淤	高水单一线、低水临时曲线	巡测
				寺坪	/		巡测
				马桥	/		巡测
				挽鱼沟	不经常性冲淤	单一曲线	巡测、超历史洪水,控制条件变化恢复测验
南漳	8	18	95	打鼓台	稳定	单一曲线	巡测
				苍坪	不经常性冲淤	单一曲线	巡测
				三道河	/		驻测
谷城	2	9	40				
枣阳	1	8	31				
襄西	9	16	49	董坡			巡测

2 存在的主要问题

2.1 水文工作拓展与人力资源不足

《水文条例》明确要求水文部门对水文站网进行统一管理,襄阳局除了管理自建的水文站点,还要接收襄阳市山洪灾害、大中型水库等站点的运行维护。随着生态文明建设战略的深入实施,赋予水文部门在实行最严格水资源管理、推行河湖长制等方面新的职责;注重水文双重管理,更多参与地方事务,需要水文投入足够的人力资源;财政拨款不足,但要保证职工政策性收入到位,必须抽出相当人员力量投入到经营创收工作中。而与此形成反差的是,襄阳

局人员编制几十年未变,且绝对数量还在减少,只有向内部开刀,勘测岗位就成了重灾区,县局(队)、站人员由 2001 年的 26 人减少到 2017 年的 20 人,基层职工普遍感到任务重、压力大,常有顾此失彼之感。

2.2 勘测任务倍增与基层员工素质偏低

近年来,国家对水文基础设施投入力度加大,水文站点数量急剧增加。自 2000 年以来,襄阳局所管辖的水文站增加了 17 个,水位站增加了 23 个,雨量站增加了 85 个,地下水站增加了 35 个,委托代管的山洪水位及雨量站增加了 171 个。中小河流项目建成和山洪灾害站点移交后,各县级局(队)管辖和运维的站点大幅增加,其中南漳局 92 个,保康局 54

个, 枣阳局 32 个, 原襄西队 105 个; 另一方面, 防汛抗旱、河湖长制、安全应急、水生态保护等工作要求越来越高, 水文测站规范化管理、水文测站特性分析、水文勘测业务改革等工作也依次推进, 加之受各种人类活动影响, 导致水文站的水流条件趋于复杂, 需要基层勘测人员去研究解决的办法; 这些都对水文勘测工作提出了新的更高的要求。目前, 有经验的水文勘测人员年龄偏大、知识老化、对新技术新知识掌握不够; 新进人员业务素养和工作经验有限, 且部分专业不对口, 又缺乏有效的传帮带, 一时难以承担重任。同时, 由于基层水文工作清苦, 普遍存在年轻专业人员招录难的问题。襄阳局水文勘测人员力量不足、年龄老化、技术水平不高、支撑能力不强的问题突出。

2.3 水文基层组织管理与勘测需求矛盾突出

随着我国经济社会快速发展和城镇化战略持续推进, 从农村到城市生活成为“人民对美好生活的向往”。水文工作性质特殊, 水文监测站点多分布在河川湖库, 基层水文职工不可避免地面临“在城市学习, 到农村工作”的逆向流动。由于基层测站工作和生活条件相对艰苦, 在收入、职称、待遇等方面又缺少向基层倾斜的政策措施, 难免形成基层测站工作人员“招不来、下不去、留不住”的尴尬局面。同时, 在社会化用工服务方面, 无论是委托看管还是劳务派遣, 都要有人事管理制度方面的创新和支撑。现行水文基层组织管理严重滞后于基层工作, 特别是水文勘测工作的发展需要。

3 建议与对策

3.1 加强水文勘测基础研究

水文勘测是水文事业发展和水文工作开展的基础。要高度重视水文勘测基础工作, 扎实开展水文勘测基础研究。

(1) 加强对水文站的测站控制条件、水流特征、断面稳定性、河段、河槽、河床的形态及演变规律、流域产汇流规律等研究;

(2) 加强对受人类活动影响条件下水文情势变化及相应测整方式方法的研究;

(3) 开展新仪器、新技术、新手段在不同地域、不同水文条件下的适应性研究;

(4) 开展水文勘测方式组合、巡测设备配置及组织管理方式等研究;

(5) 加强新时代新需求下的水文勘测现代化发

展研究。要倡导树立“崇尚专业、注重研究”的理念, 引导广大基层水文职工热爱水文勘测研究, 积极开展水文勘测研究, 为水文基层生产方式改革提供技术支撑。

3.2 强化水文勘测质量控制

(1) 建立水文勘测质量标准体系。以现行水文勘测相关技术规范、标准和规定为依据, 结合实际制定水文测验、资料整编、测站管理、运行维护等方面质量标准, 健全水文勘测业务全流程的质量标准体系;

(2) 完善水文勘测质量管理体系。针对基层水文单位设施看管、水文测验、资料整编、应急监测等不同作业模式, 建立包括水文勘测任务清单、作业流程、过程控制、考核评价、资料档案等的质量管理体系;

(3) 落实水文测验质量检查评定要求。根据水利部《水文测验质量检查评定办法》, 严格对照其 23 项 77 个考核点的质量要求, 就汛前准备、应急演练、规范执行、质量管理等重点环节, 加强规范操作, 强化痕迹管理, 压实质量控制责任。

以上构成水文勘测质量控制的闭环, 是不同主体的水文勘测活动制定统一的行为标准, 为水文勘测工作科学发展提供坚实保障。

3.3 深化水文勘测业务改革

根据大站网和水文信息化发展实际, 坚持深化水文勘测业务改革, 走“改革创新、提质增效”的发展路子。

(1) 创新水文站网管理模式。针对基本站、专用站、山洪站、中小河流站等不同站网的性质和特点, 建立健全各类水文站网管理制度, 充分发挥各类站网的效益和功能;

(2) 推进水文勘测方式改革。全面加强水文测站特性分析, 兼顾流域管理与区域管理需要合理划分测区, 推动建立“自动为主、人工为辅, 巡测为主、驻测为辅, 常规监测为主、应急监测为辅”的水文勘测新模式, 推动基层水文单位生产方式向集约型转变;

(3) 推动县级局(勘测队、中心站)实质性建设。集中人财物, 规范县级局(勘测队、中心站)运行体制和机制, 充分发挥水文基层单位职能, 更好服务地方防汛抗旱、水资源管理等;

(4) 大力推广应用先进勘测技术。充分应用自

(下转第 26 页)

水文水资源

水库群拦蓄不均曲线法 在河溶站洪水预报中的应用

陈红兵 朱 芳

(湖北省宜昌市水文水资源勘测局 宜昌 443003)

摘 要 受水库群影响,沮漳河河溶站洪水预报精度不高,导致洪水预报在防洪调度中发挥作用欠佳。在河溶站洪水预报中应用水库群拦蓄不均曲线法,以提高洪水预报精度。

关键词 水库群;不均曲线法;洪水预报;河溶站

1 流域概况

沮漳河为长江一级支流,上游分东西两支,东支为漳河,西支为沮河,西支较长为干流,源出于保康县欧家店大湾,流经保康、南漳、远安、当阳、枝江等县市,于枝江市鸭子口入长江。沮漳河河长344 km,集水面积7 305 km²,其中沮河河长230 km,集水面积3 353 km²。东支漳河源出保康县龙坪乡黄龙洞沟,流经南漳、远安县于当阳市河溶镇两河口与沮河相会,长190 km,集水面积2 968 km²。入长江河口上游71.5 km处设有河溶水文站,控制面积6 352 km²(含漳河水库面积2 226 km²),沮河上有马良坪水文站和远安水文站,马良坪站集水面积926 km²,远安站集水面积2 411 km²。

沮漳河流域内水库星罗棋布,大型3座、中型水库6座、小型水库155座,水库群主要集中在河溶站以上,特别是远安站至河溶站区间(面积1 715 km²)有大型水库1座,中型水库6座,小型水库89座,水库集水面积高达598.2 km²(不含黄家湾水库),其中大中型水库集水面积240 km²,小型水库集水面积为358.2 km²;远安站至河溶站区间水库群集水面积占该区间面积的34.9%,小水库群集水面积占该区间面积的20.8%。

2 方法

河溶站洪水预报的关键是远安至河溶区间的预报,因水库群的拦蓄影响,严重影响了洪水预报精度,而原预报方案仅将大中型水库的集水面积扣出,对小型水库群的影响用打折方法估算,预报精度不高。本文采用水库群拦蓄不均曲线法,对远安站至河溶站区间的小型水库以并联拦蓄的方式进行拦蓄能力分析,算出小水库群实际拦蓄量,然后对区间产流进行修正,从而提高预报精度。

2.1 原理

流域内有 n 个水库,按其拦蓄能力由小到大排队,相应的库容为 $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$;集水面积为 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$;拦蓄能力为 $R_1(V_1/A_1), R_2(V_2/A_2), R_3(V_3/A_3), \dots, R_n(V_n/A_n)$ 。

当净雨深为 R_1 时,水库控制区(A)来水量 $W_{来1} = AR_1$,水库群实际拦蓄量为

$$W_{实1} = AR_1$$

当净雨深为 R_2 时: $W_{来2} = AR_2$

$$W_{实2} = W_{实1} + (R_2 - R_1)(A - A_1)$$

...

当净雨深为 R_n 时: $W_{来n} = AR_n$

来水量、实际拦蓄量见表1。

表 1 远安至河溶区间水库群拦蓄不均曲线

序号	集水面积(km ²)		库容(万 m ³)	拦蓄深度(mm)		来水量(万 m ³)	实际拦蓄量(万 m ³)	
	A_i	$A - \sum A_i - 1$	V_i	R_i	ΔR	$V_{来} = A_n$	$V_{实}$	$\sum V_{实i}$
1	59.5	358.2	73.2	12.3	12.3	440.4	440.4	440.4
2	51.0	298.7	76.2	14.9	2.6	535.2	79.1	519.4
3	3.5	247.7	11.5	33.1	18.2	1187.1	450.8	970.3
4	8.8	244.2	29.7	33.8	0.6	1208.9	14.9	985.1
5	6.2	235.4	40.1	64.7	30.9	2316.7	728.1	1713.3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
86	0.1	3.8	13.4	1 340.0	42.0	47 998.8	15.9	8 010.4
87	0.7	3.7	97.2	1 388.6	48.6	49 738.6	17.9	8 028.4
88	0.4	3.0	93.8	2 405.9	1 017.3	86 179.2	304.2	8 332.5
89	2.6	2.6	627.4	2 413.1	7.2	86 436.4	1.9	8 334.4

根据调查各水库的拦蓄能力(V/A),计算并点绘库区来水量($W_{来}$)与实际拦蓄量($W_{实}$)的相关曲线,即“水库群拦蓄不均曲线”,见图 1。

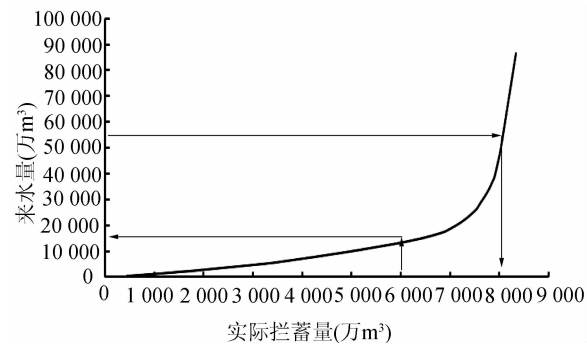


图 1 水库群拦蓄不均曲线

2.2 运用

对于水库群洪前底水为零时可直接查用水库群拦蓄不均曲线;水库群在洪前均有底水,则须把底水当作“前期拦蓄量”($W_{拦底}$),从曲线中反查一个水库群“来水量”,加上预报时段的水库群来水量,从曲线

上查总拦蓄量($W_{拦总}$),减去“前期拦蓄量”($W_{拦底}$),即为实际拦蓄量($\Delta W_{拦总}$)。

$$\Delta W_{拦总} = W_{拦总} - W_{拦底}$$

洪前底水是一个重要而又难于确定的指标。通常采用水库群库容的 1/3 ~ 1/2 作为洪前底水,具体以前期天气和用水情况作为技术参考指标进行判断选用洪前底水。

根据计算的小水库群实际拦蓄量,对远安站至河溶站区间的净雨进行修正,然后进行汇流计算,最终得到远安站至河溶站区间的洪水预报成果。

洪水检验:用小水库群拦蓄不均曲线法对远安站至河溶区间的洪水进行检验预报计算,成果精度较高,洪水预报检验误差评定见表 2。

成果比较:用小水库群拦蓄不均曲线法计算成果与原洪水预报成果比较,精度普遍有所提高,各次洪水成果比较见表 3。

表 2 洪水预报检验评定表

洪号	实测洪峰	预报洪峰	误差	相对误差	评定
880908	312	322	10.0	3.2	合格
890509	160	178	18.0	11.3	合格
900521	163	189	26.0	16.0	合格
920712	556	549	-7.0	-1.3	合格
980410	310	318	8.0	2.6	合格
980507	241	246	5.0	2.1	合格
990625	162	183	21.0	13.0	合格
000818	607	565	-42.0	-6.9	合格
001025	311	332	21.0	6.8	合格

水生态环境

汉江中下游底栖生物时空分布特征与保护对策

周 驰 苗 滕

(湖北省水利水电科学研究院 武汉 430070)

摘 要 以汉江中下游丹江口—汉川河段为调查对象,通过现场调查和样品分析鉴定,研究底栖生物的时空分布特征。结果表明,与历史数据相比,底栖生物种类数量并未减少,但多样性明显降低,钩虾、毛翅目、蜉蝣目等喜流水清洁种类基本绝迹;下游江段的大型底栖生物丰度、物种数和多样性均处于较低水平。保护汉江中下游底栖生物群落结构多样性、恢复健康的生态系统迫在眉睫。

关键词 汉江中下游;底栖生物;时空分布

汉江发源于秦岭山脉,是长江最大的支流,全长1 570 km。汉江中下游干流总长652 km,在湖北境内自西北向东南流经十堰、襄阳、荆门、天门、潜江、仙桃、孝感、武汉及神农架林区,纵贯全省28个县市,湖北省境内流域面积4.6万km²,约占全省国土总面积的40%。汉江中下游地区属亚热带季风气候,年均降水量800~1 100 mm,降雨主要集中在5~9月,年内时空分布不均,易发生洪涝和干旱灾害。

汉江中下游干流规划建成丹江口—王甫洲—新集—崔家营—雅口—碾盘山—兴隆共7级水利梯级枢纽,兴隆枢纽以上河段为梯级水库相连的渠化,以下为天然河段,两河段的水文、形态、岸带、水质、水生生物状况有很大的不同;加之南水北调中线供水开通和鄂北调水工程的实施,汉江的水量、水环境和水生态状况势必受到极大的影响。本文以汉江中下游丹江口—汉川河段为研究对象,开展河流水生态环境调查,摸清近年来的水生态环境变化情况,为定期开展湖北省重要江河湖库“健康诊断”提供坚实基础,同时为基本建成河湖健康保障体系提供本底资料和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

综合考虑断面的合理性、资料获取难度和可行

性,典型断面确定在各现有水文站点附近河段,共计7个断面。生物样品的采集地点位于7个水文站对应河段的河心位置,具体分布见图1。

1.2 样品采集与分析鉴定

所选取的7条河段具典型代表性,河段断面布置涵盖城市、农村、库区、郊野等多种类型,按季度进行年度(2015年4月至2017年2月)底栖生物野外调查,结合实验室样品分析鉴定,获取底栖生物种类与丰度数据,作为水生态环境状况评估的基础和原始积累。在河心底泥充足的地方用1/16 m²彼得森采泥器采集表层沉积物,并现场用40目D形手抄网粗将泥沙冲洗掉后存入封口袋冷藏保存。采样点的地理信息见表1。

将底栖生物样品置于白瓷盘中,将大型底栖生物挑出放入广口瓶,4%甲醛固定后,用解剖镜和显微镜分类鉴定并计数,分类计数后的标本用滤纸吸干,电子天平称重(精度0.0001g),其中软体动物去壳称重^[1]。

2 结果与分析

2.1 物种组成

共鉴定底栖生物48个分类单元,隶属于4门8纲20科;其中,寡毛类2科11种(占总物种数的23.0%),摇蚊科幼虫18种(37.5%),软体动物9科10种(20.8%),其他动物9种(包括水生昆虫4种、

甲壳动物 2 种、线虫、水蜘蛛、水蛭各 1 种)。底栖生物种类名录详见表 2。

2.2 物种数目

空间尺度上,各断面出现的底栖生物数目在0 ~

16 种;其中,丹江口大坝水域(1 号)物种数明显最高;而钟祥(3 号)和潜江(5 号)水域物种数目明显较低。时间尺度上,2016 年 4 月和 2015 年 10 月两个季度的物种数要高于其它季节(图 2)。



图 1 采样点分布示意图

表 1 采样点的地理信息

样点号	所属地市	水文站名	地理坐标
1	丹江口	黄家港	E 111°30'22",N 32°31'08"
2	襄阳	襄阳	E 112°09'54",N 31°56'18"
3	钟祥	皇庄	E 112°34'22",N 31°11'50"
4	沙洋	沙洋(三)	E 112°36'00",N 30°41'21"
5	潜江	泽口	E 112°52'24",N 30°29'34"
6	仙桃	仙桃(二)	E 113°27'18",N 30°22'39"
7	汉川	汉川	E 113°50'53",N 30°38'46"

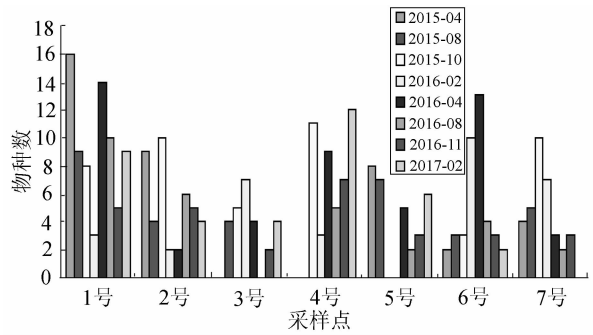


图 2 汉江中下游大型底栖生物物种数目的时空分布

2.3 群落丰度

(1)群落密度。从所调查的 7 个断面来看,底栖生物的平均密度 1 554 个/m²(范围 8.0 ~ 5 344.0

个/m²)。以软体动物(1 040 个/m², 占总密度的 66.9%)、摇蚊幼虫(225 个/m², 占 14.5%)和寡毛类(258 个/m², 占 16.5%)为优势类群,其他底栖动物合计 33 个/m²(占 2.1%)。优势种为湖沼股蛤(*Limnoperna lacustris*)、河蚬(*Corbicula fluminea*)、铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)、多足摇蚊(*Polypedilum* sp.)和霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)。

从空间尺度上看,7 个断面中,密度以襄阳断面最高,丹江口断面次之,其他断面均较低,不同断面优势类群差异性显著。丹江口断面软体动物占 68.5%,寡毛类占 16.0%;襄阳断面软体动物占绝对优势(94.7%);钟祥断面水生昆虫占 56.4%,寡毛类占 40.8%;沙洋断面以软体动物(39.0%)和水生

昆虫(35.9%)占优势;潜江断面以寡毛类(50.0%)和水生昆虫(42.1%)占优势;仙桃断面软体动物为优势类群,占 83.1%;汉川断面寡毛类占比最高(46.1%),其次为软体动物(32.9%)(图 3)。从时间尺度上看,则 2016 年 4 月(2 800 个/m²)的密度最高,2015 年 8 月最低(679 个/m²)(图 4)。

(2)生物量。从空间尺度上看,7 个断面中,生物量

以襄阳最高(3 599.18 g/m²),丹江口(1 016.19 g/m²)次之,钟祥(7.22 g/m²)断面最低(图 5)。所有断面软体动物生物量占比均超过 94%。从时间尺度上看,2016 年 8 月的生物量最高(1 670.83 g/m²),2015 年 4 月最低(49.97 g/m²);且生物量自 2015 年 4 月至 2016 年 8 月呈现逐季度明显上升的趋势(图 6)。

表 2 汉江中下游大型底栖生物名录

线虫动物门 Nematoda	多足摇蚊一种 <i>Polypedilum braseniae</i>
线虫一种 Nematoda fam. , gen. et. sp.	拟踵突多足摇蚊 <i>Polypedilum paraviceps</i>
环节动物门 Annelida	摇蚊属 <i>Chironomus</i> sp.
寡毛纲 Oligochaeta	恩非摇蚊 <i>Einfeldia</i> sp.
普通仙女虫 <i>Nais communis</i>	伪摇蚊 <i>Pseudochironomus</i> sp.
仙女虫一种 <i>Nais</i> sp.	隐摇蚊一种 <i>Cryptochironomus</i> sp.
费氏拟仙女虫 <i>Paranais frici</i>	指突隐摇蚊 <i>Cryptochironomus digitatus</i>
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	凹缺隐摇蚊 <i>Cryptochironomus defectus</i>
克拉伯水丝蚓 <i>Limnodrilus clapedianus</i>	隐摇蚊一种 <i>Cryptochironomus zabolotzkii</i>
巨毛水丝蚓 <i>Limnodrilus grandisetosus</i>	褐跗隐摇蚊 <i>Cryptochironomus fuscimahus</i>
水丝蚓一种 <i>Limnodrilus</i> sp.	凯氏摇蚊 <i>Kiefferulus</i> sp.
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	二叉摇蚊 <i>Dicrotendipes</i> sp.
厚唇嫩丝蚓 <i>Teneridrilus mastix</i>	直突摇蚊 <i>Orthocladus</i> sp.
河蚓 <i>Rhyacodrilus brevidentatus</i>	直突摇蚊亚科一种 <i>Orthoclaadiinae</i> spp.
颤蚓科一种 <i>Tubificidae</i> spp.	摇蚊蛹 <i>Chironomidae</i> pupa
蛭纲 Hirudinea	库蠓 <i>Culicoides</i> sp.
水蛭 <i>Hirudinea</i> fam. , gen. et sp.	软体动物门 Mollusca
节肢动物门 Arthropoda	腹足纲 Gastropoda
甲壳纲 Crustacea	钉螺 <i>Oncomelania hupensis</i>
跳虾 <i>Talitridae</i> spp.	赤豆螺 <i>Bithynia fuchsiana</i>
米虾 <i>Caridina</i> sp.	椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>
蛛形纲 Arachnoidea	短沟蜷 <i>Semisulcospira</i> sp.
水蜘蛛 <i>Argyroneta aquatica</i>	铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>
昆虫纲 Insecta	瓣鳃纲 Lamellibranchia
绿综螳 <i>Megalestes</i> sp.	湖沼股蛤 <i>Limnoperna lacustris</i>
综螳 <i>Chlorolestidae</i> spp.	河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>
径石蛾 <i>Ecnomus</i> sp.	刻纹蚬 <i>Corbicula largillierti</i>
前突摇蚊 <i>Procladius</i> sp.	背角无齿蚌 <i>Anodonta woodiana</i>
齿斑摇蚊 <i>Stictochironomus</i> sp.	圆顶珠蚌 <i>Unio douglasiae</i>
梯形多足摇蚊 <i>Polypedilum scalaenum</i>	

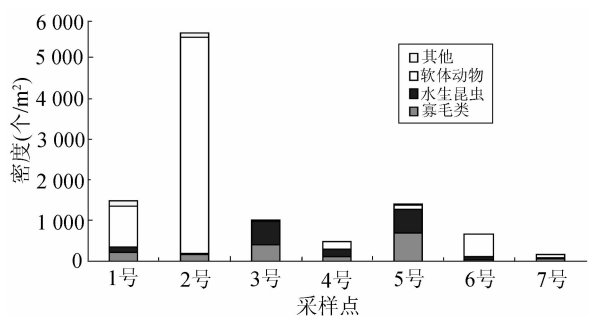


图3 汉江中下游大型底栖生物密度的空间分布

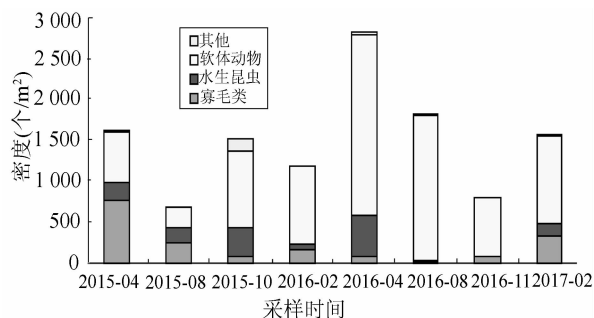


图4 汉江中下游大型底栖生物密度的时间分布

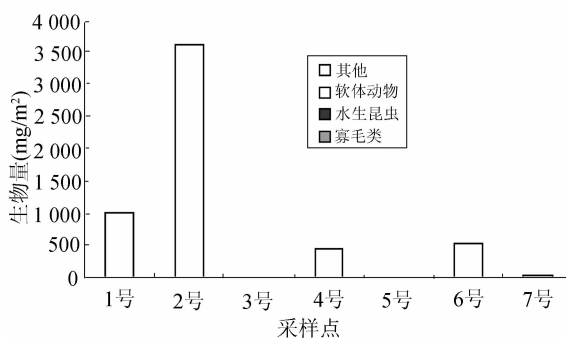


图5 汉江中下游大型底栖动物生物量的空间分布

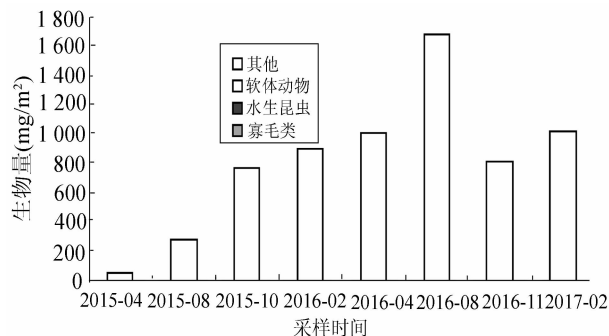


图6 汉江中下游大型底栖动物生物量的时间分布

2.4 原因分析

通过与历史资料对比分析发现,半个多世纪以来,汉江中下游底栖生物群落的演变趋势,在物种组成上,由喜流水性的清洁物种为主逐渐过渡到中度耐污型物种,进一步发展到极度耐污的种类;群落丰度呈现先增加、至20世纪90年代达到最高值、再逐步下降的过程^[2]。与近10年来的3次调查相比,大型底栖生物的群落组成基本相似,优势类群均为寡毛类、软体动物以及摇蚊科,且耐物种如水丝蚓、苏氏尾鳃蚓和多足摇蚊等所占比例有进一步增大的趋势。总体而言,本调查底栖生物种类数量较既往调查并未减少,但钩虾、毛翅目、蜉蝣目等喜流水的清洁种类基本绝迹,表明近几十年来汉江水质状况有逐渐恶化的趋势,尤其是在中下游。有研究表明,汉江中下游底栖生物的群落结构已发生显著改变,其功能显现退化的趋势。这些改变和群落退化是系统内外因子共同作用的结果,也是流域内人为干预和自然变化相互叠加的复杂过程;底栖生物群落响应直接与人类活动密切相关,如大型水利工程建设、流域内城镇化导致的点源污染、农业生产导致的面源污染以及河道内无节制的挖沙行为等^[3],具体表现在以下几个方面。

(1) 水利工程建设对水环境变化的影响。丹江

口水库的建成已深度改变汉江环境状况,割裂汉江上下游的连接度与河流的完整性,改变了河流的水文节律、生态流场及河道底部的环境参数等,导致汉江中下游底栖生物中喜流水性种类减少或消失,喜静水物种显著增加^[4];另外,南水北调工程改变了中下游区域的流速、水位和透明度,加速了水体富营养化进程,汉江中下游水生植物多样性与生物量均明显下降^[5],导致底栖生物失去了庇护所,其密度、物种数和多样性指数均有一定程度的下降;由于不同营养级生物在数量与多样性方面的变化可通过食物网以及其它生态关系向生态系统水平延伸,随着浮游动物和底栖生物群落的单调以及相对耐污型物种的富集,浮游植物群落也将发生数量和优势种群的不利变化,从而极大地促进了下游水域水华爆发的风险^[6]。

(2) 点源和面源污染导致营养盐总量的增加。流域内城镇化的加速和大规模的农业耕种,增加了汉江的点源和面源污染来源,导致汉江水体营养盐(如总氮、总磷)的增加和水质污染,水体透明度降低。总氮、总磷和透明度是影响汉江中下游底栖生物分布的关键环境因子,高浓度的氮、磷通常会导致蜉蝣目、襁翅目、毛翅目等清洁种类的消失,寡毛类和摇蚊科的一些耐污种类生物量的增加和爆发,从

而使大型底栖生物群落多样性显著降低。

(3)挖沙作业导致底栖生物出现生态灾难。尤其值得指出的是,高强度的挖沙作业对底栖生物产生明显影响,导致汉江中下游大型底栖生物丰度、物种数和多样性都处于较低的水平,生物量与历史数据相比出现了明显的下降。一般认为,挖沙业对水体生态系统的直接破坏作用主要包括:①物理破坏。引起河/湖床底流区(水体地表水层和地下水层之间的过渡带)底质退化、河道改变、护坡坍塌和航运阻塞等,而对河湖底流区的无序开采,可破坏地下和地表水层。②水体污染。挖沙行为加速底泥中的营养盐和有毒物质释放到水体中,引起内源污染物的二次污染,造成水体透明度降低、营养盐和有毒物质浓度增加。而挖沙作业中船只产生的废油排入挖沙区,导致水体表面覆盖厚厚的一层油垢;另外,挖沙作业也可改变地下水层水质,导致人畜饮用水源的污染。③生态灾难。大规模与无节制的采砂业如同对陆地土壤表面的破坏行为,使水体的底流区生物带(如水生植被和底栖生物等)的种质库资源“连锅端”,破坏其群落结构和功能,摧毁水体的食物链和食物网结构,导致水体生物多样性的减少,改变其进化轨迹。

许多研究表明,高强度的采砂作业会对包括大型底栖生物在内的浮游植物、浮游动物、大型水生植物等诸多水生生物产生严重的负面影响,致使大量沉水和挺水植物消亡,限制了浮游植物初级和次级生产力,导致底栖生物的生物量和密度减少40%~90%。采砂造成底栖生物的生物多样性丧失表现在两个方面:一方面底栖生物直接被采砂船挖走,导致其遭受灭顶之灾;另一方面则是对底栖生境的破坏,最终导致大量物种消亡。

3 结论与建议

汉江生态系统的结构与功能在时间和空间尺度上均有显著变化。从时间跨度上讲,与历史数据相比,底栖生物种类数量并未减少,但多样性明显降低,钩虾、毛翅目、蜉蝣目等喜流水清洁种类基本绝迹;从空间尺度上看,处于下游江段的大型底栖生物丰度、物种数和多样性均处于较低水平,尤其在钟祥和沙洋断面没有监测到大型底栖生物。

鉴于汉江流域人类活动对其中下游水体底栖生物已造成显著的影响和改变,且有些影响是无法更改和不可逆转的,如丹江口及其以下的大坝建设导致河流环境状态和生态完整性的变化、南水北调工程引起的水量锐减等。为保护和恢复汉江中下游底栖生物群落结构的多样性及健康的生态系统,需要适时对流域内的水利水文条件进行人为干涉,调控人为活动,加强周边生态环境的管理。建议从下列几方面入手:

(1)水文自然节律的调控和维持。在对丹江口及其以下河坝进行水位调节时,应尽量保持每年各季度各大坝泄水量在时间和空间上的均衡,这样有利于大型底栖生物的生存和繁衍。

(2)流域内城镇化的持续推进,应尽量考虑生活垃圾及工业废弃物的定点无害化处理,这些点源污染物的源头治理和处理将大大减缓汉江下游水质的恶化趋势。

(3)应培养和壮大河流沿岸带植被自然景观。这些陆地植被是汉江生态系统的重要解毒器官和“自然肾脏”,能将农业耕作所导致的大量面源污染物进行拦截和过滤,起到缓解面源污染对汉江水体的富营养化过程。

(4)鉴于挖沙作业对水体生态系统的直接破坏作用与间接影响,应在整个汉江水域严格管控或取缔挖沙业。

【参考文献】

- [1] 陈宜瑜. 中国动物志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] 池仕运, 陈胜, 汪红军, 等. 汉江中下游底栖生物群落结构特征研究[J]. 水生态学杂志, 2014, 35(5): 82-90.
- [3] 何力, 张斌, 刘绍平, 等. 汉江中下游水文特点与渔业资源状况[J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1788-1792.
- [4] E. B. 波鲁茨基, 伍献文, 白国栋, 等. 丹江口水库库区水生生物调查和渔业利用的意见[J]. 水生生物学集刊, 1959(专刊): 33-56.
- [5] 徐新伟, 吴中华, 于丹, 等. 汉江中下游水生植物多样性及南水北调工程对其影响[J]. 生态学报, 2002, 22(11): 1933-1938.
- [6] 张家玉, 罗莉, 李春生, 等. 南水北调中线工程对汉江中下游生态环境影响研究[J]. 环境科学与技术, 2000(增刊): 1-33.

(收稿日期: 2018-03-11)

水生态环境

基于 Landsat - 8 OLI 数据的 梁子湖蓝藻水华监测

江 来

(湖北省水利水电科学研究院 武汉 430070)

摘 要 为了探究梁子湖蓝藻水华发生与发展规律,建立梁子湖水华监测与预警机制,基于 2016 年 Landsat - 8 卫星影像,利用浮游藻类指数 (FAI) 法监测发现梁子湖水域水华以“无水华”和“零星性水华”为主,较大范围的水华主要集中在 5 ~ 7 月,最大水华覆盖面积达到 59.72 km^2 ,最大覆盖度达到 24.61%。梁子湖大部分的湖湾、湖汊区域均监测到蓝藻水华,而湖泊中心水域水华较为少见。

关键词 梁子湖;蓝藻水华;浮游藻类指数 (FAI)

蓝藻水华暴发是水体中蓝藻生物量急剧增加,并在水面形成聚集的现象。大量藻类浮渣聚集在水体表面,使水体反射率在近红外波段急剧上升,形成类似植被的“陡坡效应”^[1],与清洁水体在该波段较强的吸收形成强烈反差,这些光谱特征为利用遥感方法监测蓝藻水华提供理论依据。遥感技术可以提供多尺度、多光谱、多平台的蓝藻水华信息并反映其时空特征,对于分析蓝藻水华暴发规律具有重要意义,并且已经在蓝藻水华监测中得到广泛应用。许多学者利用 MODIS、NOAA/AVHRR、MERIS 等卫星数据,研究太湖、巢湖等蓝藻水华,取得较理想的结果^[2-5]。

目前主要用于湖泊水华遥感监测的方法有单波段比值、比值植被指数 (RVI)、归一化植被指数 (NDVI)、增强植被指数 (EVI) 等^[6-10]。这些方法均能够识别典型蓝藻水华区域,但容易受到水体浑浊程度、蓝藻富集程度以及大气条件等外界干扰影响,蓝藻水华阈值难以统一,提取精度不高。Hu^[11] 提出浮游藻类指数 (FAI) 监测开阔海域中藻类信息,认为 FAI 对于环境条件改变的敏感性更低,结果稳定性高,且该方法增加的短波红外波段还可以对复杂大气环境进行校正,消除部分大气、薄云等的影响,是一种更为有效的蓝藻监测方法。

本文选取了梁子湖地区 2016 年 Landsat - 8 OLI 卫星影像数据,采用 FAI 方法识别、提取梁子湖蓝藻水华信息,从而获取蓝藻水华时空分布数据,对进一步分析梁子湖蓝藻水华发生发展规律及建立梁子湖水华监测、预警等具有一定参考作用。

1 区域概况

梁子湖 ($30^{\circ}05' \sim 30^{\circ}18' \text{N}$, $114^{\circ}21' \sim 114^{\circ}39' \text{E}$) 位于长江中游南岸,地跨武汉市江夏区和鄂州市,是湖北省第二大淡水湖,在常年平均水位时,面积 271 km^2 ,平均水深 2.54 m ,贮水量 6.5 亿 m^3 ,容水量居全省湖泊之首。湖区属北亚热带季风气候,年均气温 16.8°C ,年降水量 $1\,263.4 \text{ mm}$ 。湖泊生态系统完整、物种丰富、自然属性良好、水生植被完整,是目前全国保护最好的淡水湖之一^[12]。

梁子湖入湖河港多达 30 余条,其中主要入湖河港为高桥河,这些河港顺着地势经地表径流汇入梁子湖。梁子湖出湖口仅磨刀矶一处,湖水排入长江。整个梁子湖按地理位置和历史沿革可划分为东梁子湖、牛山湖和西梁子湖 3 个湖区 (图 1);其中,牛山湖和东梁子湖被牛山大坝分隔,而东梁子湖和西梁子湖交汇于梁子岛及其西侧的岛屿群 (本研究区域仅限于东、西梁子湖区)。西梁子湖为地表水环境功

能Ⅱ类区,是珍稀鱼类保护区、鱼虾产卵场,而东梁子湖为地表水环境功能Ⅲ类区,是一般鱼类保护区^[13,14]。

20 世纪末至本世纪初,随着武汉城市圈的发展,工业废水、生活污水、围湖造田、网箱养殖等加剧了梁子湖的水污染,出现了湖泊萎缩、湿地减少、水生物种减少等问题,梁子湖水生态环境日益恶化,蓝藻水华爆发频繁^[15]。之后,各级政府高度重视,投入大量资金,加强治理措施,梁子湖水质得到了显著提升。近几年,在生活污水、季节性暴雨、水生植物死亡等多种因素的影响下,梁子湖局部地区水质出现反复,蓝藻水华现象也时有发生,对水生态环境和沿湖居民的用水安全造成了一定的影响。

2 数据与方法

2.1 遥感来源及预处理

本文从 USGS 网站(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)下载的梁子湖地区 Landsat - 8 卫星 1 级影像产品数据,共获取无云雾等干扰的可用影像 15 景,如表 1 所示(1 月和 12 月均无可用影像)。

基于 ENVI 遥感影像处理软件,对影像数据进行辐射定标、大气校正等预处理。利用改进的归一化水指数(MNDWI)确定梁子湖水体矢量边界,提取水体影像,考虑到梁子湖东南部高桥河入湖口的湿

地及农田的绿色植物,对水华提取易造成干扰,利用掩膜将其排除在外。

2.2 蓝藻水华提取方法

FAI 方法采用红光 - 近红外 - 短波红外波段的有效组合,可以部分消除大气的影响,进而可以固定阈值。一方面可以提高蓝藻水华的信息提取精度;另一方面可以提高不同时间获取的信息的可比性,有效识别蓝藻水华。其具体公式如下:

$$FAI = R_{NIR} - R_{NIR}^* \tag{1}$$

$$R_{NIR}^* = R_{RED} + (R_{SWIR} - R_{RED}) \cdot \frac{\lambda_{NIR} - \lambda_{RED}}{\lambda_{SWIR} - \lambda_{RED}} \tag{2}$$

式中: R_{RED} 、 R_{NIR} 、 R_{SWIR} 分别代表红光、近红外、短波红外波段的反射率; λ_{RED} 、 λ_{NIR} 、 λ_{SWIR} 分别代表红光、近红外、短波红外波段的中心波长(Landsat - 8 卫星的波段及中心波段信息见表 2)。

2.3 蓝藻水华阈值及分级

识别水体蓝藻水华中非常关键的一步是确定蓝藻水华区域的 FAI 阈值。由于蓝藻水华区域与非水华区域在光谱上存在明显差别,水华区域边缘通常存在明显的变化,即对应 FAI 指标,不同像元间具有较大的梯度。对影像中每一个像元计算其 FAI 梯度,每个像元的梯度计算方法为:在 3×3 像元窗口中,与邻近像元的 FAI 差值(绝对值)之和。如此,每幅 FAI 影像对应生成一个梯度影像。

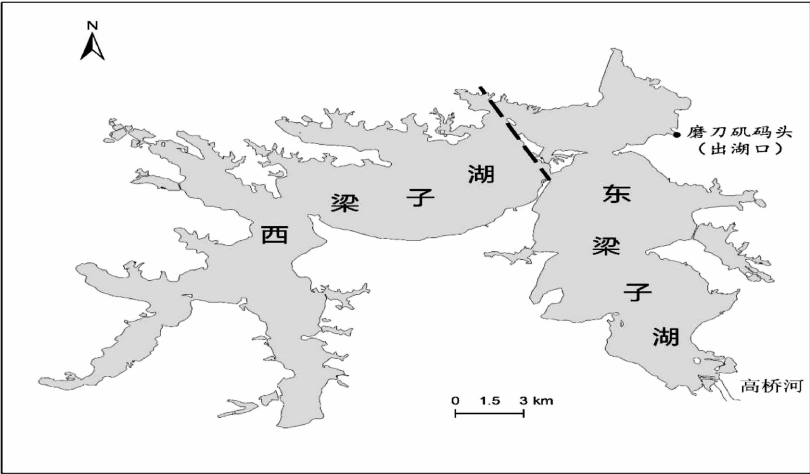


图 1 梁子湖示意图

表 1 Landsat - 8 影像时间与数量分布

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
数量	-	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	-

表 2 FAI 对应 Landsat-8 OLI 数据的波段及中心波长(mm)

波段	红外	近红外	短波红外
Landsat-8 OLI	630 ~ 680 (654.6)	845 ~ 885 (864.6)	1560 ~ 1660 (1609.0)

参照 Hu 等^[16]在太湖地区的研究,排除 $FAI > 0.02$ 和 $FAI < -0.01$ 的区域,对梯度影像中剩余像元的梯度值进行统计,获取梯度直方图,并确定最大梯度值对应像元的 FAI 值,对所有最大梯度值像元的 FAI 值求得的平均值可作为识别藻华的阈值。

对于梁子湖这样主要以小型水华为主的湖泊,除了以水华面积为指标对单次水华进行整体评估,其强度空间分布也需要重点关注,以此为蓝藻水华高强度聚集区的重点治理提供参考。参照相关文献中蓝藻水华强度等级划分方法^[17,18],采用等间隔方法确定强度分级阈值,将梁子湖蓝藻水华区分成 3 级,水华程度依次加重,以确定水华发生强度的空间分布差异。

3 结果与分析

3.1 蓝藻水华阈值及分级

对 2016 年梁子湖 15 景 Landsat-8 OLI 影像的 FAI 阈值进行分析统计,发现不同时期的 FAI 阈值十分接近,约为 -0.006 。采用等间隔方法,将梁子湖蓝藻水华区分成 3 级:水华风险一级($-0.006 < FAI \leq 0$)、风险二级($0 < FAI \leq 0.006$)、风险三级

($FAI > 0.006$)。

3.2 蓝藻水华分布及规模

梁子湖呈东西分布,湖湾、湖汊区域数量多面积大,而湖湾、湖汊受地理位置的限制,水体流动性较小,较之湖心区受人类活动的影响更大,污染物更容易堆积,导致水质恶化,水体富营养化加剧。此外,水体表层的藻类受风浪影响比较大,随水流容易在湖湾和近岸区域聚集,发生蓝藻堆积现象,形成水华。统计结果表明,2016 年东、西梁子湖的湖心处未出现蓝藻水华,而各湖汊区域均有不同程度的水华发生(图 2)。

2016 年全年的水华规模分布呈驼峰状,年初和年底的水华风险区面积较小,2 个高峰分别出现在 5 月 13 日和 7 月 23 日。水华风险区域面积最小为 2 月 7 日,总面积 2.66 km^2 (风险一、二、三级区面积分别为 0.66 km^2 、 0.56 km^2 、 1.44 km^2);最大面积出现在 5 月 13 日,风险区总面积为 59.72 km^2 (风险一、二、三级区面积分别为 19.52 km^2 、 18.35 km^2 、 21.85 km^2),最大覆盖度达到 24.61% ;其次发生在 7 月 23 日,面积为 51.89 km^2 (风险一、二、三级区面积分别为 40.27 km^2 、 5.88 km^2 、 5.74 km^2),最大覆盖度达到 18.21% 。如图 3 和表 3。

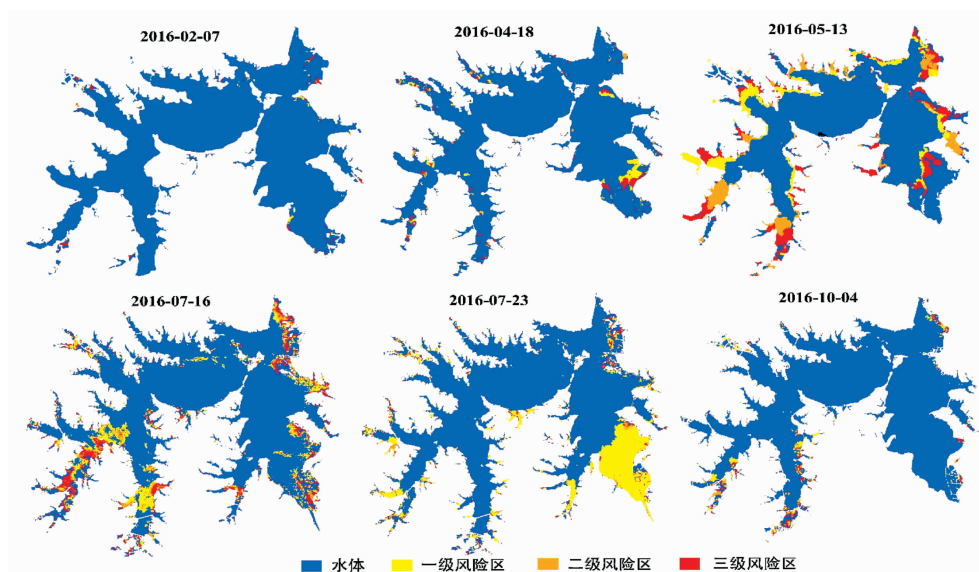


图 2 FAI 方法提取梁子湖蓝藻水华结果

根据中国环境监测总站 2008 年制定的《太湖、巢湖水华特征判定暂行方法》,蓝藻水华规模可按照水华面积占湖泊水域面积的比例分为 5 个级别,即“无水华”、“零星性水华”、“局部性水华”、“区域性水华”和“全面性水华”。参照该分级,基于 Landsat-8 OLI 数据的 2016 年梁子湖蓝藻水华 15 景监测影像中,8 景为“无水华”,3 景为“零星性水华”,4 景为“局部性水华”(表 3)。

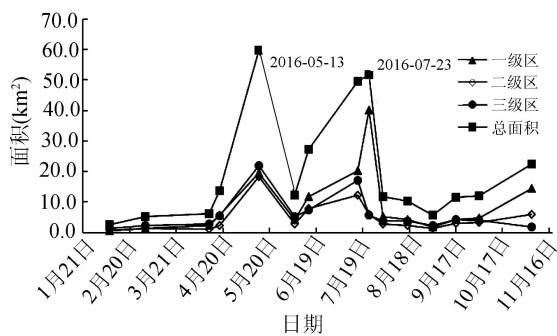


图3 2016年梁子湖水华风险区面积变化

表3 基于 Landsat-8 OLI 数据 2016 年梁子湖蓝藻水华规模分级

规模分级	监测日期	水华面积占比 (%)
无水华	2016-02-07	1.20
	2016-03-01	2.24
	2016-04-11	2.59
	2016-08-01	4.27
	2016-08-17	3.75
	2016-09-02	2.14
	2016-09-17	4.42
	2016-10-02	4.53
零星性水华	2016-04-18	5.71
	2016-06-05	5.04
	2016-11-05	8.53
局部性水华	2016-05-13	24.61
	2016-06-14	10.13
	2016-07-16	16.46
	2017-07-23	18.21

4 讨论

准确识别、提取蓝藻水华信息的关键是区分水华区和非水华区,FAI 方法利用蓝藻水华区在近红

外波段的高反射率提取蓝藻和水体在短波红外的强吸收性降低大气干扰,降低了对环境条件的敏感性,可以识别低浓度蓝藻水华区域,较准确提取蓝藻水华,与其他识别蓝藻方法相比,具有明显优势。但对于浅水湖泊及浮水植物较多的湖泊,水面上的绿色植物与蓝藻水华的 FAI 值重叠较多^[19],影响蓝藻水华的判别。

受到遥感卫星时间、空间分辨率和天气影响等限制,遥感影像只能监测到部分水华信息,在缺失影像的时间内,可能会遗漏水华信息,无法全面反映水华暴发的真实情况;同时,梁子湖地区属于亚热带季风气候,高频率的多云、雨、雾天气严重影响了可用影像的获取,导致 2016 年 1 月和 12 月均无可利用数据,但遥感影像能够定期快速获取整个水域的水华信息,监测水华发生时间和分布,在一定程度上可以弥补人工监测的缺失。

2016 年梁子湖蓝藻水华空间分布特点明晰,主要分布在湖湾和湖汊,即使水华规模最大时,湖心区也基本没有水华现象;而全年大部分时间梁子湖处于“无水华”或“零星性水华”状态,春末到夏季(5~7 月)处于“局部性水华”状态。主要是由于 2016 年梁子湖地区 5~7 月降水量较大,湖区附近农田、生活污水、养殖业等产生的大量营养盐、有机质等随着雨水汇入湖中,为蓝藻繁殖提供了良好的条件;同时,大量降水导致湖泊水面升高,夏季水草受淹死亡并腐烂,加之原来的养殖湖泊牛山湖、涂镇湖和齐心湖破堤与梁子湖连通,水华藻种进入梁子湖,并在夏季高温和较强光照条件的作用下,最终导致了蓝藻水华爆发。

5 小结

(1)梁子湖水域水华以“无水华”和“零星性水华”为主,较大范围的水华主要集中在 5~7 月,最大水华覆盖面积达到 59.72 km²,最大覆盖度比例达到 24.61%;大部分湖湾、湖汊区域都监测到蓝藻水华,但湖泊中心水域水华现象较为少见。

(2)由于 2016 年极端天气频发,降水量尤其是 6、7 月份降水量远超历史平均水平,对蓝藻水华的爆发提供了有利的条件,本次调查梁子湖的蓝藻水华时空分布不具备较强的代表性;为进一步研究梁子湖蓝藻水华的发生、变化规律,应在今后的研究中选择较长时间序列数据。

(3)FAI 方法虽然相较于比值植被指数(RVI)、归

一化植被指数(NDVI)、增强植被指数(EVI)等方法具有一定的优势,但该方法无法准确区分水华和浮于水面的水草、浮萍等绿色水生植物。为进一步提高识别精度,应采取有效手段排除将此类干扰。

【参考文献】

- [1] 马荣华,孔繁翔,段洪涛,等. 基于卫星遥感的太湖蓝藻水华时空分布规律认识[J]. 湖泊科学,2008(6): 687-694.
- [2] 金焰,张咏,姜晟. EOS/MODIS 数据在太湖蓝藻水华时空分布规律提取中的应用研究[J]. 环境科技, 2009(S2): 9-11.
- [3] Han X, Feng L, Chen X, et al. MERIS observations of chlorophyll-a dynamics in Erhai Lake between 2003 and 2009[J]. International journal of remote sensing,2014, 35(24): 8309-8322.
- [4] 温新龙,景元书,张娣. 常见卫星传感器在蓝藻水华监测中的应用进展[J]. 环境科学与技术,2014(1): 81-87.
- [5] 段洪涛,张寿选,张渊智. 太湖蓝藻水华遥感监测方法[J]. 湖泊科学,2008(2): 145-152.
- [6] 解华明,潘法康,舒莹,等. 巢湖蓝藻水华时空分布特征遥感监测研究[J]. 安徽农业科学,2011(21): 12825-12827.
- [7] 朱利,王桥,吴传庆,等. 巢湖水华遥感监测与年度统计分析研究[J]. 中国环境监测,2013(2): 162-166.
- [8] 刘晓艳,倪峰,周玉红. 基于 MODIS 的太湖蓝藻水华暴发时空规律分析研究[J]. 南京师大学报(自然科学版),2012(1): 89-94.
- [9] 陈云,戴锦芳. 基于遥感数据的太湖蓝藻水华信息识别方法[J]. 湖泊科学,2008(2): 179-183.
- [10] 周立国,冯学智,王春红,等. 太湖蓝藻水华的 MODIS 卫星监测[J]. 湖泊科学,2008(2): 203-207.
- [11] Hu C. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans [J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(10): 2118-2129.
- [12] 窦鸿身,王苏民. 中国湖泊志[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [13] 吴卫菊,王玲玲,张斌,等. 梁子湖水生生物多样性及水质评价研究[J]. 环境科学与技术,2014(10): 199-204.
- [14] 秦云,李艳蕾,吴丽秀,等. 梁子湖水水质时空格局分析[J]. 湖泊科学,2016(5): 994-1003.
- [15] 李兆华,孙大钟. 梁子湖生态环境保护研究[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [16] Hu C, Lee Z, Ma R, et al. Moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) observations of cyanobacteria blooms in Taihu Lake, China [J]. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 115, C04002, doi:10.1029/2009JC005511, 2010.
- [17] 李旭文,牛志春,姜晟,等. 基于卫星影像的太湖蓝藻水华遥感强度指数和等级划分算法设计[J]. 环境监测管理与技术, 2011(5): 23-30.
- [18] 刘聚涛,高俊峰,赵家虎,等. 太湖蓝藻水华灾害程度评价方法[J]. 中国环境科学, 2010(6): 829-832.
- [19] 朱庆,李俊生,张方方,等. 基于海岸带高光谱成像仪影像的太湖蓝藻水华和水草识别[J]. 遥感技术与应用,2016(5): 879-885.

(收稿日期:2018-03-11)

(上接第 14 页)

动化、远程控制、物联网等先进手段,积极发展水文在线监测、遥感监测等技术,把基层水文职工从简单的重复劳动中解放出来,把工作重点转移到拓展水文监测信息、丰富水文服务产品、优化水文公共服务中去。

3.4 创新人力资源管理方式

认真学习贯彻落实“十九大”精神,努力实践“坚持以人民为中心”的思想,大兴调查研究之风,全面掌握基层水文单位的情况和问题,切实解决“基层队伍不稳”这个事关水文工作基础和水利事业发展的根本性问题。当前,水文服务领域大幅拓展,水文勘测任务成倍增加,创新人力资源管理方式尤为迫切。

(1) 加强编制管理。积极争取增加人员编制,

同时创新面向基层水文单位的人员招聘方式,并在职称评聘、收入待遇等方面给予政策倾斜,以解决水文基层人员进得来、留得住的问题;

(2) 加强“三支队伍”建设。在发挥水文部门专业技术队伍主导作用的同时,积极引进地方政府及有关部门的专业人员,同时创新用人用工方式,加强对购买服务队伍的技术指导,保障服务工作的成果质量;

(3) 加强人力资源统一管理。严格把控外引(聘)人员资格,研究不同身份人员统一纳入水文专业管理的方式方法;

(4) 加大业务培训和考核力度,建立健全面向基层、服务基层、稳定基层的人力资源工作机制,形成水文基层工作可持续发展的良好局面。

(收稿日期:2018-03-27)

水生态环境

退出湖泊承包经营 促进生态环境改善

胡建军¹ 李 雯²

(1. 湖北省荆州市石首市水利局 石首 434400;

2. 湖北省水利水电科学研究院 武汉 430070)

摘 要 为深入贯彻党中央、国务院有关生态文明建设的指示精神,加强湖泊生态环境保护,实现河湖功能永续利用,石首市通过湖泊退出承包经营,去除水污染痼疾,加强生态环境治理,促进水质改善,提升湖泊生态系统质量和稳定性。

关键词 湖泊保护;生态环境;承包经营;石首市

石首市位于长江中下游荆江河段,国土面积 1 427 km²,北部属江汉平原,南部为洞庭湖平原延伸。境内湖泊众多,现有湖泊 44 个,总面积约 9 000 hm²;其中 66.7 hm² 以上湖泊 20 个,面积约 8 400 hm²,占湖泊总面积的 92.9%。

1 石首市湖泊水环境现状

石首市水利局对全市 44 个湖泊开展了深入调查,全面掌握了湖泊污染现状,部分湖泊水质较差,据 2016 年第二季度水质监测显示,劣 V 类水质湖泊达 16 个。

石首市湖泊现状功能以水产养殖为主,各湖泊管理主体分散。全市 44 个湖泊中,38 个湖泊对外承包,进行水产养殖,占湖泊总数的 86.4%,占湖泊总面积的 82.4%。承包期限一般为 5~20 年,个别长达 50 年,其中大部分湖泊承包费分年缴纳,少部分湖泊承包费一次性缴纳。

投肥养殖违法成本低,执法取证难度大,对湖泊水环境污染严重。以鸭子湖为例,该湖原为石首市东升镇的饮用水水源地,2013 年实施农村饮水安全工程后,该湖不再作为饮用水源,管理机构放松了对投肥养鱼的监督;2014 年一季度常规水质监测表

明,其水质为Ⅲ类;2015 年常规监测显示,其水质已降为劣 V 类,期间承包主每年投肥资金逾百万元。

2 主要做法

针对石首市湖泊生态环境问题与成因,石首市启动实施湖泊退出承包经营,切实改善水生态环境。

2.1 结合河湖长制全面推进

2017 年 1 月 24 日,石首市委书记主持召开全面推行河长制动员会议,要求涉湖管理部门处理好保护与开发的关系,部署终止全市湖泊发包承包、收回经营权工作,全面禁止投肥投粪养鱼。要求以河湖长制为抓手,落实好湖泊退出承包经营,要求各涉湖管理单位结合实际制定退出承包经营实施方案,并将该方案报市湖泊保护领导小组办公室备案。

2.2 实行大员上阵强力推动

2017 年 2 月 7 日,市长主持召开湖泊退出承包经营专题会议,听取了水利、水产、环保等部门意见,对湖泊退出承包经营进行了安排和部署,要求不折不扣完成该项工作任务;市分管领导多次组织市农办、水利局、水产局、环保局负责人及工作专班实地调查,现场研究解决湖泊退出承包存在的难点和问题,为湖泊退出承包经营工作,提供了强大的组织保

证和领导力量。

2.3 抓好以点带面整体促进

在湖泊收回承包经营权工作中,国营湖泊起步早、推动快,建立了一套较为完善的工作程序和运行机制,为各乡镇(办、区)湖泊退出承包提供了借鉴经验。各单位根据承包经营权限,结合实际情况,按照“一湖一策”的办法清产核资,与承包经营单位协商承包款返还、固定资产折旧补偿等相关工作并签署协议。

2.4 严格检查验收强化督办

组建由纪检、审计、财政、水利、水产等部门分管人员参加的工作专班,对退出承包经营进行检查验收。检查验收涵盖每一个工作环节,具体到每一项工作流程,包括固定资产补偿、鱼种回购、成鱼起捕、签订终止承包协议、湖泊退出承包经营后期管理等,要求被检查对象提供合同原件、承包款收据、资产评估清单、补偿凭据等相关佐证资料。市政府督办室对实施湖泊退出承包经营进度较慢的高基庙镇、桃花山镇、东升镇进行了工作督办。

2.5 加大经费投入强化保障

全市 44 个湖泊退出承包经营,市乡两级政府共耗资 2 590 万元。其中,水产局 1 460 万元,东升镇 260 万元,桃花山镇 450 万元,小河口镇 150 万元,团山寺镇 250 万元,南口镇 20 万元。

自 2015 年将湖泊保护列上日程后,石首市加强湖泊保护专项资金投入。2015 年和 2016 年财政各列支专项保护经费 300 万元;2017 年增加至 1 247 万元,其中实施湖泊保护 3 年行动年度经费 400 万元,国营渔场退出承包经营 847 万元,确保专款专用。

2.6 完善制度确保规范管理

为稳步推动湖泊退养,石首市政府在充分调查研究、反复征求意见的基础上,出台了《石首市湖泊退出承包经营实施方案》,为湖泊退出承包经营提供了有力的工作手段。为进一步巩固收回湖泊经营权的成果,科学开发利用湖泊资源、维持湖泊健康可持续发展,通过对秦克湖、白莲湖等的实地调研,力求进一步理顺湖泊管理体制,谋划湖泊健康运行和可

持续发展机制,出台了《石首市关于加强湖泊收回经营承包权后运行管理的意见》。

3 成效与经验

3.1 工作成效

通过实施湖泊退出承包经营,实施“人放天养”策略,石首市湖泊水质总体有了明显改善。2017 年第 4 季度监测结果显示,水质Ⅲ类及以上的湖泊有 2 个,Ⅳ类 10 个,Ⅴ类 7 个,劣Ⅴ类仅 1 个,分别占比 10%、50%、35%、5%,湖泊水质呈现明显转好趋势。

3.2 经验总结

石首市在湖泊退出承包经营过程中始终坚持“三个三”的原则,在顺利实施湖泊退养起到关键作用。

(1)全面落实,做到“三个一律”。退出湖泊承包经营是石首市委市政府落实生态文明建设、满足人民群众日益增长的优美生态环境需要的具体举措,必须全面落实,切实做到“三个一律”,即:一律停止生产性投入;一律无条件终止发包承包、收回经营权,由权属单位自主经营管理;一律无条件实行人放天养,恢复生态养殖环境。

(2)理清矛盾,达到“三个条件”。完成退出承包经营要达到三个条件:一要接管湖面;二要移交固定资产;三要签订补偿协议书。从细节着手,具体到律师函发送、固定资产评估、成鱼起捕、鱼种回购、审计、公示、签订补偿协议、付款等各个环节。

(3)严格程序,抓住“三个关键”。在程序上抓住“工作责任压实、全面开展清产核资、妥善处理成鱼和鱼种”三个关键环节,确保了国有湖泊有序退出承包经营,其成功经验也为各乡镇办区湖泊退出承包经营起到了示范作用。

湖泊保护非一朝一夕之功,必须真抓实干、久久为功。要严格按照湖泊收回承包经营权后管理工作的实施意见,彻底杜绝投肥养鱼,加大对湖泊保护与管理的考核;湖泊是区域诸水汇聚之地,也是流域各类污染源的容纳之地,只有对各类污染源全面控制才能从根本上改善湖泊水生态环境。

(收稿日期:2018-03-27)

设计与施工

喷灌对茶叶产量和质量的影响

邹战强 陈子平 吕 曼 张练和

(广东省水利水电科学研究院 广州 510635)

摘 要 通过连续3年的喷灌试验,探讨了喷灌对茶叶产量和质量的影响。喷灌较好地改善了茶树的灌溉及生态条件,能提高茶叶产量并改善品质。实施喷灌后,茶叶增产28.7%,节水31.1%,省工66.67%,效果显著。

关键词 喷灌;茶叶;产量;质量

干旱缺水会影响茶树的生长和发育。茶树大部分种植在高山丘陵,缺水较严重,适宜采用节水灌溉。喷灌是高效节水灌溉技术之一,比较适合缺水地区的作物灌溉。喷灌是利用喷头等专用设备把有压水喷洒到空中,形成水滴落到地面和作物表面的灌水方法。喷灌具有省水、省工、省地、保土、保肥等优点,便于实现灌溉机械化和自动化,还可以喷洒化肥、农药等。

茶树虽有较强的耐旱性,但茶树生长良好,茶叶才能产量高、品质好,就必须适时适量供应“关键水”。冬季及早春茶叶生长需要充足的水分,但传统灌溉方法落后,茶园灌水周期长,用工多,水、肥、土渗漏流失严重。在1500 hm²茶园,实行人工灌溉一次需200多人挑水,且3天才能灌完。既费时又费力,造成了人力物力及水资源的浪费,也没有达到预期的灌溉效果。遇到干旱年份,水源干涸,大部分茶树由于无水灌溉,造成其发育不良,茶叶质量差、产量低,由此严重影响了茶叶的产量及质量。

为了探讨茶树喷灌技术的应用效果和经济效益及其对茶叶产量和质量的影响,在广东省梅州市大埔县西岩茶场连续3年开展了茶树喷灌试验研究。通过喷灌,改善了茶树的灌溉条件和生态条件,提高了茶叶的产量及质量,获得了较理想的效果。

1 试验场地与喷灌系统

实施喷灌试验的西岩茶场位于大埔县枫朗镇海拔1000 m的西岩山麓,种植优质茶树1500 hm²,主要种植单丛茶和苦丁茶,茶树种植在丘陵山坡地上,树龄5~20年,灌溉条件差,主要靠人工挑水灌溉。试验茶园位于茶场中部,高程在500~560 m,面积为7.3 hm²,由山坡和平地组成,均为优质单丛茶,一般茶树一年可采摘3~6次,一年四季均可采摘。茶树株距50 cm,行距100 cm,沿等高线种植,交通方便,有公路直通西岩茶叶基地。土壤为砂壤土,试验区土壤容重为1.37 g/cm³,田间最大持水量为22%。

根据茶场实际情况,在茶场建设一个泵房及喷灌系统。根据地形条件,为了最大限度地控制7.3 hm²茶园面积,干管沿山丘的脊线布置,支管沿山坡垂直于等高线布置,支管安装喷头。

2 喷灌效果

喷灌试验工程自2000年7月年投入运行以来,茶园的茶叶尤其是幼龄树苗能得到适时适量的水分补充,生长状态良好。2000年冬和2001年春,当地遇到干旱天气,试点茶园的茶叶生长没有受到影响,但周围无水灌溉的茶园,茶叶生长受到较大影响。试验结果表明,茶树实行喷灌后,增产28.7%,节水31.1%,省工66.67%。喷灌技术在实际应用中充分

体现了节水、节能、省工、增产、增收的综合效果。

3 喷灌对茶叶优质增产的影响

3.1 喷灌能及时满足茶树需水

喷灌改善了土壤水分条件,水分是茶树体内各器官和组织的主要成份;没有水分,这一系列生物化学过程就无法进行。根系从土壤中吸收养料以及茶树自身制造的有机养料运输到体内各部位,都离不开水这一媒介物。茶树生长发育需要较高的土壤水分条件^[1]。

当地在夏季、秋季、冬季仍属于高温或干旱,没有水分保证的话,会影响茶树的生长。如冬茶生长期,多年平均日耗水达到平均值为 3.49 mm,如果没有降雨,土壤含水量就会迅速下降,茶叶出现了萎缩、发黄,及时进行了灌水即可解除茶树受干旱的威胁,保证了冬茶生长期的发育。喷灌不会造成水的浪费,慢慢湿润土壤,不破坏土壤结构,保持土壤有良好的通透条件,土壤水分始终稳定地处于低张力状态,便于肥水的吸收利用,使茶叶在最佳水分状态下生长。灌水时间也不受限制,什么时候干旱缺水就什么时候灌水,这就保证了随时满足茶叶生长的需水要求。

3.2 喷灌能改善田间小气候

茶树是一种叶用作物,需要较高的空气湿度,喷灌不但能满足茶树生长发育对土壤水分的要求,同时增加了空气湿度,从而改善了茶树生长发育的小气候条件。喷灌可增加茶树株间空气湿度 26.04%,从而满足茶树要求的高湿气候条件。

茶叶对气候条件的反应比较敏感,在不同生长发育期,对环境条件的要求也不同。温度过低,会冻死茶树;温度过高,会烧坏新梢,叶片发生卷曲。如 2000 年 11 月 2 日,十几天没有下雨,温度 24.4℃,喷灌以后,田间气温降至 21.1℃,保证了茶叶所需的水分。喷灌降低了田间气温,有利于植株叶片光合作用,增加土壤水分含量,降低土层的温度,促使茶叶根系吸水吸肥。

3.3 喷灌促进茶树根系的生长发育

茶树根系喜湿忌渍,但要求土壤保持一定湿度。如果生长季节缺水,则会影响叶面蒸腾作用的正常

进行,导致叶片气孔关闭,CO₂ 不能进入叶内,削弱光合作用的强度,影响营养物质的制造积累和根系对养分的吸收。当然,水分也不能过多,否则会导致土壤通气状况恶化,根部呼吸作用困难,从而影响根系对水分与无机营养的吸收,甚至造成根系腐烂^[2]。

茶树根系吸水主要靠须根,对水分吸水主要有两种动力:一种是根系本身代谢为基础的主动吸水,是属于根压,通过根细胞组织的生理活动,产生吸水动力;另一种是蒸腾拉力,以蒸腾作用为基础的被动吸水,通过叶面水分的蒸发,产生巨大的水势差,迫使根系向土壤中吸收水分。影响根系吸水的外部因素主要有土壤含水量、土壤温度、土壤透气性和土壤溶液浓度。采用喷灌技术,保持土壤颗粒的通气性,不会产生过大的水势,这样有利于根系的主动吸水和被动吸水,从而保证茶叶正常生长。一旦发现茶树出现不正常现象,应马上喷灌。

3.4 喷灌对茶叶生长态势的影响

由于喷灌改善了田间小气候条件,从而促进了茶树枝条的生长和新芽的萌发。试验表明,喷灌枝条日平均生长量达 1.3 cm,而未喷的仅 1.1 cm;喷灌的一心三叶长 8~9 cm,而未喷的仅为 7 cm。

灌溉不但对茶树根系的生长有促进作用,而且对茶叶生长态势有促进作用。根据对比观测试验,有灌水的茶树生长比无灌水的快,喷灌与不灌溉相比,茶树高、茶树树幅直径分别增长 4.94%、9.76%。可见喷灌对茶叶生长具有促进作用。

4 结论

茶树实施喷灌后,提高了茶叶的产量,改善了茶叶的品质,增产 28.7%,节水 31.1%,省工 66.67%,效果显著。没有灌溉的茶叶失去光泽、生长缓慢、芽叶瘦小,甚至枯干,茶叶口感差、质量降低。

【参考文献】

- [1] 李远华. 节水灌溉理论与技术[M]. 武汉:武汉水利电力大学出版社,1999.
- [2] 陈伟. 梨树微喷灌的节水试验分析[J]. 节水灌溉,2000,(3): 28-29,35.

(收稿日期:2018-03-27)

设计与施工

某尾矿坝的三维有限元分析

王娟¹ 梅川² 龚春蕾²

(1. 湖北省水利水电科学研究院 武汉 430070;

2. 湖北省南水北调管理局 武汉 430062)

摘要 某尾矿坝总坝高 140 m, 初期坝为堆石透水坝, 后期采用尾矿水力充填法筑坝。基于尾矿坝分区分层填筑和坝体材料非线性, 采取材料分区和逐级施加荷载的方式, 建立三维有限元计算模型。结果表明, 各分区与坝基之间的变形基本协调, 应力从坝顶到坝基逐渐增大, 且分布符合一般规律。

关键词 尾矿坝; 邓肯-张模型; 有限元; 应力

某尾矿库是某大型矿山项目的配套工程, 主要包括尾矿坝、排洪设施和回水设施。该尾矿坝总坝高 140 m, 初期坝为堆石透水坝, 坝高 120 m, 后期采用尾矿水力充填法筑坝, 尾矿堆坝高度 20 m。

1 资料与方法

1.1 有限元计算原理

邓肯-张非线性模型公式简单, 参数物理意义明确且容易获取, 为应用最广泛的模型之一; 其中 $E-v$ 模型以切线弹性模量 E_t 和切线泊松比 ν_t 做为计算参数, 切线弹性模量表达式为:

$$E_t = KP_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n (1 - R_f S)^2 \quad (1)$$

式中: S 为剪应力水平, 反映材料强度发挥程度。表达式为:

$$S = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} \quad (2)$$

式中: $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 为破坏时的偏应力, 由摩尔-库伦 (Mohr - Coulomb) 破坏准则得:

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_f = \frac{2C \cos \varphi + 2\sigma_3 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (3)$$

切线泊松比 ν_t 为:

$$\nu_t = \frac{G - F \lg(\sigma_3/P_a)}{(1 - A)^2} \quad (4)$$

式中:

$$A = \frac{D(\sigma_1 - \sigma_3)}{KP_a (\sigma_3/P_a)^n (1 - R_f S)} \quad (5)$$

对于卸载情况, 采用回弹模量 E_{ur} 进行计算:

$$E_{ur} = K_{ur} P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n \quad (6)$$

堆石料的强度在一定程度上表现出非线性, 其内摩擦角随围压 σ_3 而变化, 按下式计算:

$$\varphi = \varphi_0 - \Delta \varphi \lg \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right) \quad (7)$$

1.2 建立计算模型

1.2.1 计算模型参数

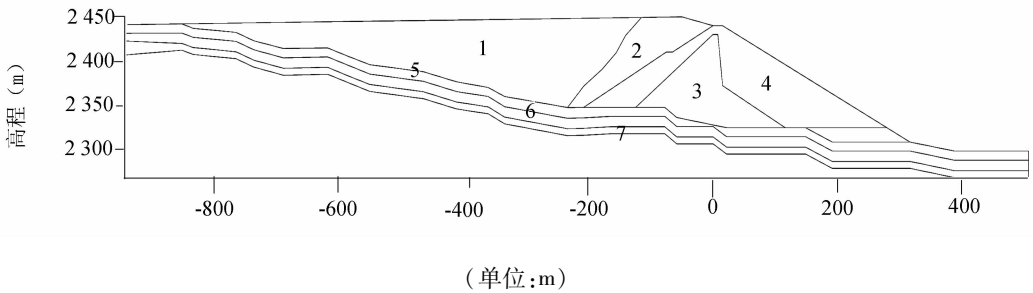
根据尾矿坝坝址工程地质和尾矿坝填筑情况对坝体进行分区, 见图 1。由室内三轴试验得到坝体、坝基的邓肯 $E-v$ 模型计算参数, 见表 1。

1.2.2 坝体填筑加载过程

根据材料分区和填筑过程, 荷载采用逐级施加的方式。按照坝基、初期坝、初期坝内尾矿、尾矿堆积坝顺序, 将尾矿坝及坝基共分为 39 级加载。

1.2.3 坝体网格剖分

沿坝轴线方向共设定了 42 个计算剖面, 自左岸至右岸进行编号, 尾矿坝共剖分单元数 7 121 个, 节点 7 398 个。



1. 尾粉质粘土; 2. 尾粉砂; 3. 微风化堆石; 4. 中风化堆石; 5. 碎石土

图 1 坝体材料分区图

表 1 坝料邓肯 $E-v$ 模型计算参数

筑坝材料名	干密度 (g/cm^3)	K	n	R_f	D	G	F	C (kPa)	$\Phi(^{\circ})$
1. 尾粉质粘土	1.70	73	0.77	0.62	3.188	0.222	0.130	23	31.8
2. 尾粉砂	1.88	228	0.61	0.87	1.562	0.444	0.178	0	33.8
3. 微风化堆石	2.14	980	0.27	0.88	3.96	0.400	0.177	0	52.3
4. 中风化堆石	2.14	766	0.65	0.74	7.31	0.410	0.139	0	56.0
5. 碎石土	1.60	730	0.14	0.95	4.12	0.305	0.181	51.2	33.1

2 结果

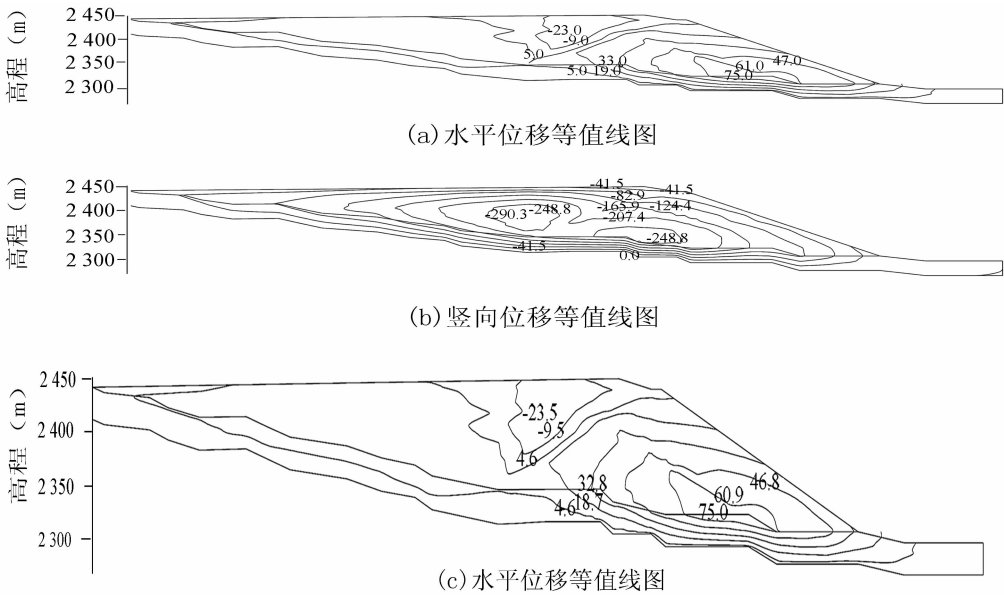
根据上述有限元计算原理与方法、模型参数、加载过程,对尾矿坝进行了三维有限元计算分析。选取坝体最大剖面作为坝体代表剖面,对坝体的位移、应力分布进行说明。

2.1 变形

正常库水位工况下,尾矿坝向下游方向的水平位移最大值为 75.0 cm,出现在坝体下游 2 340.0 m 高程

与坝基相接处;竖直向最大沉降为 290.3×10^{-2} cm,出现在尾粉质粘土库区 2 385.0 m 附近高程处,见图 2 - a、图 2 - b。

洪水工况下尾矿坝变形与正常库水位工况相比,水位的上升使变形有所增大。向下游方向的水平位移最大值 75.0 cm,出现在坝体下游 2 340.0 m 高程与坝基相接处;竖直向最大沉降为 291.1×10^{-2} cm,出现在库区 2 390.0 m 附近高程处,见图 2 - c、图 2 - d。



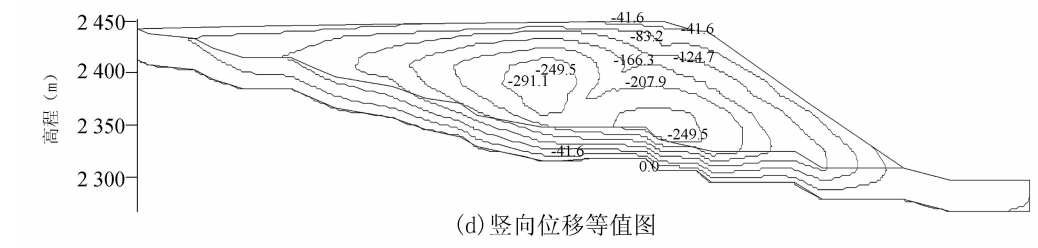
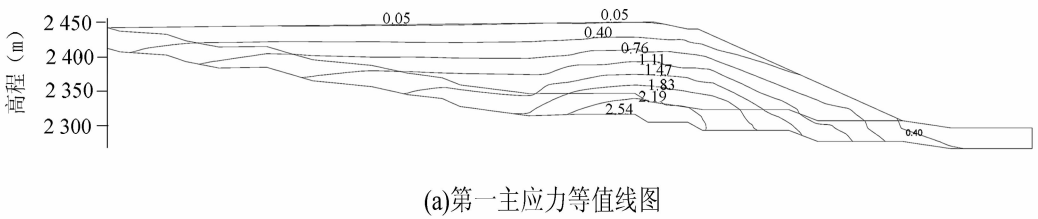


图 2 典型剖面位移等值线图

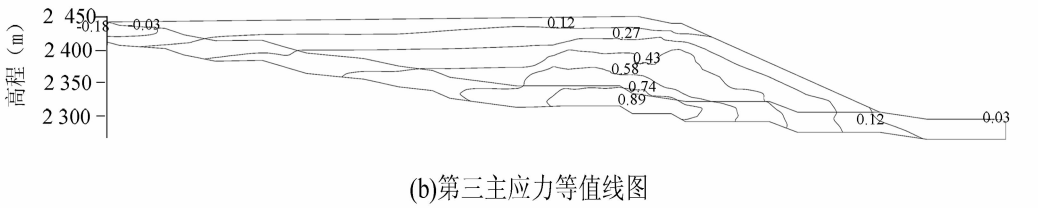
2.2 应力

正常库水位工况下,尾矿坝第一主应力最大值为 2.54 kPa,第三主应力最大值为 0.89 kPa,均发生在二期坝体底部坝轴线位置附近,见图 3 - a 、图 3 -

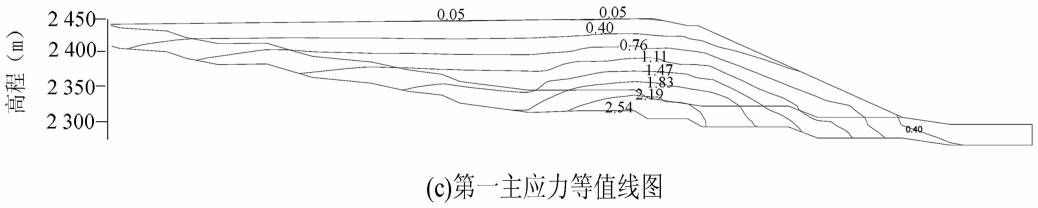
b。洪水工况下,第一、第三主应力分布规律与正常库水位时期基本一致。第一主应力最大值为 2.54 kPa,第三主应力最大值为 0.89 kPa,均发生在二期坝体底部坝轴线位置附近,见图 3 - c 、图 3 - d。



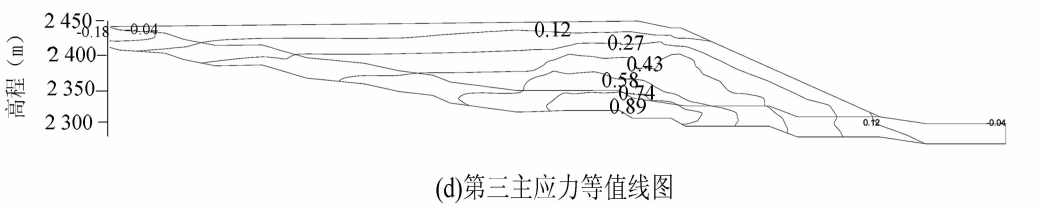
(a)第一主应力等值线图



(b)第三主应力等值线图



(c)第一主应力等值线图



(d)第三主应力等值线图

图 3 典型剖面主应力等值线图

2.3 剪应力水平

三维有限元计算模型结果表明,正常库水位和设计洪水两种工况下,剪应力水平分布规律基本

一致,最大值均为 0.84 kPa,位于坝体下游坝基 2 310 m 高程处,尾矿库区内最大值为 0.72 kPa,见图 4 - a,b。

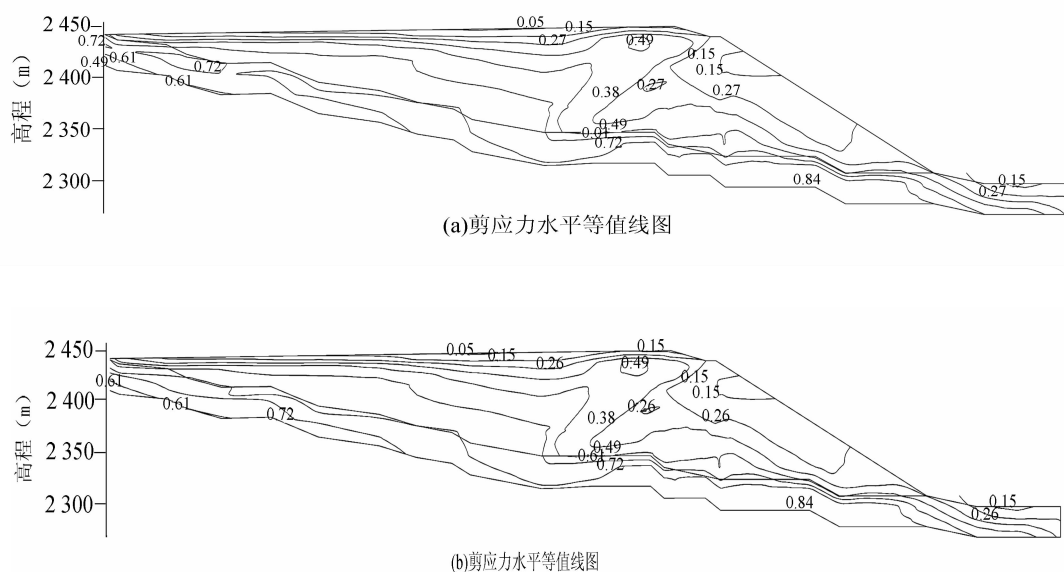


图 4 典型剖面剪应力水平等值线图

3 小结

(1) 尾矿坝最大沉降变形为 291.1×10^{-2} cm, 其中堆石坝为 255 cm, 且尾矿坝的应力从坝顶到坝基逐渐增大, 应力分布符合一般规律。大主应力为 2.54 kPa, 小主应力为 0.89 kPa, 位于堆石坝底部的覆盖层内。

(2) 经计算, 尾矿坝存在一定变形趋势, 与现有监测发现情况一致, 需要进一步的监测观察。

(3) 本次针对尾矿坝得三维有限元分析, 能良好的佐证现有坝体变形位移监测数据, 对进一步论证

该坝是否需要加固处理, 提供了有力的理论依据。

【参考文献】

- [1] 王勖成, 邵敏. 有限元法基本原理和数值方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [2] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算(第二版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [3] 曹林卫, 彭向和, 李德. 变形场和渗流场耦合作用下的尾矿坝静力稳定性分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2007, 29(5): 112-118.
- [4] 殷宗泽. 高土石坝的应力与变形[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(1): 1-11.

(收稿日期: 2018-04-16)

水利课堂

面流式消能

利用鼻坎将高速水流挑至尾水表面, 在主流表面与河床之间形成反向旋滚, 使高速水流与河床隔开, 避免了对临近坝趾处河床的冲刷。由于表面主流沿水面逐渐扩散以及反向旋滚的作用故产生消能效果。面流消能适用于下游尾水较深(大于跃后水深), 水位变幅不大, 下泄流量变化范围不大, 以及河床和两岸有较高的抗冲能力的情况下。它的缺点是对下游水位和下泄流量变幅有严格的限制, 下游水流波动较大, 在较长距离内不够平稳, 影响发电和航运。

设计与施工

南水北调兴隆水利枢纽船闸运行情况及建议

李 强 罗云龙

(兴隆水利枢纽船闸管理所 潜江 433126)

摘 要 总结了湖北省汉江兴隆水利枢纽兴隆船闸5年来的运行管理工作,主要包括通航运行情况和设备运行情况,结合汉江下游航运发展态势及运输船舶通行情况,提出了相关建议。

关键词 兴隆船闸;船舶;设备

汉江兴隆水利枢纽船闸位于汉江下游湖北省潜江、天门市境内,上距丹江口枢纽378.3 km,下距河口273.7 km,兴隆水利枢纽是南水北调中线工程汉江中下游治理工程之一,是汉江梯级开发的最后一级,其主要功能是灌溉、航运兼顾发电。枢纽主要由泄水闸、船闸、电站、鱼道、两岸滩地过流段及其上部交通桥组成;其中兴隆船闸航道等级为Ⅲ级,主体由上闸首、闸室、下闸首下游消能段组成,总长268 m,闸室平面有效尺寸为180 m×23 m×3.5 m(长×宽×最小槛上水深)。船闸近期设计代表船队为1+4×500 t双排双列标准顶推船队,尺度为115.8 m×21.6 m×1.6 m,远景设计代表船队为1+4×1 000 t双排双列标准顶推船队,尺度为167 m×21.6 m×2.0~2.2 m。

兴隆水利枢纽库区属河槽式水库,调度按坝前正常蓄水位36.20 m和上下游水位差不大于7 m控制,来水随到随泄,没有调节库容;库区回水超过70 km,有效改善了库区航道条件,提高了船舶运行效率,降低了航运成本,创造了更多的社会效益。

1 通航运行概况

兴隆船闸自2013年4月份试运行以来,通航模式由地方海事部门负责对通过兴隆枢纽的过闸船舶进行统一调度管理,对过往船舶登记和船检;船闸管理所航务人员根据海事部门登记的信息,对待闸船舶排档后,调度船舶进闸。船闸及上下游引航道可

基本满足船舶通过,通航设施运行状态基本正常。随着汉江下游航运迅猛发展和兴隆枢纽对汉江航道条件的改善,过闸船舶数量不断增加,从2017年开始,兴隆船闸逐步实行了白天不间断通航管理。

2013年4~12月,过闸船舶4 681艘次,核定载货量273.5万t,其中船宽小于10 m的2 746艘次,船宽在10~11.5 m的1 139艘次,船宽大于11.5 m的796艘次。

2014年1~12月,过闸船舶4 302艘次,核定载货量259.8万t,其中船宽小于10 m的2 582艘次,船宽在10~11.5 m的879艘次,船宽大于11.5 m的841艘次。

2015年1~12月,过闸船舶6 376艘次,核定载货量446.0万t,其中船宽小于10 m的2 477艘次,船宽在10~11.5 m的1 052艘次,船宽大于11.5 m的2 397艘次。

2016年1~12月,过闸船舶6 856艘次,核定载货量487.9万t,其中船宽小于10 m的2 589艘次,船宽在10~11.5 m的1 450艘次,船宽大于11.5 m的2 817艘次。

2017年1~12月,过闸船舶10 491艘次,核定载货量898.9万t,其中船宽小于10 m的3 855艘次,船宽在10~11.5 m的3 130艘次,船宽大于11.5 m的3 506艘次。2013年~2017年兴隆船闸船舶过闸统计如表1。

表 1 兴隆船闸历年船舶过闸统计

年份	过往船只数量(艘)	与上年同比(%)	核定载货吨位(t)	与上年同比(%)	实际载货吨位(t)	与上年同比情况(%)	主要货物
2013	4 933	/	2 734 773	/	1 439 354	/	煤、建材、砂石、矿石
2014	4 542	-7.93	2 597 655	-5.01	1 367 187	-5.01	煤、建材、砂石、矿石
2015	6 376	40.38	4 460 288	71.70	2 347 520	71.70	煤、建材、砂石、矿石、硫酸(少量)
2016	6 856	7.53	4 878 848	9.38	2 574 823	9.68	煤、建材、砂石、矿石、集装箱、硫酸(少量)
2017	10 491	53.02	8 989 435	84.25	5 238 045	103.43	煤、建材、砂石、矿石、集装箱、硫酸(少量)

2 设备运行情况

兴隆船闸主要配备了 4 套人字门 1 200 kN 液压启闭机、4 套充泄水工作阀门 250 kN 液压启闭机、2 套活动桥 2 × 250 kN 液压启闭机以及 1 套 500/63 kN(双向)检修 L 型门式启闭机等设备。自兴隆船闸试运行以来,设备运行一直由船闸管理所组织人员自主检修维护管理,金结设备运行状态良好,未出现安全事故。

兴隆船闸设计年正常通航时间为 335 d(年计划检修时间为 30 d),船闸运行以来,因通航及社会压力等原因,停航检修时间仅 20 d,这样的运行工况对维护人员检修维护能力要求较高,设备维护工作量也很大。船闸运行 5 年来,船闸设备稳定性得到了充分发挥,保障了航运畅通。

3 建议与措施

结合汉江下游航运发展态势以及通过运输船舶

情况,提出几点建议。

(1)通过兴隆枢纽的超千吨级船舶日益增多,船闸设计标准已不能满足通航需求,严重影响通航效率;应根据过往船舶实际通行需求,尽快启动建设双线船闸可行性方案编制及实施,避免过往船舶由于长时间等待而无法通行,引起社会矛盾。

(2)兴隆船闸设备检修维护工作比汉江其他通航单位设备检修维护要求高,需借鉴长江流域及京杭运河航运管理经验,尽快启动船闸金结设备检修维护外委工作与实施,保证设备安全以及船闸稳定运行。

(3)船闸顶升桥是按Ⅲ级航道千吨级船舶 8 m 净空高度设计的,当前汉江通行的船舶 90% 超过 8 m 净空高度,应尽快研究解决因顶升桥影响通航与通行的方法与实施方案。

(收稿日期:2018-01-12)

水利课堂

河流的梯级开发

有的河流不仅落差很大,而且源远流长,因此无法通过建造一座坝来集中全河的落差而加以开发利用。在这种情况下,我们可以将全河分成若干段,分段来集中落差,即上级水电站发电后用过的水流入下一级水电站机组继续利用,以此类推。每一级水电站的挡水坝和水库的水面形似一个台阶,从下游到上游,逐级升高,犹如一架倾斜的梯子,所以人们常称之为河流的梯级开发。

学会论坛

鱼类下行洄游过程中应对加速流行为反应研究

陈健琦 李敏訥 石小涛

(三峡大学 宜昌 443002)

摘要 加速流普遍存在于鱼类下行过坝通道中,包括溢洪道、水轮机、船闸及过鱼旁路等,会影响鱼类下行洄游行为。为了探究拦水闸坝工程对鱼类下行过程的影响,以长江流域四大家鱼之鲢、鳙幼鱼及雅鲁藏布江重要经济鱼类拉萨裸裂尻为研究对象,采用断面收缩式开放水槽制造不同梯度加速流流场,利用自主研发的鱼类行为视频分析技术,分别对加速流中鱼类的偏好行为及逃逸行为进行定量分析。识别特征行为学参数对应的敏感水力学指标及阈值,理清逃逸速度与游泳能力之间的关系。研究结果将为鱼类下行过坝提供一定参考依据。

关键词 加速流;偏好行为;逃逸行为;鲢;鳙;拉萨裸裂尻

鱼类在不同水域进行周期性迁徙的行为称之为洄游^[1],常见的洄游类型根据其目的不同可以分为生殖洄游、索饵洄游和越冬洄游等。大坝的修建在阻断河流连续性的同时,也阻断了鱼类的洄游通道^[2-4]。无论是溯河洄游还是降河洄游,鱼类在从大坝的一端向另一端迁徙时,会因大坝的阻隔而难以顺利完成迁徙过程^[5-10]。加速流可能引起鱼类下行过坝过程中的逃逸行为或造成鱼类因被动卷吸而受到伤害^[11,12]。目前,有关鱼类行为与水力因子响应关系的研究主要集中在辅助鱼类上溯的过鱼设施领域^[13-15]。有学者通过模型结合数值模拟的方法(Fluent, Flow3D, Mike)获取鱼道内的流速分布、自由水面特征、紊动能、雷诺应力以及射流分布形态,以优化鱼道设计或发现鱼类的上溯行为规律^[16];而鱼类下行方面的研究相对较少,仅局限于少量行为学指标的分析^[2,17]。鱼类下行中遇到水流速度梯度时会产生一系列复杂的行为反应,包括趋流方向转换、下行游泳速率变化、游回上游的逃逸行为、无方向改变的主动下行游泳、延迟下行、被动位移以及这些行为的交替^[19-21]。鱼类的下行游泳行为受多种生物和非生物因素的影响,包括种类、发育阶段、昼

夜节律、光照、遮蔽物和水流速度等。

近年来,国内外出现了以工程应用为最终目的的鱼-水关系研究,多集中在辅助鱼类上溯并基于对鱼类下行洄游通过加速流的基础研究,学者和工程师们成功地在工程实践中实现了鱼类高效过坝;其中, Haro 等^[9]的工作具有较大的影响力,其提出了溢流堰堰口流速设计标准,基本设计理念是寻找鱼类不敏感的流速梯度增量,引导鱼类随水流漂流而不出现逃逸行为,最后实现在鱼类尝试逃逸时鱼体已经处于超过有效逃逸速度的流速中而无法逃出的效果,实现下行鱼类的顺利过坝;随后,其研究成果被应用在哥伦比亚河上,不仅使下行洄游通过溢洪道的幼鱼数量显著增加,而且减小了下泄流量,每年为电站增收上百万美元。因此,研究鱼类下行过程中应对加速流的响应行为,可以为设计帮助鱼类安全高效过坝的辅助设施等方面提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

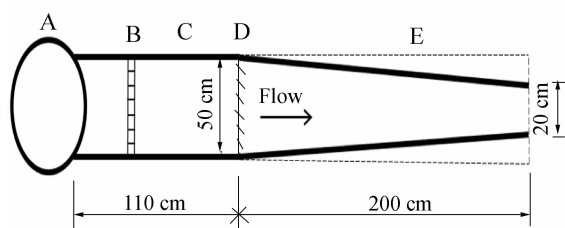
(1) 鲢鳙。实验鱼于2016年6月购自湖北宜都渔

场,置于圆形玻璃钢暂养水槽(直径 2 m,水深 0.5 m)内暂养 3 d。暂养期间,水温控制在 $(20.0 \pm 1.2)^\circ\text{C}$,日换水量约为暂养水体的 25%,24 h 持续充氧。鲢体长 $(9.4 \pm 1.1)\text{cm}$,体重 $(9.5 \pm 3.0)\text{g}$;鳙体长 $(10.13 \pm 1.09)\text{cm}$,体重 $(14.68 \pm 3.58)\text{g}$ 。暂养结束后,挑选体重相近、健康活泼的鱼作为研究对象。

(2)拉萨裸裂尻。雅鲁藏布江流域重要经济鱼类及藏木鱼道主要过鱼对象拉萨裸裂尻。为适应严酷的高原环境,其在长期的进化过程中,身体完全裸露无鳞。本次实验鱼体长 $(10.14 \pm 0.03)\text{cm}$,体重 $(13.14 \pm 0.02)\text{g}$ 。

1.2 实验装置

(1)鲢鳙。实验装置如图 1 所示。其中,水箱(A)与整个装置相通,通过水箱与装置平面产生不同水位差制造不同范围的加速流,紧接着水箱的为平整水流的导流筛板(B),其后为整流后的均匀流区域(C),水槽进口设有拦网(D),通过断面渐缩的渐变水槽(E)制造加速流流场,其中预实验的空白组实验区如图 1 中虚线所示,过水断面形状沿程不变用以制造均匀流。摄像机架设在实验区域正上方。



A. 水箱;B. 导流筛板;C. 适应区;D. 拦网;
E. 渐变水槽(实验区)

图 1 偏好水流速度实验装置模型图

(2)拉萨裸裂尻。实验装置为开放式水槽中设置阻流体制造加速流流场。流速设置参考藏木鱼道竖缝处流速,共设置低、中、高 3 种工况(表 1)。实验前将实验鱼在上游处适应 30 min,以消除转移胁迫的影响。适应结束后拉开拦网使其进入试验区,当实验鱼完全通过加速流区域视为实验结束。最长实验时长为 30 min,否则视为不能下行。通过软件分析,获取实验鱼成功下行相应的水流速度。

1.3 实验设计

有研究表明^[22],鲢鳙幼鱼在 20°C 环境下偏好 $15.18 \sim 27.91\text{cm/s}$ 的流速范围,预实验空白组流速设为 25cm/s ,对照组的加速流进口流速(25cm/s)与空白对照相同。预实验发现,空白组实验鱼没有表现下行行为,但在加速流下表现出了下行行为,表

明加速流对实验鱼的游泳行为产生了影响。为进一步探索这种影响,本研究设置了 2 种变幅不大的加速流,用以对比和验证。根据以往研究^[23],水流速度范围可设为 $0 \sim 60\text{cm/s}$,本研究设置为 $22 \sim 55\text{cm/s}$ 和 $25 \sim 60\text{cm/s}$ 。实验区域按 5cm/s 流速差划分为 1 ~ 8 个流速区域:

加速流 I(1 区: $<25\text{cm/s}$,2 区: $25 \sim 30\text{cm/s}$,3 区: $30 \sim 35\text{cm/s}$,4 区: $35 \sim 40\text{cm/s}$,5 区: $40 \sim 45\text{cm/s}$,6 区: $45 \sim 50\text{cm/s}$,7 区: $50 \sim 55\text{cm/s}$,8 区: $>55\text{cm/s}$)。

加速流 II(1 区: $<30\text{cm/s}$,2 区: $30 \sim 35\text{cm/s}$,3 区: $35 \sim 40\text{cm/s}$,4 区: $40 \sim 45\text{cm/s}$,5 区: $45 \sim 50\text{cm/s}$,6 区: $50 \sim 55\text{cm/s}$,7 区: $55 \sim 60\text{cm/s}$,8 区: $>60\text{cm/s}$)。

表 1 拉萨裸裂尻鱼实验处理情况

实验 工况	流速范围 (cm/s)	加速度梯度 [cm/(s·cm)]	重复次数
低	40 ~ 88	0.46	30
中	40 ~ 103	0.66	30
高	40 ~ 121	0.85	30

在进行结果对比时,以加速流 II 划分为准,将加速流 I 中第 1、2 流速区域归并为 $<30\text{cm/s}$,第 8 流速区域归并为 $55 \sim 60\text{cm/s}$ 。2 种加速流下,每次实验随机选择 1 尾鱼,依次完成鲢和鳙各 30 尾。为消除饵料消化影响,所有实验鱼在实验前禁食 24 h。实验时先将实验鱼转入装置 C 区域适应 1 h,适应期水流环境与实验期一致,适应结束后拉开拦网(D)使鱼进入实验区域(E)。同时开启摄像头,实验时间在每天 9:00 ~ 19:00。若实验鱼下行通过渐变水槽最末端,则本次实验结束,并记录相应实验时间,每尾实验鱼最长摄像时间为 30 min。

1.4 数据分析

通过对视频进行分析,获取实验鱼在不同加速流下游泳行为相关数据,并计算得到实验鱼在各速度区域停留时间百分比(F_i):

$$F_i = t/T \quad (1)$$

式中, F_i 实验鱼在各流速区域停留时间百分比(%); t 为实验鱼在各速度区域停留总时间(s); T 为每尾鱼的实验时间(s)。

本研究中,活动时长 $<5\text{min}$ 的实验鱼在 2 种加速流下的各流速区域未表现明显停留行为,故不作偏好水流速度选择分析,仅作下行通过率统计。活动时长 $>5\text{min}$ 的实验鱼可视为非直接下行,采用实验视频和流场相耦合(图 2)的方法分析鱼所在流速

区域并记录相应停留时间。实验数据采用 SPSS 20.0 进行分析,统计值均以平均值 $\pm$ 标准误 (Mean $\pm$ SE) 进行描述,采用 Oneway - ANOVA 分析差异性,显著水平设定为 $P < 0.05$ 。

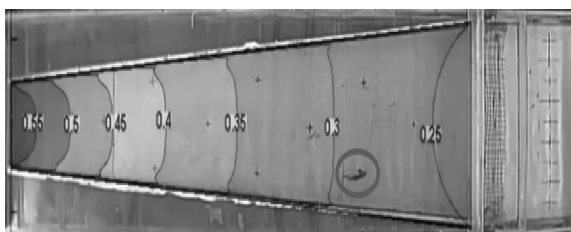


图2 加速度 I 下视频与流场耦合效果图

2 结果

2.1 鳙的游泳行为

不同鳙个体在实验区活动时长存在差异,本研究以 5 ~ 10 min, 10 ~ 20 min 和 20 ~ 30 min 这 3 类活动时长对非直接下行的鳙在各流速区域的停留时间 $t(s)$ 进行统计,并计算出相应的停留时间百分比 (F_i)。结果表明:活动时长 5 ~ 10 min 的鳙,其 76.48% 的时间选择高流速区 (> 50 cm/s);活动时长 10 ~ 20 min 的鳙选择低流速区域 (< 30 cm/s) 占比 34.6%,选择高流速区占比 64.5%;活动时长 20 ~ 30 min 的鳙在低流速区域 F_i (53.49%) 和高流速区域的 F_i (44.15%) 无明显差异 ($P > 0.1$),且均显著高于其他速度区域 ($P < 0.05$)。

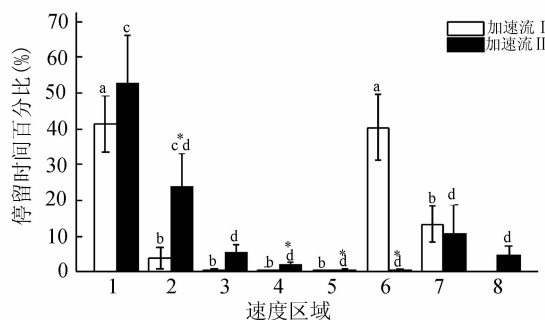
整体上(图3)鳙在加速流 I 中的第 1 (< 30 cm/s) 和第 6 (50 ~ 55 cm/s) 流速区域的 F_i 值显著高于其他流速区域 ($P < 0.05$),且这 2 组的 F_i 值无差异 ($P > 0.1$),其他 5 组的 F_i 值无差异 ($P > 0.1$)。加速流 II 中低流速区域 F_i 值显著高于高流速区域,第 1、2 速度区域 F_i 无差异 ($P > 0.1$),第 1 速度区域 F_i 值显著高于第 3 ~ 8 流速区域 ($P < 0.05$),且第 2 ~ 8 组流速区域 F_i 值无明显性差异 ($P > 0.1$)。加速流 I 中第 6 速度区域的 F_i 显著高于加速流 II ($P < 0.05$),但 I 中第 2 ~ 5 流速区域的 F_i 显著低于 II ($P < 0.05$)。

2.2 鲢的游泳行为

鲢在实验中除了直接下行的外,其他均能持续游泳 30 min 以上。

鲢在加速流 I 中的低流速区域 F_i 值显著高于高流速区域(图4)。其中,第 1 流速区域 F_i 显著高于其他流速区域 ($P < 0.05$);第 2 流速区域的 F_i 值显著高于第 4 ~ 7 流速区域 ($P < 0.05$) 且与第 3 区域无明显差异 ($P > 0.1$);第 3 ~ 7 流速区域的 F_i 无显

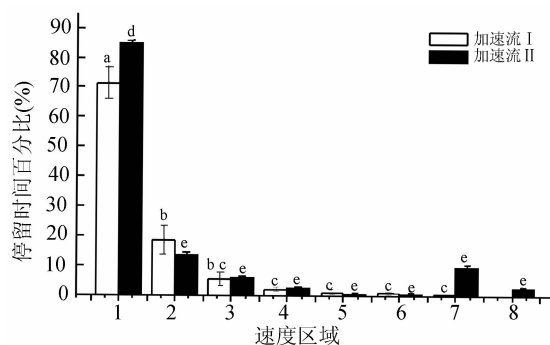
著性差异 ($P > 0.1$);鲢在 II 中的第 1 流速区域的 F_i 显著高于其他流速区域 ($P < 0.05$),其他流速区域的 F_i 值无明显差异 ($P > 0.1$)。I 与 II 相比,同一流速区域中的 F_i 无明显性差异。



a, b, c, d 表示同一加速流下不同流速区域差异显著 ($P < 0.05$);

* 表示不同加速流下同一流速区域组差异显著 ($P < 0.05$)。

图3 鳙在两种加速流下的各个速度区域活动时间百分比



a, b, c, d 表示同一加速流下不同流速区域差异显著 ($P < 0.05$);

* 表示不同加速流下同一流速区域组差异显著 ($P < 0.05$)。

图4 鲢在两种加速流下的各个速度区域活动时间百分比

2.3 拉萨裸裂尻的游泳行为

图5可见,实验拉萨裸裂尻在低、中、高3种工况下发生逃逸点的水流速度没有显著性差异 ($P < 0.05$)。图6表明,60 ~ 70 cm/s 和 70 ~ 80 cm/s 占比最高,可见该流速梯度激发了实验鱼的逃逸行为。逃逸行为定义为鱼类下行过程中遇到不合适的水流速度梯度时游回上游的行为,视频中可见当实验鱼进入加速流下游时会表现出明显的逃逸行为。随着逃逸点水流速度的增大,实验鱼的绝对游泳速度也随之增大,两者呈线性增长关系(图7)。实验结果可为鱼类经过加速流区域流速设置提供一定的参考依据。

3 分析与讨论

3.1 鲢鳙对水流速度的偏好差异

鱼类对水流具有一定的选择性,可选择对抗水流

而逆流游泳,或通过调节自身游泳姿态来适应水流速度^[24]。本研究发现,2 种加速流下,鲢在 <30 cm/s 流速区域 F_t 值分别为 71.43%、84.57%,鳙分别为 41.41%、52.85%,均显著大于其他流速区域,说明鲢、鳙在该条件下具有偏好水流速度;这与滤食性鲢和鳙表现出的偏好水流速度范围(15.18 ~ 27.91 cm/s)

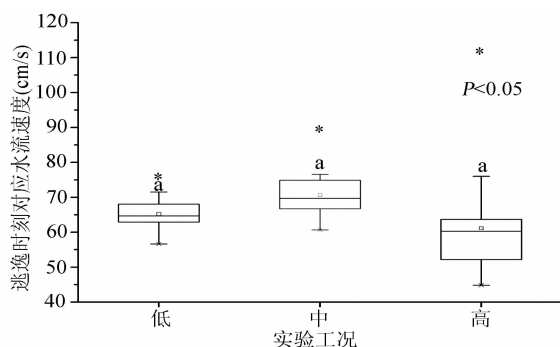


图 5 3 种工况下实验鱼逃逸点水流速度

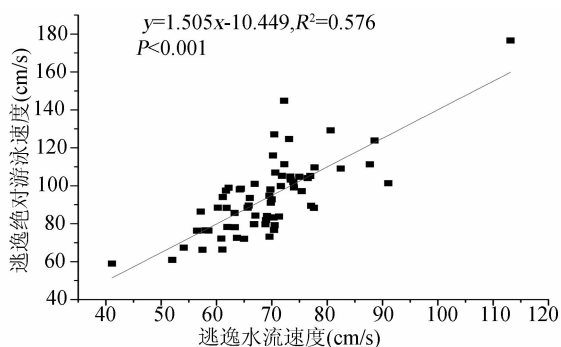


图 7 拉萨裸裂尻逃逸水流速度及绝对游泳速度关系

3.2 鲢鳙游泳能力的影响因素

在高流速区域停留时间长短受鱼类游泳能力强弱影响。鲢幼鱼偏好水流速度 <30 cm/s 的区域,一方面是因为实验开始拉开上游拦网后,鲢一般在上游主动对抗水流而逆流游泳,并不随水下行至高流速区域;另一方面是随着断面渐缩,流速递增,鲢无法在高流速区域停留较长时间,且维持较短时间后选择下行。活动时长为 5 ~ 10 min 的鳙大多活动在 >50 cm/s 区域,这主要是因为打开拦网后,鳙选择顺水而下到达下游段的高流速区,由于鳙的游泳能力不足以使其长时间在高流速区域维持稳定游泳姿态,较短时间后选择下行。有研究表明,强迫鱼在特定空间内抵抗较高水流速度时,由于水流速度过高会造成鱼类无法采取稳定的游泳方式,该鱼则可能拒绝持续游泳^[27]。活动时长为 10 ~ 20 min 及 20 ~ 30 min 的鳙在第 1、6 流速区域 F_t 值分别为

相吻合^[22]。且鲢在 <30 cm/s 流速区域的 F_t 值显著高于鳙,导致鲢在流速更高的其他流速区域的 F_t 小于鳙。相关研究表明,不同水流速度生境中鱼类游泳能力存在明显差异且所偏好水流速度范围也有所不同^[25],这与鱼类外部形态、内部结构以及水流流态密切相关^[26]。

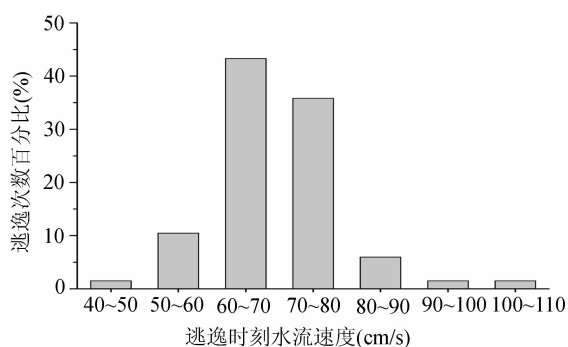


图 6 逃逸点水流速度分布百分比

40.32%、41.41%,显著大于其他流速区域。鳙临界游泳速度(20℃)时为(4.57 ± 0.56) BL/s^[28],而第 6 区域流速(50 ~ 55 cm/s)正好处于临界游泳速度之后,视频观察发现,鳙在临界游泳速度区域频繁表现出了“爆发-滑行”行为,而频繁使用爆发式游泳预示鱼即将疲劳,疲劳后的鱼会顺流而下,导致其在第 6 区域的停留时间出现了回增。I 与 II 相比,鳙选择的流速范围有所不同,表明加速流对鳙幼鱼下行过程中游泳行为产生了影响;另外,鱼类下行游泳行为还会受到发育阶段、昼夜节律、光照等影响^[10,17],如褐鳟(*Salmo trutta*)主要在夜间下行洄游^[29],光照则通过影响鱼类的视觉信号获取和集群行为产生改变大鳞大马哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)的下行行为^[21,30]。由于鱼类行为的复杂性和其同时受内在和外在因素影响的特征,鱼类下行通过加速流的行为学规律仍有待研究。

4 研究展望

后续研究将从以下两个方面开展。

(1) 鱼类下行过程中应对加速流时发生特征行为对应的水力学条件是什么。加速流条件下,通过探讨四大家鱼幼鱼下行遭遇加速流时的游泳行为(回避、适应和顺流而下等)和水力学条件(流速、流速梯度、雷诺应力和动能梯度等)的关系,验证如下假设:存在流速梯度之外的敏感水力学指标和阈值,下行幼鱼应对加速流时在该临界值会产生回避反应,并且该临界值会随着适应行为的发生而改变。

(2)通过定量幼鱼下行过程中的逃逸行为和适应行为及其发生的水力学条件,构建卷吸风险指数模型和指标体系,建立鱼类下行成功率的定量评价方法,验证如下假设:鱼类在特定的加速流中可首先随水流下行而不发生逃逸行为,当其察觉特征加速流时,即使发生逃逸行为,也会因为发生被动卷吸而不能逃离加速流,进而实现鱼类的快速下行。

【参考文献】

- [1] Cooke J S, Hinch G S, Donaldson R M, et al. Conservation physiology in practice; how physiological knowledge has improved our ability to sustainably manage Pacific salmon during up river migration[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, 2012, 367:1757-1769.
- [2] 朱海峰, 刘流, 路波, 等. 鱼类下行过坝相关工程措施综述[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(10): 33-37.
- [3] 高勇, 常剑波. 过鱼设施对鱼类资源保护的意义[C]. 中国海洋湖沼学会鱼类学分会、中国动物学会鱼类学分会 2004 年学术研讨会摘要汇编, 2004, 43-44.
- [4] Bednarek A T, Hart D D. Modifying dam operations to Restore River: Ecological Responses to Tennessee River Dam mitigation[J]. Ecological Applications, 2005, 15(3): 997-1008.
- [5] 梁园园, 刘德富, 石小涛, 等. 集运鱼船研究综述[J]. 长江科学院院报, 2014, 31(2): 25-34.
- [6] 罗佳, 姜伟, 陈求稳, 等. 葛洲坝下中华鲟产卵场食卵鱼资源量的调查和分析[J]. 淡水渔业, 2013, 43(4): 27-30.
- [7] 肖慧. 葛洲坝水利枢纽与珍稀鱼类保护实践[A]. 黄真理, 付博杰, 杨志峰. 21 世纪长江大型水利工程中的生态与环境保护[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998, 199-209.
- [8] Piper AT, Wright RM, Walker AM, et al. Escapement, route choice, barrier passage and entrainment of seaward migrating European eel, *Anguilla anguilla*, within a highly regulated lowland river[J]. Ecological Engineering, 2014, 57: 88-96.
- [9] Haro A, Odeh M, Noreika J, et al. Effect of water acceleration on downstream migratory behavior and passage of Atlantic salmon smolts and juvenile American shad at surface bypasses[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1998, 127(1): 118-127.
- [10] Venditti D A, Rondorf D W, Kraut J M. Migratory behavior and forebay delay of radio-tagged juvenile fall Chinook Salmon in a lower snake river impoundment[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2000, 20(1): 41-52.
- [11] Boysen K A, Hoover J J. Swimming performance of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*): training and the probability of entrainment due to dredging[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2009, 25(2): 54-59.
- [12] Heisey P G, Mathur D, Fulmer J L, et al. Turbine passage survival of late-running adult American shad and its potential effect on population restoration[C]. Amaral S V, Mathur D, Taft III E P. American Fisheries Society Symposium, 2008, 61: 141-152.
- [13] 孙小利, 赵云, 田忠禄. 国外水电站的洄游鱼类过坝设施最新发展[J]. 水利水电技术, 2009, 40(12): 133-136.
- [14] 周鹏, 周殷婷, 姚帮松. 水利水电开发中鱼道的研究现状与发展趋势[J]. 水利建设与管理, 2011, 31(7): 40-43.
- [15] Bell M C. Fisheries handbook of engineering requirements and biological Criteria[R]. Fisheries Engineering Research Program, North Pacific Division, Corps of Engineers, Portland, Oregon, 1973.
- [16] 齐亮, 杨宇, 王悦, 等. 鱼类对水动力环境变化的行为响应特征[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(4): 438-445.
- [17] Katopodis C. Developing a toolkit for fish passage, ecological flow management and fish habitat works[J]. Journal of Hydraulic Research, 2005, 43: 451-467.
- [18] Kroese A. B. A. & Schellart N. A. M. 1992. Velocity - and acceleration - sensitive units in the trunk lateral line of the trout. Journal of Neurophysiology, 68(6): 2212-2221.
- [19] Liao J C, Beal D N, Lauder G V, et al. Fish exploiting vortices decrease muscle activity[J]. Science, 2003, 302: 1566-1569.
- [20] Peake S & McKinley R S. A re-evaluation of swimming performance in juvenile salmonids relative to downstream migration[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1998, 55(3): 682-687.
- [21] Kemp P S, Gessel M H, Williams J G. Seaward migrating subyearling Chinook salmon avoid overhead cover. Journal of Fish Biology, 2005, 67(5): 1381-1391.
- [22] 吴青怡, 曾令清, 曹振东, 等. 鲤科鱼类的流速选择及其与食性的关系[J]. 水产学报, 2016, 39(12): 1807-1816.
- [23] Tudorache C, O'Keefe R A, Benfey T J. Optimal swimming speeds reflect preferred swimming speeds of brook charr (*Salvelinus fontinalis* Mitchell, 1874)[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2011, 37(2): 307-315.
- [24] 李丹, 林小涛, 朱志明, 等. 不同流速下杂交鳊幼鱼游泳状态与活动代谢研究[J]. 水生生物学报, 2011, 35(4): 578-585.
- [25] Yan G J, He X K, Cao Z D, et al. An interspecific comparison between morphology and swimming performance in cyprinids[J]. Journal of Evolutionary Biology, 2013, 26(8): 1802-1815.
- [26] Facey D E, Grossman G D. The relationship between water velocity, energetic costs, and microhabitat use in four North American stream fishes[J]. Hydrobiologia, 1992, 239(1): 1-6.
- [27] Chen B J, Cao Z D, Fu S J. Hypoxia impairs the digestive advantage of individual southern catfish (*Silurus meridionalis*) with high resting metabolic rates and postprandial metabolic responses[J]. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology, 2014, 47(3): 197-204.
- [28] 蔡露, 涂志英, 袁喜, 等. 鳊鱼游泳能力和游泳行为的研究与评价[J]. 长江流域资源与环境, 2012, (S2): 89-95.
- [29] Vowles A S, Kemp P S. Effects of light on the behaviour of brown trout (*Salmo trutta*) encountering accelerating flow: Application to downstream fish passage[J]. Ecological Engineering, 2012, 47(1): 247-253.
- [30] Kemp P S, Williams J G. Illumination influences the ability of migrating juvenile salmonids to pass a submerged experimental weir[J]. Ecology of Freshwater Fish, 2009, 18(2): 297-304.

(收稿日期: 2018-03-11)

学会论坛

漳河水库岸带治理及水体保护实践

陈志明 陈祖梅 陈湘海 胡小梅

(湖北省漳河工程管理局 荆门 448156)

摘 要 依据漳河水库岸带治理及水体保护的实践,对水库污染现状、水库岸带治理的意义与原则、治理建设目标和内容、水库水体保护目标与思路、基本原则、实施方案与措施、长效与考核机制以及岸带治理与水体保护效益等进行了分析。结果表明,只有对河岸带进行生态型开发利用,才能实现河流的综合功能,实现人水和谐与全流域生态安全的目录。

关键词 岸带治理;水体保护;漳河水库

漳河水库位于湖北省襄阳、荆门、宜昌3市交界处,集水面积2 212 km²,水库水面面积105.2 km²,总库容21.13亿m³,其中兴利库容9.24亿m³,设计灌溉面积17.2万hm²,是以灌溉为主,兼有防洪、城镇供水、发电、水产、航运、旅游、改善环境等综合效益的大型水利工程。水库已运行近60年,向社会提供工农业生产和城镇生活用水超过260亿m³,为地方经济和社会发展做出了巨大的贡献。

漳河水库岸带线蜿蜒曲折,长达近400 km,沿线经过不少集镇与村庄,其产生的生产、生活污染物对水库水环境质量有一定的影响。漳河水库水质监测数据表明,闸口水质状况主要表现在部分年份的总氮、总磷、石油类等指标超标0.2~16.6倍,其余指标的年均值达到了《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中Ⅱ类标准。

1 污染现状

近年来,随着流域人口不断的增长、经济社会的持续发展以及城镇化建设进程的加快,尤其是水库周边地区工业、养殖业和旅游业的迅猛发展,使得漳河正承受着巨大的污染压力,生态环境质量面临进一步下降的趋势^[1],其主要污染表现在4个方面。

1.1 农业投入品污染

农业投入品污染主要是农药、化肥的大量使用,以及未被有效利用的化肥随地表径流进入水体造成

水污染。据统计,流域现有耕地面积5.6万hm²,其中COD年均排放量8 471.70 t、总氮年均排放量1 001.36 t、总磷年均排放量56.76 t;同时,由于作物耐肥性加大,病虫耐药性加强,无污染的生产资料研发跟不上,农民用药用肥不科学等,农业投入品用量逐年增加,对水体污染越来越重。

1.2 养殖业废弃物污染

对流域家禽饲养情况进行调查统计,水库流域畜禽养殖污染物排放COD 10 323.0 t、总氮3 096.9 t、总磷1 403.9 t。

1.3 水产养殖污染

据统计,水库拦汉面积197.67 hm²,水产养殖污染物排放COD 50.7 t、总氮65.95 t、总磷12.33 t。目前大湖围栏养殖虽已拆除,但周边池塘精养依然存在,特别是部分养殖户为提高产量,加大放养量和密度,投饵施肥,造成入库水体污染。

1.4 农村生活污染

根据2011年末人口调查情况,水库流域人口约29.38万,年均产生生活污水1 715.61万t,其中COD为5 790.18 t、总氮997.20 t、总磷70.77 t。

2 岸带治理

2.1 水库岸带治理的意义

漳河水库岸带建设,对于减少水库岸带上游农业面源污染,清理垃圾,引导无化肥、无农药的绿色

种植,形成水库消落带立体水生态修复体系,建立健康的过渡带结构,融合自然景观与人文景观,体现人与自然的和谐^[2],保护漳河湿地生态环境,避免水库水质恶化具有十分重要的意义。

2.2 水库岸带治理的原则

(1)安全原则。确保水库防洪安全与居民生命财产安全。

(2)自然原则。保护河流的自然景观,创造人与自然的和谐河流空间。

(3)生态原则。维护水生态再生能力、物种多样性、功能持续性等。

(4)景观原则。以水造景,营造和谐的水景观。

(5)开发利用的原则。确保增值与可持续利用。

(6)公众参与的原则^[3],征求沿线居民意见,公布规划方案,取得周边群众的理解、支持、参与。

2.3 水库岸带治理建设目标

(1)长期目标。保护漳河生态环境,改善漳河水质,防止富营养化,促进漳河流域经济与环境和谐发展。

(2)绩效目标。减少库岸带上游污水排入,确保水库水体水质符合《地表水环境质量标准》中Ⅱ类标准。

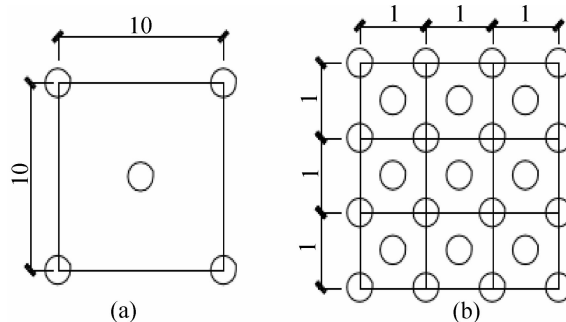
2.4 水库岸带治理建设内容

(1)生物过滤带。项目位于漳河镇迎接村库岸及漳河渠首闸引渠段(靠近管理局一侧),种植区库岸沿线总长3 604 m。生物过滤带种植区的高程在122.0~118.0 m,依据沿岸的自然坡度和不同高度差的梯级坡岸,在每级坡岸上移栽挺水和湿生植物(芦苇和池杉)进行不同类型植被搭配,在不同坡岸中进行植物个体扦插移植和不同规模植被整体移植,构建湖岸梯级生态带及最优植被搭配模式。

挺水植物选择芦苇和池杉,集中种植位于漳河镇迎接村坝上咀子、李家咀和渠首闸前靠近漳河管理局一侧,岸线长约2 600 m,栽植平均纵深215 m,种植面积56 hm²。芦苇种植12.9万株/hm²,池杉4.5万株/hm²。芦苇群落种植须在高程118~119 m处,池杉种植在高程119~122 m处。已种植芦苇18.67 hm²,池杉37.33 hm²;池杉1.64万株(单株胸径4~5 cm),芦苇240万株(单从高度0.6~0.8 m);成活率达80%以上(具体布置见图1)。

(2)水库岸带整治。水库岸带整治主要为生态格宾网挡墙及护坡,总长度为1 204 m。建设地点位于漳河镇西码头至漳河水文站沿岸长344 m,漳河

渠首闸北库岸线长860 m,纵深45 m,形成缓冲带5.4 hm²。实施方案选取格宾生态网挡墙及护坡。具体实施如下。



a. 池杉; b. 芦苇

图1 芦苇、池杉种植模式图(单位:m)

①河镇西码头至漳河水文站沿岸344 m布置挡墙:墙高2.0~2.5 m,基础埋深0~0.5 m(部分地段基础块石换填),墙顶宽1 m,边坡1:0.5;挡墙背部回填土方后,护坡采用生态砼护坡植草皮,坡比1:2~1:3.5。

②漳河渠首闸北库岸860 m挡墙及生态布置,分布于漳河渠首闸北库岸650 m及苏院村部分库岸210 m。

a. 闸北库岸650 m采取格宾生态网挡墙护脚及草皮绿化护坡,挡墙最大边墙高4.0 m,最小边墙高2.0 m,基础埋深0~1 m(部分地段基础块石换填),墙顶宽1 m,边坡1:0.5;挡墙背部回填土方设置1.0~2.0 m宽便道后,护坡采用6块铺砌至高程120.00 m后,修建2级平台(平台采用透水砖),草皮护坡至123.50 m,坡比1:2.5(见图2)。

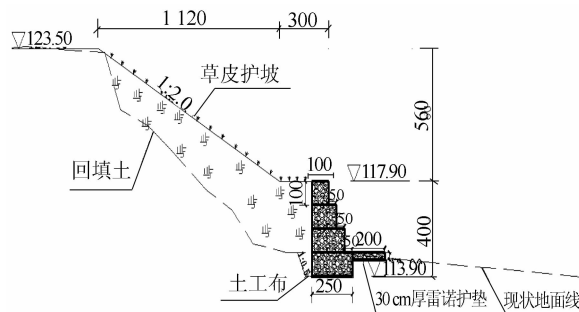


图2 桩号0+022横断面图(单位:cm)

b. 苏院村库岸210 m,采取原边坡修坡至1:2.0,在120.00 m高程处预留平台宽4.00 m;边坡采取草皮绿化护坡。

③生态格宾网挡墙绿化。格宾生态网挡墙露空面层回填腐殖土种草,顶端回填土侧种植迎春花,迎春花沿挡土墙轴线布置,株距 0.25 m,株高 0.50 m。

④排污管线。排污管线长 200 m,线路从漳河渠首闸闸北家属区至漳河电站生活区,污水不再流入漳河库区,避免生活污水污染漳河水体。排污管采用直径 400 mm PE 管材,1% 纵坡,管顶埋深 0.3 ~ 0.5 m,沿途布置 4 座检查井,间距 50 m。

⑤岸带绿化。岸带绿化分 2 块区域,区域一位于西码头至漳河水文站沿岸,另一区域位于漳河渠首闸闸南北,面积 4.50 万 m^2 ;其中西码头至漳河渠首闸 600 m,高程 122 ~ 125 m 种植草皮 1.8 万 m^2 ,渠首闸至迎接村库岸 3 000 m,高程 122 ~ 125 m 种植垂杨柳 245 颗,间距 5 m,株高 1.3 ~ 1.5 m。远离岸线区域种植生态乔木 255 颗,间距 10 m,胸径 5 ~ 7 cm,其他空地植草皮。

3 水体保护

3.1 漳河水库水体保护的目标与思路

(1) 控制目标。漳河水库核心区水体水质稳定保持 I 类标准,库区其余水体水质稳定保持 II 类标准,主要入库河流水质干流达到 II 类标准,支流达到 III 类标准。

(2) 控制思路。研究流域点源、面源、流动源等主要污染源特征及防治技术,制定湖泊流域污染源总量控制方案。以环境容量为约束,分阶段流实施“分类、分区、分级、分期”的流域污染源控制方案。

3.2 漳河水库水体保护的基本原则

(1) 人水和谐,协调发展。维护人与自然的和谐以及协调发展,切不可忽视自然环境的承受能力,破坏可持续发展的基础^[4]。

(2) 预防为主,稳定水质。以控源治河为基础,多层次、多途径对流域点源、面源及入库河流进行治理,防治结合,点、面源控制并举,工程措施与非工程措施并重。提高流域水资源调控能力和水体自净能力,实现入库水质达标。

(3) 统筹规划,综合治理。正确处理经济发展和环境保护的关系,统筹兼顾、全面考虑流域内的经济发展、城镇建设、土地利用、资源开发以及旅游、养殖等各方面的因素,综合运用产业结构调整、污染源治理、水生态养护、流域水源涵养等多种措施,推进综合防治。

(4) 分区保护,分类指导。针对流域不同污染物

类型,水体污染水平与程度,不同地区、不同行业之间的污染特点和难点,以及流域禁止开发区与饮用水源地一级保护区的相关规定,从实际出发,实事求是,因地制宜,针对性地解决水库水污染防治中的关键问题^[5]。

3.3 漳河水库水体保护实施方案

(1) 总量控制方案。漳河水库年均 COD 的理论环境容量为 20 830.1 t,总氮为 960.2 t,总磷为 234.2 t。现状条件下污染物实际入库量大于理论环境容量,应采取切实可行的措施,分期分阶段削减入库污染物容量^[6]。

(2) 点源污染防治工程方案。点源污染防治工程方案如下。

①城乡污水。流域内常住人口 5 000 人以上的城镇必须因地制宜建设污水处理厂(站),有条件的小城镇和规模较大的村庄应建设污水处理设施。有条件的污水处理厂,其尾水应经过前置库、湿地系统再处理。污水处理出水水质应达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级 B 排放标准。

②典型工业。实施工业结构战略性调整,严格限制“三高”产业,加快发展低能耗、低排放的高新技术产业。按照循环经济要求建设工业园区,围绕核心资源发展相关产业,形成循环利用的产业链。充分发挥现有水泥厂、建材厂利用粉煤灰、磷石膏、炉渣和煤矸石废物的资源优势,培育和扶持一批具有一定规模的大中型企业作为流域工业固体废物集中处置示范基地,支持发展循环经济的政策研究、技术推广、示范试点、宣传培训等工作开展,有效提高工业固体废物资源化利用的附加值和无害化水平^[7]。

③旅游污染。对漳河及风景区溪流的水质进行监控,严禁污水、污物排入。在旅游风景区(点)及旅游城镇游人较多的地方设立环卫宣传广告牌,沿游线设置与环境相协调的垃圾筒(箱)。游览区的废弃物分段设点,由专人定时清运处理,建立必要的环卫管理机构,配备垃圾运输车,设置垃圾处理场,垃圾废物处理率应达 100%。旅游风景区根据其性质特点,因地制宜进行绿化或保持植被原貌,并努力提高植被的多样性。

④船舶污染。设置规范性客运旅游码头,所有船只规范经营;加强船舶防污染设备检查检验,配齐防污染设施;货运船舶严格控制在 30 艘以内,凡不

合运输条件的货船一律予以取缔;海事签证和安全检查点要加强船舶防污染设备的现场检查力度,确保适航船舶的防污染设备处于有效状态。

⑤煤矿矿山。漳河上游煤矿较多,煤炭开采时排出大量的煤矸石,各煤场、煤矿加强煤矸场的管理,严防矸石自燃和经雨水冲刷而流失,对矸石沟周围进行绿化,积极开展矸石、渣等废弃物的综合利用工程。采取合理的开采技术及有效的防治措施,走矿产资源开发利用与生态环境协调发展的绿色矿业之路,实现“低开采、高利用、低废弃”集约化经营的行业可持续发展目标。

(3)面源污染防治工程方案。面源污染防治工程方案如下。

①农村生活垃圾。鼓励农户将稻草、动物粪便等可利用的有机物返田或作沼气原料处理,不可利用的生活垃圾集中堆放在村指定的垃圾收集池,便于垃圾处理或中转。

②农业面源污染。合理使用农药化肥,及时回收废弃农膜,提倡生物防治病虫害;大力推广“秸秆反应堆”、“秸秆养藕”等新模式和技术,循环利用农业废弃物,降低农业面源污染的数量。发展以沼气为纽带的庭院式生态农业模式,将种植业、养殖业与沼气使用相结合,获得最佳的生态效益与经济效益。

③畜禽养殖。推广规模化畜禽养殖技术,选择适宜的工艺进行畜禽养殖废水处理技术。

3.4 漳河水库水体保护措施

(1)加强水法规宣传,不断提高库区及灌区群众的水法意识和环保意识。一是在每年“世界水日”和“中国水周”、“国家宪法日”期间开展形式多样、内容丰富的集中宣传;二是深入持久地开展水法规日常宣传。通过“以案说法”教育当事人,通过网络、报刊、电视等媒体及时报道水行政执法;三是在主要工程处树立各种管理警示标牌等。

(2)加大水政监察执法力度,维护良好的水事秩序。通过加强日常巡查、开展专项执法检查、查处水事违章案件等多项措施,有效地制止了侵害水利工程权益和污染水库水体现象的发生。多次与地方林业、国土、环保、水利等部门联合开展综合执法,有效地提升水行政执法的效能。

(3)探索实施水资源及水环境保护新举措,保障饮水安全。

①与水利部发展研究中心编制了《湖北省漳河流域实施最严格水资源管理制度方案研究》课题,明

确漳河水库流域“三条红线”控制指标。

②实施小水电代燃料项目,每年减排二氧化碳总量达到4.19万t。

③引进光伏发电项目,年均可减少发电用水1亿m³。

④采取工程措施改善水环境消减排污量。建设旅游码头,实行集中规范管理旅游船只;修建阳光沙滩,减少并规范集镇周边游泳野炊等行为造成的污染;建设渠首闸景观栅栏,对渠首闸进行封闭式管理。

⑤通过生态措施改善水质。近几年先后投入巨资,加大库区绿化工作,有计划、有步骤地落实《漳河水库水土保持规划》。

⑥全部拆除了漳河水库范围网箱养殖基地;每年4个月的禁渔期,严禁捕捞作业;开展筑坝拦汉专项整治,对水库范围形成的75处筑坝拦汉予以整治拆除。

⑦加强涉水建设项目监管。

⑧开展了水库上游和周边渔业污染情况调查。

⑨争取水库中上游地方政府重视支持。

⑩贯彻《关于全面推行河长制的意见》精神。

3.5 建立长效与考核机制

(1)长效机制。建立流域水污染防治的公众监督机制,为政府提供可靠的信息来源,使政府对流域水污染防治的决策更加趋于合理。建立新型的水质监测体制与信息传播制度,整合各部门的水质监测网络,建立监测方法与数据共享制度,有利于统一规划,统一管理^[8]。

(2)考核机制。考核工作坚持实事求是、客观公正、注重实绩、民主公开的原则,实行定量与定性相结合、平时与定期相结合的方式,未通过考核且整改不到位或工作不力造成环境污染重大影响的,按照相关规定追究相关负责人责任。对流域造成水环境和生态环境污染重大影响的企业和个人,按照相关规定予以处罚和整改。

4 水库岸带治理与水体保护效益

4.1 环境效益

通过水生植物多样性恢复与水生植物保护性设施的建设,引导库岸带农户实施无化肥、农药的绿色种植,形成了库滨带、消落带立体水生态修复体系,大幅度减少了污染物的排放,进一步改善和恢复了漳河生态旅游水环境和生态环境,增加了漳河水

库的视觉观赏价值,2017 年漳河水库观光旅游的人数突破百万,仅增加的旅游业效益达 2 亿元左右。

4.2 社会效益

工程建设的实施,改善了当地的环境质量,保障了水库岸带周边工业生产用水及 80 万人饮水安全,这些地区 2016 年生产总值(GDP)达 600 亿元以上。

4.3 经济效益

据初步估算,工程建设实施后,仅水库管理单位增加旅游、农产品等收入 600 万元。

4.4 水生态效益

桃花水母能够生存的地方,通常是水质良好、无污染、生态环境良好的湿地水域。从 2007 年至今,漳河水库已连续多年发现桃花水母,可以确定漳河水库的水质是优良的,且水质的稳定性较好。

5 结语

漳河水库岸带治理与水体保护工作虽说取得了一定的成绩,但也存在一些问题,主要是水法规规定了水利工程的管理范围和保护范围,但国土部门并未按要求给予确权划界;库区水源涵养林遭到村民随意砍伐,或无规划的改种经济林,造成植被对水体净化能力下降、水土流失严重;水库周边的水产养殖

与农业面源污染的监管有待加强。需要进一步加强水法规宣传与执法,提高公众的环保意识,营造良好的水法制环境,同时依据规划,持续投入、稳步实施岸带治理与水体保护工作,确保漳河水库水资源的可持续利用。

【参考文献】

- [1] 张笑天,陈崇德.漳河水库灌区水资源脆弱性评价研究[J].华北水利水电学院学报,2010,31(2):12-14.
- [2] 孟琳琳.城市河道治理中的景观生态模式[J].人民黄河,2013(11):6-7.
- [3] 王艳群.城市河岸带开发利用的原则与方法[J].水利与建筑工程学报,2011,9(5):135-138.
- [4] 陈祖梅,胡小梅.多年调节大型水库在连续干旱中的运用与评价[J].三峡大学学报,2015,37(5):26-29.
- [5] 柳少华.论城市生态型河岸带的造景手法[J].城市道桥与防洪,2017(7):95-98.
- [6] 胡小梅,李赵琴.社会经济发展对漳河水库流域降雨径流的影响分析[J].水利经济,2011(2):26-28.
- [7] 段丽军.河岸带生态功能研究综述[J].华北国土资源,2015(2):95-96.
- [8] 胡小梅,李鹏,李丹,等.漳河水库在连续多年干旱中的运用及效益[J].水资源保护,2015,31(1):113-116.

(收稿日期:2018-03-11)

(上接第 16 页)

表 3 不同方法预报成果对比表

洪号	方法		实测洪峰	误差		相对误差	
	拦蓄	不拦蓄		拦蓄	不拦蓄	拦蓄	不拦蓄
880908	322	334	312	10	22	3.2	7.1
890509	178	212	160	18	52	11.3	32.5
900521	189	228	163	26	65	16.0	39.9
920712	549	576	556	-7	20	-1.3	3.6
980410	318	351	310	8	41	2.6	13.2
980507	246	281	241	5	40	2.1	16.6
990625	183	212	162	21	50	13.0	30.9
000818	565	548	607	-42	-59	-6.9	-9.7
001025	332	375	311	21	64	6.8	20.6

3 结论

通过近年来实际预报分析,利用小水库群拦蓄不均曲线的方法对预报精度提高明显。目前各小水库已逐步建立了自动信息传输系统,信息传输较稳

定,可以选择该区间 1~2 个典型代表水库为依据,对洪前底水进行细化分析,则能更进一步提高水文预报的精度,更好的发挥洪水预报在防汛抗旱中的重要作用。

(收稿日期:2018-03-25)