

退圩还湖工程后水系连通分析 ——以平旺湖、得胜湖为例

蒋志昊, 杨 印, 王春美, 王冬梅

(江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017)

摘要:兴化市位于里下河地区腹部,其列入《江苏省湖泊保护名录》中的湖泊湖荡共有 20 个。目前这些湖泊存在开发围占、水流堵塞及生态系统恶化等问题,严重削弱湖泊调蓄和湿地功能。退圩还湖工程对湖泊范围内占用圈圩进行清退,从而扩大湖区自由水面面积,改善水环境。以平旺湖、得胜湖为例,通过构建里下河平面水网模型的方法,分析退圩还湖实施后成湖区的流场分布。结果显示,退圩还湖后水流顺畅,湖体中部水流流速大,边界处由于口门换水,不易产生淤积,整个湖体设计对生态改善有积极影响。

关键词:退圩还湖; 河网模型; 生态修复

中图分类号:TV212

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2020)01-0006-07

Analysis on the connectivity of the water system after the project of returning polder area to lakes: Taking Pingwang Lake and Desheng Lake as examples

JIANG Zhihao, YANG Yin, WANG Chunmei, WANG Dongmei

(Jiangsu Institute of Water Resources and Hydropower Research, Nanjing 210017, Jiangsu)

Abstract: Xinghua is located in the abdomen Lixia river region where a total of 20 lakes were taken in the "lake protection list of Jiangsu province". At present, there were problems such as development and occupation, water flow blockage and ecosystem deterioration, which seriously weakened the functions of lake storage and wetland. The project of returning polder area to lakes cleared the occupied areas in the lake area, thereby expanding the free surface area and improving the water environment. Taking Pingwang Lake and Desheng Lake as examples, the method of constructing a water network model for the Lixia River was used to analyze the flow field distribution of the lake area after the implementation of returning polder area to lakes. The results showed that the water flow was smooth and the flow velocity in the middle of the lake body was high after returning polder area to lakes. Because of the change of water at the mouth of the lake, it was not easy to deposit, and the design of the whole lake body had a positive impact on the ecological improvement.

Key words: returning polder area to lakes; model of water net; ecological restoration

1 概 况

里下河地区位于江苏省中部地域,地处里运河以东,苏北灌溉总渠以南,扬州至南通 328 国道及泰运河以北,东至黄海,总面积 21497 km²,地理位置

界于东经 119°20′~120°05′,北纬 32°30′~33°33′之间,包括扬州的高邮市、宝应县、淮安的楚州区、泰州的姜堰区、兴化市、盐城的盐都区、建湖县、阜宁县。

其中,兴化市位于长江三角洲北翼,地处江苏省中部、里下河地区腹地。东邻大丰、东台,南接姜

收稿日期:2019-05-14

作者简介:蒋志昊(1990—),男,硕士,研究方向为退圩还湖规划、定量遥感。

堰、江都,西与高邮、宝应毗邻,北与盐城隔界河相望。全市列入《江苏省湖泊保护名录》的湖荡共有20个,其中,本次退圩还湖实施方案根据《里下河湖泊湖荡(兴化市域)退圩还湖专项规划》^[1]的要求,以平旺湖和得胜湖为实施目标。

2 项目介绍

2.1 湖泊现状

2.1.1 得胜湖

得胜湖是兴化市著名的五湖八荡之一,位于兴化市城区以东,地理位置东经 $119^{\circ}55'37''$,北纬 $32^{\circ}57'00''$,东至渭水河,南到车路河,西达跃进河及姚港,北接白涂河与城河,南北宽4.99 km,东西长6.74 km,得胜湖总面积 16.497 km^2 (合24746亩)。现状得胜湖主要以圩区形式存在,主要是副业圩和农业圩,以养殖为主,部分种植,养殖面积约为 9.372 km^2 ,种植面积约为 2.245 km^2 。圩区内有居民点,面积约 15500 m^2 。得胜湖横跨垛田镇、城东镇、林湖乡3个乡镇,涉及11个村,3个养殖场,受人为活动影响,特别是过度圈圩(围)养殖、种植,湖泊功能下降。主要问题有开发围占水域,严重削弱湖泊调蓄功能;湖泊湖荡地区引排水通道不畅,水流堵塞严重;生态系统恶化,湿地功能效益下降;湖泊湖荡地区的权责不清,责任主体不统一^[2-3]。

2.1.2 平旺湖

平旺湖位于在兴化市西北部,保护总面积 5.169 km^2 ,平旺湖共有6个圩区。平旺湖附近的河道主要有下官河、塘沟河、中引河、边沟河、土桥河、黄邳河、顾赵河、漏税河等。其中下官河为里下河地区五纵六横骨干河网的一部分,为里下河腹部地区湖泊湖荡一级行水通道,穿湖而过。中引河为里下河腹部地区湖泊湖荡二级行水通道。平旺湖通过中引河、土桥河与平旺湖、平旺湖南荡相连。平旺湖现主要以圩区形式存在,第一批滞涝圩为副业圩,第二批滞涝圩为农业圩。下官河东侧圩区目前主要以养殖为主,西侧圩区以种植为主。平旺湖东侧临近兴化著名的垛田景区。由于湖泊湖荡开发利用严重,造成行水不畅,难以发挥其应有的泄洪功能,影响了平旺湖周边地区的防洪安全,一定程度上导致平旺湖地区的生态退化,影响湖泊资源的可持续利用和区域社会经济的发展。

2.2 实施情况

2.2.1 得胜湖

根据实施方案得胜湖与周边河道敞口连接,保

证工程过水顺畅。湖体西、南侧为进水口,北部设3个出水口与环湖河道相连,周边堆土区为排泥场。湖内西北部和东南部各设岛屿,如图1所示。工程实施后恢复自由水面 11.581 km^2 ,形成堆土区面积 4.916 km^2 。结合非汛期水流从西向东、从南向北的流态特点,本着有利于水体交换的原则,设置主次进出水口6处,形成水流进出湖区的通道。主进水口位于湖区西南角车路河与跃进河交汇处,主出水口在湖区东北角接通渭水河,1#次进水口位于湖区西北角澄河与跃进河交汇处,1#次出水口在湖区北侧接通白涂河,2#次进水口位于湖区南侧由车路河取水,2#次出水口在湖区北侧接通澄河、姚港汇入白涂河。

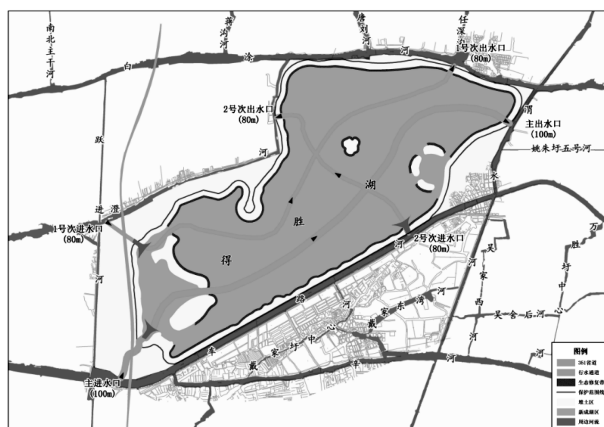


图1 得胜湖成湖区示意图

2.2.2 平旺湖

平旺湖全湖呈南北向分布,整体为狭长状,湖体中部窄顺。实施方案保证沿岸布置堆土区整个湖泊与周边河道敞口连接,在河湖相连处架设桥梁,保持岸线完整。湖内堆土区设置为3个湖心岛屿,最终成湖效果见图2。平旺湖退圩还湖实施后,入湖水系主要有:南边流入湖区の下官河、漏税河,西侧流入湖区的黄邳河。出湖水系主要有:北侧流出湖区の下官河、塘沟河、中引河,东侧流出湖区的土桥河。其中南部湖区东侧与下官河全部连通。

3 模型计算

3.1 模型及原理

得胜湖、平旺湖退圩还湖实施方案解决了里下河地区内部河网及外排入海港道淤积、下垫面的变化导致产流汇水加快的现象,另外,里下河地区“中滞”面积不足,部分湖荡滞涝圩分散且开发殆尽,利用困难等问题也可以得到一定程度的缓解^[4-5]。退圩还湖扩大了湖区的自由水面面积,同时影响周边

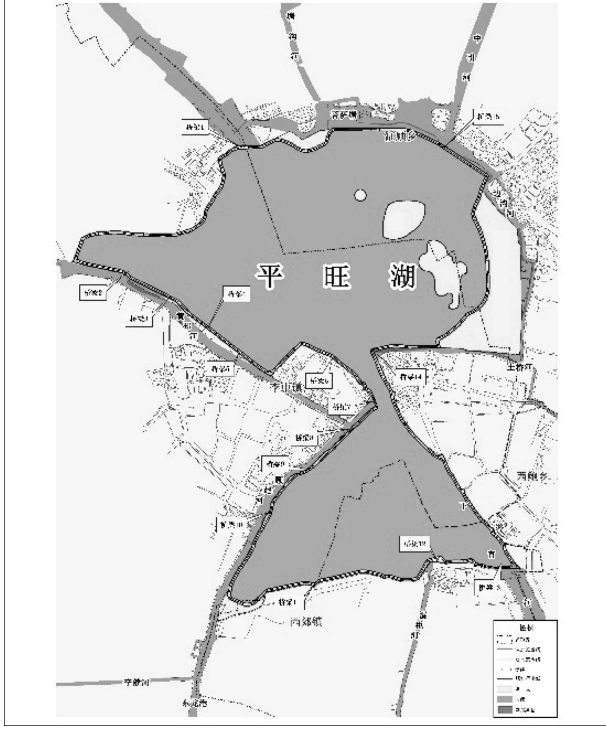


图2 平旺湖成湖区示意图

河道与湖泊之间的连通。本文根据目标区域水文及地理信息资料,以平旺湖、得胜湖为例,构建了平面水动力模型,计算了退圩还湖后成湖区流速变化以及流场分布。

3.1.1 水网模型

根据研究区域的区位水文特征一般采用统计相关模型、经验相关模型^[6]和河网水动力学模型^[7]的方法来构建河网模型。统计相关模型的原理是通过对多年长系列资料的统计分析,确定研究区域代表站点影响因子,建立统计相关模型。经验相关模型原理利用降雨水位资料,建立基于人工神经网络算法的经验相关预报模型,对研究区域内选定的影响因子进行模拟计算,预报目标过程。河网水动力学模型则采用河网水动力学模型对区域内降雨产流过程和河网汇流过程进行模拟分析,对给定条件下的水位及流量过程进行预报。考虑到研究区域内实施方案施行前后湖底地形变化明显,所以将河网水动力学模型作为本文研究方法。

3.1.2 模型原理

利用水动力学的基本理论,以平旺湖、得胜湖为例,构建适用于里下河腹部地区湖泊湖荡的河网二维水动力模型,周边河道采用河道一维模型,模拟计算退圩还湖后成湖区流速变化以及流场分布。

(1) 河道一维模型

描述河道水流运动的圣维南方程组^[8]为

$$\begin{cases} B \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = q V_x \end{cases} \quad (1)$$

式中: q 为旁侧入流; Q 、 A 、 B 、 Z 分别为河道断面流量、过水面积、河宽和水位; V_x 为旁侧入流流速在水流方向上的分量,一般可以近似为零; K 为流量模数,反映河道的实际过流能力; α 为动量校正系数,是反映河道断面流速分布均匀性的系数。对上述方程组求解采用四点线性隐式格式进行离散。

(2) 湖泊二维模型

湖泊、行洪区等单元的水流采用二维浅水波方程来描述:

$$\begin{cases} \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = q \\ \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial uU}{\partial x} + \frac{\partial vU}{\partial y} + gh \frac{\partial Z}{\partial x} = -g \frac{|\vec{V}|}{c^2 h^2} U + fV + \frac{1}{\rho} \tau_{ux} \\ \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial uV}{\partial x} + \frac{\partial vV}{\partial y} + gh \frac{\partial Z}{\partial y} = -g \frac{|\vec{V}|}{c^2 h^2} V - fU + \frac{1}{\rho} \tau_{vy} \end{cases} \quad (2)$$

式中: Z 为水位; u 、 v 分别为 x 与 y 方向上的流速; U 、 V 分别为 x 与 y 方向上的单宽流量; \vec{V} 为单宽流量的矢量, $|\vec{V}|$ 为它的模, $|\vec{V}| = \sqrt{U^2 + V^2}$; q 为考虑降雨等因素的源项; g 为重力加速度; c 为谢才系数; f 为柯氏力系数; τ_{ux} 、 τ_{vy} 分别为风应力沿 x 和 y 方向的分量,可采用如下公式计算:

$$\begin{cases} \tau_{ux} = \rho_a c_D |\vec{W}| W_x \\ \tau_{vy} = \rho_a c_D |\vec{W}| W_y \end{cases} \quad (3)$$

式中: ρ_a 为空气密度; c_D 为阻力系数; \vec{W} 为离水面 10 m 高处的风速矢量。

对上述二维浅水波方程,直接求解有一定的困难,采用破开算子法将该方程分裂成如下两分步;然后分别对其采用合适的方法进行求解。

第一分步:

$$\begin{cases} \frac{\partial Z}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial uU}{\partial x} + \frac{\partial vU}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial uV}{\partial x} + \frac{\partial vV}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

第二分步:

$$\begin{cases} \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = q \\ \frac{\partial U}{\partial t} + gh \frac{\partial Z}{\partial x} = -g \frac{|\vec{V}|}{c2 h2} U + fV + \frac{1}{\rho} \tau_{wx} \\ \frac{\partial V}{\partial t} + gh \frac{\partial Z}{\partial y} = -g \frac{|\vec{V}|}{c2 h2} V - fU + \frac{1}{\rho} \tau_{wy} \end{cases} \quad (5)$$

对上面两分步方程组的数值求解,采用直角坐标系下非均匀矩形网格的控制体积法。二维差分网格示意图见图3,下面以第二分步的方程组为例说明如下:

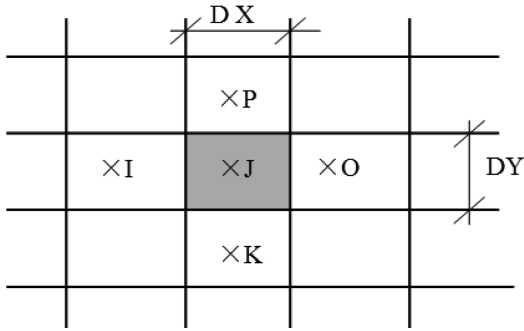


图3 二维差分网格示意图

首先对动量方程(5)离散,以单元 I 与 J 的交界面为例说明如下:

$$\frac{U - U_0}{\Delta t} + g h_0 \frac{Z_J - Z_I}{\Delta x} + g \frac{|\vec{V}|}{c2 h2_0} U - fV - \frac{1}{\rho} \tau_{wx} = 0 \quad (6)$$

式中:下标“ 0 ”表示时刻初的已知值。

整理化简得:

$$U = \delta_0 (Z_I - Z_J) + \beta_0 \quad (7)$$

将上式乘以 Δy 可得由单元 I 流进单元 J 的流量为

$$Q_x = \delta_x (Z_I - Z_J) + \beta_x \quad (8)$$

同理对式(5)离散可得单元 K 流到单元 J 的流量为

$$Q_y = \delta_y (Z_K - Z_J) + \beta_y \quad (9)$$

对式(5)离散可得:

$$\frac{Z_J - Z0_J}{\Delta t} + \frac{\Delta U}{\Delta x} + \frac{\Delta V}{\Delta y} = q \quad (10)$$

化简得:

$$\Sigma Q_i = A \frac{Z_J - Z0_J}{\Delta t} \quad (11)$$

式中: A 为单元 J 的面积; ΣQ_i 表示包括降雨在内单位时间内流进单元 J 水量的代数和。

(3) 模型概化

两湖模型构建前要进行模型的概化。为显示成湖后流场流速变化,得胜湖、平旺湖概化采用二维水动力模型。根据边界线以及水下地形测点资料,在 ArcGIS 软件中进行适当处理后导出,引入系统进行派生。由于二维湖泊需进行水下高程的插值计算,因此利用已有地形点建立不规则三角网,实现高程二次插值,初步显示两湖区域的地形高程,完成湖泊概化。周边河道全部采用物理河网概化的原则,概化河道全部对应实际河道,概化河网的过流能力能够反映实际情况。概化后地形见图4。

模型计算方案采用联立里下河河网水动力模型,设置两湖模型计算专题。利用平旺湖退圩还湖地形建立平旺湖二维模型,平旺湖采用区域二维模型,覆盖 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 网格,入湖处以闸与周边河道相连接,堰闸处保证河湖联通,不进行水量控制。周边河道概化为河道一维模型,与原里下河分区概化节点进行连接。得胜湖采用区域二维模型,覆盖 $30 \times 30\text{ m}$ 网格,入湖处设置联系要素与周边河道连通。根据现有河道资料,在2号次出水口生成概化河道,与原里下河河网模型联立。两湖生成的水网模型如图5所示。

3.2 结果与分析

选取1次水位变化过程对两湖模型进行验证。根据里下河历史水文资料,本文选定2003年高水位情况下的水文序列作为计算选定的水文序列。以创建的两湖模型专题作为计算专题,给定初始条件进行计算。采用大水年计算可以更显著地反映湖泊形态变化对流态的影响且能兼顾各类水情变化,平水年过程可用常水位状态进行模拟,故此选用大水年作为计算序列。截取模型计算稳定后的流量过程,选取常水位、次洪起涨点、最高水位、退水过程下得胜湖、平旺湖的流速流场分布以及对应的湖泊水深示意图作为结果显示内容,见图6。

3.2.1 常水位水深流速分布

计算过程线取2003-5-31 T 01:00:00时刻为常水位过程显示点(兴化水位:1.014 m),分别绘制得胜湖、平旺湖流速和流场分布,见图7。由图7可以看出常水位下得胜湖流速较小,流速较大处集中在水深较大的湖心岛屿处。主出水口与西部岛屿处水流不畅。根据平旺湖常水位下流速分布情况可以得出,平旺湖中部水域流速较大,南北两侧以及靠近湖边界处流速较小。

3.2.2 高水位时刻水深流速分布

取2003-6-29 T 15:00:00时刻为起涨水位点



图 4 概化后河湖地形示意图

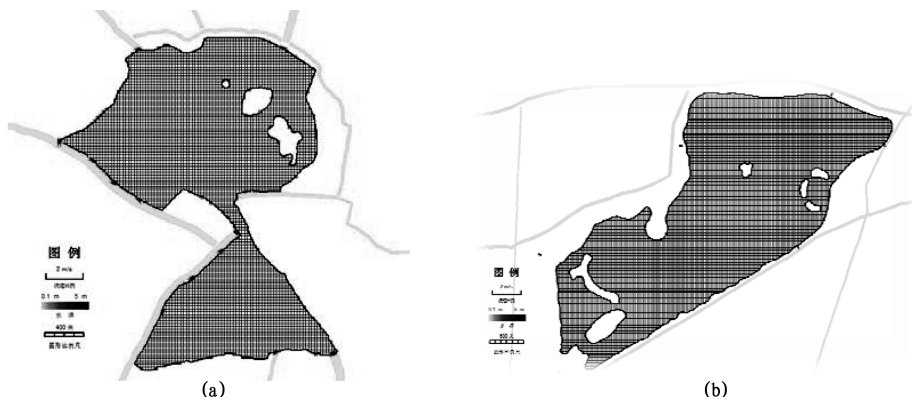


图 5 两湖水文网格模型

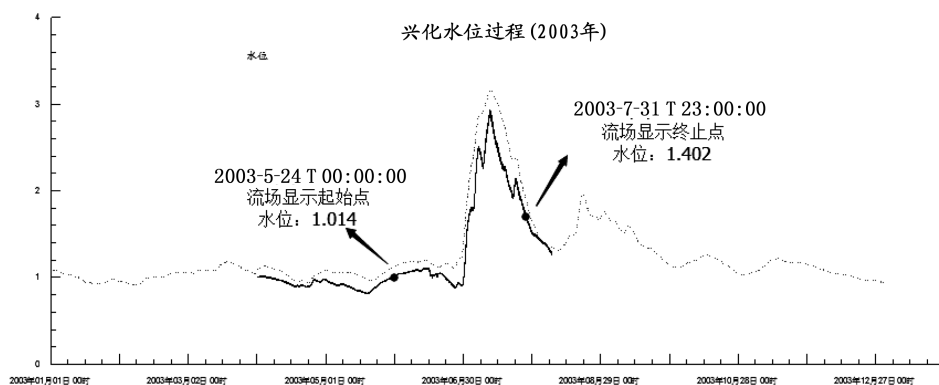


图 6 模型计算成果显示水文过程线

(兴化水位: 0.934 m), 分别绘制得胜湖、平旺湖流速和流场分布, 见图 8。结果显示高水时刻得胜湖水流速显著增大, 除北部近边界处和东北部主出水口流速较小外, 其他区域流速都较大。同一时刻平旺湖水流速显著增大, 流速较小处集中于边界, 北部通道水流顺畅。

3.2.3 退水过程水深流速分布

取 2003-7-15 T 16:00:00 时刻为退水过程点 (兴化水位: 2.405 m), 分别绘制得胜湖、平旺湖流速和流场分布, 见图 9; 由得胜湖水深流速渲染图可以看出, 得胜湖内部整体水流顺畅, 湖区水流流速分布均匀, 湖心岛屿处水流顺畅。边界处与外河道

连接处多设口门, 故湖边界处水流顺畅, 北部边界处流速较小。湖体中部内凹段水流流速较大, 主要是由于湖体中部边界向内凹陷导致该段湖体束水作用加大。由平旺湖水深流速渲染图可以看出, 以平旺湖最终方案建模进行计算时平旺湖北部区域水流流速很小, 通常在次洪流量较大时湖水才会顺畅流动; 在湖体中部与下官河相通区域水深较大处流速较大, 水流顺畅; 南部湖区水下地形平整, 水体流动无阻滞。

3.3 结论与建议

本文以江苏省兴化市内得胜湖和平旺湖为研究区域, 利用退圩还湖实施方案后两湖水文及地理

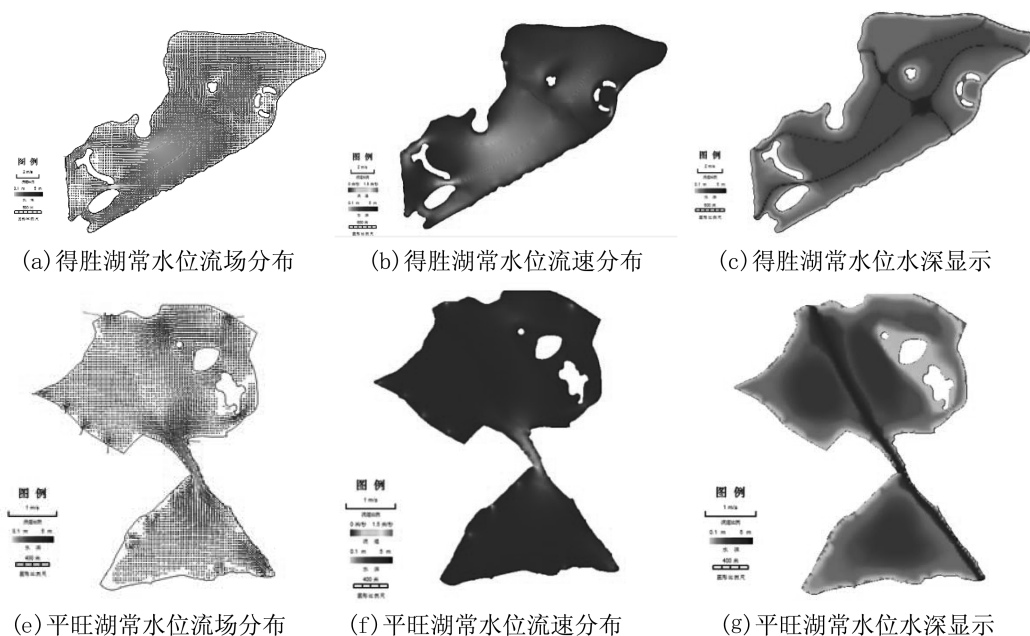


图7 两湖常水位下流速、流场分布与水深显示

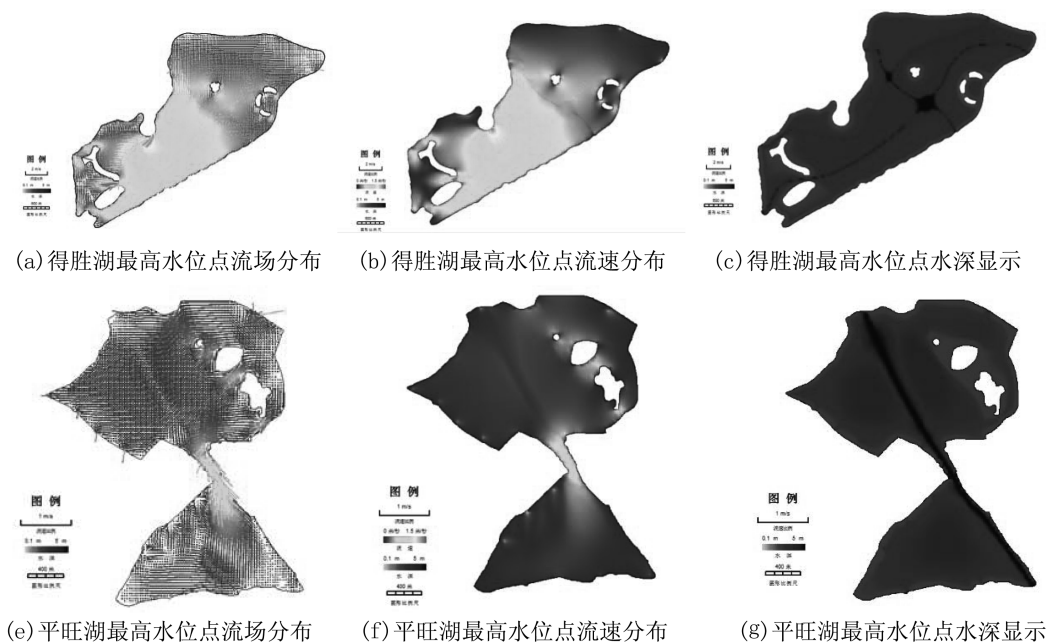


图8 两湖湖最高水位点流速、流场分布与水深显示

信息资料,构建平旺湖、得胜湖二维水动力模型,周边河道一维模型,并对模型进行概化。将构建好的两湖模型嵌入里下河河网水动力模型中进行计算,通过里下河地区的实际过水模拟,确定二维湖泊在不同水位状态下的流场分布与流速分布,据此分析成湖区规划的合理性。

模拟过程截取了2003年5月25日至2003年8月1日包含了1个大的洪水涨落过程的水文区间,在此区间内不同水位下的流场与流速分布各不相同。由上述计算结果可知,得胜湖水流动速大的区域集中在湖区内岛屿周边和湖中部边界内凹区域,

湖体内部水深大于周边。平旺湖水流动速大的区域集中在河道入湖口和湖中行水通道区域,湖体内部水深大于周边。由于湖泊与周围河道连接处口门为敞口式,因此,湖中水流方向受到周边河道过水的影响。

根据常水位、高水位以及退水过程模拟计算的结果,现阶段得胜湖成湖区方案实施后湖区水流顺畅,湖体中部和岛屿周边水体流动迅速,不易形成淤积,有利于湖泊生态环境的改善。得胜湖呈东西向分布,南部湖区水流呈东西往复流动。近边界处水流流速通常较小,中部束水段流速较大,更新方

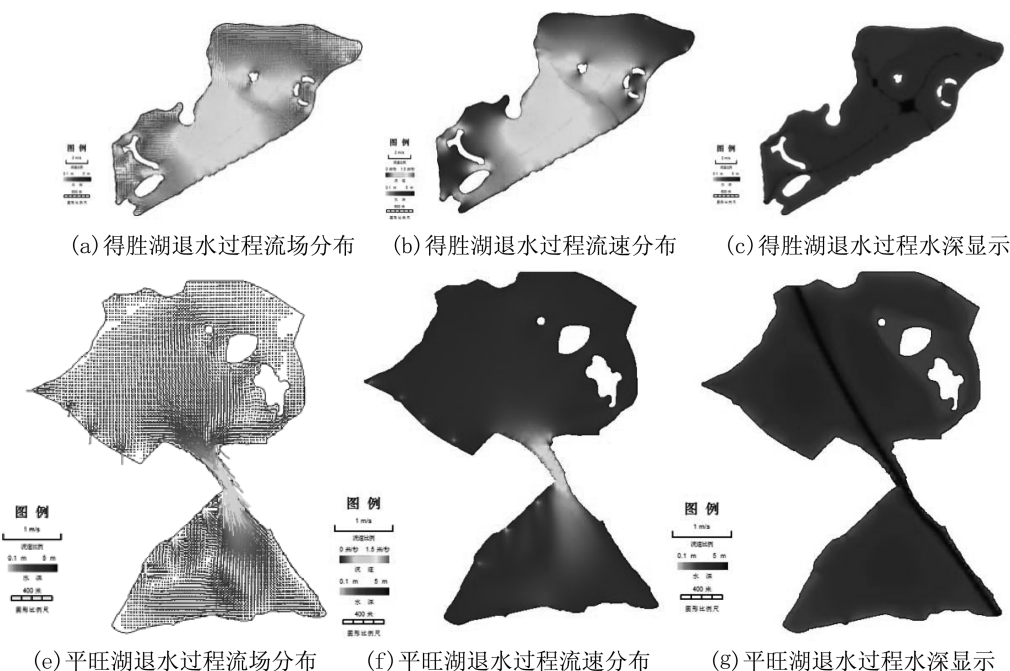


图9 两湖退水过程流速、场分布与水深显示

案的成湖区中部过水通道处受束水作用影响水流流速较大。平旺湖内部整体水流顺畅,湖区水流流速分布均匀,湖心岛屿处无过水不畅。边界处与外河道连接处多设口门,故湖边界处水流顺畅,只在东北边界处有较小洄水区。湖体中部水流流速较大,主要是由于地形挖深较大且湖体中部束水作用明显所致。

对湖体面积较小的湖泊而言,水流不畅易造成生态水质恶化,湖体对污染物的净化能力变差,对湖体生态环境有极大的影响。根据流场信息,现阶段规划方案下得胜湖湖体水流顺畅,湖体中部水流流速大,不易产生淤积,边界处由于口门换水,也不易产生淤积,有利于湖泊生态环境建设。更新方案下平旺湖湖体水流顺畅,北部湖体与排泥场形成的过水通道和入湖河湖通道处水流流速大,不易产生淤积,对湖体生态改善有积极影响。若想进一步加大边界处水体流动,可依河道入湖水方向改进湖边界,尽可能保证入湖处边界的自然延伸,从而减少洄水区的产生。

4 结 论

本文根据退圩还湖实施后,形成的新的水系连通形式,通过模拟计算输出的流场分布与流速分布图,得出湖体流动特征。对湖体面积较小的湖泊而言,水流不畅易造成生态水质恶化,湖体对污染物的净化能力变差,对湖体生态环境有极大的影响。

模拟计算过程联立里下河河网水动力模型,并模拟1次过水过程。根据流场信息,现阶段方案下得胜湖和平旺湖湖体水流顺畅,湖体中部水流流速大,不易产生淤积,边界处由于口门换水,也不易产生淤积,整个湖体设计对湖体生态改善有积极影响。

参考文献:

- [1] 江苏省水利厅. 江苏省里下河腹部地区湖泊湖荡保护规划[M]. 南京:江苏省水利厅, 2006.
- [2] 王冬梅, 刘劲松, 戴小琳, 等. 退圩(田)还湖(湿)长效机制研究——以江苏省固城湖为例[J]. 人民长江, 2017(18):23-26.
- [3] 毛德华, 王亦宁, 彭保发, 等. 退田还湖政策的博弈分析[J]. 湿地科学, 2007, 5(4):289-297.
- [4] 包振琪, 余志国, 夏红卫. 做好兴化市退圩还湖的几点思考[J]. 江苏水利, 2015(07):1-2.
- [5] 包振琪, 夏红卫, 朱荣慧. 里下河地区水环境治理的实践与思考[J]. 江苏水利, 2015(11):38-39.
- [6] 周乃晨. 城市洪水及防治[J]. 自然杂志, 1990, 13(9):575-623.
- [7] 刘军英. 一维河网模型在平原感潮河网地区的应用[J]. 广东化工, 2015(08):135-137.
- [8] Stoker, J. J. Numerical solution of flood prediction and river regulation problems: derivation of basic theory and formulation of numerical methods of attack report I[R]. New York University Institute of Mathematical Science, 1953.