



HUPOSHIDIYULVSEFAZHAN

# 湖泊湿地与绿色发展

——第五届中国湖泊论坛论文集

中国科学技术协会 / 编

吉林人民出版社

# 湖泊湿地与绿色发展

——第五届中国湖泊论坛论文集

中国科学技术协会/编

吉林人民出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

湖泊湿地与绿色发展:第五届中国湖泊论坛论文集 /  
中国科学技术协会编. — 长春:吉林人民出版社,2015.9  
ISBN 978-7-206-11924-8

I. ①湖… II. ①中… III. ①湖泊—生态系统—系统  
管理—中国—文集 ②沼泽化地—生态系统—系统管理—中  
国—文集 IV. ①X832-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第221545号

## 湖泊湿地与绿色发展——第五届中国湖泊论坛论文集

---

编者:中国科学技术协会

责任编辑:周立东

封面设计:王义璞

吉林人民出版社出版 发行(长春市人民大街7548号 邮政编码:130022)

印刷:吉林省海德堡印务有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:30.5 字数:780千字

标准书号:ISBN 978-7-206-11924-8

版次:2015年9月第1版 印次:2015年9月第1次印刷

定价:78.00元

---

如发现印装质量问题,影响阅读,请与出版社联系调换。

# 序

新常态下,党中央、国务院把生态文明建设摆在更加突出的位置,习近平总书记等中央领导同志对生态文明建设提出了一系列新思想、新论断、新要求。为深入贯彻落实党的十八大和十八届三中、四中全会精神以及习近平总书记系列重要讲话精神,积极为我国从事湖泊综合治理和研究工作的科技工作者搭建交流平台,为我国的生态文明建设提供有力的科技支撑,中国科协从2011年起举办了四届中国湖泊论坛,在引领全社会更加重视湖泊治理与保护,推进湖泊健康与可持续发展方面发挥了积极作用,产生了良好的社会影响。

吉林省是湖泊湿地较多的省份之一,湖泊湿地分布广泛、面积较大、类型复杂。多年来,吉林省在湖泊湿地保护和管理方面采取了很多扎实有效的措施,特别是自2013年起实施的西部河湖连通工程,正在积极地促进西部形成河湖互济、渔兴牧旺、草茂粮丰、碧水蓝天、人水和谐的美好景象。

第五届中国湖泊论坛紧扣中央关于生态文明建设的最新精神,以“湖泊湿地与绿色发展”为主题,由中国科协、吉林省人民政府主办,吉林省科协、吉林省水利厅、吉林省环境保护厅、吉林省林业厅、中国科学院东北地理与农业生态研究所承办,11个全国学会、12个省市科协、3个相关部门联合协办,充分体现了科协组织跨学科、跨领域、跨部门、跨区域的独特优势。论坛将借此优势,深入剖析研讨我国湖泊湿地保护、开发与利用中存在的突出问题、共性和瓶颈问题,为党和政府科学决策建言献策,把最新的学术成果、科技成果转化为服务湖泊湿地健康的具体举措,为我国湖泊湿地的保护与生态文明建设提供智力支撑。

论坛共征集论文136篇,经专家评审,共收录论文97篇,内容涉及湖泊与湿地流域生态环境管理、湖泊与湿地水污染防治理论与技术、湖泊与湿地生态环境恢复与保护、河湖水系连通与流域水资源优化配置理论与技术等方面,基本反映了国内学者和专家近年来在相关领域取得的先进研究成果,希望与会的科技工作者在此基础上深入探讨、互相交流、互相启迪,形成专家建议,积极推进湖泊湿地保护与生态文明建设。

值此论文集出版之际,我谨代表论坛主办单位向积极撰文投稿的广大科技工作者,向为论坛的举办和论文集出版做了大量工作的有关全国学会、省市科协及其所属学会,向辛勤劳动的各位编委,以及对本次论坛给予大力支持的有关单位和个人,表示衷心的感谢!

中国科协党组成员、书记处书记



2015年9月1日

# 湖泊湿地与绿色发展

——第五届中国湖泊论坛论文集

## 编 委 会

主 任: 王春法

副 主 任: 宋 军 李景涛

委 员(以姓氏笔画为序):

|     |     |      |     |     |      |
|-----|-----|------|-----|-----|------|
| 于琪洋 | 王 伟 | 王元立  | 王林溪 | 王晓彬 | 乌日吉图 |
| 尹发权 | 冯 琦 | 司徒建通 |     | 任官平 | 刘益春  |
| 许 钧 | 许秋瑾 | 孙卫民  | 苏凤仙 | 杨巧英 | 何兴元  |
| 邹瑞苍 | 沈 吉 | 张 和  | 张凤春 | 陈 岗 | 陈利顶  |
| 周海林 | 侯小龙 | 姜 霞  | 高小玫 | 梁细弟 | 韩宇鸿  |
| 曾宪计 | 廖任强 | 翟盘茂  | 戴陆园 | 魏军峰 |      |

主 编: 宋 军 李景涛

副 主 编: 王晓彬 韩宇鸿

执行主编: 赵崇海 万玉刚 张晓军

编 辑 组(以姓氏笔画为序):

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马德才 | 马 宏 | 王志新 | 王国清 | 方艳红 | 牛存稳 |
| 邓洪军 | 邓益平 | 田万龙 | 左 梁 | 包 颖 | 孙镜明 |
| 刘 壮 | 刘志新 | 安 岩 | 苏雅来 | 李 政 | 李 毅 |
| 李万春 | 李树生 | 肖海英 | 吴凡修 | 何 英 | 宋国光 |
| 张 岩 | 张丽君 | 张淑华 | 陈国祥 | 郑 慧 | 胡绍萍 |
| 施 茜 | 姜 明 | 娄军海 | 姚丽斌 | 黄丽芬 | 梁冬梅 |
| 谢牧人 | 蔡 青 | 潘 祺 | 潘 锦 |     |     |

# 目 录

## 湖泊与湿地流域生态环境管理

|                                                       |                  |
|-------------------------------------------------------|------------------|
| 滇池流域水资源开发潜力及承载力评价 .....                               | 曹一梅 崔松云 李显鸿(1)   |
| 大型浅水湖泊对洪水的响应研究 .....                                  | 徐银凤(6)           |
| 东洞庭湖滨湖雾的变化特征及预报 .....                                 | 黄菊梅 彭洁 杨伟等(9)    |
| 长序列遥感数据在洞庭湖区旱涝特征分析中的应用 .....                          | 韩沁真 韩沁哲(15)      |
| 长期水淹胁迫下的北移秋茄形态结构和生理变化 .....                           | 林玲玲 黄丽 仇建标等(19)  |
| 浅析增设市级水利风景区对湿地保护的积极影响——以淮南市为例 .....                   | 李卓(25)           |
| 青海阿拉克湖湿地生态服务功能研究——高原湖泊生态系统调查监测<br>.....               | 刘永杰 朱仕荣 周建洪等(29) |
| 太湖地区省管湖泊管理与保护存在问题及建议 .....                            | 张沛霖 邱赞(34)       |
| 沿淮安徽段洪涝多发的成因分析 .....                                  | 王海东 项阳(38)       |
| 一次大暴雨个例分析及防御对策 .....                                  | 周霞 徐立新(42)       |
| 增量式 PID 在鄱阳湖水工模型中的应用 .....                            | 蒋元中 周国有 杨勇(45)   |
| 湖泊群下游区土地综合承载力评价——以江苏沿海地区为例<br>.....                   | 鲍桂叶 高永年 金志丰等(48) |
| 环境、文化、旅游相协调的水景观规划途径——以安庆市破罡湖流域为例<br>.....             | 吴益 程玉祥 周丹丹等(55)  |
| 杭嘉湖平原水文巡测感潮河水量分析实践与探讨 .....                           | 潘悦宾(60)          |
| 进一步加强湖区治理 促进人与自然可持续发展——对江西省都昌县鄱阳湖保护管理的<br>调查与思考 ..... | 吕承华 曹达贵 王继军(64)  |
| 沈阳市湿地现状及其发展对策 .....                                   | 陈罡 范俊岗(67)       |
| 辽宁滨海湿地研究现状、问题对策与展望 .....                              | 魏忠平 范俊岗 潘文利等(72) |
| 科学提升、合理利用湿地生态系统服务功能——让湿地资源更好地造福人类 .....               | 刘新宇(76)          |
| 沙山沙质地层记录的 18 世纪小冰期暖阶段鄱阳湖流域冬季风演化<br>.....              | 毛大华 汤玄 张彪(80)    |
| 基于 GRAPES 气象—水文模式的洪水预报研究* .....                       | 王莉莉 包红军(85)      |
| 基于 HBV 模型的广东省中小河流动态临界致灾面雨量量化研究<br>.....               | 王兵 郑璟 李春梅(91)    |
| 基于洪水淹没模型的山洪致灾临界雨量确定方法研究 .....                         | 郑璟 谭畅 李春梅(98)    |

|                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 流域生态管理系统工程的思考 .....   | 李宇斌( 103)         |
| 太湖湖泛发生特征及其成因研究 .....  | 厉以强 张 咏 钟 声( 106) |
| 流域洪水集合预报技术研究 .....    | 包红军 王莉莉( 112)     |
| 海南岛三大河流生态补偿机制探析 ..... | 周祖光( 120)         |
| 浙江省滨海湿地生态效益评价 .....   | 蒋科毅 王 斌 杨校生( 125) |

## 湖泊与湿地水污染防治理论与技术

|                                                         |                    |
|---------------------------------------------------------|--------------------|
| 引水等综合整治后杭州西湖氮磷营养盐时空变化( 1985 - 2013)<br>.....            | 尤爱菊 吴芝瑛 韩曾萃( 132)  |
| 红树林人工湿地—海水养殖耦合系统中湿地氮循环的研究 .....                         | 仇建标 黄 丽 陈雪初( 139)  |
| 太湖蓝藻光合作用活性周年动态变化研究 .....                                | 李大命 张彤晴 唐晟凯( 143)  |
| 武汉市某大型城镇污水处理厂 A - O 工艺脱氮影响因素研究 .....                    | 胡远志 徐圣杰 姚智兵( 149)  |
| “江河枯竭”引发的深思——以老通扬运河的衰竭与整治为例 .....                       | 曹瑞冬( 153)          |
| 八里河水环境治理理论与实践探讨 .....                                   | 杨志生 袁传华( 160)      |
| 洱河流域湿地生态系统建设案例分析——以罗时江河口湿地为例<br>.....                   | 吕兴菊 窦嘉顺 杨四坤( 163)  |
| 长治久理太湖水污染 全面提升水生态文明——浅析治理太湖 8 a 艰辛实践后面临的瓶颈<br>及对策 ..... | 吕锡生 冯冬泉 丁 一( 168)  |
| 气象条件对淀山水质影响研究 .....                                     | 张德林 陆佳麟 张佳婷( 176)  |
| 宁波市东钱湖综合整治工程一期环保疏浚 .....                                | 章志明 邱珍娇( 185)      |
| 2015 年滇池蓝藻水华爆发原因分析及对策研究 .....                           | 崔松云 李显鸿( 190)      |
| 蓄清排污改善滇池水环境的可行性分析 .....                                 | 柏绍光 崔松云( 195)      |
| 阳宗海浮游生物季节变化研究 .....                                     | 安 莉 杨剑虹 张丽媛( 201)  |
| 中国湖泊污染现状与治理情况分析 .....                                   | 裘 知 王 睿 李思亮( 207)  |
| 江西鄱阳湖流域水环境质量现状分析及管理对策 .....                             | 陈 婷 饶 志 储小东( 212)  |
| 基于水源条件的人工湖水水质净化系统设计 .....                               | 尤爱菊 金倩楠 徐海波( 216)  |
| 湖泊底泥的波浪起动手试验研究 .....                                    | 谢 瑞 葛 慧 王永平( 221)  |
| 杭州和睦湿地地表水环境质量分析与评价 .....                                | 倪伟敏 赵 樑 华伟刚( 230)  |
| 净化面源水 野芋有特效 .....                                       | 徐远惠( 234)          |
| 杭州湾潮滩湿地磷素截留效应研究 .....                                   | 邵学新 吴 明( 238)      |
| 地下水有机污染研究进展 .....                                       | 宋晓薇 张立宏 赵侣璇( 245)  |
| 人工湿地处理技术在广西农村生活污水处理中的应用 .....                           | 陈志明 林 华 黄付平等( 250) |
| 水体环境监测中氨氮分析方法的比较 .....                                  | 张智源( 253)          |
| 突发性地表水污染事件应急处理处置技术 .....                                | 李歆琰 谷 嵩 车 轩( 257)  |
| 针对流域非点源水质监测和污染控制的研究 .....                               | 范莉茹 周 冰 董立鹏( 261)  |
| 超高效液相色谱—质谱联用仪测定地表水中苯胺方法研究 .....                         | 周绪申 张 俊 王乙震( 265)  |
| 催化湿式氧化处理氨氮废水贵金属—非贵金属催化剂研究 .....                         | 符继乐 杨凯旭 张诺伟等( 270) |
| 管状介孔 SiO <sub>2</sub> 固定化酶水相降解 MXC .....                | 皮 娜 席艳杰 杨宇翔( 272)  |
| 浅谈地表水水质在线自动监测预警 .....                                   | 周 冰 王丽伟 程 景( 279)  |
| 河北省饮用水源地藻毒素的研究 .....                                    | 王晓昆 李歆琰 梁 卉( 282)  |

## 湖泊与湿地生态环境恢复与保护

|                                                 |             |           |
|-------------------------------------------------|-------------|-----------|
| 城市水源湖水生态修复技术与适用性分析 .....                        | 朱博华         | 唐金忠( 286) |
| 关于南京市湿地和湖泊生态保护的思考 .....                         | 周朝东         | ( 292)    |
| 关于宁波湿地资源保护与利用的思考 .....                          | 万健勇         | 唐爱文( 297) |
| 长兴仙山湖国家湿地公园湿地资源保护研究 .....                       | 张 华         | 朱 培( 302) |
| 长荡湖夏季水生植被现状及生态修复措施 .....                        | 吴晓东 潘继征     | 李文朝( 306) |
| 贵州草海淤积的主要因素与驱动机制 .....                          | 董建伟         | 汪瑞峰( 312) |
| 高邮湖和邵伯湖中华绒螯蟹放流效果评价 .....                        | 魏文志         | 索维国( 319) |
| 抚仙湖鳊鱼白鱼人工增殖放流跟踪调查和效果评价 .....                    | 罗永新         | ( 326)    |
| 洱海湖滨带生态恢复工程综述 .....                             | 吕兴菊 窦嘉顺     | 杨四坤( 331) |
| 滇池河口前置库泥沙沉积效果分析 .....                           | 杨 琏         | 何 锋( 337) |
| 强化科学监管,推进湿地公园可持续发展——以西溪国家湿地公园生物多样性监测为例<br>..... | 陈勤娟         | ( 344)    |
| 湿地沉积物污染风险评价及生物修复技术研究进展 .....                    | 吴 明 邵学新     | ( 347)    |
| 柳河口人工湿地建设模式 .....                               | 张 帅 王中博     | 刘 阳( 353) |
| 里下河地区湖泊湖荡恢复模式设想与实践 .....                        | 刘锦霞 陈 栋     | 朱大伟( 356) |
| 浙江台州湾滨海湿地植物区系的研究 .....                          | 郭 亮 吴才华     | 郑若兰( 363) |
| 武汉市自然湿地保护体系构建与制度创新 .....                        | 韩 忠 杜晓初     | 李中强( 369) |
| 阳宗海鱼类资源现状调查 .....                               | 安 莉 杨剑虹     | 张丽媛( 375) |
| 霍邱城东湖太湖新银鱼资源保护初步研究 .....                        | 李进村         | ( 379)    |
| 湿地资源现状及保护对策的探讨——以永康市为例 .....                    | 金 攀         | 应尚蛟( 383) |
| 优化管理体制,大力开展湿地生态修复 .....                         | 吴建人         | ( 386)    |
| 余姚市陆埠水库南洪桥人工湿地设计 .....                          | 高银阳 董华萍     | 魏奇一( 389) |
| 浙江省城市湿地生态保护及发展——以杭州西溪湿地保护为例 .....               | 胡国军         | 徐小静( 392) |
| 吉林查干湖水生态系统保护的研究与实践 .....                        | 董建伟 梁煦枫     | 沈 楠( 397) |
| 升金湖开发保护及资源利用的思考 .....                           | 陆太平 李红卫     | 周倍顺( 409) |
| 加强湿地保护与恢复争当长三角经济带生态建设排头兵 .....                  | 吴 鸿         | ( 414)    |
| 阜阳市湿地园区保护存在问题探析 .....                           | 王雨虹         | 李文化( 417) |
| 湖泊( 湿地) 生态环境保护体制与机制 .....                       | 张蕾蕾         | ( 420)    |
| 决策咨询的硕果——《滇池保护条例》 .....                         | 曾光宇         | 王鸿武( 424) |
| 江西孔目江湿地流域生态治理工程案例浅析 .....                       | 刘远红 李 坚     | 耿小库( 426) |
| 吉林省湿地资源保护管理的做法与启示 .....                         | 王志新         | 梁金花( 430) |
| 长春北湖国家湿地公园湿地特征及修复策略研究 .....                     | 梁金花         | ( 435)    |
| 广西中水型水电站建设产生的生态环境问题及修复措施 .....                  | 樊振辉         | ( 439)    |
| 利用新环保水锤泵开发低水头能源改善城市河湖生态环境 .....                 | 杨开林         | ( 443)    |
| 贵阳南明河水环境综合整治项目治理思路与第一阶段实施成效<br>.....            | 薛晓飞 李 涛 邵雪峰 | ( 446)    |
| 我国湿地保护现状与发展方向探讨 .....                           | 诸杭琪 叶明儿     | 施农农( 450) |

基于千岛湖水资源与生态环境保护的消落带湿地植被重建探析

..... 徐高福 卢 刚 刘乐群(456)

杭州西溪国家湿地公园“依法立园”的实践探索 ..... 刘 想(460)

### 湖泊水系连通与流域水资源优化配置理论与技术

吉林西部河湖连通面临的主要生态环境问题 ..... 董建伟 高国明(464)

2014 年南四湖生态应急调水 ..... 孔祥光(470)

平原河沟拦蓄水对国家湿地资源的贡献 ..... 荣 斌(475)

# 滇池流域水资源开发潜力及承载力评价

曹一梅, 崔松云, 李显鸿

(云南省水文水资源局昆明分局, 云南 昆明 650051)

**摘要:** 以滇池流域为研究对象, 对水资源开发潜力进行评价和分析, 结果表明: 在扣除湖面蒸发水量后, 流域实际水资源数量为 5.32 亿  $\text{m}^3$ , 流域整体负载指数为 111.4, 承载指数为 1.45。表明滇池流域水资源利用程度较高, 流域属于水资源超载区域, 流域水资源进一步可开发潜力较小。

**关键词:** 滇池流域; 水资源量; 负载指数; 开发潜力

水资源是维持自然生态系统的基本要素, 也是支撑人类社会发展的基础资源, 然而随着人口数量和生产规模的不断扩大, 水资源短缺成为限制区域经济社会发展的瓶颈。研究区域水资源的开发利用潜力及其支撑的社会经济发展规模, 对科学制定区域发展规划、合理利用水资源、实现可持续发展具有十分重要的意义。

滇池是云贵高原最大的天然淡水湖泊, 位于云南省昆明市西南。滇池具有工农业用水、调蓄、防洪、旅游、航运、水产养殖、调节气候等多种功能, 是昆明地区调蓄、灌溉及工业供水的主体。滇池流域的水资源承载力和开发潜力是制约昆明社会和经济可持续发展的关键因素之一。

本文根据调查及实测的水文气象、社会经济资料, 采用分项调查法还原计算得滇池流域多年平均水资源量。进而基于滇池流域的水资源负载指数和水资源承载指数, 对流域的开发利用潜力进行评价研究。

## 1 流域概况

滇池属长江流域金沙江水系, 是断陷构造湖泊。湖面略呈弓形, 弓背向东, 南北长 40 km, 东西平均宽 8 km, 平均水深 5.3 m, 湖面面积约 309  $\text{km}^2$ , 相应的蓄水容积为 15.6 亿  $\text{m}^3$ <sup>[1]</sup>。滇池流域水系呈不对称发育, 主要入湖河流有盘龙江、宝象河、马料河、洛龙河、捞鱼河、梁王河、大河、柴河、东大河、古城河、运粮河和新河等 35 条。滇池由人工闸分隔为草海和外海两部分, 草海位于滇池北部, 外海为滇池的主体, 面积约占全湖的 96.7%, 分别由西北端的西园隧洞(分流草海出水)和西南端的海口中滩闸(分流外海出水)出流经螳螂川、普渡河流入金沙江<sup>[2]</sup>。

滇池流域位于云贵高原中部, 地处长江、红河、珠江三大水系分水岭, 地理坐标为东经 102°22′~103°20′, 北纬 24°22′~25°22′。整个流域为南北长、东西窄的湖盆地, 流域面积 2 920  $\text{km}^2$ 。地形可分为山地丘陵、淤积平原和滇池水域 3 个层次, 其中山地丘陵占 69.5%, 平原占 20.2%, 滇池水域占 10.3%<sup>[3]</sup>。滇池流域气候受印度洋和太平洋季风影响, 属低纬亚热带高原型湿润季风气候区, 多年平均气温 14.7℃, 平均降雨量 933.6 mm, 冬无严寒, 夏无酷暑, 四季如春, 干湿分明。滇池流域包含五华、盘龙、西山、官渡、呈贡、晋宁、嵩明、寻甸县等 8 个县(区)。经统计, 2012 年末滇池流域常住人口 365 万人, 占全省总人口的 8%, 国内生产总值 2 144.58 亿元, 占云南全省的 21%, 总

**基金项目:** 水利部公益性行业专项经费资助项目(201101042)

**作者简介:** 曹一梅(1985-), 女, 工程师, 主要从事水文水资源研究工作, Email: yimeicao@126.com.

耕地 2.12 万  $\text{hm}^2$ , 平均耕地占有水资源量为  $25\ 095\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

## 2 研究方法

### 2.1 水量平衡方程

虽然滇池有出湖水量以及水位资料,但因滇池调蓄作用和沿湖四周工农业用水和湖面蒸发量大,故滇池入湖径流系列是在考虑湖容变量、出湖水量、沿湖周边工农业供(耗)水量和湖面蒸发量后采用水量平衡原理还原计算而得。从所收集到的资料情况看,流域内已建水库群建库时间、规模和以滇池为水源的历年工农业及城镇生活提水量、农灌面积等社会经济资料较为具体也基本可靠,故还原计算采用分项调查法。

针对滇池而言,进入湖泊的水量(称收入项)有:湖区周边入流、湖面直接降水;出湖水量(称支出项)有:海口和西园隧道两断面自然流出水量、湖面蒸发量和以滇池为水源的工农业耗水量以及湖周渗漏量。因此,水量平衡方程可表示为:

$$W_{\text{入}} = W_{\text{出}} + W_{\text{蒸}} + \alpha_{\text{工}} W_{\text{工}} + \alpha_{\text{农}} W_{\text{农}} + W_{\text{渗}} + \pm \Delta V W_{\pm} W_{\text{引}} \quad (1)$$

式中:  $W_{\text{入}}$ 、 $W_{\text{出}}$ 、 $W_{\text{蒸}}$ 、 $W_{\text{工}}$ 、 $W_{\text{农}}$ 、 $W_{\text{渗}}$  分别为入湖水量、出湖水量(包括海口和西园隧洞出流量)、蒸发量、工农业用水量 and 渗漏量(万  $\text{m}^3$ );  $\alpha_{\text{工}}$ 、 $\alpha_{\text{农}}$  分别为工农业耗水系数,其值为 1 与回归系数之差;  $\Delta V$  为蓄水变量,即时段末与时段初湖泊蓄水量之差(万  $\text{m}^3$ );  $W_{\text{引}}$  为跨流域引水增加或减少的水量(引出为正,引入为负)。

天然湖泊一般缺渗漏观测资料,且对该项较难估计。基于湖水位变幅小、渗漏量现状与将来相对稳定特点,还原计算时不考虑该项。

### 2.2 水资源负载指数

开发潜力评价主要采用水资源负载指数法。水资源负载指数的含义是区域的降水、人口和农业灌溉面积决定水资源的需求量,利用这 3 个因数与水资源量之间的关系反映水资源的开发利用程度,判断未来水资源开发的难易程度,分级标准见表 1<sup>[4]</sup>。

表 1 水资源负载指数分级

| 级别  | C 值  | 水资源利用程度及潜力 | 水资源进一步开发评价    |
|-----|------|------------|---------------|
| I   | >10  | 很高,潜力很小    | 艰巨,有条件时需外流域调水 |
| II  | 5~10 | 高,潜力小      | 开发条件较困难       |
| III | 2~5  | 中等,潜力较大    | 开发条件中等        |
| IV  | 1~2  | 较低,潜力大     | 开发条件较容易       |
| V   | <1   | 低,潜力很大     | 开发条件容易        |

考虑到农业灌溉面积并不能准确反映本地区水资源的实际利用情况,因此选定国内生产总值替代农业灌溉面积,使水资源负载指数能更好地反映区域单位水资源负载的地区人口—经济规模<sup>[5]</sup>,其计算公式为:

$$C = K \sqrt{PG/W} \quad (2)$$

式中:  $C$  为水资源负载指数;  $P$  为人口(万人);  $G$  为 GDP 国内生产总值(亿元);  $W$  为水资源量(亿  $\text{m}^3$ );  $K$  为与降雨量有关的系数。

$$K = \begin{cases} 1.0 & R \leq 200 \\ 1.0 - 0.1(R - 200)/200 & 200 < R \leq 400 \\ 0.9 - 0.2(R - 400)/400 & 400 < R \leq 800 \\ 0.7 - 0.2(R - 800)/800 & 800 < R \leq 1\ 600 \\ 0.5 & R > 1\ 600 \end{cases}$$

式中:  $R$  为降水量( mm)。

### 2.3 水资源承载指数

水资源承载指数反映了区域水资源的人口承载能力与现实人口之间的关系。其计算公式为:

$$WCCI = \frac{W_p \times P}{W} \quad (3)$$

式中:  $WCCI$  为水资源承载指数;  $W_p$  为人均综合用水量(  $m^3$ /人);  $P$  为人口(万人);  $W$  为可利用水资源量(  $万 m^3$ )。

$$W = W_1 + W_2 + W_{12} \quad (4)$$

式中:  $W$  为可利用水资源量(  $万 m^3$ );  $W_1$  为地表可利用水资源量(  $万 m^3$ );  $W_2$  为地下可利用水资源量(  $万 m^3$ );  $W_{12}$  为重复计算水量(  $万 m^3$ )。

## 3 滇池水资源量

滇池入湖径流还原计算所需资料包括: 水文、气象部门的降雨、蒸发及出湖水量资料, 农业、城建及厂矿等部门的灌溉面积、用水定额、灌溉用水量、工矿企业用水量、城镇生活用水量等。入湖水量还原精度取决于各项资料的可靠性, 因此对(1)式中的各项须分项分析确定。

### 3.1 出湖水量

1996年7月以前, 海口河是滇池唯一出口, 故1956-1996年7月海口水文站实测流量即为出湖流量。1996年8月西园隧道投入运行后, 滇池出湖流量为海口和西园隧道合成流量, 此项即(1)式中的  $W_{出}$  项。

### 3.2 蒸发量

从滇池周边地形情况看, 采用海埂站资料作为分析依据。蒸发器皿口径为 E-601 型, 观测值可近似为湖面蒸发量(蒸发强度)。湖面蒸发量根据月湖面蒸发强度和月平均湖面面积计算, 湖面面积由滇池水位~面积曲线查算, 即(1)式中的  $W_{蒸}$  项。

### 3.3 沿湖工矿企业及城镇净耗水量

根据相关统计资料分析, 滇池沿岸工业及城市年供水量1985年以前为4910  $万 m^3$ , 1985-1990年为6534  $万 m^3$ , 1990-1995年为13834  $万 m^3$ , 1996-1997年为17484  $万 m^3$ , 1998-2007年2月为15484  $万 m^3$ , 2007年3月-2008年12月为13634  $万 m^3$ 。1985年至2008年, 普坪村等厂矿企业提水量按4076  $万 m^3$  计。

工业及城镇净耗水量为提水量与回归水量之差, 其系数与《滇池防洪保护和污水资源化工程第一期工程初步设计报告》和《关于滇池水资源量及控制运行水位复核论证的咨询报告》相同, 工业及生活用水量的回归系数采用0.75, 耗水量即为提水量的25%。各月水量按全年均匀供水计。

根据历年提水量和耗水系数即可计算得净耗水量, 即式(1)中的  $\alpha_{工} W_{工}$  项。

### 3.4 沿湖农业净耗水量

根据相关统计资料分析, 滇池沿湖提水灌溉面积随时间而变化, 在农灌用水量计算时, 灌溉面积按不同时期分段采用, 其中1952年为3333  $hm^2$ , 1984年递增至15300  $hm^2$ , 1953-1984年段各年分别以1952、1984年控制按直线内插, 1984-1996年采用15300  $hm^2$ , 1997-1998年5月采用16000  $hm^2$ , 1998年6月-2003年12月采用18000  $hm^2$ , 2004-2007年2月采用14000  $hm^2$ , 2007年3月-2008年12月采用13300  $hm^2$ 。

农灌净耗水量根据年内灌溉用水量来推求, 而年用水量又与作物组成、种植面积、气候、年降水量等有关。

滇池现状沿湖提水灌区的作物组成按《滇池防洪保护和污水资源化工程第一期工程初步设计

报告》和《关于滇池水资源量及控制运行水位复核论证的咨询报告》分析成果取用,旱季供水时间是每年1-4月、9-12月,且为固定供水(单位面积综合用水定额见表2);雨季5-8月为变动供水,这4个月供水量与降水量关系较密切,根据分析,其与降雨量的关系式分别为:

$$\begin{aligned} 5 \text{ 月: } W &= 229 - 0.14P & 6 \text{ 月: } W &= 86.4 - 0.05P \\ 7 \text{ 月: } W &= 50.49 - 0.049P & 8 \text{ 月: } W &= 59.06 - 0.03P \end{aligned}$$

上述各式中:  $W$  为月供水量(万  $\text{m}^3$ );  $P$  为灌区月降雨量(mm)。

表2 滇池沿岸旱作物单位面积综合用水过程

| 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 | 全年    |
|----------------------------------------|----------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-------|
| 供水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ | 355      | 400 | 600 | 100 |    |    |    |    | 13 | 300 | 400 | 400 | 2 568 |
| 备注                                     | 5~8为变动供水 |     |     |     |    |    |    |    |    |     |     |     |       |

农业净耗水量为灌溉水量与回归水量之差。根据气候条件、作物种类及耕作方式等特点,旱季用水一般即为耗水,即每年1-4、10-12月份耗水系数为1.0,用水量即为耗水量;雨季5-8月份,水稻用水存在回归水的问题,因田间水层深有一定的差异,各月耗水系数也有差异。根据相关分析成果,滇池灌区农业用水的变动用水月份耗水系数5月为0.92、6月为0.58、7月为0.22、8月为0.40。

按上述确定的月耗水系数及农灌用水量,可求得1956-2012年各月农灌耗水量,即(1)式中的 $\alpha_{\text{农}} W_{\text{农}}$ 项。

### 3.5 蓄水变量

采用与蒸发量计算相同年份的月初、月末水位查水位~湖容关系曲线得月初、月末湖容量,相邻月湖容量差值即为月蓄水变量,即(1)式中 $\Delta V$ 项。

### 3.6 跨流域引水量

2007年3月2日,引水济昆工程掌鸠河云龙水库正式向昆明城区供水,每日均匀供水60万 $\text{m}^3$ ,扣除长距离输水损失后,实际净供水量为51万 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。2012年4月清水海一期引水工程向昆明市供水,至2012年12月供水量为528万 $\text{m}^3$ 。

### 3.7 滇池水资源量

根据前述分析的各项水量,代入(1)式中即可求得滇池1956-2012年系列多年平均入湖径流量为9.71亿 $\text{m}^3$ (不含云龙水库供水回归水量),在扣除耗于以湖面蒸发为主的水量损失4.39亿 $\text{m}^3$ 后,实际水资源量为5.32亿 $\text{m}^3$ 。

## 4 水资源开发潜力评价

根据上述分析,滇池流域多年平均净水资源总量为5.32亿 $\text{m}^3$ ,无过境水补给。根据(2)式可计算得负载指数为111.4,属于I级水平,水资源利用程度很高,开发潜力很小,进一步开发条件艰巨,有条件时需考虑外流域调水。

## 5 水资源承载力评价

由于云南属山丘地貌类型,地下水资源量全部包含在地表水资源量中,即地下水是地表水的重复计算量,因此滇池流域可利用水资源量即为地表可利用水资源量。滇池流域人均综合用水量为211 $\text{m}^3$ ,根据(3)式可计算得水资源承载指数为1.45,人口超载率为44.8%,水资源承载指数介于1.33~2.00之间,人口超载率介于33%~100%之间,可见滇池流域属于水资源超载<sup>[5]</sup>。

## 6 结论

滇池流域多年平均净水资源总量为 5.32 亿  $\text{m}^3$ ; 水资源负载指数为 111.4, 属于 I 级水平, 流域水资源利用程度很高, 开发潜力很小; 水资源承载指数为 1.45, 人口超载率为 44.8%, 属于水资源超载。因此, 应考虑采用非工程与工程措施相结合的方式来解决区域水资源供需矛盾。

### 参考文献

- [1] 昆明市环科所. 滇池流域水污染防治十五规划 [R]. 昆明: 昆明市环科所, 2002.
- [2] 余艳玲. 滇池流域水资源问题与对策研究 [J]. 环境科学导刊, 2010, 29(增刊 1): 76-78.
- [3] 昆明市环科所. 滇池流域水污染防治九五计划及 2010 年规划 [R]. 昆明: 昆明市环科所, 2002.
- [4] 史鉴, 陈兆丰, 邢大伟, 等. 关中地区水资源合理开发利用与生态环境保护 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.
- [5] 杜娟, 骆华松, 胡志丁. 云南省水资源承载力测评 [J]. 水资源研究, 2010, 31(2): 1-3.

# 大型浅水湖泊对洪水的响应研究

徐银凤

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 采用 Boussinesq 型浅水方程对大型浅水湖泊在台风期对洪水造成的水面扰动响应进行了模拟研究, 结果表明: 湖泊在短时间内就可以对扰动进行响应, 在受水深影响的同时, 其能量将迅速传播并在地形相对较封闭的区域集中, 形成较大的扰动, 影响附近的水动力环境; 而在开阔的水域, 响应并不十分强烈, 水面的扰动维持在较低的水平上, 对环境的影响较小。

**关键词:** 浅水湖泊; 非线性浅水方程; 洪水响应

大型浅水湖泊具有湖体宽浅、水体交换快、对洪水的调蓄能力较强、水位变幅有限等特征。针对大型浅水湖泊的研究常见于从流域防洪及水动力响应等方面展开<sup>[1]</sup>。国内大型浅水湖泊的典型例子为太湖, 而国内此方面研究也多针对太湖流域展开。本文拟以太湖为例, 对大型浅水湖泊对台风洪水等的响应进行研究。

太湖位于长江三角洲的南缘, 是中国五大淡水湖之一, 在北纬 30°55'40" 至 31°32'58" 和东经 119°52'32" 至 120°36'10" 之间, 横跨江、浙两省。太湖湖泊面积 2 427.8 km<sup>2</sup>, 水域面积为 2 338.1 km<sup>2</sup>, 湖岸线全长 393.2 km, 平均深度为 1.89 m, 最深处一般不超过 4 m。其西和西南侧为丘陵山地, 东侧以平原及水网为主。目前针对太湖及其流域中河流的研究较多地从水文学和水动力学等方面展开, 例如水位对降水量<sup>[2]</sup>、干流洪水的响应<sup>[3]</sup>, 台风等因素对水位的影响<sup>[4]</sup>, 湖泊防洪规划<sup>[5]</sup>, 湖泊波浪场与风场的关系以及各影响因素的生态环境效应研究等。

台风、洪水等因素除了影响湖泊水位以外, 还会在湖泊中形成扰动, 使其在短时间内产生剧烈振荡, 并在湖泊这一相对封闭的区域中进行传播。这一扰动一方面会向岸传播, 对围绕湖水的经济活动产生影响, 另一方面亦会与湖体发生作用, 使湖泊的生态环境发生变化。本文利用 Boussinesq 型非线性浅水方程, 对太湖水位扰动对台风期洪水的响应进行研究。

## 1 Boussinesq 型非线性浅水方程

Boussinesq 型浅水方程是描述湖泊及近海水动力现象的常用模型, 对于大型浅水湖泊的水动力现象的描述适用性较好。本文采用 Wei 等导出的二阶完全非线性 Boussinesq 方程进行模拟<sup>[6]</sup>。

在笛卡尔坐标系下,  $x, y$  轴置于静水面,  $z$  轴垂直向上为正。质量守恒方程可以写为:

$$\nabla \cdot \eta \tau + \nabla \cdot M = 0 \quad (1)$$

其中:

$$M = (h + \eta) u + (h + \eta) \left[ z_{\alpha}^2 / 2 - (h^2 - h\eta + \eta^2) / 6 \right] \nabla (\nabla \cdot u) + (h + \eta) \left[ z_{\alpha} + (h - \eta) / 2 \right] \nabla (\nabla \cdot h \cdot u) \quad (2)$$

动量守恒方程为:

$$u\tau + (u \cdot \nabla) u + g \nabla \eta + v_1 + v_2 = 0 \quad (3)$$

其中:

**作者简介:** 徐银凤(1962-), 女, 高工, 南京水利科学研究院科研处。

$$v_1 = z_\alpha^2 / 2 \nabla (\nabla \cdot u\tau) + z_\alpha \nabla (\nabla \cdot h \cdot u_\tau) - \nabla (1/2 \eta^2 \nabla \cdot u_\tau + \eta \nabla \cdot (h \cdot u_\tau)) \quad (4)$$

$$v_2 = \nabla \left[ (z_\alpha - \eta) (u \cdot \nabla) (\nabla \cdot (h \cdot u)) \right] + 1/2 (z_\alpha^2 - \eta^2) (u \cdot \nabla) (\nabla \cdot u) + 1/2 \nabla \left[ (\nabla \cdot (hu) + \eta \nabla \cdot u)^2 \right] \quad (5)$$

其中  $u$  为  $z_\alpha = 0.531 h$  时  $x$  方向和  $y$  方向的水质点速度,  $\eta$  为自由水面。对控制方程本文拟采用有限差分格式进行求解。

## 2 台风期太湖水面扰动的计算模拟及分析

太湖水面在台风作用下产生的风场及洪水波的影响下会产生一定程度的振动,在湖中形成波浪场。对太湖波浪场的模拟有研究者采用基于能谱的 SWAN 模式进行<sup>[7]</sup>,其优势在于可以很方便地把风场、底摩阻等因素作为源汇项考虑。而太湖作为大型浅水湖泊,其水面扰动亦可用浅水方程进行描述,其中 Boussinesq 型浅水方程可以较好地描述非线性作用,对台风作用下的扰动模拟效果较好,尤其是对于太湖东部岸线曲折、浅滩密布的区域,可以较好地模拟扰动在其中的折射绕射等现象。

基于 Boussinesq 型浅水方程,将太湖及其周边划分为  $100 \times 100$  的网格,水深大于 0 的区域为水域,水深小于或等于 0 的区域作为陆域考虑,由于太湖岸线曲折,小于一个网格的水域忽略不计。

例如在台风温妮的作用下,太湖东区水面减幅可达 0.93 m,西区增幅可达 1.22 m<sup>[4]</sup>,通过能量换算为峰值达到 2.15 m 的水面扰动用于模型计算。由于此扰动已考虑台风影响下风场的作用,模型计算暂时不同时耦合风场的作用。由于湖中的扰动可在短时间内形成振荡,通过模型计算,并在水域中均匀去电,得到在扰动开始作用后各时刻湖中波高的分布,如图 1 所示。

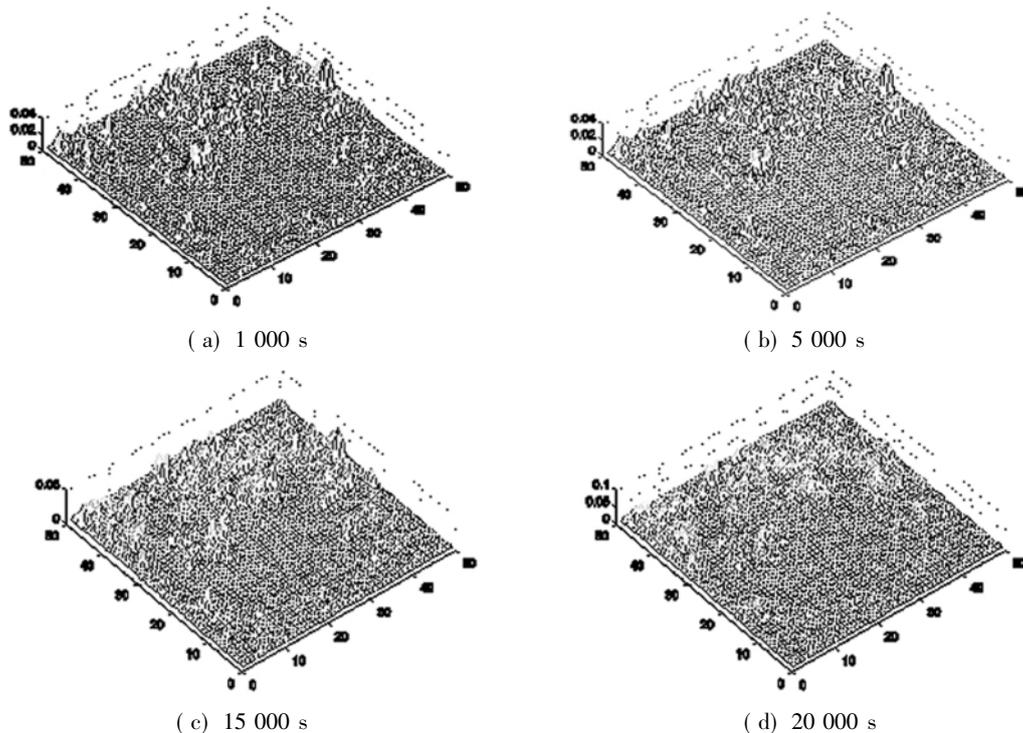


图 1 扰动开始作用后各时刻湖中波高的分布

由图 1 中可以看出,台风引起的扰动在很短的时间内就向各个方向传播开去,并且由于太湖地形(水深、形状)的特点,其能量向东部岸线较曲折、相对狭窄的水域集中。此部分也正是水深较浅,并且周边有较多人类生产活动的区域。一方面,集中的能量通过与湖底作用耗散,会使湖底底泥被掀动,引起污染物的扩散<sup>[8]</sup>;另一方面,扰动在岸边会以爬高的形式向岸运动,在台风期本身水位高的条件下,可能造成更大范围的淹没区。由于非线性叠加的作用,随着时间的推移,在相对

狭窄的区域周边扰动幅度增长更加迅速。

### 3 结论

本文以太湖为例,采用 Boussinesq 型浅水方程对大型浅水湖泊在台风期对洪水造成的水面扰动响应进行了模拟研究,发现湖泊在短时间内就可以对扰动进行响应,在受水深影响的同时,其能量将迅速传播并在地形相对较封闭的区域集中,形成较大的扰动,影响附近的水动力环境,而在开阔的水域,响应并不十分强烈,水面的扰动维持在较低的水平上,对环境影响较小。

#### 参考文献

- [1] 陆铭之. 太湖洪水与流域治理 [J]. 浙江水利科技, 2000, (3): 39 - 39.
- [2] 陆琛莉, 范柏松, 朱莲芳, 等. 环太湖地区汛期降水量与太湖水位的关系 [J]. 气象科学, 2000, 20(1): 51 - 56. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0827.2000.01.008. .
- [3] 黄兰心. 近 40 年来长江下游干流洪水位变化及原因初探 [J]. 湖泊科学, 1999, 11(2): 99 - 104. DOI: 10.1088/0256-307X/15/11/025.
- [4] 余华, 秦伯强. 9711 号台风对太湖水位影响分析 [J]. 湖泊科学, 1998, 10(4): 91 - 94.
- [5] 王太俊. 太湖环湖大堤工程及其在流域综合治理中的功能 [J]. 湖泊科学, 1993, (3): 195 - 204.
- [6] Wei G, Kirby J T, Grilli S T, *et al.* A fully nonlinear Boussinesq model for surface waves. Part 1. Highly nonlinear unsteady waves [J]. Journal of Fluid Mechanics, 1995, 294: 71 - 92.
- [7] 刘兴平. 太湖波浪过程的数值模拟 [J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2009, 30(1): 80 - 85. DOI: 10.3321/j.issn:1003-5427.2008.01.018.
- [8] 丁艳青. 太湖动力扰动对内源释放及藻类生长的影响 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012.