

黄志强, 张子新, 张海平, 等. 沿海城市人工湖的智慧化韧性管控——福州市晋安湖案例[J]. 净水技术, 2026, 45(3): 165-173.

Huang Z Q, Zhang Z X, Zhang H P, et al. Smart resilient management and control of artificial lakes in coastal city: Case of Jin'an Lake in Fuzhou City [J]. Water Purification Technology, 2026, 45(3): 165-173.

沿海城市人工湖的智慧化韧性管控——福州市晋安湖案例

黄志强¹, 张子新^{2,3}, 张海平^{2,3}, 彭开铭^{2,3}, 黄翔峰^{2,3}, 刘佳^{2,3,*}

(1. 福州城市建设投资集团有限公司, 福建福州 350004; 2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 3. 同济-崇明碳中和研究院, 上海 200092)

摘要 【目的】 本文针对东南沿海城市人工湖在全球气候变化与极端天气频发背景下面临的内涝风险高、水质波动大、生态功能弱化等多重挑战, 提出并实践了城市人工湖全链条智慧化管控框架, 以期提升湖体水系统的安全韧性与生态服务功能。【方法】 本文基于东南沿海城市水体智慧化管控技术研究进展及实践成果, 提出了构建人工湖“天-空-地”立体监测网络、多模型耦合预警机制及动态优化调度系统的全链条智慧化管控框架。【结果】 以福建省福州市晋安湖为实证案例, 在人工湖智慧化管控系统应用后, 湖区经受住了 10 余次台风和 100 余场短历时强降雨的考验。且湖体主要污染物指标得到显著改善, 其中氨氮和总磷平均浓度较系统实施前分别降低约 30% 和 25%, 其余关键指标也稳定保持在地表水Ⅲ类标准及以上。本系统有效提升了该东南沿海城市人工湖水系统的韧性, 并为类似人工湖区的智慧化管控提供了实践依据和经验借鉴。【结论】 未来, 人工湖智慧化管控需要强化数字技术融合与区域水系统协同, 以推动人工湖从传统水利设施向智慧生态基础设施转型, 并构建以流域为边界的河湖系统联合调控平台, 从而为东南沿海城市水系统安全与可持续发展提供技术支撑, 也为城市水系统的韧性建设与智慧化管理提供可推广的范式。

关键词 沿海城市 韧性 水系统 人工湖 健康水生态系统 智慧化管控

中图分类号: X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2026)03-0165-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.03.017

Smart Resilient Management and Control of Artificial Lakes in Coastal City: Case of Jin'an Lake in Fuzhou City

Huang Zhiqiang¹, Zhang Zixin^{2,3}, Zhang Haiping^{2,3}, Peng Kaiming^{2,3}, Huang Xiangfeng^{2,3}, Liu Jia^{2,3,*}

(1. Fuzhou Urban Construction & Investment Group Co., Ltd., Fuzhou 350004, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

3. Institute of Carbon Neutrality, Tongji University <Chongming>, Shanghai 200092, China)

Abstract [Objective] This paper addresses the multiple challenges faced by urban artificial lakes in southeastern coastal cities, including high waterlogging risks, significant water quality fluctuations, and weakened ecological functions against the backdrop of global climate change and frequent extreme weather events. It proposes and implements a comprehensive smart management and control framework for urban artificial lakes, aiming to enhance the safety resilience and ecological service functions of the lake water system. [Methods] This paper proposed an integrated smart management and control framework for urban artificial lakes in southeastern coastal cities, based on recent advances and practical achievements in smart lake management technologies. The framework encompassed a comprehensive chain of solutions, including a "sky-air-ground" integrated monitoring network, a multi-model coupled early warning system, and a dynamically optimized scheduling mechanism. [Results] In the case study of Jin'an Lake, Fuzhou City, Fujian Province, the smart management and control system enabled the lake area to withstand over 10 typhoons and 100 short-duration

[收稿日期] 2025-11-21

[基金项目] 上海市教育委员会人工智能促进科研范式改革赋能学科跃升计划(04002360525); 晋安湖水环境与水生态维护关键技术研究(04002450471)

[作者简介] 黄志强(1977—), 男, 高级工程师, 主要从事工程建设管理等工作, E-mail: 573047698@qq.com。

[通信作者] 刘佳(1982—), 女, 正高级工程师, 主要从事湖泊生态修复及污染场地修复等工作, E-mail: liujia@tongji.edu.cn。

heavy rainfall events. Furthermore, key water quality indices showed significant improvement: average concentrations of ammonia nitrogen and total phosphorus decreased by approximately 30% and 25%, respectively, compared to pre-implementation levels. Other critical parameters had remained stably within Class III or higher of the national surface water quality standards. The system had effectively enhanced the resilience of the urban artificial lake system in this southeastern coastal city, providing practical evidence and valuable insights for the smart management of similar artificial lake areas. [**Conclusion**] In future, smart management of artificial lakes requires strengthened integration of digital technologies and coordinated regional water systems to transition from traditional hydraulic facilities to smart ecological infrastructure. A joint regulation platform for river-lake systems based on watershed boundaries should be established, providing technical support for water security and sustainable development in southeastern coastal cities, while offering scalable paradigms for resilient and smart urban water system governance.

Keywords coastal city resilience water system artificial lake healthy aquatic ecosystem smart management and control

党的十八大以来,生态文明建设上升为国家战略,我国对水环境治理和水生态保护提出了更高要求^[1]。在此背景下,海绵城市理念全面推行,并通过“渗、滞、蓄、净、用、排”措施显著缓解城市内涝风险。美丽河湖建设持续推进,并打造“水清、岸绿、景美”生态空间改善城市水生态环境。这些政策理念共同推动城市韧性整体提升,为宜居、绿色与可持续的人居环境构建奠定坚实基础。

东南沿海地区作为国家生态文明建设先行区,率先响应国家政策,如浙江推行“五水共治”协同治水、江苏启动生态河湖行动计划、福建建立“河湖长制+”创新机制等,实现了单一工程措施到系统化治理的转变。其中,城市人工湖作为核心载体,不仅发挥着蓄滞洪水、净化水质的作用,也承担着营造滨水景观、维护生物多样性、实现生态产品价值等生态服务功能。然而,该区域面临着台风暴雨频繁、降水时空不均、地下水位高、土地开发强度大等特殊挑战,传统人工湖管理模式难以协同水量、水质与水生态目标,常引起湖体水质质量波动与生态功能下降^[2]。因此,本文立足于东南沿海城市的人工湖运行管理问题,以典型人工湖智慧化管控为突破口,构建“监测-预警-调控”一体化体系,旨在破解城市内涝防治、水质改善与生态服务的协同治理难题,支撑城市水系统韧性提升与区域可持续发展。

1 东南沿海城市人工湖治理挑战

1.1 东南沿海城市水系统的风险

东南沿海城市处于亚热带季风气候区,降水量充沛但时空分布不均,年度降水量普遍为 750~1 700 mm,远超全国平均水平。且面临着热带气旋(台风)的频繁侵袭,据中国气象局统计:在 2020 年—2024 年,广东地区的台风登陆次数超过 10 次,

其余城市也每年会遭遇台风 1~2 次,带来了严重的经济损失和水系统管理挑战^[3]。此外,东南沿海城市经济快速发展也伴随着高密度的人口聚集、高负荷的污染排放,进一步给城市水安全带来了持续的压力^[4]。然而,由于城镇化进程的快速推进,东南沿海地区的土地开发利用强度大、不透水面积比例和河道硬化率高、天然水系受人类活动干扰严重,导致城市水系统的自然调蓄能力大幅衰减^[5]。

上述高气候风险、高强度经济活动等外部因素干扰与系统内在调蓄能力不足相互叠加,使东南沿海城市内涝、水质恶化与生态失衡等系统性风险尤为突出,传统的单一工程措施或末端治理模式难以继,亟需提升城市基础设施韧性,构建系统性防御网络,推动城市高质量可持续性发展。

1.2 城市人工湖管控的多重挑战

在东南沿海城市,人工湖作为城市水系统的重要节点(图 1),已从传统单一水利设施向集雨洪调蓄、污染净化与生态服务于一体的多功能生态基础设施转型^[6-8]。但人工湖的发展仍面临着诸多挑战。一是监测过于依赖人工监测及地面传感器网络,而现有监测点布局稀疏、质量参差且多关注短期水质达标率,难以为决策提供可靠、充足的数据支撑^[9]。二是传统预警过程中采用的内涝模型与水环境模型彼此独立,缺乏统一的目标函数和约束条件,使得在旱季补水或汛期泄洪时难以兼顾水资源利用与水生态保护^[10]。三是调度缺乏跨部门的协同决策,导致在台风来临前的短时强降雨阶段,调度指令往往难以统一且出现响应滞缓。

综上所述,人工湖已在东南沿海城市水系统的韧性提升过程中发挥着重要作用,但在全球气候变化背景下,其传统管理模式仍存在着结构性缺陷,难

以有效应对复合型水安全挑战,亟需推动管理模式的整体性转型,强化多目标协同治理与全过程调控能力,以更好地支撑城市水系统安全与可持续运行。

1.3 水体智慧化管控的政策导向

近年来,国家层面相继出台《“十四五”水安全保障规划》《关于推进新型城市基础设施建设打造韧性城市的意见》《河湖库一体化监测感知体系建设三年行动方案(2025—2027年)》等政策文件,明确指出要推动城市水系统智慧化转型,强化对城市河湖水体的动态监测与智能调控能力。在此背景下,东南沿海地区积极响应国家政策,发布《上海市水务海洋行业城市数字化转型实施意见

(2021—2023)》《浙江省住房城乡建设领域“人工智能+”工作方案(2025—2027年)》《福建省“十四五”数字福建专项规划》等区域政策,进一步推动了水体管理模式从经验驱动向数据驱动、从被动应对向主动干预、从单目标管控向多目标协同方向的战略转型。

这些政策为人工湖等关键水体的智慧化管控提供了制度保障和技术支撑,但当前在城市水体精细化治理中仍存在着实践空白,因此本文将探索东南沿海城市典型人工湖智慧化管控的技术路径与管理机制,旨在回应国家水安全战略需求,为政策落地提供可复制、可推广的技术方案与决策支持。

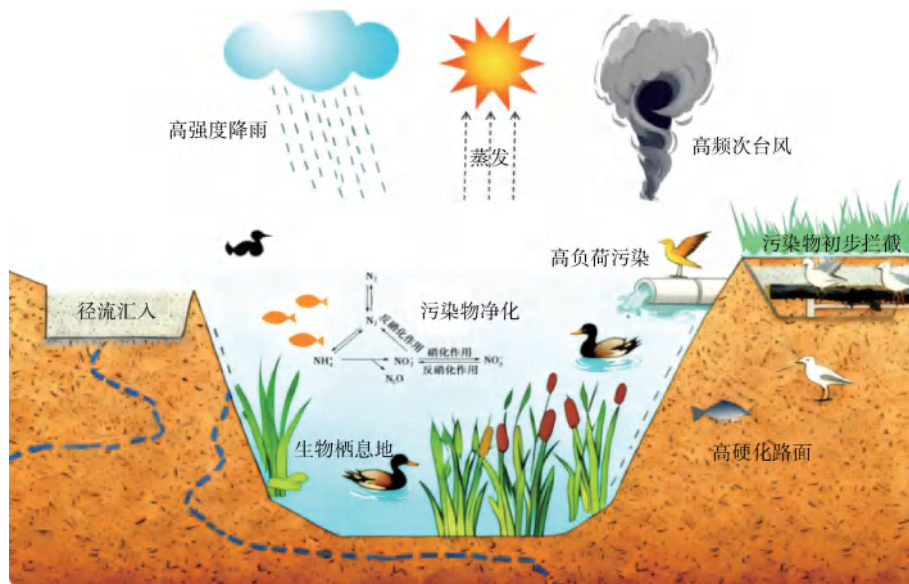


图1 东南沿海城市人工湖

Fig. 1 Artificial Lake in Southeastern Coastal Cities

2 人工湖智慧化管控研究及部署

2.1 管控原则和预期目标

人工湖是城市内涝防治、水质改善与生态服务功能的核心载体,需平衡防洪排涝的刚性需求与水环境水生态的韧性约束。而人工湖作为城市水系统的重要调节枢纽,与市政管网、地表径流等周边环境紧密关联。湖体的调蓄能力直接影响城市防洪安全,其周边水环境状况又反作用于湖体的水质与水生态。因此,人工湖智慧化管控既要关注湖体本身的调节能力,也要统筹考虑上游来水、下游排水等水文过程,更要重视人工湖与城市水系统的动态交互。

具体而言,基于《室外排水设计标准》(GB

50014—2021)及相关规定,结合东南沿海城市的区域特性,人工湖智慧化管控应实现三大核心目标:防洪排涝方面,湖区需具备抵御百年一遇暴雨的能力,通过实时水位调控协同城市管网系统,实现中心城区退水时间不大于1 h且交通枢纽恢复时间小于30 min;水质管理层面,湖区应实现溶解氧、氨氮等关键指标的实时响应与动态调控,水质宜稳定保持在Ⅲ类标准及以上,重点区域达到Ⅱ类水质;生态服务方面,湖区宜形成完善的生态产品价值实现机制,通过水资源资产化运营和水生态碳汇交易,实现生态保护与绿色经济的良性互促。

2.2 智慧化管控技术

智慧监测是水体智慧化管控体系的数据基石,

承担着“全域感知”的核心功能,为后续预警与调度提供高质量的信息输入。主要包括3种技术路径:地面物联网通过水位计、水质多参数仪等传感器实现分钟级数据采集,具备高时间分辨率与强实时性^[11-12];卫星遥感基于影像数据实现水质参数近实时反演与大范围动态监测,支撑广域水环境周期性状态评估^[13-14];无人机航拍则利用高空间分辨率与灵活机动性优势实现水域快速巡查,填补水体局部尺度监测空白^[15-16]。但现有研究与实践多聚焦于单一技术或两两结合,较少形成三维协同的监测网络。因此,亟需构建“天-空-地”一体化监测平台,以突破单一维度局限,实现分钟级数据采集与厘米级空间覆盖,改变传统的“盲调盲管”被动局面。

智慧预警是水体智慧化管控体系的风险屏障,实现了从“数据采集”到“风险识别”的关键跃迁,为调度决策提供科学依据。当前主要形成两大系统:洪涝预警通过耦合内涝模型与智能算法,建立高程、土地利用和建筑物布局的连接来模拟预测降雨、地表产汇流等水文水动力过程,从而实现城市淹没范围和时间的精准预测^[17-18];水质预警则基于历史数据和机理模型,预测并评估未来水体的水质状况,以便采取相应的管理措施、保障水资源安全和生态环境健康^[19-21]。然而,系统多聚焦单灾种独立预警,缺乏跨领域协同机制,亟需构建“洪涝-水质-生态”

多灾种耦合预警平台,通过打破数据壁垒和模型孤岛,实现“被动响应”到“主动防控”的战略跃升,从而提升城市的风险抵御能力。

智慧调度是水体智慧化管控体系的执行终端,关系到预警结果的最终落地,直接决定着水环境及水生态质量。传统水量调度以优化水资源配置为核心,通过统筹库湖闸泵等工程体系来实现水资源的科学调度,进而降低城市洪涝风险^[22-24]。随着我国对水环境及水生态保护要求的提高,面向健康水生态系统的优化调度也逐渐得到学者的关注。这些研究在传统水量调度基础上,考虑融入营养盐削减、藻类防控与生态保障水位等目标,以兼顾水资源的科学调度和水系统的健康维护,但相关研究与实践仍处于起步阶段^[25-27]。因此,亟需建立水量、水质及水生态多目标协同调度机制,才能满足城市对洪水风险精准防控、水体水质稳定达标与生态服务功能增强的协同需求。

以上智慧监测、预警及调度技术共同构成了现代水体智慧化管控的闭环链条(图2),也为人工湖这类复杂水体系统的多维度管理提供了可靠的技术路径。为此,本文创新性地提出了面向东南沿海城市典型人工湖的智慧化管控系统,以期推动人工湖从传统水利设施向智慧生态基础设施的战略转型。

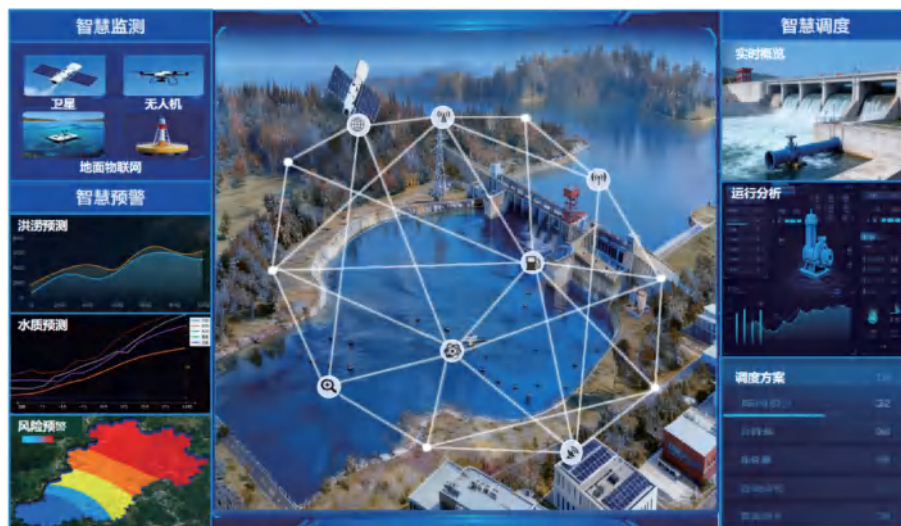


图2 水体智慧化管控技术

Fig. 2 Intelligent Management and Control Technology of Water Bodies

2.3 智慧化管控系统框架

本文提出的人工湖智慧化管控系统以“监测-预警-调度”三位一体框架为核心(图3),通过感知

层、决策层与执行层的闭环联动,形成从数据采集、模型模拟到调度决策的全链条管控流程,最终实现防洪安全、水质保障与生态健康的动态平衡。

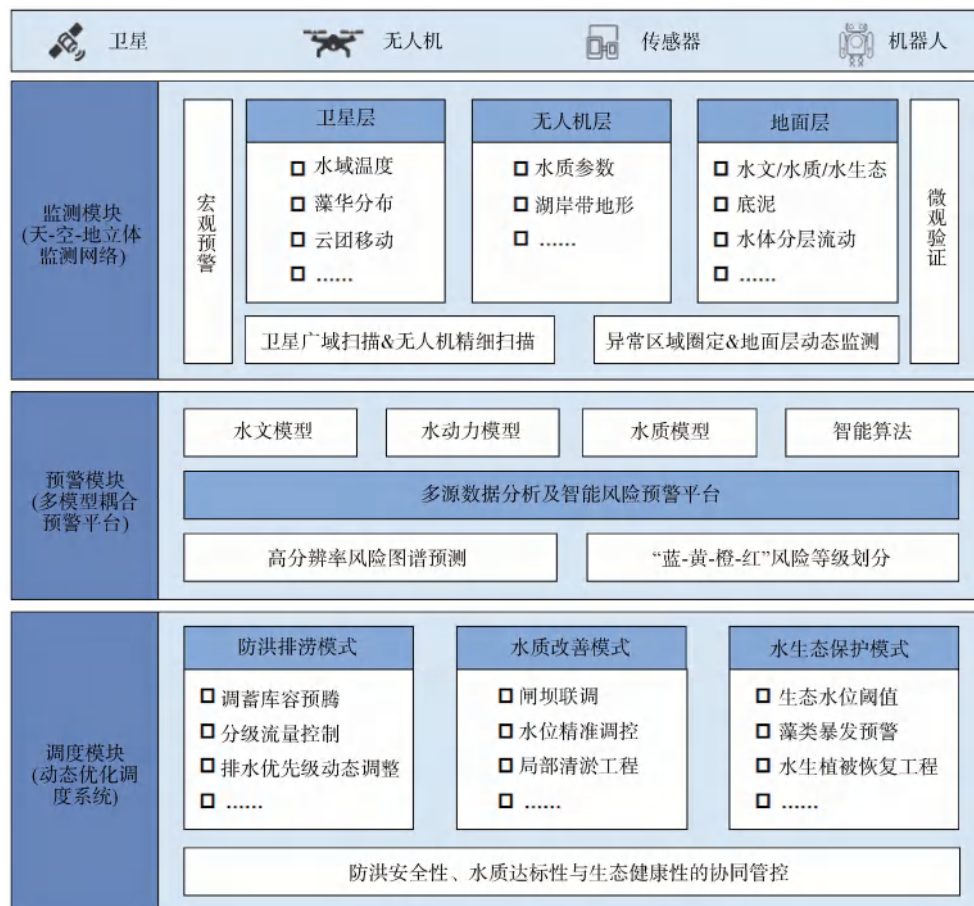


图3 某人工湖智慧管控系统框架

Fig. 3 Framework of Intelligent Management and Control System for an Artificial Lake

监测模块构建“天-空-地”一体化监测网络,通过层级响应机制实现动态协作。卫星层承担广域扫描职能,通过周期性热红外与多光谱影像识别水域温度异常、藻华分布及流域气象云团移动趋势等。当卫星探测到目标区域异常信号时,自动触发无人机层启动靶向巡航。无人机搭载高光谱传感器进行低空精细扫描,依据卫星提供的空间坐标对重点水域开展水质参数反演,并同步构建湖岸带三维地形模型。地面层由物联网浮标站实时捕捉水文、水质与水生态数据,并根据上层指令动态调整监测频率,并使用水下机器人针对卫星与无人机圈定的热点区域执行底泥扫描和水体分层流动探测,形成宏观预警到微观验证的闭环响应。

预警模块集成监测网络的多源数据,通过耦合模型与智能算法实现风险预警。通过高速通信网络实时汇聚监测模块各层级数据,并由边缘计算节点进行时空配准与融合处理。随后,基于水文模型解

析降雨径流过程、水动力模型模拟湖体流体运动、水质模型追踪污染物迁移转化规律,并结合智能算法持续学习历史灾害模式与实时监测数据,对洪水演进过程、水质指标变化及水生态响应进行多尺度预测,生成未来高分辨率风险预测图谱。最后,综合水位涨幅、污染物浓度、藻类生物量等关键指标,根据设定阈值将预测结果判定为“蓝-黄-橙-红”风险等级,形成风险感知到决策支持的闭环链条。

调度模块基于上述预测图谱与风险等级,启动多模式协同优化机制。防洪排涝模式以水量调控为核心目标,通过水文水动力拓扑网络分析开展“蓄-排-泄”全过程协同优化,包括湖体实施预先降低水位以腾出调蓄库容操作、闸坝系统执行分级流量控制以削减洪峰叠加效应、泵站网络根据淹没模拟结果动态调整排水优先级。水质改善模式聚焦污染物控制与水环境质量提升,通过闸坝联调增强水体流动性与污染物扩散能力、精准调控水位抑制营养盐

富集、实施局部清淤工程阻断内源污染释放。水生生态保护模式则针对生态系统完整性,采用生态水位阈值管理维护生物多样性并保障水生生物栖息地、构建藻类暴发预警响应机制保障优质水资源供给能力以提升生态产品价值、实施水生植被恢复工程增强生态系统碳汇能力,最终实现防洪安全性、水质达标性与生态健康性的协同提升。

3 智慧化管控系统的应用和实践

晋安湖作为福州市城区调蓄库容最大的生态湖,水域面积广、汇水范围大,在城市防洪排涝、水环境改善及水生生态保护等方面发挥着关键作用。然而,长期监测表明,湖区水质以劣V类为主,尤其在春夏季富营养化问题突出,且入湖河流(凤坂河、凤坂一支河和竹屿河)污染输入严重,加之东南沿海台风、暴雨频发,给湖区水安全与水环境管理带来严峻挑战。为此,结合笔者所在团队近年来的研究与实践,以福建省典型湖泊——晋安湖为例,开展城市人工湖智慧化管控系统的应用研究。

本系统依托“天-空-地”立体监测网络实现全域感知;卫星遥感提供流域地形、水文气象等宏观背景场的周期性数据;无人机作为精细化补充,对关键河道断面、水工建筑物周边地形及重点污染风险区进行高精度测绘与应急巡查;地面物联网则通过布设的自动监测站与传感设备,持续采集水位、流量、关键水质参数以及闸泵运行状态等参数。经多维数据融合与标准化处理后,为后续模型驱动、校验与控制提供坚实可靠的数据基底,实现从物理环境到实时运行状态的全面数字化映射。

在此基础上,耦合机理模型与智能算法构建智能预警模块。基于MIKE系列软件建立晋安湖汇水区一维及湖区二维模型,精准模拟湖体及其入湖河流的水文、水动力及水质变化过程。具体而言,将气象数据转化为区域产汇流过程,其输出作为边界条件驱动水动力模型,模拟风场、闸泵调控等多重因素作用下的湖体流场结构及水体交换过程;再将结果作为核心环境变量,与水质模型联立求解,动态模拟氮、磷等营养盐迁移转化及藻类生长响应规律。随后嵌入人工神经网络算法,实现不同调度情景下未来湖体水位、关键断面水质及藻类生物量的快速近似预测,为后续调度决策提供科学依据。

调度模块则采用强化学习算法对多目标调度策

略进行动态寻优,目前已形成3种典型运行模式。在防洪排涝模式下,系统根据不同洪水等级及防洪要求,提前生成闸泵协同调度指令,以腾出调蓄库容、保障行洪安全。在水质改善模式下,系统依据来水水质和湖区响应特征,实施闸门动态调控以削减高污染负荷水体入湖,并启动生态补水程序,引入清洁水源加速湖体置换。在水生态保护模式下,系统通过精细化控制湖体水位变化幅度与持续时间,维持沉水植物等水生生物适宜生长环境,并抑制内源污染释放及底泥再悬浮现象。

自该智慧化管控系统投入运行以来,晋安湖的管理效能与生态环境效益取得显著提升。相较于该系统实施前,湖区的水体置换效率提升约40%,氨氮、总磷等主要污染物浓度分别平均降低约30%、25%,叶绿素a等关键生物指标最高下降超50%,其余指标也均满足或优于地表水Ⅲ类标准并呈现持续向好趋势(图4)。在应对极端天气方面,系统成功辅助管理部门经受住了10余次台风及100余场短历时强降雨的考验,未发生内涝险情,城市水安全韧性大幅提高。据统计,系统可在30s内给出闸门开度、泵站功率等调度方案,且可对极端低水位和极端高水位持续时间精准控制,也维护了湖区中水生植物的良好生长,保障了人工湖水生态系统的健康运行。本智慧化管控系统的实践证明,其不仅可作为晋安湖等水环境综合治理的关键技术支撑,也可为东南沿海类似城市人工湖的精细化、智慧化管理提供可复制、可推广的范式。

4 结语

人工湖作为东南沿海城市重要的生态基础设施,其智慧化管控已成为统筹内涝防治、水质改善与生态服务提升的核心路径。本文针对典型城市人工湖提出的“监测-预警-调度”一体化体系,通过构建“天-空-地”立体监测网络、多模型耦合预警机制及动态优化调度系统,实现了水量调控、水质保障与生态健康的协同管理。这一模式不仅破解了传统管理中的多目标协同难题,更推动了人工湖从单一水利设施向智慧生态枢纽的战略转型,为城市河湖、水库等水系统韧性提升提供了技术支撑与实践范式。

为加快该体系的落地应用,建议采取4项推进路径:一是制定城市人工湖智慧化建设技术标准,明确监测设备布设密度、数据传输协议、预警响应阈值

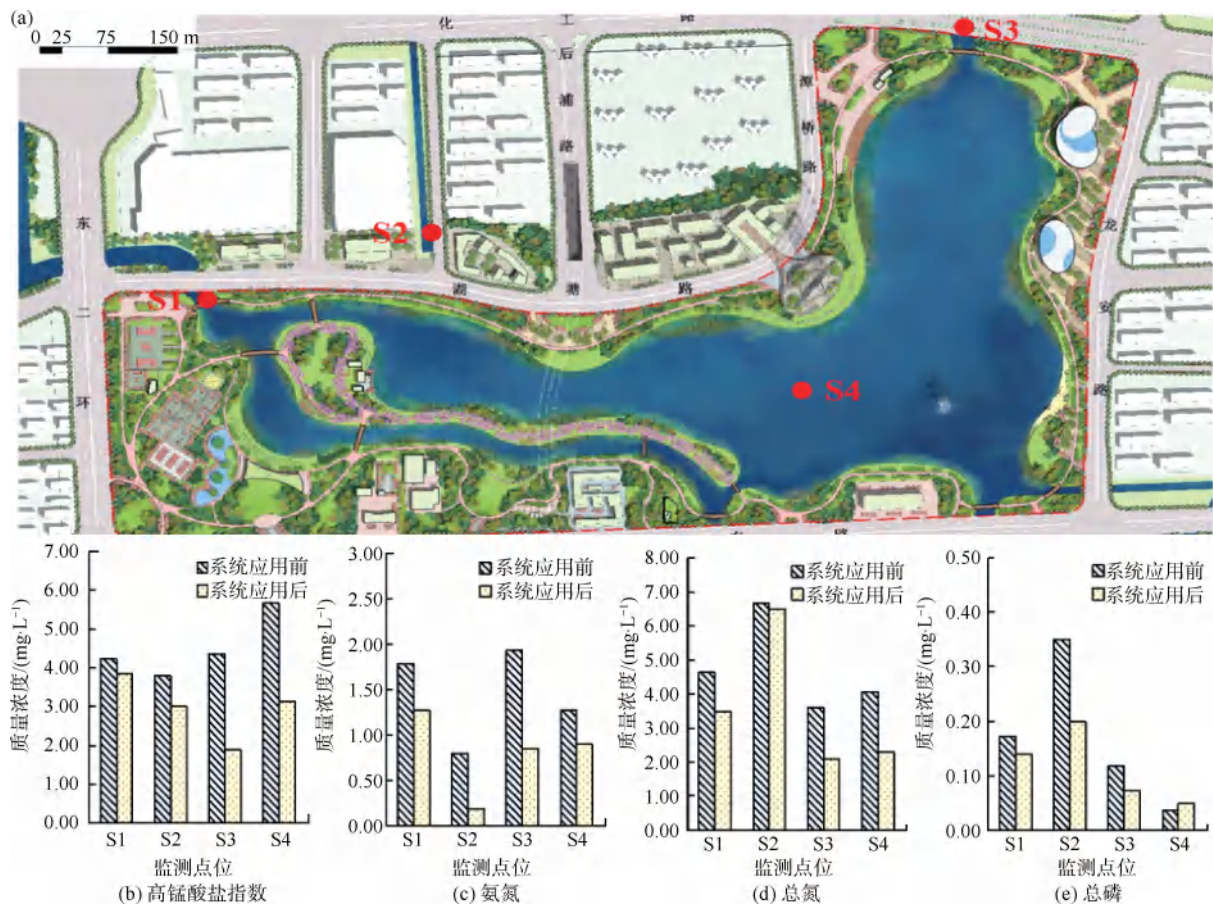


图4 晋安湖入湖河流及湖体水质变化状况

Fig. 4 Water Quality Variation Status of Jin'an Lake's Inflowing Rivers and Lake Body

与调度控制逻辑,实现系统建设规范化;二是搭建人工湖专属的“水生态数字孪生平台”,集成建筑信息模型(BIM)、地理信息系统(GIS)与实时模型模拟功能,支撑多场景推演与可视化决策;三是选取典型湖区开展智慧化改造试点,验证“监测-预警-调度”闭环响应时效与调控效果,形成可复制的技术包与运营模式;四是建立跨部门协同管理机制,明确水务、生态等多部门主体的职责分工与考核机制,推动工程建设向长效智治的转变。

未来,东南沿海城市人工湖的智慧化管控应进一步强化区域协同与动态适应能力,需深度融合大数据、人工智能与低碳技术,构建以流域为边界的河湖系统联合调控平台,以实现城市水系统洪涝风险精准防控、水质稳定达标与碳汇功能增强的全局优化;同时,探索生态服务价值核算与市场化机制,推动“第二水源”战略资源化利用。通过持续完善的“监测-预警-调控”闭环体系,人工湖将在保障城市水安全、支撑生态文明建设中发挥更核心的引领作

用,为全球高密度城市化区域的水系统治理提供中国方案。

参考文献

- [1] 邓宇杰,张钟海,姜尚文,等.城市水环境智慧管控总体框架研究与实践[J].建设科技,2025(17):28-32.
Deng Y J, Zhang Z H, Jiang S W, et al. Research and practice on overall framework of smart management and control for urban water environment [J]. Construction Science and Technology, 2025(17): 28-32.
- [2] 李乾岗,田颖,刘玲,等.水体中沉积物氮和磷的释放机制及其影响因素研究进展[J].湿地科学,2022,20(1):94-103.
Li Q G, Tian Y, Liu L, et al. Research progress on release mechanisms of nitrogen and phosphorus of sediments in water bodies and their influencing factors[J]. Wetland Science, 2022, 20(1): 94-103.
- [3] Lu X Q, Yu H, Ying M, et al. Western north Pacific tropical cyclone database created by the China meteorological administration[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2021,

- 38(4): 690-699.
- [4] 王泽阳, 王开春, 许贤芳, 等. 东南沿海山地城市海绵城市规划探索: 以上杭县为例[J]. 中国给水排水, 2024, 40(4): 25-31.
Wang Z Y, Wang K C, Xu X F, et al. Exploration and practice of sponge city planning in mountainous cities in southeast coastal area: A case study of Shanghang County, Fujian Province[J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(4): 25-31.
- [5] 徐宗学, 李鹏. 城市化水文效应研究进展: 机理、方法与应对措施[J]. 水资源保护, 2022, 38(1): 7-17.
Xu Z X, Li P. Progress on hydrological response to urbanization: Mechanisms, methods and solutions [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(1): 7-17.
- [6] 曹阳. 利用建设用地中低洼地形实现兼顾景观及海绵城市的设计实践[J]. 给水排水, 2023, 49(s1): 188-193.
Cao Y. Design practice of taking into account both landscape and sponge city by using low-lying terrain in construction land [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(s1): 188-193.
- [7] 姚怡先. 生态指示种在新建城市人工湖的生物多样性设计研究与应用[J]. 水利规划与设计, 2023(6): 43-46, 51.
Yao Y X. Research and application of ecological indicators in biodiversity design of newly-built urban artificial lakes[J]. Water Resources Planning and Design, 2023(6): 43-46, 51.
- [8] 华逢耀. 南海旅游岛虎头山人工湖水量平衡分析研究[J]. 水资源开发与管理, 2023, 9(5): 34-38.
Hua F Y. Analysis of water balance in the artificial lake of Hutou Mountain in South China Sea tourist island[J]. Water Resources Development and Management, 2023, 9(5): 34-38.
- [9] 戴杰. 藻类暴发对国家地表水考核断面水质的影响[J]. 环境保护与循环经济, 2023, 43(4): 88-91.
Dai J. Influence of algae outbreak on water quality of national surface water assessment section [J]. Environmental Protection and Circular Economy, 2023, 43(4): 88-91.
- [10] 范杰斐, 马晶洁, 徐纪翔, 等. 江苏省南水北调工程湖泊群优化调度[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2025, 23(6): 1317-1327.
Fan J F, Ma J J, Xu J X, et al. Optimal scheduling of lakes in the south-to-north water transfers project in Jiangsu Province [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2025, 23(6): 1317-1327.
- [11] 周及, 关卫省, 付林涛. 基于多元统计的西安市河流水质评价及污染源解析[J]. 水资源保护, 2020, 36(2): 79-84, 104.
Zhou J, Guan W S, Fu L T. Water quality assessment and pollution source analysis of Xi'an river based on multivariate statistics [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 79-84, 104.
- [12] Tian Y Q, Wen Z G, Cheng M L, et al. Evaluating the water quality characteristics and tracing the pollutant sources in the Yellow River Basin, China [J]. Science of the Total Environment, 2022, 846: 157389. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157389.
- [13] Li N, Ning Z Y, Chen M, et al. Satellite and machine learning monitoring of optically inactive water quality variability in a tropical river [J]. Remote Sensing, 2022, 14(21): 5466.
- [14] Toming K, Liu H, Soomets T, et al. Estimation of the biogeochemical and physical properties of lakes based on remote sensing and artificial intelligence applications [J]. Remote Sensing, 2024, 16(3): 464.
- [15] Dong L, Gong C L, Wang X H, et al. Seasonal monitoring method for TN and TP based on airborne hyperspectral remote sensing images [J]. Remote Sensing, 2024, 16(9): 1614.
- [16] Lei X D, Jiang J, Deng Z F, et al. An ensemble machine learning model to estimate urban water quality parameters using unmanned aerial vehicle multispectral imagery [J]. Remote Sensing, 2024, 16(12): 2246.
- [17] Kabir S, Patidar S, Xia X L, et al. A deep convolutional neural network model for rapid prediction of fluvial flood inundation [J]. Journal of Hydrology, 2020, 590: 125481. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125481.
- [18] 赵杏杏, 左翔, 蔡文静, 等. 考虑时空特征的城市内涝智能预报模型研究[J]. 人民长江, 2024, 55(7): 20-28.
Zhao X X, Zuo X, Cai W J, et al. Study on urban waterlogging intelligent forecast model considering temporal and spatial characteristics [J]. Yangtze River, 2024, 55(7): 20-28.
- [19] 辛攀. 湖泊水环境监测预警信息系统的预测方法研究 [D]. 南昌: 南昌工程学院, 2024.
Xin P. Research on the prediction methods of the lake water environment monitoring and early warning information system [D]. Nanchang: Nanchang Institute of Technology, 2024.
- [20] 张秀菊, 王柳林, 李秀平, 等. 基于BP神经网络的潇河流域水质预测[J]. 水资源与水工程学报, 2021, 32(5): 19-26.
Zhang X J, Wang L L, Li X P, et al. Water quality prediction of the Xiaohe River Basin based on BP neural network model [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2021, 32(5): 19-26.
- [21] Yan J Z, Xu Z B, Yu Y C, et al. Application of a hybrid optimized BP network model to estimate water quality parameters of Beihai Lake in Beijing [J]. Applied Sciences, 2019, 9(9): 1863.
- [22] 于凤存, 方国华, 王文杰, 等. 基于多目标遗传算法的南水北调东线工程湖泊群优化调度研究 [J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(3): 78-85.
Yu F C, Fang G H, Wang W J, et al. Optimized dispatching of the lake group system along the south-to-north water diversion route based on the multi-objective genetic algorithm [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(3): 78-85.
- [23] 崔璨, 董增川, 罗赞, 等. 基于水文水动力模型的洪泽湖汛

- 末蓄水策略智能优化设计[J]. 水资源保护, 2023, 39(4): 143-151.
- Cui C, Dong Z C, Luo Y, et al. Intelligent optimization design of water storage strategy for post-flood period of Hongze Lake based on hydrological-hydrodynamic model[J]. Water Resources Protection, 2023, 39(4): 143-151.
- [24] 方国华, 钟华昱, 闻昕, 等. 考虑湖泊互济互调运行的江苏省南水北调工程优化调度[J]. 水科学进展, 2023, 34(5): 776-787.
- Fang G H, Zhong H Y, Wen X, et al. Optimal operation of the Jiangsu Province section of the South-to-North Water Diversion Project under the operational mode of mutual transfer and diversion among lakes[J]. Advances in Water Science, 2023, 34(5): 776-787.
- [25] 谢凯, 李永红. 基于湖泊的水质水量联合调度应用设计研究[J]. 环境科学与管理, 2020, 45(4): 53-57.
- Xie K, Li Y H. Application design of water quality and water quantity joint operation based on lake[J]. Environmental Science and Management, 2020, 45(4): 53-57.
- [26] 刘伟, 郝达平. 气候事件及水利工程调度对湖泊微囊藻属影响研究[J]. 水利规划与设计, 2022(5): 53-58, 67.
- Liu W, Hao D P. Impact of climate events and water resources project scheduling on microcystis in lakes[J]. Water Resources Planning and Design, 2022(5): 53-58, 67.
- [27] 李紫玉, 沈剑, 封吉猛, 等. 洱海流域水资源调度情景对湖泊水生态的影响[J/OL]. 环境工程学报, 1-12[2026-02-06]. <https://link.cnki.net/urlid/11.5591.X.20251028.1652.002>.
- Li Z Y, Shen J, Feng J M, et al. The impact of water resources scheduling scenarios in the Erhai River basin on lake water ecology[J/OL]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 1-12[2026-02-06]. <https://link.cnki.net/urlid/11.5591.X.20251028.1652.002>.

(上接第 164 页)

- [7] 韩梅, 李玉宝, 邹放, 等. 基于水厂大数据的混凝投药系统智能模型的构建[J]. 净水技术, 2021, 40(9): 40-47.
- Han M, Li Y B, Zou F, et al. Modeling of big data-based intelligent model for coagulation dosing system in WTP[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(9): 40-47.
- [8] 王艺颖. 水厂精准混凝投药实时控制系统的构建[J]. 给水排水, 2023, 49(5): 156-164.
- Wang Y Y. Real-time control system development of precise coagulation dosing in water treatment plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(5): 156-164.
- [9] Wang D S, Shen J J, Zhu S H, et al. Model predictive control for chlorine dosing of drinking water treatment based on SVM model[J]. Desalination and Water Treatment, 2020, 173: 133-141. DOI: 10.5004/dwt.2020.24144.
- [10] Wang S, Taha A F, Abokifa A A. How effective is model predictive control in real-time water quality regulation? State-space modeling and scalable control[J]. Water Resources Research, 2021, 57(5): e2020WR027771. DOI: 10.1029/2020WR027771.