

退圩还湖工程对骆马湖水环境的影响预测

魏进¹, 于竟然¹, 孙凡^{2,3}, 逢勇^{2,3}, 李冰¹

(1. 江苏环保产业技术研究院股份公司, 江苏 南京 210019; 2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098;
3. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 为探究退圩还湖对骆马湖水环境的影响, 基于实测数据构建了骆马湖退圩前后二维非稳态水环境模型, 包括水动力模型、拉格朗日粒子追踪模型、水质模型等, 对该区域退圩后湖区的水动力、水龄、水质影响进行了预测研究。结果表明: 退圩后, 在偏东风和偏北风风速 3 m/s 情况下, 湖泊平均水位将下降 0.36 m, 4 个监测点位的平均流速将提高 12%; 在偏北风 5 m/s 情况下, 圩区附近水龄将缩短 55%; COD、氨氮、总氮、总磷水质改善率平均可达 3.3%、3.1%、2.3%、2.2%, 实施退圩还湖工程将对骆马湖水环境产生积极影响。

关键词: 退圩还湖; 水环境模型; 水动力; 水龄; 水质; 骆马湖

中图分类号: X524

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2025)02-0069-06

Prediction of influence of project of returning polders to lakes on water environment in Luoma Lake//WEI Jin¹, YU Jingran¹, SUN Fan^{2,3}, PANG Yong^{2,3}, LI Bing¹(1. *Jiangsu Academy of Environmental Industry and Technology Corp.*, Nanjing 210019, China; 2. *College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China*; 3. *Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract: In order to explore the impact of the project of returning polders to lakes on the water environment, taking Luoma Lake as an example, based on the measured data, a two-dimensional unsteady water environment model was established for Luoma Lake before and after the implementation of returning polders to lakes. Combining the hydrodynamic model, Lagrangian particle tracking and water quality model, the impacts of the project of returning polders to lakes on hydrodynamics, water age and water quality were predicted. The results show that after the implementation of returning polders to lakes, under the conditions of easterly and northerly winds with a speed of 3 m/s, the average water level of the lake decreases by 0.36 m, and the average flow velocity increases by 12% at four monitoring sites. Under the condition of a northerly wind with a speed of 5 m/s, the water age near the polder area is reduced by 55%. The average improvement rates of COD, ammonia nitrogen, total nitrogen and total phosphorus can reach 3.3%, 3.1%, 2.3% and 2.2%, respectively. Therefore, it is concluded that the implementation of returning polders to lakes has a positive influence on the water environment of Luoma Lake.

Key words: returning polder to lake; water environment model; hydrodynamics; water age; water quality; Luoma Lake

过去几十年间, 围湖造田、围网养鱼等生产活动极为频繁, 导致许多湖泊周边被占用^[1-3]。随着大众生态环境保护意识的不断增强, 越来越多的地区逐渐重视因占用湖泊开展生产活动而造成的生态问题, 进而采取退圩还湖的方式对湖泊进行修复^[2]。退圩还湖可以增大湖泊蓄洪容积, 提高湖泊调蓄洪水能力; 减少圩区排放污染, 净化水质; 扩大天然湿地面积, 有利于生态修复、调节气候、分淤泥沙等^[4-5]。总体而言, 退圩还湖可以有效抑制因过分围垦造成的各种水生态问题, 改善湖区的水生态条件。

位于江苏省新沂市境内的骆马湖湖面开发利用过度, 导致了行水不畅、周边地区防洪安全受阻^[6]以及一定程度的生态退化等问题, 影响了湖泊资源可持续利用和区域社会经济发展, 因此新沂市拟实施骆马湖退圩还湖工程以改善生态环境^[7]。

水环境模型是描述参与水循环的水体各水质组分所发生的物理、化学、生物和生态学等诸多方面变化规律和相互影响关系的数学方法^[8-10]。经过近百年的不断研究完善, 水环境模型中的水质模型实现了从静态系统向动态系统的过渡, 从零维模型发展

基金项目: 国家自然科学基金项目(51879070); 国家重点研发计划项目(2023YFF0611000)

作者简介: 魏进(1983—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事水环境污染防治研究。E-mail: airmanwj@163.com

至多维模型,模型纳入的参数也在不断增加,模型的适用范围也从单一水体演变为某一流域的综合模拟^[11]。目前国外应用较为广泛、通用性高、综合性强的水质模型主要有丹麦水力研究所开发的 MIKE 系列模型,荷兰代尔夫特水利研究所研发的 Delft3D 模型,美国环境保护总局开发的 WASP 模型,美国弗吉尼亚州海洋研究所开发的 EFDC、CE-QUAL-RI 模型等^[12-14]。我国水质模型起步较晚,但经过多年发展,在水质模型的开发及优化方面也取得明显进步,如清华大学针对三峡库区污染物研发的三维混水水质模型,河海大学研发的 Hwqnow 模型^[15],以及 GIS 技术和感潮河网水动力水质模型相结合的耦合模型^[16]等;多项研究基于 EFDC 模型进行污染物颗粒追踪,进而探究水利工程对水龄及水动力的影响^[17-19]。近年来利用各类水环境模型进行水环境、水污染、水生态、水动力等的影响预测研究已得到广泛发展^[11,13,16]。

为明确退圩还湖对骆马湖水环境的影响,本文基于 MIKE21 模型构建骆马湖二维非稳态水环境模型,预测骆马湖圩区退圩前后湖区水环境的变化,分析退圩还湖工程对湖区水动力、水龄、水生态、水质等的影响。研究成果将对未来实施退圩还湖工程,改善骆马湖水环境提供参考。

1 研究区域

骆马湖位于江苏省北部,是江苏省第四大淡水湖泊,地处徐淮黄泛平原区,隶属于宿迁市和新沂市,该地区属于暖温带季风气候区,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,四季分明。年平均气温为 14.1℃,多年平均降水量为 861.3 mm,降水多发生在 6—9 月,多年平均水面蒸发量为 890.7 mm。冬季多偏北风,夏季多偏东风,年均湿度为 75%。骆马湖正常蓄水位为 22.83 m,相应湖泊面积为 287 km²,库容为 9.18 亿 m³,平均水深为 3.32 m。骆马湖生态资源丰富,共有浮游动物 67 种、鱼类 58 种、鸟类 71 种、植物 75 种。

如图 1 所示,骆马湖主要入湖河道有沂河、老沂河、京杭运河等,主要出湖河道为新沂河、六塘河、京杭运河南段等,布置监测点位 L1、L2、L3、L4、L5。骆马湖内主要的 3 个取水口分别为徐州市骆马湖窑湾取水口、新沂市骆马湖新店取水口和骆马湖湖滨新区嶂山取水口(图 1 中 1、2、3)。目前新沂市骆马湖湖区开发利用形式主要是圈圩养殖、围网养殖和圈圩种植,总面积 49.501 km²,其中圈圩养殖面积 31.376 km²,围网养殖面积 10.979 km²,圈圩种植面积 5.687 km²,另有少量其他类型圈圩开发利用,面

积 1.459 km²^[20]。2019 年《骆马湖(新沂市)退圩还湖专项规划》以及《骆马湖(新沂市)退圩还湖工程实施方案》共设置清退区面积 30.722 km²,布置排泥场面积 7.8 km²,工程实施后恢复自由总水域面积 30.722 km²。

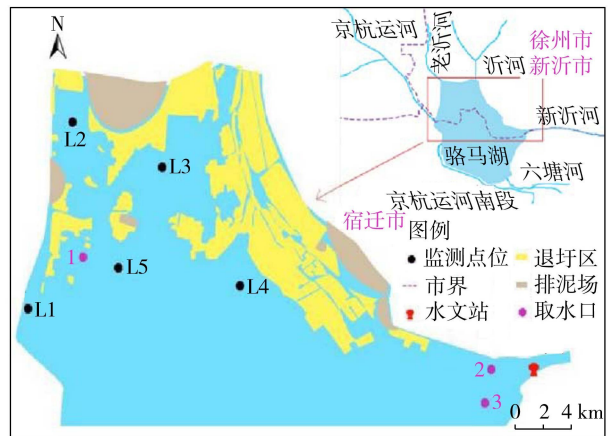


图 1 骆马湖及其监测点位

2 研究方法

为了分析骆马湖退圩前后整个湖区的水环境变化情况,本文针对骆马湖退圩前后分别构建二维非稳态水环境模型,包括水动力模型、粒子追踪模型和水质模型,对水动力、水龄和水质情况进行模拟计算。

2.1 水环境模型构建

a. 水动力模型。水动力模型可以模拟受各种作用而产生的水位及水流变化,为其他模型提供水动力学基础^[21]。本文水动力模型基于三维不可压缩和雷诺平均的 Navier-Stokes 方程建立,并服从于 Boussinesq 假定和静水压力假设^[22]。模型控制方程采用二维非恒定浅水方程组。

b. 粒子追踪模型。粒子追踪模型主要利用水龄和拉格朗日粒子追踪的概念来描述湖体交换快慢及交换程度^[18]。对单个粒子来说,水龄为该粒子从进入水体至抵达指定位置所需的时间^[23]。由于粒子实际运动相当复杂,不考虑菲克扩散理论且忽略粒子的瞬时加速度,采用二维粒子追踪方程^[24]。

c. 水质模型。以质量平衡方程为基础,采用二维水质输移方程构建垂向平均的二维水质模型^[25]。

2.2 边界条件

分别构建退圩前和退圩后骆马湖二维非稳态水环境设置模型,模型构建时假设退圩前后骆马湖的出入湖河流量不变,出入湖河流的水文情势基本不变,骆马湖出入湖河流上水闸的调度情况也不变^[26],风场、降雨量、蒸发量等条件均设置为相同。

根据 CZMIL 机载激光测深系统^[27]、卫星地图

提取的骆马湖地形及退圩区域底部高程和水位,模拟整个骆马湖现状及退圩后湖底地形(图2),并将模型区域划分为曲线三角网格单元(图3)。将沂河、老沂河、京杭运河运河、新沂河、六塘河、京杭运河河南段设置为开边界,开边界流量、初始水位和水利调度根据《2019年水文年鉴》骆马湖洋河滩闸、嶂山闸、新店、捻头、苗圩站水位资料以及边界河流水文资料确定,风场、降水量、蒸发量根据实测资料确定。

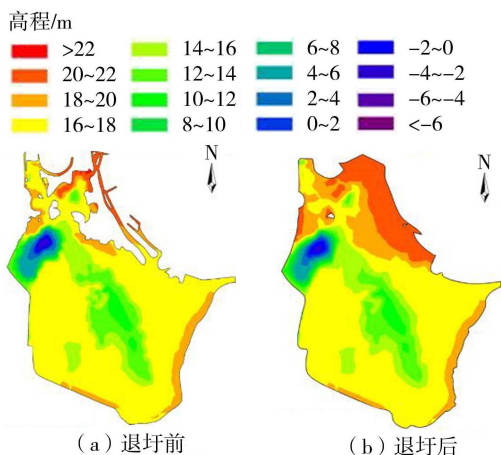


图2 骆马湖湖底地形

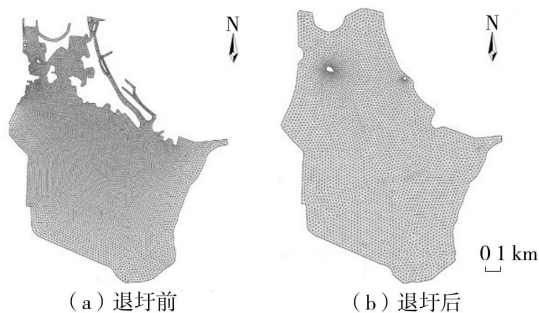


图3 骆马湖湖底网格划分

2.3 模型率定及验证

采取试错法结合骆马湖湖区内水文站及监测点位的相关水文水质数据进行水动力模型率定及验证,选取2019年1—6月嶂山闸水文站的日平均水位进行水动力模型率定,选取7—12月的日平均水位进行水动力模型验证。选取2019年L2、L3监测点位水质资料中的COD、氨氮、总氮、总磷等4个指标进行水质模型率定,选取2019年L4、L5监测点位水质资料进行水质模型验证。

根据水动力参数率定得到水动力模型水平涡动黏滞系数取值为0.265;湖底糙率用曼宁系数表示,取值为0.02;根据风向、风速随季节变化的影响,率定得到风拖曳系数为0.0012。根据水质率定得到COD降解系数为0.05/d,氨氮降解系数为0.04/d,总氮降解系数为0.03/d,总磷降解系数为0.035/d。

骆马湖水动力模型率定与验证结果如图4所

示,率定结果均方根误差为0.289 m,平均相对误差为2%,验证结果均方根误差为0.198,平均相对误差为1%。骆马湖水动力模型率定与验证结果如图5所示,可知COD、氨氮、总氮、总磷率定结果均方根误差为0.94 mg/L,平均相对误差为12%;COD、氨氮、总氮、总磷验证结果均方根误差为0.82 mg/L,平均相对误差为11%。由此可见水动力、水质模型的计算值与实测值吻合程度较好,均方根误差均在合理范围内,离散程度较好,平均相对误差也均在二维非稳态模型误差允许范围以内,即模型相关参数设置选取合理^[28],适用于模拟并描述骆马湖湖体水动力、水质的变化过程。

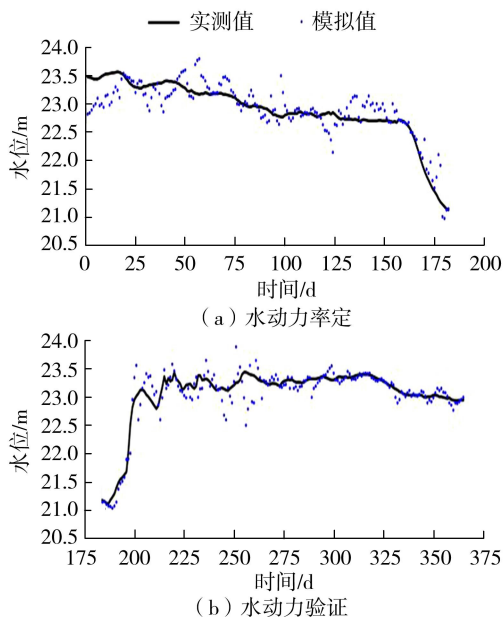


图4 骆马湖水动力模型率定与验证结果

3 结果分析

3.1 水动力条件改善分析

模型计算结果表明,退圩还湖工程实施后骆马湖湖区蓄水面积增大,平均水位由22.83 m变为22.47 m,平均水位下降0.36 m,流场也发生变化。由水动力模型计算得出夏季常风向偏东风风速3 m/s、冬季常风向偏北风风速3 m/s条件下退圩还湖工程实施前后的骆马湖流场分布见图6。

由图6可知,退圩还湖工程的实施增大了湖面面积和湖泊容量,退圩前圩区附近流速变化较大且流向不稳定,退圩后水体流速变化幅度较小,仅在部分小型环流地形处有细微变化,4个监测点位平均流速增大12%。在沂河入湖量不变的边界条件下,流速受面积增大的影响本应呈减小趋势,但由于监测点位多布置在圩区附近弯曲处,退圩前受圩区地形影响较大,退圩后整个湖泊平整度提高,阻碍流速

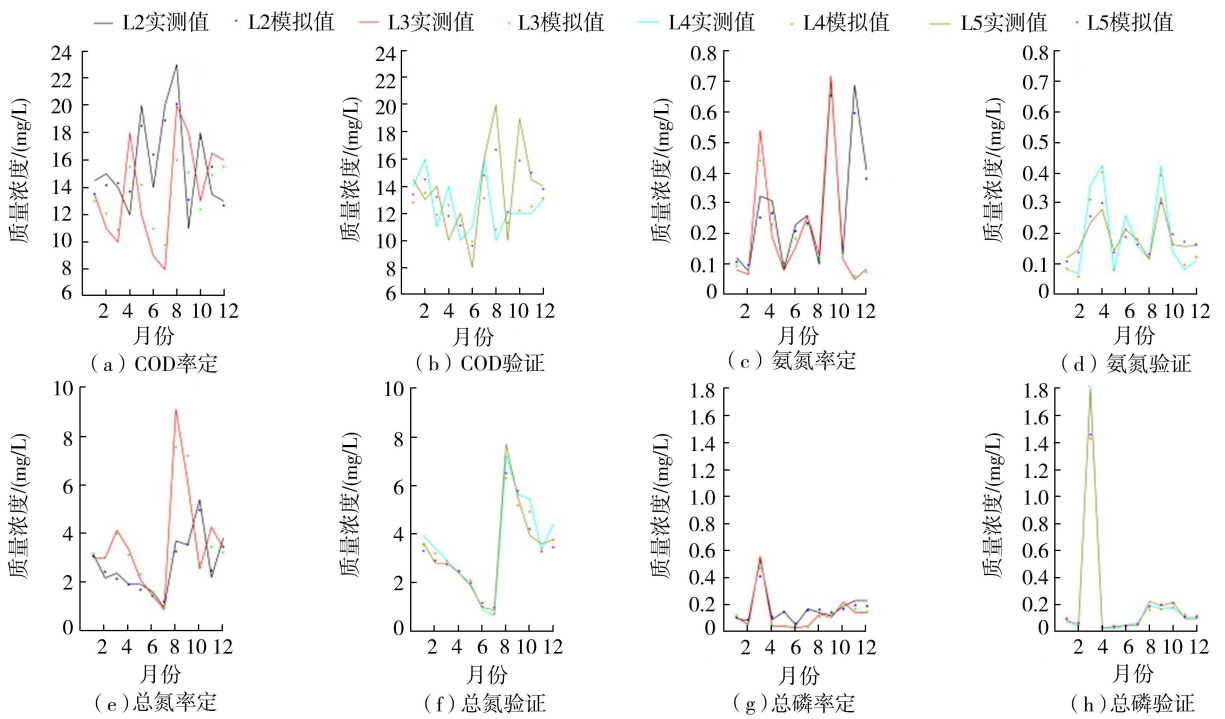


图5 骆马湖水质模型率定与验证结果

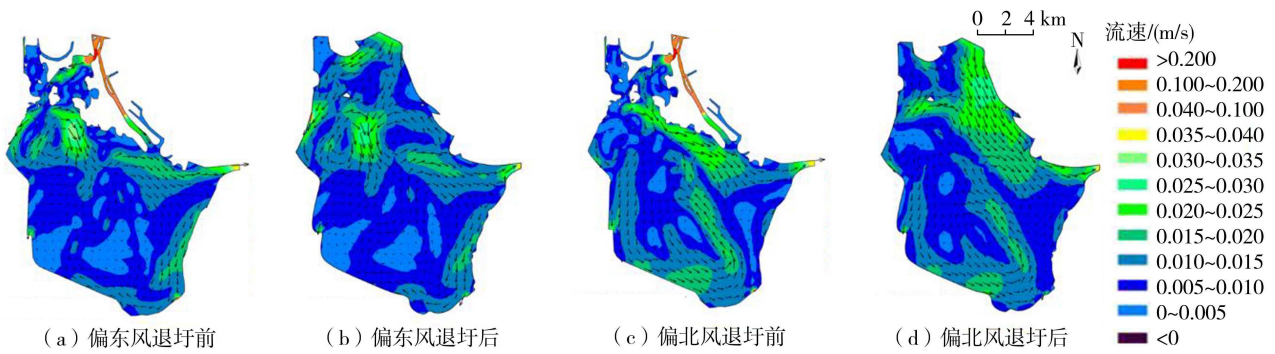


图6 退圩前后骆马湖流场分布

减小的外在条件减少,水动力被地形削减的能量减少,因此4个监测点位的平均流速呈增大趋势,这说明流速受地形的影响大于流速受面积的影响^[29]。退圩还湖工程显著提升圩区水体交换效率,结合周边水利工程的合理调度,可使骆马湖水体流动更有序,这对改善水动力条件有正效应影响。

3.2 粒子追踪结果分析

利用建立的拉格朗日粒子追踪模型,分析退圩前后水龄的变化。骆马湖退圩前后粒子追踪轨迹如图7所示,在偏北风(强风向)风速5m/s情况下,粒子1轨迹在退圩前后差别不大,退圩前水龄4.21d,退圩后水龄4.92d;粒子2退圩前水龄12.3d,退圩后水龄5.1d;粒子3退圩前水龄10.13d,退圩后水龄4.88d。

粒子1轨迹所在区域在骆马湖西南方,受退圩还湖工程影响不大,在湖区面积扩大、京杭运河进水量不变的情况下,水龄小幅度增加,生态多样性程度

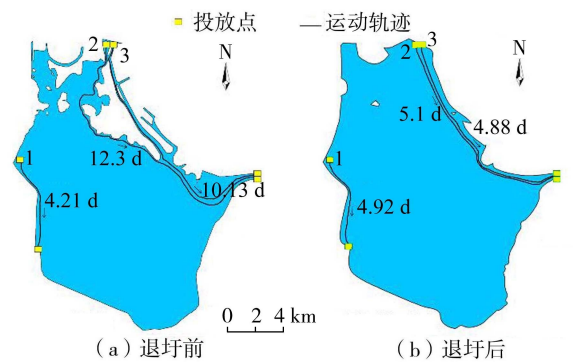


图7 骆马湖退圩前后粒子追踪轨迹

增大。粒子2、3轨迹所在区域主要在骆马湖退圩还湖工程范围内,退圩前受圩区影响较大,水龄较长,易受圩区排放污染影响;退圩后水龄大幅缩短,即水体交换速率大幅提升。总体来看,实施退圩还湖工程,对于骆马湖离圩区较远区域即京杭运河入湖区,将使水龄小幅增加但变化程度不明显,能增加生态多样性且不会增加富营养化;对于骆马湖圩区附近

区域即沂河入湖区,将使水龄大幅减小,促使水体交换速率增大,有利于水体流动,即退圩还湖对水龄有显著正效应影响。

3.3 水质改善分析

利用建立的水质模型,计算骆马湖退圩前后 L2、L3、L4、L5 这 4 个监测点位的 COD、氨氮、总氮、总磷质量浓度,分丰水期(7、8、9 月)、平水期(4、5、6、10 月)、枯水期(2、3、11 月)3 个时期进行对比,退圩效果及水质改善率见表 1。

表 1 丰、平、枯水期退圩效果及水质改善率

| 计算时期 | 水质因子 | 监测点位水质改善率/% | | | |
|------|------|-------------|------|------|------|
| | | L2 | L3 | L4 | L5 |
| 丰水期 | COD | 5.81 | 1.35 | 0.53 | 0.98 |
| | 氨氮 | 4.98 | 4.61 | 0.88 | 1.18 |
| | 总氮 | 2.75 | 3.59 | 0.68 | 0.87 |
| | 总磷 | 1.41 | 1.95 | 2.63 | 1.41 |
| 平水期 | COD | 5.90 | 5.66 | 0.47 | 4.45 |
| | 氨氮 | 1.86 | 4.44 | 0.98 | 3.70 |
| | 总氮 | 1.48 | 4.21 | 0.34 | 5.58 |
| | 总磷 | 2.81 | 1.24 | 0.25 | 0.18 |
| 枯水期 | COD | 6.55 | 0.34 | 3.66 | 3.80 |
| | 氨氮 | 6.03 | 1.96 | 4.60 | 1.96 |
| | 总氮 | 5.43 | 0.38 | 2.04 | 0.32 |
| | 总磷 | 6.82 | 4.78 | 2.37 | 0.67 |

由表 1 可见,在丰、平、枯 3 个时期,骆马湖 4 个监测点位的水质退圩后比退圩前均有所改善。其中,骆马湖 L2、L5 监测点位的 COD 因子,L2、L3 监测点位的氨氮因子,以及 L2、L3 监测点位的总磷因子退圩前后改善较为明显。退圩前后,位于圩区附近的 L2、L3 监测点位的改善率略高于 L4、L5。主要原因为退圩前骆马湖圩区主要进行圈圩养殖、圈圩种植和围网养殖,污染源主要为水产养殖污染源,退圩后退掉了湖区养殖区和种植区,直接减少了圩区养殖污染,削减了入湖污染负荷,所以圩区附近监测点位 L2、L3 的改善率较高。退圩前后湖区 4 个监测点位在丰水期、平水期、枯水期 3 个时期的 COD、氨氮、总氮、总磷水质改善率平均可达 3.3%、3.1%、2.3%、2.2%。

由此可见,实施骆马湖退圩还湖工程,可使骆马湖水水质得到明显提升,4 个水质因子浓度将逐步降低;能直接减少圩区养殖污染,有效削减入湖污染负荷;预期生物群落的栖息环境将逐步改善,骆马湖调蓄能力也将得到逐步提升^[30]。

4 结 语

本文建立了骆马湖退圩还湖前后的二维非稳态水环境模型,该模型计算值与实测值吻合良好,可用于分析骆马湖退圩还湖工程对水环境的影响。在水

动力方面:退圩后,骆马湖的蓄水面积将增大,平均水位将下降 0.36 m,在常风向 3 m/s 风速下 4 个监测点位的平均流速将增大 12%,湖体流动更加稳定有序。在换水周期方面:退圩后,在常风向 5 m/s 风速下,圩区附近水龄将大幅缩短,平均缩短 55%,退圩使湖体交换速率加快,水体自净能力增强。在水质方面:退圩后,COD、氨氮、总氮、总磷水质改善率平均可达 3.3%、3.1%、2.3%、2.2%,水质得到明显改善。此外,本文还分析了骆马湖退圩还湖工程对骆马湖水动力、水龄、水生态、水质的影响,结果表明退圩还湖工程对区域水环境存在积极影响。

参考文献:

- [1] KAMALI P, EBRAHIMIAN H, PARSINEJAD M. Estimation of manning roughness coefficient for vegetated furrows[J]. Irrigation Science, 2018, 36(6): 339-348.
- [2] HAYASHI S, MURAKAMI S, KAI-QIN X U. Effect of "land to lake" policy around the Dongting Lake on the flood protection in the middle region of the Changjiang River Basin, China [J]. Proceedings of the Symposium on Global Environment, 2007, 15: 135-141.
- [3] LIZINSKI T. Druzno Lake basin as an example of polder function and function of polder water-melioration systems [J]. Acta Agrophysica, 2000, 26: 275-283.
- [4] 王俊,王轶虹,王强,等.退圩还湖后湖泊水动力条件分析:以蜈蚣湖为例[J].中国农村水利水电, 2020(3): 96-102. (WANG Jun, WANG Tiehong, WANG Qiang, et al. Research on the hydrodynamic property of lakes after pushing over dikes and restoring to lake: a case study of Wugong Lake in Xinghua County [J]. China Rural Water and Hydropower, 2020(3): 96-102. (in Chinese))
- [5] 常虹,杨万红,王玉,等.白马湖退圩还湖方案及效果浅析[J].中国水利, 2014(8): 23-25. (CHANG Hong, YANG Wanhong, WANG Yu, et al. Options and result analysis of returning polder land to lake in Baima Lake [J]. China Water Resources, 2014(8): 23-25. (in Chinese))
- [6] 雷声. 2020 年鄱阳湖洪水回顾与思考[J]. 水资源保护, 2021, 37(6): 1-8. (LEI Sheng. Review and reflection on Poyang Lake flood in 2020 [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(6): 1-8. (in Chinese))
- [7] 马健,赵立涛,周冬梅.从水资源综合利用看骆马湖退圩还湖的必要性[J].治淮, 2020(9): 9-11. (MA Jian, ZHAO Litao, ZHOU Dongmei. The necessity of returning the dike to the lake from the comprehensive utilisation of water resources in Luoma Lake [J]. Harnessing the Huaihe River, 2020(9): 9-11. (in Chinese))
- [8] 朱春霞,黄川友,殷彤,等.河网水质模型研究进展[J].四川环境, 2009(2): 66-69. (ZHU Chunxia, HUANG

- Chuanyou, YIN Tong, et al. Progress in research of water quality model for river system [J]. Sichuan Environment, 2009(2):66-69. (in Chinese))
- [9] 郭晨煜,吕海深,朱永华,等. WRF-Hydro 模型参数在河西内陆河流域的敏感性分析[J]. 水利水电科技进展, 2023, 43(6): 120-127. (GUO Chenyu, LYU Haishen, ZHU Yonghua, et al. Sensitivity analysis of WRF-Hydro model parameters in Hexi Inland River Basin [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2023, 43(6): 120-127. (in Chinese))
- [10] 任晓倩,孙菽芬,陈文,等. 湖泊数值模拟研究现状综述[J]. 地球科学进展, 2013(3): 55-64. (REN Xiaolian, SUN Shufen, CHEN Wen, et al. A review of researches on the lake numerical modeling [J]. Advances in Earth Science, 2013(3): 55-64. (in Chinese))
- [11] 王亦斌,孙涛,梁雪春,等. 基于 EMD-LSTM 模型的河流水流量水位预测[J]. 水利水电科技进展, 2020, 40(6): 40-47. (WANG Yibin, SUN Tao, LIANG Xuechun, et al. Prediction of river water flow and water level based on EMD-LSTM model [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2020, 40(6): 40-47. (in Chinese))
- [12] 张炜,胡乐,钱启蒙,等. 基于 Delft3D 的苏州市渭塘镇河道水动力水质模拟[J]. 水利水电科技进展, 2023, 43(6): 96-102. (ZHANG Wei, HU Le, QIAN Qimeng, et al. Simulation of hydrodynamics and water quality for Weitang Town river network in Suzhou based on Delft3D [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2023, 43(6): 96-102. (in Chinese))
- [13] 王佳. 平原区大型浅水湖泊生态动力学模拟技术研究[D]. 上海: 东华大学, 2014.
- [14] 傅春,林国聪,黄金燕,等. 基于 MIKE 模型的湘阴县雨水管网健康度评价[J]. 水利水电科技进展, 2023, 43(6): 103-110. (FU Chun, LIN Guocong, HUANG Jinyan, et al. Health degree evaluation of rainwater pipe network in Xiangyin County based on MIKE model [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2023, 43(6): 103-110. (in Chinese))
- [15] 宋国浩,张云怀. 水质模型研究进展及发展趋势[J]. 装备环境工程, 2008, 5(2): 32-36. (SONG Guohao, ZHANG Yunhuai. Research progress and development trend of water quality models [J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(2): 32-36. (in Chinese))
- [16] 王金保,李媛媛. 湖泊水质模型研究进展[J]. 长江流域资源与环境, 2007(6): 805-809. (WAN Jinbao, LI Yuanyuan. Progress in lake water quality modelling [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007(6): 805-809. (in Chinese))
- [17] 黄春琳,李熙,孙永远. 太湖水龄分布特征及“引江济太”工程对其的影响[J]. 湖泊科学, 2017, 29(1): 22-31. (HUANG Chunlin, LI Xi, SUN Yongyuan. Water age distribution of the Lake Taihu and impact of the Yangtze River to Lake Taihu Water Transfer Project on the water age [J]. Journal of Lake Sciences, 2017, 29(1): 22-31. (in Chinese))
- [18] LI Y, ACHARYA K, YU Z. Modeling impacts of Yangtze River water transfer on water ages in Lake Taihu, China [J]. Ecological Engineering, 2011, 37(2): 325-334.
- [19] 王钟,范中亚,杨忠勇,等. “引江济淮”工程对安徽菜子湖水龄分布的影响[J]. 湖泊科学, 2018, 30(6): 108-118. (WANG Zhong, FAN Zhongya, YANG Zhongyong, et al. Effects of Water Diversion Project from the Yangtze River to Huaihe River on the water age distribution of Lake Caizi, Anhui Province [J]. Journal of Lake Science, 2018, 30(6): 108-118. (in Chinese))
- [20] 王俊,王轶虹,高士佩,等. 新沂市骆马湖退圩还湖的关键问题探讨[J]. 江苏水利, 2020(1): 1-5. (WANG Jun, WANG Yihong, GAO Shipai, et al. Distribution on the key issues of returning polder area to lakes of Luoma Lake in Xinyi City [J]. Jiangsu Water Resources, 2020(1): 1-5. (in Chinese))
- [21] XU Ruichen, PANG Yong, HU Zhibing, et al. Influence of water diversion on spatial and temporal distribution of flow field and total phosphorus (TP) concentration field in Taihu Lake [J]. Water Science & Technology Water Supply, 2020, 20(3): 1059-1071.
- [22] 张虎,徐学军,代涛. MIKE21 FM 在引江济巢工程规划中的应用[J]. 水电能源科学, 2016(9): 103-106. (ZHANG Hu, XU Xuejun, DAI Tao. Application of MIKE21 FM in water diversion project from Yangtze River to Chaohu Lake [J]. International Journal Hydroelectric Energy, 2016(9): 103-106. (in Chinese))
- [23] 李金华,李一平,唐春燕,等. “引江济星”工程及风场环境影响广东肇庆星湖水龄分布特征[J]. 湖泊科学, 2021, 33(2): 449-461. (LI Jinhua, LI Yiping, TANG Chunyan, et al. Water age distribution characteristics of Lake Star (Zhaoqing, Guangdong) influenced by the water diversion project and wind field [J]. Journal of Lake Sciences, 2021, 33(2): 449-461. (in Chinese))
- [24] 马世领. 松干流凌演进数值模拟与实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2018.
- [25] 史常乐,牛兰花,成金海. 水质模型中污染物衰减系数敏感性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(4): 91-96. (SHI Changle, NIU Lanhua, CHENG Jinhai. Sensitivity analysis of pollutant decay coefficient in water quality model [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2018, 29(4): 91-96. (in Chinese))

(下转第 89 页)

4658. (ZHANG Ying, ZHANG Ke, ZHAO Pengcheng, et al. Method for identifying safety protective equipment in hot work scenarios [J]. Journal of Safety and Environment, 2024, 24(12):4648-4658. (in Chinese))
- [13] 项新建, 翁云龙, 谢建立, 等. 基于改进 YOLOv5s 的水面漂浮物检测算法研究[J]. 人民黄河, 2024, 46(7): 85-91. (XIANG Xinjian, WENG Yunlong, XIE Jianli, et al. Research on detection algorithm of floating objects on water surface based on improved YOLOv5s [J]. Yellow River, 2024, 46(7):85-91. (in Chinese))
- [14] 张显, 吴青盟, 王龙, 等. 基于改进 YOLOv5 算法的水淹电厂检测算法研究[J]. 电子器件, 2024, 47(1): 221-226. (ZHANG Xian, WU Qingmeng, WANG Long, et al. Research on detection algorithm of flooded power plant based on improved YOLOv5 algorithm [J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2024, 47(1): 221-226. (in Chinese))
- [15] 刘奕炜, 陈铭轩, 牛志伟, 等. 基于 BIM 和 YOLOv5 的闸墩浇筑高度智能识别方法[J]. 人民长江, 2024, 55(9): 238-243. (LIU Yiwei, CHEN Mingxuan, NIU Zhiwei, et al. Intelligent identification method of pouring height of sluice pier based on BIM and YOLOv5 [J]. Yangtze River, 2024, 55(9): 238-243. (in Chinese))
- [16] 石隽, 周奕辰, 王京, 等. 面向电力施工场景的误闯入人员智能识别预警方法[J]. 机械设计, 2024, 41(增刊1): 139-145. (SHI Jun, ZHOU Yichen, WANG Jing, et al. An intelligent recognition and warning method for mistaken intruders in electric power construction scenarios [J]. Journal of Machine Design, 2024, 41(Sup1): 139-145. (in Chinese))
- [17] 彭放, 刘甜甜, 卢伟龙, 等. 基于深度学习的智能电网主动式外部作业人员安全风险因素监测[J/OL]. 电测与仪表, 2025: 1-9 [2025-01-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20240819.1649.002.html>. (PENG Fang, LIU Tiantian, LU Weilong, et al. Active
- identification and detection of external operator safety risk factors for smart grid based on deep learning [J/OL]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2025: 1-9 [2025-01-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20240819.1649.002.html>. (in Chinese))
- [18] 钱伟, 杨潇, 刘全义, 等. 融合注意力机制的 YOLOv8 火焰目标检测算法[J]. 安全与环境学报, 2025, 25(1): 75-84. (QIAN Wei, YANG Xiao, LIU Quanyi, et al. YOLOv8-based flame detection algorithm utilizing a fusion attention mechanism [J]. Journal of Safety and Environment, 2025, 25(1):75-84. (in Chinese))
- [19] 张扬. 生态环境治理项目安全生产标准化评价模型及其应用[J]. 安全与环境工程, 2024, 31(2): 1-8. (ZHANG Yang. Work safety standardization evaluation model of ecological environment treatment project and its application [J]. Safety and Environmental Engineering, 2024, 31(2):1-8. (in Chinese))
- [20] 严狄, 王树英, 郑响凑. 基于灰度-图像识别级配方法的泥质粉砂岩回填土压实特征研究[J/OL]. 铁道科学与工程学报, 2025: 1-11 [2025-01-03]. <https://doi.org/10.19713/j.cnki.43-1423/u.T20241375>. (YAN Di, WANG Shuying, ZHENG Xiangcou. Study on the compaction characteristics of argillaceous siltstone backfill using a grayscale-image-based gradation recognition method [J/OL]. Journal of Railway Science and Engineering, 2025: 1-11 [2025-01-03]. <https://doi.org/10.19713/j.cnki.43-1423/u.T20241375>. (in Chinese))
- [21] 陆公义, 欧阳鹏, 程赟, 等. 基于 YOLO 模型的堤坝管涌监测智能识别方法[J]. 水利水电科技进展, 2024, 44(1):89-94. (LU Gongyi, OUYANG Peng, CHENG Yun, et al. Intelligent identification method of dyke piping monitoring based on YOLO model [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2024, 44(1):89-94. (in Chinese))

(收稿日期:2024-11-07 编辑:俞云利)

(上接第 74 页)

- [26] 尤佳艺, 逢勇, 孙娇娇. 退圩还湖对固城湖水环境改善影响研究[J]. 四川环境, 2020, 39(1): 74-80. (YOU Jiayi, PANG Yong, SUN Jiaojiao. Study on the impact of returning dike to lake on the improvement of Gucheng Lake water environment [J]. Sichuan Environment, 2020, 39(1): 74-80. (in Chinese))
- [27] 王宗伟, 朱士才, 卢刚, 等. CZMIL 机载激光测深系统及其在骆马湖测深试验评估[J]. 海洋学研究, 2017, 35(3):20-26. (WANG Zongwei, ZHU Shicai, LU Gang, et al. CZMIL airborne laser sounding system and its testing evaluation in Luoma Lake [J]. Journal of Marine Sciences, 2017, 35(3):20-26. (in Chinese))
- [28] 范丽丽, 沙海飞, 逢勇. 太湖湖体水环境容量计算[J]. 湖泊科学, 2012, 24(5): 693-697. (FAN Lili, SHA Haifei, FENG Yong. Water environmental capacity of Lake Taihu [J]. Journal of Lake Science, 2012, 24(5): 693-697. (in Chinese))
- [29] 张华杰. 湖泊流场数学模型及水动力特性研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
- [30] 钟瑜, 张胜, 毛显强. 退湖还田生态补偿机制研究: 以鄱阳湖区为案例[J]. 中国人口·资源与环境, 2002, 12(4): 46-50. (ZHONG Yu, ZHANG Sheng, MAO Xianqiang. Study on eco-compensation of returning land to lake: take Poyang Lake area as a case study [J]. China Population, Resources and Environment, 2002, 12(4): 46-50. (in Chinese))

(收稿日期:2024-03-30 编辑:骆超)